ＩＳＳＮ　0386－5878
土木研究所資料第3375号

土木研究所資料

調査研究報告書
(平成６年度)

平成７年９月

建設省土木研究所
環境部環境計画研究室

Copyright ©1995 by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は，土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって，本報告書の全部又は一部の転載，複製は，土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

土木研究所資料
第3375号平成7年9月

調査研究報告書（平成6年度）

環境計画研究室　室長　丹羽　薫
主任研究員　並河良治
研究員　小栗ひとみ
研究員　長野幸司
研究員　久保徳彦
研究員　福渡隆
前主任研究員　久納誠
前主任研究員　天野邦彦
前主任研究員　安田吾郎
前技官　真田誠至

要旨

平成6年度に環境計画研究室が建設事業に関連した環境計画の充実のための環境評価技術，環境データベース，景観設計支援システムや湖沼の水質浄化に関する研究を行った成果の概要の報告である。

キーワード：環境アセスメント，環境データベース，環境経済評価，景観シミュレータ，景観データベース，地球温暖化，土木遺産，富栄養化対策，密度流，糸状藻類，生態系制御

まえがき

本報告書は、平成６年度に環境計画研究室において実施した研究成果をとりまとめたものである。

当研究室は、平成５年４月に土木研究所環境部設立に伴い発足し、建設事業に関連した環境計画の充実のための環境評価技術、環境データベース、景観設計支援システムや湖沼の水質保全技術に関する研究等を行っている。これらの研究課題の内、環境計画手法の構築に関する諸研究は、当研究室発足に伴い新たに研究を開始したテーマであり、湖沼の水質保全に関する諸研究は従来ダム部水資源開発研究室で実施していた研究を引き継いだものである。

６年度は、試験研究費で３課題、総合技術開発プロジェクトで２課題、国立機関公害防止等試験研究費で１課題、地球環境研究総合推進費で１課題、科学技術振興調査費で１課題、河川総合開発事業調査費で４課題、また地方建設局依頼調査試験費で８課題、計２０課題について調査研究を実施した。これら各課題について報文等を本調査報告に取りまとめた。また、その他本研究室が発表した報告等についても本調査報告に取りまとめた。

本書巻末に、当研究室で発表した論文の一覧表、当研究室の構成メンバーを掲載した。なお、本報告は、当研究室年度報告の第２号である。

当研究室で取り組んでいる調査研究課題は本省及び地方建設局、その他の行政機関と密接に関連するものであり、関係各位の御指導・御鞭撻をお願いするとともに、本研究成果が若干でも事業執行の一助となれば幸いである。

平成７年 ９月

土木研究所環境部　環境計画研究室

目　次

まえがき

環境計画研究室の概要 …… 1

平成６年度の調査研究概要 …… 6

環境計画手法に関する研究

1．建設事業に関する環境アセスメント技術に関する研究（試験研究費） …… 19

2．建設事業における環境データベースに関する研究（試験研究費） …… 25

3．景観シミュレータ・景観データベースの研究開発（総プロ） …… 31

4．建設環境情報のデータベース化に関する研究（科学技術庁） …… 37

5．湖沼の環境創造技術に関する調査（河総） …… 43

6．湖沼の環境評価に関する調査（河総） …… 49

7．ダム周辺景観設計データベースの検討（測試） …… 55

8．事業効果算定への環境指標の適用性に関する調査（測試） …… 57

地球環境に関する調査研究

9．建設事業における地球環境影響を評価した
社会的費用の算出に関する研究（環境庁） …… 59

歴史的・文化的土木施設の保存・活用に関する研究

10．歴史的・文化的施設の保存技術の開発（総プロ）…… 65

湖沼の水質保全に関する研究

11．湖沼密度流の水質に及ぼす影響に関する研究（試験研究費） …… 71

12．湖沼等における糸状藻類を活用した富栄養化対策に関する研究（環境庁）…… 77

13．流動制御による湖沼の富栄養化対策技術に関する調査（河総） …… 83

14．生態系を活用した湖沼の水質制御手法に関する調査（河総） …… 89

15．ダム貯水池水質保全対策の検討（測試） …… 95

16．貯水池の水質保全に関する実験（測試） …… 97

17．軽石濾過システム現地実験（測試） …… 99

18．流動制御システムに関する実験（測試） …… 101

19．湖内生態系の保全に関する調査（測試） …… 103

20．落葉回収システムに関する実験（測試） …… 105

発表論文

(Ⅰ) 環境計画手法に関する研究

Ⓐ環境アセスメント技術に関する研究

Ⅰ-A-1 米国グレンキャニオンダムの環境アセスムメント (土木技術資料) …… 107

Ⅰ-A-2 環境アセスメントに関する海外の技術動向 (土木技術資料) …… 113

Ⓑ環境経済評価技術に関する研究

Ⅰ-B-1 建設事業における社会的費用・便益の評価について (基礎編) (土木技術資料) … 117

Ⅰ-B-2 同 (応用編) (土木技術資料) … 123

Ⅰ-B-3 英国の水政策における経済評価手法 (その1) (ダム技術) …… 129

Ⅰ-B-4 環境の経済評価手法について
－仮想金銭化法と戦略的バイアスへの対応－ (土木技術資料) …… 136

Ⅰ-B-5 二分仮想金銭化法を用いた転居の外部費用の評価 (土木計画学研究・講演集) … 142

Ⅰ-B-6 河川経済調査手法の体系化の現状と今後の課題 (水文・水資源学会) …… 146

Ⓒ景観シミュレータ・景観データベースの開発に関する研究

Ⅰ-C-1 景観シミュレータ・景観データベースの研究開発について (JACIC情報) …… 165

Ⅰ-C-2 景観シミュレータ・景観データベースの開発 (土木技術資料) …… 169

Ⅰ-C-3 現場職員のための景観シミュレータ・景観データベースの開発
(土木計画学研究・講演集) …… 173

Ⓓ環境データベースに関する研究

Ⅰ-D-1 建設環境データベースの開発と利用 (土木技術資料) …… 177

Ⅰ-D-2 社会資本整備におけるＧＩＳの利用 (土木計画学研究・講演集) …… 183

Ⓔ地球環境に関する研究

Ⅰ-E-1 Numerical Experiments on Changes in Global Hydrological Response due to Warming Ⅳ : Study of Dam Water Usage Capacity
(A Comprehensive Research on Reliability Analysis and Drought Control of Water resources Systems under the Conditions of Global Warming 科研費報告書) … 187

Ⅰ-E-2 Effects of Global Warming on Water Resources
(A Comprehensive Research on Reliability Analysis and Drought Control of Water resources Systems under the Conditions of Global Warming 科研費報告書) … 191

(II) 湖沼の水質保全に関する研究

Ⓐ流動制御による湖沼の水質保全技術に関する研究

II-A-1 流動制御システムの原理と設備例 (ダム技術) …… 197

II-A-2 ダム湖入江水域における曝気による強制循環 (第49回年次学術講演会) …… 205

II-A-3 ダム湖における流動制御による水質管理 (土木技術資料) …… 207

Ⓑ生態系を活用した水質浄化技術に関する研究

II-B-1 糸状藻類で水質浄化 (Techno Innovation) …… 213

II-B-2 水質を浄化する糸状藻類活用システム (BIO City) …… 215

II-B-3 糸状藻類を使った新しい湖沼浄化 (BIO INDUSTRY) …… 216

II-B-4 糸状藻類活用システムの原理と設備例 (ダム技術) …… 226

II-B-5 水質浄化に役立つ糸状藻類について (土木技術資料) …… 235

II-B-6 Using Filamentous Algae to Preserve the Quality of Lake Water
(Third PWRI-USGS Work shop on Hydrology,
Water Resources, and Global Climate Change)…… 237

Ⓒその他 (総合)

II-C-1 ダム湖と湖沼の富栄養化対策技術の動向 (美しい川と湖) …… 255

II-C-2 ダム湖富栄養化対策技術の最近の動向 (九州技法) …… 259

II-C-3 ダム湖や遊水池における効果的な富栄養化対策について (ダム技術) …… 265

II-C-4 ダム湖や自然湖沼等の富栄養化対策 (土木技術資料) …… 268

II-C-5 湖沼における軽石濾過による藻類除去手法 (第49回年次学術講演会) …… 270

II-C-6 ダム湖に流入する落葉の除去対策について (ダム技術) …… 272

II-C-7 Development of Reservoir Water Quality Technology
Using Current Control and Filamentous Algae
(18th International Congress on Large Dams)…… 274

(III) その他

III-1 ダム建設現場における濁水処理スラッジの有効利用(2) (ダム技術) …… 297

III-2 国際大ダム会議第61回総会に参加して (土木技術資料) …… 307

III-3 米国の水環境事情 (ダム技術) …… 308

研究紹介パンフレット

・水質環境と生態環境とのマッチング …… 319

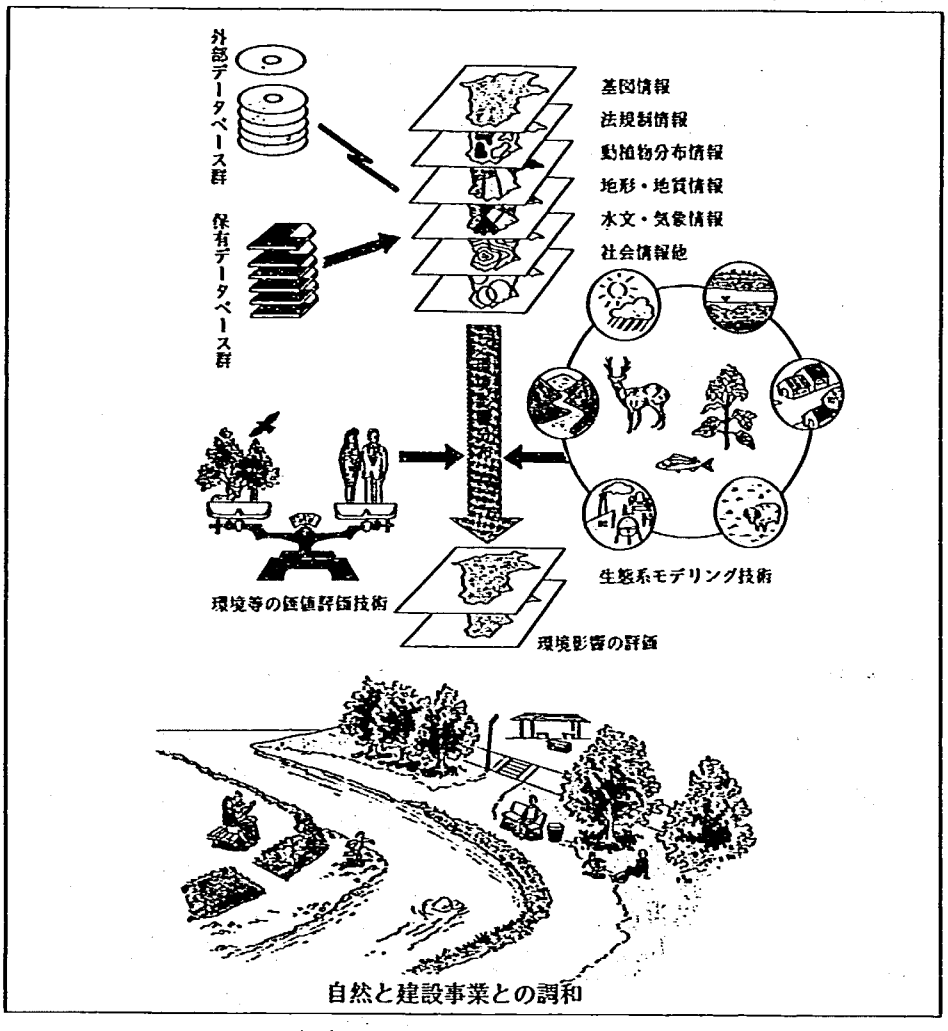
文献目録 …… 321

研究室メンバー構成 …… 325

環境計画研究室の概要

1．概　要

環境計画研究室は，建設事業に関連した環境計画の充実につながる諸研究を推進するとともに，湖沼の水質浄化技術に関する研究にも取り組んでいる。



環境評価のための技術

環境計画の充実に資する研究としては，環境アセスメント技術に関する研究、環境価値の適正な評価を目的とした環境経済評価技術に関する研究，環境に関する情報の早期把握と高度検討の支援を目的とした環境データベースの整備に関する研究，より簡単で高度な景観設計を支援する景観シミュレータ・データベースに関する研究，湖のレクリエーション利用の価値評価に関する研究、歴史的・文化的土木施設の評価に関する研究等を進めている。

また，湖沼の水質浄化に環境評価のため技術資する研究としては，湖沼内部の水の流動を制御して富栄養化現象の発生や濁水の滞留等を防ぐ技術に関する研究や糸状藻類等の生態機能を活用して窒素・リンの除去等の水質浄化を行う技術に関する研究等を行っている。

2．研究内容

（1）環境計画手法に関する研究

①環境アセスメント技術に関する研究

内外の環境アセスメント関連資料を収集し，環境アセスメントの一層の充実に資する技術研究を行っている。

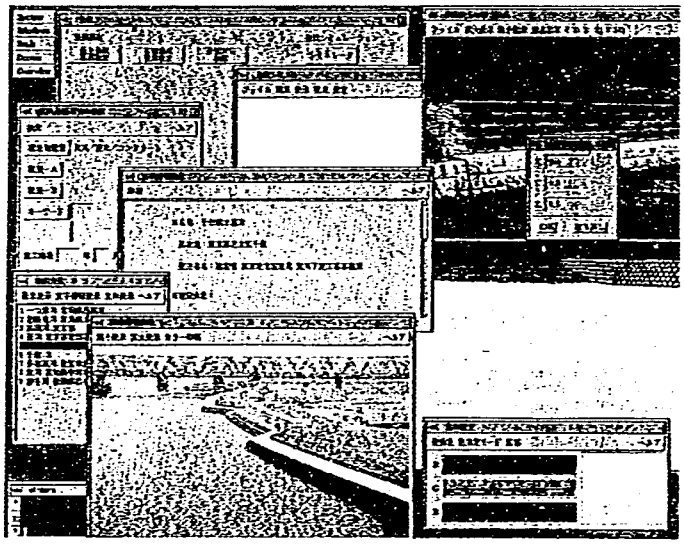
②環境経済評価技術に関する研究

内外の環境経済評価実施例を分析し，今後の各種評価手法の適用性に関する研究を行っている。また，湖沼の環境創造価値等の建設事業に関連した各種の環境財に関する実際の評価調査にも取り組んでいる。

③景観シミュレータ・景観データベースの開発

公共土木施設の建設にあたり、構想・調査・計画・設計および施工の各段階に応じて、周辺環境との調和を視覚的に容易に予測・評価できる景観検討支援システムの開発が期待されている。

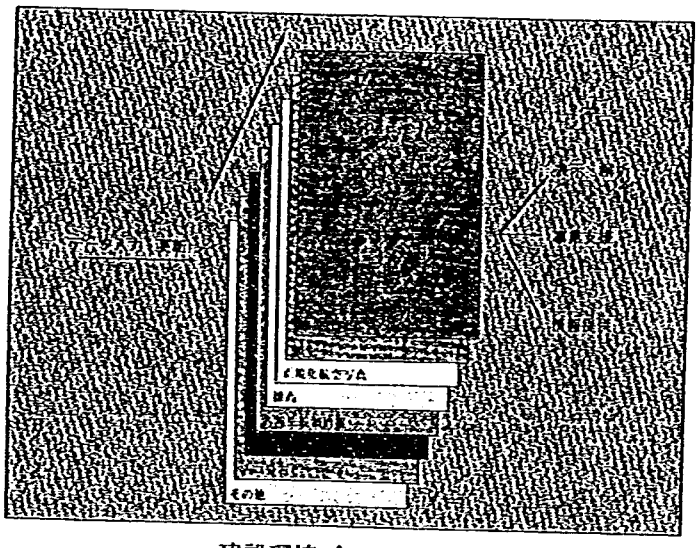
そこで、建設省の事務所職員等が簡便に使用できる、操作性・実用性に優れた景観シミュレータおよび景観データベースの開発を進めている。



景観データベース出力例

④環境データベースに関する研究

建設省所管事業の実施にあたって必要な環境に関する様々な情報のデータベース化を図り、円滑なデータ処理を通じて建設事業の円滑な実施を図るための研究を行っている。特に、近年急速に発展しつつある地理情報システム（ＧＩＳ）の建設行政への応用について調査研究を進めている。



建設環境データベース

⑤環境指標に関する研究

環境の程度を表現する手法（環境指標）を確立し、環境計画において１）意志決定支援、２）施策評価、３）情報交流・伝達、４）監視が容易に行われるように現在研究を行っている。

（２）地球環境に関する調査研究

①建設事業における地球環境影響を評価した社会的費用の算出に関する研究

建設事業に用いる各種資材等について地球環境影響を考慮した社会費用を算出し、当該社会的費用を工法や資材等の選択基準に応用した場合に建設事業においてどのようなCO_2削減効果があるかを調査することで、地球温暖化防止の観点から建設事業においても二酸化炭素の排出量の削減を推進するための研究を行っている。

（３）歴史的・文化的土木施設の保存・活用に関する研究

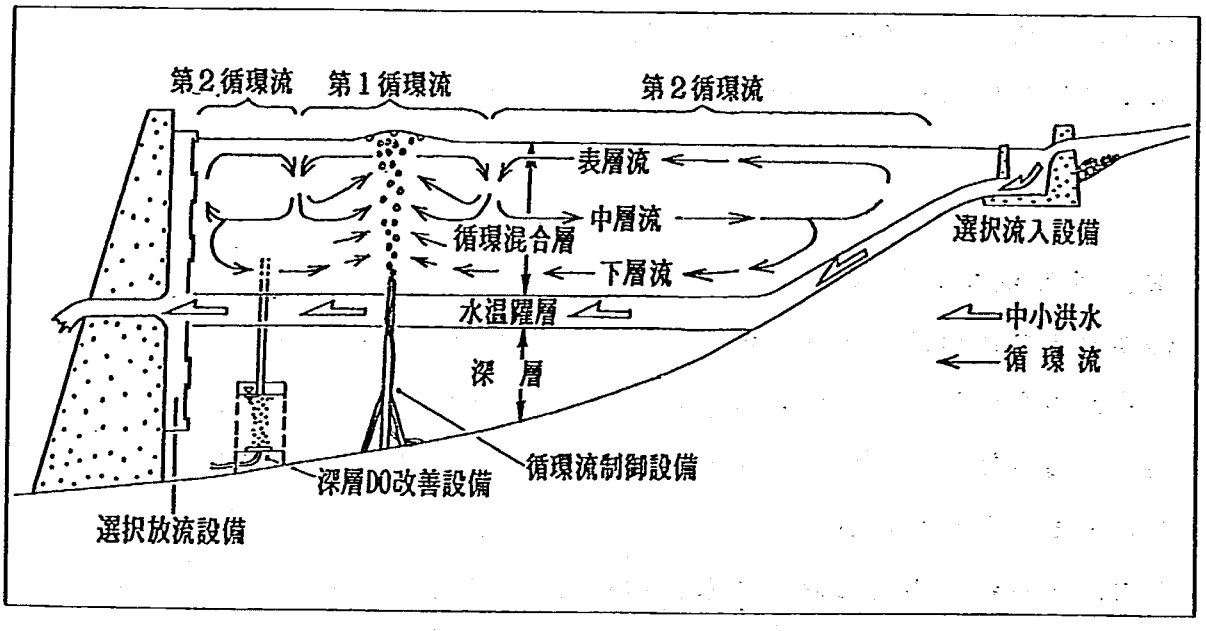
①歴史的・文化的土木施設の評価に関する研究

歴史的・文化的土木施設はわが国の歴史・文化の正しい理解のために欠くことのできないものであると同時に、将来の社会資本整備の基礎をなすものである。このため、これら歴史的・文化的土木施設の保存・活用のためにこれらの評価手法について検討している。

（４）湖沼の水質保全に関する研究

①流動制御による湖沼の水質保全技術に関する研究

『流動制御システム』は、ダム湖内の流動や水温を制御して、藍藻類や鞭毛藻類が表層で安定した増殖をしにくい環境にする対策手法である。散気方式の曝気、選択流入および選択放流などを組合せて、ダム湖の表層に温水でしかも表層付近の水温分布が均一である循環混合層を水深15～20mまで厚く形成させ、表層に生息する藍藻類や鞭毛藻類への栄養物質と光の供給を抑制し水質保全を行うシステムの研究開発を進めている。



流動制御システムの模式図

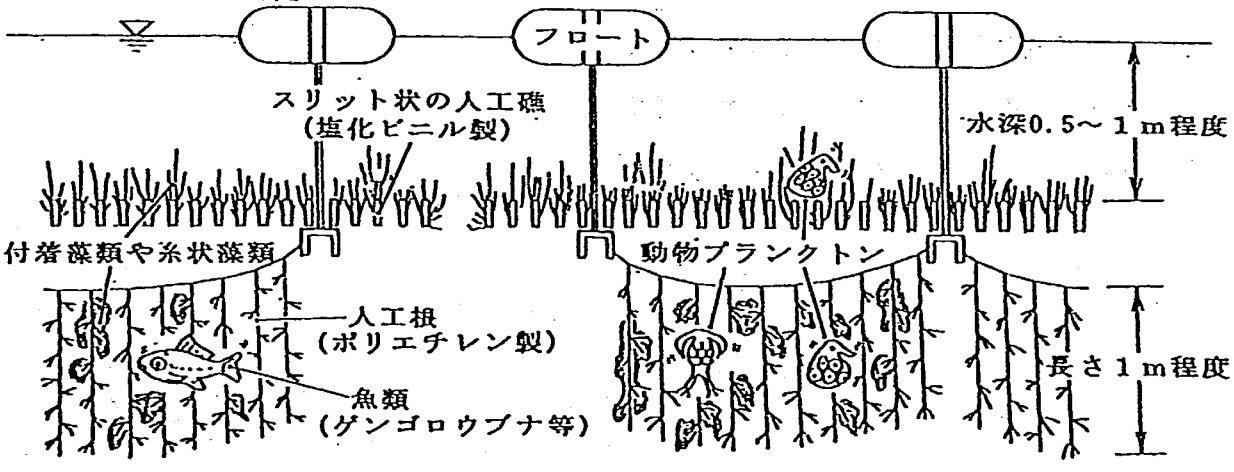
②生態系を活用した水質浄化技術に関する研究

多くのダム湖や自然湖沼における富栄養化現象として浮遊藻類の異常増殖が問題となっており、その原因は流入河川からの過剰な栄養塩負荷によるものである場合が多い。

一方、自然河川や浅い湖沼の湖岸では糸状藻類や水生植物が栄養塩の吸収除去を行っている。また、湖沼では動物プランクトンが生息する環境が整っていれば浮遊藻類を補食することにより，浮遊藻類が異常増殖するのを防いでいる。この様な生態系つまり，糸状藻類、水生植物や動物プランクトン、魚類等を活用することにより、好ましくない浮遊藻類の大量発生を防ぐ水質制御技術の開発を進めている。

糸状藻類が自然界で生息している環境	適する糸状藻類	糸状藻類活用システムの浄化設備の模式図	流況
①河川上流の渓流 糸状藻類 岩石	メロシラ、ディアトマ カワシオグサ、ヂヤミトロ アオミトロ、ヒビミトロ キヌミトロ、トゲナシツルキ	①急勾配水路タイプ 糸状藻類 波形人工スレート	流速 30～50cm/sec 水深 1cm以内 水路勾配 20～40%
②河川中流の浅瀬や水路 河床礫 糸状藻類	ヂヤミトロ、アオミトロ ヒザオリ、ヒビミトロ メロシラ、オビケイソウ	②緩勾配水路タイプ プラスチック棒 糸状藻類	流速 10cm/sec 水深 10cm 水路勾配 0.5～1%
③浅い湖沼や水田 水生植物 糸状藻類	ヂヤミトロ、ヒザオリ アオミトロ、アオミソウ アミミトロ	③水平水路タイプ スクリーン 糸状藻類	流速 12cm/min 水深 20cm 水路勾配 なし
④浄水場の緩速濾過池 糸状藻類 細砂	メロシラ、オビケイソウ アオミトロ、アミミトロ ヒザオリ、ヂヤミトロ アオミソウ	④網透過タイプ 糸状藻類 細目ネット 有孔床板	流速 18cm/hour 水深 30～40cm 水路勾配 なし

人工生態礁の模式図



平成６年度の調査研究概要

平成６年度に当研究室で実施した研究課題を内容により分類すると、以下のようになる。

（Ⅰ）環境計画手法に関する研究

１．建設事業に関する環境アセスメント技術に関する研究

２．建設事業に関する環境データベースに関する研究

３．景観シミュレター・景観データベースの研究開発

４．建設環境情報のデータベース化に関する研究

６．湖沼の環境評価に関する調査

７．ダム周辺景観設計データベースの検討

８．事業効果算定への環境指標の適用性に関する調査

（Ⅱ）地球環境に関する調査研究

９．建設事業における地球環境影響を評価した社会的費用の算出に関する研究

（Ⅲ）歴史的・文化的土木施設の保存・活用に関する研究

１０．歴史的・文化的施設の保存技術の開発

（Ⅳ）湖沼の水質保全に関する調査

１１．湖沼密度流の水質に及ぼす影響に関する研究

１２．湖沼等における糸状藻類を活用した富栄養化に関する研究

１３．流動制御による湖沼の富栄養化対策技術に関する調査

１４．生態系を活用した湖沼の水質制御手法に関する調査

１５．ダム貯水池水質保全対策の検討

１６．貯水池の水質保全に関する実験

１７．軽石濾過システムに関する実験

１８．流動制御システムに関する実験

１９．湖内生態系の保全に関する調査

２０．落葉回収システムに関する実験

各課題について、概要を次に示す。

（１）環境計画手法に関する研究

１．建設事業に関する環境アセスメント技術に関する研究

（平成５年度～平成９年度　試験研究費 ）

本研究は、環境の内部目的化の理念に合致した環境アセスメント（ＥＡ）技術のあり方を検討することを目的とするものである。６年度は、海外における環境アセスメント技術動向として、ＧＩＳ及び意志決定支援ソフトウェアの応用、国民経済的視点を取り込む技術を取り上げ、今後の発展性や我が国への適用性について調査研究を行った。

ＧＩＳについては、ＥＡの実施の上で一層重要なツールとなっていく可能性が高いこと、意志決定支援ソフトウェアについては、使いやすいソフトウェアの開発やＧＩＳとの連携（リンク）機能の整備がその応用の進展上重要な要素であること、計画段階での環境対応については、我が国の制度、体制等をふまえた検討が必要であることが判明した。

[関連報告書]

Ⅰ-Ａ-*1*　米国グレンキャニオンダムの環境アセスムメント　（土木技術資料）

Ⅰ-Ａ-*2*　環境アセスメントに関する海外の技術動向　（土木技術資料）

Ⅰ-Ｄ-*2*　社会資本整備におけるＧＩＳの利用　（土木計画学研究・講演集）

２．建設事業に関する環境データベースに関する研究

（平成５年度～平成７年度　試験研究費）

本研究は、建設省所管事業の実施にあたって必要な環境に関する様々な情報が量・質とも肥大化、複雑化している現状に鑑み、これらのデータベース化を図り、円滑なデータ処理を通じて建設事業の円滑な実施に資することを目的とする。

本年度は、建設環境を構成する要素を抽出し、電子情報化の現況、調査収集の手法について整理するとともに、当面の利用の方策としての情報源データベースのモデルシステムの構築を行なった。

[関連報告書]

Ⅰ-Ｄ-*1*　建設環境データベースの開発と利用　（土木技術資料）

Ⅰ-Ｄ-*2*　社会資本整備におけるＧＩＳの利用　（土木計画学研究・講演集）

3．景観シミュレター・景観データベースの研究開発

（平成５年度～平成９年度　総合技術開発プロジェクト）

公共土木施設の建設にあたり、事業の各段階において周辺環境との調和を視覚的に容易に予測できるコンピュータグラフィックスは景観向上のための有効な支援システムであり、現場で実用的に使用できるＣＧシステムの開発が期待されている。本研究では、従来のＣＧシステムにおけるデータ作成の煩雑さを解消するために、景観画像を構成する様々な部品を蓄積した景観データベースを開発するものである。

６年度は、前年度の基本設計を踏まえ、景観データベースの詳細設計を行って、データベースマネジメントシステムおよび３次元形状を簡易に作成するための支援機能を開発し、実機上で動作確認を行った。

[関連報告書]

Ⅰ-C-*1*　景観シミュレータ・景観データベースの研究開発について　（JACIC情報）

Ⅰ-C-*2*　景観シミュレーター・景観データベースの開発　（土木技術資料）

Ⅰ-C-*3*　現場職員のための景観シミュレータ・景観データベースの開発

（土木計画学研究・講演集）

4．建設環境情報のデータベース化に関する研究

（平成６年度～平成８年度　科学技術庁　科学技術振興調整費）

本研究は、水量・水質、騒音・振動や生物分布等の国内諸機関の保有する国土の環境情報関連データの保有状況を調査し、これらの情報を位置属性を元に相互利用し、開発予測等に有効に活用できるデータベースシステムを構築することを目的とする。

６年度は、建設環境関連情報の所在と保有状況について調査するとともに通信ネットワークシステムの利用開発現況として現在の主流であるインターネットの利用状況を調査し、土木研究所と外部ネットワークの接続環境を整備した。

[関連報告書]

Ⅰ-D-*2*　社会資本整備におけるＧＩＳの利用　（土木計画学研究・講演集）

5．湖沼の環境創造技術に関する調査

（平成５年度～平成９年度　河川総合開発事業調査費）

本研究は、湖沼における環境の活用や創造に関する事業に関して、どのような条件の下で何をどこまで行うべきかという問題の解決に資する評価手法を求めることを目的としたものである。目的の達成のためには、湖沼に関わる環境便益の現状を評価した上で今後の技術動向や国民の嗜好の変化を踏まえて長期的な便益を評価する必要がある。

６年度は、湖沼における環境活用／創造による便益を評価するため、仮想金銭評価法(CVM)の中の１手法である二分選択仮想金銭評価法(DCVM)を用いたアンケート調査を釜房湖を対象として実施し、ダム湖のレクリエーション利用のための整備のあり方がどのように評価されるかに関して調査を行った。

6．湖沼の環境評価に関する調査

（平成６年度～平成１０年度　河川総合開発事業調査費）

公共事業を実施する上で、環境の価値評価がますます重要となってきているなか、環境向上のためにどのような施策をどの範囲でどの程度で行うべきかということの判断の指針は確立されていない。そこで、本研究においては、環境のような非市場財の評価手法として用いられている旅費法、ヘドニック法、仮想金銭化法などの様々な調査法のうち、特に仮想金銭化法に焦点をあて、他の評価法と比較を行いながら実際に適用すると共に実用上の課題を整理し、環境評価を行う際の指針を形成することとした。

６年度は、住居移転に関して二分仮想金銭化法を用いたアンケート調査を実施した。その結果、移転について何らかの外部費用が存在している可能性が示唆された。

[5.6に関する関連報告書]

Ⅰ-B-*1*　建設事業における社会的費用・便益の評価について（基礎編）（土木技術資料）

Ⅰ-B-*2*　同（応用編）（土木技術資料）

Ⅰ-B-*3*　英国の水政策における経済評価手法（その１）　（ダム技術）

Ⅰ-B-*4*　環境の経済評価手法について
－仮想金銭化法と戦略的バイアスへの対応－　（土木技術資料）

Ⅰ-B-*5*　二分仮想金銭化法を用いた転居の外部費用の評価（土木計画学研究・講演集）

Ⅰ-B-*6*　河川経済調査手法の体系化の現状と今後の課題　（水文・水資源学会）

7．ダム周辺景観設計データベースの検討

（平成６年度　地方建設局依頼調査試験費）

沖縄におけるダムの建設にあたっては、沖縄固有の自然景観、生態系、および歴史文化への配慮が不可欠になっている。コンピュータグラフィックスは、景観向上のための有効な支援システムであるが、データの作成に膨大な時間を要すという問題がある。

本研究は、ダム景観構成要素、景観材料、および優良景観事例を蓄積したダム周辺景観設計データベースを開発し、景観シミュレーションにおけるデータ入力の効率化や現実感の高い画像の生成を支援するものである。

６年度は、事務所分散型を前提としたデータベースマネジメントシステムの設計を行うとともに、沖縄景観データの作成を行った。

8．事業効果算定への環境指標の適用性に関する調査

（平成６年～　地方建設局依頼調査試験費）

環境指標は、環境に関するある種の状態を可能な限り定量的に評価するための物差しとして定義される。

従来より事業効果の定量的評価が行われているのに対し、環境計画についてはこの様な定量的評価が困難である。これは、環境の程度を表す具体的手法が利用可能でないことに帰因する。

６年度は、既往調査成果のレビュー、環境の分類化、社会資本整備（環境整備事業）の環境影響構造の検討を行うと共に、各種水質指標を実際の流域に適用（或いは作成）し、それらの特性（適用可能性、必要データ、感度分析、利用目的等）を整理した。

（2）地球環境に関する調査研究

9．建設事業における地球環境影響を評価した社会的費用の算出に関する研究

（平成6年度～平成8年度　環境庁　地球環境研究総合推進費）

本調査は、建設事業に用いる各種資材等について地球環境影響を考慮した社会費用を算出し、当該社会的費用を工法や資材等の選択基準に応用した場合に建設事業においてどのようなCO_2削減効果があるかを調べることにより、地球温暖化防止の観点から建設事業においても二酸化炭素の排出量の削減を推進することをその目的としている。

6年度は、3ヶ年調査の初年度として、二酸化炭素排出量と地球上平均気温上昇量との関係に関する調査及び地球温暖化による総被害額に関する調査を行い、それらの結果から二酸化炭素排出の限界社会的費用の検討を行うと共に、建設資材等の品目毎の二酸化炭素排出量の検討を行った。

[関連報告書]

I－E－*1*　Numerical Experiments on Changes in Global Hydrological Response due to Warming Ⅳ : Study of Dam Water Usage Capacity
(A Comprehensive Research on Reliability Analysis and Drought Control of Water resources Systems under the Conditions of Global Warming 科研費報告書)

I－E－*2*　Effects of Global Warming on Water Resources
(A Comprehensive Research on Reliability Analysis and Drought Control of Water resources Systems under the Conditions of Global Warming 科研費報告書)

（3）歴史的・文化的土木施設の保存・活用に関する研究

10．歴史的・文化的施設の保存技術の開発

（平成6年度～　総合技術開発プロジェクト）

本研究の目的は、土木施設の歴史的・文化的価値の評価やこれらを保存、補修して地域計画に組み込み役立てる手法を確立することである。

6年度は、土木施設の歴史的・文化的価値を考慮するために、既往研究論文を参考にして保存・活用のテーマ、価値基準について土木施設のもつ特性を考慮しとりまとめた

また、全国の自治体に対して、地方史誌等を中心に土木施設に関連する資料の提供を依頼し、これら資料のとりまとめを行うために、データベース化を進め、山形、岐阜、愛知、兵庫の4県の資料についてデータベース化を行った。

（4）湖沼の水質保全に関する調査

１１．湖沼密度流の水質に及ぼす影響に関する研究

（平成４年度～平成６年度　試験研究費）

湖水の有効利用のためには、水の量とともに質の管理も適切に行う必要がある。流域から流入される栄養塩類と、水温成層による表層水の滞留により、好ましくない藻類が異常増殖することになり、アオコや淡水赤潮、水道水のカビ臭など深刻な問題を引き起こしている。これらの現象は湖水の流動に大きく影響を受けており、湖水の流動を制御することにより、好ましくない藻類の異常増殖を抑制できることが考えられる。

水温成層が形成される時期の湖水の流動は、水温差により生じる密度流が卓越していると考えられる。そこで、流動制御システムという、散気方式の曝気によりダム湖全域の曝気水深以浅の水塊を強制的に移動させることで、ダム湖の水質を制御するものを構築した。

本研究は、流動制御システムにおける曝気による湖水の流動メカニズムを測定し、水の動きを把握し流動のシミュレーションの構築を目的とする。

１２．湖沼等における糸状藻類を活用した富栄養化に関する研究

（平成６年度～平成１０年度　環境庁　国立機関公害防止等試験研究費）

自然湖沼や人工湖等の閉鎖性水域においては、過剰な栄養塩類が流入するために富栄養化が進行し、好ましくない植物プランクトンが異常増殖する要因となっている。植物プランクトンが異常増殖することで、水の華、水道水のカビ臭、魚類のへい死、親水活動の阻害など様々に深刻な問題が生じており、早急な解決が望まれている。

そこで、これらの自然湖沼や人造湖等における富栄養化現象を解消するために、糸状藻類を活用した栄養塩類の除去を目的とする水処理技術の確立が急がれている。

本研究は、現地調査を行い水質浄化に適用可能な糸状藻類の生息環境を把握し、糸状藻類の増殖設備構造や浄化設備の検討を行い、実際に人為的コントロールして増殖を行い本システムの原理を確立するのが目的である。

[関連報告書]

Ⅱ-B-*1*　糸状藻類で水質浄化　（Techno　Innovation）

Ⅱ-B-*2*　水質を浄化する糸状藻類活用システム　（BIO　City）

Ⅱ-B-3　糸状藻類を使った新しい湖沼浄化　（BIO　INDUSTRY）

Ⅱ-B-4　糸状藻類活用システムの原理と設備例　（ダム技術）

Ⅱ-B-5　水質浄化に役立つ糸状藻類について　（土木技術資料）

Ⅱ-B-6　Using Filamentous Algae to Preserve the Quality of Lake Water
(Third PWRI-USGS Work shop on Hydrology,
Water Resources, and Global Climate Change)

１３．流動制御による湖沼の富栄養化対策技術に関する調査

（平成２年度～平成６年度　河川総合開発事業調査費）

湖沼における富栄養化現象は、現在、湖沼の水質現象の中でも極めて問題となっており、その対策技術の確立が急務となっている。従来より湖沼の流動を制御することによる富栄養化対策の可能性及び効果の評価手法について検討を行ってきた。

実際の湖沼において６年度までに行った富栄養化対策である曝気循環の、現地実験による藻類の異常増殖の抑制効果や水質変化などの検討を行った。

６年度は、流入河川水の曝気循環を行っている湖沼への水質的影響の調査を行い、流動制御システムの藻類異常増殖抑制効果についての検討を行った。

[関連報告書]

Ⅱ-A-1　流動制御システムの原理と設備例　（ダム技術）

Ⅱ-A-2　ダム湖入江水域における曝気による強制循環　（第４９回年次学術講演会）

Ⅱ-A-3　ダム湖における流動制御による水質管理　（土木技術資料）

１４．生態系を活用した湖沼の水質制御手法に関する調査

（平成５年度～平成９年度　河川総合開発事業調査費）

湖沼において、浮遊藻類が異常増殖する直接の要因は、無機態のリン（PO_4-P）等の栄養塩類がダム湖に多量に流入することである。産業排水や下水処理水等の高負荷少量水については、PO_4-P除去技術が別途研究されている。一方、耕地等の面源負荷や高度処理が行われていない下水処理水や畜産排水処理水が流れ込む自然河川の低負荷多量水を対象としたPO_4-P除去技術は、近年まで開発されておらず、効率的なPO_4-P除去技術の確立が急がれている。

本調査は、糸状藻類活用システムの設備規模を把握するために糸状藻類がPO_4-Pを吸収する量を各設備タイプごと現地実験により調査を行う。

１５．ダム貯水池水質保全対策の検討

（平成３年度～平成６年度　地方建設局依頼調査試験費）

余野川ダムにおいては、流入河川のリン濃度が高く湛水後の富栄養化現象の発生が懸念されているため、水質保全対策の一環として曝気循環法の適用が考慮されている。そこで、その水質改善への効果を予め評価するため、近傍の実ダムにおいて流入河川及びダム湖水質の経時変化を現地観測することにより曝気循環が貯水池水質に与える影響の評価を行なってきている。

平成６年度は、現地観測の他に、平成３年度に得られた観測結果をもとに鉛直一次元モデルによるシミュレーションを行った。その結果、平成３年の８月において曝気循環を停止したことで、貯水池底部において貧酸素状態を招き、河川からの流入量を上回る量の無機リンが底泥から溶出していたという算定結果が求められ、曝気循環の効果の一部として評価された。

１６．貯水池の水質保全に関する実験

（平成４年度～平成７年度　地方建設局依頼調査試験費）

流入河川水に含まれるPO_4-P 等の無機態の栄養塩類の過度の流入によりダム湖において藻類の異常増殖などの水質障害の原因となっている。特に赤潮などの原因となっているのは鞭毛藻類等の異常増殖によるものであり、このような鞭毛藻類等の異常増殖を阻止するには、糸状藻類を用いて栄養塩類を除去する糸状藻類活用システムが有力な手法である。

６年度までに現地実験により藻類の栄養塩類の除去の手法や能力について研究を行っており、現地実験の浄化能力データの結果より、各設備タイプの湖沼での施設計画を行った。

１７．軽石濾過システムに関する実験

（平成６年度～平成８年度　地方建設局依頼調査試験費）

ダム湖の富栄養化の問題を解決する対策として、流入河川水から藻類が異常増殖する要因となる栄養塩類を除去することや、ダム湖の流動を制御して藻類の異常増殖を防止したり、藻類が異常増殖する以前に藻類そのものを除去するなどの対策が挙げられる。

本研究は、藻類そのものを除去する技術である軽石濾過システムの開発を行い、実際に湖沼等の水より藻類を除去する事で軽石による除去効果の検討を行い、更に効率的に除去するための施設構造の検討、また濾過閉塞や濾材からの栄養塩類の溶出をおさえるために濾材の洗浄手法の検討などを行った。

６年度は、通年の現地実験により、藻類の除去を行うための軽石濾過システムの基本設備を把握した。

[関連報告書]

Ⅱ-C-5　湖沼における軽石濾過による藻類除去　（第４９回年次学術講演会）

１８．流動制御システムに関する実験

（平成６年～平成７年度　地方建設局依頼調査試験費）

ダム湖の富栄養化対策の有力な一手法である流動制御システムの実験装置を、実際に管理中のダムにおいて稼働させ、曝気による湖内流動の発生により水温躍層の制御を行い、それにより、流入栄養塩の湖内滞留を減少させ、ダム湖の浮遊藻類の異常増殖を抑制する実験を行った。

６年度は、このシステムの基本的メカニズムを把握し、システムの概略の諸効果を明らかにし、流動制御システムの流動能力についての検討を行った。また、実際施設をダム湖に施工するための施設規模についての算定法方について検討を行った。

１９．湖内生態系の保全に関する調査

（平成６年度～平成８年度　地方建設局依頼調査試験費）

近年、多くの自然湖沼やダム湖、遊水池等において、人間活動に伴う富栄養化が問題となり、アオコによる景観障害やかび臭による上水道での異臭味などの利水障害が発生している。そこで、自然湖沼やダム湖、遊水池等の水質環境を保全することを目標とした効果的な対策手法の開発が必要となっている。

本研究は、ダム湖や遊水池等の生態系を制御して利水障害の原因になる植物プランクトンが異常増殖しにくい環境にする対策手法について研究を行うものである。

６年度は、湖沼に実験施設を設置し動物プランクトンが安定的に増殖できる環境を創造することを目的として行った。

２０．落葉回収システムに関する実験

（平成６年度　地方建設局依頼調査試験費）

流域の森林から発生した落葉や、洪水時等に河川に堆積していた落葉が、湖沼やダム湖の湖底に堆積し短期間で分解し無機態の栄養塩類を水中に溶出するため、富栄養化現象の要因となっている。そこで、流入する落葉を効率的に回収し富栄養化の要因である栄養塩類の削減を行うシステムを構築した。

落葉回収システムは、洪水時の初期流出水に含まれている多量の落葉を効率よく連続的にかつ無動力で回収し除去を行う事で、栄養塩類の削減を行うシステムである。

６年度は、各基本設備を模型実験等により把握して、実際の施設構築のための基礎資料を得た。

[関連報告書]

Ⅱ-C-6　ダム湖に流入する落葉の除去対策について　（ダム技術）

環境計画手法に関する研究

環境の保全及び調和に関する研究
建設事業に関する環境評価に関する研究
建設事業に関する環境アセスメント技術に関する研究

環境計画研究室　室　　長　丹羽　薫
主任研究員　並河　良治
主任研究員　安田　吾郎
研　究　員　長野　幸司

1. はじめに

開発行為の中で環境との調和が社会的に強く求められている。そのような社会状況を背景として建設省は、平成６年１月に「環境政策大綱」を定め、建設行政における「環境」の内部目的化が豊かな環境づくりのための基本的方策として位置づけられた。環境アセスメント制度の一層の充実は、その環境政策大綱において環境政策の推進方策の一つの柱として位置づけられたところであり、緊急を要する課題となっている。

平成５年１１月に成立した環境基本法の成立過程において環境アセスメントの法制化については国会の場でも議論され、政府としてその法制化について検討を行っているところである。

一方、ＥＣ・カナダ・世界銀行等における近年の環境アセスメント施策の充実や、環境アセスメントを支援する技術としての地理情報システムの発達や環境の経済評価技術応用の普及など、環境アセスメントを取り巻く状況の変化も著しい。

このような状況の下、新しい状況に対応したわが国の環境アセスメントのあり方が問われているところであり、技術的検討を速やかに行う必要がある。

2. 研究目的

環境アセスメントを巡る状況が著しく変化している中で、今後進むべき方向を誤らないため、当課題に関して広く知見を得ておく必要がある。そのため、海外諸国における環境アセスメントの制度と運用の実態を調べ、それを参考にわが国における環境アセスメント技術のあり方に関して技術的、制度的な課題を整理するものである。

3. 研究方法

本年度は、昨年度に引き続き海外の環境アセスメント制度に関する資料及び実際の環境アセスメント準備書、評価書等の収集を行った。さらに、文献の解読を進め、各国の制度の特徴や運用の実態に関しての情報の集積を図った。

4. 研究結果

4.1 海外の技術動向の概況

平成６年６月に開催された「影響評価の25年の歴史を振り返り未来を考える」と題した国際影響評価学会(IAIA: International Association for Impact Assessment)の学会において設定されたテーマ群の中で、環境アセスメント技術に関係したものとしては、次のようなものがある。ＧＩＳ(Geographical Information System;地理情報システム) 技術の応用、リスク分析、事後環境調査計画、可視化技術、外部効果の金銭評価、社会影響評価技術、争論調停技術、廃棄物管理に係わる調停方法、意志決定支援ソフトウェア等。

本年度は、これらのテーマの中からＧＩＳ、意志決定支援ソフトウェア及び社会影響評価技術を取り上げた。この社会影響評価技術は、環境以外のさまざまな課題についても国民経済的に見て重要であれば、環境アセスメントの対象に含めることによって、真に望ましい事業や計画を環境アセスメントを通じて求める技術であり、現在大きなテーマになっている。

4.2 ＧＩＳ技術の応用

環境アセスメントの実施に当たっては、各種の環境属性データの収集が必要となり、現状では国の出先機関、都道府県、市町村等の多くの機関から図面等を収集するのが普通のやり方となっている。この場合、最低でも数十枚の図面の収集が必要であり、調査項目が多く複数の自治体にまたがる事業の場合には数百枚のオーダーになる。さらに、環境アセスメントの準備期間が長びくような場合には、最新の情報を入手するために資料の再収集が必要になりさらに多くの図面が収集・整理されることになる。

このように、環境アセスメントの実施における資料の収集には多くの労力がかかる。この点で、もしも各種図面がデジタル化されており、環境アセスメントの実施機関が関係機関のデータベースサーバーからオンラインで最新情報を得られるようなシステムが実現すれば相当効率的な情報収集が可能になるものと予想される。また、このような世界の実現を前提としなくても、図面情報が共通／互換フォーマットでデジタル化されているだけで、環境影響評価書に掲載する多くの図面の調製作業は格段に容易に低コストでできるようになる。さらに、ＧＩＳソフトと、必要な解析・評価プログラムを組み合わせることによって、植生影響予測、植生自然度評価、景観評価等の業務を行える。特に、路線の修正等に際して再計算が必要になるような場合や代替案毎にモデルを作るような場合には、ケース毎に固有モデルを構築する場合に比べて作業速度が格段に速くなる。なお、ＧＩＳとは、定められた地形記述フォーマットで記述された位置情報を因子として持つデータベースのマネージメントシステムであり、一定要件を持ったデータの抽出、重ね合わせ、その他の位置情報をキーとした各種演算、そして各種属性図の合成出力等を実現するものである。

以下には、環境アセスメントへのＧＩＳの応用事例のいくつかを紹介すると共に今後予想される動向について論じる。

4.2.1 ＧＩＳの応用事例

Siegelら[11]は、米国アリゾナ州フェニックス周辺の道路計画に関する環境アセスメントへのＧＩＳの応用事例を報告している。この事例において、その目的は、連邦林野局(U.S.Forest Service)の景観資源管理システムに基づく景観の質的目標達成度及び景観的受容能力を評価すること並びに考古学的価値がある場所を道路が通るリスクを評価することであった。ここでは、ＧＩＳを用いて傾斜、地形成因、土壌色、植生等のデータから景観上の観点からの地形区分図が作成され各道路計画案図とのオーバーレイによる景観影響評価

が行われた。また、主要な眺望点からの景観シミュレーションの実施にもＧＩＳが用いられた。

また、Schaller[2]は、オーストリア国内のドナウ川の河川工事に関する環境アセスメントを実施する上でＧＩＳの応用を行っている。この研究においては5千分の1地形図レベルの基図と、土地利用図、植生図、地下水位図、地質・帯水層特性図、土壌図、水質・水生動植物特性図、陸生動植物分布図、河川施設図等の属性図を組み合わせて、保全価値、環境上のリスク、河道整正計画の評価を行っている。

このほか、Schaller[2]は、ミュンヘン第２空港の開設に伴う騒音公害やドイツのA94高速道路による生態系への影響に関する環境アセスメントへのＧＩＳの応用も行っている。前者の調査においては、騒音被害の程度と影響人口を掛けたものの総和に関する代替案比較を行っている。後者の調査においては、生態系の壊れやすさ(Sensitivity)の評価関数を用いて関連領域をＧＩＳ上で階級区分し、各代替案がそれぞれどの程度壊れやすい生態系域を通るのかを比較している。

4.2.2 今後のＧＩＳ応用の動向

ＧＩＳを環境アセスメントに応用する上では、基図作成やハードウェア・ソフトウェアの費用の高さ、解析ツールの未整備等の諸々のネック要因が存在する。しかし、ハードウェアの低廉化が急速に進む一方、スウェーデンにおけるＧＩＳ用環境情報の体系的整備の動き[3]に見られるように基図や各種環境属性図のデジタル化も進んできている。また、米国の地理情報・解析国家センターの試み等に見られるように[4]、現行のＧＩＳのネック要因を体系的に潰していく研究や体制作りが進んでいる。このような状況を考えると、今後ＧＩＳは、環境アセスメントの実施の上で一層重要なツールとなっていく可能性が高い。

このほか、ＧＩＳとＧＰＳ(Global Positioning System)を組み合わせた利用も今後、一層進むのではないかと考える。米国の環境保護庁(EPA)においては、すでに環境情報の収集に当たって、現地でＧＰＳを用いて位置を記録し、それをＧＩＳ上のデータベースに収集することによって環境モニタリングを効率化する取り組みを行っている[5]。今後、ＧＰＳ測量の高精度化、ＧＰＳレシーバーと撮影装置の融合、ＧＩＳソフト用のドライバーソフトの開発等が進展することによって、環境アセスメント用のみならず、幅広いフィールド調査にＧＰＳの利用が進展することも予想される。

4.3 意志決定支援ソフトウェアの応用

環境アセスメントにおける各種の意志決定に際しては、様々な環境要素、工費、工期、安全性等を勘案して行われる。従って、意志決定過程においては、非常に多くの複雑な因子を考慮した検討が求められる。そこで、各種情報から一定の評価を導くツールやチェックすべき事項を洗い出すツールがあれば、意志決定に影響を与える因子群を単純化して問題の所在をわかりやすくしたり、考慮すべき因子の見落としを防いだりするのに効果がある。このような機能を持つソストウェアが意志決定支援ソフトウェアである。以下には、このようなソフトウェアの環境アセスメントへの応用例を紹介し、今後のその発展性について論じる。

4.3.1 意志決定支援ソフトウェアの応用事例

Burde,et al.[6]は、ＧＩＳソフトとエキスパートシステム化ソフトを組み合わせたSAFRaNと呼ばれるシステムを用いて、酸性雨の浸透による土壌や地下水の汚染に対応した森林生態系の危険度区分の研究を行っている。彼らは、年平均降水量、斜度、地形特性、標高、斜面の向き、森林属性から潜在的な汚染物質の負荷

量を求めると共に、土壌・岩の組成、複数深度でのｐＨ、風化度、地下水及び土壌の酸性度データから地下水及び土壌の鋭敏度を評価し、これらから酸性雨に対する森林生態系の危険度評価を行っている。このほか、Pereira and Duckstein[7]等も、エキスパートシステム化ソフトを用いて多基準分析法用の関数群を作成し、環境アセスメントへの応用を行っている。

一方、Ciancarella, et al.[8]は、土地利用計画法による諸制限を基本として、各種の法規制案による環境等への影響をＧＩＳを用いて解析するシステムを開発している。Ferda[9]も、環境アセスメント実施に当たって必要な調査のスクリーニングや留意事項をルールベース化し、環境アセスメント調査の支援を行うシステムを作っている。このようなシステムは、わが国でも名古屋大学理学部島津研究室[10]が開発している。

4.3.2 意志決定支援ソフトウェア応用の今後の動向

環境アセスメントに係わる意志決定には、実に多くの要因が絡まり、それらの中にはその場所に固有の条件に係わるものも多く含まれるのが通常である。従って、熟練した専門家以上の判断が即席でできるソフトウェアが今後すぐに登場するとは考え難い。しかし、一定の精度での評価を迅速に行うことができるのが意志決定支援ソフトウェアの長所であり、多数の代替案の比較分析や計画初期段階における簡易な環境影響の評価などには応用性がかなりあると思われる。また、習熟度の浅い技術者にとっての有効な教育ソフトにもなり得るであろう。なお、当然のことながら、意志決定支援ソフトウェアの応用の進展の上では、使いやすいソフトウェアの開発やＧＩＳとの連携（リンク）機能の整備は、重要な支援要素である。

4.4 国民経済的視点を取り入れる技術

環境アセスメントにおいて環境面のみしか考慮されないとすれば、国民経済的に見て本当に望ましい事業は形成され難いであろう。しかし、環境アセスメントは、ともすれば外部効果として見なされがちな環境への影響も含めた社会的純便益を最大化するために有効な一つの検討のプロセスであるという見方もできる。このような考え方を反映して、環境アセスメントの中に、国民経済的視点を取り込んでいくという潮流がある。この方向性に関連した技術として、「戦略的環境アセスメント」と「スコーピング」といったアセスメントの方法がある。

4.1.1 戦略的環境アセスメント

OECD[11]では、戦略的環境アセスメント(Strategic Environmental Impact Assessment)とは、個別の事業や計画よりも上位の、より戦略的な意志決定レベルで行われる環境アセスメントであるとしている。例えば、各種交通機関の分担の最適化検討等がこれに相当する。欧州においては、比較的最近に戦略的環境アセスメントの考えが採り入れられてきており、オランダ、フランス、スウェーデン等で実際に応用されている[11]。一方、米国においては1969年のNEPA (National Environmental Policy Act) において、既に戦略的環境アセスメントの考え方が組み込まれている。NEPAにおいては、環境アセスメントの対象は事業のみならず政策や規則も含まれている。また、計画レベルと事業レベル等に分けた環境アセスメントの段階的実施(Tiering)が推奨されている。これらによって、戦略的環境アセスメントへの対応が図られている。

このように幾つかの国において戦略的アセスメントが実施されているが、このアセスメントの過程を制度化することについては諸外国でも対応が分かれており、わが国への適用においても行政コストの増大、合意

形成の困難さ等幾つかの点で課題があるが、政策・計画レベルでの環境の内部目的化の視点が重要であることは確かであろう。

4.4.2 スコーピング

スコーピング(Scoping)とは、環境アセスメントにおいて評価すべき対象や代替案を絞り込む過程を指し、1979年に米国で制定された「NEPA施行のための環境問題諮問委員会規則」において初めて制度的に取り入れられたものである。欧州においても、近年ベルギー、オランダ、ポルトガル、スペインにおいてもスコーピング過程が取り入れられるようになってきた[12]。

スコーピング過程においては、各種の専門家やいろいろな立場の人々からの意見を取り入れて代替案や評価対象が絞り込まれる。従って、関係者の関心事項の抽出を通じて、環境も含めた国民経済上の重要な項目に関して、重点的な調査・評価を行い易いというメリットがある。

一方で、スコーピングの実施自体に費用と時間がかかるほか、スコーピングの参加者が建設的な議論の実施を心がけないと、スコーピングの目的は達成されない。また、立場の違う人々が意見をぶつけ合いながら合意形成をしていくという欧米流の手法に不慣れで、意見の衝突が感情的なものとなりやすいと言われる我が国においては、欧米そのままのやり方を適用するのは困難ではないかとも思われ、我が国にふさわしい方法を検討することも必要である。

5. まとめと今後の課題

本年度は、海外における環境アセスメント技術動向として、ＧＩＳ及び意志決定支援ソフトウェアの応用、国民経済的視点を取り込む技術を取り上げ、それらに関する動向を解説するとともに、今後の発展性や我が国への適用性について調査研究を行った。

ＧＩＳについては、環境アセスメントの実施の上で一層重要なツールとなっていく可能性が高く、さらに、ＧＰＳを組み合わせた利用も今後一層進展することが予測される。これらのシステムの動向については、今後さらに注意深く見守る必要がある。

意志決定支援ソフトウェアについては、使いやすいソフトウェアの開発やＧＩＳとの連携（リンク）機能の整備がその応用の進展上重要な要素である。そのような環境が整備されるなら、多数の代替案の比較分析や計画初期段階における簡易な環境影響の評価への適用の可能性が高い。

環境アセスメントの中に国民経済的視点を取り込んでいく計画段階での環境対応である「戦略的環境アセスメント」、環境アセスメントにおいて評価すべき対象や代替案を絞り込む「スコーピング」については、米国ではかなり進んでいるものと言えるが、今後、このような制度について考える際、米国では用地の強制収用が比較的容易にできる等、事業の実施段階で我が国とは制度の差異があること、また、事業段階に応じた追加的環境アセスメントの実施を許容するティアリングや官庁間の協力体制等のサポートシステムが存在しているという事情を考慮に入れる必要がある。さらに、わが国の場合には、環境アセスメントの段階から、ともするとすべての影響が完全に把握されていることが住民等から求められたりするが、欧米のように不明な事項の存在も許容したものと理解されない限り、計画の早期段階での環境アセスメントの実施は困難であろう。この点に関して、米国のティアリング制度も参考になる。いずれにせよ、「戦略的環境アセスメント」

と「スコーピング」について考える際には、事業を計画・実施するプロセスの大きな変更にもなるので、これらの諸点を含めて今後さらに検討を進める必要がある。

さらに、今回扱わなかったリスク分析、事後環境調査、外部効果の金銭評価、争論調停技術等の環境アセスメント上の技術について、今後調査研究を行いたい。

参考文献

1)Siegel.M.S and Moreno.D.D: Geographic Information Systems: Effective Tools for Siting and Environmental Impact Assessment *in* Hildebrand.S.G and Cannon.J.B (Ed.), Environmental Analysis - The NEPA Experience, Lewis Publishers, pp.178-186, 1993.

2)Schaller.J: Geographical Information System Application *in* Environmental Impact Assessment in Scholten.H.J and Stilwell.C.H (Ed.), Geographical Information Systems for Urban and Regional Planning, Kluwer Academic Publishers, pp.107-117.

3)Boman.J, Olsson.M, and Sundholm.M: SAMBA - a Way to Deal with GIS *in* Guariso.G and Page.B (Ed.), Computer Support for Environmental Impact Assessment, North-Holland, pp.1-11, 1994.

4)長野幸司, 安田吾郎, 丹羽薫:建設環境データベースの開発と利用, 土木技術資料, Vol.36, No.12, pp.38-43, 1994年12月.

5)Slonecker.T and Groskinsky.B: GPS Applications in U.S.Environmental Protection Agency, Surveying and Land Information Systems, Vol.53, No.2, pp.117-124, 1993.

6)Burde.M, Jackel.T, Dieckmann.R and Hemker.H: Environmental Impact Assessment for Regional Planning with SAFRaN *in* Gaurio.G and Page.B (Ed.) Computer Support for Environmental Impact Assessment, North-Holland, pp.245-256, 1994.

7)Pereira.J.M.C and Duckstein.L: A Multiple Criteria Decision-making Approach to GIS-based Land Suitability Evaluation, International Journal of Geographical Information Systems, Vol.7, No.5, pp.407-424, 1993.

8)Ciancarella.L, De Sabbata.P, Litido.M, Secondini.P, Catellani.M, and Travasoni.S: SIBILLA: An Expert System for Analysis and Use of the Local Planning Acts *in* Gaurio.G and Page.B (Ed.) Computer Support for Environmental Impact Assessment, North-Holland, pp.257-278, 1994.

9)Fedra.K: Integrated Environmental Information and Decision Support Systems *in* Gaurio.G and Page.B (Ed.) Computer Support for Environmental Impact Assessment, North-Holland, pp.269-288, 1994.

10)島津研究室, ADMAKER利用の手引, 1989年10月

11)OECD: Environmental Impact Assessment of Roads, pp.27-54, 1994.

12)Jörissen.J and Coenen.R: The EEC Directive on EIA and its Implementation in the EC Member States in Colombo.A.G (Ed.) Environmental Impact Assessment, Kluwer Academic Publishers, pp.1-14, 1992.

環境の保全・回復・創造

総合的な環境の評価のための研究

建設事業に関する環境データベースに関する研究

環境計画研究室　室　長　丹羽　薫

主任研究員　安田　吾郎

研　究　員　長野　幸司

1. まえがき

建設省所管事業の実施にあたっては、環境に関する様々な情報が必要である。これらの情報は土木研究所及び各地方建設局や工事事務所が個別に収集しているが、汎用性が乏しく利用度が高くない。例えば近年河川局で実施している「河川水辺の国勢調査」にみられるように、収集するデータは量・質とも肥大化、複雑化しており、今後これらのデータベース化を図り、円滑なデータ処理システムを開発する必要がある。また社会資本整備において考慮すべき項目は、さらに多様化しており、これらの情報を効率よく収集し、事業に適切に活かしていくためにもデータベースの利用が期待されている。本研究は、このような状況を鑑み、現状のデータベースシステム及び環境データに関する知見を収集・検討し、建設事業の推進に資する環境データベースの開発に資するものである。

2. 研究目的

建設事業とは国土開発事業であり、国土のデザインである。従って建設事業を実施するにあたって必要もしくは考慮すべき情報は、場所が明確になっていなければ使いものにならない。建設事業とは、快適な生活環境を創造するための国土のデザインであるため、その計画・実施に当たっての調査とは当該地域の自然・社会状況の調査であり、各データは自ずと位置という属性を持つ。また逆に、それらの情報は位置で統合管理することにより、各情報間の関連、問題の所在が明確になり、各種の検討も可能となる。

従って、「空間データを一連の目的のために実世界から収集し、保存し、自由に検索し、変換し、表現するための手段」である”ＧＩＳ（Giographical Information System ；地理情報システム）”を、建設環境データベースの基本として考える。本研究の６年度の目的は、前年度で明らかにされたＧＩＳの有効性と課題を踏まえ、建設分野の情報源データベース及びＧＩＳのモデルシステムを構築することである。

3. 研究方法

3.1 資料収集

国土及び環境に関する情報について調査した。

3.1.1 国土に関する電子情報

国土の状況を表現する各種の情報の電子情報化の状況について調査した。

3.1.2　海外事例調査

海外におけるＧＩＳの利活用の状況について調査した。

3.2　情報源情報データベースのフォーマットの検討

建設・環境に関する情報源情報について、その利用方法及びメンテナンスを考慮し、データベース設計を行なった。

3.3　ＧＩＳモデルの構築

数値情報化されている情報による簡易ＧＩＳシステムを構築し、利用範囲について検討した。

4.　研究結果

4.1　資料収集

建設事業に関連する環境情報について、網羅的に調査した。調査に当たっては、1)国土に関する電子情報（電子ツールによって操作が可能な情報。数値情報ということも多い。数値情報には、統計情報のみでワープロ文書ファイル等が含まれないよう誤認されることがあるため、本文では以下電子情報という。）、2)環境に関する情報源、3)建設省において公開される統計情報、4)建設省所管事業における環境影響評価において参照された情報、に区分した。

4.1.1　国土に関する電子情報

今後のＧＩＳを検討していく上で基礎情報と考えられるのが、国レベルで調査・公表している電子情報が考えられる。この情報については、既に昭和４８年の総務庁告示により「標準値域メッシュ」が提示され、基本的にメッシュで表現できる広域的調査結果の整理はこれによることになっている。これは、1/200,000地形図１枚を１次メッシュとし、その縦横1/80を３次メッシュ（基準地域メッシュ：約1km ×1km）とするものである。この標準値域メッシュは日本経緯度原点による経緯度座標を用いているので、人口と土地利用等の同一地域の異なる情報の比較には大変便利であり、またデータに付随する位置の情報が基本的に不要となり、データ量が少なくて済む。しかし、経線の間隔は赤道に近づくに従って広くなるため、北海道と沖縄では同じ標準値域メッシュでも約1.4倍の違いがあることは常に考慮する必要がある。

この標準値域メッシュを用いて整理され、現在利用できる国土に関する情報の主なものとしては、1)国土数値情報、2)総務庁メッシュ統計、3)メッシュ気候値、4)自然環境保全基礎調査データ等がある。これらの概要を表－１に示す。

情報源名	概要	作成機関	取扱い機関	データ項目
国土数値情報	地形，土地利用，公共施設，道路，行政界，都市計画区域等の国土に関する地理的情報を数値化したもの。	国土地理院	日本地図センタ	自然条件的データ，国土骨格データ，指定地域データ，各種施設等のデータ，土地関連データ，沿岸域データ
総務庁メッシュ統計データ	国勢調査結果，事業所統計調査結果をもとに地域メッシュデータとして整備したもの。	総務庁統計局	日本統計協会	人口，世帯数，産業大分類別事業所数および従業員数等
メッシュ気候値	積雪，降水量，気温について3次メッシュごとに整備したもの。	気象庁		降水量，気温，積雪
自然環境保全基礎調査磁気データファイル	自然環境保全基礎調査をもとに植生，動物分布，自然景観資源，湖沼等の情報を数値化し，磁気データファイルにしたもの。	環境庁	自然環境研究センター	植生，特定植物群落，動植物，自然景観資源，湖沼，河川，海域生物

4.1.2 海外事例調査

海外におけるＧＩＳの利用状況等を調査した結果，①共通基図の整備，②共通属性情報の整備，③整備のための組織的な対応，等の対応が図られていた。以下各ポイントごとに海外での状況をまとめる。

a) 基図の整備

デジタルな形で基本的な地図が安価で利用できることは，ＧＩＳ利用者の拡大の上で重要なポイントである。

米国においては，内務省の地質調査所 (USGS: U. S. Geological Survey) が国家デジタル地籍データベース (NDCDB:National Degital Carlographic Data Base) の一環として，1:100,000地形図のデジタル化を完了し，誰でも自由に使える公共財産として利用できるようになっている。さらに，国家図化計画 (NMP: National Mapping Program) に基づき，1:24,000地形図等の大縮尺の地図についても西暦2000年までに全米分が NDCDB に含められる予定である。

英国においては，都市部については1:1,250図，郊外部の大部分は1:2,500図が作成されており，これらの地図による国土のカバー率は70% 以上となっている。その他の地域は1:10,000図がカバーしている。1990年時点で既に，1:1,250図の87%，1:2,500図の19% についてデジタル地図が作成されている。

b) 属性図の整備

様々な属性図が整備されていれば，ＧＩＳ利用者が独自にデータを入力しなくても済む。従って，汎用性の高い属性図の整備は，ＧＩＳを用いた業務の迅速化，低コスト化，高度化の上で重要である。

米国では，植生，地質，水質等の環境属性に関しては，USGS が地質図の整備を進めているほか，環境保護庁 (EPA: Environment Prolection Agency) が各種データのデータベース化を進めてきている。また，農業省，工兵隊も属性図の提供を行っている。さらに，1993年に内務省に新たに設置された国家

生物学調査所 (USNBS: United States National Biological Survey) においても，今後生物資源情報等の地理情報の整備を組織の主要目的としていくこととなっている。

欧州においては，ＥＣ（現ＥＵ）地域におけるＧＩＳ上の環境情報のデータベースとして，CORINE (CO-ordinated INformation on the Europian environment) 整備計画が1984年以来実施されてきている。CORINEには，法指定保護地域の範囲，SO_x・NO_x等の大気汚染物質の点源位置及び地域毎の非点源排出量，流域区分と最大・最小流量，土壌浸食リスク分布，重要な土地資源位置，気候，斜度，ビオトープ位置等が含まれている。

c) 制度的・組織的対応

ＧＩＳを有効に活用するためには，基図を初めとした各種の汎用地理情報データベースの整備やその維持管理に関する制度的・組織的対応が必要である。また，ＧＩＳをより有効なツールとするための技術的研究の推進の上でも組織だった対応が有効であると考えられる。

ニュージーランドにおいては，７つの環境情報データベースが乱立する等のデータの重複が生じていた。このため，1983年に公共セクターにおける土地関連情報の収集・維持・流通に関する協調・共同アプローチを求める一連の指令を発した。さらにその後調査・土地情報省 (Department of Survey and Land Information) が設置されている。

オーストラリアにおいては，1986年に連邦首相と各州政府の長によって，オーストラリア土地情報委員会 (ALIC: Australian Land Information Council) が設立された[12]。1991年にはこの委員会にニュージーランド政府も加わり，オーストラリア・ニュージーランド土地情報委員会 (ANZLIC: Australia New Zealand Land Information Council) と改称され今日に至っている。ALICは1988年に最初の土地情報管理に関する国家戦略を発表し，1990年には第２回目の国家戦略を発表している。これらの提言は，すでに実際の行政組織編成等に反映され始めており，キャンベラ市（オーストラリア首都行政区）においては，1990年に，環境土地計画局が設立され，そこの土地情報室 (Land Information Office) が地理情報データの精度・仕様等の管理を一元的に行いながら，関係行政機関がそれぞれのデータベースを責任を持って作成・更新する体制が組織された。

米国においては，1988年に国家科学委員会 (National Science Board) が，国立地理情報分析センター (NCGIA: National Center for Geographic Information and Analysis) を設立した。NCGIAは，ＧＩＳ技術の利用に当たっての障害の同定と除去を目的とした組織であり，以下のような研究項目を掲げている。

①空間情報及び空間を扱う統計に関する研究

②空間相互関係及びデータベース構造に関する研究

③人工知能とエキスパートシステムに関する研究

④可視化に関する研究

⑤社会的，経済学的，制度的事項に関する研究

このように，米国においてはＧＩＳをより有効に使うための技術的検討が組織的に推進されつつある。また，例えばEPAでは，1983年から環境管理業務へのＧＩＳの応用を始め，現在ではほとんどすべての業務対象にＧＩＳを応用するまでになっており，すでにＧＩＳの行政への応用が相当に普及し

ている。

このほか，欧州においても，1993年から「ＧＩＳ：データ統合とデータベース設計」(GISDATA: GIS Data Integration and Data Base Design) と題したプログラムが欧州科学基金 (ESF: Europian Science Foundation) によって開始された。ESFは，米国のNCGIAとも連携を取りながら，ＧＩＳ言語，データ精度，データ記述の一般化，データの作成・更新，データベース管理等の問題に関する全ヨーロッパスケールでの検討に取り組んでいる。

4.2 情報源情報データベースフォーマットの検討

建設・環境に関する情報源情報について、その利用方法及びメンテナンスを考慮し、データベースのフォーマットを検討した。

一般に既存の地理的情報は、例えば植物の情報源等同じ情報であっても、情報源や提供者によって分類手法、データ項目、精度、座標系統が異なっており、これを単一のフォーマットに整理することは困難である。一方で利用の立場から見れば、これらの情報がなければ、情報の利用の適否の判断が不可能である。又、建設環境情報は多岐にわたるため、完全に統一的な情報分類は困難である。以上を考慮して、データベースは以下のように構成する。

・各データセット検索のための分類を構築する。

・情報源を分類し、その概要情報をデータベース化する。

・情報源ごとに各データセットの詳細な情報を、なるべく統一的に整理する。

・分類の構築

分類体系は、収集した各情報の分類体系を基礎として、独自に作成した。その案を表－１に示す。

大項目	小項目
数値地図	
国土	河川、湖沼、その他
自然環境	気象・海象・流出、地形、地質・土質・土壌、 動物、植物、その他
環境	水質・底質、大気、土壌汚染、地盤沈下、振動・騒音、 生活環境、地球環境、その他
人口・住宅	人口、世帯、住宅、その他
土地	土地利用、地価、その他
社会資本	河川・砂防・海岸、道路、鉄道、港湾・空港、通信、 上下水道、ガス、公園、その他
公共	行政、指定地域、公共施設、文化財、その他
産業・交通	農林漁業、製造業、商業、サービス業、交通、 流通・輸送、観光、その他

表－２　分類体系　(案)

・概要情報、詳細情報のデータ項目の検討

概要情報は、検索の効率化を図るべく各データセットの性格について判断できる内容が要求され、詳細情報にはユーザーにおいて各データセットが利用できるかどうか判断できるだけの内容が要求される。

これらを踏まえて、データ項目を検討し、以下の項目とした。

・概要情報

情報源名、概要、作成機関、取り扱い機関、整備範囲（地域区分、整備地域等）、主なデータ項目、データ年次及び更新頻度、データ形式、提供形態（ＭＴ、ＦＤ、帳票、年表・年鑑、図面、その他）、備考

・詳細情報（メッシュ：他はこれに準じる）

データ名称、内容分類コード×２、情報源名、情報区分、ファイル名、データ年次、更新頻度、公表時期、整備対象範囲、原資料名、提供形態、データスケール、データ項目、備考

以上をもとに、データベースを作成した。今後は汎用リレーショナルデータベースシステムへの移行を前提としつつ、当面、スタンドアローンでの利用環境とした。

5. 今後の課題

当面の利用としての建設環境情報源データベースが構築できた。しかし、情報源へのアクセスについての情報が不足している。このため、今後アクセス情報を加えるとともに、一層の情報収集をはかり、さらに、情報源から得たデータのＧＩＳへの展開手法について検討していこうと考えている。

景観シミュレータ・景観データベースの開発
景観データベースの開発

環境計画研究室　室　　長　丹羽　　薫
主任研究員　並河　良治
研　究　員　小栗ひとみ

1．まえがき

美しくうるおいのある景観の創出に関する社会的な要求の高まりとともに、周辺環境と調和した質の高い社会資本整備がこれまで以上に求められている。事業の各段階において、周辺環境との調和を視覚的に容易に予測できるコンピュータグラフィックスは、景観向上のための有効な支援システムであり、現場で実用的に使用できるＣＧシステムの開発が期待されている。

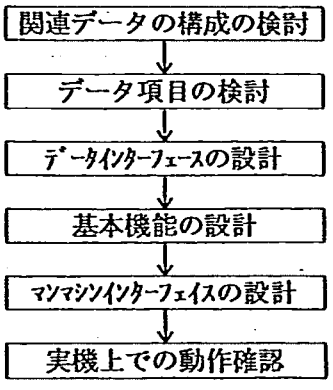
本研究では、従来のＣＧシステムにおけるデータ作成の煩雑さを解消するために、景観画像を構成する様々な部品を蓄積した景観データベースを開発する。本データベースは、建築研究所が主に開発を担当している景観シミュレータと一体となって機能し、景観シミュレーションにおけるデータ入力の効率化や、現実感の高い画像の生成を支援するほか、過去の優良な景観設計事例や景観材料に関する情報の提供を行うものである。

2．研究目的

地建事務所等の職員が簡便に使用できる、操作性・実用性に優れた景観シミュレータおよび景観データベースを開発し、公共土木施設や建築物の景観設計を支援することを目的とする。

3．研究方法

５年度の基本設計を踏まえ、景観データベースの詳細設計を行って、事務所分散型で稼働する環境に必要なデータベースマネジメントシステムの基本機能を設計した。研究のフローを図－１に示す。また、景観データの３次元形状を簡易に作成するための支援機能として、簡易モデリング機能および景観構成要素の自動生成機能を設計した。さらに、これらの設計結果が、要求された機能を実現しているかどうかについて実機上で動作確認を行った。なお、設計にあたっては、以下の条件を前提とした。



図－１　研究のフロー

①景観データベースは、優良景観事例データベース、景観構成要素データベース、景観材料データベースから構成される。

②土木研究所と建築研究所が共同で独自に開発を進めている景観シミュレータにおいて表示を行うものである。

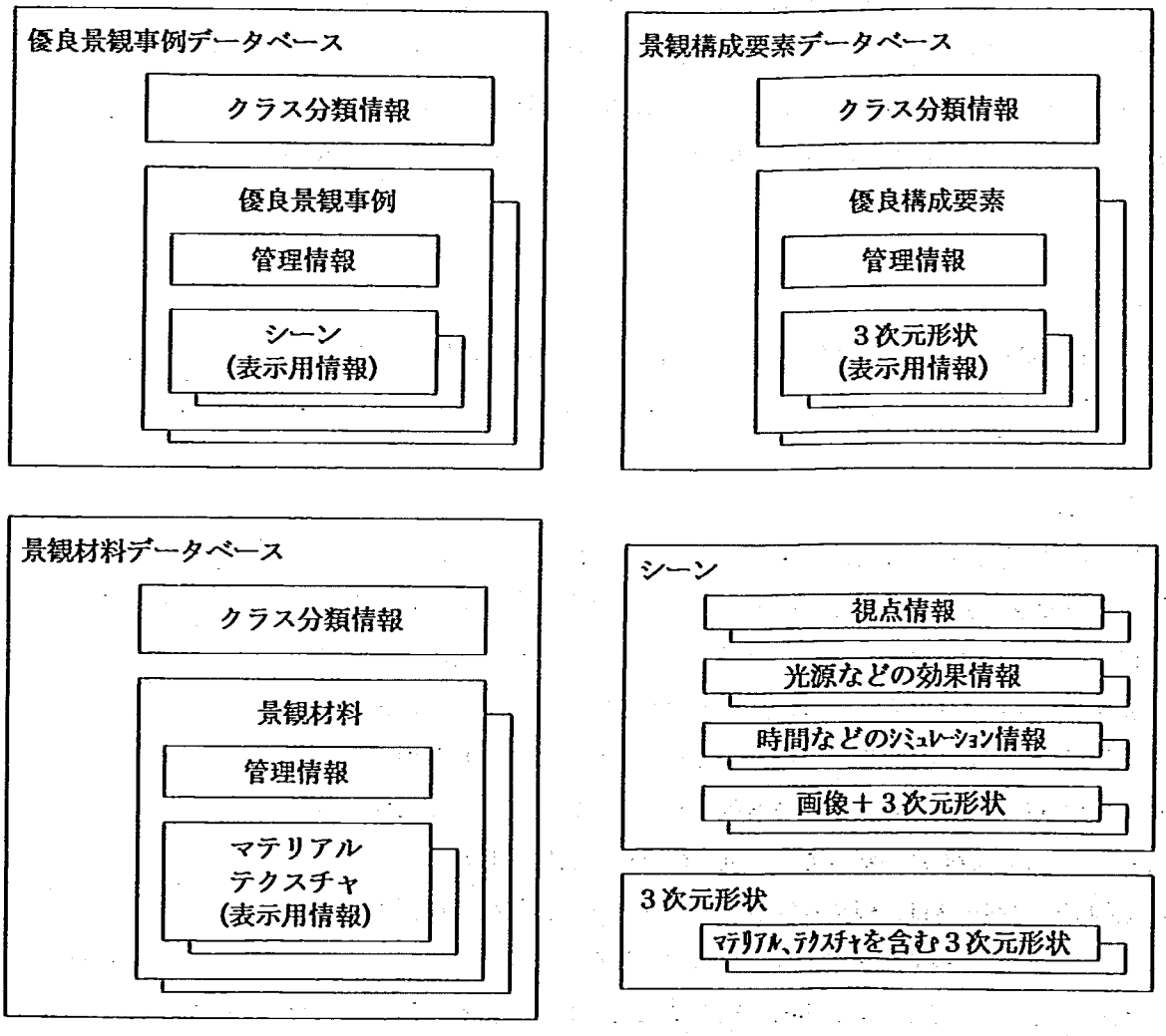
③当面スタンドアローンでの稼働環境に必要な機能を独自に開発するが、将来ネットワークを構築する必要が生じた場合には、容易に既存のデータベースソフトへ移行することが可能な形式とする。
④動作環境は、グラフィック・ワークステーション(ｼﾘｺﾝｸﾞﾗﾌｨｯｸｽ社製IRISｼﾘｰｽﾞ「Indy」)および汎用パソコン(WindowsNT3.5)の２環境とする
⑤事務所の職員が特別の習熟期間を要さずに簡便に使用できるシステム設計とする。

4．研究結果

4.1　データベースマネジメントシステムの設計

4.1.1　関連データの構成

優良景観事例データベース、景観構成要素データベースおよび景観材料データベースの各データベースに蓄積されるデータは、データの階層化分類を定義する「クラス分類情報」および複数の表示用情報（シーンまたは３次元形状もしくはマテリアル・テクスチャ）およびそれらの「管理情報」で構成される。それぞれの構成を図－２に示す。



図－２　関連データの構成

4.1.2　データインタフェースの設計

景観データベースで扱うデータ（特に３次元形状のデータ）について、そのファイル形式を次のように定めた。なお、ＬＳＳとは建設省版景観シミュレーションシステム（Land Scape Simulation）の略である。

①一般形

ファイル形式の基本ルールは以下のとおりである。

```
名称＝コマンド（パラメータ、パラメータ、・・・・）；
コマンド（パラメータ、パラメータ、・・・・）；
#コメント
```

②ＬＳＳ-Ｓ(Scene)ファイル

以下のようなシーンデータを具現化したASCIIファイルである。

```
時間名称＝ＴＩＭＥ(日数)；
視点名称＝ＣＡＭＥＲＡ(ＥＹＥ Ｘ,ＥＹＥ Ｙ,ＥＹＥ Ｚ,
        ＣＥＮＴＥＲ Ｘ,ＣＥＮＴＥＲ Ｙ,ＣＥＮＴＥＲ Ｚ,
        ＵＰ Ｘ,ＵＰ Ｙ,ＵＰ Ｚ,
        ＦＯＶＹ,ＡＳＰＥＣＴ,ＺＮＥＡＲ,ＺＦＡＲ)；
光源ﾕﾆｯﾄ名称＝ＬＩＧＨＴ(光源ﾀｲﾌﾟ,Ｘ,Ｙ,Ｚ,Ｗ,Ｒ,Ｇ,Ｂ)；
光源ｸﾞﾙｰﾌﾟ名称＝ＬＩＧＨＴＧＲＯＵＰ(光源ﾕﾆｯﾄ名称、光源ﾕﾆｯﾄ名称、・・・・)；
効果ﾕﾆｯﾄ名称＝ＥＦＦＥＣＴ(効果ﾀｲﾌﾟ、・・・・)；
効果ｸﾞﾙｰﾌﾟ名称＝ＥＦＦＥＣＴＧＲＯＵＰ(効果ﾕﾆｯﾄ名称、効果ﾕﾆｯﾄ名称、・・・・)；
ﾓﾃﾞﾙ名称＝ＭＯＤＥＬ(ＬＳＳ-Ｇﾌｧｲﾙ名称)；
ｲﾒｰｼﾞ名称＝ＩＭＡＧＥ(ｲﾒｰｼﾞﾌｧｲﾙ名称)；
ｼｰﾝ名称＝ＳＣＥＮＥ(ｼｰﾝﾀｲﾌﾟ、背景ｲﾒｰｼﾞ、前景ｲﾒｰｼﾞ、ﾓﾃﾞﾙ名称、
        光源ｸﾞﾙｰﾌﾟ名称、効果ｸﾞﾙｰﾌﾟ名称、視点名称、時間名称)；
```

③ＬＳＳ-Ｇ(Geometry)ファイル

以下のような３次元形状データを具現化したASCIIファイルである。

```
座標名称＝ＣＯＯＲＤ(Ｘ,Ｙ,Ｚ)；
法線名称＝ＮＯＲＭＡＬ(Ｘ,Ｙ,Ｚ)；
ﾃｸｽﾁｬ座標名称＝ＴＣＯＯＲＤ(Ｓ,Ｔ)；
色名称＝ＣＯＬＯＲ(Ｒ,Ｇ,Ｂ,Ａ)；
頂点名称＝ＶＥＲＴＥＸ(座標名称、法線名称、ﾃｸｽﾁｬ座標名称、色名称)；
面名称＝ＦＡＣＥ(頂点名称、頂点名称、・・・・)；
線分名称＝ＬＩＮＥ(頂点名称、頂点名称、・・・・)；
ｸﾞﾙｰﾌﾟ名称＝ＧＲＯＵＰ()；
ﾘﾝｸ名称＝ＬＩＮＫ(ｸﾞﾙｰﾌﾟ名称、ｸﾞﾙｰﾌﾟ名称)；
ｸﾞﾙｰﾌﾟ名称＝ＦＩＬＥ(ﾌｧｲﾙ名称、ﾊﾟﾗﾒｰﾀ、ﾊﾟﾗﾒｰﾀ、・・・・)；
ﾏﾃﾘｱﾙＩＤ＝ＭＡＴＥＲＩＡＬ(ﾏﾃﾘｱﾙ名称)；
ﾃｸｽﾁｬＩＤ＝ＴＥＸＴＵＲＥ(ﾃｸｽﾁｬ名称)；
```

4.1.3　基本機能の設計

データベースマネジメントシステムの基本機能の設計においては、データの入力・登録機能および検索・表示機能として、以下の内容を実現した。

①入力・登録機能

本データベースで取り扱う画像データ、３次元形状データおよび文字データの入力は以下の方法による。

a)文字データの入力は、ワープロ、テキストエディタで行い、データ変換プログラムによって登録する。

b)画像データは、カラースキャナーで取り込んだイメージファイルを扱う。ファイル形式は、ｔｉｆｆ形式を標準とする。

c)３次元形状データは、ＬＳＳ形式（ＬＳＳ-ＳおよびＬＳＳ-Ｇ）のファイルを扱う。ＬＳＳ形式のファイルは、景観シミュレータで作成するか、データ・コンバータにより他システムのもの（ＤＸＦ等）を取り込む。

②検索・表示機能

a)データの検索方法は、次のとおりである。

・種別など分類の選択。

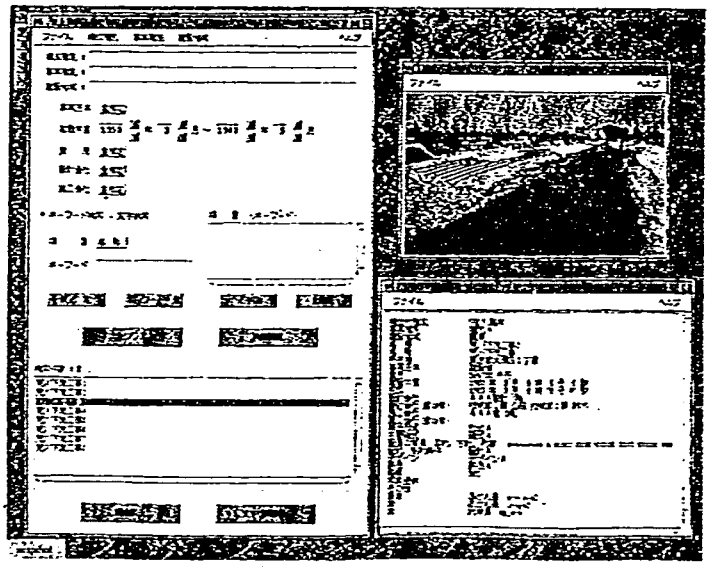
・項目（「費用などのデータ項目」）の範囲や名称を指定。

・キーワードの選択や文字列の指定。

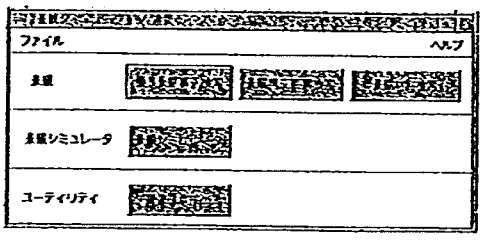
b)検索したデータの画像・文字情報を表示する。

4.1.4　マンマシンインターフェイスの設計

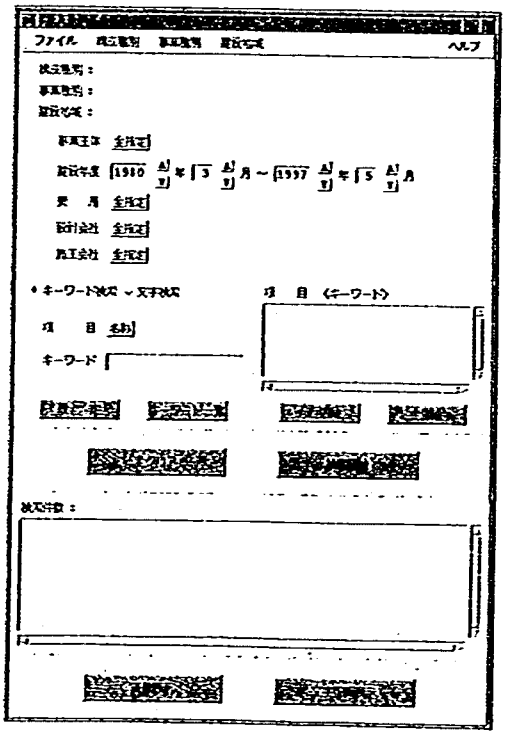
以上の設計結果に基づいて、景観データベースの画面を設計した。（図－３～５）



図－３　景観データベースの画面



図－４　起動ウインドウ



図－５　優良景観事例検索ウインドウ

4.2　3次元形状データの作成支援機能の設計

構造物や付属物の3次元形状データを簡易に作成するための支援機能として、簡易モデリング機能および景観構成要素自動生成機能を設計した。それぞれの機能で実現した内容は、以下のとおりである。

4.2.1　簡易モデリング機能の設計

①基本図形の提供

直方体や球などの基本的な図形を組み合わせる方法で、構造物等の3次元形状データを作成することができる。基本図形の種類、コマンドおよびパラメータは図－6のとおりである。

a)直方体
FILE(CUBE, $0_x, 0_y, 0_z, L_x, L_y, L_z$);
$0_x, 0_y, 0_z$：1つの頂点の座標
L_x, L_y, L_z：幅、奥行き、高さ

b)球
FILE(SPHERE, $0_x, 0_y, 0_z$, R);
$0_x, 0_y, 0_z$：中心座標
R　：半径

c)円柱
FILE(CYLINDER, $01_x, 01_y, 01_z, 02_x, 02_y, 02_z$, R);
$01_x, 01_y, 01_z$：中心座標（下円）
$02_x, 02_y, 02_z$：中心座標（上円）
R　：半径

d)円錐・円錐台
FILE(CONE, $01_x, 01_y, 01_z, 02_x, 02_y, 02_z$, R1, R2);
$01_x, 01_y, 01_z$：中心座標（下円）
$02_x, 02_y, 02_z$：中心座標（上円）
R1　：下円半径
R2　：上円半径（0なら円錐）

e)角柱
FILE(FLATCYL1, $01_x, 01_y, 01_z, 02_x, 02_y, 02_z$, R, N);
$01_x, 01_y, 01_z$：中心座標（下面）
$02_x, 02_y, 02_z$：中心座標（上面）
R　：半径
N　：角数（3以上の整数）

f)角錐・角錐台
FILE(FLATCONE, $01_x, 01_y, 01_z, 02_x, 02_y, 02_z$, R1, R2, N);
$01_x, 01_y, 01_z$：中心座標（下面）
$02_x, 02_y, 02_z$：中心座標（上面）
R1　：下面半径
R2　：上面半径（0は角錐）
N　：角数（3以上の整数）

g)掃引体（1面）
FILE(SWEEP1, 面名称, 掃引線名称);
面名称　：断面を表す面、または線の名称
掃引線名称　：掃引ベクトルを表す線の名称

h)掃引体（2面）
FILE(SWEEP2, 面名称1, 面名称2, モード);
面名称1, 面名称2：断面を表す面、または線の名称
モード　：補間モード

図－6　基本図形の種類

②モデリングのための補助機能

a)既に配置されている構造物や付属物の移動、回転（x軸、y軸、z軸）、拡大縮小（x軸、y軸、z軸）、削除およびコピーなどの変更を行うことができる。

b)カラーメニュー（RGB、HSV、Lab、色ライブラリ）やテクスチャメニュー（テクスチャの張り付け位置、方向、スケール）からの選択により、構造物等の色や表面の模様を設定することができる。

C)その他補助機能として、以下の機能を有する。

・表示投影モードの切り替え

パース（透視投影）および平面・立面・側面（平行投影）の表示切り替えができる。

・グリッド表示

・視点変更

パースモードでは、シフト、ズーム、視点回転が、また、平面・立面・側面モードでは、シフト、ズームができる。

・物体の指定

画面上の物体をマウスで指定することができる。

・座標の入力

画面上で座標（x、y、z）をマウスにより入力することができる。

・グループの指定

物体をグルーピングし、まとめて指定することができる。

4.2.2　景観構成要素自動生成機能の設計

景観構成要素のうち現場に合わせて形態の変更が必要ないくつかの要素については、3次元形状データとして保有するよりもパラメータの入力により形状を自動生成する方がより効率的と判断される。そこで、以下の要素の形状を自動的に生成する機能を設計した。

①形鋼

L形鋼、T形鋼、H形鋼等の形状を、断面寸法の入力により生成する。

②道路

断面の掃引により道路形状を生成する。

③河川

断面の掃引により河川形状を生成する。

④法面工

法枠工、擁壁工、吹付け工、植生工等工法の違いによる法面処理の自動生成を行う。

⑤橋

点景としての橋の形状を、構造形式（桁橋、アーチ橋、トラス橋、吊り橋、斜張橋）、サイズの指定により生成する。

⑥草

葦、芝の形状を自動生成し、指定した領域にランダムに配置する。

⑦水面

流れの早さや方向により、水面を自動生成する。

⑧ブロック

護岸等のブロックの形状を自動生成し、指定した領域に合わせて配置する。

5．今後の課題

6年度は、データベースマネジメントシステムおよび3次元形状を簡易に作成するための支援機能を設計し、実機上で動作確認を行った。景観データベースをより実用性の高いものとするためには、公共土木施設および建築物の景観設計に必要なデータを充実させることはもとより、早い段階から事務所等において試用・評価を行いながら、機能の確定と改良を重ねていく必要がある。その他に、今後検討を必要としている項目は以下のとおりである。

・入力機能の専用化

・景観構成要素自動生成機能の拡充

・ネットワーク機能の設計

・データベースの運用方策に関する検討

地球観測データのデータベース化に関する研究
建設環境情報のデータベース化に関する研究

環境計画研究室　室　長　丹羽　　薫
研究員　長野　幸司

1. まえがき

近年、「持続可能な開発」という言葉に表現されているように、開発の環境等への影響に関する定量的な把握、環境の総合的な評価の必要性が強く求められている。しかしながら、このような検討を行なうための国土に関する基礎的な情報は、我が国では整備されているとはいいがたい。また、行政の効率化、凝視サービスの向上のため、行政情報化が国民的な要求となっている。

このように、内的にも外的にも建設行政における情報の高度利用の必要性が高まっており、このための手段として高速デジタル回線による通信ネットワークの構築が始まろうとしつつある状態である。情報の高度利用のためには通信ネットワークとそれによって結びつけられるデータベースの両方が不可欠であるが、データベースの整備については現在我が国はかなり遅れている状況である。本研究は、我が国におけるデータベース化の遅延の原因を検討し、さらに高速通信ネットワークの現状と将来可能性について調査し、高度利用可能な建設環境関連情報のデータベースの基本仕様について検討するものである。

2. 研究目的

建設事業の計画・実施・管理に当たって必要とする外部の情報項目は多く、また内部の独自の調査による情報もかなりの量である。また、平成6年12月の行政情報化推進基本計画にあるように、行政全体においても「行政のあらゆる分野において情報通信技術の成果を普遍的に活用し、行政の質の高度化、国民サービスの向上を図ること」が求められている。しかし、これまでのデータベース化への取り組みを考えると、やみくもな電子情報化は多大な費用を要するのみで、行政の質の向上には寄与しない可能性がある。このため、基本的なデータベースの要件と利用環境について早急に検討し、効率的な情報化の推進を図る必要がある。特に、ネットワーク技術の進展は、データベースの構築の根本に係わる変化をもたらしている。本研究の６年度の目的は、データベースと不可分の関係にある通信ネットワークの現状について調査し、その動向を探ることにある。

3. 研究方法

3.1 インターネットの現況

現在のネットワークの基本であり、かつ、次世代の通信ネットワークの基盤ともいわれているインターネットの現況について調査した。

3.2 所外ネットへの接続

土木研究所ＬＡＮの所外への接続環境を構築した。

4. 研究成果

4.1 インターネットの現況

a)インターネットの経緯

従前のコンピュータは大型計算機とそれを利用できる端末機という関係で成り立っていた。この関係におけるホスト（サーバ）機と端末（クライアント）機の関係は単純である。クライアント機は入力システムと表示システムを有するのみで、実際の演算はいつでもサーバーにおいて行なわれていた。

その後、汎用の大型計算機を多数の端末機から操作することと並行して、目的別に専用のコンピュータを利用する考え方が生まれた。エンジニアリングワークステーション（ＥＷＳ）の萌芽である。そして、各ＥＷＳごとに、それぞれの端末機が結ばれて小さなネットワークを構築していった。それからさらにコンピュータ開発が進んでいったが、その方向は大別して２つに分かれていった。

１つは徹底したダウンサイジング（小型化）と一般化である。すなわちパーソナルコンピュータ（ＰＣ）の方向である。コンピュータが事務用品の領域まで進出していったともいえる。この流れは、パーソナル、すなわち個人の利用の方向であり、基本的な利用はに単体（スタンドアローン）である。

もう一つの方向が、ネットワークによるサーバー・クライアントシステムである。異なる機能と情報を持つ複数のサーバーが相互に結びつき、利用者は、手元のコンピュータを作業場所（ワークステーション）として、接続している各種のサーバマシンに接続し、利用する。従って組織内のネットワークは前提である。このようなある組織内に限られたＬＡＮシステムが発展していった。

こうしてできていった個別のＬＡＮを、さらに統合して研究プロジェクトを推進しようということで、１９７０年代前半のDARPA（アメリカ国防総省高等研究計画局）の資金援助により、データ交換ネットワークの実験が１９７０年代前半に始まった。これはARPANETと呼ばれるもので、インターネットの通信プロトコル（規則）「ＴＣＰ／ＩＰ」が生まれた。この標準通信プロトコルにより、ネットワーク相互の接続、すなわちインターネットが可能となった。

ところで、コンピュータを汎用大型機、ＥＷＳ、ＰＣと分類されることが多い。ＥＷＳとＰＣの違いは演算処理速度により説明されることが多いが、利用環境によっても説明できる。すなわちＰＣがシングルユーザー・シングルタスク（個人が一つずつ仕事を行なう）のマシンであるのに対し、ＥＷＳはマルチユーザー・マルチタスクのマシンである。端的にいえば、ＥＷＳはマルチタスクであることから必然的に、通信機能（ＴＣＰ／ＩＰ標準）を装備し、マルチユーザー・マルチタスク対応のＯＳ（ＵＮＩＸ等）をサポートするマシンと言える（ただし、WindowsＮＴの出現により、この分類も怪しくなっている）。この点で、インターネットとはＥＷＳベースの通信ネットワークと言えなくもない。

このようにＥＷＳベース、その主たる利用者の研究者・技術者のネットワークという趣が強かったインターネットであるが、最近は、ＰＣ性能の飛躍的向上と通信基盤の進展によって、一般企業や個人の参加が増加している。

b)インターネットの機能

インターネットとは結局のところグローバルなネットワークであり、ＬＡＮによって行なえる環境が世界に広がっているといって良い。従って、基本的にＥＷＳのネットワークで行なえる機能＝インターネットの機能である。このため、基本的なことは普通のＥＷＳであれば標準的に行なえるし、それ以外であってもインターネット上にフリーウェアとして流布しているので、自由に利用できる。ただし、高度なＧＵＩやＰＣでの利用に関しては、現在のところそれぞれの機能の実現にいくらかの手間がかかる。

基本的な機能について概説する

電子メール

通信ネットワーク上の手紙である。基本的にはＰＣ通信のメール機能と同じであるが、ＰＣ通信よりは大量の情報をやりとりできる。送信者は相手のメールボックス（私書箱）のあるサーバー（当然、このマシンは２４時間起動していることが要求される）に対してメールを送信する。受信者は自らのマシンからメールボックスを確認し、所要の操作をおこなう。電子メールの特徴は、送信・受信が利用者の自由になることである。従って時差のある地域への通信には最適と言える。また、電話のように受信者の作業を中断させることが（クライアントの設定により着信した時点での通知（画面表示・音）は可能である）ないため、組織内の連絡に電子メールを利用することにより組織全体の生産性の向上が期待できる。しかし、逆に言えば即時の対応を要求される場合には電子メールは不向きと言える。なお、即時通話の機能としては別途talk, phone、ircという機能があり、リアルタイムの対話・会議が可能である。また、Faxと比べれば、電子メールの情報は、テキスト情報等の電子媒体になっているため、その修正等の利用の効率性が格段に上昇する。またデータの盗み見の問題はあるが、紙媒体に転換しない分、基本的には機密性の向上が期待できる。

ファイル転送(FTP:File Transfer Protocol)

電子メールでもある程度のファイルは転送できるが、大きな、または特殊な形式のファイル（プレーンテキストからバイナリファイルまで）の転送が可能である。このためには、ファイルを送受信する相手側のサーバーを利用できるアクセス権（具体的には相手側のサーバマシンの利用ＩＤ（アカウント）とパスワード）が必要である。ただし、フリーウェア等の入手のためには、anonymous FTPという匿名で情報を入手できる機能があり、それに対応したanonymous サーバーが日本でも増えてきている。

ニュース

ＰＣ通信の掲示板と同様である。世界中のネットワーク参加者がそれぞれ特定の課題についてのサークルを構成できる。現在１万を越すニュースグループがあり、それらの中から特定の話題のグループを選択しておけば、関連情報が常時検索可能となる。インターネットを利用している不特定多数の

利用者から関連情報を入手したりすることができる。

情報検索・提供

インターネットに接続されたサイト（サーバーマシン）では多数の情報が発信されている。これらの情報を発信・検索するシステムとしてＧｏｐｈｅｒサーバ、WWW（World Wide Web, W3）がある。これらは基本的に情報発信のシステムである。ある意味で分散型データベースの一つの典型である。これらのシステムの特徴は、サーバーを渡り歩くことができるリンク情報を取り扱えることである。特にWWWはテキスト情報のみでなく音声、画像、動画等を取り扱うことができる。これらのサーバー側システムに対応するクライアント側のソフトウエアが、Ｍｏｓａｉｃとよばれるソフトである。このソフトウエアを用いることにより、WWW等の情報を見、サーバー側で設定したリンクを使って他の情報を検索し、その情報が入手できる。ただし、こうして得られた画像等の情報を再現するには別途実行プログラムが必要である。

c)ＰＣ通信、ＰＣ－ＬＡＮとインターネット

ＰＣ通信とインターネットの違いは、ＰＣ通信が電話回線とモデムを利用したホスト－端末の構造であるのに対し、インターネットが基本的にはサーバークライアントタイプであることといわれる。しかし、現在各ＰＣ通信サービスはインターネットと、少なくとも電子メール機能に関して相互運用しているため、ＰＣ通信は、インターネットの一部を構成する商業ベースのローカルネットの一形態、と考えるべきである。

また、現在、各企業体等で導入が盛んなＰＣ－ＬＡＮとインターネットの大きな違いは、ＰＣ通信においては通信プロトコルの統一が図られていないことである。ＰＣは、基本的には通信機能がオプションであり、各ＰＣ－ＬＡＮベンダーがそれぞれ独自の通信プロトコルを使ったＬＡＮシステムを構築している。ＰＣ－ＬＡＮとインターネット接続を共存させるには、クライアント機をマルチ通信プロトコルにするか、ＰＣ－ＬＡＮサーバ上でＴＣＰ／ＩＰと受け渡しを行なうかする必要がある。

d)利用条件

上述のようにインターネットはかなりのポテンシャルを持った情報システムであるが、アメリカでの本格稼働から数えてもまだ10年足らずであり、その利用に当たっては以下の点に注意する必要がある。

1)管理者の不在

それぞれの情報トラフィックはインターネットに参加する無数のローカルネットを経由して運ばれる。それぞれのローカルネットには管理者が存在するが、インターネット全体の管理者はいない。そのため、どこかのローカルネットに支障が生じた場合、通信不能となる可能性があるが、それに対する担保や補償はない。

2)通信速度

インターネットは各ローカルネットを渡り歩いている。これらのローカルネットには64Kbpsという細いものから10Mbps以上のような太い線まで各種有り、具体的にどのラインを用いて情報を送るかということは利用者では設定できないため、一部の細い線にトラフィックが集中した場合には、伝達速度はかなり遅くなり、場合によっては使用不能となることもあり得る。

アメリカの情報ハイウエイ構想に最も近いシステムとしてよくインターネットが飲用されるが、この２点が情報ハイウエイとインターネットの違いと言える。

3)ＥＷＳ中心のネットワークであること

元来がＥＷＳの基本であるネットワークを全世界に拡大したものである。従ってＰＣからのインターネットの接続は’９５初頭現在のところは、いくらかの困難が生じる。

4)セキュリティ

電子情報化の大きな弊害の一つに、相手の同定が困難であることがあげられる。特に悪質な場合は原情報の改変等があり得る。その点で、通信ネットワークは性善説に立ったシステムと言える。

最低のルールとしては、他人にパスワードを教えないこと等がある。特にこれまでＰＣのみのユーザーであった場合、パスワードの管理等に非常に無関心な場合があるが、ＩＤ管理が通信ネットワークによる利益を享受する最低限の責任であることは論を待たない。

通信内容の盗聴に対するセキュリティに関しては暗号化機能の付加がある。しかし、通信の手間と時間が膨らむために、まだ一般的な利用とは言えない。

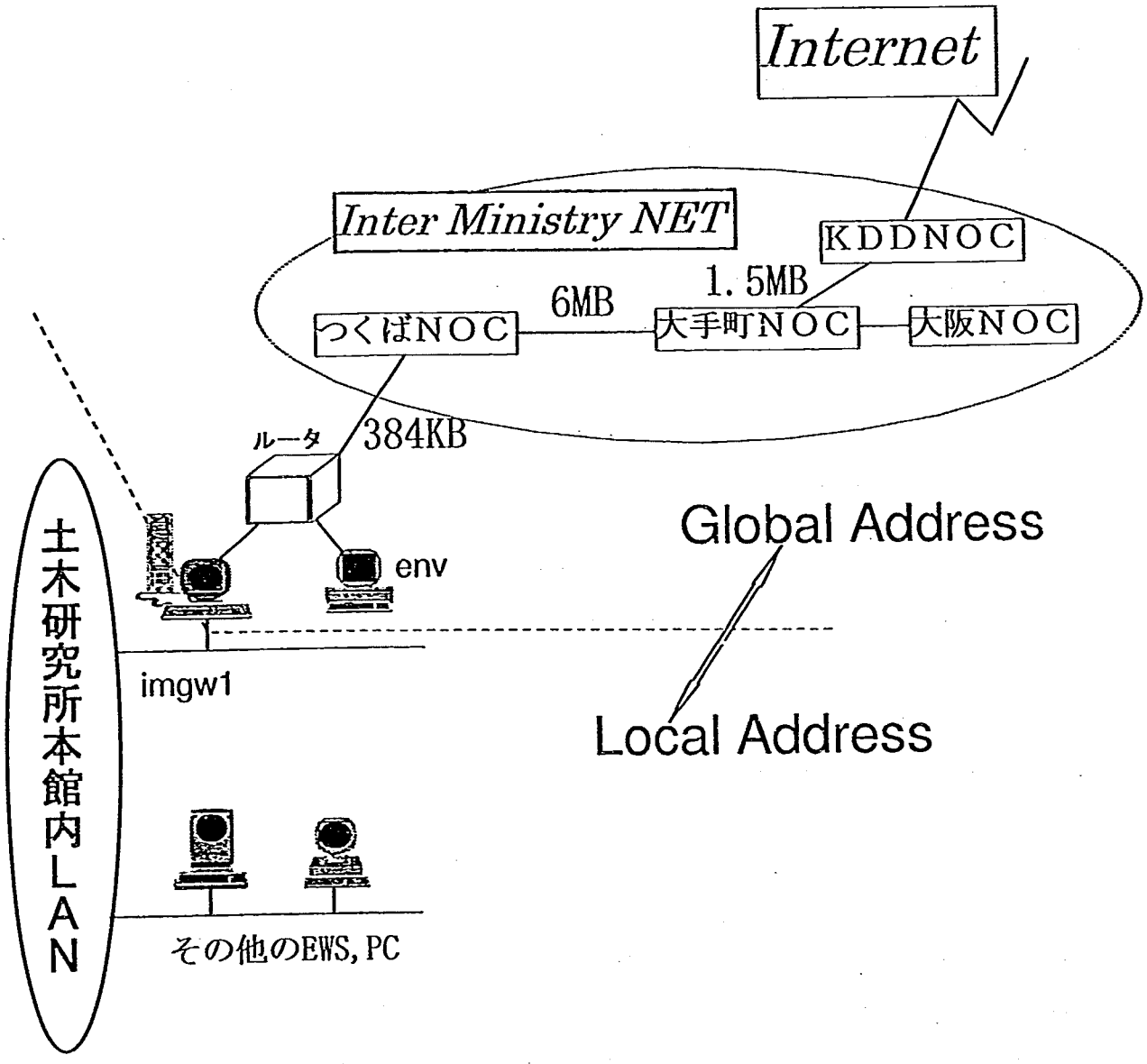
また、接続されたローカルネット内の情報のセキュリティには、ファイヤーウォールがある。これは、ローカルネットっとインターネットとの接続を物理的に１つのマシンとし、そのマシンにより外部からの内部へのアクセスを制限する方法である。しかし、レベルの高いファイヤーウォールを構築すると、アクセス時間が増大すること等の問題がある。

現在データセキュリティとして注目されるのが、ＣＤ－ＲＯＭの利用である。アメリカでは、情報公開の媒体としてインターネットが利用されているが、ハードディスクの情報のセキュリティが課題となっている。情報のセキュリティのため、一部の機関では情報をＣＤ－ＲＯＭに焼き付けており、そのサーバーに外部から情報の請求があると、ＣＤ－ＲＯＭドライブが起動し、当該情報を提供するシステムが採られている。ＣＤ－ＲＯＭはその名の通りRead only Memoryであり、情報の変更はできない。

4.2 所外ネットへの接続

以上のようなインターネットの現状を踏まえ、土木研究所をインターネットの接続を行なった。その概要を図－１に示す。

所外との回線は専用デジタル回線とし、近隣研究機関でのアクセスの実態を踏まえ、当面の利用に耐え得る384kbpsの回線とした。また所内ＬＡＮについては、現状では利用の予測が不可能なため、グローバルネットとは切り離したローカルネットとした。



図－１　土木研究所と外部ネットワークの接続

5.　今後の課題

今後の情報インフラの骨格となると推定されるインターネットの現況と利用環境が構築された。今後はこの外的環境に対応した組織内のネットワークシステム及びWWWに対応した効率的データベース構築手法について検討する必要がある。

貯水池の環境機能向上に関する調査
湖沼の環境創造技術に関する調査

建設省土木研究所環境計画研究室　室　　長　丹羽　薫
主任研究員　並河　良治
主任研究員　安田　吾郎
研　究　員　小栗ひとみ

1．まえがき

社会資本の整備は、国民の福祉の増進を目指して行われている。これまでの公共事業の計画においては、戦後の社会基盤の乏しい状況からの整備であったことや経済成長の速度が急であり、これを支える社会基盤の整備が焦眉の急となっていたこと、さらに、社会資本整備の多くを担っているのが公共事業であり、税金を財源とする公共事業では客観評価されないものに対して予算が付けられないという事情があったことなどにより、それら公共事業の評価は、バイパスによる時間短縮や河川改修などによる冠水面積の減少などその効果を明確に計測できる機能を重視したものとなっていた。勿論、これら計画の遂行により、日本は経済的に十分成長を果たし、個人ベースの物質面においては豊かな生活を送れるようになった。

一方、近年社会資本の整備においては『ゆとりとうるおいのある快適な生活環境を創出する』[1]ことが唱えられている。これは、「ゆとり」、「うるおい」、「快適」といった直接金銭評価できないものにも光をあて、更に高い水準を目指してこれら整備を行っていこうとするものである。

湖沼について見ると、それは広い水面を持ち優れた環境機能を有している。この点に着目し、これに手を加えさらに環境機能を向上させて地域発展の核にしようとする社会的要請が高まっている。湖沼は手を加えない状態では、湖沼の景観や親水活動についてすべて満足できる状態にあるとは限らず、また生態系にとっても良好な環境となっているとは限らない。そのため、ダムや湖沼開発の計画設計段階において予め景観、親水活動及び生態環境を目的とした諸施設を計画設計するのが望ましい。しかし、そのような施設をどのような条件の下で作るべきか、あるいはどの程度の規模の施設を作るべきかといった点は明らかとはなっていない。

本研究は、そのこれら湖沼環境を創造する手法を確立しようとするものである。

2．研究目的

ダムや湖沼開発の計画に当たっては、環境機能の評価を含めた事業の社会的純便益を最大限に高めるために、ダムやダム湖の持つ環境機能の良さを最大限に発揮する施設や、生態系への補償機能を持つ施設等を適切に計画に組み入れていく必要がある。このような趣旨に沿った施設はダム周辺環境整備事業等により整備が進んできているが、そのような施設をどのような条件の下で作るべきか、あるいはどの程度の規模の施設を作るべきかといった点は明らかとはなっていない。この点を明らかにす

ることは、ダムや湖沼開発に当たっての環境整備のあり方に明快な論拠を与えるとともに、国民にとって最も便益の高い施設整備を実現する上で非常に重要である。本研究は、上で述べた課題に対して一通りの提案を導くことを目的とする。

3．研究方法

昨年度の研究では、研究目的の達成のために明らかにしておくべき下記の５つの点のうち①及び②を実施するために必要な検討を行った。

①ある条件の環境活用／創造事業を行った場合の社会的純便益

②与条件が変化した場合の社会的純便益の変化

③環境活用／創造事業に関わる今後の技術動向見込み

④国民のニーズ変化に関する動向見込み

⑤技術的変革、国民ニーズの変化を考慮した場合にどのような事業の実施が社会的純便益を最大化するかという点に関する検討

その手法として、環境活用／創造事業の便益を評価する手法に関する既往手法を分析し、それを通じて湖沼の環境活用／創造事業の評価に適した手法を検討した。その中で、仮想令銭評価法 (CVM)、二分選択仮想金銭評価法 (DCVM)、ヘドニック旅費法 (HTCM)、ランダム効用モデル (RUM)、パラメーター変化モデル (VPM) が有望であることを指摘した。

本年度は、調査対象をレクリエーション用途に絞り込み、実際の評価調査を釜房湖畔の国営みちのく杜の湖畔公園に関するアンケート調査という形式で行った。

4．研究内容

4.1　ダムの環境整備について

ダムの整備に関しては、さまざまな側面がある。治水、利水、自然環境、文化環境、レクリエーション環境などである。本年度は、レクリエーション環境に関する評価に絞って検討を行う。

ダムに関連するレクリエーションには、釣り、ボート遊び、キャンプ、自然鑑賞、自然学習など様々ものがある。本年度は、そのうち、自然鑑賞及び自然学習について、ビオトープによる自然鑑賞及び施設型の自然学習施設の整備に対する評価を調べることによって、環境活用／創造事業を行った場合の社会的便益を計測することとした。評価の尺度は、他の様々な分野の評価と合わせて考えられるよう金銭による評価を行う。調査の方法は、郵送法によるアンケート調査で、評価手法は、二分仮想金銭化法を用いた。本年度に実施したアンケート調査から、全体としての評価価値のみならず、自然環境をどのように評価するかに関して何が大きな要因となるかについても明らかにしたいと考えている。

4.2　便益評価手法の概要

市場がない財の経済評価として、直接法と間接法があり、前者には仮想金銭化法（ＣＶＭ: Contingent Valuation Method）等があり、後者にはヘドニック資産価格法（ＨＭＰ:Hedonic Property Value Method）に代表される代理市場価格を用いる手法等があることについては、昨

年度に整理したが、本年度特に検討する評価手法として、ダムや湖沼開発における環境活用／創造の結果生み出される価値を直接評価する場合に用いるＣＶＭを取り上げることとする。

環境質の変化に伴いそのレクリエーションサイトから得られる便益がどの程度変化するかが事前に計測されるならば、そのような環境整備の投資効果を事前に計測することができるようになる。そうなれば、公共事業の実施に際して、「ゆとり」、「うるおい」、「快適」という環境質を含めたプロジェクトの評価が可能となるであろう。ＣＶＭは、そのような環境質の変化に伴う便益の変化を直接計測する手法として期待されている。

ＣＶＭは、対象者に直接なされる質問を通じて環境の価値を求める方法である。ＣＶＭでは、価値評価の対象とする財の内容を被験者に説明し、ある財の提供がなされる場合には、その財の提供に対していくら支払う意志があるか（最大支払い意志額：ＷＴＰ;Willingness To Pay）を問うものと（ＷＴＰ法）、提供されている財の供給が中止される場合、いくらの補償額があれば受容されるか（最小受容補償額：ＷＴＡ;Willingness To Accept）を問うもの（ＷＴＡ法）がある。[2] ＣＶＭは、被験者に仮想の状況に対する判断を問うものであり、シナリオの誤認やその他様々な要因により、その結果にバイアスがかかる可能性がある。そのようなバイアスには、戦略的バイアス、追従バイアスといった歪んだ回答を誘う要因によるバイアス、開始点やレンジといった評価を暗示する手がかりにより生じるバイアスがある。ＣＶＭ調査では、種々のバイアスに対して中立的な調査をデザインすることが十分に注意を払うことが要求される。

先に、ＣＶＭ調査に、ＷＴＰ法とＷＴＡ法があることを示したが、これまでの仮想金銭化法による調査結果では、ＷＴＡの方がＷＴＰよりも大きな価を取る傾向にあることが示されている。さらに、消費者余剰は、ＷＴＰとＷＴＡの間にあり、当該財への支出が所得に比較して小さい場合にはＷＴＰとＷＴＡは、かなり近似することが示されている。[3]

ＣＶＭには、いきなり最大支払額を尋ねる方法、繰り返して支払い意志の有無を問う繰り返し値付け法もあるが、それぞれ、過小な価を取る傾向や、被験者一人当たりの調査時間が長くなったり、開始点バイアスやレンジバイアスを容易に逃れられないといった欠点がある。更に、ＣＶＭに対する批判として戦略的バイアスに対する疑念が投げ掛けられていたが、戦略的バイアスをほぼ確実になくす手だてとして二分仮想金銭化法(ＤＣＶＭ：Dichotomous Choice Contingent Valuation Method)が提唱され、理論付けされている。[4, 5]

ＤＣＶＭにおいては、被験者に示されたシナリオがその通りに受け取られている限りにおいて戦略的バイアスは生じない。もっとも、通常のＣＶＭにおいても、調査シナリオの設計に注意を払えば戦略的バイアスは実際には余り問題にならないことが示されている[6) 7) 8)]。ＣＶＭ及びＤＣＶＭにおいてより問題となるのは、シナリオにかかわるバイアス (Embedding Bias) と評判バイアス (Reputation Bias) の存在である。このような調査文案の設計法に関しては Mitchell and Carson(1989, pp.153-70) [3] が詳しい。

4.3アンケート調査の概要

今回実施する調査は、二分仮想金銭化法を用い、ダム湖畔を利用した公園においてより高いレ

ベルの環境の創造がどれ程の便益をもたらすものであるかを郵送法によるアンケート調査によって行うものである。被験者は、仙台市を中心に無作為に抽出した4,000名を対象として行った。

4.3.1シナリオ

アンケート調査で用いたシナリオは、次に示すとおりである。

「国営杜の湖畔公園は、全国で１０番目、東北で初めての国営公園です。当公園は蔵王連峰を源とする３河川（太郎川、北川、前川）が流れ込む釜房湖の周りに、当湖を生かして、昭和５６年から建設が始まった公園です。現在は６３haになる文化と水のゾーンが開園されており、このゾーンの中には植物の繁茂している未開園の敷地があります。（対照ケースのみ；この場所には、現在湿地性の植物が繁茂していますが、このまま放置しておくと雑草が生い茂ることが予想されます。そこで、）この場所に「生態系に配慮した純自然空間」を整備する案があります。・・・また、この様に整備し維持管理を図るには、当然費用がかかります。ここでは整備費及び維持管理費を入場料で充当することとし、現況料金に５０円加算することとします。　以上の条件から、この整備が、入場料として現況料金に５０円加算する価値があるとお考えになるか、価値がないとお考えになるかお答え下さい。」

さらに、回答者が整備の状況を容易に把握できるように整備後の状況をコンピュータ・グラフィックスを用いた合成写真を添付した。

4.3.2ケースの設定

ケースの設定は、表－１に示すとおりである。

表－１　ケースの設定

ケース	記号	整備の型	徴収方法	負担する費用、特記
基本ケース	①	自然型	入場料	10円、50円、100円、200円、500円
対照ケース	②	〃	税	10円、50円、100円、200円、500円
	③	施設型	入場料	10円、50円、100円、200円、500円
	④	〃	税	50円、100円、200円
	⑤	自然型	入場料	50円　放置の結果を示す（文章）
	⑥	〃	〃	50円　放置の結果を示す（ＣＧ）
	⑦	〃	〃	50円　現況入場料（390円）を示す
	⑧	自然及び施設型	〃	50円　施設型の負担を10円 50円　施設型の負担を100円
	⑨	自然型	〃	10、50、100、200、500円から選択
	⑩	〃	税	10、50、100、200、500円から選択
	⑪	自然型	入場料	自由記入
	⑫	施設型	〃	〃
	⑬	自然型	税	〃

これらのケースは次の検証を行うために設定した。

(1)徴収方法

費用の徴収方法については、来園時に直接支払う入場料によるものと現地を訪れる訪れないの如何に拘わらず徴収される税によるものの２通りを設定した。ここで、税による支払いについては、被験者の税に関する知識にかなりのばらつきが予想され、信頼性の点で疑問がないわけではない。

また、対照ケースとして現況料金を情報として与えるケースを設定し、このような情報が判断の違いを生むかどうか検証することとしている。

(2)悪化に対する反応

対照ケースとして整備を行わなかった場合、現在の環境が悪化するという情報を与え、それに対する反応の違いを検証することとしている。情報の与え方としては、文章のみによるものとコンピューター・グラフィックスによるものの２通りのケースを設定し、情報の量の違いが判断の違いに現れるかどうかを検証することとしている。

(3)複数案の提示

今回の調査では、より高いレベルの環境として「生態系に配慮した純自然空間」を提示することとしているが、建築物を伴った整備によりレベルを上げる案を対照ケースとして「自然観察センターを含む世界の湿地植物園」を設定している。

さらに、これらの２案を同時に提示し、それら２案のために支払う費用を変えて、これらの情報が被験者の判断の違いに現れるかどうかを検証することとしている。

(4)その他

二分仮想金銭化法の対照ケースとして、被験者が支払い意志額を記入するケースを設定し、二分仮想金銭化法により求められる便益と比較することとしている。

また、個人属性に関する質問を設け、それらの属性による関数としての便益を推計することとしている。

4.2.3バイアス

(1)ＷＴＰ法

今回の調査は、ＷＴＰ法を取っているが、環境質の変化に伴うレクリエーションサイトの価値の変化を、レクリエーションサイトの入場料や税金の支払額の増加によって推計しようとするものであり、当該財への支出は、所得に比べ比較的小さいと考えられ、先に述べたように消費者余剰との乖離は小さいものと考えられる。

(2)調査機関バイアス[2)]

今回の調査のシナリオに取り上げた場所が国営公園であり、今回の調査については、建設

省土木研究所の名前を表に出してアンケート調査を行ったので、ある程度の調査機関バイアスは避けられないものと考えられる。

(3)その他のバイアス

ケースの設定のところで述べたが、被験者の持つ或いは与えられる情報の量によって得られる便益に差が出ることも考えられる。評価を暗示する手がかりにより生じるバイアス以外にも情報量の違いによるバイアスが生じるならば、与える情報の量がＣＶＭにとって重要な意味を帯びてくる。

4.3.4その他の項目

回答者の属性、経験など環境活用／創造事業に対する評価に影響を与えそうな項目についても回答を求めた。質問項目には、次のものを含めた。属性としては、職業、年齢、性別、家族構成、経験としては、当該国営公園への来園経験、その他の自然公園やアミューズメント公園への来園経験。

5．まとめと今後の課題

今年の調査の中では、湖沼における環境活用／創造による便益を評価するため、仮想金銭評価法(CVM)の中の１手法である二分選択仮想金銭評価法(DCVM)を用いたアンケート調査を実施した。

アンケート調査結果の集計は、平成７年度に行うこととしている。本年度のアンケート調査は、郵送法によるもので、アンケートの対象とした公園に訪れたことのない人々も多く含まれている。また、当該公園を訪れたことのある人であっても、以前の記憶に頼って評価を行うことになった。今後は、対象となる場所を実際に見ることによって評価が変わるものであるかどうかについても調査を行って参りたい。また、ＨＴＣＭなど他の評価手法との比較検討を行い、各評価手法の利害得失を明らかにして参りたい。さらに、これらの結果を踏まえ、実際の評価手法の適用の中から、わが国の実状に最も適した評価手法を種々のケース毎にまとめ、湖沼における望ましい環境活用・創造の実現に活用していきたいと考えている。

参考文献

1)建設省：平成６年度　国土建設の現況　pp.86

2)安田吾郎、丹羽薫、森本浩之：環境の経済評価手法について　土木技術資料 36-12　pp.26-31、1994

3)Robert C. Mitchell & Richard T. Carson (1989): Using Surveys to Value Public Goods ; The Contingent Valuation Method, Resources for the Future, Washington, DC

4)Bishop R. C. & Herberlein T.A. : Measuring Values of Extramarket Goods, Are Indirect Measures Biased ? , American Journal of Agricultural Economics, Vol. 61, pp. 926-930, 1979.

5)Hanemann W.N. :Welfare Evaluations in Coningent Valuation Experiments with Discrete Response, American Journal of Agricultural Economics, Vol. 66, pp. 332-341, 1984.

6)Bohm, P. (1972) Estimating Demand for Public Goods: An Experiment, Europian Economic Review 3, No. 2, pp. 111-130

7)Brookshire, D. S., B. C. Ives and W. D. Shulze(1976) The Valuation of Aesthetic Preferences, Journal of Environmental Economics and Management 2, pp. 325-46

8)Marwell, G. and R. E. Ames(1981) Economists Free Ride; Does Anyone Else? - Experiments on the Provision of Public Goods IV, Journal of Public Economics 15, No. 3, pp. 295-310

貯水池の環境機能向上に関する調査

湖沼の環境評価に関する調査

建設省土木研究所環境計画研究室　室　　長　丹羽　　薫
主任研究員　並河　良治
主任研究員　安田　吾郎
研　究　員　長野　幸司

1. はじめに

環境に関する感心が全国民的に高まるなか、公共事業を実施する上で、環境の価値評価がますます重要となってきている。平成6年度に策定された環境政策大綱において環境の内部目的化が謳われているところである。ダム事業の実施にあたっても好ましくない影響を緩和し、さらには積極的に良好な環境を創造することは、基本的な事項の一つであると言える。しかし、環境向上のためにどのような施策をどの範囲でどの程度で行うべきかということの判断の指針は確立されていない。さらに、多目的ダム事業の実施に当たっては、コストアロケーションが行われることから、他事業以上に便益の特定が必要である。このような事情により、湖沼の環境評価に関する調査は、開発と環境との調和を図り、国民経済的に最善の施策を実施する上で、さらに事業者間の調整を図る上でその成果を求められている。

2. 調査の目的

環境のような非市場財の評価手法として、大きく直接法と間接法に分類することができる。間接法として、レクリエーションサイトまでの所要時間などの費用から価値を算定する旅費法や地価や賃金から環境質の価値を計測するヘドニック法などが知られている。直接法としては、面接調査やアンケートなどによって直接環境質の価値を問う仮想金銭化法が知られている。

本調査は、様々な調査法のうち、特に仮想金銭化法に焦点をあて、他の評価法と比較を行いながら実際に適用すると共に実用上の課題を整理し、環境評価を行う際の指針を形成することをその目的とする。

3. 調査の方法

非市場材の評価手法に直接法と間接法があることは、先に述べたとおりである。間接法の環境価値評価手法の一つであるヘドニック費用法 (Hedonic Price Method) においては、住居の移転に費用がかからないことが基本的に仮定されており、この仮定条件と住民の嗜好の均一性仮定の二条件が共に満たされない場合には、バイアスが発生する。従って、通常金銭的に計測可能な移動費用が住居の価格と比較して大きくなくとも外部費用分が大きいとすれば、ヘドニック費用法の適用の上で配慮すべき新た課題が生じることになる。

本年度の調査の目的の一つとして、ヘドニック費用法の適用性の検討の上で重要な転居の外部費用の評価を計ることを設定した。

また、本調査のもう一つの目的として、二分仮想金銭化法 (Dichotomous Choice Contingent Valuation Method) の応用それ自体を目的とした。二分仮想金銭化法は、わが国においては適用実績が少ないものの、諸外国においては最近急速に広がりつつある非市場財（環境等の市場を通じて価値が求められない財）の評価手法であり、わが国においても応用事例の積み重ねを通じて、評価技術の向上と、手法の確立を図っていくことが期待されるものである。

3.1 二分仮想金銭化法について

二分仮想金銭化法は、Bishop and Herberlein [1] によって最初に用いられ Hanemann [2] によって理論付けされた非市場財の経済評価手法である。通常の仮想金銭化法では、被験者の最大支払意志額 (WTP) または最小補償要求額 (WTA) が求められるまで被験者に問いを繰り返すか、ズバリ WTP または WTA を尋ねるのに対し、二分仮想金銭化法の場合には、被験者にある一つの額のみを提示し、この額を支払った上で対象の財が供給される場合と、支払いをしない代わりに対象財も供給されない場合のどちらが良いかを被験者に尋ねる。被験者毎に、提示する額は変え、多数の調査サンプルから、提示額の関数としての肯定回答率を求めることによって消費者余剰を求める。この方法では、被験者に提示された世界を被験者が額面通りに受け取る限りにおいて戦略的バイアスは生じない。なお、一人に一つの額を尋ねるのみでは大量の被験者が必要であることから、一人に対して２つの額を順次提示して尋ねる手法 (Double-bounded Method) も応用されているところである。

3.2 転居の外部費用

3.2.1 外部費用の範囲

本調査の検討においては、転居に際して金銭の支払いという形で確実に発生する分を除いた費用が外部費用であるものとする。外部費用の範囲をこのように定義するのは便宜上のためであって、実際の用地補償費の積み上げにおいてこれらの要素が外部費用として扱われている範囲であるとするものではない。本調査においては、通常金銭的に評価されていない価値を金銭評価することを通じて転居の社会的費用全体を求めることにその目的があるので、上のような定義を行えば十分である。表－１がこの定義による主な外部費用の内容である。

3.3 アンケート調査について

今回の二分仮想金銭化法の調査は、アンケート方式で行った。アンケート調査の対象は、関東１都７県とした。電話帳を用いた無作為抽出のため、未配達が９９に上った。今後の実施においては、何らかの方法で未配達を減らすことを検討したい。概要を表－２に示す。

3.3.1 調査質問内容

本調査で用いた二分仮想金銭化法の質問は、表－４及び表－５に示す通りである。表－４は近距離への転居の場合、表－５は中距離への転居の場合のものである。回答者に提示した金額は、表－３に示すとおりである。今回の調査では、１人の回答者に近距離と中距離の２ケースについて回答を得る

ことを基本としたが、２つのケースの提示額が互いに他のケースの回答に影響を及ぼすかどうかを確認するために、１ケースだけに回答するグループを設けた。（表－５参照）

3.3.2 調査ケースの設定理由

近距離への転居と中距離への転居の２ケースについて調査を行うのは、移転に伴う外部費用が近距離における移転の場合と中遠距離への移転の場合ではかなり異なると予想されることによる。特に、表－１の項目の内の環境適応費用と固有近隣環境価値損失費用は、近所への転居の場合には一般的に小さいと考えられるのに対して、中遠距離への転居の場合には相対的に大きくなるものと予想される。

表－１　主　な　外　部　費　用　項　目

項　　目	内　　容
時間損失費用	調査、荷造り、輸送、諸手続等に要する時間損失の費用。
引越作業リスク費用	引越中に発生する諸々のリスクの費用。リスクの内容は、作業中の怪我、運送保険でカバーしきれない分の家財の逸失・破損、運送会社との間のトラブルの発生等。
環境不確実性費用	転居先の住居及び周辺環境の不確実性に対応したリスクプレミアム。不確実性の具体的内容は、見た目ではわからない家の堅牢性や雨漏りの問題、近所の住民の気質等がある
環境適応費用	新しい環境に適用するために必要な費用。ご近所への引越挨拶の費用と時間、目的に応じた最善の買い物先や医者等の把握に必要な費用等が含まれる。
固有近隣環境価値損失費用	長年に亘って培った近所付き合い、独特の愛着を感じる環境要素等の単なる環境適応のみでは回復ができない費用。
固有社会環境価値損失費用	転職、通学先の変更等によって、自分の所属する固有の社会的環境から今まで受けてきた価値を失うことによる損失の費用。

表－２　ア　ン　ケ　ー　ト　の　概　要

アンケート実施日	１９９４年１１月
調査区域	関東８県（茨城、栃木、群馬、埼玉、千葉、東京、神奈川、山梨）
アンケート方法	電話帳を用いた無作為抽出による郵送法
アンケート配布数	３４０１（発送：３５００、宛先不明等による未配達９９）
回答数	８１１
回収率	２３．８％

このほか、時間損失費用に関しては、調査、諸手続に関する部分は中遠距離と近距離では異なるものの、荷造り、輸送に関する部分は差があまりないと考えられる。また、引越作業リスクの費用に関しては、移動距離に関わらず発生する部分と移動距離・時間に応じて発生する部分とがあると考えられる。さらに環境不確実性費用に関しては、家屋の造りの不確実性といった部分に関しては距離による差が小さいと考えられるが、近隣住民の気質の不確実性に関しては、近距離への移動の場合は小さいと考えられるのに対して、中遠距離の場合には相対的に大きくなると考えられる。このほか、固有社会環境価値損失費用に関しては、中近距離の移転の際には小さいと考えられるのに対して、遠距離の場合には大きくなるものと予想される。

表－3　提示額の設定パターン（単位：円）

提示番号	標本サンプル数	持ち家回答者		借家等回答者	
		近距離移動	中距離移動	近距離移動	中距離移動
1	300	25	40	1	2
2	200	50	80	3	5
3	300	75	130	5	10
4	200	100	200	8	20
5	300	150	300	12	30
6	200	200	450	18	50
7	300	300	750	30	75
8	300	500	1400	50	100
9	200	50	200	7	30
10	200	50	450	7	75
11	200	20	1400	7	200
12	200	200	80	50	10
13	200	150	200	50	30
3N	100	75	130	5	10
5N	100	150	300	12	30
3S	100		130		10
5S	100		300		30
合計	3500				

なお、遠距離への転居の外部費用の評価を今回の調査の対象としなかったのは、多額の費用を払った上での定住か遠距離への転居かの二者択一を尋ねた場合には、実際に多く発生すると予想される中近距離への移住という選択肢が含まれないこととなり、現実的な設定となり得ないと判断したことによる。

4. 調査の結果

アンケートの回収率は、表－2に示したとおり、23.8%と十分な回答数が得られた。

本アンケート調査の結果を示したのが図－1、2である。工事に必要とされる費用（支払い意志額）が大きくなるにつれて工事を選択する人の割合が減少していく傾向がはっきりと分かる。

ここで着目できるのは、住居所有の形態、移動距離により、転居の外部費用が大きく異なっているということである。持ち家で中距離移転の場合400万円程度の支払額に対しても約半数の人が工事の実施を選択している一方、借家の近距離移転の場合は、1万円の支払いに対しても工事の実施を選択する人の割合は、半分を下回っており、借家の近距離移転について見れば、移転の外部費用は非常に小さい。

この結果から、ヘドニック費用法で基本的に仮定されている住居の移転に費用がかからないことがある条件では成立する可能性があるが、別の条件では、この仮定に対して検討の余地のあることが示された。

表－４　近距離地点への転居における外部費用の調査質問

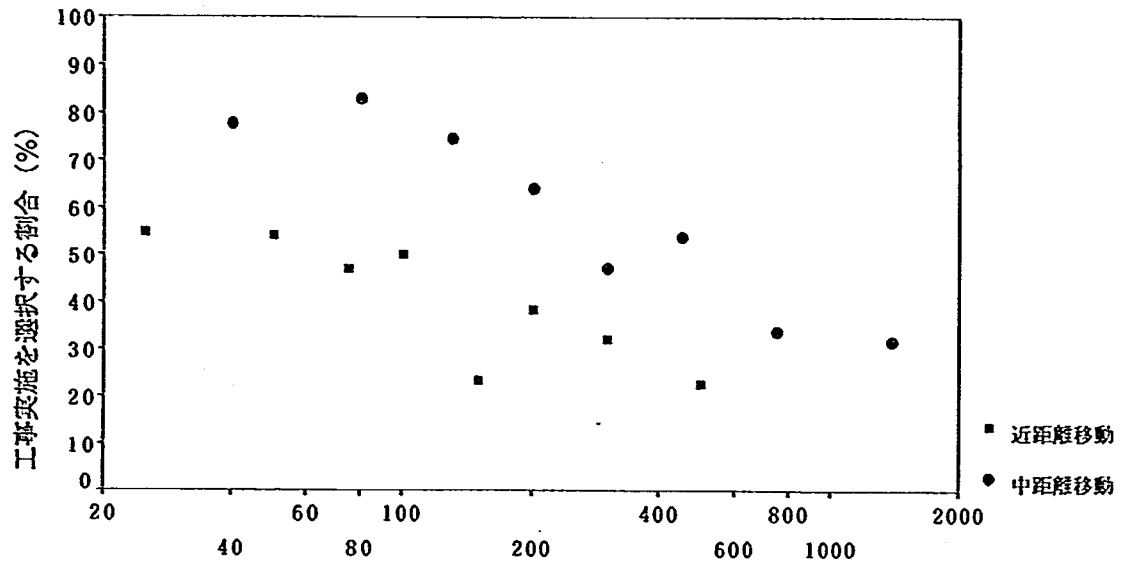
(1) あなたが現在住んでいる家の下の地盤に空洞があり、すぐに危険が生じる恐れはないものの、工事をしない限りは立ち退かなければならなくなったとします。
(2) 空洞を埋めて完全に安全な状態にする工事を行うためには、あなたは１００万円の費用を負担しなければなりません。
(3) なお、この工事では騒音や振動は出ず、工事中も普段通りの生活ができます。
(4) ところでこの話を聞いたある地質調査会社からあなたの土地を実験に使うために、あなたの土地・住宅とその会社の持っている土地・住宅を交換して欲しいという申し出がきました。
(5) 荷造りから荷ほどきまで、すべての引越作業はこの会社の負担と責任で運送会社がやってくれるという条件付きです。
(6) この社宅は、あなたの家から約３００メートルのところにあり、あなたの現在の家と同じ広さ、間取り、古さで、あなたがその家の中に実際に入って調べた印象では、造りや傷み具合などもあなたの今の家と同程度です。家の建っている土地の面積や形も全く同じだとします。
(7) なお、この土地・住宅の下に危険な空洞がないことは確認されているとします。
(8) また、工事を選んだ場合には希望があれば通常の銀行金利でのローンを利用できるものとします。
(9) さて、このような状況において、住宅の交換の申し出の受け入れか、１００万円を負担した工事の実施のどちらかを選択しなければならないとしたら、あなたはどちらを選びますか。下の該当欄の四角に↘印を付けて下さい。

（注：二重線部の金額は被験者毎に異なる。下線部は原文のまま。）

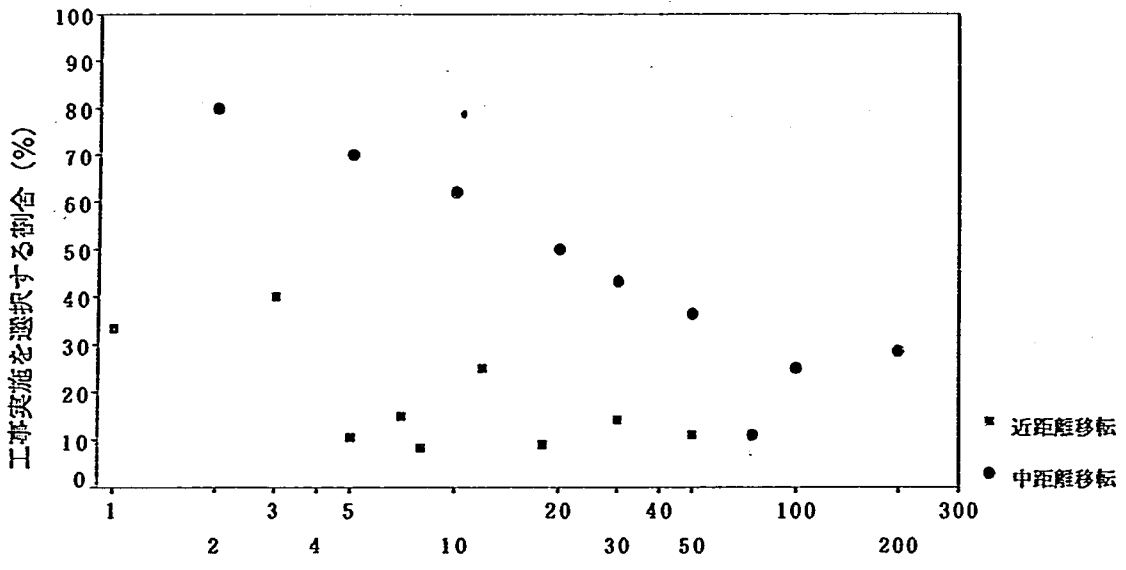
表－５　中距離地点への転居における外部費用の調査質問

(6) この住宅は、あなたの家から*バスと電車を使って約１時間*のところにあり、……
＜以下、表－２の(6)と同文＞

(7)と(8)の間に下の(7')及び(7")を挿入
(7') *また、周辺の環境や利便性も現在と変わらず、勤め先への通勤時間も現在と同程度であるとします。*
(7") *ただし、中学生以下のお子さんの通学先は変えねばならず、ご近所の方とのつきあいなども新しい環境の中で始める必要があります。*



図－1　持ち家の場合の工事実施選択の割合



図－2　借家の場合の工事実施選択の割合

5. 今後の問題点

本年度に実施したアンケート調査から移転について何らかの外部費用が存在している可能性が示唆された。今後は、この費用を同定するモデルを作成し、その費用を算出することが必要である。さらに、この費用を決定する要因を探ると共に、ヘドニック費用法の適用に際して考慮すべき点についても検討を行っていく必要がある。

参考文献

1)Bishop,R.C. and T.A.Herberlein(1979): Measuring Values of Extramarket Goods: Are Indirect Measures Biased?, American Journal of Agricultural Economics, 61, pp.926-930

2)Hanemann,W.M.(1984): Welfare Evaluations in Contingent Valuation Experiments with Discrete Responses, American Journal of Agricultural Economics, 66, pp.332-341

ダム周辺景観設計データベースの検討

環境計画研究室　室　　長　丹羽　薫
主任研究員　並河　良治
研　究　員　小栗ひとみ

1．まえがき

美しくうるおいのある景観の創出に関する社会的な要求の高まりとともに、周辺環境と調和した質の高いダムの建設がこれまで以上に求められている。特に沖縄においては、沖縄固有の自然景観、生態系、および歴史文化への配慮が不可欠である。事業の各段階において周辺環境との調和を視覚的に容易に予測できるコンピュータグラフィックスは、景観向上のための有効な支援システムであるが、データ作成のために膨大な時間を必要としている。そこで、景観画像を構成する様々な部品を蓄積し、景観シミュレーションにおけるデータ入力の効率化や、現実感の高い画像の生成を支援するデータベースの開発が期待されている。

2．研究目的

本研究では、ダム本体、取水設備、高欄、法面、水面などのダム景観構成要素や、塗料、コンクリートなどの景観材料、さらにはこれまでの優良景観事例に関するデータを蓄積したダム周辺景観設計データベースを開発し、事務所における景観設計を支援することを目的とする。

3．研究方法

3.1　データベースマネジメントシステムの設計

ダム周辺景観設計データベースについて、データの管理・制御を行うためのデータベースマネジメントシステムおよび3次元形状データを簡易に作成するための支援機能を設計した。設計にあたっては、①建設省が独自に開発を進めている景観シミュレータにおいて表示を行うものであること、②事務所分散型で稼働する基本機能の独自開発を行うが、将来のネットワーク化を想定して、容易に既存のデータベースソフトへ移行することが可能な形式とすること、③動作環境は、グラフィック・ワークステーション(ｼﾘｺﾝｸﾞﾗﾌｨｯｸｽ社製IRISｼﾘｰｽﾞ「Indy」)および汎用パソコン(WindowsNT3.5)の２環境とすること、④事務所の職員が特別の習熟期間を要さずに簡便に使用できるシステム設計とすることを前提とした。

3.2　沖縄景観データの作成

「沖縄らしい景観を構成する特徴的な要素」および「景観画像の部品としての一般的な周辺建物」について、景観シミュレーションに利用可能な３次元形状データまたはテクスチャーデータを作成した。なお、３次元形状データは、建設省版景観シミュレーションシステム（ＬＳＳ）のためのデータ形式（ＬＳＳ形式）で出力した。

4．研究結果

4.1　データベースマネジメントシステムの設計

4.1.1　データベースマネジメントシステムの設計

入力・登録機能では、画像データ（イメージファイル）、３次元形状データ（ＬＳＳファイル）および文字データ（テキストファイル）の入力・登録を実現した。また、検索・表示機能では、分類、日付、キーワードによるデータの検索および検索したデータの画像・文字情報の表示を実現した。

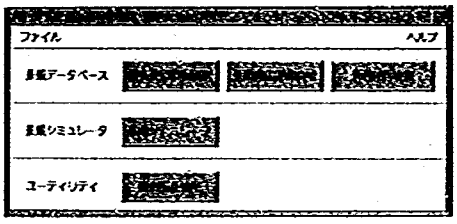


図-1　起動ウインドウ

4.1.2　３次元形状データの作成支援機能の設計

３次元形状データの作成支援機能として、基本図形の提供および配置などを行う簡易モデリング機能を実現した。また、ダム景観構成要素のうち法面工など８項目の要素について、パラメータの入力により形状を自動生成する機能を実現した。

4.1.3　プロトタイプ版の作成

以上の結果をグラフィック・ワークステーションおよび汎用パソコン上に実装し、プロトタイプ版を作成した。（図-１～２）

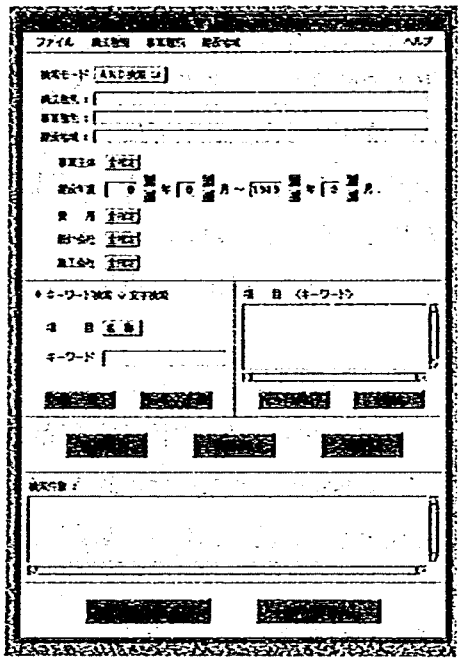


図-2 優良景観事例検索ウインドウ

4.2　沖縄景観データの作成

4.2.1　沖縄景観構成要素

沖縄らしさを表現する景観構成要素として、石積工法、石積アーチ、赤瓦とシーサーおよび瑞慶山ダム取水塔の３次元形状データおよびテクスチャーデータを作成した。（図-３～４）

4.2.2　周辺建物

周辺建物としては、屋根形状、建物形状などの異なる２４項目のデータを作成した。

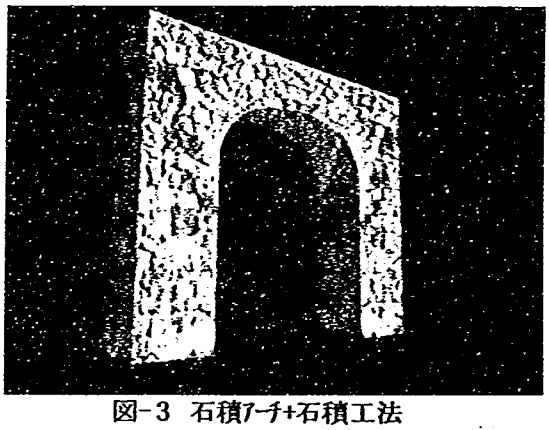


図-3　石積ｱｰﾁ+石積工法

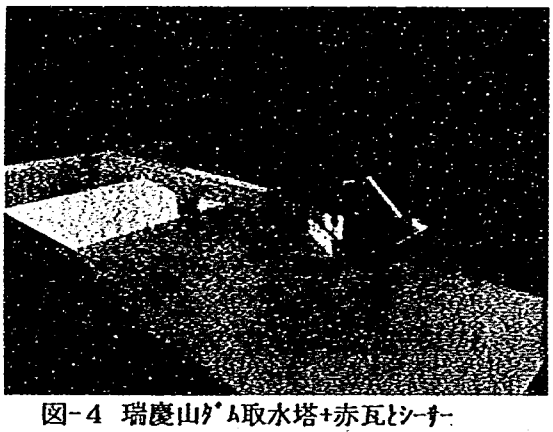


図-4　瑞慶山ﾀﾞﾑ取水塔+赤瓦とｼｰｻｰ

5．今後の課題

実用性の高いデータベースを構築するためには、ダム周辺の景観設計に必要なデータを充実させることはもとより、事務所等において試用・評価を行い、それらの結果に基づく改良および高度化を行う必要がある。

事業効果算定への環境指標の適用性に関する調査

環境計画研究室　室　　長　丹羽　薫
主任研究員　天野　邦彦

1．まえがき

環境指標は、環境に関するある種の状態を可能な限り定量的に評価するための物差しと定義できる。環境指標の効用としては、環境状態の効果的把握、地域間の環境の比較、環境のトレンドの把握、環境目標の設定の支援、各種施策の効果・影響の計測、調査・分析手段の提供、住民とのコミュニケーションの促進等が挙げられる。

本調査では、環境保全に関する事業効果算定への環境指標の適用性について検討を行う。

2．研究目的

河川計画策定の際には河川環境の保全を考慮した計画が立案され事業化されるが、治水、利水計画については、治水、利水安全度等によりその事業効果の定量的評価が行われているのに対し、環境計画についてはこの様な定量的評価が困難である。これは、環境の程度を表す具体的手法が利用可能でないことに帰因する。

本調査は、各種の環境の程度（質）を表現する手法（環境指標）を実際の流域に適用（或いは作成）し、それらの特性（適用可能性、必要データ、感度分析、利用目的等）を明らかにするとともに、環境計画の①意志決定支援②施策評価③情報交流・伝達④監視を試みることを目的とする。

3．研究方法及び研究結果

6年度は、①既往調査成果のレビュー、②環境の分類化、③社会資本整備（環境整備事業）の環境影響構造の検討、④水質指標の適用を行った。

3．1既往調査成果のレビュー

既存の指標研究についてレビューし、各々の研究における指標について、①指標名②利用目的③評価の主体及び視点④総合化手法⑤適用事例⑥説明変数（種類及び実際に使用したデータの量）⑦適用結果⑧問題点・課題をとりまとめた。

3．2環境の分類化

社会資本整備（環境整備事業）がインパクトを与える環境（対象）として、どの様なもの（構成要素）が存在するかピックアップする。また、これらの間の階層構造について構造化したチャートを作成した。

環境（対象）の第1次構造としては生態系要素、物理化学的要素（水質等）、社会文化要素、生活環境要素に分類した。表－1に作成したチャートを示す。

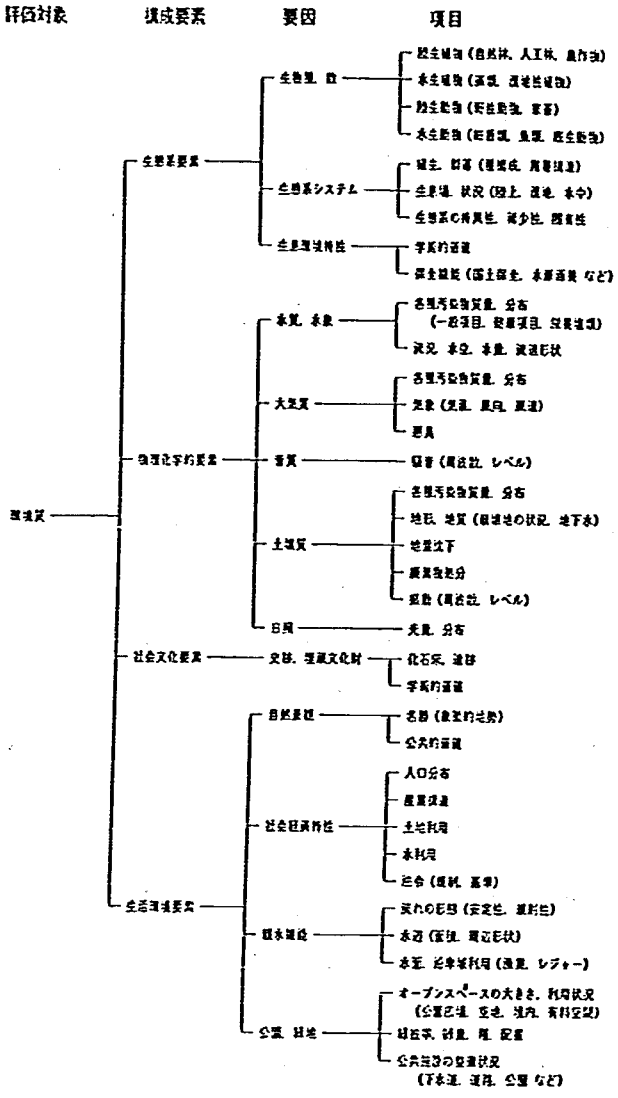
3．3社会資本整備（環境整備事業）の環境影響構造の検討

社会資本整備事業（本年度は主に河川整備事業）が、3．2で作成した環境構造チャート上のどの部分

にどの程度のインパクトを与えるかについてインパクトマトリクスを作成した。表－２はこのマトリクスである。

３．４指標の適用

元データが入手し易い河川水質を用いて、水質指標の試行計算を利根川水系を対象に行った。総合水質指標を用いることで、水質状況を表す容易な表現法となることがわかった。



表－１　環境の分類化

環境構成要素		インパクトの要素					
		河川改修		下水道整備		多自然型河づくり	
生態系	植物	流況の改善（安定化） 河道変更、水位変化 地下水位、水質の変動	○ △ △	地表の改変 基礎整備 地下水位の変化 土壌の変化、流亡	△ △ △ ×	植生の増加 河道変更、水位変化 地下水位、水質の変動	○ △ △
	動物	河道変更、水位変化 流量、流況の変化 産卵、繁殖物の影響	△ △ ×	地表の改変 動物物の影響	△ ×	生息地の再生 河道変更、水位変化 地下水位、水質の変動	○ △ △
	生態系	水系、水量の変化 開発成の変化	△ △	水質改善による効果	○	開発成の変化 水系、水量の変化	○ △
	生態環境特性	保全機能（国土保全） 学術的価値 （貴重種の保護）	○ △	保全機能（水質改善）	○	学術的価値 （貴重種の保護）	○
物理化学	水質	河道流量 水質変動、悪臭 基礎工 土壌流亡	○ △ △ ×	水質改善 悪臭、繁殖物悪臭	○ △	自然型河づくり 水質変動、悪臭 基礎工	○ △ △
	大気質	煤土、煤土（工事中） 資材運搬（工事中）	× ×	煤土、煤土（工事中） 資材運搬（工事中）	× ×	煤土、煤土（工事中） 資材運搬（工事中）	× ×
	音質	基礎気打ち（工事中） 運搬（工事中）	× ×	基礎整備（工事中）	×	基礎気打ち（工事中） 運搬（工事中）	× ×
	土壌質	振動、騒音 水質変動、悪臭	○ △	煤土、煤土 基礎整備 地表の改変	△ △ △	振動、騒音 水質変動、悪臭	○ △
社会文化	史跡・文化財	資材運搬（工事中） 文化財の破壊、破壊 （工事中）	△ ×	資材運搬（工事中） 文化財の破壊、破壊 （工事中）	△ ×	資材運搬（工事中） 文化財の破壊、破壊 （工事中）	△ ×
	自然景観	振動、騒音	△	地表の改変	×	振動、騒音	○
生活環境	社会経済特性			都市機能の向上 建築、基準への対応 水利用形態の変化	○ ○ △		
	緑水環境	河道形状、騒音変化 水面利用の状況 （漁業、レジャー）	△ △	水質改善による効果	○	河道形状、騒音変化 水面利用の状況 （漁業、レジャー）	○ ○
	公園・緑地	河川公園の整備	○			河川公園の整備	○

注）○：良好な影響を表します。△：悪影響をおよぼすおそれがある。×：悪影響をおよぼす。

表－２環境影響構造マトリクス

４．今後の問題

今後、環境指標総合化、適用可能性の検討について検討し、流域の環境計画や、事業効果の算定に使用可能な環境指標を作成する必要がある。

地球環境に関する調査研究

建設事業における地球環境影響を評価した社会的費用の算出に関する研究

建設省土木研究所環境計画研究室　室　長　丹羽　薫
主任研究員　並河　良治
主任研究員　安田　吾郎

1．はじめに

温室効果ガスによる地球の温暖化により海面上昇や気候の変動、またそれによる植生の変化など多くの影響をもたらすことが予測されている。温室効果ガスのなかでも、二酸化炭素は、排出量が多く温暖化に与える影響が大きい。温暖化防止の観点から建設事業においても二酸化炭素の排出量を削減することは社会的使命であると考えられる。そのため、建設事業に用いる各種資材等について地球環境影響を考慮した社会的費用を算出し当該社会的費用を工法や資材等の選択基準に応用した場合に建設事業においてどのようなCO_2削減効果があるかを調べることが社会的に要請されている。さらに、この研究の結果を資材等選択基準等に応用した場合に、直接的に建設事業に起因するCO_2の排出が抑制されると共に、それに伴って省エネルギー効果をももたらすことになる。

2．研究目的

本調査の目的は、建設事業に用いる各種資材等について地球環境影響を考慮した社会費用を算出することである。この調査の結果の応用により、直接的に建設事業に起因するCO_2の排出が抑制されるほか、社会的費用を明示的に示すことが可能になることによって、資材メーカー、建設業者等の間にCO_2削減に貢献する研究開発のインセンティブが高まり、通常の費用弾力性分析から予想されるCO_2削減量を大きく上回る削減効果が生じることも期待される。また、この取り組みの実施は、「環境と開発に関する国連会議」（地球サミット）のフォローアップ等の場でのわが国の立場の強化にも寄与すると思われる。この他、社会的費用による評価の概念を海外援助事業評価等に応用することも考えられる。

3．研究方法

今年度は、３ヶ年調査の初年度として、二酸化炭素排出量と地球上平均気温上昇量との関係に関する調査及び地球温暖化による総被害額に関する調査を行い、それらの結果から二酸化炭素排出の限界社会的費用の検討を行うと共に、建設資材等の品目毎の二酸化炭素排出量の検討を行った。

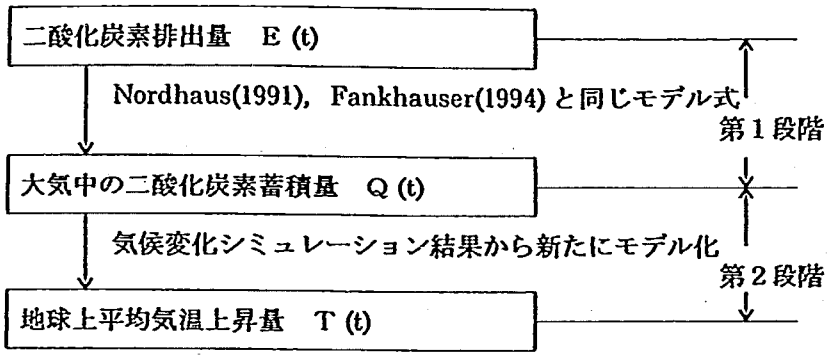
4．研究結果

4.1 二酸化炭素排出量と地球上平均気温上昇量との関係

4.1.1 調査の進め方

二酸化炭素排出量と地球上平均気温上昇量との関係を表わす場合のメカニズムの想定は、二酸化炭素排出から温度上昇までを２段階に分ける Nordhaus(1991a) 等の方法と、３段階に分ける Fankhauser (1994) [1] 等の方法がある。

本研究においては、Nordhaus(1991)、Fankhauser(1994)らの考え方が一致している第１段階については、彼らと同様のモデル化を行うこととする。また、彼らの手法が異なっている第２段階以降については、第２段階を大気中の二酸化炭素蓄積量から地球上平均気温上昇量を求めるところまでとし、モデル式は二酸化炭素増加の分析を行っている気候変化シミュレーション結果をもとに新たに推定することとした。（図－1参照）



図－1　本調査における気温上昇メカニズムの想定

4.1.2 二酸化炭素排出量と大気中蓄積量との関係

Nordhaus(1991a), Fankhauser(1994)等が拠所としている文献である Maier-Reimer and Hasselmann(1987) [2] に基づき、次式のように想定した。

$$Q(t) = \int_{-\infty}^{t} G(t-t')\,E(t')dt' \qquad (1)$$

E (t)　：ｔ年における二酸化炭素排出量

Q (t)　：ｔ年における二酸化炭素蓄積量

G (t-t')：ｔ＝ｔ'でδ－関数型の排出があったときの大気の応答

$$G(t) = A_0 + \sum_{j=1}^{N} A_j \exp\left(-\frac{t}{\tau_j}\right)$$

ここで、$N = 4$

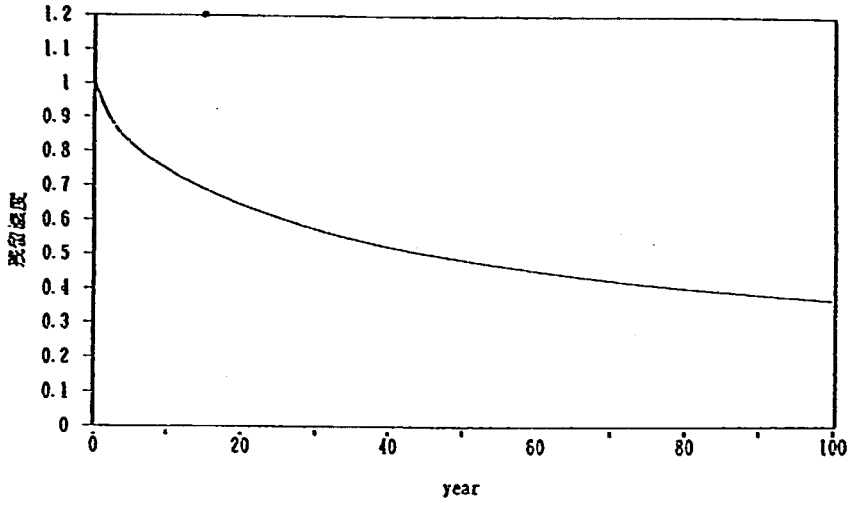
$(A_0, A_1, A_2, A_3, A_4) = (0.131, 0.201, 0.321, 0.249, 0.098)$

$(\tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_4) = (362.9, 73.6, 17.3, 1.9)$年

本式によった時の、大気中の二酸化炭素残留量の推移を図－２に示す。

4.1.3 二酸化炭素と地球上平均気温上昇量との関係

４ヶ国６機関で行われているCO_2漸増シミュレーション実験の結果を整理し、以下の６文献に基づいて検討を行い、(1) ＧＩＳＳ－Hansen et al. (1988) [3]、(2) ＧＦＤＬ－Manabe et al. (1991) [4]、(3) ＧＦＤＬ－Manabe and Stouffer(1994) [5]、(4) ＮＣＡＲ－Washington and Meehl(1989) [6]、



図－２　二酸化炭素を１単位排出する場合の大気中残留量の推移

(5) ＭＰＩ－Cubasch et al. (1992)[7] (6) 気象研究所－Tokioka et al. (submitted)[8]、式（２）により平均気温上昇量ΔＴ(t)を想定した。

$$\Delta T(t) = C_0 \ ln \frac{Q(t)}{Q(0)} \qquad (2)$$

ここでＣoは温度上昇のパラメーターであり、二酸化炭素漸増実験の平均値では2.88、IPCC(1990)[9]と結果を一致させるためには3.4である。

4.1.4 二酸化炭素排出量と地球上平均気温上昇量との関係

二酸化炭素排出量が式(3)で増加する場合（およそＩＰＣＣのBaU Senario（対策をとらない場合）に対応）の温度上昇量を図－３に示す。

$$E(t) = 2.83 + 0.071t \qquad (3)$$

4.2 地球温暖化による総被害額に関する調査

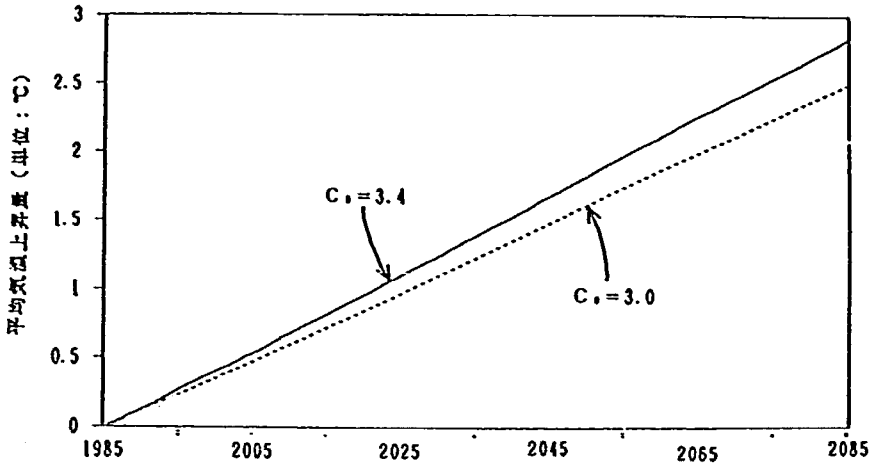
4.2.1 調査の進め方

地球温暖化の被害額を評価した研究は、Nordhaus(1991a[10], b[11])、Cline(1992)[12]、Fankhauser(1992[13], 1993[14])の３つがある。これらはいずれも、大気中の二酸化炭素濃度が産業革命以前のレベルの２倍になった場合に、地球上平均気温が2.5℃上昇すると想定して、発生する被害を可能な限り網羅的に評価したものである。

本調査においては、二酸化炭素２倍時に至るまでの経路における被害額も必要となるが、その想定はFankhauser(1994)に従うこととする。

4.2.2 二酸化炭素蓄積量２倍時の被害額

本調査では、Norlhous(1991a, b)及びCline(1992)を参考により詳細に検討を行ったFankhauser(1993)の3,042億ドルを採用した。



図－3　BaU Senarioにおける平均気温上昇量

前述の三者における二酸化炭素蓄積量の２倍時の米国における年間総被害額は、表－１に示すとおりである。

表－１　二酸化炭素蓄積量２倍時の米国の年間総被害額

文　　献	被害額（単位：十億ドル、1988年価格）
Fankhauser(1993)	68.0
Cline(1992)	53.5
Nordhaus(1991a, b)	48.6

4.2.3 二酸化炭素蓄積量２倍時に至るまでの被害額

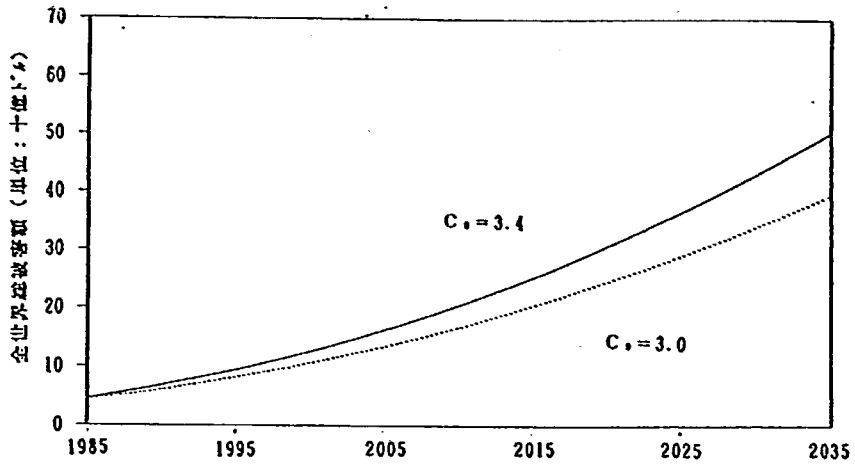
二酸化炭素蓄積量が産業革命以前の２倍のケース以外についての被害額を検討した研究はないので、それまでの被害額D (t) の推移については、 Fankhasuser(1994) と同様次式で想定した。

$$D(t)=H\left[\frac{\Delta T(t)}{\Lambda}\right]^{\gamma}\cdot(1+\phi)^{(t-t_0)} \qquad (4)$$

ここで、H、Λ、t_0はそれぞれ二酸化炭素２倍時の被害額、平均気温上昇量、年度であり、γ及びφは、γ＝１～３、φ＝0.006の値をとる定数である。図－４に、図－３に示した平均気温上昇の場合の被害額の推移を示す。

4.3　二酸化炭素排出の限界社会費用の検討

前節までの成果をもとに、二酸化炭素排出の限界社会費用の算定を行った。その結果を先行事例の結果と併せて、表－２に示す。二酸化炭素蓄積量の増加がＩＰＣＣ (1990) とほぼ同様の温度上昇をもたらすケース（C_0=3.4）及び二酸化炭素漸増実験にあわせたケース（C_0=3.0）ともに、先行事例のほぼ中央に位置する算定結果が得られた。



図－4　総被害額の推移（1988年価格）

表－2　二酸化炭素排出の限界社会費用（単位：ドル/C-t、1988年価格）

文　献　等		1990－2000	2001－2010	2011－2020	2021－2030
本調査	C_0=3.0	10.3	11.2	12.0	12.6
	C_0=3.4	13.1	14.2	15.1	16.0
Nordhause(1991a, b)		-	7.3	-	-
Ayres and Water(1991)		-	30-35	-	-
Nordhaus(1992)		5.3	6.8	8.6	10.0
Peck and Teisbery(1993)[15]		10-12	12-14	14-18	18-22
Fankhauser(1994)		20.3	27.8		

4.4 建設資材等の品目毎の二酸化炭素排出量の検討

建設資材等を１単位（m、㎥、ｔ等）生産する際に、直接・間接に排出される二酸化炭素量を二酸化炭素原単位と呼ぶこととする。資材mの二酸化炭素原単位λ_mは次の式により算定される。

$$\lambda_m = \mu_j \times p_m \qquad (5)$$

ただし、μ_j：資材mが属する産業ｊの単位生産額当たり二酸化炭素排出量（C-t/円）

p_m：資材mの単価（円／単位）

産業ｊにおける単位生産額当たり二酸化炭素排出量μ_jについては、産業間に保存則を適用することにより成立する。以下の式により算定される。

$$\mu_j X_j = \Sigma \mu_j X_{ij} + \Gamma_j \qquad (6)$$

ただし、X_j：産業ｊにおける総生産額（円）

X_{ij}：産業ｉから産業ｊへの取引額（円）

Γ_j：産業ｊにおいて、自然から取り出すか、または輸入により得たエネルギーにより排出される二酸化炭素量（C-t）

(5)、(6)式により算定を行った二酸化炭素原単位の例を表－３に示す。

表－3　二酸化炭素原単位の算定結果例

（単位：C-t/数量単位）

資材	数量単位	二酸化炭素原単位	資材	数量単位	二酸化炭素原単位
I形鋼（大形）	t	5.74×10^{-1}	ガードレール	m	1.28×10^{-2}
構造用丸鋼	t	3.63×10^{-1}	PC鋼棒	kg	1.54×10^{-3}
生コンクリート	㎥	6.07×10^{-2}	杉支柱丸太	本	7.19×10^{-5}
クラッシャーラン	㎥	4.16×10^{-3}	種子帯	m	6.64×10^{-6}
PC外圧管	本	1.33×10^{-1}	塩ビ止水板	m	1.83×10^{-3}
下塗さび止め塗料	kg	1.39×10^{-3}	PC鋼線	kg	1.09×10^{-3}
アスファルト合材	t	2.68×10^{-2}	鉄筋金網	㎡	4.79×10^{-4}

5．今後の課題

今年を求めた各建設材等の二酸化炭素原単位をもとに主要な工法における二酸化炭素排出量を算定し、二酸化炭素排出の限界社会費用をかけることによって地球温暖化に係る外部不経済を求め、社会的費用を算出することが今後の課題である。

＜参考文献＞

1)Fankhauser, S., "The Social Costs of Greenhouse Gas Emissions:AnExpected Value approach", Energy Journal, Vol. 15, pp. 157-184, 1994.

2)Maier-Reimer, E. and K. Hasselmann, "Transport and Storage of CO_2 in the Ocean. An Inorganic Ocean Circulation Carbon Cycle Model", Climate Dynamics, Vol. 11, pp. 63-90, 1987.

3)Hansen, J., et al., "Global climate change as forcasted by Goddard Institute for Space Studies three-dimensional model", Journal of Geophysical Research, Vol. 93, pp. 9341-9364, 1988.

4)Manabe, s., et al., "Transient responses of a coupled ocean-atomosphere model to gradual changes of atmospheric CO_2. Part I :annual mean response", Journal of Climate, Vol. 7, pp. 5-23, 1994.

5)Manabe, S., and R. J. Stouffer, "Multiple-century response of a coupled ocean atmosphere model to an increase of atmospheric carbon dioxide", Journal of Climate, Vol. 7, pp. 5-23, 1994.

6)Washington, W. m., andG. A. Meehl, "Climate sensitivity due to increased CO_2: experiments with a coupled atmosphere and ocean general circulation", Climate Dynamics, Vol. 4, pp. 1-38, 1989.

7)Cubasch, U., et al., "Time-dependent greenhouse warming computations with a coupled ocean-atmosphere model", Climata Dynamics, Vol. 8, pp. 55-69, 1992.

8)Tokita, t., et al., "Transient response study to the gradual increase of atmospheric CO_2 concntration with use of a coupled atmosphere-ocean model developd at the Meteorological Research Institute-quick report-", submitted to Journal of the Meteotological Society of Japan.

9)Intergovernmental Panel on Climate Change, Climate Change:The IPCCScientific Assessment, Cambridge University Press, 1990

10)Nordhaus, W. D., "A Skech of the Ecomonics of the Greenhuse Effect", American Economic Review, Papers and Proceedings, Vol. 81, pp. 146-150, 1991.

11)Nordhaus, W. D., "To Slow or not to Slow:The Economics of the Greenhose effect", American Economic Review, Papers and Proceedings, Vol. 81, pp. 146-150, 1991a.

12)Cline, W., "The Economics of Global Warming, Institute for International Economics, Washington DC, 1992

13)Fankhauser, S., "Global Warming Damage Costs: Some Monetary Estimates, Center fot Social and Economic Research on the Global Environment, University College London and University of East Anglia, CSEREG GEC Working Paper 92-29, 1992.

14)Fankhauser, S., "The Social Costs of Greenhouse Gas Emissions", in Y. Kaya, N. Nakicenovic, W. D. Nordhase and F. Toth(eds.), Cost, Ompacts andBenefits of CO_2 Mitigation, IIASA Collaboratibe Paper Series, CP93-2, Laxenburg, Austria, 1993.

15)Peck, S. C., and Teisberg, T. J., "CO_2 Emissions Control: Comparing Polecy Instruments", Energy Policy, Vol. 21, pp. 222-230, 1993.

歴史的・文化的土木施設の保存・活用に関する研究

美しい景観の創造技術の開発

歴史的・文化的施設の保存技術の開発

環境計画研究室　室　　長　丹羽　薫
河川環境研究室　室　　長　島谷　幸宏
環境計画研究室　主任研究員　天野　邦彦

1．まえがき

近年、生活の質の向上が望まれ、人工的景観に対する関心が高まってきている。しかし、第２次世界大戦以降、インフラストラクチャーとしての土木施設は、費用を削減するために標準化が図られ、このためしばしば、無個性で特色の無いものになることが多かった。種々の土木施設は、現在の日本の人工的景観に大きなインパクトを与えているため、その審美性の向上による質の向上が望まれる。

施設の景観デザインを考える際には、地域固有の歴史性・文化性を生かすことで、価値を高めることができる。特に、現存する近代以降の土木構造物を生かして新たな地域景観の核として利用することは、これらの歴史的・文化的価値を保存することにもなり、今後の地域計画において考慮されるべき手法である。

本研究では、歴史的・文化的価値をもつ土木施設の保存及び活用についての技術開発を行う。

2．研究目的

まえがきで述べたように、歴史的・文化的価値をもつ土木施設の保存及び活用についての技術開発を行うことが望まれているが、土木施設の歴史的・文化的価値の判断基準や、保存技術が確立されていないため、土木施設の歴史的・文化的価値の評価やこれらを保存、補修して地域計画に組み込み役立てる手法は確立されていない。本研究の目的は、以上の点をふまえて土木施設の歴史的・文化的価値の判断基準について検討することである。

3．研究方法及び研究結果

６年度は、土木施設の歴史的・文化的価値を考慮するために、既往研究論文を参考にして保存・活用のテーマ、価値基準について土木施設のもつ特性を考慮しとりまとめた。

また、全国の自治体に対して、地方史誌等を中心に土木施設に関連する資料の提供を依頼し、これら資料のとりまとめを行うために、データベース化を進めた。

3．1　保存・活用のテーマ

1）なぜ残すか

「歴史的建造物をその歴史や過去の技術を体現したものと見て、それを組み入れながら過去と連続したユニークな新しい環境を作ろうとすることに基礎をおいて保存活用する。」という考え方が主に建築物の保存活用法として示されている。地域のユニークな新しい環境をつくるための保存活用というのが、地域

計画に歴史的・文化的土木施設を組み込み役立てる際の考え方としても、示唆的であると考えられる。

2）何を残すか

歴史的・文化的土木施設をなぜ残すのかについての考え方の方向が定まった後は何を残すかという疑問が生じるため、この問題についてとりまとめた。その結果、以下に示す特性をもつ土木施設が保存するべきものとしてまとめられる。

①土木技術の発達過程を具体的に示す典型的な施設

②各時代の代表的な土木技術者の主要計画（設計）施設

③自然景観または都市景観の上で重要な位置を占め、更新により著しく景観を破壊するおそれのあるもの

④地方史の上で重要な意義を持つ記念碑的な施設

3）どう残すか

なぜ、何を残すかという疑問に対する方向性が提示された後は、これら土木施設をどう残すかという疑問が生じる。これは、土木構造物が、経済等地域の人間活動に不可欠の機能を果たしていることや、住民の生命、財産を保護する機能を満たさなければならないことが多いため、重要な点である。どう残すかについての方向性は、以下の様である。

①歴史的土木施設は、原則として現環境、現位置で再利用することが望ましい（現地利用主義）

②歴史的土木施設は、原則として、本来用途または本来用途に近い用途で再利用するよう努力すべきである。土木施設の更新が問題となるのは、物理的耐用年数をすぎた場合よりも社会的耐用命数を喪失した場合が一般に多い。したがって、補完的施設を新設または付設して歴史的土木施設を残存することが望まれる。反面、現役機能を持たない記念碑的な再生もありうる。

③歴史的施設の再利用計画は、機能回復計画をまず検討し、それを踏まえて考究されるべきである。

④土木施設には、本質的に移設が不可能な運河、道路などの移動不能施設と、現位置から切り離し再利用計画を検討することが可能な橋梁、灯台などの移動可能施設とがある。両者で再利用可能の適用範囲がかなり異なり、移動不能施設が方法の制約が多いことは言うまでもない。建築物と比べて移動可能施設が少ないことが、土木施設の一つの特徴である。

⑤再利用方法には、歴史的土木施設の全体を利用する形式と、部分利用の形式とがある。ただし後者は、利用以外の施設を廃棄して良いというものではない。

⑥建築物に類似した形態の歴史的土木施設は外見のみを保持し、内部は本来の特徴を決定的に改変しない限り変更し、および現代的設備を取り付けることは、認められるべきである（ファサード保存）

⑦歴史的土木施設は原則として創建時の形態に修復し、後代の付加物は除去するのが望ましい。（原初形態復原主義）

⑧歴史的土木施設は、現代の材料で再建することも考慮すべきである。例えば、錦帯橋がそれで「古いものを新しく造る」方式である。

3．2評価基準

前項の何を残すかということに関連して、参考に国宝、重要文化財を指定する際の基準について挙げた後、土木施設の価値基準の考え方についてまとめた。

1）国宝、重要文化財を指定する際の基準

国宝、重要文化財を指定する際の基準としては、以下の4点が挙げられている。

①意匠的に優秀なもの

②歴史的に価値高いもの

③学術的に価値高いもの

④流派的または地方的特色において顕著なもの

（以上の4項目が現在の基準）

さらに、以下の2項目について、建築物についての保存基準として追加し考慮することを提案する文献があったが、土木施設にもあてはまると考えられる。

⑤建築思想の上で重要な作品であること

⑥都市景観上あるいは都市の発展上重要な意義を持つもの、群として景観上の価値が高いもの、文化史上の価値が高いもの、現在では再現が極めて困難で希少価値を有するもの

2）土木施設の価値基準

歴史的・文化的土木施設の保存・活用を考える際、逆説的に保存問題が意識されない土木施設ほど良い土木施設といえる。歴史的・文化的土木施設を保存するためには、土木施設の有する三側面「用・強・美」が三位一体となることが肝要である。また、歴史的土木施設とは、政治経済史的に、また、社会的に、もしくは技術史的に、大きな意義をもつ土木施設といえるため全国的に意義をもつものと地域地方的に意義をもつものとがあり、一義的尺度で一元評価を行うことは、必ずしも適当ではない。

以上、既往文献を参考に、土木施設の歴史的・文化的価値を考慮するために、既往研究論文を参考にして保存・活用のテーマ、価値基準について土木施設のもつ特性を考慮しとりまとめた。この他、土木史研究より、歴史的・文化的土木施設の価値判断の事例を本報告の末に補遺として示す。

3．3地方自治体史からの資料整理

全国の地方自治体より提出された地方史誌等を中心とした土木施設に関連する資料のとりまとめを行うために資料のデータベース化を進めた。6年度は、山形、岐阜、愛知、兵庫の4県の資料について図－1に示す帳票形式にまとめた。名称、出典、所在地、竣工年、キーワードについては、電算化し、必要な資料が容易に検索出来るようにした。

名称：　　出典、ページ：　　コード：	
所在地：	
竣工年（月日）：　　年　月　日　（　世紀）	
キーワード： ①地形・地質等の概況 ②地名の由来、（都市ならば）立地の由来 ③交通に関する記述（街道、橋、鉄道、軌道、路面電車、港湾、河港、舟運、道路、宿場、トンネル ④水利・防災に関する記述（新田開発、用水・上水、治水工事、海域開発、干拓、河川、堤防、渇水（干ばつ）、かんがい、ダム、貯水池（ため池）、水門） ⑤風水害に関する記述（水害、地震、大火、津波、火山　等） ⑥都市に関する記述（条里制（律令時代）、城下町の成立、築城、都市の成立、都市化、公園、緑地、都市計画等） ⑦工業に関する記述（電気、ガス等） ⑧上・下水に関する記述（上水、下水、井戸、伝染病　等） ⑨文化に関する記述（市民生活、宗教（全て）、芸術（川、道、港など土木に関するものに限定）、年中行事、習俗、民間信仰）	
市町村誌における記述	

図－1　全国歴史的土木施設等データベース様式

4．今後の問題

6年度は、保存・活用のテーマ、価値基準について土木施設のもつ特性を考慮しとりまとめると共に、全国の自治体の地方史誌等を中心に土木施設に関連する資料のとりまとめを行うために、データベース化を進めた。今後、このデータベースを全都道府県について作成し、全国的にみた歴史的・文化的土木施設資料を作成する必要がある

（補遺）土木史研究にみる歴史的・文化的土木施設の価値判断事例

論文名）	（価値判断の根拠等）
通潤橋について	わが国最大、新工夫、最初の技術、優れた技術
江戸時代の心斎橋について	維持管理の意味の重み
四谷見附橋のデザイン思想と周辺景観の歴史的変遷	地域環境デザインの思想がある。最古の陸橋。
東京における黎明期の地下鉄づくりに対する史的考察	財政的観点から見た困難性の克服。

湖沼の水質保全に関する研究

（補遺）土木史研究にみる歴史的・文化的土木施設の価値判断事例（つづき）

論文名）	（価値判断の根拠等）
琵琶湖疎水の長等山トンネルと竪坑	技術的困難性
毛馬第２閘門の調査と保存	手造りの味
大河津分水と満願寺水門	大規模技術
田沢湖疎水トンネルの歴史的評価	酸性河川水に苦しむ住民を私財をなげうって事業を完成。現代に到り公共下水道事業の下水道管敷設に利用された。
辰巳用水と兼六園	大規模な逆サイフォン管路の設置
震災復興橋梁の計画とデザイン的特徴	都市景観を考慮した構造形式、オープンスペース、デザインをチェックする機関があった。アーバンデザインポリシーのもとの事業。
明治期の水利施設のデザインに関する考察	デザインの特徴を整理し、その精神的背景を分析し、デザインの位置づけについて考察。欧州では最新技術の産物に正当な装いを与えるという発想が受け入れられていたが、日本では存在感のある意匠表現として古典主義的意匠を採用した？
水戸市及び足利市の浄水場における洪水との戦い	水防への配慮。保存状態がよく当時の状況が良く記録されている。
親不知のみち	地形地質の悪さとの戦い。難工事。
港とまちの空間構成上の関連に関する史的研究	港とまちを強く関連づけるための空間構成上の方法として ①方向性を与える ②連続性を与える ③焦点を設ける ④多様な視点場をおく ⑤港湾施設と港内ゾーニングに工夫する
千曲川における寛保２年８月大洪水の考察	寛保２年の大洪水の規模と形態を各地に散在する文献史料の収集、分析と洪水痕跡の測量による洪水位の推定から明らかにした。
信越線横川駅跨線橋の保存対策と碓氷線に残る歴史的土木構造物群	全国で初めて橋脚４本の現地保存がなされた。記録保存・部材の強度試験など古い土木構造物を取り壊す時の一つのルールを提供した。
再現モデルによる定住化過程の分析	歴史的研究において正確なデータの入手が困難なため、現時点で豊富なデータを用いて地域モデルを作成し、過去に遡り後方展開する再現モデルを考察。

（補遺）土木史研究にみる歴史的・文化的土木施設の価値判断事例（つづき）

論文名）	（価値判断の根拠等）
わが国で最初のマルチプルアーチダム豊稔池の建設	設計施工の困難性。わが国初の工法の採用。
旧城下町における鉄道の導入とその後の町の変容に関する研究	風土のような計量しがたい要素を含む都市のポテンシャルと鉄道の関係
土木施設の快適環境づくりへの寄与	土木事業により形成され、快適な環境として人々に認識される空間、素材。公園をはじめとして、国土保全の土木事業が実施された自然地、さらに土木施設が座る環境空間が快適環境資源になる。市街地の丘や水辺（窪み）などの人間が認知しやすいスケールの多様な地文を活用することで得られる。
宝暦治水の回顧 蛇籠に関する歴史的考察	武士道の精華に感服。 蛇籠の特性を生かした現代的な利用法が積極的に検討されることを期待。
霞堤の機能と語源に関する考察	霞堤の機能には１）破堤した場合の氾濫水のすみやかなる河道還元 ２）遊水機能の２種類があり、河床勾配により分類すべき。 現代の治水における考慮。
九十九橋架替の土木史的考察	住民に対するアンケート調査を通して、施設の利用状況と、施設に対する評価や愛着度を明らかにし、土木史的土木計画のあり方を考察。
絵地図に見る万世橋と橋詰広場の歴史的変遷	万世橋の架橋と橋名の変遷。
フランスの歴史的石造アーチ橋の形態と意匠	土木意匠の時代と地域による体系化。形態・意匠要因がどの様な印象を与えるか。土木意匠における土木史の役割についての方向性。
日本の吊橋の変遷について	日本の吊橋の変遷
遠賀堀川の果たした役割と再生について	役割の時代変遷による変化。近時の環境保全意識の高まり、住民の遺構保存の気運の活性化。
人造石工法（たたき）の遺産の調査とその保存	伝統的材料の保全

環境保全・回復・創造に関する研究

湖沼，貯水池の水質保全・回復に関する研究

湖沼密度流の水質に及ぼす影響に関する研究

環境計画研究室　室　　長　丹羽　薫
主任研究員　久納　誠
研　究　員　久保徳彦
真田誠至

1．まえがき

湖水の有効利用のためには、水の量とともに質の管理も適切に行う必要がある。流域から流入される栄養塩類と、水温成層による表層水の滞留により、好ましくない藻類が異常増殖することになり、アオコや淡水赤潮、水道水のカビ臭など深刻な問題を引き起こしている。これらの現象は湖水の流動に大きく影響を受けており、湖水の流動を制御することにより、好ましくない藻類の異常増殖を抑制できることが考えられる。また水温成層が形成される時期の湖水の流動は水温差により生じる密度流が卓越している。

５年度は、湖沼密度流制御による水質保全の原理の検討、及び散気方式の曝気や流入河川水によって生じる密度流を現地調査により検討した。６年度は、引き続き現地調査を行い流動のメカニズムを把握する。

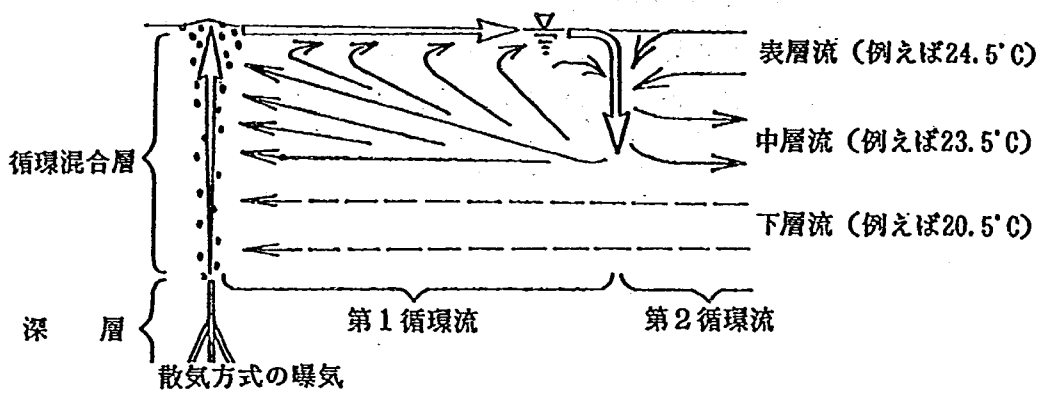
2．研究目的

流動制御システムは、散気方式の曝気によりダム湖全域の曝気水深以浅の水塊を強制的に移動させることにより、ダム湖の水質を制御するものであり、流動制御システムにおける曝気による湖水の流動メカニズムを測定し、水の動きを把握し流動のシミュレーションの構築を目的とする。

3．研究方法及び研究結果

3．1　曝気装置周辺の流動概況

６年度までに循環流制御設備において、散気方式の曝気装置周辺の流動概況を測定した。散気方式の曝気装置周辺の流動を二次元及び三次元の電磁流速計を用いて測定した。散気方式の曝気装置周辺の湖水の挙動は、測定結果より図－１に示すような二つの循環流となっている事を確認した。以上の測定をもとに散気方式の曝気による湖水の挙動を推測する。散気方式の曝気により第１循環流が生じる。第１循環流は、図－１に示すように第２循環流の表層から温水（例えば24.5°C）を、第２循環流の下層から冷水（例えば20.5°C）を引き寄せ、両者を混合して中間水温（例えば23.5°C）とし、これを第２循環流の中層流として押し出す働きをする事を５年度までに確認していたが、さらに６年度には電磁流速計の測定精度を向上させ実測値によるシミュレーションモデルの構築及びそのモデルを使用しての再現計算を行った。



図－１　散気方式の曝気により生じる流動模式図

３．２　現地測定による表層流量の把握

循環混合層は図－１の様に表層流と中層流と下層流に分けられる。この中で表層流は水面より電磁流速計でかなり正確に実測することが出来るようになった。中層流は表層流と下層流とが合わさった流動である。下層流は流動制御に伴う水温鉛直分布の経時変化と表層流の実測値を用いてシミュレーション計算することにより求めることができる。平成５年９月と平成６年８月に耶馬渓ダム（堤高62m、総貯水容量2,330万m^3、湛水面積1.1km^2、流域面積89km^2）において曝気装置周辺の第２循環流の表層流を電磁流速計で測定した。測定項目は、①曝気水深、②空気量、③曝気中心を通る水平方向の流速、④曝気水深以上の水温鉛直分布、とした。空気の出し方は単一孔とした。測定結果を表－１に示す。ここで第２循環流の表層流量を、①曝気水深、②空気量、③表層流と下層流の密度差、の関数とすると次式を得る。

$$Q_u = k_u \cdot H^x \cdot A^y \cdot \Delta\rho^z \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1)式$$

Q_u ；第２循環流の表層流量（m^3/sec）
k_u ；表層流量の係数
H　；曝気水深（m）
A　；空気量（ℓ/min）
$\Delta\rho$ ；表層流と下層流の密度差（g/cm^3）

平成５年９月の実験では、Aを一定にしてHを変数として測定したが、HとQ$_u$との関係より概ねx＝１となった。平成６年８月の実験では、Hを一定にしてAを変数として測定したが、AとQ$_u$の関係より概ねy＝0.5となった。なお、ベルヌーイの定理より$\Delta\rho$とQ$_u$の関係を検討するとz＝0.5となることが想定できる。

標準値としてH＝15m、A＝3700ℓ/min、$\Delta\rho$＝0.00050g/cm^3と定め、x＝１、y＝0.5、z＝0.5と仮定し、全データをこれらの値を用いて、表層流量の補正値Q$_u$'（m^3/sec）を得る。表－１を補正した結果を表－２に示す。また、HとQ$_u$'との関係、AとQ$_u$'との関係、$\Delta\rho$とQ$_u$'との関係を図－２に示す。図－２はHの横軸をリニア、A及び$\Delta\rho$の横軸をルートで図示してあるので、x＝１、y＝0.5、z＝0.5であることが確認できた。なお、表－１よりk_u＝0.36となる。よって次式が得られる。

$$Q_u = k_u \times H \times \Sigma (A_n)^{1/2} \times (\rho_d - \rho_u)^{1/2} \cdots\cdots\cdots (2)式$$

k_u；表層流量の係数（$k_u = 0.36$）

A_n；任意の曝気装置の空気量（ℓ/min）

ρ_u；表層流の平均密度（g/cm³）

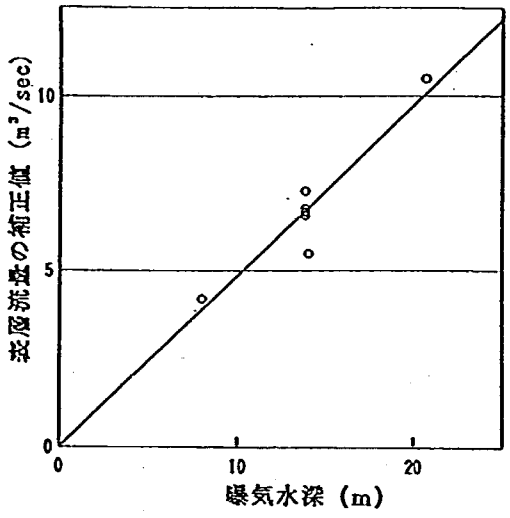
ρ_d；下層流の平均密度（g/cm³）

表－1　第２循環流の表層流量の測定結果

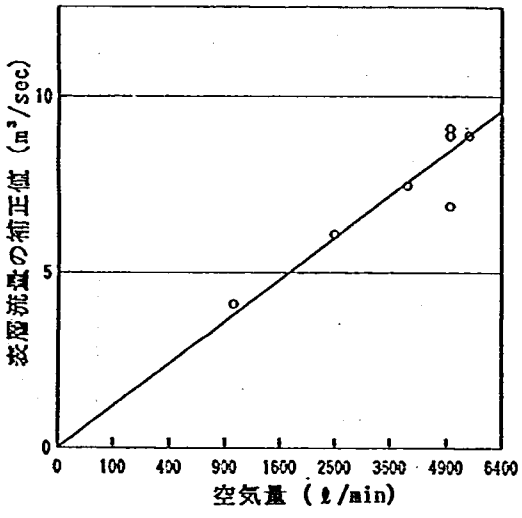
測定場所及び年月日	第２循環流表層流量 (m³/sec)	曝気水深 (m)	空気量 (ℓ/min)	表層流水温 (℃)	表層流密度 (g/cm³)	下層流水温 (℃)	下層流密度 (g/cm³)	密度差 (g/cm³)	係数
耶馬渓ダム H5. 8.23～24	10.4	13.8	5500	27.5	0.99637	24.5	0.99717	0.00080	0.359
	8.7	13.8	4000	27.5	0.99637	24.5	0.99717	0.00080	0.352
	7.1	13.8	2500	27.5	0.99637	24.5	0.99717	0.00080	0.354
	4.8	13.8	1000	27.5	0.99637	24.5	0.99717	0.00080	0.339
		{8/24の貯水位 155.0m 曝気標高 141.2m}		{8/23の測定値 水深0.5m}		{8/23の測定値 水深9.5m}			
耶馬渓ダム H5. 9.28	9.0	20.7	5000	20.3 (水深0.75m)	0.99814	19.0 (水深14m)	0.99841	0.00027	0.374
	6.2	14.0	5000	21.4 (水深0.5m)	0.99790	19.2 (水深9.5m)	0.99837	0.00047	0.289
	4.6	8.0	5000	21.6 (水深0.25m) {9/28の測定値}	0.99786	19.5 (水深6m) {9/28の測定値}	0.99831	0.00045	0.383
代表値	－	13.8	5000	－	－	－	－	0.00040	平均 0.360

表－２　第２循環流の表層流量の補正結果

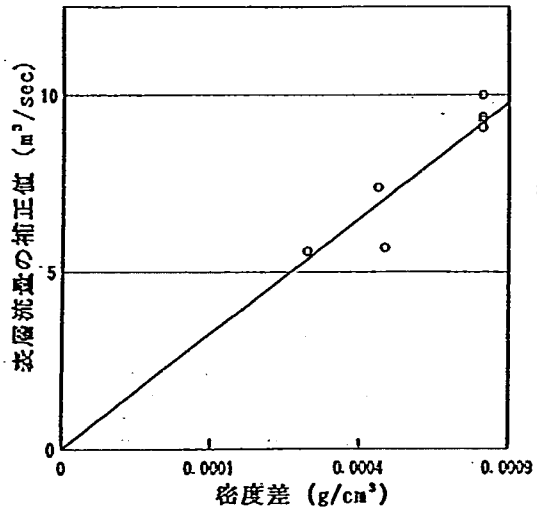
測定場所及び年月日	表層流の実測値 (m³/sec)	曝気水深 (m)	空気量を3700ℓ/min、密度差を0.00050g/cm³に補正した場合の表層流量 (m³/sec)	空気量 (ℓ/min)	曝気水深を15m、密度差を0.00050g/cm³に補正した場合の表層流量 (m³/sec)	密度差 (g/cm³)	曝気水深を15m、空気量を3700ℓ/minに補正した場合の表層流量 (m³/sec)
耶馬渓ダム H5. 8.23～24	10.4	13.8	6.7	5500	8.9	0.00080	9.3
	8.7	13.8	6.6	4000	7.5	0.00080	9.1
	7.1	13.8	6.8	2500	6.1	0.00080	9.4
	4.8	13.8	7.3	1000	4.1	0.00080	10.0
耶馬渓ダム H5. 9.28	9.0	20.7	10.5	5000	8.9	0.00027	5.6
	6.2	14.0	5.5	5000	6.9	0.00047	5.7
	4.6	8.0	4.2	5000	9.1	0.00045	7.4



注）表層流量の補正条件は、
空気量；3700ℓ/min、
密度差；0.00050g/cm³とする。



注）表層流量の補正条件は、
曝気水深；15m、
密度差；0.00050g/cm³とする。



注）表層流量の補正条件は、
曝気水深；15m、
空気量；3700ℓ/minとする。

図－２　表層流量と曝気水深、空気量、密度差との関係

３．３　水温鉛直分布の経時変化による下層流量の把握

現地観測により得られた測定結果をもとにして、散気方式の曝気によるダム湖の流動を再現できる鉛直一次元シミュレーションモデルを構築する。ダム湖全体の水質保全に直接寄与するのは循環混合層のうち第２循環流である。そこで第２循環流に着目して循環混合層の流動を的確かつ簡便に再現できる鉛直一次元シミュレーションモデルを作成する。流動測定結果より得られた流動制御に伴う第２循環流における水平流動の鉛直分布を、シミュレーションモデルに使用するために図－３に示すような簡略化したモデルとした。

図－３に対応する表層流量Q_s、中層流量Q_m、下層流量Q_dを次式に示す。

$$Q_s = k_s \times H \times \Sigma (A_n)^{1/2} \times (\rho_d - \rho_s)^{1/2} \cdots\cdots (2)式$$

$$Q_m = Q_s + Q_d \cdots\cdots (3)式$$

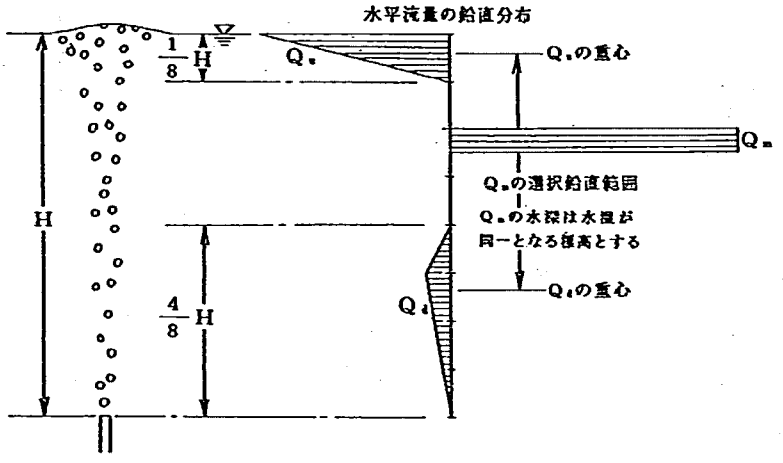
$$Q_d = k_d \times H \times \Sigma (A_n)^{1/2} \times (\rho_d - \rho_s)^{1/2} \cdots\cdots (4)式$$

Q_m；第２循環流の中層流量 (m^3/sec)

Q_d；第２循環流の下層流量 (m^3/sec)

k_d；下層流量の係数

表層流量Q_sは、鉛直分布範囲を水深H＝０からH＝1/8とし、頂点をH＝０とした三角形分布とする。中層流量Q_mは一層分の厚さの分布とし、水温鉛直分布の中で自身と等しい水温の水深をQ_mの流入位置とするが、選択できる鉛直範囲はQ_sの重心からQ_dの重心までとする。下層流量Q_dは、鉛直分布範囲を水深H＝4/8からH＝8/8とし、頂点をH＝5/8 とした三角形分布とする。図－５に示すモデルは、分割層毎の流出及び流入量に換算した上で、ダム湖水理及び水質の数値解析モデルである鉛直一次元シミュレーションモデルに組み込んだ。ここで、k_sは表－１より実測値0.36を用いるが、k_dについては、釜房ダムと耶馬渓ダムにおいて流動制御のもとでの水温鉛直分布の経時変化の実測値とシミュレーション計算結果とを比較することにより、推定した。比較計算は釜房ダムと耶馬渓ダムとの２ケースを実施したが、検討条件を表－３に示す。シミュレーション計算においてk_d＝0.18の場合の計算結果を図－４に示すが、実測値とシミュレーション計算結果とが概ね一致しので(4)式におけるk_dは0.18とする。

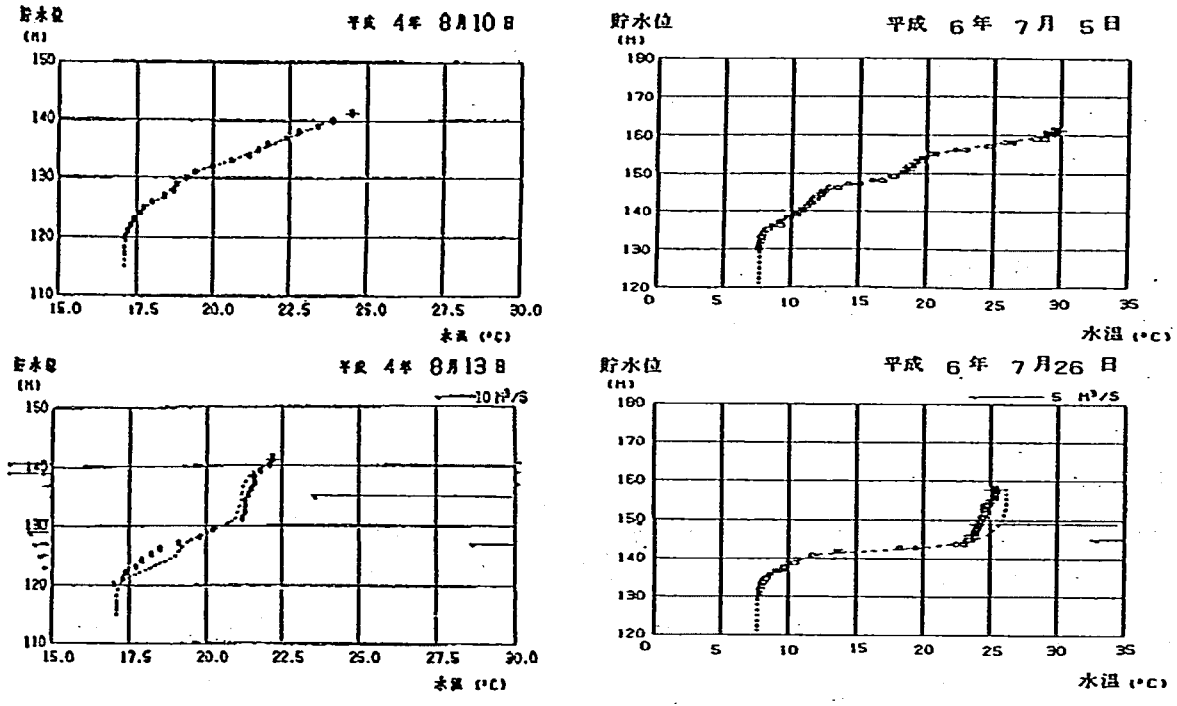


図－３　シミュレーション計算に用いた水平流動分布モデル

表－３　実測とシミュレーション計算との検討条件

項　目	ケース１（釜房ダム）	ケース２（耶馬渓ダム）
検討期間	平成４年８月10日～８月27日	平成６年７月５日～９月27日
空気量	3700ℓ/min×１基 950ℓ/min×５基 （空気の出し方は単一孔）	5000ℓ/min×１基 （空気の出し方は単一孔）
流入河川水	１日の流入河川水を６時間毎に分け４つの水温の異なるデータとして入力した。	
渦動拡散係数	5×10^{-7}とした。	
日射量	観測値×1.2とした。	

釜房ダム　　耶馬渓ダム



図－4　実測値とシミュレーション計算結果

3．4　流動総合評価

（1）流動制御システムにおいて曝気を行うと、ダム湖全域にわたり曝気水深以浅に３層に分かれた水平方向の流動が生じる。そのうち表層流と下層流は曝気に引き寄せられる方向に生じ、中層流は曝気から遠ざかる方向に生じる。

（2）表層流と中層流と下層流の大きさは、曝気水深、空気量、及び表層流と下層流との密度差の関数となっており、以下の式で表すことができる。

$$Q_u = k_u \times H \times \Sigma (A_n)^{1/2} \times (\rho_d - \rho_u)^{1/2}$$

$$Q_m = Q_u + Q_d$$

$$Q_d = k_d \times H \times \Sigma (A_n)^{1/2} \times (\rho_d - \rho_u)^{1/2}$$

Q_u；第２循環流の表層流量（m^3/sec）　k_u；表層流量の係数（単一孔の場合は0.36）

Q_m；第２循環流の中層流量（m^3/sec）　k_d；下層流量の係数（単一孔の場合は0.18）

Q_d；第２循環流の下層流量（m^3/sec）　A_n；任意の曝気装置の空気量（ℓ/min）

ρ_u；表層流の平均密度（g/cm^3）　ρ_d；下層流の平均密度（g/cm^3）

H　；曝気水深（m）

4．今後の問題

６年度までに、湖沼にて曝気循環を行った際の密度流の水理的メカニズムは、把握することができた。今後の課題としては、湖沼密度流による水質のシミュレーションモデルの開発を行う必要がある。

国立機関公害防止等試験研究費

湖沼等における糸状藻類を活用した富栄養化対策に関する研究

環境計画研究室　室　　長　丹羽　薫
主任研究員　久納　誠
研　究　員　久保徳彦
真田誠至

1．はじめに

自然湖沼や人工湖等の閉鎖性水域においては、過剰な栄養塩類が流入するために富栄養化が進行し、好ましくない植物プランクトンが異常増殖する要因となっている。植物プランクトンが異常増殖することによって、水の華、水道水のカビ臭、魚類のへい死、親水活動の阻害など様々に深刻な問題を引き起こしており、早急な解決が望まれている。これらの自然湖沼や人造湖等における富栄養化現象を糸状藻類を活用した栄養塩類を除去する水処理技術の確立が急がれている。

6年度は糸状藻類の生息環境の把握や、栄養塩類を除去するための原理について研究した。

2．研究目的

本研究は、現地調査を行い水質浄化に適用可能な糸状藻類の生息環境を把握し、糸状藻類の増殖設備構造や浄化設備の検討を行い、実際に人為的コントロールして増殖を行い、本システムの原理を確立するのが目的である。

3．研究方法

上流域や中流域の河川や、湖沼、水田、及び浄水場等を現地調査し、糸状藻類の生息環境を季節や流況による違いについて調査し、太陽光の下で実験水槽による糸状藻類増殖実験を行い、浄化設備の設備構造について検討を行った。

4．研究結果

4.1　糸状藻類の流況環境及び生息季節

本システムに用いられる糸状藻類を表－1に示す。なお糸状藻類は、流況環境により、渓流、早瀬や水路のように急流や緩流に適する種類と、浅い湖沼、水田や浄水場のように微流に適する種類とがある。また生息に適する季節は、糸状藻類の種類により異なる。今回調査を行った結果、本システムに用いられる主な糸状藻類の種類を適用環境別にしたものを図－1に示す。

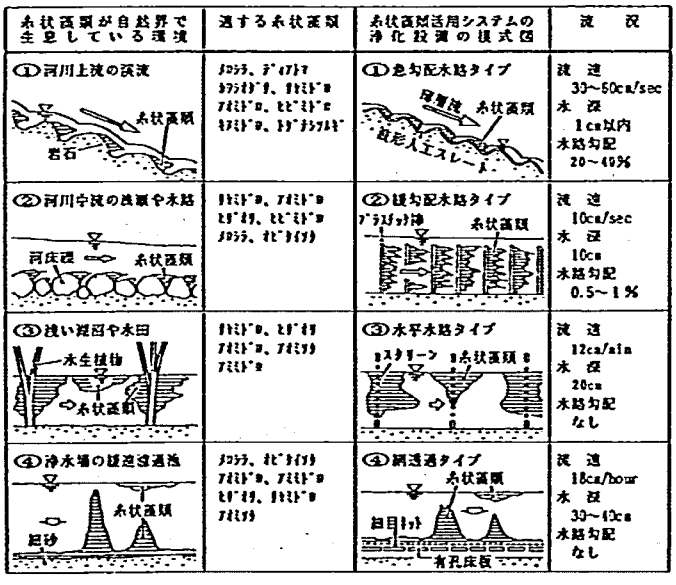
表－1　本システムに用いられる糸状藻類

適性	和名（学術名）	綱別	流況環境					生息季節			
			急流の中で基質に付着	緩流の中で基質に付着	緩流の中で基質に付着	緩流の中で底面に膜状	緩流の中で水中に浮遊	春季	夏季	秋季	冬季
急流	キヌミドロ (*Stigeoclonium* sp.)	緑藻	○	△				○	○	△	△
	トゲナシツルギ (*Cloniophora plumosa*)	緑藻	○	△					○	△	
	カワシオグサ (*Cladophora glomerata*)	緑藻	○	△	△			○	○	○	○
	ディアトマ (*Diatoza vulgare*)	珪藻	○	△				○	△		○
	ヒビミドロ (*Ulothrix zonata*)	緑藻	○	○				○			○
緩流	メロシラ (*Melosira varians*)	珪藻	○	○		○		○	△	○	○
	サヤミドロ (*Oedogonium* sp.)	緑藻	○	○	○		○	○	○	△	△
	アオミドロ (*Spirogyra* sp.)	緑藻	○	○	○		○	○	○	○	○
	オビケイソウ (*Fragilaria construens*)	珪藻		○		○		○	△	○	△
	ヒゲオリ (*Mougeotia* sp.)	緑藻		○	○		○	○	○	○	△
	アオミソウ (*Pithophora kewensis*)	緑藻			○		○	○	○	○	△
静流	アミミドロ (*Hydrodictyon reticulatum*)	緑藻		△			○	○	○	○	△

注1）○印は活性が高い状態での生息を確認、△印は活性が低い状態での生息を確認したものである。
注2）本表は久納が1994年12月までに野外で確認したものであり、今後の変更はありうる。

4.2　自然界と浄化設備との対応

糸状藻類は図－1に示すように上流域や中流域の河川、湖沼、水田及び浄水場などの特定された流況環境のもとで生息しているが、糸状藻類が高密度の群体を形成して生息するには、さらに特殊な流況環境の場所だけに限られる。また、糸状藻類はいずれの場合も無機態の栄養塩類を吸収して生息しているため、『糸状藻類活用システム』は、河川や浅い湖沼等の自然界で生息している糸状藻類が増殖できる環境を人為的にダム湖近傍に設けることにより、流入河川水及びダム湖表層水からPO_4-P を除去し、藍藻類や鞭毛藻類の異常増殖を抑制するシステムである。具体的には、糸状藻類の特殊な生息環境を実験水槽の中に忠実に再現させ、人為的に糸状藻類を増殖させるために図－1に示すような浄化設備を考案した。



図－1　糸状藻類の自然界での生息環境と浄化設備

4.2.1 浄化施設設備例

設備概要は、図－2に示すように4タイプに大別でき、以下にその概要を示す。

① 急勾配水路タイプ‥‥河川上流の渓流で岩石に糸状藻類が付着している状況を再現したタイプである。設備は急な水路勾配にして原水を流速30～50cm/sec程度の薄層流で流下させ、波長6cm程度の波形をした人工スレートに糸状藻類を付着させる。生長した糸状藻類は自然に滑落するため回収の作業が容易である。

② 緩勾配水路タイプ‥‥河川中流の浅瀬で河床礫に糸状藻類が付着したり、水路の側壁に糸状藻類が付着したりしている状況を再現したタイプである。設備は緩い水路勾配にして10cm/sec程度とし、鉛直にたてた直径4～6mmのプラスチック棒に糸状藻類を付着させる。回収はプラスチック棒を底板より下降させてプラスチック棒に付着した糸状藻類をそぎ取って行う。

③ 水平水路タイプ‥‥浅い湖沼や水田で水生植物に糸状藻類が付着したり、浮漂したりしている状況を再現したタイプである。設備は勾配のほとんどない水路にして流速12cm/min程度の微流とし、間仕切のように50cm間隔に張ったプラスチックのスクリーンに糸状藻類を付着させるか、或いはスクリーン間に浮漂させる。回収はスクリーン間にかき取り器を走行させて糸状藻類を集めて行う。

④ 網透過タイプ‥‥浄水場の緩速濾過池で砂面に糸状藻類が上載したり、水層部分で浮標したりしている状況を再現したタイプである。設備は底面に有孔床板と網目2.5 mmのポリエチレンネットを敷き、透過速度18cm/hour 程度の微流とし、細目のポリエチレンネット上に糸状藻類を膜状に上載させるか、水中に浮標させる。回収は水路端でポリエチレンネットを巻き取りながら糸状藻類をエッジでかき取って行う。

このように浄化設備は、自然河川等でのPO_4-P 固定に役だっている生態環境を自然湖沼やダム湖において人為的に作り出し、最大限に活用するものである。

4.3 前処理設備

本システムは、糸状藻類を増殖させ回収することにより栄養塩類を除去する浄化設備である。しかし、湖沼表層水に浮遊藻類が多いと、オシラトリア（*Oscillatoria* sp.）やリングビア（*Lyngbya* sp. ）のような藻類は本処理設備の基質に付着するために糸状藻類が付着しにくくなったり、透明度を落として糸状藻類が光合成するのを妨げたりする。よって糸状藻類が増殖する上で妨げとなるくらいに、浮遊藻類が多く発生する湖沼では、前処理の段階でこれらを除去するのが望ましい。そこで表層水浄化設備では、必要に応じて浮遊藻類の除去を目的とした前処理を行う。流入河川を原水とする場合は前処理は不要である。

4.3.1 前処理方法の選定

湖沼の浮遊性藻類を濾過処理により除去するのに必要な条件は、①濾過速度がなるべく大きいこと、②浮遊性藻類の除去率が高いこと、③濾過層の目詰まりがないこと、④除去した浮遊藻類が無機態のリンや窒素として処理水に溶出しないこと、⑤維持管理に人手を極力必要としないこと、⑥濾材が安価で長期間使用に耐えることである。濾過方法を選定する際のこれらの判定項目について、各種濾過方法毎に比較検討した結果を表－2に示す。濾材の種類及び濾材の洗浄方法を考案することにより、粒径2～3mm程度の軽量の濾材を用いて前処理を行うのが最も効率的であると思われる。

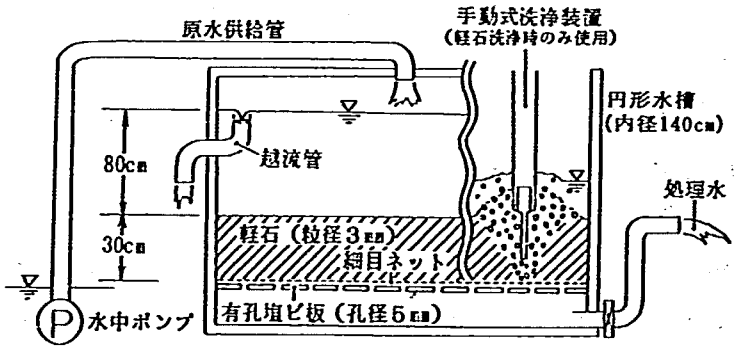
表－２　濾過による浮遊性藻類除去方法の比較

濾過方法	代表粒径	粒径 1㎜程度		粒径 2～3㎜程度	粒径 10～50㎜
	洗浄の有無	表層を削り取る	粒子洗浄を行う		洗浄しない
浮遊藻類を除去する原理		濾過層表面に細菌等により形成された生物膜に浮遊藻類が捕捉される。	粒子間隙に浮遊藻類が物理的に入り込み捕捉される。	粒子表面に付着した細菌等による生物膜に浮遊藻類が捕捉される。	粒子表面に付着した細菌等による生物膜に浮遊藻類が捕捉される。
浮遊藻類の除去率		濾過層表面の生物膜が形成されると除去率が高くなる。 (○)	粒子間隙が小さいが、物理的濾過であるため除去率がやや低い。 (△)	粒子表面の生物膜が期待でき、かつ粒子間隙が比較的小さいため除去率が高い。 (○)	粒子表面の生物膜は期待できるが、粒子間隙が大きいため除去率がやや低い。 (△)
濾過層の目詰り		濾過層表面の生物膜の形成に伴い目詰まりが始まる。 (×)	定期的に洗浄を行うため目詰りは生じない。 (○)	定期的に洗浄を行うため目詰りは生じない。 (○)	数カ月から数年間使用すると、目詰りする。 (△)
高温時のPO_4-Pの溶出		洗浄頻度がやや低いため若干は溶出する。 (○)	洗浄頻度が高いため溶出しない。 (○)	洗浄頻度がやや低いため若干は溶出する。 (○)	洗浄しないため多量に溶出する。 (×)
濾過層の維持管理		粒子洗浄は行わず、やや高い頻度（例えば週２回）で濾過層の表層を削り取る。 (×)	高頻度（例えば日１回）で粒子洗浄を行う。 (×)	低頻度（例えば週１回）で粒子洗浄を行う。 (△)	目詰りするまでは洗浄は一切しない。目詰りしたら濾過層を入れ替える。 (△)
従来の近い技術名		（濾過速度がもっと小さければ）緩速砂濾過	（濾過速度がもっと大きければ）急速砂濾過	（今回選定した）前処理方法	（濾層厚がもっと大きければ）礫間浄化

注１）クロロフィルａが50～100μg/ℓ程度の湖水を、濾過速度１m/hour程度で処理すると仮定する。
注２）採用する判定基準は、○；適している、△；採用するには要検討、×；支障がある、とした。

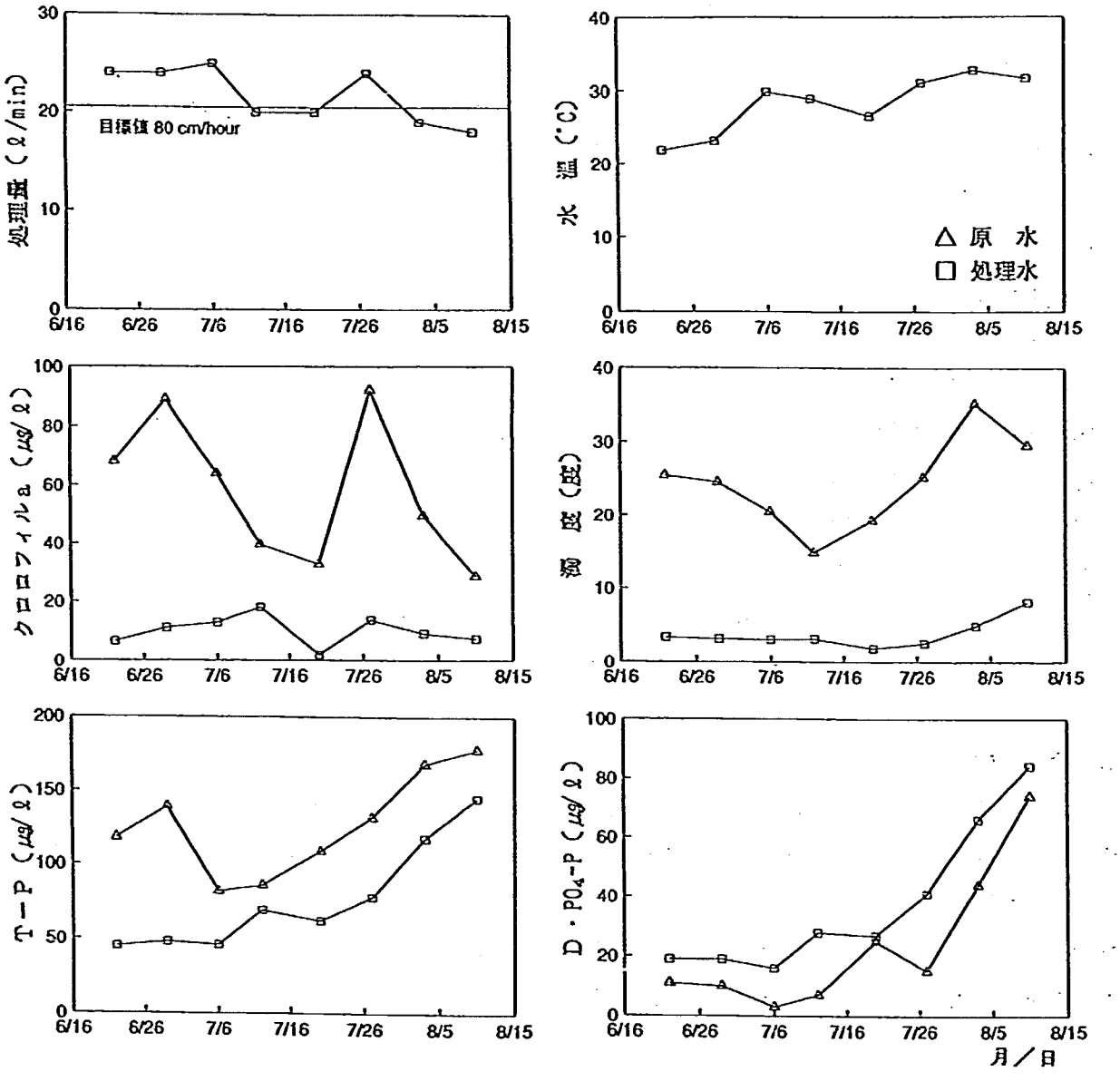
4.3.2　前処理前処理施設現地実験

自然湖沼の湖水を原水として前処理施設の現地実験を行った。今回行った前処理施設の実験は、粒径２～３㎜程度の粒子を用いた濾過タイプで実験を行い、濾過閉塞やPO_4-P の過度の溶出を生じさせないために濾材の洗浄を行った。実験装置を図－２に示す。湖水を濾過速度80cm/hourを目標に行った。また粒径３㎜の軽石を厚さ30cm設け、洗浄手法として軽石層の粒子間に捕捉された浮遊藻類の死骸や濁質を洗浄装置により気泡混じりの水流を出し、軽石を舞い上がらせて洗浄する方法を週１回の頻度で行った。２カ月実施した実験



図－２　前処理設備の実験装置

の水質測定結果を図－３に示す。通水開始１週間以降はクロロフィルａの除去率は85%程度、濁度の除去率は85%程度、Ｔ－Ｐの除去率は45%程度であった。なおPO_4-P の溶出はわずかであり、本処理設備に給水する湖水に含まれるオシラトリア等の付着性の浮遊性藻類を大幅に除去することができた。



図－３　前処理による水質の測定結果

4.4 糸状藻類の安定増殖を支援する方法

前処理水槽を通した河川水による糸状藻類増殖実験を行った結果、本システムに適用する種類の糸状藻類のみを優占種とし増殖を行うことに成功した。しかし、本システムには大気中からや前処理施設で除去しきれなかったものなど、様々な糸状藻類の優占増殖を妨害する要因があり、今回の実験により特に大きな妨げとなった物について例を挙げ、そのとき行った対処方法を述べる。

①ユスリカ‥‥ユスリカの幼虫が糸状藻類を食べ尽くす（概ね５月～７月）。対応策としてグッピー、メダカ、カダヤシ、ヨシノボリ（幼魚）等の小型魚類にユスリカの幼虫を補食させる。なお、グッピーとカダヤシは熱帯性の魚類であり概ね22℃以下では生息困難であるが、ユスリカの幼虫は概ね18℃以上になると活発となるため注意を要す。また、魚類の種類によってはユスリカだけでなく糸状藻類も食べてしまう場合があり中型以上の魚類や金魚等は使用しないほうがよい。

②藍藻‥‥基質にオシラトリラ、リングビア等の藍藻が基質に付着して糸状藻類が増殖するのを妨げたり、透明度を低くして糸状藻類を光不足にしたりする（概ね８月～10月）。対応策としては、前処理水槽により藍藻類を除去する手法が効果的である。

③ウキクサ‥‥ウキクサが水面を覆い尽くし、糸状藻類を光不足にし増殖を行いずらくする（概ね８月～９月）。対応策として、水面に発生しているのでウキクサを越流させる構造物により容易に除去できる。

④コケムシ‥‥配管内にコケムシが増殖して通水を阻害したり、基質に付着する（概ね６月～10月）。対応策として、配管は直径の大きなものを用い、途中にコケムシを排出する弁を設けること。

⑤デトライタス‥‥堆積したデトライタスが分解性の細菌によりPO_4-P 等に分解されたり、嫌気状態下でPO_4-P が溶出したりする（概ね６月～９月）。対応策としては、沈殿槽や下部室に魚類を入れ、堆積したデトライタスを魚類の動きにより撹拌させることにより嫌気化を防止する。

このような方法を用いることにより糸状藻類を優占させ増殖を行った。

5．今後の問題

ダム湖の富栄養化対策として、多量の流入河川水やダム湖表層水を対象としたリン除去、特にPO_4-Pを除去するには、『糸状藻類活用システム』が有効である。糸状藻類活用システムのリン吸収能力は、原水のPO_4-P濃度、設備の構造、維持管理の方法、有効利用の有無等の条件により異なるため、より効率的な設備構造を検討し栄養塩類の除去能力を把握する必要がある。また、回収された糸状藻類についての有効利用についても検討を行い更に効率の良いシステムに改良する必要がある。

貯水池の水質保全に関する調査

流動制御による湖沼の富栄養化対策技術に関する調査

環境計画研究室　室　　長　丹羽　薫
主任研究員　久納　誠
研　究　員　久保徳彦
真田誠至

1．まえがき

湖沼における富栄養化現象は、現在、湖沼の水質現象の中でも極めて重要であり、その対策技術の確立が急務となっている。従来より湖沼の流動を制御することによる富栄養化対策の可能性及び効果の評価手法について検討を行ってきた。

５年度までに、流動制御システムの各設備構造の検討や曝気による水質影響の調査を行った。６年度は、曝気による水質保全効果の調査や流入河川水の影響について研究を行った。

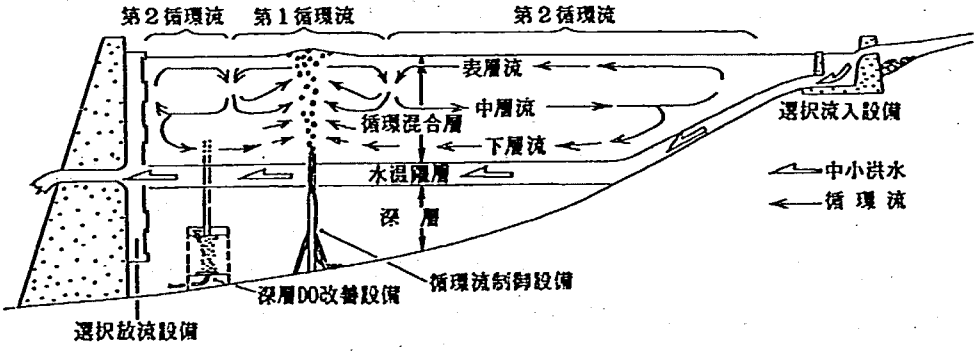
2．研究目的

実際の湖沼において６年度までに行った富栄養化対策である曝気循環の現地実験による藻類の異常増殖の抑制効果や水質変化などの検討を行いまた、流入河川水の曝気循環を行っている湖沼への水質的影響の調査を行い流動制御システムの藻類異常増殖抑制効果についての検討を行う。

3．研究方法

3．1　流動制御システムの概要

流動制御システムは、平常時においてダム湖の表層に温水でしかも表層付近の水温分布が均一である循環混合層を、水深概ね15～20mまで厚く形成させ、中小洪水時にもこの層を温存させることにより、表層に生息する藍藻類や鞭毛藻類への栄養塩類と光を抑制することになり、それによって藍藻類等の異常増殖を抑制するシステムである。図－１に流動制御システムの模式図を示す。



図－１　流動制御システムの模式図

流動制御システムのうち、循環流制御設備の効果を表－１に示すが、このうち効果１と効果２は平常時についての効果であり、効果３については中小洪水時についての効果である。今回の現地実験では中小洪水が発生しなかったため、効果１及び効果２の確認を行うものである。

表－１　循環流制御設備の効果

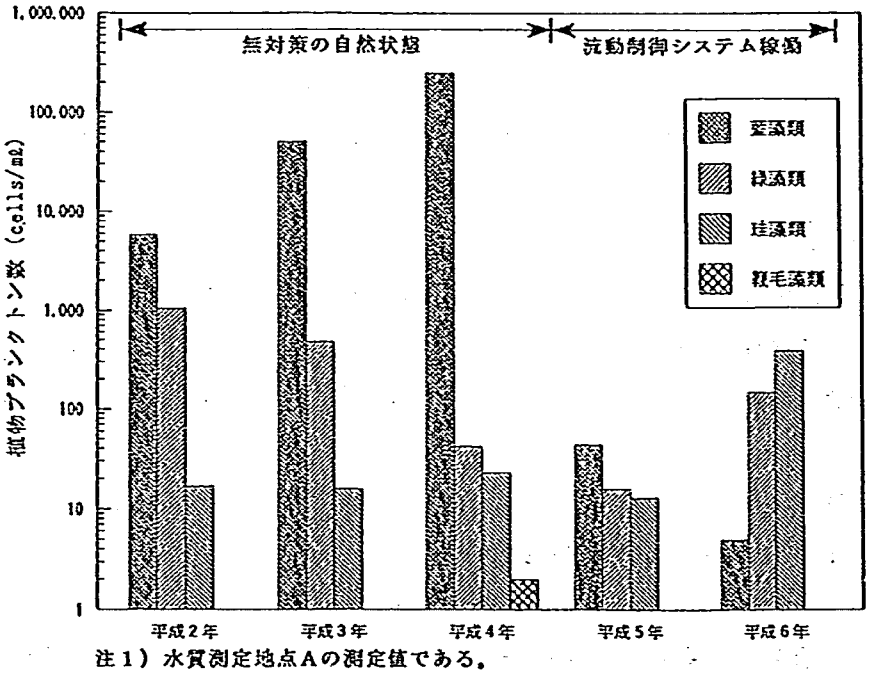
効果	湖水に与える流動作用	藻類増殖抑制に及ぼす効果
1	表層付近の水温が均一であり厚さ15～20mの循環混合層を形成し、密度流で循環	循環混合層による光制限及び表層における藍藻類の優占阻止
2	栄養塩類（PO_4-P等）を含んだ平常時の流入水を循環混合層の下層に導く	緑藻類や珪藻類がPO_4-Pを吸収した後、沈降して底泥に固定
3	栄養塩類（PO_4-P等）を含んだ中小洪水を水温躍層に導き、速やかにダム湖から放流	表層にいる藍藻類への栄養塩類の供給を制限

表－２　循環流制御設備の空気量

期　間	空　気　量
7／5～7／19	5,000 ℓ／min
7／19～8／9	2,500 ℓ／min
8／9～8／17	1,500 ℓ／min
8／17～8／24	0 ℓ／min
8／24～10／14	2,500 ℓ／min

３．２　実験方法

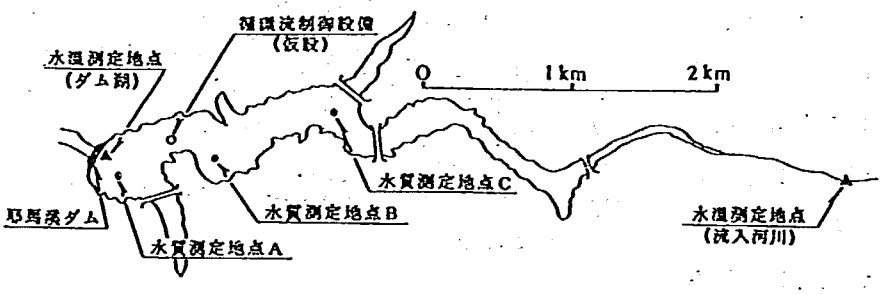
耶馬渓ダム（堤高62m、総貯水容量2,330万m^3、湛水面積1.1km^2、流域面積89km^2）では、図－２に示すように平成４年までは毎年夏季になるとアオコが発生し、水質障害が生じていた。平成５年より土木研究所環境計画研究室が流動制御システムの現地実験を行っており、アオコは発生していない。図－３に示すように、曝気装置はダム堤体から水平距離約500m上流の水深20mの湖底に実験用の循環流制御設備を設置した。空気量は最大5,500 ℓ/minであり、噴出口は直径32㎜の単一孔である。実験期間中の空気量は表－２に示すように変化させた。



注１）水質測定地点Ａの測定値である。

注２）｛７月、８月、９月の定期測定日 水深0.5mと2.5m｝合計６データの平均値である。

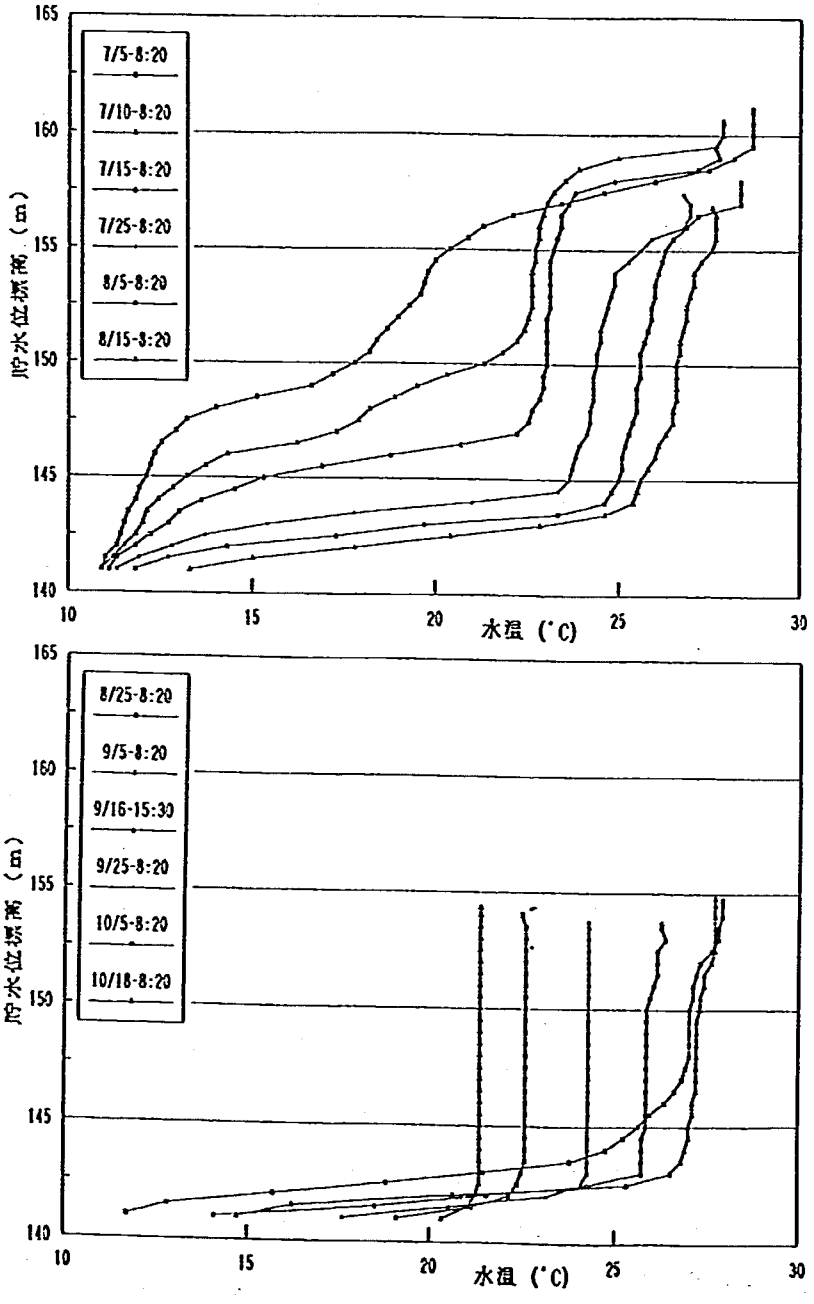
図－２　夏季における耶馬渓ダム表層の植物ﾌﾟﾗﾝｸﾄﾝ数の経年変化



図－３　耶馬渓ダム現地実験位置図

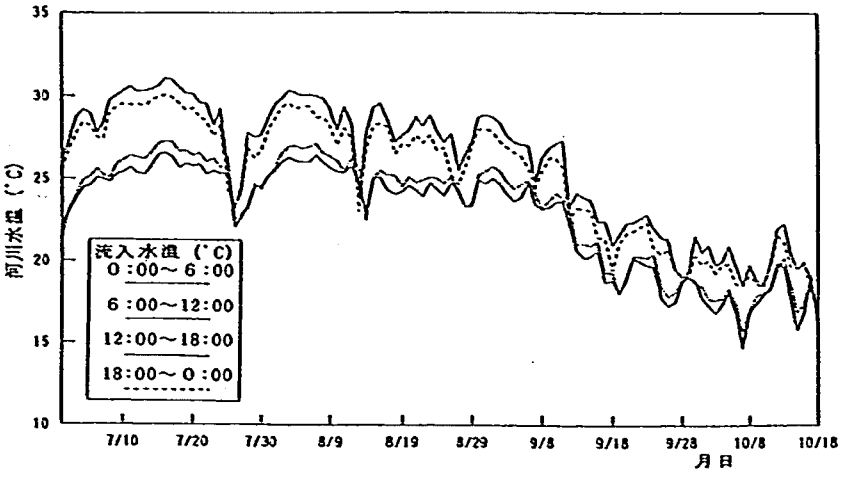
4．実験結果

図－4に水温鉛直分布の経時変化を示す。7月5日に流動制御開始と共に曝気後に曝気水深以浅の水温が急速に上昇して約1ヶ月後には、ほぼ均一な温水になり、循環混合層を形成した。その後の1ヶ月間は層全体の水温が少しずつ上昇し、次の2ヶ月間は秋季の全層循環状態となり、水温鉛直分布は均一のまま徐々に下降した。循環混合層の働きのひとつは、流入河川水を循環混合層の下層もしくはその下の水温躍層へ流入させることである。1日を四つの時間帯毎に分けた流入河川水の水温の経日変化を図－5に示す。流入河川水の水温はその日周期性が大きく、特に晴天日は12:00～18:00の水温はその他時間帯の水温に比べ数℃高い。図－6は各時間帯毎の流入河川水がダム湖のどの水深へ流入したかを示す。流動制御開始後の1ヶ月間は四時間帯とも概ね2m以浅の一次躍層の下に流入していたが、その後の1ヶ月間は午前の二時間帯は循環混合層の下層に進入し、午後の二時間帯は循環混合層の表層或いは中層に流入している。その後の2ヶ月間は四時間帯とも概ね循環混合層の下層或いは水温躍層に流入するようになった。図－7に表層における植物プランクトン数を珪藻類、緑藻類、藍藻類、鞭毛藻類の四群に分けた値の経時変化を示す。平成4年までは未対策の自然状態であり、例年夏季には藍藻類が異常増殖してアオコを形成して問題となっていたが、流動制御を行った平成6年の夏季には藍藻類がほとんど発生せず、アオコは全く生じなかった。夏季には緑藻（優占種は*Scenedesmus* sp.）、秋季には珪藻（優占種は*Melosira* sp.）が生息した。平成6年にはたまたま藍藻類の発生が遅れており、流動制御を7月上旬に開始しても間に合ったが、例年はその数ヶ月前から藍藻類が発生するため、流動制御を開始する時

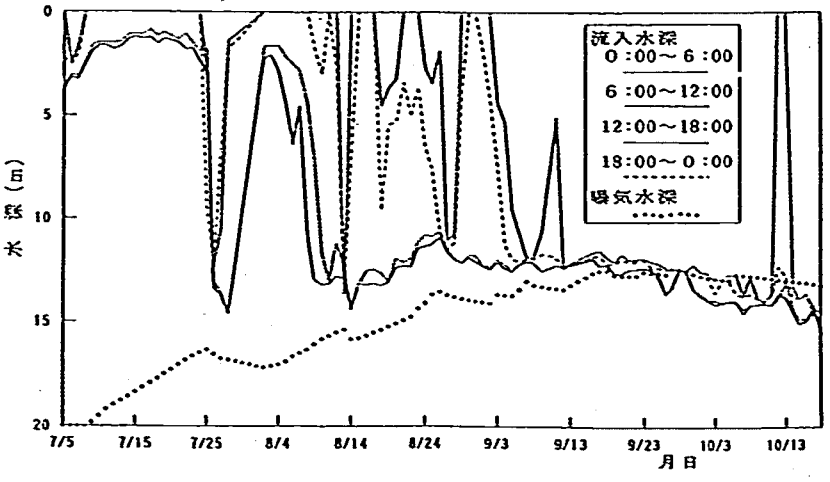


図－4　水温鉛直分布の経時変化

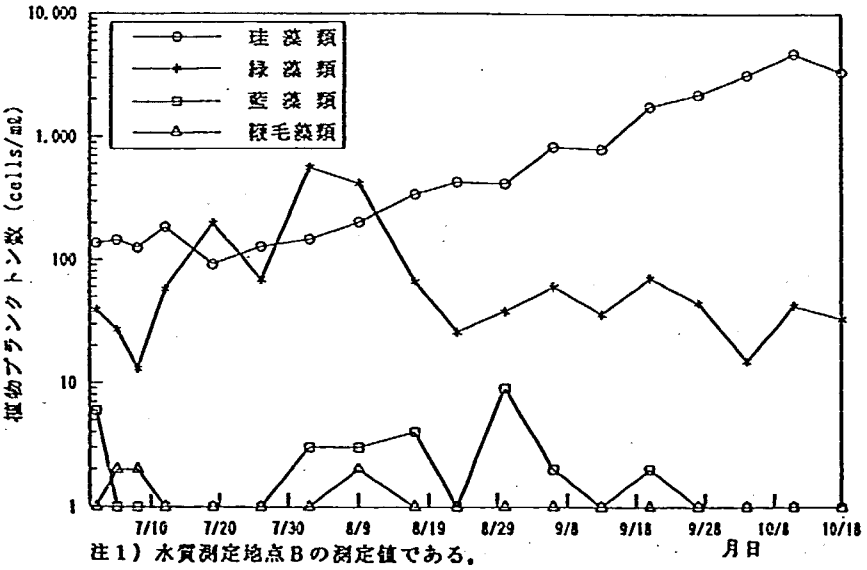
季は通常４～５月頃とするのが望ましい。図－８にクロロフィルａの経時変化を示すが、７～８月はクロロフィルａは概ね10μg/ℓ以下におさまった。10月はクロロフィルａが20μg/ℓと高くなっているが、珪藻類の繁殖のためで、水質的な問題はない。図－８によると７～８月はクロロフィルａは水深毎にかなり異なっているが、９～10月はクロロフィルａの値に水深による相違は見られない。これは、７～８月は湖水が鉛直方向に流動せず、９～10月は湖水が鉛直方向には流動していたためと推定できる。図－１に流動制御システムの模式図を示したが、これによると第２循環流の表層水は曝気の遠くから近くに引き寄せられている。図－９は表層における流動制御設備から遠くの水質測定地点Ｂの植物プランクトン数と近くの水質測定地点Ｃの植物プランクトン数の比を示したものであるが、８月の中旬までは近くの測定地点の方が遠くの測定地点よりも植物プランクトン数が大きく、表層は循環流制御設備に引き寄せられながら浮遊藻類が増殖していくのが推定できる。９～10月は二測定地点の植物プランクトン数は概ね等しくなり、この時季は表層の湖水が水平方向に流動していないと推定できる。図－８と図－９の結果をもとに、循環混合層の流動を総合的に検討してみると、次のようになる。７～８月は湖水が水平方向に定常的に流動



図－５　時間帯別水温の経時変化



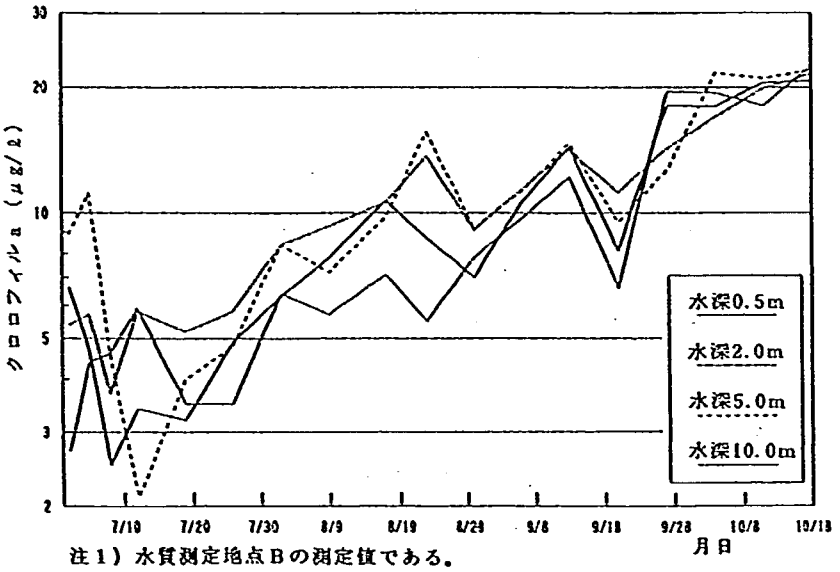
図－６　流入河川水のダム湖への流入水深



注１）水質測定地点Ｂの測定値である。

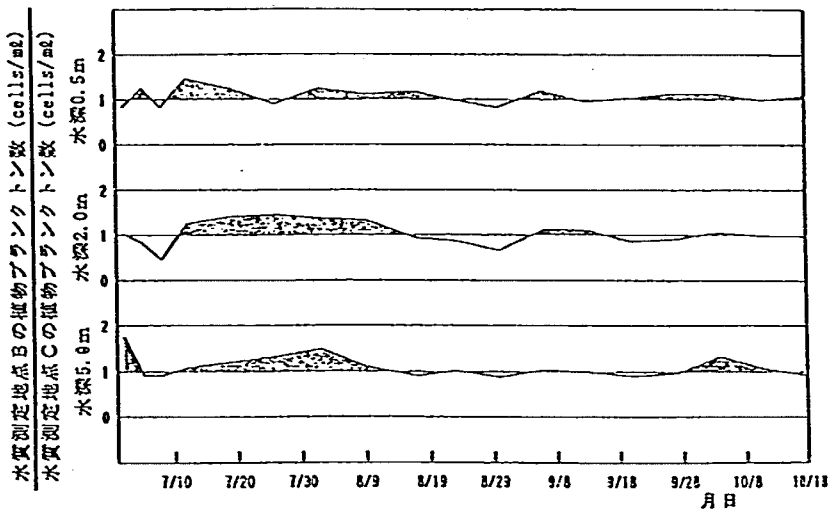
図－７　表層の植物プランクトン数の経時変化

し、流動制御が有効に働いている。９～10月は水面より日に日に冷却されることによって生じる秋季の全層循環状態となり、水温鉛直分布が均一なため、曝気をしているにもかかわらず密度流が発生しない。よって９～10月は湖水は水平方向にほとんど流動せず、鉛直方向の流動が支配的になると考えられる。恒久施設の操作運用では、秋季の全層循環が始まると同時に曝気を停止するのが望ましい。循環流制御設備の空気量が多すぎると、循環混合層における浮遊藻類の沈降を阻害し、結果的に循環混合層内の有機物の量を増大させ、それが続くと有機物の分解量が増加して無機態のリンや窒素を増大させ、浮遊藻類の増殖の原因になることが考えられる。またクロロフィルａは生存している浮遊藻類を代表させる水質項目であるが、耶馬渓ダムの場合はPO_4-Pの存在量がかなり少ないため、Ｔ－Ｐは生存している浮遊藻類のみならず、浮遊藻類の死骸、流入河川から供給された各種有機物、つまり有機物全体を代表させる水質項目と考えて良い。図－10はＴ－Ｐの経時変化を示す。空気量が5000ℓ/minの期間はＴ－Ｐは30～40μg/ℓまで上昇したが、空気量を2500ℓ/min、1500ℓ/minと少なくするに従い、Ｔ－Ｐは15μg/ℓ程度に納まった。よって空気量が過大であると浮遊藻類等の有機物の沈降を妨げることがわかる。

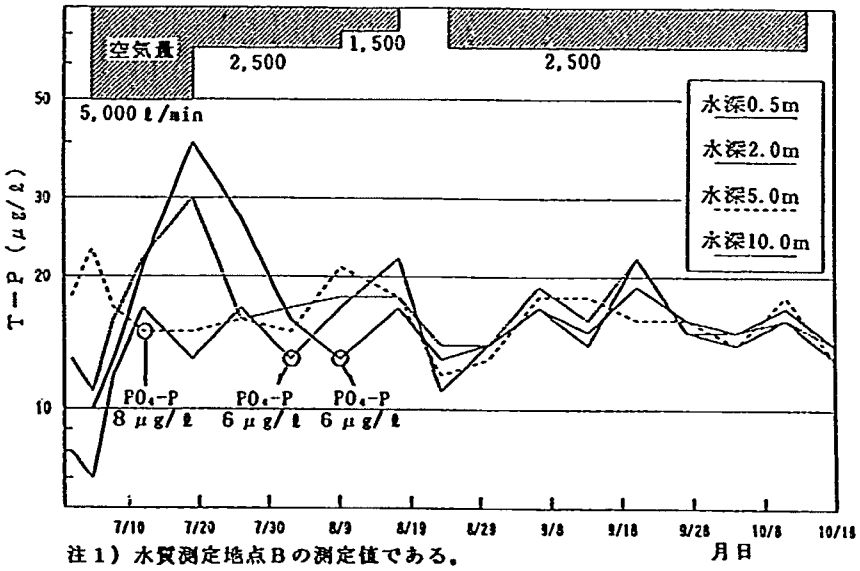


注１）水質測定地点Ｂの測定値である。

図－８　クロロフィルａの経時変化



図－９　表層流動に伴う植物プランクトン数の経時変化



注１）水質測定地点Ｂの測定値である。

図－１０　Ｔ－Ｐの経時変化

流動制御システムの現地実験を耶馬渓ダムで実施した結果は、①流動制御を開始する前には表層に流入していた流入河川水を、流動制御を開始後１～２ヶ月後には水温躍層へ流入させるような循環混合層を形成できた。②藍藻類が増殖する以前に流動制御を開始し、循環混合層を形成すれば、藍藻類の増殖を阻止し、水質的な問題とならない珪藻類や緑藻類を増殖させることができた。流動制御を開始する時季は、通常藍藻類が増殖していない４～５月頃とするのが望ましい。③循環混合層の流動は、水質の二次元的な分布を測定することにより、７～８月には水平方向の流動が、９～10月には鉛直方向の流動が支配的であると推測できる。恒久施設における操作運用では、秋季の全層循環が始まると同時に循環流制御設備を停止するのが望ましい。④循環流制御設備の空気量が過大であると、浮遊藻類等の有機物の湖底への沈降を妨げ、循環混合層の水質を逆に悪化させてしまう恐れがある事がわかった。

５．今後の問題点

今年度までの現地実験により流動制御システムが藍藻類の異常増殖に対して抑制することが確認されたが、現地実験の４つの結果より運用手法を今後考慮していく必要がある。

貯水池の水質保全に関する調査
生態系を活用した湖沼の水質制御手法に関する調査

環境計画研究室　室　　長　丹羽　薫
主任研究員　久納　誠
研　究　員　久保徳彦
真田誠至

1．はじめに

湖沼において、浮遊藻類が異常増殖する直接の要因は、無機態のリン（PO_4-P）等の栄養塩類がダム湖に多量に流入することである。産業排水や下水処理水等の高負荷少量水については、PO_4-P除去技術が別途研究されている。一方、耕地等の面源負荷や高度処理が行われていない下水処理水や畜産排水処理水が流れ込む自然河川の低負荷多量水を対象としたPO_4-P除去技術は、近年まで開発されておらず、効率的なPO_4-P除去技術の確立が急がれている。

５年度は流入河川水のPO_4-P等の無機態の栄養塩類を除去する『糸状藻類活用システム』についての原理を確立した。６年度は糸状藻類のPO_4-P 吸収能力を把握を行った。

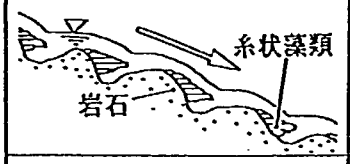
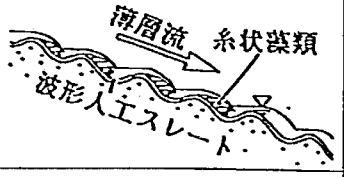
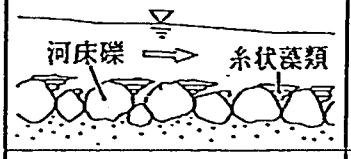
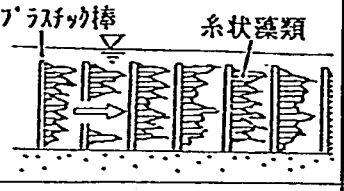
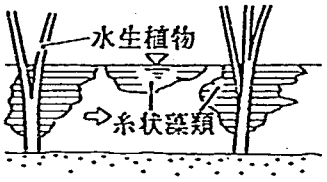
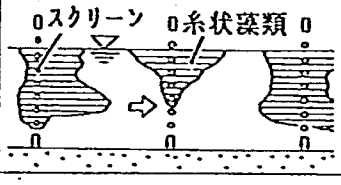
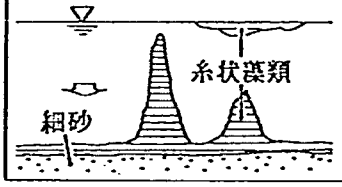
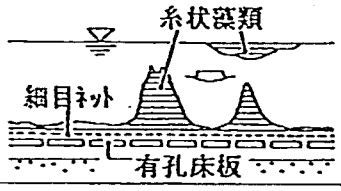
2．調査目的

本調査は、糸状藻類活用システムの設備規模を把握するために糸状藻類がPO_4-P を吸収する量を各設備タイプごと現地実験により調査を行う。

3．調査方法

3．1　糸状藻類のPO_4-P吸収能力の現地実験

糸状藻類活用システムを実際の施設として行う際の設備規模つまり水路面積を算定するには、本システムによるPO_4-P 除去能力を把握する必要がある。そのため糸状藻類が単位生息面積当たり単位時間当たりにPO_4-P を吸収する量を把握した。糸状藻類のPO_4-P吸収能力は、①原水のPO_4-P濃度、②回収頻度も含めた流況環境、③日周期性、が大きな要因になると考えられ、①と②を考慮した実験を行った。具体的には、糸状藻類が特に良く自然界で生息している環境を大きく４つに分け糸状藻類活用システムの浄化設備に取り入れて４タイプの実験水槽を考案し現地実験を行った。４タイプの糸状藻類の生息環境と、その環境に適用する藻類及び、その環境を取り入れた浄化施設の模式図を図－１に示す。なお実験水槽には、河川水や湖沼水等違う原水を流入させて行った。

糸状藻類が自然界で生息している環境	適する糸状藻類	糸状藻類活用システムの浄化設備の模式図	流況
①河川上流の渓流  	ﾒﾛｼﾗ、ﾃﾞｨｱﾄﾏ ｶﾜｼｵｸﾞｻ、ﾀﾔﾐﾄﾞﾛ ｱｵﾐﾄﾞﾛ、ﾋﾋﾞﾐﾄﾞﾛ ｷﾇﾐﾄﾞﾛ、ﾄｹﾞﾅｼｸﾙｷﾞ	①急勾配水路タイプ  	流速 30～50cm/sec 水深 1cm以内 水路勾配 20～40%
②河川中流の浅瀬や水路  	ﾀﾔﾐﾄﾞﾛ、ｱｵﾐﾄﾞﾛ ﾋｻﾞｵﾘ、ﾋﾋﾞﾐﾄﾞﾛ ﾒﾛｼﾗ、ｵﾋﾞｹｲｿｳ	②緩勾配水路タイプ  	流速 10cm/sec 水深 10cm 水路勾配 0.5～1%
③浅い湖沼や水田  	ﾀﾔﾐﾄﾞﾛ、ﾋｻﾞｵﾘ ｱｵﾐﾄﾞﾛ、ｱｵﾐｿｳ ｱﾐﾐﾄﾞﾛ	③水平水路タイプ  	流速 12cm/min 水深 20cm 水路勾配 なし
④浄水場の緩速濾過池  	ﾒﾛｼﾗ、ｵﾋﾞｹｲｿｳ ｱｵﾐﾄﾞﾛ、ｱﾐﾐﾄﾞﾛ ﾋｻﾞｵﾘ、ﾀﾔﾐﾄﾞﾛ ｱｵﾐｿｳ	④網透過タイプ  	流速 18cm/hour 水深 30～40cm 水路勾配 なし

図－1　糸状藻類の自然界での生息環境と糸状藻類活用システム

3．2　実験水槽による現地実験

実験水槽は、急勾配水路タイプ、緩勾配水路タイプ、水平水路タイプ、網透過タイプの4タイプとし、各タイプ2ヶ所づつの合計8種類の実験水路を用いた。各タイプ2ヶ所ずつとしたのは実験に用いる原水PO_4-P濃度の範囲を広くするためである。原水は河川水、湖沼水、及び地下水を用いた。各実験水路における原水の供給法を表－1に示す。

実験水路	原水の供給法	備考
土浦7～9号水槽	霞ヶ浦（土浦港近傍）の湖水を軽石濾過した水	必要に応じてPO_4-P添加
桑納川	桑納川（印旛沼の流入河川）の河川水を礫間浄化した水	－
蛇沢川	蛇沢川（阿武隈川支川）を堰堤により貯留した水	必要に応じてPO_4-P添加
総合公園	備前川（霞ヶ浦の流入河川）の河口近傍に掘った井戸の水	－

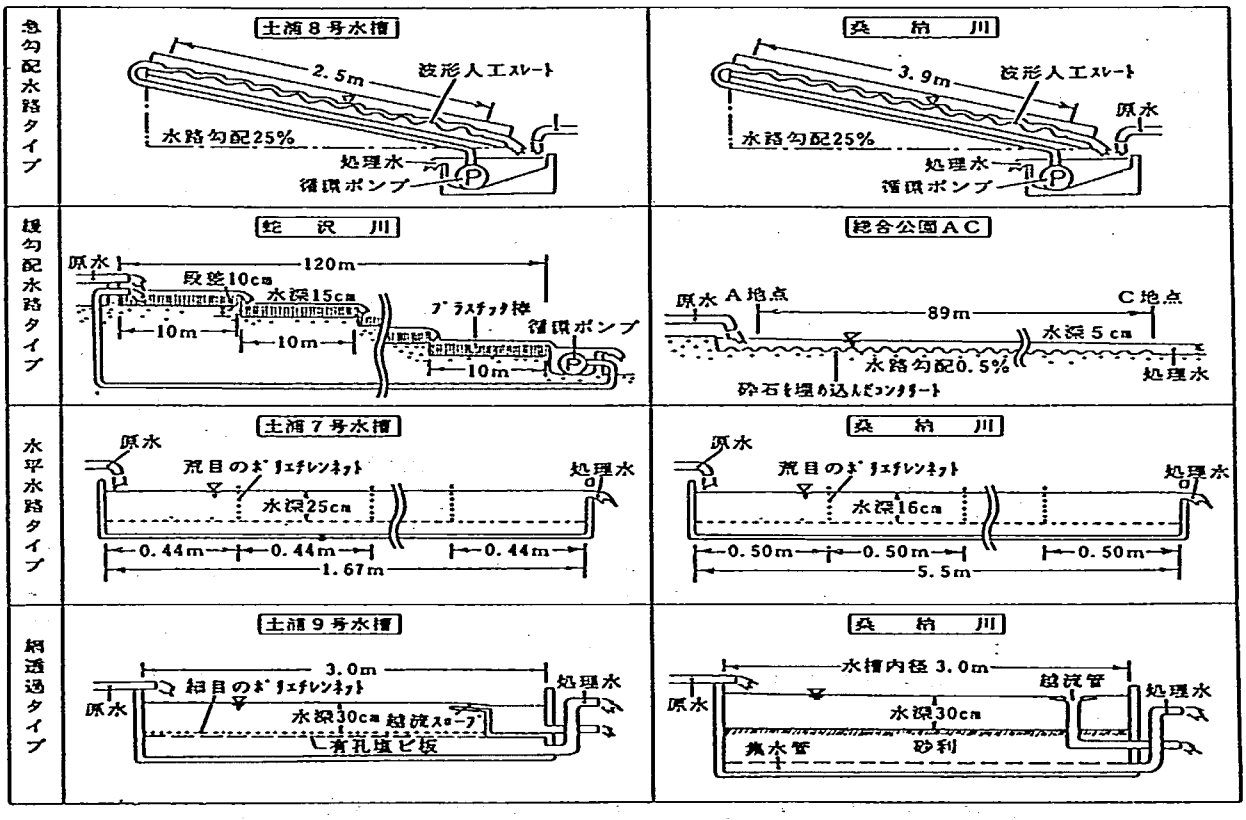
表－1　原水の供給法

また実験水槽の各設備タイプについて設置した場所や状況により大きさが異なるため実験水路の諸元を表－2に示す。なお原水量は、原水量当りの水路面積の値が概ね1～2ha/(m³/sec)の範囲に入るように設定した。

表－2　実験水路の諸元

項目	急勾配水路タイプ		緩勾配水路タイプ		水平水路タイプ		網透過タイプ	
	土浦8号水槽	桑　納　川	蛇　沢　川	総合公園AC	土浦7号水槽	桑　納　川	土浦9号水槽	桑　納　川
水路幅	0.30m	0.82m	1.0m	1.0m	0.77m	0.77m	1.4m	円形水槽
水路長	2.5m	3.9m	120m	89m	1.67m	5.5m	3.0m	内径 3.0m
水路面積	0.75m²	3.2m²	120m²	89m²	1.3m²	4.2m²	4.2m²	7.1m²
水路勾配	25%	25%	1%(段差状)	0.5%	なし	なし	なし	なし
原水量	5 ℓ/min	12～20 ℓ/min	360~720ℓ/min	340 ℓ/min	5 ℓ/min	25 ℓ/min	25 ℓ/min	24～60 ℓ/min
循環量	60 ℓ/min	108~180ℓ/min	140 ℓ/min	—	—	—	—	—
越流量	—	—	—	—	—	—	5 ℓ/min	4～10 ℓ/min
原水量当り面積	0.9 ha/(m³/sec)	1.6～1.0 ha/(m³/sec)	2.0～1.0 ha/(m³/sec)	1.6 ha/(m³/sec)	1.6 ha/(m³/sec)	1.0 ha/(m³/sec)	1.0 ha/(m³/sec)	1.8～0.7 ha/(m³/sec)
基質種類	波形人工スレート	波形人工スレート	プラスチック棒	起伏面コンクリート	ポリエチレンネット	ポリエチレンネット	ポリエチレンネット	砂　利
基質規格	波長6cm	波長6cm	直径4mm 6cm²に1本	砕石径5cm	網目13mm 44cm間隔	網目13mm 50cm間隔	網目2.5mm 粗粒ビニロン	粒径4mm

今回行った実験で使用した4タイプ2カ所づつ計8個の水槽について概略図を図－4に示す。



図－4　実験水路の概略図

4．調査結果

各施設タイプに生息した糸状藻類を表－３に示す。またリン吸収能力の各設備タイプ別の実験結果を図－５に示す。図－５は４タイプ毎に、原水PO_4-P 濃度とリン吸収能力の関係を図示したものである。各図中の実線は概ね１ヶ月毎の平均値を用いて最小二乗法により得た線である。各図中の破線は１m^3/secの原水を２haで処理して原水のPO_4-Pを最大限除去できた場合のリン吸収能力の線である。図－５、(1)式、及び(2)式より処理水のPO_4-P濃度及び除去率を計算すると、図－６が得られる。これによると、富栄養化が懸念されるダム湖や自然湖沼の流入水のPO_4-P濃度の代表的な値である20～40μg/ℓに対する各タイプの除去率は、１m^3/secを２haで処理する場合、急勾配水路タイプ、緩勾配水路タイプ、及び網透過タイプは概ね60%、水平水路タイプは概ね35%である。なお１m^3/secの原水を２haでなく、他の面積で処理する場合も、図－５、(1)式、及び(2)式より処理水のPO_4-P濃度や除去率を算定することができる。

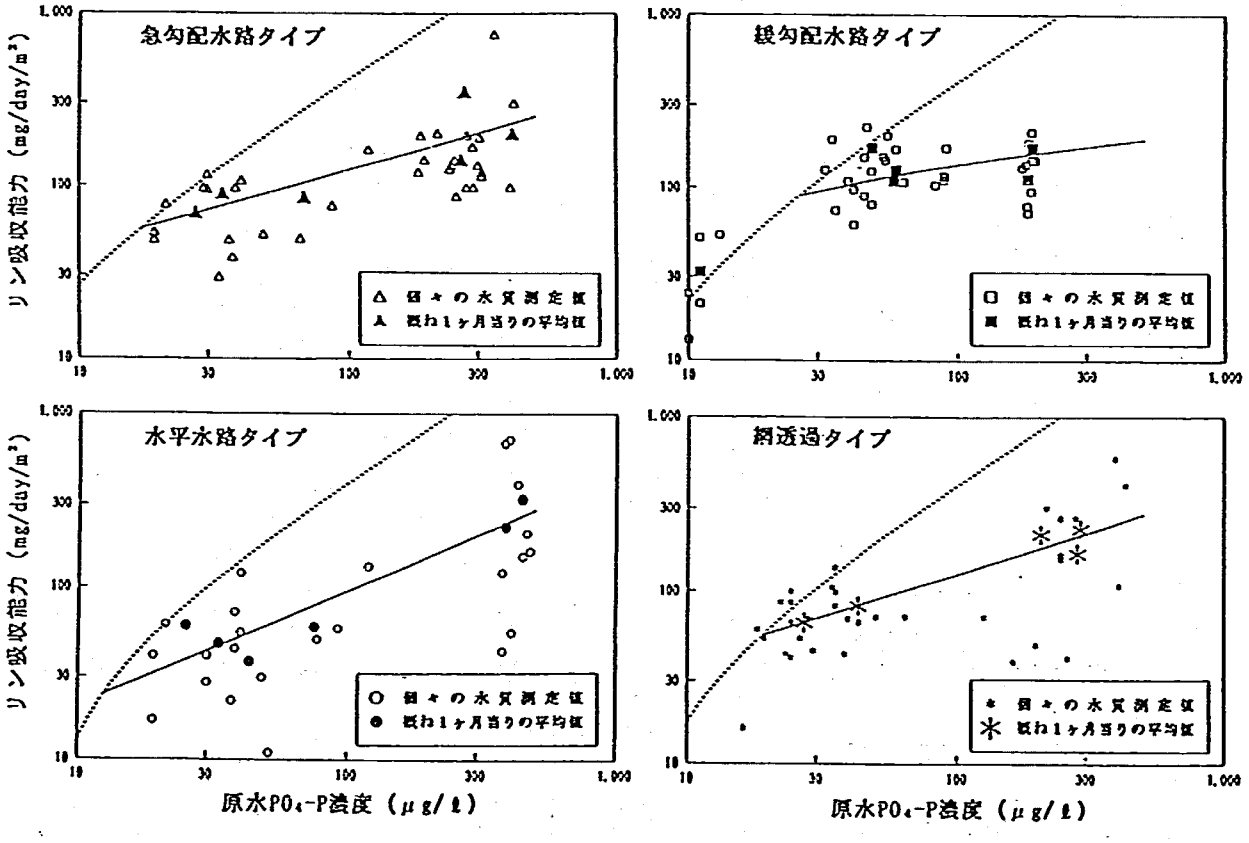
$$C = 1.44 \times (P_{IN} - P_{OUT}) \cdot Q / A \cdots\cdots (1)式$$

$$r = 1 - P_{OUT} / P_{IN} \cdots\cdots (2)式$$

ただし、C；リン吸収能力（mg/day/m^2）　　Q；原水量（ℓ/min）

P_{IN}；原水のPO_4-P濃度（μg/ℓ）　　A；水路面積（m^2）

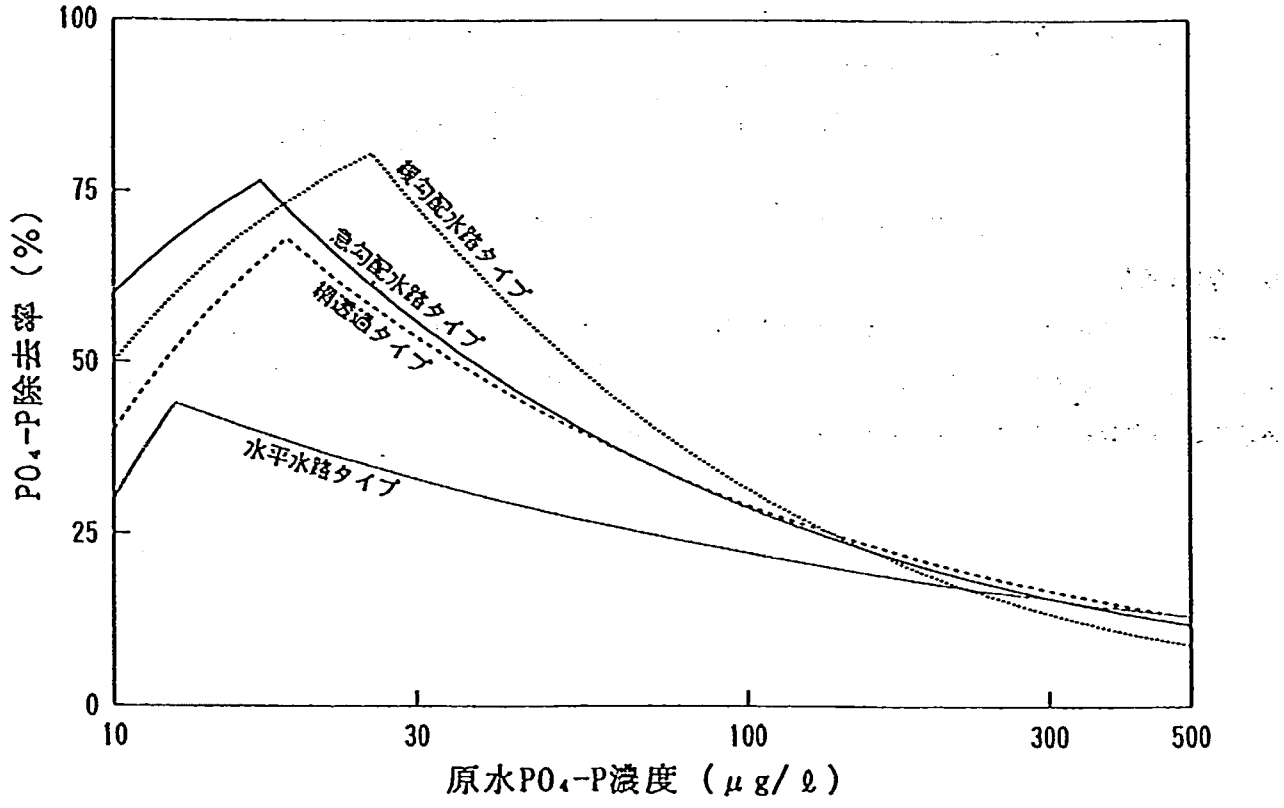
P_{OUT}；処理水のPO_4-P濃度（μg/ℓ）　　r；除 去 率



図－５　現地実験によるリン吸収能力と原水PO_4-P濃度の関係

表－3　生息した糸状藻類

項目	急勾配水路タイプ		緩勾配水路タイプ		水平水路タイプ		網透過タイプ	
	土浦8号水槽	桑納川	蛇沢川	総合公園AC	土浦7号水槽	桑納川	土浦9号水槽	桑納川
生息した糸状藻類	主…メロシラ 準 トゲナシクルキ シオグチ	主 メロシラ キスミトモ	主 メロシラ アオミドロ 準…トゲナシクルキ	主 チヤミドロ アミミドロ 準…ヒゲオリ	主 ヒゲオリ アオミドロ 準 チヤミドロ アオミソウ	主…アミミドロ 準…アオミドロ 珍…チヤミドロ	主…メロシラ 珍…チヤミドロ	主…アミミドロ



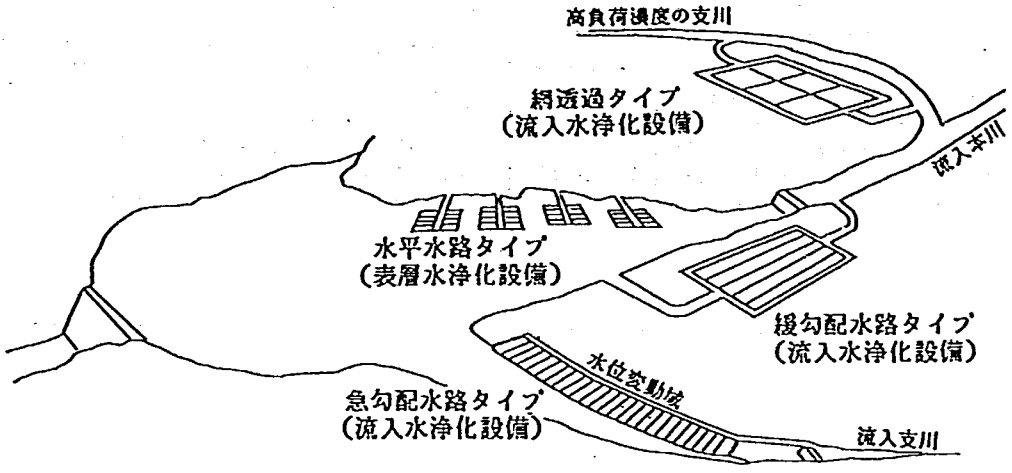
図－6　原水1m³/secを2haで処理する際のPO₄-P除去率

また、各浄化設備タイプは対象とする原水の種類により流入水浄化設備と表層水浄化設備に大別できる。

(1)流入水浄化設備‥‥平常時において、流入河川水が湖沼に入る直前の段階で河川水に含まれるPO₄-Pを除去し、湖沼に流入するPO₄-Pを減少させる設備である。流入地点付近に糸状藻類が付着して増殖できる生息環境を設けることにより、糸状藻類を生息させPO₄-Pを吸収除去させる。なお、本設備は下水処理水及び畜産排水処理水のPO₄-P除去にも適用できる。

(2)表層水浄化設備‥‥湖面上に糸状藻類が付着して増殖できる生息環境を設け、中小洪水等で表層に混入して来たPO₄-Pや底泥から溶出して来たPO₄-Pを藍藻や鞭毛藻等の好ましくない浮遊藻類が吸収する分の一部を、糸状藻類に吸収除去させる設備である。

実際のダム湖における浄化設備の配置例を図－7に示す。



図－7　ダム湖における浄化設備の配置例

5．今後の問題

ダム湖の富栄養化対策として、多量の流入河川水やダム湖表層水を対象としたリン除去、特にPO_4-Pを除去するには、『糸状藻類活用システム』が有効である。糸状藻類活用システムの、維持管理の方法、回収した糸状藻類の有効利用等について今後研究をすすめ必要がある。

ダム貯水池水質保全対策の検討

環境計画研究室　室　　長　丹羽　薫
主任研究員　天野　邦彦
研　究　員　久保　徳彦

1．まえがき

余野川ダムにおいては、流入河川のリン濃度が高く湛水後の富栄養化現象の発生が懸念されているため、水質保全対策の一環として曝気循環法の適用が考慮されている。そこで、その水質改善への効果を予め評価するため、3～6年度に近傍の実ダムにおいて流入河川及びダム湖水質の経時変化を現地観測することにより曝気循環が貯水池水質に与える影響の評価を行なってきている。

6年度は、現地観測の他に、3年度に得られた観測結果をもとに鉛直一次元モデルによるシミュレーションを行った。その結果、3年の8月において曝気循環を停止したことで、貯水池底部において貧酸素状態を招き、河川からの流入量を上回る量の無機リンが底泥から溶出していたという算定結果が求められ、曝気循環の効果の一部として評価された。

2．調査目的

本調査の目的は、曝気循環及び栄養塩類を多く含む洪水時の流入河川水がダム湖水質変化に及ぼす影響を把握することである。

3．調査方法

観測を行った曝気循環が行われているAダムは、堤高29.0m、総貯水容量1,510万m^3、湛水面積2.15km^2、流域面積51.8km^2の多目的ダムである。6年度は、出水時の流入河川水質の経時変化を測定し、その影響把握を試みると共に、3年度に行った曝気循環の一時停止時の水質変化を測定データをもとに鉛直一次元モデルにより再現することにより曝気循環の定量的効果算定を試みた。

4．調査結果

4．1現地観測結果

6年度は、降雨量が少なく、出水時河川及び貯水池水質変化を調査する上では非常に不利な状況であった。このため、6月から予定していた降雨時水質詳細追跡調査は、9月29日に初めて行なうことができた。この日、約24万m^3／日の流入があり、詳細な水質追跡調査が行なわれた。その結果、この出水時における河川水質は、植物性プランクトン成長の制限因子である無機態リン濃度が出水前の約10倍まで上昇していることが明らかになった。貯水池内においては流入端付近で9月30日の午前6時の測定において、この出水の影響から無機態リン濃度が0.03mg/lまで上昇していることが観測されたが、

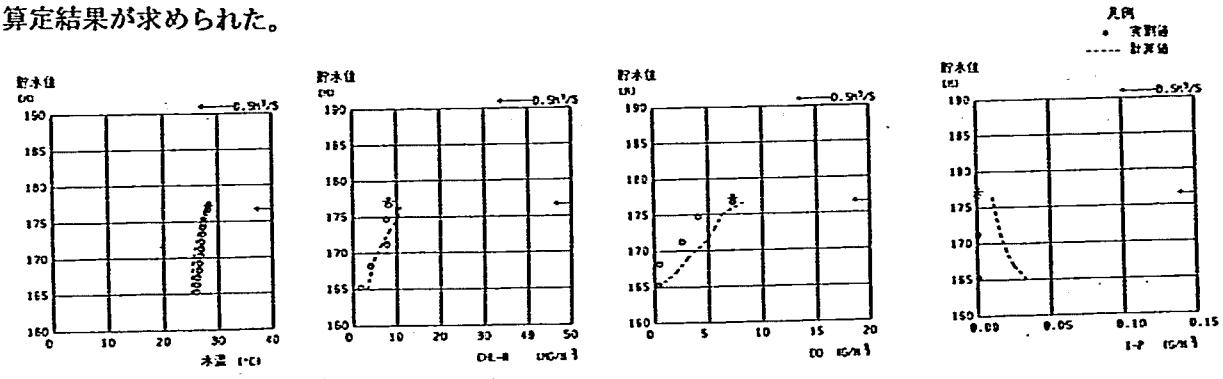
同日午後４時過ぎの観測では、測定限界の0.005mg/l以下に低下しており、貯水池内の他の地点で行なわれた測定を見ても全地点で測定限界以下であった。この無機態リン濃度の低下に伴い、クロロフィルａ濃度は流入端付近の同地点においてこの間に7.4μg/lから17.3μg/lに上昇しているという結果が得られた。９月３０日は晴天であったことから出水に伴い流入した無機態リンは、１日の間に植物性プランクトンにより取り込まれていることが示唆された。

４．２シミュレーション結果

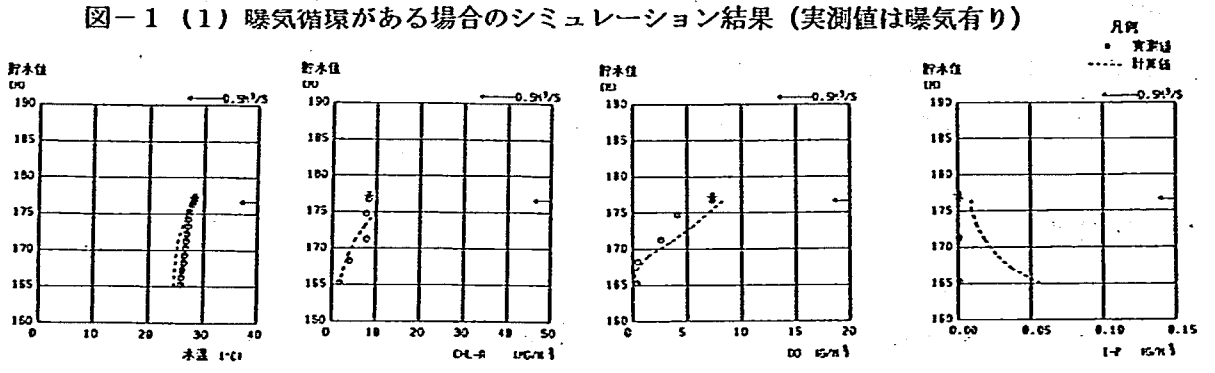
３年度の７月から１０月にかけて行なわれた現地調査をもとに鉛直一次元モデルにより曝気循環の定量的効果算定を試みた。曝気による流れはＫｏｂｕｓの式を用いて表した。当該年度においては、７月３０日から８月２６日まで曝気循環を一時停止し、その間の水質変化を詳細に調査している。

図－１に曝気再開後９月５日における計算結果を示す。曝気を行なったとして計算を行なった結果は、行なわない場合に比べ、貯水池底部での水温、溶存酸素（ＤＯ）の上昇及び、ＤＯ上昇に伴い、無機態リンの底泥からの溶出が抑制される結果、底部での無機態リン濃度が低下する結果が得られた。その反面、クロロフィルａ濃度は貯水池表層でやや高くなっている。これは、循環によって表層に無機態リン等の栄養塩が供給された結果によると考えられ、今後の曝気循環運用に際しての注意点である。

また、このシミュレーション結果からは、３年の８月において曝気循環を停止したことで、貯水池底部において貧酸素状態を招き、河川からの流入量を上回る量の無機リンが底泥から溶出していたという算定結果が求められた。



図－１（１）曝気循環がある場合のシミュレーション結果（実測値は曝気有り）



図－１（２）曝気循環がない場合のシミュレーション結果（実測値は曝気有り）

５．今後の問題点

植物性プランクトンの増殖を抑制するため、流入水と曝気により形成される流れと水質変化の特性についてさらに現地観測とシミュレーションにより解明していく必要がある。

貯水池の水質保全に関する実験

環境計画研究室　室　　長　丹羽　薫
主任研究員　久納　誠
研　究　員　久保徳彦
真田誠至

1．まえがき

ダム湖においてアオコや淡水赤潮等の水質障害の原因となっているのは藍藻類や鞭毛藻類の異常増殖によるものである。このような鞭毛藻類等の異常増殖を阻止するには、流入河川水に含まれるPO_4-P 等の無機態の栄養塩類を糸状藻類を用いて除去する糸状藻類活用システムが有力な手法である。本調査は糸状藻類活用システム等による藻類異常増殖の抑制手法について実験的に検討するものである。

５年度は糸状藻類のリン除去能力の把握を現地実験により行った。６年度は引き続き現地実験を行いデータをとりまとめ実際の施設について現地実験結果の浄化能力より計画を行った。

2．調査目的

実際のダム湖等で糸状藻類活用システムにより栄養塩類を削減し藻類異常増殖抑制を行う。本研究の６年度の目的は、６年度までに行った現地実験のデータにより施設について検討を行い実際の施設規模等についての設計を行うことを目的とする。

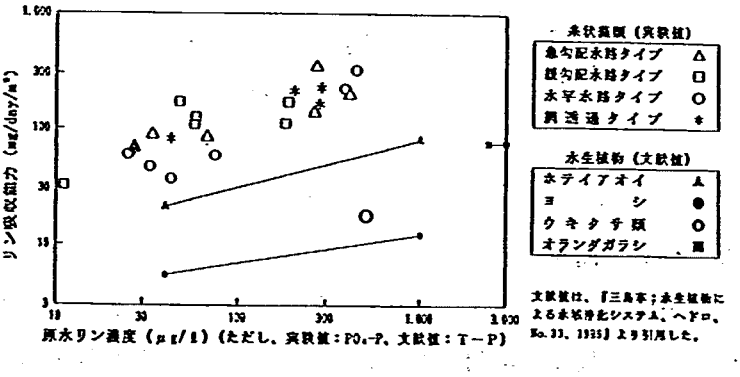
3．調査方法

糸状藻類活用システムで４つの設備タイプごとにPO_4-P 吸収能力を整理し、実際の設備について施設検討を行った。また、PO_4-P 吸収能力について文献などにより他の水生植物との比較を行い糸状送類の除去能力について確認を行った。

4．調査の結果

4．1　糸状藻類と水生植物の比較

６年度までのリン吸収能力のデータを４つの各設備タイプごとに概ね１ヶ月毎に平均してデータとして表－１にまとめた。さらに表に文献からの水生植物（ホテイアオイ、ヨシ、ウキクサ類、オランダガラシ）のリン吸収能力のデータもプロットし吸収能力の比較を行った。この結果より糸状藻類のリン吸収能力

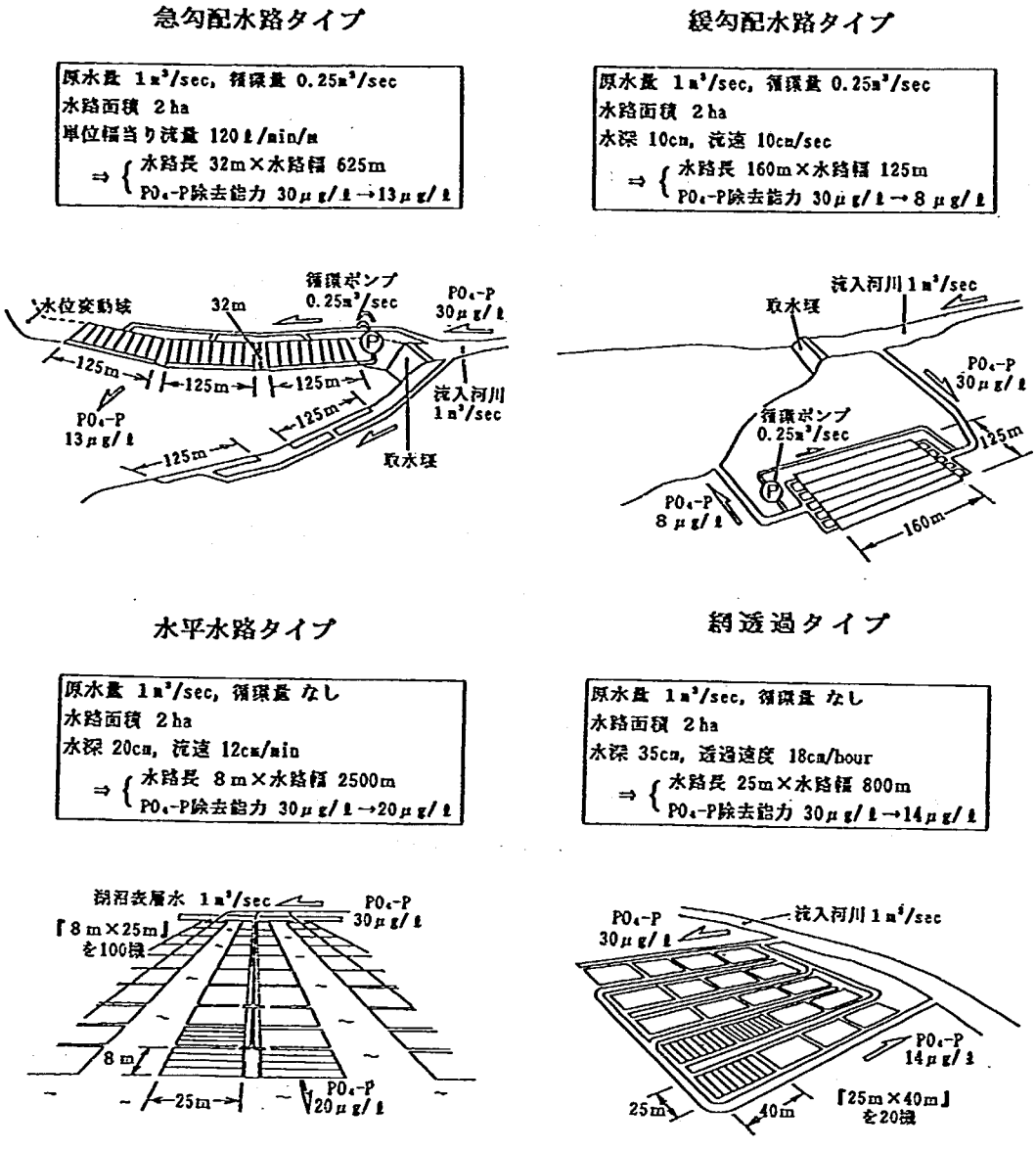


表－１　糸状藻類と水生植物との比較

は水生植物のリン吸収能力の５～10倍程度あることがわかり、藻類の異常増殖の抑制のための栄養塩類除去を行うのに糸状藻類が有利であることが確認された。

４．２　各タイプの施設例

６年度までに行った実験により得られたデータをもとに、糸状藻類を増殖させるのに有利な４つの施設タイプについて原水１㎥/secを２haの設備で処理する場合の施設例及び、30μg/lのPO_4-P の除去能力についても図－１にまとめた。



図－１　糸状藻類活用システムの設備配置設計例

５．今後の問題

糸状藻類活用システムは、上記のような設備により実際の施設で浄化効果を上げられることが確認された。今後は、糸状藻類活用システムにより回収された糸状藻類の有効利用などについて検討を行い設備構造や維持管理などについても確立していく必要がある。

軽石濾過システム現地実験

環境計画研究室　室　　長　丹羽　薫
主任研究員　久納　誠
研　究　員　久保　徳彦
真田　誠至

1．はじめに

ダム湖の富栄養化の問題を解決する対策として、流入河川水から藻類が異常増殖する要因となる栄養塩類を除去することや、ダム湖の流動を制御して藻類の異常増殖を防止したり、藻類が異常増殖する以前に藻類そのものを除去するなどの対策が挙げられる。その中で本システムは、藻類そのものを除去する技術の開発を行うものである。

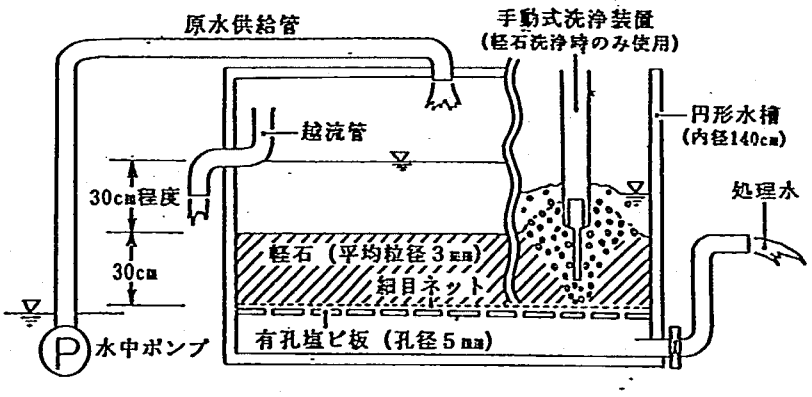
６年度は、湖水の軽石濾過実験を通年で行った。

2．研究目的

軽石濾過システムにより、湖沼等の水より藻類の除去を行い軽石による除去効果の検討や、効率的に除去するための施設構造検討また、濾過閉塞や濾材からの栄養塩類の溶出をおさえるために濾材の洗浄手法の検討などを行い藻類の除去を行うための軽石濾過システムの構築のための基本設備を把握することを目的とする。

3．研究方法

湖水を原水として軽石濾過による現地実験を行った。実験装置を図－１に示す。軽石層は平均粒径３㎜（2.5～4.0㎜）、厚さ30cmとし、１㎥/secの湖水を0.4ha の設備で処理することを想定し、濾過速度を90cm/hour を目標に与え続けた。原水の供給方法は始め水位一定方式としたが、約２ヶ月後より流量一定方式とし軽石面より概ね30cm程度として行った。また軽石層の粒子間に捕捉された浮遊藻類の死骸や濁質は、可動式洗浄管から気泡混じりの水流を出し軽石を舞い上がらせて洗浄し、濁水を排水するという方法を週１回の頻度で行った。濾過槽には天蓋を設けて日光が入らない構造とした。

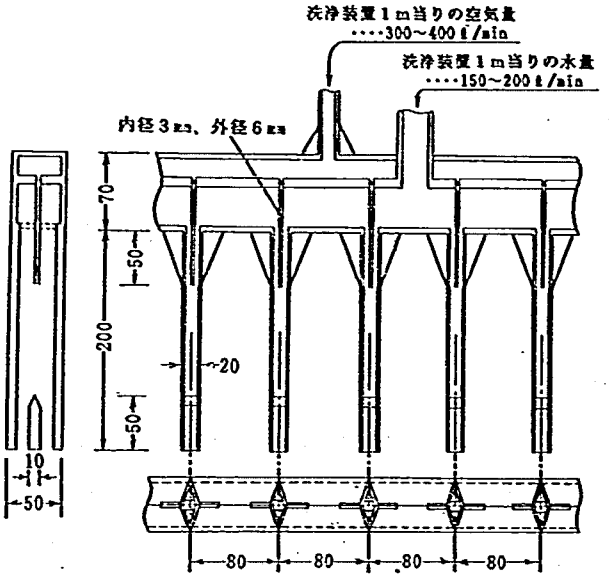


図－１　軽石濾過の実験装置

4．研究結果

4．1　軽石層の洗浄手法の検討

濾過閉塞や濾材からの栄養塩類の溶出をおさえるために濾材の洗浄手法の検討を行った。洗浄装置の構造は図－２に示す様に、水と空気の両方を用いて行う構造で、その理由として水流により粒子間が有機物で固化した軽石層を切り崩し、切り崩した軽石を気泡により水中に舞い上がらせるためである。洗浄装置は、水と空気をほぼ均一に混合するために混合区間を15cm設けて水流と気泡との両者による相乗効果によって軽石層を洗浄する方法を開発した。



図－２　軽石層の洗浄装置

4．2　浮遊藻類除去の実験結果

７ヶ月半実験を行いその結果として表－１に示す。実験期間を水温22℃を境に高温期と低温期に分けて結果を整理した。クロロフィルａの除去率は高温期で77%、低温期で71%、Ｔ－Ｐは高温期で37%、低温期で55%を示した。また実験期間中、目詰まりは発生しなかった。高温期における原水と処理水の植物プランクトン数の除去率については、代表的な藍藻類の*Phormidum* が88%、*Oscillatoria*が72%、*Microcystis* が59%であり、代表的な鞭毛藻類の除去率は、*Cryptophyceae* が99%であり、植物プランクトン全体では82%となった。なお処理水のPO_4-P の高温期の平均溶出量は14μg/lであり、原水Ｔ－Ｐの11%に相当するが、低温期の溶出量はごくわずかであった。

表－１　軽石濾過の実験結果

項目		高温期 (H6. 6.22 ～ H6.10. 4)	低温期 (H6.10.11 ～ H7. 1.31)
濾過速度		21.6m/day	21.6m/day
水温		33～22°C	22～5°C
除去率	*Phormidium*	88%(30000cells/mℓ→3700cells/mℓ)	―――
	Oscillatoria	72%(5600cells/mℓ→1600cells/mℓ)	―――
	Microcystis	59%(5400cells/mℓ→2200cells/mℓ)	―――
	ｸﾛﾛﾌｨﾙa	77%(53μg/ℓ→12μg/ℓ)	71%(32μg/ℓ→9.4μg/ℓ)
	Ｔ－Ｐ	37%(126μg/ℓ→79μg/ℓ)	55%(77μg/ℓ→35μg/ℓ)
	濁度	83%(22度→3.7度)	82%(12度→2.2度)
PO_4-Pの溶出率		原水T-Pの11%(14μg/ℓ)	原水T-Pの1.4%(1.1μg/ℓ)

5．今後の問題

藻類の除去を行い異常増殖の防止を行うための軽石濾過システムの基本構造について確認した。しかし、洗浄装置の自動化や濾材に捕捉された有機物からの溶出を今以上に最小限に押さえる技術、更に洗浄汚泥の有効利用の検討が今後必要である。

流動制御システムに関する実験

環境計画研究室　室　　長　丹羽　薫
主任研究員　久納　誠
研　究　員　久保　徳彦
真田　誠至

1．まえがき

ダム湖の富栄養化対策の有力な一手法である流動制御システムで実際の管理中のダムにおいて流動制御システムを実験装置により稼働させ、曝気により湖内流動を発生させ水温躍層を制御して流入栄養塩の湖内滞留を減少させ、ダム湖の浮遊藻類の異常増殖を抑制するシステムの基本的メカニズムを把握し、システムの概略の諸効果を把握した。

6年度は、現地実験により流動制御システムの設備規模についての検討を行った。

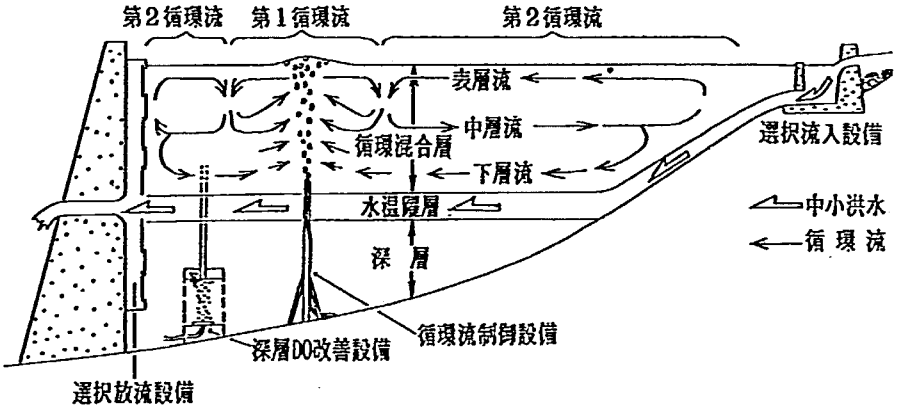
2．調査目的

流動制御システムの流動能力についての検討を行い実際施設をダム湖に施工するための施設規模についての算定法方について検討を行った。

3．調査方法及び調査結果

3．1　循環流制御設備の概要

循環流制御設備は、散気方式曝気により流動を起こしダム湖表層に温水でしかも表層付近の水温分布が均一の循環混合層を、水深概ね15～20mまで厚く形成させる設備である。図－1に循環流の模式図を示す。しかし、散気管方式の曝気の操作で注意しなければならない点があり、散気管より噴出させる空気の量により藻類の異常増殖の抑制効果が事なり、効率的に抑制させるために6年度までに行った現地実験の結果や、他の研究テーマにより調査を行った空気量と流動能力の関係等から実際のダム湖の夏期貯水位に対しての最適なコンプレッサー（22KW3,700ℓ/min、1基を標準とした。）の基数の算定式を検討した。



図－1　循環流制御設備を稼働させた際の循環流の模式図

3．2　適正な流動能力の検討

曝気装置の流動能力が過小であっても過大であっても水質的に悪影響を及ぼす可能性があることがわかり、曝気装置を常時稼働させて得られる流動能力の適正な値を現地実験の結果を基に検討した。その結果、表－1に示すような「表層流の循環周期を5日間程度、下層流の循環周期を2週間程度とする循環能力」と、「1ヶ月程度で循環混合層を形成できる循環能力」との2つの条件により判定し適正な流動能力を調査した。

表－1　常時における適正な流動能力の検討

流動能力の判定根拠	表層流の循環周期を5日間程度、下層流の循環周期を2週間程度とする能力	1ヶ月間程度で循環混合層を形成出来る能力
常時の流動能力が過小である場合	表層流の循環周期が5日間程度であれば、その1/3は暗所の深層に送り込めるため枯死速度は$\frac{\ln(2/3)}{5day}$= -0.08/dayとなり、一般的な藍藻の増殖速度に対抗出来るが、表層流の循環周期が長くなると藍藻を枯死させる可能性が小さくなる。	稼働開始時や、洪水後に生じた一次躍層を解消するのに1ヶ月以上かかれば、アオコが発生する可能性が高くなる。
常時の流動能力が過大である場合	下層流の循環周期が10日以内になると、暗所にて藍藻を枯死させることは出来ない。	1ヶ月以内で強制的に循環混合層を形成させると、太陽熱を十分に取り込められず、循環混合層全体の水温が低下してしまい、一時的に冷水現象となる可能性が生じる。
	循環能力が過大になると藻類等が沈降しきれなくなり、循環混合層の栄養塩が増加し、藻類の増殖が活発となる。	

3．3　適正な設備規模の検討

表－1の結果により適正な流動能力のデータを表－2に示す。また、表層流、中層流、下層流の流動能力はAnを任意の曝気装置の空気量(ℓ/min)とすると$\Sigma\sqrt{An}$に比例することより、常時稼働させておくべき曝気装置の稼働基数を(1)式より検討した結果が表－2に、それにより(2)式に示す算定式が得られた。

また、実際の設備には予備のための基数も必要であり(3)式により求めた結果により設備の総数とする。

表－2　常時稼働に必要な曝気装置の基数の検討

ダム名	貯水位	湛水面積	常時稼働に必要な曝気装置	$\sum\sqrt{An}=k_1\times S$
釜房ダム（平成4年夏期）	洪水期制限水位 EL. 143.80m	2.45 k㎡ (V=2,430万㎥)	3,700 ℓ/min×1基 840 ℓ/min×5基	$k_1=\frac{\sum\sqrt{An}}{S}=\frac{\sqrt{3,700}+5\sqrt{840}}{2.45}=84$
耶馬渓ダム（平成5年夏期及び6年夏期）	常時満水位 EL. 162.00m	0.707 k㎡ (V=1,210万㎥)	3,700 ℓ/min×1基 (5,000～2,500 ℓ/minで実験)	$k_1=\frac{\sum\sqrt{An}}{S}=\frac{\sqrt{3,700}}{0.707}=86$

$$k_1=\frac{\sum\sqrt{An}}{S} \quad \cdots\cdots (1)$$

$$N_1=k_1\times\frac{S}{\sqrt{An}} \quad \cdots\cdots (2)$$

$$N_2=k_2\times N_1 \quad \cdots\cdots (3)$$

N_1：常時稼働に必要な曝気装置の常時稼働基数　　An：曝気装置1基分の空気量（ℓ/min）
N_2：予備設備も含めた曝気装置の設備総数　　k_1：常時稼働基数を算定するための係数（標準k_1=85）
S　：夏期貯水位における湛水面積（k㎡）　　k_2：緊急的に流動能力を増大させるための予備係数（標準k_2=2）

4．今後の問題点

6年度は、循環流制御設備の設備基数について現地実験のデータにより検討を行った。しかし、貯水池の水深や形状による効果能力に影響があり今後この点についても検討する必要がある。

湖内生態系の保全に関する調査

環境計画研究室　室　　長　丹羽　薫
主任研究員　久納　誠
部外研究員　高橋　健夫

1．まえがき

近年、多くの自然湖沼やダム湖、遊水池等において、人間活動に伴う富栄養化が問題となり、アオコによる景観障害やかび臭による上水道での異臭味などの利水障害が発生している。そこで、自然湖沼やダム湖、遊水池等の水質環境を保全することを目標とした効果的な対策手法の開発が必要となっている。その中でも、ダム湖や遊水池等の生態系を制御して利水障害の原因になる植物プランクトンが異常増殖しにくい環境にする対策手法について研究を行うものである。

６年度は、湖沼に実験装置を設置しプランクトン（植物・動物）の変化について調査した。

2．調査目的

自然湖沼やダム湖、遊水池等では、プランクトン（植物・動物）、水生植物、底生動物、付着生物、遊泳動物（エビ類・魚類）等の様々な生物が食物連鎖網を通して相互に結びついている。この食物連鎖網を活用して、異常増殖しようとする植物プランクトンの増殖を抑制する方法であり、６年度は、湖沼に実験施設を設置し動物プランクトンが安定的に増殖できる環境を創造することを目的として行う。

3．調査方法

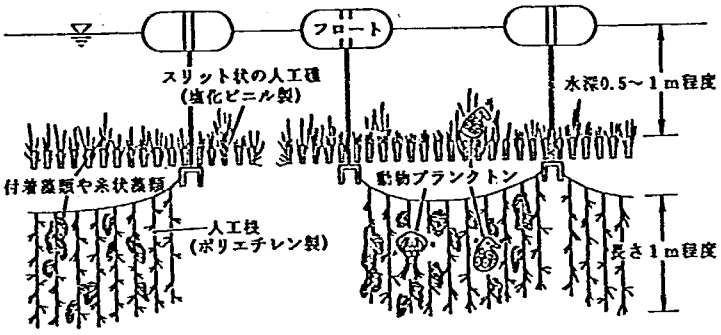
3．1　生態系制御システム概要

湖沼等で生態系を制御して異常増殖しようとする植物プランクトンの増殖を抑制する方法としては以下のような方法が考えられる。①自然湖沼やダム湖、遊水池等の流入端や護岸に動物プランクトンが安定的に増殖できる環境を人工的に創造し、動物プランクトンに植物プランクトンを捕食させる。②植物プランクトンを捕食する魚類や貝類が安定的に増殖できる環境を人工的に創造し、それらに植物プランクトンを捕食させる。③動物プランクトンを捕食する無脊椎動物や魚類を除去する。④水生植物、付着藻類が無機態のリンや窒素等の栄養塩類を多量に吸収できる環境を人工的に創造し、植物プランクトンが吸収できる栄養塩類を減少させる。以上の様な４つの方法が考えられるが、６年度の実験では①に着目し、動物プランクトンが安定的に増殖できる環境を創造する施設として『人工生態礁』というものをＡ貯水池に設置して行った。

3．2　人工生態礁

人工生態礁の概要を図－１に示す。人工生態礁は塩ビ板がスリット状に組まれた人工礁の部分と、それから吊り下げられたポリエチレン製の人工根の部分からなり、水深が50cmになるようにフロートで浮かせたものである。人工礁は１辺が６ｍの正方形で、その中央部分には人工礁がなく、それから１ｍの人工根を吊り下げたものである。人工生態礁のうち人工礁は平成６年８月に、人工根は平成７年１月に設置し、

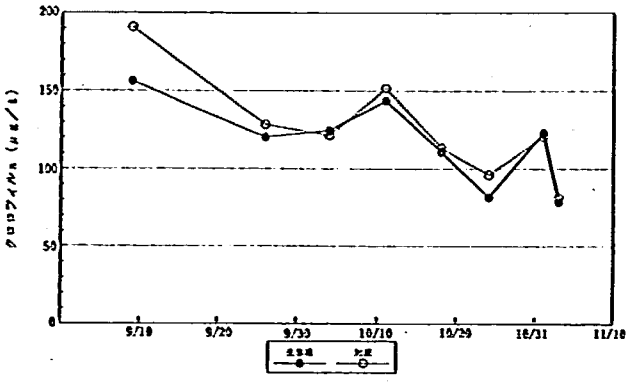
人工生態礁の中央部分とそれから岸沿いに25m離れた地点の水質調査を行った。実験期間中の人工生態礁設置地点の水深は3～6mであった。なお以下に示す結果は人工礁のみの状態のものである。



図－1　人工生態礁の概要（人工礁と人工根より構成）

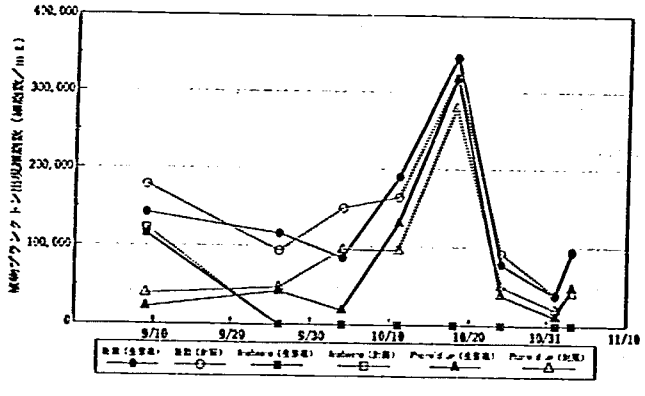
4．調査結果

クロロフィルaは各調査地点とも増減を繰り返しながら減少するという同じ傾向で推移したが、人工生態礁の方が若干低くなった（図－2）。植物プランクトンについては実験期間中はいずれも藍藻類が優占しており、9月中旬は*Anabaena* spp.が、それ以降は*Phormidium* spp.が優占種となって10月中旬にピークをむかえた（図－3）。動物プランクトンのうちで藍藻類を捕食すると言われている輪虫類の*Brachionus calyciflorus*（ツボワムシ）と枝角類の*Bosmina longirostris*（ゾウミジンコ）の増殖はいずれも藍藻類の減少とは対照的であり（図－4）、

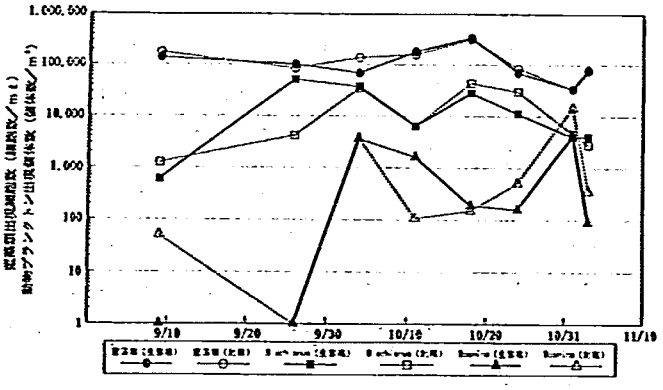


図－2　クロロフィルaの経時変化

これらによる捕食圧の増加が藍藻類に影響していることが示唆された。ただし、植物プランクトンの増殖制限要因としてはこのほかに9月末や10月中旬以降に栄養塩類が枯渇したことや10月中旬に水温が急激に低下したこともあげられるであろう。



図－3　植物プランクトン出現細胞数の経時変化



図－4　藍藻類出現細胞数および動物プランクトン出現個体数の経時変化

5．おわりに

6年度では、輪虫類や枝角類の増殖は藍藻類の減少とは対照的であることがわかったが、人工生態礁に人工根を設置する以前の調査であったこともあり枝角類や甲殻類を安定的に増殖させることはできなかった。今後は、輪虫類や枝角類等の生態系制御適種による利水障害の原因になる植物プランクトン増殖の抑制環境の創造方法についてさらに検討を進めていく必要がある。

落葉回収システムに関する実験

環境計画研究室　室　　長　丹羽　薫
主任研究員　久納　誠
研　究　員　久保　徳彦
真田　誠至

1．はじめに

流域の森林から発生した落葉や、洪水時等に河川に堆積していた落葉が湖沼やダム湖に流入し、湖の底に堆積し短期間で分解することにより無機態の栄養塩類を水中に溶出するため、富栄養化現象の要因となっている。そこで、流入する落葉を効率的に回収するシステムを構築し富栄養化の要因である栄養塩類の削減を行う必要がある。

６年度は、落葉回収システムの模型実験により基本的設備構造について検討した。

2．調査目的

落葉回収システムは、湖沼等に流入する前に河川水に含まれている落葉を回収することが目的であり、特に洪水時の初期流出水には多量の落葉が含まれており、この流出水より効率よく連続的にかつ無動力で回収し除去を行い栄養塩類の削減を行うためのシステムの構築のための各基本設備を模型実験等により把握することを目的とする。

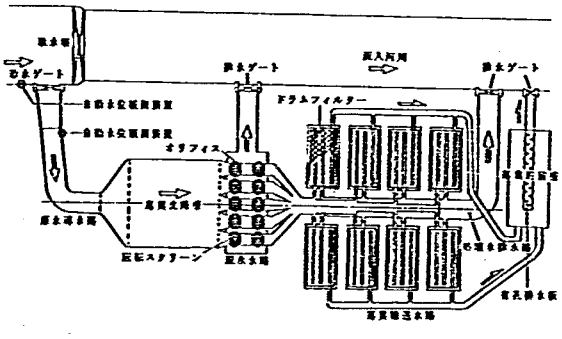
3．調査方法

落葉回収システムを機能の面から落葉沈降層、脱水水路、ドラムフィルターの３つに分けそれぞれの基本的な施設特性の検討を模型実験等により行った。また、耶馬渓ダムを施設施行の対象として用地面積や処理流量をその値として考慮し検討を行った。

4．調査結果

4．1　落葉回収システムの設備構造の検討

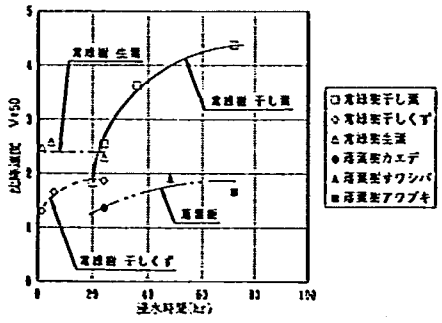
落葉回収システムは、図－１に示すように落葉沈降槽、脱水水路、ドラムフィルターからなり、各施設は、まず最初に落葉沈降部で水を多く含んだ落葉や大きめの枝等を沈降させ、次に脱水水路で水量を1/3～1/10 程度になるまで脱水し、ドラムフィルターで残りの沈まなかった落葉等を除去するシステムである。そこで今年度はそれぞれの施設について次のような実験や検討を行った。



図－１　落葉回収システム全体図

4．2　落葉沈降槽の検討

落葉沈降槽では、気泡が抜けたり破砕されたりして水分を十分に含んでいる比重の大きい落葉や土砂分を沈降させる。今回は、落葉沈降槽の施設規模の検討を行うために落葉の水平流動中の沈降特性について実験を行った。実験の結果について図－２に示す。



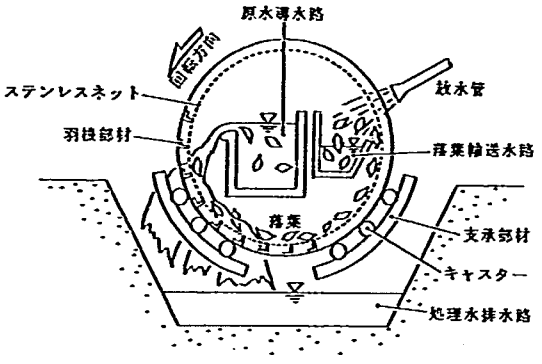
図－２　落葉沈降特性

4．3　脱水水路の検討

施設面積や施工費等を考慮し、脱水水路により処理河川水を1/3～1/10 程度になるまで削減することを目標に施設検討を行った。今年度は、維持管理や施行の容易さ等を考慮し水路壁面にスリット式の脱水装置を付ける模型実験を行ったが、スリットに落葉が付着したり脱水流量を常に安定して処理する事が難しく、今後は回転スクリーン方式を検討する必要がある。

4．4　ドラムフィルターの検討

ドラムフィルターとは、図－３に示すように支承部材に設けられたキャスターにより回転可能な構造となっており、ドラムフィルター内部に設けた原水導水路から、落葉が多量に含まれた河川水をドラムフィルターの片方の側面に落下させる。すると河川水のうち水はドラムフィルターを通過してゆくが、落葉はドラムフィルターの内側に捕捉される。この際河川水の落下する勢いがドラムフィルターの円周に設けた羽根部材に当たり、ドラムフィルターは回転運動を生ずる。ドラムフィルター内部には落葉輸送水路が原水導水路と平行してその越流側の背後に設けられている。ドラムフィルター内面に付着する落葉を落葉輸送水路に落下させるために、小量の射水が可能な放水管がドラムフィルター外部に設けてある。このようにして落葉は落葉輸送水路に落下し、この水路は射水によって生じる水流により、落葉はドラムフィルターの内部から外部に容易に排出される。これらの作用が連続的に行われることによって、河川水から落葉を無動力で定常的に取り除くことが可能となる。今年度は、籠の大きさが直径１m、長さ1.5 mの模型による基本施設の原理検討を行った。



図－３　ドラムフィルター詳細図

5．今後の問題

湖沼の富栄養化対策として落葉の栄養塩類溶出を防ぐための落葉回収システムを開発したが、本年は基本原理や落葉の特性について確認出来たが、今後は脱水水路の回転スクリーン式の検討や実際の施設規模でのドラムフィルターの特性を更に把握する必要がある。

発　表　論　文

環境計画手法に関する研究
(発表論文)

環境アセスメント技術に関する研究

◆紹　介◆

米国グレンキャニオンダムの環境アセスメント

安田吾郎* 丹羽　薫**

1. まえがき

米国では1970年以降、国家環境政策法 (National Environmental Policy Act、以下NEPAと略称) に基づき、連邦政府が行う主要な行為に関する環境アセスメントの実施が義務づけられるようになった。内務省開拓局は、中西部地域における水資源開発事業等を所管しており、多くのダム事業等を実施してきている。本報文においては、内務省開拓局が実施している最も新しくかつ大規模な環境アセスメントであるグレンキャニオンダムの運用規則に関する環境アセスメントの事例を通じて、米国における近年の環境アセスメントの動向の一端を紹介する。

2. 米国の環境アセスメント制度の概要と特徴

開拓局が実施した環境アセスメント事例を論じるに当たって、米国の環境アセスメント制度に関して一定の解説を行う方が良かろう。そこで、2.1節においては、米国の環境アセスメント制度の概要の紹介を行う。また、2.2及び2.3項においては、米国の環境アセスメント制度における特徴的事項の内、3章以降の議論に際して必要なスコーピングと代替案選出に関する解説を行う。

2.1 制度の概要

米国における、環境アセスメントの根拠法令は以下の3つである[3)]。

①NEPA

②NEPA施行のための環境質委員会規則 (The Council on Environmental Quality (CEQ) Reg-

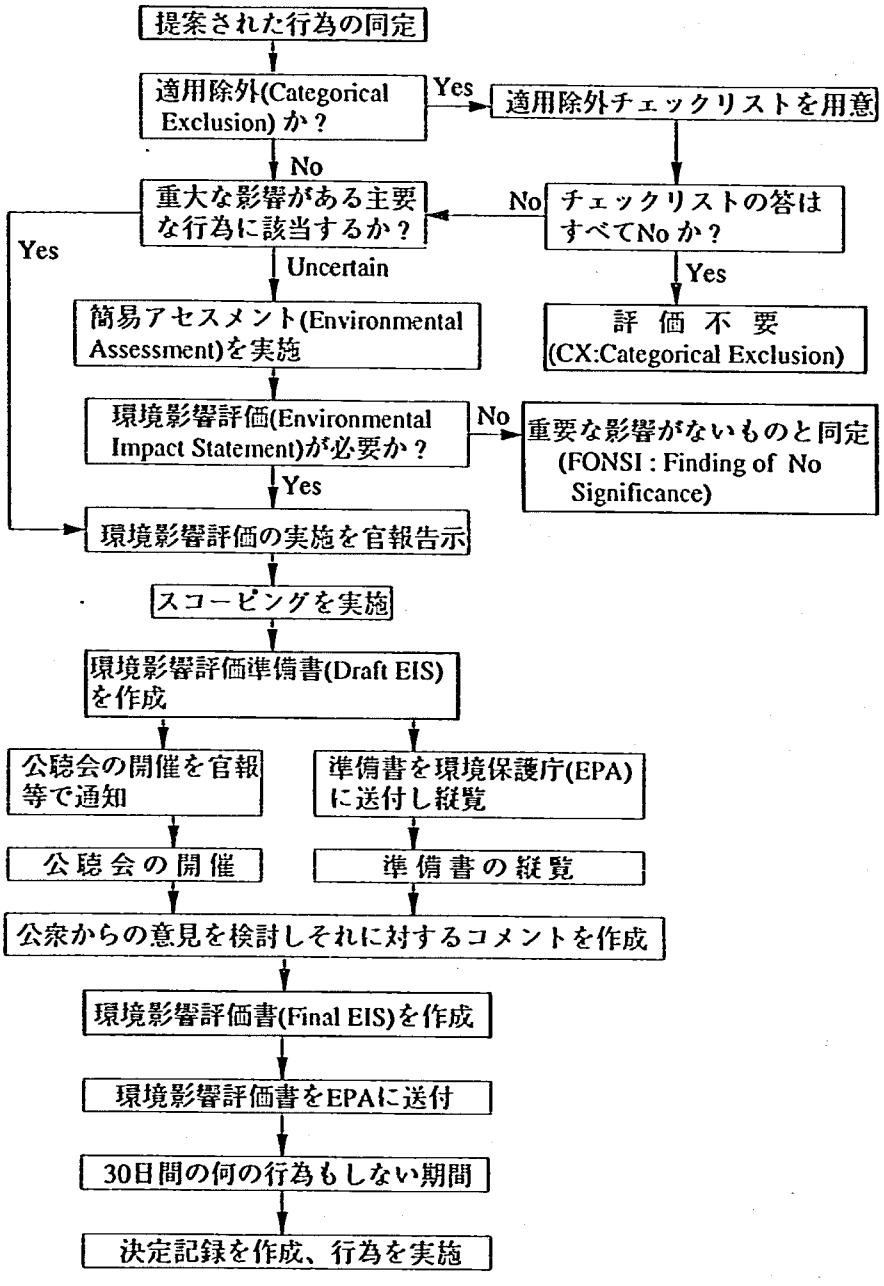


図-1　米国におけるNEPAに基づく環境アセスメント実施フロー

EIS for the Operation of the Glen Canyon Dam

ulations for Implementing NEPA)
③連邦機関に NEPA の実施を求める環境の質の保護と向上に関する大統領令 11514 号 (大統領令 11991 号にて修正)

このうち NEPA が環境アセスメントの実施を規定する根拠法令であり、1979 年に制定された②の環境質委員会規則 (以下、NEPA 施行規則という) はその実施の詳細について定めたものである。また、1970 年に発令された大統領令11514号は、各連邦政府機関に対して公衆の関与の仕方に関する手続きの制定を求めること等を定めている。

NEPA に基づく環境アセスメントの実施フローを図-1 に示す。この図に示されているように、NEPA に基づく環境アセスメントは、必ずしも環境影響評価書 (EIS: Environmental Impact Statements) の作成を伴うものではなく、環境への影響が軽微であると見なされる場合には、適用除外 (CX : Categorical Exclusion) または簡易アセスメント (EA : Environmental Assessment) の実施のみで終了する。なお、EA を行ってから EIS を行う場合は、スキーム上は一つの大きな流れになっているが、実際には EIS まで行う場合には EA の過程をバイパスすることがほとんどである[2]。

2.2 スコーピング (絞り込み)

スコーピングとは、環境アセスメントの中で検討すべき事項を絞り込む過程のことを指す。具体的には、アセスメントの実施前の段階で、当該プロジェクトの影響を受ける連邦機関、自治体、住民等から懸念事項や代替案の選出に関しての聴取を行い、そこで拾い出された事項を環境アセスメントの中に重点的に取り入れていくといった方法を取る。スコーピングは、評価書ができた段階での不足事項の指摘や、住民等の関心事項との乖離を極力無くすとともに、不要な検討項目に余分な労力をかけないために行うものと言える。なお、スコーピングは、会議、電話、手紙等の形を通じて行われる。

2.3 代替案の検討

スコーピングの過程等を通じて抽出された代替案について、便益の比較分析を行い、環境影響評価書に提案と代替案とを対比しうる形で提示するべきことが規定されている (NEPA 施行規則 1502.14 条)。同条には、下記①~④の規定が含まれており、恣意的な代替案の選択を防いでいる。

①全ての合理的な代替案について厳密に検討すること。厳密な検討を行わない代替案については検討対象から削除した理由を記すこと。
②主導政府機関の所管外であっても合理的な代替案を含めること。
③行為を行わないという代替案を含めること。
④提案行為又は代替案に、元々は含まれていない適当な保全措置を含めて検討すること。

3. グレン・キャニオンダム EIS

3.1 グレンキャニオンダムの概要と EIS 実施に至る経緯

グレン・キャニオンダムは、1956 年にコロラドプロジェクトの一環として議会で承認を受け着工し、1963 年に完成した。図-2 に示すように、ユタ州との境界に近いアリゾナ州内のグランドキャニオン渓谷上流のコロラド川上に位置し、堤高 216m、堤頂長 475m、堤体体積 375 万 m^3の大型のアーチ式ダムである[3]。併設されている水力発電施設は 95 万 KW の発電能力を持っているほか、ダムの完成に伴ってできたパウエル湖は、容量 330 億トン、湖岸延長 3,150km の広大な湖である。このダムが建設された時点ではまだNEPA が制定されていなかったので、ダム建設に関する環境アセスメントは行われていない。しかし、開拓局では 1970 年代に発電能力の増強に関する調査を始め、1982 年に発電機は増やさずに発電能力の拡張を行う案に関する EA を作成し、「顕著な影響は無いとみられる」(FONSI : Finding of No Significant Impact) という結論を得た。その後実際に能力拡張事業が実施され、1987 年に完了した。その結果、能力一杯に発電した際には毎秒 33,200 立方フィート (約 940m^3/秒) の放流量となった。ただし、調査段階で放流量増加による下流沿川の自然的・文化的資源への影響を懸念する異論が多く提出されたため、より詳細な調査が完了するまでの間は毎秒 31,500 立方フィート以上の放流量になる際には、発電能力向上事業の実施の結果向上した能力分は稼働させないという条件での運用となった。これを受けて開拓局は、1982 年以降、関係機関と合同でグレンキャニオン環境調査を実施し、放流量の増加が環境に与える影響に関する調査を進めた。しかし、この過程で、再び悪影響を懸念する多くの意見が公衆及び連邦・州の機関から数多く出た。このような状況を踏まえて 1989 年に内務省長官が、グレンキャニオンダムの運用に関する EIS を準備するよう開拓局に

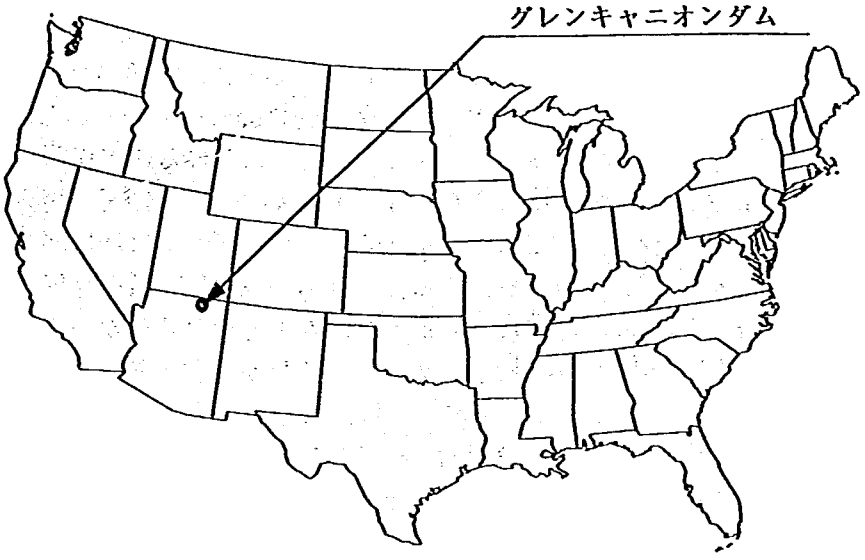


図-2　グレンキャニオンダム位置図

指令をだした。また、現在の運用規則の下における環境影響を懸念する声に対応して、1991年11月からは、最大発電放流量を20,000立方フィートまで落とした暫定運用規則が適用されている。なお、暫定運用規則を適用するに当たってもEAが作成され、FONSIという結果を得ている。この暫定運用規則は、EISが完了するまで継続されることとなっている。

結局、グレンキャニオンダムでは、施設運用段階に入ってから2回のEAと1回のEISが行われることになったわけであるが、この理由には説明を要しよう。まず、1982年のEA後の運用規則を継続するのであれば基本的に新たなEAやEISの実施は必要とはされなかった。しかし、1982年の運用規則は詳細な調査が終わるまでのものとしていたことから、開拓局ではその調査が終了する時点で何らかの判断を下す必要があった。その判断とは、結局1991年の暫定運用規則の提案となったわけであるが、1991年の規則は暫定的なものであることに加えて環境的に見て安全側と思われる案あるものの、環境への影響量が大きければEAの実施は免れないためEAが実施されたわけである。また、現在実施されているEISは、環境への影響が大きい案件における非暫定的運用規則を決定するものであることから当然EISが必要とされたものである。なお、わが国であれば一つの案件に関する環境アセスメントは1回で終えるのが原則であるが、米国ではNEPA施行規則1502.20及び1508.28条の階層化(Tiering)条項により、段階的環境アセスメントの実施が奨励されており、グレンキャニオンダムのような環境影響が大きいと見なされる事業の場合には複数のEAやEISが出されることは、不思議ではない。

表-1　グレンキャニオンダムの環境アセスメントの歩み

時期	内容
89/6/27	内務省長官が開拓局にグレンキャニオンダムの運用を再評価するEISを準備するように指示
90/3	開拓局「EISにおける代替案の案出(EIS Development of Alternatives)」を発行
90/3	開拓局「EIS背景書(EIS Backgyoind Paper)」発行
90/3/12~90/5/4	スコーピング実施(17,000以上の意見が寄せられた)
90/6~91/7	開拓局試験放流実施(Research Flows)
90/7	代替案のロングリスト発行
91/8/1	暫定運用規則適用試験開始
91/10	開拓局「暫定操作規則に関するFONSIレポート」を発行
91/11/1	暫定運用規則適用開始
92	グランドキャニオン保護法(Gand Canyon Protection Act」制定 (94/10/30までのFinal EISが終了することを要求)
92/10~93/2	暫定運用規則のモニタリング(91年8月から実施)
93/7	開拓局「環境影響評価準備書前刷版(Advance DraftEIS)」を発行
94/1	開拓局「環境影響評価準備書(Draft EIS)」を発行
94/3	開拓局環境影響評価準備書に関する公聴会を実施
94中	開拓局「環境影響評価書(Final EIS)」を発行予定

3.2 グレンキャニオンダム EIS の経過

グレンキャニオンダム EIS の実施経過を表-1に示す。現在は環境影響評価準備書 (Draft EIS) が作成された段階である。この表の中で注目される点を以下に示す。

①スコーピングを実施する前に、開拓局側が考えている代替案群に関する文書及び背景文書 (バックグラウンドペーパー) を公開し、スコーピングにおける議論のベースの充実を図っている。

②スコーピングにおいて 17,000 もの意見が寄せられている。

③1992 年にグランドキャニオン保護法が成立し、同法 1804 条により 1994 年 10 月までに EIS を完了することが義務づけられている。

④環境影響評価準備書作成に先だって、法令上の義務づけがない前触れ版の準備書 (Advance Draft EIS) が作成されている。

以上の点から、グランドキャニオンの保護の観点からの世論が非常に強く、開拓局は EIS の準備に当たって相当慎重な手続きを取ってきたことがうかがわれる。

3.3 環境影響評価準備書における代替案の概要

グレンキャニオンダム運用規則に関する EIS においては、多数の代替案の中から以下の 9 つが最終的な主要代替案として選定された[4]。なお、ここで「生息環境維持流量」とは、3 月の適期等に 1~2 週間の間発電プラントの能力の範囲で、連続して大きな放流量を流し続けるものである。

①何の策も実施しない
②最大発電能力を発揮させる案
③制限付きで流量を変動させる案 (変動量大)
④ 〃 (変動量中)
⑤ 〃 (変動量小、生息環境維持流量有り)
⑥ 〃 (変動量小)
⑦月毎に設定した定常流量維持
⑧7 つに区分した季節毎に定常流量維持 (生息環境維持流量有り)
⑨年間を通じて定常流量維持

この中で、1991 年 10 月以前の運用規則が代替案①であり、これが比較検討のベースになっている。これに対して、増強された発電プラントの能力を一杯まで使う案が代替案②である。これらの案の場合におけるダム下流の動植物や文化的資源への影響が懸念されたことから、水位・流量変動をより抑制した代替案が③~⑨案である。この中で③~⑥は一定限度内での流量変動を許容しているのに対し、⑦~⑨案は順に月・季節・年で流量を固定してしている。⑥案は、91 年 11 月以降の暫定運用規則と基本的に等しいものである。

なお、これらの代替案における運用規則の詳細は準備書には示されているが、紹介を割愛した。ただし、定常流量の維持案 (⑦~⑨案) に関して一つ補足をする。これらの案では、洪水時等の非常の際には流量の制限が解除されるほか、流入量の予測結果に基づいて流量が月毎に調整される。従って、定常流量維持といっても設定期間内で全く流量の変動を許さないものではない。

このほか、わが国の場合であれば、水力発電放流量の時間的変動に対しては下流に逆調整ダムを設置する対策が行われているところであるが、グレンキャニオンダムの場合は、下流がすぐに国立公園域となるためこのような代替案は有力なものとしては考慮されなかったようである。

3.4 代替案の比較検討結果

代替案の比較検討結果の概要を表-2に示す。代替案④、⑦、⑨に関しては簡略化のために省略した。最終的な開拓局の推薦案は⑤案である。⑤案は 91 年 11 月以降の暫定規則 (⑥案) をベースとして生息環境維持流量を加えたものである。

代替案の比較は水量、堆砂、魚類等の項目毎に、予測結果が各種の基準や関係者からの要望事項等に照らして満足できるものかどうかを評価して行っている。たとえば、水量に関しては、ナバホ族の既得水利権の確保やアリゾナ州の基準水量等に照らした評価となっている。

このような個別項目の評価結果をまとめた総合評価は少なくとも準備書上では行われていない。EIS では、主要な代替案に関して、環境影響を初めとした、政策決定に影響を及ぼす項目の比較を行うことを求めてはいるが、推薦案の決定理由を明示することは求めておらず、総合評価に関する記述が無いことは決して特殊なものではない。

以下には、代替案の比較検討結果に関して、注目されるいくつかのポイントを記す。

①レクリエーションが評価対象に含まれたこと

グレンキャニオンダムが非常に重要な観光地であるグランドキャニオンの上流に位置していることから、レクリエーションへの影響に関する関心も高く、スコーピングにおける船下りに関するコメントだけで 386 件[6]を数えた。この結果、主要

表-2　グレンキャニオンダム運用規則代替案比較表

項目			代替案番号					
			①(旧規則)	②	③	⑤(推薦案)	⑥(暫定案)	⑧
水量	平水年総流出量 (10^3acre-feet)		8,573	8,573	8,559	8,559	8,559	8,554
	季節別中位月流量	秋 (10 月)	568	568	568	568	568	492
		冬 (1 月)	889	889	889	889	889	688
		春 (5 月)	587	587	587	587	587	1,106
		夏 (7 月)	1,045	1,045	1,045	1,045	1,045	768
堆砂	河床堆積土砂増加確率 (%)	20 年後	50	49	53	64	69	71
		50 年後	41	36	45	73	76	82
	砂州・砂浜	水位変動域の幅 (feet)	44 から 74	44 から 77	44 から 70	24 から 41	24 から 41	16 から 29
		生息環境維持流量考慮時	–	–	–	41 から 66	–	37 から 60
		水位変動域の高さ (feet)	10 から 15	10 から 16	10 から 15	6 から 9	6 から 9	4 から 7
		生息環境維持流量考慮時	–	–	–	9 から 14	–	9 から 13
魚	水中の餌の供給		*1	*1	微増	かなりの増	かなりの増	非常に増加
	在来種の魚		安定/減少	安定/減少	安定/減少	微増	微増	かなりの増
	非在来種の暖水魚及び冷水魚		安定/減少	安定/減少	安定/減少	微増	微増	かなりの増
	ます		養殖量依存	養殖量依存	養殖量依存	*2	*2	*3
植生	高水敷内の森林性植物エリア		純増無し	0~9%減	純増無し	30~47%増	30~47%増	38~58%増
		生息環境維持流量考慮時				0~12%増		0~12%増
		種の構成	ギョリュウ等	ギョリュウ等	*4	*4	*4	*4
	高水敷内の湿地性植物の最大変化量		変化無し	5%増	変化無し	37%減	37%減	43%減
野生動物及びその生息環境	河川域生息環境		植	生	の	項	参	照
	冬期に渡ってくる水鳥		安定	安定	安定	やや増加	やや増加	やや増加
絶滅に瀕した種及びその他の特別な種	Humpback chub		安定/減少	安定/減少	安定/減少	微増	微増	微増
	Razorback sucker		安定/減少	安定/減少	安定/減少	微増	微増	微増
	Flannelmouth sucker		安定/減少	安定/減少	安定/減少	微増	微増	微増
	白頭ワシ		安定	安定	安定	やや増加	やや増加	やや増加
	オオハヤブサ		影響無し	影響無し	影響無し	影響無し	影響無し	影響無し
	Kanab ambersnail		影響無し	影響無し	影響無し	影響無し	影響無し	影響無し
	Southwestern willow flycatcher		定量できないが増加	定量できないが増加	定量できないが増加	定量できないが増加	定量できないが増加	定量できないが増加
文化的資源	考古学的価値のある箇所数		336	336	263	157 以下	157 以下	157 以下
	伝統的文化的財産	先住民族が伝統的に使用してきた土地	影響大	影響大	影響大	影響大	影響大	影響大
		先住民族にとって神聖な場所・資源	影響大	影響大	影響大	影響大	影響大	影響大
地域的大気質	亜硫酸ガス排出量 (10^3トン)		1,960	変化1%以内	変化1%以内	変化1%以内	変化1%以内	変化1%以内
	窒素酸化物排出量 (10^3トン)		1,954	変化1%以内	変化1%以内	変化1%以内	変化1%以内	変化1%以内
レクリエーション	魚釣りの安全性		やや危険	やや危険	やや危険	危険性改善	危険性改善	危険性改善
	スリーマイルバー地点越えの筏下り		低水時には困難	低水時には困難	極微小改善	大きく改善	大きく改善	大きく改善
	急流ボート下り	安全性	*5	*5	極微小改善	大きく改善	大きく改善	改善やや大
		キャンプ用の川辺 (平常流量時の平均面積) (feet^2)	7,720 未満	7,720 未満	7,720 未満	少量増	少量増	やや大量増
		自然的価値 (Wilderness Value)	毎日の流量変動による	毎日の流量変動による	少量増	中量~やや大量増	中量~やや大量増	大量増
	年便益 (1991 年値、100 万$)		0	0	0	+3.74	+3.94	+4.76
発電	原価 (山元価格) (1991 年$/100 万 Wh)		18.78	18.78	19.38 (+3.2%)	23.67 (+26.0%)	23.18 (+23.4%)	28.32 (+50.8%)
	小売価格 (1991 年$/100 万 Wh)		62.17	62.17	62.72	66.15	65.77	69.03
	年費用 (1991 年 100 万$)	原価ベース	0	−2	+2	N/A	+36	+76
		小売価格ベース	0	0	+3	+41	+36	+119
非使用価値 (Non-Use Value)			*6	*6	*6	*6	*6	*6

*1：安定した水際領域の不足により制限を受ける
*2：潜在成長力増加、養殖量に依存
*3：潜在成長力増加、養殖無しで持続可能であるかもしれない
*4：ギョリュウ、コヨーテ、柳、Arrowweed、Camelthorn 等
*5：流量が非常に多い時または非常に少ない時に危険
*6：今後の調査結果を待って、最終的な評価書 (Final EIS) で具体値が記述される予定

な調査項目にレクリエーションが含まれた。

②非使用価値が評価対象に含まれたこと

非使用価値とは経済用語であり、ほとんどの人にとっては耳慣れないものであろう。通常の財(物)はその使用によって初めて価値を生み出すのに対して、使用しなくても何らかの価値を生み出す財がある場合、その価値が非使用価値と呼ばれる。例えば、代替案①~④ではグランドキャニオンの川辺に生息する一部の絶滅に瀕した種へ悪影響が生じる可能性があるが、これらの種を「使用」(食べる、鑑賞する等)する可能性が一切無い人でも、その種の絶滅によって心を痛めるとすれば、その心の痛みに相当する分の価値が非使用価値である。非使用価値も含めた便益・費用の算定は米国では行政的にも応用されているところであるが、学問的にはまだ議論が残っている[7]。なお、非使用価値の評価を EIS 含めることは、スコーピングの段階で決められたが、準備書 (Draft-EIS) 作成の段階では調査が終了していないため、評価書 (Final-EIS) の段階で調査結果が組み入れられることとなっている。

③発電面で便益の低い代替案を推薦案としたこと

小売価格ベースの発電便益の損失は、旧運用規則案 (①案) を比較のベースとした場合推薦案 (⑤案) では年額 4,100 万ドルになる。推薦案はレクリエーション便益の面では旧運用規則案よりも大きいものの、これは発電便益の損失に比べると 1 オーダー小さい。これだけの便益の損失があっても⑤案を推薦したということは、魚類、絶滅に瀕した種、文化的資源等の面での⑤案の利点をそれ以上に評価したということを意味し興味深い。開拓局は水力発電・レクリエーションを含む総合的な水資源開発を所管しており、事業者間の利害調整や補償問題を回避することが可能であったことも、この推薦案の決定を可能にした大きな要因であろう。また、1992年のグレンキャニオン保護法によって、EIS の早期実施や長期モニタリングを義務づけられたことに象徴されるように、環境の保護を求める意見が非常に大きかったことが、意志決定を支配した最も重要な要素であったものと思われる。

4. まとめ

本稿では、米国の環境アセスメント制度を概観した上で、米国内務省開拓局が実施中のグレンキャニオンダムの運用規則に関する環境アセスメントの紹介を行った。そして、評価対象の選定や経済分析の組み込み、推薦案の選択の考え方等に特筆すべき点があることを明らかにした。

開拓局が実施した近年の環境アセスメント事例についてもっと多くの事例を挙げて横断的な分析を行うことを考えたが、一事例を取り上げるだけでも紙幅は尽き、これはならなかった。また、グレンキャニオンダムの事例だけでも、より詳細な議論を行う価値がある点が多数残っていると感じているが、これについてもまた別の機会に譲ることとしたい。

参考文献

1) Bregman.J.I and Mackenthun.K.M : Environmental Impact Statements, Lewis Publishers, 1992.
2) 国際建設技術協会、建設技術研究所 (協力) : 米国における環境アセスメントの実態調査 (1993 年 11 月) 報告書,1994 年 3 月.
3) Bureau of Reclamation, Glen Canyon Dam, Undated Brochure.
4) Bureau of Reclamation, Operation of Glen Canyon Dam : Colorado River Strage Project, Arizona, Draft Environmental Impact Statement -Summary, January, 1994.
5) Bureau of Reclamation, Operation of Glen Canyon Dam : Colorado River Strage Project, Arizona, Draft Environmental Impact Statement, Advanced Draft, July, 1993.
6) Bureau of Reclamation, Final Analysis Report on Scoping Comments, October 1990.
7) 竹林征三、安田吾郎 : 河川経済調査手法の体系化の現状と今後の課題, 水文・水資源学会誌, Vol.8, No.1, 1995 年 1 月 (予定)

安田吾郎*

建設省土木研究所環境部
環境計画研究室
主任研究員
Goro YASUDA

丹羽 薫**

同 環境計画研究室長
Kaoru NIWA

◆ 環境計画特集 ◆

環境アセスメントに関する海外の技術動向

安田吾郎* 丹羽 薫**

1. まえがき

環境アセスメント[注1)]は、1969年に米国で成立した米国国家環境政策法 (National Environmental Policy Act、以下NEPAと略称) を皮切りとして、現在では多数の国・地域で制度化されている。四半世紀の歴史を経て、多くの経験と実績が積み重ねられてきたところであるが、いまなお漸進的変化が続いている分野である。

一方、わが国においても、昭和59年8月28日の「環境影響評価の実施について」の閣議決定等に基づき、国の行う事業についての環境影響評価が実施され、多くの経験が積み重ねられてきている。

このような状況のなか、平成5年には環境基本法が成立し、同法第20条において法レベルで環境影響評価を推進することが初めて位置づけられた。一方、建設省は平成6年1月に制定した環境政策大綱において環境影響評価の一層の充実を政策目標の一つとして掲げた。従って、現在は、環境影響評価の一層の充実へ向けての検討期に相当するものと言える。そこで、そのような状況も踏まえて、本稿では諸外国における環境アセスメントに関する技術的動向の一端を紹介する。

2. 海外の技術動向の概況

平成6年6月に国際影響評価学会 (IAIA : International Association for Impact Assessment) は「影響評価の25年の歴史を振り返り未来を考える」と題した学会を開催した。この学会において設定されたテーマ群の中で、環境アセスメント技術に関係した物としては、GIS(Geographical Information System ; 地理情報システム) 技術の応用、リスク分析、事後環境調査計画、可視化技術、外部効果の金銭評価、社会影響評価技術、争論調停技術、廃棄物管理に係わる調停方法、意志決定支援ソフトウェア等がある。これらのホットなテーマの中から本稿では、GIS、意志決定支援ソフトウェアの話題を3、4で取り上げる。また、IAIAのテーマに社会影響評価技術が含まれていることに見られるように、環境以外でも、国民経済的に見て重要であれば、環境アセスメントの対象に含めることによって、真に望ましい事業や計画を環境アセスメントを通じて求める技術も現在大きなテーマになっており、5で取り上げることにする。

3. GIS技術の応用

環境アセスメントの実施に当たっては、各種の環境属性データの収集が必要となり、現状では国の出先機関、都道府県、市町村等の多くの機関から図面等を収集するのが普通のやり方となっている。この場合、最低でも数十枚の図面の収集が必要であり、調査項目が多く複数の自治体にまたがる事業の場合には数百枚のオーダーになる。さらに、環境アセスメントの準備期間が長びくような場合には、最新の情報を入手するために資料の再収集が必要になりさらに多くの図面が収集・整理されることになる。

このように、環境アセスメントの実施における資料の収集には多くの労力がかかる。この点で、もしも各種図面がデジタル化されており、環境アセスメントの実施機関が関係機関のデータベースサーバーからオンラインで最新情報を得られるようなシステムが実現すれば相当効率的な情報収集が可能になるものと予想される。また、このような世界の実現を前提としなくても、図面情報が共通/互換フォーマットでデジタル化されているだけで、環境影響評価書に掲載する多くの図面の調製作業は格段に容易に低コストでできるようになる。さらに、GISソフトと、必要な解析・評価プログラムを組み合わせることによって、植生影響予

注1) 環境アセスメントと環境影響評価という言葉は、同義で用いられる場合も多いが、本稿においては、環境アセスメントという用語は環境への影響を評価しそれを事業・政策に等に反映させる目的を持った意思決定過程全般という意味で用いる。それに対し、わが国固有の、上の定義による環境アセスメントを目的とした制度に基づく過程を環境影響評価と呼ぶ。

測、植生自然度評価、景観評価等の業務を行える。特に、路線の修正等に際して再計算が必要になるような場合や代替案毎にモデルを作るような場合には、ケース毎に固有モデルを構築する場合に比べて作業速度が格段に速くなる。なお、GISとは、定められた地形記述フォーマットで記述された位置情報を因子として持つデータベースのマネージメントシステムであり、一定要件を持ったデータの抽出、重ね合わせその他の位置情報をキーとした各種演算、そして各種属性図の合成出力等を実現するものである。

以下には、環境アセスメントへのGISの応用事例のいくつかを紹介すると共に今後予想される動向について論じる。

3.1 GISの応用事例

Siegelら[1]は、米国アリゾナ州フェニックス周辺の道路計画に関する環境アセスメントへのGISの応用事例を報告している。この事例においては、連邦林野局 (U.S.Forest Service) の景観資源管理システムに基づく景観の質的目標達成度及び景観的受容能力を評価すること並びに考古学的価値がある場所を道路が通るリスクを評価することが主要な目的であった。このため、GISを用いて傾斜、地形成因、土壌色、植生等のデータから景観上の観点からの地形区分図が作成され各道路計画案図とのオーバーレイによる景観影響評価が行われた。また、主要な眺望点からの景観シミュレーションの実施にもGISが用いられた。

また、Schaller[2]は、オーストリア国内のドナウ川の河川工事に関する環境アセスメントを実施する上でGISの応用を行っている。この研究においては5千分の1地形図レベルの基図と、土地利用図、植生図、地下水位図、地質・帯水層特性図、土壌図、水質・水生動植物特性図、陸生動植物分布図、河川施設図等の属性図を組み合わせて、保全価値、環境上のリスク、河道整正計画の評価を行っている。

このほか、Schaller[2]は、ミュンヘン第2空港の開設に伴う騒音公害やドイツのA94高速道路による生態系への影響に関する環境アセスメントへのGISの応用も行っている。前者の調査においては、騒音被害の程度と影響人口を掛けたものの総和に関する代替案比較を行っている。後者の調査においては、生態系の壊れやすさ (Sensitivity) の評価関数を用いて関連領域をGIS上で階級区分し、各代替案がそれぞれどの程度壊れやすい生態系域を通るのかを比較している。

3.2 今後のGIS応用の動向

GISを環境アセスメントに応用する上では、基図作成やハードウェア・ソフトウェアの費用の高さ、解析ツールの未整備等の諸々のネック要因が存在する。しかし、ハードウェアの低廉化が急速に進む一方、スウェーデンにおけるGIS用環境情報の体系的整備の動き[3]に見られるように基図や各種環境属性図のデジタル化も進んできている。また、米国の地理情報・解析国家センターの試み (本号文献4参照) 等に見られるように、現行のGISのネック要因を体系的に潰していく研究や体制作りが進んでいる。このような状況を考えると、今後GISは、環境アセスメントの実施の上で、一層重要なツールとなっていく可能性が高い。

このほか、GISとGPS(Global Positioning System) を組み合わせた利用も今後進むのではないかと考える。米国の環境保護庁 (EPA) においては、すでに環境情報の収集に当たって、現地でGPSを用いて位置を記録し、それをGIS上のデータベースに収集することによって環境モニタリングを効率化する取り組みを行っている[5]。今後、GPS測量の高精度化、GPSレシーバーと撮影装置の融合、GISソフト用のドライバーソフトの開発等が進展することによって、環境アセスメント用のみならず、幅広いフィールド調査にGPSの利用が進展することも予想される。

4. 意志決定支援ソフトウェアの応用

環境アセスメントにおける各種の意志決定に際しては、様々な環境要素、工費、工期、安全性等を勘案して行われる。従って、意志決定過程においては、非常に多くの複雑な因子を考慮した検討が往々にして求められる。そこで、各種情報から一定の評価を導くツールやチェックすべき事項を洗い出すツールがあれば、意志決定影響因子群を単純化して問題の所在をわかりやすくしたり、考慮すべき因子の見落としを防いだりするのに効果がある。このような機能を持つソストウェアが意志決定支援ソフトウェアである。以下には、このようなソフトウェアの環境アセスメントへの応用

例を紹介し、今後のその発展性について論じる。

4.1 意志決定支援ソフトウェアの応用事例

Burde, et al.[6]は、GIS ソフトとエキスパートシステム化ソフトを組み合わせた SAFRaN と呼ばれるシステムを用いて、酸性雨の浸透による土壌や地下水の汚染に対応した森林生態系の危険度区分の研究を行っている。彼らは、年平均降水量、斜度、地形特性、標高、斜面の向き、森林属性から潜在的な汚染物質の負荷量を求めると共に、土壌·岩の組成、複数深度での pH、風化度、地下水及び土壌の酸性度データから地下水及び土壌の鋭敏度を評価し、これらから酸性雨に対する森林生態系の危険度評価を行っている。このほか、Pereira and Duckstein[7]等も、エキスパートシステム化ソフトを用いて多基準分析法用の関数群を作成し、環境アセスメントへの応用を行っている。

一方、Ciancarella, et al.[8]は、土地利用計画法による諸制限をルールベース化し、各種の法規制案による環境等への影響を GIS を用いて解析するシステムを開発している。Ferda[9]も、環境アセスメント実施に当たって必要な調査のスクリーニングや留意事項をルールベース化し、環境アセスメント調査の支援を行うシステムを作っている。このようなシステムは、わが国でも名古屋大学理学部島津研究室[10]が開発している。

4.2 意志決定支援ソフトウェア応用の今後の動向

環境アセスメントに係わる意志決定には、実に多くの要因が絡まり、それらの中にはその場所に固有の条件に係わるものも多く含まれるのが通常である。従って、熟練した専門家以上の判断が即席でできるソフトウェアが今後すぐに登場するとは考え難い。しかし、一定の精度での評価を迅速に行うことができるのが意志決定支援ソフトウェアの長所であり、多数の代替案の比較分析や計画初期段階における簡易な環境影響の評価などには応用性がかなりあると思われる。また、習熟度の浅い技術者にとっての有効な教育ソフトにもなり得るであろう。なお、当然のことながら、意志決定支援ソフトウェアの応用の進展の上では、使いやすいソフトウェアの開発や GIS との連携(リンク)機能の整備は、重要な支援要素である。

5. 国民経済的視点を取り入れる技術

環境アセスメントは、ともすれば外部効果として見なされがちな環境への影響も含めた社会的純便益を最大化するために有効な一つの検討のプロセスであるという見方もできる。しかし、環境アセスメントにおいて環境面のみしか考慮されないとすれば、国民経済的に見て本当に望ましい事業は形成され難いであろう。そこで、環境アセスメントの中に国民経済的視点を取り込んでいくという潮流がある。この方向性に関連した技術として、「戦略的環境アセスメント」と「スコーピング」に関する動向を本章では取り上げる。

5.1 戦略的環境アセスメント

OECD[11]では、戦略的環境アセスメント (Strategic Environmental Impact Assessment) とは、個別の事業や計画よりも上位の、より戦略的な意志決定レベルで行われる環境アセスメントであるとしている。例えば、各種交通機関の分担の最適化検討等がこれに相当する。欧州においては、比較的最近に戦略的環境アセスメントの考えが採り入れられてきており、オランダ、フランス、スウェーデン等で実際に応用されている[11]。また、米国においては 1969 年の NEPA において、既に戦略的環境アセスメントの考え方が組み込まれているところである。NEPA においては、環境アセスメントの対象は事業のみならず政策や規則も含まれている。また、計画レベルと事業レベル等に分けた環境アセスメントの段階的実施 (Tiering) が推奨されている。これらによって、戦略的環境アセスメントへの対応が図られている。

戦略的環境アセスメントの過程を制度化することについては、諸外国でも対応が分かれており、わが国への適用についても行政コストの増大等の点で疑問があるが、政策·計画レベルでの環境の内部目的化の視点が重要であることは確かであろう。

5.2 スコーピング

スコーピング (Scoping) とは、環境アセスメントにおいて評価すべき対象や代替案を絞り込む過程を指し、1979 年に米国で制定された「NEPA 施行のための環境問題諮問委員会規則」において初めて制度的に取り入れられたものである。欧州においても、近年ベルギー、オランダ、ポルトガル、スペインにおいてもスコーピング過程が取り入れられるようになってきた[12]。

スコーピング過程においては、各種の専門家やいろいろな立場の人々からの意見を取り入れて代替案や評価対象が絞り込まれる。従って、関係者の関心事項の抽出を通じて、環境も含めた国民経済上の重要な項目に関して、重点的な調査・評価を行い易いというメリットがある。

一方で、スコーピングの実施自体に費用と時間がかかるほか、スコーピングの参加者が建設的な議論の実施を心掛けないと、スコーピングの目的は達成されない。また、立場の違う人々が意見をぶつけ合いながら合意形成をしていくという欧米流の手法に不慣れで、意見の衝突が感情的なものとなりやすいと言われるわが国においては、欧米そのままのやり方を適用するのは困難ではないかとも思われる。

6. おわりに

本稿においては、海外における環境アセスメント技術動向として、GIS及び意志決定支援ソフトウェアの応用、国民経済的視点を取り込む技術を取り上げ、それらに関する動向を解説するとともに、今後の発展性やわが国への適用性について論じた。

リスク分析、事後環境調査、外部効果の金銭評価、争論調停技術等の今回扱わなかった環境アセスメント上の技術については、また別の機会に論じることとしたい。

参考文献

1) Siegel M.S. and Moreno D.D. : Geographic Information Systems, Effective Tools for Siting and Environmental Impact Assessment in Hildebrand. S.G and Cannon.J.B (Ed.), Environmental Analysis - The NEPA Experience, Lewis Publishers, pp.178-186, 1993.
2) Schaller J. : Geographical Information System Application in Environmental Impact Assessment in Scholten. H. J and Stilwell. C. H (Ed.), Geographical Information Systems for Urban and Regional Planning, Kluwer Academic Publishers, pp.107-117.
3) Boman J., Olsson M., and Sundholm M. : SAMBA - a Way to Deal with GIS in Guariso. G and Page. B (Ed.), Computer Support for Environmental Impact Assessment, North - Holland, pp.1-11, 1994.
4) 長野幸司、安田吾郎、丹羽薫：建設環境データベースの開発と利用, 土木技術資料, Vol.36, No.12, pp.38-43, 1994年12月.
5) Slonecker T. and Groskinsky B. : GPS Applications in U. S. Environmental Protection Agency, Surveying and Land Information Systems, Vol.53, No.2, pp.117-124, 1993.
6) Burde M., Jackel T., Dieckmann R. and Hemker H. : Environmental Impact Assessment for Regional Planning with SAFRaN in Gaurio. G and Page. B (Ed.) Computer Support for Environmental Impact Assessment, North - Holland, pp.245-256, 1994.
7) Pereira J.M.C. and Duckstein L. : A Multiple Criteria Decision - making Approach to GIS - based Land Suitability Evaluation, International Journal of Geographical Information Systems, Vol.7, No.5, pp.407-424, 1993.
8) Ciancarella L., De Sabbata P., Litido M., Secondini P., Catellani M., and Travasoni S. : SIBILLA : An Expert System for Analysis and Use of the Local Planning Acts in Gaurio. G and Page. B (Ed.) Computer Support for Environmental Impact Assessment, North - Holland, pp.257-278, 1994.
9) Fedra K. : Integrated Environmental Information and Decision Support Systems in Gaurio. G and Page. B (Ed.) Computer Support for Environmental Impact Assessment, North - Holland, pp.269-288, 1994.
10) 島津研究室：ADMAKER利用の手引き, 1989年10月
11) OECD : Environmental Impact Assessment of Roads, pp.27-54, 1994.
12) Jörissen J. and Coenen R. : The EEC Directive on EIA and its Implementation in the EC Member States in Colombo. A. G (Ed.) Environmental Impact Assessment, Kluwer Academic Publishers, pp.1-14,1992.

安田吾郎*

建設省近畿地方建設局
淀川工事事務所
(前　環境計画研究室
主任研究員)
Goroh YASUDA

丹羽　薫**

建設省土木研究所環境部
環境計画研究室長
Kaoru NIWA

環境経済評価技術に関する研究

◆報　文◆

建設事業における社会的費用・便益の評価について（基礎編）

安田吾郎*　丹羽　薫**

1．まえがき

わが国における政府建設投資は，年間28.9兆円[注1]，国民総生産の6.8%を占める大産業である。また，政府建設投資の裾野の広がりを考慮すると，国民経済におけるその重要性はさらに大きい[注2]。

一方，政府建設投資を通じて供給される財に関しては，需給均衡の達成や消費者の選好の表明は市場メカニズムを通じてはなされない。すなわち，私的財の場合であれば市場の失敗（Market Failure）のない限り，見えざる手（Invisible Hands）によって市場を通じて最も望ましい資源配分[注3]が行われるのに対して，政府建設投資の場合は，投資を通じて形成される財のほぼすべてが公共財であり，市場を通じた資源配分の最適化を行うことができないのである。政府建設事業における資源配分は，国の事業の場合であれば，大枠的には行政府（予算案の提出）及び立法府（予算の決定）により決定され，細部については法令に基づいて所管省庁の裁量により決定される[注4]。地方自治体の場合も同様である。

以上の政府建設事業における資源配分特質と先に述べた国民経済における政府建設投資の重要性とを合わせたものから導かれる一つの結論は，政府建設事業における資源配分の最適化は建設省を中心とする事業実施機関がその実現に向けて努力を行う事のみによって可能であり，またそれは国民経済的に見て非常に重要であるということである。

ここで，どのような資源配分が最適なのかという点に関する視座がまず最初に明らかにされるべきであることは言うまでも無かろう。本稿では第3節においてこの点の議論を行うが，結論を先に述べれば，社会的純便益の最大化を基本としながら公平性の確保及び法令・公約の遵守等に配慮した資源配分が最適であるということである。

折しも今年の1月には，建設省は環境政策大綱を発表し，この中で環境の内部目的化という理念を掲げた。これを裏返せば，現在までの建設省所管事業に係わる資源配分においては，一定の事業目的があり，環境等に関しては事業目的外の配慮事項あるいは制約条件として扱われていた部分が存在していたということである。従って，環境政策大綱の理念の実現のためにも，公共事業に係わる資源配分の最適化のあり方を今議論することは重要であると思われる。

特に，実際の資源配分の多くの部分は地方建設局や事務所の技術者によって行われていることから考えると，多くの現場技術者を読者として持つ本誌は，そのような議論を行うのに最適な場の一つであろう。そこで，本稿では，政府建設事業を中心とした公共事業における社会的費用・社会的便益の評価の考え方の基礎を解説する。その応用に関しても合わせて論じたいところであるが，一編の中に収めることは無理なので，別途続編（応用編）として書くことにする。

2．基本概念

社会的費用，社会的便益，社会的純便益，私的費用，私的便益，外部性，内部目的化といった用語は経済の専門用語であり，いずれも説明を要する概念であろう。そこで，本節では，これらの用語を建設事業の実際に当てはめて解説する。

図－1をご覧いただきたい。この図は，建設省の事業の中で最もシェアの大きい道路，河川事業を

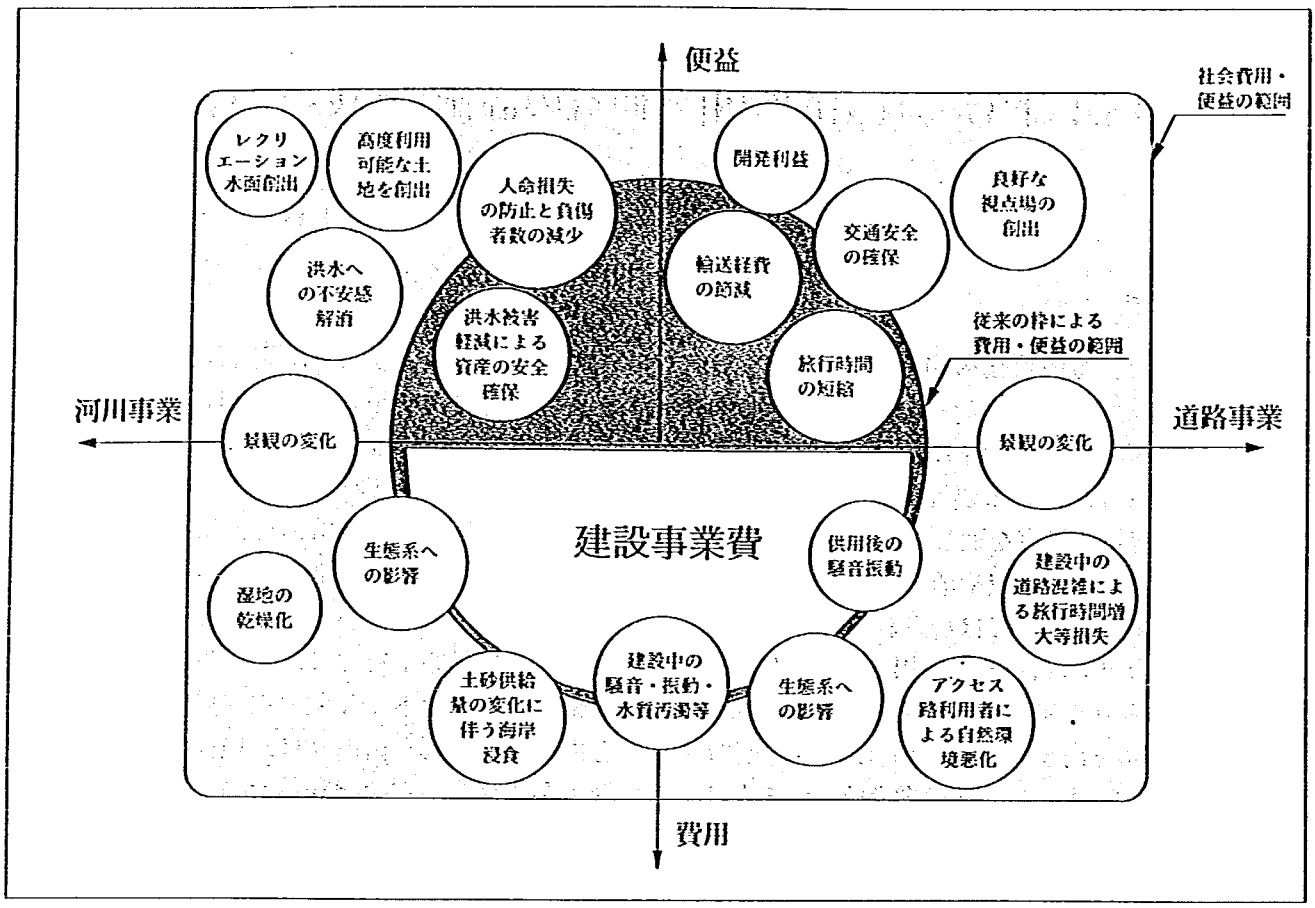
注1）平成3年度値，文献1（p.63）による。

注2）例えば，文献1（p.66）参照。

注3）一般用語として「資源」という言葉は物理的なものを指す場合が多いが，本稿における「資源」は，経済用語としての資源であり，金銭，時間，人等も含んだより広い概念である。

注4）需要者である国民は，選挙権の行使等を通じて間接的に国土整備事業への選好を表明するものと言えるが，実際の選挙は総合的な政策パッケージに関する有権者の選好を表明する場であり，個別の事業に対する有権者の判断を示す場とはなっていない。また，公共選択理論（詳しくは文献2等参照）が明らかにしてきたように，被選挙人が当選確率を最大化するための最適戦略は，社会的純便益を最大化する政策の提示でないのは無論のこと地元全体での純便益を最大化するものですらない。

Evaluation of Social Costs and Benefits in Public Works－Theoretical Bases



図－1　道路・河川事業における社会的費用・便益と従来の枠による費用・便益の範囲

例にとって，社会的費用[注5]・便益の範囲と従来の事業目的との関係を示したものである。図中の外側の枠で囲んだ範囲が社会的便益・費用の範囲である。社会的便益と社会的費用の区分に関しては幾つかの考え方がある[注6]が，本質的な問題ではない[注7]のでここでは深くは立ち入らない。本稿では，図－1の上半分に含まれているような，事業実施により社会厚生関数値[注8]が高まると思われる項目を社会的便益に含めるものとし，下半分にあるような，社会厚生関数値を減少させると思われる項目を社会的費用に含めるものとする。

注5) 社会的費用という言葉は，大きく分けて2つの異なる意味に使われる場合があるので注意を要する。一つは，ある政策の実施に伴う社会全体にとっての費用の総和という意味で使われる場合で，本稿では全般を通じてこの用い方をする。他方は，意志決定にあたって考慮されていない費用を社会的費用と言う場合で，本稿ではこの定義による社会的費用は外部性と呼ぶ。なお，後者の定義を用いる場合にはは，前者の定義によるで社会的費用は，国民経済的総費用と呼ばれる。詳しくは文献3 (p.85－89)，文献4 (p.68) を参照されたい。

注6) 文献5 (p.71) は，政策の実施により得をした人が支払うに値すると考える額 (Willingness to Pay) を社会的に合計したものが社会的便益で，損をした人が補償してもらいたいと考える額 (Willingness to Accept) を社会的に合計したものが社会的費用であるとしている。この場合，対象となる政策全体を，当該政策実施のための税負担の分布も含めたパッケージとして社会の構成員一人一人が評価し，それをプラス評価の側とマイナス評価の側でそれぞれ合計して社会的便益と社会的費用を求めるということになる。第2の区分として，社会的費用は政策実行のために直接的に用いる財を機会費用(他の最も高い価値を生み出す用途に当該財を用いた場合に生じる価値)) により測ったもの (この代理指標が事業費) を社会的費用とし，政策の効果・影響の部分をプラスものマイナスのもの含めて社会的便益と見なす考え方もある。さらに第3の方法として，第2の方法を基本としながらも工事に付帯して生じる悪影響は費用の側に含める考え方もある。最後に第4の方法として，影響項目毎に便益と費用のいずれかに区分する方法もある。この方法では，例えばある景観の変化をプラス3万円の評価とみる人とマイナス1万円の価値とと見る人の2人のみで社会が構成されているとすれば，2万円の社会的便益を持つと見なす(第1の方法であれば，3万円の便益と1万円の費用を持つと見なされる)。筆者は，第2の方法が，投入する財と生産される財との区分の明確化の上からも，資金フローの計画・管理への社会的費用の値の応用等の実務上の観点からも，多くの場合にメリットが大きいと考えるが，悪影響も含めたものを便益として定義する事には言語的違和感もあろう。本稿では，読者の理解のし易さも考慮して，第4の区分方法を用いた説明を行う。

注7) 本質的な問題とならないとここで述べたのは，政策判断の基準として一般的に用いられている純現在価値基準 (Net Present Value Criterion) を用いる限り，便益と費用とをどのように区分しようとも結果に影響がないからである。ただし，純現在価値基準の使用が一般的というのは英米での話であって，わが国では必ずしもそうではない。建設事業に関しては，純現在価値を用いるよりも，費用便益比 (B/C) という概念の方がむしろよく使われる傾向にある。このほか，内部収益率 (Internal Rate of Return) による方法などもある。これらの手法を用いる場合には，プラスの費用とマイナスの便益の区分方法が結果に影響を及ぼすことになる。例えば，マイナスの便益をすべて費用の側で見れば，便益・費用ともある等しい量づつ大きくなって，結果としてB/Cは1に近づく方向にシフトする。政策選択肢間でこのシフト量は同一とはならないので，結果として政策優先順位が便益と費用の区分の仕方によって変わることになる。内部収益率法を用いる場合も同様である。

注8) 社会的厚生関数は，社会の個々の構成員の効用を因子として，社会的な望ましさをランク付けする関数である。関数型にはいろいろなもの (例えば功利主義型，ロールズ型) が考えられ，どのような関数型が適切かに関して客観的評価基準はない。

社会的便益の具体的内容は，例えば道路事業の場合であれば，旅行時間の短縮，輸送経費節減，交通安全の確保，沿道開発利益，良好な視点場の提供といった要素である。社会的便益は，これらの構成要素全体から生じる便益を金銭的に評価した値である。

同様に社会的費用には建設事業費の他に，建設途中の道路の車線減少等から生じる旅行時間の増大，景観の悪化，生態系への影響，補償の対象外の部分の騒音・振動といったものが含まれる。

これに対して，従来の事業評価においては，おおよそ図の中央の円内の範囲を事業の便益・評価として扱ってきた[注9]。この円の中に完全に含まれている項目は，事業実施に当たって通常は費用便益分析に含められる項目である。円の境界にまたがった位置に置かれている項目は，事業実施に当たってある程度の考慮はなされていても費用便益分析の中には通常含まれない項目や，補償費等として建設事業費の中に含まれていても，その額が実際の社会的損失の範囲と一致しているとは限らない項目である。円よりも完全に外側の部分は，考慮がされていないか，考慮はされていても社会的便益の最大化という観点からの考慮ではないもの[注10]である。

事業の本来目的からはずれた部分（大きな円の外の部分）は外部性または外部効果と呼ばれる。社会厚生関数値には影響があっても，意志決定者の決定の際に主目的と同じ次元では考慮されないものが外部性であると考えても良い。このような外部性を事業目的の中に含めるように変更することを内部目的化という。従って，建設政策大綱における環境の内部目的化という理念は，図－1の中央の円を拡大して，現在は外部性として扱われている円外の環境に関する項目を円内に含み入れることに等しい。さらに，道路・河川事業において従来外部性として扱われている項目は，図－1からも明らかなように，ほとんどが環境に関わるものであり，この意味で環境の内部目的化とは事業を社会的費用・便益によって評価することにほぼ等しい。

節の結びとして，私的費用・私的便益の概念を説明しよう。社会的費用・便益が社会全体にとっての費用・便益を表すのに対して，私的便益は特定の個人，集団，企業等にとっての便益を表す。社会的便益・費用は私的便益・費用を社会の構成員すべてについて重複無く足し合わせたものであるとも言える。公共政策は社会的費用・便益を用いて評価するのが基本であるが，政策の実行手段の検討の場合等には私的費用・便益の分析も必要となる場合がある。例えば，事業実施者にとっては，事業用地の地権者及び地権者が属する団体等にとっての私的便益・費用の分析は，用地買収が円滑に進むかどうかを判断する上で多くの場合に有用である。また，ある政策実施のために組織内の事務の流れを変更するといった場合にも，その円滑な実施のためには各種の立場の職員にとっての私的便益・費用を検討の視野に入れる必要も往々にしてあるであろう。

3．公共政策判断基準

公共政策の判断を行う基準としては社会的純便益の最大化を第一のものとし，これを補完する第二の基準として公平性の確保を挙げることは，公共経済学の分野ではごく常識な考え方である[注11]。しかし，これらの基準がわが国の行政者や一般大衆から見て確立されたものとなっていない点（文献5，p.72）を考慮すると，論を進める前に，どうしてそのような考え方が常識的とされるのかをまず明らかにする必要があろう。このため，本章では，関連する諸基準の解説を行った上で公共政策判断基準のあり方を論じる。

そのほか，公共事業の実施が法令に基づいて行われるものである以上，法令の中で位置づけられている事業の目的と本稿で述べる政策判断基準との整合性を確認する必要があり，本節ではその点の検討も合わせて行うこととする。

3.1 パレート基準

公共政策の判断基準としてパレート基準またはパレート効率性と呼ばれる概念がある。二つの政策オプション（A，Bとしよう）の結果生じる資源配分を比較したときに，政策Aを実施した場合の社会構成員の効用に比べて政策Bを実施した場

注9）従来の事業評価において，まず，費用に関しては，建設事業費をもって費用と見なしてきたことに異論は少かろう。しかし，便益に関しては，答えは必ずしも明確でない。事業目的（便益）の範囲を明確に示した基準図書は無く，道路法，河川法等の法令及び治水経済調査要綱等の参考図書，そして事業の実態から判断するしかない。従って，人によって範囲の取り方にいくらかの見解の相違はあろう。

注10）例えば，規制基準のクリアを目標とする場合がこれに相当する。

注11）例えば，文献5，p.71－72，文献6，p.73，文献7，p.93参照。

合の社会構成員の効用が，すべての構成員に関して同じもしくは上回っており，少なくとも誰か一人に関しては上回っている場合，政策Bは政策Aに比べてパレート優位であるという。パレート基準とは，パレート優位性で施策の優位度を表す基準である。

パレート基準を用いて政策の優劣を付けることが可能な場合にパレート優位な政策の方を選ぶべきことに関して異論がある人は少なかろう[注12]。しかし，現実の政策案の比較では，一つの政策はあるグループの人々に選好されても別のグループの人からは選好されないというのが通常であり，パレート基準を用いて政策の優位度の判断はできない。この問題を解決する方法には，ヒックスーカルドアの補償テスト（Hicks-Kardor Compensation Test）[注13]がある。

3.2 ヒックスーカルドア基準

ヒックスーカルドアの補償テストは，ある政策の実施により便益（効用の増加）を受ける人々が被害（効用の減少）を受ける人々に対して，現状（または代替政策時）の効用水準を保つのに相当する金額の補償を行ってもなお便益を得られるかどうかを調べるものである。ヒックスーカルドアの補償テストを実施した場合にパレート改善になるような政策は潜在パレート改善[7,9]という。パレート基準を緩めて，ヒックスーカルドア補償テストを実施した場合におけるパレート優位性で政策の優劣を付ける基準がヒックスーカルドア基準と呼ばれる。社会的純便益が最大化される選択肢は他の選択肢に対してパレート優位なものでもあるので，ヒックスーカルドア基準は社会的純便益を最大化する基準である。

3.3 政策判断の第一基準

政策実施による社会的純便益を最大化すること（あるいはヒックスーカルドア基準，効率性基準とも呼ばれる）が政策判断に当たっての第一の基準であることは，英米では広く受け容れられている。例えば，米国では1981年大統領令12291号[10]により，すべての主要な連邦の施策に関して，それらの目的を社会的純便益を最大化することに置くことが求められている（第2条(c)項）。また，個別分野毎の実施基準でも，水資源開発事業のように明確に社会的純便益の最大化を求めているものもある（文献11，p.1）。英国では大蔵省が中央政府機関向けの経済評価ガイドブック[12]を出しており，この中(p.13−14, 2.19項)で，純現在価値[注14]が最大となるものが選好される選択肢であるとしている。

このように，社会的純便益の最大化が政策判断の第一の基準となっていることの理由は，適切な所得の再配分政策等を組み合わせることができれば，最も高い社会的厚生関数値を達成することが可能となる基準であるからである。

ひるがえって，わが国の場合には，純便益の最大化を求める法令や一般的基準はない。しかし，目的規定の中に「公共の福祉の増進」という言葉を究極目的として含んでいる法は多い（例えば建設省所管のものでは，都市計画法，河川法，道路法，建築基準法，都市公園法等）。公共の福祉の増進という概念は社会的純便益の最大化を直接的に意味するものとは言えないものの，少なくとも社会的純便益の最大化という概念と大きく異なってはいないと言えよう。ただし，公共の福祉の増進が法の唯一の究極目的とはなっておらず，他の究極目的との並列で挙げられている場合（例：都市計画法，河川法）もある[注15]。並列する究極目的として，都市計画法の場合には国土の均衡ある発展を，河川法の場合には公共の安全の保持を挙げている。これらの場合，次節で述べる公平性基準やコミットメント基準も主要な法目的として合わせ

注12) 極端な平等主義者（厚生水準が全体的に上がることよりも厚生水準格差が縮まることの方が重要だと考える人々）等は，例外に該当するであろう。

注13) ヒックスーカルドアの補償基準とは，正確にはヒックス基準とカルドア基準を総称したものである。ヒックス基準が，事前の効用分配に適切な補償を組み合わせることにより事後の効用分配を達成できるかどうかを調べるのに対して，カルドア基準は逆に事後の効用分配に適切な補償を組み合わせて事前の効用水準を達成できるかを調べるものである。シトフスキーが指摘しているように両者は必ずしも一致しない。詳しくは文献8(p.584−6)等を参照されたい。

注14) 純現在価値とは，純便益と等しい概念である。将来に発生する費用・便益を所定の割引率に基づいて割り引いて現在における価値に換算することから現在価値とも呼ばれるのである。なお，文献12のこの項では，社会的純便益による評価であることが明記されていないが，別の項(p.12の2.7, 2.10, 2.11項, p.18の3.13項)において社会的純便益による評価を用いるべきことが述べられている。

注15) このほか，砂防法，下水道法，海岸法では法目的として公共の福祉の増進を挙げていない。但し，砂防法は明治30年にできた法で，当時の法が一般的にそうであったように法目的が条文に入っていないのがその理由である。また，下水道法の場合には都市の健全な発達及び公衆衛生の向上を，海岸法の場合には国土の保全に資することを究極目的として書いてある。いずれの場合にも，明文規定はないものの，上位の法目的として公共の福祉の増進に相当する概念が含まれていると見なすことはできよう。

持っているものと解釈できる。

以上概観してきたように，社会的純便益最大化基準は英米においては明確に政策判断の第一の基準となっているほか，わが国においても，明確な基準とはなっていないものの，公共の福祉の増進という言葉の下で多くの法の究極目的となっていると見なせる。

3.4 政策判断の第二基準

社会的純便益最大化基準を補う第二の基準としては，公平性の確保が通常挙げられる[注16]。公平性といっても，水平的公平性[注17]，垂直的公平性[注18]といった区分や，分配の公平性，結果の公平性，機会の公平性，参照基準に照らした公平性等の尺度があり，一義的に考えることはできない。しかし，ここでは多義性の問題には深入りせず論を進めることとしたい。

公共事業を実施する場合には，ある一つの事業の便益と費用の帰着が，人々の間で平等（分配の公平）であることはあり得ない[注19]。例えば，バイパスの新設をする場合には，バイパスの利用者，バイパス沿いの商店，旧道沿いの住民らは便益を享受するのに対して，旧道沿いの商店，バイパス沿いの住民らは損失を被るといった現象が生じたりする。どのような事業でも，便益が等しく国民にもたらされるということはない。

完全なる分配の公平の実現は実現不可能だとしても，分配の公平性を高めることは一般に社会的に望まれていることと言えよう。例えば，仮に，ある属性を持った地域で重点的に事業を行い別の属性を持った地域では事業を全く行わない方が望ましいという結論が純便益最大化の観点から導かれたとしても，極端な傾斜的配分は公平性の観点から望まれない場合があるであろう。

社会的純便益の最大化基準と公平性の確保基準との間には常に調整が必要となる。しかし，このトレードオフをどのように仲裁するかの判断に関する客観的基準はなく，政治的な判断をもって決定を行う以外にない。この点に関して，先に述べた英国大蔵省のガイドブックと米国大統領令12291号でどのように扱っているのか触れてみよう。

英国大蔵省の経済評価ガイドブック[12]では，異なる収入，年齢，健康状態，技能，地域等に属する人々の間での分配の問題の問題に対応するために，影響を受けるグループ毎の費用・便益を重要なものについては可能な限り同定するべきだとしている（p.21の3.28項）。また，政策案の比較の際には公平性の問題への影響に関しても十分な分析を行うことを求めている（p.14の2.23項）。これら規定は，公平性の確保に関する判断を行うために必要な情報を集めた上で十分な分析を経済評価の一環として行うことを求めているものと言える。

一方，費用便益分析の実施を求めた米国大統領令12291号[10]の場合には，公正性への配慮に関する言及はない。これは，当時のレーガン政権は規制緩和を推進する立場をとっており，そのような規制の中には公平性の確保を目的とした規制も含まれていたことが理由ではないかと思われる。大統領令12291号の内容をもって，米国では公平性基準が政策評価に用いられていないと解釈するのは誤りで，公平性の問題は他の多数の法で扱われているもの（文献13，p.9−11）と理解すべきであろう。

3.5 その他の基準

政策を実施するにあたっては，当該政策が法に基づかなければならないことは言うまでもない。したがって，法の遵守ということも政策判断基準の一部と言える。ここで，法の遵守を絶対的なものとして扱わず基準と同列で扱う意味は，場合によっては法の改正も政策手段の一つとなりうる点にある。

このほか，コミットメントの存在も政策判断の基準となりうるものである。コミットメントとは，通常公約と訳されるが，通常の公約という意味よりも幅広く解釈される概念である。例えば，事業の長期計画等で将来的な国土整備の姿が示されている状況のもとでは，一部の国民はその整備を当

注16) 例えば，文献5，p.71−72，文献6，p.73，文献7，p.93参照。

注17) 水平的公平性とは，同一の社会的条件にある人が同一に扱われるべきことを言う。例えば，収入・家族構成等の条件が同一の人々に，すべて同一の額の税がかけられるとすれば，水平的公平性が保たれていることになる。

注18) 垂直公平性とは，異なる社会条件を有する人々は，その社会的条件に応じて扱われるべきことを言う。例えば，収入が同じでも子供が1人もいない人と子供が3人いるとでは後者の方が税を安くされるべきだとか，収入の差に応じた累進税率を適用すべきだといった考え方が垂直的公平性の概念の適用例である。

注19) 受益者から被害者及び中立者に対して，結果の平等を実現するような補償が行われれば，論理的には結果の公平の確保も可能であるが，便益の同定の困難性，調整に関わる取引費用，便益・費用の不確定性，法令上の定義の困難さ等を考えれば，これはほとんど不可能と言える。

てにして，住宅や事業所を建設するであろう。従って，土地の価格もこのような国土整備を見込んだ形で形成されよう。このような場合にもしも予定されていた事業が実施されないことになれば，事業の実施を見込んで投資を行った民間投資者は損失を被ることになる。

ここで，長期計画の実施は必ずしも政府の公約ではなく，仮に何らかの事情でその内容が変更されたとしても政府に法的責任や補償の必要はないと考えられる。しかし，計画が民間投資動向に影響を与える点から考えれば，政府は一定のコミットメントをしているものと言える。

コミットメントの遵守と純便益最大化基準との間のトレードオフの調整に関しても一般的ルールはない。コミットメントの遵守の必要性もその内容や公約の度合いによって当然異なる。

4．まとめ

今回の稿では，社会的純便益の最大化が公共政策の判断の上で第一の基準となるべきものであり，環境政策大綱における環境の内部化の理念とも整合したものであることを明らかにした。また，公平性の確保，法令・コミットメントの遵守がそれに次ぐ基準であることを述べた。そして社会的純便益最大化基準と公平性確保基準との間の調整に関する英米のアプローチを説明した。

以上のような基準に基づいた政策判断を行うためには，社会的純便益の額と分布との把握が必要である。しかし，このような把握を行うために費用便益分析等の経済評価を行うことが必ずしも望ましいわけではない。なぜならば，分析の結果としての資源配分の適正化による便益が，分析の実施に伴う費用を上回らない限り，分析の実施自体による純便益がマイナスになるからである。そこで，本稿に続く「応用編」においては，どのような分野において社会的費用・便益の評価を行うことが必要か（便益が大きいか）考えてみたい。また，環境の内部化に対応した費用便益評価のあり方，地球環境問題や日常の建設行政事務等への社会的費用・便益評価の応用について論じようと思う。

参考文献

1）建設省：平成5年版建設白書，大蔵省印刷局，1993年7月

2）Mueller. D. C, Public Choice II, Cambridge University Press, 1989.

3）植田和弘，落合仁司，北畠佳房，寺西俊一：環境経済学，有斐閣，1991年9月

4）末石富太郎＋環境計画研究会：環境計画論－環境資源の開発・保全の基礎として－，森北出版，1993年3月

5）森杉壽芳：費用便益分析（金本良嗣，宮島洋編：公共セクターの効率化，第3章），東京大学出版会，1991年11月

6）Musgrave. R. A and Musgrave. P. B, Public Finance in Theory and Practice－Fifth Edition－International Student Edition, McGraw-Hill Book Company, 1989.

7）Sugden. R and Williams. A, The Principles of Practical Cost-Benefit Analysis, Oxford University Press, 1978.

8）熊谷尚夫ら編：経済学大事典（第2版）I，東洋経済新報社，1980年1月

9）Pearce. D. W and Nash. C. A, The Social Appraisal of Projects－A Text in Cost-Benefit Analysis, Macmillan Press Ltd, 1981.

10) U. S. Federal Register 46 (19 February 1981), pp. 13193－98.

11) U. S. Water Resources Council, Economic and Environmental Principles and Guidelines for Water and Related Land Resources Implementation Studies, March, 1983.

12) HM Treasury, Economic Appraisal in Central Government－A Technical Guide for Government Departments, HMSO, 1991.

13) Smith. K. V, Environmental Policy under Reagan's Executive Order － The Role of Benefit-Cost Analysis, The University of North Carolina Press, 1984.

安田吾郎*

建設省土木研究所環境部
環境計画研究室研究員
Goro YASUDA

丹羽 薫**

同　環境計画研究室長
Kaoru NIWA

◆報　文◆

建設事業における社会的費用・便益の評価について(応用編)

安田吾郎* 丹羽　薫**

1. まえがき

本誌6月号[1]において、社会的費用・便益の評価に関する基礎的な理論の説明を行った。そこでは、社会的純便益の最大化基準(効率性基準)を主たる基準とし、公平性の確保やコミットメントの遵守をそれに次ぐ基準として事業評価を行うことが一般的に望ましいことを明らかにした。この理論ベースに立脚して、本稿においては、社会的費用・便益評価の考え方を実際の行政課題の検討の上でどのように応用できるかについて論じることとする。

社会的費用・便益の経済評価手法は、建設事業全体のマクロなレベルから、個別事業におけるミクロなレベルまで、いろいろな段階での応用先がある。そこで、マクロなレベルでの応用先の例として、二酸化炭素排出の外部費用の内部化問題を第2章で取りあげることにする。また、地域レベルでの応用先の例として、事業の地域間配分の問題に労賃の社会的費用評価がどのような理論的根拠を与え得るのかを3章で論じる。さらに、個別事業における施設設計等における、社会的便益・費用評価の考え方の基本を4章で述べる。

2. 地球温暖化問題への応用

2.1 地球温暖化問題の概要

二酸化炭素、フロン、メタン、亜酸化窒素等の温室効果ガスは、地表から放出された赤外線を吸収し、その結果地球の温暖化が生じる。そして、その結果、海面上昇や局地的気候変動によって様々な悪影響が生じることが予測されている。その影響の定量的評価については意見の分かれているところではあるが、国際社会は1987年のモントリオール議定書及び1992年の気候変動枠組み条約等により、特定フロンガスの使用を全廃していくほか、二酸化炭素その他の温室効果ガスは西暦2000年時点で1990年レベルの排出量レベルに抑制すること等が合意されている。ただし、その手段に関しては必ずしも合意形成がなされていない。

Evaluation of Costs and Benefits in Public Works – Application –

2.2 二酸化炭素排出量削減手法

2.2.1 主要手法

二酸化炭素排出量削減の実行手段は大きく分けて、経済的手法によるものと非経済的手法によるものがある。非経済的手法の内の中核的手法は規制的手法である。これは、法令や行政指導等の手段により二酸化炭素の排出規制を行うものである。

一方、経済的手法の中での主要な方法は、炭素税によるものと排出権取引制度によるものがある。炭素税とは二酸化炭素の排出量に比例した税を各財に課すものである。また、排出権取引制度とは、排出が許可される量の上限をそれぞれの国、事業所、個人等に初期に割り当て、その後は排出権の売買を認める制度であり、米国において大気汚染物質の管理等に応用されているものである。

経済的手段の比較分析を行うのは本稿の目的とするところではなく文献2等に譲るが、筆者は以下の諸点が主要な点であると考える。

①外部費用が既知であるとすれば、効率性基準の観点からは炭素税制度の方が優れているが、目標値に合わせた削減を確実にするという点では排出権取引制度が優れている。

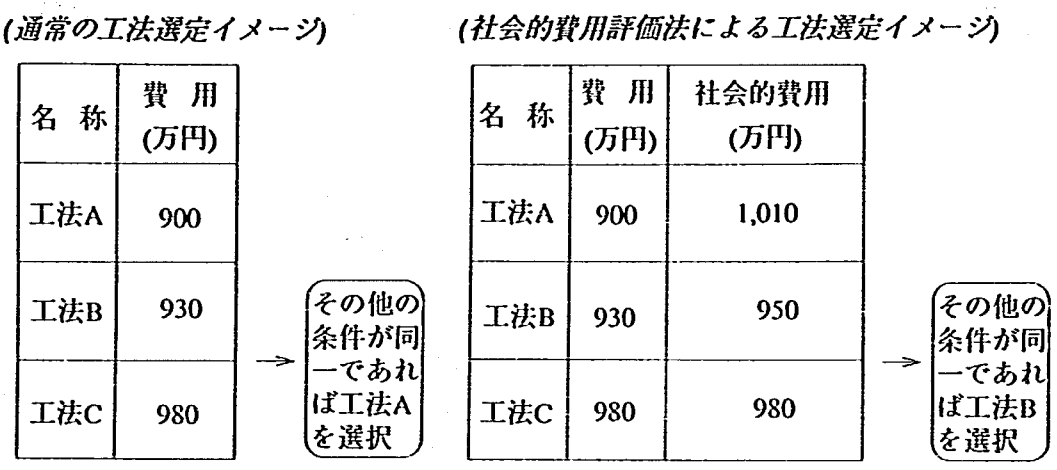
②炭素税による方法では、南北間での公平性の観点や世代間の公平性という観点から問題視する意見もあり、発展途上国の了解を得るためには相当高いハードルが存在している。

③排出権取引制度に関しても、排出権の初期配分次第で同様の問題がある。また、排出量の監視は技術的に困難であり、実効性のある強制措置の実施は容易ではなく、炭素税以上に実施は困難である。

このように世界規模で見た場合には経済的手段の使用は容易でない。一国の中だけに限っても、炭素税の導入等の手段を講じることに国民の合意を得ることは簡単でなかろう。

2.2.2 社会的費用評価法

一定組織の内部で完結し得る比較的容易に実行可能な二酸化炭素排出抑制策として、工法や資材の選定に当たって、費用が最小となる選択肢を選



※この例の場合、社会的費用に基づく評価では工法Aに代わって工法Bが選ばれる。
この場合、費用は30万円のアップとなるが、社会的費用でみれば60万円の節減となる。

図-1 社会的費用評価法に基づく工法の選択イメージ

ぶ通常の方法の代わりに社会的費用が最小となる選択肢を選択する方法がある。本稿では、この手法を、「社会的費用評価法」と呼ぶことにする。この方法の概念を図-1 に示す。

市場単価と社会的費用の乖離は、様々な要因から生じるが、多くの外部費用要因は属地的なものであり、調達物資の選択基準の中に一律的に含めるのにはなじまない。例えば同じ緑地の減少でも、国立公園内と田園地域とでは、その社会的費用は大きく異なると考えられる。地球温暖化という形で現れる二酸化炭素排出の外部費用は、どこで発生したものでも基本的には同一であると考えられ、工法・資材の選択基準上で内部化させやすい。次節以降では、社会的費用を資材調達基準上で内部化することが効率性基準の観点から望ましいことを明らかにし、さらに二酸化炭素の排出による外部費用がどれぐらいのオーダーのものかを示すことを目的とした試算を行う。さらに、社会的費用評価法の応用上の課題についても述べることとする。

2.3 二酸化炭素排出量削減の経済原理

外部費用が存在する場合における社会的純便益の最大化条件は、外部費用を含めた限界費用と限界便益が均衡することであり、図-2 中の E_{S1} 点がこれに相当する。この図中で、社会的純便益(消費者余剰と生産者余剰の和)は、図の色付きの部分 ($\Delta D_p^0 C_s^0 E_{S1}$) である。一方、税や補助金の無い世界における均衡点は、図中の E_P 点であり、この場合の社会的純便益は、色付きの部分から灰色の死重損失[注1]の部分 ($\Delta E_{S1} E_P F$)[注2]を差し引いた部分になる。すなわち、この死重損失の分の非効率が、自由な市場においては生じる。

社会的純便益の最大化条件を満たすためには、外部費用分 (図中の C_P 曲線と C_S 曲線の差分) に相当する税 (ピグー税) が賦課されることが十分条件である。ただし、税の賦課によらずとも、需要者が社会的費用評価法を用いれば、ピグー税を賦課した場合と類似の効果が得られる。仮にすべての需要者が社会的費用評価法を取ったと仮定すれば、図-3 に示すようにピグー税を賦課した場合と全く同じ効果が得られる。図-3 では、すべての需要者が社会的費用評価法を採用した場合に、$\Delta E_{S2} E_P G$ で示される死重損失が理論的には無くなることを示している。

もっとも、現実的には、民間企業を含めた需要者がこのような行動基準を強制措置無しに取ることは考えられない。多数の需要者が存在すること

注 1) 死重損失 (Dead Weight Loss) は、最も効率的な (社会的純便益を最大化する) 資源配分を実現する制度 (税制等) を基準として、ある特定の制度のもとでどれだけの比効率 (便益の損失) が発生するかを計測する指標である。

注 2) (死重損失)=(消費者余剰の減少)+(生産者余剰の減少)+(税収の減少)+(外部費用の増加)=($\Delta D_p^0 p_{S1}^* E_{S1} - \Delta D_p^0 p_P^*$)+($\Delta p_{S1}^* C_S^0 E_{S1} - \Delta p_P^* C_P^0 E_P$)+($-\square C_S^0 C_P^0 E_{S2} E_{S1}$)+($\square E_{S1} E_{S2} E_P F$) = $\Delta E_{S1} E_P F$

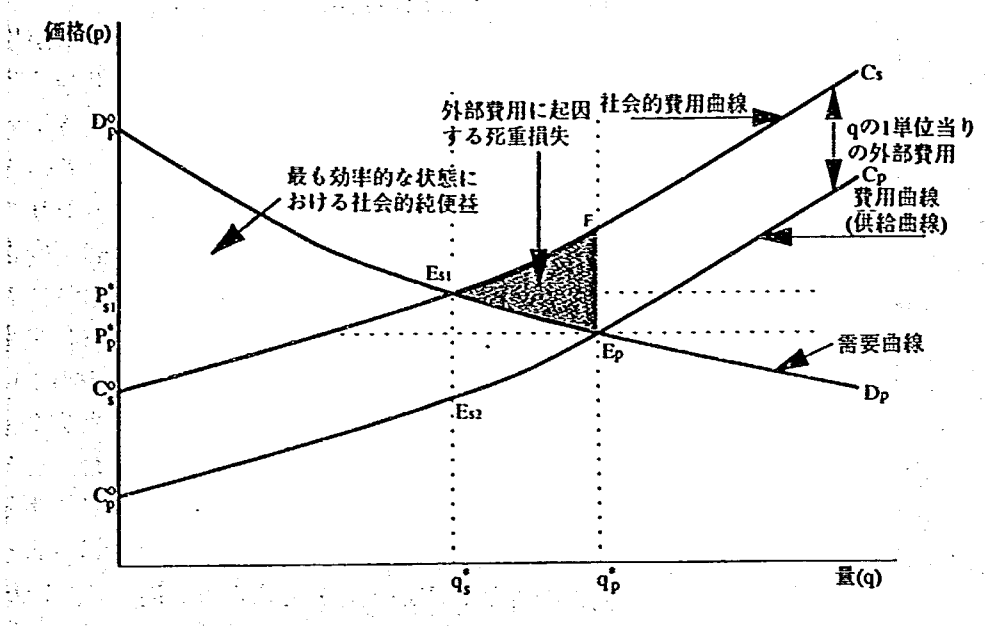


図-2 外部費用の存在による非効率の発生模式図

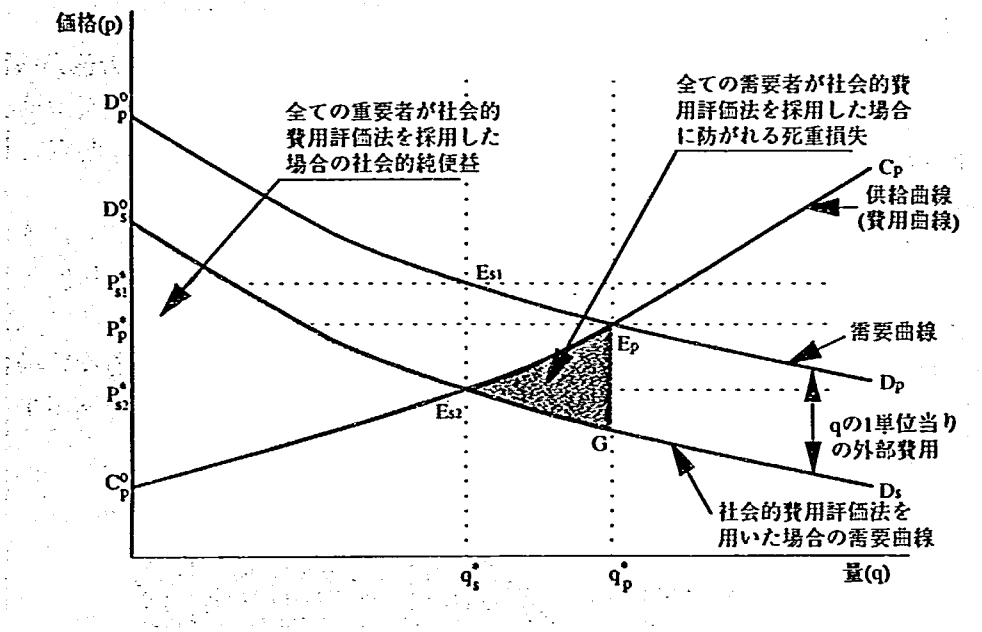


図-3 社会的費用評価法が全ての需要者で採用された場合の非効率の改善模式図

を前提とすれば、需要者は価格のコントロールはできないと考える方が正しい。しかし、個々の需要者の影響力が微視的なものに過ぎないにせよ、社会的費用評価法の採用が死重損失の減少に資することは確かである。また、政府における資材調達基準に社会的費用評価法の考え方が反映されるとすれば、その市場に占める大きさからすれば、より大きな効果が見込まれる。

2.4 地球温暖化被害試算

二酸化炭素排出に起因する地球温暖化が米国全体でどのような外部費用をもたらすかに関しては、Cline[3]、Fankhauser[4]の研究等がある。このうち、Fankhauser は全世界における被害額の推計まで行っており、等価二酸化炭素濃度倍増シナリオの下で 2.5°Cの平均温度上昇と 50cm の海面上昇が起きたという設定で、年額 2,854 億ドル (1988 年値) の被害が生じるという結果を得ている。これは、世界の国民総生産の 1.5%に相当する。この値については、様々な大胆な仮定条件がある他、森杉[5]が指摘しているように被害の計測対象に関する理論上の問題点も存在する。しかし、これらは、Fankhauser の予測結果のレンジを根本的に否定するものでもないので、以下の試算ではこの値を一つのベースとする。

一方、Cline は、全米における地球温暖化被害額について、等価二酸化炭素濃度倍増シナリオの下では年額 616 億ドル、10°C の平均気温の上昇を見込んだ超長期シナリオの下では年額 3,386 億ドルになるという結果を得ている。さらに、Cline の等価二酸化炭素濃度倍増シナリオにおける被害額と超長期シナリオにおける被害額の比が Fankhauser の予測についても維持されるという非常に粗い仮定を置くと、超長期シナリオの下での全世界での被害年額は 1 兆 5,700 億ドルとなる。

2.5 外部費用の推定

二酸化炭素排出に伴う外部費用を求めるためには、二酸化炭素の循環モデルを考慮した二酸化炭素排出量の時系列分布の関数としての二酸化炭素濃度の時系列分布を求め、さらにその関数としての平均温度や海面上昇量を求める必要がある。これに対して本稿における試算は、二酸化炭素排出量の削減便益原単位は、二酸化炭素排出による被害年額を現在の二酸化炭素排出量に比例すると仮定して行う。全世界における二酸化炭素排出量は1990年には毎年21.57ギガトンであるとOECDは推定している。従って、前項で求めた超長期シナリオの下における被害額を用いて二酸化炭素排出量の削減原単位bを求めると、式(1)が得られる。

$$b = \frac{1.57 \times 10^{12}(\$/年)}{21.57 \times 10^{9}(\mathrm{ton}/年)} = 73(\$/\mathrm{ton}) \quad (1)$$

一定量の二酸化炭素は海水やバイオマス等によって吸収されることを考えると、実際の被害関数は、二酸化炭素排出量に線形比例であるというよりは、図-4中の曲線のような形になろう。すると、図中で被害関数の勾配として表される限界便益に関しては、線形比例仮定では実際よりも過小に評価することになる。一方で、予測シナリオにおける二酸化炭素の年間排出量は現在よりも上昇することから、式(1)における分母は対象期間平均で見てもっと大きいと考えられ、この点では式(1)には過大評価の要素もある。

建設産業の各分野でどれだけの二酸化炭素が排出されているかを求めた研究としては、片脇ら[6]等の研究がある。片脇らは、エネルギー消費量の産業連関分析から二酸化炭素排出量を求めている。表-1では、片脇らが求めた単位事業費当たりの二酸化炭素排出量に、式(1)で求めた二酸化炭素排出量の削減原単位をかけ合わせて、各事業において事業費に対してどれだけの割合の二酸化炭素排出に起因する外部費用が存在するかを求めている。事業種別毎に差はあるものの、建設事業全体の平均では約1%が外部費用となる。なお、これは平均で見た値なので、事業費当たりで見て多量の二酸化炭素の排出を伴う工種・資材では、より大きな外部費用が生じるであろう。従って、工法・資材等の選択に当たって社会的費用評価法を用いた場合には、全体に大きな影響は生じないと見られるものの、一部のものについては、代替工法・資材に取って代わられることが予想される。

2.6 社会的費用評価法の応用に際しての課題検討

公共機関が社会的費用評価法を二酸化炭素排出問題に関連して検討するに当たっての課題点としては次のようなものが考えられる。

①関連産業への無視できない影響が考えられるので、外部費用の算定には、一定以上の精度と手法の正当性が求められる。

②業務仕様書の中で使用資材を特定できない場合には、外部費用分を内部化した基準を適用する

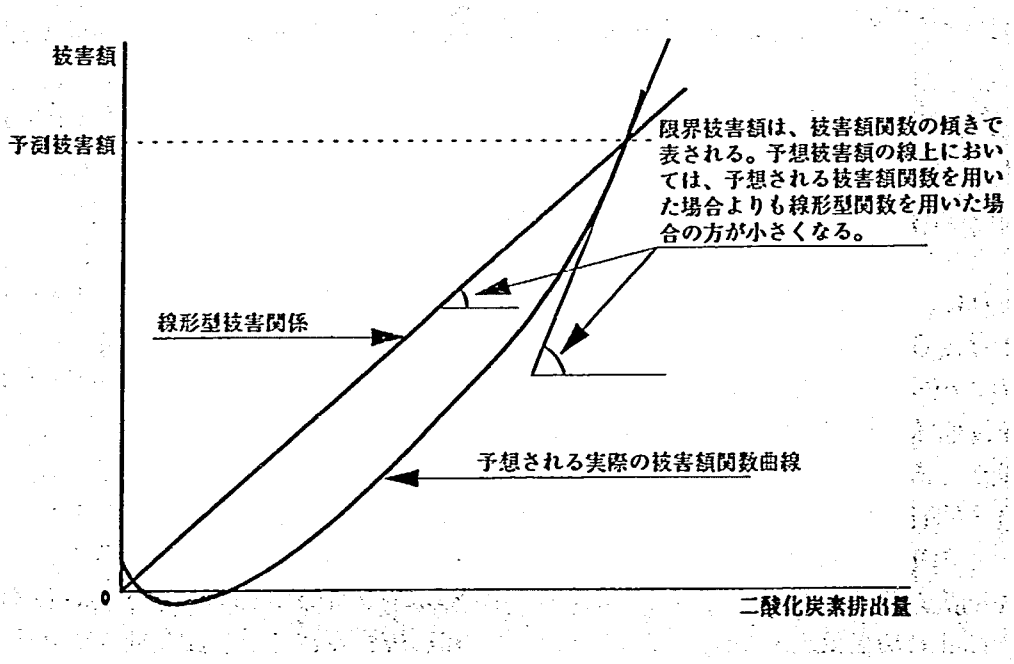


図-4 被害額関数の相違による限界被害額への影響模式図

表-1　土木事業 (31 部門) の単位事業費当たりの二酸化炭素排出量と外部不経済率

部門名	二酸化炭素濃度 (トン/円)	地球温暖化関連外部不経済率
道路改良	1.4030E－6	1.0%
道路舗装	1.9900E－6	1.4%
道路橋梁	1.6750E－6	1.2%
道路補修	1.6770E－6	1.2%
街路改良	1.5750E－6	1.1%
街路舗装	2.1990E－6	1.6%
街路橋梁	1.6300E－6	1.2%
高速自動車国道	1.5860E－6	1.2%
都市高速道路	1.6200E－6	1.2%
一般有料道路	1.5590E－6	1.1%
河川改修	1.2980E－6	0.9%
河川総合開発	1.2210E－6	0.9%
砂防	1.5080E－6	1.1%
海岸	1.6870E－6	1.2%
下水道	1.4860E－6	1.1%
区画整理	1.5720E－6	1.1%
港湾・漁港	1.5320E－6	1.1%
空港	1.7190E－6	1.3%
環境衛生	1.6820E－6	1.2%
公園	1.1760E－6	0.9%
災害復旧	1.5390E－6	1.1%
農業土木	1.5220E－6	1.1%
林道	1.4410E－6	1.0%
治山	1.4500E－6	1.1%
災害復旧 (農業関係)	1.5770E－6	1.1%
鉄道軌道設計	1.8710E－6	1.4%
電力施設建設	1.3160E－6	1.0%
電気通信施設建設	1.2110E－6	0.9%
上・工業用水道	1.7020E－6	1.2%
土地造成	1.6240E－6	1.2%
その他の土木	1.3570E－6	1.0%
土木事業合計	1.5080E－6	1.1%
建築業	1.1170E－6	0.8%
建設補修	1.4340E－6	1.0%
建設業合計 (土木+建築+建設補修)	1.2880E－6	0.9%
全産業合計	3.0840E－7	0.2%

注：1 ドル 100 円として計算

ことは困難である。

③外部費用分を工法・資材の選択基準に反映させるためには、関連図書等の改訂のための費用がかかる。

④個々の工法・資材等に起因する二酸化炭素発生量の特定のためには費用が生じる。

本稿における試算は非常にラフなものであり、上の①の条件を満たすためには、学界の標準から見て許容できるレベルでの温暖化モデルを構築した上で分析を行う必要がある。次に、②の点については、この点が問題となるケースは、それほど多くはないのではないかと思われる。また、③、④の点については一定の費用が生じることは明らかであるが、方法次第ではそう多額にはならないように思える。結局、社会的費用評価法の適用のためには、①の条件を満たすための調査検討の進展と費用問題の解決が今後必要である。

3. 不況地域での事業の重点化問題への応用

不況地域における重点的な建設投資は、産炭地域その他で行われてきている。しかし、建設投資の地域配分の変更は、それにより損失を被る恐れのある人々等から異論がでやすい。本章では、効率性基準、公平性基準等の観点から不況地域における建設事業の重点化に関する一つの理論的説明を行う。

3.1 効率性基準の観点

不況地域における重点的な建設投資を効率性基準の点から考えると、不況条件を考慮しない場合における事業の優先度に逆転をもたらす点ではマイナスである。しかし、労務の社会的費用とは、当該労務から何らかの要因で解放された場合に他の活動から得られる賃金等 (家事やレジャーのような活動もその活動の価値を金銭化したもので賃金と同列に扱う) で測られることを考えると、不況地域における建設事業に従事する人の労務の社会的費用は、実賃金よりも安くなる可能性が高いことに留意する必要がある。すなわち、一つの建設事業が実施さ賃金よりも安くなる可能性が高いことに留意する必要がある。すなわち、一つの建設事業が実施されなかった場合に、好況地域では他の仕事に労力が吸収されやすいのに対して、不況地域では多くの労働者は失業状態になる可能性が高く、そのような場合には労賃の社会的費用は実賃金よりも小さくなるのである。

結局、効率性基準から言えば、あまりにも便益の小さい事業まで実施する場合には問題であるものの、労賃の機会費用の低下分に見合った重点投資を行うことは効率性の観点からも望ましいと考えることができる。

3.2 公平性基準・コミットメント基準の観点

大量の失業の発生に対して建設事業の増大という一種の救援措置を講じるということは、垂直的

公平性の観点から説明しやすいであろう。また、災害の発生や産業構造の急変等に際して国民が不必要な不安を感じなくても済むようにすることに関しては、憲法25条、災害対策基本法、地域雇用開発等促進法等の法令によって国がコミットメントを行ってきているものと見なすこともできる。従って、建設事業の重点投資そのものは法令で定められていなくても、その実施により上記のコミットメントの達成を支援することはコミットメント基準の観点からも望ましいと考えることができるであろう。

3.3 その他の考慮必要事項

前節までの議論の中では、長期的に見た国土整備方針との整合性の問題は考慮されていない。不況地域への定住が促進されるような政策が取られるべきなのか、むしろ移住の円滑化政策を取るべきなのかという問題については、長期的に見て効率的で暮らしやすい国土整備のあり方の検討無しには答えがでないのである。そのような検討を行うためには、都市や村落の適正規模、交通ネットワーク体系、人口や事業所の移転流動の安定性に関する検討が欠かせない。

4. 施設設計における判断基準への応用

建設事業における個別事業箇所における施設設計(例えば橋梁のデザインや護岸のタイプ選定)には、多くの場合は公平性基準やコミットメント基準の観点は絡まない[注3)]。従って、このような施設設計に際しては、社会的純便益の最大化基準を適用して内容を検討することが基本である。

個別事業箇所における社会的純便益の評価において通常課題となるのは、環境と工費、環境と安全性、環境と利便性等の要素間でのトレードオフ群である。このようなトレードオフが存在する場合に社会的純便益を最大化する選択肢を選ぶためには、景観、生態系、安全性等の非市場財[注4)]の価値の評価が必要になる。この評価の方法としては、官庁の計画専門家や学識経験者の判断を評価基準とするやり方がわが国では通常用いられているが、人々の行動や態度によって表される価値評価を経済評価する手法[注5)]も米国等では用いられている。評価の方法はともかくとして、狭い意味での事業目的にとらわれずに、社会的純便益の総体を見渡して施設選定を行うことが必要である。

5. むすび

本稿では、本誌6月号の「基礎編」を通じて明らかにした事業実施基準を、地球温暖化問題、不況地域での事業重点化問題、施設設計における判断基準問題を対象に応用し政策分析を行った。各々の問題に関してはさらに詳細で精密な議論が必要であるが、効率性基準と公平性基準等を軸とした分析法が、建設事業を取り巻く諸問題の検討の上でどのように役立ち得るかについてご理解頂けたとすれば、本稿の目的は達せられたものと思う。

参考文献

1) 安田吾郎、丹羽薫：建設事業における社会的費用・便益の評価について(基礎編), 土木技術資料 Vol.36,No.6.
2) (社) 日本経済調査協議会, 環境調和型経済社会構築のための経済的手段に関する調査,1994年3月.
3) Cline,W.R : Global Warming,Estimating The Economic Benefits of Abatement, OECD, 1992.
4) Fankhauser.S : The Economic Costs of Global Warming,Some Monetary Estimates, Papers Presented at the International Workshop on Costs, Impacts and Possible Benefits of CO_2 Mitigation, September, 1992.
5) 森杉壽芳：地球温暖化対策の経済評価の考え方, 第1回地球環境シンポジウム講演集, 土木学会,pp.118-125,1993年7月.
6) 片脇清、寺田剛、山本聡、坂井田美晴、小栗ひとみ：資源・エネルギー消費, 環境負荷の算定手法の開発と実態調査報告書 (その1), 土木研究所資料第3167号、1993年2月.

注3) ただし、例えば、観光上重要な橋のかけ替えに際して効率性基準で許容される以上に凝ったものにする場合は、地元の観光産業に悪影響を与えないという一つのコミットメントへの配慮が行われているものと理解することもできる。また、多くの補償事業は、公平性の観点から理解することもできる。

注4) 通常の市場取り引きによる価格形成がなされない財、環境、人命、公共財の大部分がこれに該当する。

注5) こんなような環境価値の経済評価手法については、次回で紹介する予定であり、ここでは立ち入らない。

安田吾郎*

建設省土木研究所環境部
環境計画研究室
主任研究員
Goro YASUDA

丹羽　薫**

同　環境計画研究室長
Kaoru NIWA

英国の水政策における経済評価手法－その１

建設省土木研究所環境部環境計画研究室　安田　吾郎

１．はじめに

筆者は，英国ヨーク大学経済学部大学院において平成５年８月までの２年間，社会政策の経済分析を中心とした勉強をする機会を得た。環境等の非市場財の経済評価手法をテーマに研究を行っていたため，水政策とは直接的な研究上の関わりは無かったものの，英国における水政策に関する資料を折に触れ収集した。また，英国の水管理政策について英国河川局 (National Rivers Authority，以下ＮＲＡと呼ぶ）の技術者等と話す機会も得ることができた。本稿は，収集した文献情報を中心としながら，これら英国政府の行政担当者からのヒアリング情報も加えて書くものである。

なお，全体を２回に分けることとし，第１回の今回は英国の水政策の概要を序論として紹介し，次に水政策に係わる経済評価手法の概要を述べた後に，政府の経済評価に関する基本ガイドブックである大蔵省 (HM Treasury) のガイドの紹介を行う。次回の稿では，環境省 (Department of the Environment)，農業漁業食糧省 (Ministry of Agriculture, Fisheries and Food)，ＮＲＡのマニュアルやその他の行政に用いられている主要な参考文献，実際の評価事例について紹介する予定である。

２．英国の水政策の概要

（１）組織と法制度

英国においては1973年水法 (Water Act) による組織統合以降，ブロック毎に存在する水政局 (Water Authorities) が水資源管理，治水，水質汚濁規制，上下水道の管理までの総合水管理を行っていたが，サッチャー政権時代の国有企業民営化政策の一環として，1989年水法の成立に伴って上下水道，水資源開発部門が切り放され，これらは水会社 (Water Companies) に移管された。水会社は，従来の水政庁の地域区分に相当するテリトリー別を基本としながらも，上水道・下水道の事業毎に分社されたり，施設管理部門を子会社として分けたりといった形で多数に分かれた。

水政局の残りの機能はＮＲＡに引き継がれた。現在のＮＲＡは，ロンドンとブリストルに本部を構え，イングランド及びウェールズ内の10の地域毎に独立性の高い地域本部を持つ組織である。その所管とする業務は，取排水の管理（許可，違反者の告発），水質保全（水質目標の達成，水質の計測），洪水対策（対策事業，予警報），内水面漁業管理，レクリエーション，環境保全，舟運の調整となっている（加本 (1991) 等）。水資源開発に関しても，事業面は水会社に移管されたものの，計画面では権限を有している。また，渇水時に渇水令 (Drought Order) を作り給水制限等の措置を行う権能などもある。

ＮＲＡの設置根拠法である1989年水法は他の20余の関連法とともに，1991年に整理統合され，現在は1991年水産業法 (Water Industry Act)，1991年水資源法 (Water Resources Act)，1991年法定水会社法 (Statutory Water Companies Act)，1991年土地排水法 (Land Drainage Act) とその他１本の整理法に改められている。このような法の整理統合 (Consolidation) という概念はわが国の法にはないので説明を要しよう。英米法では，一つの法が改正される際に，必ずしも古い法が廃止されず，新法が旧法の一部を無効にしながらも両者が共存する形となる。水法の場合も，1991年時点で同じ水法という名のものだけでも1945年，1973年，1981年，1983年，1989年のものが同時に存在する形になっていた (HMSO(1991))。このような状況が進むと，最新の有効な法の把握は難しくなるので，ある時点で統合整理される。この場合，実質的な内容は変え

ずに関係法を集めて条文の並び替えを行うだけといったことも多く，1991年の水法の統合整理も実質的な法の内容には変化をもたらしていない。

（2）水政策の動向

英国の水政策の動向としては，環境シフトということが挙げられる。ＮＲＡの環境保全に関する権限は1989年水法のもとで強化されたものである（Rowman(1992,p.565)）。内陸水面や海岸部での自然の美しさやアメニティの確保といったこともこの新しい権限の中には含まれる（1991年水資源法第16条）。また，1988年都市農村計画（環境影響評価）規則（Town and Country Planning (Assessment of Environmental Effects) Regulations）等に基づく環境影響評価の実施に当たって，水に影響を与える開発計画に対しては，ＮＲＡが，評価書の審査機関たる地方自治体（Local Planning Authorities）に対して水環境オーソリティとしての立場からの意見を述べることとなっており（Department of the Environment Welsh Office(1989,p.45- 46)），自治体側はＮＲＡの意見を容れる義務は無いものの，実質的にはＮＲＡは環境影響評価書を審査できる立場にあると言える。このように，ＮＲＡは治水等の事業の実施者という側面も有しているものの，河川環境の保護者といった色彩を強めている。ちなみにＮＲＡのヨークシャー地域本部のパンフレット集の表紙には，組織名とイラスト以外に一言「水環境の守護者」（Guardians of the Water Environment）と書かれており，このような情勢を端的に表している。ＮＲＡ技術者の話によれば，組織内部でも生物学部出身者を初めとした人材の多様化が進んでいるとのことである。また，技術職員には博士号を持つものも多く，事業実施機関というよりも，名前にAuthorityと付いている通り，「川に関する権威機関」という色彩が濃い。

3．経済評価基準等

英国の水管理政策に係わる経済評価に関しては，いくつかの基準図書と参考資料がある。表－１にこれらを示す。最初の「中央政府における経済評価」（HM Treasury(1991)，以下，大蔵省ガイドと呼ぶ。英国ではグリーンブックという通称で呼ばれている。）は，大蔵省が予算を付ける際の経済的妥当性の審査等に際して用いるもので，補助金等の形で国費を得るために費用便益分析等経済評価の実施が要求される場合には，この本に準拠して経済評価をすることとなっている。次に，「政策評価と環境」（Department of the Environment(1991)，以下，環境省ガイドと呼ぶ）は，事業評価の実施に当たっての「環境」の扱い方を記したもので，大蔵省ガイドを補完する役割を持つ。これら二つの図書は，水管理政策のみならず広く一般の政策評価向けのものである。

ここで，経済評価（Economic Appraisal）という言葉の意味をもう少し明確にしておいた方が良いだろう。本稿では，経済評価という言葉の意味を大蔵省ガイドで用いているのと同じ意味で用いる。すなわち，経済評価とは，政策決定への判断基準の提供を目的とした，政策オプションの主としてミクロ経済学的観点からの評価を指す。大蔵省ガイド（p.10）は，具体的に，費用と便益の双方を金銭的に測定する費用便益分析，費用と金銭以外の指標で測った効果とを比較評価する費用効果分析，料金収入を便益値と見なした評価を行う財政分析（商業的分析）を主たる経済分析手法として挙げている。この他，代替案間で費用と効用（Utility）を尺度として質の異なる政策効果を比較する費用効用分析，ほぼ同等の効果を得られる代替案間を費用のみの比較で評価する費用分析も経済評価の範疇に入る（例えば，Drummond他(1987)）。これらの手法の中で，政策案の実施の是非まで含めた判断材料を直接的に提供するものは費用便益分析であり，その他の手法は通常代替案の比較のために用いられる。

表－１の説明に戻る。大蔵省ガイドと環境省ガイドは水管理政策以外を含めた汎用のものであるのに対し，以下に記すものは水管理政策を対象としてまとめられたものである。

「治水・海岸防御－事業評価ガイダンスノート」（Ministry of Agriculture, Fisheries and

Food(1993)，以下，農業漁業食料省ガイドと呼ぶ）は，ＮＲＡに対して補助金(Grant)を与える立場にある農業漁業食料省がプロジェクト審査等に際して用いるものである。大蔵省ガイドとの整合を取りながら，治水・海岸事業に固有の事項をとりまとめたものとなっている。

次に「経済評価マニュアル」(National Rivers Authority (1993, Draft))は，ＮＲＡが内部向けに作成中のもので，1993年末現在では未定版(Draft)である。筆者がＮＲＡのヨークシャーオフィスで聞いたところでは，一般購入可能な図書として販売するか，内部資料として扱うかは未定とのことであった。

これらの政府機関発行のもののほかにも水政策の経済評価に当たって参考にされている一般書籍がある。Gardiner (1991)は，ＮＲＡのスタッフらが執筆者となって編集された本で，経済評価及び環境評価・保全手法に関する実務的手法がまとめられている。また，Parker(1987)は治水便益の評価手法を解説した本として，農業漁業食糧ガイドの中でもレッドブックの愛称で参照されている。

以上のほか，民営化された水会社においても，主要な会社はそれぞれ経済評価手法を含んだガイドラインを作っている。筆者はヨークシャー水会社(Yorkshire Water)の好意で同社の持つガイドライン(Yorkshire Water(1993))の抜粋を入手した。しかし，これは，主として事業計画手順を解説した図書となっており，経済評価方法に関してはごく一般的な事項を解説しているのみのものであった。

４．大蔵省ガイド

大蔵省ガイドの概要を本項で解説する。

（１）対象範囲

大蔵省ガイド(p.9)は，大蔵省ガイドに基づく経済評価の対象としては，以下のようなものが一般的であるとしている。

a) 資本投下を伴うプロジェクト（例えばプロジェクト実施の是非の決定や実施時期の決定）
b) 現有資産の使用または処分（例えば土地の売却やより安い施設への更新の決定）
c) 設計・供用の基準（例えば耐火基準の選択）
d) 一般の政策及びマネージメント（例えば何かのサービス水準の決定）

ここで注目されるのは，事業実施の是非といったことにのみならず，基準類の検討や資産の処分方法の検討といったことも経済評価対象として明示的に含めていることであろう。わが国の場合には，ダムなどの事業実施の是非に関して経済評価を行うのは当然となっているものの，設計基準等に関しては非経済的観点（例えば安全性の確保）から検討される方が通常であり英国流とは様相を異にしている。

ちなみに，わが国では経済評価というと，経済的に測れない物（例えば安全性の確保や環境）を犠牲にすることにつながるのではないかといった反応がともするとあるが，これは正しくないことを示しておこう。例えば，経済評価の結果，一つの基準（例えば道路の制限速度の低下）の導入によって年間平均１０人の人命が救われるが，そのために年間平均１００億円の社会的費用がかかることが明らかになったとしよう，この場合，人命の価値が一人平均１０億円を上回ると考えられればこの基準は導入が望ましいという結論になるし，逆であれば導入が望ましくないという結果になる。このような議論を明示的に行えるようにするのが経済評価の役割と言って良い。

それに対して，経済評価の過程を経ない場合には，暗黙の内に価値評価を行なうことになる。よく，人の命はお金では測れないといった議論があり，現実の行政意志決定上も人の命を金銭評価することは日本では行われていない（英国では道路計画等で人命価値金銭評価が行われている）が，実は行政意志決定を通じて人の命の評価も行われていると言えるのである。例えば，仮に人の命の価値が無限大であるとすれば，人命の救済に関わりの無い政策経費（例えば美術館・公民館の建設）はゼロにしてでも治水対策や交通安全対策に予算を充てるべきとの結論になるが，現実の政策判断

は一定の規模の予算を両者に振り分けている。これは，美術館や公民館建設の限界便益（予算規模を１単位増やした時の便益の増分）は治水投資や交通安全対策の限界便益と大きく違わないと暗に見なされていることを意味する。すなわち，人の命の価値は無限大ではないある価値を持って評価されていることになる。ちなみに，現実に行われた政策判断から逆にある非市場財の金銭評価を求めるアプローチも経済評価手法の一つとして位置付けられているところである（大蔵省ガイド p.48 の 13 項）。

経済評価の実施が経済的に測れないファクターを犠牲にするものかどうかは，通常は経済的に測れないとされるファクターが，経済評価の中でいかに適正に評価されるかどうかということにかかっている。

（２）評価手順

大蔵省ガイド (p11) は，経済評価に通常含まれる手順として以下のものを挙げている。

a) 目的の定義
b) オプション（代替案）群の検討
c) 各オプションに関する費用・便益・不確実性の特定・定量化・金銭化（可能な限りで）
d) 金銭化可能な費用・便益の比較
e) 不確実性の考慮
f) オプション間の比較検討
g) 結果の提示

この手順に含まれている項目は通常の経済評価で含まれる物を挙げているのみであり，特筆すべき点はない。ただし，わが国での経済評価では，一つのシナリオに基づく評価のみを行い不確実性に対する検討を行わない場合も多く，それを含めている点では注目される。

（３）評価内容の概要

i) オプション群（代替案）の検討

大蔵省ガイドでは，オプション群を選定する際の注意事項として以下のことを求めている。

a) 比較のベースとなるオプションは「何もしない」または「最低限（現状維持等）のことをする」というオプションとするのを通常とする (p.11 の 2.5 項，p.17 の 3.2 項)。
b) 予算に制約があることを初期のオプションの選択の制約条件としてはしてはならない (p. 11 の 2.6 項)。
c) 法的・政治的制約によって実現困難と思われるオプションについても，状況が変化する場合も考えて，一概にオプションから外してはならない (p.17 の 3.4 項)。
d) オプションの中には実施時期を遅らせたる等費用投下の時間分布パターンを変えた案も通常別オプションとして含める (p.17-18 の 3.6 項)。
e) 詳細分析 (Full Analysis) を行う必要があるオプションは結局は少数に絞り込まれるのが通常であるが，その選択は注意深く行われるべきである。例えば，あるオプションの便益が別のオプションの便益よりも少ないからといって，費用面の十分な検討抜きにそのオプションを詳細分析の対象から外すのは正しくない (p.17 の 3.3 項)。
f) 一つのオプションが他の事業に影響を与えたり，逆に外部の事業がそのオプションに影響を与える場合がある。この場合，費用便益の評価は相互に依存するため，外部事業と見なした事業も含めたセットの施策に対しての経済評価を行うべきである (p.18 の 3.7 項)。
g) 上記 f) とは逆に，一つの上位計画が経済評価をパスすればその下のプロジェクトが皆正当化されるわけではない。例えば，ある計画が純便益が非常に大きい事業と純便益がマイナスの事業によって構成されている場合，当該上位計画が費用便益基準をクリアすることが，純便益がマイナスの下位計画まで含めて正当化することにはならない (p.18 の 3.8 項)。

ii) 費用・便益の特定

費用・便益には大蔵省ガイド (p.12) では以下の項目を通常含むものとしている。

a) 初期資本費用（建物，装置，土地を含む）

b) 評価対象期間中に更新される必要がある建物または装置の資本費用

c) 評価対象期間の終わりにおける資本資産の残存価値

d) 評価期間を通じての運用費用

e) 歳入の増減，費用の削減，非市場財の増減等の形で金銭評価可能なその他の費用・便益

f) 金銭評価できない費用・便益の測定・記述

ここで，費用・便益の見方について，大蔵省ガイド (p.12 の 2.7,2.10,2.11 項 ,p18 の 3.13 項) は，社会的費用・便益を用いた評価を行うことを求めている。すなわち，特定のセクターにとっての費用・便益や，財政支出・収入ベースのものでもなく，他の政府部局や民間も含めた社会全体にとっての費用と便益を機会費用 (Opportunity Cost) ベースで測ったものを経済評価に用いることを原則として求めているのである。

また，非市場財 (市場で取引されない財。例えば環境や人の命) の評価に関しては，いくらかのものに関しては，オプション価値 (ある財を将来利用する選択肢を残すための支払意志額を社会全体で合計した値) や存在価値 (ある財を全く利用することがないと仮定した場合における当該財存続のため支払意志額を社会全体で合計した値) なども含めて金銭評価可能であり (p.19 の 3.18 項)，金銭評価が難しいもの等に関しては重要なものは可能な限り定量評価を行い，そうでないものは最低限定性的な評価をリストアップすべきであるとしている (3.18,19 項)。非市場財の評価方法に関しては，大蔵省ガイドでは付録 B (p.45-55) にさらに詳細な評価方法を載せている。そこで挙がっている非市場財の評価方法は次の 3 つである。これらの使い分けに関しては大蔵省ガイドは図 - 1 のフローを示している。

a) 費用便益分析

費用・便益の全部を金銭評価する方法。

b) マトリクス法 (影響記述法)

影響項目をリストアップし，なるべく定量的記述を各項目に対して行う方法。評価を合計するといったことは行われず意志決定者の判断にまかされる。

c) 重み付け法

いろいろな評価項目を数値的にランキングし，最後に各項目に必要に応じて重み付けを行った上で一つの評価指標としてまとめる方法。

大蔵省ガイドは，金銭評価の具体的手法として，仮想金銭評価法 (Contingent Valuation Method) とヘドニック費用法を紹介している (p.48)。ちなみに仮想金銭評価法は，略してＣＶＭと呼ばれるほか，既往の文献では，擬制市場法 (末石ら (1993, p.80))，価値意識法 (大野ら (1993))，意識分析法 (肥田野 (1992))，意識に基づく手法 (平松ら (1989))，W.T.P 法 (森杉ら (1985)) などと呼ばれることもある。

さらに，より具体的な評価手法例として，時間の価値に関する評価法，人命と傷害防止の価値に関する評価法，地域環境影響の評価法が掲載されている。時間の価値評価に関しては，運輸省 (Department of Transport) の評価マニュアル (Department of Transport (1987)) が確立された手法を示した物として評価されている (p.49 の 19 項)。

また，人命の価値に関しては，運輸省の費用便益分析プログラムの中で 1 人 50 万ポンド (1988 年値) としていることを紹介している (p.50 の 30 項)。傷害防止の便益評価に関してはＱＡＬＹ指標が紹介されている (p.51)。ＱＡＬＹとは Quality Adjusted Life Year (質による補正を行った余命) の略で，完全に健常な状態における幸福度を 1 とし，死またはそれに等しい幸福度を 0 とした物差しによって，各種の病気や傷害に応じた幸福度を評価し，それに期待余命をかけて求める指標であり，英国では医療経済の分野を中心に応用されている。

最後に地域環境評価に関しては，金銭評価手法の概説と，金銭評価が困難なものをマトリクス法や重み付け法により評価する具体手法を解説している。

このほか，大蔵省ガイド (p.13) では，費用・

便益の評価は名目値ではなく，インフレ分を割り引いた実質値で行うべきこと (2.14項)，費用と便益の発生時間分布を作成すべきこと，予測に用いる将来人口等の値は政府が出している「National Trends」による予測と整合をとること (2.16項)，既に投下した費用 (Sunk Cost) は除外して評価を行うべきこと (p.19の3.17項) 等を述べ，さらに税や補助金に関する補正の考え方 (p.22) も整理している。

iii) 金銭化可能な費用と便益の比較

金銭化可能な費用と便益の比較の項 (2-17～2-21) では，割引率 (Discount Rate) の適用の必要に関する説明 (2.17,18,20,21項) と，純現在価値 (Net Present Value) の大小により選択オプションの評価を行うべきであるとの記述 (2.19項) がなされている。なお，割引率は政府機関の行う事業に関しては，現在，実質 (インフレ分補正後) タームで6％とすることとされている (p.24の3.51項)。ただし，例外として，公共で行ったものの成果が商業市場で売られる場合には通常8％の割引率で評価すべきであるとしている (p.77,Annex G-6)。

iv) 不確実性の考慮

大蔵省ガイド (p.14の2.22項) では，将来の予測に用いる仮定条件が実際には異なった結果となる可能性に対応した感度分析を行うことがしばしば求められるとしている。また，特に不確実な仮定条件はその含意と共に特記されるべきであるとしている。このような不確実性の考慮の結果として，例えば本事業の実施の前にパイロット事業を行うといった選択肢が出てくることもあると述べている。このほか，具体的に不確実性を考慮すべき点として，費用・便益見積が楽観的である可能性 (p.23の3.45項)，回復不可能な変化 (例えば特殊な自然地形の改変) を生じさせる事業 (p.24の3.49項。当該特殊地形への将来の国民の選好に関する不確実性がある) 等を挙げている。また，経済評価における不確実性の扱いに関して付録C (p.57-64) を付けており，リスクの費用を低減させるための措置として，パイロット事業や試験の実施，変化に対して柔軟な設計とすること等を挙げているほか，感度分析手法の具体例を示している。

v) オプション間の比較検討

大蔵省ガイド (p.14の2.23項) に基づくオプション間の比較方法を以下に述べる。オプション間の比較検討に際しては，明らかに優位なオプションが定まる場合もあるが，費用や便益に関する不確実性や，金銭評価または定量化できない要素の存在，公平性の問題，事前の公約の存在等から優位なオプションが明白とはならないこともしばしばある。このような場合には，不確実性のある項目を初めとした意志決定に係わる要素群のすべての影響をシステマティックに並べ，メリットの比較評価やどのような要素が意志決定に決定的影響を与えるかといったことを調べることとしている。なお，公平性の問題に関連しては，別の箇所 (p. 21の3.28項) で，収入，年齢，健康状態，経験，住所等の要素で区分される様々なグループ毎への費用便益がどのように分配されるかに関して，重要なものは可能な限り定量的に評価することを求めている。

vi) 評価結果の提示

経済評価結果をまとめるに当たっては，以下の事項を含むこととしている。

a) 目的，オプション群，評価結果，選ばれたオプション，選択されたオプションと他の代替案との比較をどのように行ったかの記述，提案の結果を後日どのように評価するかに関する記述 (p.14の2.24項)

b) 評価方法，仮定条件，計算過程等に関するより詳しい情報を含む分析。この中には，定量化されていない主要な費用と便益，費用・便益の発生時間分布，純現在価値に占める主要要素，主要な仮定条件を変化させた時の感度分析，社会を構成するグループ毎の費用・便益の分布を含むことが考えられるとしている (p.14の2.25項)。

c) 費用ベース (実質値か名目値か)，割引実施の基準年，割引率の選択に関する記述。

vii) 大蔵省ガイドに関するまとめ

大蔵省ガイドは，経済学的にオーソドックスな費用便益分析手法をまとめたものと言える。しかし，わが国ではまだほとんど行われていない非市場財の経済評価手法が取り入れたり，オプションの選択についてかなり明確な指針を打ち出している点が注目される。続稿では，大蔵省ガイド以外の基準図書等を解説した上で，改めてわが国の経済評価法との比較を行ってみたい。

参考文献

1) Bowman, J.C. (1992) Improving the Quality of Our Water: The Regulation by the National Rivers Authority, Public Administration Vol.70, Winter, pp.565-575

2) Department of the Environment (1991) Policy Appraisal and the Environment, HMSO, London

3) Department of the Environment Welsh Office (1989) Environmental Assessment - A Guide to the Procedure

4) Department of Transport (1987) Values for Journey Time Saving and Accident Prevention

5) Drummond, M.F., G.L. Stoddart and G.W. Torrance (1987) Methods for the Economic Evaluation of Health Care Programmes, Oxford University Press

6) Gardiner, J.L. (Ed.) (1991) River Projects and Conservation: A Manual for Holistic Appraisal, John Wiley & Sons

7) HMSO (1991) Water Resources Act 1991, HMSO, London

8) HM Treasury (1991) Economic Appraisal in Central Government - A Technical Guide for Government Departments, HMSO, London

9) Ministry of Agriculture, Fisheries and Food (1993) Flood and Coastal Defence - Project Appraisal Guidance Notes, Ministry of Agriculture, Fisheries, and Food

10) National Rivers Authority (1993) Economic Appraisal Manual, National Rivers Authority Unpublished Draft Version 1.0

11) Parker, D.J., C.H. Green and P.M. Thompson (1987) Urban Flood Protection Benefits: A Project Appraisal Guide, Gower Publishers

12) Yorkshire Water Services (1993) Yorkshire Water Services Limited Project Development Procedures, Unpublished Paper, 01 August 1993 Version

13) 大野栄治，森杉壽芳，星健一，高木朗義，高橋靖英 (1993) 海面上昇対策による世帯便益の定義について，土木計画学研究・講演集 No.16(1)

14) 加本実 (1991) イギリスの河川事情，河川 No.538，pp.88-107

15) 末石富太郎＋環境計画研究会 (1993) 環境計画論 - 環境資源の開発・保全の基礎として，森北出版

16) 肥田野登 (1992) ヘドニック・アプローチによる社会資本整備便益の計測とその展開，土木学会論文集 No.449/IV-17, pp.37-46

17) 平松登志樹，肥田野登 (1989) 河川環境改善効果の計測手法の比較分析，土木計画学研究・論文集 No.7, pp.104-114

18) 森杉壽芳，大島伸弘 (1985) 渇水頻度の低下による世帯享受便益の評価法の提案，土木学会論文集，No.359/IV-3

◆ 環境計画特集 ◆

環境の経済評価手法について
― 仮想金銭化法と戦略的バイアスへの対応 ―

安田吾郎* 丹羽 薫** 森本浩之***

1. まえがき

環境の価値は、一般的に金銭では測れないものとして考えられてきた。しかし、例えば窒素酸化物による大気汚染があるからといって、自動車の運行をすべて止めてしまうといった案が良いと考える人はほとんどいない。一方、仮に1億円の投資で日本中の窒素酸化物濃度をゼロにできる技術が開発できる見込みがあるとすれば、この技術の開発への投資にはほとんどの人が賛成するであろう。

上の場合には、人々は、窒素酸化物による大気汚染の防止価値を、1億円以上で自動車の運行を全て止めることによる被害額未満の、どこかの額の価値であると暗に判断していることになる。このように、人々の行動や意志表示を分析することにより、我々は環境を無限ではない何らかの金銭的価値を持つ物として捉えることができる。環境の経済評価技術とは、このような、人々の行動や意志表示の分析技術である。

このような環境の経済評価法は、米国を中心として1970年前後から発達してきており、1980年代以降は行政的にも応用が行われるまでになっている[1),2),3),4),5)]。一方、建設省は平成6年1月に制定した環境政策大綱において環境の内部目的化の理念を打ち出した。もしも、環境の価値を経済的に評価できれば、環境を他の事業価値と同じ次元で評価することが可能となり、環境の内部目的化の理念をより客観的な調査結果を踏まえた形で実施できるようにもなり得る。従って、環境の経済評価法に関する研究を進めることは現在重要な課題となっている。そこで、今回は、仮想金銭化法と呼ばれる経済評価手法を紹介し、仮想金銭化法における「戦略的バイアス」と呼ばれる誤差要因の問題を論じる。仮想金銭化法におけるその他のバイアスの問題や旅費法 (TCM : Travel Cost Method)、ヘドニック価格法 (HPM : Hedonic Price Method) 等の間接法と呼ばれる経済評価手法に関しては、また別の機会に論じたいと考えている[注1)]。

Valuation Techniques for Environmental Goods
– Contingent Valuation Method and Countermeasures against Strategic Bias –

2. 仮想金銭化法の概略

代替市場や家計行動分析等の間接的方法ではなく、対象者への直接的質問から環境の価値を求める方法が直接法である。直接法にはいくつかのバリエーションがあるが、基本となるのは仮想金銭化法[注2)] (CVM : Contingent Valuation Method) である。

2.1 WTP 法と WTA 法

仮想金銭化法では、価値評価の対象とする財の内容を被験者に説明し、その財を供給するために費用を支払う必要があるとした場合に、支払って

注1) 直接法と間接法の区分の仕方に関しては、他の考え方[6),7)]もある。本稿では、Smith[8)]や Kaoru[9)]の区分によった。

注2) 仮想金銭化法 (Contingent Valuation Method) は、既往の文献では、擬制市場法[10)]、価値意識法[11)]、意識分析法[12)]、意識に基づく手法[13)]、不確定評価技法[14)]などとも呼ばれている。CVM の場合の "Contingent" は、"Contingent Agreement"(一定条件の成立を前提とした上での同意) や "Contingent Plan"(一定の想定状況下における計画) 等の用法と同じであり、「提示された条件・内容通りに財が供給された場合の」という意味である。一方、"Valuation" という言葉は金銭的に評価することを意味する。従って、CVM は、「提示された条件・内容通りに財が供給された場合の価値の金銭評価法」とでも訳すのが最も誤解が少ないと思われるが、手法の名前としてはこれではあまりにも長い。そこで、簡明かつ意味あいを余り損なわない用語として、仮想金銭化法という用語を用いるものである。なお、擬制市場という呼び方は、CVM が "Constructed Market Method ; CMM" とも言われる場合もあることによるものと思われるが、CMM は CVM の内の実際の取引を伴う場合の意味で使われたり[15)]、逆に CVM よりも広い意味で使われている場合[16)]もあり具合が良くない。また、ヘドニック資産価値法等の代理市場を用いた評価手法の呼び方である代理市場法 (Surrogate Market Method) と混同されやすいとも思われる。このほか、価値意識法や意識分析法等の呼び方は工夫した意訳ではあるが心理学的調査手法も含んだが如き印象で幅が広すぎる印象がある。このほか、「不確定評価技法」という訳語は意味的に適切とは思われない。以上が、仮想金銭化法という名称を用いる理由である。

も良いと考える金額 (支払意志額:WTP; Willingness to Pay) の最大額を尋ねる (WTP 法)。あるいは、ある財の供給を中止する代わりに補償がもらえる場合に、供給中止を是認するために必要な補償額 (補償要求額 : WTA ; Willingness to Accept) の最小値を尋ねる (WTA 法)。表-1 に、WTP 法を用いて大気汚染の価値評価を行った Brookshire, Ives and Schulze[17]の質問例を示す。なお、WTA 法では過大な額がでる傾向があり、WTP 法の使用が一般的に望ましいとされている[18),19)]。本稿では、以降には WTP 法の場合における記述を行う。

2.1.1 支払意志額の尋ね方

支払意志額を尋ねる際にいきなり最大の支払意志額を尋ねる方法もあるが、この尋ね方では、人々は「最大の支払意志額」の代わりに「ここまでは間違いなく支払っても良い額」を答えて、結果として過小な値を得る傾向がある[20)]。それを避けるため、繰り返し値付け法や支払いカード法等の方法が採られる。繰り返し値付け法では、ある 1 つの額に対する支払意志の有無をまず尋ねる。ここで回答がイエスであればより大きな額に、ノーであればより小さな額に変えて、再度同じように支払意志の有無を尋ねる。そして、このプロセスを、最大支払意志額が求められるまで繰り返す。支払カード法は、繰り返し値付け法と類似のプロセスを、金銭に見立てたカードを用いて行う。

2.1.2 便益の算出法

筆者が知る範囲では、仮想金銭化法に基づく便益の算定に関する一般化された手法を提示している例はない。そこで、本項においては、そのような便益の算出方法の一般化を試みる。

仮想金銭化法においては、最大支払意志額の他

表-1　仮想金銭化法による質問例

パウエル湖北岸に大型火力発電所の建設計画があります。この発電所の規模は最低でも同湖南岸のナバホ発電所に匹敵するものになると予想されます。

5. あなたはナバホ発電所またはその煙突に気づいていますか？

_____はい　_____いいえ

新しい発電所の建設場所と建設方法次第によっては、環境に著しい影響を及ぼす可能性があります。発電所が湖の近くに建設されれば、湖のあちこちから見えることになります。大気汚染が厳しく制限されなければ、この地域の大気の透明度は著しい影響を受ける可能性があります。

(3 枚の写真を見せる。)

これらの写真は、湖北岸の新火力発電所がどのように見えるかを示したものです。

状況 A の写真は湖岸の発電所候補地の様子を示していますが、ここでは発電所は湖岸地域から見えないどこか遠くに建設されると仮定されています。

状況 B では発電所は湖から容易に見えますが、煙はほとんど出ないと仮定します。したがって、大気の透明度は実質的に影響を受けません。

状況 C はこの地域でレクリエーションを楽しむ人々の環境に一番大きな影響が及ぶ場合を示しています。発電所は湖から容易に見え、煙のため大気の透明度は著しく低下します。

さて、もちろん休暇を楽しんでいる人々は、多額の金銭と多くの時間と努力を費やして、乗用車、船、キャンプ・釣り用具の準備や目的地への移動に力を注ぎます。あなたがレクリエーションに費やす意志のある金額は、とりわけ期待される体験の質によって決まると仮定するのが理にかなっているでしょう。より質の高い体験は、より大きな価値を持つことが期待できるからです。環境を改善するためには費用が掛かるので、より良い環境があなた方にとってどの程度の価値を持つのかお教え願いたいのです。

まず初めに、グレン・キャニオン国立レクリエーション・エリアへの旅行者は、同レクリエーション地域への入場料を支払うことによって、環境改善のために出資すると仮定しましょう。この方法が、同地区における環境改善のための唯一の出資方法であるとします。また、同地区へのすべての旅行者は、あなたと同額の入場料を支払い、徴収された資金は、すべて写真に示された環境改善のために使われると仮定します。

6. あなたは状況 C が起こるのを回避し、状況 A を維持するために、1 家族で日額 1 ドルの入場料を支払う意志がありますか？

1 日当たり 2 ドルではどうですか？

(1 日当たり 1 ドルずつ上げてゆき、否定的回答を得たら、次に 1 日当たり 25 セントずつ下げてゆき肯定的回答を得たところで止め、その金額を記入する。)

7. あなたは状況 B が起こるのを回避し、状況 A を維持するために、1 家族日額 1 ドルの入場料を支払う意志がありますか？(6 同様に、料金を変化させて質問する。)

8. (上記問 6、7 においてゼロと記入した場合にのみ回答してください。その理由は、
_____損害が大きくないと考えるため
_____損害を回避するための費用を支払わなければならないほどの損害の犠牲を予測するのは、不公正または非道徳的であると考えるため
_____その他 (明記すること)

(出典 : Brookshire, Ives および Schulze(1976,pp.334); 下線部は原文のまま)

に、収入、家族構成、対象物までの道のり・時間(または代替指標としての居住市町村名)等の、支払意志額に関わりを持つ可能性がある各種属性に関する質問も併せて行う。ここで、検定等の結果、最大支払意志額は、n 個の属性 $C_1, C_2, \cdots, C_n$ の関数として表されることが明らかになったとしよう。すると、最小二乗法等を用いて、最大支払意志額関数 $b(C_1, C_2, \cdots, C_n)$ を求めることができる。次に、国勢調査結果等を用いて、属性 $C_1, C_2, \cdots, C_n$ を持つ人数(または世帯数)$N(C_1, C_2, \cdots, C_n)$ を求める。すると、対象財の供給による社会全体での便益 B は、各属性が連続変数であるとすれば、式 (1) で求めることができる。

$$B = \int \{b(C_1, C_2, \cdots, C_n) \times N(C_1, C_2, \cdots, C_n)\} dC_1 dC_2 \cdots dC_n \quad (1)$$

各属性が離散変数の場合にも、ディラックの δ 関数を用いて式 (1) を $\sum$ 記号を使った形に変換すれば同様の処理ができる。

なお、未加工の調査データを基に支払意志額関数を求めると、調査内容の誤解等に起因する異常値まで含まれてしまうため、これらの異常値を取り除く前処理が多くの場合必要になる。このための手法としては、単純に支払意志額の両端の 5～10%を取り除く方法等がある[19]。

また、一般に、評価対象財はローカル性を有することから、属性の中には「対象財からの道のり(または時間)」が含まれる。多くの場合には一定の道のり・時間以上では支払意志額はほぼゼロになることから、あらかじめその範囲が予想できる場合には、調査対象範囲もそれで決まる。ただし、評価対象財の性質によっては、非常に遠くに住んでいて実際にはその財を使用することの無いような人でもその財の存在に価値を感じる場合があるので注意を要する。

3. 戦略的バイアスの問題と対応

仮想金銭化法におけるバイアス要因を Mitchell and Carson[19),16)]は、表-2 のように分類している。これらの中で仮想金銭化法の適用性を疑う人々が誘因両立性理論[注 3)]の見地からみて、不適切であると指摘してきたのが戦略的バイアスの問題である。今回は紙幅の制限もあるので、この問題に絞って以下に検討を加える。さらに、戦略的バイアスを基本的に受けない手法もある二分仮想金銭化法についても論じる。

3.1 戦略的バイアスとは

戦略的バイアスとは、被験者が自分に有利な結果をもたらすような回答を行うことにより生じるバイアスのことを言う。ここで言う有利な結果とは、自分の費用負担が低くなることまたは対象財の供給確率が高まる (迷惑財であれば低まる) ことである。すなわち、被験者の答えが対象財の供給確率にはほとんど影響を及ぼさない一方、回答に応じて実際に費用を徴収されたり将来の料金設定等に回答が用いられると被験者が考えるような状況であれば、下方へのバイアスが生じる恐れがある。一方、被験者の答えは料金や税率にはほとんど響かないが、財の供給の有無の決定の上には大きな影響があると考えられるケースにおいては、上方へのバイアスが生じる恐れがある。

3.2 戦略的バイアスの評価と対応

戦略的バイアスへの懸念は仮想金銭化法 (CVM) への批判の主要な論拠であった。しかし、Bohm[21),22)]、Brookshire , Ives and Schulze[17)]、Marwell and Ames[23)]等の研究により、戦略的バイアスは実際には調査を適切に設計すれば必ずしも問題とはならないことが明らかにされてきた。ここでいう適切な設計とは、誘因両立性理論から見て、明らかに「得をする」ような回答を無くすことにある。そのためには、被験者の回答額が大きくなると財の供給の可能性が増えるという設定にして過小な回答を防ぐ誘因を与えるとともに、回答額が大きくなれば負担額も増えるという設定にして過大な回答を防ぐ誘因も合わせて与える設定にすることが良いとされている[19)]。

さらに、戦略的バイアスをほぼ確実に無くす手法である二分仮想金銭化法 (DCVM : Dichotomous Choice Contingent Valuation Method) が Bishop and Herberlein [24)]によって実用化され、Hanemann[25)]によって理論付けされた。次節では、

注 3) 誘因両立性理論 (Incentive Compatible Theory) では、各経済主体が、自分らにとってもっとも有利となる選択を常にすると考える。この理論を適用すれば、仮想金銭化法に対する回答を求められた場合には、もしも回答額を実際に支払う必要があると考えられるような設定であれば、実際の支払意志額よりも低い額を答えるのが誘因両立的な回答である。逆に仮想金銭化法における回答が実際の支払い額にはリンクしておらず、単に対象財の供給の有無を決定するために使用するものと考えられる設定であれば、実際の支払意志額よりも過大な額を答えるのが誘因両立的となる。

表-2　仮想金銭化法におけるバイアス要因

歪めた回答をする誘因に起因するバイアス (*Biases Caused by Incentives to Mispresent Responses*)		
	戦略的バイアス (*Strategic Bias*)	回答者が、財の供給可能性または財の供給のための支払額が自分にとって望ましい方向に影響を受けるように回答することによって生じるバイアス
	追従バイアス (*Compliance Bias*)	相手に喜ばれるような回答をしがちになることにより生じるバイアス
	調査機関バイアス (*Sponsor Bias*)	調査機関にとって好ましい回答が予想される場合に、回答者が調査機関にとって望ましい方向に偏った回答を行うことにより生じるバイアス
	質問者バイアス (*Interviewer Bias*)	インタビューアにとって好ましい回答が予想される場合に、回答者がインタビューアにとって望ましい方向に偏った回答を行うことにより生じるバイアス
評価を暗示する手がかりにより生じるバイアス (*Biases Caused by Implied Cues*)		
	開始点バイアス (*Starting Point Bias*)	調査者が、ある額の支払意志の有無を尋ねた場合に最初に提示した額に近い回答をしがちになるバイアス
	レンジバイアス (*Range Bias*)	予想回答額の範囲を提示した場合にその範囲の中間方向に生じるバイアス
	関係バイアス (*Relational Bias*)	評価対象財と他の財との関係に関する情報を与えた場合にその影響で生じるバイアス
	重要性バイアス (*Importance Bias*)	質問行為そのものあるいは質問方法のどこかに、評価対象財の重要性を暗示する内容が含まれる場合に生じるバイアス
	位置バイアス (*Position Bias*)	質問の順序等が財がどのような価値序列を持つかを暗示している場合に生じるバイアス
シナリオの誤認 (*Scenario Misspecification*)		
	理論的誤認バイアス (*Theoretical Misspecification*)	提示されたシナリオが理論的あるいは現実的に見て誤りを含む場合に生じるバイアス
	評価対象誤認バイアス (*Amenity Misspecification Bias*)	評価対象財の内容に関する被験者の認識が意図した財の内容と異なることによって生じるバイアス
	シンボリックバイアス (*Symbolic*)	調査者が意図する財の代わりに何かのシンボリックな価値を評価してしまうことにより生じるバイアス
	部分-全体バイアス (*Part-Whole*)	調査者が意図する財を含むより大きな財、あるいは意図する財の部分をなす財を評価対象と誤認してしまうことにより生じるバイアス
	地理的部分-全体バイアス (*Geographical Part-Whole*)	調査者が意図する財の地理的範囲よりも広い範囲における財、あるいは意図する範囲よりも狭い範囲における財を評価対象であると誤認してしまうことにより生じるバイアス
	便益の部分-全体バイアス (*Benefit Part-Whole*)	評価対象財に起因する便益の範囲を、調査者が意図するよりも広く、あるいは狭く捉えてしまうことにより生じるバイアス
	政策の部分-全体バイアス (*Policy-Package Part-Whole*)	評価対象財としての政策パッケージの内容よりももっと包括的あるいは逆に部分的な政策パッケージを評価対象として誤認することにより生じるバイアス
	尺度バイアス (*Metric*)	評価尺度を誤認することにより生じるバイアス
	供給可能性バイアス (*Probability of Provision*)	評価対象財の供給の可能性に関して、調査者が意図したものと異なった可能性を誤認することにより生じるバイアス
	状況誤認バイアス (*Context Misspecification Bias*)	提示された世界に関する認識が調査者の意図したものと異なることにより生じるバイアス
	支払い媒体バイアス (*Payment Vehicle*)	支払い媒体の記述が調査者の意図しない形で認識されたり支払い媒体の設定自体の価値評価が回答に含まれてしまうことにより生じるバイアス
	財産権設定バイアス (*Property Right*)	対象財の所有者権に関して調査者の設定が誤認されたり、所有権の記述に関しての設定があいまいであることによって生じるバイアス
	供給方法バイアス (*Method of Provision*)	対象財の供給方法が誤認されたり、供給方法選択自体の価値の評価が回答に含まれてしまう場合に生じるバイアス
	予算制約条件バイアス (*Budget Constraint*)	調査者が意図する予算制約条件が誤認されることによって生じるバイアス
	評価質問方法バイアス (*Elicitation Question*)	評価対象財の供給の対価として被験者が現実に支払意志が生じる最高の額を支払うという設定条件が十分に正しく認識されないことによって生じるバイアス
	調査構成バイアス (*Instrument Context*)	調査対象財を説明する目的等で事前に被験者に資料を示すことに起因して生じるバイアス
	質問順序バイアス (*Question Order*)	複数の財の価値評価を問う場合に、前問までの回答を織り込んだ (すでに一定の額を支払い財の供給を受けたと仮定した) 回答を行うことにより生じるバイアス

(Mitchell and Carson(1989) 及び Carson(1991) の分類・記述を基に安田が加筆修正し作成)

二分仮想金銭化法を説明する。

3.3 二分仮想金銭化法

二分仮想金銭化法では、被験者に付け値をしてもらう代わりにある一つの額のみを提示し、この額を支払った上で対象の財が供給される場合と、

支払いをしない代わりに対象財も供給されない場合のどちらが良いかを被験者に尋ねる。被験者毎に提示する額を変え、多数の調査サンプルから、提示額の関数としての肯定回答率を求めることによって図-1 に示すような需要関数を求めることができる。需要関数の下側の色のついた部分が、対象集団における 1 人 (または 1 世帯) 当りの平均の便益になる。調査対象集団が均質的である場合には、対象人口 (または世帯数) を掛ければシンプルに便益を評価することができるが、所得、家族構成、対象財からの道のり等の因子が需要関数に影響を持つ一般的ケースの場合には、2.1.2 項で述べた過程と同様に、1 人当りの平均便益を各因子の関数として表した上で、式 (1) により社会全体の便益を求めることができる。

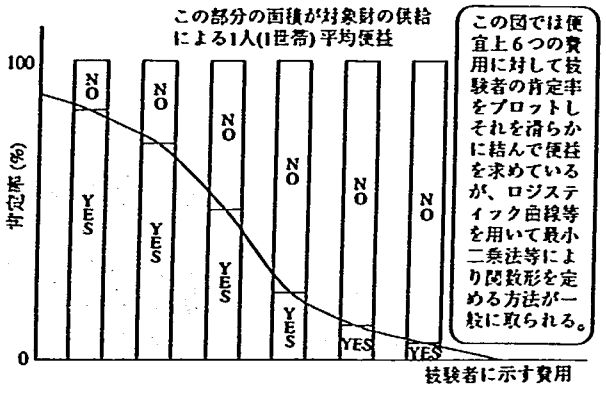


図-1 二分仮想金銭化法における便益の評価方法

二分仮想金銭化法では、被験者に提示された状況・条件を被験者が額面通りに受け取る限りにおいて戦略的バイアスは生じない。なお、一人に一つの額を尋ねるのみでは大量の被験者が必要であることから、一人に対して 2 つの額を順次提示して尋ねる手法 (Double - bounded Dichotomous Choice CVM) も応用されているところである。

二分仮想金銭化法を用いることによって戦略的バイアスを基本的に回避できるようになり、現在残っている問題は通常の仮想金銭化法でも戦略的バイアスの問題が無いかという点となっている。Kealy and Turner[26]は、通常の仮想金銭化法 と二分仮想金銭化法とによる平行実験を行い、二分仮想金銭化法による方が、通常の仮想金銭化法に比べて 1.5 ～ 2 倍程度大きな値が得られたという結果を得ている。また、Seller et al.[27]は旅費法、通常の仮想金銭化法および二分仮想金銭化法の三者による平行調査を行い、旅費法と二分仮想金銭化法では比較的近い結果が得られたのに対して、通常の仮想金銭化法ではそれよりもかなり小さくなるという結果を得ている。通常の仮想金銭化法では戦略的バイアスや財に関する情報不足に起因する不確定性リスク回避等の要因から実際よりも低い支払意志額がでている可能性があり、以上の結果が一般的であるとすれば、今までの通常の仮想金銭化法による調査結果は上方に修正する必要があるということにもなり得る。二分仮想金銭化法と通常の手法との一層の比較調査が期待されるところである。

4. あとがき

本稿では、環境を経済的に評価する諸手法の中から仮想金銭化法に関する手法の解説を行った。この中では、便益の算定手法の一般化を試みた。次に、仮想金銭化法における戦略的バイアスの問題に関する解説と評価を行った。さらに、二分仮想金銭化法の紹介を行った。仮想金銭化法における戦略的バイアスの問題は、二分仮想金銭化法の適用等により基本的には対処できることを明らかにしたが、仮想金銭化法による評価値と二分仮想金銭化法による評価値の間の差に関しては一層の研究が必要であることも明らかになった。

参考文献

1) U.S. Department of Interior : Natural Resource Damage Assessments; Final Rule, Federal Register, August 1, pp.27674-27753, 1986.
2) U.S. Department of Interior : Natural Resource Damage Assessments; Notice of Proposed Rulemaking, April 29, pp.19752-19773, 1991.
3) U.S. Water Resources Council, Economic and Environmental Principles and Guidelines for Water and Related Land Resources Implementation Studies, March, 1983.
4) HM Treasury : Economic Appraisal in Central Government A Technical Guide for Government Departments, p.19, HMSO, London, U.K., 1991.
5) Department of the Environment : Policy Appraisal and the Environment, pp.167, HMSO, London, U.K.,1991.

6) OECD : Environmental Policy Benefits: Monetary Valuation, pp.1-83, 1989.

7) OECD : Benefits Estimates and Environmental Decision-Making, pp.39-44, 1992.

8) Smith V.K. : Nonmarket Valuation of Environmental Resources: An Interpretive Appraisal, Land Economics, pp.1-26, 1993.

9) Kaoru Y. : Nonmarket Valuation of Economic Benefits for the Environmental Resources, International Workshop on Construction and Management Technology for Dams, and Enhancement of the Dam Lake Basin Environment for the Next Generation, 1993.

10) 末石富太郎 + 環境計画研究会 : 環境計画論-環境資源の開発・保全の基礎として-,pp.80-82, 森北出版, 1993 年 3 月.

11) 大野栄治、森杉壽芳、星健一、高木朗義、高橋靖英 : 海面上昇対策による世帯便益の定義について, 土木計画学研究・講演集, No.16(1), pp.1009-1014, 1993.

12) 肥田野登 : ヘドニック・アプローチによる社会資本整備便益の計測とその展開, 土木学会論文集 No.449/IV-17, pp.37-46, 1992.

13) 平松登志樹、肥田野登 : 河川環境改善効果の計測手法の比較分析, 土木計画学研究・論文集, No.7, pp.37-46, 1989.

14) Dixon J.A., Carpenter R.A., Fallon L.A., Sherman P.B. and Monopimoke S., 長谷川弘 (訳) : 環境はいくらか-環境の経済評価入門, 築地書館, pp.61, 1991.

15) Braden J.B., Kolstad C.D. and Miltz D. : Introduction *in* Braden J.B., Kolstad C.D. (Ed.), Measuring the Demand for Environmental Quality, North - Holland, pp.12, 1991.

16) Carson R.T. : Constructed Markets *in* J.B. Braden and C.D. Kolstad (ed.), ibid., pp.122-139, 1991.

17) Brookshire D.S., Ives B.C. and Schulze W.D. : The Valuation of Aesthetic Preferences, Journal of Environmental Economics and Management, Vol.3, pp.325-346, 1976.

18) Cummings R.G., Brookshire D.S., and Schulze W.D. : Valuing Environmental Goods, An Assessment of the Contingent Valuation Method, pp.104-107, Rowman and Allanheld, Totowa, NJ, USA, 1986.

19) Mitchell R.C. and Carson R.T. : Using Surveys to Value Public Goods The Contingent Valuation Method, pp.143-170, Resources for the Future, Washington, DC, 1989.

20) Randall A., Ives B. and Eastman C. : Bidding Games for Valuation of Aethetic Environmental Improvements, Journal of Environmental Economics and Management, Vol.1, pp.132-149, 1974.

21) Bohm P. : Estimating Demand for Public Goods, An Experiment, European Economic Review, Vol.3, pp.111-130, 1972.

22) Bohm P. : Revealing Demand for An Actual Public Good, Journal of Public Economics, Vol.2, pp.135-151, 1984.

23) Marwell G. and Ames R.E. : Economists Free Ride. Does Anyone Else? - Experiments on the Provision of Public Goods IV, Journal of Public Economics, Vol.15, pp.295-310, 1981.

24) Bishop R.C. and Herberlein T.A. : Measuring Values of Extramarket Goods, Are Indirect Measures Biased?, American Journal of Agricultural Economics, Vol.61, pp.926-930, 1979.

25) Hanemann W.M. : Welfare Evaluations in Contingent Valuation Experiments with Discrete Responses, American Journal of Agricultural Economics, 66, pp.332-341, 1984.

26) Kealy J.K. and Turner R.W. : A Test of the Equality of Closed - Ended and Open - Ended Contingent Valuation, American Journal of Agricultural Economics, Vol.75, pp.321-331, 1993.

27) Seller C., Stoll J.R. and Chavas J.P. : Validation of Empirical Measures of Welfare Change, A Comparison of Nonmarket Techniques, Land Economics, Vol.61, pp.156-175, 1985.

安田吾郎*

建設省近畿地方建設局
淀川工事事務所
(前　環境計画研究室
主任研究員)
Goro YASUDA

丹羽　薫**

建設省土木研究所環境部
環境計画研究室長
Kaoru NIWA

森本浩之***

同　環境計画研究室
部外研究員
Hiroyuki MORIMOTO

【土木計画学研究・講演集 No.17 1995年1月】

二分仮想金銭化法を用いた転居の外部費用の評価*

(Dichotomous Choice Contingent Valuation of the External Costs of Removal)

安田 吾郎**、丹羽 薫***、並河 良治****、森本 浩之******、大野 栄治*******
by Goro YASUDA,Kaoru NIWA,Yoshiharu NAMIKAWA,Hiroyuki MORIMOTO and Eiji OHNO

1. はじめに

公共事業を実施する上で、環境の価値評価が重要となってきている。環境価値評価手法の一つとしてヘドニック費用法(Hedonic Price Method)がある。ヘドニック費用法においては，住居の移転に費用がかからないことが基本的に仮定されており，この仮定条件と住民の嗜好の均一性仮定の二条件が共に満たされない場合には，バイアスが発生する。従って，通常金銭的に計測可能な移動費用が住居の価格と比較して大きくなくとも外部費用分が大きいとすれば，ヘドニック費用法の妥当性の検証の上で新たなハードルが課せられることになる。本研究の目的はヘドニック費用法の適用性の検討の上で重要な転居の外部費用の評価を計ることにある。

また，本研究のもう一つの目的は，二分仮想金銭化法(Dichotomous Choice Contingent Valuation Method)の応用自体にある。二分仮想金銭化法は，わが国においては適用実績が少ないものの，諸外国においては最近急速に広がりつつある非市場財（環境等の市場を通じて価値が求められない財）の評価手法であり，わが国においても応用事例の積み重ねを通じて，評価技術の向上と，手法の確立を図っていくことが期待されるものである。

* ｷｰﾜｰﾄﾞ：環境計画，意識調査分析，公共事業評価法，地域計画
** 正会員 経修 建設省近畿地方建設局淀川工事事務所
〒573 大阪府枚方市新町 2-2-10，電話 0720(43)2861

*** 正会員 工修 建設省土木研究所環境計画研究室長
**** 正会員 工修 建設省土木研究所環境計画研究室主任研究員
***** 正会員 建設省土木研究所環境計画研究室部外研究員
〒305 茨城県つくば市旭1番，
電話 0298(64)2269,FAX0298(64)7221

****** 正会員 工博 筑波大学講師
〒305 茨城県つくば市天王台 1-1-1，
電話 0298(53)5222,FAX0298(55)3849

2. 二分仮想金銭化法について

二分仮想金銭化法は，Bishop and Herberlein[1]によって最初に用いられ Hanemann[2]によって理論付けされた非市場財の経済評価手法である。通常の仮想金銭化法では，被験者の最大支払意志額(WTP)または最小補償要求額(WTA)が求められるまで被験者に問いを繰り返すか，ズバリ WTP または WTA を尋ねるのに対し，二分仮想金銭化法の場合には，被験者にある一つの額のみを提示し，この額を支払った上で対象の財が供給される場合と，支払いをしない代わりに対象財も供給されない場合のどちらが良いかを被験者に尋ねる。被験者毎に，提示する額は変え，多数の調査サンプルから，提示額の関数としての肯定回答率を求めることによって消費者余剰を求める。この方法では，被験者に提示された世界を被験者が額面通りに受け取る限りにおいて戦略的バイアスは生じない。なお，一人に一つの額を尋ねるのみでは大量の被験者が必要であることから，一人に対して２つの額を順次提示して尋ねる手法(Double-bounded Method)も応用されているところである。

3. 転居の外部費用の評価

(1) 外部費用の範囲

以下の検討においては，転居に際して金銭の支払いという形で確実に発生する分を除いた費用が外部費用であるものとする。外部費用の範囲をこのように定義するのは便宜上のためであって，実際の用地補償費の積み上げにおいてこれらの要素が外部費用として扱われている範囲であるとするものではない。

本研究において目的とするのは，通常金銭的に評価されていない価値を金銭評価することを通じて転居の社会的費用全体を求めることを可能にすることであるので，上のような定義を行えば十分である。表－１がこの定義による主な外部費用の内容である。

表－１　主な外部費用項目

項　目	内　容
時間損失費用	調査，荷造り，輸送，諸手続等に要する時間損失の費用。
引越作業リスク費用	引越中に発生する諸々のリスクの費用。リスクの内容は，作業中の怪我，運送保険でカバーしきれない分の家財の逸失・破損，運送会社との間のトラブルの発生等。
環境不確実性費用	転居先の住居及び周辺環境の不確実性に対応したリスクプレミアム。不確実性の具体的内容は，見た目ではわからない家の堅牢性や雨漏りの問題，近所の住民の気質等がある。
環境適応費用	新しい環境に適用するために必要な費用。ご近所への引越挨拶の費用と時間，目的に応じた最善の買い物先や医者等の把握に必要な費用等が含まれる。
固有近隣環境価値損失費用	長年に亘って培った近所付き合い，独特の愛着を感じる環境要素等の単なる環境適応のみでは回復ができない費用。
固有社会環境価値損失費用	転職，通学先の変更等によって，自分の所属する固有の社会的環境から今まで受けてきた価値を失うことによる損失の費用。

(2) 外部費用評価試験

(a) 調査方法

表－１に示した外部費用を金銭評価するために，二分仮想金銭化法を用いた調査を現在行おうとしている。この調査は，ランダムに抽出した被験者を対象にした郵送調査である。調査は，近距離への転居の場合と中距離への転居の場合の２ケースについて行う。調査は，本年１２月までに完了する予定であるので，調査方法の詳細及び調査結果については，講演会で報告することにする。

(b) 調査ケースの設定理由

近距離への転居と中距離への転居の２ケースについて調査を行うのは，移転に伴う外部費用が近距離における移転の場合と中遠距離への移転の場合ではかなり異なると予想されることによる。特に，表－１の項目の内の環境適応費用と固有近隣環境価値損失費用は，近所への転居の場合には一般的に小さいと考えられるのに対して，中遠距離への転居の場合には相対的に大きくなるものと予想される。このほか，時間損失費用に関しては，調査，諸手続に関する部分は中遠距離と近距離では異なるものの，荷造り，輸送に関する部分は差があまりないと考えられる。また，引越作業リスクの費用に関しては，移動距離に関わらず発生する部分と移動距離・時間に応じて発生する部分とがあると考えられる。さらに環境不確実性費用に関しては，家屋の造りの不確実性といった部分に関しては距離による差が小さいと考えられるが，近隣住民の気質の不確実性に関しては，近距離への移動の場合は小さいと考えられるのに対して，中遠距離の場合には相対的に大きくなると考えられる。このほか，固有社会環境価値損失費用に関しては，中近距離の移転の際には小さいと考えられるのに対して，遠距離の場合には大きくなるものと予想される。

なお，遠距離への転居の外部費用の評価を今回の調査の対象としなかったのは，多額の費用を払った上での定住か遠距離への転居かの二者択一を尋ねた場合には，実際に多く発生すると予想される中近距離への移住という選択肢が含まれないこととなり，現実的な設定となり得ないと判断したことによる。

(c) 調査質問内容

本研究で用いた仮想金銭化法によるアンケート調査における中核的な質問は，表－２及び表－３に示す通りである。表－２は近距離への転居の場合，表－３は中距離への転居の場合のものである。

これらの質問の他に，家族構成，年齢，通勤時間，転居歴，転居予定，収入，職種，近隣の環境条件，新市街地・旧市街地の区別等の評価等の属性に関する質問も合わせて行うこととしており，二分仮想金銭化法調査への回答結果とこれらの属性との間の相関分析も行う予定であり，講演会で結果を報告することとしたい。

参考文献

1)Bishop,R.C. and T.A.Herberlein(1979): Measuring Values of Extramarket Goods: Are Indirect Measures Biased?, American Journal of Agricultural Economics, 61, pp.926-930

2)Hanemann,W.M.(1984): Welfare Evaluations in Contingent Valuation Experiments with Discrete Responses, American Journal of Agricultural Economics, 66, pp.332-341

表－２　近距離地点への転居における外部費用の調査質問

質問３ 以下には，一つの仮想的状況の下におけるあなたの判断をお尋ねします。設定状況を想像してよくお考え頂いた上で，このページの下の枠内の該当する欄の四角に✓印を付けて下さい。

［設定状況］

(1) あなたが現在住んでいる家の下の地盤に空洞があり，すぐに危険が生じる恐れはないものの，工事をしない限りは立ち退かなければならなくなったとします。

(2) 空洞を埋めて完全に安全な状態にする工事を行うためには，あなたは100万円の費用を負担しなければなりません。

(3) なお，この工事では騒音や振動は出ず，工事中も普段通りの生活ができます。

(4) ところでこの話を聞いたある地質調査会社から，あなたの土地を実験に使うために，あなたの土地・住宅とその会社の持っている土地・住宅を交換して欲しいという申し出がきました。

(5) 荷造りから荷ほどきまで，すべての引越作業はこの会社の負担と責任で運送会社がやってくれるという条件付きです。

(6) この住宅は，あなたの家から約300メートルのところにあり，あなたの現在の家と同じ広さ，間取り，古さで，あなたがその家の中に実際に入って調べた印象では，造りや傷み具合などもあなたの今の家と同程度です。家の建っている土地の面積や形も全く同じだとします。

(7) なお，この土地・住宅の下に危険な空洞がないことは確認されているとします。

(8) また，工事を選んだ場合には希望があれば通常の銀行金利でのローンを利用できるものとします。

(9) さて，このような状況において，住宅の交換の申し出の受け入れか，100万円を負担した工事の実施のどちらかを選択しなければならないとしたら，あなたはどちらを選びますか。下の該当欄の四角に✓印を付けて下さい。

□住居移転を選ぶ

３００メートルの位置に引越す

□工事実施を選ぶ

100万円を払い現在の場所に住む

表－３　中距離地点への転居における外部費用の調査質問

質問４　以下には，質問３における仮想的状況と比べて，工事費用と移転先の場所が異なる以外はほとんど同じ設定の下でのあなたの判断をお尋ねします。質問３の場合と同様に，設定状況を想像してよくお考え頂いた上で，このページの下の枠内の該当する欄の四角に✓印を付けて下さい。なお，質問３の説明と異なる部分には下線を付けています。

［設定状況］

(1)あなたが現在住んでいる家の下の地盤に空洞があり，すぐに危険が生じる恐れはないものの，工事をしない限りは立ち退かなければならなくなったとします。

(2)空洞を埋めて完全に安全な状態にする工事を行うためには，あなたは200万円の費用を負担しなければなりません。

(3)なお，この工事では騒音や振動は出ず，工事中も普段通りの生活ができます。

(4)ところでこの話を聞いたある地質調査会社から，あなたの土地を実験に使うために，あなたの土地・住宅とその会社の持っている土地・住宅を交換して欲しいという申し出がきました。

(5)荷造りから荷ほどきまで，すべての引越作業はこの会社の負担と責任で運送会社がやってくれるという条件付きです。

(6)この住宅は，あなたの家から*バスと電車を使って約１時間*のところにあり，あなたの現在の家と同じ広さ，間取り，古さで，あなたがその住宅の中に実際に入って調べた印象では，造りや傷み具合などもあなたの今の家と同程度です。家の建っている土地の面積や形も全く同じだとします。

(7)なお，この土地・住宅の下に危険な空洞がないことは確認されているとします。

(7')また，周辺の環境や利便性も現在と変わらず，勤め先への通勤時間も現在と同程度であるとします。

(7")ただし，中学生以下のお子さんの通学先は変えねばならず，ご近所の方とのつきあいなども新しい環境の中で始める必要があります。

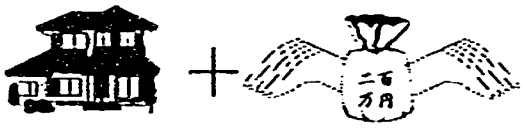
(8)また，工事を選んだ場合には希望があれば通常の銀行金利でのローンを利用できるものとします。

(9)さて，このような状況において，住宅の交換の申し出の受け入れか，200万円を負担した工事の実施のどちらかを選択しなければならないとしたら，あなたはどちらを選びますか。下の該当欄の四角に✓印を付けて下さい。

□住居移転を選ぶ

バスと電車で１時間の所に引越す

□工事実施を選ぶ



200万円を払い現在の場所に住む

水文・水資源学会誌
J. Japan Soc. Hydrol. & Water Resour.
Vol. 8, No. 1 (1995) pp. 19-37

河川経済調査手法の体系化の現状と今後の課題*

Status Quo of Economic Appraisal Methods for Rivers in Japan and Their Future Prospect

竹林征三** (建設省土木研究所)
Seizo TAKEBAYASHI *Public Works Research Institute, Ministry of Construction*
安田吾郎*** (建設省近畿地方建設局)
Goro YASUDA *Kinki Regional Construction Bureau, Ministry of Construction*

Economic appraisal guidelines and methodologies in Japan for river projects are compiled. The scope of the appraisal system in the whole range of social cost-benefit elements is delineated. Then, available nonmarket goods valuation techniques are discussed. We find that some of these techniques will be useful to aid the realization of the holistic appraisal of river projects although more accumulation of empirical studies in Japan is needed to assess how far these techniques should be incorporated into the appraisal system. The criterion of the assessment should be whether decrease of the allocative inefficiency can be expected more than the increase of the x-inefficiencies caused by the surveys. Some supplementary discussion on empirical use of nonmarket valuation techniques in overseas countries is also made.

Key words: Economic appraisal, River projects, Nonmarket goods valuation techniques

日本における河川経済調査方法の現状を総括し，社会的費用・便益の発生要素全体に対する現行調査方法の対象範囲を明らかにした．そして，各種の非市場財評価手法の適用性を論じた．その結果，これらの手法の一部は河川経済調査手法の総合化のために有用であると思われるが，どこまで現行の評価体系に組み入れられるか結論を出すためには国内における実績の積み重ねが必要であることを明らかにした．さらに，その結論を出すときの判断基準は，調査の実施によって生じるX非効率の増大を上回る配分の非効率の減少が得られる見込みがあるかどうかという点であることを明らかにした．また，諸外国における非市場財評価手法の応用について若干の補足議論を行った．

キーワード：経済評価，河川事業，非市場財評価法

Ⅰ．はじめに

河川関係事業は，年間事業費3兆5千億円（平成5年度実施額ベース[34]）の規模を持つ公共事業であり，その国民経済上の役割は大きい．一方，河川事業を通じて供給される財[1]は公共財である．私的財と異なり，公共財に関しては，最も効率的な資源（財の供給の制約要因となる因子，金銭・労働力・水量等の各種物理的要素等）の配分状態（事業の内容の設定，事業の地域的・時間的配分等）は，自由市場のメカニズムによっては達成できない．そこで，河川事業に係わる資源配分は，予算の大枠に関しては予算決定過程を通じて定められ，細部は事業者の行政的判断により決定されている．

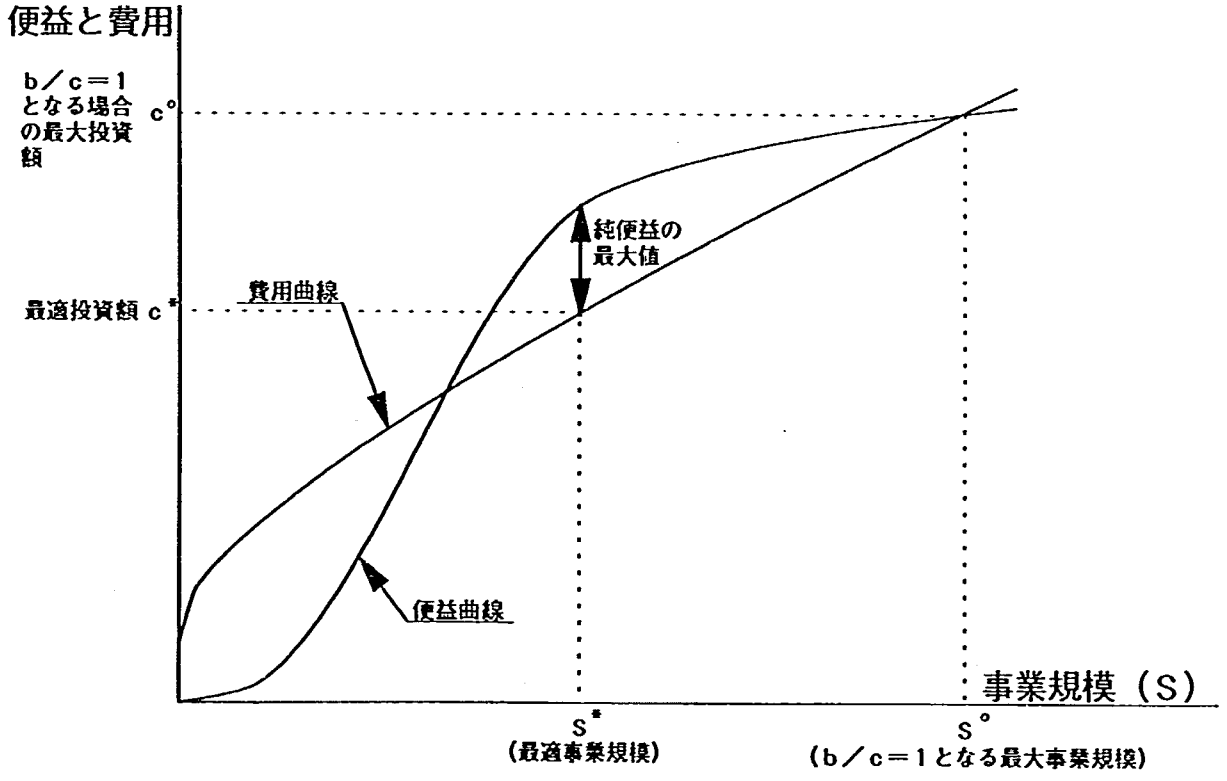
*これは1994年2月の水文・水資源学会例会において竹林が報告した内容に加筆・修正を加えたものである．
**建設省土木研究所環境部　〒305つくば市旭1番地
Environment Department, Public Works Research Institute, Ministry of Construction, 1 Asahi, Tsukuba, 305
***建設省近畿地方建設局淀川工事事務所　〒573 枚方市新町2-2-10
Yodo River Work Office, Kinki Regional Construction Bureau, Ministry of Construction, 2-2-10, Shinmachi, Hirakata, 573

以上に述べた事業の大規模性と資源配分上の事業者の意志決定の重要性を合わせて考えると，河川事業における配分の非効率 (Allocative Inefficiency) を抑制する重要性が浮かび上がる．ここで，配分の非効率とは，より大きな純便益 (便益から費用を差し引いたネット) を生み出す対象があるのに，別の対象に資源を投資することによって生じる非効率のことを指す．配分の非効率の抑制には，事業の実施により生じる便益と費用を適正に把握することが有効な手段である．

このような考え方に基づいて，建設省は昭和32年に河川砂防技術基準 (案) を作成し，この中で経済調査方法を定めた．この内容は，昭和36年に「治水経済調査方針及びとりまとめ方法」として通達され，昭和45年からは治水経済調査要綱と名を改めて経済調査を実施してきている．また，昭和45年に作成された河川・砂防技術基準 (案) に基づき，治水事業の実施に当たっては，治水経済調査要綱の方法に基づく事業便益が費用を上回ることを必要条件としている．

ここで，治水経済調査要綱に基づく事業便益とは，現在のところでは洪水氾濫による住宅・事業所・農作物・交通通信施設の被害等による資産価値の減少の防止による便益である．それ以外の洪水発生による様々な被害，例えば人命損失，健康状態の悪化，思い出の品等の特別な意味を持つ家財の喪失，洪水後の汚染された家財の片づけの苦労，洪水の再来への不安や，その他の二次的・間接的な被害の解消は，便益の中には含まれていない．このように，現状での治水経済調査要綱に基づく便益は，社会的便益全体よりも小さくなっている．測定される便益が過小であるということは，治水経済調査要綱に基づいて選ばれる事業規模が最適規模よりも過小になる要因があるということを意味する．

一方，計画の最適規模は，経済理論的には，社会的純便益が最大となる規模であるべきである．この点に関して，河川砂防技術基準 (案) では，「便益 (b) と費用 (c) の比が 1 (b/c=1) までの治水投資が経済的に妥当なものと想定されるので，b/c=1の場合の事業費を把握するとともに，当該事業費に相当する計画の規模，計画高水流量，施設計画等を把握する」としている．図－1に示すように，b/cが1となる最大の事業規模は，外部性を考慮しない場合の最適な事業規模，すなわち純便益が最大化される規模



図－1　最適事業規模と最大事業規模の関係図

よりも大きくなる．この場合には，最適規模より大きな規模の計画が作られることになる．また，治水経済調査において外部性(経済評価の対象外のもの)として扱われているのは，便益項目ばかりではない．環境へ悪影響が生じる場合には，外部費用（外部性の内，望ましくないもの）が存在することとなり，これも最適事業規模の過大評価要因となる．

このように，現行の治水経済調査要綱においては，最適事業規模を過小に評価する要因と過大に評価する要因とが存在する．この両者がバランスしている限りにおいては，配分の非効率は増加せず，加えて経済調査コストを抑えられるというメリットとも合わせて治水経済調査要綱及び河川砂防技術基準(案)に基づく評価法は実用的に優れた手法であるといえる．しかしながら，過小評価要因と過大評価要因とのバランスが崩れている場合には配分の非効率は増加し得る．もしも，他の代替手法と比較した場合の配分の非効率の増加に起因する費用が調査費用節減便益を上回る場合には，そのような代替手法への改訂が考慮されてしかるべきである．なお，資源の最適配分からの逸脱により生じる非効率を「配分の非効率」というのに対して，同じ資源の投入に対して出力の量に差がでる場合に，最大の出力を生み出せないセクターに存在する非効率を「X非効率」という。経済調査の実施は，配分の非効率を少なくする役割を持つ一方，調査費をかけても結論が変わらなければその分の調査費はX非効率の増大であり，調査方法の最適化問題は，調査に起因する配分の非効率の減少とX非効率の増大とのトレードオフ問題としてとらえることができる．

また，治水経済調査要綱は，マクロ的な事業の全体規模の決定には有効に働き得ても，ミクロ的な事業要素間の資源配分の最適化のために用いることにはなじまないところがある．例えば，水質，景観，生態等の環境への配慮のための妥当投資額に関しては，環境の向上が治水経済調査要項における便益評価の対象となっていない以上，その他の手段で行政的意志決定を行わざるを得ない．

それでは，治水経済調査要綱に代替する経済調査方法の構築は可能であろうか．従来は，環境や精神的損失等の非市場財の価値の金銭評価は困難な点が多いと見られてきた．意志決定者の判断に基づく資源配分以上に効率的な資源配分が非市場財の金銭評価の実施を通じて行えるとは見なされてこなかったのである．このため，非市場財の経済評価アプローチはわが国では実験的にしか行われていない．

しかし，非市場財の経済評価法は米国を中心として急速に発達してきている．米国では1981年に制定された大統領令12291号により義務化された大規模事業・政策に係わる費用便益分析への対応を目的として非市場財の経済評価法の応用が進んだ[59]ほか，1980年に施行（1986年改正）されたスーパーファンド法等に基づく環境被害額の計測方法を定めた1986年（1991年改正）の自然資源被害評価規則（Natural Resource Damage Assessments Rule)[66][67]では非市場財の経済評価法を環境被害額の同定などのために用いることを記述している．また，英国[30][17][71]や世界銀行[69]でも環境価値の評価を事業評価ガイド等の中に含めるようになってきている．OECDは，環境の経済評価には解決すべき課題はたくさんあり[43][44]，政策決定に使用するに当たっては多くの障害をクリアしなければならず[44]，例えば道路の環境アセスメントへの応用には否定的[45]であるものの，現在の環境価値評価技術を用いた結果は許容できるレンジに収まっており，今後一層の技術の向上が期待できるとの判断を示している[43]．

このような理論・応用の両面の進展を考慮すると，わが国においても治水経済調査要綱を発展させてより総合的な事業評価手法とすることができる可能性が増えてきていると言える．

さらに，建設省は平成6年1月に環境政策大綱を策定し，その中で「環境の内部目的化」という理念を打ち出した．今までは事業目的外の配慮事項あるいは制約条件として扱われていた部分のある環境悪化の防止策あるいは環境の積極的向上策を，事業の本来目的に含めてとらえていこうというのがこの理念の意味するところである．

この理念を事業計画の上に反映させる意味においても，環境等の非市場財の価値評価を含めた経済調査法の確立のための検討は緊急に取り組むべき課題となっている．本論文においては，このような課題に対する現在の状況と今後の展望について論じる．このため，II章において現在の経済調査法の体系に関する概説を行った上で，III章において社会的純便益の総合評価のための手法に関して論じ，さらに経済評価手法の総合化へ向けた今後の課題と展望を明らかにする．最後のIV章においては，以上の総括を行う．

Ⅱ．現行の経済評価体系と評価手法

河川事業に係わる社会的便益と社会的費用に含まれる主な項目を図－2に示す．このうち，中央の大きな円の内側の範囲は，従来から便益としてとらえてきたものである．但し，円の境界にまたがって描かれている項目は，事業実施に当たってある程度の考慮はされていても経済評価の対象には通常含まれない項目や，補償費等として建設事業費の中に含まれていても，その額が実際の社会的損失の範囲とは一致しているとは限らない項目である．

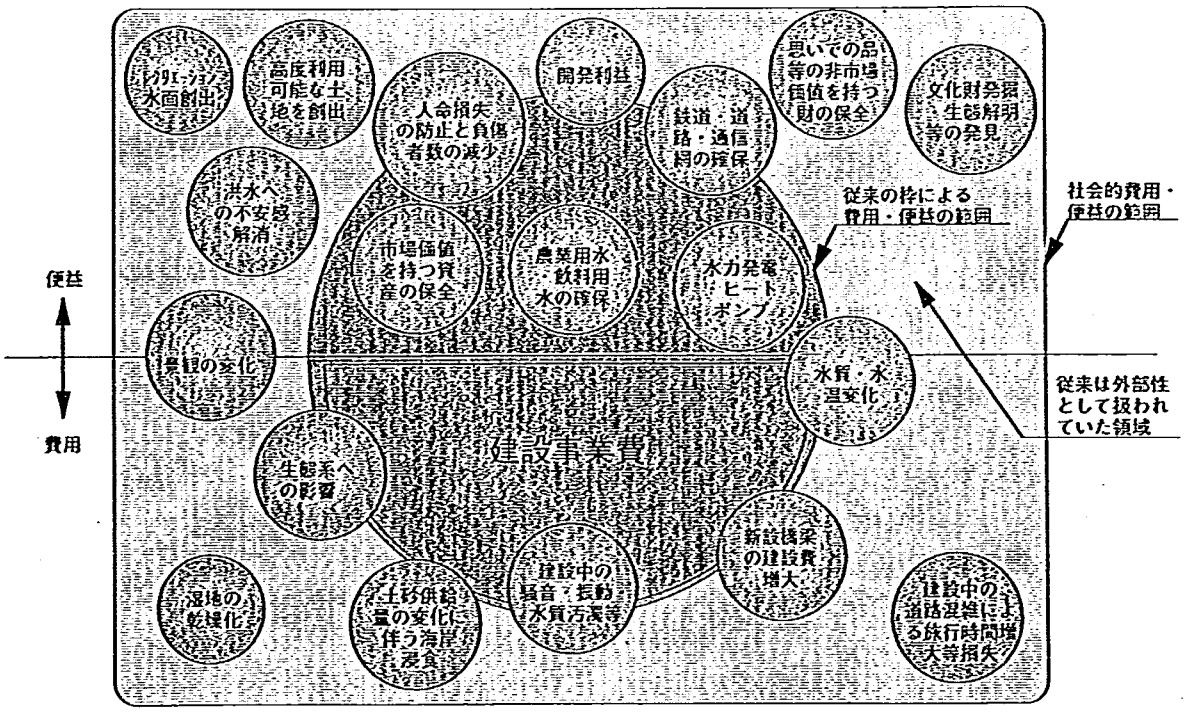
図－2の中で，現行の治水経済調査要綱に含まれている範囲は，「市場価値を持つ資産の保全」の項目及び「鉄道・道路・通信網の確保」の一部である．これ以外の部分まで含めた便益の評価体系として，竹林[63][64][65]は，図－3の総合河川調査体系を提案している．この体系においては，治水経済調査要綱，利水経済調査要綱，環境経済調査要綱等により河川事業に係わる便益の全体が評価される．以下には，この体系中の治水経済調査要綱，利水経済調査要綱に関する経済調査法を概説する．環境経済調査要綱に関しては皿章で議論する．

1．治水経済調査

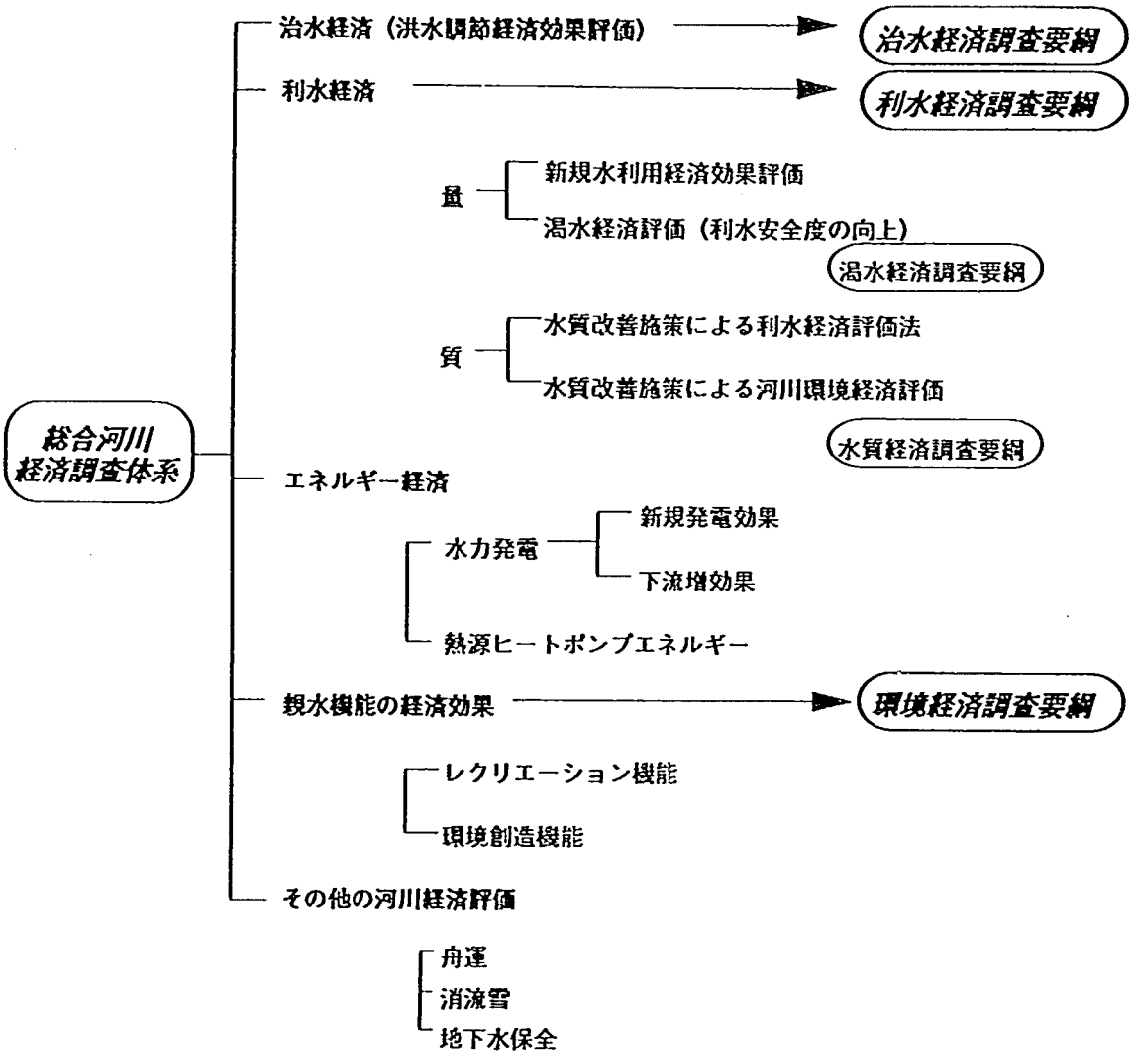
治水経済調査要綱に基づく便益の評価フローを図－4に示す．治水経済調査では，5～6個の調査対象流量のそれぞれに対応した想定被害額を算出し，その値に当該流量の生起確率をかけ，流量に関して積分することにより想定年平均被害期待額を求める．想定被害額の算定に含まれる項目としては，一般資産，営業停止，公共土木施設等，農作物がある．一般資産には，家屋，家庭用品，事務所，農・漁業の償却資産，在庫資産が含まれ，公共土木施設等には，河川施設，道路施設，橋梁，農業用施設，JR・大手私鉄，電電，電力の各施設が含まれる．

年当たりの便益は，想定年平均被害期待額から施設の年維持管理費を差し引いた額として扱われている．一方，年当たりの費用は，用地費を含む事業費を施設耐用年数の中で均等に支払うものとみなして求めている．減価補正計算（将来に発生する便益・費用を現在の価値に換算する計算）に用いる利子率は4.5%としている．

以上の過程を経て，流量規模毎に年当たりの純便益が求められる．その結果に基づく事業規模の選定法はⅠ章で論じたとおりである．



図－2　河川事業における社会的費用・便益と従来の枠による費用・便益の範囲

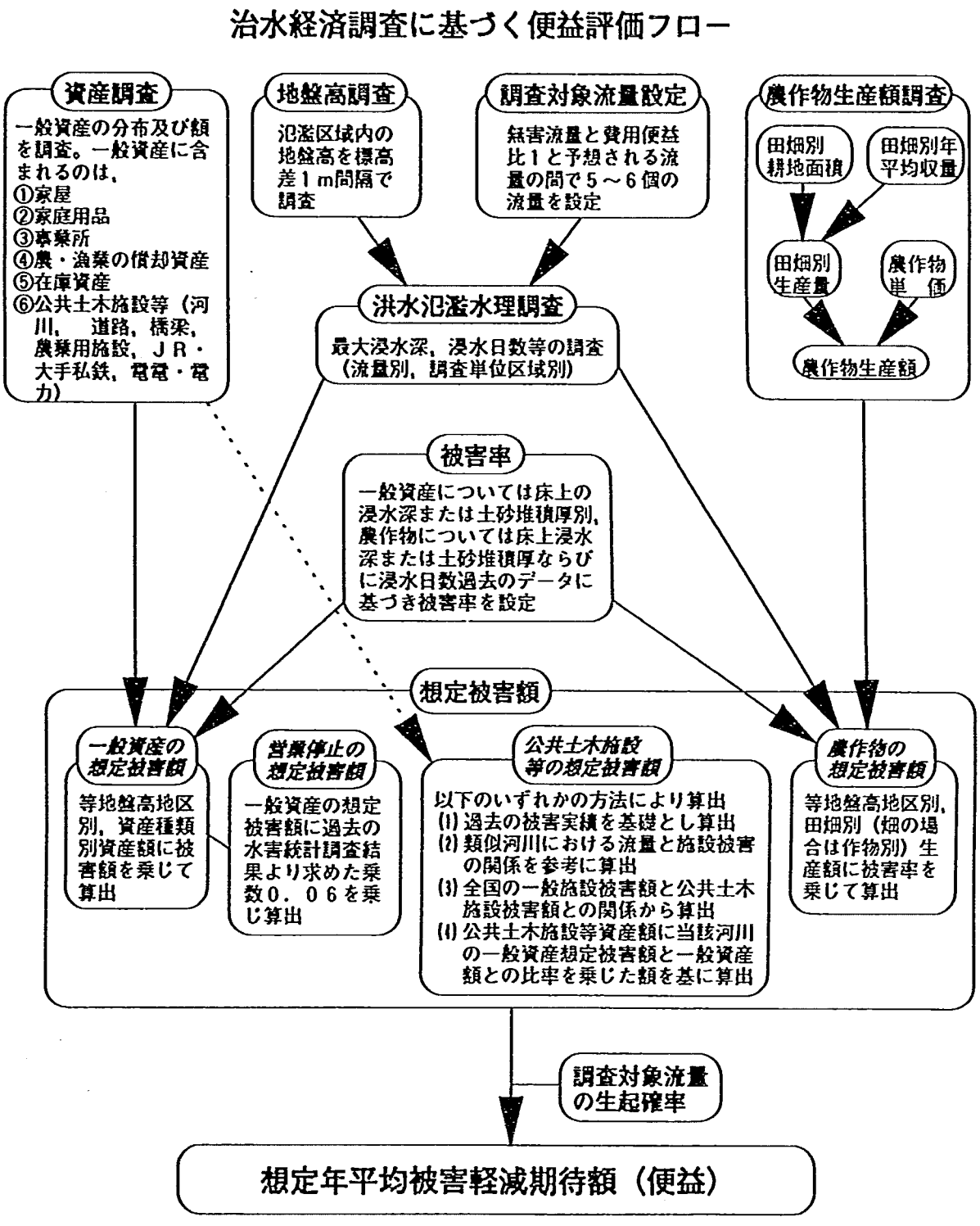


図－3　総合河川経済調査体系

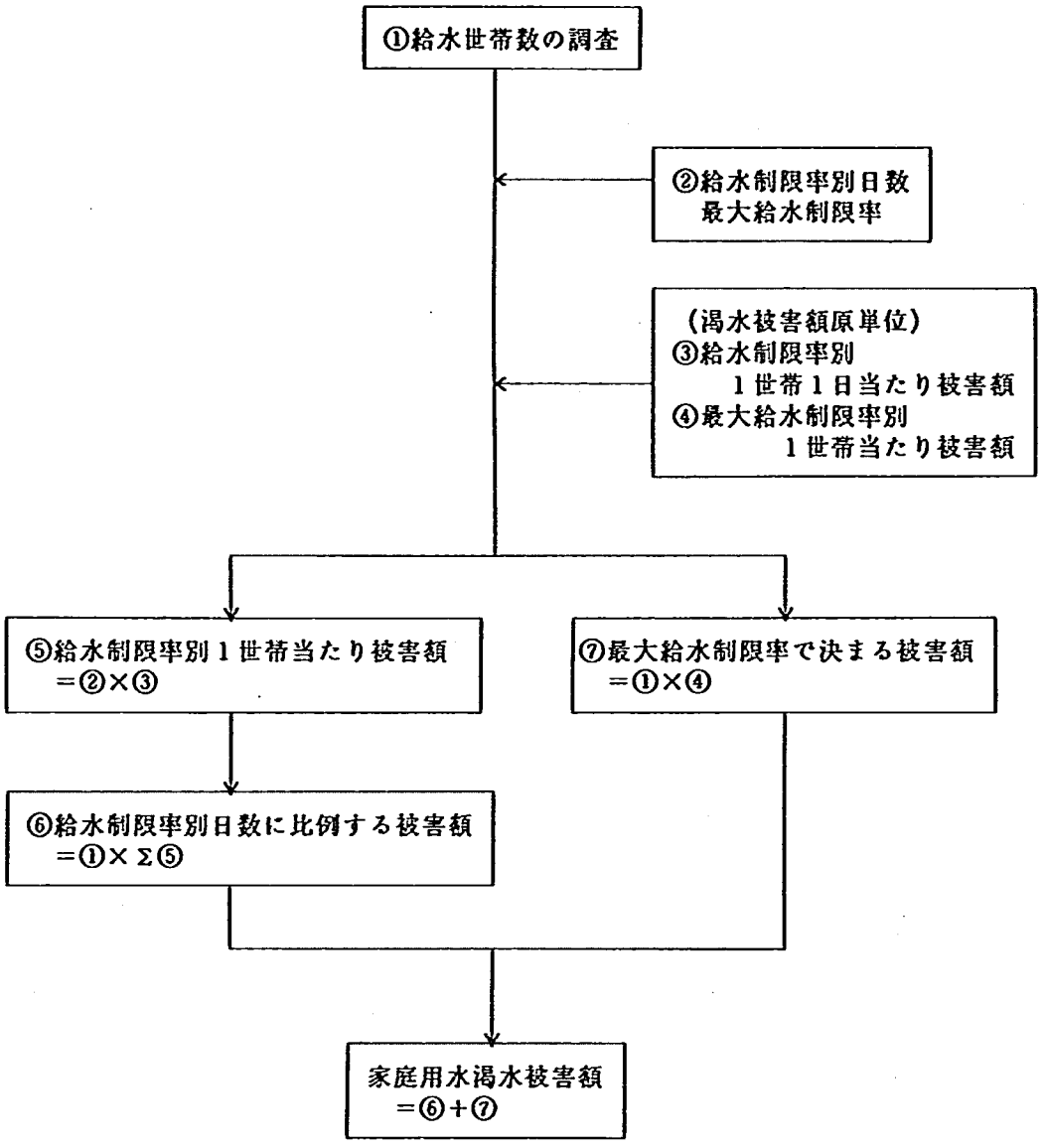
2．利水経済調査

水資源開発における上水，工業用水，農業用水に係わる新規水利用の経済評価に関しては，代替水源の確保の方法，水1トン当たりの値段，穀物生産額増加額等の評価方法が確立している．これらは，多目的ダム建設事業におけるコストアロケーションのための妥当投資額算定の必要から手法が体系化されてきた経緯がある．水道については厚生省，工業用水については通商産業省，農業用水については農林水産省等がこれらの評価手法に取り組んできた．

以上の便益項目に加えて，建設省では渇水対策事業を昭和58年に事業採択し，さらには昭和63年度に河川審議会から「渇水対策の推進方策について」という答申を得た等の状況から，渇水対策の便益評価の必要が生じた．例えば，渇水の生起確率を10分の1から20分の1にする，あるいは戦後最大あるいは既往最大の渇水にも対応することを求める声に対応した検討を行う際に渇水対策便益の把握が不可欠となってきた．建設省では昭和55年の時点で「利水経済調査要綱（案）」を作成していたが，以上のような情勢を踏まえて，それをベースとして渇水被害の経済評価手法がまとめられた．その中では，図－5に示すように，渇水被害防止を目的とした物品等の購入費用や労働投入費用から，給水制限率の関数としての被害額関数を世帯及び各種業種に対して求め，それを対象地域内の各世帯・事業所に適用して被害額を算定している．物品の購入に関しては，最大給水制限率の関数として把握し，その他については各



図—4　治水経済調査に基づく便益評価フロー



図—5　用途別被害額算定手法フロー図

日の給水制限率から求める日毎の被害額に日数をかけて合計して求めている．物品等の購入の中には，バケツや非常タンクの購入等が含まれる．また，労働投入にはバケツリレーへの参加等が含まれる．これらのほか，渇水に起因して学校が休校になること等の被害の評価も一応行っている．以上の方法に基づく渇水被害の算定法は実務的に用いられるようになっている．

次に，水質の改善価値に関しても，上水や工業用水の水質浄化経費の削減等の観点からの便益及び漁業資源への影響の観点からの便益の評価方法がまとめられている．上水被害に関しては，薬品費，ろ過洗浄費，汚泥処理費，人件費等の維持管理費と処理施設の建設費から求めた被害額と代替水源の確保費用の内安い方を被害額と見なすことができる．水質レベルに応じて処理費用は異なるので，被害額は水質の関数として表される．上水の維持管理費に最も密接な水質指標として過マンガン酸カリ(KM_nO_4)消費量があり，ろ過・活性炭処理で対応しきれなくなりオゾン処理が必要となる28mg/ℓ程度を越えると単位汚濁負荷量当たりの処理費用は高くなる[52]．

工業用水に関しても上水の場合と同様な考え方で被害額を求めている．ただし，工業用水の場合には被害関数の因子としては濁度を用いている．濁度が

おおむね10～30度であれば薬品沈殿処理で対応でき，30～40度であれば急速ろ過処理での対応となるため，単位汚濁負荷量当たりの処理費用はこれらの境界値付近で不連続に変わる[52]．また，工業用水の場合には産業によって許容可能な水質レベルが異なるので，高級水を必要とする工場は高級水を必要としない工場と区分して被害を求める必要があり，これらを区分して被害額の算出を行う手法をとっている．

水質悪化に伴う水産被害に関しては，BODが変化した場合に生じた水産資源への影響を日本全国の104水系，代表6魚種について分析し，その結果からBOD濃度の関数としての水産被害額の算定式を求めている．

このように，水質改善便益の算出方法はまとめられてきているが，まだ実務的に用いられるまでには普及していない．また，市場価値で測ることのできない価値についての評価方法は確立されていない．これに関しては，III章で詳しく論じる．

最後に，水の持つ価値としては水力発電やヒートポンプの熱源等の形によるエネルギー価値があるが，これに関しては通商産業省の長年にわたる検討によって評価法が確立している．

III．社会的純便益の総合評価のための手法

II章において，治水経済調査要綱及び利水経済調査要綱の概説を行った．これらの内，治水経済調査要綱と渇水経済調査要綱については既に実用に供されている一方，水質経済調査要綱についてはほぼ体系化がなされているものの実用の一歩手前という段階である．これらに対して，環境経済調査要綱の部分に関してはまだ十分に調査手法はまとまっていない．社会的便益の総合評価のためには，環境価値の評価を組み入れることが必要であるが，環境はそのほとんどの部分が非市場財の性格を持つために市場価格を通じた価値評価を行うことができない．本章においては，この環境評価の問題を中心とした非市場財の評価方法について論じる．

非市場財評価法にはいろいろな種類があり，それぞれに特色や固有の適用範囲，問題点を有している．以下には，間接法と直接法とに全体を大きく区分し，1節及び2節で各手法の内容，特徴，適用性等を論じる．最後に3節において，これらの手法が河川事業の社会的便益評価のために果たし得る役割について考察する．

1．間接法

1）家計生産関数アプローチ

非市場財の消費に当たっては，何らかの市場財の消費を必ず伴う場合や，逆に非市場財の消費と他の市場財の消費が代替的関係にある場合がある．前者の例としては，レクリエーションを楽しむためには，レクリエーションサイトまでの移動というサービスを消費しなければならないという関係をあげることができる．後者の例としては，おいしくない水道しか供給されていない地域でおいしくない水の消費を回避するためには，市販の飲用水か浄水器等の購入が必要となる関係がある．このような非市場財と市場財の補完関係や代替関係に着目して，補完財あるいは代替財の消費性向から非市場財の価値を求める方法を家計生産関数の利用による方法という．

家計生産関数の利用による方法のうち，補完財・代替財への支出から非市場財への支払意志の下限を求めるといった単純な手法を除いた中で最もよく使われてきた手法が旅費法（Travel Cost Method）である．旅費法の基本的なアイデアは1947年にHotellingの手紙において示され，1959年にClawson[13]によって初めて実際に用いられた．その後いろいろな手法の改善の試みがなされてきているが，基本的な旅費法による便益評価のフローを以下に示す．

①サイトを訪れる人数と，それぞれの訪問者がどこからどのような交通手段で来たか，旅行目的は当該サイトを訪れることだけかといったことを調べる．

②訪問者の住居位置を領域区分し，それぞれの領域の人口重心点から当該サイトまでの道のり（道路交通の場合）を算出する．

③当該サイトへの人口・年当たり訪問率と道のりとの間の関係を（各領域を1つの点として）プロットする．なお，地域的な領域区分のみならず，収入等の因子による区分を行う場合もある．

④単位道のり当たりの旅行に必要とする費用（燃料費，時間単価）を仮定し，各領域から当該サイトまでの旅行費用を算出する．

⑤訪問率対旅行費用をプロットし，旅行費用cの関数としての訪問率$r(c)$を求める．

⑥サイトの訪問コストが変動しても訪問費用の関数としての訪問率は変化しないと仮定する．すると，訪問費用をp，領域iにおける対象人口をN_i，領域iから当該サイトまでの旅行費用をc_iとしたとき，サイト訪問コストの関数としての表される訪問頻度X(p)は次式により示される．

$$X(p)=\sum_i N_i\int_p^{\infty} r(c_i+p)\,dp$$

⑦便益(b)は，さらに次式で求められる．

$$b=\int_p^{\infty} X(p)\,dp$$

旅費法による便益の測定で留意が必要な点としては，以下のような点がある．

①時間の価値の評価
②複数目的の旅行の扱い
③代替サイトの扱い
④サンプル選択の問題
⑤サイトの持つ各種属性の評価の問題

時間の価値の評価に関しては，移動中の時間価値をどう評価するか，また，サイトにおける滞在時間をどう評価するかという問題がある．前者に関しては，Cesarioの研究[12]（賃金の25～50%をレクリエーション旅行中の時間価値とみる）等により整理されてきたところである．訪問サイトにおける滞在時間の扱いは，初期の旅費法では無視されていたが，Smith, *et al*.[61], Bockstael, *et al*.[3], Larson[37]等によってその問題の重要性を明らかにされるとともに，時間価値の計測モデルが提案されてきた．

次に，複数目的を持った旅行については，すべての旅行費用を対象サイト訪問のためのものとみると過大になるので補正が必要となる．また，代替サイトが存在する場合には，通常の旅費法では大きなバイアスが生じ得るが，Bockstael, *et al*.[2]が複数サイトを対象とした便益の測定法を提案しているほか，ランダム効用理論を組み合わせて複数サイト選択を説明するモデルも用いられている[4][55]．複数サイトを考慮したモデルの中でどれが適切かに関しては，Kling[35]がモンテカルロ法を用いたシミュレーションを行っているが，一般化可能な結論はでていない．

サンプル選択の問題としては，対象地への訪問者を対象とした調査に基づくデータを用いるか，住民からのランダム抽出等による母集団を用いるか，また，サイトを全く訪問をしない人のデータを含めるかどうかという問題がある．これらの問題については，Smith and Desvousges[60]やSmith[56]がその扱いを論じている．また，最近は，訪問頻度計測の離散性に起因するバイアスの処理法に関する研究なども行われている[20]．

最後に，通常の旅費法ではそれぞれのサイト全体から生じるレクリエーション便益は測れても，サイトの持つ各種属性（例えば，水質，湖面の広さ，付帯設備の内容等）の持つ価値が測れないという弱点があるが，属性別の便益まで評価する手法も開発されている．ヘドニック旅費法（Hedonic Travel Cost Method）[9][10]は，各属性に関する限界便益と旅費とが均衡するものと見なして各属性の便益を求める．ただし，各属性の供給量が基本的に自然条件に依存するため市場メカニズムによって価格と限界便益の均衡が達成されない等の問題点からその応用を疑問視する考え方もある[4]．ヘドニック旅費法以外の旅費法の派生手法でサイト属性を可能にするものとしては，パラメータ変化法（Varying Parameter Model）がある[65]．パラメータ変化法では，多数のサイトを対象として各サイト毎に旅費法を用いて需要関数を求め，各サイトへの需要の差はサイト属性の相違から生じるものと考えて，各種属性量を因子とした重相関分析を行い各属性の価値を求める．この手法は，簡易指標の作成等を目的とした普遍的な価値評価を行うための手法としては魅力あるものであるが，膨大な個別サイト毎の旅費法調査の実施が必要なことや，モデルの作成の仕方により結果が大きく変わるという問題もある[59]．

2）土地価格に着目した手法

前節の家計生産関数アプローチが消費量の変化から需要関数を求めるのに対して，価格の変化から需要を求めていくアプローチがヘドニック・アプローチである．

ヘドニック価格法（Hedonic Value Method）は，地理的位置に帰属する財の価値は，土地等の価格に反映されることを用いて価値評価を行う手法で，1974年にRosen[50]によって提唱された．ヘドニック価格法では，多数地点における地代または土地価格に環境変数を含めた説明因子群によって重相関解析をかけ，各説明因子がどのような価値を持つのかが求められる．地価に関してはキャピタルゲインを期待した価格形成が行われたり，他の資産との間での税制の非対称性の問題等があるため，地価よりは地代を用いる方が理論的には適切であるが，わが国では借地市場が限定されている点や地価データが得られやすいこともあって，実用的には地価データの方が一般的に用いられている．ヘドニック価格法は，わが国では地価データが比較的に整備されていることもあってか他の評価手法と比べて比較的応用例が多い．諸外国ではむしろ応用例が他手法に比べて限定されている[58][64]点からみると対照的な状況となっている．

ヘドニック価格法の実施に際して留意すべき点と

しては以下のような事項がある．
①ヘドニック式の関数形選定
②属性選定の問題
③属性定量時の測定誤差の影響
④属性間の多重共線性
⑤対象範囲の設定
⑥需要関数の同定
⑦移動コスト
⑧嗜好の多様性
⑨完全情報仮定

ヘドニック式の関数形としては，基本的な線形モデルの他に，片対数モデル，両対数モデル，ボックス・コックス線形モデル，二次式モデル，ボックス・コックス二次式モデル等が用いられているが，どの関数形を用いるかによって各属性の評価値は異なってくる．Cropper, *et al*.[14]は，仮想の効用関数と収入等の実データを組み合わせたデータセットを用いて，各種の関数形を与えてモンテカルロ法シミュレーションを行った．この結果，すべての属性が正しく含まれている場合にはボックス・コックス線形モデルとボックス・コックス二次式モデルが良い結果を与え，属性の同定に誤り（必要な属性の漏れ等）がある場合にはボックス・コックス線形モデルのみがよい結果を与えるという結果が得られた．この結果の一般性に関しては検討の余地があるが，関数形の選定に関する有用な指針を与えているものといえる．

ここで，属性の同定の誤りは，大きなバイアスを生じさせる要因になり得ることが知られている[48]．例えば，Graves *et al*.[24]は，属性選定の仕方により，視界の価値の評価が大きくことなるという結果を得ている．また，Graves *et al*.は，属性量の測定誤差も大きなバイアスの要因になることを明らかにしているほか，Epple[23]は，土地価値と家屋価値の非分離性もバイアスの原因となることを明らかにした．さらに，属性間で多重共線性がある場合には，当該因子群の価値評価には大きなバイアスが入り得る．各種の環境指標間には多重共線性がある場合が少なくないので，このような場合にはそれぞれの要素の価値を分離した計測を試みるには慎重な検討が必要である．

次に，対象範囲については，本来別々に扱われるべき領域を同一のものとして扱うと属性の評価にはバイアスが生じる[48]．例えばある主要都市からの通勤時間が主要な属性である圏域を対象範囲とする場合に，誤って近隣の都市圏域を含めてしまう場合などが該当する．

ヘドニック関数が求められることは，そのままでは需要関数が求められ，環境変化による便益または費用が求められることを意味しない．ヘドニック関数から需要関数あるいは付け値関数を求めていくためには何らかの条件設定が必要であり，多くの研究者によって提案がなされている[45]．しかし，これはそう容易ではなく，ヘドニック価格法を用いて限界便益の評価までを行っている研究例は少ない[53]．

この他のヘドニック価格法の妥当性に影を与える要因としては，移動コストの扱いの問題，嗜好の多様性の問題，完全情報の仮定に関する問題がある．住居の移動に際しては，引っ越し費用の他に，諸手続に係る金銭的・時間的費用，新環境順応への費用，旧環境下における人的関係の喪失に係わる費用及び譲渡税，新居に関する情報の不完全性に起因するリスクプレミアムが機会費用として生じる．しかし，ヘドニック価格法では通常移動費用をゼロであると仮定している．移動費用が考慮される場合には，計測される便益に影響が及ぶ[45]．また，土地属性に動的変動がありさらに嗜好の多様性も加味されると土地価格形成への影響も大きくなる．さらに，ヘドニック価格法では，通常の多くの経済分析と同様，市場参加者はすべての場所の土地属性に関しての完全な情報を持っていると仮定されているが，この条件を緩めた場合の土地価格市場の形成についても一層の検討が必要であろう．

以上，ヘドニック価格法の実施に際して留意すべき点を論じてきたが，以下にはヘドニック価格法に類似した諸手法に関して簡単に触れる．

ヘドニック価格法が土地・家屋の属性が連続的に変化し得る物としているのに対して離散的な選択しかできないとして家計行動をモデル化したのが離散選択モデルである．このような離散選択モデルには，ランダム効用モデル[49]やランダム付け値モデル[22]がある．これらの手法を用いた環境便益の評価事例はまだ少ない[43]が，最近行われたモンテカルロ法によるCropper, *et al*.[15]のシミュレーションの結果では，ボックス・コックス線形関数等を用いたヘドニック価格法よりも離散選択モデルの方が良い結果がでており，今後の応用の進展が期待されているところである．このほか，環境の価値が賃金に帰着する可能性に着目した手法であるヘドニック賃金法（Hedonic Wage Model）[54]等も，広域にわたる単一市

場の成立を仮定している等の問題点があるが，ヘドニック土地価格法との融合に関する研究も行われており[48]今後の進展が注目されるところである．

2. 直 接 法

1）仮想金銭化法（CVM）

①手法の概略

代替市場や家計行動分析等の間接的方法ではなく，対象者への直接的質問から需要を求める方法のうちの主なものは，仮想金銭化法（CVM: Contingent Valuation Method）である．仮想金銭化法は，擬制市場法[62]，価値意識法[46]，意識分析法[25]，意識に基づく手法[29]，不確定評価技法[19]などとも呼ばれる．仮想金銭化法では，価値評価の対象とする財の内容を被験者に説明し，その財を供給するために費用を支払う必要があるとした場合に，支払っても良いと考える金額の最大額を尋ねる（WTP法）．あるいは，ある財の供給を中止する代わりに補償がもらえる場合に，供給中止を是認するために必要な補償額の最小値を尋ねる（WTA法）．WTA法では過大な額がでる傾向があり，WTP法の使用が一般的に望ましいとされている[16][41]．得られた支払意志額から，対象地域全体における支払意志額の合計を求める．その際には，必要に応じて調査対象者の所得その他の因子と支払意志額との相関解析結果を用いた補正を行う．

仮想金銭化法における主なバイアス要因は表－1に示すとおりである．この中から，以下には主要な要素を取り上げて検討を加える．

②戦略的バイアス

戦略的バイアスとは，回答により自分に有利な結果が得られるように答えるバイアスのことを言う．ここで有利な結果とは，自分の費用負担が低くなることまたは対象財の供給確率が高まる（迷惑財であれば低まる）ことである．戦略的バイアスへの懸念は仮想金銭化法への批判の主要な論拠であった．しかし，Bohm[5][6]，Brookshire *et al.*[8]，Marwell and Ames[39]等の研究により，戦略的バイアスは実際には適切な調査内容の設計を行えばそんなに問題とはならないことが明らかにされてきた．この点に関して，Mitchell and Carson[41]は，評価対象財の供給の有無が不確実であるという設定にするとともに財の供給された場合の対価の支払額も不確実であるという条件に設定した場合には戦略的バイアスが働きにくくなることを明らかにしている．

さらに，戦略的バイアスをほぼ確実に無くす手法である二分仮想金銭化法（Dichotomous Choice CVM）がBishop and Herberlein[1]によって実用化され，Hanemann[25]によって理論付けされた．この方法では，被験者に付け値をしてもらう代わりにある一つの額のみを提示し，この額を支払った上で対象の財が供給される場合と，支払いをしない代わりに対象財も供給されない場合のどちらが良いかを被験者に尋ねる．被験者毎に，提示する額は変え，多数の調査サンプルから，提示額の関数としての肯定回答率を求めることによって需要関数を求める．この方法では，被験者に提示された世界を被験者が額面通りに受け取る限りにおいて戦略的バイアスは生じない．なお，一人に一つの額を尋ねるのみでは大量の被験者が必要であることから，一人に対して2つの額を順次提示して尋ねる手法も応用されているところである[26][32]．

二分仮想金銭評価法の登場によって戦略的バイアスの問題には決着が付いた感があるが，Kealy and Turner[33]は，通常の仮想金銭評価法と二分仮想金銭評価法とによる平行実験を行い，二分仮想金銭化法による方が，通常の仮想金銭化法に比べて1.5～2倍程度大きな値が得られたという結果を得ている．また，Seller, *et al.*[53]は旅費法，通常の仮想金銭化法及び二分仮想金銭化法の三者による平行調査を行い，旅費法と二分仮想金銭化法では比較的に近い結果が得られたのに対して，通常の仮想金銭化法ではそれよりもかなり小さくなるという結果を得ている．通常の仮想金銭化法では戦略的バイアスや財に関する情報不足に起因する不確定性リスク回避等の要因から実際よりも低い支払意志額がでている可能性があり，以上の結果が一般的であるとすれば，今までの通常の仮想金銭化法による調査結果は上方に修正する必要があるということにもなり得る．二分仮想金銭化法と通常の手法との一層の比較調査が期待されるところである．

③追従バイアス

追従バイアス（Compliance Bias）は，調査者に好感を持たれないような回答を被験者が回避しようとして生じるバイアスである．例えば，Duffield and Patterson[21]は，魚類の保護を目的とした基金への支払意志額を，大学の名前と自然保護団体の名前で調査を行い，自然保護団体の名前での調査の方が5割程大きな回答となるという結果を得た．この調査では，自然保護団体名の調査の方のみに，基金のパンフレットが配布されるという調査対称性制御上の問

表－1　仮想金銭化法におけるバイアス要因

歪めた回答をする誘因に起因するバイアス (*Biases Caused by Incentives to Misspresent Responses*)	
戦略的バイアス (*Strategic Bias*)	回答者が，財の供給可能性または財の供給のための支払額が自分にとって望ましい方向に影響を受けるように回答することによって生じるバイアス
追従バイアス (*Compliance Bias*)	相手に喜ばれるような回答をしがちになることにより生じるバイアス
調査機関バイアス (*Sponsor Bias*)	調査機関にとって好ましい回答が予想される場合に，回答者が調査機関にとって望ましい方向に偏った回答を行うことにより生じるバイアス
質問者バイアス (*Interviewer Bias*)	インタビューアにとって好ましい回答が予想される場合に，回答者がインタビューアにとって望ましい方向に偏った回答を行うことにより生じるバイアス
評価を暗示する手がかりにより生じるバイアス (*Biases Caused by Implied Cues*)	
開始点バイアス (*Starting Point Bias*)	調査者が，ある額の支払意志の有無を尋ねた場合に最初に提示した額に近い回答をしがちになるバイアス
レンジバイアス (*Range Bias*)	予想回答額の範囲を提示した場合にその範囲の中間方向に生じるバイアス
関係バイアス (*Relational Bias*)	評価対象財と他の財との関係に関する情報を与えた場合にその影響で生じるバイアス
重要性バイアス (*Importance Bias*)	質問行為そのものあるいは質問方法のどこかに，評価対象財の重要性を暗示する内容が含まれる場合に生じるバイアス
位置バイアス (*Position Bias*)	質問の順序等が財がどのような価値序列を持つかを暗示している場合に生じるバイアス
シナリオの誤認 (*Scenario Misspecification*)	
理論的誤認バイアス (*Theoretical Misspecification*)	提示されたシナリオが理論的あるいは現実的に見て誤りを含む場合に生じるバイアス
評価対象誤認バイアス (*Amenity Misspecification Bias*)	評価対象財の内容に関する被験者の認識が意図した財の内容と異なることによって生じるバイアス
シンボリックバイアス (*Symbolic*)	調査者が意図する財の代わりに何かのシンボリックな価値を評価してしまうことにより生じるバイアス
部分－全体バイアス (*Part-Whole*)	調査者が意図する財を含むより大きな財，あるいは意図する財の部分をなす財を評価対象と誤認してしまうことにより生じるバイアス
地理的部分－全体バイアス (*Geographical Part-Whole*)	調査者が意図する財の地理的範囲よりも広い範囲における財，あるいは意図する範囲よりも狭い範囲における財を評価対象であると誤認してしまうことにより生じるバイアス
便益の部分－全体バイアス (*Benefit Part-Whole*)	評価対象財に起因する便益の範囲を，調査者が意図するよりも広く，あるいは狭くとらえてしまうことにより生じるバイアス
政策の部分－全体バイアス (*Policy-Package Part-Whole*)	評価対象財としての政策パッケージの内容よりももっと包括的あるいは逆に部分的な政策パッケージを評価対象として誤認することにより生じるバイアス
尺度バイアス (*Metric*)	評価尺度を誤認することにより生じるバイアス
供給可能性バイアス (*Probability of Provision*)	評価対象財の供給の可能性に関して，調査者が意図したものと異なった可能性を誤認することにより生じるバイアス
状況誤認バイアス (*Context Misspecification Bias*)	提示された世界に関する認識が調査者が意図したものと異なることにより生じるバイアス
支払い媒体バイアス (*Payment Vehicle*)	支払い媒体の記述が調査者の意図しない形で認識されたり支払媒体の設定自体の価値評価が回答に含まれてしまうことにより生じるバイアス
財産権設定バイアス (*Property Right*)	対象財の所有権に関して調査者の設定が誤認されたり，所有権の記述に関しての設定があいまいであることによって生じるバイアス
供給方法バイアス (*Method of Provision*)	対象財の供給方法が誤認されたり，供給方法選択自体の価値の評価が回答に含まれてしまう場合に生じるバイアス
予算制約条件バイアス (*Budget Constraint*)	調査者が意図する予算制約条件が誤認されることによって生じるバイアス
評価質問方法バイアス (*Elicitation Question*)	評価対象財の供給の対価として被験者が現実に支払意志が生じる最高の額を支払うという設定条件が十分に正しく認識されないことによって生じるバイアス
調査構成バイアス (*Instrument Context*)	調査対象財を説明する目的等で事前に被験者に資料を示すことに起因して生じるバイアス
質問順序バイアス (*Question Order*)	複数の財の価値評価を問う場合に，前問までの回答を織り込んだ（すでに一定の額を支払い財の供給を受けたと仮定した）回答を行うことにより生じるバイアス

（Mitchell and Carson(1989) 及び Carson(1991) の分類・記述を基に安田が加筆修正し作成）

題はあるが，追従バイアスの影響の程度についての有用なデータであることは間違いない．Yasuda[70]は，追従バイアスを拡張した概念としての評判効果(Reputation Effects)によるバイアスの問題に関する効用理論分析を行っている．Yasuda[70]は効用水準にはその人の評判[11]が他者からの様々なサービス(例えば，暖かい言葉をかける，内輪のお茶会に招くといったこと)の提供に影響することに着目して，評判因子を織り込んだ効用関数理論を表した．この理論を用いると，仮想金銭化法による設問への回答が調査機関，質問者はむろんのこと，友人・家族・自分自身からみた評判に影響する場合には効用水準の最大化のためにバイアスが働くことが表される．なお，Laughland, *et al*.[33]は，社会的に望ましい方向に仮想金銭化法の調査結果がバイアスされる可能性が高いことを論じており，Yasuda[70]の論を別の角度からとらえたものと言える．

評判効果によるバイアスを少なくするためには，匿名性を高めるか，被験者から見て調査者が中立で守秘義務に忠実であるように見られることが重要であり，また，回答内容が友人・家族からの評価に影響が及ぶことが考えられるような場合には調査方法について慎重な検討が必要である．一方，正直に答えることは多くの人にとって，自分自身に対する評判効果にプラスの影響を与えると考えられることから，他の影響因子に比べてこの効果の比重を高めるような調査設計を行えば，戦略的バイアス及び他者からの評判効果に起因するバイアスの除去に有効である．Bohm[6]が1984年に戦略的バイアスに否定的な結果を得た実験においては，被験者には正直な回答を行う重要性と責任が説明されており，この考え方の有用性に関する一つの傍証を与えている．なお，Bohmが1972年に行った戦略的バイアスに対する否定的結果を得た試験[5]は，被験者の実名入りの調査結果を興味のある人には配布するという条件で実施されている．この場合には，他者からの評判効果を考慮して，被験者が社会規範に沿った方向にバイアスされた回答をした可能性が高い．従って，この場合には，ただ乗り理論に対して否定的な結果であることが，そのまま正直な回答であることを意味してはいないと考えられる．

④部分一全体バイアス

最近注目を集めている問題の一つが，評価対象誤認バイアスの問題である．特に部分一全体バイアス，あるいはフレーミング効果(Framing Effect)やエンベッディングバイアス(Embedding Bias)と呼ばれる問題に関しての研究が盛んである．部分一全体バイアスは，表一1に示されるようにいくつかの種類にカテゴライズできる．いずれも，評価の対象となる財の範囲が不明確に提示された場合や誤解される場合に生じる．例えばKahneman and Knetsch[31]は，公共サービスへの支払意志額が，小項目への支払意志額の積み上げ方式で尋ねるのと，大項目への支払意志額の分割方式で尋ねた場合に，同一の公共サービスに対する支払意志額が約10倍異なるという結果を得た．Smith[57]やHarrison[27]が指摘したように，Kahneman and Knetschの設定では，部分一評価対象のサービスの内容が極めてあいまいであり，部分一全体バイアス，政策の部分一全体バイアス，質問順序バイアス等のバイアスが強く働いており，評価対象財に係わる条件の不適切性がいかに結果に大きな影響を及ぼしうるかを示したものとして彼らの研究は意義がある．

最近では，Carson and Mitchell[11]が部分一全体バイアスに関する研究事例の総括を行っており，報告されているバイアス実例のほとんどが，調査方法に問題があるものか経済理論的にみて正当とは言えないものであることを論じている．Carson and Mitchell[11]は，Desvousges, *et al*.[15]の研究結果が，唯一の説明がやっかいな事例であるとしている．Desvousges, *et al*.[15]は，2,000匹，20,000匹，200,000匹の3ケースの渡り鳥の命を救うための支払意志額を尋ね，ケース間に有為な支払意志額の差を見いださなかったのである．この結果についてBoyle, *et. al*.[7]は一層詳細な検討を行っており，経済理論的に十分満足できる説明はできないという結論を得ている．2000匹以上の渡り鳥の救出のための支払意志額の限界値がゼロでない限り，Desvousges, *et al*.の結果は部分一全体バイアスの影響を表したものと受け取れるが，Yasudaの評判効果理論[70]を用いれば，観測された支払意志額はそもそも評判効果によるものであり，真の支払意志額はほとんどゼロであると解釈することもできることを指摘したい．

⑤非使用価値 (Non-Use Value)

通常，財の価値はその財を使用することにより生じるものであるが，財の使用を伴わずとも生じる価値が非使用価値と呼ばれる．非使用価値というものがそもそも存在するかという点については異論もあるが，学会の趨勢は存在を認める方向にはある．ま

た，先に取り上げた米国のスーパーファンド法及び自然資源被害評価規則では，被害の物理的復旧ができない場合には汚染者に存在価値分も含めた被害の補償義務を課すことができるようになっており，米国では行政的にも受け入れられているものと言える．

非市場価値を計測するのは間接法ではできず仮想金銭化法等の直接法の適用が必要である．しかし，このようにして計測された値の妥当性については議論が分かれている[36)51)]．評判効果理論を適用すると，仮想金銭化法で観測される非使用価値のほとんどは評判効果によるものであるとの解釈も可能であり，この場合には先に挙げたようにDesvousges *et al*.[18)]の調査結果等も整合的に説明できるようになる．筆者は，非使用価値の取り扱いには今後一層の慎重な検討が必要と考える．

2）仮想ランキング法

仮想ランキング法 (Contingent Ranking Method) は，仮想金銭化法とほとんど軌を一にするが，被験者に金銭評価してもらう代わりにいくつかの財に関する選好度のランク付けをしてもらいその結果から財の価値を求める手法である．仮想金銭化法に比べて便益の評価のためにはランキングにおける比較財の価値評価を含めるステップが余計にかかるが，金銭評価に抵抗がある場合などには有効であると考えられる．特に，わが国では仮想金銭化法の応用が進んでいる米国と比べた場合には金銭で物事を測る考え方に馴染めない人が多い可能性があり仮想金銭化法よりも良い結果を生み出す可能性がある．

3．非市場財評価手法の河川経済調査への応用

前節までに論じたように非市場財の評価手法にはそれぞれ課題点や適用可能な範囲があり，河川事業の実施に伴って生じる環境等の非市場財への影響のすべてを一つの枠組みで金銭評価するのは不可能である．

しかし，一方で多くの非市場財の評価が実用的に可能になりつつあるということも言える．特に，応用性の最も広い仮想金銭化法のバイアス除去理論がかなりの部分で確立してきたことは，今後の非市場財評価対象の幅を広げるのに大きく役立つと思われる．この他の手法としては，旅費法及びその派生手法の応用もレクリエーション便益の評価の分野では有用と思われる．また，ヘドニック価格法に関しては，その基本的な問題の解決に一層の研究の積み重ねが待たれるところである．わが国ではヘドニック価格法の使用に楽観的な論[28)]も見られるが，Smith[58)]が大気汚染の影響に関するヘドニック価格法調査結果のメタ分析を通じて指摘しているように，ヘドニック価格法では求める環境属性の限界便益評価まで行なわれているのは希であるほか，環境属性と地価との間に統計的に有意な関係を見いだせないことすら少なくない．OECD[41)]も信頼性が比較的低い手法という評価を下している．

いずれにせよ，わが国ではどの評価手法も適用実績が少ない．さらに，国内の既往の調査では，バイアスに対して中立的とは言えないものもある．海外の事例とのアナロジーが成り立たない部分もあろうと思われるので，国内での事例の積み重ねが必要である．例えば，国土の狭いわが国では，単一のリクリエーションサイトを訪問する目的で旅行する人は米国等よりも少ないと考えられ，旅費法を適用する際には多目的トリップの処理がよりシビアに求められるであろう．また，寄付を集めるための家庭訪問が頻繁に行われ，相応の額を寄付することが半ば社会規範になっている欧米諸国とでは，仮想金銭化法への回答パターンにも違いがあると思われる．特に，非使用価値の評価などにはずいぶん違う傾向が生じてもおかしくないように思われる．また，日本人は周囲の人の目を欧米人以上に気にするとも言われ，これにより評判効果の効き方にも差が出てくる可能性もある．既往の海外の仮想金銭化法調査では郵送調査よりも対面調査の方が多いが，わが国の場合には調査者バイアスがより大きくでる可能性があり，識字率の高さとも相まって，郵送法の適用範囲がより広いのではないかとも思われる．

章の結びとして，図－1の便益・費用のフレームの中で現在外部性として扱われている項目について，どのような評価法が適用できるのか整理してみよう．まず，図中の「洪水への不安感解消」や「思い出の品等の非市場価値を持つ財の保全」，そして「景観の変化」に関しては，直接法が最も適した手法であろう．「レクリエーション水面創出」に関しては，旅費法及びその派生手法と直接法が適用できよう．「水質・水温変化」に関しては，地先住民にとっての価値に関してはヘドニック価格法の適用も考えられなくはないほか，レクリエーション地におけるものであれば旅費法及びその派生手法の適用も検討できよう．また，直接法はここでもやはり有力な適用手法である．次に，人命や負傷の価値については，賠償金の額の算定に使われている逸失利益法のようなや

り方もあるが，本人や家族の苦しみ等の価値はこれでは測れないので，ここでも仮想金銭化法は有力である．実際に英国では，運輸省が交通事故防止便益の算定に仮想金銭化法による調査結果をベースにした評価額を用いている．また，死に至らないまでも障害が残るような負傷を負った場合の損害に関しては，仮想金銭評価法以外ではQALY指標（Quality Adjusted Life Yearの略．健常な状態における幸福度を1とし，死またはそれに等しい状態における幸福度を0とした物差しによって各種の病気や障害に対応した幸福度を評価し，それに期待余命をかけて求める指標）を用いた相対効用損失評価アプローチも医療経済の分野で応用されており，災害防止便益の評価の上でも参考になるであろう．

このほか，表－1中の「新設橋梁の建設費増大」や「建設中の道路混雑による旅行時間増大等損失」に関しては，特段の非市場財評価法を用いずとも評価は可能である．外部性として扱っているものを内部化して評価しさえすればよい．また，「生態系への影響」，「湿地の乾燥化」，「土砂供給量の変化に伴う海岸浸食」，「文化財発見・生態解明等の発見」に関しては，事象とその影響との関係が明確とは言えず，一般の人を対象とした仮想金銭化法を行っても意味のある結果を得るのは難しいであろう．専門家等を対象としたデルファイ法や，デルファイ法で影響内容の評価までを行った上で影響の金銭的評価は一般人を対象とした仮想金銭化法により行う方法等が代替手法としては考えられるが，どれだけ適切な評価が可能であるかは対象の内容や学説の確立度等にも依存するであろう．次に，「開発利益」の評価に関しては，ヘドニック価格法や離散選択モデルを用いた評価が行われているところであるが，仮想金銭化法と組み合わせた評価なども検討に値しよう．最後に，「高度利用可能な土地創出」の効果については，部分均衡モデルでは計測ができない世界になり，都市空間モデル等の一般均衡モデルの適用が必要になる．

以上，現在外部性として扱われている各要素に関する適用可能な評価手法を論じてきたが，これらの評価の実施はX非効率の増大を伴うものであり，これらの実施が経済的に正当化されるためには，調査実施による配分の非効率の減少がX非効率の増大分を上回る必要がある．このためには，最低でも，環境経済調査を実施せずに事業計画者の判断で行う資源配分以上に，配分の非効率の小さい結果が環境経済調査を通じて可能であることが期待できることが必要であるが，対象と適用手法によっては，この条件が満たされない場合も多いと考えられ，今後実例を通じた一層の検討が必要である．

また，仮に現在の国民の選好の計測が経済調査を通じて完璧に実施できたと仮定しても，この選好が，官庁等の計画専門家等の判断する選好と比べて，実際に事業影響を受ける将来の国民の選好にどれだけ近いかということが問題となる．日常的に体験する環境の評価に関しては問題はあまり無いと思われるが，非日常的なものや新技術等に関連したもの等に関しては計画専門家等の判断による方が良い場合も多々あろう．

このほか，調査の適用の積み重ねの結果，安定した評価値が得られるものについては，簡便評価法を作ることも調査費用の削減の点で有効であろう．米国でレクリエーション需要の測定に用いられている単位日価値法（Unit Day Value Method）はその一例である．

以上，非市場財評価法の河川経済調査要綱への適用性に関して論じてきた．結論としては，その応用性は十分期待できるものの，当面は調査実績を積み重ねて，その中から適切な適用範囲を見いだすべきということである．その適用範囲判断のクライテリアは，調査実施によるX非効率の増加を上まわる配分の非効率の減少が得られるかどうかという点である．

Ⅲ．ま と め

本稿においては，河川経済調査実施の意義を論じた上で，現行の河川経済調査手法を解説した．治水経済調査手法に関しては建設省が定めた調査手法があり，利水経済調査に関しては，建設省，農林水産省，通商産業省がそれぞれの所管の分野における評価法をほぼ確立していることを述べた．一方で，環境経済調査の分野に関してはまだ定められた調査手法はないほか，治水経済・利水経済の分野においても非市場財の形態で現れる便益は評価に含まれていないことを述べた．

次に，非市場財の評価手法は，間接法と直接法とに大別され，間接法では旅費法等の家計生産関数アプローチとヘドニック価格法等の土地価格に着目した手法があり，直接法では仮想金銭化法等の手法があることを述べた．そして，これらの手法を概説し，その一般的適用性を論じた．最後に，これら諸手法の河川経済調査の総合化の上での適用性を論じた．

以上の議論から，非市場財評価法の河川経済調査への応用は有望であるものの当面は実績の積み重ねが必要であり，その結果から適用範囲を判断すべきであるという結論を得た．

[†]本稿での「財」は，西村[12]の定義によるものを用いる．すなわち，「財」は，いずれかの国民の効用水準が高められる物またはサービスを指す．なお，「効用」とは，消費者が欲求を充足することによって得る満足を意味する経済学用語であり，その満足の度合を数値化したものが効用関数である[42]．河川事業により供給される財としては，物理的な側面からとらえた場合には，改修された河川，ダムその他の構造物等が挙げられる．サービスとしてとらえた場合には，洪水への安全の確保，安定した水供給の確保等が挙げられる．

[††]ここでいう評判とは，各種の評価要素を持つベクトルであり，人と人の組み合わせ毎に定義されるものである．評価要素としては，例えば，信頼性，好感度，尊敬度といったものが考えられる．

参考文献

1) Bishop, R.C. and T.A. Herberlein (1979): Measuring Values of Extramarket Goods: Are Indirect Measures Biased?, American Journal of Agricultural Economics, 61, pp. 926-930
2) Bockstael, N.E., W.M. Hanemann, and C.L. Cling (1986): Modelling Recreational Demand in a Multiple Site Framework, Water Resources Research, 22, pp. 777-787
3) Bockstael, N.E., I. Strand, and W.M. Hanemann (1987): Time and the Recreational Demand Model, American Journal of Agricultural Economics, 59, pp. 293-302
4) Bockstael, N.E., K.E. McConnell, and I. Strand (1991): Recreation in J.B. Braden and C.D. Kolstad (ed.) "Measuring the Demand for Environmental Quality", North-Holland, Amsterdam
5) Bohm, P. (1972): Estimating Demand for Public Goods: An Experiment, European Economic Review, 3, pp. 111-130
6) Bohm, P. (1984): Revealing Demand for An Actual Public Good, Journal of Public Economics, 24, pp. 135-151
7) Boyle, K.J., W.H. Desvousges, F.R. Johnson, R.W. Dunford, and S.P. Hudson (1994): An Investigation of Part-Whole Biases in Contingent-Valuation Studies, Journal of Environmental Economics and Management, 27, pp. 64-83
8) Brookshire, D.S., B.C. Ives and W.D. Shulze (1976): The Valuation of Aesthetic Preferences, Journal of Environmental Economics and Management, 2, pp. 325-46
9) Brown, G.Jr. and R. Mendelsohn (1984): The Hedonic Travel Cost Method, Review of Economics and Statistics, 66, pp. 427-433
10) Carson, R.T. (1991): Constructed Markets, in J.B. Braden and C.D. Kolstad (ed.) "Measuring the Demand for Environmental Quality", pp. 121-162, North-Holland, Amsterdam
11) Carson, R.T. and R.C. Mitchell (1993): The Issue of Scope in Contingent Valuation Studies, American Journal of Agricultural Economics, 75, pp. 1263-1267
12) Cesario, F.J. (1976): Value of Time in Recreation Benefit Studies, Land Economics, 52, pp. 32-41
13) Clawson, M. (1959) Methods of Measuring the Demand for and Value of Outdoor Recreation, Reprint No. 10, Resources for the Future, Washington, DC.
14) Cropper, M.L., L.B. Deck, and K.E. McConnell (1988): On the Functional Form for Hedonic Price Functions, Review of Economics and Statistics, 70, pp. 668-675
15) Cropper, M.L., L.B. Deck, N. Kishor, and K.E. McConnell (1993): Valuing Product Attributes Using Single Market Data: A Comparison of Hedonic and Discrete Choice Approaches, Review of Economics and Statistics, 75, pp. 225-232
16) Cummings, R.G., D.S. Brookshire, and W.D. Schulze (1986): Valuing Environmental Goods: An Assessment of the Contingent Valuation Method, pp. 104-107, Rowman and Allanheld, Totowa, NJ, USA
17) Department of the Environment (1991): Pol-

icy Appraisal and the Environment, pp. 1-67, HMSO, London, U.K.
18) Desvousges, W.H., F.R. Johnson, R.W. Dunford, K.J. Boyle, S.P. Hudson, and K.N. Wilson, "Measuring Nonuse Damages Using Contingent Valuation: An Experimental Evaluation of Accuracy", Research Triangle Institute Monograph 92-1, Research Triangle Park, NC, U.S.A.
19) Dixon, J.A., R.A. Carpenter, L.A. Fallon, P.B. Sherman, and S. Monopimoke, 長谷川弘 (訳) (1991)：環境はいくらか―環境の経済評価入門, pp. 61, 築地書館
20) Dobbs, I.M. (1993): Individual Travel Cost Method: Estimation and Benefit Assessment with a Discrete and Possibly Grouped Dependent Variable, American Journal of Agricultural Economics, 75, pp. 84-94
21) Duffield, J.W. and D.A. Patterson (1992): Field Testing Existence Values: An Instream Flow Trust Fund for Montana Rivers, Paper Presented at Association of Environmental and Resource Economists Meeting, New Orleans, January
22) Ellickson, B. (1981): An Alternative Test of the Hedonic Theory of Housing Markets, Journal of Urban Economics, 9, 56-79
23) Epple, D. (1987): Hedonic Prices and Implicit Markets: Estimating Demand and Supply Functions for Differentiated Products, Journal of Political Economy, 95, 59-80
24) Graves, P.E., J.C. Murdoch, M.A. Thayer, and D. Waldman (1988): The Robustness of Hedonic Price Estimation: Urban Air Quality, Land Economics, 64, pp. 220-233
25) Hanemann, W.M. (1984): Welfare Evaluations in Contingent Valuation Experiments with Discrete Responses, American Journal of Agricultural Economics, 66, pp. 332-341
26) Hanemann, W.M., J. Loomis, and B. Kanninen (1991): Statistical Efficiency of Double-Bounded Dichotomous Choice Contingent Valuation, American Journal of Agricultural Economics, pp. 1255-1263
27) Harrison, G.W. (1992): Valuing Public Goods with the Contingent Valuation Method: A Critique of Kahneman and Knetsch, Journal of Environmental Economics and Management, 23, pp. 248-257
28) 肥田野登(1992)：ヘドニック・アプローチによる社会資本整備便益の計測とその展開, 土木学会論文集, No. 449/IV-17, pp. 37-46
29) 平松登志樹, 肥田野登 (1989)：河川環境改善効果の計測手法の比較分析, 土木計画学研究・論文集, 7, pp. 104-114
30) HM Treasury (1991): Economic Appraisal in Central Government - A Technical Guide for Government Departments, pp. 19, HMSO, London, U.K.
31) Kahneman, D. and J.L. Knetsch (1992): Valuing Public Goods: The Purchase of Moral Satisfaction, Journal of Environmental Economics and Management, 22, pp. 57-70
32) Kanninen, B.J. (1993): Optimal Experimental Design for Double-Bounded Dichotomous Choice Contingent Valuation, Land Economics, 69, pp. 138-146
33) Kealy, J.K. and R.W. Turner (1993): A Test of the Equality of Closed-Ended and Open-Ended Contingent Valuation, American Journal of Agricultural Economics, 75, pp. 321-331
34) 建設省 (1994)：平成6年版建設白書, 大蔵省印刷局, pp. 376
35) Kling, C.L. (1988): Comparing Welfare Estimates of Environmental Quality Changes from Recreation Demand Models, Journal of Environmental Economics and Management, 15, pp. 331-340
36) Kopp, R.J. (1992): Why Existence Value Should be Used in Cost-Benefit Analysis, Journal of Policy Analysis and Management, 11, pp. 123-130
37) Larson, D.M. (1993): Joint Recreation Choices and Implied Values of Time, Land Economics, 69, pp. 270-286
38) Laughland, A.S., W.N. Musser, and L.M. Musser (1994): An Experiment in Contingent

Valuation and Social Desirability, Agricultural and Resource Economics Review, 23, pp. 29-36

39) Marwell, G. and R.E. Ames (1981): Economists Free Ride. Does Anyone Else? - Experiments on the Provision of Public Goods IV, Journal of Public Economics, 15, pp. 295-310

40) Mendelsohn, R. (1984): Estimating the Structural Equations of Implicit Markets and Household Production Functions, Review of Economics and Statistics, 66, pp. 673-677

41) Mitchell, R.C. and R.T. Carson (1989): Using Surveys to Value Public Goods - The Contingent Valuation Method, pp. 143-170, Resources for the Future, Washington, DC

42) 西村和雄 (1990)：ミクロ経済学, pp. 1-2, 東洋経済新報社

43) OECD (1989): Environmental Policy Benefits: Monetary Valuation, pp. 63-65, OECD

44) OECD (1992): Benefits Estimates and Environmental Decision-Making, pp. 33-43, OECD

45) OECD (1994): Environmental Impact Assessment of Roads, pp. 40-41, OECD

46) 大野栄治，森杉壽芳，星健一，高木朗義，高橋靖英(1993)：海面上昇対策による世帯便益の定義について，土木計画学研究・講演集No. 16 (1)，pp. 1009-1014

47) O'Reilly, D., J. Hopkin, G. Loomes, M. Jones-Lee, P. Philips, K. McMahon, D. Ives, B. Soby, D. Ball and R. Kemp (1994): The Value of Road Safety - UK Research on the Valuation of Preventing Non-Fatal Injuries, Journal of Transport Economics and Policy, 28, pp. 45-59

48) Palmquist, R.B. (1991): Hedonic Methods, in J.B. Braden and C.D. Kolstad (ed.) "Measuring the Demand for Environmental Quality" , pp. 77-120, North-Holland, Amsterdam

49) Quigley, J.M. (1976): Housing Demand in the Short Run: An Analysis of Polytomous Choice, Explorations in Economic Research, 3, pp. 76-102

50) Rosen, S. (1974): Hedonic Prices and Implicit Markets: Product Differentiation in Pure Competition, Journal of Political Economy, 82, pp. 34-55

51) Rosenthal, D.H. and R.H. Nelson (1992): Why Existence Value Should not be Used in Cost-Benefit Analysis, Journal of Policy Analysis and Management, 11, pp. 116-122

52) 佐々木才朗 (1992)：多目的ダムのコストアロケーションに関する研究，ダム技術センター

53) Seller, C., J.R. Stoll, and J.P. Chavas (1985): Validation of Empirical Measures of Welfare Change: A Comparison of Nonmarket Techniques, Land Economics, 61, pp. 156-175

54) Smith, V.K. (1983): The Role of Site and Job Characteristics in Hedonic Wage Models, Journal of Urban Economics, 13, pp. 296-321

55) Smith, V.K. (1988a): Travel Cost Recreation Demand Methods: Theory and Implementation, Discussion Paper QE89-03, pp. 1-71, Resources for the Future

56) Smith, V.K. (1988b): Selection and Recreation Demand, American Journal of Agricultural Economics, 70, pp. 29-36

57) Smith, V.K. (1992): Arbitrary Values, Good Causes, and Premature Verdicts, Journal of Environmental Economics and Management, 22, pp. 71-89

58) Smith, V.K. (1993): Nonmarket Valuation of Environmental Resources: An Interpretive Appraisal, Land Economics, 69(1), pp. 1-26

59) Smith, V.K. and W.H. Desvousges (1985) The Generalized Travel Cost Model and Water Quality Benefits: A Reconsideration, Southern Economic Journal, 52, pp. 371-381

60) Smith, V.K. and W.H. Desvousges (1986): Measuring Water Quality Benefits, pp. 212-213, Kluwer-Nijhoff Publishing, Boston, U.S.A.

61) Smith, V.K., W.H. Desvousges, and M.P. McGivney (1983): The Opportunity Cost of Travel Time in Recreation Demand Model, Land Economics, 59, pp. 259-278

62) 末石富太郎＋環境計画研究会（1993）環境計画論―環境資源の開発・保全の基礎として，pp. 80-82，森北出版
63) 竹林征三(1992)：わが国における水量・水質の総合管理とその経済評価，国際水管理セミナー，pp. 12-20，(財)国土開発技術研究センター
64) 竹林征三（1993a)：水量・水質の総合水管理とその経済評価，土木技術資料，35(5)，pp. 20-21
65) 竹林征三（1993b)：日本における水管理施策の評価と計画策定・実施に至る過程―日本とオランダにおける水管理施策立案過程の比較，Integrated Water Management Seminar論文集，pp. 41-64，(財)国土開発技術研究センター・(財)ダム水源地環境整備センター
66) U.S. Department of Interior (1986): Natural Resource Damage Assessments; Final Rule, Federal Register, August 1, pp. 27674-27753
67) U.S. Department of Interior (1991): Natural Resource Damage Assessments; Notice of Proposed Rulemaking, April 29, pp. 19752-19773
68) Vaughan, W.J. and C.S. Russell(1982): Valuing a Fishing Day: An Application of a Systematic Varying Parameter Model, Land Economics, 58, pp. 450-463
69) World Bank (1991): Environmental Assessment Sourcebook Vol. 1: Policies, Procedures, and Cross-Sectoral Issues, pp. 141-149, World Bank
70) Yasuda, G. (1994): Proposal of the Reputation Model and its Application to the Contingent Valuation Method, MSc. dissertation, pp. 1-155, University of York.
71) 安田吾郎（1994）英国の水政策における経済評価手法（その1），ダム技術，No. 93，pp. 19-26

（受付：1994年7月27日，受理：1994年8月19日）

景観シミュレータ・景観データベース
の開発に関する研究

建設関係情報

景観シミュレータ・景観データベースの研究開発について

建設省建築研究所第一研究部住環境計画研究室長
小林英之
建設省土木研究所環境部環境計画研究室長
丹羽　薫

背景

公共土木施設や建築物の構築にあたり、構想・調査・計画・設計および施工の各段階に応じて視覚的な景観検討が容易にできるコンピュータグラフィックス（CG）は、有効な景観向上の支援システムである。そこで、平成5～9年の5カ年にわたり、建設省総合技術開発プロジェクト「美しい景観の創造技術の開発」の1課題として、景観シミュレータ・景観データベースを開発することとなった。

技術開発の現状

世に「景観シミュレータ」と称するシステムは既に多数存在している。いわゆるコンピュータ・グラフィックス(CG)の技術を応用してパース（透視図、鳥瞰図等)、写真に近い合成映像、動画を作成する技術である。しかし、調査を進めてみると、これらはまだ汎用のCGソフトを景観検討に応用しているものが多く、個別の現場に導入するための費用がかかる上に、目的とする景観検討を行うようになるまでの習熟期間を必要としており、手軽に利用できるためのツールやデータベースも未整備である。

また、市街地から自然物までを含む景観検討を行うためには、データ入力に膨大な手数が必要とされる。その一方で、最近コンピュータの性能向上・低価格化は爆発的に進んでおり、身近な景観シミュレーションが手元でできる時代は近い。そこで、建設分野専用のソフトとデータの系統的整備が急務であることが明らかとなった。

現場の景観検討業務の現状

現在、景観の検討・設計は、河川・道路・公園・都市計画・営繕等多くの分野で各々の工事事務所等において実施されている。例えば、河川改修では自然との調和や都市内河川における周辺街並みとの調和を検討課題としている。

また、道路では、ドライバーから見た景観、側道や歩道からの景観および周辺の市街地等を合わせた全体が外部からどう見えるかが検討されている。事業実施の段階で見ると、計画時点、基本・概略設計さらに詳細設計の各段階でそれぞれの段階に応じて、位置の設定、基本形状から細部の形状・色彩を決定するに当たって景観の検討が行われている。

景観設計の使い道としては、事業を計画実施する事務所内部での比較検討の他に、関係住民への説明、さらに広く事業のPRがある。現在、事務所等で景観設計を行うに当たって、一部はCGを用いているが、大部分はパースを複数案作成して比較検討している。これらの事務所で簡単に操作できるものであれば、直営で景観検討のための比較案を作り、最終決定に利用することができる。

また、施工の各段階での予測や完成後の維持・管理においても塗装塗り替え時の色決めにも利用できる。

開発の構想

開発においては、利用現場でのニーズに的確に対応したスリムでスマートなソフトであることが望ましい。不必要な機能はないほうが、操作上も迷わなくてよい。逆に、現場での必要な機能は柔軟に自由に付け加えていけることが求められる。パソコンの低価格競争は行き着く先について予断を許さない。そこで、機種を限定した既存ソフトのカスタマイズという路線を避け、国立研究機関による開発にふさわしく「マルチプラットフォームのフリーウェア」を目指してゼロベースで開発することとした。想定するユーザーの範囲は、建設省および公共団体等である（図-1)。

従来のCGでは不十分な点については、新たに開発しなければならない。

これまでに以下のような事項を検討し、一部については開発作業に着手している。

(1)材料の経年劣化や、季節時間天候変化、緑被の成長、周辺市街地の熟成など、時間的な変化をとりこめること。

(2)データ入力の省力化と効率化のために、必要なデータベースが用意されていること。

(3)色決めにも使える再現性と客観性を有していること。

(4)拡張性・移植性が高く、関連機器の進化に対応できること。

初年度の開発成果

まだ景観シミュレータを実用的に使用していない分野の業務にも展開するためには、必ずしも経験的でない意見や要望に基づいて開発を進めるよりも、むしろ

まず開発目標を提案的に示す試作品（プロトタイプ）を最初に作成し、これを実際に現場で使用していただいた経験から出てきた要望や提案に基づいて開発を進めることが実り多いであろう。

そこで、去る1月までに、ヴァージョン1.0を作成した。ユーザー重視の観点から、最初の年はまず、マンマシン・インターフェース（操作性）の検討に力を入れ、メニューから機能を分かりやすく選択することができるようにした。この「容器」（パッケージ）の中に、2年度以後開発した諸機能を付加してゆけば、性能を漸進的に高めていく筋道ができる。

平成5年度に実現した最小限の機能は、設計対象物を数値データ化したものを取り込み（汎用のCAD等を用いて入力）、これを背景となる写真と合成して表示する、というオーソドックスな機能である。

しかし、これだけでも、操作の基本的な手順や、データの構成等の基本的な問題については、既に路線を打ち出したことになる。

スキャナーを用いて、写真を取り込み、いくつかの代表的な点（建築物の隅等の目印）について地図上の位置（座標）を入力すると、この写真を撮影した位置とアングルが復元される。別途入力した護岸や橋梁等の構造物を、これと同じ角度から見た姿に透視投影変換した図形を合成表示する。

次に、表面の色や反射率を変化させると、それに応じて構造物の色彩や質感が変化する。この材料の色特性については自由に設定することもできるが、よく使われる素材の色見本を数値計測したものを用意しておき、メニューから選択することにより、実際に施工される色との対応を図っている。これはデータベース構築に向けての手がかりである(図-2, 3)。

今後は、実際に3～4の事業所で使用していただきながら、使いやすいものにしていくとともに、必要な機能の実現を計る予定である。

データベース

(1)優良景観事例

景観に対する関心が高まる中、景観に配慮した設計・建設事例は次第に蓄積されつつある。今後の設計計画においては、過去の成功事例を参照することもまた必要となるであろう。そこで、過去の建設事例については、写真と主要諸元付きの

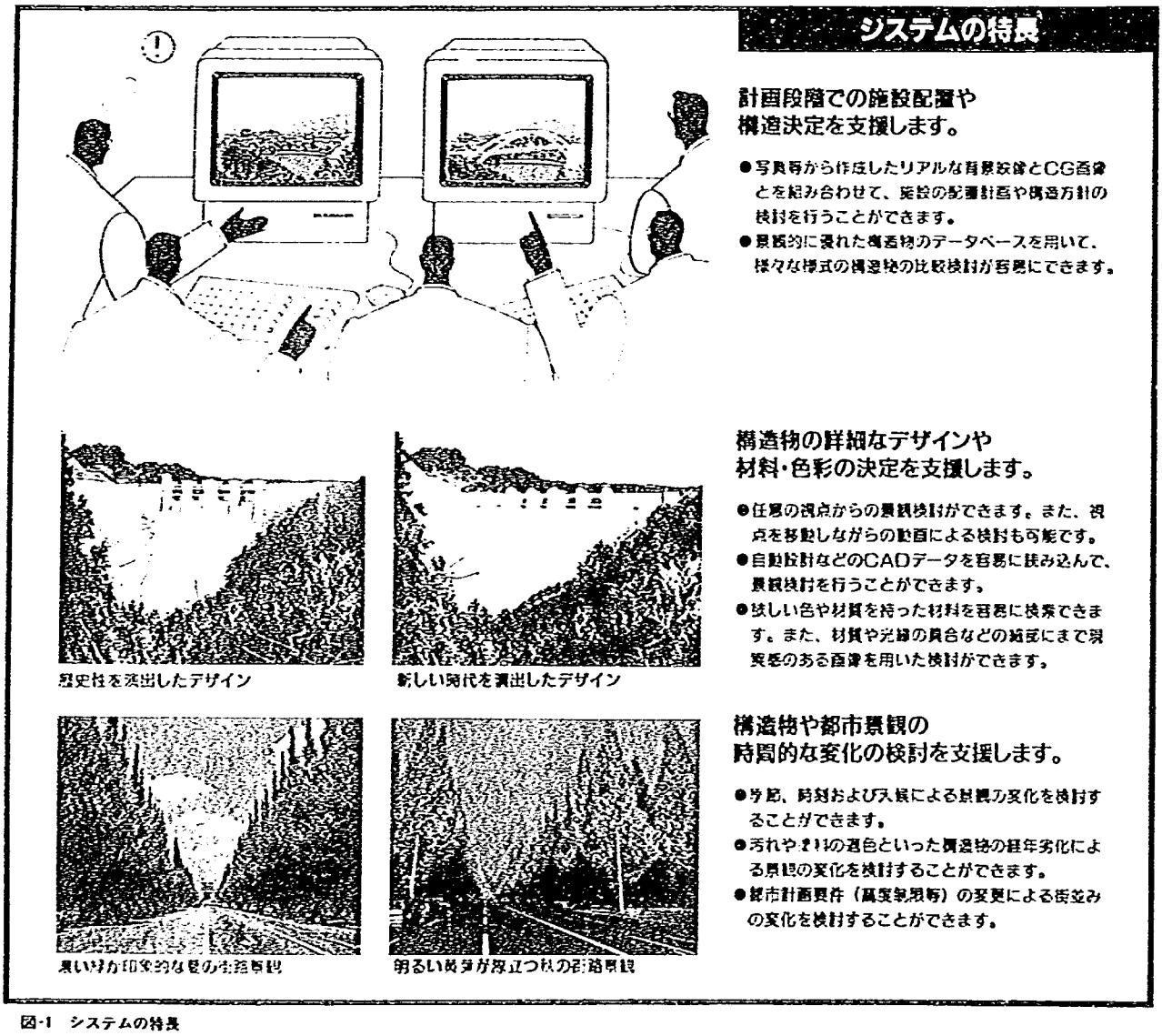


図-1　システムの特長

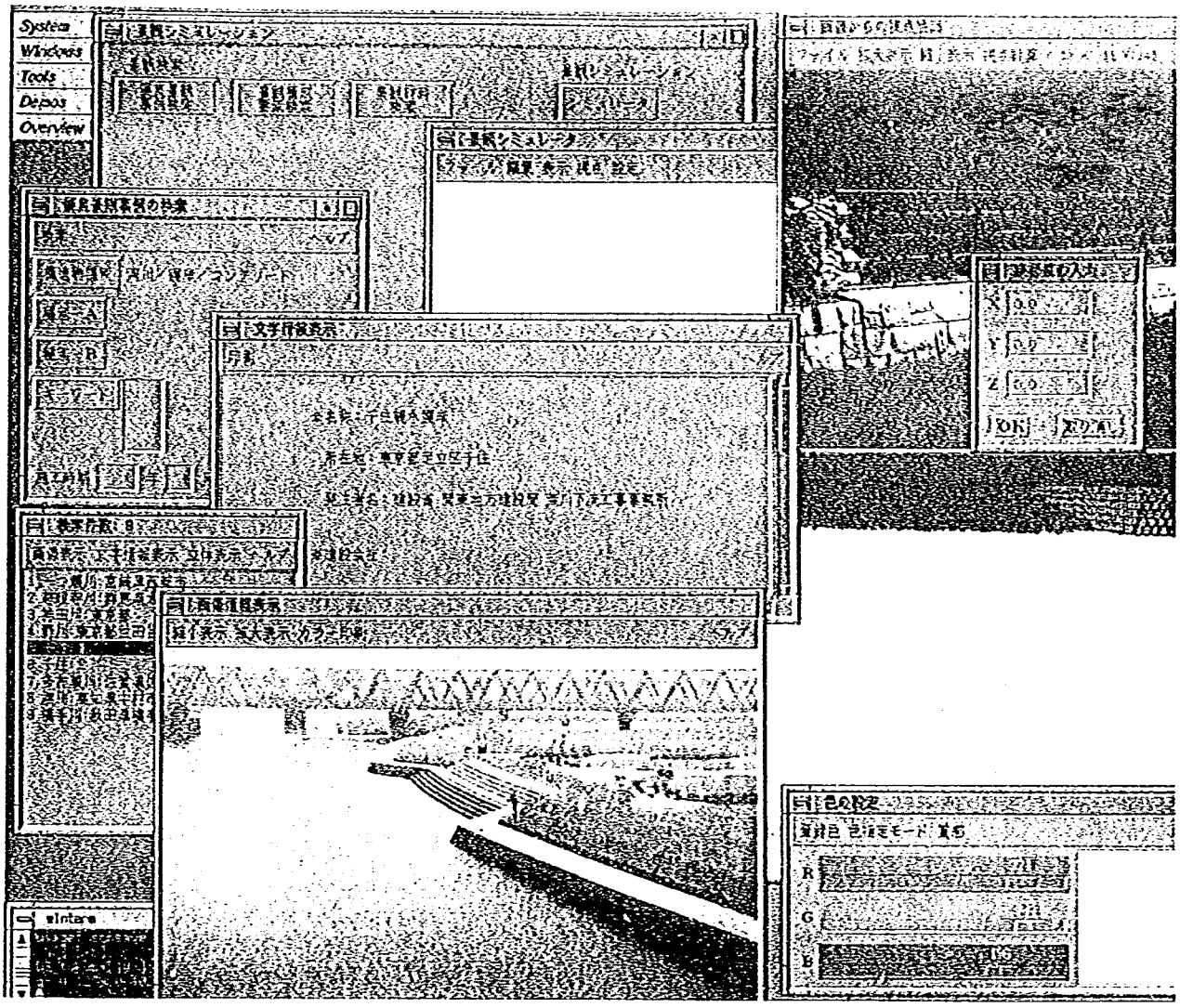


図-2 初年度システムの表示例

データベースとして集約することとし、図鑑風に検索できるのみならず、これとシミュレータを連動できるように形状データを付加して、とりあえず、過去の事例を現在設計中の現場に適用してみた場合の景観検討もできる機能を構築することとしている。

何が良いかの判断は、景観問題の本質的な部分であるが、例えば、一方通行のデータベースではなく、更新時に引用頻度や評価をセンターに帰すような相互対話型のデータベースとすることができれば、自ずと人気投票風に評判が定まっていくのではないだろうか。

(2)景観構成要素

現実感の高い景観画像を合成するためには、設計対象物のみならず、周囲のさまざまな建築物や工作物、人や車等の点景が必要である。植物等の一部については、すでにライブラリーがソフトウェア商品化されている。建設分野においても、このようなパッケージは必要である。

そこで水草、砂利等を取りかかりとして、頻出する事物についてはライブラリーとする作業に着手している。また、物によっては、形態が可変であったり、乱数的な性格を有していることから、基本形だけを定義しておいて、現場に合わせて変形させたり、自然なバラツキを生じさせるための機能を検討しつつある。

この部門で扱う「ありふれた」景観要素は、一度現実感の高いものを開発しておけば、末永く使えると期待されるので、基本システムの開発の中で実用的な一定の成果を上げておくことが求められている。

(3)景観材料

現在、土木建築物の外観に用いられる材料は、急速に多様化しつつある。この中には、強度や耐久性等の本来性能について未経験の新しい素材も多数含まれている。

そこで、これらについては、一定の形式に従ったデータとして提供されれば、それを仕上げに使用した場合の景観画像を直ちに生成できるような仕組（インターフェース）を作り、利用実績等も含めてデータベースに集約していく方向で開発を進めることとしている。この部門のデータベースは、ますます成長し多様化していくことが予想される。

発展性

建設省が開発しつつある基本システム

については、内部のデータ形式等を含め、ソースコードを公開することを基本方針としている。したがって、このシミュレータ・データベースに付加的なシステムを開発していくことは容易である。このような付加価値の高い技術については、道路、河川、建築等、各分野によるニーズの違いが大きいため、必要に応じて選択的に付加していける部品として提供されることが望ましい。

またソフトのみならず、データベースに関しても、従来のカタログブックを電子媒体化したフロッピーやCD-ROM等の形で提供・販売されることも考えられる。

供与形態とマネージメント

開発終了後は、実用段階に入ることとなるが、誰がメンテナンスの業務を行っていくかは大きな課題である。基本システムについては、フリーウェアとして扱うことにより、多様かつ自由な改良の方途を開く方針としている。

一方、景観材料データベースについては、今後もさまざまの新しい景観素材が開発されていくことが予想され、アップデートしていく必要がある。

展望

「景観上よい」設計の判断は、大変難しい。人気投票を行ったからといって必ずしもよいとは限らない。専門家や学識経験者であっても、主観的な判断を超えることは難しいだろう。景観は優れて好みの問題であり、市民文化の問題でもあるからだ。景観に関しては、万人が素人なのだ、と開き直って、設計者・担当者が自信をもって提案することを繰り返す中から、自らの感性を磨いていくしかないだろう。ちょうどカメラが普及することによって素人名カメラマンが増えたように。

また、設計作業そのものにおける道具の変化が、プロセスを変化させていく可能性がある。共通のイメージをもって検討することによって、共同作業の途が開けよう。

図-3 初年度システムの出力例

◆ 環境計画特集 ◆

景観シミュレータ・景観データベースの開発

丹羽 薫* 小栗ひとみ**

1. はじめに

公共土木施設や建築物の構築にあたり、計画・調査・設計および施工の各段階に応じて検討が容易に行えるコンピュータグラフィックス(CG)は、有効な景観向上の支援システムである[1]。そして、NHKで放映されたテクノパワーシリーズに見られるように、CGの景観表現力は既に相当高度なレベルに達している。しかし、説得力のある画像の作成には経験と高度な利用技術が必要であり、ソフトウエア費用も一般に高価である。また、各種土木構造物や樹木、街灯、人や車といった画像の部品を揃えた手頃なデータベースも未整備であることから、データの作成に膨大な時間がかかる。このような状況から、土木・建築の現場におけるCGの利用は、今まで大規模事業等に限定されていた。しかし、コンピュータ機器の性能向上・低廉化は飛躍的に進行しており、現場で実用的に使用できるCGシステムの開発が期待される状況となってきた。

そこで、建設省総合技術開発プロジェクト「美しい景観の創造技術の開発」(平成5~9年度)の一環として、地建事務所等の職員が簡便に使用できる、操作性・実用性に優れた景観シミュレータおよび景観データベースの開発に取り組んでいる。開発にあたっては、土木分野、建築分野共通に利用可能なシステムの構築をめざして、主に景観シミュレータを建築研究所が、景観データベースを土木研究所が担当する体制で一体的に開発を進めることとした。本稿では、開発中のシステムの概要および平成5年度の成果であるプロトタイプ版について紹介することとしたい。

2. 景観検討業務の現状と課題

開発を進めるにあたり、工事事務所および局営繕部を対象としたアンケートならびにヒアリング調査を実施して、景観検討業務の現状・課題・ニーズ把握を行った。

2.1 景観検討業務の現状

アンケート調査によれば、これまでにほとんどの事務所等が景観検討業務の実施経験を有している。景観検討が実施された事業の種別および実施段階をみると、道路・河川・ダム・砂防・公園・営繕・地域計画・海岸の全事業で、また計画・調査・設計・施工・維持管理の全段階で何らかの景観検討が行われている。それらのうち一部はCGを用いているが、大部分は図面・パースを複数案作成して比較検討を行っている。事務所内部での検討や、学識経験者を含めた委員会によるものの他、環境アドバイザー方式や、コンペ方式による事例もある。

事務所等において事業を実施するにあたり、景観への配慮は必須事項になりつつあり、各事業別にいくつかの景観設計マニュアルが作成されている[2]。特に自然の豊かな環境においては、景観シミュレーションへの需要は高い。これらの作業は、現在ほとんどが外注で実施されており、多くの時間と費用を要し、詳細な検討が必ずしも十分に行われていない。事務所等で職員が簡単に操作できる景観シミュレーションシステムが整備されれば、景観検討のための比較案を自由に作成し、最終決定に利用することができる。また、住民への説明や事業PRでの具体的なイメージの提示や、歩道橋の塗り替えなど日常の維持管理、アセスメントや、施工時における活用も考えられる。

2.2 景観シミュレータに必要な機能

景観シミュレータの機能では、任意の位置から見た景観の表示、色調の変更および部材等の配置の変更ができることはもちろんのこと、質感・光線の当たり具合の表現や、将来の景観予測まで可能であることが求められている。これらの他に、季節・天候・経年などの時間変化表現機能や、走行シミュレーションなどの動画機能についてのニーズが高い。

このうち、色調の検討に利用する場合は、現実の色をいかに再現するかが課題となっている。

2.3 景観データベースに必要な機能

景観データベースの機能では、指定した材料を使った構造物の施工事例に関する画像や関連情報を入手できること、該当する材料の検索が可能であること、また、指定した材料の評価情報・入手方

Development of Landscape Simulator and Affiliated Databases

法が得られることが必要である。その他に、検索方法(「周辺の様子と景観対象物との関係から施工事例を検索する」等)や、属性情報の種類(「デザイン会社・担当者名」「デザイン等で留意した点」「施工事例・材料等の長所・短所」「単価・供給状況」等)についていくつかの要望がある。

また、データベースという性格上、蓄積するデータの種類もできる限り多くの項目を扱うことが求められている。

2.4 使用するハードウエア

事務所等では、種々の既存システム専用マシンを有しているため、今後開発するシステムは汎用的なマシンで動作できるようにして欲しいという要求が強い。

2.5 その他

事務所等の業務で実際に活用できるシステムを開発するためには、かなり高い操作性を実現するということが最も重要である。多機能を追求するよりも、操作性・スピードを重視したシステムの構築が望まれる。また、市販のソフトウエアとのデータの互換性の確保や、ネットワークの構築も含めたシステムの導入・運用体制の検討、さらに、設計や評価に関するエキスパートシステムの組み込みなどについて検討が必要である。

3. 開発の基本方針

既存の画像処理ソフト等を利用してシステムを構築した場合、機種が限定されることや、導入に際しての負担コストが高いこと、また、独自の機能を付加することが難しいという問題がある。そこで、本プロジェクトでは、「機種を特定しないシステムの開発」および「ソースリスト公開を通じてのデータ構造の公開」を原則として、次の基本方針を設定し、独自ソフトの開発を行うこととした。

a) 一般職員が手軽に使える高い操作性を有していること。
b) 必要な機能を柔軟に付加することができる高い拡張性を有していること。
c) 機種に依存せず、関連機器の進化にも対応できる高い移植性を有していること。
d) 構造物の色決めにも使える高い再現性と客観性を有していること。
e) 材料の経年劣化や、季節・時間・天候の変化、樹木の成長、周辺市街地の成熟な時間的な変化を表現できること。
f) データ入力の効率化のため、必要なデータベースが用意されていること。

4. 景観シミュレータの開発

4.1 概要

景観シミュレータの開発では、公共土木施設の景観設計や街づくりのための景観設計を支援するシステムとして、手軽で安価なパソコンによるシステムの構築をめざしている。対象とするユーザーは、地建事務所、局営繕部、地方自治体の土木建築部門および都市計画部門等の職員である。

操作性の向上を図るため、極力キーボードからのコマンド入力によらず、ウィンドウに表示されたメニューから必要な機能をマウスで選択する方法を採用して設計を進めている。

開発にあたっては、早い段階からモデル事務所等において試験的な導入を行い、そこでの評価に基づいて順次改良を加え、操作性の向上および必要な機能の実現を図っていく。

4.2 機能

景観シミュレータでは、平成7年度末を目途に次に示すような基本機能の実現を目標としている。

a)CAD入力した構造物とスキャナー入力した背景写真の合成表示機能(平成5年度)
b) 時間変化表現機能(季節・時刻・天候による変化、汚れや退色による構造物の経年変化、樹木の成長による変化、都市計画要件の変更による街並みの変化など)(平成6年度)
c) 空中写真による標高データの自動入力による視点移動(動画)機能(平成7年度)

5. 景観データベースの開発

5.1 概要

景観データベースは、景観画像を構成する様々な部品を蓄積し、景観シミュレーションにおけるデータ入力の効率化や、現実感の高い画像の生成を支援するほか、過去の優良な景観設計事例や景観材料に関する情報の提供を行うものである。

5.1.1 優良景観事例データベース

現在、各分野で景観に配慮した構造物の設計が試みられ、今後の事業において参考となるような優れた事例が蓄積されつつある。優良景観事例データベースは、これら事例の写真や景観対策内容、評価などの情報や、一部構造物の形状データを蓄積するもので、分類やキーワードにより参照したい事例を検索したり、さらには構造物の形状データを設計中の現場に適用してみることで、異なる構造物タイプの比較検討を容易に行うことが可能である。

5.1.2 景観構成要素データベース

景観画像は、構造物本体のみならず、各種付属

物、周辺の建物、樹木、人や車など様々な要素から構成されている。景観構成要素データベースは、これら要素の形状や色などの情報を季節や天候、経年による変化も含めて蓄積するものである。また、現場に合わせて形態の変更が必要ないくつかの要素を自動的に生成する機能も検討しており、例えば、断面と中心線を指定して自動生成した道路の上に、植栽、照明灯、人や車などの要素を配置していくことで現実感の高い画像を効率的に作成することができる。

5.1.3 景観材料データベース

景観材料データベースは、コンクリートや塗料などの主要な土木・建築材料の色、反射率、質感、経年変化などのデータや、これら材料の特長、施工例などの情報の提供を行うものである。これらのデータを用いて、仕上げ材料を変更した場合の景観シミュレーションや材料の経年変化による景観の予測を行うことができるとともに、次々と供給される新しい景観材料の製品情報を入手することが可能である。

5.2 管理形態

データベースマネジメントシステムについては、当面スタンドアローンで稼働する機能の独自開発を行っているが、将来ネットワークを構築する際には、既存のデータベースソフトに移行することを想定している。

表-1　景観データベースの構成

	優良景観事例データベース	景観構成要素データベース	景観材料データベース
データの種類	1)河川 (護岸、高水敷、堤防敷、河川構造物堤内地) 2)ダム (本体下流表面、越流部天端付近、洪水吐導流部、減勢工部等) 3)海岸(海岸堤防·護岸、人工海浜等) 4)砂防 (ダム本体、護岸、階段工等) 5)急傾斜地 (擁壁工、法枠工、張りコンクリート工、石積工、吹付工、土留柵工) 6)道路 (線形、横断構成、法面、付属物、占有物、舗装、緑化、ポケットパーク等) 7)橋梁 (橋梁形態、橋台、橋脚、上部工、橋詰、色彩、管理用道路等、護岸) 8)都市(街並み、街路、広場、公園等) 9)建築物(工業、公共、商業、住居等) 10)下水道(マンホール·蓋、処理場等) 11)その他	1)河川 (河道、水面、堤防、護岸、水門、堰、落差工、水制、桟場、占有物等) 2)ダム (ダム本体、放流設備、取水設備 高欄等、フーチング、貯水池周辺) 3)海岸(海岸堤防 護岸 消波ブロック、突堤·人工岬、離岸堤、養浜等) 4)砂防(山腹工、砂防ダム、流路工等) 5)急傾斜地 (法面工、植生工等) 6)道路 (線形、横断面、本体構造、構造物、舗装、付属物、占有物、植栽等) 7)橋梁(本体形状、橋脚·橋台、橋上等) 8)都市(街並み、街路、広場、公園等) 9)建築物 (生け垣、カーポート、物置等) 10)下水道 (マンホール·蓋、処理場) 11)その他 (自然背景要素、人工背景要素、人間、生物、乗り物)	1)コンクリート (化粧型枠、はつり、着色等) 2)舗装 (アスファルト、セメントコンクリート、コンクリートブロック、土、砂利、石、木等) 3)塗料(日本塗料工業会標準色310色) 4)鋼材 (鋳物、亜鉛メッキ、ステンレス等) 5)プラスチック (オールプラスチックス、FRP 等) 6)ゴム (ウレタンゴム等) 7)アルミニウム (シルバー、ブロンズ、カラーアルミ等) 8)セラミック材 (レンガ、タイル、陶板等) 9)木材 (天然木、擬木) 10)仕上げ塗材(左官仕上げ、漆喰等) 11)石材 (自然石、擬石等) 12)ガラス (透過率、反射率の異なるもの等) 13)その他
データの構成	1)画像データ ・写真 (構造物の全体・詳細・時間·天候·視点位置の異なるもの、施工前後の風景など) 一事例につき数十点 2)図形データ ・図面 (基本図面、位置図) ・CAD データ (一部) 3)文字データ ①事業種別、②構造物種別、③名称、④所在地、⑤事業主体、⑥建設年度、⑦費用、⑧設計会社、⑨施工会社、⑩構造形式·主要諸元、⑪整備の背景·目的·方針、⑫設計·制約条件·配慮事項、⑬地域特性、⑭主な整備内容、⑮デザイン上の留意点·特徴·見所、⑯評価情報、⑰経年情報、⑱写真情報	1)3次元形状またはテクスチャデータの種類によって、基本パターン (単体、まとまり) を表す3次元形状、3次元形状+テクスチャ、またはテクスチャのいずれか。 2)文字データ ①分類名、②名称、③形式·規格、④材質·色、⑤価格、⑥入手方法、⑦特長、⑧施工例 3)画像データ 施工例 (施工直後、経年変化) 4)季節、天候、経年による変化のデータ シミュレーションに必要なデータ	1)光学特性データ 感度色素 (L*a*b*)、光沢 (60 度鏡反射率) 等の数値データ 2)3 次元形状又はテスクチャデータ データの種類によって、基本パターン (単体、まとまり) を表す3次元形状、3 次元形状+テクスチャ、またはテクスチャのいずれか。 3)文字データ ①分類名、②用途、③材料名、④規格、⑤材質·色、⑥価格、⑦入手方法、⑧特長、⑨施工例 4)画像データ 施工例 (施工直後、経年変化) 5)季節、天候、経年による変化のデータ シミュレーションに必要なデータ

5.3 提供形態

景観データベースは、分野別または材料別のCD-ROMを媒体とし、年2回程度の更新および紙面またはオンラインによる最新情報の提供を想定している。また、システムにデータの引用頻度の集計機能を組み込むことにより、より充実したデータベースの構築を行うことが可能である。

6. プロトタイプの作成

初年度の試作においては、開発目標の具体化を図る目的で、以下の機能を実現している。

a) スキャナーを用いて背景写真を取り込む。

b) 取り込んだ背景写真から最少4点以上の目標物を抽出し、その目標物の地図上の座標を入力することにより、背景写真の撮影条件(位置・アングル)を復元する。(図-1)

c) 既存のCADやモデラーを使用して作成した構造物の3次元データを取り込む。

d) 復元した視点と同じ角度に透視投影変換した構造物と背景写真を合成表示する。(図-2)

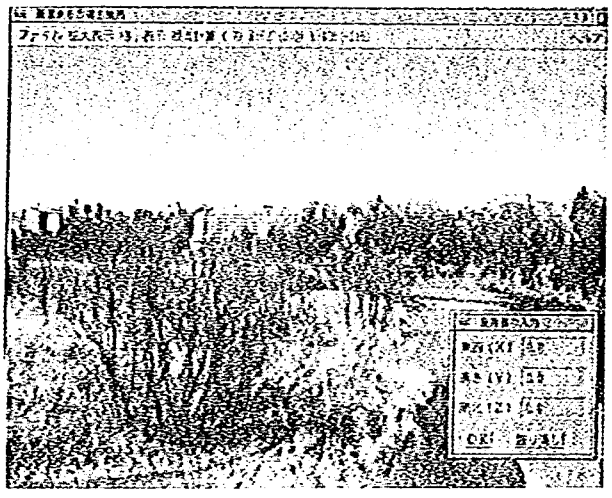


図-1 視点抽出ウインドウ

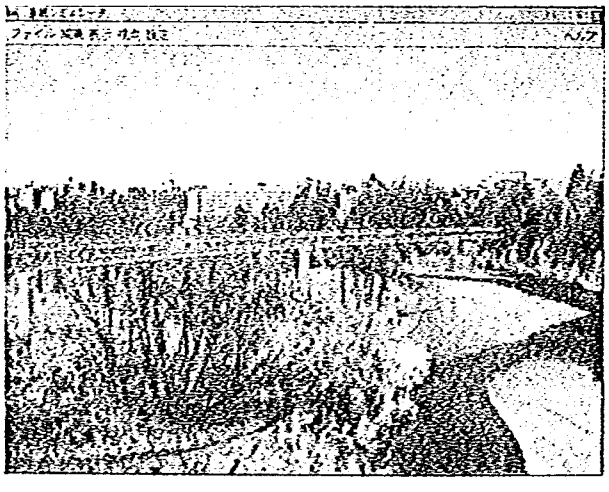


図-2 景観シミュレーク・ウインドウ

e) 構造物の表面の色や反射率を変化させる。色彩の変更は、RGB値(光の三原色「赤」「緑」「青」の調整による自由設定の他、登録色(塗料の色見本)の選択により、施工との対応を図ることも可能である。

f) 優良景観事例データベースの検索・表示を行う。(図-3)

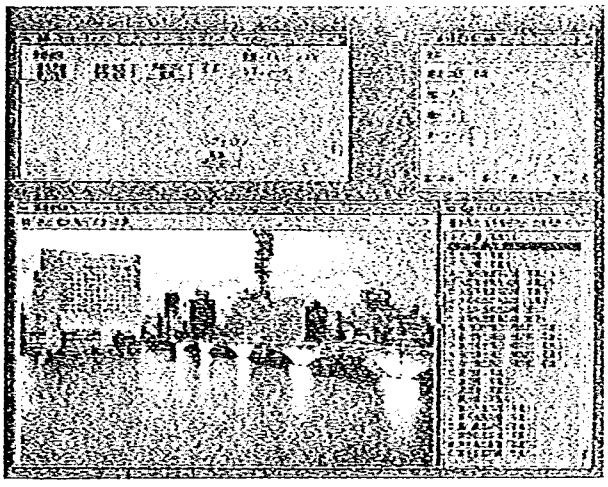


図-3 優良景観事例検索ウインドウ

7. おわりに

本システムの開発・普及によって、大きなプロジェクトのみならず日常的な事業での景観設計の機会が格段に増加し、試行錯誤を繰り返す中から土木技術者の感性も自ずと磨かれていくものと期待している。

参考文献

1) 例えば、山海堂：CAD・CG最前線、土木施工別冊 デジタルアーキテクト、1993. Autumn・1994. Spring

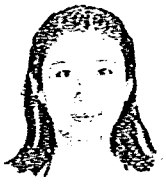
2) 例えば、道路環境研究所編著：道路景観整備マニュアル(案)、大成出版社、1993年3月

(財)国土開発技術研究センター：ダムの景観設計、山海堂、1991年1月

丹羽 薫*

建設省土木研究所環境部
環境計画研究室長
Kaoru NIWA

小栗ひとみ**



同 環境計画研究室
研究員
Hitomi OGURI

【土木計画学研究・講演集 No.17 1995年1月】

現場職員のための景観シミュレータ・景観データベースの開発*

Development of Landscape Simulator and Affiliated Databases

丹羽 薫** 小栗ひとみ***
by Kaoru NIWA Hitomi OGURI

1．はじめに

公共土木施設や建築物の構築にあたり、計画・調査・設計および施工の各段階に応じて検討が容易に行えるコンピュータグラフィックス（ＣＧ）は、有効な景観向上の支援システムである。景観検討にＣＧを用いるニーズは高く、各方面で様々な試みが重ねられている[1]。コンピュータ機器の性能・技術の向上に伴い、画像の質や表現技術は飛躍的に向上しているものの、汎用ＣＧソフトを応用しているものが多く、総合的に景観計画を支援する実用的なものはまだ模索段階であることや、システムが高価であること、説得力のある画像の作成には経験と高度な利用技術が必要であることに加え、データの作成に膨大な時間を必要とし、効率化のための手頃なデータベースも未整備である等の問題がある。一方、コンピュータ機器の性能向上・低廉化は爆発的に進行しており、こういった状況を踏まえて、現場で実用的に使用できるＣＧシステムの開発が期待されている。

そこで、建設省総合開発技術開発プロジェクト「美しい景観の創造技術の開発」（平成５年度～９年度）の一環として、各々の事業を担当している工事事務所等の職員が簡便に使用できる、操作性・実用性に優れた景観シミュレータおよび景観データベースの開発に取り組んでいる。開発にあたっては、土木分野、建築分野共通に利用可能なシステムを構築するという観点から、建築研究所と共同で一体的に開発を行っている。

本稿では、開発中のシステムの概要および平成５年度の成果であるプロトタイプ版について紹介することとしたい。

2．景観検討業務の現状と課題

開発を進めるにあたり、工事事務所等を対象としたアンケートならびにヒアリング調査を実施して、景観検討業務の現状・課題・ニーズの把握を行った。

(1) 景観検討業務の現状

アンケート調査によれば、これまでにほとんどの事務所等が景観検討業務の実施経験を有している。景観検討が実施された事業の種別および実施段階をみると、道路・河川・ダム・砂防・公園・営繕・地域計画・海岸の全事業で、また計画・調査・設計・施工・維持管理の全段階で何らかの景観検討が行われている。それらのうち一部はＣＧを用いているが、大部分は図面・パースを複数案作成して比較検討を行っている。事務所内部での検討や、学識経験者を含めた委員会によるものの他、環境アドバイザー方式や、コンペ方式による事例もある。

事務所等においては、事業の実施にあたり、景観への配慮が必須事項になりつつあり、各事業別にいくつかの景観設計マニュアルが作成されている[2]。特に自然の豊かな環境においては、構造物と周辺環境との調和や、切り土法面がどう見えるかなど景観シミュレーションへの需要は高い。これらの景観シミュレーションは、現在ほとんどが外注作業で実施されており、多くの時間と費用を要し、詳細な検討が必ずしも十分に行われていない。事務所等で職員が簡単に操作できる景観シミュレーションシステムが整備されれば、景観検討のための比較案を自由に作成し、最終決定に利用することができる。

また、住民への説明や事業ＰＲでの具体的なイメ

---

*キーワード：景観，空間設計
**正会員 工修 建設省土木研究所環境計画研究室
〒305茨城県つくば市旭１番，電話0298(64)2269，FAX0298(64)7221
*** 建設省土木研究所環境計画研究室
〒305茨城県つくば市旭１番，電話0298(64)2269，FAX0298(64)7221

ージの提示や、歩道橋の塗り替えなど日常の維持管理にも有効に活用できる。さらに、アセスメントや、施工時における利用も考えられる。

(2) 景観シミュレータに必要な機能

景観シミュレータの機能では、任意の位置から見た景観の表示、色調の変更および部材等の配置の変更ができることはもちろんのこと、質感・光線の当たり具合の表現や、将来の景観予測まで可能であることが求められている。これらの他に、季節・天候・経年などの時間変化表現機能や、走行シミュレーションなどの動画機能についてのニーズが高い。

このうち、色調の検討に利用する場合は、現実の色をいかに再現するかが課題となっている。

(3) 景観データベースに必要な機能

景観データベースの機能では、指定した材料を使った施工事例に関する画像や関連情報を入手できることや、該当する材料の検索が可能であること、また、指定した材料の評価情報・入手方法が得られることが必要である。その他に、検索方法（「周辺の様子と景観対象物との関係から施工事例を検索する」等）や、属性情報の種類（「デザイン会社・担当者名」「デザイン等で留意した点」「施工事例・材料等の長所・短所」「単価・供給状況」等）についていくつかの要望がある。

また、データベースという性格上、蓄積するデータの種類もできる限り多くの項目を扱うことが求められている。

(4) 使用するハードウエア

事務所等では、種々の既存システム専用マシンを有しているため、今後開発するシステムは汎用的なマシンで動作できるようにして欲しいという要求が強い。

(5) その他

事務所等の業務で実際に活用できるシステムを開発するためには、かなり高い操作性を実現するということが最も重要である。多機能を追求するよりも、操作性・スピードを重視したシステムの構築が望まれる。また、市販のソフトウエアとのデータの互換性も確保しなければならない。ネットワークの構築も含めたシステムの導入・運用体制についての検討も必要である。さらに、設計や評価に関するエキスパートシステムの組み込みも求められている。

3．開発の基本方針

既存の画像処理ソフト等を利用してシステムを構築した場合、機種が限定されることや、導入に際しての負担コストが高いこと、また、独自の機能を付加することが難しいという問題がある。そこで、本プロジェクトでは、「機種を特定しないシステムの開発」および「ソースリスト公開を通じてのデータ構造の公開」を原則として、次の基本方針を設定し、独自ソフトの開発を行うこととした。

a) 一般職員が手軽に使える高い操作性を有していること。
b) 必要な機能を柔軟に付加することができる高い拡張性を有していること。
c) 機種に依存せず、関連機器の進化にも対応できる高い移植性を有していること。
d) 色決めにも使える高い再現性と客観性を有していること。
e) 材料の経年劣化や、季節・時間・天候の変化、樹木の成長、周辺市街地の成熟など時間的な変化を表現できること。
f) データ入力の効率化のため、必要なデータベースが用意されていること。

4．景観シミュレータの開発

(1) 概要

景観シミュレータの開発では、公共土木施設の景観設計や街づくりのための景観設計を支援するシステムとして、手軽で安価なパソコンによるシステムの構築をめざしている。対象とするユーザーは、地建事務所、局営繕部、地方自治体の土木建築部門および都市計画部門等の職員である。

操作性の向上を図るため、極力キーボードからのコマンド入力によらず、ウィンドウに表示されたメニューから必要な機能をマウスで選択する方法を採用して設計を進めている。

開発にあたっては、早い段階からモデル事務所等において試験的な導入を行い、そこでの評価に基づいて順次改良を加え、操作性の向上および必要な機能の実現を図っていく。

なお、開発を効率的に進めるために、画像処理機能の高いシリコングラフィックス社製ＩＮＤＹ（1670万色表示、解像度1280X1024）を開発用マシンとして使用し、確定した機能から順次汎用型のパソコンに移植する予定である。

(2) 機能

景観シミュレータでは、平成７年度末を目途に次に示すような基本機能の実現を目標としている。

a)ＣＡＤ入力した構造物とスキャナー入力した背景写真の合成表示機能（平成５年度）

b)時間変化表現機能（季節・時刻・天候による変化、汚れや退色による構造物の経年変化、樹木　の成長による変化、都市計画要件の変更による　街並みの変化など）（平成６年度）

C)空中写真による標高データの自動入力による視点移動（動画）機能（平成７年度）

５．景観データベースの開発

(1) 概要

景観データベースは、構造物や景観材料などのデータを蓄積することにより、景観シミュレーションにおける現実感の高い画像の生成を支援するものであり、「優良景観事例データベース」「景観構成要素データベース」および「景観材料データベース」から構成される。（表－１）

(2) 管理形態

データベースマネジメントシステム（ＤＢＭＳ）については、必要な機能の早期実現を図るため、すべてのＤＢＭＳを独自に開発することはせず、ネットワークの構築時には既存のデータベースソフトに移行することを想定しつつ、当面スタンドアローンで稼働する機能を市販の開発環境を利用して実現する。

(3) 提供形態

景観データベースは、分野別または材料別のＣＤ－ＲＯＭを媒体とし、年２回程度の更新および紙面またはオンラインによる最新情報の提供を想定している。また、システムにデータの引用頻度の集計機能を組み込むことにより、より充実したデータベースの構築を行うことが可能である。

６．プロトタイプの作成

初年度の試作においては、開発目標の具体化を図る目的で、以下の機能を実現している。

a)スキャナーを用いて背景写真を取り込む。

b)取り込んだ背景写真から最少４点以上の目標物を抽出し、その目標物の地図上の座標を入力することにより、背景写真の撮影条件（位置・アングル）を復元する。

c)既存のＣＡＤやモデラーを使用して作成した構造物の３次元データを取り込む。

d)復元した視点と同じ角度に透視投影変換した構造物と背景写真を合成表示する。

e)構造物の表面の色や反射率を変化させる。色彩の変更は、ＲＧＢ値の調整による自由設定の他、登録色（塗料の色見本）の選択により、施工との対応を図ることも可能である。

f)優良景観事例データベースの検索・表示を行う。

７．おわりに

量の充実よりも質の高い、より快適な公共空間の整備が求められる時代にあって、後世に残る優れた社会資本を構築するために今最も必要とされているのは、デザインのバランス感覚を持った人材の育成である。土木の分野では、これまでのデザイン教育の遅れがたびたび指摘されている。本システムの開発・普及によって、大きなプロジェクトのみならず日常的な事業での景観設計の機会が格段に増加し、試行錯誤を繰り返す中から土木技術者の感性も自ずと磨かれていくものと期待している。

参考文献

1)例えば、山海堂；ＣＡＤ・ＣＧ最前線，土木施工別冊　デジタルアーキテクト，1993Autumn・　1994SPRING

2)例えば、建設省中国地方建設局太田川工事事務

所；河川構造物の景観デザインマニュアル(案)，
1993年3月

表－1　景観データベースの構成

	優良景観事例データベース	景観構成要素データベース	景観材料データベース
内　容	景観的に優れた土木施設・建築物の画像情報および景観対策内容や評価などの文字情報を蓄積するとともに、そのうち一部の構造物データをCADデータとして保有する。 構造物の種類、地域特性、整備の目的などの分類やｷｰﾜｰﾄﾞによって参照したい事例を検索したり、CADデータをスキャナーから取り込んだ現場の写真画像と合成することで構造物タイプの比較検討を行うことが可能である。	景観画像を構成する要素として、空、水面、石、草木などの自然物や、橋、周辺の建物、照明灯などの人工物のデータについて、形状、色などの表示情報や材質、規格などの文字情報を蓄積する。 各々の分類やキーワードにより必要な要素を検索することができるとともに、検索した要素を景観画像へ配置したり、指定範囲へマッピングすることができる。	コンクリートや塗料など主要な土木・建築材料の光学データ、テクスチャデータ（質感）、経年変化データおよび材質・規格などの文字データを蓄積する。 分類やキーワードなどにより欲しい材料の検索ができるとともに、検索した材料を用いて景観シミュレーションにおける材質の変更や経年変化の予測が可能である。
データの種類	1)河川(護岸、高水敷、堤防敷、河川構造物、堤内地) 2)ダム(本体下流表面、越流部天端付近、洪水吐導流部、減勢工部等) 3)海岸(海岸堤防・護岸、人工海浜等) 4)砂防(ダム本体、護岸、階段工等) 5)急傾斜地(擁壁工、法枠工、張りｺﾝｸﾘｰﾄ工、石積工、吹付工、土留擁工) 6)道路(線形、横断構成、法面、付属物、占用物、舗装、緑化、ｷﾞｬｯﾄﾊﾞｰﾄﾞ等) 7)橋梁(橋梁形態、橋台、橋脚、上部工、橋詰、色彩、管理用道路等、護岸) 8)都市(街並み、街路、広場、公園等) 9)建築物(工業、公共、商業、住居等) 10)下水道(ﾏﾝﾎｰﾙ・蓋、処理場等) 11)その他	1)河川(河道、水面、堤防、護岸、水門、堰・落差工、水制、機場、占用物等) 2)ダム(ﾀﾞﾑ本体、放流設備、取水設備、高欄等、ﾌｰﾁﾝｸﾞ、貯水池周辺) 3)海岸(海岸堤防・護岸、消波ﾌﾞﾛｯｸ、突堤・人工岬、離岸堤、養浜等) 4)砂防(山腹工、砂防ダム、流路工等) 5)急傾斜地(法面工、植生工等) 6)道路(線形、横断面、本体構造、構造物、舗装、付属物、占用物、植栽等) 7)橋梁(本体形状、橋脚・橋台、橋上等) 8)都市(街並み、街路、広場、公園等) 9)建築物(生け垣、ｶｰﾃﾝｳｫｰﾙ、物置等) 10)下水道(ﾏﾝﾎｰﾙ・蓋、処理場等) 11)その他(自然背景要素、人工背景要素、人間、生物、乗り物)	1)ｺﾝｸﾘｰﾄ(化粧型枠、はつり、着色等) 2)舗装(ｱｽﾌｧﾙﾄ、ｾﾒﾝﾄｺﾝｸﾘｰﾄ、ｺﾝｸﾘｰﾄﾌﾞﾛｯｸ、土、砂利、石、木等) 3)塗料(日本塗料工業会標準色310色) 4)鋼材(鋳物、亜鉛ﾒｯｷ、ｽﾃﾝﾚｽ等) 5)ﾌﾟﾗｽﾁｯｸ(ｵｰﾙﾌﾟﾗｽﾁｯｸｽ、FRP等) 6)ｺﾞﾑ(ｳﾚﾀﾝｺﾞﾑ等) 7)ｱﾙﾐﾆｳﾑ(ｼﾙﾊﾞｰ、ﾌﾞﾛﾝｽﾞ、ｶﾗｰｱﾙﾐ等) 8)ｾﾗﾐｯｸ材(ﾚﾝｶﾞ、ﾀｲﾙ、陶板等) 9)木材(天然木、擬木) 10)仕上げ塗材(左官仕上げ、漆喰等) 11)石材(自然石、擬石等) 12)ガラス(透過率・反射率の異なるもの等) 13)その他
データの構成	1)画像データ ・写真（構造物の全体・詳細、時間・天候・視点位置の異なるもの、施工前後の風景など） 一事例につき数十点 2)図形データ ・図面（基本図面、位置図） ・CADデータ（一部） 3)文字データ ①事業種別、②構造物種別、③名称、④所在地、⑤事業主体、⑥建設年度、⑦費用、⑧設計会社、⑨施工会社、⑩構造形式・主要諸元、⑪整備の背景・目的・方針、⑫設計・制約条件、配慮事項、⑬地域特性、⑭主な整備内容、⑮デザイン上の留意点、特長、見所、⑯評価情報、⑰経年情報、⑱写真情報	1)3次元形状またはﾃｸｽﾁｬﾃﾞｰﾀ データの種類によって、基本ﾊﾟﾀｰﾝ(単体、まとまり)を表す3次元形状、3次元形状+ﾃｸｽﾁｬ、またはﾃｸｽﾁｬのいずれか。 2)文字データ ①分類名、②名称、③形式・規格、④材質・色、⑤価格、⑥入手方法、⑦特長、⑧施工例 3)画像データ 施工例(施工直後、経年変化) 4)季節、天候、経年による変化のデータ ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝに必要なﾃﾞｰﾀ	1)光学特性データ 感覚色度(L*a*b*)、光沢(60度鏡面反射率)等の数値データ 2)3次元形状またはﾃｸｽﾁｬﾃﾞｰﾀ データの種類によって、基本ﾊﾟﾀｰﾝ(単体、まとまり)を表す3次元形状、3次元形状+ﾃｸｽﾁｬ、またはﾃｸｽﾁｬのいずれか。 3)文字データ ①分類名、②用途、③材料名、④規格、⑤材質・色、⑥価格、⑦入手方法、⑧特長、⑨施工例 4)画像データ 施工例(施工直後、経年変化) 5)季節、天候、経年による変化のデータ ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝに必要なﾃﾞｰﾀ

環境データベースに関する研究

◆ 環境計画特集 ◆

建設環境データベースの開発と利用

長野幸司* 安田吾郎** 丹羽 薫***

1. はじめに

環境とは、大気、水、土、生物などの自然物と公共施設、住宅・建築物などの人工物で構成され、人間の諸活動は、このような環境を基盤として展開されている。また社会資本整備は、自然の脅威から人々の生活を守り、人々の営みの活力の増進などのため、人間の活動の基盤となる環境を人間の生存・活動に適したものに作り変える活動のひとつであり、事業実施の過程で自然環境に働きかける行為であり、より良い環境を創造するとともに、環境の保全に対して最大限の配慮を尽くすことが求められている。

このような情報は各行政部局等において収集・整備・蓄積等なされているが、各個別に行われており共有性が乏しい。また、近年これらの情報は多様化・複雑化しており、適切な国土建設事業を推進していくためには、国土の環境に関する情報を効率よく収集し、事業に適切に活かしていくことが必要とされており、このためにもデータベースの開発と利用が期待されている。

このような国土建設事業に資する情報は、その属性として位置情報を持つものが多い。したがって、各データを位置という属性で整理することが効率が良く、また各情報相互の関連や問題の所在が明確になり、各種の検討も可能となる。このためには“GIS(Geographical Information System; 地理情報システム)”が有効であり、海外においても研究・利用が進められている。

本稿では、国土建設事業において考慮すべき情報項目について考察し、GISを建設環境データベ

表-1 地形図表現内容 (1万分の1地形図図式より抜粋)

大分類	分類	項目	大分類	分類	項目
地形・地盤	斜面	等高線	小物体		高塔
		がけ			灯台・灯標
		砂れき地			タンク
		擁壁			その他
	地盤と一体になった構造物	防波堤	副記号		官公庁
		せき			公共施設等
		水制			営利施設等
		水門			神社・寺院等
交通・運輸	道路	一般道			史跡・名勝・天然記念物
		有料道路			発電所・変電所
		歩道	その他の土地の利用景		公園
		並木			墓地
		地下の道路		耕地	田
		道路の高架部			畑
		石段			果樹園等
		歩道橋		未耕地	針葉樹
	鉄道	鉄道			広葉樹
		ロープウェイ等			竹
		鉄道の高架部			その他
		地下の鉄道	水部		水涯線
		駅			湿地
	その他の交通・運搬施設	渡船			滝
		送電線			流水方向
		輸送管	行政界		行政界
建物		普通建物			
		高層			
		公共建築			
		商店街			

Development and Utilization of Environment Databases for Infrastructure Management

表-2　環境影響評価における地域の環境に係る基礎的項目

自然的状況	地形・地質、植物・動物、 河川・湖沼・海域、気象、 水象・水質、景観
社会的状況	行政区画、集落、人工、 土地利用、産業の状況、 都市計画及びその他の土地利用計画、 河川の利用
環境関係法律等	環境基準の類型指定 公害防止基本計画 流域下水道整備総合計画 公害防止関係の地域地区 自然環境保全法の地域地区 自然公園法の地域地区 都市緑地保全法の地域地区 首都圏近郊緑地保全法の地域地区 近畿圏の保全区域の整備に関する 法律の地域地区 史跡名勝天然記念物 鳥獣保護区 その他地域地区・規制基準

ースの基本とすべきことを明らかにした上で、今後解決すべき課題と対応策を示す。

2. 建設環境情報と GIS の利点

まず、国土建設事業に必要な環境情報について検討した。国土の骨格をなす情報として、現在の地形図に記載されている情報項目がある (表-1)。また、環境に関する情報としては、環境影響評価実施要綱[1]における地域環境に係る基礎的項目がある (表-2)。これらが、国土や環境に関する基礎的情報と考えられる。ここに掲げた情報は、その属性情報として「位置」を有している場合がほとんどである。

また、例えば一般的な道路計画にあたっての必要調査事項として、国レベル計画、地域計画、都市計画、人口・経済・土地利用その他を示す各種統計資料 (国勢調査、住民基本台帳等)、都市計画、土地利用現況図、公共施設配置、風致地区自然公園等の配置、鉄道、河川位置、気象、地質等があげられるが[2]、これらは統計資料または主題図 (白地図または地形図に、主題となる地物の情報を上書きした地図) の形で示されており、統計資料の場合、地上のある範囲の属性をあらわす数値として計画に利用するため、数値と地図上の位置との対比が必要になる。

国土建設事業の計画等では、このような複数の主題図を相互に比較・分析することは非常に頻繁に生じる作業である。しかし、これらを紙地図を用いて行う場合、①縮尺の異なる主題図を比較しなければならず、認識誤差が生じるおそれがある。②必要個所が複数の図にまたがる場合があり、取り扱いが煩雑になる。③統計調査データを扱う場合、データと地図を見比べて情報とその位置の関係をいちいち把握する必要がある。④該当資料の検索に時間がかかる。等の問題がある[3]。特に広く環境を内部目的とした国土建設事業を推進するにあたっては、考慮すべき情報は多種多様であり、このデメリットは無視できない。

この解消に大きく寄与するデータベース管理システムとして、GIS がある。GIS とは、空間的な情報 (情報の一部に位置データを伴う情報) を処理 (収集、保存、検索、変換、解析、表示) するためのコンピュータシステムである。GIS の最大の特徴は、位置の情報を有する各種の情報を空間的に処理できる点にある。例えば、"環境基準が設定された水域の中で、環境基準を満たす水域の一覧を検索する"という検討であれば一般のデータベースシステムで十分であるが、"人口分布と計画路線の位置関係を把握する"というような検討には、それぞれの情報のもつ空間的な関係を踏まえた情報処理が必要であり、国土建設事業の計画等のための検討は、ほとんどが後者に属する検討である。GIS は、このような検討を可能とするデータベースシステムである。

GIS 導入の利点としては、上記の①地図データの検索・分析・表示が容易にできること、以外にも、②複数の主題図が別個に存在するための重複情報の解消、③容易で迅速な地図更新、④地図利用業務における生産性の向上、⑤条件変更による結果・効果の検討の迅速化、等があり、さらには⑥GIS 利用により可能となる新たな解析評価の実現、等が期待されている。

3. GIS の開発と利用

3.1 日本での GIS の動向

日本では、'70 年代から国土数値情報の整備が始まった。これは世界的に見てもかなり早い時期での地図情報の数値化への取り組みである。しかし、当時はコンピュータシステムの構築費用が多大であり、またコンピュータ処理速度が遅く、データ構造・量の簡素化が必要であったため、大型コンピュータを利用したメッシュ表現の数値計算に限られていたといえる。その後、特にガス・電力施設等の施設管理 (FM : Facility Manegement) 分野における GIS の利用が進んだ[4]。近年では自治体等での利用が進み始めているところである。

この利用促進の背景には、①ハードウエアの低

廉化、高機能化 (大型コンピュータ→スーパーミニコン→EWS(Engeneering Workstation)) ②汎用ソフトウエアによる開発コストの低減、等が挙げられる。

なお、現在国土数値情報はメッシュデータを中心にひととおり整備され、道路、鉄道、行政界および三大都市圏の土地利用については定期的な更新が検討されている[5]。さらに、1：25,000 地形図を元にした海岸・行政界 (全国)、50m メッシュ標高 (首都圏等)、250m メッシュ(全国)、および 1：25,000 地形図内容の数値情報 (首都圏等) の販売が開始された[6]

3.2 海外での GIS の動向

GIS は'50 年代の軍事利用から始まり、'60 年代初期にカナダの森林計画支援への利用されたのが始まりといわれており、海外での利用の歴史は長い。ここでは特に、行政的、国家的規模での利用動向について以下に述べる。

3.2.1 基図の整備

米国においては、内務省地質調査所 (USGS : U.S.Geological Survey) が国家デジタル地籍データベース (NDCDB : National Degital Cartographic Data Base) 事業の一環として、1：100,000 地形図のデジタル化を完了し、これがパブリックドメイン (著作権が設定されず、誰でも自由に使える公共財産) として利用できるようになっている[7]。また、統計局 (Bureau of Census) が 1990 年国勢調査の実施のために道路・鉄道・河川・境界線データ等をまとめた TIGER と呼ばれるデータベースをやはり 1：100,000 地形図のレベルで提供している[8]。さらに、国家図化計画 (NMP : National Mapping Program) に基づき、1：24,000 地形図等の大縮尺の地図についても西暦 2000 年までに全米分が NDCDB に含められる予定である[7]。

また、英国においては、都市部については 1：1,250 図、郊外部の大部分は 1：2,500 図が作成されており、これらの地図による国土のカバー率は 70%以上となっている。その他の地域は 1：10,000 図がカバーしている[9]。1990 年時点で既に、1：1,250 図の 87%、1：2,500 図の 19%についてデジタル地図が作成されている[9]。

このように、英米においては、現在でも GIS の基図として用いることができるデジタル地図がかなり整備されてきているほか、今後は一層大縮尺のデジタル基図の整備が進もうとしている状況である。また、デジタル地図が安価で利用できることは、GIS 利用者の拡大の上で重要なポイントである。GIS 利用者の拡大と、各種属性図・ユーティリティソフト等の開発・低コスト化とは循環的に影響し合うことを考えると、米国等における GIS 基図整備政策が GIS 開発・利用市場に及ぼす効果は非常に大きい可能性が高い。

3.2.2 属性情報の整備

GIS を用いた解析・評価を行う上では、基図の整備は無論のこととして、様々な属性情報 (基図を構成する情報以外の各種情報) が電算で取り扱える形で整備されていれば、GIS 利用者が独自にデータを入力しなくても済む。従って、汎用性の高い属性図の整備は、GIS を用いた業務の迅速化、低コスト化、高度化の上で重要である。

米国では、植生、地質、水質等の環境属性に関しては、USGS が地質図の整備を進めているほか、環境保護庁 (EPA : Environment Protection Agency) が各種データのデータベース化を進めてきている。また、農業省、工兵隊も属性図の提供を行っている[10]。さらに、1993 年に内務省に新たに設置された国立生物調査所 (USNBS : United States National Biological Survey) においても、今後生物資源情報等の地理情報の整備を組織の主要目的としていくこととなっている。

欧州においては、EC(現 EU) 地域における GIS 上の環境情報のデータベースとして、CORINE (CO-ordinated INformation on the Europian Environment) 整備計画が 1984 年以来実施されてきている[11]。CORINE には、法指定保護地域の範囲、SOx・NOx 等の大気汚染物質の点源位置及び地域毎の非点源排出量、流域区分と最大・最小流量、土壌浸食リスク分布、重要な土地資源位置、気候、斜度、ビオトープ位置等が含まれている[11]。ただし、CORINE のデータ精度はほとんどの属性に関して 1：1,000,000 図程度であり、建設事業における計画業務に実用的に使用できるレベルのものではない。このほか、地球全体を基本的にカバーする環境情報データベースとしては国連環境計画 (UNEP) の GRID 等がある。

3.2.3 GIS の応用

海外における GIS の応用は環境管理や環境評価の面だけに限っても多数にのぼる。例えば、本号にて安田ら[12]が論じているように、環境アセスメントへの取り組みだけでも各国で取り組みが進められている。また、国全体規模での環境面での

GISの応用事例としては、EPAが実施中の生態モニタリング&アセスメントプログラム(EMAP : Ecological Monitoring and Assessment Program)を挙げることができよう。EMAPにおいては、生態系の状態とトレンドに関する統計的信頼性を有した初めての地理情報が提供されることとなっている[13]。

3.2.4 GISに関する制度的・組織的対応

GISを有効に活用するためには、基図を初めとした各種の汎用地理情報データベースの整備やその維持管理に関する制度的・組織的対応が必要である。また、GISをより有効なツールとするための技術的研究の推進の上でも組織だった対応が有効であると考えられる。前者に関しては、オーストラリアとニュージーランドが先進的な対応を行ってきている。また、後者の面では米国に先進事例を見いだせる。以下には、これら各国の状況を述べる。

ニュージーランドにおいては、'70年代の後半からコンピュータが行政の各分野に用いられることになったが、この結果として7つの環境情報データベースが乱立する等のデータの重複が生じた[14]。このような状況を受けて、1983年にニュージーランド政府は、公共セクターにおける土地関連情報の収集・維持・流通に関する協調・共同アプローチを求める一連の指令を発した[14]。さらに実効性をより高めるために、その後調査・土地情報省(Department of Survey and Land Information)が設置されている[14]。

一方、オーストラリアにおいては、1986年に土地関連情報の収集と相互提供に関する連邦・州政府機関間の調整と、政府の意志決定上への土地関連情報の利用の促進を目的として、連邦首相と各州政府の長によって、オーストラリア土地情報委員会(ALIC : Australian Land Information Council)が設立された[15]。1991年にはこの委員会にニュージーランド政府も加わり、オーストラリア・ニュージーランド土地情報委員会(ANZLIC : Australia New Zealand Land Information Council)と改称され今日に至っている[15]。

ALICは1988年に最初の土地情報管理に関する国家戦略を発表し、1990年には第2回目の国家戦略を発表している。この第2回戦略における主要10項目は以下のとおりである[15]。

①政府間及び政府組織間における障壁の除去
②情報へのアクセスの確保と個人データの保護・データセキュリティの確保の両立
③土地関連情報の価値の把握と活用
④土地関連情報産業の適正な活用
⑤土地関連情報管理に関する教育の実施と雇用の創出
⑥データの加工・統合に際しての精度確保上等の責任の明確化
⑦土地関連情報に関する情報源情報の整備
⑧土地関連情報の規格化・標準化
⑨最新の情報システムの活用
⑩土地関連情報に係わる製品・サービスの創造、市場調査、販売促進

この主要10項目は、GISの効率的運用を目的とした部分の他に、商業的視点を全面に押し出している点が注目される。なお、これらの提言は、すでに実際の行政組織編成等に反映され始めている。例えば、州政府と同等の権能を持つキャンベラ市(オーストラリア首都行政区)においては、1990年に、環境土地計画局が設立され、そこの土地情報室(Land Information Office)が地理情報データの精度・仕様等の管理を一元的に行いながら、関係行政機関がそれぞれのデータベースを責任を持って作成・更新する体制が組織された[16]。

次に、米国においては、1988年に国家科学委員会(National Science Board)が、国立地理情報分析センター(NCGIA : National Center for Geographic Information and Analysis)を設立した[17]。NCGIAは、GIS技術の利用に当たっての障害の同定と除去を目的とした組織であり、以下のような研究項目を掲げている[17]。

①空間情報及び空間を扱う統計に関する研究
②空間相互関係及びデータベース構造に関する研究
③人工知能とエキスパートシステムに関する研究
④可視化に関する研究
⑤社会的、経済学的、制度的事項に関する研究

このように、米国においてはGISをより有効に使うための技術的検討が組織的に推進されつつある。また、例えばEPAでは、1983年から環境管理業務へのGISの応用を始め、現在ではほとんどすべての業務対象にGISを応用するまでになっており[13]、すでにGISの行政への応用が相当に普及している。

このほか、欧州においてもNCGIAの動きに刺激を受けた形で、1993年から「GIS : データ統合

とデータベース設計」(GISDATA : GIS Data Integration and Data Base Design) と題したプログラムが欧州科学基金 (ESF : Europian Science Foundation) によって開始された。ESF は、米国の NCGIA とも連携を取りながら、GIS 言語、データ精度、データ記述の一般化、データの作成・更新、データベース管理等の問題に関する全ヨーロッパスケールでの検討に取り組んでいる[18]。

4. GIS 普及への対応

海外における GIS の計画的・横断的な利用に比べると、国内における利用は単発的なものが多い。この最大の理由は、基図及び属性情報の初期作成、更新・メンテナンス費用が高いことであろう。この解決のためには、以下の 3 点の整備が有効と考えられる。

4.1 基図

日本でこれにあたるものとして、国土数値情報が国土庁および国土地理院によって整備されている[5]。しかし、これらはかなり限られた用途にしか使用できないのが現状である。

一例として、河川の氾濫シミュレーションに対して国土数値情報の標高データを利用しようとした場合の考察がある[19]。これによれば、現在全国をカバーしている 250m メッシュ標高データは、国際的にみてもかなり広範かつ精密な標高データであるが、日本の河川の中小流域の氾濫シミュレーションを行うには粗すぎ、またデータ作成手法その他の問題もあり、大まかな傾向をつかむ場合以外にはあまり利用できない。

地図の精度の問題は GIS を整備していく上で大きな課題である。現状では、都市内では各自治体が作成している 1 : 2,500 地図のデジタイズが最も実現可能な方法であるが、地図ではなくその基礎情報源である航空写真のデータベース化を含めた基図管理の可能性についての検討が考えられる。

4.2 ネットワークシステム

各種検討に使用するデータは、現在ほとんどの場合その情報を主題とする主題図や帳票を収集し、二次加工して利用しているが、これをそのまま利用できれば、散在する各種データを直接利用でき、コスト的にも、また誤差の排除の意味でも非常に有効である。さらに、利用者がいつでも最新のデータを利用できるという大きな利点がある。

このため、現在最も期待されているのがネットワークによる分散型データ管理である。しかし、解決すべき課題として次の点が挙げられる。

第一は、利用しようとするそれぞれのデータベースでデータの互換性がないことである。が、これは近年のフォーマットの標準化により、基本的には解決されつつある。

第二は、行政情報の公開の問題である。この公開範囲についての検討は別途必要であるが、行政における情報のセキュリティ管理に関する技術的な検討は、科学技術庁を中心として今年度より開始されている。

4.3 データベース化

最も大きく基本的な問題は、各種データがまだ電算化されていないことである。表-3 は建設省等における各種統計データの一部である。ここでは統計法及び統計報告調整法に基づく統計に限らず、一般的に統計データとみなされる継続的な調査結果を含んでいる。表-3 に示したようにほとんどのデータは紙情報あり、電算で扱える状態にはなっていない。このため、これらのデータを使用して検索・解析することは非常に面倒であり、これらデータの電算情報化が急務である。またその際の位置情報の与え方には、緯度経度の実測、キロポスト、基図へのマーキング等があるが、精度管理や費用等の問題が生じている。そこで当研究室において、建設環境データベースに必要な項目及びフォーマットの検討、実際の調査または調査結果のとりまとめの段階からのデータの電算化手法についての検討、位置情報の付加手法の検討を行っているところである。

5. まとめ

本稿では、まず、建設環境データベースを構築するにあたって、国土を構成する要素を考慮し、基本システムとしての GIS の利点を明らかにした。そして GIS に関する国内外の状況を示し、日

表-3 建設省所管の統計情報 (一部)

名　称	媒　体	更新周期	発表時期
下水道統計要覧	図　書	毎　年	4 月
道路交通経済要覧	図　書	毎　年	10 月
道路統計年鑑	図　書	毎　年	7 月頃
雨量年表	図　書	毎　年	3 月頃
水質年表	図　書	毎　年	3 月頃
河川水辺の国勢調査	図　書	5　年	
水害統計	図　書	毎　年	2 月頃
日本河川水質年鑑	図　書	毎　年	3 月頃
災害統計	図　書	毎　年	3 月頃
多目的ダム管理年報	図　書	毎　年	12 月頃
流量年表	図　書	毎　年	3 月頃
都市計画年報	図　書	毎　年	3 月頃

本において遅れているGISの一般化・利用促進等に関しての課題を整理した。

その中で、特に建設環境データベースを整備していく上で解決が急がれている、効率的なデータベース化を図るための諸課題について今後検討を進めていくこととした。

なお、今年度から建設省技術研究会の指定課題の1つとして、「国土環境情報の整備に関する研究」を国土地理院とともに始めており、情報項目や利用の可能性についてモデルを作成して検討していく予定である。

参考文献

1) 環境庁企画調整局監修：詳解環境アセスメント, 1993.
2) 道路ハンドブック編集委員会編：最新道路ハンドブック, 1992.
3) George B. Korte : The GIS BOOK, 1993.
4) JACIC 情報, Vol.7, No.1, 1992.
5) 建設省国土地理院監修：数値地図ユーザーズガイド,1993.
6) 稲葉和雄：数値地図の一般提供について, 平成5年度地理情報システム研究集会,1994.
7) Starr.L.E and Anderson.K.E : A USGS Perspective on GIS in Maguire. D.J et al., Geographical Information Systems Vol.2, Applications, Longman Science & Technical, pp.11-22, 1991.
8) 柴崎亮介：GISの発展の道のりと今後の展望, JACIC 情報, Vol.7, No.1, pp.16-19, 1992.
9) Sowton.M : Development of GIS-Related Activities at the Ordinance Survey in Maguire. D.J et al., Geographical Information Systems Vol.2, Applications,Longman Science & Technical, pp.23-38, 1991.
10) 今井修：米国における地理情報システムの動向, JACIC 情報,Vol.7, No.1, 1992.
11) Mounsey H.M. : Multisource, Multinational Environmental GIS, Lessons Learnt from CORINE in Maguire D.J. et al., Geographical Information Systems Vol.2, Applications, Longman Science & Technical, pp.185-200, 1991.
12) 安田吾郎、丹羽薫：環境アセスメントに関する諸外国の動向、土木技術資料, Vol.36, No.12, 1994.
13) Pesachowitz A.M. : Geographic Information Systems(GIS) for Environmental Decision Making in Cothern. C.R and Ross. N.P (Ed.), Environmental Statistics, Assessment, and Forecasting, pp.288-297, Lewis Publishers, 1993.
14) Dale P.F. and McLaughlin J.D. : Land Information Management - An Introduction with Special Reference to Cadestral Problems in Third World Countries, Clarendon Press, pp.171-206, 1988.
15) Australian Land Information Council : National Strategy on Land Information Management, Australia New Zealand Information Council, 1990.
16) Hyde E. : Co - operative geographic Information System, Paper Presented at Infomatix New Technology Fair, Tokyo, Feb., 1994.
17) National Center for Geographic Information and Analysis : The Research Plan of the National Center for Geographic Information and Analysis, International Journal of Geographical Information System, Vol.3, No.2, pp.117-136, 1989.
18) Arnaud.A.M., Craglia.M., Masser.I., Salge.F. and Scholten.H. : The Research Agenda for the Europian Science Foundation's GISDATA Scientific Programme, International Journal of Geographical Information Systems, Vol.7, No.5, pp.463-470, 1993.
19) 吉本俊裕、笛田俊治、馬場隆司：国土数値情報の氾濫シミュレーションへの利用に関する研究, 土木研究所資料, 第2860号、1993.

長野幸司*

建設省土木研究所環境部
環境計画研究室
Kouji NAGANO

安田吾郎**

建設省近畿地方建設局
淀川工事事務所
(前　環境計画研究室
主任研究員)
Goro YASUDA

丹羽　薫***

建設省土木研究所環境部
環境計画研究室長
Kaoru NIWA

【土木計画学研究・講演集 No.17 1995年1月】

社会資本整備におけるＧＩＳの利用

Utilization of GIS(Gyographical Information System) for Infrastructure Management

長野 幸司* 安田 吾郎**
by Koji Nagano, Goro Yasuda

1. はじめに

社会資本整備とは，国民が快適に生活できる基盤としての環境の整備であり，環境に関する様々な情報が必要とされる。

このような国土の情報，言い換えれば環境の情報は，その属性の一部に何らかの位置情報を持つものがほとんどであり，またその情報の利用も，地上のある位置における事物の計画や管理である。したがって，各データを位置という属性で整理することが効率が良い。このためには"ＧＩＳ(Gyographical Information System; 地理情報システム)"が有効であり，海外においても研究・利用が進められている。

本稿では，社会資本整備における内外のＧＩＳの利用事例について紹介した上で，今後解決すべき課題について言及する。

2. 社会資本とＧＩＳ

各種の社会資本の整備・維持管理においてまず利用されているのは，いうまでもなく地形図である。したがって，現在の地形図に記載されている情報項目がある意味で社会共通の位置情報といえる。また，狭義の環境に関する情報としては，環境影響評価実施要綱の対象項目がある。既往の環境影響評価書をみてもわかるとおり，それらは白地図の上に書かれた主題図，またはある地点における統計となっている。

また，例えば一般的な道路計画にあたっての必要調査事項として，国レベル計画，地域計画，都市計画，人口・経済・土地利用その他を示す各種統計資料（国勢調査，住民基本台帳等），都市計画，土地利用現況図，公共施設配置，風致地区自然公園等の配置，鉄道，河川位置，気象，地質等があげられるが[1]，これらの大半は主題図の形で示されており，また国勢調査等の統計資料は，あるエリア内の数値のとして整理したうえで利用されている。

このように，社会資本整備・管理では，複数の主題図を相互に比較・分析することは非常に重要である。しかし，これらの作業を紙地図を用いて行う場合，①縮尺の異なる主題図の比較にあたって，認識誤差が生じる。②必要個所が複数の図葉にまたがる場合がある。③統計調査データのしめす位置が判然としない。[2]等の問題が生じる。

この解消に寄与するデータベースシステムとして，ＧＩＳがある。ＧＩＳの最大の特徴は，位置の情報を有する各種の情報を空間的に処理できる点にある。例えば，"環境基準が設定された水域の中で，環境基準を満たす水域の一覧を検索する"という検討であれば一般のデータベースシステムで十分であるが，"人口分布と計画路線の位置関係を把握する"というような検討には，それぞれの情報のもつ空間的な関係を踏まえた情報処理が必要であり，国土建設事業の計画等のための検討は，ほとんどが後者に属する検討である。このような検討を可能とするデータベースシステムがＧＩＳである。

ＧＩＳ導入の利点としては，上記の①地図データの検索・分析・表示が容易にできること。以外にも，②複数の主題図が別個に存在するための重複情報の解消。③容易で迅速な地図更新。④地図利用業務における生産性の向上。⑤条件変更による結果・効果の検討の迅速化。等があり，さらには⑥ＧＩＳ利用により可能となる新たな解析評価の実現。等が期待される。

3. ＧＩＳの開発と利用

キーワード：計画情報，情報処理，環境計画
＊正会員 建設省土木研究所環境部環境計画研究室
（〒305 茨城県つくば市旭1 Tel 0298-64-2211 Fax 0298-64-7221）
＊＊正会員 経修 建設省土木研究所環境部環境計画研究室

ＧＩＳは，社会資本整備における情報管理に最適なシステムと考えられるが，社会資本整備以外の分野においても幅広い利用が考えられ，さらにデータの面でもスケールメリットが発揮され，有利である。ここでは，広くＧＩＳの内外の利用動向について紹介する。

（1）海外でのＧＩＳの利用動向

海外における事例を調査した結果，ＧＩＳの整備促進のためには，①共通基図の整備，②共通属性情報の整備，③整備のための組織的な対応，等の対応が図られていた。このため，以下に各ポイントごとに海外での状況をまとめた。

（a） 基図の整備

デジタルな形で基本的な地図が安価で利用できることは，ＧＩＳ利用者の拡大の上で重要なポイントである。

米国においては，内務省の地質調査所 (USGS: U.S.Geological Survey) が国家デジタル地籍データベース (NDCDB:National Degital Cartographic Data Base) の一環として，1:100,000 地形図のデジタル化を完了し，誰でも自由に使える公共財産として利用できるようになっている[6]。

さらに，国家図化計画 (NMP: National Mapping Program) に基づき，1:24,000 地形図等の大縮尺の地図についても西暦 2000 年までに全米分が NDCDB に含められる予定である[6]。

また，英国においては，都市部については 1:1,250 図，郊外部の大部分は 1:2,500 図が作成されており，これらの地図による国土のカバー率は 70% 以上となっている。その他の地域は 1:10,000 図がカバーしている[7]。1990 年時点で既に，1:1,250 図の 87%，1:2,500 図の 19% についてデジタル地図が作成されている[7]。

（b）属性図の整備

様々な属性図が整備されていれば，ＧＩＳ利用者が独自にデータを入力しなくても済む。従って，汎用性の高い属性図の整備は，ＧＩＳを用いた業務の迅速化，低コスト化，高度化の上で重要である。

米国では，植生，地質，水質等の環境属性に関しては，USGS が地質図の整備を進めているほか，環境保護庁 (EPA: Environment Protection Agency) が各種データのデータベース化を進めてきている。また，農業省，工兵隊も属性図の提供を行っている[8]。さらに，1993 年に内務省に新たに設置された国家生物学調査所 (USNBS: United States National Biological Survey) においても，今後生物資源情報等の地理情報の整備を組織の主要目的としていくこととなっている。

欧州においては，ＥＣ（現ＥＵ）地域におけるＧＩＳ上の環境情報のデータベースとして，CORINE (CO-ordinated INformation on the Europian environment) 整備計画が 1984 年以来実施されてきている[9]。CORINE には，法指定保護地域の範囲，SO_x・NO_x等の大気汚染物質の点源位置及び地域毎の非点源排出量，流域区分と最大・最小流量，土壌浸食リスク分布，重要な土地資源位置，気候，斜度，ビオトープ位置等が含まれている[9]。

（c）制度的・組織的対応

ＧＩＳを有効に活用するためには，基図を初めとした各種の汎用地理情報データベースの整備やその維持管理に関する制度的・組織的対応が必要である。また，ＧＩＳをより有効なツールとするための技術的研究の推進の上でも組織だった対応が有効であると考えられる。

ニュージーランドにおいては，７つの環境情報データベースが乱立する等のデータの重複が生じていた[11]。このため，1983 年に公共セクターにおける土地関連情報の収集・維持・流通に関する協調・共同アプローチを求める一連の指令を発した[11]。さらにその後調査・土地情報省 (Department of Survey and Land Information) が設置されている[11]。

オーストラリアにおいては，1986 年に連邦首相と各州政府の長によって，オーストラリア土地情報委員会 (ALIC: Australian Land Information Council) が設立された[12]。1991 年にはこの委員会にニュージーランド政府も加わり，オーストラリア・ニュージーランド土地情報委員会 (ANZLIC: Australia New Zealand Land Information Council) と改称され今日に至っている[12]。ALIC は 1988 年に最初の土地情報管理に関する国家戦略を発表し，1990 年には第２回目の国家戦略を発表している。[12]。これらの提言は，すでに実際の行政組織編成等に反映され始め

ており，キャンベラ市（オーストラリア首都行政区）においては，1990年に，環境土地計画局が設立され，そこの土地情報室(Land Information Office)が地理情報データの精度・仕様等の管理を一元的に行いながら，関係行政機関がそれぞれのデータベースを責任を持って作成・更新する体制が組織された[13]。

米国においては，1988年に国家科学委員会(National Science Board)が，国立地理情報分析センター(NCGIA: National Center for Geographic Information and Analysis)を設立した[14]。NCGIAは，ＧＩＳ技術の利用に当たっての障害の同定と除去を目的とした組織であり，以下のような研究項目を掲げている[17]。

①空間情報及び空間を扱う統計に関する研究
②空間相互関係及びデータベース構造に関する研究
③人工知能とエキスパートシステムに関する研究
④可視化に関する研究
⑤社会的，経済学的，制度的事項に関する研究

このように，米国においてはＧＩＳをより有効に使うための技術的検討が組織的に推進されつつある。また，例えばEPAでは，1983年から環境管理業務へのＧＩＳの応用を始め，現在ではほとんどすべての業務対象にＧＩＳを応用するまでになっており[10]，すでにＧＩＳの行政への応用が相当に普及している。

このほか，欧州においても，1993年から「ＧＩＳ：データ統合とデータベース設計」(GISDATA: GIS Data Integration and Data Base Design)と題したプログラムが欧州科学基金(ESF: Europian Science Foundation)によって開始された。ESFは，米国のNCGIAとも連携を取りながら，ＧＩＳ言語，データ精度，データ記述の一般化，データの作成・更新，データベース管理等の問題に関する全ヨーロッパスケールでの検討に取り組んでいる[15]。

（2）日本でのＧＩＳ利用動向

日本では，'70年代から国土数値情報の整備が始まった。これは世界的に見てもかなり早い時期での地図情報の数値化への取り組みである。しかし，当時はコンピュータシステムの構築費用が多大であり，またコンピュータ処理速度が遅く，データ構造・量の簡素化が必要であったため，大型コンピュータを利用したメッシュ表現の数値計算に限られていたといえる。

その後，特にガス・電力施設等の施設管理(FM: Facility Manegement)分野における利用が進んだ[3]。近年では自治体等での利用が進み始めているところである。

この利用促進の背景には，①ハードウエアの低廉化，高機能化（大型コンピューター→スーパーミニコン→ＥＷＳ(Engeneering Workstation)・ＰＣ（ＥＷＳが主流））②汎用ソフトウエアによる開発コストの低減，等が挙げられる。しかし，未だデータ作成費用が大きいため，資金力のある団体での利用に限られているといえる。

4．ＧＩＳ普及の問題点

日本におけるＧＩＳの利用は，特に公的な分野での利用，継続的で計画的な利用の面で，欧米に比べて進んでいない。この要因と今後とるべきと思われる手法について検討した。

（1）基図

日本でこれにあたるものとして，国土数値情報が国土庁および国土地理院によって整備されている[4]。

この利用に関する考察として，河川の氾濫シミュレーションに対して国土数値情報の標高データを利用しようとした場合の考察がある[16]。これによれば，現在全国をカバーしている250mメッシュ標高データは，世界的にみても高精度・広範なデータであるが，日本の河川の中小流域の氾濫シミュレーションを行うには粗すぎ，またデータ作成手法その他の問題もあり，大まかな傾向をつかむ場合以外にはあまり利用できない。このように現況での国土数値情報は，かなりマクロな検討にその利用範囲が限定されているといえる。

このように利用阻害の大きな理由は，地図精度が日本の社会的要因による広範な要求に対応していないことにある。この点への対応としては，国土地理院における1/10,000地形図の作成手法が参考になると思われる。

1/10,000地形図は，測量法に基づき報告される自治体の都市計画図等の成果を原資料として再編集し，作成されている。したがって原資料は1/2,000の精度を有している。

（2）ネットワークシステム

各種検討に使用する各属性情報は，その情報を主題とする主題図や帳票をそのまま利用できれば，コスト的にも，また誤差の排除においても非常に有効である。このため，現在最も期待されているのがネットワークによる分散型データ管理であるが，現在，数値情報化されていないものも多く，データベースの構築から検討する必要がある。

特に行政において情報の電算化，ネットワークに慎重な対応がされている理由には，①情報公開の社会的影響，②個人情報と公共情報の範囲，等に関する危惧が考えられるが，この点に関しての検討は，寡聞にして聞いていない。

とにかく，現在公開を行っている情報に関して電算化，及びネットワークでの提供を早急に図る必要がある。

5．おわりに

本稿では，まず，ＧＩＳに関する国内外の状況を示し，今後日本でのＧＩＳの一般化・利用促進等に関しての課題について言及した。今後は，国土を構成する各項目についての議論を深め，関連情報の所在や形態，内容について調査し，データベースの具体化についての検討を継続するとともに，データの作成・更新等の費用に関する検討を行っていく予定である。

参考文献

1) 道路ハンドブック編集委員会編，最新道路ハンドブック，1992

2)George B.Korte,: The GIS BOOK, 1993

3) ＪＡＣＩＣ情報，Vol.7, No.1, 1992.

4) 建設省国土地理院監修，数値地図ユーザーズガイド,1993.

5) 稲葉和雄：数値地図の一般提供について，平成５年度地理情報システム研究集会,1994.

6)Starr.L.E and Anderson.K.E: A USGS Perspective on GIS *in* Maguire.D.J et al., Geographical Information Systems Vol.2:Applications, Longman Science & Technical, pp.11－22, 1991.

7)Sowton.M: Development of GIS－Related Activities at the Ordinance Survey *in* Maguire.D.J et al., Geographical Information Systems Vol.2:Applications, Longman Science & Technical, pp.23－38, 1991.

8) 今井修：米国における地理情報システムの動向，JACIC 情報，Vol.7, No.1, 1992.

9)Mounsey.H.M: Multisource, Multinational Environmental GIS: Lessons Learnt from CORINE *in* Maguire.D.J et al., Geographical Information Systems Vol.2: Applications, Longman Science & Technical, pp.185－200, 1991.

10)Pesachowitz.A.M: Geographic Information Systems(GIS) for Environmental Decision Making *in* Cothern.C.R and Ross.N.P(Ed.), Environmental Statistics, Assessment, and Forecasting, pp.288－297, Lewis Publishers, 1993

11)Dale.P.F and McLaughlin.J.D: Land Information Management － An Introduction with Special Reference to Cadestral Problems in Third World Countries, Clarendon Press, pp.171－206, 1988.

12)Australian Land Information Council: National Strategy on Land Information Management, Australia New Zealand Information Council, 1990.

13)Hyde.E: Co－operative geographic Information System, Paper Presented at Infomatix New Technology Fair, Tokyo, Feb., 1994.

14)National Center for Geographic Information and Analysis: The Research Plan of the National Center for Geographic Information and Analysis, International Journal of Geographical Information System, Vol.3, No.2, pp.117－136, 1989.

15)Arnaud.A.M, Craglia.M, Masser.I, Salge.F and Scholten.H: The Research Agenda for the Europian Science Foundation's GISDATA Scientific Programme, International Journal of Geographical Information Systems, Vol.7, No.5, pp.463－470, 1993.

16) 吉本俊裕，笛田俊治，馬場隆司，国土数値情報の氾濫シミュレーションへの利用に関する研究，土木研究所資料，第2860号，1993

地球環境に関する研究

discharge. The table illustrates that the annual three peak discharges decrease and the flow below the 95-day discharge increases by smoothing the flow regime.

3.5 NUMERICAL EXPERIMENTS ON CHANGES IN GLOBAL HYDROLOGICAL RESPONSE DUE TO WARMING IV: STUDY OF DAM WATER USAGE CAPACITY

Kaoru Niwa, and Yoshimasa Hirose

3.5.1 Assumed Warming Scenario

The assued warming scenario is the annual uniform scenario for the 11 cases in the warming scenario shown in Table 3.2.1. The conditions and calculation cases are shown in Table 3.5.1. Here, Case 2 represents the current conditions. We assumed that the patterns of precipitation or air temperature change annual ones.

3.5.2 Target Basins and Characteristics

We analyzed three dam basins: Northern Kyushu (Dam A), Setouchi (Inland Sea) side of Shikoku (Dam B), and the Pacific side of Tohoku (Dam C). Table 3.5.2 shows the annual average precipitation of the dam site, the annual average discharge from the basin into the dam, the annual average evapotranspiration (= annual precipitation-annual discharge), the basin area and the irrigation period in each of these basins over the 10 years from 1981 to 1990. The flow regimes per 100 km^2 are shown in Fig. 3.5.1. The cumulative curves for the deficits from the proportion between 5-day discharge and the river discharge rates of 30, 40, 50, and 60% to be secured for a particular site, and the actual deficits from the real discharges, are shown in Fig. 3.5.2. The annual precipitation at Dam A is the largest, and the flow regime for 95 to 185-day discharge is sufficient or adequate. At Dams B and C, however, the average precipitation is almost identical, but their flow regimes differ greatly; the flow regime during low flow at Dam B is much smoller than that at Dam C. The characteristics of the individual dams indicate that at Dam A, discharge during the rainy season in June and July is large, but its absolute volume is smaller than at Dam A and that the yearly flow regime varies greatly throughout the year depending on typhoons. At Dam C, the discharge from March to May is larger than during the other months because of runoff from snowmelt.

Table 3.5.1 Simulation Cases And Warming Condition

Precipitation (%) / Air Temperature Rise (°C)	−10	±0	+10
±0	CASE 1	CASE 2	CASE 3
+1	CASE 4	CASE 5	CASE 6
+2	CASE 7	CASE 8	CASE 9
+3	CASE10	CASE11	CASE12

Table 3.5.2 Hydrological characteristics of basins

Target basin	Dam A, Northern Kyushu	Dam B, Setouchi side of Shikoku	Dam C, Pacific side of Tohoku
Catchment area	18.9 km^2	28.0 km^2	740.0km^2
Annual precipitation	2654.3 mm	1264.4 mm	1225.8mm
Annual discharge	2170.4 mm	606.6 mm	918.3mm
Annual evapo transpiration	483.9 mm	657.8 mm	307.5mm
Irrigation period	5/1-10/31	6/20-9/20	5/15-9/3

3.5.3 Analytical Methods

We calculated the discharge in day units for each dam basin using four-stage discharge tank models. For Dam C with its snowmelt, we divided the basin into meshes of about 250 × 250 m, and applied a model (Niwa and Moritani, 1990) to consider snowfall, snow cover, and snowmelt for each mesh. To calculate the input to the tank models, we used the values for the basin by averaging the values of snowmelt and rainfall determined for each mesh by this model. For evapo-transpiration, we used calculated evapo-transpirations from Hamon's formula and the annual hydrological balance. To investigate the effects of a dam on the development of water resources, the point where the area above the dam was six times the area of the dam basin was used as the downstream control point to determine the water supply discharge for water usage. This increased the discharge from the residual flow area five-fold compared to the dam basin. The discharge to be secured was determined such that the ratio of the irrigation period to the non-irrigation period was 2:1, and the river water usage rate was 40% of the annual average discharge from 1981 to 1990. Using these

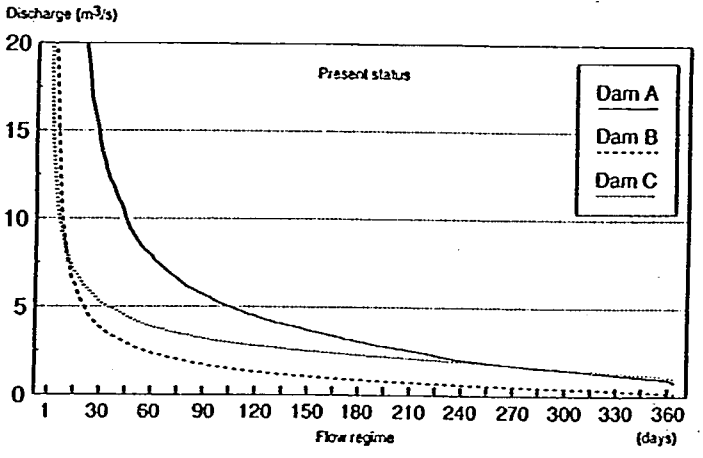


Fig. 3.5.1 Flow regime of basins

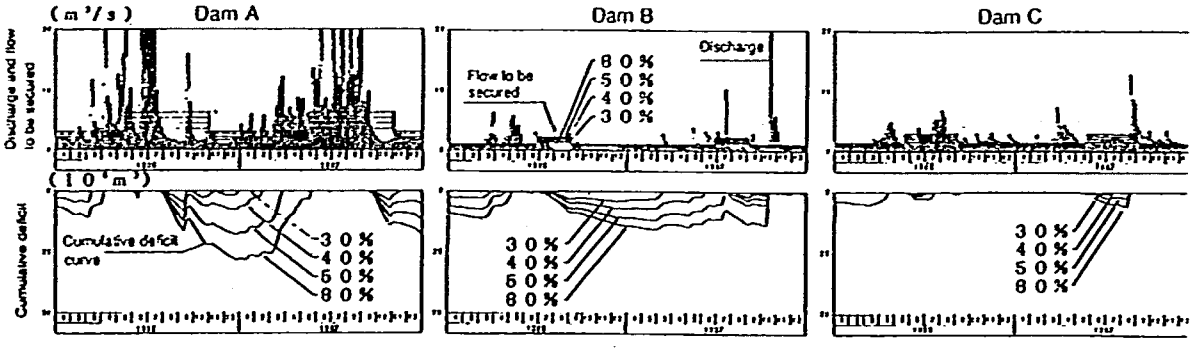


Fig. 3.5.2 Discharge, secure necessary flow and cumulative deficit (per 100 km^2)

conditions, we calculated the water usage capacity so that the water usage safety ratio was 1/10 of the flow regime from 1981 to 1990.

3.5.4 Results and Discussion

3.5.4.1 Flow regime change

Figure 3.5.3 illustrates the 10-year average flow regime curves for each dam from Case 2 (current condition) to Case 11 ($\Delta T=3^{\circ}C$, $\Delta P=0\%$). This figure shows that at Dam A and Dam B, generally the difference in discharge is larger during low flow periods and the discharge decreases to 80 or 60% without warming. In Dam C basin, however, the difference at the intermediate level is large, and there is no real difference in the discharge during low flow periods. This is logical because with warming, snowfall in the latter half of March turns to rainfall, and the start of snowmelt advances. Thus, the flow regime at this time improves and the annual minimum discharge shifts towards the summer.

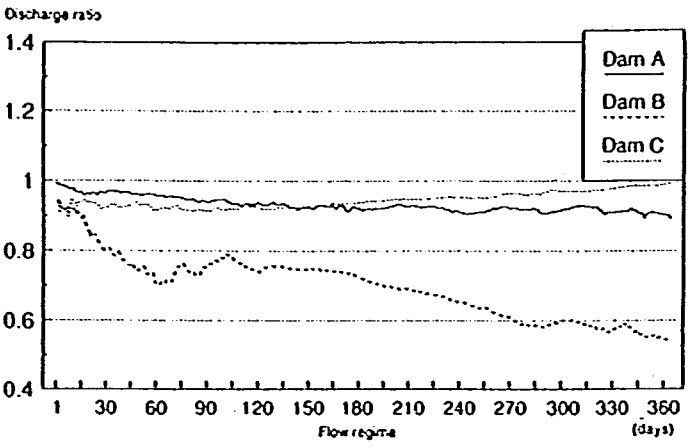


Fig. 3.5.3 Comparison of predicted flow regime for Case 2 to Case 11

3.5.4.2 Water usage safety ratio and change of water usage capacity

Figures 3.5.4 and 3.5.5 show typical cases which represent the index of deficit %/days for dam operation calculated under the above conditions and assuming the warming scenarios in Table 3.5.2. The change of drought frequency for each dam is shown in Fig. 3.5.6 and the per-unit-area change of dam capacity required to ensure the water usage safety ratio of 1/10 is shown in Fig. 3.5.7. Figure 3.5.5 shows that for Dam B with large evapotranspiration and for Dam A, the deficit %/day increases and the safety ratio of water resources deteriorates if the air temperature rises by $3^{\circ}C$, even if the precipitation increases by 10%. The change of evapo-transpiration therefore has a great effect on water resources. This can also be seen from Fig. 3.5.7. Furthermore, Fig. 3.5.7 shows that the per-unit-area dam capacity

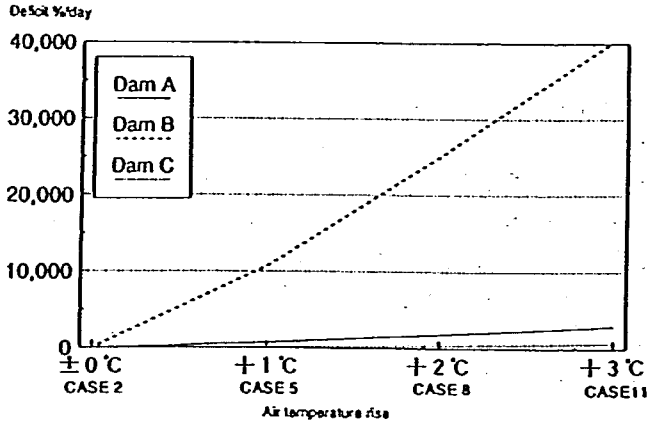


Fig. 3.5.4 Predicted total deficit for Cases 2, 5, 8 and 11

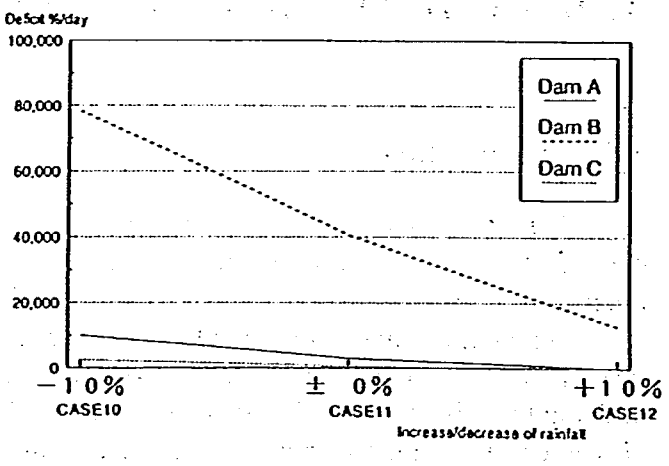


Fig. 3.5.5 Predicted total deficit for Cases 2, 5, 8 and 11

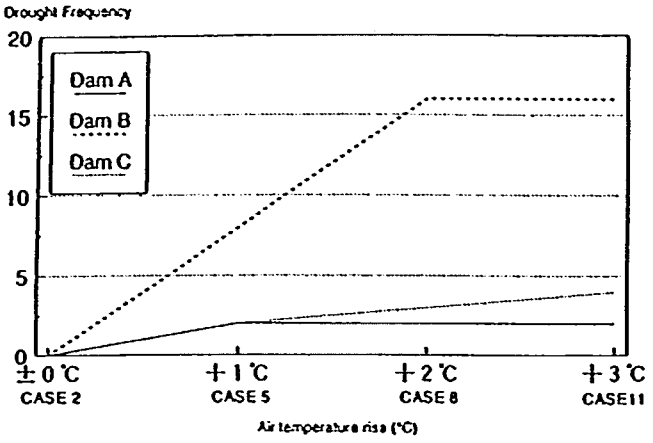


Fig. 3.5.6 Frequency of drought event for Cases 2, 5, 8 and 11

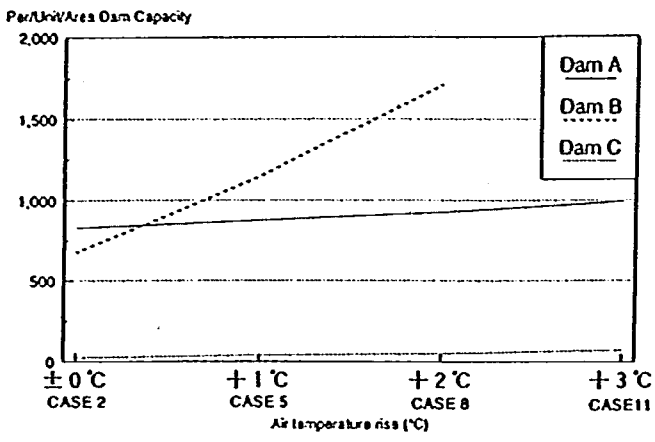


Fig. 3.5.7 Predicted dam necessary capacities for Cases 2, 5, 8 and 11

is large in the order of Dam B, with large evaporation, Dam A and Dam C. But, at Dam C with low evaporation, the rate of capacity increase required to ensure a water safety margin of 1/10 is very large. This is because at Dam C, for current condition, the necessary capacity to be for the assumed river usage rate of 40% is small. Hence, the capacity is relatively large if the effects of air temperature rise are considered. The capacity required to secure the same degree of safety ratio in the event of warming would thus be different from conditions present, depending on the present level of natural discharge and water resources development.

3.6 IMPACT ANALYSIS ON WATER RESOURCES SYSTEM DUE TO GLOBAL WARMING THROUGH CLASSIFIED INPUT PATTERNS AND MESH-TYPED RUNOFF MODEL

Toshiharu Kojiri

3.6.1 Introduction

Due to global warming, the atmospheric temperature will rise about 3°C until 2030 caused by CO_2 doubling (Jager and Ferguson, 1991). The rising effects of sea level have been analyzed by many researchers to estimate the capital investment for embankment structure against land sinking. On the other hand, few investigations for water resources have been made. There are two reasons; one reason is that the considered area is relatively small and another is that the input sequences of daily temperature and precipitation is confused. However, we want to know the expected impact of global warming on our river basins. This information is very useful not only to plan water resources systems but also to decide

CHAPTER 4

STRATEGIES OF WATER RESOURCES MANAGEMENT AGANINST GLOBAL WARMING

Kenji Jinno

4.1 INTRODUCTION

The global warming is considered to induce climatic change, serious effection water environment and consequently water resources. At present, however, accurate evaluation of seasonal and regional change has not yet been obtained, though the average temperature rise and pronounced precipitation fluctuation of scales of several hundred kilometers are predicted by global circulation models.

Several suggestions for strategies that should be taken at present are stated in this chapter. In section 4.2, a comparison of runoff rate under various scenarios like average temperature rise and change in precipitation are made. The effect on security for water resources is evaluated. In section 4.3, the change in water demand induced by temperature rise has been studied for several catchments with various hydrological properties in Japan under possible scenarios. In section 4.4, an expert system for reservoir operation, which predicts the inflow rate by use of pattern recognition and the water demand based on long term weather forecast, has been to control reservoirs optimally. Finally in section 4.5, a management model determining the rates of water take from multiple rivers and reservoirs has been investigated so that the total cost, which is a function of pumping from rivers and of consuming reservoir water, is minimized by use of linear programming. Section 4.6 concludes with the state of art for future studies.

4.2 EFFECTS OF GLOBAL WARMING ON WATER RESOURCES

Kaoru Niwa, and Masayuki Hirose

4.2.1 General

Many studies on effects of global warming on water resources assume certain scenarios about the rate of increase or decrease of precipitation and the magnitude of air temperature rise. These assumptions are now used to calculate the flows for comparison with current flow regimes. We adopted a similar approach and found that the effects of warming differ depending on rainfall characteristics. Since the rates of water resources utilization differ in Japan by region, the effects of global warming will differ depending on the degree of water resources utilization development in that region. We therefore, consolidated the present water resources in the basins of main Japanese river systems and the present water utilization, and analyzed effects in case of an air temperature rise. We also investigated the actual dams to determine the extent to which effects of warming can be reduced if the safety ratio is

enhanced by controlling water usage, assuming that droughts occur once every 10 years.

4.2.2 Effects of warming for different water resources usage by region

(a)Water resources at present

Both precipitation and water usage differ greatly for regions different. To accurately determine the effects of global warming on water resources, one must first understand the status of current water resources. Table 4.2.1 lists the basin average annual precipitation of the nation's main river systems, the average annual amounts of runoff from these basins, the average annual loss determined from the difference between the two, the annual ached intake volumes, and the water usage rates which represent the proportion of the annual actualintake intake volumes of annual runoff. Since development of water resources in Japan is designed to ensure water supply in the event of a 1/10 drought, Table 4.2.1 shows this drought precipitation in terms as runoff volume.

Table 4.2.1 Water resources volumes of different river basins

River System	Annual precipitation height (mm)	Annual runoff height (mm)	Annual loss height (mm)	Annual intake height (mm)	Water resources utilization rate (%)
Kitakami river	1607 (1420)	1296 (1030)	311 (390)	158	12 (15)
Tone river	1251 (894)	781 (501)	470 (392)	333	43 (66)
Kiso river	2551 (1955)	1935 (1306)	616 (649)	437	23 (33)
Yodo river	1820 (1442)	1303 (901)	517 (541)	659	51 (73)
Ola river	2087 (1621)	1654 (1078)	433 (543)	261	16 (24)
Yoshino river	2510 (1967)	2254 (1608)	257 (359)	477	21 (30)
Chikugo river	2200 (1332)	1670 (714)	530 (618)	384	23 (54)

Note: The figure in parentheses is the year of the worst drought in 10 years.

(b)Effects of 3℃ rise of air temperature

Correction factors to correct the annual evapotranspiration (= annual losses) calculated in 2.1 were determined for each basin by the annual possible evapotranspiration using Hamon's formula. Figure 4.2.1 shows the calculated results for a 1 to 3℃ rise of air temperature, using Hamon's expression, the correction factors, and determining the changes in the availability of water resources. Figure 4.2.2 shows the results obtained by determining the changes in water resource usage rates (for drought years) assuming that there is no change in water demand.

Table 4.2.2 shows the total water usage capacities of each river system and the drinking water and industrial water capacities of dams completed recently, dams under construction,

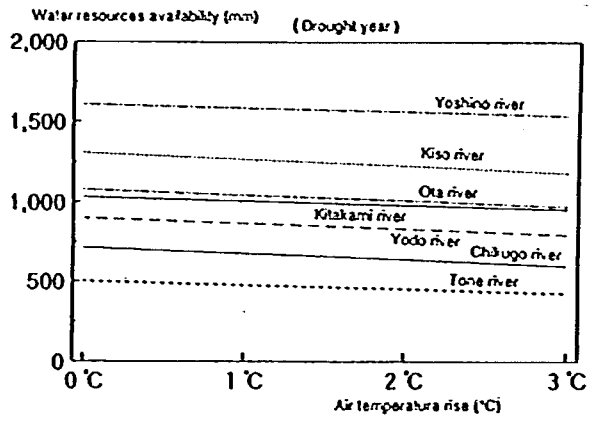


Fig. 4.2.1 Change of water resources volume with temperature rise

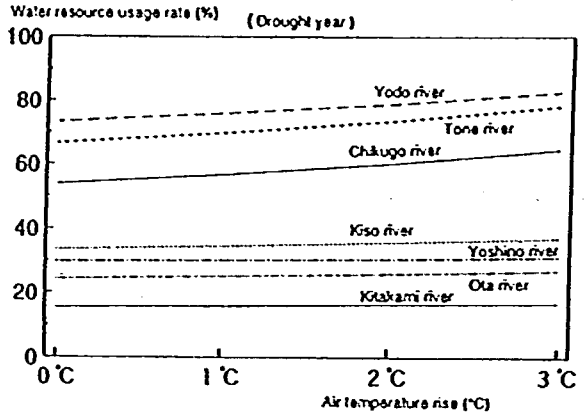


Fig. 4.2.2 Change of water usage rate with temperature rise

Table 4.2.2 Status of water resources development through dam reservoirs

River system	Total water usage capacities of already completed dams ($1000m^3$)	Dams completed recently, being constructed, or planned*			
		Service water/industrial water capacity ($1000m^3$)	Service water/industrial water capacity to be developed m^3/day (m^3/s)	Capacity required to develop 1 m^3/s of service water/industrial water ($1000m^3$)	Number of target dams
Kitakami river	267140	13527	146900 (1.7)	7956	5
Tone river	596606	173000	1461040 (16.9)	10231	4
Kiso river	287181	36400	446700 (5.2)	7040	2
Yodo river**	90492	50100	1106860 (12.8)	3911	6
Ota river	1564	23550	46400 (5.4)	4385	2
Yoshino river	211210	103900	2022620 (23.4)	4438	2
Chikugo river	70096	2430	72662 (0.8)	2889	2

* Consolidated for dams with capacities specifically for service water and industrial water from Ministry of Construction data
** For the Yodo river, the completed Lake Biwa General Development Project is not included.

or dams planned to be completed by the Ministry of Construction within 10 years for which new drinking water or industrial waterworks are being developed. Generally, the capacity necessary to develop 1 m^3/s of water (projected, 1 m^3/s development capacity) increases (thus reducing the efficiency of water resources development by dams) as the water resource usage rate increases.

Tables 4.2.1 and 4.2.2 show that the projected 1 m^3/s development capacity is not always large in river systems with high usage rates. This is thought to be due to the number of target dams in each river system or the runoff characteristics in each basin, and the fact that in some river systems, dams completed recently (or due to be completed soon) were actually planned many years ago. The projected 1 m^3/s development capacities in Table 4.2.2 collectively represent the difference of water resource usage rates and differences in flow regimes for different areas. This relation can be used to examine the change of capacities necessary to secure the same intake in the event that a flow regime is changed by warming. In Fig. 4.2.3, losses in water resources by air temperature rise are compensated for by newly developed water volumes via water resource usage rates. This figure indicates that large water

volumes have been developed in the Tone and Yodo river systems with large evapotranspiration.

Figure 4.2.4 (a) shows calculated increase in capacits in case of warming. From the results of Table 4.2.2, large increase incapacity is required in the Tone and Yodo rivers with large basin areas and high water usage. Figure 4.2.4 (b) shows the rates of increase in water usage capacities relative to present values. The increase rates are large in the Ota and Chikugo rivers as well as the Tone and Yodo rivers, where the effects are large on the required capacity (Fig. 4.2.4 (a).). The effects are large in the Ota and Chikugo rivers relative to current rates because present intakes are secured from relatively small water usage capacities. Figure 4.2.4 (a) thus, appears to be satisfactory for evaluating the capacity required to assure a safety ratio, but the impact on basins at present must be evaluated based on Fig. 4.2.4 (b), also.

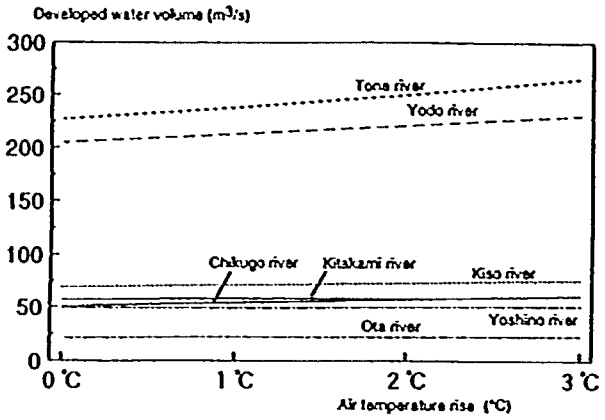


Fig. 4.2.3 Relation between newly developed water resources and temperature rise

4.2.3 Effects of warming with improved water usage safety margin

The Ministry of Construction is now developing better water resources facilities to give a water usage safety ratio of 1/10. Even so, it is still difficult to plan and take accurate countermeasures against the effects of global warming on water resources since there is no knowledge of the precise effects. We evaluated the effects of warming with improved water usage safety ratio by deficit %•day and drought frequency, using data during many years.

Dam A, which was the first model used, is in the north of Kyushu which received an annual average precipitation of 2,435 mm over the 30-year period from 1963 to 1992, and its average runoff in the same period was 2,069 mm. For this dam, we determined the discharge to be secured at the downstream control point so that the irrigation period: non-irrigation period ratio was 2:1, and so that the water resource usage rate was 40% of the average runoff.

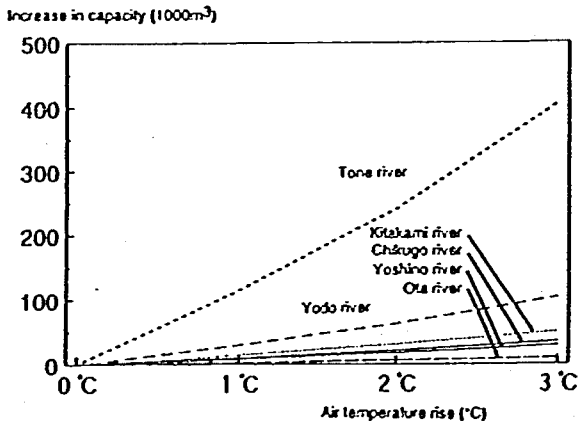


Fig. 4.2.4 (a) Increase in capacity with temperature rise (℃)

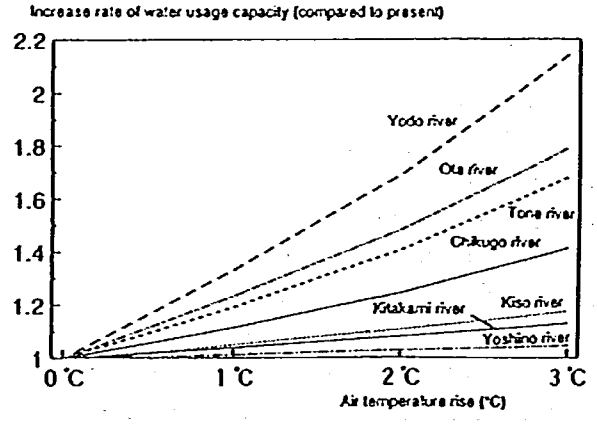


Fig. 4.2.4 (b) Increase rate in capacity with temperature rise (℃)

Table 4.2.3 Required storage capacity

Order	Required capacity (1000 m^3)	Year of drought
1	40584	1978 (Fukuoka drought)
2	24613	1968
3	20109	1970

Table 4.2.4 Cases

Precipitation (%) / Air temperature rise (°C)	−10	±0	+10
±0	CASE 1	CASE 2	CASE 3
+1	CASE 4	CASE 5	CASE 6
+2	CASE 7	CASE 8	CASE 9
+3	CASE 10	CASE 11	CASE 12

Under these conditions, we calculated the operation and flow regimes of the dam from 1963 to 1992. Table 4.2.3 shows the dam capacities required for control point supply of Dam A. The water usage safety ratio to be secured is 1/10 (= 3/30). From Table 4.2.3, 20,200 x 1000 m^3, the capacity required for the third place in 30 years, is used as the water usage capacity required to meet the 1/10 water usage safety margin to be secured.

We analyzed the dam capacity in this way, using the warming scenario shown in Table 4.2.4, and the results are shown in Fig. 4.2.5. We then evaluated for a similar scenario a water usage capacity of 40,600 x 1000 m3 by raising the water usage safety margin to about 1/30. The results of the calculation based on each warming scenario are shown in Fig. 4.2.6, similar to Fig. 4.2.5. Figure 4.2.7 shows the number of droughts that occurred during the 30 years. If the precipitation decreases 10% and the air temperature rises by 3oC (Case 12), then droughts occur twice in the target period of 30 years, and the deficit %•day is 13,857. If the air temperature rises by 3oC but the precipitation does not change (Case 11), then there is just one drought and the deficit %•day is only 3,825. Thus, if we evaluate drought frequency alone, droughts occur only twice in 30 years even under the severe conditions of a 3'C rise in air temperature and a 10% decrease in precipitation, thus satisfying the present water usage safety ratio. However, this deficit is much larger than 2000%•day, which is the largest drought usually considered to be allowable.

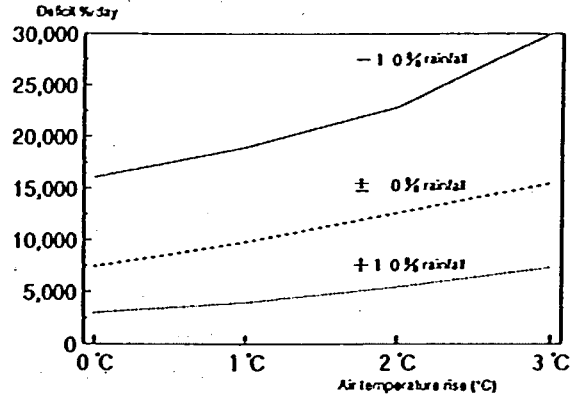


Fig. 4.2.5 Drought occurrence with temperature rise (probability = 1/10)

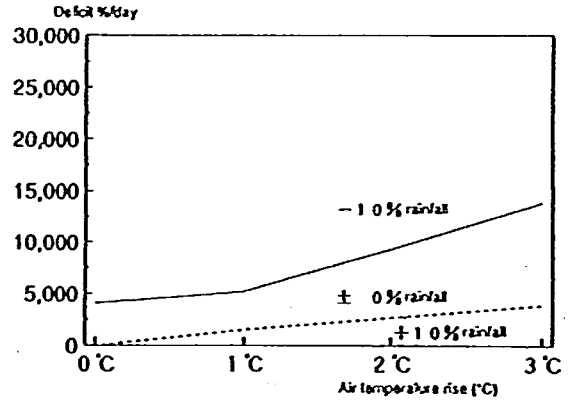


Fig. 4.2.6 Drought occurrence with temperature rise (probability = 1/30)

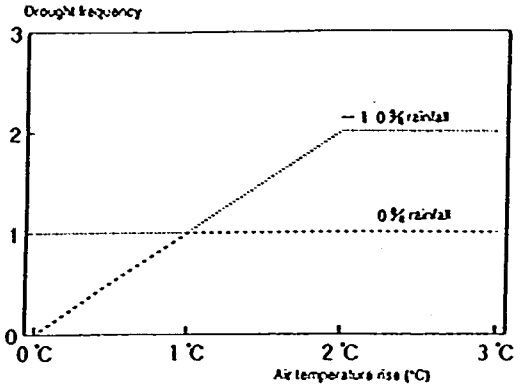


Fig. 4.2.7 Relation between temperature rise and drought frequency

4.2.4 Conclusions

We analyzed the water resources availability and usage rate of each main Japanese river system and evaluated the effects of global warming on water resources, using the new 1 m^3/s developed capacity.The $1m^3/s$ developed capacity is considered to effectively determine the present usage rates and characteristics of basin flow regimes, as the required capacity to secure the same safety ratio as at present. We found that for an air temperature rise of 3₀C, more than double the present capacities are required for some river systems. However, it is difficult to initiate measures to control global warming as part of the current water resources development plan. We, therefore, evaluated the effects of current drought measures on water usage safety ratio in the event of global warming. Although very simple scenarios were necessarily assumed, we found that for the case study basins used, the present water usage safety ratio of 1/10 for drought frequency can be secured if the safety ratio is raised to 1/30, even under the worst warming scenario.

4.3 IMPACT OF THE FLUCTUATION OF WATER DEMAND DUE TO GLOBAL WARMING ON WATER RESOURCES

Hirosi Sugiyama,Yosiyuki Yokoe, and Tosio Kurasige

4.3.1 Overview

Water resources system is consist in hydrologic systems, water utilization (water demand) systems and water supply systems, as illustrated in Fig. 4.3.1. There is a great variety of the impact of global warming on water resources system, as well as within each of the other systems. This study deals with impact analysis of th e global warming on water resources management under scenarios on the fluctuations of water demands due to global warming for different hydrologic conditions. The result of the study revealed that increase of water demand due to global warming cause reduction in the safety of water utilization. Impact on the safety in water use depends also on the way how water demand pattern varies.

湖沼の水質保全に関する研究
(発表論文)

流動制御による湖沼の水質保全技術に関する研究

【技術研究】

流動制御システムの原理と設備例

建設省土木研究所環境部環境計画研究室　丹羽　薫*
〃　久納　誠**

1. はじめに

ダム湖の富栄養化による問題を解決する対策は，流域対策を別にすると，①流入河川からダム湖へ供給される栄養物質を削除すること，②湖内の流動を制御して浮遊藻類が生息しにくい環境とすること，③湖内の浮遊藻類そのものを除去すること，④生態系を制御して浮遊藻類が異常増殖しにくい環境とすること，に大別できる。土木研究所環境計画研究室では②に関して『流動制御システム』を開発し，『ダム技術 No.75』を始め公表してきた。本報文では開発された本システムの原理と設備に要求される機能とそれを満足する設備例についての報告を行うものである。

2. 流動制御システムの原理

流動制御システムは，平常時においてダム湖の表層に温水でしかも表層付近の水温分布が均一である循環混合層を，水深概ね 15～20 m まで厚く形成させ，中小洪水時にもこの層を温存させることにより，表層に生息する藍藻類や鞭毛藻類への栄養塩類と光を抑制することになり，それによって藍藻類等の異常増殖を抑制するシステムである。図-1 に流動制御システムの模式図を示す。

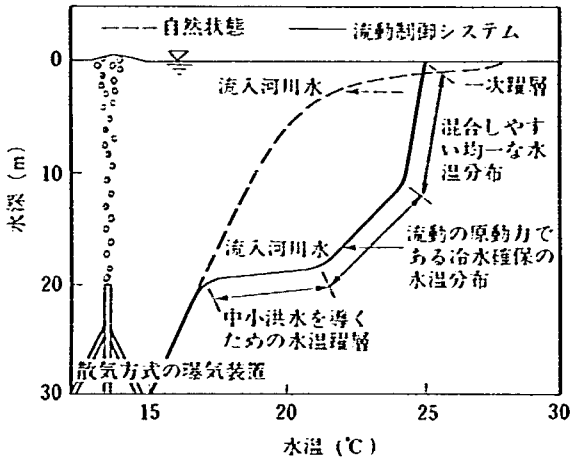


図-2　水温鉛直分布の模式図

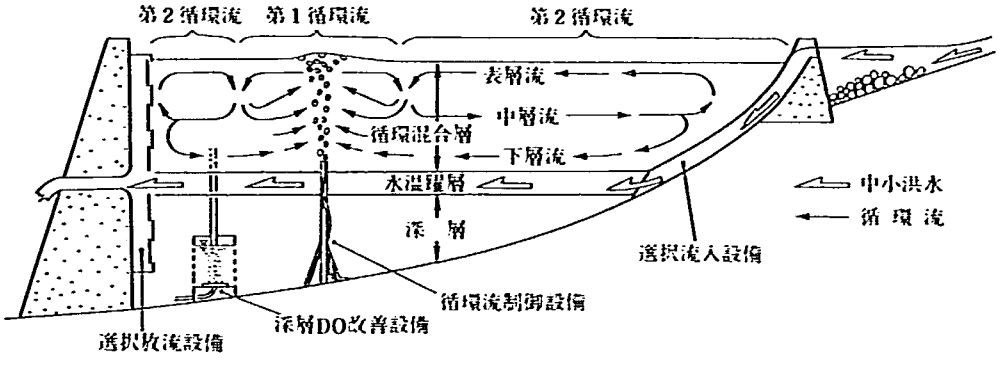


図-1　流動制御システムの模式図

*室長
**主任研究員

一般に自然状態における夏季の水温分布は，図−2に示すように水面で最も高く，水深が深くなるにつれて低くなるいわゆる水温成層が形成される。水温成層が形成されると，表層の水は一次躍層を越えて上下に移動し難い安定した水塊となる。このような表層では光が良く得られ，また栄養塩類を多く含む流入河川水が一般に水面下数メートルの水深に侵入して来て栄養塩類の供給も受けられるため，藍藻類や鞭毛藻類が異常増殖するのに適した環境となる。

散気方式の曝気を行うと，循環混合層の中では図−1に示すように第2循環流の表層水が曝気に向かって引き寄せられ，何日か後（例えば8日後）には光が届かない中層へ循環させられる。よって表層で増殖しかけた浮遊藻類は暫くの間（例えば8日間の2倍程度）光が届かない暗い中層に追いやられ，光合成に必要な光が制限されることになる。さらに表層水が曝気に引き寄せられている間においても，循環混合層の表層では水温鉛直分布がほぼ均一であるため，気温の急低下に伴う表層水温の低下等により，表層の数メートルでは上下の混合がしばしば生じ易い状態にあり浮遊藻類は安定した増殖ができない。

散気方式の曝気により循環混合層が形成されるが，平常時の流入河川水は図−2に示すように常に水温躍層に導かれるとは限らず，循環混合層の下層に侵入する場合が多い。一方，循環混合層の下層で生息する緑藻類や珪藻類はガス泡を持たないために藍藻類と異なり深層へ向かって沈降しやすい。流動制御システムにおいては，循環混合層の下層に侵入して来た平常時の流入河川水は，循環混合層の下層を下流方向へ1 km程度も進行する間に流入河川水に含まれていた栄養塩類がこれらの緑藻類や珪藻類に吸収され，それらはやがて深層へ沈降するため，栄養塩類の底泥への固定が期待できる。結果的に表層で生息する藍藻類に供給される栄養塩類を減少させることになり，藍藻類の異常増殖を抑制できる。

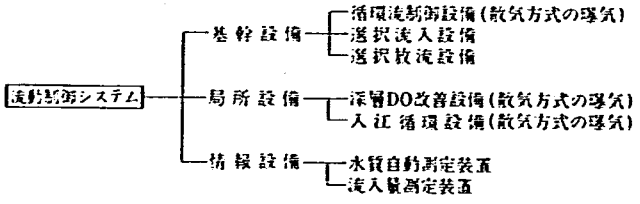
さらに循環混合層が図−2に示すように温水でしかもその厚さが15〜20 mあれば，栄養塩類を多く含んでいる中小洪水時の流入水は平常時の流入河川水より低温であるため水温躍層へ導かれる。よって，藍藻類が生息している表層への栄養塩類の混入を減少させることになり，藍藻類の異常増殖防止に役立つ。

濁水長期化対策としては，中小洪水時の高濁水を水温躍層に導くことにより，表層の清澄水を温存することが可能である。散気方式で循環混合層を厚くすることは，濁水長期化対策にもなる。

以上のような流動制御機能を満足する循環混合層における水温鉛直分布の理想的な形状を図−2に示す。水深約10 m以浅は温水でしかも均一な水温鉛直分布を持ち，上下の混合が生じやすい層とする。水深約10 mから約20 mの層の水温は約10 m以浅より常時低く保つ必要がある。その理由は，第2循環流を定常的に循環させるには，第2循環流の表層と下層との水温差が常時必要なためである。水深20 m付近の水温躍層は中小洪水を選択放流設備へ導くためのものである。

3. 流動制御システムにおける各設備の構成

散気方式の循環流制御設備をダム湖に設置しさえすれば，それだけで十分な効果が上がるとは限らない。流動制御システムは，図−3に示すように循環流制御設備，選択流入設備，選択放流設備を基幹設備とし，深層DO改善設備，入江循環設備を局所設備とする。本システムは各設備を必要に応じて組合せて設置し，水質自動測定装置と流入量測定装置とからなる情報設備を接続して有機的にかつ遠隔無人に操作される必要がある。図−4に基幹設備と情報設備との組み合わせ例を示す。なお水質自動測定装置は表−1に示すような水質項目に対する自動測定機能が必要であり，それらの開発は十分に期待できる。



図−3 流動制御システム全体構成図

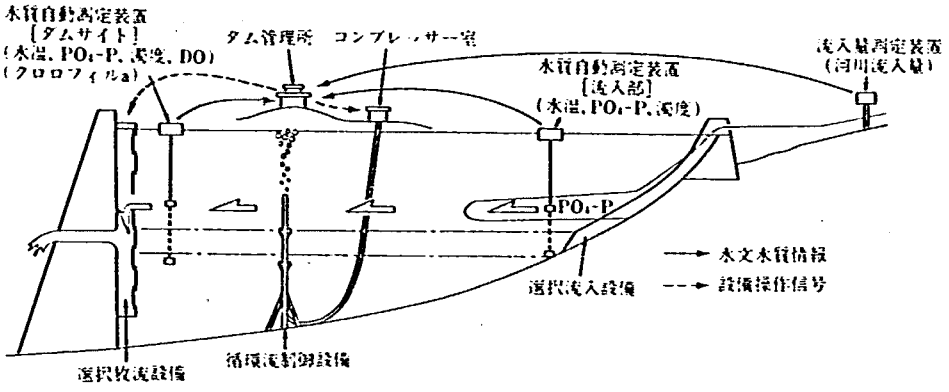


図-4　基幹設備と情報設備との組合わせ例

表-1　水質自動測定装置の必要精度

PO_4-P(μg/l)	5 ← → 20 ← → 50 ← → 200
精度の目標	細かい精度 (精度は±2.5μg/l)　中位の精度　粗い精度

クロロフィルa(μg/l)	0 ← → 50 ← → 100 ← → 300
精度の目標	細かい精度 (精度は±1μg/l)　中位の精度　粗い精度

表-2　流動制御システムの効果および対応する設備

	湖水に与える作用	藻類増殖に及ぼす効果	対応する設備
1	表層付近の水温が均一であり厚さ15～20 mの循環混合層を形成し，密度流で循環	循環混合層による光制限および表層における藍藻類の優占阻止	循環流制御設備
2	栄養塩類(PO_4-Pなど)を含んだ平常時の流入水を循環混合層の下層に導く	緑藻類や珪藻類がPO_4-Pを吸収した後，沈降して底泥に固定	循環流制御設備 選択流入設備
3	栄養塩類(PO_4-Pなど)を含んだ中小洪水を水温躍層に導き，速やかにダム湖から放流	表層にいる藍藻類への栄養塩類の供給を制限	循環流制御設備 選択流入設備 選択放流設備
4	深層における溶存酸素(DO)を回復させ，密度流で移送	底泥から栄養塩類が溶出してくるのを防止	深層DO改善設備
5	入江水域の水を主水域の水と入れ替える	湖水が滞留しやすい入江水域で生じやすい藍藻類の異常増殖を抑制	入江循環設備

本システムの効果とそれに対応する設備を表-2に示す。

4.　循環流制御設備の設備規模

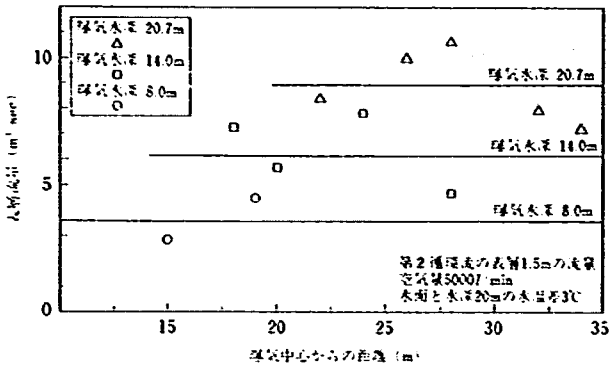
循環流制御設備の設備規模についての当面の目安としては，湛水面積1 km²に対し，水深15 mにて単一孔から曝気をする場合，3700 l/minの空気量つまり22 kW 1基のコンプレッサーが必要である。この値は常時稼動させるのに必要な能力であり，一般に水面と水深15mとの水温差が小さくなると流動能力が小さくなるため，湛水面積1 km² 当たり22 kW 1基のコンプレッサーの他にもう1基分程度の余裕が必要であり，つまり常用装置の他に常用装置と同程度の予備装置を必要とする。予備装置の大きさはダム湖の条件によりやや異なる。

水質保全に有効に働く循環混合層は，『層内の循環周期』と『水温分布形状の形成速度』との双方の条件を満足する必要がある。循環流制御設備の設備規模の算定は，耶馬渓ダムにて散気方式の単一孔からの曝気を行った現地実験によった。

（1）　循環混合層内の循環周期による算定

平成5年に耶馬渓ダムにおいて，コンプレッサーからの空気量を5000 l/minに固定し，曝気水深を3段階に変化させる現地実験を行った。図-5に実験結果を示すが，第2循環流の表層流の流動能力は，20 m程度の水深の範囲では曝気水深に比例することがわかった。これによると，空気量5000 l/minで曝気水深15 mの場合の第2循環流の表層流の流動能力は6.5 m³/sであることがわかった。

ここで『循環混合層内の循環流』を，『第2循環流における循環混合層の表層3 mの厚さの水を，8日間で第1循環流に引き寄せ，その水を第2循環流における循環混合層の中層に押し込み，8日間の2倍程度の期間は暗い層に閉じ込めるよ



図−5　第２循環流の表層流の流動能力と曝気水深の関係

うな循環』と仮定すると，湛水面積 1 km²の場合，必要な第２循環流の表層流の流動能力は，次式の計算により 4.3 m³/s である。

$$\frac{1000000\,\mathrm{m^2}\times 3\,\mathrm{m}}{86400\,\mathrm{sec/day}\times 8\,\mathrm{day}} = 4.3\,\mathrm{m^3/s}$$

よって湛水面積 1 km² に必要なコンプレッサーは空気量 3300 *l*/min つまり 22 kW 1 基が必要である。

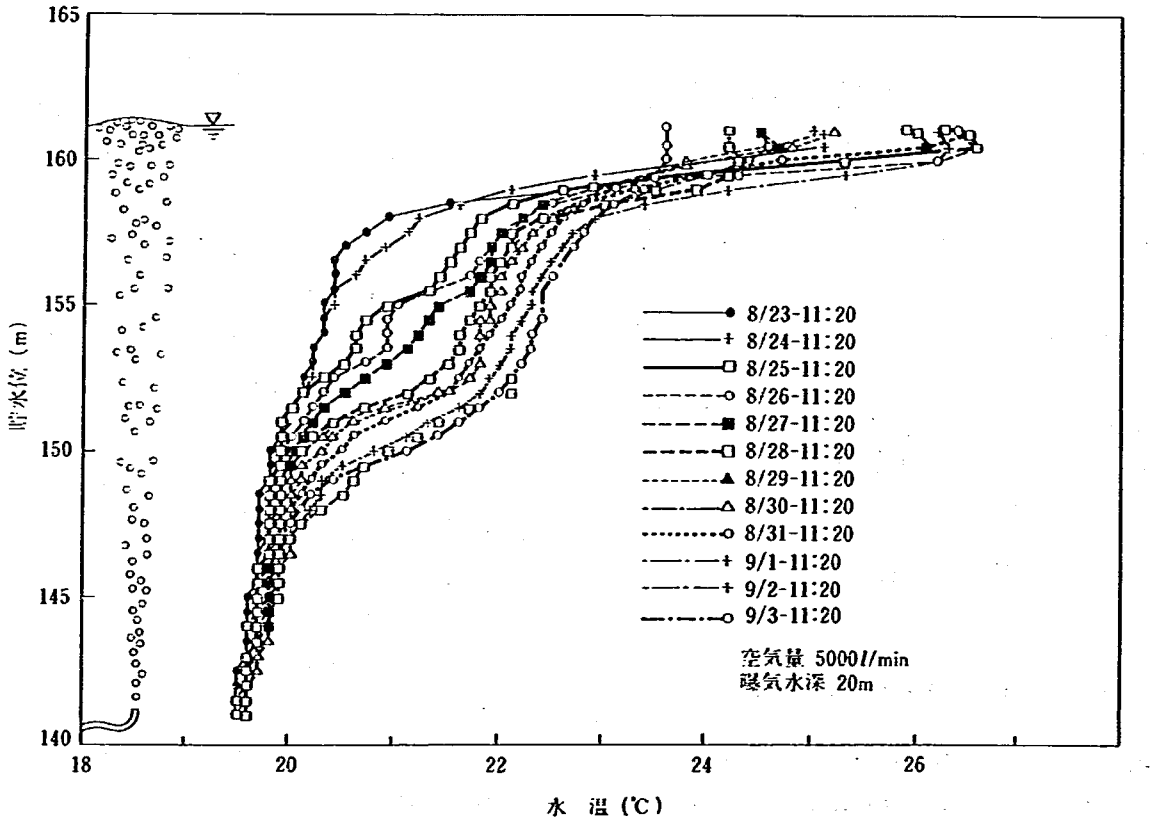
$$5000\,l/\mathrm{min}\times\frac{4.3\,\mathrm{m^3/s}}{6.5\,\mathrm{m^3/s}} = 3300\,l/\mathrm{min}$$

（２）　循環混合層の水温分布形状の形成速度による算定

平成５年に湛水面積約 1 km² の耶馬渓ダムで洪水と洪水の間の11日間に，曝気水深 20 m，単一孔からの空気量 5000 *l*/min で曝気を行ったところ，循環混合層の水温鉛直分布形状の約半分が再形成できることがわかった。実験結果を図−6に示すが，11 日間の２倍程度の期間があれば，循環混合層の水温鉛直分布形状の全体が再形成できたものと考えられる。

ここで『循環混合層の水温鉛直分布形状の形成』を，『洪水等により水温鉛直分布が低温で均一になった後に，１ヶ月間で循環混合層を再形成できるような能力』と仮定すると，湛水面積 1 km² の場合，洪水後に１ヶ月間で厚さ 15 m の或いは 20 m の循環混合層を再形成するのに必要なコンプレッサーは空気量 3700 *l*/min つまり22 kW 1 基である。

$$5000\,l/\mathrm{min}\times\frac{11\,\mathrm{day}\times 2}{30\,\mathrm{day}} = 3700\,l/\mathrm{min}$$



図−6　洪水後における水温鉛直分布の経時変化

5. 洪水後あるいは梅雨明けの循環流制御設備の運用

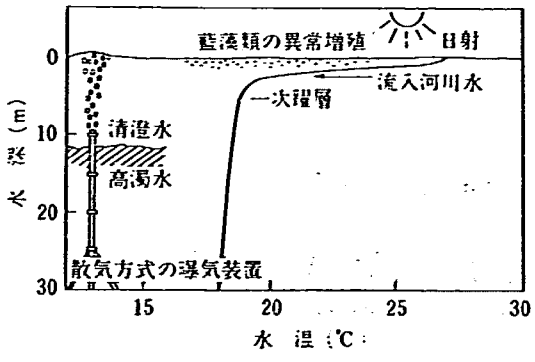
散気方式の曝気を行うことによってダム湖の水温鉛直分布を制御する際に重要なのは，洪水等により湖水の水温が全層的に低下した直後に急減に発生する一次躍層の制御である。中規模を越える洪水が来るとそれまで形成された循環混合層がすべて押し流され，ダム湖の水温は表層から深層まで均一な低い水温分布となる。中規模を越える洪水は同時に高い濁質をもたらすために曝気が暫く再開できないうえに，台風一過等の晴天が続けば表層水温は上昇し，数日のうちに 5～10 ℃差の一次躍層が形成される。洪水直後に発生する一次躍層の模式図を図−7 に示す。この時流入河川水は一次躍層を滑るように侵入して来る。よって一次躍層をそのまま放置しておけば藍藻類が大増殖できる環境となる。図−7 に示すような水温鉛直分布は，日照が少なく雨量が多い梅雨が一気に明けた時期にもしばしば見られる。

このような水温鉛直分布の際に発生した一次躍層を早期に解消するには，次のような方法が必要である。

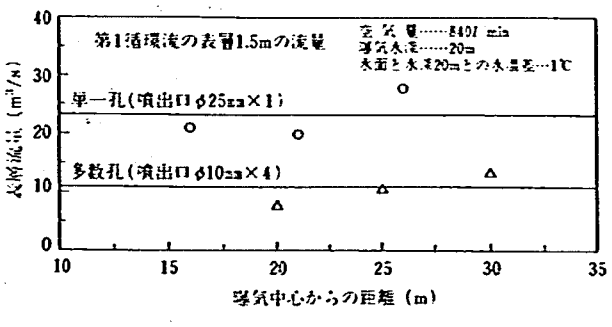
（1） 洪水によりもたらされた濁質は日に日に沈降してゆくが，ダムサイトに設けた水質自動測定装置を用いて濁質を巻き上げない曝気可能水深を判断し，濁質の沈降に合わせて無人遠隔操作により水深 10 m，15 m，20 m，25 m と深めてゆき第 2 循環流の流動能力を高める。現地実験によって得られた曝気水深と第 2 循環流の流動能力の関係を図−5 に示すが，概ね比例の関係にある。ただし，図−4 に示すように小洪水による流入量が少なく PO_4−P を多く含む水塊が不意に侵入して来た場合は，曝気により PO_4−P 水塊を巻き上げる可能性がある。よってこの場合も流入部に設置した水質自動測定装置により PO_4−P 水塊の侵入水深を感知し，即座に無人遠隔操作により曝気水深を変更する。

（2） 洪水直後の一次躍層を解消する場合，筆者らの現地実験によれば散気方式の曝気は多数孔（例えばφ10 mm × 4 孔）より単一孔（例えばφ25 mm × 1 孔）の方が流動能力が高いと考えられる。第 2 循環流の流動能力は引き寄せられる下層流の水温鉛直分布が均一である場合は，第 1 循環流の流動能力に支配されるが，中規模を越える洪水直後等における一次躍層以深の水温鉛直分布はほぼ均一になっている。現地実験データの蓄積が必要であるが，図−8 に示すように単一孔（φ25 mm × 1 孔）は多数孔（φ10 mm × 4 孔）より第 1 循環流の流動能力が高い。よって洪水直後等の一次躍層を解消するには単一孔が妥当であると考えられる。

（3） 常時稼動させておく常用の曝気装置の基数と概ね同数の予備装置を備えておく。一次躍層が生じた時には予備装置を稼動させる。



図−7 洪水直後等に生じる一次躍層の模式図



図−8 単一孔および多数孔における第 1 循環流表層流の流動能力の比較

（4） 第1循環流が設備の一部であるフロート等に極力阻害されぬように努め，水面にフロートを設けないか，やむを得ずフロートを設ける場合でも極力流動エネルギーを損耗しなような流線型に近い形状が望ましい。

以上のように一次躍層を解消するのに満足するような機能を持つ循環流制御設備は，曝気水深が5 mおきに切換え可能な多段式の設備が有効であると考えられ，またこの設備は水質自動測定装置や流入量測定装置と連動させて無人遠隔操作とすることが可能である。なお無人遠隔操作をどの

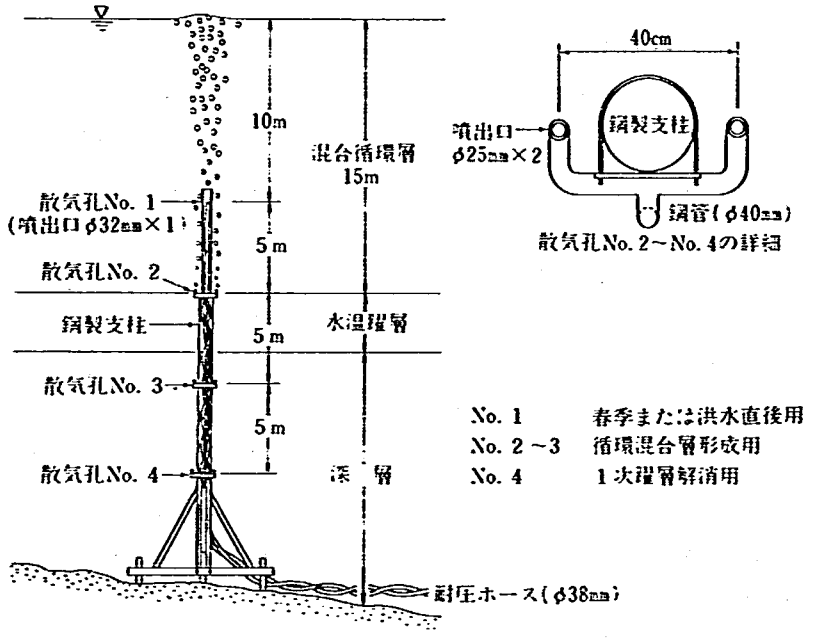


図-9 多段式の循環流制御設備（湖底設置型）

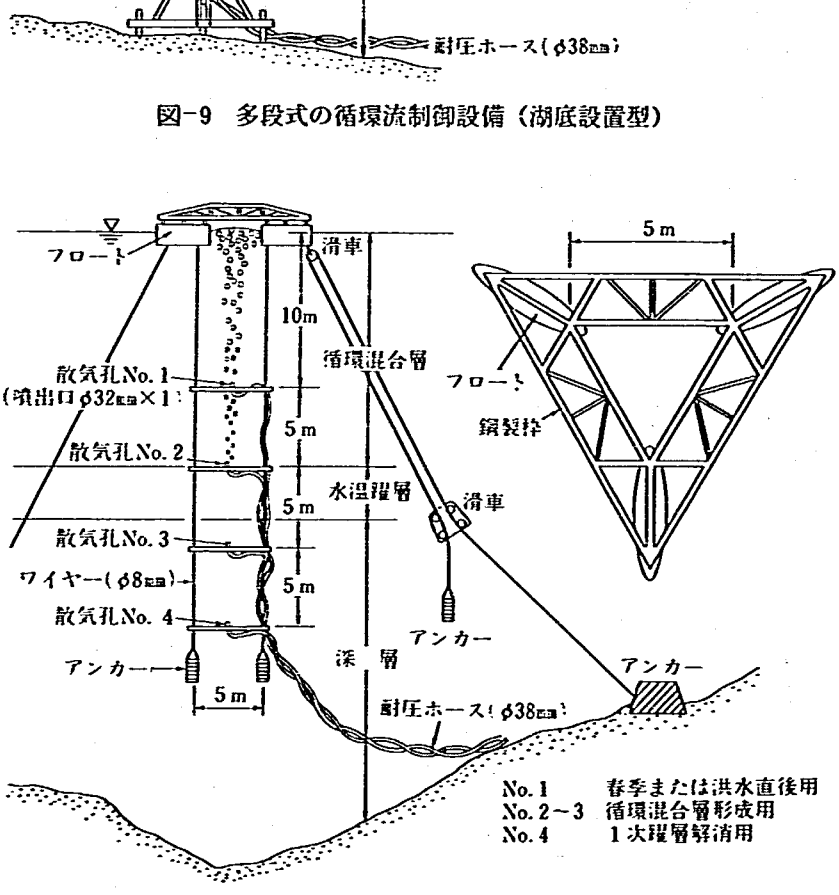


図-10 多段式の循環流制御設備（水面設置型）

表-3　循環流制御設備の両タイプによる特徴

判定項目	湖底設置型	水面設置型
第1循環流の乱れ	○乱れない	△概ね乱れにくい
水温躍層の標高管理	○躍層標高を一定に保てる	△水位変動が大きいと躍層標高を一定に保ちにくい
水面利用や流木に対する支障	○支障なし	△鋼製枠フロートが支障となる
夏期における水位変動の影響	△水位変動が著しいダム湖には適さない	○常に水位変動するダム湖にも適する
装置の湖内移設	△移設不可能	○移設可能
ダム建設段階での設置	○洪水前に容易に設置でき，洪水途中から使用可能	△かなり水位が上がらないと設置できない
ダム湖洪水後段階での設置	△水深30 mに平地があれば設置可能	○湖底形状によらず設置可能

段階まで可能とすべきかは，当該ダム湖における本設備に期待される水質保全効果およびダム管理所の操作人員を考慮して決めるべきである。

図-9および図-10に示すように，水深10 m，15 m，20 m，25 mというように多段状になった散気孔と各々の散気孔に接続した数本の耐圧ホースを有する装置であれば，ダム管理所での容易で確実な遠隔操作が可能となる。この多段式の曝気装置を水質自動測定装置や流入量測定装置に連動させると，洪水時に侵入して来た高負荷の栄養塩類や高濁水を曝気によって循環混合層全体に撹拌してしまわないように，ある河川流入量あるいはPO_4-P濃度になれば曝気装置を自動的に停止する。洪水後になってダムサイトの水質自動測定装置によりある曝気標高以浅が許容されるPO_4-P濃度または濁度以下であると判定すれば，その標高より曝気を自動的に再開する。

6．循環流制御設備の配置

循環流制御設備の設置位置は一般的に堤体前の湖面に複数基集中して配置するのが良い。

平常時の流入河川水は循環混合層の下層に侵入して来る。前述の2.に示したが，流入河川水に含まれる栄養塩類は下層を進行する間に緑藻類や珪藻類に吸収され，水塊が下流方向へ進行すればするほど栄養塩類濃度は低下し，さらにそれらの緑藻類や珪藻類は深層へ向かって沈降してゆくと考えられる。循環流制御設備の配置は，吸収されずに漂っている栄養塩類を曝気により表層に巻き上げないように，流入部より極力離れた方が望ましい。

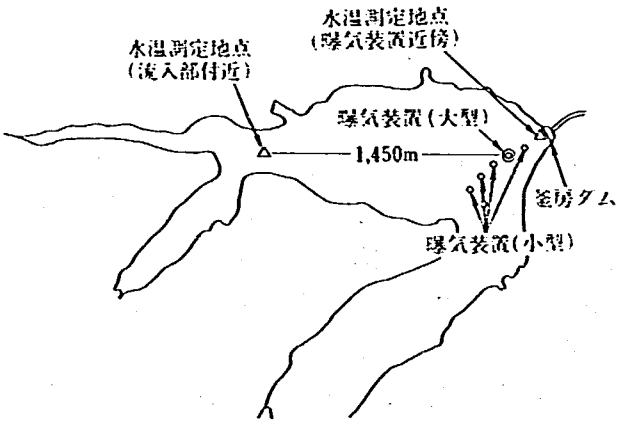


図-11　釜房ダムにおける水温鉛直分布の測定位置図

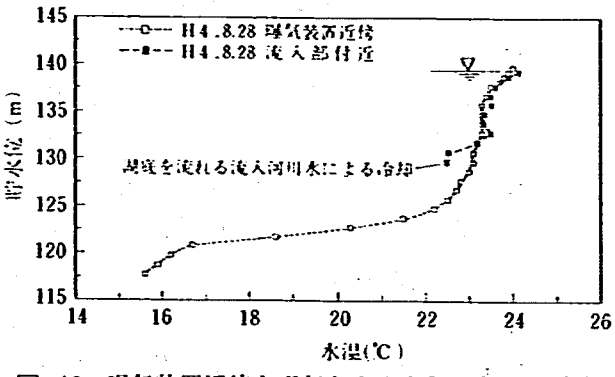


図-12　曝気装置近傍と曝気から1,450 m離れた地点との水温鉛直分布

また平成4年に，釜房ダムで現地実験を行った結果，図-11および図-12に示すように単一孔の散気方式の曝気を行うと，水温鉛直分布は曝気から1,450 m離れた地点（流入部付近）でも曝気装置の近傍と同様に伝わることがわかった。

さらにダムサイトにあるダム管理所から曝気状況が監視できた方が管理上望ましい。さらに1ヶ所に集中している方がコンプレッサー室の設置や電源の手配が容易となる。ただし，複数の曝気があまり近いと，互いに第1循環流が干渉するので曝気中心間で100 m離すのが良い。また曝気中心とダム堤体との間隔も同様な理由で100 m離すのがよい。なお100 mというのは第1循環流の半径が最大でも40 m程度であることによる。

7. ま と め

ダム湖において流動制御システムを導入し，より効果的な運用を行うには，次のような機能を有する設備とすることが必要である。なお流動制御システムのより詳細な流動メカニズムの把握や設備構造については，今後とも現地実験等を通じて一層の充実を図っていく予定である。

（1） 流動制御システムは，河川流入量およびダム湖水質に関する情報が得られる自動測定装置に連動して有機的に操作しなければならず，管理上からは無人遠隔操作が望まれる。

（2） 循環混合層は循環周期と形成速度との双方の条件を満足する必要がある。現地実験をもとに循環流制御設備の設備規模の目安を算定すると，単一孔の散気方式の場合，1 km^2 当たり空気量 3700 l/min，つまり概ね 22 kW 1 基のコンプレッサーが必要である。さらに概ね同数の予備装置を備えておくのが望ましい。

（3） 洪水後あるいは梅雨明けに急激に発生する一次躍層を解消するには，水質に応じて無人遠隔操作により曝気水深を即座に変更できる機能が必要であり，また筆者らのこれまでの現地実験によれば単一孔からの曝気が妥当であると考えられる。

（4） 循環流制御設備の配置は，河川流入部より極力離した方が望ましく，堤体前の湖面に複数基集中して配置するのがよい。

参 考 文 献

1) 丹羽 薫・久納 誠・大西 実・山下芳浩：貯水池流動制御による水質保全対策，土木学会水理委員会水工学論文集，第37巻，1993

2) 丹羽 薫・久納 誠・久保徳彦・山下芳浩：流動制御によるダム湖の水質保全技術の開発，土木技術資料，第35巻第11号，1993

3) 浅枝 隆・池田裕一・福田正晴・高見英明：ヴタンカ；貯水池内温度躍層制御における散気管の効率的運用方法，土木学会水理委員会水工学論文集，第38巻，1994

4) 丹羽 薫・久納 誠・久保徳彦・古里栄一：ヒートポンプと流動制御を用いたダム湖水質保全システム，土木学会水理委員会水工学論文集，第38巻，1994

ダム湖入江水域における曝気による強制循環

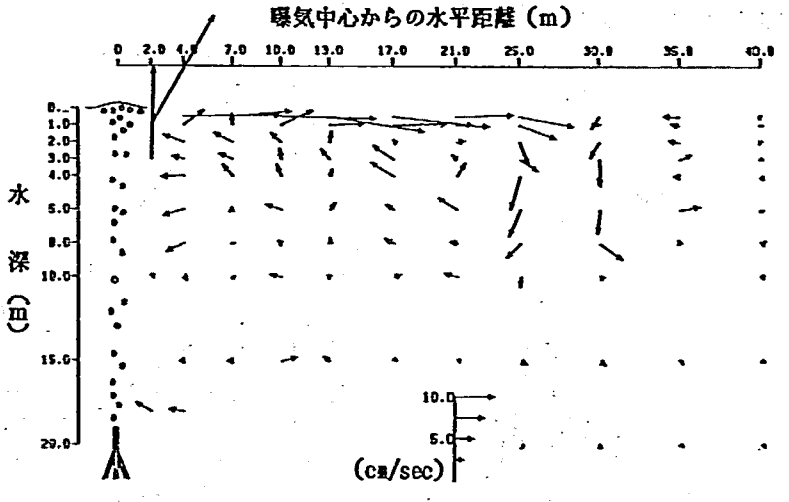
建設省土木研究所　正員　久保徳彦
建設省土木研究所　正員　丹羽 薫
建設省土木研究所　正員　久納 誠
(株)建設技術研究所　正員　森本浩之

１．はじめに

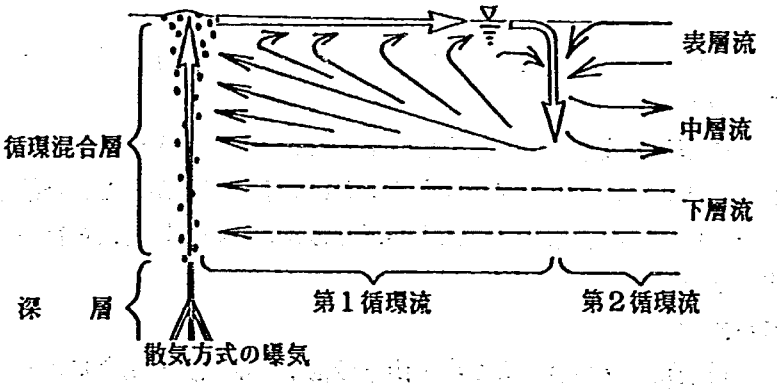
ダム湖の流動を制御して藍藻類の異常増殖を抑制する流動制御システムは、富栄養化対策として有効な手法だが、入江水域（水深10m以下を対象）は、主水域に比べて滞留しやすく入江水域に流入する河川から栄養塩類が常時供給される場合は、ダム湖の中で最も浮遊藻類の異常増殖を引き起こしやすい水域となる。そこで本報文では、曝気によって発生する密度流を利用して効率的に循環させて主水域の水塊と入江水塊を入れ替える、入江循環設備について報告する。

２．散気方式の流動による湖水の挙動

実際のダムにおいて散気方式の曝気装置周辺の流動を２次元及び３次元の電磁流速計により測定した。測定結果を図－１に示す。散気方式の曝気装置周辺の湖水の挙動は、図－２に示すような二つの循環流となっている[1]。第１循環流は、曝気による気泡の上昇に伴い気泡周辺の水が連行される。次に気泡により持ち上げられた水が水平方向に流れを変え表面流が生じる。曝気中心から概ね30m離れると水平の流れが急に鉛直下向きの流れに変わり、ある水深まで降下すると流れは気泡や表面流の方向に向かう。この第１循環流の外側にはその鉛直下向きの流れに連行されて第２循環流が生じている。この動きを模式的に示すと図－２となり、散気方式の曝気により第１循環流が生じ、その流れにより第２循環流の表層から日射ｴﾈﾙｷﾞｰにより暖められた温水を、第２循環流の下層から冷水を引き寄せ、両者を混合して中間水温とし、第２循環流の中層流として押し出す働きをする。押し出された中層流は密度流となって、表層の温水と下層の冷水との間を楔のように割り続けるようにして進む。この様にして曝気により流動が起こる。



図－１　散気方式の曝気による流動測定結果

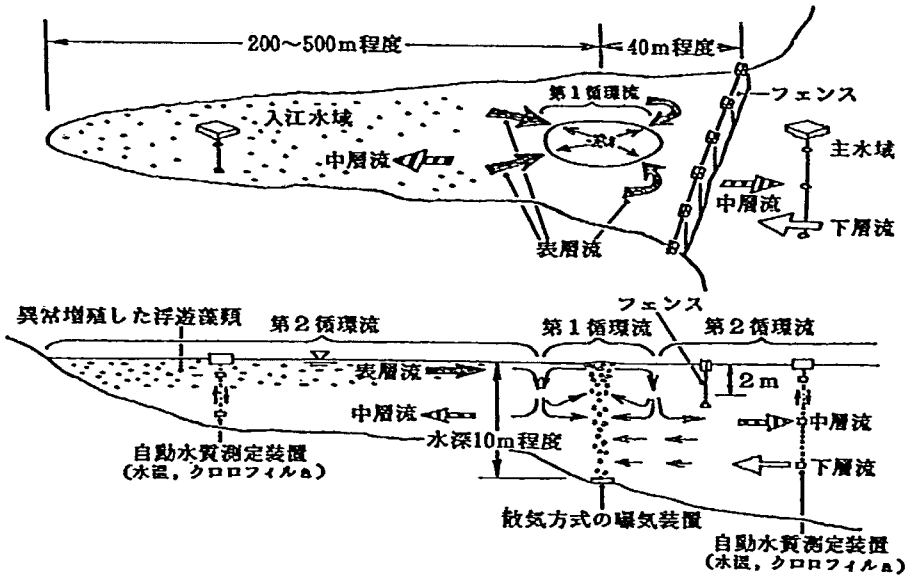


図－２　散気方式の曝気により生じる流動模式図

３．入江循環設備について

前述の散気方式による流動のメカニズムを利用し滞留しやすい入江水塊を主水域の水塊と入れ替え、入江の水質保全を行うのが、入江循環設備である。入江循環設備を図－３に示す。本設備は、水温差により生じる密度流により

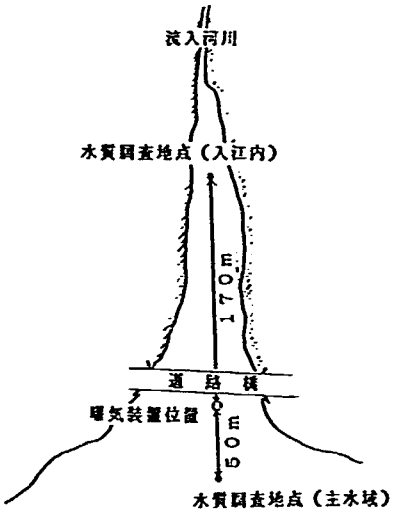
水塊の入れ替えを行うため入江水位域内の水温差が影響してくるので、曝気時間は、例えば１週間に６時間を１度のみと限定するなど、鉛直方向の水温差を温存する必要がある。なお、設備の運用は無人操作とし入江水域及び主水域に水質自動測定装置を設け曝気装置と連動させて行う。



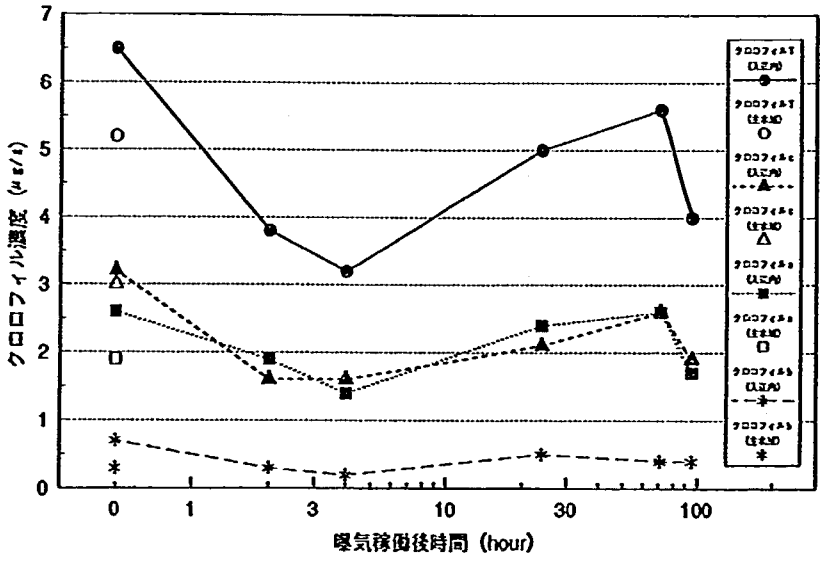
図－３　入江循環設備の設備例

４．入江循環設備の現地実験及び結果について

Ａダムにおいて、奥行き300m、入江口100m、面積1.5haの入江を使い現地実験を行った。入江口にて水深８mで、空気量500ℓ/minの散気方式の単一孔の曝気を４日間行い、入江内の水質の変化を観測し、測定地点を図－４にその結果を図－５に示す。水質調査地点は入江内、主水域とも水深0.5mとした。なお、図－３に示すフェンスは実験では使用しなかった。



図－４　現地実験平面図



図－５　入江部における水質経時変化

５．おわりに

浮遊藻類が異常増殖しやすい環境であるダム湖の入江水域の水塊を入江循環設備により主水域の水塊と入れ替えることにより入江の水質保全を行える事がわかった。今後さらに入江形状の違い、フェンスの使用、空気の噴出方法、水質自動測定装置との連動等の現地実験を行い、より効率的な運用手法を構築していく予定である。

参考文献

１）丹羽薫・久納誠・大西実・山下芳浩；貯水池流動制御による水質保全対策、土木学会水理委員会水工学論文集、第37巻、1993

◆ ダム特集 II ◆

ダム湖における流動制御による水質管理

丹羽 薫* 久納 誠** 森本浩之*** 高橋健夫**** 古永 充*****

1. はじめに

ダム湖の水質管理としては、富栄養化対策、濁水長期化対策、冷水対策、及び微量物質対策等を考慮する必要がある。現在日本のダム湖で最も問題になっているのは富栄養化対策であり、環境計画研究室では複数からなる効果的な対策技術を開発しており、例えば土木技術資料第 36 巻第 6 号 (1994) に公表してきた。今回はそれらの対策技術の中から代表的な富栄養化対策である流動制御システムによるダム湖の水質管理についての方法を述べる。流動制御システムの流動メカニズムについては土木技術資料第 35 巻第 11 号 (1993) において説明したので、本報では本システムの設備構造及び管理運用手法を中心に述べる。

2. 流動制御システムによる水質制御の原理

流動制御システムは、平常時においてダム湖の表層に温水でしかも表層付近の水温分布が均一である循環混合層を、水深概ね 15~20m まで厚く形成させ、中小洪水時にもこの層を温存させることにより、表層に生息する藍藻類や鞭毛藻類への栄養塩類と光を抑制することになり、それによって藍藻類等の異常増殖を抑制するシステムである。図-1 に流動制御システムの模式図を示す。

一般に自然状態における夏季の水温分布は、図-2 に示すように水面で最も高く、水深が深くなるにつれて低くなるいわゆる水温成層が形成され、表層には一次躍層が生じる。栄養塩類を多く含む流入河川水は、一般にこの一次躍層付近の光が届く比較的浅い層に浸入してくるため、ダム湖の表層は光合成に必要な光と栄養塩類が満たされ、藍藻類や鞭毛藻類が異常増殖するのに適した環境となる。

循環混合層を形成するには散気方式の曝気が適しており[2]、循環混合層の中では図-1 に示すように第 2 循環流の表層水が曝気に向かって引き寄せられ、何日か後 (例えば 8 日後) には光が届かない中層部へ循環させられる。よって表層部で増殖しかけた浮遊藻類は暫くの間 (例えば 8 日間の 2 倍程度) 光が届かない暗い中層部に追いやられ、光合成に必要な光が制限されることになる。さらに表層水が曝気に引き寄せられている間においても、循環混合層の表層部では水温鉛直分布がほぼ均一であるため、気温の急低下に伴う表層水温の低下等により、表層部の数メートルでは上下の混合がしばしば生じ易い状態にあり浮遊藻類は安定した増殖ができない。

散気方式の曝気により循環混合層が形成されるが、平常時の流入河川水は図-2 に示すように常に水温躍層に導かれるとは限らず、循環混合層の下層部に浸入する場合が多い。一方、循環混合層の下層部で生息する緑藻類や珪藻類はガス泡を持たないために藍藻類と異なり深層へ向かって沈降しやすい。流動制御システムにおいては、循環混合層の下層部に浸入して来た平常時の流入河川水

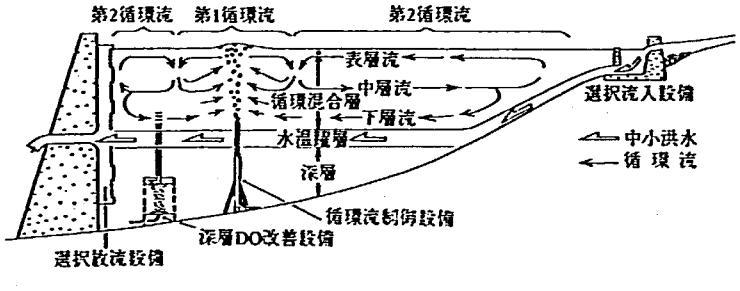


図-1 流動制御システムの模式図

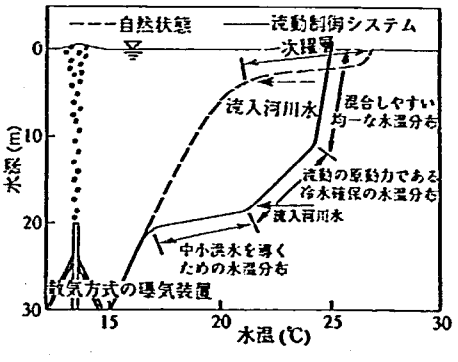


図-2 水温鉛直分布の模式図

Resevoir Water Quality Management by CurrentControl

は、循環混合層の下層部において下流方向へ1km程度も進行する間に流入河川水に含まれていた無機態の栄養塩類がこれらの緑藻類や珪藻類に吸収され、それらはやがて深層へ沈降するため、栄養塩類の底泥への固定が期待できる。結果的に表層で生息する藍藻類に供給される栄養塩類を減少させることになり、藍藻類の異常増殖を抑制できる。

さらに循環混合層が図-2に示すように温水でしかもその厚さが15~20mあれば、栄養塩類を多く含んでいる中小洪水時の流入水は平常時の流入河川水よりさらに低温であるため水温躍層へ導かれる。よって、藍藻類が生息している表層への栄養塩類の混入を減少させることになり、藍藻類の異常増殖防止に役立つ。

以上のような流動制御機能を満足する循環混合層における水温鉛直分布の理想的な形状を図-2に示す。水深約10m以浅は温水でしかも均一な水温鉛直分布を持ち、上下の混合が生じやすい層とする。水深約10mから約20mの層の水温は約10m以浅より常時低く保つ必要がある。その理由は、第2循環流を定常的に循環させるには、第2循環流の表層水と下層水との水温差が常時必要なためである。水深20m付近の水温躍層は中小洪水を選択放流設備へ導くためのものである。

3. 流動制御システムの設備構成

流動制御システムは表-1に示すように必要に応じた複数の流動作用を生じさせ、ダム湖内と流入河川水の水質に適応した操作を行う必要がある。例えば、散気方式の循環流制御設備をダム湖に設置しさえすれば、それだけで十分な効果が上がるとは限らない。流動制御システムは、図-3に示すように循環流制御設備、選択流入設備、選択放流設備を基幹設備とし、深層DO改善設備、入江循環設備を局所設備とする。本システムは各設備を必要に応じて組合せて設置し、水質自動測定装置と流入量測定装置とからなる情報設備を接続して水文水質情報に基づく有機的にかつ迅速に操作される必要があり、これには遠隔無人操作が望ましい。

4. 基幹設備の構造と運用手法

4.1 循環流制御設備

循環流制御設備は、散気方式の曝気を行い、ダム湖の表層に温水でしかも表層付近の水温分布が均一の循環混合層を、水深概ね15~20mまで厚く形成させる設備である。

循環流制御設備を稼働させる期間は一般に4月上旬から9月下旬である。曝気水深は湖水水温が流入河川水温より高くなるような水深とする必要があるが、4月上旬から5月前半までは日射量が少ないために10m程度、5月後半から9月下旬までは日射量が多くなるために15~20m程度とするのが良い。

散気方式の曝気で注意しなければならないのは、洪水時に高負荷の栄養塩類や高濁水が循環混合層に浸入して来た場合に、曝気によって循環混合層全体に撹拌してしまわないことである。洪水時にはある河川流入量になれば曝気を自動的に停止する。洪水後になってダムサイトの水質自動測定装置により、ある曝気標高以浅が許容されるPO_4-P濃度または濁度以下であると判定すれば、その標高より曝

表-1 流動制御システムの効果及び対応する設備

効果	湖水に与える流動作用	藻類増殖抑制に及ぼす効果	対応する設備
1	表層付近の水温が均一であり厚さ15~20mの循環混合層を形成し、密度流で循環	循環混合層による光制限及び表層における藍藻類の優占阻止	循環流制御設備
2	栄養塩類(PO_4-P等)を含んだ平常時の流入水を循環混合層の下層に導く	緑藻類や珪藻類がPO_4-Pを吸収した後、沈降して底泥に固定	循環流制御設備 選択流入設備
3	栄養塩類(PO_4-P等)を含んだ中小洪水を水温躍層に導き、遠やかにダム湖から放流	表層にいる藍藻類への栄養塩類の供給を制限	循環流制御設備 選択流入設備 選択放流設備
4	深層における溶存酸素(DO)を回復させ、密度流で移送	底泥から栄養塩類が溶出してくるのを防止	深層DO改善設備
5	入江水域の水を主水域の水と入れ替える	湖水が滞留しやすい入江水域で生じ易い藍藻類の異常増殖を抑制	入江循環設備

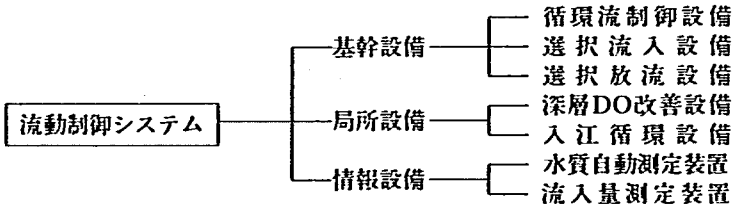


図-3 流動制御システムの全体構成図

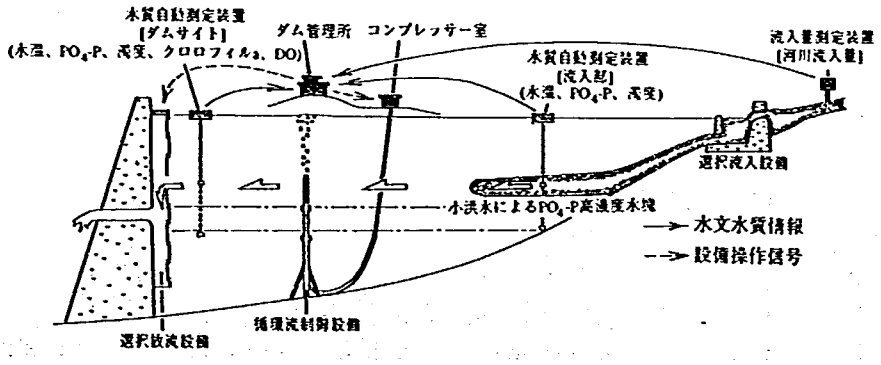


図-4　基幹設備と情報設備との組み合わせ例

表-2　水質自動測定装置の必要精度

PO_4-P($\mu g/\ell$)	5 ←→ 20 ←→ 50 ←→ 200
精度の目標	細かい精度　中位の精度　粗い精度 (精度は±2.5$\mu g/\ell$)

クロロフィル a($\mu g/\ell$)	1 ←→ 50 ←→ 100 ←→ 300
精度の目標	細かい精度　中位の精度　粗い精度 (精度は±1$\mu g/\ell$)

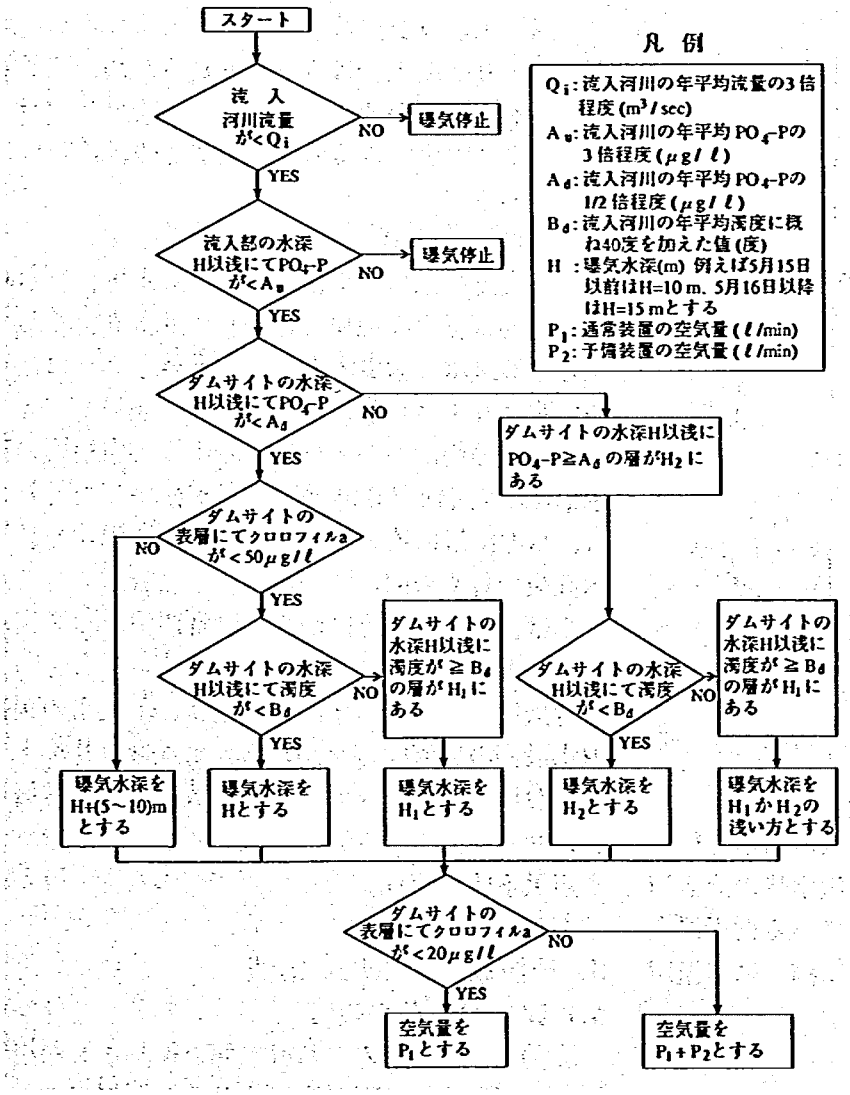


図-5　循環流制御設備の操作判定フロー

気を自動的に再開し、水面付近に一次躍層が形成されないように努める。

図-4に基幹設備と情報設備との組み合わせ例を示す。なお水質自動測定装置は表-2に示すような水質項目に対する自動測定機能が必要であり、それらの開発は十分に期待できる。図-4に示すような流動制御を行う場合、循環流制御設備は情報設備による情報により図-5に示すような操作判定フローに従い遠隔無人操作を行う。

図-5に示すような操作を満足して行えるような機能を持つ循環流制御設備は、曝気水深が5mおきに切り換え可能な多段式の設備が有効であると考えられ、またこの設備は水質自動測定装置や流入量測定装置と連動させて無人遠隔操作とすることが可能である。図-6に示すように、水深10m、15m、20m、25mというように多段状になった散気孔と各々の散気孔に接続した数本の耐圧ホースを有する装置であれば、ダム管理所での容易で確実な遠隔操作が可能となる。

循環流制御設備の設備規模についての当面の目安としては、湛水面積1km^2に対し、水深15mにて単一孔から曝気をする場合、常時稼働させるのに必要な空気量は3,700ℓ/min、つまり22kW1基のコンプレッサーが必要である[4]。また循環流制御設備の設置位置は一般的にダム湖下流部に複数基配置するのが良い[4]。

4.2 選択流入設備

選択流入設備は、概ね5月から11月までの期間におい

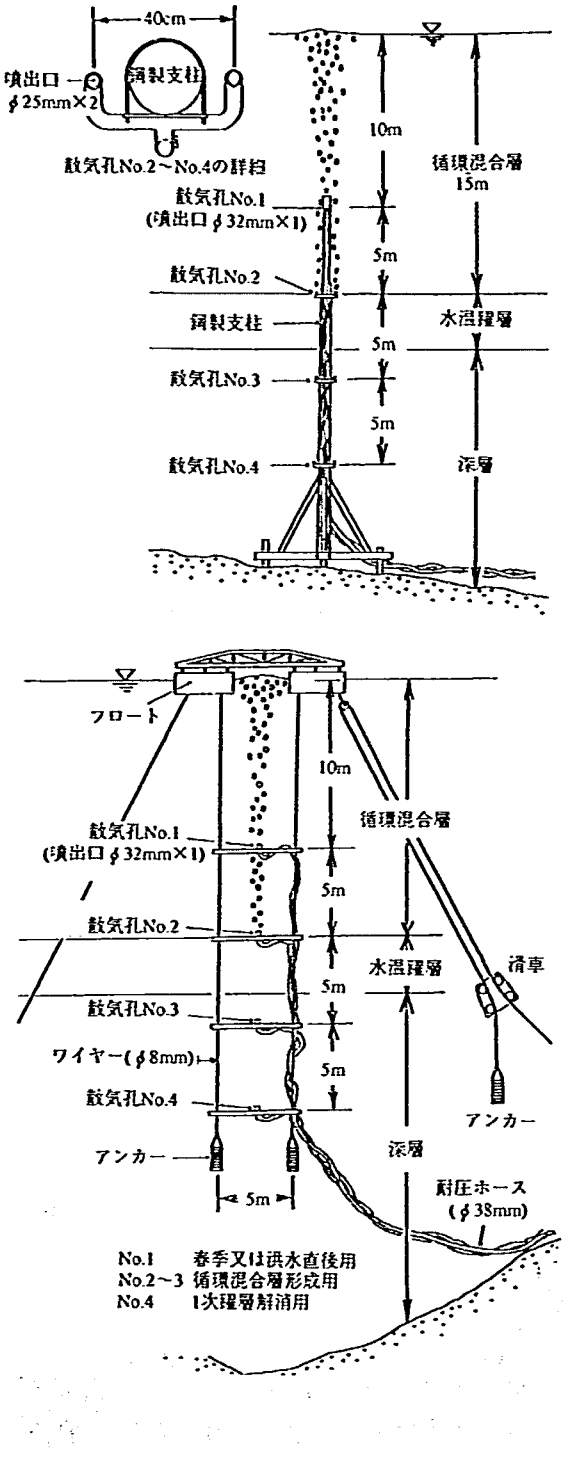


図-6 循環流制御設備の設備例

てダム湖上流端にて、平常時の流入河川水を循環混合層の下層部へ導き、また中小洪水時の流入河川水を、温水でしかも清澄を保っている循環混合層と極力混合させることなく、ほぼ確実に水温躍層へ導くことができる設備である。

最近ダム湖上流端に堆砂除去、水質保全及び親水活動を目的として副ダムが造られつつあるが、選択流入設備はこの副ダムの下流側の減勢工部分に工夫を加えたものである。一般に流入河川水の水温は、概ね5月から11月までの期間において、ダム湖の表層の水温に比べて 5°C 程度低い。水温の低い流入河川水を水温の高いダム湖の表層に流入させる場合、二つの水塊の混合作用の大きさはそれらの間の接触面積と接触流速との関係によって決まる。選択流入設備の設備例を図-7に示すが、本設備は接触面積を大きくして接触流速を可能な限り小さくするタイプである。この設備例の場合、平常時及び中小洪水時の流入河川水は、副ダムのオリフィスより減勢池に流入し、減勢池で十分に落差による流動エネルギーを減勢させ、さらに冷水であるため、隔壁下部のオリフィスを通過した後は、温水である循環混合層の底部を静かに進む密度流となる。やがて循環混合層の下層部や水温躍層へ導かれる。副ダムのオリフィスが満水となるような大規模な洪水は、選択流入の対象とせず副ダムを越流させる。洪水時の流入河川水には掃流土砂及び浮遊土砂が多く含まれるが、副ダムにより掃流土砂はカットされるため、減勢池には浮遊土砂しか通過しない。浮遊土砂はフラッシュにより除去できるので、減勢池の維持管理は容易である。

4.3 選択放流設備

選択放流設備は、平常時には清澄水を、洪水時には高濁水を水温躍層付近から、洪水後暫くしてからは清澄水を循環混合層からというように任意の標高より大量に放流できる設備である。

貯水量の何割かが入れ替わるような中規模の洪水 (例えば回転率 0.25 回程度) が発生したとしても、水温躍層に流入して来た大量の高濁水を、洪水直後の暫くの間にこの設備により放流できてしまえば、循環混合層にかなりの量の清澄水を温存することが可能となる。

選択放流設備の具体的な構造は、①従来の選択取水設備の放流能力を高める、②コンクリートダムにおいてコンジットゲートの敷高を水温躍層に合わせる、③フィルダムにおいて水温躍層の水が常用洪水吐に流れるように隔壁でつなぐ、等が挙げられる。

5. 局所設備の原理と構造

5.1 深層 DO 改善設備

流動制御システムの基幹設備を稼動させた場合、循環流制御設備の曝気水深より深い深層に対しては、流動がほとんど生じないため深層の溶存酸素

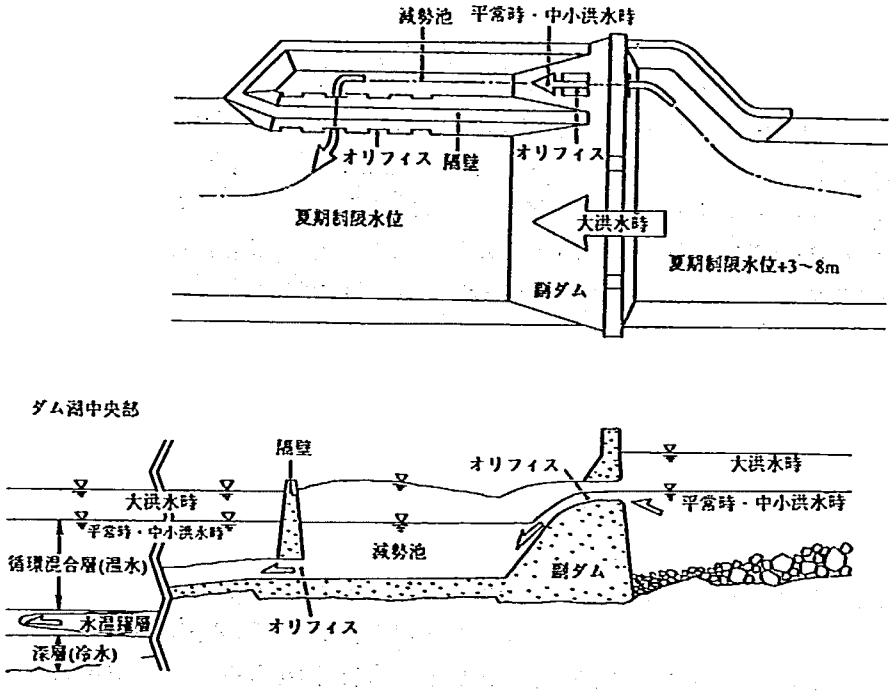


図-7　選択流入設備の設備例

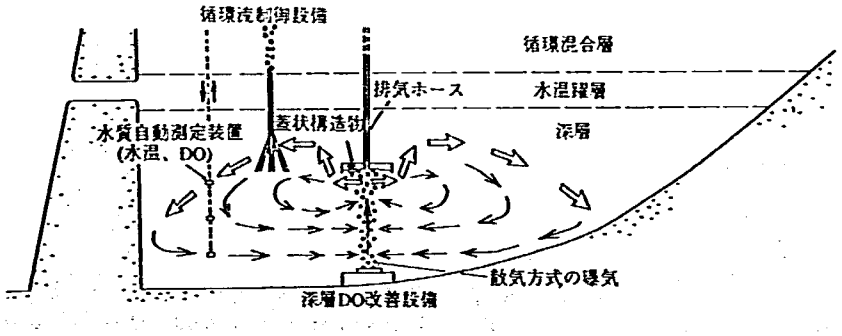


図-8　深層 DO 改善設備の原理

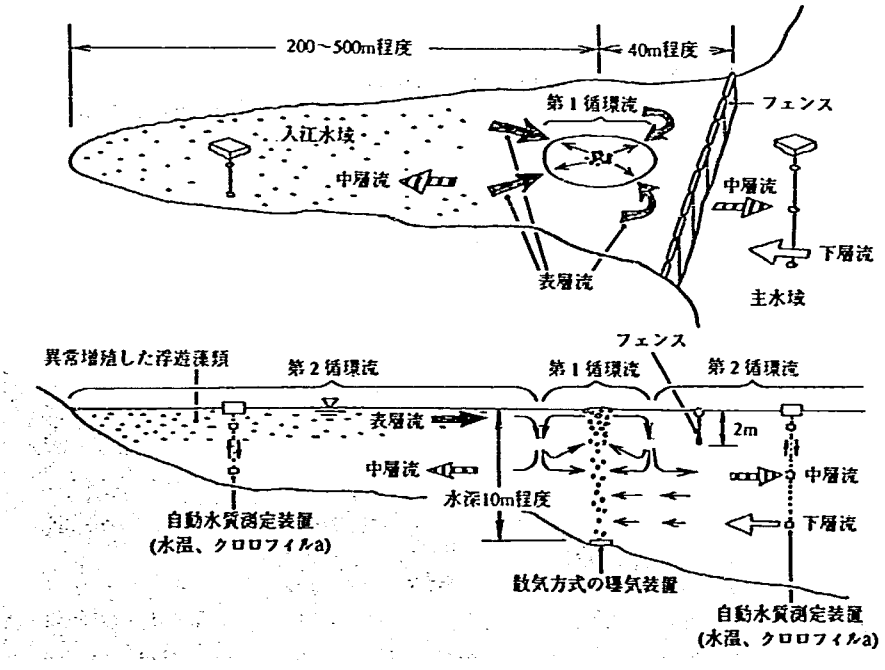


図-9　入江循環設備の原理

濃度が低下する恐れがある。ダム湖深層における溶存酸素濃度が低下すると、底泥から栄養塩類や H_2S、Fe、Mn が溶出し、PO_4-P を表層に供給したり、洪水後の深層放流の際に異臭を放ったり、上水の異臭や着色の障害が生じたりする。深層 DO 改善設備は、深層内での曝気により深層水に酸素を供給することにより、底泥からの栄養塩類や H_2S、Fe、Mn の溶出を抑制する設備である。

深層 DO 改善設備の原理を説明する。まず湖底に設けた散気方式の曝気装置から多量の気泡を深層水中に噴出させることにより、深層水に対して溶存酸素を供給する。噴出した気泡は上昇してゆくが、曝気装置より 4~6m 程度上位に設置された蓋状構造物により気泡が集められ、蓋上部の排気ホースを通ってダム湖水面付近に放出される。このとき蓋状構造物内に形成された水面では、上昇流が水面に到達した時点で湖水と空気の界面は激しく変動するので、深層水はこの界面において更に曝気される。

一方、図-8 に示すように気泡を連行して生じた上昇流は、蓋状構造物内の水面で大方の気泡を失うことにより上向きの流れから水平方向の流れに変わる。蓋状構造物より上昇すればするほど水温が高く密度が小さいため、蓋状構造物より数メートル浅い水層までしか上昇できない。このために蓋状構造物近傍の水深の範囲内で循環流が生じ、水温と微細気泡との関係により生じ

る密度流が発生して深層の遠方水域まで溶存酸素を回復させた水塊を移送させることができる。

5.2 入江循環設備

入江水域はダム湖の中でも親水活動の拠点となりやすく、水面の景観が問題とされることが多い。しかし、入江水域 (ここでは水深 10m 以下を対象とする) は、流動制御システムの基幹設備を稼動させても主水域に比べれば滞留しやすい。さらに、入江水域に流入する河川からの栄養塩類の供給が多い場合は、入江水域はダム湖の中で最も浮遊藻類の異常増殖を引き起こしやすい水域となる可能性が高い。浮遊藻類が異常増殖した入江水塊を、曝気によって発生する密度流を利用して効率的に流動させて主水域の水塊と入れ替えることにより、入江水域における浮遊藻類の異常増殖を抑制する。

図-9 に示すように、入江の入口で散気方式の単一孔の曝気を行い、さらに入江の入口に水面から水深 2m までフェンスを設ける。すると、入江水域の表層流と主水域の下層流が引き寄せられて混合し、混合した水が入江水域の中層流及び主水域に中層流として送り込まれることにより、結果的に入江水域の水塊と主水域の水塊とが入れ替わる。入江循環設備については、実ダムにおける現地実験によりその有用性が確認された[5]。

6. まとめ

流動制御システムは一部のダムにおいて恒久施設として建設中であるとともに、詳細な現地実験を行っている段階である。

ダム湖において流動制御システムを導入し、より効果的な水質管理を行うには、次のような機能を有する設備とすることが必要である。

(1) 流動制御システムは、河川流入量及びダム湖水質に関する情報が得られる自動測定装置に連動して有機的に操作しなければならず、管理上からは無人遠隔操作が望まれる。

(2) 散気方式の曝気を行い、ダム湖の表層に温水でしかも表層付近の水温分布が均一の循環混合層を、水深概ね 15~20m まで厚く形成させる循環流制御設備は、水質に応じて無人遠隔操作により曝気水深を即座に変更できる機能が必要である。

(3) 平常時及び中小洪水時の流入河川水を、循環混合層と極力混合させることなく、ほぼ確実に水温躍層へ導くには選択流入設備が望ましい。

(4) 底泥からの栄養塩類の溶出を防ぐには、気泡噴出と水面混合による両者の溶存酸素の回復効果を持ち、さらに深層内で密度流を発生させることが可能な深層 DO 改善設備が望ましい。

(5) 入江水域における浮遊藻類の異常増殖を防止するには、入江口で散気方式の曝気を行い、密度流を発生させて、入江水域の水塊と主水域の水塊を入れ替える入江循環設備が有効であることが現地実験により確認された。

参考文献

1) 丹羽薫、久納誠：ダム湖や自然湖沼等の富栄養化対策, 土木技術資料, 第 36 巻第 6 号,1994.
2) 丹羽薫、久納誠、久保徳彦、山下芳浩：流動制御によるダム湖の水質保全技術の開発, 土木技術資料, 第 35 巻第 11 号,1993.
3) 丹羽薫、久納誠、久保徳彦、古里栄一：ヒートポンプと流動制御を用いたダム湖水質保全システム, 土木学会水理委員会水工学論文集, 第 38 巻,1994.
4) 丹羽薫、久納誠：流動制御システムの原理と設備例, ダム技術,No.91,1994.
5) 久保徳彦、丹羽薫、久納誠、森本浩之：ダム湖入江水域における曝気による強制循環, 土木学会年次学術講演会概要集, 第 49 回 II-A,1994.

丹羽 薫*

建設省土木研究所環境部
環境計画研究室長
Kaoru NIWA

久納 誠**

同 環境計画研究室
主任研究員
Makoto KUNOU

森本浩之***

同 環境計画研究室
部外研究員
Hiroyuki MORIMOTO

高橋健夫****

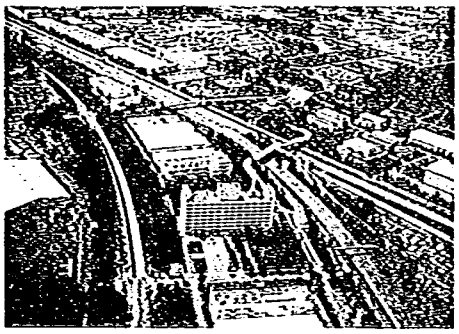
同 環境計画研究室
部外研究員
Takeo TAKAHASHI

古永 充*****

同 環境計画研究室
部外研究員
Mitsuru FURUE

生態系を活用した水質浄化技術に関する研究

建設省土木研究所



土木研究所の歴史は大正10年に内務省土木局に設置された道路材料試験所に始まる。同11年には土木試験所となり、同15年には水理試験所として赤羽分室を設置。戦後の昭和23年1月に総理府建設院第一技術研究所と改称し、同年7月には建設省土木研究所と改称した。昭和24年に運輸省建設工事本部技術員養成所（沼津）を合併。昭和54年に筑波へ統合移転した。現在、筑波の本所の他に、地すべり・雪害を研究する新潟試験所がある。

［茨城県つくば市大字旭1番地 TEL 0298-64-2211］

環境に配慮した河川やダムを作る

土木研究所では、広く建設事業に係わる基礎的研究から応用研究・技術開発を行っている。ところで、今日の日本では、これまでのような効率重視の建設ではなく、生活者の視点からの施策の展開が求められている。同時に生活環境から地球的環境に至るまでの環境問題への取組みも欠かせない。そこで、今回の訪問では環境問題に関連した研究を紹介することとする。

環境部が目玉

企画部企画課長／安田　成夫

安田　課長

ダムや河川などの建設が、かってのように丈夫で長持ちすればよいというハード技術一辺倒の時代は終った。そこで、土木研究所では、研究開発のために次の理念を掲げている。1)社会資本に対する多様なニーズに応える研究開発。2)利用者の立場に立った研究開発。3)環境に配慮した研究開発。4)国際的に普遍性をもった研究開発。5)わが国独自の技術の研究開発。

現在の組織は、環境部、河川部、下水道部、ダム部、砂防部、道路部、材料施工部、構造橋梁部、地震防災部の9研究部の他に、総務部、企画部、積算技術研究センターが筑波にある。また、新潟県新井市に新潟試験場がある。職員470名中に研究職は310名。

同研究所を訪れる者には1周6,152mの3車線の試験走路が目につく。この走路には実大のトンネルもあり、その規模に驚かされる。

ところで最近は、時節がら環境部が脚光を浴びることが多くなっているという。環境部には、環境計画研究室、地質研究室、河川環境研究室、交通環境研究室、緑化生態研究室の5研究室がある。

糸状藻類で水質浄化

環境部環境計画研究室長／丹羽　薫

丹羽　室長

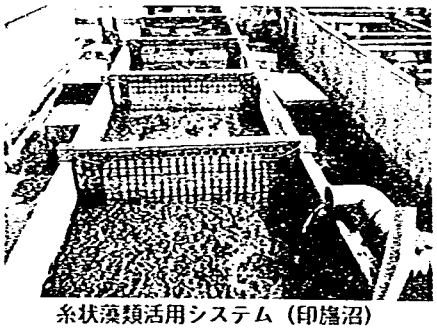
全国の湖沼でアオコや淡水赤潮の発生が問題となっている。これは生活排水の流入などによる富栄養化で浮遊藻類が異常増殖したものである。

この研究室では、こうした浮遊藻類の増殖を阻止する方法を開発した。それは糸状藻類を活用して栄養塩類を除去する「糸状藻類活用システム」と、流入河川水および湖水の流動を制御して浮遊藻類が増殖しにくい環境を作る「流動制御システム」である。

「糸状藻類活用システム」は浅い湖沼から深い湖沼まで広く使える方法である。糸状藻類というのは、アオミドロやメロシラなどの藻類で、無機態のリンや窒素の吸収能力が高く、四季を通じて活用でき、増殖が早く、増殖のコントロールと回収が容易、などの特徴がある。糸状藻類自体はアオコや淡水赤潮の原因とはならないので、糸状藻類をうまく活用することで、浮遊藻類の発生を抑えると同時に、糸状藻類自体が魚や家畜の良質な飼料となることから、回収した糸状藻類を飼料として有効利用できる一石二鳥の画期的なシステムである。

現在このシステムは、霞ヶ浦、印旛沼、三春ダムで現地実験を行っており、良好な成果を挙げているという。

また「流動制御システム」は、ダム



糸状藻類活用システム（印旛沼）

魚が糸状藻類を食べている

湖のような比較的深い湖沼では有効な方法で、散気方式の曝気、選択流入および選択放流などを組み合せて、ダム湖の表層に温水でしかも表層付近の水温分布が均一である循環混合層を水深15～20mまで厚く形成させ、表層に生息する藍藻類や鞭毛藻類への栄養物質と光を抑制するものである。

人工浮島のビオトープ効果

環境部河川環境研究室長／島谷　幸宏

島谷　室長

この研究室では、河川・湖沼、湿地などの水が主体となる場に対する環境問題を研究している。具体的な研究課題としては、1)水辺の価値に関する研究、2)水辺風景の保全に関する研究、3)多自然型河川整備に関する研究、4)水質浄化手法に関する研究、などである。

3)多自然型河川整備に関する研究の一例としては、人工浮島を作り、そのビオトープ効果を調べている。この人工浮島は100m×10mの大きさで、霞ヶ浦工事事務所の協力を得て霞ヶ浦に設置している。これまでのところ、浮島が漁礁として効果があることがわかったという。また現在は浮島が岸に近いところにあるため、鳥が営巣することはないものの、岸から離れたところに設置すれば鳥も営巣すると思われる。

4)水質浄化手法に関する研究として木炭循環浄化についても研究している。これはろ剤として処理面積が小さく、低コストである再生材(木炭)を使用した接触酸化法による浄化システムで、粒径10～40mmの木炭を層厚30cm程度に敷き詰め、その中を2～10cm／分の流速で水を流過させるもの。

霞ヶ浦の湖水浄化実験では、他の方法と比べてリン、窒素に高い除去効果が得られた。またBODに対しては礫間接触酸化法と同等以上の効果があるという。しかも礫間接触酸化法より施設面積は約1/2以下で、間伐材、風倒木などを利用できるため森林の保全にも有効である。さらにコストは従来の約半額という。欠点は目づまりすることで、定期的なメンテナンスが必要なこと。この浮島は1㎡当り約4万円でできたというが、もう少しコストダウンすれば十分に実用になるのではないだろうか。

人工浮島(霞ヶ浦土浦港)

ビルの屋上を緑化する

環境部緑化生態研究室
室長／半田　真理子
主任研究員／石坂　健彦

半田　室長　　石坂　主任研究員

都市で緑地を確保するのには各種の困難な課題があるが、ビルの屋上や壁面、高架上などを緑化することで、東京など11都市で約52,000ヘクタールの緑地を確保することができるという。そのためには、軽い人工土壌を利用したり、給水方法を工夫するなど、技術的に検討すべきことも多い。

この研究室では、(財)都市緑化技術開発機構との共同研究により、システム緑化装置のプロトタイプを開発した。この装置の最大の特徴は容器の高さや縦横の寸法をモジュール化したことで、容器を組み合せることにより、屋上などでも自由な緑地設計ができるとともに、施工が格段に容易になる。また、容器内部にパイプを通すことで、自動灌水を可能にしている。ただ軽い人工土壌では樹木が倒れやすい。またコスト面など解決すべき課題もある。今後、個別の状況への対応を図りつつ、プロトタイプを改良し、都市緑化に貢献したいという。

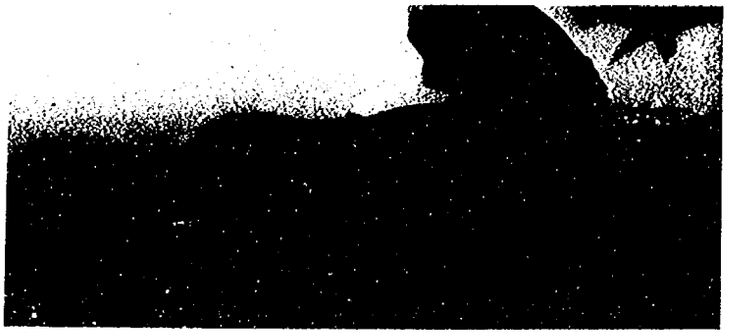
また、同研究室では景観シミュレーションの研究も行っており、緑化樹木の成長をCGでシミュレートする研究に着手したという。

屋上緑化などのためのシステム緑化装置のプロトタイプ

水質を浄化する糸状藻類活用システム

自然湖沼やダム湖に発生するアオコや赤潮を防ぐために、
同じ藻類の仲間であり魚や家畜のエサにもなる
糸状藻類を使う水質浄化システムが開発された。

建設省　土木研究所　環境計画研究室



1

流域の開発などにより流入水質の悪化した湖沼では、アオコなどの原因となる浮遊性の藻類が、家庭雑排水などに含まれるリンや窒素を栄養源として、異常増殖する。これが水道水をかび臭くしたり、腐って沿岸に悪臭を漂わせたり、はなはだしくは魚を酸欠で死なせてしまう。

これを制するに、「藻には藻を」の発想から研究・開発されたのが、「糸状藻類活用システム」と名づけられた水質浄化システムである。

自然植性を使った水質浄化のための植物としては、従来アシやホテイアオイがよく知られていて、実践例も多い。しかし、これらは高等植物のため成長速度が遅く、栄養塩類を吸収する水質浄化能力には限界がある。そこで、建設省土木研究所が代わりに着目したのが、高等植物よりはるかに高い増殖能力を持つアミミドロやアオミドロなどの糸状藻類。川や湖沼で普通に見られ、魚や水生昆虫が好んで食べている毛糸状の藻類で、これには次のようなすぐれた特色がある。

1.自然河川や浅い湖沼で一般に生育する。
2.無機態のリンや窒素の吸収能力が高い（ホテイアオイなどの水生植物の10倍）。
3.四季を通じておおむね活用が可能。
4.増殖のコントロールおよび回収が簡単。
5.魚や家畜の良質なエサになり、有効利用が可能。

これらの特性をフルに活用して、糸状藻類にリンや窒素などの栄養を横取りさせ、回収して量をコントロールしながら、エサとしての二次利用も図ろうという、一石二鳥型の作戦である。

このシステムによる水質浄化施設は、河川や湖沼や浄水場の近傍に糸状藻類が自然界で生育している環境を人為的に作り出し、そこに水を導くかたちで作る。環境づくりは難しいものではなく、コンクリートに砂利を埋め込んだり、ネットを張ったりして糸状藻類のつく土台とし、適量の水を流すだけの単純なものだ。むしろ構造が複雑すぎると藻類の除去が難しくなり、枯死して再びリンや窒素を放出してしまうという。

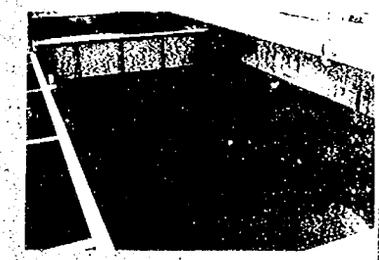
2

現在、アオコの発生に悩む茨城県・霞が浦と千葉県・印旛沼の流入河川、そして建設省が福島県内に建設中の三春ダムへの流入河川で現地実験している。このうち印旛沼に流入する桑納川は、生活排水による汚濁の度合いのきわめて高い川だが、このシステムで無機態のリンや窒素を効率よく、安定して除去していることが確かめられた。また三春ダムでは、ひとつの流入支川の全体を対象とする大規模な施設となっている。

糸状藻類の二次利用に関しても、同研究所の期待は大きい。もっとも自然な利用法としては、魚のエサがある。増殖して剥離したものが自動的に集まるような施設としたり、定期的に回収したりして、乾燥させたものを用いる。

実験によれば、イズミダイの配合飼料にメロシラ（珪藻）を30％混ぜた結果、魚肉の旨味を示すエキス窒素が増えたという。また、鶏の配合飼料にアオミドロ（緑藻）を10％混ぜた結果、黄身の色が濃くなり栄養価も増したという。アオミドロは、飼料のなかの野菜に相当する。穀類に比べて野菜は高価なため、現行は配合比率も低い。その野菜に代わる栄養源としての利用は、有力であろう。

1●糸状藻類を食べるイズミダイ。
2●実験で増殖したアオミドロ。
3●三春ダム流入支川の実験施設。水中では糸状藻類が順調に生育し、水を浄化している。



3

糸状藻類を使った新しい湖沼浄化

丹羽 薫* 久納 誠**

建設省土木研究所では，ダム湖等湖沼の富栄養化対策の一環として，糸状藻類による浄化能力を活用して，湖沼の流入河川水からPO_4－P等の無機態栄養塩類を除去する技術を開発しており，「糸状藻類活用システム」として公表してきた。本稿では，糸状藻類が水質浄化に有利である理由と本システムの設備構造について合わせて報告する。

1. はじめに

今年もまた湖沼の富栄養化現象が叫ばれる季節がやって来た。ダム湖や遊水池等の湖沼において，浮遊藻類が異常増殖する直接の要因は，無機態のリン（PO_4－P）等の栄養塩類が湖沼に多量に流入することである。産業排水や下水処理水等の高負荷少量水については，PO_4－P除去技術が別途研究されている。一方，耕地等の面源負荷や高度処理が行われていない下水処理水や畜産排水処理水が流れ込む自然河川の低負荷多量水を対象としたPO_4－P除去技術は，近年まで開発されていなかった。建設省土木研究所環境計画研究室では，糸状藻類という生物による浄化能力を活用して，流入河川水等からPO_4－P等の無機態栄養塩類を除去する技術を開発しており，「糸状藻類活用システム」として公表してきた[1)~3)]。本稿では，糸状藻類が水質浄化に有利である理由と本システムの設備構造について合わせて報告する。

2. 糸状藻類活用システム

2.1 淡水植物の中での糸状藻類の位置付け

海中では，紅藻植物や褐藻植物がノリ状藻類や糸状藻類の形態をとり海藻として繁殖している。一方，淡水中には，水生植物（簡単に水草ともいう），糸状藻類，植物プランクトン（浮遊性の微細藻類，ここでは略して浮遊藻類という）が生息している。淡水植物を巨視的形態により分類すると水生植物，糸状藻類および植物プランクトンの3形態となるが，3形態ともすべてが藻類に属するわけではなく，進化を推定して分類してみると図1に示すように整理できる。それによると，水生植物には被子植物，シダ植物，コケ植物および輪藻植物が含まれ，糸状藻類には緑藻および珪藻植物が含まれ，浮遊藻類には緑藻，珪藻，鞭毛藻および藍藻植物が含まれる。なお，水生植物については，輪藻植物を除けば，一旦陸上植物として高度に進化した植物の一部が再び水中生活をするように舞い戻った植物であると考えられる。本稿

* Kaoru NIWA 建設省 土木研究所 環境部 環境計画研究室 室長
** Makoto KUNOH 建設省 土木研究所 環境部 環境計画研究室 主任研究員

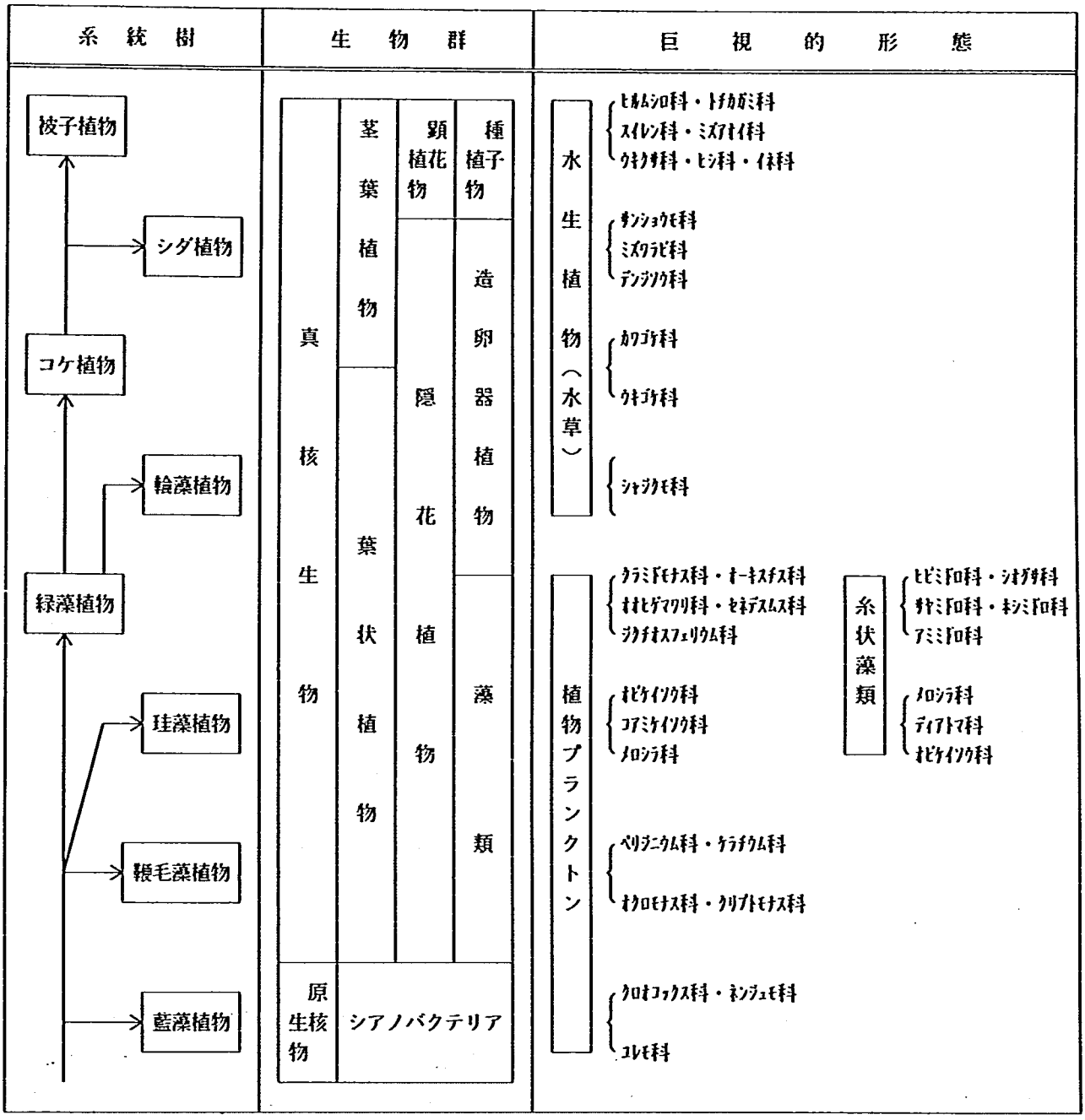


図1　淡水植物における糸状藻類の分類上の位置

における糸状藻類とは，このように巨視的形態が木綿糸や毛糸のように糸状になっている淡水中の緑藻および珪藻植物を指す。本システムに用いられる主な糸状藻類を表1に示す。なお糸状藻類は，渓流，早瀬や水路のように急流や緩流に適する種類と，浅い湖沼，水田や浄水場のように微流に適する種類とがある。また生息に適する季節は，糸状藻類の種類により異なる。

2.2　システムの概要

本稿で報告する「糸状藻類活用システム」は，河川や浅い湖沼等の自然界で生息している糸状藻類が増殖できる環境を人為的に湖沼近傍に与えることにより，流入河川水および湖沼表層水からPO_4－Pを除去し，藍藻類や鞭毛藻類の異常増殖を抑制するシステムである。糸状藻類は図2に示すように，河川，湖沼，水田および浄水場におい

表1　本システムに用いられる糸状藻類

適正	和名（学術名）	綱別	流況環境				生息季節			
			急流の中で基質に付着	緩流の中で基質に付着	微流の中で底面に膜状	微流の中で浮漂か付着	春季	夏季	秋季	冬季
急流	カワシオグサ (*Cladophora glomerata*)	緑藻	○				○	○	○	△
	ヒビミドロ (*Ulothrix zonata*)	緑藻	○	○			○			(○)
	ディアトマ (*Diatoma vulgare*)	珪藻	○	○			○	△		○
	メロシラ (*Melosira varians*)	珪藻	○	○	○		○	△	○	○
	サヤミドロ (*Oedogonium* sp.)	緑藻	○	○		○	○	○	△	△
緩流	アオミドロ (*Spirogyra* sp.)	緑藻	○	○		○	○	○	○	○
	オビケイソウ (*Fragilaria construens*)	珪藻		○	○		○	△	○	△
	ヒザオリ (*Mougeotia* sp.)	緑藻		○		○	○	○	○	△
	アミミドロ (*Hydrodictyon reticulatum*)	緑藻		○		○	○	○	○	△
微流	ウキシオグサ (*Cladophora crispata*)	緑藻				○		○	○	

（注）1）本表は久納が1994年6月までに野外で確認したものであり，今後の変更はありうる。
2）カッコ書きは雑誌『水』の記述による。

て，様々な流況環境のもとで生息している[4]。糸状藻類はいずれの場合も無機態の栄養塩類を吸収して生息している。本システムは，自然界の生息環境を浄化設備の中に忠実に再現させ，次にその設備における流速，水深，基質，糸状藻類の回収および設備の洗浄等の構造的な工夫を行ってPO_4－Pを吸収除去する効率を高め，さらに回収した糸状藻類の有効利用を計るものである。そのような手順で考案された設備概要を図2および表2に示す。このように本システムは，自然河川等にてPO_4－P固定に役立っている生態環境を湖沼において人為的に作り出し，最大限に活用するものである。

2.3　糸状藻類をPO_4－P除去に用いる利点

糸状藻類は，浮遊藻類やホテイアオイ等の高等な植物である水生植物に比べて，流入河川水や湖水からPO_4－Pを除去するのに適した多くの利点を有しており，以下に示す。

①糸状藻類は富栄養化に起因する異常現象（アオコ，淡水赤潮，カビ臭等）の原因とならない。

②糸状藻類は水生植物のように高等な植物となっていないために増殖速度が速く，その分無機態の栄養塩類の吸収能力が高い。糸状藻類とホテイアオイ等の水生植物とのPO_4－P吸収能力の比較を図3に示すが，糸状藻類のPO_4－P吸収能力は水生植物の10倍程度を期

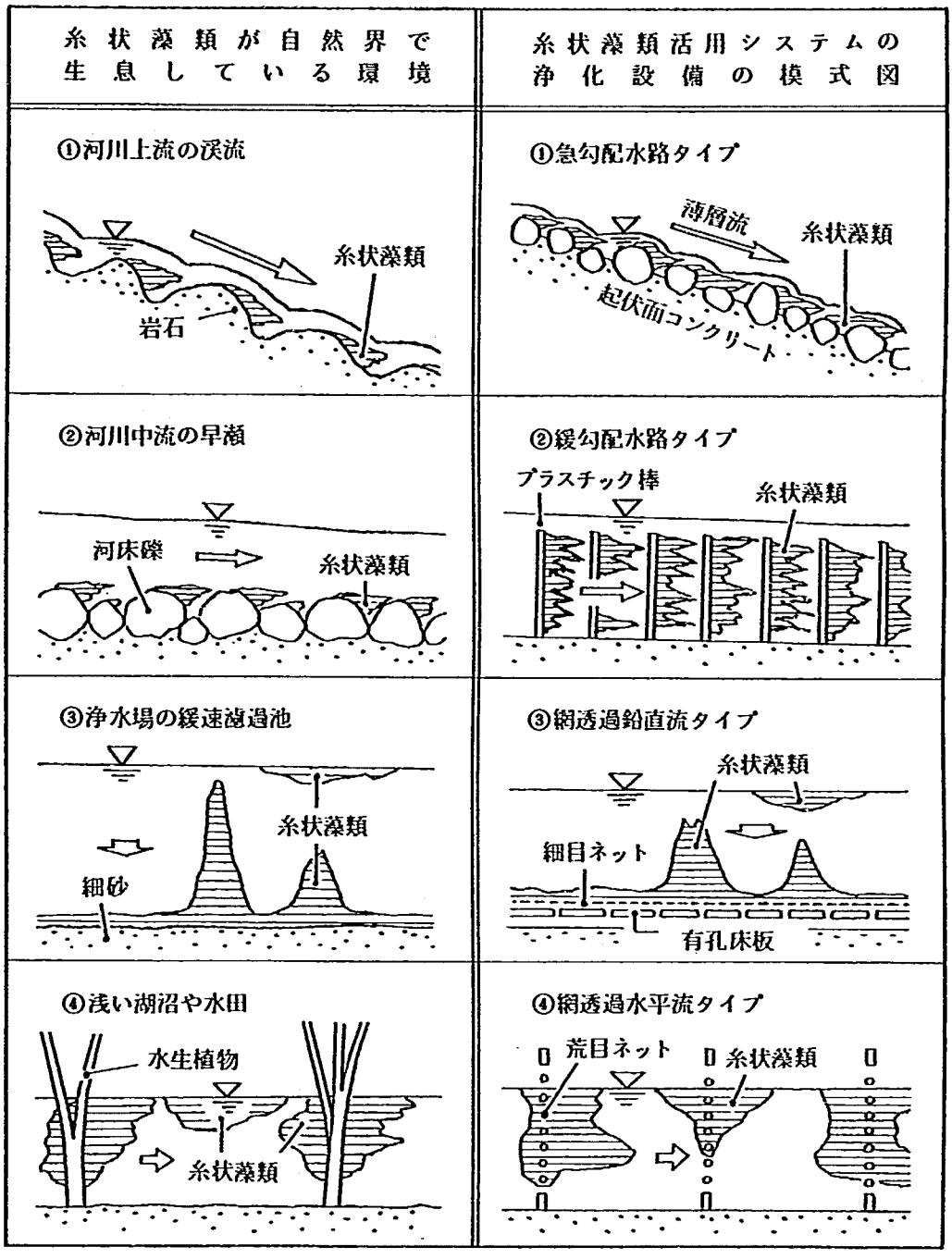


図2　糸状藻類の自然界での生息環境と浄化設備

待できる[5]。

③糸状藻類は，水生植物に比べ低い無機態の栄養塩類濃度でも生息が可能である。かなり低い濃度となっても，糸状藻類のまわりの水が次々と入れ替わるような流況であれば栄養塩類を吸収することができる。

④糸状藻類が生息する適応温度は，低い水温でも可能であるため，冬季も概ね生息が可能である。したがって，アオコが発生する季節よりも先に糸状藻類を増殖させて栄養塩類を取り続けることができる。またホテイアオイが西日本の夏季しか生息に適さないのに対して，糸状藻類は地域性と季節性の点で幅が広く有利である。

⑤ホテイアオイやヨシ等の抽水植物は葉面からの蒸散によって水分を大気中に放出してしま

表2　自然界と浄化設備の対応

	自　然　界	対応する浄化設備	流　況	適する糸状藻類
①	河川上流の渓流 （岩石に付着している）	急勾配水路タイプ （起伏面コンクリートに付着させる）	薄層流　30～50cm/sec 水　深　1cm以内 水路長　20m（標準） 水路勾配　15～35%	カワシオグサ，メロシラ，ディアトマ，サヤミドロ，アオミドロ，ヒビミドロ
②	河川中流の早瀬 （河床礫に付着している）	緩勾配水路タイプ （プラスチック棒に付着させる）	水平流　10cm/sec 水　深　10cm 水路長　200m（標準） 水路勾配　0.5～1%	メロシラ，サヤミドロ，アオミドロ，オビケイソウ，ヒザオリ，ヒビミドロ
③	浄水場の緩速濾過池 （砂面に上載している）	網透過鉛直流タイプ （細目ネットに上載させる）	鉛直流　18cm/hour 水　深　30～40cm 水面勾配　なし	メロシラ，オビケイソウ，アオミドロ，アミミドロ
④	浅い湖沼や水田 （水生植物に付着あるいは浮遊している）	網透過水平流タイプ （荒目ネットに付着あるいは浮遊させる）	水平流　10cm/min 水　深　30cm 流下長　10m（標準） 水面勾配　なし	サヤミドロ，ヒザオリ，アミミドロ，アオミドロ，ウキシオグサ

（注）1）本表は久納が1994年6月までの現地実験を参考にまとめたものであり，今後の変更はありうる。
2）カッコ書きは糸状藻類の生息状態を示す。

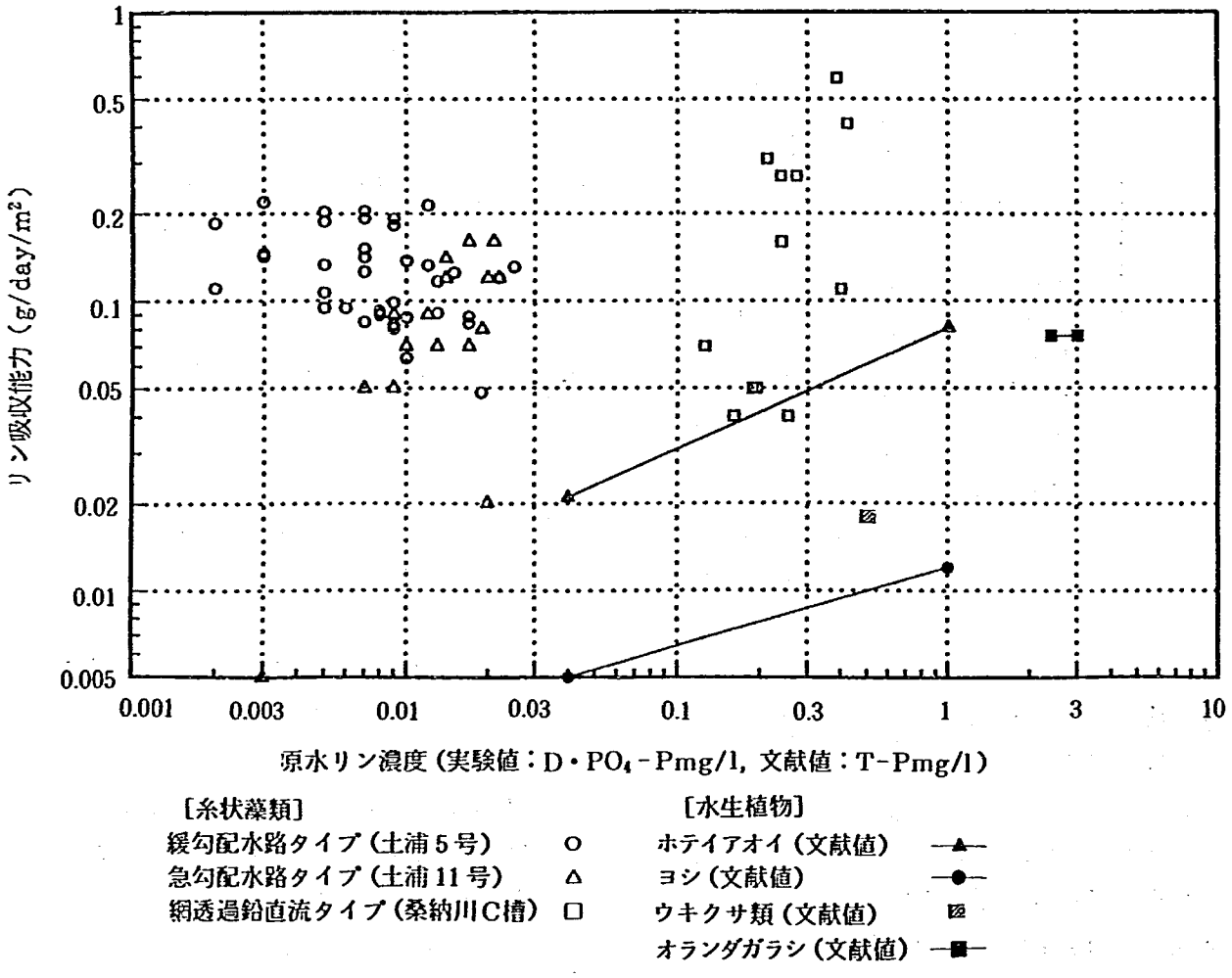


図3　糸状藻類と水生植物とのPO₄－P吸収能力の比較

うが，糸状藻類は水中に生息するため貴重な湖水を失うことはない。

⑥糸状藻類が生息するには付着あるいは上載できる基質が必要であり，この基質を人為的に操作することにより糸状藻類の生息を制御できる。

⑦浮遊藻類と異なり，糸状藻類は水からの分離除去がスクリーン等で容易にできる。

⑧糸状藻類は栄養価が高いものが多く，魚類，鶏，および家畜の良質なエサとなる[6]。

2.4 原水による浄化設備の区分

浄化設備は対象とする原水の種類により流入水浄化設備と表層水浄化設備に大別できる。

(1) 流入水浄化設備

平常時において，流入河川水が湖沼に入る直前の段階で河川水に含まれるPO_4－Pを除去し，湖沼に流入するPO_4－Pを減少させる設備である。流入地点付近に糸状藻類が付着して増殖できる生息環境を設けることにより，糸状藻類を生息させPO_4－Pを吸収除去させる。なお，本設備は下水処理水および畜産排水処理水のPO_4－P除去にも

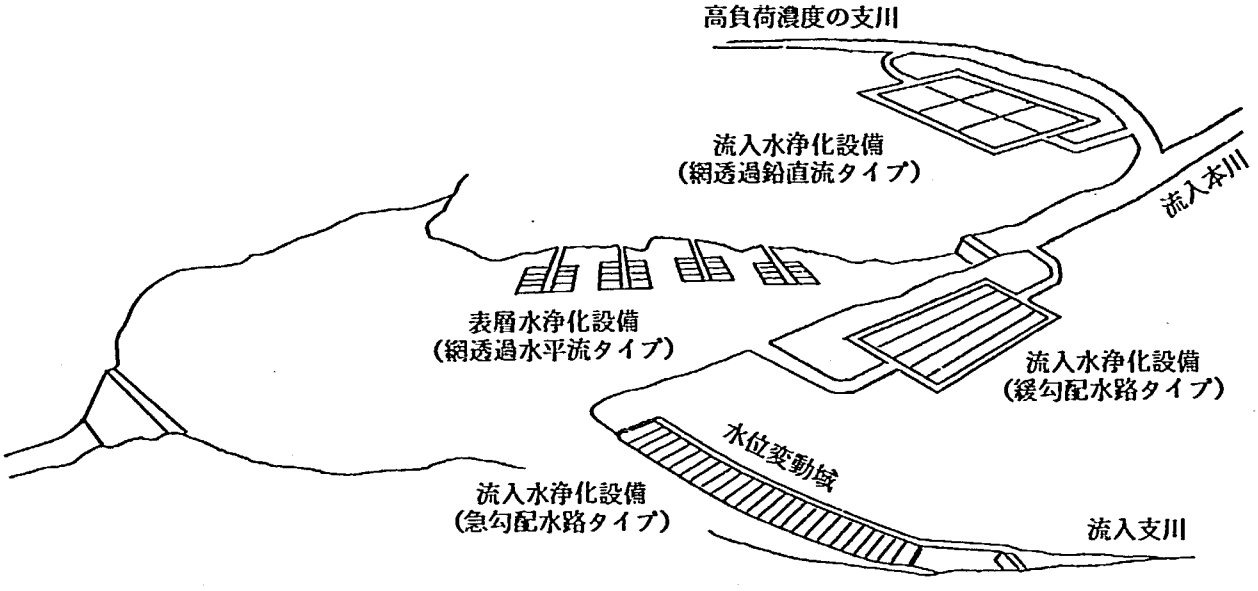


図4 ダム湖における浄化設備の配置例

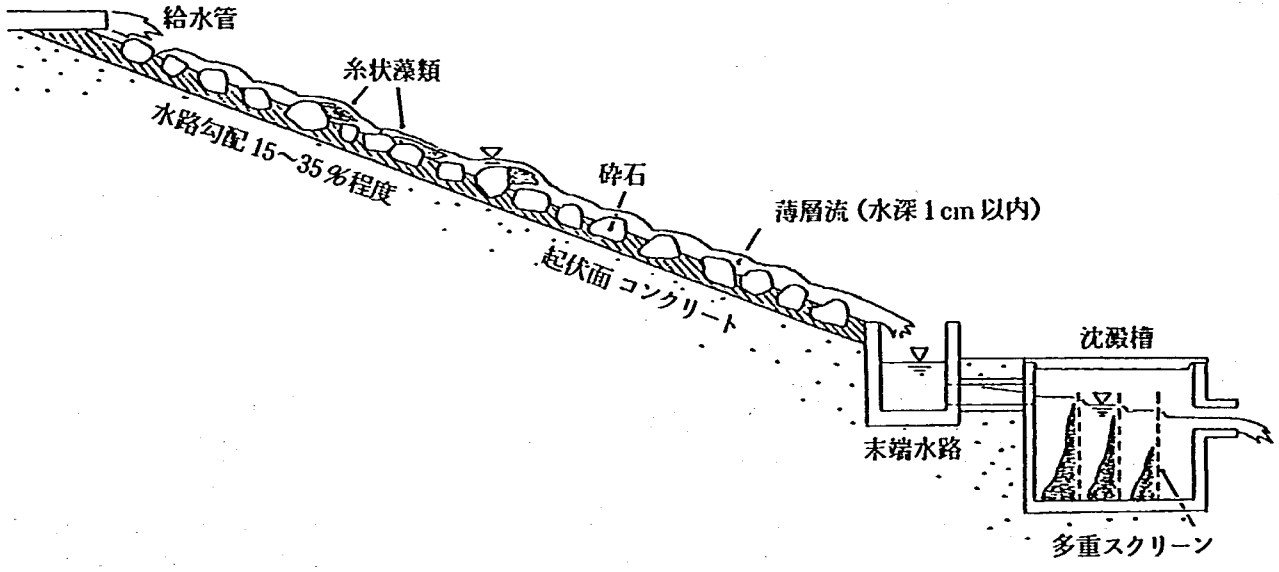


図5 急勾配水路タイプの設備例

適用できる。

(2) 表層水浄化設備

湖面上に糸状藻類が付着して増殖できる生息環境を設け，中小洪水等で表層に混入して来たPO_4－Pを藍藻類や鞭毛藻類等の好ましくない浮遊藻類が吸収してしまう前に，糸状藻類に吸収除去させる設備である。

ダム湖における浄化設備の配置例を図4に示す。

3. 設備構造

3.1 設備タイプの種類

本処理設備の構造上の種類は，図2の①～③に示した流入水浄化設備の3タイプ，および図2の④に示した表層水浄化設備の1タイプがあげられる。なお④は流入水浄化設備としての使用も可能である。

3.2 急勾配水路タイプ

急流に適した糸状藻類を用いるタイプであるが，糸状藻類を基質から回収除去する作業を省力化するために，水路の勾配を大きくして流速を30～50 cm/secに高め，水深を1 cm以内の薄層流としたタイプである。急勾配水路タイプの設備例を図5に示す。適応する原水のPO_4－P濃度は，15～50 $\mu g/\ell$であり，リンの含有量が多めの流入河川水に適する。水路勾配は15～35%程度となり，さらに勾配を急にしてダム湖水位変動域への設置も可能である。

本タイプの基質は，コンクリートに粒径4 cm程度の砕石を埋め込んだ起伏面コンクリートとする。急流に適した糸状藻類は仮根により砕石やコンクリートにしっかりと付着するが，この流速のもとでは，成長した糸状藻類は水流の抵抗に耐えられなくなって途中から切れて流下し，末端水路を経て沈澱槽に自然に集積する。なお沈澱槽を設けずに末端水路を魚類養殖施設に直結すれば，糸状藻類の自動供給が可能である。

この流速と水路勾配のもとでは，水路底に糸状藻類の死骸が堆積しにくく，たとえ堆積しても噴出する水流により容易に洗浄でき，維持管理もし易い。なお通水の一部を循環させると糸状藻類は安定増殖する。

3.3 緩勾配水路タイプ

緩流に適した糸状藻類を用いるタイプであるが，糸状藻類が増殖するのに最も効率的な流速，水深，および基質を与え，糸状藻類を基質より定期的に回収除去して安定増殖させようとするタイプである。緩勾配水路タイプの設備例を図6に示す。適用する原水のPO_4－P濃度は，20～150 $\mu g/\ell$であり，リンの含有量が多い流入河川水に適する。

流れがあると糸状藻類の細胞のまわりの水が次々と入れ替わるため，糸状藻類は水中に溶存しているPO_4－Pを次々と吸収でき，増殖速度は一躍高くなる。しかし流速が高すぎると湖水との接触時間が短くなり結果的にPO_4－Pの除去能力が低下する。水深が大きすぎると，水路の底部では光量不足になり糸状藻類の増殖が落ちる。よって最も効率的な流速は10cm/sec，水深は10cm程度にあると想定している。水路勾配は0.5～1%程度である。

本タイプの基質は剣山のように鉛直方向に立てたφ3～5 mmの多数のプラスチック棒から成る。

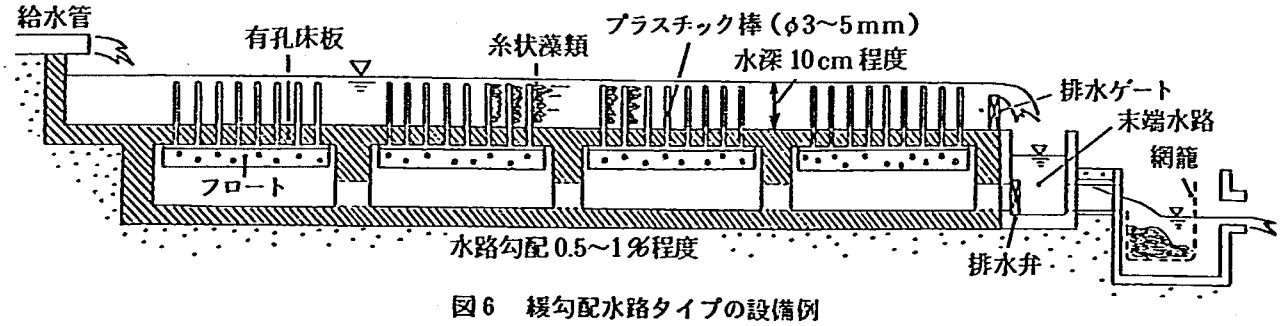


図6 緩勾配水路タイプの設備例

通水を開始すると，河川水中に含まれる糸状藻類がプラスチック棒に付着し，やがて増殖する。回収方法は，まず排水弁および排水ゲートを開けると水位が下がり，剣山基質はフロートの浮力を失って降下するが，同時に剣山基質に付着していた糸状藻類は有孔床板の穴にかき取られるように有孔床板上にとり残される。次に走行式のモップで糸状藻類を末端水路に導き網篭に集めることにより回収除去する。糸状藻類の回収作業は，定期的に例えば1週間に1度の頻度で行わねばならず，回収作業は自動化する必要がある。本タイプで採取できる糸状藻類は新鮮であり不純物が少なく，加工等の有効利用に適する。

糸状藻類をさらに安定増殖させるには，水路の所々に藻体供給ヤードを設けることと，通水の一部を循環させることを行うと良い。

3.4　網透過鉛直流タイプ

微流に適した糸状藻類，特に糸状珪藻を用いるタイプであるが，有孔床板の上に細目ネットを載せ，その上に水層部を持った構造である。網透過鉛直流タイプの設備例を図7に示す。水層部は水深が30～40cmと浅く，鉛直流速は18cm/hourとなっており，微流に適した糸状珪藻が細目ネット上に生息しやすい構造となっている。原水の適切なPO_4－P濃度は25 $\mu g/\ell$ 以上であり，下水処理水等の高濃度のPO_4－P除去にも適し，PO_4－P濃度が25 $\mu g/\ell$ 以下の流入河川水に対してはPO_4－Pの除去能力が低くなるので本タイプは適さない。

糸状藻類が付着，あるいは上載する基質となる細目ネットは，2～3mmの細かい目であり，ポリエチレンから成っている。河川水には各種の糸状藻類が含まれるが，糸状珪藻が優占の場合は，通水を開始すると，糸状珪藻が底面の細目ネット全面に付着し，やがて増殖する。その際，糸状緑藻が細目ネットに上載して増殖することも多い。増殖した糸状藻類の一部は成長すると光合成による気泡を付着させ，直径5～50cmの繊維状の塊となって浮上して来るが，越流スロープの付いた

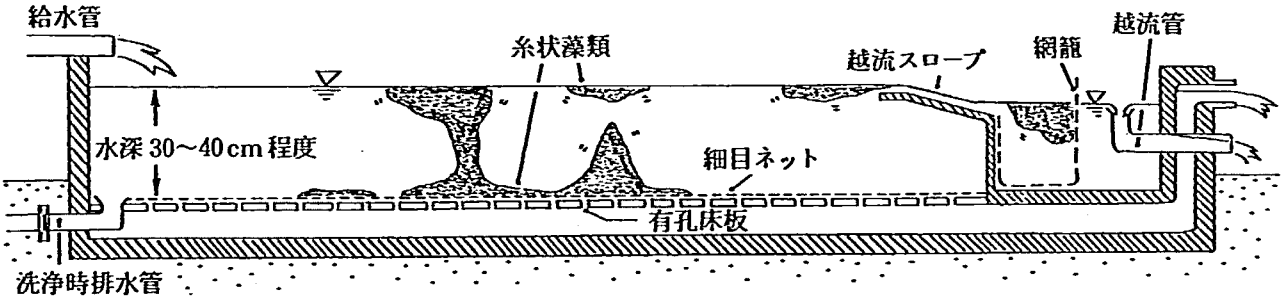


図7　網透過鉛直流タイプの設備例

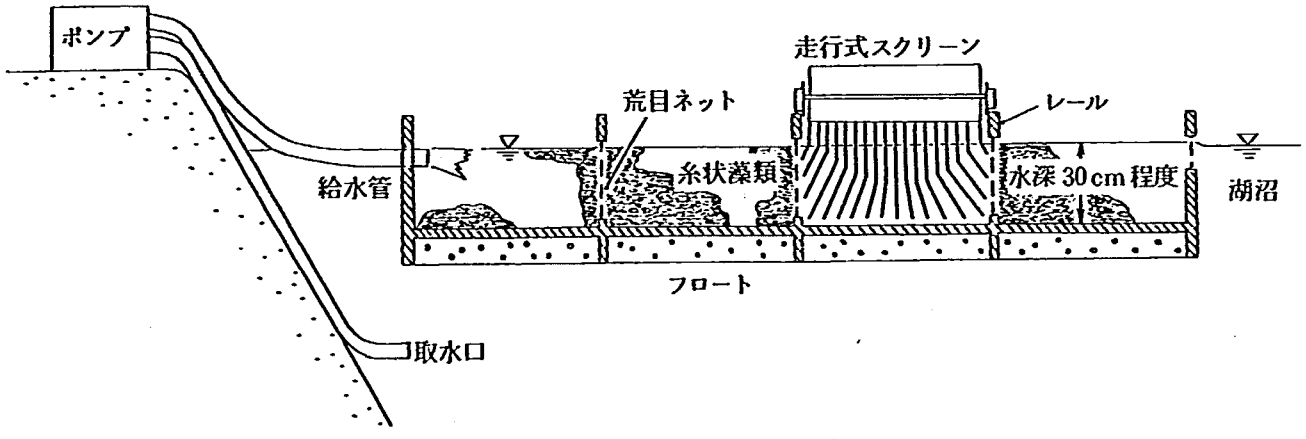


図8　網透過水平流タイプの設備例

回収器により容易に回収できる。なお越流スロープを魚類養殖施設に直結すれば，糸状藻類の自動供給が可能である。

糸状藻類が生息し続けると，やがて細目ネットの上に糸状藻類の死骸等による有機物が堆積してPO_4－Pを溶出し易くなる。よって定期的に例えば1か月に一度の頻度で，噴出する水流により細目ネットの洗浄を行う。

3.5　網透過水平流タイプ

微流に適した糸状藻類，特に糸状緑藻を用いるタイプであるが，間仕切が荒目ネットでできており，湖面に浮上させる構造となっている。網透過水平流タイプの設備例を図8に示す。底板の上は水深30cm，水平流速10cm/minの水層部となっており，微流に適した糸状緑藻が間仕切の荒目ネットに付着しやすい構造となっている。本タイプは湖沼表層水を対象とするが，適応する原水のPO_4－P濃度は，洪水が来ない時，つまり平常時においても10μg/ℓ以上である必要がある。

本タイプの基質は50cm程度の間隔で設置した間仕切の荒目ネットであり，15～30mmの荒い目となっておりポリエチレンから成っている。通水開始と同時に糸状藻類を投入すると，やがて糸状緑藻が間仕切の荒目ネットにからまるように付着して増殖する。本タイプは10cm/min程度の水平流とするが，この流れが荒目ネットを通り抜ける環境のもとでは，糸状珪藻より糸状緑藻の方が荒目ネットに付着してから立体的に増殖しやすいという理由により，糸状緑藻が優占種となりやすい。特に4月から10月にかけて糸状緑藻の活性がが高く増殖するのに適している。また糸状緑藻は荒目ネットに付着して常に水面付近にいるため，洪水による短期間の濁水に対しても光量が十分に得られ濁水にもかなり耐えられる。

糸状藻類の回収は，間仕切の荒目ネットから伸びて来た糸状緑藻を，水層部の上を走行可能なスクリーンによりレーン毎にかき集めるように回収する。すべてのレーンを同時に回収せず，例えば定期的に1レーンおきに回収すると糸状緑藻の活性を常に高く保つことができる。本タイプで採取できる糸状藻類は新鮮であり不純物が少なく，加工等の有効利用に適する。

表3　糸状藻類活用システムの各設備タイプの特徴

設備タイプ	原水のPO_4－P濃度	1 m³/secを2 haで処理する際の効果目標	設置場所	維持管理		糸状藻類の有効利用
				糸状藻類の回収	設備の洗浄	
急勾配水路タイプ	15～50μg/ℓ	PO_4－Pについて原水25μg/ℓ→処理水10μg/ℓ	斜地	自然集積した藻類の除去が，週1回～月1回必要	不要	不純物が多いが，魚類養殖施設への自動供給が可能
緩勾配水路タイプ	20～150μg/ℓ	PO_4－Pについて原水30μg/ℓ→処理水10μg/ℓ	平地	機械的な回収作業が，週1回必要	不要	糸状藻類は新鮮であり，加工等の有効利用に適する
網透過鉛直流タイプ	25～400μg/ℓ	PO_4－Pについて原水濃度の20～50%を低下	平地	自然集積した藻類の除去が，週1回必要	水槽底面の洗浄が月1回必要	不純物が多いが，魚類養殖施設への自動供給が可能
網透過水平流タイプ	10～400μg/ℓ	PO_4－Pについて原水15μg/ℓ→処理水10μg/ℓ	湖上または平地	機械的な回収作業が，週1回必要	水槽底面の洗浄が回収作業と同時に必要	糸状藻類は新鮮であり，加工等の有効利用に適する

（注）本表は久納が1994年5月までの現地実験を参考にまとめたものであり，今後の変更はありうる。

表4　糸状藻類のイズミダイと鶏へのエサとしての活用実験結果

種　類	糸状藻類	置換率	影響	
			定量的	定性的
イズミダイ（ティラピア）	アオミドロ	30%	（○）配合飼料の魚と同じ体重の伸びを示した。	（○）配合飼料の魚と同じ。
	メロシラ	30%	（△）配合飼料の魚より体重の伸びがやや劣った。	（◎）配合飼料の魚に比べ，魚肉の旨みを示すエキス窒素が増えた。
鶏（イサブラウン）	アオミドロ	10%	（○）配合飼料の鶏と同じ数の卵を産み続けた。	（◎）配合飼料の卵に比べ，黄身の色がよくなった。
	メロシラ	10%	（○）配合飼料の鶏と同じ数の卵を産み続けた。	（○）配合飼料の卵と同じ。

（注）◎：とても良い影響，○：良い影響，△：やや良くない影響

4. おわりに

①湖沼の富栄養化対策として，多量の流入河川水や湖沼表層水を対象としたリン除去，特にPO_4－Pを除去するには，「糸状藻類活用システム」が有効である。

②本システムでは，原水のPO_4－P濃度，設備の場所，維持管理の有無，有効利用の有無等の条件により，採用すべき設備のタイプが異なる。（表3）。

③現地実験の結果，本システムではPO_4－Pをよく除去できた。それをもとにPO_4－Pの除去効果を恒久施設における設備規模で算定した。その結果，1 m^3/secを2 haの設備で処理すると，PO_4－Pの除去効果は，急勾配水路タイプでは25 $\mu g/\ell$の原水を10 $\mu g/\ell$の処理水に，緩勾配水路タイプでは30 $\mu g/\ell$の原水を10 $\mu g/\ell$の処理水に，網透過水平流タイプでは15 $\mu g/\ell$の原水を10 $\mu g/\ell$の処理水に浄化でき，網透過鉛直流タイプでは原水濃度の20～50%を低下させることがわかった（表3参照）。

④実験の結果，本システムにより回収した糸状藻類は，魚や鶏等の配合飼料の一部と置き換えるという有効利用が可能であることがわかった（表4参照）。

文　献

1）丹羽　薫，久納　誠，糸状藻類活用システムの原理と設備例，ダム技術，No.93（1994）

2）丹羽　薫，久納　誠，久保徳彦，真田誠至，糸状藻類を活用した湖沼の富栄養化対策技術の開発，土木技術資料，第35巻第12号（1993）

3）丹羽　薫，久納　誠，ダム湖や自然湖沼等の富栄養化対策，土木技術資料，第36巻第6号（1994）

4）中本信忠，坂井　正，生物浄化法の緩速ろ過処理の見直し，環境科学年報－信州大学，第16巻（1994）

5）三島　享，水生植物による水域浄化システム，ヘドロ，No.33（1985）

6）飯山郁子，坂井真奈美，緑藻アオミドロの食品学的評価，山陽女子短期大学研究紀要X(1984)

7）坂井正，中本信忠，環境適応型の緩速ろ過が伝えるもの，環境科学年報－信州大学，第16巻（1994）

【技術研究】

糸状藻類活用システムの原理と設備例

建設省土木研究所環境部環境計画研究室　丹羽　薫*
〃　久納　誠**

1. はじめに

ダム湖や遊水池等において，浮遊藻類が異常増殖する直接の要因は，無機態のリン（PO_4-P）等の栄養塩類がダム湖に多量に流入することである。産業排水や下水処理水等の高負荷少量水については，PO_4-P 除去技術が別途研究されている。一方，耕地等の面源負荷や高度処理が行われていない下水処理水や畜産排水処理水が流れ込む自然河川の低負荷多量水を対象としたPO_4-P 除去技術は，近年まで開発されていなかった。土木研究所環境計画研究室では，糸状藻類という生物による浄化能力を活用して，流入河川水等からPO_4-P 等の無機態栄養塩類を除去する技術を開発しており，『糸状藻類活用システム』として『ダム技術No. 75』を始め公表してきた[1) 2) 3)]。本報文では，本システムの設備構造についての方向性が明かになってきたため，システムの原理と設備例を報告するものである。

2. 糸状藻類活用システムの原理

（1） 糸状藻類の種類

海には大型の付着性の藻類として海藻が生息する。一方淡水域には，海藻に相当する付着性の藻

表-1　本システムに用いられる糸状藻類

遷性	和名（学術名）	綱別	流況環境				生息季節			
			急流の中で基質に付着	緩流の中で基質に付着	微流の中で底面に腰状	微流の中で浮遊か付着	春季	夏季	秋季	冬季
急流	カワシオグサ (*Cladophora glomerata*)	緑藻	○				○	○	○	△
↑	ヒビミドロ (*Ulothrix zonata*)	緑藻	○	○			○			(○)
	ディアトマ (*Diatoma vulgare*)	珪藻	○	○			○	△		○
	メロシラ (*Melosira varians*)	珪藻	○	○	○		○	△	○	○
↓	サヤミドロ (*Oedogonium sp.*)	緑藻	○	○		○	○	○	△	△
緩流	アオミドロ (*Spirogyra sp.*)	緑藻	○	○		○	○	○	○	○
↑	オビケイソウ (*Fragilaria construens*)	珪藻		○	○		○	△	○	△
	アミミドロ (*Hydrodictyon reticulatum*)	緑藻		○		○	○	○	○	△
	ヒザオリ (*Mougeotia sp.*)	緑藻				○	○	((○))	○	△
↓	ウキシオグサ (*Cladophora crispata*)	緑藻				○		○	○	
微流										

注　1）本表は久納が1994年5月までに野外で確認したものであり，今後の変更はありうる。
　　2）（ ）書きは雑誌「水」，(( ))書きは「川と湖の博物館」の記述による。

*室長
**主任研究員

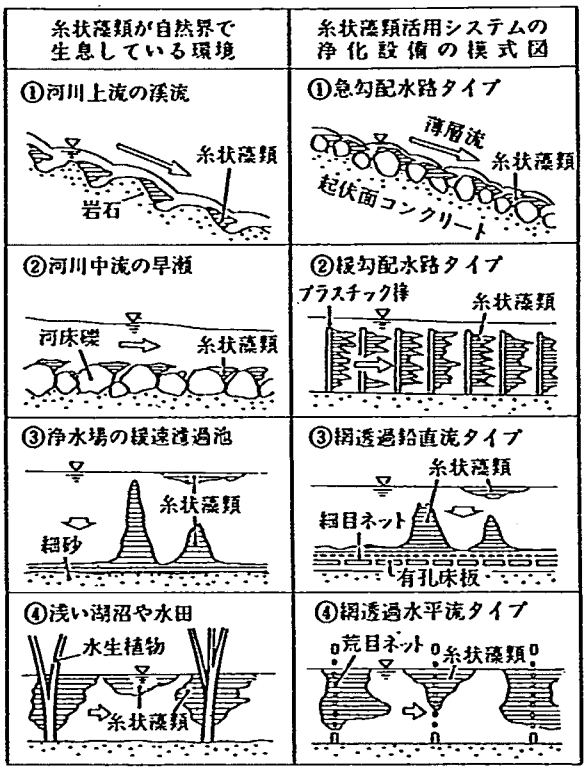
類として糸状藻類が生息している。本報文における糸状藻類とは，肉眼レベルで毛糸や木綿糸のように糸状になっている藻類を指す。本システムに用いられる糸状藻類を表−1 に示す。なお糸状藻類は，流況環境により，渓流，早瀬や水路のように急流や緩流に適する種類と，浅い湖沼，水田や浄水場のように微流に適する種類とがある。また生息に適する季節は，糸状藻類の種類により異なる。

（2） システムの概要

本報文で報告する『糸状藻類活用システム』は，河川や浅い湖沼等の自然界で生息している糸状藻類が増殖できる環境を人為的にダム湖近傍に設けることにより，流入河川水およびダム湖表層水から PO_4-P を除去し，藍藻類や鞭毛藻類の異常増殖を抑制するシステムである。糸状藻類は図−1に示すように河川，湖沼，水田，および浄水場において，様々な流況環境のもとで生息している[4]。糸状藻類はいずれの場合も無機態の栄養塩類を吸収して生息している。本システムは，自然界の生息環境を浄化設備の中に忠実に再現させ，次にその設備における流速，水深，基質，糸状藻類の回収，および設備の洗浄等の構造的な工夫を行って PO_4-P を吸収除去する効率を高め，さらに回収した糸状藻類の有効利用を計るものである。そのような手順で考案された設備概要を図−1 および表−2 に示す。このように本システムは，自然河川等にて PO_4-P 固定に役立っている生態環境をダム湖において人為的に作り出し，最大限に活用するものである。

（3） 糸状藻類を PO_4-P 除去に用いる利点

糸状藻類は浮遊藻類やホテイアオイ等の高等な水生植物に比べて，流入河川水や湖水から PO_4-P を除去するのに適した多くの利点を有しており，以下に示す。



図−1 糸状藻類の自然界での生息環境と浄化設備

表−2 自然界と浄化設備の対応

	自然界	対応する浄化設備	流況	適する糸状藻類
①	河川上流の渓流 （岩石に付着している）	急勾配水路タイプ （起伏面コンクリートに付着させる）	薄層流 30〜50 cm/s 水深 1 cm 以内 水路長 20 m（標準） 水路勾配 15〜35 %	カワシオグサ，メロシラ，ディアトマ，サヤミドロ，アオミドロ，ヒビミドロ
②	河川中流の早瀬 （河床礫に付着している）	緩勾配水路タイプ （プラスチック棒に付着させる）	水平流 10 cm/s 水深 10 cm 水路長 200 m（標準） 水路勾配 0.5〜1 %	メロシラ，サヤミドロ，アオミドロ，オビケイソウ，ディアトマ，ヒビミドロ
③	浄水場の緩速濾過池 （砂面に上載している）	網透過鉛直流タイプ （網目ネットに上載させる）	鉛直流 18 cm/hr 水深 30〜40 cm 水面勾配 な し	メロシラ，オビケイソウ，アオミドロ，アミミドロ
④	浅い湖沼や水田 （水生植物に付着あるいは浮遊している）	網透過水平流タイプ （荒目ネットに付着あるいは浮遊させる）	水平流 10 cm/min 水深 30 cm 流下長 10 m（標準） 水路勾配 な し	サヤミドロ，アオミドロ，アミミドロ，ヒザオリ，ウキシオグサ

注 1） 本表は久納が 1994 年 5 月までの現地実験を参考にまとめたものであり，今後の変更はありうる。
2） （ ）書きは糸状藻類の生息状態を示す。

① 糸状藻類は富栄養化に起因する異常現象（アオコ，淡水赤潮，カビ臭等）の原因とならない。

② 糸状藻類は増殖速度が早く，その分無機態の栄養塩類の吸収能力が高い。糸状藻類とホテイアオイ等の水生植物との PO_4-P 吸収能力の比較をすると，糸状藻類の PO_4-P 吸収能力は水生植物の 10 倍程度を期待できる（図−11 参照）。

③ 糸状藻類は水生植物に比べ低い無機態の栄養塩類濃度でも生息が可能である。かなり低い濃度となっても，糸状藻類のまわりの水が次々と入れ替わるような流況であれば栄養塩類を吸収することができる。

④ 糸状藻類が生息する適応温度は，低い水温でも可能であるため，冬季も概ね生息が可能である。従ってアオコが発生する季節よりも先に糸状藻類を増殖させて栄養塩類を取り続けることができる。またホテイアオイが西日本の夏季しか生息に適さないのに対して，糸状藻類は地域性と季節性の点で幅が広く有利である。

⑤ ホテイアオイやヨシ等は葉面からの蒸散によって水分を大気中に放出してしまうが，糸状藻類は水中に生息するため貴重な湖水を失うことはない。

⑥ 糸状藻類が生息するには付着あるいは上載できる基質が必要であり，この基質を人為的に操作することにより糸状藻類の生息を制御できる。

⑦ 浮遊藻類と異なり，糸状藻類は水からの分離除去がスクリーン等で容易にできる。

⑧ 糸状藻類は栄養価が高いものが多く，魚類，鶏，および家畜の良質なエサとなる[6]。

（4） 原水による浄化設備の区分

浄化設備は対象とする原水の種類により流入水浄化設備と表層水浄化設備に大別できる。

（1） 流入水浄化設備……平常時において，流入河川水が湖沼に入る直前の段階で河川水に含まれる PO_4-P を除去し，湖沼に流入する PO_4-P を減少させる設備である。流入地点付近に糸状藻類が付着して増殖できる生息環境を設けることにより，糸状藻類を生息させ PO_4-P を吸収除去させる。なお，本設備は下水処理水および畜産排水処理水の PO_4-P 除去にも適用できる。

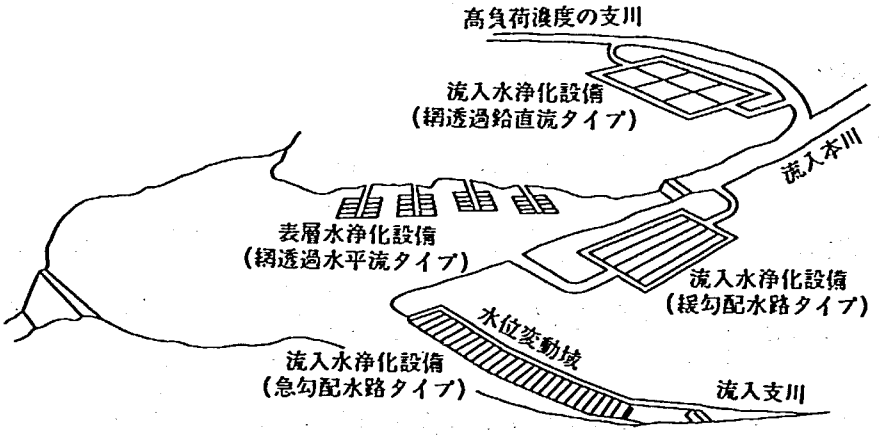
（2） 表層水浄化設備……湖面上に糸状藻類が付着して増殖できる生息環境を設け，中小洪水等で表層に混入して来た PO_4-P を藍藻類や鞭毛藻類等の好ましくない浮遊藻類が吸収してしまう前に，糸状藻類に吸収除去させる設備である。

ダム湖における浄化設備の配置例を図−2 に示す。

3. 前処理設備

（1） 前処理の方針

流入水浄化設備と表層水浄化設備は本処理のみ



図−2 ダム湖における各浄化設備の配置例

を基本とするが，必要に応じて前処理を設ける。前処理の方法としては軽石濾過等が考えられる。

（2） 流入水浄化設備での前処理

流入水浄化設備は，流入河川水に含まれる PO_4-P を除去するのが目的である。流入河川水に濁質が多いと本処理で用いられる糸状藻類が光合成するのに支障が出る。また洪水による濁質が糸状藻類に被るのは増殖させる上で望ましくない。よって濁質が出やすい流入河川では，前処理の段階で濁質を除去するのが望ましい。さらに流入河川水には本処理で増殖させようとしている糸状藻類の他に，糸状藻類に付着しやすい藻類が含まれている場合がある。特に通水初期の段階において，このような望ましくない付着藻類が含まれている場合は，流入河川水からそれらの藻類を除去するのが望ましい。そこで流入水浄化設備では，必要に応じて，濁質除去および付着藻類の除去を目的とした前処理を行う。

（3） 表層水浄化設備での前処理

表層水浄化設備は，湖沼表層水に含まれる PO_4-P を除去するのが目的である。本処理で用いられる糸状藻類が望ましくない付着藻類に覆われるのは増殖させる上で望ましくないので，前処理の段階でこれらを除去するのが望ましい。そこで表層水浄化設備では，必要に応じて，付着藻類の除去を目的とした前処理を行う。

4. 本処理設備

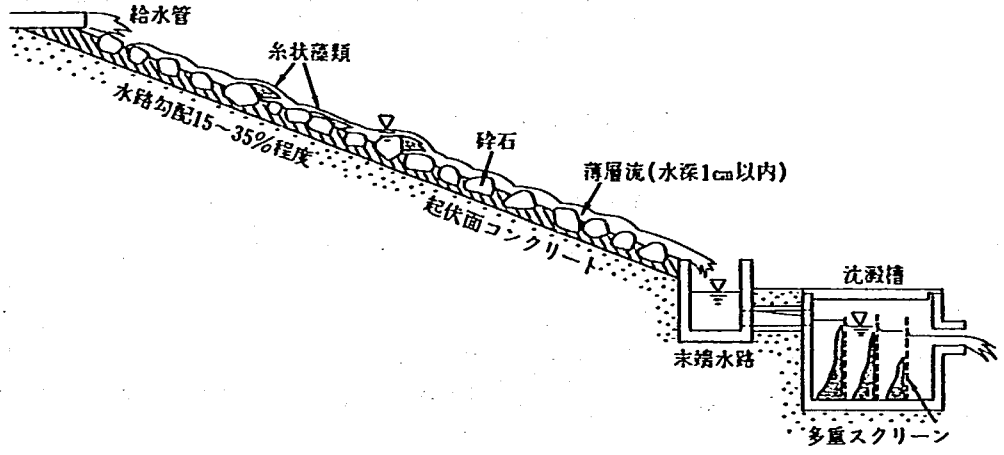
（1） 設備タイプの種類

本処理設備の構造上の種類は，図−1 の①〜③に示した流入水浄化設備の 3 タイプおよび図−1 の④に示した表層水浄化設備の 1 タイプがあげられる。なお④は流入水浄化設備としての使用も可能である。

（2） 急勾配水路タイプ

急流に適した糸状藻類を用いるタイプであるが，糸状藻類を基質から回収除去する作業を省力化するために，水路の勾配を大きくして流速を 30〜50 cm/s に高め，水深を 1 cm 以内の薄層流としたタイプである。急勾配水路タイプの設備例を図−3 に示す。適応する原水の PO_4-P 濃度は，15〜50 $\mu g/l$ であり，リンの含有量が多めの流入河川水に適する。水路勾配は 15〜35 % 程度となり，さらに勾配を急にしてダム湖水位変動域への設置も考えられる。

本タイプの基質はコンクリートに粒径 4 cm 程度の砕石を埋め込んだ起伏面コンクリートとする。急流に適した糸状藻類は仮根により砕石やコンクリートにしっかりと付着するが，この流速のもとでは，成長した糸状藻類は水流の抵抗に耐えられなくなって途中から切れて流下し，末端水路を経て沈殿槽に自然に集積する。なお沈殿槽を設けずに末端水路を魚類養殖施設に直結すれば，糸状藻類の自動供給が可能である。



図−3 急勾配水路タイプの設備例

この流速と水路勾配のもとでは，水路底に糸状藻類の死骸が堆積しにくく，たとえ堆積しても噴出する水流により容易に洗浄でき，維持管理もしやすい。なお通水の一部を循環させると糸状藻類は安定増殖する。

（3） 緩勾配水路タイプ

緩流に適した糸状藻類を用いるタイプであるが，糸状藻類が増殖するのに最も効率的な流速，水深，および基質を与え，糸状藻類を基質より定期的に回収除去して安定増殖させようとするタイプである。緩勾配水路タイプの設備例を図−4 に示す。適用する原水の PO_4-P 濃度は，20〜150 $\mu g/l$ であり，リンの含有量が多い流入河川水に適する。

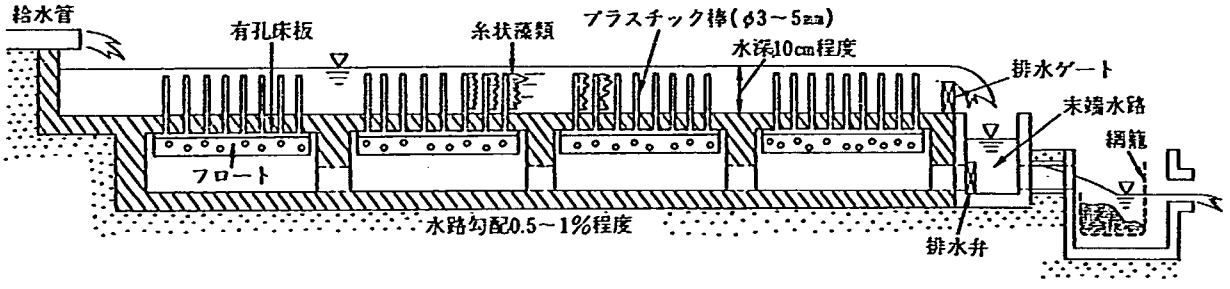
流れのもとでは糸状藻類の細胞のまわりの水が次々と入れ替わるため，糸状藻類は水中に溶存している PO_4-P を次々と吸収でき，増殖速度は一躍高くなる。しかし流速が高すぎると湖水との接触時間が短くなり結果的に PO_4-P の除去能力が低下する。水深が大きすぎると，水路の底部では光量不足になり糸状藻類の増殖が落ちる。よって最も効率的な流速は 10 cm/s，水深は 10 cm 程度にあると想定している。水路勾配は 0.5〜1 % 程度である。

本タイプの基質は剣山のように鉛直方向に立てた φ3〜5 mm の多数のプラスチック棒からなる。通水を開始すると，河川水中に含まれる糸状藻類がプラスチック棒に付着し，やがて増殖する。回収方法は，まず排水弁および排水ゲートを開けると水位が下がり，剣山基質はフロートの浮力を失って降下するが，同時に剣山基質に付着していた糸状藻類は有孔床板の穴にかき取られるように有孔床板上にとり残される。次に走行式のモップ或いは水流で糸状藻類を末端水路に導き網篭に集めることにより回収除去する。糸状藻類の回収作業は定期的に例えば 1 週間に 1 度の頻度で行わねばならず，回収作業は自動化する必要がある。本タイプで採取できる糸状藻類は新鮮であり不純物が少なく，加工等の有効利用に適する。

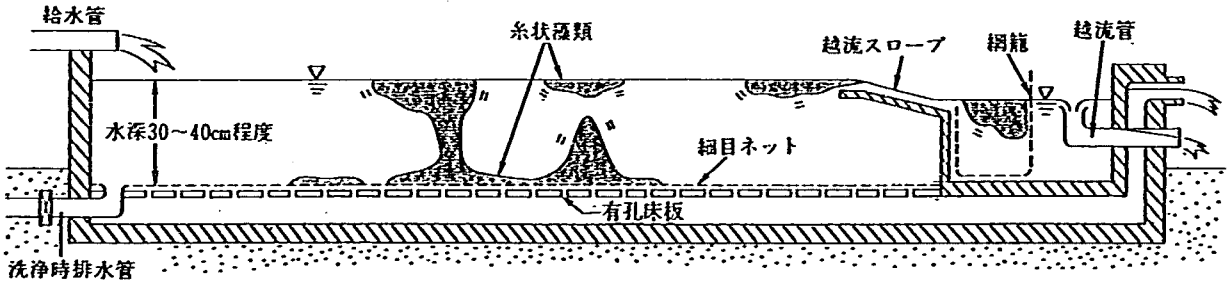
糸状藻類をさらに安定増殖させるには，水路の所々に藻体供給ヤードを設けることと，通水の一部を循環させることを行うと良い。

（4） 網透過鉛直流タイプ

微流に適した糸状藻類，特に糸状珪藻を用いるタイプであるが，有孔床板の上に細目ネットを載せ，その上に水層部を持った構造である。網透過鉛直流タイプの設備例を図−5 に示す。水層部は水深が30〜40 cm と浅く，鉛直流速は 18 cm/hr



図−4 緩勾配水路タイプの設備例



図−5 網透過鉛直流タイプの設備例

となっており，微流に適した糸状珪藻が細目ネット上に生息しやすい構造となっている。原水の適切な PO_4-P 濃度は 25 $\mu g/l$ 以上であり，下水処理水等の高濃度の PO_4-P 除去にも適し，PO_4-P 濃度が25 $\mu g/l$ 以下の流入河川水に対しては PO_4-P の除去能力が低くなるので本タイプは適さない。

糸状藻類が付着あるいは上載する基質となる細目ネットは，2～3 mm の細かい目であり，ポリエチレンからなっている。河川水において糸状珪藻が優占である場合は，通水を開始すると糸状珪藻が底面の細目ネット全面に付着し，やがて増殖する。なお糸状緑藻が細目ネットに上載して増殖することも多い。糸状藻類は成長すると光合成による気泡を付け，直径 5～50 cm の繊維状の塊となって浮上して来るが，回収器により容易に回収できる。越流スロープを魚類養殖施設に直結すれば，糸状藻類の自動供給が可能である。

糸状藻類が生息し続けると，やがて細目ネットの上に糸状藻類の死骸等による有機物が堆積して PO_4-P を溶出しやすくなる。よって定期的に例えば1ヶ月に1度の頻度で，噴出する水流により細目ネットの洗浄を行う。

（5） 網透過水平流タイプ

微流に適した糸状藻類，特に糸状緑藻を用いるタイプであるが，間仕切が荒目ネットでできており，湖面に浮上させる構造となっている。網透過水平流タイプの設備例を図-6 に示す。底板の上は水深 30 cm，水平流速 10cm/min の水層部となっており，微流に適した糸状緑藻が間仕切の荒目ネットに付着しやすい構造となっている。本タイプはダム湖表層水を対象とするが，適応する原水の PO_4-P 濃度は，洪水が来ない時，つまり平常時においても 10 $\mu g/l$ 以上である必要がある。

本タイプの基質は 50 cm 程度の間隔で設置した間仕切の荒目ネットであり，15～30 mm の荒い目となっておりポリエチレンからなっている。通水開始と同時に糸状藻類を投入すると，やがて糸状緑藻が間仕切の荒目ネットにからまるように付着して増殖する。本タイプは 10 cm/min 程度の水平流とするが，この流れが荒目ネットを通り抜ける環境のもとでは，糸状珪藻より糸状緑藻の方が荒目ネットに付着してから立体的に増殖しやすいという理由により，糸状緑藻が優占種となりやすい。特に 4 月から 10 月にかけて糸状緑藻の活性が高く増殖するのに適している。また糸状緑藻は荒目ネットに付着して常に水面付近にいるため，洪水による短期間の濁水に対しても光量が十分に得られ濁水にもかなり耐えられる。

糸状藻類の回収は，間仕切の荒目ネットから伸びて来た糸状緑藻を，水層部の上を走行可能なスクリーンによりレーンごとにかき集めるように回収する。すべてのレーンを同時に回収せず，例えば定期的に 1 レーンおきに回収すると糸状緑藻の活性を常に高く保つことができる。本タイプで採取できる糸状藻類は新鮮であり不純物が少なく，加工等の有効利用に適する。

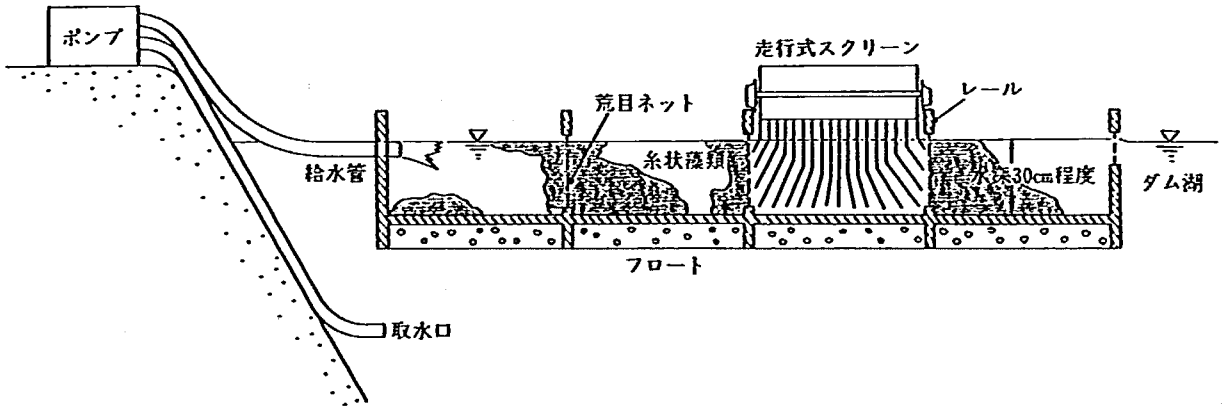


図-6 網透過水平流タイプの設備例

5. 糸状藻類活用システムの現地実験

(1) 糸状藻類の PO_4-P 吸収能力実験

糸状藻類が単位生息面積当たり単位時間当たりにどれだけのリンを吸収するかを調べるために，霞ヶ浦湖岸と印旛沼の流入河川である桑納川にて，糸状藻類活用システムの PO_4-P 吸収能力実験を行った。原水の供給法，リン吸収能力算定法，および生息した糸状藻類の種類を表-3 に示す。また原水の D・PO_4-P 濃度とリン吸収能力の経日変化を図-7～図-9 に示す。これらの糸状藻類の実験結果と水生植物の文献によるデータを図-10 にまとめた[5]。図-10 によると糸状藻類は水生植物よりリン吸収能力が 10 倍程度高く，特に原水の D・PO_4-P 濃度が 30 $\mu g/l$ 以下の低い場合にも糸状藻類は高いリン吸収能力を示す。

糸状藻類活用システムにおいて，どのタイプの設備を採用するかは，原水の PO_4-P 濃度，PO_4-P 除去能力，設備の場所，維持管理の有無，有効利用の有無によって異なり，表-4に各設備タイプの特徴を示す。

(2) 糸状藻類の有効利用実験

イズミダイと鶏に通常与えている配合飼料の一部を，乾燥したアオミドロ (*Spirogyra* sp. ; 緑藻) やメロシラ (*Melosira varians* ; 珪藻) で

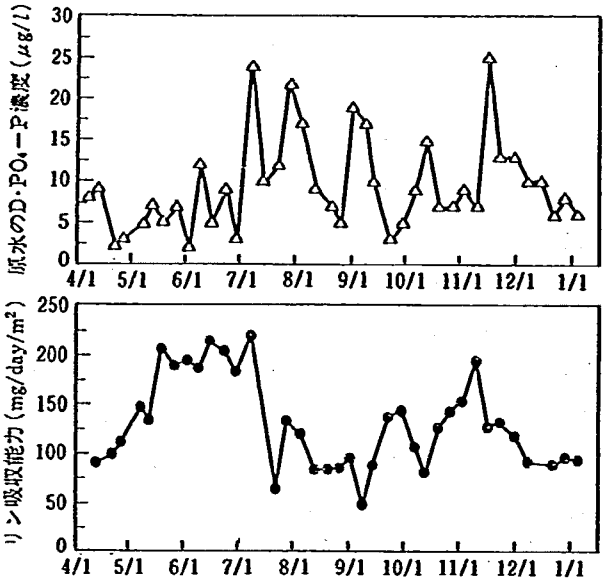


図-8 緩勾配水路タイプの実験結果

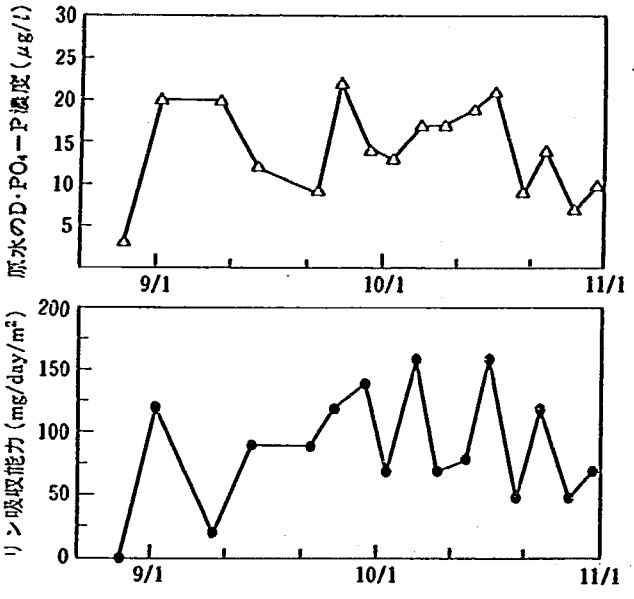


図-7 急勾配水路タイプの実験結果

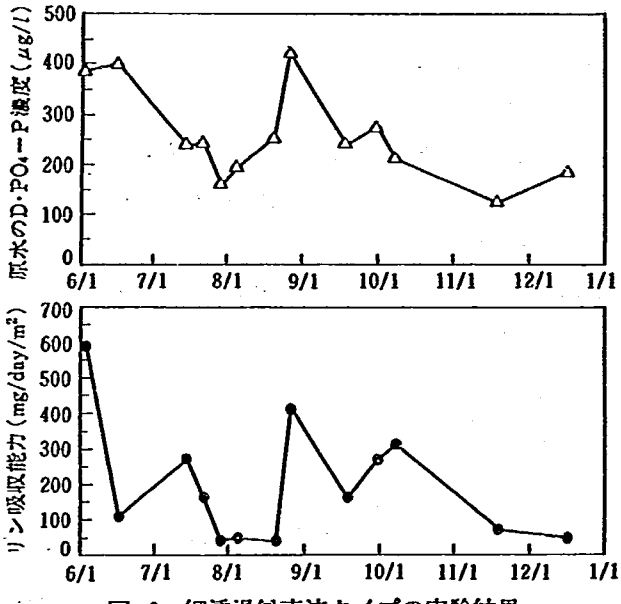
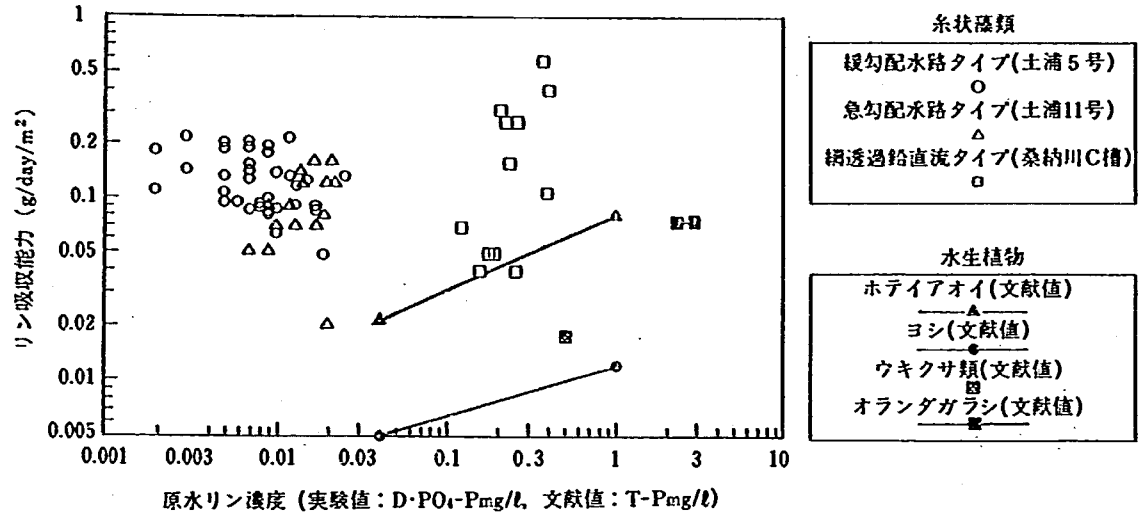


図-9 網透過鉛直流タイプの実験結果

表-3 糸状藻類の PO_4-P 吸収能力実験の実験条件

タイプ	原水の供給法	リン吸収能力算定法	糸状藻類名
急勾配水路タイプ	霞ヶ浦湖水を軽石濾過した水	原水と処理水との PO_4-P の差	メロシラ，カワシオグサ
緩勾配水路タイプ	霞ヶ浦湖水	糸状藻類のリン含有量と回収量	メロシラ，アオミドロ，サヤミドロ
網透過鉛直流タイプ	桑納川の河川水を礫間浄化した水	原水と処理水との PO_4-P の差	アミミドロ



図−10　糸状藻類と水生植物との PO_4-P 吸収能力の比較

表−4　糸状藻類活用システムの各設備タイプの特徴

設備タイプ	原水の PO_4-P 濃度	1 m³/s を 2 ha で処理する際の効果目標	設置場所	維持管理		糸状藻類の有効利用
				糸状藻類の回収	設備の洗浄	
急勾配水路タイプ	15～ 50 μg/l	PO_4-P について原水 25 μg/l →処理水 10 μg/l	斜地	自然集積した藻類の除去が，週1回～月1回必要	不要	不純物が多いが，魚類養殖施設への自動供給が可能
緩勾配水路タイプ	20～150 μg/l	PO_4-P について原水 30 μg/l →処理水 10 μg/l	平地	機械的な回収作業が，週1回必要	不要	糸状藻類は新鮮であり，加工等の有効利用に適する
網透過鉛直流タイプ	25～400 μg/l	PO_4-P について原水濃度の20～50％を低下	平地	自然集積した藻類の除去が，週1回必要	水槽底面の洗浄が月1回必要	不純物が多いが，魚類養殖施設への自動供給が可能
網透過水平流タイプ	10～400 μg/l	PO_4-P について原水 15 μg/l →処理水 10 μg/l	湖上または平地	機械的な回収作業が週1回必要	水槽底面の洗浄が回収作業と同時に必要	糸状藻類は新鮮であり，加工等の有効利用に適する

注　1)　本表は久納が1994年5月までの現地実験を参考にまとめたものであり，今後の変更はありうる。

表−5　糸状藻類のイズミダイと鶏へのエサとしての活用実験結果

種類	糸状藻類	置換率	影響	
			定量的	定性的
イズミダイ（ティラピア）	アオミドロ	30％	(○) 配合飼料の魚と同じ体重の伸びを示した。	(○) 配合飼料の魚と同じ。
	メロシラ	30％	(△) 配合飼料の魚より体重の伸びがやや劣った。	(◎) 配合飼料の魚に比べ，魚肉の旨みを示すエキス窒素が増えた。
鶏（イサブラウン）	アオミドロ	10％	(○) 配合飼料の鶏と同じ数の卵を産み続けた。	(◎) 配合飼料の卵に比べ，黄身の色がよくなった。
	メロシラ	10％	(○) 配合飼料の鶏と同じ数の卵を産み続けた。	(○) 配合飼料の卵と同じ。

注)　◎：とても良い影響，○：良い影響，△：やや良くない影響

作った飼料に置き換える比較実験を行った。糸状藻類より作った飼料を与えることによるイズミダイや鶏への影響を表−5に示す。

6. まとめ

（1）　ダム湖の富栄養化対策として，多量の流入河川水やダム湖表層水を対象としたリン除去，特に PO_4-P を除去するには，『糸

状藻類活用システム』が有効である。

（2） 本システムでは，原水の PO_4-P 濃度，設備の場所，維持管理の有無，有効利用の有無等の条件により，採用すべき設備のタイプが異なる（表-4参照）。

（3） 現地実験の結果，本システムでは PO_4-P をよく除去できた。それをもとに PO_4-P の除去効果を恒久施設における設備規模で算定した。その結果，1 m^3/s を 2 ha の設備で処理すると，PO_4-P の除去効果は，急勾配水路タイプでは 25 $\mu g/l$ の原水を 10 $\mu g/l$ の処理水に，緩勾配水路タイプでは 30 $\mu g/l$ の原水を 10 $\mu g/l$ の処理水に，網透過水平流タイプでは 15 $\mu g/l$ の原水を 10 $\mu g/l$ の処理水に浄化でき，網透過鉛直流タイプでは原水濃度の 20～50 % を低下させることであることがわかった（表-4参照）。

（4） 実験の結果，本システムにより回収した糸状藻類は，魚や鶏等の配合飼料の一部と置き換えるという有効利用が可能であることがわかった（表-5参照）。

参考文献

1) 丹羽 薫・久納 誠・大西 実・山下芳浩：糸状藻類を活用した貯水池水質保全対策，土木学会水理委員会水工学論文集，第37巻，1993
2) 丹羽 薫・久納 誠・久保徳彦・山下芳浩：糸状藻類を活用した湖沼水質保全システム，土木学会環境システム委員会環境システム研究，Vol. 21，1993
3) 丹羽 薫・久納 誠・久保徳彦・真田誠至：糸状藻類を活用した湖沼の富栄養化対策技術の開発，土木技術資料，第35巻第12号，1993
4) 中本信忠・坂井 正：生物浄化法の緩速ろ過処理の見直し，環境科学年報-信州大学，第16巻，1994
5) 三島 享：水生植物による水域浄化システム，ヘドロ，No. 33，1985
6) 飯山郁子・坂井真奈美：緑藻アオミドロの食品学的評価，山陽女子短期大学研究紀要 X，1984
7) 坂井 正・中本信忠：環境適応型の緩速ろ過が伝えるもの，環境科学年報-信州大学，第16巻，1994

建設技術Q&A

水質浄化に役立つ糸状藻類について

【質　問】

湖沼の富栄養化対策として、無機態のリンや窒素を吸収させるのに糸状藻類が良いと聞きますが、糸状藻類とはどんな植物であり、また浄化設備としてどのように生かそうとしているのですか。

【回　答】

淡水植物の中での糸状藻類の位置付け

海中では紅藻植物や褐藻植物がノリ状藻類や糸状藻類の形態をとり海藻として繁殖しています。一方淡水中には、水生植物(簡単に水草ともいう)、糸状藻類、植物プランクトン(浮遊性の微細藻類、ここでは略して浮遊藻類という)が生息しています。淡水植物を巨視的形態により区分すると水生植物、糸状藻類及び植物プランクトンの三形態となりますが、三形態ともすべてが藻類に属するわけではなく進化を推定してみますと図-1 に示すように整理できます。それによると、水生植物には被子植物、シダ植物、コケ植物及び輪藻植物が含まれ、浮遊藻類には緑藻、珪藻、鞭毛藻及び藍藻植物が含まれています。糸状藻類とは、巨視的形態が木綿糸や毛糸のように糸状になっている淡水中の緑藻及び珪藻植物を指します。水生植物については輪藻植物を除けば、被子植物、シダ植物、コケ植物のように、一旦陸上植物として高度に進化した植物の一部が再び水中生活をするように舞い戻った植物であると考えられます。糸状藻類は水生植物よりも原始的な植物であり、その分、増殖速度が速いと言えます。

糸状藻類の種類と顕微鏡写真

無機態のリンや窒素を除去する水質浄化に用いられる主な糸状藻類を表-1 に示します。なお糸状藻類は、渓流のように急流に適する種類と、早瀬や水路のように緩流に適する種類と、浅い湖沼、水田や浄水場のように微流に適する種類とがあります。また生息に適する季節は、糸状藻類の種類により異なります。糸状藻類の微視的形状は、分枝の有無等様々であり、顕微鏡写真を表紙に紹介しましたので表-1 と対応させて見て下さい。

自然界の生息環境を浄化設備に再現

『糸状藻類活用システム』は、河川や浅い湖沼等の自然界で生息している糸状藻類が増殖できる

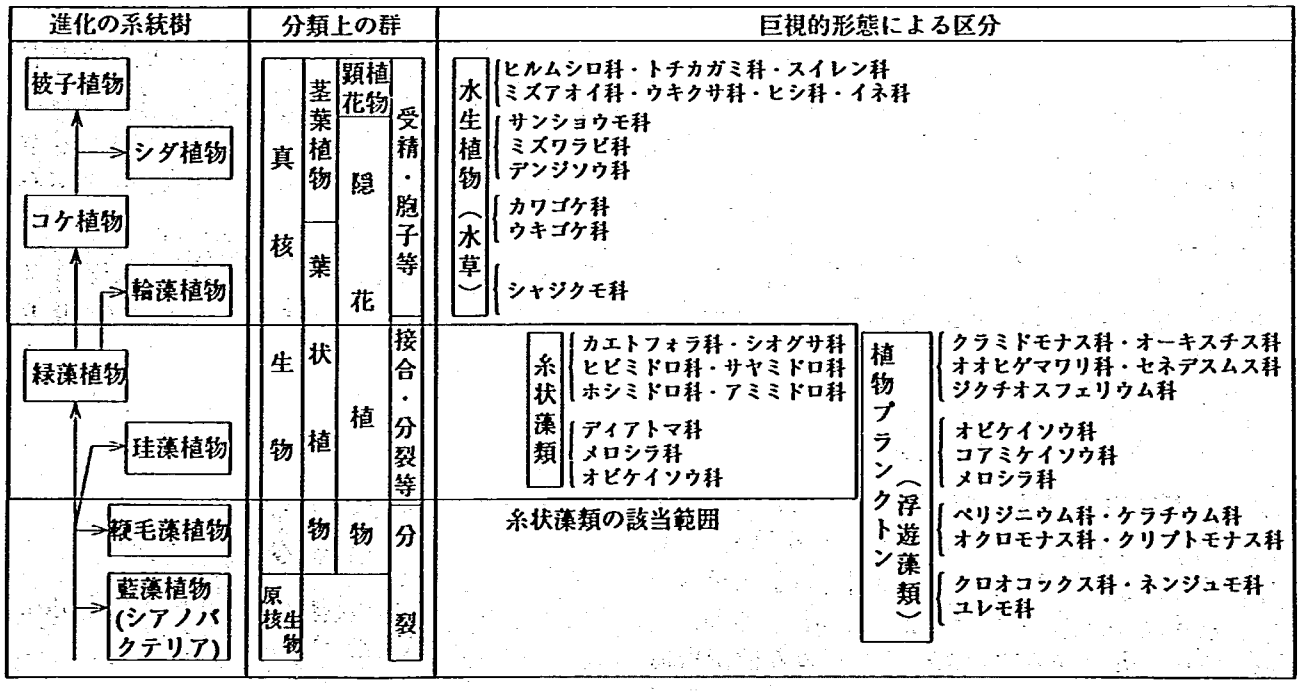


図-1　淡水植物における糸状藻類の分類上の位置

表-1　本システムに用いられる糸状藻類

適性	和名（学術名）	綱別	流況環境					生息季節			
			急流の中で基質に付着	緩流の中で基質に付着	微流の中で基質に付着	微流の中で底面に膜状	微流の中で水中に浮遊	春季	夏季	秋季	冬季
急流	キヌミドロ (*Stigeoclonium sp.*)	緑藻	○	△				○	○	△	△
	トゲナシツルギ (*Cloniophoraplumosa*)	緑藻	○	△					○	△	
	カワシオグサ (*Cladophoraglomerata*)	緑藻	○	△	△			○	○	○	△
	ディアトマ (*Diatomavulgare*)	珪藻	○	△				○	△		○
	ヒビミドロ (*Ulothrixzonata*)	緑藻	○	○				○			○
緩流	メロシラ (*Melosiravarians*)	珪藻	○	○		○		○	△	○	○
	サヤミドロ (*Oedogonium sp.*)	緑藻	○	○	○		○	○	○	△	△
	アオミドロ (*Spirogyra sp.*)	緑藻	○	○	○		○	○	○	○	○
	オビケイソウ (*Fragilariaconstruens*)	珪藻		○		○		○	△	○	△
	ヒザオリ (*Mougeotia sp.*)	緑藻		○	○		○	○	○	○	△
	アオミソウ (*Pithophorakewensis*)	緑藻			○		○	○	○	○	
微流	アミミドロ (*Hydrodictyonreticulatum*)	緑藻		△			○	○	○	○	△

注) ○印は活性が高い状態での生息を確認、△印は活性が低い状態での生息を確認したものである。

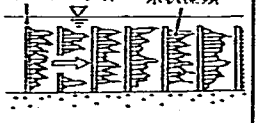
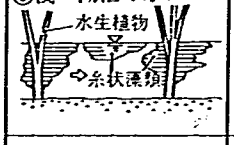
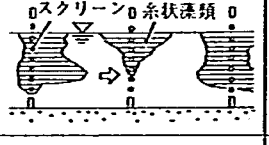
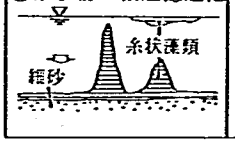
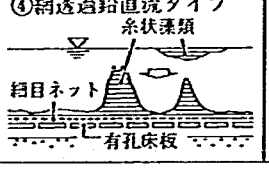
糸状藻類が自然界で生息している環境	適する糸状藻類	糸状藻類活用システムの浄化設備の模式図	流況
①河川上流の渓流	メロシラ、ディアトマ カワシオグサ、 サヤミドロ、アオミドロ ヒビミドロ、キヌミドロ トゲナシツルギ	①急勾配水路タイプ	流　速 30～50cm/sec 水　深 1cm以内 水路勾配 15～35%
②河川中流の早瀬や水路	サヤミドロ、アオミドロ ヒザオリ、ヒビミドロ メロシラ、オビケイソウ	②緩勾配水路タイプ 	流　速 10cm/sec 水　深 10cm 水路勾配 0.5～1%
③浅い湖沼や水田 	サヤミドロ、ヒザオリ アオミドロ、アオミソウ アミミドロ	③水平水路タイプ 	流　速 10～20cm/min 水　深 15～30cm 水路勾配 なし
④浄水場の緩速濾過池 	メロシラ、オビケイソウ アオミドロ、アミミドロ ヒザオリ、サヤミドロ アオミソウ	④網透過鉛直流タイプ 	流　速 18cm/hour 水　深 30～40cm 水路勾配 なし

図-2　糸状藻類の自然界での生息環境と浄化設備

環境を人為的に湖沼近傍に与えることにより、流入河川水及び湖沼表層水から PO_4-P を除去し、藍藻類や鞭毛藻類の異常増殖を抑制するシステムです。糸状藻類は図-2 に示すように河川、水路、湖沼、水田、及び浄水場において、様々な流況環境のもとで生息しています。糸状藻類はいずれの場合も無機態の栄養塩類を吸収して生息しています。

本システムは、流速、水深、基質等の自然界の生息環境を浄化設備の中に忠実に再現させ、次にその設備における基質の形状や材質、糸状藻類の回収、及び設備の洗浄等の構造的な工夫を行って PO_4-P を吸収除去する効率を高め、さらに回収した糸状藻類の有効利用を図るものです。そのような手順で考案された設備の模式図を図-2 に示します。

なお表-1 及び図-2 は当研究室が 1994 年 9 月までに野外や現地実験で確認したものですが、今後の研究によりさらに改良を加えていきます。

参考文献

1) 丹羽薫、久納誠：糸状藻類活用システムの原理と設備例、ダム技術、No.93,1994.

建設省土木研究所環境部環境計画研究室主任研究員
久納　誠

"Using Filamentous Algae to Preserve the Quality of Lake Water"

K. Niwa, M. Kunoh, N. Kubo and S. Sanada

USING FILAMENTOUS ALGAE TO PRESERVE THE QUALITY OF LAKE WATER

Kaoru NIWA
Makoto KUNOH
Norihiko KUBO
Seiji SANADA

Environmental Planning Division, Environmental Department,
Public Works Research Institute,
Ministry of Construction, Japan

1. Introduction

In fresh water bodies such as natural lakes, retarding basins and dam reservoirs, the aquatic ecological environment drastically changes if nutritive materials continue to be brought down from the catchment area by rivers. Not only does the water in the lake stagnate, but also nutrients build up excessively. As a result, the ecosystem becomes unbalanced and blue-green algae and flagellate algae become dominant and multiply abnormally. Eutrophication due to these causes is pronounced in some lakes in Japan.

The Public Works Research Institute of the Ministry of Construction has developed a filamentous algae system to remove PO_4-P and other inorganic nutrients from inflowing river waters, taking advantage of the purifying function of filamentous algae.

This paper reports the principle of the new system, the structure of the facilities developed so far, and the test results.

2. Filamentous Algae System

2.1 Positioning of Filamentous Algae Among Freshwater Plants

In the sea, Rhodophyta and Phaeophyta breed as seaweeds in the botanical organization to become foliate and filiform, while aquatic plants and freshwater algae live in fresh water. Both types have very different plant tissue structures due to their different evolutions. Aquatic plants include Charophyta, Bryophyta, Pterophyta and Anthophyta. With the exception of Charophyta, these plants were once highly evolved as land plants but later returned to live underwater. The freshwater algae mainly include Cyanophyta (blue-green algae, now known also as blue-green bacteria), Pyrrophyta (flagellate algae),

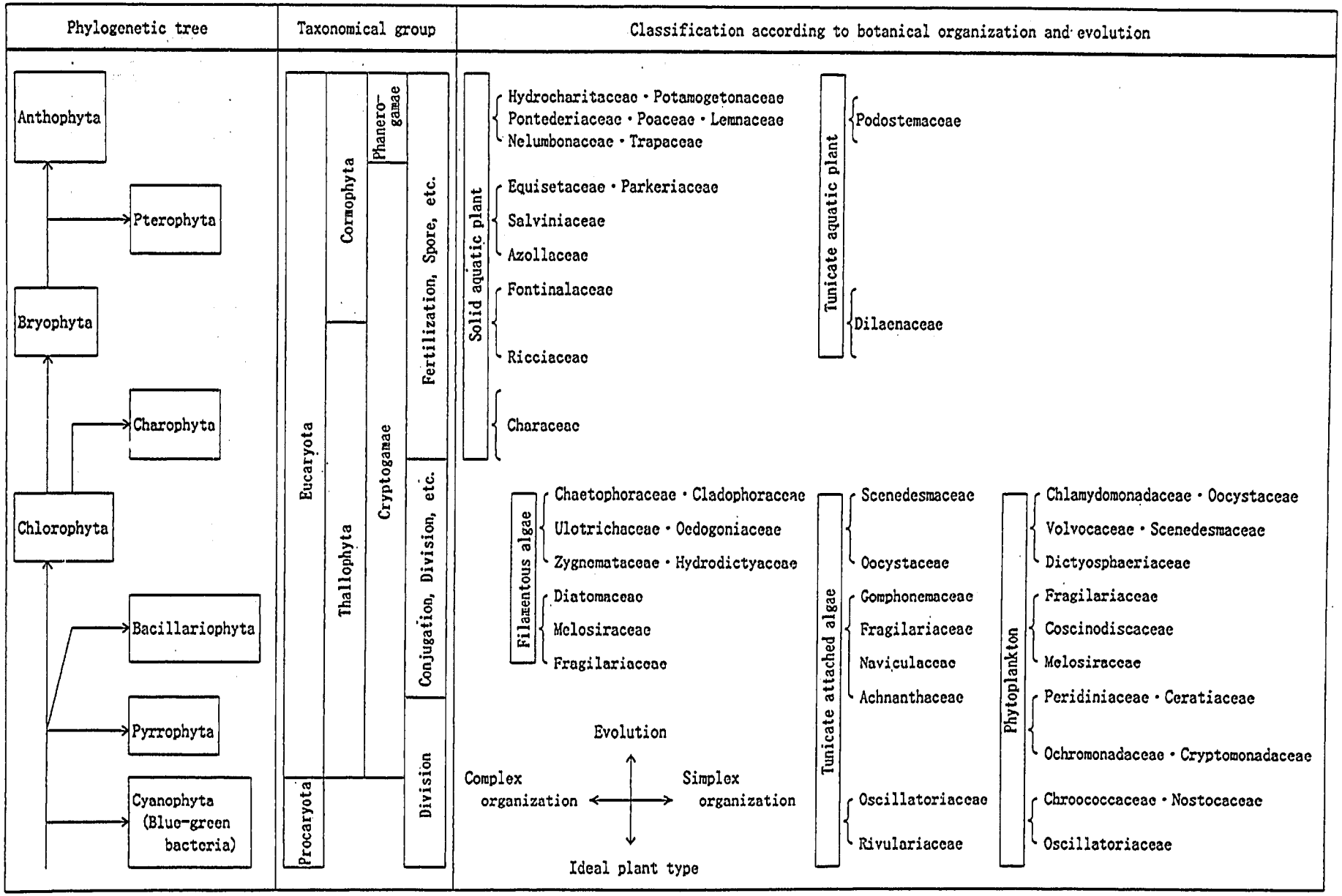


Fig.1 Position of filamentous algae in classification of fresfwater plants

Table 1. Types of filamentous algae used for filamentous algae system

Suitability	Scientific name (Class)	Stream regime environment					Season for habitation			
		Attached to substrates in rapids	Attached to substrates in gentle streams	Attached to substrates in slack water	Forming membranes at the bottom in slack water	Floating underwater in slack water	Spring	Summer	Autumn	Winter
Rapids	*Stigeoclonium* sp. (green algae)	○	△				○	○	△	△
	Cloniophora plumosa (green algae)	○	△					○	△	
	Cladophora glomerata (green algae)	○	△	△			○	○	○	△
	Diatoma vulgare (diatoms)	○	△				○	△		○
	Ulothrix zonata (green algae)	○	○				○			○
	Melosira varians (diatoms)	○	○		○		○	△	○	○
Gentle stream	*Oedogonium* sp. (green algae)	○	○	○		○	○	○	△	△
	Spirogyra sp. (green algae)	○	○	○		○	○	○	○	○
	Fragilaria construens (diatoms)		○		○		○	△	○	△
	Mougeotia sp. (green algae)		○	○		○	○	○	○	△
	Pithophora kewensis (green algae)			○		○	○	○	○	
Slack water	*Hydrodictyon reticulatum* (green algae)		△			○	○	○	○	△

○: Habitation in active condition was confirmed , △: Habitation in inactive condition was confirmed

Bacillariophyta (diatoms) and Chlorophyta (green algae).

Freshwater algae can be further divided into three organizational subgroups: a) phytoplanktons which are minute algae floating underwater singly or as a group, b) algae attached to rocks or aquatic plants as thinly tunicated groups, and c) filamentous algae forming thread-like groups measuring from several centimeters up to scores of centimeters long. Arranged according to evolution and organization, freshwater plants can thus be considered morphologically as aquatic plants, phytoplanktons, tunicated attached algae and filament ous algae. Figure 1 shows these different forms; the ordinate axis shows whether the tissue is evolving or primeval, while the abscissa axis shows whether the organization is complex or simplex. Generally the multiplication rate is slow if the tissue is evolved and gathering is difficult if the organization is simplex. The figure shows how filamentous algae multiply rapidly and are easy to gather compared with other freshwater organisms.

The main filamentous algae used for this system are shown in Table 1. Different types of filamentous algae are suited to different flows, whether for rapids such as torrents in the upper reaches of rivers, for gentle streams such as in shallows in the middle reaches of rivers and water channels and for slack water such as in marshes, paddy fields, and ponds of purification plants. The seasons also have an effect on the suitability of habitation for different types of algae. All filamentous algae live by taking up inorganic phosphorus, nitrogen and so forth.

2.2 General Description of System

The system is designed to inhibit the abnormal growth of blue-green algae and flagellate algae by artificially making lakes and their surroundings suitable for the growth of filamentous algae which live in the natural world of rivers and marshes, thereby removing the inorganic phosphorus (PO_4-P) from the water of rivers and the surface water of lakes. Filamentous algae do not live in all rivers and lakes, but only those rivers, water channels, lakes, paddy fields and purification plants listed in Fig. 2. Furthermore, filamentous algae can live in dense groups only in areas with a special stream regime and environmental conditions. This system first accurately reproduces the natural environment such as by restricting the flow velocity, water depth and substrates in the purifying facility. The efficiency of absorbing and removing PO_4-P is then increased by carefully designing the shape and material of the substrates in the facility, the structures used to gather filamentous algae, and the method of cleaning the

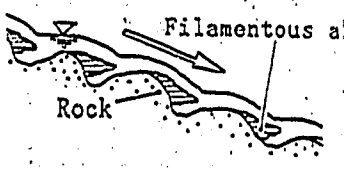
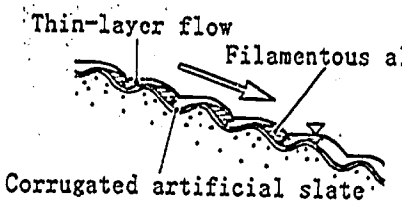
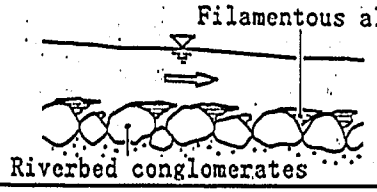
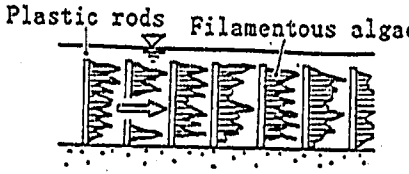
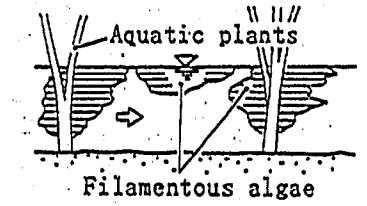
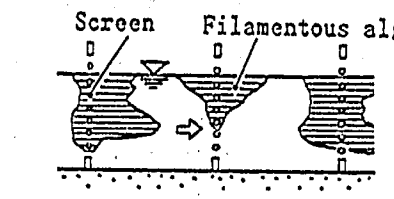
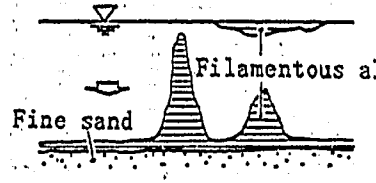
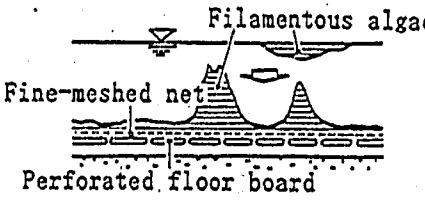
Environment of natural filamentous algae	Suitable filamentous algae	Schematic diagram of facility of filamentous algae system	Stream regime
(1) Torrents in upper reaches of river 	*Melosira varians* *Cladophora glomerata* *Spirogyra* sp. *Stigeoclonium* sp. *Cloniophora plumosa* *Diatoma vulgare* *Oedogonium* sp. *Ulothrix zonata*	(1) Steep-sloped waterway type 	Flow velocity ····30～50cm/sec Water depth ····Less than 1 cm Inclination of waterway ····20～40%
(2) Shallows in middle reaches of river and channels 	*Oedogonium* sp. *Mougeotia* sp. *Melosira varians* *Fragilaria construens* *Spirogyra* sp. *Ulothrix zonata*	(2) Gentle-sloped waterway type 	Flow velocity ····10cm/sec Water depth ····10cm Inclination of waterway ····0.5～1%
(3) Marshes and paddy fields 	*Oedogonium* sp. *Spirogyra* sp. *Hydrodictyon reticulatum* *Mougeotia* sp. *Pithophora kewensis*	(3) Horizontal waterway type 	Flow velocity ····12cm/min Water depth ····20cm Inclination of waterway ····None
(4) Slow sand filter ponds of purification plants 	*Melosira varians* *Fragilaria construens* *Hydrodictyon reticulatum* *Mougeotia* sp. *Pithophora kewensis* *Spirogyra* sp. *Oedogonium* sp.	(4) Net-passing type 	Flow velocity ····18cm/hour Water depth ····30～40cm Inclination of waterway ····None

Fig.2 Natural environment of filamentous algae and filamentous algae system

facility. This system utilizes the filamentous algae that is gathered effectively. The facility can be divided into four broad classifications as shown in Fig. 2.

1) Steep-sloped waterway type

This type reproduces the way in which filamentous algae attach to rocks in torrents in the upper reaches of rivers. The facility causes the water to descend as a thin-layer flow at a velocity of 30-50 cm/sec by using a steeply sloped waterway. This enables filamentous algae to attach to corrugated, artificial slateof wave length approx. 6 cm. Filamentous algae naturally fall off as they grow, so there is no need to gather them.

2) Gentle-sloped waterway type

This type reproduces the way in which filamentous algae attach to riverbed conglomerates in the shallows in the middle reaches of rivers or to the side walls of a channel. The facility uses a gentle waterway gradient and a flow velocity of 10 cm/sec, and the filamentous algae attach to vertical plastic rods of 4-6 mm in diameter. The filamentous algae are gathered by scraping them off the plastic rods by lowering the rods through the bottom plate.

3) Horizontal waterway type

This type reproduces how filamentous algae attach to aquatic plants or float in marshes or paddy fields. The facility used is a waterway with almost no slope, and the flow is very slight with a velocity of about 12 cm/min. Filamentous algae attach to plastic screens installed like partitions at intervals of 50 cm, or float between the screens. The filamentous algae are gathered by scrapers which travel between the screens.

4) Net-passing type

This type reproduces how in the slow sand filter ponds of purification plants filamentous algae stay on the sand surface or float in the water. The facility used consists of a perforated floor board and a polyethylene net of 2.5 mm mesh laid on the bottom surface, and a very slight flow through the net of 18 cm/hour. Filamentous algae are scraped off with an edge as the polyethylene net is rolled in at the endof the waterway.

Thus, this system artificially creates an ecological environment which effectively fixes natural river PO_4-P in natural lakes and reservoirs.

2.3 Advantages and Precautions When Using Filamentous Algae to Remove PO_4-P

Filamentous algae have many advantages that make them more suitable for removing PO_4-P from inflowing rivers and lakes than floating algae and higher aquatic plants such as water hyacinth. The advantages of using filamentous algae for water purification are:

1) Filamentous algae comprising green algae and diatoms do not cause abnormal phenomena such as algae bloom, freshwater red tide and a musty odor due to eutrophication.

2) Filamentous algae are more primeval than water hyacinth and other aquatic plants, multiply rapidly and can absorb inorganic nutrients better. Their ability to absorb PO_4-P is typically five to ten times better than aquatic plants.

3) Filamentous algae can live at lower concentrations of inorganic nutrients than aquatic plants. Even at a fairly low concentration, they can absorb nutrients if the stream regime continuously changes the water around them.

4) Filamentous algae can live at low water temperatures and can generally live in winter if there is no snow. Nutrients can therefore continue to be taken up by multiplying the filamentous algae before the season for algae bloom arrives. Also, filamentous algae have an advantage over the water hyacinth in that they are more extensive in terms of both location and season, whereas the water hyacinth can live only in Western Japan and only in summer.

5) Aquatic plants such as the water hyacinth and the reed--with the exception of submerged plants--release moisture into the atmosphere through transpiration from the leaf, whereas filamentous algae do not cause the loss of precious lake water because they live underwater.

6) Unlike floating algae, filamentous algae can be easily separated and removed from water by using a screen for example.

7) The advantages of filamentous algae of high nutritive value and low impurity content make them good for various feeds for livestock and fish, organic fertilizers for construction materials and agriculture.

When using filamentous algae to remove PO_4-P and purify water, the following precautions must be observed:

1) In the above advantage 2, filamentous algae are preferable to aquatic plants. However, since they make use of photosynthesis from sunlight, a sufficiently large waterway area is required.

2) In order for filamentous algae to grow, the artificial facility must have a specific stream regime and substrates for attaching or staying on the algae.

3) After filamentous algae have grown in the waterway of the system, if left intact, they decompose into inorganic nutrients as they gradually die off and so must be gathered regularly.

4) Since this system is not isolated from the outside world, it is affected by various freshwater plants via raw water and the atmosphere. In particular, the system must be well protected against midge larvae, duckweed and moss animals.

2.4 Classification of Purifying Facility by Raw Water

Purifying facilities can be broadly classified by the type of target raw water as either inflow water or surface water purification facilities.

1) Inflow water purification facilities

This type of facility reduces PO_4-P flowing into a lake during non-flood times by removing the PO_4-P from the river water immediately before the water enters the lake. An environment is provided near the vicinity of inflow points which enables filamentous algae to attach and grow, and thus absorb and remove the PO_4-P. These facilities can also be used to remove the PO_4-P from treated sewage and treated livestock waste water.

2) Surface water purification facilities

In this system, the facility provides an environment in which filamentous algae can attach and grow on the surface of a lake, thus enabling the algae to absorb and remove some of the PO_4-P containedin the surface water in small floods and the PO_4-P eluted from the bottom mud which is usually absorbed by undesirable floating algae such as blue-green algae and flagellate algae.

An example of the layout of the purifying facility in reservoirs is shown in Fig. 3.

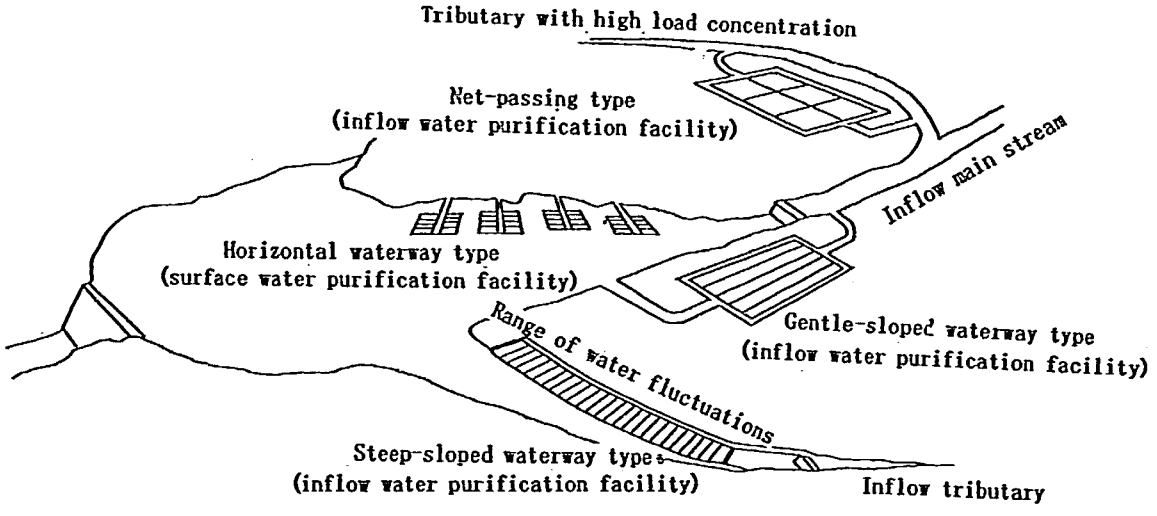


Fig.3 Example layout of purification facility in reservoirs

3. Field Tests on PO_4-P Absorbing Ability of Filamentous Algae

3.1 Purpose of Tests

To calculate the scale of facility (waterway area) for the filamentous algae system, it is necessary to estimate the PO_4-P removal ability of the system. Specifically, the amount of PO_4-P to be absorbed by the filamentous algae per unit living area per unit time must be estimated.

The concentration of PO_4-P in raw water, the stream regime environment including the gathering frequency and the daily periodicity are the main factors which affect the PO_4-P absorbing ability of filamentous algae. This section describes the tests that were conducted on PO_4-P concentration and stream regime. The differences in the stream regime and gathering frequency were determined for each type of facility.

Table 2. Supply of raw water

Test waterway	Method of supplying raw water	Remarks
Tsuchiura water tanks Nos. 7-9	Water obtained by pumice-filtering water from Lake Kasumigaura (near Tsuchiura Harbor)	PO_4-P was added as required
Kanno River	Water obtained by inter-gravel water purification from Kanno River (river flowing into Lake Imbanuma)	—
Hebisawa River	Water stored by damming the Hebisawa River (tributary of Abukuma River)	PO_4-P was added as required
General Park	Water from well dug near estuary of Bizen River (river flowing into Lake Kasumigaura)	—

Table 3. Data : For test waterway

Item	Steep-sloped waterway type		Gentle-sloped waterway type		Horizontal waterway type		Net-passing type	
	Tsuchiura water tank No. 8	Kanno River	Hebisawa River	General Park AC	Tsuchiura water tank No. 7	Kanno River	Tsuchiura water tank No. 9	Kanno River
Waterway width	0.30m	0.82m	1.0m	1.0m	0.77m	0.77m	1.4m	Round water tank
Waterway length	2.5m	3.9m	120m	89m	1.67m	5.5m	3.0m	Internal diameter 3.0m
Waterway area	0.75m^2	3.2m^2	120m^2	89m^2	1.3m^2	4.2m^2	4.2m^2	7.1m^2
Waterway gradient	25%	25%	1% (terraced)	0.5%	None	None	None	None
Amount of raw water	5 ℓ/min	12~20 ℓ/min	360~720ℓ/min	340 ℓ/min	5 ℓ/min	25 ℓ/min	25 ℓ/min	24~60 ℓ/min
Amount circulated	40 ℓ/min	108~180ℓ/min	140 ℓ/min	—	—	—	—	—
Overflow discharge	—	—	—	—	—	—	5 ℓ/min	4~10 ℓ/min
Area per amount of raw water	0.9 ha/(m^3/sec)	1.6~1.0 ha/(m^3/sec)	2.0~1.0 ha/(m^3/sec)	1.6 ha/(m^3/sec)	1.6 ha/(m^3/sec)	1.0 ha/(m^3/sec)	1.0 ha/(m^3/sec)	1.8~0.7 ha/(m^3/sec)
Type of substrate	Corrugated artificial slate	Corrugated artificial slate	Plastic rods	Uneven surface concrete	Polyethylene net	Polyethylene net	Polyethylene net	Gravel
Substrate specifications	Wave length 6 cm	Wave length 6 cm	Diameter 4 mm One for each 6 cm^2	Size of gravel 5 cm	Mesh 13mm Interval 44cm	Mesh 13mm Interval 50cm	Mesh 2.5mm Mounted on perforated vinyl chloride board	Grain size 4 mm
Filamentous algae that lived	Primary··*Melosira* Rare··*Cloniophora*, *Cladophora*	Primary··*Melosira*, *Stigeoclonium*	Primary··*Melosira*, *Spirogyra* Rare··*Cloniophora*	Primary··*Oedogonium*, *Hydrodictyon* Secondary··*Mougeotia*	Primary··*Mougeotia*, *Spirogyra* Secondary··*Oedogonium*, *Pithophora*	Primary··*Hydrodictyon* Secondary··*Spirogyra* Rare··*Oedogonium*	Primary··*Melosira* Rare··*Oedogonium*	Primary··*Hydrodictyon*

3.2 Test Method

Four types of test waterways were used: steep-sloped waterways, gentle-sloped waterways, horizontal waterways and net-passing waterways, with two waterways for each type, giving eight in total. Two waterways were used for each type to broaden the range of raw water PO_4-P concentrations used in the test.

The raw water types used were river water, lake water and ground -water. Table 2 shows the raw water that was used for each test waterway, while Table 3 shows the data for the test waterways. The amounts of raw water were set so that the waterway area per inflow of raw water was approximately 1 to 2 ha/(cm^3/sec). Figure 4 shows an outline of the test waterways.

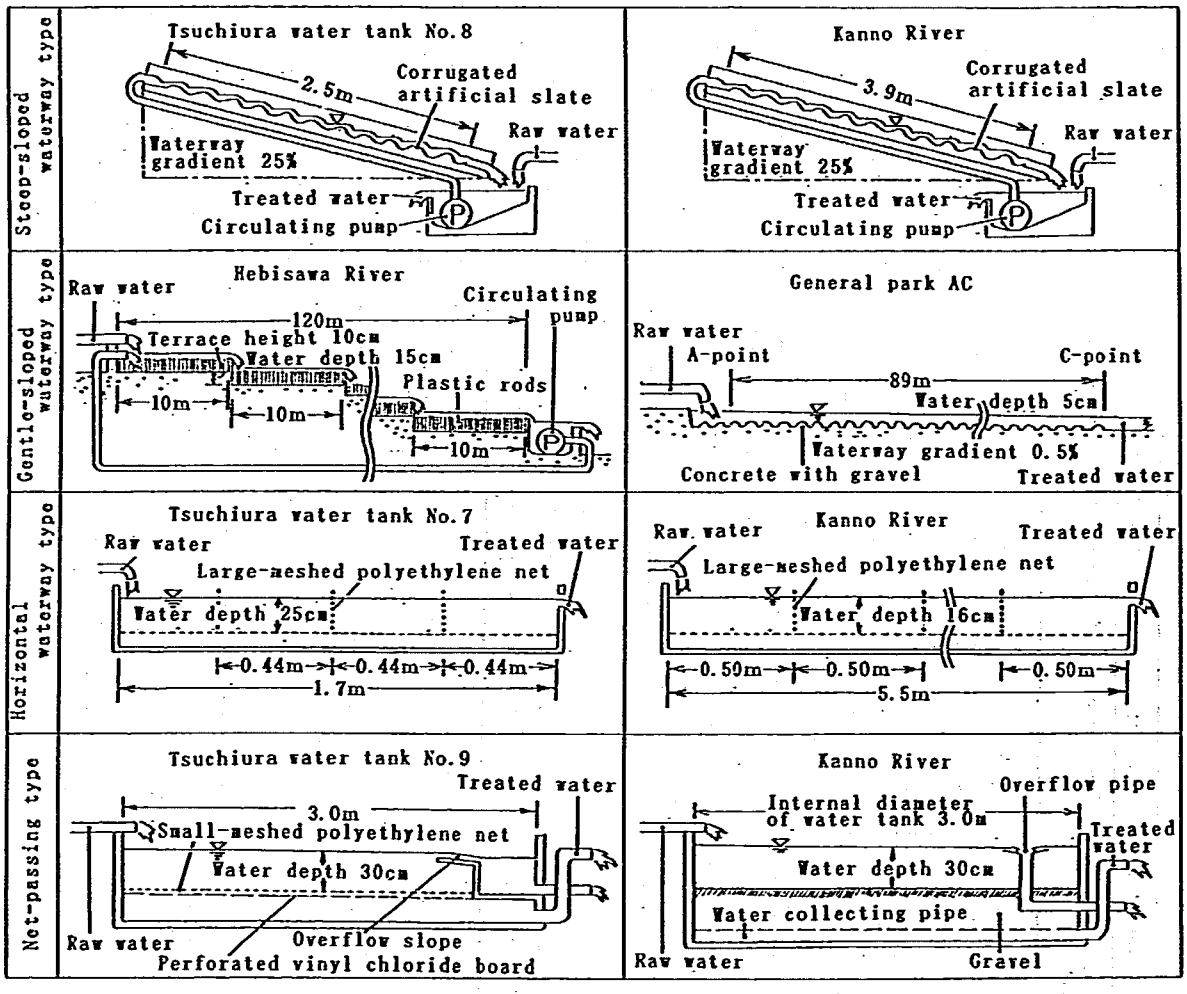


Fig.4 Outline of test waterway

3.3 Test Results

Figure 5 shows the results of the test, illustrating the relationship between the concentration of PO_4-P in the raw water and the phosphorus absorbing ability separately for each of the four types. In each chart, the solid line is the least squares line using the average value for a month. The broken line represents the phosphorus absorbing ability where the maximum amount of PO_4-P could be removed from the raw water by treating 1 m^3/sec of raw water by 2 ha.

Figure 6 is the result of calculating the concentration of PO_4-P in treated water and its rate of removal, using Fig. 5 and Equations (1) and (2). According to Fig. 6, if 1 m^3/sec is treated by 2 ha, then the removal rate of each type for 20 to 40 μg/ℓ, which is typical of the concentrations of PO_4-P in water flowing into reservoirs and natural lakes that may cause eutrophication, is about 60% for steep-sloped waterways, gentle-sloped waterways and the net-passing waterways, and about 35% for horizontal waterways. The concentration of PO_4-P in treated water and its removal rate when treating 1 m^3/sec of raw water for an area other than 2 ha can also be calculated from Fig. 5 and Equations (1) and(2).

$$C = 1.44 \times (Pin - Pout) \times Q/A \quad \text{---------- (1)}$$

$$r = 1 - Pout/Pin \quad \text{---------- (2)}$$

where,

C = phosphorus absorbing ability (mg/day/m^2);
Q = amount of raw water (ℓ/min);
Pin = concentration of PO_4-P in raw water (μg/ℓ);
A = waterway area (m^2);
Pout = concentration of PO_4-P in treated water (μg/ℓ);
r = removal rate.

Figure 7 shows the results of averaging the PO_4-P absorbing ability of each type for every month and plotting them on the same chart and by also plotting the PO_4-P absorbing abilities of aquatic plants from other documents. This figure shows that the PO_4-P absorbing ability of filamentous algae is about 5 to 10 times that of aquatic plants.

Figure 8 shows examples of the facility layout when treating 1 m^3/sec of raw water by 2 ha of facility.

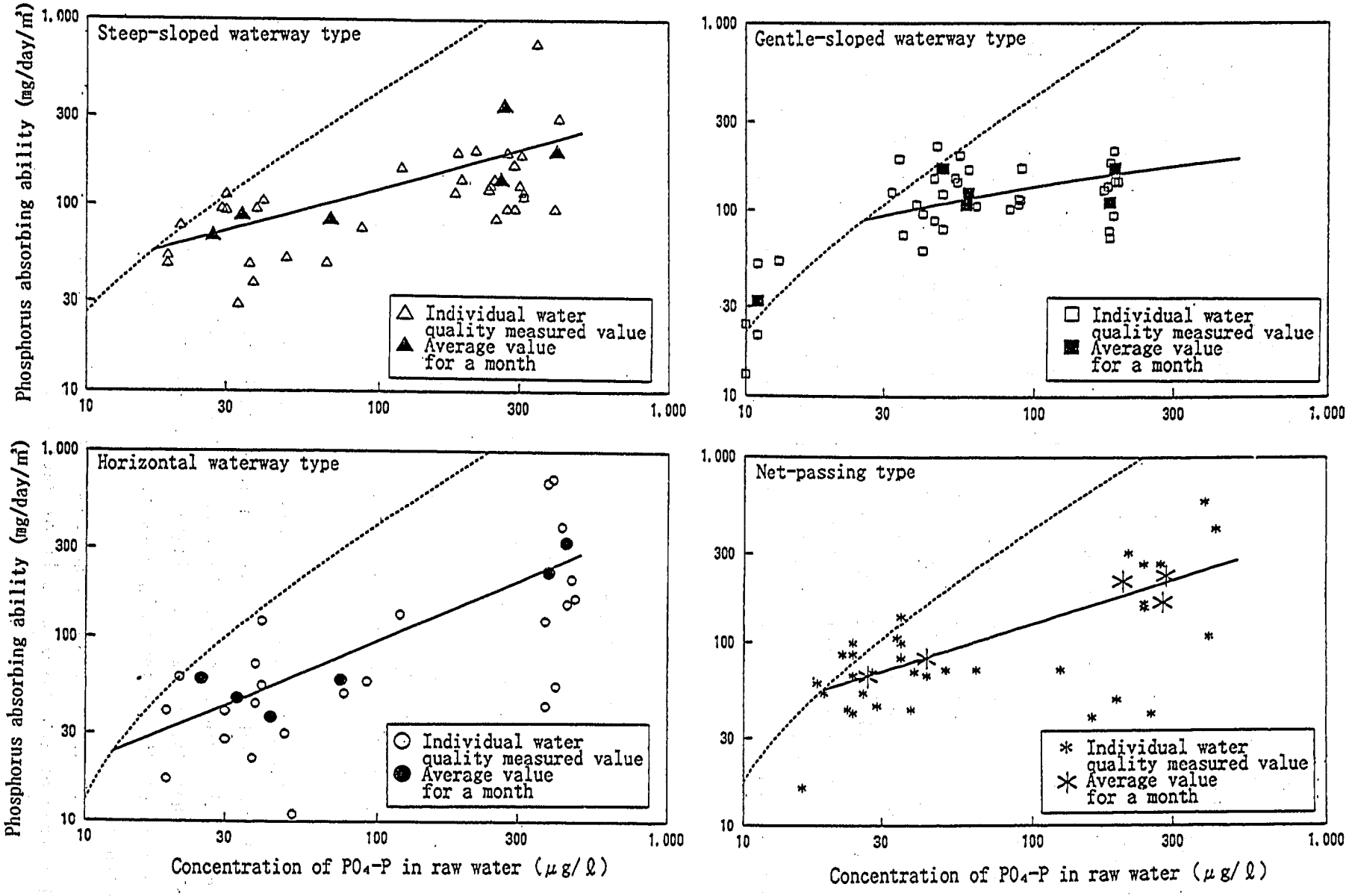


Fig.5 Relation between phosphorus absorbing ability and concentration of PO_4 −P in raw water by field tests

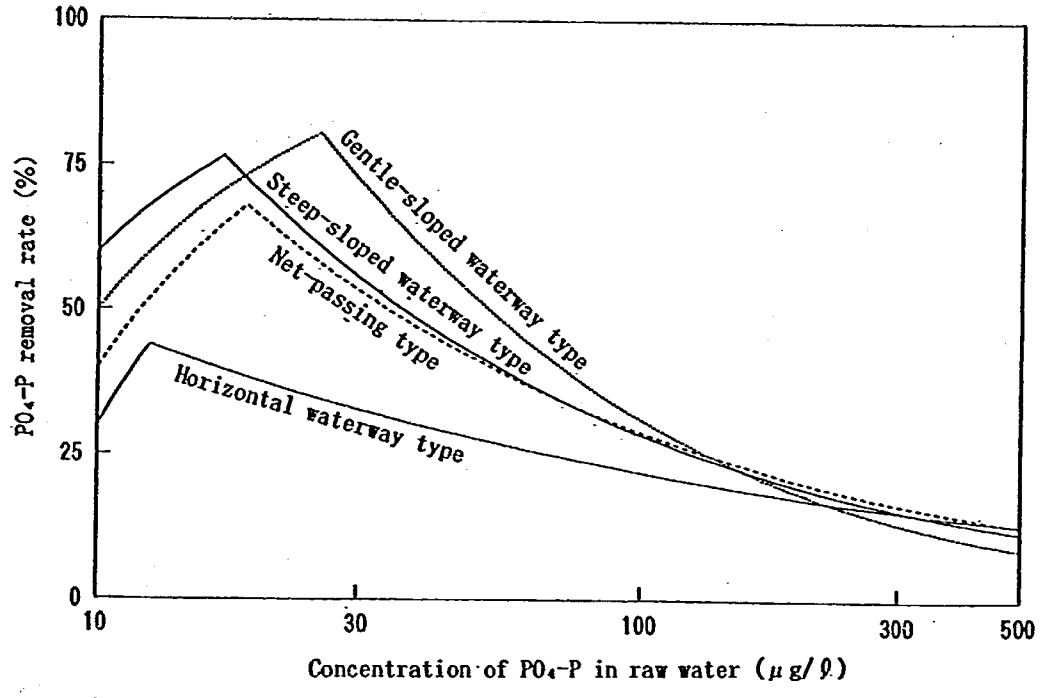


Fig.6 PO_4 −P removal rate when treating 1m^3/sec by 2ha

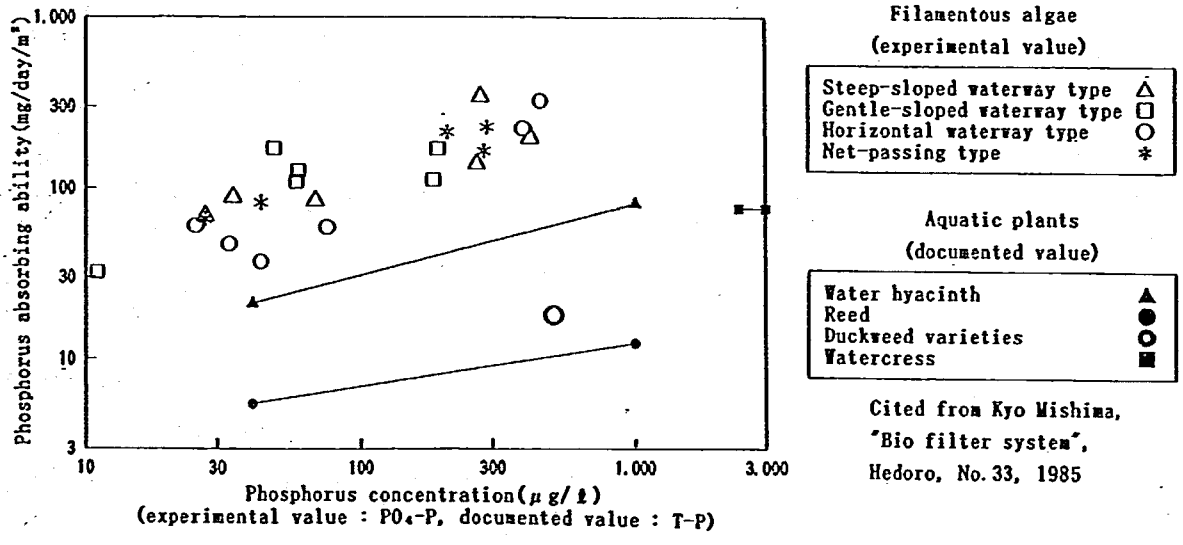
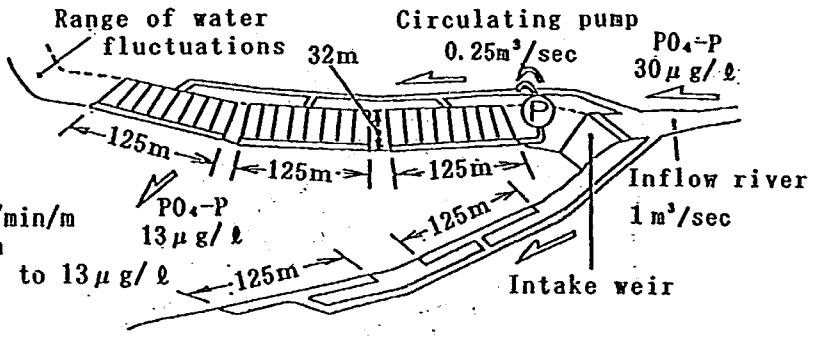


Fig.7 Comparison of filamentous algae and aquatic plants for PO_4 −P absorbing ability

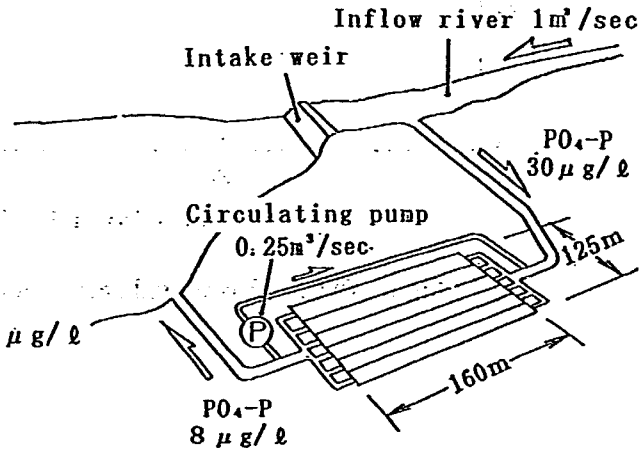
Steep-sloped waterway type

Amount of raw water 1m³/sec,
amount circulated 0.25m³/sec
Waterway area 2 ha
Discharge per unit width 120 ℓ/min/m
Waterway length 32m×width 625m
PO_4-P removing ability 30μg/ℓ to 13μg/ℓ



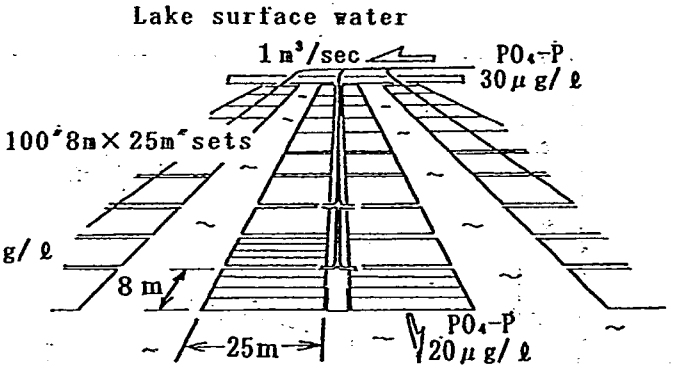
Gentle-sloped waterway type

Amount of raw water 1m³/sec,
amount circulated 0.25m³/sec
Waterway area 2 ha
Water depth 10cm,
flow velocity 10cm/sec
Waterway length 160m×width 125m
PO_4-P removing ability 30μg/ℓ to 8μg/ℓ



Horizontal waterway type

Amount of raw water 1m³/sec,
amount circulated : none
Waterway area 2 ha
Water depth 20cm,
flow velocity 12cm/min
Waterway length 8m×width 2500m
PO_4-P removing ability 30μg/ℓ to 20μg/ℓ



Net-passing type

Amount of raw water 1m³/sec,
amount circulated : none
Waterway area 2 ha
Water depth 35cm,
net-passing velocity 18cm/hour
Waterway length 25m×width 800m
PO_4-P removing ability 30μg/ℓ to 14μg/ℓ

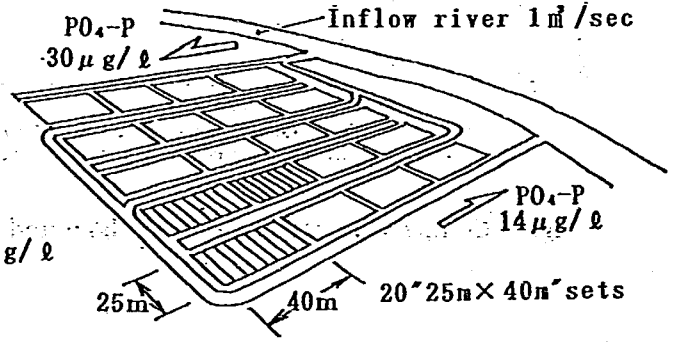


Fig.8 Examples of facility designs for filamentous algae system

4. Summary

1) In terms of evolution and botanical organization, filamentous algae are more effective at removing PO_4-P from large quantities of inflow river water and lake surface water than other freshwater plants as a measure against lake eutrophication. (See Fig. 1.)

2) Regarding the structure of the facility for the filamentous algae system, natural environments where the filamentous algae can live in high-density groups must be located, and the shape and material of the substrates in the facility, the method for gathering filamentous algae and the method for cleaning the facility must be carefully designed. Our studies have shown that the facility structures can bebroadly divided into four types: the waterway type, gentle-sloped waterway type, horizontal waterway type and net-passing type. (See Fig. 2.)

3) The effects of removing PO_4-P were determined from field tests based on the scale of facility for permanent facilities. Assuming treatment of 1 m^3/sec of raw water by 2 ha of facility, the rate of removing PO_4-P is about 60% for the steep-sloped waterway type, gentle-sloped waterway type and the net-passing type, and about 35% for the horizontal waterway type if the concentration of PO_4-P in the raw water is within 20 - 40 μ g/ℓ. (See Table 6.)

4) Field tests showed that the PO_4-P absorbing ability of filamentous algae is approximately five to ten times that of aquatic plants. (See Fig. 7.)

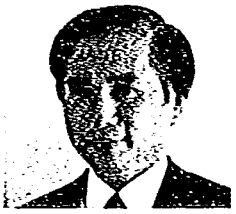
REFERENCES

[1] Toshio HIROSE, Kaoru NIWA, Makoto KUNOH, and Yoshihiro YAMASHITA: Development of reservoir water quality technology using current control and filamentous algae, 18th International Congress on Large Dams, 1994

[2] Kyo MISHIMA; Bio filter system, Hedoro, No.33, 1985

そ の 他（総合）

ダム湖と湖沼の富栄養化対策技術の動向



建設省土木研究所環境部
環境計画研究室長　丹羽　薫

1．総合的な富栄養化対策の新しい構図

日本のダム湖、遊水池、自然湖沼などの多くの湖沼では、流域から栄養塩類が過剰に流れ込むために、湖水の栄養塩類が増加して富栄養化を来している。湖沼の栄養塩類が増える結果、藍藻類や鞭毛藻類が優占種となって異常増殖することとなり、アオコや淡水赤潮、水道水のカビ臭、湖沼沿岸の異臭、魚類のへき死、親水活動の阻害などの深刻な問題を引き起こしている。

近年、建設省土木研究所環境計画研究室では、積極的にダム湖や遊水池等の水質環境を保全できる効果的な複数からなる対策を開発している[1][2]。図－1に当研究室が取り組んでいるダム湖や遊水池等の富栄養化対策を示す。

図－1　ダム湖や遊水池等の富栄養化対策メニュー

① 流入河川からダム湖へ供給される栄養物質を削除する。
- 糸状藻類活用システム　（平成4年度土研開発済）
  糸状藻類を用いて無機態リン（PO_4-P）を除去。
- 落葉回収システム　（平成6年度土研開発中）
  小洪水時に流入して来る落葉を流入端で除去。
- 流入水迂回システム
  栄養負荷の高い支川或は本川の平常時流入水をダム下流に迂回。例えば、阿木川ダム。
- 小洪水貯留システム　（平成6年度土研開発中）
  栄養負荷の高い支川にて小洪水を貯留しPO_4-Pを除去した後にダム湖へ放流。

② 湖内の流動を制御して浮遊藻類が生息しにくい環境とする。
- 流動制御システム　（平成4年度土研開発済）
  散気方式の曝気と選択流入・選択放流との組合せ。深層や入江水域の制御も含む。
- 水温分布制御システム　（平成5年度土研開発済）
  ヒートポンプを用いて流入河川水温とダム湖水温分布をより確実に制御。

③ 湖内の浮遊藻類そのものを除去する
- 軽石濾過システム　（平成5年度土研開発済）
  軽石に表層水を通して藍藻類・鞭毛藻類を除去。
- ヨシ原浄化システム
  ヨシ原に表層水を通して藍藻類・鞭毛藻類を除去。例えば、渡良瀬遊水池、霞ヶ浦。

④ 生態系を制御して浮遊藻類が異常増殖しにくい環境とする
- 生態系制御システム　（平成6年度土研開発中）
  動物プランクトン、付着藻類、底生動物、及び魚類等を活用した生態系による浮遊藻類の増殖抑制。

対策は大きく分けて四つのグループに分かれる。そのうち①～③のグループは開発中のものから実用段階のものを含む。④のグループは研究を開始した段階である。

ここでは、その中で中心となる「糸状藻類活用システム」と「流動制御システム」について説明する。

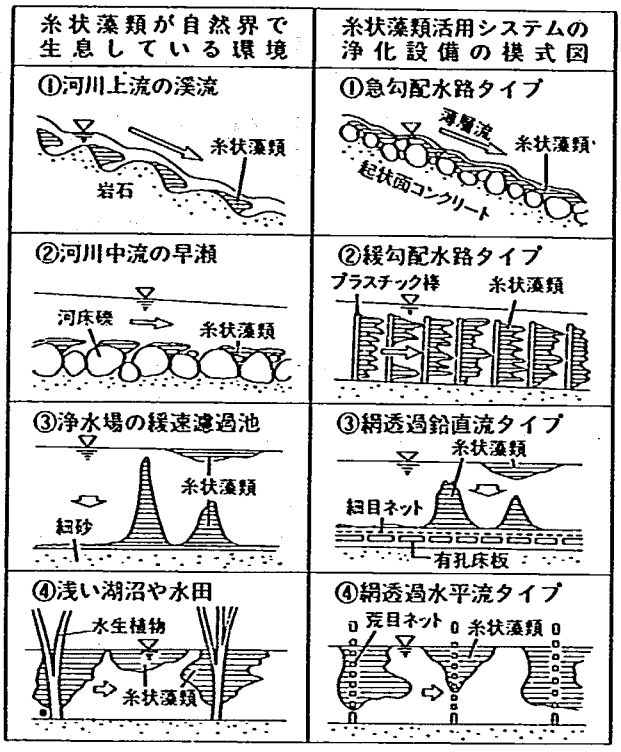
2. 糸状藻類活用システム

2.1 システムの概要

ダム湖や湖沼等において、浮遊藻類が異常増殖する直接の要因は、無機態のリン（PO_4-P）等の栄養塩類が湖沼に多量に流入することである。産業排水や下水処理水等の高負荷少量水については、PO_4-P処理技術が別途研究されている。一方、耕地等の面源負荷や高度処理が行われていない下水処理水や畜産排水処理水が流れ込む自然河川の低負荷多量水を対象としたPO_4-P除去技術は、近年まで開発されていなかった。土木研究所環境計画研究室では、糸状藻類という生物による浄化能力を活用して、流入河川水等からPO_4-P等の無機態栄養塩類を除去する技術を開発しており、「糸状藻類活用システム」として公表してきた。

海には大型の付着性の藻類として海藻が生息する。一方淡水域には、海藻に相当する付着性の藻類として糸状藻類が生息している。ここで用いる糸状藻類とは、肉眼レベルで毛糸や木綿糸のように糸状になっている藻類を指す。なお糸状藻類は、渓流、早瀬や水路のように急流や緩流に適する種類と、浅い湖沼、水田や浄水場のように微流に適する種類とがある。また生息に適する季節は、糸状藻類の種類により異なる。

「糸状藻類活用システム」は、河川や浅い湖沼等の自然界で生息している糸状藻類が増殖できる環境を人為的に湖沼近傍に与えることにより、流入河川水及び湖沼表層水からPO_4-Pを除去し、藍藻類や鞭毛藻類の異常増殖を抑制するシステムである。糸状藻類は図－2に示すように河川、湖沼、水田、及び浄水場において、様々な流況環境のもとで生息している。糸状藻類はいずれの場合も無機態の栄養塩類を吸収して生息している。本システムは、自然界の生息環境を浄化設備の中に忠実に再現させ、次にその設備における流速、水深、基質、糸状藻類の回収、及び設備の洗浄等の構造的な工夫を行ってPO_4-Pを吸収除去する効率を高め、さらに回収した糸状藻類の有効利用を計るものである。そのような手順で考案された設備概要を図－2に示す。また、ダム湖における浄化設



図－2　糸状藻類の自然界での生息環境と浄化設備

備の配置例を図－3に示す。このように本システムは、自然河川等にてPO_4-P固定に役立っている生態環境を湖沼において人為的に作り出し、最大限に活用するものである。

2.2 糸状藻類をPO_4-P除去に用いる利点

糸状藻類は浮遊藻類やホテイアオイ等の高等な水生植物に比べて、流入河川水や湖水からPO_4-Pを除去するのに適した多くの利点を有しており、以下に示す。

①糸状藻類は富栄養化に起因する異常現象（アオコ、淡水赤潮、カビ臭等）の原因とならない。

②糸状藻類は増殖速度が早く、その分無機態の栄養塩類の吸収能力が高い。糸状藻類のPO_4-P吸収能力は水生植物の10倍程度を期待できる。

③糸状藻類は水生植物に比べ低い無機態の栄養塩類濃度でも生息が可能である。かなり低い濃度となっても、糸状藻類のまわりの水が次々と入れ替わるような流況であれば栄養塩類を吸収することができる。

④糸状藻類が生息する適応温度は、低い水温でも可能であるため、冬季も概ね生息が可能である。従ってアオ

コが発生する季節よりも先に糸状藻類を増殖させて栄養塩類を取り続けることができる。またホテイアオイが西日本の夏季しか生息に適さないのに対して、糸状藻類は地域性と季節性の点で幅が広く有利である。

⑤ホテイアオイやヨシ等は葉面からの蒸散によって水分を大気中に放出してしまうが、糸状藻類は水中に生息するため貴重な湖水を失うことはない。

⑥糸状藻類が生息するには付着あるいは上載できる基質が必要であり、この基質を人為的に操作することにより糸状藻類の生息を制御できる。

⑦浮遊藻類と異なり、糸状藻類は水からの分離除去がスクリーン等で容易にできる。

⑧糸状藻類は栄養価が高いものが多く、魚類、鶏、及び家畜の良質のエサとなる。

3. 流動制御システム

3.1 システムの概要

流動制御システムは、平常時においてダム湖の表層に温水でしかも表層付近の水温分布が均一である循環混合層を、水深概ね15～20mまで厚く形成させ、中小洪水時にもこの層を温存させることにより、表層に生息する藍藻類や鞭毛藻類への栄養塩類と光を抑制することになり、それによって藍藻類等の異常増殖を抑制するシステムである。図－4に流動制御システムの模式図を示す。

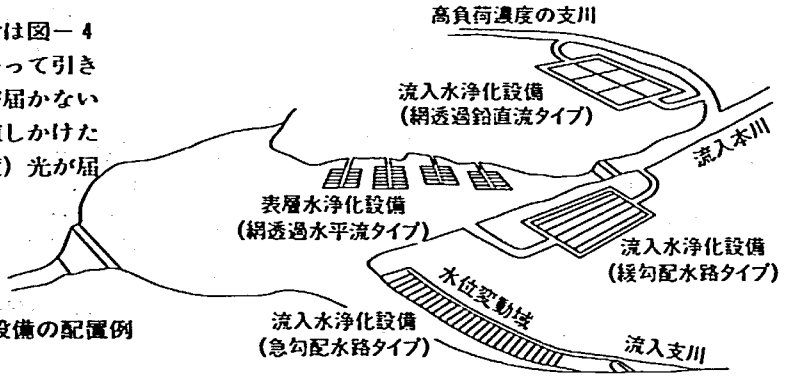
一般に自然状態における夏季の水温分布は、図－5に示すように水面で最も高く、水深が深くなるにつれて低くなるいわゆる水温成層が形成される。水温成層が形成されると、表層の水は一時躍層を越えて上下に移動し難い安定した水塊となる。このような表層では光が良く得られ、また栄養塩類を多く含む流入河川水が一般に水面下数メートルの水深に侵入して来て栄養塩類の供給も受けられるため、藍藻類や鞭毛藻類が異常繁殖するのに適した環境となる。

散気方式の曝気を行うと、循環混合層の中では図－4に示すように第2循環流の表層水が曝気に向かって引き寄せられ、何日か後（例えば8日後）には光が届かない中層部へ循環させられる。よって表層部で増殖しかけた浮遊藻類は暫くの間（例えば8日間の2倍程度）光が届かない暗い中層部に追いやられ、光合成に必要な光が制限されることになる。さらに表層水が曝気に引き寄せられている間においても、循環混合層の表層部では水温鉛直分布がほぼ均一であるため、気温の急低下に伴う表層水温の低下等により、表層部の数メートルでは上下の混合がしばしば生じ易い状態にあり浮遊藻類は安定した増殖ができない。

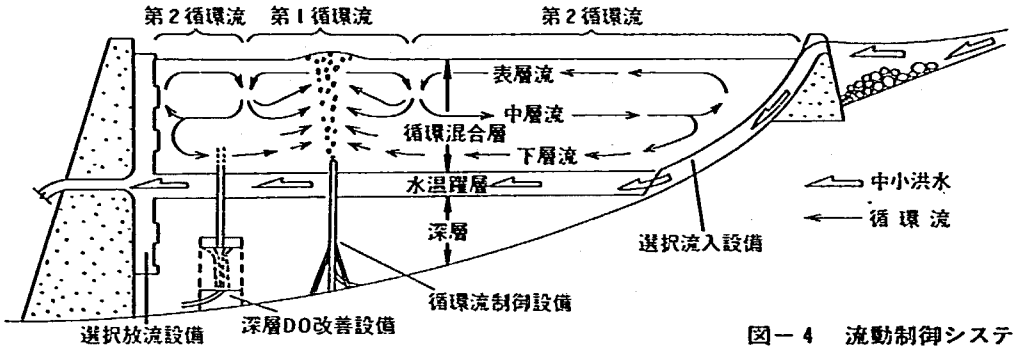
散気方式の曝気により循環混合層が形成されるが、平常時の流入河川水は図－5に示すように常に水温躍層に導かれるとは限らず、循環混合層の下層部に侵入する場合が多い。一方、循環混合層の下層部で生息する緑藻類や珪藻類はガス泡を持たないために藍藻類と異なり深層へ向かって沈降しやすい。流動制御システムにおいては、循環混合層の下層部に侵入してきた平常時の流入河川水は、循環混合層の下層部において下流方向へ1km程度も進行する間に流入河川水に含まれていた無機態の栄養塩類がこれらの緑藻類や珪藻類に吸収され、それらはやがて深層へ沈降するため、栄養塩類の底泥への固定が期待できる。結果的に表層で生息する藍藻類に供給される栄養塩類を減少させることになり、藍藻類の異常増殖を抑制できる。

さらに循環混合層が図－5に示すように温水でしかもその厚さが15～20mあれば、栄養塩類を多く含んでいる中小洪水時の流入水は平常時の流入河川水よりさらに低温であるため水温躍層へ導かれる。よって、藍藻類が生息している表層への栄養塩類の混入を減少させることになり、藍藻類の異常増殖防止に役立つ。

以上のような流動制御機能を満足する循環混合層における水温鉛直分布の理想的な形状を図－5に示す。水深約10m以浅は温水でしかも均一な水温鉛直分布を持ち、上下の混合が生じやすい層とする。水深約10mから約20mの層の水温は約10m以浅より常時低く保つ必要がある。



図－3　ダム湖における浄化設備の配置例

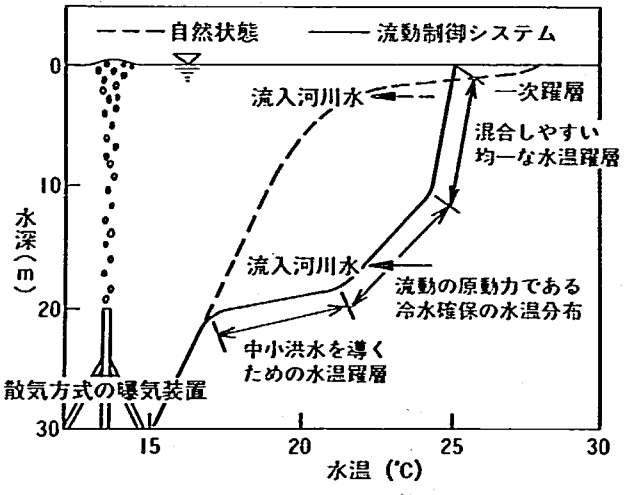


図－４　流動制御システムの模式図

その理由は、第２循環流を定常的に循環させるには、第２循環流の表層水と下層水との水温差が常時必要なためである。水深20m付近の水温躍層は中小洪水を選択放流設備へ導くためのものである。

3.2　濁水長期化対策と冷水対策

濁水長期化対策としては、中小洪水時の高濁水を水温躍層に導くことにより、表層の清澄水を温存することが可能である。散気方式で循環混合層を厚くすることは、濁水長期化対策にもなる。散気方式により循環混合層を厚く形成してゆく場合における水面付近の水温は、日射による熱エネルギーをはじめとする湖水と大気と流入河川水との熱収支バランスにより定まるが、日射エネルギーが優勢であるため、水面付近の水温低下はわずかしかなく、むしろ循環により日射エネルギーが循環混合層の中層部や下層部にまで移送され、循環混合層全体の水温は上昇する。ただし日射エネルギーが小さい春期に曝気水深を大きくしすぎると、循環混合層全体の水温が低下してしまうため注意を要する。従って冷水対策として表層取水を行っている場合、曝気水深の管理を無理なく行っていれば、取水可能な層が厚くなるため有利となる。



図－５　水温鉛直分布の模式図

3.3　従来技術との関係

従来ダム湖では、選択取水設備及び曝気循環設備がそれぞれ単独の目的で設置されてきたが、ダム湖内の水温躍層標高を積極的にコントロールしてダム湖内の流動を制御しようとするものではない。流動制御システムは、中小洪水時の放流高を15～20mの水深にあたる標高に設け、散気方式の曝気装置により安定した水温躍層を放流口標高付近に作り、中小洪水時における高負荷の栄養塩類及び高濁水を含む流入河川水をできるだけすみやかにダム湖から放流させる。ダム湖上流端においても流入河川水を表層の湖水と極力混合させることなく水温躍層に導き入れるために選択流入設備を新たに設けるものである。

4．今後の展望

ここで紹介した新しい水質保全技術は現在いくつかのダム湖で実用化されつつある。今後更に、各ダムの状況に適した技術を組み合わせて適用すると共に、各現場での更なる技術開発が期待される。

参考文献

1）丹羽薫・久納誠・久保徳彦・真田誠至：糸状藻類を活用した湖沼の富栄養化対策技術の開発、土木技術資料、第35巻第11号、1993
2）丹羽薫・久納誠・久保徳彦・山下芳浩：流動制御によるダム湖の水質保全対策技術の開発、土木技術資料、第35巻第11号、1993

ダム湖富栄養化対策技術の最近の動向

久納　誠*

1　はじめに

平成6年も6月になりいよいよダム湖の富栄養化現象の季節が近づきつつある。昨年は冷夏と長雨により農産物や林産物に大きな被害を受けたが，この異常気象の影響は広く生態系に及び，例年富栄養化現象により悩まされているダム湖や自然湖沼では低温，日照不足および大量出水が藍藻類の異常増殖を押さえ，アオコやカビ臭の発生が少なく，ダム湖や自然湖沼にとってまさに天恵の年であった。

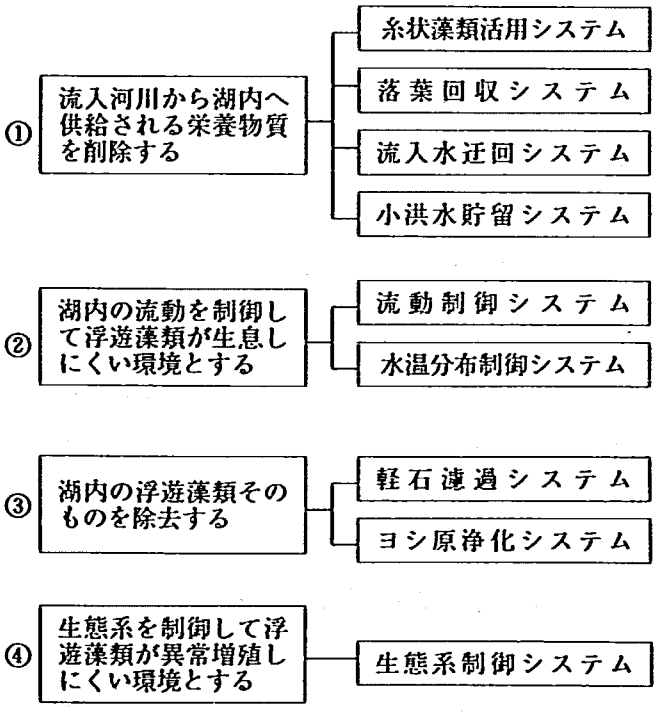
近年，建設省土木研究所環境計画研究室では，どんな気象や流入負荷等の条件に対しても積極的にダム湖や遊水池等の水質環境を保全することを目標とした複数からなる効果的な対策手法の開発に取り組んでいる。

本報文では最近の富栄養化対策メニューを紹介するとともに，各対策技術の原理を説明し，さらに九州におけるダム群に対する適用の可能性を述べる。

2　新しい富栄養化対策メニュー

図－1にダム湖や遊水池等の富栄養化対策の代表的なメニューを示す。これらのメニューは水質保全効果，施設整備費用，および維持管理費用などを総合的に検討して選んだものである。対策手法は大きく分けて4つのグループに分かれる。そのうちグループ①～③は実用段階のものから開発中のものを含む。グループ④は研究を開始した段階である。

グループ①は，流入河川からダム湖などへ流入して来るリンや窒素の栄養物質を湖内に入る直前で削除する対策手法である。「糸状藻類活用システム」は，糸状藻類が増殖できる環境を人為的にダム湖近傍に与えることにより，平常時の流入河川水の無機態のリンや窒素を糸状藻類により吸収除去する。「落葉回収システム」は，初期流出水に含まれている落葉を効率よく回収除去する。「流入水迂回システム」は，平常時における無機態のリンや窒素の多い流入支川或いは流入本川において，流入河川水そのものをダム湖に入らぬようにダム下流へバイパスさせる。阿木川ダムで実現している。「小洪水貯留システム」は，中小洪水の初期流出水に含まれる無機態のリンや窒素の除去を目的として，初期流出を一旦入江の沢に溜めてからリンや窒素を緑藻類や珪藻類に吸収させ，それらの浮遊藻類を除去した後にダム湖に放流する。



図－1　ダム湖や遊水池等の富栄養化対策メニュー

* 建設省土木研究所環境部環境計画研究室 主任研究員

グループ②は，ダム湖内の流動や水温分布を制御して，藍藻類や鞭毛藻類が表層で安定した増殖をしにくい環境にする対策手法である。「流動制御システム」は，散気方式の曝気，選択流入および選択放流などを組合せて，ダム湖の表層に温水でしかも表層付近の水温分布が均一である循環混合層を水深15～20mまで厚く形成させ，表層に生息する藍藻類や鞭毛藻類への栄養物質と光を抑制する。さらに「水温分布制御システム」は，流動制御システムの機能をより補完するものであり，ヒートポンプにより循環混合層の水温を上昇させ，また流入河川水或いは深層の水温を低下させ，藍藻類や鞭毛藻類が異常増殖しにくい水温分布に制御する。

グループ③は，遊水池やダム湖で発生した藍藻類や鞭毛藻類が異常増殖してアオコや淡水赤潮になる前に浮遊藻類そのものを除去してしまう対策手法である。「軽石濾過システム」は，軽石を用いて浮遊藻類を濾過し，自動化した簡便な方法で軽石層を定期的に洗浄することにより，リンや窒素の溶出や目詰まりを生じることなく半永久的に使用するのが特徴である。「ヨシ原浄化システム」は，遊水池などにおいて浮遊藻類が異常増殖しかけた湖水をヨシ原に効率的に通水して浮遊藻類を除去する。渡良瀬遊水池や霞ケ浦などで部分的に行われている。

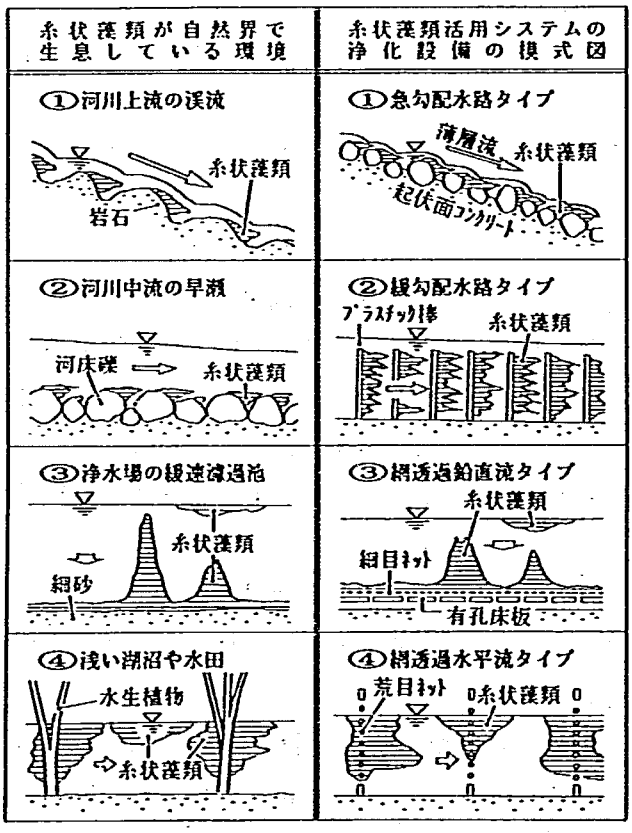
グループ④は，ダム湖や遊水池の生態系を制御して藍藻類や鞭毛藻類が異常増殖しにくい生態系環境にする対策手法である。「生態系制御システム」は，動物プランクトン，付着藻類，底生動物，および魚類などを活用して浮遊藻類の増殖を抑制する。

3　対策技術の原理について

対策技術の原理について各システム毎に説明する。ただし，紙面の都合上，ここで説明するシステムは九州の各ダムに既に関連しているシステムのみをとりあげる。

(1)　糸状藻類活用システム

糸状藻類活用システムは，河川や浅い湖沼等の自然界で生息している糸状藻類が増殖できる環境を人為的にダム湖近傍に設けることにより，流入河川水およびダム湖表層水からPO_4－Pを除去し，藍藻類や鞭毛藻類の異常増殖を抑制するシステムである。糸状藻類は図－2に示すように河川，湖沼，水田および浄水場において，様々な流況環境のもとで生息している。糸状藻類はいずれの場合も無機態の栄養塩類を吸収して生息している。本システムは，自然界の生息環境を浄化設備の中に忠実に再現させ，次にその設備における流速，水深，基質，糸状藻類の回収，および設備の洗浄等の構造的な工夫を行ってPO_4－Pを吸収除去する効率を高め，さらに回収した糸状藻類の有効利用を計るものである。そのような手順で考案された設備概要を図－2および表－1に示す。このように本システムは，自然河川等にてPO_4－P固定に役立っている生態環境を図－3に示すようにダム湖近傍やダム湖内に人為的に作り出し，最大限に

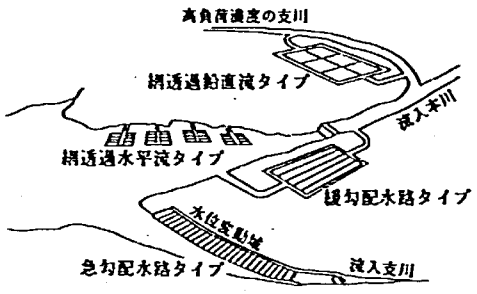


図－2　糸状藻類の自然界での生息環境と浄化設備

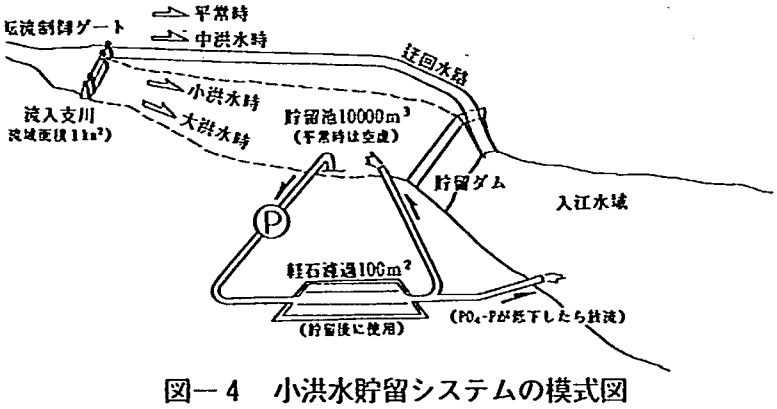
表－1　自然界と浄化設備の対応

自然界		対応する浄化設備	流況	適する糸状藻類
①	河川上流の渓流（岩石に付着している）	急勾配水路タイプ（起伏面コンクリートに付着させる）	薄層流　30～50cm／sec 水深　1cm以内 水路長　20m（標準） 水路勾配　15～35%	カワシオグサ，メロシラ，ディアトマ，サヤミドロ，アオミドロ，ヒビミドロ
②	河川中流の早瀬（河床礫に付着しいる）	緩勾配水路タイプ（プラスチック棒に付着させる）	水平流　10cm／sec 水深　10cm 水路長　200m（標準） 水路勾配　0.5～1%	メロシラ，サヤミドロ，アオミドロ，オビケイソウ，ディアトマ，ヒビミドロ
③	浄水場の緩速濾過池（砂面に上載している）	網透過鉛直流タイプ（細目ネットに上載させる）	鉛直流　18cm／hour 水深　30～40cm 水面勾配　なし	メロシラ，オビケイソウ，アオミドロ，アミミドロ
④	浅い湖沼や水田（水生植物に付着或いは浮漂している）	網透過水平流タイプ（荒目ネットに付着或いは浮漂させる）	水平流　10cm／min 水深　30cm 流下長　10m（標準） 水面勾配　なし	サヤミドロ，ヒザオリ，アミミドロ，アオミドロ，ウキシオグサ

注）本表は，久納が1994年5月までの現地実験を参考にまとめたものであり，今後の変更はありうる。



図－3　ダム湖における浄化設備の配置例



図－4　小洪水貯留システムの模式図

活用するものである。

糸状藻類は浮遊藻類やホテイアオイ等の高等な水生植物に比べて，流入河川水や湖水からPO_4－Pを除去するのに適した多くの利点を有しており，代表的な利点を以下に示す。

① 糸状藻類は富栄養化に起因する現象（アオコ，淡水赤潮，カビ臭等）の原因とならない。

② 糸状藻類は増殖速度が早く，その分無機態の栄養塩類の吸収能力が高い。糸状藻類とホテイアオイ等の水生植物とのPO_4－P吸収能力の比較をすると，糸状藻類のPO_4－P吸収能力は水生植物の10倍程度を期待できる。

③ 糸状藻類は水生植物に比べ低い無機態の栄養塩類濃度でも生息が可能である。かなり低い濃度となっても，糸状藻類のまわりの水が次々と入れ替わるような流況であれば栄養塩類を吸収することができる。

④ 糸状藻類が生息する適応温度は，低い水温でも可能であるため，冬季も生息が可能である。従ってアオコが発生する季節よりも先に糸状藻類を生息させて栄養塩類を取り続けることができる。

⑤ 浮遊藻類と異なり，糸状藻類は水からの分離除去がスクリーン等で容易にできる。

(2) 落葉回収システム

ダム湖の流域の植生状況や地形条件によっては，流域の森林から発生した落葉がダム湖に流入し，ダム湖の富栄養化現象の原因になる場合がある。秋季や冬季の中小洪水により多量の未分解の落葉が湖沼に流入して，堆積し短期間で分解すること

により無機態の栄養塩類をダム湖へ溶出していることがある。そのようなダム湖では，洪水時の初期流出水がダム湖へ流入する前に河川水に含まれている落葉を除去することが必要である。

落葉回収システムは落葉が多量に含まれる洪水の初期流出水から落葉を効率よく連続的にかつ無動力で回収し除去することにより，落葉という形態でダム湖へ流入する栄養物質を削減するシステムである。

(3) 小洪水貯留システム

中小洪水における初期流出水には高濃度のPO_4－Pが含まれていることが多い。この初期流出水のみを小容量の貯留ダムにより貯留し，PO_4－Pを除去した後に入江水域に放流するシステムである。小洪水貯留システムの模式図を図－4に示す。

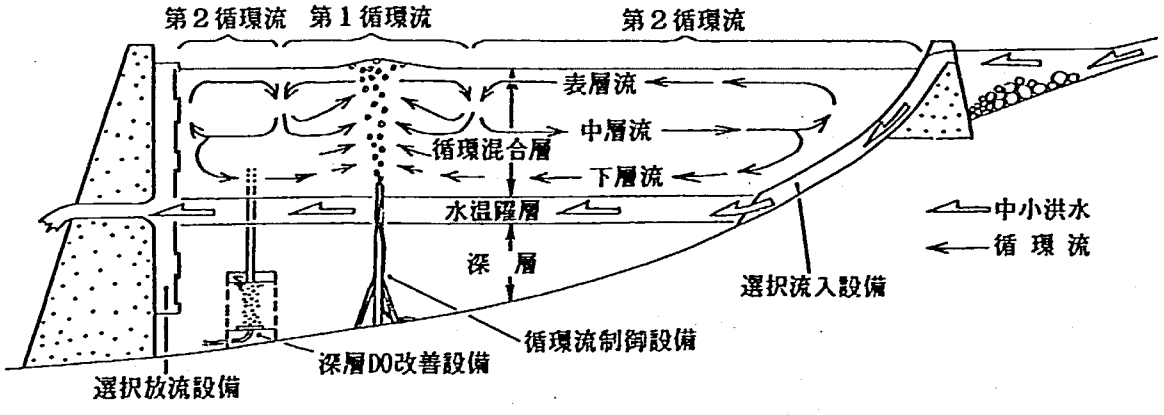
PO_4－Pを除去する手法としては，貯留池で浮遊藻類を増殖させ，それにPO_4－Pを吸収させて軽石濾過で浮遊藻類を除去する手法が考えられる。貯留池で浮遊藻類を増殖させる際，散気方式の曝気を行い優占種を緑藻類や珪藻類に制御するのが望ましい。軽石濾過では洗浄しないで年に1度程度の頻度で軽石層を交換するのが維持管理上望ましい。また糸状藻類活用システムを稼働させている場合は，貯留水のPO_4－Pを糸状藻類に吸収させる手法も有効である。

(4) 流動制御システム

流動制御システムは，平常時においてダム湖の表層に温水でしかも表層付近の水温分布が均一である循環混合層を，水深概ね15～20mまで厚く形成させ，中小洪水時にもこの層を温存させることにより，表層に生息する藍藻類や鞭毛藻類への栄養塩類と光を抑制することになり，それによって藍藻類等の異常増殖を抑制するシステムである。図－5に流動制御システムの模式図を示す。

一般に自然状態における夏季の水温分布は，図－6に示すように水面で最も高く，水深が深くなるにつれて低くなるいわゆる水温成層が形成される。水温成層が形成されると，表層の水は一次躍層を越えて上下に移動し難い安定した水塊となる。このような表層では光が良く得られ，また栄養塩類を多く含む流入河川水が一般に水面下数メートルの水深に侵入して来て栄養塩類の供給も受けられるため，藍藻類や鞭毛藻類が異常増殖するのに適した環境となる。

散気方式の曝気を行うと，循環混合層の中では図－5に示すように第2循環流の表層水が曝気に向かって引き寄せられ，何日か後（例えば8日後）には光が届かない中層部へ循環させられる。よって表層部で増殖しかけた浮遊藻類は暫くの間（例えば8日間の2倍程度）光が届かない暗い中層部に追いやられ，光合成に必要な光が制限されることになる。さらに表層水が曝気に引き寄せられている間においても，循環混合層の表層部では水温鉛直分布がほぼ均一であるため，気温の急低下に伴う表層水温の低下等により，表層部の数メートルでは上下の混合がしばしば生じ易い状態にあり



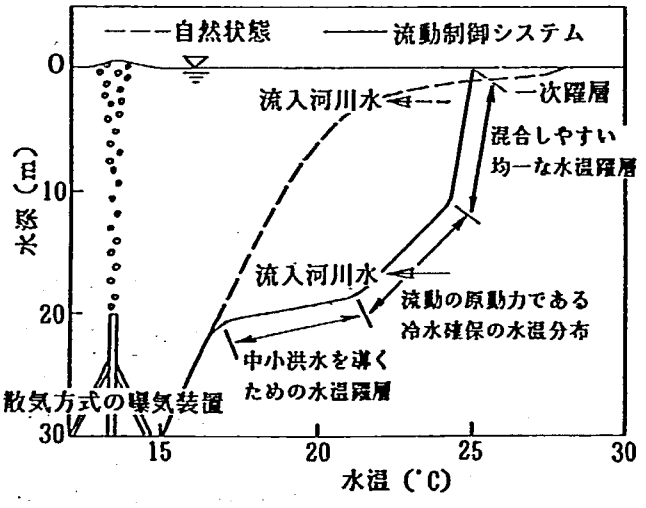
図－5　流動制御システムの模式図

浮遊藻類は安定した増殖ができない。

散気方式の曝気により循環混合層が形成されるが，平常時の流入河川水は図－6に示すように常に水温躍層に導かれるとは限らず，循環混合層の下層部に侵入する場合が多い。一方も循環混合層の下層部で生息する緑藻類や珪藻類はガス泡を持たないために藍藻類と異なり深層へ向かって沈降しやすい。流動システムにおいては，循環混合層の下層部に侵入して来た平常時の流入河川水は，循環混合層の下層部において下流方向へ1㎞程度も進行する間に流入河川水に含まれていた無機態の栄養塩類がこれらの緑藻類や珪藻類に吸収され，それらはやがて深層へ沈降するため，栄養塩類の底泥への固定が期待できる。結果的に表層で生息する藍藻類に供給される栄養塩類を減少させることになり，藍藻類の異常増殖を抑制できる。

さらに循環混合層が図－6に示すように温水でしかもその厚さが15～20mあれば，栄養塩類を多く含んでいる中小洪水時の流入水は平常時の流入河川水よりさらに低温であるため水温躍層へ導かれる。よって，藍藻類が生息している表層への栄養塩類の混入を減少させることになり，藍藻類の異常増殖防止に役立つ。

以上のような流動制御機能を満足する循環混合層における水温鉛直分布の理想的な形状を図－6に示す。水深約10m以浅は温水でしかも均一な水温鉛直分布を持ち，上下の混合が生じやすい層とする、水深10mから約20mの層の水温は約10m以浅より常時低く保つ必要がある。その理由は，第2循環流を定常的に循環させるには，第2循環流の表層水と下層水との水温差が常時必要なためである。水深20m付近の水温躍層は中小洪水を選択放流設備へ導くためのものである。



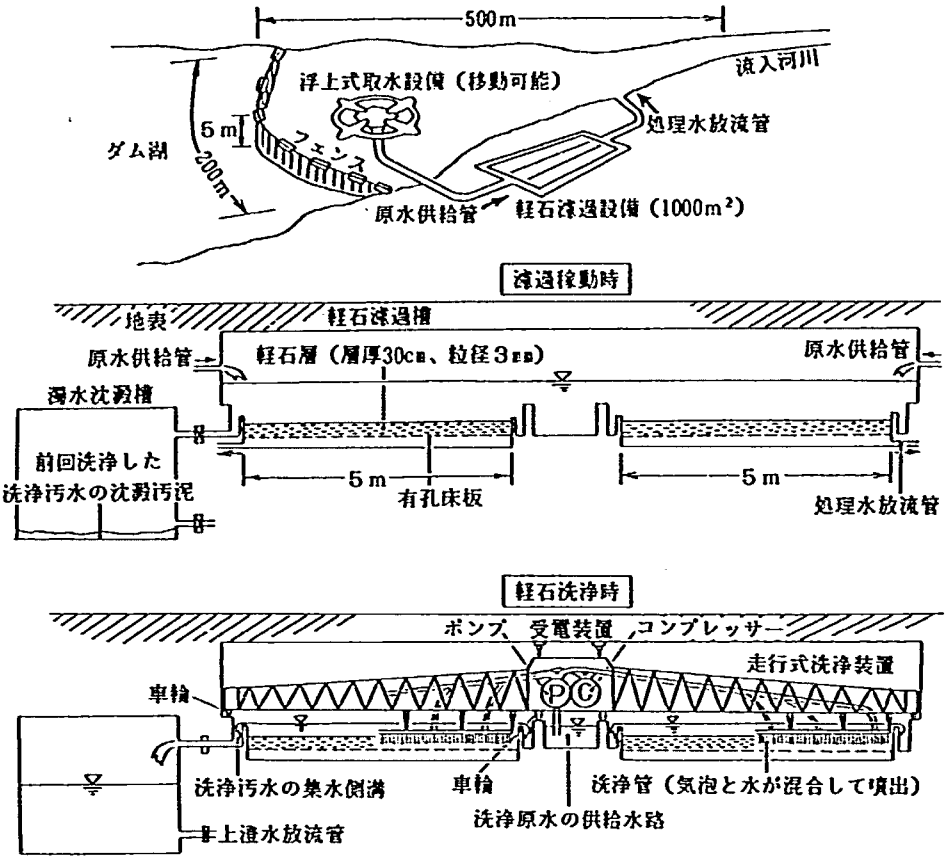
図－6　水温鉛直分布の模式図

(5)　軽石濾過システム

軽石濾過システムは，軽石層に湖水を通水して異常増殖した藍藻類や鞭毛藻類等の浮遊藻類そのものを除去する対策手法であり，軽石層を自動化した簡便な方法で定期的に洗浄することによってリンや窒素の溶出や目詰まりすることなく，半永久的に使用するのが特徴である。

湖水において浮遊藻類の濃度が高くなり過ぎるとアオコ，淡水赤潮および異臭味障害等が発生する。浮遊藻類が増殖する速度に打ち勝つ除去率で浮遊藻類を除去できれば異常増殖は阻止できる。本システムにて軽石を用いる理由は，①比重（1.2程度）が小さいため気泡と水流により洗浄できる，②多孔質であるため洗浄直後にも生物膜が適度に残り易い，③洗浄時の摩耗に耐える強度があり長期間使用できる，④安価で大量に入手可能である，があげられる。

図－7に軽石濾過システムの設備例を示す。取水方法は浮遊藻類が発生する水面に浮上式の取水設備を設けて浮遊藻類を多く含む湖水を取水する。軽石層は粒径3㎜前後の細粒で30㎝程度の層厚とする。浮遊藻類は，軽石の表面に生成された生物膜によって捕捉付着され原水より除去できる。目詰まりやPO_4－P等の過度の溶出が生じないように軽石層を定期的に洗浄する。PO_4－P等の溶出は，藍藻類や鞭毛藻類の栄養源となり異常増殖の原因となるため，極力押さえる必要がある。軽石層の洗浄は，週1回程度の頻度で軽石層上部に設けた走行式の洗浄管からの気泡混じりの水流によって軽石を舞い上らせて洗浄する。洗浄によって生じた高濁水は，沈殿槽に入れておくと翌日には沈



図－7　軽石濾過システムの設備例

殿物と上澄水とが分離する。上澄水はPO_4－P濃度が低いため湖沼に放流でき，沈殿した汚泥はメタンガスや肥料等の有効利用が考えられる。

4　おわりに

最後になったが，ここでは今までに説明した対策技術が，九州のダム群に対してどのような適用の可能性があるかについて述べる。

(1) 九州は気温が高く日射量も多いため，糸状藻類の活性が年間を通して高く糸状藻類活用システムは，流入負荷削減対策として大きな効果が期待できる。

(2) 耶馬渓ダムを始め流域が落葉樹の多いダム湖では落葉回収システムが有力な対策手法となる。

(3) 寺内ダムのように，たまたま流入支川の地形の条件が良ければ，小洪水貯留システムが支川の流入負荷削減の一手法となりうる。

(4) 平成５年に耶馬渓ダムにおいて流動制御システムの現地実験を行ったが，この手法は寺内ダム，竜門ダム等でも十分検討に値する手法であると考えられる。

(5) 軽石濾過はアオコ予防対策として進められているが，今後，淡水赤潮や濁質の除去としても可能な対策となれば竜門ダムや川辺川ダム等への適用が十分に考えられる。また九州では軽石を多く産出し，その有効利用としても期待できる。

参考文献

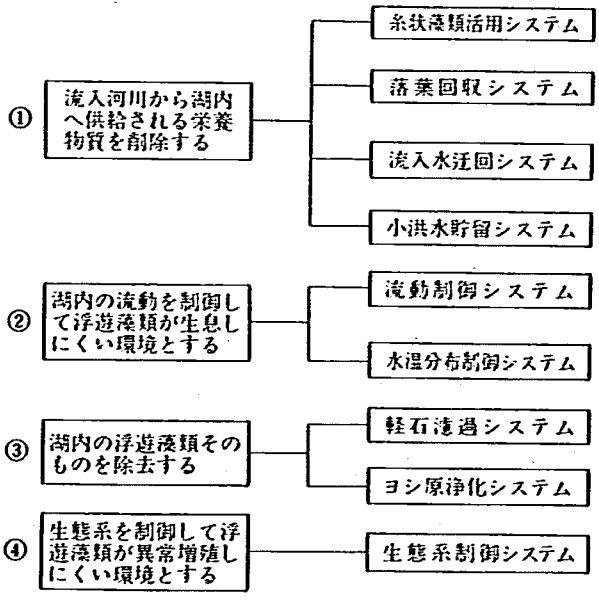
1）丹羽薫・久納誠；糸状藻類活用システムの原理と設備例，ダム技術，No93，1994
2）丹羽薫・久納誠・久保徳彦・山下芳浩；流動制御によるダム湖の水質保全技術の開発，土木技術資料，第35巻第11号，1993
3）丹羽薫・久納誠；流動制御システムの原理と設備例，ダム技術，No91，1994
4）丹羽薫・久納誠・久保徳彦・古里栄一；ヒートポンプと流動制御を用いたダム湖水質保全システム，土木学会水理委員会水工学論文集，第38巻，1994

ダム湖や遊水池における効果的な富栄養化対策について

Q：　近年，富栄養化対策として流動制御とか糸状藻類などの新しい対策手法を聞きますが，湖内対策の効果的なメニューとしてどんな対策手法があるのか教えて下さい。

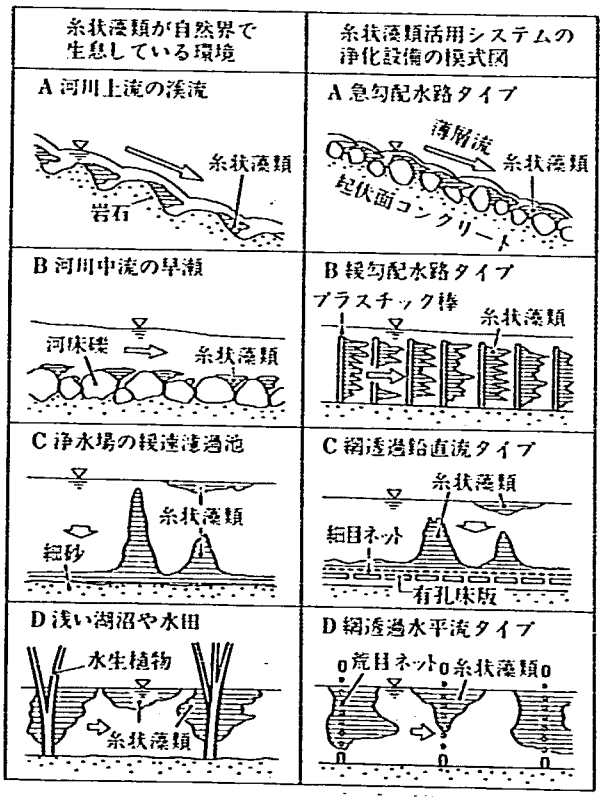
A：　ダム湖や遊水池などにおいて藍藻類などが異常増殖する富栄養化現象は，種々の要因によって発生することが判明してきています。これらの要因の中で最も大きいと考えられるのが，流域内で発生したリンや窒素などの栄養塩が流入河川を経由してダム湖などへ過剰に流入する場合です。

近年，いろいろな水質や地形などの条件に対しても積極的にダム湖や遊水池の水質環境を保全することを目標とした効果的な湖内対策手法が開発されつつあります。図−1にダム湖や遊水池の富栄養化対策の代表的なメニューを示します。これらのメニューは水質保全効果，施設整備費用，および維持管理費用などを総合的に検討して選ばれます。対策手法は大きく分けて4つのグループに分かれます。そのうちグループ①〜③は実用段階のものから開発中のものを含みます。グループ④は研究を開始した段階です。



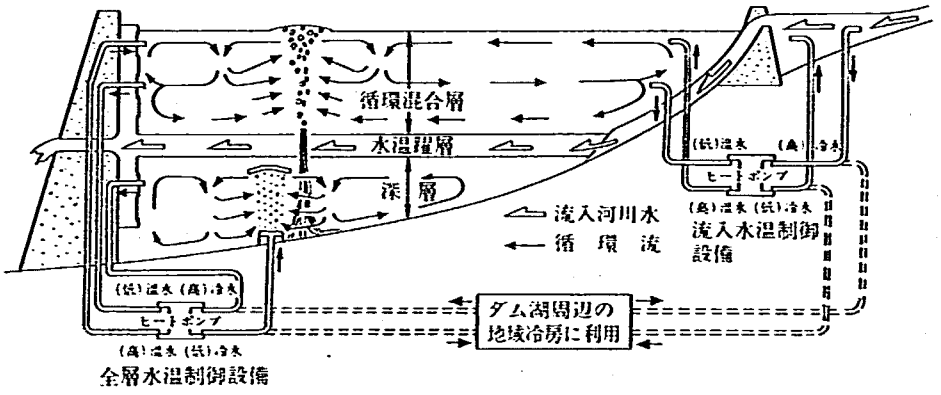
図−1　ダム湖や遊水池の富栄養化対策メニュー

グループ①は，流入河川からダム湖などへ流入して来るリンや窒素の栄養物質を湖内に入る直前で削除する対策手法です。『糸状藻類活用システム』は，糸状藻類が増殖できる環境を人為的にダム湖近傍に与えることにより，平常時の流入河川水の無機態のリンや窒素を糸状藻類により吸収除

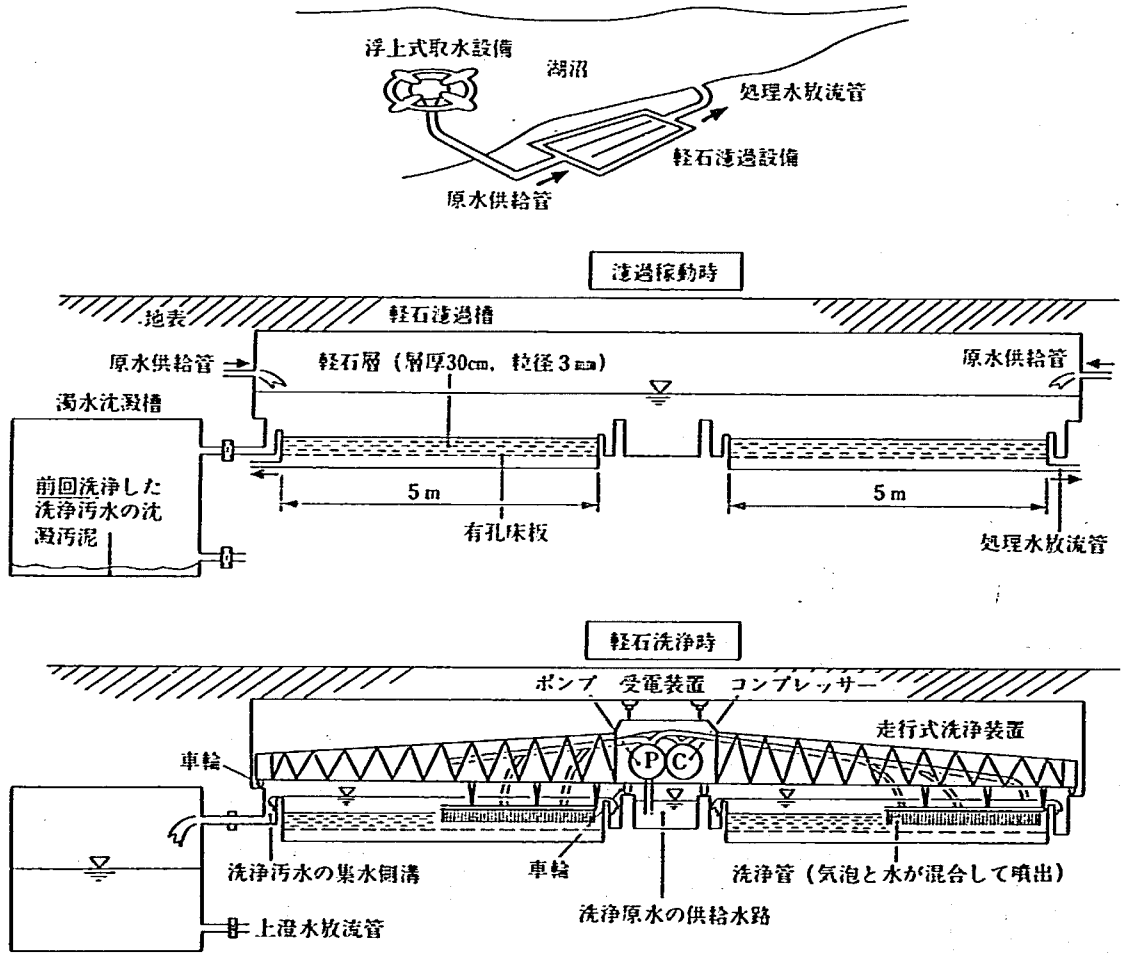


図−2　糸状藻類活用システムの模式図

去します（図−2 参照）。『落葉回収システム』は，初期流出水に含まれている落葉を効率よく回収除去します。『流入水迂回システム』は，平常時における無機態のリンや窒素の多い流入支川或いは流入本川において，流入河川水そのものをダム湖に入らぬようにダム下流へバイパスさせます。阿木川ダムで実現しています。『小洪水貯留システム』は，中小洪水の初期流出水に含まれる無機態のリンや窒素の除去を目的として，初期流出水を一旦入江の沢に溜めてからリンや窒素を緑



図−3 流動制御システムおよび水温制御分布システムの模式図



図−4 軽石濾過システムの設備例

藻類や珪藻類に吸収させ，それらの浮遊藻類を除去した後にダム湖に放流します。

グループ②は，ダム湖内の流動や水温分布を制御して，藍藻類や鞭毛藻類が表層で安定した増殖をしにくい環境にする対策手法です。『流動制御システム』は，散気方式の曝気，選択流入および選択放流などを組合せて，ダム湖の表層に温水でしかも表層付近の水温分布が均一である循環混合層を水深 15～20 m まで厚く形成させ，表層に生息する藍藻類や鞭毛藻類への栄養物質と光を抑制します（図−3 参照）。さらに『水温分布制御システム』は，流動制御システムの機能をより補完するものであり，ヒートポンプにより循環混合層の水温を上昇させ，また流入河川水あるいは深層の水温を低下させ，藍藻類や鞭毛藻類が異常増殖しにくい水温分布に制御します（図−3 参照）。

グループ③は，遊水池やダム湖で発生した藍藻類や鞭毛藻類が異常増殖してアオコや淡水赤潮になる前に浮遊藻類そのものを除去してしまう対策手法です。『軽石濾過システム』は，軽石を用いて浮遊藻類を濾過し，自動化した簡便な方法で軽石層を定期的に洗浄することにより，リンや窒素の溶出や目詰まりを生じることなく半永久的に使用するのが特徴です（図−4 参照）。『ヨシ原浄化システム』は，遊水池などにおいて浮遊藻類が異常増殖しかけた湖水をヨシ原に効率的に通水して浮遊藻類を除去します。渡良瀬遊水池や霞ヶ浦などで部分的に行われています。

グループ④は，ダム湖や遊水池の生態系を制御して藍藻類や鞭毛藻類が異常増殖しにくい生態系環境にする対策手法です。『生態系制御システム』は，動物プランクトン，付着藻類，底生動物，および魚類などを活用して浮遊藻類の増殖を抑制します。

（建設省土木研究所環境部環境計画研究室）

ダム湖や自然湖沼等の富栄養化対策

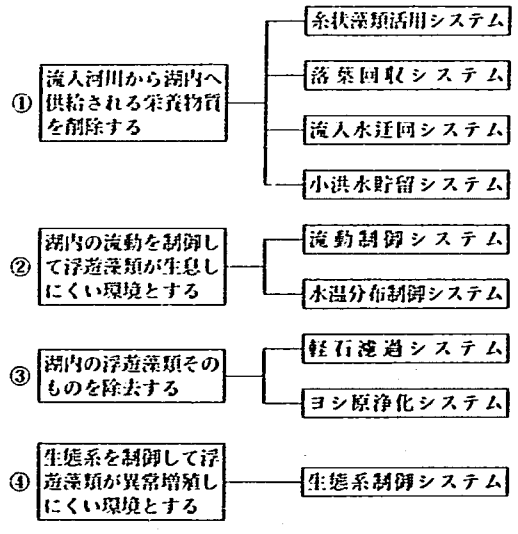
はじめに

自然湖沼，遊水池，ダム湖などの湖沼は，流域からの栄養物質が流入河川を通じて過剰に搬入され続けると，流水が湖沼に入いるために滞ることと，溶存している栄養物質の過剰な存在とが相まって，水界における生態環境は一変します。その結果，生態系のバランスが崩れて，藍藻類や鞭毛藻類等が優占して異常増殖するようになり，富栄養化現象が顕著に生じる湖沼もあります。

環境計画研究室では，どんな水質や地形等の条件に対しても積極的にダム湖や自然湖沼等の水質環境を保全することを目標とした複数からなる効果的な対策手法を開発しています。図－1に当研究室が取り組んでいるダム湖や遊水池等の富栄養化対策メニューを示します。流入水迂回システム及びヨシ原浄化システムは当研究室以外の他機関による開発，その他のシステムは当研究室による開発です。対策手法は大きく分けて４つのグループに分かれます。そのうちグループ①～③は実用段階のものから開発中のものを含みます。グループ④は研究を開始した段階です。

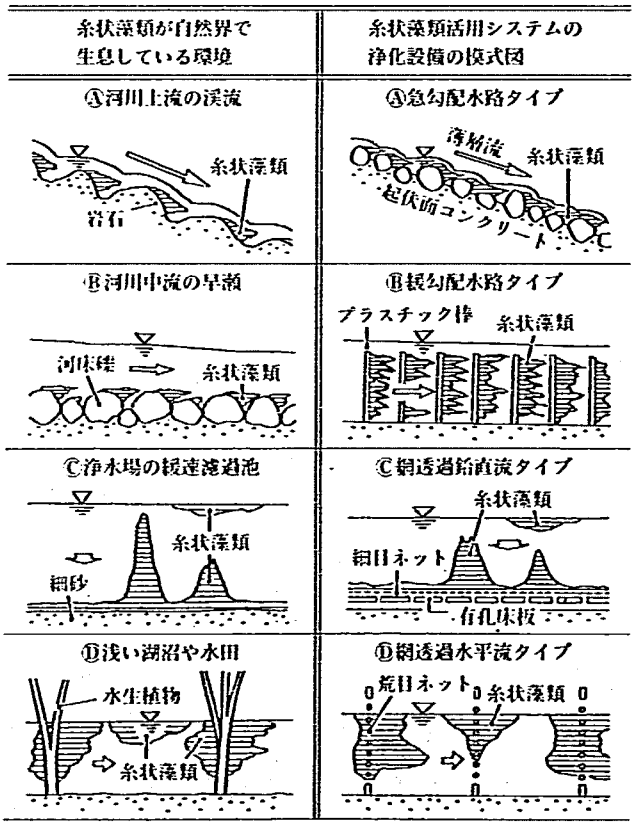
新しい富栄養化対策メニュー

グループ①は，流入河川から湖沼へ流入して来るリンや窒素の栄養物質を湖内に入る直前で削除する対策手法です。「糸状藻類活用システム」は，糸状藻類が増殖できる環境を人為的に湖沼近傍に与えることにより，平常時の流入河川水の無機態のリンや窒素を糸状藻類により吸収除去します。「落葉回収システム」は，初期流出水に含まれている落葉を効率よく回収除去します。「流入水迂回システム」は，平常時の無機態のリンや窒素の多い流入支川或いは流入本川において，流入河川水そのものをダム湖に入らぬようにダム下流へバイパスさせます。「小洪水貯留システム」は，中小洪水の初期流出水に含まれる無機態のリンや窒素の除去を目的として，初期流出水を一旦入江の沢に溜めてからリンや窒素を緑藻類や珪藻類に吸収させ，それを除去した後にダム湖に放流します。



図－1　ダム湖や遊水池等の富栄養化対策メニュー

グループ②は，ダム湖内の流動や水温分布を制御して，藍藻類や鞭毛藻類が表層で安定した増殖をしにくい環境にする対策手法です。「流動制御システム」は，散気方式の曝気，選択流入及び選択放流等を組合せて，ダム湖の表層に温水でしかも

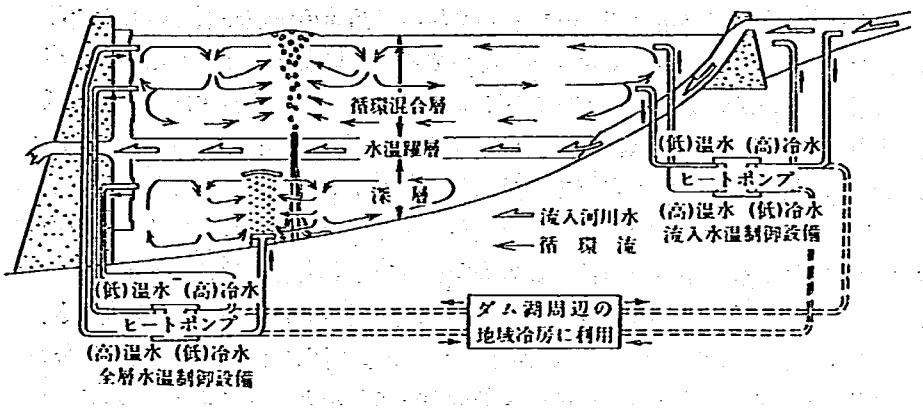


図－2　糸状藻類活用システムの模式図

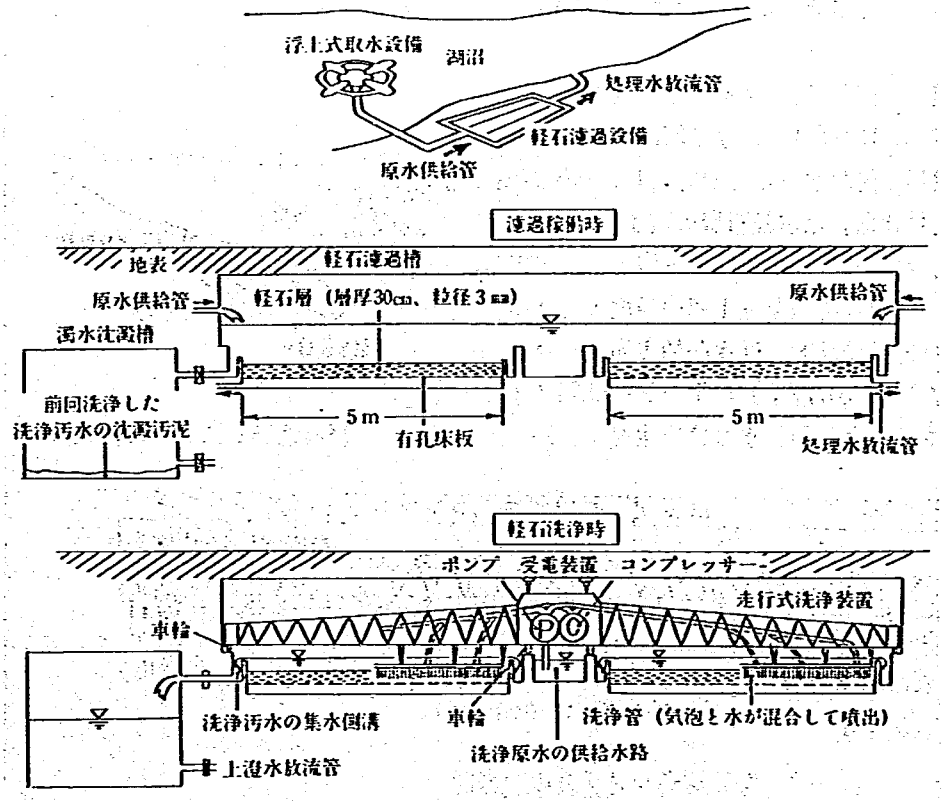
表層付近の水温分布が均一である循環混合層を水深15～20 mまで厚く形成させ，表層に生息する藍藻類や鞭毛藻類への栄養物質と光を抑制します。さらに「水温分布制御システム」は，流動制御システムの機能をより補完するものであり，ヒートポンプにより湖水及び流入河川水の水熱を移動させ，藍藻類や鞭毛藻類が異常増殖しにくい水温分布に制御します。

グループ③は，遊水池や自然湖沼等で発生した藍藻類や鞭毛藻類が異常増殖してアオコや淡水赤潮になる前に浮遊藻類そのものを除去してしまう対策手法です。「軽石濾過システム」は，軽石を用いて浮遊藻類を濾過し，自動化した簡便な方法で軽石層を定期的に洗浄することにより，リンや窒素の溶出や目詰まりを生じることなく半永久的に使用するのが特徴です。「ヨシ原浄化システム」は，自然湖沼や遊水池等において浮遊藻類が異常増殖しかけた湖水をヨシ原に効率的に通水して浮遊藻類を除去します。

グループ④は，ダム湖や自然湖沼の生態系を制御して藍藻類や鞭毛藻類が異常増殖しにくい生態系環境にする対策手法です。「生態系制御システム」は，動物プランクトン，付着藻類，底生動物，及び魚類等を活用して浮遊藻類の増殖を抑制します。



図－3　流動制御システム及び水温分布制御システムの模式図



図－4　軽石濾過システムの設備例

おわりに

ここで紹介した当研究室が開発した対策手法は各方面より注目されており，ダム技術№75 (1992) に掲載した報文は，「第三回ダム技術賞」を受賞しました。また第四回ダム工学研究発表会 (1993) で発表した論文は「優秀発表賞」を受賞しました。

参考文献

1) 丹羽薫・久納誠・久保徳彦・真田誠至：糸状藻類を活用した湖沼の富栄養化対策技術の開発，土木技術資料，第35巻第12号，1993

2) 丹羽薫・久納誠・久保徳彦・古里栄一：ヒートポンプと流動制御を用いたダム湖水質保全システム，土木学会水理委員会水工学論文集，第38巻，1994

建設省土木研究所環境部
環境計画研究室長　丹羽　薫
同　環境計画研究室主任研究員
久納　誠

湖沼における軽石濾過による藻類除去手法

建設省土木研究所　正員　真田　誠至
建設省土木研究所　正員　丹羽　薫
建設省土木研究所　正員　久納　誠
(株)環境調査技術研究所　古里　栄一

１．はじめに

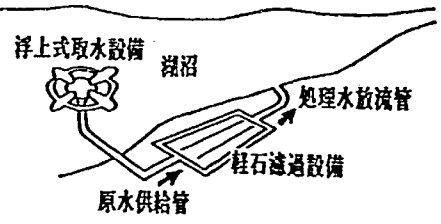
自然湖沼、ダム湖、遊水池等において浮遊藻類が常に異常増殖する湖沼の富栄養化対策のひとつとして、湖沼表層にて異常増殖しかけた浮遊藻類をアオコや淡水赤潮になる以前に除去するという対策手法が考えられる。本報は効率的な浮遊藻類の除去手法である『軽石濾過システム』を開発したので報告する。

２．軽石濾過システムの概要

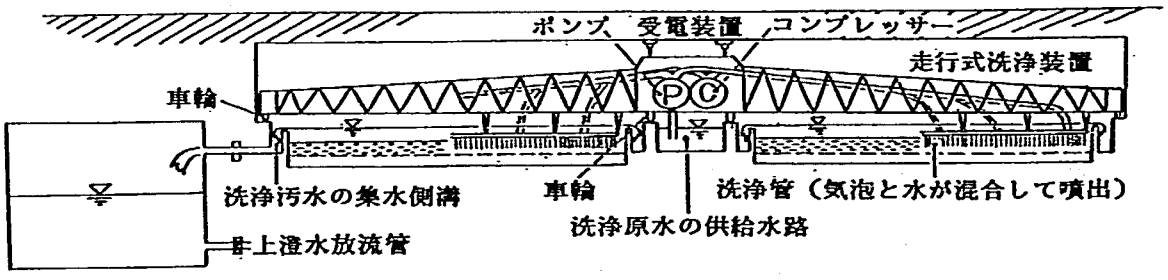
軽石濾過システムは、軽石層に湖水を通水して異常増殖した藍藻類や鞭毛藻類等の浮遊藻類そのものを除去する対策手法であり、軽石層を自動化した簡便な方法で定期的に洗浄することによってリンや窒素の溶出や目詰りすることなく半永久的に使用するのが特徴である。本システムにて軽石を用いる理由は①比重(1.2程度)が小さいため気泡と水流により洗浄できる②多孔質であるため洗浄直後にも生物膜が適度に残りやすい③洗浄時の磨耗に耐える強度があり長期間使用できる④安価で大量に入手可能である、があげられる。取水方法は浮遊藻類が発生する水面に浮上式の取水設備を設けて、浮遊藻類を多く含む湖水を取水する。軽石層は粒径３㎜前後の細粒で30㎝程度の層厚とする。浮遊藻類は軽石の表面に生成された生物膜によって捕捉付着され原水より除去できる。目詰まりやPO_4-P等の過度の溶出が生じないように軽石層を定期的に洗浄する。PO_4-P等の溶出は藍藻類や鞭毛藻類の栄養源となり異常増殖の原因となるため極力押さえる必要がある。軽石層の洗浄は、週１回程度の頻度で軽石層上部に設けた走行式の洗浄装置からの気泡と水流によって軽石を舞い上がらせて洗浄する。洗浄によって生じた高濁水は、沈澱槽に入れておくと半日程度で上澄水として分離する。なお一般に上澄水はPO_4-P濃度が低いため湖沼に放流できる。

３．現地実験の方法と結果

霞ヶ浦湖岸で湖水を原水とした軽石濾過による現地実験を行った。実験装置を図－３に示す。軽石層は粒径３㎜、厚さ25㎝とした。１m^3/secの流入河川水を0.5haの設備で処理することを想定し、濾過速度として17.3m/dayを目標に与え続けた。なお軽石層の粒子間に捕捉された浮遊藻類の死骸や濁質は、手動式洗浄装置から気泡と水流を出し、軽石を舞い上がらせて洗浄するという方法を週１回の頻度で行った。３ヶ月実施した実験の結果を図－４に示す。通水開始１週間以降は、クロロフィルaは90%（43μg/ℓ→4.3μg/ℓ）、Ｔ－Ｐは55%（103μg/ℓ→47μg/ℓ）の除去率を示した。目詰まりは発生せず、PO_4-P



図－１　軽石濾過システムの模式図



図－２　軽石濾過システムの設備図

の溶出も少なかった。原水と軽石濾過による処理水の植物プランクトン数の除去率の調査結果を表－１に示すが、富栄養化現象として問題となる *Phormidium tenue* や *Anabaena* sp. の除去率はかなり高い。

４．現地実験より算定した設備規模

湖水において浮遊藻類の濃度が高くなり過ぎるとアオコ、淡水赤潮及び異臭味障害等が発生する。浮遊藻類の比増殖速度（例えば湖沼Ａにおける現地測定値の最大は比増殖速度が$\mu=0.32$/dayで５日間継続）に打ち勝つ除去率で浮遊藻類を除去できれば、異常増殖は阻止できる。ここで表層水Ｌｍを滞留時間ｔ日間で対象湖沼面積のａ％を濾過面積とし、濾過速度をＶm/dayとした場合の浮遊藻類の除去率をｒ％とする。軽石濾過により浮遊藻類を削除する場合の増殖と除去の仮定を図－５、(1)式及び(2)式に示す。

$$e^{\mu t}-1=e^{\mu t}\cdot r \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \text{(1)式}$$

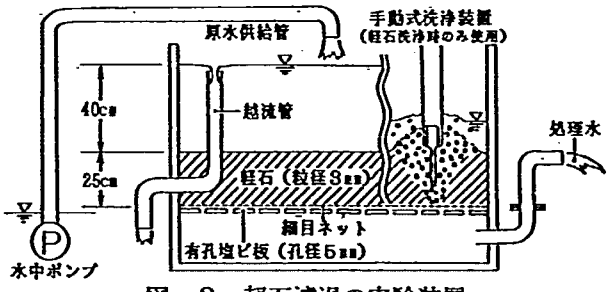
$$t=\frac{L}{V\cdot a} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \text{(2)式}$$

Ｌ；濾過を対象にした湖沼表層水の厚さ（m）
Ｖ；濾過速度（m／day）
ｔ；対象とする湖沼表層水が濾過設備を経由する滞留時間（day）
ａ；濾過面積／対象湖沼面積で与えられる面積比
μ；比増殖速度（１／day）
ｒ；濾過による浮遊藻類の除去率

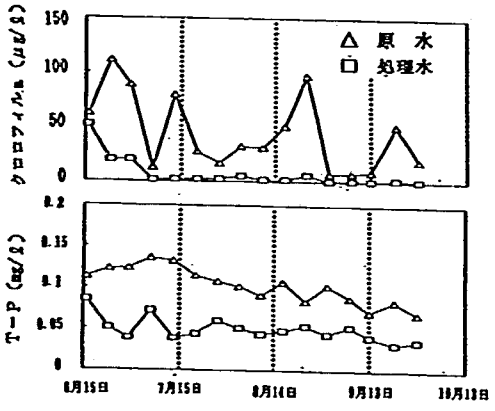
(1)式及び(2)式より次式を得る。

$$\mu=\frac{V\cdot a}{L}\cdot \ln\left(\frac{1}{1-r}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \text{(3)式}$$

軽石濾過に必要な面積比ａは(3)式に示すように浮遊藻類の比増殖速度μにより定めることができる。$\mu=0.32$、Ｌ＝1mと仮定し、現地実験で得られたＶ＝17.3m/day、ｒ＝90%を用いて必要な面積比を求めると、概ねａ＝1%となる。



図－３　軽石濾過の実験装置

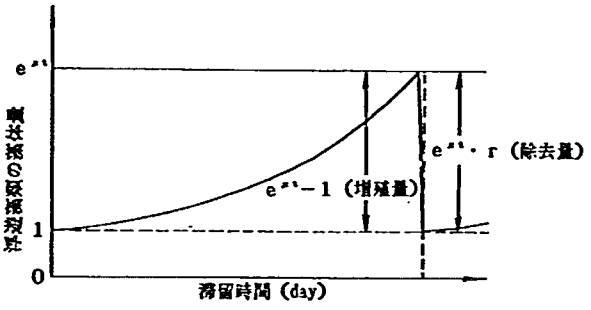


図－４　実験における原水と処理水の水質経時変化

表－１　現地実験における植物プランクトンの除去結果

（平成５年８月２４日）

項　　目	原　水（細胞数）	処理水（細胞数）	除去率（%）
全植物プランクトン	89,352	9,522	89.3
Oscillatoria sp.	71,150	8,734	87.7
Cyclotella sp.	4,766	75	98.4
Aphanizomenon sp.	4,320	432	90.0
Phormidium tenue	1,555	5	99.7
Aphanocapsa sp.	1,310	144	89.0
Anabaena sp.	1,166	0	100.0
クロロフィルａ	97.4 μg/l	6.0 μg/l	93.8



図－５　軽石濾過による増殖量と除去量の関係

５．おわりに

軽石濾過システムは小規模な現地実験の結果、湖沼における浮遊藻類の除去手法として有効であることがわかった。今後は軽石濾過システムの実用化を目指し、規模の大きい現地実験や模型実験により、濾過設備構造及び取水方法の詳細な検討を行う予定である。

ダム湖に流入する落葉の除去対策について

Q：流域の森林にて発生した落葉がダム湖に流入し，富栄養化現象の原因となる場合がありますが，ダム湖への落葉の流入を防止する効率的でしかも維持管理の容易な対策手法を教えてください。

A：ダム湖の流域の植生状況や地形条件によっては，秋季から春季にかけての中小洪水により多量の未分解の落葉がダム湖に流入して，堆積し短期間，例えば1週間から1ヶ月間で分解することにより無機能の栄養塩類をダム湖へ溶出していることがあります。そのようなダム湖では，落葉を多量に含む洪水時の初期流出水がダム湖へ流入する前に河川水に含まれている落葉を除去することが必要です。

落葉が多量に含まれる洪水の初期流出水から落葉を効率よく連続的にかつ無動力で回収し除去することにより，落葉という形態でダム湖へ流入する栄養物質を削減する落葉回収システムが開発されつつあります。本システムは既に原理が水理模型実験により確認されており，耶馬渓ダムにおいて導入が検討されています。

落葉回収を対象とする河川の流況は，平水時や洪水ピーク時ではなく洪水初期であります。ここで平水流量が1 m^3/secの河川で落葉を回収除去するものと仮定します。本設備は河川流況に応じて稼働させます。洪水により平水流量の数倍，例えば3 m^3/sec以上になると設備の稼働を開始させ，ある洪水流量，例えば30 m^3/sec以上に達したら設備の稼働を停止させます。設備稼働の下限値および上限値については現地による落葉含有量調査により把握しておく必要があります。

図-1をもとに落葉回収システムの原理を概説します。落葉が多量に含まれた河川水を取水ゲートから流入させ，まず落葉沈降槽で気泡が抜けたり破砕されたりして水分を十分に含んでいる比重の大きい落葉や土砂分を沈降させます。この段階で，河川水中に含まれているのは，主に沈降しにくい落葉のみとなります。次に脱水水路で特殊なスリットにより余分な水を除くことにより，水量を1/3～1/10程度に減少させ，円筒型の網籠（以下「ドラムフィルター」という）へと向かいます。脱水水路により除かれた水は排水ゲートを経て流入河川へ返流されます。ドラムフィルターで水と落葉とは分離され，落葉は落葉移送水路から落葉貯留槽へ，水は処理水排水路から排水ゲートを経て流入河川へ返流されます。なお落葉貯留槽では，槽下部の有孔排水板より水分が除かれ，排水ゲートから流入河川へ返流されます。

取水ゲート，各種排水ゲート等の操作は，自動水位観測装置等の情報によりダム管理所からの遠隔無人操作が可能としておく必要があります。

ドラムフィルターでの水と落葉との分離方法について詳述します。図-2に示すように，ドラムフィルターは支承部材に設けられたキャスターにより回転可能な構造となっており，ドラムフィルター内部に設けた原水導水路から，落葉が多量に含まれた河川水をドラムフィルターの片方の側面に落下させます。すると河川水のうち水はドラムフィルターを通過してゆくが，落葉はドラムフィルターの内側に捕捉されます。この際河川水の落下する勢いがドラムフィルターの円周に設けた羽根部材に当たり，ドラムフィルターは回転運動を

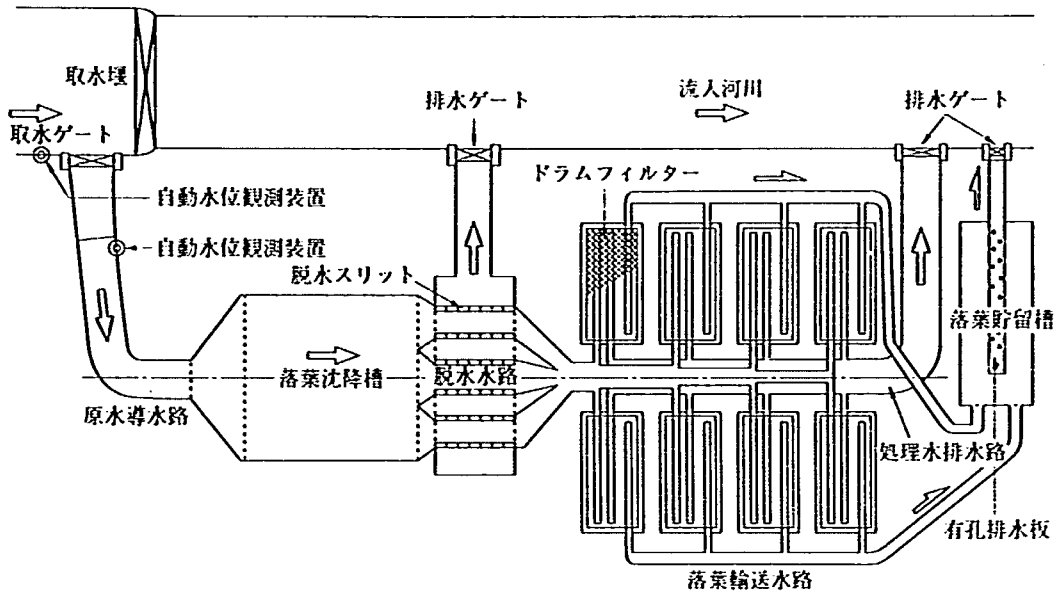


図-1　落葉回収システムの設備例

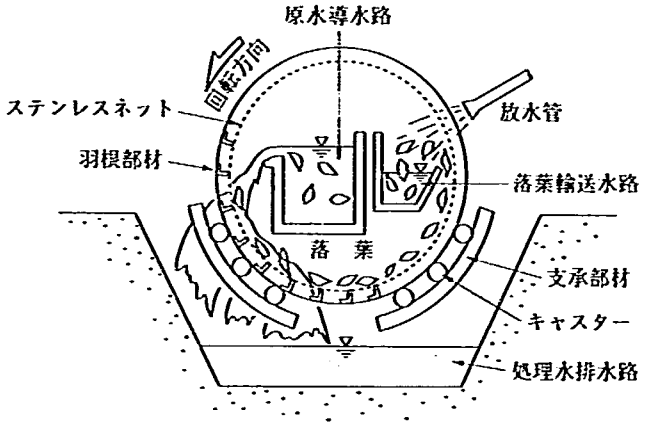


図-2　ドラムフィルター部の詳細図

生じます。ドラムフィルター内部には落葉輸送水路が原水導水路と平行してその越流側の背後に設けられています。ドラムフィルター内面に付着する落葉を落葉輸送水路に落下させるために，少量の射水が可能な放水管がドラムフィルター外部に設けてあります。このようにして落葉は落葉輸送水路に落下し，この水路では射水によって生じる水流により，落葉はドラムフィルターの内部から外部に容易に排出されます。これらの作用が連続的に行われることによって，河川水から落葉を無動力で定常的に取り除くことが可能となります。

本システムはドラムフィルターを回転させる動力が不要となるため，本システムの維持管理は，①落葉回収設備，各種ゲートおよび自動水位観測装置の定期点検，②各種ゲートと射水用の水中ポンプを稼働させる電源の確保，③落葉沈降槽および落葉貯留槽に回収された落葉の除去，のみが必要となります。なお③については，腐植土の原料として有効利用できる可能性があります。

（建設省土木研究所環境部環境計画研究室）

COMMISSION INTERNATIONALE
DES GRANDS BARRAGES

Dix-huitième Congrès
des Grands Barrages
Durban, 1994

Q. 69
R. 29

DEVELOPMENT OF RESERVOIR WATER QUALITY TECHNOLOGY USING CURRENT CONTROL AND FILAMENTOUS ALGAE (*)

Toshio HIROSE
Director-General

Water Resources Environment Technology Center

Kaoru NIWA
Head

Makoto KUNOH
Senior Research Engineer

Yoshihiro YAMASHITA
Former independent research Engineer

Environmental Planning Division, Environment Department,
Public Works Research Institute, Ministry of Construction

JAPAN

1. INTRODUCTION

In Japan there is a growing tendency to use reservoirs as the centerpiece of natural environments. At the same time an increase in nutrient salts in reservoir water resulting from large quantities of nutrient salts flowing in from catchment areas has led to eutrophication in some reservoirs. Undesirable (e.g. blue-green) algae grow abnormally, causing

(*) *Développement d'une technique de contrôle de la qualité de l'eau dans les réservoirs au moyen d'un contrôle du courant et d'un traitement de l'eau utilisant des algues filamenteuses.*

algae bloom, freshwater red tide, musty odor in city water and foul smell at the shores of reservoirs, and also hindering in harmony with amenities. These eutrophication problems can be addressed by preventing the abnormal growth of blue-green and other undesirable algae [1] [2].

One measure for controlling eutrophication being used is the installation of aeration and circulation equipments. For instance intermittent aerohydraulic pump aerators installed at the Ministry of Construction's Kamafusa Dam have proved highly successful. This paper discusses a " current control system ", which controls the inflow of river and surface water, and the " filamentous algae system " of water treatment, both currently under development by the Public Works Research Institute at the Ministry [3] [4] [5] and also reports on successful results of field tests. The current control system boosts the efficiency of conventional aeration and circulation by controlling the vertical distribution of water temperatures, while the second system supplements the first, using filamentous algae to remove nutrient salts from inflowing river and reservoir water.

2. AERATION AND CIRCULATION AT KAMAFUSA DAM

2.1. Background

The multipurpose Kamafusa dam (height 45.5 m, total storage 45.3 hm^3 ponding area 3.9 km^2, catchment area 195 km^2) was built in 1970 in the upper reaches of the Goishi River of the Natori river system by the Ministry's Tohoku Regional Construction Bureau. In eight of the thirteen years since ponding began, nasty smell and musty odor were observed with increasing frequency. The musty odor was caused by the abnormal growth of Phormidium tenue in the blue-green algae. The water for the city of Sendai had to be treated with large quantities of activated carbon to remove the odor. For these reasons the Tohoku Regional Construction Bureau has been investigating intermittent aerohydraulic pump aeration and circulation at the Kamafusa Dam since 1984 [6] [7].

2.2. Structure of aerators

Intermittent aerohydraulic pumps were installed at the depths of the reservoir at intervals of approximately 100 m horizontally. Air bubbles shaped like artillery shells are produced intermittently by continuously feeding air into the pumps from a compressor on land. The bubbles are forced up through the pumps, pushing up water at the same time and

thereby sucking up deep layer water from the bottom of each pump. Air bubbles rise from the outlet of the pump to the water surface and the surrounding water is entrapped by the rising air bubbles. Intermittent aerohydraulic pump set in turn, one large pump (compressor output 22 kW, air capacity 3 700 l/min) and five small pumps (compressor output 7.5 kW, air capacity 950 l/min) were in operation by 1990.

2.3. Effect on water quality

Table 1 shows the incidence of Phormidium tenue and musty odor before and after installation of aerators. Phormidium tenue dropped sharply and musty odor disappeared completely, attesting to the inhibiting effect on phormidium tenue. Fig. 1 shows change in the total phytoplankton count. The number of phytoplankton fell rapidly to approximately 200/ml in 1992, when six pumps were in operation, suggesting successful suppression of all algae growth.

Table 1

Incidence of Phormidium tenue and musty odor at Kamafusa Dam

Amount of Group (ml)

Year / Month	'80	'81	'82	'83	'84	'85	'86	'87	'88	'89	'90	'91	'92
Jan.	0	680	450	60	80	60	40	40	290	----	134	0	38
Feb.	0	920	180	0	----	----	30	10	320	20	45	0	87
Mar.	0	150	190	30	----	150	110	10	620	10	22	0	33
Apr.	0	320	70	0	20	30	20	0	260	---	0	22	49
May	0	320	130	30	60	210	110	90	40	20	65	0	283
Jun.	0	0	0	0	350	150	0	0	0	0	0	0	33
Jul.	0	0	10	0	310	240	0	0	0	0	0	0	0
Aug.	0	3,600	930	14,000	680	20	0	0	390	10	0	0	0
Sep.	2,700	2,400	2,300	2,500	390	0	0	0	0	10	28	0	0
Oct.	860	470	2,300	150	40	0	0	100	0	0	0	---	0
Nov.	100	580	200	310	10	0	20	20		---	0	---	5
Dec.	190	3,100	370	90	50	10	0	80		---	0	---	0

Musty odor observed Aeration and circulation in operation

(Source: Waterworks Bureau, Sendai)

Aeration and circulation by this method form a circulating mixolimnion in the surface layer. Even when all six pumps are operating the layer is only seven metres thick (Fig. 2). It is believed that the thicker the circulating mixolimnion, the greater the effect on algae growth. However it is virtually impossible to extend the layer beyond 7 m by the

intermittent aerohydraulic pump method due to the relationship between water depth in reservoir and length of pump.

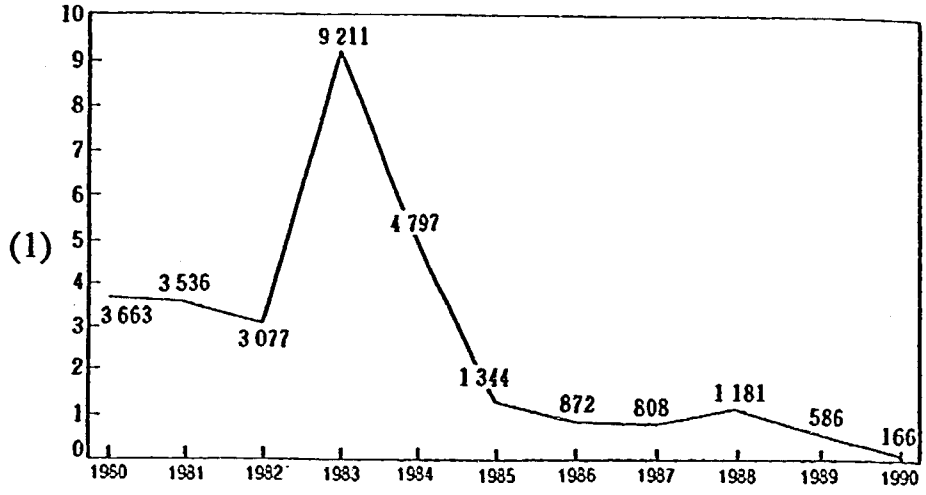


Fig. 1

Changes in phytoplankton count at Kamafusa Dam

Modifications de la quantité de phytoplancton dans la retenue de Kamafusa

(1) Thousand/ml

(1) Milliers/ml

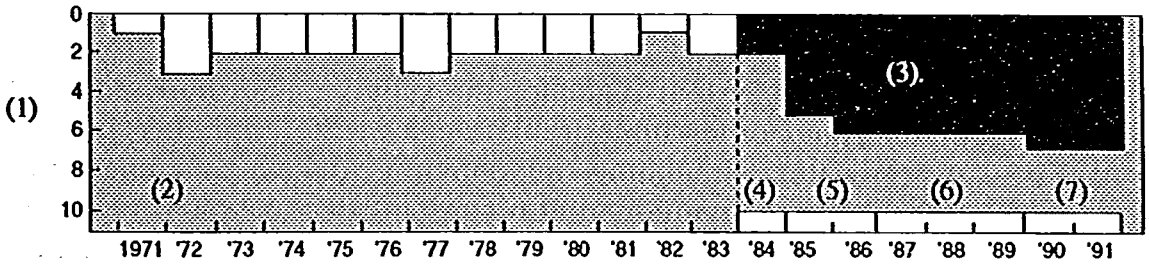


Fig. 2

Change in circulation mixolimnion at Kamafusa Dam

Modification du mixolimnion circulant dans la retenue de Kamafusa

(1) Thickness of circulating mixolimnion (m)
(2) Damsite, August
(3) Number of pumps
(4) 2 small pumps
(5) 4 small pumps
(6) 5 small pumps
(7) 1 large pump and 5 small pumps

(1) Épaisseur du mixolimnion circulant (m)
(2) Site du barrage, août
(3) Nombre de pompes
(4) 2 petites pompes
(5) 4 petites pompes
(6) 5 petites pompes
(7) 1 grande pompe et 5 petites pompes

3. RESERVOIR WATER QUALITY ENVIRONMENT CREATION PROPOSALS AND FIELD TESTS

At the Kamafusa Dam it was found that the supply of nutrient salts and light to blue-green algae in the euphotic zone can be controlled by creating a 7 m – thick warm – water circulating mixolimnion of even temperature distribution at the surface reservoirs during non-flood periods. This exceeds the thickness of the effective layer, effectively inhibiting the abnormal growth of blue-green algae.

Using its experience at the Kamafusa Dam the Public Works Research Institute developed and tested a new and more effective " current control system ", which uses dispersed- aeration aerators and selective inflow facilities to create a circulating mixolimnion several times deeper than the euphotic zone. The effect can be enhanced by incorporating the Institute's own " filamentous algae system " of water treatment for filamentous algae in rivers and shallow lacustrine areas. The combination of these two systems is referred to as a " reservoir water quality environment creation ". Fig. 3 gives a representation of the system. The current control system can also be used as a measure for controlling prolonged turbidity by smaller floods in reservoirs.

4. CURRENT CONTROL SYSTEM

4.1. Outline of system

The current control system regulates the supply of nutrient salts and light to blue-green and other undesirable algae in the euphotic zone by creating a warm-water circulating mixolimnion of even temperature distribution. This layer is maintained at a constant thickness several times that of the euphotic zone at surface reservoir during non-flood periods, thereby preventing the abnormal growth of blue-green algae.

In the circulating mixolimnion the vertical distribution of water temperatures is virtually uniform, so vertical mixing takes place readily. When the circulation mixolimnion is several times as deep as the euphotic zone, algae are regularly sent far below, away from the euphotic zone, significantly reducing the time available for photosynthesis, so that this can restrict the abnormal growth. When the circulation mixolimnion is thick, although diatoms and green algae can't float by themselves, allows diatoms and green algae to grow instead, and restricts the supply of nutrient salts to the blue-green algae. Furthermore, a mixolimnion of warm water which is several time as thick as the euphotic zone forces

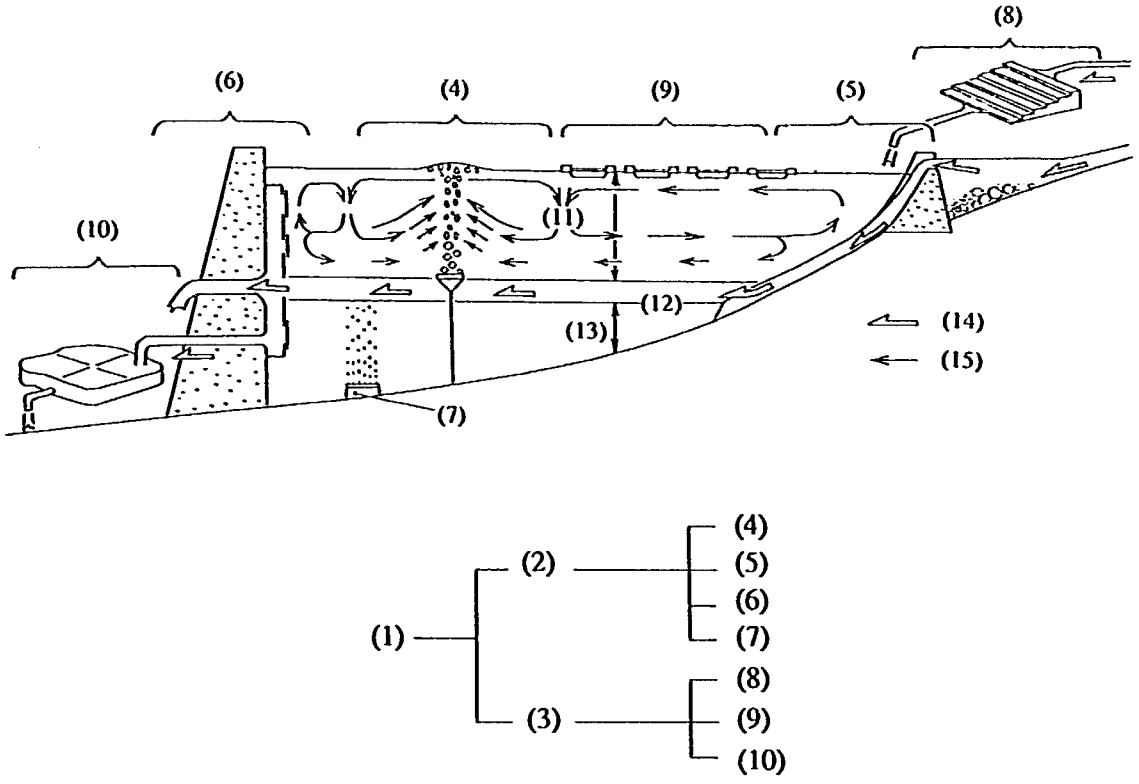


Fig. 3

Reservoir water quality environment creation system

Système de création d'un environnement assurant la qualité de l'eau dans une retenue

(1) Reservoir water quality environment creation	*(1) Création d'un environnement assurant la qualité de l'eau dans la retenue*
(2) Current control system	*(2) Système de contrôle du courant*
(3) Filamentous algae system	*(3) Système utilisant des algues filamenteuses*
(4) Circulatory current control facilities	*(4) Dispositifs de contrôle du courant de circulation*
(5) Selective inflow facilities	*(5) Installations sélectives contrôlant l'entrée des eaux*
(6) Selective discharge facilities	*(6) Installations sélectives contrôlant l'évacuation des eaux*
(7) Deep layer DO facilities	*(7) Installation DO de la couche profonde*
(8) Inflowing water purification facilities	*(8) Installations de purification des eaux entrant dans la retenue*
(9) Surface water purifying facilities	*(9) Installations de purification de l'eau à la surface du bassin*
(10) Discharge water purification facilities	*(10) Installations de purification des eaux évacuées*
(11) Circulating mixolimnion (warm)	*(11) Mixolimnion circulant (tiède)*
(12) Thermocline	*(12) Thermocline*
(13) Deep layer (cold)	*(13) Couche profonde (froide)*
(14) Circulatory current	*(14) Courant de circulation*
(15) Inflowing river water	*(15) Apport d'eau de rivière*

water from medium and minor flooding (which is rich in nutrient salts) to the thermocline and away from the euphotic zone containing blue-green algae.

Prolonged water turbidity can be addressed by forcing highly turbid water from medium and minor floods to the thermocline, leaving clear water in the surface layer, and by increasing the thickness of the circulating mixolimnion via dispersed aeration.

Common practice with reservoirs has been to install selective intake as well as aeration and circulation equipment for their separate functions, but not for controlling current in the reservoir by regulating the elevation of the local thermocline. The current control system proposed here discharges inflow river water rich in nutrient salts and highly turbid water from the reservoir as rapidly as possible. It does this by providing an outlet for medium and minor floods at an elevation several times the depth of the euphotic zone, and by creating a stabilized thermocline near the elevation of the outlet by the dispersed aeration method. Selective inflow facilities are installed at the upstream end of the reservoir to lead inflow river water into the thermocline, as far as possible preventing it from mixing with reservoir water in the euphotic zone.

This system includes deep layer DO facilities which prevent the elusion of nutrient salts from mud on the bottom by enhancing the dissolved oxygen in the deep layer.

4.2. Field tests on the current control system

4.2.1. Creating the circulating mixolimnion

Conducted at Kamafusa Dam, these tests were designed to establish the vertical distribution of water temperatures in the reservoir over a period of one month from August 10, 1992. All the intermittent aerohydraulic pump aerators were temporarily replaced with dispersed aeration. The same compressive motive power was used in both methods, and the water depth for discharging air from the hose was also roughly equal to the previous value. Fig. 4 shows where the aerators and water temperature observation points were located, while Fig. 5 gives the vertical distribution of water temperatures near the aerators.

The difference between the methods was evaluated by comparing the vertical distributions of water temperatures at day 1 and day 18 after switching to dispersed aeration. It can be seen clearly that dispersed aeration achieves higher circulation efficiency and produces a thicker mixolimnion as a result of the greater volume of water trapped by air bubbles. At the river water temperature of approximately 20 °C (in the period applicable to Fig. 5), the temperature and thickness of the mixolimnion in the dispersed aeration method means that inflowing river

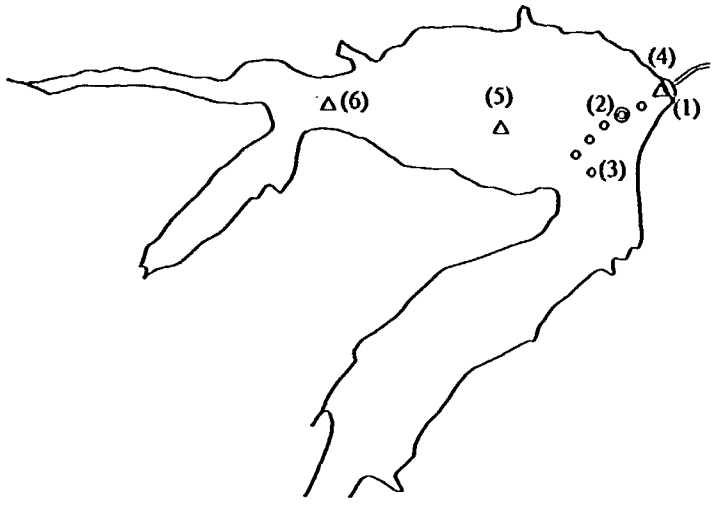


Fig. 4

Layout of aerators and water temperature observation points
Disposition des aérateurs et des points d'observation de la température de l'eau

(1) Kamafusa Dam
(2) Aerator (large)
(3) Aerator (small)
(4) Water temperature observation point (near aerator)
(5) Water temperature observation point (near inflow section)
(6) Water temperature observation point (center of reservoir)

(1) Barrage de Kamafusa
(2) Aérateur (grand)
(3) Aérateur (petit)
(4) Point d'observation de la température de l'eau (à proximité de l'aérateur)
(5) Point d'observation de la température de l'eau (à proximité de l'arrivée des eaux)
(6) Point d'observation de la température de l'eau (au centre du réservoir)

water during medium and minor floods and non-flood periods can be forced at least 10 metres deeper than with the intermittent aerohydraulic pump method.

4.2.2. Current of circulating mixolimnion

We measured current near the large aerators (output 22 kW, air capacity 3 700 l/min) using two-dimensional and three-dimensional electromagnetic current meters. The results are shown in Fig. 6. The behavior of the water near the aerators creates two circulating currents, as shown in Fig. 7. In the first circulating current, water near the air bubbles is entrained by the rising air bubbles produced through aeration. The current then changes to horizontal, becoming a surface current. Once the horizontal current is about 30 meters away from the centre of aeration it turns into a vertical downward current. When this current gets to a certain depth it moves towards the air bubbles and surface current. The second circulating current, which circulates outside the first circulating current, is the effect of the vertical downward current above. As shown in Fig. 8 the vertical distribution of water temperatures near inflow section in roughly equal to the vertical temperature distribution near the aerators.

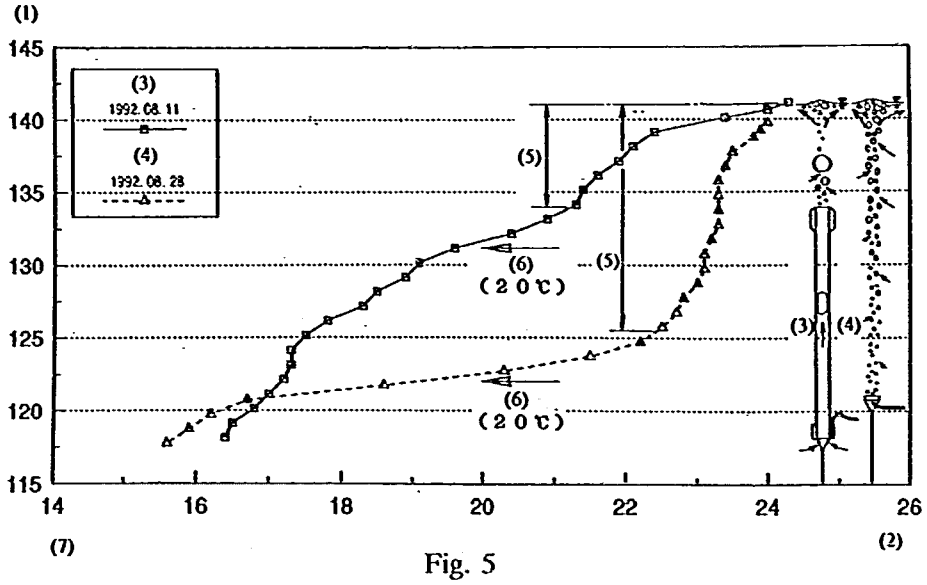


Fig. 5

Vertical water temperature distribution for intermittent aerohydraulic pump vs. dispersed aeration method

Répartition verticale de la température de l'eau pour la pompe aérohydraulique à fonctionnement intermittent, comparée à la méthode d'aération dispersée

(1) Reservoir level (m)
(2) Water temperature (°C)
(3) Intermittent aerohydraulic pump method
(4) Dispersed aeration method
(5) Circulating mixolimnion
(6) Inflowing river water
(7) Note: Switched to dispersed aeration method August 10, 1992

(1) Niveau du réservoir (m)
(2) Température de l'eau (°C)
(3) Méthode utilisant une pompe aérohydraulique à fonctionnement intermittent
(4) Méthode d'aération dispersée
(5) Mixolimnion circulant
(6) Apport d'eau de la rivière
(7) Remarque: Passage à la méthode d'aération dispersée le 10 août 1992

The effect of aeration on current behaviour in the dispersed aeration method has been determined from the above observations. As Fig. 7 shows, the first circulating current mixes the warm water (24.5 °C) from the surface layer on its outside with the cold water (20.5 °C) from the deep layer (also on its outside) to maintain an average temperature (23.5 °C), and also pushes the mixture out to the intermediate water depth on the outside of the first circulating current. The average temperature water pushed out in this way is brought to the upstream end of the reservoir, entering like a wedge between the warm water in the surface layer and the cold water in the deep layer. The insulation energy in the surface layer is thus carried through the entire circulation mixolimnion by this density current. This is shown as second circulating current.

4.2.3. Change in vertical temperature distribution in mixolimnion

Once the thick circulating mixolimnion is formed, the temperature of the euphotic zone often falls below that of the lower mixolimnion layer

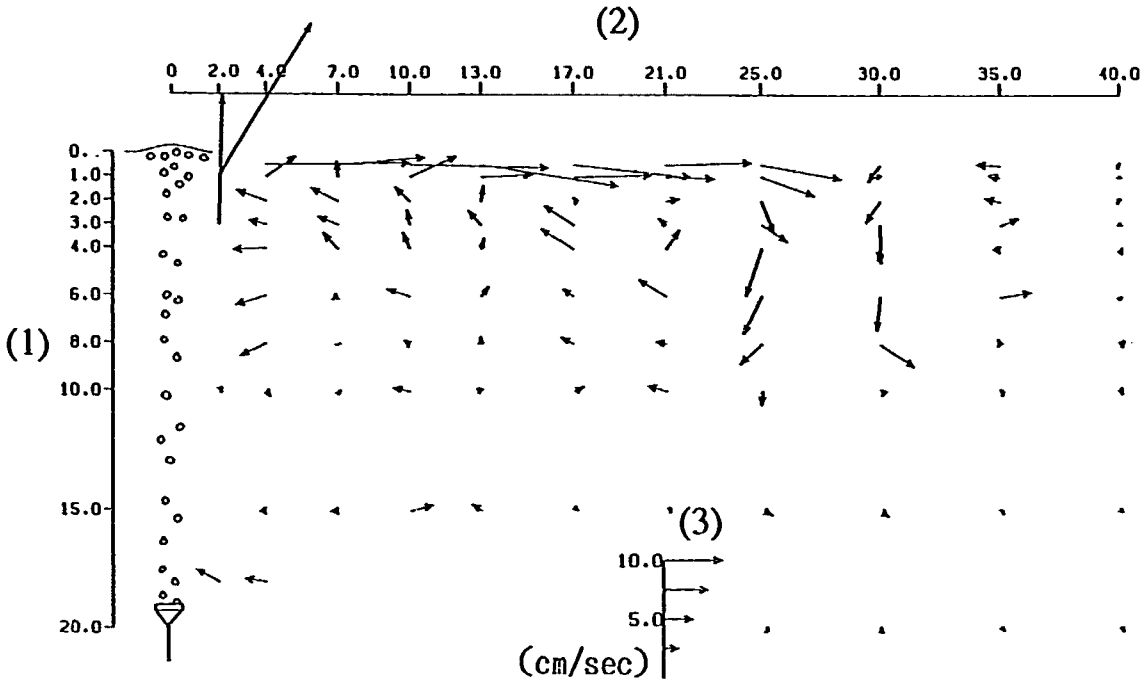


Fig. 6

Observed flow during dispersed aerator operation

Écoulement observé durant le fonctionnement de l'aérateur dispersé

(1) Depth (m)
(2) Distance from aerator (m)
(3) Legend

(1) Profondeur (m)
(2) Distance à partir de l'aérateur (m)
(3) Légende

(although this is influenced to some degree by the prevailing weather conditions). As a result the water in the two layers tends to change places readily, particularly during strong winds. Fig. 9 shows change in vertical temperature distribution at the centre of the reservoir. Fig. 10 shows changes in depth for which the average temperature gradient heading down from the surface is under 0.1 °C/m. The maximum thickness of the layer for which surface water temperature is almost homogeneous was 7 m by the intermittent aerohydraulic pump method but more than 10 m on some days for the dispersed aeration method. This suggests that in the thick circulating mixolimnion, the water in the euphotic zone is able to form a mixed flow to a depth of over 10 m at least several times a week.

4.3. Facilities - purpose and layout

4.3.1. Circulatory current control facilities

Circulatory current control facilities use dispersed aeration aerators to create a circulating mixolimnion with warm water and a homogeneous distribution of water temperatures in the surface layer of the reservoir, to

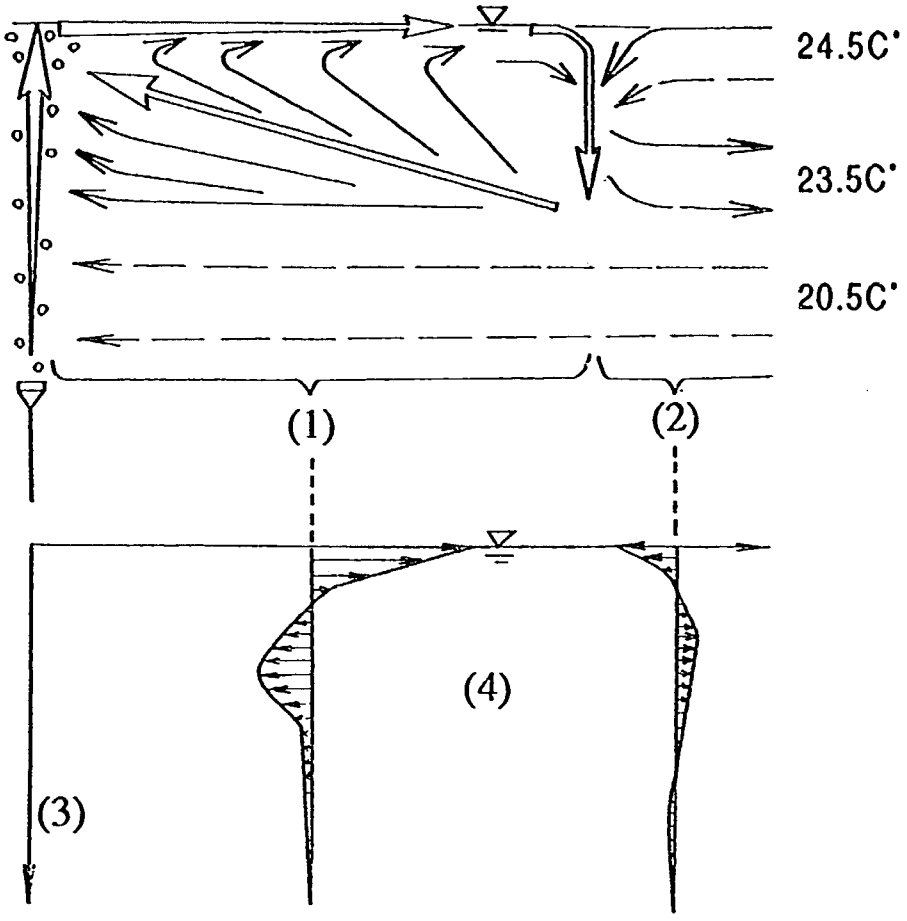


Fig. 7

Schematic representation of current near dispersed aeration facilities

Représentation schématique du courant à proximité d'une installation d'aération dispersée

(1) First circulating current
(2) Second circulating current
(3) Depth
(4) Vertical horizontal velocity distribution

(1) Premier courant de circulation
(2) Deuxième courant de circulation
(3) Profondeur
(4) Distribution verticale de la vitesse horizontale

a depth several times that of the euphotic zone. This reduces the supply of nutrient salts and light to blue-green and other undesirable algae types in the euphotic zone.

One danger has been that highly turbid and/or nutrient-rich floodwater may be spread throughout the mixolimnion by the dispersed aeration aerators. However the dispersed aeration aerator can readily be shifted up or down, and flow in the reservoir can be regulated with respect to water temperature and quality of reservoir and river water inflow by monitoring the automatic water quality equipment. This type of aerator is not used during floods. Once flooding is over the aerators are moved to the clear water lower-limit depth before resuming operation. They are then lowered as the clear water depth falls so as to restore the circulating mixolimnion.

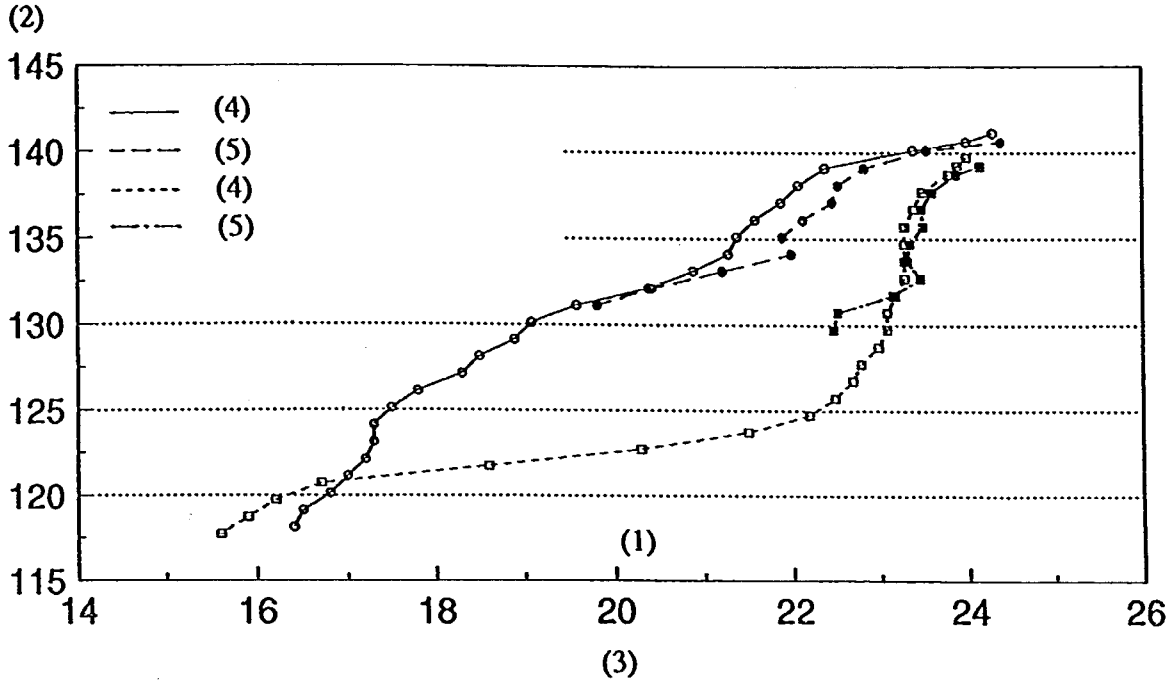


Fig. 8

Vertical temperature distribution at near inflow section

Répartition verticale de la température à proximité de l'arrivée des eaux

(1) Near inflow section - 1 450 m from aerators
(2) Reservoir level (m)
(3) Water temperature (°C)
(4) Near the aerators
(5) Near inflow section

(1) A proximité de l'arrivée des eaux - 1 450 m des aérateurs
(2) Niveau de retenue (m)
(3) Température de l'eau (°C)
(4) A proximité des aérateurs
(5) A proximité de l'arrivée des eaux

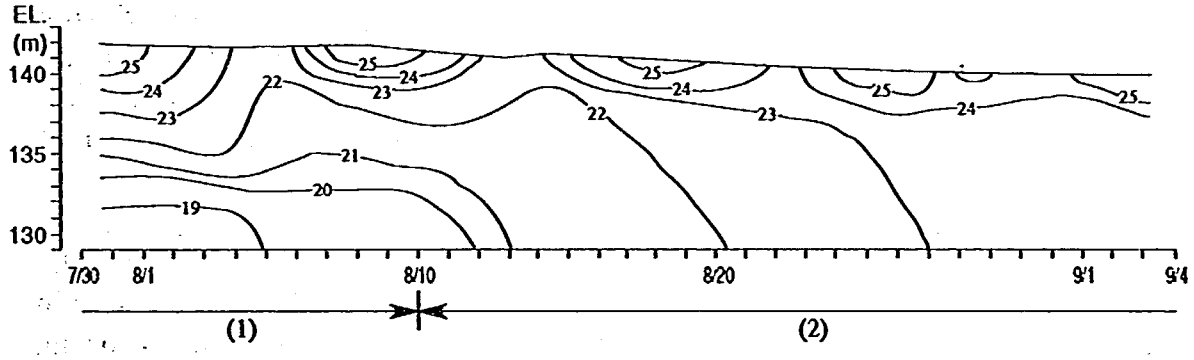


Fig. 9

Change in vertical temperature distribution at center of reservoir

Modification de la répartition verticale de la température au centre de la retenue

(1) Intermittent aerohydraulic pump method
(2) Dispersed aeration method

(1) Méthode utilisant une pompe aérohydraulique à fonctionnement intermittent
(2) Méthode d'aération dispersée

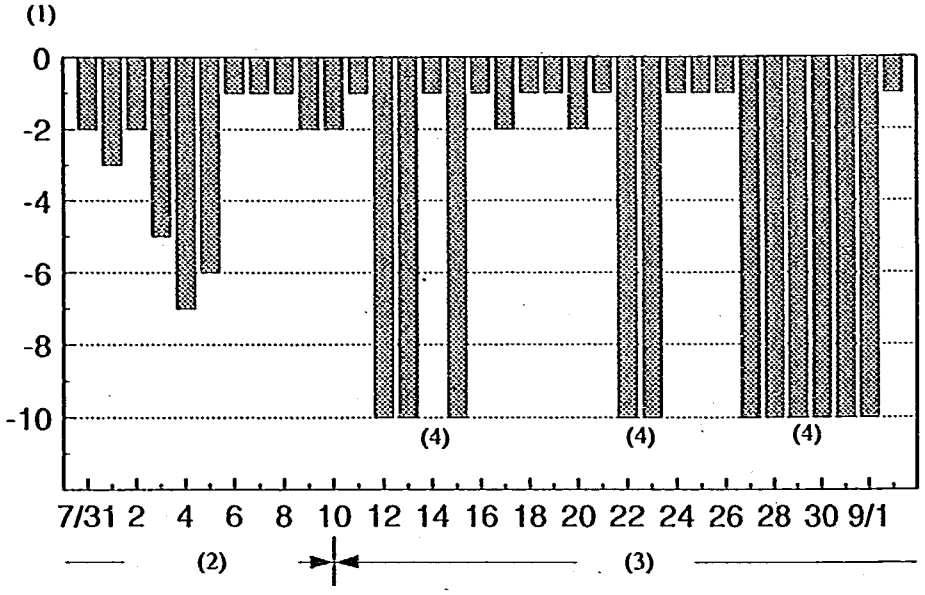


Fig. 10

Change in depth where temperature gradient from surface is under 0.1 °C/m

Modification en profondeur lorsque le gradient de température depuis la surface est inférieure à 0,1 °C/m

(1) Water depth (m)
(2) Intermittent aerohydraulic pump method
(3) Dispersed aeration method
(4) 10 m or more

(1) Profondeur de l'eau (m)
(2) Méthode utilisant une pompe aéro-hydraulique à fonctionnement intermittent
(3) Méthode d'aération dispersée
(4) 10 m ou plus

4.3.2. Selective inflow facilities

The selective inflow facilities force inflowing river water during non-flood periods and medium and minor flooding from the upstream end of the reservoir to the thermocline. This achieved with almost perfect efficiency and minimum mixing with the mixolimnion of warm, clear water. The facilities are generally used from May to November.

Fig. 11 shows one example, where inflowing river water during non-flood periods or minor flooding is forced through a pipe to the thermocline, avoiding the mixolimnion altogether. Inflowing river water in medium floods flows via an open channel between underwater training walls with minimal mixing.

4.3.3. Selective discharge facilities

The selective discharge facilities can discharge large volumes of water from any elevation – clear water during non-flood periods and highly turbid water from the vicinity of the thermocline in floods, and clear water from the circulating mixolimnion after flooding.

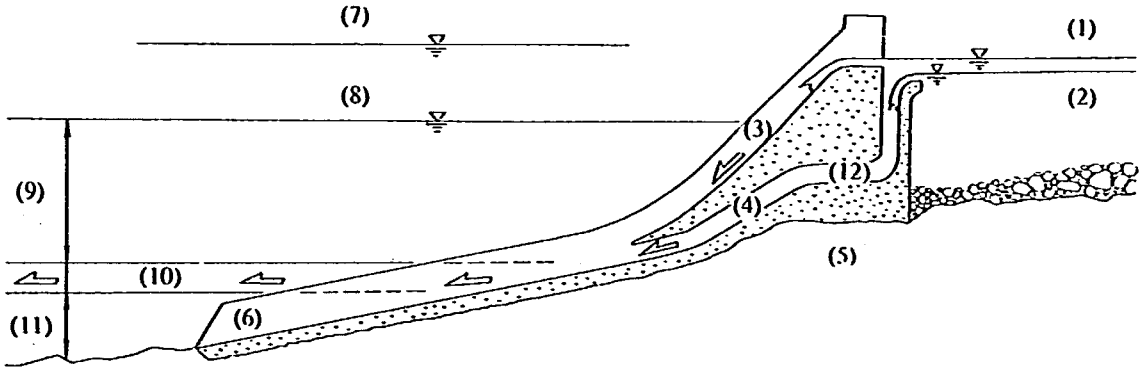


Fig. 11

Example of selective inflow facilities in use

Exemple d'installation sélective de contrôle de l'arrivée des eaux, en exploitation

(1) Medium flooding
(2) Non-flood or minor flooding
(3) Extremely turbid water
(4) Clear water - Limited water level in summer
(5) Auxiliary dam
(6) Underwater training walls
(7) Normal water level
(8) Limited water level in summer
(9) Circulating mixolimnion (warm)
(10) Thermocline
(11) Deep layer (cold)
(12) Pipe

(1) Crue moyenne
(2) Pas de crue ou crue mineure
(3) Eaux extrêmement troubles
(4) Eau claire - Niveau de l'eau limité en été
(5) Barrage auxiliaire
(6) Murs guideaux immergés
(7) Niveau normal de l'eau
(8) Niveau limité de l'eau en été
(9) Mixolimnion circulant (tiède)
(10) Thermocline
(11) Couche profonde (froide)
(12) Canalisation

If, for instance, a medium-scale current leads to the replacement of a large proportion of pondage, a significant volume of clear water can be retained in the mixolimnion by discharging highly turbid water which has entered the thermocline via these facilities a short time after the flood.

4.3.4. Deep-layer DO facilities

When the circulatory current control facilities are in operation very little flow occurs in layers below the dispersed aerators. The deep-layer DO facilities suppress the elution of nutrient salts, H_2S, Fe and Mn by supplying oxygen via aeration.

These facilities, which use dispersed aerators with low air capacity, are always operated at a position several metres from the bottom of the reservoir. To prevent the air bubbles from disturbing the thermocline, air volume and bubble size is kept to a minimum by using a system of small blowing holes dispersed over a wide area [8].

5. FILAMENTOUS ALGAE SYSTEM

5.1. Outline of system

The filamentous algae system described here sets up an artificial environment in the reservoir conducive to the growth of this algae type, normally found in rivers, shallow lakes and marshes. This removes PO_4-P and T-P from inflowing river water and PO_4-P from surface water, prevents abnormal growth of blue-green and other undesirable algae and eliminates floating algae and musty odor substances from discharge water. Thus the reservoir is artificially provided with a natural ecosystem which purifies water in rivers.

5.2. Types of filamentous algae

The term filamentous algae is sometimes used to refer to algae which, viewed under a microscope, appears linked like a railway train, but at other times to refer to algae which looks to the naked eye like wool or cotton yarn. This report uses the latter definition.

Filamentous algae, which actually plays an important role in our everyday lives, can be broadly classified into two types: one found in rapidly flowing mountain rivers and waterways, and the other in gentler streams such as shallow lakes, marshes and paddyfields. Table 2 lists some types of filamentous algae closely related to this system [9].

Table 2

Types of filamentous algae related to the system

Algae type	Name	Class	Features
Rapid river	Cladophora glomerata	Green algae	Identical to Aegagropila genus in all respects except inability to become round
	Ulothrix sp.	Green algae	Typical epiphytic algae adhering to rocks in mountain rivers
Gentle stream	Oedogonium sp.	Green algae	A number of distinctive features including unusual cell division, end walls with cap and round vermilion oogonium
	Melosira varians	Diatom	Widely used for slow sand filter in purification plant
	Spirogyra sp.	Green algae	High in nutrition
	Hydrodictyon reticulatum	Green algae	Polygonal pattern visible to naked eye; lace work appearance.

5.3. Advantages of filamentous algae in water purification

Filamentous algae has a number of advantages over blue-green algae and aquatic plants in terms of reservoir algae purification. Specifically, filamentous algae:

1. Does not cause eutrophication (algae bloom, freshwater red tides, musty odor).

2. Grows rapidly (doubles in a matter of days as opposed to two weeks for the aquatic plant water hyacinth) and therefore absorbs inorganic nutrient salts more efficiently.

3. Requires substrate for sticking to lying down on. The growth of algae can be controlled by shape and amount of the substrate.

4. Survives even in winter because of its ability to adapt to lower temperatures than, say, blue-green algae. It is more adaptable in terms of location and season than the water hyacinth, which can grow only during summer in the western regions of Japan.

5. Unlike floating algae does not require high concentrations of inorganic nutrient salts, and is capable of absorbing nutrient salts even at quite low concentrations if the surrounding water is constantly changing.

6. Can be separated from water and removed (e.g. with screens) more easily than floating algae.

7. Contains nourishment and serves as excellent feed for fish such as sweetfish and freshwater smelt as well as livestock such as chicken.

5.4. Function of purification facilities

Fig. 12 shows how filamentous algae purification facilities operate. The process (see a-d in the Fig.) depends on the substances to be removed and the types of filamentous algae which are to be preserved with respect to inflowing, surface and discharge water purification facilities. Table 3 lists the combinations of basic functions in each facility.

5.5. Design and purpose

5.5.1. Inflowing water purification

Inflowing water purification facilities remove PO_4-P and T-P from inflowing river water. As shown in Fig. 13, the facilities are classified into Type A and Type B according to the type of filamentous algae in the source river (gentle streams and rapidly flowing rivers respectively).

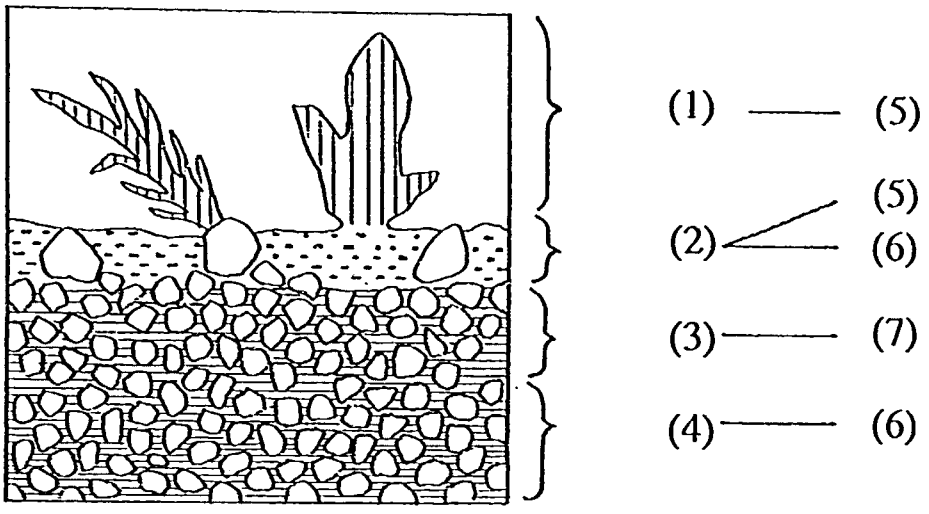


Fig. 12

Purification by filamentous and others

Purification au moyen d'algues filamenteuses et autres

(1) Filamentous algae breeding streoscopically	*(1) Algues filamenteuses se développant d'une manière stréoscopique*
(2) Filamentous algae used as filtering membrane	*(2) Algues filamenteuses utilisées comme membrane de filtrage*
(3) Aerobic bacteria between particles	*(3) Bactéries aérobiques entre les particules*
(4) Physical filtration between particles	*(4) Filtrage physique entre les particules*
(5) Absorbs and removes PO_4-P	*(5) Absorbe et élimine PO_4-P*
(6) Captures and removes floating algae and SS	*(6) Capture et élimine les algues flottantes et les substances en suspension*
(7) Decomposes removing musty odor substances	*(7) Décompose en éliminant les subtances produisant une odeur de moisi*

Type A facilities provide an environment suitable for growth by gentle-stream filamentous algae, particularly Melosira varians and Spirogyra sp., which remove PO_4-P via absorption. A 3-4 mm gravel layer removes organic matter via physical filtration through the gaps between gravel pieces. PO_4-P produced from the decomposition of organic matter in the gravel loyer is later absorbed by the filamentous algae at the following stage.

Type B facilities provide an environment suitable for growth of rapid-river filamentous algae, particularly Cladophora glomerata, Ulothrix sp. and Oedogonium sp., which remove PO_4-P in inflowing water. A 5-10 mm graver layer removes organic matter via physical filtration through the gaps between gravel pieces. The gravel layers are replaced entirely once a year as the gaps become clogged with floating algae and SS. Sediment accumulated in the sand storage dam can be used as gravel. The multi-stage process enhances efficiency by mixing superstructure with substructure water.

In Type A facilities Melosira varians and Spirogyra sp. are removed using screens as they rise together with oxygen bubbles produced by the

TABLE 3

Combined filamentous algae purification processes

Facility type	Algae type	Target substance	Process
Inflowing water purification	Gentle stream	PO_4-P T-P	1 Breeds stereoscopically 2 Forms filter membrane 4 Physical filtration between particles ↓ PO_4-P removed T-P removed
	Rapid river		1 Breeds stereoscopically 4 Physical filtration between particles ↓ PO_4-P removed T-P removed
Surface water purification	Gentle stream	PO_4-P	1 Breeds stereoscopically 2 Forms filter membrane ↓ PO_4-P removed
	Rapid river		1 Breeds stereoscopically ↓ PO_4-P removed
Discharge water purification	Gentle stream	Floating algae, musty odor substance	2 Forms filter membrane 3 Aerobic bacteria between particles 4 Physical filtration between particles ↓ Musty odor substances removed Floating algae removed

photosynthesis accompanying growth. In Type B facilities, Cladophora glomerata, Ulothrix sp. and Oedogonium sp. (which adhere to gravel by rhizoids) are removed with screens as they descend after breaking off midway or are dragged down with the gravel to which the rhizoids adhere in the event of overgrowth.

These facilities can handle a flow of 0.5 ha per 1 m^3/s.

5.5.2. Surface water purification

Surface water purification facilities consist of nets installed in the surface of the reservoir to provide substrate onto which filamentous algae varieties such as green algae and diatoms adhere. The PO_4-P in the surface layer is absorbed by these algae before it can reach the blue-green algae.

Fig. 14 illustrates the concept behind these facilities. Filamentous algae such as Spirogyra sp. and Hydrodictyon reticulatum uses the inside of nets as substrate and a vertical flow can be obtained from the water supply. The filamentous algae is removed with moving screens as it rises carrying its oxygen bubbles.

Both types of facilities are designed to remove PO_4-P through absorption by filamentous algae rather than the floating blue-green algae,

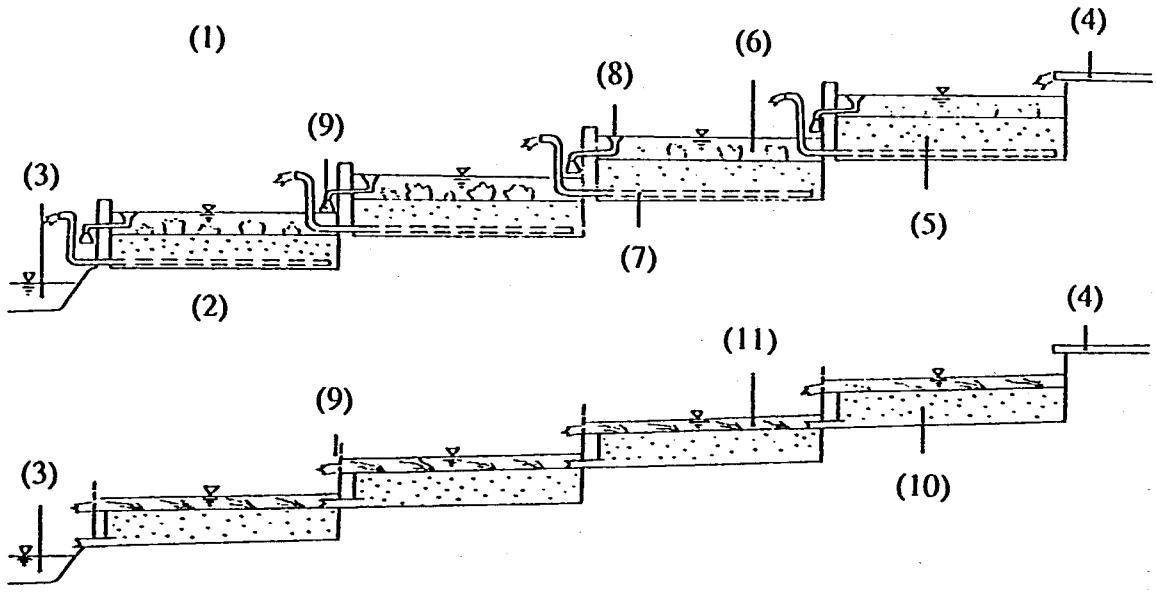


Fig. 13

Example of inflow water purification facilities in use

Exemple d'installation de purification des eaux arrivant dans le bassin, en exploitation

(1) Type A
(2) Type B
(3) Reservoir
(4) Inflow water
(5) Coarse sand layer
(6) Gentle-stream filamentous algae
(7) Purified water intake
(8) Algae collection inlet
(9) Algae removal screen
(10) Gravel layer
(11) Rapid-river filamentous algae

(1) Type A
(2) Type B
(3) Réservoir
(4) Eau arrivant dans le réservoir
(5) Couche de sable grossier
(6) Algues filamenteuses, cours d'eau calme
(7) Prise d'eau purifiée
(8) Arrivée de la collecte des algues
(9) Grille servant à éliminer les algues
(10) Couche de gravier
(11) Algues filamenteuses, cours d'eau rapide

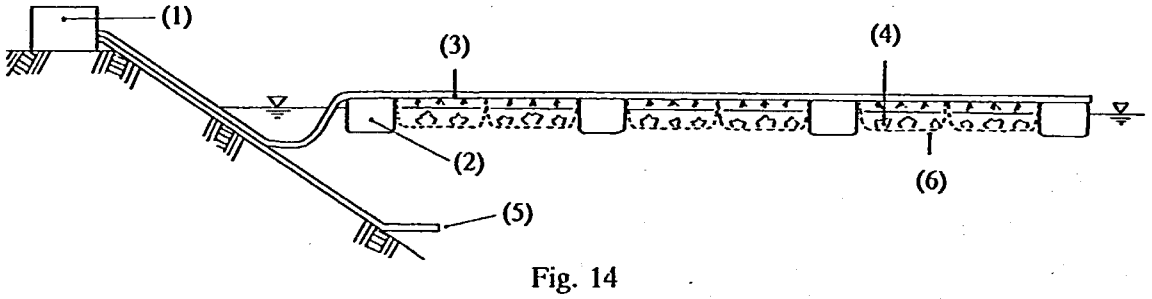


Fig. 14

Example of surface water purification facilities in use

Exemple d'installation de purification de l'eau de surface, en exploitation

(1) Pump
(2) Float
(3) Water supply pipe
(4) Gentle-stream filamentous algae
(5) Intake port
(6) Net (algae substrate)

(1) Pompe
(2) Flotteur
(3) Tuyau d'alimentation d'eau
(4) Algues filamenteuses, cours d'eau calme
(5) Entrée d'admission
(6) Filet (substrat d'algues)

which grows by absorbing the large quantities of PO_4-P at the surface following floods.

5.5.3. Discharge water purification facilities

Discharge water purification facilities remove floating algae and musty odor substances from water discharged downstream and provide a normal flux supply using biological membranes of filamentous algae and aerobic bacteria between sand particles in periods when odors are readily generated. Fig. 15 shows the layout of the facilities.

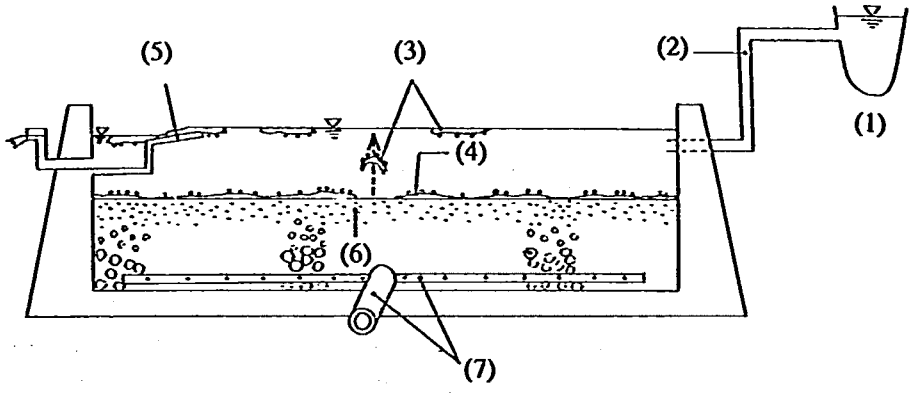


Fig. 15

Example of discharge water purification facilities in use
Exemple d'installation de purification des eaux évacuées, en exploitation

(1) Reservoir
(2) Water supply pipe
(3) Filamentous algae
(4) Biological filtering membrane
(5) Sloping filamentous algae remover
(6) Sand
(7) Pipe for collecting treated water

(1) Réservoir
(2) Tuyau d'alimentation d'eau
(3) Algues filamenteuses
(4) Membrane de filtrage biologique
(5) Dispositif incliné d'élimination des algues filamenteuses
(6) Sable
(7) Tuyau de récupération de l'eau traitée

At the beginning of operation, filamentous algae such as Melosira varians forms a membrane on the surface of sand layer. As filamentous algae such as Melosira grows, rises together with oxygen bubbles produced by photosynthesis. Since it rises with the membrane the filtration does not tend to become clogged. The filamentous algae then forms fibrous masses between 5 and 50 cm in diameter, which are easily removed via separation with screens. In addition, the constant supply of oxygen carried by filamentous algae assists with decomposition of organic compounds, particularly musty odor substances, by aerobic bacteria between sand particles.

6. CONCLUSION

In this paper we have given an outline of aeration and circulation by the intermittent aerohydraulic pump method as employed at Kamafusa Dam, and discussed the improvements in water quality. We have also outlined the " Dam Reservoir Water Quality Environment Creation ", a new and more efficient measure for maintaining water quality in reservoirs, and described field tests of the system. Testing will continue in the future in an effort to put the system into practical use at as many dams as possible.

REFERENCE

[1] MORIKITA, Yoshiaki, FURUI, Shigehiro, and MIURA, Susumu : On the prediction method and conservation measures of water quality in dam reservoirs, Collected papers from 29th Hydraulics Lecture meeting, 1985.

[2] NIWA, Kaoru, AMANO, Kunihiko, and MIURA, Susumu : A study on the aeration/circulation method as a coutermeasure against eutrophication problems in reservoirs, Dam Engineering No. 3, 1991.

[3] NIWA, Kaoru, and KUNOH, Makoto : Comprehensive reservoir water quality techniques, Engineering for Dams No. 75, 1992.

[4] NIWA, Kaoru, KUNOH, Makoto, OHNISHI, Minoru, and YAMASHITA, Yoshihiro : Coutermeasures for reservoir water quality conservation by water current control system, Collected Hydraulic Engineering papers, Hydraulic Committee, Japan Society of Civil Engineers, Vol. 37, 1993.

[5] NIWA, Kaoru, KUNOH, Makoto, OHNISHI Minoru, and YAMASHITA, Yoshihiro : Coutermeasures for reservoir water quality conservation using filamentous algae, Collected Hydraulic Engineering papers, Hydraulic Committee, Japan Society of Civil Engineers, Vol. 37, 1993.

[6] KUNII, Kouetu, and MURAKAMI, Masahiro : The field experiment to keep water quality at Kamafusa Dam, Collected papers from 4th Water Resources Symposium, Water Resources Symposium Committee, 1992.

[7] FUJIMOTO, Sei, and MORIKITA, Yoshiaki : On pilot experiments concerning countermeasures against reservoir eutrophication in Japan, 16th Congress on Large Dams, 1988.

[8] ASAEDA, Takashi, IKEDA, Hirokazu, and IMBERGER, Jörg: The structure and evolution of the bubble plume in a step stratification, Collected papers of Japan Society of Civil Engineers, No. 438/II-17, 1991.

[9] NAKAMOTO, Nobutada, and SAKAI, Masashi: The importance of continuous culture of filamentous daitom in slow sand filter, Journal of Japan Water Treatment Biological Society, Vol. 27, No. 1, 1991.

SUMMARY

Although there is a growing movement to use reservoirs effectively as part of the natural environment, the water in some reservoirs is becoming eutrophicated due to the increase of nutrient salts caused by the excessive inflow of these salts from the catchment areas. This increase in nutrient salts fosters the abnormal growth of undesirable algae, thus causing serious water problems such as algae bloom, fresh water red tide, musty odor of city water, foul smell at the shores of reservoirs and also hindering in harmony with amenities. To avoid eutrophication and these problems in reservoirs, it is necessary to initiate measures to check the abnormal growth of undesirable algae.

Thus far, aerating and circulating equipment have been installed at reservoirs as measures for controlling against eutrophication. For example, the Kamafusa dam, which is under the jurisdiction of the Ministry of Construction, has intermittent aerohydraulic pump aerators and this has proved to be effective in improving the reservoir water.

This paper proposes a current control system and a water treatment system using filamentous algae as a new type of measure. The current control system increases the effectiveness of conventional aeration and circulation by controlling the vertical distribution of water temperature in the reservoir. The water treatment system supplements the current control system by removing the nutrient salts from the reservoir by using filamentous algae.

RÉSUMÉ

Bien qu'il existe une tendance croissante à utiliser efficacement les retenues comme élément de l'environnement, certains réservoirs de barrages subissent une eutrophisation en raison de l'augmentation des sels nutritifs provenant des bassins versants. Cette augmentation de sels nutritifs favorise la croissance anormale d'algues indésirables, causant ainsi de sérieux problèmes au niveau de la qualité de l'eau, tels que la prolifération d'algues, les marées « rouges » en eau douce, l'odeur de moisi de l'eau d'alimentation des villes, les odeurs nauséabondes sur les bords des réservoirs et nuit également à la qualité de la vie. Pour éviter l'eutrophisation

et ces problèmes dans les retenues, il est nécessaire de mettre en place des mesures pour maîtriser la croissance anormale d'algues indésirables.

Jusqu'à présent, des dispositifs d'aération et de circulation ont été installés sur les réservoirs, en vue de contrôler et lutter contre l'eutrophisation. Par exemple, le barrage de Kamafusa, qui est placé sous la juridiction du Ministère de la Construction, possède des aérateurs à pompe aérohydraulique à fonctionnement intermittent, et ceci s'est avéré efficace pour améliorer la qualité de l'eau de la retenue.

Ce rapport propose un système de contrôle du courant et un système de traitement de l'eau utilisant des algues filamenteuses, en tant que nouveau type de mesure de contrôle. Le système de contrôle du courant augmente l'efficacité des dispositifs d'aération et de circulation classiques en contrôlant la répartition verticale de la température de l'eau dans le réservoir. Le système de traitement de l'eau complète le système de contrôle du courant en éliminant les sels nutritifs du bassin de retenue au moyen d'algues filamenteuses.

そ　の　他

(発表論文)

【技術研究】

ダム建設現場における濁水処理スラッジの有効利用 (2)

建設省土木研究所環境部　竹林征三*
〃　〃　丹羽薫**
(財)国土開発技術研究センター　梶原日出隆***
〃　中村健一****
〃　楠見正之****

前号においては，ダム建設工事にともない発生する濁水処理スラッジの特性および濁水処理スラッジの有効利用が可能な用途について述べた。

(前号目次)

1. はじめに
2. 濁水処理の現状
3. 濁水処理スラッジの基本特性
4. 濁水処理スラッジへの既存建設副産物・廃棄物利用技術の適用
5. 濁水処理スラッジの有効利用用途
6. 濁水処理スラッジのダム現場内における有効利用

7. 適用性確認実験

濁水処理スラッジの有効利用に有望な用途として前号で示した内，微粒骨材，細粒材に関する基礎的な実験を行った結果を以下に示す。

(1) 濁水処理スラッジの微粒骨材としての適用性実験

濁水処理スラッジの微粒骨材としての適用性を確認するために，貧配合コンクリート配合試験，モルタル配合試験，注入材配合試験，室内注入試験を実施した。

(i) 貧配合コンクリート配合試験

配合試験として，RCD工法で施工された玉川ダムの内部コンクリートの示方配合 ($C+F$=130 kg, S=657 kg, G=1,560 kg, W=95 kg) を参考に，細骨材をスラッジで 10, 20, 30 % の比率で置換した試験配合を設定し，VC 値，圧縮強度の測定を実施した。VC 値は，振動台コンシステンシー試験方法（小型 VC 試験機）により測定し，圧縮強度は標準供試体（ϕ 150 mm × 300 mm）を作製し，材令 28 日で測定した。図-4 に圧縮強度，図-5 に VC 値の測定結果を示す。図より，スラッジ置換率が増加するに従い，VC 値は増加し，圧縮強度は減少する傾向を示すことがわかる。

試験に用いたスラッジの単位重量当たりの表面積は細骨材の約 160 倍あり，重量で置換した場合単位量当たりの骨材の表面積が急激に増加することになる。このことが上記の試験結果と関係あるものと考えられる。

また，置換率20%程度までは圧縮強度の低下が小さく，30 % で急激に低下していることから，圧縮強度の面での置換率の上限がこの付近にあると考えられる

*環境部長
**環境計画研究室長
***調査一部次長
****　〃　参事

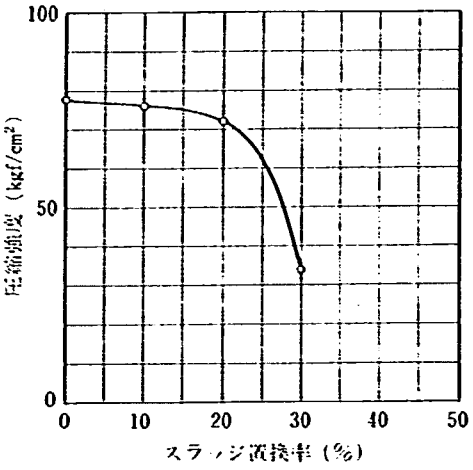


図-4　スラッジ置換率と圧縮強度の関係

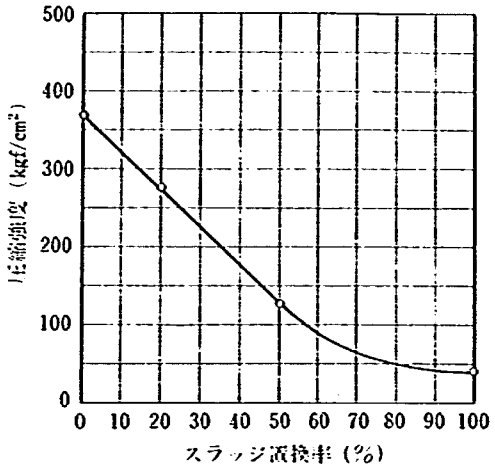


図-6　スラッジ置換率と圧縮強度の関係

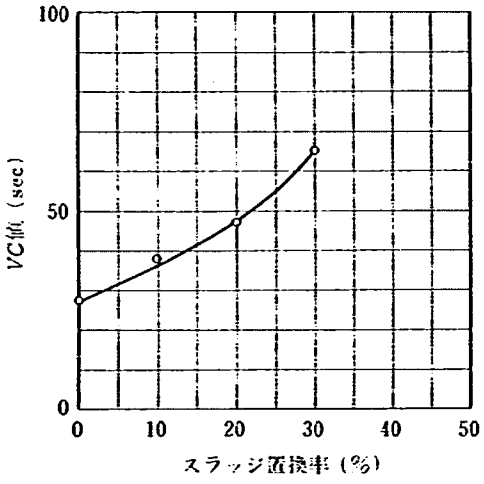


図-5　スラッジ置換率と VC 値の関係

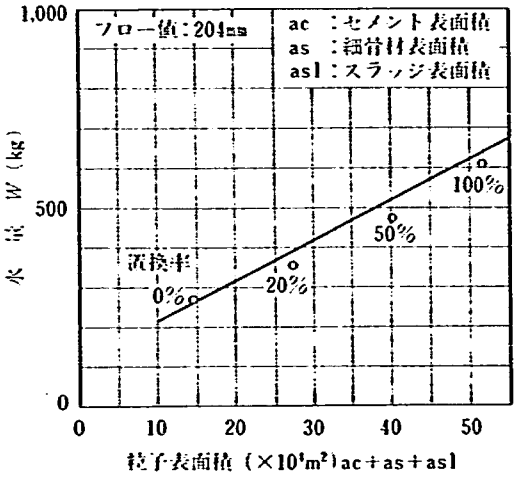


図-7　粒子表面積と水量の関係

（ii）　モルタル配合試験

配合試験として，玉川ダムの敷きモルタルの示方配合（C=470 kg，S=1,391 kg，W=270 kg）を参考に，細骨材をスラッジで 20, 50, 100 % の比率で置換した試験配合を設定し，フロー値，圧縮強度の測定を実施した。フロー値はフローテーブルで測定し，圧縮強度は供試体（ϕ50 mm×100 mm）を作製し，材令 28 日で測定した。

細骨材をスラッジで置換したケースは粘性の増化によりフロー値が減少したことから，基本配合のフロー値と同等になるまで水を追加していき，その時の水量を求めた。

図-6 に圧縮強度の測定結果，図-7 にセメント，砂，スラッジ粒子の総表面積と水量の関係を示す。

図より，スラッジ置換率が増加するに従い，フロー値を基本配合と同等にするために加える水量が増加し，圧縮強度が減少する傾向を示すことがわかる。また，図-7 より，同一フロー値での各置換率における粒子の総表面積と単位水量は直線関係にあることがわかる。モルタルの細骨材をスラッジに置換する場合，粒子の表面積を考慮することによりコンシステンシーを管理することが可能と考えられる。

（iii）　注入材試験

a）　注入材配合試験

ダムのグラウトを想定した注入材の配合試験としてセメントをスラッジで 20, 50, 100 % の比率で置換した試験配合を設定し，フロー値（P ロートフロー），ブリージング率，圧縮強度の測定を

実施した。比較対象として，超微粒子セメント，ベントナイトを添加したケースについても同様の試験を実施した。表−10に試験結果を示す。

表より，スラッジ置換率が増加するにともない，粘性が大きくなりフロー値は増加し，ブリージング率，圧縮強度は減少する傾向を示すことがわかる。

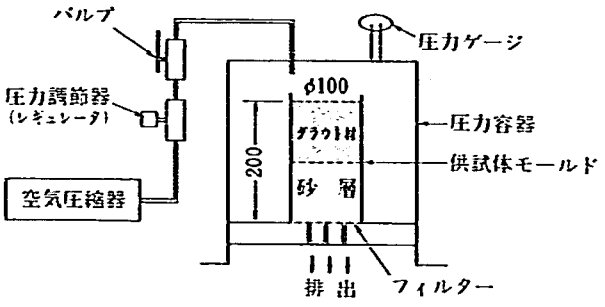
特に，スラッジ添加によるブリージング抑制効果は注目に値する。また，スラッジ添加によるフロー値の増加は，AE減水剤を使用することにより低減が可能であることがわかる。

b） 室内注入試験

配合試験と同様の配合ケースで図−8に示す試験装置を用い，粒度を調整した砂で地盤モデルを作製し，室内注入試験を実施した。試験装置は，下部に地盤モデルとしての砂，上部に注入材を充填したモールドを圧力容器内に入れ，空気圧をかけると注入材が地盤モデル内に浸透し，下端にある細孔から外部に排出される構造となっている。

モールド下部からの排出物がなくなった時点で注入完了とし，地盤モデルを縦方向に切断し，注入材の浸透状況を観察した。図−9に室内注入試験の観察結果，表−11に各ケースの粒径，図−10に各材料の粒度分布を示す。

各図表より，セメントをスラッジで置換したケースは，セメント単味に比較して粗粒分が多くなるにもかかわらず浸透性が高く，地盤モデルの上部への残留量が超微粒子セメントについで小さくなることがわかる。これは，スラッジを添加するとブリージング率が減少することからも明かであるが，注入媒体である水と粒子が分離しにくくなり，圧力が材料に均一に作用したことによると考えられる。逆にセメント単味のケースはブリージングが大きく，粒子と水が分離しやすいため地盤に浸透する途中で媒体である水が分離して，水のみがモールド外に排出し，セメント粒子の大半が未浸透のまま残留したものと考えられる。



図−8 室内注入試験装置概要図

表−10 注入材配合試験結果

試験配合ケース ＼ 試験項目				濃度 粒子／水	コンシステンシー試験 Pロート (sec)	コンシステンシー試験 テーブルフロー (mm)*1	ブリージング率試験 24時間(%)	圧縮強度 試験σ28 (kg/cm²)	備考
C				1/1	8.30	−	31.5	161	
				1/0.6	9.94	−	−	−	
				1/0.5	12.52	−	−	−	
SFC				1/1	9.06	−	1.7	169	
C-B	B/C-B=20 %			1/1	−	202	0.0	74	
	B/C-B= 5 %			1/1	13.49	−	4.7	90	
C-SL	SL/C-SL=20 %			1/1	8.65	−	6.8	67	
	SL/C-SL=50 %			1/1	9.79	−	0.0	35	
	SL/C-SL=50 %	AE/C-SL	0.1 %	1/1	9.45	−	0.0	−	AE/C+SL：AE剤混入率(ポゾリスNO.70)
			0.2 %	1/1	9.27	−	0.0	37	
			1.0 %	1/1	8.75	−	0.0	36	
	SL/C-SL=100 %			1/1	16.22	−	1.8	−	スラッジ100 %置換

C ：普通ポルトランドセメント　　SFC：超微粒子セメント
C-B：普通ポルトランドセメント−ベントナイト　　C-SL：普通ポルトランドセメント＋スラッジ
注） *1：粘性が大きくPロートでコンシステンシーが測定できない配合ケースについては，テーブルフロー値の測定を行った。

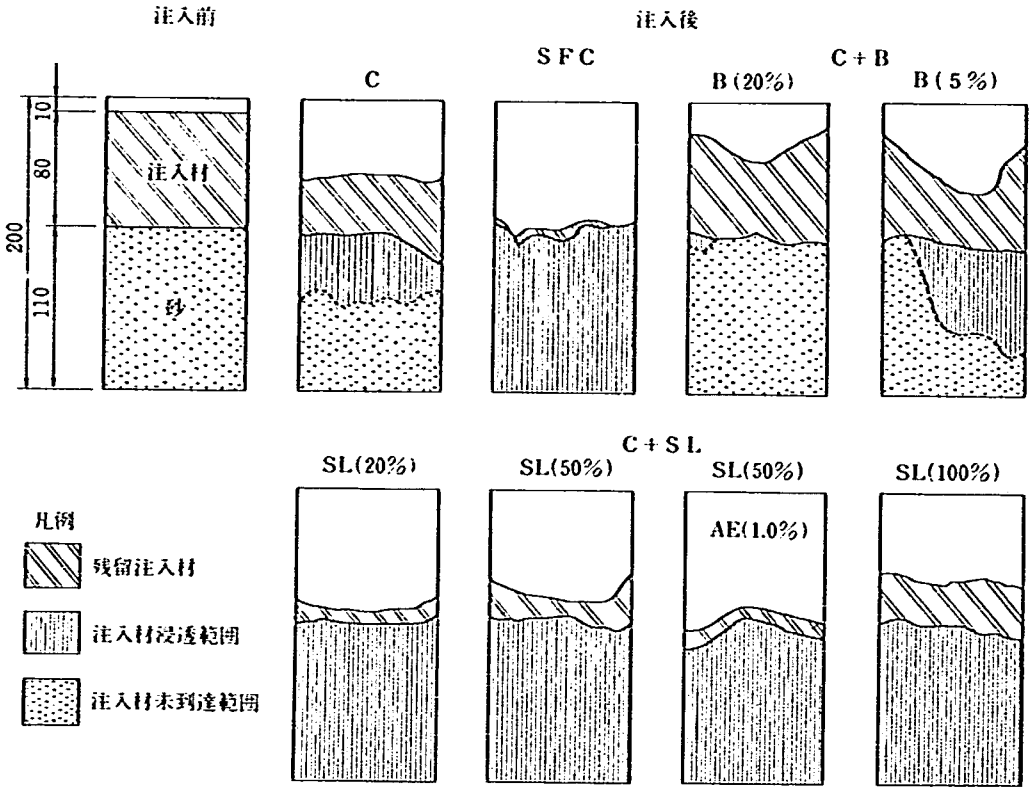


図-9 室内注入試験結果

表-11 各注入材の粒度

配合ケース＼項目		平均粒径 D (μm)	代表粒径 (μm) G_{85}	代表粒径 (μm) G_{95}	備考
C		21.1	39.2	58.4	G_{85}：85%通過粒径
SFC		4.4	7.4	11.1	G_{95}：95%通過粒径
C+B	20 %	25.5	48.9	75.5	
	5 %	22.2	40.6	61.8	
C+SL	20 %	21.3	39.6	62.7	
	50 %	21.7	42.9	71.8	
	100 %	22.2	51.6	80.2	

注入材配合試験，室内配合試験の結果より，セメントをスラッジに適当な比率で置換することにより，ブリージングを抑制し，浸透性を向上させる効果があり，スラッジをセメントの節減と同時に注入特性を制御する混和材として利用できる可能性があると考えられる。

（2） 濁水処理スラッジの細粒材としての適用性実験

（i） 細粒材の試作

スラッジを原料とし細粒材を製造する方法としては，脱水ケーキを破砕し乾燥する方法，セメントと混合して硬化後破砕する方法，造粒乾燥して焼成する方法などが考えられるが，ここでは焼成する方法について述べる。

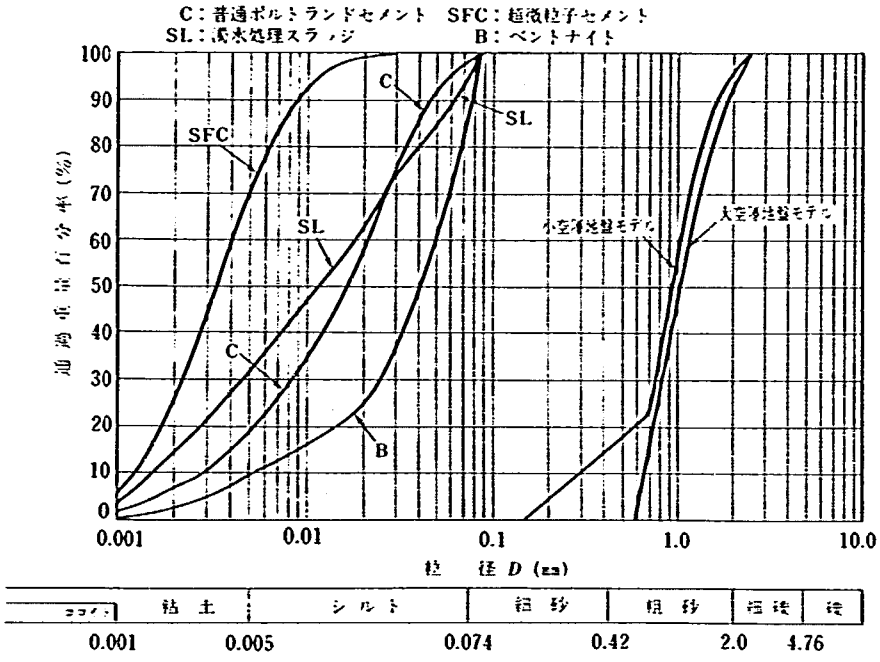
Dダムの濁水処理スラッジ（脱水ケーキ）を用い，焼成多孔質材を試作し人工土壌，水質浄化材としての適用性の確認実験を実施した。

図-11に焼成多孔質材の製造フローを示す。

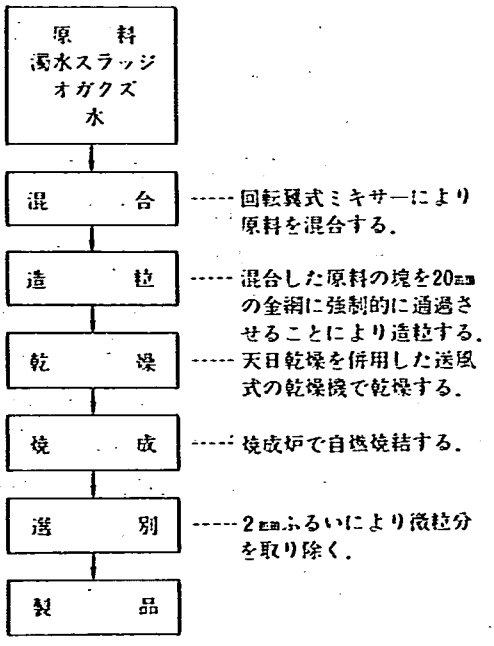
焼成多孔質材の製造上の特徴は，スラッジ中に可燃物（オガクズ）を練り混ぜることにより，焼成の際の燃料となることと（自燃焼結），可燃物が燃焼する際に発生するガスの噴出跡，焼失跡が空隙になることであり，製造に関する特許権は園芸資材メーカーが所有している。

図-12に試作した焼成多孔質材の外観を示す。

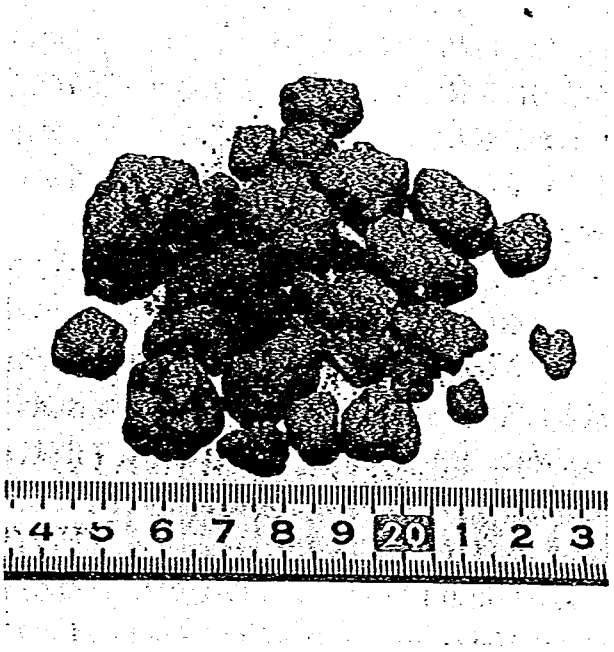
焼成多孔質材の表面は，大小の凹凸があり，無数の微細孔を有し，個々の粒子形状は不定形である。表面の色は，黄褐色であり市販製品に比較し色がややうすい。単位体積重量は0.7 kg/l，粒径範囲は20～2 mm程度，平均粒径は約10 mmで



図−10　各注入材料の粒度分布



図−11　焼成多孔質材試作フロー



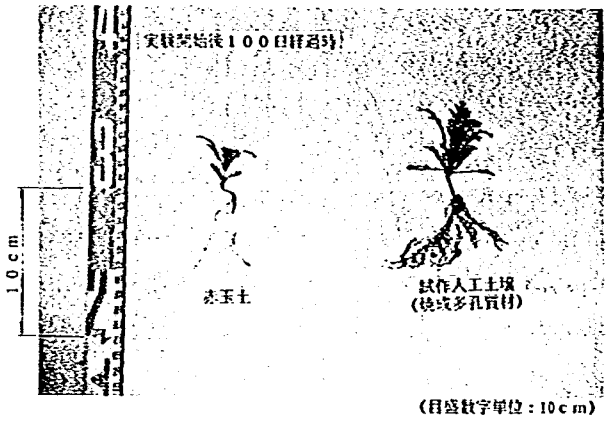
図−12　焼成多孔質材の外観

ある。

焼結の状態は，レンガなどの通常の素焼き製品に比較すると粗く，表面強度も小さく，爪先で砕くことができるほどである。しかしながら，水に浸して形が崩れることはなく，園芸資材あるいは水質浄化材などの用途への使用上の支障はないものと考えられる。

（ii）　試作焼成多孔質材の人工土壌としての適用性

Dダムの濁水処理スラッジを用いて試作した焼成多孔質材の人工土壌としての適用性を確認するために，植物生育実験，土壌の基本特性分析を実施した。図−13に中葉新菊の生育実験結果，表−12に土壌の基本特性分析結果を示す。



図−13　植物生育実験結果（中葉新菊）

図−13より，種をまいて100日経過時の中葉新菊の地上部と地下部の生育状態は，共に赤玉土に比較して試作材の方が良好な結果となっている。

表−12より，試作材の全孔隙が赤玉土，市販品と大差ないのに対し，水に浸し重力水を取り除いた状態での孔隙を表す粗孔隙率が小さいことから，保水性が高いことがわかる。また，植物の根が容易に吸収できる水分量を示す易有効水分は試作材が最も大きい値を示している。よって，試作した焼成多孔質材は人工土壌としての適用性があると考えられる。

（iii）　試作焼成多孔質材の水質浄化材としての適用性

Dダムの濁水処理スラッジを用いて試作した焼成多孔質材の水質浄化材としての適用性を確認するために，鑑賞魚の飼育実験および水質浄化試験を実施した。

（a）　鑑賞魚飼育実験

鑑賞魚用の小型水槽（28l）の底敷材，循環ろ過装置のろ材を市販のものとした場合と焼成多孔質材とした場合について比較実験を行った。それぞれの水槽に金魚を17匹ずつ入れ27日間飼育した結果から，焼成多孔質材から金魚の生育に悪影響を与えるような有害物質が溶出していないこと，水槽の水が市販品に比較して焼成多孔質材の方が濁りが少なく目視的に清浄な状態を維持することが確認され，吸着，ろ過などの浄化作用があることが示唆された。

（b）　水質浄化試験

表−12　土壌基本特性分析結果

分析項目＼試料種別	単位	赤玉土	焼成多孔質材	
			試作材	市販製品
水分	%	28.9	0.22	0.17
真比重	−	2.64	2.67	2.58
容積重	kg/l	0.70	0.69	0.65
全孔隙率	%	64.7	57.9	51.10
粗孔隙率	〃	20.2	11.2	18.90
ほ場容水量	〃	57.5	48.2	32.2
易有効水分	〃	14.7	20.9	14.80
pH	−	5.7	7.4	6.8

全孔隙率：単位容積当たりの土壌中の空気と水分の占める比率
粗孔隙率：空隙を水で満たした後に重力水を排水させた状態での孔隙率
ほ場容水量：空隙を水で満たした後に重力水を排水させた状態での水分の比率
易有効水分：植物の根が容易に吸収できる水分の比率

焼成多孔質材の基本的な水質浄化能力を把握するために，生物膜付着特性，吸着能，ろ過能について基礎的な試験を実施した。

（イ）　生物膜付着特性

直径10 cmの大粒径焼成多孔質材をつくり，BOD負荷のある河川に同程度の大きさの礫材とともに水深30 cmの位置に50日間設置し，表面への付着生物量と付着生物の種別を観察した。

図−14に大粒径焼成多孔質材の外観を示す。

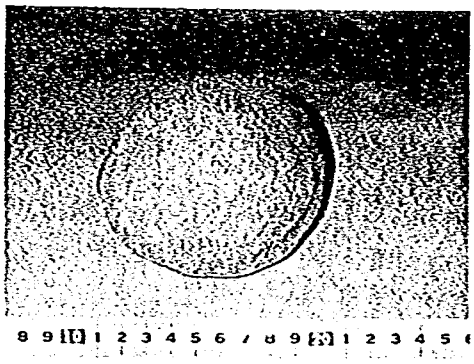
試験結果より，太陽光線の当たる上面は焼成多孔質材の方が若干付着生物量が多く，下面は同程度であった。付着生物の種別は焼成多孔質材と礫材の差はなく，上面は珪藻，緑藻，下面は細菌類，繊毛虫類，輪虫類などが優先種として観察された。

（ロ）　吸着能

吸着能試験としてジャーテスターを用いた植物プランクトンおよび無機性窒素の吸着試験とフラスコ振とう装置を用いたリン酸吸着試験を実施した。

①植物プランクトンに対する吸着能

植物プランクトン（アオコ）を含む池の水を焼成多孔質材を入れたビーカーの中で撹拌する試験を実施した。吸着作用のみでなく，



図−14　大粒径焼成多孔質材の外観

沈澱，ろ過作用も含んだ結果ではあるが植物プランクトンを除去する能力があることが確認された。

＜測定値の一例＞

・原水中のクロロフィル−a の濃度=185.0 μg/l

・撹拌後のクロロフィル−a の濃度=48.0 μg/l

・除去率=74 % (24 時間撹拌)

②無機性窒素に対する吸着能

無機性窒素を含む河川水を焼成多孔質材を入れたビーカーの中で撹拌する試験を実施した。

無機性窒素としてアンモニア性窒素 (NH_4−N)，亜硝酸性窒素 (NO_2−N)，硝酸性窒素 (NO_3−N) について吸着能を調べた結果，アンモニア性窒素に対してのみ吸着能があることが確認された。

＜測定値の一例＞

・原水中のアンモニア性窒素濃度=0.78 mg/l

・撹拌後のアンモニア性窒素濃度=0.33 mg/l

・除去率=58 % (24 時間撹拌)

③リン酸に対する吸着能

リン酸 (PO_4−P) を含む河川水を焼成多孔質材を入れたフラスコの中でゆらす試験を実施した結果より，焼成多孔質材はリン酸を吸着する能力は無く，逆にリン酸が溶出することが確認された。原料スラッジが含有するものと，製造時に多孔質材中に混入したオガクズが燃焼して灰となって残留していることが原因であると考えられる。

（ハ）　ろ過能

多孔質材のろ過能試験として，φ50 mm×600 mm のカラムに焼成多孔質材を充填し，植物プランクトン濁水（池水）および SS 濁水（河川水）をそれぞれ 7 日間通水させる試験を実施した。比較対象として粒度が同等の玉石についても同様の試験を実施した。図−15 に試験装置概要を示す。

試験結果より，濁水中の浮遊物質をろ過する能力は焼成多孔質材と玉石はほぼ同等であった。

焼成多孔質材の結果では，試験期間中の植物プランクトンに対する平均除去率=15 %，SS 濁水に対する平均除去率 90 % であった。

＜焼成多孔質材の測定結果＞

・クロロフィル−a

原水濃度=平均 260.6 μg/l

ろ過水濃度=平均 220.6 μg/l

除去率=平均15 %

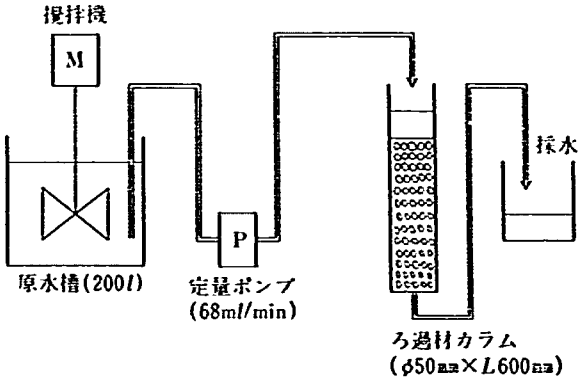
・SS

原水濃度=平均 64.8 mg/l

ろ過水濃度=平均 6.5 mg/l

除去率=平均 90 %

焼成多孔質材と玉石の除去率はほぼ同等であったが，試験終了時の損失水頭は焼成多孔質材の方が小さく，目詰まりしにくい傾向を示した。



図−15　ろ過能試験装置概要

（3）　Eダムにおける水質浄化試験

Eダムの濁水処理スラッジを原料とした水質浄

化材を試作し，室内およびEダムの現地河川水を用いた水質浄化試験を実施することにより，適用性の検討を行った。

（i） 室内水質浄化試験

Eダムの濁水処理スラッジを原料として，前述と同様の焼成多孔質材とスラッジモルタルを試作した。スラッジモルタルとは，濁水処理スラッジにセメントを添加し，硬化後に破砕した細粒材である。

ϕ300 mm×300 mm のカラムに浄化材を充填し，人工調整水を通水させる室内水質浄化試験を実施した結果，焼成多孔質材はアンモニア性窒素（NH_4−N），スラッジモルタルはリン（PO_4−P）に対する吸着能力があることが確認された。

（ii） 現地水質浄化試験

Eダムにおける水質浄化試験は，リン除去に主眼を置き，現地水質浄化試験に用いる水質浄化材として，室内試験でリン吸着能力が確かめられたスラッジモルタルを選定した。

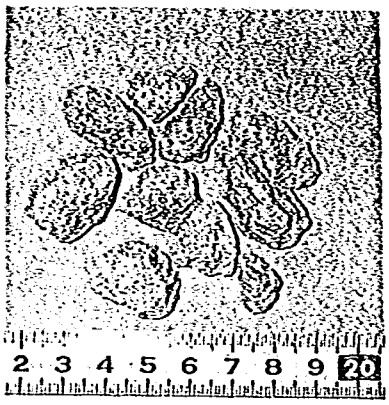
試験は，容量 1 m^3 の水槽（1 m×1 m×1 m）に浄化材を充填し，河川水を通水速度=10 m/日（6.9 l/min）の速度で2カ月間通水させ，原水と通過水の PH，SS，COD，NH_4−N，T−P，PO_4−P を分析することにより行った。試験用の浄化材は，スラッジモルタルの原料に発泡アルミニウム粉末を添加し，多孔質化した材料を用いた。図−16に発泡スラッジモルタルの外観，図−17に試験装置の概要，表−13に発泡スラッジモルタルの配合を示す。

試験結果より，NH_4−N に対しては除去能力は認められなかったが，SS，COD，T−P，PO_4−P に対して除去能力があることが確認できた。2カ月間の試験期間において，表−14に示すとおり，SS は平均 55 %，COD は平均 31 %，T−P は平均 59 %，PO_4−P は平均 57 % の除去率を示した。

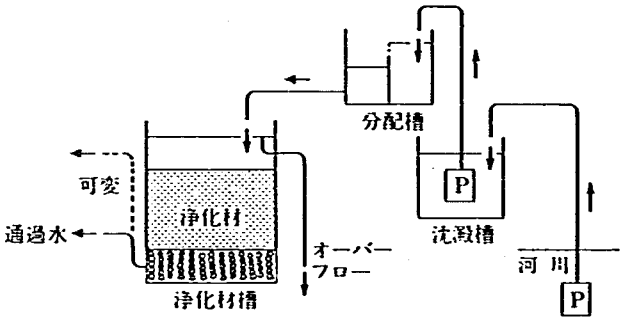
pH は河川水が平均 7.8 とほぼ中性であったのに対し，通過水は平均 11.0 とアルカリ性を示した。

また，図−18に PO_4−P 濃度と除去率の経時変化を示す。図より，試験開始より約 30 日間は，通過水の PO_4−P 濃度が 0.02 mg/l 以下となり，除去率が 90〜71 % を示していることがわかる。

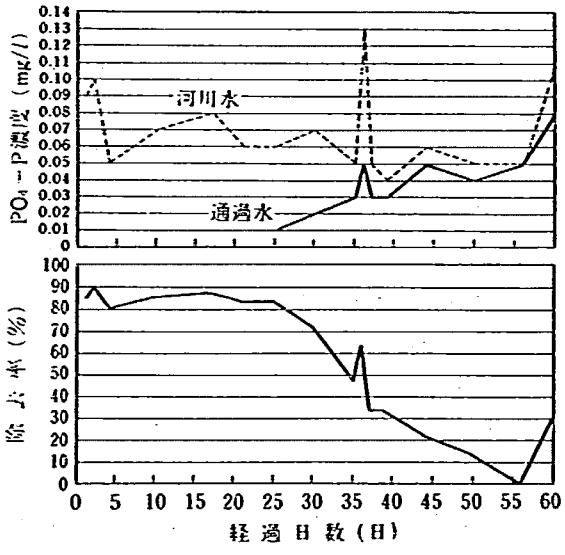
以上より，濁水処理スラッジを原料とした発泡スラッジモルタルに水質浄化能力があることが確



図−16 発泡スラッジモルタルの外観



図−17 現場水質浄化試験装置の概要



図−18 PO_4−P 濃度および除去率の経時変化

表-13 発泡スラッジモルタルの配合

配合ケース	セメント C (kg)	スラッジ SL (kg)	水 W (kg)	C : SL	活性アルミナ粉 AL		発泡アルミニウム BAL	
					添加率 AL/C (%)	添加量 (kg)	添加率 BAL/C (%)	添加量 (kg)
Case A	273	819	273	1 : 3	0.2	0.516	0.1	0.273
〃 B					1.0	2.730		

(1 m³ 換算値)

表-14 発泡スラッジモルタルの水質浄化試験結果

	SS	COD	T-P	PO_4-P
原水平均濃度 (mg/l)	21.76	4.93	0.15	0.07
ろ過水平均濃度 (mg/l)	9.33	3.39	0.06	0.03
平均除去率 (%)	55	31	59	57

・試験結果は，2カ月間の平均値を示す。

認できたが，除去能力の持続性増加，pH 処理，粒子間の堆積物の排出，合理的な製造方法など，実用化に際し検討すべき課題があることがわかった。

8. ま と め

本報文では，ダム建設過程で発生する廃棄物のうち，骨材製造プラントの濁水処理スラッジに着目し，その有効利用について調査検討を行った結果の中間的な報告を行った。

現時点での検討結果のまとめを以下に示す。

①濁水処理スラッジの有効利用用途として，次の用途が比較的有望であることがわかった。

◎土質材料（緑化基材，客土）

◎微粒骨材（貧配合コンクリート，モルタル，注入材）

◎細粒材（人工土壌，水質浄化材）

◎窯業原料（レンガ，タイル）

②微粒骨材，焼成多孔質材については，基礎的な適用性確認実験を行った結果それぞれの用途に対し，有効利用可能なことが確認された。

○微粒骨材

・貧配合コンクリート

圧縮強度の面から判断すると細骨材に対し，20 % 程度までスラッジに置換できる可能性がある。

・モルタル

スラッジを細骨材に置換して利用できる可能性がある。

・注入材

流動特性についてさらに調査する必要があるが，今回の実験範囲ではスラッジを混和材として利用できる可能性がある。

○細粒材

・人工土壌

植物の生育に適した人工土壌として利用できる可能性がある。

・水質浄化材

スラッジを原料とした焼成多孔質材，発泡スラッジモルタルは，生物付着材，ろ過材，吸着材などの水質浄化材として利用できる可能性がある。

○窯業原料

焼成実験の結果より，1000℃ 以上で焼成すれば焼結することが確認されており，レンガなどの窯業原料として利用できる可能性がある。

③濁水処理スラッジの利用用途としては，法面緑化の基材，ダム周辺緑化の人工土壌，堤体コンクリート，吹き付けモルタル，裏込め注入モルタル，基礎グラウトの微粒骨材，ダム周辺の修景用のレンガなどが考えられ，ダム現場内に多様な用途がある。

④堤体コンクリートの骨材として使用できれば大量の濁水処理スラッジを有効利用できる。

以上，今回の検討結果より，ダムの濁水処理スラッジを資源として有効利用することが可能なことが確認できた。また，その用途がダムの現場内にあることがわかった。実用化に際しては，微粒

骨材としての用途における長期的な品質確認，水質浄化材としての用途における実際の施設での利用方法，長期的な浄化能力の確保など，個別に詳細な検討を要すると考えられるが，現時点において有効利用の目途は立ったものと考えられる。

今後モデルダムを設定し，骨材，注入材，水質浄化材，レンガなど具体的な利用用途に関するケーススタディーを行っていく予定である。

9. おわりに

自然環境保護に対する社会的要請が高まりつつある昨今，大量の廃棄物を処理するための広大な土捨場をダム現場内に確保することが容易でなくなりつつある。ダム建設現場において，濁水処理スラッジに限らず，大量に発生する廃棄物の合理的な処理，処分は大きな課題である。濁水処理スラッジを骨材などに有効利用できれば，原石山での骨材採取量，法面保護工の削減，土捨場の縮小，運搬処理，資材の節減など複合的な効果が期待できる。濁水処理スラッジを資材化し，現場内の諸工事に有効利用するにあたっては，今後各現場における廃棄物処理の事情に合わせ，コスト面を含めた総合的な検討を行っていく必要がある。

最後に，本調査を進めるに当ってご指導頂いた建設省　河川局開発課　藤本　保　開発調整官，中部地方建設局河川部河川計画課の関係各位，調査，実験実施にご協力頂いた三春ダム，宮ヶ瀬ダム，長島ダム工事事務所の関係各位また，調査，実験の実務面で協力頂いた日本技研コンサルタント株式会社　土木設計部　後藤芳雄氏に厚く謝意を表します。

参考文献

1) 改訂版ダム建設工事における濁水処理，財団法人日本ダム協会
2) 建設工事における濁水・泥水の処理工法，鹿島出版会
3) 建設廃棄物処理ガイドライン，ぎょうせい
4) リサイクル読本，東京都下水道局
5) 上田哲夫，神奈川県内広域水道企業団における浄水場発生ケーキの有効利用，工業用水，第287号，1982.8
6) 建設系廃棄物の処理と再利用，財団法人省エネルギーセンター
7) コンクリート工学，技報堂
8) 西脇正矩，産業廃棄物のセメント焼成用燃料及び原料としての再生活用，クリーンジャパン82，1990.5
9) セメント化学雑論，セメント協会
10) 道路土工施工指針，社団法人日本道路協会
11) 化学便覧，応用編，丸善

ワールド

国際大ダム会議第61回総会に参加して

はじめに

1993年10月末から11月初めにかけてカイロで開催された国際大ダム会議(ICOLD)第61回総会に参加したので報告します。ICOLDは世界随一のダム技術者の団体であり，メンバーは土木技術者が多いが生物分野の人も入っており，環境関係の委員会ももっています。ICOLDでは毎年1回総会，3年に1回大会が開催されており，'93年はカイロで第61回総会が開かれました。

本総会の中心となったのは11月3日に開催されたアスワンハイダムに関するシンポジウムでありました。また，シンポジウムの前日にはICOLDで常設しているいくつかの技術委員会が開かれるとともに，総会開催期間中にアスワンハイダムからナイル川河口までを視察するスタディ・ツアーが組まれました。

アスワンハイダムに関するシンポジウム

ナイル川本川に建設されたアスワンハイダムはエジプトの社会経済発展のために建設以来30数年にわたり，その多目的ダムとしての役割を果たしています。しかしながらダム建設による環境への影響についての論争がなされています。そこでICOLDの本総会で，この重要な課題について，広く関心の高いダム技術者の討論会が開かれました。

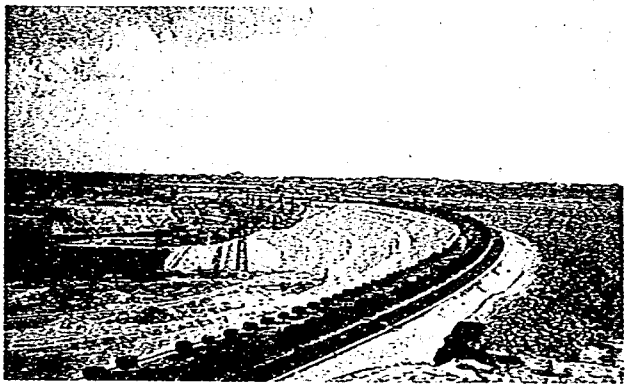
本テーマに関する専門家であるエジプトの技術者・科学者が取りまとめた31編のレポートを基に報告が行われその後，各国の参加者による討議が行われました。その課題はナイル川流域の水特性，水需給の動向，アスワンハイダムの効果，同ダムがナイル川流域に与えた影響並びにその対策に及ぶ幅広いものでありました。

技術委員会

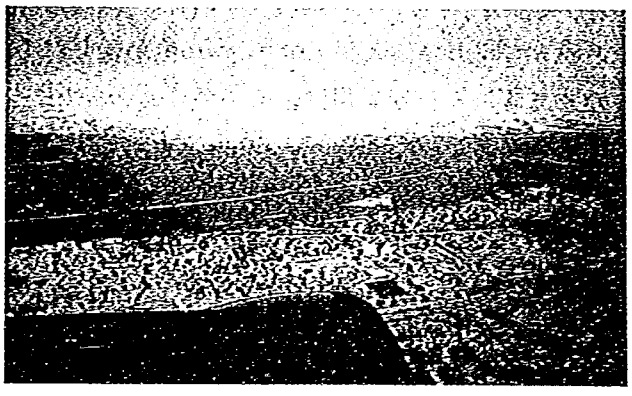
ICOLDではダムの設計，材料，水理，堆砂，環境等に関する委員会及び分科会を常設し，それぞれの委員会で各国委員が協力してレポートを作成しています。本総会では19の委員会及び分科会が開催されました。

おわりに

「エジプトはナイルの賜物である」と言われているようにエジプトはナイル川に依存して栄えてきましたが，人口が急増している現代の同国にとってナイル川の水の重要性はますます高まっています。今後ナイル川上流域での更なる水資源開発が必要とされています。アスワンハイダムがもたらす水とエネルギー無くしては現代のエジプトの繁栄は考えられず，さらにアスワンハイダム建設より生じた環境・文化への影響とその対策についても，同国が中心となって熱心に取り組んでいる様子がうかがわれました。



写真－1　アスワンハイダム，ナセル湖



写真－2　ナイル川流域

ナイル川の水を利用して沿岸のみ耕地が拡がっている。

建設省土木研究所環境部環境計画研究室長　丹羽　薫

【海外事情】

米国の水環境事情

—米国ミシガン大学に留学して—

建設省土木研究所環境部環境計画研究室　天野邦彦*

1. はじめに

筆者は，平成4年6月20日から平成6年6月19日まで2年間，国際協力事業団の海外長期研修生として米国ミシガン大学環境工学科修士コース (The University of Michigan, Department of Environmental Engineering) で，水質保全技術，水資源開発政策を含む環境工学について学ぶ機会を得た。この2年間，大学においては，基本的な分野を重点的に履修したため，細部についての記述を避け，本稿ではミシガン大学での学習の概要，米国の水環境事情について紹介することとする。

2. ミシガン大学の概要[1), 2)]

ミシガン大学は，ミシガン州アンナーバー市 (Ann Arbor, Michigan) に本部を置いている。ミシガン州のミシガンという名は，大きな湖という意味の先住人語 michi gama が転じたものである。ミシガン州は，その名の通り，図−1に示すように五大湖のうち4つの湖と接する中西部の州であり，スーペリアー湖とミシガン湖にはさまれたアッパーペニンシュラ (Upper peninsula) と呼ばれる半島と，ヒューロン湖とミシガン湖に囲まれたロウアーペニンシュラ (Lower Peninsula) と呼ばれる半島からなっている。主要な都市はすべてロウアーペニンシュラにあり，これが手袋の様な形をしていることから，州に住む人々はよく，手のひらで街の位置を示す。この流儀に従えば，アンナーバーは，親指の付け根あたりに位置していると言うことができる。ミシガン州で最も大きな街は，デトロイトで，州都はランシングという街である。

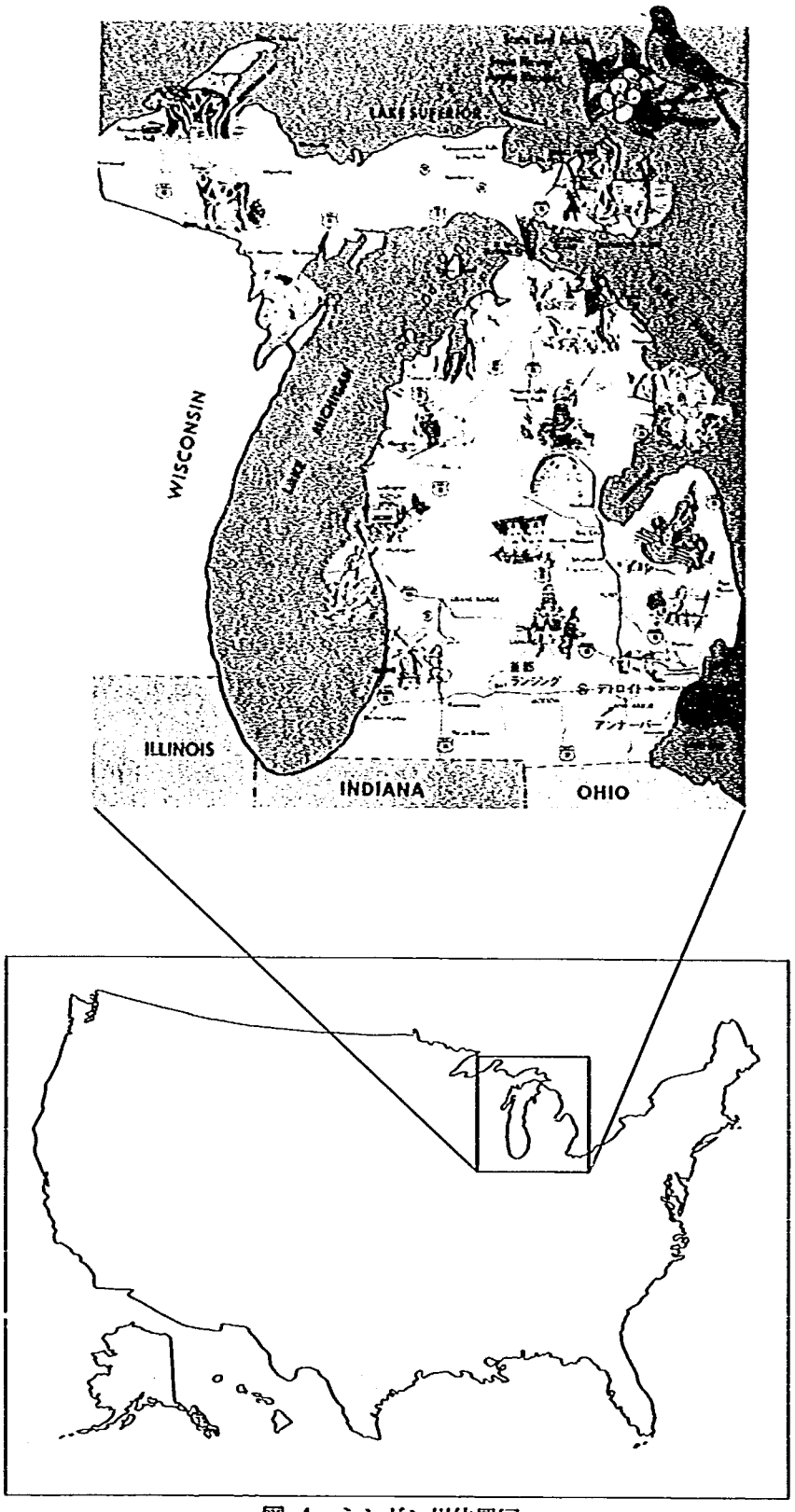
アンナーバー市は，自動車の街デトロイトの西約65 kmに位置し，人口約11万人を有する学園都市である。デトロイトと言えば，自動車だけでなく犯罪多発都市としても有名であるが，アンナーバーは，デトロイトとは全く趣を異にする極めて文化的で美しく安全な街である。

1824年に2人の入植者 John Allen と Elisha Rumsey により創設されたこの街は，彼ら2人の妻 Ann Allen と Mary Ann Rumsey，及びこの地域に密に生えている天然の高木 (arbor) を讃えてアンナーバー (Ann Arbor) という名を授かった。

アンナーバーの11万人の人口のうち約半数は，大学関係者である。住民は，街の歴史に非常な関心と誇りをもっており，歴史的建物も良く保存されている。例えば，消防署が新たに建てられた際には，古い建物はこども博物館になり，また，旧駅舎は，古い姿を残したまま，現在レストランとして利用されている。

1817年に創立されたミシガン大学は，米国最古の公立大学で，1837年にデトロイトからアンナーバーに移転した。そのころのアンナーバーは，人口2,000人を数えるばかりであった。アンナーバーでの一年目は，教授2人と7人の学生が大学の構成メンバーであった。キャンパスでは，農耕の他，牛が放牧されており，大学の牛と市の

* 主任研究員



図−1　ミシガン州位置図

牛を区別するためにキャンパスは木の柵で囲まれていたそうである。アンナーバーと大学は，その後顕著に発展した。

ミシガン大学は，アンナーバー校の他に，フリント (Flint)，ディアボーン (Dearborn) という街にも分校があるが，アンナーバーキャンパスが

主で，17 のスクール (School) およびカレッジ (College) からなっている。もともとスクールは大学院，カレッジは 4 年生までの学部であったが，現在では，この区別は無い。私が在学したのは，工学部 (College of Engineering) で，これは1853 年から 1854 年の間に創設されている。

3．ミシガン大学での履修[3)]

大学の外国人学生向け特別英語研修コースを終了した後，平成 4 年 9 月より環境工学科に入学し，平成 6 年 5 月に全課程を修了した。この間に履修した科目を以下に示す。内容については，概要を述べるにとどめる。

(平成 4 年～5 年)

写真-1　アンナーバー市のダウンタウン

・環境機構のダイナミクス
(Dynamics of Environmental Systems)

自然，人工環境変化のダイナミクス。リアクターの概念[注1)]。表面水，地下水における移動現象，反応過程の機構。

・環境微生物学 (Environmental Microbiology)

生化学・微生物の活動・微生物の環境の化学的変化への役割，環境の微生物への影響。

・水の化学 (Aquatic Chemistry)

水の化学的組成の解析に適用する化学的法則。水質浄化，汚染防止技術の化学 (沈澱，溶解，酸化，還元，吸着等)。

・環境工学におけるリスクと便益解析
(Risk and Benefit Analysis in Environmental Engineering)

リスク便益解析手法の入門と水資源，環境工学への応用。

・河川，湖沼，湾の水質解析
(Stream, Lake, and Estuary Analysis)

水質の数値解析の手法論。

注 1)　化学反応を伴う流動，混合過程についてのモデルの概念。例えば，湖沼全体を 1 つの空間とみなした場合，物質収支式の運用は，より単純化され，少数のパラメータを用いて定式化することが可能となる[4)]。

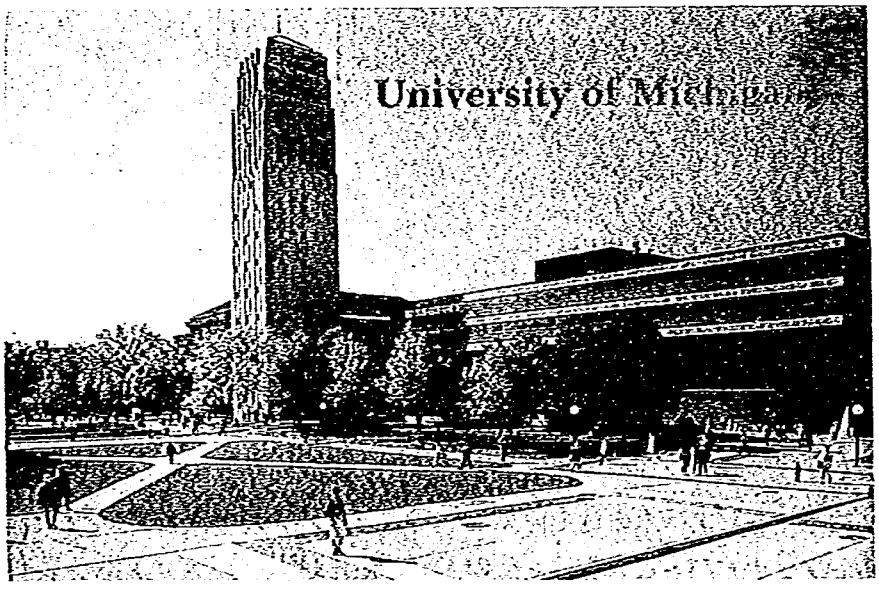
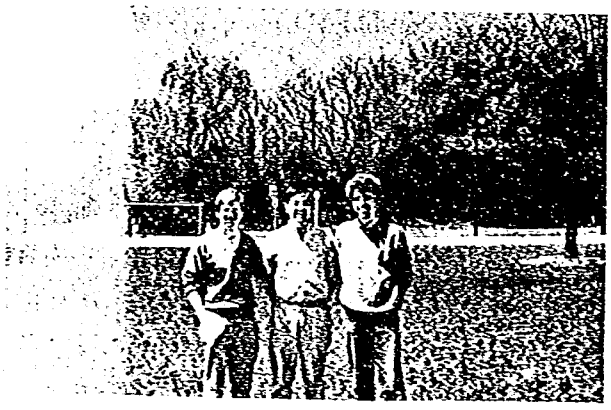
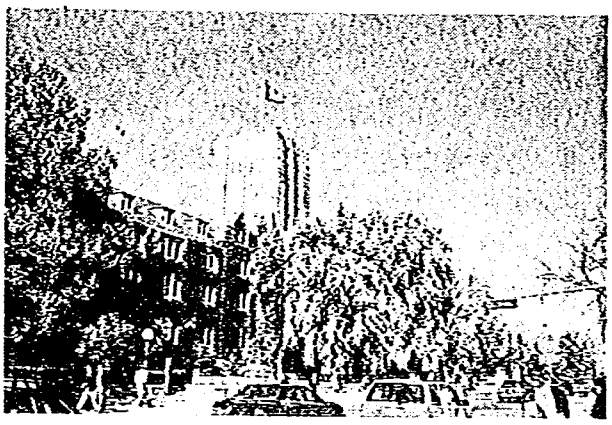


写真-2　ミシガン大学キャンパス



写真−3　級友と共に，工学部キャンパスで



写真−4　ミシガンユニオン（大学の生協の様なもの）

・統計 (Statistics)

統計学の基礎。

（平成５年〜６年）

・環境工学における物理化学的過程

(Physicochemical processes in Environmental Engineering)

環境システム過程のモデリング（酸化，還元，吸着，ガスストリッピング[注2)]，膜分離，粒子の凝集，沈降，ろ過）。

・環境工学における生物過程

(Biological Processes in Environmental Engineerng)

水処理における微生物の活動。好気性，嫌気性生物過程と水処理。Bioremediation[注3)]。

・地下水の水文現象入門

(Introduction to Groundwater Hydrology)

地下水の流れと物理化学的特質。汚染の移動現象。

・水資源政策 (Water Resource Policy)

特に水質保全のための政策 (Clean WaterAct 等)。

・有限要素法

(Finite Element Methods in Mechanical Engineering and Applied Mechanics)

有限要素法の手法と適用。

・有機化学 (Organic Chemistry)

有機化学の基礎。

以上の科目について履修したが，水質に重点を置いたコースは，大きく分けて２つあり，一つは私がとった水質に係わる化学，生物学を主に履修するコースで，もう一つは水理学を主に履修するものであった。環境工学科は，近年非常に人気が高いということで，アメリカ人学生の比率が非常に高く，また，女子学生も多かった。

学科の特色としては，水質・土壌汚染を防止するための基礎的な科学・技術を研究することに重点を置いた組織であるということが挙げられる。その中でも特に自然系や水処理システム中の生化学的過程の解明が重要視されていた。これら基礎的な知見について広範囲に学ぶことが出来たのは幸いであったと思う。

4．大学生活

大学での学生としての生活は，決して，たやすいものではなかったが，研究を行う環境は極めて優れていた。まず，第一に図書館の充実が挙げられる。ミシガン大学には大小数々の図書館があり，私がいた工学部にも学部図書館があった。図書館で特に優れていたのは，情報検索のシステムと資料の整理の良さであった。情報検索の方法は，色々で，昔ながらのインデックスカードによる検索も可能だが，現在，この方法で資料を探す人はほとんどいなかった。情報検索は，主に図書

注 2)　ガスストリッピング法は，空気などの気体を吹き込むことによって水中の溶存ガスを追い出す方法で，アンモニア，トリクロロエチレン，テトラクロロエチレンなどの除去に用いられている[5)]。

注 3)　汚染された土壌や地下水を微生物を用いて毒性を緩和させる手法で，多くは有機物を二酸化炭素と水に分解しようとするものである。

館に設置されているコンピュータ端末を用いて行う。

基本システムは，Mirlyn と呼ばれる蔵書検索システムである。これはデータ入力が簡潔でユーザーフレンドリーなシステムであり，誰でもすぐに利用できるようになっている。このシステムは，外部の情報データベースに接続可能で，研究論文集や，雑誌の記事についても検索が可能になっている。

これら外部情報データベースの利用も学生であれば無料で，しかも論文や雑誌については，ミシガン大学の図書館が所蔵するものであれば，その所在が示されるため，資料収集が効率的であった。また，図書館の蔵書は，基本的に開架式なので，資料コードを基に目当ての本にすぐにたどり着くことができ，参考文献等はすぐに集めることができた。

このシステムは，インターネットや電話回線を通じて外部からもアクセスできるので，夜に自宅で自習している際に探したい資料が出てきても，パソコンを接続して検索し，翌日図書館でその資料をすぐコピーするということもできた。(誰かが使っていて，資料がすぐに手に入らないこともしばしばあったが)

この大学の検索システムの他にも，商業ベースの検索システムも利用可能で，私が面白いと思ったのは，キーワード等で見つけた資料自身の参考文献まで示す検索システムであった。私自身は利用する機会はなかったが，これを使えば，参考資料を集める効率がさらに加速するものと思われた。

検索がスピーディなのと同時に，資料が良く分類・整理されていたのにも感心した。図書館を一つのシステムと考えれば，資料の範疇を適切に設定し，分類するのは，重要であると共に非常に困難な作業である。多岐にわたる分野の資料を，関連する分野別に仕分けするのは研究者の協力もあるのだろうが，図書官吏だけでは不可能と思われる程，適切に分類・整理されているのには驚いた。

一般に，英語の論文は参考文献の数が多いと思うが，著作権の問題が厳しく，引用や参照したことについて特に明確にする必要があることだけでなく，文献入手が非常に効率的に行え，参考文献が実際に多く見つかるという理由もあるような気がした。

工学系の場合，コンピュータの利用が日常の研究の一部になるが，工学部には，CAEN (Computer Aided Engineering Network) と呼ばれるネットワークが整備されていた[6]。これは，ワークステーションや，パソコンが有機的にネットワーク化されており，一般学生ユーザの使用できる端末及び，特殊用途を持ち，別途登録しなければ使用できない特殊端末にログインすることで利用できる様になっていた。端末室は，学生証（磁気式カードになっている）を使って入り口のロックを開けるしくみになっており，学生番号で利用資格を識別して端末室へのアクセスを制限し，システムの保安を行っていた。

大学の授業では，コンピュータを如何に利用するかに重点が置かれており，解析用ソフトをネットワークを通じて配布し，それを利用して結果のみを提出するという方法で宿題が出されることもあった。これは，全員が，将来プログラミングの様な高度なことをすることはないので，既存のものをどう使うかに力点が置かれているようであった。このため，一般学生は，プログラムを組んだりするのは苦手のようだったが，求められた成果を作るのは上手いように見えた。

図書館とコンピュータネットワークについての

写真−5　郊外のアパート

み述べたが，研究のための環境（道具）は非常に優れていると思った。研究を行うのも一つの生産であると思われるが，研究という生産の支援部門の充実ぶりには目を見張るものがあり，研究の生産効率は残念ながら米国の方がはるかに高い様に思われた。

これに対して，研究者に対する評価は，かなり厳しく思えた。学生は，コースが終了した後，教授の評価を行うので，この評価が余りに悪いと教授といえども職を失う可能性がある。このように授業について評価されるかと思うと，研究予算を外部から多く取得するという大学への財政的寄与も教授になるためには必要不可欠の条件だと聞き，驚いた。教育者，研究者としての役割，そして民間からも優秀な研究者であると評価されること全て満たせることこそ教授の資質と見られているようであった。（もっとも皆が本当に素晴らしい教育者という訳ではなかった）

5. 米国における水質問題への対応[7]

大学に関する話題はこの程度にし，ここでは米国の水環境事情をよく分析していると思われるWater Quality 2000 (WQ 2000) という80以上の公共機関，個人，非営利団体により構成されたグループの21世紀の水管理への提言について紹介し，米国における水質問題，問題の原因，解決方法についての分析について述べる。下水処理率の違いの様に，日米の社会的状況の差異が存在するのは明らかであるが，ここで述べられていることは，これからの日本の水資源管理，特に水質管理に有用な情報を含んでいると思われる。

米国における水質問題への取り組みにおいて歴史的出来事の一つに1972年のClean Water Act (CWA) の制定が挙げられる。CWAの究極の目的は，米国の水を化学的，物理学的，生物学的に完全な姿に復元し，維持することで，1985年までに全国の可航水域 (Navigable Water) への全ての汚水放流を除去し，1983年までに安全に泳ぐことができ，釣りができる水質を達成するという2つのゴールがこの目的を支えている[8]。この法律の主な内容としては，連邦レベルの最低限遵守すべき業種別排出基準の設定，水質基準の設定，排出許可制度の導入，特定物質（油や有害物質）による汚染規制，公共汚水処理場に関する規定等であり[9]，その後，1977年の大幅改正，1987年の内容の一層の強化を経て現在に至っている。

このCWAの適用以来，人間の健康に被害を及ぼす様な深刻な水質汚濁は減少し，下水処理場の建設推進につれて河川，湖沼における水質は向上してきた。しかし，CWAのゴールである全米の川，湖等で，安全に泳ぐことができ，釣りができる水質は，必ずしも満たされていない。

以下にWQ 2000による水質に関する問題の原因，解決の妨げ，解決へのアプローチについて述べる。

1) 水質問題の原因

水質問題の根本的原因は，人々の全ての生活に関係している。しかし，従来より日々の生活が水質問題と関係があるとは余り真剣に考えられていなかったことを指摘している。また，種々の人間活動と水質悪化の間に密接な関係があると分かった後も，根本的解決とは限らない直接的問題解消にのみ重点をおいた視野の狭い対策をしがちであったことが根本的な水質問題の解決を妨げていたとしている。

水質問題解決には，水質保全と相入れる社会環境の形成が必要であるとしており，水質保全には社会全体の努力が必要という極めて常識的な結論を述べている。

2) 現在の水質問題の原因

WQ 2000は，社会活動の中でも特に水質問題の原因として以下のものを挙げ，それぞれの特性について次のように述べている。

（農業）

EPA（米国環境保護局）調査の中で，農業排水は調査河川延長の55％，調査湖沼面積の58％で水質悪化の原因となっていることが分かっている。農業排水は，大量の土砂，栄養塩と殺虫剤，除草剤等の有害物質を含んでいる。農薬が地下水汚染を引き起こしている所があるし，畜産は湖沼

におけるリン，病原菌の大きな原因である。

（公共下水道排水）

公共下水処理場（Publicly Owned Treatment Works, POTW）は，生活排水から多くの汚濁物を除去するが，残留した汚濁物は放流する。下水処理場の維持管理の向上もさることながら，合流式下水道の雨天時放流（Combined Sewer Overflows, CSO），雨水，非点源汚染のコントロール，産業，生活系，その他の有害物質のコントロール，栄養塩，病原菌，その他汚濁の除去のための新処理場の建設，既存処理場の更新が必要である。

（大気汚染物の降下）

酸性物，PCBの様な毒物，硝酸塩等の大気からの供給は水質汚濁につながると共に，生態系を破壊する。発生源はユーティリティ（電気，ガス等）産業，自動車，農作業等である。

（工業排水）

製造業，サービス業，発電，廃棄物処理場は，有害廃棄物の放流，流出の原因であると共に，大気汚染，熱汚染を引き起こす。

（土地改変（林業，鉱山，道路，商業，住宅建設））

伐採，鉱業，道路建設，開発（特に都市や郊外）は，使用された水，土砂，化学物質の流出を招く。この様な土地利用はまた，湿地，河岸，そこに依存している動植物に影響する。

（養殖，漁業）

外来種の導入，侵入や，魚介類の過剰な捕獲は，しばしば水生生態系に修復不能の障害を与える。

（運輸（舟運，自動車，パイプライン，しゃんせつ，建設））

漏れ，その他の形の油や物質の放流，運輸施設からの流出，浚渫，建設に伴う湿地の破壊，排気ガスにより水質障害が起こる。

（都市流出（雨水））

都市流出は，水質汚染の重要な原因である。都市，工場からの雨水流出は多くが未処理である。郊外の芝にまかれた殺虫剤，除草剤，肥料は最終的に表面水或いは地下水に混入する。

3） 七つの解決のさまたげ

現在の水質問題の解決のさまたげとなっている7つの問題点について以下のようにまとめている。

① 視野の狭い水政策が，圏域間（水圏，気圏，生物等）の関連，地下水と表面水の結合，水量と水質の関係等を包括した全体的解決を妨げている。

② 機関同志の競合が全てのレベルでの政府，企業，個人間の協力を妨げている。

③ 規制のオーバーラップ，競合，ギャップが非効率的，非効果的解決を生みだし，水資源を保護できずにいる。

④ 清澄水への財源と優遇措置のプログラムが国民の意見，実際のニーズとかけ離れている。

⑤ 訓練を受けた専門家の必要性に対する不十分な関心が専門家の不足と増大する需要との深刻なギャップを生んでいる。

⑥ 研究開発プログラムが今日の水質問題の複雑性と基礎的科学的理解向上のための必要性を満たすのに不十分である。

⑦ 不十分なコミュニケーションが国民を日々の生活と水資源のかかわりに無関心にさせており，どうすれば水質を改善できるか，なぜそれが重要か理解させることができない。

4） 水質問題解決への新たな国家水資源政策の必要性

米国には土地，水資源の管理を統合する国家政策が無く，水資源政策は，狭く，しばしば競合する目的からなっているとして批判し，さらに立法機関と行政機関の間の競合が連邦，州を問わずに見られ，資源の配分の決定には経済原則が見失われていることを指摘しており，このため，多くの水質悪化は放置されたり，過小評価されていることを問題視している。

WQ 2000は，表面水，地下水資源計画及び管理と，流域ベースでの水質問題に係わる社会活動

とを統合する新しい国家の水資源政策が必要と述べている。

この政策と水資源保護の国家戦略は，汚染防止と省資源の原則に基づき，水資源への考慮を全ての人間活動に組み込まねばならないとし，このためには，各種機関，生態学，経済学，技術を統合しなければならないと述べている。政策の枠組みである3つの戦略は以下である。

① 汚染防止による水資源保護
② 個人，社会の責任をはっきりさせ，社会全体が水資源の向上に寄与するようにする。
③ 流域ベースの水質，水量計画，管理を行う。

① 汚染防止と水資源保護

生態学，経済学的見地から，自然系の汚染自身を防止する方が，一旦汚染されたものを改善するよりも優れており，これは全体的な資源保護，究極的には持続可能な社会に向けての最も効果的で効率的な方法であると述べている。これは，重要な指摘であると思われる。一旦汚染された水を如何に管理或いは改善するかというのは，技術的にも経済的にも非常に困難なので，汚染自身が起こらないようにする社会構造的変革が望まれているということである。WQ 2000は，汚染防止手法は特に農業，林業，家庭，土地開発，運輸，エネルギー，製造業に対して適しているとしている。

② 水資源への個人および社会の責任

水資源への個人および社会の責任を明らかにし，水資源の向上に寄与させる方策として，教育，優遇措置，財政援助，設備の提供，規制を挙げている。

教育の効用としては，全てのレベルの政府，メディア等団体や教育機関が，個人や企業がどの様に水資源に悪影響を及ぼしているか，このようなインパクトをどうすれば軽減できるかを教育できること，財政援助については個人，企業はしばしば水資源を守るための改変を行う意志があっても，財政不足で実行不可能なことがしばしばあることを挙げている。設備の提供については，民間と共同で小量の有害廃棄物の回収，再利用，適正な廃棄の設備を提供することが可能であるとし，各種活動の規制は，水質や水資源を守るために必要な政府の仕事であると指摘している。

③ 流域ベースの計画，管理

多くの自然現象，経済活動は，流域界の範囲内で水資源の質に影響を与えるので，流域は水質改善を行う領域として最も有効な水文単位であり，流域はさらに全体的な環境および経済計画の適当な境界であることを指摘している。

水資源計画は流域内で行うことにより費用を払う者が便益を受けるという原則を打ち立てさらに，議会への提言を以下のように挙げている

・議会は流域単位での水資源管理を義務づける。
・議会は水資源管理のための州際的機関を援助，創立，承認すべき。

5) 問題から解決へ

(目標)

健康な自然システムと調和した社会をサポートする水質の保護，改善のための統合政策を策定，実行することを目標とし，そのためには，以下の点を考慮するとしている。

・地下水，表面水，水蒸気を含んだ全ての水循環を考慮する。
・水質汚濁を他の媒体の汚濁に転換しないように水は環境全体の一部分であると考える。
・水質と土地利用との関係を考慮する。
・地球規模の環境問題との関係を考慮する。
・経済を充分考慮する。

また，以下の3点を確かなものとする。

・健康な水生生態系
・安全な飲み水供給，その他の水利用に対しても充分な水質維持
・水質汚濁が，レクリエーション，魚介類の摂取，他の水利用に伴って人の健康を害しない。

(解決への具体的行動)

問題解決のために具体的に実行すべき項目として以下の8つを挙げている。

①教育，訓練を通しての公衆の参加

環境教育は，汚染の原因をつくっている社会の長期的改変の促進が可能。小学校から職場までの環境教育。

②汚染防止

田園地帯，都市からの流出に係わる汚染の防止が恐らく最重要の課題である。広大な土地利用，また，歴史的にこの汚染源には余り多くの注意が払われていないことから，農地からの汚染防止は最も劇的な水質改善につながるだろう。

③資源の有効利用促進

資源有効利用は，汚染防止と類似の概念。長期的には水や資源の価値観を変える。短期的には，節水，省エネルギーへの優遇措置，ごみや汚泥の再利用を促進。

④成長，開発の管理

不十分な管理下での成長，開発は水質悪化の主原因。低密度での多くの活動は水質汚濁の潜在的原因。低密度でのスプロールの縮小，水際開発の際の水生資源の保護，土地利用と地下水との関係への留意，土地開発に関連した水生資源の悪化防止，を目的とした成長管理が解決の鍵。

⑤科学的理解と技術改善の向上

多くの水質問題は現在の技術で解決可能。しかし中には技術革新の遅れが水質改善の妨げになることもある。行政機関，生態学，経済学の相互関連の科学的理解を通してのみ水資源保護は加速される。科学技術の進歩は即効性もあるが，真の成果はおそらく10～20年後に期待される。

⑥規制のオーバーラップの削除，競合の解決，ギャップの解消

多くの有識者から水質管理のために必要な事項として，湿地，公共の水供給のより広範な保護，全ての殺虫剤，除草剤への水質基準の設定，浄化槽の基準策定等の勧告があったが，これらは，規制のオーバーラップ，競合およびギャップを解消することで実現する。

⑦既存の連邦プログラムの強化

すでに EPA，USDA（農務省），FISH & WILDLIFE SERVICE（魚類および野生生物局），CORPS OF ENGINEERS（陸軍工兵隊），BUREAU OF RECLAMATION（開拓局）その他で行われているプログラムは効果的であると共に，小さな改良によって向上が可能である。

強化対象としては，産業排水の基準の設定，NPDES (National Pollution Discharge Elimination System) 許可プログラムへの充分な予算づけ，有毒物質の水質基準の州からの公布，舟運関係の汚水漏れ防止，大気汚染物質の降下の削減が含まれる。

⑧水質向上のための優遇措置，財政援助の提供

財政援助，優遇措置で水質向上を推進する。清澄水の便益を享受する消費者はその消費に見合う費用を，また，水質汚濁の責任者はそれに見合う費用を負担するべきである。

6） 水質問題解決のための管理手法

上述のように水質問題解決のための具体的行動が挙げられているが，水質問題解決には，何がなされるべきか，進歩を確かにする責任は誰にあるのか，途中成果はどの様に評価するのかを特定する長期戦略が必要で，社会全体が水を汚していること，水質改善で社会全体が便益を得ることを認識しなければならないと指摘している。短期的に行うべき戦略も多くあるが，長期的解決のためには，社会の全ての部門を巻き込まねばならないし，全てのレベルの政府，産業，職業組織，メディア，個人が適切な役割を果たさなければならないとしている。

6. おわりに

以上，ミシガン大学への留学の概略と WQ 2000 の 21 世紀の水管理への提言について極めて簡単に紹介した。筆者の力不足と紙面の都合から，端折った形になったのが残念であるが，ここに紹介したこの提言は，殆どそのまま日本の水資源開発における水質保全への提言としても十分通用すると思われる。

筆者自身，今後，ダム貯水池の水質保全を進めるにあたっては，特に流域からの負荷流出自身を削減するための諸施策を最優先課題として検討す

ることの重要性を痛感している。WQ 2000 の 21 世紀の水管理への提言について興味を持たれた方は，ご一報頂き，議論して頂きたいと思う。

最後に，筆者の留学にご尽力いただいた建設省，国際協力事業団の方々，留学中残務処理をはじめお世話になった建設省ダム部水資源開発研究室（当時），環境部環境計画研究室の方々には，紙面を借りて深く感謝の意を表したい。

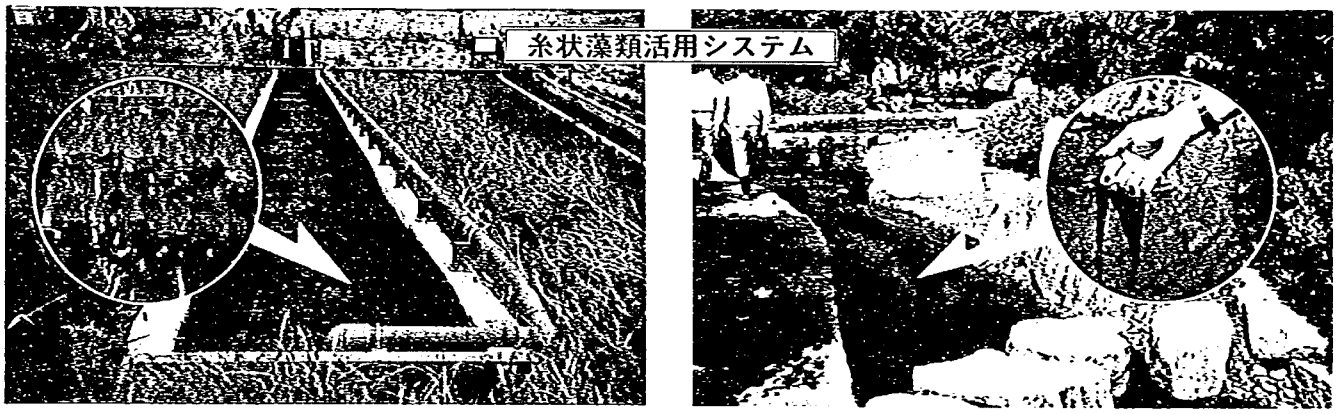
参考文献

1) American Automobile Association, Michigan/Wisconsin TourBook, 1993
2) The University of Michigan, Rounding Out Ann Arbor 1992-1993, 1992
3) College of Engineering, The University of Michigan, Bulletin v. 22 n. 18, 1993
4) 土木学会（編），土木工学ハンドブック第4版，p. 578，技報堂出版，1989年11月
5) 同上 p. 1755
6) College of Engineering, Caen Handbook 1993-94, 1993
7) Water Quality 2000, A National Agenda for the 21 st Century, 1992年11月
8) The Water Environment Federation, The Clean Water Act of 1987, 1987
9) (株) 東京海上火災保険編，環境リスクと環境法，有斐閣，1992年3月

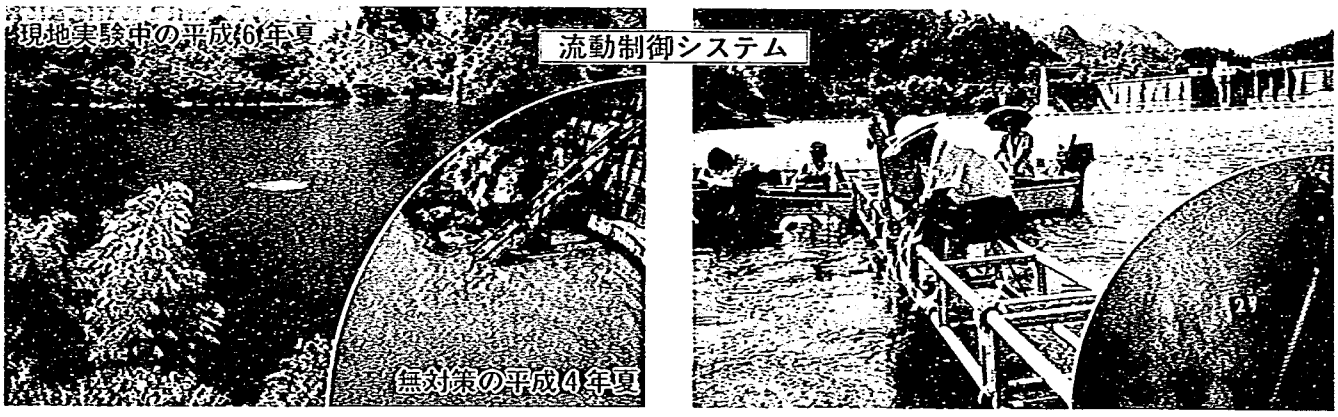
添　付　資　料

水質環境と生態環境とのマッチング

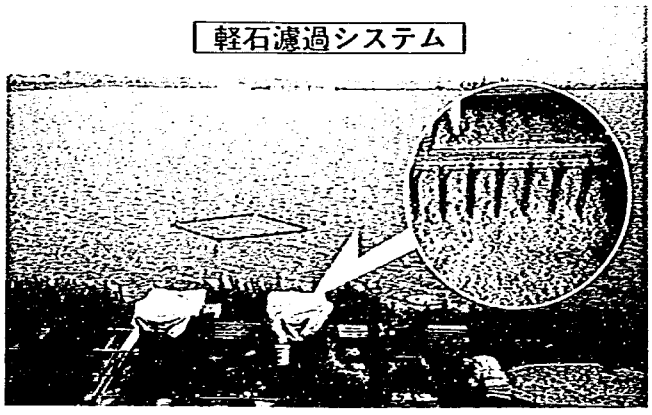
湖沼における水質環境は、気象、リンや窒素の流入負荷量、流入と放流水量などにより、ひとつの生態系として決定されます。また条件をひとつ変えると異なった別の生態系になります。湖沼の水質環境の保全とは、湖沼生態系をよりバランスのとれた環境に整えることと言えます。保全対策によって生態系を良い方向に変化させる効果については、室内実験の結果をそのまま現実の湖沼に適用させることは不可能に近いと考えられ、対策の有効性の判断は、実際の湖沼において現地実験を行い検討するのが確実です。



左の写真は三春ダムに流入する大滝根川の河川水に含まれるリン・窒素を急勾配水路（L＝20ｍ）で除去する現地実験です。右の写真は土浦市総合公園の人工小川（L＝200ｍ）に糸状藻類を生息させ水源の地下水に含まれるリン・窒素を除去する現地実験です。



耶馬渓ダムは平成４年までは水質保全に関し無対策であり、例年夏には、水面がアオコで覆われていました。流動制御実験を実施した平成５~６年の夏はアオコが出現しない健全な湖沼環境をとり戻しました。（本誌報文参照）右の写真は湖内の微流速測定の状況です。



渡良瀬川遊水池で藍藻類が発生した湖沼を軽石濾過により浄化する現地実験を行っています。（本誌報文参照）

渡良瀬遊水池に人工生態礁を設置し、周辺の動植物プランクトンの捕食関係を調査している状況です。

建設省土木研究所環境部環境計画研究室
〒305 茨城県つくば市旭１番地 TEL 0298(64)2289 FAX 0298(64)1721

環境計画研究室文献目録

	論　文　名	著者名	書籍名	発行所	巻号	発行年月日	本誌掲載頁
Ⅲ-1	ダム建設現場における濁水処理スラッジの有効利用（2）	竹林　征三 丹羽　薫 他	ダム技術	ダム技術センター	No.91	1994.4	306
Ⅲ-2	国際大ダム会議第61回総会に参加して	丹羽　薫	土木技術資料	土木研究所センター	Vol.36 No.4	1994.4	307～317
Ⅱ-B-1	糸状藻類で水質浄化	丹羽　薫	Techno Innovation		No.15		213～214
Ⅱ-C-1	ダム湖と湖沼の富栄養化対策技術の動向	丹羽　薫	美しい川と湖	川と湖をきれいにする研究会	No.18	1994.7	255～258
Ⅱ-B-2	水質を浄化する糸状藻類活用システム		BIO City	(株)ﾋﾞｵｼﾃｨ	No.1	1994.7	215
Ⅱ-B-3	糸状藻類を使った新しい湖沼浄化	丹羽　薫 久納　誠	BIO INDUSTRY	ｼｰｴﾑｼｰ	Vol.11 No.10	1994.10	216～225
Ⅱ-C-2	ダム湖富栄養化対策技術の最近の動向	久納　誠	九州技法	建設工法研究所	第15号	1994.6	259～264
Ⅱ-A-1	流動制御システムの原理と設備例	丹羽　薫 久納　誠	ダム技術	ダム技術センター	No.91	1994.4	197～204
Ⅱ-C-3	ダム湖や遊水池における効果的な富栄養化対策について		ダム技術	ダム技術センター	No.92	1994.5	265～267
Ⅱ-B-4	糸状藻類活用システムの原理と設備例	丹羽　薫 久納　誠	ダム技術	ダム技術センター	No.93	1994.6	226～234
Ⅱ-A-2	ダム湖入江水域における曝気による強制循環	丹羽　薫 久納　誠 久保　徳彦	第49回年次学術講演会	土木学会	第49回 ⅡA	1994.9	197～204
Ⅱ-C-5	湖沼における軽石濾過による藻類除去手法	丹羽　薫 久納　誠 真田　誠至	第49回年次学術講演会	土木学会	第49回 ⅡA	1994.9	270～271
Ⅱ-C-4	ダム湖や自然湖沼等の富栄養化対策	丹羽　薫 久納　誠	土木技術資料	土木研究所センター	Vol 36 6号	1994.6	268～269

	論　文　名	著者名	書籍名	発行所	巻号	発行年月日	本誌掲載頁
I-B-5	二分仮想金銭化法を用いた転居の外部費用の評価	安田　吾郎 丹羽　薫 並河　良治 森本　浩之 大野　栄治	土木計画学講演集１７	土木学会	１７	1995.1	142～145
II-A-3	ダム湖における流動制御による水質管理	丹羽　薫 久納　誠 森本　浩之 高橋　健夫 古永　充	土木技術資料	土木研究所センター	Vol 36 11号	1994.11	207～212
II-B-5	水質浄化に役立つ糸状藻類について	久納　誠	土木技術資料	土木研究所センター	Vol 36 12号	1994.12	235～236
I-B-6	河川経済調査手法の体系化の現状と今後の課題	竹林　征三 安田　吾郎	水文・水資源学会誌	水文・水資源学会	Vol 8 No. 1	1995.1	146～164
I-A-1	米国グレンキャニオンダムの環境アセスメント	安田　吾郎 丹羽　薫	土木技術資料	土木研究所センター	Vol 36 11号	1994.11	107～112
I-A-2	環境アセスメントに関する海外の技術動向	安田　吾郎 丹羽　薫	土木技術資料	土木研究所センター	Vol 36 12号	1994.12	113～116
I-B-1	建設事業における社会的費用・便益の評価について(基礎編)	安田　吾郎 丹羽　薫	土木技術資料	土木研究所センター	Vol 36 6号	1994.6	117～122
I-B-2	建設事業における社会的費用・便益の評価について(応用編)	安田　吾郎 丹羽　薫	土木技術資料	土木研究所センター	Vol 36 11号	1994.11	123～128
I-B-4	環境の経済評価手法について－仮想金銭化法と戦略的バイアスへの対応－	安田　吾郎 丹羽　薫 森本　浩之	土木技術資料	土木研究所センター	Vol 36 12号	1994.12	136～141
I-B-3	英国の水政策における経済評価手法（その１）	安田　吾郎	ダム技術	ダム技術センター	No.９３	1994.6	129～135

	論　文　名	著者名	書籍名	発行所	巻号	発行年月日	本誌掲載頁
Ⅲ-3	米国の水環境事情	天野　邦彦	ダム技術	ダム技術センター	No.101	1995.2	308～317
Ⅰ-C-1	景観ｼﾐｭﾚｰﾀ・景観ﾃﾞｰﾀﾍﾞｰｽの研究開発について	小林　英之 丹羽　薫	JACIC情報	(財)日本建設情報総合センター	第３４号 Vol 9 No. 2	1994.4	165～168
Ⅰ-C-3	現場職員のための景観ｼﾐｭﾚｰﾀ・景観ﾃﾞｰﾀﾍﾞｰｽの開発	丹羽　薫 小栗ひとみ	土木計画学研究・講演集	土木学会	No.１７	1995.1	173～176
Ⅰ-C-2	景観シミュレーター・景観データベースの開発	丹羽　薫 小栗ひとみ	土木技術資料	土木研究所センター	Vol 36 No. 12	1994.12	169～172
Ⅰ-D-1	建設環境データベースの開発と利用	長野　幸司 安田　吾郎 丹羽　薫	土木技術資料	土木研究所センター	Vol 36 No. 12	1994.12	177～182
Ⅰ-D-2	社会資本整備におけるＧＩＳの利用	長野　幸司 安田　吾郎	土木計画学研究・講演集	土木学会	No.１７	1995.1	183～186
Ⅱ-B-6	Using Filamentous Algae to Preserve the Quality of Lake Water	丹羽　薫 久納　誠	Third PWRI-USGS Work shop on Hydrology, Water Resources, and Global Climate Change	JUCHWR		1995.1	237～253
Ⅱ-C-7	Development of Reservoir Water Quality Technology Using Current Control and Filamentous Algae	丹羽　薫 久納　誠	18th International Congress on Large Dams	ICOLD	Vol Ⅱ	1994.11	274～296

	論　文　名	著者名	書籍名	発行所	巻号	発行年月日	本誌掲載頁
I-E-*1*	Numerical Experiments on Changes in Global Hydrological Response due to Warming IV: Study of Dam Water Usage Capacity	丹羽　薫 廣瀬　昌由	A Comprehensive Research on Reliability Analysis and Drought Control of Water Resources Systems under the Conditions of Global Warming 科研費報告書	岐阜大学	No. 03302 046	1995. 3	187～190
I-E-*2*	Effects of Global Warming on Water Resources	丹羽　薫 廣瀬　昌由	A Comprehensive Research on Reliability Analysis and Drought Control of Water Resources Systems under the Conditions of Global Warming 科研費報告書	岐阜大学	No. 03302 046	1995. 3	191～196
II-C-*6*	ダム湖に流入する落葉の除去対策について	環境計画研究室	ダム技術	ダム技術センター	No.１０２	1995. 3	272～273

環境計画研究室名簿　（平成７年度）

（現メンバー）

氏名	役職
丹羽　薫	室長
並河　良治	主任研究員
小栗　ひとみ	研究員
長野　幸司	研究員
久保　徳彦	研究員
福渡　隆	研究員
高橋　健夫	部外研究員
古永　充	部外研究員
山崎　崇	部外研究員
須藤　晴夫	部外研究員
谷本　茂	部外研究員
小川　和延	部外研究員

（前メンバー）

氏名	役職	転出年月日
安田　吾郎	主任研究員	平成6.11.1
久納　誠	主任研究員	平成7.3.31
天野　邦彦	主任研究員	平成7.3.31
真田　誠至	技官	平成7.4.15
山下　芳裕	部外研究員	平成5.9.30
古里　栄一	部外研究員	平成6.4.30
森本　浩之	部外研究員	平成7.3.31

調査研究報告書（平成６年度）　ISSN　0386－5878
土木研究所資料第3375号
平成７年９月（1995）

丹羽　薫，並河　良治，小栗ひとみ
長野　幸司，久保　徳彦，福渡　隆
久納　誠，天野　邦彦，安田　吾郎
真田　誠至

要旨　平成６年度に環境計画研究室が建設事業に関連した環境計画の充実のための環境評価技術，環境データベース，景観設計支援システムや湖沼の水質浄化に関する研究を行った成果の概要の報告である。

キーワード：環境アセスメント，環境データベース，環境経済評価，景観シミュレータ，景観データベース，地球温暖化，土木遺産，富栄養化対策，密度流，糸状藻類，生態系制御

郵便はがき

五十円切手をはって下さい

〒305-□□

茨城県つくば市大字旭一番地

建設省土木研究所
環境部環境計画研究室　行

No.

No.

配布先氏名　　○

配布先住所

土木研究所資料第 3375 号　　部

上記のとおり受領しました。

所　属（住所）

氏　名　　印