保存用

ISSN 0386-5878
土木研究所資料第3454号

土木研究所資料

環境計画研究室
調査研究報告書
(平成7年度)

平成8年9月

建設省土木研究所
環境部環境計画研究室

Copyright © (1996) by P. W. R. I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, 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3454号平成8年9月

環境計画研究室調査研究報告書
(平成7年度)

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　阿部和雄
研究員　小栗ひとみ
研究員　福渡　隆
研究員　船橋弥生
田中康泰
前研究員　長野幸司*1
前研究員　久保徳彦*2

要旨

平成7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，環境指標，GIS，リモートセンシング，歴史的・文化的土木施設，景観シミュレータ，景観データベース，地球温暖化，富栄養化対策，密度流，曝気循環，糸状藻類，生態系制御

*1　東北地方建設局摺上川ダム工事事務所
*2　北海道開発局室蘭開発建設部沙流川ダム建設事業所

ま え が き

本報告書は、平成７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。

７年度は、試験研究費で２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２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１０課題、計２２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３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８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 ・・・

発表論文

（Ⅰ）環境計画手法に関する研究

A. 環境経済評価技術に関する研究

Ⅰ-A-1　ダム湖畔のレクリエーション地区に関する便益の評価（第6回世界湖沼会議）・・113

Ⅰ-A-2　転居の外部費用に関する二分仮想金銭化法を用いた調査
（土木計画学研究・講演集）・・・・・・・・・・・・117

B. 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-B-1　コンピューターグラフィック技術（橋梁と基礎）・・・・・・・・・・・・・・・121

Ⅰ-B-2　景観シミュレータ・景観データベースの開発（第21回日本道路会議）・・・・・・125

C. 環境データベースに関する研究

Ⅰ-C-1　道路の環境計画とＧＩＳの可能性（第21回日本道路会議）・・・・・・・・・・127

Ⅰ-C-2　国土環境情報の整備に関する研究（第49回技術研究会・指定課題）・・・・・・・129

Ⅰ-C-3　総合環境情報の構築と土木計画管理への利用
（地盤情報データベースの高度利用に関するパネルディスカッション）・・・・147

Ⅰ-C-4　建設環境情報データベースシステム（土木技術資料）・・・・・・・・・・・・155

D. その他

Ⅰ-D-1　土木施設名の好感度に関する研究（土木計画学研究・講演集）・・・・・・・・・157

Ⅰ-D-2　レジャー環境についての心理的特性と空間類型の抽出
（日本建築学会計画系論文集）・・・・・・・・・・・161

Ⅰ-D-3　筑波研究学園都市居住者のレジャー観と日常的レジャーの行為特性
（1995年度日本建築学会関東支部研究報告書）・・・・・171

Ⅰ-D-4　伊東市における地域景観イメージの把握
（1995年度日本建築学会関東支部研究報告書）・・・・・175

（Ⅱ）歴史的・文化的土木施設の保存活用に関する研究

Ⅱ-1　歴史的土木分化遺産の評価と保存の考え方（土木史研究）・・・・・・・・・・・179

Ⅱ-2　無形土木遺産の保存と伝承（土木計画学研究・講演集）・・・・・・・・・・・・189

Ⅱ-3　歴史的・文化的施設の保存・活用（第49回技術研究会・指定課題）・・・・・・・・193

（Ⅲ）湖沼の水質保全に関する研究

A. 流動制御による湖沼の水質保全技術に関する研究

Ⅲ-A-1　流動制御によるダム湖水質保全対策におけるシミュレーション手法の検討
（環境システム研究）・・・・217

Ⅲ-A-2　流動制御によるダム湖水質保全対策効果のシミュレーションによる検討
（水工学論文集）・・・・・・・229
Ⅲ-A-3　流動制御システムによるダム湖水質保全の現地実験（土木技術資料集）・・・・・235
Ⅲ-A-4　成層化した貯水池における曝気・循環装置による藻類増殖の抑制（大ダム）・・・241
Ⅲ-A-5　Aダム貯水池水質への曝気循環の影響（第6回世界湖沼会議）・・・・・・・・・251

B. 生態系を活用した水質浄化技術に関する研究
Ⅲ-B-1　生態系を活用した湖沼の直接浄化の試み（第50回年次学術講演会）・・・・・・・255
Ⅲ-B-2　湖沼水質浄化に伴い発生する糸状藻類の有効利用（第50回年次学術講演会）・・・257
Ⅲ-B-3　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
（平成6年度陸水系の汚染防止に関する総合研究）・・・・・・259
Ⅲ-B-4　A lake water purification utilizing
an ecosystem by the filamentous algae (ECOSET' 95 PROCEEDING)・・・265
Ⅲ-B-5　生態系を活用した湖沼の直接浄化の試み（第30回日本水環境学会・講演集）・・・271
Ⅲ-B-6　糸状藻類を活用した植生浄化について（土木研究所資料）・・・・・・・・・・・272

C. その他（総合）
Ⅲ-C-1　軽石濾過システムの原理と設備例（ダム技術）・・・・・・・・・・・・・・・・277
Ⅲ-C-2　生物膜を伴う粒子体濾過による無機濁質除去手法（第50回年次学術講演会）・・・285
Ⅲ-C-3　落葉回収による富栄養化対策（第50回年次学術講演会）・・・・・・・・・・・287
Ⅲ-C-4　流動制御と糸状藻類を活用したダム湖水質環境創造システム（大ダム）・・・・・289
Ⅲ-C-5　湖沼における新しい富栄養化対策の体系（第6回世界湖沼会議）・・・・・・・・300
Ⅲ-C-6　水質環境と生態環境とのマッチング（土木技術資料集）・・・・・・・・・・・・304
Ⅲ-C-7　軽石濾過による湖沼の水質保全技術の開発（土木技術資料集）・・・・・・・・・305

交流研究員報告・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・311

研究紹介記事・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・335

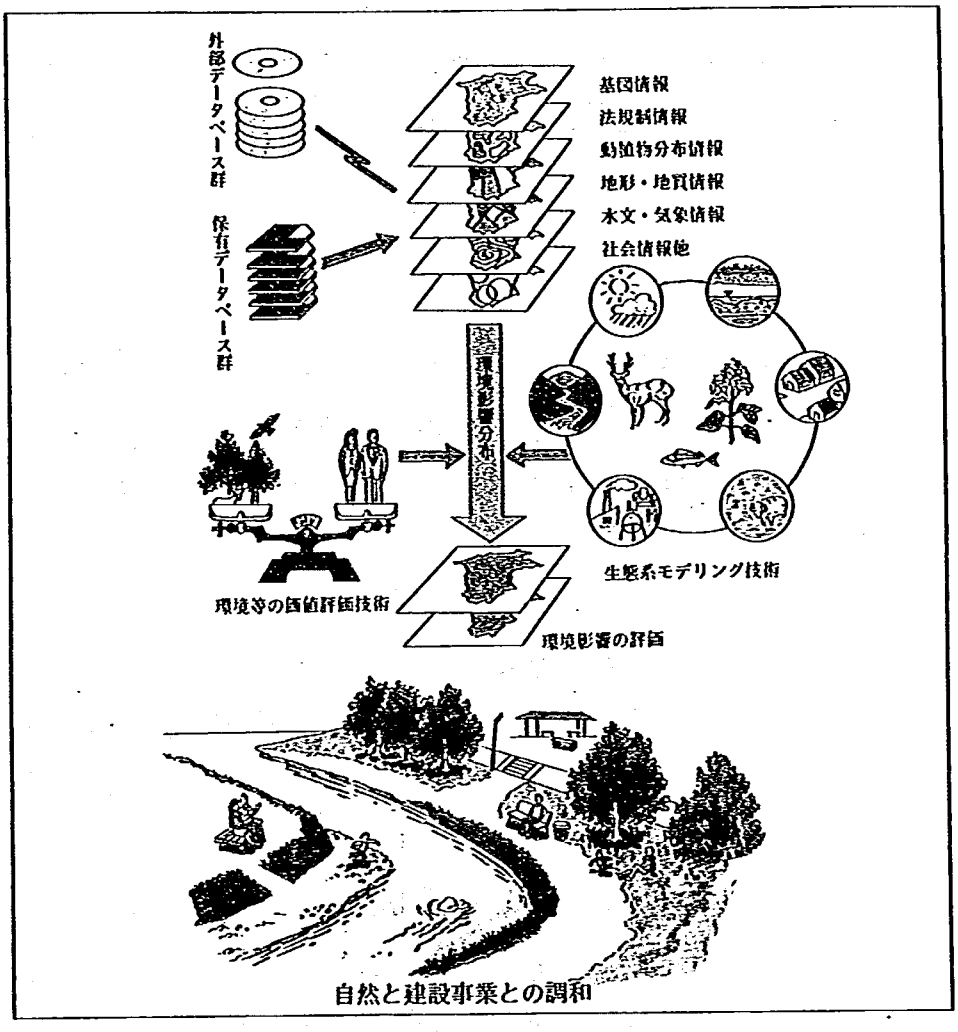
文献目録・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・339

研究室メンバー構成・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・342

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。

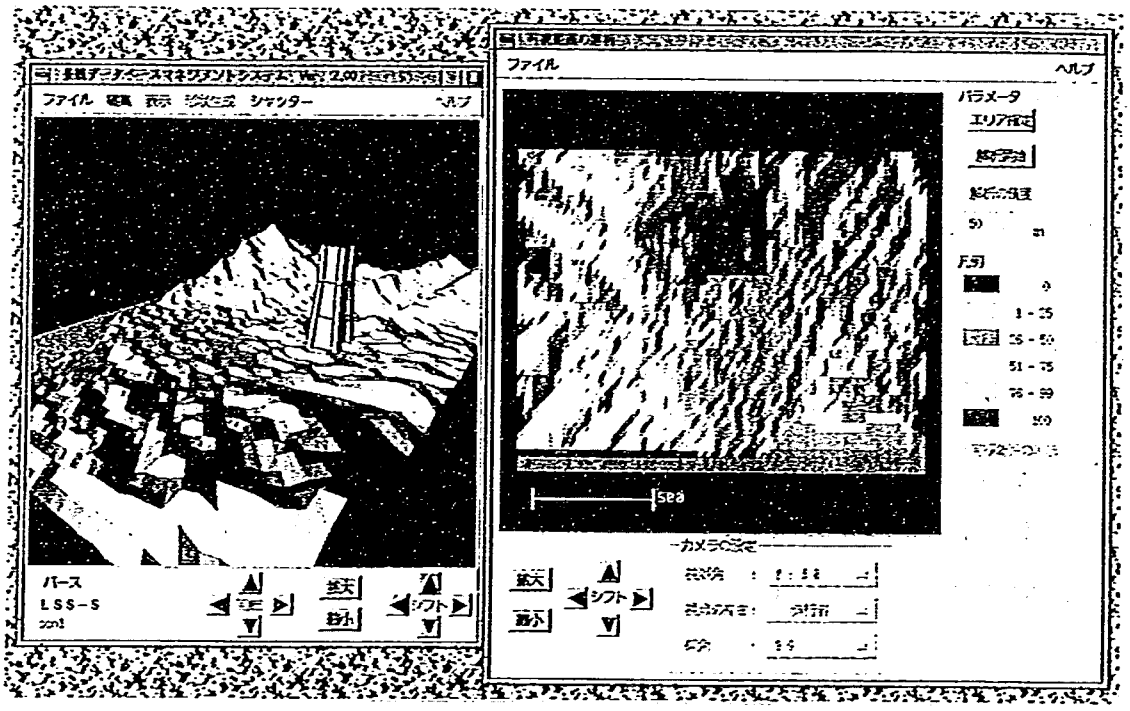
②環境経済評価技術に関する研究

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，湖沼の環境や道路の環境施設帯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。

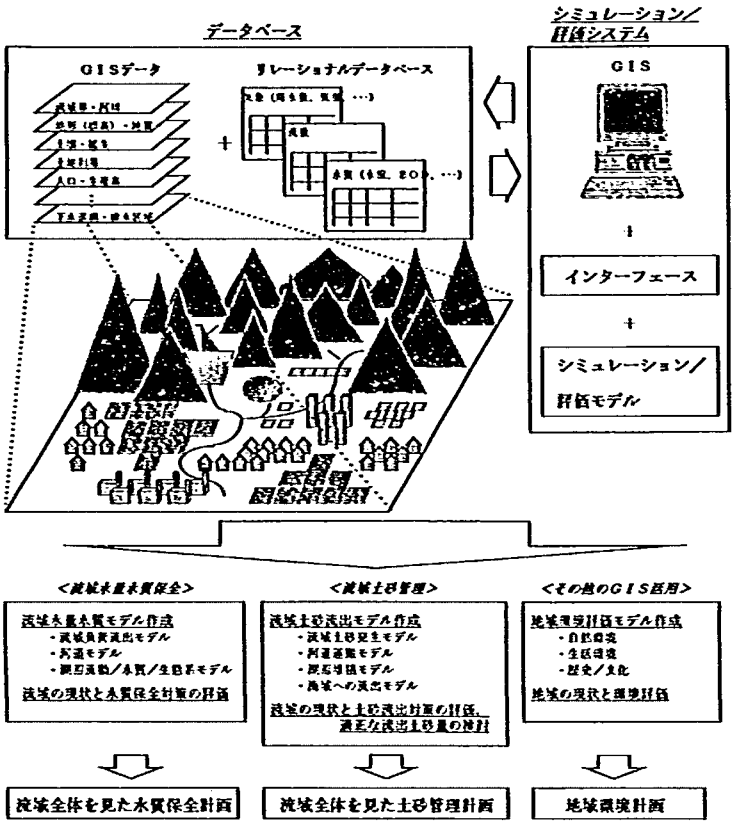
そこで、建設省の事務所職員等が簡便に使用できる、操作性・実用性に優れた景観シミュレータおよび景観データベースの開発を進めている。



景観シミュレータ　－可視範囲の解析－

④環境データベースに関する研究

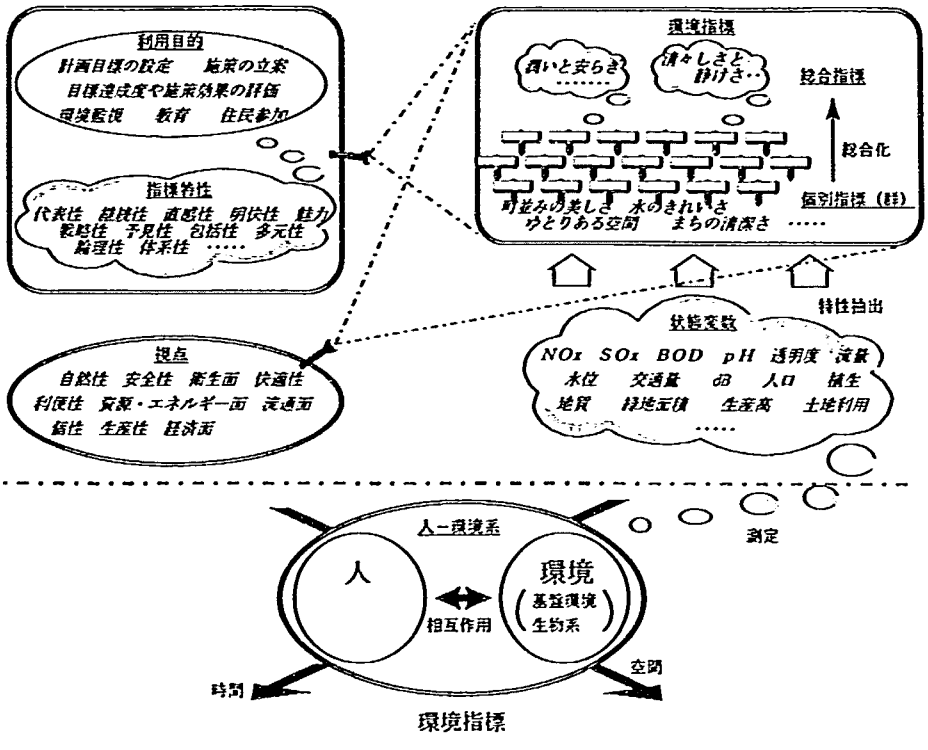
建設省所管事業の実施にあたって必要な環境に関する様々な情報のデータベース化を図り、円滑なデータ処理を通じて建設事業の円滑な実施を図るための研究を行っている。特に、近年急速に発展しつつある地理情報システム（ＧＩＳ）の建設行政への応用について調査研究を進めている。



環境情報システムの利用

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

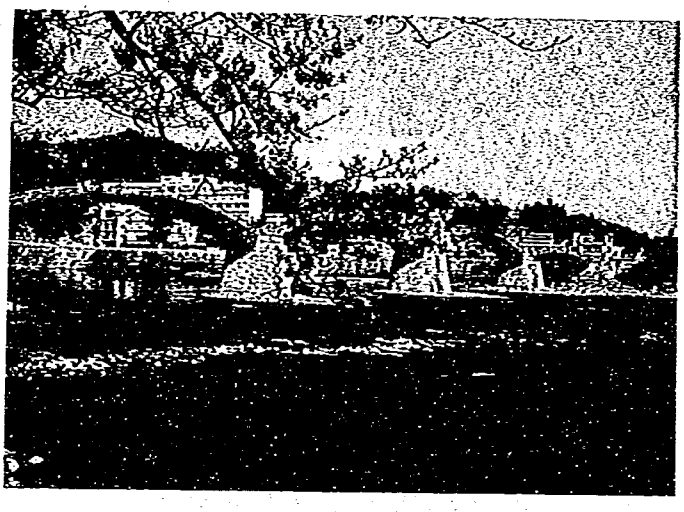
①建設事業における地球環境影響を評価した社会的費用の算出に関する研究

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。

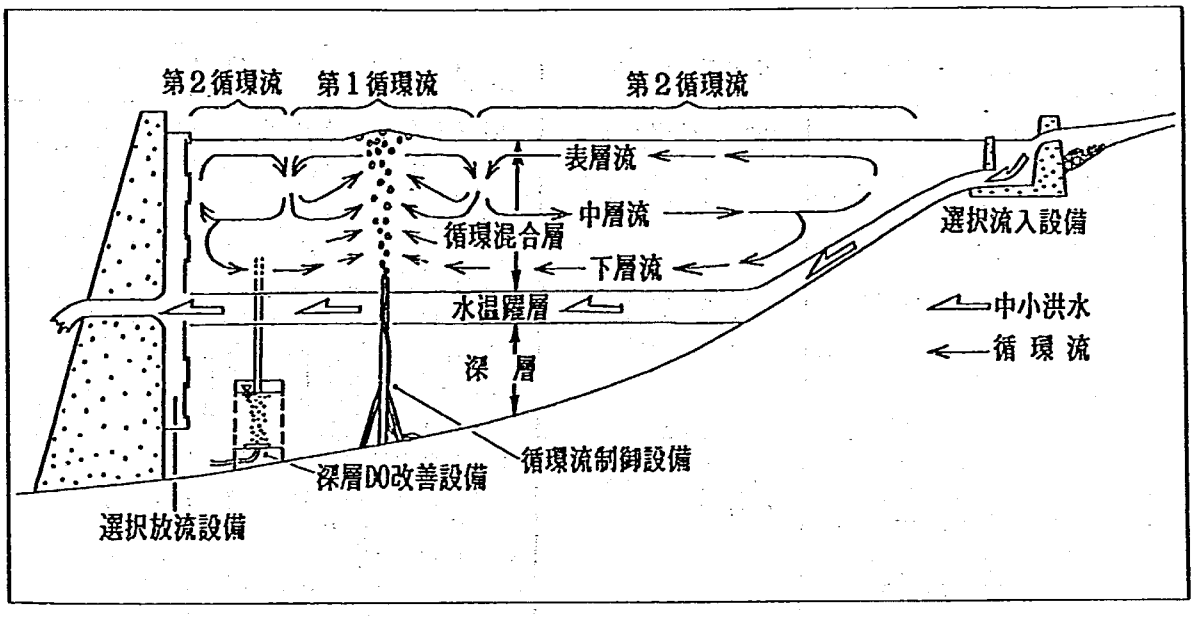


損壊後，歴史的価値をふまえて
復元修理された錦帯橋

（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。

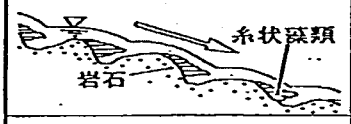
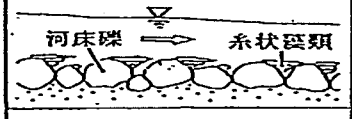
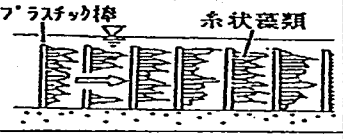
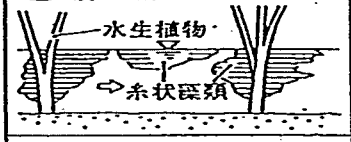
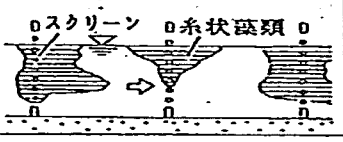
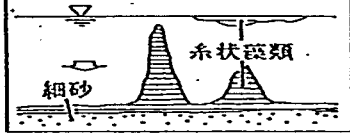
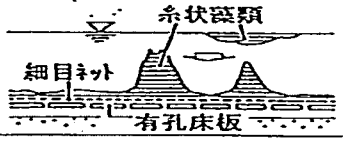


流動制御システムの模式図

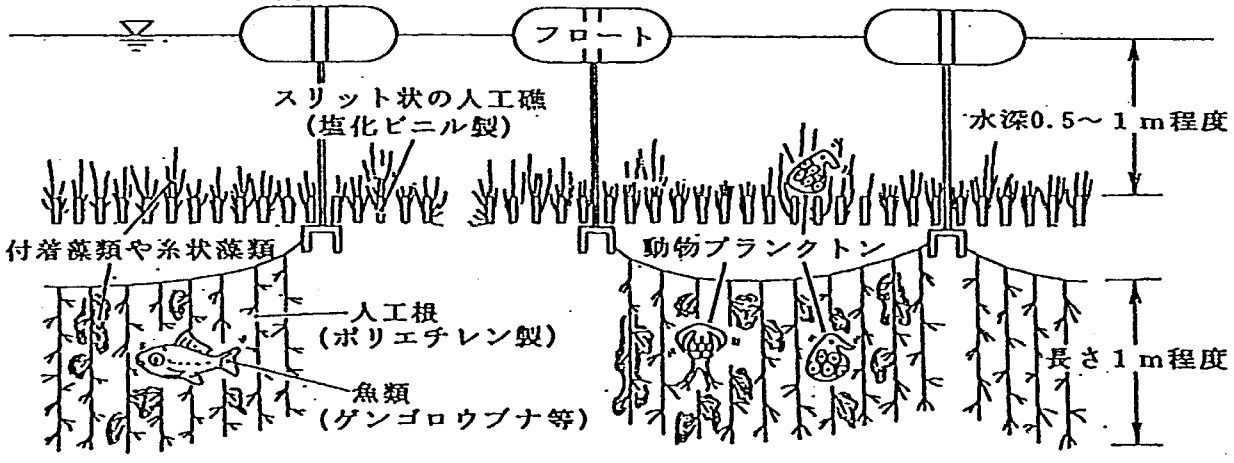
②生態系を活用した水質浄化技術に関する研究

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 	ﾒﾛｼﾗ、ﾃﾞｨｱﾄﾏ ｶﾜｼｵｸﾞｻ、ﾀﾁﾓﾄﾞﾛ ｱｵﾐﾄﾞﾛ、ﾋﾋﾞﾐﾄﾞﾛ ｷﾇﾐﾄﾞﾛ、ﾄｹﾞﾅｼｿﾞﾙｷﾞ	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 	ﾀﾁﾓﾄﾞﾛ、ｱｵﾐﾄﾞﾛ ﾋｹﾞｵﾘ、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 	ﾀﾁﾓﾄﾞﾛ、ﾋｹﾞｵﾘ 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 ﾋｹﾞｵﾘ、ﾀﾁﾓﾄﾞﾛ 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

人工生態礁の模式図



平成７年度の調査研究概要

平成７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．建設事業におけ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
５．流域環境管理への地理情報システムの利用に関する研究
６．湖沼の環境創造技術に関する調査
７．湖沼の環境評価に関する調査
８．環境アセスメント技術の開発
９．環境指標による事業効果算定に関する研究
１０．ダム周辺景観設計データベースの検討
１１．景観シミュレータ・景観データベースの開発
１２．流域水管理への地理情報システムの利用に関する研究

（Ⅱ）地球環境に関する調査研究

１３．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

１４．歴史的・文化的施設の保存技術の開発
１５．歴史的・文化的施設の保存活用手法に関する調査

（Ⅳ）湖沼の水質保全に関する調査

１６．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
１７．湖沼の総合的富栄養化技術に関する調査
１８．生態系を活用した湖沼の水質制御手法に関する調査
１９．貯水池の水質保全に関する実験
２０．軽石濾過システム現地実験
２１．流動制御システムに関する実験
２２．湖内生態系の保全に関する調査

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。

７年度は、計画段階でのアセスメント調査について、調査時期と精度、地域住民の関余、さらに意思決定機関に関する整理を中心に行政における実績及び海外の事例を踏まえた研究を行った。 計画段階での調査を行う場合、調査を行う時期に合わせて調査精度を上げていく考え方を国民全体が受け入れる必要のあることを示した。住民の関与に関しては、代替案を早い時期から公開することは、土地の収用などに関する周辺条件の整備を前提に、計画推進のための透明性の高い方法の一つであることを示した。さらに第三者機関に意思決定をゆだねる場合、ゆだねる事業の規模や種類など行政の効率性等を総合的に判断することが必要である点を示した。

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、建設省所轄事業の実施に当たって、必要となる環境に関する様々な情報が量・質ともに肥大化・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。

７年度は、今後環境に関する情報を収集する技術となるであろう衛星によるリモートセンシング技術の現況調査と、環境情報の加工技術として期待される地理情報システムの利用可能性について検討し、６年度までの成果と合わせて、環境情報データベースシステム構築に関する検討を行った。

[関連報告書]

Ｉ-Ｃ-２　国土環境情報の整備に関する研究　（第49回技術研究会・指定課題）

Ｉ-Ｃ-３　総合環境情報の構築と土木計画管理への利用
（地盤情報データベースの高度利用に関するパネルディスカッション）

Ｉ-Ｃ-４　建設環境情報データベースシステム　（土木技術資料）

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。

７年度は、前年度開発したデータベースマネジメントシステムを改良し、操作性・実用性の向上を図るとともに、景観構成要素データの追加を行い、データベースの試用版を構築した。

[関連報告書]

Ⅰ-B-1　コンピューターグラフィック技術　（橋梁と基礎）

Ⅰ-B-2　景観シミュレータ・景観データベースの開発　（第21回日本道路会議）

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もとに相互利用し、地球観測に係る研究をはじめとする調査研究及び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。

７年度は、建設省が保有する環境情報及び論文情報を、検索可能なデータベースとして構築し、世界中に普及したインターネットを介した情報提供の方法について、ユーザーインターフェース等の検討を通して研究した。

5．流域環境管理への地理情報システムの利用に関する研究

（平成７年度～平成９年度　科学技術庁　科学技術振興調整費）

本研究は、今後水環境の向上を図っていくためには、適切な水環境の保全・管理方法を構築することが必要であるという認識に立ち、流域全体を視野に入れた対策手法の検討や優先順位の決定などを適切に実施できるように、従来より構築されてきた水量・水質循環モデルと、データベース管理システムの一面を有した地理情報システムを利用して、水環境管理システムを構築することを目的とする。

７年度は、試験的に小流域を対象として、地理情報システム上に流域環境情報データベース及び既存の水量・水質循環モデルとをリンクするためのインターフェースを作成し、これらを用いてのケーススタディーを行うことにより、問題点や改良点の抽出・整理を行った。

[関連報告書]

Ⅰ-C-1　道路の環境計画とＧＩＳの可能性　（第21回日本道路会議）

6．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。

今年度は、昨年度実施した二分選択仮想金銭評価法(DCVM)を用いたアンケート調査の分析を行った。その結果、公園を訪問した経験のある人が、ビオトープ型の整備を行うことに対して認めた価値は、入場料にして１３００円以上であった。

[関連報告書]

Ⅰ-A-1　ダム湖畔のレクレーション地区に関する便益の評価　（第6回世界湖沼会議）

Ⅰ-A-2　転居の外部費用に関する二分仮想金銭化法を用いた調査
（土木計画学研究・講演集）

7．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、ますます重要となってきている環境の価値評価の手法に関する検討のうち、昨年度は、二分仮想金銭化法に関する検討を行ったが、本年度はつくば市内の公園利用に関してヘドニック旅費法の適用に関して検討を行った。その結果、時間と経費を合わせた訪問のための費用が増大するに従って、訪問率が減少するという一般的な傾向が確認された。しかし、今回、特に水辺の状態がどの程度公園の利用状況に反映されるかを確認することを一つの目的としたが、公園の特性による分析では、重共線性の影響の排除など今後に課題が残った。

8．環境アセスメント技術に開発

（平成７年度～平成８年度　地方建設局依頼調査試験費）

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一環として、計画段階におけるアセスメントの実施に際して代替案の比較を客観的に行うために必要となる総合評価の手法に関する評価を行うことを目的とするものである。

７年度は、客観評価のために定量化（数値化）することを念頭に置きつつ、既往の総合評価手法について収集整理し、今後利用できる可能性の高い手法の洗い出しを行ったその結果、定量化を行う手法として、グレード評点法、ＡＨＰ法、費用便益法の３つがあり、金銭化しづらい評価項目を客観的に評価できるＡＨＰ法が環境アセスメントへの適用可能性が高いことが分かった。

9．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年度～平成８年度　地方建設局依頼調査試験費）

平成６年に定められた建設省「環境政策大綱」で環境が内部目的化された。これにより、従来にも増して環境施策の進捗度、効果を評価できる総合指標の必要性が高まっている。

本調査は、建設事業の効果を算定するため地域の環境を客観データを用いつつ人間の感覚に沿って的確に表現できる指標を開発することを目標としている。本年度は、環境行政を巡る動きとその方向性を幅広く把握すると共に、既存の総合環境指標に関するデータを収集整理した。さらに、これらを元に総合環境指標の具備すべき要件を整理すると共に、総合環境指標の構造の検討を行った。

１０．ダム周辺景観設計データベースの検討

（平成７年度～平成９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。

７年度は、６年度に開発したデータベースマネジメントシステムの改良を行うとともに、景観構成要素データの作成を行った。

１１．景観シミュレータ・景観データベースの開発

（平成７年度～平成８年度　地方建設局依頼調査試験費）

九州地方は、風光明媚な場所に富み、国立公園など景観に配慮すべき地域が多いことから、構造物の設計にあたっても景観への配慮が不可欠である。そこで、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景観シミュレーションシステムの開発が期待されている。

本研究では、道路の景観設計を支援するシステムとして、事務所の職員が簡単に操作することのできる景観シミュレータおよび景観データベースを開発するものである。

７年度は、道路景観のシミュレーション機能として、道路のり面自動生成機能を設計するとともに、道路景観を構成する一般的な要素のデータ化を行った。

１２．流域水管理への地理情報システムの利用に関する研究

（平成７年度～平成９年度　地方建設局依頼調査試験費）

本研究は、霞ヶ浦のような湖沼を含む水系の水環境を適切に管理し、環境計画策定手法を高度化することを目的とし、近年、位置情報を有するデータの管理システムとして注目されている地理情報システムを利用して、効率的なデータ管理や流域全体での総合的な対策手法の選定等を、事務所単位で簡便かつ適切に評価できる水環境管理システムを構築する。

７年度は、今後の水環境管理システムの構築やケーススタディを実施するための準備として、既存の水量循環モデルを改良して水量・水質循環モデルとし、そのモデルの問題点や改良点について抽出・整理した。

（２）地球環境に関する調査研究

１３．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ＣＯ２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。

今年度は、３ヶ年調査の中間年度として、昨年度検討した二酸化炭素排出の限界社会的費用及び建設資材等の品目毎の二酸化炭素排出量の結果を用いて、橋梁、ダムなどいくつかの構造部について通常工法と省二酸化炭素排出型工法等との二酸化炭素排出量の比較を行った。

（３）歴史的・文化的土木施設の保存・活用に関する研究

１４．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）

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おり、景観に大きなインパクトを与えている土木施設は、その審美性の向上による質の向上が望まれている。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。しかしながら土木施設の歴史的・文化的価値の基準判断や、保存技術は確立されていないため、保存、補修して地域計画に組み込み、役立てる手法は明確となっていない。

本研究では６年度に引き続き全国の自治体の土木施設関連資料の整理、およびデータベース化を進めるとともに、評価および保存活用手法の検討を行う参考として諸外国における土木遺産の評価状況についての調査を行った。

[関連報告書]

II－１　歴史的土木文化遺産の評価と保存の考え方　（土木史研究）

II－２　無形土木遺産の保存と伝承　（土木計画学研究・講演集）

II－３　歴史的・文化的施設の保存・活用　（第49回技術研究会・指定課題）

１５．歴史的・文化的施設の保存活用手法に関する調査

（平成７年度～平成９年度　地方建設局依頼調査試験費）

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おり、景観に大きなインパクトを与えている土木施設は、その審美性の向上による質の向上が望まれている。歴史的・文化的価値をもつ土木施設の保存及び活用手法の確立が望まれているが、土木施設の歴史的・文化的価値の基準判断や、保存技術は整理されていない現状である。

本調査では収集された建設省各地方建設局の所管する歴史的・文化的土木施設に関する資料をもとに、維持修繕手法などの保存手法及び各種活用事例を収集し、施設保存や復元と活用手法について検討を行った。

（４）湖沼の水質保全に関する調査

１６．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、これらの富栄養化現象に糸状藻類を活用した栄養塩類を除去する対策手法がある。

７年度は、糸状藻類を人為的にコントロールして長期間にわたる安定的増殖を行うためのシステムの施設構造の確立を目的とし、長期間による増殖実験により栄養塩類の除去能力についても調査を行った。

[関連報告書]

Ⅲ-B-２　湖沼水質浄化に伴い発生する糸状藻類の有効利用
（第50会年次学術講演会）

Ⅲ-B-３　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
（平成6年度陸水系の汚染防止に関する総合研究）

Ⅲ-B-４　A Lake Water Purifcation Utilizing an Ecosystem by The Filamentous Algae　(ECOSET' 95 PROCEEDING)

Ⅲ-B-６　糸状藻類を活用した植生浄化について　（土木研究所資料）

１７．湖沼の総合的富栄養化対策技術に関する調査

（平成７年度～平成１１年度　河川総合開発事業調査費）

ダム湖の富栄養化対策の有力な一手法として流動制御システムがある。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行い、曝気による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できることが確認されたが、流動制御システムの運用手法や施設設計を行うためにシミュレーションモデルが必要であり開発していく必要がある。

そこで７年度は、流動制御システムの水質保全効果や運用手法を検討するためにシミュレーションモデルを構築して、藍藻類の異常増殖の抑制効果や流動能力についての検討行った。

[関連報告書]

Ⅲ-A-１　流動制御によるダム湖水質保全対策におけるシミュレーション手法の検討（環境システム研究）

Ⅲ-A-２　流動制御に関するダム湖水質保全効果のシミュレーションによる検討（水工学論文集）

Ⅲ-A-３　流動制御システムによるダム湖水質保全の現地実験　（土木技術資料集）

Ⅲ-A-４　成層化した貯水池における曝気・循環装置による藻類増殖の抑制（大ダム）

Ⅲ-A-５　Ａダム貯水池水質への曝気循環の影響（第６回世界湖沼会議）

１８．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（PO４-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、PO４-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PO４-P除去のための糸状藻類活用システムの開発を行っており、

７年度は糸状藻類が、いつどの様な条件で栄養塩類を吸収しているのかを調査し、効率の良い施設を作るための条件の検討を目的とした。また糸状藻類活用システムの維持管理費を軽減するため、糸状藻類の有効利用の可能性についての検討を行った。

[関連報告書]

Ⅲ-C-４　流動制御と糸状藻類を活用したダム湖水質環境創造システム　（大ダム）

１９．貯水池の水質保全に関する実験

（平成７年度～平成８年度　地方建設局依頼調査試験費）

ダム貯水池の上流域において、金属物質を含んだ酸性水が廃坑より流出しダム貯水池の生物や利水などに大きな問題となっている。現在大量の炭酸カルシウムを用いてこの酸性水を中和しているが、反応した炭酸カルシウムは大量に流域及びダム貯水池内に沈殿するため、この方法では維持費用が非常に高くなる。また、ダム貯水池は炭酸カルシウムによって白濁するので、景観を損ね親水性も阻害している。

本研究では、中和時に使用される炭酸カルシウムの量を減少させるために、この坑道より流入する酸性水の水質を測定し、適当な有用微生物を用いた中和処理技術の確立を目的として実験を行うものである。

７年度は、測定した酸性水の水質より酸性の原因を推定し、有用微生物の中和処理技術への利用可能性を検討した。

２０．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）

本実験は、軽石濾過システムにより、湖沼等の水より直接藻類の除去を行い富栄養化による藻類の異常増殖問題などの抑制を行う研究であり、実際には軽石による除去効果の検討、効率的に除去するための施設構造の検討、及び濾過閉塞や濾材からの栄養塩類の溶出をおさえるための濾材の洗浄手法の検討などを行うことによって、軽石濾過システム構築のための基本設備を把握することを目的とする。

７年度は、湖水の軽石濾過実験を通年で行い、湖水内に隔離水界を設置してその中の水を軽石濾過により浄化することにより、除去効果の把握と施設維持のための構造について研究を行った。

[関連報告書]

Ⅲ-C-１　軽石濾過システムの原理と設備例　（ダム技術）

Ⅲ-C-２　生物膜を伴う粒子体濾過による無機濁質除去手法
（第50会年次学術講演会）

Ⅲ-C-７　軽石濾過による湖沼の水質保全技術の開発　（土木技術資料集）

２１．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）

ダム湖において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である。流動制御システムは複数の設備から成り立っており、入江循環設備もこのシステムの一部を構成する。ダム湖内における入江水域（水深10m以下を対象）は、水の滞留が起こりやすく流入する河川から栄養塩類が常時供給されるため、貯水池内で曝気を行っていても富栄養化による藻類の異常増殖が起こりやすい水域となる。

７年度は、６年度の入江循環設備の原理検討実験の結果をうけて施設構造の詳細検討や、水の入れ替え効果の調査、操作手法の検討を行った。

２２．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ている。富栄養化対策には様々な手法があるが、本研究ではその中でも生態系を使った対策手法の研究を行った。

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。生態系制御システムは、この食物連鎖網を活用して、植物プランクトンの異常増殖を抑制する方法であり、７年度は、６年度設置した人工生態礁を用いて、浮遊性藻類の異常増殖を抑制する環境を創造することを目的として調査を行った。

[関連報告書]

Ⅲ-B-１　生態系を活用した湖沼の直接浄化の試み　（第50会年次学術講演会）

Ⅲ-B-５　生態系を活用した湖沼の直接浄化の試み

（第30回日本水環境学会・講演集）

環境計画手法に関する研究

３．環境の保全・回復・創造に関する研究

３．１　環境アセスメントに関する研究

３．３．１　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
研　究　員　長野　幸司

1. はじめに

建設事業の実施に際して環境との調和が社会的に強く求められている。建設省が平成６年１月に策定した「環境政策大綱」では、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ている。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ており、緊急を要する課題となっている。

また、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、平成６年１２月に閣議決定された「環境基本計画」においても環境影響評価についてはその重要性に鑑み、内外制度の実施状況等に関し、調査研究を進めることが謳われている。

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、昨年度の結果を受け、計画段階でのアセスメント調査実施の問題点の整理、そのうち、調査時期と調査項目に関する整理、計画段階における地域住民の関与に関する整理、さらに環境アセスメント後の意思決定機関に関する整理を中心に行政における実績及び海外の事例を踏まえた研究を行った。

4. 研究結果

環境アセスメントとは、事業の実施が環境にどの程度の影響を及ぼすかを調査・予測・評価を行う制度で

ある。これは、一つの事業者と国民の間の合意の手続きである。ところで、我が国の現在の環境アセスメントは、事業計画がほぼ確定した段階に、事業計画の最終案のみが公表される。そのため、事業計画の最終案がどのようにして決まったか分からない。つまり、事業の具体的・即地的な位置・規模等を、社会経済効果のみならず、環境面も含めて、どのように比較評価し、検討したか住民には不明である。このようなアセスメントの制度には国民の十分な理解を得られない面があることは否めない。このような実態を背景として、アセスメントの過程における透明性、客観性、公平性を確保することが要請されている。このような動きは、行政全般に対してあり、情報公開法の制定に向けた動きとし現れている。このような背景の中で建設事業の信頼性を高めるため、計画段階におけるアセスメントの実施、代替案の公表も含めて公衆の参加とその意見徴収の方法の改善、環境影響をはじめとする総合的な判断に基づいた事業実施に関する意思決定を第三者機関にゆだねること、アセスメント後のフォローアップなど事業の透明性、客観性、公平性を確保することを目的とした手続について技術的な検討を早急に行う必要がある。本稿では、それらの対策に関し、その現状を海外の事例と対比させつつ探り、その利害得失を取りまとめた。

4.1 計画段階における調査について

現在、我が国では、環境アセスメントを実施するか否かは、その事業の規模によって決まっている。また、我が国で現在行われている環境アセスメントの調査項目は、事業実施に伴うと予想される環境汚染の未然防止、公害項目の除去に主眼がおかれている。しかし、対象外になった事業に、あるいは調査対象項目以外に問題案件が含まれるおそれがある。この点に関して、米国では、ＮＥＰＡ（National Environmental Polcy Act)で逆に除外リストを作成し、たとえば歩道橋の設置や緊急時の補修など人間環境に著しい影響を及ぼさないことがはっきりしている事業のみを当初からアセスメントの対象外としている。それ以外の事業については、環境評価書（ＥＡ：Environmental Assesment）を作成することになっている。ＥＡは、環境影響評価書（ＥＩＳ：Environmental Impact Assesment）を作成するか、あるいはその提案する行為が、重要な影響を及ぼさないという旨の所見を決定するための証拠及び分析を提示するためのものであり、代替案の検討も含まれている。ＥＡの結果、環境への影響が少なくないと判断されたなら、ＥＩＳの作成の意思表明文書が作成され、公表されることになる。

環境アセスメントの対象の絞り込みに関しては、環境アセスメントの要件を規模だけで決定するのではなく、米国の例に見られるように簡易なアセスメントを幅広く実施し、本格的な環境アセスメントの必要のないものについてその結果を公開した場合、そのための行政コストが余計にかかることになるが、事業の透明性をより高めることになるであろう。

調査項目については、基本的には、米国におけるものと我が国におけるものに大きな差は見られない。しかし、米国のＮＥＰＡにおいては、スコーピングの過程を通して必要な調査項目を追加することになるといった手続きの点で大きく異なっている。[1)]

ＥＡ及び最初の環境影響評価書案（ＤＥＩＳ：Draft Environmental Impact Assesment）の事例の特徴は、次のとおりである。

①公開の時期は共に、位置、規模、コスト及び環境影響について数案の代替案比較ができる段階。これ

は、計画にかなり具体性のある段階であるといえる。

表４－１　代替案作成で想定される評価項目

分類	項目	レベル１	レベル２	レベル３
自然環境	植物	－	・貴重植物生息地との位置関係	・緑地消失面積 ・貴重植物生育地の減少の程度
	動物	－	・貴重動物生息地との位置関係	・貴重動物生息地の減少の程度
	景観・レクリエーション	－ －	－	・視点場からの影響の程度
	地形	・通過河川	・土工、橋梁の区間 ・特殊な地形分布地との位置関係	・特殊な地形への影響の程度
	地質	・防災上危険箇所との位置関係	・路線通過地の地層による地盤安定性 ・特殊な地質分布地との位置関係	・特殊な地形への影響の程度
	文化財等	・天然記念物等文化財との位置関係	・天然記念物等文化財との位置関係	
	気象	・防災上危険箇所との位置関係	・気象による影響の有無	
	保全地域等	・自然環境保全地域等通過延長	・自然環境保全地域等通過延長	
生活環境	大気汚染	－	・一般的にみて被害を受ける住宅地域	・被害を受けると想定される住居位置
	水質汚濁	－	－	・水質濃度が変化する河川等
	騒音・振動	－	・一般的にみて被害を受ける住宅地域	・被害を受けると想定される住居位置
	地盤沈下	－	・地盤沈下の影響の有無	・地盤沈下の影響の程度
	日照阻害	－	－	・被害を受けると想定される住居位置
	テレビ受信障害	－	－	・被害を受けると想定される住居位置
社会・経済	建設費	・事例による概略の建設費	・概略建設費を算出	
	便益・費用比	－	・建設費と道路供用による便益を算出	

②代替案の評価項目は、建設等のコスト面、経済的影響等の環境影響以外の項目についても対象とされている。

③代替案の公開内容は、推薦案とその他の代替案について、個別項目の評価結果を示している。

④何らかの環境影響がある場合には、フォローアップが考慮されている。

⑤総合評価については、記述はない。

米国でＥＡが公開される段階は、幾つかの代替案が比較できる程度まで検討された段階で、それから最終のＥＩＳが公開されるまで何度か住民にＤＥＩＳが公開される。

米国のＮＥＰＡでは、ティアリング（Tiering）という考え方がある。これは、何段階にもなったＥＩＳ準備のための手法という考え方である。

米国の例を参考にして、我が国において計画段階において環境アセスメントを行うと想定した場合の調査項目について、本研究では表４－１に示すように３つのレベルで想定した。ここで、レベル１は、基本構想段階で検討された計画の必要性を考慮し、事業計画の概ねの位置を検討する段階。レベル２は、レベル１で設定した位置で、具体的位置とその事業規模を検討する段階。レベル３は、ほぼ最終案が決まり、保全措置等を検討する段階で、我が国における現行の環境アセスメントの実施時期とほぼ同じ時期を想定している。計画の早い段階で調査を行う場合、表４－１に示されているように、調査を行う時期に合わせて調査内容のレベルを「粗」から「精」に上げていく考え方を国民全体が受け入れていかねばならない。

4.2 住民参加について

現在の我が国の国の実施要項に基づく環境アセスメント手続きでは、住民の参加は計画の最終段階で、環境影響評価準備書が縦覧され、説明会が開かれてそれに対する意見書を提出することによってなされている。一方、米国では、ＮＥＰＡ規則第1510.7条で、4.1で触れたスコーピングについて「提案された行為に関連して、取り組むべき問題点の範囲を決定し、重要な問題点を認識するために、早い段階で導入すべき開かれたプロセス」としており、計画の早い段階から住民の参加する機会が開かれている。ＮＥＰＡでは、スコーピングに関して細かな規定はないが、住民等の意見に対しては、規則第1503.4条により、

①提案された行為を含む代替案を変更する。

②検討が十分でなかった代替案の改善及び再評価

③分析の追加、改善、変更

④事実に訂正

⑤回答を必要としない場合は、なぜ回答しないかについて説明。

のいずれか１つ以上の手段を使って回答しなければならないと規定されている。そして、これらの意見・回答は、最終のＥＩＳに添付・縦覧される。

米国で計画過程における住民参加を可能とならしめているものは、行政過程に国民を参加させるような行政手続き制度が整備されていることがまずあげられる。このような制度は、1966年の合衆国法典（United States Code）に組み込まれている。そのうち、情報公開制度については、情報自由法（Freedom of Information Act, 1966）が、行政手続きに関しては、行政手続法（Administrative Procedure

Act, 1946）が制定されている。情報自由法では、明らかに不当なプライバシーの侵害にならない行政情報は利害関係人に限らず何人にも開示しなければならないとされている。また、行政手続法の目的の一つは、規則制定過程に国民を参加させることとある。ここでいう規則制定過程とは、意思決定過程の段階と考えられるものである。一方我が国においては、情報公開制度が検討されている段階であり、しかも、公開される情報は、意思決定過程におけるのもは対象とされていない。さらに、我が国においては、土地に対する執着が高いことや土地の値上がりをねらった買い占めに対処する法制度が未整備なこともあって、早期に事業計画を公開することによる事業遅延の懸念があり、関連制度の充実や機動性の向上が必要となっている。

住民参加の時期については、4.1でアセスメントを行う３つのレベルに合わせて行うことが考えられる。計画の塾度が低い段階では、判断資料が不十分なため、アセスメントが不正確になることが考えられるが、一度のアセスメントですべて決着するのではなく、幾つかの段階でアセスメントを行う場合、事業者と住民の意思疎通が一層図られ、合意形成に寄与するものと考えられる。

ＮＥＰＡにおいては、ＥＩＳで何もしない代替案を必ず含んだ代替案群を示すことが義務づけられている。我が国で計画段階で代替案を公開することに関しては地元に大いなる混乱を招くという懸念もある。それは、我が国の国民性や社会慣習が米国とは異なっており、早い時期から代替案を公開し、公開の下でその検討を行うことは、米国では合意形成の効率的で効果的な方法であっても、我が国の国民性を十分に考慮して対応することが必要である。

表４－２　代替案公開の利害得失

検討レベル	メリット	デメリット
立地に係わる代替案	・社会・経済へのプラス面がアピールできる	・公衆があまり関心を示さない可能性がある
規模に係わる代替案	・環境への負荷を極力避けたことが示せる	・利害から混乱が生じる可能性がある（たとえば、地価の高騰、土地不買運動など土地取得が困難となる可能性）
保全措置に係わる代替案	・事業者の環境に対する姿勢を具体的なものでアピールできる	

各レベルにおける代替案の公開の利害得失をまとめると表４－２のようになる。しかし、住民と事業者のコミュニケーションを図るためには、相互の信頼を築くことが不可欠であり、そのためには多くの努力と時間が必要となることを覚悟する必要がある。

ここで、意思決定過程における住民参加は合意形成に大きな役割を果たすものであるが、これによって提案された行動そのものを巡る対立すべてが解消されるものではないことを明記しておく必要がある。スコーピングも提案を巡る関係者間の対立を限られた状況の中で軽減する程度のものであると捉えておく必要がある。

4.3 意思決定機関について

我が国の現行の国の要綱に基づく環境アセスメントにおいては、事業者が最終意思決定を行っている。これは、事業者は当該事業に関して、すべての面に責任を持つことを表している。しかし一方で、公共事業に対する透明性、公平性及び客観性が求められており、これらの要求に対応する方策としては、第三者

機関による意思決定を行うことが考えられる。しかし、環境影響は、事業を選択する際の評価の一面であり、これだけをもって事業形態を決定することは適当ではない。

米国においては、政府機関のいずれかのセクションが意思決定を不服とした場合、大統領により指名された3名からなる（効率的な運営を図るため、ここ数年は1名だけが指名されている）環境審議会（ＣＥＱ）に申し立てを行うことができるシステムになっている。ＣＥＱは、ＮＥＰＡによりそのような論争を調停する責任が与えられている。

事業の実施の可否や形態の意思決定を第三者機関にゆだねる場合、ゆだねられる第三者機関は、その決定に全面的な責任を負うことが求められ、そのような権限を法的に付与される必要がある。さらにその機関は、行われる行為の社会的な効用、不効用等多面的な評価を下せる見識を有するものであること、さらに、その判断において中立であることも求められる。

さらに、そのような第三者機関に意思決定をゆだねる際、すべてのアセスメントに関して意思決定をゆだねるのか、米国の場合のように政府機関のどこかが意思決定を不服とした場合のみ意思決定をゆだねるのかにより、その組織の形態は大幅に異なるものになると考えられるが、第三者機関については行政の効率等総合的に判断する必要がある。

5. まとめと今後の課題

本年度は、昨2ヶ年度の結果を受け、計画段階でのアセスメント調査実施の問題点の整理、そのうち、調査時期と調査項目に関する整理、計画段階における地域住民の関与に関する整理、さらに環境アセスメント後の意思決定機関に関する整理を中心に行政における実績及び海外の事例を踏まえた研究を行った。

計画段階での調査を行うとすれば、調査を行う時期に合わせて調査内容のレベルを「粗」から「精」に上げていく考え方（米国のＮＥＰＡで言うティアリング）を国民全体が受け入れる必要のあることを示した。

住民の参加に関しては、米国では、「早い段階で導入すべき開かれたプロセス」として、計画の早い段階から住民の参加する機会が開かれていることを参考とし、アセスメントを行う3つのレベルに合わせて行うことも考えられる。代替案を早い時期から公開し、その下で検討を行うことは、土地の収用などに関する周辺条件が整備されていれば、計画推進と合意形成の効率的で効果的な方法の一つであると考えられる。

意思決定の透明性を高めるための第三者による意思決定については、第三者機関にゆだねる事業の規模や種類など行政の効率性等を総合的に判断することが必要である点を示した。

今後は、事業を総合的に評価する手法及び環境アセスメント実施後のフォローアップのあり方に関して取りまとめていきたい。

参考文献

1) Ronald E. Bass and Allbert I. Herson; Mastering NEPA: A Step-by-Step Approach,1993

3．環境の保全・回復・創造に関する研究

3．2　環境情報データベースに関する研究

3．2．1　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
研究員　長野　幸司
研究員　福渡　　隆

1．まえがき

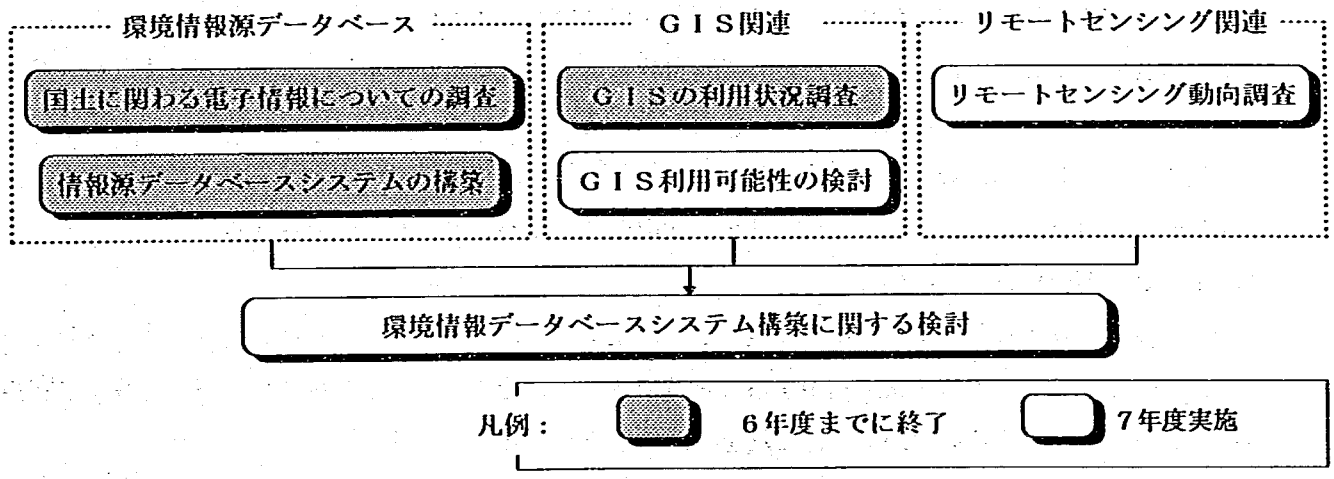
現在では、建設事業の実施にあたっては、環境（自然環境，社会環境）に関する多様かつ膨大な情報が必要となってきている。このことは、環境影響評価を考えれば容易に理解できる。しかし、本来、これら情報は多方面にわたる利用が可能であるにもかかわらず、事務所単位でしか調査・収集整理されておらず、他業務への利用はほとんどされていない。

そこで、環境に関わる情報をデータベース（ＤＢ）化することにより、環境業務での情報収集作業を軽減するとともに、情報収集の重複が避けられ、また得られる成果の精度を一定レベルに保つことも期待できる。さらに、地理情報システム（Geographical Information System：ＧＩＳ）やリモートセンシング技術を利用すれば、より高度な成果を得るということも期待できる。

2．研究目的

本研究は、上述の状況を鑑みて、現状のデータベース管理システム（ＤＢＭＳ）や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情報ＤＢＭＳの構築について検討することを目的とする。

７年度は、リモートセンシング技術の動向やＧＩＳの利用可能性について調査し、前年度までの成果と合わせて、環境情報ＤＢＭＳの構築について検討する。

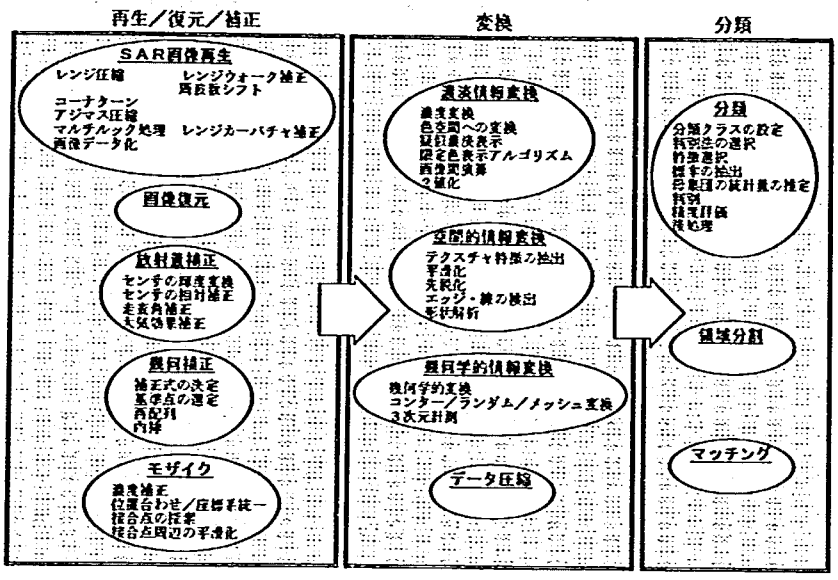


図－１　本研究の計画概要

3．研究方法

3．1　衛星によるリモートセンシング技術の現況調査

今後、環境情報を蓄積していく際に、環境情報を得る技術として衛星によるリモートセンシング技術が利用されていくと考えられる。そこで、現在及び将来における衛星の運行状況や観測状況を調査・把握することにより、環境情報データベースへの利用について検討する。



図－2　画像解析の概念図

3．2　ＧＩＳの利用可能性の検討

６年度までに国内外のＧＩＳ利用現況について調査・整理した。７年度は既存のＧＩＳを利用してケーススタディによる利用面の検討を行う。

3．3　環境情報データベースシステム構築に関する検討

６年度までに得た成果と上述の結果を合わせて、環境情報データベースシステムを構築するための方法について概略検討する。

4．研究結果

4．1　衛星によるリモートセンシング技術の現況調査

4．1．1　衛星観測状況調査

現在及び将来運行が予定されている地球観測衛星について、ＪＩＣＳＴやリモートセンシング技術センター（ＲＥＳＴＥＣ）資料等を利用して関連文献を調査し（期間：1990～1995年）、それらをもとに衛星名を抽出し、衛星の観測状況について整理した。その結果を表－１に示す。

今後の動向としては、表－１に示す通り高分解能化（特に、可視域では約１ｍまで）が進み、また、３次元データ（標高など）取得のためのステレオ撮影や、多バンド計測が促進される。

4．1．2　画像解析の現況調査

衛星に搭載された各種センサーにより観測された生データは、センサーの特性や衛星自体の移動などの影響を受けており、そのままで利用することはできない。そこで、衛星からの生データを我々が利用可能なデータに変換する必要があり、これを「画像解析」と呼んでいる。

画像解析の概念を図－２に示す。画像解析は、図－２に示した通り、「再生／復元／補正」、「変換」、「分類」の３つの操作に大別できる。「再生／復元／補正」は、各種の要因から生じる生データの歪み

やボケをできるだけ除去するための操作である。「変換」は、観測されたデータから情報を抽出する操作であり、「分類」は変換されたデータ（空間）の分割やマッチングを行う操作である。

この中で、「再生／復元／補正」は衛星とそれに搭載されるセンサーに関連する技術的操作であり、「変換」と「分類」は観測データの利用面に関連する操作である。

表－1　衛星の観測状況（打上げ時期，観測波長，分解能）

	衛星名(打上げ年)	運用国	波長域 紫外 ~0.3μm	可視 0.3~0.72μm	近赤外 0.72~1.5μm	中間赤外 1.5~5.6μm	遠赤外 5.6~1,000μm	マイクロ波 300~0.3GHz
現在	LANDSAT-5 (1984)	アメリカ		30, 80	30, 80	30	120	
	SPOT-1, 2, 3 (1986, 90, 93)	フランス		10, 20	20			
	ERS-1, 2 (1991, 94)	ESA				1	1	30 5, 22, 50
	MOS-1, 1b (1987, 90)	日本		50, 900	50		2.7	23, 31
	JERS-1 (1992)	日本		24	24	24		18
	NOAA-11, 12 (1988, 91)	アメリカ		1.1, 20	1.1	1.1, 20	1.1, 20, 147	110
	NOAA-14 (1995)	アメリカ	169.3	0.5, 20	1.0	1.0, 20	1.0, 20	15, 45
	RADARSAT (1995)	カナダ						9, 28, 50, 100
	GMS-4 (1989)	日本		1.25			5.0	
	IRS-P2 (1994)	インド		32.74, 37.39	32.74, 37.39			
将来	LANDSAT-7 (1998)	アメリカ		15, 30	15, 30	30	120	
	SPOT-4 (1997)	フランス		10, 20	20	20		
	SPOT-5 (1999)	フランス		5, 10	10	10		
	NOAA-L, M (1997, 97)	アメリカ		1.1, 20	1.1	1.1, 20	1.1, 20, 147	110
	ADEOS (1996)	日本	42	8, 16, 700 5	16, 700 5	700 8	700 8	25
	ADEOS-II (1999)	日本		250 1, 5	250 1, 5	250 1	250 1	5, 10, 15, 25, 50
	TRMM (1997)	日本／アメリカ		2, 10	5, 10	2, 10	2, 10	約4~43
	EOS-AM (1998)	アメリカ	25	15, 240, 250, 500 1, 1.92	15, 240, 250, 500 1, 1.92	30, 500 1, 22, 25, 66, 120	90 1, 25	
	EOS-PM (2000)	アメリカ	25	250, 500 1, 12, 25	250, 500 1, 25	500 1, 12, 25	1, 12, 25	2~10, 13, 43
	POEM-MI (1997)	ESA	25	500 1.1, 17.4, 25	500 1.1, 25	1.1, 17.4, 25	1.1, 17.4, 25	10~1,000 15, 25, 43
	ALOS (2001)	日本		2.5, 5	5			10
	SPIN-2 (1996)	ロシア		2, 10				
	IRS-P3 (1996)	インド		188	188, 523 1.57	245, 641		
	IRS-1C (1996)	インド		5.8, 23, 188	5.8, 23, 185	69		
	Early Bird (1996)	Earth Watch社		3, 15	3, 15			
	Quick Bird (1997)	Earth Watch社		1, 4	1, 4			
	CRSS (1997)	Space Imaging社		0.81, 4	0.81, 4			
	OrbView (1997)	オービタル イメージング社		1	1			

(注)　表中の数字は、分解能を表し、単位は上段が「m」、下段が「km」である。

4．1．3　リモートセンシングデータ活用事例調査

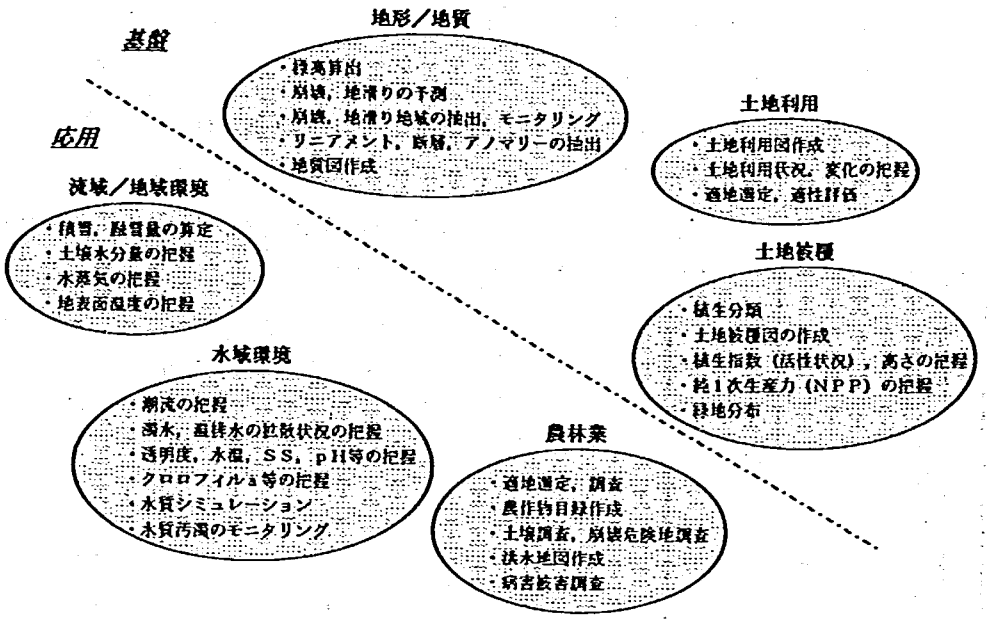
衛星によるリモートセンシングデータの活用事例を、ＪＩＣＳＴを利用した下記に示すキーワードによる検索（期間：1990～1995年）と適宜収集した資料により整理した（図－3参照）。

①　衛星，　②　土地被覆，　③　土地利用，　④　流域環境，　⑤　水質，　⑥　地質

まず、第一の利用分野としては、主に可視・赤外域の波長で得られたデータを利用した、「地形図」、「土地利用図」、「表層地質図」、「植生図」、「土壌図」などの国土基盤地図の作成が挙げられる。これらの地図は、建設事業のみならず多方面にわたり利用されており、リモートセンシングによる高頻

度観測によるデータと既存データを組み合わせることにより、ダイナミックな地図を迅速に作成することが可能である。

第二としては、「積雪量」、「表面温度」、「蒸発散量」、「透明度」、「植生指数」などの環境モニタリングである。これらは今まで極めて狭いエリア（またはポイント）でしか観測できなかった分野であり、衛星リモートセンシングの特徴（非接触性，広域性，同時性・反復性）から可能となったもので、今後もますます重要視されていくと考えられる。



図－３　リモートセンシング利用事例

第三としては、「水質シミュレーション」、「適地選定」、「崩壊・地滑りの予測」など、上述したデータや既存データをシミュレーションモデルや評価モデルと組み合わせて利用する分野である。建設事業での実際の利用を考えれば、この分野の需要が最も多い。

しかし、リモートセンシングデータの利用には、一部の分野を除いて、まだ多くの技術的課題が残っている。例えば、

①観測対象との間に存在する大気の影響を低減する方法の確立、

②観測対象の分類を自動化する方法の確立、

③一つの衛星による観測頻度には限界があるので、複数の衛星・センサで得られるデータの相互利用方法の確立

などが挙げられる。

したがって、将来的には解消される課題であると考えられるが、現時点ではこれらの課題を踏まえた利用方法が適当である。

４．２　ＧＩＳの利用可能性検討

ＧＩＳの特徴を整理すると以下の通りである。

①　位置情報を有するデータのデータベース管理システムとしての機能。

②　強調表示や３次元表示などのビジュアルな表示機能。

③　属性データの検索・集計や面積計算及びバッファリング等の解析機能。

したがって、ＧＩＳの利用法としては、まず第一に環境情報の管理が挙げられる。つまり、今までは

位置とは間接的にしか繋がりがなかったデータを直接に関連づけ、位置による管理が可能となった。これについては、基本的な機能であり、データ整備に膨大な労力を要するという欠点を有するが、現在までに多くの利用事例がある。

第二として、ＧＩＳの有する解析機能を利用したものが挙げられ、この代表的な利用例として、環境モニタリングや環境影響評価などがある。

本研究では、建設環境事業に対するＧＩＳの有効性について、ＧＩＳの特徴を包括的に利用できると考えられる「環境影響評価」への適用を通して検討した。

ケーススタディーとしては、以下のような既存のデータを利用した仮想の道路計画（ルート選定）での環境影響評価とした。

（1）対象エリア：約45km（東西）×約20km（南北）の大阪～神戸間のエリア
（選定理由：データ整備状況が良，土地利用が多様，道路や施設が過密かつ空疎でない）

（2）利用データ：① 国土地理院「数値地図（１００００）」
② 国土地理院「ＦＤマップ」
③ 国土地理院「細密数値情報（土地利用）」
④ 総務庁「地域メッシュ統計（国勢調査，事業所統計）」

（3）評価項目 ：環境影響評価の技術指針に記載されている自然環境（地形・地質，植物，動物，景観）と社会環境（人口，産業，…）に関わる項目

現在の環境影響評価を大別すると、①改変地域と周辺地域に含まれる現況の属性（自然，社会）データの集計及び評価、②公害の防止に係る環境要素の予測・評価となる。②についてはＧＩＳの解析機能のみでは不可能なので、ＧＩＳデータを使用したシミュレーションが適当である。一方、①についてはＧＩＳの解析機能を有効に利用することによって、今まで以上に簡便で、高精度かつ多様な解析が可能となる。例えば、地形や気候、公共施設配置などのデータから、ＧＩＳに含まれる重ね合わせ機能やボロノイ分割機能などを使って、様々な環境指標を算出することができる。また、あるエリアの特性を、集計機能やバッファリング機能を使って、周辺状況を考慮して決定することもできる。これらの解析は人的な作業では不可能に近いぐらい煩雑な作業であった。

これら作業を行う上で、課題となる点は以下の通りである。

① 市販のデータを利用する場合、各データの精度が違うので、データの食い違いが生じる。
（対策：整備するデータの精度を絞って、統一的なデータ整備を実施する。）

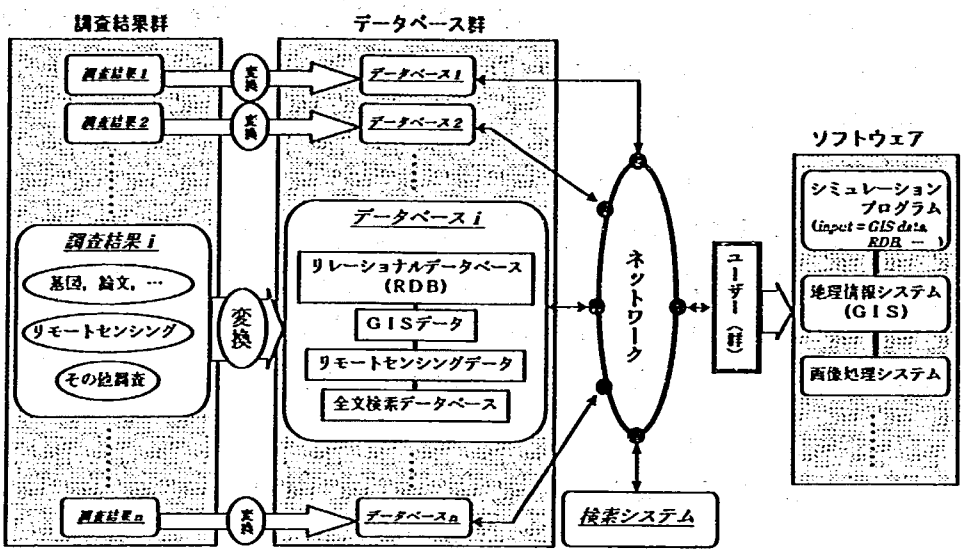
② 市販のデータを利用する場合、各項目の凡例（区分）が利用目的と直接的な関連性に乏しい。
（対策：多方面での利用を考えれば、出来る限り、素要素に分類にする。）

③ 各データ間に時間的な差がある。
（対策：更新頻度別にデータを分類し、リモートセンシングデータなどを利用する。）

4．3 環境情報データベースシステム構築に関する検討

6年度までに実施した環境情報検索データベースシステムや上記調査結果を踏まえ、環境情報データ

ベースシステムの概念を検討した結果を図－4に示す。



図－4　環境情報データベースシステムの概念図

リモートセンシングや現地調査、及び既存の基図や論文（紙面）などより得られるデータは、データの特性を基に、リレーショナルデータベース（RDB）やＧＩＳデータ、リモートセンシングデータなどの画像データ、及び論文などの全文検索データベースとして整備する。リレーショナルデータベースとしては、刻々と変化する気象や水象などの観測データを、ＧＩＳデータとして場所固有かつ汎用性のある地形・地質、植生、土地利用などや、降水量や地表面温度など面的に観測されたデータを整備する。また、ＧＩＳデータとして整備される項目は、緩慢な変化を伴うのが普通なので、それを補間するために、衛星に搭載されたレーダによる観測や航空写真などのリモートセンシングデータを、再生／復元／補正と変換を行ったデータとして整備する。

これらのデータは、あくまでも汎用性のある基本データなので、ユーザーが利用する際には、利用可能な形式にデータを加工する必要があり、ユーザーがＧＩＳや画像処理などのソフトウェアを有することが前提となる。ユーザーへのデータ提供や検索などはＬＡＮやインターネットなどのネットワークを介した環境情報検索システムによる方法が適当である。

しかし、これらのシステムを構築することは、技術的には可能であるが、他の面で課題があり、これらに対処する必要がある。課題を挙げれば下記の通りであるが、これらの課題も近い将来解決すると考えられる。

① メタデータの分類・構築
② 整備する精度・形式・種類の決定
③ 各データの凡例構成の決定
④ ネットワークによる提供の際のセキュリティの確保　　など

5．今後の問題点

今後は、上述した通り、整備する必要があるデータの選定と形式などの決定を行う必要がある。また、全てのデータベースを統一した形式で一カ所に整備することは困難なので、存在する多くのデータベースへアクセスするための検索システムが必要であり、そのベースとなるメタデータの整備をする必要もある。

6．　景観シミュレータ・景観データベースの開発

（2）　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

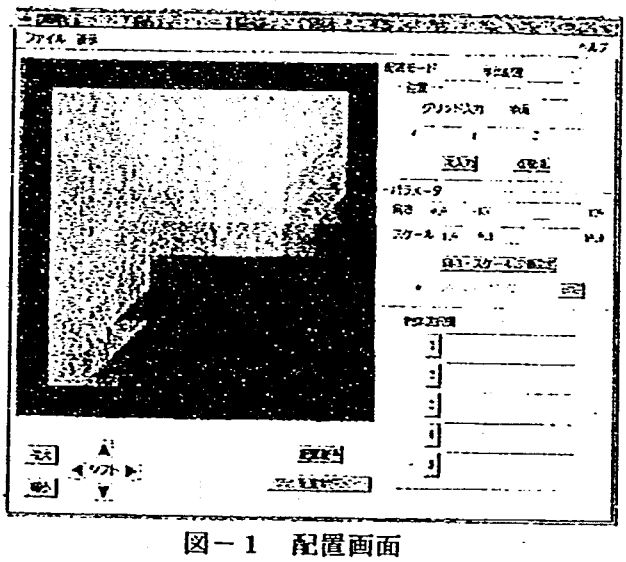
６年度に開発したデータベースマネジメントシステムについて、昨年度と同様に事務所分散型を前提として機能の拡張を行い、入力・登録機能および検索・表示機能の操作性・実用性の向上を図った。また、景観構成要素データとして、背景要素や基本的な構造物のデータを追加し、試用・評価用データベースを作成した。さらに、景観シミュレータにおいて３次元地形生成機能および視点制御機能が実現するのに併せて、切土のり面の景観検討を行うためのシミュレーション機能を付加した。なお、ターゲットマシンについても、昨年度に引き続きグラフィック・ワークステーション(ｼﾘｺﾝｸﾞﾗﾌｨｯｸｽ社製IRISｼﾘｰｽﾞ「Indy」、IRIX5.3以上)および汎用パソコン(WindowsNT3.5以上)の２機種とした。

4．研究結果

4.1　データベースマネジメントシステムの機能拡張

4.1.1　配置機能

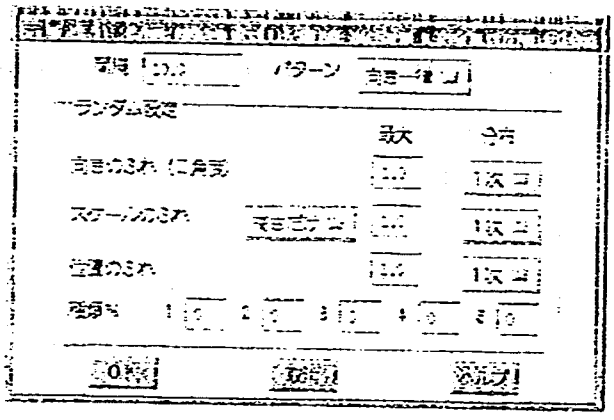
景観データベースで検索した部品データを景観画像へ配置する場合、位置合わせはオペレータの目視によっていたが、これをパラメータの入力により反自動的に実行できるよう機能を強化した。新たに付加した機能は、「指定した線に沿って、または指定したエリア内に、規則的にあるいはランダムに複数配置する、もしくは一括削除する機能」を実現したもので、線上配置、エリア内配置および単体配置を行うことができる。（図－１～３）



図－１　配置画面

a)線上配置

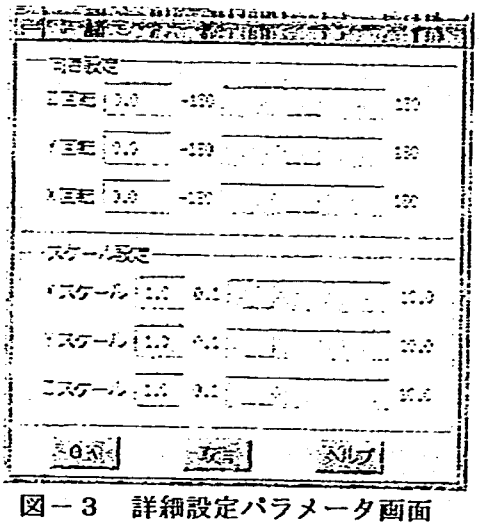
道路や河川など線状のものに沿って、樹木や照明灯などの部品を配置する場合などに利用する機能である。①配置するライン、高さの指定、②配置間隔、③配置方向、④大きさ、⑤位置、⑥配置物が複数種ある場合には、それぞれの出現頻度の各項目の設定によって、ランダム度を考慮した部品の配置ができる。



図－２　配置パラメータ画面

b)エリア内配置

３次元の地形上に複数種の樹木を配して森林を生成する場合などに利用する機能である。①配置するエリア、高さの指定、②配置間隔、③配置方向、④大きさ、⑤位置、⑥配置物が複数種ある場合には、それぞれの出現頻度の各項目の設定によって、ランダム度を考慮した部品の配置ができる。



図－３　詳細設定パラメータ画面

c)単体配置

信号を交差点に配置したり、ビルを区画に配置する場合など頂点や、線、面にサイズおよび方向を合わせて部品を配置する機能である。

4.1.2　アンチエリアシング

アンチエリアシングとは、画像の表示の際にシャギと呼ばれるギザギザが発生するのを防ぎ、滑らかな画像の生成を実現する処理のことである。ここでは、３次元グラフィックライブラリＯｐｅｎＧＬが提供する機能を利用して、アンチエリアシング処理を実現した。また、アンチエリアシング処理を実行すると、画像の表示速度がかなり遅くなることから、ＯＮ／ＯＦＦの切り替え、およびサンプリング数

の設定による処理レベルの選択ができるようにした。（図－４）

4.1.3　イメージ選択メニュー

検索ウインドウの検索結果表示を件名から画像のイメージ一覧に変更し、プレビューを行いながらさらに絞り込みが可能なスタイルに改良した。（図－５）

4.1.4　入力専用エディタ

収集した３次元形状データ、画像データおよび文字データをユーザー自身が手軽にデータベースに登録するためのツールとして、以下の機能を有する専用エディタを追加した。

a)データベースと格納ディレクトリのリンク

b)データレコード（「登録されている物件」を指す。以下同じ。）の追加、削除、書き換え、並び替え（日付、五十音）

c)データレコードの参照、コピー（入力済みのデータレコードを参照しながら、入力中のデータレコードに必要な部分をコピーする。）

d)データ項目(「物件を表すための詳細項目」を指す。以下同じ。)の入力値が選択可能な場合の選択指定（分類など）

e)データ項目の文字入力（日本語）

f)データ項目の数値入力（リミットチェックなどを含む）

g)データ項目の文字部のマークアップ（キーワードの指定）

h)画像データの入力（スキャナーのドライバーソフトを自動的に起動する。）、選択指定（画像メニュー表示）、確認表示

i)形状データの選択指定、確認表示

j)画像データコンバータ、形状データコンバータの起動

k)色テーブルの選択指定

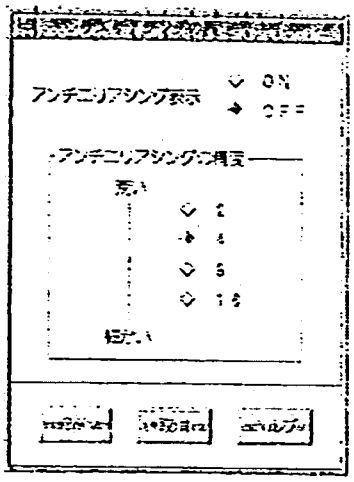
l)履歴情報の表示

4.1.5　カタログ印刷

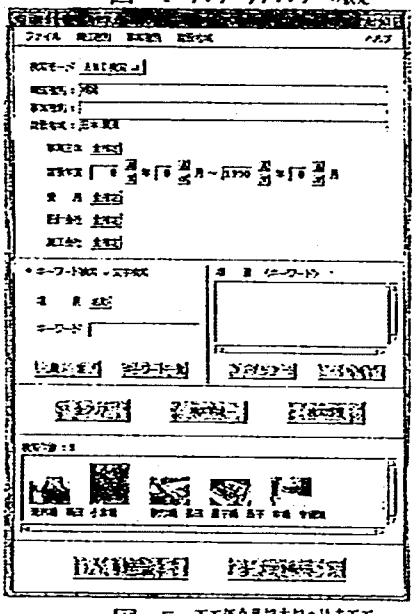
データの印刷は、表示されている画面の任意の範囲をイメージデータとして印刷するスナップショット機能と、予め設定された一定の様式に画像および文字データを配置印刷するカタログレイアウト機能を実現した。(図-６)

4.2　試用・評価版景観データベースの作成

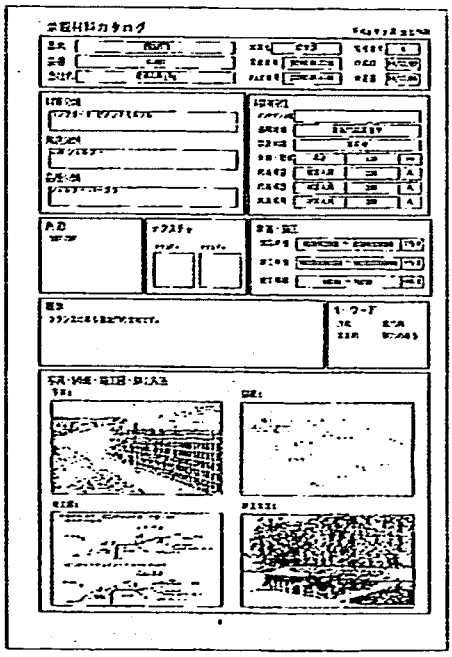
景観構成要素データの追加作成を行い、試用・評価用のデータベースを作成した。試用版では、優良景観デー



図－４　アンチエリアシング の設定



図－５　画面優良景観事例の検索画面



図－６　カタログ印刷の出力例

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を合わせて、３８０件程度のデータを提供している。（表－２～３、図－７）なお、景観材料データベースの詳細については、化学研究室の報告を参照されたい。

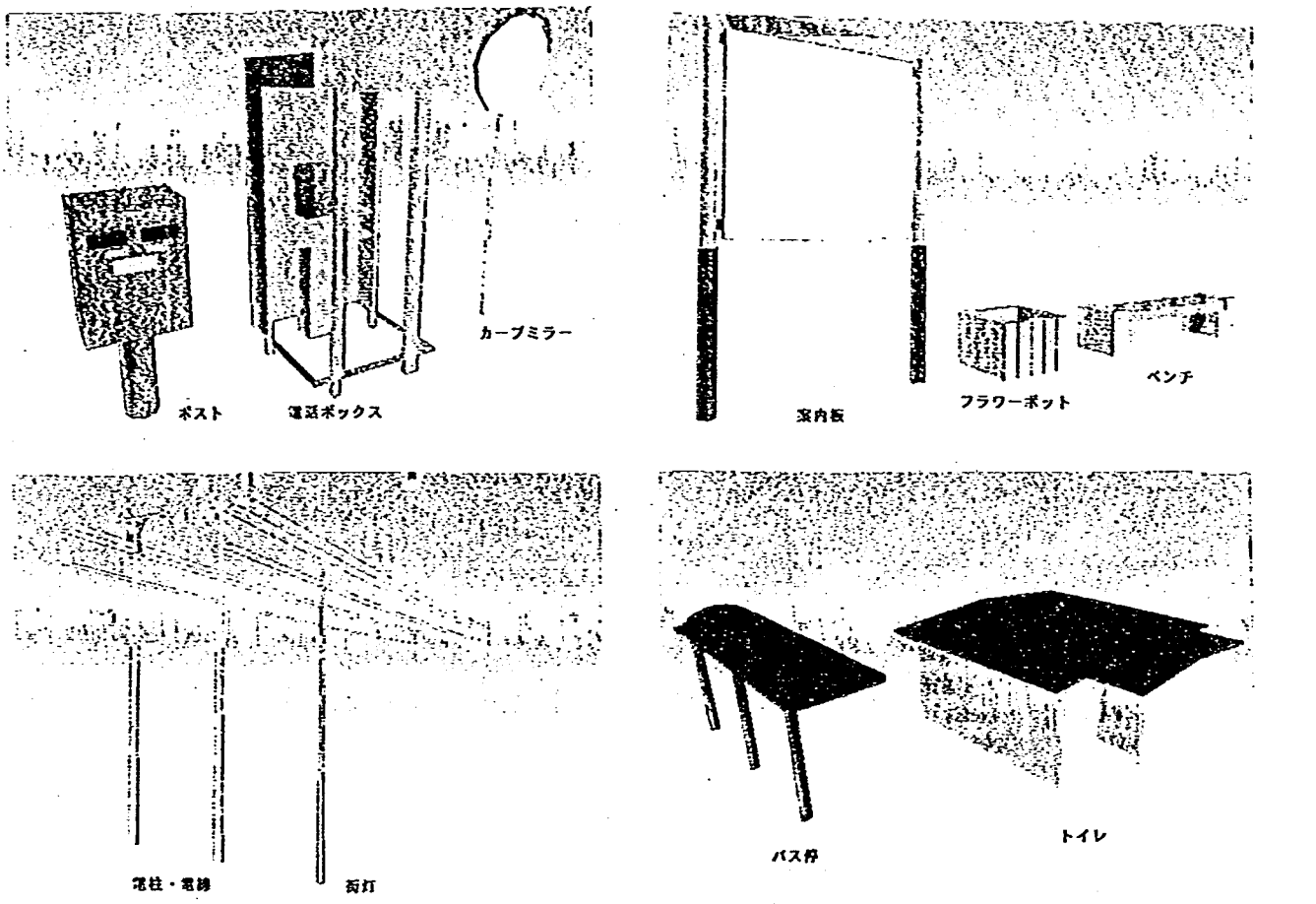
表－２　データ項目（景観構成要素データベース）

大分類	中分類	小分類
自然物	樹木	高木、低木、その他
	岩肌	
人工物	素材	コンクリート、アスファルト
	部品[注]	防護柵、壁高欄、標識、信号、路面表示、ポスト、電話ボックス、カーブミラー、電柱・電線、化粧型枠、可変情報板、トイレ、バス停、街灯、案内板、フラワーポット、ベンチ、歩道橋
点景	人	
	乗り物	車、その他
	動物	鳥
背景要素	周辺建物	
	田園風景	
構造物	河川	護岸、堰、水門、その他
	道路	橋梁、高架橋、立体交差、横断構造物、トンネル、舗装、擁壁
	ダム	コンクリートダム、アーチダム、フィルダム、ダム本体下流表面処理、取水施設、管理棟、展望施設・公園
	砂防	砂防ダム

表－３　データ項目（景観材料データベース）

品種分類	品種分類
土間・舗装材	プランタ
舗装ブロック	その他ストリートファニチャ
擁壁ブロック	桁カバー・天井ルーバ
矢板	防音壁・化粧板
のり枠	屋根・屋上施設
のり面材・吹き付け材	外壁材・カーテンウォール
柵・フェンス	パラペット
照明・照明柱	建築手すり
シェルター・パーゴラ・カーポート	窓・ドア・開口部
車止め・ボラード	門・門扉
交通安全用品	ポール・旗竿
標識・サイン	その他
ベンチ・灰皿・ゴミ箱	

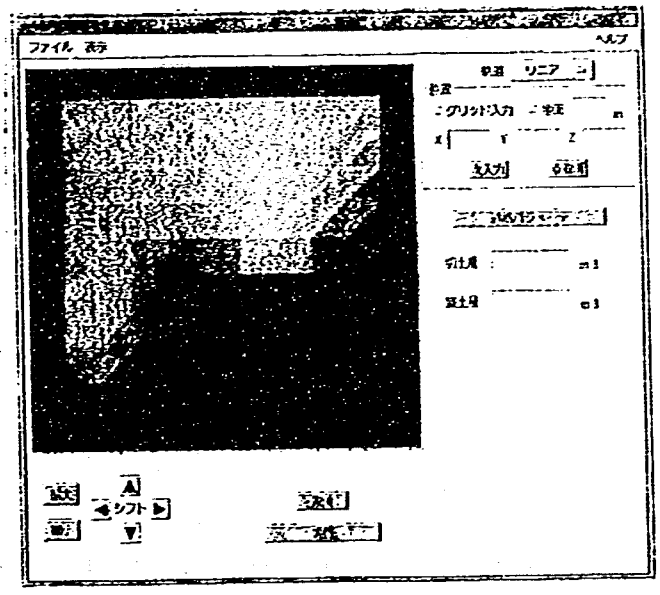
注）景観構成要素の「人工物／部品」データ項目は、景観材料データ項目と一部重複しているが、景観材料データベースでは景観に配慮してデザインされた製品を扱い、それ以外のごくありふれた一般的な形状のものを景観構成要素データベースで扱うこととしている。



図－７　景観構成要素データ出力例

4.3　シミュレーション機能の追加

景観シミュレータでは、７年度の開発により視点移動・動画機能として、３次元地形生成機能および視点制御機能が実現された。これにより、３次元の地形データの取り込みおよび表示が可能となったため、道路位置を指定すると、地形との位置関係によって自動的にのり面を生成する機能を追加し、景観上問題となる切土のり面の発生を予測できるようにした。また、作成したプログラムの動作確認を行うために、実際の現場を対象として数値標高データ（ＤＥＭ）を作成し、これを用いてのり面の試設計を行った。なお、３次元地形の生成については、建設技術評価「ステレオ空中写真による自動標高抽出技術の開発」の成果を活用して作成されたＤＥＭから最適な精度の多面体を自動生成したものを、システムで利用可能なＬＳＳ形式に変換する機能を提供している。



図－８　道路のり面の生成画面

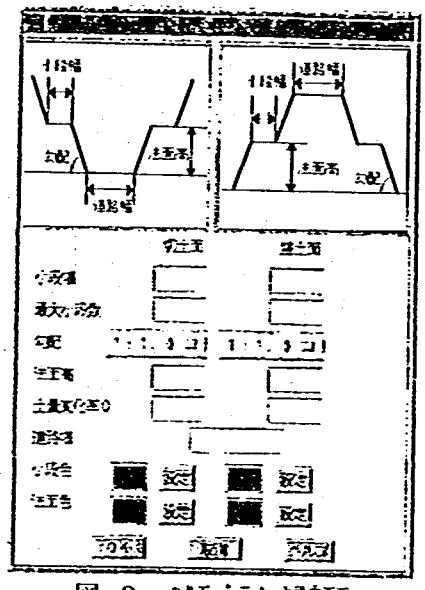
4.3.1　道路のり面自動生成機能

a)道路位置の入力

3次元地形上に道路位置を入力する。道路位置の入力は、座標の数値入力のみならず、地形平面図上で道路軌跡をポインティングする方法を実現し、視覚的にわかりやすい方法を追求した。また、入力した道路軌跡については、「リニアな接続」または「スプライン補間」（スプライン曲線により補間を行い滑らかな線を生成する）の選択を可能にした。

b)のり面の自動発生

3次元地形データを切断し、入力した道路との位置関係により、地形データよりも低い部分は切土処理を、また高い部分は盛土処理を行う。のり形状は、表－4に示すパラメータの入力により任意に設定することが可能である。（図－9）なお、のり勾配については単一勾配とし、土質および岩質による勾配の変化は考慮していない。



図－9　のり頭パラメータ設定画面

表－4　のり面パラメータ

設定項目	入力方法	初　期　値	設定項目	入力方法	初　期　値
の　り　高	数値入力	5m	道　路　幅	数値入力	12m
小　段　幅	数値入力	1m	のり面の色・テクスチャ	*	白
小　段　数	数値入力	3	小段の色・テクスチャ	*	白
の り 勾 配	選択入力	切土1:1.0／盛土1:1.5	道路の色・テクスチャ	*	白

＊色設定メニューおよびテクスチャメニューからの選択入力

c)土量計算

のり面発生前後の体積の差により土量計算を行う。土質が一様であると仮定し、土量の変化率をC＝0．9として切土量、盛土量および差引き土量を算出する。なお、土量の変化率は数値入力により変更が可能である。

4.3.2　道路のり面の試設計

4.3.1で作成したプログラムを用いて道路のり面の試設計を行い、要求される機能が実現しているかどうかについて評価した。なお、地形データは、三陸国道工事事務所管内の空中写真から作成した数値標高データ（DEM）を使用した。

5．今後の課題

7年度は、データベースマネジメントシステムの改良および試用・評価用データベースの作成を行うとともに、切土のり面の景観検討を行うためのシミュレーション機能を追加した。これにより、事務所分散型でのデータベースの基本的な機能は概成したといえる。今後、事務所等において試用・評価を行い、そこでの結果に基づいて機能の確定と改良を重ねていくことが必要である。また、より実用的なシステムとするためには、公共土木施設および建築物の景観設計に必要なデータの充実を早急に図らなければならない。さらに、ネットワーク環境でのシステムの運用を想定したデータベースマネジメントシステムの高度化が必要である。

1．基礎的・基盤的データのデータベース化に関する研究

1．1地球観測データのデータベース化に関する研究

1．1．1建設環境情報のデータベース化に関する研究

環境計画研究室長　丹羽　薫
研究員　長野幸司
研究員　福渡　隆
システム課長　阿部　徹
課長補佐　浦野　隆
小野裕明

1．まえがき

建設省では河川や道路、地震、地図情報等の地球観測データの収集、管理、運用を行っており、これらのデータは調査報告書として出版されていたり、電子データとして配布されている。しかしこれらのデータは観測対象や測定形態が極めて多種多様なうえデータ量が極めて膨大であることから、データの規格化・数値化・データの保存・検索・提供技術の研究が遅れている。また、地球観測に係わる研究者が多角的かつ即時的に利用できる環境にあるとは言い難い。

本研究では、建設省が所有する（または関連する）河川水辺の国勢調査や、雨量及び河川流量等の測定データ、また関連する論文等のパイロットデータベースの構築及び検索・情報提供システムの試作を行い、インターネット上での情報提供について研究を行った。

2．研究目的

建設環境情報データベースをインターネット上で公開するために、多様なデータ形式や規模及び保守性等を考慮したデータベースの適切な構造を検討し、また、研究活動を支援できるような複数のデータベースの横断的な検索を可能とするとともに、汎用的で操作性の良い検索・表示方法について研究を行うことを目的とする。

3．研究方法

3．1　インターネット上での情報公開方法

インターネット上で情報公開する際に最もよく利用されるWWW(World Wide Web)についての技術動向調査と、データベースとの連携の可能性について調査を行った。

3．2　各種情報のデータベース化の検討

WWWでの検索・利用を前提として、各種のデータ（文字・数値、論文等の報告書、画像や写真、デジタル地図情報等）の特性を考慮したデータベース化について検討した。

3．3　データベースの構築

データベース化の検討を踏まえ、サンプルデータを用いてデータベースを構築し、実用性について評価した。

3．4　ユーザインターフェイスの開発

実際の利用に際しての操作性を考慮し、データベースの検索インターフェイスや検索結果の利用者への提供インターフェイスの開発を行った。

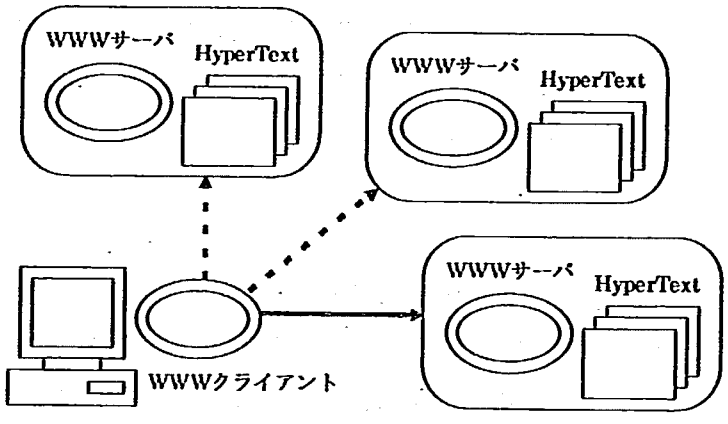
4．研究結果

4．1　インターネット上での情報公開方法の調査

a）WWWとは

WWWサーバとWWWクライアントとの間でハイパーテキストとよばれるドキュメントをやりとりする仕掛けをWWWと呼ぶ。ハイパーテキストは、テキスト情報を扱うだけでなく、画像や音声が扱えることや他のハイパーメディアを参照するためのリンクが設定できる等の特長を有す。ハイパーテキストは、情報提供者が作成し、WWWサーバ上に用意する。情報提供者が用意したハイパーテキストを読みたいユーザは、WWWクライアント・ソフトウェア（WWWブラウザ）を用いてWWWサーバにハイパーテキストを送るように依頼する。依頼に従いWWWサーバから送られてきたハイパーテキストを受け取ったWWWクライアントはこれを表示する。

図－1にWWWの利用概念を示す。



図－1　WWWサーバとWWWクライアントの関係

b）WWWとデータベースの連携

WWWはグラフィカルユーザインターフェイス（ＧＵＩ）によって画像やイメージ等を含んだ情報であっても簡単に操作ができる、非常に使い易いシステムである。しかし、データ量が増加し、また提供する情報の種類が多種多様となってくると、データの更新や変更等の保守作業が増加し、また、利用者は目的とする情報を検索し難くなる。

これらを解決するためには、WWWの優れたＧＵＩ機能を活かしつつ、データ管理機能や検索機能に優れたデータベースマネージメントシステム（ＤＢＭＳ）を利用する必要がある。つまり、WWWのサ

ーバ上にデータベースを構築し、検索結果をＨＴＭＬ(Hyper Text Markup Language)形式でインターネット上に送り出すプログラムを開発しなければならない。これにより、インターネットに接続された全てのパソコン、ワークステーションから同じ操作性で情報検索・活用が可能となる。

４．２　各種情報のデータベース化の検討

a）対象データの特徴整理

本研究では、建設環境情報のうち河川の環境に関連した情報のデータベース化を行った。整備対象とした情報の概要と形式について表－１に示す。

表－１　対象データの概要と特徴

No	情　報　名	概　　要	情 報 の 種 類
1	河川水辺の国勢調査	国が直轄で管理している全国１０９ の１級河川について「底生動物」「魚貝類」等６つの生物調査を５ヶ年に１度行った調査結果	文字・数値、ｲﾒｰｼﾞ文書、地図
2	雨 量 年 表	全国主要河川流域における雨量観測の結果	文字・数値、地図
3	流 量 年 表	全国主要河川流域における流量観測の結果	文字・数値、地図
4	水 質 年 表	全国主要河川流域における水質観測の結果	文字・数値、地図
5	土木技術資料	毎月発行されている論文、土木技術資料	文　　書

b）データベース化の検討

各種データの形態と検索・管理等をふまえて以下に述べるＤＢＭＳを選択した。

①文字・数値情報のデータベース化（統計情報等）

雨量年表等のような統計情報は表形式で整理されているので、そのままリレーショナルデータベース（ＲＤＢ）で管理できる。また、ＲＤＢで格納することにより検索にあたっては、柔軟性のある検索（例えば”日雨量10㎜以上”といった条件でデータを検索）が可能となる。

②文書のデータベース化（論文データ等）

論文のように文書そのものはＲＤＢにはそのまま登録できない。しかし、論文等に対しても単にファイルとして管理するだけではなく、キーワードによる論文検索といったユーザの操作性を考慮する必要がある。そこで、論文等の文書データに対しては、文書検索機能に優れた全文検索データベースを利用することとした。全文検索データベースでは、論文データの管理面においても、キーワードの付与といった管理作業を軽減できる利点がある。

③地図情報のデータベース化

観測・測定により得られるデータには、観測・測定位置のデータが必ず伴う。観測・測定地点情報

を緯度、経度等で与えてあれば、位置情報を有する他のデータと容易に連携させることが可能である。また、地図上に観測点を表示することにより視覚的な表現が可能となり、視覚的にその地点が理解できる。したがって地図情報をデータベース化し、各種の観測点と連携することは、優れた検索システムを作成する上で重要である。本研究では、対象エリアのデジタル地図情報をWWWで簡単に扱えるよう一度イメージ化し、観測・測定地点位置情報をその上にマッピングした。

④ その他情報のデータベース化

論文や観測・測定データには図表や写真が関連することが多い。WWWではそれぞれのファイルに対するリンク（関連性）を定義するだけで簡単にツリー構造（階層的な）データベースを構築できる。利用者からみて検索機能を必要としない情報についてはＨＴＭＬにて直接記述した。

c）各種データベースとWWWとの連携

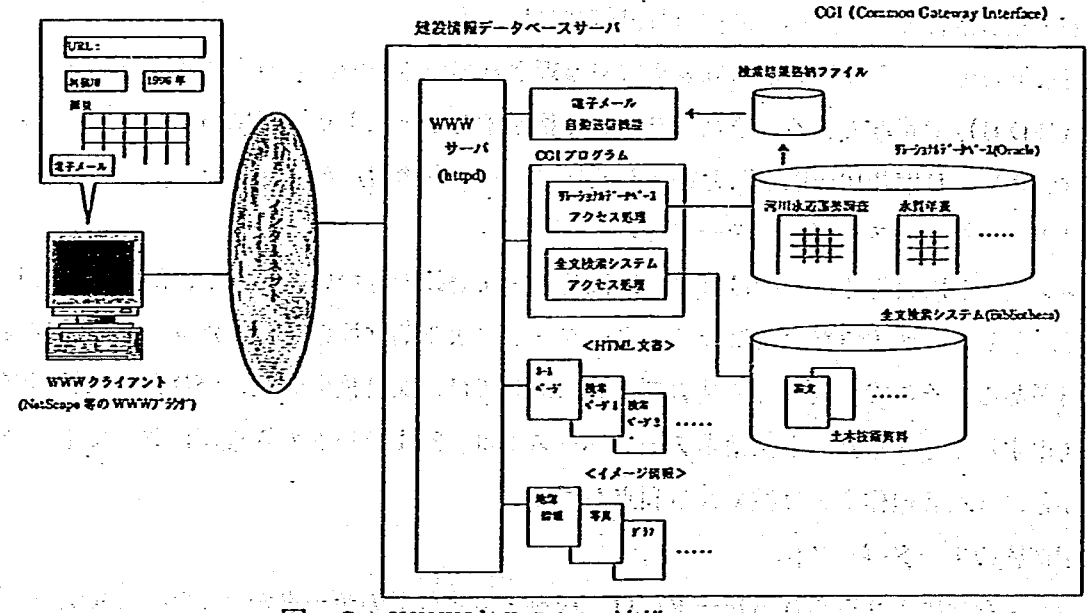
ＲＤＢや全文検索データベースで格納されたデータは、WWWブラウザ上ではそのまま検索したり表示することはできない。WWWブラウザ上で検索・表示を行うためには、一度ＨＴＭＬの記述を行うことが必要である。

データベースの検索結果を一度ＨＴＭＬに変換する方法として、ＲＤＢに関しては、専用の変換プログラムを作成し、ホームページから呼び出す方式とした。また、全文検索機能については、製品として提供される変換ツール(ソフトウェア)を使用した。

４．３　データベースの構築

a）データベース構造

構築したデータベースは観測・測定データ等の統計情報を格納したＲＤＢ、論文を格納した全文データベース及び、一般の文書及びイメージを格納したＨＴＭＬのファイルから構成される。WWWサーバ内のデータベースシステムとの連携の概要を図－２に示す。



図－２　WWWとＤＢＭＳ連携システム

b）登録データの内容

本研究では、河川に関する建設環境情報のうち、利根川水系に関するデータを抽出し、特定　　期間のデータをサンプルデータとしてデータベース化した。

ＲＤＢとして整備したデータの概要を表－２に示す。

表－２　登録データ一覧

NO	情　報　名	テ　ー　ブ　ル　内　容	登録データ
1	河川水辺の国勢調査（底生動物編）	ステーション別「分類群出現種数」	1992
2		ステーション別「季節別代表的出現種一覧表」	1992
3		底生動物名称マスタ	－
4		「底生動物系年出現状況一覧」（既往）	1992
5		「底生動物系年出現状況一覧」（今回）	1992
6	雨　量　年　表	雨量観測所一覧	1985
7		日雨量年表	1985
8		降水量状況	1985
9	流　量　年　表	流量観測所一覧	1985
10		日流量年表	1985
11		流況	1985
12	水　質　年　表	調査地点一覧	1985
13		水質年表	1985

４．４　ユーザインターフェイスの開発

ユーザインターフェイスはWWWブラウザを利用した。WWWブラウザはサーバーから送られてくるＨＴＭＬ文書を表示するのみであるので、ブラウザ側の特別な開発を必要としない。開発が必要なのは、サーバの機能としてどのようなサービス検索や検索結果の表示等を行うかである。

本研究では、多角的なデータの解析を行えるように、サーバー機能として以下の機能を実現した。

①統計情報（文字・数値データ）の検索

・あらかじめ用意された項目を選択することにより、統計情報等のデータベースを検索できる機能

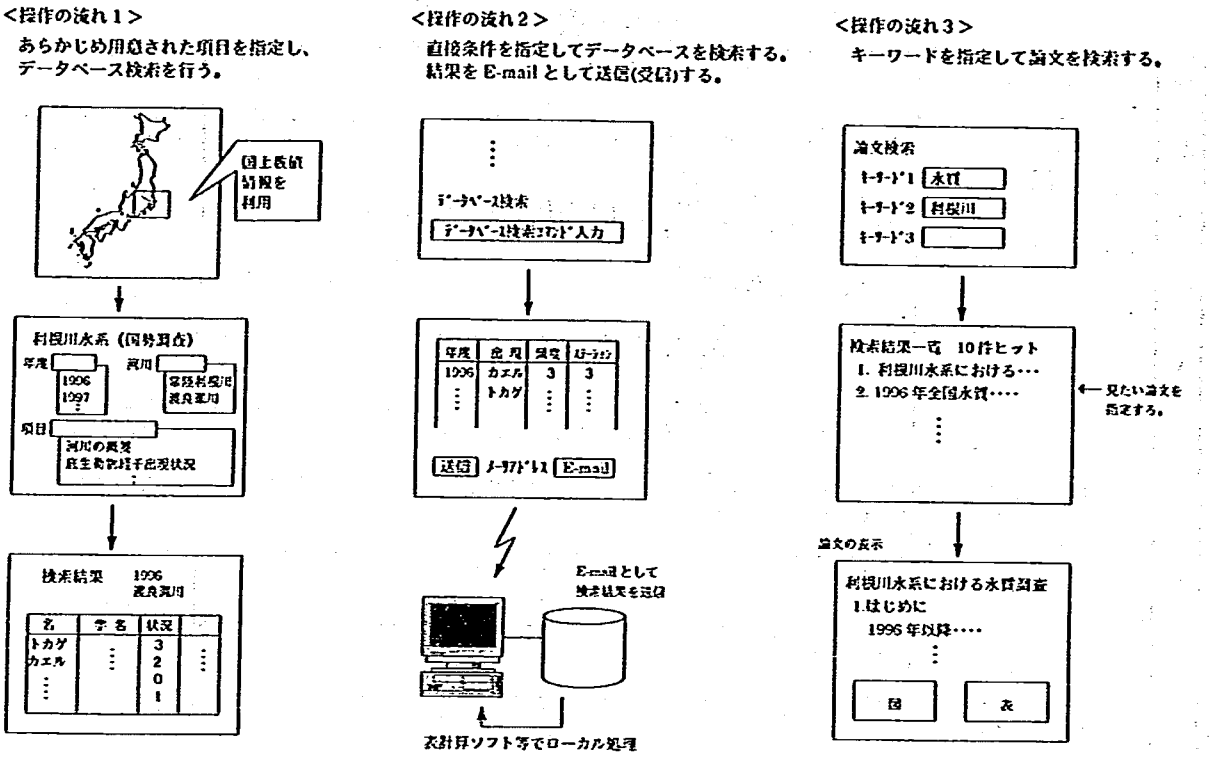
・直接検索条件を指定して、データベースを検索できる機能

・検索したデータをＥ－Ｍａｉｌにて利用者に送付する機能

②論文データベースの検索

・キーワードを指定して目的の論文を検索できる機能

図－３に開発機能の代表的な操作例を示す。



図－３　代表的な操作例

５．今後の課題

今回構築した統計情報等は、紙面だけではなくＣＤ－ＲＯＭ等の電子媒体でも提供されるようになってきている。しかし、研究等の目的でこれらのデータを利用するには、複数の種類のデータベースを横断的に検索し必要なデータを抽出することが必要となる。今回の開発では、河川水辺の国勢調査の他、水量年表、論文等の異なる種類の情報をデータベース化することにより、それらデータの横断的な活用の可能性について調査したものである。

今後は、構築したシステムにより情報提供を試験的に行い、実際の利用を通じて操作性の向上等を図る必要がある。また、現在事務所単位で調査・整理されている様々なデータについても、データ項目や形態、利用目的について調査し、データベースとして整備する方法について検討することも必要である。これにより、広範かつ有効な情報提供が可能となるだけでなく、様々な事業を推進する際にも活用することが可能となる。

7．流域環境管理への地理情報システムの利用に関する研究

環境計画研究室　室　長　丹羽　　薫
研究員　長野　幸司
研究員　福渡　　隆

1．まえがき

近年、飲料水の安全性や水生生態系保全に対する関心が高まっているように、水系の環境保全は、緊急に対策が講じられるべき課題である。経済協力開発機構（ＯＥＣＤ）が平成６年に公表した「日本の環境政策」も日本の水政策について審査し、１）人間の健康のみならず生態系の管理についてもより一層の注意を払い、２）後始末的な対策からより予防的な手法に転換し、３）水、底質、大気といった多媒体を考慮した環境保全手法を採用すべきであると提案しているほか、大気からの沈降、道路や農地からの汚染流入についてより一層の注意が払われるべきだと結論づけている。

水生生態系の保全を含む水環境の向上を図るためには、ＯＥＣＤのレビューを待つまでもなく、流域全体で水域への汚濁負荷流入を削減する必要がある。そのためには、数々の対策手法が存在するが、水環境の向上という目的を達成するためには、これらの対策の組み合わせや、優先順位の決定などを適切に行う必要がある。このような評価のために、従来より流域管理のための水量・水質循環モデルが構築されてきているが、流域の土地利用の急激な変化や、下水処理率の向上を素早く入力データとして取り込み、数多くの代替案の比較を行ったりするのは容易ではない。

そこで、水系の生態系を含む環境を適切に保全・管理するためのシステムを構築できれば、流域環境に関するデータの管理及び有効利用が飛躍的に向上すると予想される。

2．研究目的

本研究は、より効果的な流域環境管理のための流域環境情報の地理情報システム（Geographical Information System；ＧＩＳ）化及び、水量・水質循環モデルとの連携による流域環境計画策定手法の高度化について検討を加えることを目的とする。

７年度は、流域環境情報を試験的に小流域を対象に整備し、かつシミュレーションを行うためのインターフェースのプロトタイプを作成し、ケーススタディーを通して、今後の課題点を抽出する。

3．研究方法

3．1　流域環境情報のデータベース化

流域の土地利用や人口等の水環境の管理上必要な要素をＧＩＳ上に展開するためのデータベース作成手法について検討するとともに、ＧＩＳデータとシミュレーションモデルとを関連させる際に生じる問題点の抽出等を行うために、試験的に小流域を対象として整備する。

3．2　流域環境地理情報システムと既存水量・水質モデルとのインターフェース作成

ＧＩＳに保管された流域環境データを既存の水量・水質モデルの入力データとして入力可能にするとともに、水量・水質モデルによる計算結果をグラフィカルに出力するためのプロトタイプのインターフェースを作成する。

3．3　ケーススタディ

既存の水量・水質シミュレーションプログラムと、作成したデータベース及びインターフェースを使って、試験流域を対象にシミュレーションを行い、現段階での精度や課題点等について検討し、今後のデータベースやインターフェースの改良等の参考とする。

4．研究結果

4．1　流域環境情報データベース化

流域の水環境に関わる問題は数多くあるが、①水量・水質関連、②周辺環境関連、③水系生態系関連に大きく分類でき、それらのうち本研究では①の水量・水質に関連する問題に焦点を当てる。

現在、多くの社会・環境情報が紙面を通して整備されており、また最近では建設省国土地理院の「国土数値情報」に代表されるように、各種の電子媒体を通しても整備されてきている。それらの中で、本研究に関わる諸問題を解決するのに必要と考えられる主要なデータ項目を整理すると表－１のようになる。

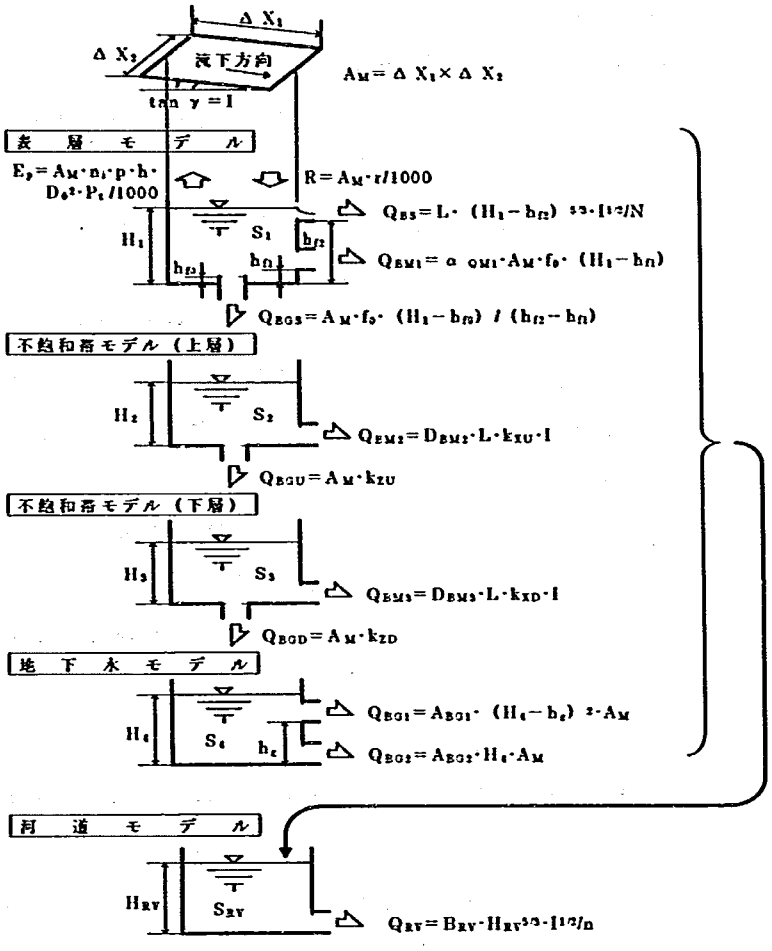
一方、ＧＩＳのデータ形式は、①点、②線、③面（ポリゴン）、④ラスター、⑤画像等があり、それら位置を表すデータに属性データが関連づけられている。しかし、これらのデータ形式のうちどれを採用するかは、データ項目毎に異なり、かつシミュレーションモデルにも左右される。今回採用した既存の水量・水質シミュレーションモデルは「分布型」と呼ばれているモデルで、流出現象をメッシュ毎に表現したモデルである。したがって、シミュレーシ

表－１　主要なデータ項目

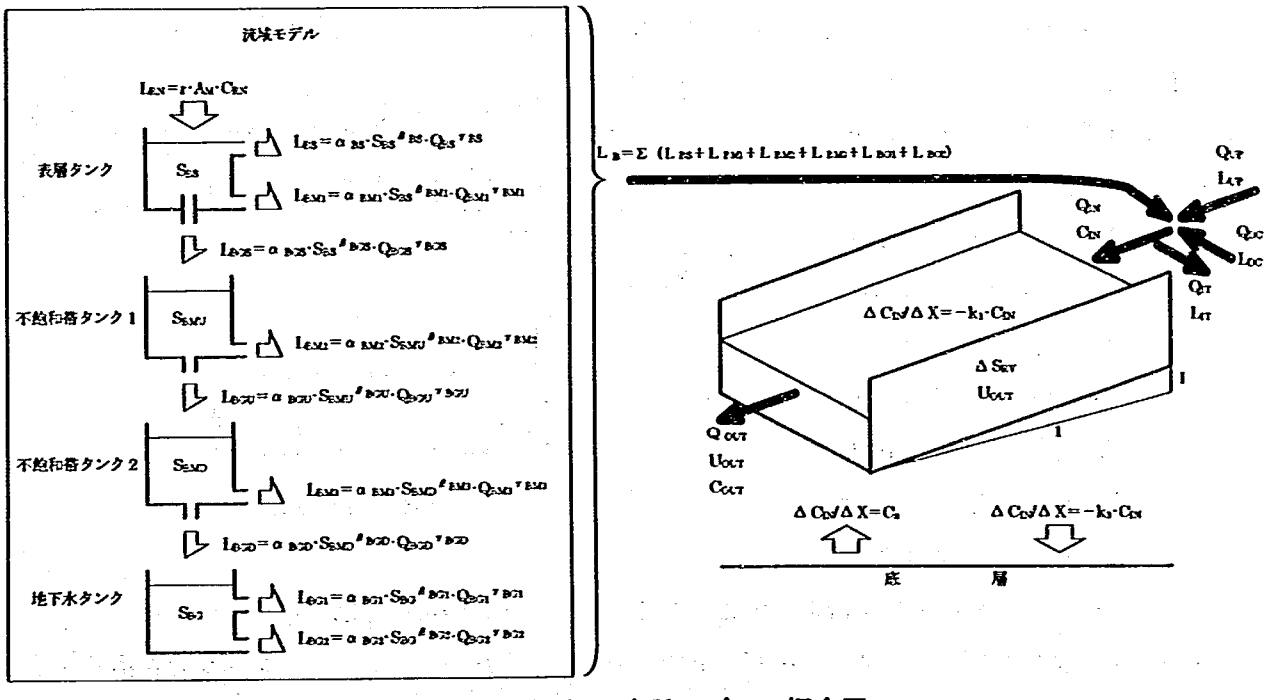
データ項目			概要
大分類	中分類	小分類	
境界		流域界	対象とする流域の地形的特性から決まる境界。
		水路系統界	下水道などの系統別担当区域などの境界。
地形		標高	メッシュ毎の標高値。
		傾斜	メッシュ毎の傾斜角度と方向。
		河道網	自然河川の水路網。
		水路	下水道などの水路網。
土地属性		地質	モデルパラメータを決定するための指標。
		土壌	〃
		植生	〃
		土地利用	〃
社会属性		人口	負荷量算定パラメータ。
		世帯数	〃
		事業所数	〃
		生産高	〃
気象	降水量	日降水量	インプットデータ。
		時間降水量	〃
	気温	日平均気温	〃
	日射量		〃
	風	風向	〃
		風速	〃
	蒸発量		〃
水文	流量	日流量	検証用データ及び初期値。
	地下水流量		〃
水質	水温	日平均水温	〃
	ＳＳ		〃
	Ｃ		〃
	Ｎ		〃
	Ｐ		〃

ョンモデルとの相性を考慮して約200m 四方のラスター型のデータ形式を基本的に採用することにした。但し、実際に観測されている水質データなどは、基本的には面的な観測はされておらず（降水量についてはレーダー雨量などの面的な観測がされている）、観測点（ポイント）におけるデータが存在するだけである。したがって、観測データに関しては当該観測点と関連づけした表形式のデータとした。

実際のデータ整備では、試験的な整備ということで、下記に示す市販のＧＩＳデータを利用して、多くのＧＩＳに利用可能なArc/Info フォーマットに変換し、メッシュの大きさを統一した。座標系としては各種あるが、経緯度座標系を今回は採用した。



図－１（１）　水量モデルの概念図



図－１（２）　水質モデルの概念図

① 建設省国土地理院発行の「数値地図50mメッシュ（標高）」

② 建設省国土地理院発行の「国土数値情報」

③ 総務庁発行の「国勢調査に関する地域メッシュ統計」

メッシュの大きさを統一する際に、統合したメッシュや分割したメッシュの属性をどのように決定するかという問題が生じる。今回は、購入したメッシュデータをもとに、統合の際には面積比率の高い属性を、分割の際には元と同じ属性を与えることにした。

以上のように、７年度は上述した方法で試験的にデータ整備を行った。しかし、依然として以下の事項が課題として残っており、今後検討していく必要がある。

・既存のＧＩＳデータでは精度が統一されておらず、シミュレーション結果は最も精度の悪いデータに影響される。

・既存のＧＩＳデータ（特に土地利用）に使用されている分類は、水文などの物理現象とは関係なく決められているので、物理現象と関連づけた分類に変換する手法について検討が必要である。

・分割／統合したメッシュに、どのような属性を与えるのが適当なのかということについての明確な知見がない。

４．２　流域環境地理情報システムと既存水量・水質モデルとのインターフェース作成

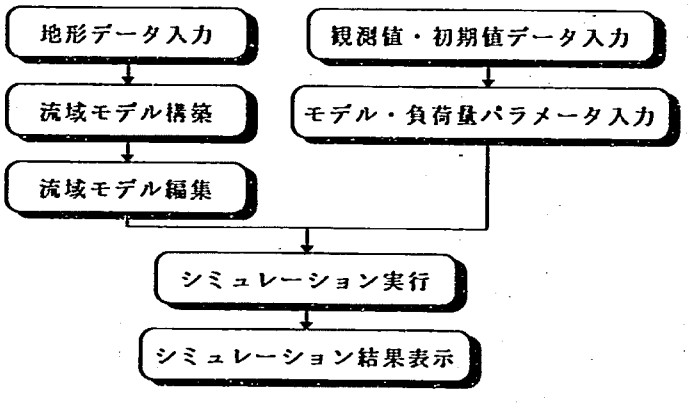
４．２．１　使用する水量・水質シミュレーションモデル概要

本研究では、以前に土木研究所で開発された水量・水質シミュレーションモデルを使用した。モデルの概念図を図－１に示す。このモデルは、流域をメッシュに分割し、流域特性を各メッシュ毎に与え、メッシュ単位で水量や水質の流出現象を扱うものである。計算手順は、図－２に示すとおりである。

４．２．２　インターフェース

４．２．１で説明したモデル及び計算手順をもとにシミュレーションを行うためのインターフェースを試作した。インターフェースに必要な事項を整理すると以下の通りである。

・使用するＧＩＳ及びシミュレーションプログラムがＵＮＩＸ上で動作するため、インターフェースはＵＮＩＸで動作するＸ－Ｗｉｎｄｏｗ上に構築すること。



図－２　計算手順

・シミュレーションプログラムからの制約で、流域モデル構築／確認とシミュレーションの実行を別々に行えること。

・実測データやモデルパラメータを画面上で入力でき、またシミュレーション結果を表示できること。

これらの条件を満たすインターフェースを検討し、図－３に示すインターフェース群を試作した。

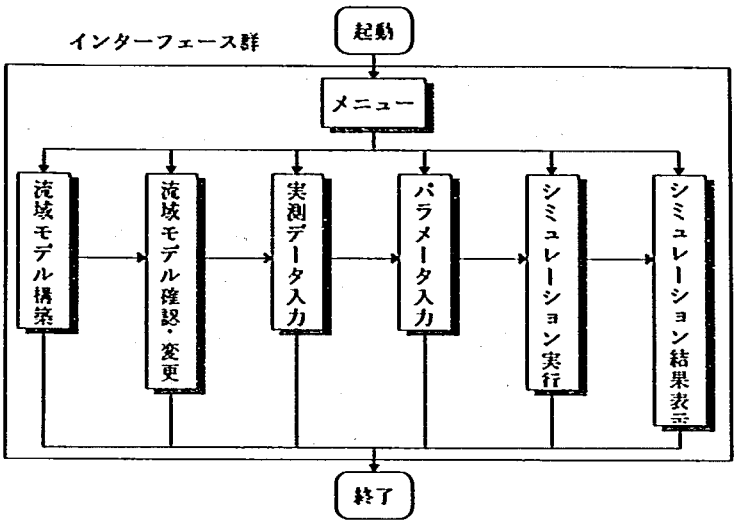
これらのインターフェースの役割を整理すると以下の通りである。

① 「メニュー画面」インターフェース

シミュレーションを行う際に、最初に表示される画面で、②～⑦までの各インターフェースを選択するためのインターフェースである。

② 「流域モデル構築」インターフェース

使用したシミュレーションプログラムでは、流域モデルを標高データから自動構築するプログラムが含まれており、対象となる流域の標高データを指定して、そのプログラムを実行するためのインターフェースである。



図－３　インターフェース群の構成図

③ 「流域モデル確認／変更」インターフェース

自動構築した流域モデルは、自動構築のアルゴリズムが確立していないこともあって、実際の流域モデルとは異なることが多い。そこで、自動構築した流域モデルを画面上で実際の河道と比較しながら、確認／修正を行うためのインターフェースである。

④ 「実測値入力」インターフェース

点情報として与えられる観測地点で測定されるデータを入力するためのインターフェースである。使い易さを考慮して、画面上に観測地点を表示し、目で位置を確認しながら入力できるようにした。

⑤ 「パラメータ入出力」インターフェース

モデルパラメータには、流出及び水質のモデルパラメータ群と負荷量算出パラメータ群がある。各モデルパラメータは、土地利用や人口データ等から算出する方法を採っているので、このときに土地利用データ等からモデルパラメータに変換するためのパラメータが必要である。そこで、このインターフェースは、変換パラメータを設定するためのインターフェースである。

⑥ 「シミュレーション実行」インターフェース

シミュレーションに使用する各種データを指定して、シミュレーションを実行するためのインターフェースである。

⑦ 「シミュレーション結果出力」インターフェース

⑥により計算されたシミュレーション結果をグラフ表示したり、地図上に表示したりするためのインターフェースである。

4．3　ケーススタディー

4．1と4．2で作成したデータベースとインターフェースを使用して、試験的にシミュレーションを行ってみた。その結果、現在までに判明した事項は以下の通りである。

・今回使用したプログラムは、等面積メッシュを仮定して構築されている。しかし、ＧＩＳデータを利用する場合は、メッシュ毎の面積が異なるので、狭いエリアでは問題ないが、流域が大きくなると誤差が大きくなる。したがって、別途にメッシュ面積算出プログラムを構築する必要がある。

・今回作成したインターフェースは、一過性の面があり、使い勝手を考えれば、各インターフェース間を相互に行き来できるようにする必要がある。

・地質や植生などの土地固有の属性データをもとに、モデルパラメータや負荷量パラメータを決定するプログラムを使用したが、それらパラメータを一義的に決定することが出来ず、結局は観測値と比較して適宜修正する必要があり、また場所毎に精度が異なる。したがって、パラメータ決定に関する知見を収集する必要がある。

5．今後の問題点

今後は、取排水や下水道などの人工的な水の流れに関するデータの整備など、一層データベースを充実させる必要がある。また、使用した水量・水質シミュレーションモデルは、ＧＩＳデータを利用する際に改良が必要であることが分かった。そして、その改良に伴ってインターフェースの改良も必要となる。

11. 貯水池の環境機能向上に関する調査

11.3 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
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。もちろん、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』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、これら湖沼環境の創造に当たっての計画評価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

本年度は、昨年度実施した二分仮想金銭化法を用いた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の解析を行った。

4．研究内容

4.1 アンケート調査で用いた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が、今回で実施したアンケート調査ではＣＶＭを用いた。ＣＶＭは、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手法である。

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Ｄ

ＣＶＭ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.15370) [31] が詳しい。

4.2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、仙台市を中心に電話帳から無作為に抽出した約5,000名を対象として行った。

4.2.1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。

4.2　アンケートの結果

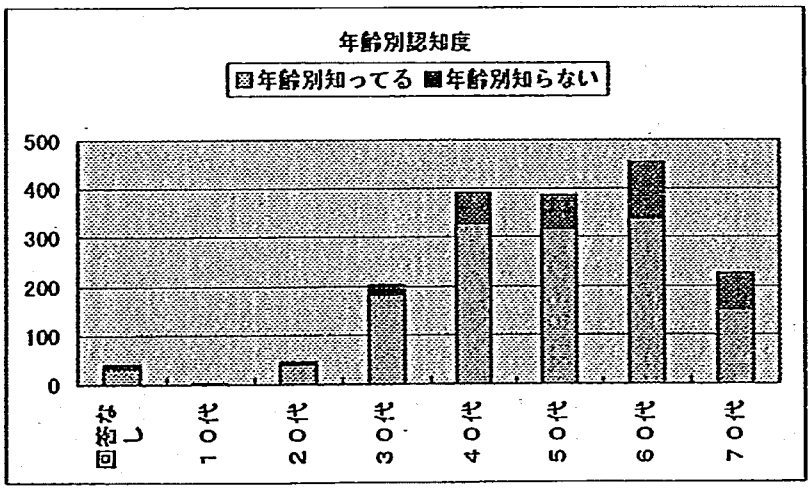


図４－１　年齢構成と公園の認知度

アンケート調査の結果、1753通の回答を得た。その結果、年齢構成は、左の図４－１のように高齢者に偏ったものとなっている。これは、被験者の選択方法が、電話帳を用いたためであると考えられる。また、公園の存在を知らない人の割合は、年齢の増加と共に大きくなっている。これは、屋外のレクリエーションにおける公園に対する興味や必要が薄れていることを表しているのかもしれない。

公園について知っている人のうち、公園を訪問したことのない人は、1,388人中413人（約30%）であった。訪問したことのない理由としては、「忙しい」が約半数をしめている。また、「交通の便」を上げている人が22%ある。これは、対象とした公園が、仙台の中心から３０km弱離れており、そこへのアクセスとしての公共交通機関は、運行頻度の少ない路線バスだけであるという状況によるものかもしれない。このことは、レクリエーション地区の立地条件が訪問の可否に与える影響もあることを示している。（図４－２）

支払方法に関してみると、図４－３に見られるように、入場料による支払いでは、若干のでこぼこは見られるものの右下がりの傾向がはっきりとにられるが、図４－４に見られるように税金による支払いでは、右下がりの傾向が明確には現れていない。さらに結果を細かく見ると、1000円といったきりのよい金額よりも500円や200円などの余りきりのよくない額の方が支払い意志を持つ人の割合が少なくなっている。このことから推測すると、税金による支払いは、年間に支払う税金の全体の額が大きいこと，多くの人が自分の支払った税金が何に対してどの位の額が使われているかといった点について知識が乏しかったり、興味がないことなどの理由により、税金による支払いという方法はＣＶＭ調査における支払方法としては、不適切であると考えられる。

知識の有無と回答の信頼性という観点から結果を解析したものが図４－５である。ここでは公園について知っている人と知らない人の回答を比較している。

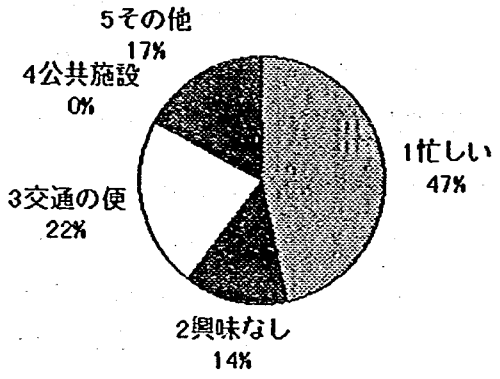


図４－２　行かなかった理由

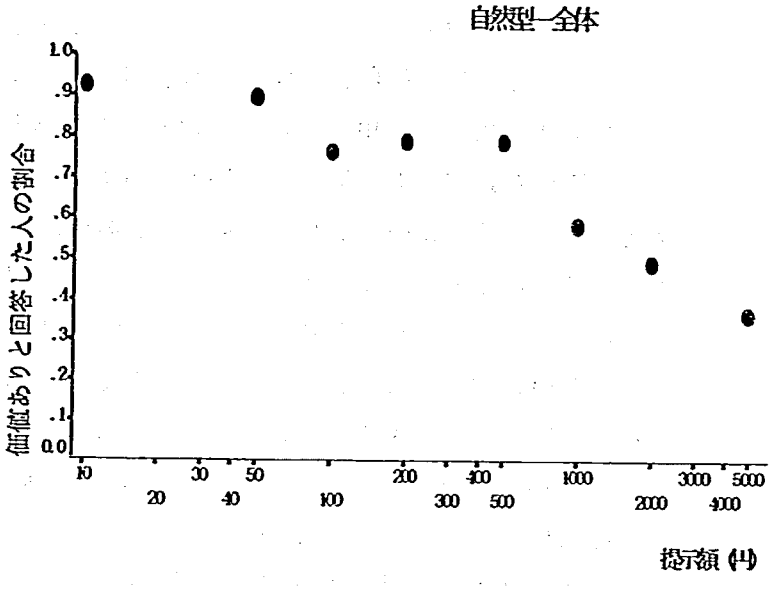


図4－3 入場料で支払う場合の回答

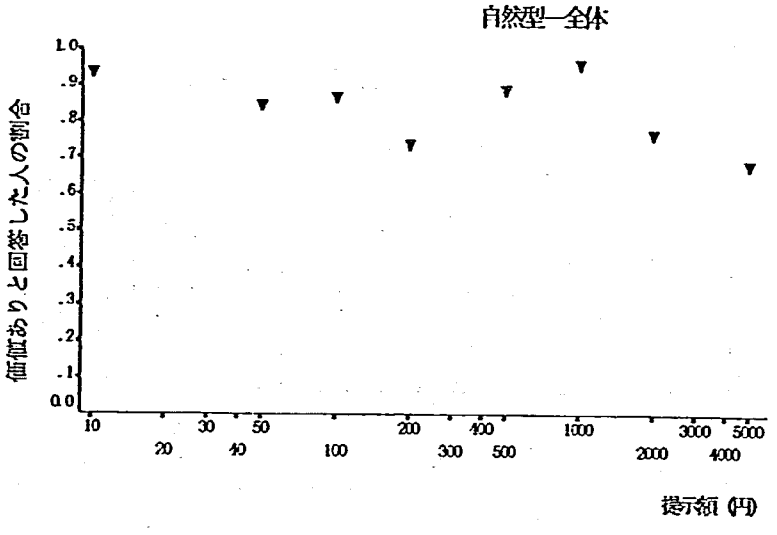


図4－4 税金で支払う場合の回答

ここから分かるように、公園を知らない人の結果は、ＷＴＰは大きな値となっているが、きれいな右下がりの形にならずに、ばらつきが大きく信頼性に乏しいことが分かる。

さらに、公園を訪問した経験の有無による違いを比較したのが図４－６である。この場合も公園を知っているか否かと同じように、公園を訪問した経験の無い人の回答は、全体的に肯定の回答の割合は高いものの、きれいな右下がりの形にはなっていない。一方、訪問の経験を有する人の回答は、若干のばらつきはあるものの右下がりの傾向がよく現れている。

これらの結果は、質問の対象に対する知識や関心の高さが回答の信頼性を左右することを示唆している。

次に、公園の整備に対していくら支払う意思があるのかを算出する。ロジットモデルでは、提示額に対する応答の実際の割合ではなく、ロジット変容を使って応答の割合を変容する。すなわち、提示額に対する肯定的な回答をする確率をＰとしたとき、

Ｌ（ロジット）＝ｌｎ（Ｐ／（１－Ｐ））を取ると、提示額（ｘ）とロジットの関係は、

Ｌ＝ａｘ＋ｂ

と表される。これより、Ｐ＝0.5となる提示額を推計することにより、代表値としての中央値（メディアン）が推計できる。

入場料でビオトープ型の整備を行う際にいくら入場料を上乗せできるかという質問に対する回答に対してロジットモデルを適用すると、訪問経験のある人では、図４－７に示すような結果となり、これを回帰すると、

Ｌ＝-0.592ｘ＋4.244

が得られる。ここから、中央値として

１，３０５円(95%信頼区間800～2571）という結果が得られた。

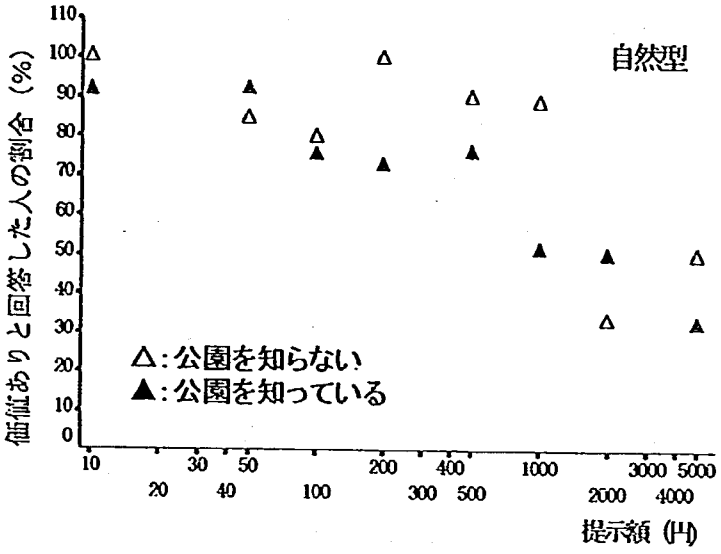


図4－5 公園に関する知識の有無による比較

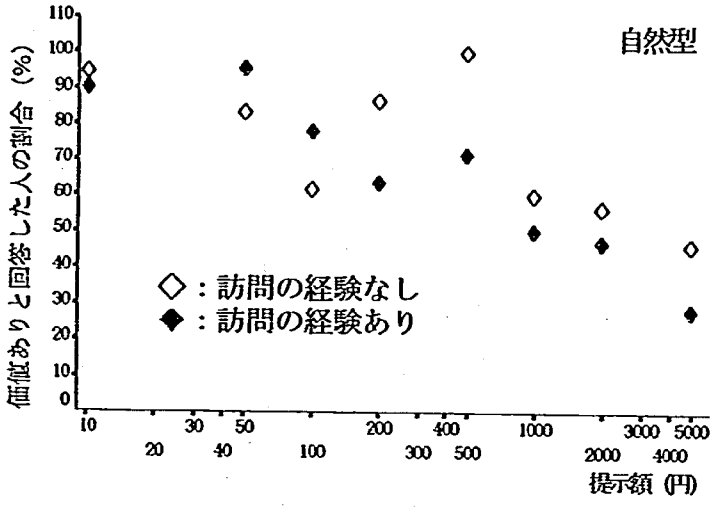


図4－6 公園への訪問経験の有無による比較

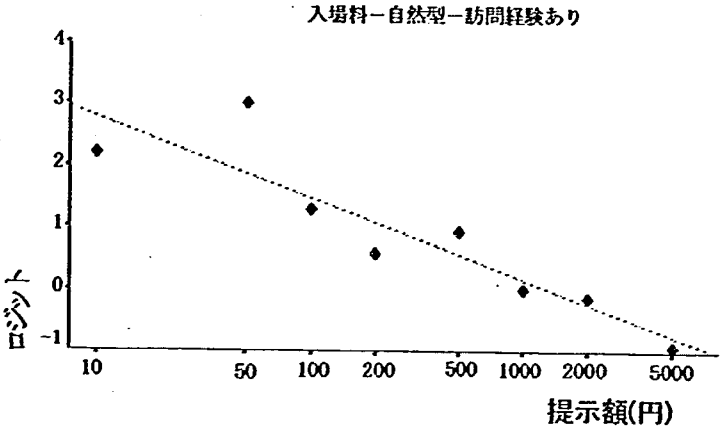


図4－7 ロジット変容後の応答

5．まとめと今後の課題

本年度の調査の中では、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)の適用性の検証を行った。

アンケート調査の結果、支払方法のはっきりしている入場料による支払いによるものの方が、税金による支払いよりも提示金額に対する反応が明確に現れた。このことから、ＣＶＭにおける支払いの方法を設定する際、生活実感に合う支払いの方法を設定することの必要性が示唆された。また、今回のアンケート調査では、被験者のＷＴＰを低く見積もりすぎていたため、対照区の質問が明確に結果に反映されなかった。このことは、我々が人々のニーズを十分に把握していなかったためであったが、人々は、非日常的利用を前提としたレクリエーション地区の整備に対しては、利用料金の安さよりも質の高さを望んでいるということを示唆している。

今後は、ＴＣＭ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

11. 貯水池の環境機能向上に関する調査

11.4 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
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。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（ＴＣＭ：　Travel　Cost Method）や地価や賃金から環境質の価値を計測するヘドニック価格法（ＨＰＭ：Hedonic Price Method）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（ＣＶＭ：Contingent Valuation Method）が知られている。

本調査は、様々な調査法を比較しながら実際に適用するに際しての課題を整理し、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。昨年度までは、間接法の環境価値評価手法の一つであるＨＰＭの検証もかねて、住居の移転に実費以上に負担と評価される費用の額（外部費用）について、直接法の一つである二分仮想金銭化法（ＤＣ－ＣＶＭ：　Dichotomous　Choice Contingent Valuation　Method）の適用性に関する検討を行った。

本年度は、特にレクリエーション地の評価に用いられているＴＣＭの派生的な手法であるヘドニック旅費法（ＨＴＣＭ:Hedonc Travel Cost Method）の適用性に関して検討を行った。適用性の検討に当たっては、水辺の環境整備の評価への発展を考慮すると共に被験者の利用状況を考慮し、つくば市内の公園利用を対象としてアンケート調査を行った。

3.1 ヘドニック旅費法（ＨＴＣＭ）について

非市場財の評価法の一つであるＨＰＭは、騒音や下水道整備の有無などの環境質の違いが土地価格に反映されるものとして土地の価格がそれを決定する幾つかの環境質の関数として説明されるものとして、下水道整備の有無など着目する環境質の単位変化量当たりの土地価格の変化から着目する環境質の貨幣価値を算出しようとするものである。ただ、説明変数間の多重共線性、住宅移転費用が存在する点および非利用価値が反映されない点で結果の解釈に注意が必要である。近年の研究としては、福地・井出（1994）[1]、藤田・盛岡（1995）[2]がある。ＨＰＭを用いて公園の価値を計測した研究は、1980年代から多く行われており、藤田・盛岡(1995)[2]がそれを整理している。

ＴＣＭは、 Hotellingが米国国立公園課の問い合わせに応える形で発案され、Clawson(1959)[3]により公園の環境価値の評価で実際に用いられた手法である。この手法は、「同じ地域に住む人は同じ公園を訪れるのに同じ交通費を支払う、遠くの地域に住む人はより多くの交通費を支払い、遠くから来ることはその費用に見合った価値がある」という仮定に基づいている。近年の研究においては、Morioka et.al.（1980）[4]が河川レクリェーション機能の評価を、華山ら（1985）[5]が日帰り海浜レクリエーション利用の評価を、大野ら（1995）[6]が親水公園、河川公園の比較から親水機能の評価を試みている。

さらに、公園の機能別の評価について評価する手法として今回適用性を検討する、ＴＣＭを改善したＨＴＣＭがある。この手法は、 Brown,Mendelsohn（1984）[7]がワシントン州の河川の特質評価（混み具合、漁獲、景観）についてを用いているが、国内での実証的研究はない。

レクリエーション地区の価値に関して、ＴＣＭではレクリエーション地区までの旅費、つまり旅行時間に時間単価をかけたものと実際にかかった費用（たとえば、ガソリン代、運賃など）の和（一般化費用）をそのレクリエーション地を訪れる人について合計したものがそのレクリエーション地の価値とするのに対して、今年度調査で着目しているＨＴＣＭでは、レクリエーション地の評価に際して、ＨＰＭと同様にその価値は、その価値を決定する種々の要因（環境質）の関数で表現されるとする。また、そのレクリエーション地の価値は、ＴＣＭと同様に一般化費用により計測できるものとして定式化する。すなわち、

$$P = a_0 + \Sigma (a_j * Z_j)$$

Ｐ：一般化費用、a_0、a_j：パラメータ、Z_j：特性の値

そして、この多項式を幾つかのレクリエーションサイトについて求め、多変量解析をしてそれぞれの説明要因の係数を知ることにより、それらの要因の価値を推計するものである。

3.2 アンケート調査について

ＨＴＣＭによるアンケート調査は、つくば市研究学園地区内の４地区（吾妻、並木、二の宮、松代）の住民を対象として、1996年３月上旬に実施した。配布回収方法は、調査員による訪問配布・訪問回収の留置自記法とした。調査票は各地区125世帯（４枚/世帯）に配布した。地区別の抽出率は８％、

回収率は99％であった（表３－１）。また、回答者の対象を各世帯の小学生以上の人としたため、世帯当たりの回収枚数は2.5枚となり、全体回収枚数は1,225枚であった。

質問内容は、①回答者の属性（性別、年齢、住所、職業、勤務先所在地、趣味、家族構成、住居、年収）、②公園利用状況（利用頻度、交通手段、利用時間、目的、同伴者、選択理由）、③公園の評価（公園の広さ、芝生広場、園路、照明、池水質、水辺利用）である。

評価の対象とする公園は、つくば市及びその周辺の30公園、各地区共通の公園としては、大池公園、洞峰公園、吉野公園、乙戸沼公園とし、地区別には住区基幹公園を設定した。（表３－２）

表３－１　地区別抽出率・回収率

地区	配布範囲	世帯数	配布世帯	回収世帯	抽出率	回収率
吾妻	2,3丁目	1610	125	124	7.8%	99.2%
並木	2,3,4丁目	2249	125	125	5.6%	100.0%
二の宮	2,4丁目	1207	125	122	10.4%	97.6%
松代	2,3丁目	892	125	124	14.0%	99.2%
合計		5958	500	495	8.4%	99.0%

表３－２　調査対象公園

＜全体質問＞	＜地区別＞			
	地区	児童公園	近隣公園	都市緑地
大池公園 洞峰公園 科学万博記念公園 吉野公園 乙戸沼公園	吾妻地区	花室一号児童公園 花室二号児童公園 花室三号児童公園 いちょうの丘公園	吾妻公園 さくら交通公園 中央公園	－
	並木地区	大角豆一号児童公園 大角豆二号児童公園 大角豆三号児童公園	並木公園 梅園公園 桜南スポーツ公園	－
	二の宮地区	今宮児童公園 宮下児童公園 松木野児童公園 白畑児童公園	二の宮公園	小野崎緑地公園
	松代地区	小野崎西児童公園 鍛冶畑児童公園 松代児童公園 手代木児童公園	松代公園 手代木公園	－

4．調査結果

4.1 被験者の属性

調査対象集団の属性については、年齢は30歳代がもっとも多く(38％)、性別は男性47.2%、女性50.0%とほぼ同数、職種は地域性を反映して公務員(25.9%)が最も多く、次いで専業主婦(23.6%)、学生(23.6%)、会社員(11.6%)の順であった。

4.2データ解析

4.2.1 旅行費用

調査結果では、公園利用の手段の大半が自動車であることから、距離単価を自動車の燃費(km/l)、

ガソリン価格（円/l）を用いて算出した。ここでは、自動車の燃費を８　km/l、ガソリン価格を100円/lとした。時間価値については、公園利用は主婦・子供などの仕事をもたない人の利用も多いため、公園利用時の機会費用は人口一人当たり所得を用いることとした。ここでは、つくば市民１人当たり所得を年間労働時間で割った1,196円/時間を用いた。

また、吉野公園（水海道市）は、"ヘラブナ"の釣り堀（小貝川廃川 5ha）が主な施設であり、釣り掘利用料金1300円を徴収しているので、吉野公園の旅行費用に含めることとした。他の公園では利用料金は考慮しなかった。

4.2.2 評価と訪問率

地区別の公園訪問率を図４－１に示す。各地区とも、住区内の住区基幹公園の公園訪問率が高く、比較的遠い大池公園、吉野公園は訪問率が低い傾向がみられるが、吾妻地区や並木地区での児童公園の訪問率が著しく低い。これは、住宅周辺に競合施設となる団地内広場があるためと考えられる。また、児童公園や交通公園等、池のない公園については、「池のきれいさ」、「水辺の近づき易さ」についての評価ができないため、本報告では対象公園からこれらの公園を除くこととした。逆に、表１以外に「その他の公園」として多くの人から評価され、かつ池を有する松見公園、赤塚公園を解析に含めた。対象となる公園の訪問率と旅行費用の関係を図４－１に示す。

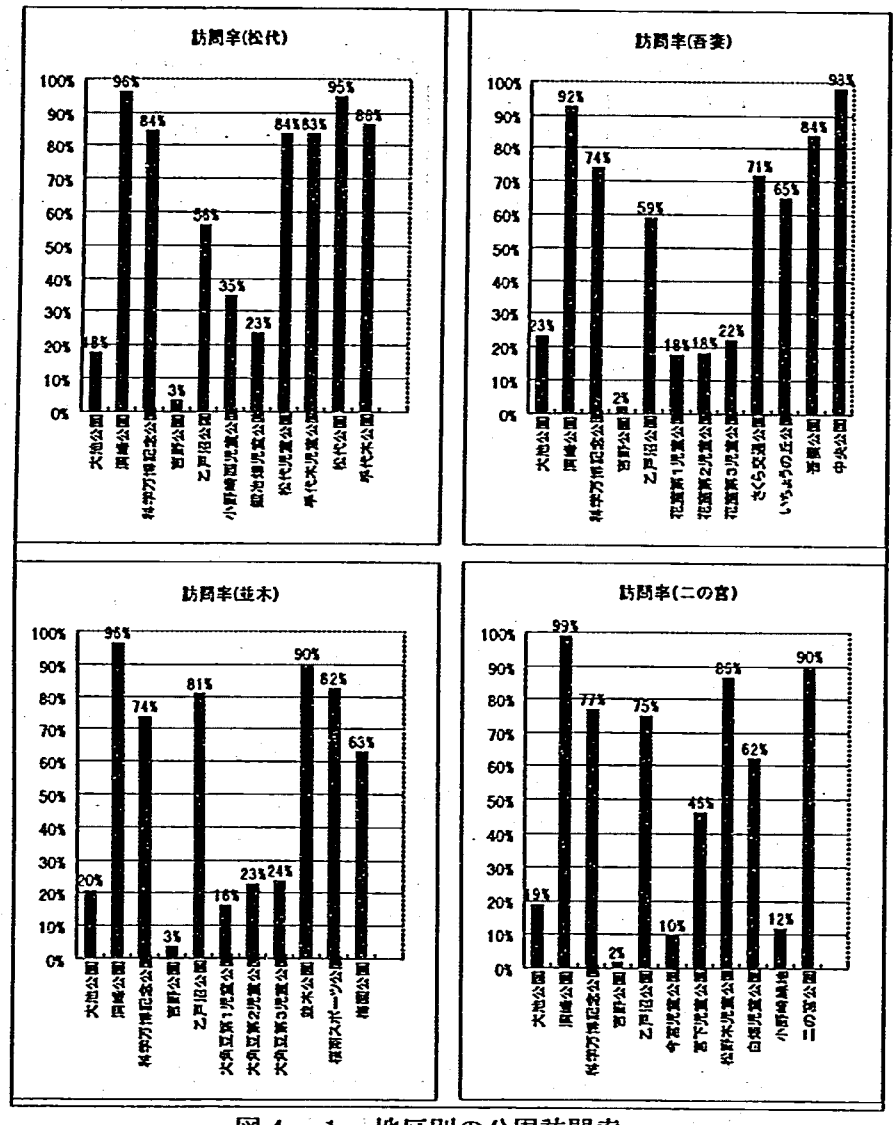


図４－１　地区別の公園訪問率

全体の広さの評価（"１：良い"から"５：悪い"までの５段階評価）と公園の実面積の関係をみると（図４－２）、面積の大きい公園ほど評価が 1: 良いに近づく傾向があった。

池を持つ公園と各地区の訪問率の関係（図４－３）では、多少のバラツキがあるものの、公園までの

旅行費用と訪問率の間に負の相関がみられ、「費用のかからない公園ほど行った事がある」という関係が示された。また逆に、旅行費用が異なるのに訪問率がほぼ同じというデータについては、嗜好(利用目的)の違いをさらに検討する必要があると考えられた。

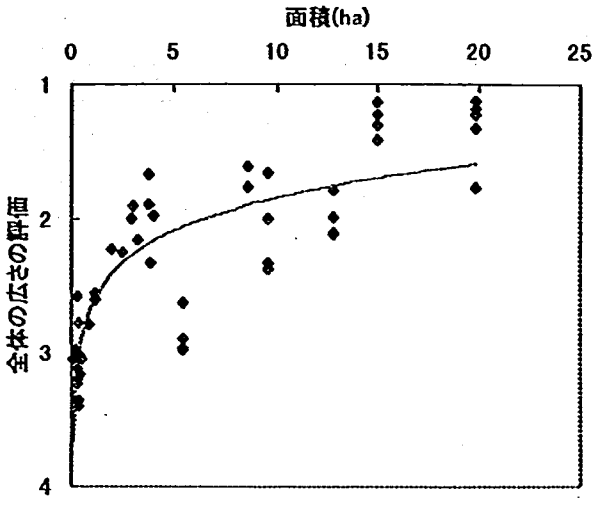


図４－２　広さの評価と公園面積との関係

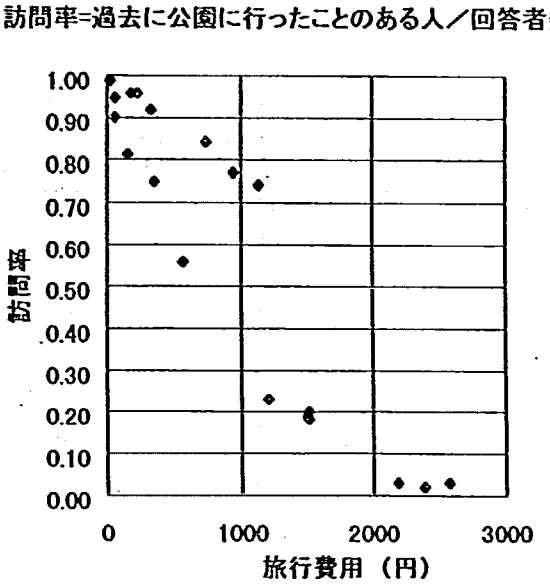


図４－３　訪問率と旅行費用の関係

4.2.3 ヘドニック旅費法の適用

ヘドニックト旅費法を今回のアンケート調査に適用する。一般化費用は、居住地から公園に行く旅行時間と実際に支払う費用の和とした。説明変数を公園の持つ特性とすると、

$$P = a_0 + \Sigma (a_j * Z_j)$$

として表されることはすでに述べたが、ここで公園の価値は、特性を反映した価値を持つ一回当たりの旅行費用(Ｖ)とその場所への旅行頻度(Ｎ)を乗じた年間支払い額（ＷＴＰ）であると考える。

$$P(WTP) = V \times N$$

また、１回当たりの旅行費用(Ｖ)は、往復の時間費用及び往復の交通費用に利用料金(ｆ)を加えた値と考えられ、

$$V = f + 2 \times (\beta T + \alpha C)$$

で表される。ここで、βは距離単価（円/km）、Ｔは距離（km）、αは時間価値（円/分）、Ｃは旅行時間（分）である。本調査では、公園利用の交通手段の大半が自動車であることから、距離単価を自動車の燃費８　km/l、ガソリン価格 100 円/l を用いて算出した。時間価値については、公園利用は主婦・子供などの仕事をもたない人の利用も多いため、公園利用時の機会費用として人口一人当たり所得 1,196 円/時間を用いることとした。利用料金は、吉野公園の釣り堀料金 1,300 円を考慮した。

4.2.4 重回帰分析結果

今回のデータを用いた最小二乗法によるヘドニック関数の推定結果を表４－１に示す。決定係数は 0.82 と回帰式のあてはまりが高いことを示している。ところで、目的変数は公園利用に対する住民１

人当たりの年間支払い額(円/年)で表わされることから、各説明変数のパラメータ(偏回帰係数)も同じ単位で表される。また、各説明変数は"1：良い"から"5：悪い"までの5段階評価のカテゴリーデータであるため、パラメータの符号が負のときは、各評価に対し経済価値があることを示す。従って、一般的には各説明変数のパラメータの符号は負であると考えられる。しかし、表4－1の結果は、正の符号のパラメータを含んでおり、事実に反映した関数となっている。これは、多重共線性の問題から生じているのかもしれない。

表4－1　重回帰分析のパラメータ

説明変数	パラメータ	t値	
全体の広さ	1,256.2	2.61	*
芝生広場の広さ	-399.7	1.06	
遠路の状態	-71.9	0.10	
池のきれいさ	-1,102.6	3.89	**
水辺の近付き易さ	1,112.7	2.25	*
定数項	107.9	0.13	
サンプル数	26		
決定係数	0.8175		

5．まとめ

本調査の価値評価は、公園の持つ価値のうち利用価値、機能別にはレクリエーション機能の評価が主として反映されているものと考えられる。つまり、数多い公園の機能のうち、利用機能かつ心理的機能に分類される保健休養機能としての評価である。しかし、目的別利用状況の結果において、"散歩・軽い運動"、"公園内施設の利用"に次いで"子供を遊ばせる"が高い値となったことから、自らは利用しないが親しい人の利用が自分の満足感を与えるという"代位価値"(公園の非利用価値のひとつ)を含んでいる可能性がある。

本年度は、ＨＴＣＭによる公園の評価について調査を行ったが、今後、さらに解析を行う必要がある。その際、ＨＴＣＭが持つ説明変数間の多重共線性の影響、公園に対する機能の認識を的確に捉える評価項目の設定等に十分注意する必要がある。また、滞在時間の価値をどう含めてゆくかも今後検討を要する課題の一つである。

参考文献

1) 福地　隆史、井手　久登：ヘドニック・アプローチによる公園・緑地の外部経済効果の測定、土木学会第４９回年次学術講演会、pp2-3,1994

2) 藤田　壮、盛岡　通：ヘドニック価格法を用いた公園緑地の環境価値評価に関する研究、環境システム研究、Vol.23、PP64-72、1995

3) Clawson,M. : Methods of measuring Demand for and Value of Outdoor Recreation,RFFReprint No.10,Resourses for the Future,1959

4) Morioka T.,and L.FERNANDEZ : Riverside Recreation Analysis for Multiobjective Planning,Technology Report of Osaka University,Vol.30,No.1580,pp565-573,1980

5) 華山　謙、渡辺　貴介、増山　和弘：東京湾環境の総合管理、公害研究、Vol.14、No.4、pp14-33、1985

6) 大野　栄治、田苗　創基、高木　朗義大野：旅行費用法を用いた公園の親水化事業の便益評価，土木計画学研究・講演集，No18(2)，pp57-60，1992

7) Gardner Brown.Jr.and Robert Mendershon : The hedonic travel cost method. *Review of Economics and Statics* 66,PP427-433. (1984)

建設事業に係る環境アセスメント実施技術に関する調査研究

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

1. はじめに

建設事業の実施に際して環境との調和が社会的に強く求められている。建設省が平成６年１月に策定した「環境政策大綱」では、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ている。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ており、緊急を要する課題となっている。

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。特に、事業の透明性、客観性を確保するために計画の初期の段階から代替案を広く国民に公開するような環境アセスメントの方式が海外諸国における環境アセスメントの制度ととして制定されていることもあり、わが国においても代替案比較における総合的な評価技術を確立しておく必要がある。そのため、総合的な評価技術に関する課題を整理するものである。

3. 研究方法

本年度は、事業実施に際してなされる意思決定を支援する総合評価の手法についてその特徴を整理し、今後、環境アセスメントの実施に際して活用することができる手法の洗い出しを行った。

4. 研究結果

「総合評価」とは、事業実施によって生じると予想される公害、自然環境への影響、社会・経済への影響、あるいは事業費、事業効果等も含めて一括して事業を評価することであり、計画アセスメントにおける代替案比較の際には総合評価を用いることが望ましい。

総合評価の技術的課題としては、定量化（数値化）と評価範囲の問題がある。定量化に関して言えば、事業の及ぼすさまざまな影響を数値化する訳であるが、それらを同一の尺度に変換することが課題となっている。また、評価の対象範囲については、公害項目、自然環境、社会・経済環境などの環境に関する項目と、安全性、利便性、事業目的に関する効果、事業費などの事業内容に関する項目とがある。このうち、現在の国の環境アセスメントにおいては、公害項目と自然環境のうち貴重な自然環境だけを取り扱っているに過ぎない。一部自治体においては、貴重種以外の自然環境や社会・経済環境を取り扱っているところもある。米国やイギリスでは、そのほか、レクリエーション、事業効果なども評価項目に取り入れられている。本稿では、事業内容まで含んだ範囲を含む項目を評価することを念頭に総合評価の手法の検討を行うものとする。

4.1 既往の主な総合評価法について

総合評価に関しては、すでに幾つかの手法が編み出されている。以下にその概要を示す。

4.1.1 グレード評点法（チェックリスト法、マトリックス法）

環境因子の受けるインパクトを、チェックリスト、あるいは開発行為と環境因子のマトリックスで検討する手法。影響の度合いを数値化して定量的に扱う場合もあるが、日本では◎や○などの記号で定性的に扱う場合が多い。数値化については、重み付け、環境質の数値化が1970年代にアメリカ（内務省地質調査所、諸大学、バッテル研究所等）で、昭和50年代には日本（環境庁、電力中央研究所等）で検討されたが決定的な案はない。

4.1.2 ＡＨＰ法

1971年に、米のサーティ教授が開発した方法。影響の程度を、ｎ個の代替案の中の２案の比較をｎ（ｎ－１）／２回行うことで数値化する。また、評価項目の重み付けは、各階層の中でｎ個の評価項目の中の２案の比較をｎ（ｎ－１）／２回行うことで数値化する方法。

4.1.3 費用便益法

計画にかかる費用と計画がもたらす社会的便益を金銭尺度に換算し、総合的にプラス・マイナスを評価する方法。我が国では、環境庁、経済企画庁、農林水産省の共同研究として「環境資源勘定体系の確立に関する研究」が平成４年から実施されていると共に平成７年には経済企画庁が、国民経済計算体系に環境・経済統合勘定を付加した「グリーンＧＮＰ」を試算、記者発表している。しかし、この中でも生態系の経済勘定は現状では困難とされており、試算では、森林の経済価値を木材の価値（価格）に限って算定するにとどまっている。

4.1.4 オーバーレイ法

動植物、地形・地質、景観、土地利用などの環境因子ごとの重要度分布図を作成し、これらを重ね合わせることによって総合的に重要な地域を抽出したり、環境因子ことのインパクト分布図を作成し、これらを重ね合わせることによって総合的なインパクトの評価を行う方法。

4.1.5 ステートメント法

各代替案について、影響の数値化は行わず、影響の内容を文章で表現し、比較を行う。たとえば「○○の理由でこちらの案の方がより優れている」というような定性的な比較によって代替案の比較を行う方法。

4.1.6 アドホック法

いろいろな分野の専門家などからなる委員会を設けて、評価を行う手法。

5. まとめと今後の課題

本年度は、環境アセスメントにおいて用いることができる事業の総合的評価の手法に関して、既往の評価法の整理を行った。その結果、定量化を行う手法として、グレード評点法、ＡＨＰ法、費用便益法の３つがあり、金銭化しづらい評価項目を客観的に評価できるＡＨＰ法が環境アセスメントへの適用可能性が高いことが分かった。今後は、ＡＨＰ法を中心にいくつかの手法の適用性について検討して参りたい。

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　並河　良治
研　究　員　長野　幸司

1. はじめに

建設事業の実施に際して環境との調和が社会的に強く求められている。建設省が平成６年１月に策定した「環境政策大綱」では、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ている。しかし、環境への対策の効果を正確に計測する手法は未だ開発されていない。

また、平成６年１２月に閣議決定された「環境基本計画」においても目標の達成状況等を具体的に示す総合的な指標（群）の開発を早急に進める必要性に言及している。

さらに、指標には、環境目標設定の支援、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など様々な分野において多くのことが期待されている。

このような状況の下、建設事業の事業効果算定への環境指標の適用性に検討を行うものである。

2. 研究目的

従来にも増して総合的な環境指標の必要性が認識されていることに鑑み、環境政策を評価し、今後の町づくりや社会資本整備の方向性を判断する上で有効となる総合的環境指標を①開発し、②実際に幾つかの地域に適用し、③指標の特性を明らかにすると共に、④適用性を評価することを目的とする。

3. 研究方法

本年度は、昨年度の結果を受け、(1)我が国における環境行政の今後の方向性、(2)総合環境指標の備えるべき要件の整理、(3)総合環境指標の構造の検討を行った。

4. 研究結果

4.1 我が国における環境行政の今後の方向性

政府は、環境保全に関する施策の総合的かつ計画的な推進を図るため、①循環、②共生、③参加、④国際的取組を環境政策の長期的な目標とした「環境基本計画」を閣議決定した。また、建設省は、「環境政策大綱」の中で、「環境の創造と継承」、「環境の保全」、「地球環境問題への対応等」を環境行政の理念とすると共に「環境」を内部目的化することを謳っている。さらに、地方自治体では、東京都、大阪市、京都市を例として取り上げたが、新しい計画では、地球環境の視点が加わっているほか、将来世代への継承、共生、人にやさしいなどの概念が盛り込まれるようになった。

環境行政の今後の展開としては、環境を総合的に捉えること、社会経済システムや生活様式の見直しなどの自主的積極的な参加、地球規模への空間的広がり、将来世代にわたる時間的広がりを視野に入れた予防的措置を地球規模でしかも広く一般の国民や事業者が取り組むことが枢要な課題になると考えられる。

4.2 総合環境指標の備えるべき要件の整理

指標の利用目的について、(1)計画目標の設定・施策立案の支援、(2)計画目標の達成度・施策効果の評価の支援、(3)環境監視の支援、(4)環境教育・住民参加の支援の４つの利用目的に分類し、整理した。

4.2.1 計画目標の設定・施策立案を支援する場合

環境指標は、環境の状態やトレンドを効率的に把握して予測することにより、また、地域間の環境比較に用いることにより計画目標の設定、施策立案の支援に用いることができる。

この場合、重要な事象を要領よくまとめる戦略性及び将来の環境の変化を見当しうる予見性を備えておくことが求められる。

4.2.2 計画目標の達成度・施策効果の評価を支援する場合

計画の目標達成度や施策の効果を総合的にしかも定量的に示すことは、指標を用いなければ困難である。この目的のために用いられる指標に要求される要件は、広い範囲の事象を漏れなく扱う包括性及び個々の特性が明示的に理解できる多元性である。

4.2.3 環境監視を支援する場合

各種モニタリング・システムにおいて、日常的な状態の観測結果を総合的にかつ明快に分析評価するため指標を用いることが有効である。ここで用いる指標は、時間的・空間的な代表性を有すると共にこれまでのデータ蓄積を生かせる継続性が求められる。

4.2.4 環境教育・住民参加を支援する場合

住民の環境問題に対する意識の高揚を図るため、また、行政と一般住民との間のコミュニケーションを促進するために環境の状態を難解な数字ではなく、明快な指標を用いることは有効な手段である。ここでは、生活実感になじむ直感性、指標の算出の明快性（平易性）、さらには目的に向かって行動を起こさせる動機を生む魅力を有していることが求めれれる。

4.3 総合環境指標の構造の検討

4.2に上げたすべての要件を同時に満たすことはできないが、環境監視以外の使途を考えた場合、これまでのデータ蓄積によらず、物理量を選択することができる。物理量と人々の感覚の整合については、さらに検討する必要があるが、多くの物理量を重層的に総合化することにより総合的な指標を構築することが一般的であり、分かりやすい。この場合、総合化の程度を高くしすぎると指標が抽象的となり理解しにくくなる。逆に総合化の程度が低すぎると、指標の数が多すぎてこれも理解しにくいものとなる。総合化の度合いについては、今後の課題となるが、グラフィックな表現の活用などにより多次元の評価軸（指標群）を同時にいかに分かりやすく表現すかが鍵となってくる。

5. まとめと今後の課題

本年度は、環境を包括的に表現する総合的な指標を開発することを目的として、指標を活用する目的の整理及びそれぞれの目的を達成するために指標が具備すべき要件の整理、並びにそれらの要件を満たす指標の構造の検討を行った。今後は、実際に指標を構築し、幾つかの地域に当てはめることにより、指標の持つ特性について分析・評価を行いたい。

１０．４　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改良

６年度に開発したダム周辺景観設計データベースマネジメントシステムの操作性・実用性を向上させるために、画像への配置機能の強化、検索・表示機能の改良、および入力専用エディタの追加を内容としたプログラムの改良を行った。動作環境は、昨年度と同様グラフィック・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」、IRIX5.3以上)および汎用パソコン(WindowsNT3.5以上)の２環境とした。

3.2　景観構成要素データの作成

ダム周辺景観設計データベースに蓄積するデータのうち、自然物や点景など景観構成要素に関する部品データを作成した。データの出力形式は、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）を使用した。

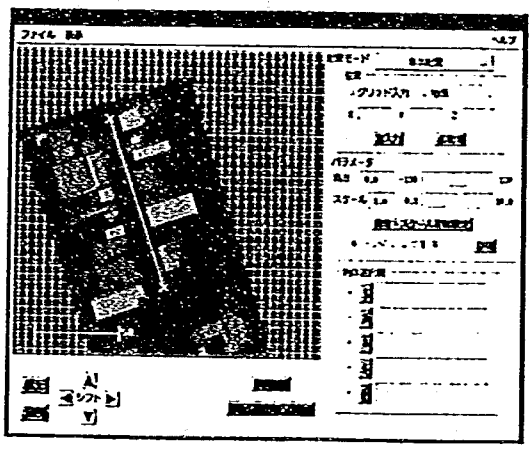
４．研究結果

4.1　データベースマネジメントシステムの改良

4.1.1　配置機能の強化

ダム周辺景観設計データベースで検索した部品データを景観画像に配置する機能を拡張し、「指定し

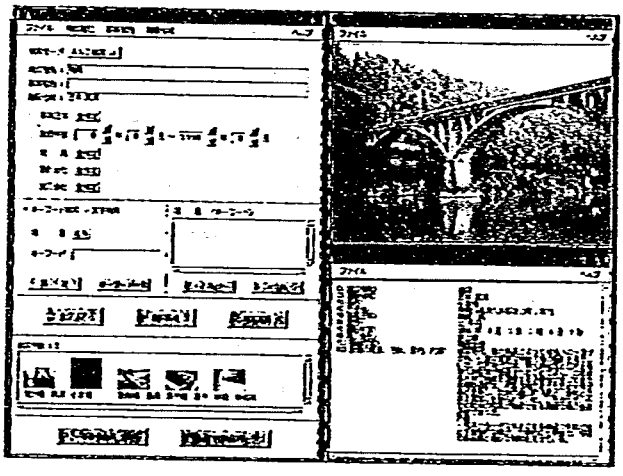
た線に沿って、または指定したエリア内に、規則的にあるいはランダムに複数配置する、もしくは一括削除する機能」を実現した（図－１）。この機能により、道路や河川などに沿って樹木や照明灯などの部品を配置したり、３次元の地形上に複数種の樹木を配して森林を生成するといった操作を効率的に行うことが可能となった。



図－１　配置設定画面

4.1.2　表示・検索機能の改良

表示機能にアンチエリアシング処理を追加し、シャギ（画像のギザギザ）のない滑らかな画像の表示を実現した。また、検索ウインドウの検索結果表示を件名から画像のイメージ一覧に変更し、プレビューを行いながらさらに絞り込みが可能なスタイルに改良した（図－２）。



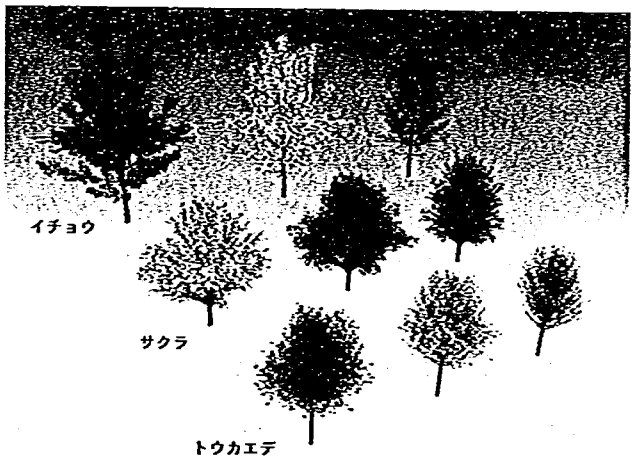
図－２　優良景観事例の検索例

4.1.3　入力専用エディタの追加

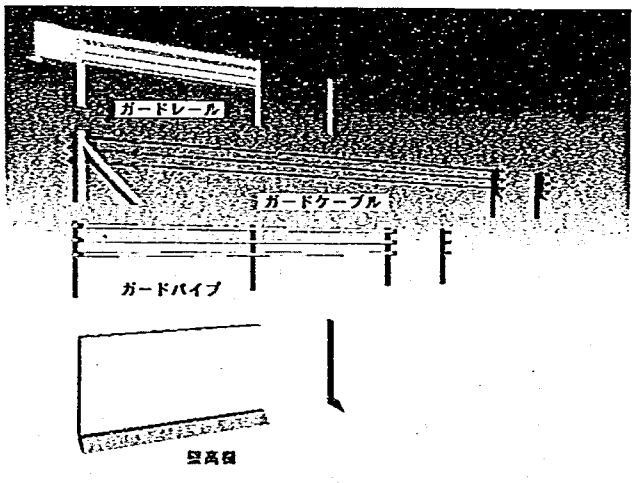
収集した３次元形状データ、画像データおよび文字データをユーザー自身が手軽にデータベースに登録するためのツールとして入力専用エディタを追加した。

4.2　景観構成要素データの作成

景観を構成する一般的な部品として、樹木などの自然物、コンクリートやガードレールなどの人工物、および人や乗り物などの点景データを作成した。（図－３～４）



図－３　樹木



図－４　防護柵

５．今後の課題

ダム周辺景観設計データベースをより実用性の高いものとするためには、業務に必要なデータを早急に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機能の改良や高度化を行う必要がある。

景観シミュレータ・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

ゆとりと潤いのある社会の実現に向けて、地域の個性に配慮した質の高い社会資本の整備が求められている。九州地方は、風光明媚な場所に富み、国立公園など景観に配慮すべき地域が多いことから、構造物の設計にあたっても景観への配慮が不可欠である。そこで、事務所における景観検討を支援するシステムとして、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景観シミュレータ、およびデータ入力の効率化を図るために、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の開発が期待されている。

2．研究目的

本研究では、道路の景観設計において、事務所の職員が簡単に操作することのできる景観シミュレータおよび景観データベースを開発することを目的とする。

3．研究方法

3.1　道路のり面自動生成機能の設計

道路景観のシミュレーション機能として、３次元地形データの中に道路位置を指定することで自動的にのり面を発生させるプログラムを作成した。３次元地形データは、建設技術評価「ステレオ空中写真による自動標高抽出技術の開発」の成果を活用して作成された数値標高データ(DEM) から多面体を自動生成したものを用いた。なお、本プログラムは、景観総プロで別途開発中の建設省版景観シミュレーションシステム(LSS) に付加して動作することを前提としているため、使用言語はANCI-Cとし、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」、IRIX5.3以上)および汎用パソコン(WindowsNT3.5以上)の２環境とした。

3.2　道路景観構成要素データの作成

景観データベースに蓄積するデータのうち、道路景観を構成する一般的な要素の３次元データおよびテクスチャデータを作成した。データ形式は、独自形式であるＬＳＳ形式を使用した。

4．研究結果

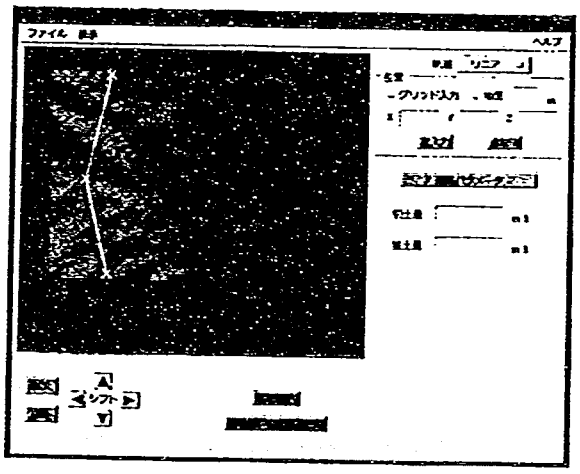
4.1　道路のり面自動生成機能の設計

道路の建設に伴って発生する切り土のり面等の景観検討を容易に行うために、以下の機能を有する道

路のり面自動発生プログラムを作成した。

a）道路位置の入力

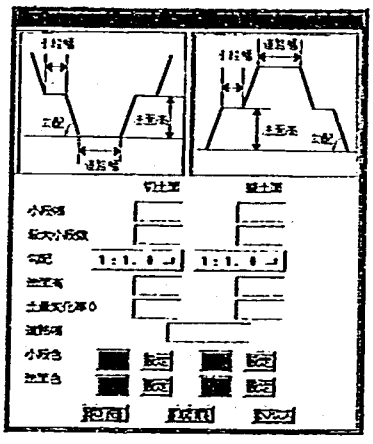
３次元地形上での道路位置の入力は、座標の数値入力のみならず、地形平面図上で中心軌跡をポインティングする方法を実現することにより、操作性の向上を図った。また、入力した道路軌跡については、スプライン曲線等により補間を行い、滑らかな線を生成することができる。（図－１）



図－１　道路のり面の生成画面

b）のり面の自動発生

３次元地形データを切断し、入力した道路との位置関係により切土または盛土のり面を自動発生させる。すなわち、地形データよりも低い部分は切土処理を行い、高い部分は盛土処理を行う。のり形状は初期値を設定しているが、のり勾配、高さ、および小段幅は数値入力により容易に変更が可能である。（図－２）



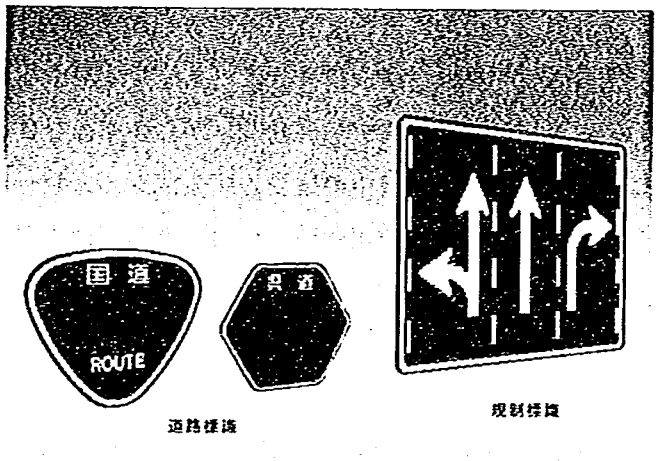
図－２　のり面パラメータ設定画面

c）土量計算

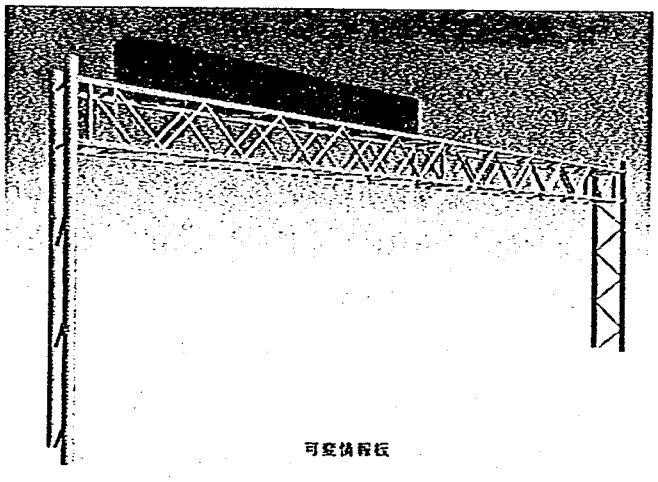
のり面発生前後の体積の差により土量計算を行い、切土量、盛土量および差引き土量を算出する。土量の変化率は、数値入力により設定を変更することができる。

4.2　道路景観構成要素データの作成

道路景観の一般的な要素として、標識、路面表示、信号、可変情報板、歩道橋などの部品データを作成した。（図－３～４）



図－３　標識



図－４　可変情報板

5．今後の課題

景観シミュレータ・景観データベースの操作性・実用性を向上させるためには、事務所等におけるシステムの試用・評価を通じて機能の確定および改良を行う必要があるとともに、道路の景観設計に必要なデータの充実を早急に図る必要がある。

2．2　流域水管理への地理情報システムの利用に関する研究

環境計画研究室　室　長　丹羽　　薫
研究員　長野　幸司
研究員　福渡　　隆

1．まえがき

近年、ダム湖などの人口湖沼をはじめ、霞ヶ浦や琵琶湖などの自然湖沼でも富栄養化や重金属などの水質問題がクローズアップされ、様々な水質浄化対策などが実施されてきた。しかし、個々の対策の浄化効率には限界があり、おのおので対策を実施しても効果的な水質浄化が望めないことが明らかになってきている。したがって、現在は湖沼を含む流域全体を考えた総合対策を実施することが望まれている。

実際に、上述した状況を受けて、流域全体を考慮した水量や水質に関するシミュレーションモデルが検討されはじめている。また、これらをサポートするように地理情報システム（Geographical Information System：ＧＩＳ）という位置情報を有するデータのデータベース管理システムが加速度的に普及し始めており、それに伴って国土基本図や人口統計などのデータをＧＩＳデータとして整備するようになってきている。

そこで、地形や地質、植生、土地利用といった水量・水質に関わる流域環境情報をＧＩＳデータとして整備し、それらのデータを水量・水質シミュレーションモデルのインプットや検証用データとして利用することにより、流域の面的な情報を考慮したシミュレーションを実施することが可能となり、これにより流域全体を見渡した水質保全対策をはじめとする流域環境管理を行うことができる。

2．研究目的

本調査は、流域全体で水域への汚濁負荷流入を削減するための種々の対策の組み合わせや優先順位の決定等を適切に評価し、効果的な流域環境管理を行うために、流域環境情報のＧＩＳデータ化及び、水量・水質シミュレーションモデルとの連携による流域環境計画策定手法の高度化について検討を加えることを目的とする。

７年度は、既存の水量・水質シミュレーションモデルを改良し、目的とする面的な流域環境管理を実行できるシミュレーションモデルのプロトタイプを構築し、今後に向けての課題を抽出する。

3．研究方法

既存の水量・水質シミュレーションモデルについて、論文などの文献を収集して、各モデル毎に入出力データ及び計算方法について整理し、そのモデルの特徴を把握する。採用したモデルについては、本研究の目的に合致するように改良を加え、シミュレーションモデル改良の際に明らかになった課題点を抽出した。

4．研究結果

現在、多くの水量・水質に関するシミュレーションモデルが研究・提案されている。水量モデルは大別して、集中型と分散型に分類できる。集中型モデルの例としては貯留関数法モデルやMTM法などがあり、分散型モデルには土木研究所や京都大学で開発されているモデルがある。そして、これらのモデルを比較すると、ＧＩＳデータ利用や流域の面的な情報を有効に活用するには、分散型モデルが集中型に比べて優れていることが文献調査により明らかになり、本研究では分散型モデルを採用することにした。しかし、分散型モデルを基本とした水質モデルは、研究の緒についたばかりで適当なモデルは無く、本研究で既存の分散型水量モデルに水質モデルを付加することにした。

採用した水量モデルは、以前土木研究所で開発された分散型モデルを採用した。このモデルの特徴は、半物理モデルであり、また土地固有の環境情報をもとにモデルパラメータを決定する方法を採用していることである。これにより、物理モデルよりは簡便にシミュレーションが実行でき、また観測データが少ない流域でも地形や地質などの環境情報から比較的精度の良いシミュレーションが実行できる。

今回、付加した水質モデルは、研究の初年度ということもあって、評価項目を絞って水温とＢＯＤの２項目とした。水質モデルの構成は、負荷量モデルと水質計算モデルの二つから成る。負荷量モデルについては、点源及び降雨による負荷量の算出には“原単位法”を、面源による負荷量については“Ｌ－Ｓ・Ｑ法”を採用した。また、各負荷量算出パラメータは水量モデルの特徴にしたがって、流域環境情報をもとに決定できる構造にした。面源負荷量については、メッシュ毎の計算とし、各メッシュの表層タンクに降雨負荷量を入力し、表層タンクからの表面流出や浸透流出に伴う負荷量の移動を貯留量Ｓと流出量Ｑに関連させて計算する。

水質シミュレーションでは、ＢＯＤについては自浄作用や沈降・吸着による除去と底層からの再懸濁を考慮し、水温については流域タンクと河道タンクとに分けて構築した。流域タンクでは、表層タンクの水温は気温に比例し、地下水タンクでは一定水温を仮定、不飽和帯タンクでは表層タンクと地下水タンクの水温の平均値とした。河道では、蒸発による熱損失は水温に比例し、顕熱による熱伝達は気温と水温の差に比例するものと仮定した。

今回、負荷した水質シミュレーションモデルには、多くの仮定を設定した。これらの仮定は、観測データの種類や形式、及び計算簡略化のために行ったものであるが、その仮定が適当であるかは、今後のケーススタディを通して検討する必要がある。

5．今後の問題点

今後は、実際に湖沼を含む流域の環境情報をＧＩＳデータとして整備し、また水量・水質モデルにリンや窒素などの富栄養化指標などの評価項目を計算可能なモデルに改良する必要がある。また、そのシミュレーションモデルの精度や計算方法などの検証をケーススタディにより確認する必要がある。

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

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二酸化炭素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二酸化炭素の排出を抑制するよう動機付けられると共に、それに伴って省エネルギーにも寄与することになろう。

2．研究目的

地球環境問題における地球温暖化現象の影響を考慮する場合、建設事業の評価基準を地球全体規模での社会的費用を最小化しながら最大の便益をもたらすものとすることが必要であると考えられる。そのため本研究では、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により、各種工法・資材等の二酸化炭素削減効果を評価するものである。

3．研究方法

今年度は、３ヶ年調査の中間年度として、昨年度に行った「二酸化炭素排出量と地球上平均気温上昇との関係」、「地球温暖化による総被害額」、「二酸化炭素排出の社会的費用の検討」および「建設資材等の品目毎の二酸化炭素排出量の検討」の結果を基に、(1)二酸化炭素の排出を抑制する対策を施した構造物(十数工種)、(2)機能代替的な構造物(四工種)の２種の構造物についてその二酸化炭素排出量およびその社会的費用をライフサイクルにて試算することとした。

これにより、社会的費用を明示的に示すことが可能になり、顕在化しているコストだけでは評価し得ない社会的効果を示す指標を作成することができる。

4．研究結果

4.1 二酸化炭素の社会的費用の算出方法

4.1.1 二酸化炭素原単位

二酸化炭素排出量の計算方法については、構造物をライフサイクルで捉え、建設時、維持管理時、解体時の３つの場面で排出される二酸化炭素を投入される資材と建設機械から排出されるものの和として

計算した。ここで用いられる二酸化炭素排出量の原単位は平成６年度調査のものを用いることとした。また、排出された二酸化炭素の社会的費用についても平成６年度調査にて行った地球温暖化による総被害額からの原単位を用いた。表４－１にその値を示す。なお、本研究における費用計算では、1988年の円－ドル為替レートとして期中平均の１ドル－128.15円を用いている。

表４－１ 二酸化炭素の社会的費用

(単位：ドル(円)/C-t, 1988年価格)

西　暦	1990-2000	2001-2010	2011-2020	2021-2030
社会的費用	10.3(1,320)	11.2(1,435)	12.0(1,538)	12.6(1,615)

4.1.2 ライフサイクルの考え方

本研究で構造物のライフサイクルにおけるコストおよび排出二酸化炭素量を比較するにあたっては構造物の寿命を想定して計算を行った。さらに、１ライフサイクルにおいて、建設→維持管理→解体という３つのステージに分けて整理することとした。

また、従来工法と削減工法とで寿命が異なる場合は２つの寿命の最小公倍数の期間内に存在するライフサイクルで、複数の建設・維持・管理、解体作業を繰り返すものとして比較した。

また、トンネルのように実際には解体という概念が存在せず寿命を決定することが困難なものに関しては、寿命を定めなかった。こうした解体の概念がないものや、提案された工法が本来道路改良など修繕作業のものでこうした維持管理・解体といった工程が考えられないものに関しては、ライフサイクル中に発生するコスト、二酸化炭素はすべて建設時から発生するものとして計算を行った。

表４－２　取り上げた二酸化炭素の排出を抑制する対策を施した工法

番号	工法名	番号	工法名
1	躯体内構造物のプレキャスト化	11	プレストレスコンクリート舗装工法
2	プレストレス可塑性管	12	コンポジット舗装
3	法面リフォーム機械化施工技術	13	表面被覆橋梁
4	非開削空洞充填工法	14	ポステンを用いたアウトケーブル
5	ドレーンネイル工法	15	ＰＣ鋼棒ＰＣストランド
6	岩盤コンクリート等の切削破砕工法	16	免震橋の採用
7	円形土留連壁の高強度コンクリート	17	帯状繊維材による老朽橋脚の補強
8	プレキャスト版型枠併用工法	18	ＳＥＮＴＡＮパイル工法
9	多円形シールド工法	19	ＰＣ卵形消化層
10	ＭＳＤ工法		

4.1.3 費用の計算方法

本研究における費用の計算方法は、総費用を顕在化しているコストと二酸化炭素排出に伴う社会的費

用の和として算出している。ライフサイクルにおける社会的費用の３つの発生場面(建設時、維持管理時、解体時)ごとにその発生社会的費用を計算した。ここでは各場面における費用を計算するに当たり、割引率は年３％とし、その行為が行われる時点を10年単位で割引率を考慮して算出した。コストについては工事費の上昇率と割引率が拮抗しているものとして、現在価格をそのまま用いている。

表４－３　二酸化炭素の排出を抑制する対策を施した工法と在来工法のコスト及び社会的費用の比較

			法面リフォーム機械化施工技術	多円形シールド工法	コンポジット舗装	ＰＣ鋼棒ＰＣストランド	ＰＣ卵形消化層
	諸元　(単位：m)		法面高＝20 法面面積＝2,000㎡	断面(H×W)=7.4×11.2 延長＝619	車道幅＝14 歩道幅=8 延長＝530	幅員＝10.4 (有効＝9) 橋長＝256.4	側壁厚＝0.4 容量＝3,500
在来工法	コスト(単位:千円)	建設時	64,500	4,940,000	67,800	162,000	291,000
		維持時	0	0	126,000	0	343,000
		取り壊し時	0	0	8,470	0	162,000
	二酸化炭素排出量 単位:C-ton	建設時	1140	12500	211	428	235
		維持時	0	0	682	0	10100
		取り壊し時	0.522	169	91.3	0	121
	二酸化炭素の社会的費用(単位:千円)	建設時	1,109	16,515	206	565	310
		維持時	0	0	666	0	10,797
		取り壊し時	0	55	71	0	81
	合計(単位:千円)	建設時	65,609	4,956,515	68,006	162,565	291,310
		維持時	0	0	126,666	0	353,797
		取り壊し時	0	55,154	8,541	0	162,081
対策工法	コスト(単位:千円)	建設時	18,900	4,810,000	94,700	150,000	350,000
		維持時	0	0	52,600	0	82,000
		取り壊し時	0	0	16,000	0	15,100
	二酸化炭素排出量 単位:C-ton	建設時	44.5	11400	301	386	137
		維持時	0	0	272	0	3120
		取り壊し時	0	146	60.8	0	32.9
	二酸化炭素の社会的費用(単位:千円)	建設時	59	15,061	398	510	181
		維持時	0	0	232	0	3,335
		取り壊し時	0	48	32	0	220
	合計(単位:千円)	建設時	18,959	4,825,061	95,098	150,510	350,181
		維持時	0	0	52,832	0	85,335
		取り壊し時	0	48	16,032	0	151,220

4.2 二酸化炭素の排出を抑制する対策を施した工法の費用の推定

本研究では二酸化炭素の排出を抑制する対策を施した工法を選定し、その顕在化するコスト、二酸化炭素排出量及びそれに伴う社会的費用を算定、検討した。この推定は、各工法における投入資材と投入機械およびその運転のための燃費を建設時・維持管理時・解体廃棄時の３つのステージに分けて算出したものである。その結果、対策工法の幾つかのものは、顕在化している工費自体も従来工法よりも低廉化しているものも見いだされた。対策工法の多くは、維持管理や取り壊し時に費用の少なくなるものが多くなっており、ライフサイクル全体で見て費用を低減するという考えに立っていることが分かる。表４－３は、取り上げたに酸化炭素の排出を抑制する対策を施した工法と従来工法の費用を算出、比較した例である。

4.3 機能代替的な構造物の設定と排出二酸化炭素量の推定結果

本研究の比較事例として、同じ機能をもつ代替的な構造物に関し、以下の２種類について比較を行った。本比較においても4.2の二酸化炭素の排出を抑制する対策を施した工法と同様に、建設資材、建設機械およびその燃料をライフサイクルで、つまり建設時のみならず供用後に発生する費用も算出し、比較を行った。維持管理費については、鋼橋のみ塗装に係わる費用が発生した他は費用発生は組み込まなかった。また寿命に関する検討が４工法とも困難であることより、解体費は含まないこととした。また、トンネルと迂回路については、利用に際して排出される二酸化炭素の排出に伴う社会的費用を考慮に入れた。

4.3.1 トンネルと山を迂回した道路建設

山を跨ぐ区間においてトンネルを建設する場合と山を迂回した道路を建設する場合とを試算し、比較を行った。ここでは、トンネル及び迂回道路供用後の維持管理時に必要な資材、投入機械と合わせて、維持管理に必要な資材や建設機械が発生する場合はその投入量も計算を行った。

本試算では、簡単のためにトンネルの規模を延長100m程度とし、片側１車線の２車線道路とした。また、迂回道路は延長300m程度で車線数、幅員等はトンネルと同じとした。

なお、この迂回道路に関しては、当該路線を通行する車両がトンネルより余分な距離を走行しなければならないこととしている（迂回率３００%）。

本試算では、このトンネルと迂回道路の双方を走行する車両から排出される二酸化炭素を加味した検討を行った。なお、通行車両から排出される二酸化炭素は表４－４の値を用いた。また、車両の交通量は、２万台／日、貨物車混入率は、30%、試算する期間は30年、割引率を年３%として、二酸化炭素排出量並びに二酸化炭素排出に伴う社会的費用を試算した。

表４－４ 車種別二酸化炭素排出原単位

単位：CO2-t/万台km

車　種	排出ＣＯ２トン
乗用車	2.52
貨物車	3.51

出典：環境庁大気保全局自動車公害課作成資料

その結果、トンネルより迂回路の方が年間112炭素トン、３０年間で3,367炭素トンだけ二酸化炭素の排出量が多くなることが試算された。（表４－５）

両事業の総費用を比較した場合、トンネルの方が費用は大きいが、事業計画においてはトンネル事業による時間短縮効果などの社会経済効果を考慮しているのでトンネル事業を行う価値は高いと判断されるかもしれない。さらに、トンネルは、建設時のコストは大きいが、二酸化炭素の排出量が小さくなるので費用の総計が仮に少々大きくても地球環境を考えた場合、整備を行う価値は高いと考えられる。

4.3.2 鋼橋とコンクリート橋

ここでは道路改良工事に伴う架け替え工事を想定したプレテンション型ＰＣ桁橋と２径間連続鋼桁橋を比較することとし、橋長は双方とも50m程度とする。また架け替え工事と合わせて維持管理や耐用年数により解体する場合は解体時についても必要な工事について建設資材と建設機械の算出を行った。その結果、ＰＣ桁橋と鋼製桁橋では、二酸化炭素排出量では大きな差はなく、これら２つのタイプを使い分けるのは、これ以外の社会的条件で行われれば十分であることが分かった。（表４－６）

表４－５　トンネルと迂回道路の比較

		迂回道路	トンネル
コスト (単位:千円)	建設時	105,000	232,000
二酸化炭素排出量 (単位:C-t)	建設時	173	205
	排気ガス	5,051	1,684
二酸化炭素の社会費用 (単位:千円)	建設時	229	271
	排気ガス	5,459	1,820
合　計 (単位:千円)	建設時	105,229	232,271
	排気ガス	5,459	1,820
	合　計	110,688	234,091

表４－６　鋼橋とｺﾝｸﾘｰﾄ橋の比較

		鉄　橋	コンクリート橋
コスト (単位:千円)	建設時	140,950	122,700
	維持時	38,075	
	取壊し時		
二酸化炭素排出量 (単位:C-t)	建設時	262.33	270.25
	維持時	20.65	
	取壊し時		
二酸化炭素の社会費用 (単位:千円)	建設時	347	357
	維持時	14	
	取壊し時		
合　計 (単位:千円)	建設時	141,297	123,057
	維持時	38,089	
	取壊し時		

5．ライフサイクルコストを考慮した社会的費用削減の検討

本研究で検討した二酸化炭素排出抑制対策工法については、すべて排出二酸化炭素を従来工法に比べ削減されている。この削減の要因としては、主に投入資材において省エネルギー型の資材が用いられている工法で大きな効果があがっていることから、資材の選択によるものといえる。

また、機能を代替する構造物についても二酸化炭素排出抑制工法と同様に、建設、維持管理、解体というライフサイクルにおいて発生する二酸化炭素の排出に伴う社会的費用だけでは、顕在化している費用に比べ、極端に小さいことより、その評価を横並びで行うことは困難である。しかしながら、山岳トンネルと迂回道路の例に見られるように、自動車交通に係わる影響などその利用によって発生する二酸化炭素の発生量を加味した場合、その建造物が長期間使用される社会インフラである場合、かなり大きな意味をもってくると言える。本研究では、事例として山岳トンネルと迂回道路の比較を行ったが、今後はさらに広範な構造物についてこうした社会的な影響を含めた検討が望まれる。

二酸化炭素排出抑制対策については、ここで用いた二酸化炭素の排出の社会費用の原単位では全体として現行の顕在化しているコストに埋没してしまい、社会的費用として事業、工法等を選択する判断の材料とするには至らない。しかしながら、かけがえのない地球の貴重な環境を我々の活動によって破戒してしまう危険を回避するため、建設事業においても二酸化炭素排出を抑制することは現代の社会に科せられた責務であるという認識は人々の共通するところであろう。このような認識を施策に反映させるためには、現在の二酸化炭素排出の社会費用の原単位をそのまま用いた経済評価だけによるのではなく、二酸化炭素排出に関して、地球規模の生態系に与える影響や世代間倫理などさらに広い視点からの検討を行い、二酸化炭素排出抑制に

係わる社会的な意義を確立するための新たな指標の確立に関するさらなる研究が求められる。

6．まとめと課題

本年度は、３ヶ年の研究の中間年度として、二酸化炭素排出抑制対策工法の幾つかについて顕在化しているコストと二酸化炭素排出に伴う社会的費用について算出し、二酸化炭素排出による社会的費用を顕在化させることにより、二酸化炭素排出を抑制する動機付けとする方策について検討を行った。その結果、現在算出されている二酸化炭素排出の社会的費用の原単位では、二酸化炭素排出抑制の動機付けとはなりにくいことが判明した。

また、本研究で取り上げた二酸化炭素の排出を抑制する対策を施した工法の中には、コンポジット舗装など建設時におけるコストが従来行われてきた工法に比べ同等かあるいは高くなっているのに対し、維持管理時および解体廃棄時におけるコストを大幅に削減することによってライフサイクルにおけるコストの総量を下げているものもある。このように今後の評価においては建設時だけのコストでなく、寿命あるいはその期間に発生する維持管理、解体廃棄に係わる顕在化しているコストおよび二酸化炭素排出に係わるコストを総合的に評価する視点を欠かすことはできない。

さらに、機能代替的な工法に関しては、その構造物の利用に際して二酸化炭素の排出量に大きな違いがあるとき、土木構造物はその構造物を使用する期間が長いので、二酸化炭素の排出量の抑制に大きく寄与することが試算された。この結果から、事業計画段階で、二酸化炭素排出の社会費用を計画を評価する項目に加えることにより、従前とは異なった形態の事業が採択される可能性が示された。

一方、二酸化炭素の多量の排出、なかんずく化石燃料を燃焼させることによる二酸化炭素の排出は、資源の枯渇、燃焼そのものによる熱量の排出など様々な点で環境に負荷を与えることになり、その抑制対策を検討する必要がある。さらに、その対策の推進を動機付けるための二酸化炭素排出に係わる社会的な意義を確立することのできる新たな指標の確立に関するさらなる研究が求められる。

本年度は、個別の構造物について二酸化炭素排出抑制対策工法等がどの程度の二酸化炭素排出抑制効果があるかについて調査を行ったが、今後、構造物の諸元のうちどこが二酸化炭素排出量を抑制することに効果的であるのか、また、日本全体で二酸化炭素排出を抑制する工法・構造を用いることにより、どの程度の二酸化炭素排出が抑制されるかに関して調査を行いたいと考えている。

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

III. 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　研究員　長野　幸司

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、第二次世界大戦以降、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、現存する歴史的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・文化的価値の基準判断や、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

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県の資料について帳票形式にまとめるとともに、キーワードを用いたデータベースを作成した。

7年度は、6年度に引き続き全国の自治体の土木施設関連資料の様式にそったとりまとめ、およびデータベース化を進め、6年度整理済みの4県を除く全国43都道府県の資料整理を行った。

また、土木施設の歴史的・文化的価値の評価および保存活用手法の検討を行うため、先行事例として諸外国における土木遺産の評価および保存活用状況について調査を行った。

4．研究結果

4．1　全国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、６年度に資料整理を行った山形、岐阜、愛知、兵庫の４県を除く全国43都道府県について図－１に示す帳票形式に整理した。さらに、名称、出典、所在地、キーワード、竣工年についてはデータベース化を進めることにより、必要な資料が容易に検索出来るようにした（表－１）。

名称：	出典、ページ：	都道府県－市町村－通し番号
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、その他） ⑥都市に関する記述（条里制（律令制度）、城下町の成立、築城、都市の成立、都市化、公園、庭園、緑地、都市計画、その他） ⑦工業に関すれ関する記述（電気、ガス、その他） ⑧上・下水に関する記述（上水、下水、井戸、伝染病） 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帳票様式

表－１　全国歴史的土木施設等データベース整理例

	所在地	名　称	つづり番号		キーワード	西暦
1	知覧町	河湾田堰	鹿児島－知覧－	20	ダム	
2	知覧町	川床堰	鹿児島－知覧－	18	ダム	1866
3	知覧町	山下堰	鹿児島－知覧－	19	ダム	1870.4
4	知覧町	神門橋	鹿児島－知覧－	72	橋	1875.1
5	金峰町	金峰堰の改築	鹿児島－金峰－	13	ダム	1936.9
6	吹上町	永吉ダムと畑かん事業	鹿児島－吹上－	49	ダム	1948
7	有明町	通水、昭和二四年六月五日	鹿児島－有明－	12	ダム、用水	1949.6.5
8	宮之城町	鶴田ダム	鹿児島－宮之城－	35	ダム	1966.4
9	知覧町	永久橋	鹿児島－知覧－	71	橋	1980
10	三島村	長浜橋	鹿児島－三島－	49	橋	1984.9
11	三島村	永良部崎橋	鹿児島－三島－	50	橋	1987.4
12	郡山町	井手上の井堰	鹿児島－郡山－	10	ダム	
13	吹上町	永吉川浜田橋等の架設と変遷	鹿児島－吹上－	62	橋	
14	知覧町	堰堤の改修	鹿児島－知覧－	34	ダム	

4．2　諸外国における土木遺産の保存活用に関する状況調査

近年歴史的建造物などの文化遺産を大切に保存し、完全な形で後世に伝えると同時に、現在においてもそれを有効に活用し、日常生活をより豊かにしようという考え方が世界的に広まっている。「文化遺産及び自然遺産の国内的保護に関する勧告（1972)」などユネスコによる一連の文化遺産保護に関する勧告がその現われである。

欧米諸国の古い歴史をもつ都市を訪れると、歴史的な建造物や古い街並が実によく保存されており、その美しさと風格に感銘することはしばしばであろう。本調査は、文化遺産の保存・活用の先進国である欧米諸国をはじめとする世界15ヶ国の文化財保護の実態について整理、検討を行い、わが国の歴史的・文化的土木施設を保全すると同時に、有効に活用するための資料とすることを目的として行った。

4．2．1　文化財保護のための法令の各国における制定状況

欧米諸国における文化遺産保護・活用の動きは一部の国々では前世紀の末頃から始まったが、法令として制定され国家的な事業として文化財の保護・活用が本格的に行われるようになったのは、1900年の英国における「史的記念物保護法」、1906年の米国における「古代記念物法」などがその始まりといえよう。この動きはその後フランス、イタリア、スペインなどの西欧諸国に広まり、第二次大戦終了後の1950年代以降、世界的な動きとなり、1960年代以降は国連がユネスコを通じて「風光の美と特性の保護に関する勧告（1962)」、「文化遺産および自然遺産の国内保護に関する勧告（1972)」などが相次いで発せられている。

わが国では文化財保護法が公布されたのが1950年で、その後1975年に改正されて現在に至っている。その後タイ国（1961)、中国（1982)、インドネシア（1992）などアジア諸国で文化財保護に関する法律が公布されるようになった。

以上は文化財保護に関する基本的な法律であるが、近年、文化遺産のより具体的な取り扱い基準といったものが作られるようになっている。例えば1979年のカナダにおける「歴史的建造物評価の手引き」、1990年の米国における「国家登録基準解説」、カナダ（オンタリオ州）の「遺産保存地区の手引（1992)」、英国の「計画政策指針（1994)」などである。

本調査の目的により近く、参考になるのは後者の基準や手引きの類である。つまり欧米の文化財保護先進国といわれる国々での近年の趨勢は、個別の文化遺産の保存も然ることながら、「歴史的地区」すなわち街並保存といったものにかなりの比重が置かれているようみえる。欧米の古い都市が、歴史的街並を保全することで観光客の人気を泊している状況からみれば、文化遺産の保全と活用という観点から、こうした面的な施策の在り方が有効であることが伺えるものである。

4．2．2　保存・活用の対象となる土木構造物の種類

各国の文化財保存に関する法律では、保存するにふさわしい文化遺産の目録の作成を規定しており、登録の対象とすべきものを指定している。

しかし、その指定の中味は国によって精粗の差があり、大別して２つのタイプに分けられる。１つは文化財保護法のような基本法の他に、それを補足するような文化遺産の評価基準または評価のための手引きのようなものを作成しているタイプで、米国、英国、カナダなどがそこに含まれる。これに対しも

う１つのタイプは、文化財保護の基本法だけで文化遺産の保存行政を行っている前記３ヶ国以外の国々（フランス、ドイツ、イタリア、オランダ、ギリシャ、スペイン、韓国、台湾、中国、マレーシア、タイ、インドネシア）である。後者の場合は日本を含めて、法律では”文化遺産で歴史的に価値を有するもの”といった大枠を規定しているのみで、具体的な対策については、「文化財保護委員会（日本)」や「記念物審議会（ドイツ)」などのような、文化財の評価または保存等に関する権威者で構成される委員会または審議会でその処理を決定しているようである。そしてこれらの委員会、審議会は多くの場合担当行政機関に付置しているようである。

また、後者タイプのように具体的な対象の評価または登録（保存）の指定を審議会等の専門家の判断に委ねている国々は対象物を主として芸術的価値の高いものに置いている傾向がみられ、一方、前者のグループは芸術的な価値の他に、歴史上の重要な人物や出来事との関連性にも大きな比重をおいているように思われる。

一方、米国の場合は対象物件を建築物、構造物、事物、遺跡、地区の５類型に分類し、それぞれについて具体的な対象を例示しており、判り易いものである。

４．２．３　保存すべき構造物の指定（評価）基準

保存すべき文化遺産（登録遺産）の指定、または評価のための具体的な基準を定めているのは、米国、英国、カナダの３ヶ国及びユネスコである。その他の国々は「文化財保護委員会（日本)」のような審議機関の審議を経て指定の当否が決定されるようになっており、いわば審議会が評価基準であり成文化された基準といったものはないようである（表－２)。

４．２．４　指定のための法的な手続き

ユネスコで文化遺産の保護を取り上げていることからも判るように、世界各国は今世紀になってから、特に第二次大戦後、それぞれの文化遺産の保護を国の重要施策として位置づけている。

例えば米国では内務省その他の調査結果をもとに国家登録された遺産に対して大統領が「国家記念物宣言」を行っているが、その他の国はドイツを除いて殆んどが文化遺産保護担当の大臣が指定者になっている。

また、指定のプロセスも米国、カナダ、フランス、イタリアなどのように文化遺産担当の行政機関の調査結果に基づいて大臣または大統領が指定する場合と、英国、日本、韓国、フランス（歴史的街区指定の場合）などのように「文化財審議会」といった機関の発案または答申に基づいて指定される場合の二つがある。しかしながら、これらはいずれも文化遺産といわれるものが対象となっており、古代遺跡や建築物が圧倒的に多くなっており、本研究において扱おうとする土木構造物とは若干視点が異なるものであると考えられる。

４．２．５　保存方法

歴史的構造物の保存のための措置としては、次のようなものがある。

最も確実なものは米国の例のように指定された国家記念物と、その周辺の一定区間の土地を国が取得して管理するものである。次いで、指定された記念物の価値を減ずるような行為すなわち取壊し、移転、改造、修復、保護対象の設備等の除去などを禁止するもの、更に、フランスやイタリアの例のように該

表－２　諸外国文化財等登録指定基準

米国（米国土木学会）	英国	カナダ	ユネスコ
歴史的土木構造物指定の手引き	登録基準	国家的、歴史的重要性指定の一般基準	文化遺産の登録基準
1．この指定は国家的に重要な歴史的土木建造物でなければならない	1．建築学的重要性：その建物が建築デザイン、装飾および技量、特殊な建築様式、平面形状として重要である。	1．考慮している主題がカナダの歴史に重要な影響を与えたか、またはカナダ人の歴史の説明または国家的に重要な事例を表わすと考えられる。	1．独特の芸術的成果を示すもの
2．その計画は土木史における重要な側面を代表するものでなければならないが、土木技術者または土木技術者と認められる者によって設計され施工されたものであることを要しない。	2．歴史的重要性：建物が国家の社会・経済・文化または軍事の歴史の上で重要な局面を表わしている。	・特異性または稀少性それ自身には国家的重要性はないが、上記との関連で基準として用いられる。	2．建築や都市計画・景観に大きな影響を及ぼしたもの。
3．指定のためには、建設された最初のプロジェクトであるとか、現存する最も古いプロジェクトであるといったような何か特殊な独特のものをもつかまたは、ある特定の方法で設計された最初のプロジェクトである。または、そこである独特かつ重要な建設または土木技術が始めて使われたというような何か重要な貢献をしたものでなければならない。このように、あるプロジェクトが貢献もなく他の何かの発展を導きたいというものでもなければ、また技術の"行きどまり"であったものなら、たとえそれが、それがその種のもの"最初のもの"（または唯一のもの）であったとしても国家的な歴史的重要性があるとはいえない	3．歴史との密接な関連：国家的に重要な人物または出来事と密接に関係する建物である。	・代表的な事例は、カナダ史の重要な局面を象徴するもので、国家の歴史における重要性を保証するものと考えられる。	3．消滅した文明や文化的伝統の証拠を示すもの。
	4．群としての価値：特に建物が集まって、建築学的または歴史的に重要なまとまりをなしているかまたは計画の格好の事例となっている（公園広場、テラス、モデル村落）。	2．遺跡、構造物または事物は、カナダ史の重要な局面との関連で、もしその関連がそれ自身がその遺跡にとって十分重要で、国の歴史的重要性に値するなら、歴史的建造物に指定される。	4．ある様式の建築物あるいは景観のすぐれた見本となるもの
4．プロジェクトは安全上の考慮または地理的な孤立から接近が制限されることがあるにしても、一般に大衆の目に触れることのできるものでなければならない。	年代や稀少性も考慮事項である（例）		5．単一あるいは複数の文化を代表する伝統的な集落、土地利用を示すもの
5．指定されたプロジェクトはASCEの銘板授与を希望する時までに、完成の時から少なくとも実質50年以上を経過したものでなければならない。	・1700年以前に建てられた建物で、よく保存されているものは対象となる。		6．優れて普遍的な価値をもつ出来事、生きた伝統、思想、信仰、芸術に関するもの。
6．ASCE本部から授与される12"×18"の銘板を据え付けるのに適当な場所（銘板が大衆の目に触れることが出来る）がなければならない。	・1700～1840年の建造物は登録に若干の選択が必要		自然遺産の登録基準
	・1840年以降の建造物はより厳しい基準が必要		1．生命進化の記録、重要な進行中の地質学的・地形形成過程あるいは重要な地形学的・自然地理学的特徴を含む、地球の歴史の主要な段階を代表する顕著な見本であること。
	・1914年以降の建造物は厳選されたものだけが登録される。		2．陸上・淡水域・沿岸・海洋の生態系や生物群集の進化発展において、重要な進行中の生態学的・動物学的過程を代表する顕著な見本であること。
	・30年未満の建造物は提出したものだけが登録される。		3．類例を見ない自然の美しさ、または美観的にみてすぐれた自然現象・地域を包含すること。
	・10年未満の建造物は登録されない。		4．学術的・保全的観点からみて、すぐれて普遍的価値をもち、絶滅のおそれのある種を含む、野生状態における生物の多様性の保全にとって、特に重要な自然の生息生育地を包含すること。

当記念物の一体性が損われ、眺望もしくは採光を阻害し、環境および品位が変化するのを防止するため、該当記念物から一定の距離以内における周囲の建築物の高さ等に関する制限を設けたり、増改築、新築などの工事は、当局の認可がなければ実施できないようにするものがある。フランスでは指定建造物から500m以内での新築、増改築などの工事が許可を必要としている。

文化遺産の価値を建築学的、芸術的な価値ばかりで捉えるのではなく、それを眺める景観的な快適さの側面を文化遺産保存の１つの大きな目的として評価しているという点で、このフランスにおける規定は卓越したものである。つまり、いくら立派な文化遺産であっても周辺環境が乱開発されれば雰囲気を

損ない、景観上の快適性、米国の国家登録基準でいうところの「Feeling」が大きく損なわれるからである。

保存のための維持・修復の費用については、国庫の支出、補助金の交付によるものや、ナショナルトラストのような基金を設けて、一般の寄付、国庫からの補助などにより、歴史的建造物の保存・管理に当たらせているものなどがある。例えば、イギリスにおけるナショナルトラスト事業は、約100年の歴史をもっており、次のような事業を行っている。

（1）歴史的建造物のの取得と管理

（2）商品の製造・販売

（3）教育・文化活動

遺産の管理は、自己管理、企業などへの貸付、個人への貸付の３種類がある。例としては有名なナイチンゲールの住んでいた家とか、フランス革命史などを著して名高い歴史家トーマス・カーライルの家などがあるが、個人や企業に貸しているものは、借り手も文化遺産であることを充分認識して、遺産の価値を損なわないような住み方をしている。これらは概ね観光資源としても利用されていて訪れる観光客も少なくない。田舎の風車小屋なども管理遺産に含まれている。

ナショナルトラストの収入源は、「寄付金、補助金」、「入場料収入」、「商品（土産物等）の販売益」、「遺産の賃貸収入」などである。

教育活動としては、文化遺産の歴史的意義と文化的な価値のPRと、それを目的とした演劇の上演などが行われている。また、歴史的建造物の修復などに携わる技術者の養成も行われている。

米国では内務省国立公園が、歴史的建造物の修復のための図解入り手引書を発行している。しかし、文化財の中には極めて特殊な技術を必要とするものがあり、長い経験によって会得されることからマニュアル化が難しい分野も多いようである。そうした特殊な技術や技能をもつ専門家をどのようにして養成するかは文化財保護の大きな課題の１つである。

４．２．６　文化遺産等の指定状況

世界各国はそれぞれ自国の文化遺産の保護・保全に力を入れており、多くの文化遺産が保存対象として指定されている。これらにも様々なレベルのものが存在し、ユネスコが指定する世界文化遺産から、各国が自国の歴史的記念物保護のために指定している遺産までがある。さらに各国においても全国レベル、州レベル、地域レベル等に分かれることが明らかになった。

５．今後の問題点

７年度は、６年度に引き続き全国43県の自治体の土木施設関連資料の整理を行った。また、土木施設の歴史的・文化的価値の評価手法の検討を行うため、先行事例として諸外国における土木遺産の評価状況について調査を行った。今後は、これまでの調査研究成果を活用し、わが国独自の歴史的・文化的価値の評価および保存活用手法の確立に向けて検討を進める必要がある。

歴史的・文化的土木施設の保存活用手法に関する調査

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　研究員　長野　幸司

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、第二次世界大戦以降、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、現存する歴史的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手法に関する事例調査を行う。

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・文化的価値の基準判断や、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を行うための資料として、保存活用手法に関する調査を行うことである。

3．研究方法

本研究では、収集された建設省各地方建設局の所管する歴史的・文化的土木施設に関する資料をもとに、維持修繕手法などの保存手法及び各種活用事例について収集し、施設保存や復元と活用手法について検討する。ここで対象とする土木施設は、建設省が直轄管理する土木施設を中心に、都道府県、市区町村、公社・公団等が管理する施設、または過去に管理していた施設についても把握可能な範囲で含めるものとした。

4．研究結果

4．1　調査結果の概要

収集した土木施設記載の文献等および全国の都道府県史の数は270あり、その中から抽出した土木施設数は約6,000件（重複は除く）であった。そのうち現存が確認された施設は1,247件であった。このうち他省庁所管施設等を除外した有効件数は702件となった。

702件を分野別にみると、道路366件（52%）、河川223件（32%）、砂防92件（13%）、その他21件（3%）となり、道路分野が全体の半数以上を占めている。施設分類別では、橋梁が最も多い290件（41%）を占め、続いて堰・水門が113件（16%）、堰堤78件（11%）、堤防66件（9%）となっている。

時代別にみると、得られたデータのうち約８割は明治以降のもので、このうち昭和に入ってからのものが388件（55%）である。

施設の現況については、539件（77%）が「建造当時の機能のまま使用されている」と回答されており、88件（13%）は「当初の機能とは異なる使用」、29件（4%）は「土木施設としての使命は終えているものの、公園施設、史跡等として現地または移設地において現存している」ものであった。現存の状態については「小規模の改修（構造的にはほとんど影響のない修復）を受けた」ものが231件（33%）、「建造当時の姿を保っている」ものが225件（32%）、「大規模な改修を受けた」ものが141件（20%）、「移設された」18件（3%）となっており、何等かの改修を受けているものが多いことが分かる。

４．２　保存・活用事例の現況

保存・活用という視点から日本における歴史的土木施設の使用状況を42施設について整理を行った。使用状況の３項目は以下の基準にそって判断を行った（表－１）。

日常：初期の目的どおりに供用されているものは○、観光用など用途が異なっているものは空欄、現在使われていないものは×。

表示：現地に表示板・解説板など何等かの説明書きが設けられているものは○、ないものは空欄

観光：ささやかでも観光の対象となったり、地元で人気のあるものには○、観光客で溢れているものは◎、逆にアクセスが不可能もしくは困難なものは×。

表－１　保存活用事例一覧（抜粋）

エリア名	都道府県名	名称	使用状況		
			日常	表示	観光
北海道エリア	北海道	小樽運河		○	◎
		旭橋	○		
		稚内港北防波堤	○	○	
東北エリア	宮城県	野蒜港跡	×	○	
		貞山堀		○	
関東エリア	群馬県	旧碓氷線煉瓦橋梁群			
	千葉県	利根運河	○		
	東京都	品川台場		○	◎
		四谷見附橋	○		

５．今後の問題点

７年度は収集した歴史的・文化的土木施設に関する資料をもとに、土木施設の実態についての整理を行った。今後は、個々の施設の保存活用の実態、考え方、問題点等についての調査を行い、考察を深める必要がある。

湖沼の水質保全に関する研究

8．　国立機関公害防止等試験研究費

8．2　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
研　究　員　久保徳彦
研　究　員　福渡　隆

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、早急な解決が必要である。この様な背景のもと、これらの自然湖沼や人工湖等における富栄養化現象を生じさせないよう、栄養塩類を除去するための糸状藻類を活用した水処理技術の開発を行う。

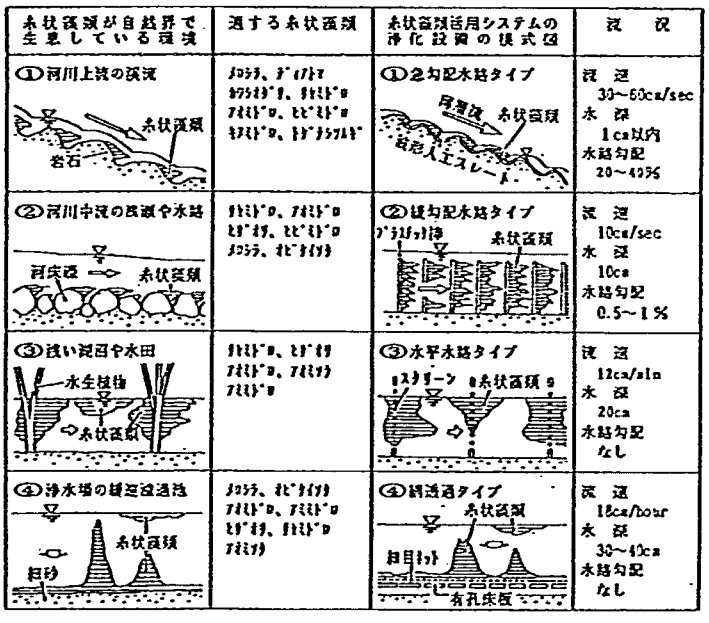
7年度は、6年度に行った現地調査により得られた糸状藻類の生息環境を実験水槽に取り入れ、長期間の増殖実験を行うことによって糸状藻類の栄養塩類の除去能力の検討を行った。

2．研究目的

本研究は、糸状藻類の増殖を人為的にコントロールして長期間にわたる安定的増殖を行うためのシステムの施設構造の確立を目的とした。また、長期間による増殖実験により糸状藻類の栄養塩類除去能力について調査を行うことを目的とした。

3．研究方法

6年度の調査の結果、糸状藻類は図－1の左に示す場所に多く生息していることが確認されており、それを図－1の右側に示す実験施設で再現した。そこでその図をもとに実際に4タイプの実験水槽を製作し増殖実験を行った。また、7年度は実験を行うに当たり糸状藻類の長期安定増殖を行うために、原水の軽石濾過による前処理、実験水槽の水を循環させる手法を用い、糸状藻類活用システムの基本設備構造についての検討、及び栄養塩類の除去能力についての調査を行った。



図－1　糸状藻類の自然界での生息環境と浄化設備

4．研究結果

4．1　浄化設備の種類と手法

7年度は、図－1に示した4タイプの実験水槽を使用して6ヶ月間の長期増殖実験を行った。その結果については4．2以降に示す。また、長期安定増殖を行うための手法として、湖水を直接使わず濾過水を使い増殖させる手法及び、実験水槽の水を循環させる手法を併用した。前者は糸状藻類を優占種として安定的に増殖させるために、他の藻類や、藻類の種子を除去するために行う手法であり、後者は下流に剥離した糸状藻類を上流に戻すことにより糸状藻類増殖のための悪条件下でも糸状藻類の減少が抑制出来る手法である。この様な方法を用いることにより糸状藻類の長期安定増殖を行いやすくすることが出来ることがわかった。また、処理流量は約1㎥/secの水を2haの施設で処理することを想定して決定した。

4．2　急勾配水路タイプ

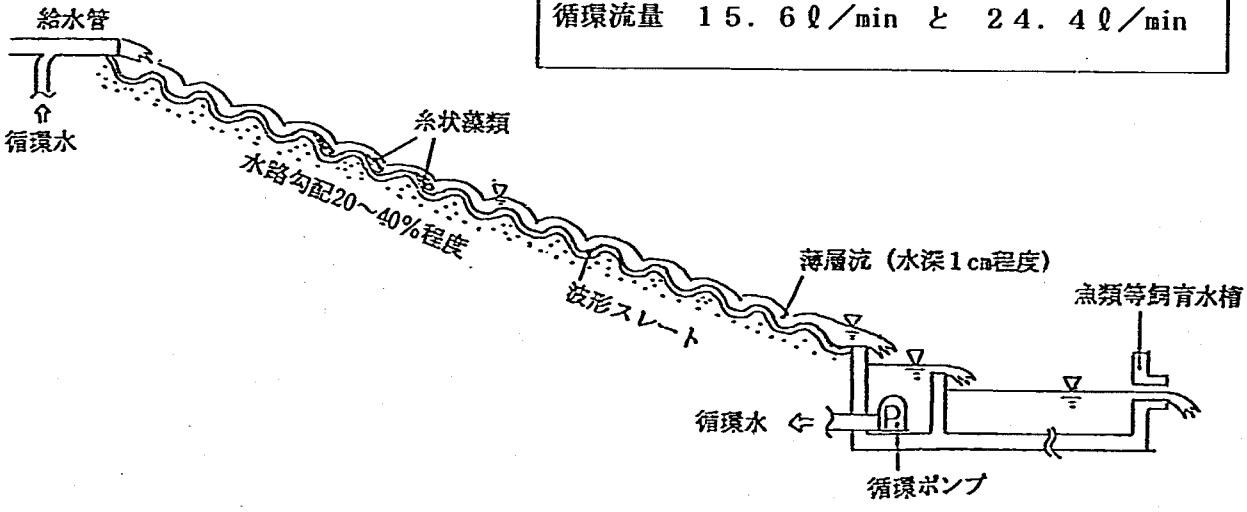
急勾配水路タイプは、図－1に示した浄化設備の中で河川上流の渓流で岩石に糸状藻類が付着している状況を再現したタイプである。設備は急な水路勾配にして原水を流速30～50cm/sec程度の薄層流で流下させ、波長6cm程度の波形をした人工スレートに糸状藻類を付着させる施設である。スレート上で生長した糸状藻類は自然に滑落するため、回収の作業が容易である特長を持っている。急勾配水路タイプの実験設備を図－2に示す。

水槽の諸元

勾配35％　流下面延長2．5m　幅0．30m

処理流量2．5ℓ／min

循環流量　15．6ℓ／min　と　24．4ℓ／min



図－2　急勾配水路タイプ

図－2の施設により、6ヶ月間の連続して週1回流入と流出のD·PO_4-P の調査を行い、その結果を表－1に示す。藻類の生息状況は、スレートに緑藻が付着し、さらにその緑藻に珪藻が付着している状態が多く見られ、特に水温が低い時期には珪藻が多く付着している状況が確認

	15.61/Min	24.41/Min
流入PO_4-P濃度	9 - 55(μg/1)	21 - 76(μg/1)
処理水PO_4-P濃度	21 - 76(μg/1)	9 - 58(μg/1)
PO_4-P除去率	-8.3 - 66.7(%)	-5.5 - 66.7(%)
除去率の平均	30.1(%)	35.3(%)

表-1　長期観測データ

された。そのような生息状況の中で栄養塩類(D·PO_4-P) の除去能力は、６ヶ月間のデータを単純平均した場合、流入水濃度が概ね４０μｇ／ℓに対して除去率は、循環流量１５．６ℓ／min 、２４．４ℓ／minとも約３３％であった。なお、スレート面から剥離した糸状藻類は下流に流れ、魚類の飼育水槽で餌となっている。

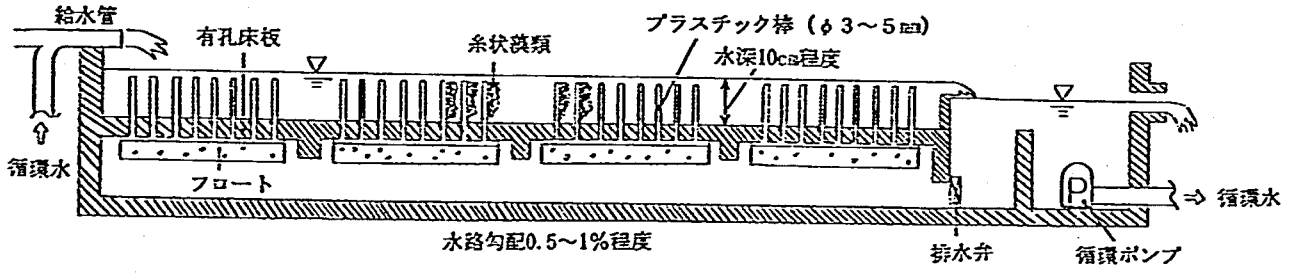
４．３　緩勾配水路タイプ

緩勾配水路タイプは、河川中流の浅瀬の河床礫や、水路の側壁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10cm/secの流速となるように緩い水路勾配とし、鉛直にたてた直径４～６㎜のプラスチック棒に糸状藻類を付着させる。回収は底板にプラスチック棒と同程度の穴を開けておき、そこを使ってプラスチック棒を降下させることにより付着した糸状藻類をそぎ取って行う方式で行った。

緩勾配水路タイプを図－３に示す。

水槽の諸元

延長４．５ｍ　幅０．５ｍ　棒の数　１９本（横）×７０本（縦）
処理流量７ℓ／min　循環流量　２１０ℓ／min　水深９０ｃｍ



図－３　緩勾配水路タイプ

図－３の施設により、６ヶ月間連続して週１回流入と流出のD·PO_4-P の調査を行い、その結果を表－２に示す。藻類の増殖活動が低下しないように増殖させた藻類を１週間ごとに回収して実験を行った結果、藻類の生息状況として最初はプラスチック棒に緑藻が付着しその緑藻に珪藻が付着している状態であったが、水温が高くなるにつれ珪藻が減少し緑藻が多く付着している状況が確認された。そのような生息状況の中で栄養塩類(D·PO_4-P) の除去能力は、６ヶ月間のデータを単純平均した場合、流入水質濃度が概ね40μｇ／ℓに対して、除去率は約５０％であった。

	緩勾配タイプ
流入PO_4-P濃度	21 - 76 (μg/l)
処理水PO_4-P濃度	3 - 47 (μg/l)
PO_4-P除去率	9.3 - 90.9 (%)
除去率の平均	49.9 (%)

表-２　長期観測データ

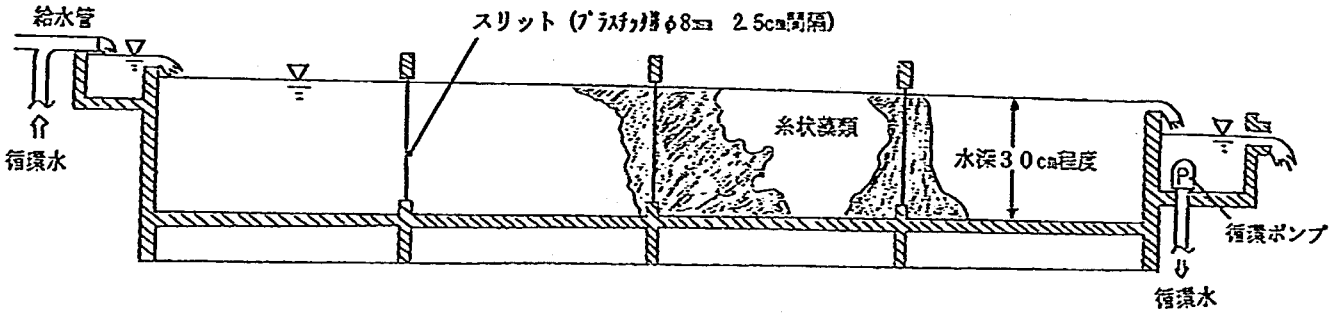
４．４　水平水路タイプ

水平水路タイプは、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39cm間隔のスクリーンを３段設けた。またスクリーンは、横 2.5cm間隔でプラスチック棒を縦に並べたものを使用して、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て増殖させる施設である。

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方式で行った。水平水路タイプを図－４に示す。

水槽の諸元

延長１．６ｍ　幅２．５ｍ　処理流量１５ℓ／min
循環流量　６４．３ℓ／min　水深３０ｃｍ



図－４　水平水路タイプ

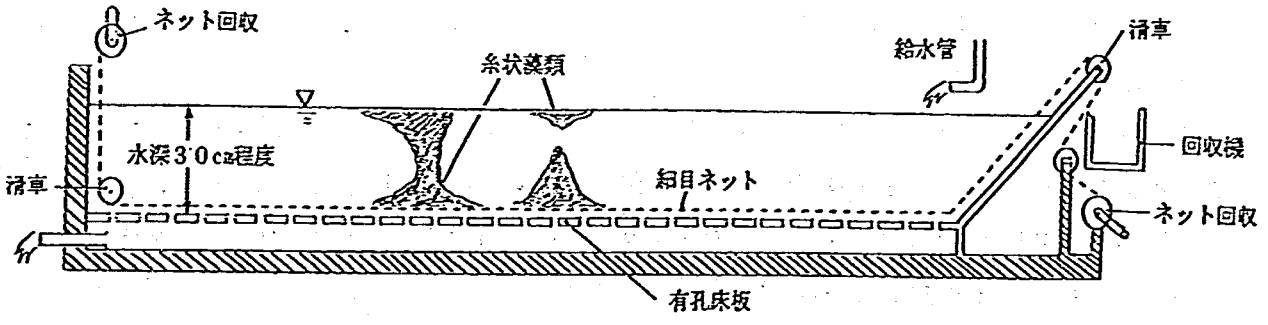
図－４の施設により６ヶ月間連続して週１回流入と流出のD·PO_4-P の調査を行い、その結果を表－３に示す。藻類の増殖活動が低下しないように水槽を４つのブロックに分け、２ブロックづつ増殖した藻類を１週間ごとに回収して実験を行った結果、藻類の生息状況として大半が緑藻でその緑藻に若干の珪藻が付着している状態であった。そのような生息状況の中で栄養塩類(D·PO_4-P) の除去能力は、６ヶ月間のデータを単純平均した場合、流入水質濃度が概ね４１μｇ／ℓに対して除去率は約２２％であった。

	水平水路タイプ
流入PO_4-P濃度	55 - 76 (μg/l)
処理水PO_4-P濃度	16 - 21 (μg/l)
PO_4-P除去率	0 - 51.3 (%)
除去率の平均	21.9 (%)

表-３　長期観測データ

４．５　網透過タイプ

網透過タイプは、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 ㎜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、水中に浮標させて増殖させる施設である。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方式で行った。網透過タイプの実験設備を図－５に示す。



水槽の諸元

延長４ｍ　幅１．２ｍ　処理流量１４．５ℓ／min　　水深３０ｃｍ

図－５　網透過タイプ

図－５の施設により４ヶ月間連続して週１回流入と流出のD･PO_4-P の調査を行い、その結果を表－４に示す。藻類の増殖活動が低下しないように水槽を２つのブロックに分け、交互に増殖した藻類を１週間ごとに回収して実験を行った結果、藻類の生息状況としてほとんどが緑藻で、珪藻はあまり確認されなかった。そのような生息状況の中で栄養塩類(D･PO_4-P) の除去能力は、４ヶ月間のデータを単純平均した場合、流入水質濃度が概ね４３μｇ／ℓに対して、除去率は約１９％であった。

	網透過タイプ
流入PO_4-P濃度	31 - 76 (μg/l)
処理水PO_4-P濃度	24 - 50 (μg/l)
PO_4-P除去率	-11.1 - 56.6 (%)
除去率の平均	19.0(%)

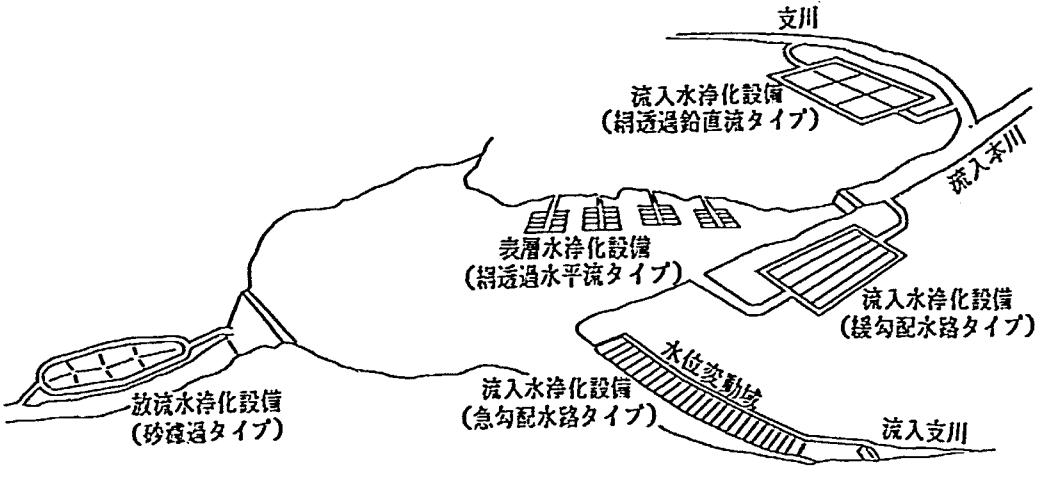
表-４　長期観測データ

また、水槽の底に糸状藻類の死骸等の有機物が堆積すると栄養塩が溶出してしまうため、この事が除去効果に影響を及ぼすと考えられるため、週１回程度の水槽の底の洗浄は必要不可欠である。

４．５　浄化設備の選定

平成７年度の実験では４つの浄化設備タイプの検討を行い、その除去効果についての調査結果を得た。しかし、条件の合わないタイプの浄化施設を設置すると十分な除去効果を発揮することが出来ない。このため、効率の良い浄化システムにするためには、施設の設置場所の検討を行う必要がある。

ここで各タイプ、どの様な場所に設置すると効果的かダム湖水質の浄化を考えた場合を例に図－６に示す。急勾配水路タイプは、ダム湖の流入河川や上流域での水位変動部の護岸を使うことにより施設費や給水のための電力などが軽減出来る。また、緩勾配タイプ・網透過タイプは河川からダム湖への流入部での浄化に適しており施設面積さえ確保出来れば、どの様な流量に対しても対応出来るタイプである。特に網透過タイプは他の施設より濁度に強く河川での浄化にも用いることが可能である。水平水路タイプは、流速があまりない状況でも行えるタイプであるため、貯水池の表層に浮かべ波の流速などを利用して浄化を行うことにより電力や施設場所が解消できる。



図－６　ダム湖における浄化設備の配置例

5．今後の課題

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。平成７年度の実験により糸状藻類を人為的に長期間安定増殖させることが可能であることが確認出来、そのシステムによるリン吸収能力の概略の値がわかった。

しかし、今後の問題点として安定増殖を行うために用いている原水の濾過及び除去水の循環は、実際に現地浄化施設で同じ施設を再現すると施設費や維持管理費が高額となってしまうため、出来る限り減少もしくは行わなくても安定的な増殖が行える装置の検討が必要である。

また、回収された藻類についても廃棄物として扱うと維持費管理費が膨大となってしまうため、有効利用の方法を検討する必要があり、今後この様な点を考慮した研究を進める必要がある。

6．　貯水池の水質保全に関する調査

6．1　湖沼の総合的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
研　究　員　久保徳彦
研　究　員　福渡　隆

1．まえがき

ダム湖の富栄養化対策の有力な一手法として流動制御システムがある。この流動制御システムを管理中のダムで試験稼働させることによって、曝気による湖内流動の発生、水温躍層の制御による流入栄養塩の湖内滞留時間の減少、及びこれらに伴い、ダム湖の浮遊藻類の異常増殖を抑制できることが確認された。この流動制御システムの運用手法の検討や施設設計を行うためにはシミュレーションが必要であり、モデルを開発する必要がある。

7年度は、流動制御システムの水質保全効果を検証するためのシミュレーションモデルの構築を行った。

2．研究目的

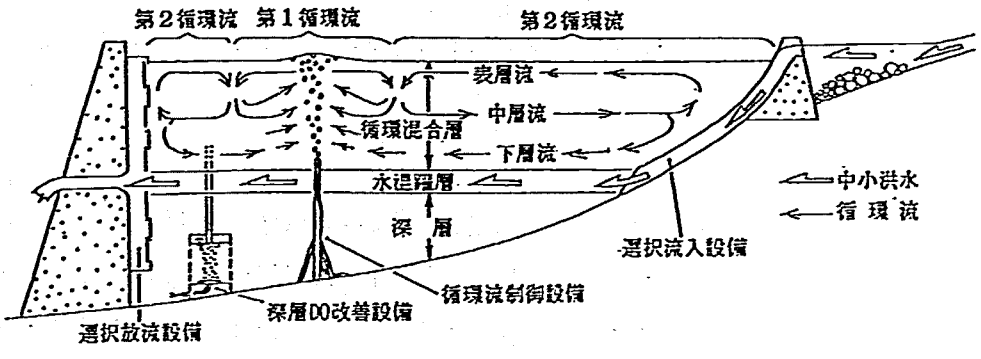
流動制御システムの水質保全効果や運用手法を検討するためにシミュレーションモデルを構築して、藍藻類の異常増殖の抑制効果や流動能力についての検討を行った。

3．研究方法

3．1　現地実験調査の概要

流動制御システムを実際に行っているダム湖で、曝気による湖内の流れを検討するために、6年度より曝気による流速を計測している。曝気によるダム湖内の流動の模式図を図－1に示す。

流速は、電磁流速計を使用し、貯水池内にワイヤーを張り固定点を設けて計測を行った。流速は、第1循環流、及び第2循環流（図－1参照）の両方に対して計測を行ったが、第1循環流は半径が数十m程度しかないため、貯水池内の全体の水質を対象とするシミュレーションモデルの検討に際しては、第2循環流の流速分布を使用た。また、シミュレーションモデル



図－1　湖内流動の模式図

のパラメータの同定を行うため、貯水池内の水質を定期的に測定した。

3．2　シミュレーションモデルの概要

流動制御システムには、大きく３つの水質保全効果がある。第１の効果は、平常時における曝気装置の効果で、ダム湖全体の表層に水温が均一で、厚さ１５～２０mの循環混合層を作ることにより、藍藻類が光を受けにくくしたり、優占しづらい環境を造るものである。第２の効果は、同じく平常時に栄養塩類を含んだ流入水を循環混合層の下に導き（図－１参照）、表層の藍藻類への栄養塩類の供給制限を行うものである。第３の効果は、中小洪水時に、初期流出の栄養塩を多く含んだ水を循環混合層の下に導き、選択取水等と組み合わせることにより速やかに栄養塩類をダム湖内から放流することで富栄養化の抑制を行うものである。このため、シミュレーションモデルは以上の効果を十分に評価できるモデルを構築する必要がある。

現在、貯水池における曝気循環のシミュレーションに使われている流動モデルのうち、代表的なモデルとして、ＥＰＡの式、揚水筒の式、バブルプルームの式、鉛直一次元モデルがあげられる。これらの流動モデルに対し、成立経緯、適用範囲、モデルの開発思想等の点から流動制御システムをシミュレーションするための適性について検討を行った。

表－１　　流動モデルの比較検討

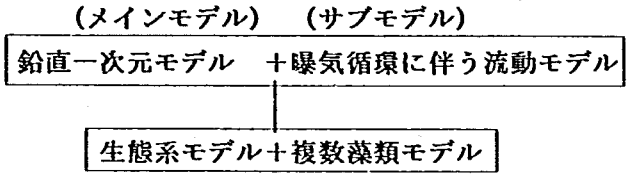
	モデルの概要	流動制御システムへの適用性
ＥＰＡの式	上昇する気泡によって生ずる流量を理論及び一部実験データから定式化したものであり、密度分布による流動量の違いは考慮していない。	多数孔のを主とした曝気装置による実験結果を反映しているため、対象とする単一孔には適用し難い。また、水域の水温鉛直分布の違いによる流動量の違いを表現できない。
揚水筒の式	日本で多く使用されている曝気装置の揚水筒によって生ずる流動を運動量方程式の理論式を元に、室内実験データで検証したモデル。	室内実験による気泡は、微細気泡を使用しているため多数孔に近い、またＥＰＡ式同様に密度差を考慮していないモデルである。
ﾊﾞﾌﾞﾙﾌﾟﾙｰﾑの式	曝気による鉛直流の流れから密度流等を考慮して現象を理論式より展開している。	単一孔の曝気装置を想定し密度流も考慮して計算を行っているが、パラメータの範囲が広く内容が複雑になっている。

以上の比較検討を行った結果、湖内流動を表現する場合、いずれも一次循環流を基本にモデル化を行っており、貯水池全体を表現する場合に問題となる二次循環流をモデル化したものではない。環境計画研究室で行うシミュレーションモデルは、実測を元に二次循環流をモデル化した鉛直一次元モデルを使用することにした。

ここで、将来的には、シミュレーションモデルは、ダム湖水質保全計画の検討段階において、流域からの目標削負荷量の検討や、ダム建設前の計画段階における流動制御による水質保全効果の定量的な検

討の際に用いられることが考えられる。このため、曝気による水質保全効果をシミュレーションで表現するには、鉛直一次元モデルについても、入力データや藻類の発生状況の表現について改良する必要がある。

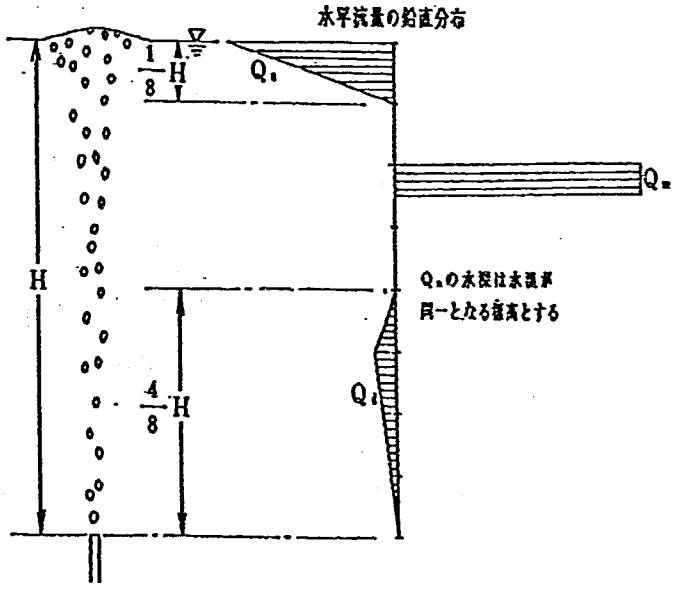
7年度に構築したモデルは、図－2に示されるように、流動モデルが組み込まれた鉛直一次元モデルに生態系モデルを付加し、さらにサブモデルとして複数藻類モデルが組み込まれたものである。



図－2　モデルの概念図

3．3　流動モデルの概要

流動制御の水質保全効果を表現するモデルは、従来からダム貯水池の水理水質解析に多く用いられてきた鉛直一次元富栄養化モデルに曝気装置によって生じる流動を表現する流動モデルを組み込んだものである。鉛直一次元モデルとは、ダム湖の水温・水質分布は水平方向に一様という仮定のもとに、水深方向に1～2m程度の厚さでコントロールボリュームを分割（層分割）したものである。これらの層について移流・拡散量を計算し、その結果を用いて水温，濁度，各水質の計算を行うものである。計算の基礎は熱量・質量保存式から成るが、流れの分布については、計算を簡略化するため、運動量保存の法則は適用せず、Crayaの選択取水公式等を用いている。また、流動モデルは、貯水池全体を予測対象とするため、曝気装置によって生じる流動の内、第2循環流（貯水池全域に生じる比較的流速の小さな流動）を水平流としてモデル化したものである。



図－3　第2循環流における水平流量の鉛直分布

流動モデルの水平流速鉛直分布を図－3に示す。第2循環流は曝気装置の上部で3層に分かれ、第1循環流に引き寄せられる求心的な表層流（図－3のQ_2）と、曝気による上昇流に直接引き寄せられる下層流（図－3のQ_3）および、これらが混合し等しい密度層に密度流として貫入してゆく中層流（図－3のQ_1）とから構成されている。

これらの流量については、表層流は実際に現地実験で計測された流速より、他の条件との関係を検討して式を導いた。一方、流速が小さく現地実験で測定困難な下層流は、表層流の式を用いて現地実験結果の水温鉛直分布経時変化を指標として、鉛直一次元モデルのシミュレーションにより計数の同定を行

った。また、中層流は表層流，下層流の和とし水平流量の式を求めた。水平流量の算定式を表－１に示す。

表－１　水平流量の算定式

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

$Q_m = Q_u + Q_d$ ……中間層の式

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

Q_u；第２循環流の表層流量（m^3/sec）　k_u；表層流量の係数（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）

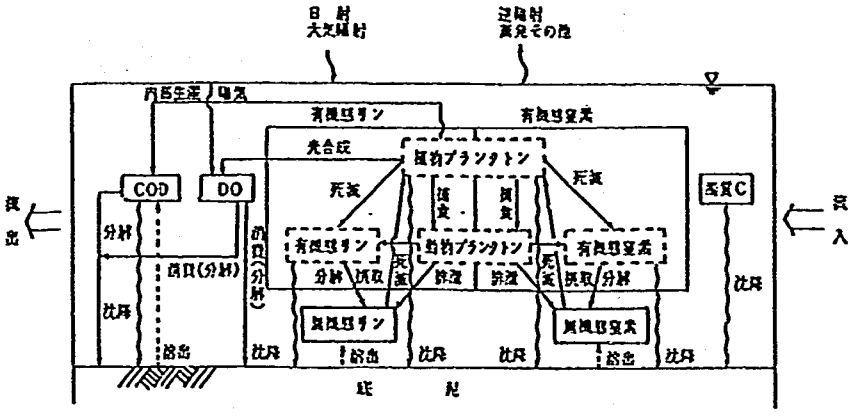
Q_d；第２循環流の下層流量（m^3/sec）　A_n；任意の曝気装置の空気量（ℓ/min）

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）

３．４　生態系モデルの概要

生態系モデルは、湖沼やダム湖の水質変化を植物プランクトンと動物プランクトンの挙動を中心に表現しており、これらの消長と窒素およびリン、ＤＯ、ＣＯＤ等の水質変化を関連づけて表現したものである。なお、植物プランクトンの増殖は、水温，光，無機態栄養塩の関数としている。生態系モデルの概念図を図－４に示す。



図－４　生態系モデル概念図

また、流動制御システムによる富栄養化現象に対する効果として、藻類群集の質的変化、すなわち優占種あるいは優占綱の変化も抑制効果として捉えることができる。つまり、流動制御システムにより、優占種が藍藻類から珪藻類や緑藻類へ変化することが水質保全効果（アオコ発生の抑制）となる。このため、シミュレーションによる予測においても、藻類をひとまとまりにせず、種類ごとに分けて計算する必要がある。そこで、生態系モデルに新たに複数藻類モデルを組み込んだシミュレーションモデルを開発することとした。

表－２　複数藻類モデルパラメーター

環境要素	藍藻類	緑藻類	珪藻類
最大比増殖速度	1.3	1.8	2.0
最適水温	30℃	20℃	10℃
水温とがり度	10	3	0.5
呼吸枯死速度	0.096(明) 0.2(暗)	0.140	0.096
捕食速度	0.25	0.1	0.1
沈降速度	0.0m/day	0.2m/day	0.4m/day

複数藻類モデルでは、藻類群集の質的な取扱いが必要となるため、生態系モデルの中でクロロフィルａを全藻類の現存量とせず、藻類の綱ごとに細胞数との関係を求めた。また、藻類のパラメータは、既往の知見に示された環境要素に対する大小関係を維持して現況再現計算を行い求めた。藻類綱で異なるパラメータを要した環境要素は、表－２に示す最大比増殖速度，最適水温，水温とがり度，呼吸枯死速度，捕食速度，沈降速度であった。

生態系モデルにおけるクロロフィルａの基本式を表－３に示す。

表－３　生態系モデルにおけるクロロフィルａの基本式

$$S(PPT) = \sum_{i=1}^{n} S(PPi)$$

i=1:藍藻類，2:緑藻類，3:珪藻類
注）ｎは、計算藻類数設定

$$S(PPi) = (Gpi - Dpi - Gzi) \cdot PPi$$

$$Gpi = \beta Si \cdot \mu max \cdot \left\{ \frac{T}{Ts} \exp\left(1 - \frac{T}{Ts}\right) \right\}^{nt} \cdot \frac{I}{KIs + I} \cdot \frac{IN}{KIN + IN} \cdot \frac{IP}{KIP + IP}$$

$$\beta Si = \exp(-\beta S3 \cdot \sum_{i=1}^{n} PPi) \cdot \exp(-\beta S2 \cdot PPi + \beta S1)$$

$$Dpi = RPPi \cdot \theta PPi^{T-20}$$

$$Gzi = Rgi \cdot \frac{KPPi}{KPPi + PPi} \cdot ZP$$

ここで

S(PP)	;	ｸﾛﾛﾌｨﾙa濃度変化量（μg/ℓ/日）
PPT	;	全藻類に相当するｸﾛﾛﾌｨﾙa濃度(μg/ℓ)
PPi	;	各藻類に相当するｸﾛﾛﾌｨﾙa濃度(μg/ℓ)
n	;	計算藻類数(-)
ZP	;	動物プランクトン濃度(mg/ℓ)
Gpi	;	各藻類に相当するｸﾛﾛﾌｨﾙaの増殖率（1/日）
Dp	;	各藻類に相当するｸﾛﾛﾌｨﾙa減少率（呼吸率）（1/日）
Gz	;	各藻類に相当するｸﾛﾛﾌｨﾙa（仮）捕食率（1/日）
βSi	;	各藻類のｽﾍﾟｰｽ効果係数（-）
βS1	;	各藻類の自己飽和によるスペース効果係数(-)
βS2	;	〃
βS3	;	全藻類の密度によるスペース効果係数(-)（ﾌﾚﾝﾄﾞｼｰ係数）
μmax	;	最大増殖速度（1/日）　注：補正項の式型による
Ts	;	最大増殖速度を与える最適水温（℃）
T	;	水温（℃）
nt	;	増殖速度の水温変化に対する感度（とがり度）(-)
Is	;	最大増殖速度を与える最適日射量（cal/cm²/日）
I	;	日射量（cal/cm²/日）
KIs	;	日射量に関する半飽和定数（cal/cm²/日）
KIN	;	無機態窒素に関する半飽和定数（mg/ℓ）
KIP	;	無機態リンに関する半飽和定数（mg/ℓ）
IN	;	無機態窒素濃度（mg/ℓ）
IP	;	無機態リン濃度（mg/ℓ）
RPP	;	ｸﾛﾛﾌｨﾙa消滅速度（呼吸率とも言われる）（1/日）
θPP	;	RPPに対する温度係数（-）
Rgi	;	動物ﾌﾟﾗﾝｸﾄﾝろ過率（捕食速度）（m³/g⁻ᶜ/日）
KPPi	;	ｸﾛﾛﾌｨﾙaに対する半飽和定数（μg/ℓ）

※：i=2,3（緑藻類、珪藻類）では、日射量補正項は下の強光阻害型とする

$$\frac{I}{IS} \exp\left(1 - \frac{I}{IS}\right)$$

３．５　流入水温の扱いについて

流動制御システムでは、流入河川の水温に大きく左右される。このため、詳細にシミュレーションを行うためには、時間変動を取り扱う必要があるが、一方で計算時間が膨大になるという問題もある

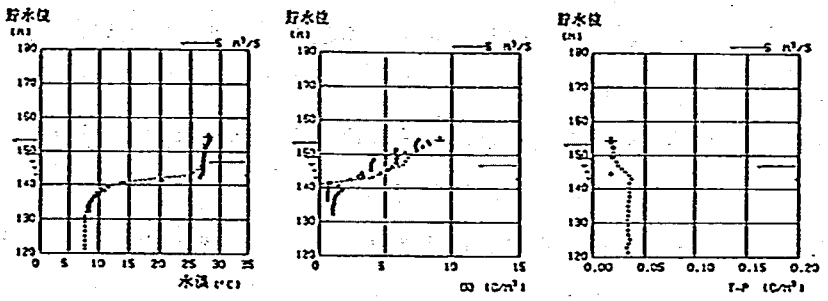
しかし、現地観測の結果より流入水温の日変動で、ダム湖への河川水貫入層の水深が、１０ｍ以上の幅を持つ可能性が確認されたため日データでは貫入水深が表現できないことが明らかとなった。そこで、現地の流入河川水温の連続調査を元に、昼間（０時～12時）と夜間（12時～24時）の平均を用いて河川水貫入層の時刻変化に対応出来るように改良した。

３．６　計算結果について

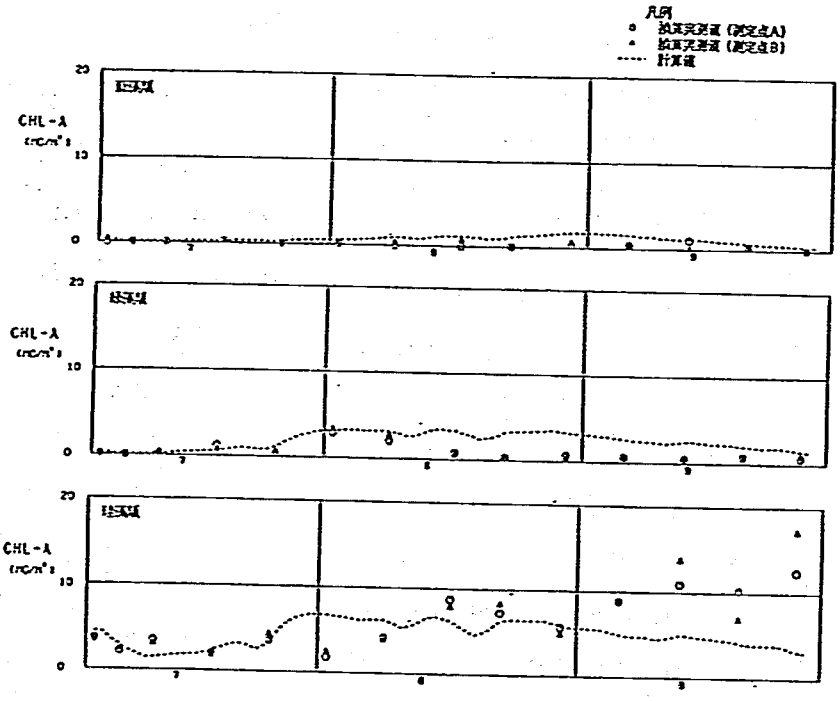
以上の事項を考慮し、鉛直一次元モデルを改良して流動制御システムにおけるシミュレーションモデルの開発を行った。

実際のダム湖で行った流動制御実験の調査結果とシミュレーションによる現況再現計算結果を図－５，６に示す。なお、図－６は、クロロフィルａを藻類種別に示したものである。図－５によれば、水温変化は十分に予測することが可能であり、ＤＯ，栄養塩等についても、ほぼ現況を再現することができた。また、流動制御システムにおいて一番の主眼である藍藻類の抑制作用についてシュミレーションを行っ

た結果については、図－６に示されているように、流動制御システムの稼働による藍藻類の抑制効果が確認できた。しかし、藻類の優占種の変化は読みとれるものの、実測値と比べると珪藻類の増殖が十分に表現できなかった。この原因については、今後、さらに検討を行っていく必要があるが、貯水池内の流動制御による水質変化は概ね予測可能であることが確認された。



図－５　水温等計算結果



図－６　藻類別のｸﾛﾛﾌｨﾙａの計算結果

４．今後の問題点

７年度は、流動制御システムによるダム湖の水質保全効果を定量的に予測できるシミュレーションモデルの開発を行った。このモデルにより汎用的な実用レベルでの効果検討が行えるが、藻類種の変化が完全に表現できたわけではなく、さらに検討が必要である。また、貯水池の一部分の水質予測等の詳細な検討を行う場合には、このモデルでは行えないため、今後必要な場合は、２次元モデルにより検討を行っていく必要がある。また、プログラムに汎用性を持たせるため、多くのダム湖での曝気実験による調査結果を用いて用いてパラメータの検討を行っていく必要がある。

6．　貯水池の水質保全に関する調査

6．2　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
研　究　員　久保徳彦
研　究　員　福渡　隆

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が、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については、これを対象としたPO_4-P 除去技術が近年まで開発されていないことから、効率的なPO_4-P 除去技術の確立が急がれている。

6年度は糸状藻類の安定的な増殖手法や栄養塩類の除去能力について検討を行い、定性的な能力について把握した。7年度は糸状藻類のPO_4-P 吸収のための条件の把握、増殖した糸状藻類の処理手法について検討を行った。

2．調査目的

本調査は糸状藻類が、いつどの様な条件で栄養塩類を吸収しているのかを調査し、効率の良い施設を作るための条件の検討を目的とした。また糸状藻類活用システムの維持管理費を軽減するため、糸状藻類の有効利用の可能性についての検討を目的とした。

3．調査方法

3．1　糸状藻類のPO_4-P吸収能力の日変動調査

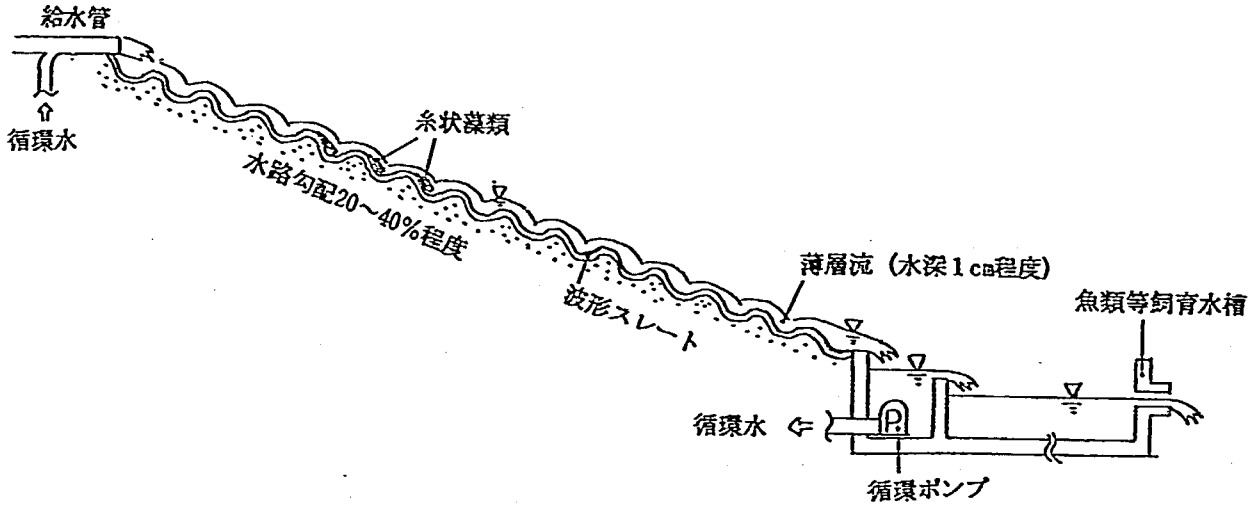
6年度に実施した糸状藻類の栄養塩類吸収能力の調査結果から、採水時刻（時間帯）により除去能力に差が生じている可能性が示唆された。このため、糸状藻類が何時どの様な条件で栄養塩類であるPO_4-P を吸収しているかを把握するため、2時間ピッチで２４時間連続して水質測定を行うことにより、糸状藻類のPO_4-P 吸収能力の日変動の検討を行った。

3．2　糸状藻類のPO_4-P吸収能力調査

糸状藻類の栄養塩類吸収能力に影響する要因として水温、流入水質が大きく起因すると思われるため、7年度は、長期間に渡り同一条件（水槽の形状・藻類回収頻度・流入量等）で実験を行い水温、水質の変化による糸状藻類の栄養塩類除去能力の変化について調査を行った。水質測定調査の頻度は週１回とし、採水後藻類の回収と水槽の洗浄を行った。

3．3　魚類による水質浄化効果調査

糸状藻類による水質浄化を進めていくうえで増殖した藻類の回収作業が、維持管理費の面から見て負担となってくるため、魚類に糸状藻類を食べさせることにより回収作業の低減化を行う研究を行った。実際には、急勾配水路タイプの水槽から剥離する糸状藻類を下に設けた魚類飼育水槽に流下するようにし（図－１参照）、魚類の餌とする方法により回収作業の低減化のための調査を行った。

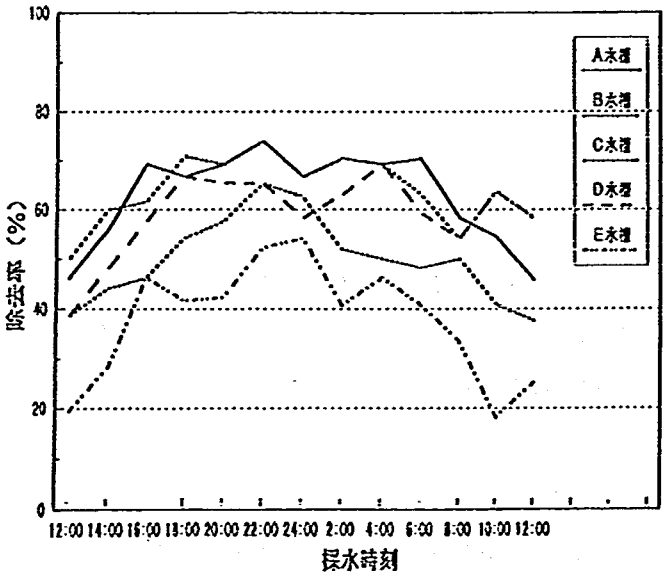


図－１　魚類による浄化効果実験装置図

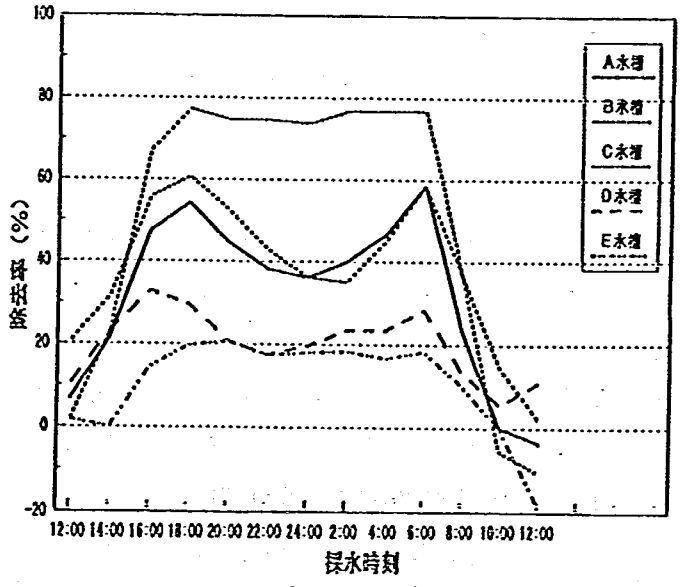
４．調査結果

４．１　糸状藻類のPO_4-P吸収能力の日変動結果

糸状藻類の浄化能力を５種類の浄化設備タイプごとに、２時間ピッチで２４時間計測を行った結果を図－２、図－３に示す。



図－２　２４時間PO_4-P変化図（５月）



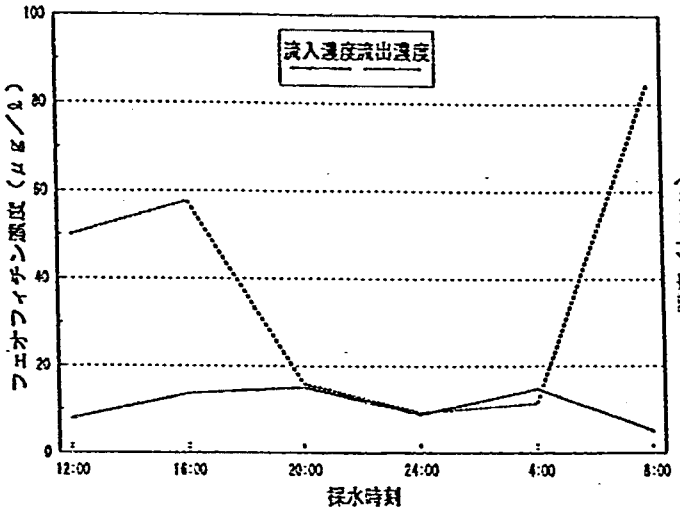
図－３　２４時間PO_4-P変化図（８月）

図－２、３より糸状藻類は、夜間に栄養塩であるPO_4-P を多く吸収していることが全てのタイプの水槽で確認された。また図よりその変化点として１８：００～６：００までの間で吸収能力が高くなっていることがわかった。その吸収能力は１８：００～６：００まで夜とし残りを昼とした場合、単純に除

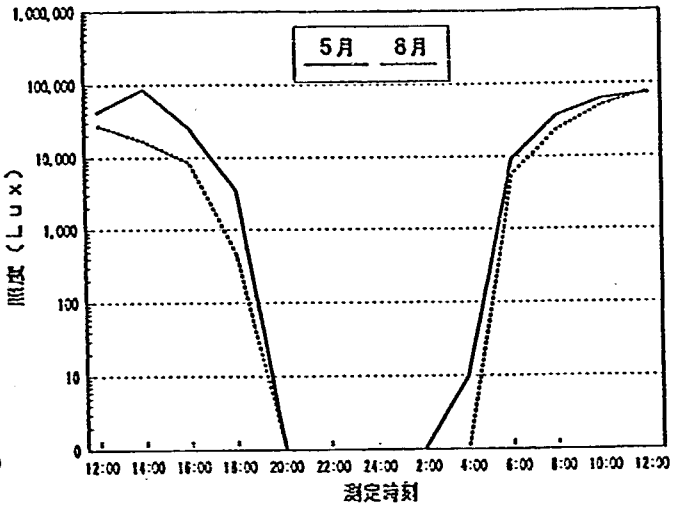
去率を平均すると、昼に対する夜の除去能力は５月のデータでは１．３倍、８月のデータでは２．４倍の差が生じた。

この吸収能力の差の要因として太陽光線が考えられ、実際に照度を測定した結果を図－４に示す。この図より吸収能力の変化点と同様に照度が１８：００、６：００を基点に変化していることが読みとれ糸状藻類の光合成の作用が吸収能力に影響していることがわかる。

また、吸収能力の差の要因を詳しく検討するために８月の調査の際、フェオフィチン（藻類の死細胞量の指標）の測定を行った、その結果を図－５に示す。この図より昼間の時間には、藻類の細胞が多く死んでいることが確認できる。



図－４　２４時間照度変化図



図－５　２４時間フェオフィチン変化図

以上述べたように、糸状藻類は１日の中で夜（18:00～ 6:00）に多く栄養塩類を除去している。その要因としては、太陽光線が影響しており藻類が昼間光合成の活動をしているときに栄養塩類の除去能力が低下していることから、以下の２つの要因が想定される。

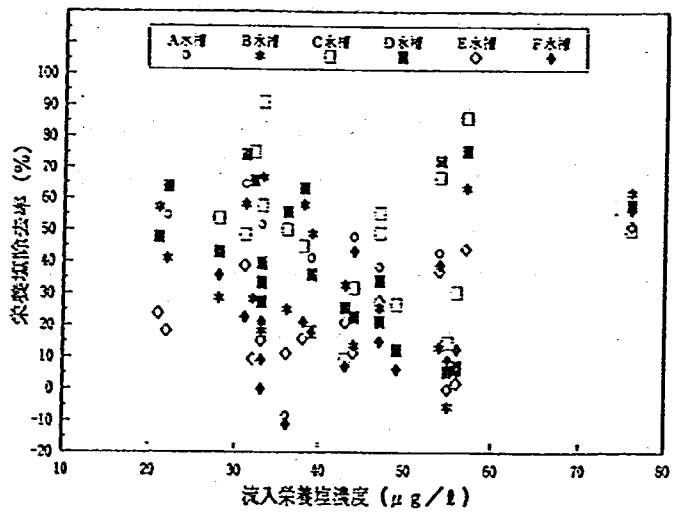
①. 藻類が光合成の活動を行っている時には栄養をあまり吸収せずに、光のない夜のうちに吸収した栄養を体内に蓄えておき昼間の光合成の活動に使用している。

②. 光の強い昼間に光合成を行い藻類が活動を活発に行うことによって古くなった細胞が死滅し分離していく。このことにより細胞が死亡したときに細胞内に取り込まれていた栄養塩が流失し昼間の栄養塩の除去能力が相対的に低下したように測定されている。

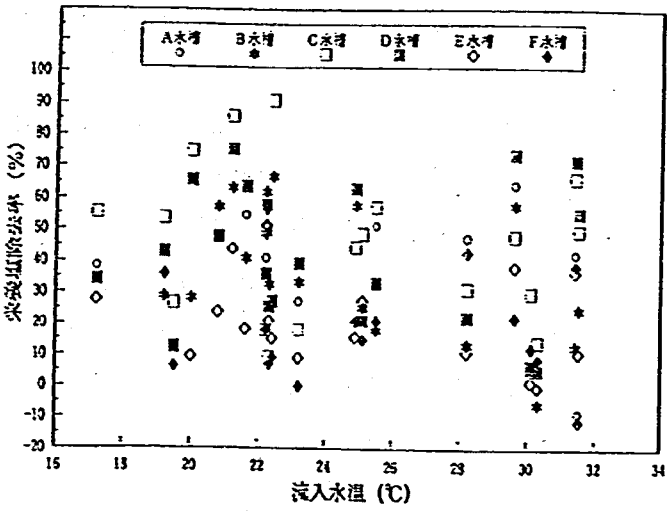
今回の実験により、糸状藻類の日周期での除去能力の変化がとらえられ、その要因として２つの状況が想定された。しかし、現在の資料では日変動の要因を解明するまでには至らないものの、糸状藻類の浄化施設は昼間の浄化能力よりも夜の浄化能力が春で１．３倍、夏場で２．４倍程度高いことが確認できた。

４．２　糸状藻類のPO_4-P吸収能力調査結果

水槽の形状・藻類回収頻度・流入量等の条件を長期間に渡り同一とすることによって、糸状藻類の栄養塩類吸収能力と水温、流入水質との関係の調査を行った。その結果を図－６、７に示す。

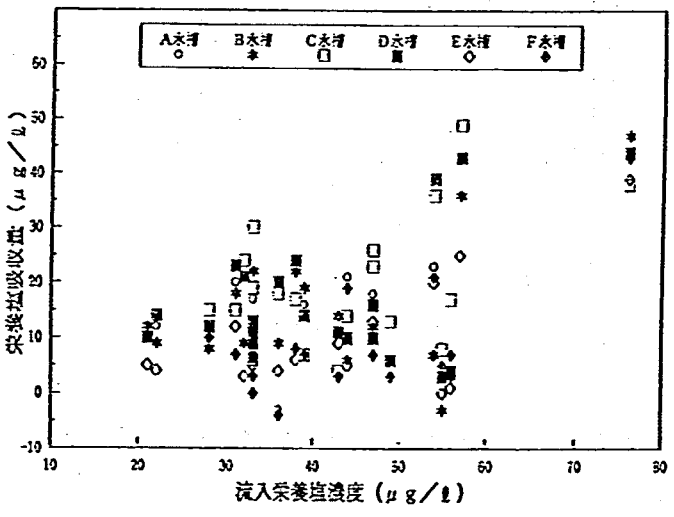


図－6　栄養塩吸収率の水質変化

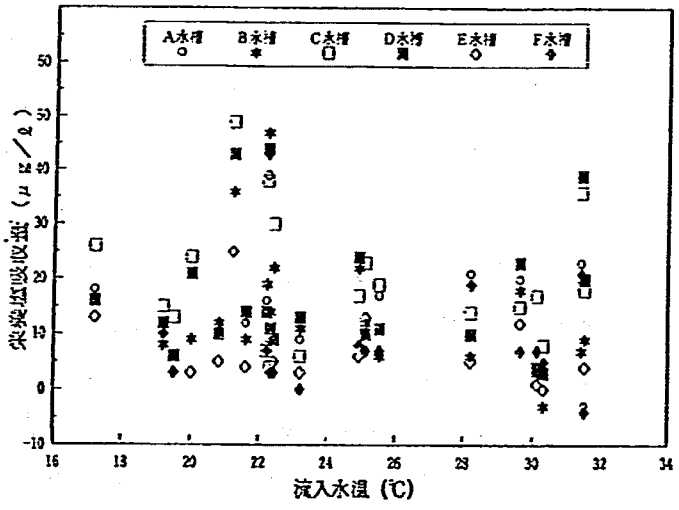


図－7　栄養塩吸収率の水温変化

糸状藻類の栄養塩吸収能力を把握するために、流入栄養塩濃度、水温と栄養塩除去率との関係を示したものが図－6、7である。しかし、これらのグラフより一定の傾向は見い出し難いことから、栄養塩吸収量との関係についてもグラフ化し　図－8、9に示す。



図－8　栄養塩吸収量の水質変化



図－9　栄養塩吸収量の水温変化

図－8より栄養塩濃度が増加することにより、糸状藻類による栄養塩の除去量も増加していることがわかるが、図－9のグラフでは図－7と同様に水温と、糸状藻類の吸収量との間には一定の傾向を読みとることは出来ない。この傾向は6年度の調査結果にも見られ、水温がさらに低い冬季間に行った実験でも今回と同程度の除去量が得られている。このことから、今年度観測された程度の水温変化では吸収能力に変化はないものと思われる。また、グラフ内の点のばらつきは、測定日以前の気象状況や糸状藻類の発生量の違い及び実験水槽内に増殖している藻類の優占種等の条件の差異に起因する影響量が含まれているものと思われる。このように、データには他の因子が多く含まれており、測定結果に影響を与えているものと考えらえることから、今後出来る限りの影響を除去し、正確な除去能力を把握する必要がある。

4．3　魚類による水質浄化結果

急勾配水路タイプの水槽より剥離する糸状藻類を人為的な回収を行うことなく、下流に設けた魚類飼育水槽（図－１参照）の魚に食べさせることにより、流下した糸状藻類のヘドロ化やヘドロ化に伴う栄養塩の再溶出の抑制の可能性について、PO_4-P の水質調査結果を用い検討を行った。

この実験は２つの水槽で行い、１ヶ月間魚類を入れずに稼働させた後、各水槽にヘラブナ５匹、コイ５匹（体調１４ｃｍ程度）をいれ、２ヶ月環境にならせてから実験を行い水質調査を開始した。なお、２ヶ月の間にヘラブナが１号水槽で２匹、２号水槽で３匹へい死していた。

また実験終了後、魚の確認を行ったところ、１号水槽でヘラブナ１匹、コイ２匹がへい死しており、２号水槽でコイ２匹がへい死していた。よって、実験終了時には、１号水槽、２号水槽ともヘラブナ２匹、コイ３匹となっていた。

表－１に、急勾配水路タイプの浄化量と魚類飼育水槽を通過した後の水質について示す。

表－１　魚類飼育による水質効果について

D.PO_4-P(μg/l)	調査開始	２週間後	４週間後	６週間後	８週間後	10週間後	12週間後
流入水質	３９	３３	３６	５６	４４	４７	３３
急勾配１号水槽	－１６	－　９	＋　３	－　７	－２１	－１２	－２２
魚類飼育水槽	＋　４	＋　８	－　８	＋　１	－　３	－　３	＋　２
急勾配２号水槽	－１９	－１１	－　９	－　３	－　６	－１２	－２２
魚類飼育水槽	０	＋　３	－　１	＋　３	＋　１	０	＋　２

注：各水槽の数値は、それぞれの水槽における濃度差（＝流出－流入）を示す。

上表によれば、夏季の約３ヶ月間の長期にわたる調査においても魚類飼育水槽での栄養塩類の溶出は極めて低い値で推移していた。この結果、急勾配水路タイプの浄化設備の下流に魚類の飼育水槽を設けることにより、藻類の回収作業を伴わない糸状藻類による水質浄化システム構築の可能性が確認出来た。

４．４　魚類に変化について

４．３の結果で述べたように魚類に糸状藻類を食べさせる手法は、十分に実用性のある方法だと思われるが、実際に魚類自体の重さを実験前後で計測した結果、コイは体重が増加していたがヘラブナについては体重が減少していた。ただし、この結果は魚一匹一匹に印を付けていなかったため水槽内にいる魚の平均体重により考察している。この結果より、浄化システムに用いる魚類には、種類により向き不向きがあるものと考えられ、今後調査を進めていく必要がある。また、約半分の魚がへい死した要因としては、

①．水槽が小さい（縦165cm、横40cm、水深30cm）ために酸素不足を起こした。

②．流下する糸状藻類だけでは餌が不足していた。

③．餌の量として足りていたが糸状藻類だけでは生きていけなかった。

等が上げられる。しかし、①、②の問題は今後実験により適正な水槽の大きさや、藻類の流下量を調査することにより解決できる問題である。また、③の問題として、実際に魚（イズミダイ）をもちいて餌

を糸状藻類だけで20日間継続して飼育実験を行った結果、魚は死ぬことはなかったが一般の餌より成長が遅かった。これらは、植物性の餌しかなかったためであって小魚や昆虫等の動物性の餌も必要であることが示唆されたことから、浄化設備の水槽にはある程度の生態系が必要であると思われる。

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７年度の実験結果にも述べた様に更に詳細な研究をすすめる必要がある。

また、実験水槽の規模を更に拡大し対象流量を大きくすることにより実際の浄化設備としての問題点の検討を行う必要がある。

5．25　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
研　究　員　久保　徳彦
研　究　員　福渡　隆

1．まえがき

本研究では、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を実際に管理中のダムにおいて稼働させることによって、曝気による湖内流動の発生、水温躍層の制御による流入栄養塩の湖内滞留の短縮、及びこれらによるダム湖の浮遊藻類の異常増殖の抑制というシステムの基本的メカニズムを把握し、実規模におけるシステムの概略の諸効果を把握した。

7年度は、流動制御システムの運用手法についての検討を行った。

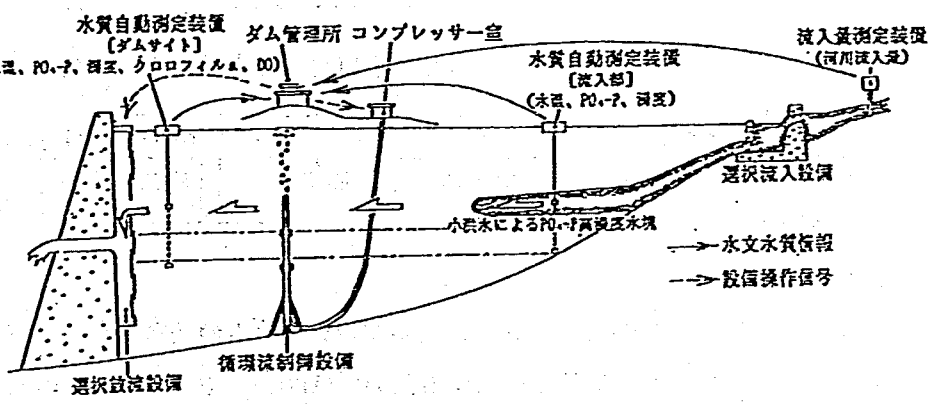
2．調査目的

ダム湖において流動制御システムを効率よく使用するためには、運用手法の検討が必要である。また、最適な運用を行うためには専門的な知識が要求されるとともに、貯水池内の水質自動監視装置のデータによりコンピュータ管理を行うための無人遠隔操作システムの開発が必要である。

3．調査方法及び調査結果

3．1　循環流制御設備の操作

循環流制御設備は、散気方式曝気を行いダム湖表層に温水でしかも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。このシステムの運用に際しては、洪水時に高負荷の栄養塩類や高濁質が循環混合層に侵入してきた場合に、曝気によって循環混合層全体に撹拌してしまわないよう留意する必要がある。ここで、循環流制御設備は、曝気水深が5mおきに切り換えが可能な多段式の設備が有効であると考えており、水質自動測定装置や流入量測定装置等の情報設備と連動させて無人遠隔操作とすることも可能である。流入量測定装置と連動させることにより、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、ある河川流入量になれば曝気



図－1　基幹設備と情報設備との組み合わせ例

を自動的に停止することが可能となる。また、洪水後にはダムサイトの水質自動測定装置と連動させることにより、ある曝気標高以浅のPO_4-P濃度または濁度が許容されるレベル以下であると判定すれば、その標高より曝気を再開し、水面付近に一次躍層が形成されるのを抑制することが可能となる。さらに、これらの操作をコンピュータにより管理し、遠隔操作で行うことによって、操作の専門知識がなくとも効率よく無人で循環流の制御を行える管理手法の確立が可能になるものと考えられる。図－１に基幹設備と情報設備との組み合わせ例を示す。

３．２　循環流制御設備の運用

循環流制御設備は、図－１に示す位置に設置した水質自動測定装置及び流入量測定装置の情報と連動させて操作することにより効率的に運用することができる。具体的な運用手法としては、７年度までに他の研究テーマで循環流制御設備の現地実験を行い調査してきた結果によれば、表－１に示すような操作規則例が基本となる。また、最適な運用を行うためには、水質自動測定装置は、表－２に示す水質項目に対して濃度区分ごとに下欄の測定精度が求められる。

表－１　循環流制御設備の操作規則例

流入状況	流入河川流量 (m^3/sec)	流入部 PO_4-P ($\mu g/\ell$)	ダムサイト濁度 (度)	ダムサイト PO_4-P ($\mu g/\ell$)	ダムサイト・クロロフィルa 表層が <20 $\mu g/\ell$	表層が 20～50 $\mu g/\ell$	表層が ≧50 $\mu g/\ell$
出水時	≧Qi	–	–	–	曝気停止		
出水直後	<Qi	水深H以浅に≧Auの層がある	–	–	曝気停止		
平水時	<Qi	水深H以浅は<Au	水深H以浅に≧Bdの層がH_1にある	水深H以浅に≧Adの層がH_2にある	曝気装置 水深…H_1かH_2の浅い方 能力…P_1	曝気装置 水深…H_1かH_2の浅い方 能力…P_1+P_2	
	<Qi	水深H以浅は<Au	水深H以浅に≧Bdの層がH_1にある	水深H以浅は<Ad …	曝気装置 水深…H_1 能力…P_1	曝気装置 水深…H_1 能力…P_1+P_2	曝気装置 水深…H+(5～10)m 能力…P_1+P_2
	<Qi	水深H以浅は<Au	水深H以浅は<Bd	水深H以浅に≧Adの層がH_2にある	曝気装置 水深…H_2 能力…P_1	曝気装置 水深…H_2 能力…P_1+P_2	
	<Qi	水深H以浅は<Au	水深H以浅は<Bd	水深H以浅は<Ad	曝気装置 水深…H 能力…P_1	曝気装置 水深…H 能力…P_1+P_2	曝気装置 水深…H+(5～10)m 能力…P_1+P_2

Qi：流入河川の年平均流量の3倍程度 (m^3/sec)。
Au：流入河川の年平均PO_4-Pの3倍程度 ($\mu g/\ell$)。
Ad：流入河川の年平均PO_4-Pの1/2程度 ($\mu g/\ell$)。
Bd：流入河川の年平均濁度に表れる程度を加えた値 (度)。
H：曝気水深(m)。例えば5月15日以前はH=10m、5月15日以降はH=15mとする。
P_1：通常装置の空気量(l/min)。
P_2：予備装置の空気量(l/min)。

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 (精度は±2.5 $\mu g/\ell$) 中位の精度 粗い精度

クロロフィルa ($\mu g/\ell$)	0 ←→ 50 ←→ 100 ←→ 300
精度の目標	細かい精度 (精度は±1 $\mu g/\ell$) 中位の精度 粗い精度

４．今後の問題点

７年度は、循環流制御設備の無人遠隔操作のシステムの基本的な設置方法及び運用方法を確認できた。しかし、このシステムを効果的に運用するためにはPO_4-P やクロロフィルa 等の水質自動測定装置の精度を向上させる必要がある。

2．1　軽石濾過システム現地実験

環境計画研究室　室　　長　丹羽　薫
研　究　員　久保　徳彦
研　究　員　福渡　隆

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は、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の除去や、ダム湖の流動を制御することによる藻類の異常増殖の防止、藻類そのものの除去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。

７年度は、湖水の軽石濾過実験を通年で行い除去効果の把握と施設維持のための構造について研究を行った。

2．研究目的

本実験は、軽石濾過システムにより、湖沼等の水より直接藻類の除去を行い富栄養化による藻類の異常増殖問題などの抑制を行う研究であり、実際には軽石による除去効果の検討、効率的に除去するための施設構造の検討、及び濾過閉塞や濾材からの栄養塩類の溶出をおさえるための濾材の洗浄手法の検討などを行うことによって、軽石濾過システム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

3．1　軽石による濾過実験

湖水を原水として軽石濾過による現地濾過実験を行った。実験方法は、２㎥の水槽に粒径２㎜～３㎜の軽石を厚さ30cm入れ下向流方式により濾過を行った。また、濾過速度として90cm/hour を目標に調整し濾過層を週１回、空気と水を混合させた洗浄装置により濾材洗浄を行った。

3．2　水質浄化効果検討実験

軽石濾過による除去効果を検討するため湖にシートを用いて隔離した同じ大きさの水界を２カ所作り、隔離水界内の水を軽石濾過により濾過した場合と、濾過しなかった場合の隔離水界内の水質を比較することにより水質浄化効果の検討を行った。隔離水界内の滞留時間は、約２日と約８日の２ケースを設定して実験を行った。滞留時間を約２日に設定した実験では、縦８ｍ×横８ｍ×水深２．５ｍの水界を作り、濾過水槽を２基使用して３週間の連続実験を行った。また、滞留時間を約８日に設定した実験では、縦１２ｍ×横１２ｍ×水深２．５ｍの水界を作り、濾過水槽を１基使用して４週間の連続実験を行った。

浄化効果を把握するために隔離水界内、対照水界内及び濾過水のクロロフィルａ、濁度、Ｔ－Ｐの変化を調査した。

4．研究結果

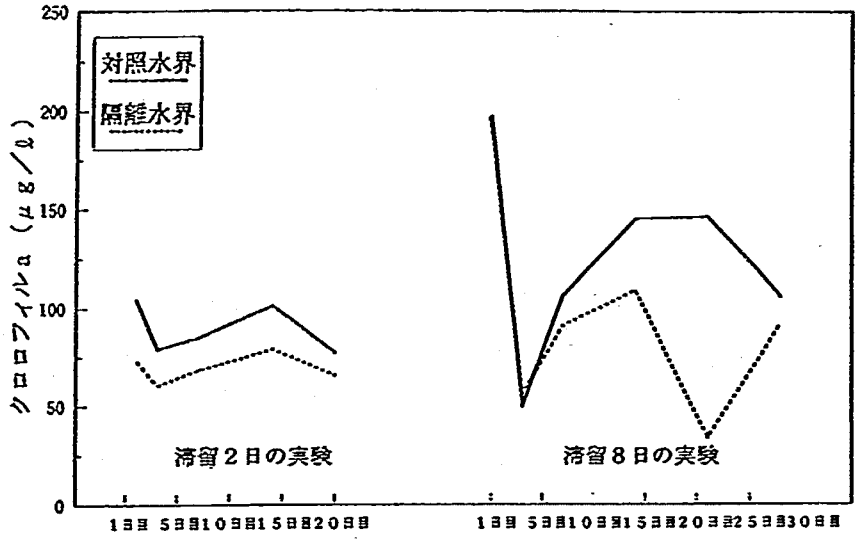
軽石濾過の連続実験を行った結果を表－１に示す。また、対照水界内と濾過を行った水界内のクロロフィルａのグラフを図－１に示す。

表－１　軽石濾過水質調査結果

	滞留時間２日の実験			滞留時間８日の実験		
	平均流入濃度	平均除去率	平均除去量	平均流入濃度	平均除去率	平均除去量
ｸﾛﾛﾌｨﾙa	６５μg/l	８０%	５０μg/l	１００μg/l	６０%	６０μg/l
濁　度	１８度	８０%	１５度	１７度	６０%	１０度
Ｔ－Ｐ	１３０μg/l	３０%	４０μg/l	１５０μg/l	３０%	４５μg/l

表－１及び図－１より一番藻類の増殖しやすい夏期に２ヶ月間連続して行った結果でも軽石濾過により濁質や栄養塩類が除去されていることがわかった。

しかし、図－１では、水界内の水質は軽石濾過を行っているにも関わらず除去効果（経日的な減少傾向）が現れていない。ここで、平均除去量より水界内の栄養塩の総除去量を計算すると、Ｔ－Ｐで、40μg/l→40mg/㎥×（1.8㎥/h×２水槽）×２４時間×２１日＝72,576mg　の総除去量となり、１ℓに換算すると、72,576mg÷（8m×8m×2.5m）＝453.6mg/㎥→453.6μg/l 除去していることとなる。



図－１　クロロフィルａの経日変化

また、滞留時間が８日の実験でも　45μg/l→45mg/㎥×1.8㎥/h×２４時間×２８日＝54,432mg　の総除去量となり１ℓに換算すると、54,432mg÷（12m×12m×2.5m）＝151.2mg/㎥→151.2μg/lとなる。

この計算結果より隔離水界内のＴ－Ｐは、全て除去出来ていることとなるが実際の水質結果には、現れていない。これは、波や隔離水界施設の構造の問題により遊水池の水が進入したのが確認されており、これが要因の一つと考えられるが、遊水池底部に貯まっている泥や藻類の波によるまきあげや、嫌気化による栄養塩溶出などの影響も考えられる。

5．今後の問題

軽石濾過システムにより藻類や栄養塩類の継続的除去が行えることがわかり、システムの構造について概ね確認できた。しかしシステムの施設規模を決めるためには、対象水量を何日で濾過すると藻類の異常増殖が抑制できるかを把握する必要があり今後検討していく必要がある。

1．21　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
研　究　員　久保徳彦
研　究　員　福渡　隆

1．まえがき

ダム湖において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である。流動制御システムは複数の設備から成り立っており、入江循環設備もこのシステムの一部を構成する。ダム湖内における入江水域（水深10m以下を対象）は水の滞留が起こりやすく、流入する河川から栄養塩類が常時供給されるため、貯水池内で曝気を行っていても富栄養化による藻類の異常増殖が起こりやすい水域となる。そこで、曝気によって発生する密度流を利用して効率的に入江水域を循環させ、入江水域の水を強制的にダム湖の主水域の水と入れ替えることにより局所的な藻類の異常増殖を抑制しようとする施設が入江循環設備である。

7年度は、6年度の入江循環設備の原理検討実験の結果をうけ、施設構造の詳細検討や水の入れ替え効果の調査を行った。

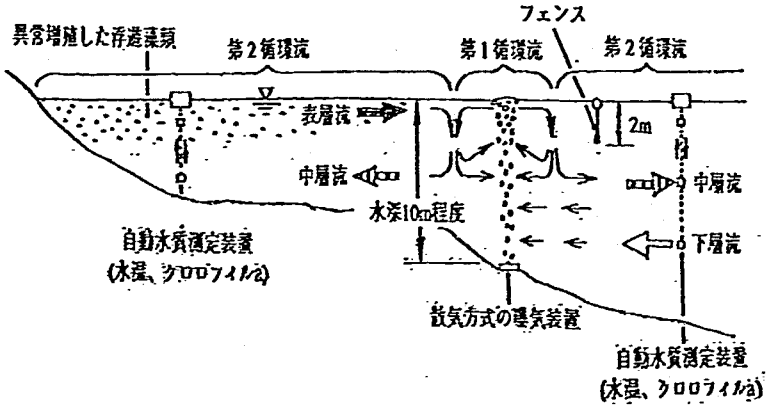
2．研究目的

流動制御システムの中の設備である入江循環設備の効果を調査するため、曝気装置によりダム湖の富栄養化対策を行っている実際のダムで、水の滞留が起こりやすい入江（沢の出口）に入江循環設備を取り付け、基本構造の検討、効果の把握などを目的として研究を行った。

3．研究方法

3．1　入江循環設備

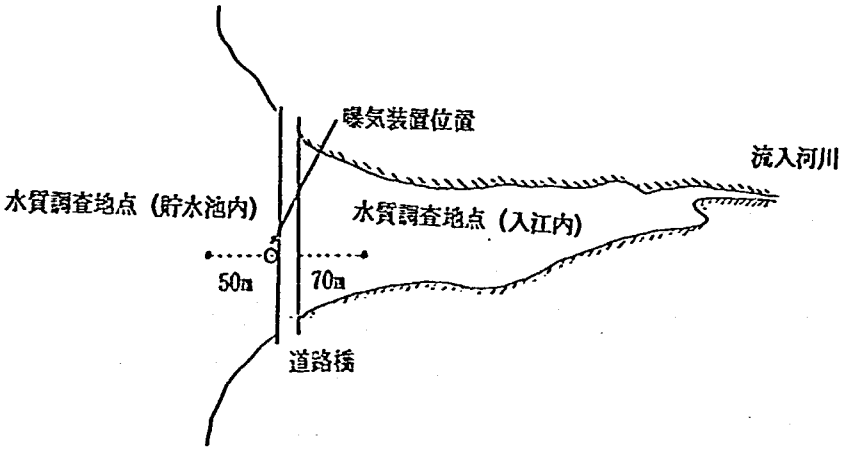
散気方式による流動のメカニズムを利用して、滞留しやすい入江水域の水を強制的にダム湖の主水域の水と入れ替えるための施設が入江循環施設である。入江循環設備の設備例を図－1に示す。また、将来的には図－1に示したように自動水質測定装置と曝気装置を連動させ運用を無人操作で行えるようにする。



図－1　入江循環設備概要

3．2　現地実験

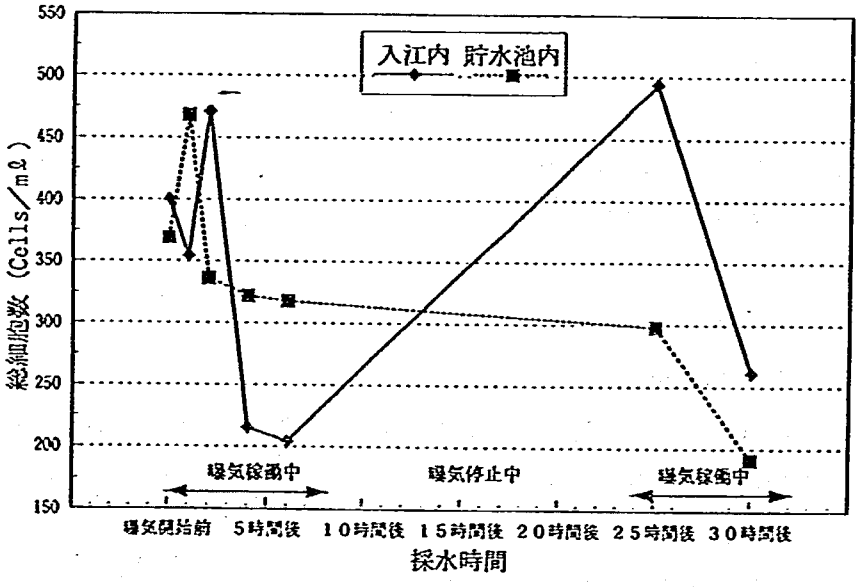
実際に曝気による流動制御を行っているダムの入江で、入江循環設備の効果調査実験を行った。現地実験の平面図を図－２に示す。入江は、奥行き300m、開口幅100m、面積1.5haの大きさで、曝気の空気量は、1,090 ℓ/minで実験を行い、曝気装置の稼働方法として流動を起こすために水温差が必要であることから１日８時間だけの運転を行った。また、入江内の変化を観測するために図－２に示した２地点で水質及び植物プランクトンの調査を行った。調査は、両地点とも水深２mで実施した。なお、今回の実験では図－１に示すフェンスは使用しなかった。



図－２　現地平面図

4．調査の結果

入江循環設備による現地実験の調査結果を図－３に示す。連続して８時間の曝気を行った後、１６時間曝気を停止したところ、この間流入河川の影響で入江内の植物プランクトンの総細胞数が貯水池内より上昇したことが確認された。しかし、曝気装置を再稼働させた５時間後の調査で、入江内の植物プランクトンの総細胞数が半分近くまで減少していることを確認した。これは、入江曝気装置を用いることで入江水域とダム湖の主水域とで水の交換が可能であることを示すものである。



図－３　植物プランクトン変化図

5．今後の問題

浮遊性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界を入江循環設備により強制的に循環できることが確認できた。今後の問題として最適な曝気の空気量や稼働時間等の運用手法の検討を行い、水質自動測定装置との連動により、無人操作を行えるシステムの構築を行っていく必要がある。

１０．２　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
研　究　員　久保　徳彦
研　究　員　福渡　隆
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。このため、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。そこで、ダム湖や遊水池等の生態系を制御して利水障害の原因と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った。７年度は、６年度に設置した実験装置を改良し、プランクトン（植物・動物）の変化について継続的に調査した。

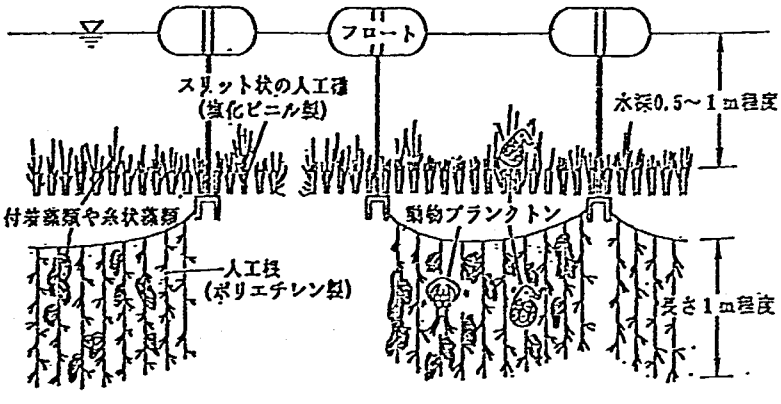
２．調査目的

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。生態系制御システムは、この食物連鎖網を活用して、植物プランクトンの異常増殖を抑制する方法であり、７年度は、冬より設置してあった装置を使用して、出来るだけ早く異常増殖の抑制環境を創造することを目的として調査を行った。

３．調査方法

３．１　生態系制御システムの概要

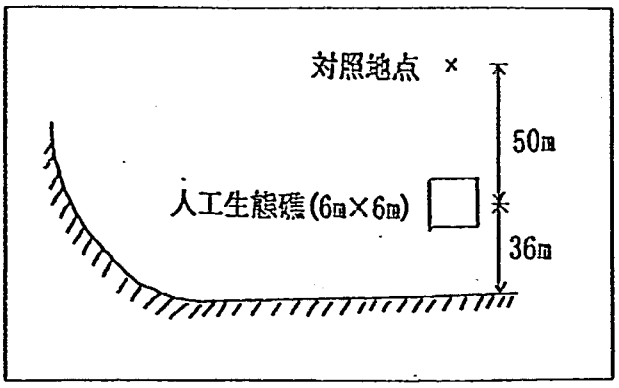
生態系制御システムは、自然湖沼やダム湖、遊水池等の流入端や護岸に動物プランクトンが安定的に増殖できる環境を人工的に創造し、動物プランクトンに植物プランクトンを捕食させる方法により生態系を制御して植物プランクトンの異常増殖を抑制する方法である。生態系制御システムを構成する人工生態礁の概要を図－１に示す。人工生態礁は塩ビ板がスリット状に組まれた人工礁であるが、平成７年度には動物プランクトンの増殖効果をあげるため生態礁の下にポリエチレン製の人工根をつり下げた施設を用いて実験を行った。



図－１　人工生態礁

3．2　水質調査地点

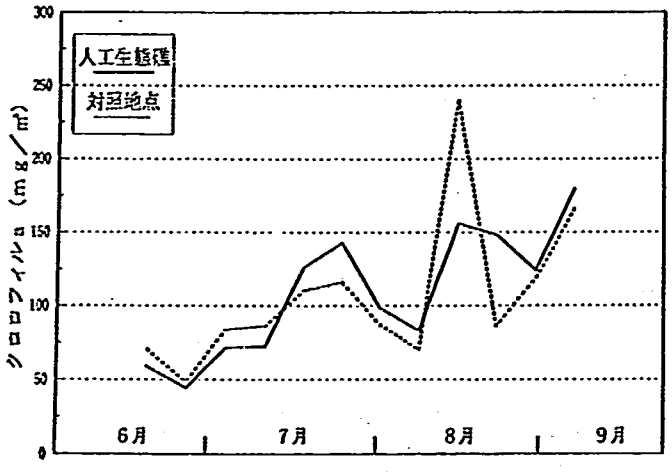
水質調査は人工生態礁の効果を把握するために3ヶ月間連続して週1回の頻度で実施した。水質調査位置図を図－2に示す。



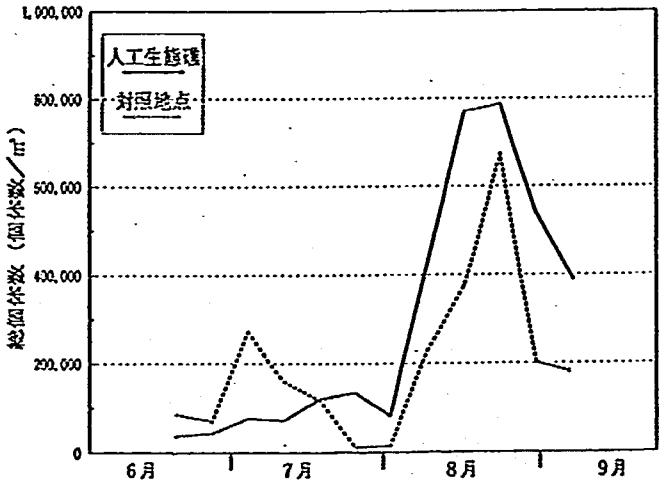
図－2　調査位置図

4．調査結果

クロロフィルaの調査結果を図－3に示す。各調査地点とも増減を繰り返しながら増加するという傾向で推移し、平均値で見ると人工生態礁で109mg/㎥に対して対照地点で107mg/㎥とほぼ同じ値であった。ただし、図－3のグラフに示した通り対照地点で241mg/㎥のピークを迎えた時に、人工生態礁の方では156mg/㎥と人工生態礁の方が若干低くなった。なお、植物プランクトンの総細胞数や出現種については両地点での差はほとんど見られず、実験期間中を通して*Microcystis* sp. や *Phormidium* spp. *Merismopedium* sp. 等の藍藻類が優占した。動物プランクトンについては、藍藻類が優占する富栄養湖で発生しやすい傾向にある輪虫類の*Brachionuscalyciflorus*や*Asplanchna brightwelli*が多く優占していた。動物プランクトンの総個体数の調査結果を図－4に示す。7月下旬以降、対照地点よりも人工生態礁の方が多くなり特にクロロフィルaが高い値を示す時期には、優占種である*Brachionus calyciflorus* の個体数の増加が顕著に現れていた。*Brachionus caly-ciflorus*は藍藻類を補食することが確認されていることから、対照地点でクロロフィルaがピークを示した時に人工生態礁でのクロロフィルaの低下に影響していることが示唆される。



図－3　クロロフィルaの経時変化



図－4　動物プランクトン総個体数の経時変化

5．今後の問題点

7年度では、藍藻類の増殖が顕著な時期に対照地点に比べて人工生態礁の方が多くの動物プランクトンの増殖が確認された。しかし、定量的には対照地点との差があまり見られずクロロフィルaの抑制を一時的にしか行えなかった。今後さらに生態礁の構造の検討を行い定量的に動物プランクトンを多く保てる施設の検討を行っていく必要がある。

発　表　論　文

環境計画手法に関する研究

（発表論文）

環境経済評価技術に関する研究

S5-4 6

Measuring the Benefit of the Recreational Area next to Dam Reservoirs
ダム湖畔のレクリエーション地区に関する便益の評価

Yoshiharu NAMIKAWA* Kaoru NIWA** Seizou TAKEBAYASHI***
並河 良治* 丹羽 薫** 竹林征三***

公共事業は、客観性が求められており、「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を的確に評価することが求められている。
本研究は、このような背景からダム湖の環境整備を例に「レクリエーション地の環境」という非市場財の経済評価を二分仮想金銭化法を用いたアンケート調査を通して試みるものである。

KEY WORDS: 経済評価、二分仮想金銭化法、レクリエーション

1．はじめに

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が、それは、日本の経済も成熟期に入り、ＧＮＰといった指標では欧米に追いついたこと、その一方で社会資本の整備については欧米の水準にまだ達していないことを背景とし、さらに、「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の評価手法が確立されていなかったため、これらの点に関して十分な対応がなされなかったことに対する反省も含め、更に高い水準を目指してこれら直接金銭評価できないものにも焦点を当てて整備を行っていこうとするものである。しかし、公共事業で行う社会資本整備には客観性が求められることに変わりはなく、このような状況から「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を的確に評価することが以前にもまして求められている。

本研究は、このような背景からダム湖の環境整備を例に「レクリエーション地区の環境」という非市場財の経済評価を試みるものである。

2．非市場財の価格決定について

市場がない財の経済評価には、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。

*、**、*** Public Works Reseach Institute, Ministry of Construction
*、**、*** 建設省土木研究所

代理市場価格を用いる手法には、不動産価格を用いるもの、旅行費用を用いるもの等があり、特にレクリエーションに関する評価には旅費法（ＴＣＭ:Travel Cost Method）が用いられることが多い。[2]旅費法は、レクリエーションサイトを訪れる人がその訪問に際して支払う費用からそのレクリエーションサイトから得られる便益を推計するものである。既に、あるレクリエーションサイトの訪問者数とその地域分布、交通機関選択などのデータがあれば、ＴＣＭによりそのレクリエーションサイトから得られる便益を推計することができる。しかし、ＴＣＭでは、サイト全体の便益は測れても、サイトの持つ様々な属性それぞれの便益を測ることはできない。また、ＴＣＭを用いて現存しないレクリエーションサイトから得られる便益を計測することは困難である。

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。

本研究は、そのような環境質の変化に伴う便益の変化を計測することを目的としている。そのため、本研究においては、環境質の変化に伴う便益の変化を直接計測するＣＶＭを適用することとした。

３．仮想金銭化法（ＣＶＭ）について

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、その財の提供にたい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（最小補償額：ＷＴＡ;Willingness To Accept）を問うもの（ＷＴＡ法）がある。[3]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、これらのバイアスがかからないように十分注意して調査を行うことが必要となっている。

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。[4]

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が提唱され、理論付けされている。[5、6]

４．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名を対象として行う。

（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。」

（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。

（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[3)]

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。

6．調査結果と今後の課題

本アンケートは、３月に実施の予定であり、その結果については、発表当日に報告する予定である。

《参考文献》

1）建設省：平成６年度　国土建設の現況　pp.86
2）ジョン・ディクソン、リチャード・カーペンター、ルイーズ・ファロン、ポール・シャーマン、スパチット・マノピモク；訳　長谷川弘：環境はいくらか　築地書館　pp.53
3）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
4）Robert C. Mitchell & Richard T. Carson : Using Surveys to Value Public Goods ;The Contingent Valuation Method
5）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.
6）Hanemann W.N. :Welfare Evaluations in Coningent Valuation Experiments with Discrete Response, American Journal of Agricultural Economics, Vol. 66, pp. 332-341, 1984.

転居の外部費用に関する二分仮想金銭化法を用いた調査

Dichotomous Choice Contingent Valuation Survey of External Costs of Removal

並河 良治、丹羽 薫、竹林 征三
by Yoshiharu NAMIKAWA, Kaoru NIWA and Seizo TAKEBAYASHI

1. はじめに

二分仮想金銭化法(DC CVM:Dichotomous Choice Contingent Valuation Method、Closed-ended techniquesという呼び方もある)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ている。

本稿では転居に際して生じる心理的な抵抗について二分仮想金銭化法を用いた経済評価モデルを構築し、転居の心理的費用を試算した結果を紹介する。

2. 二分仮想金銭化法について

二分仮想金銭化法は、非市場財の経済評価手法の一つで、Bishop and Herberlein[1]、Hanemann[2]、Cameron and James[3]、Cooper[4]らによって調査手法や解析方法に関して研究が進められきている。仮想金銭化法には、被験者の最大支払意志額(WTP)または最小補償要求額(WTA)が求められるまで順次被験者に問いを繰り返すか、WTPまたはWTAを一度だけ尋ねる手法(Open-ended technique)と、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二分仮想金銭化法があり、後者の場合、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。[5]さらに、個人属性などの付加的な質問から多変量回帰を行うことにより、どのような要因が価値評価に影響を与えるのかを分析することができる。

3. 二分仮想金銭化法調査について

(1) 調査の概要について

今回実施した二分仮想金銭化法による調査の概要は、以下の通りである。

調査方法：ランダムに抽出した被験者を対象にした郵送調査

調査範囲：関東8県(茨城、栃木、群馬、埼玉、千葉、東京、神奈川、山梨)

提示額と配布数：表－1

回収率　：　24．2%

(2)DC CVM質問の内容について

今回行った調査の質問は、家の下に地層に空洞があり、工事をしなければすぐに立ち退かなければならなくなったという条件の下で、提示された費用を負担して空洞を完全に無くして安全にする工事を実施するか、地質調査会社からの申し出により、引っ越しの費用は地質調査会社の負担で、現在の家と造りや傷み具合などが同程度で、家の建っている土地の面積や形も全く同じ家に引っ越すかどうかについて質問している。今回の調査では、現在住んでいる

* キーワード：環境計画、意識調査分析
** 正会員　工修　建設省土木研究所環境部
環境計画研究室主任研究員
*** フェロー会員　工修　建設省土木研究所環境部長
**** 正会員　工修　建設省土木研究所環境部
環境計画研究室長
〒305 茨城県つくば市旭1番
電話 0298(64)2269, FAX 0298(64)7221

家から300 m移動する場合と、バスと電車で1時間程度移動する場合を設定した。

(3) 外部費用について

外部費用の範囲を以下のように考える。[6)]

①時間損失費用

②リスク費用

③環境適用費用

④固有環境価値損失費用

⑤固有社会環境価値損失費用

これらの費用のうち転居によって実質的に消費される時間以外のものは、心理的抵抗に伴う費用と考えることができる。この調査においては、これらの費用の総和の算定を試みるのもである。当然のことながら、すぐ近くに転居する場合と全く知らない土地に転居する場合では、これらの費用は異なってくるものと考えられ、一被験者に近距離転居に対する費用と中距離転居に対する費用を質問した。DC CVM調査の検証のため、今回中距離転居に対する費用のみを質問する対象グループを設けた。

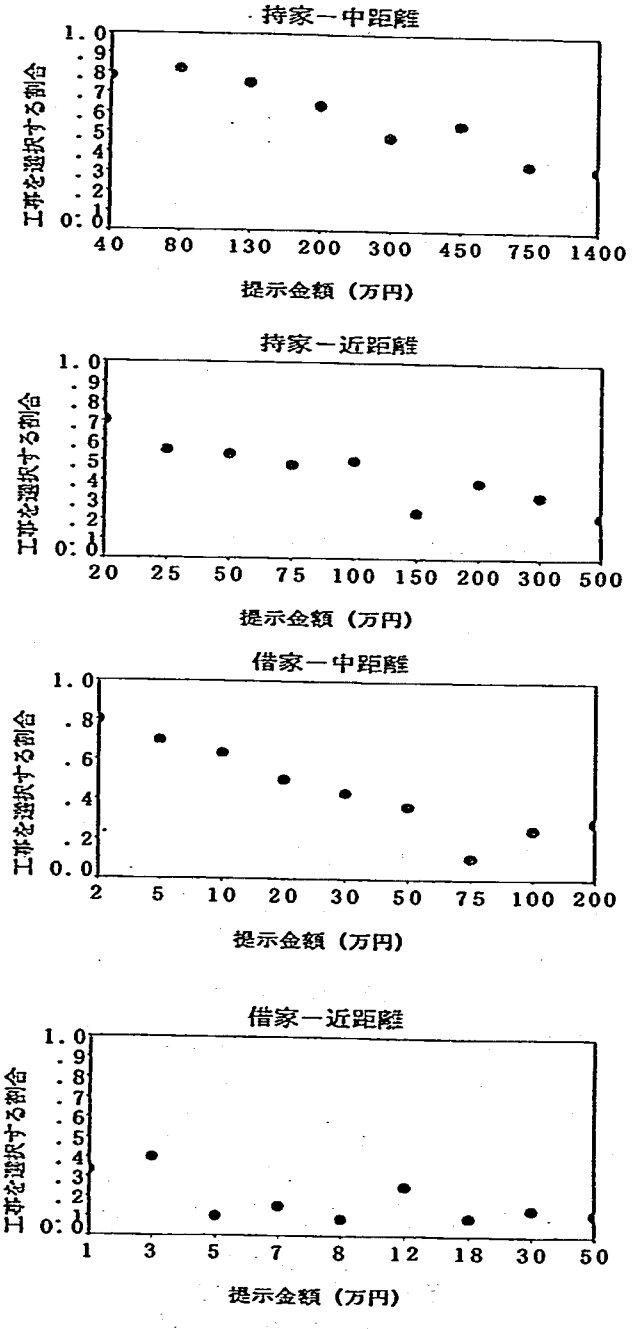
表－1　提示額の設定パターン（単位：万円）

質問番号	移転コスト	持ち家回答者		借家等回答者	
	プール値	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				

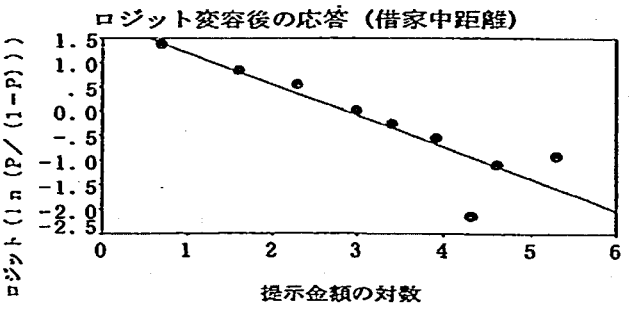
4. 調査結果

調査結果を図－1のグラフに示す。

本調査の結果を統計パッケージソフトのSPSSを用いてプロビット分析を行った。その結果、借家の近距離移転を除いて９５％信頼区間が計算され、工事を選択する確率が５０％となる額はそれぞれ以下のようになる。（借家の中距離移転について縦軸にロジット、横軸に提示額の対数をとったグラフを図－2に示す。）



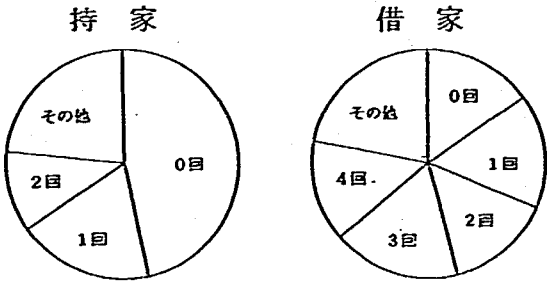
図－1　工事を選択すると回答した人の割合



図－２　借家中距離移転の場合の
ロジット変容後の応答

持ち家の場合		単位：万円	
近距離移転	54.9	(24.5	87.5)
中距離移転	421.4	(333.9	555.5)
借家の場合			
近距離移転	0.1		
中距離移転	18.5	(9.6	29.7)

この結果をみると、転居に際しての外部費用は、居住形態により大きく異なっていることがわかる。すなわち、持ち家に住んでいる人は、転居に対する抵抗が強い。このことは、自分の物であった家を手放すことに対する心理的抵抗がかなり大きいことを示している。また、借家に住んでいる人と比べて引っ越しの経験を持たない人が多い（図－３）ことも転居に対する抵抗を大きくしている物と考えられる。



図－３　引っ越しの経験

また、移動距離の違いによって外部費用を比較した場合、持ち家に居住する人は、借家に住んでいる人より居住地を大きく移動させることに対する抵抗感が大きい。

5. モデル化

DC CVM質問においてある額を提示された場合、どちらの選択肢を選択するかは、各個人の属性や居住形態により異なると考えられる。個人ｎが選択肢ｉ（i=1,2)を選択することの推定をロジット型のモデルにより表現することとした。

個人ｎが選択肢ｉを選ぶ確率をＰｉｎ、選択肢ｉを選んだときの効用をV_i、選択要因を
$Z_i=(Z_{i1}, Z_{i2}, \cdots, Z_{ik})$とすると、

$$P_{in}=\frac{\exp[V_i]}{\exp[V_1]+\exp[V_2]}$$

$$V_i=\beta_1 Z_{i1}+\beta_2 Z_{i2}+\cdots+\beta_k Z_{ik}$$

ここで、β_k：パラメータ
と表される。

選択肢１を選択する確率は、

$$P_{1n}=\frac{1}{\exp[V_2-V_1]+1}$$

となり、今回のアンケート調査について考えると、転居を選択した場合の（負の）効用をV_1工事の実施を選択した場合の（負の）効用をV_2とすると、V_1には、住み慣れた環境を失う費用、慣れ親しんだ社会的関係を失う費用などが含まれ、V_2には、工事によって失う費用が含まれる。それで、V_2-V_1は、次のように表現できる。

$$V_2-V_1=\alpha+\beta_1\text{（環境喪失費用）}+\beta_2\text{（社会環境喪失費用）}+\cdots+\beta_j\text{（工事費用）}+\cdots$$

このモデルに、アンケートにて質問項目を設けた年収、延べ床面積、引っ越しの経験などの説明要因により、選択要因として有意な要因の同定とパラメータの探索を行っている。

6. DC CVM調査の検証

本調査においては近距離移転と、中距離移転について工事を選択するか移転を選択するかを１被験者に同時に質問することを基本に設計した。ここにおいて、一方の質問において提示された額が、他方の質問に対する回答に影響を与えるかどうかを検証するため、対照グループを設定した。表－１において様式番号２、９、10は、持ち家回答者に対して近距離移転の提示額を50万円に固定して、中距離移

転の額を変化させている。借家回答者に対しては、様式9、10、11で近距離移転の提示額を7万円に固定して中距離移転の額を変化させている。3S、5Sは、中距離移転のみを質問し、様式番号3、5と対照させている。

これらの様式番号の回答状況を表－3に示す。

上記の結果について、提示額の提出方法の違いによって回答が変化しないという仮説、つまり、

$p_{様式a} = p_{様式b}$　（a、bは比較を行う様式番号）

を超幾何関数を用いて有意水準5％で両側検定したところそのすべてにおいて仮説は棄却できなかった。

この結果から、借家についてはデータ数が少ないこともあり十分ではないが、近距離移転と中距離移転を同時に質問しても片方の提示額が他方の回答に影響するとは言えないことが分かった。このことは、人々がすぐ近くに移転することと、自分のよく知らない地域に移転することを全く別のこととして認識しており、たとえば中距離移転に対する提示額の如何に関わらず近距離移転に対する外部費用を思い描いていることを示唆している。

表－3　提示額の組み合わせと選択状況

	様式番号	提示額		回答数	工事を選択した人の割合
		近距離	中距離		
持ち家	2	50	80	36	(近) 0.444
	9	50	200	31	(近) 0.548
	10	50	450	46	(近) 0.435
	3	75	130	50	(中) 0.180
	3S	—	130	20	(中) 0.350
	5	150	300	49	(中) 0.571
	5S	—	300	22	(中) 0.500
借家	9	7	30	7	(近) 0.000
	10	7	75	4	(近) 0.250
	11	7	200	7	(近) 0.286
	3	5	10	15	(中) 0.667
	3S	—	10	4	(中) 0.500
	5	12	30	11	(中) 0.273
	5S	—	30	9	(中) 0.444

7. まとめ

本稿では、二分仮想金銭化法を用いて転居の外部費用の測定を行い、そのモデル化を行った。

その結果、借家に居住している人の場合その外部費用は、大きな額ではないが、持ち家に住んでいる人の場合、かなり大きい額が外部費用として存在していることが示唆された。

DC　CVM調査を行う際の手法の検証として類似したCVM質問を1人の被験者に同時に行うことによる回答の「ぶれ」の有無を確認した。その結果、CVM回答は、類似の質問によって変化しないという仮説は棄却されなかった。このことから、いくつかのCVM質問をすることに伴う信頼性の低下という懸念は取り除かれる方向性が見えてきた。

(謝辞)

本調査の実施に当たり、筑波大学の大野栄治先生に大変お世話になりました。ここに御礼申し上げます。

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

3)Trudy Ann Cameron and Michelle D. James (1987): Efficient Estimation Methods for "Closed-ended" Contingent Valuation Surveys, The Review of Economics and Statistics ,pp269-276

4)Joseph C. Cooper(1993): Optimal Bid Selection for Dichotomous Choice Contingent Valuation Surveys, Journal of Environmental Economics and management 24, 25-40 (1993), pp25-40

5）竹林征三、安田吾郎：寡占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, pp19-37

6)安田吾郎他：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17、1995年1月　土木学会

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

コンピューターグラフィック技術

Computer Graphic Technologies

Oguri Hitomi
小 栗 ひとみ*

ま え が き

ここ数年でコンピューターグラフィックス (CG) は，非常に身近な存在となった．テレビではコマーシャルや番組タイトルなど，もはやCGは珍しい手法ではなくなったし，ゲームでは立体的でリアルな3次元CG映像が話題になっている．これらエンターテインメント以外にも，様々な産業分野でCGの利用が進んでおり，建設業界でも，従来の手描きパースに代わるプレゼンテーションの手法として，CGを利用するケースが増えてきた．

1．CGとは何か

CGとは，その名前のとおり「コンピューターで映像を作り出す技術」である．静止画，アニメーション，立体映像，仮想現実感映像など，映像の種類を問わず，コンピューターを使って制作した映像はすべてこの範疇に入る．昨今のコンピューターの画期的な性能向上によって，非常に複雑で高度な映像の作成が可能になった．

CGの利点は，「見えないものを見せる」ことにある．図面では理解しにくい構造物の完成イメージを，周辺の景観も含めていろいろな角度から見せたり，見る位置を連続的に変えてアニメーションを作成することができる．最終成果物のプレゼンテーションに効果を発揮するのはもちろんのこと，コンピューターの画面を見ながら，対話的に設計を進めることができるので，関係者の合意形成の道具としても有効である．CGでは，設計変更を容易に行うことができるため，詳細なデザイン検討を十分に行うことができる．色や形，配置を自由に変更したり，同じ映像データをいろいろな段階や目的に応じて何度も利用することができる．

一方，現在のCGには，一般にシステムが高価であることや説得力のある画像の作成には経験と高度な利用技術を必要とすることなどの難点もある．何よりもデータの作成に膨大な時間がかかる．また，自然現象や自然物のリアルな表現はまだまだ困難な状況である．

2．ハード，ソフトの状況

現在，ワークステーションやパソコンで動くCGソフトが数多く市販されているが，ワークステーションベースの本格的なCGシステムは数百万円とまだまだ高価である．しかし，最近ではパソコンベースのCGソフトも，2次元・3次元とも品質が著しく向上し，高機能だが数万円から数十万円と低価格で手軽に使える製品が増えてきている．自由形状のモデリングや，レイトレーシングによるレンダリング，アニメーションの作成が可能で，より簡単に操作できることや，他システムとのデータの互換性にも配慮がなされている．質の高い映像を作るにはコンピューターの処理にかなり時間がかかるが，これもグラフィックスボードを使うことで，数倍から数十倍の高速化を実現できる．今後さらにコンピューター機器の性能向上，低価格化が進めば，本格的なCG映像が手元で簡単にできる環境となるだろう．

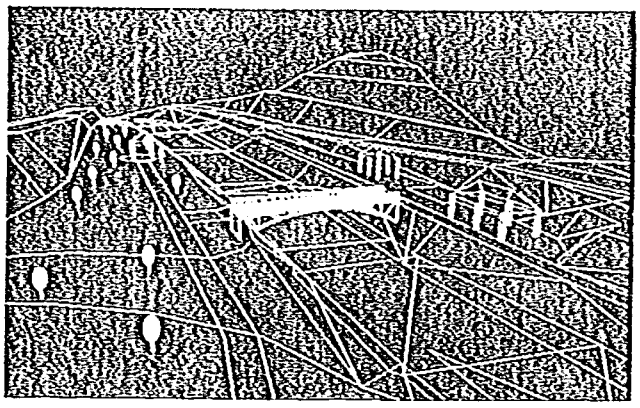
また，最近では，樹木や車，交通標識などの点景や照明器具，家具，リビングなどのファニチャ類の3次元データ集が市販され始め，データ入力の効率化のためのツールとして注目されている．3次元の地形データも，国土地理院の数値地図や，ステレオ空中写真の自動標高抽出技術，また，背景作成ソフトなどを使ってパソコンで身近に扱うことができるようになっており，景観シミュレーションなどに効果的に利用できる．

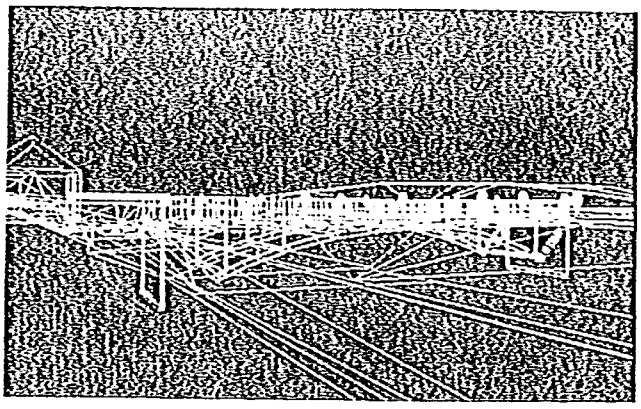
3．建設分野におけるCGの利用

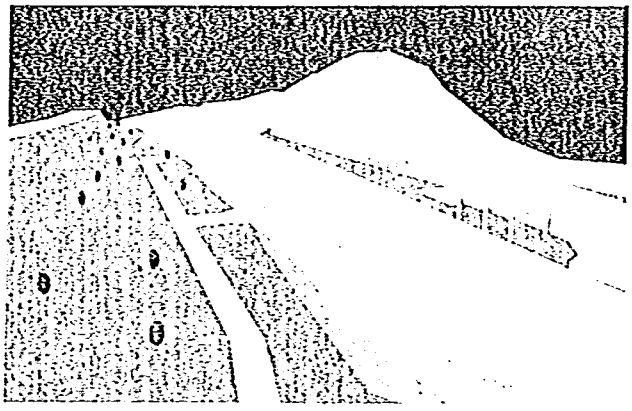
1980年代半ばから，ゼネコン各社をはじめ大手設計事務所が一斉に意匠設計分野へのCADの導入を開始し，これに続いて表現手段としてのCGシステムの導入が行われた．ゼネコン各社では，高機能な本格CGシステムを揃え，システムの運用・管理を担当する専門の部署を設置してCGの制作や技術開発などを行ってきている．一昨年に放映されたNHKスペシャル「テクノパワー」では，9社が分担してダム，橋梁，トンネルなどのCGの制作協力を行い，かなり質の高い映像を実現して成功を収めている．

各社のCG利用の主目的は，最終成果物のビジュアルなプレゼンテーションであるが，運用が進むにつれて設計途中のシミュレーションなどその利用範囲は年々拡大している．顧客への計画案の提示や，地域住民の合意形成をうながす手段として利用されるほか，最近では設計コンペにおいて，設計コンセプトや計画イメージの説明に活用されている．また，環境との調和が求められる中，実写との合成によるモンタージュやアニメーションなどCGを用いた景観シミュレーションが盛んに行われており，景観向上のツールとして威力を発揮している．その他，工事の施工手順

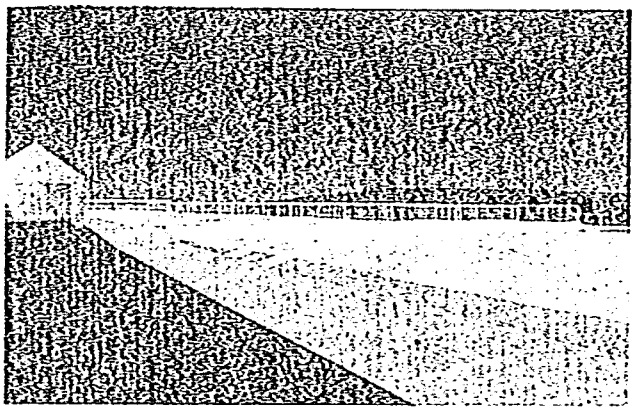
*建設省 土木研究所 環境部 環境計画研究室



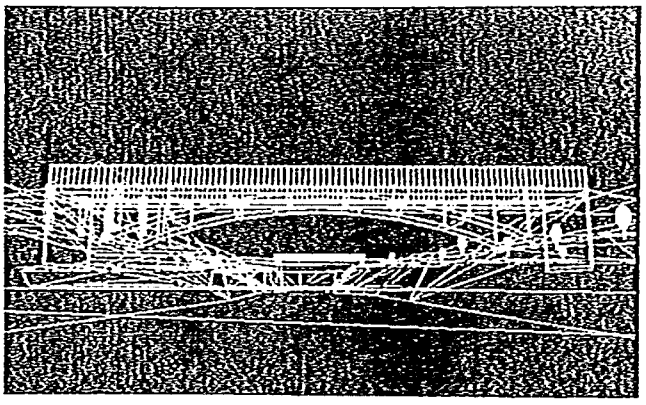


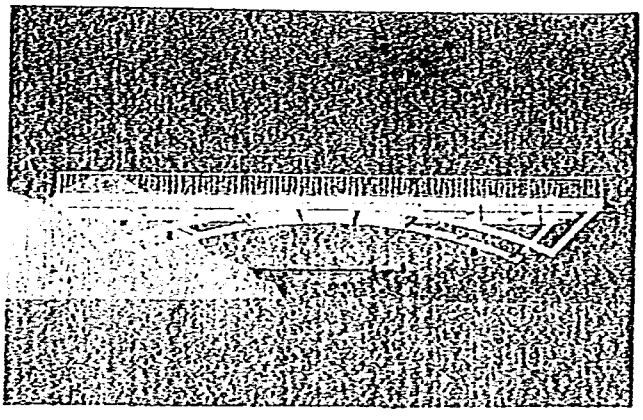


(a) 視点高22mからの眺め



(b) 橋梁付近からの眺め





(c) 水上からの眺め

図-1
パソコンCGを使った橋の表示例．周辺も含めてすべて3次元データで構成されているので，任意の視点からの表示が可能である．さらにテクスチャーマッピングを施せば，より現実感の高い画像となるが，画像の質を追求すればそれだけ計算時間が長くなる．〔ハード：NEC PC-9801DA，ソフト：シティサイト(㈱スリーディー)，モデリング時間：56時間，レンダリング時間：6時間．(㈱クリムゾン提供)〕

をわかりやすく説明する，構造物や地盤の解析結果をアニメーションなどでビジュアルに見せる，交通流のシミュレーションによって交通計画をビジュアルに評価するなどのシーンでCGの利用が行われている．

また，煩雑なデータの作成作業を軽減するために，道路や吊橋などの3次元形状を少ないパラメーターで自動的に作成するプログラムを開発するなど，モデリングの高速化を図る工夫がなされている．

4．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

建設省においても，景観シミュレーションへの需要は年々高まっている．CGは，景観向上のための有効な支援システムであるが，現場の職員がごく簡単に使えるものとはなっていない．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年度～9年度)の一環として，景観シミュレーションに特化した操作性・実用性の高いCGシステムの開発に取り組んでいるので，その概要をここに紹介したい．

4-1　開発の基本方針

本プロジェクトで目指しているのは，コンピューターに関する特別な知識や，習熟のための特別な期間を要さずとも，導入したその日から業務に使うことが可能なシステムの構築である．高機能だが使いこなすのが難しいシステムではなく，多少機能が限定されても誰にでも簡単に使えるシステムでなければならない．そのうえ，現場で必要な機能は柔軟に付加できる必要がある．

また，ハードウエアについても，使用機種を限定しない「マルチプラットホーム」とすることや，専用システムとはせずに汎用的なパソコンで動作することが基本である．さらに，開発した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し「フリーウエア」とする方針としている．

これらの基本方針に基づいて，本プロジェクトでは，独自ソフトの開発に取り組んでいる．ソースコードを公開することによって，基本機能の拡充や支援システムの提案が可能となり，より充実したシステムを構築することができると期待している．

4-2　システムの構成

建設省版景観シミュレーションシステムは，景観シミュレータおよび景観データベースから構成される．開発用のマシンとして，グラフィック・ワークステーション（シリコングラフィックス社製IRISシリーズ「INDY」）を使用し，確定した機能から順次汎用パソコン(WindowsNT3.5)に移植を行っている．

1)　景観シミュレータ

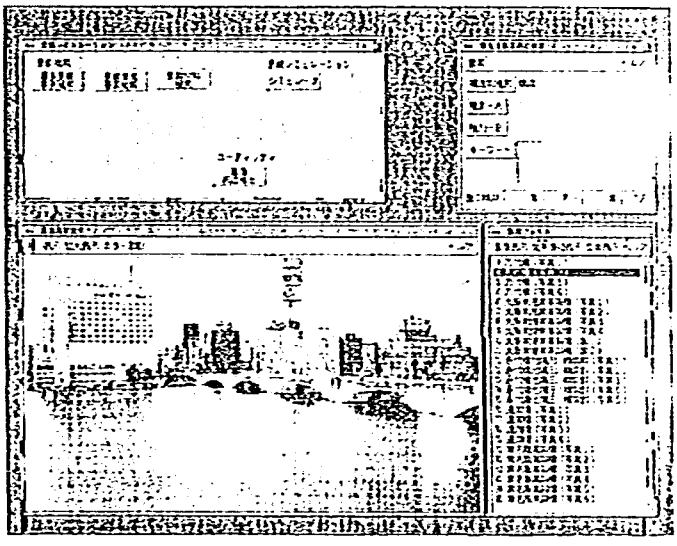
景観シミュレータの開発では，構造物の色決めにも使える高い再現性と客観性を有していることや，材料の経年劣化や，季節・時間・天候の変化，樹木の成長，周辺市街地の成熟など時間的な変化を表現できることを目指している．対象とするユーザーは，建設省の地建事務所，局営繕部，地方自治体の土木建築部門および都市計画部門等の職員である．現在，平成7年度末を目途に次の基本機能を実現すべく開発を進めているところである．

① 背景写真と3次元構造物の合成表示機能
　画像からの視点抽出機能により位置合わせが容易に行える．

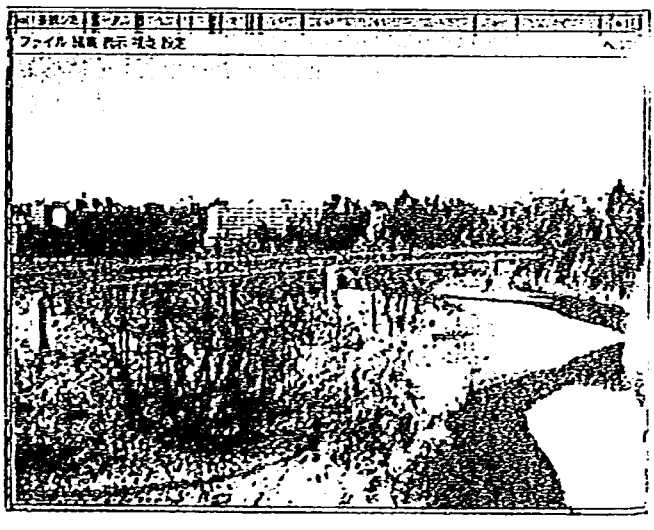
② 時間変化表現機能
- 場所，月日，時刻，天候の指定による光源条件の自動生成機能．
- 都市計画要件の変更による市街地の自動生成機能．
- 汚れ，退色による構造物の経年変化や，樹木の成長による景観変化予測機能．

③ 3次元地形データの生成機能
　建設技術評価制度「ステレオ空中写真による自動標高抽出技術の開発」(平成4～7年度：国土地理院)の成果を活用して作成した地形データを取り込むことができる．

④ 視点移動・動画機能
　任意の視点からの景観の表示や動画表示を行うことができる．



(a) 優良景観事例検索ウインドウ



(b) 景観シミュレータウインドウ

図-2　建設省景観シミュレーションシステム（INDY版）表示例

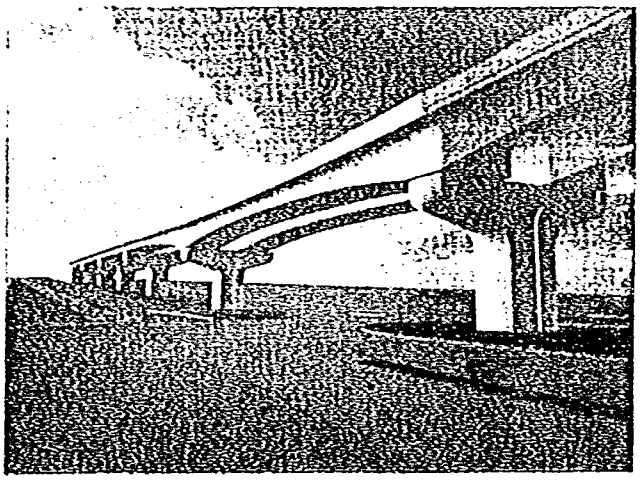


図-3 橋脚形状の比較検討に用いた例(ハード：NEC PCH98，ソフト：3D Studio)

2) 景観データベース

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．

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．

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幾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．

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．

あ と が き

CGがその有効性を十分に発揮するためには，入力作業の軽減や，データの共有化・有効利用など今後解決しなければならない課題も多い．しかし，マルチメディアの進展で，CGの利用は今後確実にしかも急速に拡大すると予想される．建設分野でも，計画から施工に至る各段階で，CGの利点を生かした様々な活用が進むに違いない．近い将来，簡単なCG操作は，ワープロ並みに必須なものになるかもしれない．人材の育成が重要な課題である．

CGが発想や設計の道具として定着し，試行錯誤を繰り返す中から，土木技術者の感性が磨かれていくことで，歴史に残る優れた土木構造物が数多く生み出されていくものと期待している．

〔参 考 文 献〕

1) 河内：映像革命CG，図形処理情報センター (1993)
2) 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・1994Spring
3) 図形処理情報センター：手軽に使える3次元・2次元ソフト，PIXEL (1993.12)
4) 土木学会：座談会，コンピュータ・グラフィックスの制作，土木学会誌 (1991. 4)
5) 中村，小切：景観予測論，土木工学体系13景観論，彰国社 (1977)
6) 丹羽，小栗：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36-12. (財) 土木研究センター (1994)
7) 建設省中部地方建設局シビックデザイン検討委員会編集：公共空間のデザイン，大成出版社 (1994)
8) 日経BP社：身近に利用可能になった3次元地形データ処理，日経CG (1994.11)
9) 木崎：モデリングの手間を省く3次元モデルデータライブラリ，日経CG，日経BP社 (1995. 5)

景観シミュレータ・景観データベースの開発

建設省土木研究所　○　小　栗　ひとみ
同　　丹　羽　　薫
同　　須　藤　晴　夫

1．はじめに

公共土木施設や建築物の構築にあたり、事業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できるコンピュータグラフィックス（CG）は、景観向上のための有効な支援システムである。しかし、説得力のある画像を作成するためには経験と高度な利用技術が必要であることや、データの作成に膨大な時間がかかるという難点があり、誰でも手軽に使えるものとはなっていない。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年度～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を建築研究所と共同で進めているので、その概要と開発状況を報告する。

2．システムの概要

2－1　開発の基本方針

開発を進めるにあたって、アンケート・ヒアリングによる実態調査を実施して、既存システムの動向および地建事務所等における景観検討業務の現状・課題・ニーズの把握を行った。それらの結果を基に、開発の基本方針を以下のように定め、独自ソフトの開発を行うこととした。

①使用機種を限定しない「マルチプラットホーム」とする。

②本プロジェクトでは、基本システムを開発する。開発したシステムについては、内部のデータ形式等を含めソースリストを公開し、「フリーウエア」とすることによって、民間等からの各種支援システムの提供を可能とする。

2－2　景観シミュレータ

景観シミュレータの開発では、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や、景観の時間的な変化を表現できることをめざして、以下に示す基本機能の実現を図る。対象とするユーザーは、建設省の地建事務所、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。

①背景写真と３次元構造物の合成表示機能

画像からの視点抽出機能により位置合わせを容易に行うことができる。

②時間変化表現機能

・場所、月日、時刻、天候の指定による光源条件の自動生成機能

・都市計画要件の変更による市街地の自動生成機能

・汚れ、退色による構造物の経年変化や、樹木の成長による景観変化予測機能

③３次元地形データの生成機能

建設技術評価制度「ステレオ空中写真による自動標高抽出技術の開発」（平成４～７年度；国土地理院）の成果を活用して作成した地形データを取り込むことができる。

④視点移動・動画機能

任意の視点からの景観の表示や動画表示を行うことができる。

2－3　景観データベース

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。

（1）優良景観事例データベース

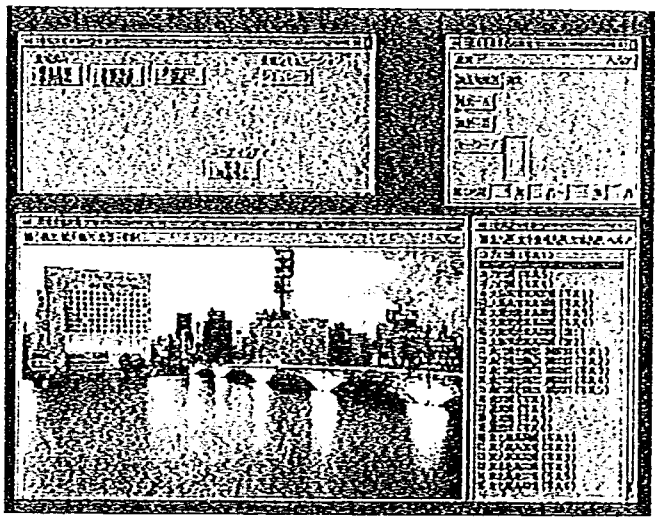
現在、各分野で景観に配慮した構造物の設計が試みられ、今後の事業において参考となるような優れた事例が蓄積されつつある。優良景観事例データベースは、これら事例の写真や景観対策内容、評価などの情報や、一部構造物の形状データを蓄積するもので、分類やキーワードにより参照したい事例を検索したり、さらには構造物の形状データを設計中の現場に適用してみることで、異なる構造物タイプの比較検討を容易に行うことが可能である。

（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。

（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。



図－1　優良景観事例検索ウインドウ

3．平成6年度までの開発状況

平成6年度までに開発したシステムでは、①背景写真と3次元構造物の合成表示機能、②光源条件の自動生成機能、③市街地の自動生成機能を実現した。また、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するとともに、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。

なお、開発を効率的に進めるために、ｸﾞﾗﾌｨｯｸ・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」)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パソコン(WindowsNT3.5)への移植を行っている。



図－2　景観シミュレータウインドウ

4．おわりに

今後、より実用的なシステムの構築をめざして、必要な機能の追加およびデータベースの充実を進めていく予定である。また、開発中のシステムは、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ことにしている。

環境データベースに関する研究

道路の環境計画とＧＩＳの可能性

建設省土木研究所　丹羽　薫
同　○長野幸司

1．はしがき

ＧＩＳ（Giographical Information System）というコンピュータツールの現況と将来の道路行政への適用の可能性についてまとめたものである。

2．研究目的

道路計画・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、各情報は自ずと位置属性を持つ。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）”がシステム的には有効と考えられる。このため道路計画とりわけ環境面での検討に必要とされる調査項目とＧＩＳの適合を検討し、さらに計画検討の手順を考慮し、計画支援におけるＧＩＳの可能性を検討した。

3．道路計画の問題とＧＩＳの利点

道路計画における必要調査事項としては、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[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として整理したうえで利用されている。
また、閣議決定に基づく環境影響評価における環境要素とその元データの関係を調べた結果を表に示すが、これらも地図または統計データである。

地域環境 / 調査項目 / 事業例	地域の自然的状況に係る項目						地域の社会的状況に係る項目						
	地形・地質の状況	植物・動物の状況	河川・湖沼・海域の状況	気象の状況	景観の状況	その他（水象）	行政区画の状況	都市計画法	農業の状況	人口の状況	土地利用の状況	産業の状況	その他（道路）
A	1 2	2	6	7		7				9	4	9 4	
B	1	2	4	8		5				9	4	4	
C	3	2 4				4 5				4 9	1 4		4
D	1	2 4	4	8 4	4	5				9	4	4	4 7
E	1	2						4		9 4	4 1	9 4	
F	1	2 4		8	4			4	4	4	4	4	
G	1	2	4 7	4	4	7		4	4	4	4 1	4	

1 土地分類図、土地利用図（都道府県）
2 自然環境保全基礎調査（環境庁）
3 地域開発研究所のデータ等
4 土地企業局所有のデータ
5 地方建設局所有のデータ
6 農業センサス
7 気象庁
8 国勢調査（総務庁）
9

表　環境影響評価の資料出典

このうちの統計データの実際の引用状況を見ると、事業箇所との位置関係から統計データを処理して利用している。すなわち主題図に変換して利用していることが明らかである。

しかしながら複数の主題図を相互に比較・分析する場合、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、統計調査データの示す位置が判然としない等の問題が生じる。これらは、基本的に紙の主題図においては縮尺の違う図の比較が困難であること、同一縮尺の主題図であっても座標系が異なる場合には図葉の端において無視できない差異が生じること等による。したがってこれらの問題は、縮尺・座標系を容易に変換できるツールにより解決される。

こうして得られた複合的な地域の状況に関する情報により道路計画は行われるが、その際には当然情報の検索、集計、分析が必要となる。概略設計の段階のみを考えても、仮想ルートの選定、支障となる事物の有無の確認、土工量の概算、工事・事業による影響範囲の推定、影響の予測と評価、別ルートの選定、と言ったような検討を行ない、概略路線を決定していく。この一連の検討にあたっては、地形、地質、土地利用、人口、法規制、産業、文化財等と、検討ルートとの関連の検索、集計を行なうことになる。さらには、「当

該路線の両側３００m以内における住居地域面積」とか「全路線延長に対するＤＩＤから５００m以内の路線延長の割合」といった集計も必要な場合がある。このような検討は、従来紙地図の上に各種情報を転記した上で手作業で行なってきたが、考慮すべき情報の量が膨大となった現今では、かなりの労力を必要とする。これらの作業を効率化することのできるツールがＧＩＳである。

ＧＩＳの主な機能は、①地図データの検索・表示が容易にできるデータベース機能、②複数の主題図の関係を分析するオーバーレイ、バッファ等の解析機能、③容易に理解できる地図を表示、更新する表示機能とに大別できる。前記の課題はこれらの機能により解消可能と考えられる。

特に環境影響評価等の種々の周辺環境と道路計画との関係を検討する上では、これらの機能は非常に重要である。生物分布、貴重種等の生息地等と検討ルートとの位置関係を計り、影響の可能性について検討すること、各種環境要素に重みを仮定しルート案の比較検討をすること等が短時間に行うことが可能となる。このため、より緻密かつ合理的な環境への配慮が可能となる。

このような道路の環境影響に対しての評価にコンピュータを利用する試みは、すでに昭和４０年代後半から検討されているものの、基礎情報の欠如とコンピュータ性能により、ケーススタディの段階でとどまっていた。基礎情報は未だ整備されているとは言いがたいものの、コンピュータ性能の飛躍的な発展とＧＩＳ分野の研究の進捗により、システム的な問題は解消されつつある。

また検討の反復は、計画の合理性を高める上で非常に重要なことであり、合理性の向上は合意形成の鍵であり、今後さらに重要な機能になっていくものと考えられる。この情報や条件の変更に伴う検討の反復が容易なことがＧＩＳの大きな利点である。

ＧＩＳの利用を阻害してきた要因として大きなウエートを占めると考えられるのが、情報作成コストである。地形図を作成する場合にデジタルマッピングを行なうと、紙地図のみを作成する場合に比べて1.1～2倍のコストを必要とするといわれている。このため、数案の検討を行なう場合には、情報をデジタル化することによりかえって効率が悪くなると考えられる。反復の必要性が高まるほどＧＩＳの効率が向上する。

4．　国土に関する電子情報

ＧＩＳをさらに活用していく上で重要なのは、情報の電子情報化である。上述のとおり、コンピュータツールであるＧＩＳの効率化は電子情報の取得にある。この情報の基礎となるのが、昭和48年の総務庁告示による「標準値域メッシュ」である[2)]。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が、種類が少なく、ＧＩＳ利用者は自らデータの加工をする必要がある。ちなみに米国においては、1994年4月、「地理データの取得とアクセスの統合：全米空間データ基盤（NSDI）と称する行政命令が発令され、地理情報の利用環境が急速に整備されている。

5．お　わ　り　に

ＧＩＳの利用については未だコスト高の感は否めないが、我が国でも行政情報化推進計画が閣議決定され、情報の高度利用と行政の効率化が求められており、今後必要性は非常に高まっていくものと考えられる。今後は、我が国のシステムにあったカスタマイズの方向に向けての検討と、基礎データの流通基盤の整備が重要である。

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) 建設省国土地理院監修，数値地図ユーザーズガイド，1993

国土環境情報の整備に関する研究

大臣官房　技術調査室
土木研究所　環境部　環境計画研究室
国土地理院　測図部　国土基本図課
地理調査部　地理第二課
地理第三課

1　目　的

平成6年1月に定められた建設省の環境政策大綱では，環境政策推進体制整備の一環として，地形，植生，土地利用等の地理情報を土台とした国土環境情報データベースの開発，整備を推進することとしている。これに基づき，本研究では，国土空間上の環境情報処理に適した地理情報システム（ＧＩＳ）技術の発達を踏まえ，ＧＩＳを基礎とした国土環境情報データベースの構築に向けて，国土環境情報の整備及び利用手法を開発することを目的とする。

2　内　容

①　ＧＩＳ技術の動向及び建設事業に必要な情報技術の調査
②　事例に基づく国土環境情報の利用手法の検討
③　国土環境情報データベースのありかたの検討

3　結　論

マルチメディア時代の情報インフラとして，ＧＩＳ及びＧＩＳで使用する基本的な国土空間情報の整備の必要性が急速に高まっている。先般の阪神・淡路大震災においては，被害実態の解明や復旧・復興活動支援にＧＩＳが活用されるなど，具体的な利用も進んできた。建設分野におけるＧＩＳの利用はまだ十分なものとは言えないが，国土環境の観点からは，今後環境のモニタリング等の必要性と，情報の作成・維持に有利な分散型データベースへの期待が高まることが予想される。

ＧＩＳの利用が効果的なのは，①形の異なった情報を統合したり，情報を視覚化したりすること，②複雑な環境要素の組み合わせからなる土地を区分し評価すること，③ネットワークを通じた情報へのアクセス，等である。これらについては，数値標高データからの土地の区分，写真画像と地図の重ね合わせによる土地環境の現況把握，貴重な生物種の生息可能地の抽出等のケーススタディを行ってその有効性を確認するとともに，インターネットを通じた情報の発信・流通方策を整理した。

4　今後の問題点

今後各種の情報インフラの整備が進むことを踏まえ，国土環境情報の一層高度な利用手法を開発するとともに，ネットワークを活用した分散型データベースシステムに対応した国土環境情報の整備・管理手法を確立することが必要である。

目　　次

1. はじめに …… 131

2. 国土環境情報システムとしてのＧＩＳ …… 132
2.1 ＧＩＳの機能 …… 132
2.2 震災対策として利用されるＧＩＳ …… 133
2.3 国土環境分野におけるＧＩＳの利用 …… 134

3. 国土環境情報技術の利用 …… 135
3.1 既存ディジタル地形図情報の利用 …… 135
3.2 ディジタルフォトグラメトリ技術の利用 …… 135
3.3 数値標高モデル（ＤＥＭ）の利用 …… 137
3.4 飯能地域を対象とした自然環境評価のケーススタディ …… 138
3.5 釧路湿原における重要地域抽出のケーススタディ …… 138
3.6 衛生リモートセンシングによる環境モニタリング …… 140

4. 建設事業における環境情報の現状 …… 141
4.1 建設省の所有する統計的情報 …… 141
4.2 情報源について …… 141
4.2.1 地理的情報 …… 141
4.2.2 環境に関する情報源 …… 141
4.2.3 建設省所管統計データ …… 142
4.2.4 インデックス情報 …… 142
4.3 情報源データベースフォーマットの検討 …… 142
4.3.1 分類体系 …… 142
4.3.2 情報内容 …… 142
4.4 コンピュータ通信ネットワークの現状 …… 143

5. 国土環境情報整備の課題 …… 145
5.1 空間データ基盤整備と国土環境情報 …… 145
5.2 ネットワークを通じた情報の流通 …… 146

国土環境情報の整備に関する研究

大臣官房　技術調査室
土木研究所　環境部　環境計画研究室
国土地理院　測図部　国土基本図課
地理調査部　地理第二課
地理第三課

1　はじめに

健全で恵み豊かな環境を保全しながら人と自然との触れ合いが保たれた，ゆとりとうるおいのある美しい環境を創造することが，建設行政に求められている。このため，平成6年1月に定められた建設省の環境政策大綱では，地形，植生，土地利用等の地理情報データベースや，さらに地理情報に生態系，水質，騒音，振動等の環境に関するデータ及び交通，産業等のデータを加えた国土環境情報データベースを開発，整備するなど，環境関係の技術やデータの蓄積及びそのデータベース化を推進することとしている。また，建設技術開発会議答申「21世紀を展望した建設技術研究開発のビジョンについて」（平成6年7月）においても，重点的に推進すべき研究開発テーマとして，環境の保全・創造等を図るための「環境」に関する研究開発が取り上げられている。

環境政策大綱に取り上げられた国土環境データベースは，広域的なものを含むさまざまな環境計画策定，環境の視点からの建設事業の評価，具体的な環境リーディング事業の実施等を支援するものでなければならない。このため，国土環境データベースは次のような機能を持つべきのものと考えられる。

①データ作成機能：国土に関する一次データ（空中写真，リモートセンシング画像等）を先端的な技術も活用して解析し，環境に関する面的データとすることができること。

②情報リンク機能：多種多様な環境データを，同一データベース上で一体的に利用できること。

③解析機能：データベースに格納された環境データをもとに，効率的かつ合理的に環境の解析，評価ができること。

④データ管理機能：データの検索，図面作成，データの更新等が効率的に行えること。

このような国土環境データベースが整備されれば，現況データ，解析結果等を用いて科学的に各種計画を検討することができ，必要に応じて，国土環境情報を的確に提供することも可能となる。

このようなことが可能な情報システムは，近年普及が著しい地理情報システム（ＧＩＳ）である。そこで本研究では，ＧＩＳを活用した国土環境情報データベースの構築に向けて，国土環境情報の整備及び利用手法を開発することを目的とする。

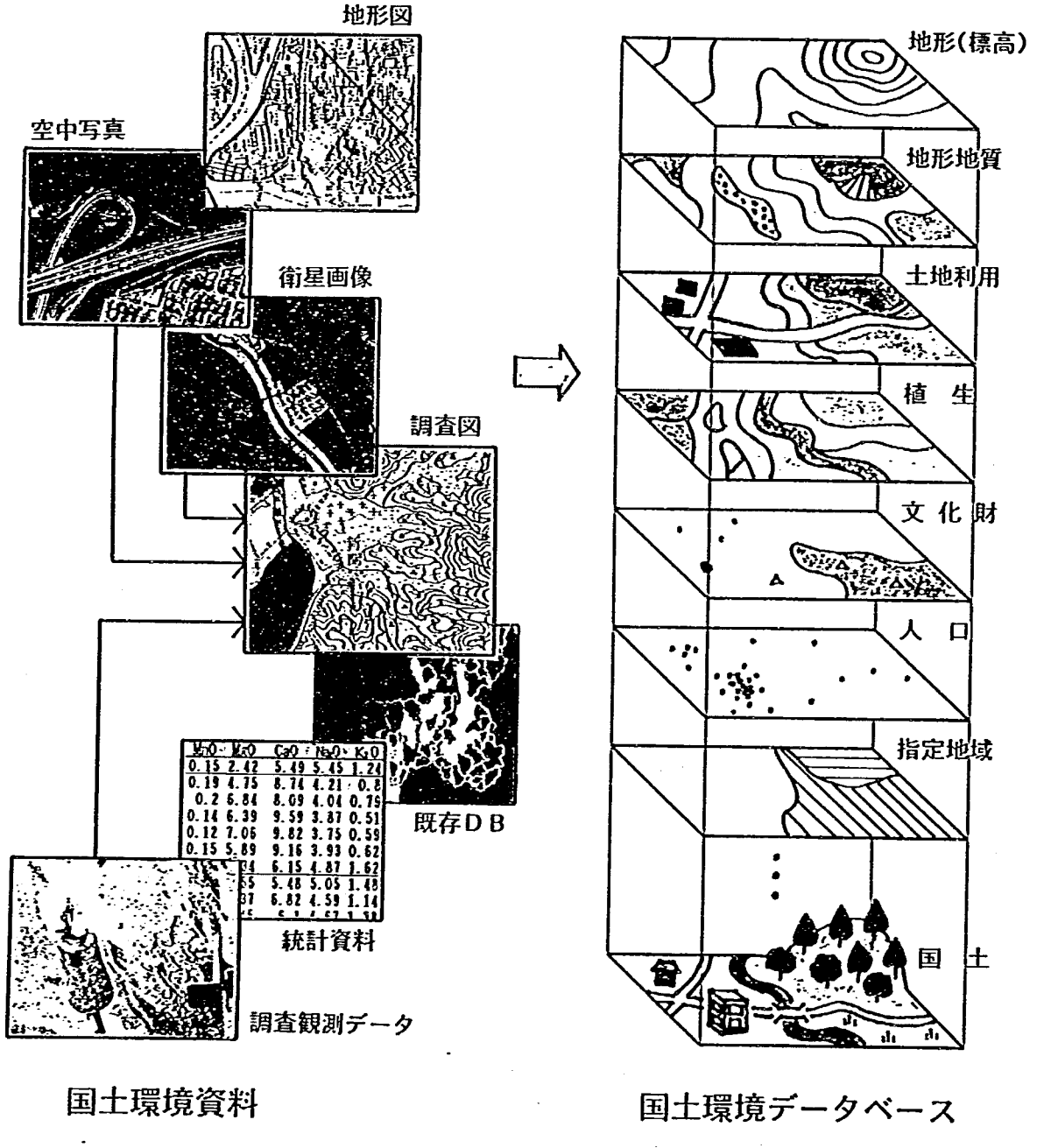
2　国土環境情報システムとしてのＧＩＳ

2．1　ＧＩＳの機能

ＧＩＳは，地理的な位置のデータを含む情報（地図として表現できる情報）を処理（入力，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では，データを項目ごとにあたかも透明シートの地図（レイヤーという）のように管理している。各レイヤーは位置が正確に合わせられるようになっており，自由に重ね合わせができる（図－１）。

ＧＩＳ導入の利点は，次のような点である。

①地理的位置を指定して各種データ（地図だけでなく，台帳・統計値・文書・画像等



図－１　ＧＩＳを利用した国土環境情報データベース

を含む）にアクセスできること
②情報源が複数のため別個に存在する重複情報の解消
③情報の地図化，地図の出力が容易であること
④特定事項，特定地域の情報の切り出しが容易であること
⑤複数項目を組み合わせた解析が容易であること
⑥条件変更の効果の検討の迅速化
⑦データの迅速な更新
⑧地図情報の検索・管理・伝達の合理化

平成７年１月の阪神・淡路大震災をきっかけに，ＧＩＳは震災対策に有効であることがよく知られるようになり，７月に改定された国の防災基本計画でも，国，地方公共団体は，必要に応じ災害対策を支援する地理情報システムの構築について推進を図るものとする，とされている。すなわち，ＧＩＳの利用という点では，震災対策分野は環境分野より一歩進んでいる状況である。そこで，震災対策でのＧＩＳの生かしかたを整理することにより，環境分野におけるＧＩＳの利用法を再検討してみた。

２．２　震災対策として利用されるＧＩＳ

阪神・淡路大震災では，被害の実態把握や復旧・復興支援のために，地理情報システムが活用された。例えば建築研究所は，国土地理院が刊行している数値地図10000（総合）と神戸市が国土地理院との共同作成事業で作成した１/2,500国土基本図ディジタルマッピングデータ等を組み合わせた基図データに，建築学会・都市計画学会による建物被災度調査結果等を載せて，建物被害実態の分析を行うとともに，復興都市計画策定支援システムの検討を行っている。ＧＩＳまた，神戸市長田区のがれき撤去に関する行政の窓口業務支援のため，奈良大学・京都大学の研究者・学生のボランティアがＧＩＳを利用して地図と台帳との照合を行い，業務を大いに効率化した。日本写真測量学会・地理情報システム学会のボランティアは，ＧＩＳで利用可能な地図データを通信ネットワークで配信し，多くの人々がすばやく地図を手に入れることができた。特に神戸市の１/2,500国土基本図は需要量も緊急度も高かったが，神戸市役所の建物が大きな被害を受け，従来ならほとんど利用できない状況であった。しかし，国土地理院に保管されていたディジタルデータが提供されたため，比較的スムーズに利用可能となった。

アメリカでは，連邦非常事態管理庁（ＦＥＭＡ）が大地震発生後すぐに被害状況を推定するシステムを持っているが，このシステムはＧＩＳにほかならない。わが国でも，東京消防庁の「地震被害予測システム」，川崎市の「震災対策支援システム」などは，初動期における活動体制の早期立ち上げを目的として被害を推定するシステムである。これらでは，地震の特性と地域の各種の特性を組み合わせて被害を推定している。

一方，神奈川県の「防災情報ネットワークシステム」のように，被害情報等の迅速な伝達・処理による応急対策活動支援システムもある。アメリカのノースリッジ地震の場合でも，最新の被害情報や救援・復旧活動の状況を地図化した情報が，関係機関

の調整や現場での指揮監督に用いられ，大きな威力を発揮したと言われている。

これらの点から，震災対策でＧＩＳが有効に利用されるのは，次のような場合であると考えられる。

①事前対策及び発災直後の被害推定：各種の地域特性（地形地盤等の自然条件，建物分布等）や交通・ライフライン施設の位置等，発災前に整備しておくことができる情報（事前情報）をもとに，地域毎に被害の受け易さを判定する。

②被害情報収集・伝達：被害状況を的確に把握するため，基図情報を迅速に提供・伝達・出力する。また，それをベースに被害分布を情報化し，被災状況マップ情報及び地域毎の被害集計値としてすみやかに伝達・出力する。

③救難・救援活動，復旧活動の支援：事前情報と被害情報を組み合わせることにより，安全面からみた避難場所の確定，避難住民の誘導，延焼危険地域の把握，救助ルートの確保，物資の配分・配送等を効率的に行えるようにする。また，建物，交通施設，ライフライン施設等の被災状況マップ情報から影響範囲を把握し，復旧状況の情報をリアルタイムで加えることにより，復旧活動を効率的に行えるようにする。

④復興計画立案支援：各種の要素と被害との関係を分析したり，街区単位の被害集計値，人口構成，地域特性等から，地域を類型化し，各類型ごとの復興方針を検討するなど，震災に強い市街地づくりへ向けた復興計画立案を科学的・合理的に行えるようにする。

２．３　国土環境分野におけるＧＩＳの利用

震災対策におけるＧＩＳの利用法と，環境の保全・創造におけるＧＩＳの利用法は，必ずしも同じではない。震災対策では，発災前の防災対策だけでなく発災後の対策が重要で，情報の収集・処理・伝達が一刻を争う場合が多いのに対し，環境分野では，そのスピードはあまり問題にならない。しかし，ＧＩＳの利用法については，共通点も多いと思われる。それを上記の①～④に対応させて整理すると，次のようになる。

①他種類の地域特性や人工施設の情報をもとに，単一の指標ではなく，マルチ指標で地点，地域ごとに環境の質を評価することができる。また，これをもとに，外的要素の変化に対する環境への影響をシミュレーションすることもできる。

②環境の実態を把握するための共通化された調査基図，調査資料を提供するとともに，調査成果を環境マップ情報として表現したり，地域毎の特性値を集計したりすることにより，環境把握調査の実施ととりまとめを効率化する。

③地域特性データに，環境変化の情報をリアルタイムで加えることにより，建設事業実施に伴う環境変化をモニタリングし，講じた環境対策の効果を把握したり，効果的な事業手法や環境対策の決定を支援したりする。

④地形，土壌，気候，水文，植物，動物などの空間分布の相互関係を解明し，生態系の実態を把握すること等により，地域を細分してきめ細かく環境対策の方針を定めるなど，的確な環境計画，事業計画策定を支援する。

素とを識別することができる。

3　国土環境情報技術の利用

3．1　既存ディジタル地形図情報の利用

地形図は，最も基礎的な地理情報であり，都市計画区域のほとんどで1/2,500図が作成されているなど，大縮尺の地形図の整備も進んでいる。具体的な環境対策においては，そのレベルでの情報が活用できることが望ましい。幸い，徐々にではあるが，国土地理院のディジタルマッピング仕様に準拠する1/2,500地形図（国土基本図）のディジタルデータを作成する地方公共団体が増えてきた。

このデータは，本来地図を紙の上に出力するというＣＡＤ的な利用ためのデータで，地域を面として認識させるにはやや複雑な処理が必要といった問題があるが，基図データとして利用暇値が高く，環境に関する分析もある程度可能である。例えば，街区ごとにオープンスペースの割合を集計することにより，居住環境・自然環境を考慮した都市計画策定の基礎資料を提供することができる。

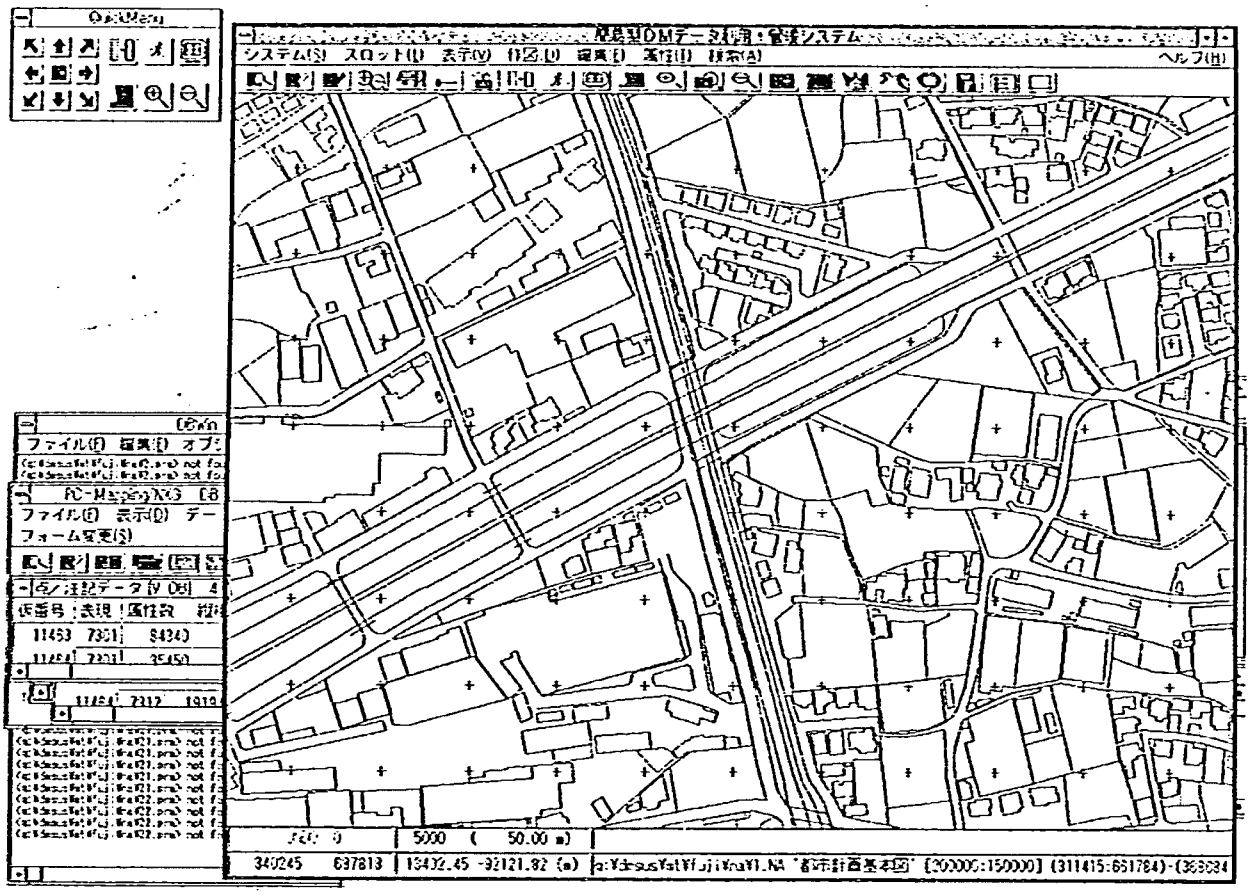
しかし，従来はこのデータをパソコンで扱えるＧＩＳがなく，その利用には高価なハードウェアと専門的な知識が必要であったため，十分に利用されていないのが実状であった。そこで国土地理院では，このデータを簡単に利用できる簡易型利用システムの設計・開発を行った。この簡易型利用システムはWindows3.1上で動くもので，さまざまな検索，帳票情報とのリンク，ディスプレイ上への図形データの描き込み，設定した範囲の色塗り，プリンタへの出力など，主に検索・表示・出力する機能を備えている（図－２）。ＧＩＳとしてはまだ不十分なものであるが，地域特性に関するデータとの重ね合わせを可能とするなど，環境の分析や防災に役立つシステムへと改良を進めている。

3．2　ディジタルフォトグラメトリ技術の利用

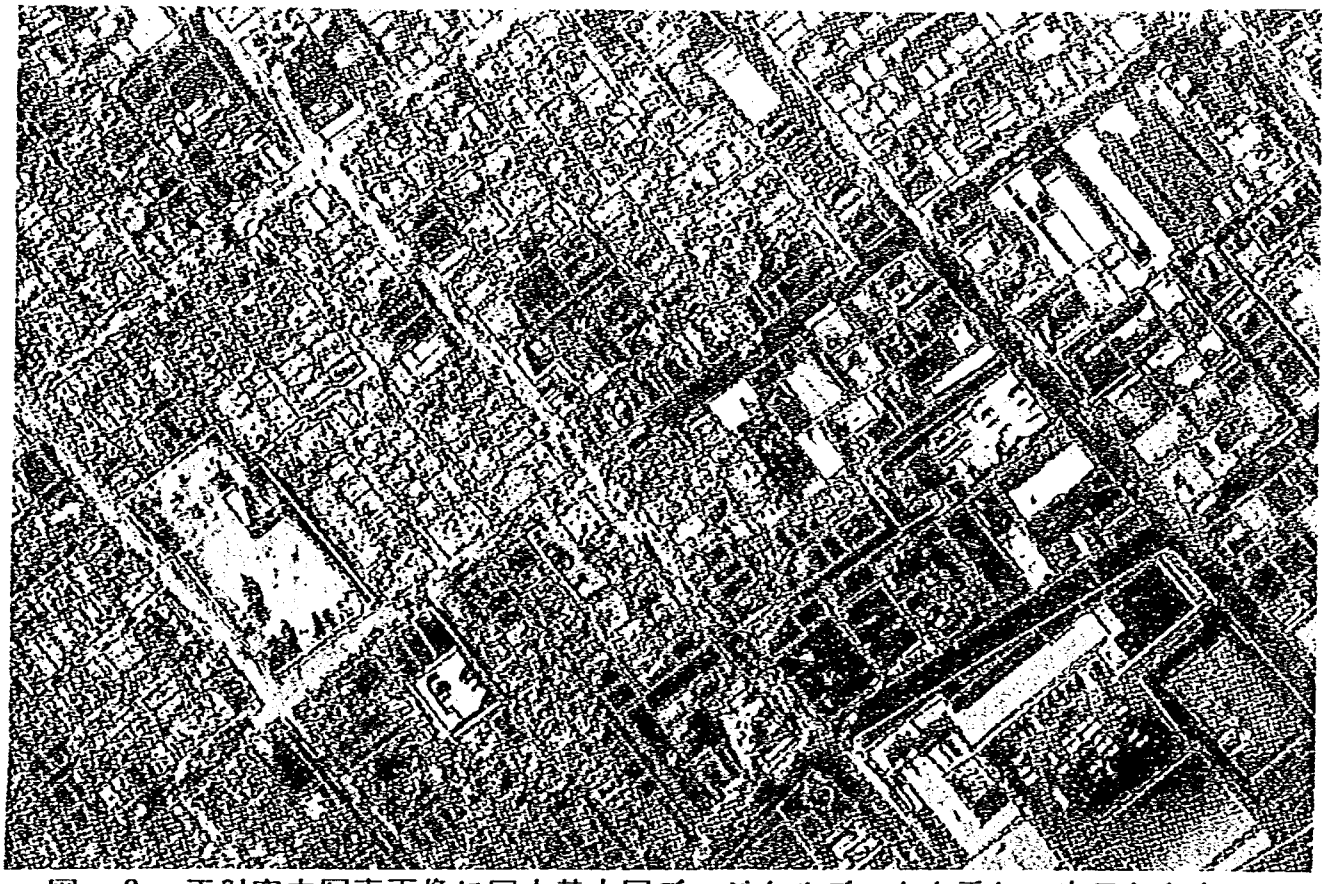
最近では，地図のディジタルデータだけでなく，空中写真のディジタルデータの利用技術の開発も著しく，ディジタルフォトグラメトリ（数値写真測量）という分野が急速に発展しつつある。

現在のところ，ラスタ型の画像データとして空中写真ディジタルデータをコンピュータに読み込ませ，ステレオマッチング（ステレオペアの左右の写真に写っている同一点を自動的に探し出すこと）により高さを計測してＤＥＭ（数値標高モデル）を作成したり，それを用いて正射画像や擬似的な斜め画像を簡単に作成する技術が実用化されている。建設省では平成６年度に「ステレオ空中写真による自動標高抽出技術の開発」を建設技術評価制度のテーマに選び，６組７社のシステムについて，開発目標を達成したと評価した。

この技術は，本来地図作成のための技術であるが，正射画像化した空中写真データが得られるため，これをＧＩＳに組み込むと，環境分野での応用が広がる。例えば，撮影時期，撮影高度などが異なる空中写真も，正射画像になっていればＧＩＳ上で縮尺を一致させることによりぴったりと重ね合わせることができるから，複数時期の画



図－２　1/2,500国土基本図ディジタルデータ簡易型利用システムの画面例



図－３　正射空中写真画像に国土基本図ディジタルデータを重ねて表示したもの。
（神戸市長田区，写真は１月１２日撮影）

像の変化から，植生，土地利用等の環境要素の変化とその範囲などを正確に知ることが可能である。また，空中写真の正射画像はコンピュータの画面上でディジタル地図データとも重ね合わせることができる（図－３）から，空中写真から読みとることのできる環境要素を基図情報項目の属性として取り入れたり，その空間分布等を直接ＧＩＳで利用可能なディジタルデータとして記録することができる。

３．３　数値標高モデル（ＤＥＭ）の利用

現在国土地理院により，全国の約50m間隔のＤＥＭの刊行が進められている。また，前節で述べたように，空中写真ディジタルデータを用いてより精細なＤＥＭを作成することも可能となっている。

ＤＥＭは，環境要素の一つである地形形態を表現する一手段である。地形は，環境要素として植生以上に基礎的なものである。標高，傾斜，斜面の向きなどによって局地気候，土壌発達，表流水・地下水等が制約を受け，さらに土地利用が影響を受けるので，地形形態によって植生発達が左右されるという側面があるからである。

例えば，暖温帯で，台地と谷底低地が入り組んだ地域では，以下のように地形条件に左右された環境変遷が認められる。

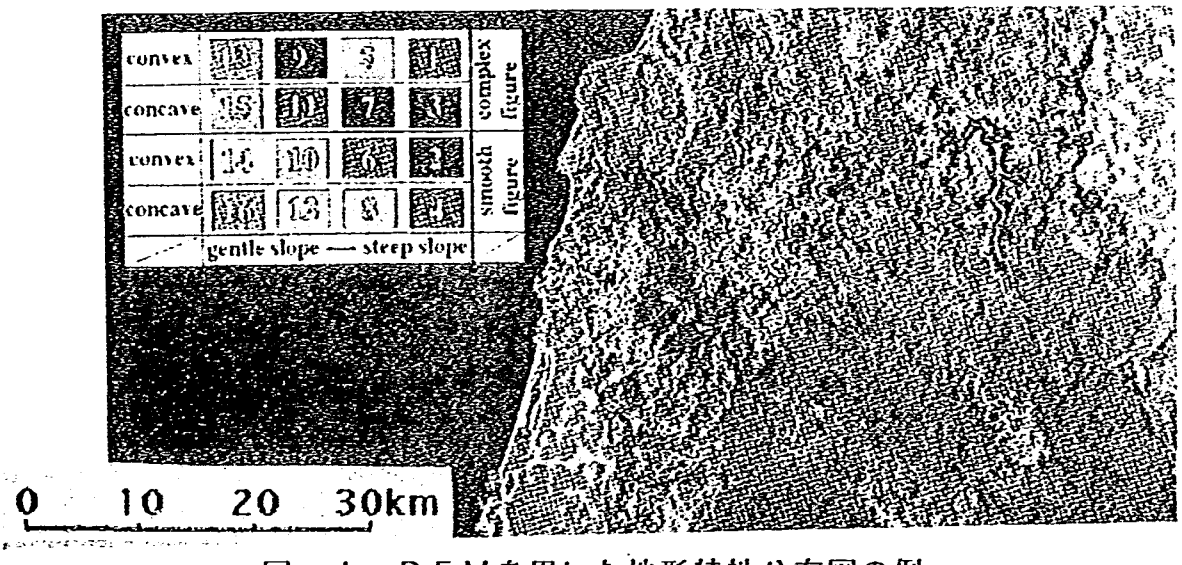
①台地上に照葉樹林，低地には水域と湿地植生が分布。

②農林業の発達につれて低地は水田化。台地上は火入れによる草原化や薪炭採取による雑木林化が進行。

③都市化の過程で，台地，次いで低地の市街化が進み，台地縁の自然斜面にのみ２次林が残存，貴重なビオトープとなる。

また，自然度の高い山地においては，尾根地形や谷地形が，動物の通行を阻害したり，逆に回廊となったりしている。

このような観点から地形形状を評価するのは，従来は地形調査の専門家の手作業によっていた。ＤＥＭがかなり自由に利用できる現在では，ＤＥＭをＧＩＳに読み込んで傾斜や斜面型の組み合わせを求め，半自動的に地形形状の特性の分布を求めることが可能となってきた（図－４）。



図－４　ＤＥＭを用いた地形特性分布図の例

3－4　飯能地域を対象とした自然環境評価のケーススタディ

開発進行地域である埼玉県飯能市周辺を対象に，ＧＩＳを用いた自然環境評価のケーススタディを行った。

まず，自然環境の評価要素として６アイテムを選び，各アイテムの因子に自然度が高いと考えられる程度に応じて評点を与えた。それらは以下のとおりである。

①植生：植生図から現存植生を６区分し，環境庁の自然度ランクを参考に５段階評価（常緑広葉樹林は５点，草地は３点など）

②可視・不可視：平野部の一定地点から見えるかどうかをＤＥＭから計算し，３段階評価。

③開発計画：開発地，ゴルフ場・住宅団地開発計画地，保安林により５段階評価。

④土地被覆変化：ＬＡＮＤＳＡＴ画像から作成した２時期の土地被覆分布図データをＧＩＳのオーバーレイ機能を用いて１２区分し，５段階評価（２時期とも森林は５点，農地からゴルフ場への転換は３点など）

⑤傾斜：ＤＥＭを用いて５段階評価

⑥標高：ＤＥＭを用いて５段階評価

次に，これらの評点の組み合わせにより，自然環境の総合評価（５段階）を行った。図－５は，ＧＩＳのオーバーレイ機能を用いて総合評価図を作成したものである。この結果と，環境庁の自然環境保全基礎調査で「貴重な動物の生息が確認された地点」とされた地点との関係を見ると，一部の水棲動物の場合を除いて，貴重な動物の生息地点は総合評価が高い地域にかなりよく一致しており，今回の総合評価はほぼ妥当なものということができた。

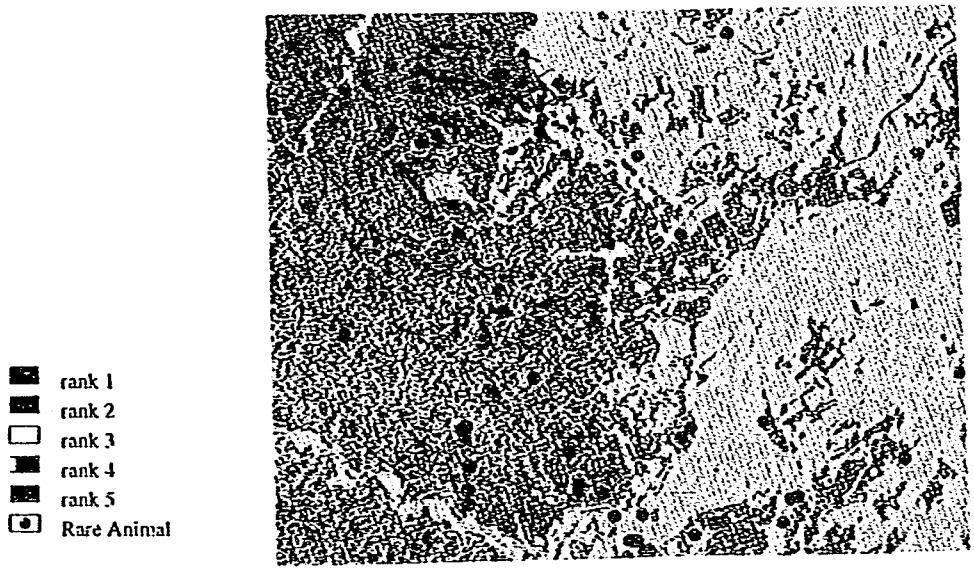
3－5　釧路湿原における重要地域抽出のケーススタディ

ここでは，ＧＩＳを用いて，釧路湿原に住むタンチョウの営巣地の必要条件を解析し，営巣可能地を探し出すことを試みた。

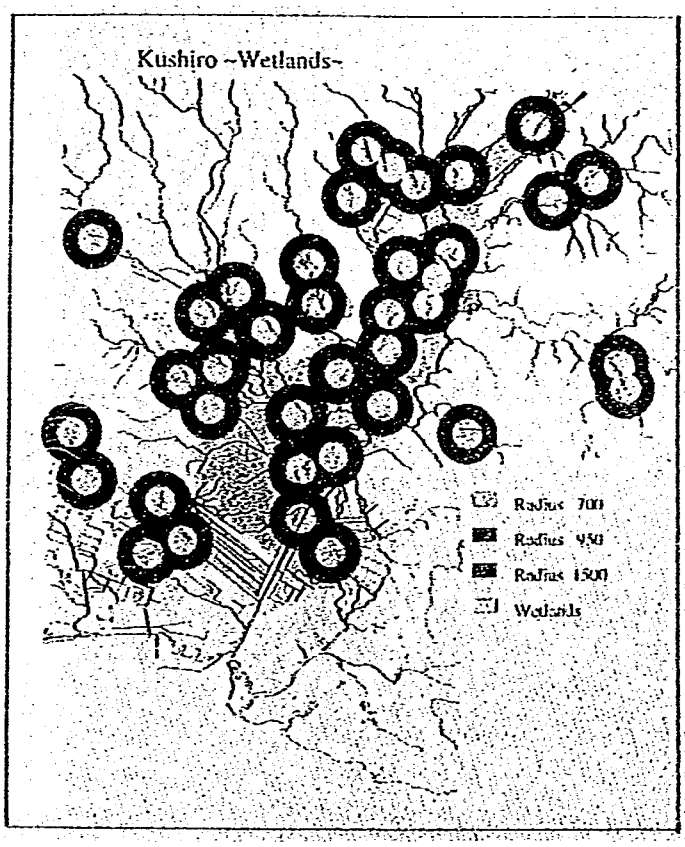
まず，現在知られているタンチョウの営巣地39箇所と，地形形状，餌の供給源である湿原との位置関係，河川との距離，国立公園の開発規制区域との位置関係，道路からの距離，人間の居住地からの距離，ＬＡＮＤＳＡＴ画像に基づく土地利用変化との関係を分析した。この分析には，ＧＩＳのオーバーレイ機能，バッファリング機能を用いた。その結果，タンチョウが営巣する条件として，標高20ｍ未満，道路から500ｍ以上離れていること，人間の居住地から１㎞以上の距離にある河川250ｍ以内に沿った地点が選ばれていることと，各営巣地は互いに半径 1.5㎞程度の縄張りがあることが判明した（図－６．１）。

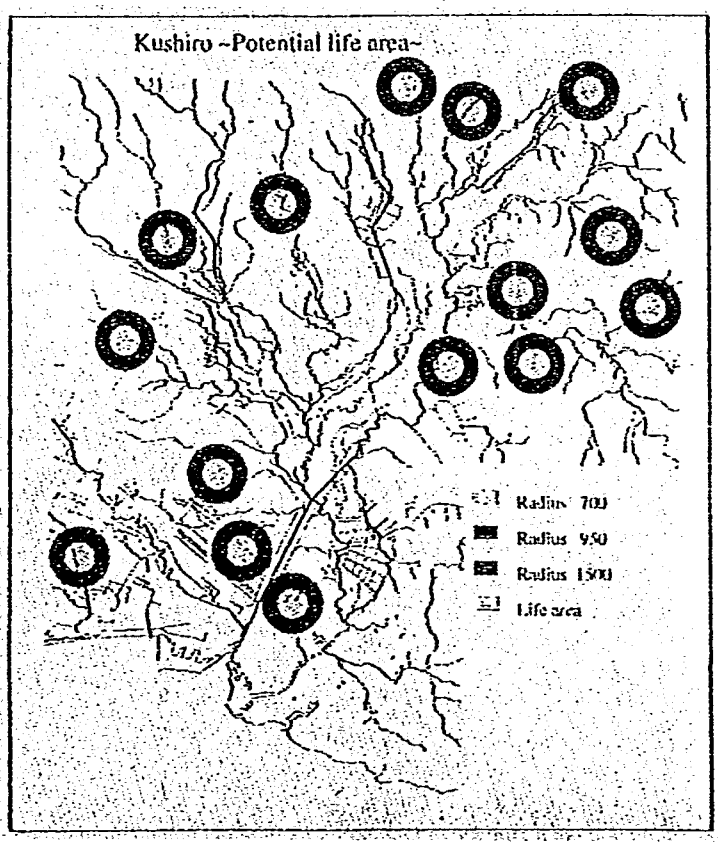
次に，現在知られている営巣地以外で同様の条件を満たす場所をＧＩＳを用いて抽出したところ，図－６．２のようになった。

このような分析から，環境保全上重要な地域，事業実施に当たって環境面を特に留意すべき地域などを知ることができる。



図－５　自然環境総合評価結果



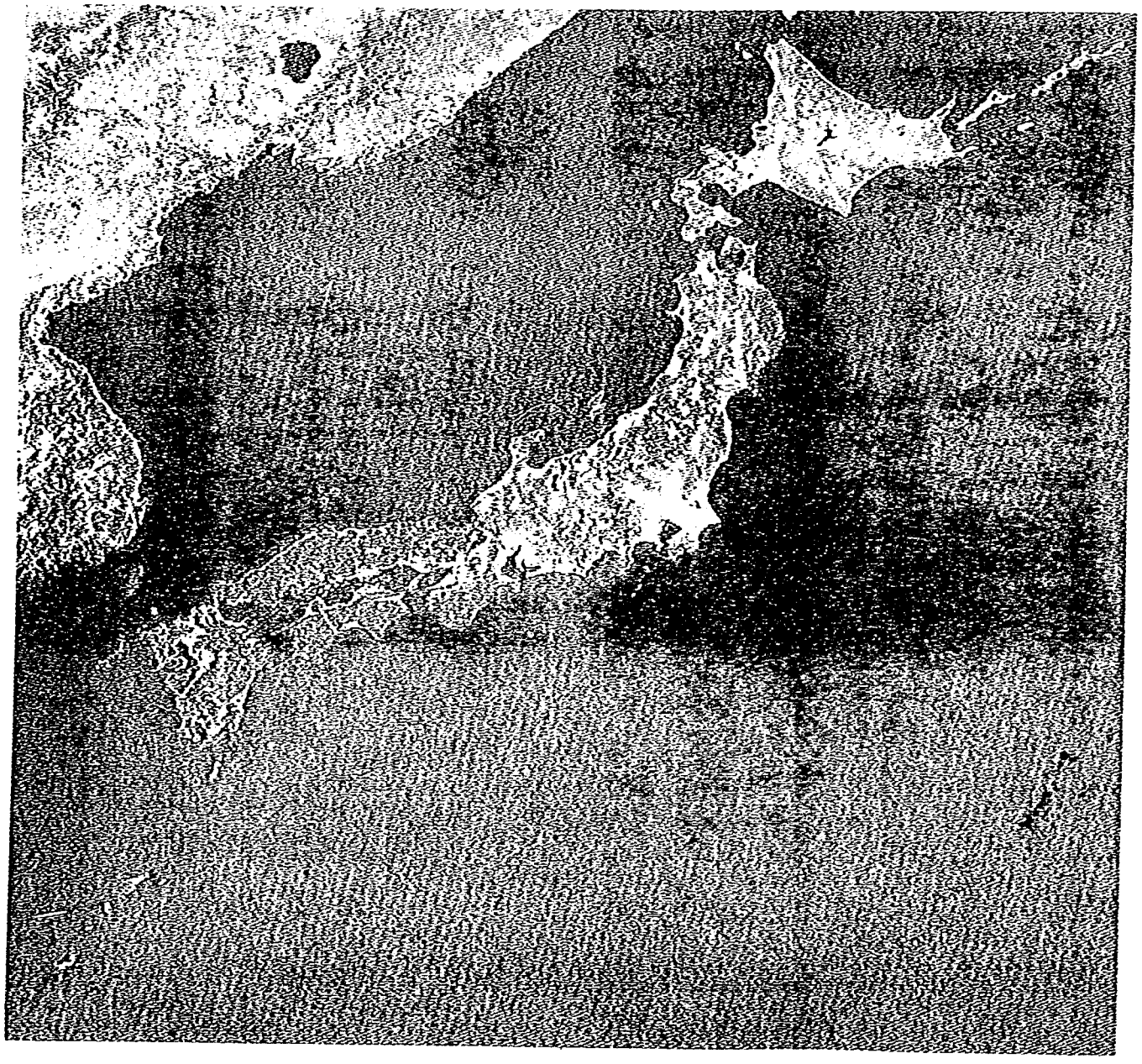


図－６．１　タンチョウの営巣地と縄張り　図－６．２　タンチョウの営巣可能地

３．６　衛星リモートセンシングによる環境モニタリング

衛星リモートセンシングは，ほぼ同時の広域のデータが均一の精度で得られること，ひんぱんに繰り返し観測していること，という利点があり，環境のモニタリングに適している。

アメリカの気象衛星ＮＯＡＡは，空間解像度が約１kmと粗いが，観測波長帯の組み合わせで植生・土地利用に関する情報が得られること，観測周期が短く，世界中どこでも毎日データが得られること，データは誰でも自由に使用できること等のため，広域の環境モニタリングに使われている。国土地理院では，平成５年度末に導入したＥＯＤＡＳシステムにより，ＮＯＡＡデータを直接受信し，１か月単位で雲のない部分をつなぎ合わせた正規化植生指標（植生の活力を示す指標）の分布データ（図－７）の蓄積を進め，環境の経年変化の監視を目指しているところである。



図－７　ＮＯＡＡ衛星データによる1995年５月の正規化植生指標分布

4　建設事業における環境情報の現状

4．1　建設省の所有する統計的情報

建設省発表の統計情報のうちで，属地的情報を表－1に示す。これらのほとんどは環境（特にいわゆる公害）問題を考える上での基礎資料となるものである。

しかし，広域的な環境を踏まえた社会資本整備を行なっていくにあたって，これら自己調査による情報では不十分であり，各種のデータが必要である。この世の中に氾濫する情報のうち社会資本整備にとって何が必要か，どこにまとめられているかが必要である。

この点を踏まえて，建設事業に関する環境情報のナビゲーションデータベースを検討した。

4．2　情報源について

社会資本整備にあたって利用可能と思われる情報について，以下のカテゴリーを考えそれぞれに該当する情報について調査した。

4．2．1　地理的情報

社会資本は国土の上に存在するものであり，その周辺その他との位置関係は基本的に重要である。したがって地理的情報（その属性のうちに位置の情報を持つ情報：市町村別統計，各種分布図，地点別測定結果等）は極めて有益である。ただし地理的情報を最大限に解釈すれば，国土の上の事象に関する情報が全て含まれてしまうため，今回はそのうちで磁気媒体に収録されているものとした。

4．2．2　環境に関する情報源

建設事業と関連の深い生物に関する情報源について調査した。

表－1　建設省の保管する属地的統計情報

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

4．2．3　建設省所管統計データ

建設省が調査し公表している統計情報について調査した。ここでは，統計法に基づく統計情報に限らず，一般的に統計情報と認識されるものを対象とした。

4．2．4　インデックス情報

環境に関する情報源へのアクセスのナビゲータとなっている情報源を対象とする。

4．3　情報源情報データベースフォーマットの検討

4．3．1　分類体系

以上をもとに，データベースのフォーマットを検討した。その分類体系は，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－2に示す。

表－2　分類体系　（案）

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震動・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

4．3．2　情報内容

利用の便を考え，情報を概要と詳細に分類することにした。

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（ＭＴＦＤ，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。図－８はそのメインメニュー画面，図－９は詳細情報代表画面である。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。

４．４　コンピュータ通信ネットワークの現状

現在のすべての分野においてコンピュータの利用が進んでいる。特にデータベースのような多種多様な情報を取り扱う場合，通信ネットワークを利用することが世界的な潮流である。

ネットワークの発展

現在世界的に急速に拡大している通信ネットワークが，インターネットと呼ばれるものである。インターネットとは普通名詞であり，かつ固有名詞でもある。建設技術者にはなじみが薄い分野であるため，ここでコンピュータネットワークについて概説する。

コンピュータの発展

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。この関係では，ホスト（サーバー）機と端末（クライアント）機の関係は単純で，端末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ホストにおいて行なわれていた。

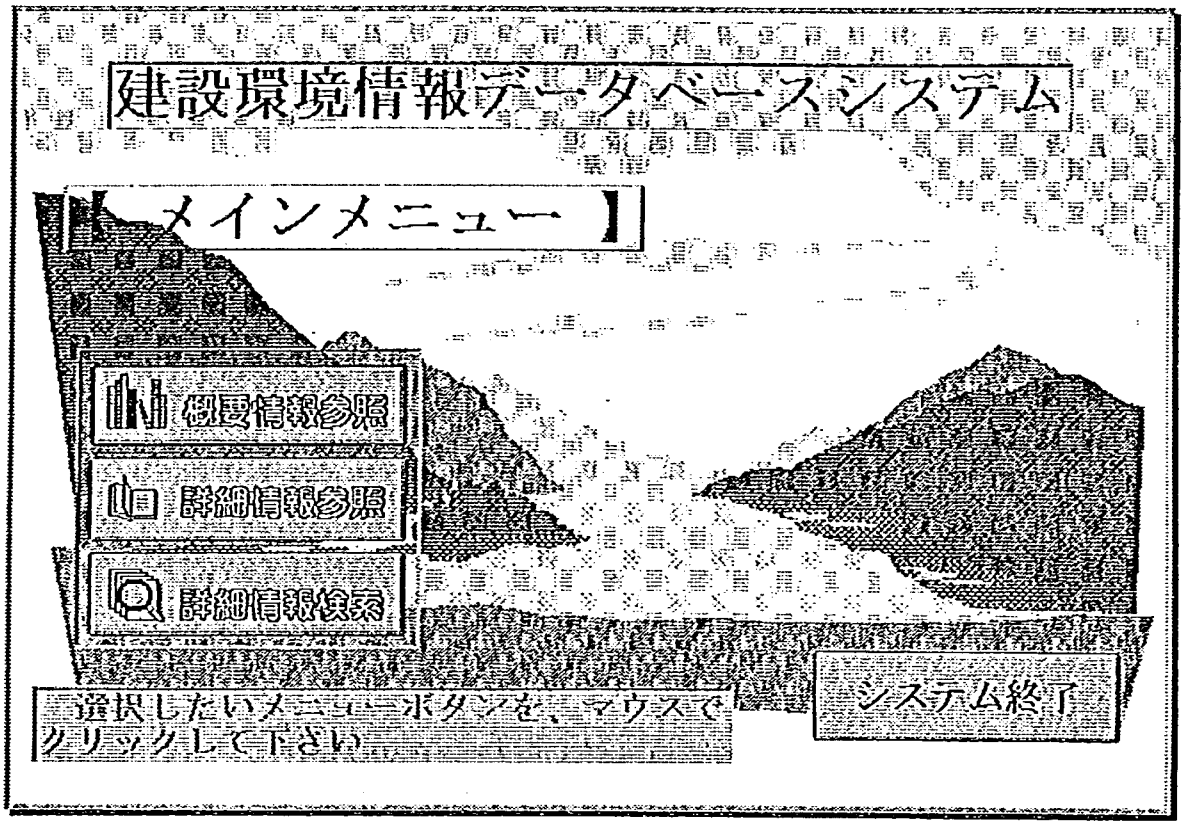
その後，汎用の大型計算機を多数の端末機から操作することと並行して，目的別に専用のコンピュータを利用する考え方が生まれた。エンジニアリングワークステーション（ＥＷＳ）である。そして各ＥＷＳごとにそれぞれの端末機が結ばれて，小さなネットワークを構築していった。その開発方向は大別して２つに分かれていった。

１つは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。

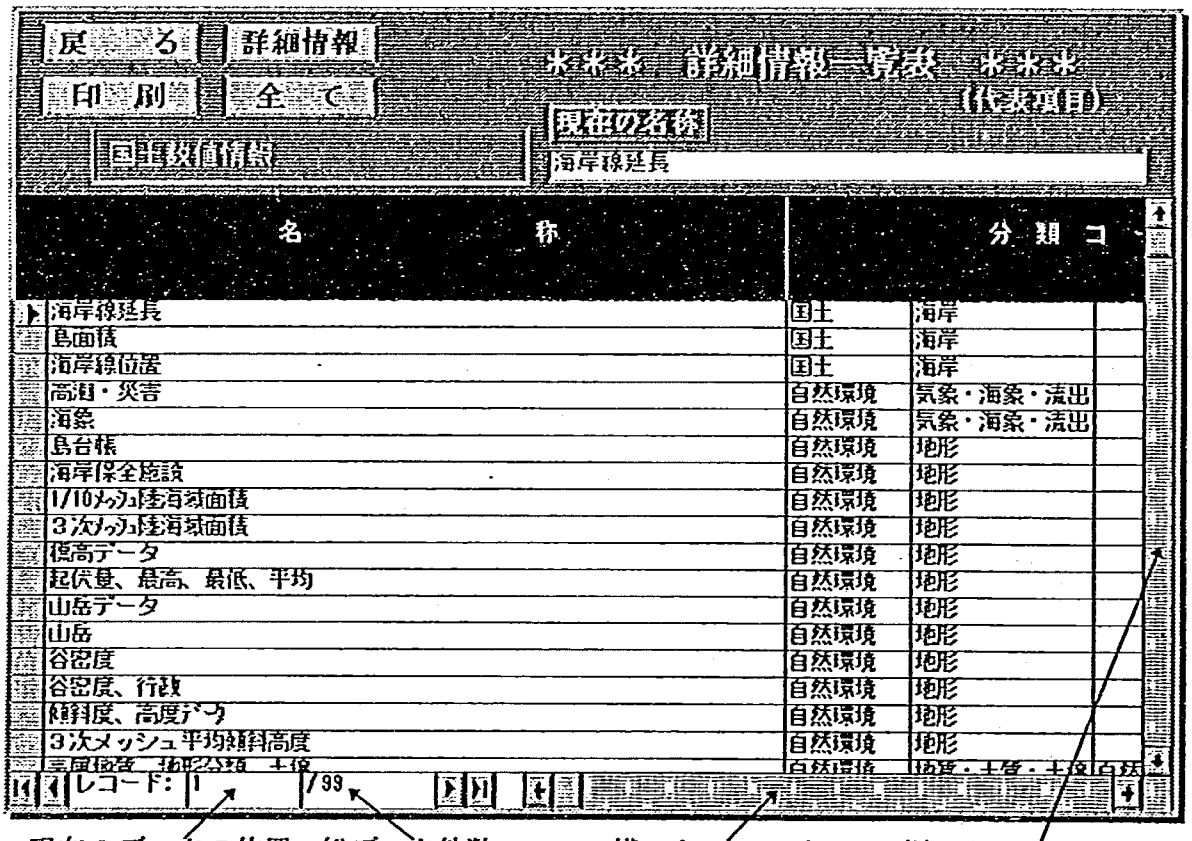
もう一つの方向が，ネットワークによるサーバ・クライアントシステムである。異なる機能と情報を持つ複数のサーバーが相互に結びつき，利用者は手元のコンピュータを作業場所（ワークステーション）として，接続している各種のサーバマシンに接続し，利用する。あくまで接続が前提である。

インターネットへ

このように発展していった個別の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」



図－8　建設環境情報データベース　メインメニュー画面



図－9　建設環境情報データベース　詳細情報代表画面

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。

しかしながら，このインターネットの利用にあたっては，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。

つまりインターネットとはサービスの提供ではない。したがって利用ではなく参加である，ということが前提になっている。

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あり，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引用されるが，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現在のところはいくらか困難が生じる。

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。

5　国土環境情報整備の課題

5．1　空間データ基盤整備と国土環境情報

前述のように，震災対策などの防災分野や環境分野をはじめとして，各種の土地利用計画策定，社会資本の整備・管理，マーケティング等の企業活動，住民への情報サービス，科学技術・学術文化の振興等広範な分野でＧＩＳは有用であり，カーナビゲーションのように従来では考えられなかった新しい産業の創出により，わが国経済の活性化に貢献する可能性も高いと考えられている。しかし，ＧＩＳを活用するためには，そこで使う地理情報を別に入手または作成しなければならない。これには経費も時間の多くかかるので，ＧＩＳのユーザーが個々に行っていたのでは効率が悪く，よい分析も行えない。このため，ＧＩＳで利用可能な地理情報のうち，特に基本的で汎用的に使われる情報は，情報インフラの一種（空間データ基盤）として整備すること

が強く求められている。

このため，政府としても，９月に「地理情報システム（ＧＩＳ）関係省庁連絡会議」（事務局：内閣内政審議室）を設置し，ＧＩＳの効率的な整備およびその相互利用の促進に取り組んでいる。また，建設省も８月，空間データ基盤の整備推進のため省内に「空間データ基盤整備委員会」（委員長：技監）を設置するとともに，通商産業省の協力を得て学識経験者からなるＧＩＳ研究会（委員長：伊理正夫中央大学教授）を設置し，ＧＩＳのための情報インフラの効率的な整備に向けた検討を行っている。

空間データ基盤は，次の要件を満たしている必要があると考えられる。

①汎用性の高い項目をカバーしている。特に，地理的位置を照合するための基準となる基図データは不可欠で，住所と関係づけられていることが望ましい。

②統計，台帳情報と関係づけることができる。また，統計的な集計ができる。これは，統計区が面構造として認識されていること，面だけでなく線，点に対しても属性を付与できる構造を持つことを指す。

③道路ネットワーク構造を持つなど，空間オブジェクト間の関係が構造化されている。

④必要かつ十分な空間解像度を持つ。

⑤少なくとも必要度の高い地域をカバーしている。

⑥パソコンで比較的簡単に扱うことができる。また，通信ネットワークを通じて情報提供ができる。

国土地理院はこのような観点に立ち，空間データ基盤の整備に取り組み始めたところである。これらは環境を直接に示すデータではないが，基図データとしての機能に加え，都市空間の構造を面的に分析することにも役立つので，今後具体的な利用手法を検討していく必要がある。また，空中写真画像データが安価で流通するようになれば，ＧＩＳによる精細な環境分析が普及するものと思われる。

５．２　ネットワークを通じた情報の流通

国土環境情報は，さまざまな項目からなるが，地域的に必要度は異なっている。また，現在利用可能なデータは，その形態，精度，作成方法，カバーエリアなどがまちまちである。国土環境情報は，さまざまな項目が一つのデータベースシステムで一元的に管理され，必要に応じて更新されているのが理想的であるが，これは現実的ではない。最近では電子通信技術が飛躍的に発展し，インターネット等のネットワークを通じた情報の流通が進んだので，国土環境情報データベースも作成機関等がそれぞれのデータを管理する分散型データベースとすることが考えられる。

この場合，利用者が情報に的確にアクセスできるためには，各機関が持つデータについて，その内容，品質，条件，その他の特徴を記述したデータ（メタデータ）が整備され，容易にアクセスできるようになっていなければならない。土木研究所，国土地理院はすでにインターネットを通じて一部の情報提供を開始しているが，国土環境に関するさまざまなデータを分散型のデータベースとして構築し，流通を促す仕組みについての検討が重要な課題となっている。

総合環境情報の構築と土木計画管理への利用

建設省土木研究所　環境計画研究室長　丹羽　薫

1　はじめに

平成６年１月に定められた建設省の環境政策大綱では，環境政策推進体制整備の一環として，地形，植生，土地利用等の地理情報を土台とした国土環境情報データベースの開発，整備を推進することとしている。これに基づき，建設省土木研究所及び国土地理院では，国土空間上の環境情報処理に適した地理情報システム（ＧＩＳ）技術の発達を踏まえ，ＧＩＳを基礎とした国土環境情報データベースの構築に向けて，国土環境情報の整備及び利用手法に関する検討を行ってきている。その内容は次のようなものである。[1),2)]

①　ＧＩＳ技術の動向及び建設事業に必要な情報技術の調査
②　事例に基づく国土環境情報の利用手法の検討
③　国土環境情報データベースのあり方の検討

環境政策大綱に取り上げられた国土環境データベースは，広域的なものを含むさまざまな環境計画策定，環境の視点からの建設事業の評価，具体的な環境リーディング事業の実施等を支援するものでなければならない。このため，国土環境データベースは次のような機能を持つべきのものと考えられる。

①データ作成機能：国土に関する一次データ（空中写真，リモートセンシング画像等）を先端的な技術も活用して解析し，環境に関する面的データとすることができること。

②情報リンク機能：多種多様な環境データを，同一データベース上で一体的に利用できること。

③解析機能：データベースに格納された環境データをもとに，効率的かつ合理的に環境の解析，評価ができること。

④データ管理機能：データの検索，図面作成，データの更新等が効率的に行えること。

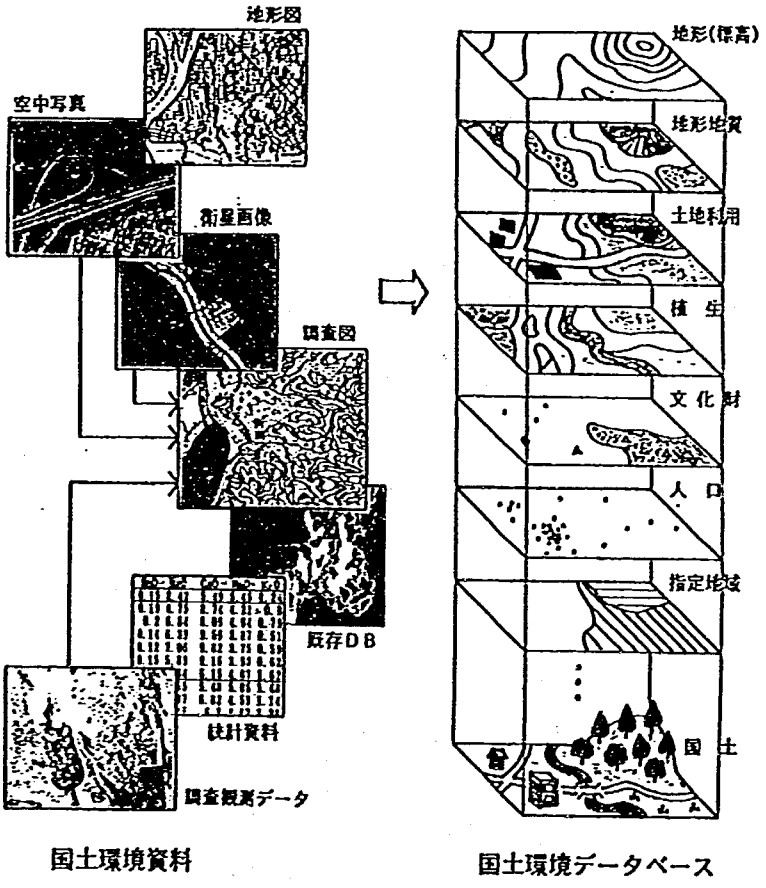
このような国土環境データベースが整備されれば，現況データ，解析結果等を用いて科学的に各種計画を検討することができ，必要に応じて，国土環境情報を的確に提供することも可能となる。

このようなことが可能な情報システムは，近年普及が著しい地理情報システム（ＧＩＳ）である。

2　国土環境情報システムとしてのＧＩＳ

2．1　ＧＩＳの機能

ＧＩＳは，地理的な位置のデータを含む情報（地図として表現できる情報）を処理（入力，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では，データを項目ごとにあたかも透明シートの地図（レイヤーという）のように管理している。各レイヤーは位置が正確に合わせられるようになっており，自由に重ね合わせができる（図－１）。



図－１　ＧＩＳを利用した国土環境情報データベース

ＧＩＳ導入の利点は，次のような点である。
①地理的位置を指定して各種データ（地図だけでなく，台帳・統計値・文書・画像等を含む）にアクセスできること
②情報源が複数のため別個に存在する重複情報の解消
③情報の地図化，地図の出力が容易であること
④特定事項，特定地域の情報の切り出しが容易であること
⑤複数項目を組み合わせた解析が容易であること
⑥条件変更の効果の検討の迅速化
⑦データの迅速な更新
⑧地図情報の検索・管理・伝達の合理化

２．２　国土環境分野におけるＧＩＳの利用

環境の保全・創造におけるＧＩＳの利用法について，整理すると，次のようになる。

①多種類の地域特性や人工施設の情報をもとに，単一の指標ではなく，マルチ指標で地点，地域ごとに環境の質を評価することができる。また，これをもとに，外的要素の変化に対する環境への影響をシミュレーションすることもできる。

②環境の実態を把握するための共通化された調査基図，調査資料を提供するとともに，調査成果を環境マップ情報として表現したり，地域毎の特性値を集計したりすることにより，環境把握調査の実施ととりまとめを効率化する。

③地域特性データに，環境変化の情報をリアルタイムで加えることにより，建設事業実施に伴う環境変化をモニタリングし，講じた環境対策の効果を把握したり，効果的な事業手法や環境対策の決定を支援したりする。

④地形，土壌，気候，水文，植物，動物などの空間分布の相互関係を解明し，生態系の実態を把握すること等により，地域を細分してきめ細かく環境対策の方針を定めるなど，的確な環境計画，事業計画策定を支援する。

２．３　道路計画の問題とＧＩＳの利点[3)]

道路計画における必要調査事項としては，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。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として整理したうえで利用されている。
また，閣議決定に基づく環境影響評価における環境要素とその元データの関係を調べた結果を表－１に示すが，これらも地図または統計データである。

表－１　環境影響評価の資料出典

地域環境 / 調査項目 / 事業例	地域の自然的状況に係る項目						地域の社会的状況に係る項目						
	地形・地質の概況	植物・動物の概況	河川・湖沼・海域の概況	気象の概況	景観の概況	その他（水質）	行政区画の状況	都市計画法	集落の状況	人口の状況	土地利用の状況	産業の状況	その他（道路）
A	1 2	2	6	7		7				9	4	9 4	
B	1	2	4	8		5				9	4	4	
C	3	2 4				4 5				4 9	1 4		4
D	1	2 4	4	8 4	4	5				9	4	4	4 7
E	1	2						4		9 4	4 1	9 4	
F	1	2 4		8	4			4	4	4	4	4	
G	1	2	4 7	4	4	7		4	4	4	4 1	4	

1 土地利用現況図（都道府県）
2 自然環境保全基礎調査（環境庁）
3 地域特性データ
4 地域環境把握方法研究成果
5 地形・地質の概況
6 植物・動物の概況
7 気象の概況
8 水質（建設省）
9 国勢調査（総務庁）

このうちの統計データの実際の引用状況を見ると，事業箇所との位置関係から統計データを処理して利用している。すなわち主題図に変換して利用していることが明らかである。

しかしながら複数の主題図を相互に比較・分析する場合，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，統計調査データの示す位置が判然としない等の問題が生じる。これらは，基本的に紙の主題図においては縮尺の違う図の比較が

困難であること，同一縮尺の主題図であっても座標系が異なる場合には図葉の端において無視できない差異が生じること等による。したがってこれらの問題は，縮尺・座標系を容易に変換できるツールにより解決される。

こうして得られた複合的な地域の状況に関する情報により道路計画は行われるが，その際には当然情報の検索，集計，分析が必要となる。概略設計の段階のみを考えても，仮想ルートの選定，支障となる事物の有無の確認，土工量の概算，工事・事業による影響範囲の推定，影響の予測と評価，別ルートの選定，と言ったような検討を行ない，概略路線を決定していく。この一連の検討にあたっては，地形，地質，土地利用，人口，法規制，産業，文化財等と，検討ルートとの関連の検索，集計を行なうことになる。さらには，「当該路線の両側３００m以内における住居地域面積」とか「全路線延長に対するＤＩＤから５００m以内の路線延長の割合」といった集計も必要な場合がある。このような検討は，従来紙地図の上に各種情報を転記した上で手作業で行なってきたが，考慮すべき情報の量が膨大となった現今では，かなりの労力を必要とする。これらの作業を効率化することのできるツールがＧＩＳである。

３　国土環境情報技術の利用

３．１　既存ディジタル地形図情報の利用

地形図は，最も基礎的な地理情報であり，都市計画区域のほとんどで１/2,500図が作成されているなど，大縮尺の地形図の整備も進んでいる。具体的な環境対策においては，そのレベルでの情報が活用できることが望ましい。幸い，徐々にではあるが，国土地理院のディジタルマッピング仕様に準拠する１/2,500地形図（国土基本図）のディジタルデータを作成する地方公共団体が増えてきた。

このデータは，本来地図を紙の上に出力するというＣＡＤ的な利用ためのデータで，地域を面として認識させるにはやや複雑な処理が必要といった問題があるが，基図データとして利用価値が高く，環境に関する分析もある程度可能である。例えば，街区ごとにオープンスペースの割合を集計することにより，居住環境・自然環境を考慮した都市計画策定の基礎資料を提供することができる。

しかし，従来はこのデータをパソコンで扱えるＧＩＳがなく，その利用には高価なハードウェアと専門的な知識が必要であったため，十分に利用されていないのが実状であった。そこで国土地理院では，このデータを簡単に利用できる簡易型利用システムの設計・開発を行った。この簡易型利用システムはWindows3.1上で動くもので，さまざまな検索，帳票情報とのリンク，ディスプレイ上への図形データの描き込み，設定した範囲の色塗り，プリンタへの出力など，主に検索・表示・出力する機能を備えている。ＧＩＳとしてはまだ不十分なものであるが，地域特性に関するデータとの重ね合わせを可能とするなど，環境の分析や防災に役立つシステムへと改良を進めている。

３．２　ディジタルフォトグラメトリ技術の利用

最近では，地図のディジタルデータだけでなく，空中写真のディジタルデータの利用技術の開発も著しく，ディジタルフォトグラメトリ（数値写真測量）という分野が急速に発展しつつある。

現在のところ，ラスタ型の画像データとして空中写真ディジタルデータをコンピュータに読み込ませ，ステレオマッチング（ステレオペアの左右の写真に写っている同一点を自動的に探し出すこと）により高さを計測してＤＥＭ（数値標高モデル）を作成したり，それを用いて正射画像や擬似的な斜め画像を簡単に作成する技術が実用化されている。

この技術は，本来地図作成のための技術であるが，正射画像化した空中写真データが得られるため，これをＧＩＳに組み込むと，環境分野での応用が広がる。例えば，撮影時期，撮影高度などが異なる空中写真も，正射画像になっていればＧＩＳ上で縮尺を一致させることによりぴったりと重ね合わせることができるから，複数時期の画像の変化から，植生，土地利用等の環境要素の変化とその範囲などを正確に知ることが可能である。また，空中写真の正射画像はコンピュータの画面上でディジタル地図データとも重ね合わせることができるから，空中写真から読みとることのできる環境要素を基図情報項目の属性として取り入れたり，

その空間分布等を直接ＧＩＳで利用可能なディジタルデータとして記録することができる。

３．３　数値標高モデル（ＤＥＭ）の利用

現在国土地理院により，全国の約50m間隔のＤＥＭの刊行が進められている。また，前節で述べたように，空中写真ディジタルデータを用いてより精細なＤＥＭを作成することも可能となっている。

ＤＥＭは，環境要素の一つである地形形態を表現する一手段である。地形は，環境要素として植生以上に基礎的なものである。標高，傾斜，斜面の向きなどによって局地気候，土壌発達，表流水・地下水等が制約を受け，さらに土地利用が影響を受けるので，地形形態によって植生発達が左右されるという側面があるからである。

例えば，暖温帯で，台地と谷底低地が入り組んだ地域では，以下のように地形条件に左右された環境変遷が認められる。

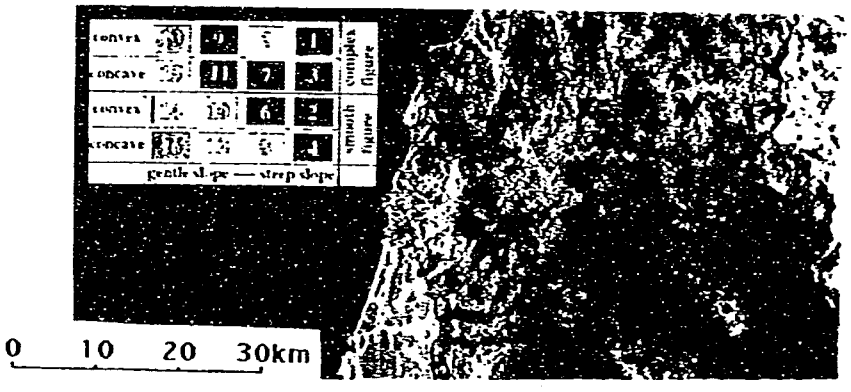
①台地上に照葉樹林，低地には水域と湿地植生が分布。

②農林業の発達につれて低地は水田化。台地上は火入れによる草原化や薪炭採取による雑木林化が進行。

③都市化の過程で，台地，次いで低地の市街化が進み，台地縁の自然斜面にのみ２次林が残存，貴重なビオトープとなる。

また，自然度の高い山地においては，尾根地形や谷地形が，動物の通行を阻害したり，逆に回廊となったりしている。

このような観点から地形形状を評価するのは，従来は地形調査の専門家の手作業によっていた。ＤＥＭがかなり自由に利用できる現在では，ＤＥＭをＧＩＳに読み込んで傾斜や斜面型の組み合わせを求め，半自動的に地形形状の特性の分布を求めることが可能となってきた（図－２）。



図－２　ＤＥＭを用いた地形特性分布図の例

３．４　衛星リモートセンシングによる環境モニタリング

衛星リモートセンシングは，ほぼ同時の広域のデータが均一の精度で得られること，ひんぱんに繰り返し観測していること，という利点があり，環境のモニタリングに適している。

アメリカの気象衛星ＮＯＡＡは，空間解像度が約１kmと粗いが，観測波長帯の組み合わせで植生・土地利用に関する情報が得られること，観測周期が短く，世界中どこでも毎日データが得られること，データは誰でも自由に使用できること等のため，広域の環境モニタリングに使われている。

４　建設事業における環境情報の現状[4)]

４．１　建設省の所有する統計的情報

建設省発表の統計情報のうちで，属地的情報を表－２に示す。これらのほとんどは環境

（特にいわゆる公害）問題を考える上での基礎資料となるものである。
しかし，広域的な環境を踏まえた社会資本整備を行なっていくにあたって，これら自己調査による情報では不十分であり，各種のデータが必要である。この世の中に氾濫する情報のうち社会資本整備にとって何が必要か，どこにまとめられているかが必要である。
この点を踏まえて，建設事業に関する環境情報のナビゲーションデータベースを検討した。

表－２　建設省の保管する属地的統計情報

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

４．２　情報源について
社会資本整備にあたって利用可能と思われる情報について，以下のカテゴリーを考えそれぞれに該当する情報について調査した。
①　地理的情報
社会資本は国土の上に存在するものであり，その周辺その他との位置関係は基本的に重要である。したがって地理的情報（その属性のうちに位置の情報を持つ情報：市町村別統計，各種分布図，地点別測定結果等）は極めて有益である。ただし地理的情報を最大限に解釈すれば，国土の上の事象に関する情報が全て含まれてしまうため，今回はそのうちで磁気媒体に収録されているものとした。
②　環境に関する情報源
建設事業と関連の深い生物に関する情報源について調査した。
③　建設省所管統計データ
建設省が調査し公表している統計情報について調査した。ここでは，統計法に基づく統計情報に限らず，一般的に統計情報と認識されるものを対象とした。
④　インデックス情報
環境に関する情報源へのアクセスのナビゲータとなっている情報源を対象とする。
４．３　情報源情報データベースフォーマットの検討
４．３．１　分類体系
以上をもとに，データベースのフォーマットを検討した。その分類体系は，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－３に示す。
４．３．２　情報内容[5)]
利用の便を考え，情報を概要と詳細に分類することにした。
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。
①　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（ＭＴＦＤ，帳票年表・年鑑図面，その他），備考

② 詳細情報（メッシュ：他はこれに準じる）

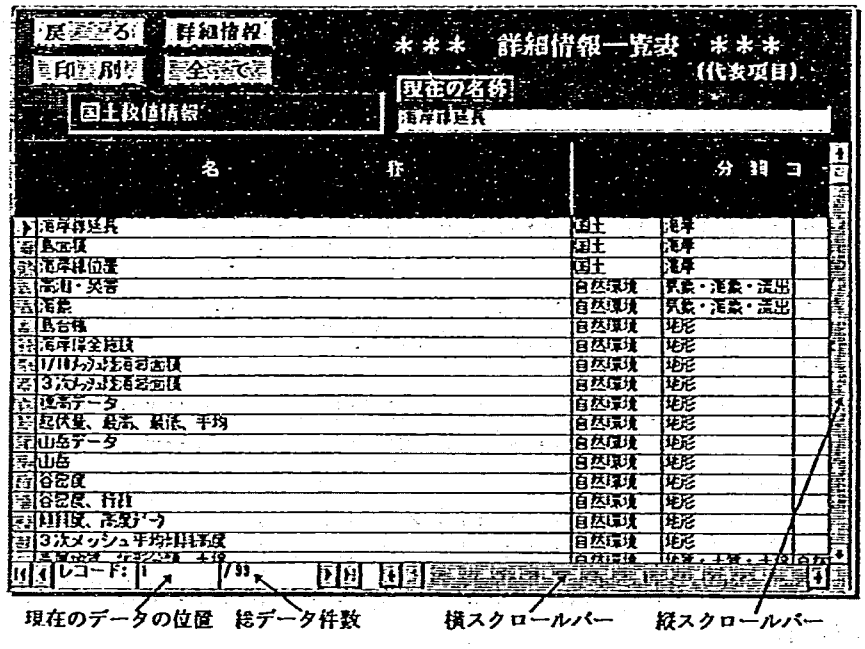
データ名称，内容分類コード×２，情報源名，情報区分，ファイル名，データ年，次更新頻度，公表時期，整備対象範囲，原資料名，提供形態，データスケール，データ項目，備考

以上をもとにデータベースを作成した。（図－３）。

は詳細情報代表画面である。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。

表－３ 分類体系 （案）

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震動・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



図－３ 建設環境情報データベース 詳細情報代表画面

4．4　コンピュータ通信ネットワークの現状

現在のすべての分野においてコンピュータの利用が進んでいる。特にデータベースのような多種多様な情報を取り扱う場合，通信ネットワークを利用することが世界的な潮流である。

① ネットワークの発展

現在世界的に急速に拡大している通信ネットワークが，インターネットと呼ばれるものである。インターネットとは普通名詞であり，かつ固有名詞でもある。建設技術者にはなじみが薄い分野であるため，ここでコンピュータネットワークについて概説する。

② コンピュータの発展

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。この関係では，ホスト（サーバー）機と端末（クライアント）機の関係は単純で，端末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ホスト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）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。その開発方向は大別して２つに分かれていった。

１つは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・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。あくまで接続が前提である。

③ インターネットへ

このように発展していった個別の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。

5　国土環境情報整備の課題

5．1　空間データ基盤整備と国土環境情報

前述のように，環境分野をはじめとして，震災対策などの防災分野や，各種の土地利用計画策定，社会資本の整備・管理，マーケティング等の企業活動，住民への情報サービス，科学技術・学術文化の振興等広範な分野でＧＩＳは有用であり，カーナビゲーションのように従来では考えられなかった新しい産業の創出により，わが国経済の活性化に貢献する可能性も高いと考えられている。しかし，ＧＩＳを活用するためには，そこで使う地理情報を別に入手または作成しなければならない。これには経費も時間の多くかかるので，ＧＩＳのユーザーが個々に行っていたのでは効率が悪く，よい分析も行えない。このため，ＧＩＳで利用可能な地理情報のうち，特に基本的で汎用的に使われる情報は，情報インフラの一種（空間データ基盤）として整備することが強く求められている。

空間データ基盤は，次の要件を満たしている必要があると考えられる。

①汎用性の高い項目をカバーしている。特に，地理的位置を照合するための基準となる基図データは不可欠で，住所と関係づけられていることが望ましい。

②統計，台帳情報と関係づけることができる。また，統計的な集計ができる。これは，統計区が面構造として認識されていること，面だけでなく線，点に対しても属性を付与できる構造を持つことを指す。

③道路ネットワーク構造を持つなど，空間オブジェクト間の関係が構造化されている。

④必要かつ十分な空間解像度を持つ。

⑤少なくとも必要度の高い地域をカバーしている。

⑥パソコンで比較的簡単に扱うことができる。また，通信ネットワークを通じて情報提供ができる。

5．2　ネットワークを通じた情報の流通

国土環境情報は，さまざまな項目からなるが，地域的に必要度は異なっている。また，現在利用可能なデータは，その形態，精度，作成方法，カバーエリアなどがまちまちである。国土環境情報は，さまざまな項目が一つのデータベースシステムで一元的に管理され，必要に応じて更新されているのが理想的であるが，これは現実的ではない。最近では電子通信技術が飛躍的に発展し，インターネット等のネットワークを通じた情報の流通が進んだので，国土環境情報データベースも作成機関等がそれぞれのデータを管理する分散型データベースとすることが考えられる。

6　まとめ

マルチメディア時代の情報インフラとして，ＧＩＳ及びＧＩＳで使用する基本的な国土空間情報の整備の必要性が急速に高まっている。先般の阪神・淡路大震災においては，被害実態の解明や復旧・復興活動支援にＧＩＳが活用されるなど，具体的な利用も進んできた。建設分野におけるＧＩＳの利用はまだ十分なものとは言えないが，国土環境の観点からは，今後環境のモニタリング等の必要性と，情報の作成・維持に有利な分散型データベースへの期待が高まることが予想される。ＧＩＳの利用が効果的なのは，

①形の異なった情報を統合したり，情報を視覚化したりすること，

②複雑な環境要素の組み合わせからなる土地を区分し評価すること，

③ネットワークを通じた情報へのアクセス，

等である。

参考文献

1）建設省：第48回建設省技術研究会論文集　指定課題，1994

2）建設省：第49回建設省技術研究会論文集　指定課題，pp. 21-1～21-16，1995

3）丹羽薫，長野幸司：道路の環境計画とＧＩＳの可能性，第21回日本道路会議論文集(A)，pp. 114～115，1995

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. 36No. 12，pp. 38～43，1994

5）長野幸司，小川和延：建設環境データベースシステム，土木技術資料Vol. 37 No. 11，1995

グラビア

建設環境情報データベースシステム

現在、世界は急速に高度情報化への道を進んでいます。アメリカでは、1993年にクリントン政権において、「情報基盤構想(NII構造：National Information Infrastructure)」が提唱されました。また、1994年に開催されたナポリサミットでは、「地球規模情報基盤構想(GII構想：Global Information Infrastructure)」の推進の合意に至っています。日本も例外ではなく、1994年に内閣に「高度情報通信社会推進本部」が設置され、「行政情報化推進計画」を策定しました。

このような状況の下、現在までに、多方面に渡ってデータの電子媒体化が試みられ、高度情報化への準備が着実に進行しています。その中で、建設分野における環境関連の情報としては、建設省国土地理院発行の「国土数値情報」や、総務庁発行の「メッシュ統計データ」が代表例として挙げられます。しかし、これらのデータには汎用性などの問題があり、その普及度は依然低く、有効に利用されているとは言えない状況です。

そこで、自然環境(地形、植生、気象、…)や、社会状況(産業、人工、計画、…)に関する広範な情報を必要とする、環境影響評価をはじめとする様々な場面で、このようなデータを有効に活用するために、“どのようなデータがあり、入手先はどこなのか。”という問いに答えられるような検索システムについて、研究・開発しています。

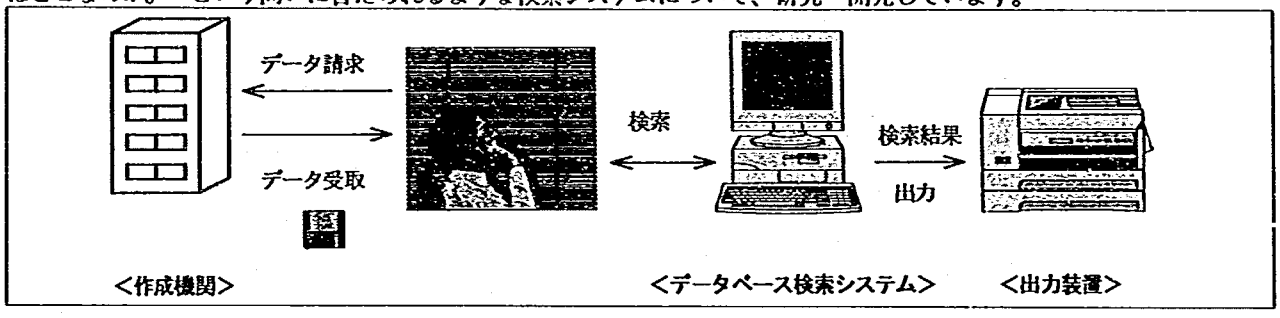


図-1 現在開発中のデータベース概念図

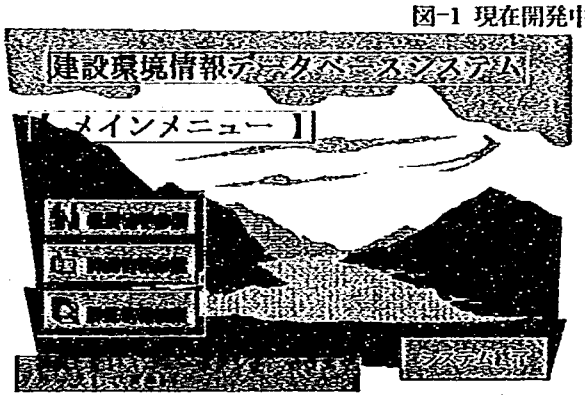


図-2 メインメニュー画面
概要情報参照画面や詳細情報画面、詳細情報検索画面を選択するメニュー画面



図-3 概要情報画面
各種データベースの概要や、作成機関、問い合わせ先等の情報が得られる。また印刷や修正も可能。



図-4 詳細情報参照画面
国土数値情報や総務庁メッシュ統計データ等の、参照したいデータベースを選択する。

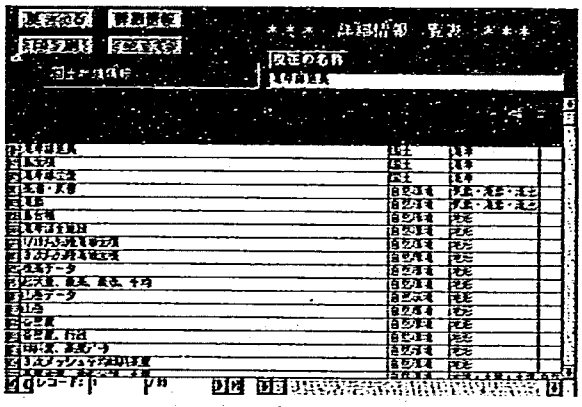


図-5 詳細情報一覧表画面
データベース毎の整備項目情報が表示され、詳細情報ボタンを押せば、さらに詳しい情報が得られる。

建設省土木研究所環境部環境計画研究室研究員　長野幸司
同　環境計画研究室部外研究員　小川和廷

そ　の　他

（発表論文）

【土木計画学研究・講演集 No.18(2) 1995年12月】

土木施設名の好感度に関する研究

Studies about Favorable Name of Public Works Institutions

竹林 征三* 中川 浩二** 古川 浩平*** 小川 和廷****

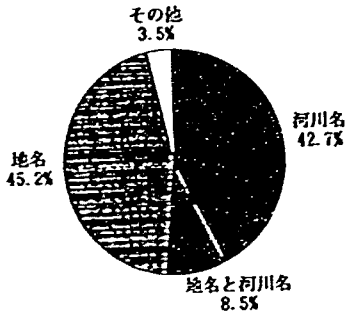
by Seizo Takebayashi Nakagawa Koji Furukawa Kohei Ogawa Kazunobu

1．はじめに

ものの名前（名称）は、そのものを他のものと区別するために付けられ、そのものの全体を表現したり、またはある性質を表現する重要なものである。しかし、大半の土木施設の名前は、その施設が位置する地名等（例えば、神戸という地に湖を造るなら神戸湖というように）から付けられ、特別深い意図のもとに命名されていないのが実情である（図－1参照）。

一方、地域の社会基盤の核を成す土木施設は、関係者や地域住民の期待や願いが込められており、土木施設はその地域のシンボルとなるものである。したがって、その施設の名前は多くの人々から好感を持たれるものが望ましい。

そこで、我々は既存の公園や橋、ダム湖の名前から、その好感度についてアンケート調査を行い、どの様な名前が人々に好感が持たれ、その施設を利用したくなるのかを考察することにより、今後、新規の土木施設に名前を付けたり、既存の施設の名前を改名したりする際の参考として役立てることを目的として研究を行った。



図－1 ダム名の由来別分類例[1)・2)]（建設省所管597ダム）

キーワード：意識調査分析
*フェロー会員 工修 建設省土木研究所環境部長
〒305 茨城県つくば市旭1番 ，電話 0298(64)2827,FAX 0298(64)7183
** 正会員 工博 山口大学工学部土木工学科教授
〒755 山口県宇部市常盤台2557,電話 0836(35)9439,FAX 0836(35)9403
***正会員 工博 山口大学工学部土木工学科教授
〒755 山口県宇部市常盤台2557,電話 0836(35)9938,FAX 0836(35)9429
**** 工修 建設省土木研究所環境部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,FAX 0298(64)7221

2．好感度アンケート調査

今回のアンケート調査は、二種類実施した。一つは、一対比較法によるものと、一つは *Semantic Differential* 法（*SD* 法）によるものである。

(1) 一対比較法による調査

一対比較法とは、n 個の対象を二つずつの組み合わせ（$n(n-1)/2$対）にし、その対毎に上位判定を行い、対象の順位を決定する最も信頼性の高い方法の一つであり、距離尺度を構成するためのデータとしても信頼性の高い結果が得られる。

この調査では、ダム湖名について表記の違いや、修飾語の違いにより人が受ける印象がどの様に異なるのかを調べた。

アンケートは、総計286名（うち土木関係者69名，男子大学生102名，女子大学生115名）を対象として、図－2に示す調査票（5段階評価）により、下記の三項目について実施した。

①表記（漢字や仮名等）の違いに関する比較
（例－緑湖，みどり湖，ミドリ湖，レイクミドリ）
②接頭語の違いに関する比較（例－奥弥栄湖，上弥栄湖，下弥栄湖，新弥栄湖，大弥栄湖）
③一般名称の違いに関する比較（例－○○ため池，○○湖，○○ダム湖，○○貯水池，○○調整池，○○池）

(2) *SD* 法による調査

SD 法は、*C.E. Osgood* により提案された方法で、対象とする事物や言葉に対して、感性ワード（形容詞対）を素材として人間のイメージ空間を測定する方法である。

この調査では、公園と橋とダム湖の名前から受けるイメージについて調査を行い、どの様な要因によって好感度が左右されるのか、またそれらの名前の

由来によってどの様に異なるのかを調べた。

アンケートは、対象施設毎に別々に実施した。20の公園名[3]について120名、また40の橋名（うち東京都内20[4),5)]，大阪府内20[11)]）について同じく120名、22のダム湖名[1),6)]について286名を対象に、図－3に示す調査票（16評価項目，5段階評価）により行った。読み仮名は付けないで行った。

但し、下記に示すような読み仮名と簡単なコメントを付けて、上記と同じダム湖名について150名の方を対象にアンケート調査を実施し、宣伝効果（*PR*効果）について調査した。

（例）みやび湖：三隅町と弥栄町と美都町の3町に（みやびこ）またがって出来た湖で、各町一字ずつ取って名付けた。

蓼科湖（たてしなこ）：蓼科山のふもと蓼科高原（リゾート地）に位置し、蓼科山の眺望が美しい。

3．調査結果

(1) 一対比較法による調査結果

(a) 解析方法[7)~9)]

まず、アンケート調査により得られたデータを解析しやすいように、5段階評価に1～5の数値を割り当てて数値化した。

n個の対象について、アンケート調査により得られたjに対するiの相対的評価値をe_{ij} $(i,j=1\sim n)$とすると、以下に示したn行n列の行列Eが得られる。

$$E=\begin{vmatrix} 1 & e_{12} & e_{13} & \cdots & e_{1n} \\ & & \vdots & & \\ e_{n1} & e_{n2} & e_{n3} & \cdots & e_{nn} \end{vmatrix}$$

しかし、Eの各要素は、ある二つの対象にのみ着目して得られた数値であるから、他の対象との関係に矛盾が生じていることがある。そこで、その矛盾を解消するために、以下の固有値解析を行い、妥当な評価Wを求めた。

$$EW=\lambda W$$

ここに、

$W=(w_1, w_2, w_3, \cdots, w_n)^T$，$T$は転置

λはEの固有値の実数最大値である。このとき、固有値解析の結果得られる固有ベクトルWの各

次に示すダム湖名の「好ましさ」の度合いを下表に示す1～5の数字で評価して下さい。例えば、みどり湖とミドリ湖を比較して、ミドリ湖の方が「明らかに好ましい」と判断した場合 みどり湖 & ミドリ湖 5 といったように好ましいと判断した方をOで囲み、その評価値を下表の数字から選び下表の右に記入して下さい。
また、みどり湖とミドリ湖の「好ましさ」が等しいと判断した場合 みどり湖 & ミドリ湖 1 と記入して下さい。

1. みどり湖	& ミドリ湖	＿＿	
2. レイクミドリ	& 緑湖	＿＿	
3. ミドリ湖	& レイクミドリ	＿＿	
4. 緑湖	& ミドリ湖	＿＿	
5. レイクミドリ	& みどり湖	＿＿	
6. みどり湖	& 緑湖	＿＿	

点	定義
5	明らかに好ましい
4	かなり好ましい
3	まあまあ好ましい
2	どちらかといえば好ましい
1	好ましさが等しい

図－2 一対比較法による調査票例

次に示す公園について、あなたのイメージする所にOを付けて下さい。

（こまどり公園）

	非常に	やや	どちらでもない	やや	非常に	
明るい						暗い
あたたかい						つめたい
やわらかい						かたい
すっきりとした						複雑な
変化のある						変化のない
派手な						地味な
力強い						弱々しい
個性的な						ありふれた
覚えやすい						覚えにくい
形のよい						形の悪い
ヨズム感のある						ヨズム感のない
歴史を感じる						歴史を感じない
夢がある						夢がない
自然が目に浮かぶ						浮かばない
行ってみたい						行ってみたくない
好感が持てる						好感が持てない

	知っている	聞いた事がある	聞いた様な気がする	知らない
この公園名について				

図－3 *SD*法による調査票例

要素w_iは対象iの相対的評価値と考えることができる。また、一対比較が正確に行われれば、λはnになる。

次に、得られた好感度に関する相対的評価値Wを「好ましさ」というファジィ集合に属する度合いと考え、対象iのメンバシップ値m_iを下記の式より求め、各個人のメンバーシップ値を算出し、それを平均して各要因のメンバーシップ値を決定した。

$$m_i=W_i/max(W_1,\cdots,W_n),\quad i=1\sim n$$

また、対象iのメンバーシップ値m_iの変動係数D_iを下記の式より算出した。

$$D_i=\left\{\sum_{i=1}^{n}(\bar{m}_i-m_i)^2/n\right\}^{1/2}/\bar{m}_i$$

ここで、$\bar{m}_i$は、平均値である。

(b)　調査結果

各調査項目毎のメンバーシップ値と変動係数の値を図－４に示した。ここでは、アンケート対象を全体，男性，女性の三つに分けて考察を行ったが、調査結果の傾向に母集団による差異がほとんど見られなかったので全体のみ示した。

これより、メンバーシップ値の高い（好ましい）もの程、変動係数（ばらつき）が小さく、被験者間の差が小さい傾向が認められる。また、好ましく感じられる順に並べると、それぞれ①ひらがな・漢字・横文字・カタカナ、②奥・新・上・大・下、③湖・ダム湖・貯水池・池・調整池・ため池となっている。

(2)　*SD* 法による調査結果

(a)　解析方法

一対比較法と同様に、アンケートにより得られたデータを解析しやすいように、５段階評価に１～５の数値を割り当てた。

この数値データをもとに、各対象毎及び各評価項目毎に平均値を算出した。

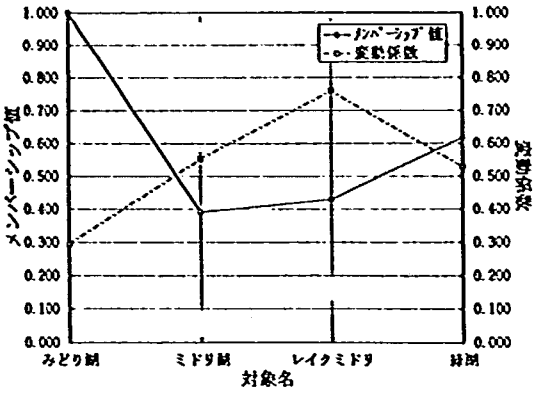
そして、この平均値をもとに、プロフィール分析と数量化Ⅱ類（又は属性相関係数）による要因分析を行った。

(b)　調査結果

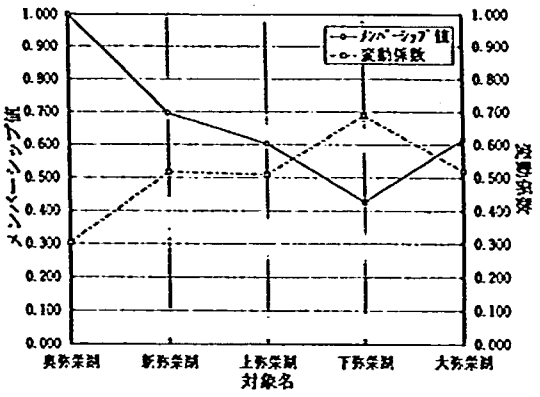
公園や橋、ダム湖の名前に対する好感度（外的基準）についてどの様な因子（内的基準；評価項目）がそれを大きく影響するのかを知るために要因分析を行った。その結果、各対象名毎に上位五つの因子を計数すると図－５となり、好感度を左右する上位五つの評価項目は下記に示す通りとなった。（図－５参照）。

1)　行ってみたい・行ってみたくない
2)　景観が目に浮かぶ・浮かばない
3)　響きがある・響きがない
4)　夢がある・夢がない
5)　覚えやすい・覚えにくい

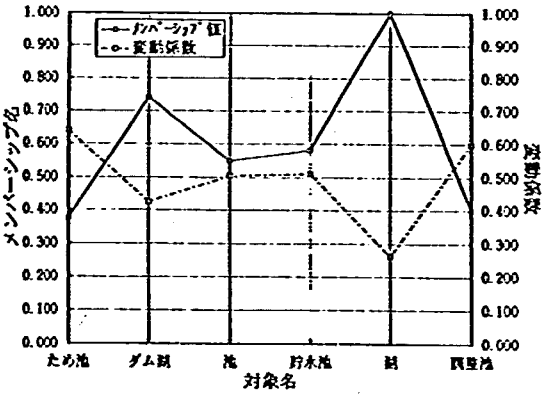
また、名前に読み仮名や簡単なコメントを付けて実施したアンケート結果と、上記の結果を比較することにより宣伝効果についても考察した（図－６参照）。この結果、読みが難しかったり、景観が想像し難い（イメージしにくい）と考えられる名前については宣伝効果があり、好感度が上昇した。しかし、反対にコメントによって、それまでのイメージを悪化させ、好感度を下げた場合も



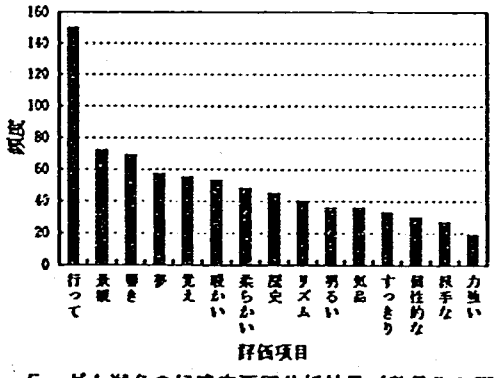
図－４(1)　表記の違いに関する調査結果



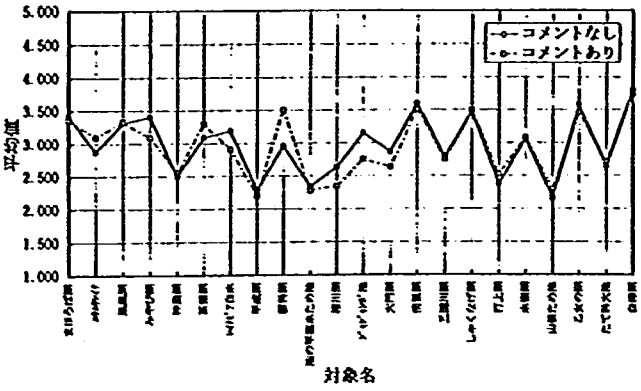
図－４(2)　接頭語の違いに関する調査結果



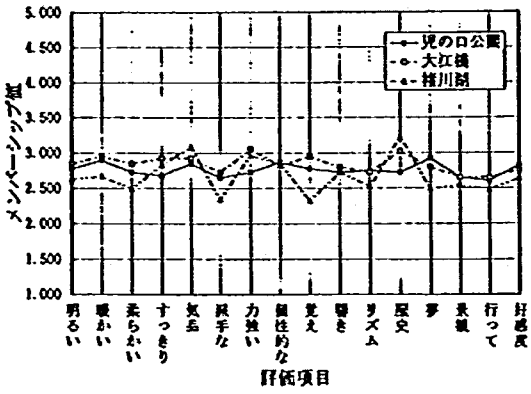
図－４(3)　一般名称の違いに関する調査結果



図－５　ダム湖名の好感度要因分析結果（数量化Ⅱ類）



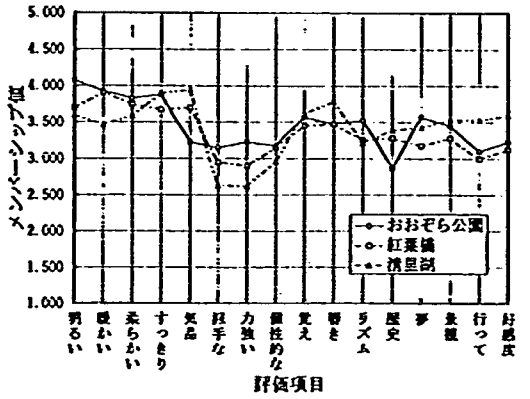
図－6　宣伝効果に関する比較結果



図－7　プロフィール分析結果（好感度：低）

表－1　名前の由来に関する分類例（東京都内の橋名）

分類	小分類	件数	合計	%	分類	小分類	件数	合計	%
自然	フルネーム	11	15	15.9	名称のある施・史跡など	比喩	9	11	8.2
	同名を避けたもの	4				資源をなすもの	1		
地名	片方の地名	30	47	45.8		地物名	1		
	両岸が同じ地名	1			好感を込めたもの	橋の通称	7	9	6.1
	古い呼び名	20				安全性を込めたもの	2		
	同名を避けたもの	3			人名		3	3	2.0
	隣接地名から派生したもの	3			故事来歴	伝説	5	8	5.4
	橋名が地名になったもの	5				古典の言葉	1		
	区域されたもの	5				神事	1		
抽象	イメージ	6	6	6.1	歴史年表		2	2	1.4
由来資料がはっきりしないもの		9	9	6.1	合計		147	147	100



図－8　プロフィール分析結果（好感度：高）

あった。

次に、プロフィール分析により由来（表－1に分類を示す）の違いが好感度にどう影響するのかを見た。全般的に「好ましさ」と他の評価項目がほぼ同じレベルの名前が多かった（図－7参照）。しかし、創作名には好感度が高いものが多く、それらは「明るい」、「暖かい」、「柔らかい」、「すっきりした」、「覚えやすい」、「響きの良い」という評価項目が他の項目より高い傾向があった（図－8参照）。また、その他に由来する名前にも、一部好感度が高い名前が見られた。これらは知名度が高いリゾート地や歴史的名前等から命名されていたり、由来に無関係に名前から受ける印象が良いと考えられる名前であった。

4．結論

本研究では、土木施設の名前に対する好感度をアンケート調査により分析した。創作名に好感度が高い名前が多かったが、その名前は、①誰にでも読めて、②情景が目に浮かびやすく、③音韻が美しく、④夢があり、⑤覚えやすい名前であった。

今後の課題としては、①名前からイメージされるもののアンケート調査（例：みどり→森，山，…）を実施し、イメージされるものの多様性等と好感度との関係を明らかにすることと、②アンケート対象者の違い（性別，年齢，居住地域，…）によって、好感度がどの様に左右されるかを分析することと考えている。

5．謝辞

本研究を行う際、中部大学工学部土木工学科の松尾直規教授にご指導いただきました。また、同大学の伊藤浩氏、後藤孝氏、及び山口大学工学部土木工学科の小山敬介氏をはじめ、アンケートにご協力頂いた方々に、合わせて感謝の意を表します。

***　参考文献　***

1）竹林征三；ダム・ダム湖名称考（その1）～（その35），ダム日本，No.536～539・No.561～591，1989.6～1989.9・1991.7～1994.1
2）竹林征三；文化遺産としての土木施設の名前に関する研究，土木史研究，No.15，1995
3）日本公園百年史刊行会；日本公園百年史
4）東京都建設局；橋りょう事業のあしあと
5）東京都建設局；橋のはなし
6）建設省；ダム年鑑，1993
7）*Thomas L. Saaty ; Measuring the Fuzziness of Sets, Management and Behavioral Science Center, Journal of Cybernetics* 4. No. 4, 1974
8）古川浩平・古田均・仁多和英；一対比較法の最適耐震設計への応用に関する研究，土木学会論文集 *No.* 368，1986.4
9）古川浩平・古田均・中尾絵里子・浅津直樹；ファジィ理論に基づく美観を考慮した橋梁設計に関する一考察，土木学会論文集 *No.* 410，1989.10

日本建築学会計画系論文集　第479号，179-188，1996年1月
J. Archit. Plann. Environ. Eng., AIJ, No. 479, 179-188, Jan., 1996

レジャー環境についての心理的特性と空間類型の抽出

PSYCHOLOGICAL EVALUATION AND TYPOLOGICAL ANALYSIS ON THE LEISURE ENVIRONMENT

田中奈美*，土肥博至**
Nami TANAKA and Hiroshi DOHI

Psychological evaluation and typological analysis on the selected forty-nine sites were examined on following three aspects.
1.Structure of psychological evaluation on leisure spacest was considered by using SD method with sixteen couples of adjectives and factor analysis. Three axes : rest, amusement, clearness were extracted
2.Relationship between the axes and the physical environmental setting was examined by regression analysis.Strong association was seen between three psychological axes and physical characteristics.
3.Cluster analysis between spatial characteristics and psychological characteristics showed a new types of leisure spaces.

Keywords : leisure environment, structure of psychological evaluation, spatial types, spatial characteristics, factor analysis, cluster analysis,
レジャー環境，心理評価構造，空間類型，空間特性，因子分析，クラスター分析

1．研究の目的と方法

本論文は、現代のレジャーに着目し、人々のレジャーに関する意識や行為の特性と、それが行われる場としての空間的環境、それらの関係を明らかにすることから、最終的にはレジャー環境計画に関する基礎的知見を得ることを目的とした筆者らの一連の研究の一部と位置づけられる。

レジャーは我々の生活にとって付加的な行動と取り違えられがちであるが、先行研究[注1)]や筆者らの既発表論文[注2)]で明らかにされたように、現代生活には欠かすことのできない創造的活動であり、しかも日常生活から孤立したものではなく、生活全般に深く関わる価値の一部を成すものである。このような認識にもとづき本研究では、レジャーを個々人の自由で選択的な行為であると共に、生活行為全般におよぶ幅広い概念と捉える。そのために、レジャーの実態を意識、行動、環境の3側面から明らかにした上で、3側面間に存在が予想される関連構造について考察しようというものである。これまでにレジャーを行う人々の意識構造、レジャーの行為特性、レジャー環境の物理的空間特性に関する考察を行い、その成果はすでに数編の論文として発表している[注3)]。

本論文を含む上記3側面の1つであるレジャー環境についての研究は、先に述べたように人間のすべての行為はレジャーとなる可能性を持つとする研究の立脚点からは、レジャーを行う場としてのレジャー環境は必然的に極めて多様となる。こうした多様な空間をレジャー環境として研究対象とすることは、言い換えれば人間の生活空間全般を研究対象と捉えているといえ、レジャーという切り口から、生活空間全般を考察するものである。

本論文ではこうした多様なレジャー環境の空間特性を、物理的空間特性と心理的評価構造の両面から把握すること、および物理的空間特性から導かれた空間類型と心理的評価構造との相互関連図式を明らかにすること、

* 建設省土木研究所　特別研究員・学修　Post Doctoral Fellow, Public Works Research Institute, Ministry of Construction, M. Ph.
** 筑波大学芸術学系　教授・工博　Prof., Institute of Art and Design, Univ. of Tsukuba, Dr. Eng.

の２点を目的とする。なお、このうち物理的空間特性の調査分析の結果については、既に報告した[注4]が、本論文の構成上、その骨子を再編して記述する。

具体的な研究の手順は以下のようにまとめられる。

（1）環境の空間特性を表現する指標を設定し、具体的な調査対象地を選定して計測を行う。

（2）物理的空間特性によるレジャー空間の類型化を行う。

（3）既往研究および予備実験を参考に、心理評価実験の方法、評価指標を選定する。

（4）分析対象空間として49調査地を選定し、そこで撮影したスライド写真を用いてSD法による心理評価実験を行う。

（5）心理評価実験結果の分析を行い、レジャー空間の心理評価構造を明らかにする。

（6）レジャー空間の心理評価構造と物理的空間特性類型との関連についての考察を通して、レジャー空間の総括的な空間類型を抽出する。

（7）最後に、得られた空間類型がもつ環境計画上の意味について考察を加える。

2．物理的空間特性にもとづく空間類型の抽出

多様なレジャー環境の空間的特性は、実際の空間が持つ物理的特性と心理的特性の両面から考察するものとし、物理的空間特性については、表１に示す11指標を用いた現地測定調査結果から、具体的なレジャー空間の類型化を試みた[注5]。

2.1空間特性指標の設定と調査方法

空間測定調査に用いた11指標は、44指標を用いて行った予備調査結果からレジャー環境という多様な空間を扱うのに有効な指標を選ぶとともに新たに数種類を加えることによって選定した[注6]。

調査対象地の選定は、レジャー環境を多様と捉える立場から多様な地区を選定するために、ドクシアディスの段階構成単位に関する理論を参考に仮説的な環境分類を設定し、そこに含まれるそれぞれの地区カテゴリーから数カ所の調査対象地を選定することとし、表２に示す49の具体的な調査地を選定した[注7]。

現地測定調査は地図資料と調査票を用いて行い、調査地の特性をよく表す場所を基準地点とし、これを中心に半径150m円の圏域を定め、その円内における人工遮蔽物、自然遮蔽物、建物階数、建物１階レジャー用途、屋外歩行整備空間等を地図上に記入し、音、水、環境構成物は調査票に記入を行った[注8]。このような現地での測定調査結果をもとに分析に用いるための図を作成し、数値を求めた。以降、この実際に測定調査を行った範囲をレジャー空間とよぶものとする。

表１　物理特性測定指標

(1) 知覚空間面積	測定地点を中心とする半径150m円領内で視線が遮蔽されず開放によって囲まれる内側の土地面積
(2) 人工遮蔽長	知覚空間周で人工物によって視線が遮蔽される長さ
(3) 自然遮蔽長	知覚空間周で自然物によって視線が遮蔽される長さ
(4) 開放長	知覚空間周で半径150mの円弧が含まれる長さ
(5) 建物平均階数	知覚空間に接する（人工遮蔽長を構成する）全建物階数の平均
(6) 建物レジャー用途率	知覚空間に接する全建物数のうち１階部分がレジャー用途の建物の割合
(7) 音の種類（9種）	調査地点で聞こえる音の種類を以下の項目で調べる 人間（ざわめき、会話・笑い声・子供の声、呼びかけ・叫び） 交通（車、汽車・飛行機）生活（機の音、信号）、 楽音、その他
(8) 水（レベル1～4）	調査地点において視認できる水空間を以下の指標で判断する 1少しだがある、2目に付く、3かなり目立つ、4支配的
(9) 環境構成物	知覚空間内に以下の環境構成物が存在するかを調べる 1ベンチ、2灰皿、3ごみ箱、4水飲み場、5公衆電話・ポーセルナー、 6ミニカート・噴水、7芝打、8電柱、9看板（広告・その他）、 10テント・パラソル、11ガス灯、12自動販売機、13アドバルーン、 14芝生段・独立段、15鉄筋構造、16あずま屋・休憩、 17車（交通・民間）、18広告塔、19案内、案内板、 20ネットカート・鎖・のぼり、21フードコート・キャビン、22遊具、 23その他
(10) 屋外歩行整備空間率	知覚可能空間面積のうち歩くことを前提に舗装等の整備がなされた空間面積の割合
(11) 人間密度	知覚空間内の写真に写った人数

表２　空間特性タイプと調査地

空間タイプ	仮の環境分類	調査地名
広がりタイプ	公園	柏毛海浜公園
	レジャー地区	由比ヶ浜海水浴場、ゴルフ場
	農村地区	水田、蓮田、牧場、畑（鷹ヶ峰） 畑（下発地）
	自然地区	桜川、六里ケ原、霞ケ浦、砂丘荒船林道 小貝ヶ浜
囲みタイプ	住宅地区	並木公務員住宅、松代第二住宅、桜ニュータウン 鎌倉グリーンハイツ
	公園	日比谷公園、霞ケ浦公園（体育館） 霞ケ浦公園（キャンプ場）、巨峰公園、小松川親水公園
	レジャー地区	上野動物園、フォンテーヌの森
	テーマパーク	T.D.L（シンデレラ）
	休養文化地区	倉渡村クラインガルテン、フラワーパーク、ふれあいの里 茨城歴史館、鬼押出し、ゆかりの森
	別荘地区	北軽井沢別荘、レイクニュータウン別荘、日光別荘 旧軽井沢別荘、三井の森別荘
開いタイプ	住宅地区	二の宮団地
	商業地区	つくば中心、銀座大通り、上野アメ横、渋谷駅前
	レジャー施設	レイクニュータウン中心部
	テーマパーク	八景島シーパラダイス、逗子マリーナ
稠密タイプ	商業地区	渋谷スペイン坂
	テーマパーク	東武ワールドスクエア、日光江戸村、後楽園遊園地 T.D.L（シンデレラ城）

表３　主成分分析固有値表（物理測定指標）

主成分	固有値	寄与率（%）	累積寄与率（%）
第１主成分	4.30057	39.1	39.1
第２主成分	1.71637	15.6	54.7
第３主成分	1.45277	13.2	67.9
第４主成分	1.08164	9.8	77.7

2.2物理的空間特性の抽出と類型化

11指標による空間特性調査結果の分析には測定の実数値を用い、音の種類、環境構成物は種類数を、水についてはレベルを数量値として扱うものとした[注9]。これら11指標で空間の特性を説明することを目的に主成分分析を行った結果、表3に示すように4主成分が得られ、累積寄与率は77.7%となり、レジャー空間の物理的特性はおよそ説明され、指標抽出の妥当性は得られたと考えられる。指標の各主成分についての負荷量から判断し、第1主成分は空間の「垂直方向の開放性」、第2主成分は「喧噪性」、第3主成分は「水平方向の開放性」を表すと考えられる（表4）。

空間特性指標を用いた物理的空間特性からレジャー空間の新たな類型化を行うことを目的に主成分分析で得られた各調査地の主成分得点を用いたクラスター分析を行った。この結果49のレジャー空間は4つのクラスターに分けられた[注10]。ここで得られた4つの空間類型の性格は、主に第1主成分で表される「垂直方向の開放性」と、第3主成分の「水平方向の開放性」とでよく説明されることから、「広がりタイプ」、「囲みタイプ」、「覆いタイプ」、「稠密タイプ」と名づけた。

表2に新たに得られた空間特性タイプと仮の環境分類との関係を示すが、従来レジャー環境として同質に扱われてきた空間が物理的特性からみるといくつかの類型に分かれると同時に異なる環境として分類されていた空間でも物理的空間特性的には類似していることが示されている。このように物理的特性で空間を捉えることにより、多様なレジャー空間は類型化されることがわかった。

次章以降ではレジャー空間の心理的空間特性を抽出し、物理的空間特性との関連分析からレジャー環境の総合的な空間特性類型を導くものとする。

3．レジャー空間の心理評価構造

レジャー空間の心理的空間特性は、空間に対する人々の印象・評価を捉えることによって明らかにすることができる。そのための一般的な方法はSD 法による心理評価実験であり、多くの既往研究でも用いられている[注11]。本研究もこれらの方法に依拠し、SD法を用いた被験者実験を通じて心理的空間特性の把握を試みる。

3.1 心理評価実験概要

心理評価実験は1994年8月～10月に数回に分けて行った。被験者数は40名（男25名、女15名）、平均年齢は27.8才、属性は学生22 人、社会人18人である。実験方法は49シーンについて同時に2枚のスライド写真を30秒映写後、16形容詞対に5段階で評価してもらい、続いて印象に残った環境要素を複数回答で指摘してもらった。

実験方法については、既往研究ではスライド写真、ビデオ映像等の刺激を用いたもの、現地において評価するもの等がみられるが、スライド映像と現地における評価実験の評価構造には大きな差がないことが指摘されていること[注12]、ビデオ映像は動的要素が心理評価に影響を与えること[注13]から、本研究では調査地の状況をスライド写真2枚で代表させて評価してもらう方法をとった。評価の対象地は、最終的に物理的空間特性類型との関連をみるため、物理的特性調査と同様の表1に示す49ヶ所を対象地とした[注14]。

評価指標の形容詞対は表5に示す16指標であるが、これは既往文献および予備実験結果から選定したものである[注15][注16]。環境要素項目については、49シーン中、1/3以上の写真にみられる環境要素を15 項目抽出し、それ以外は「その他」の項目欄に自由記入とした（表6）。

3.2 レジャー空間の心理評価構造

人々のレジャー空間に対する心理評価構造を明らかにするため、上記の心理評価実験結果にもとづき、49シーンについて得られた評価値の平均値を用いた因子分析（最尤法）を行った。この分析の際には総合評価である「好きな－嫌いな」および他の指標と相関が高かった「動的－静的」、「おだやかな－はげしい」の2指標を除いた13指標で行った。その結果表7に示すように3つの因子が得られた。いずれの固有値も1以上で、累積寄与

表4　主成分分析負荷量表（物理測定指標）

	第1主成分	第2主成分	第3主成分	第4主成分
建物平均階数	0.87438	-0.06134	0.18510	-0.11815
人工造成長	0.81528	0.22903	-0.14897	-0.08760
環境構成物	0.65372	0.44778	0.27310	0.33814
建物レジャー用途	0.57095	0.00776	0.51045	-0.34086
屋外歩行整備空間率	0.14994	0.86766	0.17400	-0.11278
人間密度	-0.04339	0.82531	0.01804	-0.04681
音の種類	0.51553	0.65957	0.04965	0.02974
開放長	-0.24055	-0.34169	-0.83611	0.13420
知覚空間面積	-0.19835	-0.41612	-0.71883	0.28775
自然造成長	-0.23738	-0.35382	0.68291	0.18787
水	-0.08540	-0.09694	-0.11835	0.91797

表5　心理評価指標

開放的な－閉鎖的な
単純な－複雑な
明るい－暗い
疲れる－休まる
動的－静的
非日常的な－日常的な
平坦な－起伏のある
派手な－地味な
おもしろい－つまらない
醜い－美しい
軽快な－重厚な
かたい－やわらかい
豊かな－貧しい
おだやかな－はげしい
人工的－自然的
好きな－嫌いな

表6　環境要素項目

空
水面
樹木
林・森
広場
人
歩道
道路
家屋
建物群
看板
パラソル
ベンチ
遊具
あずま屋・売店
その他

率は75.5%となり、ここで得られた3因子によりレジャー空間の心理評価構造を説明することが妥当と考えられる。

表8にあるように、得られた3因子の特徴を各評価指標の負荷量でみると、第1因子は「疲れる－休まる」「醜い－美しい」「人工的－自然的」「豊かな－貧しい」「かたい－やわらかい」の5指標の影響が強く、「休養性」を表わす因子といえる。第2因子は「おもしろい－つまらない」「単純な－複雑な」「派手な－地味な」「非日常的な－日常的な」「平坦な－起伏のある」の影響が強く、「遊楽性」（符号上は非遊楽性）を表わす。第3因子は「明るい－暗い」「開放的な－閉鎖的な」「軽快な－重厚な」が強く影響しており「明快性」（符号上は非明快性）を表わす因子といえる[11]。

次に、総合指標として用意した「好き－嫌い」の評価値を目的変数とし、分析に用いた13指標を説明変数として行った重回帰分析の結果を見ると（表9）、「おもしろい－つまらない」、「人工的－自然的」、「疲れる－休まる」「非日常的な－日常的な」等の8指標が総合評価をよく説明しており、例えばおもしろく、自然的で休まりと日常性を感じる空間は「好き」と評価されることがわかる。これらの指標はいずれも第1因子（休養性）第2因子（遊楽性）への寄与が高い指標で、人々のレジャー空間に関する総合的な評価はこうした感覚指標によるといえよう。

次に、各シーンの因子得点を用い、レジャー空間相互の関係をみていく。図1は49シーンを休養性、遊楽性の2因子についてその因子得点をプロットしたものである。各シーンの関係を空間特性から得られた4類型と照らして考察すると、「広がりタイプ」に属するシーンはいずれも休養性が高く、遊楽性については2シーンで非常に高い評価を受けている他はやや低い。「囲みタイプ」は分散しているが、休養性については非常に高い評価からやや低い評価の間に位置し、遊楽性は中間点に比較的集中し、数シーンが低く評価されている。「覆いタイプ」はいずれも休養性は低いが遊楽性は1シーンを除き比較的高く評価されている。「稠密タイプ」も休養性が低く、遊楽性は高いが「覆いタイプ」よりも遊楽性は高い傾向である。さらに休養性、遊楽性の2因子は総合評価と関連が強いことから、強く「好き」と評価される空間は「広がり」、「囲み」の両タイプに多いことがわかる。

明瞭性と遊楽性の2因子についても同様に各シーンの因子得点のプロット状況をみていくと（図2）、「広がりタイプ」は明快性が高く、遊楽性は低く評価される。「囲みタイプ」の明快性はやや高い評価に数シーンが位置し、多くは中庸からやや低い評価に分散する。「覆いタイプ」は明快性、遊楽性も比較的高く、遊楽性について「広がりタイプ」と反対の評価を受けていることがわ

表7　因子分析固有値表（心理評価）

因　子	固有値	寄与率	累積寄与率
第1因子（休養性）	3.431	26.4%	26.4%
第2因子（遊楽性）	4.774	36.7%	63.1%
第3因子（明快性）	1.608	12.4%	75.5%

表8　因子分析負荷量表（心理評価）

	第1因子 休養性	第2因子 遊楽性	第3因子 明快性
疲れる-休まる	0.922	0.246	-0.044
醜い-美しい	0.897	-0.143	-0.246
人工的-自然的	0.778	0.118	0.124
豊かな-貧しい	-0.747	0.464	0.260
かたい-やわらかい	0.645	-0.054	-0.358
おもしろい-つまらない	-0.234	0.827	0.281
単純な-複雑な	-0.551	-0.740	0.318
派手な-地味な	0.566	0.732	0.379
非日常的な-日常的な	-0.140	0.615	0.332
平坦な-起伏のある	-0.078	-0.543	0.379
明るい-暗い	-0.346	0.127	0.866
開放的な-閉鎖的な	-0.518	0.020	0.732
軽快な-重厚な	0.173	0.139	0.730

表9　重回帰分析結果（目的変数：総合心理評価指標）

心理評価指標	単相関係数	標準回帰係数	F値	判定
豊かな－貧しい	0.904	0.169	6.40	＊
人工的－自然的	-0.591	-0.228	21.46	＊＊
おもしろい－つまらない	0.705	0.608	89.14	＊＊
平坦な－起伏のある	0.060	0.116	15.04	＊＊
疲れる－休まる	-0.635	-0.330	15.93	＊＊
非日常的な－日常的な	0.341	-0.263	37.40	＊＊
醜い－美しい	-0.814	-0.170	5.27	＊
派手な－地味な	-0.033	0.186	4.22	＊

重相関係数　R=0.9872　　決定係数　　RR=0.9745
自由度調整済み決定係数　RR'=0.9694
判定：＊＊1%有意　＊5%有意

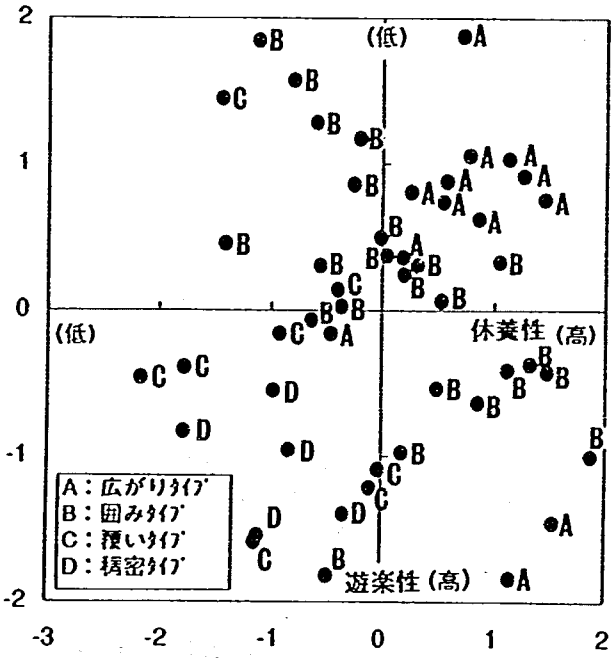


図1　因子得点プロット（休養性－遊楽性）

かる。「稠密タイプ」の明快性は「覆いタイプ」と同様に高いが、遊楽性が他のタイプより全体的に高い。

これらの結果から、「広がり」、「覆い」、「稠密」の3タイプは類似した特性を持ち、物理的な空間特性が心理的評価に影響を与えていることがわかる。これに対して「囲みタイプ」は分散する傾向にあるが、これは属するシーン数が最も多く、多様な空間を内包しているために生じたものと考えられ、心理的特性により細分化される可能性を持つと思われる。

3.3 心理評価構造と環境要素

ここでは、前節までの分析で得られたレジャー空間の心理評価構造と指摘された環境要素項目との関係を明らかにしていく。まず、休養性、遊楽性、明快性の3因子の因子得点をそれぞれ目的変数に、表6に示した指摘環境要素16 項目の指摘率を説明変数として行った重回帰分析結果を表10－1～3に示す[注11]。

休養性因子は「建物群」、「林・森」、「人」、「道路」、「遊具」5項目がよく説明しているが、説明力が高い項目は「建物群」で、指摘率が低いほど休養性への影響が強いことを示している。ここでは「建物群」を筆頭に「遊具」、「道路」、「人」などの人工的な環境要素項目の指摘が少ないほど休養性が高く、逆に「林・森」の自然が多く指摘されることで休養性を導くことが分かる。この重回帰分析結果の決定係数は0.75と高く、休養性因子は空間の特性を表す上述の環境要素項目の影響を強く受けると考えられる。

遊楽性因子は「人」の説明力が最も高く、人の多い環境ほど遊楽性が高くなる傾向を示す。続いて「ベンチ」、「道路」、「広場」、「空」がよく説明している。空間の広がりを表す「道路」、「広場」、「空」への指摘が多いほど、変化は感じなくなることが分かる。しかし、この重回帰分析結果は、他の因子を目的変数とした結果と比べると、決定係数が0.45と最も低く、遊楽性を表す心理評価は、物理的な環境条件の及ぼす影響が少ないことが分かる。

明快性因子については「空」が圧倒的に説明力が高く、指摘率が高いほど明快性も高くなる。この他、「人」、「遊具」、「ベンチ」がよく説明し、これらの指摘率が上がり、「その他」が減ると明快性が高くなることがわかる。重回帰分析の決定係数は、0.64 で、明快性因子は休養性因子と同様にこの結果から得られる環境要素項目の影響を強く受けることが分かる。

この様に空間の質を表す環境要素項目と各因子の間には独自の関係が成り立っており、空間の物理的特性が心理的評価に及ぼす影響が明らかである。この関係をより明らかにするため、次章ではレジャー空間の物理的特性と心理評価構造の関係分析を進めるものとする。

4．レジャー空間の物理的特性と心理評価構造

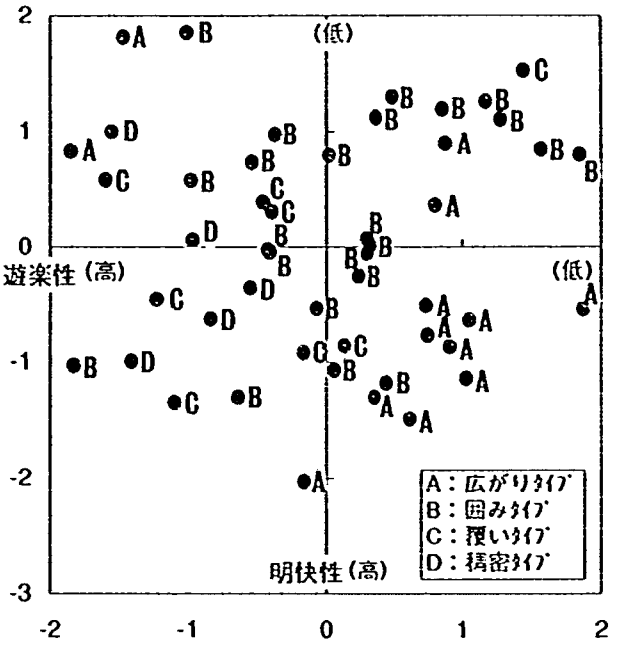


図2　因子得点プロット（遊楽性－明快性）

表10-1　重回帰分析結果（目的変数：休養性因子得点）

指摘項目名	単相関係数	標準回帰係数	F値	判定
建物群	-0.741	-0.451	23.83	＊＊
人	-0.546	-0.246	8.06	＊＊
遊具	-0.300	-0.222	8.60	＊＊
道路	-0.274	-0.240	9.74	＊＊
林・森	0.678	0.258	6.75	＊

重相関係数　R=0.8808　　決定係数　　RR=0.7759
自由度調整済み決定係数　RR'=0.7498
判定：＊＊1％有意　＊5％有意

表10-2　重回帰分析結果（目的変数：遊楽性因子得点）

指摘項目名	単相関係数	標準回帰係数	F値	判定
人	-0.453	-0.453	15.96	＊＊
その他	-0.207	-0.233	4.51	＊
ベンチ	-0.237	-0.366	8.64	＊＊
広場	0.044	0.315	6.12	＊
道路	0.312	0.348	8.35	＊＊
空	0.216	0.245	4.30	＊

重相関係数　R=0.7182　　決定係数　　RR=0.5158
自由度調整済み決定係数　RR'=0.4466
判定：＊＊1％有意　＊5％有意

表10-3　重回帰分析結果（目的変数：明快性因子得点）

指摘項目名	単相関係数	標準回帰係数	F値	判定
空	-0.601	-0.720	63.65	＊＊
人	-0.266	-0.302	10.91	＊＊
遊具	-0.189	-0.277	9.08	＊＊
ベンチ	-0.233	-0.235	7.23	＊
その他	0.259	0.206	5.45	＊

重相関係数　R=0.8206　　決定係数　　RR=0.6734
自由度調整済み決定係数　RR'=0.6355
判定：＊＊1％有意　＊5％有意

物理的な空間特性と心理評価構造の関連をみるために、心理的特性を表す3因子（休養性、遊楽性、明快性）の因子得点を目的変数とし、物理的特性を表す11 の空間指標のサンプルデータを説明変数とした重回帰分析を

行った。結果を表11－1～3に示す。

休養性をよく説明する物理的空間指標は、「建物平均階数」、「自然遮蔽長」、「歩行可能屋外面積」、「開放長」となった。これは空間の自然度や開放性を表す「自然遮蔽長」、「開放長」はその値が増すほど、また、空間の垂直方向の閉鎖性、人工度を表す「建物平均階数」、「歩行可能屋外面積」は値が減少するほど、休養性は高まるということである。

遊楽性は、「環境構成物」、「人間密度」の指標への寄与が大きく、いずれもこれらの値が高くなるほど遊楽性も高まる結果である。しかし、全体としての説明力は弱く、他の２因子に比べて、物理的な条件以外の要因が遊楽性の評価に影響を及ぼしていることが分かる。

明快性は「知覚空間面積」、「環境構成物」、「建物平均階数」がよく説明しており、空間が開放的で、環境構成物が多く、建物平均階数が低い空間ほど明快性は高くなる。

この結果を3.3の指摘環境要素項目の分析で得られた結果と比較してみると、明らかに共通する傾向が見られる。休養性因子ではいずれも空間の自然性を表す項目、指標が増すと評価が高まる傾向を示し、明快性因子は空間の平面的開放性が増すことで評価が高くなるということである。これに対して、遊楽性因子は空間の物理的特性とは弱い関係しか示さず、人や物の存在がややその評価を高める影響をもつ程度である。

最後に心理評価の総合評価指標である「好き－嫌い」と空間特性指標との関連を、総合評価の平均値を目的変数に、空間特性指標の計測値を説明変数とし重回帰分析を行った（表12）。「知覚空間面積」、「水空間」、「自然遮蔽長」の３指標が総合評価をよく説明していることがわかり、いずれもこれらの指標の値が増加するほど「好き」という評価を受ける結果である。これらの指標は主に空間の水平方向の開放性、自然性を表すといえ、こうした指標の反応が高い空間ほど人々に好かれる訳である。

ここまで、スライド写真を用いた心理評価実験結果から導かれる心理評価構造と、スライド写真中で印象に残った環境要素項目への指摘率、さらに実際にその場所の空間特性を記述した計測値の３調査結果を用いた関連分析を行った。その結果、心理評価実験で得られた３つの心理因子は空間の印象をよく表すものであり、「建物群」、「人」、「空」といった異なる環境要素項目によって各心理因子が説明されること、および休養性、明快性の２因子は環境要素項目によって決定づけられ、遊楽性因子は環境要素による影響が少ないことを明らかにした。さらに、３心理因子と空間特性指標との関連分析でも各心理因子は環境要素項目との分析結果と同様の傾向を示した。

以上から、心理的評価構造因子を説明する印象に残った環境要素項目と、実際の空間の持つ物理的特性はほぼ一致しており、物理的な空間の特性を扱った両調査の妥当性を明らかにするとともに、心理評価実験を通じた擬似的空間体験の評価は、空間の物理的特性に影響される特定の因子と物理的特性以外が影響を与える因子とが存在することを明らかにした。このように、複数調査の関連分析ををを行うことで、レジャー空間のもつ物理的、心理的特性はより詳細に明らかになったと考えられる。

また、心理評価構造との関連が明確となった物理的空間測定指標の多くは空間の基本的な構成を表すものであり、実際の空間計画への適用の可能性を持つものである。つまり、一定の心理的評価を得る空間を創造するには、関連の深い空間特性指標の値を操作することで実現する可能性が生まれることを示唆している。

表11-1　重回帰分析結果（目的変数：休養性因子得点）

空間特性指標	単相関係数	標準回帰係数	F値	判定
建物平均階数	-0.543	-0.406	17.44	＊＊
自然遮蔽長	0.401	0.392	15.72	＊＊
歩行可能屋外空間率	-0.528	-0.321	9.34	＊＊
開放長	0.407	0.231	4.10	＊

重相関係数　R=0.8002　　決定係数　　RR=0.6403
自由度調整済み決定係数　RR'=0.6076
判定：＊＊１％有意　＊５％有意

表11-2　重回帰分析結果（目的変数：遊楽因子得点）

空間特性指標	単相関係数	標準回帰係数	F値	判定
環境構成物	-0.446	-0.348	6.90	＊＊
人間密度	-0.413	-0.300	5.12	＊

重相関係数　R=0.5282　　決定係数　　RR=0.2790
自由度調整済み決定係数　RR'=0.2477
判定：＊＊１％有意　＊５％有意

表11-3　重回帰分析結果（目的変数：明快性因子得点）

空間特性指標	単相関係数	標準回帰係数	F値	判定
知覚空間面積	-0.427	-0.551	22.96	＊＊
環境構成物	-0.265	-0.656	26.03	＊＊
建物平均階数	0.201	0.384	9.39	＊＊

重相関係数　R=0.6977　　決定係数　　RR=0.4867
自由度調整済み決定係数　RR'=0.4525
判定：＊＊１％有意　＊５％有意

表12　重回帰分析結果（目的変数：総合心理評価指標）

空間特性指標	単相関係数	標準回帰係数	F値	判定
知覚空間面積	-0.432	-0.347	7.53	＊＊
水	-0.423	-0.314	6.18	＊
自然遮蔽長	-0.257	-0.270	5.03	＊

重相関係数　R=0.5932　　決定係数　　RR=0.3518
自由度調整済み決定係数　RR'=0.3086
判定：＊＊１％有意　＊５％有意

５．レジャー環境の空間・心理特性による類型化

ここまでレジャー空間の物理的空間特性と心理評価特性間の関連構造についての考察を行ってきた結果、一定の心理評価構造を導く物理的空間特性の存在が示唆され、レジャー環境を物理、心理の両特性から捉える意義が明らかとなった。そこで次に、心理評価因子の各シー

ンにおける因子得点を用いてクラスター分析を行い、その結果から心理量によるレジャー空間の分類を試み、すでに得られている空間特性類型とのクロス分析を行うことで、より有効なレジャー空間の類型化を試みる。

図3にクラスター分析結果を示す。各シーンが類似度に基づいて順次にクラスター化される過程での類似度の値に注目すると、74.83と100.14の間に大きな差があるため、100.0を基準としてシーンを分類する。その結果、I、II、IIIの3つのクラスターが得られる。レジャー空間49シーンについて、心理量から得られた3群と空間特性によって得られた4類型との関係を示すのが表13である。この結果9つの組み合わせが出現するが、属するサンプル数が2以下の場合には型を形成しているとはいえず、ここでは6つの類型が出現したとみなすものとする。

物理的空間特性タイプとの関連をみると、「広がりタイプ」、「覆いタイプ」、「稠密タイプ」に属するサンプルはそれぞれ僅かな例外[注19]を除き心理分類でも同じ群に属する傾向がはっきりしている。「覆いタイプ」と「稠密タイプ」は心理的には同一の群に存在している。これに対して最もサンプル数の多かった「囲みタイプ」は心理評価上ではI、II、III3群にまたがっている。こうした傾向は、2章で行った心理評価因子の因子得点プロットを用いた考察でも示唆されていたものであり、3因子全ての因子得点を用いたクラスター分析と空間特性タイプとの関係分析からよりその傾向が顕著に現れたものである。したがって、以下、「囲みタイプ」は心理特性によって、さらに3つの類型に区分する。

次に、得られた6つのレジャー空間類型の特徴をみると、「並木住宅」、「三井の森」、「上野動物園」等11サンプルが属するのは、一般的な空間特性的には「囲みタイプ」であり、心理特性的には休養性はやや高いが遊楽性、明快性ともに低く、生活空間によくみられるレジャー性のあまり強くないもので「平常的空間」と名付けることができる。

「稲毛海浜公園」、「水田」、「妙義荒船林道」等10サンプルが属するのは空間特性的には「広がりタイプ」で、水平、垂直両方向の開放性が高い。心理特性的には休養性が非常に高く、遊楽性、明快性はやや高いという特徴をもつ。このタイプは「開放的休養空間」と名付ける。

「フラワーパーク」、「旧軽井沢別荘」、「小松川浸水公園」等9サンプルが属するのは「囲みタイプ」で、垂直方向の開放性は高いが水平方向には乏しい。心理的には「開放的休養空間」と同様の特徴をもつが、物理的に建物や樹木等によって囲まれているため「包容的休養空間」と呼ぶ。

「ふれあいの里」、「霞ヶ浦総合公園（体育館）」、「T.D.L（ｼﾝﾃﾞﾚﾗ城）」が属するのは、「囲みタイプ」で、休養性は低いが遊楽性、明快性の高い空間である。これ

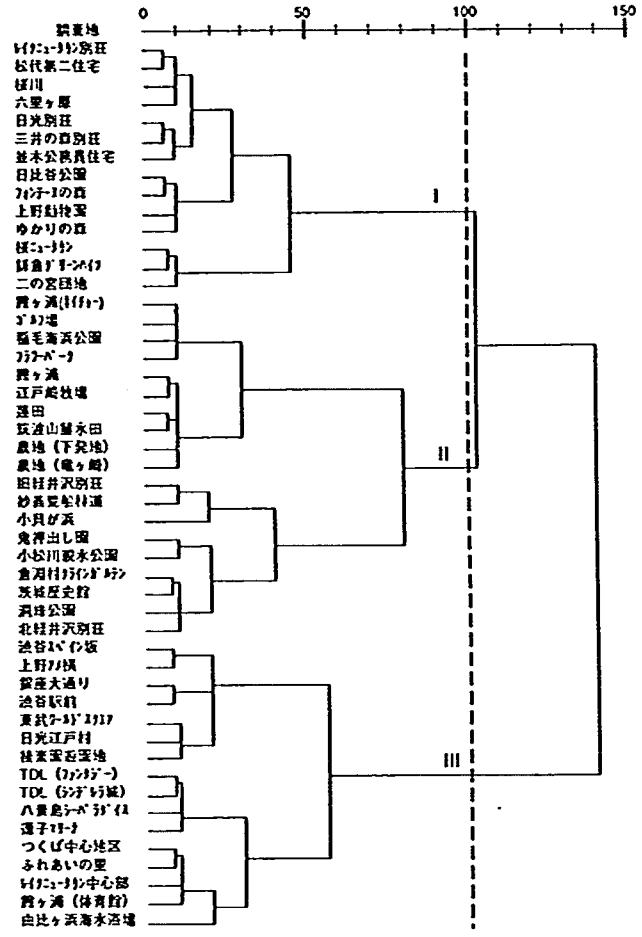


図3　クラスター分析結果デンドログラム

表13　レジャー環境の空間類型

	空間類型			
	広がりタイプ	囲みタイプ	覆いタイプ	稠密タイプ
I	桜川 六里ヶ原	【平常型】 並木 松代 桜ニュータウン 鎌倉 日光 レイクニュータウン 三井の森 日比谷 フォンテーヌの森 上野動物園 ゆかりの森	二の宮	
II	【開放的休養型】 稲毛海浜 ゴルフ場 霞ヶ浦 水田 蓮田 牧場 畑（亀ヶ崎） 畑（下発地） 妙義荒船林道 小貝が浜	【包容的休養型】 霞ヶ浦総合（体育） フラワーパーク 旧軽井沢 北軽井沢 鬼押出し園 小松川親水 倉渕村 茨城歴史館 民雄		
III	由比ヶ浜海水浴場	【点在的遊楽型】 ふれあいの里 霞ヶ浦総合（体育） T.D.L(ｼﾝﾃﾞﾚﾗ)	【線状遊楽型】 渋谷駅前 上野ｱﾒ横 つくば中心 銀座 八景島ｼｰﾊﾞﾗﾀﾞｲｽ 逗子ﾏﾘｰﾅ レイクニュータウン中心部	【稠密遊楽型】 渋谷ｽﾊﾟｲﾝ坂 東武ワールドスクエア 日光江戸村 後楽園遊園地 T.D.L(ﾌｧﾝﾀﾞｰ)

らの空間にはいずれも独立した建物等が存在し、空間を占有している傾向がみられるため「点在的遊楽空間」と名付ける。

「渋谷駅前」、「つくば中心」、「逗子マリーナ」等7サンプルが属するのは「覆いタイプ」で休養性が低く、遊楽性、明快性の極めて高い空間である。「点在的遊楽空間」と異なりこれらの空間は、様々な建物や空間構成要素が線状に集積している空間である。こうした特徴から「線状遊楽空間」と名付ける。

最後に「渋谷スペイン坂」、「日光江戸村」、「後楽園遊園地」等5サンプルが属するのは、全て空間特性的には「稠密タイプ」で、心理特性は「点在的遊楽空間」、「線状遊楽空間」と同様に休養性が低く遊楽性、明快性の高い空間である。この型に属する空間はいずれも一定範囲内で非常に高密度に施設等が存在していることから、「稠密遊楽空間」と呼ぶ。

得られたレジャー空間の6類型は、限られた49の現地測定調査結果と40人の被験者による心理評価実験結果の分析を通じて得られたものであり、ただちに一般化することは難しいと考えるが、いずれも属している空間の間に物理特性的、心理特性的な一定の共通性がみられ、また、空間特性把握の最初の手がかりとして設定した一般的な環境分類[20]とは大きく内容を異にすることは確かである。本来多様性のあるレジャー空間は、物理的、心理的にも独自の空間特性を持つものであるが、より実践的な計画論へと導くためには、両面の関連分析から類型を導く事が適当と考えられる。

以上のようにレジャー環境の6空間類型が抽出されたことにより、レジャー環境計画において物理的な計画が人々の心理に及ぼす影響、あるいは心理的効果を期待した空間計画の可能性が十分に示唆される。これは例えば「包容的休養空間」を計画する場合には、自然遮蔽長、開放長の確保等により空間の休養性を増し、知覚空間面積の確保、環境要素の配置を考慮することで適度な遊楽性、明快性を得る工夫が望まれるというように、実際のレジャー環境計画への応用の可能性を持つものである。

もっとも、ここで取り扱っている空間は、いずれも基準地点を中心に半径150mの範囲にあるものであり、ここで抽出された空間類型がそのまま調査対象地のレジャー環境全体を表すものとはいえず、実際のレジャー環境はここで得られた空間的特性を代表とし、他の空間特性も組み合わさりながら構成されているものと考えられる。

6．研究のまとめ

本研究で明らかになったことを以下のようにまとめる。

1）49ヶ所のレジャー空間の心理評価構造は、スライド写真を用いた心理評価実験結果から抽出された3因子によって明らかになった。これらの因子はそれぞれ空間の「休養性」、「遊楽性」、「明快性」を表す。

2）心理評価の総合評価指標である「好き－嫌い」を目的変数に、他の評価指標を説明変数として行った重回帰分析結果から休養性、遊楽性因子への寄与が高い指標が説明力が高いとなったが、中でもおもしろさ、自然性、休まり、日常性を感じる空間は「好き」と評価されることが明らかになった。

3）心理評価3因子を目的変数に、印象に残った環境要素項目を説明変数として行った重回帰分析から、明快性因子には「建物群」、遊楽性因子には「人」、明快性因子には「空」が最も説明力が高いことが分かった。さらに、決定係数の値から遊楽性因子は環境要素項目のみでは説明されない性格の因子といえる。

4）心理評価3因子を目的変数に、物理的空間測定指標を説明変数とした重回帰分析結果でも心理評価を説明する一定の物理的空間特性の存在が確認され、心理評価実験上の環境要素項目を説明変数として行った分析結果と同様の傾向が見られた。

5）心理評価の総合評価指標を目的変数とし、空間測定指標を目的変数に行った重回帰分析結果から、「知覚空間面積」、「水空間」、「自然遮蔽長」が増加するほど好ましい空間と感じられることが分かった。

6）レジャー空間は物理量、心理量において独自の空間特性を有するが、心理評価実験、環境要素項目、空間測定指標の3調査間の関連分析を行ったことでより詳細に空間の特性が把握できることが明らかとなった。このことより、計画論へのより実践的な応用を目指すために、レジャー空間の総合的な空間類型を物理量、心理量の両面から抽出することを試みた。

7）心理量によるクラスター分析結果と物理的空間特性類型のクロス分析から、レジャー環境の新たな6空間類型を抽出し、これらを「平常的空間」「開放的休養空間」「包容的休養空間」「点在的遊楽空間」、「線状遊楽空間」、「稠密遊楽空間」と名付けた。

本研究の今後の課題は、ここで得られたレジャー環境の空間類型を使いレジャーの意味構造、行為特性、環境の空間特性間の構造的関係について総合的な考察を行い、レジャー環境計画についての具体的な指針を得ることである。

謝辞

本研究を進めるにあたり心理評価実験の被験者をしていただいた多数の方々および筑波大学環境デザイン研究室の皆様にこの場を借りて御礼申し上げます。尚、この研究は一部、笹川科学研究助成金による財団法人日本科学協会の援助を受けて行われましたことを申し添えます。

注

1）文献7）8）

2）文献1）

3）文献1）、2）、3）、4）、5）、6）

4）文献3）

5）レジャー空間の物理的空間特性抽出に関する研究の位置づけ、手順については文献3（P18）に詳しい。

6）これらの指標の詳しい抽出過程については文献3（P18-19）に報告した。

7）仮の環境分類は以下に示す5類型であるが、空間特性の抽出方法自体が1つの目的であったため、屋外空間のみを扱うものとし、家庭型は除外、またリゾート地域のような様々なレジャー環境を含む広域型（地域）の位置付けはこの構成単位による概念では難しかったため対象から除外した。

(家庭型　－　室内、住居)
近隣型　－　住宅地区、公園
都市型　－　商業地区、各種レジャー地区、ﾃｰﾏﾊﾟｰｸ
地域型　－　休養文化地区、農村地区、別荘地区
　　自然地区
(広域型　－　原自然地域、リゾート地域)

8）半径150mという調査対象地の設定については人間の距離に対する視覚的尺度に関する諸説を参考に決定した（文献3，P25）。測定調査の基準地点は、対象地一帯を観察し、極端に印象の異なる場所は避け、最も当該地域の雰囲気が伝わる場所とした。基準地点の位置が測定結果に及ぼす影響をみるために、数カ所の調査地において基準地点を移動して測定を行ったが、得られる数値に大きな差はみられなかった。

9）「音の種類」については、自然の音についても調査は行ったが、他の音が喧騒性を表わすのに対して、静寂性を表わすという性格の差異があるため、今回の分析には用いないものとし、音の種類が増すことで喧噪性も増すと考えられるため比例尺度として種類数を用いた。「環境構成物」についても同様で、種類数を数量値として用いた。「建物レジャー用途率」、「屋外歩行整備空間率」は調査対象空間に対する割合を比例尺度として用いるものとここでは設定した（文献3，P25）。

10）サンプルが類似度に基づいて順次にクラスター化される過程での類似度の値に注目し、48.16と77.17の間に他では見られない大きな差があるため、50.0を基準としてサンプル地区を類型化した（文献，P23）。

抽出された4類型は垂直および水平方向の開放性に関する以下に示すような特性を持つ。

空間特性類型	垂直方向開放性	水平方向開放性
広がりタイプ	○	○
囲みタイプ	○	×
覆いタイプ	×	○
閉密タイプ	×	×

11）文献9）、10）、11）

12）文献12）

13）文献13）

14）実験用の写真の撮影方法は35mmレンズを使用し、アイレベルで基準地点を中心に360度範囲を撮影したもので、物理的空間特性指標の人間密度算出に用いた写真と同様の基準である（文献3）。

15）参考にした既往研究、文献14）、15）

16）調査指標選定のための予備実験は1991年に25シーンについて被験者19人で行った。

17）この因子の特徴を表す名前は、レジャーの意味的側面が「休養」、「遊楽」、「創造」の3側面で捉えられることに依拠し、第1主成分、第2主成分の負荷量が高い評価指標にはこれらの意味が含まれると判断して名付けたものである。

18）自由記入の「その他」項目には自然的要素（山、草花、影等）、物的要素（電柱、石垣、ﾓﾆｭﾒﾝﾄ等）、動的要素（車、動物等）が記入されていたが1項目として分析に用いた。

19）例外的な4シーンを同じ空間タイプに属する他のサンプルと比較すると「二の宮」は、「遊楽性」の低さ、「桜川」、「六里ケ原」は「明快性」の低さ、「由比ヶ浜海水浴場」は「遊楽性」の高さが顕著であることがわかる。これは、これらのサンプルが高層住宅地区であったり、人の多い海水浴場であったりすることに起因していると考えられる。

20）表2参照

参考文献

1）馬上奈美：レジャー観とレジャーの意味構造－レジャー環境計画に関する基礎的研究1－、デザイン学研究、78号、15-22、1989

2）馬上奈美：レジャーの意味構造と行為特性にもとづく類型化－レジャー環境計画に関する基礎的研究2－、デザイン学研究、83号、75-82、1991

3）田中奈美：レジャー環境の空間特性にもとづく類型化－レジャー環境計画に関する基礎的研究3－、デザイン学研究、108号、17-26、1995

4）田中奈美、土肥博至他：農村集落居住者のレジャー観についての考察、日本建築学会関東支部研究報告集93年度、397-400、1994

5）田中奈美、土肥博至他：レジャーの実態とレジャー環境に関する研究I～VIII、日本建築学会大会学術講演梗概集、1990～1995

6）土肥博至、田中奈美他：リゾート地域の成立条件に関する景観的研究その1～その4、日本建築学会関東支部研究報告集94年度、269-284、1995

7）デュマズディエ、J.，中島巌訳：余暇文明へ向かって、東京創元社、1972

8）石川弘義：レジャーの思想と行動、日本経済新聞社、1973

9）船越　徹、積田　洋：街路空間における空間意識の分析（心理量分析）－街路空間の研究（その1）－、日本建築学会論文報告集、第327号、100-107、1983
10）小林正美、東山純一、川崎　清：東京大学吉田キャンパスの外部空間に対する意識分析、日本建築学会論文報告集、第378号、58-64、1987
11）土肥博至、志田隆秀、扇原道夫：外部空間の構成に関する研究（4）－広場空間の心理的評価構造－、日本建築学会大会学術講演梗概集、1407-1408、1979
12）栃瀬徹夫：環境心理の観点から、デザイン学研究特集号、Vol.2 No.2、10-13、1994
13）橋本　崇、土肥博至：都市景観における動的景観要素の影響について－ビデオ映像を用いた景観評価実験－、第28回日本都市計画学会学術研究論文集、607-612、1993
14）山本和郎、西村怒彦、野村健一、飽戸　弘：SD法による日本語の意味構造の研究、日本心理学会大会発表論文集、162-163、1960
15）小木曽定彰、乾　正雄：Semantic Differential（意味微分）法による建物の色彩効果の測定、日本建築学会論文報告集、第67号、105-111、1961

（1995年5月8日原稿受理，1995年9月6日採用決定）

1995年度日本建築学会
関東支部研究報告集

筑波研究学園都市居住者のレジャー観と日常的レジャーの行為特性

正会員　田中奈美

1．研究の目的と方法

本研究は今後のレジャー環境計画のあり方について基礎的知見を得ることを最終的な目的とした一連のレジャー研究の一部である[1]。本研究では筑波研究学園都市居住者を対象に行ったアンケート調査結果から、対象集団のレジャー観の抽出および、日常的な生活の中で行われるレジャーの行為特性を明らかにすることの２点を目的とする。

2．調査の概要

調査は筑波研究学園都市学園地区居住者[2]を対象に1995年２月下旬から３月上旬に、学園地区内から５ヶ所の住宅地区を選定して行った。配布回収方法は調査員による訪問配布、訪問回収による留置自記法とした。配布部数は全体で1112部、回収部数は958部となり回収率は86.2%であった（表１）。

調査対象集団の属性については、平均年齢が40.6才、男性42.6%、女性48.7%と男女比はほぼ同数で、既婚者の割合は88.7%、職種は主婦が37.1%と最も多く、続いて公務員（25.3%）、会社員（18.7%）、自営業（2.7%）であった。

調査内容は、レジャー観と日常的レジャーの行為特性に関する２調査項目からなるが、レジャー観についてはレジャーをどのように認識しているかを以下の６項目中から該当するものを複数回答で選択してもらう方法によった。

（1）休養となる
（2）気持ちにゆとりがでる
（3）楽しみの追及
（4）驚き・興奮の体験
（5）知識や技術を深める
（6）自己の新たな可能性を導く

日常的レジャーの行為特性については、49種類の日常的な行為を取り上げ[3]、行為頻度、活動場所、活動環境条件の３項目についてそれぞれ次に示すような選択肢から選んでもらうものとした。

（1）行為頻度：「週３回以上」、「週１～２回」、「月１～２回」、「年数回」、「全く行わない」

表１　調査票配布回収状況

配布地区	配布部数	回収部数	回収率
並木	233	216	92.7%
竹園	226	195	86.3%
松代	213	181	85.0%
二の宮	209	169	80.9%
梅園	231	197	85.3%
全体	1112	958	86.2%

（2）活動場所：「住居内」、「住居周辺」、「つくば市内」、「つくば市外」

（3）活動環境条件：「専用の場所」、「特別な施設装置」、「自然的条件」

3．筑波研究学園都市居住者のレジャー観

本研究ではこれまで、人々のレジャーに対する認識（レジャー観）を通じてレジャーの意味構造の把握を行い、その意味的側面には「休養」、「遊楽」、「創造」という３つの意味付けが存在し、それらが、個々人の意識の中で重層的に意味づけられていることを明らかにしてきた[4]。そこで学園都市居住者という調査対象集団においてもこうしたレジャーの意味的な特性が確認できるかについて考察を行った。

レジャー観の把握方法は、先に示した６選択肢の（1）および（2）は「休養」の意味づけに対応し、（3）、および（4）は「遊楽」に、（5）および（6）は「創造」の意味づけに対応する様に設定してあり、対応する意味づけ毎に指摘数を集計するというこれまでの調査と同様の手法を用いた。この結果、対象集団全体で見ると図１に示すように、全回答数の内「休養」の意味づけの割合が48%と多く、続いて「遊楽」が36%、「創造」16%となった。ここでは「休養」の意味づけが突出する傾向にあるものの、レジャーの意味の３側面は明らかに認識されており、その存在は再度確認されたと考えられる。

また、属性的な差異とレジャー観の関係をみるために、母比率の差の検定を、性別、結婚の有無、年齢層、職業について行った。この結果、レジャー観に有為な差がみられたのは、創造的意味づけに関して若年層（～30才代）と中年層（40、50才代）の間と若年層と老年層（60才代以上）の間のみであった。これは、年齢が高くなるほど

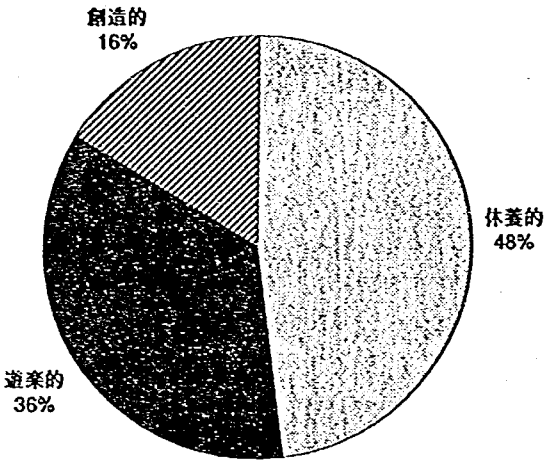


図1　調査対象集団のレジャー観

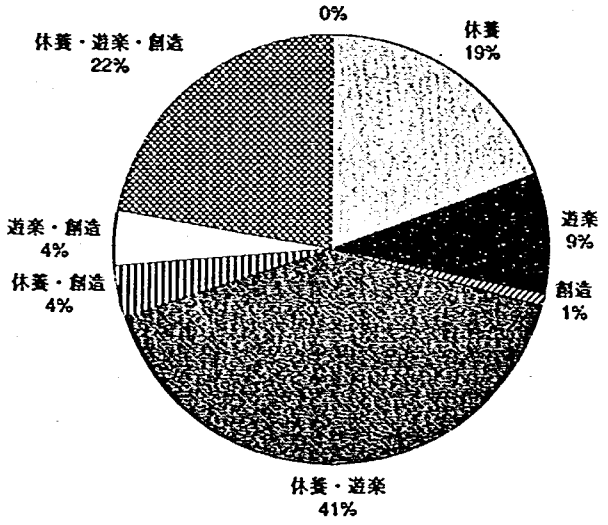


図2　調査対象者のレジャー観

創造的意味づけが多くなされるという傾向を示すものではあるが、おおむねレジャー観は属性的な影響を受けにくいと判断でき、レジャー観が人々の生活に共通する価値観の1つともなり得ることを示唆する結果である。

続いて、個人の回答パターンから個人レベルでの意味づけについてみると、全回答者の7割が2つ以上の意味づけを行っており、その内173人（22%）は3つの意味づけを行っていることが明らかとなった（図2）。これはレジャーの意味づけは単一ではなく、重複して行われることを示しており、先述したレジャーの意味づけにおける重層性という特性を表している。

また、単一の意味づけの場合は「休養」が最も多くなり、「遊楽」、「創造」と続くことから、3つの意味づけは独立して存在するものの、先ず「休養」から意味づけられ他の意味づけに向かうという一定の方向性が存在すると考えられよう。

4．日常的レジャーの行為特性

生活行為におけるレジャーの位置づけはこれまでの調査研究結果から、ごく日常的な生活行為でもレジャー的な行為理由がみられることが明らかとなっている[5]。今回は日常的な生活行為49種類について、その活動頻度、活動場所、活動環境条件を調べ、その行為特性を導くことを試みた。

4.1　活動頻度

活動頻度は先にあげた5選択肢の内、「全く行わない」

表2　日常的レジャーの行為頻度と参加率

参加率＼行為頻度	週3回以上	週1～2回		週1回未満
50%以上	学習・研究活動 料理・菓子作り 読書 入浴 テレビ 家族との団らん	日曜大工・工芸 音楽鑑賞 散歩 電話での歓談 ドライブ ビデオ鑑賞	外食 ショッピング 友人との歓談	ﾋﾟｸﾆｯｸ・野外散策
10%以上 50%未満	ﾊﾟｿｺﾝ・ﾌｧﾐｺﾝ	音楽活動 囲碁・将棋・麻雀 コレクション 華道・茶道 サイクリング 水泳 学習・講習会	ジョギング ボランティア 洋裁・和裁・編物 園芸・庭いじり 室内ゲーム 地域活動 体操	テニス 野球 ゴルフ ボウリング ホームパーティ 美術鑑賞 演劇・映画鑑賞 飲み屋・ｶﾗｵｹ
10%未満		文学創作 武道 美術創作	サッカー ｴｱﾛﾋﾞｸｽ・ｼﾞｬｽﾞﾀﾞﾝｽ パチンコ	ディスコ バレーボール 釣り 演劇活動

を除く４選択肢について、週単位で平均する値を「週３回以上（5点）」、「週１～２回（1.5点）」、「月１～２回(0.4点)」、「年数回（0.1点）」として与え各レジャー種目の頻度値を算出した。この頻度値を３点以上を「高頻度」、１以上３点未満を「中頻度」、１未満を「低頻度」として３群に分類すると、中頻度に30種目が属し、続いて低頻度（12種目）、高頻度（７種目）となる（表２）。これを各種目の対象集団における行為参加率と合わせて検討すると、６群に分かれることがわかる。これをみると高頻度の種目は参加率も高くなり、最も属する種目数の多かった中頻度種目は高い行為率から低いものにまで分かれる傾向にある。また、低頻度の参加率は２種目を除いて50%未満となっており、活動頻度と参加率は同様の傾向を示すことがわかる。

4.2 活動場所

レジャーを行う場所について「住居内」、「住居周辺」、「つくば市内」、「つくば市外」の４項目をあげ、複数回答とした。各レジャー種目で行為者の半数以上が回答した項目をそのレジャーの活動場所の特性として抽出し、「住居内」は「住居型」、「住居周辺」及び「つくば市内」は「近隣型」、「つくば市外」は「遠方型」と名付け３つに分類した。「住居型」に最も多い23種目のレジャーが属し、「近隣型」には21種目、「遠方型」には５種目が属することがわかり、多くのレジャーが住居内及び近隣の身近な環境で行われていることが明らかである。また、ここで「遠方型」に位置づけられたレジャーは学園都市居住者にとっては身近な環境で行えないという意味で日常性の低いレジャーといえ、場所特性は、調査地域の立地やレジャー環境の整備状況を反映し、特定地域における日常的レジャーの位置づけを明らかにする。

4.3 活動環境条件

レジャーを行う際に必要とされる環境的条件として「専用の場所」、「特別な施設・装置」、「自然的条件」の３項目をあげ複数回答とした。活動場所特性と同様に、半数以上が回答した条件項目を特性として抽出し、「専用の場所」と「特別な施設・装置」の場合は「物理的条件型」、「自然的条件」は「自然的条件型」とし、全ての項目について回答率が低い場合には、「低条件型」とした。その結果、「低条件型」に28種目、「物理的条件型」に15種目、「自然条件型」に６種目となった。活動環境に対する制約がなく、どこででも行えるレジャーが多く、場所、施設ともに必要となる制約条件の多いレジャーは少数であった。

4.4 活動場所と活動環境条件

ここでは活動環境条件と活動場所のクロス分析結果から日常的レジャーの行為特性を導くことを試みる。表２に示すように49種目のレジャーは低条件型レジャーは「住居型」、「近隣型」のいずれかに分かれ、「遠方型」には属しない。「住居型」が圧倒的に多く、住居内の空間を利用して多様なレジャーが展開していることがわか

表２　日常的レジャーの活動場所と活動環境条件

日常的レジャー行為	行為者合計	活動場所				活動環境条件		
		住居内	住居周辺	つくば市内	つくば市外	専用の場所	施設・装置	自然的条件
1 ジョギング	128	3	75	56	9	14	7	112
2 体操	208	101	34	60	19	61	29	62
3 野球	85	3	14	61	23	61	35	23
4 テニス	241	0	49	172	40	181	94	55
5 ゴルフ	139	3	9	64	98	112	74	34
6 ボウリング	224	0	3	101	123	116	131	6
7 バレーボール	42	0	1	33	7	41	19	10
8 サッカー	57	1	22	35	7	41	16	22
9 水泳	283	1	34	194	83	173	147	29
10 ｴｱﾛﾋﾞｸｽ・ｼﾞｬｽﾞﾀﾞﾝｽ	56	3	12	34	12	43	24	5
11 釣り	78	1	5	16	68	16	7	76
12 サイクリング	280	2	95	200	19	23	8	209
13 武道	26	4	10	21	6	20	12	12
14 散歩	598	10	409	236	32	25	12	429
15 ﾋﾟｸﾆｯｸ・野外散策	472	1	89	294	243	38	24	343
16 ショッピング	766	5	258	614	275	378	133	56
17 ドライブ	657	0	33	316	531	41	67	367
18 外食	762	4	100	642	300	358	130	52
19 飲み屋・ｶﾌｪ	419	2	32	330	136	205	127	15
20 ディスコ	12	1	3	13	5	19	16	4
21 パチンコ	88	3	8	64	36	52	33	4
22 室内ｹﾞｰﾑ（ﾄﾗﾝﾌﾟ等）	332	275	8	18	18	65	27	34
23 囲碁・将棋・麻雀	117	57	9	40	29	38	26	14
24 ﾊﾟｿｺﾝ・ﾌｧﾐｺﾝ	322	242	7	67	27	102	130	11
25 ビデオ鑑賞	578	515	6	24	7	150	168	18
26 テレビ	780	693	3	20	13	226	179	35
27 演劇・映画鑑賞	437	41	10	290	192	209	171	13
28 音楽鑑賞	499	252	8	211	114	178	204	24
29 美術鑑賞	414	23	11	258	236	205	144	14
30 演劇活動	42	3	3	20	25	25	25	5
31 音楽活動	108	50	10	49	28	50	46	7
32 美術創作	78	50	6	32	14	39	26	9
33 文学創作	31	17	4	10	4	13	8	8
34 日曜大工・工芸	212	166	19	17	6	56	35	29
35 洋裁・和裁・編み物	270	237	11	14	7	74	40	22
36 園芸・庭いじり	427	314	70	29	9	144	23	132
37 料理・菓子作り	483	431	13	22	7	165	63	39
38 華道・茶道	132	84	9	26	18	55	25	14
39 入浴	793	702	4	24	22	321	77	45
40 読書	733	624	13	59	28	190	17	81
41 電話での歓談	650	529	15	47	43	135	78	55
42 友人との歓談	715	320	157	318	183	152	26	99
43 家族との団らん	773	658	62	88	65	201	14	102
44 学習・研究活動	441	216	43	196	84	145	69	37
45 ボランティア	158	22	38	97	34	44	22	24
46 ホームパーティ	113	57	5	35	32	38	11	16
47 コレクション	59	33	4	18	15	23	5	10
48 地域活動	264	10	156	101	18	74	27	41
49 学習・講習会	327	46	61	196	117	155	76	22

（人）

る。物理的条件型レジャーはほとんどが「近隣型」に属し、3種目が「遠方型」に分かれ、1種目が「住居型」となる。自然条件型も「近隣型」、「遠方型」に分かれるという物理的条件型レジャーとほぼ同様の傾向を示す。

この結果は日常的レジャーの多くが、住居内や近隣の身近な環境で行われるという全体的な傾向が示すとともに、活動環境に対する条件が低い特性を持つレジャーは身近な環境を利用して多様に行われるが、条件がでてくると住居内等では難しくなり、近隣または遠方にて行われることになる。

5. まとめ

本研究を通じて得られた知見を以下のようにまとめる。

1）学園都市居住者のレジャー観にはレジャーの意味的3側面への意味づけがみられ、個人レベルでは重層的に意味づけがされることも明らかとなり、これまでの研究成果と同様の結果がみられた。

2）日常的レジャーは活動頻度と参加率から、6群に分かれ、頻度が高いものほど参加率も高い傾向がみられた。

3）日常的レジャーは活動場所によって「住居型」、「近隣型」、「遠方型」に分けられ、住居内や近隣の身近な環境で行われるものがほとんどである。

4）活動環境条件から日常的レジャーは「低条件型」、「物理的条件型」、「自然的条件型」に分類され、条件を必要としないレジャーが多いことが明らかになった。

5）活動環境条件と活動場所のクロス分析結果からは、活動条件への制約が少なく、住居内や近隣の身近な環境で行われるレジャーが半数以上であった。

以上から日常的レジャーは平素の生活環境の中で多様に行われており、今後高まる余暇需要に応える1方策としては身近な環境を整備し、様々な活動が行える機会を提供していくことが望まれるだろう。

謝辞

本報をまとめるにあたり直接ご指導いただいた筑波大学芸術学系土肥博至教授に感謝いたします。また、この研究は第一住宅建設協会の研究助成を受けて行われたものであることを申し添えます。

注及び参考文献

1）馬上奈美：レジャーの実態とレジャー環境に関する研究(1)～VIII,日本建築学会学術講演梗概集,1990～1995

2）ここでの筑波研究学園都市居住者とはつくば市の学園地区内居住者を指し、以降学園都市居住者と略す。

3）49行為種目の選定に関しては、NHKによる「国民生活時間調査」の行為分類表と、余暇開発センター発行「レジャー白書」の行為種目を参考に行った。

4）馬上奈美：レジャー観とレジャーの意味構造、デザイン学研究、78号、15-22、1989

5）馬上奈美：レジャーの意味構造と行為特性にもとづく類型化、83号、75-82、1991

表4　日常的レジャーの行為特性類型

条件 / 場所	低条件型			物理的条件 (場所)	物理的条件 (場所・施設)	自然条件型
住居型	体操	コレクション	入浴	美術創作		
	室内ゲーム	音楽活動	読書			
	囲碁・将棋・麻雀	文学創作	家族との団らん			
	ﾊﾟｿｺﾝ・ﾌｧﾐｺﾝ	日曜大工・工芸	学習・研究活動			
	ビデオ鑑賞	華道・茶道	ホームパーティ			
	テレビ	電話での歓談	洋裁・和裁・編み物			
	音楽鑑賞	友人との歓談				
	料理・菓子作り	園芸・庭いじり				
近隣型	外食			野球	バレーボール	ジョギング
	飲み屋・ｽﾅｯｸ			テニス	水泳	サイクリング
	演劇・映画鑑賞			サッカー	ディスコ	散歩
	ボランティア			ｴｱﾛﾋﾞｸｽ・ｼﾞｬｽﾞﾀﾞﾝｽ		ﾋﾟｸﾆｯｸ・野外散策
	地域活動			武道		
	学習・講習会			ショッピング		
				パチンコ		
				美術鑑賞		
遠方型					ゴルフ	釣り
					ボウリング	ドライブ
					演劇活動	

建設省土木研究所環境計画研究室　学修

伊東市における地域景観イメージの把握
－リゾート地域の成立条件に関する景観的研究　その６－

正会員○田中奈美*2　同　土肥博至*1
同　山本　唯*3　同　斉藤哲也*3
同　二位貴子*4

１．研究の目的と方法

本研究において筆者らは、これまでにも述べてきたように多様な価値観が存在する現代社会における「リゾート地域」を特化した環境を指すのではなく、日常的環境をも含んだ一定の広がりを有する地域と捉えている。こうした地域が人々にリゾート地域として認識されるその認識形成の背景、要因等を探り、リゾート地域の成立条件を導くことを研究の目的としている。ここでは景観イメージという視点から考察を行っており、一定地域の景観イメージを構成する景観単位という概念を明かにし、それを用いて地域全体の景観イメージを地図上に表現すること、さらに景観イメージを視覚映像として表現する手法について検討を行うものである。

これまでに、長野県軽井沢町をケーススタディ地域とし、景観単位の抽出、検証、景観イメージの記述表現手法、景観シミュレーション表現手法の立案・検証等の考察を行ってきた。軽井沢町に関しては上述の項目に関してこれまでの報告にあるように一定の成果が得られている[1]。そこで、本報告および次報告ではこれまで行ってきた研究手法の汎用性について検討することを目的に、軽井沢町においては有効であった景観単位を用いて地域景観を表現する手法および景観イメージをシミュレーション映像として再現する手法が、他の地域においても適用可能であるかについての考察を行うものである。

今回の調査対象地域は、軽井沢が別荘地、避暑地を出発点として徐々に発展し、その過程でリゾート地域と認識されるようになったという意味で同様の特色を持つ地域として静岡県伊東市を取り上げることとする。

２．調査概要

2.1　現地印象調査概要

伊東市の景観単位の抽出に際しては地図や観光ガイド等の資料から抽出した市域に広がる27ヶ所の様々な地点を設定し（図１）、現地観察調査を1995年３月に８名で行った。この際には２班に分かれ、各班で筆記担当者を決め、調査員全員の印象を調査票にまとめて記述することとした。

2.2　景観単位の抽出

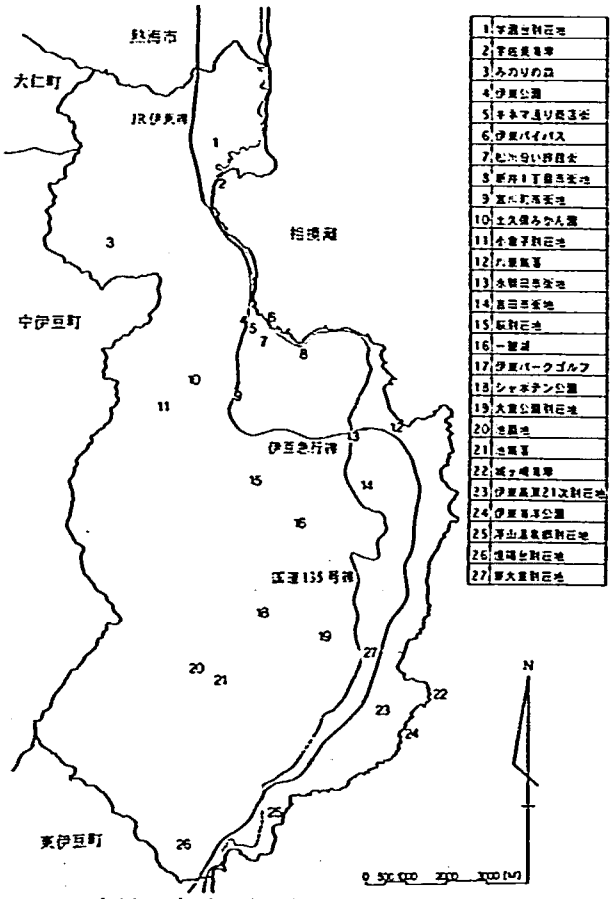


図１　調査対象地（伊東市）

印象メモの記述内容を軽井沢調査において景観単位を抽出する際に用いた物理的な環境状況を表わす「地形」、「人工物」、「道路」、「動的要素」、「自然」の５項目、心理的要素を表わす「活動感」、「静寂感」、「開放感」の３項目に関する記述がみられるかについて考察を行った。表１に27調査地点の項目に対する記述の有無を示した。

地域景観を構成する景観単位は、軽井沢町におけるケーススタディの際に〈開放景観〉、〈静寂景観〉、〈日常景観〉、〈繁華景観〉、〈観遊景観〉、〈後背景観〉の６景観カテゴリーが抽出されている。

伊東市の印象調査結果を軽井沢調査の基準に沿って検討してみると、〈開放景観〉には他の項目にも反応するものの「地形」と「開放感」で共通性のある土久保みかん園、池農地の２調査地点が属する。〈静寂景観〉は「地形」、「人工物」、「道路」、「自然」、「静寂感」に反応

表1　調査地点の印象評価と景観カテゴリー

地区番号		10	20	1	3	15	19	21	23	25	26	27	8	9	11	12	13	14	5	6	7	2	4	16	17	18	22	24
調査地区名		土久保みかん園	池農地	学園台別荘地	緑の村・うぐいすの丘別荘地	萩別荘地	大室公園別荘地	池集落	伊豆高原21次別荘地	浮山温泉郷別荘地	恒陽台別荘地	東大室別荘地	荒井1丁目	宮川町	小倉平別荘地	川奈集落	水無田市街地	吉田市街地	キネマ通り商店街	伊東バイパス沿い商店街	松川沼旅館街	宇佐美海岸	伊東公園	一碧湖	伊東パークゴルフ	シャボテン公園	城が崎海岸	伊東海洋公園
物理的環境状況	地形	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○												
	人工物			○	○	○	○		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○					○	○	○
	道路			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		○								
	動的要素													○					○	○		○						
	自然		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○									○	○	○	○		○	○
心理的要素	活動感												○	○					○	○		○				○	○	○
	静寂感		○			○	○	○				○									○		○					
	開放感	○	○																									
景観カテゴリー		開放景観		静寂景観									日常景観						繁華景観			観遊景観						

し、ここには学園台別荘地を始めとした別荘地を多く含む9調査地が属する。また、〈日常景観〉は「地形」、「人工物」、「道路」には反応するものの〈静寂景観〉とは異なり「自然」、「静寂感」の環境条件についての記述がみられない荒井1丁目、宮川町等の6調査地が属する。

〈繁華景観〉には「人工物」、「道路」、「活動感」に反応するキネマ通り商店街、伊東バイパス沿い商店街、松川沼旅館街の3調査地が属する。〈観遊景観〉は「人工物」、「自然」、「活動性」に反応し、ここに属するのは宇佐美海岸、城が崎海岸、伊東海洋公園等の7調査地であるが、反応に関しては調査地間でばらつきがみられる。

以上のように伊東市において27ヶ所を対象に行った現地印象調査からは、統合された物的環境に対応している景観カテゴリーに属する各調査地が明らかとなっており、軽井沢町を対象とした調査から設定された景観カテゴリーの存在はここでも十分適用可能なことがわかる。

3．伊東市の景観イメージ

次に、先に得られた離散的な場所の景観カテゴリーを元に、伊東市域全体の景観イメージを地形図上に表現することを試みた。これは、地域全体のの景観イメージをこれまでに抽出した景観カテゴリーによって表現することが出来ることを確かめるために行うものである。つまり、地形図上にみられる特色が景観カテゴリーと密接な関係にあることを調べようとするものである。

そのために、1989年の1/25,000の地形図、および同年の空中写真、住宅地図帳を用いて、物理的な環境条件の類似性、差異性にもとづいて地形図上の景観カテゴリー範囲を判断した[2]。特に、カテゴリー間の境界の判断や静寂景観と日常景観の区分については住宅地図帳を用いて検討した。こうした作業の結果を地図上に表現したものが図2である。これは伊東市のほぼ現時点における実態的景観を景観カテゴリー別に景観単位の組み合わせとして示したもので、本研究ではこれを景観単位構成図と呼ぶ。

伊東市の景観単位構成図は一見して背景景観の占める割合の大きいことがわかり、海に面した東側よりも西側においてその傾向が強いことがわかる。これは主に地形による影響と考えられる。また、海沿いには日常景観が面的、あるいは主要道路に沿って帯状に広がっている。静寂景観は、山沿い、海沿いの両方にみられ、日常景観よりも面的に展開する傾向がみられる。繁華景観は日常景観に比較的隣接して線的に展開し、開放景観、観遊景観は市域内に散在する傾向がみられる。

このように、景観構成図を作成することで、伊東市の景観イメージは大枠で捉えられることがわかり、景観カテゴリーの存在は伊東市の調査を通じても確認されたといえよう。

4．景観イメージの変化

景観カテゴリーの存在が確かめられたことで、地図上の情報からその地域の景観イメージは読み取ることができるものと考えられる。このことは景観カテゴリーとその分布状況を確認できる地図情報が得られる地域であれば、任意の時点についても景観のイメージの把握が可能と考え、伊東市の過去の時点における景観構成図の作成を通じて、現在からみたそれぞれの時点における景観イメージの状況を把握することを試みた。

現在、入手可能な伊東市域についての地図および空中写真の中で、景観カテゴリーとその構成を読み取るのに十分な情報が得られた最も古い年代は1945年であった[3]。その年代から現在の状況に最も近い1989年の間で、ほぼ等間隔になるように情報の得られる1959年と1976年の2時点を設定し、合計4時点の景観イメージについて検討を行った。

各時点について1/25,000の地図上に地図情報および空中写真から判断される6景観カテゴリーを示し、景観単位構成図を作成した（図省略）。時点間の比較考察を行うために、表2に示すように景観単位構成図に占める各景観カテゴリーの面積および面積率を算出した。景観カテゴリーとして内容的にばらつきのみられる観遊景観については景観カテゴリーの下位概念として7種類の景観タイプを設定して把握を行った[4]。

この結果、後背景観、開放景観が減少傾向にある一方で静寂景観、日常景観、繁華景観、観遊景観の4景観カテゴリーは増加していることが明かである。特に、静寂景観は1959年にはほとんど出現していないにもかかわらず、1989年には日常景観とほぼ同様の面積を占めているほどの急激な増加傾向を示しており、観遊景観の景観タイプ数も1959年の3タイプが76年には6タイプに倍増していることがわかる。ちょうどこの時点を境に他の日常、繁華、観遊景観面積も約倍増しており、伊東市の景観イメージにも大きな変化が生じたものと推測される。

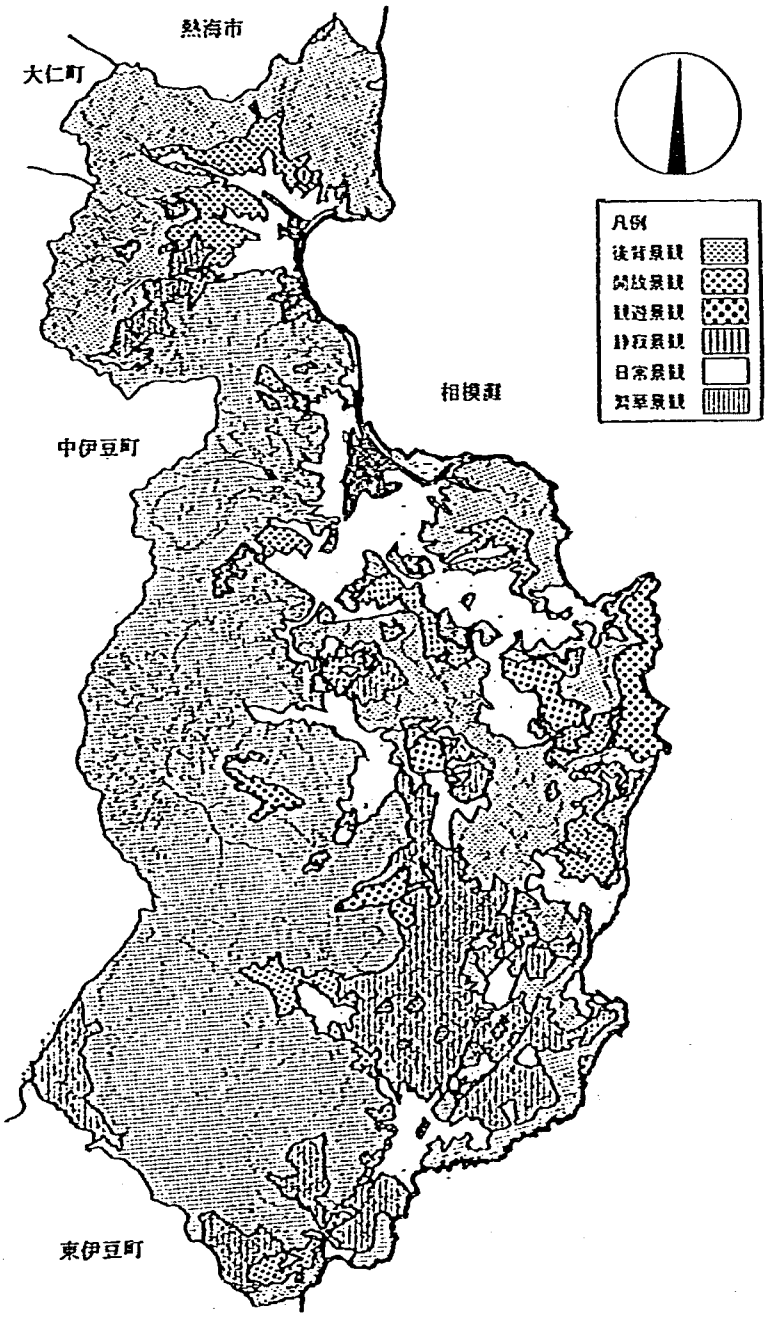


図2　伊東市景観単位構成図

5．景観シミュレーションビデオによる地域景観の表現手法

ここでは、景観単位構成図を用いて伊東市全体の地域景観を映像にし、視覚的な景観イメージとして表現する方法を検討する。これは、静寂景観、後背景観等のカテゴリー別の景観単位の組み合わせにより地域景観を擬似的に体験できるようにするもので、景観シミュレーションビデオと呼ぶ。作成方法は、各景観単位の量的、質的な比率を時間的な比率に置き換えたいくつかのカットによって構成

表2　4時点における各景観カテゴリーの面積・面積率・景観タイプ数

調査	景観カテゴリー						観遊景観
年代	後背景観	開放景観	静寂景観	日常景観	繁華景観	観遊景観	タイプ数
1945	96.88	19.79	0.00	5.90	0.44	0.90	2
	78.07%	15.95%	0.00%	4.75%	0.35%	0.73%	
1959	94.48	21.33	0.00*	6.01	0.45	1.50	3
	76.13%	17.19%	0.00%	4.84%	0.36%	1.21%	
1976	84.19	17.09	8.58	9.48	0.84	2.89	6
	67.84%	13.77%	6.91%	7.64%	0.68%	2.33%	
1989	78.49	9.39	15.22	15.04	1.23	3.60	7
	63.25%	7.57%	12.26%	12.12%	0.99%	2.90%	

単位（Km^2）伊東市総面積124.10Km^2

*地図上から面積は算出されなかったが、別荘開発業者の資料中では開発が開始していた。

表3　4時点における各景観カテゴリーのコマ数

調査	景観カテゴリー毎のコマ数						総
年代	後背景観	開放景観	静寂景観	日常景観	繁華景観	観遊景観	コマ数
1945	5	5	0	2	1	1	14
1959	5	5	1	2	1	2	16
1976	3	4	2	2	1	4	16
1989	3	2	4	3	2	4	18

されるものとし、作成基準を以下のように設定した[5]。

（1）各カットの1コマは15秒とする。

（2）全体は18コマ（270秒）程度とする。

（3）各景観カテゴリーの面積比とタイプ数（下位区分）に応じてコマ数を割り当てる。

（4）多くの面積を占める山林がつくる後背景観については、面積比率ではコマ数が多くなりすぎるので、変化動向から45年、59年は5コマ、76年、89年は3コマとあらかじめ設定しておく。

（5）総面積から後背景観の面積を引いた面積を15コマで除し、1コマに相当する面積を求めておく。

（6）各カテゴリーの面積を1コマに相当する面積で除して、各カテゴリーの面積に対応するコマ数を求める。

（7）面積に対応するコマ数とタイプ数の和を2で除して、小数点以下を四捨五入して最終的なカテゴリー毎のコマ数を得る。以上の結果を表3に示す。

次に、伊東市現地において、各景観カテゴリーを代表すると思われる場所を選定し、ビデオ撮影を行った。この際、景観タイプのある観遊景観のカテゴリーについては、それらのタイプに対応する多様な景観の場所を選ぶようにした。1コマのカットの撮影基準は、撮影者が1地点に立ち、静止状態で5秒間、その後約10秒間左または右方向にパンしながら周囲を撮影、さらに5秒間静止、という方法で統一した。

6．研究のまとめ

（1）現地印象調査から、伊東市においても景観カテゴリーの存在が確認された。

（2）伊東市の景観イメージは景観カテゴリーを用いた景観単位構成図に表現することができた。

（3）景観単位構成図によって過去から現代までの時点間における景観イメージの変容が把握された。

注

1）田中奈美、土肥博至他：景観イメージの抽出と景観単位－リゾート地域の成立条件に関する景観的研究その1～その4、日本建築学会関東支部研究報告集、269-284、1995

2）物理的な環境条件の類似性、差異性について、具体的には(a)土地・建物状況（山林、農地、商業地、別荘地、スポーツ・娯楽施設集中地区、その他の一般市街地の区分）を主要判断要因とし、さらに下位区分を行う場合は、(b)活動種別の要因を加えて区分した。

3）伊東市における現時点で入手可能な最も古い空中写真は米軍撮影による1947年の写真であったので、この時点に最も近い1945年の地形図を用いることとした。

4）観遊景観の景観タイプは、現在の観遊景観に属する具体的な場所で景観イメージの近いものを判断し、(a)ゴルフ場、グラウンド、(b)シャボテン公園、グランパル公園、(c)海洋公園、伊東公園、(d)海水浴場、(e)競輪場、(f)浮島リゾート、(g)一碧湖の7タイプと設定した。

5）土肥博至、田中奈美他：景観単位による地域景観の記述方法、日本都市計画学会学術研究論文集、30、229-234、1995に詳しい。

*1筑波大学芸術学系　教授　工博　*2建設省土木研究所環境計画研究室　学修
*3筑波大学芸術学研究科　*4筑波大学環境科学研究科

歴史的・文化的土木施設の保存・活用に関する研究

【土木史研究　第15号　1995年6月　自由投稿論文】

「歴史的土木文化遺産の評価と保存の考え方」*

Evaluation and conservation of historical infrastructure objects from a cultural heritage point of view.

竹林　征三**、島谷　幸宏**、天野　邦彦***

By Seizou Takebayashi
Yukihiro Shimatani
Kunihiko Amano

本論文では、土木遺産を現機能を有しているかどうかの観点より狭義－広義の土木遺産に分類し、主として本来機能を失った狭義の土木遺産について分析した。まず、危険内在性、存置限定性等の土木施設の基本的な特徴について整理し、さらに、土木遺産としてのすべき価値について考察した。併せて、土木遺産の保存活用手法について分析し、今後の保存活用のあり方についてその考え方をとりまとめた。

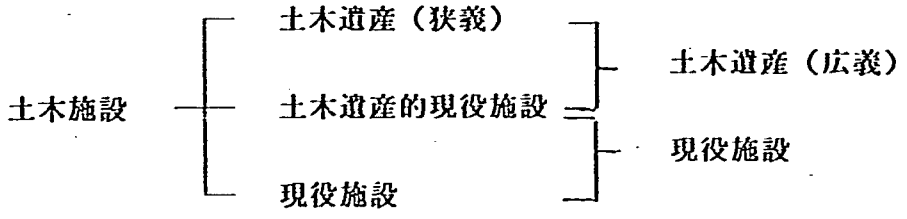
1．文化遺産としての土木施設とはなにか

……土木遺産とは……

文化遺産とは広辞苑によると「将来の文化的発展のため継承されるべき過去の文化」とある。しからば文化遺産としての土木施設とはどのようなものか、ある当初目的で土木施設として設置後、社会寿命すなわち社会的需要変化により当初の目的を変化させる必要が生じた時、あるいは老化等物理的寿命により旧施設を大幅に改造修復をしなければならなくなった時に、旧施設の中の何かに後世に残す何らかの価値があるものを文化遺産というべきであろう。

従って当初の目的機能を有しつつ現存する土木施設は現役土木施設であり、狭義には土木遺産ではない。しかしながら、現役の土木施設の中にも、高い歴史的、文化的価値が見いだされ土木遺産的現役施設として位置づけた方がわかりやすいものもある。

このように土木施設は次の三つに分類される



---

* keywords:土木施設、土木遺産、文化遺産、価値、評価、保存
** 正会員　建設省土木研究所環境部
*** 正会員　国立環境研究所水土壌圏環境部

たとえば、、現役の土木施設として狭山池、満濃池等は当初設置後１０００年以上経っている現在においても供用されている。又、日本最古の堤防である茨田の堤は現在も淀川の堤防の一部として大きな役割を果たしている。これらは現役施設であるが、これまでの長い時間経過の中で、物理的寿命や社会的変化により、大規模な嵩上げ等の大改造を経験してきている。これらの施設は後世の残すべき何らかの価値があるので狭義の土木遺産とは区別し、土木遺産的現役施設として位置づけることが必要である。

以上のように、広義の土木遺産としては当初の機能や役割がなくなってしまっている狭義の土木遺産と、現在においても現役として機能している土木遺産的現役施設がある。

狭義の土木遺産（以降これを土木遺産と呼ぶ）の要件は、当初設置目的機能として供用され時間的経緯を経て社会的需要変化に追随できなくなり、何らかの目的変更を余儀なくされる時点（すなわちこれを社会的寿命という）、あるいは、地震や各種災害等の自然環境変化に追随できなくなり老朽化して当初の設置の構造物形態を大規模に改造ないしは放棄、又は撤去をしなければならなくなる時点（すなわち物理的寿命という）に至って、後世に残すべき価値があるものがあるかどうかである。社会的寿命あるいは物理的寿命がきた土木施設は全てが土木遺産となるものではない。従って、土木施設の当初の寿命（社会的寿命と物理的寿命のいずれか小さい方）時に残すべき価値の有ることが土木遺産の要件である。現役施設で将来に向かって残すべき価値を多く持っている施設も多くあるが、これらは土木遺産ではなく、将来土木遺産となる有資格者、土木遺産予備軍ということになる。

土木施設の持つ残すべき価値とは何か、これについては次章で詳細に論ずる。従って土木遺産の要件となる建造時代については明治以前とか戦前とかいうように定めることは適切でない。又、ある時間を経た施設であても土木遺産として価値がないものが多くあることも確かである。毎年多くの人が死んで行くが遺産を残すものは必ずしも多くないのと同様である。人によっては後世の者に大きな負債（負の遺産）を残す者もいる。土木施設もものによっては当初寿命がきているのに在置していること自身が社会に対しマイナスになっていることとなるものもあることも確かである。さらに言えば、土木施設はそもそも後節で論ずるように、存置すること自身、危険内在性を保有している。また場所的にも制約限定性がある。一般的には当初寿命がつきたものが存置することそのものが将来の社会に対し、ある一面に関してはマイナスとなっているということある。

２．　歴史的文化遺産としての土木施設の価値

文化遺産として土木施設を残すという限り、その対象となる土木施設に何んらかの残すべき価値があるということであり、価値観が多様化している今日、文化遺産として歴史的土木施設を見る場合、表－１に示すようにどのような事柄を希求し、その結果、どのような事柄に価値を認めるかということである。一つの土木施設が表－１の複数の価値を合わせ保有するのが一般的である。そして、遺産として残すということは、寿命後の存置のマイナス価値を相殺してもなお余りある程、その価値が高いことを意味する。しからば、その価値の大きさはどのような評価尺度で評価するのか、又その評価は誰が行うのかという問題が生じる。

人間が残す遺産は動産であれ不動産であれ遺産相続の関係で全て金銭という統一の尺度で評価されている。土木遺産として保存するということは大変な国民的な負担を強いることとなる。評価の尺度については何らかのプロセスで国民的なコンセンサスが求められていると考える。

表－1　歴史的文化遺産としてみた土木施設の価値とその評価

希求するもの		価値を認めるもの	事　　例	土木遺産の価値の評価
歴史文化性を求めて	土木施設の持つあるいはつくった歴史文化性を求めて	定められた史実としての価値	防空壕、国宝、指定文分	[illegible]
		史的人物との関わり合いとしての価値	[illegible]	史的人物との関わり合いの度合い
		後世に伝えたいメッセージ（伝承的価値）	猛沢銭介が残した石碑、メッセージ看板、事典誌	伝承しようとする内容の質が後世の私共に感動と共鳴を与える度合いが大きいものほど価値が多い。
		現代人がそのものから学ぶ教訓（教訓的価値）	田上山の砂防、信玄流砂河	現代人がそれから学ぶ教訓の質が高ければ高い程、又、量が多ければ多い程価値は高い。
		土木施設がつくった風土文化（風土形成価値）	お江戸日本橋、旧街道の一里塚京都の町並みや通り、橋の名前	土木施設から地域の個性を強く感じられるほど価値は高い、又、量が多ければ多い程価値は高い。
		文化芸術の舞台としての土木施設の価値	有名碑、銅木屋生、日暮の里隅田の岸、柳田康雄、五条大橋	[illegible]
	[illegible]	（情古的価値）	水車、馬車道水運河岸、関門、アプト式鉄道	[illegible]
技術歴史性を求めて	事業計画論のすばらしさ	着想の卓抜性	箱根用水の分水、太閤のけつわり堀	[illegible]
		地域社会への貢献度	利根川、淀川の新放水路	「土木は地域の悲願達成の仕事である」悲願の大きさによって評価される。
	技術理論を求めて	技術革新性（エポックメーキング）（歴史を画するものとしての価値）	岩盤工学黎明の奥部ダム奥部ﾀﾞﾑの実物実験となった笹山ﾀﾞﾑ[illegible] ﾀﾞﾑ etc.	設計法、形式意匠、材料、施工法、維持管理法等について先進性、古さ、規模、保存状態、時代性等土木技術史的観点より価値を評価することが必要である。
	土木技術のギネス性を求めて	唯一性等稀少価値	日本唯一の海水揚水発力日本人が作った唯一の水締めﾀﾞﾑ etc.	[illegible]
		最大・最高・最長・最古等（歴史的記録性の価値）	[illegible]で最長の、最高の、最大の[illegible]橋、橋脚、人工貯水池etc.	例えば（記録更新（破り）の度合い×記録保持期間）の度合いによって評価される。
審美性を求めて	視覚的な満足感を求めて	ランドマーク性（シンボル的価値）	余部鉄橋、戸戸大橋、天草五橋、通潤橋、富士山砂防（形態保全目的）	空から見た土木施設の識別度合 }ﾗﾝﾄﾞﾏｰｸ性 周辺から見た土木施設の識別度合 } 地域のｼﾝﾎﾞﾙとなっている度合
		審美的意匠性価値	錦帯橋、猿橋、経臣開疏水、水路閣、豊稔池、恒流ダム	見る者に審美的感動を与える意匠性を有する建造物
知的充足感を求めて	[illegible]	学術的価値	[illegible]	土木工学以外の観点から土木施設を学問の対象として取り上げ分析しようとする

3．　土木施設の寿命とその対応

土木施設は地域の悲願達成の目的で建造される。土木施設も他の施設と同様、時間の経緯と共に老朽化して行く。又、地震等の自然営力によるダメージもうける。それらに対し毎年毎年何らかのメンテナンスをしながらその当初の目的の機能を果たし続ける。しかし、通常のメンテナンスでは不可能な大改築、大補修を行わなければならない安全性を確保できなくなる。それが土木施設の物理的寿命である。

物理的寿命論には大きく分けて２種類ある。①土木施設の時間の経過による老旧化に対応できなくなる場合である。②設計外力以上の地震や洪水等の天変地異等により致命的ダメージを受け、その機能が果たせなくなる場合である。

社会的寿命を２つに分けることができる。社会的寿命①…社会の急激な量的な需要変化により、その施設に要求する期待が大きくなりすぎて対応ができなくなり土木施設の機能を大幅に拡大するための大増築等の必要性が生じてきている場合。社会的寿命②…そのような時が土木施設の社会的寿命のその①である。社会的寿命のその②は、社会の質的変化によりその施設の用途が必要なくなる場合。

土木遺産を保存ないしは活用するという問題は以上のような物理的寿命や社会的寿命がきた時その土木施設がどの様にそれに追随していくかという問題である。

以下に土木施設として社会的にも影響が大きい道路と河川をとりあげ、その対応のパターンを分類してみる。

（1） 土木施設の社会的需要変化（社会的寿命）に対する追随性

a）量的変化への対応（社会的寿命その①）

1）現施設活用の場合

①道路の交通容量増大対応（事例として一車線から二車線化etc）

旧道は新道の内部化、一部化することであり

旧道の土木遺産としてのものは一般的に残しにくい

②河道の設計洪水量増大対応

堤防で守るべき流域資産の増大による安全度の向上に対する社会的要請に応えるべく、設計対象の洪水流量の増大を図る。

イ引堤・・・・・旧堤は撤去が事業目的、残す残合は移設しかない

ロ浚渫・・・・・河床部を掘削排除が事業目的

ハ嵩上げ・・・・旧堤は新堤の内部化、一部化することである

事例：茨田堤、狭山地、満濃池etc

2）旧施設にたよらず新設する場合

①道路におけるバイパス新設時の旧道のあり方

イ旧道存置活用・・地域コミュニティ道路として役割を残す目的が些少化。
土木遺産的なものは残せる。

ロ旧道廃道・・・・撤去、払下げ、他用途への変換。
高欄等の部分的なものは移設保存が可能である。一般的には土木遺産としてのものは残しにくい。

②河川における新川開削（放水路設置）時の旧川のあり方

イ旧川存置・・・ 旧川にある役割を残す目的が些少化。
信濃川と関屋分水路。旧淀川と新淀川etc
土木遺産的なものは残せる。

ロ旧川廃川処分・・旧川部、撤去、払下げ、他用途への転換。
野州川放水路の旧南流、旧北流etc
部分的にシンボル的に場所は限定された形で土木遺産的なものは残せる。

b）質的変化への対応（社会的寿命その②）

旧施設が社会構造変化により目的がなくなった場合、それに代わる新しい施設への転換時における旧施設のあり方

1）現位置におけるあり方。

①他目的としての存置

イ．予備施設としての存置・・・井戸から上水道への転換、旧井戸は緊急防災用とし存置。

ロ．公園化としての存置・・・・シンボル的なもとして存置

琵琶湖疎水のインクライン（舟運機能の損失）

ハ．観光目的への変化・・・・・防空壕、大本営

ニ．その他の目的への変化・・・旧トンネルを利用した保管庫化

②新しい施設への吸収内部化

○路面軌道から自動車道への変化に対し、軌道レールの撤去

○馬車道から自動車道への変化に対し、敷石撤去、他の場所での保存化

③撤去

○水車から水力発電への変化に対し、水車は河川敷内で存置は安全性に問題があるので撤去。○防空壕○水運のための河岸○共同溝化による電柱の撤去

④放置・・・・・○アプト式鉄道跡○トンネル化によるスイッチバックの旧鉄道跡

2）現位置からの撤去移設

①別位置からの公園等への移設・・・・・○諫早のめがね橋○明治村

②資料館・記念館等における部分保存

（2）土木施設の物理的寿命に対する対応

a）老朽化により対応（物理的寿命その①）

1）その後社会的な需要に対しての対応（社会変化追随）

①需要増に追随するための規模を拡大して作り替える。

②需要増は他の施設で対応し、当該施設はそのままで修復する。

2）その後の新しい構造技術基準に対しての対応（安全性確保）

①新しい構造技術基準を適応し抜本的に改築

②新しい基準を適当除外として、旧施設の意匠性をある程度残す。

③旧施設の意匠性の存在を重視、旧基準をそのままで修復、一般供用には安全性の問題は残す。

3）意匠性の保存に対する対応

①意匠性の復元を最重視

②意匠性の基本的なところは残し、新しい構造基準に適応さすか、社会需要増には対応せず。

③意匠性を犠牲にして新しい構造基準。社会需要増に対応する。

b）災害等により物理的寿命が早くきた場合の対応（物理的寿命その②）

1）現状復旧

災害復旧事業として現状復旧。同位置に同規模の施設を緊急に復旧

2）その後の社会需要増を盛り込んで復旧

災害関連事業、災害助成事業として、ほぼ同じ位置に規模を拡大した施設を緊急に復旧

4．土木施設が存在し供用していることの意義

（1）危険の内在性について（表－2）

土木施設が当初の目的で建設され存在し供用され、その機能を果たしているという事はどのようなことなのであろうか。

土木施設としては、防災施設である河川施設と利便施設である道路施設等とによってその供用時における危険の内在性について大幅な差異がある。

①設置しうる否かの選択の余地の有無

②危険の内在性

③危険の度合い

④危険の回避手段

⑤外力の予測難易性

⑥供用に対する安全性の確認法について、比較すると表－2のようになる。

もともとは危険性を内包している河川の中に河川の疎通断面を阻害する橋脚を設置することは、危険性を更に増加しているということになる。橋梁という公共性に鑑み河川阻害率○%という最大限の譲歩の考えで許可しているという事である。

（2）設置場所の制約限定性について（表－3）

土木施設が建造され存在しているという事は、そもそも物理的に地面という国土を空間的に占有しているという事である。

土木施設は規模が大きく、どこでも設置すると言うわけには行かない。土木施設の種類にもよるが、設置可能な場所は相当大幅に制約され限定されている。

土木施設として河川、ダム、港湾、道路、橋梁をあげ、制約性、限定性の度合いを比較したのが表－3である。

表－2　建造物存在供用時における危険の内在性

土木建造物と建築建造物の相異点

建造物の種類	河川施設	特に大規模なものとしてのダム	道路施設	特に大規模なものとしての橋梁	建築建造物
防災施設か利便施設か	防災施設	利便施設			
		不特定多数のための公共施設			私的施設及び公的施設
設置するか否かの選択の余地	河川は本来これを設置するか否かの選択の余地がなく	道路等の利便施設は設置するか否かの選択の余地があり			
危険の内在性	危険を内在した型で供用されている	設置し供用してから初めて危険性が創出される			
危険度合	比較的大きい ←→ 極めて小さい				
危険回避手段	簡易な手段はない		通行禁止等の簡易な手段あり		立入禁止等の簡易な手段あり
規模の決定要因と外力の予測難易度	洪水という自然現象を対象としているため、外力としての洪水の規模や時期等の予測がきわめて難しい		外力としては主として人や車の交通量等人為的なものを対象としているため河川に比較して外力の予測が比較的容易		人の生活や活動の場の人間の諸活動を予測して設計する、道路よりも容易
供用に対する安全性の確認	洪水の使用による安全性の把握法としては、実物の出水によらざるを得ない、既往洪水という経験によらざるを得ない		道路工学、自動車工学等として実用に供する前に実物実験を行いその安全性を確認することができる		構造工学、建築学としてその安全性を確認することができる

表－3　建造物の設置場所の制約限定性

―― 土木構造物と建築構造物の相異点 ――

	限定性	限定性の理由　（場所の制約限定性）
河道	A	自然が形成してきた最適な無理のない河道（平面、河勾配、横断形）がある。それから変えれば変える程、潜在的危険度が増大する。
ダム	特A	地形条件（河谷形状）基礎地質条件よりダムサイト、ダム型式が限定される。
港湾	A	水深の確保や潮流や河川からの土砂流入等海側の自然条件の制約に加え、陸側の貨物の物資集散条件の制約を大きくうける。
道路	B	我が国のように人口超過密で地形変化にとんだ山国では、道路法線は代替性や自由度は相当限定される。道路法線の前後の取り合いから部分的な変更は不可能。
橋梁	A	道路ルートからの横断地点の箇所の自由度が相当限定されているのに加え、河川条件から河川担当中、最良部等とされる、等多くの制約があり、相当限定される。
建築	C	建築物の種類にもよるが土木構造物と相違し地形、地質等自然条件からの場所の限定性は低い。

今回の阪神大震災を事例に取って考えてみると、六甲山の山裾から神戸の海岸線の狭い用地の間に新幹線のほか阪急、国鉄、阪神の鉄道、国道２号線と阪神高速道、それに県道、市町村道が東西方向に伸びる。それに直角方向に多くの六甲山からの河川が横断している。土木施設の設置場所として神戸は典型的な場所であるが、日本はもともと島国であり、国土の真ん中に広い場所は高い山岳が占有しており、わずか１７％という沖積平野や洪積台地に国民の過半の人々が住み、それらの人々の安全性を確保し、また、利便性を確保するために河川や道路やその他の多くの土木施設が作られている。

5．土木施設の歴史的文化的遺産の保存と活用

（１）歴史的土木文化遺産の変貌と保存の現状

ａ）現役機能を果たすため改築が繰り返し行われ、歴史文化遺産の面影がない。

○神戸港　○東海道（国道１号線）　○木曽のかけ橋　黒部川の愛本橋

ｂ）現役機能を果たしつつ、文化遺産としての面影をある程度伝えている。

①新しい構造基準に準処しながら、大改造を行いながら対応。

○瀬田の唐橋　○狭山池　○満濃池　○琵琶湖琉水　○十六橋水門　○黒部ダム（車電）

②新しい基準の適用範囲外として別途個別の技術検討を積み重ねる。

○豊稔池　○笹流ダム　○本河内高部ダム

ｃ）歴史文化施設としての土木遺産をシンボルとして残す

①ハイキングコース等の整備

○東海道自然歩道の整備　○箱根八里の道　○山の辺の道

②意匠性をシンボルとして残す観光公園地化

○現位置保存。河川との関係で危険内在性がないと判断される場合

○猿橋、○かずら橋……堀込河道で危険内在性のない特殊な事例

○桃介橋、○錦帯橋……河積余裕地点で危険内在性のない特殊な事例

d）使用されずに放棄されているが、いまだ意匠性は残っている
○逢い坂山トンネル　○三栖の閘門・○西野水道

e）現位置に旧施設をシンボルとして残すかわりに大部分撤去
○南郷の旧洗堰　（両サイド、数スパンづつ存置、真中大部分撤去）

f）大切な土木遺産にもかかわらず一切残されていないもの
○大峰発電所　（天ヶ瀬ダムにより水没）
以上の文化遺産としての土木施設の現状を大局的にみた。

（2）土木遺産の伝承保存・活用についての多様な手法に関する提言

土木遺産はその存置位置とその文化的価値の内容に応じ、多様なバラエティある伝承・保存・活用の手法がある。（表－4）

どの手法を選定するかについては、①永続性、②再現性、③シンボル意匠性、④危険内在性、⑤現地制約限定性、⑥維持管理の容易さ（費用面）等の観点から評価されなければならない。（表－5）

a）文化遺産としての土木施設の名前

土木施設が文化遺産として最も簡単に保存できその利用法によって永続性、再現性、シンボル性がいかほどにも高まり、更に、危険内在性や現地制約限定性もないものは施設への命名。

名前は地図に記載されることによりいろいろな形で発展していく。残すべき遺産のまず最初のものである。例えば、日本最古の鉄筋コンクリート橋が現存するも、橋名がない。非常に残念なことである。今からでも遅くない命名することにより文化遺産としての価値は何倍にもなるだろう。

b）書物に残された記憶

情報過多な社会である。価値の高い史実でも記され情報発信されなければきわめて短い時間で忘却されてしまう。土木施設に関わるものはこれまで史実、データ、統計等についてあまり残してこなかった。文化遺産としてきわめて価値の高い史実やデータさらにはその統計分析したもの等を書物の形で残す。これも一手法である。

この手法は名前と同様、永続性、再現性がはかれ、シンボル性を高めることができる。その一方、危険内在性現地制約限定性もなく、維持経費もかからない。

c）命名碑制作銘板記念碑、および資料館等

車が氾濫している車社会の現代、エンジン一つずつに製造工場年月日、制作番号等などが刻されている。一方土木施設もかつては、城の石垣等にもあった播主の家紋が刻されていた。しかしながら、現在は、農業用の堰堤や水門扉などのものに非常に特殊ですぐれた技術的工夫が見られるものがあるが、制作銘板、諸元板すらない。土木遺産の原点は全体としての土木施設のみならず、それを構成している構成要素一つずつに制作銘板、諸元板を設置することが必要であろう。

表－4　土木遺産の価値の内容とそれに対応する保存・活用の手段

保存活用手段（方法）／文化遺産としての価値		名前	記録書物			命名碑	記念碑（塔）	記念碑（塔）	行事儀式	映像		記念（資料館）	移設復製品		保存現物	現地復製品		保存部分（部品）	保存現物
			史実記録	デジタル図面	統計分析		元結板			写真（静）	映画（動）		縮小模型	実物大		縮小模型	実物大		
歴史文化的価値	歴史的価値	△	◎	－	－	－	－	△	△	△	△	○	－	－	－	○	－	－	－	◎
	人物史的価値	○	◎	－	－	－	－	◎	△	△	△	◎	－	－	－	○	－	－	－	◎
	伝承的価値	○	◎	－	－	○	○	◎	○	△	△	◎	－	－	－	○	－	－	－	◎
	教訓的価値	○	◎	－	－	△	－	○	△	△	○	○	－	－	－	○	－	－	－	◎
	風土形成価値	◎	○	－	－	○	－	◎	◎	△	△	△	－	△	－	○	△	○	△	◎
	文化芸術価値	○	◎	－	－	○	－	○	○	○	○	◎	－	－	－	○	－	－	－	◎
	懐古的価値	○	△	－	－	○	－	○	○	○	○	○	－	－	△	○	－	－	△	◎
技術歴史的価値	着想的価値	△	△	◎	△	△	○	○	－	－	－	○	－	－	－	○	－	－	－	◎
	地域貢献価値	○	△	△	◎	△	△	○	○	－	－	○	－	－	－	○	－	－	－	◎
	技術革新的価値	△	◎	○	○	－	◎	○	－	－	－	◎	－	－	△	○	－	－	○	◎
	稀少価値	○	○	◎	◎	○	◎	○	－	－	－	○	－	－	－	○	－	－	－	◎
	ギネス価値	△	○	◎	◎	－	◎	－	－	△	△	△	△	△	○	○	△	△	○	◎
審美的価値	シンボル的価値	△	－	△	－	△	△	◎	△	△	△	△	△	○	－	◎	△	○	－	◎
	意匠的価値	△	－	－	－	－	－	－	－	△	△	△	○	○	◎	◎	○	○	◎	◎
学術的価値	学術的価値	△	◎	○	○	－	－	－	－	△	△	◎	－	－	◎	◎	－	－	◎	◎

◎：保存活用方法として望まれるもの
○：保存活用方法として期待むもの
△：保存活用方法として考えられるもの
－：保存活用方法として関係が薄いもの

表－5　土木遺産の保存活用法の評価軸

保存活用・手段（方法）／文化遺産としての価値	名前	記録書物			命名碑	記念碑（塔）	行事儀式	映像		記念（資料館）	移設復製		保存部分（部品）	保存現物	現地復製		保存部分（部品）	保存現物
		史実記録	デジタル図面	統計分析				写真（静）	映画（動）		レプリカ	実物大			レプリカ	実物大		
永続性	○			◎	◎	◎	◎	○		○ ◎	○	△	○	×	△	×	△	×
再現性	○			◎	○	○	◎	◎		○ ◎	○	◎	◎	◎	○	◎	◎	◎
維持管理等の所要費用	◎	◎			◎	○	○～△	◎～△		×	○	△	△	×	×	×	○	×
危険内在性	◎	◎			◎	◎	◎	◎		◎	◎	◎	◎	◎	○	×	×	×
現地制約限定性	◎	◎			◎	◎	◎	◎		◎	◎	○	◎	○	×	×	○	×
シンボル性の保持	○			◎	◎	◎	◎	○		○	◎	◎	◎	◎	○	◎	◎	◎

◎：容易　　問題なし
○：やや容易　　ほとんど問題なし
○：ほどほど
△：やや難しい　　解決しなければならない課題あり
×：難しい　　解決しなければならない難課題あり
×：非常に難しい　　解決しなければならない難課題多し

次に，命名碑，記念碑の建立が必要である。工事誌等の記録は関係者等の範囲に限定される。大変重要な書類もその価値が分からなけれ保存されない。その関係者の死や火災などで記録はなくなる。命名碑，記念碑は広く一般に残したい事柄の要点のみ数世紀にもわたり伝承することができる。

土木遺産を伝承するための資料の吟味は極めて重要である。これらの遺産価値を高めるためにはオーセンテリティ（真正性）とインテグリティ（完全性）をよく分析した上で展示内容を決定すべきであろう。

土木はそもそも悲願達成の事業であり，後世に伝承しなければならないものは，その悲願の内容とその達成へのプロセスであり，更には，土木施設への感謝の念である。

それらの内容は時間の経緯とともに風化し薄れていく。それらを風化させず伝承していく方法として，毎年定期的に行われる慰霊祭とか感謝祭とか，特定の意図のもとに行われる各種の祭りとかイベント類などである。後世に間違いなく伝承していかなければならない文化遺産のうち形あるもの以外は，これらの行事儀式，祭礼は極めて有効な手段である。

e）映像（動と静）

近年，光学および電子工学の発達で高度な技術的内容を表現できる映像や写真が比較的容易に撮れるようになり，記録映画や記録写真として多様な内容のものを後世に簡単に残せるようになってきた。

用地交渉の経緯から始まり，土木施設築造にあたっての特殊な施工技術等など後世に残す価値のある内容について，焦点をあて方針を明確にして編集された映像は文化遺産の保存，活用伝承方法として極めて有効なものである。

f）現地保存と移設保存

社会的寿命ないしは，物理的寿命がきて，現役機能が終わった施設を現地でそのままの姿で保存することは危険内在性と現地制約限定性から相当制約されることになる。しかしその価値が部分的に限定されるものについてはその部分の現地保存や複製品による代替保存も考えられる。しかし実物あるいはその一部についての移設保存という形をとらざるを得ない場合もみられる。昨今，複製品の技術が向上し，専門家でなければ識別できない程度のものまで作られるようになってきている。

今度は，近傍の公園化における複製品の展示保存や資料館におけるミニチュア・レプリカ等の展示保存をさらに積極的に展開することが望まれている。また保存するということはどのレベルの保存を行うかによって相当な経費の差異が生ずる。今後，土木遺産の保存法についての技術的研究が益々重要になってきている。

【土木計画学研究・講演集 No.18(2) 1995年12月】

無形土木遺産の保存と伝承

The conservation and transmission of immaterial civil engeneerring heritages

竹林 征三* 丹羽 薫** 長野 幸司***
By Seizo Takebayashi, Kaoru Niwa, Koji Nagano

1．はじめに

歴史的な遺産として土木構造物を評価し保存すべきであるとの社会的要請が徐々にではあるが大きくなってきている。しかしながら、土木遺産の象徴としての構造物以外にも文化遺産としての価値を見いだせる土木の事象が存在する。そしてそれらは土木構造物と同様に文化的価値を有しているものと考えられる。

本稿は、これら無形土木遺産について、その保存の一助とすべく、有形土木遺産との差異、分類とそれぞれの特徴についてとりまとめたものである。

2．土木遺産とは

広辞苑によると、文化遺産とは「将来の文化的発展のため継承されるべき過去の文化」とある。それでは土木遺産とはどのようなものであろうか。

文化財保護法では文化財をどのように定義しているのであろうか。文化財保護法では法第二条において、文化財を有形文化財、無形文化財、民俗文化財、記念物、伝統的建造物群の５つに分類したうえで、歴史上・芸術上・学術上・鑑賞上の価値の高いもの、我が国の生活の推移の理解のために欠くことのできないもの、を文化財としている。また法第三条において文化財を、「我が国の歴史、文化等の正しい理解のために欠くことのできないものであり、且つ、将来の文化の向上発展の基礎をなすもの」と規定している。

また筆者らは、「ある当初目的で土木施設としての設置後、社会寿命すなわち社会的需要変化により当初の目的を変化させる必要が生じた時、あるいは老化等物理的寿命により旧施設を大幅に改造修復をしなければならなくなった時に、旧施設の中の何かに後世に残す何らかの価値があるもの」として、文化遺産としての土木施設を定義した[1]。すなわち、施設設置の意義（価値）を社会的価値と物理的価値に分類し、そのどちらか片方が消失した時点が設置当初の意義を喪失した時点であり、その時点でそれ以外の価値を見いだせる土木施設を（有形）土木遺産としている。

これらを勘案すれば、土木遺産とは、「将来の文化的・技術的発展のため継承されるべき過去の土木事業に関する事象一般」と定義されると考えられる。

3．有形土木遺産と無形土木遺産について

土木遺産をこのように再定義した時、土木遺産の分類にも再定義の必要が生じる。すなわち、物理的に土木施設としての形状を有しているものと施設ではないものの２分類である。文化財保護法の分類と比較すれば、前者は有形文化財、記念物、伝統的建造物群に、後者は無形文化財、民俗文化財に対応する。さらに文化財保護法第八三条七にいう「選定保存技術」についても、無形土木遺産の一部と考えられる。選定保存技術とは、「文化財保存のために欠くことのできない伝統的な技術または技能で保存の措置を講じる必要があるもの」である。

この分類は、価値がどの部分に存在するかが問題であって、遺産の対象となる事物が物理的に存在するか否かとは別次元の問題である。例えば記念碑について考えれば、これはある人物に遺徳を忍ぶもの、

キーワード：土木史

* フェロー会員 工修 建設省土木研究所環境部
〒305 茨城県つくば市旭１番，電話 0298(64)2211,FAX 0298(64)7183
** 正会員 工修 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，電話 0298(64)2211,FAX 0298(64)7221
*** 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，電話 0298(64)2211,FAX 0298(64)7221

ある構造物が過去にそこに存在した事実を伝えるものであり、基本的に記念碑自身の価値は考えにくい。従って無形土木遺産の範疇と考える方が適当であろう。

従って本稿では、無形土木遺産を「土木遺産のうち、土木施設としての構造的特徴を持たないものの総称」と定義する。

土木遺産には複数の価値があるが、それを評価するためにはその価値によって有形土木遺産及び無形土木遺産の必要性に違いが生じる。例えば地域社会への貢献度を評価する場合、有形土木遺産は必ずしも必要としない。逆にランドマーク性を評価する場合、主たる価値は景観要素であり、基本的には無形土木遺産の必要性はない（但し、後述するように施設の名称が地域のシンボルとなる場合は考えられる）。これらをまとめて表－1に示す。

表－1　土木遺産の価値評価における有形土木遺産と無形土木遺産の必要性と評価軸

希求内容	価値を認めるもの	土木遺産の価値の評価	有形	無形
歴史文化性	秘められた史実としての価値	周知度の低さ、意外性の高さ	△	○
	史的人物との関わりとしての価値	史的人物との関わりの強さ	△	○
	後世に伝えたいメッセージ（伝承的価値）	感動と共鳴の強さ	△	○
	現代人がそのものから学ぶ教訓（教訓的価値）	教訓の質の高さ、量	△	○
	土木施設が作った風土文化（風土形成価値）	地域の個性想起の強さ、量	△	○
	文化芸術の舞台としての土木施設の価値	舞台としての土木施設の有名度	○	○
	（懐古的価値）	ノスタルジーを与える人数、強さ	△	○
技術歴史性	着想の卓抜性	時代の超越度	△	○
	地域社会への貢献度	地域悲願の大きさと充足度	△	○
	技術革新性（エポックメーキング）（歴史を画するものとしての価値）	先進性、古さ、規模、時代性により評価	△	○
	唯一性等希少価値	希少度	△	○
	最大・最高・最長・最古等（歴史記録性の価値）	記録更新の幅、記録保持期間の長さ	△	○
審美性	ランドマーク性（シンボル的価値）	識別の容易さ、地域シンボル性の強さ	○	－
	審美的意匠性価値	見るものに与える審美的感動の強さ	○	－
知的充足感	学術的価値	土木工学以外の学問的価値	△	△

○：価値評価のために必ず必要
△：価値評価のためには必ずしも必要としない
－：基本的に必要でない

4．無形土木遺産の分類とその保存伝承

土木遺産をその保存手法から分類し、文化遺産としての価値とそれぞれの保存手法との相性を考察した結果を表－2に示す。ただし、表中で無形・有形の別を示しているが、概ねの対応を示したものであり厳密にいえばグレーゾーンが存在する。

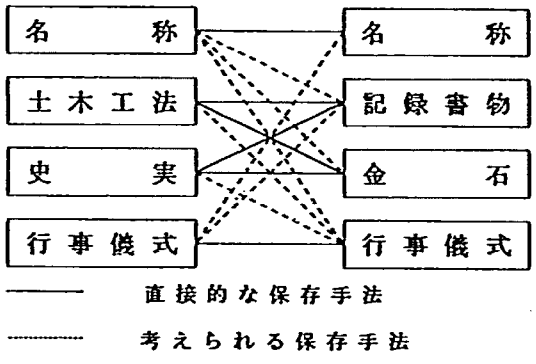
このうちの無形土木遺産と保存形態との関連を考えてみる。記録書物、金石文、映像、記念館・資料館は物理媒体による記録の保存としてくくることも考えられよう。この場合、記録したいもの、記録すべき価値があるものとはなにか。大別すればそれは土木工法の記録と事業化にあたっての史実になろう。事業化にあたっての史実とは、換言すれば地域の悲願である。

したがって無形土木遺産をその内容で分類した場合、（1）名称、（2）土木工法、（3）史実、（4）行事儀式等に分類できると考えられる。この

表－２　土木遺産の価値と土木遺産保存手法との相性

価値類別		無形土木遺産											有形土木遺産							
		名称	記録書物			金石文			行事儀式	映像		記録書物・図面類	施設		保存		現地		保存	
			文書記録	データ・図面	解説パンフ	金石碑	石碑	記念碑（石）		写真（静）	映画（動）		模型・復元	実物大	図面・写真	建物	模型・復元	実物大	図面・写真	建物
歴史文化性	秘められた史実としての価値	△	○	－	－	－	－	△	△	△	△	○	－	－	－	○	－	－	－	○
	史的人物との関わりとしての価値	○	○	－	－	－	－	○	△	△	△	○	－	－	－	○	－	－	－	○
	後世に伝えたいメッセージ（伝承的価値）	○	○	－	－	○	○	○	○	△	△	○	－	－	－	○	－	－	－	○
	現代人がそのものから学ぶ教訓（教訓的価値）	○	○	－	－	△	－	○	△	△	○	○	－	－	－	○	－	－	－	○
	土木施設が作った風土文化（風土形成価値）	○	○	－	－	○	－	○	○	△	△	△	－	△	－	○	△	○	△	○
	文化景観の舞台としての土木施設の価値	○	○	－	－	○	－	○	○	○	○	○	－	－	－	○	－	－	－	○
	（懐古的価値）	○	△	－	－	○	－	○	○	○	○	○	－	－	△	○	－	－	△	○
技術歴史性	技術の卓越性	△	△	○	△	△	○	○	－	－	－	○	－	－	－	○	－	－	－	○
	地域社会への貢献度	○	△	△	○	△	△	○	○	－	－	○	－	－	－	○	－	－	－	○
	技術革新性（エポックメーキング）（歴史を画するものとしての価値）	△	○	○	○	－	○	○	－	－	－	○	－	－	△	○	－	－	○	○
	唯一性等希少価値	○	○	○	○	○	○	○	－	－	－	○	－	－	－	○	－	－	－	○
	最大・最高・最長・最古等（歴史記録性の価値）	△	○	○	○	－	○	－	－	△	△	△	△	△	○	○	△	△	○	○
景観性	ランドマーク性（シンボル的価値）	△	－	△	－	△	△	○	△	△	△	△	△	○	－	○	△	○	－	○
	審美的景観性価値	△	－	－	－	－	－	－	－	△	△	△	○	○	○	○	○	○	○	○
知的充足感	学術的価値	△	○	○	○	－	－	－	－	－	－	○	－	－	○	○	－	－	○	○

○……保存したいもの
△……保存したいものもあるが、保存しなくてもよいものもあるというように、保存したいものとしなくてもよいものとが混在しているもの
－……保存しなくてもよいもの



図－１　土木遺産の分類と保存手法の関係

分類と保存手法との関係を、図－１に示す。

以下、分類別にそれぞれの特徴について論述する。

（１）名称

施設（もしくは事業）名称の保存は、最も簡単でありその利用法によっては非常に効果的なものである。

名称には、地域のアイデンティティの醸成や風土の形成効果があるのみでなく、地域のシンボルとしての価値も非常に高い[2]。

名称が地域のシンボルとなった著名なものとして豊橋の例がある。当初吉田という集落名であった場所に豊川にかかる橋として豊橋が施工され、現在では豊橋が市の名称になっている。翻って、日本最古のコンクリート橋が現存しているが無名橋となっている。これは土木遺産の伝承に失敗した事例であろう。

また、古来より景勝地の評価選定として用いられている「八景」もこの名称の保存に含まれる。近年、新しい八景の指定を行ない、地域のＰＲ等に活用している事例が散見されるが、地域への影響は極めて大きく[3]名称という無形土木遺産の効果的な保存事例といえよう。

現代でも地域のアイデンティティの形成、風土形成のため、富士川２２選、多摩川八景といった選定が試みられているが、これも八景と全く同様と考えてよく、名称という形での土木遺産の継承への試みに他ならない[4]。名称が認定証という記録に残され、案内図や記念碑という形で現地に痕跡が復活され、祭といった形で伝承されていく。このような複合的・相乗的な保存の核となるものが名称であろう。

（２）土木工法

土木遺産としての土木工法には、施工法はもとより、材料の調達・加工手法、といったものまで含まれる。例えば河川の伝統工法である粗朶沈床工法においては、その材料である粗朶自身が入手困難であり、またその連柴結束についても経験と知識が要求される[5]。

工法の保存・伝承は、書物や映像による保存が考えられる。特に映像による保存は技術の再現を行な

う上で今後非常に重要となってくる。

また、工法が儀式の一つとして伝承されている場合がある。例えば労働歌である[6]。築堤・締め固めが人力で行なわれていた時代、施工性の向上のためには多くの人間がタイミングを合わせる必要があり、そのためいわゆるよいとまけ・労働歌が発生した。これらの歌詞には土木工法の一端が伝承されている。

さらに、この場合に最も重要な保存伝承は、伝承者（人材）の育成であろう。これは文化財保護法にいう重要無形文化財保持者、いわゆる人間国宝に対応すると言っても良い。この技能継承は、重要かつ困難な課題であり、そのための施策も必要とされている。建設省で平成４年度から行なっている建設マスターの表彰も、このための施策の一つに位置付けられよう。

（3）史実

これには、当該施設計画の着想、調査設計における工夫、事業化への調整、用地交渉の経緯、地元調達の内容、過去の史実等、である。これらの情報は、現在においては一般には人、もしくは組織におけるノウハウとして口伝の形で伝えられ、歳月の中に埋没してしまう場合が多い。しかしこれらの史実はその時代の生活文化とも密接な関係を有し、考古学等の他分野の学術的価値をも包合している（実際、考古学とは人類の生活に関する物理的痕跡を材料として人類の歴史を明らかにしようとする学問であり、その痕跡には古墳や条里跡、建造物基礎等の土木施設が非常に多い）。用地交渉などの経緯は土地所有の考え方の変遷と不可分であり、調整の内容は時代の社会構造を反映しているはずである。

さらに過去の事業そのもの、または事業にまつわる逸話等は民話や祭の形で伝承されている。例えば鬼が架けた橋の民話は全国に残っている。また四国高松の膝神社のように、ため池築造時の人柱といった土木事業にまつわる悲しい事実が縁起として伝承されている事例もある。

（4）行事儀式等

行事儀式には、祭礼、歌・音曲、イベント、儀式等が含まれる。

土木事業の完成は地域の悲願の達成であり、その日はお祝いとなる。そのお祝いが全国的にも有名な祭となったものの代表に、山形の花笠踊りがある[7]が、これは感謝祭の一形態と考えられる。また事業における技術者が神としてまつられている事例がある。江戸時代初期の讃岐の築堤技術者・矢延平六である[8]。また彼への感謝の祭である「ひょうげ祭」は３百余年行なわれており、現在では香川県指定民俗文化財となっている。

さらに土木事業には悲しいことに前述の膝神社の人柱のみならず、事業における殉職者等の犠牲者が少なからず存在する。このため慰霊祭が行なわれている場合が多い。

近年の事業である井川ダム・佐久間ダム等においても、慰霊祭と感謝祭を含めた総合的なイベントが行なわれている[8]。

また、これらの行事儀式は通常定期的に行なわれ、ともすれば時間と共に風化していく事業に対する心を伝承していく手法としても極めて効果的である。

5．おわりに

土木事業とはそもそも地域の悲願達成の事業である。従って後世に残すべき文化には、その悲願の内容、達成へのプロセス、達成時（施設完成時）の喜びが大きなウェートを占めると考えられる。これらを伝承する手段として土木遺産を考えた場合、無形土木遺産の価値が明らかになってくる。

参考文献

1) 竹林征三・島谷幸宏・天野邦彦；歴史的土木文化遺産の評価と保存の考え方，土木史研究 No.15，1995
2) 竹林征三；文化遺産としての土木施設の名前に関する研究，土木史研究 No.15，1995
3) 竹林征三・皆川朋子；我が国におけるダム湖水景勝地指定の歴史的考察，土木史研究 No.15，1995
4) 竹林征三・望月正；河川における土木遺産の評価と伝承法に関する研究，土木史研究 No.15，1995
5) 河川伝統工法研究会；河川伝統工法，1995
6) 房前和朋・竹林征三；労働歌・どんつき節の変遷からみる築堤工法の土木史，土木史研究 No.15，1995
7) 竹林征三；ダム・ダム湖名称考 XXX，ダム日本 No.586，1993
8) 竹林征三；ダム・ダム湖名称考 XXIX，ダム日本 No.585，1993

歴史的・文化的施設の保存・活用

建設省大臣官房技術調査室

建設省土木研究所

目　　次

1. 研究目的 …… 195

2. 研究計画 …… 195

3. 事例紹介 …… 195

3.1 旭　　橋 …… 195

3.1.1 歴史的経緯 …… 196

3.1.2 施設現況 …… 197

3.1.3 保存活用状況 …… 197

3.1.4 今後の予定 …… 197

3.2 貞山運河 …… 198

3.2.1 歴史的経緯 …… 198

3.2.2 施設現況 …… 198

3.2.3 保存活用状況 …… 199

3.2.4 今後の予定 …… 199

3.3 横利根閘門 …… 200

3.3.1 歴史的経緯 …… 200

3.3.2 施設現況 …… 201

3.3.3 保存活用状況 …… 201

3.3.4 今後の予定 …… 202

3.4 大河津分水洗堰 …… 202

3.4.1 歴史的経緯 …… 202

3.4.2 施設現況 …… 203

3.4.3 保存活用現況 …… 204

3.4.4 今後の予定 …… 204

3.5 宇津ノ谷隧道群 …… 204

3.5.1 歴史的経緯 …… 205

3.5.2 施設現況 …… 206

3.5.3 保存活用状況 …… 206

3.5.4 今後の予定 …… 206

3.6 桜宮橋，淀屋橋，大江橋 …… 206

3.6.1 歴史的経緯 …… 207
3.6.2 施設現況 …… 208
3.6.3 保存活用状況 …… 208
3.6.4 今後の予定 …… 209
3.7 米原岩樋 …… 209
3.7.1 歴史的経緯 …… 209
3.7.2 施設現況 …… 210
3.7.3 保存活用状況 …… 210
3.8 大谷川砂防堰堤 …… 211
3.8.1 歴史的経緯 …… 211
3.8.2 施設現況 …… 212
3.8.3 保存活用状況 …… 212
3.8.4 今後の予定 …… 212
3.9 名島橋 …… 213
3.9.1 歴史的経緯 …… 213
3.9.2 施設現況 …… 214
3.9.3 保存活用状況 …… 214
3.9.4 今後の予定 …… 214
3.10 首里城 …… 215
3.10.1 復元の意義と事業経過 …… 215
3.10.2 施設現況 …… 216
3.10.3 活用状況 …… 216

1．研究目的

近年、個性的で魅力ある地域づくりが望まれている。地域の個性とは、その地域の自然及びその地域が経てきた歴史であり、その地域が持つ文化であろう。それら歴史性・文化性の端的な表現が地域景観である。その中でも骨格となる社会資本、公共施設の果たす役割は大きい。しかしながら、高度成長期においては社会資本の充足という国家的要求があまりに高く、公共施設を機能的価値のみ大きく捉え、歴史的・文化的価値側面に対する配慮が十分とはいいがたかった。このため、地域発展の核であり地域の表象とも言える土木施設に関して、その履歴すら判然としない事例も数多く見受けられる状態である。最近は、公共施設の歴史的・文化的価値を再発見し、地域づくりの中で活用している事例も見受けられるようになりつつあるが、老朽施設の保存修復や活用手法についてのノウハウが少ない。

そこで、現在活用されている土木施設の事例を収集し、各種の活用方策や保存方策について整理することにより、今後の歴史的文化的施設の保存や活用を検討する際の方向性を示すことが本課題の目的である。

2．研究計画

平成７年度においては、各地域における歴史的施設の保存活用の代表事例を抽出し、保存手法の是非、活用の効果、地元との連携、そして公共施設の歴史価値、文化価値とは何か等についてディスカッションする。次年度は、活用事例を施設またはタイプ毎に整理するとともに、保存活用の要点や留意点をまとめ、最終的には事例集を作成する。

3．事例紹介

以下、各地域における歴史的文化的と思われる施設における代表的な活用事例を紹介する。なお、事例の選択にあたっては地域的バランス及び施設タイプのバランスを考慮していることを付記する。

3．1　旭橋

施設名	旭　橋
所在地	北海道　旭川市　常磐通～本町
	河川道路名　一級河川石狩川　国道40号
建造年	1932年（昭和７年）
管理者	北海道開発局
構　造	形式：ﾌﾟﾚｰｽﾄﾘﾌﾟ・ｷｬﾝﾁﾚﾊﾞｰﾀｲﾄﾞｱｰﾁ橋＋ﾜｰﾚﾝﾄﾗｽ橋
諸　元	橋長：226m　　幅員：18.3m

表３－１－１　旭橋諸元表

３．１．１　歴史的経緯

昭和４年11月　着工

昭和７年11月　完成

初代『旭橋』は明治37年、北海道で２番目の鋼道路橋として、それまで『鷹栖橋』という木橋が架けられていた位置に架橋された。



図３－１　位置図

木床版を有するシュベッドラートラス（49.4m）を主径間に置き、側径間は木桁６連で構成されていた.

その後、交通量の急激な増加、交通荷重の増大に伴う旧橋の老朽化、路面電車を通したいという要望、旧陸軍第七師団司令部に通じる位置に架けられていたための軍事的要請、これらにより『旭橋』は２代目である現橋に架け換えられた。

設計指導に当たった当時の北海道大学工学部長・吉町太郎一博士は「旭川のシンボルになるような橋を」と考え、復興局の例を参考にし、橋梁形式を決定した。

昭和４年１月に計画が決定されると、直ちに設計を開始。半年後の７月に設計が完了した。

『旭橋』には以下のように構造的な様々の試みがなされており、これらが『旭橋』の構造信頼性を高め、塗装塗り替えと舗装の部分的な修復のみで現在でも共用される耐久性を実現した一因となっている。当然、これらの試みが鋼構造技術の進歩に寄与した業績は大きく評価できるものである。

・中央径間のブレーストリブ・キャンチレバータイドアーチのタイにドイツ製の特殊高強度鋼材（ウニオンバウシュタール鋼）を使用。

・中央径間のタイドアーチと側径間のワーレントラスのつなぎにロッキングカラムを使用、温度変化をこれで吸収。

・床版にバックルプレートとシンダーコンクリートを使い、強度・耐久性の向上を図りながら、軽量化を実現。

・橋門構の一部に当時としては画期的な溶接を採用する。

上記中の高強度鋼材は、永代橋・清州橋などに使われていたデュコール鋼という低マンガン鋼を予定していたが、材料が入手できなくなり性質の良く似たウニオンバウシュタール鋼を採用するに至ったものである。

開拓功労者である矢島宇八一家三夫婦により渡橋式が行われ、その後、近くの小学校で竣工祝賀会を行う盛大なものであった。この時の橋に満載する群集荷重によりたわみを計測し載荷試験の代用とした。

第七師団への玄関に位置するため、橋門構には第七師団長佐藤已之助中将の筆になる軍人勅諭、五箇条の大額を掲げ、多くの出征兵士が戦地に向けてこの橋を渡り、遺骨が無言

でこの橋を渡るという軍都旭川を象徴する橋でもあった。

鉄製の高欄は昭和19年、軍に供出、木製高欄となるが、昭和32年鉄製の高欄に取り替えられた。

架橋当初は路面電車が運行していたが、昭和31年廃止された。これにより、設計時に考慮していた電車荷重が解放され、現在でも使用できる耐荷力を保有できる形になった。

ランタン型の照明灯がついていたが、昭和41年水銀灯に交換される。昭和58年復元。

平成４年、旭橋還暦（架橋60年）を記念してリベラインフェスティバル開催。周辺の河川敷は7.7haの河川公園が整備され、花火大会・夏まつり・冬まつり・消防フェスティバル等の多彩な行事が開催されている。

塗装は10年おきに塗り替えられているが、その度に異なる色に塗り替えられている。

３．１．２　施設現況

現況写真を右に示す。

高欄はオリジナルではなく戦後、新たに付けられたものである。また、照明灯は復元されたものである。橋梁本体には補強・修理等は行なっていない。



写真３－１－１　現況

３．１．３　保存活用状況

市民に親しまれる橋として様々な地域イベントが行なわれており、開発局としても積極的に参加している。

年に１度、『旭橋』の近くで行われる「夏まつり」には橋上からの滝と橋のライトアップにより参加している。

また、旭橋付近の整正された河川敷には、旭川市により公園が設置されており橋をシンボルとした市民の憩いの場となっている。

さらに、「冬まつり」には雪像が作られるメイン会場として利用されている。

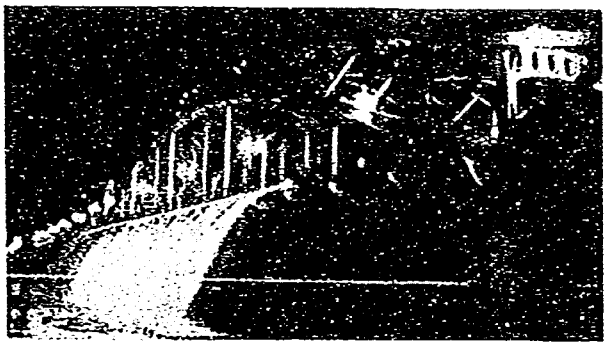


写真３－１－２　夏祭り

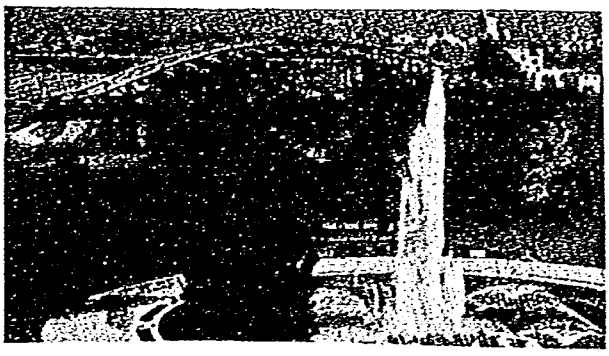


写真３－１－３　公園

３．１．４　今後の予定

市民の間でも北海道３大名橋の中で、唯一の現存の橋として永久保存の声が上がっている。

そこで、開発局では旭川市と協力して、旭橋のライトアップを継続するべく準備を進めている。

3．2　貞山運河

施設名	貞　山　運　河	
所在地	宮城　県　岩沼市　寺島　～　塩釜　市　塩釜港	
	河川名	一級河川　阿武隈川～五間堀川合流点　五間堀川 五間堀川～増田川合流点　南貞山運河 増田川合流点～名取川　中貞山運河 名取川～七北田川 七北田川～塩釜港
建造年	１５９７年～１６７３年	
管理者	宮　城　県	
諸　元	延　長＝31.5(28.9)m　幅＝24～45m　水深（干潮時）＝0.3～1.3m	

※延長の（ ）内の数字は現存のする長さ

表３－２－１　貞山運河諸元表

3．2．1　歴史的経緯

貞山運河は宮城県の阿武隈川河口付近から太平洋岸に沿って、塩釜港に至る水路で、その造成年代より３つの運河からなる。南から阿武隈川河口～名取川河口までの約１５Ｋｍを「木曳堀」あるいは「南貞山運河」、名取川河口～七北田川までの約９．５Ｋｍを「新堀」、七北田川河口～塩釜港までの約７Ｋｍを「御船入堀」と呼び、これらを総称して「貞山運河」と呼ばれている。

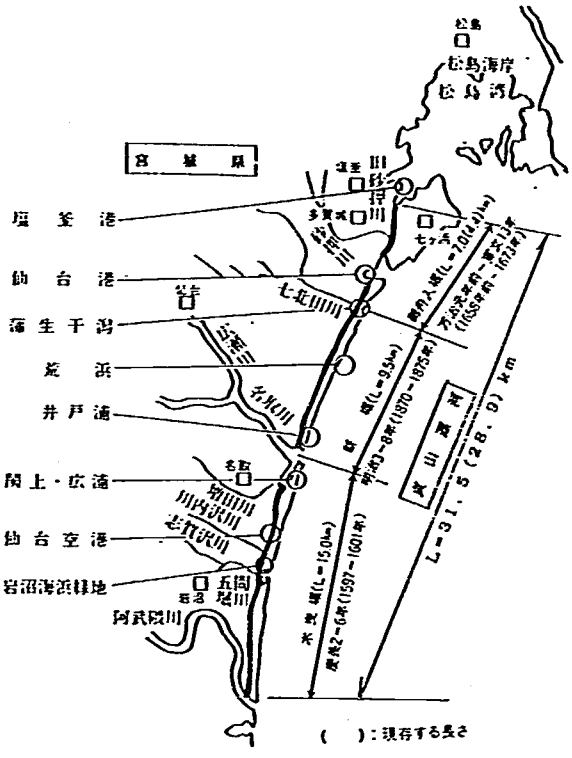


図３－２　位置図

「木曳堀」は貞山運河の中でも、もっとも早く開削された区間であり、1601年（慶長６年）までに作られたものと伝えられ、伊達政宗の発案で、仙台城や城下町建設の用材（材木・薪など）運搬のために開削されたものである。

木曳堀に次いで伊達家二代忠宗の時代に開削されたのが「御船入堀」。仙台藩の北部と仙台を水運で結び、年貢米等を仙台城下に運ぶため開削され、難工事であったと伝　えられている。

「新堀」は木曳堀と御船入堀を連結するように、明治維新後の廃藩置県に伴う士　民救済事業の一つとして開削されたものであり、木曳堀、御船入堀とともに、東東　北の大動脈として、宮城県の発展の礎として明治末期まで盛んに利用された。　しかし、明治以降は鉄道（仙石線）の整備に伴い衰退し、その後は食料増産対策　や農業基盤整備等の事業促進によって、周辺耕地の排水河川の役割を担っている。

3．2．2　施設現況

貞山運河は、明治中期の野蒜築港の関連事業として大改修を受け、以前は上幅７～１４

間、干汐下水深３尺程度（牛生・蒲生間）であったものが、干汐面上幅で５５～８４尺、低幅で３０～４７尺程度に拡幅改修が行わた。貞山運河を挟んだ両脇には、開削後遅くない時期に植林された松林や、岸辺の石積みもしっかり残っており、舟運としての機能がの果たせなくなった現在でも当時そのままの風景が残っている。



写真３－２　現況

３．２．３　保存活用状況

現在の貞山運河は排水河川としての役割の他に、四季にわたってレクリェーションの場場として多方面に渡り広く市民に利活用されている。

阿武隈川河口～名取川間は、東北大学漕艇部の艇庫もあることから学生たちのレ　ガッタ練習コースや、少年団のボート練習コースとして利用されている。また、運　河沿いには、サイクルスポーツセンターをはじめ、仙台亘理自転車道路が整備され、　サイクリング大会やマラソン大会なども行われている。また、七北田川～名取川間では仙台市海岸公園の整備が進められており、野球場６面、テニスコート１０面等のスポーツ施設が一部開園している。さらに、七ヶ浜町～塩釜港付近では漁船のほかヨットやクルーザー等様々な船の繋留拠点として活用されている他、フナやハゼ、ボラ、オオガイなどの好漁場として釣りファンから注目されている。

３．２．４　今後の予定

平成２年１０月に宮城県知事のからの要請を受け、歴貞山運河の歴史的な背景とその偉業を新しい観点から復活させ、さらに保全を図りながら地域づくりの核として調和ある総合的整備を行うため「歴史的河川活用化計画懇談会」（委員長：東北大学名誉教授加藤陸奥雄、幹事として東北地建が参画）を設置され、歴史的河川の活用化についての検討が行われた。その後、平成４年２月には「歴史のかおる運河整備事業」が提案され、宮城県では、このマスタープランを受け、貞山運河を含めた周辺施設の整備事業を計画的に行っている。「歴史のかおる運河整備事業」の概　要を以下に示す。

○千賀の浦拠点　ｸﾙｰｼﾞﾝｸﾞやﾏﾘﾝｽﾎﾟｰﾂの基地として、都市的な海洋ﾚｼﾞｬｰ拠点整備
○仙台港地区拠点　業務・商業・住居の機能集積を図るとともに、海上交通の中枢としての機能をもつ国際交流拠点整備
○蒲　生　拠　点　自然と交流のできる拠点整備
○荒　浜　拠　点　気軽にゆったりとした時間を過ごせるよな拠点整備
○井戸浦拠点　自然観察拠点整備
○閖　上　拠　点　漁業を活用した活動的な賑わいのある拠点整備

３．３　横利根閘門

施設名	横利根閘門
所在地	茨城県稲敷郡東村西代地先 河川名　一級河川　横利根川
建造年	１９２１年（大正１０年）
管理者	建設省　利根川下流工事事務所
構造 諸元	形式：合掌扉複閘式（マイターゲート式） 閘門の有効長：９０．９ｍ　　幅員：１０．９ｍ

表３－３－１　横利根閘門諸元表

３．３．１　歴史的経緯

横利根閘門は、『利根川改修工事』に基づく２期改修工事の一部として、横利根川の利根川合流口に、利根川出水時の逆流による霞ケ浦沿岸の氾濫を防止するとともに、高水時といえども舟運に支障をきたさない構造を目的として、大正３年から約７年間の大工事の末、大正10年 (1921) に完成した閘門である。

横利根閘門の建設前は、平時に霞ケ浦から横利根川、常陸利根川によって利根川に流水が注いでいたが、洪水時には利根川の水位がはるかに高く、このため利根川の洪水は横利根川より逆流し、牛堀で大半の水は左折して霞ケ浦に入り、湖岸の稲敷・新治・東茨城・行方の４郡20町村に氾濫が及んだ。

舟運の状況は、利根川水系における汽船航路の５航路は横利根川を経由するものであり、横利根川が利根川と霞ケ浦、北浦を結ぶ舟運の要衝であったことがわかる。大正時代の横利根川を通過した船舶数は、年間５万隻程度の航行があったが、その後物資の輸送は陸上輸送に代わり、舟運は衰退した。最近では、漁船や釣船などが年間に１～２千隻程度この閘門を航行している。

建設工事は、利根川改修工事第２期工事の中心工事であり、内務省第一区土木監査署が全力を傾注して取り組んだ大工事であり、この工事の特徴として、ガットメル浚渫工・潜水作業・水中コンクリート工などの最新の工法を用いた。また、施工に当たっては慎

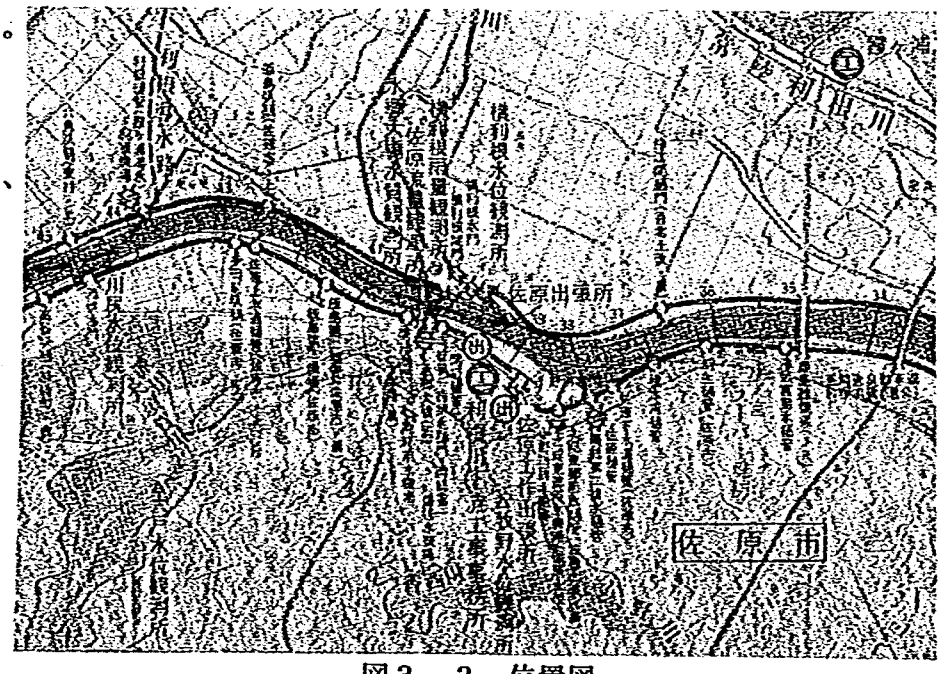


図３－３　位置図

重な耐荷試験や材料
試験を行い、建設工事に関する研究開発を行っている。もう一つの特徴としては、先進技術に挑戦しているにも関わらず、すべて日本人技師によって行われている。

３．３．２　施設現況

大正10年（1921年）の閘門完成以来、平成の改築に至るまでの70年もの間、大きな改築はなかったが、部分的に補修が加えられてきた。

例えば、門扉は手動で動かすには重いため、門扉の下方が浮体となるような構造になっており、その部分の補修等の為の穴の蓋の部分等に手が加えられていたり、閘室の法面での防舷材が木製であったものを、鋼材で作成したり、法面上部にコンクリートブロック張で法面保護がなされている。

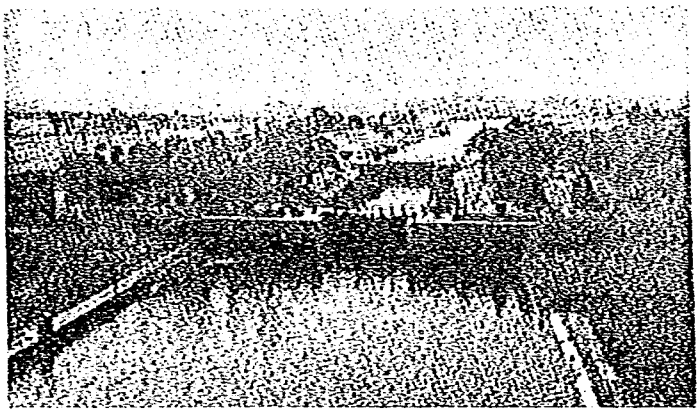


写真３－３－１　現況

周辺には、横利根閘門の管理小屋や、新しく建設された横利根水門およびその管理棟があり、閘門の左右岸には桜やツツジ等の植樹がなされており、春は桜の名所として近在の人々の憩いの場ともなっている。

３．３．３　保存活用状況

横利根閘門は、築造当時（大正10年）から大きな改築がなく、全体的に腐食が進行しており、門扉の桁材およびブラケット材では欠落も見られ、特に大門扉の桁とスキンプレート、小門扉の桁とスキンプレートで腐食が進行していた。さらに建設以来、船舶の航行のたびに、人力により閘門の開閉等の操作を行ってきたが、省力化のため自動化を図る必要が出てきた。さらに、横利根閘門は近代化遺産としての価値を持った歴史的な施設なので、次の理由によりできるだけ昔の工法で復元することにした。（横利根閘門改築に伴う保存調査検討委員会より）

１．利根川の洪水が霞ケ浦へ逆流するのを防ぐ目的もあって、当時としては画期的なものであった。
２．利根川の明治期の改修計画によって建設された構造物のうち、唯一残っており、現在も使用されているものである。
３．明治・大正時代のレンガ・石による独特な様式を維持している。
４．当時の先進技術を用い、日本人技術者のみによって作られたものである。

改築にあって設計上考慮すべきこととして、機能・構造を満足することは当然として、できる限り工事費を低減できる設備設計を行う必要がある。

しかし、本施設は歴史的意義、設置環境を考慮する必要があり、さらに、近代化遺産としての価値をもっているため、経済性のみでなく、原形に忠実な復元を検討し、景観とマ

ッチした構造物となるよう配慮し、改築を行うこととした。

これらのことから、操作のための自動化以外は原形復旧を基本とし、門扉は腐食した部分を切り取り、新しい鉄板を使って、そっくりそのまま復元した。鉄板どおしの継ぎ合わせも溶接を使わず、昔のとおり鋲（リベット）を用いて組立た。

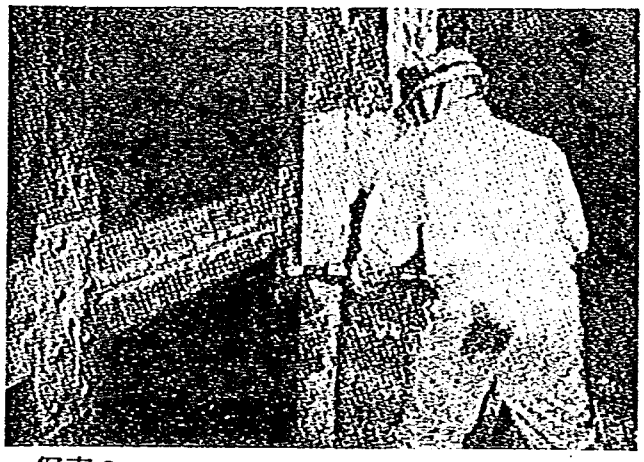


写真３－３－２　リベットを用いた組立作業

３．３．４　今後の予定

当該地区は、利根川水系河川空間管理計画において、「水郷拠点地区」に属する。この拠点地区の整備方針は、「水郷佐原の川とのふれあい空間」をキャッチフレーズとして、水郷の玄関口としての美しい水郷景観の保全や、利根川下流の中流部の中心都市である佐原中心市街地の歴史と伝統の保存に配慮した空間づくりを行うことをめざしている地区である。また、横利根閘門周辺には、県立大利根博物館、水生植物園、水郷十二橋、佐原河川敷緑地公園、香取神宮等の観光資源が豊富に存在し、これら施設のほぼ中央付近に位置し、中継地点としての機能を果たすには、好位置に存在している。

これらのことから　・横利根閘門の保有する歴史性をアピールする。
・水辺のオープンスペースとして活用する。
・サイクリングロード等によるネットワークを図る。

以上のことを基本方針とし、集客効果の発揮できる周辺整備計画を関係行政機関等と今後、調整する予定である。

３．４　大河津分水洗堰

施設名	大河津分水洗堰
所在地	新潟　県　西蒲原　郡　分水　町
	河川道路名　一級河川信濃川
建造年	１９２２年（大正１１年）
管理者	北陸地方建設局
構　造 諸　元	堰長　１４５．５０ｍ　　門数　２７門

表３－４－１　大河津分水洗堰諸元表

３．４．１　歴史的経緯

大河津分水洗堰は、大河津分水路分派点の本川側に位置しており、平常時においては下流へ必要流量を放流し、洪水時には全閉することにより洪水流の全量を分水路へ処理する機能を持つ分流水門であり、分水路通水時の大正11年（1922年）に建設された施設である。

この大河津分水路は、越後平野を水害から守る目的で、信濃川が最も日本海に近づく現在の分水町大川津地先から寺泊町野積地先までの約10Kmを人工的に開削した放水路である。

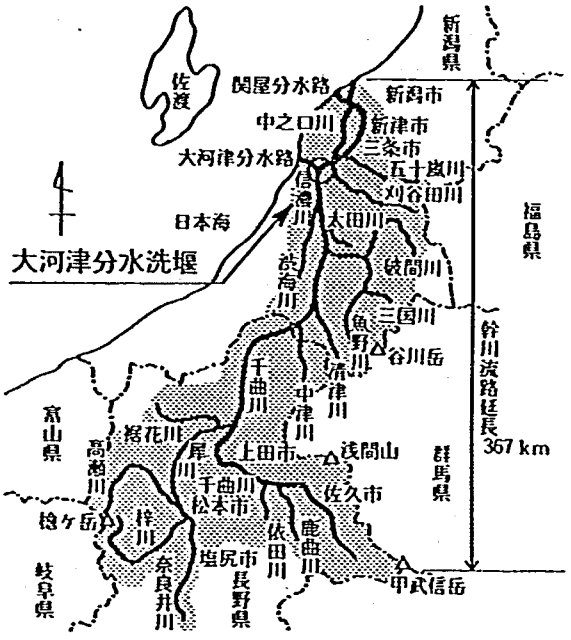


図３－４－１　位置図

越後平野の住民は、古来より毎年のように発生する洪水により、その都度潰滅的な被害を受けてきた。大河津分水路開削までの歴史は古く、江戸時代中期の本間数右衛門らによる江戸幕府への請願を発端に、以後幾多の請願が繰り返されたが、余りにも大規模な工事であるため幕府の許可を得ることはできなかった。明治３年７月、分水路工事は一旦着工の運びとなったが、同８年には財政難を理由に工事は延期となった。その後、明治29年７月の大洪水を契機に分水路工事の建議がなされ、同42年７月、国の直轄工事として15ヶ年計画で計画高水流量を 5,570m³/s とした分水路工事に着手した。この工事は“東洋一の大事業”と呼ばれ、近代的な土木技術と外国製の最新鋭の建設機械を投入し施工されたが、開削に伴う地すべりの発生など、難工事の末、大正11年８月、悲願の通水を迎えた。

この大河津分水の通水を記念して、地元有志の熱意により分水路堤防沿いに約６千本の桜が植えられ、現在では県内有数の桜の名所となっている。また、例年４月末には「おいらん道中」がこの堤防沿いで開催され、県内外より多くの観光客を集める一大イベントとなっている。

大河津分水洗堰は、竣工後の流量改定に伴い嵩上げ、補強を受けながら、７０年以上にわたり“越後の守護神”として下流域の発展を支えてきた“治水の要”である。

３．４．２　施設現況

洗堰は、昭和16年の流量改定（計画高水流量 9,000㎥/s）に伴い、昭和30年～34年にかけて大規模な改造が施されている。

改造工事の概要は、計画高水位の改定にあわせて堰頂高を嵩上げし、あわせて竣工時からのオーバーフロー式ローラーゲートの上に上段扉を新設し、中間フロー形式の構造に改造した。その後昭和41年には、上段扉と下段扉を接合し、アンダーフロー式ローラーゲート構造として現在に至っている。

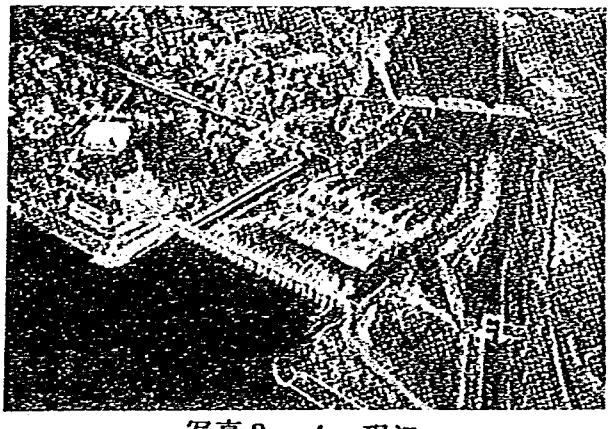


写真３－４　現況

しかしながら、洗堰は設置後70年以上を経過しているため、昭和57年９月出水においては右岸アバット部より漏水が発生し、その後

の調査で戸当床版の基礎部において水平な亀裂が面的に発生していることが確認されるなど、老朽化が顕著であることから早急に改築する必要がある。

このため、「特定構造物改築事業」として平成４年度より本洗堰の全面的な改築事業に着手しており、平成12年度の完成を目標に鋭意工事中である。

３．４．３　保存活用現況

洗堰の周辺には、分水路工事を記念した数多くの石碑が残されており、洗堰とともに多くの見学者が訪れる。特に、洗堰に隣接して整備されている「信濃川大河津資料館」には年間２～３万人の見学者が訪れる。

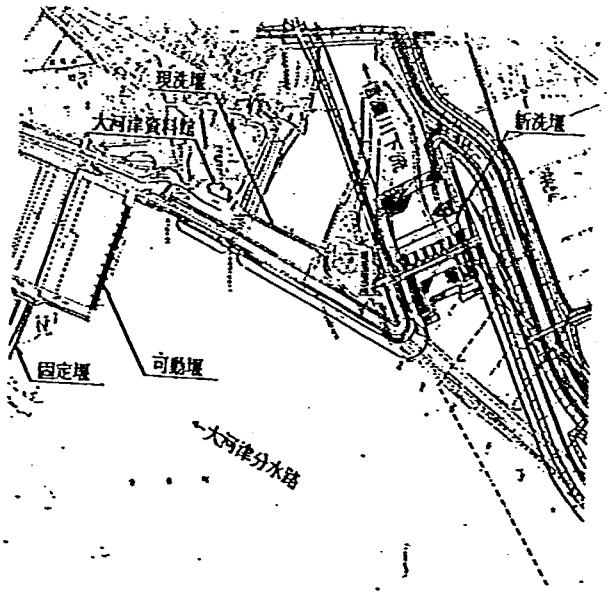


図３－４－２　洗堰改築計画平面図

洗堰改築事業においては、改築工事期間中も現洗堰の機能を維持する必要があることなどより、現洗堰の上流側に新洗堰を築造し、完成後に機能を切り換える計画としている。

したがって現洗堰は、新洗堰完成後その機能を停止するが、歴史的な治水施設であることより治水の歴史を学ぶ教材として「大河津資料館」や新洗堰、可動堰、石碑群と有機的に結び付け“治水博物館”的な学習機能と公園機能を持たせた周辺整備を行う方針で、地元自治体と連係して現在検討中である。

３．４．４　今後の予定

周辺整備計画の立案にあたっては、保存・活用計画を含めて検討するための委員会を設置し、その意見を踏まえて検討、策定する予定である。委員会は本年８月に設置されており、本年度は新洗堰の景観対策について、平成８年度は新洗堰と一体となった周辺整備についての基本方針を検討する予定である。

３．５　宇津ノ谷隧道群

施設名	明治第２トンネル	大正トンネル（宇津ノ谷隧道）	昭和トンネル（新宇津ノ谷隧道）
所在地	静岡県静岡市宇津ノ谷～志太郡岡部町岡部		
道路名	市道宇津ノ谷トンネル線（静岡市側）	一般県道藤枝静岡線	一般国道１号線
建造年	明治３７年 １９０４年	昭和５年（工事着手大正15年） １９３０年	昭和３４年 １９５９年
管理者	静岡市・岡部町	静岡県	建設省（静岡国道工事事務所）
構造諸元	延長　２０３．４ｍ 幅　４．１ｍ 高さ　３．９ｍ	延長　２２７．３ｍ 幅　７．３ｍ 高さ　４．５ｍ	延長　８４４．０ｍ 幅　１０．０ｍ 高さ　４．５ｍ

表３－5－１　宇津ノ谷隧道群 諸元表

３．５．１　歴史的経緯

静岡市街から一般国道１号線を西に向かうと、かつて箱根峠と共に東海道の難所の一つに数えられていた宇津ノ谷峠にさしかかる。峠を越える道は、遠く平安時代に開かれ、以後数回の変遷を経てきたが、常に第一級の道として用いられてきた。

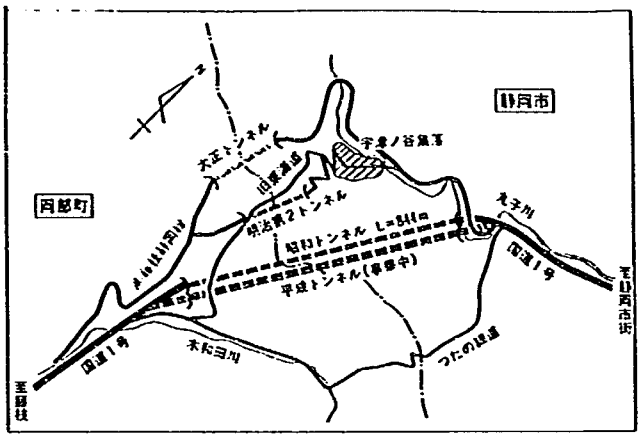


図３－５　位置図

平安時代から室町時代にかけての道は「つたの細道」と呼ばれ、平均勾配２４％の文字通り人一人が通れるくらいの細く険しい道であった。在原業平が『伊勢物語』で詠んだ歌「駿河なる宇津の山辺のうつつにも　夢にも人に逢はぬなりけり」がその名の始まりとされており、以後、風光明美なことから宇津ノ谷峠は数多くの文学作品に登場している。つたの細道は天正年間に入り、豊臣秀吉が小田原征伐の頃に造ったとされる「宇津ノ谷新道（旧東海道）」が開通するに至って廃道となった。

旧東海道は、つたの細道より標高の低い西の尾根越えに移動し、江戸時代に入って参勤交代と共に東海道として逐次改修され、道幅５～６ｍの立派な道であったとされる。

明治９年、初めてのトンネル（明治第１トンネル）の完成以降、現在施工中の平成トンネルまで合計５本のトンネルが宇津ノ谷峠を貫いた。初代トンネルは安倍川の川越人足の失業対策として計画され、地元民間人により組織された「結社」の負担により建設されたことから、通行に「道銭」が徴収される日本で初めての有料トンネルであった。　このトンネルの宇津ノ谷側は地盤が弱かったため当時としては珍しく、坑口部を硬質の「青石」で覆っていた。逆に、岡部側は比較的地盤が良く、旅人が露出する岩盤に不安を抱かないよう壁に杉や楠などの角材の合掌枠により覆ったとされている。

また、このトンネルは当時の測量技術が未熟であったため、トンネルがつながらず、完成したトンネルは「く」の字に曲がり段差があった。そのため内部は暗く、通行にはカンテラを用いていた。明治２９年（１８９６年）カンテラの失火により、岩盤が焼け落ち通行不能となった。このため、明治３５年（１９０２年）事業を県に移管し、改めて明治第１トンネルとほぼ同位置に２代目トンネル（明治第２トンネル・通称、豆トンネル）を堀り直した。新しいトンネルの覆工はレンガで施され、漏水のひどかった先代ものに比べより近代的なものとなった。

その後、我が国に自動車時代が訪れることとなり、大正９年には「第１次道路改良計画」が策定された。３代目トンネル（宇津ノ谷隧道・通称、大正トンネル）は、その計画の一環として計画され、トンネルの施工は、当時としては珍しい底設導坑先進掘削工法がとられた。土砂災害により一部改築されたものの、現在もその姿をとどめている。　以降交通需要の変化とともに、一般国道１号線として供されている４代目トンネル（新宇津ノ谷隧道・通称、昭和トンネル）、車線拡幅のために現在事業中のトンネル（平成トンネル）と変遷し、峠越えの労が軽減されていった。

３．５．２　施設現況

現存する明治第２トンネルは明治期を代表する構造であり、技術的、意匠的に際だった特徴はない。しかし、建設以来約９０年間当時のままの姿をとどめており、その希少性及び歴史性を評価して、岡部町では文化財の指定を検討している。

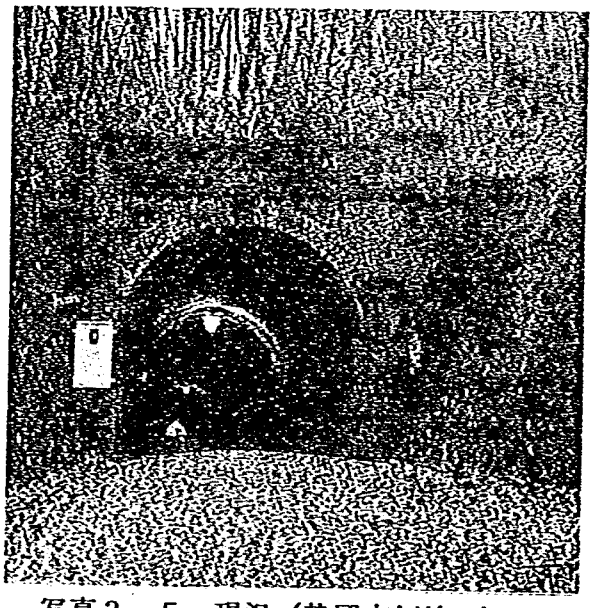


写真３－５　現況（静岡市側坑口）

３．５．３　保存活用状況

江戸時代から明治時代の古い街並みが残る宇津ノ谷集落から明治第２トンネルに至る街道筋は現在散策ルートとなり、トンネルは主に観光施設として活用されている。

平成２年に静岡市観光課が案内板とともにガス灯風の照明を設置し、ノスタルジックな雰囲気を醸し出している。

当地域を所管する建設省静岡国道工事事務所長が委員を務める「宇津ノ谷峠景観整備計画委員会」では、平成４年３月に宇津ノ谷峠一帯の歴史と自然に配慮した景観整備計画を立案し、建設省をはじめ県、市、町の事業に反映させている。建設省では現在、東海道ルネッサンス事業の一環として平成トンネルの静岡市側坑口付近に、歴史的景観に配慮した「道の駅」を計画している。

また、事務所が発行する広報紙を通じ、このトンネル群を紹介するとともに、「宇津之谷トンネル変遷史」を編集し、トンネルの歴史を後世に語り伝えている。

３．５．４　今後の予定

現在静岡県では、「歩くみちづくり事業」カントリー・トレールへの登録を図るべく準備中である。

３．６　桜宮橋、淀屋橋・大江橋

施設名	桜宮橋　（銀橋）	
所在地	住所　大阪府　大阪市　北区　天満橋１丁目　～　都島区　中野町１丁目	
	河川道路名	一級河川　大川（旧淀川），　国道　１号
建造年	１９３０年（昭和５年）	
管理者	近畿地方建設局	
構　造	形式　３ヒンジアーチ	
諸　元	橋長　１８７．８ｍ（主径間１０４．０ｍ）　幅員　２４．５ｍ	

表３－６－１　　桜宮橋　諸元表

施設名	淀屋橋・大江橋		
所在地	淀屋橋	大阪府　大阪市　中央区北浜３丁目　～　北区中之島１丁目	
		河川道路名	一級河川　土佐堀川　，国道２５号（御堂筋）
	大江橋	大阪府　大阪市　北区中之島１丁目　～　北区西天満２丁目	
		河川道路名	一級河川　堂島川　，国道２５号（御堂筋）
建造年	１９３５年（昭和１０年）（淀屋橋，大江橋） （初代淀屋橋は、江戸初期豪商淀屋が架けたといわれている）		
管理者	近畿地方建設局		
構造諸元	淀屋橋	形式　鉄骨鉄筋コンクリートアーチ	
		橋長　５４．５ｍ　　幅員　３６．４ｍ	
	大江橋	形式　鉄骨鉄筋コンクリートアーチ	
		橋長　８１．８ｍ　　幅員　３６．４ｍ	

表３－６－２　淀屋橋・大江橋　諸元表

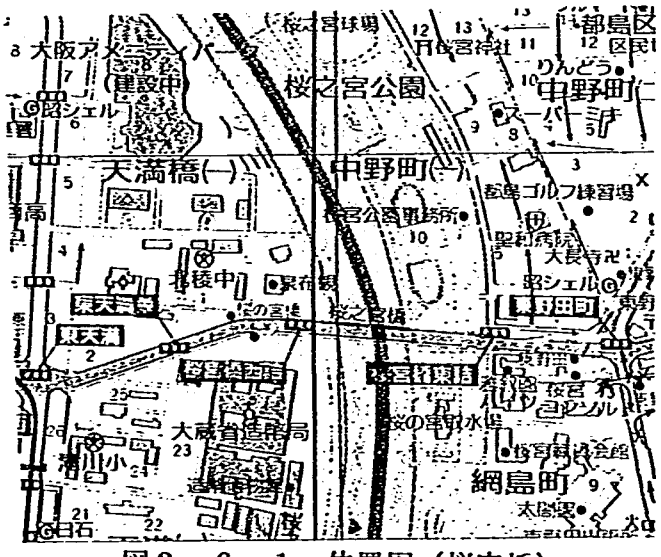


図３－６－１　位置図（桜宮橋）

３．６．１　　歴史的経緯

桜宮橋（愛称　銀橋）は、大阪市第一次都市計画事業によってつくられた天満蒲生線（現国道１号）の一環として新設された橋梁である。

戦前では日本最大のアーチ橋である桜宮橋の主径間を支える橋台は、支持地盤が悪いため基礎に径４０cm，長さ２０ｍのＲＣ場所打杭を２００本使用し、支持力を得ている。また、不等沈下も予想されたため上部工は、３ヒンジアーチを採用している。

戦後、国道１号の交通量増加など橋台に架かる負荷が増大し、１０数cmの不当沈下が生じ、また支間長も約３５cm拡がってしまった。

淀屋橋・大江橋は大正１０年に始まった御堂筋の整備の中で、改築されることになった。　当時、計画の中で架けられた橋は、どれも構造のみならずデザイン的にも力のこもったものが多いが、とりわけ淀屋橋・大江橋は大阪市庁舎前に架かる橋であるため、橋梁の設計としては珍しく、意匠設計をデザインコンペにより行った。両橋は昭

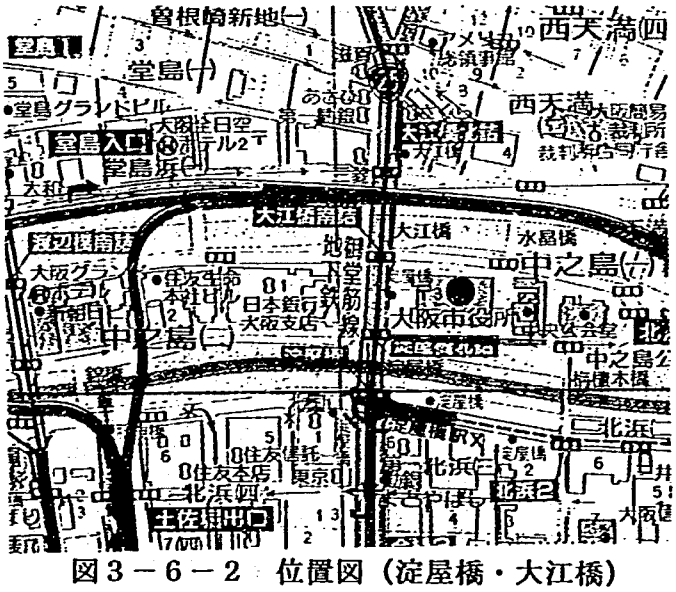


図３－６－２　位置図（淀屋橋・大江橋）

和１０年に完成した。

その後、・交通量の増大から御堂筋は６車線の南行き一方通行となった。

・地下水のくみ上げ等により橋周辺で地盤沈下を起こし、両橋とも橋脚が建設当時よりも水に浸かってしまっている。

３．６．２施設現況

（淀屋橋・大江橋）

御堂筋の一部である淀屋橋・大江橋は、大阪市内の主要幹線道路として交通を支えるとともに、大通りを歩く人々や中之島公園及び河川からの眺めは、市民に親しまれ愛されている。

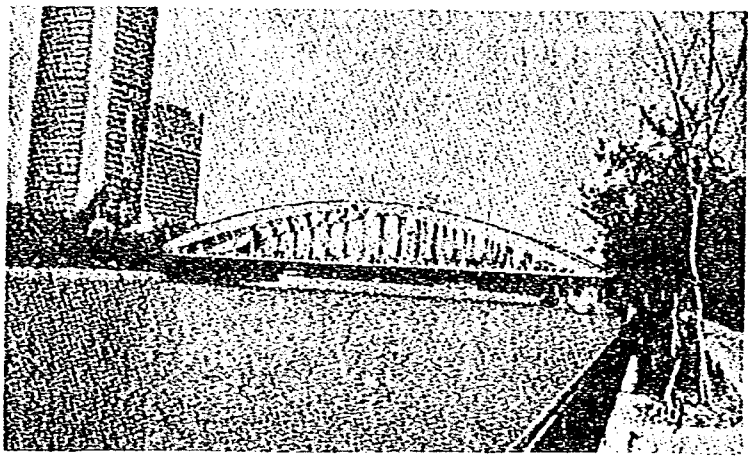


写真３－６－１　現況（桜宮橋）

３．６．３　保存活用状況

（桜橋）

・基礎の補強（基礎が不等沈下などによって、移動してしまったために、地中連続壁により補強）

・銀橋という愛称を守るために銀色塗装の継続

地元の取り組み

・天神祭りの見物には最適のスポットとして利用されている。

・水上バスの見学コースとして市民に親しまれている。

（淀屋橋・大江橋）

・バルコニー欄干や高欄部には青銅製の飾り格子がはめられていたが、戦争中に軍需資材として撤去され、木製のものに変えられていた。1987年に近畿地方建設局では青銅製の欄干への復元を行った。

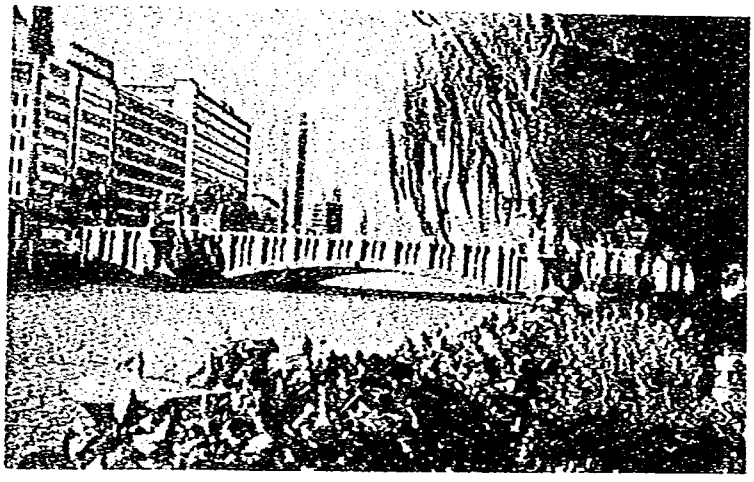


写真３－６－２　現況（淀屋橋）

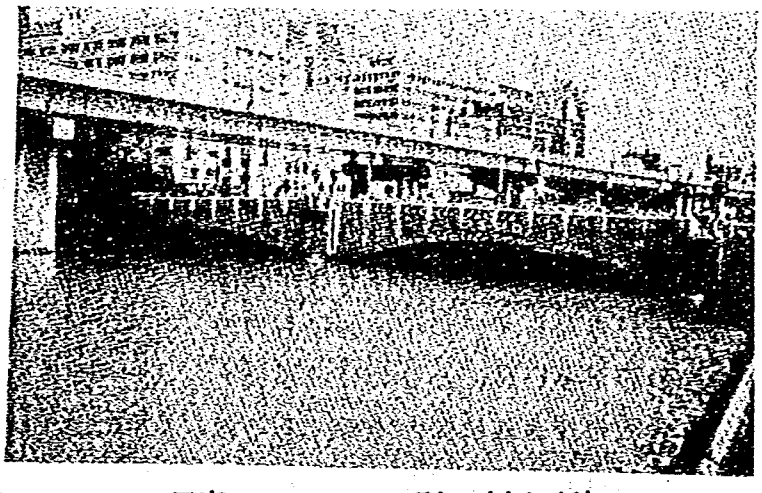


写真３－６－３　現況（大江橋）

・御堂筋パレード（１０月第２日曜日）に、日本道路公団、阪神高速道路公団と共同でフロートで参加している。

・歩道の再整備（植栽帯の整備、自然石による舗装）によりアメニティーの高いグレードアップされた歩道になっている。

地元の取り組み

・水上バスの運行などにより大川の橋梁群の眺めを見学することが可能になっている。

３．６．４　今後の予定

（桜橋）

国道１号の拡幅計画があるが、桜宮橋（銀橋）は保存し、隣に平行した桜宮橋の景観に配慮した橋梁を架橋する計画としている。

（淀屋橋・大江橋）

世界の大通りの一つである御堂筋の中に位置する淀屋橋・大江橋は、今後も市民に親しまれ愛されていくよう、御堂筋全域にわたる計画の中で保存・活用していく予定である。

３．７　来原岩樋

施設名	来原（くりはら）岩樋
所在地	島根県出雲市大津町来原
河川名	高瀬川（一級河川斐伊川から取水）
建造年	１７００年（元禄１３年）
管理者	斐伊川水系水利組合
構造諸元	素堀２．４０ｍ×３．６０ｍ　延長３６ｍ

表３－７－１　来原岩樋諸元表

３．７．１　歴史的経緯

近世の出雲平野は、東流した斐伊川による沼沢地と砂浜であった。

この沼沢地の干拓、水不足地域への送水は代々の藩にとって大問題であったため、慶長から安永に至る約１８０年の間に、干拓・潅漑あるいは植林事業が行われた。

来原岩樋は、先に完成１６８７年（貞享４年）した高瀬川の取水難を解消するために、１７００年（元禄１３年）に松江藩により開削された。

その結果高瀬川の舟運確保により、周辺の

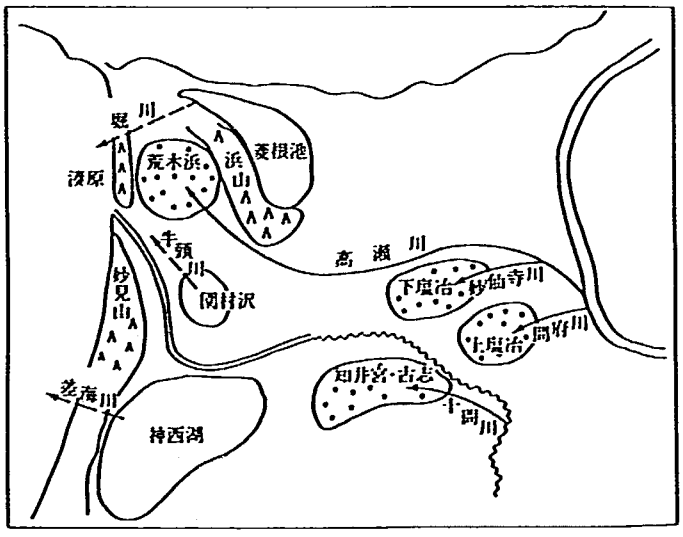


図３－７－１　位置図

米その他の物資輸送が盛んとなり、大阪への大坂お登米（のぼせまい）の集積が容易となった。

その後、斐伊川の大量の砂の流入、新田の開発も進み水需要が増したこと、斐伊川の河床が高くなり取水が困難になったこともあり、岩樋及び砂よけのための改修が行われた。

斐伊川の河床の流砂によって高瀬川との落差が大きくなり、取水が困難になり、岩樋の底も上がってくるため、舟も潜らせることができなくなるため、砂よけ堤防が１７７８年（安永７年）に完成した。これは水田の排水路として同時に２本の堤防が築造された。

この堤防は、舟運のための出入り口及び、若干の砂の流入を考慮して図のような構造で築造された。なお、岩樋を通るために水門の調整を行い今で言う「パナマ運河方式」により運行されていた。

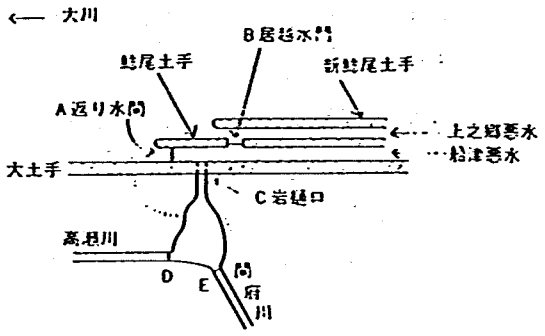


図３－７－２　構造平面図

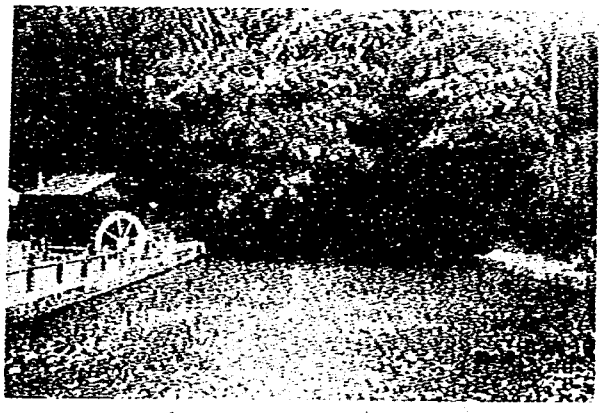


写真３－７－１　利用現況

３．７．２　施設現況

岩樋の計画取水量は４．００ｍ³/ｓで、潅漑面積は１，２６４．９ｈａである。取水量のうち高瀬川へは８５％が配水されている

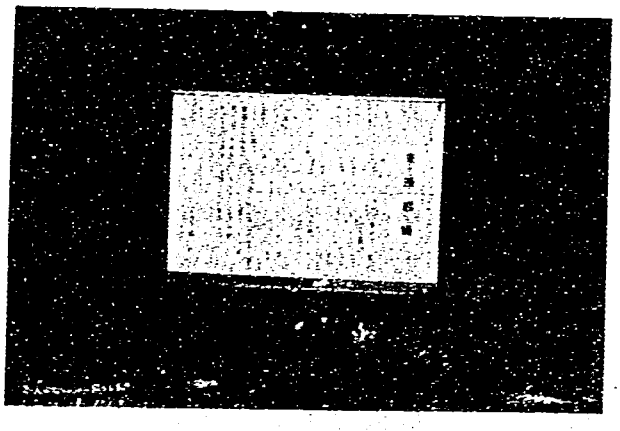


写真３－７－２　案内板

３．７．３　保存活用状況

高瀬川沿岸整備事業の一環として、取水口である岩樋付近の丘陵を「岩樋公園」として整備している。

高瀬川開削以来の郷土史の学習の場として見学者も多く、展示のできる休憩所も設置している。

また、広葉樹を保全し整備した散策道は自然観察等に利用され、さらに公園頂上からの斐伊川の眺めはすばらしく、市民の憩いの場となっている。



写真３－７－３　岩樋公園

３．８　大谷川砂防堰堤

施設名	大谷川砂防堰堤（デ・レーケの砂防ダム）
所在地	徳島県美馬郡脇町猪尻
	河川道路名　一級河川吉野川　支川大谷川
建造年	１８８６年～１８８７年（明治１９年～明治２０年）
管理者	徳島県
構造諸元	石堰堤工 （河床：粘土で締固め、下流側：松丸太基礎、表面野面石で被覆） 高さ　３．８ｍ　、長さ　９７ｍ　、幅　１１．２４ｍ

表３－８－１　大谷川砂防堰堤

３．８．１　歴史的経緯

いつ

明治２０年の建造。

建造目的

吉野川の治水対策の一端として、支川の荒廃流域からの流出土砂を抑制する必要があったため。

苦労等

政府が招いたオランダ人土木技術者ヨハネス・デ・レーケの指導により、その　吉野川検査復命書（明治１７年６月～７月の２ヶ月の現地踏査の報告書）に基づき、現地で調達可能な、土と木と石により、人力で構築した。

当時は、砂防工事が多数実施されたと思われるが、文献等詳細資料が残っておらず不明。

唯一、大谷川砂防堰堤のみが現存。



図３－８　位置図

3．8．2　施設現況

特に大規模な改修は行っていない。

（維持・管理）

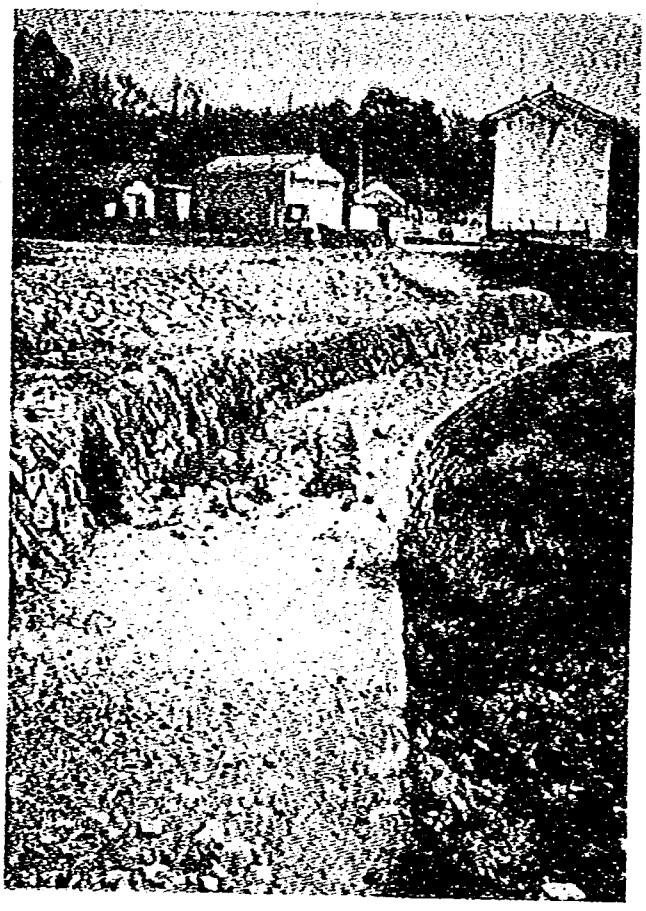


写真３－８　現況

3．8．3　保存活用状況

建設省としては、砂防環境整備事業（砂防学習ゾーン・モデル事業）として、環境整備を支援。

地元においては、堰堤周辺の清掃活動を実施。

また、デ・レーケに因み、オランダと日本の国旗を堰堤脇に掲揚しＰＲを行っている。

3．8．4　今後の予定

・「砂防環境整備事業（砂防学習ゾーン・モデル事業）」

：Ｈ７採択、以降継続、完了未定

堰堤を生かした、周辺環境整備事　業（歴史に残る砂防施設）を実施。

・「土木環境共生事業」（徳島県）：Ｈ６～Ｈ７

当初、県単で環境整備を計画。Ｈ　８以降国庫補助事業のみにより実　施。

・大谷川「水と憩いとふれあいの事業」協議会（脇町長会長）

地元自治体・有識者等が、堰堤を含めた大谷川の保存・活用について協議。

・「デ・レーケの大谷川砂防ダムを守る会」（地元住民の会）

地元住民が中心となって、堰堤周辺の清掃活動を行う。

3．9　名島橋

施設名	名島橋	
所在地	福岡県福岡市東区名島	
	河川道路名	二級河川多々良川、国道３号
築造年	１９３３年（昭和８年）	
管理者	建設省九州地方建設局福岡国道工事事務所	
構造諸元	形式　７径間連続鉄筋コンクリートアーチ橋 橋長　２０４．１ｍ　幅員　２４．０ｍ	

表３－９－１　名島橋諸元表

3．9．1　歴史的経緯

名島橋は、昭和５年に福岡県土木部によって工事着手され、昭和８年３月、アーチ構造の橋体に御影石を配した白亜に輝く美しい橋として誕生した。それまで多々良川には、木橋が架けられていたが、痛みもひどく、立派な橋を、というのが地元の大きな願いであった。その竣工式も県知事をはじめ市長、村長など２００人以上が集まり盛大に挙行され、福岡の発展を象徴するものとして当時の新聞でも大きく報じられている。福岡の東の玄関口にふさわしい名島橋は、６０年以上経た現在も、１日約６万台もの交通量をさばき、十分機能を果たしている。幅員は２４ｍと、当時としては破格の規模を有しており、なぜ、馬車や自転車が交通の主な担い手であった時代にこのようなスケールの橋が架けられたのか、その建設目的については、多くの謎を秘めている。

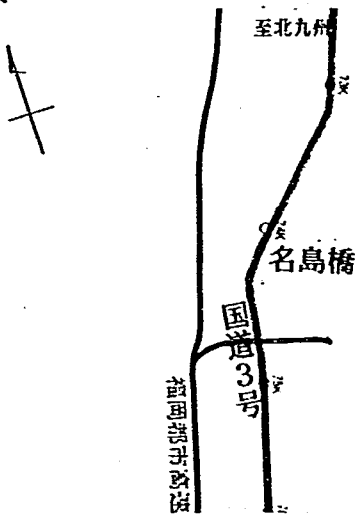


図３－９　位置図

昭和４年に国庫補助による国道工事事業、そして昭和６年には、直轄による国道工事事業がスタートし、産業振興・農村振興を目的とした道路改良事業５か年計画が策定されている。この中で、小倉から福岡を経由し久留米に至る国道の整備が重点事業として取り上げられており、この一連の流れの中で名島橋も構想・着工されたものと思われる。いわば、国庫補助事業の最初となるモデル事業といえるが、軍用道路として架けられた、路面電車の軌道を敷設する計画があったなどの説もあり、恐らく名島橋建設に携わった人々が、地域を代表する橋として、名島橋を日本一の橋にしようと、さまざまな名目をつくりあげたものとも考えられる。

名島橋の設計者は、当時、福岡県国道改築事務所の後藤龍雄所長で、また、コンクリート橋の第一人者である九州大学の吉田徳次郎教授の指導のもとで、当時の最新の技術により設計が行われたと言われている。一時、橋台の沈下によりアーチバランスが崩れ、落橋の危機もあったが、補強によって現在は健全な状態を保っており、その優れた英知は、今もなお九州の主要国道の一部として大きな役割を果たしていることからも伺われる。

３．９．２　施設現況

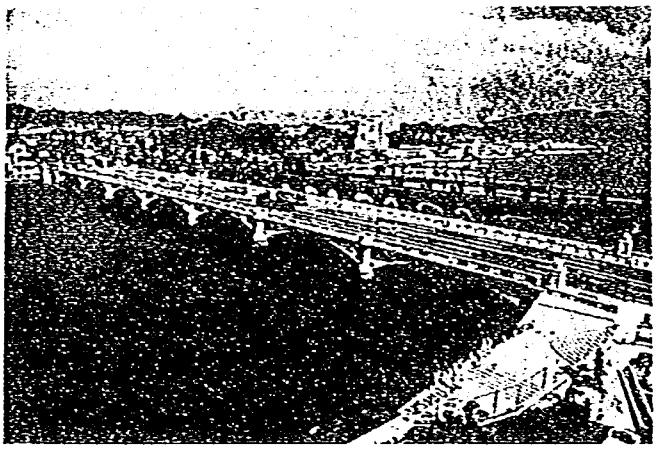


写真３－９　現況

福岡の発展、人々の暮らしを見守り続けてきた名島橋も、戦時中にカモフラージュのため塗られていたコールタールや排気ガスなどによって、白亜の橋体が汚れていたため、福岡国道工事事務所では、平成６年、架橋６０周年を記念して、建設当時の美しい姿に復元することを計画した。この整備事業では、親柱、高欄の洗浄、磨き上げとともに、戦時中に撤去された照明灯の復元、橋体に調和したブロンズタイプの横断防止柵の設置、御影石による歩道の舗装などが実施され、道路照明灯も架橋当時のデザインで取り付けられた。オレンジ色の照明に浮かびあがる名島橋は、再び地域のシンボルとして多くの注目を浴びることとなった。

３．９．３　保存活用状況

名島橋の整備事業は、「還暦祝い」として行われたもので、この事業に合わせ、福岡県による多々良川環境整備事業によって、名島橋のたもとに河畔公園が新設され、また福岡市も都市サイン事業を実施し、地元の歴史や文化を紹介するコミュニケーションサインを設置した。また、８月４日（橋の日）に「名島橋歴史ロマンフェスティバル」と銘打ち、シンポジウムや写真展、地元でのイベントを実施。各会場ともたくさんの人々が参加し、名島橋の還暦を祝った。この中で、新潟万代橋との兄弟橋縁組という大変めずらしいセレモニーも実現。これを契機として、福岡と新潟の新しい交流が生まれている。また、地元住民とともに行ったお祭り「名島橋サンクスフェア」は、平成７年８月４日にも引き続き開催され、地元の園児や小中学生から名島橋の絵画を募集。名島橋への深い愛情が確実に育まれていることが多くの作品に表れていた。本年のお祭りでは、地元の有志の発案によって、名島橋の清掃もあわせて行われた。

当初は当事務所が主導するかたちで進んでいた名島橋のイベントも、地元の人々の自主的な活動によって地域のお祭りへと定着を始めている。これは、人々の心の中にあった地域愛を、名島橋を媒介として、大きく膨らませることができた結果ではないかと考えられる。

３．９．４　今後の予定

名島橋のイベントは、今後も継続して開催していくことは確かであり、古くからの地域の祭りとの連動など、大きなひろがりが期待される。また、本年のイベントで行われた名島橋の清掃活動も、以後地元の人々により毎月１回自主的に行われている。名島橋は地域の人々の心をむすぶ大切な懸け橋であり、当事務所も、これから、ますます地元との絆を深め、地域との緊密な関係を築くことが、今後の道路事業の推進に大きく寄与するものと確信している。

３．１０．首里城

施設名	首里城正殿
所在地	沖縄県那覇市首里当蔵町３丁目
建造年	１９９２年（平成４年１１月復元完成（１７１２年当時の建造物））
管理者	住宅・都市整備公団
構　造	木造二重三階建て、入母屋造、本瓦葺
諸　元	建築面積６３７㎡　延べ面積１１９９㎡　最高棟高さ１５．４m

表３－１０－１　首里城諸元表

３．１０．１　復元の意義と事業経過

首里城は、琉球の歴史・文化の象徴であり戦前は首里城正殿をはじめ幾多の国宝・文化財が存在し、沖縄県はもとより我が国の貴重な国民的文化遺産であった。ところが、太平洋戦争により首里城一帯は最も激しい戦場と化し、すべての文化的遺産が灰燼に帰してしまった。戦後は跡地に琉球大学などが建てられたが、復帰以前の昭和３２年から守礼門を始め、円覚寺総門、園比屋武御嶽石門などの復元・修理が行われ、また復帰後も、「首里城の復元なくして沖縄の戦後は終わらない」という沖縄県民の世論のもとに、歓会門・久慶門・玉陵などの復元・修理がなされてきた。

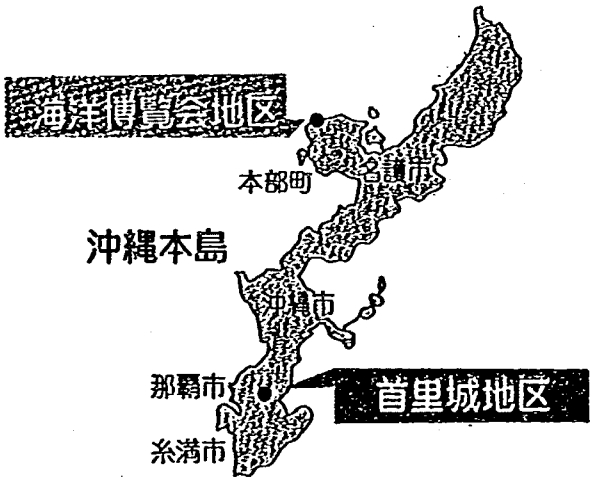


図３－１０　位置図

このような状況の中で、首里城の中心的施設である正殿を始めとする城郭内側の区域の復元の契機となったのは、昭和４２から５７年にかけて実施された琉球大学の移転計画である。移転にともない、那覇市や沖縄県を始めとしてその跡地利用計画が種々検討され、しだいに首里城一帯を公園とする案が有力化していった。これを踏まえて、昭和５７年の第２次沖縄振興開発計画の中には「首里城一帯の歴史的風土を生かしつつ、公園としてふさわしい区域についてその整備を検討する」ことが盛り込まれ、さらに昭和５９年には沖縄県により「首里城公園基本計画」が策定された。その後、昭和６１年に沖縄復帰記念事業として、首里城公園のうちの首里城跡の約４ｈａの区域を国営公園として整備することが閣議決定され、また、同年、国営公園以外の首里城公園の区域を県営公園として整備することが沖縄県で庁議決定されるなど、徐々に準備が進められ、平成元年１１月３日には首里城正殿建築工事の起工式が行われた。

正殿の復元の時代設定は、１７１２年再建（大正１４年国宝指定）を基本とし、可能な限り正確に復元整備するものであり、その工事内容は、かつて沖縄に継承されていた伝統技法の復活から最先端技術の活用まで極めて広範多岐に渡っている。

更に、実際の施工段階においても漆の塗師、石工、宮大工、陶工等非常に広範囲な職種の人々が多数参加し、その中で、はじめての経験からくる多くの問題を相互に調整しながら、完全復元を目指して一つ一つ地道に解決して復元整備を進めたものである。

３．１０．２　施設現況

正殿は二重三層（二重屋根三階建）の造りで、中国と日本本土の影響を受けつつも、随所に琉球独自の様式もみうけられ沖縄最大の木造建築物である。

御庭に西面し、石龍柱一対が建ち、柱は丸柱、正面屋根は唐破風、上層屋根は入母屋造本瓦ぶき両端に龍頭の棟飾りがある。

琉球独自の主な様式

・龍柱　・正面の末広がりの階段　・雲除け

・向拝柱の下部にとりつく二重の礎盤

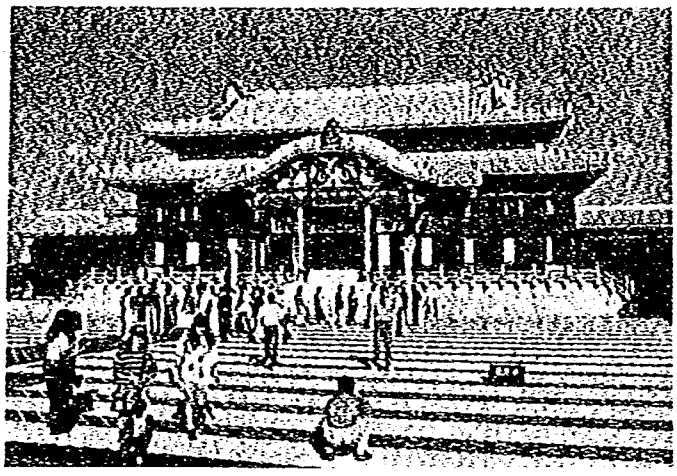


写真３－１０　現況

３．１０．３　活用状況

平成４年１１月３日正殿を含む部分開園以来、観光客を中心に多くの利用者があり、平成７年３月１５日には、入園者５００万人を達成し、平成７年８月末現在では、累計５７７万人となっている。催事として実施しているのは次表のとおり。

年月日	催事の名称	内　　容
４月２９日 ～ ５月５日	首里城公園 こどもまつり	特別企画（ラジオ公開番組） 子供民謡大会、子供芸能ステージ等
８月１２日	首　里　城 夏　ま　つ　り	県内を代表する琉球國まつり太鼓等３団体による大迫力の太鼓の演舞と地元出身で活躍中のグループによるコンサート
１１月１日 ～ １１月３日	首　里　城　祭	首里城復元を契機に首里城で育まれた琉球王朝文化のエッセンスを時代絵巻行列や御冠船踊などにより再現する
１月２日 ～ １月３日	首　里　城 「迎春の宴」	琉球王朝時代の正月行事及び芸能等、そのエッセンスを盛り込み初春を迎えるにふさわしい展示内容で来園者にアピール、イメージアップを図る

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

環境システム研究　Vol.23　1995年8月

流動制御によるダム湖水質保全対策におけるシミュレーション手法の検討

INVESTIGATION of METHOD to SIMULATE CURRENT CONTROL for RESTORING of RESERVOIR WATER QUALITY

丹羽　薫*,　久納　誠**,　古里　栄一***
Kaoru NIWA *, Makoto KUNOH **, Eiichi FURUSATO ***

ＡＢＳＴＲＡＣＴ；We suggested current control using dispersed aeration as one of the techniques for preserving water quality in reservoirs, which is able to restrict algal bloom by controlling the current artificially. We carried out field experiments on current control using dispersed aeration in some dam reservoirs and discussed the current control mechanism.

In this report, we suggest how to simulate water temperature, dissolved oxygen, total phosphorus, and chlorophyl-a and so on by using the current movement model previously obtained, and conducted field tests to verify this model. The model is derived from improvement of the One-dimension ecological model, which is widely used to simulate water quality in dam reservoirs.

The simulated and measured water temperature and other water qualities were good agreement, so the improved model proposed in this paper can be applied to evaluate effect of current control.
ＫＥＹＷＯＲＤＳ；water quality, current control, reservoir, aeration, simulation

１．はじめに

散気方式の曝気装置による流動制御は、ダム湖の水質環境を保全する一手法としてダム湖の流動を人為的に制御して藍藻類の異常増殖を抑制する方法である。著者らは、流動制御の現地実験をダム湖で行うと共に、流動制御のメカニズムについて公表してきた[1,2]。本報では、それらを元にさらに流動モデルを発展させ、これを用いて水温、ＤＯ、Ｔ－Ｐ、Chl-a等のシミュレーションを行う方法を提案し、その結果をダム湖の現地実験で得られた実測値により検証するものである。

シミュレーションは、ダム湖の水理水質解析に用いられることの多い鉛直一次元生態系モデルを改良して行った。その結果、水温および水質挙動については十分な精度で検証でき、本報で提案するモデルで流動制御の効果を表現できることが分かった。

２．流動制御システムの概要

流動制御システムは、ダム湖に混水で水温分布が均一である循環混合層を、表層から水深概ね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とを抑制し、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り、図－１にこの模式図を示す。このシステムの基幹設備である循環流制御設備（散気方式の曝気装置）により期待される効果を表－１に示す。現地実験期間中は効果３の前提条件である中小洪水が発生しなかったために、平常時で検証可能な効果１と２について述べる。

＊　正会員　建設省土木研究所環境部環境計画研究室　室長
Public Works Research Institute, Ministry of Construction
＊＊　正会員　水資源開発公団栗原川ダム調査所調査設計課長（前土木研究所環境計画研究室主任研究員）
Water Resources Development Public Corporation
＊＊＊　正会員　（株）環境調査技術研究所技術部（前土木研究所環境計画研究室部外研究員）
Environmental Investigation Technology Institute Co., Ltd.

3．現地実験の概要[3)]

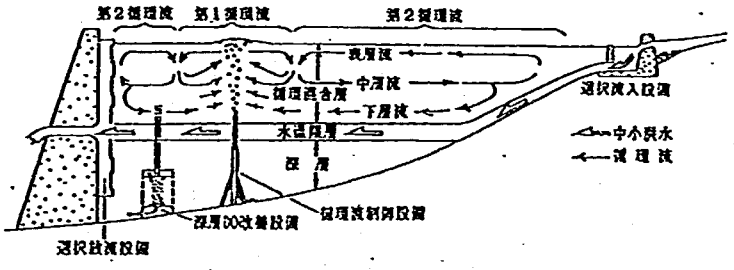
3.1. 実験条件

現地実験は、大分県山国川水系山移川の多目的ダムである耶馬渓ダム（提高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1993年と1994年の夏期に実施し、本報では1994年７月５日から10月14日にかけての実験結果について述べる。なお、耶馬渓ダムでは、1985年に竣工以来藍藻類や珪藻類が毎年のように多量に発生している。

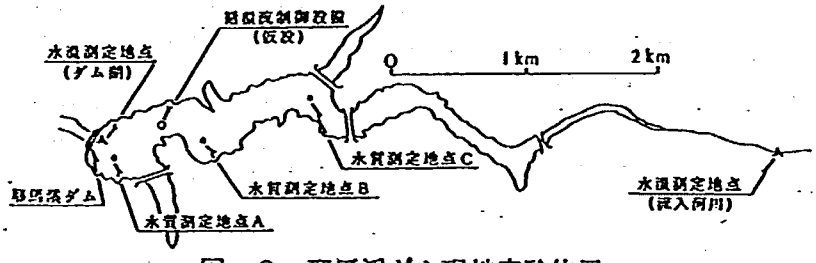
循環流制御設備の現地実験条件として、設備の設置位置を図－２に、設備の吐出空気量を表－２に示す。なお、吐出空気量は大気圧条件下のものである。図－２に示すように、ダム堤体から水平距離約500m上流の湖底に実験用の循環流制御設備を設置した。実験における空気量は最大5,500ℓ/min.であり、EL.141.2mに設置した噴出口は直径32mmの単一孔である。実験期間中の空気量は、表－２に示すように変化させた。

表－１　循環流制御設備の効果

効果	貯水に与える流動作用	植物プランクトン制御に及ぼす効果
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栄養塩の供給阻止
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	珪藻類や珪藻類がPO$_4$-Pを吸収したほ、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	表層にいる緑藻類への栄養塩類の供給を制限



図－１　流動制御システムの模式図



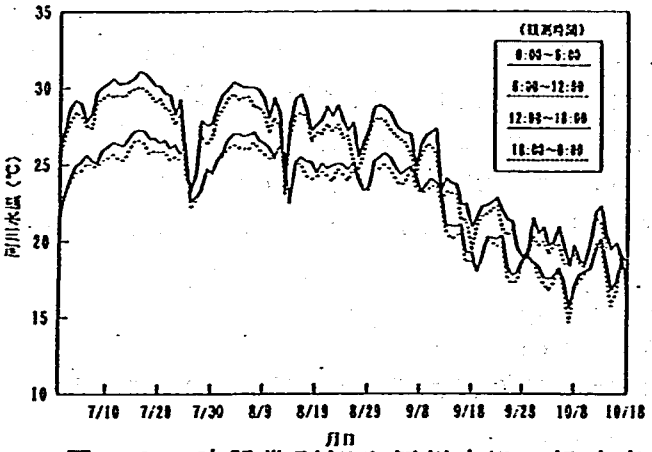
図－２　耶馬渓ダム現地実験位置

表－２　吐出空気量

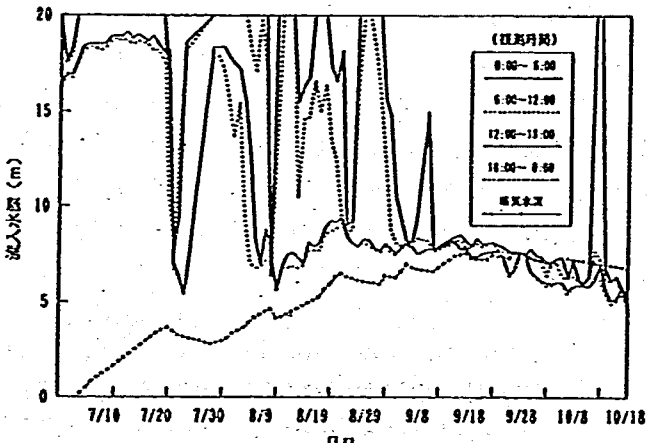
期　間	空気量
7／5～7／19	5,000ℓ／min
7／19～8／9	2,500ℓ／min
8／9～8／17	1,500ℓ／min
8／17～8／24	0ℓ／min
8／24～10／14	2,500ℓ／min

3.2. 実験結果

水温鉛直分布の経時変化をシミュレーション結果と合わせて図－14に、流入河川の水温とダム湖貫入層を図－３，４に、表層藻類細胞数およびChl-aの経時変化を図－５に示す。図－14を見ると、流動制御設備が稼働して約３週間後の7月26日には曝気装置上部に強固な水温躍層を伴う循環混合層が形成され、9月後半までこの水温分布が維持されたことが分かる。図－３に流入河川水温の連続

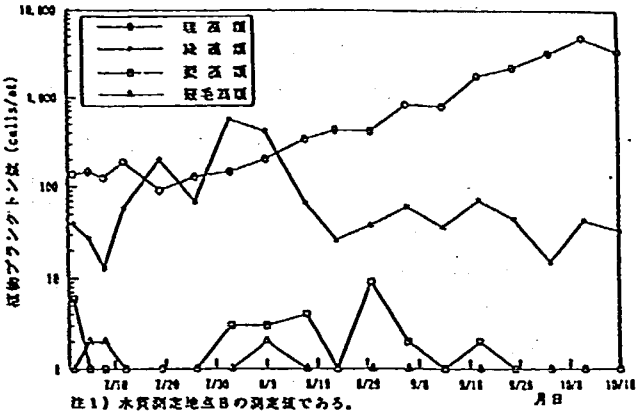


図－３　時間帯別流入河川水温の経時変化



図－４　ダム湖への流入河川水貫入水深

観測結果を、図－４にこれに基づいた流入河川水温とダム湖内水温分布が等しい層を示す。流入河川水温が時刻変動することにより水温から想定されるダム湖への貫入層も数mの規模で時刻変動していることがわかる。なお、曝気敷高は標高141.2mに固定したが、貯水位変化により曝気水深は徐々に変化している。図－５の表層部の藻類細胞数経時変化をみると、曝気開始後8月前半に緑藻類が一時期増殖したのを除くと概ね珪藻類が優占しており、8月から9月にかけて主に *Melosira distans* を中心として珪藻類が徐々に増加しているが、優占種が珪藻類であったために、水質的な問題は発生しなかった。

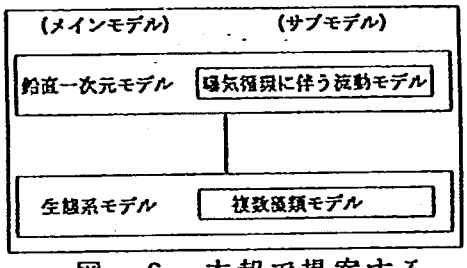


図－５　表層藻類細胞数の経時変化

４．シミュレーションによる検証

4.1. モデルの概要

本報で提案するシミュレーションモデルは、ダム湖の水理・水質解析に用いられることの多い、Huber－Ryan－Harleman によるいわゆる M.I.T. モデルと言われる鉛直一次元モデルと、生態系モデル[4]とをメインモデルとし、これに流動制御設備で生じる流動現象と生態系モデル中の Chl－a を藻類綱別の指標として分割した２つのサブモデルから成るものである。この概念図を図－６に示す。



図－６　本報で提案するモデル概念図

表－３　鉛直一次元モデル基本式一覧

$$\frac{\partial(vA)}{\partial t}=(u_i-u_o)\cdot B \quad \cdots\cdots (1)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t}=\frac{B}{A}(u_iT_i-u_oT)-\frac{1}{A}\cdot\frac{\partial}{\partial y}(v\cdot A\cdot T)+\frac{(a+D)}{A}\cdot\frac{\partial}{\partial y}\left(A\cdot\frac{\partial T}{\partial y}\right)+\frac{1}{\rho\cdot Cw\cdot A}\cdot\frac{\partial}{\partial y}(\phi A) \quad \cdots\cdots (2)$$

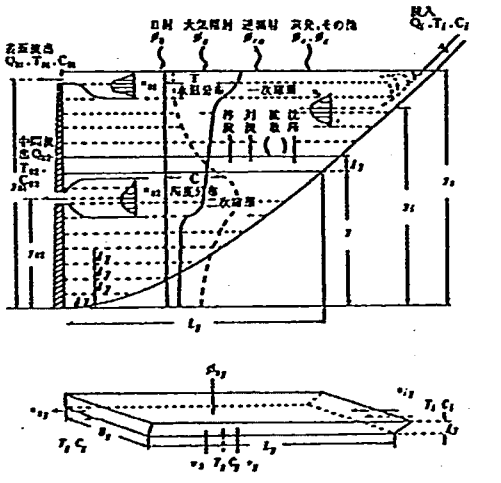
$$\frac{\partial C}{\partial t}=\frac{B}{A}(u_iC_i-u_oC)-\frac{1}{A}\cdot\frac{\partial}{\partial y}(v\cdot A\cdot C)+\frac{(a+D)}{A}\cdot\frac{\partial}{\partial y}(A\cdot\frac{\partial C}{\partial y})+\frac{1}{A}\cdot\frac{\partial}{\partial y}(w_c\cdot A\cdot C) \quad \cdots\cdots (3)$$

$$\frac{\partial X}{\partial t}=F(X)+V_s(X)+S(X) \quad \cdots\cdots (4)$$

$$F(X)=\frac{B}{A}(u_iX_i-u_oX)-\frac{1}{A}\cdot\frac{\partial}{\partial A}(v\cdot A\cdot X)+\frac{(a+D)}{A}\cdot\frac{\partial}{\partial y}\left(A\cdot\frac{\partial X}{\partial y}\right) \quad \cdots\cdots (5)$$

$$V_s(X)=\frac{1}{A}\cdot\frac{\partial}{\partial y}(w_s\cdot A\cdot X) \quad \cdots\cdots (6)$$

ここに，v：鉛直方向流速，u_i：流入水の水平方向流速，u_o：流出水の水平方向流速，y：標高，A：貯水池面積，B：貯水池平均幅，T：水温，T_i：流入水温，ρ：水の密度，C_w：水の比熱，ϕ：吸収熱，C：濃度，C_i：流入濃度，w_c：濁質の沈降速度，X：水質濃度，X_i：流入水質濃度，w_s：水質の沈降速度，a：分子拡散係数，D：渦動拡散係数，t：時間，$F(X)$：移流・拡散項，$V_s(X)$：沈降項，$S(X)$：生化学的生産・消費項　である。



T_y：標高 y の水温
C_y：標高 y の濃度
u_o：標高 y の流入水の水平方向流速
u_{oy}：標高 y の流出水の水平方向流速
v_y：標高 y の鉛直方向流速
w_s：懸濁粒子の沈降速度
Q_w：標高 y の鉛直方向の流量
q_{in}：標高 y の水平方向の流入量
q_{out}：標高 y の水平方向流出量
L_y：標高 y における貯水池長
T_i'：標高 y の流入水温
C_i'：標高 y の流入水濃度
A_y：標高 y の貯水池平面積
B_y：標高 y の貯水池平均幅
ϕ_y：標高 y に達する短射熱
a：分子拡散係数
D：渦拡散係数
ρ：水の密度
c：水の比熱
t：時間

図－７　鉛直一次元モデル概念

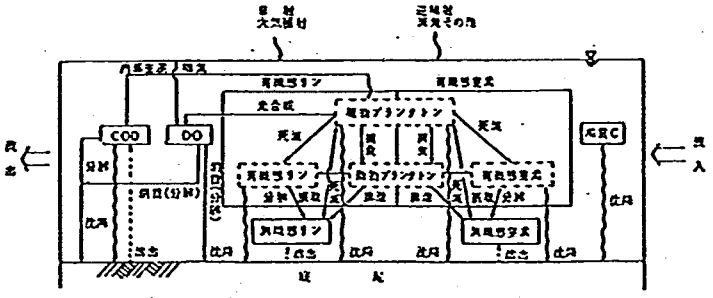
(1) メインモデル

1) 鉛直一次元モデル

鉛直一次元モデルの概念を図－７に示す。このモデルは、ダム湖の水温、水質分布は水平方向に一様と考え水深方向に1～2m程度の厚さでコントロールボリューム分割し、計算時間間隔毎に各層の移流、拡散量を計算し、その結果を用いて水温、濁度、各水質の計算を行うものであり、表－３に示すように連続式および熱量・質量保存式から成る。なお、移流・拡散量の計算においては、運動量保存則は適用せず流れの分布はCraya等の選択取水公式等を用いて与える。水質の生化学的生産・消費項については、2)で生態系モデルとして述べる。

2) 生態系モデル

生態系モデルの概念図を図－８に、基本式を表－４[4]に、またパラメーターを表－５に示す。湖沼やダム湖の水質変化を植物プランクトンと動物プランクトンの挙動を中心に表現しており、これらの消長と窒素およびリン、ＤＯ、ＣＯＤ等の水質変化を関連づけて表現している。植物プランクトンの増殖は、水温、光、無機態栄養塩の関数としている。



図－８　生態系モデルによるダム湖水質変化概念図

表－４　生態系モデル基本式

$$S(PP)=(G_r-D_r-G_z)\cdot PP \quad \cdots\cdots (7)$$
（増殖　呼吸(死滅)　捕食）

$$G_r=\beta S\cdot K\cdot T_r\left\{\frac{T}{T_r}\exp\left(1-\frac{T}{T_r}\right)\right\}^{T_r}\frac{I_r}{I_s}\exp\left(1-\frac{I_r}{I_s}\right)\cdot\frac{IN}{K_N+IN}\cdot\frac{IP}{K_P+IP} \quad \cdots\cdots (8)$$

$$D_r=R_{rr}\cdot\theta_{rr}^{T-20} \quad \cdots\cdots (9)$$

$$G_z=R_z\cdot\frac{K_{rr}}{K_{rr}+PP}\cdot ZP \quad \cdots\cdots (10)$$

$$S(ZP)=\underbrace{\alpha\cdot\alpha_z\cdot\beta_z\cdot PP}_{\text{増殖}}-\underbrace{R_z\cdot\theta_z^{T-20}\cdot ZP}_{\text{死滅}} \quad \cdots\cdots (11)$$

$$S(DO)=\underbrace{K_1(\overline{DO}-DO)}_{\text{再曝気(表層のみ)}}+\underbrace{K_1\cdot\theta_{rr}^{T-20}\cdot PP}_{\text{光合成によるDO生産}}-\underbrace{K_2\cdot COD}_{\text{COD物質によるDO消費}}-\underbrace{r\frac{A_s}{V}}_{\text{底泥によるDO消費}} \quad \cdots\cdots (12)$$

$$S(COD)=\underbrace{K_r\cdot G_r\cdot PP}_{\text{内部生産}}-\underbrace{R_c\cdot\theta_c^{T-20}\cdot COD}_{\text{分解}}+\underbrace{R_{rc}\cdot\theta_{rc}^{T-20}\cdot\frac{A_s}{V}}_{\text{底泥からの溶出}} \quad \cdots\cdots (13)$$

$$S(IP)=\underbrace{\{(-\beta_r\cdot G_r}_{\text{植物プランクトンの摂取}}\underbrace{+\beta_z(1-\alpha_z)\cdot G_z\}}_{\text{動物プランクトンの排泄}}\cdot PP+\underbrace{R_r\cdot\theta_r^{T-20}(OP-\beta_r\cdot PP-\gamma_r\cdot ZP)}_{\text{有機態から無機態への分解}}$$

$$\underbrace{+R_{rr}\cdot f_0\cdot\theta_{rr}^{T-20}\cdot\frac{A_s}{V}}_{\text{底泥からの溶出}} \quad \cdots\cdots (14)$$

$$S(OP)=\underbrace{\{\beta_r\cdot G_r}_{\text{植物プランクトンの摂取}}\underbrace{-\beta_z(1-\alpha_z)\cdot G_z\}}_{\text{動物プランクトンの排泄}}\cdot PP-\underbrace{R_r\cdot\theta_r^{T-20}(OP-\beta_r\cdot PP-\gamma_r\cdot ZP)}_{\text{有機態から無機態への変換(分解)}} \quad \cdots\cdots (15)$$

$$S(IN)=\underbrace{\{(-\beta_n\cdot G_r}_{\text{植物プランクトンの摂取}}\underbrace{+\beta_n(1-\alpha_z)\cdot G_z\}}_{\text{動物プランクトンの排泄}}\cdot PP+\underbrace{R_n\cdot\theta_n^{T-20}(ON-\beta_n\cdot PP-\gamma_n\cdot ZP)}_{\text{有機態から無機態への分解}}$$

$$\underbrace{+R_{rn}\cdot\theta_{rn}^{T-20}\cdot\frac{A_s}{V}}_{\text{底泥からの溶出}} \quad \cdots\cdots (16)$$

$$S(ON)=\underbrace{\{\beta_n\cdot G_r}_{\text{植物プランクトンの摂取}}\underbrace{-\beta_z(1-\alpha_z)\cdot G_z\}}_{\text{動物プランクトンの排泄}}\cdot PP-\underbrace{R_n\cdot\theta_n^{T-20}(ON-\beta_n\cdot PP-\gamma_n\cdot ZP)}_{\text{有機態から無機態への変換(分解)}} \quad \cdots\cdots (17)$$

ここに

PP	：クロロフィルa濃度	IP	：無機態リン濃度
ZP	：浮泥濃度	IN	：無機態窒素濃度
$\overline{DO}$	：飽和溶存酸素濃度	OP	：有機態リン濃度
DO	：溶存酸素濃度	ON	：有機態窒素濃度
COD	：COD濃度	A_s	：底泥面積
I_r	：循環rにおける日射量 $I_r=I_0\exp\{-\varepsilon(r_1-r)\}$	V	：貯留量
I_0	：水表面の日射量		：日射量減衰定数
r_1	：水表面循環	ε	$\varepsilon=0.5+0.001\cdot PP$

(2) サブモデル

1) 曝気循環に伴う流動モデル

曝気による流動の基礎式を現地観測及び鉛直一次元モデルを用いて定式化した。

①曝気によって生じるダム湖の流動現象の概要

釜房ダムで行った現地実験の観測結果を図－10に示す。これを模式的に示すと図－11の様に表せる。曝気による流動は、曝気装置より半径30m程度の範囲内に生じる流速の大きな局所流（図－１の「第１循環流」）と、この外側に生じる、ダム湖全域の流速の小さな密度流（図－１の「第２循環流」）とから成る。さらに、第２循環流は曝気装置上部で３層に分けられ、第１循環流に引き寄せられる求心的な流動である表層流（表－５のQ_o）と、曝気装置直上の上昇流直接に引き寄せられる下層流（同Q_d）および、これらが混合し等密度層に密度流として貫入してゆく遠心的な流動である中層流（同Q_m）とからなる。

②モデル化による鉛直一次元モデルへの組み込み

流動制御システムが水質保全の対象とする流動範囲は、曝気装置近傍の局所的な流動ではなくダム湖全域の流動であるので、第２循環流を鉛直一次元モデルに組み込んだ。図－12にモデル化した水平流速の鉛直分布を示す。第１循環流へ引き寄せられ、中層流として再びダム湖全域へ広がってゆく表層および下層流は流出成分とし、中層流は貫入層への流入成分として考えた。図－12では左向きを流出、右向きを流入として表現している。

これらを水温および濁質、水質収支式である表－３の式(2)～(4)の右辺第２項である水平移流項に組み込んだ。なお、鉛直混合は熱量及び質量収支式中の鉛直移流項により表現され、この鉛直流速は、連続式により補完される層毎の水平移流差分に相当する。

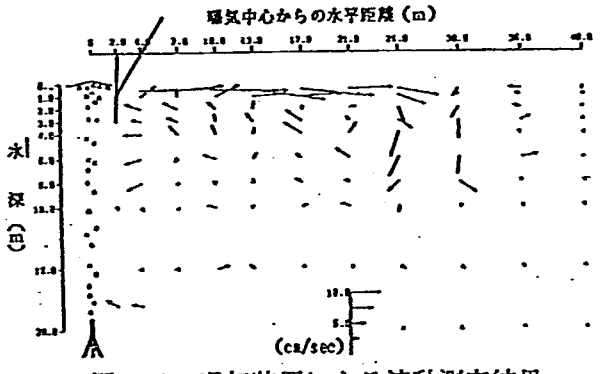
表－５　生態系モデルパラメーター

区分	記号	パラメーター	単位
流動条件	γ	流行係数	-
	Fr	内部フルード数	-
	α	分子拡散係数	m^2/s
	DE	乱動拡散係数	m^2/s
日射による種材	αr	水面反射率	-
	gλ	減衰係数	-
	ηλ	(gλ=gλ1+FP*gλ2)	-
	β	水面吸収率	-
DO生産	K1	水面における再曝気係数	1/day
	θK1	K1に対する水温係数	-
	K2(K2)	20℃における光合成によるDO生産速度	1/day
	θDO	K2に対する水温係数	-
DO消費	K3(K3)	COD物質によるDO消費速度	1/day
	γ	底泥によるDO消費速度	g/m^2/day
	θγ	γに関する水温係数	-
分解	RC(fc)	20℃におけるCOD分解速度	1/day
	θC	RCに対する水温係数	-
	RP(RP)	20℃における有機態Pから無機態Pへの分解速度	1/day
	θP(θP)	RPに対する水温係数	-
	RN(RN)	20℃における有機態窒素から無機態窒素への分解速度	1/day
	θN(θN)	RNに対する水温係数	-
溶出	RTC	CODの底泥からの溶出速度	g/m^2/day
	θTC	RTCに対する水温係数	-
	RTP	底泥中のP含有量	P-mg/g
	fD	溶存酸素の存在によるPの溶出量減少を表す補正係数	-
	θTP	無機態Pの底泥からの溶出率に対する水温係数	-
	RTN	無機態窒素の底泥からの溶出速度	g/m^2/day
	θTN	RTNに対する水温係数	-
変換率	α(αc)	植物プランクトン中の炭素量とクロロフィル量との比	mg-C/μg-chla
	KP(KP)	植物プランクトン中のCOD物質量とクロロフィル量との比	mg-COD/μg-chl
	βP(βP)	植物プランクトン中のP量とクロロフィル量の比	mg-P/μg-chla
	βN(βN)	植物プランクトン中の窒素量とクロロフィル量の比	mg-N/μg-chla
	γP(γP)	植物プランクトン中のP量と炭素量の比	mg-P/mg-C
	γN(γN)	植物プランクトン中の窒素量と炭素量の比	mg-N/mg-C

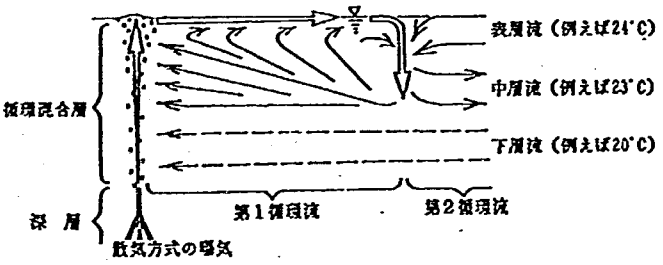
③流動式の誘導

流動式は、表－６に示す表層流（Q_u）、中層流（Q_m）、下層流（Q_d）の３式から成る。現地実験で定量的かつ正確に観測できるのは流速の大きな表層流だけであり、中層および下層流については微流速計を用いても測定結果の精度に不安があったので、式(18)は現地観測結果の解析により、式(19)、(20)は水温鉛直分布の経時変化の観測値をシミュレーションで再現することにより同定した。

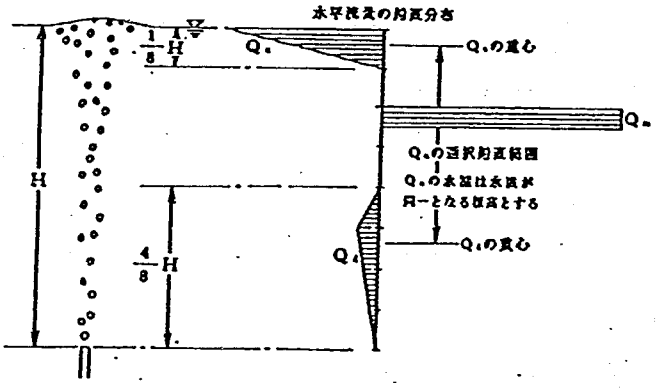
観測結果から表層流量と、曝気水深、吐出空気量および下層流と表層流との密度差との関係をみると図－13に示す様になった。この関係を用いて表－６の式(18)を定式化した。中層流量は表層流量と下層流量との和である。下層流量は表層流量と同じ関数形とし、現地実験を行った1992年夏期の釜房ダムと、1994年夏期の耶馬渓ダムの水温観測値を鉛直一次元モデルにより再現計算を行い、図－12の下層流の水深方向の流速鉛直分布も合わせて、表－６の式(19),(20)を同定した。なお、耶馬渓ダムにおける水温鉛直分布のシミュレーション結果は、図－14に示す。



図－10　曝気装置による流動測定結果



図－11　曝気により生じる流動模式図



図－12　流動モデル流速鉛直分布

表－6　流動モデル基本式

$$Q_s = k_s \times H \times \Sigma(A_s)^{1/3} \times \Delta\rho^{1/3} \quad \cdots\cdots \quad (18)$$

$$Q_m = Q_s + Q_d \quad \cdots\cdots \quad (19)$$

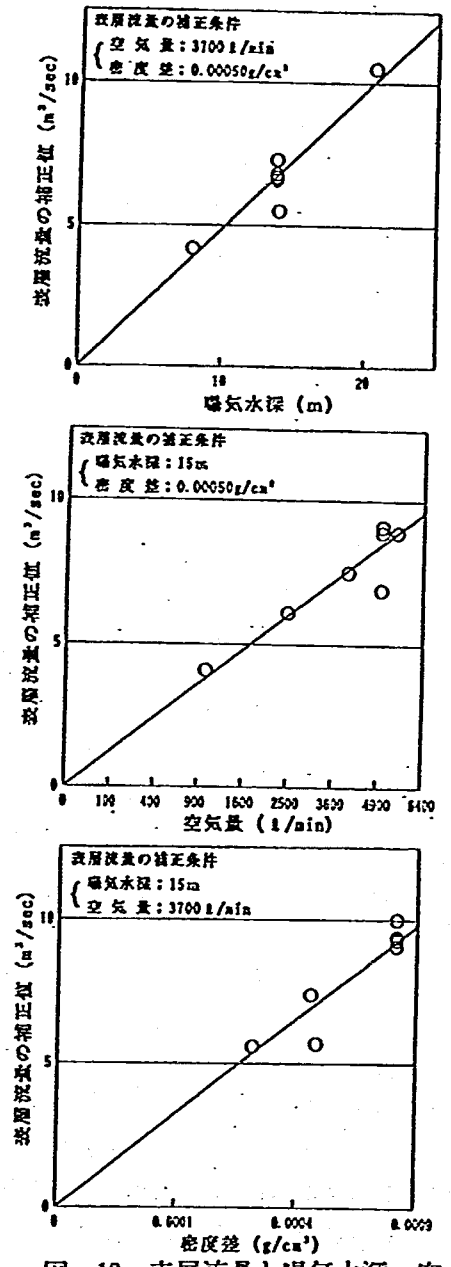
$$Q_d = d_d \times H \times \Sigma(A_s)^{1/3} \times \Delta\rho^{1/3} \quad \cdots\cdots \quad (20)$$

Q_s　：第２循環流の表層流量 (m^3/sec)
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_s　：表層流量の係数 (=0.36)
k_d　：下層流量の係数 (=0.18)
H　：曝気水深 (m)
A_s　：吐出空気量 (ℓ/min.)
$\Delta\rho$　：表層流と下層流との密度差 (g/cm)
($=\rho_d - \rho_s$)

2) 複数藻類モデル

流動制御の効果の内、表－１の効果１をシミュレーションで表現するためには、藻類群集の質的な取扱いが必要になる。このため生態系モデル中の Chl-a を全藻類の現存量とせず、異なった生育特性を持った藍藻類、緑藻類、珪藻類それぞれの指標ごとに定義し、表－７に示す様に３分割して扱った。

生態系モデルの中で、Chl-a 以外のＤＯやＣＯＤ、Ｏ－Ｎ、Ｏ－Ｐ等水質項目の関数として Chl-a が用いられている部分については、表－７の式(21)の Chl-a の合計量を用いた。また、それぞれの藻類に相当する Chl-a 算出式である式(22)～(26)は変更前のモデルとほぼ同じ式を用い、最適水温や沈降速度、消滅速度等のパラメーターを各藻類毎に設定した。なお、沈降速度については、モデル中では表－３の式(4)の右辺第２項で扱っている。変更前のモデルと異なるのはパラメーター設定のみでは各藻類の特性を表現できない部分である。式24のスペース効果係数は、自己飽和を表すβＳ１、βＳ２と、広い意味での他感作用および全藻類の密度効果を表すβＳ３とからなるとした。また、式(23)右辺下線部の日射量補正関数は、ベースとしたモデルでは強光阻害型が用いられていたが、水質問題を引き起こす藍藻類は強光阻害を受けない[5, 6]という知見を基づき、藍藻類についてのみ強光飽和型の関数形を用いた。



図－13　表層流量と曝気水深、空気量、密度差との関係

4.2. 計算条件

これまでに述べたモデルを用い、耶馬渓ダムにおける1994年夏期の流動制御実験の現地調査結果を再現した。この計算条件を表－８に示す。流動制御時の水理水質特性や流動制御の効果と関わる条件について以下に述べる。

(1) 流入河川水温

流動制御による河川水のダム湖への貫入水深の制御を表現するためには、流入河川水温の時刻変動を取り扱う必要がある。

鉛直一次元モデルにおいて、一般的に流入河川水温は他の項目

に合わせて現地観測結果から得られた気温と流入河川水温との回帰式を用いて日平均水温を与えることが多い。一方、図－3および図－4で示した様に、流入河川水温の時刻変動により流動制御時はその水温躍層の特性からダム湖への河川水貫入層の時刻変動も10m以上の幅を持つことがある。従って、流入河川水温は図－3の傾向を参考に、現地測定値の0時～12時の平均水温と、12時～24時の平均水温とをそれぞれ昼間水温と夜間水温とし、この時間の比率で水量および負荷量を分割し、流入河川水温の時刻変動に伴う河川水貫入層の時刻変化を表現した。

表－7　複数藻類モデル基本式

$$S(PPT) = \sum_{i=1}^{n} S(PPi) \quad \cdots\cdots(21)$$

i=1:珪藻類, 2:緑藻類, 3:珪藻類
注) nは、計算藻類数設定

$$S(PPi) = (Gpi - Dpi - Gzi) \cdot PPi \quad \cdots\cdots(22)$$

$$Gpi = \beta Si \cdot \mu max \cdot \left\{ \frac{T}{Ts} \exp\left(1 - \frac{T}{Ts}\right) \right\}^{nt} \cdot \frac{I}{Kis + I + \frac{I^2}{K_{II}}} \cdot \frac{IN}{KiN + IN} \cdot \frac{IP}{KiP + IP} \quad \cdots(23)$$

$$\beta Si = \exp(-\beta S3 \cdot \sum_{i=1}^{n} PPi) \cdot \exp(-\beta S2 \cdot PPi + \beta S1) \quad \cdots(24)$$

$$Dpi = R_{PPi} \cdot \theta_{PPi}^{T-20} \quad \cdots\cdots(25)$$

$$Gzi = R_{zi} \cdot \frac{K_{PPi}}{K_{PPi} + PPi} \cdot ZP \quad \cdots\cdots(26)$$

ここで

S(PP)	：ｸﾛﾛﾌｨﾙa濃度変化量（μg/ℓ/日）
PPT	：全藻類に相当するｸﾛﾛﾌｨﾙa濃度（μg/ℓ）
PPi	：各藻類に相当するｸﾛﾛﾌｨﾙa濃度（μg/ℓ）
n	：計算藻類数(-)
ZP	：動物プランクトン濃度(mg/ℓ)
Gpi	：各藻類に相当するｸﾛﾛﾌｨﾙaの増殖率（1/日）
Dp	：各藻類に相当するｸﾛﾛﾌｨﾙa減少率（呼吸率）（1/日）
Gz	：各藻類に相当するｸﾛﾛﾌｨﾙa（餌）捕食率（1/日）
βSi	：各藻類のｽﾍﾟｰｽ効果係数(-)
βS1	：各藻類の自己飽和によるスペース効果係数(-)
βS2	：〃
βS3	：全藻類の密度によるスペース効果係数(-)（ﾌﾗﾝｸｰ係数）
μmax	：最大増殖速度（1/日） 注：補正項の式型による
Ts	：最大増殖速度を与える最適水温（℃）
T	：水温（℃）
nt	：増殖速度の水温変化に対する感度（とがり度）(-)
Is	：最大増殖速度を与える最適日射量（cal/cm²/日）
I	：日射量（cal/cm²/日）
Kis	：日射量に関する半飽和定数（cal/cm²/日）
KiN	：無機態窒素に関する半飽和定数（mg/ℓ）
KiP	：無機態リンに関する半飽和定数（mg/ℓ）
IN	：無機態窒素濃度（mg/ℓ）
IP	：無機態リン濃度（mg/ℓ）
R_{PP}	：ｸﾛﾛﾌｨﾙa消滅速度（呼吸率ともまわれる）（1/日）
θ_{PP}	：R_{PP}に対する温度係数(-)
R_{zi}	：動物ﾌﾟﾗﾝｸﾄﾝろ過率（捕食速度）（m³/g-c/日）
K_{PPi}	：ｸﾛﾛﾌｨﾙaに対する半飽和定数（μg/ℓ）
	※：i=2,3（緑藻類、珪藻類）では、日射量補正項は下の強光阻害型とする

$$\frac{I}{IS} \exp\left(1 - \frac{I}{IS}\right)$$

(2) パラメーター

生態系モデル及び今回改変した複数藻類モデルのパラメーターは、過去に耶馬渓ダムでの再現計算で同定された値をベースにして観測値と比較、調整し、同定したものである。

1) 水理・水質挙動に関するパラメーター

モデルを改変した複数藻類サブモデル以外のパラメーターの内、①拡散係数（αおよびＤＫ）、②光合成によるＤＯ生産速度（Ｋ２）、③底泥からの栄養塩の溶出の３点は、今回用いたモデルを適用する上で流動制御時の水理水質挙動特性に由来する以下の点に注意する必要がある。

①拡散係数

このモデルでは式(2),(3)に示すように拡散係数は定数として与えている。再現計算では、流動制御時の強固な水温躍層を維持するために一般値より小さい値に相当するα＋ＤＫ＝10^{-5} (m^2/day)が同定された。流動制御をしない場合は、拡散係数は鉛直方向の熱量および物質の混合量を意味する。これに対して、流動制御時は曝気敷高より上部の循環混合層内の乱れは流れモデルの流動により表現される。従って、拡散係数は流動制御によって形成される水温躍層の強度と対応しメインモデル適用上の一般値の範囲より小さな値になる。

表－8　再現計算条件一覧

条　件	内　容
対象水域	耶馬渓ダム湖
計算期間	1994年7月5日～9月31日
使用モデル	鉛直一次元生態系モデル流動制御版
計算時間間隔	1日注1
層分割	2mピッチ

注１：１日はデータの入力及び出力時間間隔であり、演算のΔＴは鉛直流速や拡散係数等から拘束される安定条件を元に逐次決定されている。今回は概ね数時間のΔＴであった。

②光合成によるＤＯ生産速度

表－４の式(12)に示すように、メインモデルでは光合成によるＤＯ生産は、Chl－aおよび水温との関数としている。一方、図－14に示す様に、流動制御時は通常藻類の存在しにくい無光層に流動によって押し込

まれた藻類が存在している。この無光層の藻類によるDO生産を見込むと図－14に示すDO分布は表現できなかったので、藻類の光合成によるDO生産速度であるK２＝0.0(1/day)とした。従って、計算上は流動制御時の水中へのDO供給は、水面における再曝気のみで十分であった。しかしながら、これはシミュレーション適用上の取り扱いであり、実現象として水中のDO収支に光合成が寄与しないことを示すわけではない。

③底泥からの栄養塩の溶出

図－14に示す様に、1994年の実験では底層部が強く嫌気化したにも関わらず、底泥からの溶出を示すような底層部のT－Pの高濃度化が見られなかった。耶馬渓ダムの底泥は、部分的にリン含有量が高いことが従来の調査で分かっているが、式14のR WPにこの値を用いると溶出負荷量を過大になった。一方、実験期間中の底部の水温が低いことと関連すると考え、水温補正係数はθ WP＝1.2(－)とやや大きくし、低水温により抑制を強くして観測値に追随させた。

2) 複数藻類モデルパラメーター

表－9にChl－aのパラメーターの内、藻類間で異なるものを示す。藍藻類は、沈降速度[7]や耐暗性[8)・9)]は小さく最適水温は高いこと、藍藻類の最大増殖速度は緑藻類や珪藻類に比べて大きくないこと[5)・6)]、珪藻類はダム湖によっては夏期でも優占種であること[10)]等の特性をパラメーターで表現するために、各藻類間のパラメーター値の大小関係を維持させながら、参照した文献値の範囲内で同定したものである。従って、本報の藍藻類とは、浮遊性が強く表層で集積することにより水質障害を引き起こす *Microcystis* 属や *Anabaena* 属を想定しており、冬季や水深数mに出現する *Oscillatoria* 属や *Phormidium* 属[10)]には対応しない。

表－9　複数藻類モデルパラメーター

環境要素	記号	藍藻類	緑藻類	珪藻類	文献No.
最大比増殖速度	μ_{max}	1.3	1.8	2.0	5,6
最適水温	Ts	30℃	20℃	10℃	10
水温とがり度	nt	10	3	0.5	10
呼吸枯死速度[注1]	R_{PP}	0.096(明)0.2(暗)	0.140	0.096	8,9
捕食速度[注2]	R_e	0.25	0.1	0.1	－
沈降速度	ω_P	0.0m/day	0.2m/day	0.4m/day	7

注1：耐暗性も表す。注2：ろ過速度でもある。
注3：最大増殖速度、枯死速度 捕食速度の単位は1/dayである。
※以下のパラメーターは各藻類共通値を用いた。
$\beta S2$:0.0285、$\beta S3$:0.01、KIN:5μg/ℓ、KIP:0.4μg/ℓ、
IS:360cal/cm²/day（緑藻類、珪藻類）、KIS:50cal/cm²/day（藍藻類のみ）

4.3. シミュレーション結果

(1) 水温および水質

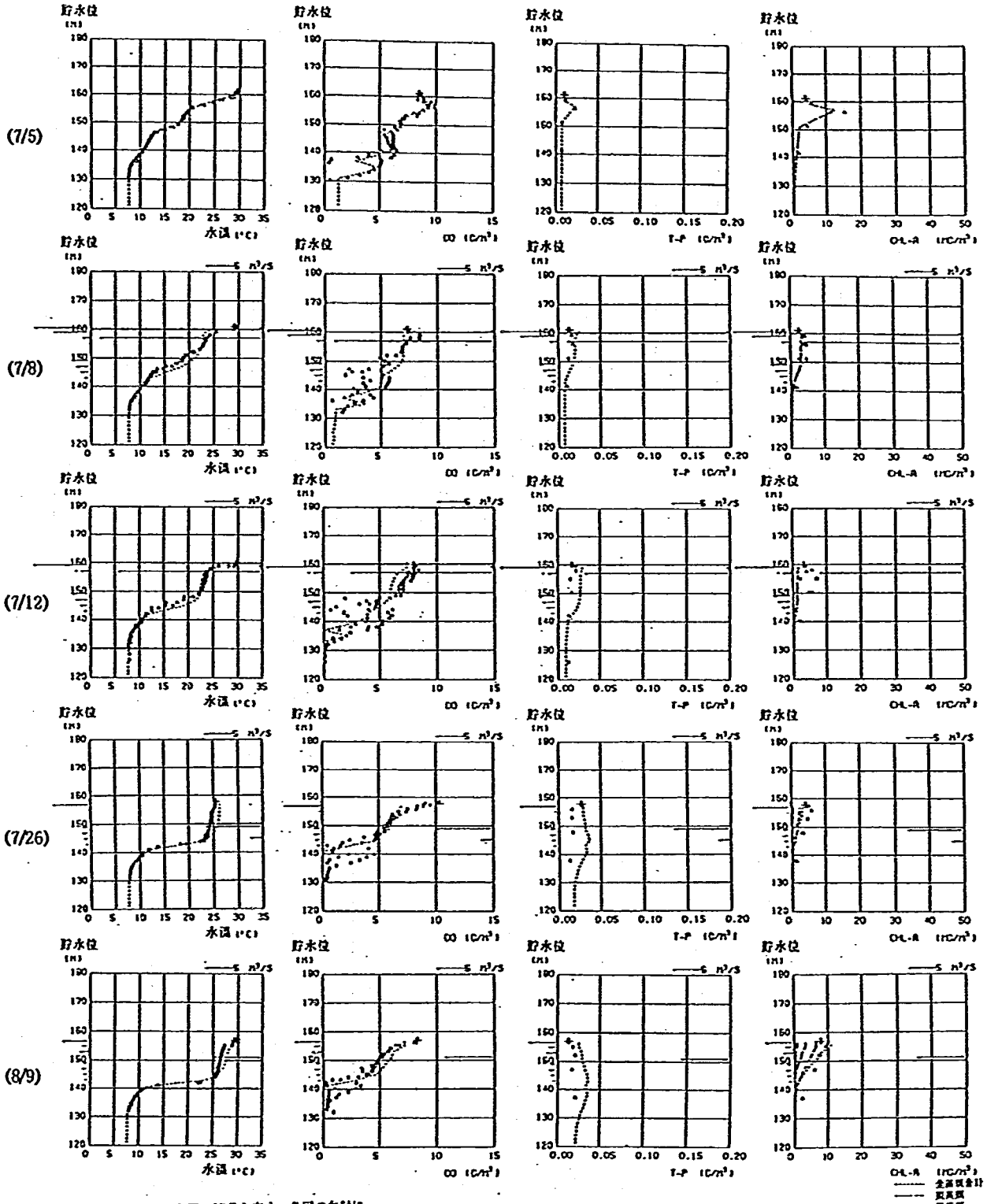
図－14に耶馬渓ダムで流動制御実験を行った1994年7月5日から9月27日までの水温および水質のシミュレーション結果を測定値と共に示す。プロットが測定値、点線が計算値である。

水温とDOについては流動制御時に特徴的な、水温差の大きい水温躍層やその上部の挙動をよく表している。特にDOについては、9月中旬の冷却による対流混合の開始と共に、混合の生じている曝気敷高直上まで表層の再曝気で供給された高DO濃度水塊が到達しているのが分かる。T－Pについても底層の嫌気化にも関わらず底層部が低水温であったことにより溶出が発生せずに濃度勾配は鉛直方向に小さいことが表現されている。図－8のChl－aの実測値は全藻類の値であり、計算値にこれに対応させた総Chl－a濃度も示している。Chl－aについては、定性的には経時的な増加および鉛直分布傾向は表現されているが、9月後半は実測値とシミュレーション計算値との傾向が異なっており珪藻類の実測値の方が大きくなっている。シミュレーション中ではChl－aとリンとの比率は一定値として一般値の0.7(g^{-P}/g^{-Chl-a})としているが、観測値を見ると、9月以降はこの比率が変化している可能性が推察される。

濁度、COD、TOC（動物プランクトンの指標として）、I－P、O－P、T－N、I－N、O－Nについてもシミュレーションを行い、掲載は割愛するが概ね実測値の挙動を表現している。

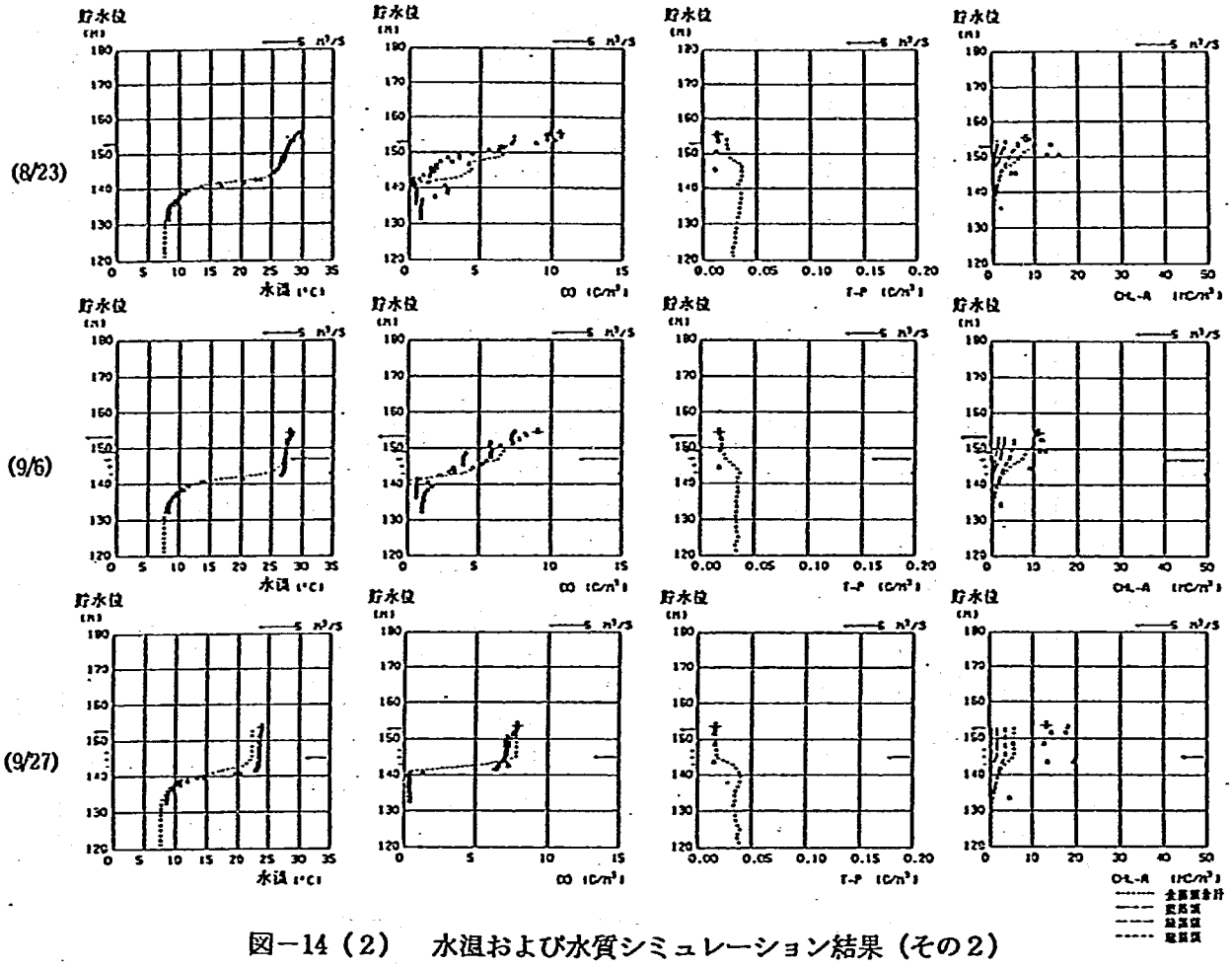
(2) 藻類群集挙動

図－15に、藍藻類、緑藻類および珪藻類のそれぞれに相当する表層Chl－aの計算結果の経時変化を示す。

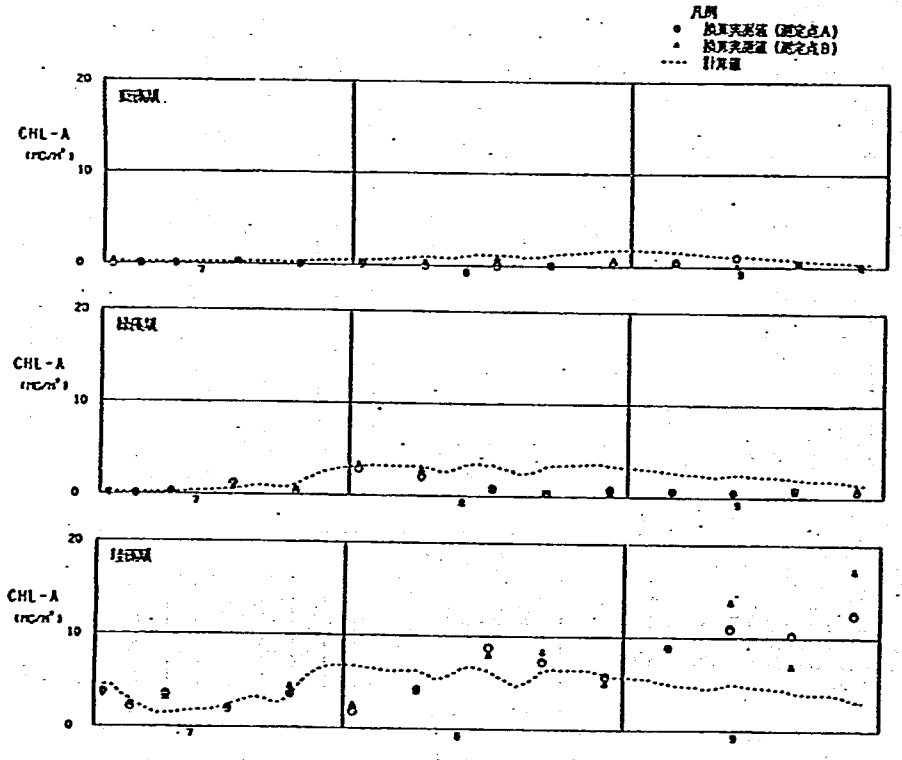


注：図中の矢印は、各層の流量を表す。各図の左縁に接する矢印は層への流出成分であり、右縁の内、左側の矢印は流入成分を、右側への矢印は河川水の貫入に伴う表層部の連行による流出を示す。また、流入流出成分にはそれぞれ曝気流による水平流も含まれ、これらは矢印の基部が縁からやや離れていることにより区別される。なお、曝気水平流の鉛直分布は図－12と対応し、河川水流入層は図－4と対応する。

図－14（1）　水温および水質シミュレーション結果（その1）



図－14（2）　水温および水質シミュレーション結果（その2）



図－15　藻類別のChl－aシミュレーション結果（表層）

なお、図中の換算実測値として示したChl−aは、耶馬渓ダムでの過去の現地調査結果をもとに各藻類が強く優占したデータから藻類綱毎に細胞数とChl−aとの回帰式を作成し、これと実験期間中の藻類細胞数とから求めた、各藻類に相当する計算値のChl−a濃度である。

実験期間中の浮遊藻類の挙動は、珪藻類を主体とし8月前半に一時的に緑藻類が増殖したものであったが、シミュレーションでは緑藻類の一時的な増殖および珪藻類の経時的な増殖傾向については十分表現できなかった。実現象における出現藻類の変化は数週間単位で起こったものであるが、この様な比較的短期的な藻類群集の質的変化の表現には至らなかった。しかしながら、実験期間が夏期にも関わらず流動制御による対策前の耶馬渓ダムで多く発生していた藍藻類は少なく、珪藻類を主体とした群集構成であったことは表現できた。

5．考察

流動制御は曝気によって生じる密度流を利用したダム湖水質保全システムである。本報の流動モデルは水温鉛直分布、吐出空気量、曝気水深を任意に与えることができるので、様々なダム湖で適用可能である。この流動モデルの関数形は、従来の気泡噴流の研究における吐出空気量と揚水流量との関係[11]や、ベルヌーイの定理の変形[12]によって得られる密度差と密度流との関係ともほぼ合致しており、鉛直一次元モデルにおける流動の表現というレベルでは概ね汎用的であると考えられる。

しかしながら、ダム湖への河川水貫入層を表現する上で、4.2.1(1)で述べたように、流入河川水温の時刻変動という境界条件の時間的な取扱いの問題が抽出された。ダム湖各層への河川水流入負荷を正確に見積もるためには、河川水温の時刻変化に伴い貫入層を時刻変動させる必要がある。しかし、鉛直一次元生態系モデルの計算時間間隔は一般に1日であり、この為だけに計算時間間隔を1時間にすることは好ましくない。本報では4.2.(1)で述べた方法により、この問題を解決した。なお、本報では河川水温を12時間ごとに分割したが、分割方法は河川ごとに、或いは季節ごとに異なることも考えられ、この点については今後の課題としていきたい。

次にダム湖水質挙動に関してであるが、4.2.(2)で述べたように、流動制御時の水温躍層部の鉛直拡散量の小ささや、底層部の強い嫌気化にもかかわらず溶出が発生しないことなどは、パラメーターの調整だけでベースモデルで良好に表現できることが明らかとなった。なお、光合成によるDO生産速度を見込まなかったことについては、本来ならばモデルの改良を行うべきである点であるが、本報はメインモデルの適用性を見ようとするものであるのでパラメーターの調整による対応方法として述べたのであり、実現象として光合成がダム湖のDO収支に寄与しないとは考えていない。

藻類の複数化については、緑藻類の短期的な増殖が表現できず実現象の藻類群集の変化メカニズムを十分表現したとは言いがたい。しかし、本研究は汎用的かつ実用レベルでのモデルの適合性を主眼において、浮遊性および集積性の強い藻類に与える流動制御による水理環境の変化の影響を表現することを目的としており、短期的な藻類種の消長を表現しようとするものではない。従って、この様な範囲内では藻類群集の変化については実現象は概ね再現できたと言える。さらに藻類群集の消長を的確に表現するためには、藻類と環境要因との関係についての詳細な検討が必要であると考えられる。

6．まとめ

1）ダム湖の水質保全対策である流動制御設備稼働時の水理・水質挙動は、曝気循環に伴う流動モデルを取り入れ、生態系モデルのChl−a部分を改変した鉛直一次元モデルで表現することができることが分かった。

2）本モデルを適用して流動制御の評価を行うためには、流動制御に適した流入河川水温や、パラメーター等の諸条件を設定する必要がある。また、本モデルを広く適用する上で、これらの条件については、さらに検討が必要である。

3）流動制御設備による効果の一つである藻類群集の質的制御については、検証が十分とは言えないため、今後さらに現地実験および観測や、流動制御と藻類の増殖特性に関わる室内実験等を行っていき、流動制御システムの効果を十分に評価できるシミュレーションモデルの構築を行っていく予定である。

<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

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

3) 丹羽薫・久納誠・久保徳彦・古永充；流動制御システムによるダム湖水質保全の現地実験，土木技術資料，第37巻第6号，1995

4) 森北佳昭・畑孝治・三浦進；貯水池の冷濁水ならびに富栄養化現象の数値解析モデル（その1），土木研究所資料第2443号，1987

5) 生嶋功；水の華の発生機構とその制御，東海大学出版会，1987

6) 合田健　他；陸水域の富栄養化防止に関する総合研究（V）霞ヶ浦の富栄養化現象のモデル化（昭和55～57年度特別研究報告）；国立公害研究所研究報告，第54号，1984

7) R. A. Pastorok, Mark W. Lorenzen, Thomas C. Ginn　Environmental Aspects of Artificial Aeration and Oxygenation of Reservoirs: A Review of Theory, Techniques, and Experiences, NTIS Technical Report E-82-3, 1982

8) 土屋文・上田映子・一柳淳一・中西昇；藻類の耐暗性に関する研究，第29回　日本水環境学会年会講演集，1995

9) 小島貞夫；富栄養化対策としての湖水強制循環法，産業公害，Vol. 18, No. 9, p68-p75, 1982

10) 丹羽薫・天野邦彦・大西実；富栄養化の観点から見た全国多目的ダム貯水池の水質特性に関する研究，土木研究所資料第3116号，1992

11) 浅枝隆・川北晃久・工藤勝弘・柴田正和；揚水筒の応用としての曝気循環による貯水池内植物プランクトン増殖に対する光制御効果の検討，平成2年度科学研究費補助金（試験研究（B））研究成果報告書，1991

12) 吉川秀夫；水理学，技報堂出版，1976

水工学論文集 第40巻 1996年2月

流動制御によるダム湖水質保全対策効果のシミュレーションによる検討

Study of Effect of Current Control for Restoring Reservoir Water Quality by Simulation Model

丹羽薫*、久保徳彦**、福渡隆**、古里栄一***
By Kaoru NIWA and Norihiko KUBO and Takashi FUKUWATARI and Eiichi FURUSATO

Current control using dispersed aeration is one way to suppress algal blooms by controlling the hydraulic state of the reservoir artificially. We have studied current control method in both the planning stage and the practical stage. This report estimates the effect of measures to improve water quality using a simulation model in the planning stage.

We examined the effect of current control to improve the water quality of reservoirs, by simulation using a modified one-dimensional model for current control using dispersed aeration, the parameters of which were determined by experiments in several reservoirs. The results show that current control is effective but that aeration must be stopped in case of flood and that care must be taken not to upwell dense turbid water when resuming aeration.

Keywords:water quality, current control, reservoir, aeration, simulation

1．まえがき

散気方式の曝気装置を用いた流動制御は、ダム湖の水質環境を保全する一手法としてダム湖の流動を人為的に制御して藍藻類等の異常増殖を抑制する方法である。著者らは計画及び管理の両側面から現地実験を中心に流動制御による水質保全手法の検討を行っている。本報では、主に計画段階の有効な手法として検討を進めているシミュレーションの方法および対策効果の検討について述べる。

2．流動制御の概要

流動制御システムは、ダム湖に温水で水温分布が均一である循環混合層を、表層から水深概ね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緑毛藻類への栄養塩類と光とを抑制し、それによって藍藻類等の異常増殖を抑制しようとするシステムであり、図－1に模式図を示す。このシステムの基幹設備である循環流制御設備（散気方式の曝気装置）により期待される効果を表－1に示す。

* 正会員 建設省土木研究所環境計画研究室 室長
（〒305 茨城県つくば市大字旭 1）
** 正会員 建設省土木研究所環境計画研究室 研究員
（同上）
*** 正会員 （株）環境調査技術研究所（前土木研究所部外研究員）
（〒108 東京都港区芝浦4-9-25 芝浦スクエアビル13階）

本報では表－1に示す効果を表現することのできるモデルを用いて、現地実験を行った耶馬渓ダム（提高62m、総貯水容量2,330万m³、湛水面積1.1Km²、流域面積89Km²）を対象にして解析を行った。

3．モデルの概要

流動制御の水質保全効果を表現するモデルは、従来からダム貯水池の水理水質解析に多く用いられてきた鉛直一次元富栄養化モデルに、曝気装置によって生じる流動を表現する流動モデルを組み込んだものである。尚、モデルの作成の詳細は既報を参照されたい[1]。

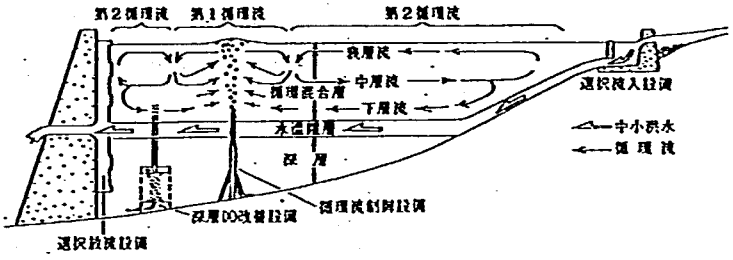
図－2に流動モデルの水平流速鉛直分布を示す。これは、散気方式の曝気装置によって生じる流動の内、貯水池全域に生じる比較的流速の小さな流動（図－1の第2循環流）を水平流としてモデル化したものであり、曝気装置近傍の流速の大きい上昇流および下降流（図－1の第1循環流）ではない。

図－2の流動の内、表層流のQ_uは第1循環流に引き寄せられる求心的な流動であり、下層流のQ_dは曝気装置直上の上昇流に直接引き寄せられる求心的な流動である。また、中層流のQ_mはこれらが混合し等密度層に密度流として貫入してゆく遠心的な流動である。尚、Q_uおよびQ_dの鉛直方向における流速分布は3角形近似している。鉛直一次元モデルでは、これらの水平流速を熱量および質量保存式の水平移流項に組み込んだ。従って、曝気による鉛直混合は熱量及び質量収支式中の鉛直移流項により表現され、この鉛直流速は連続式により補完される層毎の水平移流差分に相当する。

これら3層の流動成分の流量は、表－2に示す経験式で求められる。流動による水平流量式のうち、Q_uは、耶馬渓ダムに於ける現地実験結果からQ_uと曝気水深、吐出空気量、曝気上部の密度差（水温差）との関係を検討し、同定した。一方、流速が小さく現地実験で測定が困難なQ_mとQ_dとは、耶馬渓ダムに於ける現地実験結果の水温鉛直分布経時変化を指標として鉛直一次元モデルのシミュレーションで同定した。この再現計算結果を

表－1　循環流制御設備の水質保全効果

効果	湖水に与える流動作用	湖類に及ぼす効果
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、密度流で循環する	循環混合層に於ける光制限及び表層における藍湖類の優占阻止
2	栄養塩類(PO4-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	循環混合層の湖類への栄養塩制限及び易沈降性湖類（緑湖類や珪湖類）による栄養塩固定後の沈降
3	栄養塩類(PO4-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する	循環混合層に存在する湖類（特に表層の藍湖類）に対する栄養塩制限



図－1　流動制御システムの模式図

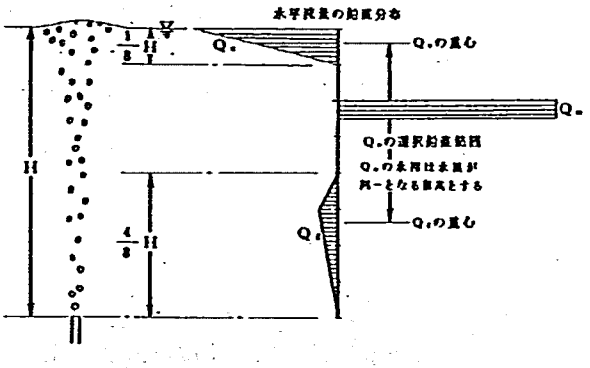
表－2　流動モデル基本式

$$Qu = ku \times H \times \Sigma(An)^{1/2} \times \Delta\rho^{1/2} \quad \cdots\cdots (1)$$

$$Qm = Qu + Qd \quad \cdots\cdots (2)$$

$$Qd = kd \times H \times \Sigma(An)^{1/2} \times \Delta\rho^{1/2} \quad \cdots\cdots (3)$$

Qu ；第2循環流の表層流量（$m^3/sec.$）
Qm ；第2循環流の中層流量（$m^3/sec.$）
Qd ；第2循環流の下層流量（$m^3/sec.$）
Ku ；表層流量の係数（$= 0.36$）
Kd ；下層流量の係数（$= 0.18$）
H ；曝気水深（m）
An ；吐出空気量（$\ell/min.$）
$\Delta\rho$ ；表層流と下層流との密度差（g/cd）
（$=\rho d - \rho u$）



図－2　流動モデルにおける水平流速の鉛直分布

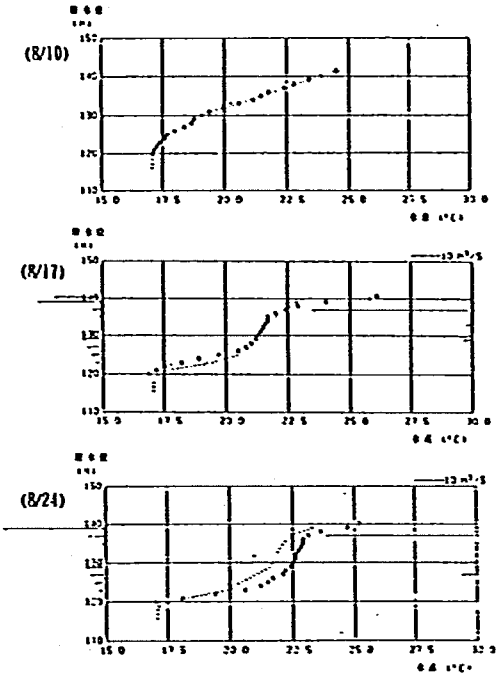
注：流速分布の内、左方は鉛直一次元モデルにおける当該層からの流出を、右方は流入を示す。

図－４に示す。更に、この流動モデルは同じく散気方式の曝気装置の現地実験を行った平成４年夏期の釜房ダム（提高45.5m、総貯水容量4,530万m³、湛水面積3.9Km²、流域面積195Km²）の水温鉛直分布の経時変化を用いた検証も行っており、図－３に示すように十分な精度も得られている。

尚、流動制御時のシミュレーション実施にあたっては、境界条件の一つである流入河川水温や拡散係数等一部のパラメーターに留意する必要がある[1]。

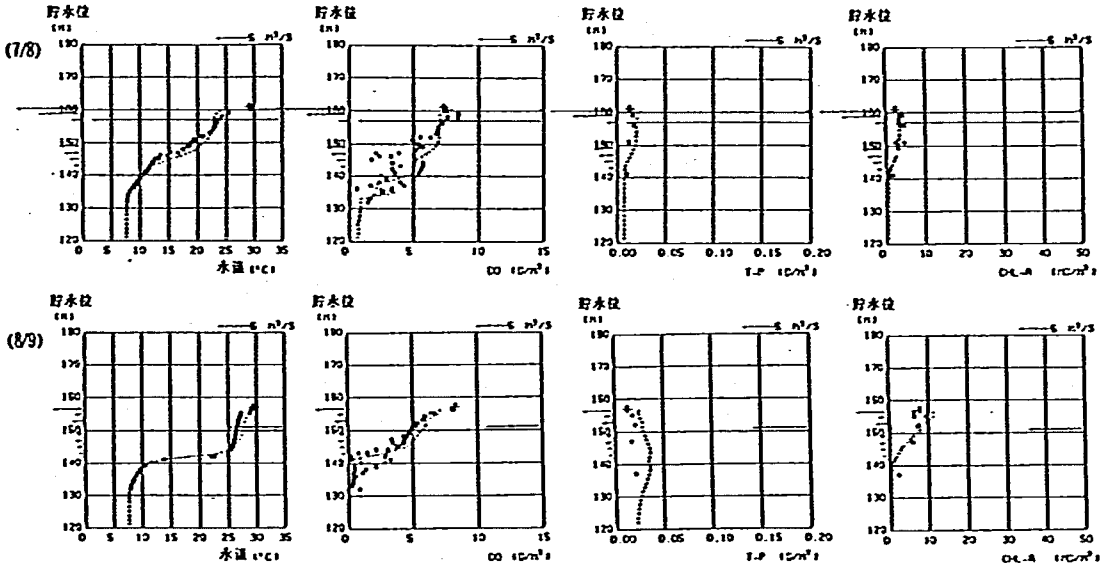
４．モデルによる流動制御の効果検討

これまでに述べたモデルを用いて流動制御による水質保全効果を検討した。流動制御が実施されておらず水の華等の藻類異常増殖現象が発現した平成２年の耶馬渓ダム貯水池を対象とし、表－３に示す流動制御の運用方法でシミュレーションを実施した。稼働期間は成層期の内、特に表層に一次躍層の形成されやすい受熱期として当該ダムにおける観測結果を元に４月１日～８月31日とし、吐出空気量は平成６年度の耶馬渓ダム現地実験を元に検討した適正空気量とした。また、下流への冷水現象の発生を抑制するために曝気開始後１ヶ月間は曝気水深を10mとし、その後は循環混合層の厚さを考慮し水深20mとした。尚、出水時およびこの後の高濃度水塊の巻き上げを防ぐために、流入量が20m³/s を超えた場合は曝気を停止し、再開時はこ



図－３　釜房ダムに於ける水温鉛直分布再現計算結果

【計算条件】曝気標高：EL. 121m，空気量8,450ℓ/min.（６基合計），曝気期間：H4 8/10～8/27（シミュレーションも同様）
【図注】　上から、8/10, 8/17, 8/24の実測値（丸），計算値（点線）の比較
【矢印注】　図中の矢印は、各層の流量を表す。各図の左軸に接する矢印は層への流出成分であり、右軸の内、左側の矢印は流入成分を、右側への矢印は河川水の貫入に伴う表層部の連行による流出を示す。また、流入流出成分にはそれぞれ曝気流による水平流も含まれ、これらは矢印の基部が軸からやや離れていることにより区別される。曝気水平流の鉛直分布は図－２と対応する。なお、図－４及び図－５の水平矢印も同様の意味を示す。



図－４　耶馬渓ダムにおける貯水池水温および水質鉛直分布再現計算結果

【条件】曝気標高：EL. 141m，空気量5,000ℓ/min.(7/8)，1,500ℓ/min.(8/9)，曝気期間：H6 7/5～10/14（シミュレーションも同期間）
【図注】上例：7/8計算、下例：8/9計算，図中矢印等は図－３の同注参照。

の水塊の巻き上げによる表層水質悪化を引き起こさないように曝気水深を変更した。この流入量はシミュレーションの境界条件で用いた流入河川の流量と負荷量との回帰式に於ける流入濁度約25度に相当する。

表－3　流動制御（散気方式の曝気装置）の運用方法（シミュレーション条件）

条　件	設　定　値	備　　考
曝気期間	4/1～8/31	成層期間の内、受熱期
吐出空気量	3700ℓ/min.	実験結果からの最適空気量
曝気数高	水深20m(4/1～4/30は10m)	循環混合層厚15～20m
停止条件	日平均流入量>20m³/s	L-Q式濁度25度相当
再開条件[注]	曝気数高濁度<25度 曝気数高T-P<0.05mg/ℓ	環境基準値を参考に、対象ダムの水理水質特性を考慮して決定

注：水深20mの濁度が25度以上もしくはT-Pが0.05mg/ℓ以上の場合、2mピッチで上方に条件適合標高を探し、表層まで濁度が25度以上もしくはT-Pが0.05mg/ℓ以上であった場合は曝気再開せず。

図－5に、無対策時と流動制御時との水温鉛直分布および河川水貫入層を比較して示す。6月7日時点で無対策時に比べ、流動制御時は水温差の大きい水温躍層が曝気水深とほぼ同水深に形成されている。6月15日に発生した日平均流量64m³/sの出水の流速分布をみると、無対策時には表層から水深15mの範囲に河川水が貫入しているのに対して、流動制御時には部分的に水深20mにまで貫入層が低下しているのがわかる。尚、流動制御時の計算結果に見られる貫入層の2群分離は、本来ならば河川水温は連続的に変動するので実現象としては生じないが、以下に示す様にシミュレーションの取り扱い上生じたものであり、鉛直一次元というモデルの水理的な取り扱いにおいては、部分的な貫入層の低下として解釈が可能であると考えられる。一般に、季節や天候にもよるが河川水温は日間の水温時刻変動幅が3～5℃に達し、流入河川水の貫入水深が制御対象の一つである流動制御のシミュレーションでは、十分な精度でこれを表現する必要がある。既報[1]で述べた通り、ベースのモデルでの汎用的な取り扱いとの整合をとるために、このモデルでは流入河川水温の現地測定値の0時～12時および12時～24時の平均水温をそれぞれ昼間水温と夜間水温とし、この時間の比率で水量と負荷量を分割し流入河川水温の時刻変動に伴う河川水貫入層の時刻変化を表現している。

次に、図－6に流動制御の有無を比較して貯水池表層水質の経時変化を示す。尚、図中には出水時に流動制御を停止せずに、曝気期間中水深20mで曝気を継続している場合も併せて示す。平成2年は日平均流量で20m³/s以上の出水が5月8日、6月15日、7月2日、9月19日の4回発生しており、これに伴う高濁度河川水の表層部への流入およびその後の滞留が平成2年の耶馬渓ダムにおける水の華等の藻類異常増殖現象の要因の一つであると考えられる。図中の網掛け部は水の華現象の発生が確認された期間を示している。シミュレーション結果でも無対策時には6月から数度発生している出水後に表層の栄養塩濃度およびChl-a濃度が上昇している傾向が表現されており、無対策時のシミュレーション結果は、藻類の異常増殖現象の要因である出水による表層への栄養塩供給およびこれに伴う藻類群集の量的増大を表現していると言える。一方流動制御時は、6月19日の中小規模出水の貯水池貫入層が低下しているために出水後の表層栄養塩およびChl-aの上昇が無対策時に比べて抑制されていることがわかる。尚、出水時に下層部に侵入させた高濁度水塊を再び表層に巻き上げることを防ぐために6月15日および7月2日の出水後は表－3の基準に従って曝気数高を浅くした。図－6に示すように出水時の停止や貯水池水質鉛直分布に応じた運用を行わない場合は、例え流動制御を実施しても無対策時と表層水質はほぼ同レベルにまで上昇してしまうことから、流動制御をより効果的に適用するためには出水時には停止し、出水後には水質鉛直分布に対応して再開時期及び再開標高を判断する様に運用すべきであると考えられる。

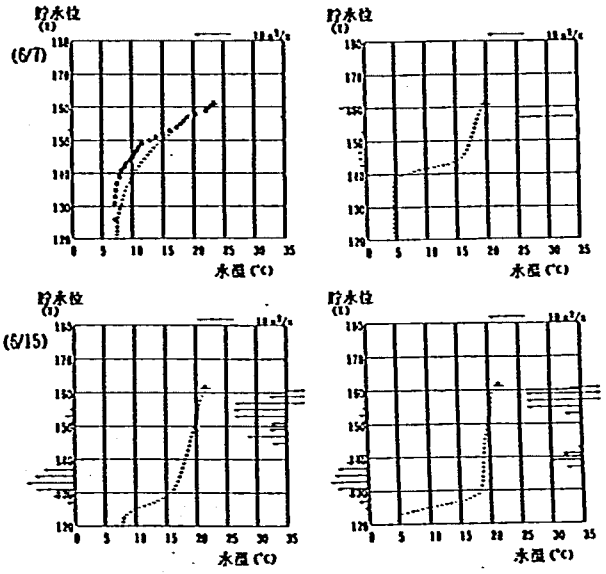
ここで、出水後の浅い曝気水深が藍藻類に対する光制限効果を小さくさせる事が懸念されるかもしれない。しかし藻類の異常増殖現象に対しては光制限と同レベルもしくはこれ以上に栄養塩制限としての表層負荷削減の効果が確実であり、この様な点から最大に表層の負荷削減効果を達成するためには高濁度水塊を巻き上げない運用方法が効果的である。

5．考察

流動制御は曝気によって生じる密度流を利用したダム湖水質保全システムである。本報の流動モデルは水温鉛直分布、吐出空気量、曝気水深を任意に与えることができるので、様々なダム湖で適用可能である。この流動モデルの関数形は、従来の気泡噴流の研究における吐出空気量と揚水流量との関係[2]とほぼ合致していることから、

流体の運動を厳密には解いていない鉛直一次元モデルにおける流動の表現というレベルでは概ね汎用的であると考えられる。

また、流動制御時の貯水池水質鉛直分布の表現精度についても、拡散係数に留意することと、境界条件の一つである流入河川水温の時間変動を考慮した取り扱いをすることによって、藻類群集の量的な側面としてのChl-a濃度も含めて流動制御による貯水池物理環境の変化による水理・水質的な影響が解析可能になった[1]。従って、ダム湖水質保全計画の検討段階において、流域からの目標削減負荷量の検討と直接比較して流動制御の効果を把握することやとや、ダム建設前の計画段階における流動制御による水質保全効果の定量的な検討の可能性が示唆された。更に、表－1の効果2および3の効果を十分に発揮するためには、出水時に流入した高濃度水塊の挙動に留意して運用することが必要であることが、シミュレーション結

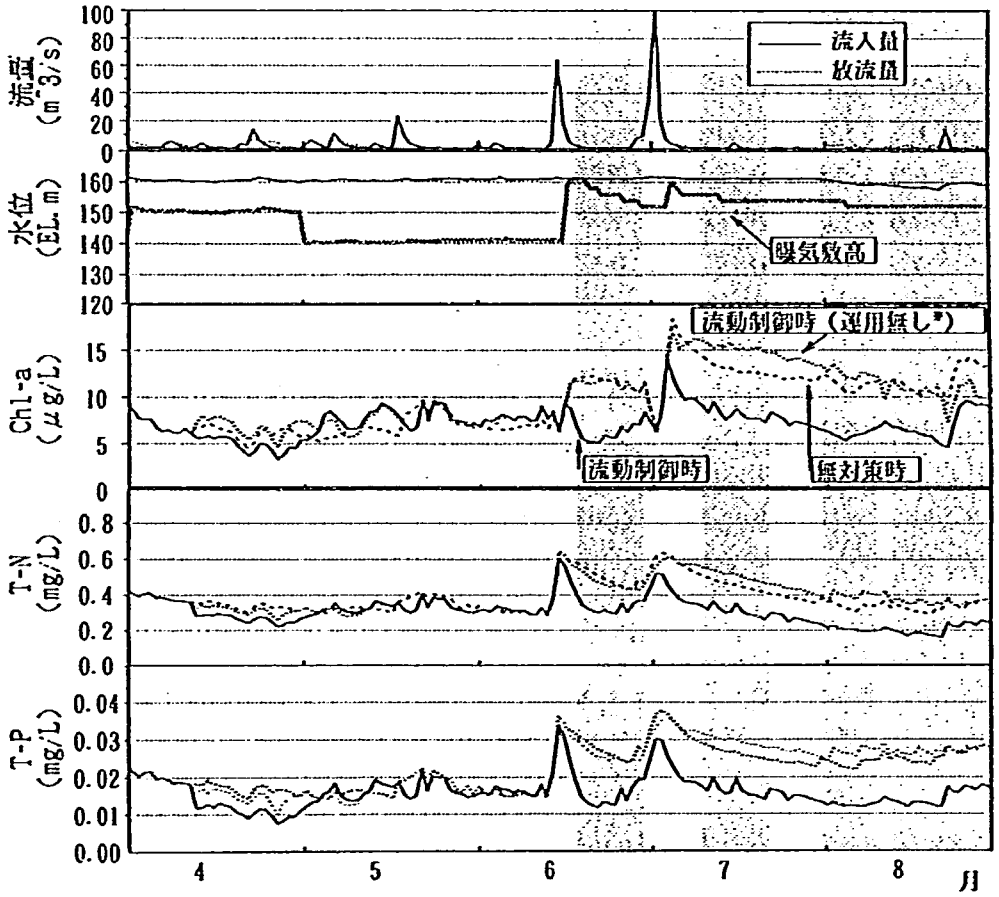


図－5　貯水池水温鉛直分布および河川水貫入層の比較

【計算条件】表－3参照

【図注】上：6/7，下：6/15，左：無対策時，右：流動制御時（出水時停止運用）

【矢印注】図－3の同注参照。6/15日の出水では、図の右端から左へのびる矢印で表される河川水の流入水深が低くなっていることがわかる。



注）網かけ部は藍藻類の異常増殖現象が確認された期間を示す。

※）出水時に曝気装置を停止せずに、曝気水深を貯水池水質鉛直分布に応じて変化させずに表－3の曝気散高で運用したケースである。

図－6　無対策時と流動制御時における貯水池表層水質の比較

結果から示された。尚、表－3に示した再開基準は絶対的なものでは無いので、対象貯水池毎に保全目標や水理水質特性を考慮して最も効果の上がる基準を採用すべきである。

しかしながら、流動制御による水質保全効果の内、富栄養化現象に対する効果メカニズムはこれらだけでなく、表－1の効果1である流動制御による藻類群集の質的側面すなわち優占種あるいは優占綱の変化を期待している。つまり、流動制御もその1手法に相当する曝気循環の効果として従来から言われている、優占種の藍藻類から緑藻類および珪藻類への変化である。この現象は国内外を問わず現地観測での報告例は多いが、複雑な因果関係を含んだ発生メカニズムは生理学的にも生態学的にも定量的な説明は殆どされておらず、推測される要素が指摘されている程度である。[1]しかし、藍藻類等の優占を抑制するという様な水質保全目標を設定した場合は、水質保全計画に於ける目標もしくは許容栄養塩濃度等が従来言われている富栄養レベルとは異なる可能性もあり、この様なことを検討するためには流動制御による藻類群集への質的な影響、つまり表－1の効果1を十分に表現できるモデルを用いる必要がある。そこで筆者らは、異なった生育特性を有する複数の藻類群集の直接あるいは間接的な相互関係を表現するモデルを作成している[1]。しかし、物理環境の変化に対する藻類群集の応答性について実測値を用いた検証が十分で無いことから、本報では十分な精度で検証された部分である藻類の量的指標であるChl-aで表現及び検討できる範囲に於ける検討を行った。尚、数値モデルにおける藻類の表現は群集全体の量すなわち光合成色素量であるChl-a濃度で取り扱い、藻類の出現種もしくは出現綱等の相互関係は表現しないことが多いのが現状であり、この様な従来の富栄養化問題の検討精度は本モデルは達成していると考えている。今後の流動制御の計画面の研究においては、数値モデルにおける藻類群集の質的側面の表現についても、実験やモデル解析も合わせて研究を進めていく予定である。

6．まとめ

①ダム湖の水理水質解析に用いられることの多い鉛直一次元モデルを改良し、流動制御による水理・水質・藻類に対する影響を表現することのできるシミュレーションモデルを作成した。

②このシミュレーションモデルを用いて、流動制御による貯水池水質保全効果の検証および効果的な運用方法について検討した。その結果、流動制御の効果を十分に発揮するためには、出水時に停止し再開時に高濃度水塊を巻き上げないように曝気装置を運用することが必要であることが確認された。

<参考文献>

1) 丹羽薫・久納誠・古里栄一；流動制御によるダム湖水質保全対策に於けるシミュレーション手法の検討，土木学会環境システム委員会環境システム研究，Vol. 23, 1995

2) 浅枝隆・池田裕一・Jorg Imberger；不連続な密度界面を持つ成層中における Bubble Plume の挙動と成層の時間推移，土木学会論文集，No. 438, 1991

3)R. A. Pastorok, Mark W. Lorenzen, Thomas C. Ginn Environmental Aspects of Artificial Aeration and Oxygenation of Reservoirs: A Review of Theory, Techniques, and Experiences, NTIS Technical Report E-82-3, 1982

◆ 現地試験特集 ◆

流動制御システムによるダム湖水質保全の現地実験

丹羽 薫* 久納 誠** 久保徳彦*** 古永 充****

1. はじめに

ダム湖の富栄養化現象を抑制する手法として、流動制御システムによる対策がある。環境計画研究室ではその有効性について、土木技術資料第35巻第11号(1993)、同第36巻第11号(1994)に公表してきた[1),2)]。流動制御システムは物理的な流動に対して複雑な生態系が反応するため、室内実験の結果を現実のダム湖の効果としてそのまま用いることは不可能と考えられ、その有効性の判断は実際のダム湖において流動制御の現地実験を行う手法によるのが確実である。流動制御システムの流動メカニズム、設備構造、及び管理運用手法については前述の土木技術資料において説明したので、本報では流動制御システムの現地実験、特に湖内で生息する浮遊藻類への影響を中心に述べる。

2. 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水温が流入河川水よりも高く、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。

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。

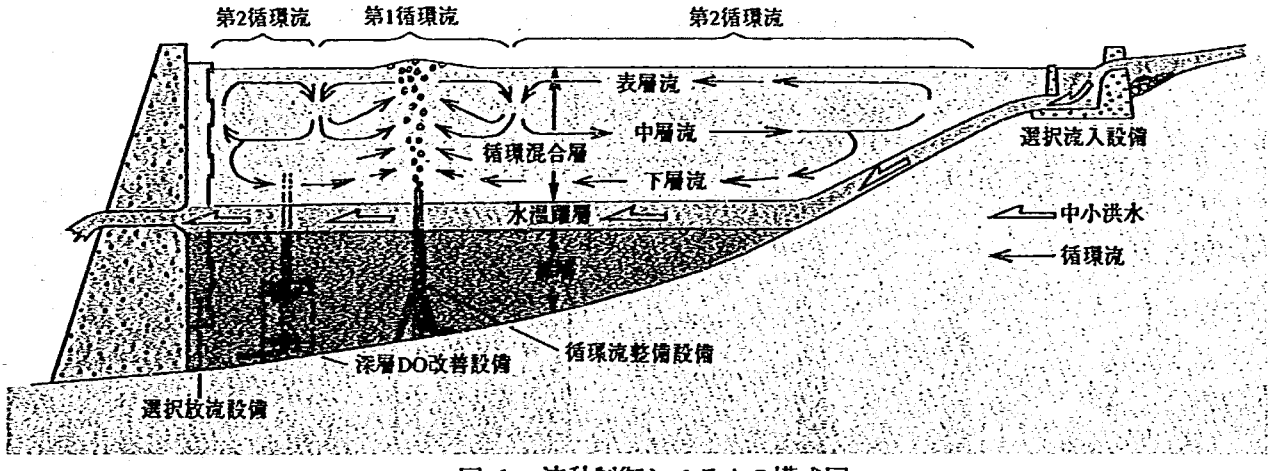


図-1 流動制御システムの模式図

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先阻止
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

Field Experiment using current Control for Preserving Reservoir Water Quality

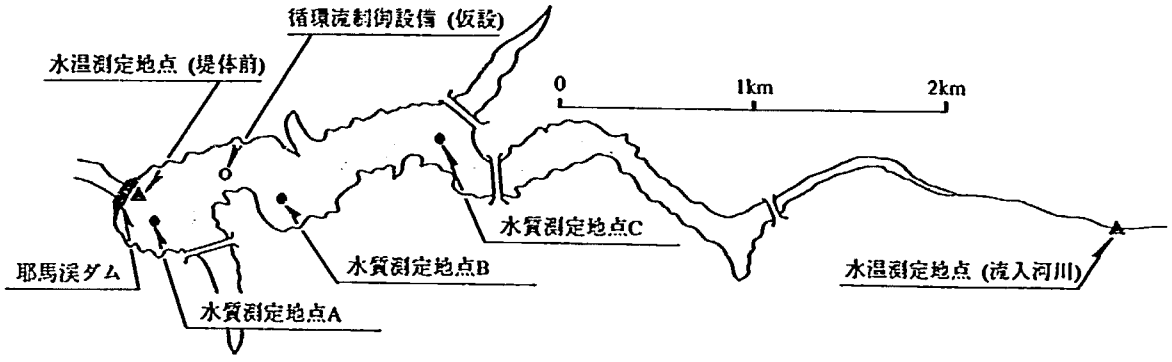


図-2　耶馬渓ダム現地実験位置図

3. 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-3 に示すように平成 4 年までは毎年夏季になると藍藻類が異常増殖し、それが原因でダム湖の水面にはアオコが発生し、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-2 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 (標高 141.2m) に実験用の循環流制御設備を設置した。

空気量は最大 5,500ℓ/min であり、噴出口は直径 32mm 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。

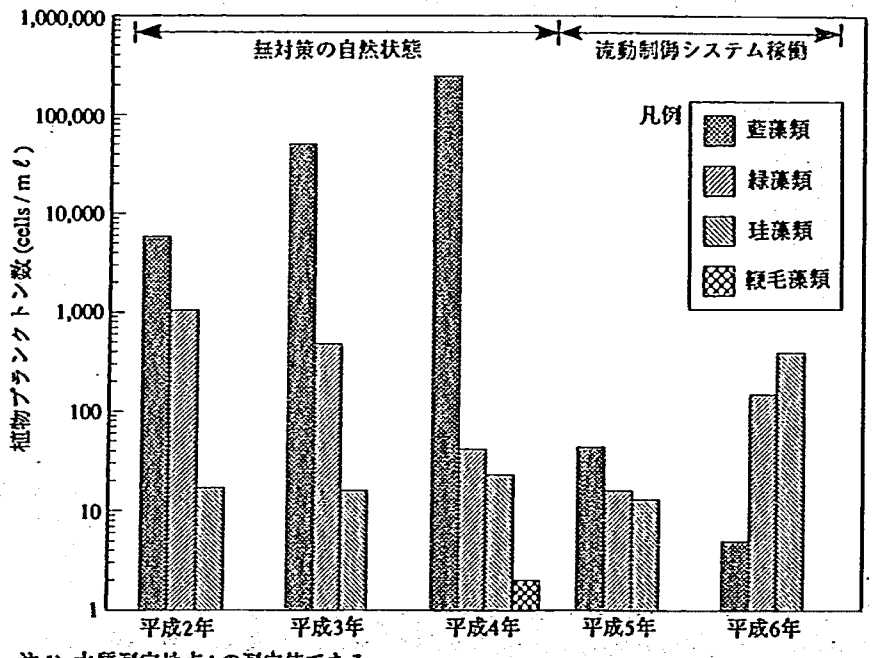
表-2　循環流制御設備の空気量

期間	空気量
平成 6 年 7/5 ～ 7/19	5,000ℓ/min
平成 6 年 7/19 ～ 8/9	2,500ℓ/min
平成 6 年 8/9 ～ 8/17	1,500ℓ/min
平成 6 年 8/17 ～ 8/24	0ℓ/min
平成 6 年 8/24 ～ 10/14	2,500ℓ/min

4. 実験結果

図-4 に水温鉛直分布の経時変化を示す。平成 6 年 7 月 5 日に流動制御開始と共に曝気後に水深 20m 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部もしくは循環混合層以深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°C 高い。この現象は東北地建の釜房ダムでも同様な観測結果が得られた。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



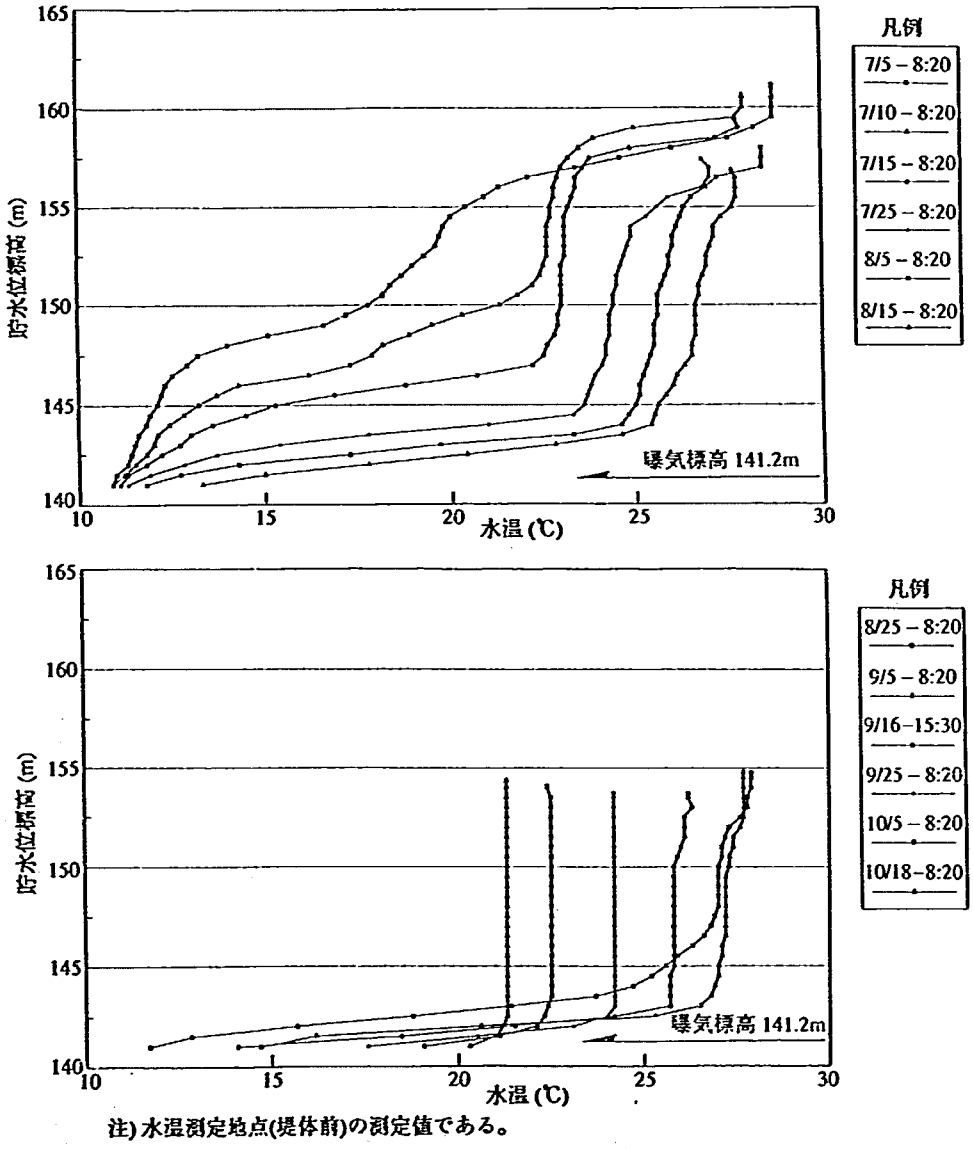
注 1) 水質測定地点Aの測定値である。
注 2) 7月、8月、9月の定期測定日および水深0.5mと2.5mの合計6データの平均値である。

図-3　夏季における耶馬渓ダム表層の植物プランクトン数の経年変化

月間は四時間帯とも表層部に流入していたが、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部に進入し、午後の二時間帯は循環混合層の表層部或いは中層部に流入している。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部或いは循環混合層以深に流入するようになった。

図-7 に表層部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は流動せず、9~10月は湖水が鉛直方向に流動していたためと推定できる。



注) 水温測定地点(堤体前)の測定値である。

図-4　水温鉛直分布の経時変化

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 は表層部における循環流制御設備から遠くの水質測定地点Cの植物プランクトン数と近くの水質測定地点Bの植物プランクトン数の比を示したものである。7月上旬から8月中旬までは植物プランクトンが増加し続けており、また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常に 30～40% 多く、表層部の湖水は上流から下流へ定常的に流れていたと推定できる。8月中旬から10月中旬までは植物プランクトンが増加し続けているにもかかわらず、両測定地点間の植物プランクトン数についてはほとんど差がなくなったため、この時季は表層部の湖水が水平方向に定常的に流動していなかったと推定できる。

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水平方向の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

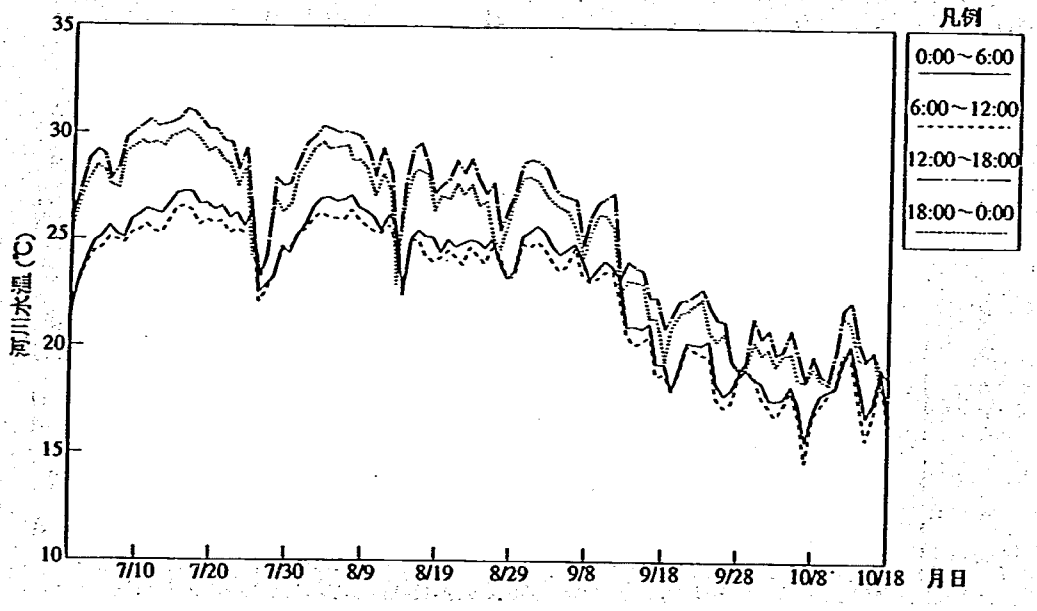


図-5　時間帯別河川水温の経時変化

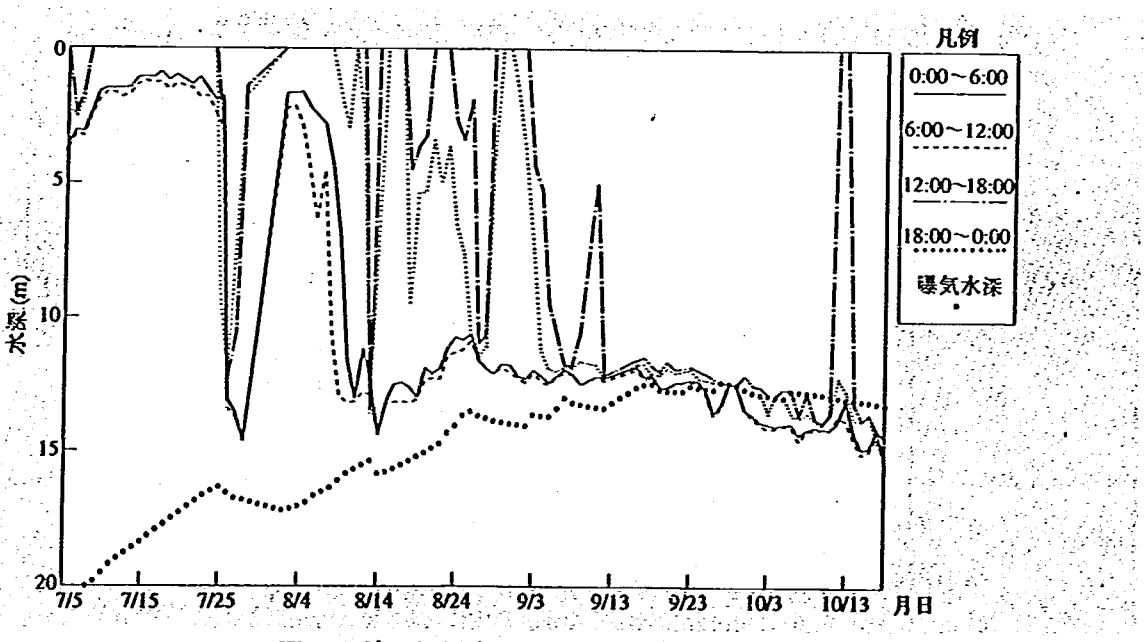


図-6　流入河川水のダム湖への流入水深

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、耶馬溪ダムの場合は、無機態のリンの量を表す PO_4-P の存在量がかなり少ないため、無機態と有機態を合わせた全てのリンの量を表す T-P が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であると考えて良い。

図-10 は T-P の経時変化を示す。空気量が 5,000 ℓ/min の期間は T-P は 30 ～ 40μg/ℓまで上昇したが、空気量を 2,500 ℓ/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。

5. まとめ

流動制御システムの現地実験を耶馬溪ダムで実施したところ、次のような実験結果が得られた。

(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、循環混合層を形成させたら、藍藻類の増殖を阻

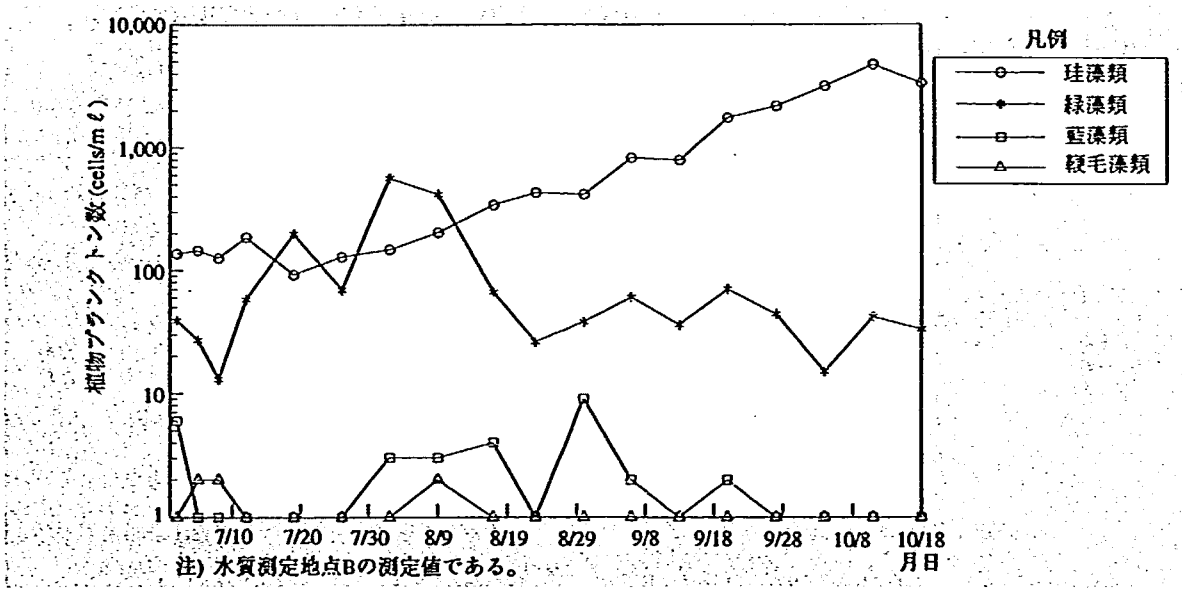


図-7　表層の植物プランクトン数の経時変化

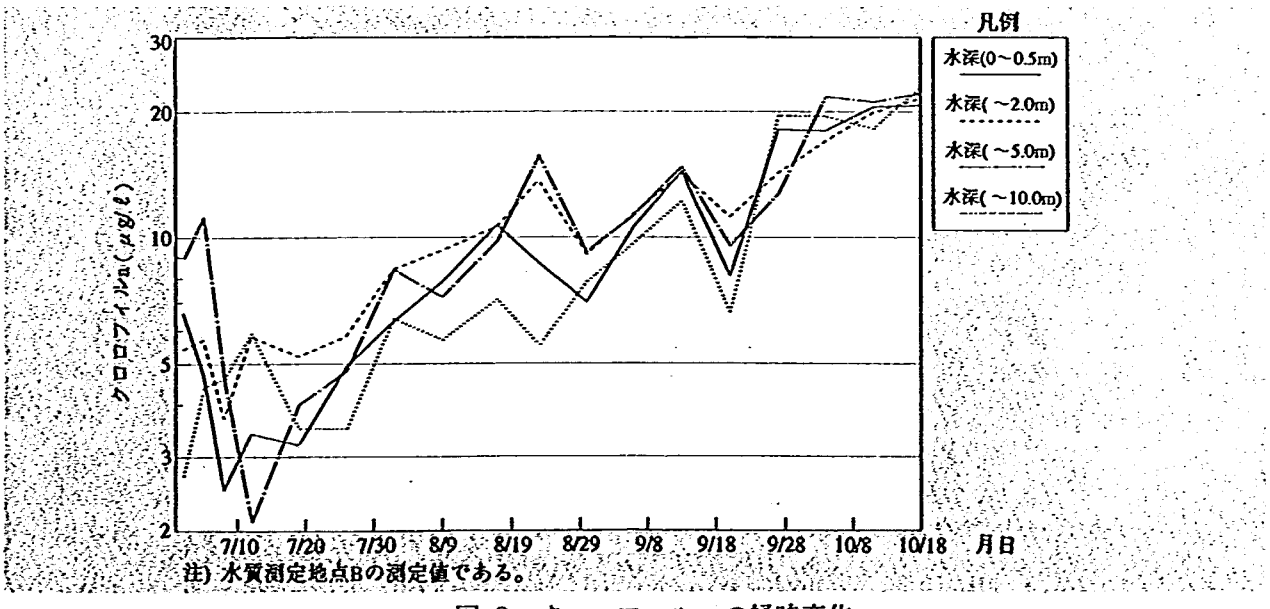


図-8　クロロフィルaの経時変化

止でき、水質的な問題とならない珪藻類や緑藻類が増殖した。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。

耶馬渓ダムを管理する山国川ダム・堰統合管理事務所では、現在、流動制御システムの恒久施設を設置工事中であり、平成7年度より本報の現地実験結果等を基に操作運用する予定である。

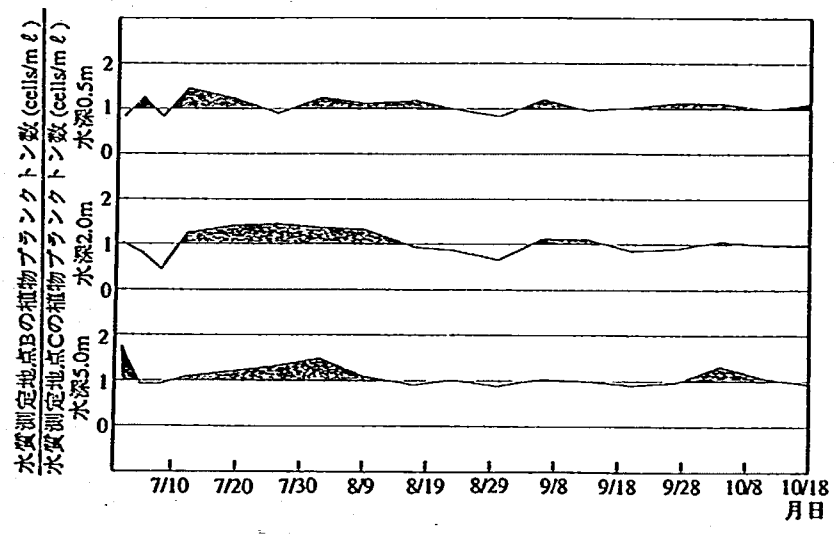


図-9 表層流動に伴う植物プランクトン数の経時変化

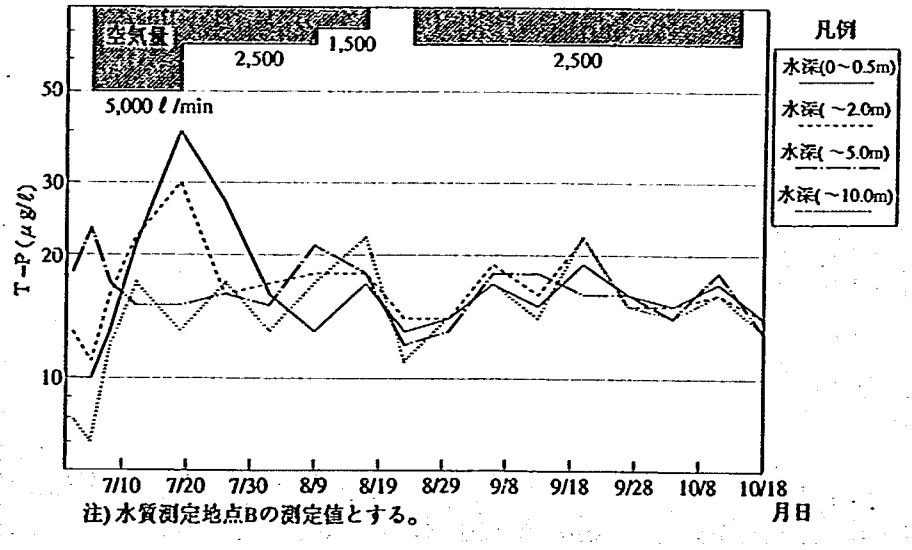


図-10 T-Pの経時変化

参考文献

1) 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.

2) 丹羽薫、久納誠、森本浩之、高橋健夫、古永充：ダム湖における流動制御による水質管理, 土木技術資料, 第36巻第11号, 1994.

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.

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**



水資源開発公団
(前 環境計画研究室
主任研究員)
Makoto KUNOU

久保徳彦***



建設省土木研究所環境部
環境計画研究室研究員
Norihiko KUBO

古永 充****



同 環境計画研究室
部外研究員
Mitsuru FURUE

ICOLD 第18回大会提出論文

Q.69-R.30 成層化した貯水池における曝気・循環装置による藻類増殖の抑制[*1]

安藤信夫[*2]
丹羽薫[*3]
寺薗勝二[*4]
福田正晴[*5]

1. はじめに

ダム貯水池の富栄養化対策としては，流入する栄養塩類を削減する対策が最も抜本的かつ基本的な対策である。しかし，ダムの上流域において下水道や畜産排水処理施設等を整備するためには長年月を必要とし，またダム貯水池に流入する低濃度で大量の河川水を浄化することにも多くの困難が存在する。

ダム貯水池の曝気・循環は，栄養塩負荷の削減対策の実施と比較して，導入が容易であるが，我が国の多目的ダムにおいては，冷水放流や濁水長期化現象の発生防止が重要であり，貯水池の温度成層を破壊するような曝気・循環の実施は困難である。温度成層を保持しつつ，水質保全効果をあげることが，曝気・循環を導入するに当たっての課題である。

ここでは，我が国の多目的ダムの特性にあった曝気・循環手法を調査・研究するため実施された現地・室内実験の結果を報告し，曝気・循環による藻類増殖の抑制機構および曝気・循環装置の計画手法について述べるものである。

2. 曝気・循環による藻類増殖の抑制機構

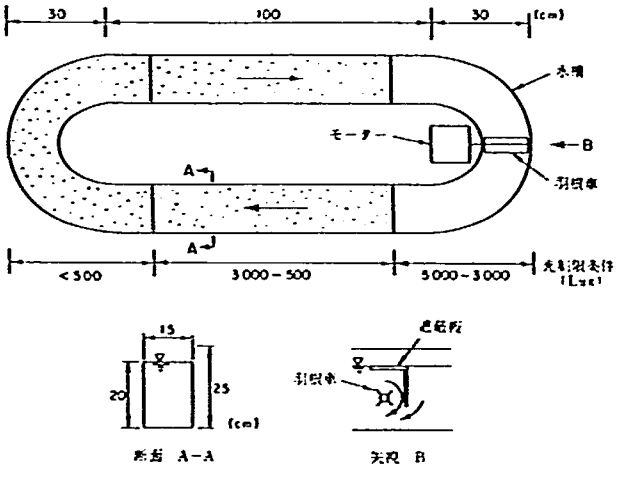
2.1 現地パイロット実験結果

多目的ダム貯水池において曝気・循環による水質保全技術を確立することを目的に，代表的な4箇所のダム貯水池でパイロット実験が実施された。パイロット実験の詳細については，藤本，森北[1]により紹介されている。また，釜房ダムにおけるパイロット実験については，丹羽ら[2]によって紹介されている。

それらの結果より，曝気・循環による藻類増殖抑制効果に寄与する項目としては光制限及び水温低下が挙げられている。特に光制限については曝気水深が深くなると循環が無光層に及び，クロロフィルa濃度も低くなる傾向が認められ，光条件の変化が藻類増殖抑制に深く関与しているものと考えられる。

2.2 室内補足実験結果

現地実験の補足実験として，室内で循環水路を用いて光制限の影響による増殖抑制及び種の交替を把握するべく実験を行った。実験装置は図—1に示す通りであり，この水路の中に藍藻類（Phormidium tenue），珪藻類（Melosira ambigua），緑藻類（Pandorina morum）を各々の濃度が1000 cells/ml となるように混合・添加し



図—1 室内実験装置

[*1] Control on the Algae Growth by Aeration/Circulation in Stratified Reservoir
[*2] 農林水産省構造改善局建設部水利課農業用水対策課長（元建設省河川局開発課水源地対策室長）
[*3] 建設省土木研究所環境部環境計画研究室長
[*4] 前ダム水源地環境整備センター 理事
[*5] 建設省近畿地方建設局琵琶湖工事事務所長（前前ダム水源地環境整備センター 研究第2部部長）

て，5～30日間の暗期間をおいた後で，水温（20℃），流動条件（1，5，10cm/s），光制限条件（無［4000 lx］，有［図1］），栄養塩条件（少［N＝1，P＝0.1mg/ℓ］，多［N＝10，P＝1 mg/ℓ］）の条件で培養し，増殖状況を観察した。

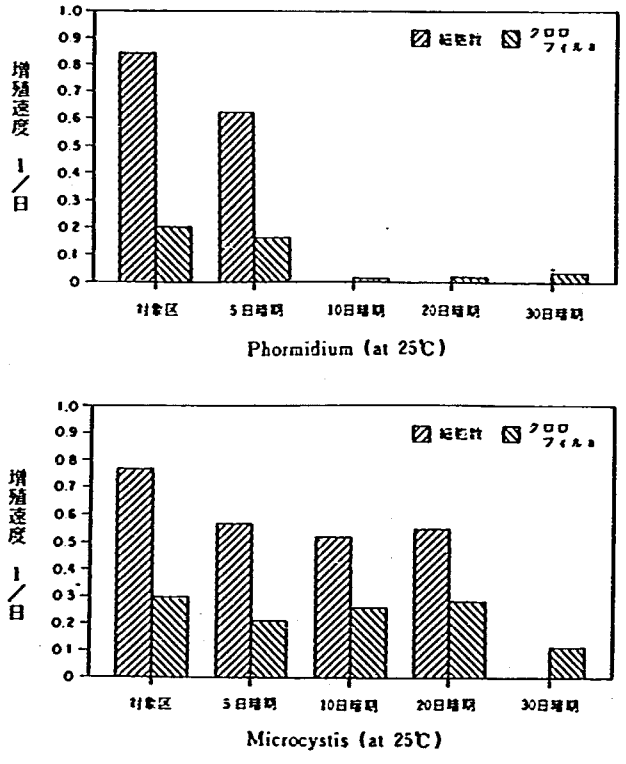
本実験で明らかになった事項は，次の通りである。

1) 全ての条件で，光制限有のほうが光制限無に比べて植物プランクトンの細胞数は少なく抑えられており，光制限による効果が明らかに認められる。

2) 光制限に対する耐性は，緑藻類・珪藻類＞藍藻類の関係が認められる。また，ある期間暗条件に置いてから通常の明暗条件（0.5明，0.5暗）に戻して培養し藻類増殖量を調べた結果，同じ類の中でも図—2に示すように種により耐性が異なること，また異臭味の原因藻類であるPhormidiumの耐性が小さいことが分かった。

パストロック[3]やシャピロ[4][5][6]によると，湖沼・ダム湖で曝気・循環を実施した場合，植物プランクトンの優占種が藍藻類から緑藻類に代わると報告されているが，上記のような藻類の光制限に対する耐性の違いが，曝気・循環に伴う光制限の効果として現れていることを示唆している。

2.3 曝気・循環に伴う水環境の変化がもたらす藻類増殖抑制効果



図—2 藻類の増殖速度の変化

現地実験及び室内実験の結果より，曝気・循環に伴う藻類増殖の制限要因としては，湖水の流動に伴い貯水池表層の水温躍層が低下して表層の層厚が増大し，それによって光制限効果が大きく作用するものと考えられる。従って，ダム湖への循環手法の適用にあたっては，藻類を暗い場所に長くとどめておくという考え方より，上・下層の混合循環の中で，どの位の水中照度にまで低下させ藻類増殖を抑制させるかといった考え方の方が実際的と考えられる。

3. 曝気・循環の形態

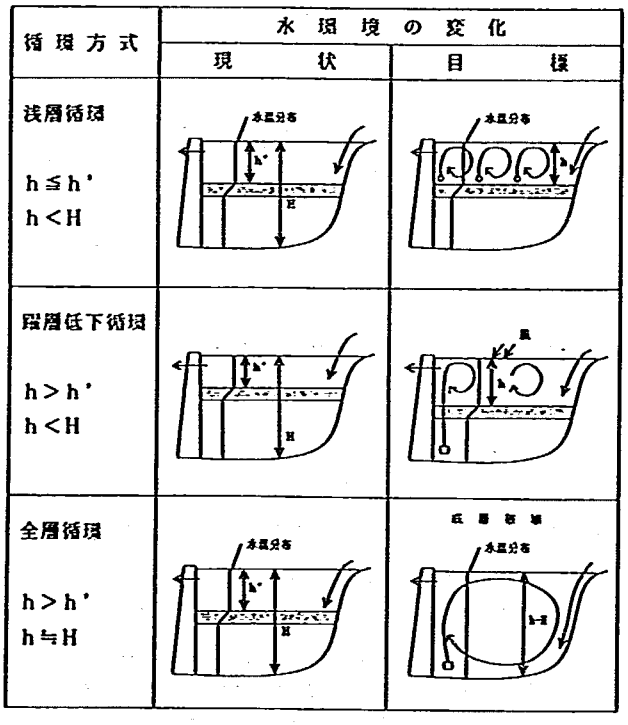
富栄養化対策として実施される曝気・循環は，湖水に循環を起こさせて藻類の増殖抑制を図るために必要となる水深h（必要混合水深），循環を加えない自然状態での表水層厚h'および貯水池水深Hとの関係より，図—3に示すように3つに大別できる。

1) 浅層循環

貯水池の表水層厚が必要混合水深に比べて深い場合には，表水層内の循環を助長し，藻類を強制的循環で希釈・拡散させ，増殖を抑制する方法が採られる。

2) 躍層低下循環

必要混合水深に比べて表水層厚が浅く，貯水池水深が深い場合には，貯水池下層の水を表層に汲み上げて水温躍層を低下させ，且つ表水層内を循環させる方法



図—3 湖内強制循環による植物プランクトンの増殖抑制方式

が採られる。

3) 全層循環

水質保全効果を高めるために，必要混合水深を更に深くしてゆき，これが貯水池水深とほぼ等しくなると，貯水池全層が混合されることになる。但し，日本における多目的ダムでは，冷水問題，濁水の長期化等の問題によりあまり採用されない。

曝気・循環装置としては，各種のものが提案され開発されているが，これらを大別すると，①間欠式揚水筒方式（水中に設置した揚水筒から間欠的に大きな気泡を発生させる），②散気式循環方式，③ポンプ式循環方式があり，各々の特色に合わせて利用されている。

4. 循環装置の現地実験

曝気・循環装置の内のポンプ式循環装置を夏期成層化した貯水池に設置して躍層低下循環を行い，主として装置周りの流動状況を把握するために水温・流動状況を調査した。また，今回の装置の規模は全湖的な水質改善を図るものでは無いが，全湖的に及ぼす影響（払散状況，水質変化，等）についても調査した。循環装置を図—4に示す。

〔貯水池概要〕

- 有効貯水量　12307千m³
- 湛水面積　0.77km²
- 平均水深　16m

〔循環装置概要〕

- 吐出水量　0.25m³/s
- 吐出速度　14m/s
- 電動機出力　3.7kw

} ×4基

〔設置条件〕

- 吸込水深　12m
- 吐出水深　5m

4.1 現地実験内容

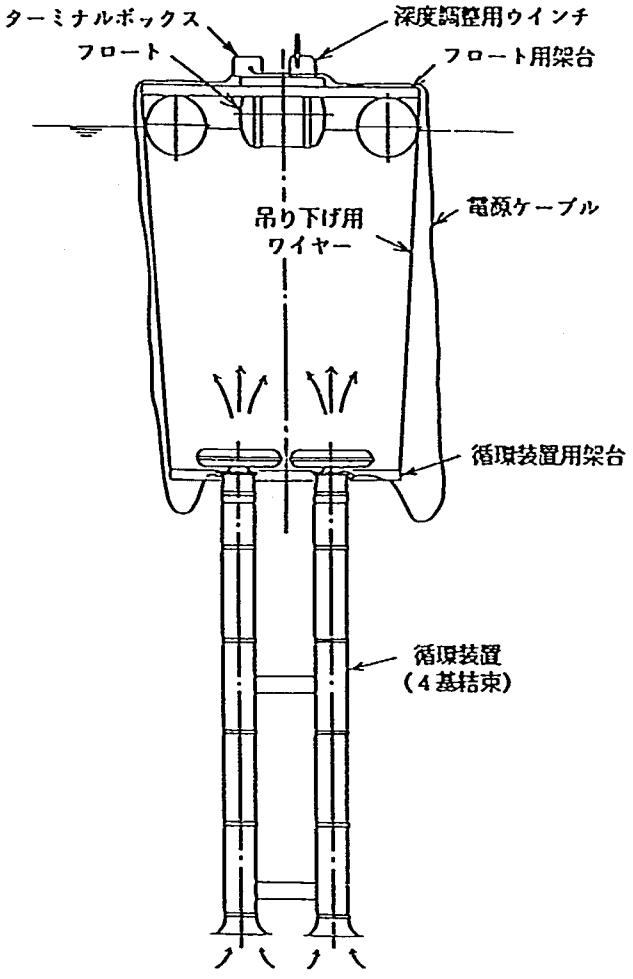
1) 調査内容

夏期成層期の7月24日～9月11日にかけて，貯水池内の代表地点及び流入・放流地点において，循環装置の稼動前・中に，風向・風速（連続），流向・流速（連続），水温(連続)，水質及び生物活性の変化について調査した。この期間中，循環装置の連続運転を行ったのは，8月7日～8月30日及び9月3日～9月11日の間である。

また，循環装置稼働中に装置近傍の地点で流向・流速，水温を細かく測り，循環装置の能力・特性を調査した。

2) 調査地点

調査地点は，流入河川1点，放流河川1点，貯水池内13点（内，循環装置近傍8点）の合計15点である。調査地点を図—5に示す。



図—4　ポンプ式循環装置

4.2 水理・気象概況

実験期間中における水理・気象状況を図—6に示す。実験期間における特徴的な水理・気象状況は次の通りである。

7/24～7/31　晴天日が続き日射量，気温とも高く，典型的な夏型気候である

8/ 1～8/ 7　貯水位が徐々に低下し，8/4～5に強風

8/ 8～8/20　8/8，12，18に台風の影響でまとまった降雨があった

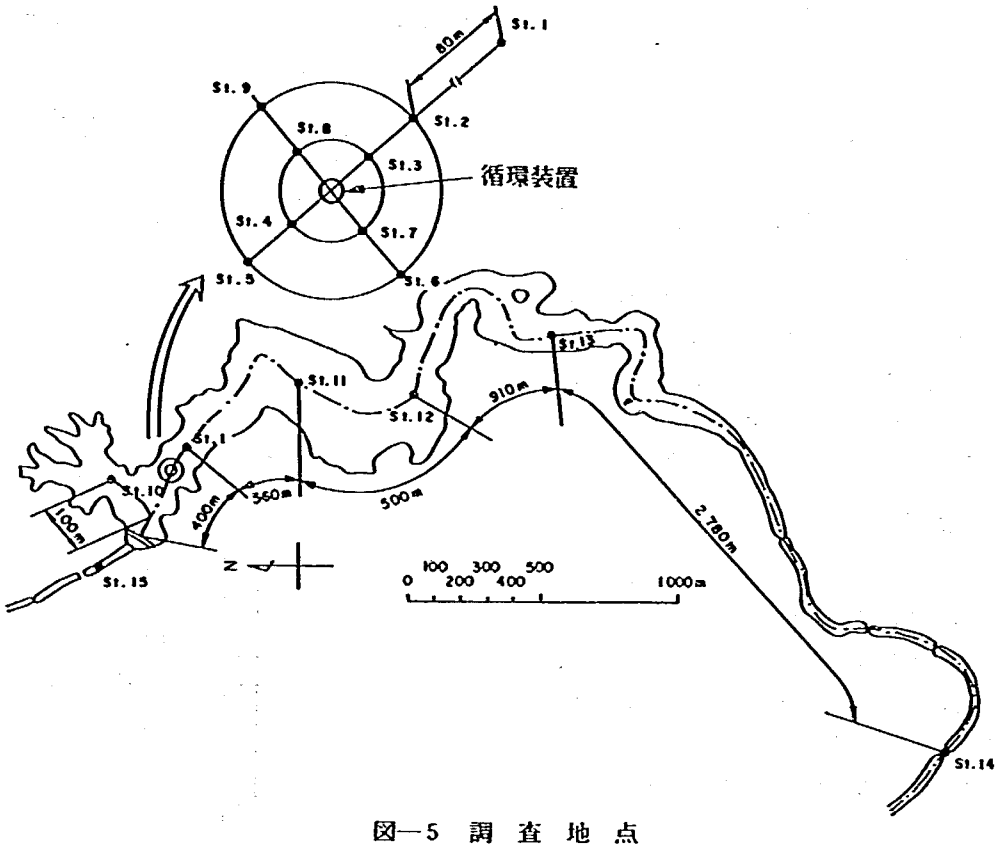
8/21～9/ 4　晴天日が多い

9/ 5～9/13　徐々に気温が低下

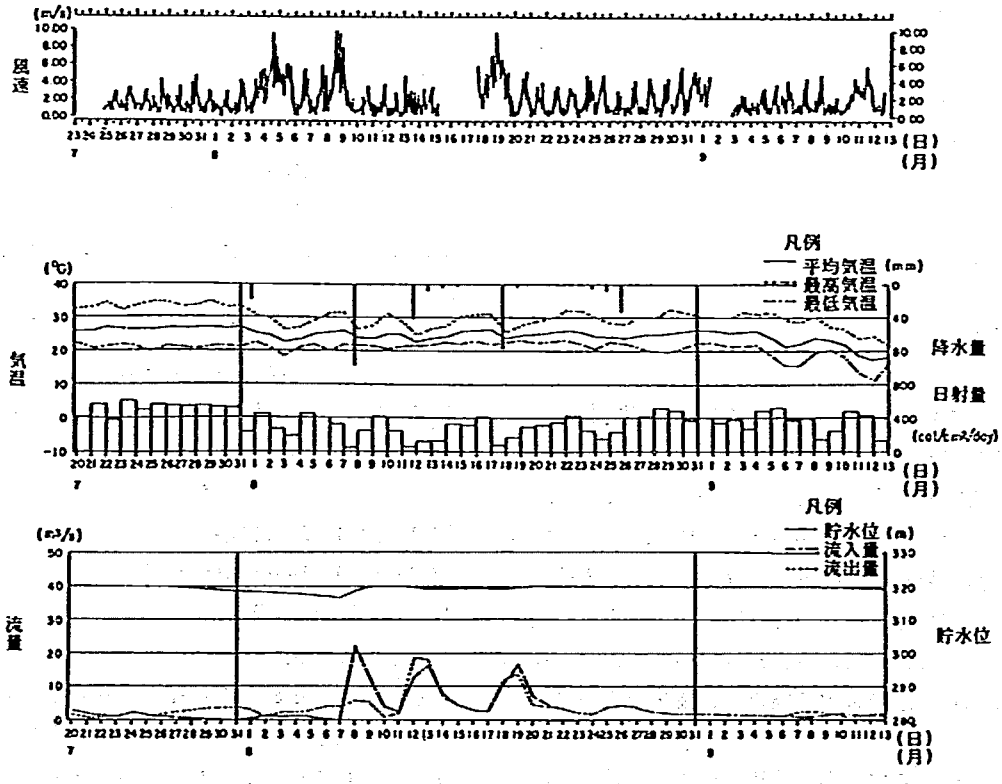
4.3 現地実験結果

1) 水温変動状況

水温連続測定結果を日平均で整理し，貯水池内の代表点及び流入水の水温変動状況を図—7に示す。これより，水温変動は水理・気象状況の変動と良く一致しており，出水・強風の後には表面付近の水温成層が弱められてい



図—5 調 査 地 点



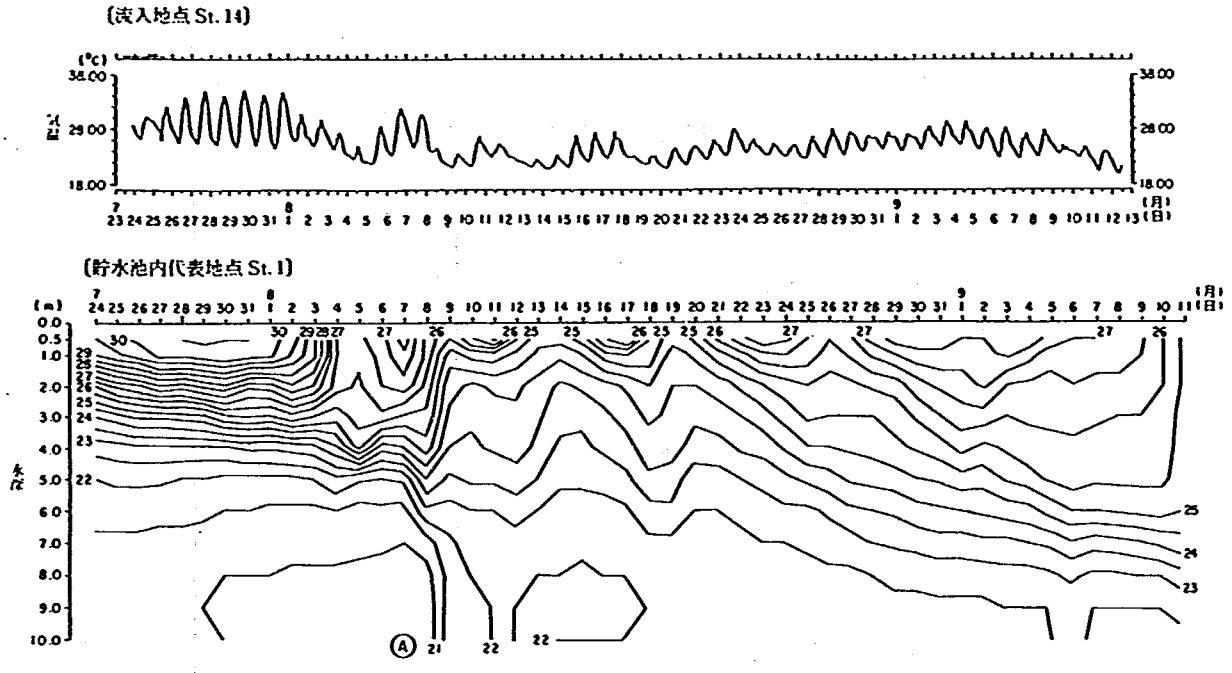
図—6 水理・気像状況

る。この傾向は，平均風速が3 m/s を越えた時に顕著である。また，全体的に等水温線が右下がりとなり温水層が厚くなっており，これは循環による影響と考えられる。

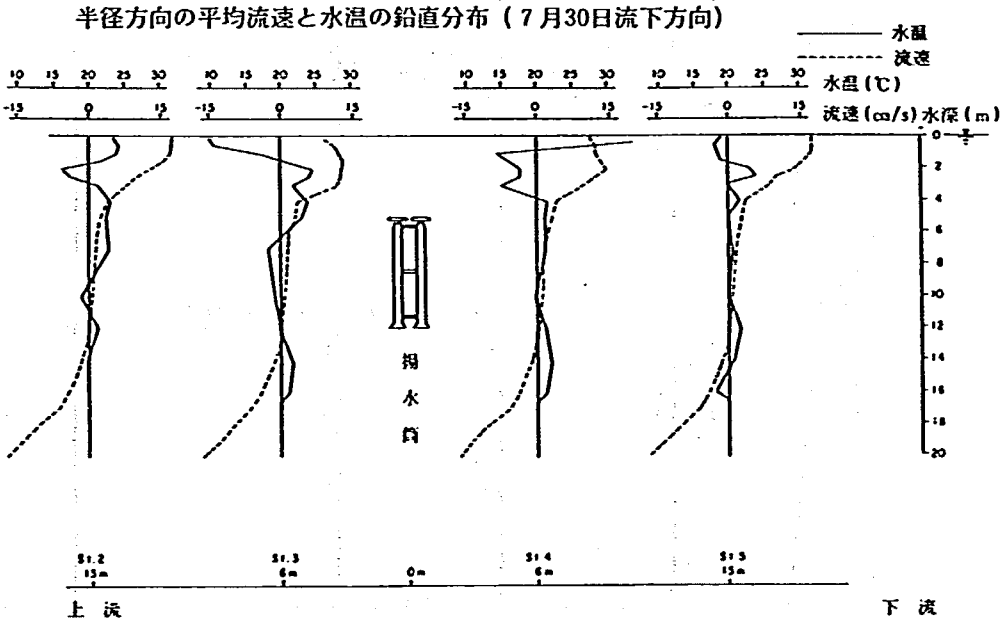
2) 循環装置周辺の流動状況

循環装置周辺の流動状況を調べるために，本実験開始前に循環装置を一時運転し，流向・流速，水温を調査した。この結果から，半経方向の平均流速と水温鉛直分布を整理したものを図—8に示す。これより，循環装置によって打ち上げられた流れは表面において横向きに代わり，表層水を巻き込みながら水深2.5mの躍層の上に潜り込んでいる。この潜り込み水深は，実験の経過と共にやや深まっている。

3) 揚水された水の貯水池内の拡散状況



図—7 水温変動状況



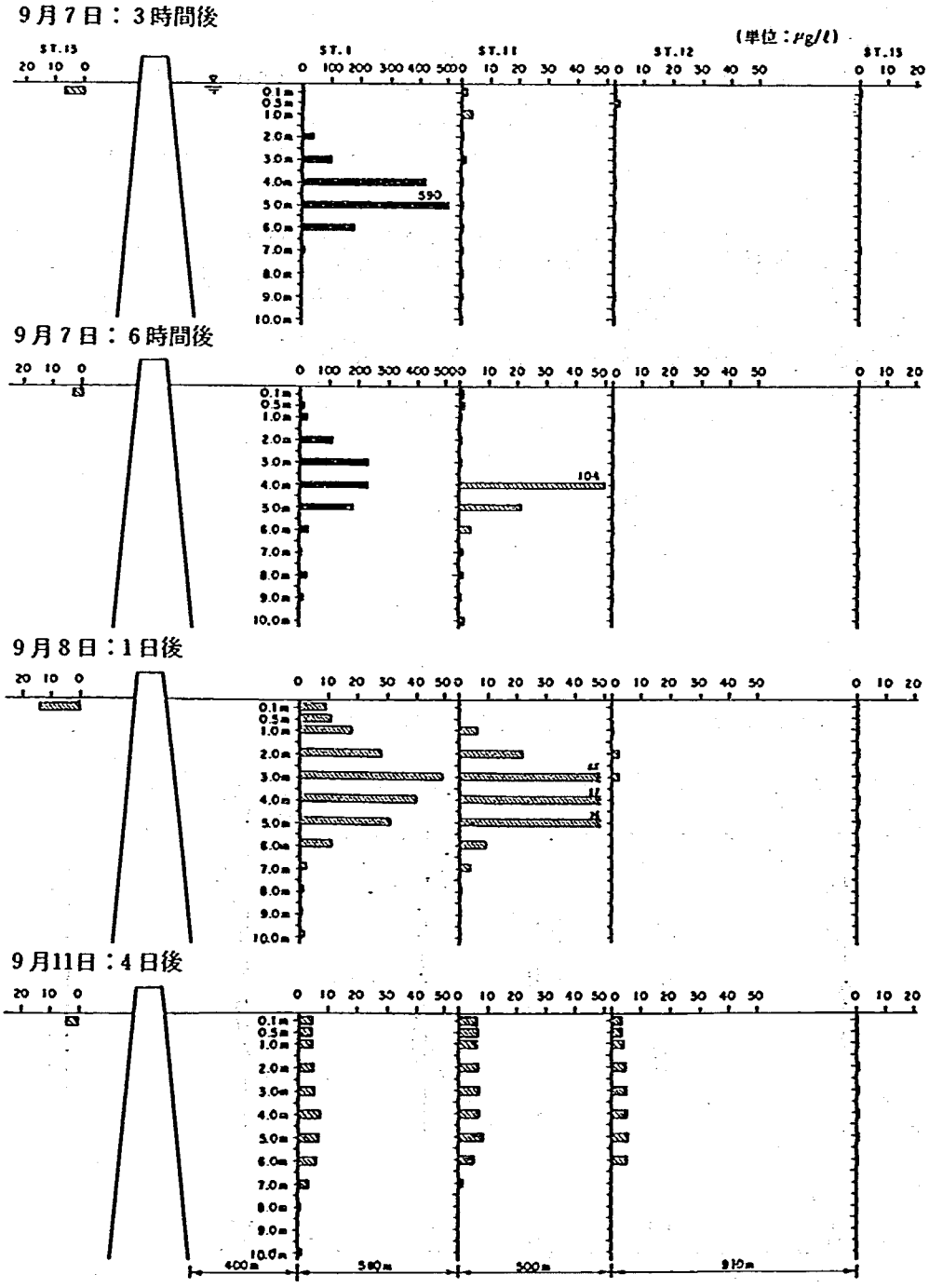
図—8 循環装置周辺の流動状況

循環装置の中にトレーサーとしてウラニン（フルオレセインナトリウム）を混入させ，一定時間後に貯水池内の計測点で採水分析した結果を図—9に示す。これより，循環装置から測定点の距離と到達時間の関係から求めた拡散速度（1.3~3.6cm/s）は，流速計による流軸方向の流速（0.7~4.0cm/s）と概ね一致している。

また，ウラニンの濃度分布を見ると，表層約3～5mで拡散しており，図—8の流速分布と対応を示している。

4) 生物活性

循環前及び循環中の藻類の生産力を比較するために，明暗ビン法による生物活性調査を行った結果を表—1に示す。循環前・中の調査時の環境条件をみると日射量，水温，水中照度ともに概ね同程度であり，水質についてみると栄養塩，クロロフィルaともに循環中の方がやや高かった。このような状況を踏まえると，循環前・中で生産力が同じであれば循環中の方が生産量が増えると考

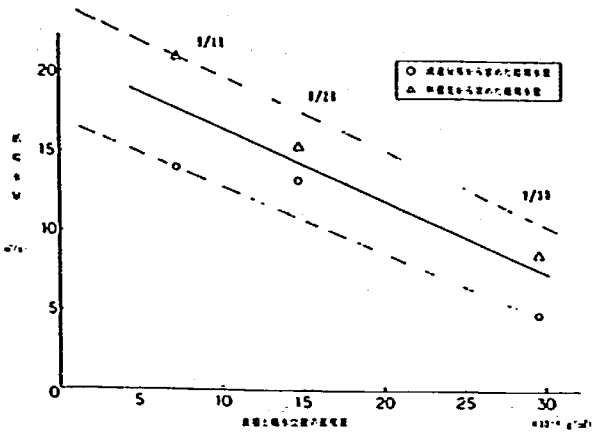


図—9 貯水池内のウラニン拡散状況

表—1 循環前及び循環中の生産力の比較

(単位：mgO₂/l)

	地点	水深	呼吸量	生産量	生産量—呼吸量
循環前	St. 1	1 m	2.3	2.7	0.4
		2.5m	0.5	0.0	−0.5
	St. 12	1 m	1.4	3.2	1.8
		2.5m	1.7	0.8	−0.9
循環中	St. 1	1 m	2.0	1.9	−0.1
		2.5m	1.7	0.6	−1.1
	St. 12	1 m	3.4	0.8	−2.6
		2.5m	0.8	0.0	−0.8



図—10 循環水量計算結果

えられる。しかしながら，水深１ｍにおいては循環前は生産量が呼吸量を上回っていたのが，循環中では呼吸量の方が多くなっており，循環により生産力が弱まったものと考えられる。

また，水深2.5ｍにおいては循環前，中共に呼吸量の方が多くなっているので，この時の貯水池の補償深度となっていたと考えられる。

4.4 実験結果の解析

1) 循環装置の能力

ポンプ式循環装置の循環水量を２通りの方法により算定した結果を図—10に示す。算定方法は次の通り。

① 装置から15ｍの距離における表水層内の外側向きの流速成分を積分することにより試算する。

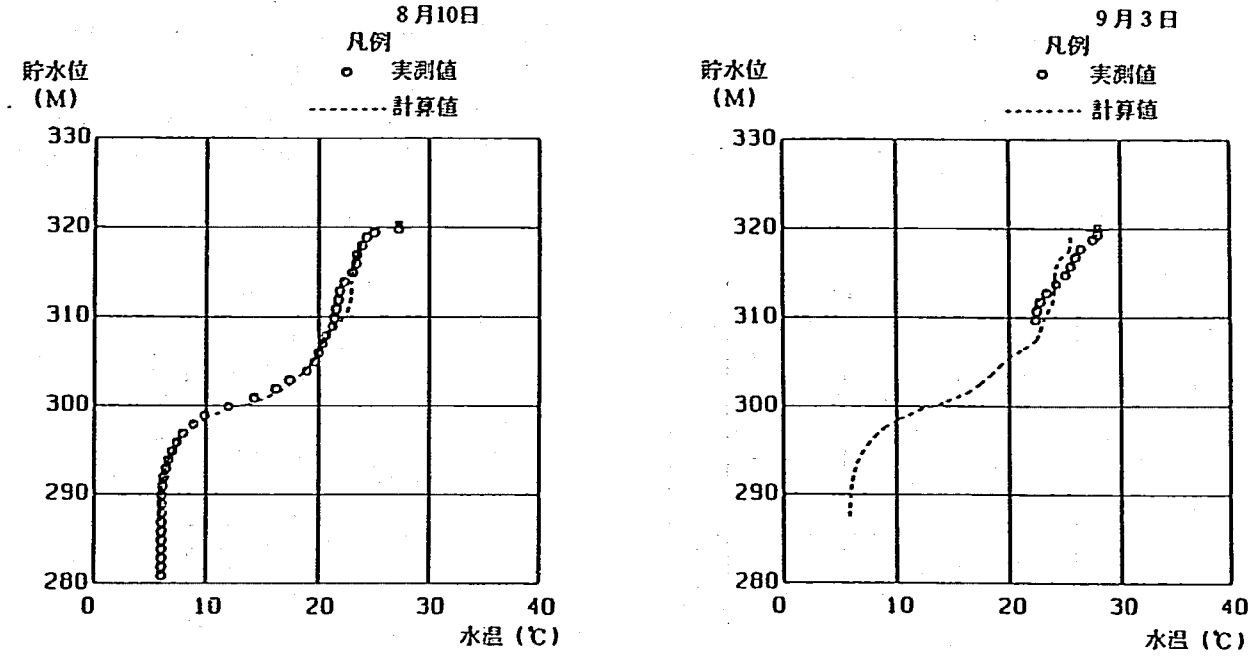
② 揚水される低層水と，表層水を連行し躍層上に潜り込んでいく流れに関し熱収支をとることにより試算する。

これより，今回用いたポンプ式循環装置は，吐出水量（１㎥/s）に対し最大20倍程度の水量を連行するものと考えられる。

2) 循環装置による水温変化のシミュレーション

循環による水温分布の変化を鉛直一次元計算モデルを用いてシミュレーションした結果を図—11に示す。この図から，計算値は実測値をほぼシミュレートしていることが分かる。

水温分布の形状を見ると，稼働直後に比べて稼働約１ヶ月後の方が水温成層強度がやや弱まっているようで



図—11 水温分布計算結果

あるが，今回の循環装置の規模・稼働時間では顕著な水温躍層の低下が期待できないので，水質改善を図る場合には次のような対応が望ましい。

- 夏期に水温躍層が形成される前から，長期的に循環装置を稼働させる。
- 循環装置の規模を貯水池容量に見合ったものにする。

3) ローレンツェンモデルでの整理

今回の循環装置の規模は，基本的に貯水池全体の水質改善を図るものではないが参考的に実験結果から得られた水温データ，水質データをローレンツェンモデル[7]に適用し，この貯水池の既往データと共に整理したものを図—12に示す。同図からみると，循環前のデータは既往データによる栄養塩制限，光制限の範囲に入っているが，循環中のデータは混合水深が十分に大きくとれなかったため，栄養塩制限が緩和された状態となっている。これは，出水等による影響も考えられるが，循環装置の稼働により，吸込位置にあたる貯水池低層の栄養塩を結果として貯水池表層に供給することになった可能性がある。

但し，クロロフィルａは循環中に高い値を示したが，植物プランクトン細胞数，PH，DO の変化については循環前に比べて必ずしも高くなく，生物活性も循環中の方が低下しているので，循環中のクロロフィルａには死滅した藻類も相当量含まれているものと考えられる。

4.5 実験結果のまとめ

今回の実験データ，検討結果を取りまとめると以下の通りである。

1) 循環装置周りの流動状況

循環水量は水温による密度差に影響され，ポンプ吐出水量の５～20倍の範囲であった。

2) 全湖的な水温・流動状況

- 循環流は水温躍層の上（概ね水深３～５ｍ）に潜り込み貯水池全体に広がる。
- 全体的に等水温線が右下がりとなり，循環によって温水層が次第に厚くなっている。
- 風のせん断力により貯水池表層部の流動状況が変化するため，強風時には表面水温は低下し混合水深は深くなる。

3) 循環による水質への影響

- 循環により植物プランクトンの活性は弱められたと考えられる。
- 循環により栄養塩を表層に供給した可能性がある。

4) 循環装置の稼働

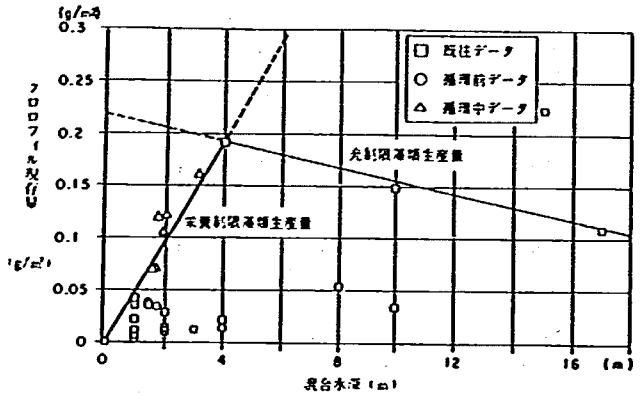
- 循環装置の稼働は，成層形成期から始めるのが躍層低下の効率及び藻類増殖抑制の点から効果的と考えられる。
- 出水等で特に栄養塩濃度の高い水が流入する場合には，装置を稼働させると表層への栄養塩の供給になるので，一定期間装置を停止する方が得策と考えられる。

5. 曝気・循環装置の計画手法

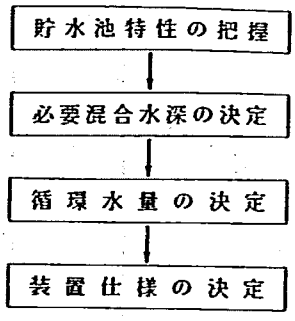
貯水池の富栄養化対策の一環として曝気・循環装置を導入するには，貯水池の特性（形状，貯水容量，流入・放流量，気象，等）及び水質特性（水温分布，栄養塩濃度，プランクトン種類・数，等）を把握した上で，その貯水池に適した方式，規模の設備を計画しなければならない。

近年では，それぞれの循環方式について，水温・流動シミュレーション計算に加え，エネルギー効率的な理論検討もなされており，現地実験結果と比較検討することにより最適な計画手法が構築されつつある。

ここでは，ダム貯水池に富栄養化対策として，躍層低下循環を行うために循環装置を導入する場合の簡易的な



図—12 ローレンツェンモデルの適用



図—13 計画フロー

計画手法を紹介する。計画フローを図—13に示す。

5.1 貯水池特性の把握

貯水池の特性を把握するため，次のようなデータ整理を行う。

①増殖抑制の対象とする藻類種を特定する。

②過年度の水温の鉛直分布状態を整理し，特に植物プランクトンが増殖し易い夏期の水温躍層位置を確認する。

③その場所での貯水池水深を調べ，水深と水温躍層位置との関係を確認する。

④過年度の植物プランクトン量（クロロフィルａ）とその水深との関係をローレンツェンモデルに整理する。

5.2 必要混合水深の決定

藻類量の制限を目的とする場合は，ローレンツェンモデルに貯水池の富栄養化抑制の目標クロロフィルａ値を記入し，この線と光制限の線との交点が必要混合水深となる。

また，Phormidium などによる異臭味障害を解消する目的の場合は，既往知見から平均水中照度が2000 lux 以下となる深度を必要混合水深としている。

5.3 循環水量の決定

貯水池の水位と貯水量の特性より，夏期の表水層厚と必要混合水深との水位間の貯水量を求める。循環装置はこの貯水量を所定の期間で循環させる能力を持つ必要がある。

5.4 装置仕様の決定

各々の循環方式，循環装置の特性により循環水量は異なったものとなるが，躍層低下循環の場合は，既往知見によれば散気式循環装置が効率的に優れているとされている。

散気式循環装置の循環水量は，気泡流量，気泡の速行率及び放出水深との相関関係により決定される。これについては浅枝[9]らの研究により次のような簡易的な関係式が導かれている。

$$L_m=(Q_B^2/g)^{(1/5)}$$

$$Q_c=K\cdot Q_B(Z/L_m)^{(1/3)}$$

但し，

Q_c	：上昇循環水量	(m^3/s)
Q_B	：気泡流量	(m^3/s)
L_m	：気泡による混合運動の長さのスケール	(m)
g	：重力加速度	(m^3/s^2)
Z	：気泡発生装置からの高さ	(m)
K	：実験係数	

この式より，気泡流量を大きくしなくても，Ｚを大きくとれば上昇循環水量を大きくすることができることがわかる。一方，所定の循環水量を得るためには，１台の大きな能力を持つ装置より，比較的小規模な複数の装置を設置する方が気泡流量が少なくてすみ，効率的である。

循環水量と貯水池の設置可能水深の関係から，循環装置１台当たりの気泡流量が導かれる。実際の装置の仕様は，現地の条件（装置の設置場所，係留方法，電源，等）を十分に調査し，決定する必要がある。

6. ま と め

曝気・循環による藻類増殖の抑制機構としては，湖水の循環に伴う光制限が大きく作用しているものと考えられる。藍藻類，特に Phormidium は，光制限に対する耐性が小さい。

藻類の増殖抑制を図るために必要な表水層厚は，改善の対象とする富栄養化現象に対し適切に設定されることが重要である。また，曝気・循環の運用に当たっては，出水時の対応や稼働の開始時期に注意が必要であることが示唆された。

今後は，実地における躍層低下循環の知見の集積を図ることにより，計画・管理手法のより一層の確立が必要である。

【要約】

ダム貯水池の富栄養化対策の１手法として，貯水池内の水を曝気・循環させて藻類が増殖するための環境条件を抑えて藻類の増殖抑制を図る方法がある。曝気・循環は導入が比較的容易であり，効果の発現も比較的早く実用的であるが，その特性や藻類増殖抑制効果を十分に把握した上での導入が肝要である。

我が国の多目的ダムでは，濁水の長期化現象防止のため，温度成層を破壊するような循環を行うよりも，温度成層を保持しつつ水質保全効果を上げるような循環が重要である。

曝気・循環による藻類増殖抑制のメカニズム・効果については，室内実験で光制限効果が有効であることが確認された。

さらに，曝気・循環装置が及ぼす実際の流動状況（循環流量，流動速度，等），藻類増殖抑制効果を調べるため，曝気・循環装置の１種であるポンプ式循環装置をダム貯水池に導入して実地試験を行い，運用方法，計画方法の知見を得た。

今後は，曝気・循環の実地の知見の集積および理論的な検討を進め，計画・管理手法のより一層の確立が必要である。

参考文献

1) "日本における貯水池富栄養化対策のためのパイロット実験について" 藤本成，森北佳昭；ICOLD 第16回大会，1988年，San Fransisco.
2) "総合的な貯水池水質保全対策技術の対策"；丹羽薫，久納誠　ダム技術 No.75 (pp.37～46)，ダム技術センター，1992年12月.
3) Robert A. Pastorok, Thomas C. Ginn, Marc W. Lorenzen. February 1981. Evaluation of Aeration/Circulation as a lake restoration technique. Tetra Tech. Inc. EPA-600/3-81-014.
4) Shapiro, J., and H. O. Pfannkuch. 1973. The Minneapolis chain of lakes. A study of urban drainage and its effects. Interim Rep. No. 9. Limnol. Res. Center, Univ. Minnesota.
5) Shapiro, J., V. Lamarra, and M. Lynch. 1975. Biomanipulation : An ecosystem approach to lake restoration. In P. L. Brezonik J. L. Fox, eds. Proc. Symp. on Water Quality Management through Biological Control. Univ. Florida and U. S. Environ. Prot. Agency, Gainesville. pp 85-95.
6) Shapiro, J., G. Zoto, and V. Lamarra. 1977. Experimental studies on changing algal populations from blue-greens to green. Contrib. No.168. Limnol. Res. Center, Univ. Minnesota.
7) Marc Lorenzen, Ralph Mitchell. 1973. Theoretical effects of artificial destratification on algal production in impoundments. Environmental Science & Technology. Volume 7. Number 10. pp 939-944.
8) "揚水塔の応用としての曝気循環による貯水池内プランクトン増殖に対する光制御効果の検討"：浅枝隆，川北晃久，工藤勝弘，柴田正和　平成２年度科学研究費補助試金試験研究(1)研究成果報告書.

P3-1 32

Effects of Artificial Circulation on Water Quality in A Dam Reservoir
Aダム貯水池水質への曝気循環の影響

Kunihiko AMANO *, Masayoshi FUJIWARA **, and Kaoru NIWA *
天野 邦彦* 藤原 正好** 丹羽 薫*

Abstract Artificial circulation has been applied to enhance water quality in A dam reservoir since 1988. The circulation was stopped for one month during the summer of 1991 to examine its effect on reservoir water quality. A series of intensive field measurement was conducted and it revealed dramatic water quality changes caused by the circulation including the rapid development of anaerobic region from the bottom after the circulation was stopped, the release of phosphorus from sediment due to the anaerobic condition, and the rapid phytoplankton growth after resuming the operation.

KEY WORDS: Artificial Circulation, Eutrophication, Reservoir

Introduction

Many dam reservoirs in Japan form thermal stratification from spring to fall. The stronger the stratification is, the less surface water mix in vertical direction. Due to this effect, when sufficient nutrients are available, the stratification often provides greater opportunities for certain algae to grow rapidly at the surface, where appropriate temperature, light, and time to grow are more likely to be available. Abundance of such algae often causes problems including nuisance color and odor, and decay of dissolved oxygen at the bottom due to the decomposition of algae. In particular, blue-green algae are considered primary cause of odor and color. Although blue-green algae are not dominant in A reservoir, a large number of algae have been frequently observed in spring and summer.

Artificial circulation has been operated in A reservoir to supply oxygen at the bottom since 1988. Regular water quality monitoring have been carried out every month since 1987 by reservoir management office and oxygen concentration improvement due to the circulation is reported. Besides the monthly regular monitoring, intensive field measurement of water quality was pursued in the summer of 1991, during which the circulation was stopped for one month to examine its effect on water quality.

Artificial Circulation

Artificial circulation is a method to circulate reservoir water by injecting compressed air into lake water from a pipe or ceramic diffuser at the lake's bottom. Several studies on its effect on water quality have been published. Symons et al. (1965) reported increase of temperature and dissolved oxygen at the bottom of the lake, and decrease of phytoplankton at the surface, in particular decrease of blue-green algae. They did not explain why phytoplanktons were decreased. However, others tried to find mechanisms

*Public Works Research Institute **Hyogo Prefecture Environmental Science and Technology Center
*建設省土木研究所 **（財）兵庫県環境科学技術センター

by which phytoplanktons were reduced or effected. For example, Lorenzen et al. (1977) mentioned that thicken surface mixed layer will limit the phytoplanktons' accessibility to light which is necessary for photosynthesis. Shapiro (1973, 1981) pointed out two possible mechanisms. Oxygen supply to the bottom of a lake by mixing will enlarge the space where zooplankton can survive, which results in the higher grazing rate of zooplankton on phytoplankton. He also mentioned that blue-green algae can grow faster than others at low level of carbon dioxide; therefore, increased supply of carbon dioxide from the atmosphere by mixing will eliminate this advantage of blue-green algae and change dominant species. Besides above three, Environmental Protection Agency (1990) listed the reduction of phosphorus release from the bottom due to oxygen supply as another potential mechanism for the reduction of algae.

Field Measurement

A reservoir has a capacity of about 15 X 10^6 (m^3), maximum depth of 24 (m) with average depth of 7 (m), and surface area of 2 (Km^2). Two rivers are emptying into the reservoir. The average total phosphorus concentration of these rivers are 0.025 (mg/l). Compressed air is being released at the elevation of 162(m) to circulate the reservoir. Total air flowrate is 7.4 (m^3/min) at 1 (atm). Plane view of the reservoir is shown in Figure 1. Figure 1 also shows the location of sampling points. The sampling was done from the surface, middle, and the bottom at three stations in the reservoir, and from 20 % depth at three stations in rivers. In addition to this, temperature and DO measurement were more densely performed in the reservoir.

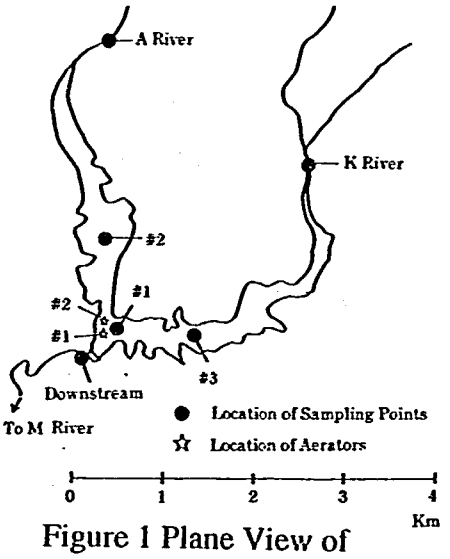


Figure 1 Plane View of A Reservoir

The period of field measurement was from July 3, 1991 to October 2, 1991. During this period, the circulation was stopped from July 30 to August 27. Measured water quality parameters are temperature, secchi disk depth, pH, dissolved oxygen (DO), chemical oxygen demand (COD), total nitrogen (T-N), ammonium nitrogen (NH_4-N), nitrite (NO_2-N), nitrate (NO_3-N), total phosphorus (T-P), orthophosphate (PO4-P), chlorophyll-a, and electric conductivity. The number of dominant phytoplankton species is also counted.

Since meteorologic and hydrologic condition affect water quality in reservoirs more significantly than artificial circulation, these data were collected from local meteorological observatory and reservoir management office.

Results and Discussion

Figure 2 represents the variation of inflow rate and discharge from the reservoir. There was no rainfall which exceeded 15 (mm/day) from July 30 to September 10. During this period, the weather was calm and the effect of wind was minimal. Because of this situation, we could attribute the reason of sudden change of several water quality parameters being discussed below to the effect of artificial circulation.

Among measured water quality parameters, we discuss about the changes of

temperature, DO, PO_4-P, and chlorophyll-a in this paper. Figure 3, 4, 5, and 6 represent the isopleths of these parameters at sampling location #1, respectively. Bars beneath the figures mean the period when the circulation was stopped. The contour line of 25℃ in Figure 3 was gradually declining toward the bottom from the middle of July; however, after the circulation was stopped, it was stable until the resumption. After resuming the circulation, the reservoir was being mixed, again.

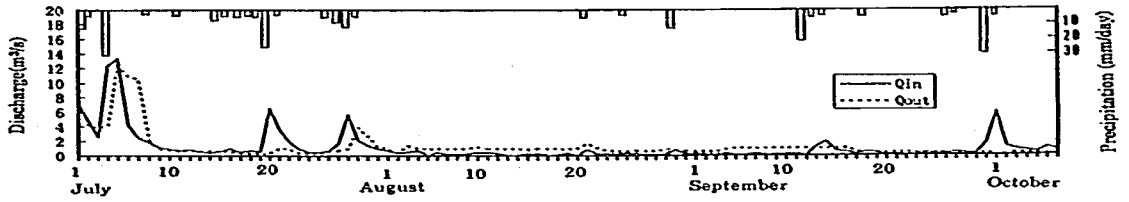


Figure 2 Variation of Inflow, Outflow, and Precipitation

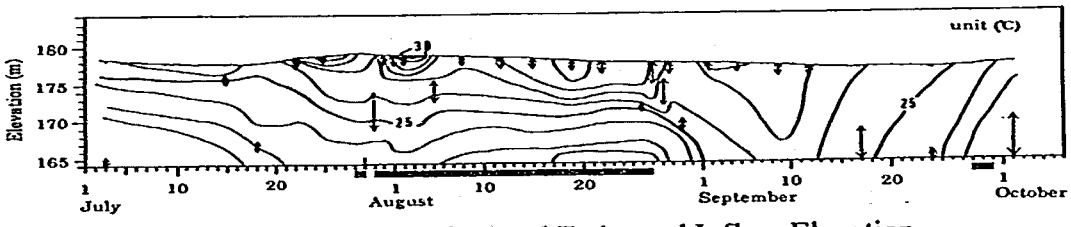


Figure 3 Isothermal Plots and Estimated Inflow Elevation

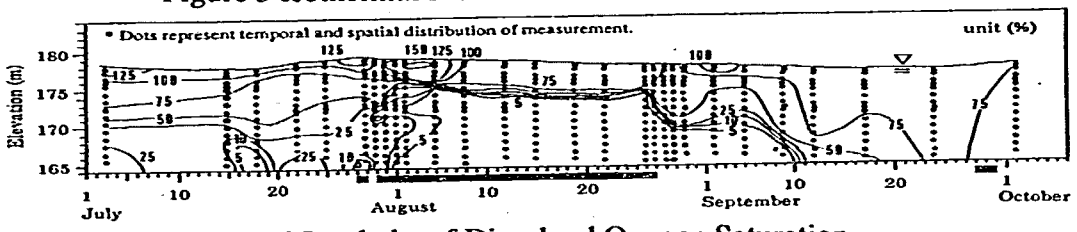


Figure 4 Isopleths of Dissolved Oxygen Saturation

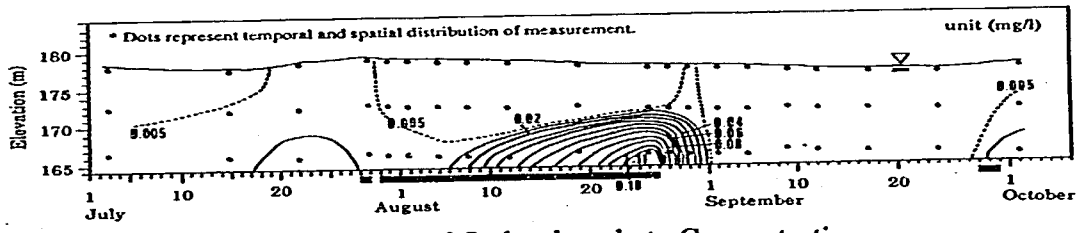


Figure 5 Isopleths of Orthophosphate Concentration

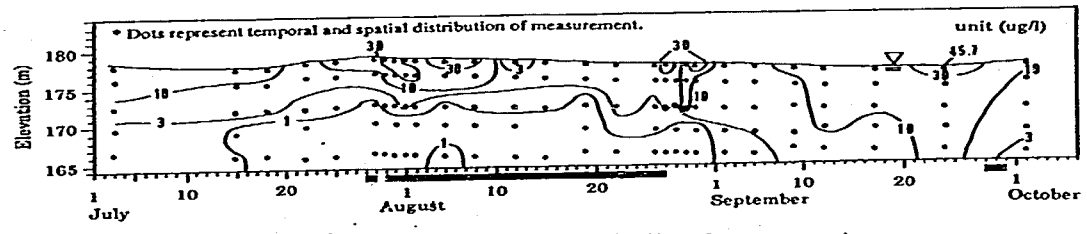


Figure 6 Isopleths of Chlorophyll-a Concentration

DO saturation profile (Figure 4) shows dramatic change during the interruption of the circulation. Soon after the circulation was stopped on July 30, anaerobic zone started to develop. A strong gap can be recognized along the elevation of 174 (m), while the circulation was being stopped. Below this elevation, whole water body became anaerobic. In contrast with it, reservoir surface was oversaturated during the first week of August. This corresponds with the increase of chlorophyll-a, which

suggests the activated photosynthesis of phytoplankton (Figure 6). By resuming circulation, anaerobic condition below the elevation of 174 (m) was mitigated. The results of DO measurement showed that the artificial circulation being installed in this reservoir has prevented the deterioration of oxygen successfully.

Inflow penetrates into the reservoir along certain elevation depending on its temperature and temperature profile in the reservoir because temperature is the primary parameter which decides the density of water. Estimated elevations to which river water penetrates are indicated by arrows in Figure 3. Since artificial circulation destratifies, the elevation to which oxygen rich inflow penetrates is likely to be lowered in summer in A reservoir. This also accelerates the oxygen supply to the deeper portion of the reservoir. Mixing caused by artificial circulation supplies oxygen to deeper portion and at the same time, lower the inflowing elevation, which also contribute to oxygen supply.

The effect of the circulation on algae was not so clear. The population of algae jumps when appropriate light, temperature, and nutrients have been provided for sufficient time. We found three high chlorophyll-a events during this experiment, they occured around August 1, August 30, and September 24. From our experience at this reservoir, algae bloom frequently occured after storms, which supply available phosphorus. According to our experience, a potential mechanism of the algae bloom is explained as follows. When a storm runoff which contain high concentration of nutrients inflow into the reservoir and a few sunny days follow it, the surface of the reservoir provides suitable condition for algae in summer. This can explain two events out of above three.

High chlorophyll-a value was obtained on August 30, three days after the circulation was resumed. Since the concentration of phosphorus became high at the bottom while the circulation has been stopped, resumption of circulation seemed to provide a lift for the phosphorus to the surface of the reservoir (Figure 5). This is thought to have been the reason for the rapid growth of algae at the surface soon after the resumption.

Conclusion

The experiment showed that artificial circulation has been successfully operated to prevent anaerobic condition at the bottom and limit the release of phosphorus, which can limit internal phosphorus loading; however, once the concentration of phosphorus become high along the bottom or at an intermediate depth after a nutrient rich inflow sinks or plunges, the artificial circulation will adversely effect to increase the phosphorus level at the surface. Therefore, it will be better to stop circulation after storm events until the settlement of suspended particles. Since this may help develop anaerobic region, we should consider to install hypolimnetic aeration to supply oxygen.

References

US Environmental Protection Agency (1990). *The Lake and Reservoir Restoration Guidance Manual.* EPA-440/4-90-006, US Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, DC

Lorenzen, M. and Fast, A. (1977). *A Guide to Aeration/Circulation Techniques for Lake Management.* EPA-600/3-77-004, Corvallis Environmental Research Laboratory, Corvallis, OR

Symons, J. M., Irwin W. H., and Robeck G. G. (1967). "Impoundment Water Quality Changes Caused by Mixing". J. Sanitary Engineering, ASCE, 93(SA2), 1-20

生態系を活用した水質浄化技術に関する研究

Ⅱ－637　生態系を活用した湖沼の直接浄化の試み

建設省土木研究所　正員　高橋　健夫
建設省土木研究所　正員　久納　誠
建設省土木研究所　正員　丹羽　薫

１．はじめに

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。

このため、現在、建設省土木研究所環境計画研究室では、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。本報ではそのうちの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である『生態系制御システム』について研究を開始したので報告する。

２．生態系制御システムの概要

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。『生態系制御システム』は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る。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。

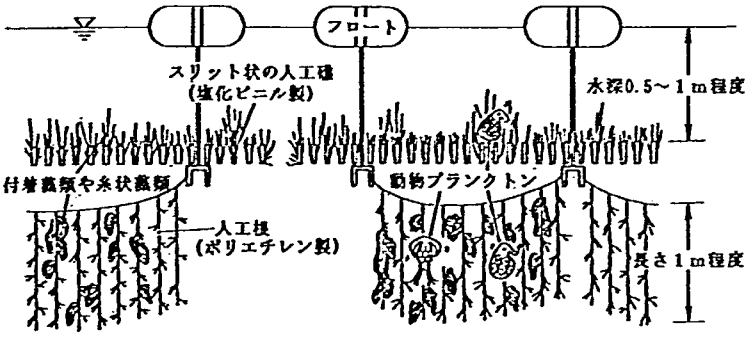
④水生植物、付着藻類が無機態のリンや窒素等の栄養塩類を多量に吸収できる環境を人工的に創造し、植物プランクトンが吸収できる栄養塩類を減少させる。

このように本システムは生物を用いて生態系の構造を変化させることによって水質を制御するもので、『バイオマニピュレイション』とも呼ばれている。本システムを水位の変動するダム湖等に適用する場合、水位が変動しても安定した環境条件を保てるような構造にすることが重要である。

３．実験方法

実験は上記の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貯水池に設置して現地実験を行った。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月に設置した。設置地点は岸から約40m離れており、実験期間中の設置地点の水深は３～６ｍであった。



図－１　人工生態礁の概要（人工礁と人工根より構成）

水質調査は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（対照）で行った。なお以下に示す結果は人工礁のみの状態のものである。

４．結果及び考察

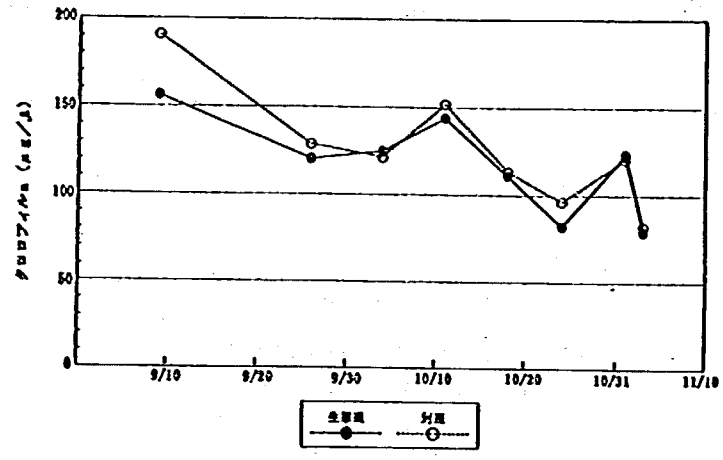
クロロフィルａは各調査地点とも増減を繰り返しながら減少するという同じ傾向で推移したが、人工生態礁の方が若干低くなった（図－２）。

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）。

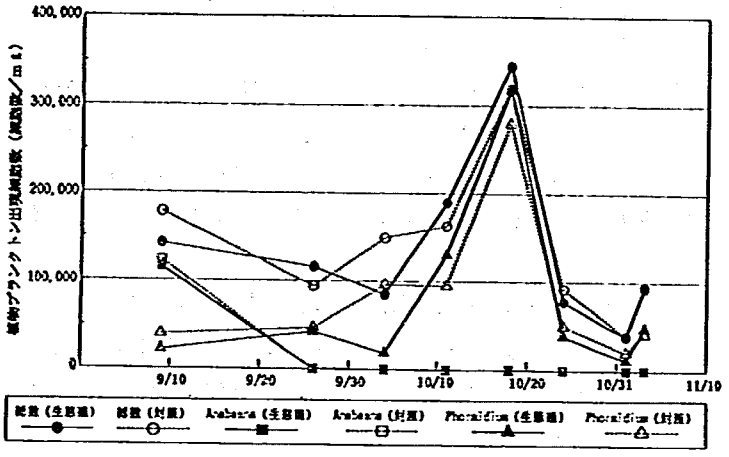
動物プランクトンのうちで藍藻類を捕食すると言われている輪虫類の *Brachionus calyciflorus*（ツボワムシ）と枝角類の *Bosmina longirostris*（ゾウミジンコ）の増殖はいずれも藍藻類の減少とは対照的であり（図－４）、これらによる捕食圧の増加が藍藻類に影響していることが示唆された。ただし、植物プランクトンの増殖制限要因としてはこのほかに９月末や10月中旬以降に栄養塩類が枯渇したことや10月中旬に水温が急激に低下したこともあげられるであろう。

５．おわりに

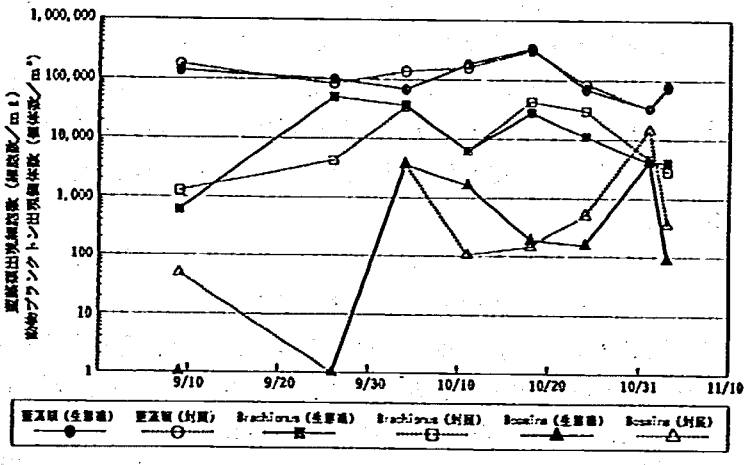
本研究では、輪虫類や枝角類の増殖は藍藻類の減少とは対照的であることがわかったが、人工生態礁に人工根を設置する以前の調査であったこともあり輪虫類や枝角類を安定的に増殖させることはできなかった。今後は、輪虫類や枝角類等の生態系制御適種による利水障害の原因になる植物プランクトン増殖の抑制環境の創造方法についてさらに検討を進めていく予定である。



図－２　クロロフィルａの経時変化



図－３　植物プランクトン出現細胞数の経時変化



図－５　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

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）花里孝幸；総説富栄養湖におけるラン藻と動物プランクトンの相互関係、陸水学雑誌、第50巻第１号、1989.

Ⅱ－566

湖沼水質浄化に伴い発生する糸状藻類の有効利用

建設省　土木研究所　正員　真田誠至
建設省　土木研究所　正員　久納　誠
建設省　土木研究所　正員　丹羽　薫
建設省　土木研究所　正員　高橋健夫

１．はじめに

土木研究所環境計画研究室では糸状藻類を用いて湖沼の水質を浄化する方法を検討している。[1]その方法とは、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、流入河川水から無機態のリンつまりPO_4-Pを除去し、藍藻や鞭毛藻の異常増殖を抑制するものである。糸状藻類とは緑藻のアオミドロ、アミミドロ、ヒザオリ、サヤミドロ等、珪藻はメロシラ等である。浄化設備に発生した糸状藻類は定期的に回収する必要があるが、回収される糸状藻類の量が膨大であるためその処分方法が問題となる。回収した糸状藻類の有効利用方法を明らかにすることにより、糸状藻類を用いた水質浄化システムの全体が確立し実用化が進められる。

糸状藻類は窒素、リン酸、カリが多く有機肥料として、また粗蛋白や粗繊維が多く家畜や魚類の配合飼料の一部として活用できる可能性が高い。このような具体的な有機資材の種類として、①家畜の配合飼料、②魚類の配合飼料、③建設資材の有機肥料、等が挙げられる。

本報では①～③についての可能性を確認する実験について報告する。

２．家畜及び魚類の飼料としての実験

鶏とイズミダイ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）でつくった飼料に置き換える比較実験を行った。表－１に実験に使用した糸状藻類の栄養価を示すが、アオミドロの粗蛋白が高いことがわかる。糸状藻類より作った飼料を与えることによる鶏やイズミダイへの影響を表－２に示す。糸状藻類を鶏やイズミダイの配合飼料の一部と置き換えると、魚の体重や産卵量はほぼ同じであり、さらにメロシラは魚肉を美味にして、アオミドロは卵黄の色度を高くするという良い影響があることを確認した。

３．建設資材の有機肥料としての検討

アオミドロ（*Spirogyra* sp.）より製造した有機資材に含まれる窒素、リン酸、カリを成分分析したところ、T－N 4.3%（ただし、NH_4-N < 0.1%、NO_3-N < 0.1%）、T-P_2O_5 1.6%、T-K_2O 1.0%と窒素、リン酸、カリも高い含有量を示し、成分的にはそのままでも有機肥料として活用できることがわかった。

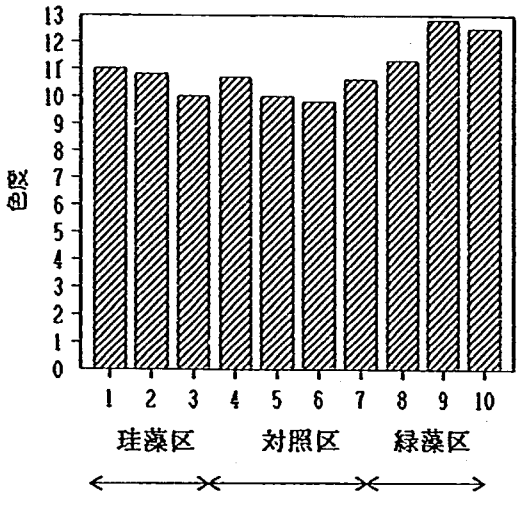
表－１　実験に使用した糸状藻類の栄養価

糸状藻類名	採取月日及び場所	状態	水分	粗蛋白	粗脂肪	可溶性窒素	粗繊維	粗灰分
Spirogyra sp.	H5. 7.16, かつらぎ公園	湿潤	87.1	2.8	0.8	8.0	0.1	1.2
Spirogyra sp.	H5. 7.16, かつらぎ公園	乾燥	4.6	25.7	3.2	49.8	5.3	11.4
Melosira varians	H5. 7.16, 染谷浄水場	乾燥	4.0	9.2	0.7	13.5	0.8	71.8
Melosira varians	H5.10.14, 染谷浄水場	湿潤	84.4	2.4	0.5	1.3	0.1	11.3
Melosira varians	H5.10.14, 染谷浄水場	乾燥	7.0	13.4	2.0	10.9	0.6	66.1

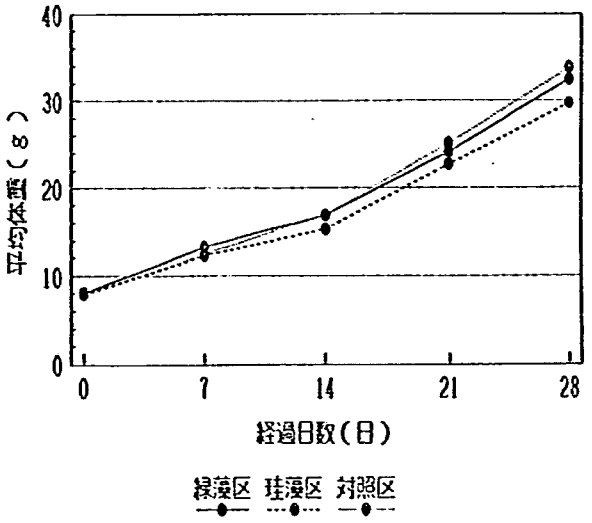
注 1)　単位は%である。

注 2)　拮抗微生物群による処理はしていない。

注 3)　乾燥は送風乾燥機に糸状藻類を入れ、48時間、50℃に保った。



図－１　鶏の卵黄の平均色度の比較



図－２　イズミダイの平均体重の経時変化

表－２　糸状藻類を鶏とイズミダイの飼料の一部とした場合の影響

種　類	糸状藻類	置換率	配合飼料を100%与えた対照区との比較	
			定量的影響	定性的影響
鶏（イサブラウン）H5.6.29～9.11 ｻﾝﾌﾟﾙ数　10羽	アオミドロ（緑藻区）	１０％	(◎)配合飼料の鶏と同じ数(0.5個/日→0.5個/日)及び同じ重さ(68g/個→69g/個)の卵を産み続けた。	(◎)配合飼料の卵に比べ、卵黄の色度(10.2→12.2)がよくなった。
	メロシラ（珪藻区）	１０％	(◎)配合飼料の鶏と同じ数(0.5個/日→0.5個/日)及び同じ重さ(68g/個→67g/個)の卵を産み続けた。	(○)配合飼料の卵に比べ、卵黄の色度(10.2→10.5)は同じであった。
イズミダイ（ティラピア）H5.9.3～10.1 ｻﾝﾌﾟﾙ数　30尾	アオミドロ（緑藻区）	３０％	(○)配合飼料の魚と同じ体重(34g/尾→33g/尾)の伸びを示した。	(△)配合飼料の魚に比べ、ｴｷｽ窒素(370mg/100g→320mg/100g)がやや減った。
	メロシラ（珪藻区）	３０％	(△)配合飼料の魚より体重(34g/尾→30g/尾)の伸びがやや劣った。	(◎)配合飼料の魚に比べ、ｴｷｽ窒素(370mg/100g→450mg/100g)が増えた。

注１）　◎：とても良い影響、○：良い影響、△：やや良くない影響、×：悪い影響
注２）　エキス窒素は魚肉の旨味を示す。

４．おわりに

比較実験により糸状藻類が飼料や有機肥料となる可能性があることがわかり、糸状藻類を用いた水質浄化システムを現場で適用するための全体のシステムが構築された。糸状藻類は水質浄化設備の水中にある間は変質したり悪臭を放つことはないが、回収するために設備から空気中に取り出すと同時に腐敗が進行を始める。また乾燥機により強制的に乾燥させると乾燥時に悪臭を放ち、かつ変質することが多い。今後の課題として、糸状藻類が運搬時と乾燥時の悪臭を放ったり変質しないような、腐敗防止の処理の開発が必要である。

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、No.93、1994

76　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

建設省
土木研究所環境部環境計画研究室

丹羽　薫
久納　誠
久保　徳彦
福渡　隆

研究期間　平成６年度～平成10年度
平成６年度当初予算　19,941千円

Research for Preserving the Quality of Lake Water Using Filamentous Algae

(FY 1994-1998)

Kaoru NIWA, Makoto KUNOU,
Norihiko KUBO and Takashi FUKUWATARI
Environmental Planning Division, Environment Department
Public Works Research Institute,
Ministry of Construction

ABSTRACT :

In closed water areas such as some natural or artificial lakes or marshes, undesirable algae grows abnormally when excessive nutritive materials are provided. As a result, water quality problems of algae bloom or musty odor occurs. To remove nutritive materials from such lakes the purifying function using filamentous algae must be developed.

The purpose of this research is to establish the fundamental theory of the purifying function using filamentous algae. Therefore, we have to research habitats of the filamentous algae which is possible to purify water by field surveys and investigate facilities for multiplying the filamentous algae and for purifying water, and then we put it into practice to multiply the filamentous algae under the artificial control.

In the fiscal 1994, we have researched filamentous algae at the actual revers and classified habitats of filamentous algae by season and stream condition. Then we made experiments on multiplying the filamentous algae in 4 types of experimental water tanks under the sunlight, and investigated structures of purifying facilities. Moreover if we used water of lakes that have a great deal of floating algae, we have to dispose of lake water beforehand. We developed techniques of water purification and treatment using a pumice filter and the way to clean filtering materials.

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対策の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、実際に人為的にコントロールしながら糸状藻類を増殖させ、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、湖沼、水田、及び浄水場等の現地調査により、糸状藻類の生息環境を季節や流況による違いにより分類し、太陽光の下で実験水槽による糸状藻類増殖実験を行う事で、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 糸状藻類の生息する流況環境及び季節

本システムに用いられる糸状藻類を表－1に示す。なお糸状藻類には、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、生息に適する季節も糸状藻類の種類によって異なる。今回行った調査結果について、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まとめたものを図－1に示す。

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。

「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、人為的にダム湖等の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、図－1に示すような人為的に糸状藻類を増殖させるための浄化設備を考案し、実験を行った。

4.2.1 浄化施設設備例

設備概要は、図－1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。

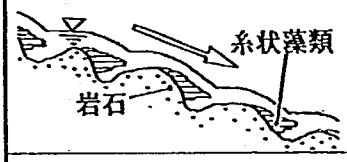
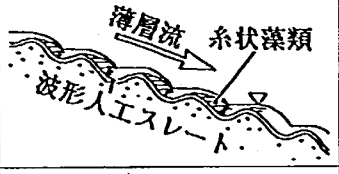
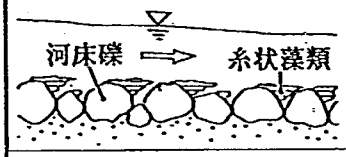
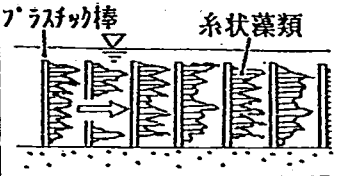
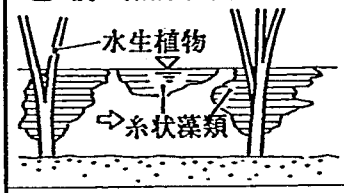
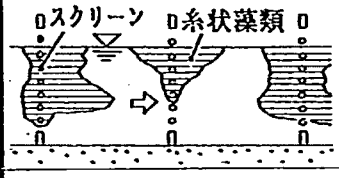
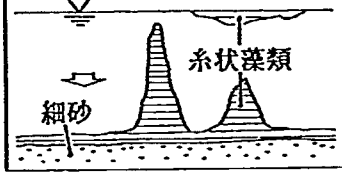
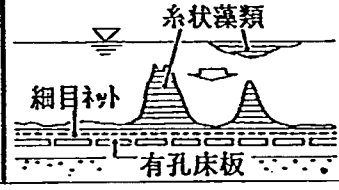
① 急勾配水路タイプ……河川上流の渓流で岩石に糸状藻類が付着している状況を再現したタイプである。設備は急な水路勾配にして原水を流速30～50cm/sec程度の薄層流で流下させ、波長6cm程度の波形をした人工スレートに糸状藻類を付着させる。生長した糸状藻類は自然に滑落するため回収の作業が容易である。

② 緩勾配水路タイプ……糸状藻類が、河川中流の浅瀬の河床礫に付着したり、水路の側壁に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

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 (*Cloniophora plumosa*)	緑藻	○	△					○	△	
	カワシオグサ (*Cladophora glomerata*)	緑藻	○	△	△			○	○	○	○
	ディアトマ (*Diatoma 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		○		○		○	△	○	△
	ヒザオリ (*Mougeotia* sp.)	緑藻		○	○		○	○	○	○	△
	アオミソウ (*Pithophora kewensis*)	緑藻			○		○	○	○	○	△
微流	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。

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、ｻﾔﾐﾄﾞﾛ ｱｵﾐﾄﾞﾛ、ﾋﾋﾞﾐﾄﾞﾛ ｷﾇﾐﾄﾞﾛ、ﾄｹﾞﾅｼｿﾙｷﾞ	①急勾配水路タイプ  	流　速 30～60cm/sec 水　深 1cm以内 水路勾配 20～40%
②河川中流の浅瀬や水路  	ｻﾔﾐﾄﾞﾛ、ｱｵﾐﾄﾞﾛ ﾋｻﾞｵﾘ、ﾋﾋﾞﾐﾄﾞﾛ ﾒﾛｼﾗ、ｵｼﾞｸｲｿｳ	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、ｵｼﾞｸｲｿｳ ｱｵﾐﾄﾞﾛ、ｱﾐﾐﾄﾞﾛ ﾋｻﾞｵﾘ、ｻﾔﾐﾄﾞﾛ 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浄化施設

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、浮遊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遊させる。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2.5mm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の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

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。

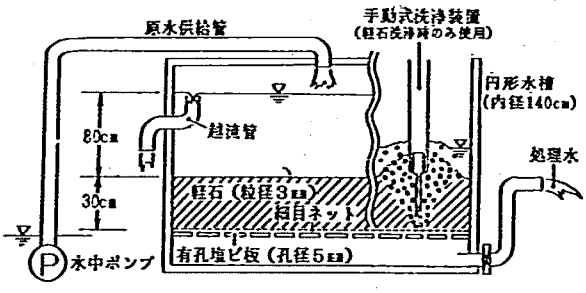
前処理は不要である。

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は、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。

4.3.2 前処理施設の現地実験

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２～３mm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３mmの軽石を厚さ30cm設け、軽石層の粒子間に捕捉された浮遊藻類の死骸や濁質は、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洗浄装置を用い週１回の頻度で除去した。２カ月実施した実験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



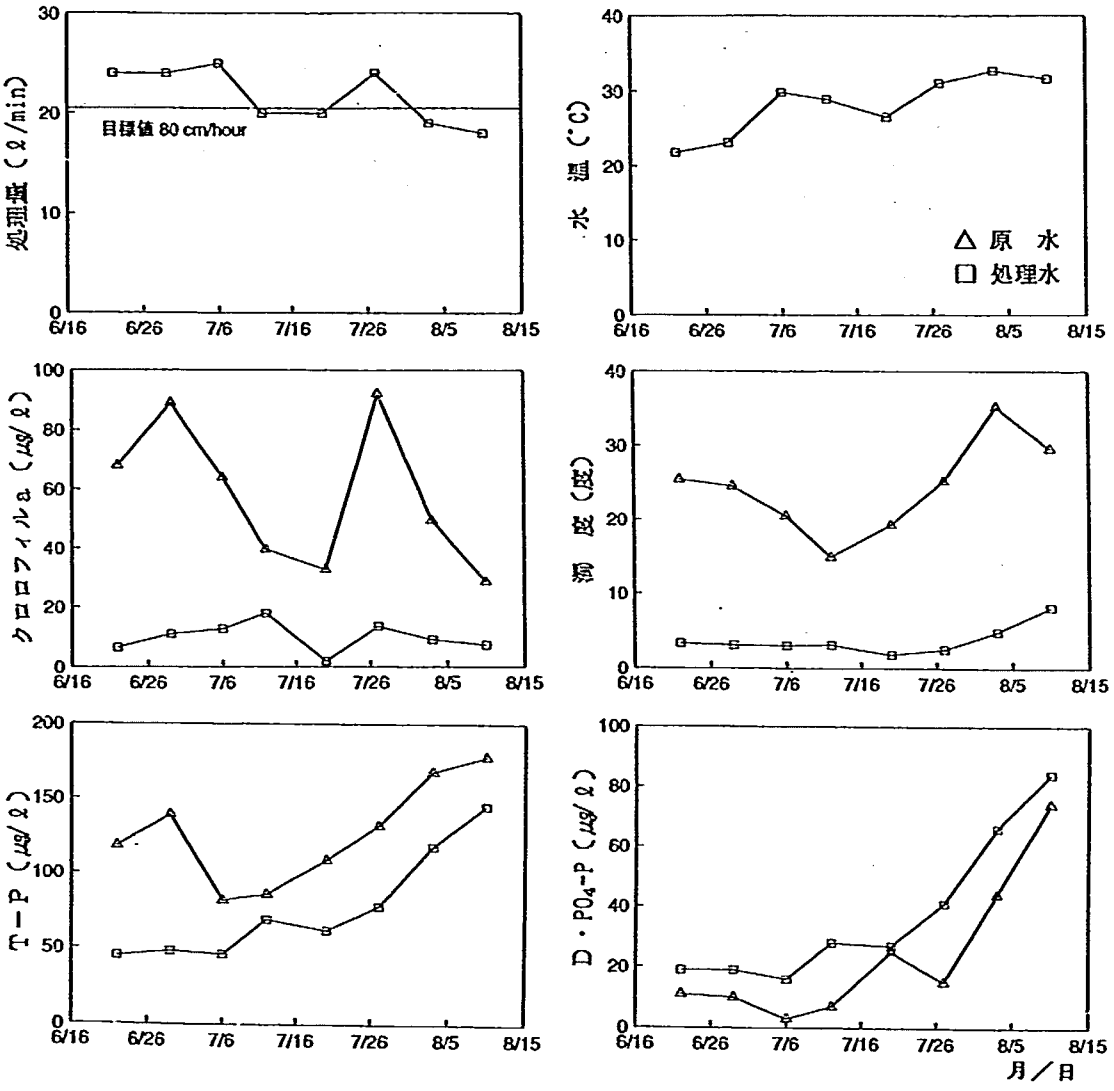
図－２　前処理設備の実験装置

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。

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（既ね５月～７月）。対応策はグッピー、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既ね22℃以



図－3　前処理による水質の測定結果

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づらくする（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。

5．おわりに

自然界での糸状藻類の生息状態を4種類に大別する事ができた。さらに、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』が有効である事が確認できた。また、効率的な前処理方法と、維持管理方法を選定し、現地実験を行うことよりその効果を確かめる事ができた。

最後に、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。

A lake water purification utilizing an ecosystem by the filamentous algae

Kaoru Niwa1, Norihiko Kubo1, Takashi Fukuwatari1, Takeo Takahashi1, Makoto Kunou2

1 Public Works Research Institute Ministry of construction
2 Water Resources Development Public Corporation Kuribaragawa dam construction office

Keywords : Water purification, Eutrophication, Filamentous algae, Phosphorus(PO_4-P)

ABSTRACT

The freshwater red tide and algae blooms occur in the eutrophic lakes because the floating algae absorbed provided excessive nutritive materials and grew abnormally. To control abnormal growth of the floating algae we developed a technique to absorb and remove nutritive materials from river water flowing into lakes by using the filamentous algae.

The filamentous algae are freshwater algae corresponding to seaweeds in the sea. These multiply rapidly and can absorb inorganic nutrients more than water hyacinth and other aquatic plants. We can use the filamentous algae effectively as feeds for livestock and fish or fertilizers.

In these circumstances we confirmed that water purification technique using the filamentous algae is more effective than other techniques utilizing an ecosystem

1. Introduction

In closed water areas such as natural or artificial lakes or marshes, undesirable algae grow abnormally when excessive nutritive materials are provided. As a result, water quality problems of algae bloom or musty odor occur. Prompt measures are required.

We directed our attentions that were the abilities of aquatic plants such as filamentous algae to rem ove nutritive materials in their growth. We developed the techniques to inhibit the abnormal growth of blue-green algae and flagellate algae that cause water quality problems of algae bloom or musty o dor thereby removing phosphorus (PO_4-P) and other inorganic nutrients from the inflowing river water.

We researched habitats of filamentous algae in natural rivers. We reconstructed conditions of their growth and measured their ability of removing PO_4-P. As a result, we confirmed that the puri fication technique using the filamentous algae is more effective than other techniques utilizing an ecosystem

2. A characteristic of filamentous algae on water purification system

In the sea, seaweed as large adhesive algae increase, while in a freshwater the filamentous algae corresponding to seaweed increase. The filamentous algae are a kind of freshwater algae that mainly includes Cyanophyta (

blue-green algae, also known as blue-green bacteria), Pyrrophyta (flagellate algae), Bacillariophyta (diatoms) and Chlorophyta (green algae) and look like a filament like woolens or cotton threads.

The sea water purification systems using the seaweed are developed [1]. We tried to develop the fresh water purification system using filamentous algae.

The advantages of the filamentous algae are followings.

1) the filamentous algae comprising green algae and diatoms do not cause abnormal phenomena such as algae bloom, freshwater red tide and a musty odor.

2) the filamentous algae are more primitive than water hyacinth and other aquatic plants, multiply rapidly and can absorb inorganic nutrients more.

3) the filamentous algae can live at lower concentrations of inorganic nutrients than other aquatic plants. Even at a fairly low concentration, they can absorb nutrients under a stream regime which changes water around them continuously.

4) the filamentous algae can live at low water temperatures and can live generally in all season. The filamentous algae have an advantage whereas a water hyacinth can live only in Western japan and in summer.

5) unlike floating algae, the filamentous algae can be easily separated and removed from water by using a screen for example.

6) the filamentous algae include high nutritive value and low impurity content so that they canbe

used as feeds for livestocks or fishes or the organic fertilizers.

Table 1 Types of filamentous algae used for purificaition systems

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)	O	△				O	O	△	△
	Cladophora plumosa (green algae)	O	△					O	△	
	Cladophora glomerata (green algae)	O	△	△			O	O	O	△
	Diatoma vulgare (diatoms)	O	△				O	△		O
	Ulothrix zonata (green algae)	O	O				O			O
	Melosira varians (diatoms)	O	O		O		O	△	O	O
Gentle stream	*Oedogonium* sp. (green algae)	O	O	O		O	O	O	△	△
	Spirogyra sp. (green algae)	O	O	O		O	O	O	O	O
	Fragilaria construens (diatoms)		O		O		O	△	O	△
	Mougeotia sp. (green algae)		O	O		O	O	O	O	△
	Pithophora kewensis (green algae)			O		O	O	O	O	
Slack water	*Hydrodictyon reticulatum* (green algae)		△			O	O	O	O	△

O: Habitation in active condition was confirmed, △: Habitation in inactive condition was confirmed

3. Living conditions, season, and stream regimes of the filamentous algae

Living conditions, season, and stream regimes of the filamentous algae are shown in Table 1. Different types of filamentous algae are living in different flows. Their suitable flow types are rapid stream such as torrents in upper reaches of rivers, gentle stream such as shallows in the middle reaches of rivers and water channels, and slack water such as marshes, paddies,and ponds of purification facilities. The seasons also have an effect on the suitability of li ving habitation for different types of algae.

We classified research data by condition suited to the filamentous algae (see Fig. 1.)

4. An outline of water purification systems using filamentous algae

We tried to develop water purification systems that used high abilities to absorb nutritive materials of the filamentous algae. This system is designed to control the abnormal growth of blue-green algae and flagellate algae in natural or artificial lakes. We created conditions that suited for the filamentous algae in rivers and marshes of the natural world to remove the inorganic phosphorus (PO_4-P) from water of rivers and surface water of lakes.

The filamentous algae do not live in all rivers and lakes. Furthermore, forming dense groups of the filamentous algae can live only in areas which have a special stream regime listedin Fig. 1. In this system we had to reconstruct the natural environment under restricted the f low velocity, water depth and substrates. Then, the purification facilities can be divided into 4 classifications as shown in Fig. 1.

1) Steep-sloped waterway type

This type reconstructs the situations in which filamentous algae attach to rocks in torrents in the upper reaches of rivers. The facility makes the water to descend as a thin-layer flow at a velocity of 30-50 cm/sec by using a steep-sloped waterway. This enables the filamentous algae to attach to the corrugated, artificial slate with a wave length approximately 6 cm. The filamentous algae naturally fall off as they grow, so there is no need to gather them.

2) Gentle-sloped waterway type

This type reconstructs the way in which filamentous algae attach to the riverbed conglomerate in the shallows in the middle reaches of rivers or to the side walls of a channel. The facility is a gentle sloped waterway and has a flow velocity of 10 cm/sec. The filamentous algaeattach to vertical plastic rods of 4-6 mm in diameter. The filamentous algae are gathered by s craping them off the plastic rods by lowering waterway type.

3) Horizontal waterway type

This type reconstructs the way in which the filamentous algae attach to aquatic plants or float in marshes or paddies. The facility is a waterway with almost no slope, and its flow is very slight with a velocity of approximately 12 cm/min. The filamentous algae attach to plastic screens installed at intervals of 50 cm or float between the screens. The filamentous algae are gathered by scrapers which work between the screens.

4) Net-passing type

This type reconstructs the way in which the filamentous algae stay on the sand surface or float in a slow sand-filter. The facility consists of a perforated floor board and

a polyethylene net with 2.5 mm meshes laid on the bottom surface, and a rate of filtration of 18 cm/hr. The filamentous algae are scraped off the polyethylene.

Thus, this 4 types of purification facilities artificially creates an ecological environment which can effectively fix the PO_4-P content of natural river flowing into natural lakes and reservoirs.

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 Thin-layer flow Filamentous algae Corrugated artificial slate	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 Filamentous algae Riverbed conglomerates	*Oedogonium* sp. *Mougeotia* sp. *Melosira varians* *Fragilaria construens* *Spirogyra* sp. *Ulothrix zonata*	(2) Gentle-sloped waterway type Plastic rods Filamentous algae	Flow velocity ····10cm/sec Water depth ····10cm Inclination of waterway ····0.5~1%
(3) Marshes and paddy fields Aquatic plants Filamentous algae	*Oedogonium* sp. *Spirogyra* sp. *Hydrodictyon reticulatum* *Mougeotia* sp. *Pithophora kewensis*	(3) Horizontal waterway type Screen Filamentous algae	Flow velocity ····12cm/min Water depth ····20cm Inclination of waterway ····None
(4) Slow sand filter ponds of purification plants Filamentous algae Fine sand	*Melosira varians* *Fragilaria construens* *Hydrodictyon reticulatum* *Mougeotia* sp. *Pithophora kewensis* *Spirogyra* sp. *Oedogonium* sp.	(4) Net-passing type Filamentous algae Fine-meshed net Perforated floor board	Flow velocity ····18cm/hour Water depth ····30~40cm Inclination of waterway ····None

Fig. 1 Natural environment of filamentous algae and purification facilities

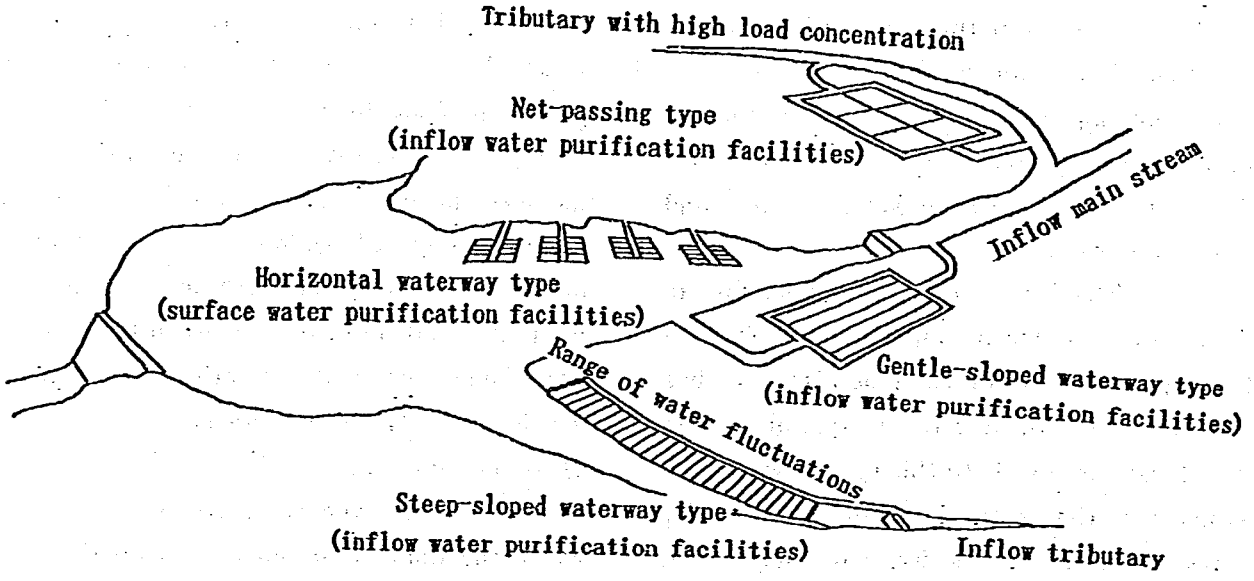


Fig. 2 Example layout of purification facilities in reservoirs

5. Locations of purification facilities

The purification facilities can be broadly classified by types of target raw water, for example, inflow water or surface water.

1) Inflow water purification facilities

This type of the facilities reduces the PO_4-P flowing into a lake by removing the PO_4-P from river water by using filamentous algae at the inflow point of a river flowing into a lake. An environment of this point is converted into an environment which enables the filamentous algae to attach and increase. These facilities can also remove the PO_4-P from treated sewage, and treated livestock waste water.

2) Surface water purification facilities

This type of the facilities reduces the PO_4-P contained in a lake by absorbing and removing the PO_4-P which is in the surface water and eluted from the bottom mud using the filamentous algae. An environment in this facility is converted into an environment which enables the filamentous algae to attach and increase, too.

An example of the layout of purification facilities in lakes or marshes is shown in Fig. 2.

6. An ability removing nutritive materials of filamentous algae

We measured the PO_4-P absorbing abilities in this purification system. Figure 3 shows the results of averaging the PO_4-P absorbing abilities on each type of field tests. We plotted the results of our and the abilities of aquatic plants from the other document [2] on Fig. 3 This figure shows that the PO_4-P absorbing abilities of the filamentous algae is approximately 5 to 10 times that of aquatic plants. under 30 μ g/l of a concentration of D · PO_4-P the abilities of filamentous algae are high.

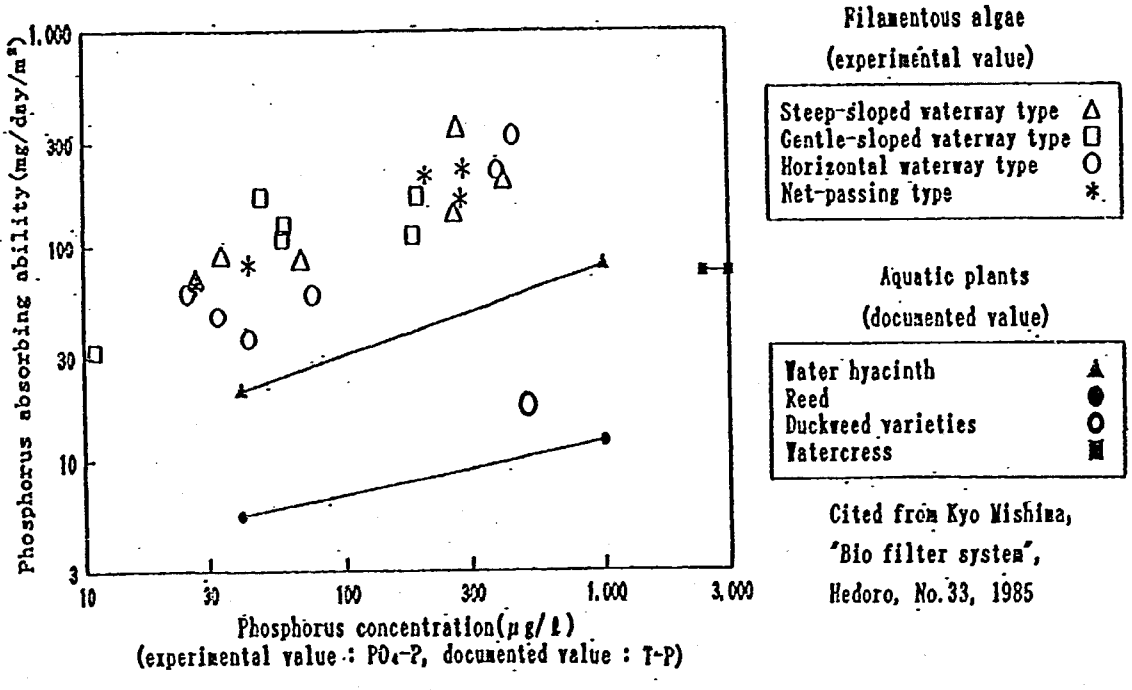


Fig. 3 Comparison of filamentous algae and aquatic plants for PO_4-P absorbing ability

7. Conclusions

1) We confirmed that the purification system using the filamentous algae are more effective especially when removing PO_4-P from large quantities of river water and lake surface water against a lake eutrophication.

2) Our research showed that the facility structures can be divided into 4 types.

3) We confirmed that the PO_4-P absorbing abilities of the filamentous algae is approximately 5 to 10 times that of aquatic plants.

EFERENCE

[1] Hatiro HIRATA; Purification of sea water using the sea lettuce in a fish farm, mizu, March, 1990

[2] Kyo MISHIMA; Bio filter system, hedoro, No. 33, 1985

1－G－13－3

生態系を活用した湖沼の直接浄化の試み

建設省土木研究所　丹羽 薫、○高橋 健夫、久保 徳彦、福渡 隆

A Trial of Lake Water Purification Utilizing Ecosystem, Kaoru NIWA, Takeo TAKAHASHI, Norihiko KUBO, Takashi HUKUWATARI (Public Works Research Inst., Ministry of Construction)

1．はじめに

現在、建設省土木研究所環境計画研究室では、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。本報ではそのうちの湖沼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である『生態系制御システム』について研究を開始したので報告する。

2．生態系制御システムの概要

湖沼等では、植物プランクトン、動物プランクトン、底生動物、付着生物、遊泳動物等の様々な生物が食物網を通して相互に結びついている。『生態系制御システム』は湖沼等の流入端や護岸に動物プランクトンが定常的に増殖できる環境を人工的に創造し、動物プランクトンの捕食によっ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る。

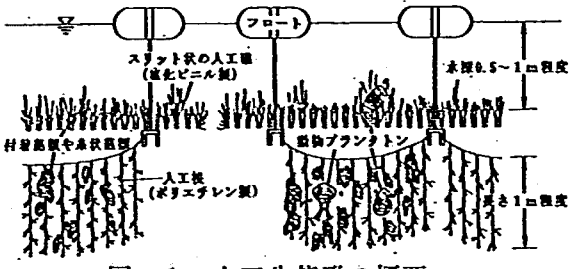
3．実験方法

動物プランクトンが定常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貯水池に設置して現地実験を行った。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。本システムを水位の変動するダム湖等に適用する場合、水位が変動しても安定した環境条件を保てるように、フロートで浮かせた構造にすることが重要である。

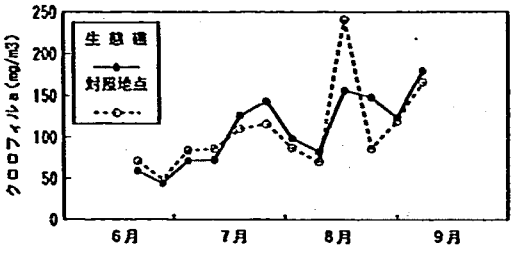
人工生態礁の設置は平成6年8月に岸から約40m離れた地点で行い、平成7年6月～9月にかけて人工生態礁の人工礁がない中央部分とそれから沖合いに50m離れた地点を対照として1週間に1回水質調査を行った（いずれも表層）。調査期間中の設置地点の水深は2.2～5.1mであった。

4．結果及び考察

クロロフィルaは各地点とも増減を繰り返しながら増加するという同じ傾向で推移し、平均値で見ると人工生態礁（109mg/m³）と対照地点（107mg/m³）ではほとんど同じであった。ただし、ピークを迎えた8月15日は人工生態礁が156mg/m³であったのに対して、対照地点はで241mg/m³となり、差がみられた（図－2）。



図－1　人工生態礁の概要



図－2　クロロフィルaの経時変化

植物プランクトンは各地点とも出現種の大きな違いは見られず、実験期間中を通して*Microcystis* sp.や*Phormidium* spp.、*Merismopedium* sp.等の藍藻類が優占した。総細胞数についても各地点とも大きな違いは見られなかった。

藍藻類が優占する富栄養湖では小型の枝角類、輪虫類、橈脚類が優占する傾向があると言われており、A貯水池でも各地点とも実験期間中を通して*Asplanchna brightwelli*や*Brachionus calyciflorus*等の輪虫類が優占する傾向があった。総個体数については7月下旬以降は人工生態礁の方が多くなり、特にクロロフィルaのピークが抑えられた時には優占種である*B. calyciflorus*の個体数の増加が顕著であった。*B. calyciflorus*は藍藻類を捕食すると言われているので、これによる捕食圧の増加がクロロフィルaの低下に影響していることが示唆された。なお、人工礁や人工根に付着していた鞭毛虫類の*Vorticella* sp.や*Epistylis* sp.等の微小動物の存在も捕食圧の増加に寄与しているであろうと思われる。

5．おわりに

人工生態礁の設置により動物プランクトンが増加する傾向がみられ、一時的ではあるがクロロフィルaの増加が抑制されることが観察された。

糸状藻類を活用した植生浄化について

環境部環境計画研究室　福渡　隆

1　はじめに

湖沼等の閉鎖水域において、流域から河川等を介し過剰な栄養塩類が流れ込むと、その湖沼は富栄養化を来す。その結果、アオコや淡水赤潮の発生、水道水のカビ臭、魚類のへい死、親水活動の阻害など、深刻な問題を引き起こすことになり、早急な解決が望まれている。

そこで筆者らは、糸状藻類という水生生物が成長するときに吸収していく水中の栄養塩除去能力に着目した。そして、その浄化能力を活用し、流入河川水から栄養塩類を吸収除去することで、アオコや淡水赤潮の原因になる浮遊藻類の異常増殖を抑制する技術を開発した。

自然河川での糸状藻類の繁殖条件を調査し、その条件を人工的に再現した施設を製作し、糸状藻類の栄養塩類の吸収能力を測定した。その結果、生態系を活用した水質浄化技術の中でも、糸状藻類を用いた水質浄化技術は、大変有効な技術であることが確認できた。

2　水質浄化の面からみた糸状藻類の特性

海には大型の付着性藻類としての海藻が生息し、海水の浄化に寄与していることが知られている。一方淡水域においては、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。本稿で述べる糸状藻類とは、淡水中に生息する藻類（藍藻植物、鞭毛藻植物、珪藻植物、緑藻植物）のうち、肉眼レベルで毛糸や木綿糸のように糸状で確認できる藻類を指す。

この糸状藻類には、以下の特筆すべき利点を有することが確認された。

1）緑藻と珪藻から構成され、富栄養化に起因するアオコや淡水赤潮、カビ臭などの異常現象の原因にはならない。

2）ホテイアオイ等の水生植物に比べ、原始的であることにより、増殖速度が速く、無機態の栄養塩類の吸収能力が高い。

3）水生植物より低い無機態の栄養塩濃度でも生息が可能である。周囲の水が次々と入れ替わる流況であれば、かなり低い栄養塩濃度でも栄養塩を吸収できる。

4）低温でも生息が可能であり、概ね通年生息可能である。

5）糸状であるため、水中より分離除去（回収）が比較的容易にできる。

6）糸状藻類そのものが栄養価が高く不純物が少ないことから、回収された糸状藻類は、家畜や魚類の飼料、また有機肥料として有効利用が可能である。

3　糸状藻類の生息環境

糸状藻類は、河川上流のような急流部に適する種類と、河川中流の浅瀬のような緩流部に適する種類と、浅い湖沼のようなほとんど流れのない微流部に適する種類とに分類できる。また生息に適する季節も、糸状藻類の種類によって異なる。

主な糸状藻類の生息環境を表－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	微流の中で基質に付着	微流の中で底泥に偏状	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 (*Cloniophora plumosa*)	緑藻	○	△					○	△	
	カワシオグサ (*Cladophora glocerata*)	緑藻	○	△	△			○	○	○	△
	ディアトマ (*Diatoma vulgare*)	珪藻	○	△				○	△		○
	ヒビミドロ (*Ulothrix zonata*)	緑藻	○	○				○			○
緩流	メロシラ (*Melosira varians*)	珪藻	○	○		○		○	△	○	○
	ヲヤミドロ (*Oedogonium* sp.)	緑藻	○	○	○		○	○	○	△	△
	アオミドロ (*Spirogyra* sp.)	緑藻	○	○	○		○	○	○	○	○
	オビケイソウ (*Fragilaria construens*)	珪藻		○		○		○	△	○	△
	ヒザオリ (*Vaucheria* sp.)	緑藻		○	○		○	○	○	○	△
	アオミソウ (*Pithophora kewensis*)	緑藻			○		○	○	○	○	
微流	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。

4　糸状藻類を用いた水質浄化システムの概要

筆者らは、高い栄養塩吸収能力のある糸状藻類を用いた水質浄化技術の開発を試みた。

これは、糸状藻類が高密度の群体で増殖できる環境を人為的に創出し、そこで流入河川水及び湖沼表層水からPO_4-P等の無機態の栄養塩類を除去し、藍藻類や鞭毛藻類の異常増殖を抑制する浄化技術である。

実際に糸状藻類が高密度の群体を形成して生息するには、特殊な流況環境が必要である。

本浄化技術では、その限定された流速、水深、基質など自然界での生息環境を浄化施設内に忠実に再現させ、PO_4-P等を吸収除去する効率を高める工夫を施した。検討の結果、次の図－1のように4タイプに大別できた。

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‥‥糸状藻類が、河川中流の浅瀬の河床礫や、水路の側壁に付着している状況を再現したタイプである。設備は10cm/sec程度の流速となる緩い水路勾配とし、鉛直にたてた直径４～６㎜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、浮遊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遊させる。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絹目2.5 ㎜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あるいは、水中に浮標させたものである。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。

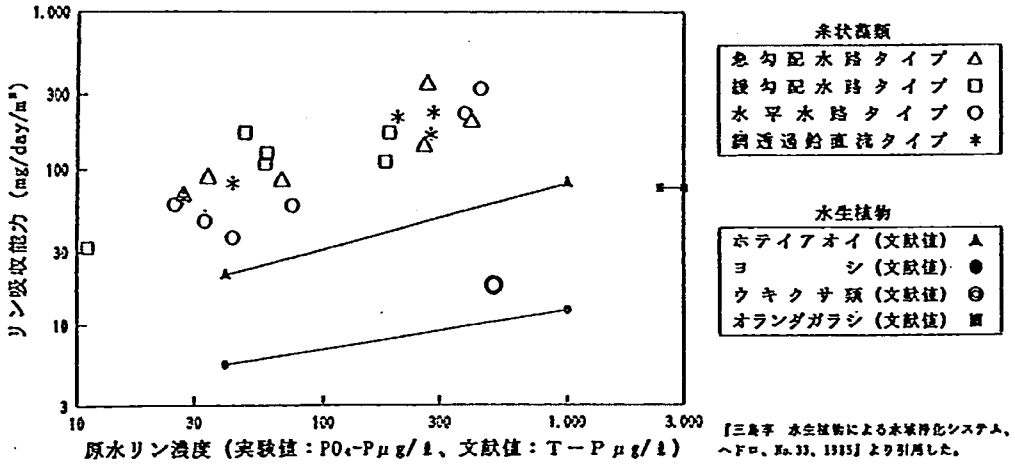
糸状藻類が自然界で生息している環境	適する糸状藻類	糸状藻類活用システムの浄化設備の模式図	流況
①河川上流の渓流 糸状藻類 岩石	メロシラ、ディアトマ カワシオグサ、ヂヤミトロ アオミトロ、ヒビミトロ キヌミトロ、トクナシツルギ	①急勾配水路タイプ 境層流 糸状藻類 波形人工スレート	流速 30～50cm/sec 水深 1cm以内 水路勾配 20～40%
②河川中流の浅瀬や水路 河床礫 糸状藻類	ヂヤミトロ、アオミトロ ヒザオリ、ヒビミトロ メロシラ、オビケイソウ	②緩勾配水路タイプ プラスチック棒 糸状藻類	流速 10cm/sec 水深 10cm 水路勾配 0.5～1％
③浅い湖沼や水田 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 10～20cm/min 水深 15～30cm 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網透過鉛直流タイプ 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

図－１　糸状藻類の自然界での生息環境と浄化施設

5　糸状藻類による栄養塩類の吸収能力

原水と処理水とのPO_4-Pの差としてリン吸収能力を算定した。現地実験の結果を図－２に示す。

水生植物の文献によるデータ[1]と比較すると、糸状藻類は水生植物のリン吸収能力の５～１０倍程度高く、特に原水のD·PO_4-P濃度が３０μg/l以下の場合においても、糸状藻類は高いリン吸収能力を示すことが解った。



図－２　糸状藻類と水生植物とのPO_4-P吸収能力の比較

6　まとめ

糸状藻類は水生植物に比べ、増殖能力が高く、低温でも生息でき、且つ回収しやすい。よって、多量の流入河川水からPO_4-Pを除去するのに、糸状藻類は大変有利であることが解った。

糸状藻類のPO_4-P吸収能力は、水生植物の５～１０倍であることが解った。

また、糸状藻類の生息環境は４種類に大別でき、それぞれのタイプを再現した設備構造を持つシステムを用いることより、糸状藻類は十分なPO_4-P除去能力を発揮することが解った。

参考文献

1)三島　亨；水生植物による水域浄化システム，ヘドロ，No33，1985

その他（総合）

【技術研究】

軽石濾過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*
水資源開発公団栗原川ダム調査所
(前)建設省土木研究所環境部環境計画室　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除去すること，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。既に著者らは，①に対する対策手法として『ダム技術 No. 93 (1994)』に『糸状藻類活用システムの原理と設備例』を紹介し，②に対する対策手法として『ダム技術 No. 91 (1994)』に『流動制御システムの原理と設備例』を紹介した。今回報告する③は，浮遊藻類が異常増殖する場合に，湖沼表層におい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であり，土木研究所環境計画研究室で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。本システムの特徴は，濾材に軽石を用いて湖水から浮遊藻類を効率良く除去するとともに，定期的に濾材を気泡混じりの水流を用いて洗浄することにより目詰りをなくし，処理水への無機態のリンや窒素の溶出を少量に抑えて，処理水を湖沼に戻すことである。本報文では，本システムの原理および設備構造が明らかになってきたため，現地実験結果と合わせて報告するものである。

2. 軽石濾過システム

(1) システムの原理

湖沼の浮遊藻類を濾過処理により除去するシステムとして必要な条件は，①濾過速度がなるべく大きいこと，②浮遊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除去された浮遊藻類が無機態のリンや窒素に分解され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，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，関連濾過方法ごとに比較検討した結果を表-1 に示す。濾材の種類および濾材の洗浄方法を考案することにより，粒径 2～3 mm 程度の軽量の濾材を用いて気泡混じりの水流により粒子を洗浄する軽石濾過システムが開発された。現在，数ケ所の湖沼で現地実験を実施している段階である。

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顎毛藻類等の浮遊藻類そのものを除去し，処理水を湖沼に戻す対策手法であり，軽石層を自動化した人手を必要としない方法で定期的に洗浄することによって無機態のリンや窒素が処理水に過度に溶出したり目詰りしたりすることなく，長期間使用できるのが特徴である。本システムにて軽石を用いる理由は，①比重が小さい (1.2 程度) ため気泡混じりの水流により容易に洗浄できる，②洗浄時の摩耗に耐える強度があり長期間使用できる，③粒子表面が微細なひだ状であるため洗浄直後にも生物膜が適度に残りや

* 室長
** 調査設計課長　(前)主任研究員

表-1　軽石濾過システムと他の濾過方法との比較

濾過方法	代表粒径	粒径1 mm程度		粒径2~3 mm程度	粒径10~50 mm
	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る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	（今回提案する）軽石濾過システム	（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50~100 μg/ℓ程度の湖水を，濾過速度1 m/h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。

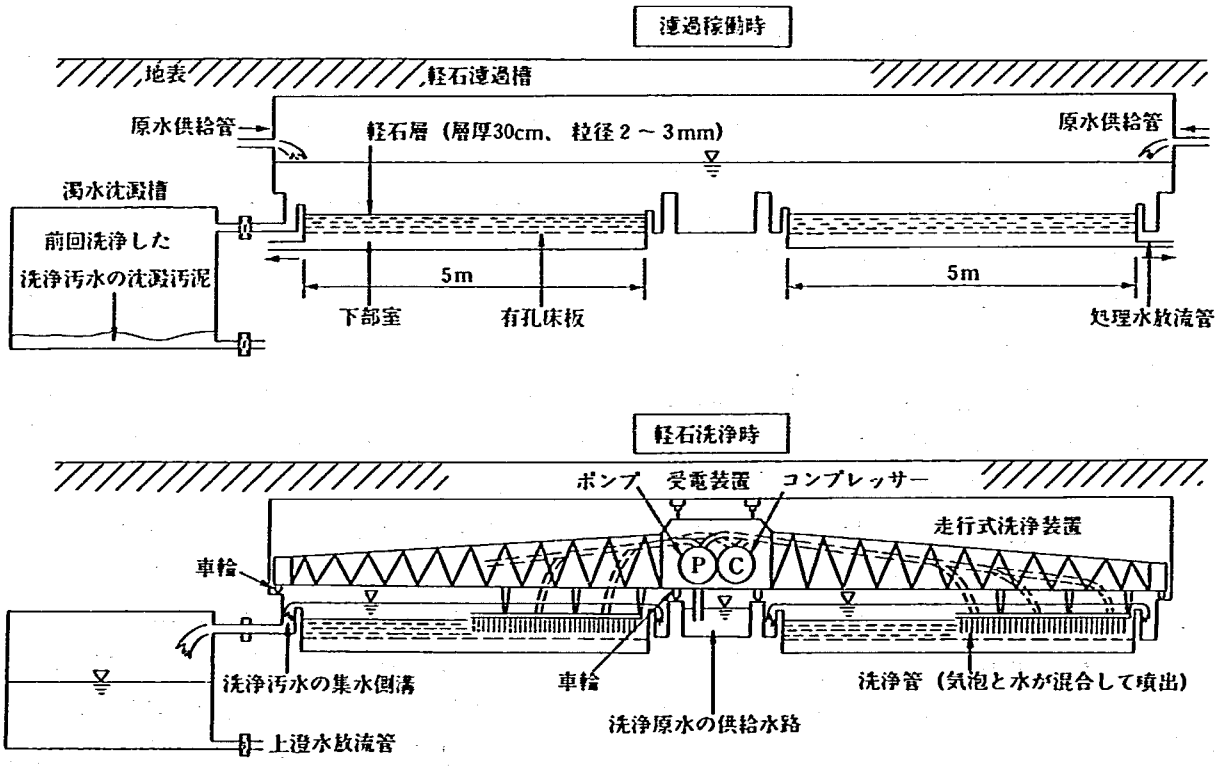
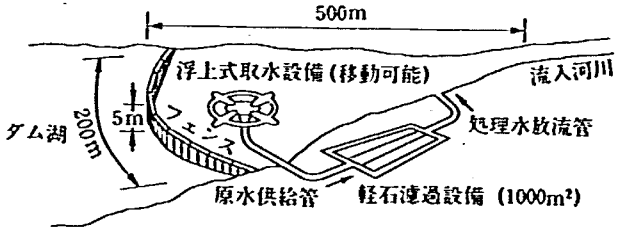


図-1　軽石濾過システムの設備図

すい，④安価で大量に入手可能である，があげられる。

図−1 に軽石濾過システムの設備図を示す。ダム湖のように流入河川からの常時の負荷が異常増殖の原因となる場合の取水方法は，図−2 に示すように，湖沼の流入河川近傍に水面から 5 m 程度の水深までフェンスを張り流入河川付近の表層水を主水域の表層水と隔離することにより，浮遊藻類が発生する範囲を限定させ，隔離した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と効率がよい。図−3 には軽石濾過システムの一般的な実験装置を示す。軽石層は粒径 2〜3 mm 前後の細粒で 25〜30 cm 程度の層厚とする。なお軽石に含まれる細粒分（粒径 1 mm 未満）はあらかじめふるいにより除去しておく必要がある。浮遊藻類は，軽石の表面に糸状菌等により生成された生物膜によって捕捉され原水より除去できる。目詰りや 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。処理水への PO_4−P 等の溶出は，湖沼に生息している藍藻類や鞭毛藻類の直接の栄養源となり異常増殖の原因となるため，極力抑える必要がある。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がせらて洗浄する。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，沈殿した汚泥は有機肥料の原料に有効利用でき，建設資材として活用することが可能である。

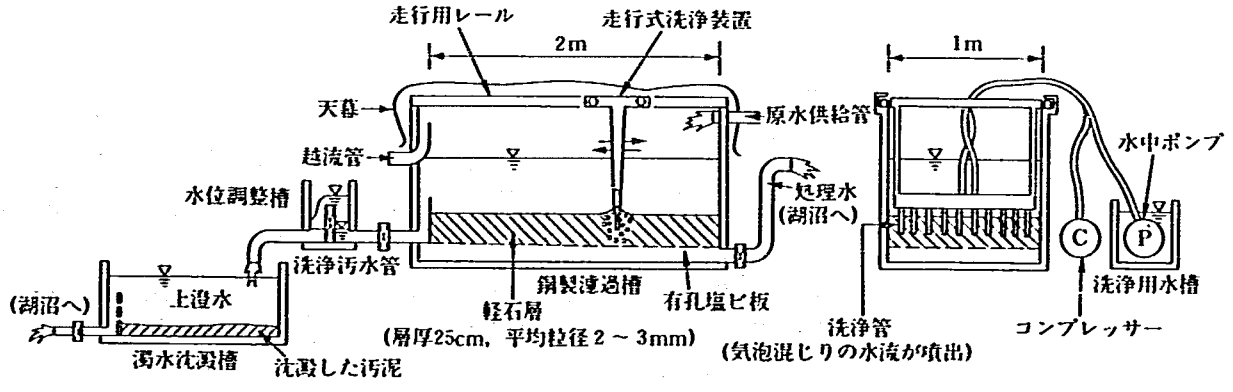


図−2 軽石濾過システムの取水例

（2） 軽石層の洗浄方法

洗浄装置の構造を図−4 に示す。軽石層を洗浄させるのに水と空気の両方を用いる理由は，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水と空気の混合区間を 15 cm 設けた後に，軽石層へ噴出させる構造とした。水と空気を均一に混合させる理由は，洗浄時に前述の水流と気泡との両者による相乗効果を狙って，洗浄能力をより高めるためである。

軽石濾過の一般的な洗浄方法を図−5 に示す。洗浄時の水深は洗浄排水を少しでも減量させたいことを考慮すると浅い方がよいが，軽石を水中に舞い上がらせるのに必要な深さを考慮して水深は 15 cm とする。軽石層の洗浄は 1 週間に 1 回の頻度を標準とするが，捕捉される植物プランクトンの種類によってはかなり固化されるため，軽石層の洗浄は全層を一度に行わず，上半分の表層と下半分の深層の 2 層に分けて行う。深層の洗浄時



図−3 一般的な軽石濾過システムの実験装置

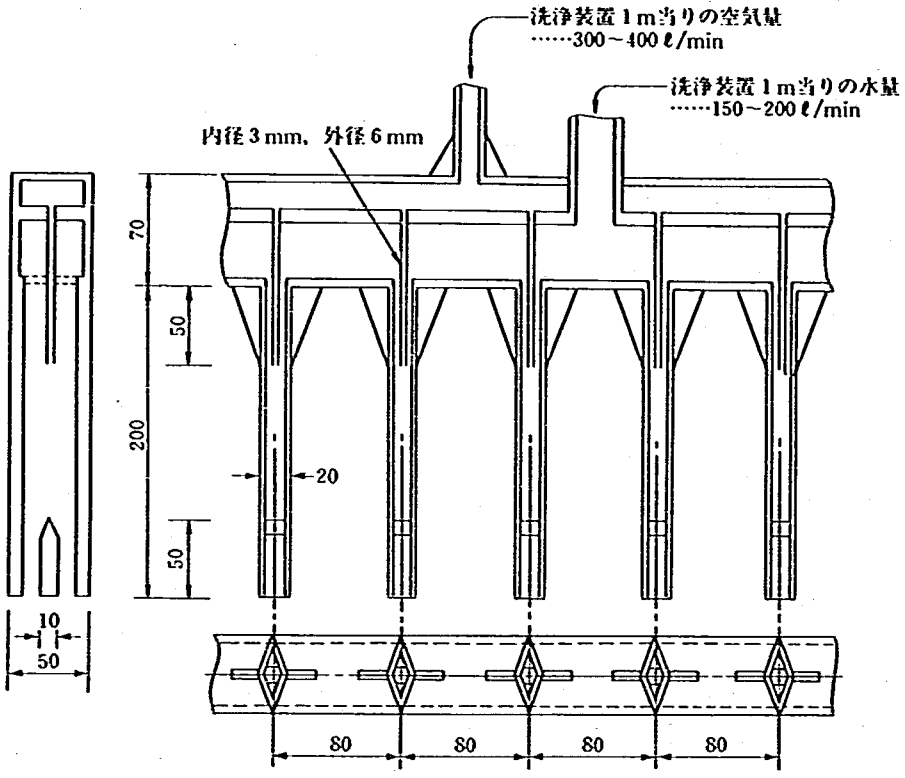


図-4　洗浄装置の洗浄管部分の詳細図

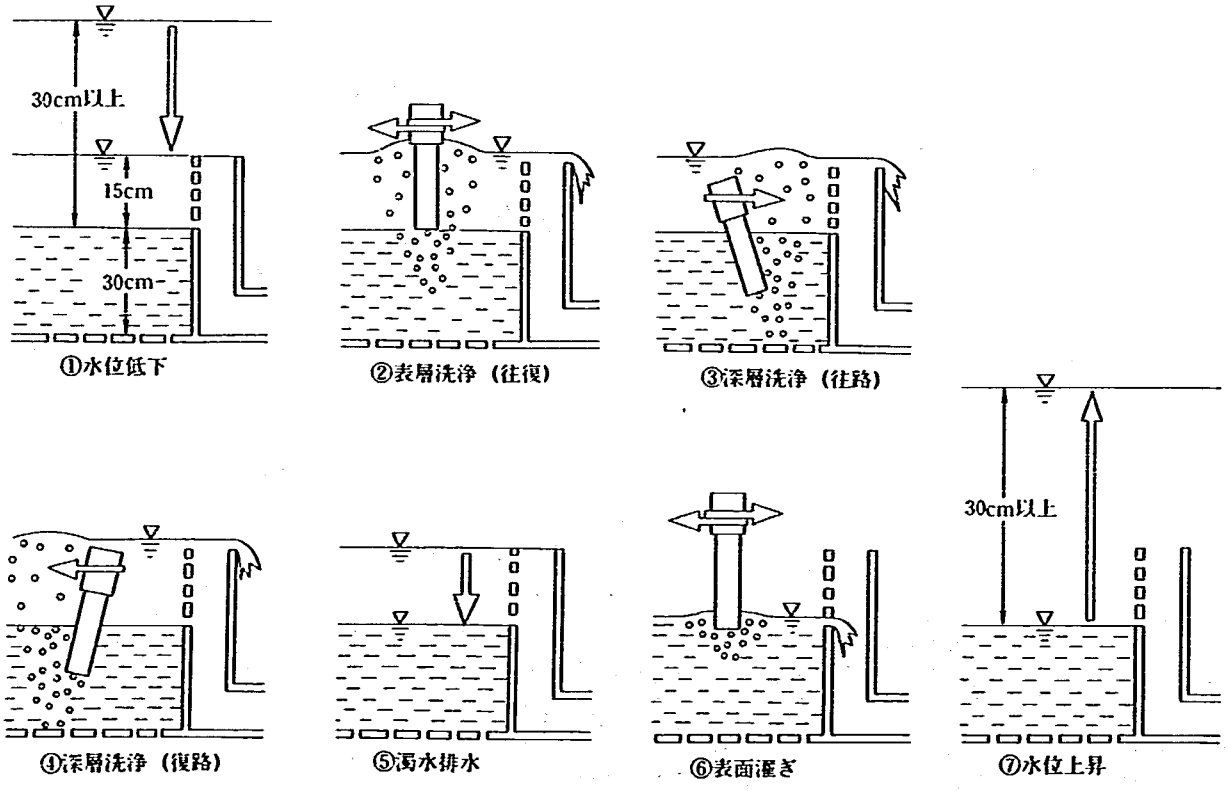


図-5　軽石層の洗浄方法

には，洗浄管を進行させる際に洗浄管の前面に働く軽石層の抵抗を減少させるために，洗浄管を進行方向に対して15°傾斜させる。軽石から剥離した濁質の比重は1.0に近いが，軽石は1.2程度であるため，水中に舞い上がった軽石は先に沈み，一時的に濁質のみが水中に残る。このため濁質が水中に残っている間に排水を急ぐとともに，軽石層の表面に数ミリメートルの厚さで堆積した濁質の膜を洗浄管からの水流により側方の排水路へ押し流す。

軽石層は洗浄し過ぎると，洗浄直後の浮遊藻類の除去率が著しく低下する。軽石層の洗浄程度を表す指標として強熱減量があげられる。表-2に軽石洗浄の強熱減量の代表的な値を示す。

下部室の底面には軽石層および細目ネットを通過した有機物の一部が汚泥となって堆積し，処理水にPO_4-Pを溶出する原因となる可能性がある。よって下部室の底面を適切な頻度で洗浄する必要がある。下部室の構造を，1～2％の底面勾配，洗浄水の給水口，および大口径の排水口を持つ構造とし，下部室を排水した後に，洗浄水による水流で堆積した有機物を除去する。

（3） 洗浄濁水の処理方法

1 m程度の水深の濁水沈殿槽に入れた洗浄濁水は，1日から数日後には，処理の不要な上澄水が95％程度となり，処理の必要な沈殿物は5％程度となる。濁水沈殿槽は沈降距離を1 m以下にするために多層構造とすると，設備面積が縮小できる。

3. 軽石濾過システムの現地実験

（1） 実験方法

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平成6年6月16日から平成7年1月31日まで行った。実験装置を図-6に示す。軽石

表-2 軽石層（平均粒径3 mm）の強熱減量の代表値

軽石層の深さ	未使用	洗浄前	洗浄後
0～5 cm	1％程度	3～12％	1.5～3％
5～15 cm		2～7％	
15～30 cm		2～6％	

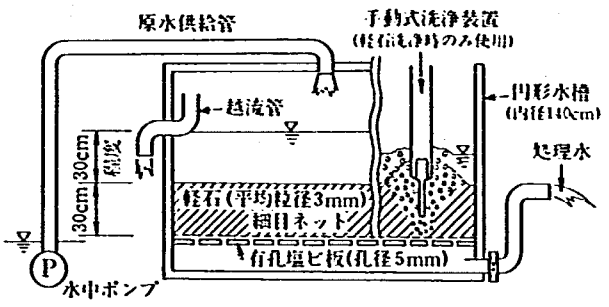


図-6 軽石濾過の実験装置

層は平均粒径3 mm (2.5～4.0 mm)，厚さ30 cmとした。1 m^3/secの湖水を0.40 haの設備で処理することを想定し，濾過速度として90 cm/hを目標に与え続けた。原水の供給方法は8月17日まで水位一定方式としたが，それ以降は流量一定方式とした。なお流量一定方式における軽石面より上の水深は概ね30 cm程度とした。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，日光が入らぬ構造とした。

（2） 実験結果

7ヶ月半実施した実験の結果を図-7，図-8，図-9，および表-3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考える。クロロフィルaの除去率は高温期で77％，低温期で71％，T-Pは高温期では37％，低温期で55％を示した。実験期間中，目詰りは発生しなかったが給水ポンプの不調で処理量は若干変動した。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を調べたが，代表的な藍藻類の除去率は，*Phormidium* 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。この値は前述のクロロフィルaの除去率77％よりやや高い値である。なお処理水のPO_4-Pの溶出量を処理水と原水の差で表わすと，高温期の平均溶出量は14 $\mu g/\ell$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。

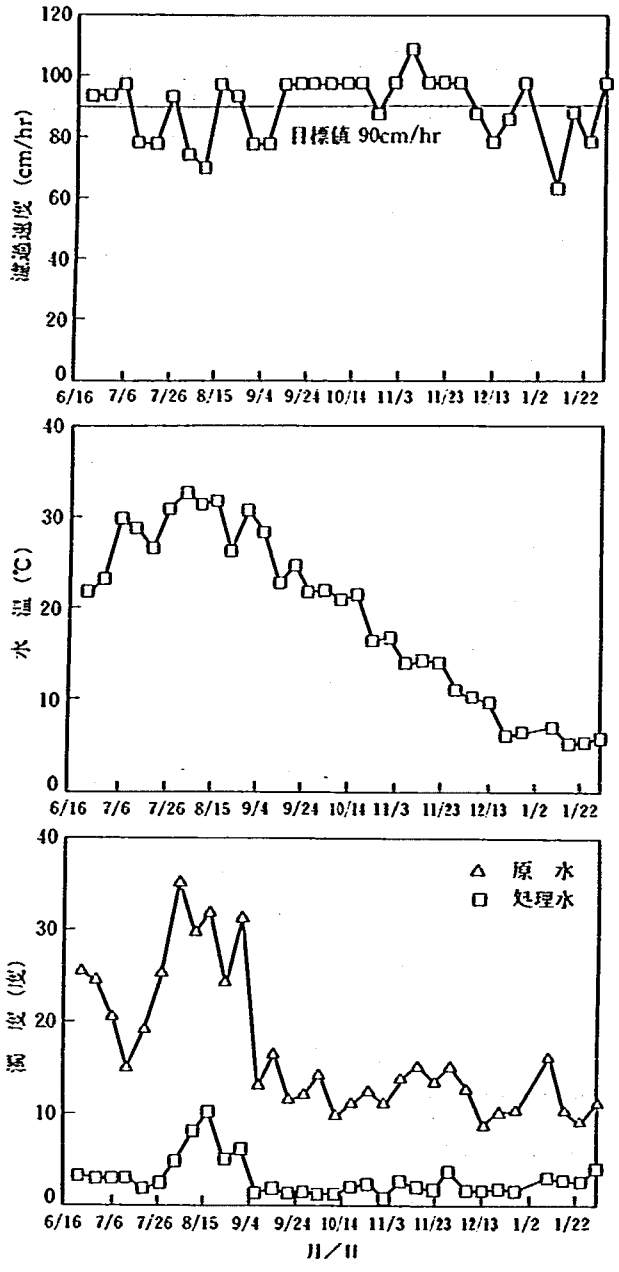


図-7 実験における濾過速度等の経時変化

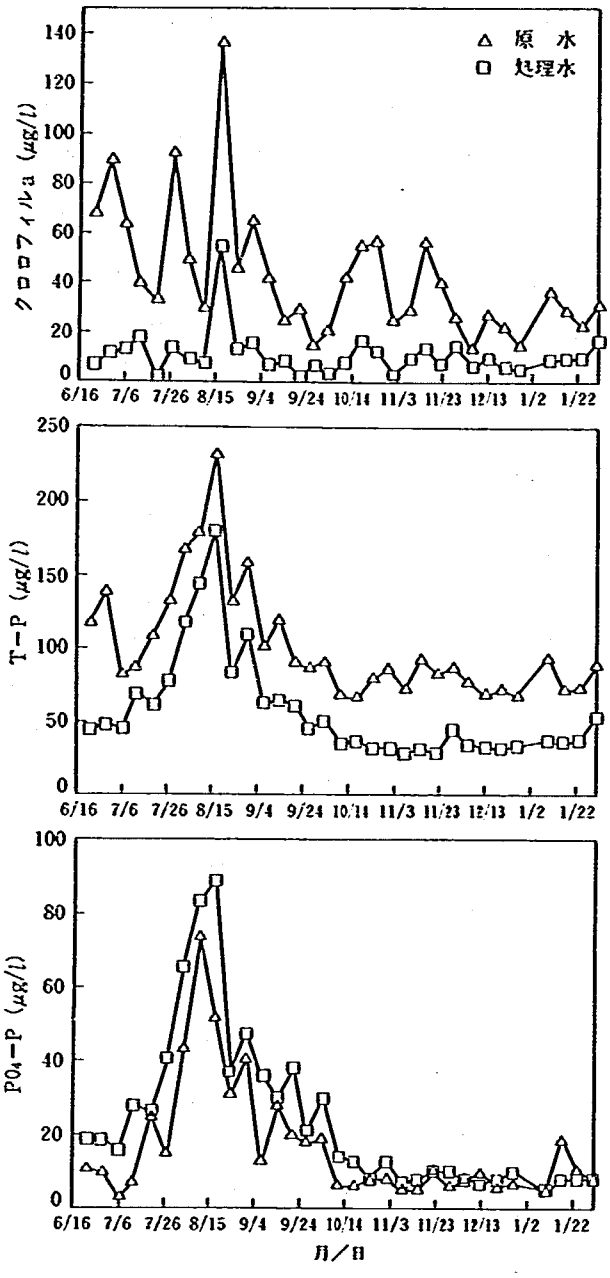
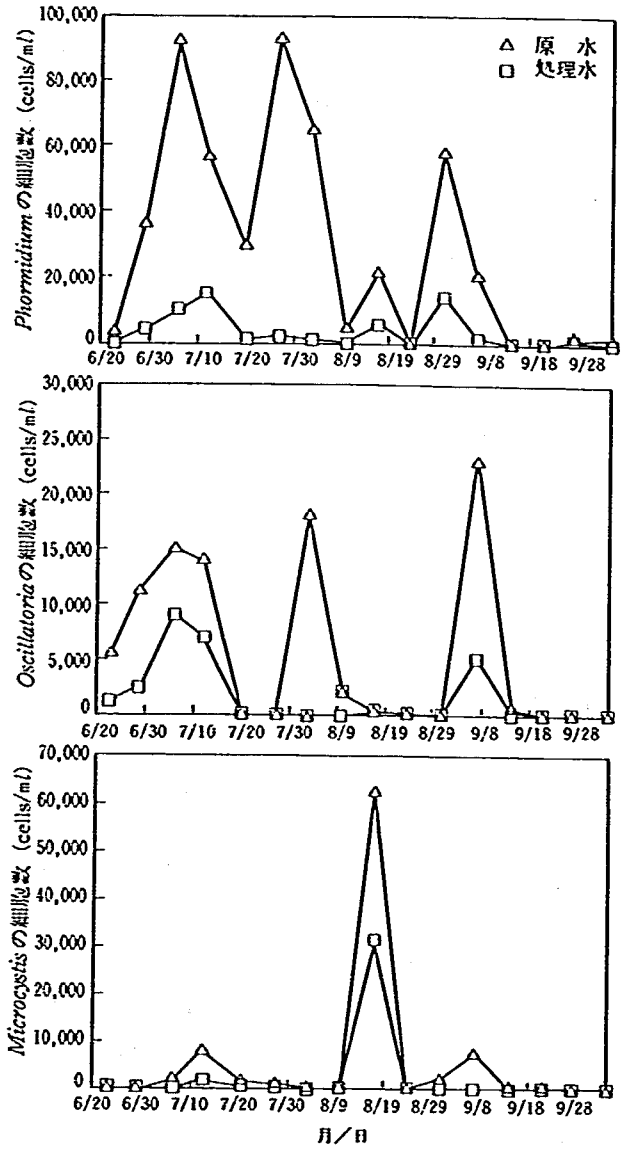


図-8 実験における原水と処理水のクロロフィルa等の経時変化

表-3 軽石濾過実験における実験結果の概要

項目		高温期 (H 6. 6.22～H 6.10. 4)	低温期 (H 6.10.11～H 7. 1.31)
濾過速度		21.6 m/day	21.6 m/day
水温		33～22℃	22～5℃
除去率	*Phormidium*	88 % (30,000 cells/mℓ → 3,700 cells/mℓ)	—
	Oscillatoria	72 % (5,600 cells/mℓ → 1,600 cells/mℓ)	—
	Microcystis	59 % (5,400 cells/mℓ → 2,200 cells/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)



図−9 実験における原水と処理水の *Phormidium* 等の経時変化

4. 設備面積の算定方法

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。浮遊藻類が対数増殖期で増加する際に比増殖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。

浮遊藻類の対数増殖期における藻体量の増加速度を式 (1) に示す。

$$\frac{dc}{dt}=\mu \cdot c \quad \cdots\cdots\text{式(1)}$$

式 (1) を積分すると次の式 (2) および式 (3) を得る。

$$\mu=\frac{1}{T}\cdot \ell n\left[\frac{C_T}{C_o}\right] \quad \cdots\cdots\text{式(2)}$$

$$C_T=C_o\cdot e^{\mu T} \quad \cdots\cdots\text{式(3)}$$

ここで濾過を対象とする表層水の湖内での流れを図−10 に示すようにモデル化して考える。濾過設備を経由した表層水は湖内に順次押し出されて，ある滞留時間後に再び取水されると仮定する。図−10 に示すように，湖内を滞留する間に浮遊藻類が増殖する量を $C_o\cdot(e^{\mu T}-1)$，濾過設備により除去される量を $C_o\cdot e^{\mu T}\cdot r$ と仮定すると，式 (4) を得る。

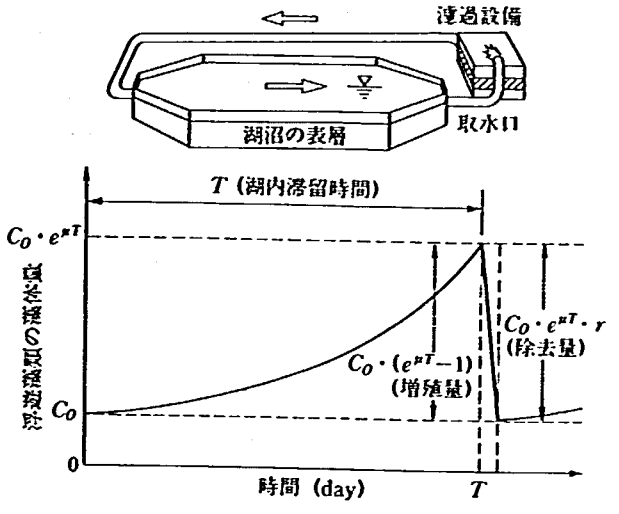
$$C_o\cdot(e^{\mu T}-1)=C_o\cdot e^{\mu T}\cdot r \quad \cdots\cdots\text{式(4)}$$

$$T=\frac{L}{V\cdot a} \quad \cdots\cdots\text{式(5)}$$

式 (4) および式 (5) より次式を得る。

$$a=\frac{\mu\cdot L}{V\cdot \ell n\left[\dfrac{1}{1-r}\right]} \quad \cdots\cdots\text{式(6)}$$

C ：時間 t における浮遊藻類の藻体量
C_o ：$t=0$ における浮遊藻類の藻体量
C_T ：$t=T$ における浮遊藻類の藻体量
L ：濾過を対象と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した湖内滞留時間 (day)



図−10 軽石濾過による増殖量と除去量の関係

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 (/day)

r ：濾過による浮遊藻類の除去率

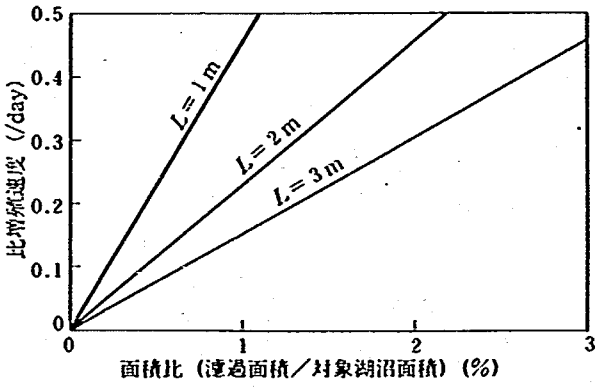
軽石濾過に必要な面積比 a は浮遊藻類の比増殖速度 μ により定めることができる。浮遊藻類の増減計算は，浮遊藻類の中で除去したい種類の細胞数の除去率で計算する。なお除去したい浮遊藻類の除去率とクロロフィル a の除去率が概ね等しければ，クロロフィル a で計算してもよい。

ここで 3. (1) に述べた現地実験をもとに設備面積の試算を行う。現地実験で得られた濾過速度である V=21.6 m/day (90 cm/h)，除去したい浮遊藻類を *Phormidium* と想定して *Phormidium* の除去率である r=0.88 を，また成層期であると想定して濾過を対象とした湖沼表層水の厚さを L=1 m，2 m，あるいは 3 m と仮定し，式 (6) に代入すると，比増殖速度 μ と必要な面積比 a の関係が得られる。設備面積を算定した結果を図−11 に示す。

軽石濾過の計算に用いる比増殖速度 μ については現在検討中であるが，貯水池 A の実測値が μ=0.2/day～0.3/day であることから，とりあえずこの値を目安とする。さらに湖沼表層水の厚さを 1 m～2 m と想定すると，必要な面積比は 0.5 %～1 % 程度必要であることがわかった。なお軽石濾過を行うと表層水からリンや窒素が次々と除去されることにより比増殖速度 μ が低くなることが想定される。よって比増殖速度については，現地での隔離水域による軽石濾過実験を行うなど，今後さらに十分な検討を進める必要がある。

5. ま と め

(1) 湖沼の富栄養化対策を目的とし，藍藻類や鞭毛藻類等を除去する対策手法として，軽石層に湖水を通水して異常増殖しかけたそれらの浮遊藻類そのものを除去し，処理水を湖沼に戻す『軽石濾過システム』を開発した。



注1) L ：濾過を対象とした湖沼表層水の厚さ (m)
注2) 実験結果より濾過速度は V=21.6m/day，浮遊藻類の除去率は r=88%とする。

図−11 軽石濾過に必要な面積比

(2) 軽石濾過システムにおける洗浄方法は，自動化した走行式の洗浄管から気泡混じりの水流により軽石を舞い上がらせるという方法であり，定期的な洗浄を行えば目詰まりや処理水への無機態のリンや窒素の過度の溶出をなくすことができ，軽石層を長期間使用できるのが特徴である。

(3) 軽石濾過の現地実験の結果，濾過速度 90 cm/h において，浮遊藻類の除去率は 80 % 程度であり，処理水への無機態のリンの溶出も原水の全リンに対して 10 % 程度と少量であった。

参考文献

1) 真田誠至・丹羽 薫・久納 誠・古里栄一；湖沼における軽石濾過による藻類除去手法，土木学会年次学術講演会概要集，第 49 回 II−A，1994
2) 中本信忠；生物処理の緩速砂ろ過処理について，月刊「水」，第 37 巻 3 月号，1995
3) 岩佐義朗編著；湖沼工学，山海堂，1990

Ⅱ－90

生物膜を伴う粒子体濾過による無機濁質除去手法

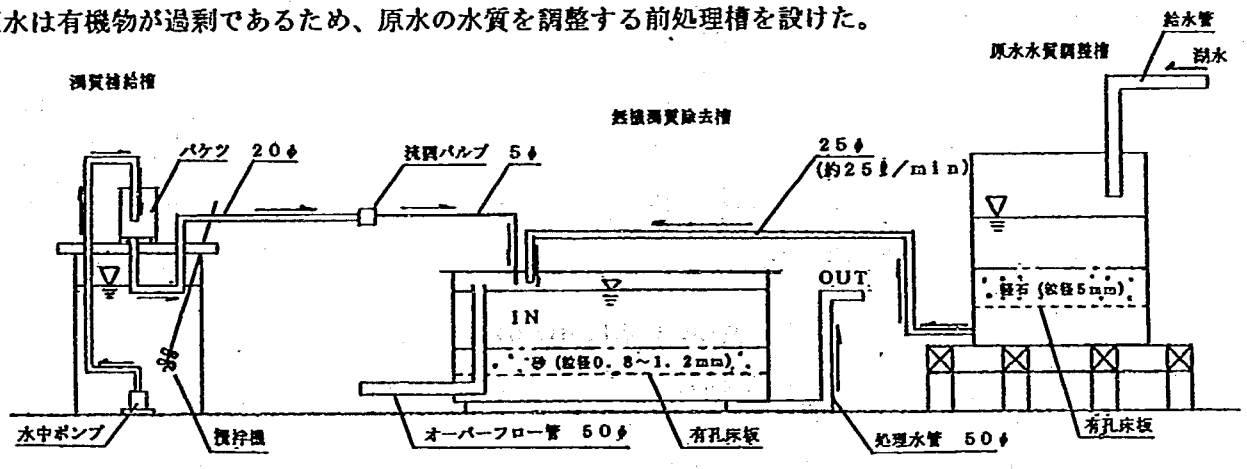
建設省土木研究所　正員　古永　充
建設省土木研究所　正員　久納　誠
建設省土木研究所　正員　丹羽　蒸

１．はじめに

ダム湖に流入した洪水時の濁水を暫くしてから下流へ放流する際に濁水長期化の問題が生じる場合は、放流水の濁質を除去し清澄水としてから放流する方法が考えられる。本報は、予め粒子の表面に生物膜を付着させておいた砂層に比較的粒子の細かい無機濁質を含んだ湖水を通して無機濁質を除去する手法について述べるものであり、その現地実験の結果を報告する。なお、本手法は濾過層を気泡を混入させた水流により洗浄することにより、濾過層を長期間に使用することができるのが特徴である。

２．無機濁質除去設備の概要

無機濁質を多く含む水は、浮遊藻類等の微細な有機物とともに直径1㎜程度の軽石層または砂層に濾過されると、無機濁質は濾過槽の粒子の表面に付着した生物膜に吸着される。これが無機濁質除去設備の原理である。よって、微細な有機物が水に全く含まれなければ、濾過を行っても効率的に無機濁質を除去することはできない。無機濁質除去設備は一般的には前処理が不要であるが、原水中に微細な有機物が含まれていない場合は、それを供給する設備が必要である。図－１に実験設備を示す。霞ヶ浦の湖水を原水としたが、この原水は有機物が過剰であるため、原水の水質を調整する前処理槽を設けた。



図－１　無機濁質除去実験設備

粒径1㎜程度で層厚10㎝以上の軽石層または砂層を細目ネット（ステンレスネット）の上に設け、さらにその上に水深30～40㎝程度の水層部を持った構造とする。当面、鉛直流速は72㎝/hourを目標としているが、さらに大きくすることが可能であると思われる。濁水を通水開始してから数日間から数週間もすると濾過水頭（損失水頭）が大きくなるが、走行式の洗浄装置を用いて気泡混じりの水流により濾過層洗浄を行えば濾過閉塞は生じない。よって濾過層は長期間使用できる。濾過層の洗浄濁水の処分は、無機濁質が主成分であるため、ダム湖が深い場合は死水域となっているダム湖深層への放流による処分が可能であると考えられる。

３．現地実験の方法と結果

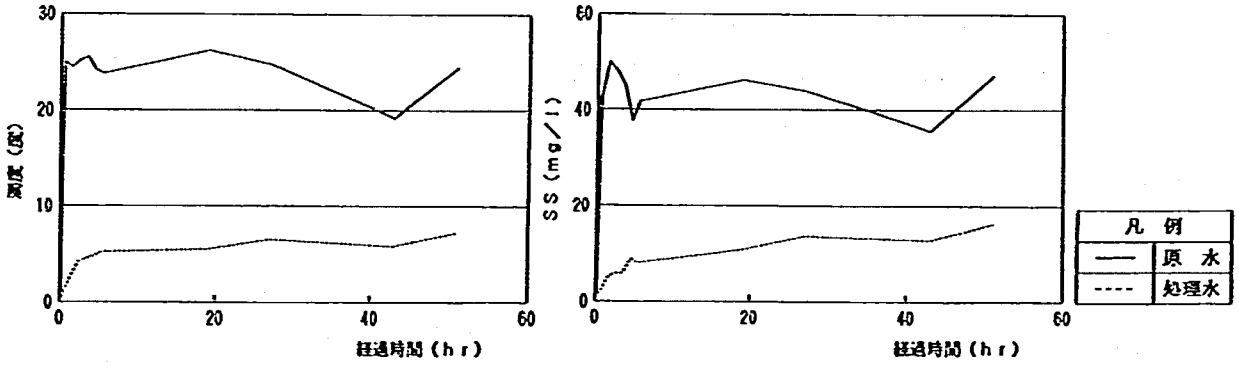
霞ヶ浦湖岸で湖水を前処理によりクロロフィルａを5～10μg/ℓ及びＴ－Ｐを15～25μg/ℓに低下させた水と瀬戸焼の原料の陶土より作った鉱物性の濁水（中心粒径6～15μm）を用いて、無機濁質除去設備の実験を行った。濾過槽は粒径が0.8～1.2㎜の砂を用い、層厚は10㎝とし、砂層は実験数週間以前より通水しておいた。濾過面積は2.0㎡であり、鉛直流速は72㎝/hourとした。実験は４ケース行ったが、濁水を混入してから

48時間後の原水と処理水の水質を表－１に示すが、濁度の除去率が70%（17度→5度）、SSの除去率が72%（32mg/ℓ→9mg/ℓ）となった。図－２にケース４の原水・処理水の濁度、ＳＳの経時変化を示すが、処理水の濁質に経過時間による大きな差異は見られない。また、図－３に同ケースのどの粒径の濁質が除去できたかの経時変化を示す。粒径２～３μm以上のＳＳの除去効果が高いことがわかる。通水を50時間以上持続させたが、処理量は低下しなかった。なお実験後に可動式洗浄装置で砂層を洗浄したら、濾過槽の損失水頭は実験前の状態に戻った。なお洗浄濁水は、SSで2000～4000mg/ℓであった。

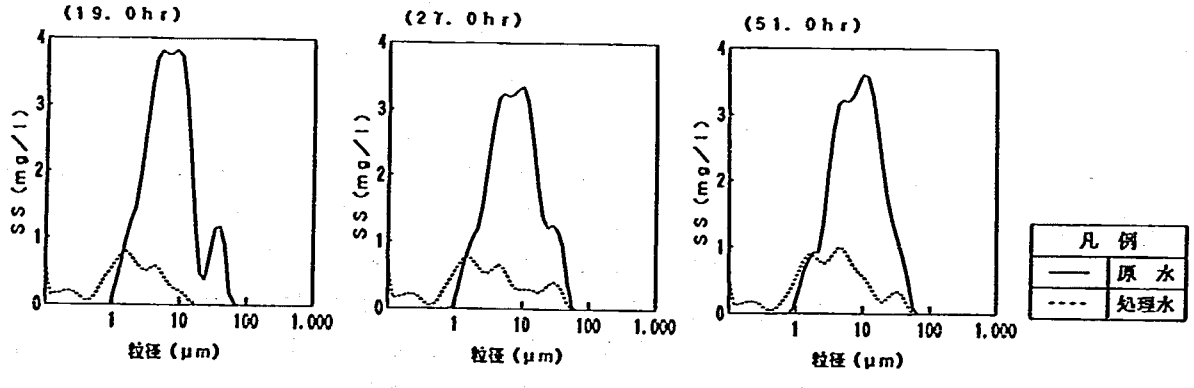
表－１　濁水を混入してから４８時間後の水質

項　　目	94.9.30（ケース1）	94.10.19（ケース2）	94.11.9（ケース3）	94.12.8（ケース4）	平均除去率
処理量（ℓ/min）	21	25	25	25	—
水　温（℃）	24	21	14	10	—
濁　度（度）	10.8 1.2	9.8 1.5	23.2 10.8	24.5 7.2	70%
ＳＳ　（mg/ℓ）	34.5 7.3	12.6 1.3	35.6 11.0	47.3 16.2	72%
濾過層の状況	洗浄１週間後に濁水混入開始	洗浄１週間後に濁水混入開始	洗浄直後に濁水混入開始	洗浄１週間後に濁水混入開始	—

注）上段は原水、下段は処理水の値である。



図－２　原水及び処理水における水質の経時変化



図－３　粒径別に示したＳＳの除去効果の経時変化

４．おわりに

生物膜を伴う粒子体濾過による無機濁質除去手法は実験の結果、ダム湖の放流水から無機濁質を除去する手法として有効であることがわかった。今後は、①今回用いた砂の代わりに、粒子体の表面形状が複雑な軽石を濾過材に用いる検討、②濾過速度の高速化の検討、③施設構造の検討、が必要だと考えられる。

Ⅱ－83

落葉回収による富栄養化対策

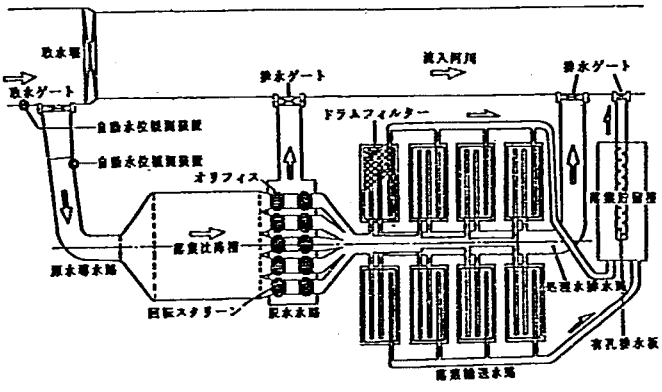
建設省土木研究所　正員　久保徳彦
建設省土木研究所　正員　久納　誠
建設省土木研究所　正員　丹羽　薫
(株)建設技術研究所　正員　漆山敬二

１．はじめに

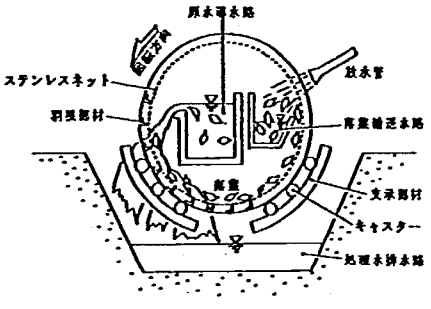
森林から発生した落葉や、洪水時等に河川に堆積していた落葉が湖沼やダム湖に流入して、湖の底に堆積し短期間で分解することにより無機態の栄養塩類を水中に溶出するため、富栄養化現象の要因となっていることから、流入する落葉を効率的に回収するシステムを構築し富栄養化の要因である栄養塩類の削減を行う必要がある。落葉回収システムは、湖沼等に流入する前に河川水に含まれている落葉を回収することが目的であり、特に洪水時の初期流出水には多量の落葉が含まれており、この流出水より落葉を効率よく連続的にかつ無動力で回収し除去を行い湖沼に流入する栄養塩類の削減を行うためのシステムである。

２．落葉回収システムの原理

落葉回収システムは、図－１に示すように落葉沈降層、脱水水路、円筒型の網籠（以下「ドラムフィルター」という）からなり、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る。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る。次に脱水水路で特殊な回転式のスクリーンを用いること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、ドラムフィルターへと向かう。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せる。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せる。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せる。またドラムフィルターでは図－２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。



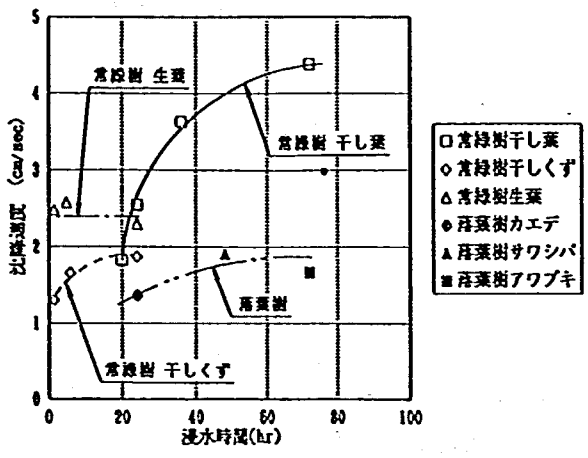
図－１　落葉回収システムの概念図



図－２　ドラムフィルター詳細図

３．落葉特性調査

落葉沈降層の施設検討を行うために落葉回収システムの施設検討の対象としているＡダムの流域に植生する樹木の落葉について水平流速が存在する流れの中での沈降速度を調査した。調査項目は、落葉の種類とその割合、大きさの分布、湿潤重量、沈降特性について調査した。図－３は、沈降特性についてまとめた図で落葉の種類を変化させて、浸水時間と沈降速度との関係をグラフにまとめた。



※沈降速度については以上の葉の方を対象とした。

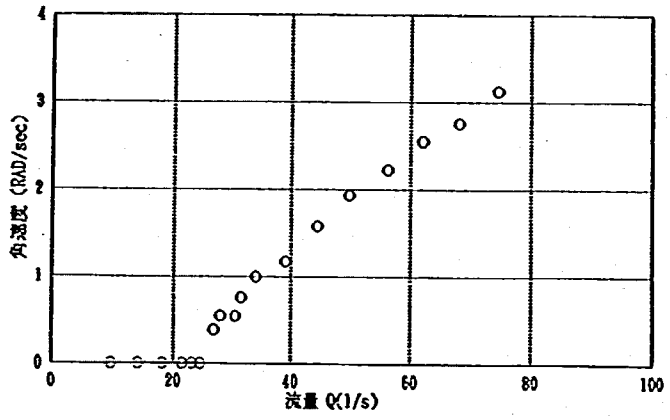
図－３　落葉沈降特性調査結果

４．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の９割を削減することを目標に施設検討を行った。今年度は、維持管理や施工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、回転スクリーン方式を検討する必要がある。

５．ドラムフィルター模型実験

ドラムフィルターの基本的構造及び能力を検討するため直径１ｍ、長さ1.5 ｍの円筒網籠状の模型を用いて実験を行った。実験では、実際に水を流しその力でドラムフィルターを回転させ流量の変化による回転特性を調査した。また、実際に落葉を混入した水を使いたドラムフィルターでの落葉回収実験も行った。図－４に流量とドラムフィルターの回転角速度のグラフを示す。



図－４　ドラムフィルターの回転特性調査結果

６．ドラムフィルターの施設検討

この模型実験により、回転している状態から判断して安定的に回転を行うためには角速度２RAD/sec以下とした。実際にＡダムの施設計画では、最大３０㎥/secまでの河川水を処理することが計画されており、落葉沈降層により比重の大きい落葉や土砂分を沈降させ、脱水水路で９０％水を分離除去し残り３㎥/secの河川水を処理するための施設設計を行うと、模型ではドラムフィルターが直径１ｍ、長さ1.5 ｍ、導水路30cm×20cmで処理流量は0.05㎥/secであった。実際の施設規模として全て２倍の直径２ｍ、長さ３ｍ、導水路60cm×40cmとするとドラムフィルター１基あたりの処理流量は、フルード相似則により０．０５㎥/sec×$2^{2.5}$≒０．２８㎥/secとなり３㎥/secの河川水を処理するためには３㎥/sec÷０．２８㎥/sec/基＝１１基のドラムフィルターが必要となる。

７．おわりに

落葉回収システムを考案し、貯水池内へ落葉が流入する前に効率よく無動力で河川水より落葉を回収する施設の基本的構造を確認し、富栄養化の要因である栄養塩類の削減を行えることがわかった。今後さらに脱水水路の構造の検討や、実物大のドラムフィルターの模型実験により実際の施設の特性を更に検討する必要がある。

Q.69-R.29　流動制御と糸状藻類を活用したダム湖水質環境創造システム

廣瀬利雄[*1]
丹羽薫[*2]
久納誠[*3]
山下芳裕[*4]

1. はじめに

日本ではダム湖を自然環境の核として活用して行こうという動きが強まっている中，いくつかのダム湖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。ダム湖の栄養塩類が増える結果，藍藻類等の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，ダム湖沿岸の異臭，親水性活動の阻害などの問題を引き起こしている。こうしたダム湖の富栄養化による問題を解決するには，藍藻類等の好ましくない藻類の異常増殖を阻止する対策をとることが必要である[1)2)]。

日本のダム湖では，近年，曝気循環設備が富栄養化対策の目的で設置されて来た。建設省所管の釜房ダムでも間欠式空気揚水筒方式の曝気装置を設置し，その効果が確認された。本報では建設省土木研究所が開発した新たな対策手法として，流入河川水と表層水の流動を制御する「流動制御システム」と糸状藻類を活用して水処理を行う「糸状藻類活用システム」を提案すると共に[3)4)5)]，現地実験で良好な結果が得られたので報告する。前者はダム湖内の水温鉛直分布を確実に制御する方法により，従来の曝気循環の効果をさらに拡大するシステムである。後者は糸状藻類により流入河川水及びダム湖水の栄養塩類を除去することによって，前者を補うシステムである。

2. 釜房ダムでの曝気循環の実施例

2-1　曝気循環実施の背景

釜房ダム（堤高45.5m，総貯水容量4,530万m³，湛水面積3.9km²，流域面積195km²）は，昭和45年に名取川水系碁石川上流に建設省東北地方建設局が建設した多目的ダムであり，ダムの湛水開始より昭和58年までの13年間に8ヶ年の高い頻度で異臭味障害（カビ臭）が発生した。カビ臭は，藍藻類のホルミディウムの異常増殖後に発生しており，本ダムを取水源とする仙台市水道局では，カビ臭を除去するため多量の粉末活性炭を投入して処理を行ってきた。このような背景から，同東北地方建設局は釜房ダムに昭和59年から間欠式空気揚水筒方式による曝気循環を実施している[6)7)]。

2-2　曝気装置の構造

間欠式空気揚水筒をダム湖の深い箇所に水平距離約100m間隔で設置した。陸上のコンプレッサーから連続して空気を送り込み，間欠式に砲弾状の気泡を作り揚水筒内を上昇させ，揚水筒内の水を押し上げる。それに伴い揚水筒下部より底層水が吸水される。揚水筒吐口より水面まで気泡が上昇するが，周囲の水は上昇する気泡に連行される。間欠式空気揚水筒方式の曝気装置の諸元を表—1に示す。空気揚水筒の設置数は順次増加され，平成2年は空気揚水筒9筒を稼動させるに至った。

2-3　水質的効果及び考察

表—1　間欠式空気揚水筒方式の曝気設備の諸元

機種		諸元	
小型揚水筒 (NO.1~NO.5) φ500cm	空気揚水筒	内径	500cm
		筒長	14~16m
		吐出水深	常時満水位時 15.8m、夏期時限水位時 9.8m
		揚水量	25,000m³/day
	コンプレッサー	出力	7.5kW
		空気量	550ℓ/min
大型揚水筒 (NO.6) φ500cm×4	空気揚水筒	内径	500cm×4筒
		筒長	16m
		吐出水深	常時満水位時 15.8m、夏期時限水位時 9.8m
		揚水量	100,000m³/day
	コンプレッサー	出力	22kW
		空気量	2,200ℓ/min

*1 (財)国土開発技術研究センター理事長
*2 建設省土木研究所環境部環境計画研究室長
*3 水資源開発公団栗原川ダム調査所調査設計課長
*4 (株)建設技術研究所

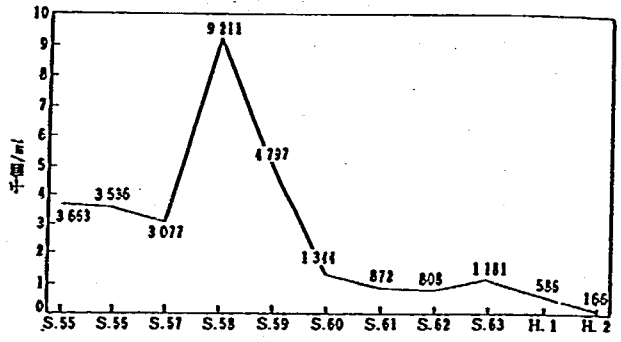
表—2　釜房ダムにおけるホルミディウムとカビ臭の発生状況

（群体/ml）

月/年	55年	56年	57年	58年	59年	60年	61年	62年	63年	1年	2年	3年	4年
1月	0	690	[illegible]	60	80	60	40	40	290	·····	134	0	38
2月	0	920	[illegible]	0	·····	·····	30	10	320	20	45	0	87
3月	0	150	190	30	·····	150	110	10	620	10	22	0	33
4月	0	320	70	0	20	30	20	0	260	·····	0	22	49
5月	0	320	130	30	60	210	110	90	40	20	65	0	283
6月	0	0	0	0	[illegible]	150	0	0	0	0	0	0	33
7月	0	0	10	0	[illegible]	240	0	0	0	0	0	0	0
8月	0	[illegible]	930	[illegible]	[illegible]	20	0	0	390	10	0	0	0
9月	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	390	0	0	0	0	10	20	0	0
10月	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	40	0	0	100	0	0	0	·····	0
11月	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	10	0	20	20		·····	0	·····	5
12月	190	[illegible]	[illegible]	90	50	10	0	80		·····	0	·····	0

■ カビ臭発生期間　□ 曝気循環装置稼動期間

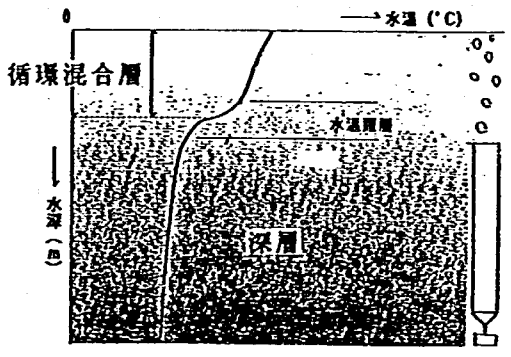
（出典：仙台市水道局）

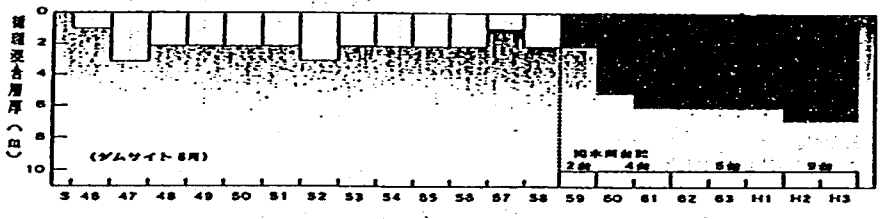


図—1　釜房ダムにおけるプランクトン総数の経時変化

曝気装置稼動前後のホルミディウムとカビ臭の発生状況を表—2に示す。装置稼動後，ホルミディウムは激減し，カビ臭はまったく発生していないことから，明らかにホルミディウムの抑制効果が認められた。植物プランクトン総数の経年変化を図—1に示すが，9筒稼動の平成2年では植物プランクトン総数は約200個/mlと激減しており，藻類全体の増殖の抑制効果も認められた。

間欠式空気揚水筒による曝気循環を行うと，表層に循環混合層を形成させるという作用がある。しかし，その厚さは図—2に示すように9筒稼動時でも7mであり，





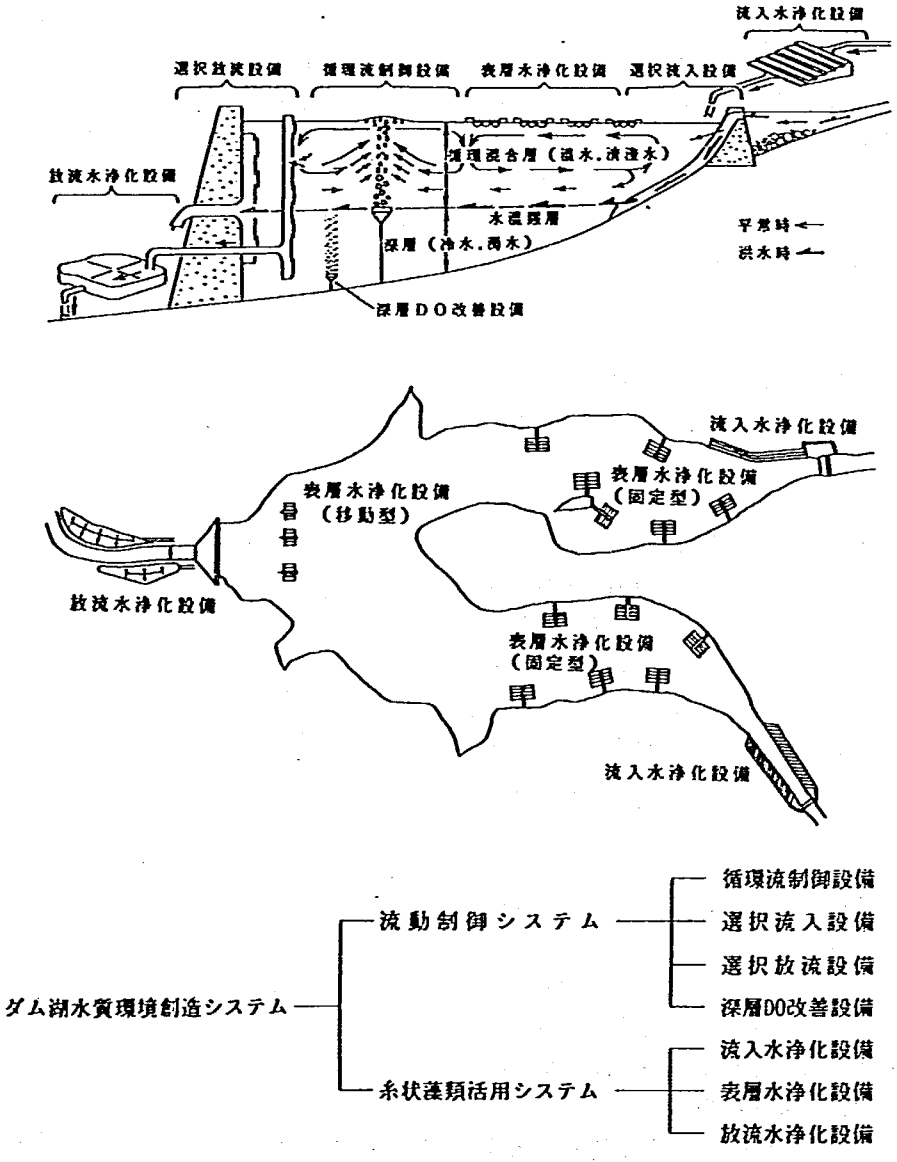
図—2　釜房ダムにおける循環混合層の経時変化

循環混合層を厚くすれば藍藻類の異常増殖の抑制効果がますます高くなると考えられる。しかし，間欠式空気揚水筒方式ではダム湖の水深と揚水筒の長さの関係から循環混合層を７m以上に深くすることはほとんど不可能である。

3. ダム湖水質環境創造システムの提案と現地実験

釜房ダムでは，平常時においてダム湖の表層に温水でしかも水温分布が均一の循環混合層を有光層よりも厚い７mの深度まで形成させることにより，有光層に生息する藍藻類への栄養塩類と光を制御し，それによって藍藻類の異常増殖に対する抑制効果があることが確認できた。

釜房ダムでの経験を生かし，さらに効果を高められる新しいシステムとして，建設省土木研究所は散気管方式の曝気装置や選択流入設備等により循環混合層を有光層の数倍に至る深度まで厚く形成させる「流動制御システム」を開発し，現地で実証実験を行った。さらに同土木研究所が開発した，河川や浅い湖沼で一般に生息している糸状藻類を活用した水処理を行う「糸状藻類活用システム」を流動制御システムに組み合わせると，効果が高まる。これらのシステムの総称を「ダム湖水質環境創造システム」と称し，本システムの全体構成を図―３に示す。なお「流動制御システム」はダム湖の中小洪水に対する濁水長期化の対策としても十分な効果が期待できる。



図―３　ダム湖水質環境創造システム

4. 流動制御システム

4-1　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水温分布が均一の循環混合層を，有光層の数倍に至る深度まで厚く形成させ続け，中小洪水時にもこの層を温存させることにより，有光層に生息する藍藻類等の好ましくない藻類への栄養塩類と光を制御することになり，それによって藍藻類の異常増殖を阻止するシステムである。

循環混合層では水温鉛直分布がほぼ均一であるため，常に上下に混合し易い状態である。つまり自然界における秋季全循環を人為的に起こさせることになる。循環混合層が有光層の数倍に至る深度まで存在すれば，有光層で生息する藻類は時々有光層の下に深く追いやられることになり，藻類の光合成できる時間を大幅に短くして増殖を抑制できる。また緑藻類や珪藻類は自ら浮上する能力を持たないが，循環混合層が厚く存在するとその流動がそれらの増殖に有利に働いて，藍藻類に供給させ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することができる。さらに循環混合層が温水でしかもその厚さが有光層の数倍あれば，栄養塩類を多く含んでいる中小洪水時の流入水を水温躍層へ導くことができ，藍藻類が生息している有光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き，表層の清澄水を温存するのが望ましい。散気管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。散気管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下部にまで移送され，循環混合層全体の水温は上昇する。従って冷水対策として表層取水を行っている場合，取水可能な層が厚くなるため有利となる。

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。ここで提案する流動制御システムは，中小洪水時の放流口を有光層の数倍の深度にあたる標高に設け，散気管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，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有光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。

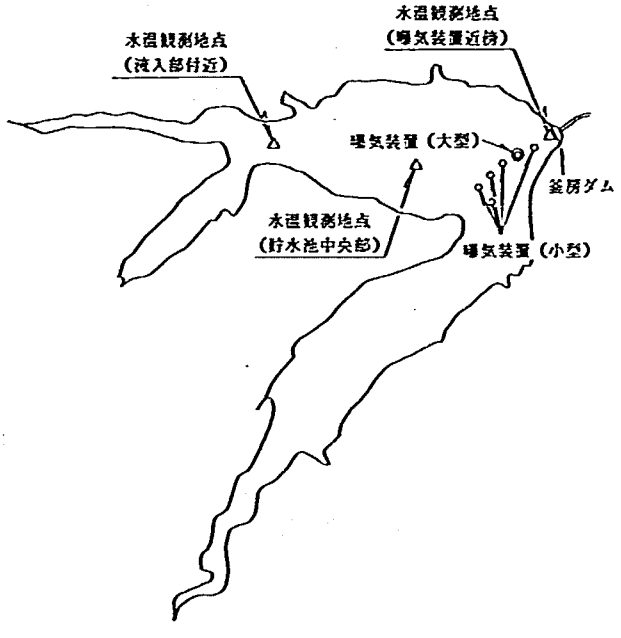
なお，ダム湖深層の溶存酸素を改善し底泥の栄養塩類の溶出を防止する深層 DO 改善設備もこのシステムに含まれる。

4-2　流動制御システムの現地実験

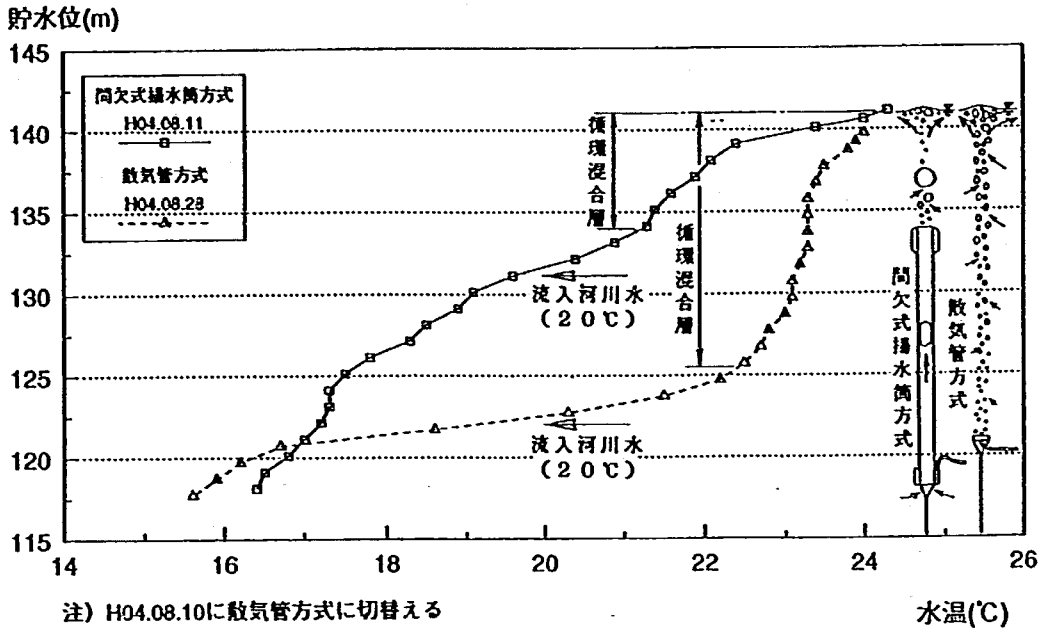
4-2-1　循環混合層の形成

本実験は前述の釜房ダムにおいて，間欠式揚水筒方式を全基とも平成4年8月10日より約1ヶ月のあいだ散気管方式に切り換え，その期間のダム湖の水温鉛直分布を追跡した。なお両方式ともコンプレッサーの動力は同一とし，ホースから空気を吐出する水深も概ね同一とした。図—4に釜房ダムにおける曝気装置と水温観測地点の位置図を示す。図—5にダム湖の曝気装置近傍の水温鉛直分布を示すが，散気管に切り換えた翌日とその17日後の水温鉛直分布を取り出して，両方式の比較を容易にした。散気管方式の方が気泡に連行される水量が多いために，循環効率が高くなり，循環混合層が厚くなっているのがわかる。また図—5の時期における河川水温は概ね20℃であるが，散気管方式は間欠式揚水筒方式に比べ，循環混合層が高温でしかも厚いために，中小洪水時及び平常時の流入河川水を10m程度も深い水深へ導くことができる。

4-2-2　循環混合層の流動



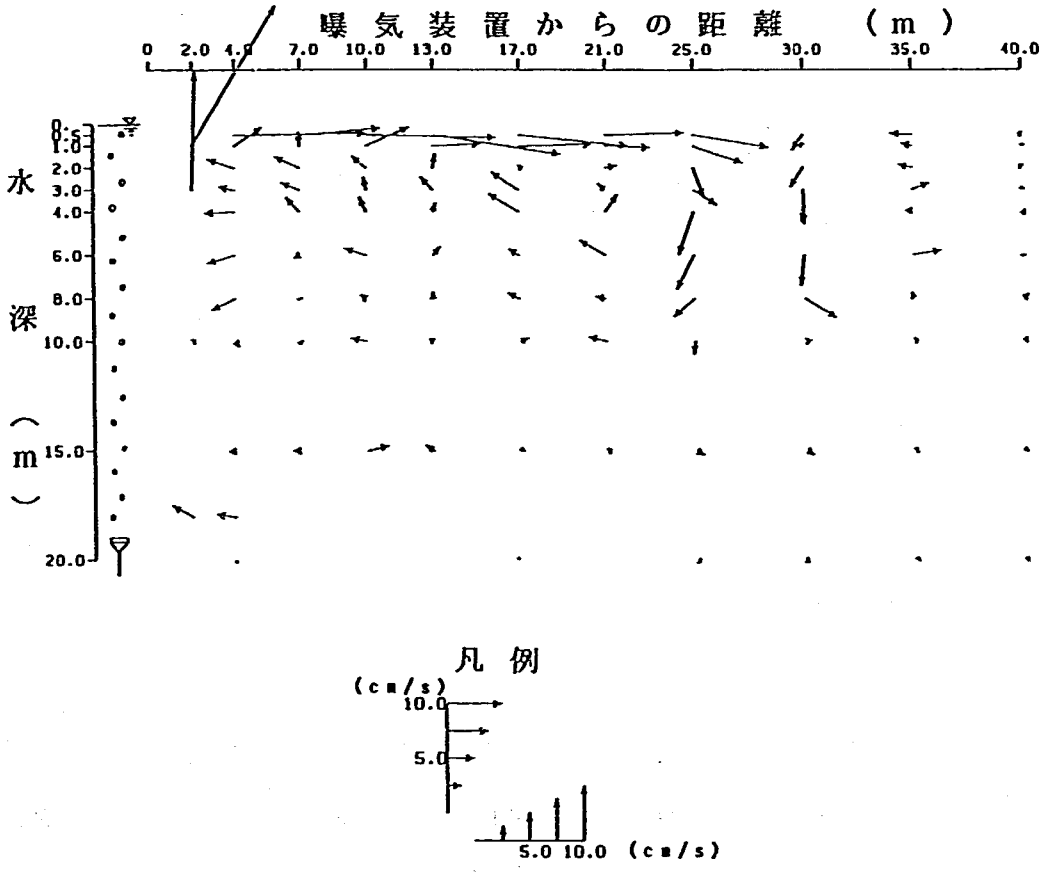
図—4　釜房ダムにおける曝気装置と水温観測地点の位置図



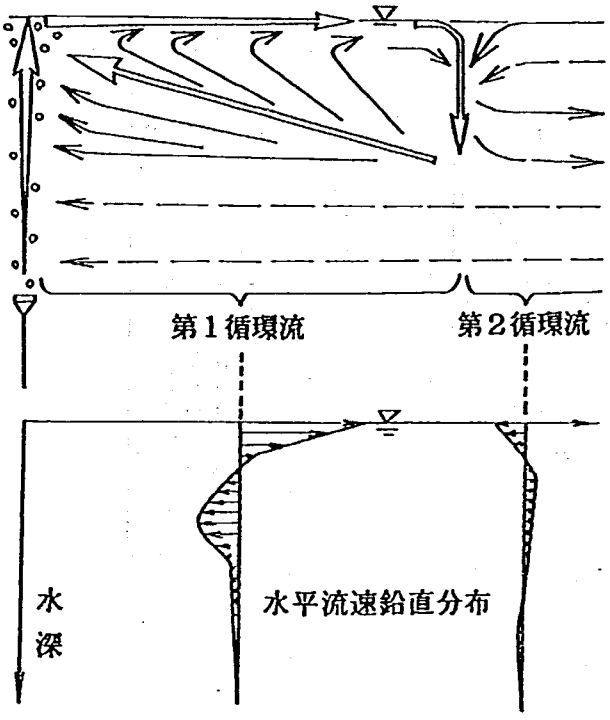
注) H04.08.10に散気管方式に切替える

図—5 間欠式空気揚水筒方式と散気管方式の水温鉛直分布の比較

大型タイプの散気管方式の曝気装置（出力22kw，空気量2,200ℓ/分）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。測定結果を図—6に示す。散気管方式の曝気装置周辺の水の挙動は，図—7に示すような二つの循環流となっている。第1循環流は，まず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。



図—6 散気管方式の曝気装置による流動測定結果



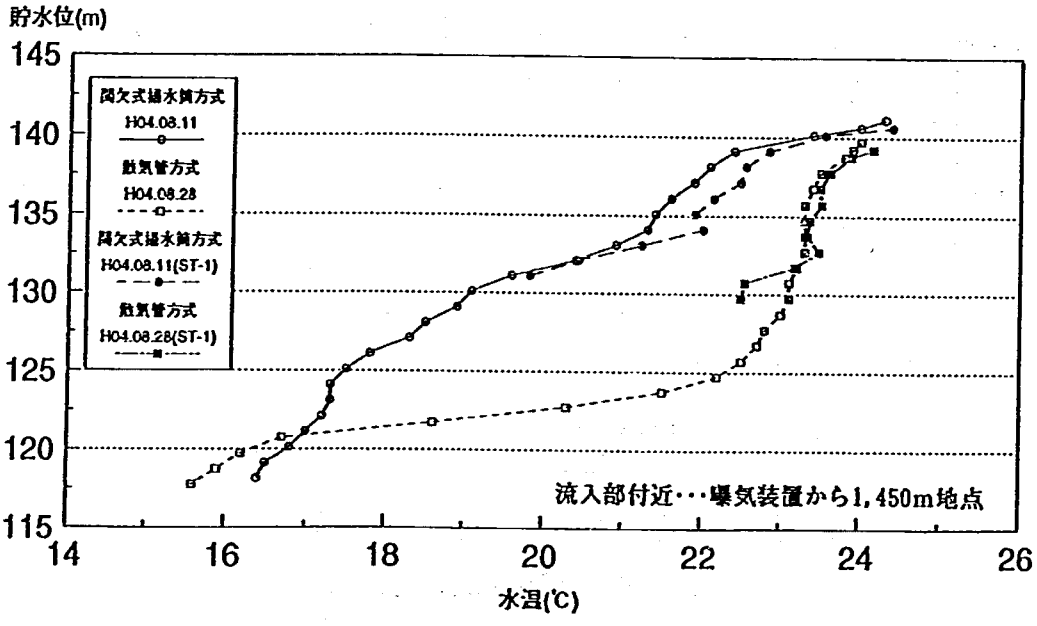
図―７　散気管方式の曝気における流動模式図

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は急に鉛直下向きの流れに変わり，ある深度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循環流の外側には第２循環流が見られる。第２循環流は第１循環流の鉛直下向きの流れに連行されて生じている。一方，図―８に示すようにダム湖の流入部付近の水温鉛直分布は曝気装置近傍の水温鉛直分布とほぼ等しくなっている。

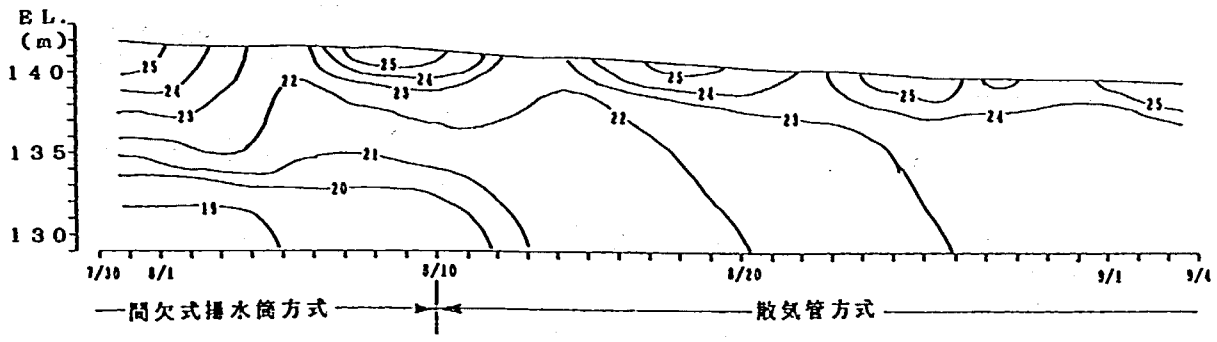
以上の観測をもとに散気管方式の曝気による水の挙動を推測する。散気管方式の曝気により第１循環流が生じる。第１循環流は，図―7に示すように第１循環流外側の表層から温水を，第１循環流外側の深層から冷水を引き寄せ，両者を混合して中間水温とし，これを第１循環流外側の中間水深付近に押し出す働きをする。押し出された中間水温の湖水は，表層の温水と深層の冷水との間を楔のように割り続けるようにしてダム湖上流端まで運ばれる。この結果，表層の日射エネルギーはこの密度流に乗って循環混合層全体に運ばれることになる。これが観測では第２循環流として見られる。

4-2-3　循環混合層における水温鉛直分布の経時変化

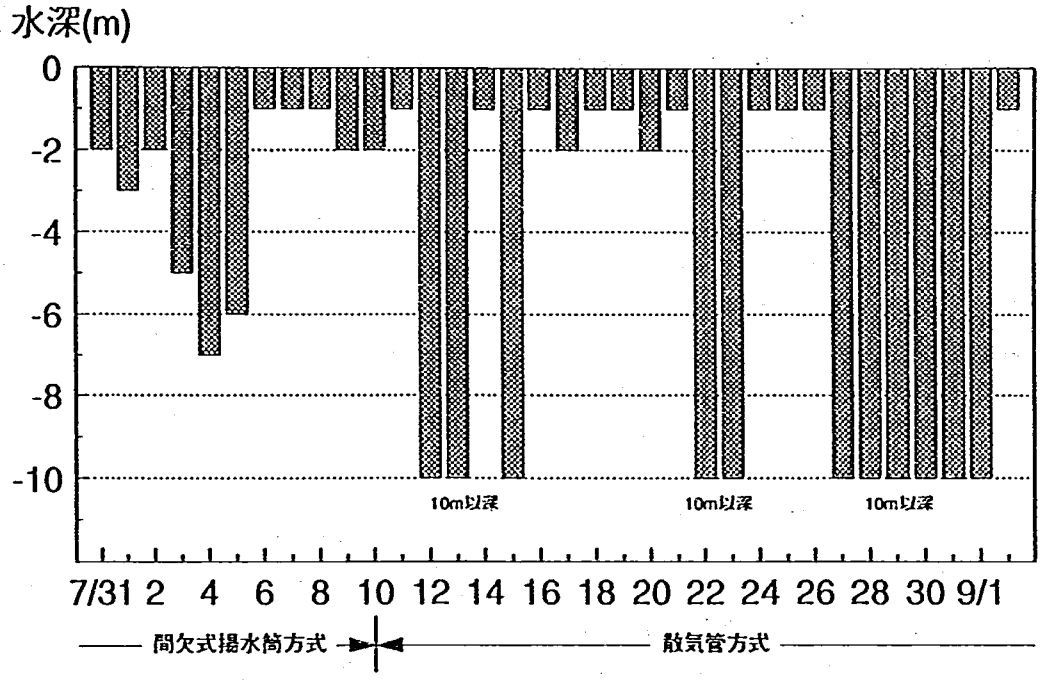
一旦厚い循環混合層が形成されると日々の気象によって有光層の水温が循環混合層下部の水温より低下する機会が多く生じるようになる。有光層の水温が循環混合層下部の水温よりも低下すると密度差により有光層の湖水は循環混合層下部の湖水と入れ替わり易い状態となり，強風時などはその働きが顕著になる。図―９にダム湖中央部における水温鉛直分布の経時変化を示す。このデータをもとに，水面からの鉛直方向の平均水温勾配が0.1℃/m以下である水深を求め，その経時変化を図―10に示す。表層における水温がほぼ均一である層の厚さは，間欠式揚水筒方式では最大でも７mであったが，散気管方式では10m以上の日が週に数日出現している。このことは循環混合層を厚く形成させると，週に数度有光層の水が鉛直方向に10mも移動するような混合流を生じ易い状態になっていることを示す。



図―８　ダム湖中央部及び流入部での水温鉛直分布



図—9 ダム湖中央部の水温鉛直分布の経時変化



図—10 水面からの平均温度勾配が0.1℃/m以下である水深の経時変化

4-3 各設備の番的と構造

4-3-1 循環流制御設備

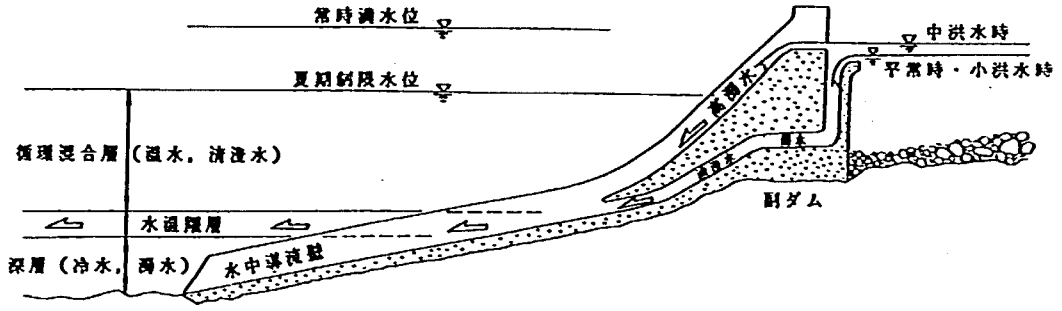
循環流制御設備は，有光層で生息する藍藻類等の好ましくない藻類への栄養塩類と光を制限するために，散気管方式の曝気装置を用いて，ダム湖の表層に温水でしかも水温分布が均一の循環混合層を，有光層の数倍に至る厚さになるように形成させる設備である。

散気管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混入してきた場合に，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。散気管方式の曝気装置は位置を容易に上下動できる構造になっており，自動水質観測装置を監視しながらダム湖及び流入河川水の水温及び水質状況に応じてダム湖の流動を制御することが可能である。洪水時は曝気を停止し，洪水終了後は清澄水の下限水深に曝気装置の設置標高を一致させてから曝気を開始する。その後は清澄水の下限水深の降下に伴い，曝気装置の設置標高を降下させることにより，循環混合層を再形成させる。

4-3-2 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てダム湖上流端にて平常時及び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。

選択流入設備の設備例を図—11に示す。この設備例の場合，平常時及び小規模洪水時の流入河川水は，管水路を通って循環混合層と全く混合することなく水温躍層へ導く。中規模洪水時の流入河川水は水中導流壁間の開水路を通って，循環混合層と極力混合させることなく水温



図—11　選択流入設備の設備例

躍層へ導く。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，管水路や水中導流壁間の開水路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，水路の維持管理は容易である。

4-3-3　選択放流設備

選択放流設備は，平常時には清澄水，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。

4-3-4　深層DO改善設備

循環流制御設備を稼動させた場合，散気管方式の曝気装置より深い深層に対しては流動はほとんど生じないため，深層の溶存酸素濃度が低下する恐れがある。深層DO改善設備は，曝気により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の溶出を抑制させる設備である。

装置は散気管方式の空気量の少ない曝気装置を用いるが，曝気水深は湖底より数mの高さの水深に固定する。曝気による気泡が水温躍層を乱すことがないように，細かい噴出口を広い範囲に分散させて設け空気量を少量とし気泡は細粒とすることが必要である[8]。

5. 糸状藻類活用システム

5-1　システムの概要

本報文で提案する糸状藻類活用システムは，河川や浅い湖沼に一般に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に与えることにより，流入河川水からPO_4-P及びT—Pを，ダム湖表層水からPO_4-Pを除去し，藍藻類等の好ましくない藻類の異常増殖を阻止し，さらに放流水から浮遊藻類及びカビ臭物質を除去するシステムである。このように本システムは，自然河川等にて水質浄化に役立っているエコシステム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。

5-2　糸状藻類の種類

糸状藻類とは顕微鏡レベルで細胞が列車のようにつながっている藻類を指す場合と，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場合があるが，ここでは後者を指す。糸状藻類は意外と我々の生活に関連しており，本システムに関係の深い糸状藻類を表—3に示す[9]。なお糸状藻類は，渓流や水路のように急流に適する種類と，浅い湖沼や水田のように緩流に適する種類とに大きく二分できる。

5-3　糸状藻類を水質浄化に用いる利点

糸状藻類は藍藻類や水生植物に比べて，湖水を水質浄化するのに適合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現象（水の華，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。例えば，水生植物の代表であるホテイアオイの倍加日数が約2週間であるのに対し，糸状藻類は概ね数日である。

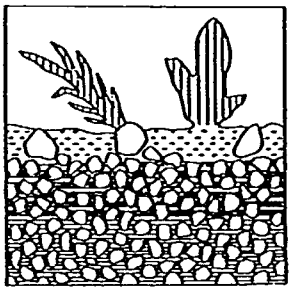
③ 糸状藻類が生息するには付着あるいは上載できる基質が必要であり，この基質を人為的に操作することにより糸状藻類の生息を制御できる。

④ 糸状藻類の適応温度は藍藻類に比べ，低い水温でも生息が可能であるため，冬期も概ね生息が可能である。またホテイアオイが西日本の夏期しか増殖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 糸状藻類が必要な無機態の栄養塩類は浮遊藻類に比べ，低い濃度でも生息が可能である。なお，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れば栄養塩類を吸収することができる。

表—3 本システムに関係の深い糸状藻類

適 性	名 称	綱 別	特 性
急 流	シオグサ (Cladophora glomerata)	緑藻類	丸くなれない点を除いてマリモと全く同じ属の藻類である。
急 流	ヒビミドロ (Ulothrix sp.)	緑藻類	山間の渓流の岩石に着生する代表的な藻類である。
緩 流	サヤミドロ (Oedogonium sp.)	緑藻類	細胞分裂が特異で、細胞間のサヤや朱色の丸い生卵器など特色が多い。
緩 流	メロシラ (Melosira varians)	珪藻類	浄水場の緩速砂濾過で重要な役割を果たす藻類である[9]。
緩 流	アオミドロ (Spirogyra sp.)	緑藻類	糸状藻類の中でも栄養価が高く有効利用の点で注目すべき藻類である。
緩 流	アミミドロ (Hydrodictyon reticulatum)	緑藻類	肉眼でも一見多角形の模様をしたレース編みを思わせる美しい藻類である。



図—12 糸状藻類の浄化機能

⑥ 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。

⑦ 糸状藻類は栄養価の高いものが多く，アユやワカサギ等の魚類や鶏等の家畜の良質なエサとなる。

5-4 各浄化設備が有する浄化機能

糸状藻類を活用した浄化設備が有する機能を考えてみると，図—12に示すようになる。流入水，表層水，放流水浄化設備は，除去すべき物質や生息させたい糸状藻類のタイプにより図—12に示す①～④の浄化機能の組み合わせが異なる。各浄化設備に適用すべき浄化機能の組み合わせを表—4に示す。

5-5 各設備の目的と構造

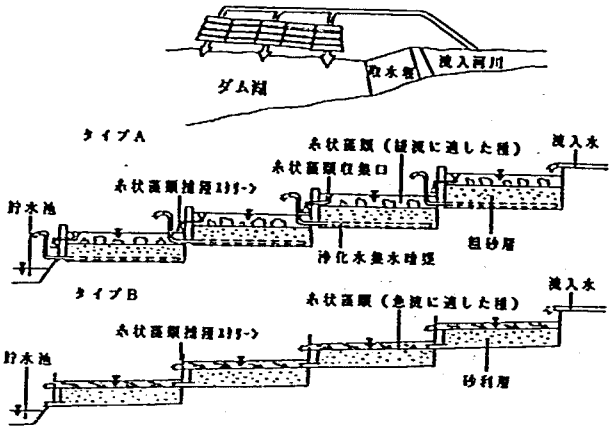
5-5-1 流入水浄化設備

流入水浄化設備は，糸状藻類の増殖と砂利濾過の二過程を交互に行うことにより，PO_4-P及びT—Pを除去する設備である。流入水浄化設備を図—13に示すが，対象とする流入河川に生息している糸状藻類の種類により，タイプAとタイプBに分かれる。タイプAは緩流に適した糸状藻類を対象とした設備であり，タイプBは急流に適した糸状藻類を対象とした設備である。

タイプAの構造と原理を述べる。上部構造は緩流に適

表—4 各浄化設備における浄化機能の組合せ

設備名	糸状藻類による判別	除去したい物質	浄化機能と除去物質
流入水浄化設備	緩流タイプ	PO_4—P T—P	①立体的に生息する糸状藻類 ②濾過膜となる糸状藻類 ④粒子間の物理的濾過 ↓ PO_4—P除去 T—P除去
流入水浄化設備	急流タイプ	PO_4—P T—P	①立体的に生息する糸状藻類 ④粒子間の物理的濾過 ↓ PO_4—P除去 T—P除去
表層水浄化設備	緩流タイプ	PO_4—P	①立体的に生息する糸状藻類 ②濾過膜となる糸状藻類 ↓ PO_4—P除去
表層水浄化設備	急流タイプ	PO_4—P	①立体的に生息する糸状藻類 ↓ PO_4—P除去
放流水浄化設備	緩流タイプ	浮遊藻類 カビ臭物質	②濾過膜となる糸状藻類 ③粒子間の好気性細菌等 ④粒子間の物理的濾過 ↓ カビ臭物質除去 浮遊藻類除去



図—13　流入水浄化設備の設備例

した糸状藻類が生息しやすい環境となっており，対象とする糸状藻類はメロシラ，アオミドロ等であり，糸状藻類により流入水の PO_4-P を吸収除去する。下部構造は粒径 3 ～ 4 ㎜程度の砂利層となっており，砂利粒子間の物理的濾過による有機物除去を期待する。本設備は，糸状藻類による PO_4-P 除去の過程と，砂利粒子間による物理的濾過によるT—P除去の過程が交互に行われるように多段式の構造となっている。なお砂利層により有機物が分解されて生成した PO_4-P も次の段の糸状藻類に吸収させることができる。

次にタイプBの構造と原理を述べる。上部構造は急流に適する糸状藻類が生息しやすい環境となっており，対象とする糸状藻類はシオグサ，ヒビミドロ等であり，糸状藻類により流入水の PO_4-P を吸収除去する。下部構造は粒径 5 ～10㎜程度の砂利層となっており，糸状藻類を付着させる。

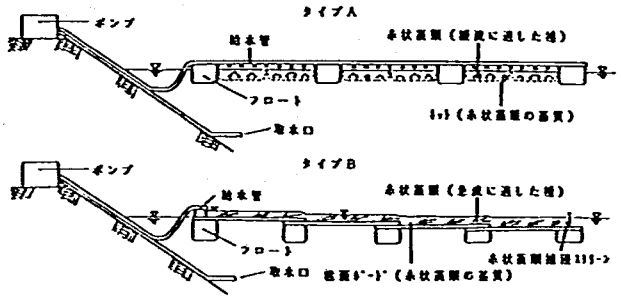
糸状藻類の回収について説明する。タイプAの場合，メロシラやアオミドロは成長すると光合成による酸素気泡の付着により浮上して来るので，それをスクリーンにより除去する。タイプBの場合，シオグサやヒビミドロは仮根により砂利に付着しており，繁殖しすぎると途中から切れたり仮根が付着している砂利ごと引きずられたりして流下して来るので，それをスクリーンで除去する。

本設備の施設規模は，流入河川水 1 ㎥／s 当り0.5 ha を目標とする。

5-5-2　表層水浄化設備

表層水浄化設備は，ダム湖表層にネットや粗面ボードを設けることにより，糸状藻類である緑藻類，珪藻類が付着して生息できる基質を設け，洪水等で表層に混入して来た PO_4-P ををを，藍藻類より先に糸状藻類に吸収除去させる設備である。表層水浄化設備を図—14に示す。

タイプAはアオミドロ，アミミドロ等の糸状藻類が



図—14　表層水浄化設備の設備例

ネット内面を基質とし，さらに給水による鉛直流動が得られるような構造となっている。糸状藻類の回収は，糸状藻類が酸素気泡を付着して浮上しているところを移動式スクリーンにより除去する。タイプBはヒビミドロ，サヤミドロ等の糸状藻類が粗面ボードを基質とし，さらに給水による水平流動が得られるような構造となっている。糸状藻類の回収は，糸状藻類が切れて流れて来たところをスクリーンにより除去する。

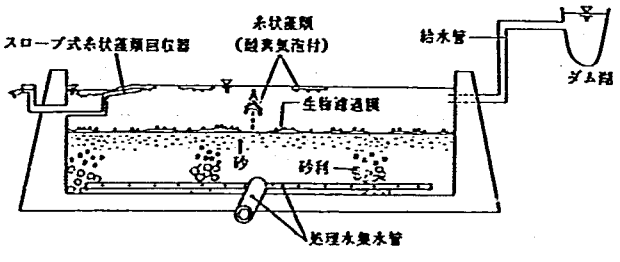
この設備の原理は，表層において PO_4-P が中小洪水で急増した場合に，浮遊性の藍藻類が PO_4-P を採り込んで異常増殖する前に，この設備により待機させておいた糸状藻類により PO_4-P を吸収除去してしまおうというものである。

本設備の施設規模は，浄化を対象とする貯水面積の 4 %程度を目標とする。

5-5-3　放流水浄化設備

放流水浄化設備は，利水を含む正常流量を補給するため下流に放流した水を，異臭味障害が発生しやすい期間において，糸状藻類による生物膜及び砂粒子間の好気性細菌の働きにより浮遊藻類及びカビ臭物質を除去する設備である。放流水浄化設備を図—15に示す。

通水を開始させると砂面上にメロシラ等の糸状藻類が膜状に生息する。メロシラ等は成長すると光合成による酸素気泡の付着により浮上するが，その際濾過膜ごと浮上するため，濾過膜の閉塞は生じにくい。また浮上した糸状藻類は直径 5 ~50㎝の繊維状の塊になるため，浮遊藻類と違いスクリーンにより容易に分離除去できる。ま



図—15　放流水浄化設備の設備例

た水層部に生息する糸状藻類が光合成によって常に酸素気泡を付け，昼夜を問わず砂粒子間に酸素を供給するために，砂粒子間は好気性となり，好気性細菌の働きによりカビ臭物質をはじめ有機化合物の分解を期待できる。

生物膜濾過の濾過速度は30～40cm／hour 程度であり，放流水 1 m³／sec 当り 1 ha という広い面積が必要である。

6. おわりに

本報では，まず釜房ダムで実施している間欠式空気揚水筒方式の曝気循環の概要と水質的効果について述べた。次に，より効果的なダム湖の新たな水質保全対策手法である『ダム湖水質保全環境創造システム』を提案するとともに現地実験について述べた。今後はさらに本システムに基づいた現地実験を多く実施し，本システムの実ダムにおける早期の実用化を目指す予定である。

参考文献

1) 森北佳昭・坂井克宏・三浦進：ダム貯水池水質の予測と保全対策について，第29回水理講演会論文集，1985
2) 丹羽薫・天野邦彦・三浦進：貯水池富栄養化対策としての曝気循環法に関する検討，ダム工学，No.3，1991
3) 丹羽薫・久納誠：総合的な貯水池水質保全対策技術の開発，ダム技術，No.75，1992
4) 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
5) 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
6) 国井宏悦・村上昌宏：釜房ダム水質保全対策パイロット実験について，第4回水資源に関するシンポジウム前刷集，水資源シンポジウム委員会，1992
7) Sei FUJIMOTO・Yoshiaki MORIKITA：On pilot experiments concerning countermeasures against reservoir eutrophication in Japan，16th Congress on Large Dams，1988
8) 浅枝隆・池田裕一・Jorg IMBERGER：不連続な密度界面をもつ成層中における Bubble plume の挙動と成層の時間推移，土木学会論文集，No.438／II－17，1991
9) 中本信忠・坂井正：緩速ろ過池における糸状珪藻とその連続培養の重要性，日本水処理生物学会誌，Vol.27，No.1，1991

S2-9 1

Develooment of Eutrophication Control Techniques for Lakes
湖沼における新しい富栄養化対策の体系

Kaoru NIWA * Makoto KUNOH * Norihiko KUBO * Seiji SANADA *
Seizou TAKEBAYASHI *
丹羽 薫* 久納 誠* 久保 徳彦* 真田 誠至* 竹林 征三*

As eutrophication control measures for natural lakes and reservoirs, measures being done at the points of inflow to lakes and inside lakes (including reservoirs) are as important as those in watershed to reduce pollution load. Here, we will systematize newly developed techniques to treat tributary inflowing water and lake water, and explain these principles and characteristics.

KEYWORDS: eutrophication control techniques

1. Introduction

Because the quantities of nutrient flowing into some lakes rapidly increase following the development of the catchment areas, biological production becomes active, the standing crop of floating algae is increasing, and we may see the phenomena such as fresh water tide and algae bloom. The Environmental Plannning Division of Public Works Research Institute, Ministry of Construction, has developed eutrophication control measures at the points of inflow to lakes and inside lakes. Since the details of the experimental results of each measure are explained in references, here we explain the guideline of these measures.

2. Systematization of eutrophication control measures

Eutrophication control measures are basically to reduce nutrient loading. In thissense, it will be most effective if we can manage watershed in proper manners so that the pollution sources are controlled. On the other hand, the measures in watershed for pollution load control require long time and a great deal of investment, Thus, measures being taken in the lakes are necessary with the measures in watershed as well. Figure 1 shows the menu of eutrophication control measures at the point of inflow to the reservoirs and inside reservoirs having been developed by our division. These measures can be broadly divided into 4 groups.

Facilities in group 1 remove nutrient substances such as phosphorus and nitrogen from inflowing rivers before they flow into lakes. We consider the uptake of inorganic phosphorus and nitrogen by floating algae is useful to reduce them. Filamentous algae system has been designed to remove inorganic phosphorus and nitrogen from inflowing river waters during non-flood periods through absorption by filamentous algae. The essence of the system is to provide a good environment for filamentous algae. Fallen leaf removal system performs efficiently in gathering and removal of fallen leaves from the primary outflows of floods. Inflow water bypass system, divertes all or a part of storm runoff to the downstream of lakes so that nutrient rich tributaries do not empty into lakes. Minor flood storage system is mainly designed to remove inorganic phosphorus and nitrogen from the primary outflows during medium and minor floods. In this system, flood waters are stored in aninlet vally and phosphorus and nitrogen are removed by green algae and diatoms. After these floating algae are removed, water will be discharged into reservoirs.

Facilities in group 2 control the water currents inside reservoir and temperature distribution in deep

* Public Works Research Institute, Ministry of Construction
*建設省土木研究所

lakes such as reservoirs in order to create an environment which restricts the stable growth of blue-green algae and flagellate algae on thesurface. The
current control system regulates the supply of nutrients and sunlight to blue-green algae and flagellate algae at surface layer by creating a warm-water circulating mixolimnion of even temperature distribution using dispersed aeration, selective inflow and selective discharge. This layer is maintained at a constant thickness from 15 to 20 meters at surface of a lake. Water temperature control system, which utilizes a heat pump for the supplement of current control system, controls the temperature distribution in lakes. By increasing the temperature of circulating mixolimnion and decreasing the temperature of inflowing river waters and deep layer, This technique restricts the abundance of blue-green algae and flagellate algae. inflowing river waters anddeep layer by using a heat pump.

Facilities in group 3 remove floating algae species such as blue-green algae and flagellate algae developed in natural lakes and reservoirs before they become abundant and cause algae bloom and fresh water red tide. Pumice filtration system, which removes floating algae species by filtration using pumice. The pumice layer can be used semipermanently without the release of phosphorus and nitrogen and clogging if we provide regular creaning. Reed purification system improve previous water quality mainly by settling floating algae. This system also works like wetland. It removes some part of nutrients by providing good habitat for ecosystem.

In group 4, the ecosystem within the reservoirs is controlled to create an environment which restricts the abnormal growth of blue-green algae and flagellate algae. Ecosystem control system utilizes zooplankton, attached algae, benthic animals, and fish to control the growth of floating algae.

3. The principle of measure techniques

We explain the principle of measure techniques about main system in measure techniques that we explained in the chapter. But we'll omit the filamentous algae system, in this paper because we will introduce it in another paper.

(1)Fallen leaf removal system

Depending on the vegetation and geographical conditions of the basin of lakes, there are cases where leaves which had fallen from forest trees into the basin flowinto lakes and cause eutrophication. In autumn and winter, large amounts of undecomposed leaves flow into lakes due to medium and minor floods. These leaves accumulate and decompose in a short period of time resulting in dissolution of inorganic nutrient into lakes. In such cases, it is necessary to remove the fallen leaves contained in river waters before the primary outflows from floods flow into lakes. The fallen leaf removal system performs continuously and efficiently in gathering and removing of fallen leaves from the primary outflows of floods containinglarge amounts of leaves without using any power. This decreases the amount of nutrient which flow into lakes in the form of fallen leaves.

(2)Current control system

The current control system regulates the supply of nutrients and sunlight to blue-green algae and flagellate algae at surface layer of deep lakes such as reservoirs by creating a warm-water circulating mixolimnion of even temperature distribution. This layer is maintained at a constant thickness from 15 to 20 meters at surface layer during non-flood periods, thereby preventing the abnormal growth of blue-green algae. Figure 2 is a diagram of current control system.

In the summer periods in the natural condition, the temperature of water usually forms a stratification with the highest temperature at the surface indicated in Figure 3 and gradually becoming lower as the depth increases. When this stratification is formed, the surface water becomes a stable mass which does not mix vertically over the first thermocline. Since the surface of lakes is euphotic and inflowing river waters which contain much nutrients enter into depths of a few metersfrom the surface, this area provides suitable environment for the growth of blue-green algae

and fragellate algae.

Aeration circulates the surface water as shown in Figure 2. After a few days later (8 days later for example), the surface water is circulated into the middle zone where sunlight cannot reach. Thus, the floating algae which has started growingin the surface zone are driven off into the dark middle zone without any light for some time (twice as long as 8 days for example), and are hindered to perform photosynthesis. Furthermore, the vertical distribution of water temperature is virtually uniform in the surface of the circulating mixolimnion while the surface water is drawn by aeration. And when the temperature of surface water drops due to asudden drop in the atmospheric temperature, vertical mixing takes place readily. This can also prevent the stable growth of floating algae varieties.

Furthermore, while the mixolimnion is warm as shown in Figure-3 with thickness of15 to 20 meters thick, nutrient rich flood water will penetrate into reservoir atthe depth below the thermocline. This is due to the fact that flood water tends to be colder than runoffs during sunny days.

(3)Pumice filtration system

Pumice filtration system removes blue-green algae and flagellate algae by runningthe lake water through a pumice layer. The pumice layer can be used semipermanently without the elution of phosphorus and nitrogen and clogging by cleaning it regularly by an easy automated method.

(4)Ecosystem control system

The ecosystem control system comprises various measures to control the ecosystem of zooplanktons, attached algae, aquatic plants, benthic animals and fish in lakes and to tum the ecosystem into an ecological environment in which it is difficult for blue-green algae and flagellate algae to grow abnormally. An artificial suspended reef which is a facility of the ecosystem control system is in Figure 4. An artificial suspended reef is developed to provide suitable habitat for zooplanktons, fish and shellfish to multiply and prey on blue-green algae and flagellatealgae before they become abundant.

4. Conclusion

We have developed eutrophication control measures at the point of inflow to the lakes and inside lakes and systematized them. We discussed techniques developed to improve river water and lake water quality. These techniques should be adoptedand combined depending on the situation of lakes and reservoirs. And as controlling water qualities of lakes in future, controlling ecosystem suitable for preservation of water quality like ecosystem control system we explained in this paper, that is, the combining of environment of water qualities and ecological environment will be important.

References

1)Niwa, K. and Kunoh, M. "Mechanism of Filamentous Algae System for Reservoir Eutrophication and its Example", Engineering for Dams, No93, pp. 27~35, June 1994

2) Environmental Planning Division, Public Works Research Institute, Ministry of Construction. " Measures for Removing Fallen leaves from Inflowing Water in Reservoirs", Engineering for Dams (contributing)

3)Niwa, K. et al. " Reservoir Water Quality Management by Current Control", Civil Engineering Journal VOL. 36. No. 11, 1994

4)Niwa, K. et al, " Use of heat pomps and current control to preservewaterquality in reservoirs", Collected Hydraulic Engineering papers, Hydraulic Committee, Japan Society of Civil Engineers VOL. 38, February 1994

5)Niwa, K. et al. " Development of Measures for Controlling Eutrophicationin Lakes using pumice filtration", Civil Engineering Journal (contributing)

6)Kunoh, M. and Niwa, K. " Using Filamentous Algae to Preserve the Qualityof Lake Water." 6th International Conference on the Conservation and Management of Lakes, 1995

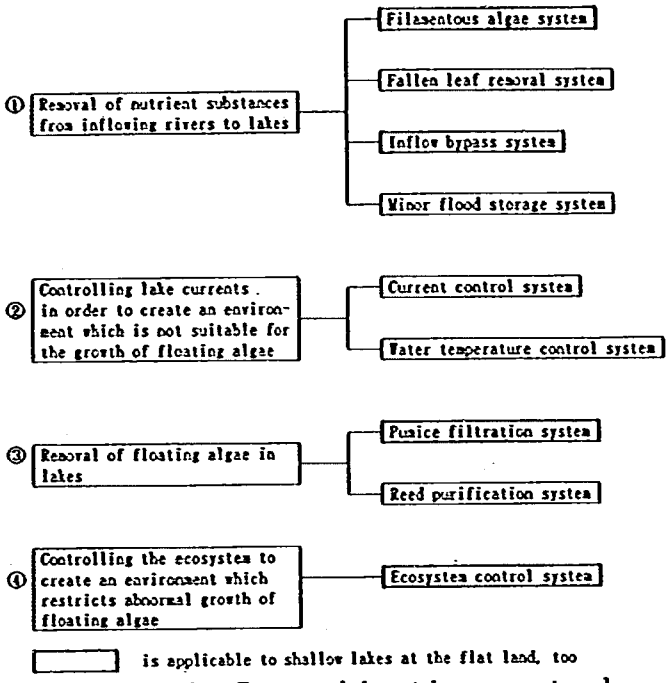


Figure 1. Eutrophication control measures of lakes

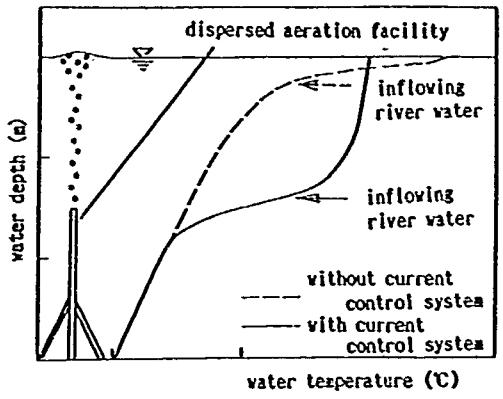


Figure 2. Diagram of current control system

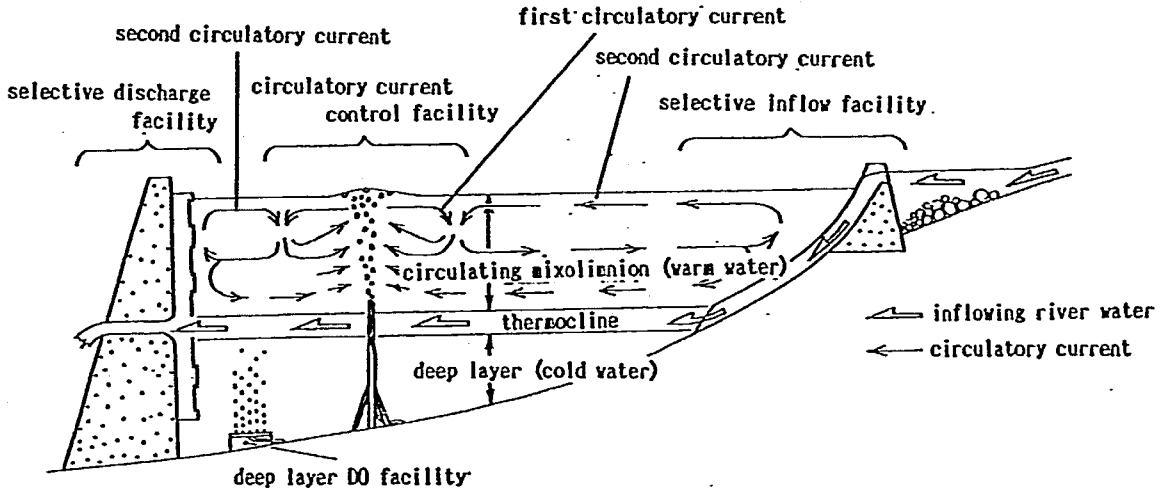


Figure 3. Diagram of vertical distribution of water temperature

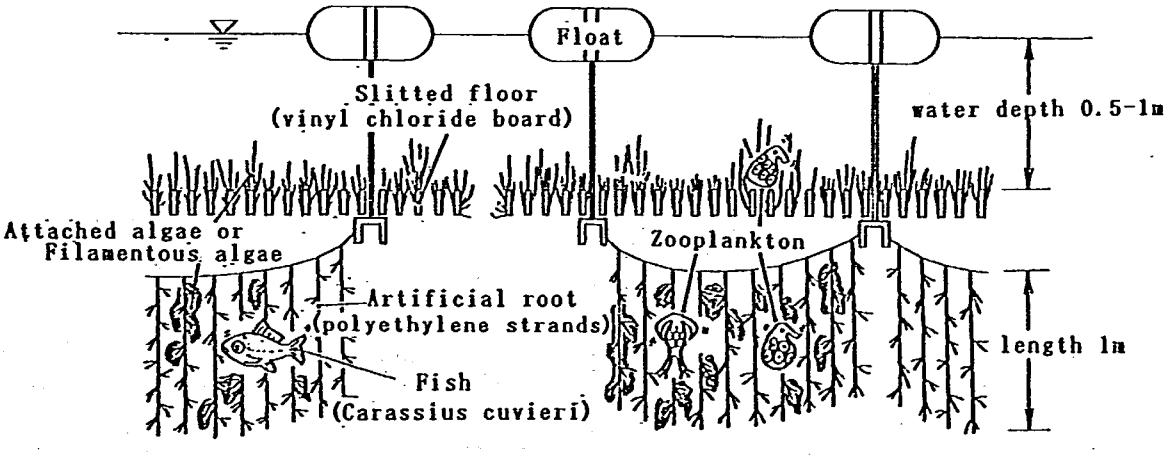
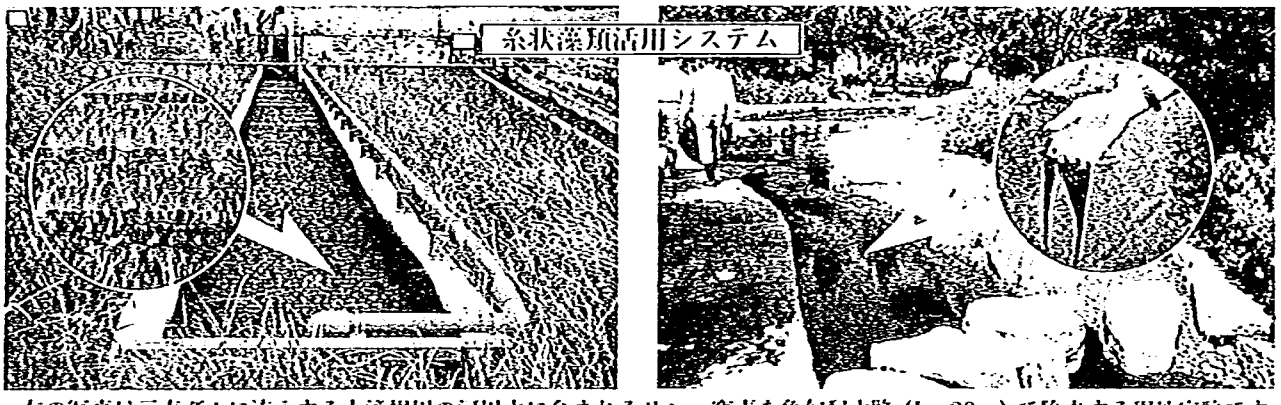


Figure 4. Diagram of artificial suspended reef

グラビア

水質環境と生態環境とのマッチング

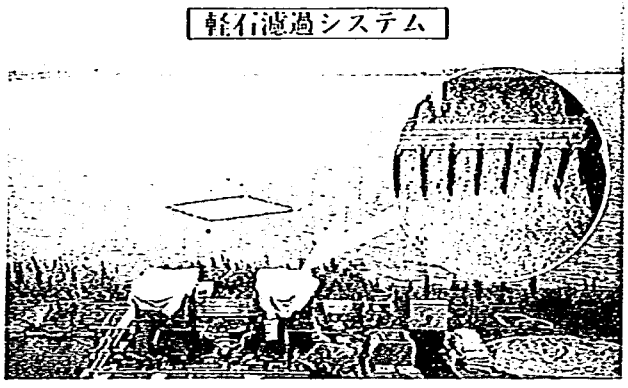
湖沼における水質環境は、気象、リンや窒素の流入負荷量、流入と放流水量などにより、ひとつの生態系として決定されます。また条件をひとつ変えると異なった別の生態系になります。湖沼の水質環境の保全とは、湖沼生態系をよりバランスのとれた環境に整えることと言えます。保全対策によって生態系を良い方向に変化させる効果については、室内実験の結果をそのまま現実の湖沼に適用させることは不可能に近いと考えられ、対策の有効性の判断は、実際の湖沼において現地実験を行い検討するのが確実です。



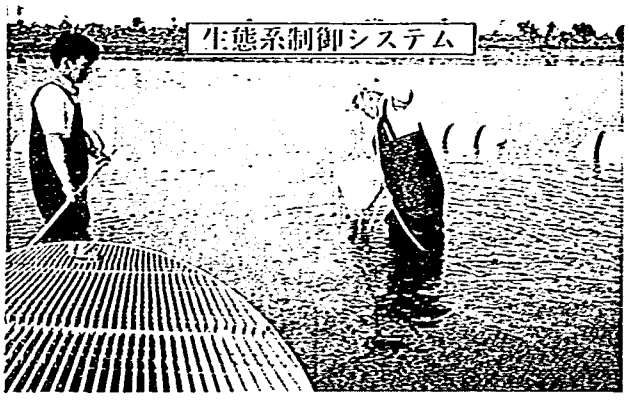
左の写真は三春ダムに流入する大滝根川の河川水に含まれるリン・窒素を急勾配水路 (L=20m) で除去する現地実験です。右の写真は土浦市総合公園の人工小川 (L=200m) に糸状藻類を生息させ水源の地下水に含まれるリン・窒素を除去する現地実験です。



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堰を設置し、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。

(前　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

◆ 現地試験特集 ◆

軽石濾過による湖沼の水質保全技術の開発

丹羽 薫* 久納 誠** 真田誠至*** 高橋健夫****

1. はじめに

湖沼において藍藻類や鞭毛藻類等が異常増殖することによる富栄養化の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除去すること、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。この中で③は、浮遊藻類が常時異常増殖する場合に、湖沼表層におい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であり、当研究室で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。本システムの特徴は、濾材に軽石を用いて湖水から浮遊藻類を効率良く除去するとともに、定期的に濾材を気泡混

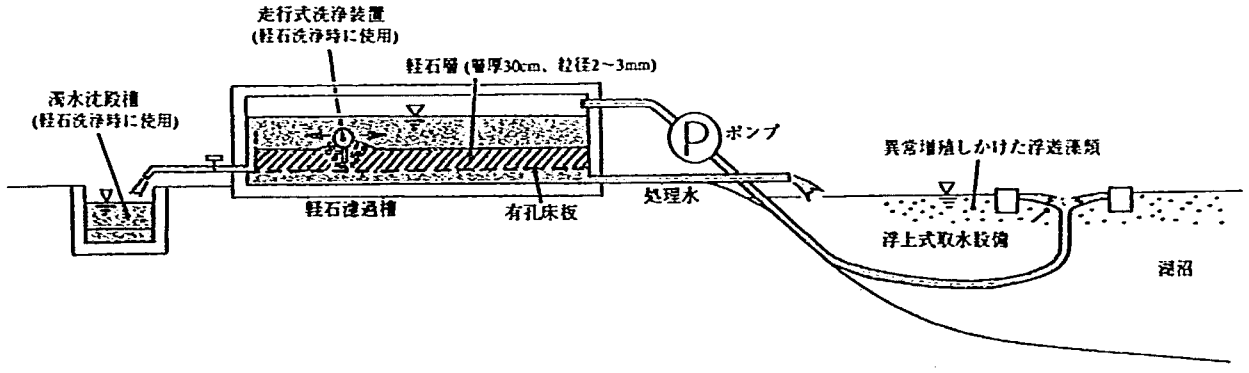


図-1 軽石濾過システムの模式図

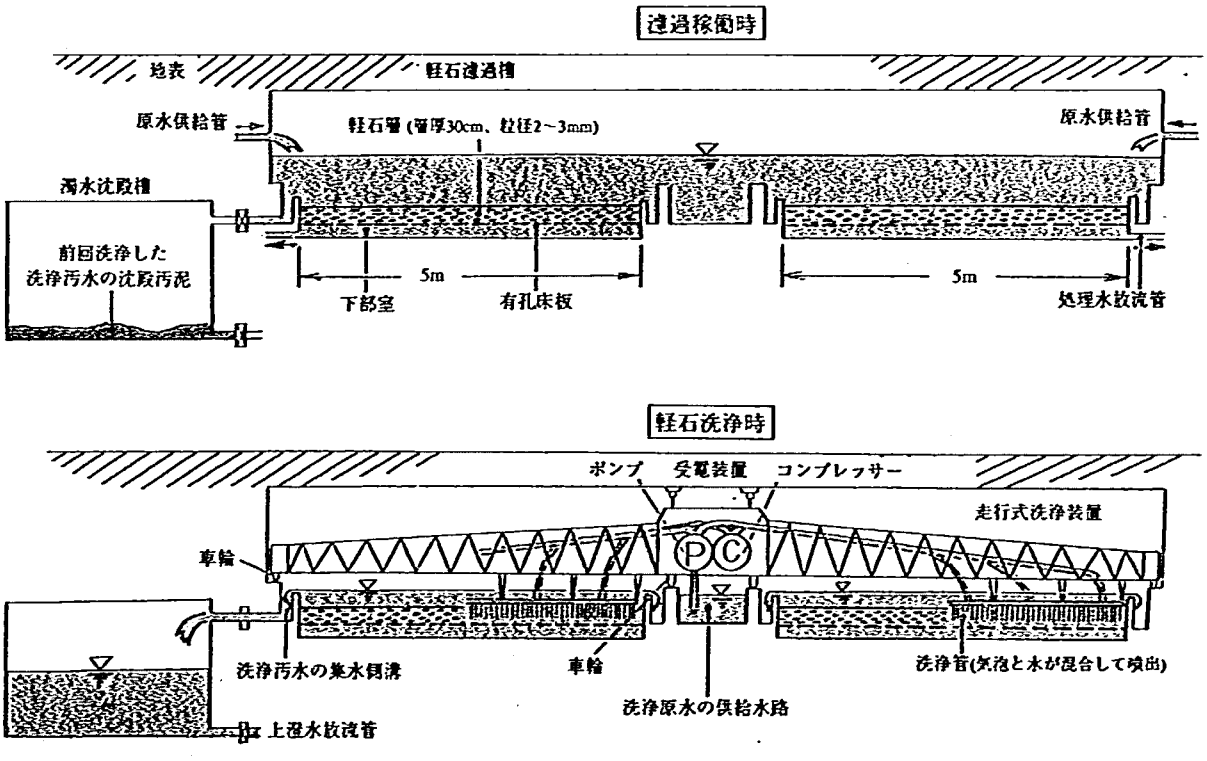


図-2 軽石濾過システムの設備図

Development of Measures for Controlling Eutrophication in Lakes using pumice filtration

じりの水流を用いて洗浄することにより目詰りをなくし、処理水への無機態のリンや窒素の溶出を少量に抑えて、処理水を湖沼に戻すことである。本報文では、本システムの原理及び設備構造が明らかになってきたため、現地実験結果と合わせて報告する。さらに本システムは湖水から無機濁質やカビ臭物質を除去する手法としても有効であることを最後に述べる。

2. 軽石濾過システム

2.1 システムの原理

湖沼の浮遊藻類を濾過処理により除去するシステムとして必要な条件は、大量の水を安価に処理できること、また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である。

この条件を満たす濾材の選定及び濾材の洗浄方法を検討することにより、軽石濾過システムが開発された。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かけた藍藻類や鞭毛藻類等の浮遊藻類そのものを除去し、処理水を湖沼に戻す対策手法であり、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無機態のリンや窒素が処理水に過度に溶出したり、目詰りしたりすることなく、長期間使用できるのが特徴である。本システムにて軽石を用

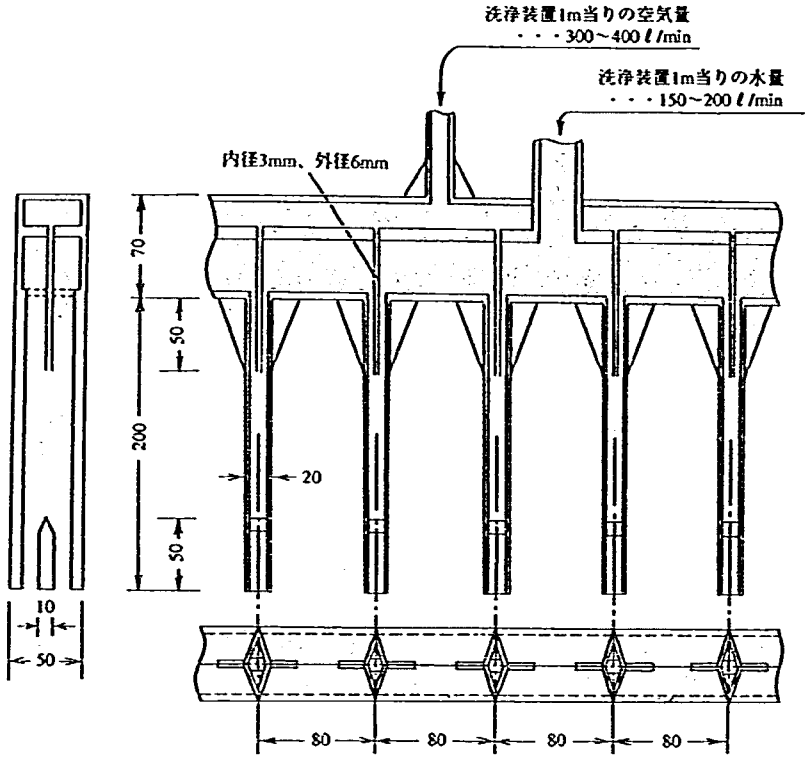


図-3　洗浄装置の洗浄管部分の詳細図

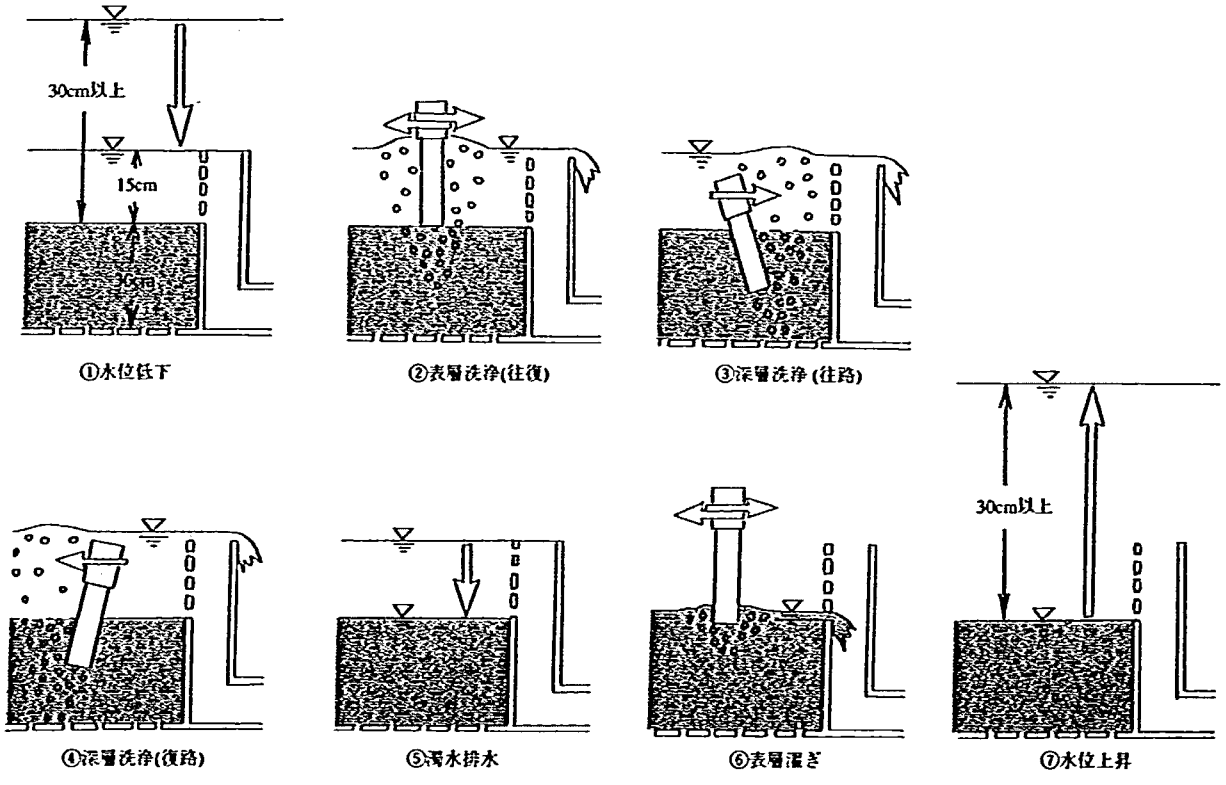


図-4　軽石層の洗浄方法

いる理由は、①比重が小さい (1.2 程度) ため気泡混じりの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-1 に軽石濾過システムの模式図を、図-2 に軽石濾過システムの設備図を示す。軽石層は粒径 2~3mm 前後の細粒で 30cm 程度の層厚とする。なお軽石に含まれる細粒分 (粒径 1mm 未満) は予めふるいにより除去しておく必要がある。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。処理水への PO_4-P 等の溶出は、湖沼に生息している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、極力抑える必要がある。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翌日には沈澱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、沈澱した汚泥は有機肥料の原料に有効利用でき、建設資材として活用することが可能である。

2.2 軽石層の洗浄方法

洗浄装置の構造を図-3 に示す。軽石層を洗浄させるのに水と空気の両方を用いる理由は、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洗浄するためである。洗浄装置は水と空気をほぼ均一に混合するために、水と空気の混合区間を 15 cm 設けた後に、軽石層へ噴出させる構造とした。水と空気を均一に混合させる理由は、洗浄時に前述の水流と気泡との両者による相乗効果を狙って、洗浄能力をより高めるためである。

軽石濾過の一般的な洗浄方法を図-4 に示す。洗浄時の水深は洗浄排水を少しでも減量させたいことを考慮すると浅い方が良いが、軽石を水中に舞い上がらせるには 10cm 以上の水深が必要であるため、水深は 15cm とする。軽石層の洗浄は 1 週間に 1 回の頻度を標準とするが、捕捉される植物プランクトンの種類によってはかなり固化されるため、軽石層の洗浄は全層を一度に行わず、上半分の表層と下半分の深層の二層に分けて行う。深層の洗浄時には、洗浄管を進行させる際に洗浄管の前面に働く軽石層の抵抗を減少させるために、洗浄管を進行方向に対して 15°傾斜させる。軽石から剥離した濁質の比重は 1.0 に近いが、軽石は 1.2 程度であるため、水中に舞い上がった軽石は先に沈み、一時的に濁質のみが水中に残る。このため濁質が水中に残っている間に排水を急ぐとともに、軽石層の表面に数ミリメートルの厚さで堆積した濁質の膜を洗浄管からの水流により側方の排水路へ押し流す。

軽石層は洗浄し過ぎると、洗浄直後の浮遊藻類の除去率が著しく低下する。軽石層の洗浄程度を表す指標として強熱減量があげられる。表-1 に軽石洗浄の強熱減量の代表的な値を示す。

表-1 軽石層 (平均粒径 3mm) の強熱減量の代表値

軽石層の深さ	未使用	洗浄前	洗浄後
0~5cm	1%程度	3~12%	1.5~3%
5~15cm		2~7%	
15~30cm		2~6%	

下部室の底面には軽石層及び細目ネットを通過した有機物の一部が堆積し、処理水に PO_4-P を溶出する原因となる可能性がある。よって下部室の底面を適切な頻度で洗浄する必要がある。下部室の構造を、1~2%の底面勾配、洗浄水の給水口、及び大口径の排水口を持つ構造とし、下部室を排水した後に、洗浄水による水流で堆積した有機物を除去する。

3. 軽石濾過システムの現地実験

3.1 実験方法

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-5 に示す。軽石層は平均粒径 3mm (2.5~4.0mm)、厚さ 30cm とした。$1m^3/sec$ の湖水を 0.45ha の設備で処理す

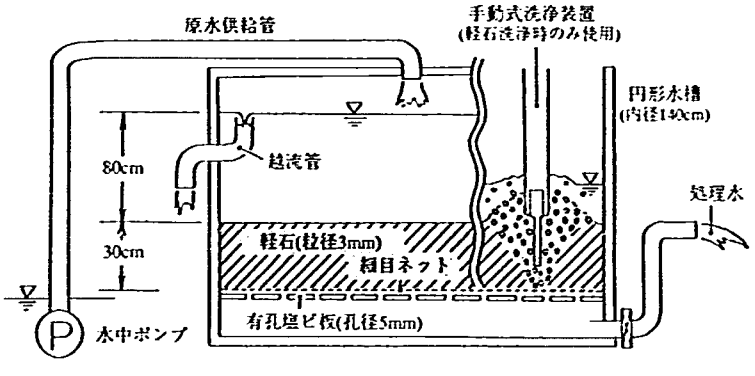


図-5 軽石濾過の実験装置

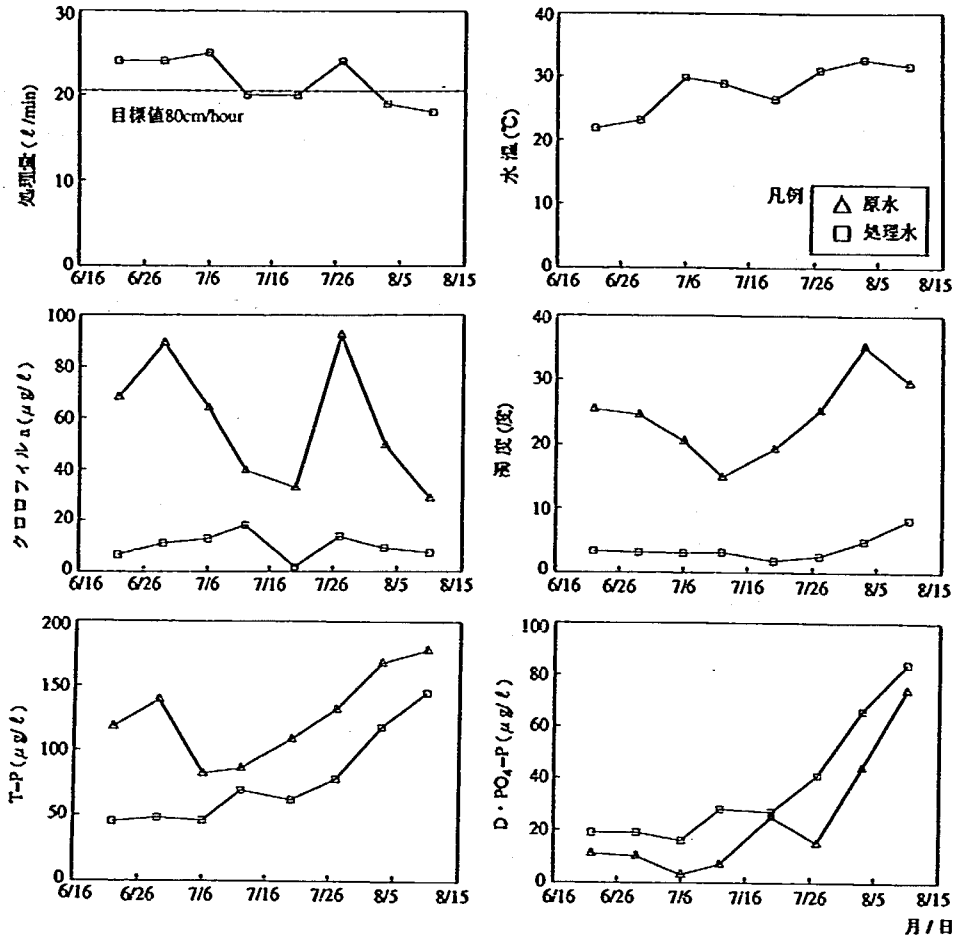


図-6　実験における原水と処理水の水質経時変化

ることを想定し、濾過速度として 80cm/ hour を目標に与え続けた。 なお軽石面より上の水深は80cm 一定とした。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、日光が入らぬ構造とした。

3.2 実験結果

2ヶ月実施した実験の結果を図-6 に示す。2ヶ月間のクロロフィル a の除去率は 83% (58μg/ℓ → 10μg/ℓ)、T-P は 44%(127μg/ℓ → 76μg/ℓ) を示した。目詰りは発生しなかった。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調査を同時期に行った。その結果、代表的な藍藻類の除去率は、*Phormidium tenue* 91%(47000cells/ mℓ → 4400cells/mℓ)、*Oscillatoria* spp. 70% (8200cells/ mℓ → 2500cells/ mℓ)、 *Aphanizo menon* sp. 90%(3100cells/mℓ → 300cells/mℓ)、*Microcystis aeruginosa* 79% (1700cells/ mℓ → 350cells/ mℓ) であり、植物プランクトン全体では 87%となったが、この値は前述のクロロフィル a の平均除去率 83 %とほぼ同程度の値である。なお処理水への PO_4- P の平均溶出量は 14 μ g/ ℓ(24 μg/ ℓ → 38μg/ℓ) であり、原水 T-P の 11%に相当する。

4. 設備面積の算定方法

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 (例えば遊水池 A の実測値の最大は、藻体量が5日間で5倍となった場合であるが、この時の比増殖速度はμ =0.32/day である。) 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。

ここで濾過を対象とする表層水の湖内での流れを図-7 に示すようにモデル化して考える。濾過設備を経由した表層水は湖内に順次押し出されて、ある滞留時間後に再び取水されると仮定する。図-7 に示すように、湖内を滞留する間に浮遊藻類が増加する量を $C_O \cdot (e^{\mu T} - 1)$、濾過設備により除去される量を $C_O \cdot e^{\mu T} \cdot r$と仮定すると、式 (1) を得る。

$$C_O \cdot (e^{\mu T} - 1) = C_O \cdot e^{\mu T} \cdot r \qquad (1)$$

$$T = \frac{L}{V \cdot a} \qquad (2)$$

式 (1) 及び式 (2) より次式を得る。

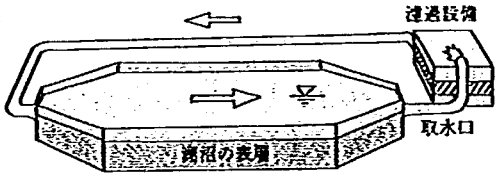
$$\mu = \frac{V \cdot a}{L} \cdot \ell n\left(\frac{1}{1-r}\right) \qquad (3)$$

C_O : t=0 における浮遊藻類の藻体量
L : 濾過を対象と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し

表-2　軽石濾過システムの目標値

項目	現地実験結果	目標設計値	
		条件 A	条件 B
設備面積	対象湖沼面積の 1%	対象湖沼面積の 1%	
設備能力	0.45ha で $1m^3$/sec 処理	0.4ha で $1m^3$/sec 処理	
濾過速度	80cm/hour	90cm/hour	
軽石粒径	2.5~4.0mm	(1.0~2.5mm) または (2.5~4.0mm)	
軽石層厚	30cm	(20cm) または (30cm)	
クロロフィル a の除去	80%除去	70%除去	90%除去
T-P の除去	40%除去	40%除去	50%除去
PO_4-P の溶出	溶出は原水 T-P の 10%程度	溶出は原水 T-P の 5%未満	溶出は原水 T-P の 10%未満
濁度の除去	80%除去	70%除去	90%除去
軽石取替頻度	数ケ月変状しない	2 年間程度	
軽石洗浄頻度	週 1 回、手動式	1~2 週に 1 回、自動式	週 1 回、自動式

注 1) 条件 A とは、水温が 22°C 未満かもしくは珪藻の含有量が多い場合。
注 2) 条件 B とは、水温が 22°C 以上かもしくは珪藻の含有量が少ない場合。



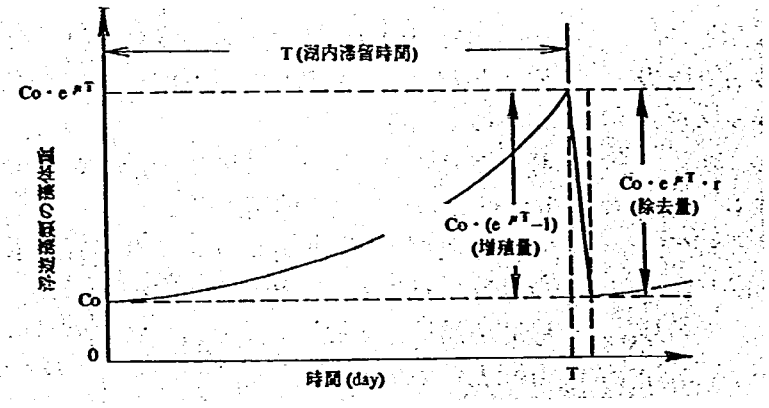


図-7　軽石濾過による増殖量と除去量の関係

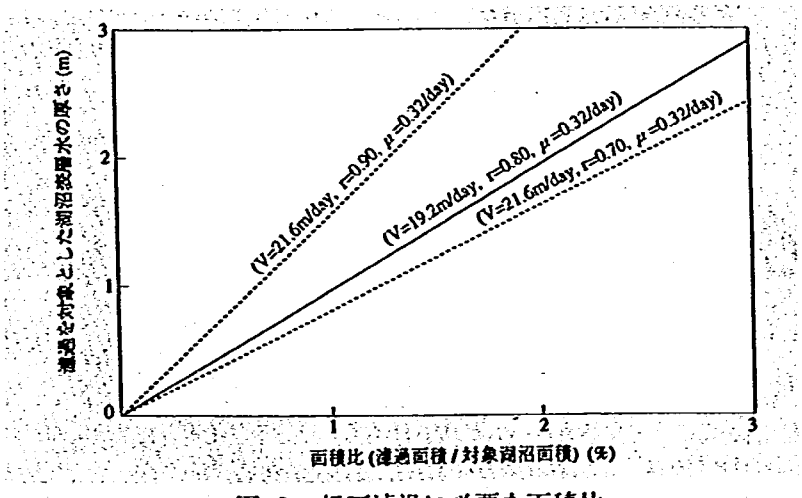


図-8　軽石濾過に必要な面積比

た湖内滞留時間 (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 (/day)

r：濾過による浮遊藻類の除去率

軽石濾過に必要な面積比 a は浮遊藻類の比増殖速度 μ により定めることができる。なお浮遊藻類の細胞数の除去率とクロロフィル a の除去率とは前述の 3.2 で述べたように概ね等しい値であるため、浮遊藻類の増減計算はクロロフィル a で代用することができる。

ここで 3.1 に述べた現地実験を基に設備面積の試算を行う。現地実験で得られた濾過速度 V =19.2m/day(80cm/hour)、濾過による浮遊藻類の除去率 r =0.80、さらに比増殖速度を遊水池 A の実測値である μ =0.32/day を式 (3) に代入すると、濾過を対象とした湖沼表層水の厚さ L と必要な面積比 a の関係が得られる。そのグラフを図-8 に示す。ここで L =1m とすると、必要な面積比は概ね a =1%となる。

前述の 3.2 に示した現地実験の結果を基に、軽石濾過システムの当面の目標設計値を表-2 に示す。設備面積を算定した結果は図-8 に示す。軽石濾過の計算に用いる比増殖速度 μについては現在検討中であるが、本報文では計算例を示すために遊水池 Aの実測値であるμ=0.32/dayを用いた。軽石濾過を行うと表層水からリンや窒素が次々と除去されることにより比増殖速度μが低くなることが想定される。よって比増殖速度については、現地での隔離水域による軽石濾過実験を行うなど、今後さらに十分な検討を進めるつもりである。

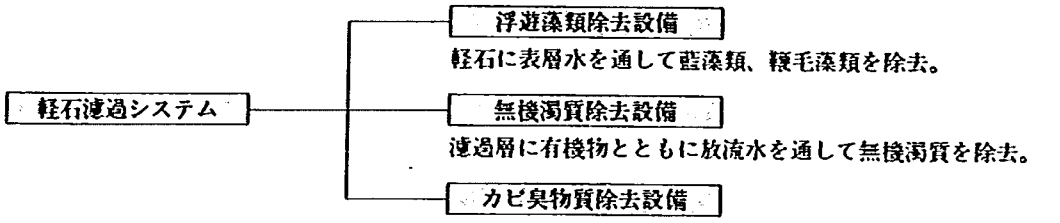


図-9　軽石濾過システムの全体構成

5. 無機濁質やカビ臭物質の除去システムとしての活用

ダム湖において洪水によってもたらされた微細な無機質の濁質がいつまでも表層水に含まれるという濁水長期化が問題となる場合がある。『無機濁質除去設備』は洪水後暫くしてからダム湖からの放流水より、無機濁質(平均粒径が2~20μm)を軽石濾過または砂濾過により除去する設備である。

ダム湖や遊水池において藍藻類が異常増殖することにより、カビ臭等の異臭味障害が発生する場合がある。『カビ臭物質除去設備』は、異臭味障害が発生しやすい期間において、利水を含む正常流量を補給するための放流水より、カビ臭物質やアンモニア性窒素等を軽石濾過または砂濾過により除去する設備である。

このように軽石濾過は藍藻類・鞭毛藻類等の浮遊藻類のみならず、無機濁質やカビ臭物質を除去する設備としても有効である。軽石濾過システムの全体構成を図-9に示す。

霞ヶ浦湖岸で湖水を軽石濾過してクロロフィルaを5~10μg/ℓに調整した水と瀬戸焼の原料の陶土より作った鉱物性の濁水(中心粒径6~15μm)を用いて、無機濁質の除去実験を行った。その結果、濾過速度72cm/hour、濾材粒径0.8~1.2mmにおいて、濁度の除去率が70%(17度→5度)、SSの除去率が72%(32mg/ℓ →9mg/ℓ)であった。

霞ヶ浦湖岸で湖水を軽石濾過した水を用いて、カビ臭物質の除去実験を行った。その結果、濾過速度12~36cm/hour、濾材粒径0.8~1.2mmにおいて、2-MIBの除去率が90%(200ng/ℓ →20ng/ℓ)、ジェオスミンの除去率が60%(50mg/ℓ →20mg/ℓ)であった。

6. まとめ

(1) 湖沼の富栄養化対策を目的とし、藍藻類や鞭毛藻類等を除去する対策手法として、軽石層に湖水を通水して異常増殖しかけたそれらの浮遊藻類そのものを除去し処理水を湖沼に戻す『軽石濾過システム』を開発した。

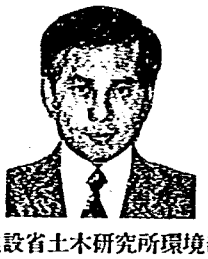
(2) 軽石濾過システムにおける洗浄方法は、自動化した走行式の洗浄管から気泡混じりの水流により軽石を舞い上がらせるという方法であり、定期的な洗浄を行えば目詰まりや処理水への無機態のリンや窒素の過度の溶出をなくすことができ、軽石層を長期間使用できるのが特徴である。

(3) 軽石濾過の現地実験の結果、濾過速度80cm/hourにおいて、浮遊藻類の除去率は80%であり、処理水への無機態のリンの溶出も原水の全リンに対して10%程度と少量であった。

(4) 軽石濾過は、無機濁質やカビ臭物質についても除去効果が確認できた。

参考文献

1) 真田誠至、丹羽薫、久納誠、古里栄一：湖沼における軽石濾過による藻類除去手法, 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**

水資源開発公団
(前　環境計画研究室
主任研究員)
Makoto KUNOU

真田誠至***

(前　環境計画研究室)
Seiji SANADA

高橋健夫****

建設省土木研究所環境部
環境計画研究室
部外研究員
Takeo TAKAHASHI

生態系を活用した水質浄化技術に関する研究

(指導期間　平成７年４月～平成７年９月)

研究室名　環境計画研究室
氏　　名　高橋　健夫

１．まえがき

近年、多くの自然湖沼やダム貯水池、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植物プランクトンの異常増殖に起因する利水障害が発生している。このため、現在、環境計画研究室では、ダム貯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[1]。

２．研究目的

本研究は、上記の複数からなる効果的な対策手法の開発の一環として、ダム貯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『生態系制御システム』を開発することを目的としたものである。

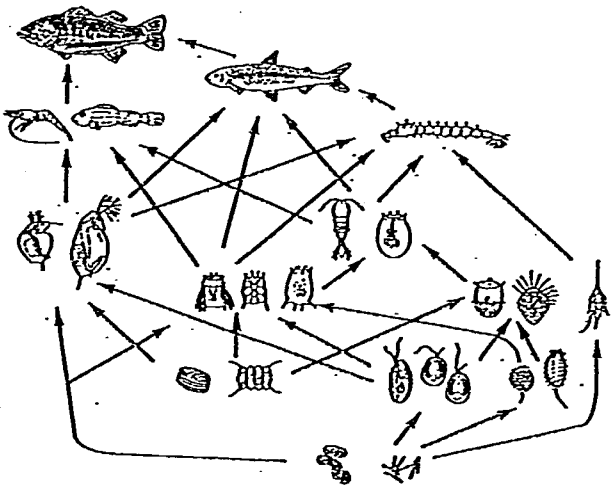
本年度は、そのシステムの開発を目指す第一段階として動物プランクトンが定常的に増殖できる環境を創造することを目的として、前年度より行っている実験を継続して行った。

３．研究方法

３．１　生態系制御システムの概要

自然湖沼やダム貯水池、遊水池等では、植物プランクトン、動物プランクトン、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網を通して相互に結びついている（図－１）。『生態系制御システム』はダム貯水池等の流入端や護岸に動物プランクトンが定常的に増殖できる環境を人工的に創造し、動物プランクトンの捕食によっ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る。

このように本システムは生物を用いて生態系の構造を変化させることによって水質を制御するもので、『バイオマニピュレーション(Biomanipulation)』とも呼ばれている。

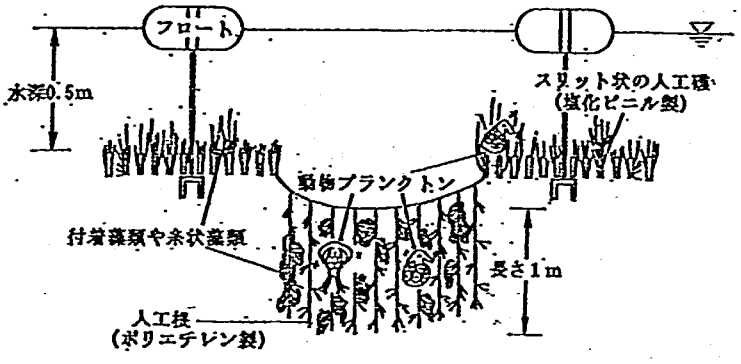


図－１　湖の生態系における食物網[2]

3．2　実験方法

動物プランクトンが定常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貯水池に設置して現地実験を行った。人工生態礁の概要を図－２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。A貯水池に設置した人工生態礁は、人工礁が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。本システムを水位の変動するダム貯水池等に適用する場合、水位が変動しても安定した環境条件を保てるような構造にすることが重要である。

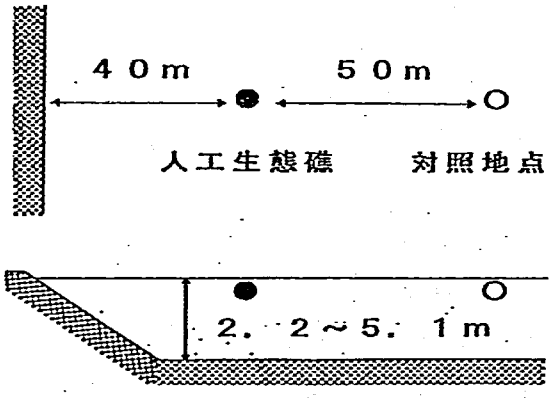
人工生態礁のうち人工礁は平成６年８月に、人工根は平成７年１月に設置したものである。設置地点は岸から約40m離れており、調査期間中の設置地点の水深は2.2～5.1mであった。



図－２　人工生態礁の概要（人工礁と人工根より構成）

人工生態礁を設置したことによる水質浄化効果を検討するために、平成７年６月～９月にかけて人工生態礁の人工礁がない中央部分とそれから沖合いに50m離れた地点を対照として、いずれも表層において１週間に１回の頻度で水質調査を行った。水質調査地点の位置を図－３に示す。

また、人工生態礁に付着している生物についても定性的調査を行った。

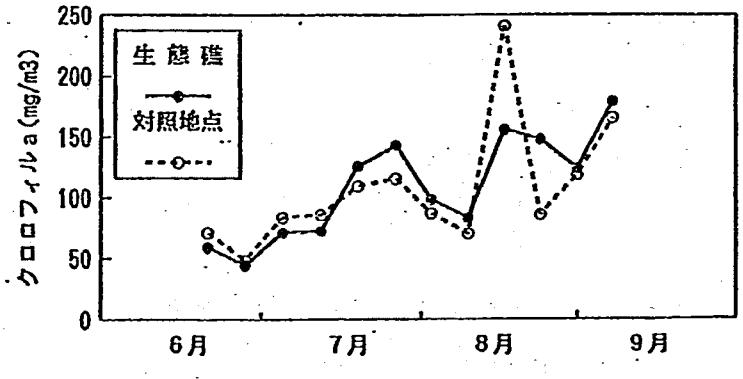


図－３　水質調査地点の位置

4．研究結果

4．1　水質調査

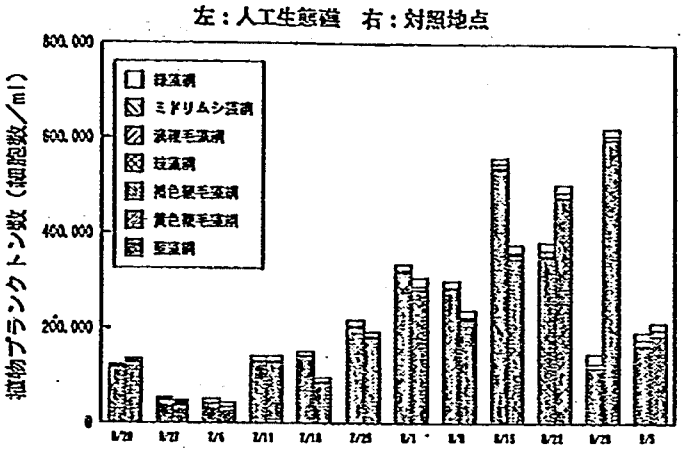
植物プランクトンの現存量の指標となるクロロフィルａは人工生態礁、対照地点のいずれの地点とも増減を繰り返しながら増加するという同じ傾向で推移した。平均値で比較すると、人工生態礁では109mg/m³、対照地点では107mg/m³となり、両地点はほとんど同



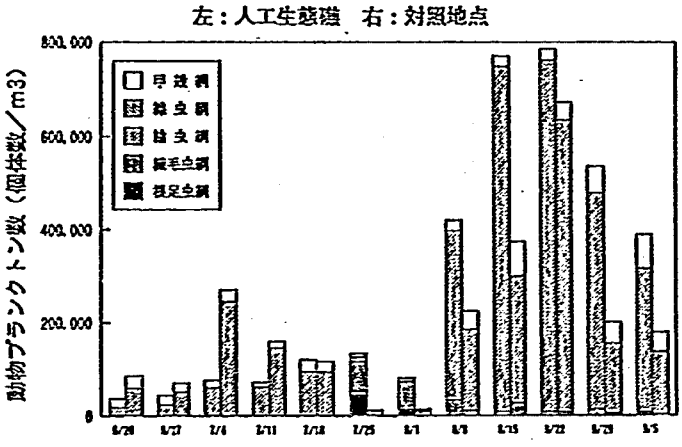
図－４　クロロフィルａの経時変化

じであった。ただし、ピークを迎えた8月15日は対照地点の241mg/m³に対して、人工生態礁では156mg/m³となり、人工生態礁でクロロフィルaの増加が抑制された（図－4）。

植物プランクトンはいずれの地点とも出現種の大きな違いは見られず、実験期間中を通して*Microcystis* 属や*Phormidium* 属、*Merismopedium* 属等の藍藻類が優占した。また、総細胞数についても、全体的にいずれの地点とも大きな違いは見られなかった（図－5）。



図－5　植物プランクトン細胞数の経時変化



図－6　動物プランクトン個体数の経時変化

藍藻類が優占する富栄養湖では小型の枝角類、輪虫類、橈脚類が優占する傾向がある[3]と言われており、A貯水池でもいずれの地点とも実験期間中を通して*Asplanchna brightwelli* や*Brachionus calyciflorus* 等の輪虫類が優占する傾向があった。総個体数については7月下旬以降は人工生態礁の方が多くなり、特にクロロフィルaのピークが抑えられた8月15日には優占種である*B. calyciflorus* の個体数の増加が顕著であった（図－6）。*B. calyciflorus* は藍藻類を捕食する[3]と言われているので、これによる捕食圧の増加がクロロフィルaの低下に影響していることが示唆された。

4．2　付着生物調査

人工生態礁の人工根や人工礁には藻類と動物が付着した。

人工生態礁に付着する藻類は人工根や人工礁のいずれにおいても、藍藻類や珪藻類、緑藻類等が出現し、実験期間中を通して*Lyngbya* 属や*Merismopedium* 属等の藍藻類が優占した。本実験ではこれらの付着藻類の他に*Spirogyra* 属や*Cladophora* 属等の大型の糸状藻類の付着を期待したが、今回は確認できなかった。これは人工生態礁を設置した貯水池の透明度が30～40cmと非常に低かったために、水深50cmのところに吊り下げてある人工生態礁には適切な日照が得られなかったためであると考えられる。

付着動物も付着藻類と同様、人工根や人工礁のいずれにおいても出現した種類及び優占種はほとんど同じであった。つまり、根足虫類、繊毛虫類、輪虫類等が出現し、*Vorticella* 属や*Epistylis* 属等の

ろ過摂食性の繊毛虫類が優占した。上水の生物処理ではろ過摂食性の微小動物が多数出現すると、クロロフィルａの除去率が高くなる[4]と言われているので、これらの存在も植物プランクトンに対する捕食圧の増加に寄与しているであろうと思われる。

5．結論

本研究では、生態系制御システムの開発を目指す第一段階として、動物プランクトンが定常的に増殖できる環境を創造することを目的に、人工生態礁という施設を貯水池に設置して現地実験を行った。その結果、以下に示す知見を得た。

1）クロロフィルａは平均値で比較すると、人工生態礁と対照地点の両地点はほとんど同じであった。ただし、ピークを迎えた８月15日は対照地点の241mg/m³に対して、人工生態礁では156mg/m³となり、一時的ではあるが人工生態礁でクロロフィルａの増加が抑制された。

2）動物プランクトンの出現個体数は７月下旬以降は人工生態礁の方が多くなった。特に、クロロフィルａのピークが抑えられた８月15日には植物プランクトンの優占種である藍藻類を捕食すると言われている*B. calyciflorus* の個体数の増加が顕著であった。

3）人工生態礁には藍藻類や珪藻類、緑藻類等の付着藻類が出現したが、大型の糸状藻類の確認はできなかった。一方、付着動物は根足虫類、繊毛虫類、輪虫類等が出現し、ろ過摂食性の繊毛虫類が優占した。

6．謝辞

本研究を行うにあたり、多大なるご指導、ご協力を頂いた環境部環境計画研究室の丹羽薫室長、久保徳彦研究員ならびに環境計画研究室の皆様に深謝の意を表します。

〈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、pp4-5、1994.

2）岩熊敏夫；湖を読む、岩波書店、pp98、1994.

3）花里孝幸；富栄養湖におけるラン藻と動物プランクトンの相互関係、陸水学雑誌、第50巻第１号、pp53-67、1989.

4）大内山高広他；微小動物相からみた上水の生物膜法の処理機能の評価、第29回日本水環境学会年会講演集、pp285、1995.

生態系を活用した水質浄化技術に関する研究

（指導期間　平成７年10月～平成８年３月）

研究室名　環境計画研究室

氏　名　山　崎　　崇

１．はじめに

湖沼等の閉鎖性水域に過剰な栄養塩が流入することによって、富栄養化が生じ、その結果、アオコや淡水赤潮の発生，水道水のカビ臭，魚類のへい死，親水活動の阻害等、様々な問題が引き起こされる。この富栄養化対策として、近年、ヨシ，クレソン等の水生生物を用いた水質浄化が広く行われている。環境計画研究室においても、生態系を活用した湖沼の水質制御手法として、糸状藻類という水生生物の成長に伴う栄養塩類（無機態のリン：PO_4-P）吸収能力に着目して研究を行っている。

糸状藻類は、これまでの研究により、PO_4-Pの吸収能力が高い、除去が容易、飼肥料として利用が可能等の特長が確認されている[1)・2)]。なお、本研究で述べる糸状藻類とは、淡水中に生息する藻類のうち、肉眼レベルで糸状に見える緑藻及び珪藻を指す。

２．調査目的

水生生物の浄化能力については、長期間の測定結果から評価したものが多く、流入水質や水温の影響による変動が平均化されている。また、水生生物を用いた水質浄化施設を計画する際には、浄化能力の推定に長期間を要するとともに、日変動について観測した結果が少ないため、夜間は浄化能力を考慮しない計画となっている。そこで、本研究では、糸状藻類の浄化能力の把握を目的として、流入水質，水温の影響と日変動について検討を行った。また、現在の糸状藻類を用いた水質浄化施設では、施設から剥離した糸状藻類の回収が必要であることから、維持管理の軽減についても研究を行った。

３．調査方法

調査は、霞ヶ浦の土浦実験場で行った。各項目ごとの調査方法は以下の通りである。

１）流入水質，水温による影響調査

平成７年４月26日～９月27日の５ヶ月間にわたる水質測定結果をもとに、流入水質，水温の違いによる糸状藻類のPO_4-P吸収能力の影響を検討した。水質測定の頻度は週１回であり、採水後、藻類の回収と水槽の洗浄が行われている。

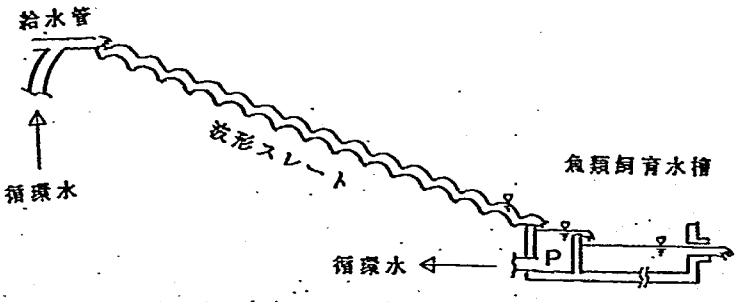
２）糸状藻類のPO_4-P吸収能力の日変動調査

５月及び８月に実施された水質の24時間連続観測をもとに、糸状藻類のPO_4-P吸収能力の日変動を検討した。水質測定の間隔は２時間である。

3）魚類による維持管理軽減化の可能性調査

急勾配タイプの２つの水槽の下流部に魚類飼育水槽を設置し（図－１参照）、PO_4-Pの溶出状況を調査した。

魚類は１ヶ月間施設を稼働させた後、各水槽にヘラブナ５匹、コイ５匹（体調14cm程度）を入れ、２ヶ月間の馴養期間の後、水質測定を開始した。

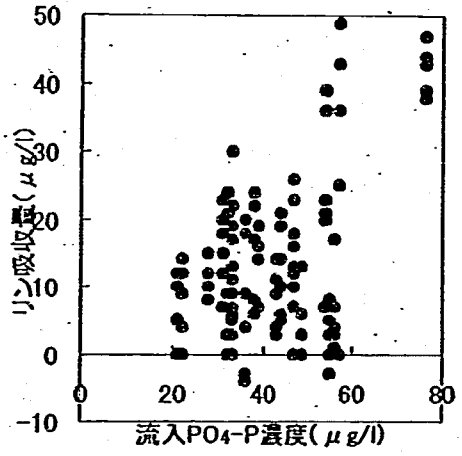


図－１　魚類による浄化効果実験装置図

4．調査結果及び考察

4．1　糸状藻類のPO_4-P吸収能力調査結果

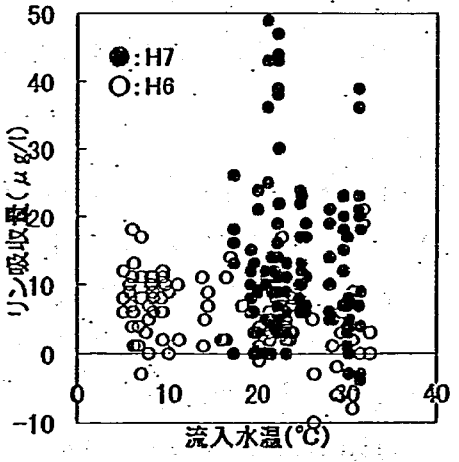
流入水のPO_4-P濃度と糸状藻類のPO_4-P吸収量との関係を示したものが図－２である。データにバラツキが見られるものの、図－２のグラフからは、流入PO_4-P濃度の増加に伴い、糸状藻類のPO_4-P吸収量が増加している傾向が見受けられる。このことから、流入水の水質と糸状藻類の吸収量の間には正の相関関係があるものと考えられる。なお、このバラツキは、測定日以前の気象状況や糸状藻類の発生量の違い及び実験水槽内に増殖している藻類の優占種等の条件の差異に起因する影響量が含まれているものと思われる。



図－２　流入PO_4-P濃度とPO_4-P除去量

次に、流入水温とPO_4-P除去量の関係を図－３に示す。

図－３からは、水温と糸状藻類の吸収量との間に一定の傾向を読みとることはできない。この傾向は６年度の調査結果にも見られ、水温がさらに低い冬季に行った実験においても、今年度と同程度の除去量が得られている。このことから、前年度および今年度に観測された５～30℃程度の流入水温では、糸状藻類のPO_4-P吸収能力に影響を及ぼさないものと思われる。



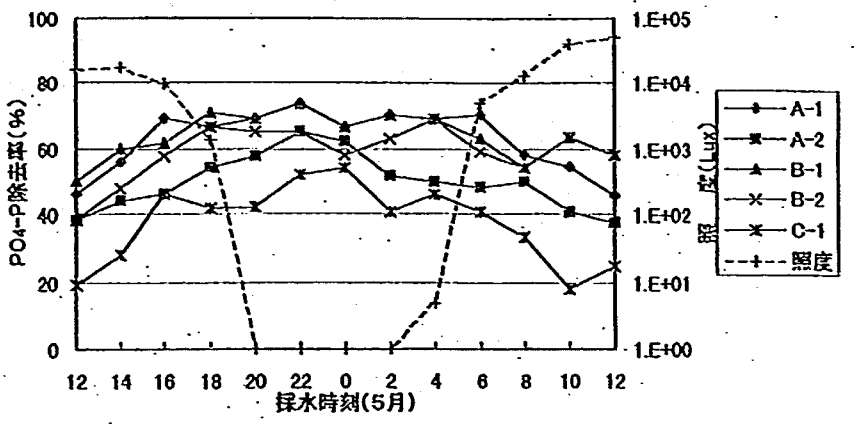
図－３　流入水温とPO_4-P除去量

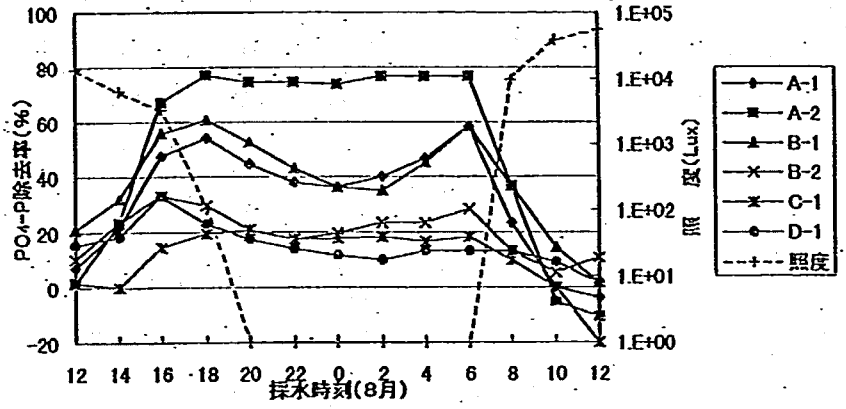
4．2　糸状藻類のPO_4-P吸収能力の日変動結果

５月及び８月に実施した24時間水質測定結果を図－４に示す。図中には、照度の変化も同時に示した。

図－４から、５月，８月とも全ての水槽で糸状藻類は、18時から６時の間にPO_4-Pを多く吸収していることが確認された。ここで、18:00～6:00までを夜とし、残りを昼とした場合、昼に対する夜のPO_4-P除去率は、単純に除去率を平均すると、５月のデータで1.3

倍、8月のデータで2.4倍高いことが確認された。この結果、糸状藻類を用いた水質浄化施設を計画する際には、昼の除去率を用いて水質浄化施設を検討すれば、夜間の除去率は余裕分として見込むことができ、1日当たりの除去率を確保できることが確認された。なお、藻類が夜間に栄養塩類を吸収する現象は、赤潮の構成種である *Heterosigma akashiwo* や *Chattonella antiqua* でも確認されている[3]。





図－4　PO_4-P除去率の日変化

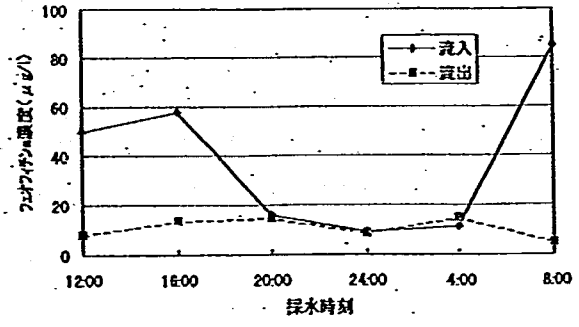
次に、藻類の死細胞量の指標とされるフェオフィチンaの測定結果を図－6に示す。この図より昼の時間帯には、藻類の細胞が多く死んでいることが確認できる。

以上の結果から、糸状藻類のPO_4-P除去率が昼に低下する要因として、

①. 藻類は光合成を行っている時にはPO_4-Pの吸収が少なく、夜に栄養を吸収，蓄積し、昼の活動時に使用している。

②. 活発に活動する昼には、細胞の新陳代謝も活発化し、死亡した細胞内から栄養塩が流失し、昼のPO_4-P除去能力が相対的に低下したように測定されている。

という２つの可能性が考えられる。



図－5　フェオフィチンa濃度の日変化

4．3　魚類による維持管理の軽減

魚類飼育水槽に流入したPO_4-P濃度と通過した後のPO_4-P濃度の差を表－1に示す。表中、正の値が魚類飼育水槽を経由することによって増加したPO_4-P量である。

表－1　魚類水槽におけるPO_4-P増加量

単位：μg/ℓ

経過期間	開始時	2週	4週	6週	8週	10週	12週	平均
A-1水槽	＋4	＋8	－8	＋1	－3	－3	＋2	0
A-2水槽	0	＋3	－1	＋3	＋1	0	＋2	＋1

注：表中の数値は、（流出濃度）－（流入濃度）を示す。

表－1によれば、夏季の約3ヶ月間の長期にわたる調査においても、魚類飼育水槽でのPO_4-Pの増加量は極めて低い値で推移しているといえる。このことから、魚類水槽におけるPO_4-P溶出量は少ないものと考えることができる。ここで、魚類飼育水槽を設置していなかった平成6年度と比較すると、平成6年度には、同期間で2つの水槽とも14回の藻類回収が行われ、合計で約2kg（湿重量）の藻類が回収されている。さらに、ヘドロの堆積，悪臭の発生も同時に報告されている。

この結果、急勾配水路タイプの浄化設備の下流に魚類の飼育水槽を設けることにより、藻類の回収作業を伴わない糸状藻類による水質浄化システム構築の可能性が確認できた。

5．おわりに

水質浄化システム内に生息する糸状藻類は、水温，流速等の条件が変化すると、その条件に適応する種が自然に発生し、栄養塩を吸収する。ヨシ等の水生植物が冬季に枯死し、通年では機能し得ないことを考えると、糸状藻類を用いた水質浄化システムはヨシ等に比べ、有利であると考えられる。今後、種毎の特性を明らかにすることによって、さらに効率の良い水質浄化システムの構築が可能となろう。

また、今回、魚類を用いたように、負担の少ない糸状藻類の回収方法の検討や回収された糸状藻類の有効利用の検討を進めることによって、経済的にも有利な水質浄化システムとなりうるものと考えられる。

6．謝　辞

本研究の遂行に当たり、環境計画研究室の丹羽室長には終始丁寧なご指導を賜った。また、環境計画研究室の皆様には多大なるご支援をいただいた。ここに記して感謝いたします。

＜参考文献＞

1)丹羽，久納：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)真田　他：湖沼水質浄化に伴い発生する糸状藻類の有効利用，土木学会第50回年講概要集，2-B，1995

3)相馬　他：富栄養化による内湾生態系への影響評価に関する研究，国立環境研究所特別研究報告，平成4年

景観シミュレータ・景観データベースの開発

（指導期間　平成7年4月1日～9月30日）

研究室名　環境計画研究室
氏　名　須藤　晴夫

1．まえがき

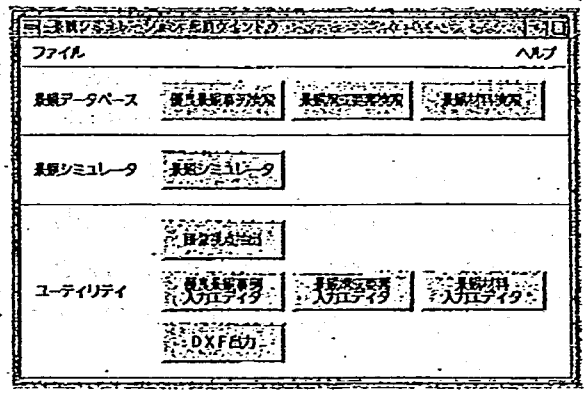
環境と調和した質の高い社会資本整備の構築にあたり、構想、調査、計画、設計および施工の各ステップにおいて周辺環境との視覚的な「景観」の比較検討が容易に行えるコンピュータグラフィックス（CG）は、有効な設計支援システムである。建設省では平成5年度より、建設省総合技術開発プロジェクト「美しい景観の創造技術の開発」の一環として、河川改修における自然との調和や周辺街並みとの調和、道路におけるドライバーから見た景観や側道、歩道からの景観検討、事業計画の実施においては住民への説明や事業PRでのイメージの提示、また各種構造物の維持管理における塗り替えなど、比較的簡単な操作による建設省版景観シミュレーションシステムの開発を行っている。

2．研究目的

最近のコンピュータの性能向上は、その低廉化とともに著しいものがあり、CGの表現力も高度なレベルに達している。しかしながら、CG作成のための各種構造物や景観画像を構成する要素としての水面、空、樹木、街灯、人や車といった点景部品は未整備である。また、これらの点景部品等の画像データの容量はかなり大きなものとなり、コンピュータの処理速度そのものを遅らせている大きな要因のひとつである。システム開発の基本方針として機種を限定しない「マルチプラットホーム」としている。このようなことにより点景部品の表現力をなるべく維持しつつ、操作性の向上のために、そのデータ量の軽減化について樹木を例にとり考察を行った。

3．景観データベースの構成

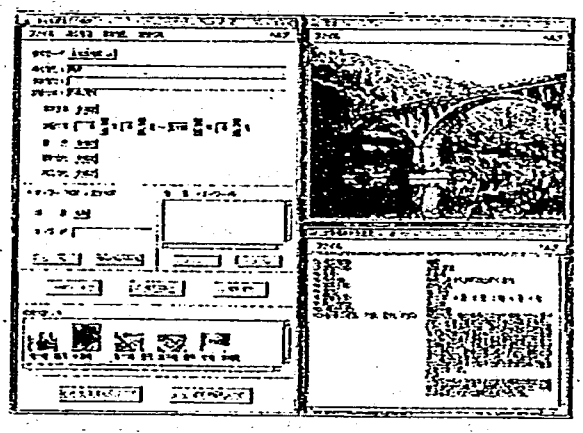
景観データベースは、景観画像を構成する様々な部品を蓄積するとともに、過去の優良な景観設計事例や景観材料に関する情報の提供を行うものである。



図－1　起動画面

3．1　優良景観事例データベース

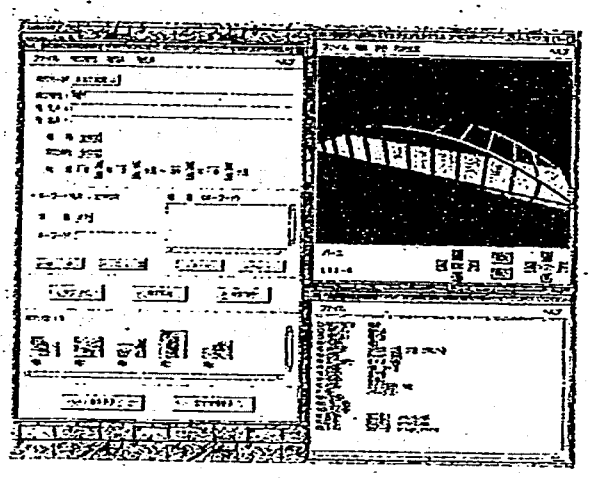
現在、各分野で景観に配慮した構造物の設計が試みられ、今後の事業において参考となるような優れた事例が蓄積されつつある。優良景観事例データベースは、これら事例の写真や景観対策内容、評価などの情報や、一部工造物の形状データを蓄積するもので、分類やキーワードにより参照したい事例を検索したり、さらには構造物の形状データを設計中の現場に適用してみることで、異なる構造物タイプの比較検討を容易に行うことが可能である。



図－2　優良景観事例データベースの出力画面

3．2　景観構成要素データベース

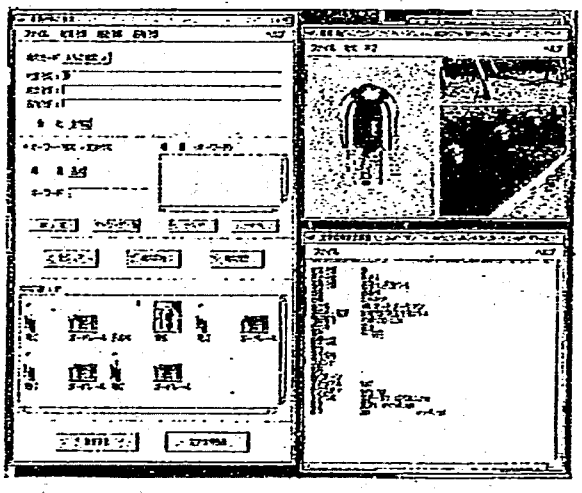
景観画像は、構造物本体のみならず、各種付属物、周辺の建物、樹木、人や車など様々な要素から構成されている。景観構成要素データベースは、これら要素の形状や色などの情報を季節や天候、経年による変化も含めて蓄積するものである。また、現場に合わせて形態の変更が必要ないくつかの要素を自動的に生成する機能も検討しており、例えば、断面と中心線を指定して自動生成した道路の上に、植栽、照明灯、人や車などの要素を配置していくことで現実感の高い画像を効率的に作成することができる。



図－3　景観構成要素データベースの出力画面

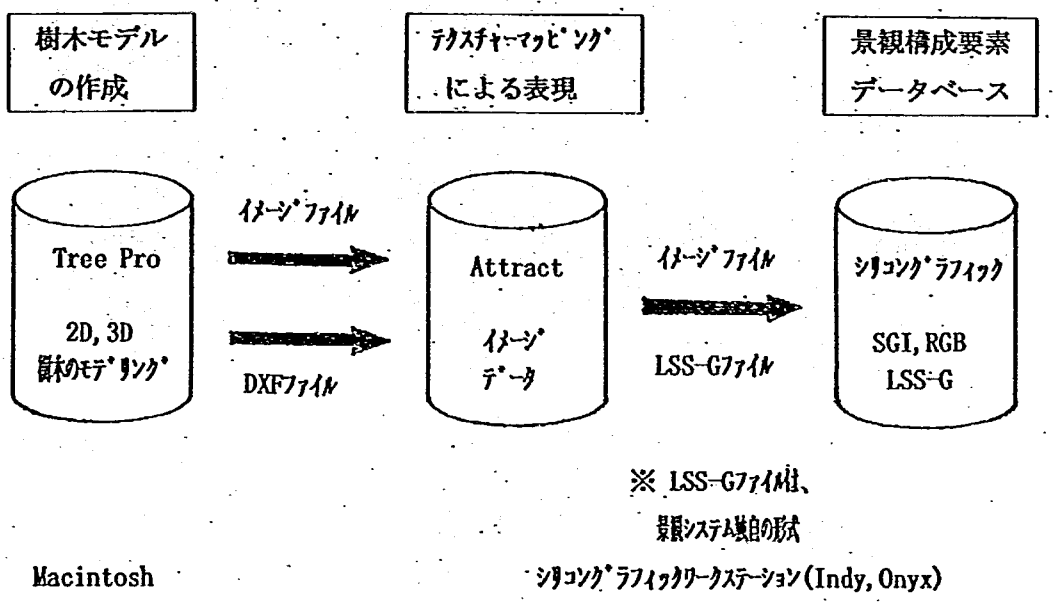
3．3　景観材料データベース

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、これらの材料の特長、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。



図－4　景観材料データベースの出力画面

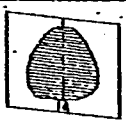
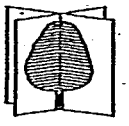
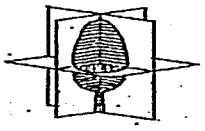
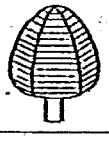
4．景観構成要素データベースにおけるデータ量の軽減化について



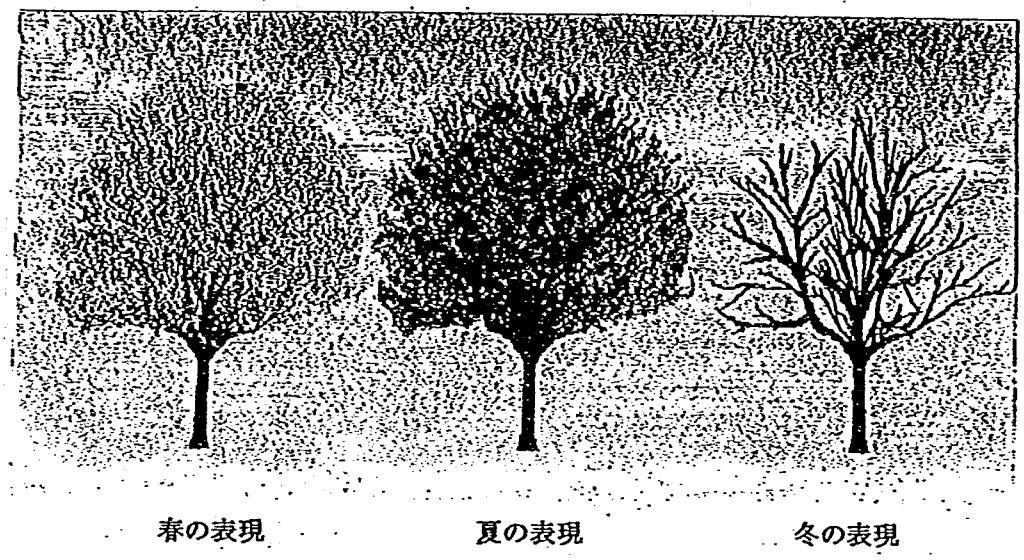
図－5 データ作成フロー

景観画像を構成する要素としての樹木は、その作成において、樹木の豊富な知識と高度な作成技術を必要とする。最近では、CG技術の発展によって樹木を簡易的にモデリングするソフトがあり、樹木をテクスチャーイメージと3次元のCADデータ（DXF・ポリゴン）として表現できる。しかしながら、このような3次元のCADデータに色彩等の情報を付加することは、データ量の増大とともにハードウェアに大きな負担を掛けることになり、いかにしてデータ量の軽減を図るかが、ひとつの課題となっている。そこで、景観構成要素データベースにおける樹木の表現については 表－1（A～C） の方法を採用し、データ量の軽減を図る他、視点移動においては2次元的なイメージデータであっても、ある程度の3次元的な表現が可能である。

表－1 樹木モデルの表現方法と特徴

	モデル図	特　徴
A		・テクスチャー1面で表現 ・データ量は軽いが、視点方向は制限される
B		・テクスチャー2面で表現 ・データ量は軽い、視点方向は 360° 可能
C		・テクスチャー3面で表現 ・視点方向は 360° の他、視点位置（仰角）が高くなった時も可能
D		・全てをポリゴンで表現 ・データ量は多く、負荷は大きいが、モデルの表現によっては有効
E		・表面にテクスチャーを貼り付ける ・スケールが大きいときの他、つつじの様な立体的な表現に有効

5．季節の変化と樹木モデルの表現



図－6　季節の変化による「桜」の表現

6．結論

本研究においては、景観構成要素として大きな位置を占める樹木の表現について、市販されている簡易的な樹木（高木・低木）作成ソフトを利用し、幹や葉を前頁・表－1（A～C）の方法を用いてテクスチャーマッピングを行い、図－6のように季節の変化に伴う表現を行った。これによりデータ量の大幅な軽減化を図っている。近接的な表現では、従来のポリゴンベースの表現の方が優れている面もあるが、パソコンによる操作性を考えた場合、データ量の軽減化は今後の重要な課題である。また視点方向によっては垂直、水平面のテクスチャーによる不連続な面が発生し、今後の課題のひとつと考えられる。この対策としては、視点方向とともにテクスチャーが絶えず垂直になるように移動することが望ましい。さらに鳥瞰図のように俯角のあるときは、ある一定の角度から水平面のテクスチャーが自動発生することが望ましいと考えられる。

7．謝辞

本研究を行うにあたり、環境計画研究室の丹羽薫室長、並河良治主任研究員、小栗研究員をはじめ、環境計画研究室の皆様には、多大なる御指導、御協力を頂きました。改めてここに感謝の意を表します。

＜参考文献＞

1）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　土木計画研究・講演集 No.17 1995年1月
2）山海堂；ＣＡＤ・ＣＧ最前線，土木施工別冊；ﾃﾞｼﾞﾀﾙｱｰｷﾃｸﾄ 1993Autumn・1994Spring

環境経済評価技術に関する調査

（指導期間　平成７年４月～平成７年９月）

研究室名　環境部環境計画研究室
氏　　名　古永　充

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。もちろん、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

本年度は、昨年度実施した二分仮想金銭化法を用いた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の解析を行った。

4．研究内容

4.1 アンケート調査で用いた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が、今回で実施したアンケート調査ではＣＶＭを用いた。ＣＶＭは、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手法である。

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.15370) [3] が詳しい。

4.2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、仙台市を中心に電話帳から無作為に抽出した約5,000名を対象として行った。

4.2.1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。

4.2　アンケートの結果

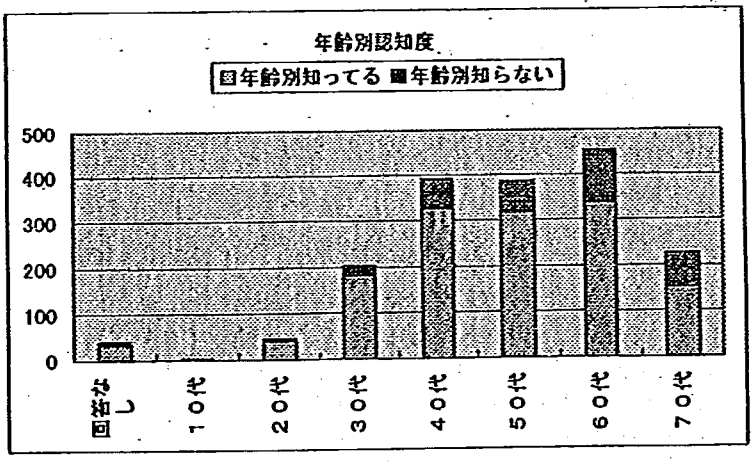
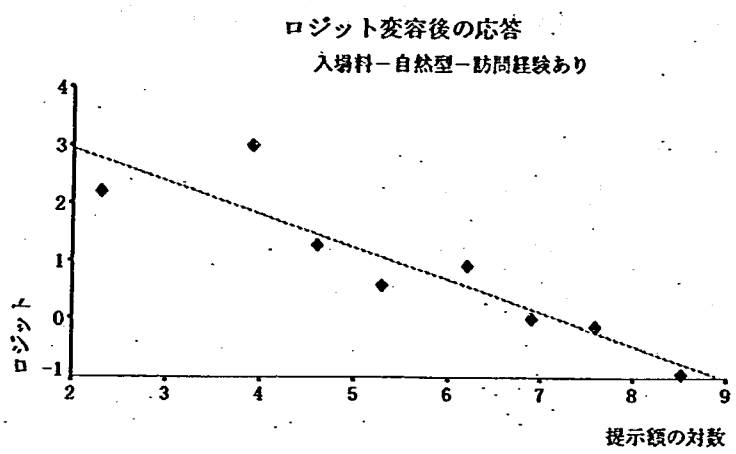


図４－１　年齢構成と公園の認知度

アンケート調査の結果、1753通の回答を得た。その結果、年齢構成は、左の図４－１のように高齢者に偏ったものとなっている。これは、被験者の選択方法が、電話帳を用いたためであると考えられる。また、公園の存在を知らない人の割合は、年齢の増加と共に大きくなっている。これは、屋外のレクリエーションにおける公園に対する興味や必要が薄れていることを表しているのかもしれない。



今、ロジットとして提示額に対する肯定的な回答をする確率をｐとしたとき、ロジット＝ln{p/(1-p)}を取ると、提示額とロジットは、次のように表される。

（ロジットモデル）

$$\ln\{p/(1-p)\} = a x + b$$

これより、ｐ＝0.5となる提示額を推計することにより、代表値としての中央値が推計できる。

入場料でビオトープ型の整備を行う際にいくら入場料を上乗せできるかという場合、訪問経験のある人では、１３０５円（95%信頼区間800～2571）という結果を得た。

５．まとめと今後の課題

本年度の調査の中では、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)の適用性の検証を行った。

アンケート調査の結果、支払方法のはっきりしている入場料による支払いによるものの方が、税金による支払いよりも提示金額に対する反応が明確に現れた。このことから、ＣＶＭにおける支払いの方法を設定する際、生活実感に合う支払いの方法を設定することの必要性が示唆された。

今後は、ＴＣＭ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。

６．謝辞

本研究にあたり、環境計画研究室の丹羽室長をはじめとして、並河主任研究員並びに同研究室のみなさまから多大なご指導を頂きました。改めてここに深く感謝の意を表します。

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

環境指標に関する研究

（指導期間　平成７年１０月～平成８年３月）

研究室名　環境計画研究室
氏　　名　小川　　和延

１．まえがき

建設事業の実施に際して環境との調和が社会的に強く求められている。建設省が平成６年１月に策定した「環境政策大綱」では、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ている。しかし、環境への対策の効果を正確に計測する手法は未だ開発されていない。

また、平成６年１２月に閣議決定された「環境基本計画」においても目標の達成状況等を具体的に示す総合的な指標（群）の開発を早急に進める必要性に言及している。

さらに、指標には、環境目標設定の支援や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など様々な分野において多くのことが期待されている。

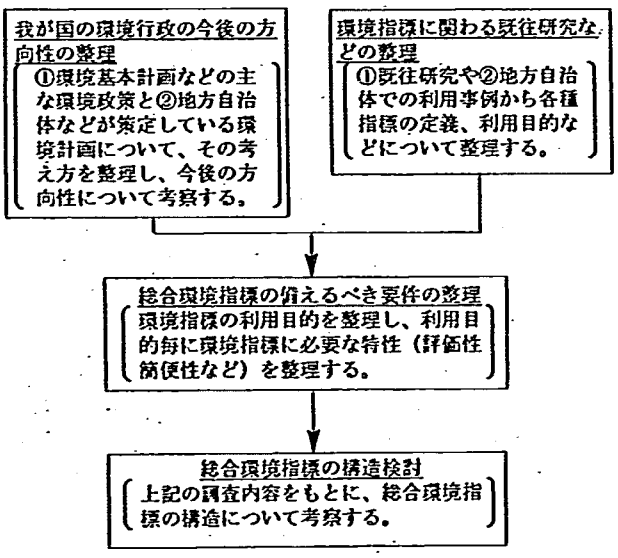
このような状況の下、本研究は建設事業の事業効果算定への環境指標の適用性について検討を行うものである。

２．研究目的

従来にも増して総合的な環境指標の必要性が認識されていることに鑑み、環境政策を評価し、今後の町づくりや社会資本整備の方向性を判断する上で有効な総合的環境指標を開発するために、まず本研究では、環境に関わる今後の方向性や既往研究成果から、総合環境指標の特性や構造について検討することを目的とする。

３．研究方法

本研究の研究フローを図－１に示す。①我が国における環境行政の今後の方向性、及び②総合環境指標の既往研究に関する文献を収集・整理する



図－１　研究フロー

とともに、これらから得られる知見をもとに、③総合環境指標の備えるべき要件と、④総合環境指標の構造について検討を行った。

4．研究結果

4．1　我が国における環境行政の今後の方向性[1)~6)]

環境基本計画や環境政策大綱、ＩＳＯ１４０００及び地方自治体の環境計画をもとに、それぞれの理念と主なキーワードを整理した結果を図－２に示す。

環境政策大綱及び各地方自治体（東京都，大阪府，大阪市，京都市）で策定された総合環境計画などは、基本的には環境基本計画の理念にしたがっているが、各地方自治体の特色も見られる。

これらの各環境計画に見られる傾向から今後の環境行政の展開について整理すると、①地球規模の視野（空間的広がり）、②次世代への視野（時間的広がり）を持ち、③環境を総合的に捉え、社会経済システムや生活様式の見直しなど④積極的な参加・活動を要求し、⑤地域の個性を活かしながら、⑥資源・エネルギーの観点から負荷の少ない社会を目指し、⑦自然環境との共存を図っていくという方向性が明らかになった。

1．環境基本計画（閣議決定：1994.12）

<理　念>	・循環	・共生	・参加
	・国際的取組		
<キーワード>	・環境保全	・リサイクル	・環境リスク
	・生物多様性	・情報整備／提供	・国際協力
	・調査研究	・国際条約	・環境活用
	・快適性	・教育	・環境負荷
	・生態系	・行動／推進／連携	・環境への配慮
	・主体／役割	・規制	・経済
	・流通／プロセス	・維持／管理	・省エネルギー
	・監視／規則	・予防	・環境影響評価

2．環境政策大綱（建設省：1994.1）

<理　念>	・環境の創造と継承	・環境の保全	・地球環境問題への対応
<キーワード>	・長期計画作成	・法令／基準の充実	・省エネルギー
	・リサイクル	・環境との調和	・環境保全／創造
	・生息環境	・景観／風景	・生態系
	・共生	・国際協力	・教育
	・推進	・情報提供	・環境影響評価

3．ＩＳＯ１４０００（国際標準化機構：1996.7予定）

<理　念>	・公正の確保／透明性の向上	・手続き上の正義の担保	
<キーワード>	・環境負荷	・環境影響	・典型７公害
	・エネルギー	・天然資源	・廃棄物
	・安全	・生態系景観	・総量
	・法規制	・環境方針	・環境目標

4．地方自治体での環境管理計画事例（東京都，大阪府，大阪市，京都市）

<理　念>	・快適環境の創造	・人と地球に優しい	・人と環境に優しい
	・豊かな環境を享受する権利の実現	・将来世代への継承	
<キーワード>	・公害	・自然環境	・歴史的／文化的
	・景観	・廃棄物	・身近な環境
	・長期的視野／目標	・地域特性	・推進／普及
	・客観性	・学術性／貴重性	・防災
	・保全／創出／活用	・施設整備	・規制
	・配慮	・情報提供	・地球的視野
	・連携／協力／交流	・環境負荷	・多様性
	・調査／研究	・環境影響評価	・リサイクル
	・資源／エネルギー	・ライフスタイル	・流通
	・リスク	・条例／規制	・情緒的
	・共生／調和		

図－２　環境基本計画などの理念とキーワード一覧

4．2　環境指標に関わる既往研究の整理[3)~7)]

地方自治体で策定された環境管理計画などの文献をもとに、環境指標の特性について整理した。

その結果、環境指標にはいくつかの総合化レベルの違いがあり、それらは大別して５段階程度に分けることができる。文献より得られた指標を、それぞれの階層に基づいて５段階に分類した結果を図－３

に示す。

＜レベル１＞	＜レベル２＞	＜レベル３＞	＜レベル４＞	＜レベル５＞
総合環境指標	自然性	まちの清々しさと静けさ	空気のきれいさ	大気質濃度
	利便性	自然とのふれあい	川池海のきれいさ	（NO2濃度）
	快適性	まちの美しさとゆとり	緑とのふれあい	（SO2濃度）
	衛生面	水辺の親しみやすさ	まちの静けさ	（CO2濃度）
	（保健性）	まちの落ち着きとたたずまい	まちの清潔さ	水質濃度
	（公害）	自然観察	水や水辺とのふれあい	（pH）
	安全性	土地と風景の指標	野鳥や昆虫との親しみ	（BOD）
	個性	みどりと生きものの指標	野山などの自然景観	流量
	（固有の特徴）	水と水辺の指標	まちなみの美しさ	水位
	景観面	環境資源利用の健全さ	ゆとりある空間	交通量
		環境への負荷の大きさ	広場との親しみ	交通事故件数
		環境保全創造努力指標	歩行者街路の快適さ	死傷者数
		潤いと安らぎ	まちのシンボル	振動観測値
		・	歴史的雰囲気	騒音観測値
		・	宗教的雰囲気	上下水道普及率
			伝統文化	廃棄物処分容量
			由緒ある地名	人口
			ふるさと行事	土地利用
			・	生産高
			・	植生
				地形／地質特性
				気象特性
				緑地面積
				・
				・

図－３　既往の環境指標のレベル別分類結果

４．３　総合環境指標の備えるべき要件の整理

環境指標を考える際には、①その指標の利用目的、②その指標に必要な特性、③環境を捉える視点、④時間や空間といったデータ特性の４要因について検討することが必要である。

ここでは、環境指標の利用目的を、①計画目標の設定・施策立案の支援、②計画目標の達成度・施策効果の評価の支援、③環境監視の支援、④環境教育・住民参加の支援の４つを想定して、それぞれに必要な特性を整理した。

（1）計画目標の設定・施策立案を支援する場合

ここで必要とされる特性は、環境の状態やトレンドを効率的に把握して予測したり、また地域間の環境比較を実施できるように、重要な事象を要領よくまとめる戦略性と、将来の環境の変化を見当しうる予見性と考えられる。

（2）計画目標の達成度・施策効果の評価を支援する場合

計画の目標達成度や施策の効果を評価するためには、総合的かつ定量的に示すことが必要であり、このためには広い範囲の事象を漏れなく扱う包括性と、個々の特性が明示的に理解できる多元性である。

（3）環境監視を支援する場合

日常的な状態の観測結果を総合的かつ明快に分析評価するため、時間的・空間的な代表性を有するとともに、これまでのデータ蓄積を生かせる継続性が求められる。

（4）環境教育・住民参加を支援する場合

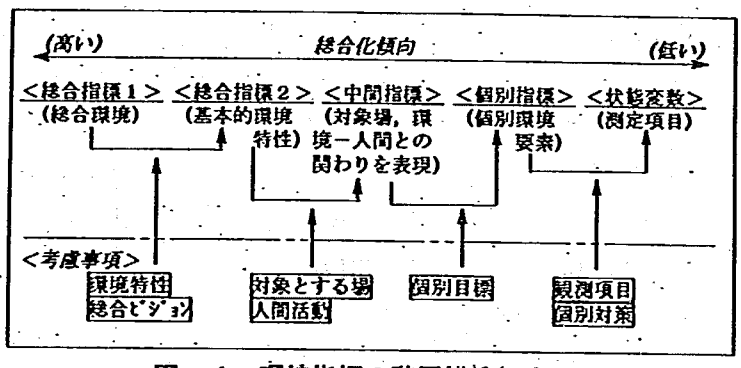
住民の環境問題に対する意識の高揚を図り、行政と一般住民との間のコミュニケーションを促進するためには、環境の状態を難解な数字ではなく明快な指標を用いることが必要であり、生活実感になじむ直感性、指標の算出の明快性（平易性）、さらには目的に向かって行動を起こさせる動機を生む魅力を有していることが求めれれる。

４．４　総合環境指標の構造の検討

４．３に挙げたすべての要件を、一つの指標で同時に満たすことは困難であり、また指標と人間の感覚との適合性については不明な点も多く、さらに検討する必要がある。しかし、多くの状態変数を重層

的に総合化することは、その指標体系が明確かつ論理性を有するならば、指標の総合化には有効な手段であり、かつ理解しやすい。その体系構造について検討した結果を図－４に示す。

総合化の程度を高くしすぎると指標が抽象的となり、実際現象を理解しにくくなる。逆に総合化の程度が低すぎると、指標の数が多すぎてこれも理解しにくいものとなる。総合化の度合いについては、今後の課題となるが、指標に求められる事項をよく吟味して、指標の使用目的に沿ったレベルや内容を決定することが重要である。



図－４　環境指標の階層構造概念図

５．結論

本研究では、既往の環境計画に関わる資料から、環境指標についての知見を収集・整理し、環境指標に求められる事項やその構造について若干の検討を行った。

結果として、環境指標は大別して５段階のレベルを有し、指標作成の際には、指標の利用目的と指標の特性、及び環境を捉える視点をよく吟味する必要があることが分かった。また、ますます環境に関わる事項が多岐に渡っていくことが予想され、体系の論理性を維持しながら、その広範な事項をいかに効率よく指標に反映していくかが重要であることも分かった。

６．謝辞

本研究を行うにあたり、環境計画研究室の丹羽薫室長、並河良治主任研究員をはじめ、環境計画研究室の皆様には、多大なる御指導、御協力を頂きました。改めてここに感謝の意を表します。

＜参考文献＞

１）「環境基本計画」；平成６年１２月
２）「環境政策大綱」；建設省，平成６年１月
３）「東京都環境管理計画策定検討資料集」；東京都環境保全局，昭和６３年３月
４）「大阪府新環境総合計画（ＮＥＷ　ＳＴＥＰ　２１）－アーバンエコトピアにむけて－」；大阪府，平成３年９月
５）「大阪市環境管理計画（ＥＰＯＣ２１）」；大阪市，平成３年
６）「新京都市環境管理計画（仮称）案骨子」；京都市，平成７年
７）「環境指標への展開－環境計画への適用事例－」；日本計画行政学会編，学陽書房，平成７年４月

ビオトープの保全・回復・創造に関する研究

(指導期間　平成７年10月～平成８年３月)

研究室名　緑化生態研究室
氏　名　谷　本　茂

１．まえがき

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」ことが、新しい機軸となりつつある。公園を例にとると、従来住民一人当たりの面積を拡大することを目標にしてきたが、近年は公園の種類別に緑化率の基準が加わり、防災公園、健康運動公園、自然生態観察公園などの個別機能重視型の公園の整備が進んでいる。また、ビオトープネットワーク構築の面から、緑地の連続性・配置を考慮に入れた「緑の基本計画」制度が平成６年に始まっている。こうした状況のなか、環境という非市場財を含む公共事業の経済評価が効率的な施設整備の面から課題となっている。また、環境保全型公園の需要が高まるなか、公園全体の持つ経済的価値とともに公園の各機能を識別した経済価値の研究が必要とされている。

本報では、公園を対象とした経済価値調査事例、公園が持つ各機能別の経済価値の評価手法として注目されるヘドニックトラベルコスト法を紹介し、同法を用いたアンケート調査の結果について報告する。

２．公園の機能と経済価値

公園の持つ機能は、レクリエーション機能、生活環境改善機能(景観機能)、防災機能、生態系保全機能(環境保全機能)に大別できる。そして、公園整備の効果はこれらの機能毎に得られ、その機能のすべてを評価し、総和したものが、公園の経済効果と考えられる。

また公園の価値は、他の公共財(非市場財)と同様に、利用価値と非利用価値に分けられる。利用価値は公園を利用することにより得られる価値であり、非利用価値は公園を実際には利用しないものの日常生活により意識される住み心地の良さや景観で評価される存在価値や、将来の世代が利用する選択肢を残すというオプション価値を含むものである。これらの価値の測定手法としては、主としてヘドニック価格法、トラベルコスト法、仮想金銭化法が知られている。

３．公園の経済価値評価手法

ヘドニック価格法を用いて公園の価値を計測した研究は、1980年代から多く行われており、盛岡・藤田(1995)[1]がそれらを整理している。ヘドニック価格法(地価関数法)とは、公園に隣接することが土地の地価・地代市場に反映されるというキャピタリゼーション仮定に基づく手法である。ただ、説明変数間の多重共線性の問題や非利用価値が反映されない点で結果の解釈に注意が必要である。近年の研究としては、福地・井出(1994)[2]、藤田・盛岡(1995)[3]がある。

トラベルコスト法は、Hotellingが米国国立公園課の問合せに応える形で発案され、Clawson(1959)[4]により

公園の環境価値の評価で実際に用いられた手法である。この手法は、「同じ地域に住む人は同じ公園を訪れるのに同額の旅費を支払い、遠くの地域に住む人はより多くの旅費を支払う。より遠くから来ることはその費用に見合った価値を感じている」という仮定に基づいている。近年の研究においては、Morioka and Fernandez (1980)[9]が河川レクリエーション機能の評価を、華山ら(1985)[6]が日帰り海浜レクリエーション利用の評価を、大野ら(1995)[7]が親水公園、河川公園の比較から親水機能の評価を試みている。

仮想金銭化法は、「評価する財の内容を説明し、その財の供給に対する最大支払額(WTP)を被験者に直接聞く方法」(直接法)であり、非利用価値の評価が可能であるという利点を持つものの、調査時におけるバイアスが大きいという欠点がある。改善策として、他の手法との比較検証や二分仮想金銭化法を用いる手法が試みられている。仮想金銭化法を用いた最近の研究としては、松岡・竹内(1992)[8]がトラベルコスト法と比較検証を実施しており、二分仮想金銭化法については、並河ら(1995)[7]がダム湖畔における生態系を配慮した公園の評価に用いている。

以上に掲げたこれらの手法においては、公園の全体の価値を評価したものが多く、公園の持つ各機能について言及したものは、大野ら(1995)[7]や並河ら(1995)[7]の研究があるだけである。

公園の機能別の評価を行う手法としては、トラベルコスト法を改善したヘドニックトラベルコスト法がある。この手法は、Brown, Mendelsohn(1984)[10]がワシントン州の河川の特質評価について用いているが、国内での実証的研究はない。

4．ヘドニックトラベルコスト法（ＨＴＣＭ法）

ヘドニックトラベルコスト法は、居住地から公園に行く旅行費用(トラベルコスト)の違いを、公園の持つ特性で説明する手法である。

個々の公園の持つ特性をZiとすると、居住地から公園へ行くための旅行費用(P)は、その公園の特性のヘドニック関数として表される。

$$P = a0 + a1 \cdot z1 + a2 \cdot z2 + a3 \cdot z3 + \cdots + an \cdot zn \qquad (1)$$

P：居住地からの旅行費用支出、ai:推定されるパラメータ、zi：特性iの値を表す。

(1)式の左辺となる公園の価値は、特性を反映した価値を持つ一回当たりの旅行費用(V)とその場所への旅行頻度(N)を乗じた年間支払い額(ＷＴＰ)で表される。つまり、公園の質が良ければ、それに応じて頻度が高くなり、一回当たりの旅費は低くても年間支払額は高くなる。

$$P(WTP) = V \times N \qquad (2)$$

ここで、１回当たりの旅行費用(V)は、利用料金(ｆ)、時間費用(C)、交通費用(T)の合計と考えられ、

$$V = f + 2 \times (\beta T + \alpha C) \qquad (3)$$

で表される。ここで、βは距離単価(円/㎞)、Ｔは距離(㎞)、αは旅行時間価値(円/分)、Ｃは旅行時間(分)である。

5．　ＨＴＣＭ法を用いたアンケート調査

5.1 調査概要

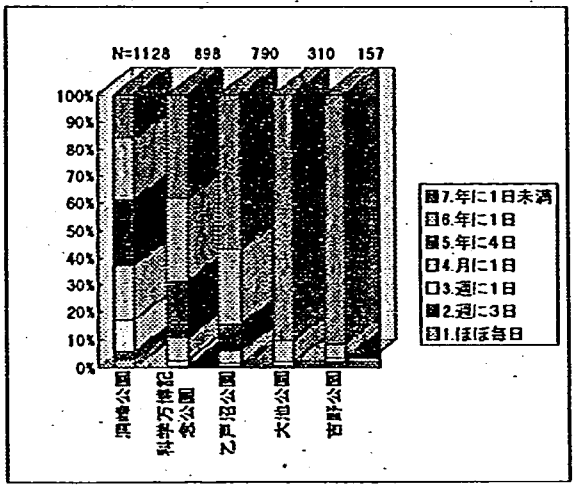
アンケート調査は、つくば市研究学園地区内の４地区(吾妻、並木、二の宮、松代)の住民を対象として、1996年３月上旬に実施した。配布回収方法は、調査員による訪問配布・訪問回収の留置自記法とし、各地区125世帯(４枚/世帯)に配布した。回収結果は表－１のとおり、地区別の抽出率８%、全体回収枚数1,225枚、回収率99%であった。

表－１　調査票配布回収状況

地区	配布範囲	世帯数	配布世帯	回収世帯	抽出率	回収率	回収枚数
吾妻	2,3丁目	1610	125	124	7.8%	99.2%	285
並木	2,3,4丁目	2249	125	125	5.6%	100.0%	278
二の宮	2,4丁目	1207	125	122	10.4%	97.6%	356
松代	2,3丁目	892	125	124	14.0%	99.2%	306
合計		5958	500	495	8.4%	99.0%	1,225

調査対象集団の属性については、年齢は30歳代がもっとも多く(38%)、性別は男性47.2%、女性50.0%とほぼ同数、職種は公務員(25.9%)が最も多く、次いで専業主婦(23.6%)、学生(23.6%)、会社員(11.6%)の順であった。

アンケート調査の調査内容は、公園の利用状況と公園に対する評価の２項目からなる。その内容は、①公園利用状況(頻度、手段、利用時間、目的、同伴者、選択理由)、②公園の評価(公園の広さ、芝生広場、園路、照明、池水質、水辺利用)である。公園の評価は、「１：良い」から「５：悪い」までの５段階評価とした。また、評価の対象とする公園は、つくば市及びその周辺の30公園、各地区共通の公園としては、大池公園、科学万博記念公園、洞峰公園、吉野公園、乙戸沼公園とし、地区別には住区基幹公園を設定した。

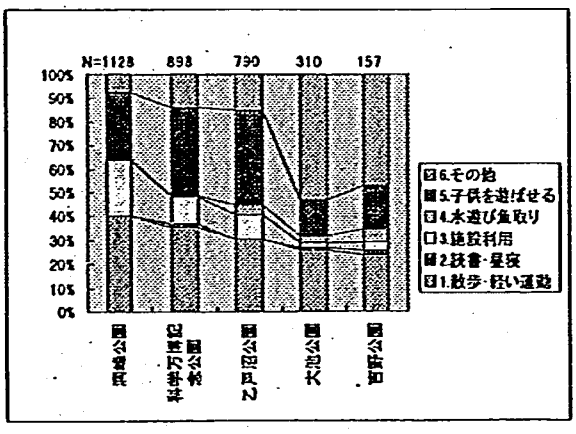


図－１　公園の利用頻度

5.2 調査結果

各地区に共通の対象公園に対する利用頻度をみると(図－１)、学園都市に近い、科学万博記念公園、洞峰公園での利用頻度が高く、大池公園、吉野公園と比較的遠い公園での利用は、年１回未満が90%以上と低い頻度であった。

利用目的別にみると(図－２)、「散歩・軽い運動」がどの公園においても多く、30～40%の割合を占めた。次に多い目的は、「子供を遊ばせる」となっており、大池公園・吉野公園では、その他の割合が高い値を示した。また、魚釣り公園として施設整備され示ている吉野公園のほか、大池公園、乙戸沼公園で「水遊び魚取り」の利用がみられた。



図－２　利用目的

交通手段としては、全体の75%が自動車により訪問しているが、全体の15%を占める自転車は、洞峰公園、科学万博記念公園の有力な手段となっており、さらに

洞峰公園利用についてみると徒歩が24%、自転車が28%と高い値であった。この結果は、近い公園ほど徒歩・自転車の割合が高いと考えられ、旅行費用の値に大きく影響すると考えられた。

6．おわりに

本報告では、調査時期の関係から重回帰分析の結果提示までに至らないものの、利用頻度及び利用手段の解析からＨＴＣＭの目的変数となる旅行費用の特徴を提示した。

本調査の価値評価は、公園の持つ価値のうち利用価値、機能別にはレクリエーション機能を主として反映すると思われた。つまり、利用機能かつ心理的機能に分類される保健休養機能が主に評価されると予想された。しかし、目的別利用状況の結果において「散歩・軽い運動」に次いで「子供を遊ばせる」が高い値を示したことから、自らは利用しないが親しい人の利用が自分の満足感を与えるという"代位価値"が含まれていることが想定された。

公園のすべての機能が、貨幣価値で表現されるものではないが、公園の価値または環境保全機能の一部でも貨幣価値で把握されることは、今後の社会資本における適正配分、効率的整備に役立つものと考えられる。

7．謝辞

本研究を遂行するにあたり、多大なご指導と助言ををいただいた建設省土木研究所緑化生態研究室の田中隆室長、日置佳之主任研究員をはじめとする同研究室のみなさまに感謝の意を表します。また、環境計画研究室の丹羽薫室長、並河良治主任研究員には、報告書をまとめる上での貴重な助言と示唆をいただいた上、同研究室のみなさまには公私ともに大変お世話になりました。ここに記して心よりお礼申し上げます。

＜参考文献＞

1)盛岡通,藤田壮:環境質及びｻｰﾋﾞｽの経済価値とその市場への反映,不動産学会誌第9巻第4号,1995

2)福地隆史,井手久登:ﾍﾄﾞﾆｯｸ・ｱﾌﾟﾛｰﾁによる公園・緑地の外部経済効果の測定,土木学会第49回年学講,1994

3)藤田壮,盛岡通:ﾍﾄﾞﾆｯｸ価格法を用いた公園緑地の環境価値評価に関する研究,環境ｼｽﾃﾑ研究,Vol.23,1995

4)Clawson M.:Methods of measuring Demand for and Value of Outdoor Recreation,RFFR,1959

5)Morioka T.,and L.FERNANDEZ:Riverside Recreation Analysis for Multiobjective Planning,Technology Report of Osaka University,Vol.30,No.1580,1980

6)華山謙,渡辺貴介,増山和弘:東京湾環境の総合管理,公害研究,Vol.14,No.4,1985

7)大野栄治,田苗創基,高木朗義:旅行費用法を用いた公園の親水化事業の便益評価,土木計画学研究講演集,No.18(2),1995

8)松岡俊二,竹内憲司:環境の経済価値,社会文化論集第２号,1992

9)並河良治,丹羽薫,竹林征三:ﾀﾞﾑ湖畔のﾚｸﾘｴｰｼｮﾝ地区に関する便益の評価,第6回世界湖沼会議論文集3,1995

10)G.Brown Jr.and R.Mendelsohn:The Hedonic Travel Cost Method,Review of Economics and Statics 66,1984

添　付　資　料

シミュレーションシステムを導入

東北地建 福島工事事務所

環境に合わせ道路や橋・建設

まちづくりに活用

東北地建福島工事事務所は将来の景観形成をパソコン画面で実験的に見ることができる景観シミュレーションシステムを導入した。二十七日、福島市の同事務所で県や市町村担当者への説明会が開かれたが、自然景観と調和した今後のまちづくり、公共施設整備に有効利用が期待される。

システムは、周辺環境と構造物が調和した社会資本の整備を進めるため建設省技術調査室、土木研究所、建築研究所が共同で開発した。道路や橋などの構造物は完成した後に設置場所や大きさ、形、色などに不都合が生じても、修復するのは困難だが、計画段階から「完成後の姿」を視認することで景観、美観に配慮した建設が可能となる。

例えば、山の中腹に鉄塔を建設する場合、平面上の地図に設置場所を示しても鉄塔がある地点からどのように見えるかは分からない。システムでは山の起伏などの情報を入力することで、塔の見え方を三次元画像で見ることができる。

このほか「ある材質でつくった建物が数十年後にどのような姿になるか」「景観条例で建物の高さを制限するとどんな街並みになるか」といった多様なシミュレーションが可能で、都市形成、まちづくりなど幅広く活用できる。

システムは今後も開発が進み、活用の幅が広がるため、福島工事事務所は県や市町村の事業にもシステムを生かしたいとしている。

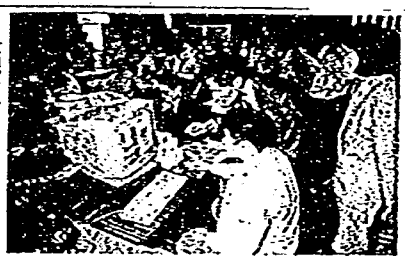


景観シミュレーションの操作の指導を受ける担当者

年月日	平成8年3月28日
新聞名	福島民報
区分	朝刊・夕刊

構築物と景観調和

福島工事事務所　システムの説明会



景観を考えるシステムの説明を受ける職員

建設省福島工事事務所は、道路やダム建設などの際に周りとの景観を配慮したデザインを考えるための「景観シミュレータ・景観データベース」システムを導入、二十七日にシステムの説明会を開いた。

システムは、建設省が産学官の連携で取り組んでいる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」の一環として開発された。公共土木工事の計画、調査、設計、施工の段階に応じ、構築物と周辺の景観をコンピューターグラフィックスでパソコンの画面に表示できる。

説明会には、事務所の担当職員がシステム操作の説明を受け、パソコンの画面で自然環境との共生を図った景観をデザインした。

年月日	平成8年3月28日
新聞名	福島民友
区分	朝刊・夕刊

日刊建設産業新聞

1995年(平成7年)8月31日(木曜日)

水質保全に人工礁

生態制御システム開発

土木研究所

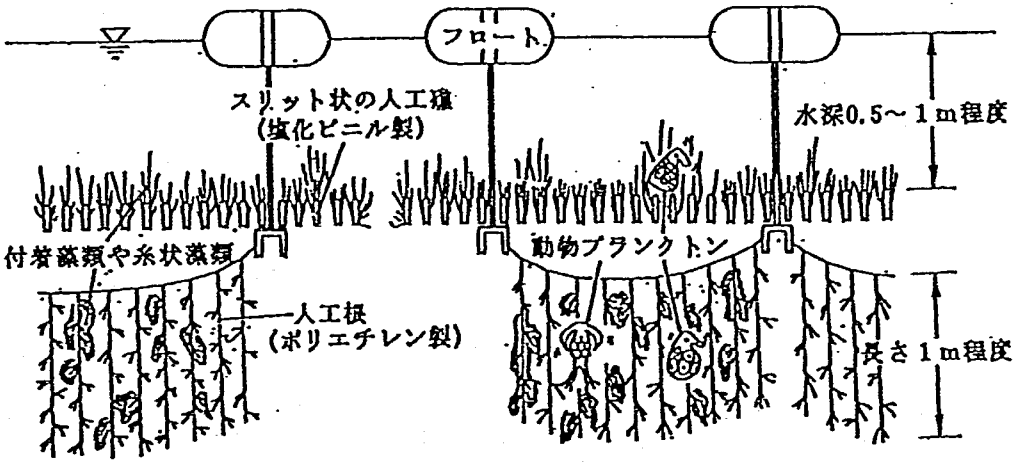
建設省土木研究所は、生態系を活用した水質保全を目指し、人工生態礁を使った生態制御システムの開発を進めている。

自然湖沼やダム湖などの水質環境を保全するには、湖沼生態系をバランスのとれた環境にすることが重要であり、特に、湖岸近くの浅瀬部分では、生物の活動が活発ではあるが、自然状態では水位の変動などにより、環境が安定して存在することが困難となっている。

このため、人工的に安定した浅瀬を多く作ることで、自然の自浄作用を利用し、生態系を活性化させ、湖沼内の食物連鎖網を新しい形に変化させる人工生態礁を考案。これにより、アオコなどの発生を抑制する生態制御システムを開発しようというもの。

人工礁は、塩ビ板がスリット状に組まれた六対四方の礁部分と、それに吊り下げられたポリエチレン製の人工根の後、さらに安定的で良好な生態系のバランスを保てるようなシステムの構築を目指していく。

<参考>



図－1　人工生態礁の概要（人工礁と人工根より構成）

急がれる湖沼の水質浄化

生態制御研究が本格化

先端技術

土木研

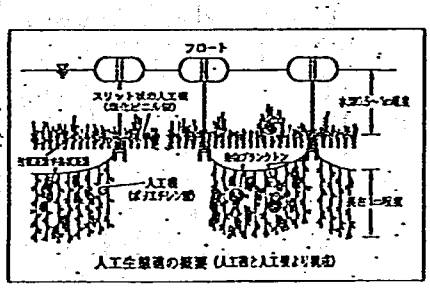
来月23日から世界湖沼会議

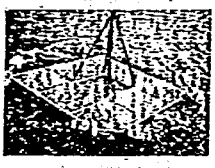
糸状藻類

リンなど除去に威力

吸収力ホテイアオイの10倍

低温での増殖確認




実験湖水池に設置した人工生態系

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	頁	発行年月	本誌掲載頁
II-1	歴史的土木文化遺産の評価と保存の考え方	竹林　征三 島谷　幸宏 天野　邦彦	土木史研究	土木学会	No.15 1995	PP289 ～298	1995. 6	179～188
II-2	無形土木遺産の保存と伝承	竹林　征三 丹羽　薫 長野　幸司	土木計画学研究講演集18(2)	土木学会	第18回	PP637 ～640	1995.12	189～192
I-D-1	土木施設名の好感度に関する研究	竹林　征三 中川　浩二 古川　浩平 小川　和延	土木計画学研究講演集18(2)	土木学会	第18回	PP633 ～636	1995.12	157～160
III-C-1	軽石濾過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.104	PP42 ～49	1995. 5	277～284
I-B-1	コンピューターグラフィック技術	小栗ひとみ	橋梁と基礎	(株)建設図書	Vol.29 No.8	PP64 ～67	1995. 8	121～124
III-A-1	流動制御によるダム湖水質保全対策におけるシミュレーション手法の検討	丹羽　薫 久納　誠 古里　栄一	環境システム研究	土木学会	Vol.23	PP157 ～168	1995. 8	217～228
III-B-1	生態系を活用した湖沼の直接浄化の試み	丹羽　薫 久納　誠 高橋　健夫	土木学会第50回年次学術講演概要集	土木学会	第2部(B)	PP1274 ～1275	1995. 9	255～256
III-C-2	生物膜を伴う粒子体濾過による無機濁質除去手法	丹羽　薫 久納　誠 古永　充	土木学会第50回年次学術講演概要集	土木学会	第2部(A)	PP180 ～181	1995. 9	285～286
III-C-3	落葉回収による富栄養化対策	丹羽　薫 久納　誠 漆山　敬二 久保　徳彦	土木学会第50回年次学術講演概要集	土木学会	第2部(A)	PP166 ～167	1995. 9	287～288
III-B-2	湖沼水質浄化に伴い発生する糸状藻類の有効利用	丹羽　薫 久納　誠 真田　誠至 高橋　健夫	土木学会第50回年次学術講演概要集	土木学会	第2部(B)	PP1132 ～1133	1995. 9	257～258
I-C-3	総合環境情報の構築と土木計画管理への利用	丹羽　薫	地盤情報データベースの高度利用に関するパネルディスカッション(資料集)	(社)地盤工学会		PP77 ～84	1996. 3	147～154

	論　文　名	著者名	書籍名	発行所	巻号	頁	発行年	本誌掲載頁
Ⅲ-C-4	流動制御と糸状藻類を活用したダム湖水質環境創造システム	廣瀬　利雄 丹羽　薫 久納　誠 山下　芳裕	大ダム	(社)日本大ダム会議	No.153	PP72 ～82	1995. 9	289～299
Ⅲ-B-3	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	丹羽　薫 久納　誠 久保　徳彦 福渡　隆	平成６年度陸水系の汚染防止に関する総合研究	環境庁企画調整局環境研究技術課		PP76-1 ～76-6	1995. 9	259～264
Ⅰ-A-1	ダム湖畔のレクリエーション地区に関する便益の評価	並河　良治 丹羽　薫 竹林　征二	第６回世界湖沼会議論文集	ILEC	Vol.3	PP1313 ～1316	1995.10	113～116
Ⅲ-C-5	湖沼における新しい富栄養化対策の体系	丹羽　薫 久納　誠 久保　徳彦 真田　誠至 竹林　征三	第６回世界湖沼会議論文集	ILEC	Vol.1	PP501 ～504	1995.10	300～303
Ⅰ-B-2	景観ｼﾐｭﾚｰﾀ・景観ﾃﾞｰﾀﾍﾞｰｽの開発	小栗ひとみ 丹羽　薫 須藤　晴夫	第21回日本道路会議論文集(A)	(社)日本道路協会		PP44 ～45	1995.10	125～126
Ⅰ-C-1	道路の環境計画とＧＩＳの可能性	丹羽　薫 長野　幸司	第21回日本道路会議論文集(A)	(社)日本道路協会		PP114 ～115	1995.10	127～128
Ⅲ-B-4	A lake water purification utilizing an ecosystem by the filamentous algae	丹羽　薫 久保　徳彦 福渡　隆 高橋　健夫 久納　誠	ECOSET'95 PROCEEDING	ECOSET	Vol.II	PP911 ～916	1995.10.	265～270
Ⅰ-C-2	国土環境情報の整備に関する研究	[illegible]	第49建設省技術研究会論文集(指定課題)	建設省		PP21-1 ~21-16	1995.11	129～146
Ⅰ-A-2	転居の外部費用に関する二分仮想金銭化法を用いた調査	並河　良治 丹羽　薫 竹林　征三	土木計画学研究講演集18(1)	土木学会	第18回	PP 5 ～ 8	1995.12	117～120
Ⅲ-A-4	成層化した貯水池における曝気・循環装置による藻類増殖の抑制	安藤　信夫 丹羽　薫 寺薗　勝二 福田　正晴	大ダム	(社)日本大ダム会議	No.154	PP 1 ～10	1996.1	241～250

	論　文　名	著者名	書籍名	発行所	巻号	頁	発行年	本誌掲載頁
I-D-2	レジャー環境についての心理的特性と空間類型の抽出	田中　奈美 土肥　博至	日本建築学会計画系論文集	日本建築学	No.479	PP179 ～188	1996. 1	161～170
I-D-3	筑波研究学園都市居住者のレジャー観と日常的レジャーの行為特性	田中　奈美	1995年度日本建築学会関東支部研究報告書	日本建築学会		PP269 ～272	1996. 3	171～174
I-D-4	伊東市における地域景観イメージの把握	田中　奈美	1995年度日本建築学会関東支部研究報告書	日本建築学会		PP325 ～328	1996. 3	175～178
III-A-2	流動制御によるダム湖水質保全対策効果のシミュレーションによる検討	丹羽　薫 久保　徳彦 福渡　隆 古里　栄一	水工学論文集	土木学会	第40巻	PP19 ～24	1996. 3	229～234
III-B-5	生態系を活用した湖沼の直接浄化の試み	丹羽　薫 高橋　健夫 久保　徳彦 福渡　隆	第30回日本水環境学会年会講演集	日本水環境学会		PP2150	1996. 3	271
III-C-6	水質環境と生態環境とのマッチング	久納　誠	土木技術資料	土木研究センター	Vol.37 No.6		1995. 6	304
III-A-3	流動制御システムによるダム湖水質保全の現地実験	丹羽　薫 久納　誠 久保　徳彦 古永　充	土木技術資料	土木研究センター	Vol.37 No.6	PP26 ～31	1995. 6	235～240
III-C-7	軽石濾過による湖沼の水質保全技術の開発	丹羽　薫 久納　誠 真田　誠至 高橋　健夫	土木技術資料	土木研究センター	Vol.37 No.6	PP50 ～55	1995. 6	305～310
I-C-4	建設環境情報データベースシステム	長野　幸司 小川　和廷	土木技術資料	土木研究センター	第37巻 第11号		1995.11	155
III-B-6	糸状藻類を活用した植生浄化について	福渡　隆	土木研究所資料	土木研究所	第3386号	PP77 ～80	1995.12	272～275
III-A-5	Aダム貯水池水質への曝気循環の影響	天野　邦彦 藤原　正好 丹羽　薫	第6回世界湖沼会議論文集	ILEC	Vol.2	PP985 ～988	1995.10	251～256

環境計画研究室名簿　（平成８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
安陪和雄	主任研究員
小栗ひとみ	研究員
福渡　隆	研究員
舟橋弥生	研究員
田中康泰	技官
田中奈美	特別研究員
李　建華	重点研究支援協力員
杉盛啓明	重点研究支援協力員
山崎　崇	交流研究員
須藤晴夫	交流研究員
小川和延	交流研究員
畑原隆司	交流研究員
相澤毅	交流研究員

（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
長野幸司	研究員	平成7.9.30
久保徳彦	研究員	平成8.3.31
真田誠至	技官	平成7.4.15
山下芳裕	交流研究員	平成5.9.30
古里栄一	交流研究員	平成6.3.31
森本浩之	交流研究員	平成7.3.31
古永充	交流研究員	平成7.9.30
高橋健夫	交流研究員	平成7.9.30
谷本茂	交流研究員	平成8.3.31

環境計画研究室調査研究報告書
(平成７年度)

土木研究所資料第3454号
平成８年９月(1996)

丹羽　薫，並河　良治，阿階　和雄
小栗ひとみ，福渡　隆，舟橋　弥生
田中　康泰，長野　幸司，久保　徳彦

要旨　平成７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、環境指標、GIS、リモートセンシング、歴史的・文化的土木施設、景観シミュレータ、景観データベース、地球温暖化、富栄養化対策、密度流、曝気循環、糸状藻類、生態系制御

郵便はがき

50円切手をはって下さい

3 0 5 - □□

茨城県つくば市旭一番地

建設省土木研究所

環境計画研究室　御中

No.

No.

配布先氏名

配布先住所

○

共同研究報告書第　3454　号　　部

上記のとおり受領しました。

所　　属(住所)

氏　名　　印

土木研究所資料第3454号