ISSN 0386—5878
土木研究所資料第3588号

土木研究所資料

環境計画研究室
調査研究報告書
(平成9年度)

平成10年8月

建設省土木研究所
環境部環境計画研究室

Copyright © (1998) 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3588号　1998年8月

環境計画研究室調査研究報告書
(平成9年度)

環境計画研究室　室　　長　寺川　陽
前　室　長　丹羽　薫*
主任研究員　安陪和雄
主任研究員　並河良治
主任研究員　天野邦彦
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

要　旨

平成9年度に環境計画研究室が実施した調査研究結果（各課題別の成果概要と対外的な発表論文）をとりまとめた。

環境評価技術、環境アセスメント技術、地域特性を活かした地域計画・施設設計手法、景観の予測・評価、GISを活用した湖沼流域管理技術、及び湖沼の総合的な富栄養化対策技術の6つのテーマに分類して編集してある。

キーワード：環境経済評価、環境アセスメント、地域特性、景観シミュレーション、GIS、富栄養化対策

＊　財団法人ダム水源地環境整備センター

ま　え　が　き

環境計画研究室は平成５年４月の環境部設立とともに発足し、平成９年度末で満５年を経過しました。この間、平成６年１月に建設省環境政策大綱の制定、同年12月環境基本法に基づく環境基本計画の閣議決定、平成９年６月に環境影響評価法の成立、そして同年12月の気候変動枠組条約第３回締約国会議の日本での開催などを背景に、国民の環境に対する認識は後世パラダイム・チェンジとも評されるべき高まりをみせています。

一方で21世紀入りを目前にひかえ、内外の社会経済情勢も大きく変化する中で、新しい時代のニーズをふまえ、国民の満足度向上の要求に応えられるような社会資本整備のあり方が求められているといってよいかと思います。

こうした状況のもとで、環境計画研究室は、建設事業にかかる環境計画の充実を目指した調査研究を実施してきています。担当しているテーマは大きく　1)環境の評価技術に関する研究　2)地域の特色を生かした環境計画に関する研究　3)流域の総合的な環境管理に関する研究の３本柱にまとめることができます。これらの調査研究活動を通じて、ゆとりとうるおいに満ちた美しく快適な環境を創造する社会資本整備に貢献したいと考えています。

本報告書は、環境計画研究室が平成９年度に行った調査研究成果を紹介する趣旨で、まとめたものです。予算費目別には23課題ありますが、編集に際しては、大きく６つの中課題に束ねて整理しました。

内容について忌憚のない御意見やアドバイスをいただければ幸いです。今後の調査研究に活かさせていただきます。

平成10年６月１日

環境部　環境計画研究室長

寺川　陽

目　次

まえがき

Ⅰ.平成９年度の調査研究

Ⅰ-1　環境評価技術に関する研究

住民の整備イメージの抽出手法及び経済指標を用いた住民評価手法の検討・・・・・・・・・1
環境基本計画の長期的目標に係る総合的指標の開発に関する調査・・・・・・・・・・・・・3
道路の環境保全施設や付加的施設の経済評価に関する試験調査・・・・・・・・・・・・・・5
コンセプト及びアーキテクチャの設計と評価に関する調査・・・・・・・・・・・・・・・・7
湖沼の環境創造技術に関する調査・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・9
湖沼の環境評価に関する調査・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・13

Ⅰ-2　環境アセスメント技術に関する調査研究

環境アセスメント技術に関する研究・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・15
環境アセスメント検討調査・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・21

Ⅰ-3　地域特性を活かした地域計画及び施設設計手法に関する研究

地域特性を活かした地域計画及び施設設計の手法に関する研究・・・・・・・・・・・・・23

Ⅰ-4　景観の予想及び評価に関する研究

道路景観シミュレーションシステムの開発・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・25
ダム周辺景観設計データベースの検討・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・27
1/fゆらぎ理論を用いた道路空間デザインに関する調査・・・・・・・・・・・・・・・・29
運転者から見た走行景観の検討・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・33

Ⅰ-5　ＧＩＳを活用した湖沼流域管理技術に関する研究

建設環境情報のデータベース化に関する研究・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・35
流域水管理への地理情報システムの利用に関する調査・・・・・・・・・・・・・・・・・49

Ⅰ-6　湖沼の総合的な富栄養化対策技術に関する研究

水生植物を用いた水環境修復に関する交流育成・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・51
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・・・・・・・・・・・・・53
湖沼の総合的富栄養化対策技術に関する調査・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・57
生態系を活用した湖沼の水質制御手法に関する調査・・・・・・・・・・・・・・・・・・59
流動制御システムに関する調査・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・61

貯水池の水質保全に関する調査・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・63
底泥からの汚濁防止対策に関する調査・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・65

II.発表論文（1996.4～1998.3）

II-1　環境評価技術に関する研究

レジャーの実態とレジャー環境に関する基礎的研究IX－公園における来園の主目的と
実施レジャー－（日本建築学会大会学術講演梗概集,1996.9）・・・・・・・・67
ＨＴＣＭを用いた公園の評価（土木計画学研究・講演集19,1996.11）・・・・・・・・・・69
ヘドニック・トラベル・コスト法を用いた公園の評価（土木技術資料,1997.6）・・・・・73
利用者の嗜好感性を考慮した歩道整備のあり方に関する一考察
（土木計画学研究・講演集20,1997.11）・・・・79
ＣＶＭを用いた環境施設帯の経済評価（土木計画学研究・講演集20,1997.11）・・・・・・83
湖沼のレクリエーション利用におけるイメージ構造の分析
（土木計画学研究・講演集20,1997.11）・・・・87
社会基盤施設利用の快適性に関する基礎的研究（第22回日本道路会議論文集,1997.12）・・91
環境施設帯の経済評価～ＣＶＭの適用（第22回日本道路会議論文集,1997.12）・・・・・・93
ＩＴＳサービスのニーズ調査（第22回日本道路会議論文集,1997.12）・・・・・・・・・・95
外部費用の評価について（建設マネジメント,1998.1）・・・・・・・・・・・・・・・・97

II-2　地域特性を活かした地域計画及び施設設計手法に関する研究

地域景観イメージの抽出に関する研究Ｉ
―茨城県つくば市住民の地域イメージに関する意識調査を通じて―
（第51回年次学術講演概要集,1996.9）・・101
トロント市における地下空間の整備状況（寒地技術論文・報告集,1996.11）・・・・・・・103
地域景観特性の抽出に関する研究Ｉ
―茨城県つくば市の地域イメージと景観イメージ―
（土木計画学研究・講演集19,1996.12）・・・・・107
地域景観イメージの把握とその変容過程に関する考察（都市計画論文集,1996.12）・・・・111
軽井沢町と伊東市における地域景観イメージの比較考察
―リゾート地域の成立条件に関する景観的研究　その８―
（日本建築学会・関東支部研究報告書,1997.3）・・・・117
歴史的・文化的土木施設の保存・活用（土木技術資料,1997.4）・・・・・・・・・・・・121
歴史的土木施設の保存・活用の現況（土木技術資料,1997.6）・・・・・・・・・・・・・127
歴史的・文化的施設の保存・活用（第50回建設省技術研究会報告（平成8年度）,1997.6）・133
地域景観イメージの特性抽出について
―つくば市と軽井沢町における住民意識調査比較―（土木技術資料,1997.6）・・・150

II-3　景観の予想及び評価に関する研究

現場職員のための景観シミュレータ・景観データベースの開発
（土木計画学研究・講演集19,1996.11）・・・・157
景観が人間の感性に与える影響の定量的な評価に関する研究
（土木計画学研究・講演集20,1997.11）・・・161
建設省版景観シミュレーションシステムの開発（第22回日本道路会議論文集,1997.12）・・165
建設省版景観シミュレーションシステムの開発（第36回土木研究所発表会論文集,1997.12）167

II-4　ＧＩＳを活用した湖沼流域管理技術に関する研究

ＧＩＳによる流域環境管理（土木計画学研究・講演集19,1996.11）・・・・・・・・・・・・171
霞ヶ浦流域における流域環境管理のための分布型水循環モデルの構築
（土木計画学研究・講演集20,1997.11）・・175
ＧＩＳによる流域水文環境の可視化（日本地理学会発表要旨集,1998.3）・・・・・・・・・179

II-5　湖沼の総合的な富栄養化対策技術に関する研究

Development of Eutrophication Control Techniques for Lakes
-Combination of Physical and Biological Methods-
(Proceedings of Korea-Japan Symposium on Ecological Engineering,1996.4) 181
糸状藻類の水質浄化能力の日変動に関する研究
（第51回年次学術講演会講演概要集,1996.9）・208
落葉回収による富栄養化対策(その2)―回転スクリーンによる脱水処理について―
（第51回年次学術講演会講演概要集,1996.9）・・210
湖沼の富栄養化対策技術の動向〈物理的手法と生物的手法〉
（建設設備と配管工事,1996.9）・・212
Current Control for Restoring Reservoir Water Quality
(abstracts of the 8th international Symposium on
River and Lake Environments,1996.10) 217
糸状藻類を使った湖沼浄化（バイオレメディエーションの実際技術,1996.11）・・・・・218
軽石濾過による濁質除去実験について（土木学会関東支部会,1997.3）・・・・・・・・・226
糸状藻類を活用した水質浄化システムの開発（土木学会関東支部会,1997.3）・・・・・・228
流動制御による富栄養化対策のメカニズムについて（土木学会関東支部会,1997.3）・・ 230
糸状藻類の栄養塩吸収能力の日変化に関する考察（第44回日本生態学会大会要旨集,1997.3) 232
浮遊藻類の耐暗性に関する実験的検討（第44回日本生態学会大会要旨集,1997.3）・・・・233
流動制御によるダム湖の水質保全（第5回水資源に関するシンポジウム論文集,1997.8）・・234
Water quality control of lakes using an ecosystem of filamentous algae
(2nd International symposium of ecology and engineering,1997.11) ・240
ダム湖の富栄養化対策の動向（ダム技術,1998.1）・・・・・・・・・・・・・・・・・・241

II-6　交流研究員報告

平成８年度 ・・・

Ⅰ．平成９年度の調査研究

Ⅰ－1　環境評価技術に関する研究

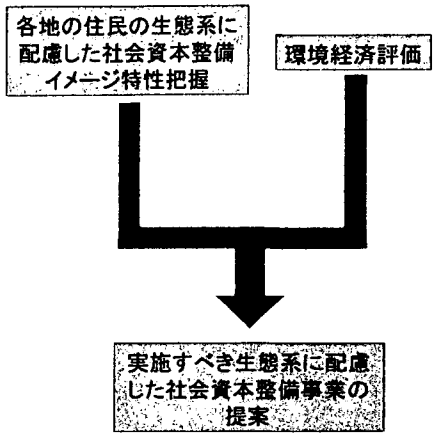
住民の整備イメージの抽出手法及び経済指標を用いた住民評価手法の検討

研究期間：平９～平１２

担当：環境計画研究室　　室長：寺川　陽，　主任研究員：並河　良治，　研究員：舟橋　弥生

【要旨】

地域の特性をふまえた効果的な環境整備を進めるためには、まず人と自然の共生に関して、住民はどのような生態系に配慮した社会資本整備の状態を望んでいるのか、また、それは地域によってどう異なるのか等、生態系保全について住民が抱くイメージを把握する必要がある。本研究は、各地の住民の持つ生態系に配慮した社会資本整備イメージをアンケート調査を用いて抽出する方法について検討するとともに、経済指標を用いて価値評価を行うことを目的としている。



研究イメージ図

9 年度は、住民のイメージ構造分析の一歩として、①緑地を含む景観スライド及び生態系に配慮した社会資本整備に関わる生物名についてＳＤ法を使った実験をふまえた住民のイメージ構造の把握、②生態系に配慮した社会資本整備に関わる言語を使った連想実験による生態系に配慮した社会資本整備についての意識構造の把握のための２つの実験を実施した。

１．研究方法

１．１　被験者の属性

被験者は農村部、都市郊外部及び都市部として選定したつくば市民 57 名、印西市民 59 名、東京都民 65 名について、性別及び年代（10 代、20 代、30 代、40 代、50 代）が各地域でほぼ均等になるように抽出した。また、生態系に関する知識の有無によるイメージ構造の相違をみるため、生態系についての知識を有する者として筑波大学の自然環境を専攻する学生 32 名にも同様のアンケートを行った。

１．２　ＳＤ法を用いた調査

ＳＤ法での評価には 20 形容詞対を用い 7 段階評価を行った。景観スライドには生態系に配慮した社会資本整備に関連する公園、池、河川、道路それぞれについて整備程度による自然度の低、中、高の 3 枚、合計 12 枚のスライドを用いた。生態系に配慮した社会資本整備に関わる生物名としては、生態系整備の際に取りあげられることの多い「蝶」「鳥」「たぬき」、一般に嫌われやすい生物として「へび」「蚊」、「はち」、同一生物の形態による違いをみるため「蝶」に対して「青虫」の計 7 言語を用いた。

１．３　言語連想実験

言語連想に用いられる手法についての説明は文献 1)を参照されたい。言語連想によるイメージ分析とは、ある言語からある言語を連想する連想確率をもとにイメージウェイトを算出する手法である。ここでのイメージウェイトは、イメージのしやすさをあらわす指標であり、この値が大きいほど他の言語からの連想頻度が高いことを意味する。今回の実験の中では、生態系に配慮した社会資本整備に関して取りあげられることの多い言語 21 語を用いた。

２．研究結果

２．１　ＳＤ法

景観スライドに関する因子分析を行った結果 3 つの因子が抽出された、バリマックス回転後の各因子の寄与率は第一因子 0.236、第二因子 0.143、第三因子 0.118 となっており累積寄与率は 0.497 である。各因子に対する各形容詞の因子負荷量をもとに因子の命名を行った結果、第一因子：親近感(-)、第二因子：やすらぎ(-)、第三因子：活動性(+)となった。

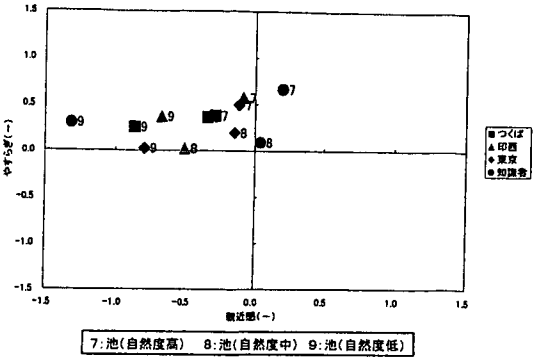


図-1 池に関する因子得点プロット図

生態系に配慮した社会資本整備に関わる生物名については因子分析を行った結果 3 つの因子が抽出された、バリマックス回転後の各因子の寄与率は第一因子 0.312、第二因子 0.082、第三因子 0.078 となっており累積寄与率は 0.472 である。各因子に対する各形容詞の因子負荷量をもとに因子の命名を行った結果、第一因子：魅力(-)、第二因子：柔和性(-)、第三因子：活動性(+)となった。

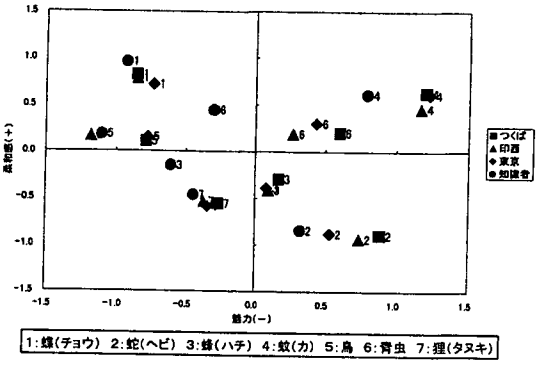


図-2 生物に関する因子得点プロット図

今回のＳＤ法調査では、地域間に特徴的な差はみられなかった。自然環境に関する知識の有無については、景観スライドについては一般の人に比べ知識者が自然度の高い景観ほど親近感が高い値を示し、生物については一般の人々が魅力について負の反応を示す「蜂」「青虫」についても正の反応を示す結果となった。このことから、ある程度の自然環境に関する知識を得ることにより、自然、生物に関するイメージが向上することが考えられる。

2．2　言語連想

言語連想の中で、各地域で最もウエイトが高いのは「花」で 8%～12%の分布をしており、すべての人に共通してイメージしやすい言語であるといえる。地域別に 6%以上のイメージウエイトのものをとりあげると順番に、つくば市「花、林、花壇、庭園」、印西市「花、花壇、庭園、草」、東京「花、花壇、蝶、庭園」、知識者「花、蝶、草、林、花壇」となっており、知識者については一般の被験者に含まれる「庭園」が上位に含まれない結果となっている。ただし、今回挙げた一般的な言語については調査地域による特徴的な差を見いだすことが出来なかった。

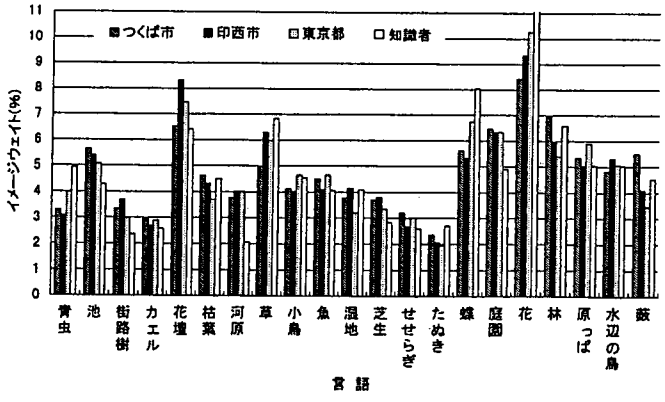


図-3　言語連想による地域別イメージウェイト

〈参考文献〉

1)佐佐木綱・堀田治・竹林幹雄：文学を利用した地域計画に関する考察－「風の又三郎」にみるイメージ連想の分析－，土木計画学研究講演集，No.12，pp143-149，1989.

環境基本計画の長期的目標に係る総合的指標の開発に関する調査

研究期間：平９

担当：環境計画研究室　　室長：寺川　陽、　　主任研究員：並河良治

【要旨】

本調査は、環境基本計画（以下、基本計画という）の中で位置づけられている「目標に係る指標の開発」に資するため、建設省の所管事業の執行が環境の状態にどのように反映されているのかを的確に表現する指標を検討することを目的とする。指標を検討する際には、建設省が平成６年１月に発表した「建設環境政策大綱」（以下、大綱という）を指標の構造の基本的な骨組みとして捉え、基本計画の長期的目標の４つの柱である「共生」、「循環」、「参加」、「国際的取組」の観点から整理を行った。なお、今回の検討において、「総合的」という言葉は主に包括的という意味であり、集約化については、今後の課題としている。

１．調査方法

調査の手順は、以下のとおりである。

(1) 大綱の記述を構造的に大項目、中項目、小項目に階層化し、整理する。

(2) 小項目ごとに個別指標となり得る候補を網羅的にリストアップする。

(3) リストアップされた個別指標を整理する。

(4) 各個別指標について実際のデータを収集する。

(5) 個別指標の総合化（集約化）について検討する。

なお、調査を進めるに当たっては、外部の学識経験者にヒアリングを行い、それら学識経験者の指摘を踏まえて合理的な指標とすることに努めた。

２．調査結果

２．１　指標の構造

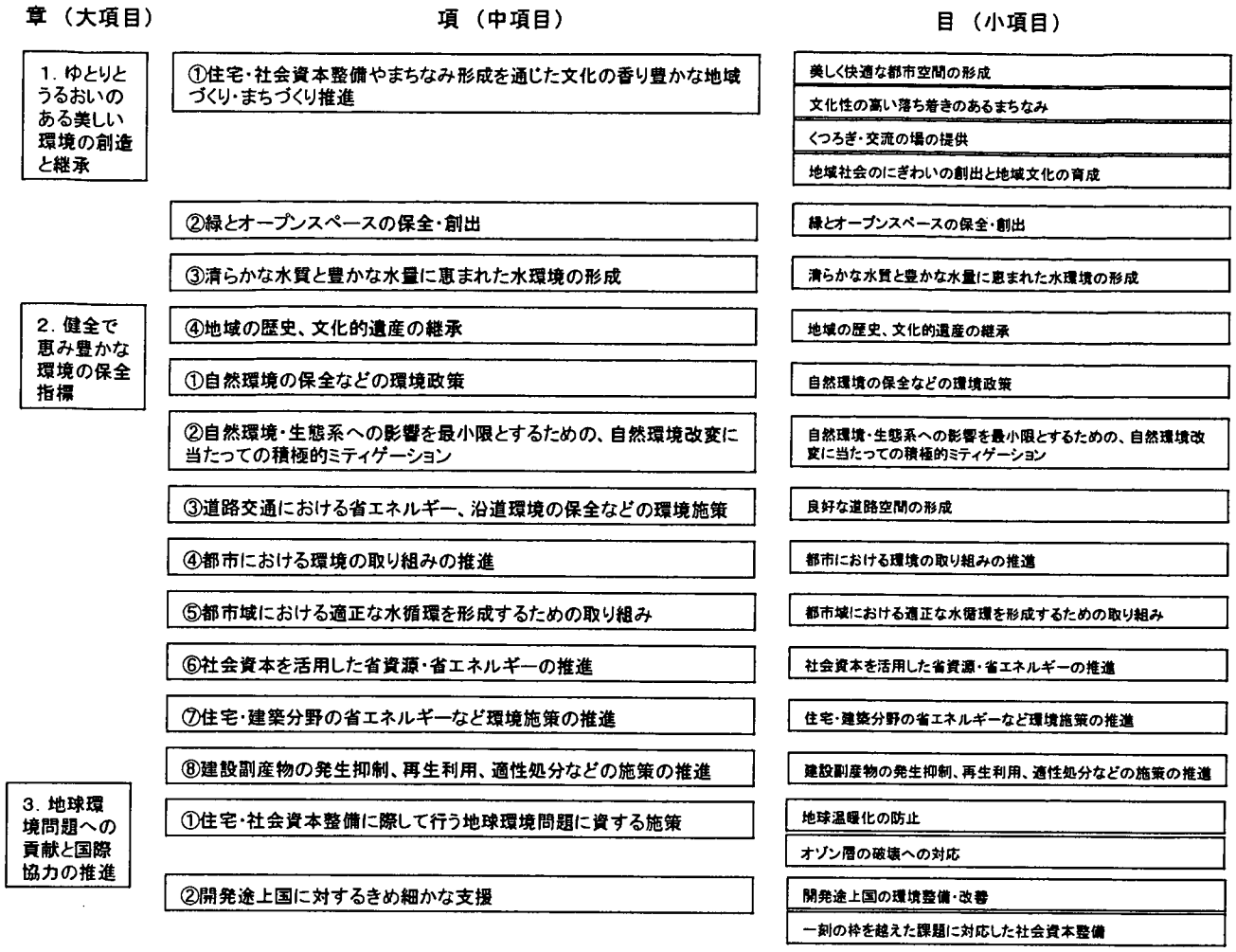
指標の構造は、大綱の構成に倣うものとした。大綱は、章、項、目という構成になっているが、①それぞれの項の中の目の数をなるべく揃えた方が総合的な指標としてはバランスが良くなる、②「総合的な」という項目は、内容を曖昧なものとして分かりにくくしているとの指摘もあり、大綱から指標の構造を図－１に示すものとして捉えた。それぞれの目は複数個の個別指標からなり、さらに、個別指標は複数のデータから構成されている。データについては、指標そのものが公表されることを前提として考えて、基本的に公表されている資料から収集することとした。

また、建設省の施策には、施設を整備するハード的な対応、制度や運用、また、調査・研究といったソフト的な対応及び行政・住民が一体となって取り組むハート的対応の３つの対応形態があることから、指標についてもそれがどのような対応に属するのかを分類することとした。

さらに、大綱の３章は、地球環境問題への貢献と国際協力の推進については、国内における施策・技術のまとめであったり、海外への移転であったりするため、一部を除き再掲という取り扱いにすることとした。

基本計画との関連性については、基本計画が対象としている範囲が広く、建設省所管事業との関連性が明らかでないものもあるので、指標を総合的（包括的）とする当初の目的に鑑み、基本計画との整合をあえて考慮することはせず、基本計画の構造と大綱による構造の対応を整理するにとどめた。

個別指標においても複数の次元の異なった、また、数値の大きさもまちまちのデータで構成されることから、指標は時系列的な変化によって表すものとした。



図－１　総合的環境指標の構造

２．２　指標で表現する空間的広がりのレベル

建設省として自らが指標によって施策を評価・判断することを考慮に入れた場合、全国を一つにまとめた指標では利用に不便であり、逆に、市町村レベルまで地域を細区分することは、データ収集の実現性から、また、その作業量から、さらに、指標を分析し、意味付けを行う上でも不適当である。データ収集の容易さ、作業量及び比較分析の意味づけを考慮し、指標で表現する空間的広がりのレベルは地域（北海道、東北、関東、北陸、中部、近畿、中国、四国、九州の９つ）レベルとした。

２．３　総合化（集約化）の検討

総合的（包括的）な指標を作成すると、数多くの個別指標（群）の羅列となり、全体として何を表現しているのかが不明になるおそれがある。逆に、指標の集約度を高めすぎると作成された指標が抽象的なものとなるとともに集約化したそれぞれの項目の下位にある項目の数に偏りがある場合、総合的な環境のモニタリングの手段としての指標の有効性に問題が生じる。また、総合化のための重み付けには十分な検討と調査が必要である。さらに、総合化のレベルは、データが揃わないことや高次の総合化はデータが見えにくくなることなどを考慮すると、目レベルに留めることが望ましいとの考えから、目のレベルとして試案を作成した。

道路の環境保全施設や付加的施設の経済評価に関する試験調査

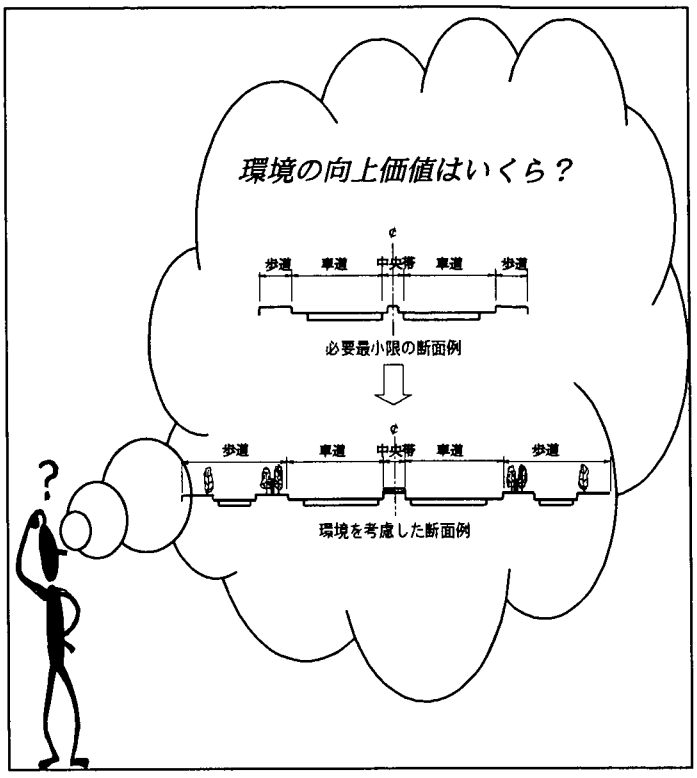
研究期間：平成８年度～平成 10 年度

担当者　：環境計画研究室　室長：寺川　陽、主任研究員：並河良治、研究員：小栗ひとみ

【要旨】

道路整備に際して、環境の保全や景観の向上を図るための様々な対策がなされている。これらの対策の必要性は認識されており、どの程度まで費用をかけるべきかを判断する基準の必要性は高い。本調査は、道路の環境保全施設や付加的施設に関して経済評価を行い、それらの施設整備の費用と、効果を定量的に明らかにしようとするものである。

９年度は、歩道の景観向上の経済価値を仮想金銭化法（ＣＶＭ）を用いて調査した。歩道は利用価値が便益の殆どを占める施設であり利用者負担シナリオを設定したが、馴染みの薄い支払方法への大きなバイアスが存在し、シナリオ設計時に留意すべきであることが示された。



１．研究方法

アンケート調査を受ける被験者の住宅から最寄りの幹線道路（４車線以上）の歩道に、植栽、舗装及び照明について景観整備を行う計画があると仮定し（整備前後のＣＧを提示）、その整備費用を被験者が負担するものとして、許容する最大支払い意志額（以下、ＷＴＰと呼ぶ）を反復付け値法により測定した。また、被験者の世帯属性及び歩道整備意識についても同時にアンケート調査を行った。

調査は表―１の５ケース実施し、歩道景観整備の効果の経済評価を行うとともに、景観整備内容の違いによるＷＴＰの感度分析及び支払い形態の違いによるバイアス調査を行った。これらの調査結果を踏まえ、ＣＶＭの支払い方法の設定について考察を加えた。

表―１　調査ケース一覧表

研究テーマ	ケース	調査条件の変更内容
テーマ１ 歩道景観整備内容の違いによるＷＴＰの感度分析	①案1	ゆらぎ理論を用いた景観整備
	②案2	整備費用が安価な景観整備
	③案3	整備費用が高価な景観整備
テーマ２ 支払い形態のうち、支払い回数のバイアス調査	④一括支払い案	支払いを１回限り
	⑤１年間毎月案	支払いを１年間毎月
	⑥３年間毎月案	支払いを３年間毎月

注１）テーマ１では、支払い回数は１年間毎月を採用した。
注２）テーマ２では、景観整備内容はゆらぎ案を採用した。
注３）①⑤は同一ケース

２．アンケート調査

調査は平成９年 12 月 20 日から平成 10 年１月 14 日にかけて、ゆらぎ理論を導入した歩道整備計画のケーススタディ地域としている福岡県福岡市の一般住民を対象とし、調査員が被験者宅を訪れる訪問面接方式で行った。サンプリングは各ケースとも必要被験者世帯数を５０世帯とし、３軒おきに被験者宅を訪問するエリアサンプリングを採用した。なお、グループ間に個人属性等の偏りを生ずる可能性があるため、属性に関して比率の差の統計的検定を行った。その結果、グループ間の差は認められなかった。

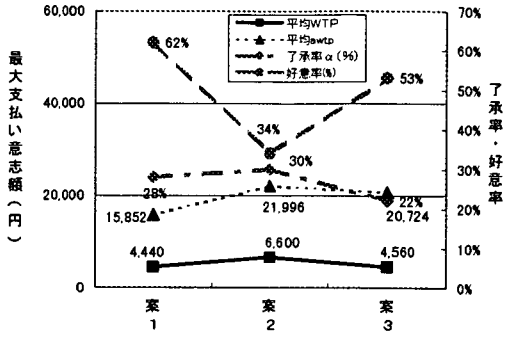
なお、ＣＧは福岡市内の国道３号線の現状写真をベースとし、植栽、カラー舗装及び照明を市販のアプリ

ケーションソフトを用いた画像合成により作成した。

3．研究結果

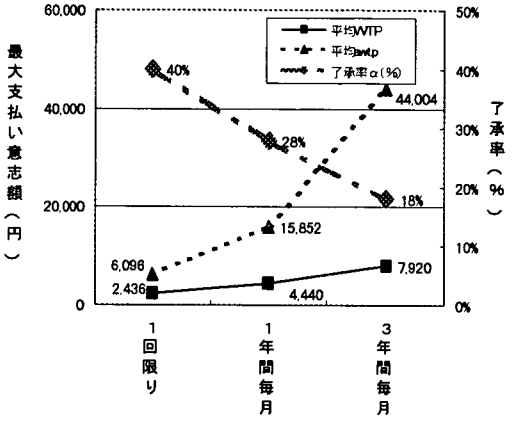
歩道の景観整備という身近な環境質の向上についての便益計測を福岡県福岡市においてＣＶＭ法で行った。その結果、第１に、歩道景観整備に対する１世帯当たり平均最大支払い意志額は、総額で 4,500 円から 6,500 円程度（支払い回数：１年間毎月）の結果を得た。

第２に、歩道の景観整備内容の差に対する貨幣タームの評価は、好き・嫌いなどの評価に比べ比較的鈍感な反応となっている。なお、案１のゆらぎ効果について今回提示した資料は静止画のみであり、その効果を十分に被験者に説明できなかった点が反省点として残った。今後、快適性などを計測する場合は、バーチャルリアリティー技術を駆使してビデオや機動性のあるノートパソコンなどを使用したアンケート手法を開発することも必要と考える。



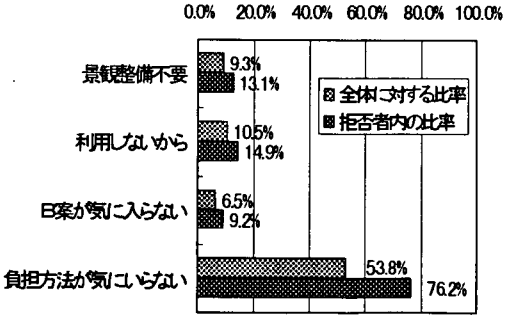
図―１　景観整備内容と経済評価

第３に、支払い回数の違いによるバイアス調査結果は、支払い回数が増えるに従い了承率は減少し、平均ＷＴＰは増加することが統計的にも確認された。既往の研究で支払い形態の決定基準として、現実性及び中立性が重要と指摘されているが、現時点では、シナリオ設計における妥当な支払い回数に関する研究事例はみられない。今後研究が必要なテーマであろう。



図―２　支払い回数のバイアス

第４に、利用価値が便益の殆どを占めるような身近な環境向上事業のＣＶＭ調査では、便益享受者が支払う点及び「どこの道路に自分の支払ったお金が使われるか」という支払対象が明確に示せる点で利用者負担の支払い形式が妥当と思われる。しかし、今回、自治会が直接各世帯の支払い了承額を徴収するというシナリオを設定したところ、全サンプルの 54%が支払い拒否理由として「負担方法が気に入らない」を挙げている。この結果は、利用者負担というこれまでと違った制度を前提とした問い方が、被験者に違和感をもたらしたためと考えられる。8 年度に実施した土地区画整理を背景にした利用者負担シナリオでは、支払い制度への違和感は顕著に認められなかったことから、土地区画整理による利用者負担シナリオを用いたＣＶＭ調査は、ＷＴＰを直接金額で尋ねられないという欠点はあるものの有力なシナリオであると考えられる。



図―３　支払い拒否の理由

一方、ＣＶＭ調査でよく用いられるＷＴＰを税金の形で支払わせる税金捻出案は、実際の支払い形態に準じており、今回のような馴染みのない支払い方法を拒絶するバイアスは殆どなくなると思われる。しかし、税金捻出案は、被験者のＷＴＰが必ずしも被験者が利用する範囲の道路にならない点などの問題がある。そのため、利用価値が顕著な環境向上施設のＣＶＭ調査における税金捻出案では、支払い対象の明確さ（ＷＴＰがどこに使われるのか）によるバイアスの調査が今後の課題である。

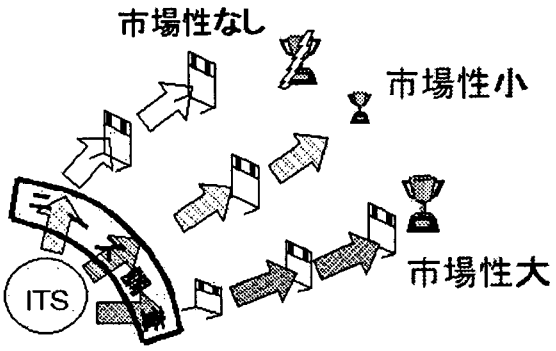
コンセプト及びアーキテクチャの設計と評価に関する調査

研究期間：平８～平９

担当：環境計画研究室　　室長：寺川　陽、　　主任研究員：並河良治

【要旨】

交通渋滞、交通事故等さまざまな交通問題の解決の切り札として、また、高度情報通新社会の先導として、さらに、新産業を創出するものとして、高度情報技術を活用したＩＴＳの開発が行われている。本調査は、アンケート調査及び懇談会を通じて、消費者の感性に訴えるサービスの質を明らかにすること及び社会・経済活動や生活様式に起こり得る変化の可能性について見通し、それを踏まえた国民のニーズを把握することにより、今後のＩＴＳ技術開発の方針設定に資することを目的としている。９年度は、懇談会及びアンケート調査を行った。その結果、ＩＴＳサービスに対する国民のニーズの一部が明らかになった。



１．研究方法

利用者に受け入れられるＩＴＳサービスとはどのようなものか。また、ＩＴＳが普及するためにはどのような課題があるのかについて、①ＩＴＳに関する論評等の文献の整理、②懇談会による意見交換及び③感性計測を行うアンケート調査によって検討を行った。

２．研究結果

２．１　文献により指摘されている課題

(1) ＩＴＳを国のためにどう使うのかを明確にすることが必要（川嶋弘尚）
(2) 必要としない人にも対応できる選択性、人や地域に合わせたシステムであるべき（中島悟）
(3) 安全の確保と事故の責任について法律上の問題がある（高羽禎男）
(4) ヒューマンファクタの観点から見た受入性、社会的受入性の検討が必要（薦田紀雄）
(5) 誘発交通需要によって交通量が増大すると経路誘導も限界、また、環境に悪影響（飯田恭敬）
(6) 既存のシステムとの整合、プライバシーの確保、便益享受の公平性等を検討すべき（藤井治樹）
(7) 運転する楽しみが失われてはならない（照井保臣）
(8) 多くの情報や操作は注意が散漫になり危険性が高まる（杉田聡）
(9) 長期的な技術の進展に柔軟に対処できる計画の立案、コストの評価が必要（高羽禎男）

２．２　懇談会で指摘された課題

(1) 建設省がまず決めなければいけないのは、理想的なビジョンやゴール
(2) ＩＴＳによって、日本的な社会システムやライフスタイルをどうするかを考えることが必要
(3) 社会的コンセンサスは政策の目的に対して得ることが大切で、手段は国が決めればよい
(4) 消費者の視点に着目すべき
(5) 移動や旅行を豊かにすることが基本。道路だけではなくすべての交通を含めて考えることが必要
(6) 交通面の日本の特徴である通勤の非常に無駄な時間をいかに節約できるかを考えることが重要
(7) インフラ整備の基礎部分を整備することで利用者の使い勝手が向上し、民間の活動が活発化

(8) 安全性の視点からも隈なくサービスが提供できるようにインフラ側が対応しておくことが必要
(9)ＩＴＳインフラが民間に開放されれば、さまざまなサービスが民間で提供される
(10)大規模な投資が必要となる分野は民間が困難な部分
(11)ハードの側面だけではなく、ソフトも合わせてトータルで考えていくことが必要
(13)ＥＴＣを高速道路だけでなく、一般道での交通需要制御に使えるようにしていく方向を考えるべき
(14)首都高速利用者にＥＴＣ装置を義務づけることができるかどうかは、価格次第
(15)「ドライバーフリー」が限定的な領域ででも実現すれば、商品化は一気に加速する
(16)車の自動運転が可能になると、何が車内で可能になるのかをもっと具体的に打ち出すことが必要
(17)自動車交通を減らすという視点も重要。鉄道やバスの新たな使い方や便利さを提案することも必要
(18)往きは車、帰りは電車でということが可能になれば、旅行のスタイルも行動範囲も大きく変化
(19)車は、「ドライビングからリビングへ」、コミュニケーションの場への転換を迎える
(20)車を生活、レジャー、家族等の行動の舞台として認識。生活を豊かにする具体的ビジョンが必要

２．３　アンケート調査で明らかになった消費者ニーズ

ＩＴＳに関連するいくつかの項目についてアンケート調査を行った。アンケート調査の概要は図－１のとおりである。その結果から次のことが明らかになった。

被験者：	総数３００人
居住地	東京、大阪、日本在住米国人各１００人）
年　齢	18歳以上（4区分各約50人
性　別	男女（各１５０人）
調査方法	面接聞き取り調査
実　施　日	平成１０年２月

図－１　アンケートの概要

(1) 移動に対する価値観

移動に関して、乗り心地、移動時間及び経済性の３つの評価項目についてそれぞれの重み付けを３組の一対比較により行った結果、表－１に示すように一番重視されているのは乗り心地であり、ついで移動時間が短いこと、最後に経済的であることであった。特に、年齢が５０歳以上のグループではこの傾向がはっきりと現れている。

表－１ 移動における評価項目の重要度

	全体	東京	大阪	在日米国人	20代	30代	40代	50歳以上
経済性	0.259	0.250	0.231	0.301	0.256	0.242	0.250	0.212
移動時間	0.332	0.341	0.346	0.309	0.339	0.357	0.353	0.322
乗り心地	0.408	0.410	0.423	0.390	0.404	0.402	0.397	0.465

(2) 自動運転に対する要望

自動運転が実現した場合に可能となる状況と現在の交通サービスの状況とを比較した結果、特に、自動運転によるサービスを要望する比率が高いものは、①経路選択の自由よりも渋滞の回避、②走行の自由度よりも安全性、③速度束縛があっても悪天候時に走行が可能であること、④速度が制約されても分合流がスムーズにできることであった。また、自動運転車でも運転免許が必要であると答えた人が 66 %いた。

(3) オプション装置に対する要望

ＩＴＳサービスを享受するために必要な装置がオプションとして備えられた場合、どのようなオプション装置をいくら程度であれば装着するかを質問した結果、最優先で装着を考える装置の第１位は、追突防止装置で、44 %の人が希望している。２位は、目的地までの道路状況が分かり、最短ルートを教えてくれるナビゲーション装置(15%)で、３位はドライバーに異常があった場合に車を路肩に寄せて停車させ、緊急連絡を取ってくれる装置(12%)、４位は現在通行止めになる濃霧時に高速道路の走行が可能となるセンサー付き速度制御装置(10%)であった。それぞれの装置に対しての支払意志額の平均は、それぞれ 19 万円、15 万円、18 万円、33 万円でセンサー付き速度制御装置に対する支払意志額が最も大きいという結果となった。

湖沼の環境創造技術に関する調査

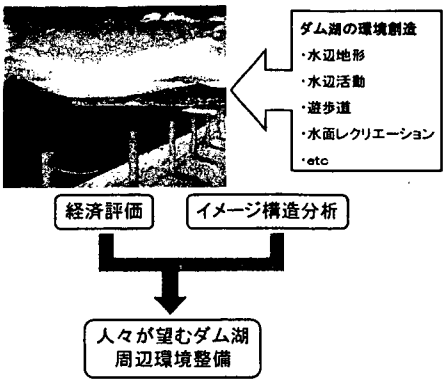
研究期間：平成５年度～平成９年度

担当：環境計画研究室　　室長：寺川陽、丹羽薫、主任研究員：並河良治、安田吾郎
研究員：小栗ひとみ、舟橋弥生

【要旨】

本研究は、良好な湖沼環境の保全・整備を図っていく上で、どのような条件の下でどのような整備をどの程度行うべきかを合理的に判断するのに資する評価手法を検討するとともに、湖沼の環境活用や創造に関する知見の総合化を行うことを目的としている。

５～７年度は湖沼に関わる環境便益を評価するため、様々な経済評価手法に関して適用の検討を行った。また、仮想金銭化法の1手法である二分選択仮想金銭評価法については実際にアンケート調査を行い、その適用について検証を行った。



研究イメージ図

８年度は、ダム湖周辺環境に一般の人々が抱くイメージの構造を明らかにするために、つくば市及び東京在住の被験者を対象としてダム湖の周辺環境を形成するレクリエーション施設について人間の感性を定量評価する手法の1つであるＳＤ法及び意志決定の際の重要度の測定を行う手法の1つであるＡＨＰによるアンケート調査を行った。その結果、ダム湖で行う活動のなかでは、水辺活動がもっとも重要とされているのが明らかになった。

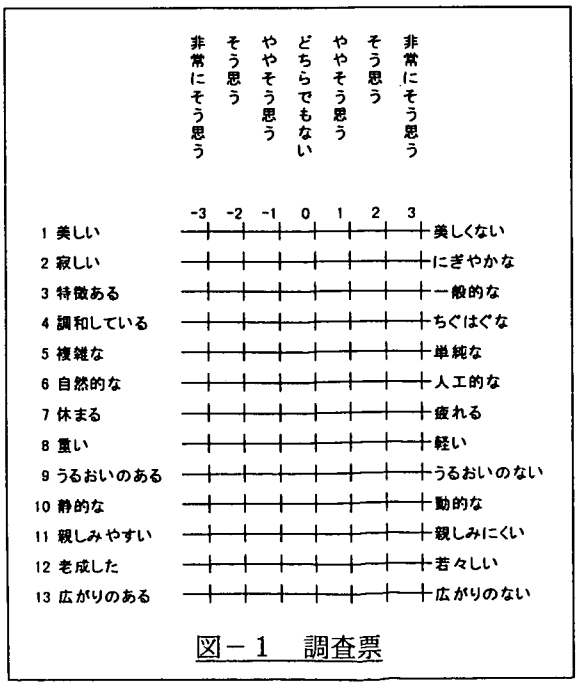
９年度は、ダム湖の環境機能増進を目的とした周辺施設整備の計画設計に際して望まれる整備イメージについてさらに詳細に分析をするため、ダム湖周辺施設整備に関わる各要素についてＳＤ法によるアンケート調査を行った。その結果、東京、盛岡でダム湖沼に関するイメージに差があることが明らかになった。

１．研究方法

ダム湖の景観に対してＳＤ法[1)2)]を用いたアンケート調査を行った。

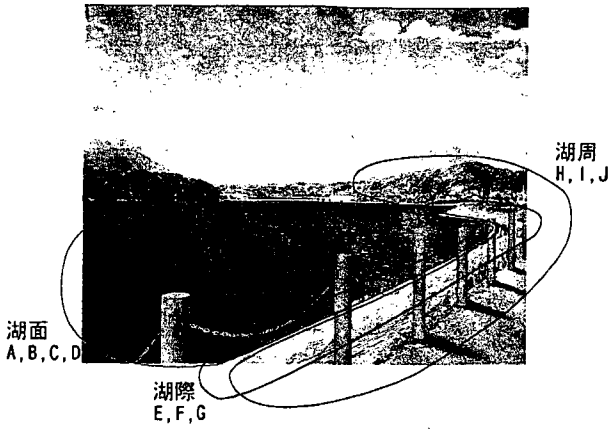
アンケートに用いたダム湖は調査内容を考慮し、都市部からアクセスがしやすく、ある程度レクリエーション施設が充実しているダム湖として岩手県盛岡市の中心部から約12kmのところにある御所湖を選定した。ＳＤ法のアンケートに用いた形容詞は既往の研究[3)]で用いられたものを参考に、環境計画研究室のメンバーによるブレーンストーミングを行った結果をふまえて選定した（図―１）。

被験者は、20～60歳までの男女を対象とし、①ダム湖のレクリエーション利用に関して具体的なイメージを有する被験者として、御所湖に２回以上行ったことのある盛岡市住民59人。および、②ダム湖を訪れる機会が比較的少ない地域の被験者として東京都住民65人とした。



図－１　調査票

調査には、表-1に示す37枚のスライドを用いた。各スライドは、他の不要な条件を排除するため御所湖のある1点から撮影した写真を基に表—1に示したカテゴリー1つのみの変更を行ったものをCG合成して作成した（図—2）。なお、ベース写真のカテゴリーは、水の色（濃い青）、水辺地形（コンクリート）、護岸材料（コンクリートブロック）、高欄（擬木チェーン）となっている。



図－2　ベース写真

2．研究結果

2．1　好感度

8年度の研究[3]により、ダム湖に遊びに行く際のダム湖の選定は「好きな－嫌いな」指標と大きな関係があることが明らかになっている。そこで各スライドについて好感度を求めた（表—1）。

表－1　スライド一覧(下段に好感度［東京］/［盛岡］を記す。)

	アイテム		1	2	3	4	5	6
湖面	A	水面の色[注1]	濃い緑	薄い青	濃い青	薄い緑		
		好感度(%)	53.8/53.3	13.8/15.0	52.3/48.3	21.5/20.0		
	B	水面レク	ウインドサーフィン	手漕ぎボート	カヌー	プレジャーボート		
		好感度(%)	38.5/50.0	36.9/38.3	47.7/38.3	20/25.0		
	C	噴水	高い	放射状	中			
		好感度(%)	36.9/48.3	29.2/36.7	27.7/36.7			
	D	水鳥[注2]	白鳥	小水鳥				
		好感度(%)	61.5/70.0	35.4/33.3				
湖際	E	水辺地形	コンクリート	自然石	植生	砂地形		
		好感度(%)	47.7/43.3	35.4/21.7	63.1/53.3	69.2/66.7		
	F	水辺活動	水遊び	釣り	散策			
		好感度(%)	64.6/49.2	38.5/33.3	35.4/31.7			
	G	護岸材料	コンクリートブロック	階段護岸	植生護岸	礫根固		
		好感度(%)	36.9/33.3	40.0/40.0	69.2/60.0	49.2/40.0		
湖周	H	遊歩道	レンガタイル1	砂利	インターロッキング	カラーコンクリート	レンガタイル2	
		好感度(%)	43.1/33.3	36.9/28.3	36.9/28.3	33.8/20.0	35.4/26.7	
	I	高欄	木製高欄	鋼製(細白)	擬木チェーン	高欄なし	石チェーン	アルミチェーン
		好感度(%)	90.8/86.7	55.4/51.7	46.2/50.0	75.4/51.7	56.9/53.3	36.9/28.3
	J	法面(湖周道路)	コンクリート法面	修景法面				
		好感度(%)	21.5/31.7	33.8/91.0				

注1) 水面の色について湖面中央部をマンセル色票を用いて計測した値は以下のようになっている。
1.濃い緑:5G8/2(近似) 2.薄い青:2.5PB8/3(近似) 3.濃い青:10B7/8(近似) 4.薄い緑:2.5BG7/6(近似)。
注2) 水鳥については、1.白鳥:白鳥 2.小水鳥:ミコアイサを用いた。

全体的に好感度が高いのは木製高欄、砂地形、白鳥、植生護岸、高欄なし等であり、好感度が低いのは、水面の色(薄い青、薄い緑)、自然石地形、アルミチェーン高欄、コンクリート法面等であった。

各々の地域で好感度が高いものから列挙すると、盛岡では修景法面、木製高欄、白鳥、砂地形及び植生護岸であった。東京では木製高欄、高欄なし、植生護岸、砂地形及び水遊びであった。

2．2　因子分析

盛岡、東京を総合して因子分析を行った。因子の解釈のためには、いくつかの変量は絶対値の大きい因子負荷量をもち、残りの変量の因子負荷量はゼロに近いという形をとるのが望ましいため、因子軸の座標変換法の一つのバリマックス回転を適用した。形容詞対については、総合指標である「好きな－嫌いな」を除いた13指標を用いた。その結果、3つの因子軸を抽出した。第1因子の代表的な形容詞は「休まる－疲れる」「親しみ－親しみにくい」などであり『やすらぎ』(-)と命名し、同様に第2因子は「老成した－若々しい」「静的な－動的な」などであり『活動性』(+)、第3因子は「複雑な－単純な」「特徴的な－一般的な」などであり『単純さ』(+)と命名した。

第一因子の『やすらぎ(-)』を横軸に、第2因子の『活動性(+)』を縦軸に因子得点プロット図を作成した。（東京の凡例を白抜き、盛岡を塗りつぶしで表記し、グラフ中の数字は表－1に対応している。）

3．考察

好感度でみる盛岡と東京の違いは、主にレクリエーション嗜好の違いと、自然というものの認識の違い及び自然とのふれあいに対する希求の違いによるものであると思われる。

次に好感度と因子得点プロット図（図－３～図－５）により、ダム湖の景観イメージについての考察を行った。

検討の便宜上、表－１に示すようにダム湖景観を構成する景観要素を、湖面、湖際及び湖周に３分類し、それぞれを構成する要素について分析を行うこととした（図－２参照）。

(1) 湖面（水面の色、水面レクリエーション、噴水、水鳥）

①水面の色（濃い緑、薄い青、濃い青、薄い緑）

深みのある色は好感度、やすらぎ共に高い。水面の色は色の濃さ、深みが重要な意味を持つと考えられる。

②水面レクリエーション（ウィンドサーフィン、手漕ぎボート、カヌー、プレジャーボート）

ウィンドサーフィン、カヌーは好感度、やすらぎ共に高い。東京と盛岡でウィンドサーフィンの好感度の差が大きい。またアイテム間のカテゴリーの順位が逆転している。

③噴水（高い、放射状、中）

全体的に活動性が高い。高い噴水は好感度が高く、アイテムの中ではやすらぎが低く東京より盛岡の方が好感度が高い。

④水鳥（白鳥、小水鳥）

白鳥は好感度、やすらぎ共に高く、盛岡の方が白鳥に対する好感度、やすらぎが高い。

(2)湖際（水辺地形、水辺活動、護岸材料）

①水辺地形（コンクリート、自然石、植生、砂）

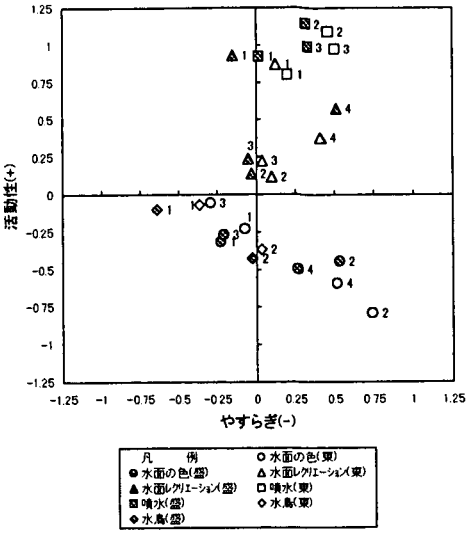
植生地形、砂地形は好感度、やすらぎ共に高い。自然石地形のみ好感度、やすらぎ共に低く、不自然に放置された自然石の固いイメージが評価を下げていると思われる。

②水辺活動（水遊び、釣り、散策）

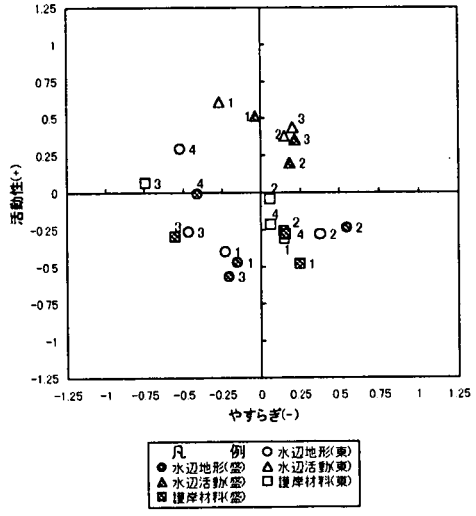
水遊びは好感度、やすらぎ共に高い。釣り、散策は好感度、やすらぎ共に低い。水遊びは東京の方が好感度、やすらぎ共に高く、水辺に近づける整備が望まれていると思われる。

③護岸材料（コンクリートブロック、階段護岸、植生護岸、礫根固）

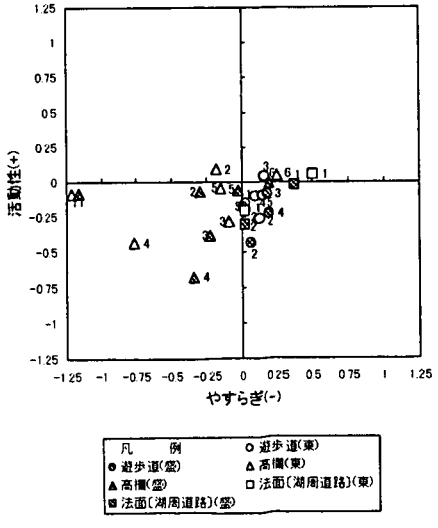
植生護岸は好感度、やすらぎ共に高い。また東京の方が好感度、やすらぎ共に高い。残りの要素は植生護岸と比較すると好感度、やすらぎ共に低く、中でもコンクリートブロックに対する好感度が最も低い。



図－３ 因子得点プロット図（湖面）



図－４ 因子得点プロット図（湖際）



図－５ 因子得点プロット図（湖周）

(3)湖周（遊歩道、高欄、周辺景）

①遊歩道（レンガタイル１、砂利、インターロッキング、カラーコンクリート、レンガタイル２）

全体的に好感度、やすらぎ、活動性ともに低い。中でもカラーコンクリートの好感度が一番低い。

②高欄（木製高欄、鋼製（細白）、なし、擬木チェーン、石チェーン、アルミチェーン）

アルミチェーン以外は好感度、やすらぎ共に高く活動性が低い。高欄なしは東京の方が好感度、やすらぎ、活動性ともに高く、開放感が高く評価されているものと思われる。

③周辺景（コンクリート法面、修景法面）

修景法面は、コンクリート法面に比べて好感度及びやすらぎが高い、また盛岡の好感度が非常に高い。一方、コンクリート法面は好感度、やすらぎ共に低い。具体的なダム湖景観のイメージを有する被験者の多い盛岡では、目につきやすい周辺部の法面の修景により好感度の向上を図れるものと思われる。

４．まとめ

ダム湖の環境機能増進を目的とした周辺施設整備に際しての望まれる整備イメージを分析する手段として、御所湖を対象としてＳＤ法による評価のケーススタディを実施した。主な結果は次のように整理できる。

(1)水面レクリエーション、水辺活動等で東京と盛岡の被験者間でレジャー嗜好の違いが見られた。

(2) 東京の被験者は盛岡に比べて自然、自然とのふれあい、開放感に対する評価が高く、人工物については評価が低くなる傾向がみられた。自然度の低い都市域ほど自然環境への希求が強い[1] ことが、ダム湖に対してもあてはまると言える。

(3)植生護岸等の整備の方が、整備前の自然を放置した植生地形よりも評価が高い。

(4)やわらかいイメージの自然素材を用いた整備の評価が高く、固いイメージの素材の評価が低い。

５．主な研究成果物

1)安田吾郎、丹羽薫、森本浩之：環境の経済評価手法について－仮想金銭化法と戦略的バイアスへの対応－，土木技術資料，VOL.36，NO.12，pp.26-31，1994.12

2)竹林征三、安田吾郎：河川経済調査手法の体系化の現状と今後の課題，水文・水資源学会誌，VOL.8，NO.1，pp.19-37，1995.1

3)並河良治、丹羽薫、竹林征三：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回世界湖沼会議論文集，VOL.3，pp.1313-1316，1995.10

4)舟橋弥生、寺川陽、並河良治、畑原隆司：湖沼のレクリエーション利用におけるイメージ構造の分析，土木計画学研究・講演集，NO.20(2)，pp.667-670，1997.11

<参考文献>

1)Osgood,C.E.et althea： Measurement of Meaning,1957

2)岩下豊彦：ＳＤ法によるイメージの測定,川島書店,1983

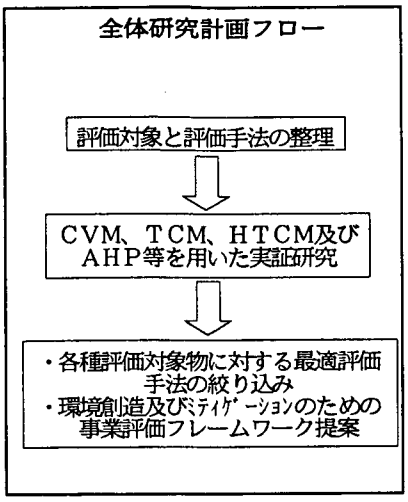
3)田中奈美、土肥博至：レジャー環境についての心理学的特性と空間類型の抽出、日本建築学会計画系論文集No.479、pp.179-188,1996.1

4)国民生活白書：平成5年版,経済企画庁,1993

湖沼の環境評価に関する調査

研究期間：平成６年度～平成10年度

担当者　：環境計画研究室　　室長：寺川　陽、主任研究員：並河良治、研究員：舟橋弥生



【要旨】

本調査は、環境のような非市場財の評価手法として旅費法、ヘドニック法、ヘドニック旅費法及び仮想金銭化法などの様々な調査法について他の評価法と比較を行うとともに実用上の課題を整理し、環境評価を行う際の指針を形成することとを目的としている。

９年度は、環境評価の対象としてレクリエーション環境を取り上げ、その一例としてスキー旅行について、ヘドニック旅費法（ＨＴＣＭ）及び仮想金銭化法（ＣＶＭ）を用いた調査を並行的に行い、両手法から得られる結果の比較検証を行った。さらに、階層的意志決定法（ＡＨＰ）も同時に適用して各評価要因の重みを計測し、ＨＴＣＭとの比較を行った。

１．　研究方法

１．１　環境評価手法の概要とアンケート調査内容

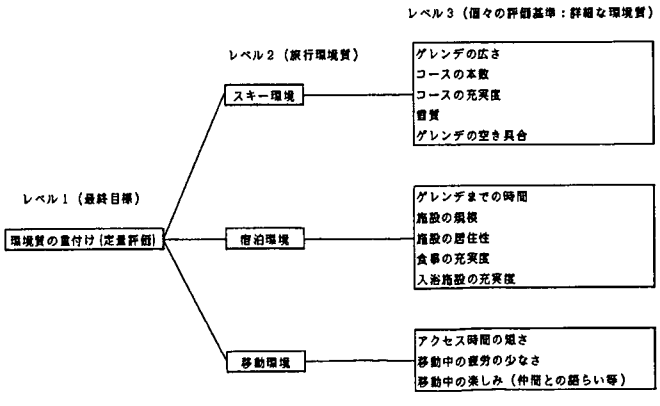
ＨＴＣＭは、レクリエーション環境の価値（スキー旅行の価値）をＴＣＭと同様に旅費（一般化費用＝実費＋移動時間価値）と定義する。また、ＨＰＭと同様にその価値は、その価値を決定する種々の要因（スキー旅行の環境質）の関数で表現されるとし、多変量解析モデルを構築することで、環境質の重要度比較や環境質の変化分の経済価値を推計する手法である。アンケートでは、直近３旅行についての旅行属性（スキー場名、日程、移動手段、各種費用等)、ゲレンデ環境、宿泊施設環境及び移動環境等について、また、旅行満足度と旅行関心度（何を期待していたか）についても調査した。

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

Ｐ：一般化費用(目的変数)、a_0, a_j：パラメータ(定数項,偏回帰係数)、z_j：環境質の値（説明変数）

ＣＶＭは、仮想のシナリオを用いて環境質の変化を説明するとともに、その変化分の価値（ＷＴＰ：最大支払い意志額）を直接被験者に問う手法である。アンケートでは、一泊二日の友人との自動車旅行を前提条件とし、ゲレンデ規模約２倍、温泉の有無及び移動時間が１時間少ない場合について各々仮想シナリオを設定し、ＷＴＰを調査した。

ＡＨＰは、人の意志決定において、問題の要素を最終目標･評価基準（スキー旅行の環境質）･代替案（またはより詳細な評価基準）の関係でとらえ、階層構造に作り上げる。そして、「要素ｉは要素ｊに比べてどのくらい重要ですか」という一対比較を実施し行列の固有値を解くことにより、最終目標からみた評価基準または代替案のウェイトを求める手法である。アンケートでは、ＣＶＭと同様の一泊二日の友人との自動車旅行を前提条件とし、図―１の階層に基づく一対比較調査を行った。



図―１　ＡＨＰ階層構造図

１．２　アンケート調査

調査対象は江東区、台東区、江戸川区及び葛飾区のスキー旅行を経験している一般住民を対象とし、サンプリングは住民基本台帳からの無作為抽出を行い、さらに往復はがきによるアンケート協力承諾者を 300 人抽出した。調査方法は、ＨＴＣＭとＡＨＰは留め置き法、ＣＶＭは面接調査を採用した。

２．　研究結果

２．１　ＨＴＣＭ

旅行の評価は、利用回数、日程及び移動手段等の違いによりバラつくことが予想されるため、解析対象を当該スキー場利用 10 回目以上かつ宿泊旅行とし、また、移動手段に関し自動車と鉄道利用に分けて重回帰分析を行った。その結果、自動車利用ではｹﾞﾚﾝﾃﾞ面積、ｺｰｽ本数、積雪量、駐車台数及び総入れ込み客数の説明変数が危険率 5%以下で有意かつ符号条件も満足し、重相関係数が 0.70 と良好な結果を得た。一方、鉄道利用では重相関係数が 0.50 となり、ｹﾞﾚﾝﾃﾞ面積のみが危険率 5%以下で有意な説明変数となった。

２．２　ＣＶＭの結果とＨＴＣＭとの比較

ゲレンデ規模（面積とコース本数）が約２倍の場合、リフト券がいくらまでなら高くなってもいいかを反復付け値法により調査した結果、平均ＷＴＰは約 1,000 円となった。一方、HTCM の重回帰モデルから同様のゲレンデ条件変化分の貨幣価値を算出すると約 600 円となり、ＣＶＭの約 1／1.6 の結果となった。

宿泊施設に温泉が有る場合、無い場合よりいくらまでなら宿泊費が高くてもいいかを反復付け値法により調査した結果、平均ＷＴＰは約 1,700 円の結果となった。一方、HTCM では別途温泉の有無などの入浴施設の満足度をダミー変数として説明変数に追加し重回帰分析を行った結果、温泉を有する価値は約 1,600 円となり、ＣＶＭ結果とほぼ整合した値となった。

移動時間が１時間近いゲレンデがある場合、１時間遠いゲレンデよりリフト券がいくらまでなら高くても近いゲレンデを選択するかを反復付け値法により調査した結果、平均ＷＴＰは約 500 円となった。一方、HTCM において旅費算出に採用した時間単価は 2,342 円／時（＝平成６年度の東京都民所得合計／東京都民年間総実労働時間）である。ＣＶＭの結果は賃金ベースの約 21%となっており、既往研究で示されている「移動時間価値は賃金の 25～50%を見る」という内容とほぼ整合した値となっている。

２．３　ＡＨＰの結果とＨＴＣＭとの比較

ＡＨＰにおけるレベル３の重要度は、１位がゲレンデ空き具合、２位が移動時間の短さ、３位が移動の疲労の少なさとなった。一方、HTCM の重回モデルの標準偏回帰係数の絶対値の大きさは、１位は総入れ込み客数、２位が駐車台数、３位が混雑度の結果となり、両手法とも、ゲレンデの混み具合に関する環境質が、旅行の評価の最も重要な要素となっている点で一致している。

２．４　まとめ

ＨＴＣＭでは、各環境質の供給量が基本的に自然条件に依存する場合、価格と環境質の限界便益の均衡が達成されない懸念が指摘されている。本調査では、スキー旅行というレクリエーション環境の価値をＨＴＣＭにより評価し、重相関係数 0.70 の重回帰モデルが得られた。この結果から、人工的な環境向上を享受するレクリエーションサイトであれば、環境質の向上に対する限界便益と旅費はある程度市場メカニズムに沿った均衡条件が満たされ、ＨＴＣＭによる環境評価は可能と言えよう。

ＨＴＣＭとＣＶＭによるゲレンデと宿泊に関する環境質の変化に対する経済評価では、今回は概ね一致をみたが、両手法とも結果の安定性に問題があり、引き続き手法の適用性についての研究が必要である。

ＨＴＣＭとＡＨＰによる環境質の重要度比較では、旅行を評価するうえで最も重要な環境質は一致した。しかし、ＡＨＰの有効回答率は 17%と低く、レベル３の評価基準項目の選定方法が課題として残った。

Ⅰ-2　環境アセスメント技術に関する調査研究

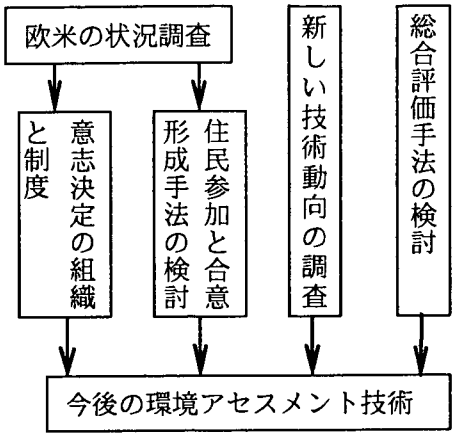
環境アセスメント技術に関する研究

研究期間：平５～平９

担当：環境計画研究室　　室長：寺川　陽、　　主任研究員：並河良治、安田吾郎
研　究　員：長野幸司

【要旨】

本研究は、建設事業における環境の内部目的化の理念に合致した環境アセスメント技術のあり方を検討することを目的とするものである。９年度は、アセスメントのキーワードの一つである住民参加と関わりの深い合意形成手法に関して諸外国の事例を踏まえて、日本における望ましい合意形成のあり方について検討を行った。その結果、アセスメントを含む事業実施における合意形成手法は、各国の国情により大きく異っており、日本においても、我が国の社会・文化・風習に則したものとすべきことが示唆された。



1　研究方法

環境アセスメントに関し、(1)諸外国の制度の現状と動向を調査し、(2)環境アセスメントに関連する技術開発の動向を整理し、(3)環境アセスメントにおける総合評価の手法の検討を行い、(4)合意形成を図る手法の検討を行うことにより、今後の環境アセスメントのあり方を総合的に検討する。その際、諸外国の状況について文献収集等に基づいて調査するとともに、総合評価の手法については、アンケート調査実験により手法の適用性について検証を行った。

2　研究結果

2．1　諸外国の制度と現在の動向

2．1．1　米国の環境アセスメント

(1) 制度の概要

米国における、環境アセスメントの根拠法令は、(1)国家環境政策法（NEPA: The National Environmental Policy Act)、(2)ＮＥＰＡ施行環境質委員会規則及び(3)連邦機関に NEPA の実施を求める環境の質の保護と向上に関する大統領令 11514 号（大統領令 11991 号にて修正）の３つである。NEPA が環境アセスメントの実施を規定する根拠法令であり、NEPA 施行規則はその実施の詳細について定めたものである。また、大統領令 11514 号は、各連邦政府機関に対して公衆の関与の仕方に関する手続きの制定を求めること等を定めている。

(2) 環境アセスメントの実施対象

環境アセスメントの実施が必要になる対象は「人間環境の質に相当な影響を与えるような法案その他主要な連邦政府の行為」と規定している。主要な連邦政府の行為の中には、連邦が行う主要な事業の他に、連邦の許認可を要する事業、法規の制定を含む連邦の政策決定等が含まれている。環境アセスメントの実施対象に関して明確な規定はなく、連邦の各機関でマニュアルを作っている。

(3) NEPA における注目される諸制度

1) スコーピング（絞り込み）

スコーピングとは、環境アセスメントの中で検討すべき事項を絞り込む過程のことを指す。具体的には、

アセスメントの実施前の段階で、当該プロジェクトの影響を受ける連邦機関、自治体、住民等から懸念事項や代替案に関して、会議、電話、手紙等を通じて聴取し、そこで収集された事項を環境アセスメントのプロセスの中に取り入れていくものである。スコーピングは、評価書作成後の不足事項の指摘や住民等の関心事項との乖離を極力無くすとともに、不要な検討項目に労力をかけないために行うものと言える。

2) 代替案の検討

スコーピングの過程等を通じて抽出された代替案について、(1)全ての合理的な代替案について十分な検討を加えること。また、詳細な検討を行わない代替案についてはその理由を記すこと。(2)主導政府機関の所管外であっても合理的な代替案を含めること。(3)行為を行わないという代替案を含めること。(4)提案行為又は代替案に、元々は含まれていない適当な保全措置を含めて検討すること。以上の各条件を満足する形で便益の比較分析を行い、結果を提示するべきことが規定されており、恣意的な代替案の選択を防いでいる。

3) 政府内の役割分担とティアリング（階層化）

環境アセスメントの実施に当たっての役割分担として、導政府機関と協力政府機関に関する規定がある。しかし現実には、主導政府機関がまとめて一つの環境アセスメントを実施できるとは限らず、また、広域計画とその部分としての詳細計画の各々を時期をずらし別の環境アセスメントとして実施する場合もある。このような場合の重複作業を不要とする規定が階層化（ティアリング）である。ティアリングに関する規定では、ある環境アセスメントで解決済の事項は、その後の環境アセスメントでは前の環境アセスメントの要旨を参考資料として載せれば十分とされている。

4) 公衆の関与

環境影響評価書に対する公衆からの意見聴取手続として、環境影響評価書縦覧、意見の表明、公衆の関与及びスコーピング参加者に関して規定がある。公衆が関与する最初のプロセスはスコーピングである。この段階では、参加する公衆は利害関係者のみとされている。広範な公衆の関与が行われるのは、環境影響評価書案が作成された段階である。

米国では広範な公衆に意見表明の機会が与えられるが、一方で、公衆の側も、ただ「反対」といった意見は許されず、提案行為についての意見は可能な限り具体的であることが要求されている。

5) 学際的アプローチの採用の強調

ＮＥＰＡの目的達成のために、各連邦機関はシステマテックで学際的なアプローチを採用すべきこととされており、スコーピングの実施等の際には必ず各分野の専門家が参加するようになっている。

6) 評価書作成事務軽減策

従前の評価書が膨大で要点が不明瞭となる場合が多いことの反省から、他の手続き等との重複をなくすとともに、問題の核心に触れることを中心としてコンパクトに評価書をまとめることを求めている。

7）意思決定機関について

政府機関のいずれかの部局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名からなる環境審議会（ＣＥＱ）に申し立てを行うことができる。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。

２．１．２　ＥＵ（Europian Union）の環境アセスメント

ＥＵにおける環境アセスメントは、基本的には加盟各国の国内法に基づいて行われているものである。しかし、ＥＵの前身であるＥＣ(Europian Community)は、1985年に環境アセスメントの実施に関する理事会指令（以下、ＥＣ指令と呼ぶ）を出した。加盟各国は、このＥＣ指令に沿った内容の国内法整備を行ってきており、加盟各国の制度は現在ではこの指令に準拠した形になっている。ＥＣ指令への対応

手法は各国により異なっている。ドイツは、ほぼＥＣ指令通りの内容の国内法を整備をし、英国は、基本的には都市農村計画法等の既存法の枠の中に環境アセスメントに関する規則を新たに制定することで対応した。また、フランスは、特に何らかの新しい対応なしでＥＣ指令に対応した。

２．１．３　環境アセスメントに関する世界の動向

環境アセスメントは、ともすれば外部効果として見なされがちな環境への影響を内部化し、社会的純便益を最大化するための一つの有効な検討のプロセスであると考えられる。このような考え方を反映して、環境アセスメントの中に、国民経済的視点を取り込んでいくという潮流がある。「戦略的環境アセスメント」は、この流れを受けた仕組みである。

(1) 戦略的環境アセスメント（SEIA）

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

このように幾つかの国においてSEIAが実施されているが、このアセスメントの過程を制度化することについては諸外国でも対応が分かれている。

２．２　海外の技術動向の概況

今後我が国でアセスメントに係る技術開発を進める参考として、平成６年６月に開催された「影響評価の25年の歴史を振り返り未来を考える」と題した国際影響評価学会(IAIA)の学会において設定されたテーマ群（地理情報システム(GIS)技術の応用、リスク分析、事後環境調査計画、可視化技術、外部効果の金銭評価、社会影響評価技術、争論調停技術、廃棄物管理に係わる調停方法、意志決定支援ソフトウェア等）のうち、ＧＩＳ、意志決定支援ソフトウェア及び社会影響評価技術を取り上げた。

２．２．１　ＧＩＳ技術の応用

ＧＩＳとは、定められた地形記述フォーマットで記述された位置情報を因子として持つデータベースのマネージメントシステムであり、一定要件を持ったデータの抽出、重ね合わせ、その他の位置情報をキーとした各種演算、そして各種属性図の合成出力等を実現するものである。

環境アセスメントで収集する数十枚～数百枚の各種の環境属性データ図面がデジタル化されていれば、ＧＩＳソフトと、必要な解析・評価プログラムを組み合わせることによって、植生影響予測、植生自然度評価、景観評価等の業務を容易に行える。特に、代替案毎にモデルを作る場合のような繰り返し計算が必要になる場合には、ケース毎に固有モデルを構築する場合に比べて作業速度が格段に速くなる。米国や欧州では環境アセスメントにＧＩＳが活用されている。

ＧＩＳ応用の制約として、基図作成やハードウェア・ソフトウェアの費用の高さ、解析ツールの未整備等があげられるが、それらの制約は解消されつつあり、今後ＧＩＳは、環境アセスメントの実施の上で一層重要なツールとなっていく可能性が高い。

２．２．２　意志決定支援ソフトウェアの応用

環境アセスメントにおける各種の意志決定に際しては、様々な環境要素、工費、工期、安全性等非常に多くの複雑な因子を考慮した検討が求められる。その際、各種情報から一定の評価を導くツールやチェックすべき事項を洗い出すツールがあれば、意志決定に影響を与える因子群を単純化して問題の所在をわか

りやすくしたり、考慮すべき因子の見落としを防いだりするのに効果がある。このような機能を持つソストウェアが意志決定支援ソフトウェアである。このようなソフトウェアの開発が各国で行われているが、環境アセスメントに係わる意志決定には、多くの要因が絡まり、それらの中にはその場所に固有の条件に係わるものも多く含まれるのが通常であることや因果関係が未解明の問題を含むことも多いこと等から熟練した専門家に匹敵する判断ができるソフトウェアが今後すぐに登場するとは考え難い。しかし、そのような限界を理解した上で、一定の精度で評価を迅速に行うことのメリットを多数の代替案の比較分析や計画初期段階における簡易な環境影響の評価などに応用できる可能性はある。また、習熟度の浅い技術者にとっての有効な教育ソフトにもなり得るであろう。

2．3　総合評価手法の検討

総合評価手法の検討として、ＡＨＰ(階層化意志決定法：Analytic Hierarcy Process)及びグレード評点方について、仮想的な状況を設定したアンケート調査からそれらの手法がどの程度直感的な評価と一致するのか、また、被験者の属性によって回答がどのように変化するのかの検証を行った。

2．3．1　アンケート調査概要

アンケート調査は、集合面接方式でビデオによる説明により行った。被験者の属性は、表－１に示すとおりである。質問の内容は、仮想的な地域における規格の高い道路の新設事業に関するもので、通過するルートにより３つの案を示した。また、比較項目は、表－２に示す 10 項目である。これらの中から、被験者はＡＨＰ、グレード評点法及び直感の３種類により代替案選択を行った。

表－１　被験者の属性

年　齢				20	30	40	50	60	計
有識者				2	3	3	1	1	10
一般市民	性別	男性	都市部	2	2	2	2	2	10
			農村部	2	2	2	2	2	10
		女性	都市部	2	2	2	2	2	10
			農村部	2	2	2	2	2	10

表－２　比較のための説明項目

大項目	小項目
事業の進め易さ	事業費
	関係者への対応
整備効果	市街地の通過時間
	市街地へのアクセス性
	将来の土地利用
生活環境	沿道環境
	交通渋滞
自然環境	貴重種
	一般の動植物
	洪水への対応

2．3．2　調査結果

何らかの手法により総合化した結果と直感による結果が大幅に違うならば、その手法への信頼性は保たれない。本調査では３種類の代替案評価法でそれぞれどの程度の選択確率になるかを比較することにより、直感と他の２手法が同じ選択結果となるのか、また、関連する知識の量で違いはあるかを検証した。それらの結果を示したものが表－３である。この結果を見ると、有識者の場合直感と他の２手法で同じ選択結果となった人が 30 ～ 40 %とかなり低い割合となっている。今回の調査では、有識者の数が 10 人と少なかったためにこの結果から結論を出すことは危険であるが、知識に基づく分析的な判断は人の直感と異なったものとなる可能性があることが想像される。

表－３　総合評価手法間の整合性　(%)

	ＡＨＰ	ｸﾞﾚｰﾄﾞ評点法	直　感
ＡＨＰ	－	７１	６１
ｸﾞﾚｰﾄﾞ評点法	７０	－	６８
直　感	３０	４０	－

注：表の右上は一般市民、左下は有識者

2．4　住民参加と合意形成

2．4．1　日本における住民参加の現状

現行の閣議決定に基づくアセスメント制度では、住民が意見を述べる機会は環境影響評価準備書が公告・縦覧されている期間（１ヶ月）とその後の２週間のみである。平成９年６月に制定された環境影響評価法の規定では、従来の手続きに加えて、アセスメントの調査方法に対して住民の意見を聴取するプロセスが加えられたが、住民が事業計画の段階から参加するというものではない。

一般の住民は、公共事業の実施に関わりを持つ機会が極めて少ないため、環境アセスメントの事業説明会

において何が論点となっているのか、また、その場の役割がどのようなものであるのか十分に理解できていないことが多い。

２．４．２　欧米における住民参加と合意形成

(1) 米国

米国では、事業に関心を持つ人々とコミュニケーションを図るため、事業実施の比較的早い段階から、規模の大きな公式の集会から規模の小さな専門的・技術的な集まりまで、さまざまな形式の会合が開かれている。一般住民が参加する集会には(1) 公聴会、(2) 公開会合、(3) オープン・フォーラム、(4) ワークショップ、(5) テクニカル・ワークショップ及び(6) シャレットがある。

米国では、これらさまざまな会合をプロジェクト実施のさまざまな段階で開催しているが、これまでの経験から、早期からの住民参加によって手続きや事業の進捗に関してコンセンサスを得ることが事業の早期実施に繋がることを理解しており、できるだけ早い段階からコンセンサスを得るように推奨している。そのため、住民とのコミュニケーションと相互理解、さらには、可能な限りコンセンサスを得る技量、姿勢及び行動様式を重要なものとしている。制度的にも合衆国法典、情報自由法及び行政手続き法により計画課程における住民参加を規定している。また、ＮＥＰＡでも、住民等の意見に対して、(1)提案された行為を含む代替案の変更、(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)事実に基づいて修正、(5)回答をしない場合はその理由について説明、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して、行政のアカウンタビリティを高める工夫をしている。

(2) 英国

英国では、事実上、公開調査会(Public Inquiry)がプロジェクト案を討議するために開かれる唯一の公開会合となっている。あるプロジェクトに対して、「法定異議申立人」（地方当局、公益事業者及び関連財産所有者）が異議を申し立てた場合、公開調査会が開かれる。公開調査会は、誰もが発言を許される民主的な課程であるにもかかわらず、合意形成は絶対的要件とはされていない。公開調査会に関係した問題の発生から、新たな住民参加の方式として予備設計の段階で行われる「円卓会議」の実施が検討されている。

(3) フランス

フランスにおける市民参加は、1992 年以降市民参加に関する委員会が設置されるようになり、委員会としてプロジェクトの構想が打ち出されてから公開討議、公開調査会の過程を経て、一般市民の利用に供するとの宣言があるまで監視という形で関与できるようになったが、実質的に一般市民が関与できるのはアセスメントが終了してから始まる公開討議（プロジェクトの提案書の提示）の段階からとなっている。公開討議に続いて公開調査会が開催され、一般市民は公聴会の事前に提案書に対する意見を書面又は口頭で述べることができる。公聴会では、それらの意見が提示され、公聴会の後調査官は、結論報告書と提案書を担当大臣に提出する。フランスにおいても合意の達成が事業実施の必須条件とはされていない。

(4) ドイツ

ドイツでは、プロジェクトの種類や規模により異なっているが、環境アセスメントが実施される場合、公聴会が開かれ、一般市民は計画に懸念があれば口頭か書面で意見を述べることができる。公聴会は、公聴会事務局が運営するが、事務局は一般市民と事業推進当局の仲介者的な立場であり、一般市民からの意見を受けて計画を修正するように勧告するが、事業推進当局はそれを受け入れることは強制されない。つまり、このような手続きを通じて合意形成を達成することが必須条件とはなっていない。

２．５　日本の文化・意識特性

世界のさまざまな地域には地域固有の文化や価値観がある。日本は、東洋の価値観エリアに分類され、そこでは、感謝、平穏、謙遜、集団への責任などの価値観が重要視されている。一方、米、英、仏、独などは、

欧州文化圏に分類され、個人主義、時間厳守、積極性などの価値観が重視されている。このように、日本と欧米諸国では、重要視されている価値観が異なる。住民参加と合意形成を考慮する場合、これらの住民の価値観を無視して制度化することは混乱を招くと考えられる。欧米の諸制度を日本に導入するに際しては、十分な留意が必要とされるゆえんである。

2．6　日本における住民参加と合意形成の前提

日本において、いつから住民参加を開始するかについては、(1)初期の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があること、(2)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、完全主義者の多い我が国ではそのようなアセスメントでは受け入れられない可能性があること、(3)日本で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ること及び(4)我が国の国民性や社会慣習が米国とは異なっていることなどから、現状では計画案がかなり検討された時点とすることが無難と考えられる。

さらに、日本においては、戦後人々の価値観、社会の状況ともに大きく変化し、欧米型の価値観の影響を強く受けている。ともすれば民主主義の主旨をはき違えて、自らの利益の実現のみを声高に主張する一部の人間も存在する状況も見受けられ、このような状況下で住民の参加と合意形成を大前提とした事業の実施は必ずしも容易ではないが、合意形成のかぎは細かな手続きよりも、(1) 私権に対して公益が優先することが明確に示されること、(2) 情報がオープンになっており、抜け駆け（自分だけ儲けること）できないことがはっきりしていること、(3) 事業が、さまざまな立場の人々に広くメリットをもたらすものであること、(4) 他の人の権利を認めるとともに、己の責任を果たすことを当然とする社会状況が成立していることなどの諸点にあると考えられる。

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。

いずれにしても、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。

2．7　意思決定機関について

我が国の環境アセスメントにおいては、要綱に基づく現行の手法においてもまた法律に基づくものについても最終意思決定は事業者が行うこととされている。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意味している。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一方策として、第三者機関に意思決定をゆだねることが考えられる。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。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、ゆだねられた機関はその決定に全面的な責任を負うことが求められ、また、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、不効用等を多面的に評価できる見識を有すること及び中立的立場であることも求められる。さらに、すべてのアセスメントに関して第三者機関に意思決定をゆだねるのか、問題がある場合のみ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、第三者機関については行政の効率性等総合的に判断する必要がある。

3　まとめ

本研究では、環境アセスメント技術について体系的に研究を進めてきたが、事業の総合評価や合意形成の手法などいくつかの課題は、すぐに解決策が見つかるものではなく、結論を得ることはできなかった。これらについては、今後試行錯誤のうちに改善を図っていく必要のあるものと考える。

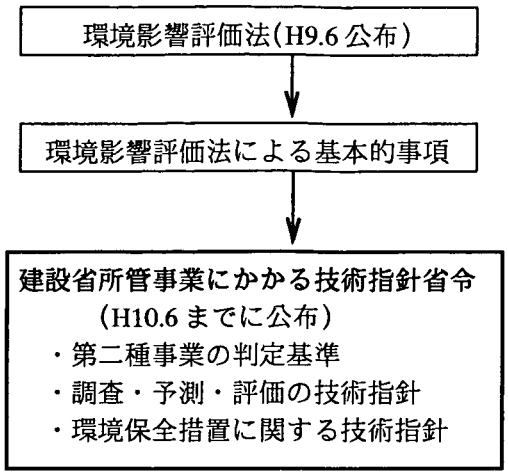
環境アセスメント検討調査　(24　環境アセスメントに関する調査)

研究期間：平９

担当：環境計画研究室　　室長：寺川　陽、　　主任研究員：並河良治

【要旨】

本調査は、環境影響評価法（以下、「アセス法」という）に基づいて、建設事業に係る環境アセスメントを実施する場合のあり方を検討することを目的とするものである。アセス法に基づく第二種事業の判断基準、事業特性及び地域特性の把握の考え方、影響要因の細区分、環境要因の細区分、評価を行う標準項目、調査及び予測の標準手法に関する建設省としての考え方、並びに環境保全措置の考え方等について、環境庁が定めた基本的事項をもとに検討を行った。、検討に際しては、外部有識者を交えた検討委員会を設置し、広範にわたる専門的知見を踏まえることとした。



１．調査方法

アセス法の体系に基づき、(1) 第二種事業判定基準、(2) 事業特性及び地域特性の把握の考え方、(3) 影響要因の細区分、(4) 環境要素の細区分、(5) 標準項目の設定及び重点化・簡略化の考え方、(6) 調査・予測の標準手法及び重点化・簡略化の考え方、(7) 評価の考え方、(8) 環境保全措置の考え方及び(9) 事後調査の考え方について外部の有識者にを交えた委員会を設置し、広範にわたる専門的知見を踏まえた検討を行った。

２．調査結果

１．で示した(1)～(9)の各項目について検討を行った結果は、おおむね以下のように整理できる。

(1) 第二種事業の判定基準：

原則としては、①当該事業が同種・同規模の事業に比べて環境影響が大きくなるおそれがあったり、環境影響における知見が少ない工法等を採用する等個別の事業内容に基づくもの並びに②環境影響を受けやすい地域が存在する場合及び環境保全の観点から法令等によって指定された地域が存在する場合等周辺地域の環境の状況等に基づいて判定する。その際、環境の状況については一般に入手可能なデータのみに基づくものとする。

(2) 事業特性及び地域特性の把握の考え方：

事業特性及び地域特性は、調査・予測・評価項目及び手法を選定する際の基礎となる。事業特性には、事業の規模、運用計画及び工事の概要等を示し、地域特性としては、地域の自然的・社会的状況及び環境関係法律に係る項目を取り上げる。これらの特性に関する情報は、入手可能な最新の文献及び資料によるものとする。

(3) 影響要因の細区分：

影響要因の細区分については、事業種ごとに決定するが、事業種ごとの一般的な事業内容を踏まえ、工事・存在・供用の各時点での物質等を排出する要因や既存の環境を変化させる要因等を規定する。複数の時点で生起することが予想される要因は、その影響が最も大きくなる時点で評価対象とする。細区

分の決定に際しては、各事業に共通のものについては整合を図った。

(4) 環境要素の細区分：

環境要素の細区分は、調査・予測・評価の項目であって、法令等による規制目標の有無、環境に及ぼす影響の重大性、調査・予測・評価手法の確立状況等を考慮して設定する。建設省所管事業のアセスメントにおける環境要素の細区分としては、地方自治体が条例等に基づいて実施しているアセスメントの実態を踏まえ、基本的事項に明示されていない①日照阻害、②低周波音及び③風害の３要素を追加して明示する。

(5) 標準項目の設定及び重点化・簡略化の考え方：

調査・予測・評価を行う標準項目は、事業種ごとに設定するものとし、それぞれの事業の一般的な事業特性及び一般的な事業の周辺環境条件に基づき決定する。項目の重点化とは、対象事業の特殊性に応じて標準項目に入っていない項目を調査・予測・評価することである。具体的には標準項目以外の項目による環境への影響が懸念される場合、環境影響を受けやすい地域が存在する場合及び環境保全の観点から法令等によって指定された地域が存在する場合等である。一方、項目の簡略化とは、標準項目にある環境要素について調査・予測・評価を行わないことであり、事業による環境影響がない場合や影響を受ける地域又は対象が相当期間存在しない場合等がこれに相当する。

(6) 調査・予測の標準手法及び重点化・簡略化の考え方：

標準的な調査・予測の手法は、事業の種類ごとの一般的な事業内容を踏まえて決定される。しかし、環境影響を受けやすい地域又は対象が存在する場合、環境の保全の観点から法令等により指定された地域又は対象が存在する場合及び既に環境が著しく悪化し又はそのおそれが高い地域が存在する場合には、より詳細な調査・予測の手法を選定する（手法の重点化)。逆に、環境への影響が極めて小さいことが明らかな場合及び類似の事例により影響の程度が明らかな場合は、簡略化された手法を用いる（手法の簡略化)。

(7) 評価の考え方：

評価には、これまでのアセスメントの評価手法となっていた「環境保全目標の達成」から「事業者の実行可能な範囲内で環境影響が回避・低減されているか」という評価及び「国等の環境保全目標との整合性が取れているか」という２つの評価を行うこととする。回避・低減の程度の評価に際しては、相対的な評価とし、定量的に把握が可能な場合には定量的評価を、また、定量的把握ができない場合は定性的な評価を行う。

(8) 環境保全措置の考え方：

環境保全措置の検討に当たっては、影響を回避し、又は低減することを優先するものとし、必要に応じて代償措置を検討する。代償措置を検討するのは、①回避、低減措置を講ずることが困難な場合及び②低減措置を講じても影響が十分に低減できず、それを補完する必要がある場合の２つの場合である。その際、事業計画としての適切性、経済性、安全性、施工性及び技術的可能性等に配慮し、複数案の比較検討及び実行可能なより良い技術が取り入れられているか否かの検討を通じて、講じようとする保全措置の妥当性を検証する。

(9) 事後調査の考え方：

評価を行う項目に関して予測の不確実性が大きい場合及び環境保全措置の効果にかかる知見が不十分な場合は、環境への影響の重大性に応じて、工事中及び供用後の環境の状態等を把握するための調査（事後調査）を行う。事後調査を行う場合は、調査の項目及び手法を明らかにするとともに、調査結果により環境影響が著しいことが明らかになった場合等の対応方針を明らかにするものとする。

Ⅰ-3　地域特性を活かした地域計画及び施設設計手法に関する研究

地域特性を活かした地域計画及び施設設計の手法に関する研究

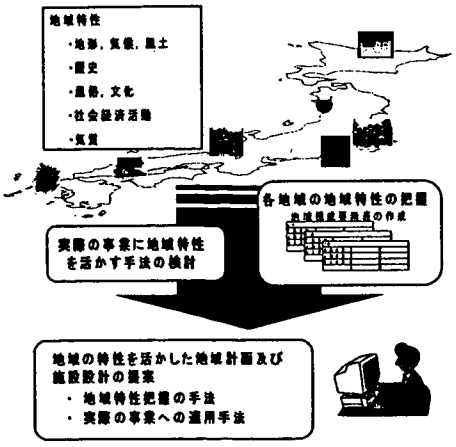
研究期間：平９～平１２

担当：環境計画研究室　　室長：寺川　陽，　主任研究員：並河　良治，　研究員：舟橋　弥生

【要旨】

魅力ある地域づくりをすすめる上で、地域の個性をどのように活かしていくかが重要な課題となっている。今後、地域らしさを踏まえた質の高い社会資本整備を図っていくためには、それぞれの地域の特性を抽出評価し、それを総合的に社会資本整備に活かしていくための手法を確立する必要がある。

平成９年度は、地域特性把握を行うための各種手法について整理を行った。また、地域構成要素について体系的に分類を行い、それをもとに地域構成要素抽出表の作成を行った。



研究イメージ図

１．研究方法

一般的に使われる「地域」には、ほぼ同様の意味をもつ言葉として「地方」「地区」「地帯」「領域」「区域」「圏域」「まち」がある。既往の研究においても、これらの言葉は必ずしも区別して用いられておらず、むしろ、場合によって混同して用いられていることが多い。そこで今回は、「地域」及びその類義語をタイトルにしている文献の収集を行い、その中で地域特性を活かした地域づくりに関係のあるものについて整理した。

また、現在各地域の地域らしさを表す要素として様々なものがあげられているが、これらの要素を抽出する手法については定まっておらず、場合によっては地域の特性を表す重要な要素が抜け落ちることもあり得る。そこで、まちづくりに関する文献、地誌、市町村作成のガイド及び地域観光の書籍などに記載のある地域を構成する要素を拾い上げ、これらを意味内容の近いものごとにグルーピングし体系的に分類を行い、それをもとに地域構成要素抽出表の作成を行った。また、作成した地域構成要素抽出表の適用性について評価するため、埼玉県内の数市町村についてのケーススタディをふまえて表の構成等について改善を図った。

２．研究結果

２．１　既往研究についての整理

既往の研究については、表-1 に示す 3 類型に分類することができる。第１に統計データ分析型の研究は、病院や学校などの公共施設の配置、通勤通学、住宅対策や大気汚染、交通騒音等の環境公害的な問題などの現状の姿を客観的に把握するために、各省庁、各自治体等で作成されている統計データの分析、指標の作成を行うもので、各地域の社会経済的な姿を明らかにすることを目的としている。第２にイメージ分析型の研究は、「～のまち」のように各地域に対して人々が抱くイメージを明らかにする。または、各地域の住民があるものに対して抱く

表-1　地域特性を活かした地域づくりに関連する研究

研究類型	研究内容	参考例
統計データ分析型	各省庁、各自治体等で作成された統計データをもとに分析を行い、各地域の特徴を捉える。	・国民生活指標 ・環境指標
イメージ分析型	アンケート調査を行い、その地域について人々の抱く固有のイメージの抽出を行う。 各地域の住民がもつ意識の地域別特性を捉える。	・地域イメージ構造分析 ・住民意識調査
固有資源分析型	各地域の自然、歴史、文化、建造物等について詳細な調査を行い、その成り立ちを明らかにする。	・歴史的町並み保存運動等に関わる施設詳細調査

イメージの地域差などを明らかにするもので、人々にとってより望ましい整備を行うためのよりどころを得ることを目的としている。そして第3に固有資源分析型の研究は、歴史的な町並み等の地域固有の資源について、文献等の調査をもとにその成り立ちの経緯や歴史の中での位置づけを明かにし、これらをまちづくりに活かす方法について研究するものである。

上記の3類型のうち、固有資源分析については、個々の資源についての活用方法の研究はなされているが、各市町村を構成する各要素（資源）を総合的に活かしていく方法については確立された手法がないのが実情である。従って地域特性を活かした地域計画及び施設設計を行うための手法の一つとして、この分野について研究を進めていく必要がある。

2．2　地域構成要素表の作成

2．2．1　地域構成要素の分類

現在の地域を構成する要素を大きく捉えると、次のごとく4つに包括できる。

①地域・空間

地域を構成する「場」であり、自然、都市空間、集落、街なみ、建築物、公共施設、建築物等すべてが包括され、人・企業・団体等が社会・経済活動を行う「場」である。

②主体

地域内で様々な活動を行う主体である、人・企業・団体組織等すべてを包括する概念である。

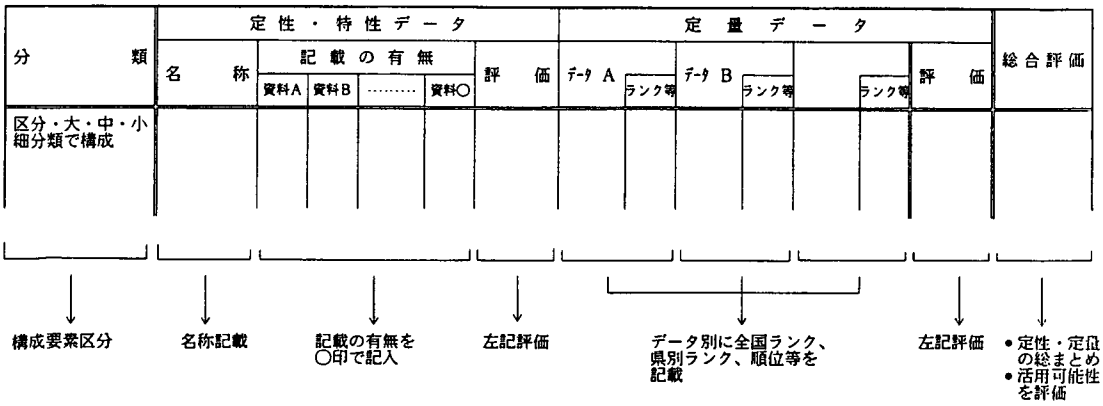
③活動

主体が行うすべての社会経済活動の概念であり、人の「日常生活」「文化・余暇活動」、企業の「経済活動」、宗教団体等の「宗教活動」、各種団体・組織が行う「イベント」等、すべてを包括する概念である。

④歴史

「地域・空間」「主体」「活動」すべてが歴史の変遷を経て現在に至っており、有形・無形に限らず歴史は地域を構成する大きな要素である。

これらの4つの区分をさらに細かく大分類、中分類、小分類、細分類にまで分類を行い抽出表の作成を行った。また、固有名詞的な定性要素のほかに、その地域の現状を知るための定量データ（人口、生産年齢人口比率、高齢者人口比率、事業所数等）の項目についても抽出表の中に取り入れた。



図－1　地域構成要素抽出表の構成

2．2．2　ケーススタディを通じた地域構成要素抽出表の改良

埼玉県下のいくつかの市町村におけるケーススタディを通じて、①歴史的事実、印象等文献に記載のある事項を記入するための欄を設ける。②「ホテル」「レストラン」「旅館」「飲食店」などの商業的な施設については、特定の固有名詞は入れず施設数、容量等を記載する等の改良を加えた。

Ⅰ-4　景観の予測及び評価に関する研究

道路景観シミュレーションシステムの開発

研究期間：平８～平１０

担当：環境計画研究室　　室長：寺川　陽，主任研究員：並河良治，研究員：小栗ひとみ

【要旨】

道路事業の実施にあたり、景観設計は重要事項の一つである。施設の建設に際しては、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・評価することが求められる。そこで、現場の職員が手軽に使用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。本研究は、総合技術開発プロジェクトで開発を行った建設省版景観シミュレーションシステムを、道路の景観設計支援の手段として拡張するものである。平成９年度は、ビデオ画像と３次元構造物の連続合成機能を追加するとともに、視点移動の高速化を図り、自動車の走行速度に応じた景観画像の表示を可能とした。

１．開発の目標

１．１　実写動画と３次元構造物の連続合成機能の追加

シークエンス景観画像を容易に作成するためのツールとして、ビデオ画像などの実写動画像とコンピュータグラフィックス（ＣＧ）の３次元構造物データを、同じカメラワークで連続的に合成する機能を追加する。

１．２　視点移動の高速化

現在の視点設定機能では、入力した視点ごとに１枚ずつ処理計算を行いながら描画しているため、再生に時間がかり、自動車のスピード感を表現できない。そこで、設定した移動経路のプレビュー画面を動画ファイルとして保存できる機能を追加し、保存した動画ファイルを再生することで、視点移動の高速化を図る。

２．平成９年度に実現した機能の概要

２．１　実写動画と３次元構造物の連続合成機能の追加

実写動画と３次元構造物の連続合成プログラムで実現した機能は、次のとおりである。

(1)実写画像の取り込み

AVI形式に変換された動画像データを入力画像として取り込む機能。AVI形式は、動画データの最も一般的なデジタルデータ形式で、最近のWindowsシステムでは、標準として扱われている。なお、シーンの切り出しなど動画の編集を必要とする場合は、市販の動画編集ソフトを使って予め編集した画像を取り込むこととした。

(2)地図情報の取り込み

実写動画のカメラ位置を入力する際の補助データとして、地図情報を取り込む機能。ここでは、国土地理院の数値地図データを、LSS-G形式に変換して取り込むことができるようにした。

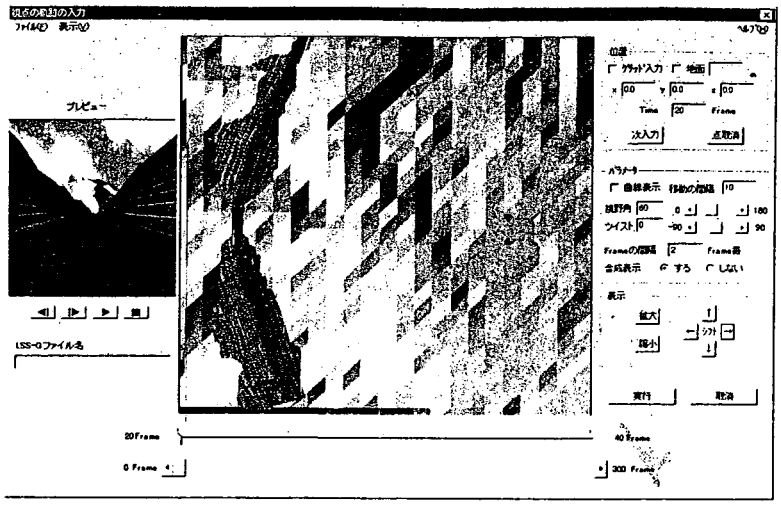
(3)３次元構造物をマスクする物体属性の追加

実写画像に３次元構造物を連続的に合成する際、構造物の手前にある要素によって、構造物自体が見え隠れするという問題に対処しなければならない。そこで、実写の中にある構造物を３次元デ

ータよりも優先して表示する場合は、実写構造物と同じ形状の３次元データを実写画像に重ねて配置し、これを３次元のマスクとして他の３次元構造物との前後関係に応じて必要な隠面処理を行う方法をとった。

(4)実写動画像のカメラ情報設定

実写動画像から任意の時刻の画像を静止画として取り出し、その時刻（キーフレーム）のカメラ情報を数値または平面図上のピッキング操作により設定する機能。このカメラ情報を、キーフレーム法によりリニアまたはスプラインで補間することで、すべてのフレームのカメラ情報を自動計算することができる。また、視野角およびツイスト（カメラの傾き）の変更も可能であり、さらに、地面からの高さを入力できるので、ドライバーや歩行者の視点での合成を行うことができる。（図－１）



図－１　実写動画合成操作画面

(5)プレビュー

前項のカメラ情報をもとに、実写動画像と３次元ＣＧを合成し、プレビューで確認する。プレビューには、再生、早送り、停止、巻き戻しのほか、任意の時間をダイレクトで指定できる機能を付加した。（図－２）

(6)視点調整

プレビューで確認した結果、合成画像にずれがある場合、カメラ情報をキーフレームごとに修正できるようにした。

(7)合成画像の保存

実写動画像と３次元ＣＧの合成画像をAVI形式で保存する機能。



図－２　動画再生画面

２．２　視点移動の高速化

視点設定の移動経路設定画面に「動画ファイル保存ボタン」を追加し、通常、倍速、３倍速など整数指定による保存が行えるようにした。

３．まとめ

９年度の機能追加および改良により、本システムを用いてドライビングシミュレーションを行うことが可能となった。今後、人間の運転感覚に合致した画像の提示方法（扱うデータの精度、走行速度に応じた視点の設定数および間隔など）や、実写画像と合成した３次元構造物が、違和感なく見えるための画像の調整方法（光源の設定など）について検討する必要がある。

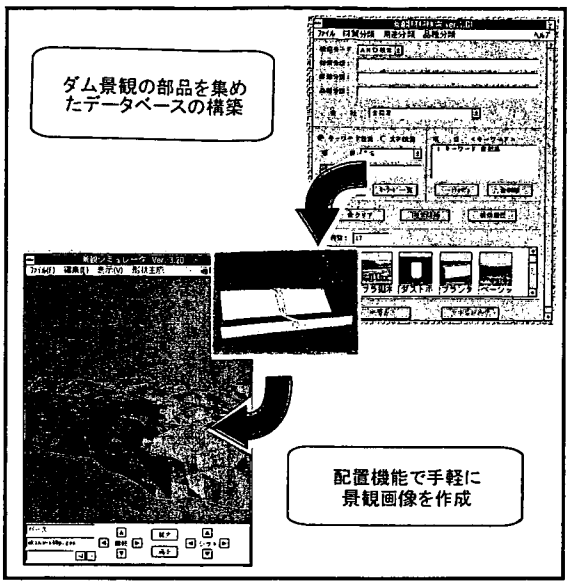
ダム周辺景観設計データベースの検討

研究期間：平６～平９

担当：環境計画研究室　　室長：寺川　陽，主任研究員：並河良治，研究員：小栗ひとみ

【要旨】

周辺景観に大きなインパクトをもたらすダムの建設にあたっては、地域固有の自然景観、生態系および歴史文化への配慮が不可欠である。さて、コンピュータグラフィックスは、景観設計を行う上で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作成を支援することを目的としている。９年度は、８年度までに開発したデータベースマネジメントシステムの操作性および実用性の向上を目的とした機能改良を行った。



１．研究方法

データベースマネジメントシステムでは、マウスを基本としたわかりやすい操作環境の実現をめざして開発を進めている。しかし、配置機能などパラメータを数値入力することによって編集を行う機能もあり、それらについては操作性の改良が必要となっている。そこで、部品データのビジュアル化および配置編集機能の改良を行い、データベースで検索した部品データを、画面上で直感的に配置できるようにした。また、より現実感の高い画像の作成を可能とするため、３次元形状データに光源を与えたときに発生する物体の影を表示できるようシャドー処理を追加するとともに、外部ファイルの取り込み機能の追加・改良を行って実用性を高めた。

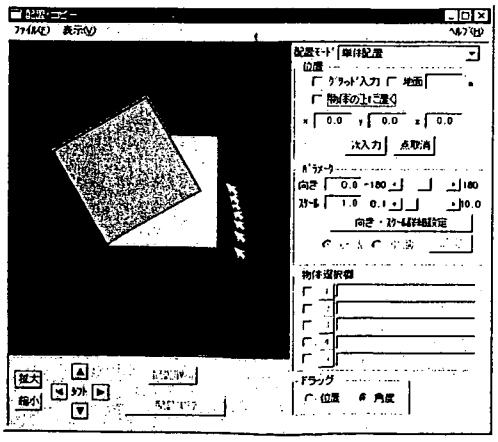
２．研究結果

２．１　配置編集機能の改良

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際に、平面上の位置、高さ、方向およびスケール決めの操作が簡単にでき、また部品の選択に手間がかからず、再利用が容易に行えるよう改良を加えた。

(1)部品のドラッグによる配置操作

部品の簡易形状をマウスでドラッグして移動することにより、ウインドウ上で視覚的に部品を配置できるようにした。ドラッグ表示では、マウスの動きに追従して、部品の大きさと角度を変更することが可能である。（図



図－１　ドラッグによる配置操作

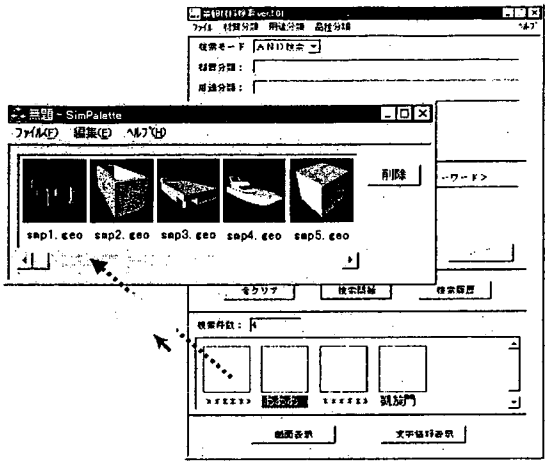
－１）

(2)地面属性を持たないものへの配置

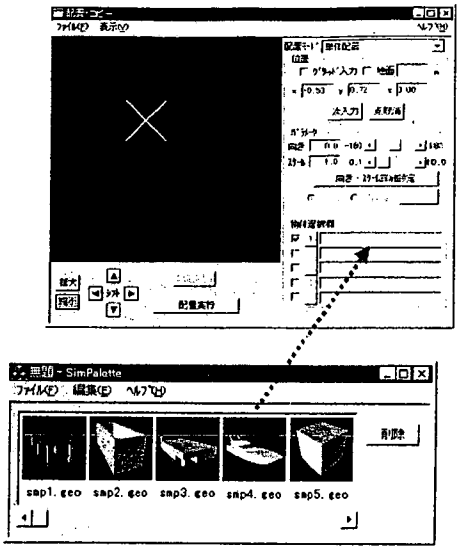
これまで「地面属性」を持たない部品の上に他の部品を配置するには、Z値座標の数値入力による調整が必要であったが、配置モードに「物体の上に置く」というチェックボックスを加え、既に配置してある部品の上へも物を置くことができるようにした。

(3)ビジュアルな部品パレットの追加

データ名称および形状の一覧表示ができる「部品パレット」を追加し、現行のファイル一覧からだけでなく、画像を見ながら部品データの選択ができるようにした。「部品パレット」では、データベースで選択した部品やシミュレータで作成した部品の登録および景観画像に配置したい部品の指定を、マウス操作（ドラッグアンドドロップ）により簡単に行うことができる。（図－２、３）



図－２　部品パレットへの部品データの登録



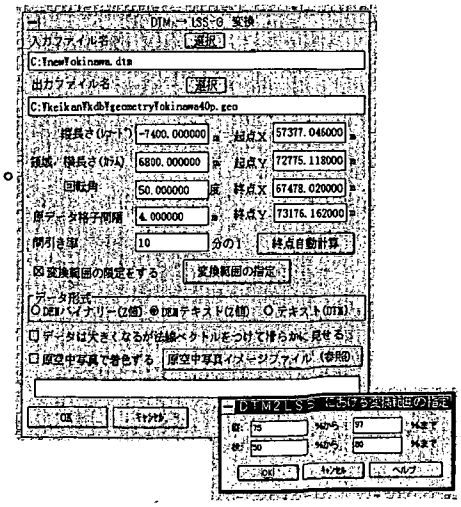
図－３　部品パレットからの配置部品選択

２．２　シャドー処理の追加

よりリアルな画像表現を可能とするため、表示モードの１つとしてシャドー処理を追加した。シャドー処理は、光源と影を落とす物体から、あらかじめ影ボリュームを作成し、表示時に影ボリュームと他の物体との交わりの部分を暗くする方法により実現した。この方法は、一度影ボリュームを計算すれば視点を変えることが可能であり、リアルタイムなカメラアニメーションができるという長所を有している。「シャドー」画面には、影の表示のオン／オフおよび濃さの調節ボタンを設け、印刷など必要な場合にユーザーがモードを指定できるようにした。なお、処理が複雑になるのを避けるため、光源は１つとし、かつ平行光源にだけ対応することとした。

２．３　ファイル変換プログラムの追加・改良

外部データを取り込むための機能に、JPEG形式からSGI形式への画像変換プログラムを追加するとともに、地形データをDTM形式からLSS-G形式に変換する際、範囲の指定ができるように改良した。（図－４）

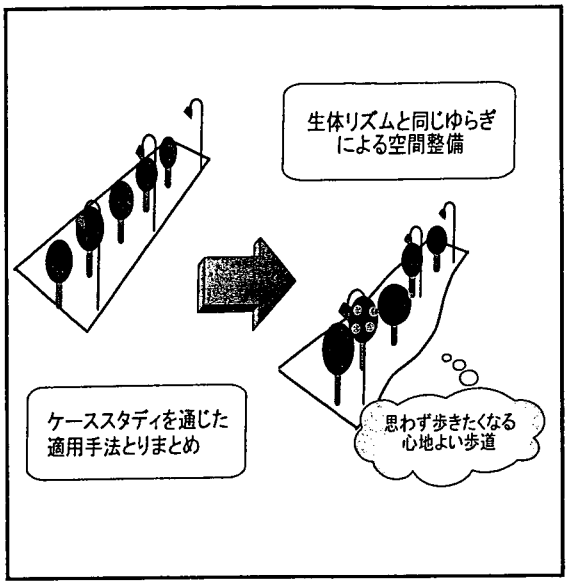


図－４　地形データ変換画面

１／ｆゆらぎ理論を用いた道路空間デザインに関する調査
１／ｆゆらぎ理論を用いた道路修景に関する調査

研究期間：平８～平１０
担当：環境計画研究室　　室長：寺川　陽，主任研究員：並河良治，研究員：小栗ひとみ

【要旨】
ゆとりある社会を実現するためには、人間の感性に適合した社会資本の整備が不可欠である。１／ｆゆらぎは自然界に広く存在するゆらぎであり、人間の快適性を規定する一つの大きなファクターとなっていることが判明してきた。本調査は、１／ｆゆらぎを道路空間のデザインに取り入れることにより、道路景観が人々の感性に訴える程度を計測し、道路空間整備における快適性向上の手法として、１／ｆゆらぎの適用手法をとりまとめるものである。９年度は、福岡市香椎地区の国道３号線、歩行者専用道路、沖縄の那覇東バイパスおよび国道３３０号線を対象としてケーススタディを行い、１／ｆゆらぎ理論を応用した歩道空間整備案を作成した。



１．研究方法

１／ｆゆらぎ理論の適用により、快適な道路空間を創出するためには、対象となる構成要素の範囲、ゆらぎ幅の設定範囲、各要素の空間内での最適配置や空間全体での調整方法などについて検討を行う必要がある。そこで、福岡市香椎地区の歩道空間整備、那覇東バイパスの照明計画および国道３３０号線の歩道修景を対象としてケーススタディを行い、１／ｆゆらぎ理論を適用した整備案の作成を通じて１／ｆゆらぎ理論による歩道空間設計手法を検討した。ケーススタディ対象地区の周辺状況および設計条件は、以下のとおりである。

(1) 国道３号線における歩道デザイン

福岡市香椎地区を通る国道３号線は、国鉄の操車場跡地および商業・業務用地、住宅用地等からなる香椎副都心都市区画整理事業の対象地区に接しており、延長２km、計画幅員32.6mの幹線道路である。沿道は、住宅および商店が立地し、休日は買い物客で賑わうことが予想される地域である。今回のケーススタディでは、現況4.5mの幅員を持つ副都心側の歩道を、8.5mに拡幅した場合を想定して設計を行った。設計の対象要素は、植栽、照明、舗装およびベンチなどストリートファニチャのデザインおよび配置であり、市民が心地よく散歩や買い物を楽しむことができる空間づくりを目標とした。

(2) 歩行者専用道路における歩道デザイン

国道３号線から名島千早線に至る幅員15m、延長180mの歩行者専用道路を想定し、15mの幅員を十分に活用したゆらぎデザイン案を作成した。歩行者専用道路の周辺は主に住宅地で、鉄道駅への安全で快適なアプローチ道路としての性格を有する道路である。(1)と同じ要素を対象として設計を行うが、住宅地の中を通る歩行者専用道路という性格上、夜間の安全性に十分配慮し、散歩など市民の活動や

交流の場として、また休息の場として快適な空間の創出をめざした。

(3) 国道３３０号線の歩道デザイン

国道３３０号線は、沖縄本島の中心部を沖縄市から那覇市まで南北に縦貫する幹線道路である。このうち、本設計の対象となる胡屋交差点付近は、沖縄市の中心街に当たり、大小の商店および娯楽施設の建ち並ぶ地区となっている。ケーススタディは、胡屋交差点より宜野湾市方向の約３５０ｍ区間（幅員約4.5m）の歩道および胡屋交差点歩道橋下のスペースを対象として行った。

(4) 那覇東バイパスにおける照明デザイン

那覇東バイパスは、国道329号線の慢性的な交通渋滞解消対策として計画された延長4.7km、幅員40m（真玉橋地区）の道路である。真玉橋地区は、沖縄初の斜張橋である「とよみ大橋」の橋詰めに位置し、景観に配慮した整備が行われている場所である。また、片側には高校や病院などの施設が立地し、片側は国場川に面する閑静な場所で、夜間には、市民のジョギングコースとして親しまれている。ここでは、国場川側の歩道照明に１／ｆゆらぎ理論を適用し、夜間に市民が散歩やジョギングなどを楽しむ場所として、歩行の安全性を確保した上でやわらかで暖かみのある快適な歩行者空間の創出をめざした。

２．研究結果

２．１　ケーススタディ

ケーススタディにより作成したゆらぎデザイン案の概要は、次のとおりである。

(1) 国道３号線における歩道デザイン

歩道を4.25ｍずつの通行帯と散策帯に分割して考え、それぞれ趣の異なる歩道空間の演出を行った。混雑の予想される商店側を通行帯とし、歩行者の流れを第一に、設置物等のない空間づくりを行う。また、車道側を散策帯として、歩くこと自体を楽しむことができ、また溜まりの場として、佇んだり休んだりできるようベンチなどストリートファニチャ類を配置する。（図－１）

①舗装デザイン

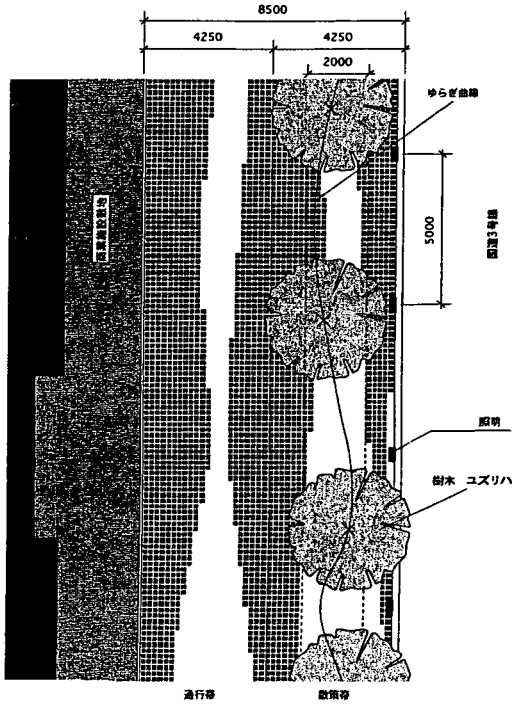
舗装におけるデザインコンセプトは、対象地域の風土特性から「東風（こち）」とした。東から吹く風を基本的なイメージとして、ゆらぎパターンを作成した。

②街路樹の配置

街路樹は、幅４ｍの散策帯の中に、間隔および幅をゆらがせて配置する。街路樹の根元にはツリーサークルを設置し、歩道の平坦性を確保するとともに、街路樹５本ごとに幹を囲むベンチを置き、木陰の休憩スペースとした。したがって、街路樹は上方まで１本の幹が伸び、樹冠が発達したものが適しているため、ここではユズリハを想定している。

③照明の配置

照明は、街路樹の上部に取り付けるもの（上向き）と、歩道上に設置するもの（下向き）の２種類を計画し、どちらもゆらぎ制御により照度を時間的に変化させる。樹上の照明は、

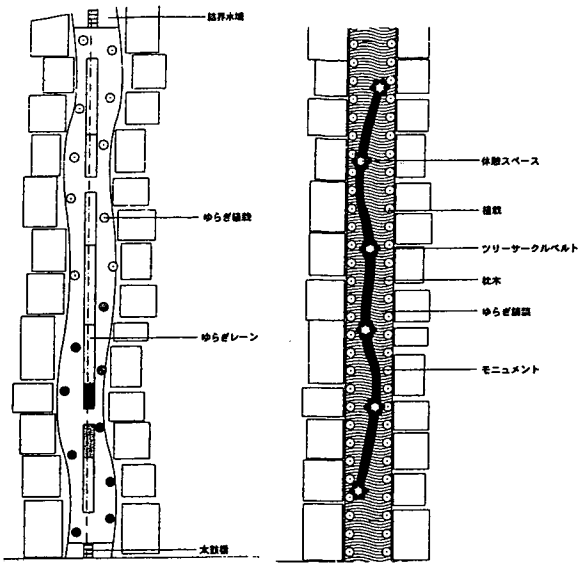


図－１　国道３号デザイン案

繁る葉を照らすことでゆらぎの効果を強調し、安らいだ雰囲気を醸し出す役割を担う。また、歩道上の照明は、車道沿いに等間隔に設置し、舗装面を照らして街路樹照明との対比を構成する。等間隔に設置することで、車道と歩道の境界を線状の光で示すことができる。

(2) 歩行者専用道路における歩道デザイン

15mの広幅員を活かし、ゆらぎデザインの３要素（形、配色、配置)を自由に駆使した理想的な歩行空間の設計を試みた。（図－２）



(a) 第１案　　(b) 第２案

図－２　歩行者専用道路デザイン案

①第１案

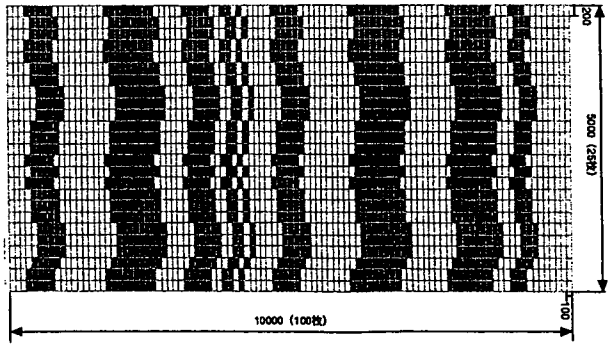
コンセプトテーマを「かいわいの結界」とした。歩行者が安全でかつ快適さを感じながら通行できる「癒しの空間」を創出する。まず、「結界」として世俗との分離を表現するために、対象区間の両入口部分を水で分断し、太鼓橋をかける。歩道の線形はゆらぎ曲線とし、これに沿って街路樹をゆらぎ配置していくが、いくつかの樹種を扱うことによって、葉や花の色のゆらぎ的な変化をねらう。歩道の中央には、幅3.5mにわたるゆらぎレーンを設け、レーンの断面をゆらがせることにより、歩行時に路面の起伏による視界のゆらぎを感じられるようにする。

②第２案

具体的なコンセプトテーマの提示は行わない。歩道の線形は直線とし、これに沿って等間隔に街路樹の配置を行う。歩道上には、休憩スペースとして円形の「くぼみ」をゆらぎ配置する。「外のお茶の間」として位置づけられる「くぼみ」には、底面に向かってゆらぎ照明を設置するが、「くぼみ」ごとに虹をイメージして色彩の変化をつける。「くぼみ」の間には、鉄道の枕木を敷設し、かつてこの地域が鉄道の操車場であったことを表現する。さらに、１／ｆゆらぎによって表面の凹凸感を出したモニュメント数個をアクセントとしてゆらぎ配置し、このモニュメントの表面に水を流して躍動感を演出する。

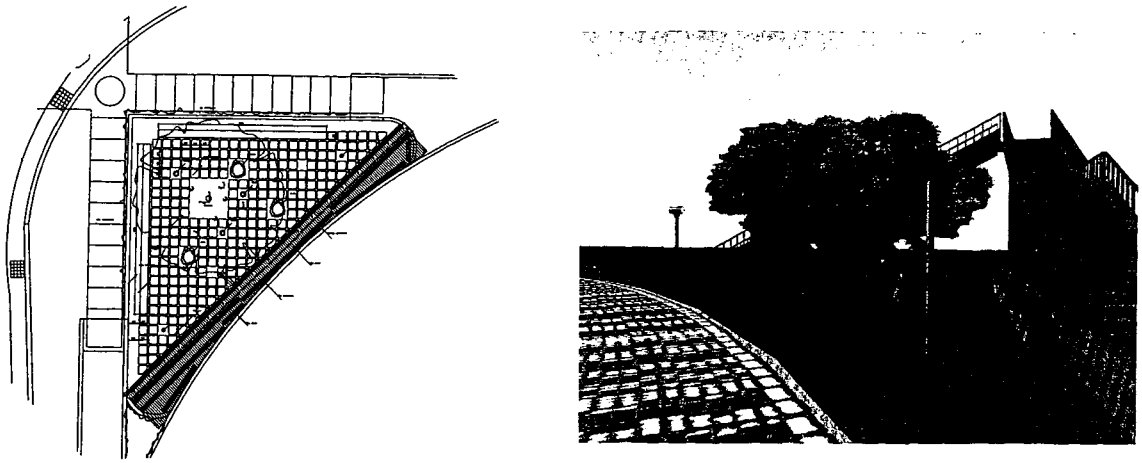
(3) 国道３３０号線の歩道デザイン

１／ｆゆらぎを適用する要素の検討を行った結果、歩道下に埋設された管路が障害となり、樹木のゆらぎ配置が困難であることや、沿道の照明が明る過ぎて、ゆらぎ照明による演出効果を期待できないことがわかった。そこで、デザインの対象を舗装に絞り、沖縄の地域特性を考慮して、赤瓦、琉球石灰岩をイメージした色調の磁器質タイルを、波をモチーフとしたゆらぎデザインにより配置した。



図－３　舗装パターン

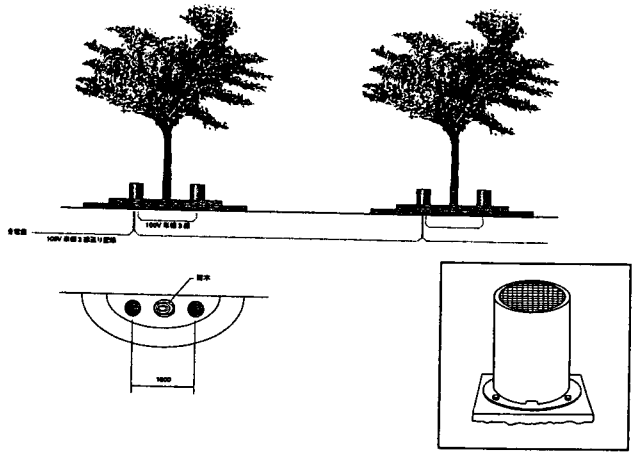
また、歩道橋下のスペースを、歩行者のくつろぎの空間と位置づけ、ポケットパークの整備を行うこととした。ゆらぎを適用する要素は照明のみとし、２基のポール照明と３基の埋設照明により樹木を照明するとともに、反射光のゆらめきによる効果をねらって、ベンチ、スタンディングストーンなどのデザインおよび配置を行った。（図－３、４）



図－４　ポケットパーク整備案

(4) 那覇東バイパスにおける照明デザイン

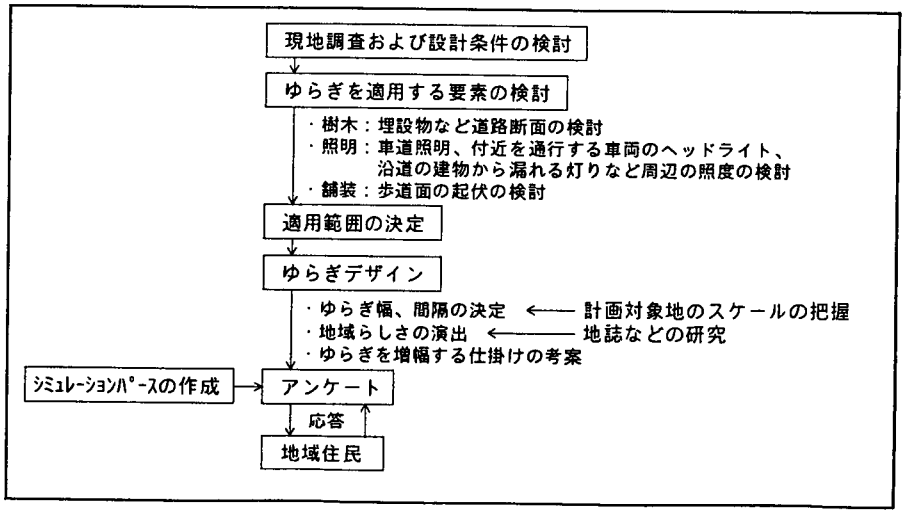
国場川沿いに10m間隔で植樹されているガジュマルの根元に、投光器の入った筒状のゆらぎ照明装置を２基ずつ配置し、樹冠を下から照らすようにした（図－３）。歩道面は、反射した間接光によって、柔らかく照明される。照明計画にあたっては、道路照明の設置基準を満たすとともに、車道照明の水銀灯がゆらぎ照明の演出効果に与える影響を考慮して整備案を作成した。ゆらぎ照明は、一般的な照明に比べて消費電力が小さく、電球の寿命が長くなるため、維持管理費縮減の効果も期待できる。



図－３　照明計画案

(5) １／ｆゆらぎ理論による歩道空間設計手法の整理

前項までのケーススタディにおける１／ｆゆらぎ理論の適用方法をとりまとめ、歩道空間のゆらぎデザインの流れを図－４のように整理した。



図－４　ゆらぎデザインの流れ

３．まとめ

９年度のケーススタディにより、１／ｆゆらぎの適用に必要となる道路条件や、ゆらぎの適用対象および範囲など、１／ｆゆらぎ理論を道路空間整備に適用する際の基礎的なデータを得ることができた。今後、被験者実験を通じて、１／ｆゆらぎによる快適性の向上効果を定量的に計測・評価した上で、これらの結果を踏まえたより具体的な適用手法のとりまとめが必要である。

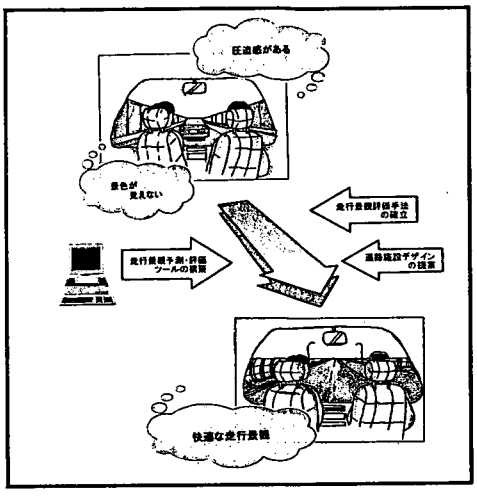
運転者から見た走行景観の検討

研究期間：平８～平１０

担当：環境計画研究室　　室長：寺川　陽，主任研究員：並河良治，研究員：小栗ひとみ
交通環境研究室　　室長：大西博文，研究員：小根山裕之

【要旨】

これまでの道路整備においては、機能性と経済性が重視され、ややもすると景観面への配慮が欠けていたために、運転者に圧迫感などの不快感を与える場合もあった。そこで、本研究では、運転者から見た道路景観の評価手法を確立し、景観シミュレータの改良による走行景観予測・評価ツールの開発を行った上で、それを用いて運転者から見た良好な景観を実現するための道路施設デザインを提案するものである。平成９年度は、走行景観予測・評価ツールの構築を目的として、景観評価システムのプロトタイプシステムを設計するとともに、道路景観評価へのシステムの適用可能性を検討した。



１．研究方法

前年度検討したシステムの基本イメージをもとに、街路景観を対象としたプロトタイプシステムで実現する機能の詳細検討および評価ルールの設定を行った上で、具体的な操作画面設計ならびに処理設計を行った。また、設計したシステムについて、景観評価の対象を郊外部・地方部の道路とした場合の適用可能性を検討し、道路景観評価を行う上で必要となる機能の変更・追加点をとりまとめた。

２．研究結果

２．１　プロトタイプシステムの設計

景観評価システムの基本イメージは、景観画像と評価のために必要な諸条件（周辺データおよび評価対象・項目・視点など）を入力すると、景観評価ルールとの照合を行い、評価結果および改善方法等を出力するものである。また、必要な改善を加えた画像について、即座に景観シミュレーションが可能であり、さらに景観評価と併せて色彩や形態などの画像処理による特性分析機能を有するシステムとする。実用的なシステムを構築するためには、普遍的な景観評価ルールの設定が不可欠であるが、景観評価については、条件によって複数の研究成果や知識が存在しており、いずれも単独では必要十分なルールとは言い難い。そこで、ユーザーが既存の研究成果等をもとに評価ルールを追加したり、景観評価実験などの結果から自動的に新たなルールを作成することができるような機能を付加し、ユーザーの好みや目的に応じた利用を可能とすることとした。

プロトタイプシステムとしては、景観評価ルールに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５～８年度）の研究成果を活用し、評価項目（開放感、整然さ、特徴、緑）と景観構成要素（幅員、緑視率、広告面積率、建物高、等）との関係から、景観画像の評価を行えるシステムを構築する。設計にあたっては、景観評価システムで実現する機能の中から、プロトタイプシス

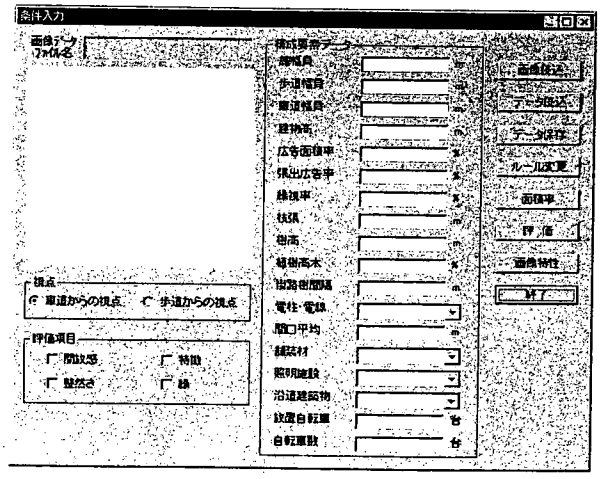
テムに導入可能なものを抽出し、技術的な難易度を考慮して構築の手順を整理した（表－１）。このうち、９年度は、第１段階の機能を有するシステムの実現を図った。

プロトタイプシステムの操作は、概ね次の手順による。まず、初期画面で景観評価ボタンを選ぶ。すると、条件入力画面が現れるので、画像データを読み込み、視点および評価項目の選択を行うとともに、構成要素データをキーボードまたはマウス操作により入力する。次に、評価ボタンを押して、入力条件と景観評価ルールの照合を行う。評価結果は、評価項目ごとにランクA(良い)、B(普通)、C(悪い)の３段階で表示されるほか、評価の要因となった構成要素に関するコメントが表示される。また、改善目標として上位ランクを指定すると、改善すべき構成要素と目標値が表示される。（図－１）

表－１　構築の手順

機能＼時期		第１段階	第２段階	第３段階
入力	画像読み込み	○		
	諸条件の入力	○ 視点、評価項目	◎ 評価項目の追加	◎ 評価項目の追加
	構成要素の表示	○	◎ 構成要素の追加	◎ 構成要素の追加
	構成要素データの入力	○ 個入力、選択	◎ 面積率算定	◎ 追加項目への対応
評価	景観評価ルールの照合	○	◎ ルールの追加 評価対象の追加	◎ ルール追加 評価対象の追加
出力	評価結果の表示	○ 評価結果の表示 色彩特性の表示	◎ 色彩特性の表示 線特性の表示 シミュレーション結果の表示	◎ 線特性の表示
	改善目標値の提示	○	◎ シミュレーションとのリンク	
	表示内容の出力	○ 評価結果の出力 色彩特性の出力	◎ 色彩特性の出力 線特性の出力 シミュレーション結果の出力	◎ 線特性の出力
	評価結果の保存	○ 評価結果の保存 色彩特性の保存	◎ 色彩特性の保存 線特性の保存 シミュレーション結果の保存	◎ 線特性の保存
	条件の再設定	○		
その他	ルール追加支援機能		○	
	ルール作成支援機能		○	
	シミュレーション機能		○	
	設計者の嗜好反映機能		○	
	画像処理による分析			
	色彩特性	○ 色彩階調分布	◎ 明度、彩度、色相 反射度 色彩変化度 濃度	
	形態特性		○ 線特性分析 エッジ保存スムージング処理 エッジ検出処理 ベクトル化処理 エッジ方向検出処理	◎ 細線化処理 領域分割処理 面特性分析 いびつ度
	その他			○ フラクタル解析

注）○機能の整備・追加、◎：機能の拡充



図－１　条件入力画面

２．２　道路景観評価への適用に関する検討

２．２．１　景観評価ルールの設定可能性

前項のプロトタイプシステムについて、評価の対象を道路景観に拡張した場合の、景観評価ルールの設定可能性を検討した。道路景観評価に関する文献調査を行った結果、街路景観評価のような定量的な評価ルールの設定が、既存の研究成果だけでは困難であることがわかった。そこで、道路区分、沿道土地利用、道路構造、景観の種類等を踏まえて道路景観の類型化を行い（表－２）、既存の研究成果やマニュアル類を参考として、類型ごとに景観評価ルールの素材となりうる構成要素や評価項目等を整理した。これら景観評価ルールの素材は定性的なものがほとんどであるが、景観評価実験等を踏まえて定量化を行えば、景観評価ルールとしての設定が可能となる。

２．２．２　プロトタイプシステムの適用可能性

プロトタイプシステムをもとに、道路景観を対象とした評価システムを構築する際の追加・変更点を整理した。基本的な構築手順は、プロトタイプシステムと同じであるが、道路の各類型から評価対象を選択できるようにし、各類型に対応した条件入力画面および結果表示画面を用意する。また、定量化が困難な景観評価ルールについては、定性的な表現をそのまま活用できるチェックリスト的なシステムの構築可能性を検討する必要がある。

表－２　道路景観の類型化

類型	区分		沿道土地利用							道路構造				
	一般道路	高速道路	住宅地	商業地	業務地	農地	樹林地	景勝地	歴史地区	土工部	橋梁	高架橋	トンネル	掘割
①住宅地の道路	○		○							○				
②商業地の道路	○			○						○				
③業務地の道路	○				○					○				
④地方部の道路	○					○	○	○		○				
⑤歴史地区の道路	○								○	○				
⑥都市部の高速道路		○	○	○	○					○				
⑦地方部の高速道路		○				○	○	○		○				
⑧橋梁	○	○									○			
⑨高架橋	○	○										○		
⑩トンネル	○	○											○	
⑪掘割	○	○												○

注）それぞれの類型について、内部景観（シーンおよびシークエンス）、外部景観がある

Ⅰ-5　ＧＩＳを活用した湖沼流域管理技術に関する研究

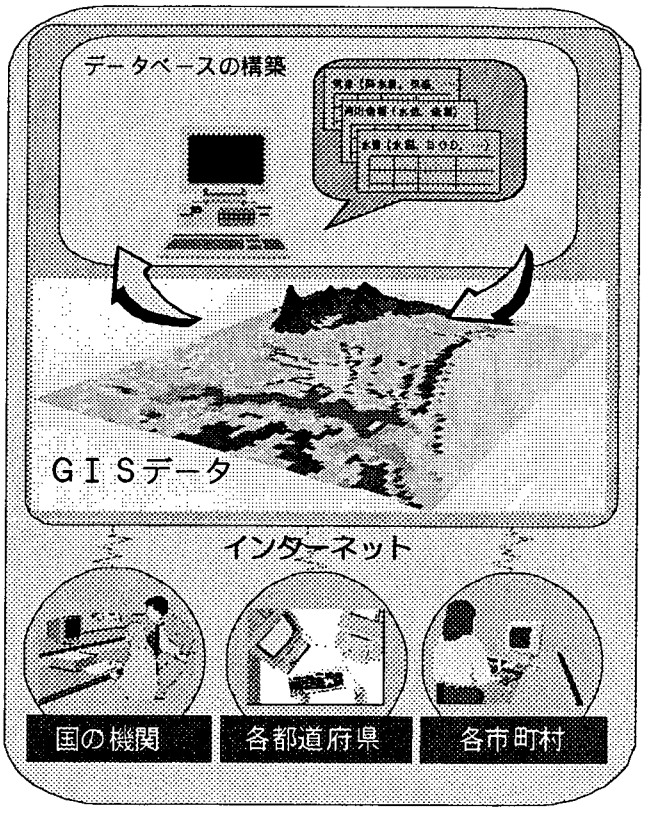
建設環境情報のデータベース化に関する研究

研究期間：平６～平 10

担当：環境計画研究室　　室長：寺川　陽，　主任研究員：安陪和雄

(1)要約

近年、インターネット等の普及により国内外の情報の取得・提供が極めて簡便に行えるようになった。建設省においても、公開型水文データベースの構築、あるいは、河川ＧＩＳの構築等、情報化に向けた施策を推進しているところである。本研究は、霞ヶ浦流域を対象にインターネットにより外部から容易にアクセス可能な水環境データベースを構築するものである。平成９年度は、霞ヶ浦流域の水循環・物質流動に係わるデータの収集、データの入力、ホームページの作成を行った。また、生活用水、工業用水等の統計データについては、人工系水循環データとしてメッシュデータ化する手法を新しく考案した。



(2)研究目的

インターネットを介して、国、県、市町村等それぞれの立場で湖沼流域管理に係わる担当者に流域情報を提供するシステムの構築手法について調査研究を行い、ユーザーフレンドリーなシステムのあり方について具体的な方針を提示することを目的とする。

(3)研究方法

モデル流域として霞ヶ浦流域を選定し、建設省霞ヶ浦工事事務所、茨城県、市町村等の水循環・物質流動に係わる観測結果資料、水道統計及び工業統計等の統計資料等を取得して、流域水環境データベースを構築するとともに、インターネット上でこれらの情報を公開するためのホームページを作成する。

(4)研究結果

1)データベース設計の基本概念

本研究におけるデータベースの設計に際して、以前、著者らが猪名川流域を対象にプロトタイプとして流域水環境データベースの構築を試みた経験を十分に生かすこととした。そこで把握された問題点としては、ユーザーをあらかじめ想定してユーザーフレンドリーなデータベースを構築しておかないと多大な資金と労力を投入してせっかく作成したデータベースが有効に活用されない公算が大きいということ、及び、仮にユーザーフレンドリ

ーなデータベースが構築されたとしても、データベースの更新作業を継続的に実施できるようなシステム環境を整備しておかないとデータベースの維持管理に支障をきたすということである。そこで、霞ヶ浦流域を対象としたデータベースの構築においては、想定するユーザーのニーズに合致したデータベースの設計、及び、容易な更新作業を実現するシステム環境の設定に配慮することとした。

まず、想定されるユーザーのニーズについて検討する。霞ヶ浦の水環境の改善のために、国、県、市町村等がそれぞれの立場で流域データを収集し、必要に応じて流域データの解析を行い、実際の流域管理の指針にしている。一方、各行政機関のデータ収集業務は、通常、データ提供を前提としたものではないため、収集データが報告書として各行政機関内に保管されているにすぎないことが多い。このため、各行政機関の間では、同一流域を管理する立場にありながら、データの共有化がなされていないのが実態である。そこで本研究では、各行政機関の担当者をユーザーとして想定した。仮に、これらのデータがすべて電子化され、さらに位置情報が付加され、インターネットを通じてモニター画面上の地図のポイントをクリックすることによりアクセス可能なデータベースが構築されれば、各行政担当者の流域管理業務の高度化に寄与することが期待される。

次に、更新作業の容易なシステム環境について検討する。プロトタイプにおいては、データベースソフトとして検索機能に優れた Oracle Ver.7.1.3（米国 ORACLE 社製）、ＧＩＳソフトとして解析機能に優れた ARC/Info Ver.6.1.1（米国 ESRI 社製）を使用したが、これらを駆使するためには、高度の技術力を有する専門の技術者が必要である。一方、本研究で構築するデータベースは、一般のデータベースと比較してデータ量が少ない割にデータ項目が多いため、Oracle がＲＤＢ機能として持っているＳＱＬによる直接検索を必要とするケースはあまりないものと考えられる。また、本研究ではＧＩＳをデータ解析のために使用するのではなく、ユーザーフレンドリーなデータベース構築のために使用するため、ARC/Info が可能とする高度なデータ解析を必要とするケースはまれである。したがって、データベース更新時に高度な技術力を有する専門の技術者を必要とするこれらのソフトを使用することは、業務量の量と質からみて経済的に妥当ではない。そこで本研究では、容易に更新作業を行うことができるシステム環境の整備ということで、Windows 上で動く操作性に優れたソフトウェアを使用することにした。すなわち、データベースソフトとしては、表計算ソフトとしても汎用的な Excel（米国 Microsoft 社製）、ＧＩＳソフトとしては、豊富なプレゼンテーション作業の容易な ArcView 3（米国 ESRI 社製）を使用することとした。

2)データ項目及び入力データ

入力データ項目を水循環系と物質流動系に大分類するとともに、さらにそれぞれ自然系と人工系に中分類した。表－１に入力データ項目及び入力データ一覧を示す。

3)統計資料による人工系水循環の推定

人工系水循環に中分類される生活用水及び工業用水については、統計資料にもとづいて市町村別の１人１日使用量、水源割合を原単位法により推定することとした。また、表流水取水地点については、「霞ヶ浦利用現況図（建設省霞ヶ浦工事事務所）」により把握した。

ア）生活用水

生活用水の水源は、流域内の地下水、霞ヶ浦の流入支川、霞ヶ浦の湖水及び上水道事業の広域化に伴う流域外の水道水源である。

水道に係わる水量データで、一般に入手可能な統計資料は、「水道統計（厚生省環境衛生局水道環境部編）」と「茨城県の水道（茨城県衛生部環境衛生課）」である。

この内、「水道統計」には、

①上水道事業（計画給水人口 5,001 人以上）・市町村（企業団含む）別・水源別用水取水量

②上水道事業（計画給水人口 5,001 人以上）・市町村（企業団含む）別・用水供給量

が年間ベースで記載されている。

一方、「茨城県の水道」には、水道統計に記載されている上水道事業の水量データの他に、公営簡易水道事業の水量データについて、①、②と同様の水量データが記載されている。これらのデータを概観すると流域内各市町村の上水道の水源は、広域水道企業団から浄水受水を除いては、その多くが深井戸による地下水取水であり、規模の小さい簡易水道では地下水依存度が高い。

そこで、本研究では、上水道事業の水量データを基本とし、これ以外の生活用水の取水については、流域全体で一括して取り扱い、一人当たりの平均的な水道使用量（茨城県平均）を深井戸から地下水を取水するものと仮定した。また、上水道事業の水量データは、工業用水として供給する水量も一部ふくまれているので、イ）で推定される工業用水の水量データの内、上水道事業から供給される水量をこの手法により推定される水量から差し引いた値も記載した。

表－２に、流域市町村の一つである土浦市を対象にした平成元年度の水源別使用量、１人１日生活用水使用量の推定事例を示す。表－３に、この手法により推定した平成元年度の流域４５市町村の水源別使用量、１人１日生活用水使用量を示す。

イ）工業用水

工業用水の水源は、工業用水道、上水道、流域内の地下水等である。

工業用水に係わる水量データで一般に入手可能な統計資料は、「工業統計表（通商産業省大臣官房調査統計部編）」及び「茨城の工業（茨城県企画部統計課）」である。

この内、「茨城の工業」には

① 30 人以上事業所・市町村別の水源別用水使用量

② 30 人以上事業所・県・産業中分類別の水源別用水使用量

③ 30 人以上事業所・県・産業中分類別の製造品出荷額等

④１人以上（４人以上＋１～３人）事業所・市町村別・産業中分類別の製造品出荷額等

について年間ベースで記載されている。

①の水量データでは、30 人未満事業所の水量データは除かれているが、市町村別の水源別水量データは①以外にはない。そこで、①の水量データにより市町村別の総用水使用量（「その他」、「回収水」は除く）の水源比を推定する。これより規模の小さい 30 人未満事業所の用水使用量を加えた市町村別の総用水使用量については、県・産業中分類別の使用量原単位を②／③で計算し、これに同一の産業中分類における④を乗じた値が市町村別・産業中分類別の総用水使用量なるものとして各産業中分類毎に使用量を算定し、さらにこれらを合算して求めた。栃木県益子町、千葉県佐原市・小見川町の使用量については、

県・産業中分類別の使用量原単位として茨城県の値を流用し、同様の方法で求めた。なお、栃木県と千葉県には、④のデータの内、１～３人事業所の製造品出荷額等データが存在しないため４人以上事業所のデータをもって代用した。

表－４に、流域市町村の一つである土浦市を対象にした平成元年度の水源別使用量、１日工業用水用水使用量の推定事例を示す。表－５に、この手法により推定した平成元年度の流域４５市町村の水源別使用量、１日工業用水使用量を示す。

4)ホームページ作成

2)で設定したデータ項目の分類に従い収集データを表計算ソフト（Excel）に入力するとともに、html 言語でホームページを作成した。提供画面例を図１～４に示す。

5)データベースのＧＩＳ化

入力データの位置情報は、地点、行政区域等である。これらのデータをＧＩＳソフトで扱えるようにするためには、通常のデータ（属性情報）のみならず位置情報をＧＩＳソフトに入力することが必要である。一方、各機関が保管するデータの位置情報は、報告書に収録されている位置図に記載されていることが通常であり、ＧＩＳソフトに直接入力可能な形式では記載されていないことが多い。このような位置情報の内、建設省水文観測所地点、市町村行政界、流入支川流域界については、国土数値情報の水文観測所統合、流域界・非集水界線位置、行政界位置データを利用した。その他のデータについては、デジタイザーにデータの位置図をセットし、デジタイザーとＧＩＳソフトを接続することにより新たに位置情報を作成した。

位置情報と入力データは、ＧＩＳソフト内で連携することが可能である。すなわち、ＧＩＳのモニター画面上で入力データの存在する位置をクリックすることにより、データベースソフトが呼び出され画面上に入力データが表示される。

図－５にＧＩＳソフトで作成した平成元年度の流域市町村の生活用水使用量マップを示す。このように、ＧＩＳソフトによっては、位置情報の備わったデータを入力することにより豊富なプレゼーテンション機能により視覚に訴える主題図を容易に作成することが可能となる。

(5)まとめ

流域環境データベースの構築にあたって、オリジナルデータの取得目的が構築しようとしているデータベースの目的とするところと必ずしも一致しないことがあり、この場合、データ入力の時点で一部データの加工等が必要となる。この実例として、生活用水使用量、工業用水使用量のデータ作成方法を示した。また、ＧＩＳ化されたデータベースを活用した出力の一例として流域内各市町村での生活用水使用量の分布状況マップを作成した。今後は、データベースをインターネット上で公開するためにＧＩＳソフトをインターネット上で操作するためのプログラムを開発する必要がある。

表－１　入力データ項目及び入力データ

データ項目				入力データ	
大分類	中分類	小分類		出典	位置情報
水循環	自然系	雨量	日降水量	霞ヶ浦工事事務所資料	観測地点
		蒸発散量	日蒸発量	〃	〃
		河川流出量	日平均流出量	〃	〃
		湖水位	日平均水位	〃	〃
	人工系	生活用水	１日使用量	水道統計、茨城県の水道等	市町村
			水源別使用量	〃	〃
			表流水取水地点	霞ヶ浦工事事務所資料	取水地点
		工業用水	１日使用量	茨城の工業等	市町村
			水源別使用量	〃	〃
			表流水取水地点	霞ヶ浦工事事務所資料	取水地点
		農業用水	圃場整備地区	〃	圃場整備地区
			表流水取水地点	〃	取水地点
			１日使用量	〃	〃
物質流動	自然系	河川水質	水量･水質	茨城県資料	観測地点
			〃	霞ヶ浦工事事務所資料	〃
			水質	市町村資料	〃
			水量･水質	土木研究所資料	〃
		湖水水質	水質	茨城県資料	〃
			〃	霞ヶ浦工事事務所資料	〃
	人工系	生活排水	日平均汚濁負荷量	茨城県資料	市町村
		工場排水	〃	〃	〃
		事業所排水	〃	〃	流入支川流域
		畜産排水	〃	〃	市町村

表－２　生活用水使用量の推定事例（Ｈ１土浦市）

H1.4～H2.3	
人口	126,390
上水道人口	99,006
普及率	0.783
残人口	27,384
1人使用量原単位(県平均)	
(リットル/日)	311
(千m3/年)	0.114
残人口取水量(給水量ベース)	
(千m3/年)	3,108
(m3/日)	8,516
流域比率(生活系)	1.000
1人使用量(工場系除く)	
(リットル/日)	257
1人使用量(工場系含む)	
(リットル/日)	302

上水道事業(取水量ベース)			(千m3/年)
取水量	水源	水量	取水地点
	ダム直接		
	ダム放流		
	湖水		
	自流		
	伏流水		
	浅井戸		
	深井戸		
	原水受水		
	その他		
	小計	0	
	浄水受水	10,837	県南(西浦)
	合計	10,837	
給水量		10,837	
給水量/取水量		1.000	

上水道事業(給水量ベース)		(千m3/年)	(m3/日)
取水量	水源	水量	水量
	ダム直接	0	0
	ダム放流	0	0
	湖水	0	0
	自流	0	0
	伏流水	0	0
	浅井戸	0	0
	深井戸	0	0
	原水受水	0	0
	その他	0	0
	小計	0	0
	浄水受水	10,837	29,690
	合計	10,837	29,690

生活用水(給水量ベース)						(m3/日)	(千m3/年)	
取水量	水源	上水道人口分	残人口分	小計	内工業用水	生活用水計	生活用水計	取水地点
	ダム直接	0		0		0	0	
	ダム放流	0		0		0	0	
	湖水	0		0		0	0	
	自流	0		0		0	0	
	伏流水	0		0		0	0	
	浅井戸	0		0		0	0	
	深井戸	0	8,516	8,516		8,516	3,108	
	原水受水	0		0		0	0	
	その他	0		0		0	0	
	小計	0		8,516		8,516	3,108	
	浄水受水	29,690		29,690	5,681	24,010	8,764	県南(西浦)
	合計	29,690		38,207		32,526	11,872	

生活用水(給水量ベース・流域内)						(m3/日)	(千m3/年)	
取水量	水源	上水道人口分	残人口分	小計	内工業用水	生活用水計	生活用水計	取水地点
	ダム直接	0	0	0		0	0	
	ダム放流	0	0	0		0	0	
	湖水	0	0	0		0	0	
	自流	0	0	0		0	0	
	伏流水	0	0	0		0	0	
	浅井戸	0	0	0		0	0	
	深井戸	0	8,516	8,516		8,516	3,108	
	原水受水	0	0	0		0	0	
	その他	0	0	0		0	0	
	小計	0	8,516	8,516		8,516	3,108	
	浄水受水	29,690		29,690	5,681	24,010	8,764	県南(西浦)
	合計	29,690	8,516	38,207		32,526	11,872	

表－３　生活用水使用量（Ｈ１流域４５市町村）

H1.4～H2.3		取水量（給水量ベース）								(m3/日)	取水地点		1人使用量	(l/日・人)
市町村名	人口	自流	伏流水	浅井戸	深井戸	原水受水	その他	小計	浄水受水	合計	自流	浄水	工場系含む	工場系除く
土浦市	126,390	0	0	0	8,516	0	0	8,516	29,690	38,207		県南（西浦）	302	257
石岡市	49,954	0	0	0	0	0	0	0	20,708	20,708		地下水	415	176
下館市	65,486	0	0	0	21,403	0	0	21,403	0	21,403			327	327
竜ヶ崎市	55,818	0	0	0	9,923	0	0	9,923	6,499	16,421		県南（利根川）	294	283
下妻市	33,400	0	0	0	9,497	0	0	9,497	0	9,497			284	283
牛久市	59,835	0	0	0	5,543	0	0	5,543	11,282	16,825		県南（利根川）	281	277
つくば市	139,321	0	0	0	25,507	0	0	25,507	32,393	57,900		県南（西浦）	416	414
茨城町	35,857	0	0	0	10,557	0	0	10,557	0	10,557			294	287
小川町	18,488	0	0	0	4,339	0	0	4,339	0	4,339			235	225
美野里町	21,708	0	0	0	5,095	0	0	5,095	0	5,095			235	224
岩間町	16,023	0	0	0	4,614	0	0	4,614	0	4,614			288	284
岩瀬町	23,316	0	0	0	5,381	0	0	5,381	0	5,381			231	206
旭村	11,232	0	0	0	3,493	0	0	3,493	0	3,493			311	311
鉾田町	28,495	0	0	0	8,862	0	0	8,862	0	8,862			311	278
大洋村	10,561	0	0	0	3,284	0	0	3,284	0	3,284			311	311
大野村	13,938	0	0	0	4,335	0	0	4,335	0	4,335			311	311
鹿島町	44,594	0	0	0	6,890	0	0	6,890	9,877	16,767		鹿行（北浦）	376	295
神栖町	39,877	0	0	0	7,980	0	0	7,980	8,559	16,539		鹿行（北浦）	415	355
波崎町	36,995	0	0	449	5,375	0	0	5,824	7,425	13,248		鹿行（北浦）	358	213
麻生町	17,897	0	0	0	4,182	0	0	4,182	0	4,182			234	221
牛堀町	6,553	0	0	0	2,038	0	0	2,038	0	2,038			311	311
潮来町	24,255	6,704	0	0	864	0	0	7,568	0	7,568	潮来町（北浦）		312	282
北浦村	11,141	0	0	0	3,465	0	0	3,465	0	3,465			311	311
玉造町	14,001	0	0	0	4,354	0	0	4,354	0	4,354			311	266
江戸崎町	14,396	0	0	0	2,715	0	0	2,715	995	3,709		県南（西浦）	258	212
美浦村	14,491	0	0	0	1,734	0	0	1,734	6,819	8,553		県南（西浦）	590	432
阿見町	41,830	0	0	0	3,961	0	0	3,961	6,189	10,150		県南（西浦）	243	82
茎崎町	25,129	0	0	0	5,156	0	0	5,156	2,989	8,145		県南（西浦）	324	321
新利根村	9,119	0	0	0	1,747	0	0	1,747	1,134	2,881		県南（西浦）	316	287
河内村	11,181	0	0	0	1,147	0	0	1,147	2,165	3,312		県南（西浦）	296	76
桜川村	8,143	0	0	0	852	0	0	852	666	1,517		県南（西浦）	186	186
東村	13,487	33	0	0	1,152	0	0	1,184	2,693	3,877	佐原市（北利根川・横利根川）	県南（西浦）	287	242
出島村	18,707	0	0	0	5,378	0	0	5,378	0	5,378			288	259
玉里村	7,973	0	0	0	0	0	0	0	3,243	3,243		地下水	407	369
八郷町	29,470	199	0	0	3,916	0	0	4,115	1,273	5,388	恋瀬川（推定）	県西（西浦）	183	179
千代田町	24,364	0	0	0	5,487	0	0	5,487	2,052	7,539		県西（西浦）	309	167
新治村	9,473	0	0	0	1,404	0	0	1,404	720	2,124		県西（西浦）	224	190
明野町	18,187	0	0	0	5,656	0	0	5,656	0	5,656			311	251
真壁町	20,917	0	0	0	4,903	0	0	4,903	0	4,903			234	214
大和村	7,782	0	0	0	2,420	0	0	2,420	0	2,420			311	311
協和町	17,102	0	0	0	3,933	0	0	3,933	0	3,933			230	226
利根町	20,684	0	0	0	3,872	0	0	3,872	1,964	5,835		県南（利根川）	282	279
益子町	24,319	0	0	0	3,430	0	0	3,430	3,321	6,751		流域外（推定）	278	276
佐原市	49,582	8,227	0	0	7,170	0	0	15,397	0	15,397	佐原市（北利根川・横利根川）		311	309
小見川町	26,652	0	0	0	59	0	0	59	8,790	8,849		流域外（推定）	332	182

表－４　工業用水使用量の推定事例（Ｈ１土浦市）

S64.1～H1.12		4人以上事業所					1～3人事業所					（万円）1人以上事業所
産業中分類	県平均比率	統計値	内秘匿欄比率	秘匿欄間比率	秘匿欄推定値	推定値	統計値	内秘匿欄比率	秘匿欄間比率	秘匿欄推定値	推定値	推定値
食料	0.0651	5,244,601				5,244,601	26,864				26,864	5,271,465
飲料・たばこ	0.0335	X	0.0335	0.2558	600,558	600,558	X	0.0335	0.2368	4,552	4,552	605,109
繊維	0.0023	X	0.0023	0.0178	41,868	41,868	999				999	42,867
衣服	0.0048	238,798				238,798	21,631				21,631	260,429
木材	0.0039	192,854				192,854	8,799				8,799	201,653
家具	0.0045	122,397				122,397	14,743				14,743	137,140
紙製品	0.0238	62,454				62,454	2,042				2,042	64,496
印刷	0.0028	190,172				190,172	28,881				28,881	219,053
化学	0.0951	X	0.0951	0.7264	1,705,302	1,705,302	0				0	1,705,302
石油・石炭	0.0231	0				0	0				0	0
プラスチック	0.0548	2,949,085				2,949,085	8,362				8,362	2,957,447
ゴム	0.0085	39,604				39,604	X	0.0085	0.0599	1,152	1,152	40,756
なめし皮	0.0014	225,108				225,108	X	0.0014	0.0097	186	186	225,294
窯業・土石	0.0427	712,241				712,241	6,041				6,041	718,282
鉄鋼	0.0811	1,217,795				1,217,795	X	0.0811	0.5733	11,022	11,022	1,228,817
非鉄	0.0685	6,366,855				6,366,855	0				0	6,366,855
金属	0.0362	1,633,885				1,633,885	26,501				26,501	1,660,386
機械	0.1876	24,264,573				24,264,573	17,548				17,548	24,282,121
電機	0.2242	365,442				365,442	888				888	366,330
輸送機	0.0170	22,415				22,415	X	0.0170	0.1203	2,312	2,312	24,727
精機	0.0126	1,059,471				1,059,471	2,230				2,230	1,061,701
その他	0.0063	88,799				88,799	15,140				15,140	103,939
秘匿欄		2,347,728	0.1309	1.0000	2,347,728		19,225	0.1414	1.0000	19,225		
計		47344277				47,344,277	199,894				199,894	47,544,171

（m3/日）

産業中分類	使用量原単位	使用量	排水量原単位	排水量
食料	0.000984	5,188	0.000888	4,679
飲料・たばこ	0.000835	505	0.000734	444
繊維	0.000906	39	0.000906	39
衣服	0.000261	68	0.000261	68
木材	0.000294	59	0.000294	59
家具	0.000095	13	0.000095	13
紙製品	0.005774	372	0.005774	372
印刷	0.000410	90	0.000410	90
化学	0.002731	4,658	0.002681	4,571
石油・石炭	0.001317	0	0.001317	0
プラスチック	0.001577	4,664	0.001577	4,664
ゴム	0.001308	53	0.001308	53
なめし皮	0.001075	242	0.001075	242
窯業・土石	0.001533	1,101	0.001533	1,101
鉄鋼	0.003820	4,695	0.003820	4,695
非鉄	0.000485	3,090	0.000485	3,090
金属	0.000429	713	0.000429	713
機械	0.000226	5,479	0.000226	5,479
電機	0.000297	109	0.000297	109
輸送機	0.000271	7	0.000271	7
精機	0.000327	347	0.000327	347

（m3/日）　（千m3/年）

水源		取水量（30人以上）	水源間比率	取水量（1人以上）	取水量（1人以上）	取水地点
工業用水道		0	0.0000	0	0	
上水道		2,939	0.1803	5,681	2,073	県南（西浦）
地表水、伏流水		575	0.0353	1,111	406	桜川（推定）
地下水	上水道	0	0.0000	0	0	
	井戸水	12,791	0.7845	24,723	9,024	
	小計	12,791	0.7845	24,723	9,024	
淡水使用量	計	16,305	1.0000	31,515	11,503	

流域比率（工業系）	1.000

（m3/日）　（千m3/年）

水源		取水量（30人以上）	水源間比率	取水量（1人以上）	取水量（1人以上）	取水地点
工業用水道		0	0.0000	0	0	
上水道		2,939	0.1803	5,681	2,073	県南（西浦）
地表水、伏流水		575	0.0353	1,111	406	桜川（推定）
地下水	上水道	0	0.0000	0	0	
	井戸水	12,791	0.7845	24,723	9,024	
	小計	12,791	0.7845	24,723	9,024	
淡水使用量	計	16,305	1.0000	31,515	11,503	

表－５　工業用水使用量（Ｈ１流域４５市町村）

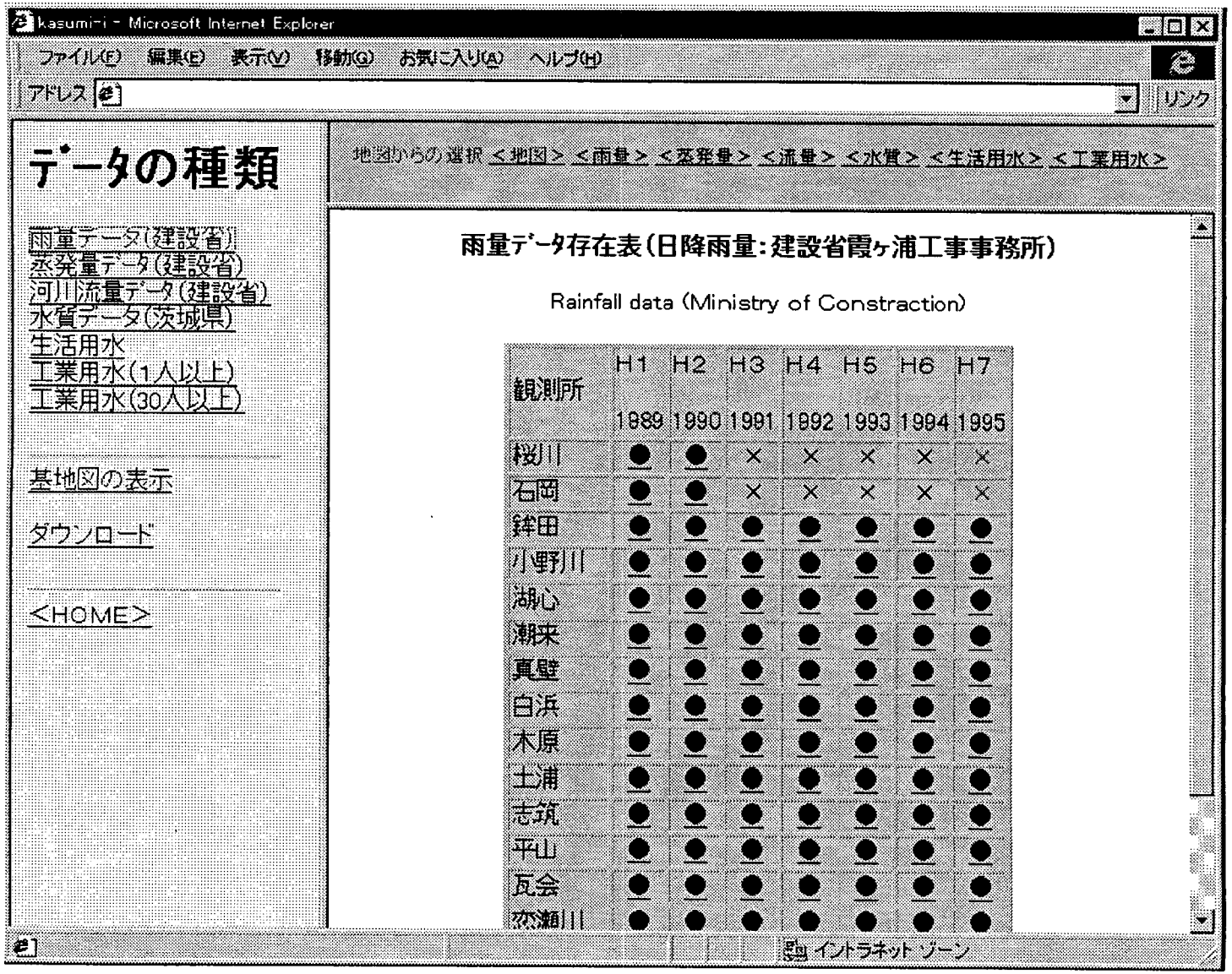
H1.1～H1.12	水源別(給水量ベース)									(m3/日)
1人以上	工業用水道		上水道(表流水)		地表水、伏流水		地下水			
市町村名	水量	取水地点	水量	取水地点	水量	取水地点	上水道	井戸水	小計	合計
土浦市			5,681	県南(西浦)	1,111	桜川(推定)		24,723	24,723	31,515
石岡市							11,900	17,818	29,717	29,717
下館市							655	45,396	46,051	46,051
竜ケ崎市			598	県南(利根川)				11,024	11,024	11,622
下妻市							40	15,579	15,619	15,619
牛久市			236	県南(利根川)				10,480	10,480	10,716
つくば市			274	県南(西浦)	64	桜川(推定)		24,054	24,054	24,392
茨城町					111	流域外(推定)	256	4,433	4,689	4,800
小川町							183	1,508	1,691	1,691
美野里町							231	4,943	5,173	5,173
岩間町							67	487	555	555
岩瀬町					2,396	流域外(推定)	570	947	1,518	3,913
旭村								350	350	350
鉾田町							949	19	968	968
大洋村								465	465	465
大野村								272	272	272
鹿島町	212,588	鹿行(北浦)	3,617	鹿行(北浦)	2	流域外(推定)		919	919	217,126
神栖町	175,795	鹿行(北浦)	2,365	鹿行(北浦)				2,078	2,078	180,238
波崎町	21,794	鹿行(北浦)	5,373	鹿行(北浦)				3,620	3,620	30,787
麻生町							227	1,976	2,203	2,203
牛堀町								1,284	1,284	1,284
潮来町			726	潮来町(北浦)				471	471	1,197
北浦村								278	278	278
玉造町							628	912	1,540	1,540
江戸崎町			656	県南(西浦)				3,692	3,692	4,348
美浦村			2,296	県南(西浦)				1,121	1,121	3,417
阿見町			6,722	県南(西浦)	5	清明川(推定)		22,596	22,596	29,324
茎崎町			72	県南(西浦)				1,812	1,812	1,884
新利根村			267	県南(西浦)				1,422	1,422	1,689
河内村			2,457	県南(西浦)				758	758	3,215
桜川村								1,396	1,396	1,396
東村			611	県南(西浦)、佐原市(北利根川、横利根川)				2,532	2,532	3,144
出島村							541	5,875	6,416	6,416
玉里村							304	7,162	7,465	7,465
八郷町			116	県西(西浦)				964	964	1,080
千代田町			3,464	県西(西浦)	214	恋瀬川(推定)		6,166	6,166	9,845
新治村			328	県西(西浦)				1,508	1,508	1,836
明野町							1,093	2,097	3,190	3,190
真壁町							427	4,818	5,245	5,245
大和村								3,338	3,338	3,338
協和町							66	1,600	1,666	1,666
利根町			74	県南(利根川)				602	602	676
益子町			39	流域外(推定)				1,241	1,241	1,280
佐原市			68	佐原市(北利根川・横利根川)				1,348	1,348	1,415
小見川町			3,997	流域外(推定)				771	771	4,769
合計	410,177		40,037		3,903		18,137	246,857	264,994	719,112



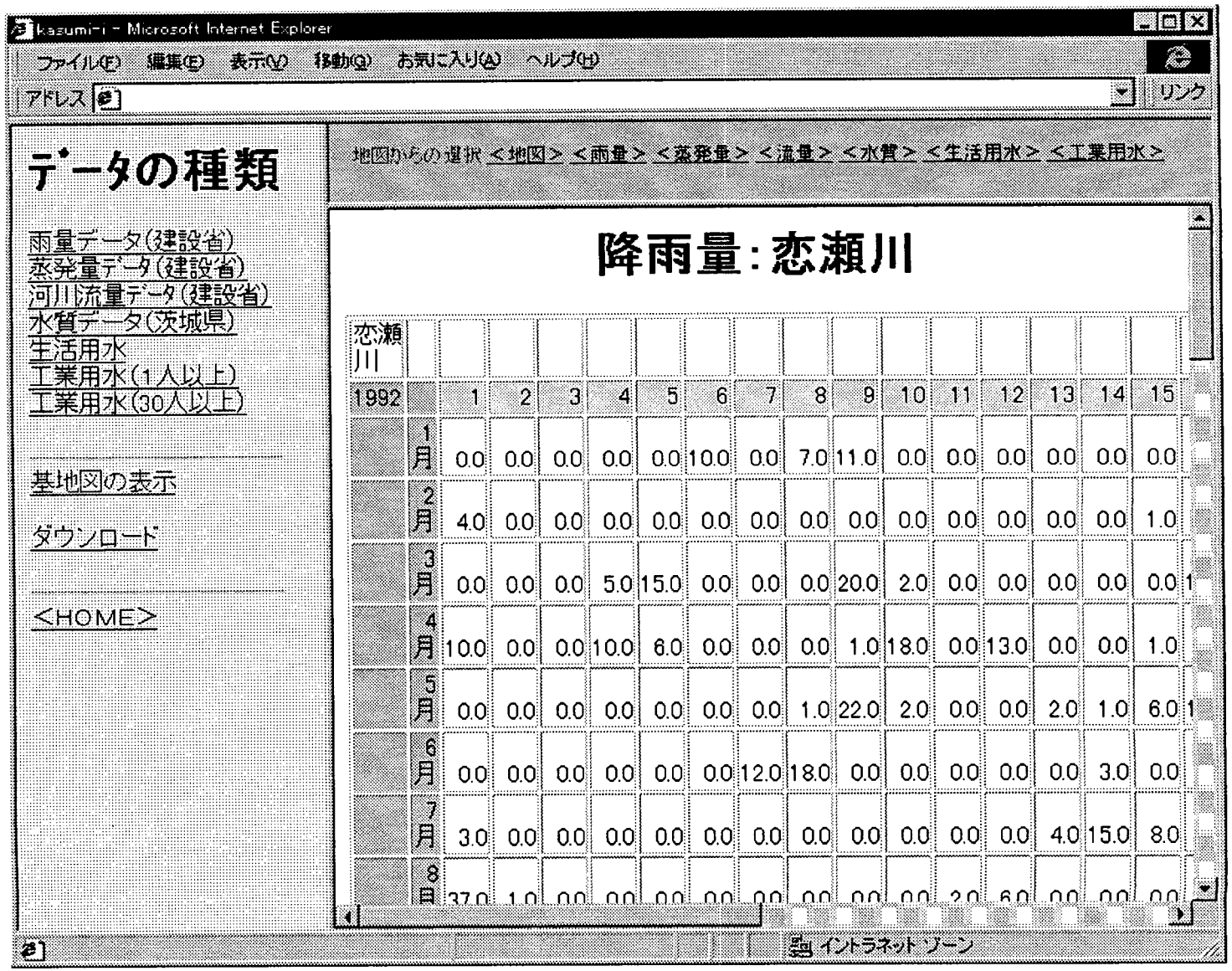
図－1　インターネットホームページ出力例



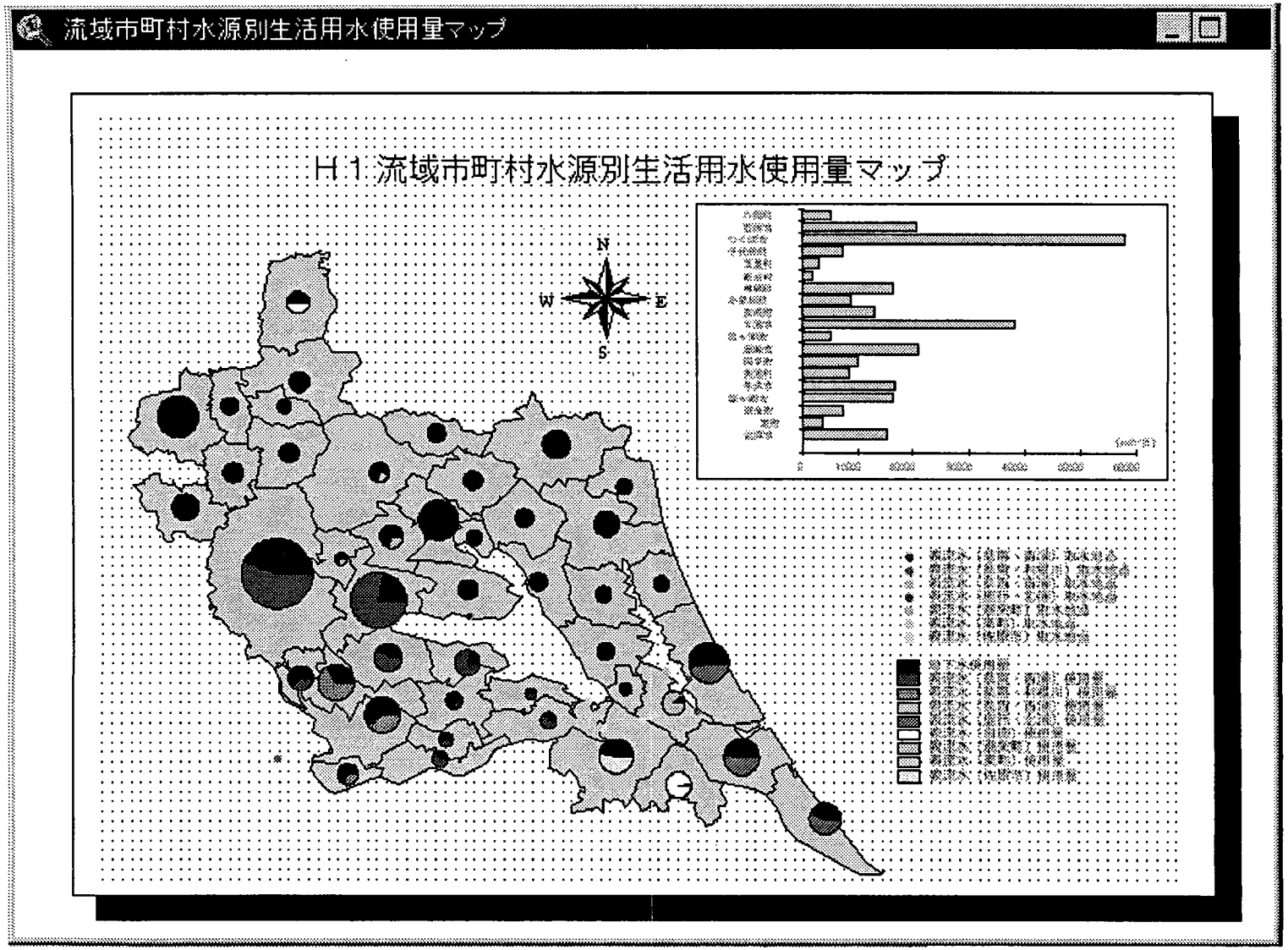
図－2　インターネットホームページ出力例



図－3　インターネットホームページ出力例



図－４　インターネットホームページ出力例



図－５　ＧＩＳソフトで作成した生活用水使用量の分布状況マップ

流域水管理への地理情報システムの利用に関する調査

研究期間：平８～平 10

担当：環境計画研究室　　室長：寺川　陽，主任研究員　安陪和雄

【要旨】

本研究は、霞ヶ浦流域をケーススタディ地域として、地理情報システムを利用し、流域の汚濁負荷の流出過程の面的に再現するシミュレーションシステムの構築を行うものである。今年度は、昨年度構築した分布型降雨流出モデルに物質流動メカニズムを組み込んだ分布型物質流動モデルを開発し、テストシミュレーションを行った。その結果、分布型物質流動モデルが小洪水時の時系列汚濁負荷量の実測データをかなりよく再現できることが示された。



１．研究方法

モデル流域として霞ヶ浦流域の一部を構成する恋瀬川流域を選び、地理情報システムに国土数値情報等を入力してシミュレーション用流域データ（100m メッシュ）を作成する。昨年度構築した分布型降雨流出モデルから算定される流出成分（表面・中間・基底流量）ごとに物質流動メカニズムを組み込んだ分布型物質流動モデルを開発し、実測汚濁負荷量データによりモデルの検証を行う。

２．研究結果

２．１分布型物質流動モデルの概要

流域における物質流動のモデル化に際しては、次のようないくつかの仮定を設けた。

①晴天時には、COD,TN,TP 等の汚濁負荷が大気由来等により地表面に降下し、粗い粒子態の汚濁負荷は地表面に堆積するが、細かい粒子態及び溶存態の汚濁負荷は表層内に堆積する。

②表層内の汚濁負荷は降下浸透流により一部捕捉され、基底流により流出する。

③降雨時には、表面流によって地表面に堆積した汚濁負荷が流出し、中間流によって表層内に堆積した汚濁負荷が流出し、基底流によって地中に降下浸透した汚濁負荷が流出する。

④基底流の汚濁負荷濃度の時間変化は中間流に比べて無視できるほどに小さい。

以上の物質流動メカニズムを表－１に記載する地表面、表層及び地中物質流動モデルにより表現した。

表－１　分布型物質流動モデル

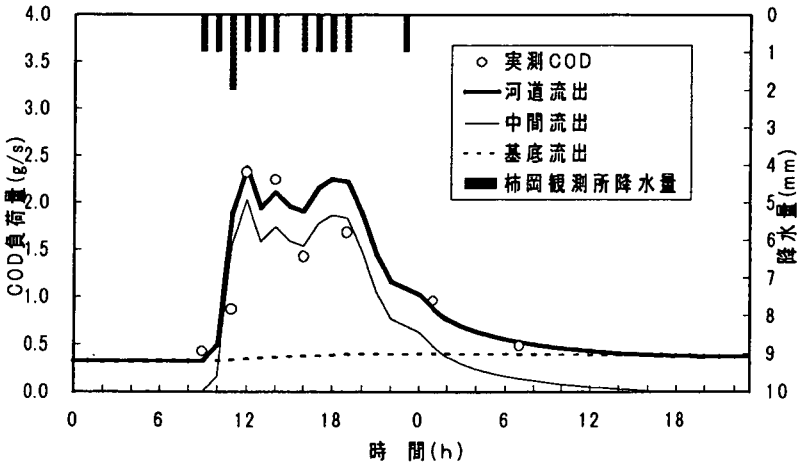
地表面物質流動モデル	表層物質流動モデル	地中物質流動モデル
$L_1 = K \cdot S^m \cdot Q_1^n$	$L_2 = K \cdot D^m \cdot Q_2^n$	$L_3 = C_3 \cdot Q_3$
$S = S_0 - L_1 \cdot \Delta t$	$D = D_0 - L_2 \cdot \Delta t$	
$S_0 = S_u \cdot (1 - e^{-K_s \cdot T})$	$D_0 = D_u \cdot (1 - e^{-K_d \cdot T})$	
L_1：地表面流出負荷量 (g/s)	L_2：表層土壌 流出負荷量 (g/s)	L_3：地中 流出負荷量 (g/s)
S：堆積現存量 (g)	D：堆積現存量 (g)	Q_3：基底 流量 (m^3/s)
Q_1：表面流量 (m^3/s)	Q_2：中間 流量 (m^3/s)	C_3：汚濁負荷濃度 (g)
S_0：残存堆積量 (g)	D_0：残存堆積量 (g)	
S_u：極限堆積量 (g)	D_u：極限堆積 滞留量 (g)	
K_s：堆積速度係数 (1/d)	K_d：堆積速度係数 (1/d)	
T：堆積0からの経過日数 (d)	T：堆積0からの経過日数 (d)	

２．２シミュレーション結果

図－１に物質流動モデルによる各流出成分を介した負荷量の計算結果と実測負荷量の比較を示す。なお、実測データは、恋瀬橋地点において１時間毎に採水したサンプルの水質分析結果による。

シミュレーション結果は、物質流動モデルでは、立ち上がりからピークまでは実測値と合致しているが、減衰が若干遅れる傾向がある。

今回のシミュレーションは小洪水を対象としたものであるため、モデル上では表面流および地表面汚濁負荷流出は発生しておらず、流出汚濁負荷の大部分は中間流を経由したものとなっている。



図－１　物質流動シミュレーション結果

２．３今後の課題

今後は、規模の大きな洪水を対象にモデルの妥当性を検証するとともに、土地利用の異なる流域を対象にシミュレーションを実施し、土地利用に応じた適切なモデルパラメータの設定手法について検討を進めたいと考えている。

Ⅰ-6　湖沼の総合的な富栄養化対策技術に関する研究

水生動物を用いた水環境修復に関する交流育成

研究期間　平成９年

担当　環境計画研究室　室長：寺川　陽 、　研究員：福渡　隆

【要旨】

生態系システムに着目した湖沼水質保全技術に関して、先導的な研究を実施しているオランダ国立陸水管理研究所（RIZA）及びＲＩＺＡと共同で湖沼水質保全プロジェクトを実施している地域水管理機関を訪問し、研究情報の交流を図った。今後、文献の相互送付や研究者の相互訪問等を通じて研究情報の交流を継続・強化していくことは、わが国の当該分野の技術力向上に寄与するところが大であると思惟される。

また、ドイツ連邦水文研究所では、河川・湖沼流域の総合的な水管理の手段としてのＧＩＳ整備・活用についての研究情報交換を行った。

１．旅程

日付	行　　程	宿　泊　地	内　　容
9/16	成田→アムステルダム	アムステルダム	移　動
9/17-18		〃	公共事業省陸水管理研究所(RIZA)訪問
9/19		〃	ﾗｲﾝﾗﾝﾄ水管理機関（ﾗｲﾃﾞﾝ市）訪問 ＋現地湖沼環境保全施設等見学
9/20 －21		〃	寺川：休日（近郊河川、湖沼等見学） 福渡：帰国
9/22 －23		〃	ﾌﾘｰｽﾗﾝﾄﾞ水管理機関(ﾚｰﾜﾙﾃﾞﾝ市)訪問 ＋現地湖沼環境保全施設等見学
9/24	アムステルダム→フランクフルト	フランクフルト	移動
9/25-26		〃	ドイツ連邦水文研究所訪問
9/27-28	フランクフルト発→成田着	機中泊	移動

２．訪問機関並びに訪問相手方の氏名、所属及び職位

機関の名称	機関の所在地 （住　所）	訪　問　相　手	
		所属・職位	氏　名
国立陸水管理研究所 （ＲＩＺＡ）	8200 AA Lelystad, Netherlands	湖沼水質保全プログラムプロジェクトリーダー	Dr. S. Harry Hosper
ﾗｲﾝﾗﾝﾄﾞ水管理機関 （ライデン市）	2300 AD Leiden, Netherlands	総合水管理ﾌﾟﾛｼﾞｪｸﾄｸﾞﾙｰﾌﾟﾘｰﾀﾞｰ 水管理部長 排水処理部長 水生生物ｸﾞﾙｰﾌﾟﾘｰﾀﾞｰ	Dr. Liz van Duin Dr. J. van der Does Dr. P. Knaaperr Ms. L. Frinking
ﾌﾘｰｽﾗﾝﾄﾞ水管理機関 （レーワルデン市）	8900　AA　Leeuwarden, Netherlands	湖沼生態担当技術者 湖沼水質管理担当技術者	Dr. Theo Claassen Mr. R. Veeningen
ドイツ連邦水文 研究所	D-56003 Koblenz, Germany	ＩＨＰ/ＯＨＰ事務局教授 水収支研究室研究員 ＧＲＤＣ事務局長	Dr. K. Hofius Mr. Peter Krahe Dr. W. Grabs

３．会談、討議、視察等の結果の概要

オランダ国立陸水管理研究所（ＲＩＺＡ）は、人事、企画及び施設管理の３つの研究支援部門と情報・計測、水システム、水質汚染制御及びウェットランドの開発・保全の４つの研究部によって構成されている。今回の訪問に際しては、水システム部の湖沼水質保全プログラムのプロジェクトリーダーであるホスパー氏に全体的なアレンジをお願いした。

ホスパー氏からは、オランダの水管理の実情及びＲＩＺＡの研究活動の概要紹介に続いて、氏が中心となって最近まとめた「湖沼水質保全」(生態系システムに着目した湖沼水質保全）をもとに、湖沼水質保全に関する最近の研究成果の報告を受けるとともに討議を行った。浅い湖沼において生息する魚類の大部分を捕獲することにより、底質の巻き上げを防止し、また水生植物の生育を促すことによってアオコを抑制する、いわゆる生態系制御技術については、これまで試験的に導入した21の湖のうち、約半数で水質改善に寄与したと評価されているということであった。また、1990年に上述の生態系制御技術を導入したボルダービード湖、干拓予定地を変更して5km×11km程度のエリアをウェットランドとして保全を図った地区及びアイセル湖に流入するアイセル川河口部において汚染された底泥を河床に掘削した直径1km、深さ45mの穴に封じ込めるプロジェクトを実施しているサイト等を現地視察した。

次の訪問先であるライデン市にあるラインラント水管理機関は、住民及び汚濁負荷を排出している企業等から独自に徴収する税収によってラインラント州域の河川・湖沼の水量、水質の管理及び下水処理場の管理を担当している。ここでは、オランダ西部における水管理の現状、下水処理施設の現状、湖沼水質保全プロジェクト及びニーウクープ湖の水生生態についてそれぞれ説明を受け、質疑を行った。当方からは、土木研究所の概要及び湖沼水質管理を目的として実施している研究について紹介した。また、北部フリースランド州の州都レーワルデン市にあるフリースランド水管理機関では、フリースランド地域における水管理実務及び研究の概要について紹介を受けるとともに、流入水のヨシ原浄化施設、リンの沈殿促進のための塩化鉄注入施設及び流入汚水の一部バイパス等各種の水質保全対策が講じられているナニューウィード湖を視察した。

ドイツ連邦水文研究所では、各主要河川ごとに流域土地利用、地質、洪水時の氾濫予想区域等を図面集としてまとめた水文地図（Hydrological Atlas）を順次刊行してきているが、これらを電子情報(GIS)化し使い勝手を向上させていくのが最近の研究テーマとなっている。最近の成果についてデモンストレーションも含めた紹介を受けると共に、今後の研究の方向性等について討議した。

４．今後の本研究テーマの進め方についての意見

オランダ国立陸水管理研究所（ＲＩＺＡ）では、湖沼水質保全プログラムプロジェクトリーダーのHosper氏を中心に、各地域の水管理機関との連携のもとで湖沼の生態システムのモデリング、栄養塩・植物プランクトン・水生植物・魚の相互関係の把握及び生態系制御を含む湖沼水質保全対策等について湖沼水質管理実務への反映を目的とした精力的な調査研究が進められている。今後、文献の相互送付や研究者の相互訪問等を通じて研究情報の交流を継続・強化していくことは、わが国の当該分野の技術力向上に寄与するところが大であると思惟される。

また、ドイツ連邦水文研究所では、ライン川流域７か国の協力（流域面積の割合で見るとドイツとオランダがかなりの部分を占める）のもとで、ライン川流域水管理データベースの構築を推進しており、1998 年度に概成予定のシステム本体は先述のＲＩＺＡに設置されることになっている。わが国が今後、河川・湖沼流域の総合的な水管理の手段としてのＧＩＳ整備・活用を進めていく上で参考になるところも大きいと思われるので、ライン川ＧＩＳに関する継続的な情報収集に努める必要がある。

国立機関公害防止等試験研究費

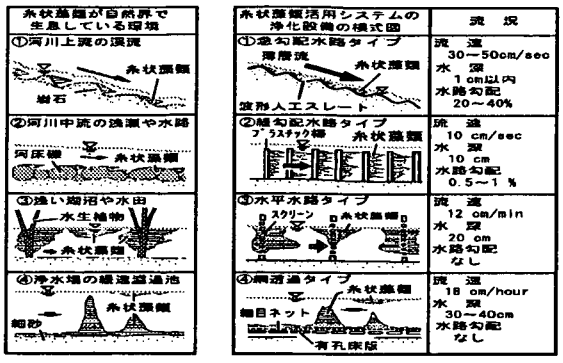
湖沼等における糸状藻類を活用した富栄養化対策に関する研究

研究期間：平６～平１０

担当：環境計画研究室　　室長：寺川　陽　　研究員：福渡　隆　　研究員：田中　康泰

【要旨】

湖沼等の閉鎖性水域では、流域より過剰な栄養塩が流入してく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。異常増殖した植物プランクトンは、水の華、アオコ、水道水のカビ臭、魚類のへい死、景観阻害等様々な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。この様な背景のもと、本研究は富栄養化対策の一つとして、糸状藻類の栄養塩吸収能力を活用して流入河川等から栄養塩を除去する技術の開発を行うものである。９年度は、これまでに検討を行った４種類の実験水槽を用い、現地実験を行うと共に実河川水に対する有効性及び留意点について検討を行った。



表―１　糸状藻類活用システム

１．研究目的

富栄養化対策としての流入河川水からの栄養塩除去に、糸状藻類の栄養塩吸収能力を活用するため、本研究では糸状藻類が安定して増殖可能となるように人為的に環境を制御した浄化システムの施設構造の確立を第一の目的としている。平成９年度は、実規模の施設とした場合の問題点等を明確にするために、これまで検討してきた施設を実河川に設置し、直接河川水を引水した実験によって栄養塩除去能力を把握するとともに、効果的な管理運用手法の確立を目指した。

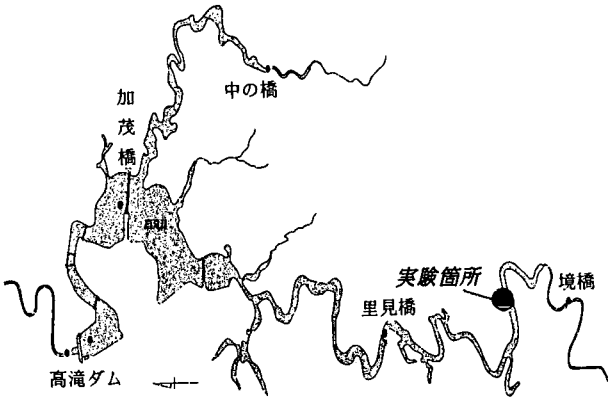
２．研究方法

８年度までに施設の検討を行ってきた４タイプ（表－１）について、千葉県高滝ダムの流入河川である養老川に設置し、直接河川水を引水した場合の栄養塩除去能力等について検討を行った。８月２９日から１月１６日まで流入河川及び各施設毎に、栄養塩類、藻類回収量等を計測した。

２．１実験サイトの概要

現地実験を行った養老川は千葉県房総半島の中央に位置し、流域面積 245.9km^2、延長 75km の二級河川である。養老川の中流部に湛水面積 1.99km、総貯水量 14,300 千 m^{3}の多目的ダムである高滝ダムがある。実験を実施したのはその流入端である。(図―１参照)

養老川の水質は、ダム流入端の年平均で、ＢＯＤ；２．３mg/l、Ｔ－Ｎ；1.27 mg/l、Ｔ－Ｐ；0.153 mg/l であった。一方の高滝ダムの水質は、ＣＯＤ；９．１mg/l、Ｔ－Ｎ；０．８５mg/l、Ｔ－Ｐ０．０５９mg/l であり、



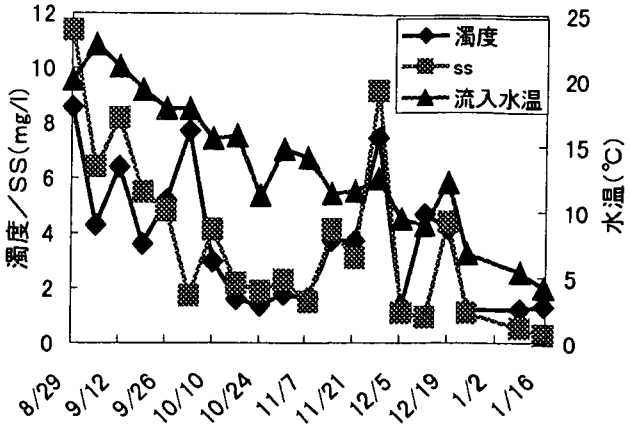
図―１　実験サイト

夏期にはしばしばミクロキスティスによる水の華の発生が見られている。

３．研究結果

３．１流入河川の概況

養老川の概況について、図―２に示す。８月下旬からの実験開始であったため、実験期間中徐々に水温は下がっていき、１２月を越えると１０℃を下回り藻類が活発に活動するには困難な状況となっていたことが推察される。



図―２　養老川の概況

また、濁度とＳＳについて、実験開始直後に雨が多かったこともあって濁度・ＳＳ共に高めであったが、平均すると濁度は３．７０、ＳＳは３．７４ｍｇ／ｌであった。

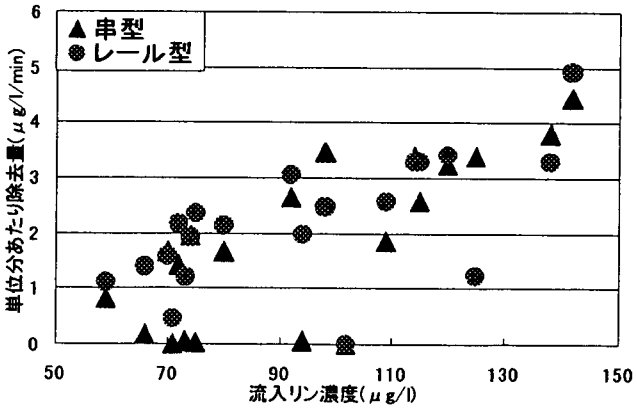
３．２評価指標としての除去率

本実験施設には、直接河川からポンプを用いて実験水を供給しているために、各施設に供給する水量にばらつきが見られた。

本施設は、糸状藻類の成長（増殖）するときに必要な栄養塩である溶存体のリン（PO_4-P）を吸収することに着目し、この吸収除去を効率的に発揮できるように設計されている。従って、流入水の滞留時間によって除去能力は異なってくると考えられる。

そこで、各施設の容積を各給水量で除し滞留時間を求め、各施設毎に単位滞留時間（１分）あたりの PO4-P 除去量（以降、単位分あたり除去量とする）を求めた。

ここで、流入河川水のリン（PO4-P）濃度（以降流入リン濃度とする）に対するこの除去量について整理した。一例として、緩勾配水路タイプの結果を図―３に示す。流入リン濃度の濃さに対応して、単位分あたり除去量も増加していることがわかる。また、解放系の屋外実験ということもあり多少のばらつきはあるものの、この２者間は各施設毎に決まった傾きをもつ直線で表現可能であることが推察された。この２者間の関係を表現する傾きとは除去率のことであるので、流入リン濃度の変動に対し各施設のリン除去能力を適性に把握するためには、滞留時間で補正したリンの除去率で評価する必要がある。



図―３　流入リン濃度と単位時間あたり除去量

３．３各実験施設の栄養塩除去能力

８年度までに検討してきた４タイプの浄化施設は、実験施設の大きさ、処理量とも異なっており、この２変数は、施設の除去能力に非常に大きく影響する。これら４タイプの栄養塩除去能力を適性に評価するためには、この単位施設規模・単位処理量あたりの除去率を求める必要がある。

この施設規模と処理量の２変数は、

施設規模（m^3）／処理量（m^3／ｍｉｎ）＝接触時間（滞留時間；ｍｉｎ）

という関係にあることから、接触時間（滞留時間と同義だが、以降は接触時間とする）という１変数に代表させて、各タイプの性能を比較することとした。

図―４は、各施設のリン除去率と接触時間の関係を示したものである。縦軸はリン除去率を百分率で表

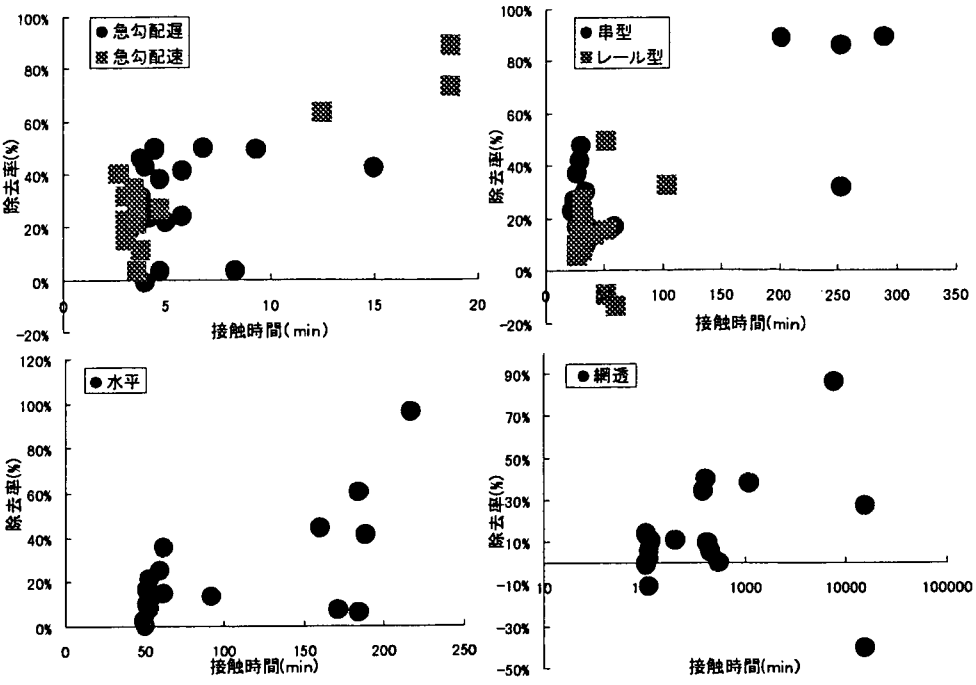
し、横軸は接触時間（単位は分）を表している。但し、網透過タイプのみ横軸は対数で表示してある。

データはかなりばらついてはいるが、概ね全てのタイプについて、接触時間と除去率には比例の関係が見られた。

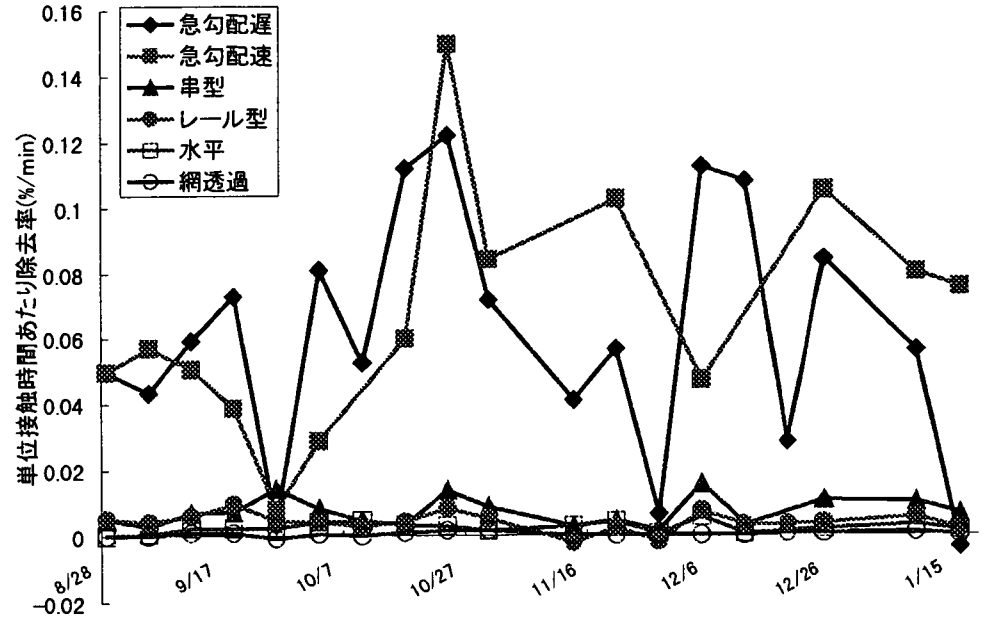
以上より、この関係を簡便に表現するために、ここでは、接触時間と除去率は線形の比例関数で表現できると仮定することにする。

そこで、各施設タイプの栄養塩除去能力を比較するために、除去率を接触時間で除した「単位接触時間あたり除去率」を求めた。

図―5に示すように、急勾配水路タイプに比べ他のタイプは単位時間あたり除去率が非常に低かった。また、本実験期間中の、各施設タイプ毎に単位接触時間あたり除去率を算術平均したものを、表－2に示す。平均除去率からも、急勾配水路タイプとは他のタイプは一桁以上の違いがあることが分かった。



図―4　各施設タイプの除去率と接触時間



図―5　各施設タイプ毎の単位接触時間あたり除去率

表―2　各施設の平均単位接触時間あたり除去率 (%/min)

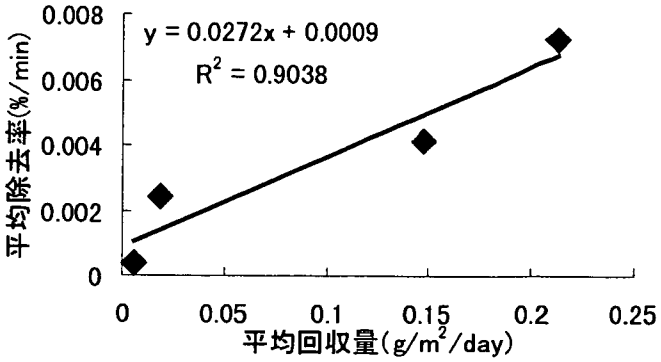
	急勾配水路 流速 小	急勾配水路 流速 大	緩勾配水路 串型	緩勾配水路 レール型	水平水路	網透過
平均除去率	0.060833	0.066766	0.007195	0.004107	0.002402	0.000382

この結果は、水路内の糸状藻類の繁茂状態によるもの、つまり、各施設内で糸状藻類の生息している空間の比率（有効利用率）に比例すると考えられる。施設の有効利用率について、定量的に評価するための項目は調査していないが、糸状藻類の回収量（乾燥重量；g）を回収までの日数及びその施設の容積で除したものを各施設の平均回収

量として、表—3に整理した。急勾配水路タイプは、もともと薄層流ををイメージして作成しているので、糸状藻類の有効利用率は高いと考えられる。その他の施設については、表—3より各施設の容積に対する糸状藻類の回収量は、緩勾配水路タイプ（串型）＞緩勾配水路タイプ（レール型）＞水平水路タイプ＞網透過タイプとなっており、これは表—2の平均除去率の大小と同様の傾向があった。

表—3　単位施設体積・日あたりの平均糸状藻類回収量

	緩勾配串型	緩勾配レール型	水平水路	網透過
平均回収量 ($g/m^3/day$)	0.213025	0.147675	0.018131	0.006287



図—6　各施設の平均回収量と平均除去率

平均回収量と平均除去率について図—6にまとめた。ほぼ直線的な比例関係が見られるので、藻類の繁茂量と除去率は有意に相関があり、相関係数 R^2=0.9038 の回帰直線として図中の式が得られた。

3．4実河川への適応性

評価指標としての単位接触時間あたり除去率を用いて、7年度の前処理（軽石濾過使用）をおこなって実験してきた結果と、前処理無し（直接河川水使用）の本実験結果を比較した。

表—4　前処理の有無による除去率の変化

		急勾配流速小	急勾配流速大	緩勾配串型	緩勾配レール型	水平水路	網透過
前処理有り	平均	0.131	0.109	0.015	0.013	0.004	0.0017
	最大	0.306	0.204	0.031	0.025	0.01	0.0053
	最小	-0.03	-0.02	0.003	0.002	0	-0.001
前処理無し	平均	0.061	0.067	0.007	0.004	0.002	0.0004
	最大	0.122	0.149	0.016	0.01	0.006	0.0014
	最小	-0	0.008	0.001	-0	0	-0.001

表－4に示すように、全体的に本実験結果の方が除去効率の悪いことが分かる。これは、7年度の実験期間は、5月から10月までの約6ヶ月で実験を行っているのに対し、本年度は8月末から1月中旬にかけての実験であったため、糸状藻類とって活発な増殖時期とは異なっていたため栄養塩の吸収能力が低かったためと考えられる。

表—5　前処理の有無による糸状藻類回収量の変化

		緩勾配串型	緩勾配レール型	水平水路	網透過
前処理有り	平均	0.161	0.073	0.0214	0.015
	最大	0.56	0.286	0.0414	0.026
前処理無し	平均	0.213	0.148	0.0181	0.006
	最大	0.529	0.587	0.1087	0.015

また、表—5に示すように、糸状藻類回収量を比較してみると、前処理があった場合とほとんど差異がない。水温が低下し珪藻類が主体となっているため、緑藻に比べると若干は重量があるが、除去率の低さを鑑みると、これは流入河川水中に含まれるＳＳが藻類付着していると推測される。養老川の概要でも述べたが、平均 3.74mg/l のＳＳでも糸状藻類に対しては栄養塩吸収に障害となっている。

4．まとめ

9年度は、8年度までに検討してきた4タイプの浄化施設の栄養塩除去能力について評価し、施設内を最も効率的に使用していると思われる急勾配水路タイプの浄化施設が、除去効率でも最も良好であることが分かった。しかし、処理水中に微小な物質が存在する場合にはその吸収能力が阻害され、リン（PO^4-P）除去率が低下する。実河川に設置する場合は、河川水中に含まれる濁質について何らかの前処理を施すことが望ましいと考えられる。

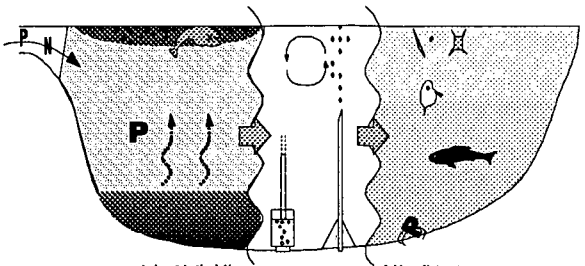
湖沼の総合的富栄養化対策技術に関する調査

研究期間：平７～平１１

担当：環境計画研究室　　室長：寺川　陽　　研究員：福渡　隆　　研究員：田中　康泰

【要旨】

土木研究所の開発した流動制御システムは、ダム湖内の流動を制御することにより富栄養化現象を抑制することを目的としている。ただし、ダム湖の形状及び水質状況はそれぞれ固有のものであるため、各ダム湖毎に効果的な運用手法及び必要に応じて補完する対策手法の導入等の検討が必要である。本調査は、現地観測及びそれに基づくシミュレーションモデルによる検討を通じて、流動制御システムと他の対策手法を同時に行った場合の効果の判定及び運用手法について検討を行うものである。



流動制御システムの模式図

平成９年度は、耶馬渓ダムの観測データを用いてパラメータを同定した鉛直一次元モデルを他のダムに適用し、モデルの汎用性について考察を加えた。物理的な現象はほぼ再現が可能であったが、プランクトンの増殖状況については、各ダムの優占種に応じたパラメータの修正が必要であった。

１．　研究方法

１．１　対象ダム

散気方式の曝気装置を用いた流動制御システムを導入しているダムのうち、貯水池の形状が複雑ではない、水質調査の頻度が高い等の観点から、旭川ダム（岡山県）及び草木ダム（群馬県）を対象とした。

旭川ダムは、岡山県御津郡に位置し、湛水面積 4.21km^2、総貯水量 57,382×10^{3}m^3 の多目的ダムで、湛水延長が約１５ｋｍであり、細長い。湖内には、フロート式の浅層曝気装置が９基設置されており、吐出口の位置は 10～15m で可変式である。平成７年度のデータを用い、１カ年のシミュレーションを行った。

一方、草木ダムは、群馬県勢多郡に位置し、湛水面積 1.7km^2、総貯水量 605,000×10^{3}m^3 の多目的ダムである。湖内には、フロート式の浅層曝気装置がダムサイト付近に５基設置され、水深１５ｍに吐出口が設けられている。平成７年度及び平成８年度のデータを用い２カ年連続のシミュレーションを行った。

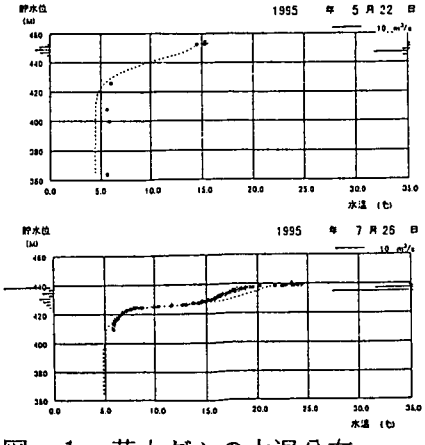
１．２　シミュレーションモデル

使用したシミュレーションモデルは、土木研究所の開発した鉛直一次元シミュレーションモデルに曝気循環を考慮した流動モデル及びＣｈｌ－ａを藍藻類、緑藻類、珪藻類に分割した複数藻類モデルを組み込んだものである。

２．研究結果

耶馬渓ダムの観測データで同定したパラメータを用いて、草木ダム（平成７，８年度）と旭川ダム（平成７年度）の物理的条件下での再現計算を行い、モデルの汎用性の観点から考察を加えた。

水温の鉛直分布については、循環混合層が形成されていく様子（図―１；草木ダムの場合）はほぼ再現できた。しかし、旭川ダムについては出水時及び放熱期の再現が出来なかった。これは、旭川ダムの延長が約 15km あるので、鉛直一次元モデルの限界とも考えられる。問題となる富栄養化現象が生じる夏期にかけては再現できたので、物



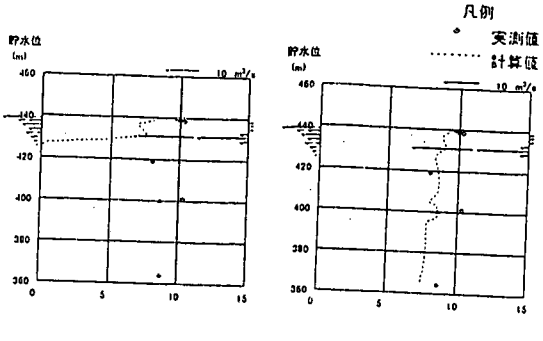
図―１　草木ダムの水温分布

理パラメータ（連行係数、拡散係数、日射の水面吸収率等）については、ある程度の汎用性があると考える。DO,ＣＯＤ,濁度,T-P,I-P,O-P,T-N,I-N,O-N についての再現性はあまり良くなく、DO が水深の深い場所で実測値よりも低い値を示し特に適合度が悪かった。（図―２参照）そこで、

DO収支　＝表層の再曝気＋DO 生産量－ＣＯＤ濃度の関数である DO 消費[-①]－底泥の DO 消費

ＣＯＤ収支＝内部生産－分解[-②]＋底泥からの溶出

の①と②を同じ現象であると仮定し、それぞれを等値で変換するようにモデルを改良した。ＣＯＤの DO 消費係数を 1/10 にしたところ、DO についてもほぼ再現が可能となった。



既モデル　　改モデル

図―２　草木ダムでの DO 分布

また、実測値のクロロフィル a を各藻類ごとに分割換算し、各藻類毎の再現性をもとに複数藻類モデルのパラメータの考察を行った。旭川ダムでは、縦断的に藻類の種構成が異なっているために各採水地点毎のクロロフィルａ濃度にばらつきが見られ、鉛直一次元の本モデルでは表現できなかった。一方草木ダムについては、耶馬渓ダムで同定したパラメータでは、全く藍藻類が増殖しなかった。耶馬渓ダムと草木ダムとで各藻類毎に優占している種を比較したところ、表－１に示すように各藻類共に増殖特性の全く異なる種が優占していた。草木ダムでの現象を表現するためには、表―２に示すようなフォルミディウムに着目したパラメータの設定が必要であることが分かった。

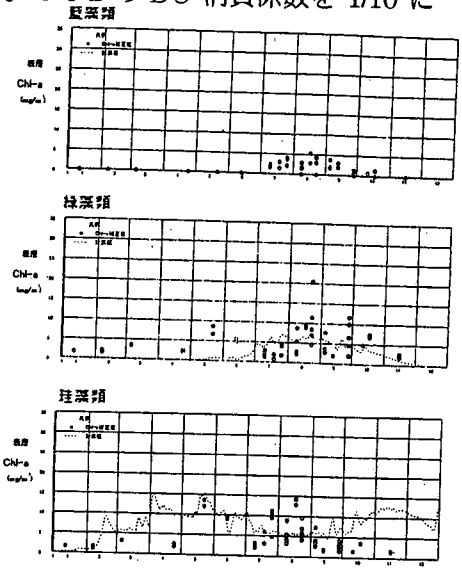


図-3.1 既同定パラメータ

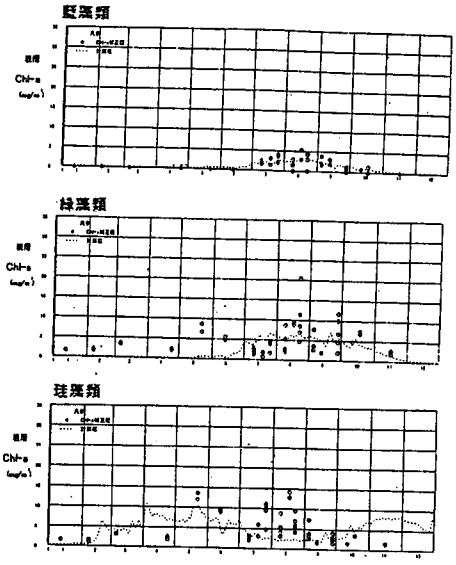


図 3.2 フォルミディウム型

表―１　優占藻類の違い

	耶馬渓ダム	草木ダム
藍藻類	ミクロキスティス	ホルミディウム
緑藻類	ユードリナ	パンドリナ
珪藻類	キクロテラ	シネドラ

表―２ ダム湖によるパラメータセット

条件		環境要素	記号	藍藻類	緑藻類	珪藻類
無対策時		最大比増殖速度	μ_{max}	1.5	1.8	2.0
		最適水温	Ts	30	20	10
		水温とがり度	nt	5	3	1
		呼吸枯死速度	Kpp	0.096	0.14	0.096
		捕食速度	Kg	0.25	0.25	0.25
		沈降速度	ω_p	0.0	0.2	0.4
		日射量補正項関数形	-	飽和	阻害	
流動制御時	耶馬渓ダム※1	最大比増殖速度	μ_{max}	1.5	1.8	2.0
		最適水温	Ts	30	20	10
		水温とがり度	nt	10	3	0.5
		呼吸枯死速度	Kpp	0.096	0.140	0.096
		捕食速度	Kg	0.25	0.1	0.3
		沈降速度	ω_p	0.0	0.2	0.4
		日射量補正項関数形	-	飽和	阻害	
	草木ダム※2	最大比増殖速度	μ_{max}	1.5	1.8	2.0
		最適水温	Ts	22	20	10
		水温とがり度	nt	5	3	0.5
		呼吸枯死速度	Kpp	0.096	0.140	0.096
		捕食速度	Kg	0.25	0.25	0.25
		沈降速度	ω_p	0.0	0.2	0.21
		日射量補正項関数形	-	阻害		

単位）最大比増殖速度：1/day,最適水温：℃,水温とがり度：-,呼吸枯死速度：1/day,捕食速度：1/day,沈降速度：m/day

注）藍藻類の呼吸枯死速度は、耐暗性の弱さを表現するために、攪動制御の有無に関わらず、暗所においては0.2/dayを用いている。

※1：耶馬渓ダムでは、藍藻類はMicrocystis属やAnabaena属を想定し、珪藻類はMelosira属を想定したパラメーターである。

※2：草木ダムでは、藍藻類はPhormidium属やOscillatoria属を想定し、珪藻類はSynedra属を想定したパラメーターである。

３．まとめ

耶馬渓ダムで同定した鉛直一次元シミュレーションモデルの、他のダムへの適用性について検討を行った。旭川ダムのような延長 15km もある細長いダム湖においては、特に出水等に対する水質の変化の再現は、鉛直一次元モデルでは非常に難しいことが分かった。また、物理的な状態は受熱期に関してほぼ再現できたものの、生物的現象は優占している種に応じたパラメータに変更する必要があり、再現計算を行う上で注意が必要であることが分かった。

生態系を活用した湖沼の水質制御手法に関する調査

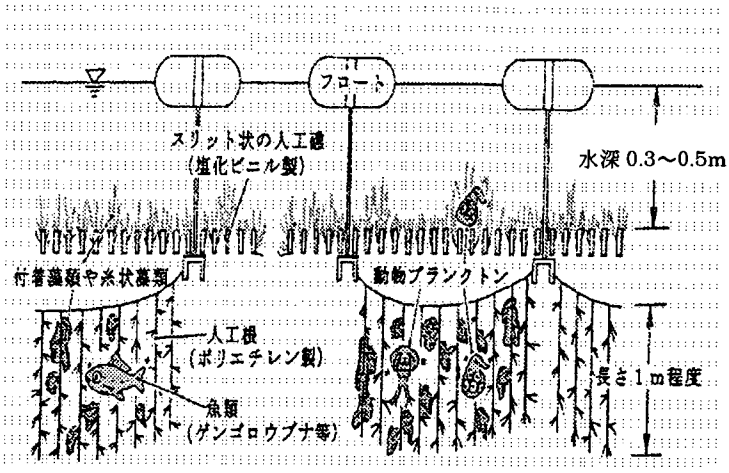
研究期間：平５～平９

担当：環境計画研究室　　室長：寺川　陽　　研究員：福渡　隆　　研究員：田中　康泰

【要旨】

アオコ等の富栄養化現象の対策としては、富栄養化を引き起こす窒素やリンのような栄養塩類を直接除去する手法と富栄養化現象の原因となる藍藻類が異常増殖しないような環境に改変する手法が考えられる。

８年度までは、前者の直接流入河川水等から栄養塩を除去する手法として、糸状藻類を活用した栄養塩除去手法の開発を行ってきた。９年度は、後者の藍藻類が異常増殖しないような環境に改変する手法として、人工生態礁及び全層曝気循環の可能性を検討すべく隔離水界を用いた予備実験を行った。実験期間中、人工生態礁を設置した区画は、他の区画に比べ透明度の点で有意な差異が確認された。



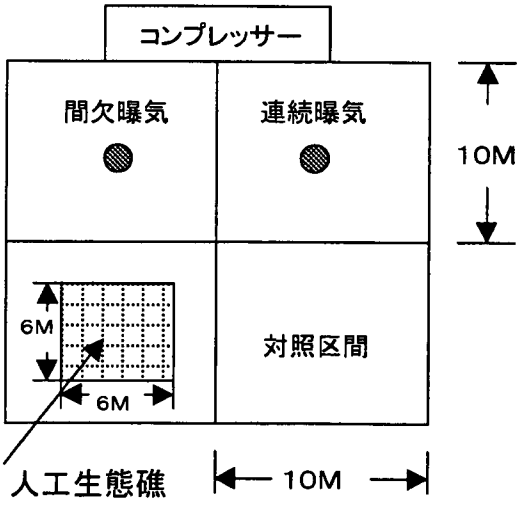
図―１　人工生態礁の概要図

１．実験の方法

１．１　隔離水界実験

広島県高田郡に位置する江の川本川に建設された土師ダム貯水池において図―２に示すような隔離水界を設置し、いくつかの対策の効果を比較することとした。隔離水界は土木シートで周囲及び底面を覆われており、一つの隔離水界の大きさは縦横各 10 m、水深４m である。各区画は、成層を破壊し循環流を生じさせることにより藻類への太陽光量の抑制を期待した曝気装置（吐出量；９７㍑/分）を連続稼動したものと日中のみ稼動させたもの、人工生態礁を設置したもの、何も対策を講じない対照区間の４種類とした。

１９９７年６月～１０月の５か月にわたって水質やプランクトンの種類･数について定期的なモニタリング調査を行った。なお、隔離水界は、ダム湖内と水質を同等に保つため液肥を添加し、プランクトンの種を供給する目的で底部に底泥を敷き詰めてある。



図―２　隔離水界実験の概略図

１．２　人工生態礁

湖沼では、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連鎖を通して相互に結びついている。人工生態礁は、こうした自然の食物連鎖に着目し、動物プランクトンの生育環境を整備することによって浮遊性の藻類が増殖しにくい環境を作り出し、植物プランクトンの異常増殖を抑えることをねらいとしている。[1)]

人工生態礁の概略構造を図－１に示す。本実験では、目の粗いプラスチック製の網で人工礁部分（６m×６m）を作成し、長さ １ m 程度のポリエチレンでできた人工根を人工礁からつるした。これは、動物プランクトンの魚類からの捕食をまぬがれることを期待したものである。フロートで全体を水中 0.3 ～ 0.5 m のところに浮かし、生態礁の部分にはダム湖周辺で採取した糸状藻類を種株として移植した。

2．研究結果

各隔離水界について、表層のＳＳの経時変化を図―３に示す。人工生態礁を設置した隔離水界は２～４の範囲で推移しており、他の水界に比べ非常に少ない値を示した。図―４に示すように透明度についても人工生態礁を設置した水界が非常によく、肉眼でも違いがはっきり分かるほどであった。これは、図―５及び図―６に示す表層のｸﾛﾛﾌｨﾙ量の変化からも見て取れるように、人工生態集の設置してある水界は他の水界に比較して藻類の量が少なく、また緑藻主体になっていることより、より透明度が上がったものと考えられる。この時、緑藻の中でも優占していたのは、設置当初に移植した糸状藻類（Ulothrix sp.）であった。

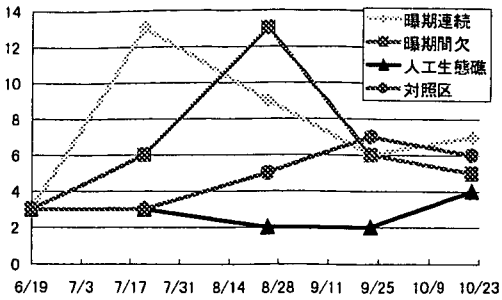
また、本実験期間中に人工生態礁設置区画以外はアオコの発生が認められた。全層で循環させる曝気装置は連続、日中のみ稼働のいずれもアオコの抑制に効果がなかった。

ここで、実験期間中の水温等外的な環境の変化についてみてみると、水温は、概ね本貯水池内と隔離水界内とで同様に推移していた。また、栄養塩について、Ｔ－Ｎは 0.3～0.7 の範囲で、Ｔ－Ｐは 0.02～0.05 の範囲内で、本貯水池内と隔離水界内とでは若干隔離水界の方が少ないが、ほぼ同様の傾向で推移していた。表層のオルトリン酸態リンについては、本貯水池及び全ての隔離水界で定量限界値（0.001mg/l）以下であった。

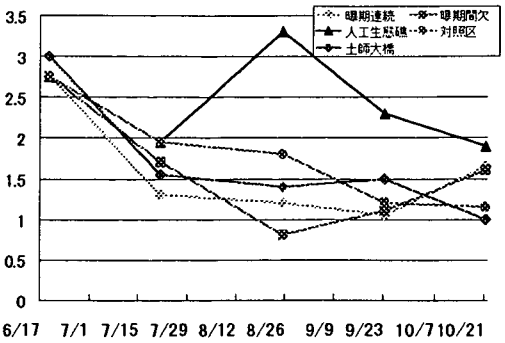
全体的に栄養塩が若干少なめであることから考えると、初期に投入した糸状藻類が水中の栄養塩を浮遊性の藻類に比べ先行して吸収することで、浮遊藻類にとって必要な栄養塩の供給が制限された可能性がある。

また、人工生態礁設置区画は、表面の３６％を人工生態礁によって太陽光が遮蔽されている。植物プランクトンのバイオマスが太陽のエネルギー量によって規定されるとすれば、この太陽光の減少分がいわば遮蔽効果としてクロロフィル a の減少に効くことも無視出来ない。

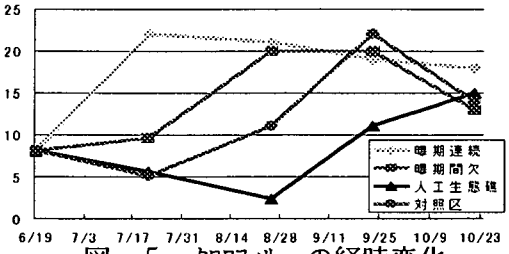
当初期待していた動物プランクトンの生息環境を整備する効果については、今回のプランクトン調査の結果を見る限り、動物プランクトンの種数に明瞭な差異が認められなかった。



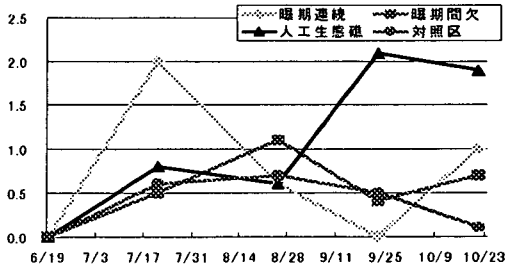
図―３　ＳＳの経時変化



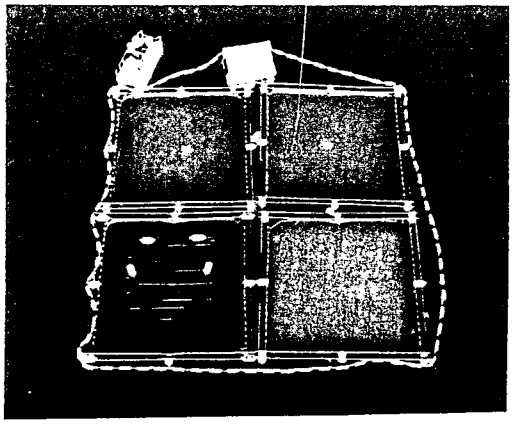
図―４　透明度の経時変化



図―５　ｸﾛﾛﾌｨﾙａの経時変化



図―６　ｸﾛﾛﾌｨﾙｂの経時変化


写真　隔離水界実験

3．まとめ

藍藻類の異常増殖しないような環境改変手法として、３種類の方法を検討した。曝気装置ではアオコの発生抑制はできなかったが、人工生態礁設置区画では他の区画と水質に有意な差が認められた。今後、この差異のメカニズムの解明を行い、環境改変手法としての効果的な人工生態礁の開発を行う必要がある。また、水界内の捕食関係を定量的に把握するための動物プランクトンに関する調査手法等について更に検討する必要がある。

<参考文献>

１）丹羽他：生態系を活用した湖沼の直接浄化の試み、第 30 回日本水環境学会年会講演集　1996.3, pp2150

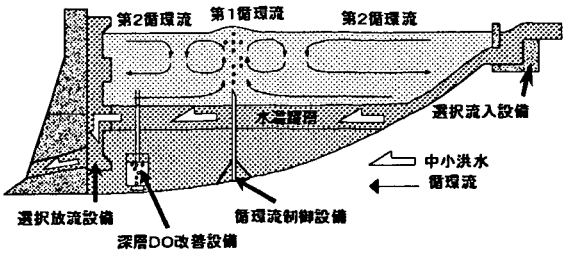
流動制御システムに関する調査

研究期間：平６～平１０

担当：環境計画研究室　　室長：寺川　陽　　研究員：福渡　隆　　研究員：田中　康泰

【要旨】

土木研究所の開発した流動制御システムは、曝気による湖内流動の制御を通じて藻類の異常増殖を抑制する技術である。９年度は、効果的な曝気装置の配置計画や運用手法の検討などを行うために必要となるシミュレーションモデル構築に資するため、ＡＤＣＰ（超音波ドップラー流速分布計）をダム湖内に設置し、曝気による湖内流速の鉛直分布を計測した。その結果、中小洪水時の河川水が貯水池表層約１５ｍに形成された水温がほぼ均一の混合循環層下方に流入していることが確認された。



流動制御システムの概念図

１．調査方法

１．１ 観測の概況

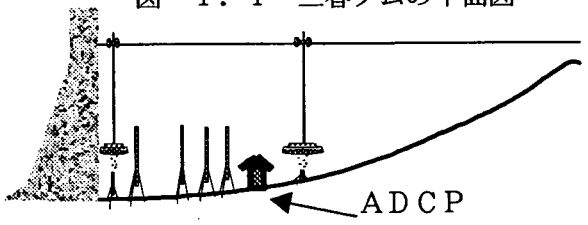
阿武隈川水系大滝根川に建設された多目的ダムである三春ダム（福島県田村郡三春町：さくら湖）は、富栄養化対策の一つとして流動制御システムが導入されており、浅層曝気施設が４基、深層曝気施設が２基設置されている。

この三春ダムにおいて浅層曝気施設運転中、曝気施設から約 130ｍ 離れた地点で水深約２０ｍの位置に湖底に据えた架台上で上向きに固定した超音波ドップラー流速分布計（Acoustic Doppler Current Profilers;以降ＡＤＣＰ）を用いて鉛直方向の流速分布を連続モニタリングした。曝気施設位置と観測地点を図―１に示す。

使用したＡＤＣＰは、超音波周波数 1200KHz、超音波発信間隔 3.5 sec、測定層厚 50cm、測定範囲 17m、メーカーによる公称測定誤差は±0.5cm/sec である。５分間平均を１データとして保存するように設定した。



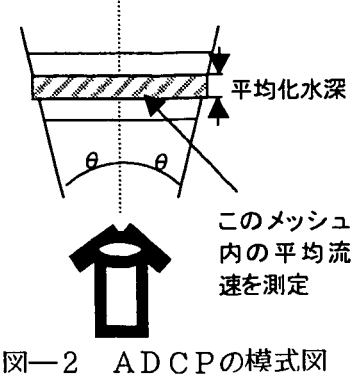
図―１．１　三春ダムの平面図



図―１．２　ダム湖内の各施設設置状況

１．２ ＡＤＣＰの原理

超音波を水中に向けて放射した場合、水中の浮遊物質などの散乱体によって超音波は反射する。この時、散乱体が移動していれば、ドップラー効果によって反射波の周波数が変化する。この周波数の変化量を解析することで、距離毎の散乱体の移動速度を求めることが出来る。ＡＤＣＰは、通常この様な送受波器を２組搭載し、３次元流向・流速分布を観測する装置である。



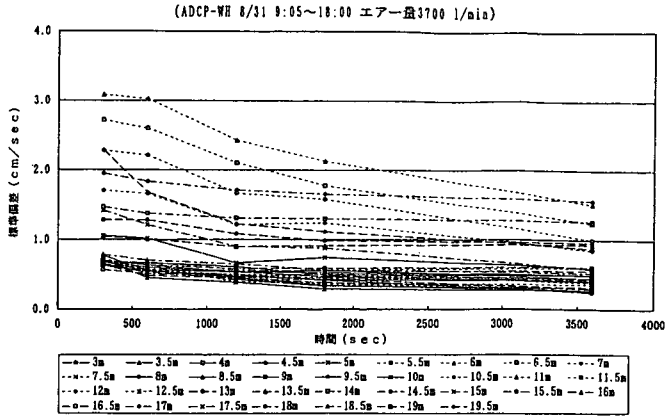
図―２　ＡＤＣＰの模式図

また、送受波器は図―２のようにθ＝20 度でＡＤＣＰ本体に付いており、図中のメッシュ内の平均流速として記録される。よって 2h・tanθより小さいスケールの流れの場は測定できない。

２．調査結果

２．１　データの平滑化

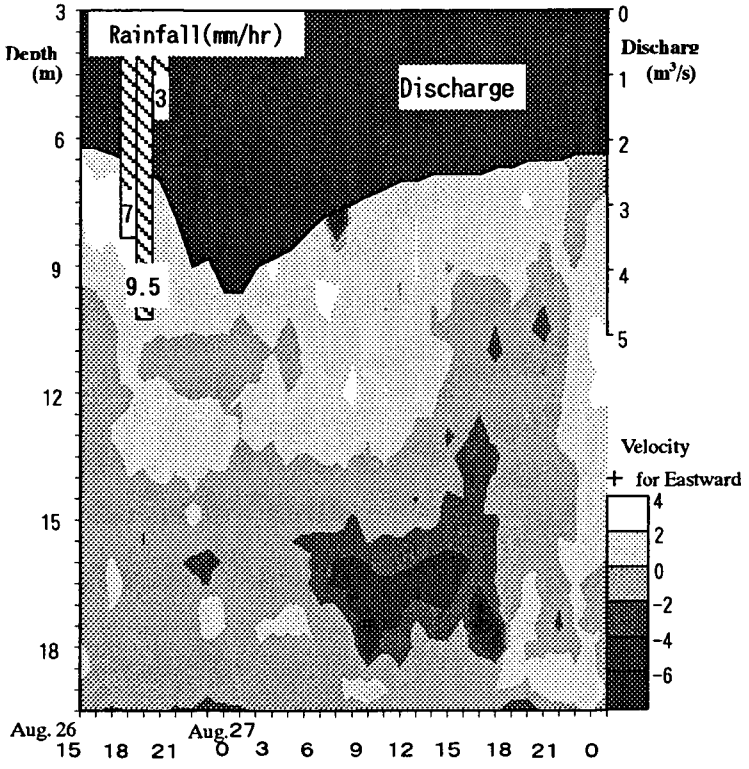
観測データは、５分平均の連続データであるが、湖内流速は 1～3 cm/sec と小さいため、ノイズを除去する目的で、平均時間を長くしデータの平滑化を計った。ここで平均時間をあまり長くとると流れの構造が把握できなくなる可能性があるため、平均時間を 5,10,20,30,60 分とした時の標準偏差を調べた。図―３に示すように、30 分を境に偏差変化の割合が小さくなるため、30 分平均のデータを用いることとした。



図－３　平均時間の違いによる標準偏差の挙動

２．２　出水時について

図－４に連続モニタリングの結果の一部を示す。これは小出水のあった平成９年８月２６～２７日の観測データを３０分毎に平均したものであるが、水深約 17 m（水温躍層)の地点を中心に流入河川水(と思われる）が最大流速約 8 cm/s で流入しているのがみてとれる。８月２６日の１７時から３時間計約 20 mm の降雨によって、翌２７日の午前１時頃にピーク流量約 4 m^3/s が観測され、約６～７時間の時間遅れで流速観測地点での西向き（ダムの上流から下流向き）の流速が増加していることがわかる。



図―４　出水時の連続モニタリング結果

出水時のような空間的な変化が緩やかな流れについては、湖内流速の時空間分布がＡＤＣＰによって十分観測可能であることが示されたといえる。

３．まとめ

ＡＤＣＰによって、ダム湖内の流速時空間分布を連続的に計測できる可能性が示された。

ただし、本調査のような微小流速に対するＡＤＣＰの観測値の精度について、定量的な評価がなされていないため、他の流速測定手法との比較等ＡＤＣＰの計測データの信頼性を高める必要がある。

今後はＡＤＣＰによるダム湖内の流速分布の測定事例を積み重ねるとともに、ダム湖内流動シミュレーションの検証データの一つとして活用することとしている。

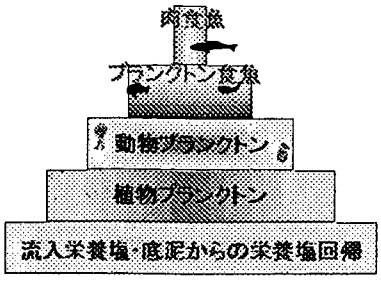
貯水池の水質保全に関する調査

研究期間:平9～平11

担当:環境計画研究室　　室長:寺川　陽　　研究員:福渡　隆　　研究員:田中　康泰

【要旨】

ダム湖のような停滞水域では、植物プランクトンの異常増殖によるアオコや淡水赤潮と呼ばれる富栄養化現象が生じ、水道水の異臭味や景観上の阻害等の問題を引き起こすことがある。これらの問題に対し適切な対策を講じるためには、現象の発生メカニズムを含め湖内の生態系の定量的な把握が不可欠である。しかしながら、ダム湖における湖内生態系を把握するための調査手法、特にプランクトン調査の頻度や空間的調査密度等を合理的に設定するための根拠となる知見は十分得られていないのが実状である。9年度は、実際のダム湖におけるプランクトンの種と数の経時変化の特性を把握する目的で、ダム湖内の動植物プランクトンの24時間調査等を行った。ダム湖内のプランクトン相の時空間分布は非常に不均一であることから、プランクトンの種構成が均一と見なせる空間の大きさ(ﾊﾟｯﾁｽｹｰﾙ)の定量的な把握の必要性が示された。



湖内生態系の模式図

1. 調査地点

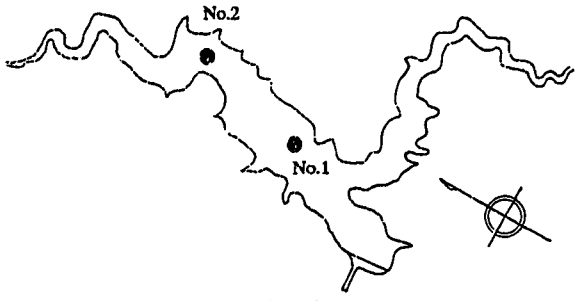
調査ダムは群馬県にある重力式コンクリートダム(堤高 60.5 m、堤頂長 264 m)で、集水面積 42.0 k㎡、湛水面積 0.62 k㎡、総貯水容量 1220 万m^3 の多目的ダムである。全長が約 1.5 kmと比較的短いこと、ダム湖への支川の影響が小さいこと、栄養塩濃度が比較的高く、富栄養化現象の報告があるため選定した。調査期間中の表層における平均栄養塩濃度はT－N: 1.3mg/l、T－P: 0.02mg/lであった。また、平均クロロフィルa濃度は 23 μ g/lであった。

2. 調査方法

2. 1 プランクトン日周変化

1997 年 8 月 6 日 13 時から 8 月 7 日 16 時までの 27 時間にわたって3時間ごとに調査を行った。

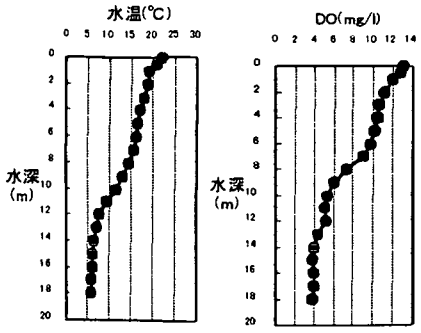
調査地点は流入河川合流前のダムサイトより上流 700 m (No.1)である。調査地点位置を図－1に示す。



図－1 調査地点位置

ダム湖内の有光層や水温躍層の位置等の水理特性を考慮し、植物プランクトンについては表層はバケツで直接採水し、水深方向に 2 m、5 m、10 m、21 m (底層より1m上部)の位置についてはバンドーン採水器を用いて採水した。採取した試料はグルタールアルデヒド (25 %)で固定し、光学顕微鏡により種名と細胞数を測定した。

動物プランクトンについても同様に水理特性を考慮して、表層はバケツを用いて直接採水し、プラクトンネット(NXX25 :網目直径 58 μ)でろ過した。また水深方向に 0.5 m－ 2 m、2 m－ 10 m、10 m－ 21 mの範囲で同上のプランクトンネットを引いた。採水した試料はグルタールアルデヒドで固定し種名と個体数を測定した。



図－2湖内の状態の鉛直分布

3. 調査結果及び考察

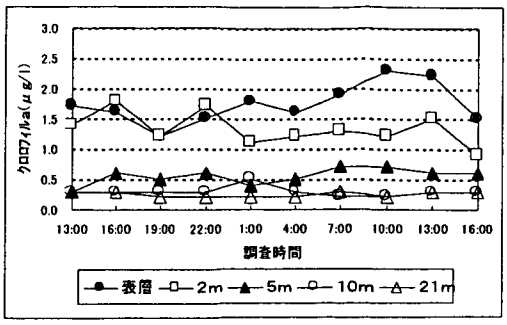
3. 1 水理状況

ダム湖内の水理状況の例として 1997 年 8 月 14 日 13 時, No.1 における鉛直方向の水温及び DO の測定結果を図－2に示す。水深 8 m～ 10 mの位置に水温躍層の存在が確認された。

3. 2 プランクトン日周変化

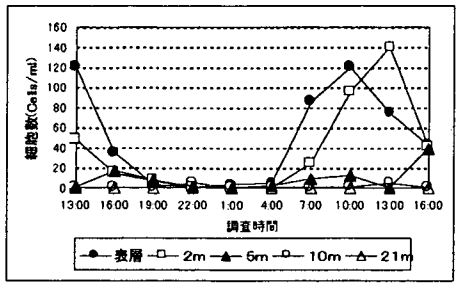
各深度ごとに測定したクロロフィルa濃度の結果を図－3に示す。表層及び水深2 mと比較すると、5m以深では低いクロフィルa濃度で推移していた。これは透明度の測定結果から有光層が3m程度と推測され、5m以深では光が届かないためと考えられる。

また、植物プランクトンの種ごとの細胞数の経時変化について、検討を行った。一例を図－4に示す。

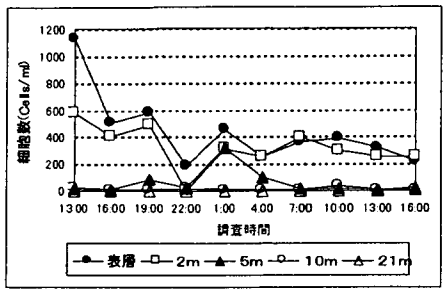


図－3 クロロフィルa濃度の経時変化

大別すると、日中表層に集積する種（例えば黄色鞭毛藻の *Uroglena sp.*や緑藻の *Pandorina morum*, *Chlamydomonas sp.*）と明確な傾向のみられない種（例えば *Scenedesmus sp.*）に区分された。明確な日周変化のみられる種は鞭毛を有しており、走光反応による鉛直方向の移動があったと考えられる。また、日周変化を持たない種は表層に多く分布する傾向にあった。

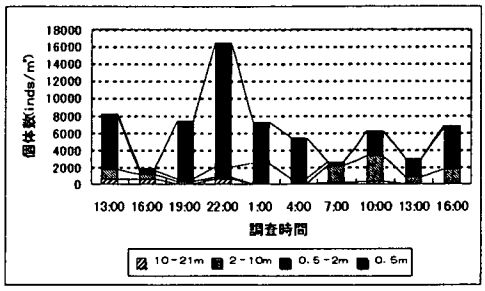


図－4(1) *Uroglena* の経時変化

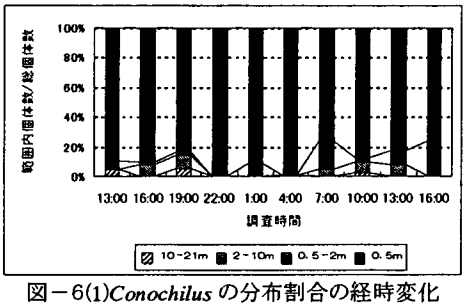


図－4(2) *Scenedesmus* の経時変化

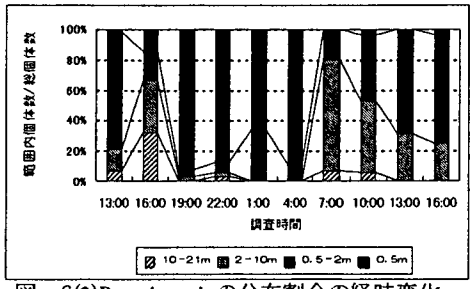
一方、動物プランクトンは、日周変化では各調査時間での総個体数にばらつきがみられた。これより鉛直方向のみではなく水平方向の移動もあることが示唆された。例として枝角類の *Bosminopsis deitersi* の経時変化を図－5に示す。図中の動物プランクトンの個体数は、プランクトンネットを引いた範囲ごとのプランクトン濃度にその距離を乗じたものとした。そこで、総個体数に対するプランクトンネットを引いた層ごとの個体数の割合を算出し、検討を行った。その一例を図－6に示す。今回の調査によれば、湖内プランクトはその生息パターンの特性に応じて以下の3種類に大別できる。



図－5 *Bosminopsis* の経時変化



図－6(1)*Conochilus* の分布割合の経時変化



図－6(2)*Bosminopsis* の分布割合の経時変化

1. 表層や底層といったようにほぼ一定の範囲に分布する種(表層に多い輪虫類の *Conochilus sp.*, 底層に多い輪虫類の *Keratella cochlearis*)、2. 夜間表層に集積する種(枝角類の *Bosminopsis deitersi*)、3. 全層にほぼ均一に分布する種(輪虫類の *Polyarthra vulgaris*, *Diurella sp.*)

4. まとめ

植物プランクトンは、経時変化よりその多くが光の届く表層に分布しており、鞭毛を有するプランクトンは日周変化を持ち、日中表層に集積する傾向がみられた。また、動物プランクトンは、空間的に広く多様に分布していることが確認された。

ダム湖内生態系、特にプランクトン相を適切に把握するためには、プランクトンの時空的分布の定量的評価が必要である。今後は上記のプランクトン特性をふまえた上で、プランクトン種毎のパッチスケールを算定する必要がある。

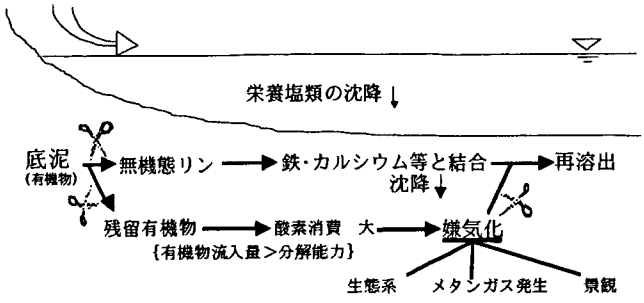
底泥からの汚濁防止対策に関する調査

研究期間:平8～平11

担当:環境計画研究室　室長:寺川 陽　研究員:福渡 隆　研究員:田中 康泰

【要旨】

近年、ダム湖等の閉鎖性水域では、流入汚濁負荷の削減を行ってもなかなか水質が改善されないことがある。これは、底泥からの栄養塩類の溶出による内部負荷が大きいからである。栄養塩類のうちリンの溶出は、嫌気的な状態になったときFe3+がFe2+に還元されることと密接に関係している。本調査は、リンの溶出削減対策として、微生物を用い嫌気状態でもFe2+をFe3+に酸化し、リンをFe3+と結合させ溶出を抑制する手法の実用可能性について検討を行うものである。9年度は、渡良瀬遊水池より底泥を採取し、鉄酸化菌及び脱窒菌の集積培養を行い、それぞれの増殖特性を把握した。



湖内のリン溶出モデル図

1. 研究方法

本調査は、鉄酸化菌によってリンの溶出を抑制する可能性を検討するために、実際の底泥中に生息する鉄酸化菌の集積培養、さらに集積された鉄酸化菌の増殖特性を明かにする。

1.1 サンプリング

1997 年 12 月渡良瀬遊水池の北ブロック内(水深 6.85m)において底泥をコアサンプラーにより採集した。現地で 0～12cm までの表層底泥を 3cm 間隔で分画し、ガスパックで嫌気状態にしたまま低温にて実験室まで運送した。また、現地では湖水の水温、pH、電気伝導度及び溶存酸素の鉛直分布、底泥の温度、色、臭いについて計測し、底泥間隙水及び底泥直上水中における窒素(T-N, NO_3-N, NO_2-N, NH_4-N) とリン(T-P,DTP,PO_4-P) についてそれぞれ底質調査方法と河川水質試験方法によって分析した。

1.2 集積培養実験

鉄酸化菌の集積培養は重炭酸塩($NaHCO_3$)を緩衝剤とするWiddel & Bak(1992)の培地(表)を基礎培地として用いた。培地の調整については、混合ガス(N_2 + CO_2 80/20)を通気下で、別に用意した滅菌済みの微量元素液(Trace element solution, Selenite-tungstate solution)やビタミン液(6 vitamins Mixed vitamin solution, Vitamin B_{12} solution)などを添加して行った。また、唯一の電子供与体として硫酸鉄($FeSO_4$・$7H_2O$)を菌の植え付け直前に培地中に添加 し(最終濃度 10 mM)、 pH7.2、温度を28℃として培養を行った。従属栄養脱窒菌(以下脱窒菌)の集積培養には、Giltayの培地を用いた。鉄酸化菌及び脱窒菌は共に、寒天平板培地を用いて他の微生物からの分離作業を数回行ない、分離後のコロニーから液体培地を用いた集積培養を行った。

表. 鉄酸化菌の培地組成

化学組成	添加量 (mg / l)
$NaNO_3$	400
KH_2PO_4	200
NH_4Cl	250
$MgCl_2・6H_2O$	1000
KCl	400
$CaCl_2・2H_2O$	500

1.3 鉄酸化能力把握実験

鉄酸化能力把握実験は、集積培養で得られた対数増殖期の鉄酸化菌を用いて回分培養により行い、菌体濃度はMPN法を用いて求めた。また、酸化鉄の茶褐色沈殿物を指標として、培養中の鉄酸化菌の増殖状況を把握するものとした。鉄酸化菌による鉄酸化能力については、培地中のNO_3^-とFe^{2+}を分析しその濃度の増

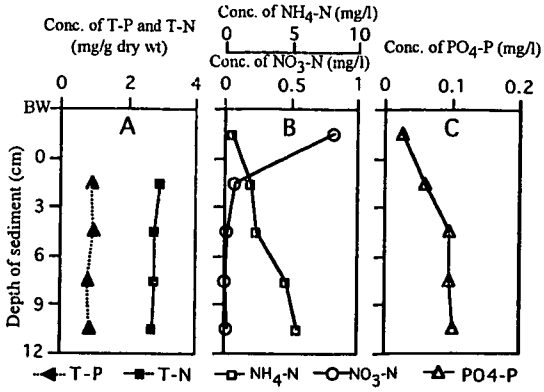
減により考察を加える。分析試料の採集は、窒素ガスを通気しつつ滅菌済み注射器により行った。

2. 結果及び考察

2.1 底層水質及び泥質

湖内は、水温とDOの垂直分布より全層循環が生じていると推察され、実際に、底泥表面には酸化鉄の茶色沈殿が観察された。また、底泥の約12cmの深さまでについては、成分分析した結果、底泥の性状は8年度の調査時とほぼ同様で密度の低い腐泥であった。

窒素及びリンの垂直分布を図－1に示す。T-PとT-Nは垂直方向にあまり差異が見られないが(図－1、A)NO_3-NとNH_4-Nの垂直分布を見ると(図－1、B)底泥表層はNO_3-Nが多く、深部ではNH_4-Nが増加しており、表層は好気状態だが深部は嫌気状態で硝酸還元が生じているものと推察される。また、底泥深部でPO_4-P濃度が上昇しているのは(図－1、C)嫌気による溶出の可能性が大きい。

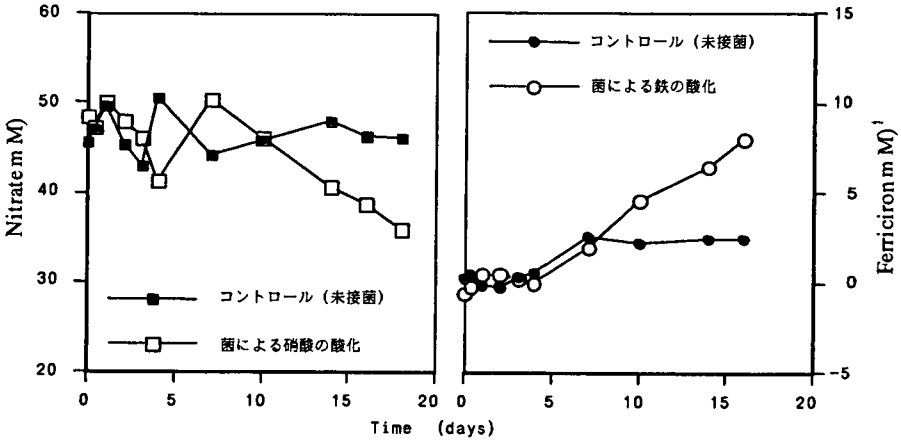


図－1 底泥中の窒素・リンの鉛直分布

2.2 鉄酸化能力

鉄酸化菌の集積培養時では、おおよそ十日間から2週間程度で赤茶色の酸化鉄の沈殿が確認された。2週間目に鉄酸化菌濃度を計測したところ約10^4 MPNであった。

脱窒菌では鉄酸化菌より増殖速度が速く、菌体濃度が10^4 MPNまで増殖するのに1週間しかかからなかった。この増殖速度の差は、主に独立栄養と従属栄養によるエネルギーの利用効率の違いであると考えられる。



図—2 No^{3-}の減少とFe^{3+}の増加

ここで、鉄酸化特性について、No^{3-}とFe^{3+}の経時変化から考察を加える。図—2は、それぞれ消費されたNo^{3-}の量と酸化されたFe^{3+}の量をモル濃度で示している。10日目以降No^{3-}の減少とともないFe^{3+}の増加が見られ、18日後にはFe^{2+}の8．4割を酸化した。無接菌のコントロールと比較しても鉄酸化菌によって鉄が酸化されていることは明らかであった。本実験では、鉄の酸化量と硝酸イオンの消費量の平均値のモル比は1:0.48であった。この比から、1:0.20という理論値より硝酸イオンを多く使用していることが分かった。($10FeCO_3 + 2NO_3^- + 24H_2O \Rightarrow 10Fe(OH)_3 + N_2 + 10\ HCO_3^- + 8H^+$)この様な現象はStraubらが行った純粋株での鉄酸化培養実験中でも観察されている。

3. まとめ

嫌気的で中性的な環境下でも鉄酸化菌は鉄を酸化することができることが明らかになった。この様な鉄酸化細菌を活用した底質改善法は、省エネルギー型富栄養化対策技術として期待できる。また、鉄酸化菌の分離と集積培養は寒天平板培地と液体培地の利用により成功した。

今後，鉄酸化菌の増殖状況の把握手法を再検討するとともに、鉄酸化菌の生態学的な特性を把握し、効果的な鉄酸化菌の制御手法を確立したい。

II．発　表　論　文

II - 1　環境評価技術に関する研究

レジャーの実態とレジャー環境に関する基礎的研究IX

－公園における来園の主目的と実施レジャー－

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]。昨年度の報告では、日常的なレジャーに着目した考察を行い、多くのレジャーが身近な環境で行われていることを明らかにした[2]。本報告は実際にレジャーの行われる見近なレジャー環境として１公園を取り上げ、そこでのレジャーの実態把握を目的に、来園者を対象に行ったインタビュー調査結果の報告を行う。

2．調査の概要

調査は1994年11月５日（土曜日）午後に茨城県つくば市内の洞峰公園において来園者を対象として行った。ここでは、公園において実際に行われているレジャーの実態把握を目的としているため、公園から帰る人を調査対象とするものとし、確認したのちにインタビュー調査への協力を求めた。調査は２名の調査員で行い、調査票を提示しながら、調査員が回答を記入する方法とした。得られた調査対象者数は50名であった。調査内容の項目は属性項目、来園主目的、実施レジャー行為である。

調査地の洞峰公園は、つくば市の中心地区に位置する総合公園で、規模は20haと市内最大規模である。スポーツレクリエーションを主体とする動的な公園としての性格づけがなされており、施設内容は体育館、屋内プール、テニスコート、野球場、陸上競技場、芝生広場、洞峰沼等を備えている。

調査対象集団の属性は、男性27人（54%）、女性23人（46%）とほぼ同数で、年齢層的には30才代が最多で19人（38%）、続いて20才代が13人（26%）、40才代12人（24%）であった。職種は会社員が33人（66%）と最も多く、次いで主婦12人（24%）であった。現住所はつくば市を除く県内居住者が28人（58%）で、市内居住者20人（40%）と合わせるとほぼ全員となる。

公園までの交通手段は、車での来園が44人（88%）と圧倒的で、その他は自転車、徒歩となっており、バス等の公共交通機関の利用は今回の調査の範囲ではみられなかった。アクセス所要時間は、最短で５分、最長が１時間で、平均すると20分となる。

同行者は家族の場合が35人（70%）と多く、他は一人（16%）ないしは友人（14%）となっている。本人を除く同行者人数は、２人が15人（30%）と最多で、１人および３人とする回答がいずれも11人（22%）であった。当該公園への来園頻度に関しては、月に数回が21人（42%）で、週に数回が15人（30%）、年数回が7人（14%）であった。また、公園での滞在時間は最短で15分、最長が４時間で、平均滞在時間は１時間18分であった。

これらの属性的傾向から、本調査の対象集団は公園の比較的近隣に居住し、車を利用して家族と共に月に数回ないしは週に数回という頻度で訪れるという特徴が浮かび上がってくる。

3．来園主目的と実施レジャー

3.1. 来園の主目的

来園の主目的は自由に回答してもらったが、その内容を図１に示す５項目で整理すると、水泳、テニス等のスポーツ、散歩、散策を主目的とする人がいずれも14人（28%）と多く、次いで弁当を食べる等の食事が6人（12%）、子供と遊ぶ等の家族団らんが5人（10%）、アヒル等の小動物と遊ぶことや木の実採集等の自然鑑賞・遊びが4人（8%）となっている。その他は、友人の案内や友人宅訪問のついで、子供のプールへの迎えである。

この結果から、公園内の運動施設を利用してスポーツを行うことや、池や林といったレジャー環境の整備状況に対応したレジャーを行うことが来園の主目的となる場合と、特別な施設等を必要としない散歩や食事、家族団

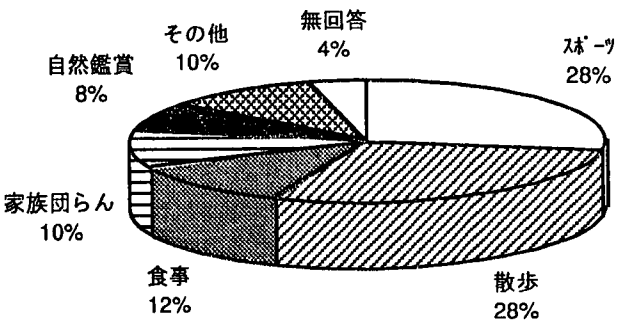


図１　来園の主目的

The Actual State of Leisure and the Planning of its Environment.IX
The Main Purpose of Visiting the Park and the Leisure Activities at the Park.

TANAKA Nami

らん等のレジャーを公園という環境において行うことが主目的となる場合の２つに大別できると思われる。

3.2. 実施レジャー

ここでは、公園滞在中に実際に行ったレジャー行為について、14種目の具体的なレジャーを提示して回答してもらった。各レジャー種目の指摘率を図２に示すが、最も指摘率の高いのは散歩（74%）となり、自然鑑賞(32%)、食事（22%)、水泳（22%）が続いている。指摘率の高い散歩や、自然鑑賞等のレジャーは来園の主目的ではなくても、実際にはよく行われていることがわかる。さらに一人当りの指摘率を算出すると2.1種目となり、公園滞在中には主目的以外のレジャーも行われており、公園というレジャー環境が複数のレジャーに対応していることが伺える。

次に、来園の主目的と実際に行われたレジャーの関係をみることを目的にクロス集計を行った（表1)。これをみると、スポーツを主目的として来園した人でも散歩、食事、歓談等を行っている。また、散歩が主目的の場合も自然鑑賞、歓談、ジョギング等を行っていることがわかる。この傾向は、食事、家族団らん、自然鑑賞等の他の主目的においても同様である。

以上より公園では、整備された施設に対応するレジャー以外にも様々なレジャーが行われていることがわかり、こうした身近なレジャー環境の存在は、人々のレジャー機会を広げるものと考えられる。日常的なレジャーが数多く存在するなかで、こうしたフレキシブルなレジャー環境の整備が進められることが望ましいであろう。

4．まとめ

これまでの考察は以下のようにまとめられる。

（1）来園の主目的は、当該公園のレジャー環境整備状況に対応するレジャーである場合と、特別な施設を必要としない場合とに大別される。

（2）実際に行われたレジャーの中で指摘率の高い種目は散歩、自然鑑賞等で、公園においてこうした行為が行われやすいことを示している。また、一人当りの指摘数から、複数のレジャーが行われることが明らかとなった。

（3）来園の主目的と実施レジャーのクロス集計結果より、多くの場合、主目的のレジャーと合わせてそれ以外のレジャーが行われている。

謝辞

本報をまとめるにあたり、インタビュー調査にご協力いただいた来園者の方々にこの場を借りて御礼申し上げると同時に、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。

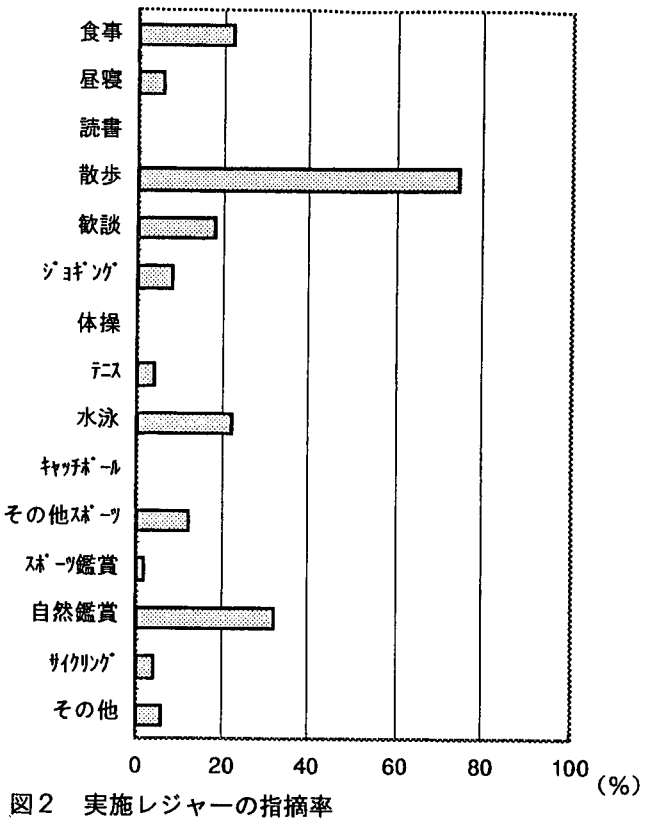


図２　実施レジャーの指摘率

表１　主目的と実施レジャー

主目的 / 実施行為	ｽﾎﾟｰﾂ	散歩	食事	家族団らん	自然鑑賞	その他
実施行為	14	14	6	5	4	5
食事	1	1	6	2		1
昼寝				1		
読書						
散歩	4	13	5	5	3	5
歓談	1	3	3		1	
ジョギング	3	1				
体操						
テニス	2					
水泳	8	1			1	1
キャッチボール						
その他スポーツ	1	1	1	2	1	
スポーツ鑑賞		1				
自然鑑賞	1	4	1	4	4	2
サイクリング					1	
その他				1	2	

単位（人）

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(特)～VII,日本建築学会学術講演梗概集,1990～1994

2）田中奈美：レジャーの実態とレジャー環境に関する研究VIII,日本建築学会学術講演梗概集,1995

建設省土木研究所環境部環境計画研究室　科学技術特別研究員　博士（デザイン学）

Ministry of Construction Public Works Research Institute Natonal Instisute Post Doctoral Fellow Ph.D.

ＨＴＣＭを用いた公園の評価
Evaluate the Park using HTCM

並河　良治　Yoshiharu NAMIKAWA*
丹羽　薫　Kaoru NIWA**
谷本　茂　Shigeru TANIMOTO***

1．まえがき

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。公園は、都市生活にゆとりとうるおいをもたらす施設であり、効率的に、また、有効に整備を進めることが求められる。効率的であり、かつよく利用される公園整備を進めるためには、公園のどのような機能が人々に評価されているのかを知ることは今後の整備に不可欠である。

そこで、今回公園の持つそれぞれの特質が公園の魅力にどのように寄与しているかをつくば研究学園都市内及びその周辺の公園についてＨＴＣＭ（ヘドニック旅費法）を用いた調査を行った。

2. 評価手法

環境のような非市場財の評価手法は、直接被験者にその価値を問う直接法と評価対象の非市場財と補完・代替関係にある市場財の消費から間接的に評価を行う間接法に分類することができる。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）が知られており、間接法としては、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。

間接法の一つである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。

また、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、Moriok a et.al.（1980）[4]が河川レクリエ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。

本調査では、公園の種々の特性それぞれが総合的な評価にどの程度寄与しているのかを評価することを目的としている。これを目的としてＣＶＭを用いて調査できないわけではない。しかしながら、公園整備に際して、いくら支払うか（或いは、いくら収入が減るか）という問いに対する回答は容易ではないかもしれない。また、ＴＣＭやＨＰＭでは、目的を達成できない。そこで、種々の特性を評価できるＨＴＣＭを用いることにした。

キーワード：公共事業評価法、地区計画、公園・緑地
＊　：正員、建設省土木研究所環境部環境計画研究室主任研究員
＊＊：正員、建設省土木研究所環境部環境計画研究室長
＊＊＊：正員、前 建設省土木研究所環境部環境計画研究室交流研究員
現（株）荒谷建設コンサルタント コンサルタント部

3. ＨＴＣＭ（ヘドニック旅費法）

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は、ＴＣＭとＨＰＭを合体させたものと考えることができ、この手法は、Brown,Mendelsohn（1984）[1]がワシントン州の河川の特質評価（混み具合、漁獲、景観）について初めて用いてたものであるが、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。

4. 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２）

表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 筑南スポーツ公園	－
	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	－

5. 調査結果

(1)データ解析

(a) 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、釣り堀利用料金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。

(b) 訪問率、訪問回数

地区別の公園訪問率を図１に示す。各地区とも、

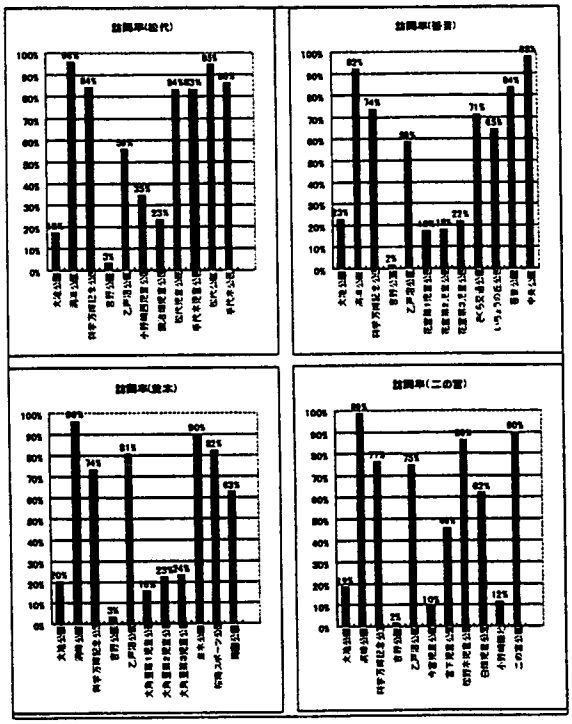


図１　地区別の公園訪問率

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２に示す。

訪問率=過去に公園に行ったことのある人／回答者数

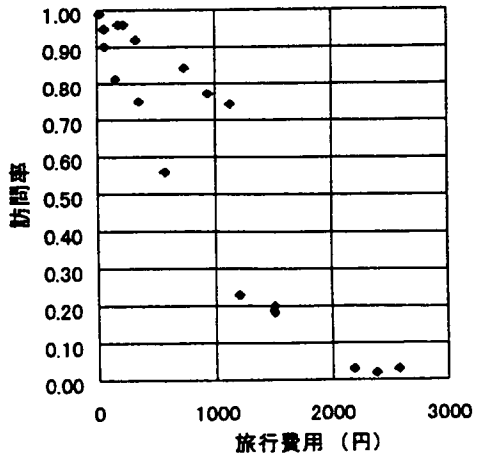


図２　訪問率と旅行費用の関係

地区ごとに公園との距離の逆数と訪問回数の関係を示したものが図３である。このように年間の訪問回数は、距離の逆数と正の相関関係があることが読みとれる。

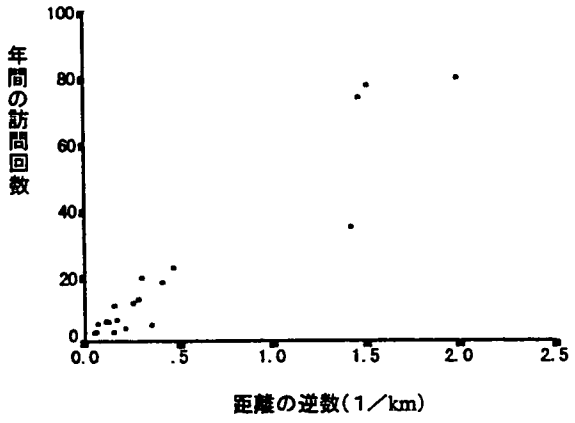


図３　年間の訪問回数と距離の逆数との関係

(2) ヘドニック旅費法の適用

ヘドニック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。

(3) 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３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

表３　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		

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３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。

6. 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。また、すべての利用目的において公園のそれぞれの特質について同一の評価が与えられるとも考えにくい。

今回の解析は、公園の特質の評価と年間の経費の関係のみに着目して解析を行ったが、今後、さらに、目的別の解析や自宅と公園との位置関係（距離）等他の説明要因をも取り込んで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と考える。

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)

◆ 景観特集 ◆

ヘドニック・トラベル・コスト法を用いた公園の評価

並河良治* 丹羽　薫** 谷本　茂***

1. まえがき

環境に関する関心が全国民的に高まるなか、公共事業を実施する上で、環境の価値を評価することに対するニーズがますます高まってきている。ところで、都市公園は都市生活にゆとりとうるおいをもたらす施設であり、それが持つさまざまな機能のゆえに整備が進められているものであるが、都市という立地条件のゆえに空間的な制約を受けるため、効率的に整備を進めることが求められている。効率的な整備ということの一つは、よく利用されるということである。この観点から効率的な都市公園整備を進めるためには、公園のどのような機能がどのように、また、どの程度人々に評価されているのかを知ることが重要である。

そこで、公園の持つそれぞれの特質が公園の魅力にどのように寄与しているかを明らかにすることを目的として、つくば研究学園都市内及びその周辺の公園についてHTCM(ヘドニック・トラベル・コスト法)を用いた調査を行った。

2. 調査方法

2.1 評価手法

環境のような非市場財の評価手法は、被験者に直接その価値を問う直接法と評価対象の非市場財と補完・代替関係にある市場財の価格や消費量から間接的に評価を行う間接法に分類することができる。直接法としては、面接調査やアンケートなどにより、仮想的なシナリオを用いて環境質の価値を問う仮想金銭化法(CVM：Contingent Valuation Method)が知られており、間接法としては、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。

間接法の一つであるHPMは、騒音や下水道整備の有無などの環境質(条件)の違いが土地価格に帰着するものとして、土地の価格を被説明変数として、それを決定するいくつかの環境質の関数としてモデル化したものである。たとえば、騒音レベルや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する。本手法には、説明変数間の重共線性、住宅移転費用が存在する点及び非利用価値が反映されない点など結果の解釈に注意が必要な課題がある。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。

また、TCMはHotellingにより米国国立公園課の問い合わせに応える際に発案され、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]が河川レクリエ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。

本調査は、公園の種々の特性それぞれが総合的な評価にどの程度寄与しているのかを評価することを目的としている。これを目的としてCVMを用いて調査できないわけではない。しかしながら、公園整備に際して、いくら支払うか(或いは、いくら収入が減るか)という問いに対する回答は容易ではないかもしれない。一方、TCMでは公園全体としての評価は行えるが、公園の種々の特性それぞれが公園の評価にどの程度寄与しているのかを評価することはできない。また、HPMについて考えても、地価が公園の種々の特性を反映しているとは考えがたく、本調査の手法としては適当ではないと考えられる。そこで、種々の特性を評価

Evaluating Parks by Hedonic Travel Cost Method

表-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(%)	回収枚数
吾妻	2,3丁目	1,610	125	124	7.8	99.2	285
並木	2,3,4丁目	2,249	125	125	5.6	100	278
二の宮	2,4丁目	1,207	125	122	10.4	97.6	356
松代	2,3丁目	892	125	124	14.0	99.2	306
合計		5,958	500	495	8.4	99.0	1,225

できるHTCMを用いることにした。

2.2 HTCM(ヘドニック旅費法)

公園の評価に公園の種々の特性がどの程度寄与しているかを評価する手法として今回適用性を検討するHTCMは、TCMとHPMを合体させたものと考えることができ、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)について初めて用いたものであるが、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、つまり旅行時間と時間単価の積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して算出する。その際、一般化費用についてはその値だけを用いる。一方、本調査で用いたHTCMでは、全体の価値は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が、一般化費用については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。すなわち、

$$W = \Sigma P_i \quad (1)$$

$$P_i = a_0 + \Sigma(a_j \times z_j) \quad (2)$$

W：公園の価値
i：公園訪問者
P_i：一般化費用
a_0、a_j：パラメータ
z_j：特性の値

そして、この多項式をいくつかのレクリエーションサイトについて求め、多変量解析によりそれぞれの説明要因の係数を求め、それらの要因の価値を推計するものである。

表-2 調査対象公園

1	大池公園	7	並木公園
2	洞峰公園	8	松代公園
3	科学万博記念公園	9	松見公園
4	吉野公園	10	赤塚公園
5	乙戸沼公園	11	かつらぎ公園
6	中央公園	12	大清水公園

2.3 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-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、池を有するつくば市及びその周辺の表-2に示す12公園である。

3. 調査結果

3.1 データ解析

3.1.1 旅行費用

移動の費用については、移動手段別に費用を算出する必要があるが、自動車については燃料費のみ計上した。また、自転車、徒歩については費用を計上しなかった。本調査では、自動車の燃費を

8km/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・子供などの仕事を持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1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1,300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。

3.1.2 訪問回数

地区ごとに公園との距離の逆数と訪問回数の関係を示したものが図-1である。図-1から年間の訪問回数は、距離の逆数と正の相関関係がある(相関係数：0.98)ことが読みとれ、近い公園ほどよく訪れるということが分かる。

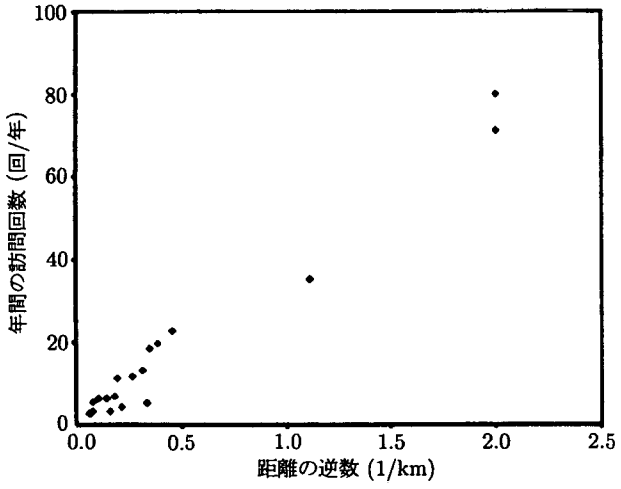


図-1 年間の訪問回数と距離の逆数との関係

3.1.3 利用形態

公園は、さまざまな目的で利用されるが、今回の調査では、1.散歩・軽い運動、2.読書・昼寝、3.公園内施設の利用、4.水遊び・魚取り、5.子供を遊ばせる、6.その他に分類した。

その結果、図-2に示されるように、年代別に特徴的な結果が得られた。30代は、他の年代に見られない特徴として、子供を遊ばせるが卓越して多く、他の年代では最も多い散歩・軽い運動が半分程度になっている。公園内の施設利用は、10代と50代以上において他の年代の2倍程度の割合を占めている。

また、公園までの移動手段について見てみると散歩・軽い運動を目的とした公園利用と公園内の

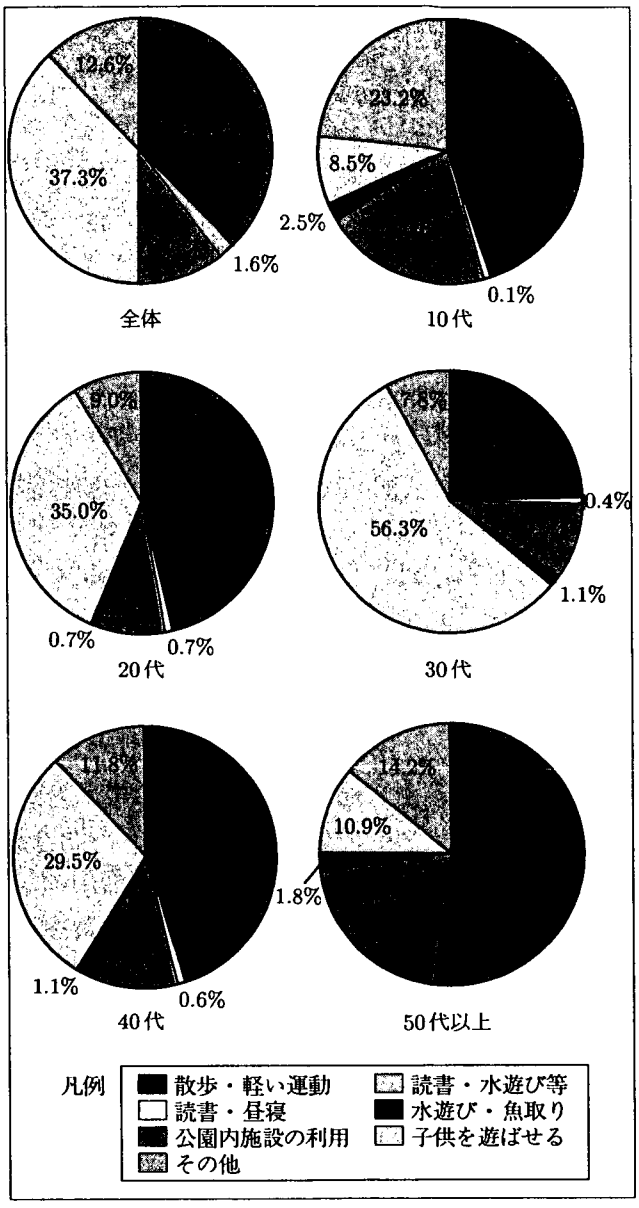


図-2 年代別の公園利用目的の構成

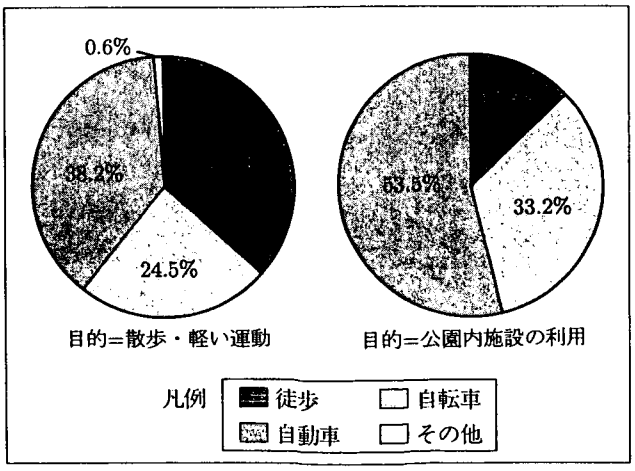


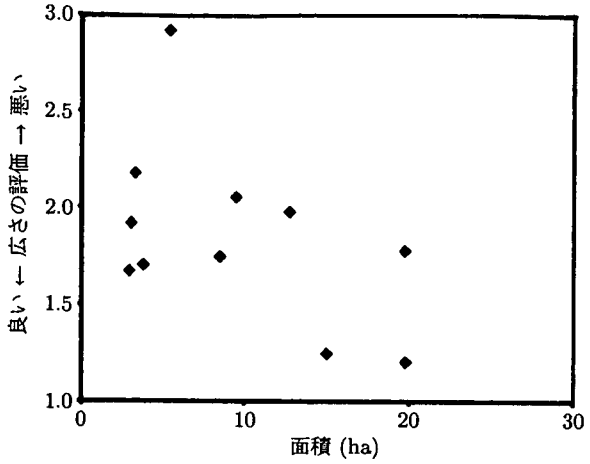
図-3 公園までの移動手段

施設(テニスコート等)利用を目的とした公園利用では、徒歩の占める割合が3倍程度違いがある(図-3)。二つの目的の間にはアクセス距離の違いが

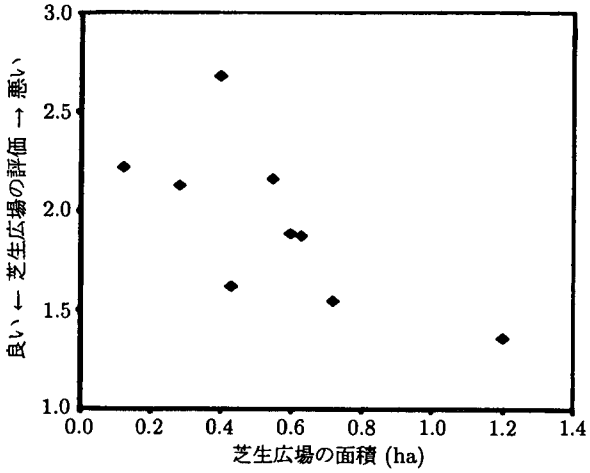
平均値で0.05キロメートルしかないことから、移動手段の構成割合の違いは用具の有無が影響しているものと思われる。

3.1.4 公園の評価

本調査では、公園を評価する評価軸として、被験者に「全体の広さ」、「芝生広場の広さ」、「園路の状態」、「池のきれいさ」、「水辺の近付きやすさ」、「照明の状態」の6項目に関して5段階の評価を行ってもらった。客観評価のできる「全体の広さ」及び「芝生広場の広さ」に関して、客観評価と被験者の主観評価との関係を示したものが図-4である。これらのグラフから全体の広さ、芝生広場の広さともそれぞれの評価と実面積との間に広くなれば評価が良くなるという関係は見られるものの、全体の広さは、芝生広場の広さに比べその関係が明確ではない。これは、芝生広場に関しては、その利用に際して広さが重要なポイントとなっていることを伺わせる。



(1) 全面積と広さの評価



(2) 芝生広場の面積と評価

図-4 客観評価と主観評価の関係

さらに、評価軸それぞれの相関関係を示したものが表-3である。この表から、「全体の広さの評価」と「芝生広場の評価」及び「園路の評価」並びに「芝生広場の評価」と「園路の評価」は、かなり高い相関関係があることが分かる。

さらに、本分析においては図-1から推測するに「距離の逆数」は公園の評価に関係があることが伺えること及び自宅と公園の距離は費用の面のみならず心理的な意味も十分に考えられることから説明変数に加えることにした。

3.2 ヘドニック旅費法の適用

ヘドニック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、

$$P = a_0 + \Sigma(a_j \times z_j) \qquad (3)$$

として表されることはすでに述べたが、ここで個人としての公園の価値は、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(AP)であると考える。

$$P(AP) = V \times N \qquad (4)$$

また、1回当たりの旅行費用(V)は、往復の時

表-3 評価項目の相関

	全体の広さの評価	芝生広場の評価	園路の評価	池のきれいさ評価	池の近隣性の評価	照明の評価
全体の広さの評価	1.00	0.84	0.75	0.33	0.53	0.39
芝生広場の評価	0.84	1.00	0.90	0.33	0.56	0.55
園路の評価	0.75	0.90	1.00	0.40	0.58	0.57
池のきれいさ評価	0.33	0.33	0.40	1.00	0.41	0.33
池の近隣性の評価	0.54	0.56	0.58	0.41	1.00	0.34
照明の評価	0.39	0.55	0.56	0.32	0.34	1.00

(表内の値は、Pearson の相関係数)

表-4 重回帰分析のパラメータ

目的	手段	決定係数	変数	偏回帰係数	有意水準
散歩・軽い運動	徒歩	0.471	距離の逆数	-23,065	0.089
			定数項	69,085	0.023
	自動車	0.641	芝生の評価	-5,167	0.004
			池の評価	11,105	0.006
			距離の逆数	-10,531	0.091
			定数項	-17,982	0.034
子供を遊ばせる	徒歩	0.997	芝生の評価	5,485	0.056
			池の近接性の評価	-10,363	0.070
			距離の逆数	-2,254	0.053
			定数項	35,963	0.045
	自動車	0.733	広さの評価	3,850	0.065
			園路の評価	-3,925	0.015
			距離の逆数	-6,777	0.036
			定数項	6,961	0.001

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、

$$V = f + 2 \times (\beta T + \alpha C) \qquad (5)$$

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。

3.3 重回帰分析結果

公園利用のさまざまな目的により、利用に際して求められる条件が異なると考えることは妥当であろう。また、移動の手段によってもそれが異なると考えられる。それで、本調査においても利用目的及び移動手段ごとに評価関数の係数の値が異なってくると考えられ、そのため、精度は落ちるが目的及び移動手段ごとに推計することとした。

目的のなかでは、利用率の高い「散歩・軽い運動」と「子供を遊ばせる」について、また、移動手段では、最も多い自動車による移動と徒歩による移動について推計を行った。その結果を表-4に示す。この回帰分析では、変数減少法を用いた。この方法は、最初にすべての変数を用いた回帰式を作り、その変数でF値の有意水準が0.10より大きい変数を回帰式から除外するものである。回帰の結果、利用目的が「散歩・軽い運動」で移動手段が徒歩の場合、有意な変数としては、「距離の逆数」だけで、決定係数も0.471と説明力のある回帰にはならなかった。この場合、目的からして、公園への往復も含めた一連の行動が目的に適っているため、公園の特性そのものは目的達成に対して大きな要因とならないことが伺える。目的が同じ「散歩・軽い運動」でも移動手段が「自動車」になると「芝生(広場の広さ)の評価」と「池(のきれいさ)の評価」が「距離の逆数」に加えて有意な変数となった。偏回帰係数の値を見ると「池の評価」の値が正の値を取っている。本調査においては、評価の値が小さい方が良い評価であり、値が負の場合に意味を持つと考えられる。従って、この「池の評価」の偏回帰係数の値が正であることは何らかの問題を含むと考えられる。また、同様の問題が「子供を遊ばせる」目的での回帰にも表れており、重共線性の問題やその他の原因について、今後解析を行う必要があろう。

「子供を遊ばせる」目的での公園利用についてみると、移動手段が「徒歩」、「自動車」とも十分高い決定係数が得られているが、移動手段ごとに有意な説明変数が「距離の逆数」を除いて全く異なっていることは興味深い。移動手段が「徒歩」の場合、「池の近接性の評価」が偏回帰係数の絶対値が大きく、最も説明力のある変数となっているのに対して、「自動車」による移動の場合は、「距離の逆数」の係数の絶対値が最も大きく、ついで、「園路の評価」が有意な説明変数として取り上げられることになった。

この4つのパターンで共通に有意な変数となったのは「距離の逆数」だけである。被説明変数である年間の経費に距離が関係していることもあるが、それ以上に公園と自宅との距離はどの公園を選ぶかに際しての心理的な距離となって、人々の行動に影響を及ぼしているものと思われる。

4. まとめ

公園の機能・価値については、福地ら[1)]が分類しているが、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」と並んで「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一つ）をも含んでいる。

本調査と解析では、公園のいくつかの項目の評価で人々が公園を訪れるために1年間にかける経費を説明するモデル式を作成した。しかし、解析を行った4つのケースのうち3ケースは、統計的に有意な説明変数の符号に関して未解決の問題を含んでおり、他の1ケースは十分な説明力を持たないという結果となった。

その原因はいくつか考えられる。まずその一つは、今回対象とした公園は、全体としてよく整備されており、機能の差が大きく見られないこと。また、本アンケートでは、あまり行かない公園についても記憶に頼って回答をしたため、各項目の評価に関する信頼性が下がったことが考えられる。

解析について言えば、今回は個人データをそのまま用いるならば、年間の費用のばらつきが大きすぎて解析不能であったので、各地区ごとの平均値を用いて解析を行った。その際、距離に関してその地区ごとの代表値を用いた。このために公園の評価の感度が落ちたとも考えられる。

今後精度を上げるためには、質問の形式を工夫すると共に、個人の評価を的確に反映できるように、各個人がレクリエーションにかける費用との関連で公園利用にかける費用を算出する手法の検討が必要と考える。

今後の課題としては、今回の解析は、近隣公園以上の公園についてのみ、その特質の評価と年間の経費の関係に着目して解析を行ったが、今後、児童公園を含めて解析を行なっていくならば、新たな知見を得ることができるのではないかと考えている。また、今回の解析では、移動に要する費用だけに着目したが、滞在時間の価値をどう含めてゆくか、また、余暇時間の時間価値、非勤労者の時間価値の算出方法に関しても今後検討を要する課題と考える。さらに、今回HTCMの適用対象として都市公園を選定したが、公園利用については、コスト意識より、習慣や余暇時間の制限がその利用に大きく反映しているものと考えられるので、よりコストが意識される活動に対してHTCMの適用を試みることが必要と考えている。

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,pp.64-72,1995.

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

4）Morioka T., and Fernandez, L. : Riverside Recreation Analysis for Multiobjective Planning, Technology Report of Osaka University, Vol.30, No. 1580, pp.565-573, 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,pp.14-33,1985.

6）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，No18(2),pp.57-60,1992.

7）Gardner Brown Jr. and Robert Mendelsohn : The Hedonic Travel Cost Method. Review of Economics and Statistics 66, pp.427-433, 1984.

並河良治*



建設省土木研究所環境部
環境計画研究室主任研究員
Yoshiharu NAMIKAWA

丹羽　薫**



ダム水源地環境整備センター
(前　環境計画研究室長)
Kaoru NIWA

谷本　茂***



(前　環境計画研究室
交流研究員)
Shigeru TANIMOTO

利用者の嗜好感性を考慮した歩道整備のあり方に関する一考察

A Study on Equipping the Sidewalk with Giving Considerations to the Taste of Pedestrians

並河　良治　Yoshiharu NAMIKAWA *
寺川　陽　　Akira TERAKAWA **

1. はじめに

歩道は、すべての人が安全・快適に利用できることが求められており、これまでにも歩道の快適性を高めるために歩道景観に関する研究は数多くなされてきた。たとえば、達下らは沿道施設が視覚の快適性に与える影響が最も大きいことを解析し[1]、増田らは、高木による緑量が自然らしさに大きく寄与することを明らかにしている[2]。

ところで、余暇活動が拡大すると共に、物質的に豊かになった今日の社会において、人々は、これまで判断基準の代表であった経済性のみに基づく代替案選択を行わない状況が生起している。価値観が多様化していると言われる中、人々はどの評価軸に重点を置いて代替案を選択しているのであろうか。その点に関しては近年の市場調査から人々は自分の感性に合うものを選択する傾向が強まっていることが知られている。また、人々の感性は、様々な対象に反射し（ミラー効果と呼ばれている）、たとえば、衣服の好みが色や様々な持ち物にも反映されるとも言われており[3]、その好みが移動手段にも反映されると考えられる。

本稿ではマーケティングの手法を用いて、これまでは特に考慮されてこなかった被験者の嗜好を調査・把握し、人々を嗜好感性によって分類すると共に、歩行者、自転車利用者が望んでいる歩道の特性を明らかにすることを目的として行なったアンケート調査の結果を報告する。

公共事業へのマーケティングの考え方の導入は、施設を利用する人の嗜好感性の反映が必ずしも十分でなかったこれまでの社会資本整備から一歩進んで、より質の高い整備を行うのに役立つと考えられる。

キーワード：意識調査分析、歩行者交通行動、マーケティング
＊　：正員、工修、建設省土木研究所環境部環境計画研究室
＊＊：正員、建設省土木研究所環境部環境計画研究室長
（〒305茨城県つくば市大字旭１番地
Tel 0298-64-2269, Fax 0298-64-7221）

2．調査の概要

（１）　調査対象者

調査対象地域としては、公共交通が発達し、歩道利用が頻繁であると考えられる大都市部で、これまで行われた種々の調査結果から感性の異なることが予想される東日本と西日本から東京及び大阪の２都市を選択した。また、都市整備にあたって計画的に歩行者専用道路を配しているつくば市を選定した。調査対象者は、それぞれの都市から性別、年齢の分布を考慮しつつ、１００名を抽出した。

（２）　調査内容

調査は、個人属性（１１項目）、写真等を貼り付けたビジュアルパネルによるデザイン嗜好調査（１９項目）、歩行状況調査、生活嗜好調査及び歩道景観のイメージ因子分析調査から構成されている。表－１に示す質問内容について面接調査を行った。

3. 調査結果

デザイン嗜好では、色調、配色、紳士服、インテリア、レタリングなどの項目であらかじめ用意した15の選択肢から好きなもの、嫌いなものをそれぞれ２つずつ選択する方式で行った。その結果は、選択される選択肢が幾つかの選択肢に集中することなく、広く分布した。

一方、好きな歩道景観では、用意した15枚の景観写真のうち、図－１に示す歩道景観を51％の人が選択し、２位（21％）以下を大きく引き離している。当該道路景観のイメージを表すＳＤフェイスシート

は図－２に示すとおりであり、広々として、閑散とし、親しみやすく、潤いがあり、自然で、安全で、リラックスしたイメージが好感を得ていることが分かる。



図－１　好意率１位の歩道景観

4. 分析結果

（１） 好きな歩道の因子分析

好きな歩道の景観のイメージに関して因子分析を行った結果（図－２）、第５因子までで累積因子寄

表－１　質問項目

分類	項目
個人属性	居住地域、性別、年齢、職業、 学歴、婚姻状況、出身地、年収、 同居家族数、自動車保有状況、 自転車の保有状況
デザイン嗜好	色調、単色、配色、婦人服、紳士服、インテリア、レタリング、基礎形態、歩道景観、風景、舗装、 モニュメント、照明灯、街路樹、 ストリートファニチャー、花、 公園、車、車道景観
歩行状況	毎日の歩行時間、歩行時にはく靴、歩き方、動機、歩きたい道、１週間の自転車及び車の利用頻度
生活嗜好	絵画（画家別）、絵画の種類、自然の光、季節や天気、人工照明、購読雑誌、香り、テレビ番組、音楽サウンド、現代ﾐｭｰｼﾞｼｬﾝ、クラッシック音楽（作曲家別）、音楽ジャンル、楽器の音色、素材の肌触り、余暇活動、所有物、所有したい物、ほしい情報



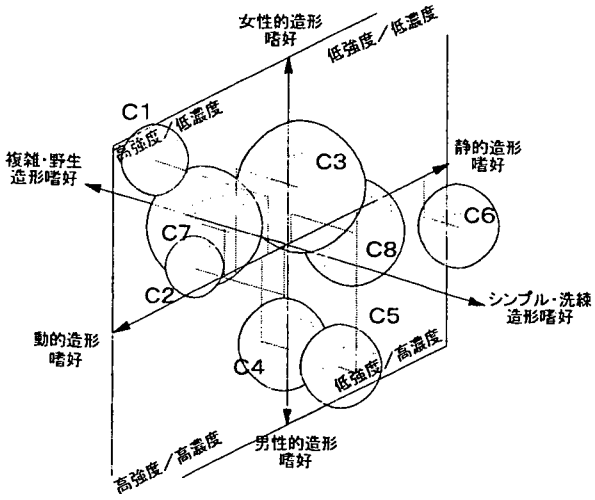
		第１因子	第２因子	第３因子	第４因子	第５因子
暗い感じ	→	-0.1404	-0.2595	0.1374	[-0.5371]	0.1762
こじんまりした	→	0.0503	[-0.5208]	0.1612	-0.2204	0.2473
にぎわった	→	-0.2640	0.0042	0.1278	[-0.5441]	0.0479
親しみにくい	→	0.1866	-0.0869	0.4950	-0.2800	-0.0023
デコボコした	→	0.1551	-0.4195	[0.5552]	-0.1168	0.1580
かたい感じ	→	0.3038	-0.2208	[0.6609]	-0.0883	0.0300
味気ない	→	0.4524	-0.1172	[0.5013]	-0.0427	0.3093
センスの悪い	→	0.1972	-0.2653	0.2237	-0.3208	0.4340
人工的な	→	[0.6759]	-0.0395	0.2107	0.2180	0.0203
見通しが悪い	→	0.0618	[-0.7217]	0.1266	-0.0836	0.0687
危険な	→	0.2673	[-0.5963]	0.1632	-0.1577	-0.0808
緊張感のある	→	[0.6096]	-0.2580	0.2976	-0.1840	-0.1162
不快な	→	[0.5619]	-0.3528	0.2151	-0.2669	0.1253
フォーマルな	→	0.1765	-0.2010	0.0511	-0.4281	-0.0230
モダンな感じ	→	[0.6702]	0.0110	0.1650	0.1295	-0.2520
歩きたくない	→	0.6633	-0.0890	0.1323	-0.0018	0.1753
嫌いな感じ	→	0.5656	-0.1467	0.0949	0.0110	0.2142
因子寄与率		0.3405	0.2073	0.1885	0.1413	0.0677

図－２　最も好きな歩道のイメージと因子負荷量

表－２　嗜好階層のクラスターの嗜好の特徴

番号		C１	C２	C３	C４	C５	C６	C７	C８
特徴的呼称		通勤型・熟年カジュアル派	交遊型・若年ダイナミック派	行楽型・家庭主婦キュート派	散策型・社交スポーティー派	運動型・男性健康トラッド派	気分転換型・知識ナチュラル派	探索型・若年進歩クリアー派	旅情型・生活余裕エレガント派
構成比		９．３％	８．３％	１７．７％	１２．３％	１１．０％	１１．０％	１６．０％	１４．３％
基本嗜好		動的 女性的 複雑	動的 男性的 複雑	動的 女性的 簡潔	動的 男性的 簡潔	静的 男性的 複雑	静的 男性的 簡潔嗜好	動的 女性的 複雑嗜好	中心 女性的 簡潔嗜好
生活属性	年齢 世帯年収 学歴特徴	50代以上 ＝39.3％ 512万 高卒　60％	10代＝36.0％ 20代＝24.0％ 715万 専・短卒 32％	30代＝26.4％ 20代＝22.6％ 750万 平均並み	30代＝29.7％ 40代＝21.6％ 715万 高卒以上	30代・50代以上＝27.3％ 715万 大卒約４割	40代＝30.3％ 10代＝24.2％ 803万 大卒　４割	20代＝27.1％ 10代＝22.9％ 590万 小中卒	40代＝27.9％ 30代＝23.3％ 703万 高卒以上
歩行等の頻度	歩行 自転車	1時間　39.3 30分　42.9 毎日　32.1 たまに28.6	30分　40.0 1時間　36.0 毎日　48.0 2～3回20.0 たまに20.0	30分　47.2 1時間　24.5 毎日　41.5 たまに22.6	1時間　51.4 30分　18.9 毎日　51.4 たまに18.9 乗らぬ18.9	1時間　39.4 30分　36.4 たまに39.4 毎日　30.3	1時間　51.5 30分　33.3 毎日　36.4 たまに30.3	30分　47.9 1時間　33.3 毎日　41.7 乗らぬ22.9	30分　55.8 歩かぬ23.3 毎日　41.9 たまに34.9
歩道の嗜好	好きな歩道として選択した写真	「石畳敷き・茂みの多い丘の道」 「自然石ブロック敷き・都市公園歩道」	「煉瓦敷き・歩車分離型の歩道」 「ｺﾝｸﾘｰﾄﾌﾞﾛｯｸ敷き・市街地歩道」	「ｺﾝｸﾘｰﾄ敷き・高いケヤキの並木道」	「白ｺﾝｸﾘｰﾄ敷き・ﾜﾝｼﾞと流水の歩道」 「煉瓦敷き・流水のある団地公園風歩道」	「ｺﾝｸﾘｰﾄ敷き・雑木林の歩道」 「自然石ブロック敷き・江戸蔵屋敷歩道」	「自然石敷・裸土の山林道」 「白ｺﾝｸﾘｰﾄ敷き・屋敷林歩道」 「桜並木道」	「煉瓦敷き・歩車分離型の歩道」 「自然石ブロック敷き・都市公園歩道」	「ｺﾝｸﾘｰﾄ敷き・高いケヤキの並木道」 「ｺﾝｸﾘｰﾄ敷き・雑木林の歩道」
	イメージ	自然樹の多い森林公園のような道	森林公園風自然道 洋風庭園風舗装道 橋・茶屋・滝周遊道	起伏のある渓流に沿った道 林間の小高い丘の道	起伏のある渓流に沿った道 森林公園の自然道	和風庭園のようなつづれ折りの道 森林公園の自然道	森林公園の自然道	洋風庭園風の平坦な舗装路 林間の丘の道	名産民芸品の道 橋・茶屋・滝を巡る池の周遊道
	歩行方法	抜け道や近道を発見する	同じ道筋を歩く	景色のよい道を探す	気分転換 犬の散歩	景色のよさ 地理を知る	車の少ない道 休憩場所	抜け道・近道を発見する	いつも同じ道を歩く
	舗装	自然石敷き	赤御影ﾓｻﾞｲｸ 玉石洗出し ｱｽﾌｧﾙﾄ	大理石風ブロック ｲﾝﾀｰﾛｯｷﾝｸﾞ・ﾌﾞﾛｯｸ	自然石タイル 扇敷き	レンガ敷き タイル敷き	自然石ﾀｲﾙ ｺﾝｸﾘｰﾄ系ﾌﾞﾛｯｸ 玉石洗出し	コンクリート系ブロック	自然石ﾀｲﾙ コンクリート系ブロック
	動機	通勤や通学 スナック飲食 催事を見に行く	買い物 仲間と一緒に	買い物 スナック・飲食	当てもなくブラブラする 歩く楽しみのため	健康や運動	気分転換	通勤・通学	通勤・通学が少なめ
	靴	ｳｫｰｷﾝｸﾞ・ｼｭｰｽﾞ ﾛﾝｸﾞ・ﾌﾞｰﾂ	スニーカー	スニーカー	ローヒールの革靴	スニーカー ﾛｰﾋｰﾙの革靴 サンダル	スニーカー ウォーキングシューズ	トレッキングシューズ	ショートブーツ
	夜間照明	ピンクやブルーの色光	ほんのり明るむ光 赤ちょうちんの光 ゆっくり明滅光 ｺｳｺｳと輝く光	ライトアップした樹木・橋・塔	穏やかな間接照明	繁華街のネオン 所々明るいスポット照明	ガス灯の揺らぐ光 所々明るいスポット照明	繁華街のネオン 赤ちょうちん	超高層の夜景 鈴なりに連続する光
その他の嗜好	季節と天候	さわやかな秋日和 紅葉狩りの季節	眩しい夏の昼下がり 水泳の時季 激しい夏の夕立ち 乾いた路に沁みる冬の雨	うららかな春がすみ	夏の涼風 スキーの季節	お花見の季節	お花見の季節	紅葉狩りの季節 シトシト降る秋霖	ぬくもる冬の陽差し
	景観	夕焼け 雪景色 星月夜	虹の七色 おぼろ月夜	木洩れ陽 オーロラ	薄暮	夕焼け 水に映る森や山の影	木洩れ陽 秋晴れの青空 煌めく稲妻	朝日 オーロラ	木洩れ陽 夏の白い入道雲 水に映る森・山の影
	街路樹	ヤマモミジ クスノキ	ヤナギ イチイ	ハナモクレン	ポプラ ケヤキ	メタセコイア	イチョウ ｽｽﾞｶｹ・ｲﾁｲ	シラカバ	ユーカリ ヤマモミジ
	香り	ユズ、ユリ、酒	線香 香ばしい麦	ユリ ラン	レモン	ヒノキ、ステーキを焼く	コーヒー 新緑の草	バラ オーデコロン	焼きたてのパン、梅の花
	テレビ番組	ﾜｲﾄﾞｼｮｳ 健康・栄養	ﾊﾟﾗｴﾃｨｰ 音楽	ドラマ 料理	映画 自然・動物	ニュース スポーツ 映画	クイズ 自然・動物 映画 歴史・人物	ﾊﾟﾗｴﾃｨｰ スポーツ	旅行 歴史・人物
	購読雑誌	家庭画報 週刊文春	少年漫画雑誌 アンアン	ｵﾚﾝｼﾞﾍﾟｰｼﾞ ｸﾛﾜｯｻﾝ 週刊大衆 Ｓｐａ	週刊現代	週刊朝日 フライデー プレイボーイ	週刊文春 少年サンデー	ホットドッグ ノンノ	ｵﾚﾝｼﾞﾍﾟｰｼﾞ ﾌﾟﾚｼﾞﾃﾞﾝﾄ
	余暇活動	麻雀 ダンス ディスコ	音楽鑑賞 自転車に乗る 喫茶店で友人と雑談 電子ゲーム 散歩 ｽﾎﾟｰﾂ観戦 海外旅行	家族で外食 温泉 遊園地・動物園 ビデオ撮影 美術館・博物館 テニス	ウインドウ・ショッピング	ジョギング カラオケ ビデオ鑑賞 国内旅行 ドライブ 自宅・酒場で飲酒 ボウリング 遊園地・動物園 映画鑑賞 パチンコ	ｱｳﾄﾄﾞｱﾗｲﾌ 日曜大工 読書 国内旅行 ｽﾎﾟｰﾂ観戦 ｺﾝｻｰﾄ・観劇 遊園地・動物園 映画鑑賞 パチンコ	カラオケ 喫茶店で雑談 ペットの飼育 麻雀 海外旅行 ダンス・ディスコ	家族で外食 つり ｽﾎﾟｰﾂｸﾗﾌﾞ ビデオ鑑賞 ドライブ

は、34％であり、第１因子に対する因子負荷量として大きな変数は、「自然な」、「素朴な感じ」、「歩きたくなる」、「快適な」などであり、第１因子を解釈すると、「自然回帰度」と言うことができる。第２因子は、寄与率21％で、それに対する因子負荷量の絶対値の大きな変数は、「見通しがよい」、



図－3 嗜好座標の階層分布図

「安全な」、「広々とした」で、いずれの変数も符号は負である。これは、見通しが悪く危険な道は嫌がられる傾向にあることを示しており、その意味で第２因子は、「視界安全度」と言うことができる。

（２） クラスター分析

1.で述べたが、人々の嗜好は、様々なものに反射することから、被験者をその嗜好によりいくつかのグループに分類することができる。この場合、分類の軸は、今回用いた調査手法（商品デザイン等の各種デザイン作成用の嗜好感性価値感軸分類図表とその作成方法：特許第2070610号）のこれまでの調査経験から最も説明力のある男性的造形嗜好←→女性的造形嗜好及び動的造形嗜好←→静的造形嗜好という２つの軸からなる平面に加え、今回の調査では複雑・野生造形嗜好←→シンプル・洗練造形嗜好軸を加えた３次元空間でグルーピングした。その結果、構成比8.3%から17.7%の８つのグループ（クラスター）に分類された。各クラスターが嗜好特性空間で占める位置を表したものが図－３である。また、それぞれのクラスターの有する嗜好を一覧に示したものが表－２である。

１日当たりの歩行時間を見るとＣ３及びＣ８のクラスター以外では、ほぼ１時間以上歩く人の割合がおおむね半数を超えている。さらに細かく見ると、毎日１時間前後歩く人は、全体で35%であるのに対して、Ｃ４（51%）及びＣ６（52%）が多く（有意水準５%で統計的に見て有意、以下同じ）なっている。一方、毎日の歩く時間が30分以下の人は、Ｃ８が56%と多い（全体では41%）。さらに、ほとんど歩かないと回答した人もＣ８（23%）が多い（全体では13%）。自動車の利用は、毎日運転する人が全体で24%であるのに対して、Ｃ５（42%）の割合が高い。

好きな歩道景観については、クラスターにおいても全体で最も好まれた景観を選択する人の割合が多いが、最もよく歩いているＣ４では人工的なせせらぎと植栽のある景観が他のグループに比べて多いことが示された。

（３）地域特性

地域別に見ると、いくつかの特徴が現れている。毎日１時間前後歩く人は、東京在住者が多い（46%：全体では35%）。一方、ほとんど歩かない人は大阪在住者が比較的多い（18%：全体では13%）。

自動車を毎日運転する人は、つくば在住者の割合が高い（35%：全体では24%）。

５．まとめと課題

本稿ではテイスト・クラスター分析を用いて、好まれる歩道景観とそのイメージ等について明らかにした。また、被験者をその嗜好により８つのクラスターに分類し、それぞれの特長について明らかにした。本調査では、好きな歩道景観の持つイメージが自然回帰的でリラックスしたものであることを明らかにすることができたが、その景観のどの部分にそのようなイメージを持つのかという点まで明らかにするには至らなかった。今後、これらの点を分析的かつ定量的に一層掘り下げて明らかにする必要があると考えている。

（謝　辞）　本研究を進めるに際し、感性マーケティング研究所　佐藤邦夫、平澤徹也の両氏には大変お世話になりました。ここに感謝の意を表します。

＜参考文献＞

1）達下文一、笹岡弘治、田中輝栄：歩行者系道路空間における歩行者の視覚意識、都土木技研年報、pp. 57-67, 1987.
2）増田　昇、下村泰彦、安部大就：都市景観形成に係る街路緑化手法に関する研究、造園雑誌　52(5), pp. 318-323, 1989.
3）佐藤邦夫、平澤徹也：感性マーケティングの技法、プレジデント社、1996年。

ＣＶＭを用いた環境施設帯の経済評価

Economy evaluation of the environment institution zone that used CVM

畑原　隆司　Takashi HATAHARA*
並河　良治　Yoshiharu NAMIKAWA**
寺川　陽　Akira TERAKAWA***

１．まえがき

第十一次道路整備５ヶ年計画では、「良好な環境創造のための道路整備の推進」が一つの柱となっており、沿道環境の保全技術の一つとして環境施設帯が位置づけられている。環境施設帯の設置目的は、良好な住居環境を保全する必要がある地域を通る４車線以上の幹線道路について、車道端から幅 10 m（20 m）の土地を道路用地とし、道路公害（騒音、振動及び排出ガス）の距離減衰や植樹帯による景観向上を図ることである。

しかし、環境という非市場財を含む公共事業の投資効果を正確に把握する手法は現在確立されておらず、これら、環境向上を目的とした事業の投資効果の定量的把握手法の調査・研究が待たれている。

本研究は、環境施設帯の経済価値をＣＶＭ（仮想金銭化法:Contingent Valuation Method）により評価し、事業の投資効果の局地性について検討を行い、事業の便益集計手法の研究に取り組んだものである。

２．研究方法

調査対象は宮崎県宮崎市の一般住民とし、被験者の住宅が土地区画整理事業の対象になったと仮定し、環境施設帯設置のための土地の供出（一戸建て）、床面積の減少（分譲ﾏﾝｼｮﾝ）及び家賃の上昇（賃貸住宅）の許容最大値（最大支払い意志額、以下ＷＴＰと呼ぶ）を付け値法により面接調査した。また、被験者の住宅の立地条件、世帯属性条件及び環境意識度についても同時にアンケート調査を行った。

得られた個々のＷＴＰは環境意識度との整合性チェック等を行い、住宅区分・用途地域区分別に集計整理した。次に、環境施設帯の投資評価額の距離減衰傾向を確認するため、ＷＴＰに影響を与える説明変数として幹線道路までの距離、世帯属性及び環境意識度等をとりあげて多変量解析を行った。更に、その結果を用いた便益集計方法を提案した。

なお、敷地やﾏﾝｼｮﾝ専有面積の単価は、平成９年１月現在の宮崎市の住宅情報誌のデータに基づき、以下のように設定した。

一戸建て：23.4 万／坪(7.1 万／m²)
分譲ﾏﾝｼｮﾝ：22.9 万／m²

３．ＷＴＰの集計

ＣＶＭ調査で収集した各世帯のＷＴＰを用途地域別（住居地域、商工業地域）、住宅区分別（一戸建て、分譲ﾏﾝｼｮﾝ、賃貸住宅）に集計した結果、一戸建て、分譲ﾏﾝｼｮﾝの１世帯当たりの平均最大支払い意志額（ＷＴＰ）は 25 万円から 30 万円程度、賃貸住宅は約 2.4 千円／月の家賃の上昇まで許容するという結果を得た。

表―１　世帯当たりの最大支払い意志額

	一戸建て（万円／世帯）	分譲ﾏﾝｼｮﾝ（万円／世帯）	賃貸住宅（千円／世帯／月）
住宅地域	32.6(112)	25.1(54)	2.1(119)
商工業地域	21.8(32)	24.6(40)	3.2(36)
住宅区分平均	30.2(144)	24.9(94)	2.4(155)

注:()数値はデータ数

４．便益の局地性と集計範囲

環境施設帯や公園等の身近な環境向上施設には、そこにしかない貴重な自然の保存といった固有価値は殆ど存在せず、これらの投資効果は局地性を示すと考えられる。環境経済評価手法の一つであるヘドニック価格法による公園等の便益の局地性の研究に関し、肥田野[1]、武林・肥田野[2]及び藤田・盛岡[3]は、中・大規模公園までの距離が宅地価格へ与える影響を明らかにしている。また、矢澤・金本[4]は、50m 以内及び 50m～200m 以内の施設面積水準の地価への反映を示している。

一方、ＣＶＭでは投資効果の局地性の研究事例は少なく、ＣＶＭで得られた一人当たりＷＴＰに、ある地域の全人口を乗じて便益集計値としている。

キーワード：公共事業評価法、都市計画、交通公害
*:正員、建設省土木研究所環境部環境計画研究室交流研究員
（〒305 つくば市大字旭１番地 Tel:0298-64-2211）
**:正員、建設省土木研究所環境部環境計画研究室主任研究員
***:正員、建設省土木研究所環境部環境計画研究室長

本研究では、投資効果の局地性について調査し、きめ細かい便益集計方法を検討することとした。

(1)ＷＴＰの標準化の必要性

ＷＴＰそのものは立地条件・世帯特性・被験者個人の環境意識度・過去の経験等の影響を受けており、バラツキが大きいためＷＴＰを標準化したうえで世帯間及び地域間のＷＴＰを比較する必要がある。特に、敷地面積（床面積）、年収及び家族数といった世帯特性は、ＷＴＰに大きな影響を与えていると考えられる。

本研究では、一戸建て住宅と分譲ﾏﾝｼｮﾝはＷＴＰを敷地面積と家族数で除した値[WTP/m²/家族数]を、賃貸住宅はＷＴＰを年収と家族数で除した値[WTP/年収/家族数]を用いて解析を行った。(以下、標準化した値はＮＷＴＰ:Normalized Willingness To Pay と呼ぶ。)

(2)ＮＷＴＰと距離の関係（図―１参照）

個々の世帯のＮＷＴＰと幹線道路からの距離の散布図から、有額回答者のＮＷＴＰは、すべての住宅区分・用途地域区分で距離の増加に伴う減少傾向が読みとれた。また、距離区分毎に集計した平均ＮＷＴＰも距離減衰傾向がすべての住宅区分、用途地域で距離減衰傾向が認められた。なお、距離区分は予備調査結果及び既存研究結果から、“沿道:0m～50m”、“近い:50m～300m”、“やや離れている:300m～1km”、“離れている:1km 以上”の４つとした。

(3)ＮＷＴＰの距離減衰傾向の要因

(a)平均ＮＷＴＰの距離減衰傾向

距離区分別の平均ＮＷＴＰは下式で表現される。

距離減衰の要因としては次の２つが考えられる。

①費用を負担してまで環境施設帯の設置を了承する世帯の率：αの距離減衰

②了承世帯の平均ＮＷＴＰ：$\overline{nwtp}$ の距離減衰

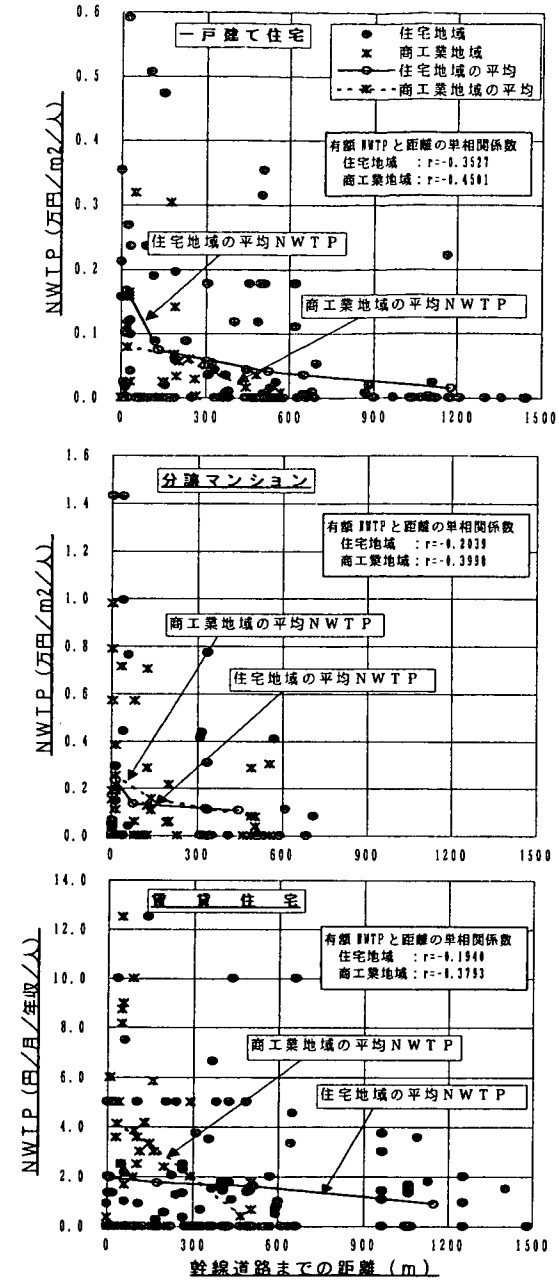
$$\text{平均ＮＷＴＰ} = \alpha \times \overline{nwtp} \cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

ただし、　α：了承世帯率＝了承世帯数／全世帯

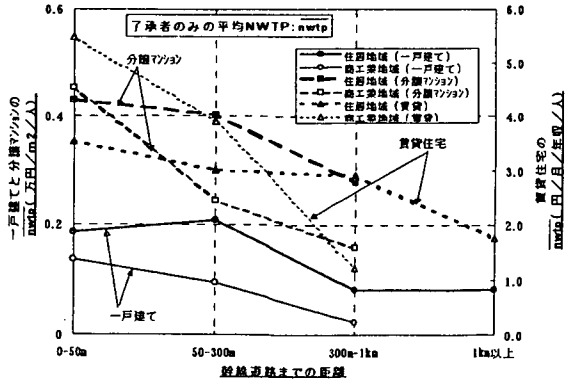
$\overline{nwtp}$：了承世帯の平均ＮＷＴＰ

$$= \frac{\Sigma\text{了承世帯ＮＷＴＰ}}{\text{了承世帯数}}$$

この２要因のうち、標準化されている了承世帯の平均ＮＷＴＰは、図―２に示すように、距離減衰傾向が認められた。また、残りの了承世帯率については、了承・拒否の判別を目的変数とする判別分析を行い、そこから得られる判別方程式の距離の係数から距離減衰傾向の有無を判断することとした。



図―１　幹線道路までの距離とＷＴＰ



図―2　了承者の平均NWTP：$\overline{nwtp}$の距離減衰傾向

なお、説明変数については、距離区分及び世帯特性等を説明変数とし環境意識度や過去の沿道経験等も含め、判別的中率が最も高くなるように選定した。結果を表—2に示す。その結果、環境施設帯設置に関する了承・拒否の判断に対して、一戸建て（商工業地域）、分譲ﾏﾝｼｮﾝ（商工業地域）及び賃貸住宅（住居地域）では距離の係数は負とならず、これらの区分では了承世帯率は距離減衰傾向を示していない。

(b)ＮＷＴＰの距離減衰傾向の検討

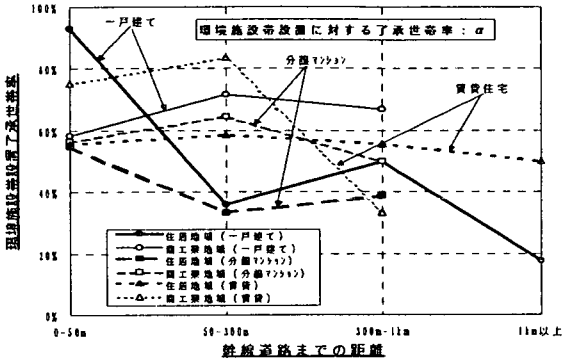
次に環境施設帯設置に了承する世帯のＮＷＴＰを目的変数とした重回帰分析を行い、判別分析と同様に距離変数の偏回帰係数から距離減衰傾向の確認を行うと共に最大支払い意志額決定に影響を及ぼす環境変数の特定を行った結果を表—3に示す。

環境変数の特定は、重相関係数が最大となる変数を選択した。その結果、重回帰モデルの適合度は、賃貸住宅（住宅地域）の重相関係数が0.35と低くなっているが、他の区分の重相関係数は 0.65～0.80の値を示している。

距離変数の偏回帰係数はいずれも負の値を示し、距離減衰傾向の符号条件を満足しており、分譲ﾏﾝｼｮﾝ(住宅地域)と賃貸住宅(住宅地域)以外は危険率5%未満で有意な説明変数となっている。

表—2 判別分析結果

変数名	判別方程式の判別係数					
	一戸建て		分譲マンション		賃貸住宅	
	住居地域	商工業地域	住居地域	商工業地域	住居地域	商工業地域
距離(km)	-1.5638	7.5266	-2.7222	0.02905	0.02464	-2.3786
1人当たり面積(m2/人)	0.0267	0.0179	0.0139	0.0127	-0.0020	0.0007
性別ﾀﾞﾐｰ	-0.1898	0.8650	-2.3070	0.1911	-0.3947	0.5128
年齢(35歳未満)ﾀﾞﾐｰ	0	0	0	0	0.6305	-1.0428
年齢(35-44歳)ﾀﾞﾐｰ	0	0	0	0	1.2907	0
年齢(45-54歳)ﾀﾞﾐｰ	-0.2401	-1.6908	0.2117	-0.1640	0.5675	0
年齢(55-64歳)ﾀﾞﾐｰ	-1.4319	-0.9767	-0.4236	-1.5060	0	0
年齢(64歳以上)ﾀﾞﾐｰ	-0.8955	1.0466	-1.0778	-1.1433	0	0
幹線利用頻度(毎日)ﾀﾞﾐｰ	0.7271	-1.3881	1.5971		-0.2316	0.4965
騒音経験ﾀﾞﾐｰ	-0.0716	2.0509	-1.5231	0.5590	-0.7403	1.3215
住民経験ﾀﾞﾐｰ	1.2866		-0.2655		-0.3601	
散歩経験ﾀﾞﾐｰ	1.1112	0.6208	-0.1995	0.0413	0.4521	-0.6310
地域清掃ﾀﾞﾐｰ	0.4727		1.4196	0.1681	0.2611	-0.9070
定数項	-0.5290	-1.7489	-0.1710	-0.3712	0.0705	0.7331
判別的中率	68.8%	84.4%	75.9%	65.0%	64.7%	72.2%



図—3 了承世帯率αの距離減衰傾向

表—3 了承世帯のNWTPの重回帰分析結果

変数名	一戸建て住宅				分譲マンション				賃貸住宅			
	住宅地域		商工業地域		住宅地域		商工業地域		住宅地域		商工業地域	
	標準偏回帰係数	判定	標準偏回帰係数	判定	標準偏回帰係数	判定	標準偏回帰係数	判定	標準偏回帰係数	判定	標準偏回帰係数	判定
距離(m)	-0.2367	**	-0.6371	**	-0.0902		-0.5600	***	-0.1896		-0.5439	**
1人当り面積(m2/人)	0.2529	**	0.7396	**	-0.2216		0.1119		0.1238		-0.2205	
性別ﾀﾞﾐｰ	0.3194	**	-0.6857	**	-0.3305		-0.5467	***	0.1921		0.3335	*
年齢	0.1442		—		0.2054		—		-0.1855		-0.2911	
1人当り年収(万円／人)	—		-0.4273		0.3601		—		—		—	
幹線利用頻度ﾀﾞﾐｰ	—		0.7857	**	—		-0.3085	*	—		-0.6090	***
騒音経験ﾀﾞﾐｰ	—		—		-0.2553	*	0.1813		0.0231		-0.2339	
振動経験ﾀﾞﾐｰ	0.1691		-0.6397	**	—		—		-0.1908		—	
排気ガス経験ﾀﾞﾐｰ	—		—		—		—		—		—	
散歩経験ﾀﾞﾐｰ	—		-0.5695	*	0.3271	*	0.9905	***	—		0.2997	*
車走経験経験ﾀﾞﾐｰ	0.3023	***	-0.2306		-0.5654	***	-0.8796	***	—		0.2508	
自然探索旅行回数	-0.1678		—		0.5845	**	—		0.2312	*	-0.2209	
牛乳ﾊﾟｯｸ等リサイクル	0.3371	**	-0.6641	**	—		0.2387		—		—	
環境施設帯需要度ﾀﾞﾐｰ	0.1642		—		—		—		0.1697		—	
改善項目公害軽減ﾀﾞﾐｰ	-0.3184	***	0.5418	*	—		—		—		0.4749	**
費用負担ﾀﾞﾐｰ(時々徒歩利用)	—		—		0.2732		0.3261	**	—		—	
ﾃﾞｰﾀ数	53		21		24		23		66		26	
修正済重相関係数	0.6710		0.6452		0.8007		0.8027		0.3367		0.7340	

＊＊＊：1%有意、＊＊：5%有意、＊：10%有意

(4)便益の集計範囲（図—3参照）

便益の集計範囲は、ＷＴＰと距離のみの関係から、経済価値が０円となる距離を特定することで設定可能と考えた。

了承世帯のＮＷＴＰの重回帰分析結果から得られる距離の偏回帰係数は、他の説明変数の影響を取り除いた後のＮＷＴＰと距離の関係である。従って、下式のα_LはＮＷＴＰの距離減衰勾配を表している。

$$NWTP=\alpha_L X_L+\alpha_1 X_1+\alpha_2 X_2+\cdots\alpha_n X_n+C\cdots\cdots (2)$$

ただし、α_L：距離の偏回帰係数

X_L：距離

$\alpha_1\sim\alpha_n$：説明変数X_nの偏回帰係数

$X_1\sim X_n$：説明変数

c：定数項

そして、標本の$\overline{nwtp}$と$\overline{L}$を通り傾きα_Lの直線のＸ軸との切片（式(3)）が集計範囲の最大値と考えられる。以上の考え方に従い本研究で扱っている住居区分・用途地域区分別の集計範囲を算出した結果を表—４に示す。

$$Lmax=\overline{L}-\overline{nwtp}/\alpha_L\cdots\cdots\cdots (3)$$

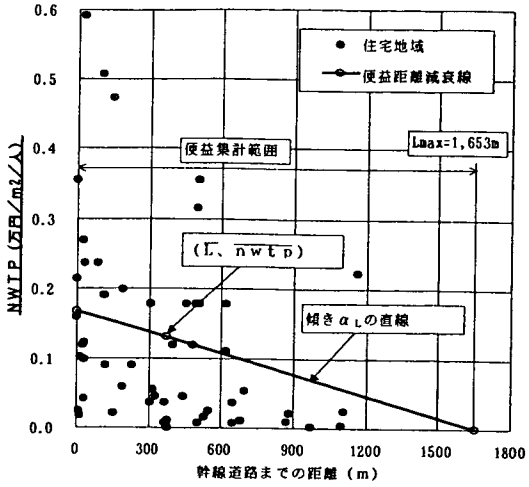
ただし、Ｌｍａｘ：Ｘ軸との切片

５．まとめ

環境施設帯の経済価値計測のためにＣＶＭ調査を行い、一戸建て、分譲ﾏﾝｼｮﾝの１世帯当たりの平均最大支払い意志額(ＷＴＰ)は25万円から30万円程度、賃貸住宅は約 2.4 千円／月(割引率 3%,10 年で約 26 万円)の家賃の上昇まで許容するという結果を得た。

環境施設帯の投資効果の局地性に関しては、ＷＴＰを敷地面積（床面積）及び家族数で標準化することで、距離減衰傾向は明らかになった。さらに、環境施設帯の設置に了承した世帯のＮＷＴＰを目的変数とし、距離、世帯特性、環境意識度及び過去の沿道環境の経験を説明変数とする重回帰分析を行った。

その結果、距離の偏回帰係数は、すべての区分で



図—４ 便益集計範囲の考え方(住宅地区の一戸建て)

距離減衰傾向の符号条件を満たす結果を得た。そして、得られた距離の偏回帰係数の勾配で標本サンプルの$\overline{nwtp}$と$\overline{L}$を通る直線のＸ軸切片から便益集計範囲が得られることとを示した。

しかし、賃貸住宅（住居区域）のように重回帰モデルの適合度が低い場合、距離の偏回帰係数の信憑性に疑問が残る。今後、ＷＴＰに影響を与える環境変数の設定に関する研究が必要である。

<参考文献>

１）肥田野他：大都市における複合交通空間整備の計測、土木計画学研究・論文集 No8,PP.121-128,1990

２）肥田野：住環境整備と地価変動-ｱﾒﾆﾃｨを評価する、不動産研究、29(2)PP.1-10,1987

３）藤田他：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、３）藤田他：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.123,PP.64-72,1995

４）矢澤他：ヘドニック・アプローチにおける変数選択、環境科学学会誌、Vol.5,No1,PP.45-56,1992

表—４ 環境施設帯の便益集計範囲

		平均Ｌ $\overline{L}$ (m)	平均nwtp $\overline{nwtp}$ (万円／m2／人)または(円／月／年収／人)	偏回帰係数 α_L —	集計範囲 $Lmax=\overline{L}-\overline{nwtp}/\alpha_L$ (m)
一戸建て住宅	住居地域	372.9	0.13	-0.00010	1,653
	商工業地域	199.5	0.09	-0.00040	425
分譲ﾏﾝｼｮﾝ	住居地域	194.8	0.36	-0.00020	1,995
	商工業地域	169.8	0.31	-0.00080	557
賃貸住宅	住居地域	450.8	2.86	-0.00131	2,634
	商工業地域	137.69	4.3	-0.01240	484

湖沼のレクリエーション利用におけるイメージ構造の分析

Analisys of imaginary strucutures in recreation using of lake

舟橋弥生*　寺川陽**　並河良治***　畑原隆司****

By Yayoi FUNAHASHI,Akira TERAKAWA,Yoshiharu NAMIKAWA,Takashi HATAHARA

1．はじめに

社会資本の整備は『ゆとりとうるおいのある快適な生活環境を創出する』ための有力な手段である。「ゆとり」、「うるおい」、「快適さ」といった直接金銭評価できない観点も含め、その高い社会資本整備が求められている。

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動きが各地で見られる。湖沼は自然生態系の保全にも配慮した上で適切に人間の手を加えることにより、景観や親水活動面からの価値を大いに増大させることが期待される。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良好にすることを目的とした諸施設をあわせて計画設計するのが望ましい。

本研究は、そのような施設をどのような条件の下で作るべきか、どの程度の規模にするのが望ましいかについての分析評価手法について検証することを目的としている。

2．調査の概要

調査はダム湖及びダムのスライドを映写し、それに関するイメージを調査対象者にアンケート用紙に記入してもらう形式で行った。被験者については、大都市（東京 23 区）及び郊外のニュータウン（つくば市）という地域特性の異なる 2 地区に在住するものを対象として行った。ＡＨＰ及びＳＤ法それぞれの調査手法は以下の通りである。

ＡＨＰ

“ダム湖へ遊びに行くときの行動意識調査”として、評価基準 5、代替案 3（Ａダム、Ｂダム、Ｃダム）の一対比較調査を行った。調査に際しては次の条件で評価する事とした、①旅行の目的と日程：ダム湖へ遊びに行くことが主目的の日帰り旅行、②季節：夏。はじめに上記の旅行条件を念頭に置き、評価基準の一対比較を行い、次に、同条件のもとで、各評価基準により、スライド映写した代替案の一対比較を行った。

ＳＤ法

被験者に対しＡダム（オールマイティー型）、Ｂダム（人工的自然型）、Ｃダム（自然型）、Ｄダム（スポーツレクリエーション型）及びＥダム（オールマイティー・ウォータースポーツ型）の 5 ダムについて各ダム 6 サンプルずつ、合計 30 サンプルのスライドの映写を行った。各ダムのサンプルは、ダム堤体、湖面利用、水辺活動、スポーツ、施設利用の 5 つのテーマについて 1 サンプルずつ、計 5 サンプルと、ダム堤体～施設利用までをまとめて総合化したものが 1 サンプルの計 6 サンプルである。これらの 1 サンプルごとに 20 個の形容詞対による 7 段階の評価を行った。

3．調査結果

(1)被験者の概要

アンケート調査の被験者数は東京 119 人、つくば 113 人である。性別は東京は男性 46.2 %、女性 52.1 %、つくばは男性 48.6 %、女性 49.6 %とほぼ同数となっている。

キーワード：イメージ分析

*正員、工修、建設省土木研究所環境部環境計画研究室研究員
（〒 305　つくば市大字旭 1 番地：0298-64-2211(TEL) 7221(FAX)）
**正員、工修、建設省土木研究所環境部環境計画研究室室長
***正員、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
****正員、建設省土木研究所環境部環境計画研究室交流研究員

(2)データの解析

(a)ＡＨＰ

評価基準については、以下に示す５項目を用いた。

①ダムを見てみたい（以下ダム堤体と示す）

②湖面を利用して遊びたい（以下湖面利用と示す）

③自然鑑賞や水際で遊びたい(以下水辺活動と示す)

④スポーツをしたい（以下スポーツと示す）

⑤施設を利用して遊びたい（以下施設利用と示す）

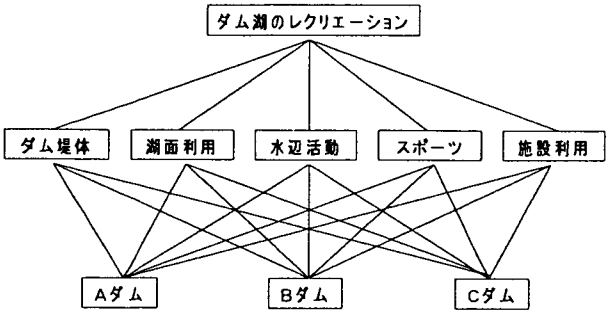


図 3-1　ダム湖レクリエーションの階層構造

まず最初にこれらの評価基準について、東京、つくばの被験者の回答に対して、一対比較が妥当であるかの検証を行うため整合度（Consistency index，ＣＩ）及び整合比（Consistency ratio，ＣＲ）による判定を行った。このＣＩ及びＣＲは結果に完全に整合性があるとき０となり、整合性が無くなるほど大きくなる。一般にＣＩ、ＣＲとも 0.1 以下のときは問題ないとされており、この値が 0.1 を越えるものについては信頼性が欠けるものとして、集計データから削除した。その結果有効回答は東京 95、つくば 82 となった。また、これら項目に関しての優先度を求めるために、データを幾何平均を用いて集計した。結果を表 3-1、表 3-2 に示す。幾何平均を集計したデータについても東京、つくばともＣＩ、ＣＲは 0.1 以下となっており整合度に問題はない。この結果、人々がダム湖へ遊びに行くとした場合、両地域において水辺活動が最重要の項目となり、また湖面利用が２番目となっている。スポーツ、施設利用については両地域において差異がみられ、ダム堤体はもっとも重要度が低いという結果となっている。特に東京はつくばに比べ水辺活動の優先度が高く、施設利用の優先度が低い。このことから、普段自然とふれあうことの少ない大都市部の住民は、ダム湖に自然を求め、身近に接する事の容易な人工的な施設などに対しては興味が低いことがうかがわれる。

次に各評価基準からみた代替案の評価を行った。これについても評価基準の時と同様に各回答に関してＣＩ及びＣＲによる判定を行い、0.1 以下のものを有効回答とし、幾何平均を用いて集計を行った。この各項目に関する集計の結果についても判定を行ったが、ＣＩ、ＣＲともすべて 0.1 以下となっており整合度に関しての問題はなかった。

最後に、これらの結果を総合した各代替案の優先度を表 3-3、表 3-4 に示す。結果としては、数値に

表 3-1　評価基準の重要度（東京）

	ダム堤体	湖面利用	水辺活動	スポーツ	施設利用	重要度
ダム堤体	1	0.754	0.513	0.880	0.879	0.152
湖面利用	1/0.754	1	0.729	1.364	1.352	0.218
水辺活動	1/0.513	1/0.729	1	1.616	1.906	0.296
スポーツ	1/0.880	1/1.364	1/1.616	1	1.016	0.170
施設利用	1/0.879	1/1.352	1/1.906	1/1.016	1	0.164

表 3-2　評価基準の重要度（つくば）

	ダム堤体	湖面利用	水辺活動	スポーツ	施設利用	重要度
ダム堤体	1	0.770	0.553	0.929	0.744	0.154
湖面利用	1/0.770	1	0.806	1.302	1.119	0.213
水辺活動	1/0.553	1/0.806	1	1.536	1.347	0.267
スポーツ	1/0.929	1/1.302	1/1.536	1	0.800	0.166
施設利用	1/0.744	1/1.119	1/1.347	1/0.800	1	0.200

表 3-3　代替案の重要度（東京）

評価基準	重要度	代替案		
		Aダム	Bダム	Cダム
ダム堤体	0.152	(0.280) 0.043	(0.297) 0.045	(0.423) 0.064
湖面利用	0.218	(0.417) 0.091	(0.320) 0.070	(0.263) 0.057
水辺活動	0.296	(0.492) 0.146	(0.230) 0.068	(0.277) 0.082
スポーツ	0.170	(0.249) 0.042	(0.333) 0.056	(0.419) 0.071
施設利用	0.164	(0.340) 0.056	(0.272) 0.045	(0.388) 0.064
総合評価		0.377	0.284	0.338

表 3-4　代替案の重要度（つくば）

評価基準	重要度	代替案		
		Aダム	Bダム	Cダム
ダム堤体	0.154	(0.259) 0.040	(0.303) 0.047	(0.438) 0.067
湖面利用	0.213	(0.373) 0.079	(0.324) 0.069	(0.303) 0.065
水辺活動	0.267	(0.460) 0.123	(0.273) 0.073	(0.267) 0.071
スポーツ	0.166	(0.234) 0.039	(0.385) 0.064	(0.381) 0.063
施設利用	0.200	(0.372) 0.074	(0.285) 0.057	(0.343) 0.069
総合評価		0.355	0.310	0.335

ついていくらかの差異がみられたが、両地域ともこの3ダムのうちAダムが最も重要度が高く、続いてCダム、Bダムという順番となった。また、両地域の3ダム5評価基準についての重要度は、Aダム水辺活動がもっとも高く、Aダム湖面利用がそれに次いでいる。

(b)SD法

5ダムについて各評価基準ごとの因子分析を行った。その中で、総合評価及びAHP分析での重要度の高かった水辺利用、湖面利用についての結果を以下に示す。

因子分析については、5ダム×被験者数分のデータによる分析を行い、因子得点は、各ダムの両地区における結果の平均値を用いた。

総合評価

因子分析により求めた固有値は

$\lambda_1 = 6.055$，$\lambda_2 = 2.645$，$\lambda_3 = 0.952$，

$\lambda_4 = 0.524$，・・・

となっており、λ_4 から値が0に近づいていく事より、因子数を3と考え、バリマックス回転を適用した。その結果を表4-1に示す。各因子の寄与率は、第一因子0.195、第二因子0.190、第三因子0.098となっており累積寄与率は0.483となっている。

得られた3因子の特徴を各形容詞対ごとの因子負荷量でみると、第一因子は「美しい－醜い」「好きな－嫌いな」「休まる－疲れる」等が影響を強く受けており、「嗜好性」（符号上は非嗜好性）を表す因子であるといえる。第二因子は、「寂しい－賑やかな」「重々しい－軽快な」「暗い－明るい」等が強く影響を受けており、「明快性」を表す因子であるといえる。第三因子は「特徴ある－平凡な」「複雑な－単純な」「力のない－力強い」等が影響を受けており「特異性」（符号上は非特異性）を表す因子であると考えられる。

水辺利用

水辺利用についても同様に因子数を3と考え、バリマックス回転を適用した。各因子の寄与率は第一因子0.245、第二因子0.208、第三因子0.079となっている。

得られた3因子については第一因子が「嗜好性」（符号上は非嗜好性）、第二因子が「明快性」、第三因子が「特異性」をあらわしていると考えられる。この場合の因子「嗜好性」「明快性」「特異性」は総合評価において得られたものと完全に同一ではないが、各形容詞対の因子負荷量からみて、ほぼ同一と考えられる。

湖面利用

湖面利用についても同様に因子数を3と考え、バリマックス回転を適用した。各因子の寄与率は第一因子0.223、第二因子0.196、第三因子0.066となっている。

得られた3因子については第一因子が「明快性」（符号上は非明快性）、第二因子が「嗜好性」（符号上は非嗜好性）、第三因子が「特異性」（符号上は非特異性）をあらわしていると考えられる。この場合の因子についても、前述のものとほぼ同一であると考えられる。

表3-6　因子分析結果（全体）

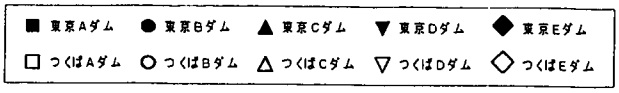
	第一因子 嗜好性	第二因子 明快性	第三因子 特異性
美しい－醜い	0.751	-0.188	0.060
好きな－嫌いな	0.748	-0.212	0.189
休まる－疲れる	0.748	-0.003	-0.168
快適な－不快な	0.711	-0.221	0.077
おもしろい－つまらない	0.542	-0.459	0.312
自然な－人工的な	0.518	0.013	-0.343
整然とした－ごちゃごちゃした	0.460	0.364	-0.094
貧しい－豊かな	-0.441	0.400	-0.371
野暮ったい－洗練された	-0.429	0.200	-0.378
寂しい－賑やかな	-0.045	0.742	-0.280
重々しい－軽快な	-0.208	0.713	0.037
暗い－明るい	-0.279	0.712	-0.190
かたい－柔らかい	-0.281	0.619	0.041
開放的な－閉鎖的な	0.368	-0.584	0.040
派手な－地味な	0.037	-0.529	0.410
静的な－動的な	0.132	0.562	-0.375
特徴ある－平凡な	0.342	-0.292	0.502
複雑な－単純な	-0.130	-0.247	0.491
力のない－力強い	-0.244	0.061	-0.482
伝統的な－近代的な	0.079	0.294	-0.478

表3-7　因子分析結果（水辺利用）

	第一因子 嗜好性	第二因子 明快性	第三因子 特異性
好きな－嫌いな	0.833	-0.231	-0.007
快適な－不快な	0.829	-0.222	0.034
美しい－醜い	0.811	-0.221	-0.005
休まる－疲れる	0.778	0.061	0.224
おもしろい－つまらない	0.626	-0.482	-0.179
自然な－人工的な	0.546	-0.136	0.452
貧しい－豊かな	-0.523	0.516	0.180
野暮ったい－洗練された	-0.500	0.142	0.322
整然とした－ごちゃごちゃした	0.478	0.382	0.038
寂しい－賑やかな	-0.091	0.806	0.089
暗い－明るい	-0.342	0.761	0.058
重々しい－軽快な	-0.342	0.684	-0.156
派手な－地味な	-0.006	-0.662	-0.365
かたい－柔らかい	-0.383	0.627	-0.208
静的な－動的な	0.113	0.614	0.181
開放的な－閉鎖的な	0.447	-0.576	0.078
伝統的な－近代的な	0.196	0.108	0.556
特徴ある－平凡な	0.287	-0.132	-0.500
複雑な－単純な	-0.253	-0.072	-0.476
力のない－力強い	-0.179	0.220	0.330

表3-8　因子分析結果（湖面利用）

	第一因子 明快性	第二因子 嗜好性	第三因子 特異性
寂しい－賑やかな	-0.771	-0.125	-0.260
重々しい－軽快な	-0.756	-0.259	0.087
暗い－明るい	-0.755	-0.305	-0.116
かたい－柔らかい	-0.718	-0.312	0.103
開放的な－閉鎖的な	0.646	0.420	-0.032
静的な－動的な	-0.606	0.011	-0.336
派手な－地味な	0.573	0.046	0.444
貧しい－豊かな	-0.538	-0.411	-0.163
伝統的な－近代的な	-0.248	0.187	-0.135
好きな－嫌いな	0.282	0.765	0.152
美しい－醜い	0.252	0.747	-0.015
快適な－不快な	0.285	0.746	0.004
休まる－疲れる	0.062	0.686	-0.247
自然な－人工的な	0.199	0.589	-0.081
おもしろい－つまらない	0.474	0.574	0.255
野暮ったい－洗練された	-0.269	-0.363	-0.134
整然とした－ごちゃごちゃした	-0.305	0.361	-0.320
複雑な－単純な	0.059	-0.117	0.557
特徴ある－平凡な	0.185	0.286	0.430
力のない－力強い	-0.200	-0.235	-0.299



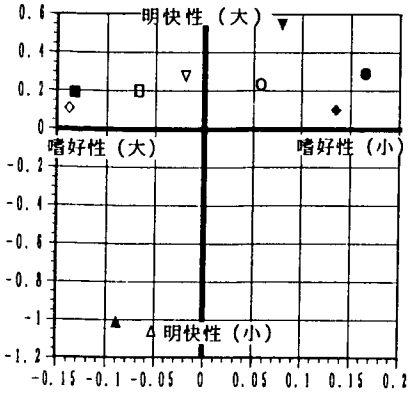


図 3-2　因子得点プロット図
嗜好性－明快性（全体）

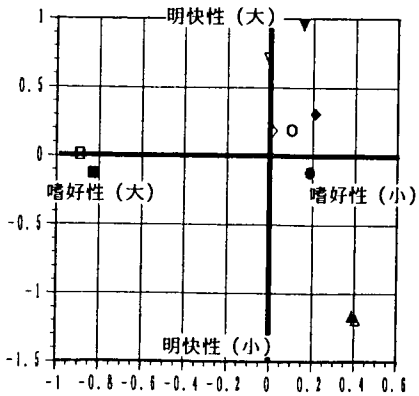


図 3-3　因子得点プロット図
嗜好性－明快性（水辺利用）

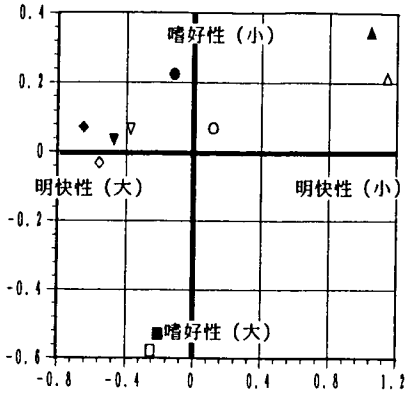


図 3-4　因子得点プロット図
明快性－嗜好性（湖面利用）

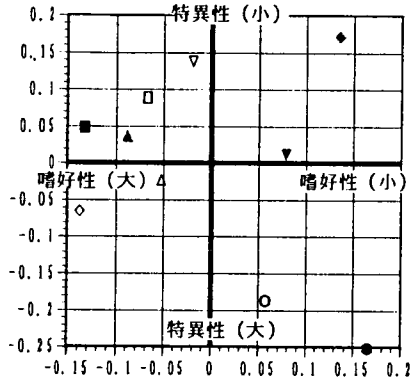


図 3-5　因子得点プロット図
嗜好性－特異性（全体）

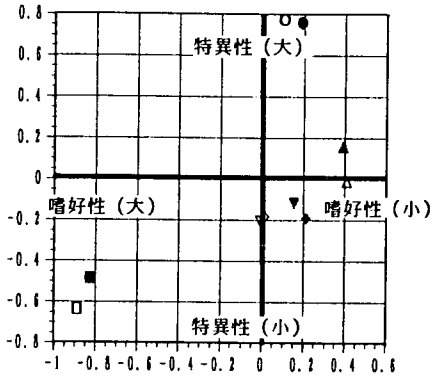


図 3-6　因子得点プロット図
嗜好性－特異性（水辺利用）

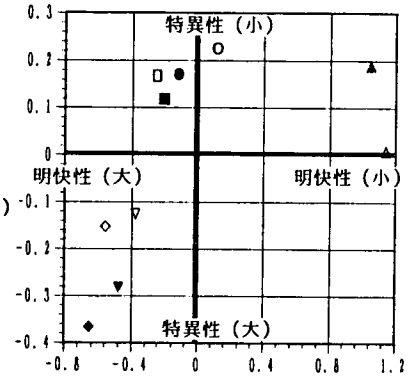


図 3-7　因子得点プロット図
明快性－特異性（湖面利用）

次に、ＡＨＰのところで用いた３ダムの優先度と因子得点の結果を比較すると、Ａダムが他の２ダムと比較し高い優先度を示す水辺利用、湖面利用では、特に「嗜好性」の因子について他の２ダムと比較しＡダムが高い値を示している。このことより、ダム湖へ遊びに行く際のダム湖の選定に際しては、「好き－嫌い」「美しい－醜い」「快適な－不快な」「休まる－疲れる」等の形容詞対に関して肯定意味側の印象度が高いダム湖が選定されることになると考えられる。

４．まとめ

ダム湖沼の周辺環境を構成する要素に対して、人々がどのようなイメージを持っているかを分析し、また評価手法の適用検討を行うため、ＡＨＰとＳＤ法のアンケート調査を行った。

ＡＨＰでは“ダム湖へ遊びに行くときの行動意識調査”の結果、評価基準、代替案についての優先度が得られた。またこれらの結果は、両地域においてある程度の差異があることがわかった。このことから様々な地域の住民に、同一対象についてのＡＨＰによる調査を行うことによって、各地域の特性を抽出する事が可能であると考えられる。

ＳＤ法においてはダム湖周辺に関する感覚指標を抽出することができた。また、因子分析とＡＨＰの結果の比較から、ダム湖に遊びに行く際のダム湖の選定とダム湖イメージの中の「嗜好性」軸上の因子得点が寄与していることを知ることができた。

今後は、ダム湖周辺環境整備の中で、どのような環境要素が人々から高い評価をうけているかについて調査を行い、魅力的なダム湖環境創造に役立てたいと考えている。

第22回日本道路会議論文集

社会基盤施設利用の快適性に関する基礎的研究

○建設省土木研究所　寺川　陽
同　並河　良治

1．はじめに

経済的な豊かさを背景とした価値観の多様化により、人々が代替案選択を行う際の判断基準として、経済性のみでなく、自分の感性を重視する傾向が強まっている。本研究は、様々な社会基盤施設のうち人々の利用頻度が高く、選択の余地が大きい歩道を例にとって、快適性を計測・評価する手法を検討・開発しようとするものである。本研究の成果を活用することにより、歩行者及び自転車利用者ののニーズをより踏まえた施設整備が推進され、社会基盤施設の快適性の向上のみならず、自動車利用から歩行、自転車利用への転換の促進により、市街地中心部の渋滞緩和を通じて環境問題の緩和にも寄与するものと期待される。

2．研究の方法

人々の感性は、様々な対象に反射し（ミラー効果と呼ばれている）、たとえば、衣服の好みが色の好みや様々な持ち物にも反映されるとも言われており、その好みが移動手段にも反映されると考えられる。

本研究では、歩道という公共空間にマーケティングという手法を応用し、これまでは考慮されることの少なかった利用者の嗜好を調査・把握すると共に人々を嗜好感性によって分類し、さまざまの嗜好を有する歩行者・自転車利用者が望んでいる歩道の特性を明らかにすることとした。調査に当たっては、マーケティングの一手法であるテイストクラスター分析を用いたアンケート調査を行った。

（1）調査内容

① 調査対象者

調査の対象者は、東京、大阪及びつくば市とした。調査対象者は、それぞれの都市から１００名を性別、年齢が均等に分布するように抽出した。

② 調査内容

調査は、個人属性（１１項目）、ビジュアルパネルによるデザイン嗜好調査（１９項目）、歩行状況調査、生活嗜好調査及び歩道景観のイメージ因子分析調査からなり、面接法により行った。

（2）調査結果

デザイン嗜好は、色調、配色、紳士服、インテリア、レタリングなどの項目で選択される選択肢は集中することなく、広く分布する一方、好きな歩道景観では、51 %の人が用意した 15 枚の景観写真のうち、図－１に示す歩道景観を選択し、２位（21 %）以下を大きく引き離している。当該道路景観のイメージを表す感性ワードは、広々として、閑散とし、親しみやすく、潤いがあり、自然で、安全で、リラックスできるというものであった。



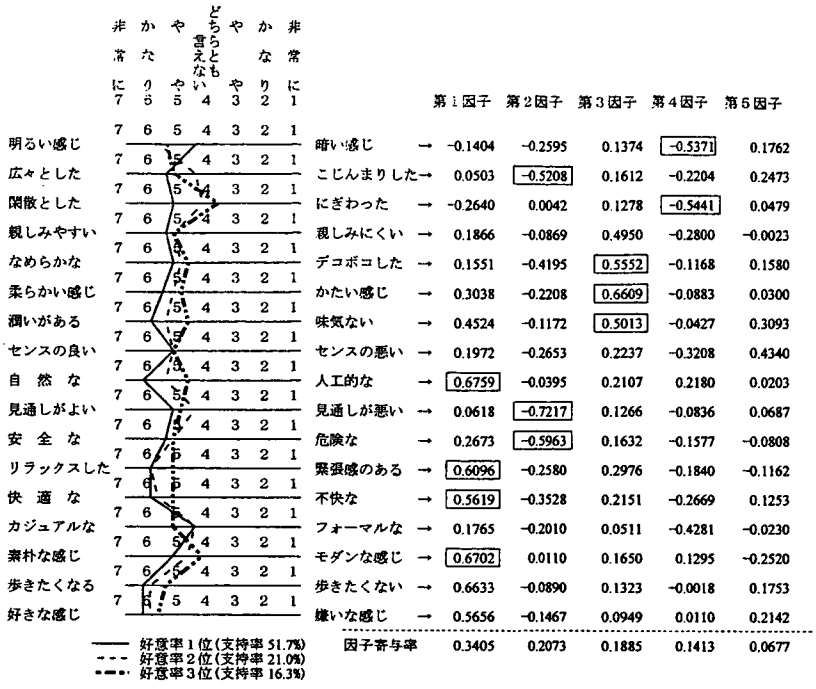
図－１　好意率１位の歩道景観

3．研究結果

（1）好きな歩道の因子分析

好きな歩道の景観のイメージに関して因子分析を行った結果、５つの因子で概略、説明できる結果が得られた（累積因子寄与率 95 %）。第１因子は、「自然回帰度」を表すと解釈でき、寄与率 34 %である。第２因子は、「視界安全度」を表すと解釈で

き、寄与率 21 %であった。第３因子以下についての解釈と寄与率は、それぞれ「触感親和度」（寄与率 19 %）、「明所閑静度」（寄与率 14 %）、「現代美術度」（寄与率 7 %）となった。



図－２　最も好きな歩道のイメージと因子負荷量

（４）クラスター分析

人々の嗜好は、様々なものに反映されることから、被験者をその嗜好によりいくつかのグループに分類することができる。本調査では、分類の軸を男性的造形嗜好←→女性的造形嗜好、動的造形嗜好←→静的造形嗜好及び複雑・野生造形嗜好←→シンプル・洗練造形嗜好軸の３軸からなる空間で分類した。その結果、被験者全体を特徴的な嗜好を有する構成比 8.3 %から 17.7 %の８つのグループ（クラスター）に分類することができた。（図－３）

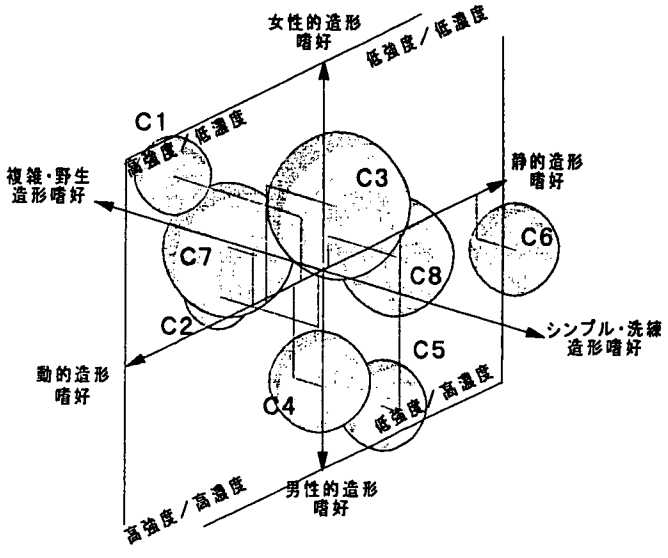
クラスター毎の特徴を１日当たりの歩行時間に着目してみると、あるクラスター（Ｃ４）は毎日１時間以上歩く人の割合が 68 %と、全体平均（46 %）を大きく上回っている。一方、別のクラスター（Ｃ８）では毎日の歩く時間が 30 分以下（殆ど歩かないを含め）の人が 79 %と、全体平均（54 %）に比べて多いという特徴が現れている。

また、好きな歩道景観については、どのクラスターにおいても全体で最も好まれた景観を選択する人の割合が多いが、最もよく歩いているＣ４では人工的なせせらぎと植栽のある景観が他のグループに比べて多いことが示された。

４．まとめと課題

本研究では、歩道を対象としてマーケティング手法の一つであるテイスト・クラスター分析を行うことにより、嗜好によって分類されたクラスター毎に、それぞれのクラスターに属する人が好む歩道景観とそのイメージ等について分析した。

その結果、人々の好む歩道景観が自然回帰的でリラックスしたものであることが明らかになった。今後、こうした調査結果を実際の施設設計・整備に反映させるために、景観の各要素が、評価にどの程度寄与しているかについて定量的に掘り下げた検討を行う必要があると考える。



図－３　嗜好座標の階層分布図

環境施設帯の経済評価～ＣＶＭの適用

建設省土木研究所　○　畑原　隆司
同　並河　良治
同　寺川　陽

１．はじめに

環境施設帯は車道端から幅 10m(20m)の土地を道路用地とし、道路公害（騒音、振動及び排出ガス）の距離減衰や植樹帯による景観向上を図るものである。しかし、環境という非市場財を含む公共事業の投資効果を正確に把握する手法は現在確立されておらず、これら、環境向上を目的とした事業効果の定量的把握手法の調査・研究が待たれている。

本研究は、環境施設帯の経済価値をＣＶＭ（仮想金銭化法:Contingent Valuation Method）により評価し、事業の便益集計手法の研究に取り組んだものである。

２．研究方法

調査対象は宮崎県宮崎市の一般住民とし、被験者の住宅が土地区画整理事業の対象になったと仮定し、環境施設帯設置のための土地の供出（一戸建て）、床面積の減少（分譲ﾏﾝｼｮﾝ）及び家賃の上昇（賃貸住宅）の許容最大値（最大支払い意志額、以下ＷＴＰと呼ぶ）を付け値法により面接調査した。また、被験者の住宅の立地条件、世帯属性条件及び環境意識度についても同時にアンケート調査を行った。

得られた個々のＷＴＰは環境意識度との整合性チェック等を行い、住宅区分・用途地域区分別に集計し、投資効果の局地性要因分析を多変量解析により行い、その結果を用いた便益集計方法を提案した。なお、敷地やﾏﾝｼｮﾝ専有面積の単価は、平成９年１月現在の宮崎市の住宅情報誌データに基づき以下の通り設定した。

一戸建て：23.4万／坪(7.1万／m^2)、分譲ﾏﾝｼｮﾝ：22.9万／m^2

３．ＷＴＰの集計

用途地域別（住居地域、商工業地域）、住宅区分別（一戸建て、分譲ﾏﾝｼｮﾝ、賃貸住宅）に集計した結果、一戸建て、分譲ﾏﾝｼｮﾝの１世帯当たりの平均最大支払い意志額（ＷＴＰ）は 25 万円から 30 万円程度、賃貸住宅は約 2.4 千円／月の家賃の上昇まで許容するという結果を得た。

表―１　世帯当たりの最大支払い意志額

	一戸建て (万円／世帯)	分譲ﾏﾝｼｮﾝ (万円／世帯)	賃貸住宅 (千円／世帯／月)
住宅地域	32.6(112)	25.1(54)	2.1(119)
商工業地域	21.8(32)	24.6(40)	3.2(36)
住宅区分平均	30.2(144)	24.9(94)	2.4(155)

注：（）数値はデータ数

４．便益の局地性と集計範囲

(1)ＷＴＰの標準化

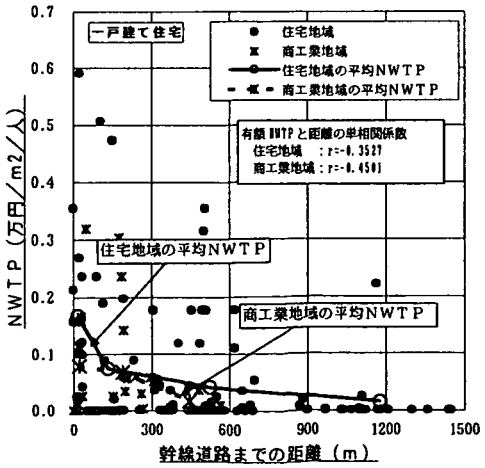
ＷＴＰは敷地面積、家族数等の世帯属性の影響を受けている。そのため、本研究では以下に示す標準化したうえで世帯間及び地域間のＷＴＰの比較解析を行うこととした。（以下、標準化した値はNWTP:Normalized Willingness To Pay と呼ぶ。）

一戸建て,分譲ﾏﾝｼｮﾝ:NWTP=(WTP/敷地(床)面積)/家族数

賃貸住宅　　:NWTP=(WTP/年収)/家族数

(2)ＮＷＴＰと距離の関係

図―１（一戸建て住宅）に示すように、すべての住宅区分・用途地域区分で有額回答者の個々のＮＷＴＰ及び距離区分毎に集計した平均ＮＷＴＰは、距離の増加に伴う減少傾向が読みとれた。



図―１　幹線道路までの距離とＷＴＰの関係

(3)ＮＷＴＰの距離減衰傾向の要因

平均ＮＷＴＰは下式で表現される。

$$\text{平均NWTP} = \alpha \times \overline{nwtp} \cdots\cdots\cdots (1)$$

ただし、 α：了承世帯率＝了承世帯数／全世帯

$\overline{nwtp}$：了承世帯の平均ＮＷＴＰ

$$= \frac{\Sigma \text{了承世帯NWTP}}{\text{了承世帯数}}$$

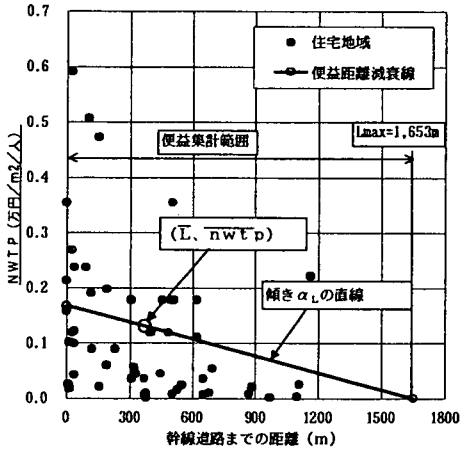
右辺第１項のαは、費用を負担してまで環境施設帯の設置を了承する世帯数の割合である。個々の世帯の了承・拒否の判断結果を目的変数とする判別分析を行った。その結果、判別方程式の距離の係数は必ずしも距離減衰傾向を示しさないことが判明した。

一方、第２項の$\overline{nwtp}$は、環境施設帯設置に了承する世帯の平均ＮＷＴＰである。了承世帯個々のＮＷＴＰを目的変数とした重回帰分析を行った。その結果（表―２参照）、距離変数の偏回帰係数はいずれも負の値を示し、距離減衰傾向の符号条件を満足しており、分譲ﾏﾝｼｮﾝ(住宅地域)と賃貸住宅(住宅地域)以外は危険率5%未満で有意な説明変数となっている。なお、重相関係数は賃貸住宅（住宅地域）を除き0.65～0.80の値を示している。

表―2　了承世帯のＮＷＴＰの重回帰分析結果

変数名	一戸建て住宅				分譲マンション				賃貸住宅			
	住宅地域		商工業地域		住宅地域		商工業地域		住宅地域		商工業地域	
	標準偏回帰係数	判定	標準偏回帰係数	判定	標準偏回帰係数	判定	標準偏回帰係数	判定	標準偏回帰係数	判定	標準偏回帰係数	判定
距離(m)	-0.2367	**	-0.6371	**	-0.0902		-0.5600	***	-0.1896		-0.5439	**
１人当り面積(m2/人)	0.2529	**	0.7396	**	-0.2216		0.1119		0.1238		-0.2205	
性別ダミー	0.3194	**	-0.6857	**	-0.3305		-0.5467	***	0.1921		0.3335	*
年齢	0.1442		—		0.2054		—		-0.1855		-0.2911	
１人当り年収(万円／人)	—		-0.4273		0.3601		—		—		—	
幹線利用頻度ダミー	—		0.7857	**	—		-0.3085	*	—		-0.6090	***
騒音経験ダミー	—		—		-0.2553	*	0.1813		0.0231		-0.2339	
振動経験ダミー	0.1691		-0.6397	**	—		—		-0.1908		—	
排気ガス経験ダミー	—		—		—		—		—		—	
散歩経験ダミー	—		-0.5895	*	0.3271	*	0.9905	***	—		0.2997	*
車走経験経験ダミー	0.3023	***	-0.2306		-0.5654	***	-0.8796	***	—		0.2508	
自然探索旅行回数	-0.1678		—		0.5845	**	—		0.2312	*	-0.2209	
牛乳パック等リサイクル	0.3371	**	-0.6641	**	—		0.2397		—		—	
環境施設帯需要度ダミー	0.1642		—		—		—		0.1697		—	
改善項目公害経験ダミー	-0.3184	***	0.5418	*	—		—		—		0.4749	**
費用負担ダミー(時々徒歩利用)	—		—		0.2732		0.3261	**	—		—	
定数項	—							***		*		***
データ数	53		21		24		23		66		26	
修正済重相関係数	0.6710		0.6452		0.8007		0.8027		0.3367		0.7340	

＊＊＊：１%有意、＊＊：５%有意、＊：１０%有意



図―２　便益集計範囲の考え方（住宅地区の一戸建て）

(4)便益の集計範囲(図―２参照)

重回帰分析結果から得られる距離の偏回帰係数α_Lは、距離以外の説明変数の影響を取り除いた後のＮＷＴＰの距離減衰勾配を表している。そして、標本の$\overline{nwtp}$と$\bar{L}$を通り傾きα_Lの直線のＸ軸との切片が集計範囲の最大値と考えられる。以上から算出した集計範囲を表―３に示す。

$$NWTP=\alpha_L X_L+\alpha_1 X_1+\alpha_2 X_2+\cdots\alpha_n X_n+C\cdots\cdots (2)$$

ただし、α_L：距離の偏回帰係数

X_L：距離

$\alpha_1 \sim \alpha_n$：説明変数X_nの偏回帰係数

$X_1 \sim X_n$：説明変数

C：定数項

表―３　環境施設帯の便益集計範囲

		平均Ｌ $\bar{L}$ (m)	平均ｎｗｔｐ $\overline{nwtp}$ (万円／㎡／人) または (円／月／年収／人)	偏回帰係数 α_L —	集計範囲 Lmax= $\bar{L}-\overline{nwtp}/\alpha_L$ (m)
一戸建て住宅	住居地域	372.9	0.13	-0.00010	1,653
	商工業地域	199.5	0.09	-0.00040	425
分譲ﾏﾝｼｮﾝ	住居地域	194.8	0.36	-0.00020	1,995
	商工業地域	169.8	0.31	-0.00080	557
賃貸住宅	住居地域	450.8	2.86	-0.00131	2,634
	商工業地域	137.69	4.3	-0.01240	484

５．まとめ

環境施設帯の経済価値計測のためにＣＶＭ調査を行い、一戸建て、分譲ﾏﾝｼｮﾝの１世帯当たりの平均最大支払い意志額(ＷＴＰ)は25万円から30万円程度、賃貸住宅は約2.4千円／月(割引率3%,10年で約26万円)の家賃の上昇まで許容するという結果を得た。

投資効果の局地性に関しては、環境施設帯の設置に了承した世帯のＮＷＴＰを目的変数とし、距離、世帯特性、環境意識度及び過去の沿道環境の経験を説明変数とする重回帰分析の結果、距離の偏回帰係数は、すべての区分で距離減衰傾向の符号条件を満たす結果を得た。そして、得られた距離の偏回帰係数の勾配で標本サンプルの$\overline{nwtp}$と$\bar{L}$を通る直線のＸ軸切片から便益集計範囲が得られることとを示した。

しかし、賃貸住宅（住居区域）のように重回帰モデルの適合度が低い場合、距離の偏回帰係数の信憑性に疑問が残る。そのため、今後、ＷＴＰに影響を与える環境変数の設定に関する研究が必要である。

第22回日本道路会議論文集

ＩＴＳサービスのニーズ調査

○建設省土木研究所　並河　良治
同　寺川　陽

1. はじめに

増え続ける交通渋滞、減少する気配のない交通事故等への対策を始め道路交通を中心とした効率的な輸送システムの構築など高度情報技術を活用したＩＴＳの開発は、既に実現化されているＶＩＣＳをはじめ、急速な展開を見せている。しかし、これらの技術が開発のみで終わることなく、社会に滞り無く普及するためには消費者の感性に訴えるサービス及び品質を提供することが求められる。さらに、国民の欲するサービスを提供できるように技術開発を行っていくことが求められる。そこで、ＩＴＳ技術の今後の開発の方向の検討に資するために、消費者の求めるサービス及び品質に対するニーズを明らかにすることを目的として調査を行った。

2．調査方法

目的を達成するために、以下の２つの方法で調査を進めた。

(1) 有識者による懇談会

表－１に示すメンバーにより構成される懇談会を開催し、ＩＴＳの開発・普及に際しての提言を頂いた。

表－１　懇談会メンバー

委員長	井口 雅一	(財) 日本自動車研究所所長
委　員	藤原まり子	博報堂 生活総合研究所 客員研究員
	中条　潮	慶応義塾大学 商学部 教授
	高城　剛	フューチャーバイレーツ 代表取締役
	ﾏﾘ･ｸﾘｽﾃｨｰﾇ	コミュニケーター
	宮沢　裕	(財) 交通公社 観光計画課 室長
	寺島大三郎	ﾄﾖﾀ自動車 商品企画部商品企画室長

(2) アンケートによる市場調査

ＩＴＳの普及においてはマーケティングの考え方が必要であると考え、マーケティングに数々の実績のあるテイスト・スケール法によるアンケートを行った。調査の対象としたのは、ＩＴＳに関心のある東京、大阪及びつくばに住む合計３００名である。なお、関心のある人の割合は、45％であった。

3．調査結果

(1) 有識者による懇談会

懇談会では、以下のような提言が出された。

① ＩＴＳ整備の理念
- 「便利さ」と「豊かさ」を創造することを目指す
- 時間を有効にしかも楽しく使えるようにすることを目指す

② ＩＴＳの役割

◇ドライブ生活の向上
- 誰もがドライブを楽しむことができるように安全性を向上する
- 日本を隅々までもっと楽しむことができるようにする
- 車を移動可能なパーソナル・マルチメディア空間に変化させる

◇交通システムの向上
- 必要に応える確かな交通システムを構築する
- 不可能なドライブを可能にする
- 限られた道路を有効に活用する

◇社会全体への効果の波及
- 最先端の産業を創出する

⑽ 総　　合　　部　　会

・地域社会に開かれたネットワークを形成する
③ 実現に当たっての留意点　・安全性と効率性を高いレベルで実現する
・だれもが利用できる価格の設定
・ヒューマン・インターフェースの向上
・多様なニーズに応える柔軟なシステムの構築

(2) アンケートによる市場調査

ＩＴＳサービスのうち人々の最も関心の高い自動運転（ＡＨＳ）について一般の人々がどのようなイメージを持ち、何を求めているのかをアンケート調査により把握した。

①購入意向

自動運転車の購入意識については、予備知識を与えないときに購入したいと回答した人は、全体の11％で、一方、購入したくない人は９％であった。その後、アンケート中に情報を与えて購入意向を質問した結果、高価でも購入したいと回答した人は19.3％に増加した。支払い意志額は、全体平均で304万円であった。

②自動運転サービスへの要望

ＩＴＳのサービスについて１７対のサービスについて比較を行った。その結果、「速度は制限されるが、渋滞は解消する」、「出発は不自由だが、定時に到着する」、「自由に走れないが安全が保障されている」及び「速度は遅いが、合流や離脱がスムーズ」が、それぞれ相反するサービスである「速度は自由だが、渋滞は付き物」、「好きに出発できるが、定時の到着は困難」、「自由に走れるが事故の危険がある」及び「速度は速いが、合流や離脱がギクシャク」を選択する人数を大きく上回る結果が得られた。これは、現在の自動車交通の負の社会影響に対する改善要望が大きいと解釈することができる。

さらに、この結果から自動運転に望むサービスの基本因子を因子分析により求めた結果、自動でサービスを行う「ロボット度」、事故の危険のない「安全保障度」、速度等を自由に裁量できる「自由裁量度」、「渋滞回避度」及び資格・免許を持った人だけが特定のサービスを提供することができる「専門技能度」の５因子で累積因子寄与率95％という結果が得られた。

③自動運転の不安

自動運転への不安については、半数以上の人が「初期導入時の不具合や故障が必ずある」ことを不安に感じていること、また、三分の一の人がとっさの場合の危険回避及びセンサーの精度に対して不安を持っていることが分かった。

④被験者のクラスターと所有動機

本調査では、被験者を嗜好感性でクラスター分類し、それぞれのクラスター毎に自動運転車に対する意識を整理した。分類は、３つの嗜好感性座標軸、つまり「動的～静的」、「女性的～男性的」、「簡潔～複雑」の３軸によるものとした。その結果、被験者は８つのクラスターに分類された。８つのクラスターのうち最も購買意向の高いクラスターは、男性88％、50歳代以上35％からなる高速走行愛好派で、購買意向率は、23.5％となった。逆に、最も購買意向の低いクラスターは、「車の手入れをするのが楽しい」と感じるトラッド嗜好のクラスターで、その購買意向は、14.7％であった。

５．まとめと課題

本調査では、ＩＴＳが社会に受け入れられるために必要なＩＴＳ開発のコンセプトを明らかにするため、有識者による懇談会及びアンケート調査を行った。その結果、便利さや物質的な豊かさだけでなく、ＩＴＳのサービスが車による移動に留まらず生活全般にわたってすべての人の満足度を高めるような広い意味での豊かさをもたらす必要が改めて指摘された。また、アンケート調査からは、自動運転による走行の安全性、定時制など現在の自動車交通に欠けているサービスの質を求める傾向が見られる一方、自由裁量をも求める欲張りな消費者の性向が窺われた。

建設行政

外部費用の評価について

建設省土木研究所環境部環境計画研究室主任研究員
並河（なみかわ）　良治（よしはる）

1. はじめに

建設省は，平成６年１月「環境政策大綱」を策定した。その前文で「環境」を建設行政において内部目的化することをうたっている。このことは，すなわち環境を評価することを意味しているとともにこれまで外部費用であった環境負荷を建設コストの中に取り入れることを意味している。本稿では，外部費用の評価について，現在開発されている手法の紹介と外部費用評価の課題について述べたい。

2. 外部費用（外部コスト）とは

私たちが普段何気なく使っているコストは，「ある生産にいくらのお金をかけたか」という意味で用いている。しかし，外部コストを考えるとき，この「コスト」が正確に何を指しているのか定義しておかなければ外部コストを理解することができない。経済学では，（ある特定の生産物の）費用（コスト）を「その生産に用いられた資源が生産することのできた，しかしまさに，いま問題にしている生産物の生産に実際に充当されたために断念せざるを得なかった，交代的な諸生産物の価値のうち，もっとも値の大きいもの」と定義している。たとえば，ある木材（価格10,000円）を用いて１日がかり（労務費：20,000円）で机をつくったとすると，この机のコストは，材木を購入する費用＋労務費（30,000円）ではなくて，たとえば，その材木を使って写真立てが30個でき（１日で），それが一つ1,000円で売れ，これがもっとも売値が大きいとすると，この机のコストは，50,000円ということになる。ここでいうコストは，通常，機会費用と呼ばれている[1]。

ところで，ある人が何かの活動を行うことに伴う費用（機会費用）は，専らその人が負担するものとはならない。先ほどのたとえで，机の制作に際して大きな騒音をたてたとすると，その騒音によって付近の住民は静穏な住環境を享受できなかったという機会費用を負担したことになる。この例では，机をつくった人が負担する費用を私的費用，机をつくった人と付近の住民が負担した費用全体を社会費用と考えることができる。さらに，社会費用と私的費用の差は，

外部費用と呼ばれている。先の例で，机をつくる人が防音施設を備える費用を負担して，周辺に騒音を発生させなかった場合や周辺住民に騒音の補償を行った場合，社会費用と私的費用は等しくなり，外部費用は発生しない。このように外部費用の発生をなくすることを外部費用の内部化という。

3. 外部コストを評価する必要性

では，なぜ外部費用を評価する必要があるのか。

社会資本整備を行う場合，その施設の施工の段階から供用，維持管理，施設の更新の各段階で社会費用が発生することになる。そのうちのいくらかは，外部費用となって補償されないままとなっている。建設投資は，国内総生産の約1/6を占め，平成８年度は年間83兆円を超えるものとなっている[2]。このような膨大な建設投資によってなされる建設事業によって外部費用が発生しているのである。

補償されない外部費用の主なものは，環境に関するもので，特に，自然環境に関するものは，外部費用が十分に内部化されないことが多い。たとえば，道路を新設する場合，ルート決定に当たっては，道路利用に際しての利便性が当然の評価項目になるわけであるが，建設費も大きな評価項目となっている。建設費を抑えるためには，建設費に大きなウェートを占める用地補償費の安価なルートを選択することが大きな効果をもたらす。用地補償費の安いルートは，人工構造物のない地域を通るものであり，いきおい山林等の自然環境に影響を及ぼす地域を通過することになる。その結果，身近な自然の減少（地域の生態系の変化，森林・里山から得られていた教育環境の喪失等）という外部費用を発生させている。また，施工に当たっては，コンクリートやアスファルトのガラ，また，建設残土の処分を行う際に環境への負荷を与えたり，建設資材の製造段階で多くの二酸化炭素を排出するなどの環境負荷を与えているが，これらの環境負荷は補償されることなく，外部費用となっている。自然環境以外にも補償されていない騒音，維持工事のための渋滞などによって外部費用が生じている。

外部費用となっているものにも影響が持続的で蓄積性があるもの，一過性のもの等さまざまなものがあるが，特に，前者については早急に評価を行い内部化を目指すべきものということができる。影響が持続的で後代にまで及ぶものに関する外部費用を内部化せずにおくこと（たとえば，廃棄物等の廃棄に経費をかけず，十分な処理を施さないこと）は，環境に与える負荷を高いレベルに押し上げることになり，持続可能性（Sustainability）を大きく阻害するものとなり，将来，取り返しのつかない事態になりかねない。また，社会資本整備の本来の目的である国民（住民）の福祉の増進という視点で考えるなら，その施設によって利益を享受するある特定の人々の益のみ評価の対象とするのではなく，その施設の整備によって生じる外部費用をできる限り内部化する方向は必然ということができる。国民の権利が明確に認識されている社会では，社会資本整備に対する住民の合意を得る上でも外部費用の内部化は必要不可欠である。このことから，今後，社会資本整備の計画立案においては，外部費用を内部化した後に代替案の検討を行うことが求められると思われる。また，原材料の選定においてもライフサイクルで外部費用を最小化する視点が必要である。

4. 外部費用を評価する方法

外部費用の存在について概念的にとらえることができても，それを評価する際には定量的に把握することが必要になる。外部費用としてとらえるものの多くは，たとえば，森林の減少，大気や水質の汚染，騒音など環境に関係するものなどは財として市場をもたないもの（非市場財）である。ここでは，環境に与える影響など非市場財を経済的に評価する手法について述べることにする。

(1) 間接法

① 家計生産関数アプローチ

非市場財の消費に際しては，何らかの市場財の消費を必ず伴う場合（補完関係）と逆に非市場財の消費と他の市場財の消費が代替的関係にある場合がある。前者の例としては，ある場所でレクリエーションを楽しむ(非市場財の消費)ときは，その場所までの移動というサービスを消費するという関係をあげることができる。後者の例としては，おいしくない水道しか供給されていない地域でおいしくない水の消費を回避するため，市販のミネラルウォーターか浄水器等を購入するといった関係がある。このような非市場財と市場財の補完関係や代替関係に着目して，補完関係あるいは代替関係にある市場財の消費状況から，非市場財の価値を求める方法を家計生産関数の利用による方法という。

家計生産関数の利用による方法で，よく使われている手法に旅費法（Travel Cost Method）がある。

② 土地価格に着目した手法

前出の家計生産関数アプローチが消費量の変化から需要関数を求めるのに対して，価格の変化から非市場財の需要を求めていくアプローチがヘドニック・アプローチである。

ヘドニック価格法(Hedonic Value Method)は，地理的位置に帰属する財の価値は，土地等の価格に反映されることを用いて価値評価を行う手法である。ヘドニック価格法では，多数地点における地代または土地価格に環境変数を含めた説明因子群によって重相関分析により，各説明因子がどのような価値を持つのかが求められる。

また，価格に着目した手法でヘドニック価格法に類似した手法として，離散選択モデルがある。離散選択モデルは，ヘドニック価格法が土地・家屋の属性が連続的に変化し得るものとしているのに対して，離散的な選択しかできないとして家計行動をモデル化したものである。このような離散選択モデルには，ランダム効用モデルやランダム付け値モデルがある。

(2) 直接法

直接法の代表的手法に仮想金銭化法（CVM; Contingent Valuation Method)がある。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，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（最小需要補償額：WTA;Willingness To Accept）を問うもの（WTA法）がある。

5. 外部費用評価の課題

外部費用の評価については次のような課題がある。

(1) 知識の限界

外部費用を評価すると一口にいっても，外部費用がわれわれの意識の中にはっきりと意識されている費用の外にあるものであるので，その存在自体を認識することが，そもそも十分にできるかという点がある。私たち人間の知識は限られていて，実際に起きることの意味を十分に把握できないということである。たとえば，DDT，PCB，ダイオキシンといった科学物質が環境に及ぼす影響について，発ガン性等の影響は指摘されてはいたが，それよりさらに大きな影響があることが現在，解明されつつあり，その影響の全貌が明らかになっているわけではないが，人類を始め，生態系の食物連鎖の上位に位置する多くの生物の存続を危険にさらすほどの影響であることが示唆されている[3]。自然は複雑で，われわれの知識は乏しいことを十分に認識しておく必要がある。

(2) 倫理的限界

環境に影響を与え，ある種の生物が減少し，あるいは，絶滅した場合の費用を評価することが倫理的に許容されるのかという点である。このような行為は，人間として僭越な行為と考える向きもある。まして，人間の健康や生命に影響を与えることを社会の動向から冷徹に金銭で評価することは可能としても，その評価をもとに事業を行うことは，まったく別の次元の問題である。

(3) 評価主体の限界

何らかの手法によって，さまざまなものの評価が可能となったとしても，その評価結果は，あくまでも現在の人々の現時点での評価であり，将来世代や，状況が変化した将来の評価ではないということである。特に，公共事業のように将来にわたってさまざまな影響を与える施設については，将来世代の価値観によって評価されるべき要素も多いことを念頭に置いておくべきである。

(4) 手法・データ量等技術的課題

外部費用の計測・評価手法については，適用性の検証をさらに進め，手法としての信頼性を高めることが必要であるとともに評価に必要なデータを蓄積していくことが必要である。

6. おわりに

昨今，建設コストの縮減が社会的要請として喧しく取り上げられているが，この要請に適正に対応するためには建設事業の費用（機会費用ではなく，いわゆる建設に要する額）の構成を明確に分類・整理し，社会費用が増加しないような対応をすることが必要である。ただ事業費のみに着目し，それを抑えるような対応をするならば，先人たちが戒めた，いわゆる「安物買いの銭失い」となって，後代に大きなつけを残すことになりかねない。

外部費用の評価を行おうとすることは，これまで研究分野以外ではほとんどなされていなかったが，現在，公共事業を行う際にもこれらの費用を評価しようという動きがでてきた。建設省では，現在，「外部コストを組み入れた公共事業コストの低減技術の開発」というテーマの建設省総合開発プロジェクトを新規に予算要求し，外部コストを計測評価する技術開発に取り組むこととしている。外部費用の計測・評価については，今後，手法の開発やデータの蓄積が期待されるところである。

【参考文献】

1) 「経済学大辞典（第2版）Ⅰ」東洋経済新報社（1980）
2) 「平成9年国土建設の現況」建設省
3) シーア・コルボーン他「奪われし未来」翔泳社（1997）

II－2　地域特性を活かした地域計画及び施設設計手法に関する研究

Ⅳ-364

地域景観イメージの抽出に関する研究I

ー茨城県つくば市住民の地域イメージに関する意識調査を通じてー

建設省土木研究所　正会員　田中奈美
同　上　　正会員　丹羽　薫

1．研究の目的と方法

景観への関心が高まる中、幅広く行われている景観に関する研究は、建築物や街路景観等に代表される視覚を中心とした知覚で直接、間接に捉えらる程度の空間を対象としたものと、都市や地域といった面的広がりを有している空間を対象としたものとに大別される。本研究は、後者の研究同様に一定の広がりを有する地域景観を対象とし、空間の実態を保持しながら、客観的分析に耐えられるようにその景観的特性抽出を行い、地域景観のあり方について知見を得ることを最終的な目的とする。このための方法として、人々の意識から得られる定性的な地域景観イメージの把握を行うこと、物理的な空間的特性に着目して定量的に把握することの２側面を通じて考察を行う。本報告では茨城県つくば市を対象地域として定性的な地域景観イメージの抽出を目的とした意識調査結果から、地域概念によるイメージの抽出および土地利用形態の量的印象の２側面について考察を行った。

2．調査概要

アンケート調査は、1996年２月上旬に実施し、住民台帳から抽出したつくば市居住者2,000人を対象に郵送で配布、回収をおこなった[1)]。回収部数は1,125部、回収率は56.3%となった。調査対象集団の属性は、男性495人（44%）、女性621人（55.2%）と若干女性が多く[2)]、平均年齢は41.8才、既婚者833人（74%）、未婚者265人（23.6%）、家族人数は平均3.8人である。職業は会社員が322人（28.6%）と最多で、次いで専業主婦231人（20.5%）、公務員127人（11.3%）、自営業109人（9.7%）である。平均居住年数は17.9年である。

3．地域概念によるイメージの抽出

ここでは、既成の地域概念として「自然地域」、「農村地域」、「リゾート地域」、「都市郊外」、「地方都市」、「観光地」の６項目を提示し、つくば市をこれらの地域概念に照らしてどのように認識しているかを『明らかにそうである』から『全くそうは思わない』までの

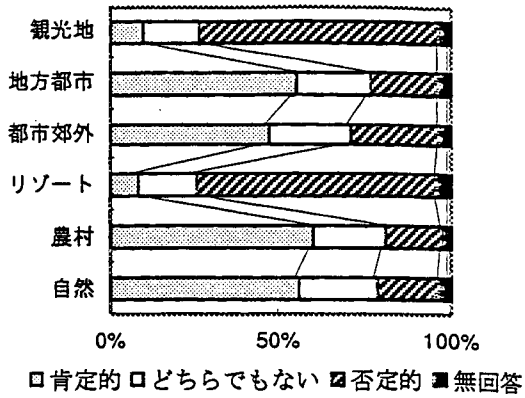


図１　地域概念によるイメージ

間に設定した５段階の選択肢から回答してもらった。指摘率で『明らかにそうである』と『そういう感じがする』を合わせた【肯定的意見】、『全くそうは思わない』と『そうは思わない』を合わせた【否定的意見】として集計した結果を図１に示す。【肯定的意見】に着目すると、「農村地域」が最も多い55.7%となり、次いで「自然地域（55.7%）」、「地方都市（54.8%）」、「都市郊外（46.9%）」への指摘率が比較的高くなっており[3)]、こうした地域概念イメージでつくば市が捉えられていることがわかる。一方、【否定的意見】では「観光地（71%）」、「リゾート地域（70.8%）」への指摘率が非常に高くなっており、つくば市はこうした地域概念イメージとは異なると考えられる。

4．土地利用形態によるイメージの抽出

ここでは「山林・荒地」、「田・畑」、「工業地区」、「住宅地区」、「商業・業務地区」、「道路」、「公園・緑地」、「都市施設地区」、「河川・湖沼」、「造成中・空地」という10種類の土地利用形態を示し、これらの量的な印象を『非常に多い』から『非常に少ない』の間で設定した５段階の選択肢から回答してもらった。図２に示すように『非常に多い』と『やや多い』を【多い】、『非常に少ない』と『やや少ない』を【少ない】として集計した。【多い】に着目すると、「田・畑」への指摘率が最も高い72.4%となっており、次いで「公園・

緑地（66%）」、「山林・荒地（57.5%）」、「道路（53.2%）」、となっている。「道路」と「造成中・空地」の指摘率の間には有為差がみられたので、土地利用形態的につくば市において多いと認識されているのは上述の４土地利用形態であるといえよう。一方、【少ない】に関して顕著なのは「商業・業務地区（54.8%）」となっている。

５．地域概念イメージと土地利用形態

以上の考察ではつくば市が地域概念イメージ、土地利用形態の量的認識からどのように捉えられているかの傾向を明らかにしてきた。ここでは地域概念イメージと土地利用形態に対する認識の間の関連性をみることを目的に、地域概念６項目、土地利用形態10項目の計16項目間の偏相関係数を求め、無相関の検定を行った（表１）。この結果をつくば市において肯定的とする指摘率の高かった地域概念イメージでみると、『農村地域』は「山林」、「田」、「造成中」の３項目との間に正の相関が「都市施設」とは負の相関がみられる。『自然地域』は「山林」、「田」、「工業」、「住宅」、「河川」の５項目と正の相関、『都市郊外』は「山林」、「田」、「造成中」を除く７項目と正の相関がみられる。『地方都市』は都市郊外と相関の高い項目から「公園」を除いた６項目と正の相関があることがわかった。一方、つくば市では否定的なイメージである『観光地』は「田」と「造成中」を除く８項目と正の相関がみられ、『リゾート地域』は「工業」、「道路」、「河川」を除く７項目と相関があるが、「田」、「公園」とは負の相関である。

この結果は地域概念を用いて抽出されたイメージが地域の空間的な状況を表わす土地利用形態の量的な状況への認識と関連が深いことを示しており、土地利用形態を地域景観イメージの特性抽出の１指標として用いる可能性を示唆するものといえよう。

６．まとめ

（１）つくば市は「農村地域」、「自然地域」、「地方都市」、「都市郊外」の４地域概念イメージで肯定的に捉えられていることがわかった。

（２）土地利用形態に対する量的な印象では「田・畑」、「公園・緑地」、「山林・荒地」、「道路」が多いと認識されていることが明らかになった。

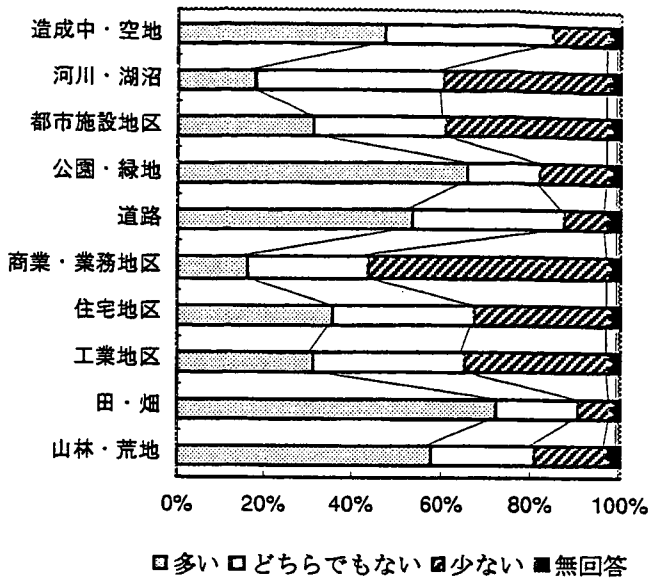


図２　土地利用形態の量的印象

表１　地域概念イメージと土地利用

	地域概念						土地利用形態									
	自然	農村	リゾート	都市郊外	地方都市	観光地	山林・荒地	田・畑	工業	住宅	商業・業務	道路	公園・緑地	都市施設	河川・湖沼	造成中
自然	-															
農村	**	-														
リゾート	**		-													
都市郊外	**		**	-												
地方都市	**		**	**	-											
観光地	**		**	**	**	-										
山林・荒地	**	**	*			**	-									
田・畑	**	**	**				**	-								
工業	*			**	*	**			-							
住宅	**		**	**	**	**	**	**	**	-						
商業・業務			**	**	**	**	**	**	**	**	-					
道路				**	**	*		*	**	**	**	-				
公園・緑地			**	**			**	**	**	**	**	**	-			
都市施設		*	**	**	**	**		**	**	**	**	**	**	-		
河川・湖沼	**			**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	-	
造成中		*	**			**	**	**	*			**	**	**	**	-

無相関の検定　*：5%　**:1%

（３）地域概念と土地利用の関連分析結果から、地域概念にはそれぞれ正または負の相関が高い土地利用形態がみられた。

注

１）市内最大地区である谷田部地区居住者52,692人から抽出を行った。抽出率は3.8%となり、市全体（人口145,451人）では1.4%となる。

２）平均値の差の検定を行った結果有為差が認められた。

３）「都市郊外」への指摘率は46.9%で半数以下であるが、「観光地」との母比率の差の検定を行った結果有為な差が認められた。

第12回　寒地技術シンポジウム

1996年11月6，7，8日

CTC96－II－058

トロント市における地下空間の整備状況

田　中　奈　美（建設省土木研究所）

The Actual State of Toronto's Downtown Walkway

N. Tanaka　(Ministry of Construction, Public Works Research Institute, Environmental Planning Division)

COLD
REGION
TECHNOLOGY
CONFERENCE '96

1．はじめに

寒冷地に住まう人々の冬期の生活行動は、気候状況の影響による制約を大きく受けることはいうまでもない。長く厳しい冬期間を快適に過ごし、そこでの活動を活発にするための方策として降雪、低温等の影響が少ない地下空間を積極的に利用することは、推進されるものと考える。本報告はカナダトロント市中心部における地下道の整備状況について紹介を行うことを通じ、寒冷地における地下空間利用のあり方について示唆を得ることを目的とする。

トロント市はカナダ東部、オンタリオ州オンタリオ湖岸に位置し、面積は97Km²、人口653,378人、北米第4位の経済中心都市である[1]。気候的には大陸性で、夏期は風が強く、冬期は降雪、低温の厳しい寒さとなる。

2．地下空間整備の概要

Downtown Walkwayと呼ばれるトロント市の中心部に整備されている地下道は、Dundus Streetの南、University Avenueの東、Young Streetの西、Front Street、Lakeshore rail corridorの北の範囲内に広がっており（図1）、一層分の距離は約9Kmで、多層分を延べると約12Kmにも達する。

地下道の整備計画が進められたのは1969年で、地上交通の混雑緩和の1方策として、歩行者に中心部への付加的なルート、地下鉄へのアクセスの提供が主目的となった。この時に補足的目的としては気候調整、公共空間の多様性、活動性、快適性が組み入れられた[2]。

現在の地下道は地下鉄5駅とつながるとともに、都市間鉄道のターミナル駅であるUnion Station、都市間連絡バスの発着ターミナル、数千台分の屋内駐車場ともアクセスしている。

この地下道による可能アクセス範囲内には48のオフィスビルが隣接し、105,000人の就業者を抱える。その他のアクセス可能な主要施設にはトロント市庁舎、コンベンションセンター、トロント株式市場、観光スポットでもあるスカイドーム、CNタワー、コンサートホール（2ヵ所）、劇場（5ヵ所）、映画館（2ヵ所）、アイスホッケーの殿堂、観光案内所、6主要ホテル、2件の百貨店を含む合計1,100件の小売店、飲食店である[3]。

上記の規模やアクセス可能な施設数が示すように、この地下道は市の公共機関の中枢施設をつなぐ役割を果たすとともに、多様な商業、業務施設へのアクセスを可能とし、冬期の市民生活を大きくサポートしていると考えられよう。

3．地下空間整備方針の枠組みと方法

トロント市における地下道の整備はOfficial Planと呼ばれる市町村が各自の管轄地域に対して持つ法定計画内で長期的な基本方針が示され、その下位概念として存在

するDesign Guidelineが詳細な整備方針を定めている。

地下道は、Official Planの歩行者環境に関する項目中で、将来的な延長計画および改修に関して触れられている[4]。

延長計画は、あくまでも地上の歩行者環境を補足する役割として、歩行者の活動を活発にすることを目的とした基本方針が以下のように示されている。

①地下道に隣接する建物は、その1階壁面の60％を一階歩道から直接アクセス可能な小売もしくはサービス提供の施設とする。
②計画される地下道は現存する地下道と連結、もしくは地下鉄入り口と連結させる。
③地下鉄駅と連結する地下道は、駅から地上の歩道へ直結する通路を確保する。
④設けられる地下道の利用時間は最低限でも地下鉄の運行時間帯と同等とする。

地下道の改修に関しては、安全性、快適性、アクセスの容易性の確保が目的とされ、以下の7点が明記されている。

①全ての利用者に便利なアクセスの提供。
②地下空間と地上の歩道との視覚的な関連性を強める。
③便所、ベンチ、電話、地図、自然光等を用い、環境面での快適性を高める。
④地下道の魅力、快適性を確実にする。
⑤地下道の可視性、方向性を高め、道筋が明快で包括的なサインを提供する。
⑥照明、換気、音響の質を高める。
⑦材料、色彩、仕上げの視覚的おもしろみを創り、公的利用の可能な展示設備を提供する。

上記のOfficial Planに明記された基本方針を受けるDesign Guidelineでは地下道を中心地区の地下歩行者システムとして位置付け、現在の安全性、保護性、快適性、アクセスの容易性を高めるためのより詳細な整備に関する指針を示している。これは、改修、改良、延長計画の整備が行われる際に適用されることが想定されている。その内容は以下に示す11のカテゴリーに分かれ、それぞれにおける整備目標が示されるとともに問題点のありか、推奨される整備事例の写真が添付されている[5]。

①歩行車道（Pedestrian Walkways）
②公共空間（Public Places）
③アクセス（Accessibility）
④出入り口（Entry）
⑤方向性（Orientation）
⑥快適性（Amenity）
⑦照明（Lighting）

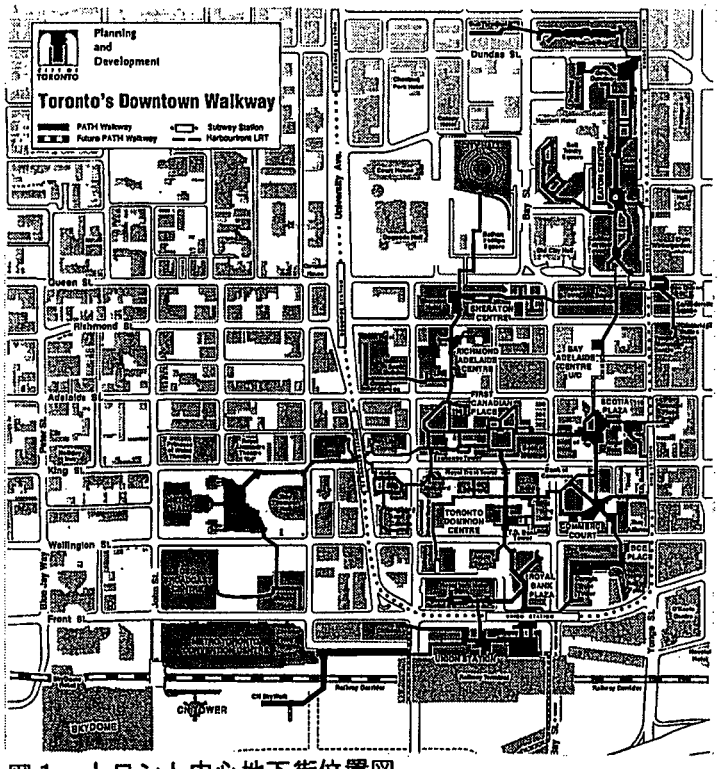


図1　トロント中心地下街位置図
出典：City of Toronto Planning and Development Department

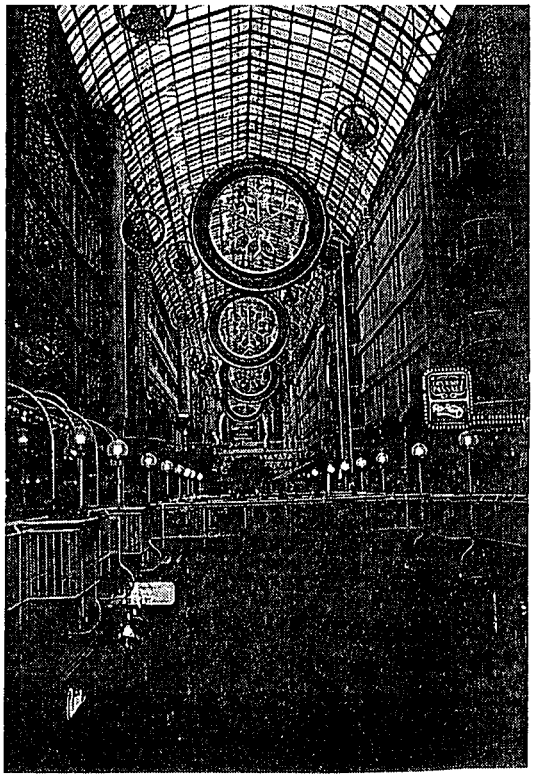


写真　イートンセンター

⑧仕上げ・造作（Finishes and Features）
⑨サイン（Signage）
⑩安全性・保護性（Safety and Security）
⑪換気（Ventilation）

4．近年の整備状況

先述したように、トロント市の地下道は世界有数の規模で、付随する小売店数の多さが示すように、利用者にとって非常に魅力的な空間である。しかしながら、その整備後から指摘され続けた問題点も多く存在した。それらは、地下道の規模の大きさと複雑さに起因し、数千人もの中心地区就業者が、気候の影響が少ない地下道を通勤時に利用しているにも関わらず、その全貌は多くの場合理解されていなかった。地下道にはランドマークや地上の街との関係を示す情報が少なく、一方で多くの枝分かれ道、迂回路が存在し、利用者は道に迷いやすかった。また、隣接する建物の幾つかは方向を示すサインを設置してはいたものの場所によって示される情報の統一性はなく、かえって利用者に混乱が生じた[6]。

こうした問題点を抱えた地下道は、「地上でタクシーを拾う方が目的地に早く到達できる」、「誰かの助けなしには方位が特定できない」等の悪評をしばしば受けていた。

1985年にトロント市はモントリオール市、ミネアポリス市等の他の都市における屋内の歩行者システムが観光客や業務推進に寄与していることを受け、”全天候型都市”として地下道の再整備に着手することとを決定した。この時に再整備の対象となったのが、地下道における統一したサインシステムの構築であった。

「The PATH Program」とよばれる以下に示す2つの主目的をもった新たなサインシステムはその実施に至るまでに7年を要し、1992年に整備が完了した。この期間の多くは新たなサインシステムの設置に伴う費用負担をする地下道に隣接する48オフィスビルの35所有者の了承を得ることに費やされた。

①歩行者が地下道を有効に利用する手助けとなるサインシステムであると同時に、地下道全体のアクセスを容易にし、トロント中心地区の利便性を図る。

②地下道の視覚的側面、アイデンティを向上させることにより、多くの利用者を魅了し、トロント中心地区への訪問機会を増加させること、さらにはより多くの業務の参入を促す役割を果たす。

このサインシステムでは、設置されるサインと地図に表示される多色彩、複数の字体でデザインされた特徴ある「PATH」のロゴが、地下道への入り口を示すとともに、目的地への誘導を行う。地下道に設置されるサインは以下の5種類に分けられている（図2）。

①PATH Marker：地下道への入り口を示し、形態は様々で、屋外の自立型サインから扉にまで用いられる。エレベーターには地下道につながる階のボタンの横に小さなPATHのロゴが表示される。

②Next Destination：方向を示すサインは現在地を示すとともに、方位方向によって次にアクセスする建物の名称が分かるようになっている。

③Street Name：歩行中の地下道が地上のどの道路の下に位置しているかを示す。

④Compass：地下道の天井に設置される方位サインは、東西南北についてそれぞれ黄、オレンジ、赤、青の色が割り当てられており、他のサインと組み合わせて用いられる場合にも必ずこれらの色と矢印が使われる。

⑤Accessibility：階段のある場所には障害者のために整備された別路の存在がシンボルとして示される。

新サインシステムではこうしたサインが合計で481基、また、67基の壁面地図の設置が行われた。これに加えて従来の地図が非常に複雑であったことから、建物間、建物内部における地下道のつながりに焦点を絞り視覚的に分かりやすくデザインされた小型の地図も作成された[7]。

5．まとめ

以上、トロント市における地下空間整備状況を概観してきたが、整備構想の始まりから30年余の時間を費やして現在の全体的整備方針および詳細に及ぶガイドラインが設けられてきたこと、近年には新たなサインシステムの導入を行い、これまでの問題

点を解決する方策を試みていることなど、地下空間整備への積極的な取り組み姿勢が明かとなった。これは、地下空間を”全天候型都市”として位置付け、トロント市の有する気候的な厳しさを逆に、特徴として活かしていこうという発想の転換ともいえ、我が国におけるの地域環境整備の取り組みに大いに示唆を与えるものであろう。本報告はあくまでも整備状況を概観することに焦点をあてたため、Design Guideline等の詳しい内容について触れることが出来なかった。この点に関しては、さらにトロント市の地下空間整備に対する取り組みについて深く内容に関わる考察を行う必要があるものと考える。

注

1）メトロポリタントロントと呼ばれる隣接する市を含む圏域は630Km²、人口22,757,741人。文献1）

2）文献2）、5）

3）文献3）

4）文献4）

5）文献5）

6）文献6）

7）文献7）

参考文献

1）City of Toronto:City of Toronto Key Facts,1996

2）地下空間利用研究グループ：地下都市、清文社、P86-90、1989

3）City of Toronto, Planning and Development Department : Toronto's Downtown Walkway, 1995

4）City of Toronto : Official Plan,P3.8-3.9, 1994

5）City of Toronto, Planning and Development Department : Underground Pedestrian system Design Guidelines, 1995

6）City of Toronto, Planning and Development Department : PATH Toronto's Downtown Walkway, 1992

7）City of Toronto, Planning and Development Department : the PATH Map, 1992

8）土木学会土構造物及び基礎委員会地下空間研究小委員会：地下空間と人間①地下空間の計画、土木学会、P18-21、1995

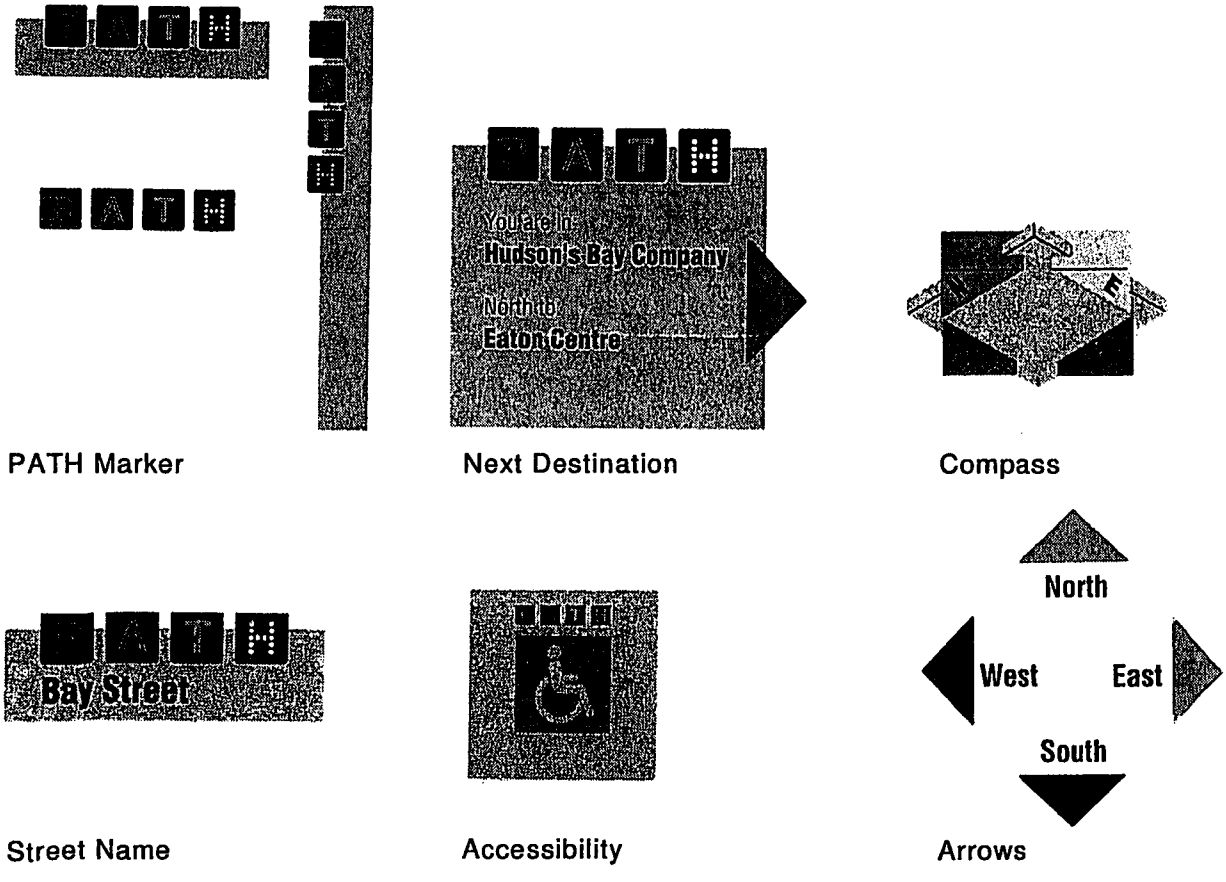


図2　PATHサインシステム

地域景観特性の抽出に関する研究I*

A Study on the Characteristics of the Regional Landscape Image I*

―茨城県つくば市の地域イメージと景観イメージ―*

-An Analysis on the Landscape Image of Tsukuba City-

田中奈美**・丹羽　薫***

By Nami TANAKA**・Kaoru NIWA***

1．研究の目的と方法

景観への関心が高まる中、幅広く行われている景観研究は、建築物や街路景観等にの視覚を中心とした知覚で直接、間接に捉えらる範囲の空間を対象としたものと、都市や地域等の面的広がりを有している空間を対象としたものとに大別される[1]。本研究は、後者の研究同様に一定の広がりを有する地域景観を対象に空間の実態を保持しながら、客観的分析に耐えられるようにその景観的特性抽出を行い、地域景観のあり方について知見を得ることを最終的な目的とする。この方法として、人々の意識から得られる定性的な地域景観イメージの把握を行うこと、物理的な空間的特性に着目して定量的に把握することの両側面を通じて考察を行う[2]。本報告では茨城県つくば市を対象地域に定性的な地域景観イメージの抽出を目的とした意識調査結果から、形容詞と地域概念による地域イメージの抽出、写真を用いた景観イメージの抽出の２側面について考察を行う。

2．調査概要

2.1　調査対象地の概要

意識調査を実施した茨城県つくば市は、茨城県南部に位置し、面積259.53Km²、人口154,502人、東京圏からの距離は50Km程である。地形的には北に筑波山を有する他は平坦で、土地利用的には田・畑の割合が43%と最も多い。市の中心には1971年より建設の始まった筑波研究学園都市（約27Km²）があり、46の国等の研究教育機関施設、200を超える民間の研究機関があり、独自の開発計画によって整備が進められてきた。ケーススタディ地域としてつくば市を取り上げたのは、調査の利便性、および上記のように他の地域にはない特色を有しており、地域特性の抽出が行いやすく、調査手法の検討を行うには適当であると判断したことによる。

2.2　調査の実施概要

調査は1996年２月上旬に実施し、つくば市の住民台帳から抽出した2,000人を対象に郵送で配布、回収を行った[3]。回収部数は1,126部、回収率は56.3%である。属性的には、男性496人（44%）、女性621人（55.2%）と若干女性が多く[4]、平均年齢は41.8才、既婚者834人（74.1%）、未婚者265人（23.6%）、家族人数は平均3.8人である。職業は会社員が322人（28.6%）と最多で、次いで専業主婦231人（20.5%）、公務員128人（11.4%）、自営業109人（9.7%）である。平均居住年数は17.9年である。

3．地域イメージの抽出

3.1　形容詞対イメージ

まず、つくば市全体の地域イメージについて[5]、形容詞対を用いて調べた結果について考察する。調査票に対で示した20の形容詞対は、回答者に『非常にそう思う』、『ややそう思う』、『どちらでもない』から最も考えに近い所を選択してもらった。この結果に集計した各形容詞対の平均値を図１に示す。この回答傾向から、つくば市のイメージとしてあげられるのは、「明るい」、「好きな」、「落ち着いた」、「特色のある」、「新しい」、「かたい」、「のどかな」、「快適な」、「整然とした」、「美しい」、「人工的な」等の形容詞である[6]。この結果は筑波研究学園都市

*キーワーズ：景観、環境計画、空間設計、イメージ分析

**正員、博士（デザイン学）、建設省土木研究所
（茨城県つくば市大字旭１番地、TEL0298-64-2269、FAX0298-64-7221）

***正員、工修、建設省土木研究所
（茨城県つくば市大字旭１番地、TEL0298-64-2269、FAX0298-64-7221）

という新しく造られた都市を有するつくば市の特徴を良く表わす「人工的」、「特色のある」、「新しい」等が選ばれると同時に、面積的には市域の多くを占める古くからの田園地域のイメージを表わす「のどかな」、「落ち着いた」といった形容詞も選ばれており、つくば市にはこうした新旧のイメージが混在していることがわかる。

3.2　地域概念イメージ

ここでは、既成の地域概念として「自然地域」、「農村地域」、「リゾート地域」、「都市郊外」、「地方都市」、「観光地」の６項目を提示し、つくば市をこれらの地域概念に照らし、どのように認識しているかを『明らかにそうである』から『全くそうは思わない』までの間に設定した５段階の選択肢から回答してもらった。指摘率で『明らかにそうである』と『そういう感じがする』を合わせた【肯定的意見】、『全くそうは思わない』と『そうは思わない』を合わせた【否定的意見】として集計した（図２）。【肯定的意見】に着目すると、「農村地域」が最も多い55.7%となり、次いで「自然地域（55.7%）」、「地方都市（54.8%）」、「都市郊外（46.9%）」への指摘率が比較的高くなっており、こうした地域概念イメージでつくば市が捉えられていることがわかる[7]。一方、【否定的意見】では「観光地（71%）」、「リゾート地域（70.8%）」への指摘率が非常に高くなっており、つくば市のイメージはこうした地域概念とは異なるようである。

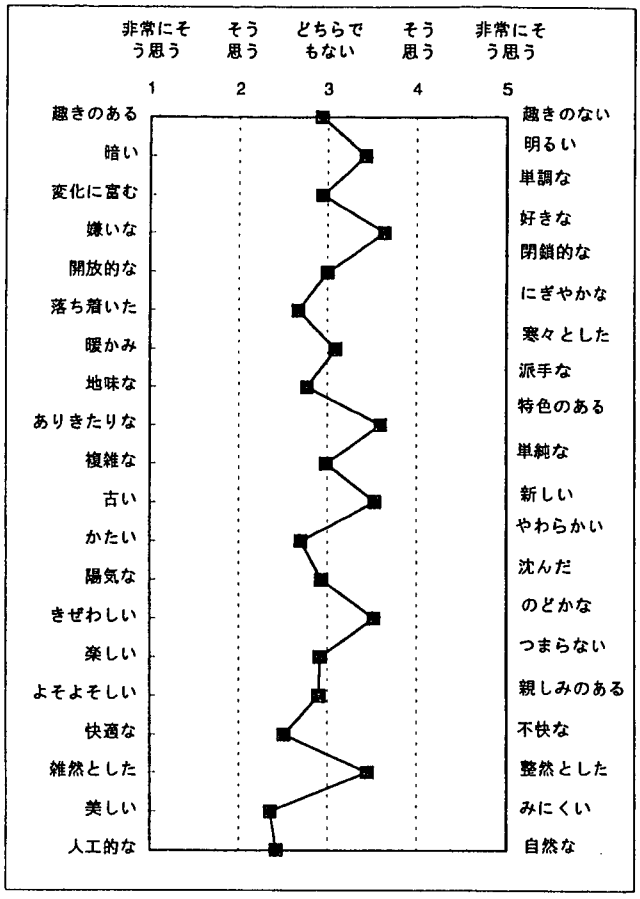


図１　形容詞によるイメージ

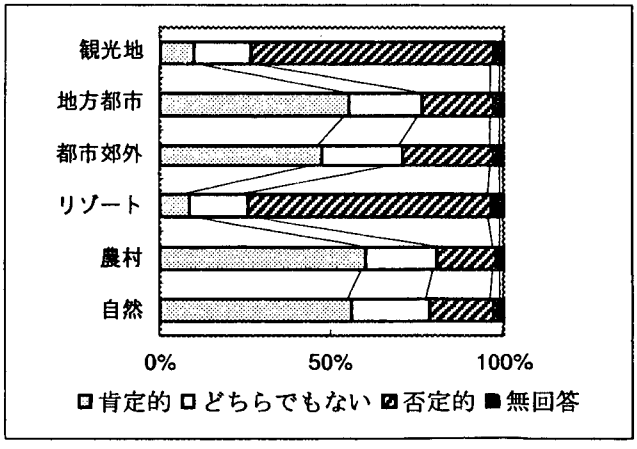


図２　地域概念によるイメージ

４．景観イメージの抽出

景観イメージの抽出は、市内の20地点を撮影した写真を用い、回答者がつくば市のイメージをよく表わすと考えるものを複数回答で指摘してもらう方法によった[8]。各写真の指摘率をみると（図３横棒グラフ）、半数以上の選択があるのは６地点で（写真１）、最も指摘率が高いのは、「土浦学園線（80.2%）」、次いで「筑波大学（77.8%）」、「センタービル（77.6%）」、「水田（76.3%）」、「万博記念公園（59.9%）」、「アルス（53.6%）」となった。

この結果では主幹道路や大学、市街地中心施設等の都市施設が多く選択されており、水田を除く全ての写真は、筑波研究学園都市地区内である。これはつくば市の地域イメージに学園都市の存在が与える影響の大きさを示してはいるが、水田の指摘率も高いことから、先に調べた地域イメージと同様に、景観イメージ的にも近代的な新しい街の景観と、田園地域の景観が混在していると考えられる。

５．地域イメージと景観イメージ

ここでは、地域イメージと景観イメージの関係を、

地域概念イメージと景観イメージとして選ばれた写真のクロス分析から考察する。

地域概念イメージで肯定的意見の比較的多かった「農村地域」、「自然地域」、「地方都市」、「都市郊外」の４種類の地域イメージへの回答状況と、選択された景観イメージの指摘率のクロス集計を行った（図３）。これをみると、農村地域イメージに肯定的な人（肯定派）の各景観に対する指摘率は、他の地域イメージ肯定派よりも全体的に高く、逆に都市郊外肯定派は全体的に低い傾向にある[9]。

さらに自然、農村地域肯定派は、「小貝川」、「農村集落」、「畑」、「つくば道」、「谷田部商店街」、「大池」等の田園景観を多く指摘し、つくば市を農村あるいは自然地域と捉えている人々の抱く景観イメージがどのようなものかがわかる（写真２）。一方、地方都市、都市郊外肯定派は、どの景観でもほぼ同様の指摘傾向を示すが、「筑波大学」、「農村集落」、「万博記念公園」では差異がみられる。

この結果、つくば市の景観イメージは、全体的には学園都市を中心としたイメージが強いものの、当該地域をどのような地域と捉えているかで傾向が異なる。特に、自然、農村地域と捉えている人々にとっては田園地域の景観が、よりつくば市らしいと認識されていることが明らかになった。

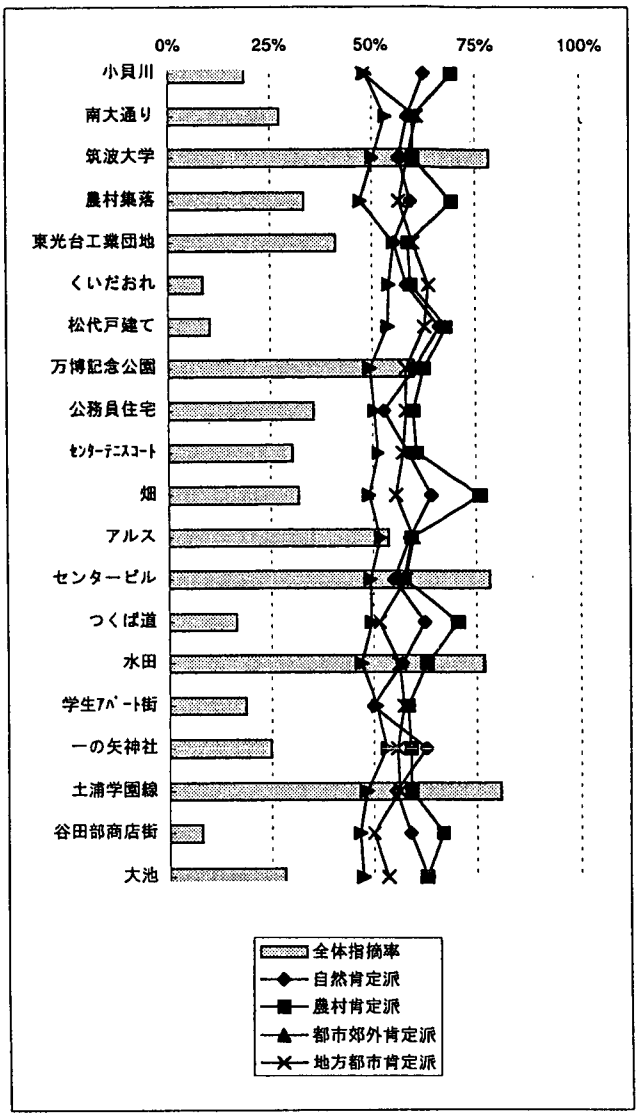
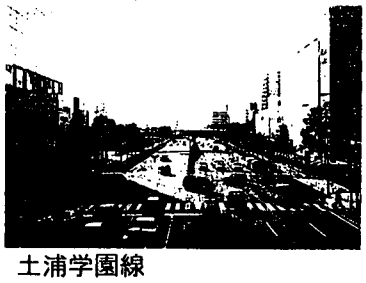
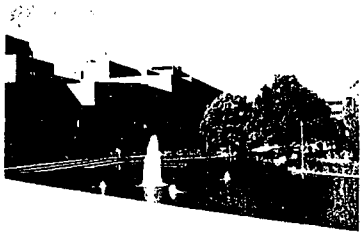


図３　地域イメージと景観イメージ

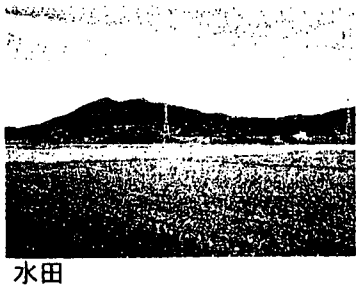
６．まとめ

（１）形容詞対による地域イメージには、「人工的」、「特色のある」等の学園都市を中心とした新しい街


土浦学園線


筑波大学


センタービル


水田


万博記念公園

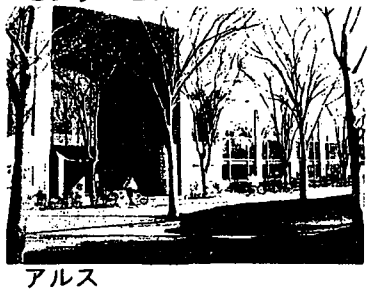

アルス

写真１　つくば市の高指摘景観イメージ

のイメージと、「のどかな」、「落ち着いた」等の田園地域のイメージが混在している。

（2）つくば市は「農村地域」、「自然地域」、「地方都市」、「都市郊外」の４地域概念イメージで肯定的に捉えられていることがわかった。

（3）写真を用いてつくば市の景観イメージを調べた結果、主幹道路や大学、市街地中心施設等の学園都市内の景観が多く選択される傾向にはあるが、同時に田園地域の景観も選択され、イメージの混在がここでもみられた。

（4）地域イメージと景観イメージの関係を調べた結果、自然、農村地域肯定派は田園地域の景観を多く選択しており、地域イメージの差異が選択される景観イメージに影響を及ぼすことが分かった。

謝辞

この場を借りて、アンケート調査にご協力いただいた方々に深く御礼申し上げます。

注

1）視覚で捉えられる既往の景観研究の対象には、眺望、河川、道路、地区等がある[*1),2)]。一方、広範囲を対象とした研究では、都市、地域があげられる[*3),4)]。

2）関連する筆者らの研究成果には、物理的な空間特性、定性的な景観イメージの抽出に関するものがある[*5)~8)]。

3）市内最大地区の谷田部地区居住者52、692人から抽出を行い、抽出率は3.8%、市全体（145,451人）では1.4%となる。

4）平均値の差の検定を行った結果有為差が認められた。

5）つくば市自体は様々な特徴を有していると考えられるが、ここでは回答者が最も強く思い浮かべる地域イメージについて各形容詞対へ回答してもらった。

6）集計の際、各選択肢に値を与え間隔尺度とし、「どちらでもない」への指摘を表わす値の３と、平均値の差の検定を行った結果、有為な差がみられた。

7）「都市郊外」への指摘率は46.9%で半数以下だが、「観光地」との母比率の差の検定結果から有為な差が認められた。

8）写真の撮影地点は市域全般におよび、土地利用状況を参考に数ヵ所づつ撮影したものを用いた。

9）母比率の差の検定結果、農村肯定派と都市郊外肯定派の間で有為な差がみられなかったのは、「南大通り」、「東光台工業団地」、「くいだおれ」、「学生アパート街」の４景観のみであった。

参考文献

1）油井正昭、古谷勝則：スライドによる中・高・大学生の眺望景観に対するイメージと評価に関する研究、ランドスケープ研究、58、181-184、1995

2）山下三平、坂本紘二他：子供の目に映った河川環境とその評価に関する研究、土木計画学研究・論文集、271-278、1992

3）出田　肇、石見利勝：都市の構成要素の認知とイメージの関連分析－兵庫県姫路市におけるケーススタディー、都市計画論文集29、571-576、1994

4）久保　貞、Wu MY他：都市景観の構造に関する研究、造園雑誌、48、312-317、1985

5）田中奈美、土肥博至他：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、269-284、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５～その７、日本建築学会関東支部研究報告集、321-328、1996

7）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、第30回日本都市計画学会学術研究論文集、229-234、1995

8）田中奈美、丹羽薫：地域景観イメージの抽出に関する研究I、第51回土木学会年次学術講演会（発表予定）、1996

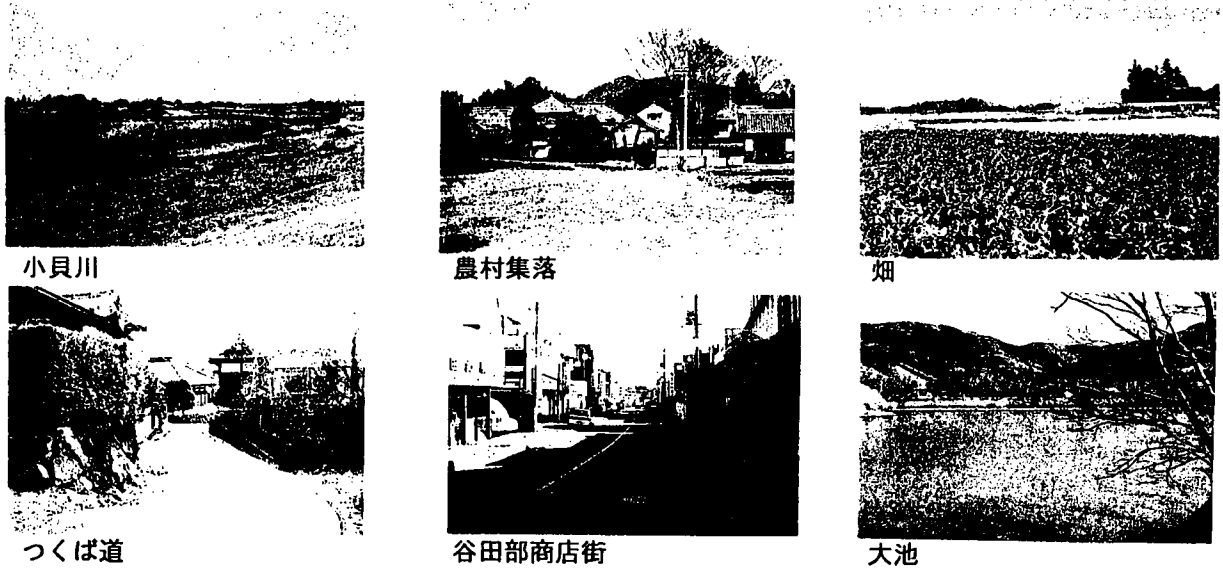


写真２　農村、自然地域イメージ肯定派高指摘の景観イメージ

地域景観イメージの把握とその変容過程に関する考察

A Study on the Changing Process of the Regional Landscape Image

田中奈美**・土肥博至*
Nami Tanaka and Hiroshi Dohi

Purposes of this paper are to find out the changing process of the regional landscape through the psychological evaluation of the landscape simulation videotapes and to verify the method of composing the landscape simulation videotape. Five scenes based on the periods of the time at Karuizawa town were chosen for the experiments on the psychological evaluation, which was held among thirty-five people. Our findings include that the simulation videotapes could show the difference of the regional landscape image with the difference of landscape units' composition in terms of its quantity and quality. Moreover, there was an obvious change in the regional landscape image between 1962 and 1989.

Keywords : Regional Landscape, Landscape Unit, Changing Process, Landscape Image, Simulation Videotape
地域景観，景観単位，変容過程，景観イメージ，景観シミュレーションビデオ

1．研究の目的

本研究は一定の広がりを有する地域景観を対象に，その空間的な実態を保持しつつ，景観的特徴を客観的分析に耐えられるように記述，表現する方法について検討し，それにもとづく広域的な景観イメージの評価を行うことを最終的な目的としている。本報告ではこれまでに検討を行ってきた地域景観の記述手法を適用して人々が持つ地域景観イメージの変容過程を捉えることを試みる。

ここで用いる景観イメージとは，地域景観のように現前する景観として視覚で捉えることの困難な対象について，人々が抱く共通の認識から形成されるものを指す。こうした景観イメージに関する既往研究では，出田，石見によるものがあり[1]，姫路市を対象に都市の構成要素の認知度，評価と人々が抱くイメージの関係を分析することを目的に，都市の構成エレメント，イメージを表わす形容詞対をアンケート調査によって調べている。この結果，属性により認知度が変動する構成エレメントと属性に関係なく認知されるものとに分類されることが明らかになっている。

2．研究の方法

本研究では，広域的景観イメージを捉える対象として，地域景観をとり上げている[2]。ここでの地域景観イメージとは，地域の実態的景観が存在することを前提として人々の体験や入手する情報等によって形成される大まかな景観イメージである。本研究では，実態的景観を記述する方法を提示し，それによる擬似的な景観の体験を通じて形成される景観イメージの抽出を試みている。そのために筆者らは前報において，実態的空間として人々の認識を通じた景観とを結びつける景観イメージがほぼ同質な一定の広がりを持つ実態的空間上の範囲として，「景観単位」という概念を提示し，その存在を現地調査及び心理評価実験を通じて確認し，種類（カテゴリー）や特性を明らかにした[4]。

「景観単位」に関する既往研究には後藤によるものがあり[5]，東京旧15区を対象として主に視覚的要素として地盤高，比高，水面率を用いた土地条件による景観単位の設定，さらに景観単位のヒエラルキーが示されている。本研究は一定地域の景観的特徴を表わす景観構成要素として景観単位という概念を用いるという考え方は後藤の研究と同様で示唆を受けるものであるが，用いられる景観単位の性格が，実態的な空間から人々の景観イメージとして抽出されたものであるという点で，その設定方法を異にするものと考える。

前報においては，地域景観はいくつかのカテゴリーの景観単位の組み合わせとして記述できるという仮説をたて，軽井沢というケーススタディ地域で検証を行った。これは，景観単位がどのように構成されるかを地形図上に表現し（景観単位構成図），次にこれを視覚的映像（景観シミュレーションビデオ）に変換し，この映像を用いた被験者実験を行い，景観の記述，表現方法としての妥当性を確認する，という手順であった。本報告では，景観シミュレーションビデオが地域の景観イメージを再現する可能性を示唆した前報の結果を活用して，地域の長期にわたる景観の変容過程を明らかにすることを研究目的とする。

*正会員　筑波大学芸術学系（U. of Tsukuba）
**正会員　建設省土木研究所（Public Works Research Institute, Ministry of Construction）

すなわち過去の複数の時点について，それぞれの時点における景観単位構成図を作成し，これにもとづいて景観シミュレーションビデオを制作する。この複数のビデオを用いて評価実験を行い，それらの間の差異（変化）を捉えようとするものである。尚，この際に用いる映像そのものは，全て現時点で撮影したものを用いる。したがって，現状から抽出された景観的特徴を有する景観単位がその構成を変えることによって，過去の景観イメージを疑似的に表現できるという仮説に立っている[3]。

研究対象地域は前報同様長野県軽井沢町とする。

3．景観シミュレーションビデオ実験の概要

3.1 景観シミュレーションビデオの作成

景観シミュレーションビデオは，景観単位の構成を基に作成するもので景観単位の種類として設定した６景観カテゴリー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している。右にビデオに用いられている各景観カテゴリーのビデオからのカット画像を示すが，これらの景観カテゴリーは，物的な要素が少なく，開放的印象の共通する「開放景観」，建物等の人工物と自然，静かな印象の「静寂景観」，人工物の印象が共通し，静けさはみられない「日常景観」，人工物，動的要素，活動感の共通する「繁華景観」，人工物，動的要素，に自然的，開放的な印象が混在する「観遊景観」の５景観カテゴリーとそれらを取りまく山林が形成する「後背景観」である[4]。

ビデオはこうした各景観カテゴリーの量的，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される[5]。

まず，異なる時点として，軽井沢地域で地図資料および空中写真の入手が可能であった最も古い時点である1915年，現在の状況に最も近い1989年，その中間時点として1952年の３時点を設定し，景観シミュレーションビデオの作成を行い，予備的な心理評価実験を行った[6]。この結果，1952年と1989年の間で比較的大きな景観イメージの変化が確認できたため，その間に1962年，1972年の２時点を追加し，合計５時点の景観シミュレーションビデオを作成した。

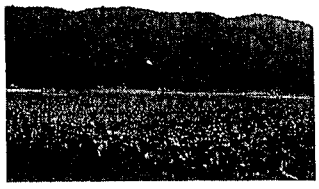
５時点の景観単位構成図を1/25,000の地形図上に作成し，各景観カテゴリーの面積を求め，量的な割合いおよび景観カテゴリーの質的特性を示す景観タイプを加味し，表１に示す各年代の景観シミュレーションビデオのコマ割を設定した[7]。以降，1915年の景観シミュレーションビデオをシーンI，1952年をシーンII，1962年をシーンIII，1972年をシーンIV，1989年をシーンVと呼ぶ。

3.2 実験の概要

評価実験は，1995年１月に筑波大学の学生，大学院生を中心とした計35名（男24名・女11名）の被験者に対して行った。なお，一人の被験者に５シーンの景観イメージビデオを続けて見せることは，前に見た映像に影響されることが危惧されると共に，実験時間が長くなるため，被験者を第１群（17名）と第２群（18名）の２群に分け，各群とも３シーンづつ提示した。その提示順序は，第１群がシーンIII→シーンV→シーンI，第２群はシーンII→シーンV→シーンIVである。分析に先立ち，共通するシーンVに関して両群の差の検定を行ったところ，有意な差は認められなかったため，以降両群を合わせた５シー



画像１　後背景観



画像２　開放景観



画像３　静寂景観



画像４　日常景観



画像５　繁華景観



画像６　観遊景観

表１　景観カテゴリーの面積およびビデオのコマ数

時点	後背景観	開放景観	静寂景観	静寂景観タイプ数	日常景観	繁華景観	観遊景観	観遊景観タイプ数	総コマ数
	143	8.91	1.21	4	2.51	0.4	0	0	
1915年	91.6%	5.7%	0.8%		1.6%	0.3%	0.0%		
	6	4	2		1	1	0		14
	131.1	9.8	8.54	5	4.59	0.68	1.3	1	
1952年	84.0%	6.3%	5.5%		2.9%	0.4%	0.8%		
	5	3	4		2	1	1		16
	121.7	9.67	10.42	6	10.89	0.98	2.38	2	
1962年	78.0%	6.2%	6.7%		7.0%	0.6%	1.5%		
	4	3	5		2	1	1		16
	106.6	8.98	23.38	6	9.59	0.72	6.75	5	
1972年	68.3%	5.8%	15.0%		6.1%	0.5%	4.3%		
	4	2	6		3	1	2		17
	99.02	6.89	26.41	6	12.28	0.77	10.68	8	
1989年	63.5%	4.4%	16.9%		7.9%	0.5%	6.8%		
	3	1	6		2	2	4		18

上段　面積（Km²）　中段　総面積156.05Km²に占める割合　下段　コマ数

ンでの分析を行った。

評価は，以下の各項目について，各シーンの提示後，調査票に自記式で回答してもらった。

（1）ビデオ映像で示された景観の全体的な印象の評価を5形容詞対で行う。
（2）ビデオ映像中で印象に残った物的要素を24項目から複数回答方式で指摘。
（3）ビデオ映像で示された地域で可能と考える行為を13項目から複数回答方式で指摘。
（4）ビデオ映像で示された地域と7つの既成の地域概念イメージとの適合性について5段階で評価。
（5）ビデオ映像とは無関係に被験者各自が「リゾート地域」という言葉からイメージする地域について，形容詞対による評価，必要とされる環境的要素について指摘。

4　地域景観イメージの変容

4.1　5シーン間のイメージの差異

まずビデオで示した5シーンの地域景観の全体的な印象の差異について，形容詞対への評価結果の差の検定を行った（表2）。その結果，「趣のある－貧相な」では，シーンI・II間，II，IV間，III，V間では危険率5％水準で有意差が認められ，シーンI・V間，IV，V間では危険率1％水準で有意差が認められた。また，「変化に富んだ－単調な」では，シーンI，V間，I，III間，II，V間で有為な差が，「非日常的な－日常的な」に関してはシーンII，IV間，II，V間で差がみられる。このように幾つかの印象尺度に差が見られることから，各シーンはある程度異なる印象で受けとめられており，景観単位にもとづいて作成される景観シミュレーションビデオは組み合わせによって異なる印象を与えることが明らかとなった。このことにより本研究で用いている地域景観の再現方法はほぼ妥当であると考えられると同時に，各シーンで用いている個々の映像は現在の軽井沢で撮影されたものであるが，構成次第で異なる印象を作り出すことが可能であることも確認した。

4.2　リゾート地域イメージとの比較考察

被験者各自のリゾート地域イメージの抽出には，ビデオ映像の全体的印象を評価したのと同様の形容詞対を用いている。これは，軽井沢という地域が一般的にリゾート地域として認識されていると考えられるため，当該地域の景観イメージの再現を試みた景観シミュレーションビデオと，人々がイメージしているリゾート地域との関係を明かにしたいと考えたからである。

図1は形容詞対への5段階評価を1点から5点に換算し，平均値を表わしたものである。「暗い（1点）－明るい（5点）」と「非日常的な－日常的な」は，時間経過と共にリゾート地域イメージに近づく傾向が読み取れる。しかし，「趣のある－貧相な」と「好きな－嫌いな」では逆に遠ざかる傾向が見られた。また，リゾート地域イメージの評価と1989年の評価の差の検定の結果からは，「趣のある－」，「好きな－」，「非日常的な－」について有意差が認められた。

以上から，現状の好ましさは，人々が想い描くリゾート地域イメージとは逆方向に変化しており，同様に趣きもなくなってきたと捉えられる。また，軽井沢地域は段階的に非日常的な印象となっているが，現状よりイメージされるリゾート地域の方が非日常性は高いといえる。

全体的な変化傾向としては，シーンVが，リゾート地域イメージに対する評価に近づく方向にあり，最も現状に近い1989年時点を再現した景観シミュレーションビデオは，人々がイメージするリゾート地域に近いものであることから，軽井沢という地域が人々にリゾート地域と認識されていることを再確認する結果といえよう。

表2　5シーン間の印象評価の差の検定

	シーンI シーンII	シーンI シーンIII	シーンI シーンIV	シーンI シーンV	シーンII シーンIII	シーンII シーンIV	シーンII シーンV	シーンIII シーンIV	シーンIII シーンV	シーンIV シーンV
趣のある－貧相な	*			**		*			*	**
暗い－明るい										
変化に富んだ－単調な		*		**			*			
嫌いな－好きな										
非日常的な－日常的な						*	**			

**は危険率1%水準で有意差が認められるもの
*は危険率5%水準で有意差が認められるもの
表5　5シーン間の印象評価の差異の検定

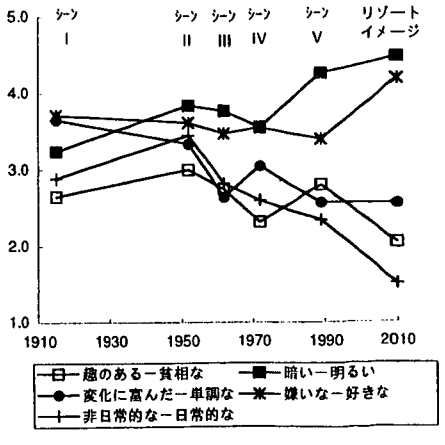


図1　リゾート地域イメージと5シーンの印象評価

5　地域景観イメージの変容と諸要素

前項までの考察で軽井沢地域全体の景観イメージの変容過程の大略が捉えられたが，こうした景観イメージの変容が物的要素や可能行為，地域概念イメージとどのような関係にあるかを検討する。

5.1　物的要素と可能行為

ここでは各シーン映像中で印象に残った物的要素と，映像で示されたような地域で行うことが出来ると考えられる可能行為についての指摘結果をみていく。

物的要素24項目を自然系と人工系に分け，可能行為については日常系行為と非日常系行為とに分類し（表３），それぞれの指摘率を５シーン間で比較したものが図２，図３である。一人当指摘数では，シーンIからシーンVへ移るにつれ段階的に増加していく大略の傾向がみられる。このことから，リゾート地域としてのイメージが形成される過程において，物的要素と可能行為が多様化していくと考えられる。その内容を詳しく見ると，物的要素では自然系の指摘率が，減少の傾向を示しているのに対し，人工系の指摘率では増加傾向がみられる。特にシーンIV，シーンVの２時点においては，前シーンと比べ大幅な変化が確認できる。また可能行為では，非日常系指摘率が段階的に増加していくのに対し，日常系指摘率ではばらつきはあるが，緩やかな減少傾向がみられる。これにおいても，非日常系でシーンV，日常系ではシーンIVで前シーンと比べ大幅な変化が確認できる。

このことから，自然豊かで日常的な生活環境から，人工的な要素が増え，非日常的な生活環境に変化していることが分かる。また，この変化パターンにおいてもシーンIからシーンVへと段階的な変化傾向がみられ，前項の分析結果と一致する。特にシーンIV，シーンVの２時点の前シーンからの大幅な変化は，この地域の大きな変化期がこの年代にあったと考えられる。

表４は指摘された物的要素と可能行為のうち，時点が現在に近づくに連れて指摘率が減少するもの及び増加するものをまとめたものである。この結果から各シーンに共通して，空や山，水田，風や川の音といった自然系要素が減少し，自転車・自動車，人，道路，人の声，商店，自動者等の騒音等の人工系の要素が急激に増加する。また可能行為では，急激に減少するものはないが，散歩，自然鑑賞，読書等は1962年以降減少傾向にある。一方，スポーツ，ショッピング，観光等の非日常系行為は比較的急激に増加する傾向がみられる。

表３　指摘物的要素と可能行為

物的要素	
自然系	雲・空、山、林・森、街路樹、畑・水田、芝生・花壇、風や水の音、鳥や虫の声
人工系	歩行者・人、自転車・自動車、道路、電信柱・電柱、石垣・生垣、家屋、商店 広告看板類、ﾎﾞｰﾄ、ﾃﾆｽｺｰﾄ、ｺﾞﾙﾌ場、遊園地 人の声、自動車等の騒音
可能行為	
日常	散歩、仕事、休養、読書、日常的な買物、食事、趣味
非日常	ｼｮｯﾋﾟﾝｸﾞ、ｽﾎﾟｰﾂ、登山・ﾊｲｷﾝｸﾞ、観光、自然鑑賞

表４　指摘内容の変化

指摘項目	減少傾向項目	増加傾向項目
物的要素	雲・空、畑・水田 山、風や川の音	自転車・自動車、人 道路、人の声、商店 自動車等の騒音
可能行為	散歩、自然鑑賞 読書	ｼｮｯﾋﾟﾝｸﾞ、観光 スポーツ、食事

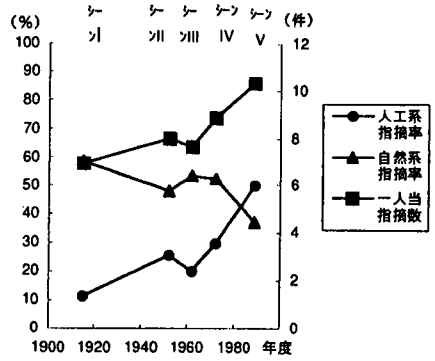


図２　物的要素指摘率と一人当り指摘数

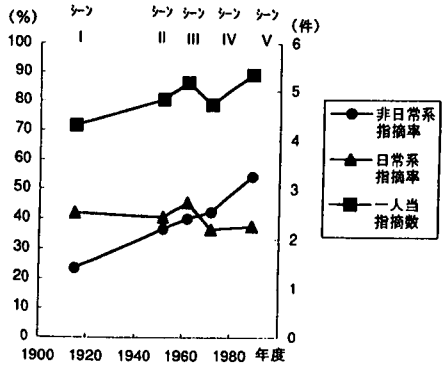


図３　可能行為の指摘率と一人当り指摘数

5.2 地域概念イメージ

各映像の地域イメージを既成の７つの地域概念（自然地域，農村地域，都市郊外，リゾート地域，地方都市，観光地，別荘地）に照らし合わせて，どのような印象を受けるかについて５段階で評価してもらった。この結果を肯定派・否定派に大きく２分し，各シーンごとに肯定派の割合を表したものが図４である。シーンIからシーンVへとリゾート地域，観光地，別荘地は肯定派の割合が段階的に増加しており，特にシーンVでは大きな変化がみられる。これに対し，自然地域と農村地域ではシーンIVまで肯定派割合が高いが，シーンVでは半数以下に減少する。都市郊外と地方都市の肯定率は，どの時点においてもほぼ変わらず半数以下である。こうした傾向から軽井沢の地域景観イメージとしては，自然地域，農村地域が主要であった中に，別荘地イメージがまず成立し，続いてリゾート地域，観光地のイメージが強まってきたものと判断される。

6 地域景観イメージの変容と社会的要因

これまでの分析結果から，シーンIV（1972年），シーンV（1989年）の時点でイメージの大幅な変化がみられ，この時期を境にして，現在の軽井沢地域景観が形成されたことが予想できる。こうした地域の景観的な変化は，地域の社会的状況の変化に起因すると考えられるため，８項目の社会的指標について[8]，その変化を，景観シミュレーションビデオと同時点についてまとめた（表５）。ここに示す居住人口，観光客入込数，別荘件数，産業構造（第１次産業の減少と第３次産業の増大），交通環境等においても72年，89年の時期に急激な変化が生じたことが読みとれる。

そこで，これらの社会的指標が地域概念イメージとどのような関係にあるかをみるために，各時点における地域概念イメージの肯定率と社会的指標の間で単相関分析を行った[9]。この結果を表６にみると，自然地域イメージと別荘件数，三次産業人口の間にいずれも負の相関がみられ，農村地域イメージと別荘件数は負の相関，三次産業人口は正の相関がみられる。リゾート地域イメージは，居住人口，観光客入込数，三次産業人口，制度の適用といずれも正の相関，観光地イメージは観光客入込数，別荘件数，三次産業人口，制度の適用と正の相関がみられ，別荘地は居住人口と正の相関がみられることがわかる。

このように人々が景観シミュレーションビデオから受ける地域概念イメージは，実際の地域変容を表わす社会的指標変化と非常に深い関係にある。これは景観単位という地形図上に現われる実態的な景観を基に作成される

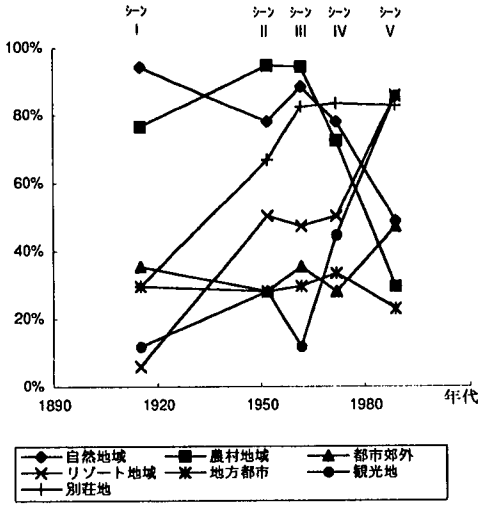


図４ ビデオに対する地域概念イメージ（肯定派の割合）

表６ 地域概念イメージ肯定率と社会的指標の関連構造

	居住人口	観光客入込数	別荘件数	一次産業人口	三次産業人口	交通環境	制度の適用	年中行事
自然地域			＊(-)		＊(-)			
農村地域			＊(-)		＊			
都市郊外								
リゾート地域	＊	＊			＊		＊	
地方都市								
観光地		＊	＊＊		＊		＊	
別荘地	＊							

無相関の検定 ＊：5% ＊＊:1%

表５ 社会的指標の変化

時点	居住人口	観光客入込数（人）	別荘件数（人）（会社・学校寮含）	産業構造 一次産業人口（人）	三次産業人口（人）	交通環境	制度の適用	年中行事
1915年	6874	2971	282	1308	874	2	0	0
1952年	13296	1810000	1648	2278	2514	5	3	0
1962年	13572	2909000	2594	1917	3164	6	3	1
1972年	13633	5776000	5008	1227	4200	10	5	4
1989年	15454	8099000	11473	470	6551	11	7	4

景観シミュレーションビデオが，それぞれの時点の景観イメージのみならず，その背後にある地域を取り巻く社会的状況の変化も反映していることを示している。

7　研究のまとめ

本研究で明らかにした内容を以下のようにまとめる。

（1）景観単位にもとづき景観シミュレーションビデオの作成を行い，心理評価実験を行った結果，各ビデオ間には評価の差異がみられ，景観シミュレーションの再現手法の妥当性が確認された。

（2）リゾート地域イメージと，景観シミュレーションビデオ映像の比較考察において，現状の軽井沢地域は，リゾート地域イメージと全く一致するものではないが，大略の傾向として時間の経過とともにリゾート地域イメージの評価に近づいていることがわかった。

（3）リゾート地域としてのイメージが形成されていく過程と共に，地域で行われる行動が多様化し，自然豊かで日常的な生活環境から，人工的な要素が増え，非日常的な生活環境に変化していることがわかる。

（4）軽井沢のイメージは，別荘地，観光地といった地域イメージと重なっており，その成立は，農村地域，自然地域としてのイメージの低下と連動している。

（5）軽井沢地域は，1962年から1989年への期間を中心に，現状のリゾート地域としてのイメージが形成されてきたことが確認できた。

（6）景観シミュレーションビデオから受ける地域イメージと社会的状況の変化を表わす指標との間の相関分析から，ビデオに再現される地域イメージは様々な社会的指標と正または負の相関がみられ，地域を取り巻く現実の様々な状況と関連の深いことが明かになった。

以上の考察から，本報告の目的である地域景観を景観単位にもとづく景観シミュレーションビデオを用いて再現するという手法の妥当性はほぼ検証され，地域景観イメージの変容過程が把握できたと考えらる。しかしながら軽井沢地域という一地域における考察の枠を出ておらず，今後地域景観イメージの再現手法の汎用性を議論するためには，異なる地域における同様手法の適用に関する考察を行うという課題が残されている。

謝辞

本研究を進めるにあたり，資料提供等ご協力頂いた軽井沢町役場担当者の方々，筑波大学L&R研究会のメンバーの方々および調査の被験者としてご協力頂いた多くの方々に深く感謝いたします。

補注

（1）こうした視覚では捉えられない範囲を対象とした研究は，出田らによるものを含め都市，地域（農村，リゾート等）が対象となっている[1)~8)]

（2）ここでの地域景観とは，点的または線的な場所や都市を構成する単位としての地区といったスケールを越え，1点からの視覚的把握は不可能ではあるが，他の地域とは異なって認識されるような広がりを指すものとし，具体的には一般的な市，町，村程度の範囲の景観を指す。

（3）ここで現在の映像を用いる意味は，歴史的現実の変容過程を扱うのではなく，現在の人々の判断基準に照らして地域の変容をみるということである。つまり，現在を基準として地図情報等に示される過去の時点を再現することの可能性を探っており，この手法により，現在から過去の変容が評価可能となれば，同様に将来的な変容を視覚映像として再現する可能性が示されるからである。

（4）景観カテゴリーの設定を行った研究過程に関しては，文献4に詳しい。

（5）景観シミュレーションビデオの作成基準は以下のようである。（文献4）に詳しい）

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は，あらかじめ3コマと設定する。

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（3.18Km²）。

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。

（6）予備評価実験は1994年に47名の被験者を対象とし1915年，1952年，1989年の3時点の景観シミュレーションビデオについて行った。形容詞対を用いた心理評価の結果を用いて差の検定を行った結果，1952年，1989年の間でほとんどの形容詞対において有為差が認められた。

（7）表1で総コマ数が時点で変化するのは，89年時点の後背景観を3コマと設定し，この時点の後背景観面積と比較して他時点のコマ数設定を行っていることや，景観タイプ数を加味して各景観カテゴリーの設定を行っている点による。

（8）8項目の社会的指標の内，交通環境，制度の適用，年中行事の3項目は，それぞれ道路・鉄道の路線数，区域指定・条例制定，恒例化したまつり等を資料から取り出して整理し，点数化したものである。

（9）単相関分析を行う際には，指標間の単位の差異をなくすため，に各値を標準化した数値を用いた。

参考文献

1）出田　肇，石見利勝：都市の構成要素の認知とイメージの関連分析－兵庫県姫路市におけるケーススタディー，都市計画論文集29，571-576，1994

2）久保　貞，Wu MY他：都市景観の構造に関する研究，造園雑誌，48，312-317，1985

3）山本勝利，横張　真：アンケート調査を用いた地域住民による農村景観評価の把握，農村計画学会誌，10，17-24，1991，271-278，1992

4）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，第30回日本都市計画学会学術研究論文集，229-234，1995

5）後藤春彦：東京旧15区における土地条件に着目した景観単位の設定，日本建築学会計画系論文報告集，370，65-76，1986

6）田中奈美，土肥博至他：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，269-284，1995

7）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5～その7，日本建築学会関東支部研究報告集，321-328，1996

8）井手久登：景観の概念と計画，都市計画83，日本都市計画学会，10-13，1982

軽井沢町と伊東市における地域景観イメージの比較考察

－リゾート地域の成立条件に関する景観的研究　その８－

正会員○田中奈美*2
同　　土肥博至*1

１．研究の目的と方法

本研究は、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、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、成立条件を導くことを研究の目的としている。これまでに長野県軽井沢町、静岡県伊東市を対象地域とし、景観イメージに着目し、それを構成する景観単位という概念を明かにした。さらに、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、景観イメージを視覚映像として景観シミュレーションビデオを作成する手法の検討を行ってきた[1) 3)]。

本報告では、上述の２地域における景観シミュレーションビデオを用いた心理評価実験結果の比較考察を通じ、リゾート地域の成立条件について検討を行うとともに、研究手法の汎用性を検証する。

２．心理評価実験の概要

心理評価実験は、軽井沢町では915年、1952年、1962年、1972年、1989年の５シーンについて景観単位の構成要素を元に景観シミュレーションビデオを作成し、伊東市では、1945年、1959年、1969年、1989年の４シーンを作成し行った[4)]。本報告では、両調査の比較考察を行う観点から、年代の近い軽井沢1952年と伊東1945年をシーンI、1962年と1959年をシーンII、1972年と1969年をシーンIII、1989年をシーンIVとそれぞれ呼ぶものとする。

実験の被験者は、筑波大学の学生、大学院生を中心に軽井沢に関しては1995年１月17・23日に計35名（男24名・女11名）、伊東市は、1995年6月16・19日に計41名（男20名・女21名）で行った。景観シミュレーションビデオの提示順序によってその印象が左右される可能性を考慮し、ランダムに提示し、各シーンの提示後、以下の項目について、自記式で調査票に記入してもらった。

（１）ビデオ映像の景観の全体的な印象に関して５形容詞対についての５段階評価。

（２）印象に残った物的要素を提示24項目から選択。

（３）映像の地域で可能と考える行為を提示13項目から選択（上記（２）とともに複数回答可とした）。

（４）ビデオの地域について、提示した７つの地域タイプ像に照らした５段階評価。

（５）ビデオを離れ、各自のリゾート地域のイメージをのアンケート調査。これは、被験者各自が理想と考えるリゾート地域のイメージや、リゾート地域に必要とされる環境的要素を提示12項目から選択してもらった。

３．被験者集団の理想のリゾート地域像

まず軽井沢と伊東の両実験の被験者集団の特性を各自が理想とするリゾート地域に関する回答状況にみていく。図２右端にビデオ映像の評価に用いたものと同様の５形容詞対に対する回答の平均値を示した。これをみると、いずれの形容詞対に関しても軽井沢と伊東の被験者集団の理想とするリゾート地域のイメージは近い所にあり、特に、「明るい」、「趣のある」、「非日常的な」等の印象の強い地域であることが伺える[5)]。また、リゾート地域に必要と考える環境的要素についての回答も図１に示すように「自然環境」、「別荘地」、「温泉」の順で軽井沢、伊東とも50％以上の指摘率となっており、次いで「観光地」、「遊園地・テーマパーク」、「美術館・博物館」、「商業地」、「史跡・伝統地区」となっている[6)]。

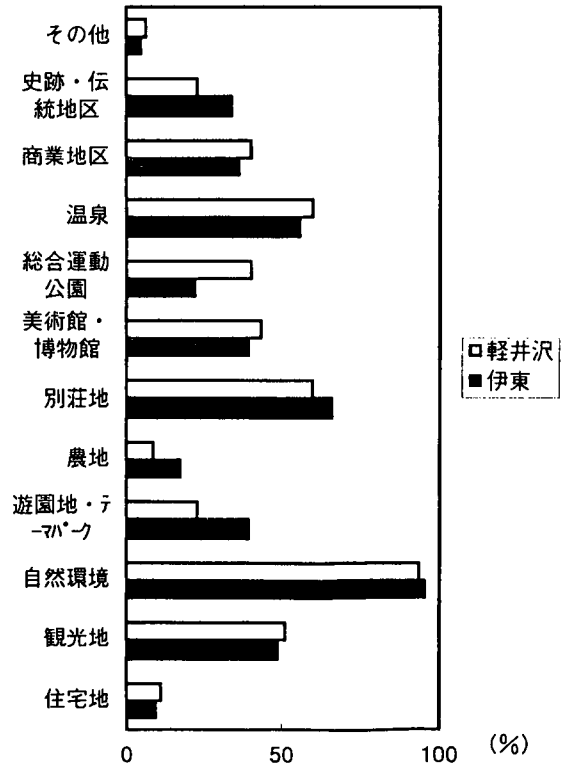


図１　リゾート地域に求められる環境要素

以上の結果から、一般的なリゾート地域のイメージは「明るい」、「趣のある」、「非日常的な」ものであり、「自然環境」、「別荘地」、「温泉」等の環境要素を備えていると認識されているといえよう。また、両調査の被験者集団が同様の理想のリゾート地域像を有していることから、以降、実験結果を用いて軽井沢と伊東の地域景観イメージに関する比較考察を行うことは妥当と考える。

4．景観イメージの変化と傾向

まず、調査項目（1）の景観の全体的な印象についての地域間比較を行うため、5形容詞対毎に評価結果の平均値のシーン間での変化状況および、理想と考えるリゾート地域のイメージを示した（図2）。

両地域の変化傾向をみると、近年に近づくにつれ、「趣のある」、「明るい」、「変化に富む」への評価が強くなる点や、「嫌いな－好きな」に関してはどの時代でも変化があまりない等の類似傾向がわかる。唯一、「非日常的な－日常的な」で両地域の値が離れる傾向にある。

また、先述した一般的な理想のリゾート地域の印象と、軽井沢や伊東のシーンIVが表わす現状に最も近い地域のイメージは必ずしも一致するものではない。これは思い描くリゾート地域と、現実のリゾート地域の間のギャップを示しており、特に理想では「非日常的な」や「明るい」イメージが強いことがわかる。しかし、「変化に富む」、「趣のある」、「明るい」等の指標に関しては時間の経過とともに理想に近づく傾向もみられる。

5．環境的要素、可能行為の変化傾向

リゾート地域に必要とされる環境的な要素および、提示映像の地域で可能な行為について環境要素は自然系、人工系に、行為は日常系と非日常系に分けて両調査地域で調べた結果を図3、4に示した。

環境要素は両地域とも大略として時間の経過とともに自然系は減少し、人工系が増加する傾向にあることがわかる。また、一人当たりの指摘数も増加する傾向にある。母比率の差の検定を行った結果、人工系指摘率に関しては軽井沢でシーンIIIとIVの間で、伊東ではシーンIIとIIIの間に有為差がみられた。これは景観シミュレーションビデオから受ける印象として、伊東の方が軽井沢より若干早い時期に景観の変容がみられたと推察できる。

可能行為種目に関しては、両地域とも非日常系指摘率が段階的に増加していく。これは両地域においてシーンIとIVの間に有為差がみられることからも明かである。一方、日常系指摘率はばらつきがあるものの、緩やかな減少傾向である。一人当たりの指摘数についてもシーン間でやや異なるが、両地域は類似の傾向で増加する。こうした変化の具体的な環境要素および可能行為に用いた指摘項目を表1に示す。両地域で共通して減少する環境要素は「雲・空」、「畑・水田」、増加するのは「自転車・自動車」、「道路」、「人の声」、「自動車の騒音」となっており、人工系が増加し、自然系が減少していることがわかる。地域差では、軽井沢が人工系の要素が共通の項目を含めて増加する項目数が多く、伊東は共通の要素以外はみられない点が特徴的である。一方、減少する自然系の要素は伊東の方により多くみられる。このことから軽井沢は伊東より人工的要素が多くなる傾向にあり、伊東はより自然的要素が少なくなると考えられる。

行為項目で共通して減少するのが「自然鑑賞」、増加するのは「ショッピング」、「観光」となり、非日常系の

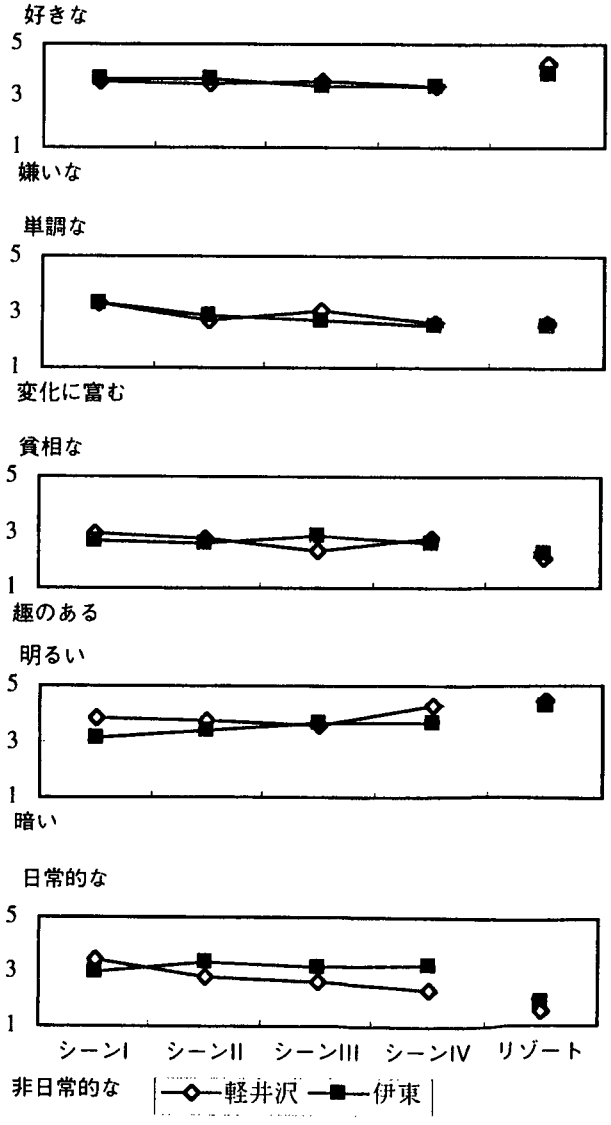


図2　景観イメージの印象評価

行為が増加する。地域別の傾向として軽井沢では日常系の行為が減少し、伊東では自然的環境で行われる非日常系の行為が減少しており、先述した環境要素項目において自然系の減少が顕著であったことと同調する結果である。増加する項目については伊東の方が多くなっている。

環境要素と可能行為の指摘変化に関する考察からは総じて両地域とも自然豊かで日常的な生活環境から、人工的な要素が増え、非日常的な生活環境に変化していることが分かる。また、変化パターンでもシーンⅠからⅣへとおよそ段階的な変化傾向がみられ、特に軽井沢ではシーンⅢとⅣ、伊東ではシーンⅡとⅢの間に差異があり、この時期が当該地域の変化期であったと推測される。

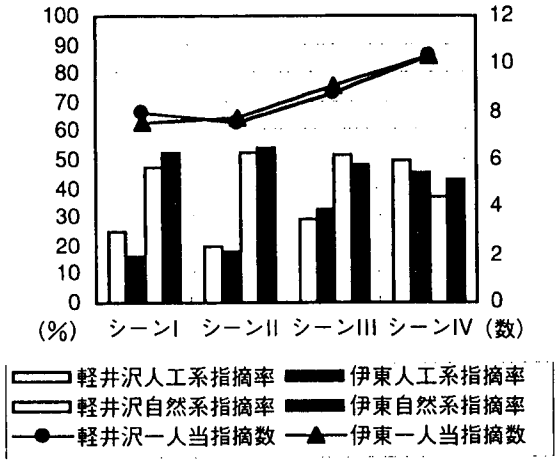


図3　環境要素の指摘率と指摘数

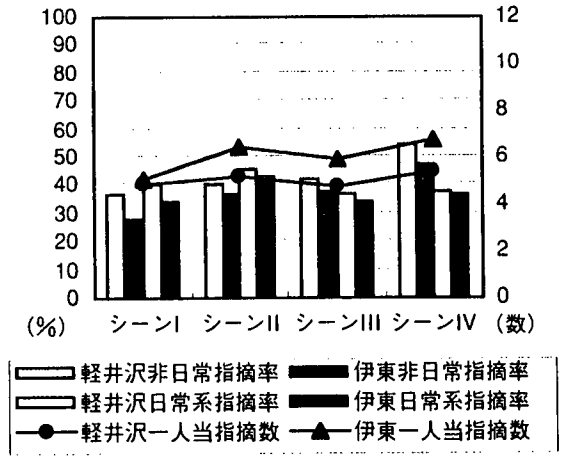


図4　可能行為の指摘率と指摘数

表1　指摘項目の変化傾向

指摘項目	減少（共通）	減少（軽井沢）	減少（伊東）
要素	雲・空 畑・水田	鳥や虫の声	林・森、果樹園 風や川の音
行為	自然鑑賞	散歩、読書 休養	登山、ﾊｲｷﾝｸﾞ 創作

指摘項目	増加（共通）	増加（軽井沢）	増加（伊東）
要素	自転車・自動車 道路、人の声 自動車の騒音	歩行者・人 電柱・電線 商店、街路樹 広告看板類	
行為	ショッピング 観光	食事	スポーツ 日常的な買い物 外食、別荘滞在

6．地域イメージの変化傾向

地域イメージについては7種類の地域タイプを提示し、両地域の各シーン毎への回答の内、肯定的意見と捉えられる「非常にそう思う」、「ややそう思う」への指摘率を肯定率として示した（図5）。両地域でほぼ共通して時間の経過とともに肯定率が増加する傾向ある地域イメージは、『リゾート地域』、『都市郊外』、「別荘地』、『観光地』であるが、シーンⅣで半数を超えるのは『リゾート地域』、『観光地』である。軽井沢では『リゾート地域』のイメージはシーンⅢとⅣの間で、伊東ではシーンⅡとⅢの間で急激に増加している。また、『都市郊外』イメージは伊東のみ、『別荘地』は軽井沢のみで高くなる。逆に低くなる地域イメージは、『自然地域』、『農漁村地域』で、いずれも伊東ではシーンⅡとⅢの間で、軽井沢ではシーンⅢとⅣの間で急激に減少しする傾向がみられる。『自然地域』に関しては、伊東のシーンⅣでわずかに半数を上回っているものの『農漁村地域』はいずれも30%前後にまで落ち込む。

こうした結果から、両地域ともに『自然地域』、『農漁村地域』が突出した地域から『リゾート地域』、『観光地』イメージの強い地域へと変化していったことがわかる。しかし、軽井沢では『別荘地』のイメージが同様に強まるのに対して、伊東では『都市郊外』、『地方都市』イメージが強くなっており、現状に最も近い地域イメージには若干の差異がみられる。さらに、変化傾向についても急激な変化がそれぞれ起きている時期は異なっており、軽井沢ではシーンⅢとⅣの間、伊東ではシーンⅡとⅢの間となっている。この変化時期に関する傾向は、前項の環境要素や可能行為についての考察でも同様であり、伊東の方が様々な開発行為等によって生じる地域変容が軽井沢よりやや早い時期に起きたと考えられる。

7．研究のまとめ

本研究で明らかになった事項を以下にまとめる。

（1）軽井沢と伊東の被験者集団の理想のリゾート地域像が同様の特性を示すことから、リゾート地域は一般に「明るい」、「趣のある」、「非日常的な」イメージが強く、

「自然環境」、「別荘地」、「温泉」等の環境要素を備えている地域と認識されていることが明かになった。

（2）景観シミュレーションビデオを用いて調べた景観イメージの変化傾向では両地域とも近年に近づくとともに「趣のある」、「明るい」、「変化に富む」等の印象が強くなる傾向で、「嫌いな－好きな」に関してはどの時代でも変化がみられないといった類似点が分かった。

（3）環境的要素と可能行為の指摘変化傾向からは両調査地で共通して人工的要素、非日常行為が増加し、自然的要素、日常行為が減少し、環境の変化が顕著であった。

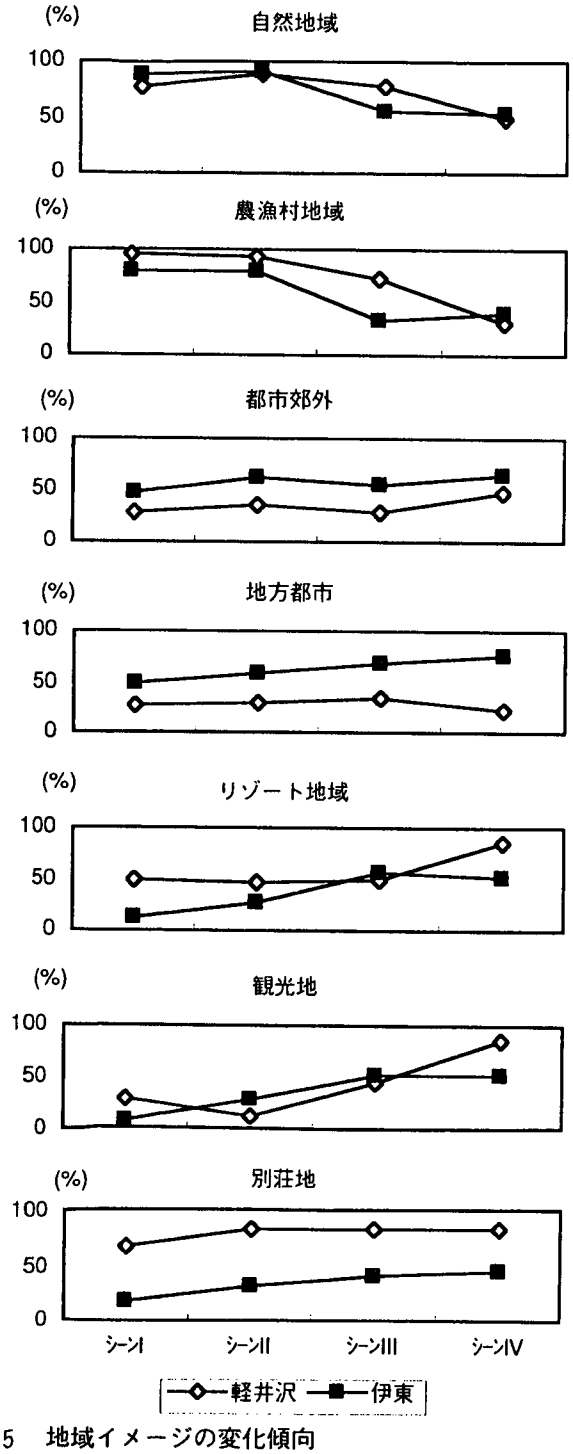


図5　地域イメージの変化傾向

（4）地域イメージは両地域とも『自然地域』、『農漁村地域』が突出した地域から『リゾート地域』、『観光地』イメージの強い地域へと変化していった。しかし、軽井沢では『別荘地』のイメージが強まるのに対して、伊東では『都市郊外』、『地方都市』イメージが強くなっており、現状の地域イメージには若干の差異がみられた。

（5）環境的要素、可能行為、地域イメージのシーン間の考察から、景観イメージの大幅な変容の生じた時期は軽井沢と伊東では異なり、総じて伊東の方が軽井沢より早い時期であった。

リゾート2地域での景観シミュレーションビデオを用いた評価実験の比較考察からは、総じて同様の変化傾向がみられ、リゾート地域の成立状況を把握することができた。また変化の時期をみることから、各地域の変化特性ともいえる変容時期が明かになった。このようにリゾート地域の成立条件に関して2地域で同様の傾向が明かになったことで景観シミュレーションビデオを用いて地域景観の再現を試みた当該手法の汎用性はほぼ検証され、さらに地域景観の変容時期を把握する道具となることが分かった。今後の課題は、これらの結果と地域の社会的状況変化の関係等について考察を進め、リゾート地域の成立条件に関する知見を深めることと考える。

謝辞

本研究を進めるにあたり調査に協力頂いた被験者の方々と、筑波大学L&R研究会のメンバーにこの場を借りてに御礼を申し上げます。

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7、日本建築学会関東支部研究報告集、1995～1996

2）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，第30回日本都市計画学会学術研究論文集，229-234，1995

3）田中奈美、土肥博至：地域景観イメージの把握とその変容過程に関する考察、第31回日本都市計画学会学術研究論文集，649-654，1996

4）実験の経緯等詳細は注1)、2）の既発表文献に詳しい。

5）統計解析ソフト「エクセル統計」を用いて母平均の差の検定を実施したところ有為差はみられなかった。

6）上記5）と同様のソフトを用い母比率の差の検定を実施したがここでも有為差はみられなかった。

*1正会員　筑波大学芸術学系　教授　工博
*2正会員　建設省土木研究所　科学技術特別研究員　博士（デザイン学）

▶ 建設省技術研究会報告特集 ◀

歴史的・文化的土木施設の保存・活用

建設本省、土木研究所、地方建設局等

1. はじめに

近年、個性的で魅力ある地域づくりが望まれているが、地域の個性とよばれるものには、その地域の自然、歴史、文化が重要な役割を果たしている。どの地域においても骨格ともいうべき社会資本整備、公共施設整備が行われているが、中でも土木施設はこうした社会基盤整備の中核を占めるものである。整備される土木施設は、地域において土木施設として課された機能的役割を果たすことはもちろんであるが、時間の経過とともに地域らしさの象徴ともなり得る歴史的・文化的側面を有しており、地域の個性づくりへの貢献度は高いものと考える。つまり、土木施設そのものが地域の歴史性、文化性を表すものであり、その保存・活用の状況を把握することは、地域に住む人々の心に何があり、また何を求めているのかを映すものであるといえる。

建設省としてこの課題に取り組む意義は、個性ある地域づくりを演出する素材としての歴史的・文化的土木施設の保存・活用の方向性を地域における現状の把握を通じて検討することにある。

そこで、本研究では地方史誌に記述のあった土木施設を事例として取り上げ、以下の事項について調査を行い、調査結果の分析を通じて歴史的・文化的な土木施設の保存・活用状況の把握を行うと共に今後の保存・活用方策の検討を行った。

① 調査対象施設の概要把握
② 調査対象施設の現状把握
③ 調査対象施設の保存・活用
④ 調査対象施設の景観的印象状況

2. 調査方法

本研究は、先述したように土木施設の保存・活用について、その現状把握と保存・活用方策の検討を行うことを目的としているため、建設省所管施設以外の施設も調査対象としている。さらに地域における土木施設に対する認識度という観点から、市町村史に記述のある施設を抽出し調査を行った（本研究は歴史性、文化性の両面から調査を行っているため戦後竣工されたものについてもデータに含む）。具体的には、市町村史の提供を得られた全国44府県（東京都、宮城県、徳島県を除く）の市町村史より土木施設に関する記述の抽出を行った。中でも本研究は対象土木施設を橋梁、隧道、ダム（堰堤、堰）、水門（水門、閘門、樋門）、その他（運河・分水路及びそれ以外）に限って抽出した。

この抽出した土木施設について各地方建設局、北海道開発局、沖縄総合事務局に調査を依頼し、現地調査を行った。

調査項目と調査目的の関係は、下記のとおりである。

(1) 調査対象施設の概要把握に関する項目

① 名称
② 別称
③ 所在地（地図添付）
④ 竣工年
⑤ 種別

(2) 調査対象施設の現状把握に関する項目

① 現況（建設当時のまま保全、修復、移設、取り壊し等）
② 改修・移設・取り壊し年
③ 管理者（完成時、破壊時、現在）
④ 維持費用（年間平均）
⑤ 土木施設としての機能
⑥ 使用目的
⑦ 形式
⑧ 素材
⑨ 諸元
⑩ 施設までのアクセス方法（地図添付）
⑪ 写真資料

(3) 調査対象施設の保存・活用に関する項目

① 積極的な保存・活用の取り組みの有無
② 整備状況
③ 整備事業費用
④ 保存・活用の理由

Conservation and Practical Use of Historical and Cultural Civil Engineering Heritages Structures

⑤ 意志決定の過程(資料添付)
⑥ 委員会(設置の有無、主催者種別)
⑦ 有識者参画の有無
⑧ 唱道者種別
⑨ 市民参加(市民参加の有無、陳情の有無、資金負担の有無、労働力提供の有無)
⑩ 自治体関与(陳情の有無、資金負担の有無)
⑪ 国の関与の有無
⑫ 文化財指定(指定の有無、指定年)
⑬ 保存・活用状況(刊行物等掲載の有無、掲示の有無、地域利用、観光利用)

(4) 調査対象施設の景観的印象状況に関する項目

① 自然との調和
② 日常的存在
③ 荘厳
④ 目立つ
⑤ デザイン性に富む
⑥ 汚れ

3. 調査結果の概要

現在までに歴史的・文化的な土木施設については、土木学会の近代土木遺産調査小委員会および同歴史的・文化的土木施設調査特別委員会により、戦前までの建設省所管施設について、現存の確認が行われており、その数は8,018件となっている。またそれらの土木施設については現在データベース化が行われているところである。

本研究で市町村史より抽出を行った橋梁、隧道、ダム(堰堤、堰)、水門(水門、閘門、樋門)、その他(運河・分水路及びそれ以外)の抽出数は約12,103件であり、各地方建設局等による現地調査の結果、上記調査項目について有効な回答を得られた件数は4,206件となった。またそのなかで、積極的な保存・活用がなされている土木施設数は515件であった。

積極的な保存・活用が行われている515件について調査への回答結果を概観する(図-1)。施設分類別回答数構成比をみると、橋梁がもっとも多く58%(295件)、つづいてダムが30%(151件)、水門等(22件)、隧道(16件)となっている。

有効回答4,206件の施設管理者の構成比としては国5%(202件)、都道府県29%(1,228件)、市町村42%(1,789件)、民間4%(151件)、その他6%(240件)となっている(図-2)。

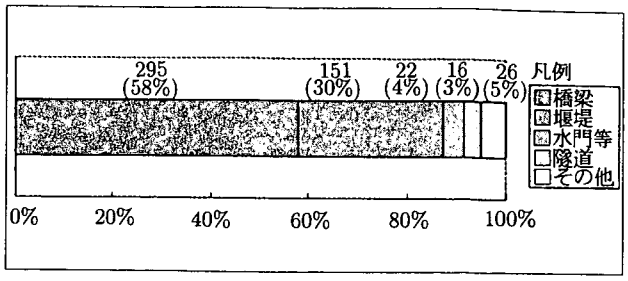


図-1 施設分類別回答数構成率

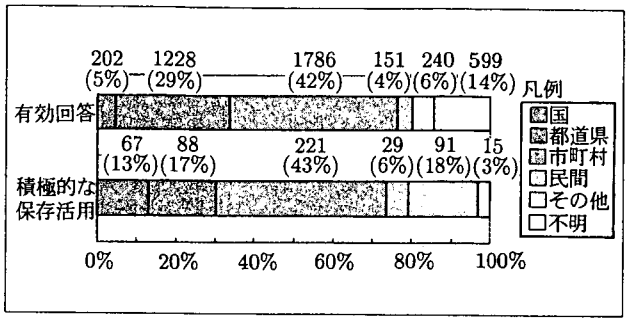


図-2 施設管理者構成比

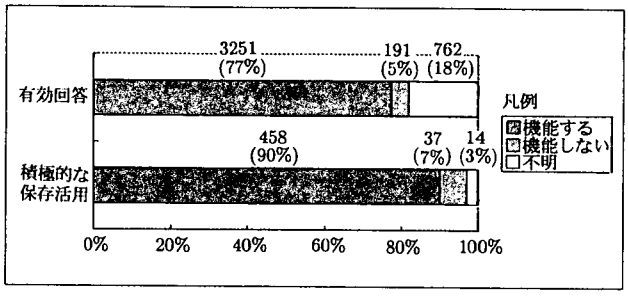


図-3 土木施設としての機能

また、積極的な保存・活用がされている施設515件についての施設管理者構成比は国13%(67件)、都道府県17%(88件)、市町村43%(221件)、民間6%(29件)、その他18%(91件)となっている。

施設管理者構成比をみると有効回答全体、積極的な保存・活用がなされている施設とも国以外が管理しているものの割合が高く、建設省として今後の土木施設の保存・活用を考える上では、これらの地方自治体管理の施設についてその保存・活用にどのようにかかわっていくか検討をする必要がある。

有効回答があった施設の土木施設としての機能をみると「機能する」77%(3,251件)、「機能しない」5%(191件)となっている(図-3)。

また、積極的な保存・活用がなされている施設の土木施設としての機能をみると「機能する」90%(458件)、「機能しない」7%(37件)となっており、多くのものが土木施設としての本来の機能を有しているのがわかる結果となっている。

土木施設は美術品とは違い「機能」をともなってこそ、その意味があるといえ、今後土木施設の保存を考えるうえでも、「保存＝機能」を念頭に置いて、その保存を行っていく必要がある。

景観に関する印象については、「自然との調和」、「周辺施設との調和」「日常的存在」などで4割を越える結果となった。有効回答に比べると保存・活用がなされている施設についての景観的な印象は2倍以上の結果となっている(図-4)。

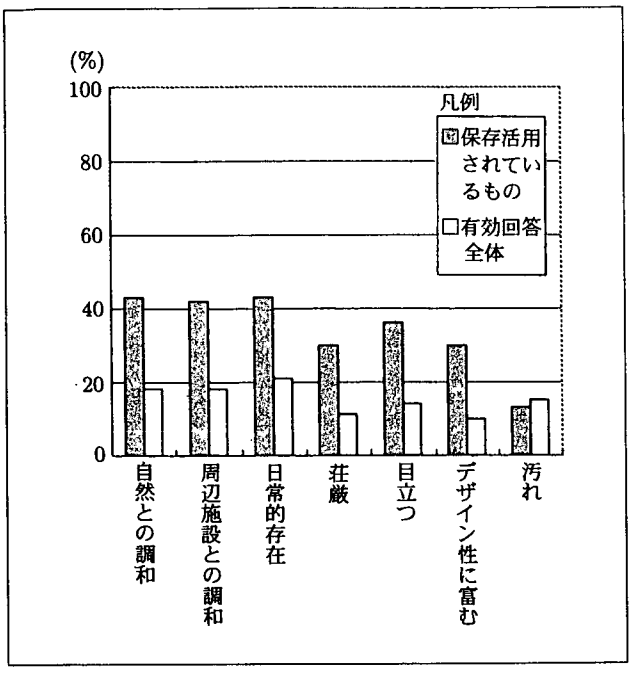


図-4 景観に関する印象

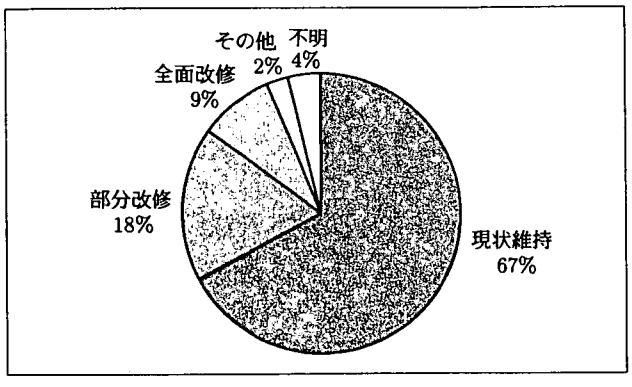


図-5 整備状況

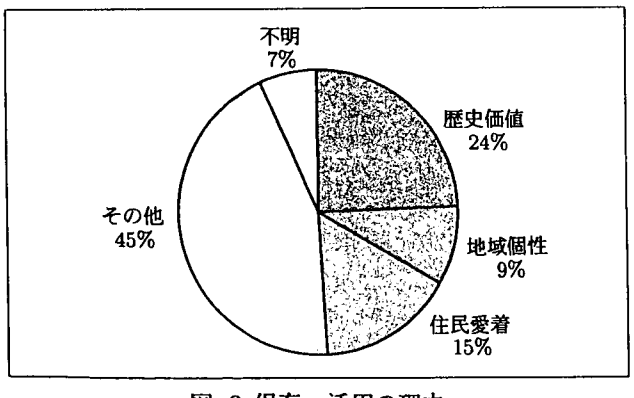


図-6 保存・活用の理由

積極的な保存・活用がなされている施設の整備状況としては、「現状維持」67%(341件)、部分改修」18%(91件)、「全面改修」9%(45件)、「その他」2%(12件)となっており、7割近くの施設が建設当初の姿を保っているという「現状維持」に回答しており、ついで「部分改修」「全面改修」となっている(図-5)。

積極的な保存・活用がなされている施設の整備状況は、7割近くの施設が建設当初の姿を保っている「現状維持」との結果となったが、これは土木施設が強固に作られていることを示すといえる。

積極的な保存・活用がなされている施設の保存・活用の理由としては「歴史的価値」24%(137件)、「地域の個性」9%(50件)、「住民愛着」15%(86件)、「その他」45%(250件)となっている。保存・活用の理由については「その他」以外では「歴史価値」、「住民愛着」、「地域個性」の順になっており、「その他」が約半数を占める結果となった(図-6)。

4. 事例整理

本調査の結果から、特に積極的な保存・活用がなされている事例について各地建等ごとに図-7のような形式でまとめる作業を行った。

4.1 抽出基準

各地建から収集した調査結果で以下の項目への回答状況に「有」の回答が多く示されたもので、その内容に関して写真、意思決定の過程に関する資料等の添付が得られた積極的な保存・活用が行われていると判断される事例の抽出を行った。

① 委員会設置の有無(主催者)
② 有識者、唱道者
③ 市民参加(陳情・資金負担・労働力)
④ 自治体の関与(陳情・資金負担)
⑤ 国の関与
⑥ 文化財指定(指定の有無・指定年)
⑦ 活用状況(掲載・掲示・公園化の有無)
⑧ 利用状況(地域・観光)

4.2 施設別の抽出事例状況

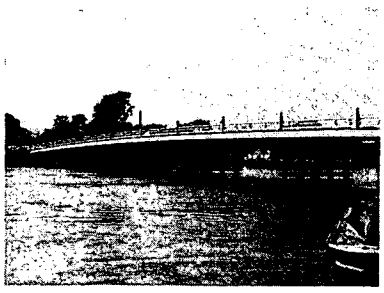
抽出された施設を管轄別に整理すると表-1のようになる。これらの施設中から施設種別(橋梁、ダム、隧道、水門)及び、全地域的な偏りが生じないように今回は10の事例について取りあげた。

名称		別称		所在地	竣工年	種別	現況	現管理者	土木施設機能	
瀬田唐橋				滋賀県大津市	1924年	橋梁	架け替え	都道府県	機能を果たす	
形式	素材	諸元		保存・活用時の整備状況		整備費	理由	委員会主催者	有識者	提唱者
桁	鋼	全長224m	全幅14m	全面改修		1,725百万円	歴史的価値	有	有	都道府県職員
市民参加			自治体関与		国の関与	文化財指定	活用状況			
陳情	費用	労働力	陳情	費用			掲載	掲示	公園	地域	観用
有	無	無	有	無	有	無	有	有	無	よく利用	あまり利用せず

保存・活用の経緯

古来から東海道、中山道が草津で合し、京都へ通じる喉元で交通の要衝であった唐橋は古くから存し、幾多の架け替えが行われた。天正3年織田信長が架橋したときは、中之島を挟んで大小の二橋となり、その壮麗さは瀬田橋架橋史上の一新時期をかくしたようである。明治以降では、明治8年国が架け替え、明治28年および大正13年には県が架け替えを行った。大正13年の架け替えでは5本の鉄筋コンクリート柱からなる橋脚の上に長さ10.9mのI形の鋼桁が並べられた形式となった。昭和40年県が上部工補修工事をし、昭和50年より架け替えが行われ現橋となる。

現橋の設計に当たっては「瀬田唐橋架換対策委員会」により審議が行われ、特に径間長、桁高、橋脚の外観形状について議論がなされた。その結果、上部構造については、桁高をできる限り低くし、古来の太鼓型のイメージを残す6%放物線縦断線形としている。また、基本的な構造は旧来のものと同じとし、擬宝珠は銘の入った旧のものを用いる等の配慮がなされた。橋脚、橋台についても同様に旧の橋に似せる等の工夫がなされている。



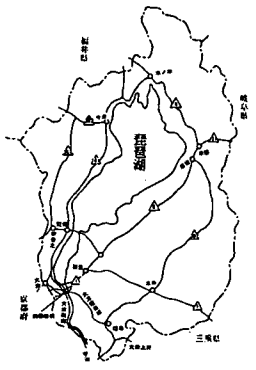


図-7 事例の整理形式例

5. 積極的な保存・活用がなされている施設の利用(観光・地域)状況とその要因について

ここでは積極的な保存・活用がなされている施設の利用状況が保存・活用についての取り組みとどのような関係を有しているかを調べることを目的に分析を行った。分析は観光での利用、地域での利用を目的変数とし、景観的印象7項目(自然との調和、周辺施設との調和、日常的存在、荘厳さ、目立つ存在である、デザイン性に富む、施設の汚損)、活用状況3項目(パンフレット等への掲載、看板などによる掲示、公園としての利用)、積極的な保存・活用に関する項目10項目(委員会設置、有識者参画、市民参加、市民の陳情、市民による資金負担、市民による労働力提供、自治体の陳情、自治体による資金提供、国の関与、文化財指定)の20項目を説明変数とした重回帰分析を実施した。重回帰分析は定量的データを予測する変数とした、線型(1次)の関係式として得られ、いくつかの特性・要因についてそれぞれの係数(ウエイト)を得ることにより、予測式として用いられるものである。

ここでは、保存・活用施設全体とサンプル数の多い橋梁について分析の結果を述べる。

5.1 観光での利用

(1) 保存・活用されている施設全体に関する分析(表-2)

修正済決定係数0.729となった。修正済決定係数とは、回帰式の有効性を評価する決定係数を自由度で補正したものであり、この0.729という値は、目的変数(この場合は観光での利用)の持つ情報のうち、72.9%は先に挙げた20項目の変動で説明できることを示している。また、表中にでてくるF値とは、説明変数が目的変数の予測に役立つかどうかを判断する指標である。F値はつぎのように求められる。

$$F\text{値} = \{(\text{偏回帰係数})/(\text{偏回帰係数の標準誤差})\}^2$$

このF値が有意か有意でないかの判定は、一般に「F値が2以上ならば有効な変数、2未満ならば不要な変数」として変数の選択を行うと良いとされている。

「文化財指定」、「施設の汚損」、「自然との調和」が1%、「市民による資金負担」、「日常的存在」、「委員会の設置」が5%有意となっている。

観光での利用については、ここで分析に用いた20項目の説明変数により大きな影響を受けているのがわかる。特に、「文化財指定」「施設の汚損」「自然との調和」「市民による資金負担」「日常的存在」「委員会の設置」の影響力が高く、「文化財指

表-1 抽出事例

	橋梁	ダム	隧道	水門	その他
北海道開発庁		笹流ダム			
東北地建	上ノ橋(岩手県)				
関東地建	旭橋(千葉県) 旧碓井線橋梁(群馬県)	丸沼ダム(群馬県) 榛名山砂防堰堤(群馬県)			
北陸地建	眼鏡橋(長野県)	森・倉科新堰(長野県) 大塚堰(新潟県)			
中部地建	勧進橋(三重県)			五六閘門(岐阜県) 船頭平閘門(愛知県)	
近畿地建	瀬田唐橋(滋賀県) 輪橋(和歌山県) 羽渕鋳鉄橋(兵庫県) 耶馬渓橋(奈良県) オダニの車橋(奈良県) 呉橋(奈良県) 池下橋(奈良県) 石坂石畳橋(奈良県)	高山ダム(京都府) 愉鶴羽ダム(兵庫県) 九頭竜ダム(福井県) 室生ダム(奈良県) 高山ダム(京都府) 十郷大堰(福井県)			
中国地建		美款ダム(鳥取県)			
四国地建	合良橋(愛媛県) 御幸橋(愛媛県)				棚田の石積み (愛媛県)
九州地建	眼鏡橋(長崎県) 祇園橋(熊本県) 恒吉太鼓橋(鹿児島県) ガイテ橋(大分県) めがね橋(大分県) 野宿の架橋(大分県) 巨石の橋(大分県) 小川橋(大分県) 美々津橋(宮崎県) 本谷昭和橋(宮崎県) 八天神社眼鏡橋(佐賀県)	松井用水堰(宮崎県) 岩熊井堰(宮崎県) 金峰堰(鹿児島県)	川原隧道(大分県) 青の洞門(大分県) 山仮屋隧道(宮崎県) 新田川トンネル(鹿児島県) 二重トンネル(鹿児島県) 青の洞門(大分県)		
沖縄総合事務局	池田矼 カフンジャー橋				

表-2 分析結果(観光・施設全体)

	標準偏回帰	F値	判定	単相関
文化財指定	0.201	13.2	**	0.32
施設の汚損	-0.162	12.4	**	-0.467
自然との調和	0.245	7.93	**	0.676
市民による資金負担	0.125	6.28	*	-0.24
日常的存在	0.196	5.02	*	-0.756
委員会の設置	0.122	3.95	*	0.253

重相関係数 0.87　決定係数 0.757　修正済決定係数 0.729
**：1%有意　　*：5%有意

表-3 分析結果(観光・橋梁)

	標準偏回帰	F値	判定	単相関
市民による資金負担	0.371	18.5	**	0.308
文化財指定	0.305	8.81	**	0.187
施設の汚損	-0.214	6.84	*	-0.602
目立つ存在である	0.28	5.35	*	0.675
自治体による資金負担	0.196	5.02	*	-0.756
自然との調和	0.296	4.5	*	0.689

重相関係数 0.87　決定係数 0.757　修正済決定係数 0.729
**：1%有意　　*：5%有意

定」によるお墨付きや「施設の汚損」を避けるためのメンテナンスなどが重要であることがわかる。

(2) 保存・活用されている橋梁に関する分析(表-3)

修正済決定係数0.693となった。

「市民による資金負担」、「文化財指定」が1%、「施設の汚損」、「目立つ存在である」、「自治体による資金負担」、「自然との調和」が5%の有意となっている。

橋梁についても、土木施設全体の場合と同様に20項目の説明変数により大きな影響を受けているのがわかる。「市民による資金負担」「文化財指定」「施設の汚損」「目立つ存在である」「自治体による資金負担」「自然との調和」は特に影響力が高く、土木施設全体の場合と同様に「文化財指定」「施設の汚損」は観光に関して大きく影響する。同時に、橋梁については「市民による資金負担」が大きく影響しているのがわかる。このことより市民による施設の保存・活用への努力が、他地域からの観光という形で現れるということが予測できる。

5.2 地域での利用

(1) 保存・活用されている施設全体に関する分析（表-4）

地域での利用状況に影響を及ぼす保存・活用の取り組みに関しては、重回帰分析の結果修正済決定係数0.345となっている。これは地域での利用に関しては今回調べた保存・活用の取り組みに関する項の影響力は低いことを示すものである。

「委員会の設置」、「日常的存在」は1%、「自治体の陳情」が5%の有意となっている。

決定係数があまり高くないため地域での利用に関しては、先ほどあげた説明変数では説明しきれないが、地域での土木施設の利用は「委員会の設置」「日常的存在」「自治体の陳情」がよく説明しているといえる。

(2) 保存・活用されている橋梁に関する分析(表-5)

全体の場合と同様に修正済決定係数0.300となった。

表-4 分析結果(地域・施設全体)

	標準偏回帰	F値	判定	単相関
委員会設置	-0.414	18.8	**	-0.186
日常的存在	0.371	7.47	**	0.499
自治体の陳情	-0.214	4.07	*	-0.238

重相関係数 0.87　決定係数 0.757　修正済決定係数 0.729
**：1%有意　　*：5%有意

表-5 分析結果(地域・橋梁)

	標準偏回帰	F値	判定	単相関
荘厳である	0.785	9.04	**	0.07
デザイン性に富む	-0.595	5.49	*	-0.029
自治体による資金負担	0.312	4.08	*	0.015

重相関係数 0.87　決定係数 0.757　修正済決定係数 0.729
**：1%有意　　*：5%有意

「荘厳である」が1%、「デザイン性に富む」、「自治体による資金負担」が5%の有意となっている。

橋梁についても同様に決定係数があまり高くないため、先ほどあげた説明変数では説明しきれないが、地域での橋梁の利用は「荘厳である」「デザイン性に富む」「自治体による資金負担」の項目がよく説明しており、橋梁については設計時のデザイン等が利用に大きくかかわっていくのがわかる。

6. おわりに

本研究では地方史誌に記述のあった土木施設を事例として取り上げ、調査を行い、歴史的・文化的な土木施設の保存・活用状況の把握を行うと共に今後の保存・活用方策の検討を行うことを目的に考察を行ってきた。全国における市町村史の収集を試み44県における資料は得られたものの、各県における全市町村史の入手には至らず、総数的には全国の約半数程度と考えられる。こうした資料的な限界を有してはいるものの、実際に全国で約500件の土木施設が、歴史的あるいは文化的観点から積極的に保存・活用されていることが明らかになったことは意義深いものと考える。

現在積極的な保存・活用がされている施設について事例整理の作業を行っているところであり、本調査の結果と昨年までの歴史的・文化的施設に関する調査・研究の内容をふまえ、今後地域での土木施設の保存・活用を行う際の指針となるような保存・活用の基本的な考え方や参考となる様々な事例を中心にガイドライン(案)の策定を検討中である。

＜担当＞
建設省大臣官房技術調査室
建設省土木研究所環境部環境計画研究室
建設省各地方建設局
北海道開発局
沖縄総合事務局

＜文責＞
建設省土木研究所環境部環境計画研究室長　丹羽　薫
同　環境計画研究室主任研究員　並河良治
同　環境計画研究室研究員　舟橋弥生
同　環境計画研究室特別研究員　田中奈美

◆ 景観特集 ◆

歴史的土木施設の保存・活用の現況

丹羽　薫* 並河良治** 舟橋弥生*** 田中奈美****

1. はじめに

近年、生活の質の向上が望まれ、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。しかしながら種々の土木施設は、現在の日本の景観に大きなインパクトを与えているため、デザイン面での配慮が望まれる。

そこで現在、個性的でデザインの優れた歴史的・文化的価値をもつ土木施設について、その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、役立てるための技術開発を行うことが望まれている。建設省では平成6年度より総合技術開発プロジェクトとして「歴史的・文化的施設の保存技術の開発」を行っており、地域での土木施設の保存・活用への取り組みの現状については、平成8年度建設省技術研究会指定課題「歴史的・文化的施設の保存・活用」において全国調査を行い、検討を行った[1),2)]。

本稿では、さらにこの問題について先行事例である諸外国における文化遺産の評価制度、保存活用状況の紹介を行い、あわせて我が国における制度の現状について明らかにしていく。

2. 諸外国の文化遺産の保護活用

2.1 概要

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存・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る。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、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「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(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。

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博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。

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[3),4)]。

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

Present State of Conservation and Practical use of Historical Civil Enginerring Heritages

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。

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、判り易いものとなっている。

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(表-1)。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。

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

表-1 文化遺産の指定又は評価のための基準

米国	英国	カナダ	ユネスコ
登録基準	登録基準	国家的歴史的重要性指定の一般基準	文化遺産登録基準
アメリカの歴史、建築様式、考古学、工学および文化においての意義というものは、場所、意匠、周囲(環境)、材料、手際(腕前)、感覚および連想の適格性を持つ地区、遺跡、建物、構造物および事物の中にあり、 1. それはわれわれの歴史の広い構成に重要な貢献をしてきた事件に関係のあるもの。 2. われわれの過去に重要な人々の生涯に関連するもの。 3. 類型の明確な特徴、時代を具現するか、建設の方法、マスター(親方)の作品を代表する、あるいは高い芸術的価値を有するか、個々の区別が不足するかもしれない重要かつ明瞭な本質を代表するもの。 4. 先史または歴史において重要な情報を生み出してきたか、あるいは生み出すかもしれないもの。	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。 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している。 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す。 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恰好の事例となっている(公園広場、テラス、モデル村落)。	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すと考えられる。 ・特異性または希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。 ・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。 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。	1. 独特の芸術的成果を示すもの。 2. 建築や都市計画・景観に大きな影響を及ぼしたもの。 3. 消滅した文明や文化的伝統の証拠を示すもの。 4. ある様式の建築物あるいは景観の優れた見本となるもの。 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。 6. 優れて普遍的な価値を持つ出来事、生きた伝統、思想、芸術に関するもの。

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、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。

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」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

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。

3. 国内の保存活用にかかわる制度の現状

3.1 文化財保護法

文化財保護法は、1949年の法隆寺の火災を一つの契機として1950年制定され、1975年に大幅な改正がなされ現在に至っており。その目的は、「文化財を保存し、且つ、その活用を図り、もって国民の文化的向上に資するとともに、世界文化の進歩に貢献する」となっている。

文化財とは有形文化財、無形文化財、民俗文化財、記念物、伝統的建物群に分かれており(表-2)、これらのうち歴史的な建造物と関係があるのは、有形文化財、記念物、伝統的建物群である(写真-1)。

また、歴史的な建造物の解説などでよく出てくる言葉に重要文化財、史跡等があるが、これらは図-1のような体系のもと成り立っている。

3.2 文化財登録制度

近年、近代の多様かつ大量の文化財について、その歴史的重要性の認識が定まりつつあり、また、他方では、開発の進展、生活様式の変化等により、これら貴重な国民的財産である文化財が社会的評価を受ける間もなく、消滅の危機にさらされている。

これら国民の貴重な文化財を幅広く後世に継承していくため、1996年10月1日に文化財の保護手法の多様化を図り、国及び地方公共団体の重要文化財等としての指定とそれに伴う保護制度を補完するものとして、保護対象の登録、届出制と指導・助言・勧告を基本とする緩やかな保護措置を内容とする文化財登録制度が導入された(図-2)。

3.3 登録基準

有形文化財を文化財登録原簿に登録する場合の基準は、建築物、土木構造物及びその他の工作物

表-2 文化財の種別

名　称	定　義	種　類
有形文化財	有形の文化的所産で我が国にとって歴史上又は芸術上価値の高いもの(これらのものと一体をなしてその価値を形成している土地その他の物件も含む)並びに考古試料及びその他学術上価値の高い歴史資料。	建造物 絵画、彫刻、工芸品、書籍、典籍、古文書 考古資料、歴史資料
無形文化財	無形の文化的所産で我が国にとって歴史上又は芸術上価値の高いもの。	演劇 音楽 工芸技術
民俗文化財	風俗慣習、民俗芸能及びこれらに用いられる衣服、器具、家具その他の物件で我が国民の生活の推移の理解のために欠くことができないもの。	衣食住、生業、信仰、年中行事等に関する風俗慣習、民俗芸能上記に用いられる衣服、器具、家屋、その他物件
記念物	遺跡で我が国にとっては歴史上又は学術上価値の高いもの、名勝地で我が国にとって芸術上又は観賞上価値の高いもの並びに動物、植物及び地質鉱物で我が国にとって学術上価値の高いもの。	貝づか、古墳、都城跡、旧宅 庭園、橋梁、渓谷、海浜、山岳 動物、植物、地質鉱物
伝統的建造物群	周囲の環境と一体をなして歴史的風致を形成している伝統的な建造物群で価値の高いもの。	伝統的な建造物群

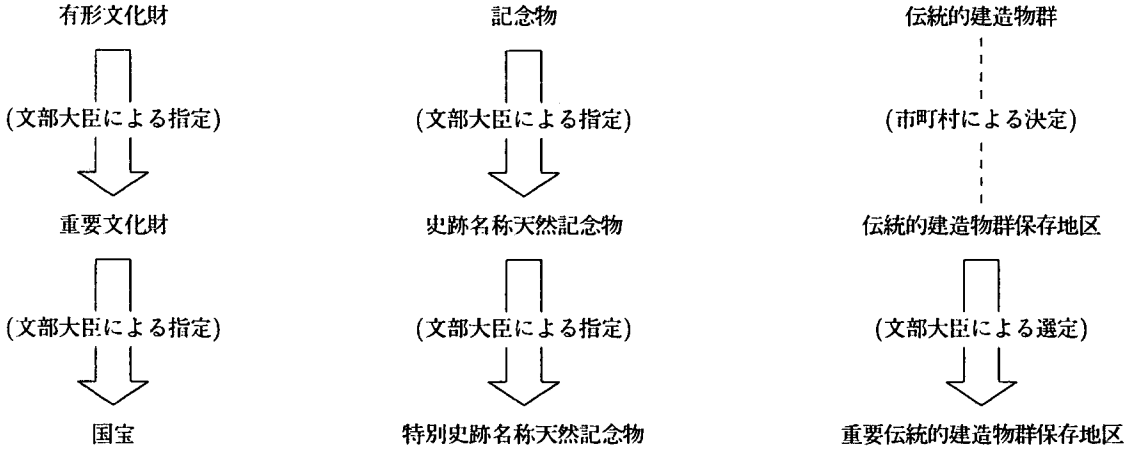


図-1 文化財の体系

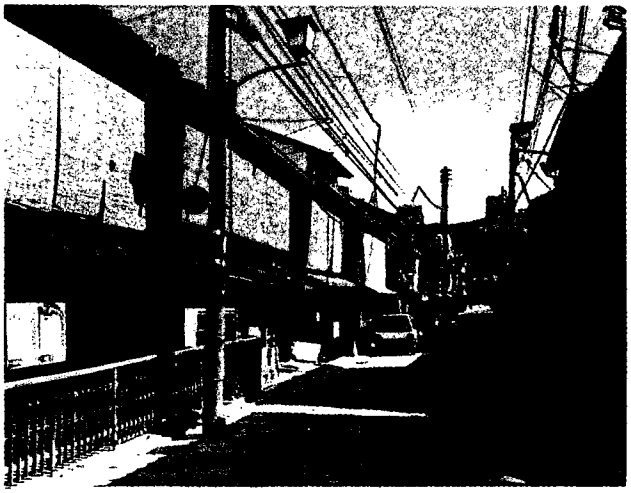


写真-1 祇園新橋伝統的建造物群保存地区
(写真提供：京都市)

のうち、原則として建設後50年を経過し、かつ、
(1) 国土の歴史的景観に寄与しているもの
(2) 造形の規範となっているもの
(3) 再現することが容易でないもの
のいずれかに該当するものとなっている(表-3)。

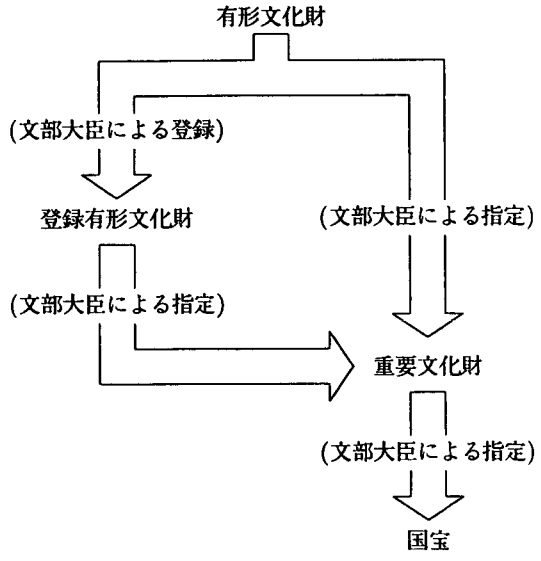
ここで「国土の歴史的景観に寄与しているもの」とは、国土を形成する地方独自の歴史的景観を認識する上で特に必要な存在となっているもの、「造形の規範となるもの」とは、現在又は過去の一時点において、建設行為を行うに当たり、規範として認識されるもの、「再現することが容易でないもの」とは、建設後相当の年数(100年を目途とする)を経過したことにより、現在同様のものを建設するには多大な経費が必要なもの又は同様のものを建設することが困難であるものをいう。

3.4 登録有形文化財の現状変更について

今までの文化財指定制度では、指定を受けると、建造物の所有者であっても改装など手を加えることがほとんど許されない。そのため、国が文化財

表-3 登録基準の例

基　準	例
国土の歴史景観に寄与しているもの	絵画、写真、映画、文学、歌謡曲等にその存在が引用されているもの、地名の由来となるなど土地の理解と密接な関係を有するもの、特別な愛称等があるものなど、当該地域において広く親しまれているもの。
造形の規範となっているもの	建造物を構成する各部の比例や意匠が優れているもの、建設に名のある設計者または施工者等が携わったもの、後に類型化するものの初期の作品であるもの、各時代または類型に特色的にみられる性格を有しているもの。
再現することが容易でないもの	建設する際に採用された技術や技能の水準が高いもの、現在において希少な技術や技能を用いているもの、形態や意匠が特殊または特異で類例が少ないもの。



* 登録有形文化財が重要文化財に指定された場合は、登録は抹消

図-2 登録有形文化財制度

に指定したくても所有者の同意を得られないケースが多い。

今回の登録有形文化財については、「登録有形文化財に関しその現状を変更しようとする者は、現状を変更しようとする日の三十日前までに、文部省令で定めるところにより、文化庁長官にその旨を届け出なければならない。ただし、維持の措置若しくは非常災害のために必要な応急措置又は他の法令の規定による現状の変更を内容とする命令に基づく措置を執る場合は、この限りでない。」としており、ここでいう維持の措置の範囲は、

(1) 登録当時の原状の通常望見できる外観を損なう範囲が当該外観の４分の１以下である場合
(2) 登録文化財がき損している又はき損する事が明らかに予見される場合において、当該き損の拡大又は発生を防止するための応急の措置をする場合

となっている。

内装に限定される模様替え・修繕は、その規模・内容にかかわらず、「維持の措置」に該当し、外装についても、形質・色彩を変更しない行為は、その規模にかかわらず「維持の措置」に該当する。

また、上記の「応急の措置」は、非常災害のために必要な応急措置以外の応急措置であり、登録有形文化財がき損している又はき損することが明らかに予見される場合において、所有者等が、当該き損の拡大又は発生を防止するために、緊急に行う必要があると判断して実施する行為となっている。

このように今回導入された文化財登録制度は、管理する側にとって非常に融通の利くものとなっており、「保存＝機能」すなわち使われてこそ意味がある土木施設にとっては、歴史的な施設を保存活用していく上で有効な制度であるといえる。

4. 考察

文化財登録制度の導入により、歴史的な土木施設の保存についての制度上の枠組みは整いつつあるといえる。今後は、これらの制度を活かし土木施設の保存・活用を行っていくことになるが、さらにこれらの制度を補完するため以下にあげる課題について検討を進めておく必要がある。

4.1 伝統的建設技術の保存・継承

現在、歴史的な施設を保存していく際に必要となる伝統的建設技術が消滅の危機にある。建設技術は時代の流れとともに変化しており、伝統技術を活用する場は減少し続けている。しかしながら歴史的・文化的にみて価値の高い技術については、後世に継承していくことが、その時代に生きるものの責務である。また、人力や天然の素材で施工できる技術は、発展の途上にある国々に対しての技術協力が容易であると考えられ、国際貢献の一

環として用いることも可能である。

そこでこれらの技術を継承していくため方策として以下のようなものが考えられる。

・価値の高い伝統的建設技術の継承に関して貢献度が大きい人、団体に対する表彰制度。
・伝統技術継承者について知識、技術等の審査を行い伝統的建設技術士として認定を行う。
・景観面、環境面ですぐれた伝統技術をモデル的に現場で活用。

また、このことに関して、竹林らは土木遺産を「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」ととらえ、名称、工法等を無形土木遺産とし、有形無形の土木遺産の保存・伝承に関する研究を行っており、この考え方を用いるならば現行の文化財保護法への適用も可能となる[5),6)]。

4.2 保存すべき施設の客観的な判断基準

平成6年度の総合技術開発プロジェクトの中で「土木計画史からの評価」「土木技術史からの評価」「文化性からの評価」の3つの観点からの評価を提案している。これらの項目をそれぞれ細分化しその項目ごとに点数化を行い、そのトータルの点数に応じ保存に関しての重要度の決定を行うといった方法が考えられる。

4.3 施設を眺める際の景観的な配慮

現行の制度では、隣接地の上空の開発などによる景観の阻害に関してまったく無力である。そのためデザイン的にすぐれた施設の保存が行われた場合でも、周辺に新たな建物が造られることにより、景観の阻害がおこりうる。

これに関してはフランスで行われているように該当施設から一定の距離以内における周囲の建造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といった対応が考えられる。

5. おわりに

我が国では、歴史的な土木施設の保存・活用の問題が取り上げられるようになってまだ日が浅く、現在までに数多くの価値ある施設が取り壊されてきている。土木施設が老朽化や時代の要請に応じ新たなものに更新されることは公共施設である以上やむを得ないことであった。

しかし、地域性や景観的な意味から歴史的な土木施設の保存・活用に対する関心が高まりつつある現在、早急に保存・活用に関しての制度を整え、一つでも多くの価値ある土木施設を後世に残していくことができるよう努力していかねばならない。

参考文献

1）建設省：歴史的・文化的施設の保存・活用, 第50回建設省技術研究会報告,1996.

2）建設本省、土木研究所、地方建設局等：歴史的・文化的土木施設の保存・活用, 土木技術資料,Vol.39,No.4,1997.

3）U. S. Deparartment of the Interior, National Park Service, Interagency Resources Divis-ion : NATIONAL REGISTER BULLETIN, 1990.

4）Canadian Heritage : Guiding Principles and Operation Policies, 1994.

5）竹林征三、丹羽薫、長野幸司：無形土木遺産の保存と伝承, 土木計画学研究講演集 18(2),1995.

6）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.

丹羽　薫*



ダム水源地環境整備センター
(前　環境計画研究室長)
Kaoru NIWA

並河良治**



建設省土木研究所環境部
環境計画研究室主任研究員
Yoshiharu NAMIIKAWA

舟橋弥生***



同　環境計画研究室
研究員
Yayoi FUNAHASHI

田中奈美****



国際連合地域開発センター
(前　環境計画研究室
科学技術特別研究員)
デザイン学博士
Dr.Nami TANAKA

歴史的・文化的施設の保存・活用

大臣官房技術調査室
土木研究所環境計画研究室

目　　次

1. 目　　的 …… 134

2. 内　　容 …… 134

2.1 調査結果の概要 …… 135

2.2 事例紹介 …… 137

2.2.1 笹流ダム（北海道函館市） …… 138

2.2.2 上ノ橋（岩手県盛岡市） …… 139

2.2.3 碓氷（コオリ）第3橋梁（群馬県松井田町） …… 140

2.2.4 目鏡橋（長野県東部町） …… 141

2.2.5 船頭平閘門（愛知県立田村） …… 142

2.2.6 瀬田唐橋（滋賀県大津市） …… 143

2.2.7 美歎ダム（鳥取県国府町） …… 144

2.2.8 御幸の橋（愛媛県河辺村） …… 145

2.2.9 青の洞門（大分県本耶馬渓町） …… 146

2.2.10 カフンジャー橋（沖縄県沖縄市） …… 147

3. 結　　論 …… 148

4. 今後の課題 …… 149

1．目的

近年、個性的で魅力ある地域づくりが望まれているが、地域の個性とよばれるものには、その地域の自然性、歴史性、文化性が重要な役割を果たしている。どの地域においても骨格ともいうべき社会資本整備、公共施設整備が行われているが、中でも土木施設はこうした社会基盤整備の中核を占めるものである。整備される土木施設は、地域において土木施設として課された機能的役割を果たすことはもちろんであるが、時間の経過とともに地域らしさの象徴ともなり得る歴史的・文化的側面を有しており、地域の個性づくりへの貢献度は高いものと考える。つまり、土木施設そのものが地域の歴史性、文化性を表すものであり、その保存・活用の状況を把握することは、地域に住む人々の心に何があり、また何を求めているのかを映すものであるといえる。建設省としてこの課題に取り組む意義は、個性ある地域づくりを演出する素材としての歴史的・文化的土木施設の保存・活用の方向性を地域における現状の把握を通じて検討することにある。

そこで、今回は地方史誌に記述のあった土木施設を事例として取り上げ、以下の事項について調査を行い、調査結果の分析を通じて歴史的・文化的な土木施設の保存・活用状況の把握を行うと共に今後の保存・活用方策の検討を行うことを目的とする。

①土木施設の緒元（所在地、管理者、建造年、施設整備目的、規模）
②土木施設の保存・活用状況（建造時状態の維持、改修、移転、破壊の有無）
③保存・改修・移転時の理由
④保存・改修・移転時の地域における取り組み状況
⑤保存・改修・移転時の経緯
⑥保存・改修・移転等の効果

2．内容

現在までに歴史的・文化的な土木施設については、近代土木遺産調査小委員会および歴史的・文化的土木施設調査特別委員会により、戦前までの建設省所管施設について、現存の確認が行われており、その数は8,018件となっている。またそれらの土木施設については現在データベース化が行われているところである。

今回の研究では、先述したように土木施設の保存・活用について、その現状把握と保存・活用方策の検討を行うことを目的としているため、建設省所管施設以外の施設も調査対象としている。さらに地域における土木施設に対する認識度という観点から、市町村史に記述のある施設を抽出し調査を行った（今回は歴史性、文化性の両面から調査を行っているため戦後竣工されたものについてもデータに含む）。具体的には、市町村史の提供を得られた全国44府県（東京都、宮城県、徳島県を除く）の市町村史より土木施設に関する記述の抽出を行った。中でも今回は対象土木施設を橋梁、隧道、ダム、水門（水門、閘門、樋門）、その他（運河・分水路及びそれ以外）に限って抽出した。抽出数は約12,000件であったが、上記調査項目について有効な回答を得られた件数は4,871件となった。またそのなかで、積極的な保存・活用がなされている土木施設数は493件であった。

続いてここでは積極的な保存・活用が行われている493件について、調査結果を概観すること、また、保存・活用等の経緯や内容についての比較的詳しい資料が得られたものを事例として10件取り上げ、保存・活用の状況についてみていく。

2.1 調査結果の概要

保存・活用の行われている493件について調査への回答結果を概観する。施設分類別回答数をみると（図2-1）、橋梁が最も多く約6割（279件）、つづいてダムが約3割（146件）、水門等（22件）、隧道（17件）となっている。

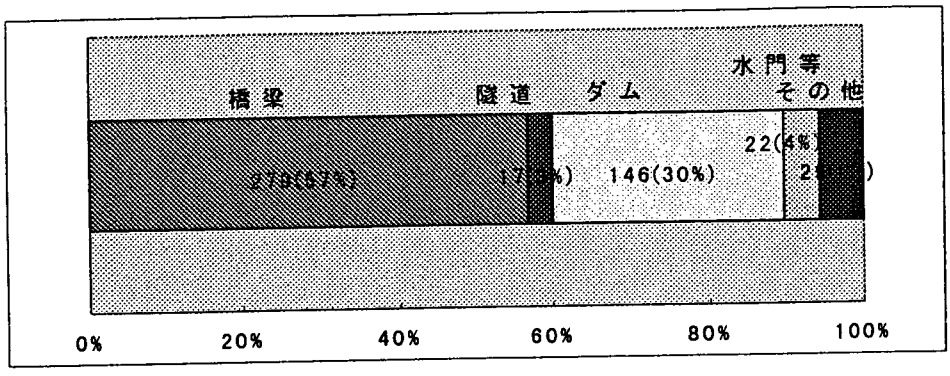


図2-1 施設分類別回答数構成率

次に積極的な保存・活用が行われた土木施設の整備状況、保存・活用の理由についての回答状況を図2-2、図2-3に示す。整備状況では、7割以上（345件）の施設が建設当初の姿を保っているという「現状維持」に回答している。ついで「部分的改修（87件）」、「全面改修（39件）」となっている。

保存・活用の理由については「歴史的価値（129件）」、「地域住民の愛着（77件）」「地域の固有性を示す（51件）」、の順であげられているが、半数以上を示した「その他」の項目についての理由には現役の施設としての必要性等があげられている。

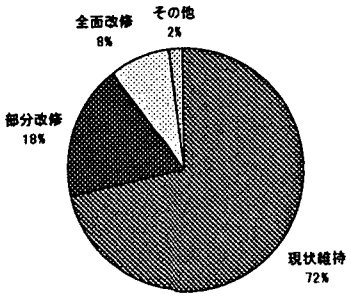


図2-2 整備状況

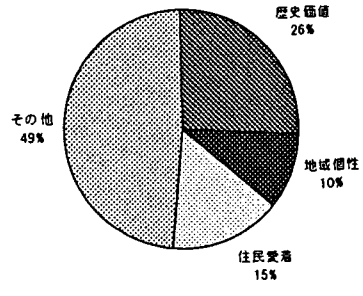


図2-3 保存・活用の理由

続いて施設別の回答数の多かった、橋梁、ダムについてその整備状況および保存・活用の理由をみていく（図 2-4～2-7）。保存・活用時の整備状況に関しては、橋梁、ダムいずれの場合も「現状維持」が体勢を占めている点は同様であるが、橋梁において「部分改修」が「全面改修」を２倍程度上回るのに対し、ダムではほぼ同数である点が異なる。これは、施設の特性を反映していると考えられ、橋梁は施設的に部分改修で整備を行うことが比較的容易であるといえよう。

保存・活用の理由では、橋梁は「歴史的価値」、「地域個性」、「住民愛着」の３理由を合わせると半数以上となるのに対して、ダムでは「その他」への回答が圧倒的である。「その他」に回答された理由の内容としては「施設の老朽化」、「水利・発電施設として利用」等がみられる。

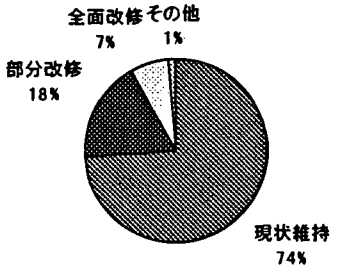


図 2-4　整備状況（橋梁）

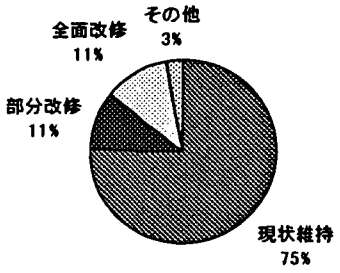


図 2-5　整備状況（ダム）

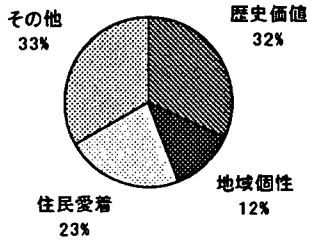


図 2-6　保存・活用の理由（橋梁）

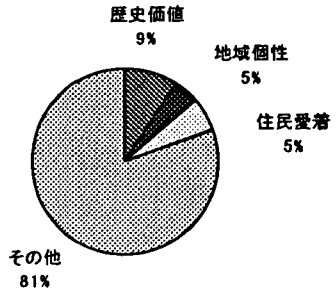


図 2-7　保存・活用の理由（ダム）

次に、積極的な保存・活用が行われた施設のうち、戦前に竣工が行われたもの191施設についてその整備状況、保存・活用の理由を図2-8、2-9に示す。6割以上が建設当時の状態のまま維持されており、全面的な改修が行われたものは全体の約1割にとどまっている。また、保存・活用の理由としては歴史的価値が全体の約5割を占めており、「歴史的価値」、「地域の個性」、「住民の愛着」を合わせると7割以上になる。今回の調査では、保存・活用の理由について「歴史的価値」、「地域の個性」、「住民の愛着」、「その他」の4項目から複数選択可能としてあったが、「歴史的価値」、「地域の個性」、「住民の愛着」は同時に選択されるものが多くあった。このことからも、土木施設が年を経ることにより、地域らしさの象徴としての機能を有するようになることがわかる。

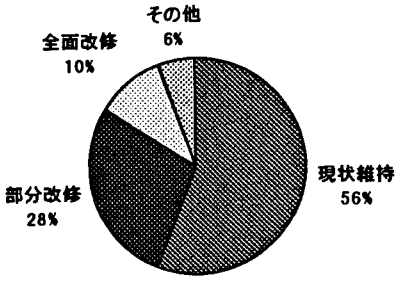


図2-8　整備状況（戦前の施設）

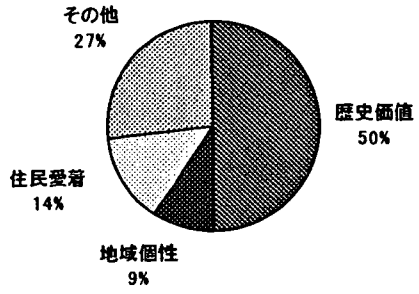


図2-9　保存・活用の理由（戦前の施設）

また、この191施設について土木施設としての機能の有無を下の図に示す。多くのものが現役の土木施設としての機能を有しているのがわかる。また、機能していない施設については、記念碑的な保存・活用がなされ文化財指定などが行われているものも多い。

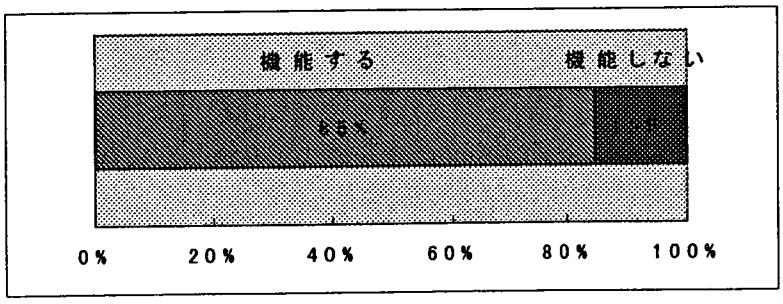


図2-10　土木施設としての機能

2.2　事例紹介

以下、各地域における歴史的・文化的な土木施設について、積極的な保存・活用がなされたものについて代表事例を紹介する。

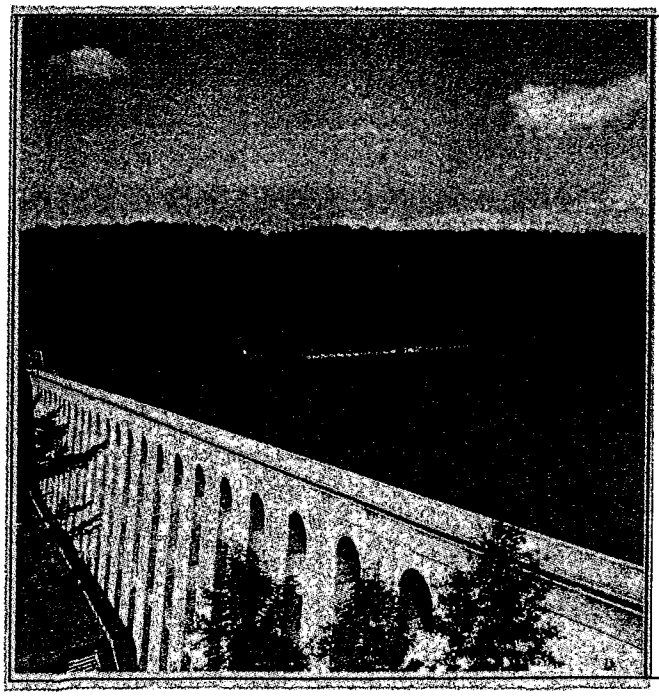
2.2.1 笹流ダム （北海道 函館市）

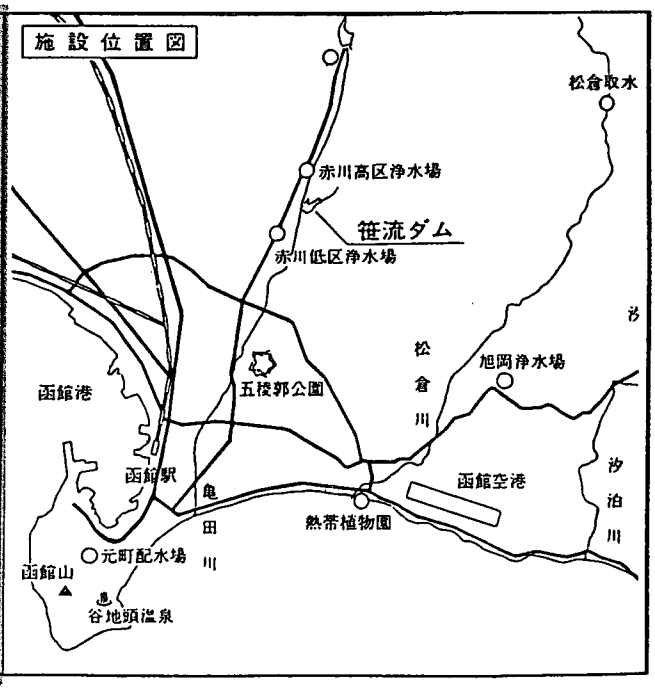
名称		別称		所在地	竣工年	種別	現況	現管理者	土木施設機能	
笹流ダム				北海道函館市	1923年	堰堤	大規模な改修済	市町村	機能を果たす	
形式	素材	諸元		保存・活用時の整備状況		整備費	理由	委員会主催者	有識者	提唱者
	コンクリート	堤長 199.3m	堤高 25.3m	全面改修		1,600,000千円	水道施設	無	無	無
市民参加			自治体関与		国の関与	文化財指定	活用状況			
陳情	費用	労働力	陳情	費用			掲載	掲示	公園	地域	観光
無	有(水道料)	無	有	有	無	無	有	有	有	よく利用	利用

保存・活用の経緯

笹流ダムは、函館市街地を貫流する亀田川の河口から上流約8 kmの本流と支流笹流川との合流点付近の笹流川をせき止め、大正12年に完成した水道専用のバットレスダムである。当時国内にはバットレスダムの例はなく異例のものとして注目された。第2次世界大戦後、ダムの風化を防止するため昭和23年から24年にかけモルタル吹き付けによる風化防止工事を施工した。昭和40年代後半に入りダムの老朽化が目立ち始めたため、堤体等の調査を行い、昭和58、59年度の2ヵ年で本格的な改修工事を実施した。

改修工事の際に、床版は、旧床版の上流側を削り止水を目的として上端部30cm、最下端部70cmの厚さの新遮水壁を、更に下流側には厚さ1 mのコンクリート壁を設けた。また、扶壁は、旧扶壁の劣化部分を削り両側を厚さ1 mのコンクリートで巻き立て、横桁は、旧桁の劣化部分を削り1 m×1.4mの断面に拡大した。ダム直下下流には公園、グランド、駐車場等が整備されており、桜の満開時期には多くの市民が公園に訪れるとともに、遠足の場所、グランドの利用やダム堤体を周遊する遊歩道等とあわせ通年活用されている。





2.2.2 上ノ橋 （岩手県 盛岡市）

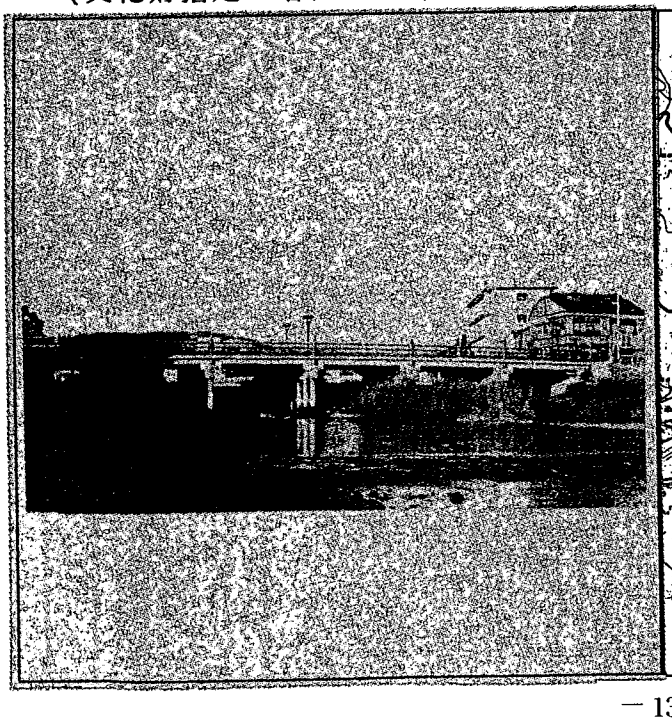
名称		別称		所在地	竣工年	種別	現況		現管理者	土木施設機能	
上ノ橋				岩手県盛岡市	1935年	橋梁	建設当時の姿		市町村	機能を果たす	
形式	素材	諸元		保存・活用時の整備状況		整備費	理由		委員会主催者	有識者	提唱者
桁	ｺﾝｸﾘｰﾄ	全長 54m	全幅 12m	部分改修		360千円	歴史的価値		無		
市民参加			自治体関与		国の関与	文化財指定	活用状況				
陳情	費用	労働力	陳情	費用			掲載	掲示	公園	地域	観光
						有	有	有	無	よく利用	よく利用

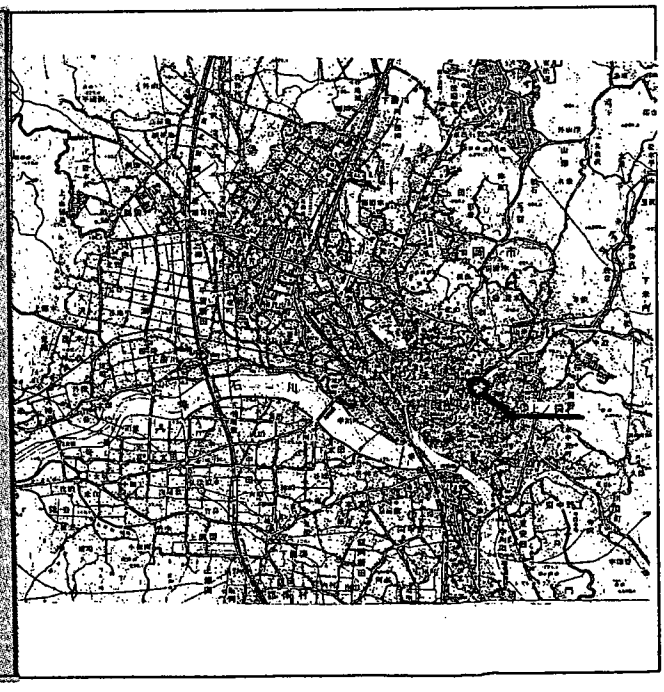
保存・活用の経緯

盛岡市の中心部に位置する上ノ橋は、盛岡の城下が町割りされた慶長 14 年(1609)10 月に中津川にかかる第一号の橋として架設された。この橋は川の南北を結んだというだけでなく、南部領内の諸街道の起点として「盛岡の日本橋」と呼ぶにふさわしい橋であった。周辺は、城下町のほぼ中央にあたる一等地であるため各業種の商人が店を競い、物資の集散地でもあった。この橋は京都の鴨川橋を模した太鼓橋で、欄干には後村上天皇より恩賞として使用を許可された青銅製の擬宝珠をつけた優美な橋であったと伝えられる。

上ノ橋は、洪水によりたびたび流失したが、明治 44 年 11 月、木橋が架けられている。現橋は幅員 12 mの鉄筋コンクリート製で昭和 10 年 10 月に完成した。上ノ橋欄干の擬宝珠は、国の重要美術品に指定されており、県内産のヒバ材で作られた欄干や行灯型の照明と一体となって城下町盛岡のシンボルとして観光名所となっており、地域住民の日常生活をはじめ、多くの市民、県民に親しまれ利用されている他、交通の要衝でもあることから、その保存・活用には、市を挙げて取り組んでいるところである。

（文化財指定：昭和 20 年(1945)、擬宝珠は慶長 14～16 年(1609～1611)のもの）





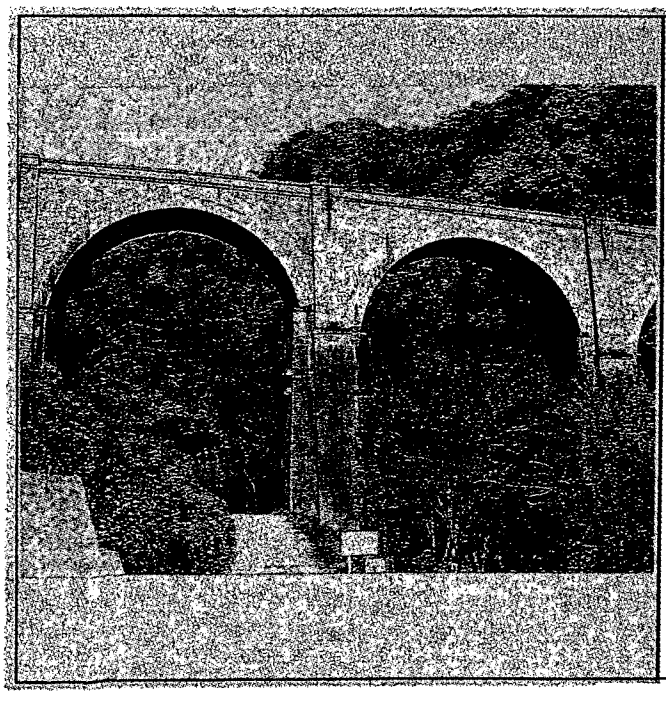
2.2.3 碓氷第３橋梁　（群馬県　松井田町）

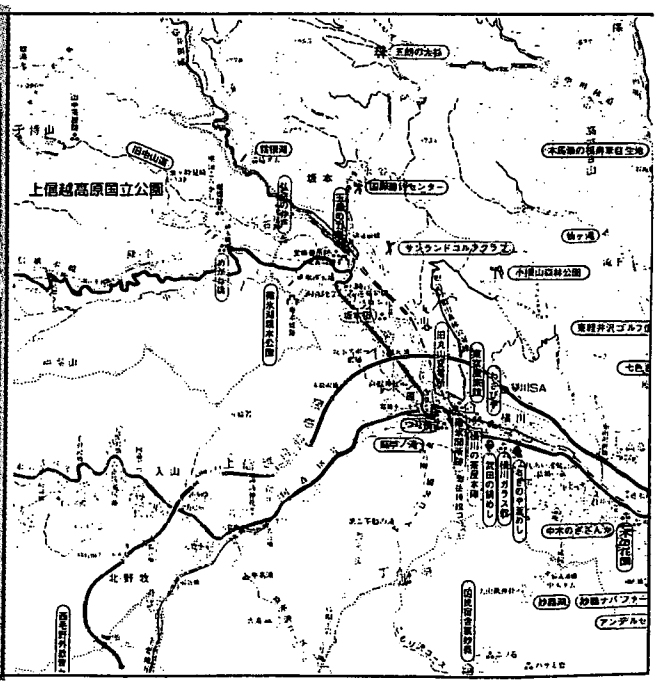
名称		別称		所在地	竣工年	種別	現況		現管理者	土木施設機能	
碓氷第3橋梁		めがね橋		群馬県松井田町	1892年	橋梁	建設当時の姿		市町村	機能していない	
形式	素材	諸元		保存・活用時の整備状況		整備費	理由		委員会主催者	有識者	提唱者
アーチ	煉瓦	全長 91m	全幅 4.6m	現状維持		不明	歴史的価値				
市民参加			自治体関与		国の関与	文化財指定	活用状況				
陳情	費用	労働力	陳情	費用			掲載	掲示	公園	地域	観光
						有	有				有

保存・活用の経緯

旧国鉄信越本線、横川駅から熊の平間に架かる鉄道文化財「めがね橋」は現存する赤煉瓦製のアーチ橋としては日本最大級のものであり、赤煉瓦の色合いとアーチの美しさが多くのカメラマンや鉄道ファンを魅了している。

明治25年4月22日に着工、同年12月5日に完成し、昭和38年9月30日にアプト式鉄道ルートが廃止されるまでの70年間、太平洋側と日本海側を結ぶ輸送に多大なる貢献をした。碓氷峠中に架かるこの煉瓦造りアーチ橋は、長さ18.3mのアーチが4連続き、全長91.0m、碓氷川底よりの高さは31.4m。使用した煉瓦は2,028,000個、セメントは2,720余樽。総工事費は45,987円。高い3本の橋脚と煉瓦アーチは、明治時代の土木技術の粋を集めた建増物として、他に比肩するものがない。現存するものは、アーチリングを中心に大規模な補強工事が施されており、建造当時のすっきりした外観とは異なっているという。平成5年8月17日、碓氷峠鉄道施設として国重要文化財に指定された。今年度より、松井田町では「めがね橋」を含む約3kmの区間を「アプトの道」として整備（遊歩道）する。





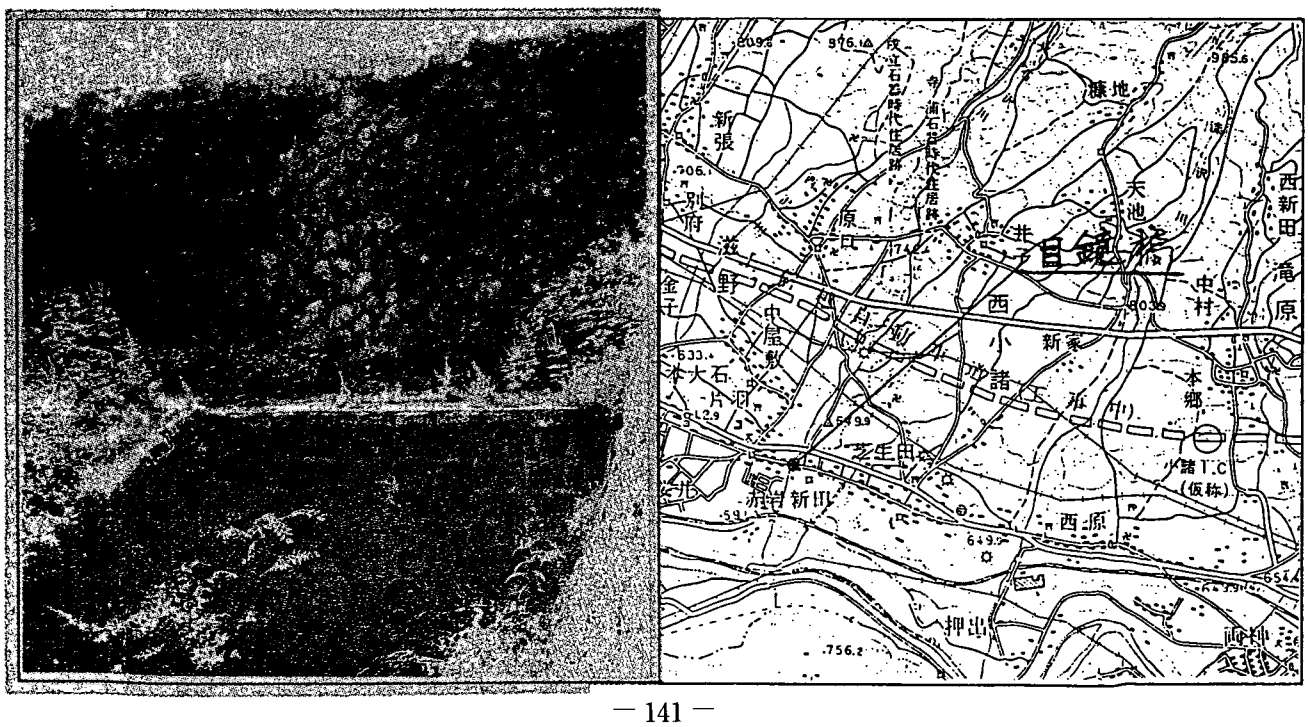
2.2.4 目鏡橋 （長野県 東部町）

名称		別称		所在地	竣工年	種別	現況		現管理者	土木施設機能	
目鏡橋				長野県東部町	1883年	橋梁	建設当時の姿		市町村	機能を果たす	
形式	素材	諸元		保存・活用時の整備状況		整備費	理由		委員会主催者	有識者	提唱者
アーチ	石	全長 37.8m	全幅 5.4m	現状維持			歴史的価値 地域住民の愛着		市民団体	無	市民
市民参加			自治体関与		国の関与	文化財指定	活用状況				
陳情	費用	労働力	陳情	費用			掲載	掲示	公園	地域	観光
有	無	無	無	無	無	無	有	有	無	利用	利用せず

保存・活用の経緯

大石沢川に架かる眼鏡橋の前身となる橋は、明治11年（1867）の明治天皇巡行に際して道路、橋梁の改良が行われた。明治13年に地元の有志の発願により、路面の高さまで石を積み上げる眼鏡橋をつくるという当時としては画期的で困難な運動が始められた。現存の眼鏡橋は当時の姿をほぼ残している。この大工事の経費捻出には地元以外でも郡内、上田町、佐久郡、南信をはじめ高崎、東京におよぶ広範囲の寄付募集運動が行われ、8厘から最高600円までの寄付が得られた。工事中には石積みの一部が崩壊するという事故が起こり、予定の建設費に不足が生じたが発起人達は工事完成に意欲をもやし私財を投げうつものも現われた。さらに、財源の不足を補うために橋賃の徴収を計画し、県令の許可を求めた。このような経緯を経て眼鏡橋は完成した。

この橋は、上信越自動車道建設に伴う長野県の大石沢川改修工事により、改修が検討されるに及んで、平成8年秋、地元の有志らが存続期成同盟会を結成し、その存続を求める活動を始めている。



2.2.5 船頭平閘門 （愛知県 立田村）

名称		別称		所在地	竣工年	種別	現況		現管理者	土木施設機能	
船頭平閘門				愛知県立田村	1902年	閘門	小規模な修復		国	機能を果たす	
形式	素材	諸元		保存・活用時の整備状況		整備費	理由		委員会主催者	有識者	提唱者
				部分改修		540,000千円	歴史的価値			有	
市民参加			自治体関与		国の関与	文化財指定	活用状況				
陳情	費用	労働力	陳情	費用			掲載	掲示	公園	地域	観光
					有		有	有	有		利用

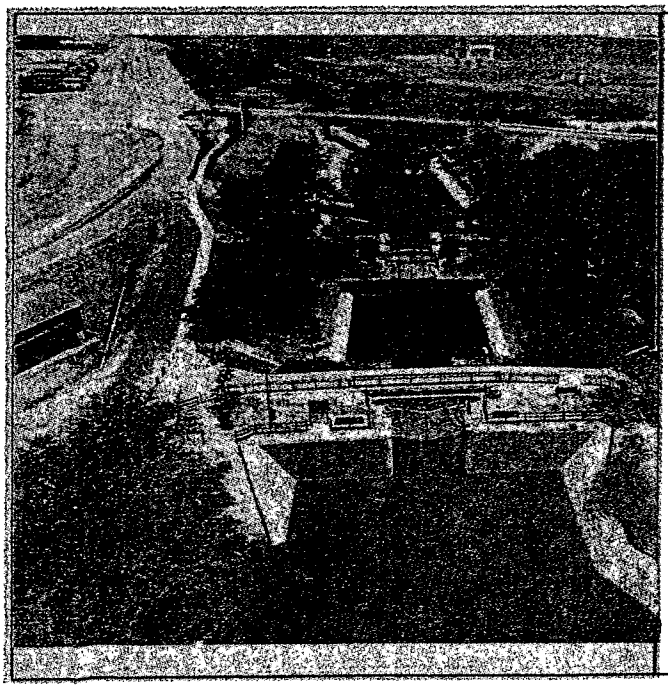
保存・活用の経緯

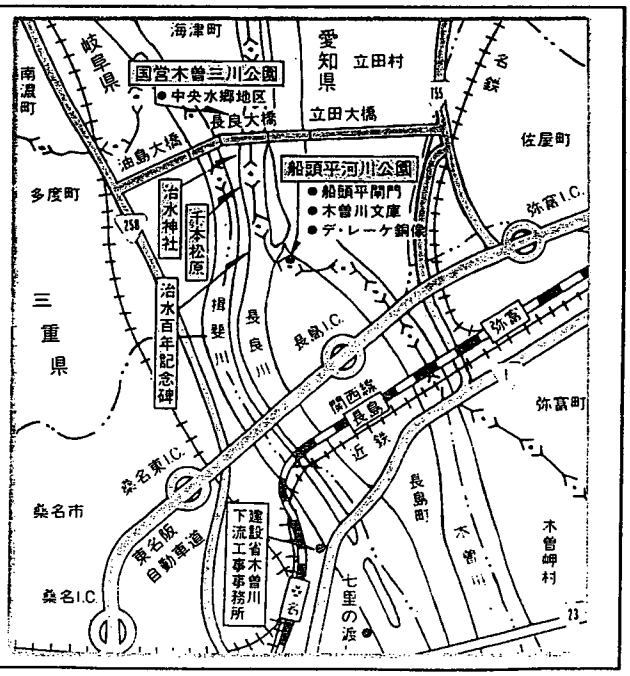
木曽、長良、揖斐の木曽三川を分流し独立化させる明治改修（明治20年～同45年）は、舟運による物資の輸送を困難にさせ、木曽川沿川都市にとって死活問題となりました。そのため、地域住民の情熱により明治35年（1902）木曽川と長良川の舟運を確保する船頭平閘門が完成した。

しかし、完成後90余念を経過し水門扉や閘室内の石積みなどに傷みが生じ、平成5年～同6年に改築工事が行われた。

改築にあたっては、門柱の強度などの事前調査を充分に行い、今後も舟運の要所としての機能を確保するよう、赤レンガの躯体などはそのまま生かす「活用保全」を行ったものである。

また、隣接する船頭平河川公園も本事業に合わせ環境整備を実施するとともに、資料館「木曽川文庫」に閘門に関わる資料を一般展示している。





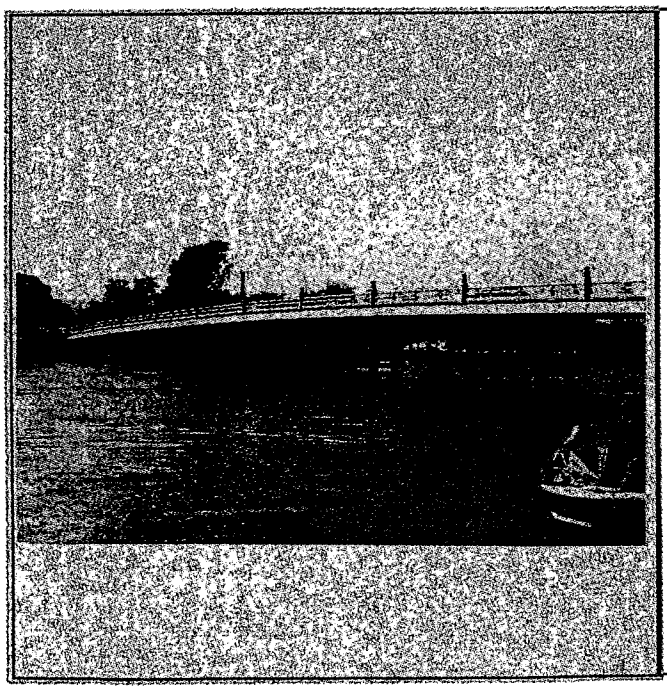
2.2.6 瀬田唐橋 （滋賀県 大津市）

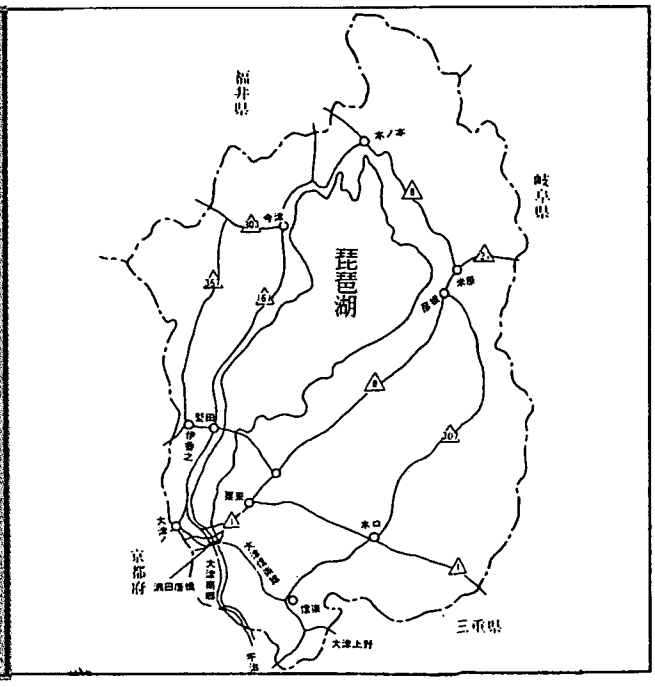
名称		別称		所在地	竣工年	種別	現況		現管理者	土木施設機能	
瀬田唐橋				滋賀県大津市	1924年	橋梁	架け替え		都道府県	機能を果たす	
形式	素材	諸元		保存・活用時の整備状況		整備費	理由		委員会主催者	有識者	提唱者
桁	鋼	全長 224m	全幅 14m	全面改修		1,725,000千円	歴史的価値		有	有	都道府県職員
市民参加			自治体関与		国の関与	文化財指定	活用状況				
陳情	費用	労働力	陳情	費用			掲載	掲示	公園	地域	観光
有	無	無	有	無	有	無	有	有	無	よく利用	あまり利用せず

保存・活用の経緯

古来から東海道、中山道が草津で合し、京都へ通じる喉元で交通の要衝であった唐橋は古くから存し、幾多の架け替えが行われた。天正3年織田信長が架橋したときは、中之島を挟んで大小の二橋となり、その壮麗さは瀬田橋架橋史上の一新時期をかくしたようである。明治以降では、明治8年国が架け替え、明治28年および大正13年には県が架け替えを行った。大正13年の架け替えでは5本の鉄筋コンクリート柱からなる橋脚の上に長さ10.9mのI形の鋼桁が並べられた形式となった。昭和40年県が上部工補修工事をし、昭和50年より架け替えが行われ現橋となる。

現橋の設計に当たっては「瀬田唐橋架換対策委員会」により審議が行われ、特に径間長、桁高、橋脚の外観形状について議論がなされた。その結果、上部構造については、桁高をできる限り低くし、古来の太鼓型のイメージを残す6%放物線縦断線形としている。また、基本的な構造は旧来のものと同じとし、擬宝珠は銘の入った旧のものを用いる等の配慮がなされた。橋脚、橋台についても同様に旧の橋に似せる等の工夫がなされている。



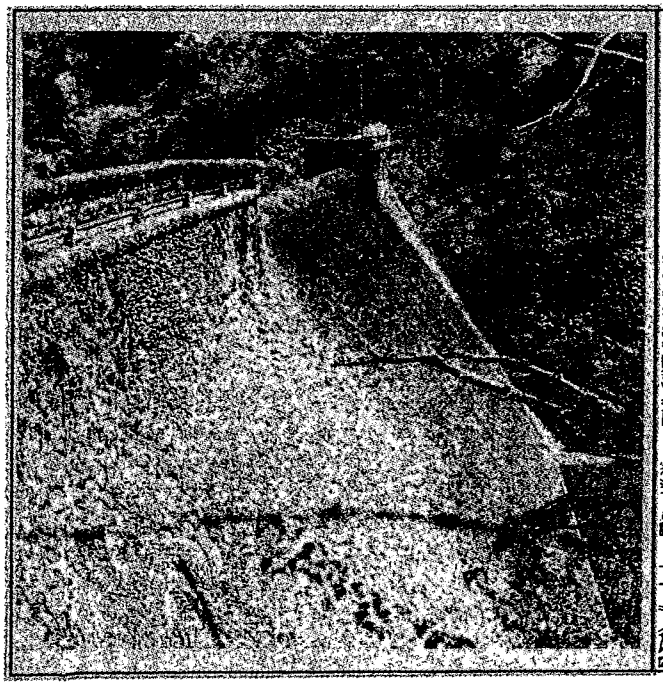


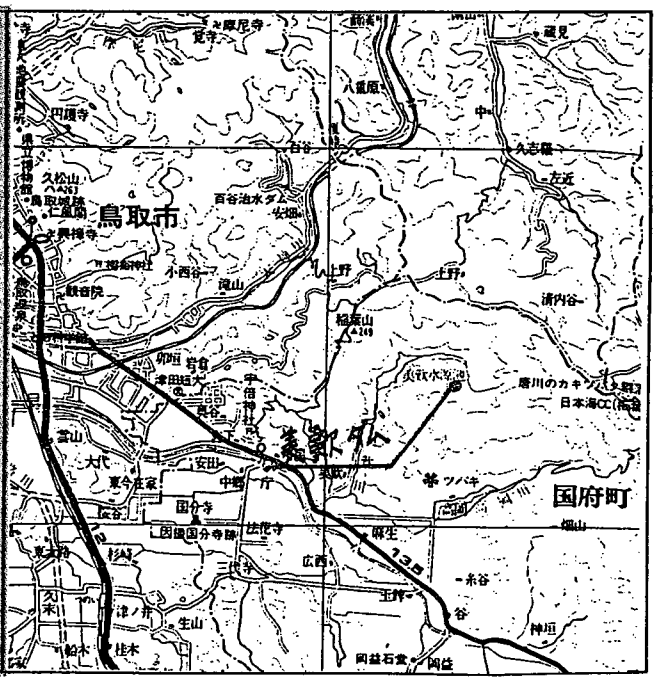
2.2.7 美歎ダム （鳥取県 国府町）

名称		別称		所在地	竣工年	種別	現況		現管理者	土木施設機能	
美歎ダム				鳥取県国府町	1922年	堰堤	大規模な修復		県市町村	機能していない	
形式	素材	諸元		保存・活用時の整備状況		整備費	理由		委員会主催者	有識者	提唱者
	粗石モルタル	堤長 103m	堤高 23.6m	部分改修		1,200,000千円	歴史的価値		砂防地すべりセンター	有	市町村長
市民参加			自治体関与		国の関与	文化財指定	活用状況				
陳情	費用	労働力	陳情	費用			掲載	掲示	公園	地域	観光
無	無	無	有	有	有	無	無	無	無	利用せず	利用せず

保存・活用の経緯

鳥取県国府町西部に位置する美歎ダムは、大正５年（1916）に土堰堤で完成したが、大正７年の洪水によりダムが崩壊し多数の犠牲者が出た。大正11年に現在のダムが完成したが、その後も昭和18年（1943）の鳥取大地震で一部石積みが崩壊した。また漏水が著しいため昭和47年、48年には漏水防止工事を施工した。完成後70年が経ち老朽化が進んだことと、新規水源の開発により昭和53年から機能を停止しているが、砂防ダムとして有効活用を図ることとなり、平成４年度（1992）に都市対策砂防事業として整備が進められた。この事業による改築では経済性及び周辺景観への配慮からダム上流側をコンクリートで補強を行い、取り外した既設の張石を活用して復元することとした。将来構想として周辺の優れた自然景観と調和した砂防施設の整備及び記念公園として整備を図り、さらに下流を河川事業により生態系と親水性に配慮して整備する検討もなされている。





2.2.8 御幸の橋 （愛媛県 河辺村）

名称		別称		所在地	竣工年	種別	現況		現管理者	土木施設機能	
御幸の橋				愛媛県河辺村	1886年	橋梁	建設当時の姿		市町村	機能を果たす	
形式	素材	諸元		保存・活用時の整備状況		整備費	理由		委員会主催者	有識者	提唱者
桁橋	木	全長 8.5m	全幅 3m	現状維持			歴史的価値				
市民参加			自治体関与		国の関与	文化財指定	活用状況				
陳情	費用	労働力	陳情	費用			掲載	掲示	公園	地域	観光
					無	有	有	有	無	利用	利用

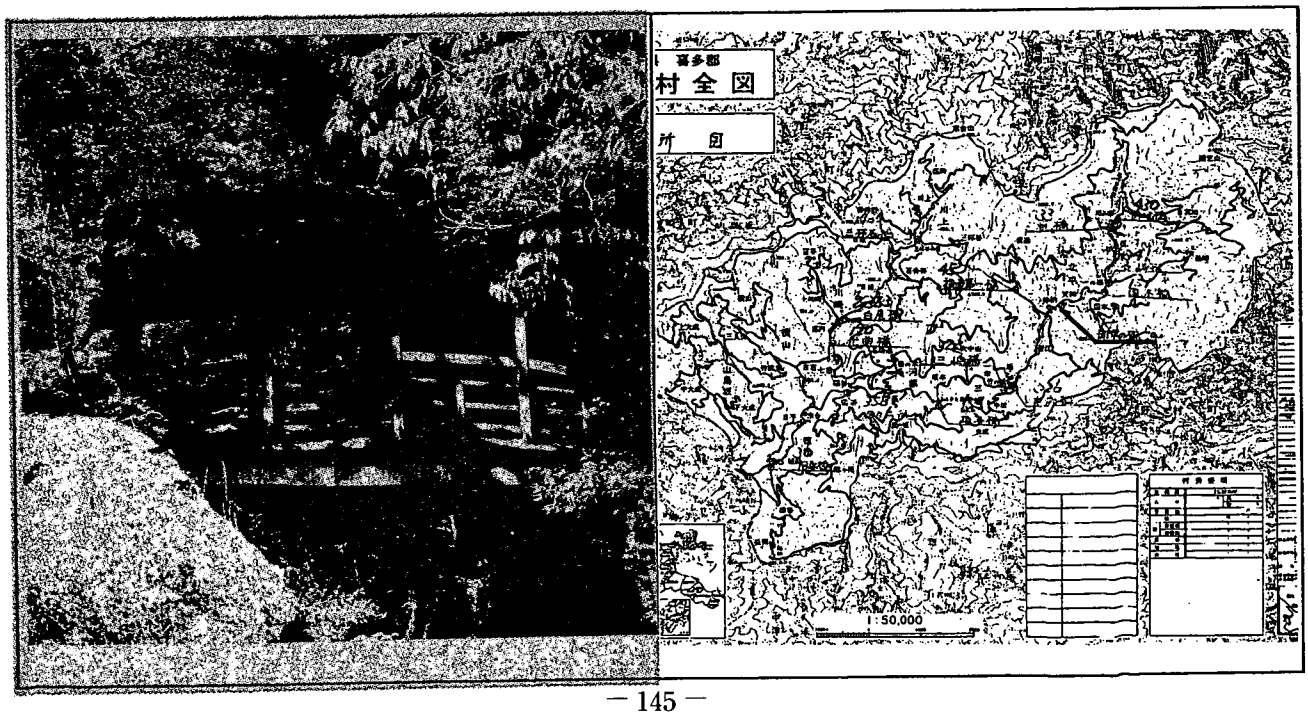
保存・活用の経緯

愛媛県河辺村は屋根のある橋があることで有名であるが、老朽化のために無くなった橋も多い。菅原道真を祀る天神社内の御幸の橋は、明治19年（1886）に架設されたもので、屋根のある風趣に富む橋である。昭和45年（1970）に県民俗文化財の指定を受けているがこの時の理由として以下の4点が挙げられている。

①以前の姿形をよく継承して丹誠がこもっている。②太鼓橋で屋根があり、欄干には小さいながらも擬宝珠があり、風雅である。⑧屋根・桁ひさし、主として欅材・杉材を使用し、金属類を一切用いず、時代相と氏子の崇敬心がよく表現されている。

河辺村内には、御幸の橋の他に6橋の屋根付橋が現存しており、この存在を広く知らしめ村のイメージアップと地域の活性化に活用するため、平成8年7月20日に映画「マディソン郡の橋」の上映会と「わがマディソン郡の橋」の写真集を出版した栗原達夫氏（写真家）の講演会を行っている。

御幸の橋は、平成9年度に大規模改修を行い保存していく予定である



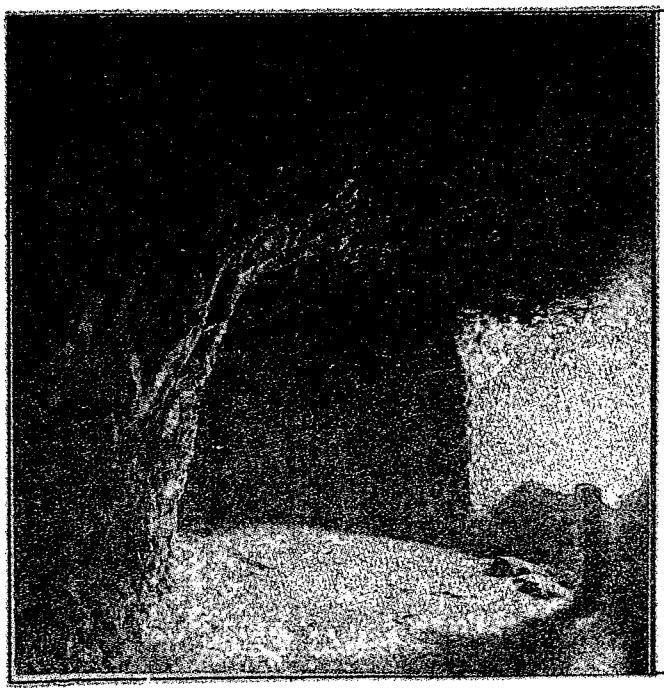
2.2.9 青の洞門 （大分県 本耶馬渓町）

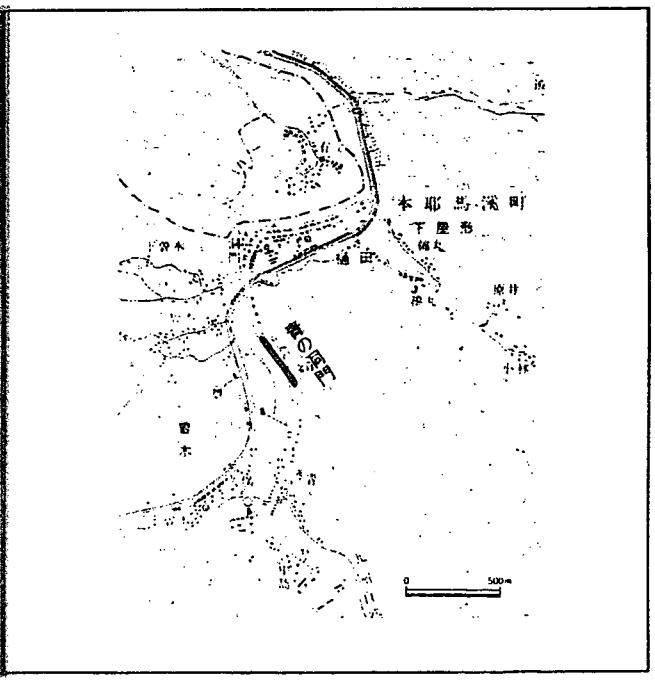
名称		別称		所在地	竣工年	種別	現況		現管理者	土木施設機能	
青の洞門				大分県 本耶馬渓町	1735年	隧道					
形式	素材	諸元		保存・活用時の整備状況		整備費	理由		委員会主催者	有識者	提唱者
素掘り	石										
市民参加			自治体関与		国の関与	文化財指定	活用状況				
陳情	費用	労働力	陳情	費用			掲載	掲示	公園	地域	観光
							有				利用

保存・活用の経緯

菊池寛の小説「恩讐の彼方に」の舞台となった青の洞門は、僧禅海の名とともに有名である。僧禅海は享保 20 年（1735）羅漢寺に参詣した際、羅漢寺へ参詣する人々の安全を図って仏の道へ通じたいと考え、洞門開削を発意し、難事業に取りかかった。洞門貫通までに 30 年の歳月を要したが、着手して 16 年後に約半分の工事が完成したところで、石像地蔵菩薩を安置、大供養を行った。全通した当時の隧道は 5 カ所からなりその合計は 150m、道路の全長は 342m あった。洞門の大きさは幅が 2.7m、高さ 3m で、断面はほぼ四角形である。4 カ所に横 2.6m、縦 1.8m の明かり窓があった。現在は 2 カ所の明かり窓が残っている。

明治年間に改修工事が 3 回行われ、またその後に国道として車道の改良が行われ、新たな隧道がほぼ同じ位置に掘られたため、当時の洞門で現在そのままの形で残っているのは 2 カ所だけである。現在は、観光名所として整備され、紅葉のシーズンになると観光客で大変な賑わいをみせる。





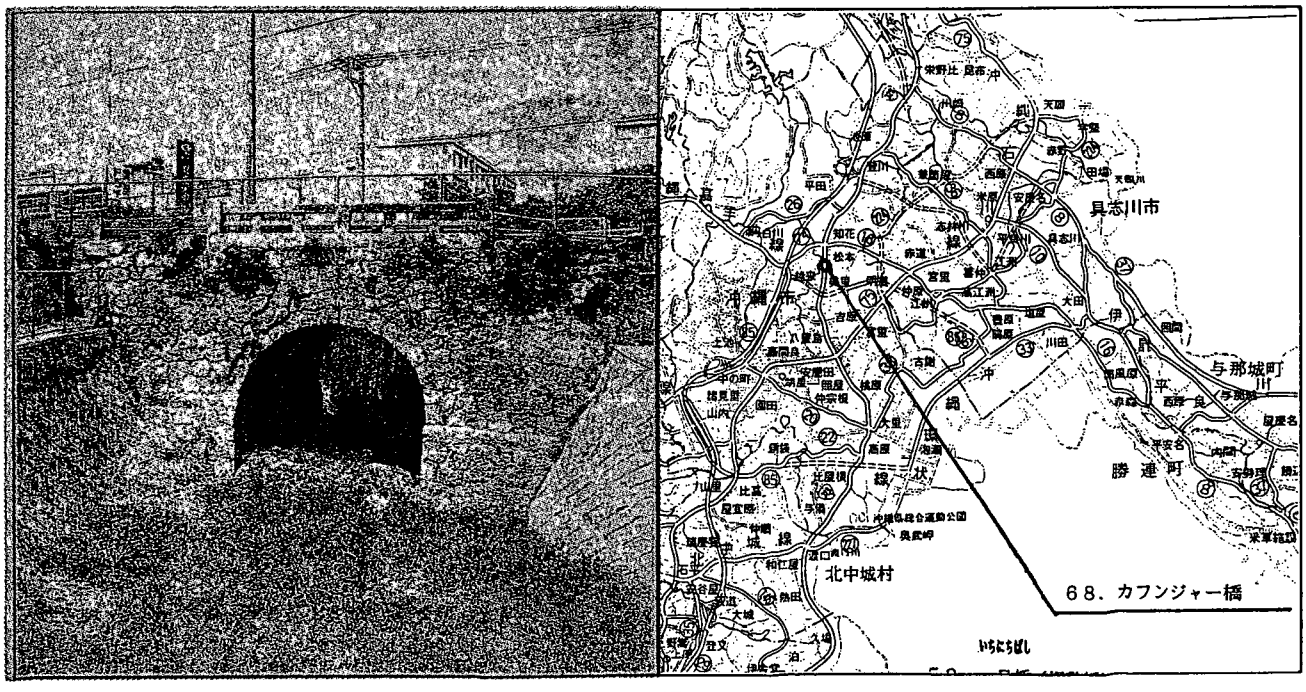
2.2.10　カフンジャー橋　（沖縄県　沖縄市）

名称		別称		所在地	竣工年	種別	現況		現管理者	土木施設機能	
カフンジャー橋				沖縄県沖縄市	大正初期	橋梁	小規模な修復		市町村	機能を果たす	
形式	素材	諸元		保存・活用時の整備状況		整備費	理由		委員会主催者	有識者	提唱者
アーチ	石	全長 5.6m	全幅 4.6m	部分修復			歴史的価値				
市民参加			自治体関与		国の関与	文化財指定	活用状況				
陳情	費用	労働力	陳情	費用			掲載	掲示	公園	地域	観光
無	無	無	有	有	有	有	有	無	無	利用	利用せず

保存・活用の経緯

沖縄市美里に位置するカフンジャー橋は、国道329号線沿いの比謝川上流のカフンジャーといわれる地域の市道に架けられた石橋で、明治38年（1905）に架設された。アーチ型で琉球石灰岩の切り石で積まれ、「クサビ石」が取り入れられた西洋的技法の橋である。

カフンジャー橋の保存の取り組みは昭和52年度（1977）から55年度にかけて行われた。当時、カフンジャー川上流における団地及び高校の建設計画があり、それに伴う周辺地域の造成が進んだことから川の氾濫を防ぐために川幅の拡張が計画された。これに伴いカフンジャー橋の移設が検討されたが、教育委員会は、市長および南部国道事務所長に橋の保護を要請し、昭和55年にはカフンジャー橋の保存が決定した。カフンジャー川の改修工事による橋の石積みのずれ等の影響を憂慮し、複数測点による定期的な観測、およびアーチ天井の真下には頑丈な木組で支保工の構築を施工者に依頼した。



3．結論

全国44府県の市町村史より抽出した約12,000件の土木施設について保存・活用状況に関する調査を行った結果、4,871件の施設に関しての回答が得られ、そのうち493件では積極的な保存・活用の取り組みが行われていることが分かった。この493件の施設に関して、調査項目への回答結果の概観および、保存・活用の経緯が比較的明確な施設10件を取り上げて事例研究を行った。ここで得られた知見は以下のようにまとめられる。

（1）施設分類別にみると、保存・活用の件数的には橋梁、ダム、水門等、隧道の順になっている。これは市町村史に記載されている件数の多さを反映しており、同時に全国的にみた土木施設の施設種別数の偏りを示すものといえよう。

（2）保存・活用時の整備状況としては「現状維持」が最も多い結果となったが、これは該当する土木施設が現役施設として機能していること。また、土木施設が強固に作られていることを示すといえよう。

（3）施設数の比較的多い橋梁およびダムについて施設種別の整備状況、保存・活用理由を調べた結果、保存・活用の理由の面で差異ががみられ、ダムの事例では「その他」への回答が非常に多くなった。この理由としては、古い堰堤等、長い期間存在しているものが多く、特に大規模に手を加えなくても保存していくことが可能であったこと、またそれらは現在も現役の施設として役割を果たしており、必要性のうえから保存がなされていることなどが考えられる。さらにこれらの施設は、長い時間を経過したことで河川そのものと一体化しており、存在することが当たり前であると人々に考えられているため、特に意識せずそれらの保存がなされたことも「その他」の回答が多かった理由の一つだと考えられる。しかし、今後河川の改修などでこれらの堰堤が現役の施設としての役割を終えた時のために、これらの施設の保存・活用を行っていくための手法を検討をしておく必要がある。

（4）第二次世界大戦以前に作られた施設においては保存・活用の理由として「歴史的価値」が多く挙げられる傾向にあり、時間経過とともに土木施設の歴史的価値が高まることが伺える。また、保存・活用理由の複数回答傾向をみると、「地域の固有性を示す」、「地域住民の愛着」といった地域性と強く結びつく理由も同時に選択されており、時間とともに土木施設が地域と深く結びついていく様子が分かる結果である。

（5）戦前に作られた土木施設でも、現役施設として機能しているものは大多数であり、土木施設の息の長さが示される。

（6）493件の積極的な保存・活用を行っている事例についてその取り組み状況について調べた結果、委員会の設置（52件）、有識者の参画（41件）、提唱者の存在（148件）、市民参加（34件）、自治体関与（90件）、国の関与（81件）、文化財指定（62件）であった。また、活用状況としてパンフレット、広報誌等への掲載（90件）、施設周辺での掲示（106件）、公園として整備（56件）が行われていることが明らかになった。さらに利用状況として地域住民の利用が顕著であるものが357件、観光の対象となっている施設は121件であった。

（7）上記の事例研究結果から、個々の施設において保存・活用の取り組み状況は異なるものの、総じて保存・活用の経緯等が明快な施設は活用、利用状況も良好であると考えられる。

4．今後の課題

ここでは地方史誌に記述のあった土木施設を事例として取り上げ、複数の事項について調査を行い、歴史的・文化的な土木施設の保存・活用状況の把握を行うと共に今後の保存・活用方策の検討を行うことを目的に考察を行ってきた。全国における市町村史の収集を試み44府県における資料は得られたものの、各府県における全市町村史の入手には至らず、総数的には全国の約半数程度と考えられる。こうした資料的な限界を有してはいるものの、実際に全国で約500件の土木施設が、歴史的あるいは文化的観点から積極的に保存・活用されていることが明らかになったことは意義深いものと考える。

今後は、未収集の取り組み状況に関する資料の収集が進むことが望まれる。また、事例研究からは、個々の土木施設における保存・活用の経緯およびその内容が様々であることがわかったが、今後の保存・活用に資する取り組みの状況のデータベース等の整備が望まれる。さらに、目的の部分で述べたように、土木施設そのものが表す地域の歴史性、文化性を、その保存・活用の状況から把握することにより、地域に住む人々の心に何があり、何を求めているかといったことを探り出し、地域づくりを演出する素材として土木施設を活用していくことが重要である。

◆ 景観特集 ◆

地域景観イメージの特性抽出について
—つくば市と軽井沢町における住民意識調査比較 —

田中奈美* 丹羽 薫**

1. はじめに

景観への関心が高まる中、景観研究は幅広く行われており、内容は大きく以下に2分される。建築物や街路景観等の視覚を中心とした知覚で直接、間接に捉えられる空間を対象としたものと、都市や地域等の面的広がりを有する空間を対象としたものである[注1)]。本研究は、後者の研究同様に一定の広がりを有する地域景観を対象に空間の景観的特性抽出を行い、地域景観計画の基礎的な知見を得ることを最終的な目的とする。

ここでは、現前する景観として視覚で捉えることの困難な対象について、人々が抱く共通の認識から形成されるものを景観イメージと定義する。また、地域景観イメージは、地域の実態的景観が存在することを前提として人々の体験や入手する情報等によって形成される大まかな景観イメージと捉える。研究を進める上での具体的な地域景観としては市町村域を対象とする。

研究は、定性的な地域景観イメージの把握、物理的な空間特性に着目して定量的に把握することの両側面を通じて考察を行うものである[注2)]。

本報文では茨城県つくば市および長野県軽井沢町を対象地域に行った定性的な地域景観イメージの抽出を目的とした意識調査の中で形容詞対、地域概念、土地利用という複数指標を用いて地域イメージの特性抽出を試みた結果を報告する。

2. 調査概要

2.1 調査対象地の概要

調査を実施した茨城県つくば市は、茨城県南部に位置し、面積259.53km^2、人口154,502人、東京都心からの距離は50km程である。地形的には北に筑波山を有する他は平坦で、土地利用的には田・畑の割合が43%と最も多い。市の中心には1971年より建設の始まった筑波研究学園都市(約27km^2)があり、46の国等の研究教育機関施設、200を超える民間の研究機関があり、独自の開発計画によって整備が進められてきた。

長野県軽井沢町は長野県東南部に位置し、面積156.05km^2、人口15,658人、東京都心からは150km程度である。地形的には群馬県境に位置する2,560mの浅間山を北部に有し、土地利用面積では山林・原野が64%を占める。江戸時代は中山道の宿場町として栄えたが、幕府崩壊以降はその機能を果たせずにいた。明治期に英国人宣教師が山荘を構え、著名人に紹介したことを機に、主に夏場の避暑を目的とした保養休養地として発展を遂げる。年間の観光客入り込み数は7,769,000人(平成6年度)で夏期が多い。

調査対象地域に上記2地域を取り上げたのは、調査の利便性、および他の地域にはない特色を有しており、地域特性の抽出が行いやすく、調査手法の検討を行うにも適当と判断したことによる。

2.2 調査の実施概要

調査の実施概要、属性項目を表-1に示す。つくば市では1996年2月上旬に実施し、住民台帳から抽出した2,000人を対象に郵送配布、回収を行った[注3)]。回収部数は1,126部、回収率は56.3%となった。軽井沢町では1996年11月に実施し、母集団からの抽出率をつくば市調査と同程度とし、住民台帳から調査対象者を662人抽出した。配布回収方法はつくば市における調査と同様に郵送で行い、回収部数は347部、回収率は52.4%であった。

属性的な特徴をみると、いずれも若干女性が多い点は同様であるが、平均年齢はつくば市で41.8才、

A Study on the Characteristics of the Regional Landscape Image –Comparison between the results of two questionnaire conducted among the residents of Tsukuba Science city and Karuizawa Town–

注1) 視覚で捉えられる既往の景観研究の対象には、眺望、河川、道路、地区等がある[1),2)]。一方、広範囲を対象とした研究では、都市、地域があげられる[3),4)]。

注2) 関連する筆者らの研究成果には、物理的な空間特性、定性的な景観イメージの抽出に関するものがある[5)~9)]。

注3) 市内居住者のランダムサンプリングを行うため、市内最大地区であり、学園都市建設に伴う転入者の新住民居住地区および旧住民居住地区の混在する谷田部地区居住者52、692人から抽出を行った。抽出率は3.8%、市全体(145,451人)では1.4%となる。

軽井沢町は44.2才と軽井沢町の対象者集団の方がやや高めである。既婚者が70%以上を占めていること、家族人数が平均3.8人である点は同様である。また、平均居住年数はつくば市は17.9年だが、軽井沢町では26.5年で9年程長い。

職業は両調査とも会社員が最多だが、つくば市は専業主婦(20.5%)、公務員(11.4%)の順であるが、軽井沢では自営業(24.8%)、専業主婦(11.5%)となっている点が異なる[注4)]。

上記に示した属性項目の差異は、主につくば市の地域的特徴によると考えられる。つまり、わずか25年程前に大規模開発が始められた地域では居住者の年齢や居住年数が低くなる。また、職業で公務員率が高くなるのもつくば市に存在する国立の研究機関数から当然である。ここでは、性別、結婚等の項目には差異がみられないので両調査結果の比較を行うことは可能として考察を進める。

3. 地域イメージの抽出

3.1 形容詞対による地域イメージの抽出

まず、調査対象地域全体の地域イメージについて[注5)]、形容詞対を用いて調べた結果について考察する。調査票に示した20の形容詞対については、回答者に『非常にそう思う』、『ややそう思う』、『どちらでもない』からなる5選択肢から最も考えに近いものを選択してもらった[注6)]。集計した各形容詞対の平均値を図-1に示す。

この回答傾向から[注7)]、つくば市のイメージとしてあげられるのは「明るい」、「好きな」、「落ち着いた」、「特色のある」、「新しい」、「かたい」、「のどかな」、「快適な」、「整然とした」、「美しい」、「人工的な」等の形容詞である。ここでは筑波研究学園都市という新しく造られた都市を有するつくば市の特徴を良く表わす「人工的」、「特色のある」、

表-1 調査概要および対象集団の特性

調査地域		つくば市		軽井沢町	
調査時期		1996年2月		1996年11月	
配布数(部)		2,000		662	
回収数(部・率)		1,126	56.3%	347	52.4%
性別	男性	496	44.0%	158	45.5%
	女性	621	55.2%	188	54.2%
	無回答	9	0.8%	1	0.3%
平均年齢(才)		41.8		44.2	
結婚	既婚	834	74.1%	271	78.1%
	未婚	265	23.5%	72	20.7%
	無回答	27	2.4%	4	1.2%
平均家族人数(人)		3.8		3.8	
平均居住年数(年)		17.9		26.5	
職業(人)	会社員	322	28.6%	114	32.9%
	公務員	128	11.4%	22	6.3%
	自営業	109	9.7%	86	24.8%
	パート・アルバイト	88	7.8%	31	8.9%
	学生	91	8.1%	8	2.3%
	専業主婦	231	20.5%	40	11.5%
	無職	70	6.2%	18	5.2%
	その他	70	6.2%	24	6.9%
	無回答	17	1.5%	4	1.2%

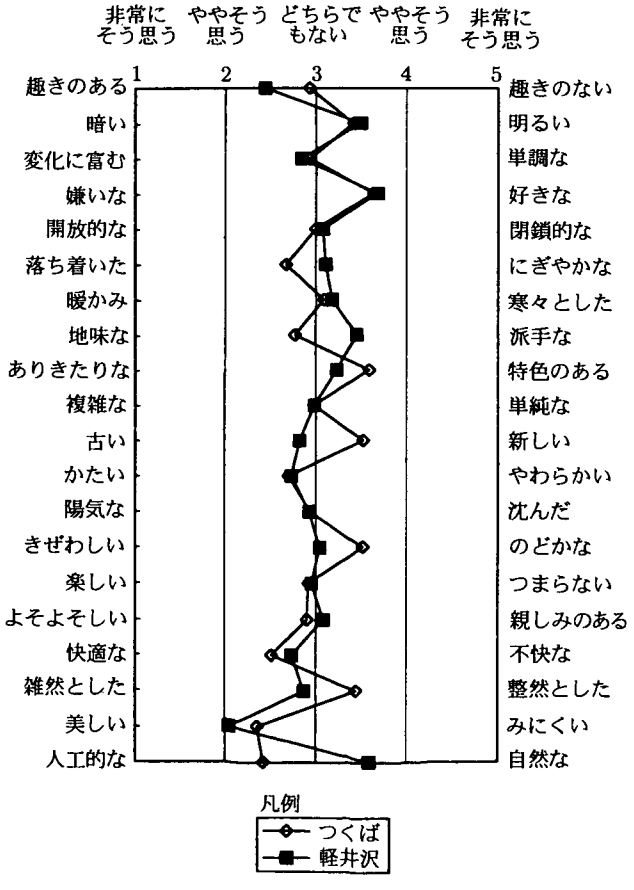


図-1 形容詞による地域イメージ

注4) 属性項目に関しては両調査間で母平均の差の検定および、母比率の差の検定を行った結果、平均年齢、平均居住年数、職業の公務員率、自営業率、学生率、専業主婦率の各項目で有為な差がみられた。尚、本報文中の検定には社会情報サービス社のソフトウエア「エクセル統計」を用いた。

注5) 調査対象とする地域自体は様々な特徴を有していると考えられるが、ここでは回答者が最も強く思い浮かべる地域イメージについて各形容詞対へ回答してもらうものとした。

注6) 20形容詞対は、心理学的手法においてオズグッドがSD法で抽出されると延べている「評価性」、「力量性」、「活動性」の3軸に対応する形容詞対を選定するとともに、建築、都市計画分野の既往研究で用いられている形容詞対、本調査のための予備調査結果を参考に選定した[10)]。

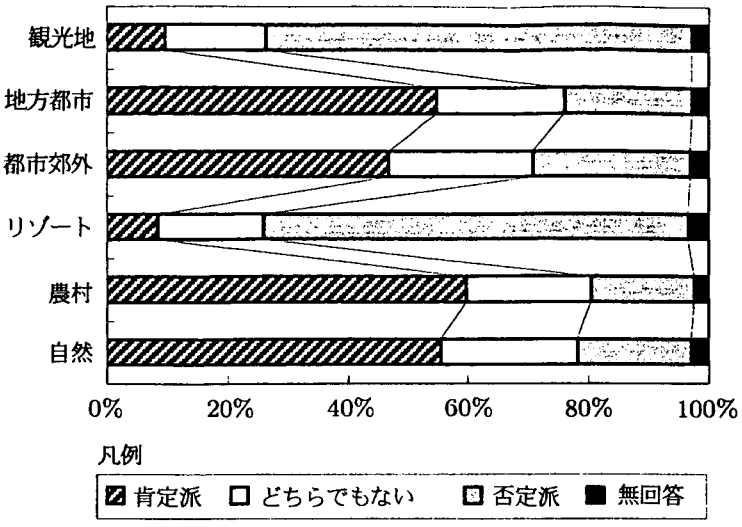
注7) 集計の際、各選択肢に値を与え間隔尺度とし、「どちらでもない」への指摘を表わす値の3と、平均値の差の検定を行った結果、有為な差がみられた。

「新しい」等が選ばれると同時に、面積的には市域の多くを占める古くからの田園地域のイメージを表わす「のどかな」、「落ち着いた」といった形容詞も選ばれており、つくば市にはこうした新旧のイメージが混在していることがわかる。

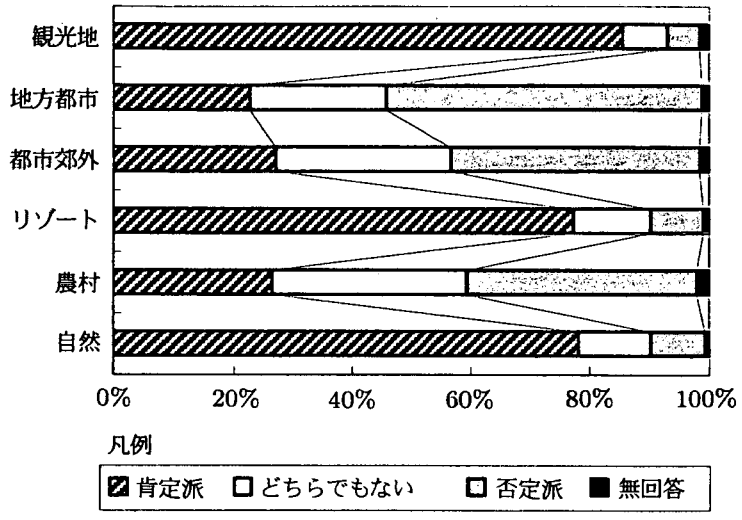
一方、軽井沢町では「趣のある」、「明るい」、「変化に富む」、「好きな」、「派手な」「特色のある」、「古い」、「かたい」、「快適な」、「雑然とした」、「美しい」、「自然な」等の形容詞が選ばれている。軽井沢の豊かな自然環境から「自然な」、「美しい」等の形容詞や、多くの観光客が訪れる避暑地のイメージといえる「明るい」、「変化に富む」、「派手な」も選ばれている。また、「古い」、「趣のある」等もみられ、宿場町としての歴史性のある地域イメージと、避暑地、観光地としての新しいイメージの両方がみられる。

調査間の差異に着目すると、「趣のある–趣のない」、「落ち着いた–にぎやかな」、「きぜわしい–のどかな」、「よそよそしい–親しみのある」、「快適な–不快な」、「地味な–派手な」、「人工的な–自然な」、「古い–新しい」、「ありきたりな–特色のある」、「雑然とした–整然とした」、「美しい–みにくい」の11項目で有為差がみられた。特に「古い–新しい」、「地味な–派手な」、「人工的な–自然な」の3項目は差が大きく、つくば市が「新しい」、「地味な」、「人工的な」、とイメージされるのに対して軽井沢町は「古い」、「派手な」、「自然な」となる。

このように形容詞対を用いた地域イメージの抽出から、2地域での限定的な調査結果ではあるが、異なるイメージが複合的に選択される傾向にあり、地域イメージ形成の構造や多様性が示唆された。また、選択傾向の差異も地域間でみられた。



図–2(a) 地域概念イメージ（つくば市）



図–2(b) 地域概念イメージ（軽井沢町）

3.2 地域概念による地域イメージの抽出

ここでは、一般的な既成の地域概念として「自然地域」、「農村地域」、「リゾート地域」、「都市郊外」、「地方都市」、「観光地」の6項目を提示し、調査地域をこれらの地域概念に照らし、どのように認識しているかを『明らかにそうである』から『全くそうは思わない』までの間に設定した5段階の選択肢から回答してもらった。指摘率を『明らかにそうである』と『そういう感じがする』を合わせた【肯定的意見】、『全くそうは思わない』と『そうは思わない』を合わせた【否定的意見】として集計した(図–2(a)、(b))。

【肯定的意見】に着目すると、つくば市では、「農村地域」が最も多い59.9%となり、次いで「自然地域(55.7%)」、「地方都市(54.8%)」、「都市郊外(46.9%)」への指摘率が比較的高くなり、こうした地域概念イメージで捉えられていることがわかる[注8)]。一方、【否定的意見】では「観光地(71%)」、「リゾート地域(70.8%)」への指摘率が非常に高くなる。

軽井沢町では【肯定的意見】で「観光地(85.6%)」

注8)「都市郊外」への指摘率は46.9%で半数以下だが、「観光地」との母比率の差の検定結果から有為な差が認められた。

が最多で、「自然地域(78.1%)」、「リゾート地域(77.2%)」が高率で続き、地域住民は明かにこうした地域概念イメージで捉えている。【否定的意見】で突出するものはないが、「地方都市(53%)」は半数を超え比較的高い。

調査間では【肯定的意見】の指摘率で全ての地域概念間で有為差が確認された。このことから、つくば市は「農村地域」、「地方都市」、「都市郊外」のイメージが強く、軽井沢町は「自然地域」、「リゾート地域」のイメージが強い特色を有している。

3.3 土地利用形態の量的イメージの抽出

ここでは「山林・荒地」、「田・畑」、「工業地区」、「住宅地区」、「商業・業務地区」、「道路」、「公園・緑地」、「都市施設地区」、「河川・湖沼」、「造成中・空地」という10種類の土地利用形態を示し、これらの調査地域における量的な印象について『非常に多い』から『非常に少ない』の間で設定した5段階の選択肢から回答してもらった[注9)]。図-3(a)、(b)に示すように『非常に多い』と『やや多い』を【多い】、『非常に少ない』と『やや少ない』を【少ない】として集計した。

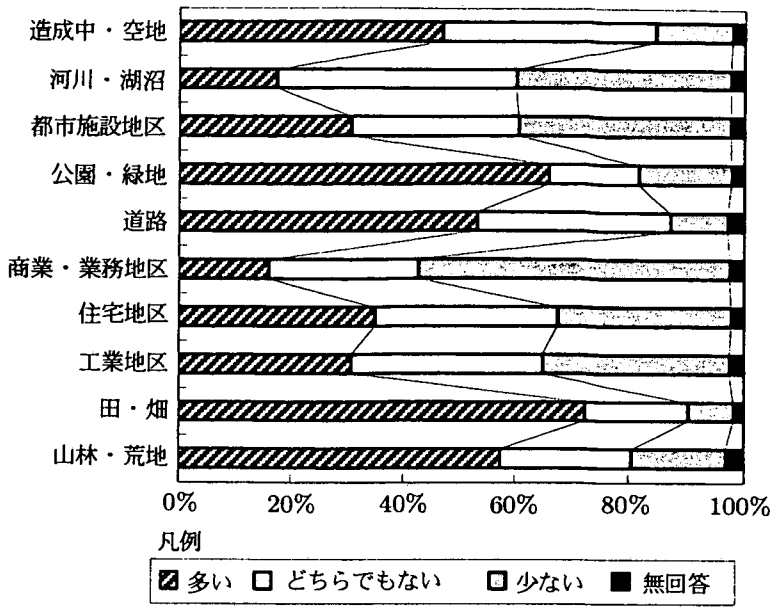


図-3(a) 土地利用によるイメージ(つくば市)

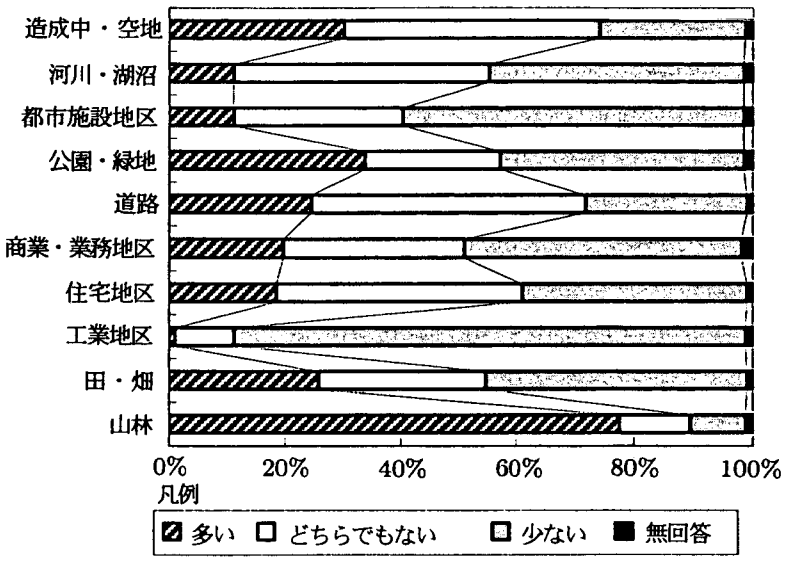


図-3(b) 土地利用によるイメージ(軽井沢町)

【多い】に着目すると、つくば市では「田・畑」への指摘率が最も高い72.4%で、次いで「公園・緑地(66%)」、「山林・荒地(57.5%)」、「道路(53.2%)」となる。「道路」と「造成中・空地」の指摘率の間には有為差がみられたので、つくば市で多いと認識されているのは上述の4土地利用形態といえよう。一方、【少ない】に関して顕著なのは「商業・業務地区(54.8%)」である。

軽井沢町では【多い】への指摘率が「山林」で77.8%と最多で、それ以外の土地利用形態で半数以上の指摘率を得るものはない。圧倒的に山林の多い地域と認識されている。一方、【少ない】への指摘率は「工業地区」が87.6%と高く、「都市施設地区(58.2%)」が次いでおり、都市的な土地利用への量的イメージが乏しいことがわかる。

続いて各土地利用形態に対する5段階の選択肢を間隔尺度とし、『非常に多い』から『非常に少ない』までに1点から5点の点数を与え、各土地利用形態の平均値を算出した。つくば市と軽井沢町の地域間考察にはこの平均値を用い、母平均の差の検定を行った。この結果、全ての土地利用形態において有為な差がみられ、つくば市は「田・畑」に代表される田園地域のイメージと「公園・緑地」、「道路」などの都市整備が進んだ都市地域イメージが混在するが、軽井沢町では「山林」の

注9) 「山林・荒地」は軽井沢調査時はより限定的な土地利用形態とするために「山林」のみとした。

自然地域イメージのみが突出する傾向である。

以上、形容詞対、地域概念、土地利用形態という複数指標を用いて2地域における地域イメージの抽出を行ってきた。この結果、両対象地域の地域イメージの特性が明かとなると同時に、地域間の差異も抽出され、今後、事例研究を重ねる必要性はあるものの地域イメージの特性抽出に関する調査手法の妥当性、汎用性は示唆されたと考える。

4. 地域概念イメージと土地利用形態

これまでの考察は形容詞対、地域概念、土地利用形態からみた地域イメージの傾向を明らかにしてきた。ここでは指標間の関係をみるために、地域概念と土地利用形態の間で、地域概念6項目、土地利用形態10項目の計16項目間の単相関係数を求め、無相関の検定を行った(表-2(a)、(b))。

まず、つくば市で肯定的意見への指摘率の高かった地域概念イメージでみると、『農村地域』は「山林」、「田」、「造成中」の3項目間に正の相関があり、「都市施設」とは負の相関がみられる。『自然地域』は「山林」、「田」、「工業」、「住宅」、「河川」の5項目と正の相関、『都市郊外』は「山林」、「田」、「造成中」を除く7項目と正の相関がある。『地方都市』は『都市郊外』と相関の高い項目から「公園」を除いた6項目と正の相関があることがわかった。一方、否定的なイメージである『観光地』は「田」と「造成中」を除く8項目と正の相関がみられ、『リゾート地域』は「工業」、「道路」、「河川」を除く7項目と相関があるが、「田」、「公園」とは負の相関である。

軽井沢町は、肯定的意見が最多の地域概念イメージである『観光地』と「山林」、「道路」、「公園緑地」、「都市施設」の間で正の相関がみられ、『自然地域』とは「山林」、「田・畑」、「公園緑地」、「河川・湖沼」、「造成中」の間に、『リゾート地域』とは「山林」、「公園緑地」の間に正の相関がある。一方、否定的意見の比較的多かった『地方都市』と「住宅」の間には正の相関がみられ、「河川・湖沼」との間には負の相関がみられる。

上記の結果は、両地域で肯定的に指摘された地域概念イメージと土地利用形態の量的なイメージの間を調べたものである。全体としてつくば市の方が地域概念イメージと相関の高い土地利用形態の種類が多い傾向である。これは、軽井沢町が、

表-2(a) 地域概念イメージと土地利用 (つくば市)

	地域概念						土地利用形態									
	自然	農村	リゾート	都市郊外	地方都市	観光地	山林・荒地	田・畑	工業	住宅	商業・業務	道路	公園・緑地	都市施設	河川・湖沼	造成中
自然	−															
農村	**	−														
リゾート	**		−													
都市郊外	**		**	−												
地方都市	**		**	**	−											
観光地	**		**	**	**	−										
山林・荒地	**	**	*			**	−									
田・畑	**	**	**				**	−								
工業	*			**	*	**			−							
住宅	**		**	**	**	**	**	**		−						
商業・業務			**	**	**	**	**	**		**	−					
道路				**	**	*		*	**	**	**	−				
公園・緑地			**	**			**	**		**	**		−			
都市施設		*	**	**	**	**		**	**	**	**	**	**	−		
河川・湖沼	**			**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	−	
造成中		*	**			**	**	**	*	**	**	**	**	**	**	−

無相関の検定 *：5% **：1%

表-2(b) 地域概念イメージと土地利用 (軽井沢町)

	地域概念						土地利用形態									
	自然	農村	リゾート	都市郊外	地方都市	観光地	山林	田・畑	工業	住宅	商業・業務	道路	公園・緑地	都市施設	河川・湖沼	造成中
自然	−															
農村	**	−														
リゾート	**		−													
都市郊外				−												
地方都市			**	**	−											
観光地	*		**	**	**	−										
山林	**		**			*	−									
田・畑	**	**					**	−								
工業									−							
住宅					**			*		−						
商業・業務							**		**		−					
道路			*			**	**		**	**	**	−				
公園・緑地	**		**			**	**	**				**	−			
都市施設			*			**						**	**	−		
河川・湖沼	**				*		**	*		*			**	**	−	
造成中	*	*											**	**	**	−

無相関の検定 *：5% **：1%

地域概念イメージの肯定派の指摘率が高い傾向にあるため、当該地域のイメージが集約されている可能性や、土地利用形態の量的なイメージについても「山林」の多さに集約されていることから、相関関係が明瞭となるものと考えられる。

これらの結果は地域概念を用いて抽出されたイメージが地域の空間的な状況を表わす土地利用形態の量的な状況への認識と関連が深いことを示し

ており、今後の考察で地域の物理的状況を示す土地利用形態を地域景観イメージの特性抽出の1指標として用いる可能性を示唆するといえよう。

両地域共通の傾向として、『自然地域』と「山林」、「田・畑」、『農村地域』と「田・畑」、『リゾート』と「山林」、「公園・緑地」、『地方都市』と「住宅」、『観光地』と「道路」、「都市施設」の相関関係が認められている。こうした共通する傾向は、地域概念イメージと物理的な土地利用状況の間の強い関連性を有していると推察される。

5. まとめ

(1) 形容詞対による地域イメージの抽出結果からつくば市は、筑波研究学園都市を中心とした新しい街のイメージと、田園地域のイメージが混在し、軽井沢町でも避暑地のイメージと自然地域のイメージの混在がみられ、地域全体は複数のイメージで形成されることが示唆された。

(2) 地域概念イメージからは、つくば市は「農村地域」、「自然地域」、「地方都市」、「都市郊外」の4地域概念イメージで捉えられており、軽井沢町は「観光地」、「自然地域」、「リゾート地域」のイメージで捉えられていた。

(3) 土地利用形態の量的イメージでは、つくば市は「田・畑」、「公園・緑地」、「山林・荒地」、「道路」が多いと認識され、軽井沢町は突出して「山林」が多いと認識されていた。

(4) 地域概念と土地利用形態の関連分析結果から、つくば市、軽井沢町いずれにおいても肯定的な意見の多かった地域概念にはそれぞれ正または負の相関の高い土地利用形態がみられ、地域概念イメージと地域の物理的な特徴を示すと考えられる土地利用形態の量的印象との間に関連性がみられた。また、両地域で関連性の傾向に類似点がみられたことから、地域差の影響を受けない強い関連性も示唆された。

(5) 本報の考察では形容詞対、地域概念、土地利用形態の複数指標を用いて地域景観の一端を担う一定地域の地域イメージを導くことを試みた。いずれの指標においてもつくば市と軽井沢という異なる特徴を有する地域のイメージ的特性が浮かび上がった。さらに、指標間の関連性分析からは調査対象地間で共通する傾向もみられ、こうした方法を用いて地域景観イメージの抽出を行うことの妥当性は限定的ではあるが得られたものと考える。今後は事例研究を重ねることで地域イメージの抽出手法の汎用性を高めるとともに、地域景観の物理的な特性抽出に関する考察を重ねて行い、包括的な地域景観特性の抽出を試みることが課題である。

参考文献

1）油井正昭、古谷勝則：スライドによる中・高・大学生の眺望景観に対するイメージと評価に関する研究, ランドスケープ研究,58,pp.181-184,1995.

2）山下三平、坂本紘二、平野宗夫：子供の目に映った河川環境とその評価に関する研究, 土木計画学研究・論文集,pp.271-278,1992.

3）出田　肇、石見利勝：都市の構成要素の認知とイメージの関連分析−兵庫県姫路市におけるケーススタディ−, 都市計画論文集 29,pp.571-576,1994.

4）久保貞、Wu MY 他：都市景観の構造に関する研究, 造園雑誌,48,pp.312-317,1985.

5）田中奈美、土肥博至他：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,pp.269-284,1995.

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5〜その7, 日本建築学会関東支部研究報告集,pp.321-328,1996.

7）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, 第30回日本都市計画学会学術研究論文集, pp.229-234, 1995.

8）田中奈美、丹羽薫：地域景観イメージの抽出に関する研究I−茨城県つくば市住民の地域イメージに関する意識調査を通じて−, 第51回土木学会年次学術講演会,IV-364, pp.728-729, 1996.

9）田中奈美、丹羽薫：地域景観イメージの抽出に関する研究I−茨城県つくば市の地域イメージと景観イメージ−, 土木計画学研究・講演集,19(1),pp.153-156,1996.

10）岩下豊彦：SD法によるイメージの測定, 川島書店,1983.

田中奈美*



国際連合地域開発センター
(前　環境計画研究室
科学技術特別研究員)
デザイン学博士
Dr.Nami TANAKA

丹羽　薫**



ダム水源地環境整備センター
(前　環境計画研究室長)
Kaoru NIWA

II - 3　景観の予測及び評価に関する研究

現場職員のための景観シミュレータ・景観データベースの開発*

Development of Landscape Simulator and Affiliated Databases

小栗ひとみ**　丹羽　薫***　須藤晴夫****
by Hitomi OGURI　Kaoru NIWA　Haruo SUDO

1．はじめに

公共土木施設および建築物の構築にあたり、計画から施工に至る各段階に応じて視覚的な検討が容易に行え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、従来のＣＧでは、「価格が高い」、「使いこなすのが大変」、「データ作成に時間がかかる」といった難点があり、その利用は限定されてきた。そこで、建設省では、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～８年度）の一環として、地建事務所等の職員が手軽に使える、操作性・実用性に優れた景観シミュレーションシステムの開発に取り組んでいる。この建設省版景観シミュレーションシステム（ＬＳＳ;Land Scape Simulationの略）の開発概要については、第17回土木計画学研究発表会で既に報告したとおりであるが、平成７年度までの開発によりシステムの基本的な機能を概成したので、ここに紹介することとしたい。

2．基本方針

本システムは、パソコンで動く景観シミュレータと、各種構造物や景観材料など画像の部品を揃えた景観データベースから構成される。土木研究所と建築研究所が共同で開発にあたり、土木分野・建築分野共通に利用可能なシステムをめざしている。開発の基本方針として、「機種を特定しないシステムの開発」（マルチプラットホーム）および「内部データ形式やソースリストの公開」（フリーウエア）を定め、独自ソフトの開発を行ってきた。現在までに、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WindowsNT3.5以上を搭載した汎用パソコン（NEC PC9801およびAT互換機）で、システムが動作することを確認している。

3．データ形式

本システムでは、メモリ上のデータ形式および外部ファイル形式を独自に定めている（ＬＳＳ形式）。

①一般形

ファイル形式の基本ルールは以下のとおりである。

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

②ＬＳＳ-Ｓ(Scene)ファイル

以下のようなシーンデータを具現化したASCIIファイルである。

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

③ＬＳＳ-Ｇ(Geometry)ファイル

以下のような３次元形状データを具現化したASCIIファイルである。

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

図－１　ＬＳＳ形式の概要

＊キーワード：景観、空間設計
＊＊　建設省土木研究所環境計画研究室
〒305茨城県つくば市旭1番地，電話0298(64)2269，FAX0298(64)7221
＊＊＊　正会員　工修　建設省土木研究所環境計画研究室
〒305茨城県つくば市旭1番地，電話0298(64)2269，FAX0298(64)7221
＊＊＊＊　建設省土木研究所環境計画研究室
〒305茨城県つくば市旭1番地，電話0298(64)2269，FAX0298(64)7221

ＬＳＳ形式には、テクスチャ等を含む３次元形状を扱うためのLSS-G(Geometry)形式と、これに視点や光源等の条件および画像データを付加して景観画像を生成するためのLSS-S(Scene)形式がある。（図－１）

データ形式の決定にあたっては、不特定のＣＡＤやＣＧシステム間のデータ交換に事実上標準として使用されているＤＸＦ形式を準用することも検討したが、色やテクスチャなど表面仕上げに関する記述の仕様が不十分であることや、現場に合わせて形状を変形できるようなパラメトリックな部品も記述できる必要があること等から独自形式を定めることとした。

なお、既存のＣＡＤ等で作成したデータの利用を可能とするため、ＤＸＦ等一般的に普及しているいくつかのデータ形式について、ＬＳＳ形式への変換プログラムを作成している。

４．景観シミュレータの機能

(1) 背景写真と３次元構造物の合成表示（フォトモンタージュ）

現場で撮影した背景写真とＣＡＤ等で作成した構造物の３次元形状データを合成して景観画像を作成し、ディスプレイに表示したり、カラープリンタに印刷することができる。フォトモンタージュは、景観を予測する際によく用いられる手法であり、視点が固定されるという短所はあるものの、本システムのシミュレーション機能の中でも最も活用が予想される機能である。従来時間を要した位置合わせも、写真の撮影位置やカメラアングルを復元する機能（画像視点抽出機能）により、正しい位置に自動的に合成することが可能となった。

なお、構造物の３次元形状データの作成には、既存のＣＡＤやモデリングソフトを用いることにしているが、簡易的な形状生成機能として、「直方体や球などの基本的な図形の組み合わせにより形状を生成する機能」、および「道路やのり面工などいくつかの景観構成要素を現場に合わせて自動生成する機能」を用意している。

(2) 色やテクスチャの変更

構造物などの３次元データについては、色やテクスチャなど表面の仕上げを変更することができる。色彩は、ＲＧＢやL*a*b*などの数値入力により自由に設定できるほか、施工との対応を考慮して、日本塗料工業会の色見本の選択入力も用意した。特に、耐候性に優れたフッ素樹脂、ポリウレタン樹脂、シリコン樹脂系の塗料は、樹脂により使える色が異なるため、樹脂と色の対応がとれるようにしている。また、質感については、反射率の数値入力、およびテクスチャ見本の選択入力により設定することができる。

なお、現システムでは、２次元画像の編集機能は特に用意していないので、背景画像やテクスチャの修正などは市販のペイントソフトを用いて行うことになる。

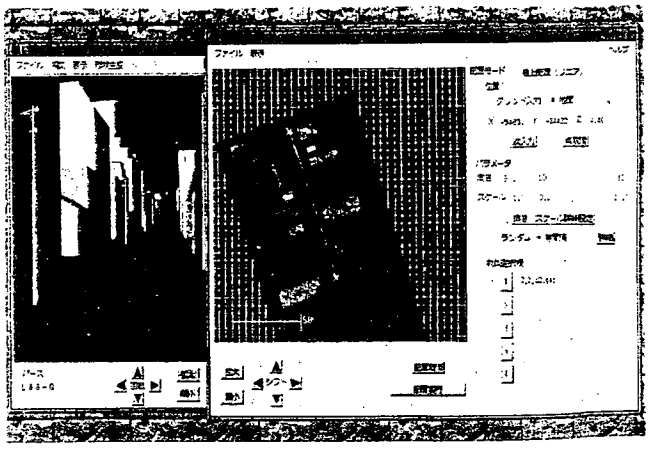
(3) 部品の配置

景観データベースで検索した部品データは、パラメータの入力により半自動的に景観画像に配置できるようにした。これは、「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－２）

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

b)エリア内配置：３次元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

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



図－２　配置画面

(4) 都市計画シミュレーション

現況の市街地が、都市計画条件の変更により将来どのように変化するのかを予測するための機能である。敷地データを入力し、容積率、高さ制限、斜線制限の数値を変更すると、市街地を自動的に生成する。

この機能により生成した市街地データは、全て3次元のデータとなっているため、任意の視点からの景観検討が可能である。また、市街地データを背景として利用し、土木構造物データと組み合わせることによって、例えば街並みと高架橋との調和などを検討することができる。

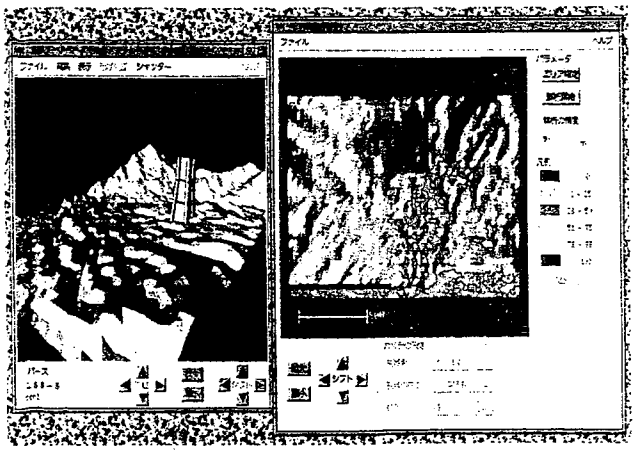
(5) 季節変化・時間変化シミュレーション

色や光沢などの見え方は、光の具合によって異なるものである。そこで、検討場所の緯度経度、および月日・時刻を指定すると、太陽方位を計算し自動的に光源を生成するようにした。

また、樹木の季節変化や塗料の退色などの変化については、景観データベースに登録されている変化情報を時間指定により表示する方法で実現した。

(6) 任意視点からの景観の表示

さらに詳細な景観検討を行う場合、固定された視点からだけではなく、あらゆる角度から自由に視点を変えて、構造物と周辺との調和を検討できる必要がある。そのためには、地形や市街地など背景を含めて全てが3次元でなければならないが、データの作成にかなりの時間と費用を要するという問題があった。しかし、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」（平成5～6年度）により、従来に比べて容易に地形データを入手できる状況となった。そこで、本システムでは、ステレオ空中写真自動解析結果を利用して3次元地形データの取り込みおよび表示を行い、「鳥瞰図」や「歩行者の視点」など任意の視点からの景観の表示を可能とした。すなわち、視点制御機能として、「現在地の表示」、「任意の視点から見た景観の表示」、「設計対象物が見える範囲の表示」および「道路・河川等に沿った景観の表示」（動画）といったメニューを用意している。（図－3）



図－3　設計対象物が見える範囲の表示例

(7) 道路のり面の自動生成

3次元地形生成機能および視点制御機能の実現により、3次元地形データの取り扱いが可能となった。そこで、3次元地形の中に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用意し、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。

地形平面図上で道路軌跡をポインティングする方法で道路位置を入力すると、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。のり形状について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。ただし、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。さらに、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。

5．景観データベースの概要

(1) データベースの構成

ここ1～2年の間に、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た。CGソフトでも部品集付きのものをよく見かけるようになった。しかし、それらは景観検討に使えるような実用的な部品とは言い難く、また必要な部品を揃えたデータベースにはなっていないのが現状である。

本プロジェクトでは、景観画像を構成する様々な部品をデータベースに蓄積し、これらの部品を設計対象現場の画像に置いてみることで、手軽に景観シミュレーションを行うことができるようにしている。景観データベースは、扱うデータの特性に応じて、「優良景観事例データベース」、「景観構成要素データベース」および「景観材料データベース」がある。

a)優良景観事例データベース：景観に配慮した構造物の設計事例を集めたデータベース

b)景観構成要素データベース：周辺の建物、樹木、人や車といったありふれた部品を集めたデータベース

c)景観材料データベース：景観材料として供給される各種製品を集めたデータベース

(2) データベースマネジメントシステム

データベースマネジメントシステムについても、事務所分散型で稼働する機能の独自開発を行ってきている。収集したデータは、入力専用エディタにより、ユーザー自身が手軽にデータベースに登録することができる。検索機能は、分類の選択、範囲や名称の指定、キーワードの選択、および文字列の指定を用意した。これらにより検索された部品データは、配置機能を使って容易に画像に置くことが可能である。また、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するカタログレイアウト機能を有している。

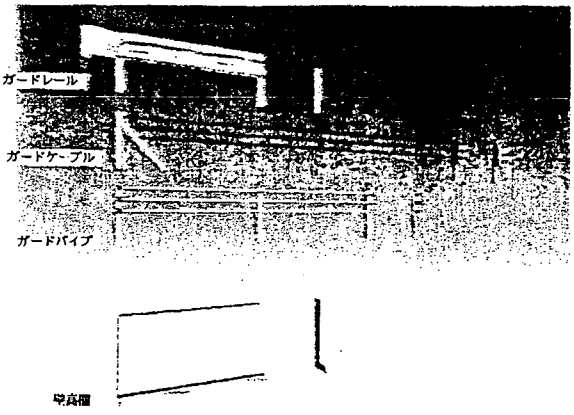
さらに、平成８年度において、ユーザー同士のリモート検索やリモートデモ、またオンラインによるデータベースの配布・回収およびトラブル対処等を内容とするネットワーク機能の追加を予定している。この機能の追加により、事務所間または事務所ー本局間で同じ画面を見ながら対話的に景観検討を行ったり、他事務所のデータベースを検索して、必要なデータを利用することが可能となる。なお、ネットワーク機能の実現にあたっては、開発の効率性を考慮して、既存のデータベースソフトへの移行や、Ｗｅｂの利用を検討している。

(3) データベースの運用形態

データベースの提供については、当初想定していたCD-ROMの他、近年普及が急速に進んだインターネット等の通信手段を利用することも検討対象となっている。それらも含め、景観データベースの運用形態については、平成８年度において具体的な検討を行う予定である。

(4) 試用・評価版景観データベースの作成

景観データの器であるデータベースマネジメントシステムの開発が進んだ段階で、優良景観事例、景観構成要素、景観材料それぞれのデータをいくつか入力し、景観データベースの試用・評価版を作成している。このバージョンでは、合わせて３８０件程度のデータを用意した。（図－４）なお、景観材料データベースについては、土木研究所の化学研究室が材料メーカーの協力を得てデータの整備を進めているところである。



図－４　景観構成要素データ出力例

６．おわりに

平成５年度から開発を進めてきた建設省版景観シミュレーションシステムも、いよいよ最終段階を迎えた。現在、事務所等における試用・評価を通じて、機能の確定と改良点の抽出を行っているところである。これらの意見に基づいてシステムの改良を重ねるとともに、データベースの充実を図り、より使いやすく実用的なシステムの完成をめざす。また、ネットワーク機能の追加、インストールプログラムおよびヘルプ機能・マニュアルの作成など、普及のための開発を行う予定である。

景観が人間の感性に与える影響の定量的な評価に関する研究*

A Study on Quantitative Appraisal of Emotion Affected by Landscape

小栗ひとみ**　　寺川　陽***

by Hitomi OGURI and Akira TERAKAWA

1．はじめに

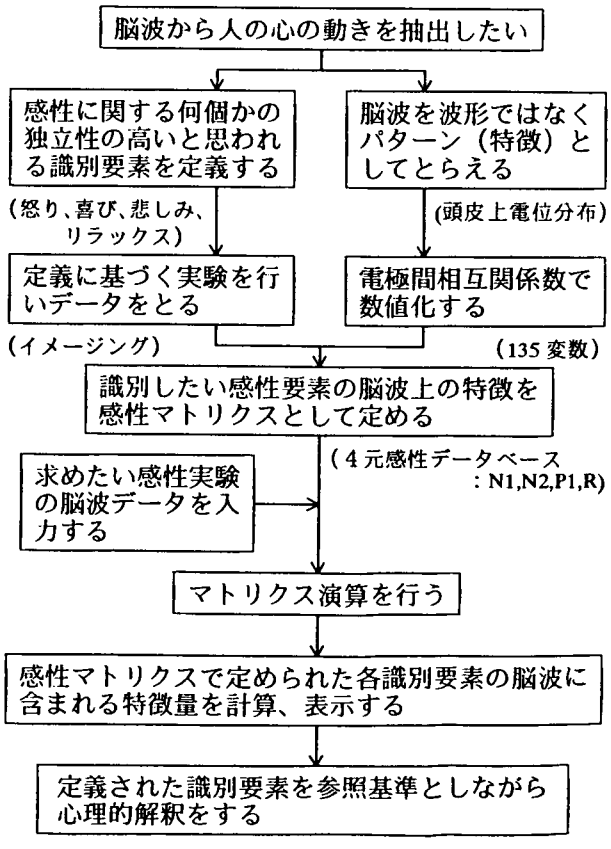
近年、土木施設の整備に当たって、景観への配慮は重要な事項の一つとなり、各分野でデザイン向上のための努力が積み重ねられている。より快適で心地よい景観デザインが求められており、そのためには景観と人間の感性との関係を客観的に明らかにする必要がある。

これまで、景観が人間の感性に及ぼす影響については、専らアンケートなどの主観的な手法を用いて評価が行われており、景観による快適感やストレスを客観的・定量的に計測・評価できる手法はなかった。しかし、近年、脳波解析による人間の感性の客観的・定量的な計測や、感性に基づく設計手法など感性に関する工学的技術が進展し、これらを応用することによって景観と人間の感性との関わりを解明できる可能性が出てきた。

本研究は、アイマークレコーダーと脳波の感性スペクトル解析法の組み合わせによる感性影響計測システムを開発し、景観の各要素と人間の快・不快との相関を定量的に分析することにより、景観が人間の感性に及ぼす影響を明らかにすることを目的とするものである。

2．感性スペクトル解析

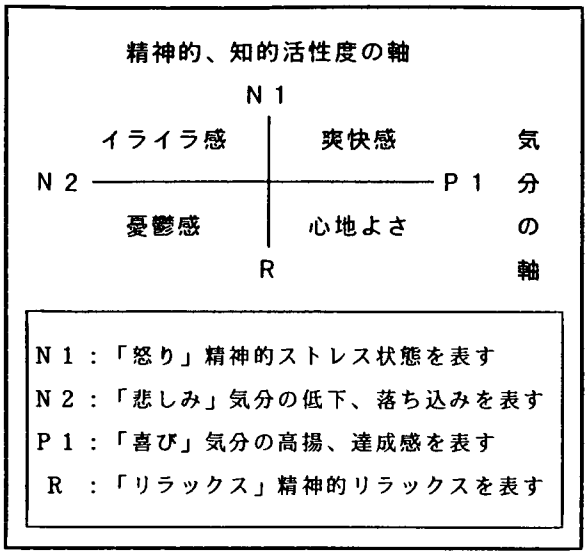
今回脳波の状態から人間の心理状態を解析する手法として、武者利光氏（(株)脳機能研究所）が開発した感性スペクトル解析法を用いた。これは、基準となるような人間の心理状態（感性要素）と頭皮上の電位分布との間に一定の対応関係が見られ、かつそれぞれが直交関係（独立）にある時、複雑な頭皮上電位現象もそれぞれの特徴パターンが一定の割合で混ざり合ったものとみなすことができ、それぞれの強度を数値的に表すというものである。この解析では、図－1に示すように、実測データをもとに作成された感性データベース（基準となる心理状態に対応したデータベース）に求めたい脳波データを入力することにより、感性スペクトルと呼ばれる各感性要素のレベルを求めることができる。なお、感性データベースは、予め感性要素を定義し、被験者がそれぞれの感情を表しているときの脳波をもとに作成するため、データベースの質が悪いと解析結果の



図－1　感性スペクトル解析法

＊キーワード：景観，感性分析
＊＊　建設省土木研究所環境計画研究室
〒305茨城県つくば市旭1番地，電話0298(64)2269，FAX0298(64)7221
＊＊＊　正会員　工修　建設省土木研究所環境計画研究室
〒305茨城県つくば市旭1番地，電話0298(64)2269，FAX0298(64)7221

の信頼性が乏しくなる。今回は、既に多くの例証がなされているという理由で、「標準４元感性データベース」を使用することとした。このデータベースは、「怒り」、「悲しみ」、「喜び」および「リラックス」の４つの感性要素で構成されている。求めたい感性状態は、各要素のレベルに加え、図－２のような複合感性の４象限で解釈することができる。



図－２　感性指標

３．感性影響計測システム

景観が人間の感性に与える影響を計測する装置として、アイマークレコーダーで記録された視線位置情報と、脳波の感性スペクトル解析により得られる感情情報をリアルタイムに重ね合わせ、景観の各要素と被験者の快・不快との相関を分析するシステムを作成した。なお、今回はビデオ画像による景観の提示を前提としてシステム設計を行った。

（１）システムの構成

①解析用ﾊﾟｰｿﾅﾙｺﾝﾋﾟｭｰﾀ　：DOS/V、Windows95

②ディジタル生体アンプ：(株)ｴﾇｴﾌ回路製、脳波信号の増幅用

③アイマークレコーダー：(株)ﾅｯｸ製、視線情報取り込み用

④ﾋﾞﾃﾞｵｷｬﾌﾟﾁｬｰﾎﾞｰﾄﾞ　：視線位置情報をﾊﾟｿｺﾝに取り込むために使用

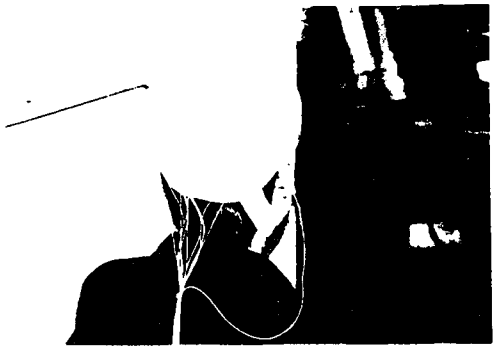
⑤ﾌｪﾙﾄ式脳波ｷｬｯﾌﾟ　：(株)脳機能研究所製、電極数10、脳波の収録用。右耳朶基準。

⑥テレビモニター　：景観映像の提示、ｱｲﾏｰｸﾚｺｰﾀﾞｰ映像のﾓﾆﾀﾘﾝｸﾞ

⑦ビデオデッキ　：景観ビデオの再生、ｱｲﾏｰｸﾚｺｰﾀﾞｰの視線情報の記録

⑧ＭＯドライブ　：脳波データの記録用

⑨ｴﾓｰｼｮﾝﾓﾆﾀﾘﾝｸﾞｼｽﾃﾑ ｿﾌﾄｳｴｱ　：感性情報と視線情報の重ね合わせおよび分析用



図－３　脳波測定用キャップ



図－４　アイマークレコーダー



図－５　実験装置全景

（２）システムの機能

本システムの機能は、次のとおりである。

１）視線位置情報の取り込み

アイマークレコーダーから出力される視線位置情報を、ビデオ画像とともにコンピュータ上に取り込

む。

2）脳波の感性スペクトル解析

計測した脳波の感性スペクトル解析を行い、被験者の感情を4つの感性要素に定量化する。

3）視線位置情報と感性情報の重ね合わせ

視線位置情報と感性情報の同期をとり、同一モニター上に表示する。

4）景観構成要素と快適度の相関分析支援

感性スペクトル分析のほか、脳波の主成分分析、パーセントパワーおよびファジー理論に基づいた複合感情の自動判定も同時表示が可能である。また、それぞれの計算結果については、テキストファイル形式での保存が可能であるので、統計処理などの二次処理に利用することができる。

①主成分分析：例えば前頭葉に配置した4電極で記録した脳波データの主成分分析をして、第1主成分の寄与率を調べると、この量は４ｃｈの波形情報の内のどれだけが1変数で表現できるかを示している。前頭葉は脳波内情報の統合を行っていると考えられるが、分析結果は情報の統合度のようなものを表していると解釈される。単純な思考をしているときには、この量は1に近くなり、並列にいろいろなことを考えていると低下する。例えばＴＶゲームをしていると、極端にこの量が低下する場合が多い。集中力を表しているとも言える。

②パーセントパワー：脳波の全パワー（二乗平均値）の中でθ、α、β波の占めるパワーの％をいう。それぞれの脳波は、覚醒の高い状態（β波）、弛緩した状態（α波）、まどろみの状態（θ波）で発生するという特徴を有している。このうちα波は、覚醒の高い時および睡眠時には出現しないため、覚醒時から眠気を感じているときには増大するが、まどろみの状態に入ると減少し（これがトランジェント状態）、変わりにθ波のパワーが増加してくる。この性質を利用して、例えばドライバーの覚醒レベルの判定などが可能である。

③ファジイ：４つの要素的な感性状態の組み合わせから複合感情をファジイ推論を用いて表現したもの。

このシステムを使用することにより、いつでもアイマーク情報と感性情報をディスプレイ上に再生して、詳細な観察を行うことができる。また、必要な情報ポイントについては、ワンタッチマウス操作でデータ移動が行える。さらに、測定中は景観のＶＴＲやアイマーク情報以外に、実験者がイベントマークを入れることができるようになっている。

4．テスト映像による測定実験

テスト映像を用いた視線位置および感性情報の測定実験を行って、システムの動作確認を行った。なお、テスト映像は、高速道路の実車走行映像を使用し、感性の変化が大きいと思われるトンネル手前、カーブ、追い越しの各場面と、ビデオ合間のテロップ画面で脳波の解析を行った。

（１）実験の手順

1）準備と各種設定

①被験者に脳波電極を装着する。

②被験者にアイマーク検出ユニットをかぶせる。

③角膜反射像のピントを合わせる。

④視野カメラの位置合わせをする。

⑤アイマークの位置合わせを行う。

⑥キャリブレーションを行う。

⑦画面を提示し、脳波収録とアイマークデータ収録を行う。

2）データ収録とリアルタイム処理

①脳波データを光磁気ディスクに収録保存する。

②アイマーク情報を視野カメラ情報とともにビデオテープに収録する。

③脳波データとアイマークデータをリアルタイムで処理し同時表示する。

3）データ再生とオフライン解析

①収録した脳波データとアイマークデータを読み



図－6　実験風景

出し再生表示する。

②脳波データを感性スペクトル解析し、感性スペクトル表示画面にアイマーク画像をオーバーラップ表示する。

③感性スペクトル表示とアイマーク画面を同期して変化させる。

④主成分分析やパワーパーセントグラフとの同時表示を行う。

⑤ファジィによる複合心理解析と同期して変化させる。

（2）データ解析結果

1）トンネル手前

ストレスと悲しみが強く、喜びが出ていない。パーセントパワー（β波）が著しく下がっている。主成分分析では第1主成分の寄与率もかなり高く、やや眠気の発生が推測される。視線は、トンネル上部、やや上目気味であり、変化のない景観と感じている可能性が高い。

2）カーブ

ストレス、悲しみともかなり強いが喜びも出ている。主成分分析では第1主成分の寄与率が低いので覚醒は上がったと思われ、緊張かつ興奮気味であると思われる。視線はカーブ出口の山裾あたりで遠方に向けられている。スピード感を感じやすい景観である。

3）ビデオ合間のテロップ画面

画面が変わり、ストレスが下がり落ち着いたと思われる。

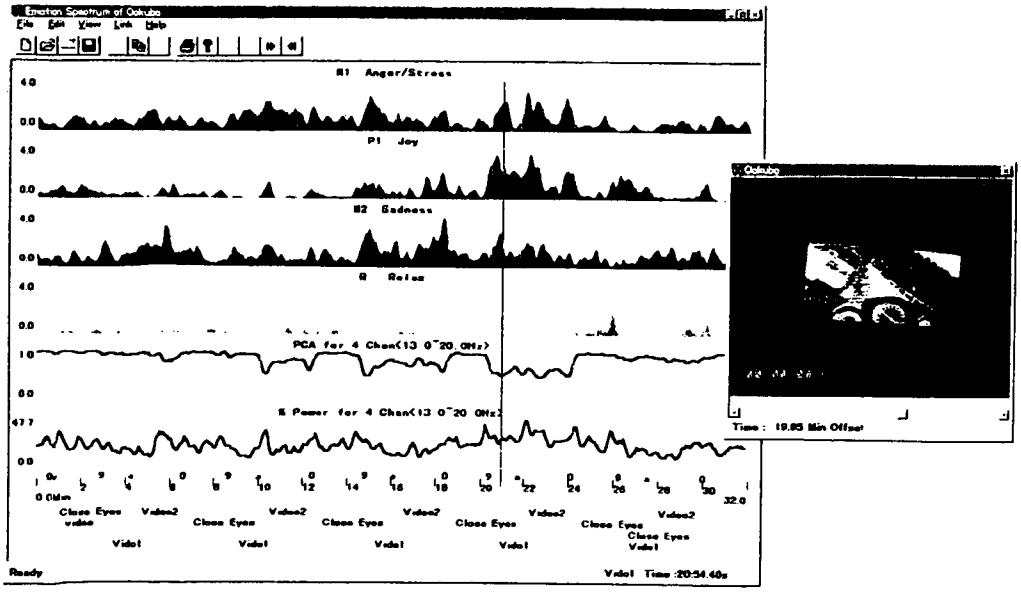
4）追い越し

喜びが極めて強く、興奮状態にある。ストレスも高い。悲しみがあるのは、追い越しに対する恐怖感も同時に表れていると考えられる。また、主成分分析での第1主成分の寄与率が極めて低いのは、追い越し状況に対して前頭葉が情報の多様な処理をしていることがうかがえる。さらに、パーセントパワーが上昇しているのは、覚醒度が高くなっていることを表す。視線位置は、追い越す乗用車にある。山が迫る景観が緊張感を増幅している可能性もある。

5．まとめ

今回は、景観と人間の感性との関わり解き明かすための道具として、アイマークレコーダーと脳波の感性スペクトル解析を組み合わせた感性影響計測システムを作成し、テスト映像による計測実験を実施した。限られた条件の中ではあるが、目的とする機能がおおよそ実現されていることを確認できた。ただし、アイマークレコーダーと脳波測定用のフェルトキャップを同時に着用することによる被験者への負担など、いくつか課題も明らかとなっている。

今後、これらの課題を解決しつつ計測実験を積み重ね、システムの信頼性を高めるとともに、景観の各要素と人間の快適性に関する定量的な分析を進めていく予定である。



左側のウインドウに脳波の解析結果が示されている。上から順に、N1（怒り）、P1（喜び）N2（悲しみ）、R(リラックス)、主成分分析、パーセントパワーの各レベル時間軸およびイベントマークである。

右側のウインドウは、アイマーク情報を付加した景観場面（ビデオ画像）を、脳波解析と同期をとって表示している。

図－7　追い越しでの解析結果

建設省版景観シミュレーションシステムの開発

建設省土木研究所　○小　栗　ひとみ
同　　寺　川　　陽

１．はじめに

近年、建設事業の実施にあたって、景観への配慮は重要事項の一つになっている。そのため、施設の建設に際しては、事業の各段階において周辺環境との調和を視覚的に予測・評価する必要がある。コンピュータグラフィックス（ＣＧ）は、景観上の検討を行うための有効な支援システムである。そこで、建設省は、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５－８年度）の一環として、地方建設局事務所等の職員が手軽に使える「建設省版景観シミュレーションシステム」を開発した。本システムは、汎用パソコン（ＯＳ：Windows ＮＴまたは９５）で動く景観にシミュレータと、景観を構成する様々な部品のデータベースから構成されている。土木研究所と建築研究所が共同で開発にあたり、土木分野・建築分野共通に利用可能なシステムをめざした。開発したシステムは、フリーウエアとして CD-ROM やインターネットで、誰でも自由に入手することができる。

２．主な機能

本システムの主な機能は次のとおりである。

①背景写真と３次元構造物の合成表示

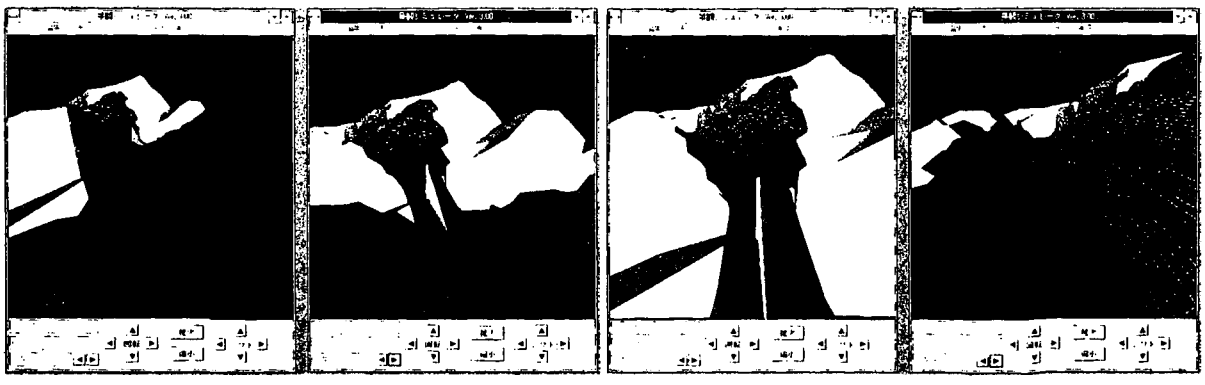
写真の撮影位置やカメラアングルを復元する機能により、位置合わせの作業を容易にした。合成した後は、構造物の形状を入れ替えたり、色やテクスチャを変更して、周辺環境との調和を検討することができる。色彩は、ＲＧＢやＬ*ａ*ｂ*などの数値入力により自由に設定できるほか、仕様設定を容易にするため日本塗料工業会の色見本の選択入力もできるようにした。

②景観の時間変化シミュレーション

塗料の退色や、樹木の季節変化など、材料の時間的な変化や、都市計画条件の変更に伴う街並みの変化をシミュレーションすることができる。また、検討場所の緯度経度および月日・時刻を指定すると、太陽方位を計算し自動的に光源を生成する機能も用意している。

③任意の視点からの景観の表示

地形や周辺の建物を含めて、すべてのデータを３次元化することにより、任意の位置・角度から、自由に視点を移動しながら景観を表示したり、構造物が見える範囲の解析を行うことができる。



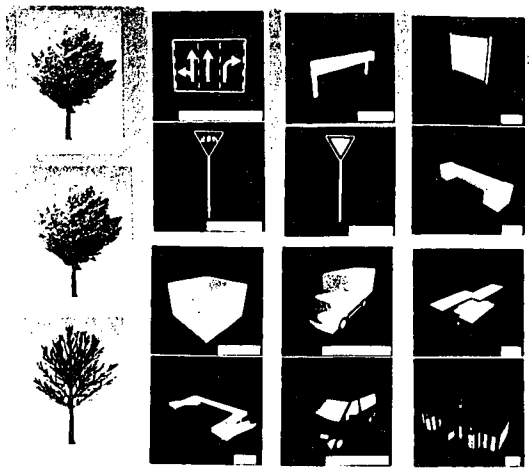
図－１　視点移動シミュレーション例

④道路のり面の自動生成

地形平面図上で道路位置を指定すると、自動的に切土・盛土のり面を生成し、景観上問題となる長大切土のり面の発生を予測することができる。合わせて、概略の土工量を表示する機能を提供している。

⑤景観データベース

景観データベースは、扱うデータの特性に応じて、「優良景観事例データベース」（景観に配慮した構造物の設計事例を集めたデータベース）、「景観構成要素データベース」（周辺の建物、樹木、人や車といったありふれた部品を集めたデータベース）および「景観材料データベース」（景観材料として供給される各種製品を集めたデータベース）がある。いずれも、分類の選択、範囲や名称の指定、キーワードの選択および文字列の指定により、必要なデータを検索することができる。これらにより検索された部品は、配置機能を使って容易に画像に置くことが可能である。また、収集したデータは、入力専用エディタを使ってユーザー自身が容易にデータベースに登録することができる。



図－２　景観構成要素データ

⑥ネットワーク機能

ネットワークでのシステムの運用を想定して、画像転送、リモートデータベースアクセス、リモートデモおよびヒストリーの各機能を用意した。これらの機能により、事務所間または事務所－本局間で同じ画面を見ながら対話的に景観検討を行ったり、他事務所のデータベースを検索して、必要なデータを利用することが可能である。

⑦その他の機能

本システムでは、構造物の３次元形状データの作成は、既存のＣＡＤやモデリングソフトを用いることにしているが、簡易形状生成機能として、直方体、球などの基本図形を組み合わせて形状を作成する機能や、道路などを現場に合わせて自動的に生成する機能を用意している。また、ＤＸＦ等一般的に普及しているいくつかのデータ形式については、コンバータを用意してシステムでの利用を可能とした。なお、２次元画像の編集機能は特に用意していないので、背景画像やテクスチャの修正などは市販のペイントソフトを用いて行うことになる。

３．道路景観シミュレータへの応用

平成８年度までに開発した基本システムをもとに、道路走行時の景観変化のシミュレーションや、その評価に資するため、以下のような機能の追加および改良を進めている。これらについては、また機会を改めて報告することとしたい。

①地上で撮影したステレオ写真などをもとに、地形の３次元データを簡易に作成する機能の追加。

②ビデオ画像と３次元の構造物の連続合成機能や、車の走行速度に応じた３次元ＣＧアニメーション画像を用いたドライビングシミュレーター機能。

③既存の道路景観評価技術のエキスパート化および脳波解析等の応用による評価システムの構築。

４．おわりに

本システムの普及によって、工事事務所等の日常業務における視覚的な景観検討作業が容易となり、周辺環境と調和した質の高い社会資本整備の推進に役立つとともに、地域住民を含む関係者間の合意形成に寄与することを期待している。

建設省版景観シミュレーションシステムの開発

環境計画研究室　小栗ひとみ

１．はじめに

土木施設の計画・設計・施工にあたり、景観への配慮は重要事項の一つである。そのため、施設の建設に際しては、事業の各段階において周辺環境との調和を視覚的に予測・評価する必要がある。

景観シミュレーションを行う場合、変更が容易で代替案が作成しやすいことや、様々な視点から対象物を眺めることができることなどから、コンピュータグラフィックス（ＣＧ）の利用が有効である。しかし、市販されているＣＧソフトは高機能ではあるが操作が難しく、コンピュータ経験の少ないユーザーにとって簡単に使えないという難点がある。一方、地建事務所における景観設計では、図面・パースを複数案作成して比較検討を行っているが、これら作業は外注で実施されることがほとんどであり、時間および費用の制約から試行錯誤を伴う検討が必ずしも十分できない現状にある。現場で簡単に操作できるシミュレーションシステムが整備されれば、景観検討のための比較案を自由に作成することが可能になるとともに、住民や事業関係者との合意形成プロセスにも有効活用することが期待される。

そこで、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５－８年度）の一環として、地建事務所等の職員が手軽に使える「建設省版景観シミュレーションシステム」を開発した。本システムは、パソコンで動く景観シミュレータと、各種構造物や景観材料など画像の部品を揃えた景観データベースから構成されている。土木分野・建築分野共通に利用可能なシステムをめざして、土木研究所と建築研究所が共同で開発にあたった。本稿では、開発したシステムの機能概要を紹介するとともに、今後の展望について述べることとしたい。

２．開発の基本方針

既存ソフトのカスタマイズによりシステム構築を行う場合、機種が限定されることや、導入に際しての負担コストが高いこと、また、独自の機能の付加や不要な機能の削除が難しいといった問題がある。そこで、本プロジェクトでは、「機種を特定しないシステムの開発」（マルチプラットホーム）および「内部データ形式やソースリストの公開」（フリーウエア）を開発の基本方針として定め、独自ソフトの開発を行うこととした。操作性・実用性の観点から、専用マシンではなく、日常的に使用している汎用パソコン上で動作することを目標に据えた。また、ユーザーや民間からの自由な機能拡張の提案を可能とし、システムの持続的な発展を期待する観点から、成果をフリーウエアとして広く提供することを念頭に置いた。さらに、メモリ上のデータ形式および外部ファイル形式についても、色やテクスチャなど表面仕上げに関する記述ができることや、現場に合わせて形状を変形できるようなパラメトリックな部品も記述できる必要があること等から、独自形式を定めた（ＬＳＳ形式）。プログラム言語は、ANSI-C を使用している。

開発を進めるにあたっては、機能ごとの年次的な開発目標を定め、初年度にシステムのプロトタイプを作成して、順次機能の追加・改良を行う方法をとることとした。また、早い段階から現場事務所への試行導入を行い、そこで得られた改善意見をシステムの改良に反映させるようにした。

3．主な機能

本システムの主な機能は次のとおりである。

①背景写真と3次元構造物の合成表示

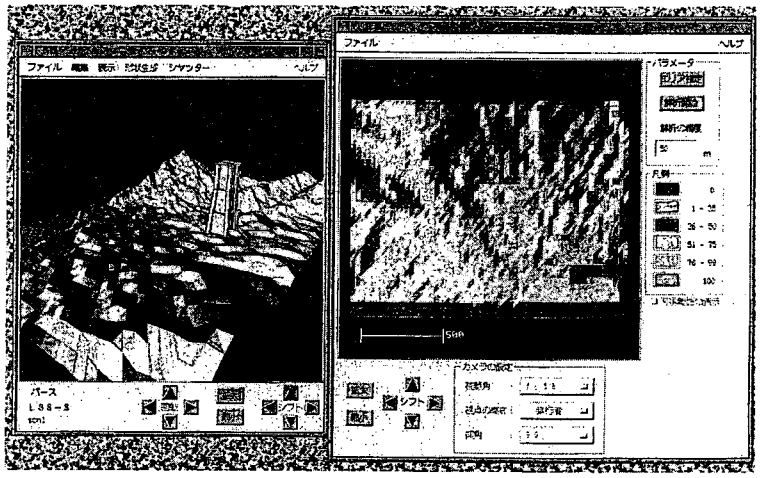
写真の撮影位置やカメラアングルを復元する機能により、位置合わせの作業を容易にした。合成した後は、構造物の形状を入れ替えたり、色やテクスチャを変更して、周辺環境との調和を検討することができる。色彩は、ＲＧＢやＬ*ａ*ｂ*などの数値入力により自由に設定できるほか、仕様設定を容易にするため日本塗料工業会の色見本の選択入力もできるようにした。

②景観の時間変化シミュレーション

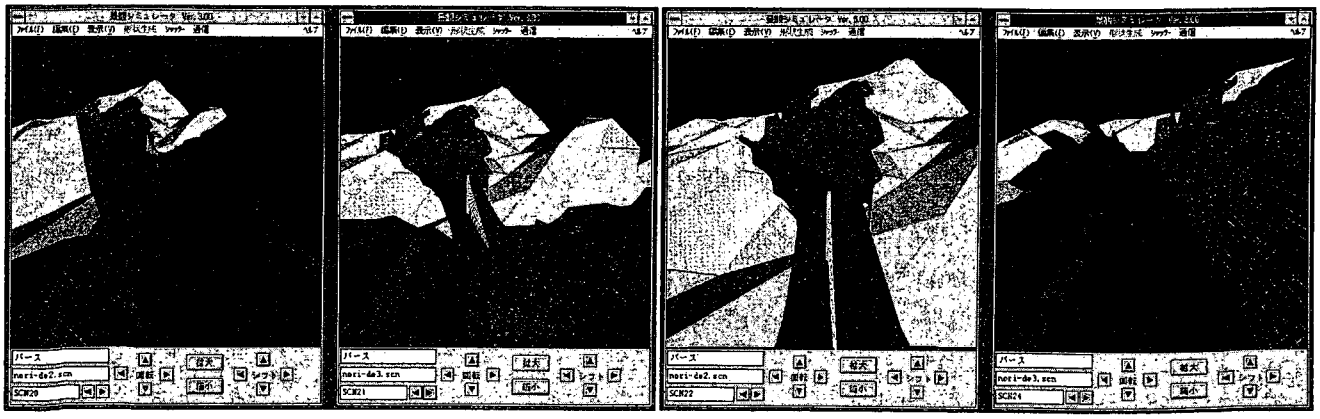
塗料の退色や、樹木の季節変化など、材料の時間的な変化や、都市計画条件の変更に伴う街並みの変化をシミュレーションすることができる。また、検討場所の緯度経度および月日・時刻を指定すると、太陽方位を計算し自動的に光源を生成する機能も有している。

③任意の視点からの景観の表示

地形や周辺の建物を含めて、すべてのデータを3次元化することにより、任意の位置・角度から、自由に視点を移動しながら景観を表示したり、構造物が見える範囲の解析を行うことができる。なお、3次元地形データは、国土地理院の建設技術評価により技術認定された空中写真からの自動標高解析結果を取り込むことにより、従来に比べて利用が容易になっている。



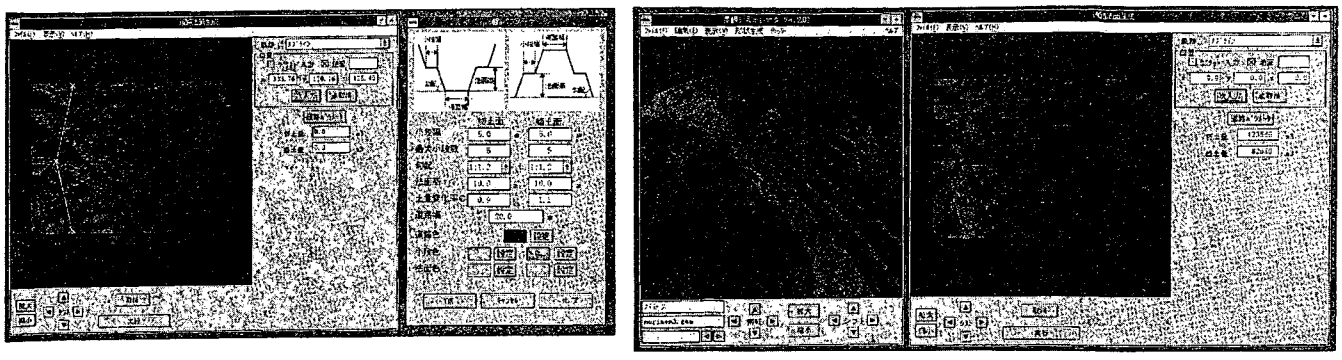
図－1　可視範囲の解析例



図－2　視点移動シミュレーション例

④道路のり面の自動生成

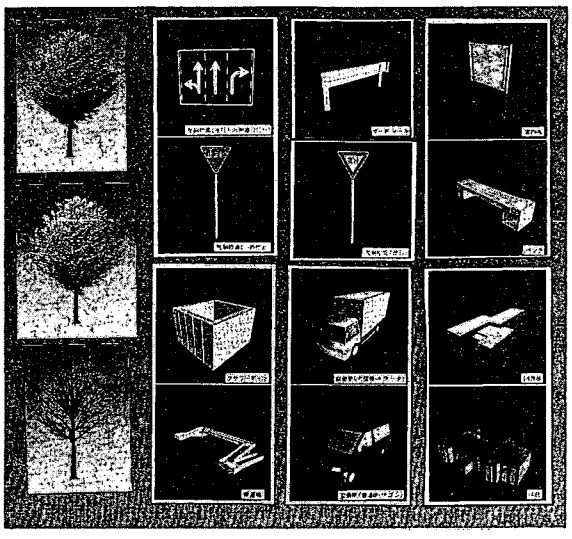
地形平面図上で道路位置を指定すると、自動的に切土・盛土のり面を生成し、景観上問題となる長大切土のり面の発生を予測するとともに、概略の土工量を表示することができる。



図－３　道路のり面自動生成例（左：入力画面、右：計算結果）

⑤景観データベース

景観データベースは、扱うデータの特性に応じて、「優良景観事例データベース」（景観に配慮した構造物の設計事例を集めたデータベース）、「景観構成要素データベース」（周辺の建物、樹木、人や車といったありふれた部品を集めたデータベース）および「景観材料データベース」（景観材料として供給される各種製品を集めたデータベース）がある。いずれも、分類の選択、範囲や名称の指定、キーワードの選択および文字列の指定により、必要なデータを検索することができる。これらにより検索された部品は、配置機能を使って容易に画像に置くことが可能である。また、収集したデータは、入力専用エディタを使ってユーザー自身が容易にデータベースに登録することができる。



図－４　景観構成要素データ例

⑥ネットワーク機能

ネットワークでのシステムの運用を想定して、画像転送、リモートデータベースアクセス、リモートデモおよびヒストリーの各機能を用意した。これらの機能により、事務所間または事務所－本局間で同じ画面を見ながら対話的に景観検討を行ったり、他事務所のデータベースを検索して、必要なデータを利用することが可能である。

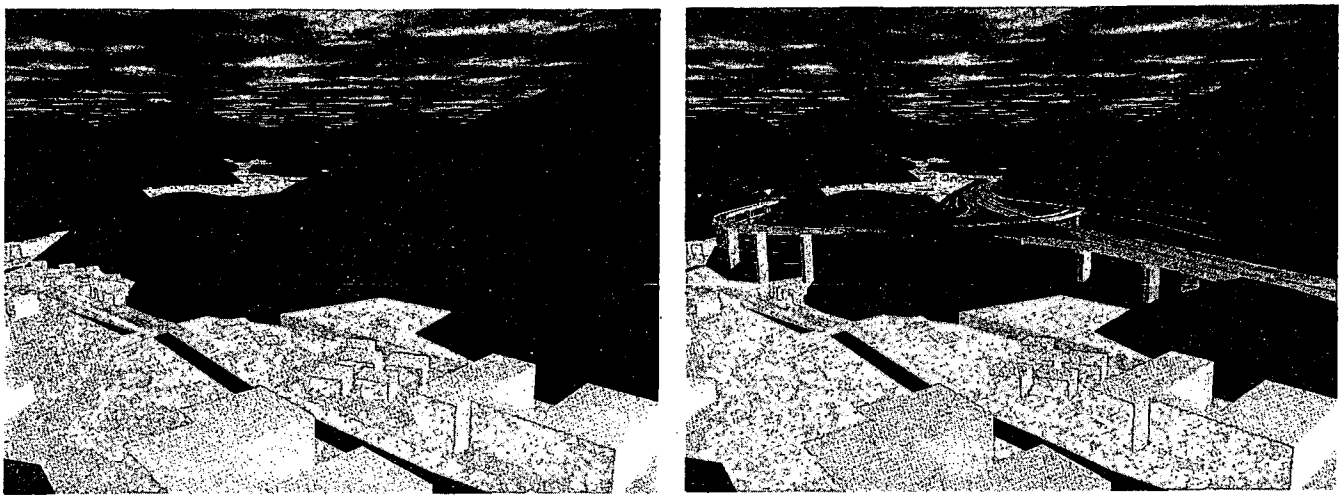
⑦その他の機能

本システムでは、構造物の３次元形状データの作成は、既存のＣＡＤやモデリングソフトを用いることにしているが、簡易形状生成機能として、直方体、球などの基本図形を組み合わせて形状を作成する機能や、道路などを現場に合わせて自動的に生成する機能を用意している。また、ＤＸＦ等一般的に普及しているいくつかのデータ形式については、コンバータを用意してシステムでの利用を可能とした。ただし、背景画像やテクスチャの修正など２次元画像の編集については、別途市販のペイントソフトを用いて行うこととしている。

4．システムの普及・活用

本システムは、先述のように、当初からの基本方針にしたがって、フリーソフトウエアとして公開している。土木研究所および建築研究所のホームページを通じて、関連情報の提供を行うとともに、地建事務所における説明会の開催や、見学者への対応を行っているほか、様々な媒体を通じてシステムの普及に努めている。これまでに、福島工事事務所、三陸国道工事事務所など建設省の機関をはじめ、地方自治体、学校、法人・団体、民間企業など３００以上のユーザーに対し、プログラムを収録した CD-ROM の配布を行った。既に、地建事務所においては、人道橋の景観設計やジャンクションの形状検討などの実務において、システムの活用が始まっている。

現在、システムの本格的な運用に向けて、景観データベースの保守・管理体制および現場事務所等におけるシステムの有効活用を支援するためのサポート体制について検討を進めているところである。



図－５　システムを活用した景観シミュレーション例（左：現況、右：ジャンクション建設後）

5．まとめ

平成８年度までの開発を通じて、当初計画した基本的な機能については、実用化が図られたと考えている。今後、実際の景観検討業務に活用していく中で、各ユーザーのニーズに応じて機能の改良や追加が行われ、バージョンアップが行われていくことを期待している。環境計画研究室においては、道路走行時の景観変化のシミュレーションや、その評価に資するため、以下のような機能の追加および改良を進めることとしている。

①地上で撮影したステレオ写真などをもとに、地形の３次元データを簡易に作成する機能の追加。

②ビデオ画像と３次元の構造物の連続合成機能や、車の走行速度に応じた３次元ＣＧアニメーション画像を用いたドライビングシミュレーター機能。

③脳波解析等の応用による景観評価手法の開発および景観評価エキスパートシステムの開発。

本システムの普及によって、工事事務所等の日常業務における視覚的な景観検討作業が容易となり、周辺環境と調和した質の高い社会資本整備の推進に役立つとともに、地域住民を含む関係者間の合意形成プロセスに役立つことを期待している。

Ⅱ-4　ＧＩＳを活用した湖沼流域管理技術に関する研究

ＧＩＳによる流域環境管理

Management of Basin Environment By GIS

安陪　和雄*　小川　和延**　　丹羽　薫***

By　Kazuo ABE　Kazunobu Ogawa　Kaoru Niwa

1.はじめに

ＧＩＳ（Geogaraphic Infomation System：地理情報システム）は、地域に関する様々な空間データを総合的に扱うシステムである。欧米では、空間データの収集・管理に多大の費用がかけられてきた結果、今日では、多種類のデジタル空間データが整備されている。そして、空間データを表示し、分析するために、ＧＩＳ技術が欧米を中心に開発されてきた。我が国では、カーナビゲーション・システムが普及するなど一部の分野でＧＩＳが進展しつつあるが、欧米と比較すると出遅れている感があり、今後種々の分野でＧＩＳが急速に普及していくものと予想される。

流域環境管理を適正に行うためには、管理対象となる環境項目に影響を与える流域情報を収集・管理し、既存の知見等を用いて将来動向を予測することが必要である。流域情報は、時空間的に様々に変化するため、これらをすべて手作業で収集・管理し、表示・分析を行うことは、膨大な作業となる。一方、この作業をＧＩＳを用いて行えば、ＧＩＳがコンピューター及びコンピューター・グラフィックスにより構成される道具であるため、空間データを収集し、デジタル・データとして入力すれば、簡便に流域環境を表示・分析することが可能となるはずである。

本研究では、流域環境項目として河川の水量・水質を選定し、モデル流域として猪名川流域を選定し、市販のＧＩＳソフト・アプリケーションを用いて流域環境管理システムの構築を試みた。

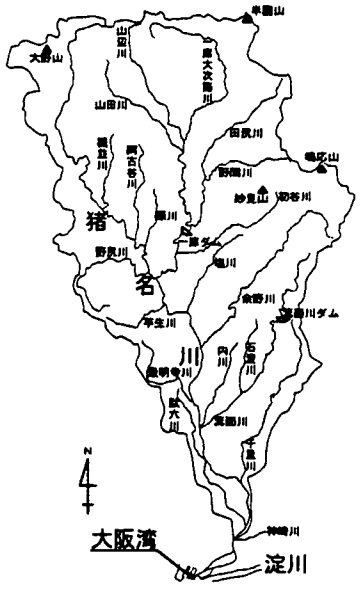
キーワード：環境計画、ＧＩＳ

*正会員　工修　建設省土木研究所環境計画研究室

（〒305 つくば市旭１番地　TEL 0298-64-2269）

**正会員　工修　建設省土木研究所環境計画研究室

***正会員　工修　建設省土木研究所環境計画研究室



図－１　猪名川流域図

2.流域環境情報のデータ形式

ＧＩＳのデータ形式には、①点、②線、③面（ポリゴン）、④ラスター、⑤画像等があり、それらの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内、どれを採用するかについては、データ項目毎に異なり、かつ使用するシミュレーションモデルの入力条件によっても異なる。今回採用した水量・水質モデルは「分布型」と呼ばれているモデルで、流出現象をメッシュ単位で表現するモデルである。このため、本モデルに入力できるデータ形式として、ラスター型を採用することとした。実際に観測されている水量・水質データ等は、観測地点におけるデータであるが、ここでは、観測地点の存在するメッシュ全体にこの値を与えることとなる。

3.流域環境情報のデータベース化

(1)データ収集

猪名川流域の基本的な環境情報を表示するととも

に、猪名川の水量・水質シミュレーションを行うにあたり必要なデータを整備するため、標高データ（数値地図５０：建設省国土地理院）、土地利用データ（1/10細分区画土地利用データ：建設省国土地理院）、水文観測所位置（水文観測所統合：建設省国土地理院）、気象観測所データ（日本気象協会）、人口データ（国勢調査に関する地域メッシュ統計：総務庁統計局）を収集した。

(2)データ入力

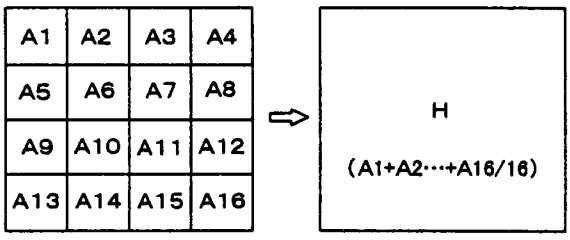
収集データをワークステーション（ＥＷＳ）に入力した。なお、収集データは、磁気テープあるいはフロッピーデスク（ＦＤ）の形で既にデジタル化されている。

(3)属性データ処理

データの精度はメッシュが小さい程良くなるがその分計算時間が増大する。この点を勘案し、収集データはすべて200mメッシュデータに精度変換した。

①標高データ

50mメッシュのデータを 200mメッシュのデータに精度変換するため、図－２のようにＡ１～Ａ16のメッシュデータの平均値Ｈとした。



図－２　平均化による精度変換

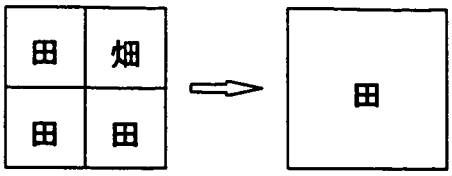
②土地利用データ

国土数値情報の土地利用データは12項目に分類されているが、シミュレーションモデルの入力条件に適合させるため、土地利用データ項目を表－１のように６項目に統合した。また、100mデータを200mデータに精度変換するため、図－３～４のように面積比率を基本に精度変換した。

代表項目	項目
田	田
畑	畑、果樹園、その他の果樹園
山林	森林
都市域	建物用地、幹線交通用地
荒れ地	荒れ地、その他の用地
水域	内水地、海浜、海水地

表－１　土地利用データの統合

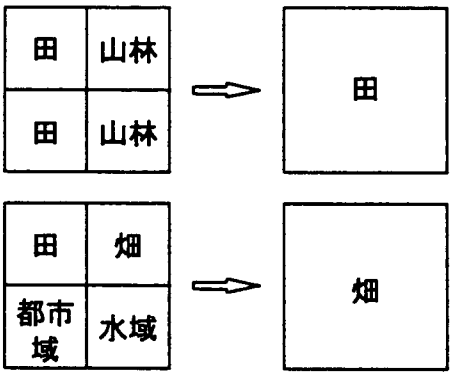
a. 土地利用の面積比率が異なる場合



図－３　面積比率による精度変換

b. 土地利用の面積比率が等しい場合

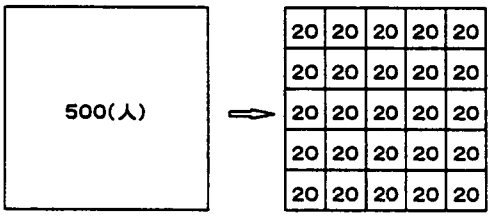
土地利用項目に①畑、②田、③都市域、④山林、⑤荒れ地、⑥水域の順位で優先順位を設定した。



図－４　優先順位による精度変換

③人口データ

１kmメッシュのデータを 200mメッシュのデータに精度変換するため、図－５のようにオリジナルデータを２５等分した値とした。



図－５　均一配分による精度変換

④観測所データの位置

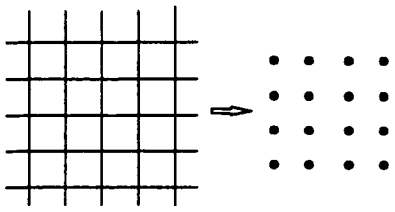
水文観測所統合等、位置情報に緯度・経度が備わっている観測所についてはその値を使用し、備わっていない観測所については、その位置を1/25,000の地図上におとし、その地点の緯度・経度を読みとり、ポイントデータとした。

(4)フォーマット変換

①オリジナルデータからメッシュ単位で構成される位置座標ファイル（緯度経度）と属性データファイルを作成した。

②①で作成したファイルをポイントカバレッジとしてＧＩＳソフトに取り込んだ。標高データ、土地利用データ、人口データのそれぞれのポイントカバレ

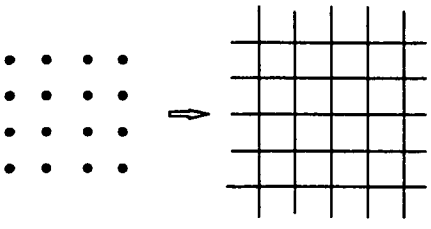
ッジは、オリジナルデータのメッシュの中心に発生させたポイントにオリジナルデータの属性を持たせたものである。観測所位置データは、オリジナルデータが持っている座標位置にポイントを発生させたポイントカバレッジとしてＧＩＳソフトに取り込んだ。



図－６　ポイントカバレッジ変換

③猪名川流域全体をカバーするため、それぞれのデータ領域から発生させたポイントカバレッジをつなぎ合わせた。

④観測所位置データ以外のポイントカバレッジについて，オリジナルデータのメッシュと同じ大きさ・形の長方形メッシュ（ポリゴンカバレッジ）を作成し、ポイントに対応するメッシュ（重ね合わせた時にそのポイントが中心にくるメッシュ）に属性データを与えた。



図－７　ポリゴンカバレッジ変換

(5)座標系変換

緯度経度の等分割メッシュ（ポリゴンカバレッジ）を公共座標系に変換した。公共座標系では全国に原点を１９点設置し、それぞれを原点とする１９ゾーンを設定している。猪名川流域は大阪府と兵庫県にまたがり、公共座標系では大阪府に第Ⅵ系、兵庫県に第Ⅴ系が適用されているが、ここでは第Ⅵ系で統一した。

なお、公共座標系に変換されたメッシュは厳密な長方形ではない。変換前のメッシュは、例えば１ｋｍメッシュであれば、対象地域のどの部分を取っても１メッシュは経線方向４５”緯線方向３０”の長方形である。それに対し変換後のメッシュは形に歪みが生じ、猪名川流域の場合、南端のメッシュと北端のメッシュでは面積にして０．３６％程度の差が認められた。

(6)切り出し

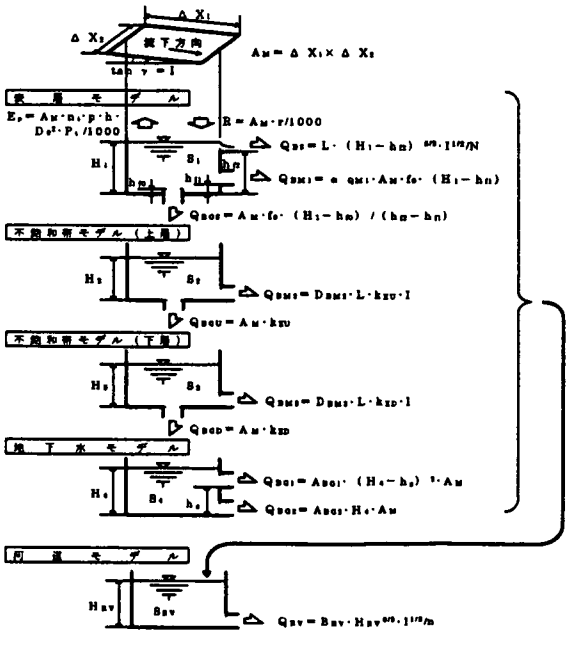
猪名川流域界のポリゴンカバレッジ（数値情報より作成）でデータの切り出しを行い、対象流域のデータを整備した。

４．水量・水質シミュレーション

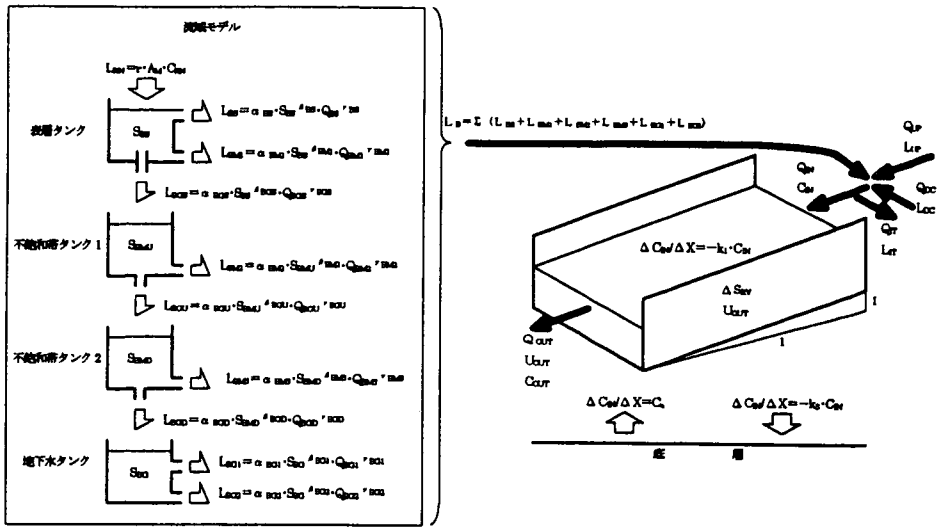
３で述べたＧＩＳ化されたデーターベースから必要なデータをシミュレーションモデルに入力して流域内にある数ヶ所の観測地点の水量・水質を導出した。

(1)シミュレーションモデルの概要

本研究では、以前に土木研究所で開発された分布型水量流出シミュレーションモデル（図-8(1)）に水質シミュレーションモデル（図-8(2)）を付加したものを使用した。このモデルは、既述した通り、メッシュ単位で水量・水質の流出現象を扱うものである。



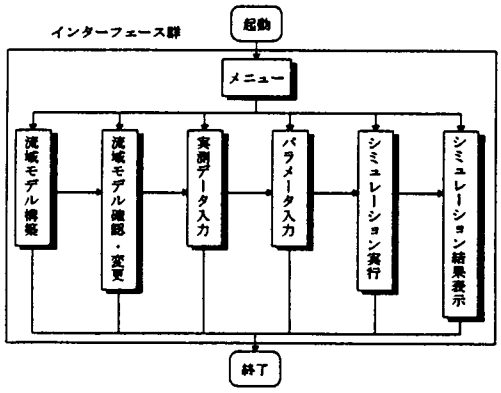
図－８(1)　水量モデルの概念図



図－8（2）水質モデルの概念図

(2)インターフェース作成

(1)で述べたモデル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作成した。インターフェース群の構成図を図－9に示す。



図－9　インターフェース群の構成図

使用したシミュレーションプログラムには、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組み込まれているが、自動構築した流域モデルはアルゴリズムが確立されていないこともあって実際の流域と異なることが多い。このため、シミュレーション実行の前に、流域モデル確認・変更のインターフェースを加え、実際の河道と比較しながら自動構築された流域モデルを画面上で確認・変更ができるようにした。

5．おわりに

本研究では、市販されている国土数値情報等を極力使用することによりＧＩＳを作成し、分布型の水量・水質モデルを使用して流域管理システムの構築を行うことを目的としている。本シミュレーションに適合するように国土数値情報等を市販のＧＩＳソフト・アプリケーションを用いてＧＩＳ化することは3に述べた精度変換等を行うことにより比較的簡便にできる。現在は、このＧＩＳデータを用いて4に述べたシミュレーション・プログラムを用いてシミュレーションを行うべく努力しているところであるが、流域モデルを標高データから自動構築する段階で実河道との相違が各所で認められ、これを現実に近い形に手作業で修正するのに予想以上に時間を要している。今後は、猪名川流域でのＧＩＳ構築の経験を活かし、霞ヶ浦流域におけるＧＩＳを構築し本格的な水量・水質シミュレーションを行う予定である。

霞ヶ浦流域における流域環境管理のための分布型水循環モデルの構築

Distributed Hydrological Model for the Watershed Environment Management in the Lake Kasumigaura basin

安陪　和雄*　寺川　陽**　小川和延***　杉盛 啓明****
By Kazuo ABE Akira Terakawa Kazunobu Ogawa Hiroaki Sugimori

1.はじめに

流域環境管理を行う行政組織は、国、都道府県、市町村とそれぞれの責任分野に応じて多様な組織形態をとるが、ある特定の環境管理項目を選定した場合、当該項目の環境管理は、通常、当該項目に係る国、流域に位置する都道府県、流域を構成する市町村が連携して実施していることが多い。

流域環境管理を適正に行うためには、流域の水循環系を正確に把握することが基本になる。特に、汚濁物質等の面源負荷の物質流動を把握するためには、河川流量観測地点の流量を再現するだけでなく、表面流出、中間流出、地下水流出等の流域分布状況についても再現することが必要である。

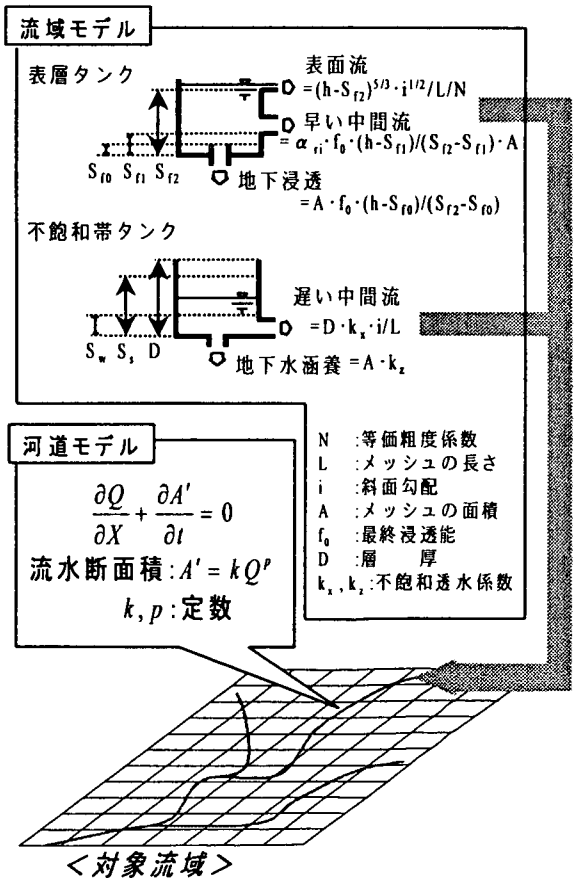
本稿では、霞ヶ浦流域を対象として、流域環境管理の基本となる水循環系を把握するための手段として構築を試みた分布型水文循環モデルについて報告する。河川の流量観測地点の実測流量を再現するとともに、今後、物質流動モデルと組み合わせることを念頭において、流域のメッシュ単位で、表面流出、中間流出等についても出力できるシステム構成とした。

2．メッシュスケールの選択

今回、構築を試みている流域環境管理システムのユーザーを国の出先機関、都道府県等、流域を広域的に管理する行政組織と想定している。メッシュスケールの選択においては、目的に応じて、実用に耐えうる最も大きなスケールを選択することが合理的であると考える。このため、広域管理という観点から、流域の地形、土地利用等を実用的に表現できる妥当なスケールとして1kmメッシュを選択した。

3.分布型水文循環モデルの概要

分布型水文循環モデルとしては、モデル構造の簡便さ及び計算時間の短さを含む実用性の観点から、当研究所水文研究室で開発したモデル[1]をベースとした。モデル構造の概要を図－1に示す。



図－1　分布型水文循環モデルの概要

キーワード：環境計画、水資源計画、ＧＩＳ
*正会員　工修　建設省土木研究所環境計画研究室
（〒305 つくば市旭1番地　TEL 0298-64-2269）
**正会員　工修　建設省土木研究所環境計画研究室
***正会員　工修（株）建設技術研究所
****　理修　建設省土木研究所環境計画研究室

4．シミュレーション用落水線データ作成

既報[2),3)]では、猪名川流域での流域データの作成手法について記したが、本研究では、流域データの内、落水線データの作成において、メッシュ標高値のみならず実際の地形図から得られる河道情報を利用してデータ作成に伴う労力を削減することを試みた。手法の概要を以下に示す。

(1)河道ラインデータの作成

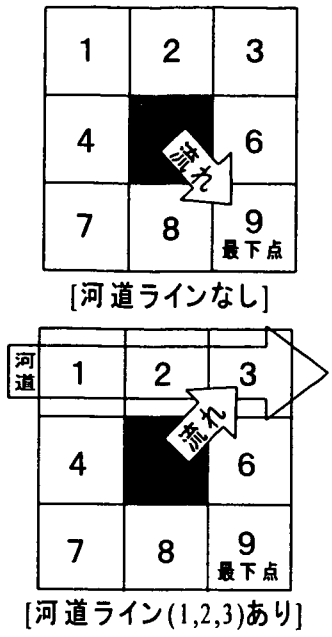
実際の地形図から得られる河道を三次区画と重ね合わせて河道の含まれるメッシュを抽出し河道ラインデータを作成する。この場合、河道ラインの上下流方向とメッシュ標高値から得られる斜面勾配の方向に矛盾が生ずるメッシュが生ずるが、ここでは、実際の河道ラインに従って落水するようにメッシュ標高値を修正した。

(2)落水線データの作成

(1)で求めた河道ラインデータとメッシュ標高値より落水線データを作成する。その方法は、当該メッシュの周囲に河道ラインを含むメッシュがない場合は、当該メッシュと周囲８つのメッシュの標高値を比較して当該メッシュから最も低いメッシュへ水が流れるものとする。一方、当該メッシュの周囲に河道ラインを含むメッシュが存在する場合には、河道ラインのあるメッシュに優先的に流れ込むものとする。例えば、図－２で当該メッシュ（斜線）の周囲８つのメッシュの内、メッシュ“９”の標高値が最も低い場合には、その方向に水が流れるののとするが、“１”、“２”、“３”が河道ラインで、“３”が最下流であるならば、優先的にメッシュ“３”の方向に水が流れるものとする。

(3)窪地の処理

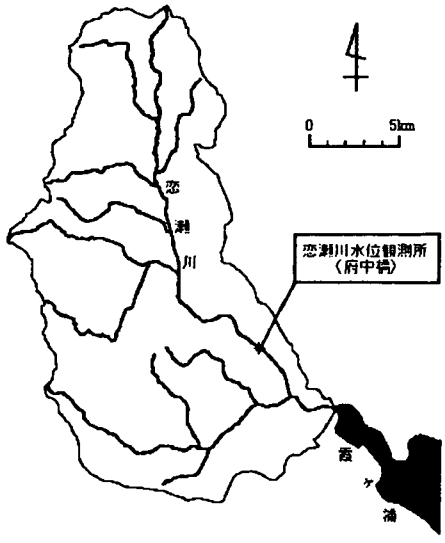
(1)、(2)の方法で、窪地が発生した場合には河道ラインに最短距離で水が流れるようにメッシュ標高値を修正する。なお、本研究で窪地の処理が必要となったメッシュは全２０７５メッシュ中１メッシュであった。



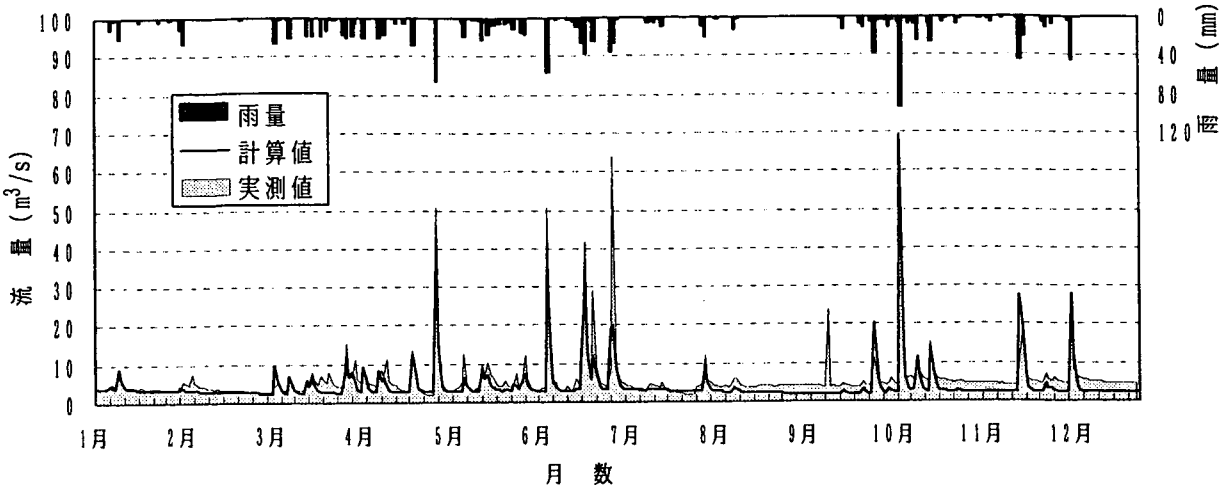
図－２　落水線データ作成の簡便化

5．河川流量のシミュレーション結果

平成４年を対象年（Δｔ＝１日）として、３で述べたモデルを用いて水循環シミュレーションを行った。パラメータの値は、土地利用、地質分類毎に統一するとともに、６で示す流出成分が経験的に合理的な時系列変化を再現することを確認しつつ検証地点の恋瀬川府中橋地点（図－３）の実測流量を可能な限り再現するようにして同定した。図－４にシミュレーション結果と実測流量の比較を示す。



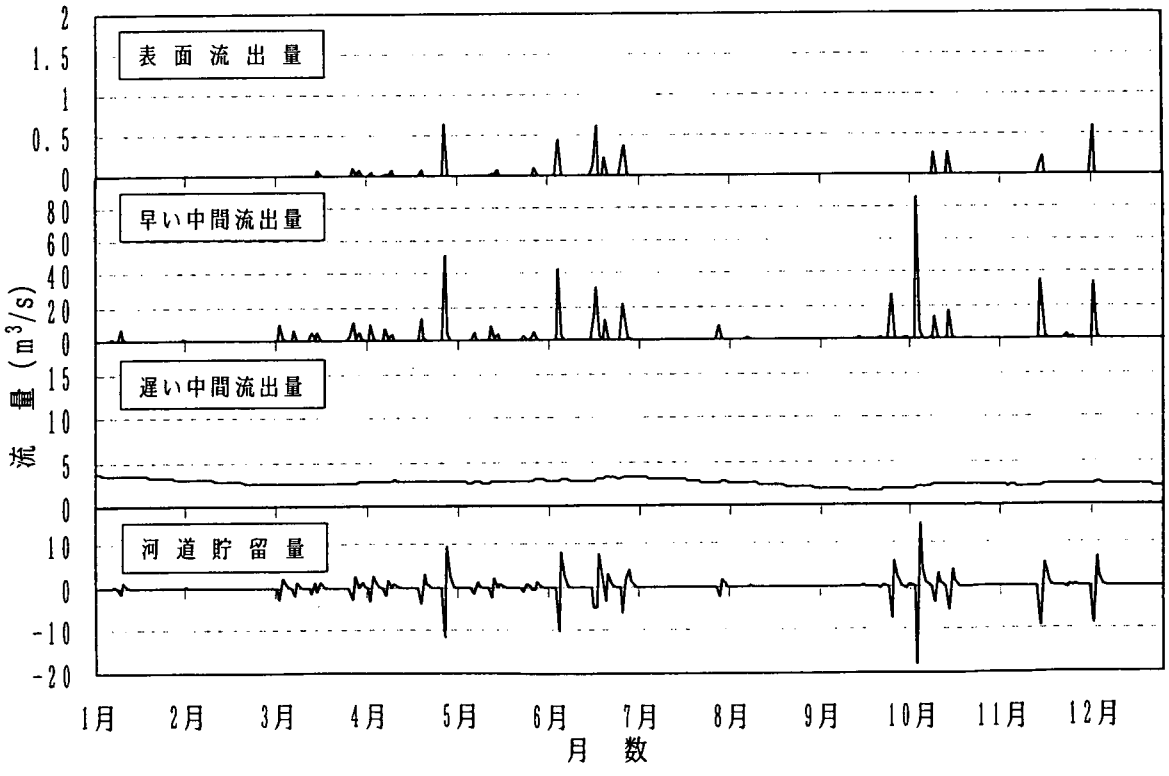
図－３　河川流量再現地点



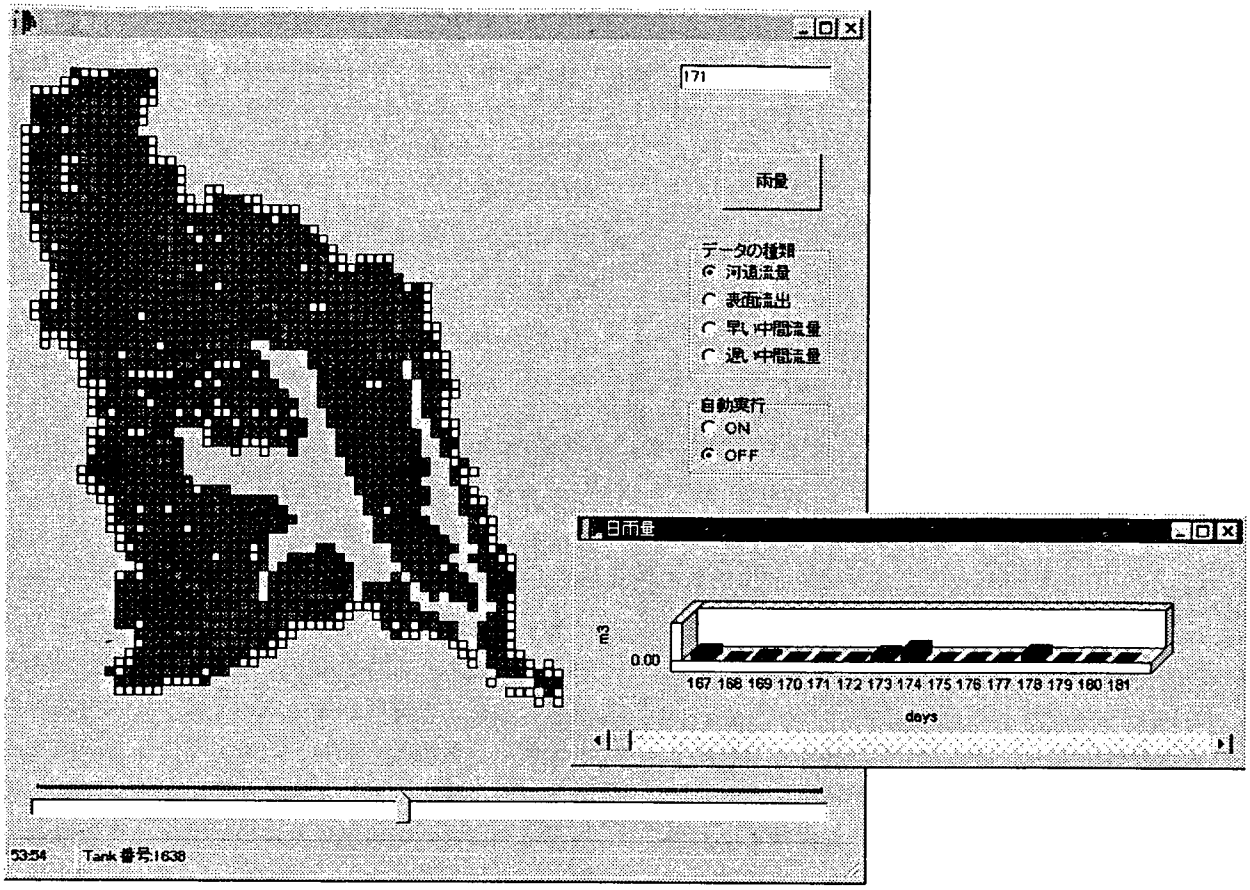
図－４　河川流量の再現結果と実測値の比較

６．河川流量の分離

水循環の構造をより明確にするため、５で再現した河川流量を表面流出量、早い中間流出量、遅い中間流出量、河道貯留量に分離した。分離手法は、表面流出量、中間流出量については、落水線に接している各メッシュから流出してくるそれぞれの水量のの和であり、河道貯留量については、日間の河道の水位差から求めた。なお、このようにして求めた以上４つの水量を総計したものが河川流量である。図－５にそれぞれの流出成分についての計算結果を示す。



図－５　河川流量の分離再現



図－６　流域水循環の面的再現出力例

７．流域水循環の面的再現

汚濁物質等、面源負荷の物質流動を再現するためには、河川流量の再現だけでなく、河川流域の面的な表面流出量、中間流出量等を再現する必要がある。このため、４の河川流量の再現を実施すると同時に流域の各メッシュに対応する表面流出量及び中間流出量の計算値を用いて、流域水循環の面的な再現を行った。このデータを再現期間を通じてモニター上に出力することにより、流域水循環の面的な時系列変化をアニメーション表示することも可能である。図－６にモニター画面の一例を示す。

８．おわりに

霞ヶ浦流域の流域環境管理を行うための手段として、まず当該流域を対象とする分布型水文循環モデルを構築して、流域の面的な水循環の素過程を再現することを試みた。今回の検討によって得られた知見は以下のように整理できる。

(1)河道ラインに優先的に水が流れると仮定する窪地処理は落水線データ作成を容易にする。

(2)分布型水文循環モデルにより日単位の河川流量の再現が可能である。

(3)分布型水文循環モデルにより日単位の河川流量を落水線に接するメッシュから流出してくる表面流出量、早い中間流出量、遅い中間流出量、および河道貯留量に分離して表現することが可能である。

(4)分布型水文循環モデルにより流域の面的な水循環の素過程を表現することが可能である。

参考文献

1)鈴木他：実時間洪水予測のための分布型流出モデルの開発,土木技術資料Vol.38-10,pp26-31,1996

2)安陪他：ＧＩＳによる流域環境管理，第19回土木計画学研究発表会講演集(1)，pp.289-292,1996

3)安陪他：ＧＩＳを用いた流域環境管理システム，土木技術資料,Vol.39-5,pp24-29,1997

317 GISによる流域水文環境の可視化
Visualization of hydrological environment of the watershed by GIS

杉盛　啓明（東京大学・院）*・安陪　和雄（建設省土木研究所）
Hiroaki SUGIMORI(Graduate Student , University of Tokyo),
Kazuo ABE(Public Works Research Institute, Ministry of Construction)

キーワード：GIS、流域管理、水文モデル、DEM、土地利用
Keywords: GIS, watershed management, hydrological model, DEM, landuse

1.研究の目的

本研究では、国内で一般的に入手可能な空間データを有効に利用して、流域環境管理に有効な情報を作成し、可視化するシステムを構築することを目的としている。流域管理上求められる情報とは、支配流域界、流域内斜面の傾斜・方位、および土地利用の空間分布などであるが、このシステムでは、河川流路上の任意の地点について、これらの流域特性を視覚的に把握することができる。また基礎となる空間データさえ用意できれば、日本全国の河川を対象とした流域特性の比較も可能である。

2.研究の方法と結果

2-1 利用した国土数値情報ファイル一覧

日本国内では、建設省国土地理院がさまざまな空間データを一般提供している。本研究でも、この空間データを利用することによりシステムの一般性を確保することにした。利用したデータは以下に示す通りである。

「数値地図 50m メッシュ標高」
「流路位置 KS-272」
「1/10 細分区画土地利用データ KS-202-1」

2-2 原データから GIS ソフトへの取り込み

磁気テープ上の原データから ASCII 形式のテキストデータを作成する。次にフォーマット変換と対象範囲のデータの切り出しを行い、GIS 入力用の 2 種類のテキストデータ（位置情報、属性情報）を作成する。なお今回は、霞ケ浦流入河川の 1 つである恋瀬川（流域面積 212.6 km^2）を対象に分析を行った。

2-3 GIS ソフト上での処理

2-3-1 基本的な前処理

GIS 入力用データをもとにトポロジーの構築と属性の付加を行った。標高と土地利用のデータは、国土地理院が定めた標準地域メッシュ規格に従う 1/10 細分区画（約 100m×100m）のラスターデータとして統一することで、データ構造の簡素化を図った。また流路位置については、ラインデータとしてトポロジーを構築した。

2-3-2 水文学的解析

流域特性を抽出するために水文学的な解析を行った。まずセル同士で流下方向を定める処理を行った。GIS ソフトには、あらかじめこのような処理を行うコマンドがあるが、単純に標高ファイル（以下、DEM と略称）のみを用いるため、現実の流路位置が反映されない結果が得られてしまう。それで、流路位置ファイルをラ

スター変換して共に用いることで問題を解決した。さらに、残された「窪地」（流下方向が定まらないセル）について、周囲 8 方向の中で最も標高の低いセルへ流下させる処理を行った。

こうして算出された流下方向データをもとに、落水線ラインおよび疑似流路ラインデータを作成する。疑似流路ラインデータは、支配流域面積が基準値以上であるセルを抽出することで求めた。

次に、水文･水質観測地点をポイントデータとしてデジタイザーから入力した上で、それぞれの地点の支配流域を抽出するという処理を行った。この際、観測地点データをそのままラスター化して落水線データと重ね合わせても、現実の支配流域をうまく再現できないことがあるため、観測地点ポイントに最も近接する疑似流路セルを選択させた。うまく現実の支配流域を再現できない理由については、次のように考えられる。

まず、流路位置をラスター化するアルゴリズムが「流路ラインが重なるセルはすべて選択する」というものであるため、蛇行部分では流路セルが塊状に集まってしまう。そこでは、流下方向を算出する際に流路の短絡化が生じ、微少な流域面積をもつ支流が落水線上で発生してしまうのである。

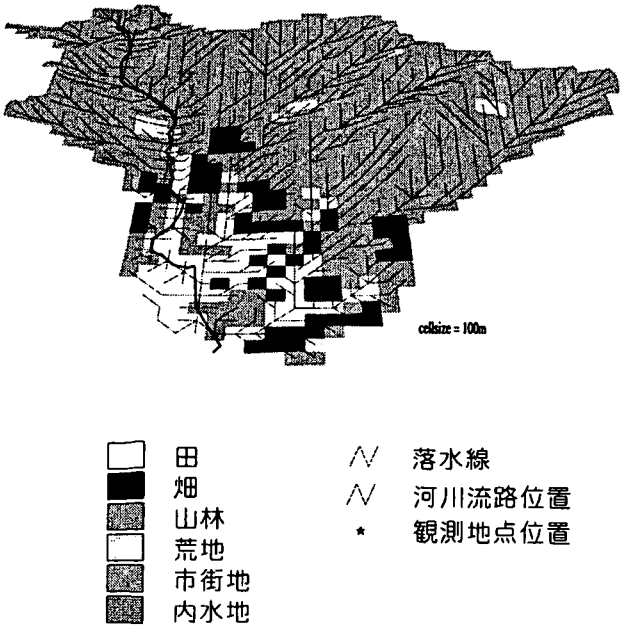


図 1　観測地点上流域の水文学的構造

2-3-3 流域内土地利用構成の算出

各観測地点の支配流域データを土地利用データに重ね合わせることで、流域内における土地利用の空間分布と構成比を算出した。

2-3-4 DEM を用いた 3 次元表示

GIS ソフトの 3 次元表示機能を用いて、図 1 のように流域の水文学的構造を視覚的に再現することができる。また、河道縦断面形や地形的な統計量、さらには落水線上の次数変化などの幾何学的特性を情報として付加することで、内容をより充実させることも可能である。

2-4 汎用表計算ソフトへのデータ出力

表計算ソフトなどの統計処理機能を活用すれば、より高度な統計学的分析を行うことができる。図 2 はその分析結果である。

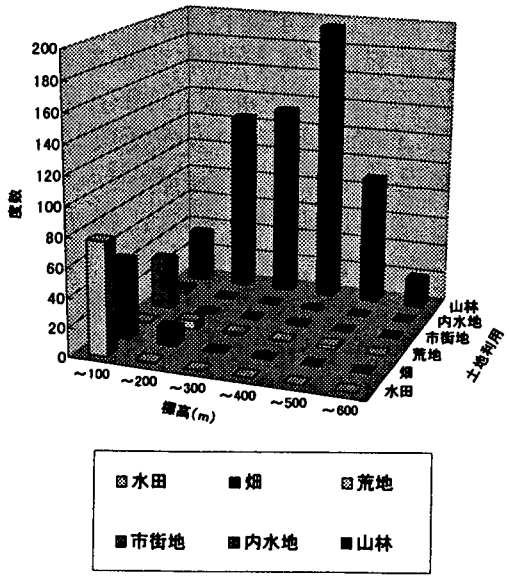


図 2　観測地点上流域における
標高と土地利用の関係

II－5　湖沼の総合的な富栄養化対策技術に関する研究

Development of Eutrophication Control Techniques for Lakes
– Combination of Physical and Biological Methods–
湖沼における新しい富栄養化対策の体系
–物理的手法と生物的手法の組合せ–

Kaoru NIWA Head, Environmental Planning Division, Environment Department,
Public works Reseach Institute, Ministry of Construction
丹羽 薫 建設省土木研究所環境部環境計画研究室長

Synopsis
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.

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.

Systematization of eutrophication control measures
Eutrophication control measures are basically to reduce nutrient loading. In this sense,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 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.We devised a facility to make an ecological in which it is difficult for bule-green algae and flagellate algae to grow abnormally. We call the facility artifcial suspended reef.

*** Figure-1 Menu for eutrophication control of lakes and reservoirs ***

1．総合的な富栄養化対策の新しい構図

多くの自然湖沼やダム湖において、流域から栄養塩類が過剰に流れ込むために、湖水の栄養塩類が増加して富栄養化を来している。湖沼の栄養塩類が増える結果、藍藻類や鞭毛藻類が優占種となって異常増殖することとなり、アオコや淡水赤潮、水道水のカビ臭、湖沼沿岸の異臭、魚類のへき死、親水活動の阻害などの深刻な問題を引き起こしている。

湖沼の富栄養化対策としては発生源対策、流域対策を第一とすべきものであるが、流入河川対策及び湖内対策も合せて重要である。流入河川対策及び湖内対策は技術的に分類すると表－２のように物理的手法、生物的手法、及び化学的手法に分類される。この内、化学的手法は一般にコストが高くつき、湖沼のような大量の水を扱う場合、物理的手法と生物的手法の組み合わせが有利である。

ここでは、その中で土木研究所環境計画研究室で開発を行って来ている「流動制御システム」「糸状藻類活用システム」及び「生態系制御システム」について述べる。

＊＊＊表－２　湖沼の富栄養化対策手法＊＊＊

2．流動制御システム[1) 2) 3)]

2.1 システムの概要

流動制御システムは、平常時においてダム湖の表層に温水でしかも表層付近の水温分布が均一である循環混合層を、水深概ね 15 ～ 20m まで厚く形成させ、中小洪水時にもこの層を温存させることにより、表層に生息する藍藻類や鞭毛藻類への栄養塩類と光を抑制することになり、それによって、藍藻類等の異常増殖を抑制するシステムである。図－１に流動制御システムの模式図を示す。また、表－３に流動制御システムの水質保全効果をまとめて示す。

＊＊＊図－１　流動制御システムの模式図＊＊＊

＊＊＊表－３　流動制御システムの水質保全効果＊＊

一般に自然状態における夏季の水温分布は、図－２に示すように水面で最も高く、水深が深くなるにつれて低くなるいわゆる水温成層が形成される。水温成層が形成されると、表層の水は一次躍層を越えて上下に移動し難い安定した水塊となる。このような表層では光が良く得られ、また栄養塩類を多く含む流入河川水が一般に水面下数メートルの水深に侵入して来て栄養塩類の供給も受けられるため、藍藻類や鞭毛藻類が異常繁殖するのに適

した環境となる。

＊＊＊図－２　水温鉛直分布の模式図＊＊＊

散気方式の曝気を行うと、循環混合層の中では、図－１に示すように第２循環流の表層水が曝気に向かって引き寄せられ、何日か後（例えば８日後）には光が届かない中層部へ循環させられる。よって表層部で増殖しかけた浮遊藻類は暫くの間（例えば８日間の倍程度）光が届かない暗い中層部に追いやられ、光合成に必要な光が制限されることになる。さらに表層水が曝気に引き寄せている間においても、循環混合層の表層部では水温鉛直分布がほぼ均一であるため、気温の急低下に伴う表層水温の低下等により、表層部の数メートルでは上下の混合がしばしば生じ易い状態にあり浮遊藻類は安定した増殖ができない。

散気方式の曝気により循環混合層が形成されるが、平常時の流入河川水は図－２に示すように常に水温躍層に導かれるとは限らず、循環混合層の下層部に侵入する場合が多い。一方、循環混合層の下層部で生息する緑藻類や珪藻類はガス泡を持たないために藍藻類と異なり深層へ向かって沈降しやすい。流動制御システムにおいては、循環混合層の下層部に侵入して来た平常時の流入河川水は、循環混合層の下層部において下流方向へ１ km 程度も進行する間に流入河川水に含まれていた無機態の栄養塩類がこれらの緑藻類や珪藻類に吸収され、それらはやがて深層へ沈降するため、栄養塩類の底泥への固定が期待できる。結果的に表層で生息する藍藻類に供給される栄養塩類を減少させることになり、藍藻類の異常増殖を抑制できる。

さらに循環混合層が図－２に示すように温水でしかもその厚さが 15 ～ 20 mあれば、栄養塩類を多く含んでいる中小洪水時の流入水は平常時の流入河川水よりさらに低温であるため水温躍層へ導かれる。よって、藍藻類が生息している表層への栄養塩類の混入を減少させることになり、藍藻類の異常増殖防止に役立つ。

以上のような流動制御機能を満足する循環混合層における水温鉛直分布の理想的な形状を図－５に示す。水深約 10 m以浅は温水でしかも均一な水温鉛直分布を持ち、上下の混合が生じやすい層とする。水深約 10 mから約 20 mの層の水温は約 10 m以浅より常時低く保つ必要がある。その理由は、第２循環流を定常的に循環させるには、第２循環流の表層水と下層水との水温差が常時必要なためである。水深 20 m付近の水温躍層は中小洪水を選択放流設備へ導くためのものである。

2.2　濁水長期化対策と冷水対策

ダム下流への放流水の濁水長期化対策としては、中小洪水時の高濁水を水温躍層に導くことにより、表層の清澄水を温存することが可能である。散気方式で循環混合層を厚くすることは、濁水長期化対策にもなる。散気方式により循環混合層を厚く形成してゆく場合における水面付近の水温は、日射による熱エネルギーをはじめとする湖水と大気と流入河川水との熱収支バランスにより定まるが、日射エネルギーが優勢であるため、水面付近の水温低下はわずかしかなく、むしろ循環により日射エネルギーが循環混合層の中層部や下層部にまで移送され、循環混合層全体の水温は上昇する。ただし日射エネルギーが小さい

春季に曝気水深を大きくしすぎると、循環混合層全体の水温が低下してしまうため注意を要する。従って冷水対策として表層取水を行っている場合、曝気水深の管理を無理なく行っていれば、取水可能な層が厚くなるため有利となる。

2.3 従来技術との関係

従来ダム湖では、選択取水設備及び曝気循環設備がそれぞれ単独の目的で設置されてきたが、ダム湖内の水温躍層標高を積極的にコントロールしてダム湖内の流動を制御しようとするものではない。流動制御システムは、中小洪水時の放流口を 15 ～ 20 mの水深にあたる標高に設け、散気方式の曝気装置により安定した水温躍層を放流口標高付近に作り、中小洪水時における高負荷の栄養塩類及び高濁水を含む流入河川水をできるだけすみやかにダム湖から放流させる。ダム湖上流端においても流入河川水を表層の湖水と極力混合させることなく水温躍層に導き入れるために選択流入設備を新たに設けるものである。

3．糸状藻類活用システム[4)]

3.1 システムの概要

湖沼やダム湖等において、浮遊藻類が異常増殖する直接の要因は、無機態のリン（PO_4-P）等の栄養塩類が湖沼に多量に流入することである。産業排水や下水処理水等の高負荷少量水については、PO_4-P処理技術が別途研究されている。一方、耕地等の面源負荷や高度処理が行われていない下水処理水や畜産排水処理水が流れ込む自然河川の低負荷多量水を対象としたPO_4-P除去技術は、近年まで開発されていなかった。土木研究所では、糸状藻類という生物による浄化能力を活用して、流入河川等からPO_4-P等の無機態栄養塩類を除去する技術を開発しており、『糸状藻類活用システム』として公表してきた。

海には大型の付着性の藻類として海藻が生息する。一方淡水域には、海藻に相当する付着性の藻類として糸状藻類が生息している。ここで用いる糸状藻類とは、肉眼レベルで毛糸や木綿糸のように糸状になっている藻類を示す。なお糸状藻類は、渓流、早瀬や水路のように急流や緩流に適する種類と、浅い湖沼、水田や浄水場のように微流に適する種類とがある。また生息に適する季節は、糸状藻類の種類により異なる。

『糸状藻類活用システム』は、河川や浅い湖沼等の自然界で生息している糸状藻類が増殖できる環境を人為的に湖沼近傍に与えることにより、流入河川水及び湖沼表層水からPO_4-Pを除去し、藍藻類や鞭毛藻類の異常増殖を抑制するシステムである。糸状藻類は図－３に示すように河川、湖沼、水田、及び浄水場において、様々な流況環境のもとで生息している。糸状藻類はいずれの場合も無機態の栄養塩類を吸収して生息している。本システムは、自然界の生息環境を浄化設備の中に忠実に再現させ、次にその設備における流速、水深、基質、糸状藻類の回収、及び設備の洗浄等の構造的な工夫を行ってPO_4-Pを吸収除去する効率を高め、さらに回収した糸状藻類の有効利用を計るものである。そのような手順で考案された設備概要を図－３に示す。また、ダム湖における浄化設備の配置列を図－４に示す。このように本システムは、自然河川等にてPO_4-P固定に役立っている生態環境を湖沼において人為的に作り出し、最大限に活用するものである。

＊＊＊図－３　糸状藻類の自然界での生息環境と浄化設備＊＊＊

＊＊＊図－４　ダム湖における浄化設備の配置例＊＊

3.2 糸状藻類をPO_4－P除去に用いる利点

糸状藻類は浮遊藻類やホテイアオイ等の高等な水生植物に比べて、流入河川水や湖水からPO_4-Pを除去するのに適した多くの利点を有しており、以下に示す。

①糸状藻類は富栄養化に起因する異常現象（アオコ、淡水赤潮、カビ臭等）の原因とならない。

②糸状藻類は増殖速度が早く、その分無機態の栄養塩類の吸収能力が高い。

③糸状藻類は水生植物に比べ低い無機態の栄養塩類濃度でも生息が可能である。かなり低い濃度となっても、糸状藻類のまわりの水が次々と入れ替わるような流況であれば栄養塩類を吸収することができる。

④糸状藻類が生息する適応温度は、低い水温でも可能であるため、冬季も概ね生息が可能である。従ってアオコが発生する季節よりも先に糸状藻類を増殖させて栄養塩類をとり続けることができる。またホテイアオイが西日本の夏季しか生息に適さないのに対して、糸状藻類は地域性と季節性の点で幅が広く有利である。

⑤ホテイアオイやヨシ等は葉面からの蒸散によって水分を大気中に放出してしまうが、糸状藻類は水中に生息するために貴重な湖水を失うことはない。

⑥糸状藻類は生息するには付着あるいは上載できる基質は必要であり、この基質を人為的に操作することにより糸状藻類の生息を制御できる。

⑦浮遊藻類と異なり、糸状藻類は水からの分離除去はスクリーン等で容易にできる。

⑧糸状藻類は栄養価が高いものが多く、魚類、鶏、及び家畜の良質のエサとなる。

４．生態系制御システム[5)]

4.1　システムの概要

湖沼では、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。生態系制御による湖沼水質保全は、浮遊性の藻類が増殖し難い生態系の構造に変化させることにより水質浄化を図るものである。オランダでは肉食魚を増やす事により藻類の増殖抑制に成功している。土木研究所がここで試みている『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。

4.2　人工生態度の現地実験

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』というものを実湖沼に設置して現地実験を行った。人工生態礁の概要を図－５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。実験に使用した人工生態礁は、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。

＊＊＊図－５　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中央部分とそれから岸沿いに 50 m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。

観測の結果、実験を行った湖沼の優占種である藍藻類類を捕食すると言われている動物プランクトンが人工生態礁中央部分では増加する傾向がみられ、対象区において８月に藻類増殖のピークを迎えた時に人工生態礁部分ではクロロフィルａの増加が抑制されることが観察された。このことから人工根を付加した人工生態礁は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できる可能性を有していることが示唆された。

５．今後の展望

ここで紹介した新しい水質保全技術は現在いくつかの湖沼で実用化されつつある。流動制御や生物的手法を現場に適用するに当たって注意すべき点は各手法のメカニズムを理解して湖沼の状態に合ったものを選定して、また運用方法についても適正に行わないと、場合によっては水質保全にとって逆効果となる事も有り得ることである。今後更に、各湖沼の状況に適した技術を組み合わせて適用すると共に、各現場での更なる技術開発が期待される。

〈参考文献〉

1) 丹羽薫・久納誠・久保徳彦・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

2) 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お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

3) 丹羽薫・久保徳彦・福渡隆・古里栄一；流動制御によるダム湖水質保全対策効果の検討，土木学会水理委員会水工学論文集，第 40 巻，1996

4)Niwa, K. et al, “A lake water purification utilizing an ecosystem by the filamentous algae”, Proceedings of ECOSET'95, 1995

5) 丹羽薫，高橋健夫，久保徳彦，福渡隆；生態系を活用した湖沼の直接浄化の試み，日本水環境学会年会 講演集，第 30 回，1996

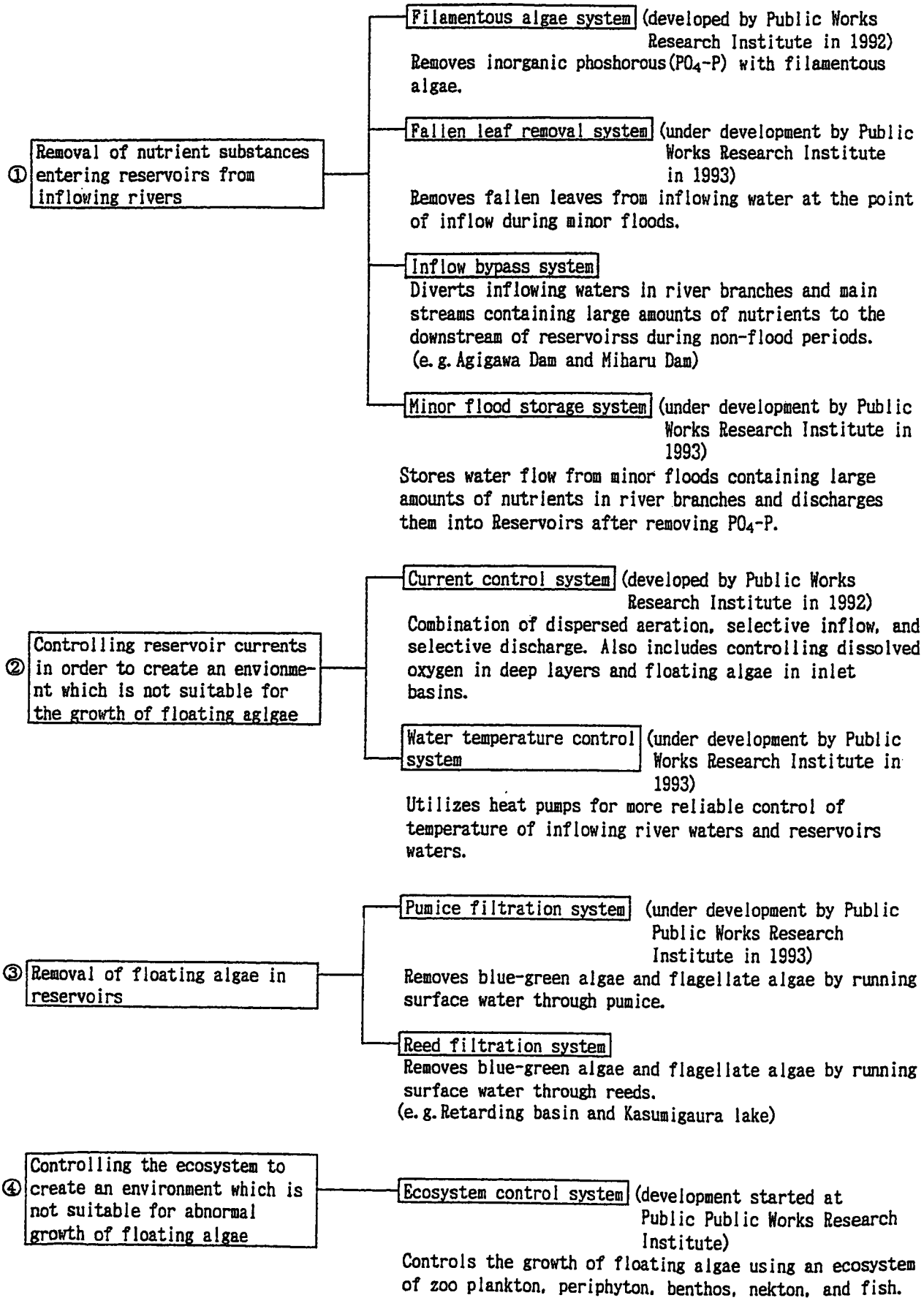


Figure 1. Menu for eutrophication control of reservoirs and lakes

表－2　湖沼の富栄養化対策手法

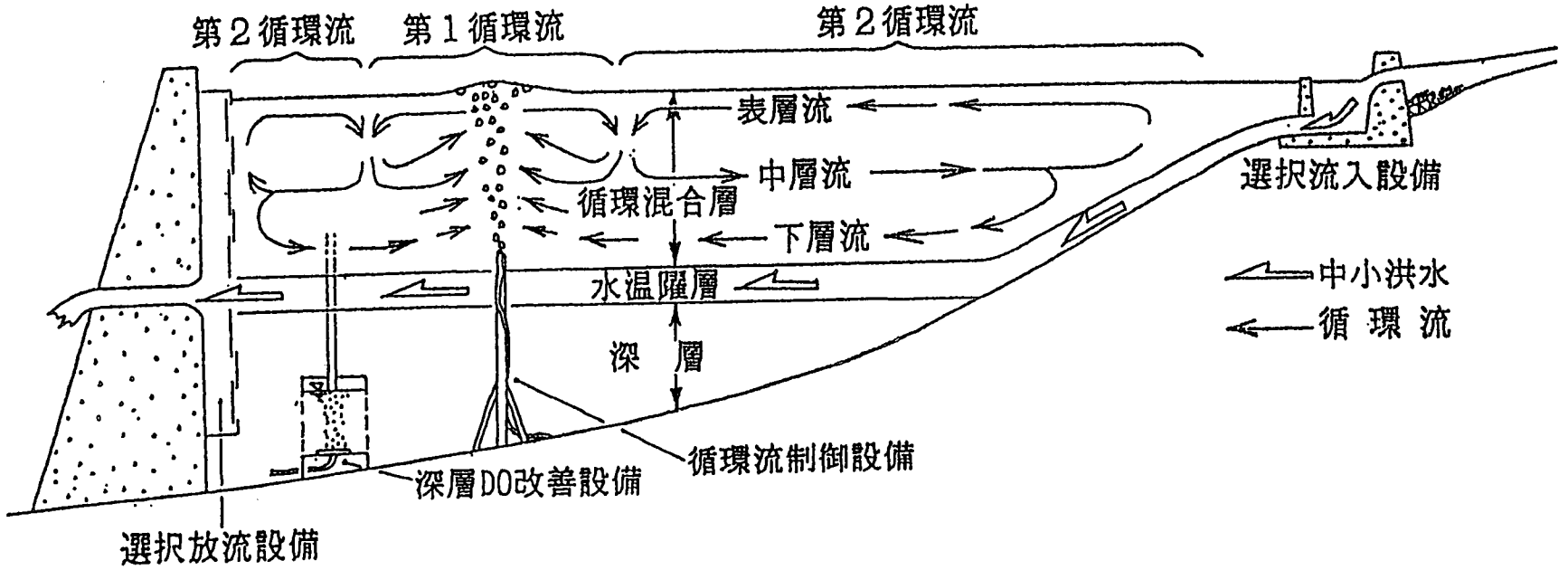
対象域	目的	対策手法		
		物理的	生物的	化学的
流入河川	流入負荷削減 特に溶解性無機態 栄養塩類の削減が 重要	前貯水池 落葉回収 流入水迂回	植生浄化 アシ原 ホテイアオイ 糸状藻類	土壌 リン吸着剤
湖内	藻類が増殖し難い 環境に制御	流動制御 曝気循環 選択流入 選択放流	生態系制御	
	藻類増殖後の藻類 除去	濾過 (長毛，軽石)	アシ原浄化 (吸着・沈降)	凝集沈澱

□は、両方にまたがるもの。

下線 ―― を付した対策手法を中心に説明する。

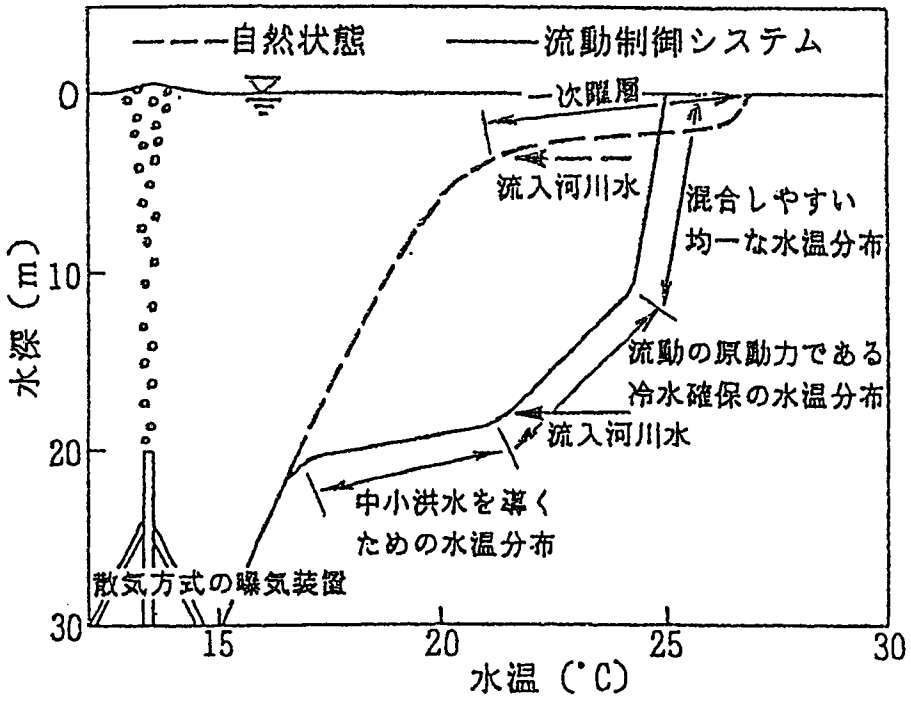
表－3　流動制御システムの水質保全効果

効果	湖水に与える流動作用	藻類に及ぼす効果
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藻類の優占阻止
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	循環混合層の藻類への栄養塩制限び易沈降性藻類（緑藻類や珪藻類)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藻類（特に表層の藍藻類）に対する栄養塩制限

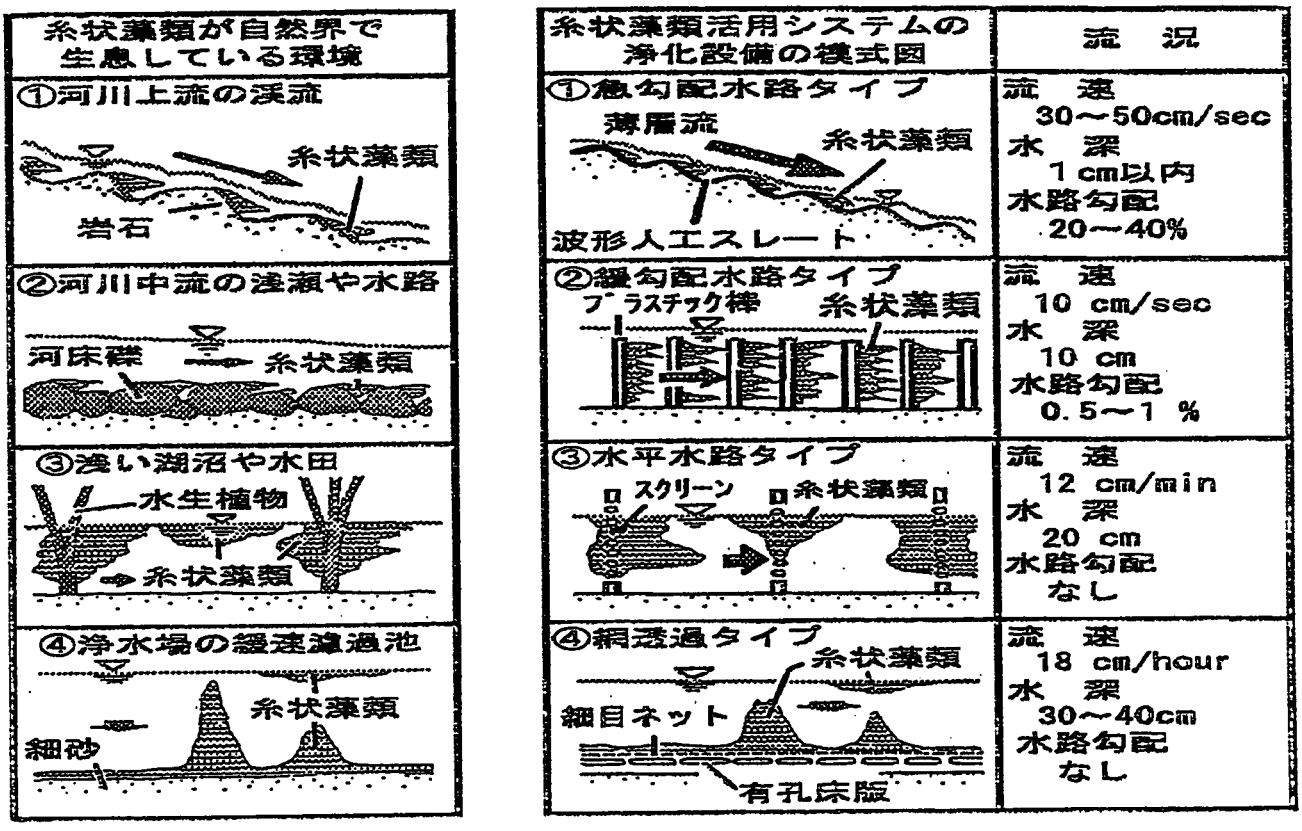


図－１　流動制御システムの模式図

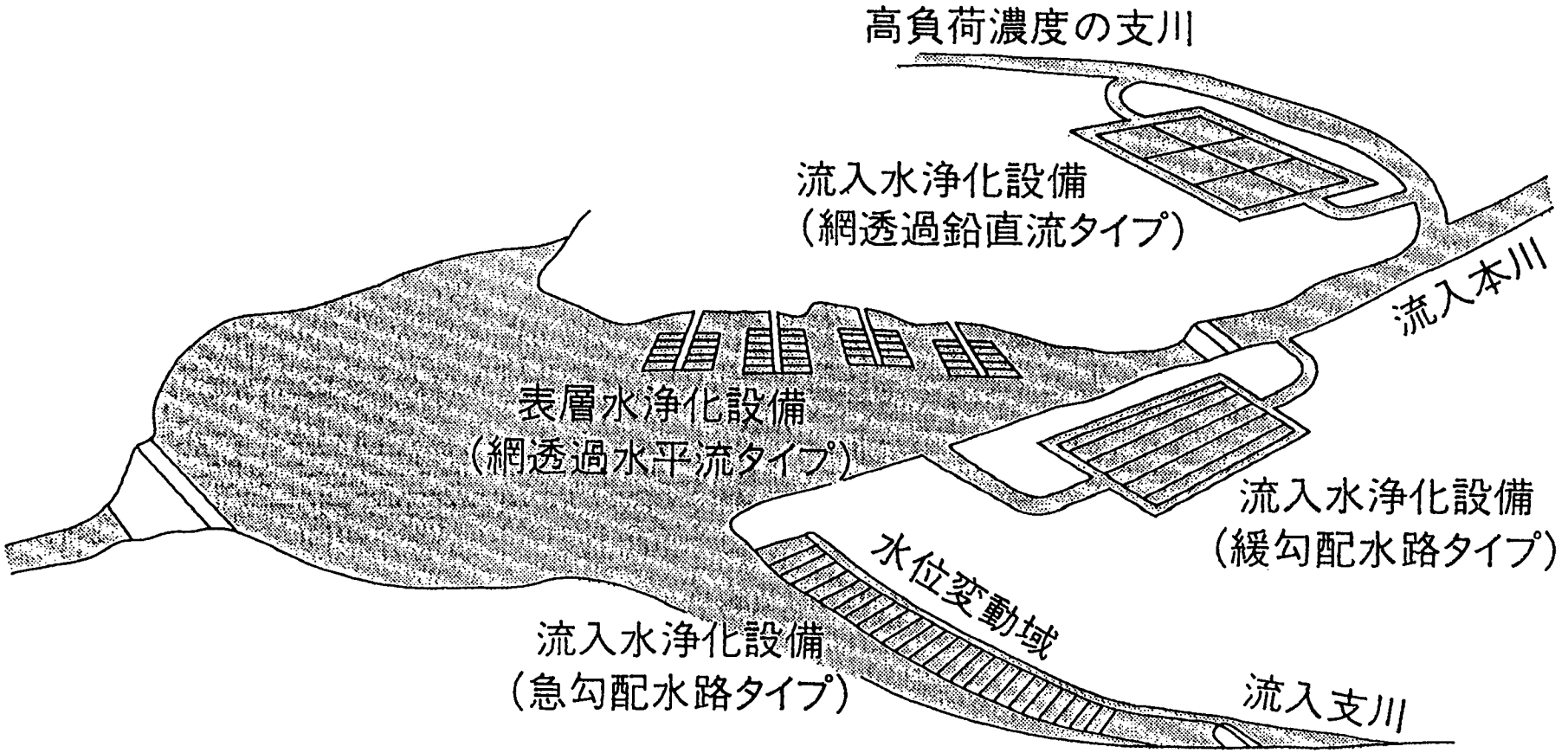
Proceedings of Korea-Japan Symposium on Ecological Engineering (1996.4)



図－2　水温鉛直分布の模式図

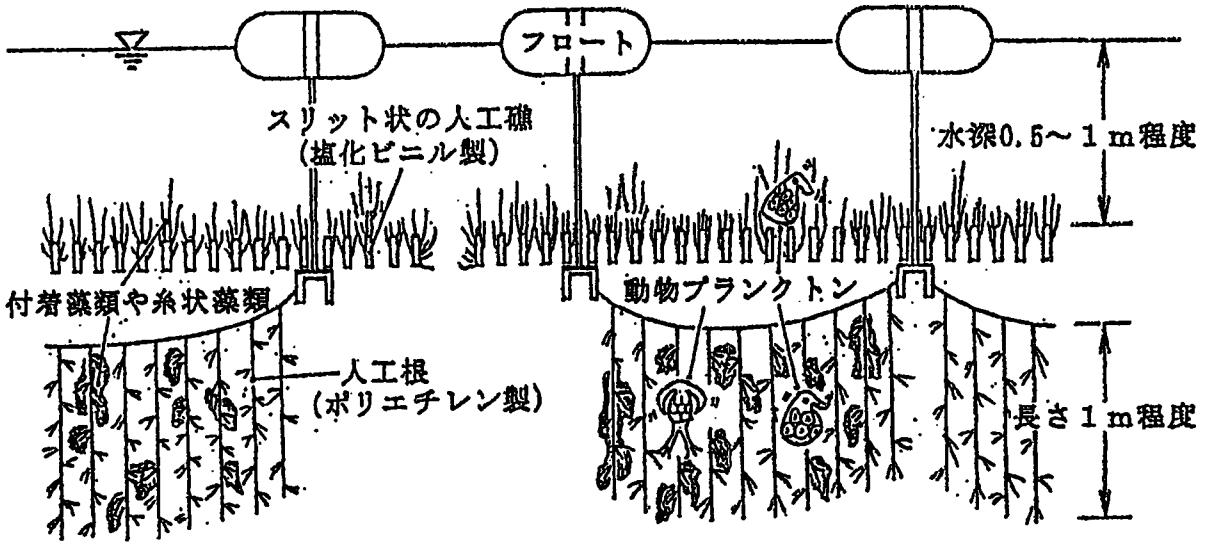


図－3　糸状藻類の自然界での生息環境と浄化設備



図－4　ダム湖における浄化設備の配置例

Proceedings of Korea-Japan Symposium on Ecological Engineering (1996.4)



図－5　人工生態礁の概要（人工礁と人工根より構成）

Proceedings of Korea-Japan Symposium on Ecological Engineering (1996.4)

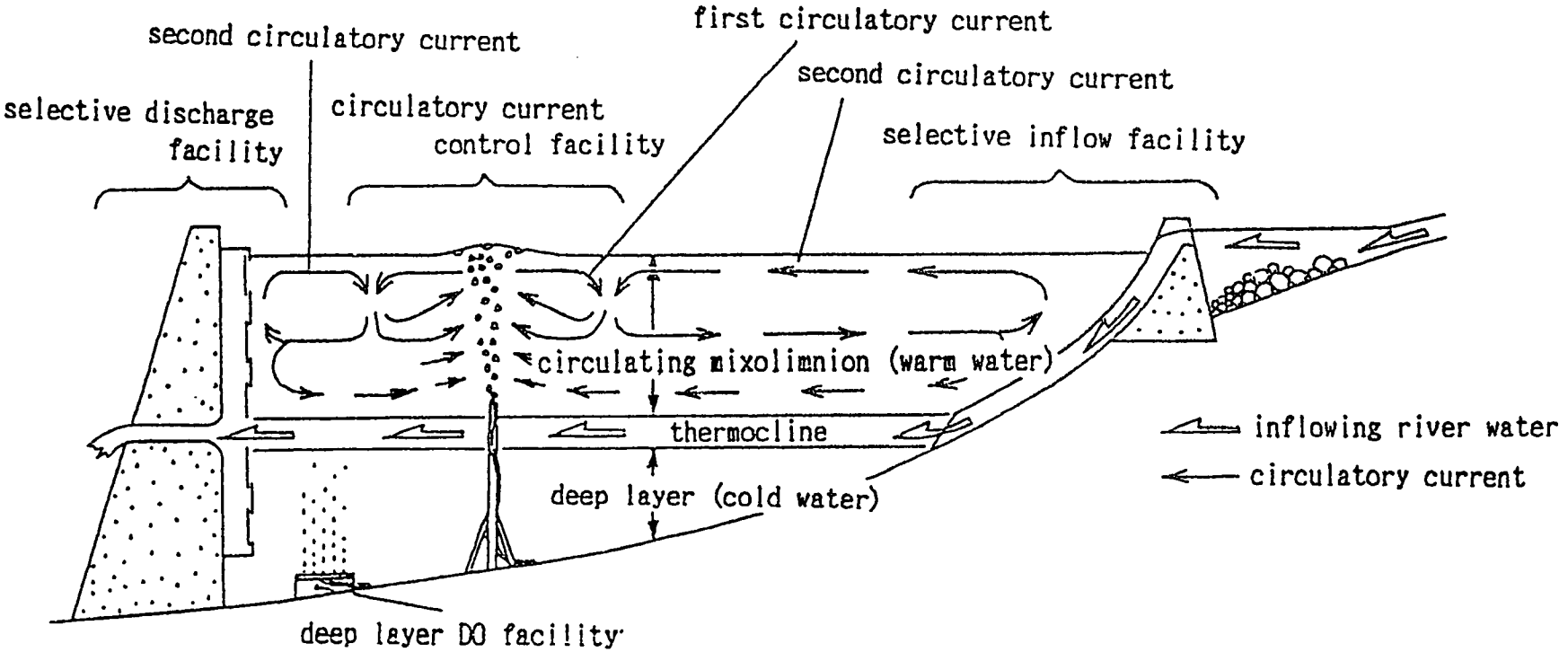


Figure 1. Diagram of current control system

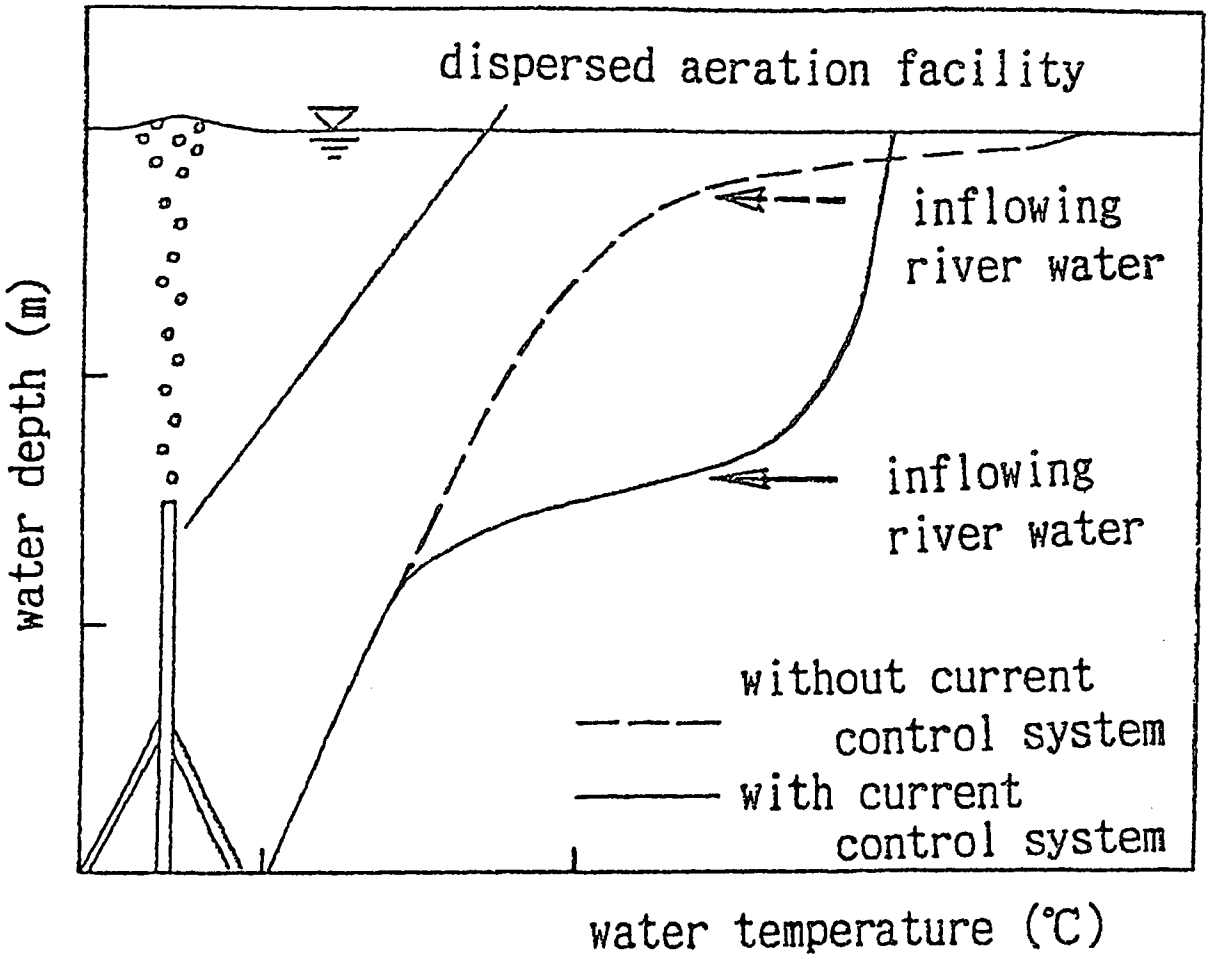


Figure 2. Diagram of vertical distribution of water temperature

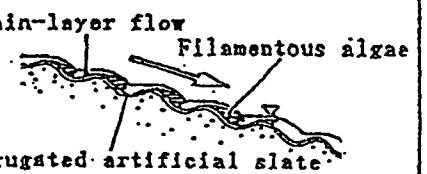
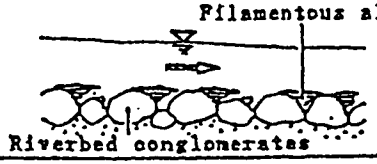
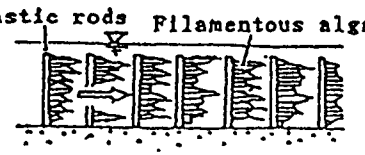
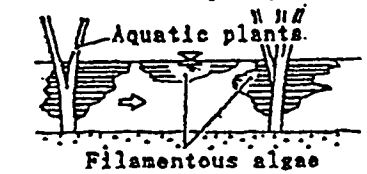
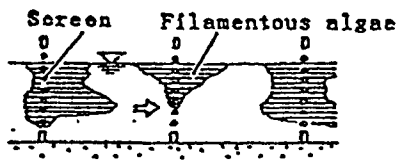
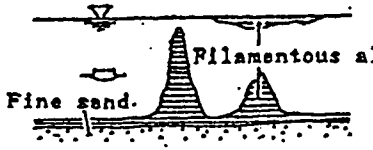
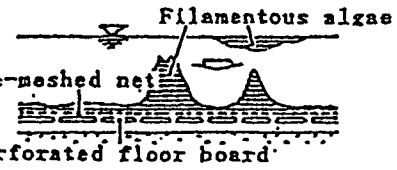
Environment of natural filamentous algae	Suitable filamentous algae	Schematic diagram of facility of filamentous algae system	Stream regime
(1) Torrents in upper reaches of river 	*Melosira varians* *Cladophora glomerata* *Spirogyra* sp. *Stigeoclonium* sp. *Cloniophora plumosa* *Diatoma vulgare* *Oedogonium* sp. *Ulothrix zonata*	(1) Steep-sloped waterway type 	Flow velocity ····30～50cm/sec Water depth ····Less than 1 cm Inclination of waterway ····20～40%
(2) Shallows in middle reaches of river and channels 	*Oedogonium* sp. *Mougeotia* sp. *Melosira varians* *Fragilaria construens* *Spirogyra* sp. *Ulothrix zonata*	(2) Gentle-sloped waterway type 	Flow velocity ····10cm/sec Water depth ····10cm Inclination of waterway ····0.5～1 %
(3) Marshes and paddy fields 	*Oedogonium* sp. *Spirogyra* sp. *Hydrodictyon reticulatum* *Mougeotia* sp. *Pithophora kewensis*	(3) Horizontal waterway type 	Flow velocity ····12cm/min Water depth ····20cm Inclination of waterway ····None
(4) Slow sand filter ponds of purification plants 	*Melosira varians* *Fragilaria construens* *Hydrodictyon reticulatum* *Mougeotia* sp. *Pithophora kewensis* *Spirogyra* sp. *Oedogonium* sp.	(4) Net-passing type 	Flow velocity ····18cm/hour Water depth ····30～40cm Inclination of waterway ····None

Fig. 3 Natural environment of filamentous algae and purification facilities

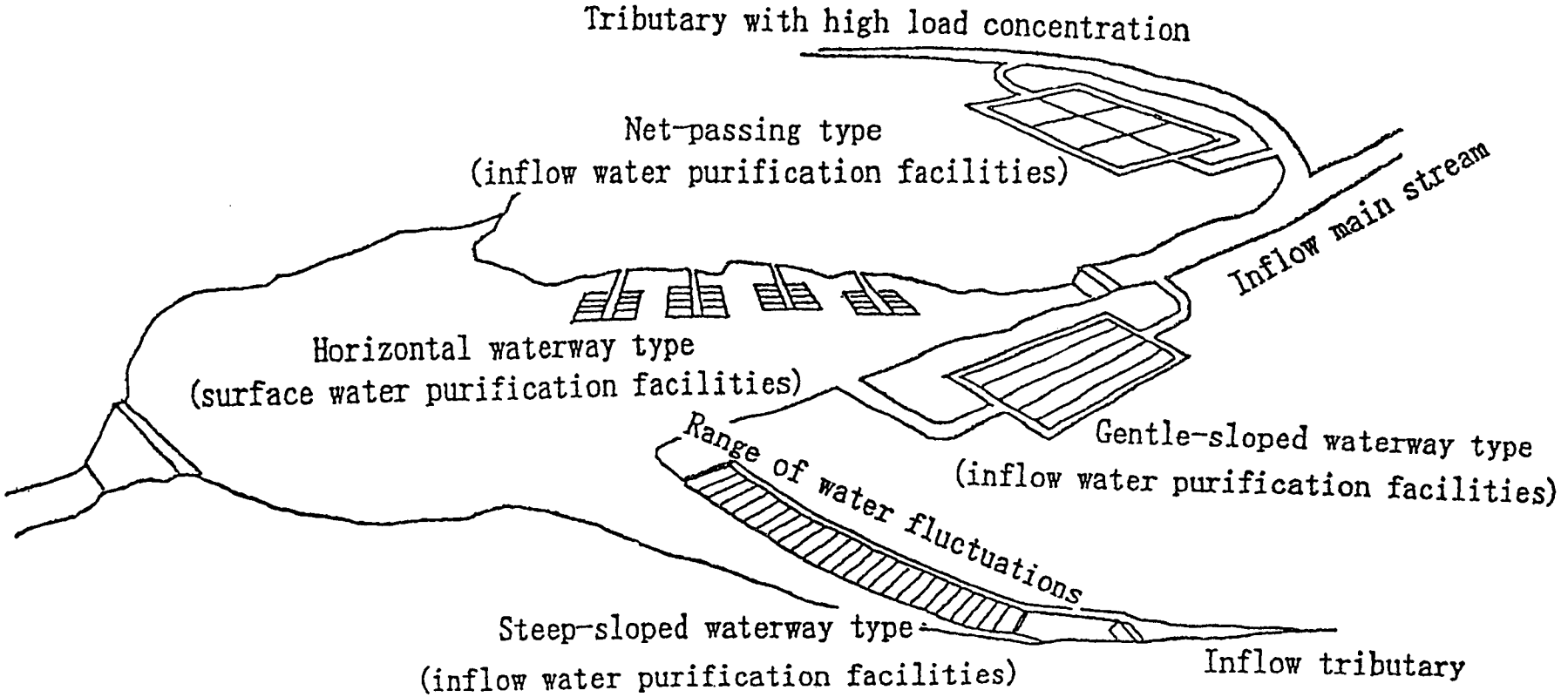


Fig. 4 Example layout of purification facilities in reservoirs

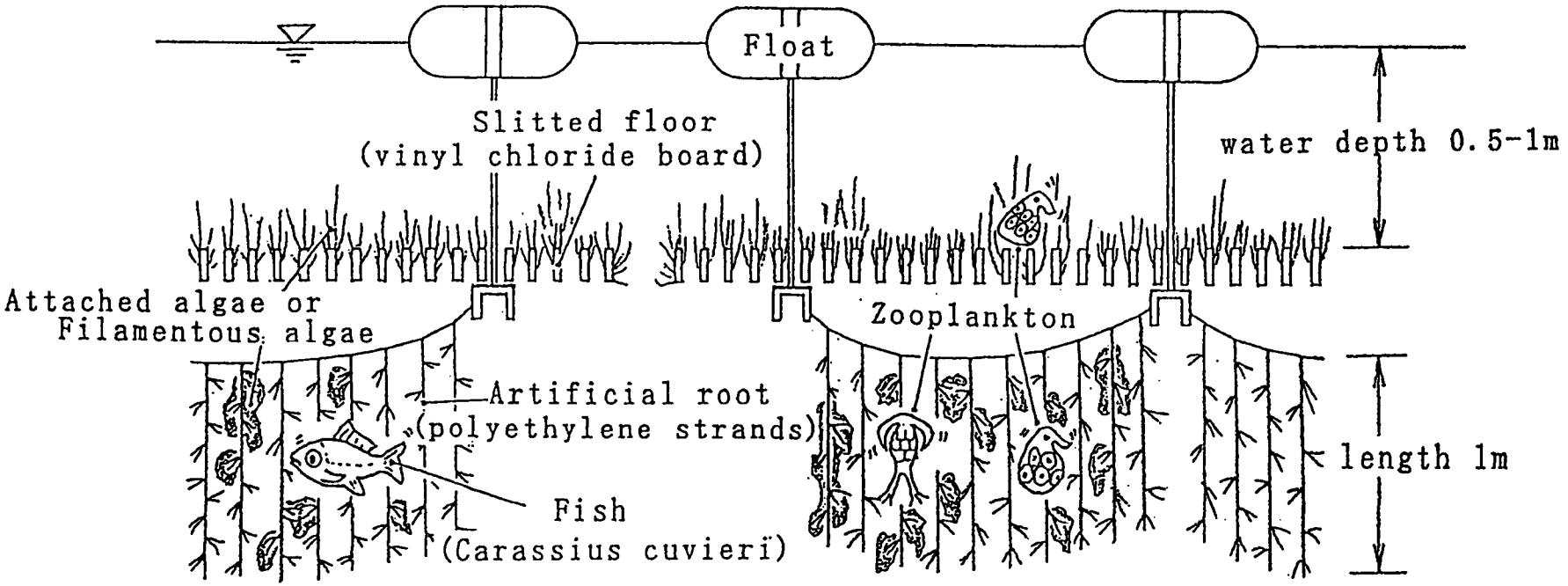


Figure 5 Diagram of artificial suspended reef

호수에서 새로운 부영양화 대책 : 물리적방법과 생물학적방법의 조합

일본건설성 토목연구소 니와 가오루

1.종합적인 부영양화대책의 새로운 구도

많은 자연호소나 댐호에 있어서, 유역으로부터 영양염류가 과도하게 흘러들어오기 때문에, 호수의 영양염류가 증가해서 부영양화현상이 일어난다. 호소의 영양염류가 증가한 결과, 남조류나 편모조류가 우점종으로 되어서 이상증식을 하기도 하고, 녹조 (綠藻)나 담수적조, 음용수의 곰팡이 냄새, 호소연안의 異臭味, 어류의 폐사, 물에서의 레저활동의 저해 등의 심각한 문제를 일으키고 있다.

호소의 부영양화 대책으로써는 발생원대책, 유역대책을 제일로 할 수밖에 없으나, 유입하천대책 및 호수내부의 대책도 중요하다. 유입하천대책 및 호수내부의 대책은 기술적으로 분류하면 표-2와 같이 물리적수법, 생물적 수법, 및 화학적수법으로 분류된다. 이 중 화학적수법은 일반적으로 비용이 많이 들고, 호소와 같은 대량의 물을 취급하는 경우, 물리적수법과 생물적수법을 병행해서 실행하는 것이 유리하다.

여기에서는, 그 중에서 토목연구소환경계획연구실에서 개발해 온 [유동제어 system] [사상조류활용 system] 및 [생태계제어 system]에 관해서 서술하겠다.

2. 유동제어 system

2.1 System 개요

유동제어system은, 평상시에는 댐의 표층에 온수이면서 표층부근의 수온분포가 균일한 순환혼합층을, 수심 약 15~20 m까지 두껍게 형성시키고, 크고 작은 홍수시기에도 이 층을 온전하게 유지하는 일에 의해서, 표층에 생식하는 남조류나 편모조류로의 영양염류와 광을 제어하는 일이 되고, 그것에 의해서, 남조류 등의 이상증식을 제어하는 system이다. 그림-1에 유동제어 system의 모식도를 표시하였다. 또한, 표-3에 유동제어system의 수질보전효과를 정리해서 표시하였다.

일반적으로 자연상태에 있어서 여름철의 수온분포는, 그림-2에 표시한 것 같이 수면에서 가장 높고, 수심이 깊어짐에 따라 낮아져서 수온성층이 형성된다. 수온성층이 형성되면, 표층의 물은 일차약층을 넘어서 상하로 이동하기 어려운 안정된 수역층이 된다. 이런 표층에서 광조건이 좋으면서 영양염류를 많이 함유한 유입하천수가 일반적으로 수면아래 수십 미터의 수심에 투입해·오면 영양염류의 공급도 얻을 수 있기 때문에, 남조류나 편모조류가 이상증식하기에 적당한 환경이 된다.

표-3 유동제어system의 수질보전효과

효과	호수에 미치는 유동작용	조류에 미치는 효과
1	표층부근의 수온이 균일하고 두께 15~20 m의 순환혼합층을 형성하고, 密度流로서 순환한다.	순환혼합층에 서식하는 조류의 광제한에 의한 표층에서의 남조류의 우점방지
2	영양염류 (PO_4-P등)를 함유한 평상시의 유입수를 순환혼합층의 하층에 모은다.	순환혼합층의 조류로의 영양염제한 및 이침강성이 좋은 조류 (녹조류나 규조류)에 의한 영양염고정후의 침강
3	영양염류 (PO_4-P등)를 함유한 中小홍수를 수온약층에 모으고, 재빨리 댐으로부터 방류한다.	순환혼합층에 존재하는 조류 (특히 표층의 남조류)에 대한 영양염제한

散氣方式의 폭기를 하면, 순환혼합층 중에서는, 그림-1에 표시한 것 같이 제2순환류의 표층수가 폭기를 향해서 끌려올라오고, 며칠후 (예를들면 8일후)에는 광이 미치지 않은 중층부로 순환된다. 따라서 표층부에서 증식한 부유조류는 일정한 사이에 (예를 들면 8일간의 배정도)광이 미치지 않는 어두운 중층부에까지 흘러 들어가고, 광합성에 필요한 광을 얻게된다. 게다가 표층수가 폭기되는 동안에도, 순환혼합층의 표층부에서는 수온연직분포가 거의 균일하기 때문에, 기온의 급저하에 따른 표층수온의 저하 등에 의해서, 표층부의 수 미터에서는 상하의 혼합이 종종 생기기 쉬운 상태가 되고 부유조류는 안정한 증식이 불가능하게 된다.

散氣方式의 폭기에 의한 순환혼합층이 형성되나, 평상시의 유입하천수는 그

림-2에 보인 것 같이 항상 수온약층에 한하지 않고, 순환혼합층 하층부로 들어가는 경우가 많다. 한편, 순환혼합층의 하층부에 생식하는 녹조류나 규조류는 기포를 갖지 않았기 때문에 남조류와는 달리 수심이 깊은 층으로 향해서 침강하기 쉽다. 유동제한 system에서는, 순환혼합층의 하층부에 들어간 유입하천수는, 순환혼합층의 하층부에 있어서 하류방향으로 1 km정도로 진행하는 사이에 유입하천수에 포함된 무기태의 영양염류가 이들의 녹조류나 규조류에 흡수되고, 그것들은 결국 심층으로 침강하기 때문에, 영양염류가 저니로 고정이 된다고 사료된다. 결과적으로 표층에서 생식하는 남조류에 공급되는 영양염류를 감소시킬수도있고, 남조류의 이상증식을 제어할 수 있게 된다.

그뿐아니라 순환혼합층이 그림-2에 보인 것 같이 온수의 15~20 m라면, 영양염류를 많이 함유하고 있는 中小홍수시의 유입수는 평상시의 유입하천수보다 저온이기 때문에 수온약층으로 모인다. 따라서, 남조류가 생식하고 있는 표층으로 영양염류의 혼입을 감소시킬수 있고, 남조류의 이상증식을 방지하는데 큰 역할을 하게 된다.

이상과같이 유동제어기능을 만족하는 순환혼합층에 있어서 수온연직분포의 이상적인 형태를 그림-5에 나타내었다. 수심 약 10 m정도로 얕고 수온도 균일한 수온연직분포를 가지면서, 상하의 혼합이 생기기 쉬운 층이 된다. 그 이유는 제2순환류를 정상적으로 순환시키기에는, 제 2순환류의 표층수와 하층수와의 수온차가 항상 필요하기 때문이다. 수심 20 m부근의 수온약층은 中小홍수를 선택방류설비로 이동시키기 위한 것이다.

2.2 濁水장기화대책과 냉수대책

댐하류로 방류하는 혼탁한 물의 장기대책으로써는, 중소홍수시의 高濁水를 수온약층으로 이동시키는 것으로써, 표층의 청정수를 溫存하게 하는 일이 가능하다. 散氣方式으로 순환혼합층을 두껍게 하는 것은, 濁水長期化對策의 하나이다. 散氣方式에 의한 순환혼합층을 두껍게 형성해 가는 경우에 수면부근의 수온은, 일사에 의한 열에너지를 시작으로하는 호수와 대기와 유입하천수와의 열수지 균형에 의해 정해지나, 일사에너지가 우세하기 때문에, 수면부근의 수온저하는 약간 있고, 순환에 의한 일사에너지가 순환혼합층의 중층부나 하층부로 이동

되고, 순환혼합층전체의 수온은 상승한다. 다만 일사에너지가 작은 봄철에 폭기수심을 크게하면, 순환혼합층전체의 수온이 저하해 버리기 때문에 주의를 요한다. 따라서 冷水대책으로써 표층취수를 행할 경우, 폭기수심의 관리를 무리하지 않게 한다면, 취수가능한 층이 두껍게 되기 때문에 유리하다고 할 수 있다.

2.3 지금까지의 기술과의 관계

지금까지 댐에서는, 선택취수설비 및 폭기순환설비가 각각 단독의 목적으로 설치되어 왔으나, 이들방법들은 댐호내의 수온약층표고를 적극적으로 조절해서 댐 호수내의 유동을 제어하려고 하는 것은 아니다. 유동제어system은 , 中小홍수시의 방류구를 15~20 m의 수심에 해당하는 표고에 설치하고, 散氣方式의 폭기장치에 의해 안정한 수온약층을 방류구 표구부근에 만들고, 중소홍수시기에 高負荷의 영양염류 및 高濁水를 함유한 유입하천수를 가능한한 빠르게 댐호로부터 방류시킨다. 댐 상류에서도 유입하천수를 표층의 호수와 혼합시키지 않고 수온약층으로 끌어들이기 때문에 선택유입설비를 새롭게 설계한 것이다.

3. 사상조류활용 system

3.1 System의 개요

호소나 댐등에서, 부유조류가 이상증식하는 직접적인 요인은, 무기형태의 인(PO_4-P) 등의 영양염류가 호소에 다량으로 유입하기 때문이다. 산업배수나 하수처리수 등의 高負荷少量水에 관해서는, PO_4-P처리기술이 별도로 연구되어 있다. 한편, 경작지 등의 비점오염원과 구도처리가 행해져 있지 않은 하수처리수나 산업배수처리수가 흘러들어와서 자연하천의 낮은 농도이나 양이 많은 하수를 대상으로한 PO_4-P제거기술은, 최근까지 개발되지 않았다. 토목연구소에서는, 사상조류라고 하는 생물에 의한 정화능력을 활용해서, 유입하천등으로부터 PO_4-P 등의 무기태영양염류를 제거하는 기술을 개발하고 있고, [사상조류활용 system]으로써 발표하였다.

바다에서는 대형의 부착성 조류로써 海藻가 서식한다. 한편 담수역에서는, 해조에 해당하는 부착성의 조류로써 사상조류가 서식하고 있다. 여기에서 이용하는 사상조류로써는, 육안으로 구별할 수 있는 毛絲나 木綿絲와 같이 사상으로

되어 있는 조류이다. 즉 사상조류는, 계곡이나 빠른 여울이나 수로와 같이 급류에 적응한 조류와, 얕은 호소, 논물이나 정수장과 같이 미세한 흐름에 적응한 조류가 있다. 또한 생식하기에 적당한 계절은, 사상조류의 종류에 따라서 다르다.

[사상조류활용 system]은, 하천이나 얕은 호소 등의 자연계에서 서식하고 있는 사상조류가 증식할 수 있는 환경을 인위적으로 호소근방에 만듦으로써, 유입하천수 및 호소표층수로부터 PO_4-P를 제거하고, 남조류나 편모조류의 이상증식을 제어하는 system이다. 사상조류는 그림-3에 보인 것 같이 하천, 호소, 논물, 및 정수장에서, 여러 가지 유형의 환경에서 생식하고 있다. 사상조류는 위의 모든 환경에서 무기형태의 영양염류를 흡수해서 서식하고 있다. 본 system은, 자연계의 서식환경을 정화설비중에 충실히 재현시키고, 다음으로 그 설비에 있어서 유속, 수심, 기질, 사상조류의 회수, 및 설비의 정수 등의 구조적인 연구에 따라서 PO_4-P를 흡수제거하는 효율을 높이고, 회수한 사상조류의 유효이용을 도모하는 것이다. 그런 순서로 고안된 설비개요는 그림-3에 보이고 있다. 또한 댐에서 정화설비의 배치 예를 그림-4에 나타내었다. 이런 system은, 자연하천등에서 PO_4-P고정에 역할을 하고 있는 생태환경을 호소에 인위적으로 만들어서, 최대한 활용하는 것이다.

3.2 사상조류를 PO_4-P제거에 이용하는 이점

사상조류는 부유조류나 부레옥잠등과 같은 고등한 수생식물에 비해서, 유입하천수나 호수로부터 PO_4-P를 제거하는데 적당한 많은 이점을 가지고 있고, 그 이점은 다음과 같다.

① 사상조류는 부영양화에 기인하는 이상환경 (綠藻, 담수적조, 곰팡이 냄새)의 원인이 되지 않는다.

② 사상조류는 증식속도가 빠르고, 무기형태의 영양염류의 흡수능력이 높다.

③ 사상조류는 수생식물에 비해서 낮은 영양염류농도에서도 생식이 가능하다. 매우 낮은 농도가 되어도, 사상조류의 주변의 물이 차례로 바뀌는 물의 흐름만 있으면 영양염류를 흡수할 수 있다.

④ 사상조류가 낮은 수온에서도 생식이 가능하기 때문에, 겨울철에도 생식이 가능하다. 따라서 綠藻가 발생하는 계절보다 먼저 사상조류를 증식시키는

영양염류를 얻는 일이 가능하다. 또한 부레옥잠이 서일본의 여름철밖에 생식하지 못하는 것에 비해서, 사상조류는 지역성과 계절성의 점에서 보면 폭이 넓어서 유리하다.

⑤ 부레옥잠이나 갈대등은 잎의 잎면으로부터 蒸散에 의해서 수분을 대기중으로 방출해 버리나, 사상조류는 수중에 생식하기 때문에 귀중한 호수를 잃는일은 없다.

⑥ 사상조류는 생식하고 부착하는데 기질이 필요하나, 이 기질을 인위적으로 조작하는 것으로써 사상조류의 생식을 제어할 수 있다.

⑦ 부유조류와는 달리, 사상조류는 물로부터 screen등으로 쉽게 분리제거 할 수 있다.

⑧ 사상조류는 영양가가 높은 것이 많아, 어류, 새 및 가축의 좋은 먹이가 된다.

4. 생태계제어 system

4.1 System의 개요

호소에서는, 식물플랑크톤, 동물플랑크톤, 저생동물, 부착생물, 유영동물 등의 여러 가지 생물이 먹이망을 통해서 서로 연결되어 있다. 생태계제어에 의한 호소수질보전은, 부유성 조류가 증식하기 어려운 생태계의 구조를 변화시킴으로써 수질정화를 도모하는 일이다. 네델란드에서는 육식어류를 증식함으로써 조류의 증식제어에 성공하고 있다. 토목연구소가 여기에서 시도하고 있는 [생태계제어 system]은 호소 등의 유입지역이나 호안에 동물플랑크톤이 정상적으로 증식할 수 있는 환경을 인공적으로 창조하고, 동물플랑크톤의 포식에 의해서 이상증식하려고 하는 식물플랑크톤의 증식을 제어하는 방법이다.

4.2 인공생태초의 현지실험

동물플랑크톤이 정상적으로 증식 할 수 있는 환경을 창조하는 시설로써 [人工生態礁]라고 하는 것을 실제 호소에 설치해서 현지실험을 하였다. 인공생태초의 개요는 그림-5에 표시하였다. 인공생태초는 염미판이 slit상으로 조합된 인공초의 부분과, 그것으로부터 아래쪽으로 늘어뜨려진 폴리에틸렌제의 인공근의 부분으로 되었고, 수심이 50 cm가 되게 float로 띄운 것이다. 실험에 사용한 인

공생태초는, 인공초가 한변이 6 m의 정방형으로, 그 중앙부분에는 인공초가 없고, 그것으로부터 1 m의 인공근을 늘어뜨린 것이다. 본 system을 수위가 변동하는 댐저수지 등에 적용하는 경우, 수위가 변동해도 안정한 환경조건을 갖는 것 같은 구조로 하는 것이 중요하다.

인공생태초를 설치함으로써 수질정화효과를 검토하기 위해서, 1995년 6월~9월에 걸쳐서 인공생태초 중앙부분과 그것으로부터 연안에 50 m 떨어진 지점을 대조해서, 두 곳 모두의 표층에서 일주일에 한 번의 빈도로 수질조사를 하였다.

관측결과, 실험을 행한 호소의 우점종인 남조류를 포식한다고 하는 동물플랑크톤이 인공생태초 중앙부분에서는 증가하는 경향이 보였고, 대상구에서는 8월에 조류증식의 peak를 보일 때에 인공생태초부분에서는 Chl. a의 증가가 억제되는 것을 관측하였다. 이런 것으로부아 인공근을 첨가한 인공생태초는 동물플랑크톤이 정상적으로 증식할 수 있는 환경을 인공적으로 창조 할 수 있는 가능성을 갖고 있다는 것을 보여주고 있다.

5. 금후의 전망

여기에서 소개한 새로운 수질보전기술은 현재 몇 개의 호소에서 실용화되어지고 있다. 유동제어나 생물적 수법을 현장에 적용할 때에 주의해야 할 점은 각 수법의 개요를 이해해서 호소의 생태에 따라서 선정하고, 또한 운용방법에 관해서도 정적하게 행하지 않으면, 경우에 따라서는 수질보전에 역효과가 되는 일도 있을 것이다. 금후 다시, 각 호소의 상화에 적정한 기술을 조합하여 적용함과 동시에, 각 현장에서의 새로운 기술개발이 기대된다.

Ⅶ-44　糸状藻類の水質浄化能力の日変動に関する研究

建設省 土木研究所 正会員　久保　徳彦
建設省 土木研究所 正会員　福渡　隆
建設省 土木研究所 正会員　丹羽　薫
建設省 土木研究所　　山崎　崇

1．はじめに

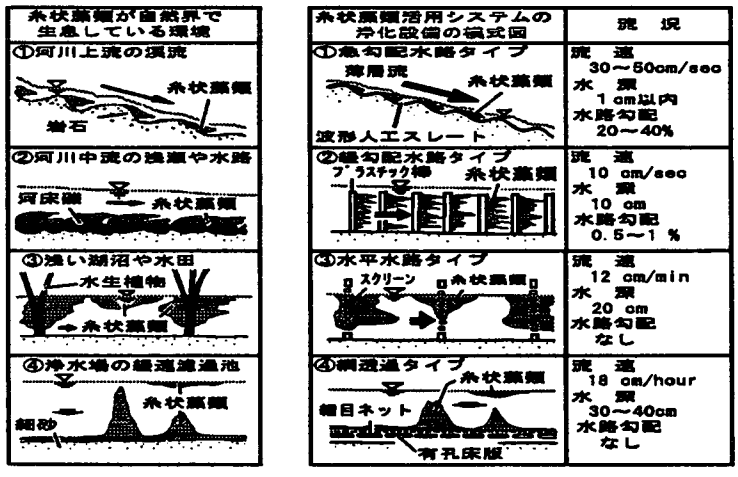
湖沼等の閉鎖性水域の富栄養化対策のひとつとして、ヨシ，クレソン等の水生植物を用いた水質浄化が広く行われている。土木研究所環境計画研究室においても、糸状藻類という水生生物の栄養塩類（特に、無機態のリン：PO_4-P）吸収能力に着目して水質浄化システムの開発を行っており、これまでの研究により、高いPO_4-P吸収能力，容易に除去可能，飼肥料としての有効利用の可能性等の特長が確認されている[1),2)]。

これらの水生植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は多いが、日変動について観測した結果は少ない。このため、現時点では、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、夜間の浄化能力の変動は考慮しない計画となっている。

本研究では、これら糸状藻類の浄化能力の日変動に関する調査結果を報告する。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．調査方法

霞ヶ浦工事事務所土浦出張所内に水路を設置して実験を行った。設置した水路は、急勾配タイプ２本、緩勾配タイプ２本、水平タイプ１本及び網透過タイプ１本の計４タイプ６本である。これらの水路は、右図に示すように、自然界で糸状藻類が生息している環境を模した形状となっている。また、実験の原水には、霞ヶ浦の湖水を濾過して用いた。

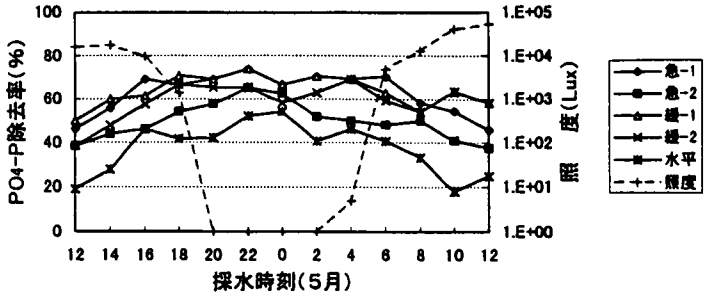


図－１　実験装置の模式図

糸状藻類の浄化能力は、各水路の流入部と流出部で水質を測定することにより、日変動の観測を行った。水質の24時間連続観測は、平成７年５月及び８月の２回実施した。また、測定間隔は２時間とし、照度も同時に測定した。

3．調査結果及び考察

水路内に生息していた糸状藻類は、５月が珪藻（*Melosira varians*）と緑藻（*Spirogyra* 他）の混在、８月が緑藻（*Spirogyra* 他）であった。５月に実施した24時間水質測定結果を図－２に、８月の水質測定結果を図－３

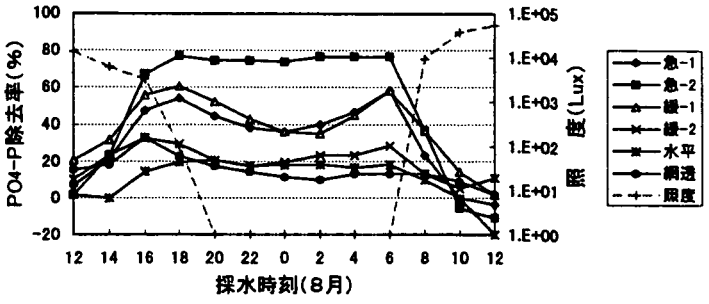


図－２　PO_4-P除去率の日変化（５月）

に示す。図中、照度の変化も同時に示す。

流入水のPO_4-P濃度は、５月が22～27μg/l、８月が55～63μg/lで、いずれも変化は小さいものであった。

図－２，３によれば、５月，８月の実験結果とも、PO_4-Pの除去率は、照度のグラフと逆の変動パターンを示しており、全ての水槽において、18:00～6:00までの夜間に糸状藻類のPO_4-P除去率が高くなっていることが確認された。

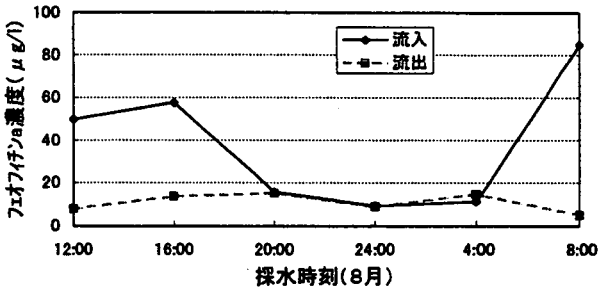


図－３　PO_4-P除去率の日変化（８月）

ここで、18:00～6:00までを夜とし、残りを昼とした場合、昼と夜で除去率を単純平均すると、昼に対する夜のPO_4-P除去率は、５月のデータで1.3倍、８月のデータで2.4倍高くなっていた。

このことから、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を行っても、夜間の除去率は余裕分として見込むことができ、１日当たりの除去率が確保できるものと考えられる。

また、８月に測定したフェオフィチンａ（藻類の死細胞量の指標）の測定結果を図－４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推定される。



図－４　フェオフィチンa濃度の日変化

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。

４．おわりに

本研究により、糸状藻類は昼よりも夜の方がPO_4-P除去率が高くなっており、夜間も浄化能力を見込むことができること。夜間の除去率が高くなることに対し、２つの要因が考えられることが明らかとなった。

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、栄養塩を吸収するという点から、ヨシ等の水生植物より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、魚類を用いた維持管理の軽減等、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。

５．参考文献

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

Ⅶ-49　落葉回収による富栄養化対策（その２）

－回転スクリーンによる脱水処理について－

建設省土木研究所　正員　福渡　隆
建設省土木研究所　正員　久保徳彦
建設省土木研究所　正員　丹羽　薫

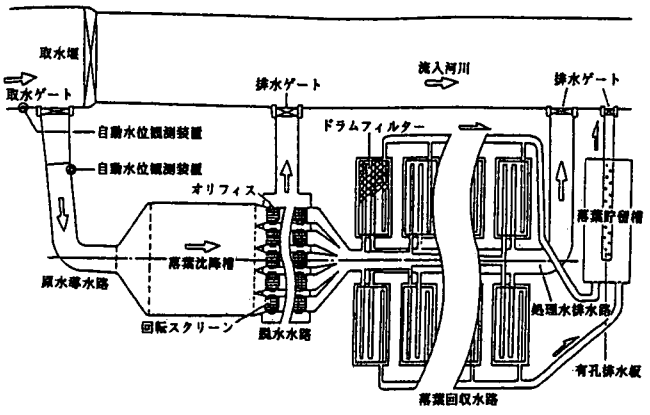
１．はじめに

土木研究所環境計画研究室では、湖沼等の総合的な富栄養化対策技術について研究を行っている。本研究は、様々な富栄養化対策の中で湖沼等の流入河川において行う対策手法である。

湖沼等の上流域にある森林から発生した落葉は、洪水時等に流入河川により湖沼やダム湖に運ばれ底に堆積し、分解され無機態の栄養塩類が水中に溶出してしまうため富栄養化現象の要因となることがある。そこで、流入する落葉を効率的に回収するシステムを構築し、富栄養化の要因となる栄養塩類の削減を行う必要がある。

落葉回収システム[1]は、河川水の特に洪水時の初期流出水に多量に含まれる落葉を湖沼等に流入する前に回収することが目的であり、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除去を行うことで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。全体図を図－１に示す。

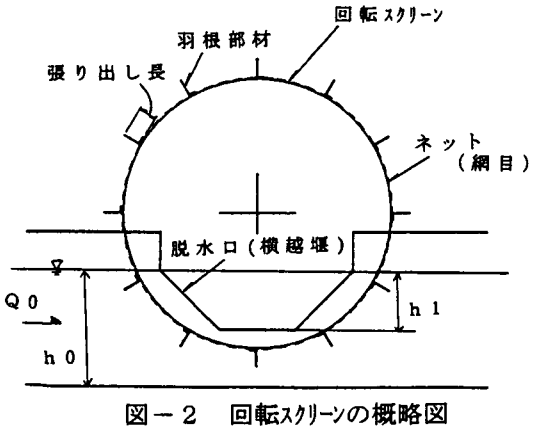
本報は、この落葉回収システム[1]の中で脱水水路と呼ぶ水路で使用する河川水を脱水処理することで落葉を濃縮する装置を考案したので報告するものである。



図－１　落葉回収システムの全体図

２．回転ｽｸﾘｰﾝの原理と構造

回転ｽｸﾘｰﾝは図－２に示すもので、脱水水路中に設置して、落葉を濃縮する装置であり、羽根部材を設けることで流水により中央の軸を中心に回転運動が可能な構造になっている。浮遊している落葉は回転ｽｸﾘｰﾝの周囲を覆ったネットにより下方へ押しやられ、河川水のみｽｸﾘｰﾝ中央付近に設置された脱水口（横越堰）より流路外へ分離できるように設計した。脱水口は、水量を多くするために、オリフィスではなく越流タイプを採用した。また、回転ｽｸﾘｰﾝ幅は流路内径と同寸としたが、ｽｸﾘｰﾝと流路との隙間への落葉の進入防止のため、くさび状のガイドを設けることとした。



図－２　回転ｽｸﾘｰﾝの概略図

３．回転ｽｸﾘｰﾝの模型実験

水路幅40cm の実験水路に幅40cm，直径70cm，羽根部材長5cm の回転ｽｸﾘｰﾝを設置し、模型実験を行った。

本ｽｸﾘｰﾝの設置目的は河川水と落葉の分離であるのでｽｸﾘｰﾝの回転は必要最小限でよく、羽根部材の張り出し長は一定で羽根部材の枚数30、15、10、6枚と変化させた。それぞれ上流水深を一定に保ちながら流入量を変

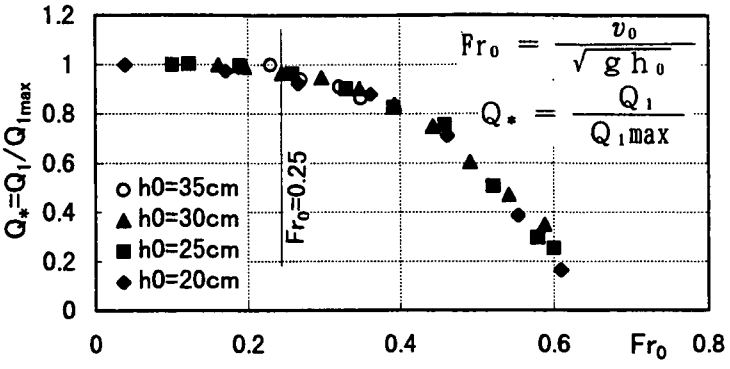
化させ、ｽｸﾘｰﾝの回転状況及び脱水量について調査検討を行った。

羽根部材の枚数が少なくなると、同一流入量に対してｽｸﾘｰﾝの回転速度は遅くなるが、最小枚数の６枚でも回転することが確認でき、また、ｽｸﾘｰﾝの羽根部材数が少ない方が、同一流入量に対する脱水量が多くなることが分かった。

次に、羽根部材数を脱水量の一番多かった６枚とし、上流水深を20、25、30、35cm と変化させ、それぞれ流入量を変化させ回転特性と脱水量に関する検討を行った。

各水深とも流入量の増加につれ回転速度は増加するが、同一流入量に対しては、水深が小さいほど速く回転することが分かった。また、脱水量は水深が大きくなるほど多くなるが、流速が増加していくにつれ脱水量は減少していくことが分かった。

以上の関係を流入フルード数 Fr_0 と脱水口での水深 h_1 で得られた最大流量 Q_{1max} で無次元化した無次元脱水量 Q_* で表すと図－３のようになり、流入フルード数 $Fr_0=0.25$ 以下では Q_* は変化しないが、$Fr_0>0.25$ となると急激に Q_* は低下し、脱水効率が著しく低下することが推察できる。同じ越流水深 h_1 で脱水量を多く確保するには、流入フルード数を $Fr_0<0.25$ とすることが有効であることが分かった。



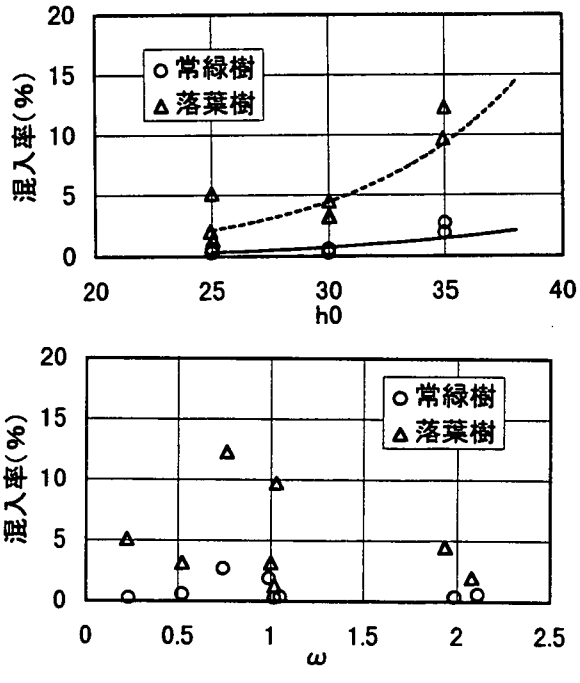
図－３　フルード数と無次元流量との関係

４．脱水機能の検討

実際に天日乾燥した落葉を３０分間水に浸したものを１分間投入して脱水機能の検討を行った。上流水深とｽｸﾘｰﾝの回転速度を多様に変化させて、脱水口側に混入した落葉の枚数を計測した。

結果を図－４に示すが、上流水深が大きくなると混入率も高くなることが分かった。原因は、ｽｸﾘｰﾝと水路側壁との隙間より混入、ｽｸﾘｰﾝのﾈｯﾄをすり抜ける、若しくはｽｸﾘｰﾝに付着したままの落葉が空中から落下する事が考えられるが、今回の実験では混入の経路の把握までは至らなかった。

また、ｽｸﾘｰﾝの回転速度と混入率に関しては明確な関係は見られなかったが、混入率は多くても15%以下であったため、基本的な脱水機能は十分発揮されていると考えられる。



図－４　水深及び回転速度と混入量の関係

５．おわりに

落葉回収システムの脱水水路部における装置を考案し、基本的構造を確認した。今後は、さらに落葉の混入量を低減させるための検討、また実物大の回転ｽｸﾘｰﾝの模型実験により実際の運用に際しての問題点の把握及び検討をしていく必要がある。

《参考文献》

１）久保　徳彦 他：落葉回収による富栄養化対策、土木学会第50回年講概要集、Ⅱ－Ａ、1995、p166

原稿No. K04-04

〔解　説〕

湖沼の富栄養化対策技術の動向
＜物理的手法と生物的手法＞

建設省 土木研究所　竹林　征三
Seizou Takebayashi
丹羽　薫
Kaoru Niwa

1．総合的な富栄養化対策の新しい構図

多くの自然湖沼やダム湖において、流域から栄養塩類が過剰に流れ込むために、湖水の栄養塩類が増加して富栄養化を来している。湖沼の栄養塩類が増える結果、藍藻類や鞭毛藻類が優占種となって異常増殖することとなり、アオコや淡水赤潮、水道水のカビ臭、湖沼沿岸の異臭、魚類のへき死、親水活動の阻害などの深刻な問題を引き起こしている。

湖沼の富栄養化対策としては発生源対策、流域対策を第一とすべきものであるが、流入河川対策及び湖内対策も合せて重要である。流入河川対策及び湖内対策は技術的に分類すると第1表のように物理的手法、生物的手法、及び化学的手法に分類される。この内、化学的手法は一般にコストが高くつき、湖沼のような大量の水を扱う場合、物理的手法と生物的手法の組み合わせが有利である。

ここでは、その中で土木研究所で開発を行って来ている『流動制御システム』『糸状藻類活用システム』及び『生態系制御システム』について述べる。なお、『流動制御システム』は本年、科学技術庁長官より注目発明に選定された技術である。

第1表　湖沼の富栄養化対策手法

対象域	目　的	対策手法		
		物理的	生物的	化学的
流入河川	流入負荷削減 特に溶解性無機態栄養塩類の削減が重要	前貯水地 落葉回収 流入水迂回	植生浄化 アシ原 ホテイアオイ 糸状藻類	土壌 リン吸着剤
湖　沼	藻類が繁殖し難い環境に制御	流動制御 曝気循環 選択流入 選択放流	生態系制御	
	藻類繁殖後の藻類除去	濾過 (長毛、軽石)	アシ原浄化 (吸着、沈下)	凝集沈澱

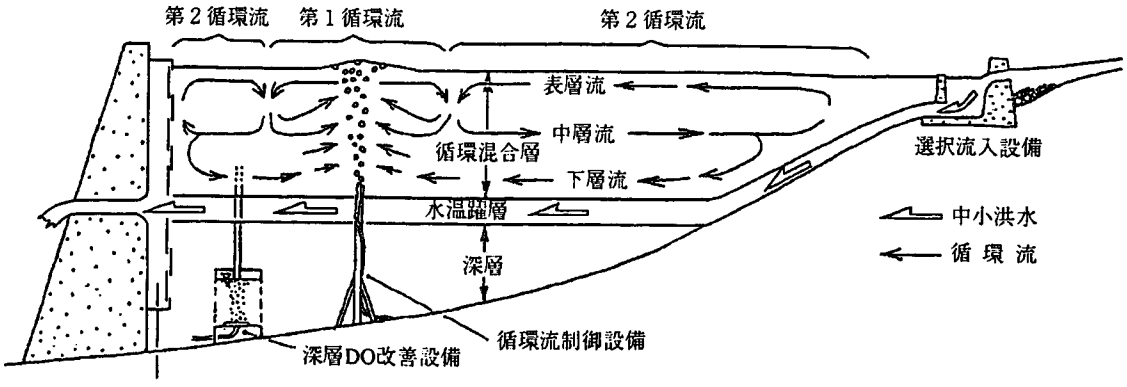
[ ] は、両方にまたがるもの。
下線＝＝＝を付した対策手法を中心に説明する。

2．流動制御システム[1]

2—1　システムの概要

流動制御システムは、平常時においてダム湖の表層に温水でしかも表層付近の水温分布が均一である循環混合層を、水深概ね15～20mまで厚く形成させ、中小洪水時にもこの層を温存させることにより、表層に生息する藍藻類や鞭毛藻類への栄養塩類と光を抑制することになり、それによって、藍藻類等の異常増殖を抑制するシステムである。第1図に流動制御システムの模式図を示す。また、第2表に流動制御システムの水質保全効果をまとめて示す。

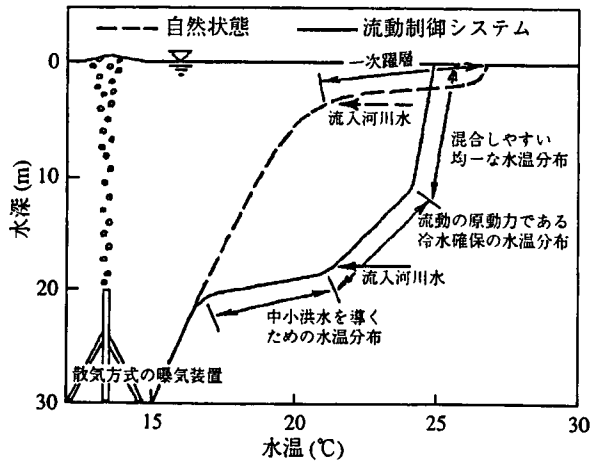
一般に自然状態における夏季の水温分布は、第2図に示すように水面で最も高く、水深が深くなるにつれて低くなるいわゆる水温成層が形成される。水温成層が形成されると、表層の水は一次躍層を越えて上下に移動し難い安定した水塊となる。このような表層では光が良く得られ、また栄養塩類を多く含む流入河川水が一般に水面下数メートルの水深に侵入して来て栄養塩類の供給も受けられるため、藍藻類や鞭毛藻類が異



第１図　流動制御システムの模式図

第２表　流動制御システムの水質保全効果

効果	湖水に与える流動作用	藻類に及ぼす効果
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藻類の優占阻止
2	栄養塩類（PO_4-P等）を含んだ平常時の流入水を循環混合層の下層に導く	循環混合層の藻類への栄養塩制限及び易沈降性藻類（緑藻類や珪藻類）による栄養塩固定後の沈降
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する	循環混合層に存在する藻類（特に表層の藍藻類）に対する栄養塩制限



第２図　水温鉛直分布の模式図

常繁殖するのに適した環境となる。

散気方式の曝気を行うと、循環混合層の中では、第１図に示すように第２循環流の表層水が曝気に向かって引き寄せられ、何日か後（例えば８日後）には光が届かない中層部へ循環させられる。よって表層部で増殖しかけた浮遊藻類は暫くの間（例えば８日間の倍程度）光が届かない暗い中層部に追いやられ、光合成に必要な光が制限されることになる。さらに表層水が曝気に引き寄せられている間においても、循環混合層の表層部では水温鉛直分布がほぼ均一であるため、気温の急低下に伴う表層水温の低下等により、表層部の数メートルでは上下の混合がしばしば生じ易い状態にあり浮遊藻類は安定した増殖ができない。

散気方式の曝気により循環混合層が形成されるが、平常時の流入河川水は第２図に示すように常に水温躍層に導かれるとは限らず、循環混合層の下層部に侵入する場合が多い。一方、循環混合層の下層部で生息する緑藻類や珪藻類はガス泡を持たないために藍藻類と異なり深層へ向かって沈降しやすい。流動制御システムにおいては、循環混合層の下層部に侵入して来た平常時の流入河川水は、循環混合層の下層部において下流方向へ１km程度も進行する間に流入河川水に含まれていた無機態の栄養塩類がこれらの緑藻類や珪藻類に吸収され、それらはやがて深層へ沈降するため、栄養塩類の底泥への固定が期待できる。結果的に表層で生息する藍藻類に供給される栄養塩類を減少させることになり、藍藻類の異常増殖を抑制できる。

さらに循環混合層が第２図に示すように温水でしかもその厚さが15～20mあれば、栄養塩類を多く含んでいる中小洪水時の流入水は平常時の流入河川水よりさらに低温であるため水温躍層へ導かれる。よって、藍藻類が生息している表層への栄養塩類の混入を減少させることになり、藍藻類の異常増殖防止に役立つ。

以上のような流動制御機能を満足する循環混合層における水温鉛直分布の理想的な形状を第２図に示す。水深約10m以浅は温水でしかも均一な水温鉛直分布を持ち、上下の混合が生じやすい層とする。水深約

10mから約20mの層の水温は約10m以浅より常時低く保つ必要がある。その理由は、第2循環流を定常的に循環させるには、第2循環流の表層水と下層水との水温差が常時必要なためである。水深20m付近の水温躍層は中小洪水を選択放流設備へ導くためのものである。

2—2　濁水長期化対策と冷水対策

ダム下流への放流水の濁水長期化対策としては、中小洪水時の高濁水を水温躍層に導くことにより、表層の清澄水を温存することが可能である。散気方式で循環混合層を厚くすることは、濁水長期化対策にもなる。散気方式により循環混合層を厚く形成してゆく場合における水面付近の水温は、日射による熱エネルギーをはじめとする湖水と大気と流入河川水との熱収支バランスにより定まるが、日射エネルギーが優勢であるため、水面付近の水温低下はわずかしかなく、むしろ循環により日射エネルギーが循環混合層の中層部や下層部にまで移送され、循環混合層全体の水温は上昇する。ただし日射エネルギーが小さい春季に曝気水深を大きくしすぎると、循環混合層全体の水温が低下してしまうため注意を要する。従って冷水対策として表層取水を行っている場合、曝気水深の管理を無理なく行っていれば、取水可能な層が厚くなるため有利となる。

2—3　従来技術との関係

従来、ダム湖では選択取水設備及び曝気循環設備がそれぞれ単独の目的で設置されてきたが、ダム湖内の水温躍層標高を積極的にコントロールしてダム湖内の流動を制御しようとするものではない。流動制御システムは、中小洪水時の放流口を15～20mの水深にあたる標高に設け、散気方式の曝気装置により安定した水温躍層を放流口標高付近に作り、中小洪水時における高負荷の栄養塩類及び高濁水を含む流入河川水をできるだけすみやかにダム湖から放流させる。ダム湖上流端においても流入河川水を表層の湖水と極力混合させることなく水温躍層に導き入れるために選択流入設備を新たに設けるものである。

3．糸状藻類活用システム[2]

3—1　システムの概要

湖沼やダム湖等において、浮遊藻類が異常増殖する直接の要因は、無機態のリン（PO_4-P）等の栄養塩類が湖沼に多量に流入することである。産業排水や下水処理水等の高負荷少量水については、PO_4-P処理技術が別途研究されている。一方、耕地等の面源負荷や高度処理が行われていない下水処理水や畜産排水処理水が流れ込む自然河川の低負荷多量水を対象としたPO_4-P除去技術は、近年まで開発されていなかった。土木研究所では、糸状藻類という生物による浄化能力を活用して、流入河川等からPO_4-P等の無機態栄養塩類を除去する技術を開発しており、『糸状藻類活用システム』として公表してきた。

海には大型の付着性の藻類として海藻が生息する。一方淡水域には、海藻に相当する付着性の藻類として糸状藻類が生息している。ここで用いる糸状藻類とは、肉眼レベルで毛糸や木綿糸のように糸状になっている藻類を示す。なお糸状藻類は、渓流、早瀬や水路のように急流や緩流に適する種類と、浅い湖沼、水田や浄水場のように微流に適する種類とがある。また生息に適する季節は、糸状藻類の種類により異なる。

『糸状藻類活用システム』は、河川や浅い湖沼等の自然界で生息している糸状藻類が増殖できる環境を人為的に湖沼近傍に与えることにより、流入河川水及び湖沼表層水からPO_4-Pを除去し、藍藻類や鞭毛藻類の異常増殖を抑制するシステムである。糸状藻類は第3図に示すように河川、湖沼、水田、及び浄水場において、様々な流況環境のもとで生息している。糸状藻類はいずれの場合も無機態の栄養塩類を吸収して生息している。本システムは、自然界の生息環境を浄化設備の中に忠実に再現させ、次にその設備における流速、水深、基質、糸状藻類の回収、及び設備の洗浄等の構造的な工夫を行ってPO_4-Pを吸収除去する効率を高め、さらに回収した糸状藻類の有効利用を図るものである。そのような手順で考案された設備概要を第3図に示す。また、ダム湖における浄化設備の配置列を第4図に示す。このように本システムは、自然河川等にてPO_4-P固定に役立っている生態環境を湖沼において人為的に作り出し、最大限に活用するものである。

3—2　糸状藻類をPO_4-P除去に用いる利点

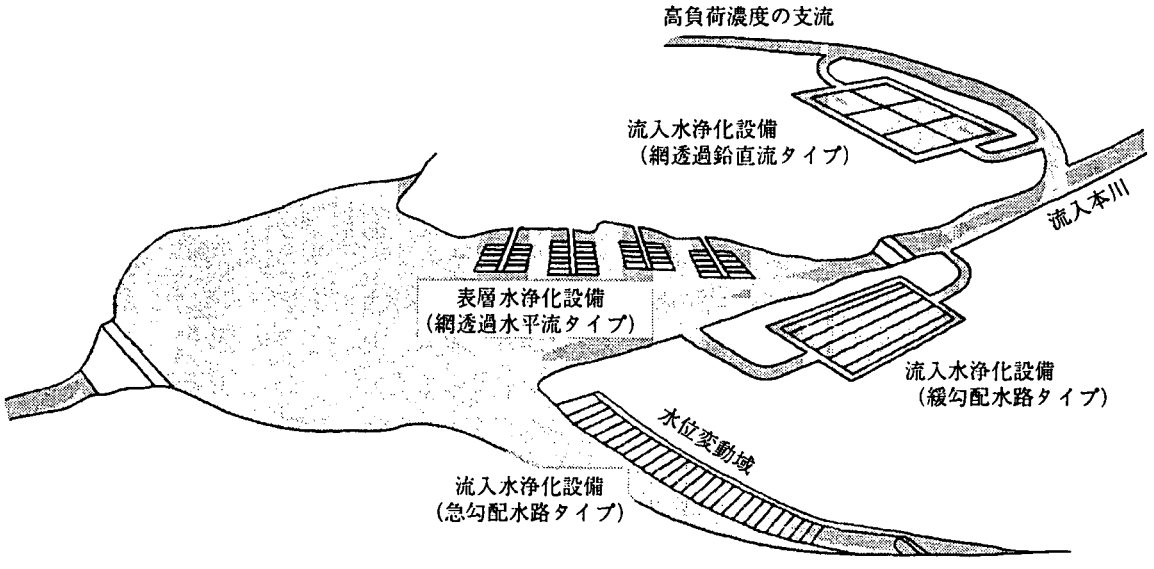
糸状藻類は浮遊藻類やホテイアオイ等の高等な水生植物に比べて、流入河川水や湖水からPO_4-Pを除去するのに適した多くの利点を有しており、以下に示す。

① 糸状藻類は富栄養化に起因する異常現象（アオコ、淡水赤潮、カビ臭等）の原因とならない。

② 糸状藻類は増殖速度が早く、その分無機態の栄

糸状藻類が自然界で生息している環境	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	①急勾配水路タイプ 薄層流 糸状藻類 波形人工スレート	流速 30～50cm/sec 水深 1 cm以内 水路勾配 20～40%
②河川中流の浅瀬や水路 川床礫 糸状藻類	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	③水平水路タイプ スクリーン 糸状藻類	流速 12cm/sec 水深 20cm 水路勾配 なし
④浄水場の緩速濾過池 糸状藻類 細砂	④網透過タイプ 糸状藻類 細目ネット 有孔床版	流速 18cm/hour 水深 30～40cm 水路勾配 なし

第3図　糸状藻類の自然界での生息環境と浄化設備



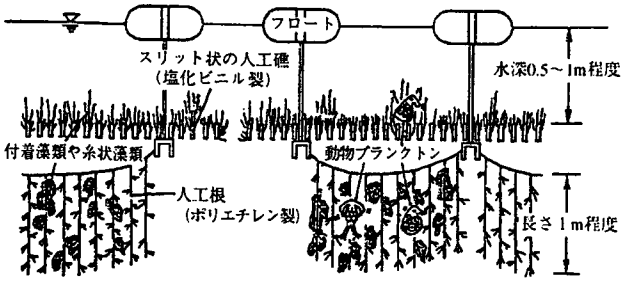
第4図　ダム湖における浄化設備の配置例

養塩類の吸収能力が高い。

③　糸状藻類は水生植物に比べ低い無機態の栄養塩類濃度でも生息が可能である。かなり低い濃度となっても、糸状藻類のまわりの水が次々と入れ替わるような流況であれば栄養塩類を吸収することができる。

④　糸状藻類が生息する適応温度は、低い水温でも可能であるため、冬季も概ね生息が可能である。従ってアオコが発生する季節よりも先に糸状藻類を増殖させて栄養塩類をとり続けることができる。またホテイアオイが西日本の夏季しか生息に適さないのに対して、糸状藻類は地域性と季節性の点で幅が広く有利である。

⑤　ホテイアオイやヨシ等は葉面からの蒸散によって



第5図　人工生態礁（人工礁と人工根より構成）

水分を大気中に放出してしまうが、糸状藻類は水中に生息するために貴重な湖水を失うことはない。

⑥　糸状藻類は生息するには付着あるいは上載できる基質は必要であり、この基質を人為的に操作することにより糸状藻類の生息を制御できる。

⑦　浮遊藻類と異なり、糸状藻類は水からの分離除去はスクリーン等で容易にできる。

⑧　糸状藻類は栄養価が高いものが多く、魚類、鶏、及び家畜の良質のエサとなる。

4．生態系制御システム(3)

4—1　システムの概要

湖沼では、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。生態系制御による湖沼水質保全は、浮遊性の藻類が増殖し難い生態系の構造に変化させることにより水質浄化を図るものである。オランダでは肉食魚を増やす事により藻類の増殖抑制に成功している。土木研究所がここで試みている『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。

4—2　人工生態礁の現地実験

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』というものを実湖沼に設置して現地実験を行った。人工生態礁の概要を第5図に示す。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。実験に使用した人工生態礁は、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中央部分とそれから岸沿いに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。

観測の結果、実験を行った湖沼の優占種である藍藻類類を捕食すると言われている動物プランクトンが人工生態礁中央部分では増加する傾向がみられ、対象区において8月に藻類増殖のピークを迎えた時に人工生態礁部分ではクロロフィルaの増加が抑制されることが観察された。このことから人工根を付加した人工生態礁は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できる可能性を有していることが示唆された。

5．今後の展望

ここで紹介した新しい水質保全技術は現在いくつかの湖沼で実用化されつつある。流動制御や生物的手法を現場に適用するに当たって注意すべき点は、各手法のメカニズムを理解して湖沼の状態に合ったものを選定して、また運用方法についても適正に行わないと、場合によっては水質保全にとって逆効果となる事も有り得ることである。今後更に、各湖沼の状況に適した技術を組み合わせて適用すると共に、各現場での更なる技術開発が期待される。

＜参考文献＞

(1) 丹羽薫・久納誠・古里栄一・；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，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) 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

(3) 丹羽薫，高橋健夫，久保徳彦，福渡隆；生態系を活用した湖沼の直接浄化の試み，日本水環境学会年会 講演集，第30回，1996

筆者連絡先

竹林征三（地質官　前環境部長）・丹羽　薫（環境計画研究室長）
建設省土木研究所
〒305　つくば市旭1
TEL：0298-64-2206　　FAX：0298-64-7221

abstracts of the 8th international Symposium on River and Lake Environments (1996.10)

Current Control for Restoring Reservoir Water Quality

Kaoru Niwa, Takashi Yamazaki and Takeshi Aizawa
Environmental Planning Division, Environment Department,
Public Works Research Institute, Ministry of Construction
Asahi 1, Tsukuba, Ibaraki, Japan, fax:+81-298-64-7221

keywords:eutrophication, current control, water quality, reservoir, aeration, field experiment, simulation

In Japan, there is a growing tendency to use reservoirs as the centerpiece of natural environments. At the same time, an increase of nutrients in reservoir water resulting from large quantities of nutrients flowing in from catchment areas has led to eutrophication in some reservoirs. Undesirable (e.g. blue-green) algae grow abnormally, causing water bloom, freshwater red tide, musty odor in city water and foul smell at the shores of reservoirs, and also hindering in harmony with amenities. These eutrophication problems can be addressed by preventing the abnormal growth of blue-green and other undesirable algae.

One measure for controlling eutrophication being used is the installation of aeration and circulation equipments. We have developed a "current control system ", which controls the inflow of river and surface water. The current control system boosts the efficiency of conventional aeration and circulation by controlling the vertical distribution of water temperatures.

The current control system regulates the supply of nutrients and light to blue-green and other undesirable algae in the photic zone by creating a warm-water circulating mixolimnion of even temperature distribution. This layer is maintained at a constant thickness several times that of the photic zone at surface reservoir during non-flood periods, thereby preventing the abnormal growth of blue-green algae.

Common practice with reservoirs has been to install selective intake as well as aeration and circulation equipment for their separate functions, but not for controlling current in the reservoir by regulating the elevation of the local thermocline. The current control system proposed here discharges inflow river water rich in nutrient salts and highly turbid water from the reservoir as rapidly as possible. It does this by providing an outlet for medium and minor floods at an elevation several times the depth of the photic zone, and by creating a stabilized thermocline near the elevation of the outlet by the dispersed aeration method. Selective inflow facilities are installed at the upstream end of the reservoir to lead inflow river water into the thermocline, as far as possible preventing it from mixing with reservoir water in the photic zone.

We carried out field experiments on current control using dispersed aeration in some dam reservoirs, and examined the effect of current control to improve the water quality of reservoirs by simulation using a modified one-dimensional model for current control.

第4章　糸状藻類を使った湖沼浄化

丹羽　薫*

1　湖沼富栄養化対策の新しい構図

多くの自然湖沼やダム湖において，流域から栄養塩類が過剰に流れ込むために，湖水の栄養塩類が増加して富栄養化を来している。湖沼の栄養塩類が増える結果，藍藻類や鞭毛藻類が優占種となって異常増殖することとなり，アオコや淡水赤潮，水道水のカビ臭，湖沼沿岸の異臭，魚類のへき死，親水活動の阻害などの深刻な問題を引き起こしている。

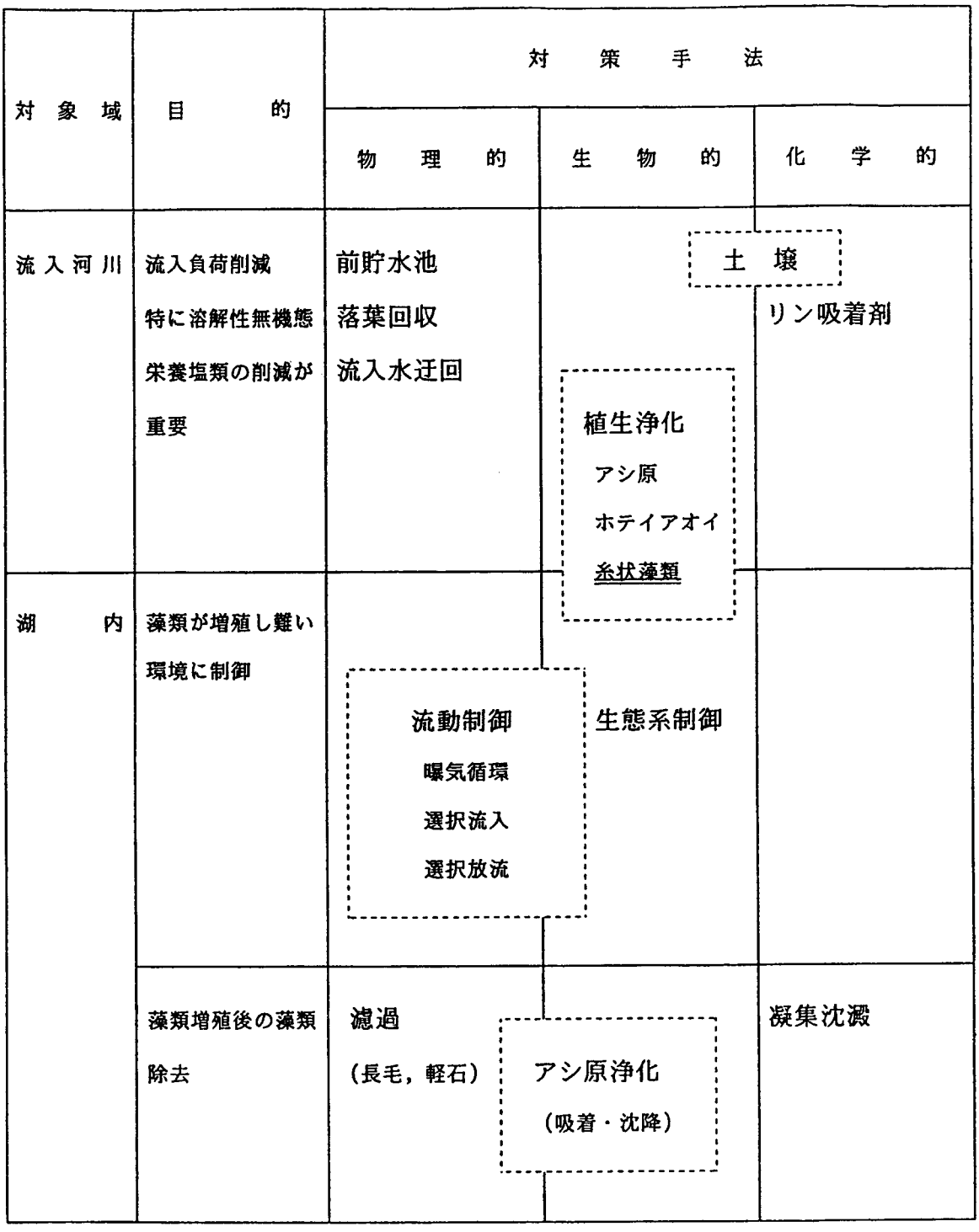
湖沼の富栄養化対策としては発生源対策，流域対策を第一とすべきものであるが，流入河川対策および湖内対策もあわせて重要である。流入河川対策および湖内対策は技術的に分類すると図1のように物理的手法，生物的手法，および化学的手法に分類される。このうち，化学的手法は一般にコストが高くつき，湖沼のような大量の水を扱う場合，物理的手法と生物的手法の組み合わせが有利である。

ここでは，その中で植生浄化の一つである「糸状藻類活用システム」について述べる。

2　糸状藻類活用システムの概要

ダム湖や遊水池などにおいて，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）などの栄養塩類が湖沼に多量に流入することである。産業排水や下水処理水などの高負荷少量水については，PO_4-P除去技術が別途研究されている。一方，耕地などの面源負荷や高度処理が行われていない下水処理水や畜産排水処理水が流れ込む自然河川の低負荷多量水を対象としたPO_4-P除去技術は，近年まで開発されていなかった。土木研究所では，糸状藻類という生物による浄化能力を活用して，流入河川水などからPO_4-Pなどの無機態栄養塩類を除去する技術を開発している[1-3]。「糸状藻類活用システム」は，河川や浅い湖沼などの自然界で生息している糸状藻類が増殖できる環境を人為的に湖沼近傍に与えることにより，流入河川水および湖沼表層水からPO_4-Pを除去し，藍藻類や鞭毛藻類の異常増殖を抑制するシステムである。

＊　Kaoru Niwa　建設省　土木研究所　環境部　環境計画研究室長



は，両方にまたがるもの。

下線 ═══ を付した対策手法を説明する。

図1　湖沼の富栄養化対策手法

3　淡水植物の中での糸状藻類の位置付け

海中では紅藻植物や褐藻植物が葉状体や糸状体の体制をとり海藻として繁殖している。一方，淡水中では水生植物（簡単に水草ともいう）と淡水藻類とが生息しているが，両者は進化の相違によって植物体の組織構造が大きく異なる。水生植物は輪藻植物，コケ植物，シダ植物，および被子植物が含まれるが，輪藻植物を除けば，いったん陸上植物として高度に進化した植物の一部が再び水中生活をするように舞い戻った植物であると考えられる。淡水藻類は主に藍藻植物（最近はシアノバクテリアともいう），鞭毛藻植物，珪藻植物，および緑藻植物が含まれる。

淡水藻類はさらに体制の相違により，①単体あるいは群体となって水中を浮遊する微細な藻類である植物プランクトン，②薄い被膜状の群体となって岩石や水生植物に付着する藻類，③数cmから数十cmの糸状体の群体となる糸状藻類，に3区分できる。このように淡水植物は進化と体制を基に整理してみると，水生植物，植物プランクトン，被膜状の付着藻類，および糸状藻類の各形態に区分して考えることができる。これらの形態を，縦軸を組織の進化度，横軸を体制の単純度を取って図化すると，図2が得られる。一般に組織が進化している方が増殖速度は遅く，体制が単純なほど回収作業が困難である。よって糸状藻類は，淡水生物の中では増殖速度が大きく，回収しやすいことがわかる。

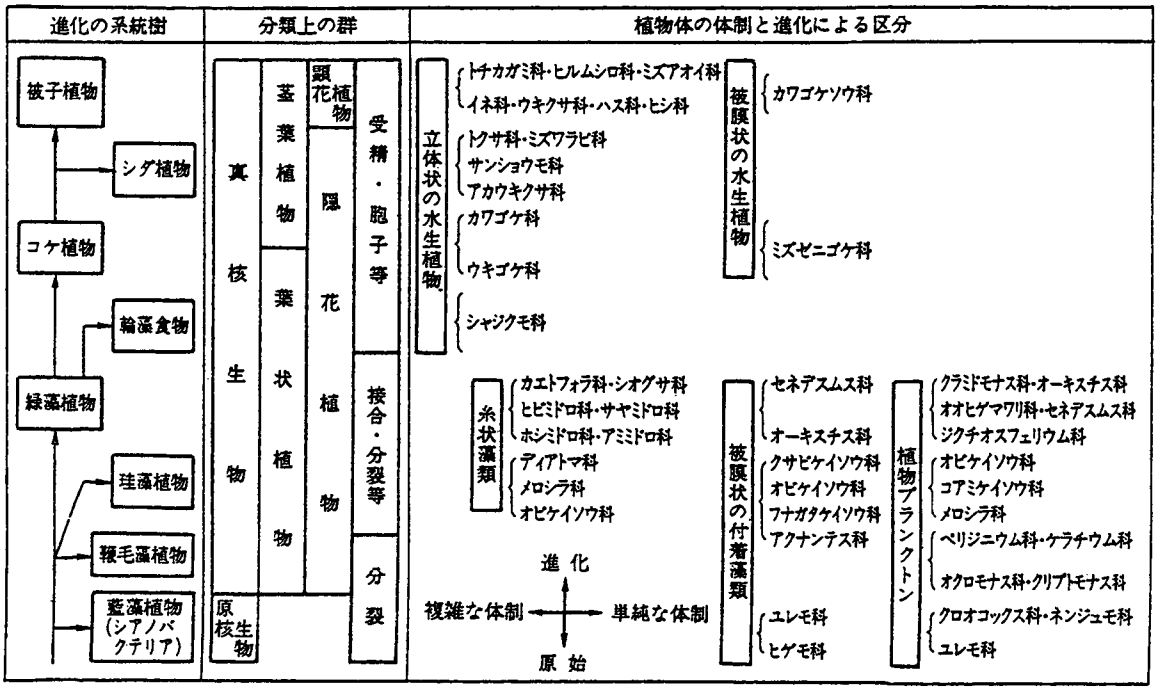


図2　淡水植物における糸状藻類の分類上の位置

4　糸状藻類活用の生息環境

本システムに用いられる主な糸状藻類を表1に示す。なお，糸状藻類は，河川上流の渓流のように急流に適する種類と，河川中流の浅瀬や水路のように緩流に適する種類と，浅い湖沼，水田や浄水場のように流れのほとんどない微流に適する種類とがある[4]。また生息に適する季節は，糸状藻類の種類により異なる。糸状藻類はいずれの場合も，無機態リンや窒素などを吸収して生息している。

表1　糸状藻類活用システムに用いられる糸状藻類の種類

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	静水域で底面に被膜	静水域で水中に浮遊	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	○	○				○			○
	メロシラ（*Melosira varians*）	珪藻	○	○		○		○	△	○	○
緩流	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。

5　糸状藻類活用システムの構造

本システムは，河川や浅い湖沼などの自然界で生息している糸状藻類が増殖できる環境を人為的に湖沼近傍に与えることにより，流入河川水および湖沼表層水から無機態のリンつまりPO_4-Pを除去し，藍藻類や鞭毛藻類の異常増殖を抑制するシステムである。糸状藻類は河川や湖沼ならどこに

でも生息しているものではなく，図3に示すような河川，水路，湖沼，水田，および浄水場において生息している。さらに糸状藻類が高密度の群体を形成して生息するには，特殊な流況環境の場所だけに限られる。本システムは，まずその限定された流速，水深，基質等の自然界での生息環境を浄化設備の中に忠実に再現させ，次にその設備における基質の形状や材質，糸状藻類の回収手法，および設備の洗浄手法などの構造を巧みに工夫してPO_4-Pを吸収除去する効率を高め，さらに回収した糸状藻類の有効利用を図るものである。そのような手順で考案すると，設備概要は図3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。

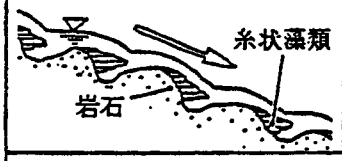
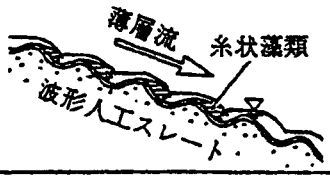
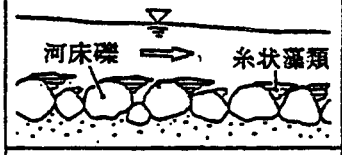
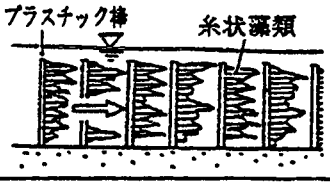
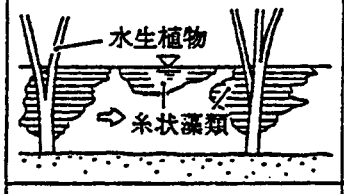
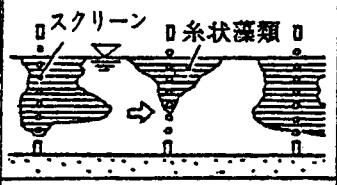
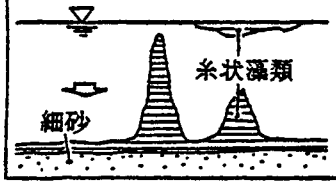
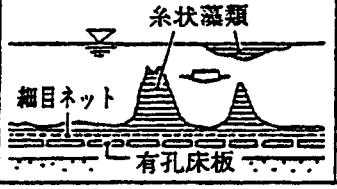
糸状藻類が自然界で生息している環境	適する糸状藻類	糸状藻類活用システムの浄化設備の模式図	流　況
① 河川上流の渓流  	メロシラ，ディアトマ カワシオグサ，サヤミドロ アオミドロ，ヒビミドロ キヌミドロ，トゲナシツルギ	① 急勾配水路タイプ  	流　速 30～50cm/s 水　深 1cm以内 水路勾配 20～40%
② 河川中流の浅瀬や水路  	サヤミドロ，アオミドロ ヒザオリ，ヒビミドロ メロシラ，オビケイソウ	② 緩勾配水路タイプ  	流　速 10cm/s 水　深 10cm 水路勾配 0.5～1%
③ 浅い湖沼や水田  	サヤミドロ，ヒザオリ アオミドロ，アオミソウ アミミドロ	③ 水平水路タイプ  	流　速 12cm/min 水　深 20cm 水路勾配 なし
④ 浄水場の緩速ろ過池  	メロシラ，オビケイソウ アオミドロ，アミミドロ ヒザオリ，サヤミドロ アオミソウ	④ 網透過タイプ  	流　速 18cm/h 水　深 30～40cm 水路勾配 なし

図3　糸状藻類の自然界での生息環境と糸状藻類活用システム

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30～60cm/s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水路上での回収の必要はない。

② 緩勾配水路タイプ

河川中流の浅瀬で河床礫に糸状藻類が付着したり，水路の側壁に糸状藻類が付着したりしている状況を再現したタイプである。設備は緩い水路勾配にして流速10cm/s程度とし，鉛直に立てた直径5～7mm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る。

③ 水平水路タイプ

浅い湖沼や水田で水生植物に糸状藻類が付着したり，浮漂したりしている状況を再現したタイプである。設備は勾配のほとんどない水路にして流速12cm/min程度の微流とし，間仕切りのように40cm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，あるいはスクリーン間に浮漂させる。回収はスクリーン間にかき取り器を走行させて糸状藻類を集める。

④ 網透過タイプ

浄水場の緩速ろ過他で砂面に糸状藻類が上載したり，水層部分で浮漂したりしている状況を再現したタイプである。設備は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/h程度の微流で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，水中に浮漂させる。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る。

このように本システムは，自然河川などでのPO_4-P固定に役立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。

ダム湖における浄化設備の配置例を図4に示す。

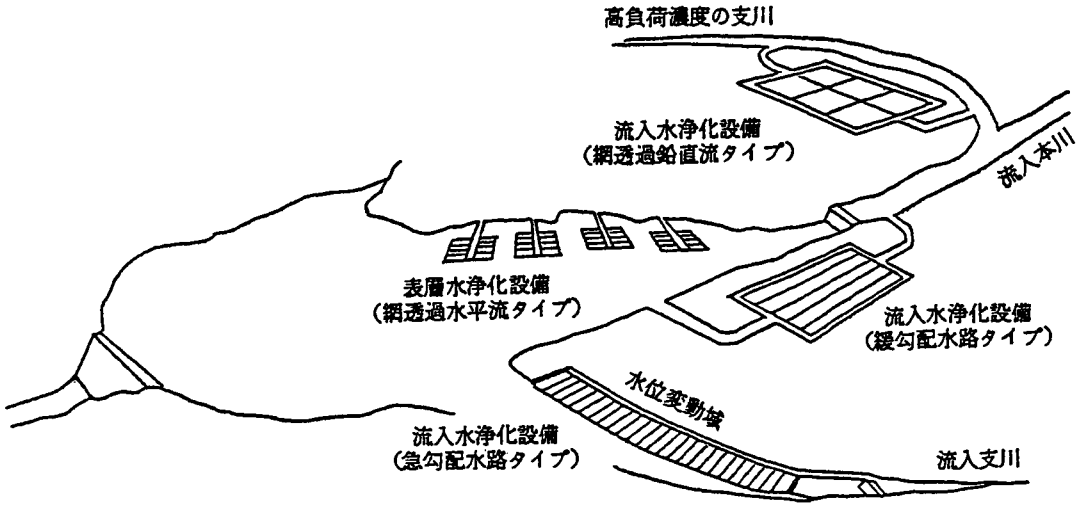


図4 ダム湖における浄化設備の配置例

6　糸状藻類を PO_4-P 除去に用いる利点と注意点

糸状藻類は浮遊藻類やホテイアオイなどの高等な水生植物に比べて，流入河川水や湖水からPO_4-Pを除去するのに適した多くの利点を有しており，以下に示す。

①　糸状藻類は緑藻植物と珪藻植物が中心であり，富栄養化に起因する異常現象（アオコ，淡水赤潮，カビ臭等）の原因とならない。

②　糸状藻類はホテイアオイなどの水生植物と比べると原始的であり，増殖速度が速く，その分無機態の栄養塩類の吸収能力が高い。糸状藻類のPO_4-P吸収能力は水生植物の5～10倍程度を期待できる。

図5に，糸状藻類活用システムの現地実験の結果から得られた糸状藻類のPO_4-P吸収能力を文献値による水生植物のPO_4-P吸収能力[5]と比較して示す。

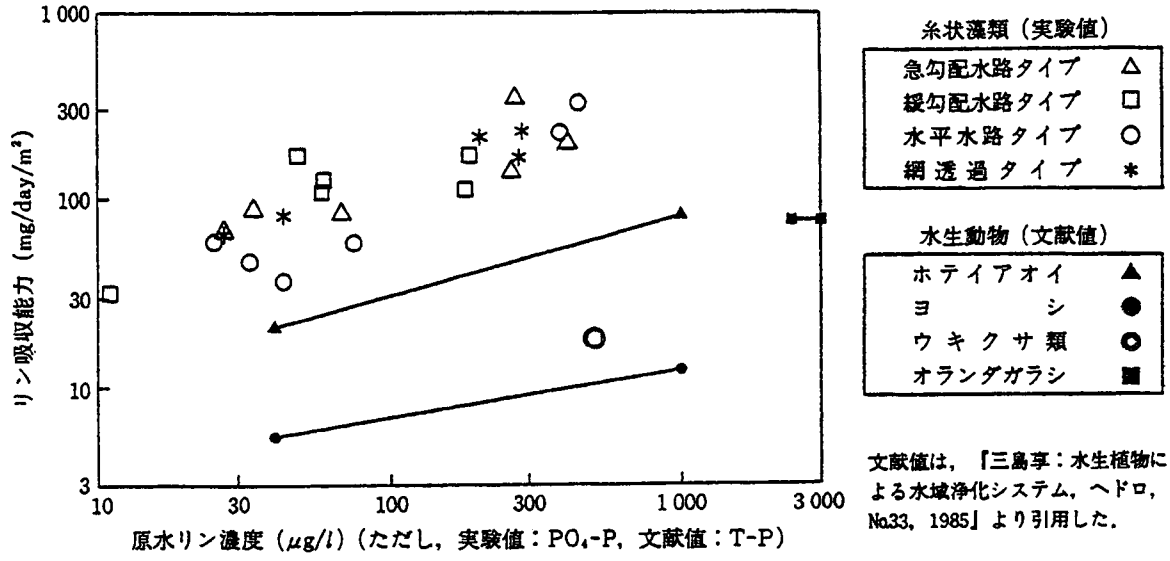


図5　糸状藻類と水生植物とのPO_4-P吸収能力の比較

③　糸状藻類は水生植物に比べ低い無機態の栄養塩類濃度でも生息が可能である。かなり低い濃度となっても，糸状藻類のまわりの水が次々と入れ替わるような流況であれば栄養塩類を吸収することができる。

④　糸状藻類は低い水温でも生息が可能であり，積雪がなければ冬季もおおむね生息が可能である。したがって，アオコが発生する季節よりも先に糸状藻類を増殖させて栄養塩類を取り続けることができる。また，ホテイアオイが西日本の夏季しか生息に適さないのに対して，糸状藻類は地域性と季節性の点で幅が広く有利である。

⑤　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などで容易にできる。

⑥　糸状藻類は栄養価が高く不純物が少ないとの利点があることから，家畜や魚類の配合飼料[6]，建設資材や農業の有機肥料などの有効利用が可能である。

なお，糸状藻類を用いてPO_4-Pを除去するのに，水質を浄化するシステムとしては次のような注意点があげられるため，本システムの設備はこれらの注意点を配慮する必要がある。

①　利点の②では，水生植物と比較すると有利であることを述べたが，しょせん太陽光線による光合成を活用したものであるから，かなりの水路面積が必要となる。

②　糸状藻類を増殖させるには特定された流況，付着あるいは上載できる基質が必要であり，それを考慮した人工の施設が必要となる。

③　本システムの水路内に増殖した糸状藻類は，そのまま放置すると，順次死骸が分解されて無機態の栄養塩類に戻るため，回収作業が必要となる。

④　本システムは隔離された世界ではないため，原水や大気を通じてさまざまな淡水生物の影響を受ける。特に，ユスリカの幼虫，ウキクサ，コケムシ等に対しては十分な設備上の配慮が必要となる。

文　　献

1)　丹羽　薫，久納　誠，糸状藻類活用システムの原理と設備例，ダム技術，No.93（1994）

2)　丹羽　薫，久納　誠，久保徳彦，真田誠至，糸状藻類を活用した湖沼の富栄養化対策技術の開発，土木技術資料，第35巻，第12号（1993）

3)　丹羽　薫，久納　誠，ダム湖や自然湖沼等の富栄養化対策，土木技術資料，第36巻，第6号（1994）

4)　中本信忠，坂井　正，生物浄化法の緩速ろ過処理の見直し，環境科学年報－信州大学，第16巻（1994）

5)　三島　享，水生植物による水域浄化システム，ヘドロ，No.33（1985）

6)　飯山郁子・坂井真奈美，緑藻アオミドロの食品学的評価，山陽女子短期大学研究紀要X（1984）

軽石濾過による濁質除去実験について

建設省　土木研究所　正会員　田中 康泰
建設省　土木研究所　正会員　福渡　隆
建設省　土木研究所　正会員　丹羽　薫

1. はじめに

ダム湖における水質問題として、洪水後の放流濁質の長期化や湖沼に流入する高濁度の河川水がある。しかしながら河川規模の流量に対応した無機濁質を、簡易に除去する技術は現在開発されていない。

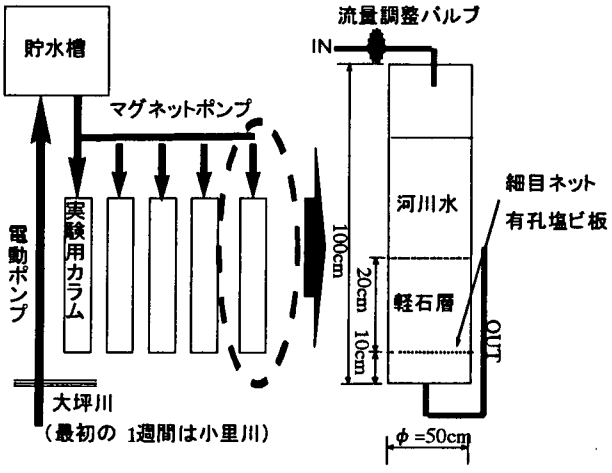
一方、湖沼における富栄養化問題の対策として、当研究室においても様々を開発してきたが、その中で浮遊藻類を直接除去する手法として≪軽石濾過装置≫を開発している。この手法は、有機濁質に対する除去能力が80～90%と高い結果を得ている。軽石濾過装置の特徴は、①濾材の比重が小さいため気泡と水流により洗浄できる。②濾材が多孔質であるため、生物膜が付着しやすい。③濾材が安価で大量に調達できる。等の利点があげられる。筆者らは、この軽石濾過装置を用いて河川水から無機濁質を除去する技術の開発を試みた。

本報告は、上記の軽石濾過装置を無機濁質の除去への適用性について実河川規模での実験により検討した結果を記すものである。

2．実験方法

庄内川水系小里川の支川、大坪川を対象とし実験を行った。この河川は、平成8年の 10 月より打設が開始した小里川ダムの流入予定支川である。この地域は窯土の産地であり、濁質も非常に細かい特色がある。

実験装置及び実験に使用した濾材は図－1、表－1に示した通りである。実験は2回に分けて行われ、先に異なる濾材粒径での除去能力変化の測定を行い、次に異なる処理流速での除去能力変化をそれぞれ比較した。測定は実験開始0、1、2、3、4、5、6、24、96、144、312（2週間）時間後に行い、除去能力の算出は各ｶﾗﾑの流入と流出の差よりそれぞれ算出した。また装置の特性上、生物膜付着が必要な為、本川の小里川よりそれぞれの実験の前に1週間通水し前処理を行った。



図－1　実験装置

表－1　実験設定一覧

	ｶﾗﾑ1	ｶﾗﾑ2	ｶﾗﾑ3	ｶﾗﾑ4	ｶﾗﾑ5
粒径実験	1㎜	2㎜	4㎜	8㎜	3～6㎜
	0.72m/h	←	←	←	←
流速実験	4㎜	←	←	←	×
	0.36m/h	0.72m/h	1.08m/h	1.80m/h	×

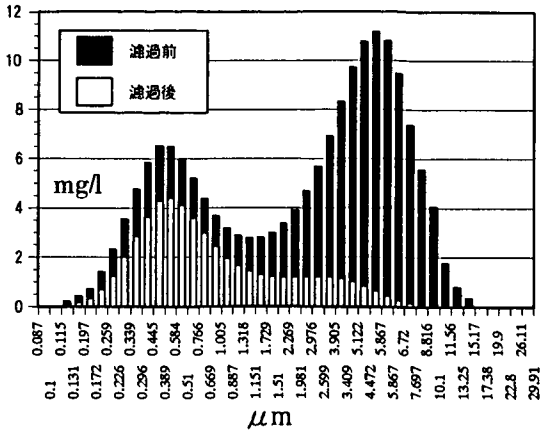
3．調査結果及び考察

粒径実験であるが、生物膜が経過時間と共に増殖し、付着濁質と生物膜が目視できる仮説を立てていたが、確認できなかった。だがそれでも充分に生物膜が付着しているのか、経過時間に対する除去率の変化が、濁度、ＳＳ共にいずれのカラムにも見られなかった。濾材粒径の差異については、濾材粒径の細かいものほど除去率が高い結果が得られた。

大坪川の濁りは、目視でも確認できるくらい短時間で変化し、しかも不定期的である。この事は、自動観測装置の観測結果からも読み取れた。

この変化に富んだ濁水の中で軽石濾過装置は、濾材粒径1㎜から得られた値の単純平均でＳＳ＝７９．５%、濁度＝６１．０%の除去率が得られた。だが、この粒径では38時間後には実験カラムよりオーバーフローし、軽石濾過装置の開発目的の一つである維持管理の省力化の面で実用的ではないと判断される。

4㎜粒径の96時間目の流入水、流出水共にレーザー解析散乱法によって濁質成分の粒度分布を測定し、量に換算したものが図－２である。

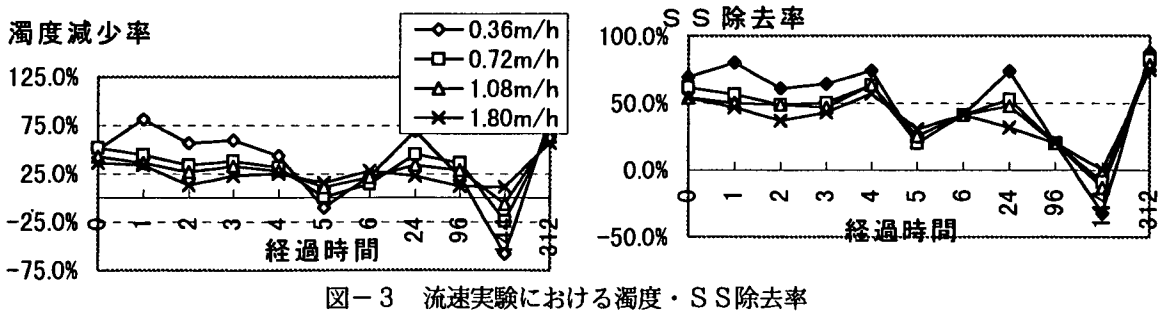


図－２　粒度分布

これによると、原水で見られる２つのピークの内、1.0 μm以上の粒径は約８７．５%除去され、それ以下の細かい粒径の濁質は３６．２%の除去がされていた。

次に流速実験であるが、先の粒径実験の結果より除去能力及び、維持労力を考えて、4 ㎜粒径の濾材を使用濾材とした。また流速を１秒間に1haで２m³の浄化処理を目標として0.72m/hと設定していたので、流速実験のケースとしては表－１に記したように、粒径実験での目標値を含む４ケースの流速を用いた。

濁度とＳＳの減少率をグラフ化したのが図－３である。５時間目と１４４時間目に見かけ上、溶出している様な結果となっている。これは、双方とも１時間前まで採水時間の３～４倍の量の濁質が流れていたのが、自動観測のデータより確認された。濾過速度のタイムラグがデータに現れたためであると推測できる。このデータを含めても、それぞれのカラムの単純平均でＳＳ＝３９．５～５０．８%、濁度＝２４．９～３７．６%の減少率が得られ、また要因が判っているこれら異常値を除いたそれぞれのカラムの除去率平均は、ＳＳ＝４４．９～６３．４%、濁度＝２７．５～５３．７%の除去率を得た。除去率で選定すると0.36m/h、処理量で選定すると1.80m/hが推奨されるが、1.80m/h、1.08m/hは312時間を経たずに実験カラムよりオーバーフローしていたので、２週間に一度程度の洗浄で維持でき、処理量の多い0.72m/hが最良の流速と判断できる。



図－３　流速実験における濁度・ＳＳ除去率

４．おわりに

窯土業からの廃水で産業的汚濁要因が強く、微細粒径の無機濁質を多く含む実河川水を対象とした実験により、軽石濾過装置が10 μm以下の無機濁質が省労力で比較的安定して除去できることがわかった。微細な無機濁質を除去でき、省労力で維持できる簡易な施設は他にはなく、流速実験において得られた除去率により、十分に濾過施設として機能しうるものと判断できる。

〈参考文献〉

丹羽、他：生物膜を伴う粒子体濾過による無機濁質除去手法、土木学会第50回年講概要集 2-A P180-181

糸状藻類を活用した水質浄化システムの開発

建設省 土木研究所 正会員 丹羽 薫
建設省 土木研究所 正会員 福渡 隆
建設省 土木研究所 正会員 田中 康泰
建設省 土木研究所 山崎 崇

1．はじめに

湖沼等の閉鎖性水域では、アオコの発生等の富栄養化現象による景観阻害や悪臭等の対策が急務となってきている。富栄養化対策には流域対策，流入河川対策，湖内対策があり、様々な対策手法が開発されている。土木研究所環境計画研究室においても、流入河川対策の１手法としてアオミドロ，メロシラ等の緑藻類や珪藻類の栄養塩（特に、無機態のリン：PO_4-P）吸収能力を利用して流入河川等からPO_4-Pを除去するシステムの研究を行ってきた。これまでの研究により、糸状藻類は容易に除去可能，自然条件の変化に対応して生息する種類が変化するため、１年を通じてPO_4-P吸収能力を維持できる，飼肥料としての有効利用が可能等の特長が確認されている。本報告では、このシステムの実用化に向けた実験結果を述べる。

2．調査項目および調査方法

１）循環処理の検討

これまでの実験では、実験用地の制約から、流入水を循環させて浄化を行ってきた。本研究では、循環処理の有無による比較実験を行った。実験は急勾配タイプ[1)]を用い、以下の２施設について１回/週の頻度で水質等の測定を行った。

・循環型：処理区間延長250cm
・直列型：処理区間延長600cmの水路４列をポンプにより連結
（直列型の処理区間延長は、循環型の回転率を考慮して設定した。）

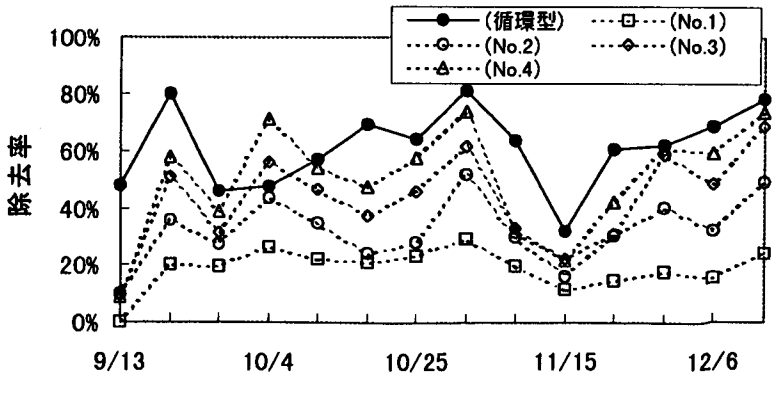
２）河川での試験施工

本システムの実用化に向けて、実河川に設置し稼働状況の確認を行った。設置した施設は、急勾配タイプ２本、緩勾配タイプ２本、水平タイプ１本及び網透過タイプ１本の計４タイプ[1)] ６本である。これらの施設には、平成７年度までの実験に設置してあった前処理としての濾過槽が付属していない。

3．調査結果及び考察

１）循環処理の検討

流入原水と循環型，直列型の各水路末におけるPO_4-P濃度の測定値より、除去率を比較したものが図－１である。図－１より、水路延長が長くなる（接触時間が長くなる）に従い除去率が高くなり、循環型の除去率に近づいている傾向がわかる。なお、循環型の除去率がNo.4の除去率を若干上回っているが、現地の状況から、藻類の繁茂量等による差が生じたもの



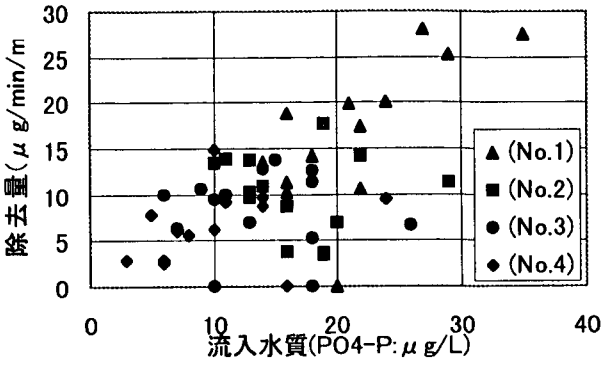
図－１　循環型と直列型の除去率の比較

と考えられる。

循環型と直列型について区間ごとの実験期間中の平均除去率を表－１に示す。単位時間（１分間）当たりでは循環型の除去率は20.5%、直列型の除去率は22.5～25.3%であり、同程度の除去率であった。除去量について比較すると、循環型は12.5μg/min/m 、直列型は16.2～6.1μg/min/mである。ここで、直列型に着目すると、No.1の除去量が大きく、順に小さくなっている。直列型の除去量を流入水の濃度と比較すると、相関は高くない（r=0.5）ものの、全体的に正比例の関係が見られる（図－２）ことから、流入水の濃度が高いほど除去量も多くなるものと考えられる。この傾向は、平成７年度の測定値を用いて重回帰分析を行った結果においても、除去量に対する流入水の濃度の寄与率が水温，接触時間よりも高いことを確認した。

表－１　循環型と直列型の除去率の比較

		循環型	直列型			
			No.1	No.2	No.3	No.4
除去率（%）	単純平均	64.7	21.1	19.6	24.4	27.7
	1分当たり	20.5	25.3	22.5	23.4	22.9
除去量(μg/min/m)		12.5	16.2	10.1	8.2	6.1



図－２　　流入水質と除去量の関係

このように、急勾配タイプでは、循環型と直列型では同程度の除去率を得られることが確認されたことから、施設を設置する際に、施設用地の確保が困難な場合には循環型の施設が有効と考えられる。

２）河川での試験施工

実河川における試験施工から得られた平均除去率と平成７年度の実験結果を比較したものを表－２に示す。単純除去率では同程度の結果が得られたが、実験場と実河川での接触時間（水路での滞留時間）をそろえた換算除去率では、実河川の値がやや小さい。この要因として、気象条件や試験施工では前処理としての濾過槽を外したため、シルト等の付着による藻類の発育阻害等が考えられる。なお、台風等による増水時にもシルト等の付着による藻類の全滅は生じなかった。

表－２　試験施工における平均除去率の比較

		急勾配		緩勾配		水平水路ﾀｲﾌﾟ	網透過タイプ
		流量少	流量多	串ﾀｲﾌﾟ	ﾚｰﾙﾀｲﾌﾟ		
単純除去率（%）	実験場	40.6	40.6	51.4	43.9	22.9	19.7
	実河川	35.9	47.1	41.9	18.8	30.2	17.5
換算除去率（%）	実験場	38.6	25.4	44.2	40.4	21.2	12.6
	実河川	19.8	13.9	20.4	12.7	12.2	3.6

４．おわりに

本研究により、以下の２点が明らかとなった。(1)糸状藻類活用システムは、水路での接触時間が同じであれば循環処理の有無に関わらず、同程度の除去率を得られることが確認された。このことから、施設用地に制限がある場合には循環処理を行うことによって処理水量を増やすことができる。(2)実河川での試験施工の結果、前処理としての濾過槽が無くても本システムは稼働できる可能性がある。

<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

流動制御による富栄養化対策のメカニズムについて

建設省土木研究所　正会員　福渡　隆
同　上　正会員　丹羽　薫
同　上　正会員　田中　康泰

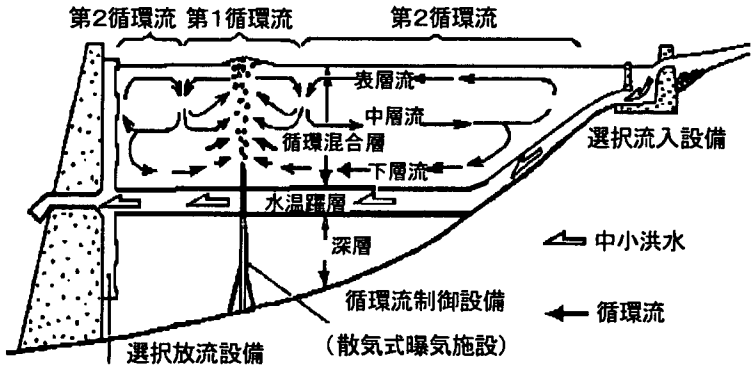
1．はじめに

現在、ダム湖などでは富栄養化に起因する異常現象、特に藍藻類が異常増殖するアオコが問題となっている。そこで、土木研究所では富栄養化現象抑制技術として、散気方式の曝気装置によりダム湖内の流動を人工的に制御し藍藻類の異常増殖を抑制する「流動制御システム」を開発した。しかし、曝気循環によるダム湖内の物理的環境変化が浮遊藻類へ与える効果は、物理的、化学的、生物的要因が複合的に関与するため完全にそのメカニズムは把握されていない。

そこで本研究では、代表的な浮遊藻類の耐暗性に関する培養実験を行い流動制御による効果のメカニズムについて考察を行った。

2．流動制御システム[1)]

流動制御システムの模式図を図－１に示す。その効果は、①表層の浮遊藻類を補償水深以下へ押し込むことによる藻類への光制限②流入河川水を循環混合層以深に導入し表層への栄養塩供給を減じる③中小洪水を低下させた水温躍層に導き速やかに湖内より排出させる、が考えられる。



図―１　流動制御システムの模式図

本研究は、①の効果に着目しそのメカニズムについて考察を行う。

3．培養実験

流動制御時の光制限は、表層の循環と共に浮遊藻類は補償水深以下の無光層を一週間から二週間かけて移動する時に生じると考える。そこで、この状態を培養実験で再現した。

藍藻類(Microcystis aeruginosa)、緑藻類(Scenedesmus quadricauda)の２種類を用い、その他の実験条件を表－１に示す。

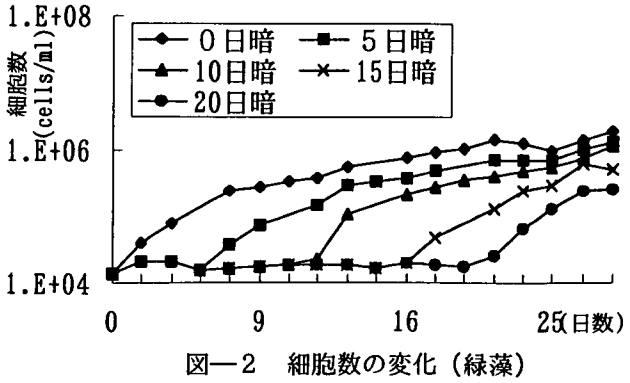
表―１　実験条件

	緑藻類	藍藻類
培養培地	C	CB
培養温度	25℃	
照　度	3000lux	
培養方法	バッチ培養	

実験は、それぞれ購入した単離された藻類を水温を２５℃に保持しつつ無菌状態で１２時間毎に明状態と暗状態を繰り返す培養を行い、細胞数が 10000cels/ml となった時点より開始する。連続無光状態を 0,5,10,15,20 日間続けた後明暗周期１６時間(3000lux)－８時間(0lux)を１周期として培養を続ける５種類の実験を行った。細胞数、炭水化物等を測定する。

4．実験結果

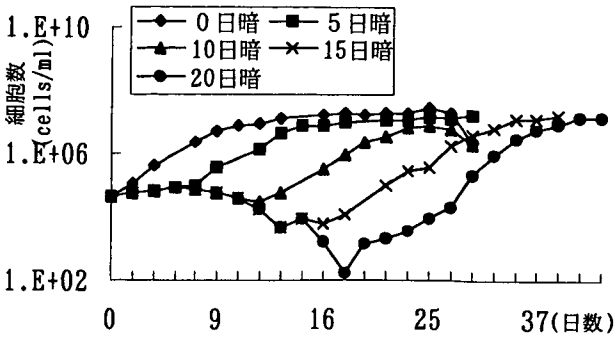
1）細胞数の変化



図―２　細胞数の変化（緑藻）

細胞数の変化の結果について、図―2，3に示す。各曲線はそれぞれの培養条件の平均値であり、縦軸に細胞数、横軸に経過日時をとる。緑藻と藍藻との顕著な差違は暗状態時の細胞数の変化で、緑藻は暗状態になってから数日は増加するがその後若干減少しそれ以上の減少は見られなかったの対し、藍藻は暗状態になってから１０日目を過ぎる頃より急激に細胞数の減少が見られた。

明状態になってからの挙動に関しては、双方に差違は見られなく共に暗状態０日のコントロールと同様な増殖状態を見せた。



図―3　細胞数の変化（藍藻）

また、全ての条件について複数本のサンプルを設定したが、表－２のように変動係数を求めると藍藻の暗条件による影響は大きいと推測できる。

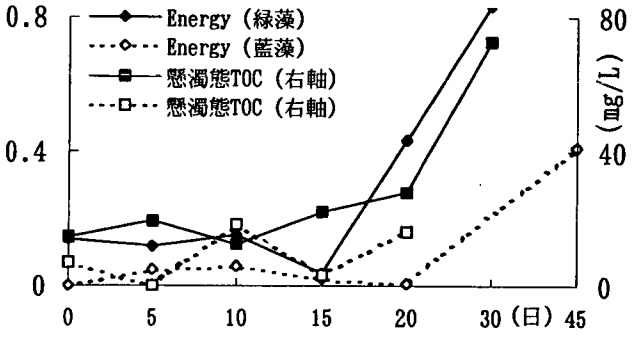
表―2　細胞数の変動係数

	0日暗 (17検体)	5日暗 (17検体)	10日暗 (17検体)	15日暗 (17検体)	20日暗 (12検体)	平　均
緑藻	0.085478	0.096923	0.099998	0.102891	0.140763	0.105211
藍藻	0.187742	0.489828	0.422007	0.733342	0.855648	0.537714

２）細胞内代謝状態の変化

次に暗状態下の細胞内代謝状態の変化の結果（藍藻と緑藻の２０日暗）を図―４に示す。代謝状態を見る一つの指標として、細胞内のエネルギーの貯蔵状態があげられる。これは、溶解性熱抽出炭水化物量と溶解性炭水化物量の差より求められる。

細胞内のエネルギーは、緑藻は暗状態なので消費されているが、藍藻類は暗条件にも関わらず蓄積しようとしていることが確認された。



図―4　細胞内代謝状態

５．考察

細胞数の変化と活性状態の変化を比較すると、緑藻の場合は暗状態になると細胞内の代謝活動が鈍化し、ゆっくりと蓄積されたエネルギーを消費するため総細胞数もほとんど減少することなく２０日間の暗状態を経過するが、藍藻類の場合には暗状態にも関わらず細胞内エネルギーの蓄積を行い明状態に備える動向を示しており、やがて長期の暗状態に耐えることが出来ずに総細胞数を減少させる結果となっている。

ダム湖では曝気循環による流動制御時に優占種が藍藻類から緑藻類に変化することが確認されている。本実験の結果より、暗状態が１０日間以上継続する場合には藍藻は細胞数が減少するので、相対的に緑藻が優先しやすい環境が作られたと言うことが出来る。また、変動係数を求めることにより単純平均で藍藻は緑藻に比べて５倍もあり、藍藻は暗状態により安定した増殖が難しくなることが推察される。

６．まとめ

藍藻と緑藻の光条件を変化させた培養実験を行うことで、藍藻(Microcystis aeruginosa)と緑藻(Scenedesmus quadricauda)の暗状態における特性を把握できた。

藍藻は、暗状態が１０日間以上続くと枯死し始めることが確認でき、優占種が緑藻類にシフトすることが可能であることが確認できた。これにより、流動制御システムの富栄養化対策のメカニズムの一つとして、補償水深以下に藻類を押し込め光制限を加えることによる優占種の変更によるものであると言える。

≪参考文献≫

１）丹羽薫他：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 3[illegible]

糸状藻類の栄養塩吸収能力の日変化に関する考察

○田中 康泰　丹羽　薫 福渡　隆
相澤　毅（建設省 土木研究所）

ダム湖や自然湖沼等の閉鎖水域で問題となっている富栄養化の対策手法としてヨシ・クレソン等の水生植物を用いた水質浄化が広く行われている。当研究室においても藻類の一種である糸状藻類を活用した浄化システムを開発した。

このシステムは河川や浅い湖沼の自然界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近傍に設けることにより、流入河川及びダム湖表層水から PO_4-P 等の無機栄養分を除去し、藻類の異常増殖を抑制するシステムである。これらの糸状藻類は、浮遊藻類と同じ藻類でありながら回収が容易で、一般に植生浄化に用いられている水生植物より原始的な為、栄養塩の吸収能力が高い等の利点がある。実際に基質を変化させて増殖させ無機栄養塩の能力を長期間計測したところ、流入 PO_4-P 濃度 9～55 μ g/l の原水に対し、基質ごとの平均値で 19.9～47.0％の除去率が確認された。

また、現時点で水生生物を用いた水質浄化施設を計画する際に夜の浄化能力は考慮しない計画となっているが、糸状藻類を活用した水質浄化システムの昼夜を通じた栄養塩除去量を知るため、栄養塩吸収日変化の計測をおこなった。

糸状藻類の無機態リン及び窒素の栄養塩吸収の日変動を観測した報告はほとんどされていないが、一般的に、植物プランクトンは「窒素とリンの取り込み速度は日中の方が高く、光によって促進される」と報告がある。だが当研究室で３回計測した結果、無機態リンの吸収は昼低夜高の傾向が確認された。この結果により、夜間においても糸状藻類は光合成産物を使って細胞の再構築のための栄養素（Ｐ）を吸収しているのではないかと推測している。

G321　浮遊藻類の耐暗性に関する実験的検討

○福渡　隆、丹羽　薫、田中　康泰、
山崎　崇　（建設省土木研究所）

ダム湖等の閉鎖水域の富栄養化対策として、曝気循環による流動制御技術が開発された。この対策効果のメカニズムについては従来から様々な提案がなされているが、包括的な曝気循環による浮遊藻類群集への影響メカニズムは完全に説明されていない。本研究では、光環境、即ち曝気循環によって浮遊藻類に与えられる連続暗状態に対する藻類毎の耐暗性の違いに着目して培養実験を行った。培養藻類は原核生物として藍藻綱の *Microcystis aeruginosa*、真核生物として緑藻綱の *Scenedesmus quadricauda* を用いた。*S. quadricauda* は20日間の連続暗期間中、細胞数はほとんど変化せず、複数の検体間のばらつきも非常に小さかった。*M. aeruginosa* は10日間以下の連続暗状態では細胞数はむしろ増加傾向にあったが、15日以上の連続暗状態では急激に減少し検体間のばらつきが増大した。ＴＯＣは、*S. quadricauda* は暗期間中に減少していた。培養種はＡｘｅｎｉｃであり実験は無菌条件で行っているので *S. quadricauda* の従属栄養的代謝によるものと考えられる。一方 *M. aeruginosa* ではＴＯＣは減少せず、細胞数のみが10日以降減少していったので、耐性メカニズムを持っていないと推察される。

(29) 流動制御によるダム湖の水質保全

Lake Water Quality Control by induced Current

福渡　隆※　・寺川　陽※※　・田中　康泰※※※
By Takashi FUKUWATARI, Akira TERAKAWA, Yasuhiro TANAKA

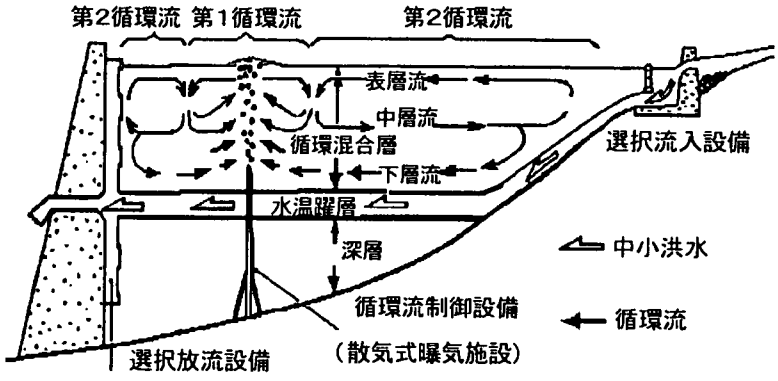
1．はじめに

現在、ダム湖では流域の開発等による富栄養化に起因する異常現象、特に藍藻類が異常増殖するアオコが問題となっている。そこで、建設省土木研究所ではその対策として、散気方式の曝気装置によりダム湖内の流動を人工的に制御し藍藻類の異常増殖を抑制する流動制御技術を開発した。現在本技術は、耶馬渓ダム、草木ダム、旭川ダム等いくつかのダム湖に試験的に設置されており、アオコ等の抑制に寄与している。

本稿では、現地実験により流動制御による効果のメカニズムや有効性等について把握すると共に、1次元シミュレーションモデルを用いて、水質保全対策効果や運用手法について検討した結果について報告する。

2．流動制御技術の概要

流動制御技術は、散気方式の曝気装置により、ダム湖中に水温分布の均一な循環混合層を表層から15～20mまでに形成させることで、表層に生息している藍藻類や鞭毛藻類への栄養塩供給抑制、表層の水温の低下やpHの中性化及び藻類への光制限を図り、藍藻類の異常増殖を抑制するものである。模式図を図－1に示す。



図－1　流動制御技術の模式図

3．現地実験

3．1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89km^2）において、図－2に示すように曝気装置をダム堤体から水平距離約500m上流に設置し、水深20mから曝気した。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。実験は7月から10月にかけて、曝気量を表－1に示すように変化させて、湖内の流動や水質の変化を観測した。水温分布は5日間隔、流速分布は曝気開始後4日目、また流入河川水温は自動計測器を用いて1時間毎に測定した。

表－1　曝気量の実験条件

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

※　環境計画研究室研究員　建設省土木研究所（〒305茨城県つくば市大字旭1番地）
※※　環境計画研究室長　建設省土木研究所（〒305茨城県つくば市大字旭1番地）
※※※　環境計画研究室　建設省土木研究所（〒305茨城県つくば市大字旭1番地）

3．2実験結果

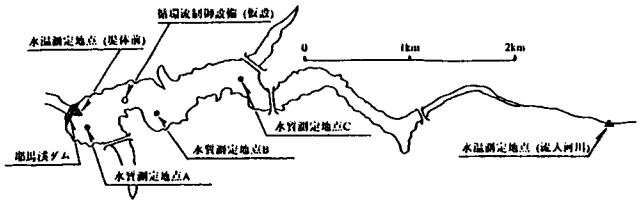
水温の経時変化を図－3に示す。水質測定を行った各地点とも同じ水深では水温ほぼ同じであったため、水質測定点Aでの測定結果を示す。7月5日の曝気開始より、曝気水深以浅の水温が急速に上昇し約一ヶ月後にはほぼ均一な水温の循環混合層を形成していることが分かる。その後、水温は鉛直方向に均一な状態を保ちながら徐々に下降し、秋季の全層循環状態に移行した。

図—4に流入河川水温の連続観測結果を、また図—5に流入河川水温とダム湖内の水温が等しい位置を示す。ただし、1日を6時間毎の4つの時間帯に分けて平均している。

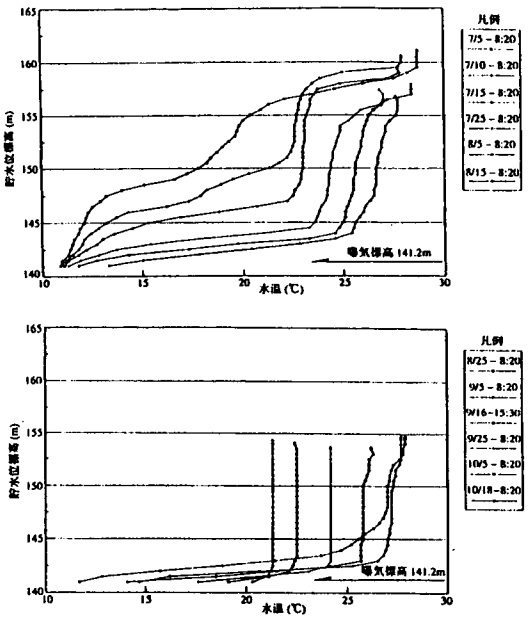
流入河川の水温は日周期性が大きく、特に晴天時の 12:00～18:00 の水温はその他の時間帯に比べ数℃高い。流入河川水は、自身と同じ水温の位置に貫入すると考えれば、図—5より、受熱期である7月には表層1～2mに、8月には一日に貫入位置が循環混合層内を上下し、放熱期になる9月後半からは、循環混合層の下に貫入していると考えられる。

図－6は、曝気開始後4日目の流速分布である。図—1で示した第1循環流は曝気中心から 20m 付近の位置で潜り込んでいる。22m地点の表層流向は曝気中心を向いており、第1循環流に連行されて第2循環流が形成されているのが確認できた。

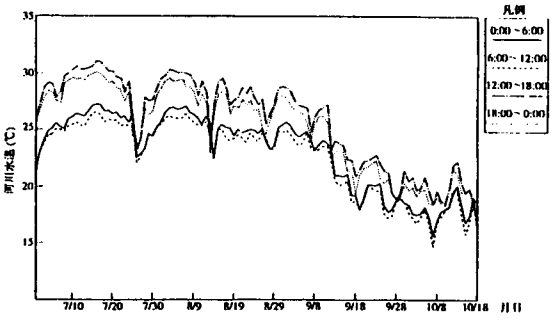
図—7に水質測定地点Bでの表層における珪藻類、緑藻類、藍藻類及び鞭毛藻類の4種に大別した植物プランクトン数の経時変化を示す。例年耶馬渓ダムは、夏季にアオコが問題となっていたが、実験中はアオコの原因となる藍藻類がほとんど発生せず、夏季には緑藻類（優占種は Scenedesmus sp.）及び秋季では珪藻類（優占種は Melosira sp.）が優占していた。



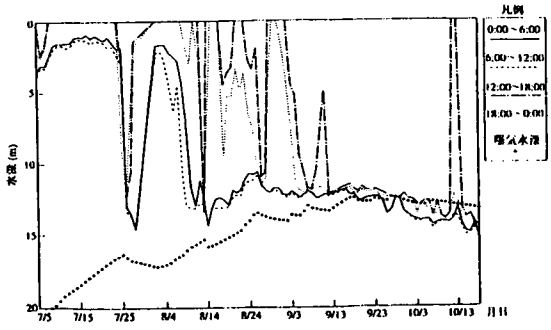
図－2　耶馬渓ダム現地実験位置



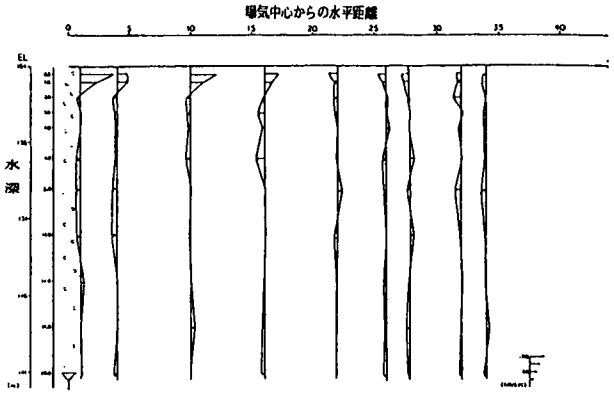
図—3　水温鉛直分布の経時変化



図－4時間帯別流入河川水温経時変化



図－5　ダム湖への河川水貫入水深



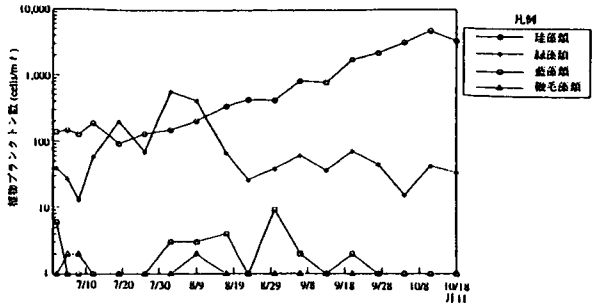
図—6　曝気中心からの流速分布

4．シミュレーションによる検証

4．1モデルの概要

現地実験の結果に基づいて、流動制御の水質保全効果を表現するためシミュレーションモデルを構築した。

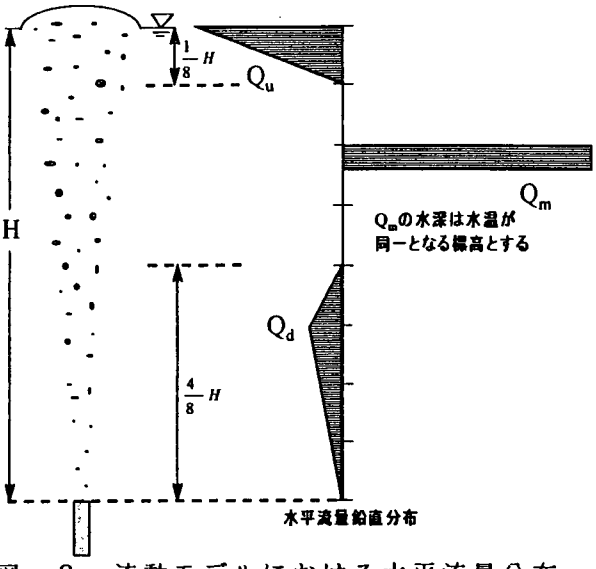
メインモデルは、従来からダム貯水池の水理水質解析に多く用いられてきた鉛直一次元富栄養化モデルに曝気装置によって生じる流動を表現する流動モデルを組み込んだものと、生態系モデルに各藻類間の生育特性を考慮した複数藻類モデルを組み込んだものを組み合わせたものである。



図－7　表層の藻類細胞数の経時変化

（1）流動モデル

鉛直一次元モデルは、ダム湖の水温、水質分布を水平方向に一様と仮定するものである。水深方向に1～2m程度の厚さの層に分割し、各時間ステップ毎に各層の移流及び拡散量を計算した結果を用いて水温、濁度及び各水質を求めるものであり、熱量・質量保存式から成る。なお、移流・拡散量の計数については、運動量保存の法則は適用せず、流れの分布はCraya 等の選択取水公式等を用いて行う。また、流動モデルとは、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る。



図－8　流動モデルにおける水平流量分布

表－2　水平流量算定式

$$Q_u = K_u \times H \times \sum (A_n)^{1/2} \times (\rho_d - \rho_u)^{1/2} \quad \cdots\cdots(\text{表層の式})$$

$$Q_m = Q_u + Q_d \quad \cdots\cdots(\text{中層の式})$$

$$Q_d = k_d \times H \times \sum (A_n)^{1/2} \times (\rho_d - \rho_u)^{1/2} \quad \cdots\cdots(\text{下層の式})$$

Q_u；第2循環流の表層流量(m^3/sec)　k_u；表層流量係数
Q_m；第2循環流の中層流量(m^3/sec)　k_d；下層流量係数
Q_d；第2循環流の下層流量(m^3/sec)　H；曝気水深(m)
ρ_u；表層流の密度(g/cm^3)　A_n；任意の曝気空気量(l/min)
ρ_d；下層流の密度(g/cm^3)
※単一孔の場合　k_u=0.36　k_d=0.18

流動モデルの水平流量鉛直分布を図－8に示す。第2循環流は、曝気装置より上部で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（図－8のQ_u）と、曝気装置による上昇流に直接引き寄せられる流れの下層流（図－8のQ_d）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－8のQ_m）とからなりたっている。

これらの流量は、図－6に見られるように実際に現地実験で計測された流速より求める。しかし、流速が小さく現地実験で測定困難な中層及び下層流は、現地実験結果の水温鉛直分布経時変化をシミュレーションで再現することにより同定を行った。中層流は表層流と下層流の和であると仮定し、表－2に示す通りの全水平流量の算定式を求めた。

（2）生態系モデル

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に着目して、これらの消長と窒素、リン、DO及びCOD等の水質変化を関連づけて表

現するものである。ただし、植物プランクトンの増殖量は、水温、光及び無期態栄養塩の関数と考える。

流動制御技術よる水質保全効果には、優占種が藍藻類から珪藻類または緑藻類への変化することも含まれると考えられる。このため、シミュレーションモデルによる検討や予測を行う場合は、藻類の現存量をひとまとまりにして Chl-a で表現してはならない。この様な藻類群集の質的取り扱いが必要となる生態系モデルでは、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3分割して取り扱わなければならない。

シミュレーションに使用した Chl-a のパラメータの内、藻類間で異なった値を必要としたものは、最大比増殖速度、最適水温、水温とがり度、呼吸枯死速度、補食速度及び沈降速度であった。

Chl-a について各藻類に分割した基本式を表－3に、変更したパラメータの値を表—4に示す。

表－3　複数藻類モデルの基本式

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

i = 1: 藍藻類,2: 緑藻類,3: 珪藻類

注）n は、計算藻類設定

$$S(PPi) = \{G_{Pi} - D_{Pi} - G_{zi}\} \cdot PPi \quad \cdots\cdots(2)$$

$$G_{Pi} = BSi \cdot \mu max \cdot \left\{\frac{T}{Ts}\exp\left(1-\frac{T}{Ts}\right)\right\}^{nt} \cdot \frac{I}{K_{IS}+I} \cdot \frac{IN}{K_{IN}+IN} \cdot \frac{IP}{K_{IP}+IP} \quad \cdots(3)$$

$$BSi = \exp(-BS3 \cdot \sum_{i=1}^{n} PPi) \cdot \exp(-BS2 \cdot PPi + BS1) \quad \cdots(4)$$

$$D_{Pi} = R_{PPi} \cdot \theta_{PPi}^{T-20} \quad \cdots\cdots(5)$$

$$G_{zi} = R_{PPi} \cdot \frac{K_{PPi}}{K_{PPi}+PPi} \cdot ZP \quad \cdots\cdots(6)$$

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(個/l)
G_{Pi}	; 各藻類に相当するクロロフィルaの増殖率(1/日)
D_P	; 各藻類に相当するクロロフィルaの減少率（呼吸率）(1/日)
G_z	; 各藻類に相当するクロロフィルa（被）捕食率/日)
BSi	; 各藻類のスペース効果係数(-)
BS1	; 各藻類の自己飽和によるスペース効果係数(-)
BS2	; 各藻類の自己飽和によるスペース効果係数(-)
BS3	; 全藻類の密度によるスペース効果（アレロパシー効果）(-)
μ_{max}	; 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	; 最大増殖層度を与える最適日射量 $(cal/cm^2/日)$
I	; 日射量 $(cal/cm^2/日)$
K_{IS}	; 日射量に関する半飽和定数 (mg/l)
K_{IN}	; 無機態窒素に関する半飽和定数(mg/l)
K_{IP}	; 無機態リンに関する飽和定数 (mg/l)
IN	; 無機態窒素濃度(mg/l)
IP	; 無機態リン濃度(mg/l)
R_{PP}	; クロロフィル消滅速度(呼吸率)(1/日)
θ_{PP}	; R_{PP} に対する温度係数 (-)
R_g	; 動物プランクトン濃度 捕食速度 $(m^3/g^{-C}/日)$
K_{PP}	; クロロフィルa に対する飽和定数(μg/l)

i ※2,3(緑藻類、珪藻類)は日射量補正項は右の光阻害型とする $\frac{I}{IS}\exp(1-\frac{I}{IS})$

4．2流入河川水の取り扱い

流動制御技術の成否は、流入河川水の水温に大きく左右される。図—5に示したように、流入河川水貫入位置は日周期を持っており、ダム湖への河川水貫入水深は 10m 以上の振れ幅を持っている。

従って詳細にシミュレーションを行うには時間変動を取り扱うべきであるが、計算時間と実験結果を勘案し、昼間（0:00～12:00）と夜間（12:00～24:00）のそれぞれの平均を用いることで河川水の貫入水深の時間変化に対応することとした。

4．3シミュレーション結果

（1）水温及び水質

耶馬渓ダムでの実験データを基に、モデルによる再現計算を行った。

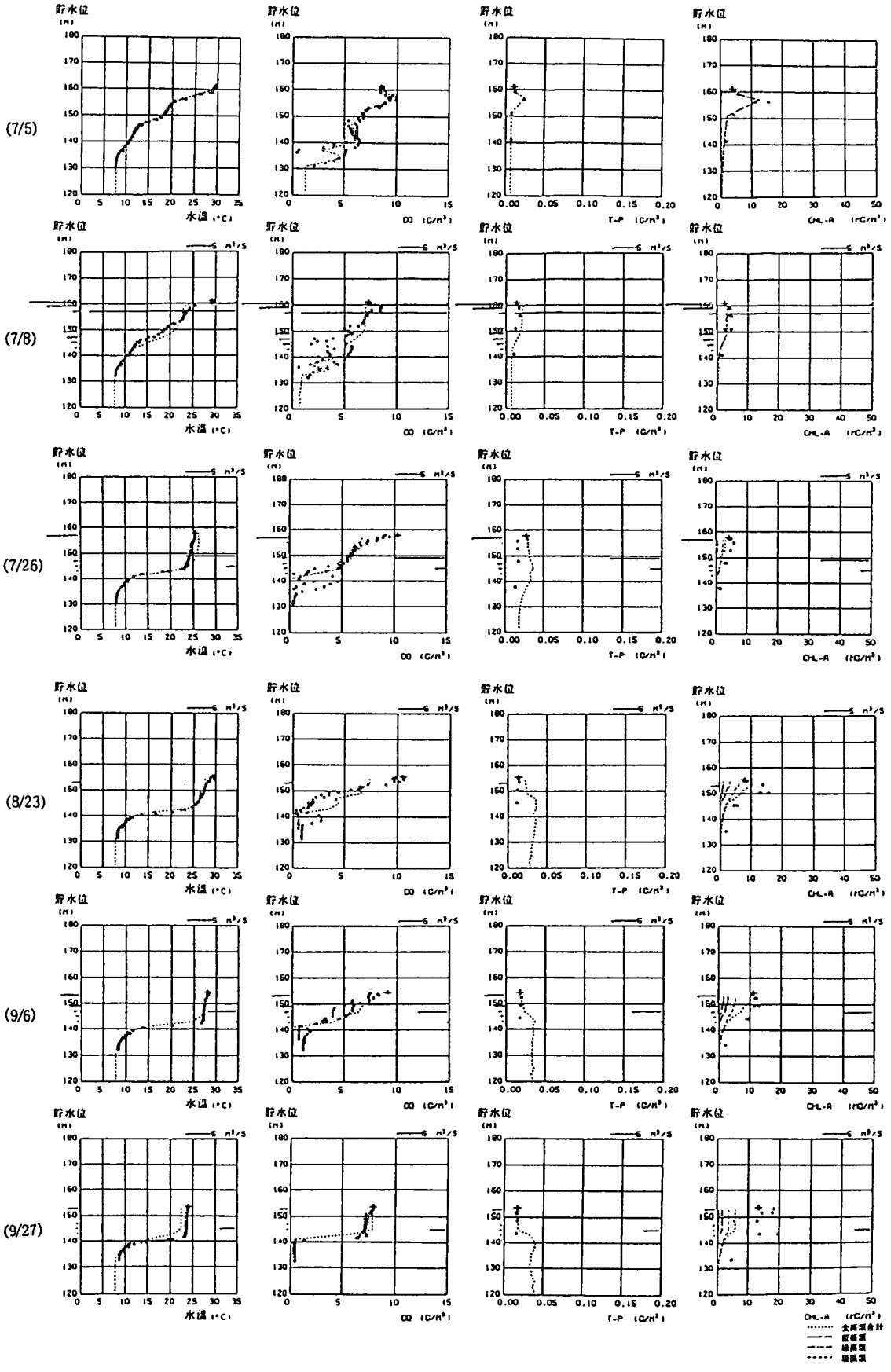
図—9にシミュレーション結果を示す。プロットが測定値、点線が計算値である。

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温度躍層の位置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月中旬の表層の冷却による循環混合の開始と共に、表層の高ＤＯ濃度水塊が曝気敷高直上まで到達していることも表現できた。

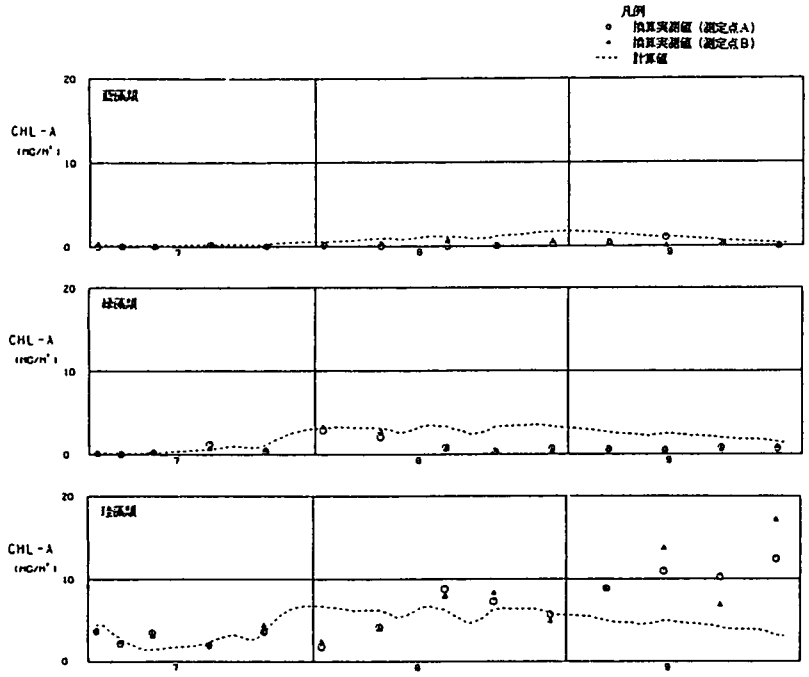
表－4　複数藻類モデルのパラメータ

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
補食速度	0.25	0.1	0.1
沈降速度	0.0m/day	0.2m/day	0.4m/day

Ｔ－Ｐについては、実験中底層の嫌気化が進行したにも関わらず、底泥からの栄養塩の溶出が確認できなかった。これは、底層の水温が低いことに起因すると考えられる。そこで、底泥からの無機態リン溶出率に対する水温係数を 1.2 と大きくし低温による抑制効果を強くすると、実測値と同様に底層での濃度勾配が小さくなりよく表現できた。



図－9　水温及び水質に関するシミュレーション結果



図－１０　藻類別　表層 Chl-a のシミュレーション結果

（２）藻類群集の挙動

図―１０では、表層における藻類別の Chl-a に関する実測値と計算値を示した。図―９での Chl-a は、実測値が全藻類の値なので計算値にも全藻類の Chl-a 濃度を示すことにした。定性的には、経時的な増加傾向及び鉛直分布の形態について表現できたが、９月後半になると実測値と計算値の傾向が異なり、計算値では Chl-a が増加しなかった。シミュレーション上では、Ｔ－Ｐと Chl-a は一定の値として与えているが、実測値ではＴ－Ｐはほとんど変わっていないにも関わらず Chl-a が大きく計測された。９月以降実際はこの比率に変化があったため、計算値とズレが生じたものと考えることができる。

また、図－１０から分かるように、緑藻類に関しては一時的に８月前半に増殖したのに対し、シミュレーションではこの様な一時的な現象について表現できていない。また、珪藻類は９月から増加傾向にあったのだが計算値では逆の傾向となった。

しかし、全体的にみれば藻類群集が珪藻主体で構成されていて、藍藻類の出現が少ない点についてよく再現できていると考える。

５．まとめ

現地実験の結果より、散気方式の曝気装置を用い水温躍層の位置を下げるのに効果があったことが確認されるとともに、流速分布の観測結果より第２循環流が確認できた。また、実験期間中、例年ではアオコの発生が見られる夏季に、藍藻の発生が抑制され変わって珪藻や緑藻が優占していることが確認できた。

水温鉛直分布、吐出空気量及び曝気水深を任意に与えることのできる鉛直一次元シミュレーションモデルにより、おおよその流動及び藻類群集形態についての再現計算が可能になったが、複数藻類モデルについては、現象の再現が十分ではないところもあり、今後更なる検討を要する。今後シミュレーションを用いて、吐出空気量及び曝気設備の設置位置等について検討を進めたいと考えている。

参考文献

１）丹羽薫・久能誠・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・久能誠・古里栄一：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、　Vol.23,　1995

WATER QUALITY CONTROL OF LAKES USING AN ECOSYSTEM OF FILAMENTOUS ALGAE

AKIRA TERAKAWA, TAKASHI FUKUWATARI & LI JIANHUA

In closed water bodies such as some natural or artificial lakes or marshes, the presence of excessive nutritive materials often results in an abnormal growth of undesirable algae, resulting in water quality problems. To control abnormal growth of algae in lakes, we developed a purification technique to absorb and remove nutritive materials (i.e. phosphorous) from river water flowing into such lakes using filamentous algae. The filamentous algae grow rapidly in freshwater environment and can absorb inorganic nutrients more effectively than aquatic plants.

The habitats of filamentous algae in natural rivers were examined, which made us able to classify their living condition. We then designed 4 types of corresponding purification facilities using artificial ecological environments, with which we could effectively remove and fix the dissolved PO4-P from inflowing river water.

The PO4-P absorbing abilities of each of the types were studied by measuring nutrient concentration at the upper reaches of rivers flowing into eutrophic lakes. The major findings of the experiments are as follows.

1. Total amount of removed PO4-P is directly proportional to the concentration of PO4-P in raw water. Therefore, we can use a PO4-P removal ratio to evaluate the facility performance.

2. A PO4-P removal ratio is directly proportional to a facility size, if each facility has constant volume of raw water. Therefore, we create an evaluation index, which could express a contact time (min) equalling facility size (m^3) divided by the amount of treated water (m^3/min), to compare different size and different types of treatment facilities.

Finally, we determined a minimum facility size to be 600 m^2 in order to achieve 80% PO4-P removal ratio. This facility size may be reduced by using a circulation method to return the treated water upstream of the facility by a pump.

【技術研究】

ダム湖の富栄養化対策の動向

建設省土木研究所環境部環境計画研究室　寺川　陽*
〃　〃　〃　〃　福渡　隆**

1. はじめに　～ダム湖の水質現象～

ダム建設に伴うダム湖の出現は，環境に対してさまざまなインパクトをもたらす。自然環境についてみると，地域の生態系に対して，ダム湖による生息区域の分断や水没による生息地の消失等により，重要種の生息や生息する種の多様性の点でともすればマイナスの影響が生じる恐れがあり，これについては事前のアセスメントおよびミティゲーション対策によって影響を最小限に留めることが求められている。一方で，湛水による広大なダム湖面の出現は，水鳥や魚類の生息をはじめ新たな生態系のバランスを生み，それが豊かな生態系の保全に寄与する側面があることも過小評価してはならない。湖面の創出はまた，地域の生活環境の面からみると水と緑の調和した美しい景観の創造や，各種のレクリエーションの場の提供を通じて地域活性化の核となるポテンシャルを有している。

さて，自然環境，生活環境を含むダム湖の総合的な環境機能を維持していく上で，最も重要な要素のひとつが水質である。ダム建設によって河川がせき止められると，流水が滞留することによる水理的な変化が生じ，ダム建設前とは異なった水質現象をもたらすことがある。ダム湖にかかる水質現象は，冷水現象，濁水長期化現象および富栄養化現象に大別できる。

冷水現象とは，晩春から夏にかけて貯水池に水温成層が形成されることにより，温かい流入水が表層付近を流れ，放流口が中・底層にある場合，放流水温が流入水温に比べて低くなる現象を指す。水温成層の状況は，気象・水文条件や流出入水量等の要因に支配されるが，一般には，貯水容量が流入水量に比べ相対的に大きい場合に安定した成層が形成されやすく，その場合冷水現象が生ずる可能性が高い。冷水現象は，農業，特に稲作および河川の生態系に悪影響を及ぼすおそれがある。

第二に，貯水池の**濁水長期化**とは，洪水時に流入した濁水が貯水池内に混合貯留され，洪水後，徐々に放流されることにより，ダム建設前に比べ下流河川が長期間にわたって高濁化する現象を指す。このような現象は，貯水池の年回転率が大きく水の入れ替わりが速い混合型貯水池では少なく，貯水池の年回転率が小さい成層型貯水池に多く見られる。また，貯水容量を上回るような大規模洪水が流入した場合，成層が破壊され，貯水池全体が濁る。洪水規模に応じて流入濁質も増大するので洪水後の濁水放流は相当長期化することになる。ダム下流への濁水放流が長期化した場合，下流河川の景観，水産資源および（上水の取水がある場合には）上水処理プロセスにマイナスの影響が考えられる。

ダム湖の水質現象の第三は，**富栄養化現象**である。流域の開発等に伴い，貯水池内に流入する栄養塩類の量が増大すると生物生産がさかんに行われるようになり，藻類（植物性プランクトン）の現存量を高めることとなる。ここでいう富栄養化とは，このような貯水池の内部生産の増加を指す。河川のように流速が比較的速く増殖に必要な時間がないまま流下してしまう場合には，藻類の大増殖というような形での富栄養化の影響は顕在化しない。しかし，ダム貯水池のように滞留時間が自然河川に比較して長い水域では，水温，日照など他の環境条件が整えば，藻類の大増殖に起因する淡水赤潮，水の華（アオコ）等の異常現象が生じる。これらの現象を総称して富栄養化現象と呼んでいる。富栄養化現象は，貯水池水面の変色や異臭により景観上の問題を引き起こすとともに，上水の異臭味および浄水場における凝集沈殿障害や濾過池の目づまり等の原因となる。

* 室長
** 研究員

ダム建設に伴って上述のような水質現象の発生が予測される場合には，流域，流入河川および貯水池内において各種の対策を総合的に講じることによってこれを防止し，影響を最小限に留める必要がある。

本稿では，上述の3つの水質現象のうち富栄養化現象を防止・軽減するための対策に焦点をあてて，近年土木研究所が実施してきている研究を中心に紹介することとしたい。

2. 富栄養化対策の基本的考え方

富栄養化対策の基本は，富栄養化現象の原因となる要因をとり除くことである。すなわち，**貯水池内に流入・蓄積する栄養塩，藻類増殖のための光合成活動に必要な日照や水温等の環境条件および増殖に必要な滞留時間のうち少なくともひとつの要因をとり除くことによって，藻類の異常増殖に歯止めをかけられる**わけである。

最も根源的な富栄養化対策は，栄養塩類の流入を抑制することである。そのため，関係機関との密接な連携のもとに，流域対策（流域からの流入負荷削減対策）の推進に努める必要がある。ダム流域における畜産や生活系排水に帰因する栄養塩類の負荷に対しては，家畜糞尿のコンポストや下水処理の高度化が有効な対策として考えられる。表層土壌帯の有する吸着・浄化能力を積極的に活用した排水の土壌浸透処理も，地域条件をふまえた適切な施設設計を行うことにより，栄養塩類，特にリンの除去に大きな効果が期待できる方策である[1]。また，畑地からの流出土壌には多量の栄養塩類が含まれており，表土の流出を防ぐことは濁水対策としてだけでなく富栄養化対策としても重要である。

一方，流域対策は，対象とする負荷源が広範囲にあるため，この対策には長年月と多大な投資が必要となることから，しばしば流域対策と合わせ河道内や貯水池内において対症療法とも言うべき対策が必要とされる。

ダムに流入する本川および支川の河道内における対策として，貯水池上流端に設けた前貯水池による栄養塩類の沈降促進等がある。ダムに流入する本川では前貯水池として十分な栄養塩類の沈降時間を取れるだけの容量を確保できるケースは多くない。この場合貯水池への流入負荷をバイパス水路により貯水池内に流入させない方法や，貯水池内の取水口付近に流入させて貯水池内での滞留時間を短くさせる方法と組合わせることも検討に値する。また，前貯水池は水位変動が少ないことから，湖岸植生による水質浄化やレクリエーションの場として利用することも可能である。

ダム湖における富栄養化対策は，大きく物理的手法，生物的手法および化学的手法に分類できる。このうち，化学的手法は一般にコストが高くつくため，湖沼のような大量の水を扱う場合，物理的手法と生物的手法の組合わせが望ましい。

さて，土木研究所では，ダム湖の総合的な富栄養化対策に関する研究の一環として，

① 自然界に存在する糸状藻類を活用して，流入河川の栄養塩を除去する「**糸状藻類活用システム**」

② 散気方式の曝気施設の組合わせによって表層への栄養塩類供給を断つことや，底層の溶存酸素を増加させ底泥からの栄養塩溶出を抑制することをねらいとした「**流動制御システム**」

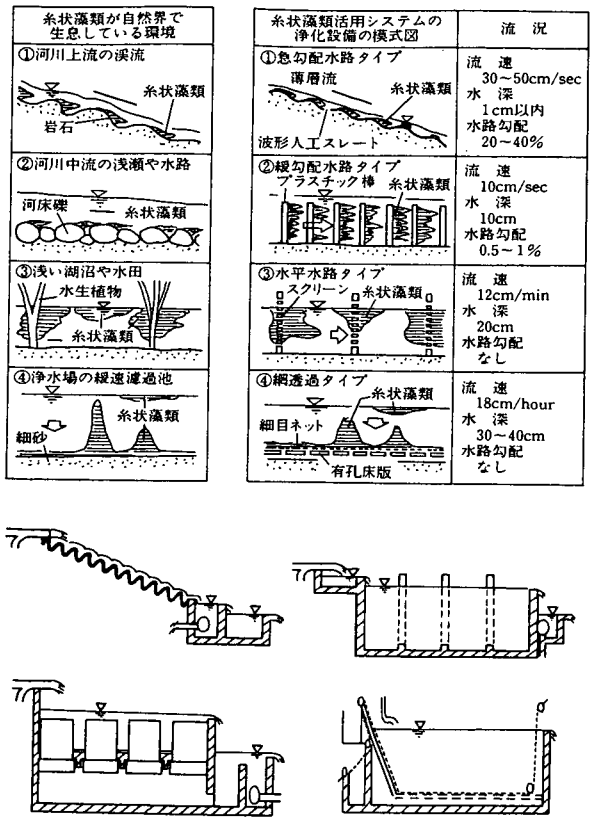
③ 湖内生態系の食物連鎖に着目し，これらをうまく制御することによって藻類の異常増殖を抑制する「**生態系制御システム**」

等について，現地ダム湖への試験導入を含めた実証的な研究を行ってきている。それは実際のダム湖における水深方向の水温分布や各種植物・動物プランクトンをはじめとする湖内生態系を実験室内で再現することは事実上不可能なためである。この分野の研究においては現地ダム湖に対策施設を試行導入して，その効果等について調査・評価し，その結果をシステムの改良にフィードバックさせたものをまた現地に試行導入する，というプロセスがくり返される。もちろん，水質および生態系の相互作用を考慮した数値解析モデルによる解析も有力な手段ではあるが，モデルの精度を高めていく観点からも現地での実験・観測データの蓄積が不可欠であることはいうまでもない。

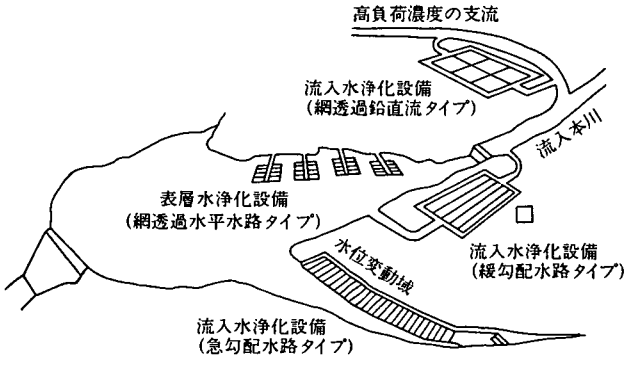
以下，上述の3つの富栄養化対策について原理等を簡単に紹介した上で最近の研究成果を報告する。

3. 糸状藻類活用システム

「糸状藻類活用システム」は，河川や浅い湖沼等の**自然界における PO_4-P 固定に寄与している糸状藻類（藻類の中で糸状となる付着藻類）が増殖できる環境を湖沼近傍において人工的に整備することにより，流入河川水および湖沼表層水から PO_4-P を除去し，藍藻類や鞭毛藻類の異常増殖を抑制する**システムである[2]。糸状藻類は河川，湖沼，水田等において，様々な流況環境のもとで無機態の栄養塩類を吸収して生息している。本システムは，自然界の生息環境を模したいくつかの条件下で流速，水深，基質，糸状藻類の回収および設備の洗浄等の構造的な工夫を行って PO_4-P を吸収除去する効率を高め，さらに回収した糸状藻類の有効利用を図ることをねらいとしている。各条件に対応して考案した施設の概要



図−1　自然界における糸状藻類の生息環境と，それらに対応して考案した施設の概要



図−2　ダム湖周辺における浄化設備の配置例

を図−1 に，また，ダム湖周辺の状況を想定した場合の施設の設置例を図−2 に示す。

本システムは，浮遊藻類やホテイアオイ等の高等な水生植物の利用と比べて次のような長所を有している点で魅力的な手段である。

① 糸状藻類は富栄養化に起因する異常現象（アオコ，淡水赤潮，カビ臭等）の原因とはならない。

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。

③ 糸状藻類は水生植物に比べ低い無機態の栄養塩類濃度でも生息が可能である。かなり低い濃度であっても，糸状藻類のまわりの水が次々と入れ替わるような流況であれば栄養塩類を吸収することができる。

④ 糸状藻類の生息地域は広く，また，冬季の低水温でも生息可能である。したがってアオコが発生する季節よりも先に糸状藻類を増殖させることによって栄養塩類を除去することが期待できる。

⑤ 糸状藻類の安定した増殖のためには付着あるいは上載できる基質が必要であるため，この基質を人工的に抑制することにより生息環境を調整できる。

⑥ 浮遊藻類と異なり，糸状藻類はスクリーン等を用いた水からの分離除去が容易である。

⑦ 分離除去した糸状藻類を，肥料や魚類，鶏および家畜の良質のエサとして利用できる可能性を有している。

本システムが現地で十分な機能を発揮するための鍵は，いかにしてそれぞれの現地条件の下で糸状藻類の成長を促進し，それを適宜省力的に系外に除去できるかおよびいかにして除去した藻類をうまく再利用することにより実質的な処分費用を安くあげられるかにあるといえよう。

流速や水路長の異なる各タイプの現地実験結果を横並びで比較するために，糸状藻類を生息させる水路部分の容積を単位時間あたりの流量で除した接触時間の概念を

表−1　単位接触時間あたりの PO_4−P 除去率

除去率 (%)		流入水質 (μg/ℓ)	急勾配水路タイプ 循環量 (15.6 ℓ/min)	急勾配水路タイプ 循環量 (24.4 ℓ/min)	緩勾配水路タイプ 串状	緩勾配水路タイプ レール状	水平水路タイプ	網透過タイプ
前処理有り		40.95	13.7	12.9	1.52	1.40	0.45	0.17
前処理無し		92.86	6.60	4.63	0.68	0.42	0.24	0.04
変動幅	前有	21～ 76	−2.77～30.63	4.32～26.67	0.31～3.14	0.25～2.51	0.04～0.98	−0.10～0.53
	前無	59～138	0.33～12.19	0.22～14.93	0.13～1.55	−0.22～0.96	0.03～0.57	−0.10～0.14
藻類の生息密度			高密度 ←					→ 低密度

導入し，PO_4-P除去率を接触時間で除した単位接触時間あたり除去率として整理したのが表-1である[3]。これによると，最も除去効率の高かった前処理付の急勾配水路タイプの場合，糸状藻類と流入水（実験時のPO_4-P濃度の範囲は0.021～0.076 ppm）の接触時間1分あたりの除去率が13.7%となっている。接触時間と除去率が比例するという前提で考えると，流入水1 m^3/分に対して80%の除去率を期待するための接触時間は$\frac{80.0}{13.7}$=5.84(分)，したがって必要な水路容積が5.84分×1 m^3/分=5.84 m^3と計算され，水深を1 cmとした場合約600 m^2の面積が必要ということになる。

また，除去した糸状藻類の有効利用可能性について検討する目的で，実験水槽内に優占して生育したアオミドロとメロシラについて詳細な成分分析を行った。その結果，粗タンパク，粗脂肪，粗繊維，粗灰分といった一般成分については，食用とされている藻類である水前寺のり，青のり，もずく等と比して遜色がなく，特にアオミドロは粗タンパク質の含有量が多いことが判明した。またミネラル成分の分析結果によると，メロシラの単位重量あたり鉄分含有量は，ほうれん草の約590倍，水前寺のりの約7倍ときわめて高い値を示した。これらの結果は，糸状藻類が，飼料原料やミネラル供給源として活用できる可能性を示している。実用化にあたっては，スケールメリットを発揮できるプラントの適正規模を含め，コストの壁をどうクリアするかがひとつの課題と思われる。そもそも除去された糸状藻類を糸外処分するのに要するコストがかからなくなる分を（糸状藻類有効利用の）外部経済効果として内部化することにより実態上のコストダウンを図るのも一案であろう。

4. 流動制御システム

流動制御システムの主要な構成要素である浅層曝気施設は，**ダム湖の表層約15～20 mにわたって水温分布がほぼ均一な循環混合層を形成させ，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への栄養塩類と光を抑制し，それによって藍藻類等の異常増殖を抑制する**ことをねらいとしている。図-3に流動制御システムの概念図を示す。

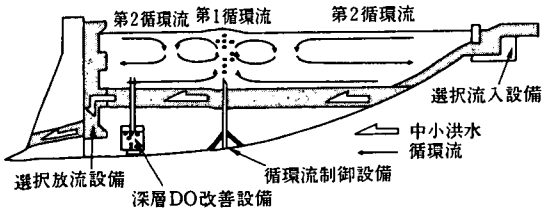


図-3 流動制御システムの概念図

一般に自然状態における夏季の水温分布は，水面で最も高く，水深が深くなるにつれて低くなるいわゆる水温成層が形成される。水温成層が形成されると，表層の水は躍層を越えて上下に移動しにくいため，安定した水界となる。この場合栄養塩類を多く含む流入河川水が水面下数メートルの位置に進入することにより光が十分に得られる表層への栄養塩類の供給が十分に行われるため，藍藻類の増殖に適した環境となり，時折異常増殖が発生する。

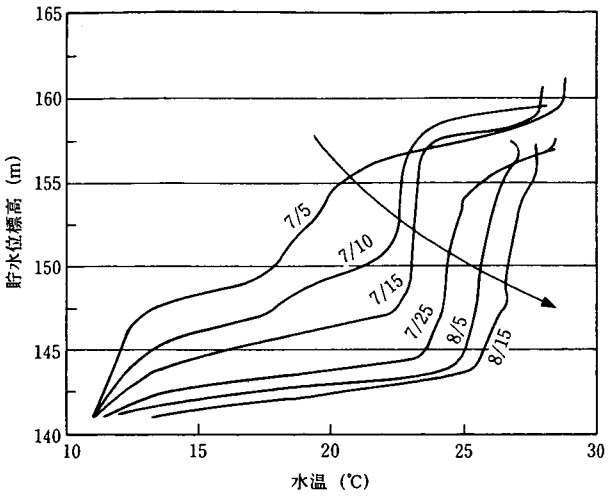
さて，水深15～20 mの位置で散気方式の曝気を行うと，それより上部はかくはん混合されて水温がほぼ一定の循環混合層が形成される。そしてその中では，第2循環流の表層水が曝気地点に向かって引き寄せられ，何日か後には光が届かない中層部へ循環することが期待される。この時，表層部で増殖しかけた浮遊藻類は水の循環とともに中層部に入り，光合成に必要な光が制限されることになる。さらに表層水が曝気に引き寄せている間においても，循環混合層の表層部では水温鉛直分布がほぼ均一であるため，気温の急低下に伴う表層水温の低下等により，上下の混合がしばしば生じやすい状態にあり，浮遊藻類は安定した増殖ができない。

また循環混合層が厚さ15～20 mにわたって形成された場合，栄養塩類を多く含んでいる中小洪水時の流入水は循環混合層下方の水温躍層へ導かれる。これは，藍藻類が生息している表層への栄養塩類の混入を減少させ，藍藻類の異常増殖防止に寄与する。中小洪水時の高濁水を水温躍層に導くことにより，表層の清澄水を温存することが可能となるため，濁水長期化対策としても効果的である。

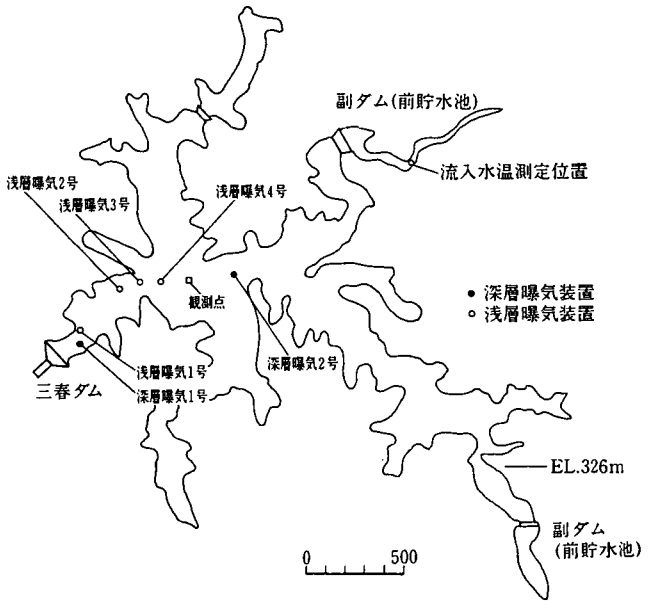
浅層曝気循環装置による流動制御の水質保全効果を整理したのが表-2である。これらの効果については，湖内流動の水理モデルと動植物プランクトンの生態モデルを組み合わせた数値シミュレーションモデルによる解析

表-2 流動制御システムの水質保全効果

効果	湖水に与える流動作用	藻類に及ぼす効果
1	表層付近の水温が均一であり厚さ15～20 mの循環混合層を形成し，密度流で循環する	循環混合層における光制限およ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	循環混合層の藻類への栄養塩制限および易沈降性藻類（緑藻類や珪藻類）による栄養塩固定後の沈降
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する	循環混合層に存在する藻類（特に表層の藍藻類）に対する栄養塩制限



図−4　浅層ばっ気施設の稼働による循環混合層の形成
（耶馬渓ダムにおける観測事例）



図−5　三春ダムにおける曝気施設の位置と観測地点

でも示されている[4)~6)]。

図−4は，一例として耶馬渓ダムにおいて浅層曝気開始後の曝気地点近傍における鉛直水温分布の経時変化を示したものである。この事例では，7月5日の浅層曝気開始後約1か月間で明瞭な循環混合層が形成されているのがみてとれる。

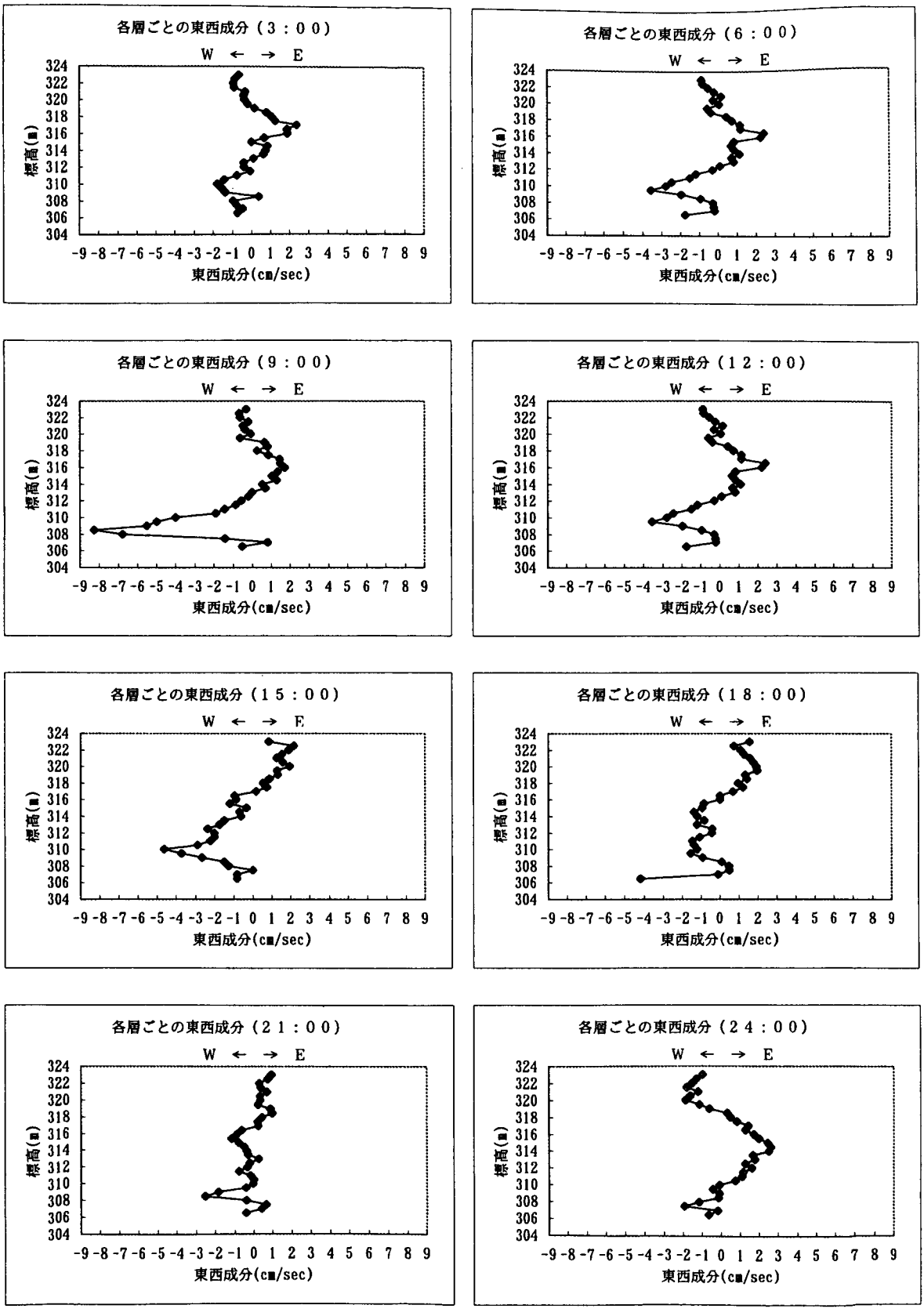
図−6は，三春ダムにおいて浅層曝気施設運転中（曝気施設の位置と観測地点を図−5に示す）に，曝気施設から約130 m離れた地点で湖底に据えた架台上に上向きに固定したADCP[7)]を用いて流速の鉛直分布を連続モニタリングした結果に基づいて作成したものである。用いたADCPは1200 kHzのタイプであり，3.5秒間に1回の頻度で計測した鉛直方向50 cm層厚ごとの3次元流速測定結果を5分間ごとに85パルス分の平均値として記録するように設定した。メーカーの公称測定誤差は±0.5 cm/sである。図示したのは小出水のあった平成9年8月26~27日の観測データを30分ごとに平均したものであるが，水深約17 mの地点を中心に流入河川水（と思われる）が最大流速約8 cm/sで流入しているのがみてとれる。図−7は，同じくADCPによる東西方向流速成分（曝気施設から遠ざかる向きが東向きで正としている）の時間変化を表示したものである。8月26日の17時から3時間計約20 mmの降雨によって，翌27日の午前1時頃にピーク流量約4.3 m³/sが観測され，約6~7時間の時間遅れで流速観測地点での西向き（ダムの上流から下流向き）の流速が増加していることがわかる。図中，流量は，ダムからの放流量と，貯水池水位変化から求めた貯水量増加量の合計値として計算したものである。ちなみにこの日の午前9時時点での鉛直方向水温分布は図−8のとおりである。貯水池上流端（図−6参照）における流入水の水温は，降雨ピーク時（26日19時）に約23℃，流量ピーク時（27日0時）に約20.9℃であった。図−8より水温23℃および20.9℃に対応する水深はそれぞれ約18 mおよび20 mであり，27日の6時から18時にかけて流速の増加が観測された水深16~18 mとほぼ整合している。このことより，浅層曝気による厚さ約16 mの循環混合層が流入河川水を深部に導く効果を果たしていることがわかる。

さて，流動制御システムでは，これまで述べた浅層曝気循環施設と併せて深層DO（溶存酸素）改善のための深層曝気施設もシステムのオプショナルパーツのひとつと考えている。深層曝気施設の方は底層高汚濁水を（浅部に）巻き上げるのを防止するため浅層曝気施設の吐出口より深い位置に半径3 m程度のかさ状の構造物をとりつけてある。

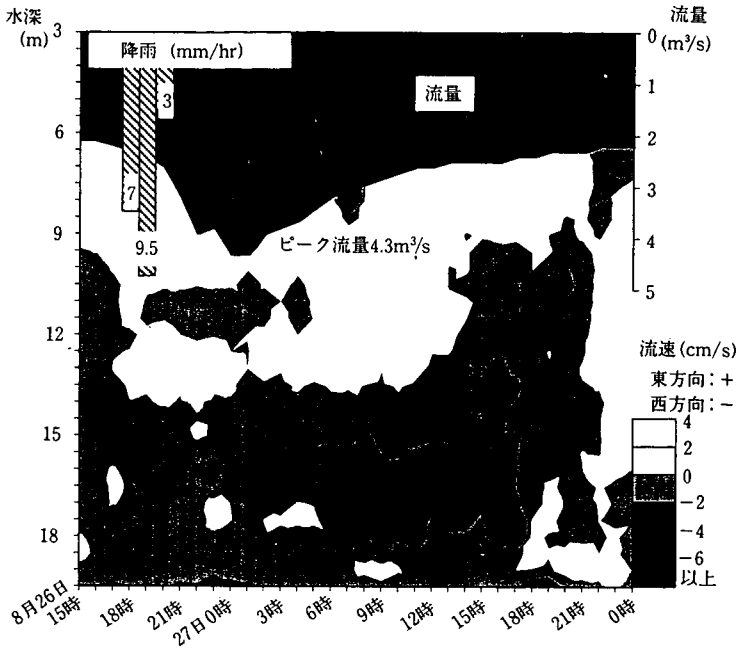
図−9は三春ダムにおいて深層曝気施設運転時（平成9年8月22日）に，曝気施設から約390 mの地点でDOおよびORP（酸化還元電位）の鉛直方向の分布を観測した結果であるが，（酸素要求の大きい）深層部においてDOこそゼロであるものの，ORPは高く維持されており，底泥からの栄養塩溶出の防止に寄与していると考えられる。

5．生態系制御システム

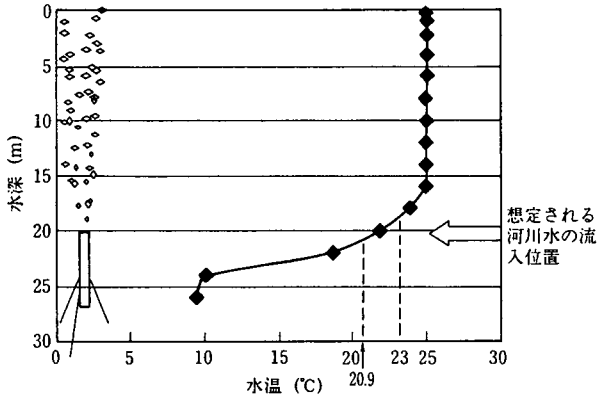
湖沼では，植物プランクトン，動物プランクトン，底生動物，付着生物，遊泳動物等の様々な生物が食物連鎖を通して相互に結びついている。生態系制御による湖沼



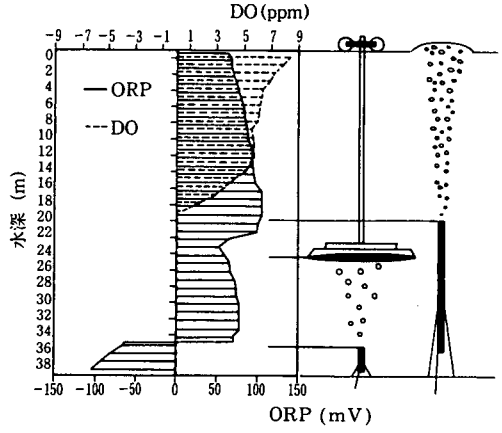
図−6　ADCPによる流速の東西成分（30分平均値）の変化（8月27日）
（曝気施設から遠ざかる向きが東向きで正）



図−7　8月26日15時から27日0時までの東西方向流速成分の変化
（グラフ上方に降雨と流入量を示す）



図−8　8月27日午前9時の鉛直方向水温分布



図−9　曝気施設から約390 mの地点での溶存酸素（DO）と酸化還元電位（ORP）の鉛直分布観測結果

水質保全は，こうした自然の食物連鎖に着目し，自然の状態に若干の人手を加えることによって浮遊性の藻類が増殖しにくい環境を作り出すことによって水質悪化を防止するアイデアである。

オランダでは，浅い湖沼の水質浄化策として湖沼内に生息する底生魚の大部分（75% 以上）を一斉に捕獲し，湖底の水草の生育を促進させることによって動物プランクトンと植物プランクトンのバランスを回復させ，浮遊藻類の異常増殖を抑制する方法を，いくつかの湖において成功裏に実施してきている[8]。これも一種の生態系制御技術である。

土木研究所が研究を進めている「生態系制御システム」は，**湖沼等の流入端や護岸等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整備し，動物プランクトンの捕食によって植物プランクトンの異常増殖を抑制する**方法である。

動物プランクトンの生育環境を整備するために考案された「人工生態礁」の構造を図−10に示す。塩ビ板等をスリット状に組んだ人工礁から長さ1 m程度のポリエチレン等でできた人工根をたらしたものをフロートで水中0.3〜0.5 mのところに浮かす構造になっている。生態礁の部分には糸状藻類や水草が生育し，また，人工根のエリアは動物プランクトンにとって魚類による捕食をまぬがれる格好のすみかを提供することが期待される。

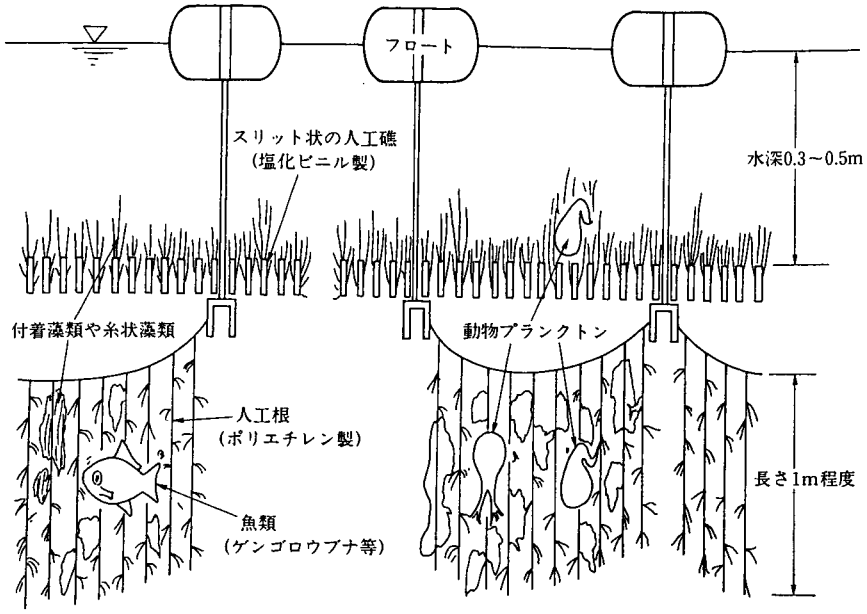
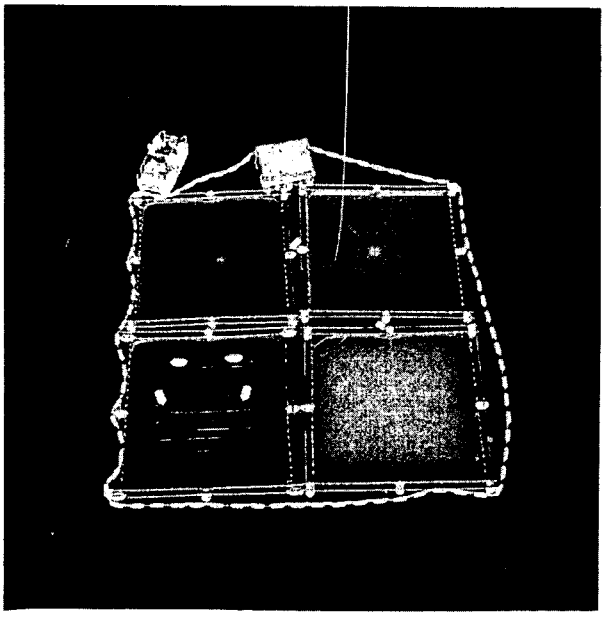


図-10 人工生態礁の概念図

渡良瀬貯水池において6m四方の人工礁に長さ1mのポリエチレン製の人工根を取りつけた人工生態礁を設置し，平成7年6月～9月にかけて人工生態礁の中央部分と，対照区としてそこから岸沿いに50m離れた地点で，1週間に1回のペースで表層の水質調査を実施した。この実験の結果によると，実験を行った湖沼の優占種である藍藻類を捕食するといわれている動物プランクトンが人工生態礁中央部分では増加する傾向がみられ，対照区において8月に藻類増殖のピークを迎えた時に人工生態礁部分ではクロロフィルaの増加が抑制されることが観察された。このことから人工根を付加した人工生態礁は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できる可能性を有していることが示唆された[9]。

写真-1は，人工生態礁の水質浄化効果を評価する目的で，土師ダムに設置した実験施設である。縦横それぞ



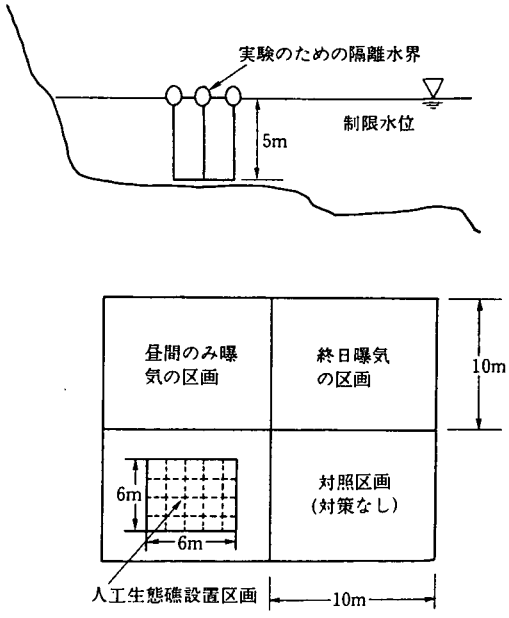
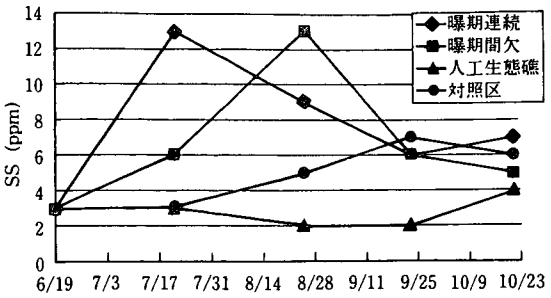


写真-1 土師ダムに設置した人工生態礁効果評価のための実験施設
（左下の人工生態礁設置区画が他と比較して格段に水の濁りが少ないのが観察される）



図−11　各実験区画における SS の経時変化
（各区画中央部の水深 50 cm 地点での測定値）

れ 10 m，深さ 5 m の隔離水界を 4 組用意し，そのうちのひとつに人工生態礁を設置して，平成 9 年 6 月～10 月の 5 か月にわたって水質やプランクトンの種類・数について定期的なモニタリング調査を行った。ちなみに他の 3 区画は，昼間のみの曝気，終日曝気および対照区として何も対策を講じないの 3 種類とした。隔離水界内の水質をダム湖内と同等に保つため液肥を添加し，プランクトンの種を供給する目的で，底部には底泥を敷きつめてある。観測結果の一例として，図－11 に各区画での SS 変化を示すが，実験期間を通じて人工生態礁を設置した区画での値が他よりも低くなっているのがわかる。この結果については，プランクトンの種や数の変化等ともあわせて，水質浄化効果の評価の観点から，今後更に検討を進める予定である。

6. ま と め

以上，ダム貯水池における富栄養化対策の動向について，土木研究所で実施してきている研究を中心に紹介した。はじめにも述べたように，あくまでも流域からの流出汚濁負荷を減らすことが一義的な対策であり，栄養塩濃度の低い大量の水を相手にした対策は当然のことながら効率のよいものではない。

それだけに，ダム湖における対策としては，自然界の物理的・生物的・化学的メカニズムをうまく活用したいくつかの対策を現地条件に応じて適宜組合わせることにより，エネルギー消費量を極力おさえた形で，いわば自然にちょっと手を貸すことによって好ましい水質状態に誘導することが理想的といえよう。

参 考 文 献

1) 土木研究所水文研究室：生活雑排水の土壌処理に関する調査報告書，土木研究所資料 No. 2591, 1988.
2) 久納　誠，丹羽　薫：糸状藻類活用システムの原理と設備例，ダム技術 No. 93, pp. 27−35, 1994.
3) 丹羽　薫，福渡　隆，山崎　崇，相澤　毅：糸状藻類を活用した水質浄化技術の開発，土木技術資料 vol. 39, No. 5, pp. 36−41, 1997.
4) 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，環境システム研究，vol. 23, 1995.
5) 丹羽　薫，久保徳彦，福渡　隆，古里栄一：流動制御による水質保全対策効果のシミュレーションによる検討，水工学論文集第 40 巻，1996.
6) 福渡　隆，寺川　陽，田中康泰：流動制御によるダム湖の水質保全，第 5 回水資源に関するシンポジウム論文集，土木学会，1997.
7) 例えば　建設省水文研究会：水文観測，pp. 195−197，全日本建設技術協会，1996.
8) Hosper, H. : Clearing Lakes, pp. 73−93, Institute for Inland Water Management and Waste Water Treatment, Lelystad, the Netherlands, 1997.
9) 高橋健夫，久納　誠，丹羽　薫：生態系を活用した湖沼の直接浄化の試み，土木学会第 50 回年次学術講演会概要集，1995.

II-6　交流研究員報告

生態系を活用した水質浄化技術に関する調査

（指導期間：平成８年４月～平成８年９月）

研究室名　環境計画研究室
氏　　名　山崎　　崇

１．はじめに

近年、湖沼等を親水活動や生態系保全の拠点として整備する例が多くなってきている。一方、湖沼等の閉鎖性水域では、景観阻害や悪臭等を引き起こすアオコ等の富栄養化現象が依然として発生しており、この対策が急務となっている。富栄養化対策として様々な対策手法が開発されているが、生態系保全の観点から化学的な処理を伴わず、維持管理の少ない対策が求められている。

２．調査目的

土木研究所環境計画研究室では、流入河川対策の1手法としてアオミドロ，メロシラ等の緑藻類や珪藻類の栄養塩（特に、無機態のリン：PO_4-P）吸収能力を利用して流入河川等からPO_4-Pを除去するシステムの研究を行ってきた。本調査ではシステムの維持管理の軽減を目的として、実用化に向けた実験を行った。

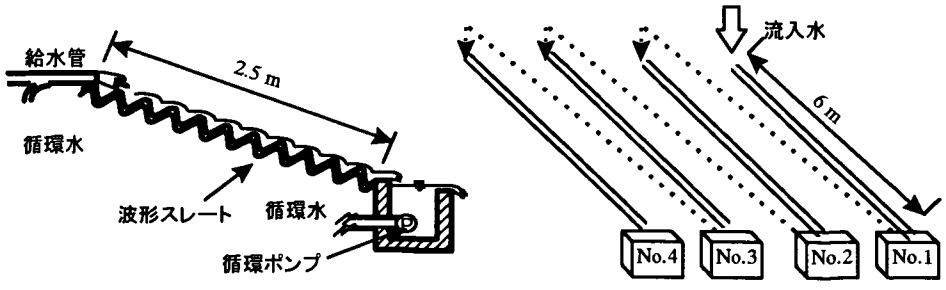
３．調査項目および調査方法

３．１　循環処理の検討

これまでの実験では、実験用地の制約から、流入水を循環させて浄化を行ってきた。本研究では、循環処理の有無による比較実験を行った。実験は急勾配タイプ[1)]を用い、1回/週、水質等の測定を行った。直列型の処理区間総延長は、循環型の回転率を考慮し、流下距離が等しくなるように設定した。

・循環型：処理区間延長250cm

・直列型：処理区間延長600cmの水路4列をポンプにより連結



図－１　実験施設の模式図

３．２　河川での試験施工

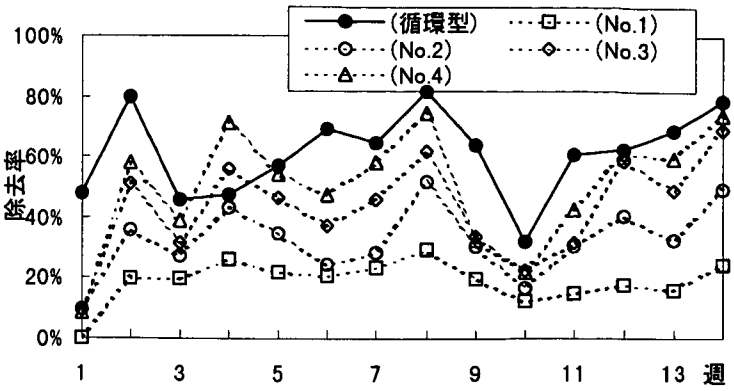
急勾配・緩勾配タイプ各2本、水平・網透過タイプ各1本の計4タイプ[1)]6本の施設を、これまでの実

験に設置してあった前処理としての濾過槽を外した上で実河川に設置し、稼働状況の確認を行った。

4．調査結果及び考察

4．1　循環処理の検討

流入原水と循環型，直列型の各水路末におけるPO_4-P濃度の測定値より、除去率を比較したものが図－２である。図－２より、水路延長が長くなる（接触時間が長くなる）に従い除去率が高くなり、循環型の除去率に近づいている傾向がわかる。なお、直列型の処理区間総延長（接触時間）は、循環型の接触時間と同じになるように設定されていたが、循環型の除去率の方がNo.4の除去率を若干上回っている。この傾向は、実験の開始時期に顕著に見られる。これは、現地の状況から、藻類の繁茂量等による差が生じたものと考えられる。



図－２　循環型と直列型の除去率の比較

次に、接触時間と除去率をプロットしたものが図－３である。この図からも接触時間が長くなるに従い、除去率が高くなる傾向が見受けられる。藻類の生長量、すなわち栄養塩摂取量が処理水中の栄養塩濃度に比例すると仮定すると、除去率と接触時間は下式で表すことができる[2]。

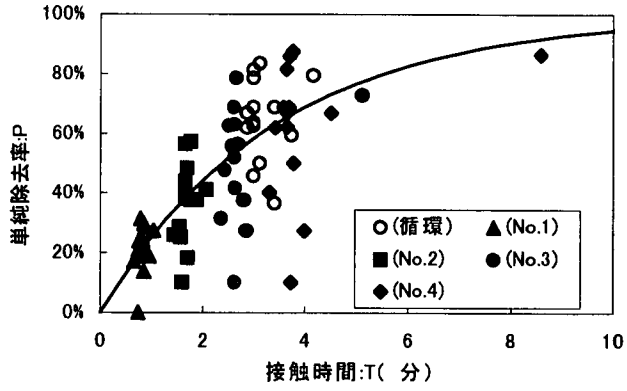
$$P = \{1 - \exp(-k * T)\} * 100$$

ここで、P:除去率(%)

T:接触時間(分)

k:栄養塩吸収速度定数($分^{-1}$)

図－３のデータよりk=0.2901(R^2=0.48)となる。また、実河川での実験結果でもR^2=0.85と良く適合したことから、浄化施設稼働後のモニタリングと上式により、効率の良い接触時間に改善できる可能性がある。



図－３　　接触時間と除去率の関係

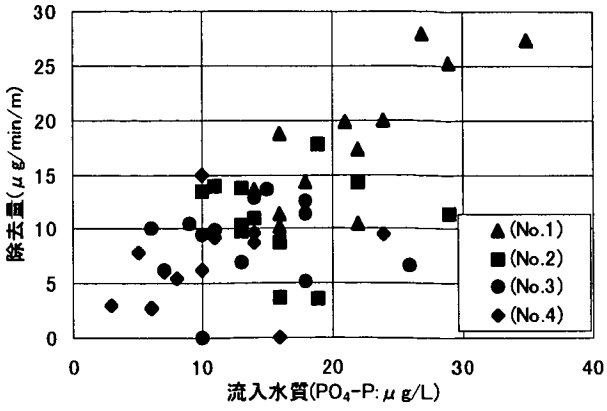
循環型と直列型について、区間ごとの実験期間中の平均除去率を表－１に示す。単純平均の除去率は 19.6～27.7%とばらつきが見られるが、単位時間（1分間）当たりに換算した除去率で比較すると、循環型の除去率は20.5%、直列型の除去率は22.5～25.3%であり、同程度の除去率となっている。このことからも、除去率は接触時間の影響を受けていることがわかる。

表－１　循環型と直列型の除去率の比較

		循環型	直列型			
			No.1	No.2	No.3	No.4
除去率(%)	単純平均	64.7	21.1	19.6	24.4	27.7
	1分当たり	20.5	25.3	22.5	23.4	22.9
除去量(μg/min/m)		12.5	16.2	10.1	8.2	6.1

除去量では、循環型が12.5μg/min/m 、直列型は16.2～6.1μg/min/mである。ここで、直列型に着目すると、No.1の除去量が大きく、順に小さくなっている。直列型の除去量を流入水の濃度と比較すると、相関は高くない（R=0.4）ものの、全体的に正比例の関係が見られる（図－４）ことから、流入水の濃度が高いほど除去量も多くなるものと考えられる。この傾向は、平成7年度の測定値を用いて重回帰分析を行った結果においても、除去量に対する流入水の濃度の寄与率が水温，接触時間よりも高いことを確認した（表－２）。

以上より、急勾配タイプでは循環型と直列型で、ほぼ同程度の除去率が得られ、除去率は接触時間に関係し、モニタリングにより効率を上げられる可能性があること及び除去量は流入水質との関係が強いことが確認された。



図－４　　流入水質と除去量の関係

表－２　　除去量に対する寄与

	F 値			決定係数
	水温	流入水質	接触時間	
急勾配(流量少)	0.49	4.61	0.58	0.26
急勾配(流量多)	4.98	16.45	8.88	0.67
串タイプ	0.07	5.37	7.96	0.56
レールタイプ	0.01	5.74	4.61	0.49
水平水路	0.77	18.70	2.74	0.61
網透過	-0.10	14.09	0.75	0.59

表中：ハッチ部は寄与の高い項目を示す。

４．２　河川での試験施工

実河川における試験施工から得られた平均除去率と平成7年度の実験結果を比較したものを表－３に示す。実験期間中の除去率の単純平均では同程度の結果が得られた。

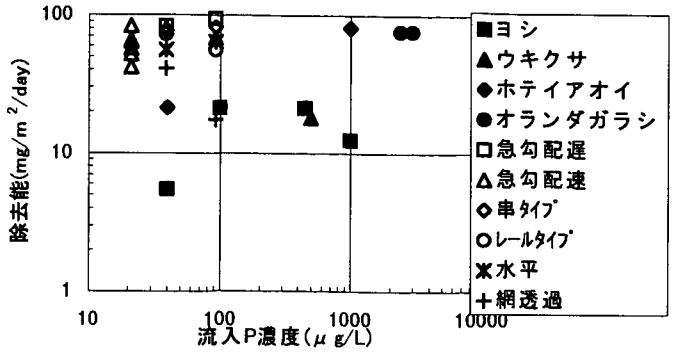
ここで、前述したように、除去率は接触時間に影響されることから、実験場と実河川での除去率を同じ接触時間に換算した換算除去率で比較すると、実河川の値がやや小さくなる。この要因として、実験期間の違いによる気象条件の差の他、試験施工では前処理としての濾過槽を外したため、シルト

表－３　試験施工における平均除去率の比較

		急勾配		緩勾配		水平水路タイプ	網透過タイプ
		流量少	流量多	串ﾀｲﾌﾟ	ﾚｰﾙﾀｲﾌﾟ		
単純除去率(%)	実験場	40.6	40.6	51.4	43.9	22.9	19.7
	実河川	35.9	47.1	41.9	18.8	30.2	17.5
換算除去率(%)	実験場	38.6	25.4	44.2	40.4	21.2	12.6
	実河川	19.8	13.9	20.4	12.7	12.2	3.6

等の付着による藻類の発育阻害等が考えられる。ただし、設置当初に危惧された台風等増水時におけるシルト付着による藻類の全滅は生じなかった。

また、水質浄化に多く用いられる水生植物の除去能[3]と実験結果から得られた除去能を比較したものが図－５である。図中、糸状藻類はPO_4-Pの値、それ以外の水生生物についてはT-Pの値で示してある。今回の実験結果は流入濃度が低いにもかかわらず、糸状藻類の除去能は高い範囲に分布する。このことから、本システムは前処理としての濾過槽が付属していなくても、生物を活用した水質浄化施設として機能しうることが確認された。



図－５　除去能の比較

5. まとめ

本研究により、糸状藻類活用システムについて以下の点が明らかとなった。

(1)接触時間が同じであれば循環処理の有無に関わらず、同程度の除去率を得られることが確認された。

(2)急勾配タイプについては、実験結果より接触時間と除去率の関係式が求められた。

(3)モニタリングと上記の回帰式を用いることにより、除去効率の良い接触時間を推定でき、流入水量を変更することによりシステムの効率を高められる可能性があることが明らかとなった。

(4)実河川での試験施工の結果、前処理としての濾過槽が無くても本システムは稼働できる可能性がある。

6. おわりに

これまでの研究により、糸状藻類を活用した水質浄化システムについては、糸状藻類を容易に系外へ除去可能であること、自然条件の変化に対応して生息する種類が変化するため、1年を通じてPO_4-P吸収能力を維持できる[1]こと、飼肥料としての有効利用が可能[4]であること及び魚類との併用により、剥離する藻類の回収作業の軽減が可能である等の特長が確認されている。今後、さらに取水方法や剥離する藻類の処理方法を発展させることにより、メンテナンスフリーの施設としての可能性が期待される。

7．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) L. G. Rich著，神保他訳：環境システム工学入門，産業図書，1979

3)例えば、三島：水生植物による水域浄化システム，ヘドロ，No.33，1985

4)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，2-B，1995

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

（指導期間　平成８年４月～平成８年９月）

研究室名　環境計画研究室
氏　　名　小　川　和　延

１．はじめに

日本では、1960年代～1970年代にかけて水俣病などに代表される公害問題が表面化した。その後、排水規制などの点源対策の実施により水質汚濁の進行速度は緩やかになった。しかし、汚濁化の進行自体は止まらず、近年では湖沼の富栄養化や、河川・海岸での河床低下及び海岸線の浸食など水域に関わる問題が様々な場所で表面化している。これら問題の解決のためには、以前から流域の面的な対策や、上下流での連携した管理運営の必要性が叫ばれているが、未だに流域全体を捉えた管理や対策を実施するための手段が確立していない。

一方、欧米では、地理情報システム（Geographical Information System：ＧＩＳ）という空間データの管理・解析・表示ツールを利用した流域環境の評価、計画支援が積極的に行われている。日本でも、建設省国土地理院が取り組んでいる数値地図に代表されるように、徐々にデジタルの地図情報が整備されつつあり、ＧＩＳの利用環境が整ってきている。

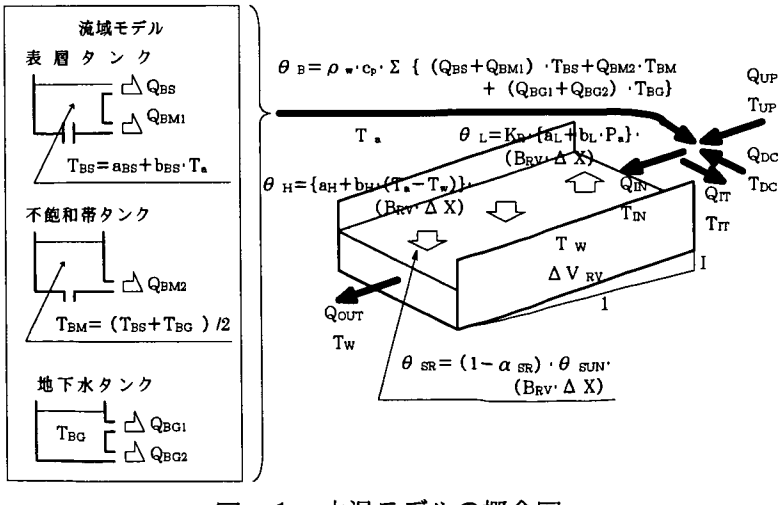
したがって、空間特性を表現可能な流域管理システムを開発し、これに既存のデジタル地図情報を活用すれば、必要となるデータ整備の労力はかなり軽減され、更に空間的な情報活用による精度向上が望めるため、今まで困難だった流域の総合的な管理運営を支援できる。

２．研究目的

そこで、本研究はＧＩＳを利用した、総合的な流域管理支援システム開発の一環として、既存モデルを改良して水量・水質（水温）シミュレーションモデルを試作すること、そしてＧＩＳデータを使って実流域への適用性等について検討することを目的とする。

３．研究方法

本研究では、まず第一に空間特性を表現可能な水量モデル及び水質モデルについて既存の文献を調査し、また同



図－１　水温モデルの概念図

時に現在利用可能なデータについて整備状況等を整理する。次に、既存のモデルの中から本研究の目的に合致する水量モデルを決定する一方、既存の水質モデルを参考にしながら、選定した水量モデルに適した水質モデル（今回は水温モデルのみ）を構築する。そして最後に、実流域への適用性等について検討するために、対象流域を選定し、その流域に関わるデータを整備してシミュレーションを実施した。

4．研究結果

4.1　水量モデルの選定

本研究では、総合的な流域管理という観点から日単位で計算可能なモデルを対象とした。

日単位で計算可能な水量モデルには、大別してタンクモデル代表される集中型モデルとメッシュ単位で計算を行う分布型モデルの２種類あるが、空間特性を直接表現できるのは後者の分布型モデルである。そこで、本研究では分布型モデルを採用するものとし、その中でも土地利用などの空間特性を既に含んでいる土木研究所水文研究室で以前開発されたモデル[1)]を選定した。

4.2　水温シミュレーションモデルの構築

上述の水量モデルを基本に、水温に関する水質モデルを構築し水量モデルに付加した。付加した水量モデルの概念図を図－１に示す。

このモデルでは、河道水温を熱収支式[2)]より算出し、流域タンクから流出してくる熱量については、以下のような仮定を設けて概算した。

・表層タンクからの流出水温　∝　気温

・不飽和帯タンクからの流出水温　＝　表層タンクと地下水タンクの平均水温

・地下水タンクからの流出水温　＝　地温（一定）

4.3　データの整備

4.5の実流域への適用では、今回兵庫県と大阪府にまたがる流域面積382.5km^{2}の淀川水系猪名川流域を対象とした。この猪名川流域に関して整備したデータの一覧を表－１に示す。標高や土地利用といった空間情報については、（財）日本地図センターが販売している国土数値情報を収集し、これを市販のＧＩＳであるArc/Infoに取り込んだ後、座標変換（経緯度座標系→直交座標系），メッシュ（1km，200m四方の２種類）の切り直し，土地利用などの項目の統廃合といった作業を行い、シミュレーションの入力データに適した形式に変換した。また、気象や流量などの観測情報については、県や気象庁、一庫ダム管理所などから収集し、テキストデータとして整備した。

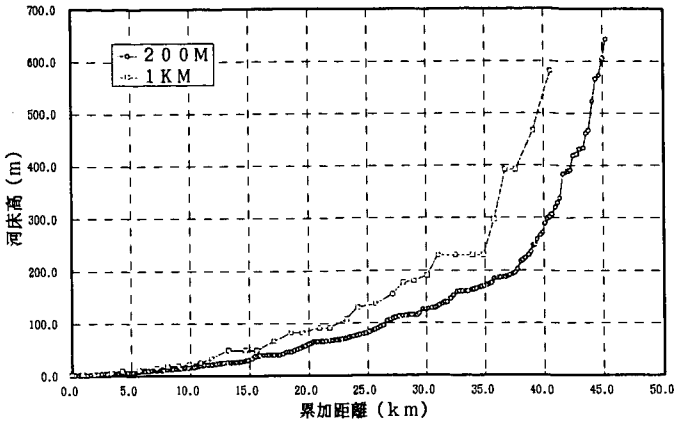
表－１　整備データ一覧

データ種別	データ項目	整備形態	オリジナルデータ
ＧＩＳデータ	流域界	ポリゴン	国土数値情報ファイル KS-273
	流路位置	ライン	〃 KS-272
	土地利用(平成元年)	メッシュ	〃 KS-202-1
	表層地質・土壌	メッシュ	〃 KS-156-1
	水文観測所	ポイント	〃 KS-272
	標高	メッシュ	数値地図５０ｍメッシュ（標高）
観測記録	降水量	テキスト	気象庁アメダスデータ
	その他気象	テキスト	一庫ダム管理所
	流量・水質	テキスト	市町村，建設省，ダム管理所

4.4　メッシュ規模の違いによる流域特性の変化

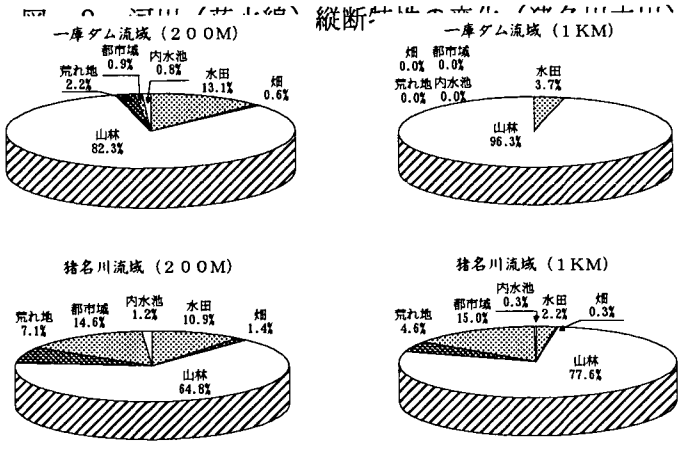
今回、猪名川流域の空間情報を1kmメッシュと200mメッシュの２種類のデータとして整備した。

本来、不定型な情報である土地利用や河道、流域界などを、定型なメッシュで表現する際には必ず誤差が生じるので、その誤差についてここでは検討した。



流域面積については「ダム年鑑1994（（財）日本ダム協会）」の記載値を一庫ダム流域の真値とし、土地利用については国土数値情報の100mメッシュデータから計数した値を真値とした。河道の縦断特性については真値のデータを収集していないので相対比較した。

流域面積については、当然ながらメッシュ規模が小さい程真値に近づき、1kmメッシュでは一庫ダム流域115.1km²に対して2.9km²（2.5%）の誤差があるが、200mメッシュでは真値と同じであった。。



図－3　土地利用比率の変化

猪名川本川の河川（落水線）縦断特性（図－2参照）についてもメッシュ規模が小さい程実河道に近づくようであり、200mメッシュに比べ、1kmメッシュでは河道が直線化して河道延長が4.7km（10.3%）短くなる。

土地利用比率（図－3参照）については、比率の小さい項目がメッシュ規模が大きくなることによって減少し、また集中せずバラバラに分布している項目も減少する傾向を示した。

4.5　実流域への適用

検証は、1kmメッシュ及び200mメッシュの2ケース行った。但し、モデルパラメータについては両ケースとも同一の値を使用している。検証対象期間は1993年～1994年の2カ年であり、検証地点は流量データの信頼性及び水温データの観測状況から一庫ダム地点及びその上流の千軒地点とした。

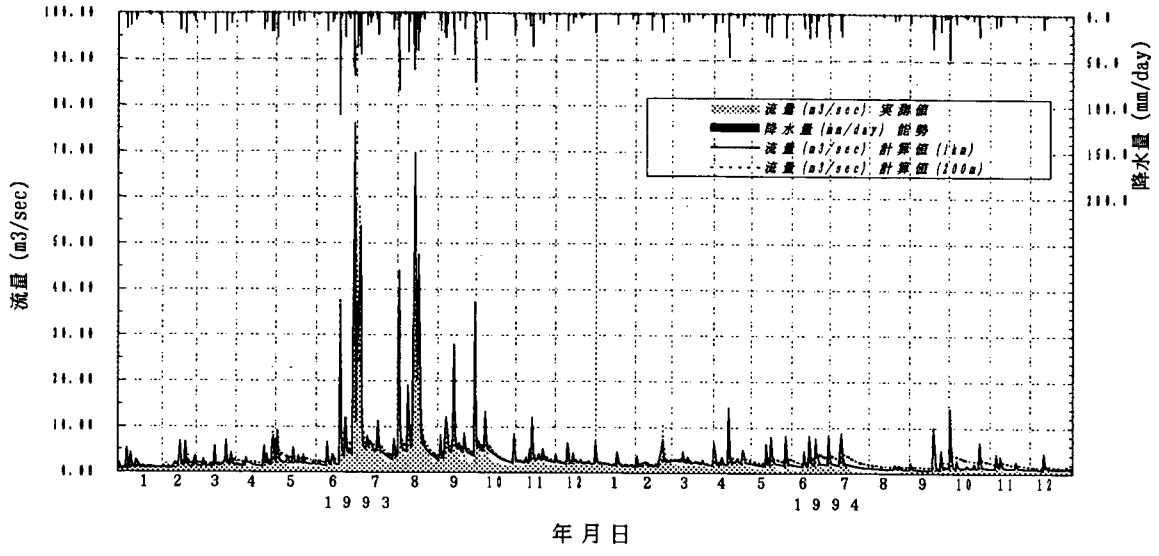
水量及び水温に関する計算結果を図－4～5に示す。

水量については、2ケースともほぼ実測値を再現していると言えるが、比較的低水時の一致度が低い。また1kmメッシュの場合は、200mメッシュの場合に比べて洪水時の流量が大きく、その後の低減も早い。これは4.4でも述べたように河道特性の変化が影響していると考えられる。

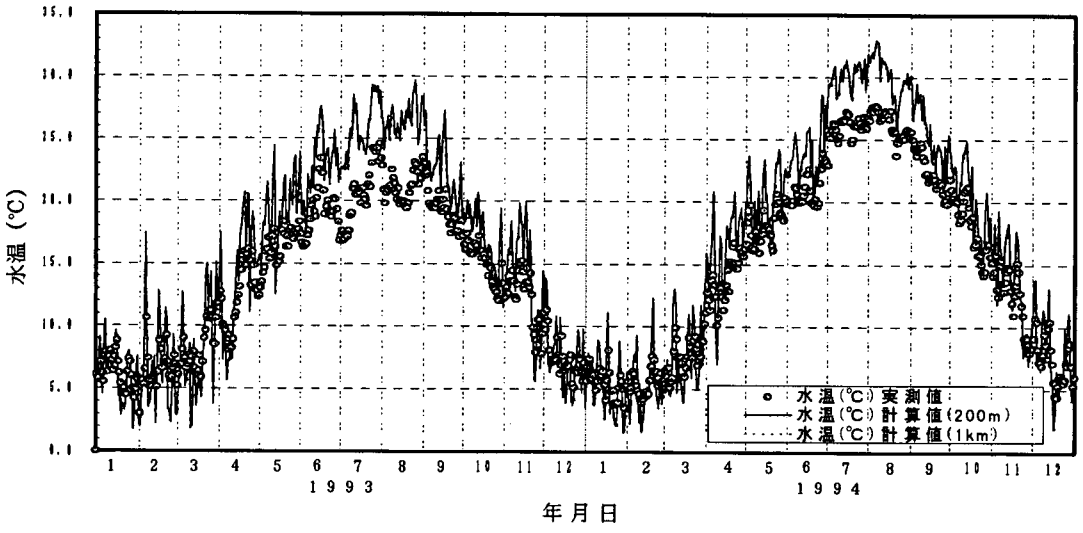
水温については、2ケースともほとんど違いが無く、夏期に実測値との差が明確になり、計算値の方が高くなっている。但し、傾向としてはほぼ実測値を再現していると考えられる。

5．結論

本研究では、既存の水量モデルに水質モデルとして水温モデルを追加し、実流域で検証した。水量はもちろんのこと、今回構築した水温に関してもほぼ実際の傾向を表現できた。しか、まだ精度等の面で満足出来るレベルにはなく、今後もパラメータの感度分析等を通して改良していく必要がある。



図－4　水量シミュレーション結果



図－5　水温シミュレーション結果

6．おわりに

本研究を行うにあたり、多大なるご指導、ご協力をいただいた環境計画研究室の丹羽薫室長、安陪主任研究員、杉盛重点研究支援協力員、ならびに研究室の皆様に深謝の意を表します。

＜参考文献＞

1）吉野文雄・吉谷純一・堀内輝亮；分布型流出モデルの開発と実流域への適用，土木技術資料第32巻第10号，平成２年10月

2）（社）土木学会；水理公式集－昭和60年版－

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８年１０月～平成９年３月）

研究室名　環境計画研究室

氏　名　須藤　晴夫

１．まえがき

建設省では、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５～８年度）の一環として、比較的安価なパソコンで動き、操作性・実用性に優れた景観シミュレーションシステム（LSS;Land Scape Simulationの略）の開発に取り組んできた。ここでは道路および街路の景観設計を対象としてシステムの適用性の検討を行い、実用化に向けての課題をとりまとめた。

２．景観設計におけるシミュレーションの適用

2.1 道路景観設計における視点移動に伴う景観の表示

１）道路上を移動するドライバーの視界の変化がどの程度表現できるかを検討するために、「ステレオ空中写真による自動標高抽出技術の開発」（建設技術評価・平成５～６年度）によって作成された地形データを用い、この上に道路位置を指定することによって自動的に法面を発生させた。

図－１は、この作成された道路の上に景観構成要素としての斜張橋とモニュメントとしてのランドマークタワー（３次元モデル）を合成したモデルである。尚、地形データの精度はパソコンの処理速度を考慮し、３０mﾒｯｼｭのポリゴン（最小２mﾒｯｼｭ）とした。

２）検討内容

①　地形データ上のランドマークタワー可視範囲解析結果の検討

②　道路走行中における車からのランドマークタワーへの視界の変化

③　道路走行中におけるドライバーから見た進行方向の視界の変化

３）検討結果

・図－２は、斜張橋を通過する車から見たランドマークタワーの視界の変化とランドマークタワーの全体像の何割が見えるかの可視範囲の解析結果である。地形図は左側が山間部のため起伏が大きく、右側は平野部のため緩やかになっている。解析結果からも、起伏の谷間となっているところは視界が遮られてランドマークタワーが見えないが、平野部は比較的視野が開けている。また道路上の法面部分が終わる斜張橋のところでは、視野が開けていることがよく確認できる。このような可視範囲の解析結果により、どの位置から見たアングルが適当かの目安となる。

・図－３は、ドライバーから見た進行方向の視界の変化を予測したもので、山並みや空を背景として発生させた道路法面からの圧迫感と道路上の斜張橋の景観変化の状態が窺える。

2.2 都市計画シミュレーションを利用した街並みへの部品の配置と視点移動に伴う景観の表示

1）図－4は、市街地生成機能を使って、都市計画条件の変更に伴う街並みの変化を自動発生させ、生成された街並みを景観シミュレーションシステムのＬＳＳのデータとして変換したモデルである。

2）検討内容

① 街並み（3次元データ）上へ、景観構成要素としての歩道橋、樹木、信号機などを配置

② 走行中のドライバーから見た、歩道橋、樹木の位置と視界の変化

3）検討結果

・図－5は街並みへの樹木などの部品配置について検討したものであるが、配置がパラメータ入力のために部品によっては難度の高いものがある。

・図－6は交差点近くの歩道橋を通過するドライバーから見た視界の変化である。これによりドライバーから見た歩道橋の位置は適切か、また標識等の表示は適当かどうかの判断の一助になる。

3．今後の展望について

3.1 システムとして改良を加える点

1）3次元データである道路上に景観構成要素（構造物）や景観材料を設定する際、パラメータ入力による設定のため、モデルの据え付けにある程度の慣れを必要としている。また、任意視点からの表示については上下左右と回転機能を持っているが、その視点移動幅が一定であり滑らかな移動ができない。将来的には、簡易的な入力方法（例えば、GUI:Graphical user interface）による操作も含め、移動幅を可変とすることが望ましい。

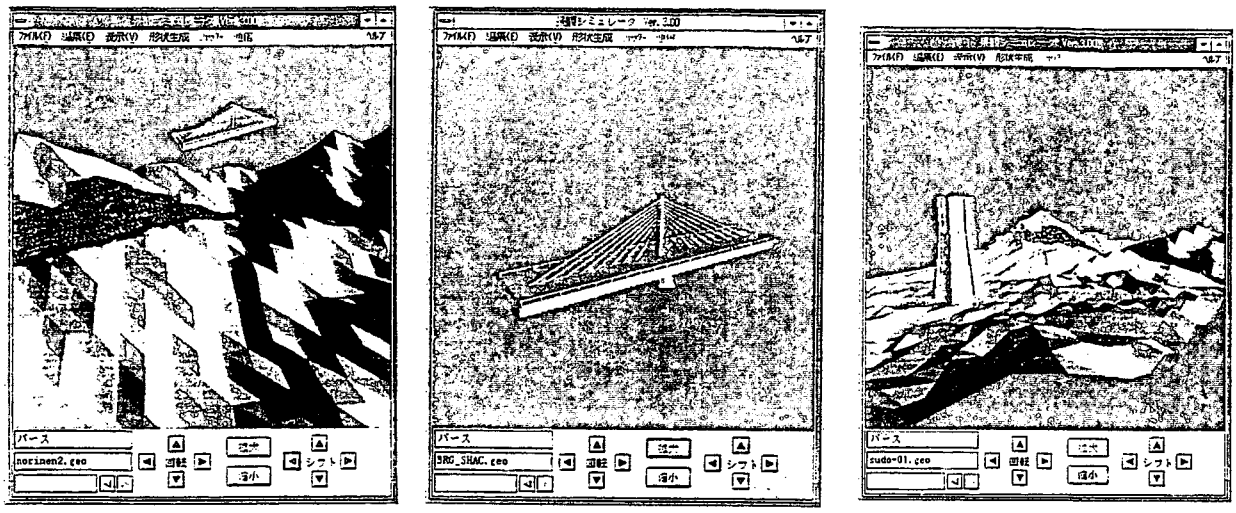
2）本システムの視点移動は1画面毎に計算を行い表示している。このため相当高速なコンピュータでなければ、十分な移動速度を得ることが困難である。今後、さらにパソコンの処理能力が上がると思うが、用途によっては画像圧縮技術の向上や、記憶メディアの容量の向上が期待できるので、1画面毎の計算結果を蓄え、動画(MPEG)として再生することにより実際の車の移動速度に見合った表現を行う手法も検討する必要がある。

3.2 今後の利用法

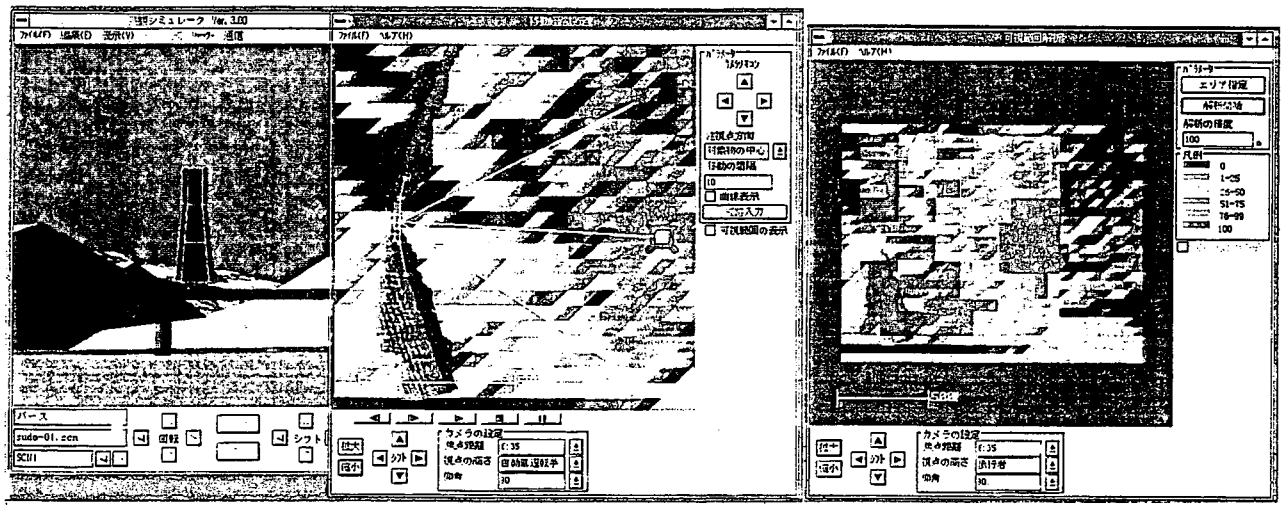
今後は3次元の標高データ（DEM：Digital elevation model）も多く普及するであろうし、パソコンでできる景観の検討システムとして利用し易くなる。本システムを使うことで道路や街並みの整備において、ドライバーから見た視界の変化を考慮した設計が可能となる。またシステムの改良もさることながら、実際の適用事例についてのデータベースを作り、参照できることが望ましい。

4．謝辞

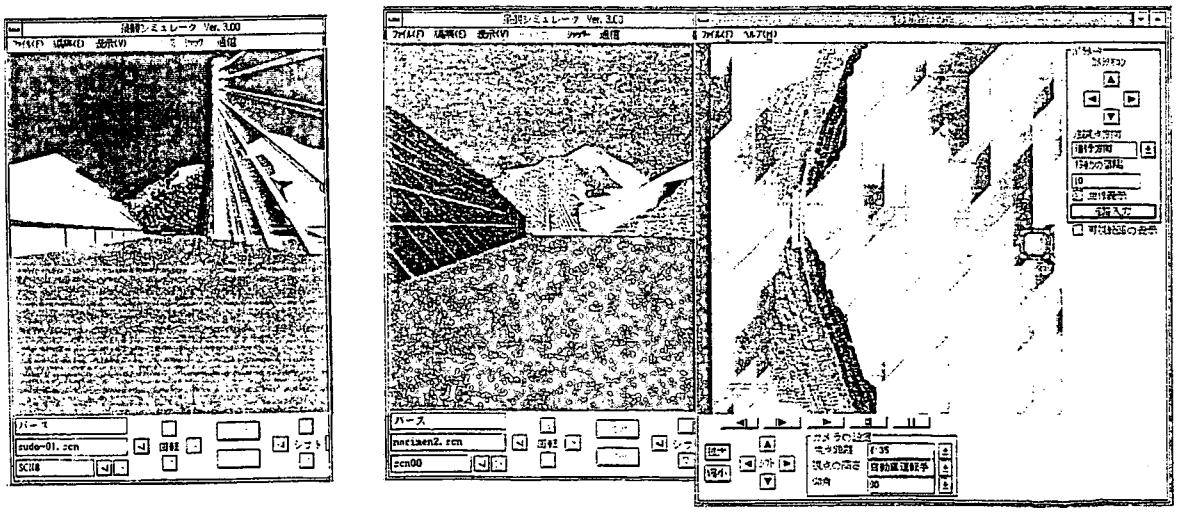
本研究を行うにあたり、環境計画研究室の丹羽薫室長、並河良治主任研究員、小栗ひとみ研究員をはじめ、環境計画研究室の皆様には多大なる御指導、御協力を頂きました。改めてここに感謝の意を表します。



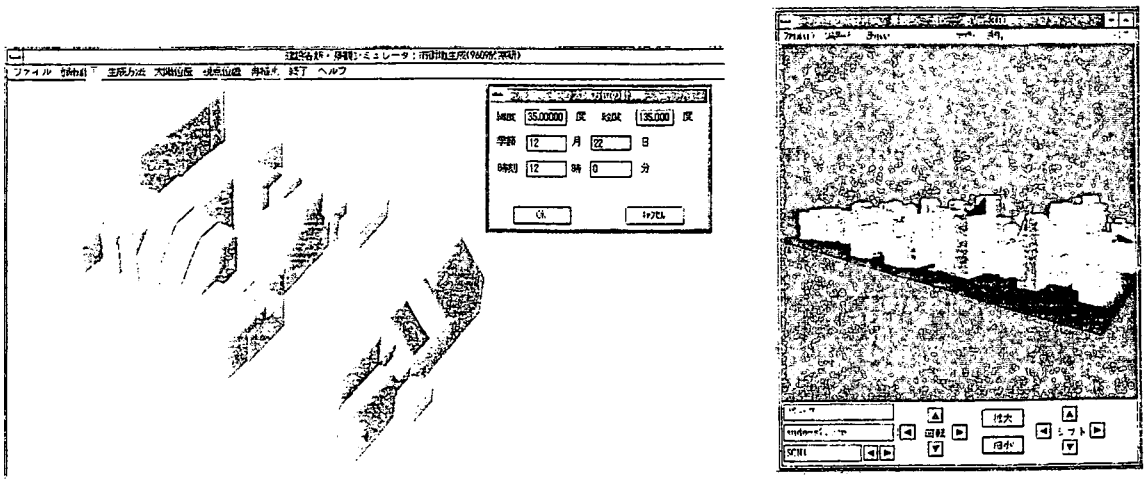
図－１　３次元地形データと斜張橋およびランドマークタワーの合成



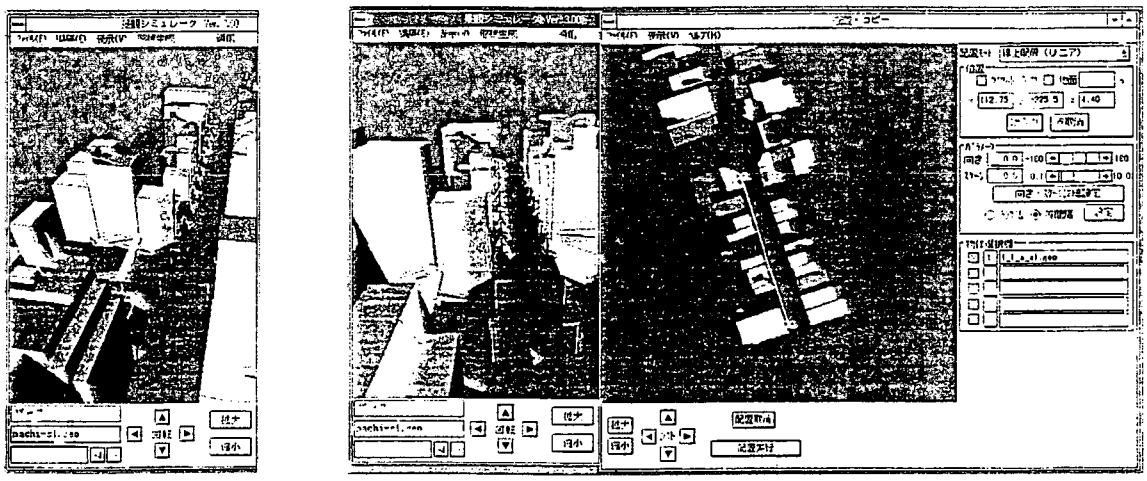
図－２　斜張橋からのランドマークタワーへの視界の変化と可視範囲の解析



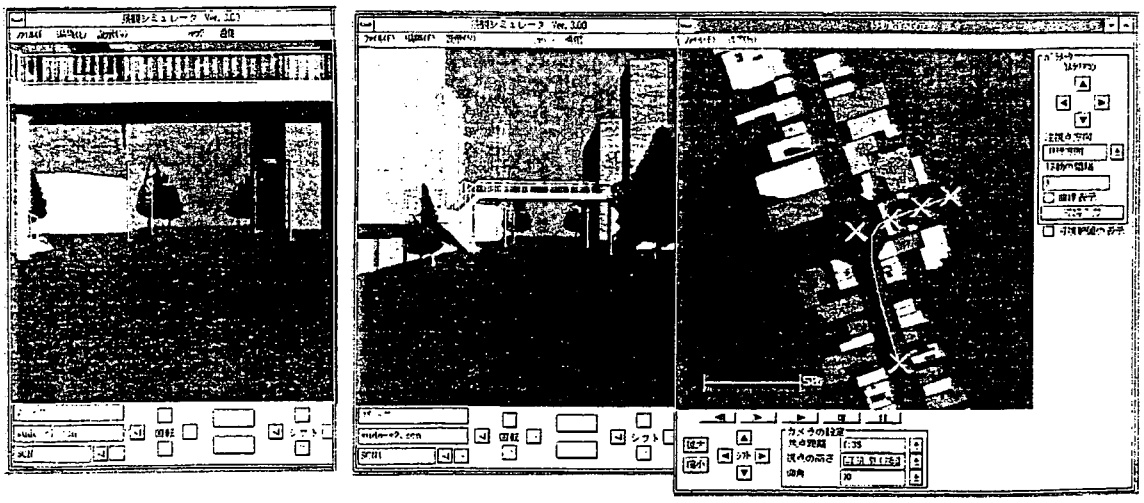
図－３　ドライバーから見た斜張橋と進行方向の視界の変化



図－4　都市計画シミュレーションにより発生した街並み（３次元データ）



図－5　街並み上への歩道橋、樹木、信号機などの配置



図－6　ドライバーから見た歩道橋と視界の変化

生態系を活用した水質浄化技術に関する調査

(指導期間　平成８年10月～平成９年３月)

研究室名　環境計画研究室

氏　　名　相　澤　　毅

1. まえがき

ある地域に生息する生物群集とその物理環境をまとめ，太陽エネルギーを駆動力とする一つの機能系を生態系というが，この系内の生物相を人為的に制御する環境改善技術が生態系制御である。近年，湖沼の環境保全対策においてもこの技術が注目され，生物の保有する生理的･生態的機能を利用し水質改善を図ろうとする試みが各国で進められている。

2. 研究目的

湖沼の富栄養化対策を考究するにあたり，地球環境保全という観点から，生物の機能を活用した対策手法の開発が求められている。本研究は，富栄養化対策，特に藻類抑制手法としての生態系制御技術確立を目的として，生物間の食物連鎖を利用した水域浄化技術の概況，及び浄化に有効な生物の機能的特性に関し検討を行った。

3. 技術概要

生態系における生物相の人為的制御による環境改善技術を生態系制御と呼ぶが，最近はバイオマニピュレーションBiomanipulationという言葉も頻繁に使われるようになった。この言葉は，Mossらがその論文の中で「藻類抑制のために，栄養塩削減だけでなくそれに代わる生物学的手法により生態系を再構築する一種の生物工学」と述べているように[1]，生態系制御の中でも，藻類抑制を主眼とした水域浄化技術である。

この技術には生態系構造から見て，水生植物利用等による栄養塩制御を目的としたボトムアップ法と，上位の捕食者から生態系構造を改変させるトップダウン法とがあるが(図-1)，現在，生物間の食物連鎖構造を利用した後者の手法に関する研究，及び導入の検討が各方面で進められている。

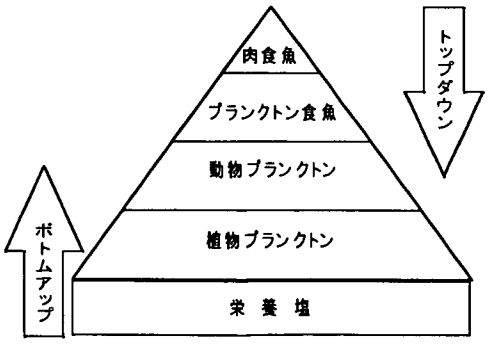


図-1　食物連鎖とﾊﾞｲｵﾏﾆﾋﾟｭﾚｰｼｮﾝ

4. 生物間の捕食作用による藻類抑制

藻類増殖抑制，及び直接除去を目的としたバイオマニピュレーションを構築するためには，対象とする湖沼の生態系を構成している要素同士の関係，特に生物間の食物連鎖を充分に考える必要がある。トップ

ダウン法のバイオマニピュレーションを行う上で鍵となる生物は藻類を直接捕食する一次消費者である動物プランクトン，特にミジンコ*Daphnia*等の枝角類Cladoceraである。大型枝角類等の増殖により湖沼の透明度が上昇したという現象は各地で観察されており，これはその捕食圧が藻類に加わった結果である。枝角類は胸脚の濾過肢毛で餌を濾し集めるが，肢毛間の長さが種により異なり，*Daphnia*, *Diaphanosoma*等は他の枝角類に比べこの距離が短く，餌の選択性が広い[1]。従って，摂食量の多さと相まって，藻類直接除去に有効である。

茨城県霞ヶ浦において，1985年夏期に汽水性甲殻類のイサザアミ*Neomysis intermedia*が大雨後の湖水塩分濃度低下により減少した結果，動物プランクトンがその捕食圧から解放され増殖し，クロロフィルaの低下が見られた。この時に多く見られたのが*Moina*や*Diaphanosoma*等の枝角類である。1986年にもイサザアミの現存量が少ない水域には*Daphnia*が多数存在し，4.0mという霞ヶ浦としては高い透明度を記録した[1]。

枝角類は餌密度により濾過肢毛面積を変化させるという機能を持ち，低密度状態だと肢毛面積を拡大させ摂食効率を上げることができる。又，魚類やフサカ*Chaoborus flavicans*等の捕食者から逃れるため季節的形態変化や日周鉛直移動を行い，更に低酸素濃度状態における耐性として血中ヘモグロビン含量を増産させるという能力も知られている。このような生理･生態的特性を持つ枝角類等の動物プランクトンを維持･管理するため，その直接の捕食者であるプランクトン食性魚等の二次消費者，更にその上位者である肉食魚を人為的に制御して藻類減少にまで及ぼしていく技術がトップダウンのバイオマニピュレーションである。

国内において，人為的な上位捕食者操作による動物プランクトンの管理例というものは，実験池･隔離水界の段階であるが，諸外国においては実際の湖沼における野外実験が行われている。ミネソタ州ラウンド湖では，薬剤投入によりプランクトン食魚を除去し，その後，オオクチバス*Micropterus salmoides*等肉食魚を放流することで大型枝角類を維持し透明度を回復させた[4]。この他にも，カワカマス*Esox lucius*, パーチ*Perca fluviatilis*等の肉食魚の放流や捕獲の禁止，又，プランクトン食魚の選択的漁獲等により，動物プランクトンの捕食者を削減するトップダウンのバイオマニピュレーション実験が欧米を中心に行われている。

5. 水域浄化に寄与する動物

バイオマニピュレーションの中心的役割を担う生物は動物プランクトン，中でも枝角類であるが，水域生態系には他にも様々な機能により，水質浄化に関与する生物が存在する。日本にバイオマニピュレーション技術を導入する際，肉食魚放流による大型枝角類維持というトップダウン法の他にも，このような生物を活用することも有効であると思われ検討を行った。以下に挙げる動物群は中でも代表的なものである。

これらの生物を積極的に活用した環境改善技術は確立されていないが，生態系構造における食物連鎖，及び物質循環を検証する上で，その機能的役割は把握しておく必要がある。

1) 淡水海綿 Freshwater Sponges

湖沼や河川等の淡水域に生息する海綿類を総称して淡水海綿と呼び，日本には23種が生息する。海

綿類は水中に浮遊する微生物や有機物を食物として取り込み，濾過した水を放出することによって生息環境の水質を浄化する機能があり，その濾過量は0.01-0.28ml/cm^3·s^{-1}といわれる[6]。ロシアのバイカル湖では，バイカルコカイメン*Lubomirskia baikalensis*が高密度に生息しており，この水域濾過作用が世界有数の透明度を保つのに寄与している。

2) 二枚貝類 Bivalvia

ヤマトシジミ*Corbicula japonica*等の二枚貝は水中に懸濁する有機物を濾過して摂食する懸濁物食性二枚貝である。成長したこれら二枚貝を水域から漁獲すれば有機物除去となり，島根県の宍道湖では窒素換算で流入負荷の15%がヤマトシジミの漁獲により湖外に除去されている[9]。又，鳥取県の中海では漁獲対象外のホトトギスガイ*Musculus senhousia*が高密度に生息しており夏期の高水温期に死亡するため，本来ならば栄養塩回帰が起こるが，キンクロハジロ*Aythya fuligula*，スズガモ*A.marila*等の鴨類が冬季に渡来しこの二枚貝を捕食する。従って，これら鴨類は貧酸素化が生じにくい冬季にホトトギスガイを捕食することで夏期の水質悪化を軽減する機能を果たしているといえる[9]。

3) ワムシ類 Rotifers

環境計画研究室が動物プランクトンを定常的に増殖する施設として人工生態礁を考案したが，その現地実験において，ワムシ類の一種であるツボワムシ*Brachionus calyciflorus*が優占した時期に，クロロフィルａの低下が見られた[9]。ツボワムシは，ワムシ類の中では被甲長300-500μmと大型であり，その藻類摂取量の多さとともに藍藻の毒素に対しても強い耐性を持つといわれている[9]。又，捕食者に対する防御として季節により被甲前縁の刺状突起，及び側突起，後突起を伸長させることも知られている。

4) ユスリカ類幼虫 Chironomids

ユスリカ類幼虫の中にはエリトロクルオリンというヘモグリンによく似た血色素を有す種が存在し，水中に溶存している僅かな酸素を効率的に吸収することができる[10]。又，湖底の酸素が少なくなる夏期に底泥に潜入し夏眠状態で過ごす種も知られている。これらの機能は，有機物分解が多量に起こり低酸素状態となった夏期における湖沼の底層中でも生存可能な適応と考えられる。

ユスリカ類幼虫は水底の腐食物を摂食し，糞はバクテリアが分解しやすい形に変える働きを持ち，又，羽化し水域外へと飛び立つため，水域の有機物除去という面でも重要な働きをしている。

5) 植物プランクトン食魚 Herbivorous Fishes

藻類を選択摂餌する魚類として，日本ではハクレン*Hypophthalmichthys molitrix*，ゲンゴロウブナ*Carassius cuvieri*が知られている。ハクレンは明治以降，食料事情好転を目的に中国大陸から移殖され各地に放流されているが，その産卵生態のため自然繁殖しているのは利根川水系のみといわれている。ハクレンは*Microcystis*等のアオコも摂取し，その藻類摂取量は一日に湿重量で体重の約2倍量であることが知られている[11]。ゲンゴロウブナは琵琶湖原産であるが，品種改良されたカワチブナ(ヘラブナ)が各地に移殖放流されている。これら2種の鰓耙は他の魚種に比べ間隔が狭く，特にハクレンの鰓耙は癒合し藻類摂取に適した形態となっている。

6. 結　論

湖内水質保全対策としてバイオマニピュレーション技術が注目されているが，これには近年の環境問題に対する関心の高まりという背景のもと，自然本来の保有している浄化機能の応用という面に加え，物理・化学的手法に比べ費用面においても有用と考えられたためである。但し，生態系における生物群間の被食-捕食関係は複雑であり，人為的な生物相コントロールが一見成功したように見えても，効果が継続せず，再び水質が悪化したという例も報告されている。又，トップダウンのバイオマニピュレーションを日本に導入した場合，日本の湖沼生態系には在来の肉食魚種が少なく，外来肉食魚の放流が各地で問題となっているように，固有の生態系を破壊し漁業生産上有用な魚種を減少させる可能性も挙げられる。

この技術導入に際しては，対象水域の生態系構造，在来固有種への影響を充分に把握し，前述した浄化に有用な生物群の効果的活用をも考慮した上で実施する必要があると思われる。

7. 謝　辞

本研究を行うに際し，御指導，御助言を賜った環境計画研究室の丹羽薫室長，福渡隆研究員，田中康泰技官，李建華重点研究支援協力員，ならびに同研究室の方々に深謝の意を表する。

〈参考文献〉

1) Moss B.,Stansfield J.& Irvine K. : Development of Daphnid communities in diatom- and cyanophite-dominated lakes and their relevance to lake restoration by biomanipulation. Journal of Applied Ecology,28(2),586-602,1991.

2) Geller W.,Muller H. : The filtration apparatus of Cladocera:filter mesh-size and their implications on food selectivity. Oecologia,49(3),316-321,1981.

3) 春日清一：湖沼の動物相管理による水質保全．公害と対策,23(9),35-41,1987.

4) Shapiro J.,Wright D.I. : Lake restoration by biomanipulation:Round Lake,Minnesota, the first two years. Freshwater Biology, 14(4),371-383.1984.

5) 渡辺洋子："トウナス畑" 出現の謎．週間朝日百科 動物たちの地球,2(1),12-15,1992.

6) 山室真澄：食物連鎖を利用した水質浄化技術．化学工学,58(3),217-220,1994.

7) 山室真澄："意外な陰の立役者" 貝や水鳥の水質浄化機能．かんきょう,22(1),40-41,1997.

8) 丹羽薫,高橋健夫,久保徳彦，福渡隆：生態系を活用した湖沼の直接浄化の試み．第30回日本水環境学会年会講演集,215,1996.

9) 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，50(1),53-67,1989.

10) 北川禮澄 著：川と湖の博物館 11ユスリカ．102-103,1994.山海堂.

11) 川合禎次,川那部浩哉,水野信彦 編：日本の淡水生物．79-86,1980.東海大学出版会.

環境の総合的な評価技術に関する研究

（指導期間　平成８年１０月～平成９年３月）

研究室名　環境計画研究室

氏　　名　畑　原　隆　司

１．まえがき

近年、社会資本整備に対する国民ニーズの多様化や間近に迫った高齢化社会を控え、事業効果を適切に把握し効率的な社会資本を整備していくことが要求されている。

その状況下、第十一次道路整備５ヶ年計画では、「良好な環境創造のための道路整備の推進」が一つの柱となっており、沿道環境の保全技術の一つとして環境施設帯が位置づけられている。環境施設帯の設置目的は、良好な住居環境を保全する必要がある地域を通る４車線以上の幹線道路について、車道端から幅10ｍ（20ｍ）の土地を道路用地とし、道路公害（騒音、振動及び排出ガス）の距離減衰や植樹帯による景観向上を図ることである。

しかし、環境という非市場財を含む公共事業の投資効果を正確に把握する手法は現在確立されておらず、これら、環境向上を目的とした事業の投資効果の定量的把握手法の調査・研究が待たれている。

２．研究目的

本研究は、環境施設帯の経済価値をＣＶＭ（仮想金銭化法）により評価し、事業の投資効果の局地性について検討を行ったうえで、事業の便益集計手法の研究に取り組んだものである。

３．研究方法

調査対象は宮崎県宮崎市の一般住民とし、被験者の住宅が土地区画整理事業の対象になったと仮定し、環境施設帯設置のための土地の供出（一戸建て）、床面積の減少（分譲ﾏﾝｼｮﾝ）、家賃の上昇（賃貸住宅）の許容最大値（最大支払い意志額、以下ＷＴＰと呼ぶ）を付け値法により面接調査した。また、被験者の立地条件、世帯属性条件、環境意識度も同時に調査した。

以上で得られた個々のＷＴＰについて、環境意識度との整合性チェックを行ったうえで、地域区分別（賑やかな地域、閑静な地域）および住宅区分別（一戸建て、分譲ﾏﾝｼｮﾝ、賃貸住宅）の平均ＷＴＰを算出し、さらに、距離区分別に集計したＷＴＰと幹線道路までの距離の関係を示したうえで、環境施設帯の投資効果の局地性の要因分析を多変量解析により行った。

なお、敷地やﾏﾝｼｮﾝ専有面積の単価は、平成９年１月現在の宮崎市の住宅情報誌のデータを集計して求め、以下の数値を用いて貨幣換算を行った。

一戸建て：23.4万／坪(7.1万／m^2)、分譲ﾏﾝｼｮﾝ：22.9万／m^2

4．研究結果

4.1　WTPの集計結果

表―1に地域区分別、住宅区分別の平均WTPを示した。

次に、個々のWTPは、その世帯を代表するデータであり、敷地面積や家族数の影響を受けた値である。

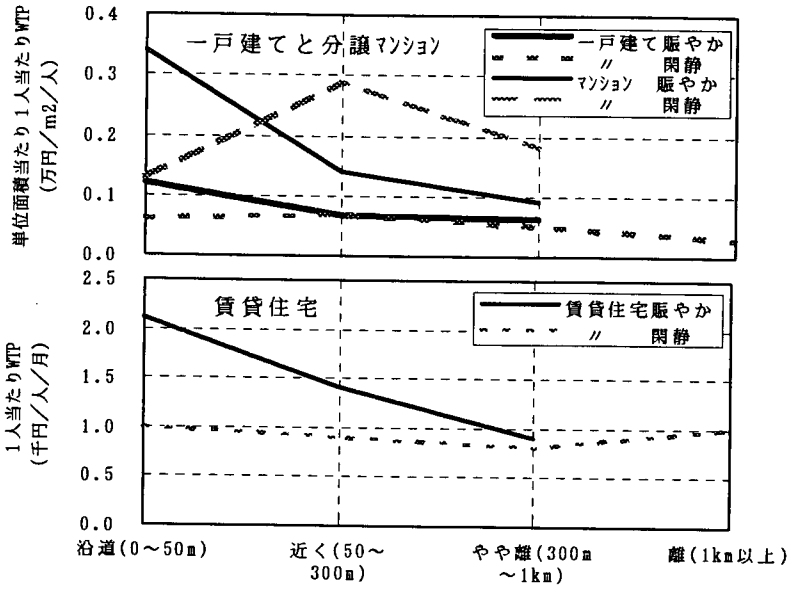
よって、世帯データとして標準化した[WTP／m²／人]を距離区分別に集計し、図―1に示した。

標準化した結果、賑やかな地域は距離減衰傾向が認められ、一方、閑静な地域はﾏﾝｼｮﾝ以外は概ね緩やかな距離減衰傾向が認められた。

表―1　世帯当たりの最大支払い意志額（WTP）

	一戸建て（万円/世帯）	分譲ﾏﾝｼｮﾝ（万円/世帯）	賃貸住宅（千円/世帯/月）
賑やかな地域	32.8　(68)	28.0　(56)	2.8　(70)
閑静な地域	30.6　(79)	26.9　(45)	2.6　(103)
合　計	31.6　(147)	27.5　(101)	2.7　(173)

注：（ ）数値はデータ数



図―1　投資効果の距離減衰傾向の検討

4.2　判別分析

WTPは、立地条件・環境意識度・過去の経験等の環境変数の総合的な影響を反映したものと考えられ、これらを説明変数として距離減衰傾向の要因を分析する多変量解析を一戸建て住宅について行った。

まずは、費用を負担してまで環境施設帯を設置することの了承・拒否に対する判別分析を行った。

判別分析の的中率は約7割であり、距離変数の判別係数から、距離が増加するに従い拒否する度合いが増加しており、これはWTPの距離減衰を説明するものである。

また、判断基準として有意な変数と考えられるのは、沿道環境経験（利用頻度、住居・散歩経験）、環境保全意識度（自然観賞旅行回数）が挙げられる。

表―2　判別分析結果

変数名	判別係数	了承　拒否
地域区分	0.3616	
距離（沿 0-50m）	0.0000	
〃（近 50-300m）	-0.0163	
〃（やや離 300m-1km）	-0.1264	
〃（離 1km以上）	-1.6532	
面積（40坪未満）	0.0000	
〃（40-70坪）	1.2358	
〃（70-100坪）	1.1042	
環境施設帯需要度	-0.1648	
性別	-0.1369	
年齢（45歳未満）	0.0000	
〃（45-54歳）	0.5122	
〃（55-64歳）	-0.7910	
〃（64歳以上）	0.0629	
年収（400万未満）	0.0000	
〃（400-600万）	1.0800	
〃（600-800万）	0.5188	
〃（800万以上）	-0.1086	
幹線利用頻度	0.6773	
住居経験	1.0043	
散歩経験	1.1672	
地域清掃	0.3467	
自然観賞旅行（0回）	0.0000	
〃（1回）	-0.0052	
〃（2回）	0.9564	
〃（3回以上）	0.9577	
定数項	-2.5572	
判別的中率	72.8%	

注：判別係数が正なら了承、負なら拒否

4.3 WTPの重回帰分析

次に了承した世帯の個々のWTPの要因を分析をするため、重回帰分析を行った。

重回帰モデルの適合度は、賑やかな地域の決定係数は0.74と高いが、閑静な地域の決定係数は0.51と多少低く、有意な変数も環境施設帯に期待する改善項目と年齢のみである。

説明変数の偏回帰係数からは、次の特徴が読みとれる。

①賑やかな地域では、年齢や環境施設帯需要度が、予想される理論的な符号条件や係数の大小関係を満足している。

②環境の良い道路を車で走行した経験がWTPに大きく寄与している。

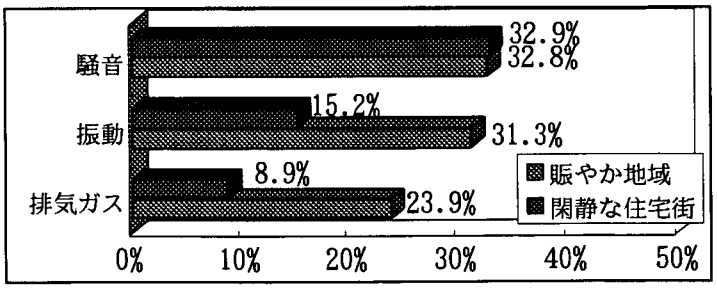
③両地域とも距離変数は距離減衰を示す符号条件や係数の大小関係を満足せず、個々のWTPの大きさと距離との関係は認められない。

①に関して、閑静な地域で需要意識や経験が有意な変数にならなかったのは賑やかな地域に比べ公害を受ける機会が少ないためと考えられる。また、改善希望項目の構成比率から、閑静な住宅街では排気ガスや景観向上の期待度が賑やかな地域より高く、実害軽減より環境向上に期待していると考えられる。

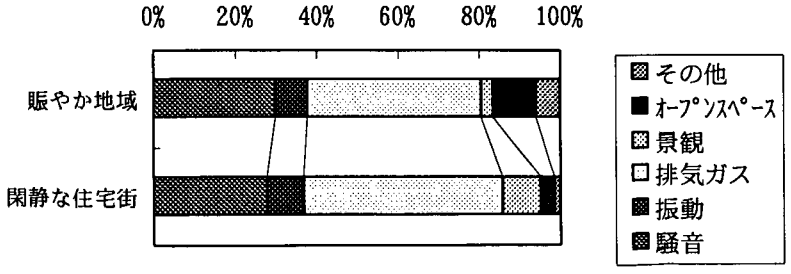
表—3 重回帰分析結果

変数名	賑やかな地域			閑静な地域		
	標準偏回帰係数	T 値	判定	標準偏回帰係数	T 値	判定
距離(沿0-50m)	0.0000	-		0.0000	-	
〃 (近50-300m)	-0.5237	4.8706	**	-0.1483	1.5749	
〃 (やや離300m-1km)	-0.0537	0.4844		-0.0636	0.8109	
〃 (離1km以上)	-	-		-0.0046	0.0276	
敷地面積(坪)	-0.0484	0.4058		-	-	
環境施設帯需要(大)	0.0000	-		0.0000	-	
〃 (中)	0.0441	0.4422		0.2922	1.9148	
〃 (無)	-0.5246	5.3442	**	-0.1362	0.9700	
改善項目騒音	-0.6305	4.4551	**	0.0176	0.0672	
〃 振動	-0.7255	5.7222	**	0.7740	3.4968	**
〃 排気ガス	-0.8305	5.3718	**	-0.1182	0.4768	
〃 景観・オープンスペース						
利用負担(住宅の近く)	0.3600	3.7625	**	-	-	
年齢(45歳未満)	0.0000	-		0.0000	-	
〃 (45-54歳)	0.8453	7.3964	**	0.4672	2.3288	*
〃 (55-64歳)	0.7814	6.5677	**	0.2217	1.2331	
〃 (64歳以上)	1.2111	8.6912	**	-0.2055	1.0155	
年収(400万未満)	0.0000	-		-	-	
〃 (400-600万)	0.2174	1.8828		-	-	
〃 (600-800万)	0.1111	1.1313		-	-	
〃 (800万以上)	-0.3446	3.3769	**	-	-	
騒音経験ダミー	-0.2496	2.1378	*	-	-	
振動経験ダミー	0.3871	3.4520	**	-	-	
散歩経験	-0.7092	5.0995	**	-	-	
車走行経験	1.0271	8.0564	**	-	-	
牛乳パックリサイクル	0.3667	4.0313	**	-	-	
定数項		2.0169			0.4664	
修正済決定係数	0.7772			0.5121		
修正済重相関係数	0.8816			0.7156		

＊＊：1%有意、＊：5%有意



図—2 沿道公害経験ありと答えた人の割合



図—3 環境施設帯に対する改善希望項目の構成率

5．結　論

本ＣＶＭ調査から、一戸建て、分譲ﾏﾝｼｮﾝの１世帯当たりの平均最大支払い意志額（ＷＴＰ）は２７万円から３３万円程度、賃貸住宅は約３千円／月（割引率3%,10年で約32万円）の家賃の上昇まで許容する結果を得た。また、ＷＴＰを敷地面積と家族数で除し標準化した、単位面積当り１人当りＷＴＰ：ＮＷＴＰ(Nomalized Willing To Pay、単位はＷＴＰ／m^2／人)と幹線道路までの距離の関係から、ＮＷＴＰは概ね距離減衰傾向を示すことが認められた。これは、環境施設帯という比較的身近な環境向上施設では、事業の投資効果が局地性を示すことを表している。

次に、個々のＷＴＰの大きさを決定する有意な環境変数を知ることや、投資効果(ここでは経済価値)の距離減衰傾向の要因を分析することは、投資効果を高める上で重要なことであり、本研究ではＣＶＭ調査と同時に行った立地条件、世帯属性条件、環境意識度の調査データを説明変数とする多変量解析を行った。

その結果、ＮＷＴＰの距離減衰傾向は、費用を負担してまで環境施設帯を設置することへの拒否が、距離増に伴い増加することが主な要因であり、一方、ＷＴＰの額そのもの（有額回答者のみ）と距離との関連は小さいという結果を得た。

また、賑やかな地域の住民のＷＴＰ（有額回答者のみ）については、環境施設帯の需要意識・過去の沿道における経験・年齢が、ＷＴＰの大きさ決定に有意に働いていることが判明した。しかし、閑静な地域の住民のＷＴＰ（有額回答者のみ）については、今回選定した環境変数から有意なものは見いだせなかった。その理由として、閑静な地域では道路からの公害を受ける頻度が低いため、過去の沿道における経験等は有意な変数となり得なかったこと、および環境施設帯への要求が実害軽減よりも環境の向上を期待しているためと考えられる。（排気ガス対策や景観性の向上の需要が大きい）

以上から、便益集計範囲は環境施設帯設置に対する拒否率を調査することで特定可能となり、その範囲について、個々のＷＴＰの集計または重回帰モデルからの推算値を集計することで総合便益の計量化が可能になると考える。

6．今後の課題

今後、便益集計の実証研究を行うためには、以下の点を改良する必要があると考える。

①幹線道路までの距離区分や地域区分（用途地域区分等）の客観データ化

②過去に土地区画整理対象となった経験有無の調査

③道路からの公害経験や環境改善意識の調査の５段階程度の評価区分

7．おわりに

本研究を行うにあたり、多大なるご指導、ご協力をいただいた環境計画研究室の丹羽薫室長、並河主任研究員、ならびに研究室の皆様に深謝の意を表します。

＜参考文献＞

1）竹林征三；実務者のための建設環境技術、P348-360、1995年、山海堂

2）安田五郎他;環境の経済評価手法について―仮想金銭化と戦略的バイアスへの対応―、土木技術資料36-12,1994

環境の総合的な評価技術に関する調査

（指導期間　平成９年４月１日～平成９年９月３０日）

研究室名　環境計画研究室
氏　　名　畑原　隆司

１．はじめに

近年、公共事業実施過程における透明性を確保し、より効率的な社会資本整備を実施していくために費用効果分析の実施が従来以上に重要度を増している。そして、その分析に不可欠な環境質の変化を貨幣タームで評価する手法として、ヘドニック法やＣＶＭ(仮想金銭化法)[脚注1)]等の研究開発が進められている。特に、汎用性に優れるＣＶＭは、理論・実証面での研究がかなり進んできている[1)]。

本研究は環境質を向上させた歩道整備の便益を経済的に評価することを目的としている。昨年度は沿道の道路公害軽減及び環境向上（景観向上・オープンスペースの確保）が期待できる環境施設帯を対象とした[2)]のに対し、今年度は歩道の景観向上を対象としたＣＶＭ調査を試みたものである。

２．研究方法

本ＣＶＭ調査は、アンケート調査を受ける被験者の住宅から最寄りの幹線道路（４車線以上）の歩道に、植栽、舗装及び照明について景観整備を行う計画があると仮定し、その整備費用の負担として被験者が許容する最大支払い意志額（以下、ＷＴＰと呼ぶ）を反復付け値法[脚注2)]により測定した。また、被験者の世帯属性及び歩道整備意識についても同時にアンケート調査を行った。

調査は表―１の５ケース実施し、歩道景観整備の効果の経済評価を行うとともに、景観整備内容の違いによるＷＴＰの感度分析及び支払い形態の違いによるバイアス調査を行った。これらの調査結果を踏まえ、ＣＶＭシナリオの支払い方法の設定について考察を加えた。

表―１　調査ケース一覧表

研究テーマ	ケース	調査条件の変更内容
テーマ１ 歩道景観整備内容の違いによるＷＴＰの感度分析	①案1	ゆらぎ理論を用いた景観整備
	②案2	整備費用が安価な景観整備
	③案3	整備費用が高価な景観整備
テーマ２ 支払い形態のうち、支払い回数のバイアス調査	④一括支払い案	支払いを１回限り
	⑤１年間毎月案	支払いを１年間毎月
	⑥３年間毎月案	支払いを３年間毎月

注１）テーマ１では、支払い回数は１年間毎月を採用した。
注２）テーマ２では、景観整備内容はゆらぎ案を採用した。
注３）①⑤は同一ケース

３．アンケート調査

３．１　調査概要

調査は平成９年12月20日から平成10年１月14日にかけて、ゆらぎ理論[脚注3)]を導入した歩道整備計

脚注１）アンケート等で評価対象財の質・量を被験者に説明したうえで、その財の質・量を向上させるために費用を支払ってもよいと考える最大支払い意志額(WTP:Willingness To Pay) を評価対象財の価値として計測する手法

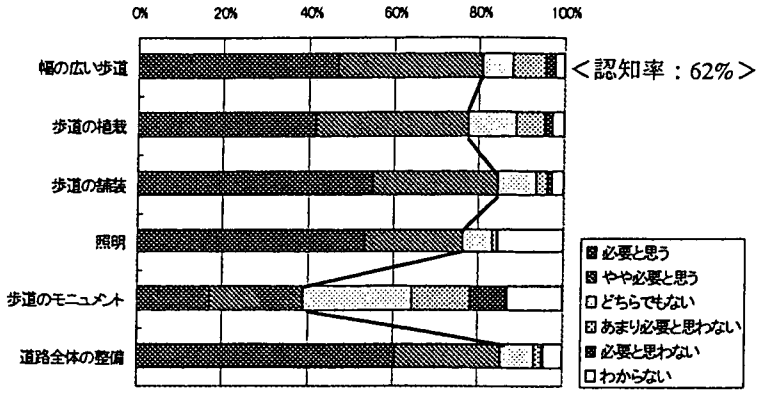
脚注2）本調査では最初に支払い意志額として3000円を提示し、それが了承の場合1000円ずつ増加させ、拒否されたら拒否値-500円を再提示し、了承されたらその額を、拒否されたら了承最大額をＷＴＰとした。3000円が拒否の場合1000円ずつ減少させ、了承されたら了承値+500円を再提示し、了承されたらその額を、拒否されたら了承最大額をＷＴＰとした。

脚注３）人が特にやすらぎ、落ち着きを感じる「1/fゆらぎ」のリズムを持った、植栽配置、カラー舗装の模様及び照明塔の形状等による歩道の景観整備案

画のケーススタディ地域としている福岡県福岡市の一般住民を対象とし、調査員が被験者宅を訪れる訪問面接方式で行った。サンプリングは各ケースとも必要被験者世帯数を５０世帯とし、３軒おきに被験者宅を訪問するエリアサンプリングを採用した。なお、グループ間における個人属性等比率の差の統計的検定を行った結果、その差は認められなかった。

３．２　歩道整備の意識調査結果

福岡市内において広幅員歩道、植栽、カラー舗装及びデザイン化された歩道照明等が施されている大博通りを例に取り、図―１の６項目について質問し、高規格歩道の整備需要度を調査した。なお、大博通り未認知の38％の被験者には大博通りの写真を提示した。



図―１　大博通りのような高規格歩道の整備需要度

その結果、モニュメント以外の整備項目に対し、約８割の被験者が整備の必要性を感じていることが判明した。

３．３　ＣＶＭの調査実施手順

本ＣＶＭ調査の手順は次の通りである。なお、ＣＧは福岡市内の国道３号線の現状写真をベースとし、植栽、カラー舗装及びデザイン化した照明を画像合成により作成した。

①　整備前後のＣＧ（論文末に添付）の提示及び調査員によるシナリオの読み上げ

②　口頭による整備案に対する了承・拒否の質問

③-1　了承者には反復付け値法によるＷＴＰの聞き取り

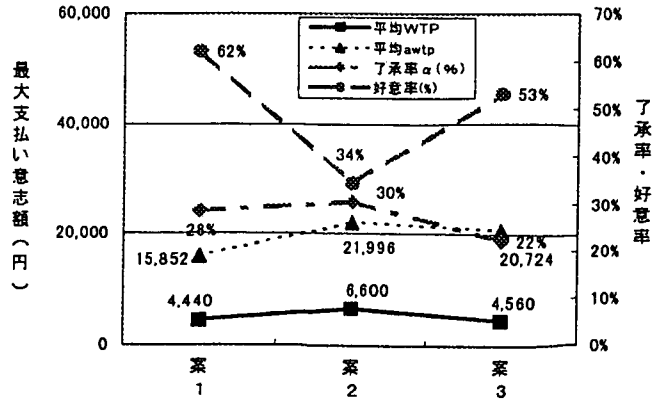
③-2　拒否者には、拒否理由選択資料を提示し、多重回答と自由記述による拒否理由回答

３．４．　ＣＶＭの調査結果

景観整備案に了承する世帯の割合(以下、了承率αと呼ぶ)、拒否者のＷＴＰ=0円とした平均ＷＴＰ及び了承世帯だけの平均ＷＴＰ(以下、awtp:Agreement Wilingness TO Payと呼ぶ）の３つの集計値を評価項目とし、グループ間の差をグラフにより比較するとともに、分布形状を問わないウィルコクスン順位和検定(p:95%)による統計的差の検定を実施した。なお、ＷＴＰとawtpはともに支払い総額である。

（１）景観整備内容の差による感度分析

図―２からわかるように了承率、平均ＷＴＰ及び平均 awtpとも整備内容の違いによる差は認められない。また、差の検定でも差は認められなかった。一方、好意度（整備案の好き・嫌い）は了承率等に比べ大き



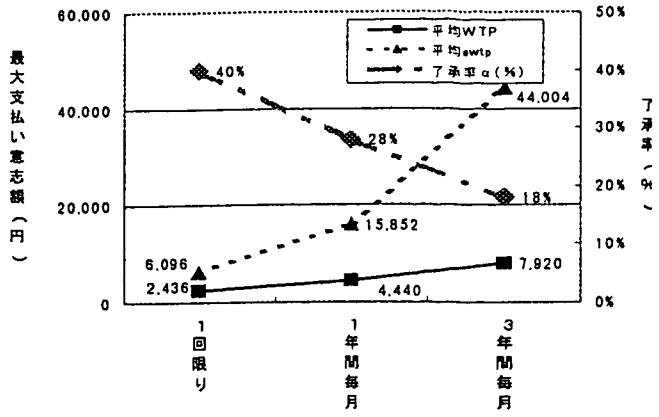
図―２　景観整備内容の差による感度分析結果

な変化が認められた。

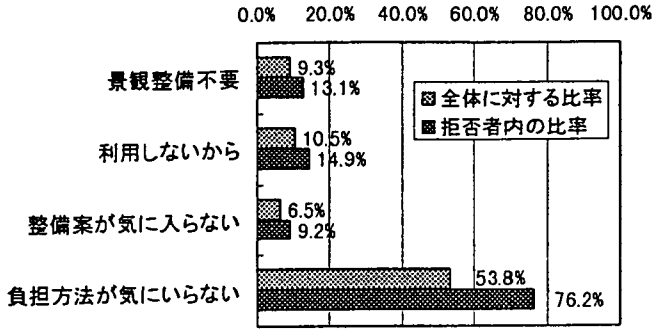
（２）支払い回数のバイアス調査

支払い形態がＣＶＭの結果に与える影響に関し、Mitchell and Carson[3]が支払い形態は、ＷＴＰに大きな影響を与えることを明らかにしている。本研究では、１回限り、一年間毎月及び３年間毎月の３ケースについて支払い回数のバイアス調査を行った。

了承率は、図―３に示したように支払い回数が増加するに従い減少している。さらに、比率の差の検定では、１回限りと１年間毎月及び１回限りと３年間毎月の間で有意な差が認められた。平均ＷＴＰ及び平均awtpは、了承率とは逆に支払い回数が増加するに従い上昇している。平均値の差の検定でも両者とも有意な差が認められた。



図―３　支払い回数のバイアス調査結果



図―４　拒否理由の比率

（３）　ＣＶＭシナリオの評価

本評価対象は、利用価値が便益の殆どを占める身近な環境向上であり、便益享受者が支払う点及び「どこの道路に自分の支払ったお金が使われるか」という支払対象が明確に示せる点で利用者負担の支払い形式が妥当と考えた。しかし、自治会が直接各世帯の支払い了承額を徴収するというシナリオを設定したところ、支払い了承率は２～４割と低い結果となった。その理由は図―４に示したように、全サンプルの54%が「負担方法が気に入らない」を支払い拒否理由として挙げており、利用者負担というこれまでと違った制度を前提とした問い方が、被験者に違和感をもたらしたためと考えられる。

（４）　本調査におけるＷＴＰの解釈

支払い形態に関するＷＴＰの解釈は、岩崎、林山[4]が整理している。彼らは、評価対象財の重要性(経済価値の大きさのみに着目)を評価する場合は追加負担案（ここでいう利用者負担）によるＷＴＰの平均値を用い、政策判断に用いる場合は実際の支払い形態に準じた税金捻出方式の中央値を採用すべきと提案している。本研究におけるＷＴＰは、自分が直接享受する快適性向上のため、従来の支払い習慣にこだわらず自分の損得勘定で意志決定した消費者余剰値と解釈できる。

４．まとめ

歩道の景観整備という身近な環境質の向上についての便益計測を福岡県福岡市にてＣＶＭを用いて実施した。その結果、次のことが明らかになった。

（１）景観整備に対する１世帯当たり平均最大支払い意志額は総額で4,500円から6,500円程度（支

払い回数：１年間毎月）の結果を得た。

（２）整備内容の差に対する評価の違いは、好き・嫌いなどの評価に比べ鈍感な反応となっている。図―２では、好意率の高いゆらぎ案よりも好意率の低い費用が安価な整備に対するＷＴＰの方が大きくなるなど、好感が持てることとお金を支払うことがリンクしていないことが示唆されている。

（３）支払い回数バイアスは、支払い回数が増えるに従い了承率は減少し、平均ＷＴＰは増加することが統計的にも確認された。支払い形態の決定基準として、現実性及び中立性が重要と指摘されている[3)]。しかし、現時点で、シナリオ設計における妥当な支払い回数に関する研究事例はみられない。今後研究が必要なテーマであろう。

（４）本ケーススタディでは、被験者住居から最寄りの幹線道路（４車線以上）の歩道改良工事を対象として、被験者すなわち利用者が費用を直接負担するというＣＶＭシナリオを設定したところ、全サンプルの54%が支払い拒否理由として「負担方法が気に入らない」を挙げた。この結果から、利用者負担という馴染みの薄い支払方法では、結果に大きなバイアスを生じさせることが示唆された。このため、利用価値が便益の殆どを占める身近な環境向上を評価対象とする場合、支払い方法の設定をいかに馴染みのあるものにするかが課題となる。

ところで、8年度に実施した土地区画整理による利用者負担シナリオでは、支払い制度への違和感は顕著に認められなかった。これは、このシナリオが、区画整理という利用者負担の背景を設定しており「利用者が直接でなく、利用頻度の高い地域が費用負担する」という現実に近い支払い形式（税金）として受け止められたためと考えられる。このことから、土地区画整理を用いた利用者負担シナリオは、ＷＴＰを直接金額で尋ねられないという欠点はあるものの、身近な環境向上のＣＶＭ調査の有力なシナリオであると考えられる。また、ＣＶＭ調査でよく用いられるＷＴＰを税金の形で支払わせる税金捻出案は実際の支払い形態に準じており、馴染みの薄い支払い方法バイアスは回避できる。しかし、税金捻出案は、被験者のＷＴＰが必ずしも被験者が利用する範囲の道路にならない点などの問題がある。そのため、税金捻出案では支払い対象の明確さ（ＷＴＰがどこに使われるのか）によるバイアスの調査が今後の課題である。

５．謝　辞

本研究の遂行に当たり、多大なるご指導、ご支援をいただいた環境計画研究室の寺川室長、並河主任研究員並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）John A.Dixon,et al 、長谷川弘訳、環境はいくらか、築地書館、1991
２）畑原隆司、並河良治、寺川陽：ＣＶＭを用いた環境施設帯の経済評価、土木計画学研究・講演集、No.20(2)、1997,pp57-60
３）Mitchell,R.C. and Carson,R.T.(1989):Using Surveys to Value Public Goods:The Contigent Valuation Methods,Resources for the Future ,pp.1-463
４）岩瀬広、林山泰久：ＣＶＭによる幹線交通網整備がもたらすリダンダンシーの経済評価、土木計画学研究・講演集、No.20(2)、1997,pp379-382

ＣＶＭ調査時提示資料

＜ＣＶＭシナリオ＞

次のシナリオに書かれた状況を想定して、下の質問にお答えください。

①あなたの住居から最寄りの４車線の幹線道路の改良事業があるとします。

②Ａ案のような標準的な道路では、歩道を含めた設置費用はガソリン税などが当てられています。

③しかし、この改良事業は、「歩道の整備は、地元住民の意見を取り入れて行います。そのかわり
Ａ案より費用が高くなる分は地元で負担して頂く。」というモデル事業に指定されたとします。

④今、地元の意見を集約した結果がＢ案です。

⑤Ｂ案はＡ案より余計に費用がかかります。

⑥追加費用は、あなたの世帯が属する自治会が各世帯ごとの了承額を
来年の４月から１年間に限り毎月負担金を徴収することとします。

⑦ただし、自治会で徴収する金額が追加費用に見合わない場合、このＢ案は見送られます。

Ａ案：整備前ＣＧ

Ｂ案：整備後ＣＧ
〔案１，案２，案３の
いずれかを提示〕

＜調査員による口頭質問資料＞

質問１．歩道はＢ案のように改良されますが、あなたの世帯が追加費用の１部を負担することになります。この案に賛成しますか。該当するほうに○を記入してください。
１．はい　　２．いいえ

質問２．質問１で“１．はい”と答えられた方にお尋ねします。
毎月の徴収額として　　円の案があります。この案に賛成できますか。

＜拒否者への提示資料＞

質問３．質問１で“２．いいえ”と答えられた方にお尋ねします。
なぜ反対なのか、その理由として該当する番号に○を記入してください。
（○はいくつでも記入可）
１．歩道整備に景観の向上などは必要ないから。
２．あまり利用しそうもない歩道だから。
３．この案が気に入らないから。
（どうすれば良いか具体的に：　　）
４．費用の負担方法が気に入らないから。
５．その他（　　）

整備前　A案



整備後　B案



案1

植栽:配置のゆらぎ、舗装：模様のゆらぎ
照明：車道照明ﾎﾟｰﾙの色、歩道照明の形のゆらぎ



案2

植栽: 低木追加、舗装：砂利石風カラー舗装
照明：車道照明ポールの色



案3

植栽: 豊かな高木追加、舗装：ﾚﾝｶﾞ風カラー舗装
照明：車道照明ﾎﾟｰﾙの色、歩道照明追加

ダム湖における景観イメージ分析

（平成9年4月1日～平成10年3月1日）

研究室名　環境計画研究室
氏　　名　池田　尚子

1．はじめに

身近な自然の喪失等により、自然への希求、環境への関心が高まり、ダム湖周辺の豊かな自然環境へのニーズは高まっている。また、近年の長引く不況にも拘わらず、人々の生活意識は余暇重視へと変化してきており[1]、ダム湖は余暇活動を行う場としてのニーズも、高まりつつある。

そこで、ダム建設に際しては、治水、利水（用水、発電等）の主目的に加えて、親水レクリエーションの場の創出や、雄大な湖水景観による視覚的心地良さなど、ダム湖の出現によるプラスの効用についても積極的に評価することが必要になってきている。

そのような背景のもとで、ダム湖の有効利用・活用・レクリエーション利用の促進を図るため「うるおいのある水辺空間の創出」の事業も見られるようになってきたが、造り出される新たな空間の分析的な評価は未だなされていない。

2．目的

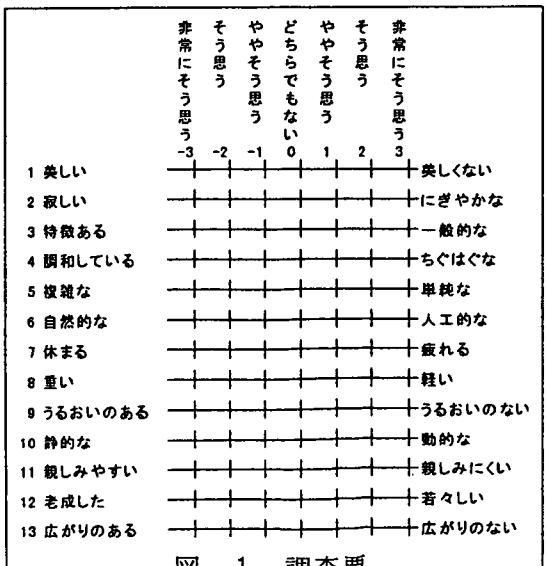
良好な湖沼環境の保全・整備を図ろうとする際には、どのような条件の下でどのような整備をどの程度行うべきかを判断する評価が求められているが、本研究はダム湖沼の景観について人々から望まれるイメージとはどのようなものであるかについて明らかにすることを目的とする。

そのため、ダム湖沼の景観について人々が抱くイメージの構造を明らかにし、ダム湖沼周辺施設整備に関わる各要素について、ＳＤ法による分析により人間の感性を定量的に評価した。

3．研究方法

ダム湖の景観に対して、人間の感性を定量評価する手法の1つであるＳＤ法[2)3)]を用いたアンケート調査を行った。

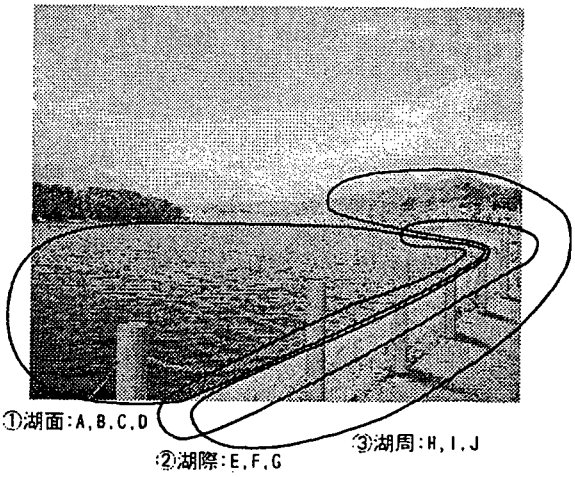
調査の対象とするダム湖の選定に際しては調査内容を考慮し、都市部からアクセスがしやすく、ある程度レクリエーション施設が充実していることを条件として岩手県盛岡市の中心部から約12kmのところにある御所湖を選定した。ＳＤ法のアンケートに用いる形容詞は既往の研究[4)5)]で用いられたものを参考に、ダム湖の景観を見た際の選択し易さも考慮して選定した（図―１）。



図－１　調査票

被験者は、20～60歳までの男女を対象とし、①ダム湖のレクリエーション利用に関して具体的なイメージを有する被験者として、御所湖に２回以上行ったことのある盛岡市住民59人。および、②ダム湖を訪れる機会が比較的少ない地域の被験者として東京都住民65人とした。

調査には、表-1に示す37枚のスライドを用いた。各スライドは、他の不要な要素を排除するため御所湖のある１点から撮影した写真（図―２）を基に表―１に示したカテゴリー１つのみの変更を行ったものをＣＧ合成して作成した。なお、ベース写真のカテゴリーは、水の色（濃い青）、水辺地形（コンクリート）、護岸材料（コンクリートブロック）、高欄（擬木チェーン）となっている。



図－２　ベース写真

表－１　スライド一覧(下段に好感度［東京］/［盛岡］を記す。)

		アイテム	1	2	3	4	5	6
湖面	A	水面の色[注1]	濃い緑	薄い青	濃い青	薄い緑		
		好感度(%)	53.8/53.3	13.8/15.0	52.3/48.3	21.5/20.0		
	B	水面レク	ウインドサーフィン	手漕ぎボート	カヌー	プレジャーボート		
		好感度(%)	38.5/50.0	36.9/38.3	47.7/38.3	20/25.0		
	C	噴水	高い	放射状	中			
		好感度(%)	36.9/48.3	29.2/36.7	27.7/36.7			
	D	水鳥[注2]	白鳥	小水鳥				
		好感度(%)	61.5/70.0	35.4/33.3				
湖際	E	水辺地形	コンクリート	自然石	植生	砂地形		
		好感度(%)	47.7/43.3	35.4/21.7	63.1/53.3	69.2/66.7		
	F	水辺活動	水遊び	釣り	散策			
		好感度(%)	64.6/49.2	38.5/33.3	35.4/31.7			
	G	護岸材料	コンクリートブロック	階段護岸	植生護岸	礫根固		
		好感度(%)	36.9/33.3	40.0/40.0	69.2/60.0	49.2/40.0		
湖周	H	遊歩道	レンガタイル1	砂利	インターロッキング	カラーコンクリート	レンガタイル2	
		好感度(%)	43.1/33.3	36.9/28.3	36.9/28.3	33.8/20.0	35.4/26.7	
	I	高欄	木製高欄	鋼製(細白)	擬木チェーン	高欄なし	石チェーン	アルミチェーン
		好感度(%)	90.8/86.7	55.4/51.7	46.2/50.0	75.4/51.7	56.9/53.3	36.9/28.3
	J	法面(湖周道路)	コンクリート法面	修景法面				
		好感度(%)	21.5/31.7	33.8/91.0				

注1) 水面の色について湖面中央部をマンセル色票を用いて計測した値は以下のようになっている。
1.濃い緑:5G8/2(近似) 2.薄い青:2.5PB8/3(近似) 3.濃い青:10B7/8(近似) 4.薄い緑:2.5BG7/6(近似)。
注2) 水鳥については、1.白鳥:白鳥　2.小水鳥:ミコアイサを用いた。

４．　研究結果

４．１　好感度

既往研究[4]により、ダム湖に遊びに行く際のダム湖の選定は「好きな－嫌いな」指標と大きな関係があることが明らかになっている。そこで各スライドについて好感度を求めた（表―１）。

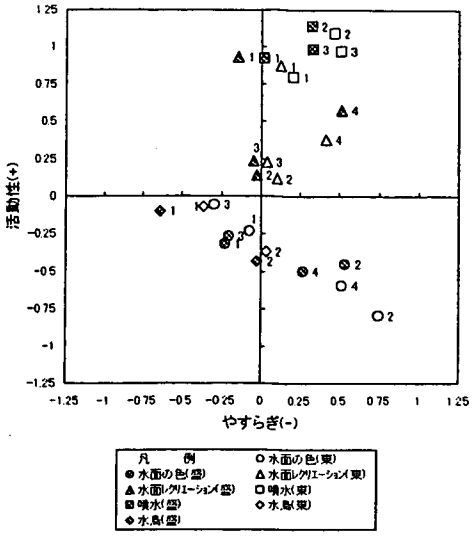
全体的に好感度が高いのは木製高欄、砂地形、白鳥、植生護岸、高欄なし等であり、好感度が低いのは、水面の色(薄い青、薄い緑)、自然石地形、アルミチェーン高欄、コンクリート法面等であった。

各々の地域で好感度が高いものから列挙すると、盛岡では修景法面、木製高欄、白鳥、砂地形及び植生護岸であった。東京では木製高欄、高欄なし、植生護岸、砂地形及び水遊びであった。

４．２　因子分析

盛岡、東京を総合して因子分析を行った。因子の解釈のためには、いくつかの変量は絶対値の大きい因子負荷量をもち、残りの変量の因子負荷量はゼロに近いという形をとるのが望ましいため、因子軸の座標変換法の一つであるバリマックス回転を適用した。形容詞対については、総合指標である「好きな－嫌いな」を除いた13指標を用いた。その結果、3つの因子軸を抽出した。各因子の寄与率は第一因子から順に0.377,0.119,0.091となり、累積寄与率は0.588となっている。第1因子の代表的な形

容詞は「休まる－疲れる」「親しみ－親しみにくい」などであり『やすらぎ（-）』と命名し、同様に第2因子は「老成した－若々しい」「静的な－動的な」などであり『活動性（+）』、第3因子は「複雑な－単純な」「特徴的な－一般的な」などであり『単純さ（+)』と命名した。次に、第一因子を横軸、第２因子を縦軸に因子得点プロット図を作成した。（東京の凡例を白抜き、盛岡を塗りつぶしで表記し、グラフ中の数字は表－１に対応している。）



図－3　因子得点プロット図(湖面)

5．考察

好感度（表－１）と因子得点プロット図（図－３～図－５）により、ダム湖の景観イメージについて考察を行った。

検討の便宜上、表－１に示すようにダム湖景観を構成する景観要素を、湖面、湖際及び湖周に３分類し、それぞれを構成する要素について分析を行うこととした（図－２参照）。

(1) 湖面（水面の色、水面レクリエーション、噴水、水鳥）

①水面の色（濃い緑、薄い青、濃い青、薄い緑）

濃い色は好感度、やすらぎ共に高く、水面の色に関しては色の濃度を左右する水深が重要な意味を持つと考えられる。

②水面レクリエーション（ウィンドサーフィン、手漕ぎボート、カヌー、プレジャーボート）

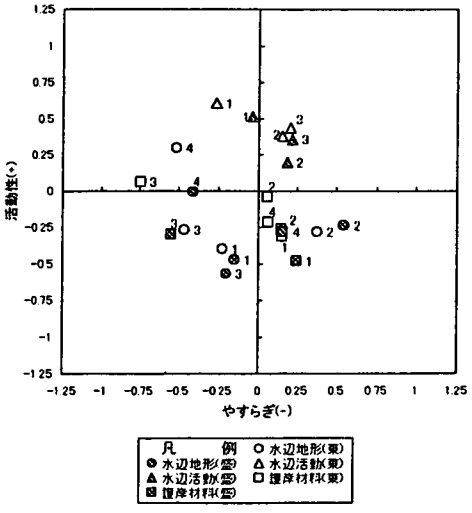
この要素のカテゴリーは親水性の高い順番に並べられているが、活動性については高速度で走行するプレジャーボートとウィンドサーフィンが高く、速度が影響しているものと思われる。

ウィンドサーフィン、カヌーは好感度、やすらぎ共に高く、好感度を高めることができると思われる。東京と盛岡でウィンドサーフィンの好感度の差が大きいことや、アイテム間のカテゴリーの順位が逆転する等、２地区で嗜好の違いが見られた。

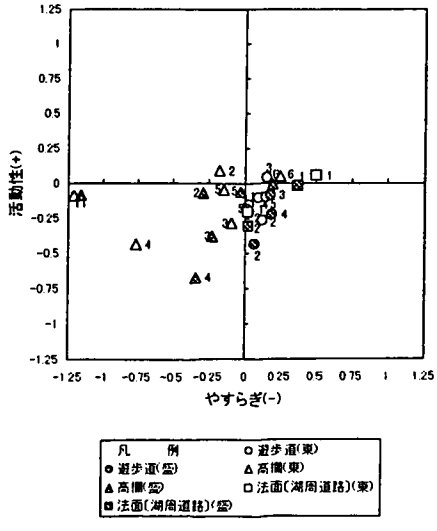
③噴水（高い、放射状、中）

全体的に活動性が高く、噴水のイメージには活動性を上げる効果があると思われる。

④水鳥（白鳥、小水鳥）



図－4　因子得点プロット図(湖際)



図－5　因子得点プロット図(湖周)

白鳥は好感度、やすらぎ共に高く、白鳥の存在により、好感度を高めることができると思われる。

(2)湖際（水辺地形、水辺活動、護岸材料）

①水辺地形（自然石、コンクリート、植生、砂）

この要素のカテゴリーは固いイメージの順番に並べられているが、植生地形、砂地形は好感度、やすらぎ共に高い。自然石地形は好感度、やすらぎ共に低く、放置された自然石が評価を下げていると思われる。

②水辺活動（水遊び、釣り、散策）

この要素のカテゴリーは親水性の高い順番に並べられている。水遊びは好感度、やすらぎ共に高く、また、東京の方が好感度、やすらぎ共に高い。釣り、散策は好感度、やすらぎ共に低くなっており、親水性の高い整備が望まれていると思われる。

③護岸材料（コンクリートブロック、階段護岸、礫根固、植生護岸）

この要素のカテゴリーは固いイメージの順番に並べられている。植生護岸は好感度、やすらぎ共に高い。また、東京の方が好感度、やすらぎ共に高い。他の要素は好感度、やすらぎ共に低く、柔らかいイメージの天然素材を用いた整備が望まれていると思われる。

(3)湖周（遊歩道、高欄、周辺景）

①遊歩道（レンガタイル１、砂利、インターロッキング、カラーコンクリート、レンガタイル２）

全体的に評価が低くあまり差は見られないが、単調なカラーコンクリートの好感度が一番低い。これは、視覚的に単調なものよりある程度の適度な変化が好まれることを意味すると思われる。

②高欄（木製高欄、鋼製（細白）、なし、擬木チェーン、石チェーン、アルミチェーン）

アルミチェーンは好感度、やすらぎ共に低く、人工的な材質が周囲に調和していないためだと思われる。また、高欄なしは東京の方が好感度、やすらぎ共に高く、開放感が高く評価されているものと思われる。

③周辺景（コンクリート法面、修景法面）

修景法面は、コンクリート法面に比べて好感度及びやすらぎが高く、コンクリート法面は好感度、やすらぎ共に低くなっている。また、盛岡の修景法面の好感度が非常に高く、具体的なダム湖景観のイメージを有する被験者の多い盛岡では、目につきやすい法面の修景により好感度の向上を図れるものと思われる。

6．おわりに

ダム湖の環境機能増進を目的とした周辺施設整備に際しての望まれる整備イメージを分析する手段として、御所湖を対象としたＳＤ法による評価のケーススタディを実施した。主な結果は次のように整理できる。

(1)やわらかいイメージの自然素材を用いた整備の評価が高く、固いイメージの素材の評価が低い。

(2)植生護岸等の人工的に植栽した整備の方が、整備前の自然を放置した植生地形よりも評価が高い。

(3)東京の被験者は盛岡に比べて、自然とのふれあい、開放感に対する評価が高く、人工物について

は評価が低くなる傾向がみられた。自然度の低い都市域ほど自然環境への希求が強い[6]ことが、ダム湖に対してもあてはまると言える。

(4)水面レクリエーション、水辺活動等で東京と盛岡の被験者間でレジャー嗜好の違いが見られた。このことから、利用者の範囲を調査したうえでの地域差を考慮した整備が望まれる。

7．謝　辞

本研究の遂行に当たり、環境計画研究室の寺川室長、並河主任研究員、舟橋研究員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頂いた。ここに記して感謝いたします。

<参考文献>

1)レジャー白書'96：(財)余暇開発センター,1996

2)Osgood,C.E.et althea： Measurement of Meaning,1957

3)岩下豊彦：ＳＤ法によるイメージの測定,川島書店,1983

4)舟橋弥生、寺川陽、並河良治、畑原隆司：湖沼のレクリエーション利用におけるイメージ構造の分析，土木計画学研究・講演集，NO.20(2),pp.667-670,1997.11

5)田中奈美、土肥博至：レジャー環境についての心理学的特性と空間類型の抽出、日本建築学会計画系論文集No.479、pp.179-188,1996.1

6)国民生活白書：平成5年版,経済企画庁,1993

ダム湖におけるプランクトンの経時変化

（指導期間　平成９年４月～平成１０年３月）

研究室名　環境計画研究室
氏　　名　中　山　　亮

１．まえがき

ダム湖のような停滞水域において、流入する栄養塩量が大きい場合、植物プランクトンの異常増殖によるアオコや淡水赤潮と呼ばれる富栄養化現象が生じ、水道水の異臭味や景観上の阻害等の問題を引き起こすことがある。富栄養化対策としては、流入河川対策として水生植物や糸状藻類を利用した汚濁負荷削減技術、湖内対策として曝気による流動制御技術や食物連鎖を活用して植物プランクトンの異常増殖を抑制する生態系制御技術などについて研究開発が進められている。

適切な富栄養化対策を講じるためには、現象の発生メカニズムを含め湖内生態系の把握が不可欠である。しかしながら、ダム湖は、自然湖沼と比較して滞留時間が短く、また人為的な水位変動があることから湖内生態系は自然湖沼とは異なっていると考えられ、湖内の生態系を把握する目的での調査手法、特にプランクトン調査の頻度や空間的分布等については十分な合理性に基づいているとはいいがたい。調査手法の確立にあたっては、実際のダム湖におけるプランクトンの種と数の経時変化の特性を把握する必要がある。

２．調査目的

本調査は、ダム湖内でのプランクトンの分布状況を正確に把握するための、調査地点及び調査時期等を明らかにすることを目的とする。

３．調査地点

調査ダムは群馬県にある重力式コンクリートダム（堤高 60.5 m、堤頂長 264 m）で、集水面積 42.0 ｋ㎡、湛水面積 0.62 ｋ㎡、総貯水容量 1220 万m^3 の多目的ダムである。本調査ダムは、全長が約 1.5 ｋｍと比較的短いこと、ダム湖への支川の影響が小さいこと、栄養塩濃度が比較的高く、富栄養化現象の報告があるという理由で選定した。調査期間中の表層における平均栄養塩濃度はＴ－Ｎ：1.3mg/ｌ、Ｔ－Ｐ：0.02mg/ｌであった。また、平均クロロフィルａ濃度は 23 μg/ｌであった。

４．調査方法

４．１ プランクトン日周変化

1997 年 8 月 6 日 13 時から 8 月 7 日 16 時までの 27 時間にわたって 3 時間ごとに調査を行った。

調査地点は流入河川合流前のダムサイトより上流 700 m (No.1) である。調査地点位置を図 4.1-1 に示す。

ダム湖内の有光層や水温躍層の位置等の水理特性を考慮し、植物プランクトンについては表層はバケツで直接採水し、水深方向に 2 m、5 m、10 m、21 m(底層より 1 m上部) の位置についてはバンドーン採水器を用いて採水した。採取した試料はグルタールアルデヒド(25 %)で固定し、光学顕微鏡により種名と細胞数を測定した。

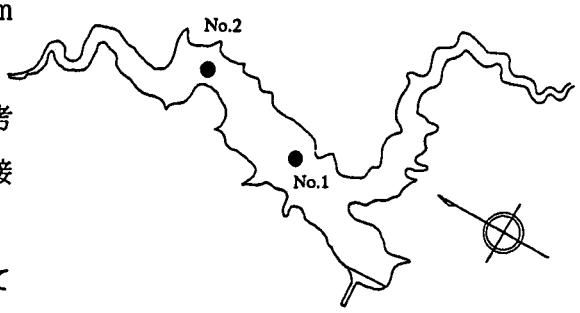


図 4.1-1 調査地点位置

動物プランクトンについても同様に水理特性を考慮して、表層はバケツを用いて直接採水し、プランクトンネット (NXX25 : 網目直径 58 μ)でろ過した。また水深方向に 0.5 m − 2 m、2 m − 10 m、10 m − 21 mの範囲で同上のプランクトンネットを引いた。採水した試料はグルタールアルデヒドで固定し種名と個体数を測定した。

4．2 プランクトン経時変化

1997 年 8 月 14 日から 10 月 22 日まで毎週 1 回調査を行った。調査地点は、ダム湖の下流側と上流側として、No.1 及びダムサイトより上流 1400 m (No.2) とした。表層を直接採水し、採取した試料はグルタールアルデヒドで固定して、植物プランクトン及び動物プランクトンの種名と細胞数あるいは個体数を測定した。

5．調査結果及び考察

5．1 水理状況

ダム湖内の水理状況の例として 1997 年 8 月 14 日 13 時，No.1 における鉛直方向の水温及び DO の測定結果を図 5.1 に示す。水深 8 m ～ 10 mの位置に水温躍層の存在が確認された。

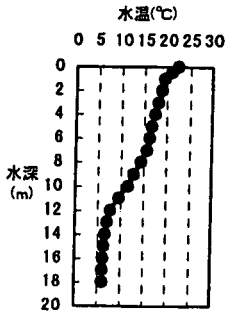


図 5.1-1 水温の鉛直分布

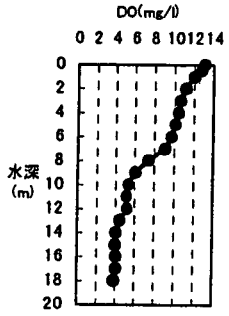


図 5.1-2 DO の鉛直分布

5．2 プランクトン日周変化

各深度ごとに測定したクロロフィルａ濃度の結果を図 5.2-1 に示す。表層及び水深 2 m と比較すると、5 m以深では低いクロフィルａ濃度で推移していた。これは透明度の測定結果から有光層が 3 m程度と推測され、5 m以深では光が届かないためと考えられる。また、植物プランクトンの種ごとの細胞数の経時変化について、検討を行った。一例を図 5.2-2 及び図 5.2-3 に示す。

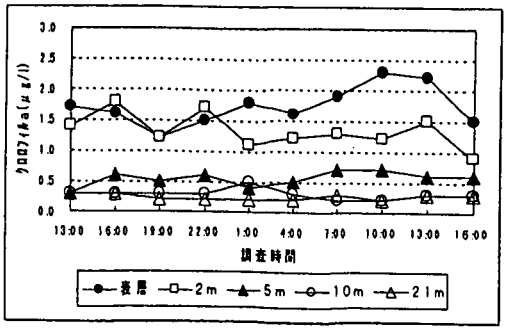


図 5.2-1 クロロフィルａ濃度の経時変化

大別すると、日中表層に集積する種（例えば 黄色鞭毛藻の *Uroglena sp.*や緑藻の *Pandorina morum*, *Chlamydomonas sp.*）と明確な傾向のみられない種（例えば *Scenedesmus sp.*）に区分された。明確な日周変化のみられる種は鞭毛を有しており、走光反応による鉛直方向の移動が あったと考えられる。また、日周変化を持たない種は表層ほど多く分布する傾向にあった。一方、動物プランクトンは、日周変化では各調査時間での総個体数にばらつきがみられた。これより鉛直方向のみではなく水平方向の移動もあることが示唆された。例として枝角類の *Bosminopsis deitersi* の経時変化を図 5.2-4 に示す。図中の動物プランクトンの個体数は、プランクトンネットを引いた範囲ごとのプランクトン濃度にその距離を乗じたものとした。そこで、総個体数に対するプランクトンネットを引いた層ごとの個体数の割合を算出し、検討を行った。その一例を図 5.2-5 及び図 5.2-6 に示す。本調査では分布割合の経時変化のパターンとして、傾向のみられないものもあったが、以下のように３種類に大別できた。

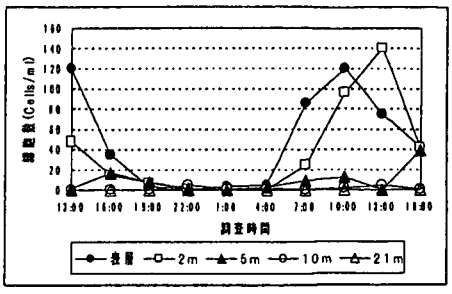


図 5.2.-2 *Uloglena* の経時変化

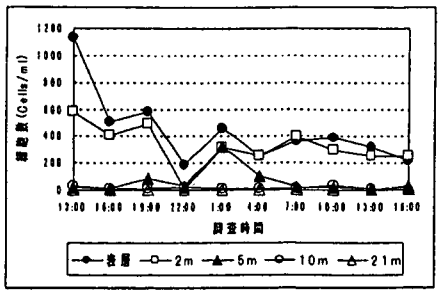


図 5.2-3 *Scenedesmus* の経時変化

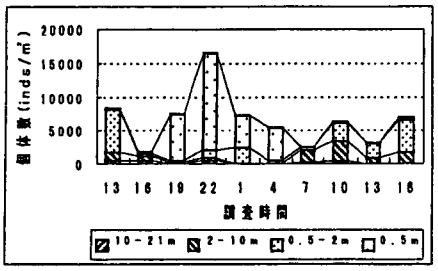


図 5.2-4 *Bosminopsis* の経時変化

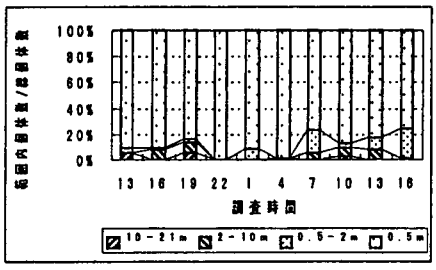


図 5.2-5 *Conochilus* の分布割合の経時変化

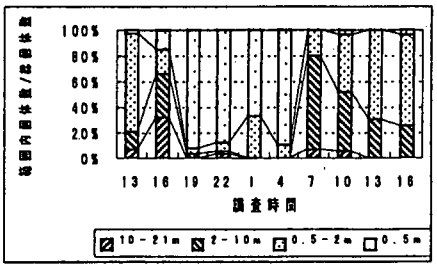


図 5.2-6 *Bosminopsis* の分布割合の経時変化

① 表層や底層といったようにほぼ一定の範囲に分布する種

（表層に多い輪虫類の *Conochilus sp.*，底層に多い輪虫類の *Keratella cochlearis*）

② 夜間表層に集積する種

（枝角類の *Bosminopsis deitersi*）

③ それぞれの範囲にほぼ均一に分布する種

（輪虫類の *Polyarthra vulgaris*，*Diurella sp.*）

５．３ プランクトン経日変化

本調査では、２地点の調査結果を比較することにより、プランクトンの発生パターンは以下のように３種類に大別できた。

①同時期に発生し、出現個体数も同程度である種（地点によらず広く全面に分布している）

植物プランクトン：緑藻の *Tetraedron minimum*，*Monoraphidium circinale*

動物プランクトン：輪虫類の *Synchaeta sp.*，*Ploesoma sp*

②同時期に発生するが出現個体数が異なる種（湖内流動などの影響から一部の地点に集積しやすい）

植物プランクトン：渦鞭毛藻の *Ceratium hirundinella*，褐色鞭毛藻の *Cryptomonas sp*

動物プランクトン：輪虫類の *Conochilus sp.*，*Brachionus angularis*

③発生時期も出現個体数も異なる種（群集として不均一に分布している）

植物プランクトン：緑藻の *Eudorina elegans*，藍藻の *Anabaena spiroides*

動物プランクトン：輪虫類の *Trichocera sp.*

各パターンの特徴的な種を図 5.3-1 ～図 5.3-3 に示す。ただし、動物プランクトンに関しては空間的に不均一に分布していることが確認されており、日中、表層での採水による本調査では、経日変化が観測できない種も多数あったことが考えられる。

本調査期間中に、増殖から減衰に至る期間が確認されたプランクトン種が数種あった。その期間は２～５週間程度であり、この周期でプランクトンが変化していることが確認された。湖内のプランクトンの分布状況は２～５週間で変化していることが予想され、少なくとも時間的な調査頻度は２～５週間に１回とする必要があると思われる。

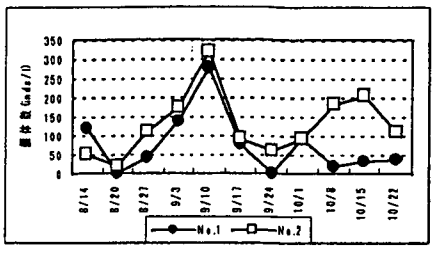


図 5.3-1 *Synchaeta* の経日変化

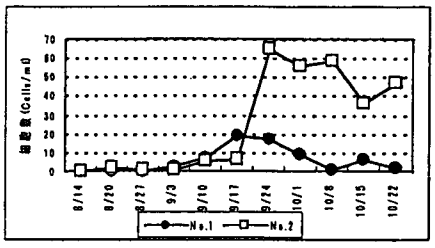


図 5.3-2 *Ceratium* の経日変化

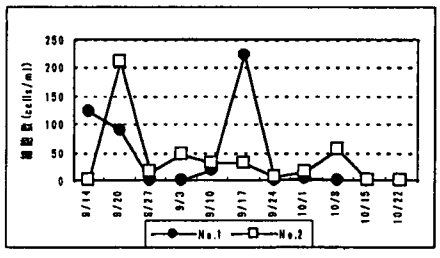


図 5.3-3 *Eudorina* の経日変化

6．まとめ

植物プランクトンは、経時変化よりその多くが光の届く表層に分布することが分かった。鞭毛を有する植物プランクトンは日周変化を持ち、日中表層に集積する傾向がみられた。

動物プランクトンは、空間的に多様に分布していることが確認され、調査に際し注意が必要であると考えられる。

経日変化より、動・植物プランクトンは広く全面に分布している場合など３種類に大別できた。

ダム湖内でのプランクトンの分布状況を正確に把握するための、調査地点及び調査時期は、ダム湖縦断方向に少なくとも２地点は必要であり、２～５週間に一度調査を行う必要があると考えられる。

プランクトンの分布状況を適切に把握するためには、プランクトン種毎のパッチスケールを考慮した調査地点の設定が必要である。今後この点について更に調査を進めることとしたい。

7．謝辞

本研究を行うにあたり、多大なるご指導、ご協力をいただいた環境計画研究室の寺川室長、福渡研究員ならびに環境計画研究室の皆様に感謝の意を表します。

霞ケ浦流域における流域管理のための分布型物質流動モデルの構築

（指導期間　平成9年10月～平成10年3月）

研究室名　環境計画研究室
氏　　名　和　田　一　斗

1．まえがき

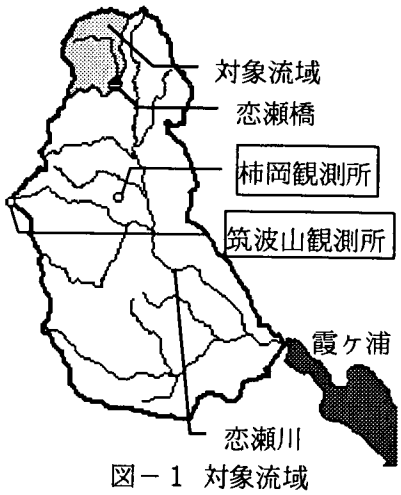
霞ケ浦等の閉鎖系水域の流域における土地利用改変等が水質に及ぼすインパクトを把握し、適切な保全対策についてコンセンサスを得ながら実施していくためには、ＣＯＤ、窒素、リン等の汚濁源が流域のどこに存在し、それがどのような経路を通じてどの

程度湖沼に流入しているかを適確に推定することが必要である。

汚濁源には、ポイントソース系とノンポイントソース系がある。前者については、主に人間活動によるものであるため、年間を通じて負荷量はパターン化しており、通常用いられる原単位法による推定が可能である。一方、後者については、降雨流出量が負荷量に決定的な影響を与えるため、降雨の大小による負荷量の変動を推定することが不可欠である。

2．研究目的

本研究は、分布型降雨流出モデルに汚濁負荷の物質流動メカニズムを組み込んだ分布型物質流動モデルを構築することにより、面的に分布するノンポイントソース系汚濁負荷の流出過程を推定する手法を開発することを目的とする。

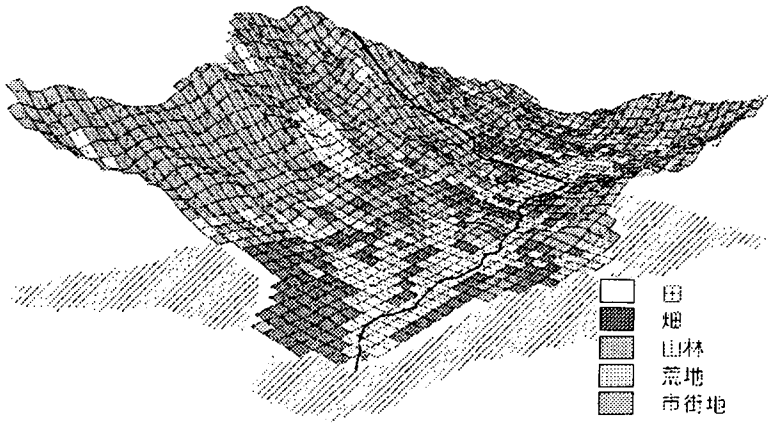


図－1　対象流域

3．研究方法

3．1　対象流域および流域データの作成

霞ケ浦流入河川の一つである恋瀬川の恋瀬橋上流域を対象流域とした。流域面積は 15.5km² であり、土地の利用形態は山林が 65%を占め、次いで田が 14%を占める。また、入力に使用したデータは地理情報として国土数値情報より標高、土地利用、土壌、表層地質データを用い、気象水文情報として笠間、柿岡、筑波山観測所における AMeDAS データ（毎正時の降水量、気温、風速等）を用いた。

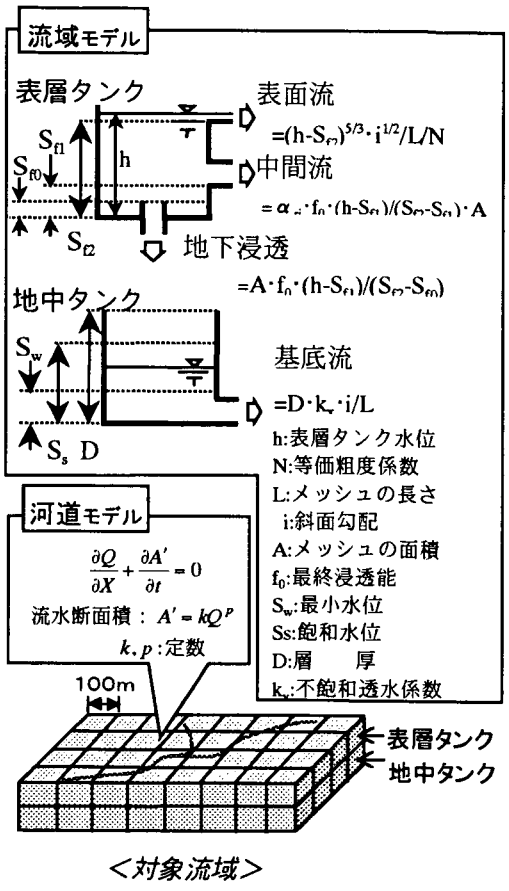


図－2　恋瀬橋上流の落水線および土地利用を重ね合わせた鳥瞰図（100m メッシュ）

3．2　分布型降雨流出モデルの概要

分布型降雨流出モデル[1)2)]の概要を図－3に示す。このモデルは対象流域に規則正しく配列されたメッシュ毎に計算を行うモデルである。メッシュスケールは 100m、計算時間ステップは1時間、対象流域の総メッシュ数は 1550 である。本モデルの特徴として流出成分（表面流、中間流、基底流）ごとにその面的な分布状況を再現することがあげられる。

また、市街地よりも山林では降雨が浸透しやすい等、対象流域を恋瀬川とした既往の研究[3)]を参考に土地利用状況毎にパラメータを設定した。



図－3　分布型降雨流出モデルの概要

3．3　分布型物質流動モデルの構築

ポイントソース系汚濁負荷源は工場、下水処理場のように排出ポイントが特定できる発生源であり年間を通じて大きく変動することはない。一方、ノンポイント系汚濁負荷源は大気の降下灰塵等が起源として想定されるが、それぞれ先行晴天経過日数が多いほど、降雨時の汚濁負荷流出量が増大する[4)]。本研究では降雨時の汚濁負荷流出過程の再現を行うため、変動の小さいポイントソース系汚濁負荷は無視することが可能であると考えている。

以上を踏まえてモデル構築の基本的な考え方は次の通りとした。晴天時には COD、TN、TP 等の汚濁負荷が大気由来等によって地表面に降下し、粗い粒子態の汚濁負荷は地表面に堆積する一方、細かい粒子態及び溶存態の汚濁負荷は表層内に堆積する。さらに表層内の溶存態の汚濁負荷は降下浸透流により一部捕捉され、基底流により流出するものと仮定する。また、降雨時には表面流によって地表面に堆積した汚濁負荷が流出し、中間流によって表層内に堆積した汚濁負荷が流出し、基底流によって地中に降下浸透した汚濁負荷が流出し地表面および表層内での負荷堆積量は減少する。

このメカニズムを表－1に記述する地表面、表層及び地中物質流動モデルにより表現する。

表－1　分布型物質流動モデル式

地表面物質流動モデル	表層物質流動モデル	地中物質流動モデル
$L_1 = K \cdot S^m \cdot Q_1^n$	$L_2 = K \cdot D^m \cdot Q_2^n$	$L_3 = C_3 \cdot Q_3$
$S = S_0 - L_1 \cdot \Delta t$	$D = D_0 - L_2 \cdot \Delta t$	
$S_0 = S_u \cdot (1 - e^{-K_s \cdot T})$	$D_0 = D_u \cdot (1 - e^{-K_d \cdot T})$	
L_1：地表面流出負荷量 (g/s)	L_2：表層 流出負荷量 (g/s)	L_3：地中 流出負荷量 (g/s)
S：堆積現存量 (g)	D：堆積現存量 (g)	Q_3：基底 流量 (m^3/s)
Q_1：表面流量 (m^3/s)	Q_2：中間 流量 (m^3/s)	C_3：汚濁負荷濃度 (g)
S_0：残存堆積量 (g)	D_0：残存堆積量 (g)	
S_u：極限堆積量 (g)	D_u：極限堆積量 (g)	
K_s：堆積速度係数 (1/d)	K_d：堆積速度係数 (1/d)	
T：堆積0からの経過日数 (d)	T：堆積0からの経過日数 (d)	
m,n：係数	m,n：係数	

(1) 地表面物質流動モデル

地表面に堆積した粗い粒子態の汚濁負荷は、表面流によって流出すると考える。

(2) 表層物質流動モデル

表層内に堆積した細かい粒子態及び溶存態の汚濁負荷は、中間流によって流出すると考える。

(3) 地中物質流動モデル

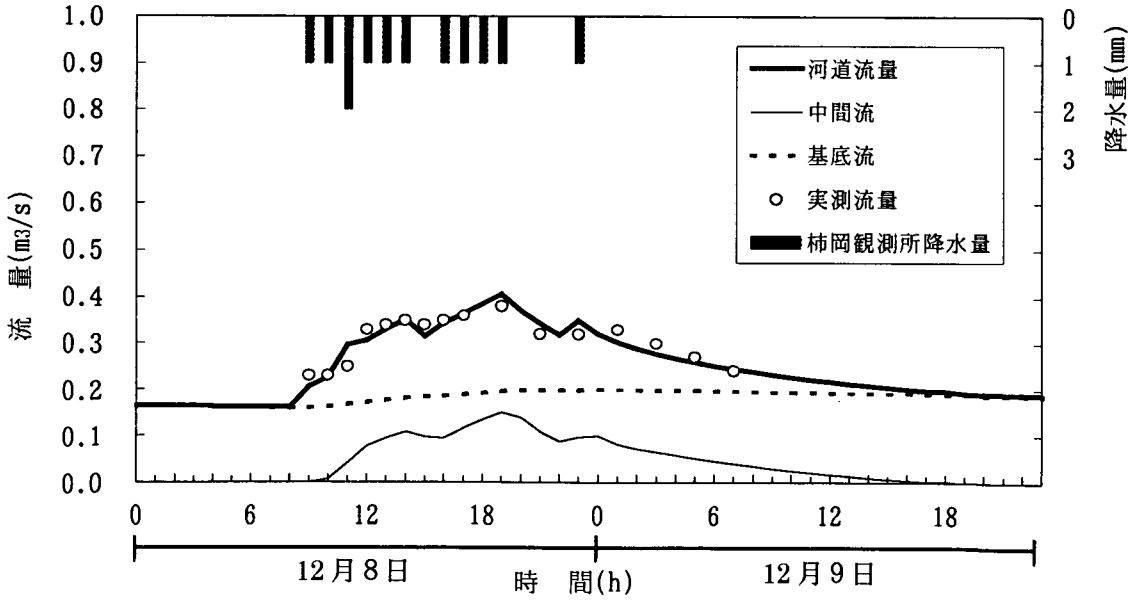
地中に浸透した溶存態の汚濁負荷は、基底流によって流出するものと考える。なお、降雨時における基底流の汚濁負荷濃度の時間変化は表面流、中間流の時間変化と比べて無視できるほどに小さいと考え、基底流の汚濁負荷濃度を一定と仮定する。

4．研究結果

小洪水時（平成9年 12 月8日午前9時から 24 時間）を対象期間としてシミュレーション（Δｔ＝1時間）を行った。検証には恋瀬川恋瀬橋での流量、水質データ（COD）を用いた。計算の安定化を図るために実際の計算は11月1日から開始している。

はじめに分布型降雨流出モデルにより各メッシュの流出成分（表面流量、中間流量、基底流量）を算定し、これらの流量を物質流動モデルに入力して各メッシュでの流出成分（地表面汚濁負荷量、表層汚濁負荷量、地中汚濁負荷量）を算出した。パラメータの値は、土地利用、地質分類毎に統一するとともに、流出成分が経験的に合理的な時系列変化を再現することを確認しつつ検証地点の実測流量およびＣＯＤ負荷量を再現するようにして同定した。図－４に降雨流出モデルによる各流出成分の再現結果と実測流量の比較を示す。また、図―５に物質流動モデルによる各流出成分の再現結果と実測汚濁負荷量の比較を示す。

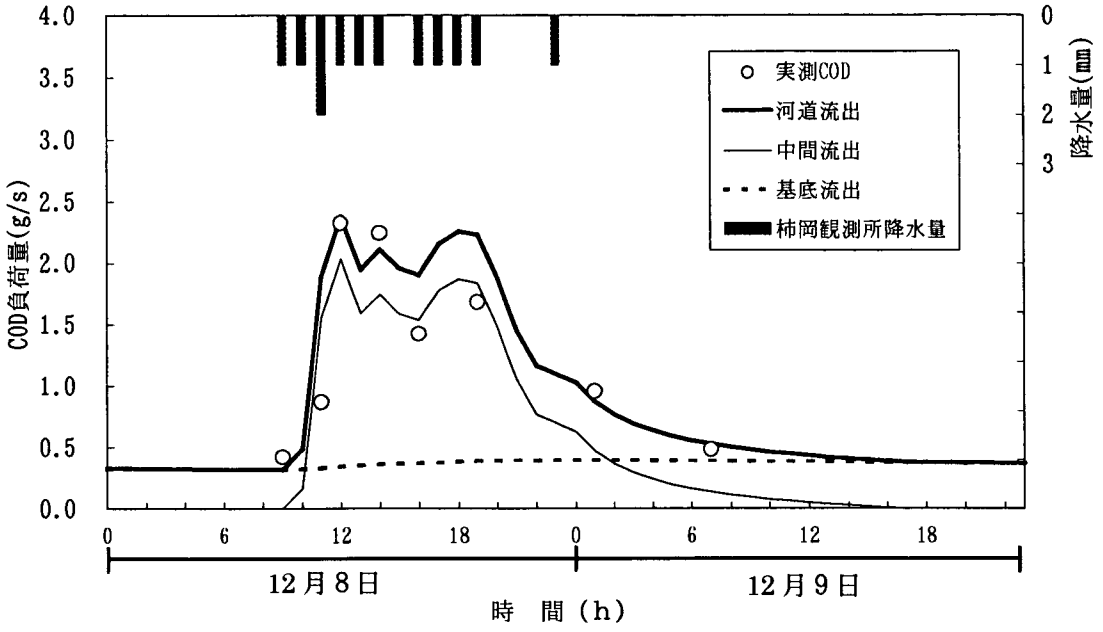
降雨流出モデルでは立ち上がり、ピーク、減衰ともに実測流量とよく合致している。(図―４)



図－4　降雨流出モデルシミュレーション結果(恋瀬橋)

物質流動モデルでは立ち上がりからピークまでの実測負荷量と合致するが、減衰において若干遅くなる傾向がみられる。(図－５)

今回のシミュレーションでは小洪水であるため表面流量および地表面汚濁負荷量は発生していない。



図－５　　物質流動シミュレーション結果（恋瀬橋）

５．結　　論

分布型降雨流出モデルに物質流動メカニズムを組み込んだ分布型物質流動モデルを構築し、降雨時におけるノンポイントソース系汚濁負荷の流出過程の再現を試みた。再現結果は実測値をある程度よく説明することが示された。今後は、土地利用の異なる流域を対象としたシミュレーション結果に基づいて、モデルパラメータと土地利用の関係について検討を進めたいと考えている。

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計画研究室の寺川室長、安陪主任研究員、杉盛重点研究支援協力員ならびに環境計画研究室の皆様に感謝の意を表します。

＜参考文献＞

1)鈴木他：実時間洪水予測のための分布型流出モデルの開発,土木技術資料 Vol.38-10,pp26-31,1996

2)安陪他：ＧＩＳを用いた流域環境管理システム，土木技術資料,Vol.39-5,pp24-29,1997

3)安陪他：霞ヶ浦流域における流域環境管理のための分布型水循環モデルの構築，第 20 回土木計画学研究発表会講演集(1)，pp.143-146,1997

4)山田他：晴雨天時継続調査による大気由来汚染物と路面堆積物の挙動特性，第 28 回日本水環境学会年会講演集,pp.628-629,1994

5)和田安彦：ノンポイント汚濁源のモデル解析，技報堂出版

Ⅲ．資　料　編

Ⅲ - 1　発表論文一覧

環境計画研究室発表論文一覧　(1996.4～1998.3)

論　文　名	著者名	書籍名	発行所	巻号	頁	発行年	本誌掲載頁
レジャーの実態とレジャー環境に関する基礎的研究Ⅸ－公園における来園の主目的と実施レジャー－	田中奈美	日本建築学会大会学術講演梗概集	日本建築学会		pp.689～690	1996.9	67～ 68
ＨＴＣＭを用いた公園の評価	並河良治 丹羽　薫 谷本　茂	土木計画学研究・講演集19	土木学会		pp.617～620	1996.11	69～ 72
ヘドニック・トラベル・コスト法を用いた公園の評価	並河良治 丹羽　薫 谷本　茂	土木技術資料	土木研究センター	Vol.39 No.6	pp.22～27	1997.6	73～ 78
利用者の嗜好感性を考慮した歩道整備のあり方に関する一考察	並河良治 寺川　陽	土木計画学研究・講演集20	土木学会	No.20(2)	pp.49 ～52	1997.11	79～ 82
ＣＶＭを用いた環境施設帯の経済評価	畑原隆司 並河良治 寺川　陽	土木計画学研究・講演集20	土木学会	No.20(2)	pp.57 ～60	1997.11	83～ 86
湖沼のレクリエーション利用におけるイメージ構造の分析	舟橋弥生 寺川　陽 並河良治 畑原隆司	土木計画学研究・講演集20	土木学会	No.20(2)	pp.667～670	1997.11	87～ 90
社会基盤施設利用の快適性に関する基礎的研究	寺川　陽 並河良治	第22回日本道路会議論文集	日本道路協会	（A）	pp.12～13	1997.12	91～ 92
環境施設帯の経済評価～ＣＶＭの適用	畑原隆司 並河良治 寺川　陽	第22回日本道路会議論文集	日本道路協会	（A）	pp.14～15	1997.12	93～ 94
ＩＴＳサービスのニーズ調査	並河良治 寺川　陽	第22回日本道路会議論文集	日本道路協会	（A）	pp.444～445	1997.12	95～ 96
外部費用の評価について	並河良治	建設マネジメント技術	経済調査	1998/1	pp.31～34	1998.1	97～100
地域景観イメージの抽出に関する研究Ⅰ－茨城県つくば市住民の地域イメージに関する意識調査を通じて－	田中奈美 丹羽　薫	第51回年次学術講演会講演概要集	土木学会	第4部	pp.728～729	1996.9	101～102
トロント市における地下空間の整備状況	田中奈美	寒地技術論文・報告集	寒冷地開発研究会	Vol.12 -No.2	pp.943～946	1996.11	103～106

論　文　名	著者名	書籍名	発行所	巻号	頁	発行年	本誌掲載頁
地域景観特性の抽出に関する研究Ⅰ－茨城県つくば市の地域イメージと景観イメージ－	田中奈美 丹羽　薫	土木計画学研究・講演集19	土木学会		pp.153～156	1996.12	107～110
地域景観イメージの把握とその変容過程に関する考察	田中奈美 土肥博至	都市計画論文集	都市計画学会	No.３１	pp.649～654	1996.12	111～116
軽井沢町と伊東市における地域景観イメージの比較考察 －リゾート地域の成立条件に関する景観的研究　その８－	田中奈美 土肥博至	日本建築学会関東支部研究報告書	日本建築学会	その８		1997.3	117～120
歴史的・文化的土木施設の保存・活用	丹羽　薫 並河良治 舟橋弥生 田中奈美	土木技術資料	土木研究センター	Vol.39 No.4	pp.32～37	1997.4	121～126
歴史的土木施設の保存・活用の現況	丹羽　薫 並河良治 舟橋弥生 田中奈美	土木技術資料	土木研究センター	Vol.39 No.6	pp.16～21	1997.6	127～132
歴史的・文化的施設の保存・活用	舟橋弥生 丹羽　薫	第50回建設省技術研究会報告（平成8年度）	土木研究センター		pp.22-1 ～22-16	1997.6	133～149
地域景観イメージの特性抽出について－つくば市と軽井沢町における住民意識調査比較－	田中奈美 丹羽　薫	土木技術資料	土木研究センター	Vol.39 No.6	pp.28～33	1997.6	150～155
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	小栗ひとみ 丹羽　薫 須藤晴夫	土木計画学研究・講演集19	土木学会		pp.117～120	1996.11	157～160
景観が人間の感性に与える影響の定量的な評価に関する研究	小栗ひとみ 寺川　陽	土木計画学研究・講演集20	土木学会	No.20(2)	pp.671～674	1997.11	161～164
建設省版景観シミュレーションシステムの開発	小栗ひとみ 寺川　陽	第22回日本道路会議論文集	日本道路協会	（A）	pp.124～125	1997.12	165～166
建設省版景観シミュレーションシステムの開発	小栗ひとみ	第36回土木研究所研究発表会論文集	土木研究所		pp.73～76	1997.12	167～170
ＧＩＳによる流域環境管理	安陪和雄	土木計画学研究・講演集19	土木学会		pp.289～292	1996.11	171～174

論　文　名	執筆者名	書籍名	発行所	巻号	頁	発行年	本誌掲載頁
霞ヶ浦流域における流域環境管理のための分布型水循環モデルの構築	安陪和雄 寺川　陽 小川和延 杉盛啓明	土木計画学研究・講演集20	土木学会	No.20(1)	pp.143～146	1997.11	175～178
ＧＩＳによる流域水文環境の可視化	杉盛啓明 安陪和雄	日本地理学会発表要旨集	日本地理学会集会専門委員会	No.53	pp.176～177	1998.3	179～180
Development of Eutrophication Control Techniques for Lakes - Combination of Physical and Biological Methods -	丹羽　薫	Proceedings of Korea-Japan Symposium on Ecological Engineering	Environmental Research Institute Kangwon National University		pp.61～87	1996.4	181～207
糸状藻類の水質浄化能力の日変動に関する研究	久保徳彦 福渡　隆 丹羽　薫	第51回年次学術講演会講演概要集	土木学会	第７部	pp.88～89	1996.9	208～209
落葉回収による富栄養化対策（その2）-回転ｽｸﾘｰﾝによる脱水処理について-	福渡　隆 久保徳彦 丹羽　薫	第51回年次学術講演会講演概要集	土木学会	第７部	pp.98～99	1996.9	210～211
湖沼の富栄養化対策技術の動向〈物理的手法と生物的手法〉	竹林　征三 丹羽　薫	建築設備と配管工事	日本工業出版	Vol.34 No.10	pp.41～45	1996.9	212～216
Current Control for Restoring Reservoir Water Quality	丹羽　薫 山崎　崇 相澤　毅	abstracts of the 8th internationa lSymposium on River and Lake Environments	Institute of Hydrobiology,CAS		pp.41	1996.10	217
糸状藻類を使った湖沼浄化	丹羽　薫	バイオレメディエーションの実際技術	シーエムシー		pp.157～164	1996.11	218～225
軽石濾過による濁質除去実験について	田中康泰 福渡　隆 丹羽　薫	土木学会関東支部会	土木学会			1997.3	226～227
糸状藻類を活用した水質浄化システムの開発	福渡　隆 田中康泰 丹羽　薫 山崎　崇	土木学会関東支部会	土木学会			1997.3	228～229
流動制御による富栄養化対策のメカニズムについて	福渡　隆 田中康泰 丹羽　薫	土木学会関東支部会	土木学会			1997.3	230～231

論　文　名	著者名	書籍名	発行所	巻号	頁	発行年	本誌掲載頁
糸状藻類の栄養塩吸収能力の日変化に関する考察	田中康泰 福渡　隆 丹羽　薫 相澤　毅	第44回日本生態学会大会要旨集	日本生態学会		pp.134	1997.3	232
浮遊藻類の耐暗性に関する実験的検討	福渡　隆 田中康泰 丹羽　薫 山崎　崇	第44回日本生態学会大会要旨集	日本生態学会		pp.135	1997.3	233
流動制御によるダム湖の水質保全	福渡　隆 寺川　陽 田中康泰	第５回水資源に関するシンポジウム論文集	水資源シンポジウム委員会		pp.217～222	1997.8	234～239
Water quality control of lakes using an ecosystem of filamentous algae	寺川　陽 福渡　隆 李　建華	2nd International symposium of ecology and engineering	国際水理学会（IAHR）		pp.9	1997.11	240
ダム湖の富栄養化対策の動向	寺川　陽 福渡　隆	ダム技術	ダム技術センター	No.136-1	pp.31～39	1998.1	241～249

Ⅲ－2　研究室メンバー構成

環境計画研究室名簿

（平成10年8月現在）

（現職名簿）

氏名	役職
寺川　陽	室長
安陪和雄	主任研究員
並河良治	主任研究員
天野邦彦	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	研究員
李建華	重点研究支援協力員
佐藤一幸	重点研究支援協力員
池田尚子	交流研究員
中山亮	交流研究員
和田一斗	交流研究員

（ＯＢ名簿）

氏名	役職	在籍期間
丹羽薫	室長	H5.4.6 ～ H9.3.31
安田吾郎	主任研究員	H5.4.6 ～ H6.11.1
久納誠	主任研究員	H5.4.6 ～ H7.3.31
長野幸司	研究員	H5.4.26 ～ H7.10.31
久保徳彦	研究員	H5.4.6 ～ H8.3.31
真田誠至	技官	H5.4.6 ～ H7.4.15
田中奈美	特別研究員	H7.10.1 ～ H9.3.31
杉盛啓明	重点研究支援協力員	H8.9.1 ～ H10.5.31
山下芳裕	交流研究員	H5.4.6 ～ H5.9.30
古里栄一	交流研究員	H5.4.6 ～ H6.3.31
森本浩之	交流研究員	H6.4.1 ～ H7.3.31
古永充	交流研究員	H6.4.1 ～ H7.9.30
高橋健夫	交流研究員	H6.4.1 ～ H7.9.30
谷本茂	交流研究員	H7.10.1 ～ H8.3.31
山崎崇	交流研究員	H7.10.1 ～ H8.9.30
小川和延	交流研究員	H7.10.1 ～ H8.9.30
須藤晴夫	交流研究員	H7.4.1 ～ H9.3.31
相澤毅	交流研究員	H8.10.1 ～ H9.3.31
畑原隆司	交流研究員	H8.10.1 ～ H9.9.30

環境計画研究室調査研究報告書
(平成9年度)

土木研究所資料第3588号
平成10年8月 (1998)

寺川　陽，丹羽　薫，安陪　和雄
並河　良治，天野　邦彦，小栗ひとみ
福渡　隆，舟橋　弥生，田中　康泰

要　旨

平成9年度に環境計画研究室が実施した調査研究結果（各課題別の成果概要と対外的な発表論文）をとりまとめた。

環境評価技術、環境アセスメント技術、地域特性を活かした地域計画・施設設計手法、景観の予測・評価、GISを活用した湖沼流域管理技術、及び湖沼の総合的な富栄養化対策技術の6つのテーマに分類して編集してある。

キーワード：環境経済評価、環境アセスメント、地域特性、景観シミュレーション、GIS、富栄養化対策

郵便はがき

50円切手をはって下さい。

3050804

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

土木研究所資料 第3588号　　部

上記のとおり受領しました。

所　属（住所）

氏　名　　㊞

土木研究所資料 第3588号