

土木研究所資料

環境計画研究室
調査研究報告書
(平成10年度)

平成12年6月

建設省土木研究所
環境部環境計画研究室

Copyright © (2000) 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。

環境計画研究室調査研究報告書 (平成10年度)

環境計画研究室	室	長	安	田	佳	哉				
	前	室	長	寺	川	陽 ^{*1}				
	主	任	研	究	員	安	陪	和	雄	
	前	主	任	研	究	員	並	河	良	治 ^{*2}
	主	任	研	究	員	天	野	邦	彦	
	主	任	研	究	員	長	野	幸	司	
	研	究	員	小	栗	ひとみ				
	前	研	究	員	福	渡	隆 ^{*3}			
	研	究	員	舟	橋	弥	生			
	前	研	究	員	田	中	康	泰 ^{*4}		
	技	官	鈴	木	宏	幸				

要 旨

平成10年度に環境計画研究室が実施した調査研究成果（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

*1 中部地方建設局中部技術事務所所長

*2 土木研究所企画部国際研究協力推進室室長

*3 建設経済局建設業課構造改善係長

*4 北海道開発局石狩川開発建設部計画課第2計画係

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10年度末で満6年を経過しました。この間、平成6年1月には建設省環境政策大綱が制定され、同年12月には環境基本法に基づく環境基本計画が閣議決定されました。また平成9年6月には環境の整備と保全が河川法に位置付けられ、更には環境影響評価法が同年同月に成立し、昨年6月より全面施行されるなど、国民の環境に対する意識の高まりは、行政面でも様々な動きを生んでおり、この傾向は、今後ますます強くなっていくことはあっても衰えることはないと思われます。

一方で、バブル崩壊後の我が国の経済情勢は曲がり角を迎えており、少子高齢化の進展もあって今後の新規投資が制約される中、環境面での新たなニーズも含め、真に国民の満足度の高い国土基盤整備が強く求められています。

このような状況の下、当研究室では、国土基盤整備に関する環境計画の充実を目指し、①環境の評価技術、②地域を活かした環境計画技術、及び③流域環境の総合管理技術の3つをテーマに、様々な調査研究を実施してきています。

本報告書は、平成10年度に当研究室が行った研究成果を取りまとめた物です。今後さらに研究を進めていく上でも、内容について忌憚のないご意見やアドバイスをいただければ、幸いに思います。

なお、末筆になりましたが、研究にご協力をいただきました関係各位に対し、心からお礼を申し上げます。

平成12年5月
環境部環境計画研究室長
安田 佳哉

目 次

まえがき

I. 平成10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
建設分野における外部コスト評価手法の開発に関する研究	3
地域特性を踏まえた人の感性の計測・評価方法に関する研究	5
湖沼の環境評価に関する調査	7
道路の環境保全施設や付加的施設の経済評価に関する調査	9
I T S の社会化・受容化調査	11

I-2 環境アセスメント技術に関する調査研究

建設事業が水域の生態系に及ぼす影響の予測技術の開発	13
環境影響評価技術指針作成	15

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	17
------------------------------	----

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	19
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	21
1/f ゆらぎ理論を用いた道路修景に関する調査	23
シビックデザインに関する調査	25
運転者から見た走行景観の検討	27

I-5 G I S 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	29
流域水管理への地理情報システムの利用に関する調査	46
土地利用変遷が湖沼流域の物質循環に及ぼす影響の評価手法に関する調査	48

I-6 湖沼の総合的な富栄養化対策技術に関する研究

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	51
湖沼の総合的富栄養化対策技術に関する調査	55
流動制御システムに関する調査	57
貯水池の水質保全に関する調査	59

底泥からの汚濁防止対策に関する調査	61
人工生態礁による富栄養化対策に関する調査	63

II. 発表論文 (1998.4~1999.3)

II-1 環境評価技術に関する研究

CVM (仮想金銭化法) を用いた環境施設帯の経済評価 (土木技術資料, 1998.5)	65
HTCM を用いたスキー場の評価 (土木計画学研究・講演集21, 1998.11)	71
多様な環境質の評価~HTCM, CVM及びAHPの適用~ (土木計画学研究・講演集21, 1998.11)	75
生態系に配慮した社会資本整備イメージの把握 (土木計画学研究・講演集21, 1998.11)	79

II-2 景観の予測及び評価に関する研究

SD法を用いたダム湖景観評価の試み (土木技術資料, 1998.5)	83
景観評価システムの構築に関する研究 (土木計画学研究・講演集21, 1998.11)	89
ダム湖における景観イメージ分析 (土木計画学研究・講演集21, 1998.11)	93
SD法によるダム湖景観評価の試み (ダム技術, 1998.11)	97
1/fゆらぎを導入した歩道の試験施工 (土木技術資料, 1999.3)	107
1/fゆらぎ理論を適用した歩行者空間の整備 (土木技術資料, 1999.3)	109

II-3 GISを活用した湖沼流域管理技術に関する研究

湖沼流域環境管理シミュレーションシステム (土木技術資料, 1998.8)	115
分布型物質流動モデルによる降雨時汚濁流出負荷量の推定 (第53回年次学術講演会講演概要集・第7部, 1998.10)	121
GISとインターネットの連携による流域水環境データベースの構築 (第23回土木情報システムシンポジウム講演集, 1998.10)	123
GISを活用した霞ヶ浦流域水環境データベースの構築 (土木技術資料, 1999.2)	127
GISを活用した湖沼流域環境管理システムに関する研究 (第26回関東支部技術研究発表会, 1999.3)	129
Lake watershed GIS data base for lake water quality management (Quality Management and Availability of Data for Hydrology and Water Resources Management, 1999.3)	131
GISと水文シミュレーションモデルの統合 (日本地理学会発表要旨集, 1999.3)	135

II-4 湖沼の総合的な富栄養化対策技術に関する研究

オランダにおける湖沼水質管理の取り組み (土木技術資料, 1998.5)	137
湖沼底泥からの栄養塩溶出メカニズムについて (土木技術資料, 1998.7)	139

流動制御システムを導入したダム湖における湖内流動観測	
(水文・水資源学会 1998 年研究発表会要旨集, 1998.8) . . .	141
Current Control System for Lake Water Quality Management	
(Proceedings of the International Water Resources	
Engineering Conference , 1998.8)	143
富栄養化現象の局地対策に関する予備実験について	
(第53回年次学術講演会講演概要集・第7部, 1998.10)	149
秋期の東京湾奥部における風による成層破壊と底層の無酸素水塊の湧昇過程	
(土木学会論文集, 1998.11)	151
Modeling competition and succession between red-tide causing	
<i>Chattonella</i> and diatoms (J.Hydrosience and Hydraulic Engineering, 1998.11) . .	168
東京湾におけるタンカー事故による原油流出解析 (海岸工学論文集, 1998.11)	182
富栄養化した貯水池における底泥のリン吸着能に及ぼす酸化及び	
乾燥の影響に関する実験的検討 (日本水環境学会年会講演集, 1999.3)	187
II-5 交流研究員報告	
平成10年度	189

III. 資料編

III-1 発表論文一覧	203
III-2 研究室メンバー構成	205

I，平成10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

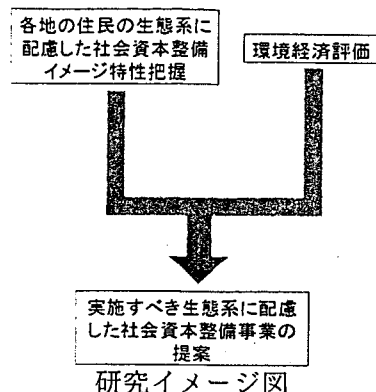
研究期間：平成9～平成12

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。

10年度は、公園及び水辺空間について各地域の住民が望む整備イメージの地域差、及び、自然生物に関する情報提示の有無による認識差の把握のための調査を行った。その結果、公園に求められる機能では自然についての重要度が高く、機能についてある程度の地域差が存在すること、望まれる自然は一定レベルまでであること、公園、水辺については家の近くよりも歩いていける距離、自転車で行ける距離にあるのが望ましいと考えられていることが明らかとなった。



1. 研究方法

1.1 被験者の属性

調査対象地域は、地域特性の異なる東京都、印西市、つくば市、大子町の4地域とし、住民基本台帳からランダムサンプリングを行い、アンケート郵送を行った結果、被験者は東京都367名（回収率30.6%）、印西市299名（回収率39.9%）、つくば市314名（回収率41.9%）、大子町341名（回収率45.5%）となった。

1.2 コンジョイント分析

コンジョイント分析は、マーケティング・リサーチの分野で広く活用されている手法の一つで、多次元の属性の組み合わせにより決定される順序関係が与えられたときに、各属性の相対重要度及びその各水準の効用値（部分価値）を推定するものである。効用値とは、個々の属性内の水準を採用することによって得られる効用の値、つまり被験者のその水準に対する魅力の度合いのことであり、この振れ幅によって相対重要度の算出を行っている。本調査では、公園、水辺空間について、被験者にプロフィール（属性の束）を提示し、それらを望ましい順に並び替えてもらい、各属性の相対重要度を推定した。

各属性についてはプレ調査の結果をもとに以下に示す各4属性（各2または3水準）とした。

公園：自然度（植物豊か生物多い，植物豊か生物少ない，植物少ない生物少ない），休息（芝生ベンチがある，芝生ベンチがない），運動（できる，できない），子供の遊具（ある，ない）

水辺：自然度（生き物多い，生き物少ない），親水性（あり，なし），散策（できる，できない），護岸形状（自然的，人工的）

1.3 施設整備希望距離

公園、水辺空間それぞれ自然度の低程度，中程度，高程度の3枚の写真を被験者に提示し、「好感度」及び「住まいからの望ましい距離」について質問を行った。次に、上で用いた3枚の写真に、それぞれの自然生物に関する情報を追加し同じ質問を行い、景観情報に自然生物情報を追加した場合の評価の変化をみた。

2. 結果

2.1 調査対象地域の地域特性

フェイスシート部分で質問をおこなった「あなたの今のお住まいの近く（おおむね 500m）には田畑、公園、山、森林、川がありますか」についての回答結果を図 1 に示す。公園については、大子町は 5.6 %とほとんどなく、東京は 90.2 %と非常に多い。山、森林については東京が非常に低い数値となっており、大子町では非常に高い数値を示している。印西、つくばは概ね同様の傾向であるといえる。

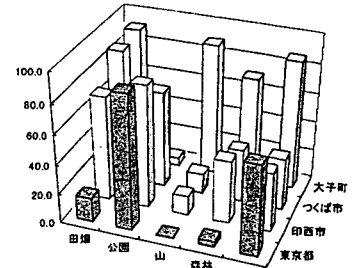


図 1 住居周辺の自然環境

2.2 コンジョイント分析

図 2, 3 に示すように各地域とも公園、水辺とも自然度に対する重要度が高い結果となった。

公園については大子町が自然度に関して若干低い数値を示している。図 1 に示したように大子町は他地域と比較して身近に公園がなく、田畑、山、森林等の自然が充分にあり、あえて公園に自然度を求めているためと考えられる。水辺については各地域ともほぼ同様の傾向を示しており、大きな地域差はみられなかった。

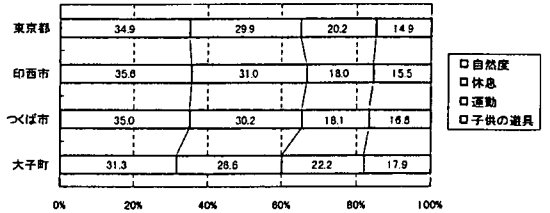


図 2 公園の各属性相対重要度

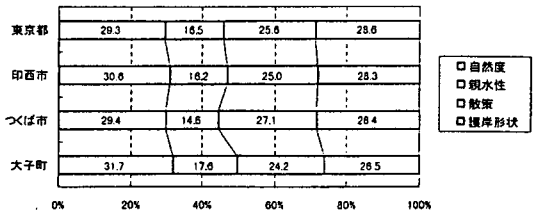


図 3 水辺空間の各属性相対重要度

2.3 施設整備希望距離

「好感度」については、公園、水辺とも自然度：中が最も好感度が高くなっている。自然生物等に関する情報を追加した後では、自然度：低、高ともに好感度が下降する傾向がみられ、自然度：中については好感度の上昇がみられた。つまり、コンジョイントで自然度の重要度が高いことは確認されたが、好まれるのはある程度のレベルまでであると考えられる。地域差については、実際の写真の提示では、コンジョイントで質問した機能以外にも景観の要素が加わることもあり、コンジョイントでみられたような自然度による各地域の違いはみることができなかった。

「住まいからの望ましい距離」については、公園では、自然度：低、中では、「歩いていける距離」、自然度：高では、「自転車で行ける距離」への回答率が高く、情報追加後は、自然度：低で「車や電車で行ける距離」、自然度：中で、「家の近く」、自然度：高で「行きたいと思わない」への回答率が若干上がっている。自然に対する重要度は高いが、実際の公園整備に関しては家から至近距離が望まれているわけではないという傾向がみられる。水辺では、自然度：中で「歩いていける距離」の回答率が高く、他は遠距離の回答率が高い。情報追加により、さらにその傾向は増している。公園、水辺ともに地域差による特徴的傾向をみだすことはできなかった。

表 1 施設に対する好意率

	%	公園				水辺				水辺			
		自然度：低		自然度：中		自然度：高		自然度：低		自然度：中		自然度：高	
		好き	嫌い	好き	嫌い	好き	嫌い	好き	嫌い	好き	嫌い	好き	嫌い
1 回目	東京	72.9	27.1	91.5	8.5	86.0	14.0	76.2	23.8	77.8	22.2	76.6	23.4
	印西	76.5	23.5	90.6	9.4	80.2	19.8	73.9	26.1	76.9	23.1	75.8	24.2
	つくば	74.8	25.2	91.7	8.3	78.5	21.5	72.1	27.9	72.5	27.5	71.6	28.4
	大子	73.4	26.6	88.4	11.6	82.1	17.9	74.6	25.4	80.3	19.7	72.0	28.0
2 回目	東京	66.8▽	33.2△	84.5	5.5	76.2▽	23.8△	68.7▽	31.3△	87.7△	12.3▽	74.8	25.2
	印西	67.0▽	33.0△	92.6	7.4	71.6▽	28.4△	64.5▽	35.5△	88.6△	11.4▽	72.1	27.9
	つくば	69.1▽	30.9△	93.3	6.7	70.0▽	30.0△	60.9▽	39.1△	84.7△	15.3▽	69.3	30.7
	大子	68.7▽	31.3△	91.9	8.1	73.4▽	26.6△	67.8▽	32.2△	86.7△	13.3▽	66.9▽	33.1△

△▽: 5%以上の値の変化がみられる部分

表 2 施設整備希望距離

	%	公園(自然度：低)					公園(自然度：中)					公園(自然度：高)				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
		家	歩いていける距離	歩いていける距離	歩いていける距離	歩いていける距離	家	歩いていける距離	歩いていける距離	歩いていける距離	歩いていける距離	家	歩いていける距離	歩いていける距離	歩いていける距離	歩いていける距離
1 回目	東京	6.5	41.8	32.5	5.9	13.3	11.7	51.7	29.2	4.7	2.8	7.0	25.5	33.1	30.3	4.2
	印西	5.5	39.0	35.2	13.4	6.9	12.2	52.0	24.7	9.1	2.0	7.5	32.8	33.1	19.5	7.2
	つくば	3.9	36.2	42.0	10.7	7.2	12.3	49.4	31.8	4.5	1.9	4.2	23.6	43.0	20.7	8.4
	大子	4.4	43.0	26.2	15.9	10.6	11.2	46.4	28.8	7.0	6.7	11.2	31.3	32.5	16.1	8.8
2 回目	東京	8.5	37.4	27.8	12.7△	13.6	17.1△	45.7▽	28.9	6.1	2.2	6.3	22.0	24.5▽	36.8△	10.4△
	印西	5.8	33.0▽	31.6	20.6△	8.9	18.0△	48.8	26.1	5.1	2.0	6.8	25.8▽	34.9	21.7	10.8
	つくば	4.2	34.0	35.0	19.4△	7.4	15.4	51.3	26.0▽	5.4	1.9	5.2	18.8	38.2	23.6	14.2△
	大子	5.4	30.5▽	30.5	22.2△	11.4	15.3	44.8	26.7	8.9	4.3	11.3	27.6	29.5	15.7	16.0△
	%	水辺(自然度：低)					水辺(自然度：中)					水辺(自然度：高)				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
		家	歩いていける距離	歩いていける距離	歩いていける距離	歩いていける距離	家	歩いていける距離	歩いていける距離	歩いていける距離	歩いていける距離	家	歩いていける距離	歩いていける距離	歩いていける距離	歩いていける距離
1 回目	東京	6.9	25.7	29.6	27.3	10.5	14.0	36.9	33.0	6.4	9.8	7.8	17.2	28.5	34.3	12.2
	印西	7.6	20.7	28.6	37.2	5.9	11.2	39.0	31.9	8.5	9.5	6.4	20.3	37.2	22.6	13.5
	つくば	5.5	19.0	29.4	37.7	8.4	7.8	29.0	40.4	9.8	13.0	3.9	14.5	36.5	29.4	15.8
	大子	8.4	30.4	23.2	28.3	9.6	19.8	39.0	21.0	8.7	11.4	7.6	22.8	30.1	24.6	14.9
2 回目	東京	8.5	26.6	23.3▽	31.2	10.4	22.4△	37.4	29.4	4.7	6.1	7.4	15.4	29.1	34.1	14.0
	印西	6.1	21.5	28.7	34.8	8.9	18.0△	49.5△	25.8▽	2.0	4.7	4.4	20.1	37.9	24.6	13.0
	つくば	4.2	16.1	26.4	43.1△	10.3	13.3△	40.3△	35.4▽	5.8	5.2▽	3.9	16.2	34.4	27.6	17.9
	大子	6.5	27.6	20.7	33.7△	11.5	19.7	44.6△	21.8	7.1	6.8	9.2	21.2	25.2	24.3	20.0△

選択経路： 1. 家の近く 2. 歩いて行ける距離 3. 自転車で行ける距離 4. 車や電車で行ける距離 5. 行きたいと思わない
△▽: 5%以上の値の変化がみられる部分

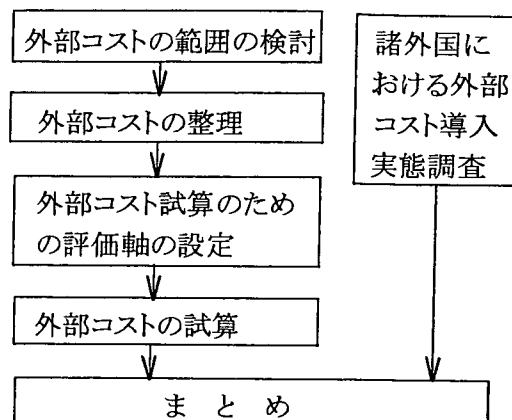
建設分野における外部コストの評価手法の開発に関する研究

研究期間：平10～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

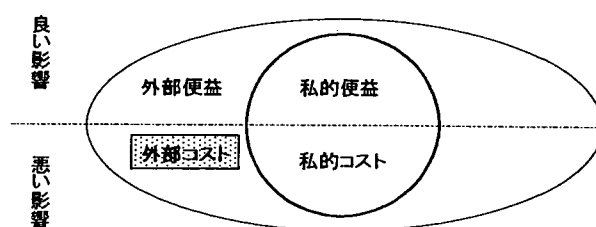
【要 旨】

本研究は、環境や機会費用のようにこれまでコストとして算入されていなかった社会的な費用（外部コスト）を明示的に算出する手法の開発を目指すものである。本年度は、研究の初年度として、外部コストの範囲の検討、諸外国における外部コスト組み込みの実態調査、外部コスト算出を行う際の評価軸の検討及び具体的な項目に関する事例計算（ケーススタディー）を行った。ケーススタディーでは、外部コストの評価指標のうち重要度と評価・算出の難易度を考慮し、建設副産物の中間処理場の立地・稼働に伴う外部コストをヘドニック法によって試算した。その結果、処理場1箇所1年当たり1.8億円の外部コストが生じていることが算出された。



1. 研究方法

本研究では、費用と便益を図－1のように分類するものとする。ここで、私的便益とは、事業者が本来目指していた効果、外部便益とは事業の副次的な効果（良い影響）とし、私的コストとは事業費そのものを意味し、それ以外の社会的なコスト（事業の悪い影響）を外部コストと整理した。さらに、外部コストを環境に関するものと環境以外のものの2つの部分に分類して整理した。また、外部コストの制度的扱いに関する諸外国の情報を収集整理した。



図－1 外部コストの範囲の概念図

2. 研究結果

(1) 諸外国における外部コスト導入事例の収集

諸外国における公共事業への外部コスト導入事例を整理するため、アメリカ合衆国、イギリス、ドイツの3ヶ国について、文献の収集を行った。その結果、ヘドニック法、CVM法等の外部費用評価手法を導入して、公共事業の評価を行っている事例は存在しなかった。アメリカ合衆国においては、スーパーファンド法によって環境被害の賠償を求められることがあり、その際にCVMによって金銭評価がなされている事例はあるが、事業実施に際してこのような経済性評価手法が導入されない根本的な理由としては、主要な環境法において、例えば「安全性に対して十分な余裕をもって、公衆の健康を守ることができる（Clean Air Act, 大気清浄法）」レベルというような表現で、完全を目指しているものが多く、そのことが経済性評価のような環境とのトレードオフを許す方法が導入されない原因となっていることが指摘されている。

(2) 外部コストの整理手法の検討

建設事業における私的便益・私的費用および外部便益・外部費用について、表－1に示すように重要度（事業規模、発生頻度、影響範囲）、計測・評価の難易度、コスト区分の各指標より整理を行い、試算を行う項目の選定を行った。

表－1 外部コスト項目を整理するための指標

指 標		内 容	
重要度	事業規模	大規模	建設事業全体、道路
		中規模	河川、下水道
		小規模	公園
	発生頻度	頻度多	工事の度に発生
		頻度少	工事によって発生する場合あり
	影響範囲	地球規模	全地球的に何らかの影響を与える
		周辺地域	当該工事を含む周辺地域まで影響を与える
		当該工事	当該工事の範囲内に影響がとどまる
計測・評価の難易度	可能：実績多	計測・評価が可能であり、計測・評価の実績も豊富	
	可能：実績少	計測・評価が可能であるものの、計測・評価の実績が小数	
	困難	計測・評価について、方法が確立されていないか、データ不足等の理由により困難	

(3) 評価項目の選定

試算を行う外部コストの項目の選定条件は、以下のとおりとした。

<選定条件>

- 1) 「重要度」： 事業規模が大きくインパクトの大きいものが選定項目として望ましいため、事業規模が「大規模」であり、影響範囲が「地球規模」もしくは「周辺地域」レベルであるものを選定する。
- 2) 「計測・評価の難易度」： 計測・評価が可能であることが前提条件であるが、計測・評価の実績が既に多いものについては対象外として、「可能：実績少」であるものを選定する。

(4) 外部コストの試算

(3)での選定条件を考慮した結果本年度は、建設副産物の処理・処分に伴う環境悪化の外部コストの試算を行った。外部コストとしては、建設副産物を処理・処分する際に発生する騒音、振動、悪臭やダンプトラック出入りなどの総和としてのコストと理解される。試算方法は、中間処理場の周辺地価の下落の程度をヘドニック法により定量化することによった。使用した地価データは、公示価格及び相続税路線価であり、被説明変数である地価を説明する変数として①処理・処分場までの直線距離、②最寄り駅までの道路距離、③最寄り小中学校までの道路距離、④用途地域、⑤処理・処分場の立地地域を設定した。

試算では、N社処分場 337 サンプル、T社処分場 215 サンプル、Ni社処分場 397 サンプル、合計 949 サンプルに関する被説明変数および説明変数のデータを収集し、地価関数の推定を行った。その結果、処理・処分場までの距離、最寄り駅までの距離、最寄り小中学校までの距離のすべてを半対数形とした場合の決定係数が 0.85 と大きな数値となった。なお、これら 3 つの説明変数を線形とした場合の決定係数は 0.82 となった。

以上の設定により、建設副産物の処理・処分場の運営に伴う環境悪化の外部コスト E を推計すると、

$$E = 1.80 \times 10^8 \text{ (円/年・箇所)}$$

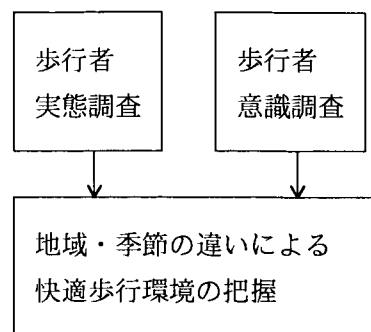
という結果を得た。

3. まとめ

本年度は、外部コストの整理、諸外国における状況調査及び外部コストの一つの試算を行ったが、外部コストは十分大きな額になるという試算結果を得た。平成11年度以降には、調査対象とする外部コスト項目を複数個選定し、外部コストの計測適用の範囲を広げると共にその精度の向上方策について検討し、最終的には、建設事業コストの総合化に関する手法の提案を行いたい。

【要 旨】

歩行の目的、理由は様々であるが、通勤や通学など、時間や手段を自分の都合で決められないものも多いが、一方、散歩や買い物など行うかどうか、またいつ行うかを自由に選択できるものもある。後者が季節により、地域によってどのように変化するかを調査することにより、気候を含む地域特性が歩行行動に与える影響の程度や影響の与え方が明らかになるものと考え、快適な歩行空間整備を図る上での基礎的知見を得ることを目的として、札幌市、静岡市及び鹿児島市の3地区で夏、秋及び冬の3時点で歩行者の実態調査を行った。その結果、歩行者の行動に季節変動が生じていることが明らかになった。



1. 研究方法

気候の影響と歩行者の意識の違いを明らかにするため、気候の異なる3地域（鹿児島、静岡、札幌）において、歩行者に対し

表-1 調査日の天気と気温

地 点	札幌市		静岡市				鹿児島市		
調査日	H10.8.21	H11.2.16	H10.8.23	H10.10.4	H11.1.26	H11.1.31	H10.8.25	H10.10.8	H11.1.26
曜 日	金	火	日	日	火	日	火	木	火
天 気	晴～曇り	晴	快晴	快晴～晴	快晴	快晴～晴	快晴～晴	快晴～晴	快晴～晴
最低気温(度)	17.7	-2.7	23.5	17.3	2.9	-1.6	25.2	19.2	7.2
最高気温(度)	27.9	5.9	31.3	28.1	15.2	11.6	33.6	28.9	15.4
平均気温(度)	22.2	2.1	26.8	23.1	9.1	5.1	28.3	23.7	10.6

て聞き取り調査を行った。調査日は表-1に示す通りであり、午前6:00～午後9:00までの連続15時間調査を行った。調査の質問項目は、歩行の目的、頻度、歩行環境の満足状況等である。

それぞれの地域における調査地点の選定は、多様な目的の歩行者が通過する地点として、住宅地区と商店及び業務地区の間に位置し、2車線で歩道に高木が植栽されている地点とし、歩道幅員、植樹状況、周辺の街並等が類似している地点を選定した。

2. 結 果

(1) 歩行者数

時間帯別の歩行者数は、それぞれの地点で異なるパターンを示した。鹿児島の場合、朝夕の通勤・帰宅時間帯に歩行者のピークが見らる（図-1-1）。札幌市の場合、夕方のピークは見られない（図-1-2）。

鹿児島市の場合、夏、秋及び冬の3つの季節を比較すると以下に示す傾向が明らかになった。

①朝の立ち上がりは、どの季節も余り変化がない。

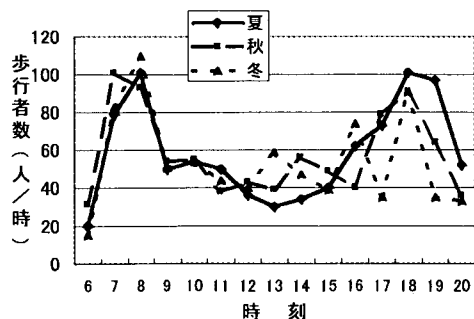
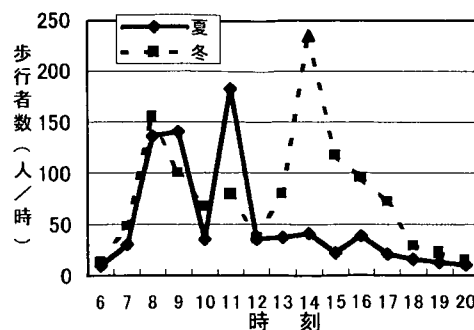


図-1-1 時刻別歩行者数(鹿児島市)



②正午から午後4時にかけて夏は、歩行者数が少なく、季節が進むにつれて午後の早い時間の歩行者数が増加している。

③夏は、夕方から晩の時間に歩行者数が増加しているが、季節が進むにつれて6時台を除くこの時間帯の歩行者数が少なくなっている。

札幌市の場合、午前7～8時の立ち上がりは夏冬同じであるが、夏は午前の歩行者数が多く、冬は午後の時間に多くなっている。

(2) アンケート調査

調査地点において聞き取りアンケート調査を実施した。質問内容は、歩行の目的、頻度、時間の選択理由、徒歩を選択した理由のほか歩道を歩いていて気になる点についても質問した。先を急ぐ人、2度以上通行する人や日没後の調査地点の暗さのため等アンケートに協力する人は、歩行者数に対して14%程度の有効回答率を得るにとどまった。調査結果からは次の点が明らかになった。

①時間帯選択理由

通勤・通学などの拘束目的以外（非拘束目的）の人が歩行の時間帯を選択する理由（複数回答可）を見ると、「生活の都合」を選択する人が全体に多いが、快適性との関連で「気持ちのいい時間帯だから」を選択した人の分布に着目し、時間帯別に見ると、鹿児島市の場合、夏では午前11時から午後4時までは、全く選択されていない。一方、秋の調査では、午前中には選択する人がほとんどいないが、夕方の時間帯では、選択率が高くなっている。さらに、冬の調査では午前中の遅い時間帯と午後3時までが選択率が高いが、午後3時を過ぎるとこの項目を選択した人が全くいなくなった。この結果から、気持ちがよいと感じるのは、冬の早朝を除いてある程度の気温より高く、また、ある程度の気温より低い場合であることが確認できた。

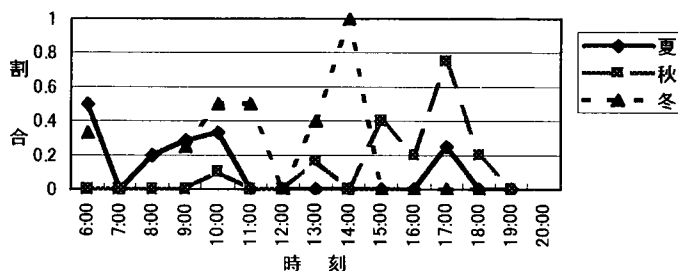


図-2 「気持ちのいい時間帯だから」を選択した人の割合
(鹿児島市)

②歩行の理由

歩行の理由に関する質問に対して、「他に手段がないから」に印を付けなかった人のうち、「歩きたい気分だから」に印を付けた人の割合を示したものが表-2である。この結果では、休日に調査した静岡は、他の2地区に比べ選択比率が高く、また、冬の調査では、平日に比べ休日調査の結果は、2倍以上の数値となっている。また、季節変動を見ると鹿児島では、秋、冬、夏の順に多く、静岡では、冬、秋、夏の順となった。札幌でも冬の方が夏より多い。一方、「健康のため」という項目に印を付けた人の割合は、約6割に達し、歩行が適度な運動として捉えられていることが伺える。

表-2 歩きたい気分だからを
選択した人の割合

	札幌	静岡	鹿児島
夏	0.082	0.171	0.051
秋		0.246	0.321
冬	0.150	0.413	0.189
冬(静岡平日)		0.176	

3. まとめ

3地域の3季にわたる調査から、気温の高い夏は積極的に歩きたいと感じる人が少なく、時間帯別歩行者数も日中の暑い時間を避ける傾向があること、秋から冬にかけて気温がある程度低くなった季節に「歩きたい気分」となることが明らかになった。この現象から、歩行者のための施設整備には、夏の時期において涼しく感じるような施設の整備が望まれることが示唆されていると考えられる。

湖沼の環境評価に関する調査

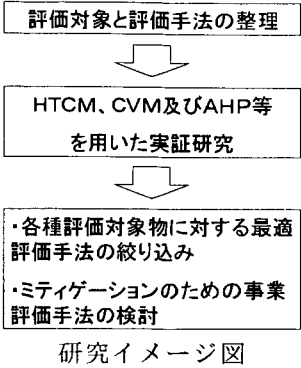
研究期間：平 6 ～ 平 1 0

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】

本調査は、環境のような非市場財の評価手法として TCM (Travel Cost Method : 旅費法)、HTCM (Hedonic Travel Cost Method : ヘドニック旅費法)、CVM (Contingent Valuation Method : 仮想市場評価法) 及び AHP (Analytic Hierarchy Process : 階層化意志決定法) 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を目指すとしている。

10 年度は、CVM によるミティゲーション事業の評価手法について検討を行った。その結果、各ミティゲーション措置についての経済価値、自然環境認識と CVM の関係を見出すことができた。



1. 研究方法

1.1 被験者の抽出

調査対象河川として久慈川を選定した。調査対象者は、久慈川を生活の一部として利用している山方町、大宮町、瓜連町の 20 歳以上の世帯主 400 名。調査方法は、個別面接聴取法を採用した。

1.2 調査の内容

本調査は、ミティゲーションのレベル（回避、最小化、代替、修復・再生）による経済価値の差、及びミティゲーションの対象（多様な自然生態系、特定の種（今回はゲンジボタル））による価値の差を CVM を用いて評価を行った。質問形式は WTP (Willingness To Pay : 最大支払い意志額) を訊ねる形式とし、質問形式は繰り返し付け値法を用いた。シナリオは、ミティゲーションの主旨を理解しやすくするために、ダムを建設する際に、一時的に必要となる工事用道路の建設についてミティゲーションの措置を行うこととした。

各ミティゲーションの定義は以下のとおりとした。

表1 ミティゲーションの内容

措 置	内 容	シナリオにおけるメリット・デメリット
回避	ある行為またはその部分的な行為をしないことにより、すべての影響を避ける。	対象地への影響は全くない。対象地以外の環境は復元されない。
最小化	ある行為及びその実施の程度または規模を制限することにより影響を最小限にする。最小化した影響を回復する。	対象地の橋脚部分が橋梁（橋脚）撤去後も復元されない。
代替	代替的な資源または環境で置き換えるかそれを提供することにより影響を代償する。	対象地は道路撤去後修復されない。代替地では元の環境が復元される。
修復・再生	影響を受けた環境を修復、再生または回復することにより影響を矯正する。	対象地は元の状態に戻される。約 7 年間、元の環境は失われてしまう（ダム高 20 m のダムを建設するのに工事用道路の建設から撤去までの期間は約 7 年である）。

比較のためにダム周辺事業（休息・散策施設の整備、スポーツレクリエーション施設の整備、文化・コミュニティの場としての整備）についても CVM による調査を行った。また、AHP を用い、ミティゲーション及びダム周辺事業について重要度の比較を行った。

2. 研究結果

2.1 ミティゲーションの WTP の集計

400 名の被験者の被験者を多様な生態系について調査する 200 名と特定の種について調査する 200 名にわけ、各被験者に対しては、回避、最小化、代替、修復・再生のうち 2 つの措置について質問を行った。調査で得られたデータから「判断基準が不適切」「抵抗回答」「無理解」「無関心」などの異常データを排除した結果を平均したものを図 1 に示す。

WTP については多様な生態系の方が、特定の種よりも高い WTP を示している。措置については、多様な生態系では修復・再生が、特定の種では最小化が最も高い WTP を示しており、代替が両者で最も低い WTP となっている。技術者の認識としては回避がもっとも望ましいと思われるが、アンケート結果は異なっており、このギャップについては今後検討が必要である。

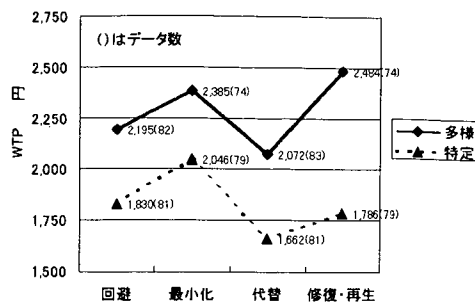


図 1 ミティゲーションの WTP

2.2 AHP の結果

一対比較の妥当性の検証ため、CI (Consistency Index: 整合度)、CR (Consistency Ratio: 整合比) による判定を行った。一般に CI、CR とも 0.15 以下のときは問題ない

表 2 AHP の結果

	休息・散策	スポーツ・レク	文化・コミュニティ	ミティゲーション	重要度
休息・散策	1	1.618	1.449	1.022	0.306
スポーツ・レク	0.618	1	1.009	0.718	0.201
文化・コミュニティ	0.690	0.991	1	0.729	0.206
ミティゲーション	0.978	1.393	1.372	1	0.287

注: 表は例えば「休息・散策」と「スポーツ・レク」を比較した場合、「休息・散策」のほうが「スポーツ・レク」と比べ 1.618 倍重要であることを表している。

とされており、この値が 0.15 を超えるものについてデータから削除した。その結果、データ数は 354 となった。これらのデータから重要度を求めるためデータを幾何平均を用い集計した。重要度については、休息・散策施設整備が 0.306 と最も高い値を示しており、続いてミティゲーションが 0.287 という値を示した。

2.3 CVM と AHP の結果の比較

図 2 に CVM と AHP の結果を示す。両手法ともに表明選好法（アンケートを用い人々に価値を直接たずねる手法）ということもあり、概ね同様の傾向を示している。ただし、CVM においては自由記述以外で質問を行う場合、質問者が提示する金額により WTP が変化することがあるため、各事業の比較には AHP が望ましいように思われる。

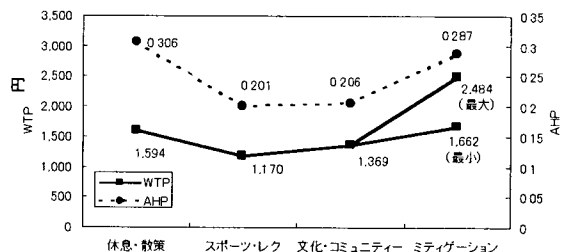


図 2 CVM と AHP の比較

2.4 自然環境認識とミティゲーションの WTP

「あなたの周りでは自然や生物が十分保全されていると思いますか。」
「あなたは普段自然や生物とふれあうことが多いと思いますか。」の 2 つの質問について「思う」に回答のあったグループと「思わない」に回答のあったグループについてミティゲーションの WTP の比較を行った。ミティゲーションの WTP については、各被験者に質問した 2 項目中金額の大きい方の WTP を各人がミティゲーションについて支払うことのできる最大額であると仮定してその平均値をとった。

図 3, 4 に結果を示す。多様な生態系については、ほぼ同じ WTP となったが、特定の種については「保全されていない」「ふれあう機会が少ない」という意識をもっている人々がより多くの負担をしてもよいと考えていることがわかる。このように自然環境認識と WTP の値には密接な関係があると思われる。

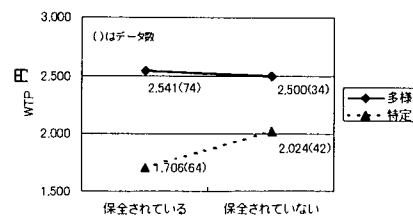


図 3 保全意識と WTP

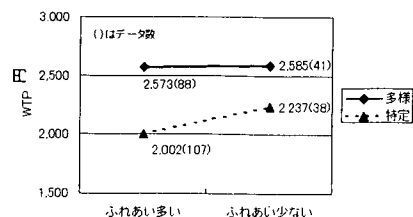


図 4 ふれあう機会と WTP

道路の環境保全施設や付加的施設の経済評価に関する調査

研究期間:平8～平10

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】

本研究は、これまで付加的な整備と見なされていた歩道の景観整備の経済評価を行ったものである。評価に当たっては、その適用性の広さから注目されているCVMを用いた。CVMは、積極的に適用しようとする動きがある一方、その信頼性に疑問を持つ人々も多く、数々の検証がなされてきている。本研究も公共事業におけるCVM適用の可能性を検証するため、支払方法の違いによるWTPの変化を確認することを目的として行ったものである。調査の結果、支払い回数を多くすれば合計のWTPの値も大きくなることが確認された。一方、支払い先の違いによるWTPの額には差が見られなかった。また、支払いを拒否する理由は、事業は、税金で行うべきであるとするものが多いことが分かった。



1. 調査方法

アンケート調査は、福岡市在住の一般市民を対象として、平成11年1月20日から29日にかけて実施した。サンプリングは、エリアサンプリングとし、福岡市内の11地区から無作為に抽出した世帯を455抽出し、これらの世帯に対して地域に偏りが出ないように10のケースを設定し、調査を行った。10のケースの内容は表-1に示すとおりであるが、主に支払いの制度、回数に着目してケースの設定を行った。また、調査は、訪問留め置き及び面接方式とし、CVM調査に関しては繰り返し付け値法により支払い意志額を調査した。

CVM調査のシナリオの概要は、以下のとおりである。①(計画対象の説明)あなたが日頃よく利用している最寄りの4車線以上の道路で歩道の改良を行う計画があるとします。②(現状の説明)A案のような標準的な歩道は、工事の費用はすべて税金(ほぼ全額がガソリン税等の自動車関連税)でまかなわれています。③(費用負担の説明)もし地元住民の意見を取り入れた歩道が整備されるならば、住民の意向からA案よりも費用が高くなる場合、その費用の一部を住民の合意を前提に地元住民で負担する方式で事業を実施してもらうよう申請することを考えています。

④(改正案の提示)地元住民の意見を集約した検討結果がB案とします。

負担金の支払い先による違いを見るため、事業計画を検討する場として、住民主体の組織「歩道環境検討協議会」を設置し、協議会への寄付金または、負担金として費用負担をするケース(ケース1, 2)、支払先を明示しないケース(ケース3～7, 9, 10)及び自治会費として負担するケース(ケース8)を設けた。

調査では、上記のCVM質問の他、年齢、性別等の個人属性、A案及びB案に対するSD調査、歩道の好みに対する調査並びにCVM質問に関連して、負担の受諾理由、拒否理由、望ましいと思う支払方法及び回答の難易度についても尋ねた。

2. 調査結果

回収した455票のうち、質問内容が分か

表-1 シナリオパターン

ケースNo	支払先	支払いの方法	備 考
1	仮定の協議会	負担金 1年間毎月	
2	仮定の協議会	寄付金 1回限り	
3	明記せず	負担金 1回限り	
4	明記せず	負担金 1年間毎月	
5	明記せず	負担金 1年間毎月	事業費を明記
6	明記せず	負担金 1年間毎月	協力の是非不問
7	明記せず	負担金 3年間毎月	
8	自治会	負担金 1年間毎月	
9	明記せず	負担金 1年間毎月	B案をゆらぎ案に
10	明記せず	負担金 1年間毎月	A案のグレードを高く

らないと回答した4票を除く451票について分析を行った。男女比は、男性 27.5 %、女性 72.5 %と女性に偏った結果となった。これは、訪問日が平日を含んだ結果と考えられる。また、年齢別には、60 歳以上の人 が 38 %とやや高齢者に偏った結果となった。月収は、無回答の割合が5割を超えており、面接方式で収入を聞くことが難しいことが再確認された結果となった。ケース毎の協力しない人(協力拒否)の割合は、図-1に示すとおりであるが、支払先の違いによって比較すると

(ケース1, 4, 8)、支払先を明記しないものが最も協力しない人の割合が小さく、仮定の協議会への負担金に対して協力しない人が最も多かった。同じ、協議会への支払いについてみれば、1度限りの寄付金として支払いを問うたもの(ケース2)は、負担金として1年間毎月払いとしたもの(ケース1)と比べてほぼ半分の拒否回答となった。

総支払い意志額(拒否者の支払い意志額を0円とした)を示したものが図-2であるが、本CV調査の結果では3年にわたり毎月負担金を支払うケース7が最も大きな額となっており、支払方法(回数)だけが異なるケース3(1回)及び4(1年間毎月)と比較して、平均値でそれぞれ5. 8倍及び2. 2倍(これらは、統計的に有意な差が認められた)、中央値では、それぞれ9倍及び3倍となっている。また、事業に協力してもよいと回答した人だけでみると、ケース7は、ケース3及び4に対して7. 4倍及び2. 6倍となった。1度の支払額の大きいケース3において、月収との明確な相関は認められなかった。このことから支払いを分割して長期の割賦とした方が総支払い意志額が大きくなることが確認された。支払先の違いによる支払い意志額は、支払先を明記しないケース4が最も高額になったが、統計的には支払先の違いによる差はなかった。

3. 考 察

本CVM調査の結果から、支払い意志額は、支払い回数を増加させる方が高額な結果が得られることが確かめられた。このことは、CVM調査には支払方法によるバイアスが存在することを明らかにするものである。また、CVM調査に関するNOAAのガイドラインによれば、支払い意志額が過小評価(underestimate)される設計が望ましいとされていて、このガイドラインに従うならば分割した支払方法は望ましいものでなくなる。しかし、評価する対象の価値が大きいと想定される場合、人々の支払い意志額は、各自の収入に影響されるものとなり、ただ一度限りの支払方法は大幅な過小評価になってしまう危険性がある。このバイアスに関してもさらに検討を加えていく必要があると思われる。

支払先の違いにより、支払い意志額の違いは見られなかったが、協議会への負担金の場合、半数近い人が協力しないと回答し、その理由として徴収方法が気に入らないと回答した人が他のケースと比較して多いことから、支払方法が明確・具体的で、かつ、拒否反応の少ない徴収方法をさらに検討する必要があると思われる。

最も大きな問題として、拒否理由の大きな部分を占めているのが「これらの整備は、税金で行うべき」というものであることから明らかなように、これまで税金で行っていた公共事業の評価をCVMで行う際の徴収方法の選定という課題がある。この点に関してもさらなる検討が必要である。

図-1 協力拒否の理由

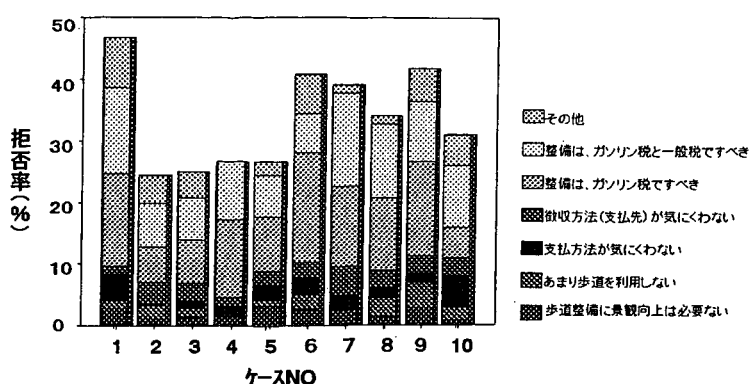
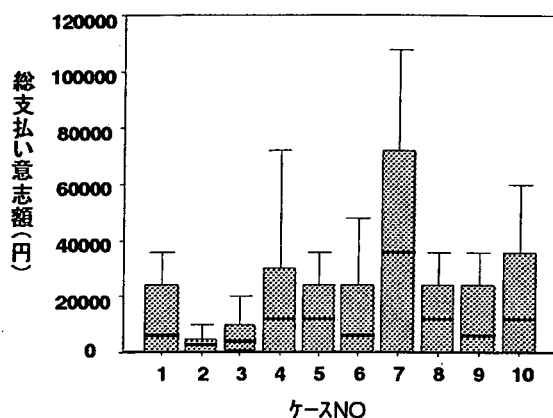


図-2 総支払い意志額の比較



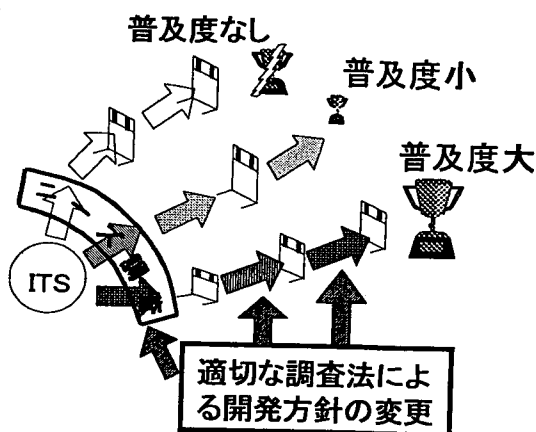
ITSの社会化・受容化調査

研究期間: 平成8～

担当者: 環境計画研究室 室長: 寺川 陽、主任研究員: 並河良治

【要 旨】

ITSは、高度情報技術を活用した、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開発が行われている。本調査は、今後のITS技術開発の方針設定に資する情報を提供するため、ITSの提供するサービス内容及びその水準について、消費者の感性に訴えるものがどのようなものかを明らかにすること及びITSによって社会・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を目的としている。10年度は、ITSの提供するべきサービス内容及びその水準について調査する手法についてサービスの構想期から成熟期に至る各段階毎にどのような調査手法を用いるべきかを整理した。



1. 調査方法

ITSの提供するべきサービス内容及びその水準について把握するために行う市場調査については様々な手法があり、どのような手法を開発のどの段階で用いることが効果的かを開発の初期の段階で整理しておくことが望ましい。10年度調査では、市場調査の手法について系統的に整理すると共にITS開発に関してサービスのどの段階でどのような調査を行うことが適当かをまとめた。

2. 調査結果

(1) 市場調査手法の分類

市場調査を分類する切り口としては、調査の方法、調査内容、対象者の同一性、サンプル数、目的及びデータの性質がある。それぞれの切り口毎に次のように分類される。

1) 調査の方法

① 質問調査法；個別（郵送、訪問等）、集合

質問内容により、実態調査、意見調査、動機調査に分類される。さらに、質問の方法によって以下のような手法が知られている。

- ・ 一対比較法 ; 調査物を2点ずつ比較させ、1点に絞る
- ・ SD法 ; 思う、やや思う、どちらでもない、やや思わない、思わないといった段階尺度で回答してもらい、その分布曲線（正規分布）により評価する。
- ・ テイスト評価法（感性マーケティング）；人の選好は、対象物のジャンルを超えて現れることに着目し、被験者の選好によって市場をクラスターに分類して分析・評価する。
- ・ CVM ; ある状況を想定（仮想市場）したときの支払意志額を回答してもらい、行為による効果を金銭価値で定量評価する。
- ・ コンジョイント法；コンセプト要素（機能、価格等）の組み合わせを提示して、選好度（どちらをより好むか）を回答してもらい、その結果より各要素の効用値を求め、評価する。

②観察法；自由観察、組織的観察

③実験法；室内実験法、市場実験法

- 2) 対象者の同一性という軸で、個別調査、パネル調査、モニター調査、オムニバス調査に分類される。
- 3) 調査対象によって、個人、世帯、企業等に分類される。
- 4) サンプルの取り方により全数調査、又は標本調査となる。母集団が大きい場合は、標本調査となるのが普通である。
- 5) 調査を行う目的により、仮説検証型、又は仮説探索型に分類できる。
- 6) データの性質により定量、又は定性に分類できる。
- 7) 調査結果の分析方法には、クラスター分析、多変量解析、重回帰分析、数量化1類、数量化2類、判別分析、主成分分析、数量化3類、因子分析、コレスポネンス分析、因果分析法、時系列分析等があり、調査の目的に応じて質問内容及び形式を考慮して調査を行うことが肝要である。

(2) ITSサービスのマーケティング・リサーチの手順

ITSサービスの開発における各ステージ毎のマーケティング調査の考え方についてまとめたものが表-1である。このように、開発の各段階で調査を行っていくことが効果的な普及やサービスの展開に不可欠であることが示されている。

3. まとめ

本調査では、マーケティング・リサーチの手法を整理すると共にITSの開発の各段階で行う調査手法を整理・提案した。今後は、整理・提案した調査方法の検証を行うことが必要であると考ええる。

表-1 ITSのマーケティング・リサーチの考え方

	マーケティング項目	調査項目	調査対象	調査方法（）内は一般への質問調査法の場合の質問及び分析手法の例	結果の活用方法
構想期 サービス内容と手順	サービス内容とターゲット	ターゲット層の発掘とその指向と嗜好性	一般公衆	アンケート(テスト評価法、クラスター分析等)	ターゲット層の把握
			ターゲット層	グループインタビュー アンケート(テスト評価法、コンジョイント法等)	嗜好性の把握
		サービスに対する潜在ニーズ	一般公衆	アンケート(SD法、テスト評価法、コンジョイント法等) 社会調査結果分析	サービス内容の方向性把握
	機器等の開発構想	技術の開発可能性	学識経験者等	ヒアリング	技術的可能性の把握
	効果分析と開発計画	費用便益評価	学識経験者等	効果分析	開発計画の策定
	推進可否とその方法	市場形成可能性、その必要事項	一般公衆	アンケート(CVM、SD法、テスト評価法等)	市場形成可能性の把握
開発期 機器の仕様、試作、関連機関合意	サービスの具体内容、質	サービスコンセプト評価(計画評価)	一般公衆	グループインタビュー(テスト評価法、コンジョイント法等) アンケート(テスト評価法、コンジョイント法等)	サービス内容の具体化
	機器等の標準仕様	標準仕様	学識経験者等	ブレインストーミング	標準仕様の策定
	仕様評価	仕様評価	一般公衆	グループインタビュー(テスト評価法、コンジョイント法等)	
	開発機器等評価	開発機器等の機能	一般公衆	グループインタビュー(テスト評価法、コンジョイント法等)	テスト機器等の仕様決定
	普及誘導策	普及条件と時期	一般公衆	グループインタビュー	普及誘導策の策定
テスト期 実施仕様、名称、場所、価格	技術面、運用面での要付けと改良	パフォーマンス評価	学識経験者等	ヒアリング	技術面での改良策
		利用者満足度、不満足	テスト被験者	アンケート(クロス集計、テスト評価法等) ヒアリング	運用面での改良策
	ネーミング	ネーミング調査	一般公衆	アンケート(テスト評価法、一対比較法等)	サービス等のネーミング
	導入時期と場所	地域別ニーズ	一般公衆	既存データ分析	導入計画策定
	価格	価格、グレード	一般公衆	グループインタビュー(SD法、コンジョイント法等)	価格等の設定
	普及誘導策	サービスコンセプト、支持率	一般公衆	アンケート(CVM、テスト評価法、コンジョイント法等)	普及誘導策立案
	広告・PR方法	広告・PRコンセプト調査	学識経験者等	グループインタビュー	広告・PR方法立案
導入期 機器及び運用の改良項目	機能面、運用面の改良	利用者満足度、不満足	サービス利用者	利用時アンケート(クロス集計、テスト評価法等) グループインタビュー	改良項目抽出
	導入状況の評価	利用状況	サービス利用者	観察法	導入評価
普及期 地域の拡大、内容の拡充	機能面、運用面の改良	利用者満足度、不満足	サービス利用者	利用時アンケート(クロス集計、テスト評価法等) グループインタビュー	改良項目抽出
	普及状況の評価	利用状況	サービス利用者	観察法	普及評価
	普及拡大方法	普及拡大の課題	サービス利用者 学識経験者等	アンケート(テスト評価法、コンジョイント法等) ヒアリング	普及拡大方針策定
拡充期 評価、サービスの拡充	機能面、運用面の改良	利用者満足度、不満足	サービス利用者	利用時アンケート(テスト評価法、コンジョイント法等) グループインタビュー	改良項目抽出
	他サービスとの連携方法	利用者動向・意識	サービス利用者	アンケート(テスト評価法、SD法等)	利用者の改良ニーズ把握
	利用状況の評価	利用状況	サービス利用者	観察法 データ分析	利用評価
成熟期 次期サービス展開方法	拡大または撤退方針	利用者動向変化	一般公衆	アンケート(テスト評価法、コンジョイント法等)	拡大・撤退

I - 2 環境アセスメント技術
に関する調査研究

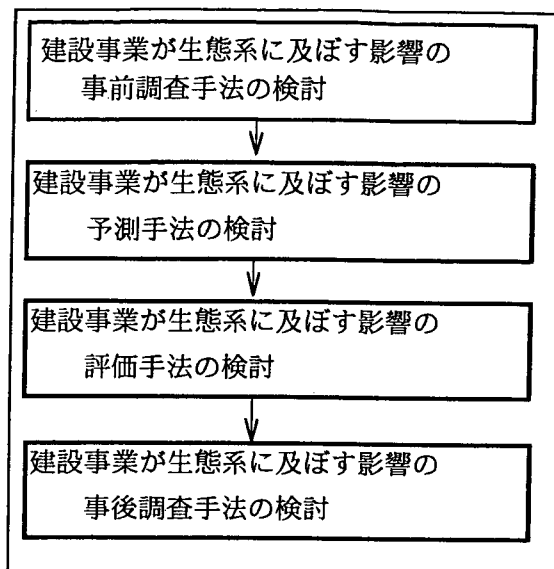
建設事業が水域の生態系に及ぼす影響の予測技術の開発

研究期間：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

【要旨】

本調査は、建設事業が生態系に及ぼす影響を予測する技術を開発するための検討を行うものである。本年度の調査は、建設省所管の各種事業が生態系に及ぼす影響を把握するために行う事前調査手法に関する検討、影響を評価する手法検討、影響を予測するための手法の検討及び事後評価の手法の検討を行った。検討に際しては、環境影響評価法に基づく主務省令の分類を反映し、都市系（面整備）、河川系、道路系ごとに、また、予測・評価のための手順に従って行った。なお、本調査の成果は、環境影響評価のためのマニュアルに反映されるものである。



1. 調査方法

建設事業が生態系に与える影響に関する調査・評価・予測については、その大枠が環境影響評価法（平成9年6月公布）に基づく主務省令（以下、技術指針省令という）として平成10年6月にまとめられた。本調査は当該省令に整理されている手順に沿いつつ、建設事業が生態系に及ぼす影響を予測する技術の適用について詳細に検討した。検討に当たっては、事業毎の特性を明確に反映するために、別途各事業毎に行われている検討の情報を収集し、整理を行った。

2. 調査結果

（1）建設事業が生態系に及ぼす影響の事前調査手法の検討

建設事業が生態系に与える影響を予測するためには、事業実施区域及びその周辺の生態系の現状を把握しておくことが必要である。そのための調査方法に関して検討を行った。その結果、建設事業が生態系に与える影響の大きさは事業の種類毎に異なっており、事業種ごとに調査範囲を特定し、調査の範囲は、都市系（面整備）を除き、事業実施区域端から500 m程度とし、都市系（面整備）に関しては、事業の規模、確度等を考慮し、事業実施区域端から200 m程度を取ることが望ましいとした。

技術指針省令によれば、まず文献による調査を行うこととされており、本調査では利用可能な資料100余のリストアップを行い、発行者等の情報について整理した。現地の調査については、生物種毎、事業種毎に把握すべき情報とそれぞれの情報を収集するための調査方法、また、調査時期について検討・整理した。なかんずく、従前の環境影響評価では実施されていなかった生態系に関する調査は、新たに調査を行うものであり、上位性、典型性、特殊性という観点から調査を実施するための手法に関して整理した。

（2）建設事業が生態系に及ぼす影響の予測手法の検討

技術指針省令では、対象となる重要な種、群落及び生態系についてそれぞれ「分布又は生育環境の改変の程度を踏まえた事例の引用又は解析」により予測を行うこととなっている。ここでいう改変の程度は事業によって表現は異なるが、対象となっている種等の生息・生育地の縮小・消失、生育・生息地又は移動経路等の分断や阻害、生育・生息環境の変化等の程度のこととした。これらの変化の程度が類似している事例が存

在する場合は、その事例の引用によって可能なものは定量的にそうでないものは定性的に予測を行うことになる。しかし、そのような事例が存在しない場合は、可能であれば実験的な手法や予測式等を用いることを検討した。生態系に関しては上位性・典型性・特殊性に着目して、上位注目種の生息環境の消失や変化の程度、典型性・特殊性を表す注目種の生息・生育環境の消失・改変に着目して予測を行うものとした。

（３）建設事業が生態系に及ぼす影響の評価手法の検討

予測された結果は、定量的な数字あるいは定性的な状態であり、それらが意味することを明らかにする作業が評価である。今後、予測技術を開発する動機付けとなるものは評価における当該項目の重要度が大きいことであり、また、予測結果が事業における保全対策の内容を大きく左右することになるということである。

技術指針省令では、評価は２つの視点で行うことを規定している。すなわち、「影響が、事業者により実行可能な範囲内でできる限り回避され、又は低減されており、必要に応じその他の方法により環境の保全についての配慮が適正になされているかどうか」という視点と「国又は関係する地方公共団体が実施する環境の保全に関する施策によって、選定項目に係る環境要素に関して基準又は目標が示されている場合には、当該基準又は目標と調査及び予測の結果との間に整合は図られているか」という視点である。１番目の視点に関しては、まず、「事業者の実行可能な範囲」は「事業計画としての適切性、経済性、安全性、施工性、技術的可能性等の計画としての妥当性に配慮し、対策の効果、経済性、地域に及ぼす影響等の観点から実行可能である」と事業者が判断するものとした。また、「回避され、又は低減されて」いるかどうかの判断は、本項目に係る環境要素の予測の結果で、環境影響がないと判断される場合及び環境影響の程度が極めて少ないと判断される場合は、そのことをもって回避され、又は低減されていると判断し、環境保全措置を検討した場合は、環境保全措置による回避・低減の程度をもって評価を行うものとした。

（４）建設事業が生態系に及ぼす影響の事後調査手法の検討

現時点においては、生態系に関する予測技術が確立されていないため、事後調査を十分に実施して知見を積み重ねていくことが必要である。技術指針省令では、「事業者は、予測の不確実性の程度が大きい選定項目について環境保全措置を講ずることとする場合又は効果に係る知見が不十分な環境保全措置を講ずることとする場合において、環境影響の程度が著しいものとなるおそれがあるときは、・・・工事の実施中及び土地又は工作物の供用開始後において環境の状況を把握するための調査を行わなければならない。」としており、生態系に関する知見が不十分な現状を踏まえるならば、予測・評価すべき生態系が存在する場合、多くの場合において事後調査を行うこととなる。

３．まとめ

本調査では、建設事業が生態系に及ぼす影響の予測技術を開発する目的で環境影響評価における調査・予測・評価及び事後調査の方法及び考え方について検討・整理した。現時点では、生態系そのものに関する知見も十分ではない上に環境の変化が生態系に与えている影響に関する知見が乏しく、予測モデル等の精度の高い予測技術は確立されていない。そのため、類似事例を引用するにとどまっているが、生物は多様性に富み、類似事例といえども全く同様の結果になる保証はない。以上の状況から建設事業が生態系に及ぼす影響の予測技術の開発は、事後調査の積み重ねによるデータの収集・集積が不可欠である。さらに、事後調査も時系列の１断面のみならず、継続的に行い、時系列的な変化を捉えておく必要がある。これらを踏まえると、予測技術の開発は、データを収集する体制の確立、換言するならば、調査の継続性の維持及びそれに必要な組織と予算の確保にかかっており、今後、体制の整備が急務である。

環境影響評価技術指針作成

研究期間：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

【要旨】

本調査は、環境影響評価法に基づいて、制定された技術指針省令を環境アセスメントの実施に際して適用するために必要な技術指針の運用について検討するものである。検討に当たっては、建設省所管の各事業に共通する第二種事業の判定基準について詳細に検討した。また、各事業毎に作成作業がなされている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並びに環境保全措置の考え方等に関して、建設省として齟齬のないように整理・調整を行った。

建設省所管事業にかかる技術指針省令 (H10.6 までに公布)

- ・ 第二種事業の判定基準
- ・ 調査・予測・評価の技術指針
- ・ 環境保全措置に関する技術指針



技術指針の運用方針

- ・ 第二種事業の判定
- ・ 調査・予測・評価の方法
- ・ 環境保全措置 等

1. 調査方法

環境影響評価法（以下、「アセス法」という）に基づく主務省令（以下、技術指針省令という）に沿いつつ、特に、第二種事業判定基準の運用について詳細に検討した。また、事業毎に検討されている事業特性及び地域特性の把握の考え方等については、各事業の情報の収集し、それら情報の整理・提供により、調整を行った。

2. 調査結果

アセス法において新たに導入された手続きの一つにいわゆるスクリーニングと位置付けられる第二種事業の判定がある。第二種事業は、政令で規定されているが、当該事業について環境影響評価を実施する必要があるか否かを客観的に判定するために、技術指針省令において第二種事業の判定基準を設けている。判定基準は、判断を行う時期が現地調査を行う以前の段階であることから、文献等による情報に基づいて判断できるように設定されている。基本的には、環境庁長官が定める「環境影響評価法による基本的事項」に基づいて個別の事業内容に基づく基準、周囲の環境の条件に基づく基準及び他の密接に関連する同種の事業と一体的に行われる場合の基準の3つの判定基準から成り立っている。このうち個別の事業内容に基づくものとして、技術指針省令では「環境に及ぼす影響が大きい技術、工法その他の事業の内容により、同種の一般的な事業と比べて環境影響の程度が著しいものとなるおそれが大きいこと」としているが、建設省所管事業では実際にこの基準に該当する事業は殆どないと考えられる。また、他の密接に関連する同種の事業と一体的に行われる場合では、一体的に扱うべき事業が一種事業の規模に達する場合、あるいは一体的に扱う事業が周囲の環境の条件によりアセスメントを行うものとなる場合であり、本報告では周囲の環境の条件に基づく判定についてのみ触れるものである。

(1) 環境影響を受けやすい地域又は対象が存在する場合

技術指針省令では、「地域の自然的社会的状況に関する入手可能な知見により」判断されることとされているが、入手可能な範囲とは、あくまで、公的な文献等の情報とし、その範囲の特定を行った。

1) 自然的制約条件

たとえば、閉鎖性の高い水域は、中央公害対策審議会の答申「海域の窒素及び燐に係る環境基準等の設

定について」等を用いて判断するとの運用指針を示した。

2) 人の健康又は生活環境

環境影響を受けやすい対象として人の健康又は生活環境の分野では、学校・病院、住宅及び水道水源の取水地点が明記されているが、それら学校・病院の範囲を定め、所在を記した文献（学校名簿、医療機関名簿）を特定した。また、「住居が集合している地域」を都市計画法に基づき定められた住居専用地域、既設の住居連担箇所及び将来住居が連担する箇所と定義した。「その他の人の健康の保護又は生活環境の保全についての配慮が特に必要な施設又は地域」としては、保育所を考慮することを運用指針とした。

また、環境要素に係る相当程度の影響を及ぼす範囲についても検討し、たとえば、道路事業における供用時の騒音については、上記の施設が官民境界から 200 m 程度の距離にあるかどうかで判断するという運用指針を示した。

3) 自然環境

技術指針省令に明示されている対象は、自然度の高い植生の地域、藻場、干潟、さんご群集、汽水湖であり、その他に「人の活動によって影響を受けていないもしくはほとんど受けていない自然環境又は野生生物の重要な生息地もしくは生育地」がある。指針では、自然度が高い植生の地域は、植生自然度図の自然度 7 以上の地域とし、入手可能な知見としての文献を明示した。藻場、干潟、さんご群集及び汽水湖については、その定義を明らかにすすと共に入手可能な知見としての文献を明記した。また、明示されていない自然環境及び野生生物の重要な生息地もしくは生育地については、自然環境として原生流域、自然海岸、重要な地形、保護林、重要な景観資源とすると共に「人の活動によって影響を受けていないもしくはほとんど受けていない生息地もしくは生育地」としては、特性植物群落、植物レッドデータ分布地、巨樹・巨木林、日本の重要なほうちゅう類・両生類・淡水魚及び日本の重要な昆虫類の生息地もしくは生育地並びに保護林のこととしてそれらの知見が得られる文献を明記した。

(2) 環境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

技術指針省令で、判断基準となる法令及びそこに示されている地域が明示されており、本調査では、それぞれの指定状況を整理した。

(3) 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

技術指針省令で、判断基準となる物質の環境基準等が記されている法令が明記されているもの以外に、以上の環境要素に係る環境が既に著しく悪化し、または著しく悪化するおそれがあると認められるものとして一酸化炭素を提示した。

3. まとめ

本調査では、平成 10 年 6 月に公布された技術指針省令に示された第二種事業の判定基準の運用を中心に調査・予測・評価を行う項目の選定、調査手法、予測手法、評価手法、事後評価及び環境保全措置に関する運用指針を検討した。第二種事業の判定基準の運用以外については、事業毎の特性に違いがあるため、事業種毎におかれた検討委員会において検討される内容を建設省として統一されるものは統一し、事業特性を反映するがゆえに異なるものについては、その理由を整理する形で調整を図りつつ取りまとめた。

アセス法に基づく環境アセスメントは、画一的なものではなく、現地の状況に合わせ、あるものは重点的に調査し、またあるものは簡略な調査を行うことにより、合理的な調査・予測・評価を目指すものである。また、従前の環境アセスメントでは扱われなかった生態系についても評価を行うことになった。このため、この度まとめられた運用指針も必要に応じて見直しを行うことが求められ、そのために知見を収集しておく必要があると考える。

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

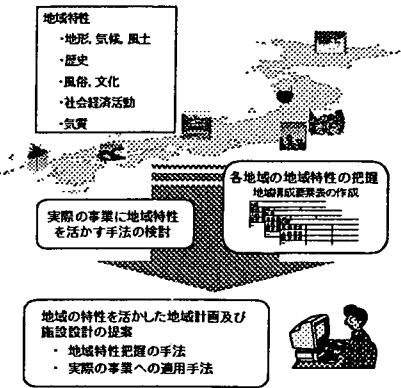
研究期間：平9～平12

担当：環境計画研究室 室長：寺川陽，主任研究員：並河良治，長野幸司，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10年度は、9年度に整理した地域特性を活かした地域計画の考え方及び地域構成要素票を前提として、地域特性を活かした地域計画の方向性の検討を行った。また、地域構成要素抽出票については、整備の方向性の検討をもとに必要な修正を行った。



研究イメージ図

1. 研究方法

1.1 地域特性を活かした地域計画の方向性の整理

これからの地域づくりにおいては、従来のように経済活動の活性化による地域振興のみではなく、住民生活の質的向上が重要な課題であるといえる。そこで、住民がこれからの地域に望むことを明らかにするために、各自治体が総合振興計画策定に際して実施している「地域の望ましい将来像」等に関する住民アンケート調査結果（今回は、高崎市、各務原市、柏崎市、八潮市、鶴ヶ島市、十和田市、増穂町で行われたアンケート調査を用いた）より、キーとなる方針及びまちづくりの方向性について整理を行った。

また、その方向性を考慮に入れた上で、「地域特性を活かしたまちづくり事例」について検討を行った。資料としては「地域づくり発見」（国土庁地方振興局地方都市整備課）、「精選手づくり郷土賞」（建設省建設経済局）を用い、その中から施設整備を伴う17事例を抽出した。

1.2 地域構成要素抽出票の改良と構成要素絞り込み方法の検討

9年度に作成した地域構成要素抽出票については、「地域づくり発見」にあげられている91事例を用い実際に適用可能であるか検討を行った。

2. 研究結果

2.1 地域特性を活かした地域計画の方向性の整理

2.1.1 自治体におけるアンケート調査結果の整理

アンケートから得られた「キーワード」および「まちづくりのイメージ」を「まちづくりの方向性」として整理した。

「まちづくりの方向性」は概ね「活力性」「利便性」「安全・安心性」「快適性」「情緒性」「コミュニティ性」の6つの方向に集約する事ができた。この6つの方向性は、住民が求めるまちづくりの方向の集約と考えられ、最も望ましい地域はこれらのすべてに住民が満足することである。ただし、現実には地域により特性があり、これらの満足度もまちま

表1 まちづくりの方向性

キーワード	キーワードが示すまちづくりのイメージ	まちづくりの方向性
繁栄、活気、活力	・経済・産業が発達	等 活力性
便利	・日常生活が便利 ・やりたいことができる ・遊び等の選択肢が多い	等 利便性
安全、安心	・事故・災害に対し安全である ・病気等の心配がなく病気になるのも病院が遠く	等 安全・安心性
きれい、衛生的、整然、ゆとり 住みよい、やすらぎ、落ち着き	・空間・環境面で心地よく過ごせる	等 快適性
刺激、にぎわい、おしゃれ、静か 都市的、ファッション、美しい おもむき、健やか、楽しい、のどか 文化の香り、潤い	・独自の雰囲気をもつ	等 情緒性
ふれあい、交流、ぬくもり、気楽 助け合い、親しみ、あたたかい	・人と人のつながりがある	等 コミュニティ性

ちであると考えられるが、「地域計画を活かした地域計画」は、これらの方向性の1つまたは複数を目標として行っていくべきである。

2.1.2 事例にみる「まちづくり」の位置づけ

抽出した17事例について図1のようにハード・ソフトの面から分類を行った。抽出事例では、「ハード地域的・ソフト狭分野」に位置づけられるものはなかった。実際には存在する可能性もあるが、市町村レベルまで拡大している活動は、様々なソフト活動や住民活動なしでは成立しにくいことが考えられる。実際、「博物館都市構想」「協同組合の発足」を主な資源に活動が開始され、いわば点から地域全体へとまちづくりが拡大しているが、その過程においては、様々なソフト事業や組織活動が展開されており、資源を活かしたまちづくりはハード・ソフト両面で全市民に影響を及ぼす可能性を有するといえる。

また、事例について前述のまちづくりの方向性を整理した結果を表2に示す。「情緒性」についてはい

ずれの事例も、景観、デザイン等で特徴を持たせており、地域の特性を演出しやすい部分であるといえるが、この部分は地域の特性を意識するあまり演出過剰になりやすいところでもあり、住民にとって真に満足していくまちづくりを行うために、今後は様々な整備事例について評価方法の検討を進めていく必要がある。

2.2 地域構成要素抽出票の改良と構成要素絞り込み方法の検討

9年度作成を行った地域構成要素抽出票について、91事例の適用検証を行った結果、次の点について判断が難しく改良が必要であることがわかった。①生産活動、産業活動については、特産品や漁業全体等を活用している場合が多く、この場合、各産業を資源とみるかどうかの判断は、量の大小よりもむしろ地域の住民がどうみるかにかかっており定量的把握は参考値として扱うべきである。②その他の定量的データについても当てはまるものが少なく、定性的データに変更可能なものについては変更したうえで、その他の部分については参考値として扱う。

以上をもとに地域構成要素抽出票の改良、絞り込みを行った。図2に改良部分を示す。

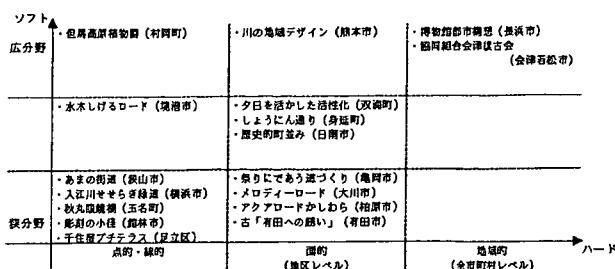


図1 事例のハード・ソフトの広がりポジション

表2 事例とまちづくりの方向性

事 例	まちづくりの方向性				
	活動性	利便性	安全安心性	快適性	情緒性
協同組合津復古会	○	○		○	○
博物館都市構想	○	○		○	○
夕日を活かした活性化				○	○
歴史的町並み	○		○	○	○
川の地域デザイン				○	○
千住宿アネラス				○	○
彫刻の小道				○	○
あまの街道				○	○
古「有田への路」				○	○
アクアロードかしはら				○	○
水木しげるロード	○	○		○	○
メロディロード				○	○
入江川せせらぎ緑道				○	○
しょうにん通り	○		○	○	○
発りにであう道づくり				○	○
但馬高原植物園				○	○
牧久根緑地				○	○

地域構成要素	区分	大分類	中分類	小分類	地域・定量的データ	定性的データ	抽出基準
					定量的データ	定性的データ	
土地利用	土地利用	土地利用	土地利用	都市的土地利用	都市的土地利用	都市的土地利用	都市的土地利用
				都市的土地利用	都市的土地利用	都市的土地利用	都市的土地利用
				都市的土地利用	都市的土地利用	都市的土地利用	都市的土地利用
				都市的土地利用	都市的土地利用	都市的土地利用	都市的土地利用
				都市的土地利用	都市的土地利用	都市的土地利用	都市的土地利用
				都市的土地利用	都市的土地利用	都市的土地利用	都市的土地利用
				都市的土地利用	都市的土地利用	都市的土地利用	都市的土地利用
				都市的土地利用	都市的土地利用	都市的土地利用	都市的土地利用
				都市的土地利用	都市的土地利用	都市的土地利用	都市的土地利用
				都市的土地利用	都市的土地利用	都市的土地利用	都市的土地利用
活動・出来事	活動・出来事	活動・出来事	活動・出来事	農業	農業	農業	農業
				農業	農業	農業	農業
				農業	農業	農業	農業
				農業	農業	農業	農業
				農業	農業	農業	農業
				農業	農業	農業	農業
				農業	農業	農業	農業
				農業	農業	農業	農業
				農業	農業	農業	農業
				農業	農業	農業	農業
歴史・伝統	歴史・伝統	歴史・伝統	歴史・伝統	文化財	文化財	文化財	文化財
				文化財	文化財	文化財	文化財
				文化財	文化財	文化財	文化財
				文化財	文化財	文化財	文化財
				文化財	文化財	文化財	文化財
				文化財	文化財	文化財	文化財
				文化財	文化財	文化財	文化財
				文化財	文化財	文化財	文化財
				文化財	文化財	文化財	文化財
				文化財	文化財	文化財	文化財

図2 地域構成要素抽出票の改良部分

I - 4 景観の予測及び評価に関する研究

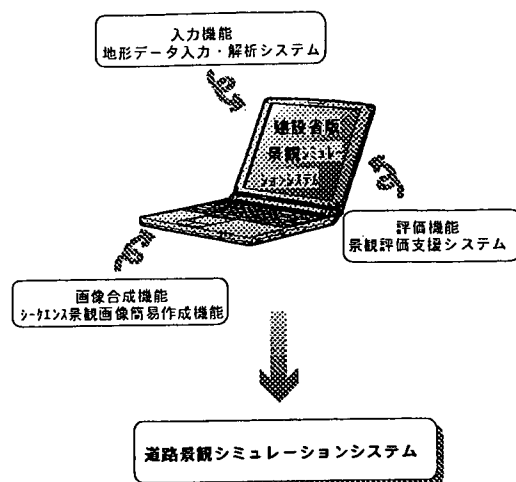
道路景観シミュレーションシステムの開発

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。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10年度は、道路景観を対象とした「景観評価支援システム」の構築を目的として、地方部道路景観の景観特性や評価構造の分析を行い、定量的な景観評価ルールを設定するための基礎的なデータを整理するとともに、定性的な景観評価ルールの設定方法について検討を行った。



1. 研究方法

1.1 景観評価ルールの定量化に関する基礎的検討

福島国道工事事務所管内の道路景観画像を用いて、SD法によるアンケート調査を実施し、地方部の道路景観の景観特性および評価構造を分析した。実験に使用した画像は、沿道用途および景観構成要素等に注目して選定した35地点の事例写真（1カ所につきドライバーの視点と歩行者の視点の2視点で撮影）を使用した。アンケート調査は、20対の評価指標（19形容詞対+総合評価）について5段階の評価尺度を設定し、土木研究所および福島工事事務所の職員90名を被験者として実施した。それらの結果に基づいて、図-1の手順により景観特性および評価構造の分析を行った。

1.2 定性的な景観評価ルールの設定に関する検討

地方部の道路景観に関する既存研究やマニュアル類等の知見をもとに、定性的な表現を活用した景観評価システムのイメージについて、既存道路の景観評価を行う場合と、道路整備での景観上の留意点・配慮事項等を確認する場合の2通りの活用方法を想定し検討を行った。

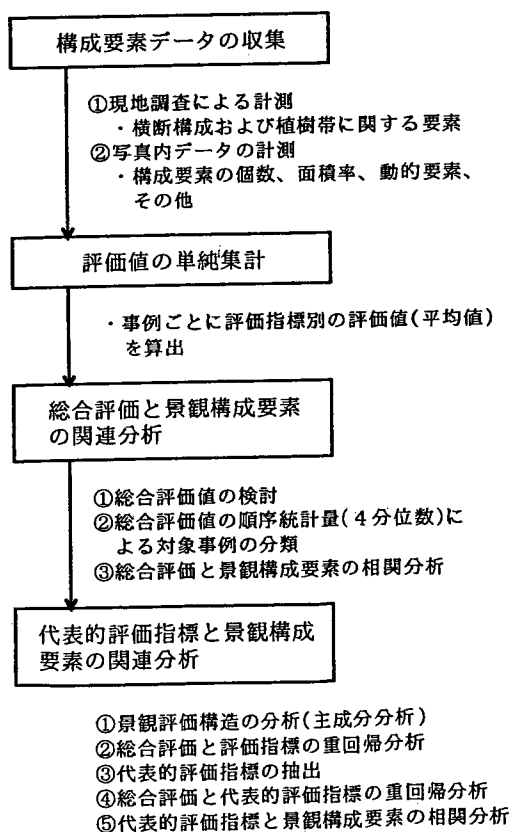


図-1 分析の手順

2. 研究結果

2. 1 景観評価ルールの定量化に関する基礎的検討

①景観特性の分析

総合評価値に着目して沿道用途と景観評価の関係をみると、「良い」と評価された事例は農地や緑地である場合が多く、「悪い」事例では商業施設が多かった。また、各事例の総合評価値と景観構成要素データの相関係数を求め、総合評価と関連の高い景観構成要素を抽出したところ、地方部の道路景観では、緑が多く空が広いと評価が高くなり、電柱、広告物、商業施設等が多いと評価が低くなる結果となった。

②景観評価構造の分析

各評価指標の評価値を用いて主成分分析を行ったところ、地方部の道路景観は、「質の高さ」「個性」「開放感」「整然さ」「緑量感」「調和性」の6つの評価要素で説明できることがわかった。次に、この6つの評価要素に集約した評価指標の中から、評価指標間の独立性および総合評価との関連性に着目して、各評価要素を代表する評価指標（代表的評価指標）を抽出し、総合評価値を目的変数、代表的評価指標を説明変数とする重回帰分析を行った。その結果、重相関係数が車道評価では0.7947、歩道評価では0.8047となり、総合評価は抽出した6つの代表的評価指標で概ね説明できることがわかった。さらに、代表的評価指標と景観構成要素の関連性を相関分析により検討したところ、各代表的評価指標に対して相関の高い景観構成要素として、表-1に示す結果が得られた。

表-1 代表的評価指標における相関の高い景観要素

		質の高い	特徴のある	開放感のある	整然とした	緑の多い	周辺となじんだ
車道評価	正の相関	植樹帯幅員 植樹帯樹高 中央低木高 植樹高木数	緑視率 植樹帯樹高 植樹帯幅員 植樹高木数	天空率 農地率	植樹帯幅員 植樹帯樹高	緑視率	緑視率 農地率
	負の相関	広告物(%) 電柱数 送電鉄塔数	標識数 電柱数 天空率	緑視率 広告物(%) 送電鉄塔数	広告物(%) 商業施設数	標識数 商業施設数 天空率	広告物(%) 商業施設数
歩道評価	正の相関	植樹帯幅員 植樹低木高 歩道幅員	植樹帯幅員 植樹低木高 歩道幅員	天空率	天空率 植樹帯幅員 植樹低木高 植樹高木数	緑視率 植樹高木数	天空率 植樹高木数
	負の相関	農地率 法面(%)	道路内車数 農地率 広告物数	信号機数 道路外車数 商業施設(%)	広告物数 商業施設(%)	広告物(%) 商業施設数	広告物数 商業施設(%)

2. 2 定性的な景観評価ルールの設定に関する検討

想定したシステムの活用方法に基づいて、定性的な景観評価システム（既存道路の景観評価）と景観設計支援システム（道路整備にあたっての配慮事項等の確認）の2通りのシステムについて、景観評価ルールの設定方法、評価手順および操作イメージを整理した。いずれのシステムも、景観事例データベースとのリンクにより、豊富な参考事例を提示することで、実用性の高いシステムを実現できると考えられる。なお、今回の検討では、個別の景観構成要素ごとに景観評価ルールおよび配慮事項の設定を行っているが、コンセプトや地域特性等を含めた道路景観全体の総合的なルール・配慮事項等についての検討が必要である。

3. 主な研究成果物

- ・小栗ひとみ、寺川陽：景観評価システムの構築に関する研究、土木計画学研究・講演集21(2)、pp.153-156、1998.11

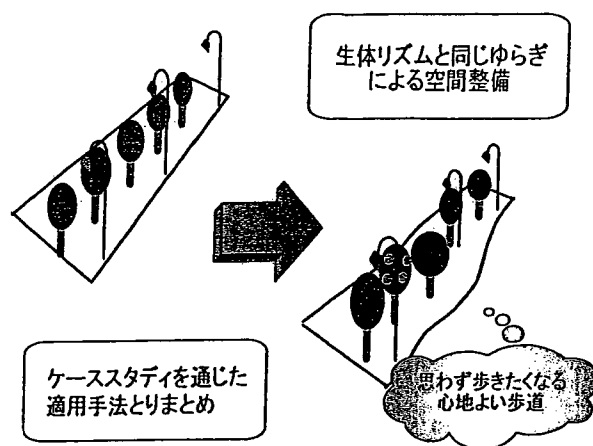
1/f ゆらぎ理論を用いた道路空間デザインに関する調査

研究期間：平9～平11

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。10年度は、佐世保市の都市計画道路を対象としたケーススタディを行い、歩道空間における1/f ゆらぎ理論の適用範囲を検討した。



1. 研究方法

1. 1 佐世保ゆらぎ歩道デザイン案の作成

9年度までのケーススタディにより、歩道空間における1/f ゆらぎの適用対象として、舗装、照明、街路樹の3要素が抽出された。10年度は、それら以外の景観構成要素への適用可能性や、各要素の空間内での最適配置について、佐世保駅周辺再開発地区の骨格道路として計画されている都市計画道路平瀬町干尽町線を対象としたゆらぎ歩道デザイン案の作成を通じて検討を行った。デザイン案の作成にあたっては、佐世保駅および佐世保港に隣接する歩道幅員7.50mの約750m区間を対象として、佐世保の玄関口にふさわしい快適でうるおいのある豊かな歩行空間の創出をめざした。

1. 2 歩道空間における1/f ゆらぎ理論の適用範囲に関する検討

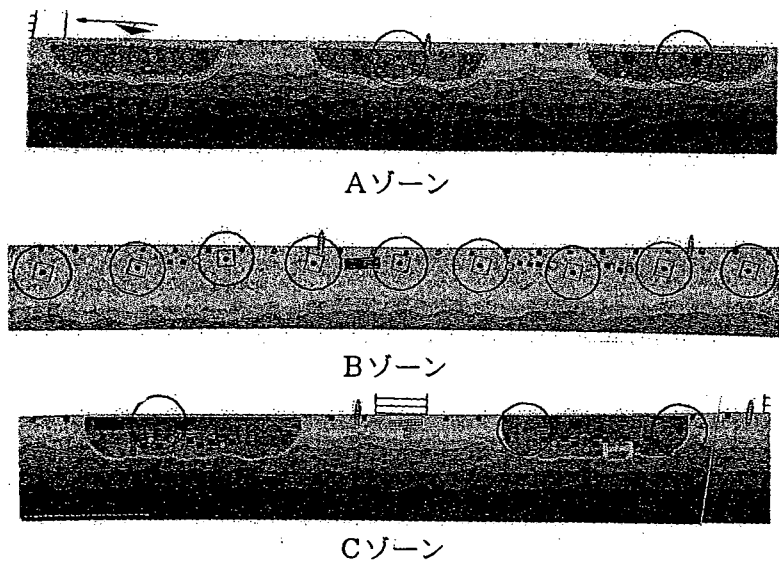
歩道の景観構成要素を整理し、各要素ごとにゆらぎデザインの適用可能性およびゆらぎ幅の検討を行った。それら要素のうち、歩道通行帯の線形および街路樹の植栽間隔・配置については、歩道幅員を固定した上で、ゆらぎ幅の異なるパースを各3ケース（最大、最小およびその中間値）作成し、それらの印象をもとに最適なゆらぎ幅について検討した。

2. 研究結果

2. 1 佐世保ゆらぎ歩道デザイン案

歩道の景観構成要素のうち、舗装は視覚的に占める割合が大きいことから、ゆらぎを適用することによる快適性向上効果が高い要素と言うことができる。そこで、舗装をメインデザインとし、サブとなるその他の構成要素については、メインとの調和を考慮したゆらぎデザインを行うこととした。また、沿道土地利用に着目して対象区間のゾーニングを行い、「憩いと交流の場」（Aゾーン）、「出会いの場」（Bゾーン）、「やすらぎの場」（Cゾーン）の3つのゾーンを設定するとともに、山側を通行帯、海側を散策帯と位置づけ、それぞれの性格に応じた配置計画を作成した（図-1）。本デザイン案における歩道景観構成要素ごとのゆらぎの適用については、表-1のとおりである。

舗装デザインは波をモチーフに、A・Cゾーンは静かな波打ち際を、Bゾーンは動きのある海岸線をイメージしたデザインとした。植栽は、街路樹とゆらぎ形状の植樹帯を組み合わせ、Aゾーンは街路樹と植栽帯（ベンチ兼用）、Bゾーンは街路樹のみ、Cゾーンは街路樹と植栽帯（舗装と段差がなく芝生に入ることができる）とした。Bゾーンの街路樹は、樹木の間を歩く海側と、歩道上から樹木の配置を眺める山側に分けてゆらぎ幅を設定した。照明は、ツリーサークルの中にライトアップ照明を設置するほか、植樹帯内および歩道上に庭園灯を配置し、「対岸から眺めた港町の灯り」「海に浮かぶ漁り火」をイメージしたゆらぎ照明により、やすらぎの空間を演出する。



図ー1 デザイン案

表ー1 歩道景観構成要素とゆらぎの適用

歩道構成要素	ゾーン	海側	山側	ゆらぎの適用	コンセプト	備考
舗装	A～C	○	○	パターン	波、海岸線	磁器質タイル
街路樹	B	○		間隔(縦方向) 配置(横方向) 花の色	自然さの再現	ハナミズキ
	B		○	間隔(縦方向) 配置(横方向) 花の色		
植樹帯	A・C	○		配置・大きさ	緑豊かな空間	ツツジ、サツキ、 ツグ、レッドロビン、 キンマサキ
	A・C		○	なし	九十九島	
ツリーサークル	A～C	○	○	模様	波	色による統一
車道用照明灯	A～C	○	○	なし	生物のライン	色による統一
ライトアップ 照明	A～C	○		照度	夜景を演出	ハロゲンライト
	A～C		○	なし		
庭園灯	A～C	○	○	配置・照度	水の泡	ハロゲンライト
ポラード	A～C	○	○	向きと高さ	萵草	色による統一
マンホール	A～C	○	○	模様	波	色による統一
バス停	B	○	○	なし		色による統一
バットマウント ゆらぎ露光ユニット	A～C	○	○	なし		色による統一
案内板	A～C	○	○	なし	緑平石	色による統一
スツール	B	○		配置	緑平石	色による統一

2. 2 歩道空間における 1 / f ゆらぎ理論の適用範囲

1. 2 のパースを用いて 1 / f ゆらぎの適用範囲を検討したところ、枝張り 5 m、幹の太さ 0.5 m の街路樹では、以下の結果が得られた。

① 植栽間隔

植栽間隔は、6 ～ 8 m とするのが一般的であるので、平均間隔 8 m でのゆらぎ幅の変動範囲を計算すると、平均間隔に対して 25 % のゆらぎ幅で 7.0 m の最小間隔が確保できる。そこで、このゆらぎ幅を最大とし、ゆらぎ幅なしとその間の 15 % を加えた 3 ケースで検討を行った結果、いずれの場合も歩道上の視点からはゆらぎの変化を認識できなかった。

② 通行帯での配置

幅員 5 m の歩道に設置されている 2.0 m の植樹帯の中に街路樹を配置する場合を想定し、植樹帯から路上施設帯 0.5 m を引いた 1.5 m を最大、幹の太さの 2 倍の 0.5 m を最小とし、その中間の 1.0 m を加えた 3 ケースで検討を行った。その結果、1.0 m が最も落ち着いた印象であり、ゆらぎ幅が小さすぎると変化が認識できず、逆にゆらぎ幅を大きくすると雑な印象になることがわかった。

③ 散策帯での配置

幅員 7.5 m の歩道を想定し、車道側に路上施設帯 0.5 m、建物側に 0.5 m の余裕幅を確保した上で、樹木の枝張りを考慮すると、ゆらぎ幅の最大は 4 m となった。また、歩行者が樹間を歩くための最小必要幅を 2 m とし、その中間の 3 m を加えた 3 ケースを対象として検討を行った。その結果、林の中を散策するような雰囲気を感じられるためには、3 m 以上のゆらぎ幅が必要であることがわかった。したがって、散策帯で街路樹の配置にゆらぎを適用するためには、6.5 m 以上の歩道幅員が必要となる。

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】

今後の社会資本整備に際して、国民の満足度向上の要求に
 応えていくためには、機能性、効率性、品質およびコストの
 視点に加えて、より人間の感性にあった「快適性」の
 視点が求められている。人間が心地よいと感じるものの多
 くは、1/f ゆらぎのリズムを持っており、生体リズムも
 またこのゆらぎを示すことから、人は体内リズムと同じゆ
 らぎを持つ外的な刺激を快適に感じると推測されている。
 本調査では、より快適な道路空間の創出をめざして、道路
 景観設計への1/f ゆらぎの適用手法について検討を行う
 ものである。10年度は、前年度試験施工を行った国道3
 30号線のゆらぎ歩道区間（舗装材の配色に1/f ゆらぎ
 を適用）を対象として、1/f ゆらぎの導入による快適性
 向上効果の定量的な計測および評価を行った。

機能性、効率性重視の規則的、直線的な
 歩道整備

生体リズムと同じ
 1/f ゆらぎを適用

人の感性にあった
 歩いて心地よい歩道空間の創出

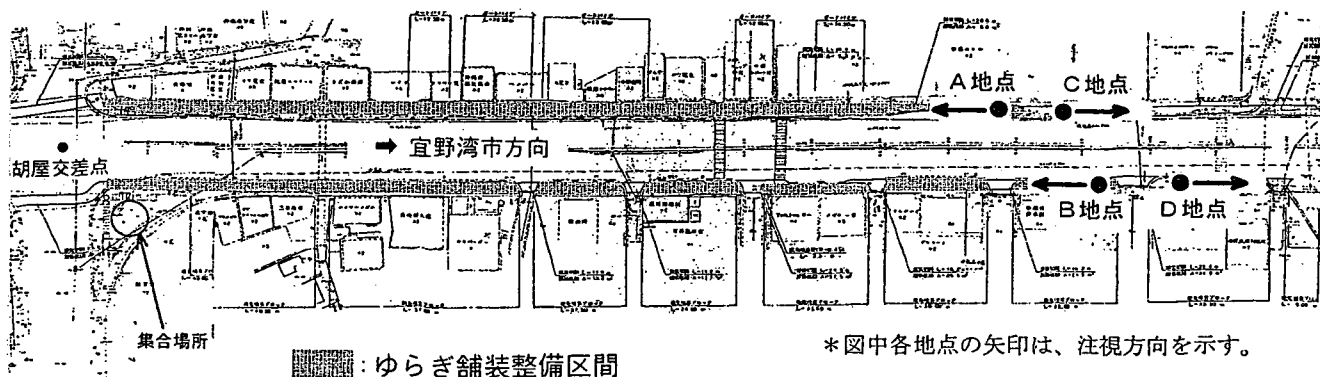
1. 研究方法

9年度に試験施工を実施した国道330号線（沖縄市胡屋地区）のゆらぎ歩道区間を対象として、現地に
 おいてSD法を用いた景観評価実験を行い、1/f ゆらぎの導入による歩道の快適性向上効果を定量的に計
 測・評価した。対象区間における1/f ゆらぎの適用要素が舗装のみであったことから、ゆらぎ舗装とアス
 ファルト舗装との比較検討を行うこととし、ゆらぎ舗装区間2箇所および近傍のアスファルト舗装区間2箇
 所の計4箇所を、調査地点として選定した（図-1、表-1）。

実験方法は、図-1に示したA～Dの4地点を起点として、図中の注視点方向側を被験者に10分程度自
 由に歩行してもらった後、SD法（47形容詞対+1総合評価）によるアンケート用紙に各自記入してもら
 うものとした。被験者は、沖縄総合事務局および
 沖縄市役所の職員25名（男性15名、女性10
 名）で、それぞれを6～7名の4グループに分け、
 グループごとに各調査地点を移動しながら実施し
 た。

表-1 調査地点の特性

歩道幅員	1/f ゆらぎ整備歩道	アスファルト歩道
3 m	A地点	C地点
5 m	B地点	D地点



* 図中各地点の矢印は、注視方向を示す。

図-1 調査地点

2. 研究結果

2. 1 平均値による評価

アンケート結果の単純集計を行い、各被験者の平均値を各地点の特性ごとに比較検討したところ、A地点とC地点、B地点とD地点では、歩道幅員の差に関係なく、ゆらぎ歩道の方がアスファルト歩道よりも「快適」と評価される結果となった。また、A地点とB地点のゆらぎ歩道間の比較では、幅員による評価の差がほとんどなく、いずれも快適感総合評価が快適側になっているのに対し、C地点とD地点のアスファルト歩道間では、ともに快適感総合評価は不快であるが、幅員3mの方がやや不快側に隔たっており、幅員の影響が大きくなっている。これらの結果から、 $1/f$ ゆらぎを適用することにより、歩道幅員に影響されことなく、一定の快適感を得られる歩道空間が創出できると考えられる。

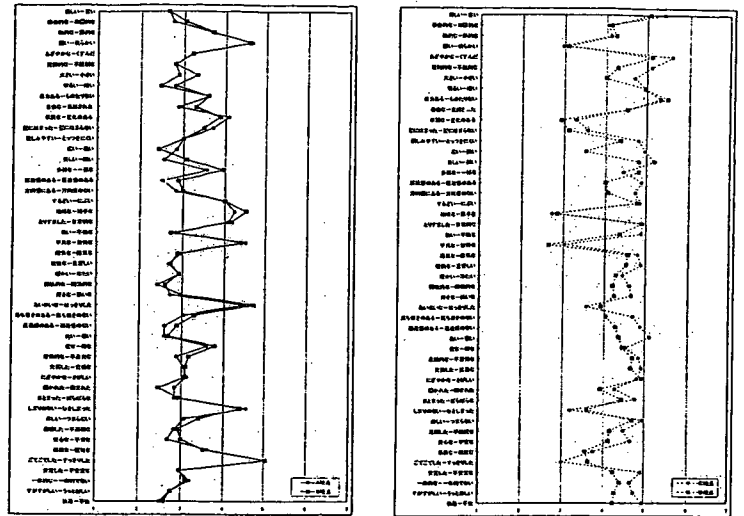


図-2 比較結果 (左: ゆらぎ歩道、右: アスファルト歩道)

2. 2 相関分析による評価

快適感総合評価(「快適-不快」と各形容詞対の相関係数を求めて比較検討を行った結果、各地点ともに空間の「評価性」(「好きな-嫌いな」、「軽快な-重苦しい」等)や「一様性」(「まとまった-バラバラな」等)を表す形容詞対と快適感との相関が高かった。相関係数0.8以上の形容詞対に着目した場合、いずれの地点においても、評価性または一様性を意味次元とする形容詞対が70%以上を占めていた。また、各被験者をサンプルに、47形容詞対を変数として各地点ごとに主成分分析を行った結果、各地点とも第1主成分は「評価性」、第2主成分は「一様性」にそれぞれ集約された(累積寄与率40~50%)。これらの結果から、アスファルト歩道との比較によるゆらぎ歩道の評価尺度として、「評価性」および「一様性」が重要な要素となることが明かとなった。

さらに、各地点の主成分分析結果から求められた評価性(第1主成分)と一様性(第2主成分)の中で、各地点に共通する11の形容詞対(評価性では「好きな-嫌いな」、「良い-悪い」等、一様性では「あいまいな-はっきりした」)について、快適感総合評価との相関関係を分析した結果、A地点とB地点では、共通して快適側に評価が集中しているのに対し、C地点では不快側に、D地点では中立側からやや不快側へ評価が偏る傾向が見られた(表-2)。これらの結果は、2.1の結果とも良く一致しており、アスファルト歩道では歩道幅員の差により評価に若干の違いがあるのに対し、ゆらぎ歩道は幅員に関係なく快適性の評価が高くなっている。したがって、 $1/f$ ゆらぎの導入は、既存のアスファルト歩道に比べ、歩道空間の快適性向上の点で効果があるといえる。

表-2 快適性と形容詞対の相関 (好きな-嫌いな)

		A地点							C地点						
		1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
好きな ↑ (中立) ↓ 嫌いな	1														
	2														
	3														
	4														
	5														
	6														
	7														
好きな ↑ (中立) ↓ 嫌いな	1														
	2														
	3														
	4														
	5														
	6														
	7														
好きな ↑ (中立) ↓ 嫌いな	1														
	2														
	3														
	4														
	5														
	6														
	7														
好きな ↑ (中立) ↓ 嫌いな	1														
	2														
	3														
	4														
	5														
	6														
	7														

3. 主な研究成果物

- ・小栗ひとみ、寺川陽： $1/f$ ゆらぎ理論を適用した歩行者空間の整備、土木技術資料、VOL.41、NO.3、pp.26-31、1999.3

シビックデザインに関する調査

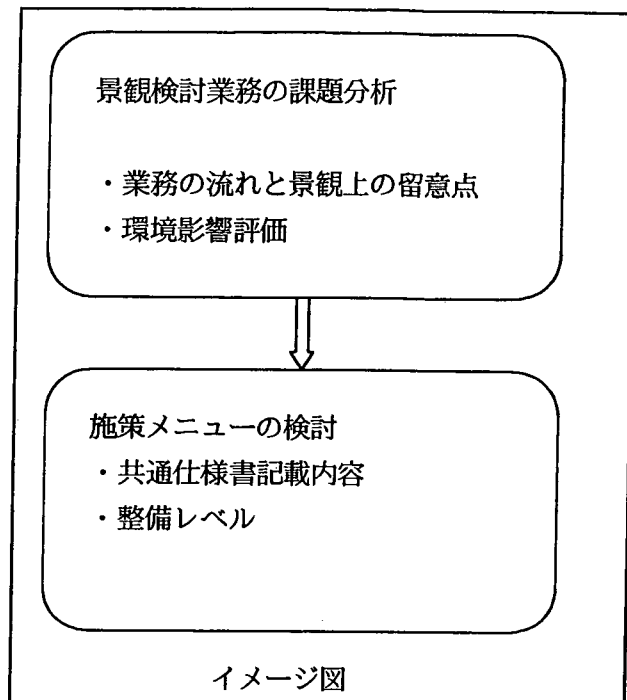
研究期間：平10

担当：環境計画研究室 室長：寺川陽，主任研究員：並河良治，長野幸司

【要旨】

魅力ある社会資本整備を推進するためにシビックデザインの導入は不可欠であるが、各業務の中で必要十分に景観検討が行われているとはいえない状況である。また環境影響評価法の実施にあたって、環境の構成要素の一つである景観の検討がどのように位置づけられるかを明確にしておく必要がある。

このため、道路事業を例に取り、事業の流れと景観検討業務の関係を整理し、それぞれの段階における景観検討の留意点を抽出するとともに、現時点における景観検討業務の課題・問題点を整理した。また、想定される課題の中で即効性のあるものとして、デザイン検討業務の仕様書における明確化、及び景観整備レベルの設定手法に関する検討を行った。



1. 研究方法

1.1 現状の景観検討業務における課題の整理、分析

道路事業を例にとり、路線選定から構造物詳細設計までの検討段階ごとに景観検討上必要と思われる留意事項を整理し、あわせて環境アセスメントの実施時期との関係を整理した。さらに現状について考察するため、平成9年度までのTECRIS登録データを用いて景観に関する検討を行ったものを抽出し、傾向を把握した。

1.2 仕様書における問題点の整理と改善案の検討

設計業務等共通仕様書の内容について、上記で整理した検討段階ごとの留意事項と比較することによって問題点を抽出し、改善方策を検討するとともに景観整備レベルについて検討した。

2. 研究結果

2.1 現状の景観検討業務における課題の整理、分析

2.1.1 事業の流れと景観検討業務との関連と課題整理

道路事業の場合、施工まで最大8回の業務発注が行われることがあるが、それは概ね「1.路線検討段階」「2.路線・道路構造検討段階」「3.予備設計・詳細設計段階」の3段階に整理できる。環境影響評価は2.が終了した時点で行われる。「1.路線検討段階」での景観上の検討事項は、景観上必要なコントロールポイントの設定、景観テーマの設定、線形計画、整備レベルの設定であるが、特にテーマとレベルの設定は、後の予算に大きく関係してくる重要な項目である。「2.路線・道路構造検討段階」では、景観に配慮した道路構造及び道路線形の照査・見直し、用地に関する検討、構造物としての整備レベル、が検討事項といえる。この段階においても景観事業費と整備レベルを十分に検討する必要がある。この段階において環境影響評価が実施される。現行の環境影響評価における景観面での予測評価は、要約すれば①（事業実施の）当該地域

周辺の主要景観地への影響、②事業地周辺の主要眺望点からの眺望に関する影響、の2点であり、新たな景観資源や眺望点（視点場）としての道路空間という観点は含まれていなかった。今後は、良好な景観形成のための手法についても積極的に評価の対象とすべきであり、環境影響評価以前もしくは並行して上記の検討を行う必要がある。「3.予備設計・詳細設計段階」では、個別のデザインを決定するが、施工性や費用についての配慮が必要であり、かつデザインの一貫性（事業全体及び設計と施工の間）の保持が重要である。

2.1.2 現状の景観業務の

傾向把握

TECRISに登録されているデータ2726業務について、業務対象、業務段階、発注者、発注金額により集計し、傾向を把握した。これらを踏まえて現状のデザインに対する課題と施策メニューを整理すると、表となった。

2.2 仕様書における問題点の整理と改善案の検討

表-1に掲げる施策メニューのうち即効性の高い基盤整備として、共通仕様書における景観検討業務の明確化について検討した。まず、現行の共通仕様書第6編道路編の現状を把握するため、共通仕様書から「景観・修景、環境・文化・自然」の語を抽出したが、使用は極めて少なくかつ抽象的であった。次に2.1.1で整理した段階別の景観上の検

表 景観検討業務の現況の問題点と施策メニュー案

現況の問題点 施策メニュー	検討の担い手の育成に関する事項			
	発注システムに関する事項	評価システムに関する事項	デザインの権利と責任に関する事項	検査の権利と責任に関する事項
①設計業務共通仕様書における景観検討業務の明確化	○			
②景観検討のためのガイドラインの作成	○			
③デザイン対象施設の整備レベルの設定	○			
④デザイン監理業務の設定	○			
⑤歩掛かりの見直し	○			
⑥人材データベースの整備	○	○	○	○
⑦良いデザイン資料の作成			○	○
⑧デザイン表彰制度の確立			○	○
⑨景観・デザインに関する新組織の設立		○	○	○
⑩デザイン職能の確立			○	○

討事項と現況の共通仕様書を比較し、景観検討の観点から共通仕様書の問題点を抽出した。全体に景観整備レベルの検討・設定という観点がなく、及び景観の観点からの（現地）調査についての言及がない等が挙げられた。また各検討段階において、景観対策を効果的に実施するためには、景観整備レベルの設定を適切に行うことが効果的であるが、この点についても皆無であった。これらの問題点に対して、共通仕様書の改善案の検討を行うとともに、景観整備レベルの検討手順について検討した。加えて、景観検討の際のボトルネックである景観整備レベルの考え方と設定方法について検討した。景観業務の適切な執行を図るためには、仕様書の記載に対応する歩掛かりの整備等の施策メニューについても今後検討する必要がある。

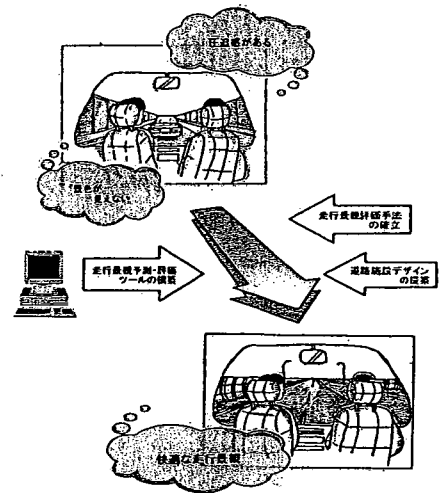
運転者から見た走行景観の検討

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。10年度は、ビデオ映像を用いた景観評価実験および感性影響計測を通じて、走行景観が運転者の感性に及ぼす影響の定量的な計測・評価を行った。



1. 研究方法

運転者を想定した被験者に対し、走行車両から撮影したビデオ映像を提示する方法により感性影響計測実験を行った。本実験では、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から得られる感情情報を組み合わせて、景観の各要素と人間の快・不快との関連性を明らかにするとともに、5段階SD法による景観評価実験を実施し、客観的評価および主観的評価の両面から走行景観が運転者の感性に及ぼす影響の定量的な計測ならびに評価を試みた。

1.1 実験方法

提示したビデオ映像は、沿道要素、道路状況等の異なる走行景観8ケース(表-1)であり、提示時間は各3分程度とした。実験にあたっては、感覚をリセットするため、各ビデオの提示前に2分間の閉眼安静状態を設けるとともに、各ビデオ提示後に5段階SD法(35形容詞対)によるアンケート調査を行った。実験には、nac製アイマークレコーダーEMR-7および脳機能研究所製感性スペクトル解析装置EMSを

表-1 提示映像

ケースNo	内 容
1	沿道に商業系の建物等が張り付いた郊外の一般的な道路で、車線数が片側1車線の区間と2車線の区間がある道路
2	自動車専用道路：平地（主な要素：遮音壁、横断構造物）
3	田園地帯を走る地方部の道路
4	沿道に商業系施設の立地する都市内の道路で、景観構成要素の数、種類が多く、歩行者や自動車（対向車、駐車車両など）の影響が大きい道路
5	自動車専用道路：山間（主な要素：切土のり面、トンネル坑口）
6	都市内から郊外へと、景観の変化する道路
7	起伏があり、坂やカーブの多い道路
8	明確に歩車分離がなされ、街路樹の発達した整備された道路

使用し、10チャンネルの電極(国際10/20法に準拠)を用いて脳波データの計測を行った。被験者は、土木研究所の職員12人(男性8人、女性4人；アイマーク+脳波+SD6人、脳波+SDのみ6人)とした。

1.2 分析方法

脳波データについて、感性スペクトル解析(感情の分析)、PCA(主成分分析：被験者に課されている作業の質や集中度を表す)、%パワー(α 波帯域の含有率：脳の活性度や覚醒度を表す)およびゆらぎ解析(α 波)を行い、ビデオに対する脳波特徴量を算出した。次に、SD法によるアンケート調査結果をもとに、因子分析による心理カテゴリーを抽出し、脳波特徴量との重回帰分析を行って各ケースが感性に及ぼす影響

を比較検討した。さらに、各ケースごとに、特徴的と思われる景観箇所と感性スペクトルの変化との関係を整理し、被験者ごとのイメージマップをとりまとめた。

2. 研究結果

2. 1 走行景観の違いが感性に及ぼす影響

各ケースに対する脳波特徴量の平均値を算出し、被験者別、脳波特徴量別に整理したところ、すべてのデータにおいて、1標準偏差値内でビデオ間および基準状態（測定前後の安静開眼）との差を見いだすことができなかった。また、全被験者の脳波特徴量の平均においても、同様の結果となった。さらに、アンケートの因子分析を行い、「開放感」「派手さ」「多様性」の3因子を抽出した上で（累積寄与率61.2%）、これら心理カテゴリーを目的変数、脳波特徴量を説明変数とした重回帰分析を行ったところ、いずれの場合においても決定係数が0.1前後となり、統計的な意味を見いだせなかった。したがって、今回の実験からは、走行景観の違いを脳波特徴量で特徴づけることはできなかった。その原因として、①明確な感性の変化を引き起こすような映像がなかった、②映像提示のみでは運転の現実感がなかった、③測定場所が被験者の日常の業務場所に近く、また比較的雑音の多い場所であったことから、映像に集中できなかった、等の問題が考えられる。

2. 2 各ケースにおける感性スペクトルの変化

各ケースごとに、特徴的と思われる景観箇所と感性スペクトルの変化との関係を整理し、被験者ごとのイメージマップをとりまとめた。図-1の例では、都市を抜けて切土のり面にさしかかったところでストレスと悲しみ指標の盛り上がりが見られ、切土のり面を過ぎアーチ橋へと続く視界の開けた場所で喜び指標が盛り上がっているのがわかる。概ね被験者に共通して、景観が大きく変化する場所（平地から山間、カーブ、等）では明確な感性の変化が現れているが、これは天空率の変化や道路線形の影響によるものと考えられる。

また、視線位置については、先行車、前方路面、看板・標識等への注視が多く、特に先行車との関係（車線変更、追い越し、渋滞、等）において感性の変化が観察された。

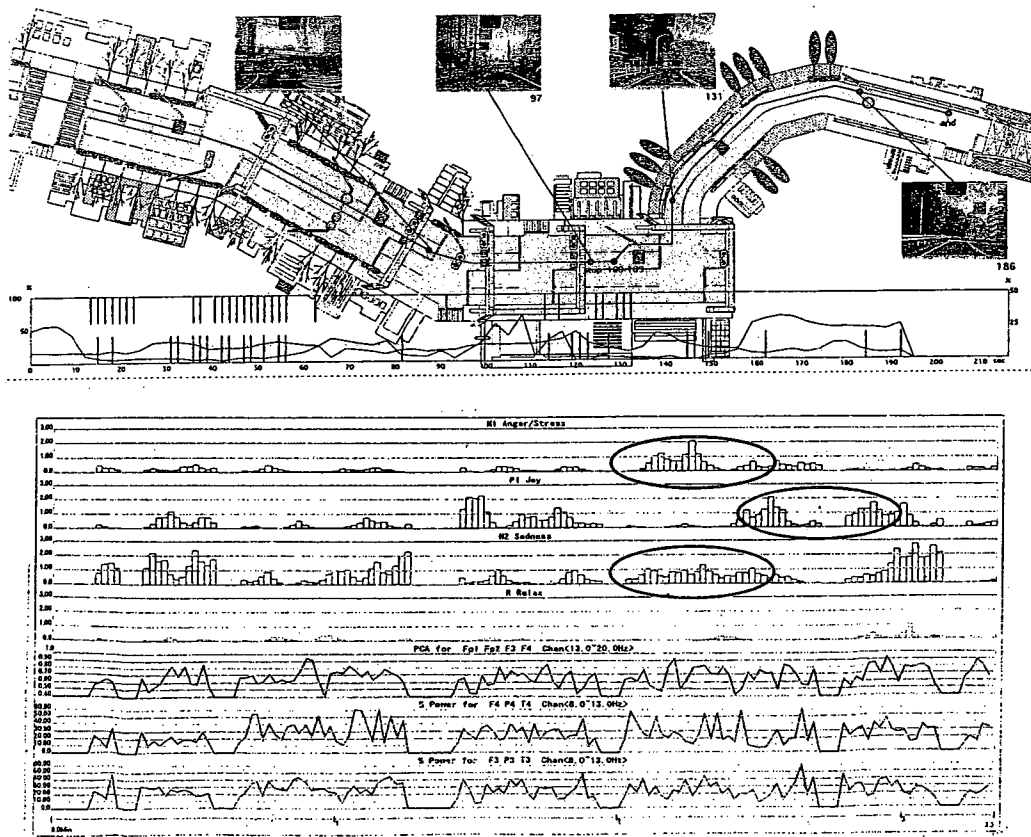


図-1 イメージマップ（ケース6、被験者A）

I - 5 G I S 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流域水環境データベースを構築するものである。平成 10 年度は、前年度までに作成した霞ヶ浦流域の水循環・物質流動に係わる GIS データベースをインターネット上で公開する手法を検討するとともに、最終年度として、過去 5 カ年の研究成果を再整理し、GIS が流域水環境データベースのツールとして有用であることを示した。



(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)研究成果

1)研究の枠組み

研究期間は 5 カ年であり、前半の第 1 期が平成 6 ～ 8 年度、後半の第 2 期が平成 9 ・

10 年度である。図-1 に本研究の全体フローを示す。

この図に示す通り、第 1 期では、まず、建設分野に関連する環境情報の存在状況について調査し、全国の一級河川流域の水文・水質データの公開を目的としてインターネット・リレーショナル・データベースの構築を試みた。第 2 期では、第 1 期の経過を踏まえ、データベースの構築手法に大幅な変更を加えるとともに、流域水環境データベースにおける GIS の適用可能性を検討することとし、霞ヶ浦流域における自然系及び人工系の水循環・物質流動データの公開を目的としてインターネット・GIS・データベースの構築を試みた。

2) 第 1 期データベースの概要

第 1 期では、「インターネットとリレーショナル・データベースの連携」に主眼を置いた水文・水質データベースの構築を試みた。

リレーショナル・データベースにデータセットを格納することにより、リレーショナル・データベースの標準言語である SQL (Structured Query Language : 構造化問い合わせ言語) を用いた柔軟性のある条件検索 (例えば、“〇〇雨量観測所における日雨量〇〇mm 以上のデータを検索せよ” 等) が可能となる。

図-2 に、システム構成を示す。

図-3 に、SQL による条件検索の操作例を示す。

3) 第 1 期データベースの評価

・データ

通常、研究者がデータベースを構築する動機は、自らの課題を解決するためにデータベースが種々の作業を効率化するものと判断した場合である。第 1 期データベースでは、全国の一級河川流域の水文・水質データを対象としたが、本研究では、別途、霞ヶ浦流域を対象に水循環・物質流動モデルの構築を行うこととしているので、全国流域を対象にデータ収集を整備する動機が希薄である。さらに、第 1 期データベースの完成前後に、建設省河川局が情報公開の観点から全国版の水文・水質データベースの構築に着手したため、本研究で全国流域を対象にデータを整備する必然性がなくなった。

・ソフトウェア

リレーショナル・データベース・ソフトは、収録されている一連のデータに対して条件検索を行う必要がある場合に本来の能力を発揮する。

水文・水質データは、〇〇流域等の地域名、雨量・流量・水質等のデータ項目名、〇〇観測所等の地点名の順序で階層的に分類されており、〇〇観測所等の位置情報そのものを条件検索するケースは殆どない。仮に、条件検索の必要性を想定するとすれば、例えば、〇〇観測所のデータファイルにアクセスした後、例えば、「日雨量〇〇mm 以上の年月日を検索せよ」等が考えられる。しかし、このような条件検索が一つのデータファイルに対し頻繁に行われることは殆どない。

一方、使用したリレーショナル・データベース・ソフトは国内外で広範に使用されているものであるが、その取り扱いとは通常の PC 使用者にとって決して容易なものではなく、データベースの構築・維持更新に際しては専門の技術者を必要とする。

したがって、データフォーマットの変更、データ項目の追加削除、最新データの追

加等、データベースの構築・維持更新の過程において、ソフトに精通している技術者による専門的な作業が必要とされるため、高度なリレーショナル・データベース・ソフトを水文・水質データベースに適用することは、費用対効果の観点から適切であるとは言い難い。

4) 第2期データベースの概要

① 第1期データベースの変更

第1期データベースの経過を踏まえ、第2期データベースではその構築手法を以のように変更した。

・データ

本研究では、別途、霞ヶ浦流域を対象に水循環及びそれに伴う物質流動モデルの構築を進めていることから、モデルの条件設定、性能検証等にデータベースを有効に活用したいと考えた。そこで、対象地域を全国の一級河川流域から霞ヶ浦流域に限定するとともに、水文データについては、人工系の生活・工業・農業用水取水量、及び、生活・工業用水使用量を、水質データについては、人工系の生活・工場・事業所・畜産・水産・面源系汚濁負荷発生量、及び、下水処理施設・し尿処理施設・ごみ処理施設等を追加し、データベースの名称を「霞ヶ浦流域水環境データベース」とした。表-1に、第2期データベースのデータ項目及び入力データを示す。

・ソフトウェア

流域水環境データは水文・水質データに人工系の水量・水質データを付加したものであるから、水文・水質データと同様、〇〇終末処理場等の位置情報を条件検索する動機が希薄である。このため、その取り扱いが容易ではないリレーショナル・データベース・ソフトの使用を中止し、データの入力、データフォーマットの変更等、データベースの構築・維持更新を容易に行える汎用的な表計算ソフトを使用することとした。データは、表-1の階層的な分類に基づいて、データ項目別・データ取得位置別に表計算ソフトに入力した。また、データ項目別に、データ取得位置マップ及び取得位置名一覧表を作成してホームページに付加するとともに、マップ及び一覧表からそれぞれの位置で取得されたデータにアクセスできるようにした。なお、マップの作成にあたっては、②で説明するGISを用いて作成し、これを画像ファイル(gif形式)に変換した。

・データ転送機能

第1期データベースは、表形式のデータファイルをそのまま画像化してホームページに付加したものであった。一方、〇〇観測所の〇年〇月〇日のデータ値の閲覧のみならず、例えば、〇年〇月から〇年〇月にかけてデータ値がどのように変化しているかグラフ化して分析を行うなど、データを多角的に分析するニーズが十分に想定される。そこで、第2期データベースでは、httpによるファイル転送機能を用いて、表計算ソフトで作成されたデータファイルを同一のフォーマットでユーザーのPCに転送できるようにした。

これにより、ユーザーは、転送されてきたデータファイルの閲覧、グラフ化、演算等を自らのPC上で自在に行うことが可能となる。

・データの可視化

ユーザーがデータの概要をホームページ上でも閲覧することができるようにするため、表計算ソフトに入力したデータをグラフ化し、画像ファイルに変換してホームページに付加した。

②GISの流域水環境データベースへの適用

本研究では、「GISの湖沼流域管理への適用性」を包括的な研究テーマとしている。この一環として、GISの流域水環境データベースへの適用性を検討することとし、GISソフト及びインターネットとGISを連携するソフトウェアを導入し、インターネット・GIS・データベースを構築した。図-3にシステム構成を示す。また、GISを用いてデータ項目別に主題図を作成し、ユーザーがホームページにアクセスすることにより、それぞれのマップを閲覧できるようにした。表-2に、データ項目及び作成主題図の概要を示す。以下に各主題図の作成方法を示す。

ア)観測所、施設位置マップの作成

・位置データ

観測所、施設に係る位置データ（ポイント：点）をGISに入力した。

・属性データ

属性データについては2)①で作成したデータファイルを使用し、GISのリンク機能を用いて、位置データとデータファイルをリンクさせた。

・位置データと属性データのリンク

標高メッシュデータ及び河川・湖沼位置データをGISに入力して流域マップを作成するとともに、このマップ上に観測所、施設に係る位置データを重ね合わせることににより、観測所、施設位置マップを作成した。

イ)水源別・用水使用量・円グラフマップの作成

・位置データ

市町村の位置データ（ポリゴン：多角形）をGISに入力して、流域市町村マップを作成した。

・属性データ

（生活用水使用量）

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、

(a)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

(b)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、(a)、(b)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。

（工業用水使用量）

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

(a)30人以上事業所・市町村別の水源別用水使用量

(b)30人以上事業所・県・産業中分類別の水源別用水使用量

(c)30人以上事業所・県・産業中分類別の製造品出荷額等

(d)1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。

(a)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(a)以外にはない。そこで、(a)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(b)/(c)で計算し、これに同一の産業中分類における(d)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、(d)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。

・主題図

用水使用量データを水源別に表計算ソフトに入力してデータファイルを作成し、これをGISに読み込ませて、既にGISに入力されている市町村の位置データと結合させた。GISソフトの主題図作成機能を用いて、市町村マップの上に用水使用量（円の大きさ）及び水源別の取水割合を示す円グラフを表示させた。図－4、5に、水源別・生活及び工業用水使用量・円グラフマップを示す。

ウ)汚濁負荷量・グラデーションマップの作成

・位置データ

標準地域メッシュ（約1km四方）の位置データ（ポリゴン：四角形）をGISに入力して、メッシュマップを作成した。

・属性データ

（生活系汚濁負荷発生量）

茨城県生活環境部霞ヶ浦対策課では、1人・1日当たりの汚濁負荷発生量原単位に

市町村人口を乗じて「処理前」における市町村別生活系汚濁負荷発生量を算定するとともに、市町村人口を下水道・農業集落排水・し尿処理・合併浄化槽・単独浄化槽・自家処理・ストレーナ処理・未処理人口に割り振って「処理後」における市町村別生活系汚濁負荷発生量を算定している。ここでは、「処理前」と「処理後」における市町村別生活系汚濁負荷発生量を市町村人口で割り戻してそれぞれの1人・1日当たりの汚濁負荷発生量を算定するとともに、これらの値に国勢調査地域メッシュ統計の人口データ値を乗じてメッシュ毎の「処理前」、「処理後」の汚濁負荷発生量を算出した。また、両者の差をとって、メッシュ毎の「削減量」を算出した。

（工場系汚濁負荷発生量）

同課では、産業中分類別工場排水の汚濁負荷濃度原単位に1日当たり市町村別・産業中分類別工場排水量を乗じて合算し1日当たり市町村別工場系汚濁負荷発生量を算出している。1日当たり市町村別・産業中分類別工場排水量は、市町村別・産業中分類別工業用水使用量から市町村別・産業中分類別原料用水使用量を差し引いたものである。ここでは、市町村別・産業中分類別工場系汚濁負荷発生量を各市町村メッシュ数で割り戻してメッシュ毎の負荷発生量を算出した。

（事業所系汚濁負荷発生量）

同課では、立ち入り調査により取得した事業所系汚濁負荷発生量を流入河川流域別に合算している。ここでは、各値を各流入河川流域メッシュ数で割り戻してメッシュ毎の負荷発生量を算出した。

（畜産系汚濁負荷発生量）

同課では、市町村別・豚牛頭数に豚牛の1頭・1日当たりの汚濁負荷発生量原単位を乗じて市町村別・畜産系汚濁負荷発生量を算定している。ここでは、各値を各市町村メッシュ数で割り戻してメッシュ毎の負荷発生量を算出した。

（水産系汚濁負荷流出量）

同課では、湖ブロック別・魚種別・水揚げ重量に魚種別の1t・1日当たりの汚濁負荷発生量原単位を乗じて湖ブロック別・水産系汚濁負荷発生量を算定している。ここでは、各値を各湖ブロック・メッシュ数で割り戻してメッシュ毎の負荷発生量を算出した。

（面源系汚濁負荷発生量）

同課では、市町村別・土地利用分類別・土地利用面積に土地利用分類別の1km²・1日当たりの汚濁負荷発生量を算定している。ここでは、国土数値情報のメッシュ毎の土地利用分類に土地利用分類別の汚濁負荷発生量原単位を適用してメッシュ毎の負荷発生量を算出した。

・主題図

汚濁負荷発生量データを発生源別に表計算ソフトに入力してデータファイルを作成し、これをGISに読み込ませて、既にGISに入力されてあるメッシュの位置データと結合させた。GISの主題図作成機能を用いて、各メッシュの負荷量の大小に各メッシュの色彩が対応するグラデーションマップを発生させた。図-7~10にそれぞれ処理前、処理後、削減量における生活系（し尿）負荷量及び合計負荷量・グラデーションマップ（表-2・①、②、③、⑫）の汚濁負荷量マップを示す。

5) 流域水環境データベースにおける GIS の有効性

流域水環境データベースにおける GIS 活用のメリットは、ユーザーが自らの PC 上で GIS 機能を使用できることにある。

第 2 期データベースで実現できる GIS 機能は、基本的には、地図の拡大、縮小、移動、及び、オーバーレイに限られている。これは、採用したインターネットと GIS を連携するソフトウェアの機能をそのまま使用していることによる。

特に、本データベースにおいて GIS が有効に機能するのは、いくつかの観測地点が近接している場合に流域全体を表示するマップではそれぞれの地点を表示する微小な円が重なってしまい、リンク機能によるデータへのアクセスが困難になる場合である。この場合、GIS の拡大機能を用いれば、重なり合っていた微小な円が適度に分散し、相互の位置関係の把握及びデータの検索が容易になる（図-10）。

一方、GIS を活用することによるデメリットは、データ検索にあたり GIS を必ず起動させるため、GIS の特別な機能を使用する必要性がない場合には、GIS を経由しない通常のデータベースと比べた場合、検索により多くの時間を要することである。

このため、GIS でユーザーのニーズに適合した縮尺のマップを作成し、画像ファイルに変換して通常のデータベースに付加すれば、改めて GIS を起動させる必要性はないと考えられる。ただし、GIS はあらゆる縮尺のマップ、並びに、様々な主題図をきわめて容易に作成することができるので有用性は高い。

(5) 考察

以上の成果をまとめると以下のように要約できる。

- 1) リレーショナル・データベース・ソフトは、ひとつのデータファイルに対しさまざまな条件検索をかける必要がある場合に本来の能力を発揮する。
- 2) 高度なリレーショナル・データベース・ソフトを使用して所定の目的を達成するためには、高性能のハードウェア、品質の保証された規模の大きなデータファイル及び専門の技術者が必要である。
- 3) 流域水環境データベースはデータ取得位置を階層的に分類することが可能であるため条件検索のニーズはあまりない。
- 4) 流域水環境データベースに高度なリレーショナル・データベース・ソフトを適用することは、費用対効果の観点から必ずしも得策ではない。
- 5) GIS データベースは、地図の移動、拡大、縮小、オーバーレイ等、位置データの正確な把握を行う必要がある場合に本来の能力を発揮する。
- 6) 高度な GIS ソフトウェアを使用して所定の目的を達成するためには、高性能のハードウェア、品質の保証された規模の大きい GIS データファイル及び専門の技術者が必要である。
- 7) 流域水環境データにおいて、データ取得位置の正確な把握は重要であり、流域水環境データベースに GIS を適用することの意義は大きい。
- 8) 地図からではなく地点名から検索する場合には GIS の必要性はない。また、地図から検索する場合においても、移動、拡大、縮小、オーバーレイする必要がない場合には画像としてのマップで十分である。ただし、GIS は容易にマップを作成・編集することができるため、画像に変換する前のベースマップ作成の道具として有用である。

9)GIS には、主題図作成機能が装備されており、用水使用量・円グラフマップ、汚濁負荷量・グラデーションマップ等、同一時期に取得されたデータ値の分布状況を表示する主題図マップを作成する道具として有用である。

(6)引用文献：なし

(7)成果の発表

1)原著論文による発表

ア)国内誌

- ・ 安陪和雄、丹羽薫、小川和延、杉盛啓明、浦野隆：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
- ・ 安陪和雄、和田一斗、佐藤一幸、寺川陽、浦野隆：GIS とインターネットの連携による流域水環境データベースの構築,第 23 回土木情報システムシンポジウム講演集,pp43-46,1998

イ)国外誌：なし

2)原著論文以外による発表(レビュー等)

ア)国内誌

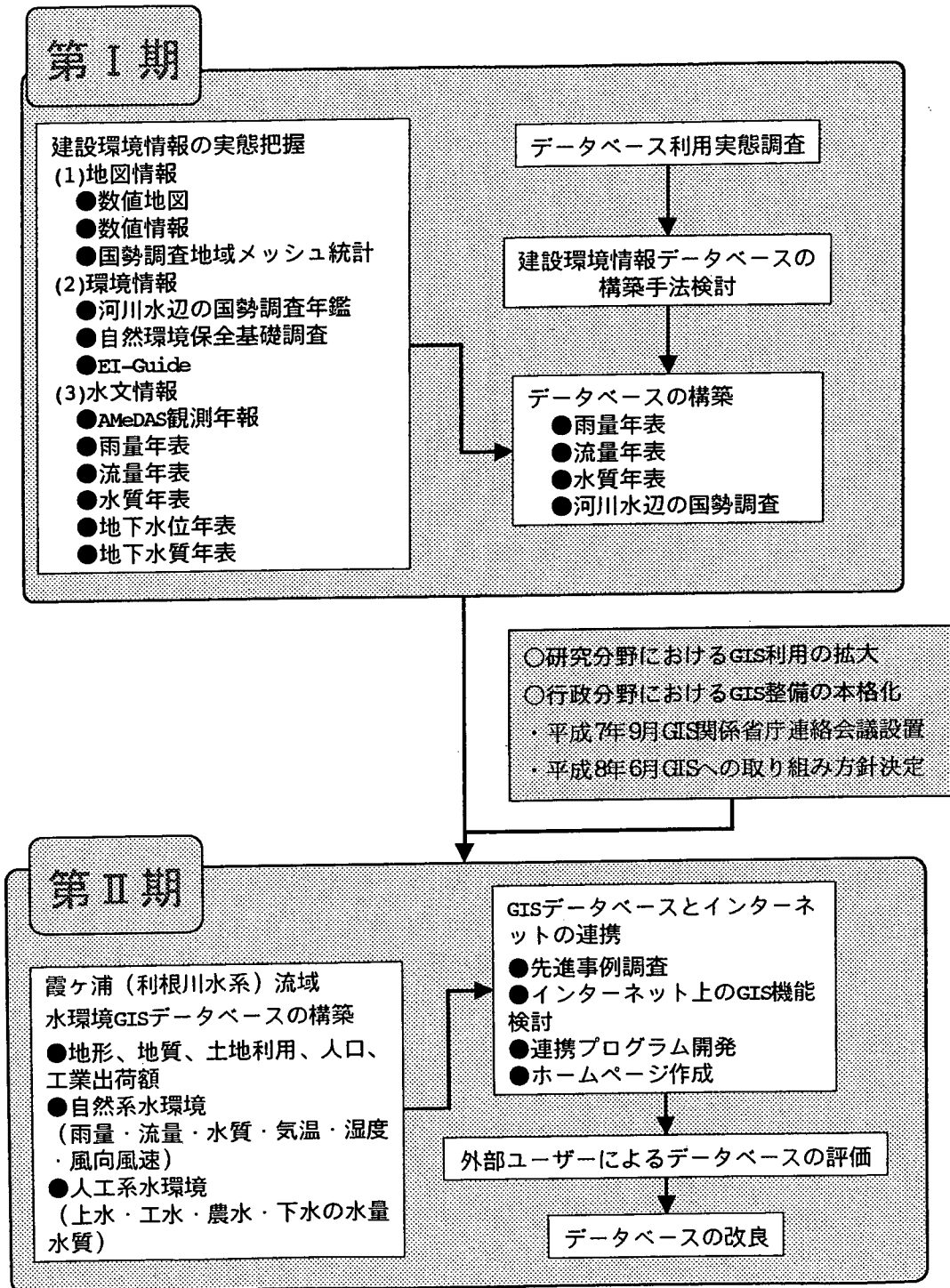
- ・ 安陪和雄：GIS を活用した霞ヶ浦流域水環境データベースの構築,土木技術資料,Vol.41-2,pp6-7,1999

イ)国外誌：なし

3)口頭発表

- ・ 安陪和雄：GIS と RDB を用いた流域環境管理システム,京都市,「河川水文データベースの構築と共用化」研究集会,1996
- ・ 安陪和雄：Basin Environment Management System by GIS,USA,PWRI/USGS FOURTH WORKSHOP,1997
- ・ 安陪和雄：GIS を活用した霞ヶ浦流域水環境データベースの構築,第 2 回土木研究所環境部研究発表会,1999

4)特許出願等：なし



図－１ 建設環境情報のデータベース化に関する研究フロー図

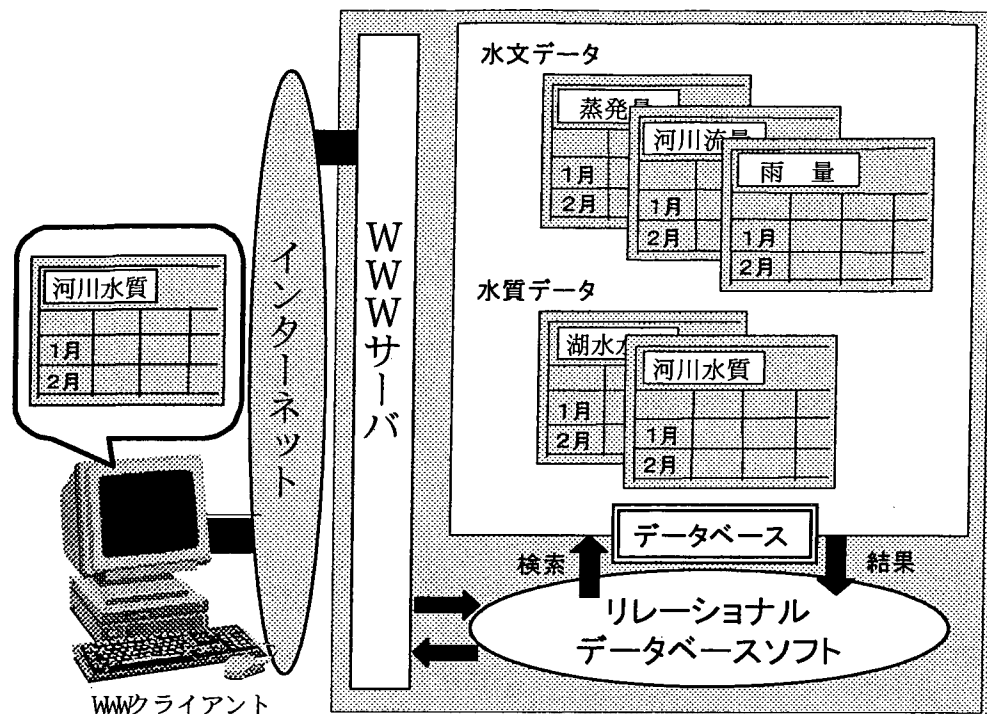


図-2 インターネット・リレーショナル・データベースの構成

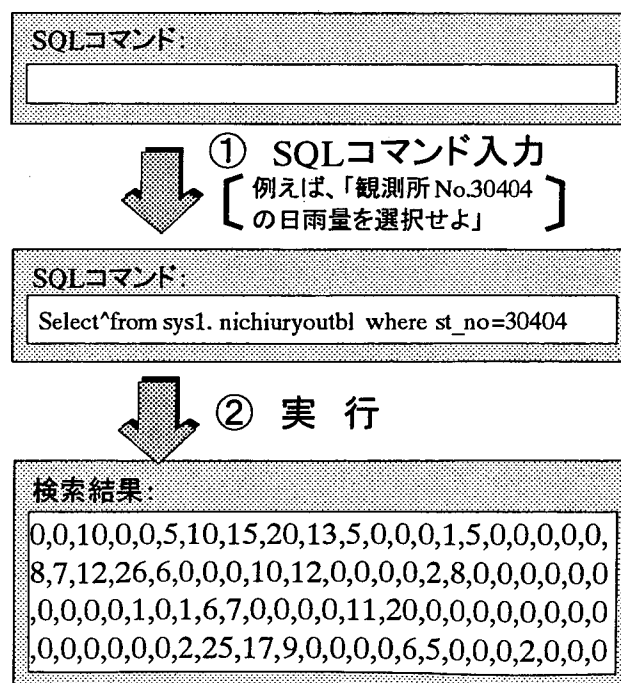


図-3 SQLによる条件検索の操作例

表-1 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	位置データ
水循環	自然系	雨量	霞ヶ浦工事事務所資料	観測地点
		蒸発量	"	"
		風向・風速	"	"
		河川流量	"	"
		湖水位	"	"
	人工系	生活用水取水量	"	"
		生活用水使用量	茨城県資料等を加工	市町村
		工業用水取水量	霞ヶ浦工事事務所資料	観測地点
		工業用水使用量	茨城県資料を加工	市町村
		農業用水取水量	霞ヶ浦工事事務所資料	観測地点
物質流動	自然系	河川水質	茨城県資料	"
			霞ヶ浦工事事務所資料	"
			市町村資料	"
			土木研究所資料	"
		湖水水質	茨城県資料	"
	人工系	生活系汚濁負荷	"	市町村
		工場系汚濁負荷	"	"
		事業系汚濁負荷	"	河川流域
		畜産系汚濁負荷	"	市町村
		水産系汚濁負荷	"	湖ブロック
		面源系汚濁負荷	"	市町村
		下水処理施設	"	施設位置
		し尿処理施設	"	"
		ごみ処理施設	"	"

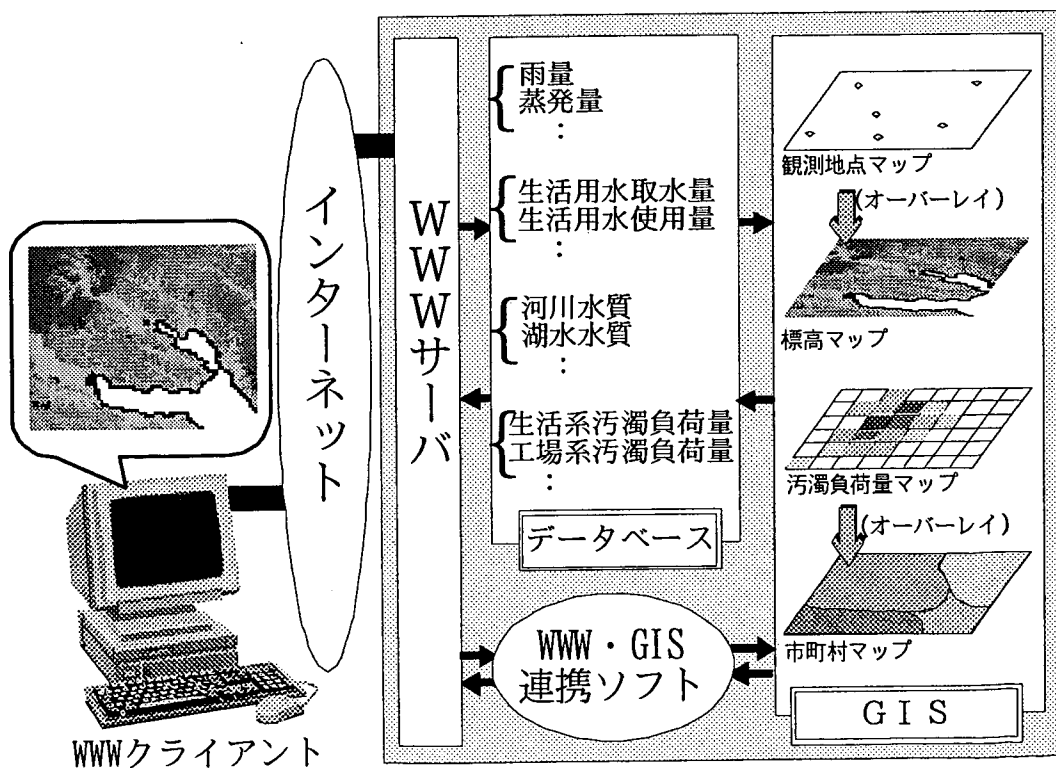
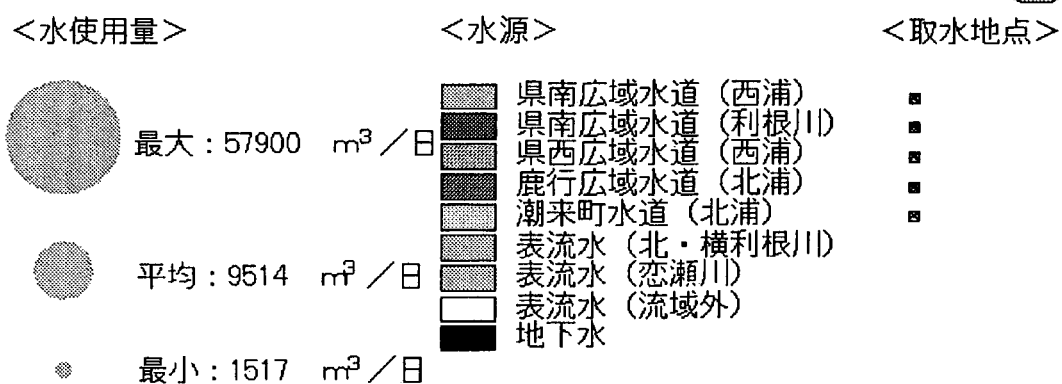
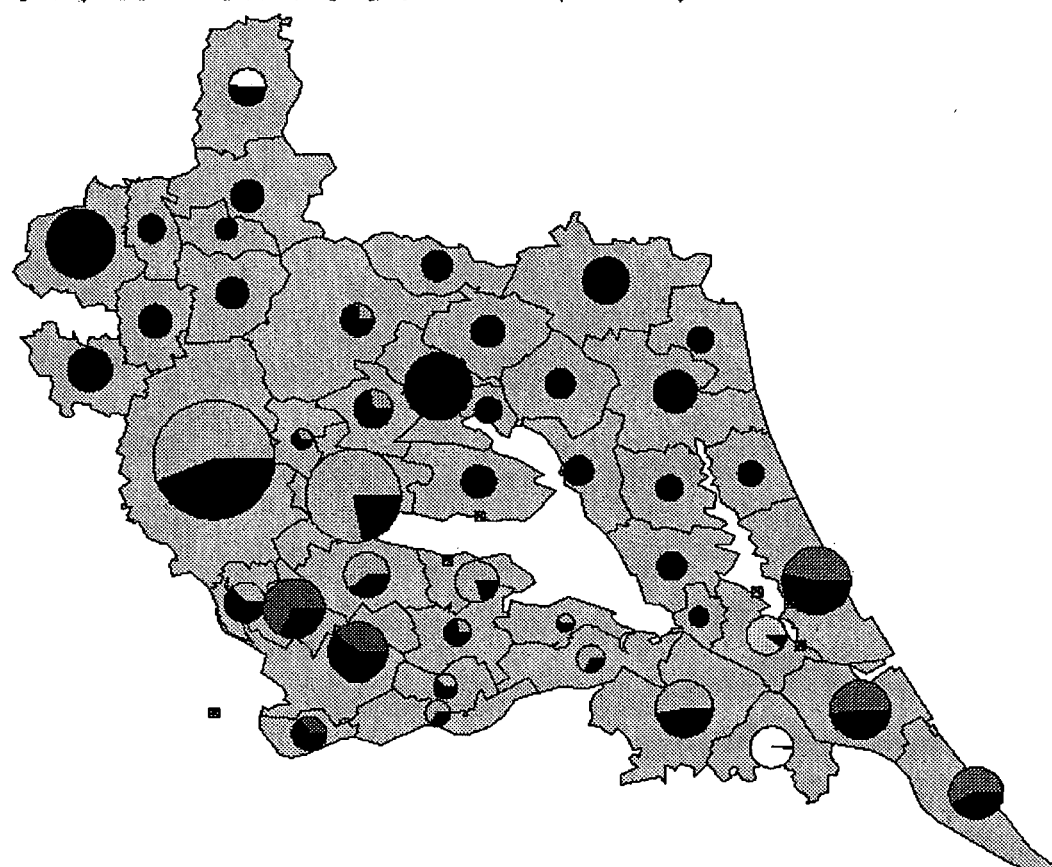


図-4 インターネット・GIS・データベースの構成

表－２ データ項目及び作成主題図

データ項目			データ	主題図
大分類	中分類	小分類		
水循環	自然系	雨量	日・雨量	雨量・観測地点・位置表示マップ
		蒸発量	日・蒸発量	蒸発量・観測地点・位置表示マップ
		風向・風速	日平均・風向風速	風向風速・観測地点・位置表示マップ
		流量	日・流量	流量・観測地点・位置表示マップ
		水位	日平均・水位	水位・観測地点・位置表示マップ
	人工系	生活用水取水量	日・取水量	生活用水取水量・観測地点・位置表示マップ
		生活用水使用量	水源別・年・使用量	生活用水使用量・市町村・円グラフマップ
		工業用水取水量	日・取水量	工業用水取水量・観測地点・位置表示マップ
		工業用水使用量	水源別・年・使用量	工業用水使用量・市町村・円グラフマップ
		農業用水取水量	日・取水量	農業用水取水量・観測地点・位置表示マップ
物質流動	自然系	河川水質	水質	河川水質・観測地点・位置表示マップ
		湖水水質	〃	湖水水質・観測地点・位置表示マップ
	人工系	生活系(し尿)負荷量	日・COD・TN・TP	①生活系(し尿)負荷量・メッシュ・グラデーションマップ
			〃	②生活系(し尿)負荷量(未処理)・メッシュ・グラデーションマップ
			〃	③生活系(し尿)負荷処理量・メッシュ・グラデーションマップ(②－①)
		生活系(雑排水)負荷量	〃	④生活系(雑排水)負荷量・メッシュ・グラデーションマップ
			〃	⑤生活系(雑排水)負荷量(未処理)・メッシュ・グラデーションマップ
			〃	⑥生活系(雑排水)負荷処理量・メッシュ・グラデーションマップ(⑤－④)
		工場系負荷量	〃	⑦工場系負荷量・メッシュ・グラデーションマップ
		事業所系負荷量	〃	⑧事業所系負荷量・メッシュ・グラデーションマップ
		畜産系負荷量	〃	⑨畜産系負荷量・メッシュ・グラデーションマップ
		水産系負荷量	〃	⑩水産系負荷量・メッシュ・グラデーションマップ
		面源系負荷量	〃	⑪面源系負荷量・メッシュ・グラデーションマップ
		合計負荷量	〃	⑫合計負荷量・メッシュ・グラデーションマップ(①+④+⑦+⑧+⑨+⑩+⑪)
		下水処理施設	年平均・水質・放流量	下水処理施設・位置表示マップ
		し尿処理施設	－	し尿処理施設・位置表示マップ
		ごみ処理施設	－	ごみ処理施設・位置表示マップ
基礎データ			土地利用分類	土地利用・メッシュ・分類表示マップ
			標高	標高・メッシュ・グラデーションマップ
			土壌・表層地質分類	土壌・表層地質・メッシュ・分類表示マップ

水源別生活用水使用量（1989）



図－5 水源別・生活用水使用量・円グラフマップ

水源別工業用水使用量 (1989)

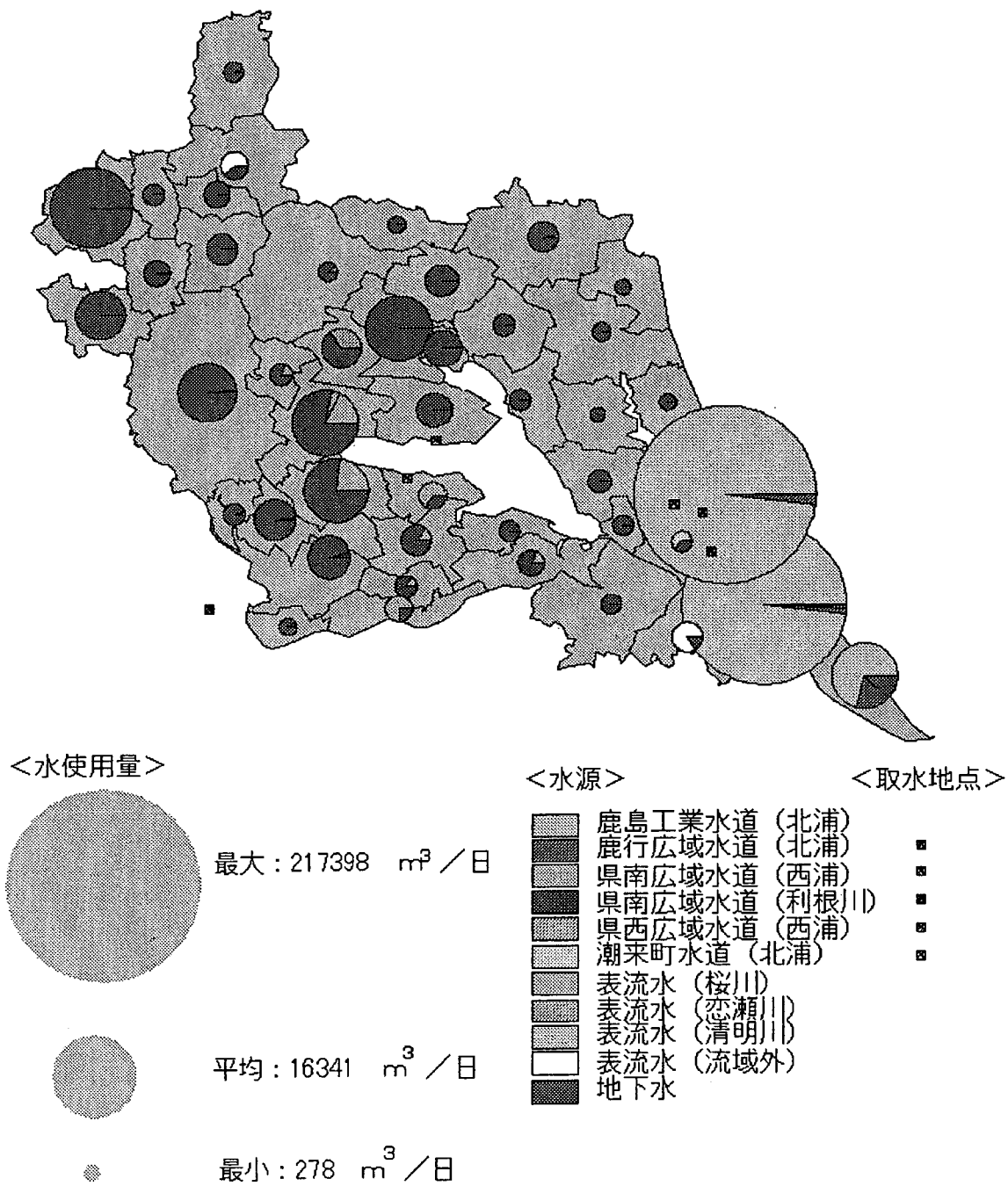
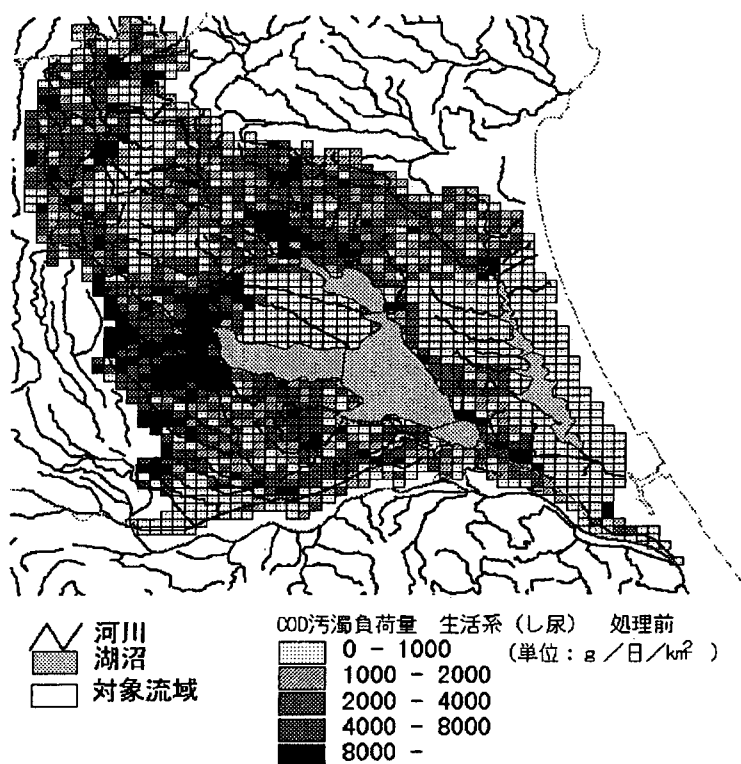
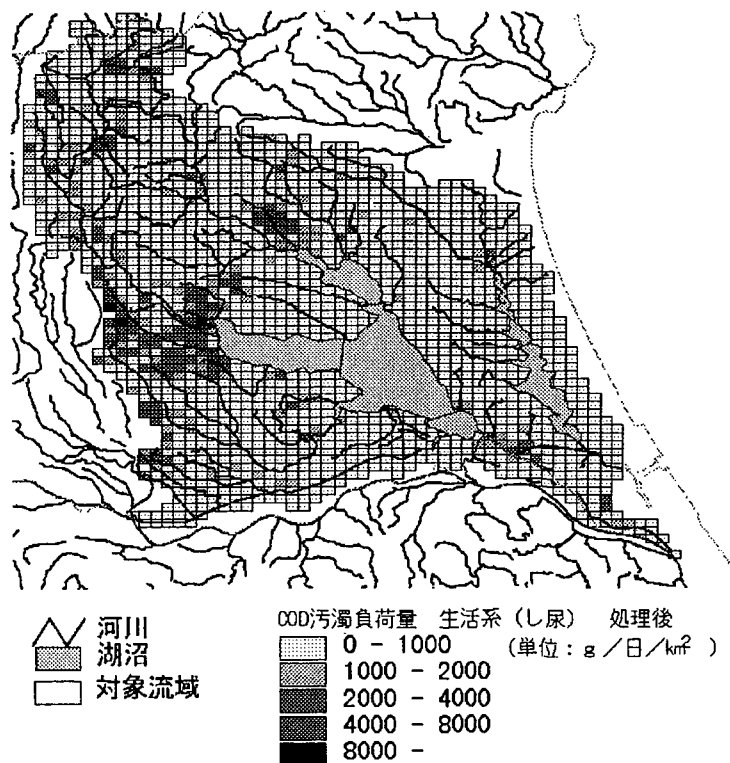


図-6 水源別・工業用水使用量・円グラフマップ



図－7 生活系（し尿）負荷量・グラデーションマップ（処理前）



図－8 生活系（し尿）負荷量・グラデーションマップ（処理後）

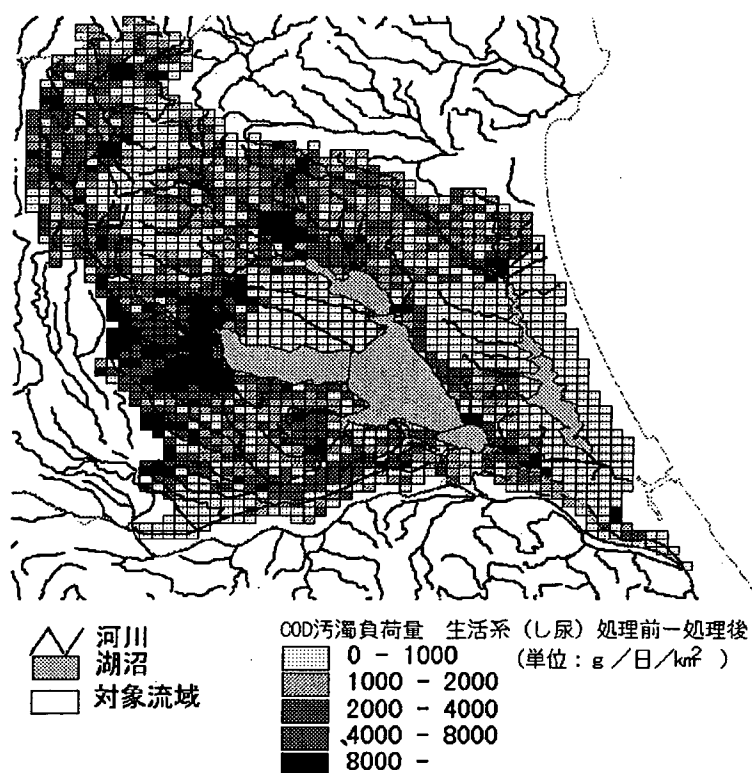


図-9 生活系(し尿)負荷量・グラデーションマップ(削減量)

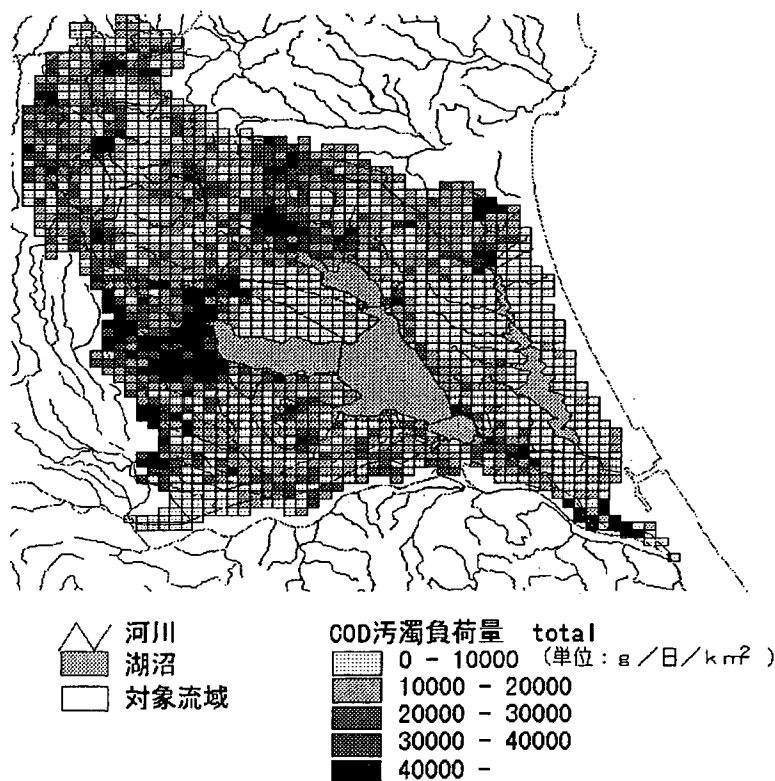
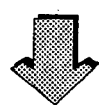
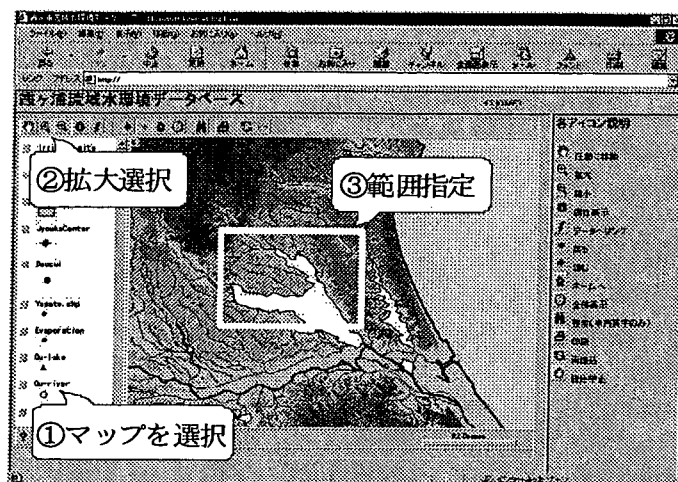
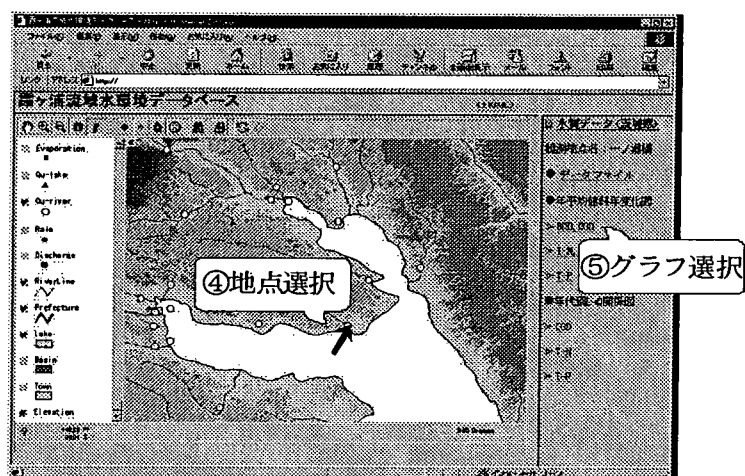


図-10 合計(生活・工業・事業所・畜産・水産・面源系)負荷量・グラデーションマップ



- ①マップを選択する
- ②拡大実行を選択する
- ③拡大範囲を指定する



- ④観測地点を選択する
- ⑤グラフ表示を選択する

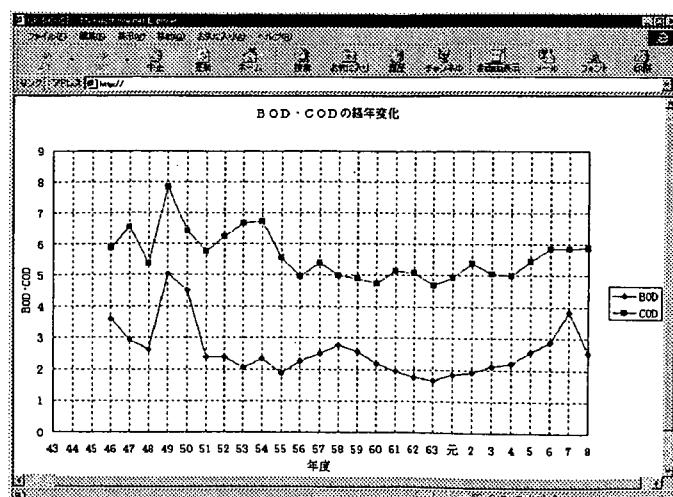


図-11 インターネット・GIS・データベースの検索例

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】

本研究の目的は、意志決定支援システムの一形態としての流域水管理システムにおける GIS 活用技術の確立である。今年度は、昨年度までにプロトタイプ構築した GIS データベースとシミュレーションモデルを操作性の観点から評価し、これらをシステムとして統合する技術について検討した。その結果、PC 上で作動する GIS と汎用的なオブジェクト指向ソフトウェアを連携することによりユーザーフレンドリーなシステム構築が可能であるとの結論を得た。

1. 研究方法

モデル構築の隘路となっているシミュレーション流域の作成を GIS とオブジェクト指向ソフトウェアを用いてシステム化する技術について検討する。

2. 研究結果

2.1 プロトタイプシステムの評価

シミュレーションモデルを作動させるためには、GIS データベースから流域界・河川位置、標高、土地利用・土壌・表層地質分類等の必要な情報を抽出して流域メッシュ及び落水線の作成、並びに分類項目のパラメータ化等、シミュレーション流域を新たに作成しなければならない。この煩雑さを克服しシステムの操作性を向上させるためには、この作業をシステム化する必要がある。

2.2 シミュレーション流域作成システムの構築

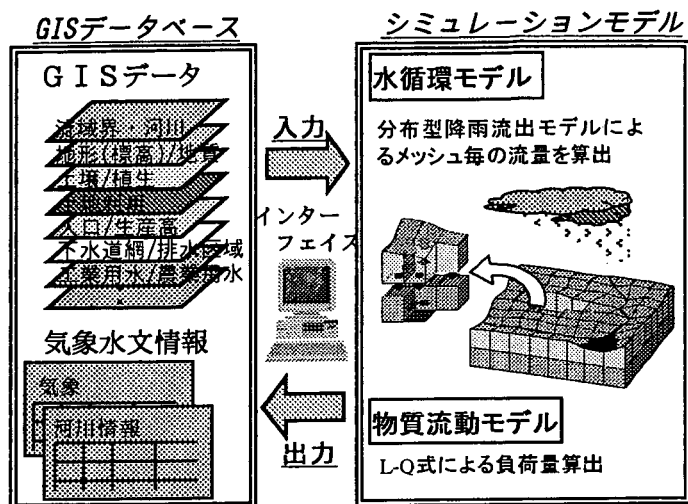
属性データ再分類、メッシュスケール変換、流域メッシュ切り出し、落水線作成を効率的にコンピューター処理するシミュレーション流域作成システムの構築を汎用的な GIS とオブジェクト指向ソフトウェアを用いて構築した。

(1)属性データ再分類

国土数値情報の土地利用・土壌・表層地質分類データをシミュレーションモデルのパラメータに反映させるために、それぞれの分類項目（土地利用：12、土壌：49、表層地質：24）を物質の浸透能力に応じて 3～5 項目程度に再分類する作業処理システムである。図-1 に示すように GIS に入力した国土数値情報の分類項目がモニター画面上に表示され、マウス操作により容易に再分類できるようにした。

(2)メッシュスケール変換

シミュレーションモデルの出力結果を必要十分な空間精度で表示させるために標高、土地利用・土壌・地質分類データのオリジナル



森林	森林	森林	森林
森林	田	荒地	森林
田	田	田	建物
果樹園	畑	建物	道路

森林	森林	森林	森林
森林	田	荒地	森林
田	田	田	市街地
畑	畑	市街地	市街地

図-1 土地利用分類項目の再分類

森林	森林	森林	森林
森林	田	荒地	森林
田	田	田	市街地
畑	畑	市街地	市街地

森林	森林
田	市街地

図-2 土地利用分類データメッシュスケール変換

メッシュスケールを適切なメッシュスケールに変換する作業処理システムである。なお、オリジナルの標高データは約 50m 四方メッシュ、土地利用分類及び土壌・表層地質分類データはそれぞれ約 100m、1km 四方メッシュで作成されている。システム上では選択したメッシュスケールがオリジナルデータのメッシュスケールより大きい場合、標高データについては平均化するとともに、分類データについては図-2 に示すように最大占有分類項目をもって代表させた。

(3) 流域メッシュ切り出し

シミュレーションモデルを実行する空間領域を決定するために、国土数値情報の流域界位置データを用いて流域メッシュデータを切り出す作業処理システムである。図-3 に示すように具体的にはメッシュ位置データと流域界位置データを重ね合わせ、流域を面積で 50% 以上包含するメッシュを流域メッシュデータとして抽出するものとした。

(4) 落水線データ作成

メッシュスケール変換された標高データから物質の流動方向を規定する落水線データを作成する作業処理システムである。図-4 に示すように、システム上では、ユーザーが自動発生させた落水線データと既存の河川位置データを重ね合わせつつ窪地の処理を実行できるように工夫した。

2.3 PC 上で作動する GIS の有効性

GIS には、EWS 上で作動するものと PC 上で作動するものがある。また、GIS で使用する OS は、GIS 固有のものではなく、汎用的なものである。GIS 本体は、コンピューター地図作成、データベース、コンピューターグラフィックス、CAD 等のコンピューター情報技術を統合したものであり、OS が同じであれば、他のソフトウェアと連携することは容易である。本研究では、汎用的なオブジェクト指向ソフトウェアと同一の OS 上で作動する GIS を用いたために、シミュレーション流域作成システムを比較的容易に作成することができた。汎用的な OS を備えた PC 上で作動するソフトウェア開発が盛況な昨今、本研究のように GIS に拡張性をもたせたシステムを構築するためには、PC 上で作動する GIS の選択が有効である。

3. 主な研究成果物

- ・和田一斗、安陪和雄、佐藤一幸、寺川陽：GIS を活用した湖沼流域環境管理システムに関する研究、第 26 回土木学会関東支部技術研究発表会、1999

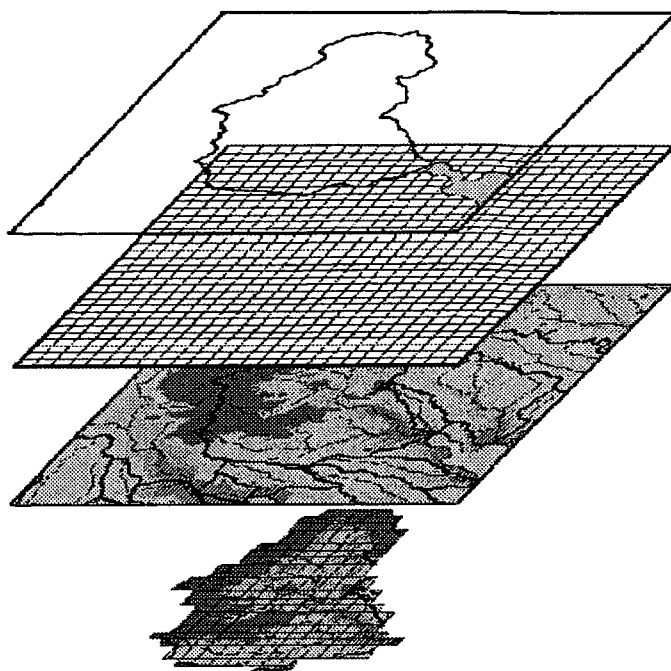


図-3 流域メッシュ切り出し

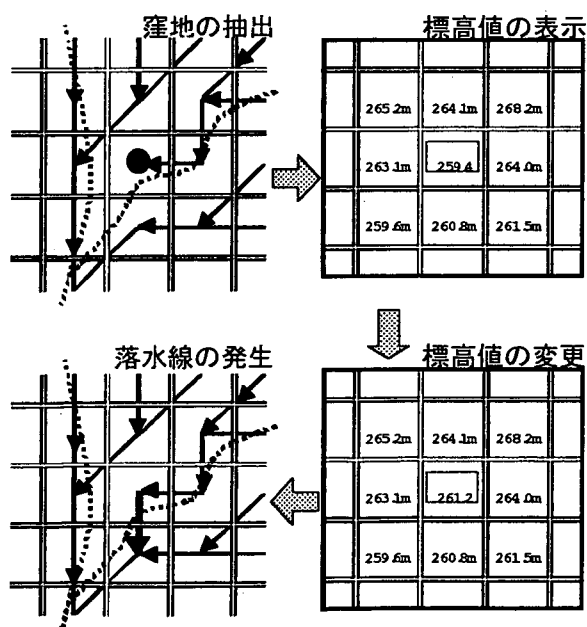


図-4 窪地の処理

土地利用変遷が湖沼流域の物質循環に及ぼす影響の評価手法に関する調査

研究期間：平 10～平 13

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】

湖沼の富栄養化対策を講じる上で、流域の視野でとらえた総合的なアプローチが不可欠である。そのためには、湖沼管理者として、湖沼流域の水循環及びそれに伴う物質流動を把握し、湖沼から見た流域の各種インパクトの評価を行う道具（湖沼流域管理システム）を有していることが必要である。今年度は、湖沼流域管理システムにおける GIS 活用の方向性を検討するため、情報の処理時間に影響を与える空間データモデルについて検討した。その結果、GIS 活用にあたっては、ベクター型データモデルを基本とし、必要に応じてラスタ型データモデルを選択することが望ましいとの結論を得た。

1. 研究方法

空間データモデルの種類・特徴について調査し、湖沼流域管理システムの目的に適合する空間データモデルについて検討する。

2. 研究結果

2.1 空間データモデルの概要

GIS データは、空間データモデルの観点から、一般に、ベクトル型データモデルとラスタ型データモデルに分類される。

(1)ベクトル型データモデル

ベクトル型データモデルは、点・線・多边形により構成される。国土数値情報の水文観測所・河川・湖沼位置データ等はいずれの要素により構成されており、この空間データモデルは、地図フィーチャーのトポロジカルな表現に優れている。国土数値情報・湖沼位置データ 1)を例にとると、湖沼位置を表現する多边形は、データファイル内では、図-1 のように保管されている。ここでは、2 次メッシュコード 534001 の地理的区画に、左隅下を原点（東経 140° 7' 30"、北緯 35° 20' 0"）とする正規化座標系を適用している。2 次メッシュ正規化位置の ϵ と η は、多边形として表現される湖岸線各ノードの座標値である。

(2)ラスタ型データモデル

ラスタ型データモデルは、同形状・同面積のメッシュにより構成される。数値地図の標高データ、及び、国土数値情報の土地利用・土壌・表層地質分類データ等は、メッシュにより構成されており、面的に分布す



2次メッシュコード	ユニット領域		湖沼番号	始終点タグ	2次メッシュ正規化位置	
	左隅下				ϵ	η
	緯度	経度				
534001	4007300	352000	1077	03	0.24315	0.88600
534001	4007300	352000	1077	00	0.23891	0.88659
534001	4007300	352000	1077	00	0.23503	0.88738
534001	4007300	352000	1077	00	0.23983	0.87693
534001	4007300	352000	1077	00	0.24259	0.88048
534001	4007300	352000	1077	04	0.24315	0.88600
534001	4007300	352000	1077	04	0.24315	0.88600

図-1 湖沼位置データ（抜粋）

るデータの柔軟な解析に優れている。国土数値情報・土地利用分類データ 2)を例にとると、土地利用分類を表現する各メッシュは、データファイル内では、図-2のように保管されている。これは、それぞれの第3次メッシュコードが東西南北にそれぞれ10等分、合計100等分されていることを前提に、左隅上から右隅下に向けて土地利用コードを順番に収録したものである。このように、ラスタ型データモデルは、ベクター型データモデルのように各メッシュの四隅を座標値として収録する必要がなく、データ規模を効果的に縮減することができる。また、諸々の属性データが共通のメッシュシステムで整理されることにより、ある空間ユニットを対象としてこれらの属性データを容易に重ね合わせることができる。ただし、地図フィーチャーが、メッシュと同形状・同面積であることはまれであるため属性データには相応の誤差が含まれていることを認識しておくべきである。

3次メッシュコード	土地利用コード							
	1	2	3	4	...	98	99	100
：	：	：	：	：	：	：	：	：
53400000	08	05	05	05	...	05	10	10
53400001	05	05	05	05	...	05	05	01
53400002	05	05	05	05	...	05	05	05
53400003	08	01	01	02	...	12	01	01
53400004	01	08	01	01	...	01	08	05
：	：	：	：	：	：	：	：	：

図-2 土地利用分類データ（抜粋）

2.2 空間データモデルと湖沼流域管理

湖沼流域管理においては、流域の現状把握、将来予測等において行政と市民が合意形成することが重要である。このためには、流域の細部にわたって種々の情報を視覚化する必要があり、流域情報の表示にあたっては、点・線・多辺形を正確に表現できるベクトル型データモデルを基本とすることが望ましい。

ラスタ型データモデル上の各メッシュは、ベクトル型データモデル上では、四辺形として保管することができるので、ベクトル型データモデルを基本とすることでこれらの空間データモデルを統合することができる。これにより、観測地点、河川、湖沼等の地図フィーチャーと標高、土地利用・土壌・表層地質分類等のメッシュ情報を重ね合わせることが可能となり、一つの主題図により多くの情報を効果的に表示することができる。

2.3 空間データモデルと情報処理時間

コンピューターの情報処理能力は無限ではないため、データ量が大きくなるとベクトル型データモデルだけでは情報の処理時間が極めて長くなり実用的ではない。

具体的には、霞ヶ浦流域を対象にして約2,100km²の流域を約100m四方メッシュのベクター型データモデルで表現しようとする、通常のPC(CPU:Pentium II 400MHz,メモリ:128MB)では、全体を表示するのに約2分を要する。一方、ラスタ型データモデルで表現しようとする約1秒で実行できる。これは、ベクター型データモデルでは、全メッシュの4隅の座標をデータに収録する必要があるため、メッシュスケールが小さくなるとコンピュータが読み込まなければならないデータ量が膨大となるためである。このため、ベクター型データモデルで種々の解析・表示を実行する場合には、メッシュスケールをユーザーの許容する処理時間の範囲内で設定する必要がある。

すなわち、湖沼流域管理システムの空間データモデルはベクター型データモデルを基本とするが、作業過程における小さいメッシュスケールの段階ではラスタ型データモデルを適用し、システムとして採用したメッシュスケールにおいてはベクター型データモデルを適用することが合理的である。

3. 主な研究成果物

- ・和田一斗、安陪和雄、佐藤一幸、寺川陽：GISを活用した湖沼流域環境管理システムに関する研究，第26回土木学会関東支部技術研究発表会，1999

I - 6 湖沼の総合的な富栄養化対策技術
に関する研究

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

担当期間 建設省土木研究所

所属プロジェクト 湖沼

研究機関 平成6年～平成10年度

研究の背景と目的

過剰な栄養塩類が流入する自然湖沼や人工湖等の閉鎖性水域では富栄養化が進行し、好ましくない植物プランクトンが異常に増殖する要因となっている。これらの異常発生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、親水活動の阻害など様々に深刻な問題を引き起こしており、早急な解決が望まれている。このような背景のもと、本研究はこれらの自然湖沼や人工湖沼における富栄養化現象を生じさせないよう、糸状藻類の栄養塩吸収能力を活用した富栄養化対策技術(糸状藻類活用システム)の開発をめざした。

研究の成果

1、生息環境と浄化設備の開発

糸状藻類とは、海域では海藻に相当する淡水域での付着藻類で、肉眼レベルで毛糸や木綿糸のように見える糸状態になって生息する藻類の総称である。糸状藻類と分類される藻類は多種あり、それぞれの種に特有の好む生息環境がある。現地踏査した結果、糸状藻類は大別すると図—1の左に示す場所に多く生息していることが確認されている。

また、糸状藻類には、以下のような特筆すべき点がある。

- (1) 糸状藻類は緑藻類と珪藻類から構成されているので、アオコや淡水赤潮、かび臭の様な異常現象の原因とはならない。
- (2) ホテイアオイなどの水生植物に比べ原始的な植物であるので、増殖速度が非常に速く、無機栄養塩の吸収能力が高い。
- (3) 高等水生植物と比較して、低い栄養塩濃度でも生息が可能である。
- (4) 種によって低温でも生息可能なものがあり、冬季でも生息可能である。
- (5) 糸状態なので、水中より分離除去(回収)が比較的容易である。

栄養塩吸収能力の高い糸状藻類が自然界で生息している環境を浄化設備に取り込むことで、糸状藻類が高密度の群態を形成し安定して生息する設備の開発に成功した。図—1にあるように、4タイプに大別した糸状藻類の生息環境について、それぞれに図—1の右に示すような浄化設備を考案した。詳細については以下に示す。

- ① 急勾配水路タイプ……図—1に示した浄化設備の中で河川上流の溪流で岩石に糸状藻類が付着している状況を再現したタイプである。設備は急な水路勾配にして原水を流速 30～50cm/sec 程度の薄層流で流下させ、波長6cm程度の波形をした人工スレートに糸状藻類を付着させる施設である。スレート上で生長した糸状藻類は自然に滑落するため、回収の作業が必要ないという特長を持っている。
- ② 緩勾配水路タイプ……河川中流の浅瀬の河床礫や、水路の側壁に糸状藻類が付着している状況を再現したタイプである。緩勾配タイプは、糸状藻類を付着させる基質を、より高密度で糸状藻類を生息させることを目的とした串状タイプ、生息状況はさほど密ではないが糸状藻類の回収のしやすさと耐久性を高めたレーン状タイプの2種類を考案した。串状タイプの設備は 10cm/sec の流速となるように緩い水路勾配とし、フロートの上に直径4～6mm のプラスチック棒を鉛直に立て、糸状藻類を付着させるように設計する。回収は底板にプラスチック棒と同程度の穴を開けておき、プラスチック棒を取り付けたフロートを降下させることにより付着した糸状藻類をそぎ取って行う方式とした。

レーン状タイプは、基質を厚さ1cmで高さ7cmの板状のプラスチックを5cm間隔に並べたものに変えたものである。回収方法は、直接糸状藻類をそぎ取る専用の回収機を考案したのでこれを用いた。

- 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、浮漂している状況を再現したタイプである。設備は勾配のほとんどない水路にして流速 12cm/min 程度の微流とし、間仕切のように 39cm間隔のスクリーンを3段設けた。またスクリーンは、横 2.5cm間隔でプラスチック棒を縦に並べたものを使用して、糸状藻類を付着させるか或いはスクリーン間に浮漂させて増殖させる施設である。回収はスクリーン間にかき取り器を走行させて糸状藻類を集めて行う方式で行った。
- ④網透過タイプ……浄水場の緩速濾過池で砂面に糸状藻類が上載したり、水層部分で浮漂している状況を再現したタイプである。設備は底面に有孔床板と網目 2.5mm のポリエチレンネットを敷き、透過速度 18cm/hour 程度の微流とし、細目のポリエチレンネット上に糸状藻類を膜状に上載させるか、水中に浮漂させて増殖させる施設である。回収は水路端でポリエチレンネットを巻き取りながら糸状藻類をエッジでかき取って行う方式で行う。

これらの開発した糸状藻類浄化設備は、藻類の特性から濁質成分に非常に弱く、出水等で設備に流入する水に多くの濁質成分が含まれると、水路内に付着している藻類が日射量不足や摩耗によりダメージを受けて、浄化能力を損なう恐れがある。これらを取り除く前処理装置として軽石による濾過装置も同時に開発した。この軽石濾過装置は、維持管理が行いやすく高濾過能力の前処理装置として開発を行い、気泡混じりの水流を専用に開発したノズルで噴射することによる洗浄の簡易化等の様々な試行を凝らした。濁度の除去率は 85%程度であり、2週間に1回程度の洗浄で充分維持が可能であった。

2. 各施設の浄化能力

糸状藻類活用システムの先に挙げた4種類の施設を用いて、栄養塩(特にオルトリン酸態リン $\text{PO}_4\text{—P}$)除去能力の知見を得るための実験を行った。

2. 1 湖沼への適用

調査は、霞ヶ浦の湖岸に上記の開発した設備を設置し、湖水を引水して栄養塩除去現地実験を行った。

霞ヶ浦湖岸においては、約6ヶ月間それぞれの設備について週1回程度 $\text{PO}_4\text{—P}$ の除去量を測定した。実験期間の単純平均値で、それぞれ急勾配タイプ: 36. 6%、緩勾配串型タイプ: 47. 0%、緩勾配レールタイプ: 42. 0%、水平水路タイプ: 21. 8%、網透過タイプ: 19. 0%であった。処理水量や施設面積等がそれぞれ異なるため、施設の比較を行うために統一した評価手法が必要であった。このため各水路の単位接触時間当りの除去率をもちいて評価した。これを経時変化で表したものを図—2に示す。図—2より急勾配水路タイプに比べ他の水路は非常に単位接触時間当り除去率が低いことが判明した。これは、水路内の糸状藻類の繁茂状態によるもの、つまり各水路内で糸状藻類の生息している空間の比率(有効利用率)に比例するものと考えられる。

また、水温が更に低い冬季に行った実験でも夏季と同様の除去量が得られている。このことから調査した $5^{\circ}\text{C}\sim 30^{\circ}\text{C}$ 程度の水温では、糸状藻類の栄養塩吸収能に影響を及ぼさないと考えられた。これは変化する水温に応じて活性に適した種が変遷し、水路に付着しているためであると思われた。

2. 2 流入河川への適用

上記湖沼での適用実験と同様にあるダム貯水池の流入河川において、栄養塩除去現地実験を行った。前処理としての軽石濾過を使用せずに、直接河川水からの $\text{PO}_4\text{—P}$ 除去能力算定の実験を行った。実験期間中の除去率単純平均値は、おおむね湖沼の実験と同程度であったが、これは水を供給するポンプの故障が数回あり、接触時間が増大したことが原因であると推察された。これらを除いた除去率単純平均値で湖沼への適応性を調べた実験結果と、河川への適応性を調査した本実験結果とを比較すると、全体的に本実験結果の方が湖沼の実験結果に比べ、リンの除去効率の悪いことが判った。これは、湖沼での実験期間は、5月から10月までの水温の高い時期に約6ヶ月間の実験を行っているのに対し、本実験は8月末から1月中旬にかけての水温が低くなる時期の実験であったため、糸状藻類にとって増殖に関する活性状況が異なっていたため及び付着している糸状藻類の優占種が異なるために、栄養塩の吸収能力が異なっていた

ものと考えられる。本実験では、同じ仕様の実験装置を使用しており、実験開始後のまだ水温の高い時期のリン除去率を考慮すれば、同様の気象及び環境条件であれば、当然同様な除去率が得られるであろうと思われていた。単位接触時間当たり除去率で表したものを図—3に示す。この図—3により湖沼での適用実験と同様に急勾配水路タイプに比べ他の水路は非常に単位接触時間当たり除去率が低いことが判明した。各施設の容量に対する糸状藻類の回収量を比較した所、緩勾配串型タイプ>緩勾配レール型タイプ>水平水路タイプ>網透過タイプとなった。これは、図—3で示した値をそれぞれ水路毎に算術平均した平均値の大小傾向と一致する。また、急勾配タイプは回収をしない水路であるため同様な比較はできなかったが、薄層流をイメージして製作されているので有効利用率は考案したどの水路よりも高いと思われる。

実河川への本施設の適応は、直接河川から引水した本実験より、濁質のほとんどない河川では充分適用できるものと考え、濁質の多い河川に対しては軽石濾過等前処理を行い濁質除去を行ったのちに本施設を設置することが望ましい。

3. その他補足実験

他の植生浄化施設ではほとんど評価されていない夜間の除去能力を把握するため、栄養塩吸収能日変動調査も行った。その結果、糸状藻類は夜間の栄養塩吸収能力の方が高いというデータが得られた。結果を図—4に示す。これにより糸状藻類を活用した栄養塩除去施設は、昼間の栄養塩除去量をもって長期の除去量を算定することができ、夜間と昼間の差分は、余剰分としてみ込むことができると思われる。

また、これまでに実験で使用している循環処理で栄養塩除去を行っているタイプと循環処理をせずに行ったタイプの比較のために、急勾配水路タイプによる循環処理の有無の影響に関する実験も行った。循環処理を行っている循環型急勾配水路タイプとその回転率より算出し接触距離を決定した直列型急勾配水路タイプ水路の除去率を比較する実験である。結果を図—5に示す。流下面延長距離が増加するに従い除去率は循環型に近づいてくる傾向であることが確認できた。なお、循環型の除去率と直列型の除去率は一致せず若干循環型が上回っていたが、現地の状況から藻類の繁茂量等による差が生じていたものと考えられる。これらの結果により若干は循環させた方が除去率は向上するものの、循環型の回転率より算出した仮想流下面延長距離と実際の流下面延長距離はほぼ等しいこと、流下距離(施設規模)と除去率に正の相関がある可能性が確認できた。よって、十分な浄化施設面積が確保できない場合には、循環させることにより要求される除去率が確保でき、限られた浄化施設用地でも有効に利用できることが示唆された。

4. まとめ

ダム湖の富栄養化対策として、大量の流入河川水やダム湖表層水を対象としたリン除去、特に $\text{PO}_4\text{—P}$ を除去するには、『糸状藻類活用システム』が有効である。

単位接触時間当たりの除去率では、急勾配水路タイプが良好な除去率を示しているが、糸状藻類の回収のし易さ、耐久性に関しては、緩勾配水路タイプ(レール状)が有利である。この様に浄化設備として導入する際には、除去率、設置場所の他、用地費、維持管理費などを総合的に判断する必要がある。また、各タイプの設備には、それぞれに適した設置場所が存在する。急勾配水路タイプは、ダム湖の流入河川上流域や水位変動域の高低差の存在する場所、緩勾配水路タイプ及び網透過タイプは、流入河川高水敷内や、ダム湖直上部など比較的水平和で設備設置面積が大きくとれる場所に適した構造になっており、水平水路タイプはゆったりとした流れを対象としているのでダム湖の湖面上などに設置可能で設備設置用地が必要ないという特徴を持っている。ダム湖における浄化設備の配置例を図—6に示す。

本システムは接触時間が等しい場合には同等の栄養塩除去率を得ることが可能であるので、大きな設備設置用地が取得可能である場合には、循環処理によって得られていた接触時間や設置面積を増やすことで補うことができ、維持費を削減することが可能である。

また、本システムで回収された藻類は、廃棄物として処理する以外に、肥料・飼料等に有効利用が可能であることについては別途実験において確認している。

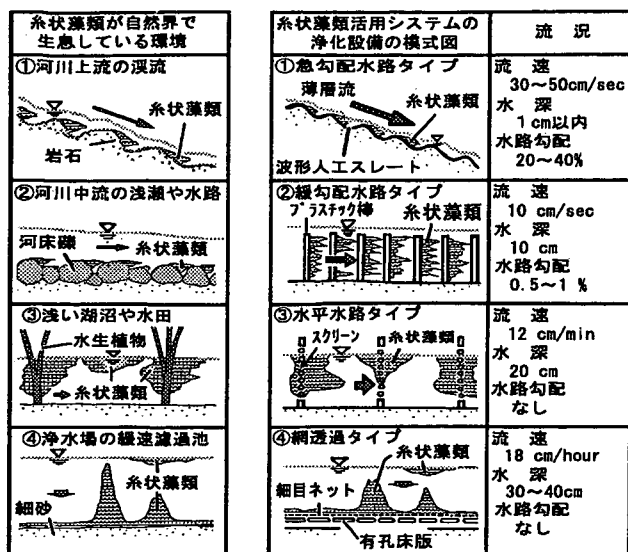


図-1 糸状藻類活用システム

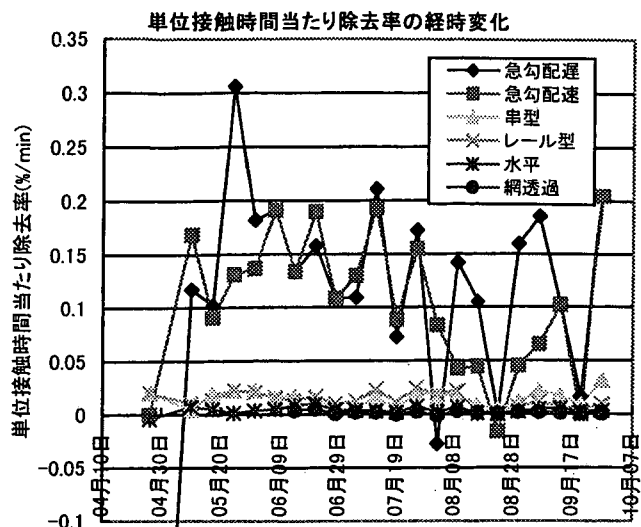


図-2 湖沼での単位時間当たり除去率の経時変化

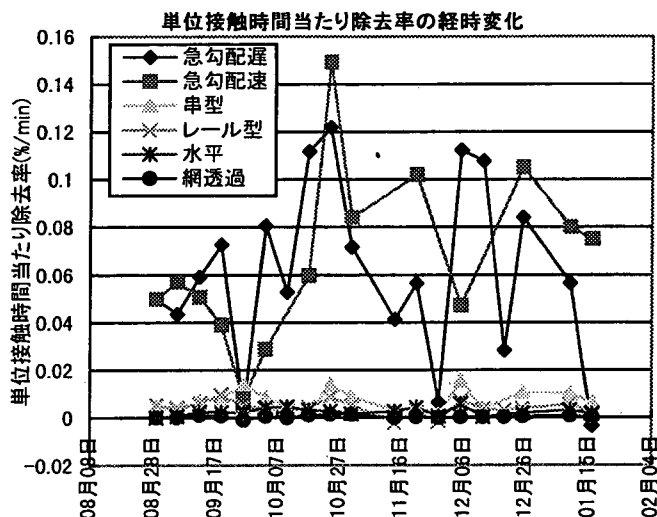


図-3 流入河川での単位時間当たり除去率の経時変化

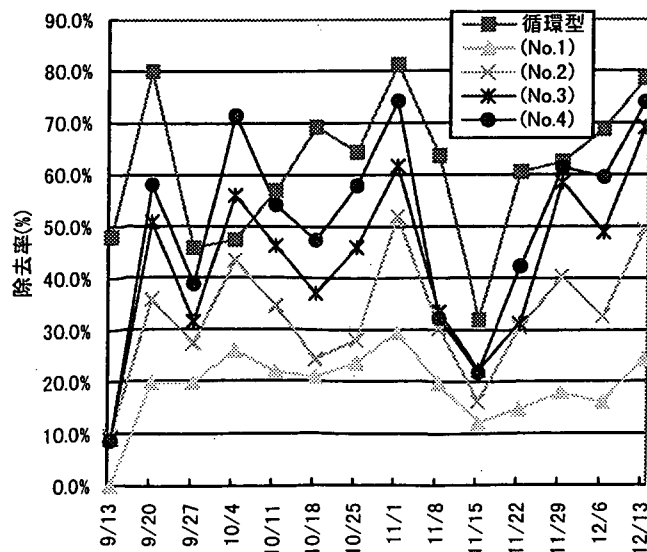


図-5 循環型と直列形の除去率比較

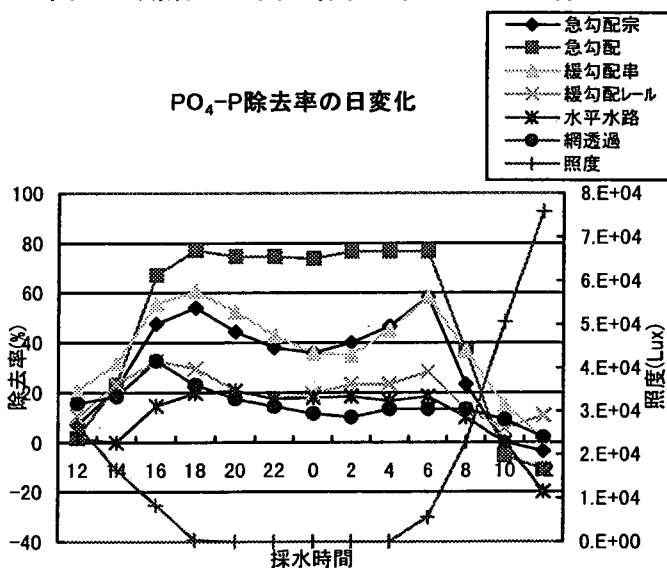


図-4 PO₄-P 除去率の日変化

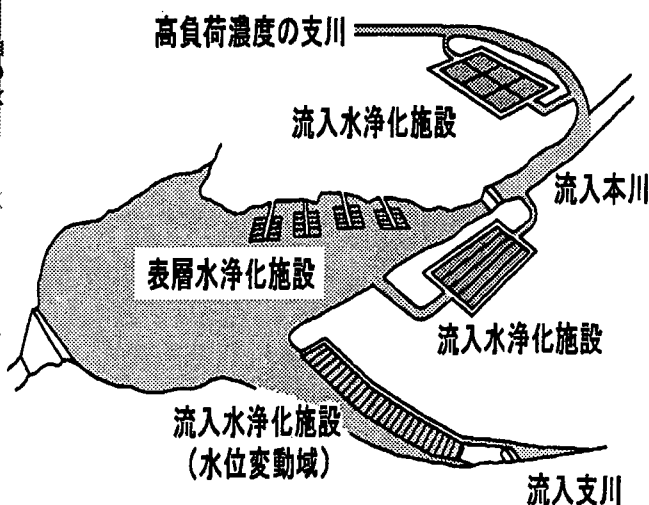


図-6 ダム湖での設備配置例

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 1 1

担当：環境計画研究室 室長：寺川 陽 主任研究員：天野 邦彦 研究員：福渡 隆

【要旨】

土木研究所では、深層部の嫌気化防止対策を目的としている深層曝気施設を開発した。本施設は全層曝気施設と異なり、底層の栄養塩が多量に含まれている水塊を表層に供給することがなく、また浅層曝気循環施設によって流入河川水の濁質等をダム湖中層以深に導いたものを、再浮上させることなく底層のみ DO の供給ができる特徴を有している。

平成 1 0 年度は、効果検証に必要となる本施設の流速等について、三春ダムで現地観測を行い、表層曝気施設と同様の評価手法を用いて評価可能であることが分かった。

1. 研究方法

深層曝気施設は、富栄養化対策技術の一つとして開発された流動制御システムの一部で、特に深層部の嫌気化防止対策を目的としている。

図－1 に、施設の概略図を示す。本施設は、湖底に設置された散気方式の曝気装置から多量の空気を吐出し、その気泡を上方で空気室を持った構造体で受け、溜まった空気は圧力追随式の排気口で湖面から排気する。空気室は、補助排気管により常に一定に保たれるように工夫されている。このため、全層曝気施設と異なり、底層の栄養塩が多量に含まれている水塊を表層に供給することがなく、また浅層曝気循環施設によって流入河川水の濁質等をダム湖中層以深に導いたものを、再浮上させることなく底層のみ直接 DO の供給ができる特徴を有する。

富栄養化対策の一環として流動制御システム（浅層曝気施設が 4 基及び深層曝気施設が 2 基）が設置されている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において、流速等の現地観測を行った。観測した深層曝気施設の諸元を表－1 に示す。

表－1 曝気施設の諸元

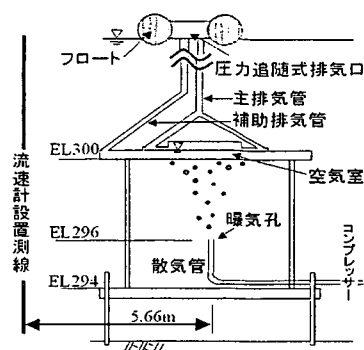
流速の測定は、曝気孔から約 5.66m 離れた位置にガイドロープを張り、それに SACM（Smart Acoustic Current Meter：超音波流速計）を這わせるように EL 294.5～301m を 0.5m ピッチで上下させ流速の鉛直分布を測定した。使用した SACM は、メーカーの公称測定誤差は±1.0cm/sec であり、1.0sec ごとの流速を測定した。

観測期間は平成 1 0 年 9 月 8 日～9 月 1 0 日で、曝気孔の位置（空気室までの距離が 3.0m、4.0m、5.5m）及び曝気量（3.0m³/min、3.7m³/min）を変化させた。また、直径 5 0 μ m の微細気泡が発生できる多孔質素材を曝気孔に接続した場合の調査も行った。

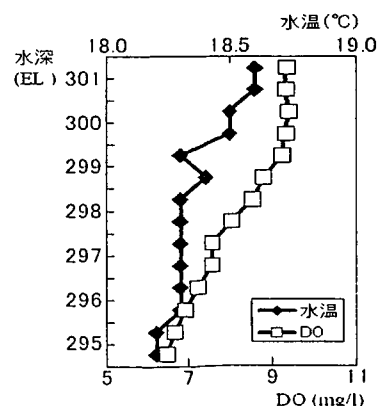
曝気孔水深	EL 296
空気室の大きさ	φ 6000 mm
曝気量	3.0m ³ /min
コンプレッサー容量	22 KW
空気室までの距離	4000 mm

2. 研究結果

8,9 月に出水（最大 250 m³/sec 程度）が頻繁に生じたため、調査期間中底層まで DO は残存していた。観測開始時（平成 1 0 年 9 月 8 日）の深層曝気施設近傍の水温分布と DO 分布の状況を図－2 に示す。水温が約 18℃と



図－1 深層曝気装置の概略



図－2 水温等湖内状況

高く、DO は下層でも 6mg/l あった。

SACM の実測値は時間的に激しく変動していたため、平滑化するために東西・南北方向それぞれを 3 分間の時間平均処理をし平均流速を求めた。

図-3 は、曝気孔から空気室までの距離が 4 m、曝気量 3.0m³/min の場合の、全水深の流向をプロットしたものである。近似直線上のある一断面上で流向が変化していることが分かる。図-4 は、各実験条件ごとに断面を求めこの断面に流速分布（曝気中心から外向きを正とする）を投影させたものの一例である。

曝気量が 3.0m³/min で空気室までの距離及び曝気孔形状を変化させたときのものであるが、流速の最大値や曝気中心に向かう流れの位置が若干変化するものの、全てにおいて流速分布の形状はほぼ同様で、空気室がある EL300m の近傍で最大であった。

また、表-2 は各実験条件とその時の最大流速をまとめたものである。空気室までの距離が長いほど最大流速は大きくなっていることが分かる。また、多孔質素材を用い微細気泡（直径 50 μm）で曝気した場合も、単管で曝気した場合に比べ最大流速は大きかった。このことより最大流速は、曝気量、空気室までの距離及び気泡の総表面積に比例することが分かった。これは、浅層曝気での知見とも合致し、深層曝気施設の規模等算定する上で、種々提案されている曝気モデルの適用可能性を示唆するものである。

また、観測された全ての流速分布は、鉛直方向に積分すると曝気中心から外に向う流れが卓越している。これは、深層曝気施設が湖底より約 5m 上方に設置されているため、観測地点よりも下層から鉛直上向きの流れが生じているものと考えられる。

3. まとめ

流動制御システムを導入した三春ダムにおいて、底層の嫌気化対策の一手法である深層曝気施設の流動状況を、SACM を用いて観測した。深層において、ある程度水温差が生じている場合には、表層曝気循環に関して得られている知見の応用の可能性が示唆された。

今後、各種気象条件下での深層曝気施設周辺での観測事例を積み重ねるとともに、本施設の機能評価及び効果の算定を行い、適切な施設の設計手法を確立を目指す。

表-2 条件の違いと最大流速

曝気孔の形状	空気室までの高さ(m)	曝気量(m ³)	最大流速(cm/sec)
単管	3.0	3.0	9.4
単管	3.0	3.7	9.9
単管	4.0	3.0	9.8
単管	4.0	3.7	10.3
単管	5.5	3.0	12.8
単管	5.5	3.7	13.0
多孔質素材	4.0	3.0	11.7
多孔質素材	4.0	3.7	13.4
多孔質素材	5.5	3.0	14.1
多孔質素材	5.5	3.7	15.3

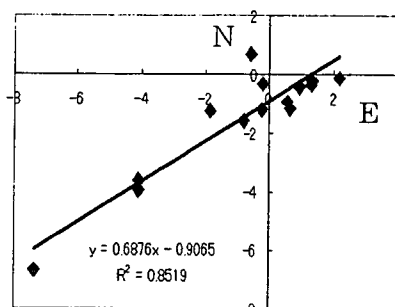


図-3 平均流向の散布図

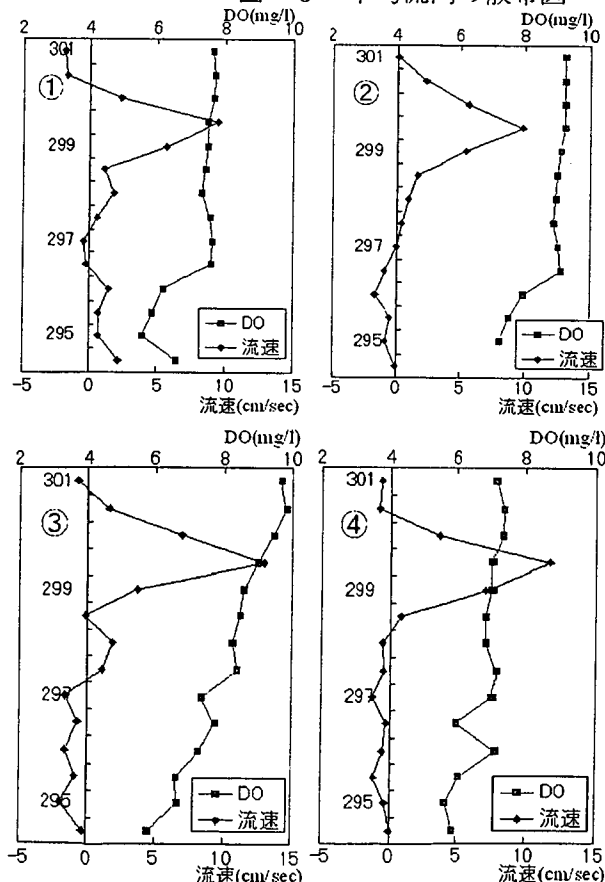


図-4 SACM計測した流速分布とDO分布

全て曝気量は 3.0m³/min。曝気孔の形状：④のみ多孔質素材。空気室までの距離：①;3m、②;4m、③;5.5m、④;4m。縦軸は標高(EL)を表している。

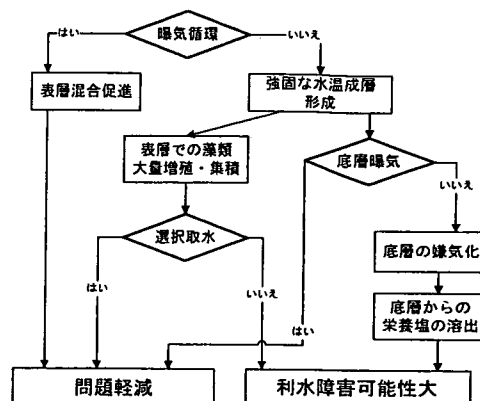
流動制御システムに関する研究

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：天野邦彦 研究員：福渡隆 研究員：田中康泰

【要旨】

研究テーマ名となっている流動制御システムは、閉鎖性水域であると共に春から秋にかけて水温成層を形成することがその水質変化特性を大きく規定しているダム貯水池において、種々の装置により貯水池内における流動状況を変化させることにより、水質面の問題を軽減することを目的としている。10年度は、このうち曝気循環装置による水温成層破壊過程を現地貯水池において観測し、現地貯水池における曝気循環装置の効果的運用方法を確立するため、季節変化による貯水池内水温構造の変化と曝気循環装置による人為的な水温構造の変化について調べた。10年度は、当該貯水池において、大規模出水が2度あり、貯水池全体の混合が急速に起こるという特異的な年度であったが、調査結果からは、曝気循環装置による人為的な水温成層破壊と自然の要因による季節的変化の特性が示され、水温の連続観測が装置運用についての判断基準となることが示された。



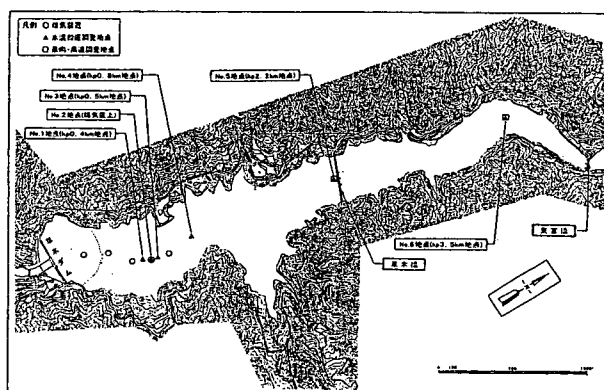
1. 研究方法

1. 1 研究対象貯水池の概要

曝気循環装置による成層破壊を行っている貯水池で、現地観測対象とした貯水池における曝気循環装置の設置位置と観測地点の平面図を図一1に示す。観測対象とした貯水池では曝気循環装置を5機設置し、6月21日から10月2日まで運用を行っている。

1. 2 現地観測

図一1に示した位置において水深方向に自記式のサーミスターチェーンを投入し、10分おきの水温変化に



図一1 観測対象貯水池平面図

ついて連続観測を行った。観測水深については、曝気循環装置の空気吹き出し口を最大で20mまでしか下げないことから、水深23mまでとし、水面から基本的に1m間隔で設置した。曝気循環装置による成層破壊過程を水温変化の見地から検討することが10年度の主たる目的であるため、曝気装置近傍では平面的に密な配置を行うと共に、貯水池全体の変化についても確認するために、装置から離れた地点 (No. 5, 6) にも配置した。また、これと同時に風向・風速計による連続観測も行った。現地観測は8月17日から11月22日まで行った。

1. 3 曝気循環装置の稼動状況

成層破壊の季節的な変化を調査する以外に、空気の吹き出し水深 (吐出水深) の違いによる成層破壊の特性の変化を調べるために、観測期間中、吐出水深を変化させた。6月21日の稼動開始から水深20mに設置し運用していたものを観測に先立ち7月13日から水深10mに変更させた。さらに、8月18日から水深15mに変更し運用した。

2. 研究結果及び考察

2. 1 曝気循環装置近傍の水温変化

図一2は、8月18日正午から1時間の間に連続観測とは別に採水して測定した曝気循環装置近傍の水温の分布を等高線で示したものである。観測を行った日は、水深15mの位置より2.3m³/minで空気を注入していた。装置より50m離れた地点における15m水深での水温を見ると19.5~20.0℃であり、吐出された空気泡は、この層から上部の水を連行しながら表層へと持ち上げ、水面に到達した後、外側へ広がり、周囲水より重いため、水深7m付近まで潜った後、貯水池全体に広がっていると考えられる。

2. 2 ダムサイト近傍の水温変化

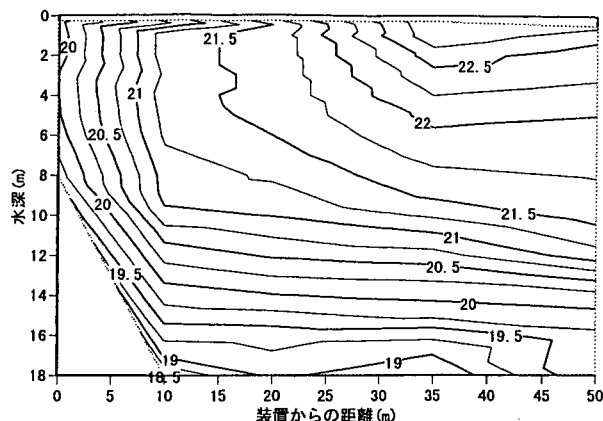
ダムサイト近傍の取水口付近での水温経時変化について示した等温線を図一3に示す。19℃の等温線の変化に示されるように、8月17日まで水深10mで空気吐出を行っていたものを8月18日から水深15mに変えたために、水深10~15mの範囲での混合が促進されたことが分かる。これに対して、水面近くの表層(0~3m)では、水温成層はむしろ少し強化されている。これは、吐出水深が深くなったことから、気泡が上昇する際に連行した水のうちの一部は水面まで到達できずに水深10m付近で上昇流からこぼれ落ち、このために表層の混合は軽減された可能性がある。この変化は8月27日まで続き、水深15mまでの成層破壊が進行したものの、8月28日には大規模な出水があり、このため、貯水池全体が混合される結果となった。このように大きな出水によって水温躍層が破壊された後は、表層近傍(0~5m)のみに日射による成層が残るのみであることを示している。このような水温分布になった後は、吐出水深を浅くした方が良い可能性が高いと考えられる。

2. 3 貯水池全体を対象とした水温変化

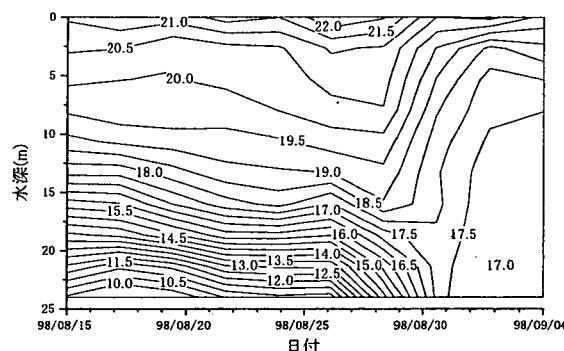
貯水池の成層は、上記のように流入量の変化により大きく変化を受けるが、平水時は気象(日射、風)による影響を大きく受ける。図は割愛するが、今回の観測中、8月28日の出水前までは、日周期を持った風の影響で、曝気循環により水深15~20mに形成された水温躍層が振動する様子が観測された。曝気循環装置により形成される水温躍層は明確であるため、このような現象が起きると考えられる。

3. まとめ

成層期後半での貯水池内での水温変化の連続観測から、曝気循環装置による成層破壊の特徴として、混合が促進される層は、吐出水深により大きく影響を受けることが分かった。また、吐出水深付近に形成される水温躍層は、風の影響を受けて振動する可能性が示された。混合が促進される層の水深の違いは植物性プランクトンの増殖、優占種の決定に影響すると共に、振動する水温躍層の存在は、粒子性物質の沈降を阻害することが考えられる。これらの結果から、曝気循環装置の実際の運用に際しては、曝気量に加えて、水温成層構造を考慮し、適切な吐出水深の設定を行うことが重要であることが示された。今後、シミュレーションモデルの作成を行い、適正運用についての定量的評価を行う予定である。



図一2 曝気循環装置近傍の水温分布



図一3 ダムサイトでの水温経時変化

貯水池の水質保全に関する調査

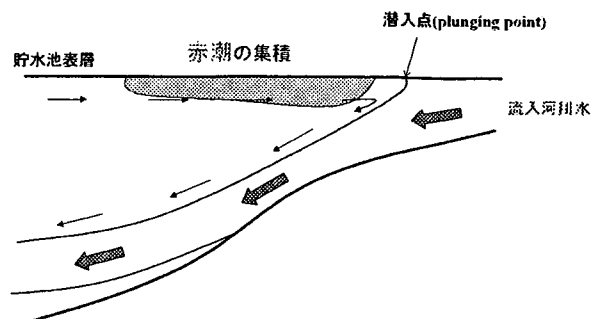
研究期間：平9～平10

担当：環境計画研究室 室長：寺川 陽 主任研究員：天野邦彦 研究員：福渡 隆 研究員：田中康泰

【要旨】

一部のダム貯水池末端においては、淡水赤潮と呼ばれる藻類の発生と集積が起っている。それに伴い、数々の利水障害の原因ともなっており、このような利水障害を発生させる淡水赤潮の発生と集積を制御する事が望まれている。

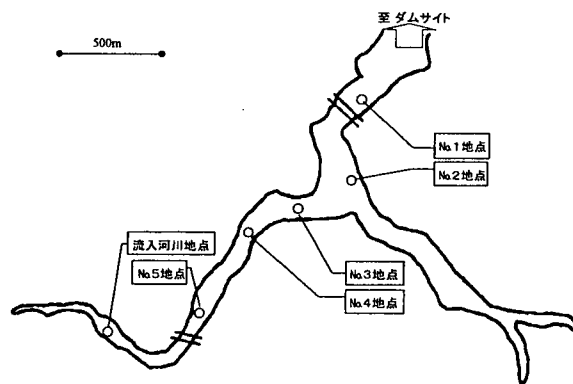
平成10年度は貯水池末端における流動と淡水赤潮の集積の関連を調べて対策に資するため、現地観測により淡水赤潮藻類の分布の日周変化と流れについての調査を行った。



図一1 赤潮発生の様式図

1. 計測方法

ダム貯水池流入端に調査地点5定点を設け、現地機器測定は合計4日間、およそ3時間毎に測定する通日測定を行い、採水による水質分析は1日1回、現地機器測定の際に行った。また、定点には連続自動観測を行う測定機を設置した。測定定点の位置を図一2に示す。定点の他に流入点と調査時に必要と思われた箇所は現地測定を随時行った。



図一2 調査地点

表一1 相関分析結果

	<i>Peridinium bipes</i>	T-P	Org-P	chl-a
<i>P.bipes</i>	1.0000			
T-P	0.9274	1.0000		
Org-P	0.9265	0.9995	1.0000	
chl-a	0.9269	0.8808	0.8800	1.0000

2. 測定結果

クロフィル a (以下 chl-a) は、現地機器測定と採水による水質分析で、水温は、連続自動観測と現地機器測定で観測した。また、水質分析による chl-a と植物プランクトン定量分析結果との比較から、淡水赤潮発生地点における優占種は *Peridinium.bipes* であることが認められ、さらに chl-a 濃度と *P.bipes* の細胞濃度との間には、非常に高い相関が見られた (表一1)。

また *P.bipes* 細胞濃度と Org-P、T-P との間にも、ともに高い相関が認められた。これに対して水質分析の結果からは、当該地点における $PO_4\text{-P}$ は検出限界値以下であることが示されており、貯水池末端に存在するリンは *P.bipes* が固定したものであることが判明した。

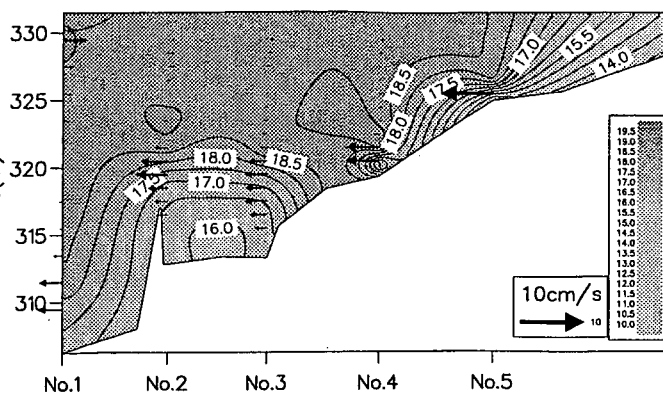
水温分布については、ダム貯水池縦断方向に補完計算を行い作成した水温縦断コンター図より見たところ、昼夜を通じて大きな変化は見られなかった。また、No.5地点付近が流入河川水の潜り込み点であること、No.2地点とNo.3地点の間にある取水堰に堰き止められて、低温水が底部に滞留していることがわかった (図一3)。また、水温コンターに重ね合せた流下方向流速分布から、流入河川水が湖底を通過し、No.4地点より下流側では堰上流に滞留している低温水の上部を流れ、そのまま堰の天端を超えて流下していることが判

明した。反対に流入河川水が流れている水深より上層部では、補償流として表層水が上流に向かって流れているのが観測された（図一3）。湖底を通過する流入河川水の流速は、昼夜を通じて大きな変化は見られなかったが、表層部の上流方向へ向かう流速には、日変化が生じているのが観測された。夜間の流速は、ほぼ一定であったのに対し、午前朝7時頃から流速が増大し、午後2時から3時にかけて最大値を示すパターンが見られた。

P. bipes の細胞濃度と chl-a との間には非常に高い相関があったことから、chl-a の分布を見ることにより *P. bipes* の分布を知ることができる。そこで、現地機器測定結果を、水質分析値との補正計算後、水温と同様に補完計算した chl-a 縦断コンター図について見ると、*P. bipes* により形成された淡水赤潮が昼から夕刻にかけて流入端表層に集積し、日没付近で沈降して流入河川の流れに乗り下流に移動を行い、日出付近にまた表層に浮上して夕刻には流入端に集積する経時変化が示された（図一4）。この測定の結果、集積はNo.5 地点付近より上流側の表層であり、夜間にNo.2 地点付近まで流下することが判明した。

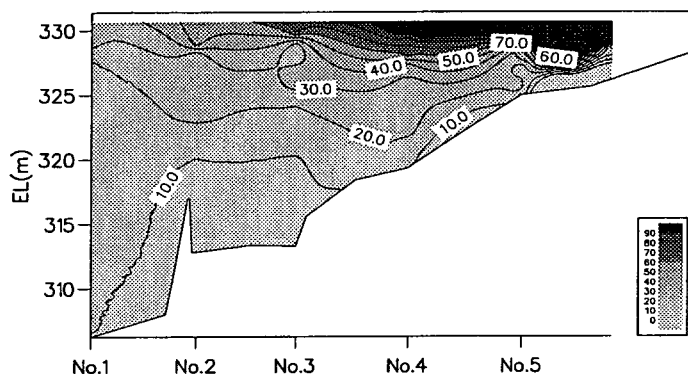
3. まとめ

以上の測定結果から、淡水赤潮が観測された期間中、流入河川水はダム貯水池表層水より低温であるため常に最深部を流下していること、表層には流入河川水とは逆の上流方向に向かう流れが常に生じていることがわかった。また、流入端付近の貯水池水において、溶存態無機リンが検出限界値以下でしか存在せず、有機態リンのほとんどが相関解析の結果より *P. bipes* 由来と考えられることから、*P. bipes* は、夕刻に沈降することによって流入河川の流れに乗り下流に移動しながら、流入河川水に含まれる溶存態リン（平均 $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度 0.007mg/l ）を摂取し増殖していることが示唆された。そして、ある時刻になると浮上を始め、表層に集積し光合成を行いながら上流に向かう流れに乗り、再び夕刻前になる頃には流入端に流れ着くというサイクルを日周で繰り返していると考えられる。流速の測定結果から、No.5 地点付近で沈降しNo.2 地点付近まで流下した後、朝に浮上した場合、移動時間は約6時間で行えることが計算された。昼間に上流へ向かう速い流れが発生する現地の流況特性が淡水赤潮の流入端における集積を可能にしていると考えられる。光合成を行える場所と栄養を摂取できる場所を移動できる *P. bipes* は、調査対象とした貯水池の末端での流れ環境に適応しており、このことが淡水赤潮を形成ための必要条件であると考えられる。

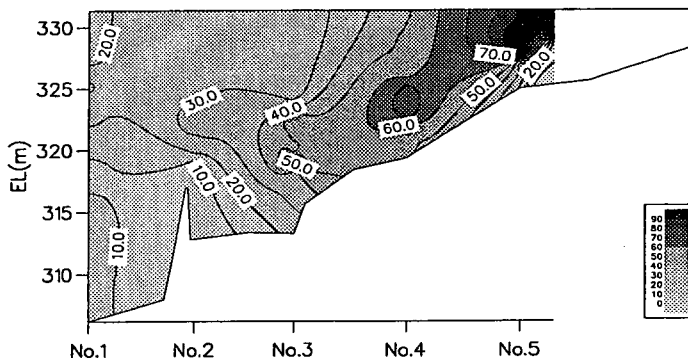


図一3 水温縦断コンターと流速分布

11月 6日 14:00～ 16:30調査



11月 7日 2:00～ 4:00調査



図一4 chl-a 縦断コンター

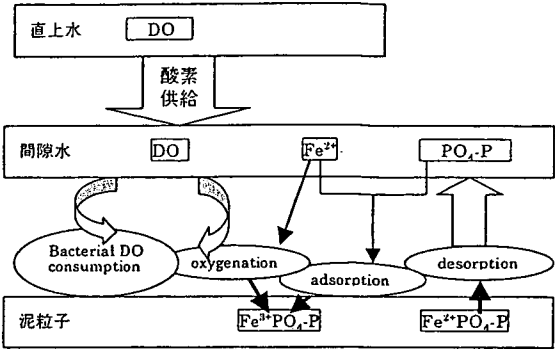
底泥からの汚濁防止対策に関する調査

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: 天野邦彦 研究員: 田中康泰

【要旨】

利根川流域にある渡良瀬貯水池は、リン等栄養塩濃度が高く、らん藻類の大量増殖に伴うカビ臭問題が顕在化している。既往の水質調査結果から、湖底に蓄積した汚濁堆積物からのリンなど栄養塩の溶出による内部負荷が貯水池の水質に大きく影響していることが判明している。このため、これまでリンなど栄養塩の溶出抑制を目指し、曝気及び干し上げ等如何に嫌気的な底泥を酸化させるかという試みが行われてきたが、酸化または乾燥による現地底泥のリン吸着特性及び吸着能の変化に関する知見は余りないために、このような試みの効果について評価することが困難であった。このため、10 年度は、底泥の酸化および乾燥によるリン吸着能ポテンシャルへの影響について検証実験を行った。現地湖心部の表層底泥を用いたバッチスケール規模の室内実験から、底泥のリン吸着能に及ぼす乾燥などの影響が確認され、また異なる酸化処理プロセスを受けたそれぞれの底泥試料中の易反応性鉄(labile-Fe)の量の変化がリン吸着メカニズムに関連があることが分かった。



底泥中におけるリンの溶脱機構

ることが困難であった。このため、10 年度は、底泥の酸化および乾燥によるリン吸着能ポテンシャルへの影響について検証実験を行った。現地湖心部の表層底泥を用いたバッチスケール規模の室内実験から、底泥のリン吸着能に及ぼす乾燥などの影響が確認され、また異なる酸化処理プロセスを受けたそれぞれの底泥試料中の易反応性鉄(labile-Fe)の量の変化がリン吸着メカニズムに関連があることが分かった。

1. 研究方法

実験には、平成 10 年 7 月 10 日渡良瀬貯水池内南ブロックの湖心部(4.7m 水深)において重力式コアサンプラー(内径 105mm)により採取した表層(0～6cm)の柱状底泥試料を使用した。吸着実験用の底泥試料の初期条件を統一させるため、8つの三角フラスコ(500ml)中で(250g 湿泥、200ml ろ過直上水)、一ヶ月の前培養(25℃)を行った。前培養後それぞれの底泥試料を表 1 に示す異なる酸化及び乾燥処理を行い、リン吸着能実験に供した。リン吸着能実験では、10g の乾泥重に相当する遠心(3,000 rpm, 10 min)後の湿泥を、0.001M の NaNO₃ 溶液(1,800 ml)に懸濁させ、超音波処理(10min)で均一分散の底泥スラリーを作成した。スラリー中のイオン状態は、0.1M HNO₃ により pH6.0 に調整することで均一に保った。このように調整した底泥スラリーを窒素ガス通気の下スターラで強く攪拌しながら、50-ml の遠心管に 25ml ずつ分注した。さらに、別に調整したリン酸標準液(NaH₂PO₄)を吸着実験の開始直前に各遠心管中に設定の最終添加濃度(0.1, 0.5, 1.0, 5.0, 10 mg-P/l)となるように加えた。吸着実験は、暗条件における振とう培養(110 rpm, 25℃)を行い、リン吸着能ポテンシャルの変化は、各遠心管内での溶存態反応リン(PO₄-P)濃度の経時変化(0, 5, 30 m; 1, 6, 12h; 1, 2, 3, 5, 7d)により求めた。リン吸着アイソサーム(Isotherm)実験の解析では吸着と脱着の平衡点において溶液中に残存したリン濃度(Ce)を用い、底泥に吸着されたリンの量(Xe)を求めた。溶存反応リンの分析は遠心(10,000rpm; 10min)で得た上澄みをろ過後、テクニコンオートアナライザにより行なった。底泥中形態別のリンの分画定量及び Labile 鉄の定量については Baldwin(1996)により改良された逐次抽出法(SEDEX method)と塩酸抽出法を用いて行い、リン吸着アイソサームの分析に加え、リン吸着能ポテンシャル変化のメカニズムに関する解析を行った。

表一1 酸化処理法一覧

	処 理 種 類
A	密栓培養のみ
B	グルタルアルデヒド(final conc. 3%)添加,密栓培養
C	直上水中曝気(50 ml/min)
D	曝気, またスターラによる強く連続攪拌
E	遠心(3000 rpm)脱水後, 室温で乾燥
F	Ca(NO ₃) ₂ 注入 (final conc. 1.0%)
G	Ca(NO ₃) ₂ + グルタルアルデヒド (final conc. 3%)

2. 結果および考察

2.1 リン吸着能の変化

リン吸着能ポテンシャルの変化は図1に示すリン吸着アイソサームから説明される。リン吸着アイソサームは反応平衡時7つの系における残存可溶性リンと吸着されたリンの量によりプロットされたものである。

酸化及び乾燥程度の度合による影響については、室内乾燥で95%以上脱水した乾泥(系E)のリン吸着能が最も低く、強く曝気酸化を受けた底泥(系D)の吸着能も著しく低下したことが確認された。これに対し、そのまま45日間密閉培養処理を継続した無酸化処理の系Aのリン吸着能はかなり高いことが確認され、軽い水中曝気処理のみの系Cのリン吸着能は無酸化処理の系Aよりやや低下したものの大きな変化は見られなかった。底泥は乾燥・酸化されるほど溶存反応リンに対する親和性が低減する傾向が認められたが、このことは、底泥中の微生物の酸化分解による有機物の無機化または鉱物相の変化と関与があるためと考えられる。一方、同じグルタルアルデヒドによる殺菌処理を行った系Bと系Gは、それぞれ無処理の系Aと系Fよりリン吸着能が高く、その差は硝酸塩の添加処理によって縮められた。硝酸塩の添加による底泥中の鉄の化学的酸化過程を促進した結果と推察される。

2.2 リン吸着能メカニズムの検討

現地底泥中におけるリン吸着能変化のメカニズムについては、異なる酸化処理プロセスを受けた底泥試料中の逐次抽出法で求めた形態別リン量(図2a)及び易反応性鉄量(labile-Fe、図2b)の違いにより考察を加えた。鉄態リンおよび易反応性鉄の量が、吸着能が最も低下した系Eに最も低く、吸着能が高い無酸化処理の系Aと系Fに最も高く検出された。また、鉄態リンと易反応性鉄との相関($r=0.661$)及び鉄態リンとリン吸着量との相関($r=0.648$)が認められていることから、現地底泥中における鉄形態の変化は無機態溶存反応リンの吸着に強く関与していることが示唆された。

3. まとめ

酸化・乾燥によって現地底泥中のリン吸着能ポテンシャルが著しく低下する傾向が確認できた。底泥のリン吸着能ポテンシャルの変化は、現地底泥中のミネラルフェーズの性質変化に関与し、特にリンの結合及び吸着に最も寄与している鉄の形態の変化に関連がある。酸化・乾燥を受けた現地底泥のリン吸着能が低下するという結果は、湖の干し上げを行った後、水を再び流入させた直後に湖水のリン濃度が一時的に上昇する可能性を示唆している。

4. 参考文献

- 1) Baldwin, D.S. 1996. *Limnol. Oceanogr.* 41: 1725-1732
- 2) Baldwin, D.S. 1996. *Hydrobiologia.* 335: 63-73.

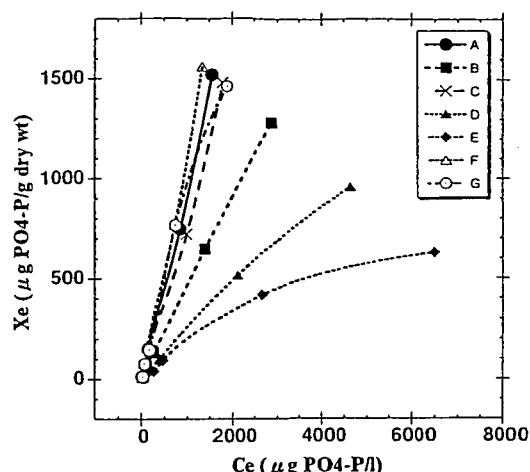


図-1 リン吸着能ポテンシャル変化のアイソサーム。CeとXeはそれぞれ反応平衡時溶液中に残存したリンの濃度と底泥粒子に吸着されたリンの量を示している。

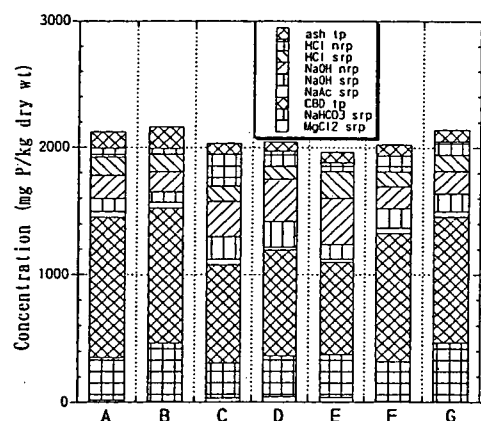


図-2a 各処理底泥試料中の形態別のリン画分。

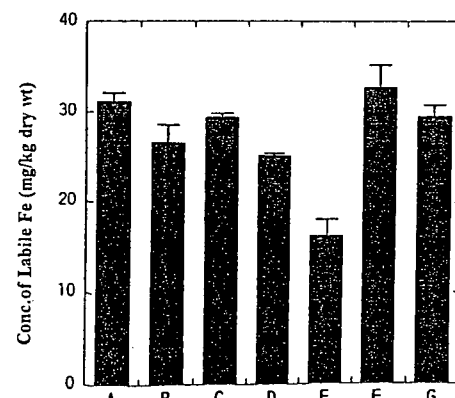


図-2b 各底泥試料中におけるlabile-Feの分析結果。

人工生態礁による富栄養化対策に関する調査

研究期間：平 10～平 15

担当：環境計画研究室 室長：寺川 陽 主任研究員：天野 邦彦 研究員：福渡 隆

【要旨】

ダム湖等における富栄養化現象の対策には、大きく分けると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である藍藻類が異常増殖しないように環境を制御する手法がある。

土木研究所では、後者の一手法として人工生態礁を開発し、10年度は土師ダムでの隔離水界実験を行った。天候が実験に相応しくなく藻類の大量増殖が生じなかったため明瞭な差異は認められなかったが、表面の25%以上を人工生態礁で覆うことで透明度が上がることが分かった。

1. 研究方法

1.1 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、魚類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、自然界の生態系のメカニズム（食物連鎖や生物間競争等）をうまく活用することで、植物プランクトンの異常増殖の抑制をねらいとしたものである。

土師ダムで試験的に設置した人工生態礁の概略構造を図-1に示す。人工生態礁の上部は、ヤシマット等の植生基盤を水深30～50cmに沈め、そこにスイレン等の浮葉植物を植え付け、それを基質として糸状藻類が生えるような構造とした。これは、動物プランクトンの生息空間の創造、糸状藻類による植物プランクトンとの栄養塩競合及び景観の向上をねらったものである。また、下部は街路樹の剪定材等を1～1.5mに揃えたものを数本束ね、魚類等の新たな生息空間の創造を狙った。

1.2 現地実験の概要

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、防水シートで周囲及び底面を覆い、縦横各10m、水深4mの隔離水界を設置し現地実験を行った。

各隔離水界は、ポリエチレン製人工生態礁の大きさを3段階（一辺が6m、5m、4m）に変化させたもの、生態礁上部に土師ダム近郊に生息している沈水植物（マツモ、フサモ等）を植えたもの、同浮葉植物（スイレン、ジュンサイ等）を植えたもの、コントロールの計6基とした。

人工生態礁の大きさによる影響の違い及び水界内栄養塩の収支の解明を目的に、実験期間中水質及びプランクトンの種類・数について定期調査を行い、実験終了時には、隔離水界内の全生物量を測定した。なお、隔離水界は、ダム湖内と水質を同等に保つため定期的に液肥を添加している。

2. 研究結果

10年度は、ダム湖本体でもアオコの発生がほとんど見られない等、気象状況は実験に適してはいなかったが、図-2に示すように水生植物を植栽した人工生態礁設置区画＞糸状藻類のみの区画＞対照区の順に透明度が高いことが分かった。

各水界内の水理状況の一例として、8月25日（晴れ）の観測結果を示す。図-3に見られるように各水界とも水温についてはほとんど変化がないものの、図-4のようにpHで比較した場合は透明度と同様

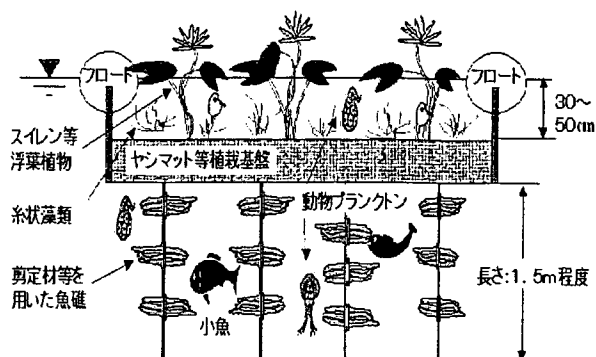


図-1 人工生態礁の模式図

に異なった傾向が見られた。

pHは植物プランクトンの活性と結びついており（光合成が活発に行われるほど二酸化炭素が多く消費されpHは上がる）図一2及び4により、透明度の差は植物プランクトンによるものと推察される。

2. 1 人工生態礁の想定される効果

現段階では支配的な人工生態礁の効果を特定するに至っていないが、以下の効果が複合的に作用して水質改善に寄与していると考えらる。

①糸状藻類等の栄養塩の競合

図一5は、実験終了時に隔離水界の各部所毎に生物量を測定し、全リン換算した結果である。概算ではあるが、全体のリンの80%が水中ではなく、堆積物量及び壁面に生えた藻類量（112日間の積算値）等人工生態礁を設置する事で水中のリンが生物体に取り込まれたことがわかる。

②動物プランクトン等による捕食

定量的な評価は容易でないが、動物プランクトンによる植物プランクトンの捕食効果は十分に想定されるところである。堆積物量には動物プランクトンの排泄物も含むため、人工生態礁設置区画で堆積物量が増加していることは、動物プランクトンの捕食による影響とも考えられる。

③太陽光の遮へい効果

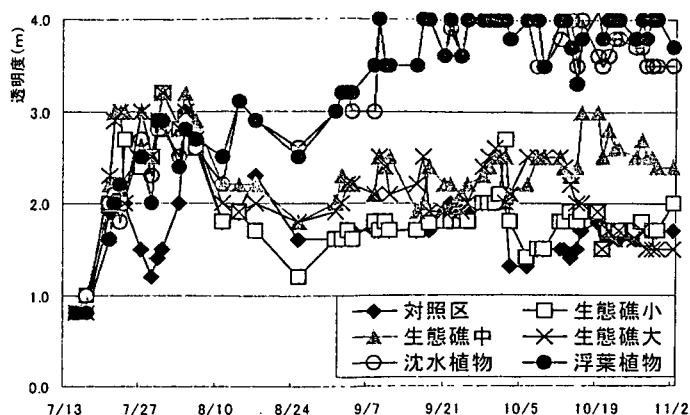
隔離水界は、人工生態礁によって最大水表面の36%が遮へいされている。各水界で明確な水温差は認められなかったが、植物プランクトンの現存量が太陽のエネルギー量によって規定されるとすれば、この太陽光の減少分が遮へい効果としてこれを減少させると考えられる。

④糸状藻類の藍藻への影響

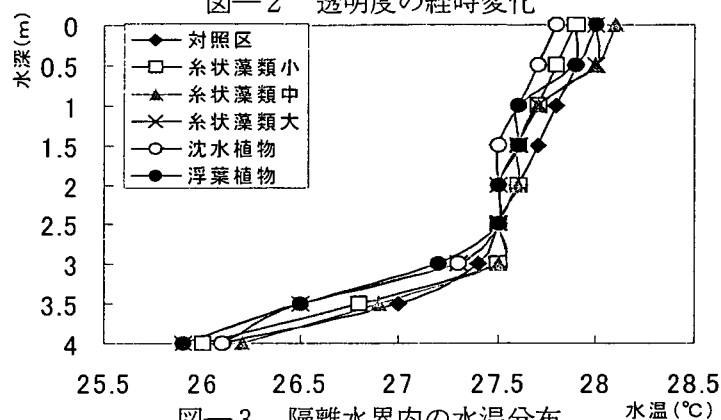
ある植物が近傍で他の植物が増殖するのを防ぐ現象（アレロパシー）が生じていた可能性もある。

3. まとめ

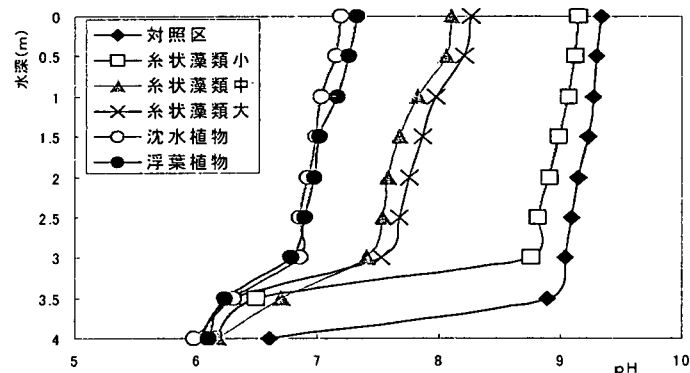
隔離水界実験により、人工生態礁による物理的な影響の一部は計測できた。今後現地実験を継続し、上記効果、特に生物的な効果の定量的な把握に努め、環境負荷の少ない富栄養化対策として技術確立を目指す。



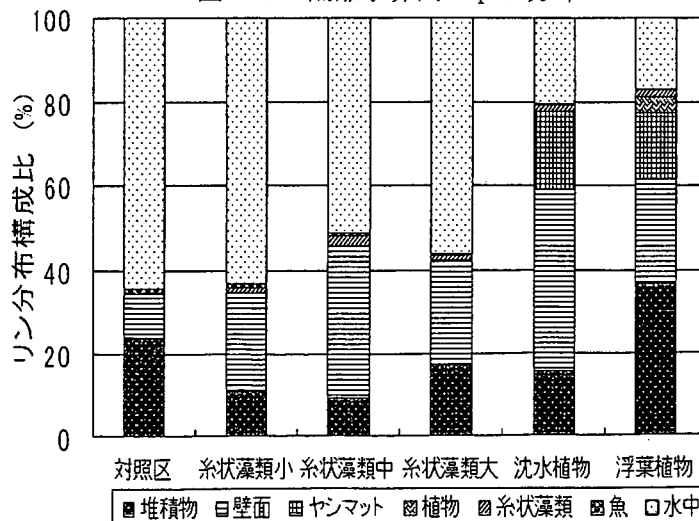
図一2 透明度の経時変化



図一3 隔離水界内の水温分布



図一4 隔離水界内のpH分布



図一5 隔離水界内のリン分布

II. 発 表 論 文

II - 1 環境評価技術に関する研究

CVM(仮想金銭化法)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***

1. まえがき

環境施設帯は、良好な住居環境を保全する必要のある地域を通る4車線以上の幹線道路について、車道端から幅10m(または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)の緩和や植樹帯等による周辺環境の向上を図ることを目的とした環境向上施設である。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を定量的に把握する手法の調査・研究が待たれている。

本報文では、環境施設帯の経済評価にCVM(仮想金銭化法: Contingent Valuation Method)^{注1)}を適用するに際して、事業の投資効果の局地性を反映させることにより、CVMの費用効果分析への適用性について検討を行った結果を報告したい。

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が土地区画整理事業の対象になり幹線道路に図-1に示す環境施設帯を設置することになったと仮定し、その設置費用の負担として被験者が許容する土地の供出(一戸建ての場合)等の最大値を反復付け値法^{注2)}を用いて調査し、時価換算して最大支払い意志額(以下、WTP^{注1)}と呼ぶ)とした。なお、整備の行われる場所は、県道以上の幹線道路と被験者の現在住居の距離を念頭において回答してもらうこととした。被験者は宮崎県宮崎市の一般住民とし、被験者住宅の立地環境、世帯属性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。

Economic Evaluation of the Environment Buffer Zone using CVM

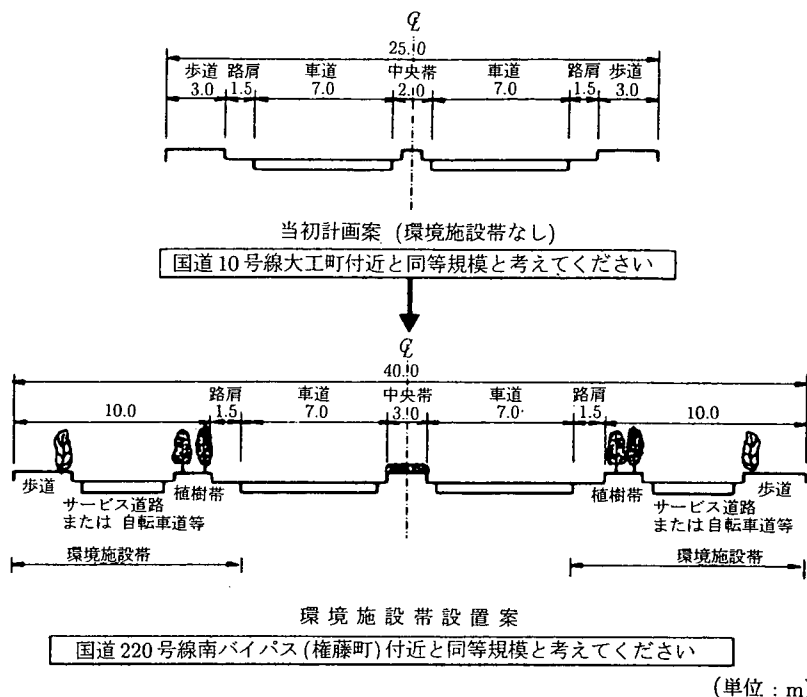


図-1 環境施設帯の設置概要

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取り上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。

3. アンケート調査

3.1 調査内容

アンケート調査は、訪問面接法を採用した。環境意識度、世帯属性及びCVM調査の質問項目は次の通りである。

注1) 仮想市場評価法、サーベイ法などとも呼ばれ、アンケート等で評価対象の財の質・量を被験者に説明した上で、その財の質・量を向上させるために費用を支払う必要があるとする場合に、支払ってもよいと考える最大支払い意志額(WTP: Willingness To Pay)を尋ね、得られた額から評価対象とする財の価値を計測する手法である。

注2) 本調査では、一戸建ての場合、供出する面積を調査員が最初に1坪を提示して了承の場合、2坪3坪、...と1坪ずつ増加させて提示した。拒否されたら拒否値-0.5坪を再度提示し、了承の場合はその面積を、拒否の場合は了承最大面積を時価に換算しその額をWTPとした。

(1) 環境施設帯設置需要度

- 1) 環境施設帯設置需要度：「必ず設置、できる限り設置、必要なし」の3段階評価
- 2) 環境施設帯の設置費用の負担了承率(設置に肯定的な回答世帯の比率)：利用頻度(時々、たまに等)条件下の費用の負担了承に対する「はい、いいえ」の2段階評価
- 3) 環境施設帯に期待する改善項目(騒音等の公害軽減、景観等の環境向上)の選択

(2) 世帯属性

- 1) 一般属性：性別、年齢、職業、家族数、年収、住居形態と面積
- 2) 幹線道路利用状況：目的、手段、頻度
- 3) 道路公害経験：騒音、振動、排気ガス
- 4) 良好な沿道環境経験：散歩、車走、居住
- 5) 環境保護活動実践度：牛乳パック等リサイクル活動、地域清掃参加等

(3) CVM調査

被験者住宅が土地区画整理対象地域(減歩と呼ばれる土地の供出や移転が求められる)に含まれ、かつ、図-1の環境施設帯の設置案が提示されたとした場合、設置案に対する了承の有無及び、了承者には以下の費用負担について反復付け値法によりWTPを面接調査した。

- 1) 一戸建て住宅：敷地の許容最大供出面積
- 2) 分譲マンション：環境向上に伴う資産価値上昇分に対応するための許容最大減少床面積
- 3) 賃貸住宅：環境向上に伴う家賃の許容最大値上がり値

なお、敷地やマンション専有面積の貨幣価値変換単価は、住宅情報誌(平成9年1月)の宮崎市のデータに基づき、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

(4) アンケートによらないデータ整備

被験者住宅と幹線道路までの距離及び用途地域区分は、住宅地図及び都市計画図から別途データを整備した。

3.2 集計結果

3.2.1 アンケートの集計

解析対象は、WTPの制約条件と考えられる年収、敷地面積(床面積)及び家族数の回答が得られた世帯とした。全調査数量は505世帯あり、このうち、次の回答信頼性

評価を実施した結果、最終的に393世帯(有効回答率：78%)の回答を採用した。

- (1) 環境施設帯不要と答えているのに有額WTPを回答している世帯の除外
- (2) 質問項目群中、WTPの説明変数(制約条件)になり得ると予想されるものを抽出し、単相関係数が高い変数(表-1参照)による、WTPの有意水準99%の区間予測値からのはずれ値を棄却

3.2.2 了承率及び平均WTP

以上の有効回答における環境施設帯設置案の了承率と平均WTPを、用途地域別(住居地域、商工業地域)及び住宅区分別(一戸建て、分譲マンション、賃貸住宅)に集計し、表-2に示す。

環境施設帯の設置了承率は全体で54%である。住居区分に着目すると、一戸建てと分譲マンションは同程度、賃貸住宅は他より高めとなっており、家賃の上昇は敷地(床)面積の減少より世帯に与える影響が小さく受け入れられ易かったためと考えられる。また、すべての住居区分で商工業地域が住宅地域より高い了承率を示している。

これは一般に、商工業地域の道路環境が良くないため、地域住民の改善要望がより強い傾向があるためと考えられる。

次に、1世帯当たりの平均最大支払い意志額(WTP)は、一戸建て及び分譲マンションは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 WTPと制約条件の単相関係数

住宅区分	説明変数(制約条件)	WTP*	相関係数
一戸建て	供出面積/敷地面積	供出面積	0.69
分譲マンション	減少床面積/床面積	減少床面積	0.89
賃貸住宅	家賃の値上げ/月収	家賃の値上げ	0.69

*住宅区分の特性を考慮しCVMシナリオを設定しているため、WTPの表現は多少異なる

表-2 アンケートの集計結果

住宅区分	用地地域	調査数	有効回答数	了承世帯数	平均WTP
一戸建て	住宅地域	140	112 [80.0%]	53 (47.3%)	32.6
	商工業地域	40	32 [80.0%]	21 (65.5%)	21.8
	小計	180	144 [80.0%]	74 (51.4%)	30.2
分譲マンション	住宅地域	74	54 [73.0%]	24 (44.4%)	25.1
	商工業地域	61	40 [65.6%]	23 (57.5%)	24.6
	小計	135	94 [69.6%]	47 (50.0%)	24.9
賃貸住宅	住宅地域	147	119 [81.0%]	66 (55.5%)	2.1
	商工業地域	43	36 [83.7%]	26 (72.2%)	3.2
	小計	190	155 [81.6%]	92 (59.4%)	2.4
合計		505	393 [77.8%]	213 (54.2%)	-

・[]は有効回答率、()は了承世帯率

・拒否世帯はWTP=0円と仮定して平均WTPを集計

・平均WTPの単位：一戸建て、分譲マンションは(万円/世帯)
賃貸住宅は(千円/世帯/月)

4. 便益の局地性と集計範囲について

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しないが、距離の近さや使い易さ等に起因する局地性を示す便益が存在すると考えられる。

環境経済評価手法の一つであるヘドニック価格法^{注3)}による公園等の便益の局地性研究に関し、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50~200m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。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。

4.1 WTPの標準化の必要性

WTP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、バラツキが大きく図-2に示したように距離との関連は明確ではない。本調査で用いたCVMシナリオでは、WTPに対し資産を減らして充てる、または、月々の出費(家賃の値上げ)で充てるとしている。そのため、敷地(床)面積および月収(年収)がWTPの大きな制約条件となっており、WTPとこれらの制約条件の間には強い相関関係が認められた。またWTPと家族数の間にも相関関係が認められた。そこで、世帯特性によるバラツキを標準化するため、一戸建てと分譲マンションはWTPを敷地(床)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、以降の解析を行った(以下、標準化した値はNWTP: Normalized Willingness To Payと呼ぶ)。

4.2 NWTPと距離の関係

個々の世帯のNWTPと住宅と幹線道路までの実距離の散布図を図-3に示した。NWTPはバラ

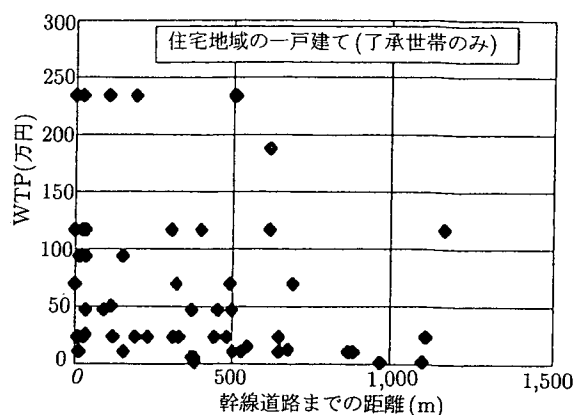
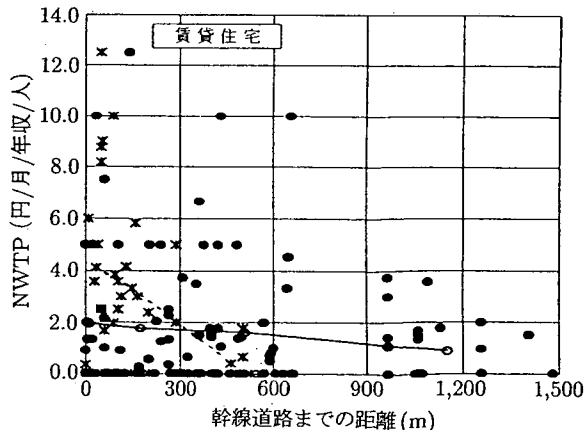
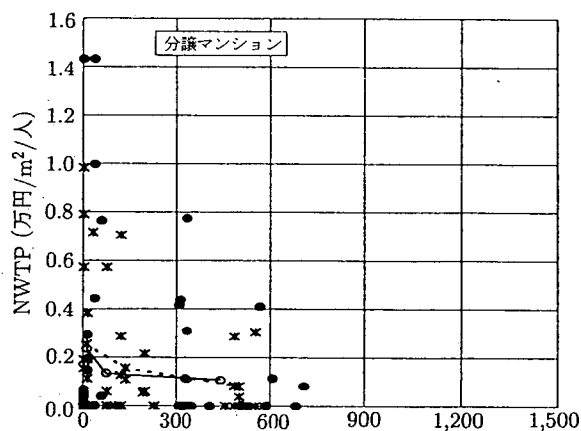
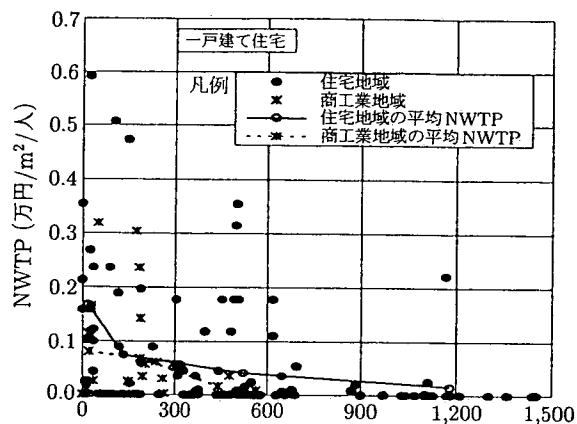


図-2 WTPと幹線道路までの距離の関係



注3) 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する。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と仮定し、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、その環境質の貨幣価値を算出しようとするものである。

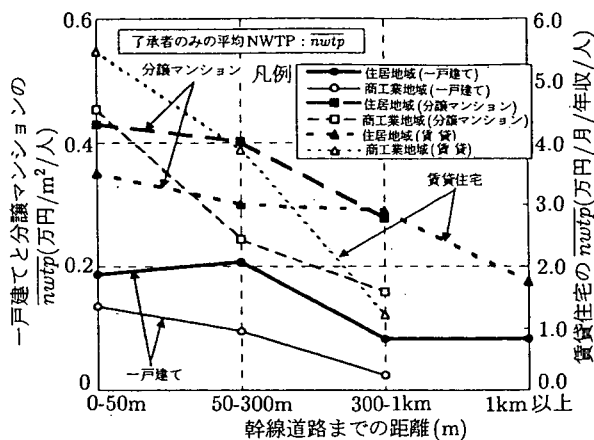


図-4 $\overline{nwtpr}$ の距離減衰傾向

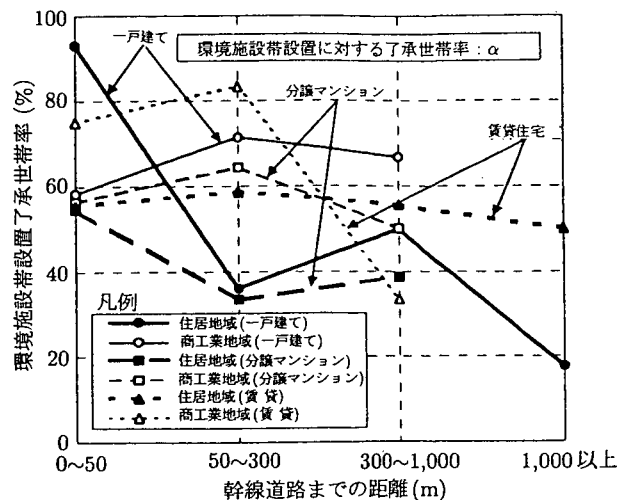


図-5 了承世帯率 α の距離減衰傾向

ツキが見られるものの、すべての区分で距離減衰が認められる。更に、よりNWTPと距離の関係を明確化する目的で、距離を4つの区分に分け、各区分毎の平均NWTPを図-3に重ねて図示した。その結果、すべての区分で明確な距離減衰傾向が確認できた。

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：0～50m”、“近い：50～300m”、“やや離れている：300～1km”、“離れている：1km以上”の4つとした。

4.3 便益の距離減衰傾向の要因

4.3.1 平均NWTPの距離減衰傾向

距離区分別の平均NWTPは式(1)で表現される。

$$\text{平均NWTP} = \alpha \times \overline{nwtpr} \quad (1)$$

ただし、 α ：了承世帯率＝了承世帯数/全世帯

$$\overline{nwtpr} : \text{了承世帯の平均NWTP} \\ = \frac{\sum \text{了承世帯NWTP}}{\text{了承世帯数}}$$

式(1)より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割合(α)の距離減衰
 - (2) 了承世帯の平均NWTP($\overline{nwtpr}$)の距離減衰
- この2要因のうち、(2)の $\overline{nwtpr}$ は図-4に示すよ

表-3 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
距離(km)	-1.56	7.53	-2.72	0.03	0.02	-2.38
1人当たり面積(㎡/人)	0.03	0.02	0.01	0.01	0	0
性別ダミー	-0.91	0.87	-2.31	0.19	-0.39	0.51
年齢(35歳未満)ダミー	0	0	0	0	0.63	-1.04
年齢(35-44歳)ダミー	0	0	0.21	0	1.29	0
年齢(45-54歳)ダミー	-0.24	-1.69	-0.42	-0.16	0.57	0
年齢(55-64歳)ダミー	-1.43	-0.98	-1.08	-1.51	0	0
年齢(65歳以上)ダミー	-0.90	-0.98	-1.08	-1.14	0	0
幹線利用頻度(毎日)ダミー	0.73	1.05	1.60	0	-0.23	0.50
騒音経験ダミー	-0.07	-1.39	-1.52	0.56	-0.74	1.32
住居経験ダミー	1.29	0	-0.27	0	-0.36	0
散歩経験ダミー	1.11	2.05	-0.20	0.04	0.45	-0.63
地域清掃ダミー	0.47	0.62	1.42	0.17	0.26	-0.91
定数項	-0.63	-1.75	-0.17	-0.37	0.07	0.73
判別の中率	0.69	0.84	0.76	0.65	0.65	0.72

うに距離減衰傾向が認められた。他方、(1)の了承世帯率 α は図-5に示すように距離減衰傾向が認められない。さらに、個々の世帯の了承・拒否の判断結果を目的変数^{注4)}とする2群線形判別分析^{注5)}を行い、判別方程式^{注5)}の距離の係数から距離減衰傾向の有無を判断した。

なお、説明変数^{注4)}は距離、世帯特性及び環境意識度や過去の沿道経験等も含め、判別の中率が最も高くなるように選定した結果を表-3に示す。

判別分析の結果、距離減衰傾向は判別方程式の距離の係数が負で表現される。本解析では、一戸

注4) 多変量解析において、結果を表す(予測したい)変数を目的変数、その結果を説明する(予測に使われる)変数を説明変数と呼ぶ。

注5) 2群線形判別分析から次の判別方程式を得、説明変数 X_n の係数 α_n の符号と絶対値から、その説明変数が判別結果 Z (目的変数の正負)のどちら側にどのくらい寄与するかを判断する。 $Z = \alpha_1 X_1 + \alpha_2 X_2 + \dots + \alpha_n X_n + C$ ただし、 Z ：了承なら正、拒否なら負

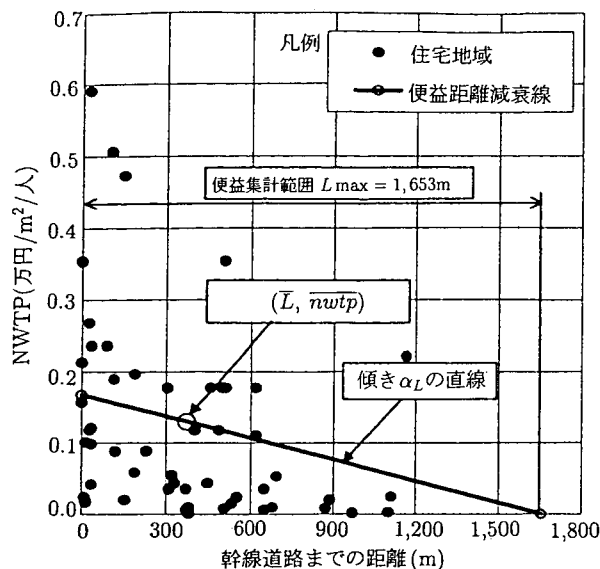


図-6 便益集計範囲の考え方(住宅地区の一戸建て)

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、これらの区分の了承世帯率は距離減衰傾向を示していない。

4.3.2 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個々のNWTPを目的変数とした重回帰分析を行った。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ともに、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-4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0.36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。

4.4 便益の集計範囲(図-6 参照)

便益の集計範囲は、了承世帯の個々のNWTPと実距離等を用いた重回帰分析結果を利用して、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。

具体的には、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ので式(2)の α_L はNWTPの距離減衰勾配を表している。

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

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

$$NWTP = \alpha_L X_L + (\overline{nwtP} - \alpha_L \cdot \bar{L}) \quad (3)$$

ただし、 $\bar{L}$ ：標本の住居と幹線道路の距離の平均値

$\overline{nwtP}$ ：標本の了承世帯の平均NWTP

そして、式(3)に示す標本の $\overline{nwtP}$ 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-5に示す。

5. まとめ

環境施設帯の経済価値計測のためのケーススタディとして宮城県宮崎市にて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。

また、CVMと同時に調査した被験者住宅と幹線道路までの距離、世帯特性、環境意識及び沿道環境経験等の環境変数(説明変数)を用いて、WTPを標準化し重回帰分析を行うことにより、予想された投資効果の距離減衰を確認した。そして、距離の偏回帰係数を用いて便益集計範囲を求める手法を示した。しかし、賃貸住宅(住居区域)では有意な説明変数が見出せておらず、重回帰モデルの適合度が低くなっている。今後、現在の住居環境の愛着度といったものも含めた環境変数の設定に関する研究が必要である。

本報文で述べた内容は、費用効果分析にCVMを適用することを最終的な目的とする研究の一部である。ケーススタディを通し、身近な環境向上施設では投資効果の局地性が認められた。今回提案した手法により、便益集計範囲を特定したうえで総便益を集計することが可能となり、費用効果分析にCVMを適用する可能性の示唆を得た。し

表-4 了承世帯 MWTP 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)	-0.24	**	-0.64	**	-0.09		-0.56	***	-0.19		-0.54	**
家族1人当たり面積 (m ² /人)	0.25	**	0.74	**	-0.22		0.11		-		-	
性別ダミー	0.32	**	-0.69	**	-0.33		-0.55	***	0.19		0.33	*
年齢	0.14		-		0.21		-		-0.19		-0.29	
家族1人当たり年収 (万円/人)	-		-0.43		0.36		-		0.12		-0.22	
幹線利用頻度ダミー	-		0.79	**	-		-0.31	*	-		-0.61	***
騒音経験ダミー	-		-		-0.26	*	0.18		0.02		-0.23	
振動経験ダミー	0.17		-0.64	**	-		-		-0.18		-	
排気ガス経験ダミー	-		-		-		-		-		-	
散歩経験ダミー	-		-0.57	*	0.33	*	0.99	***	-		0.30	*
車走経験ダミー	0.30	***	-0.23		-0.57	***	-0.88	***	-		0.25	
自然探索旅行回数	-0.17		-		0.58	**	-		0.23	*	-0.22	
牛乳パック等リサイクル活動ダミー	0.34	**	-0.66	**	-		0.24		-		-	
環境施設常需要度ダミー	0.16		0.54	*	-		-		0.17		-	
改善項目公害軽減ダミー	-0.32	***	-		-		-		-		0.47	**
費用負担ダミー (時々徒歩利用)	-		-		0.27		0.33	**	-		-	
データ数	53		21		24		23		66		26	
修正済重相関係数	0.67		0.65		0.80		0.80		0.36		0.73	

***: 1%有意, **: 5%有意, *: 10%有意

表-5 環境施設帯の便益集計範囲

		平均 $\bar{L}$ (km)	平均 NWTP $\overline{nwtp}$ (万円/m ² /人) または (円/月/年収/人)	偏回帰係数 α_L -	集計範囲 $L_{\max} = \bar{L} - \overline{nwtp} / \alpha_L$ (km)
一戸建て住宅	住宅地域	0.37	0.13	-0.10	1.65
	商工業地域	0.20	0.09	-0.40	0.42
分譲マンション	住宅地域	0.19	0.36	-0.20	1.99
	商工業地域	0.17	0.31	-0.80	0.56
賃貸住宅	住宅地域	0.45	2.86	-1.31	2.63
	商工業地域	0.14	4.30	-12.40	0.48

かし、同じ環境向上施設でも設置する地域により経済価値は異なり、また、地域特性や CVM シナリオにより WTP に影響を与える環境変数も異なると考えられる。そのため、今後、環境向上施設の属性・規模、地域特性及び CVM シナリオの設定法等を考慮し、系統立てた事例研究を重ねることにより、アンケート手法及び便益集計手法の体系化が図れると考える。

参考文献

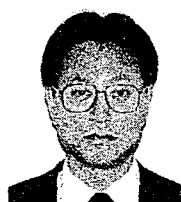
- 1) 肥田野登、武林雅衛：大都市における複合交通空間整備の計測，土木計画学研究・論文集，No8, pp.121-128, 1990.
- 2) 肥田野登：住環境整備と地価変動—アメニティを評価する，不動産研究，29(2), pp.1-10, 1987.
- 3) 藤田壮、盛岡通：ヘドニック価格法を用いた公園緑地の環境価値評価に関する研究，環境システム研究，Vol.123, pp.64-72, 1995.
- 4) 矢澤則彦、金本良嗣：ヘドニック・アプローチにおける変数選択，環境科学学会誌，Vol.5, No1, pp.45-56, 1992.

畑原隆司*



(前 環境計画研究室
交流研究員)
Takashi HATAHARA

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

寺川 陽***



同 環境計画研究室長
Akira TERAKAWA

H T C M を用いたスキー場の評価

Evaluate Skiing Areas as Recreation Sites by HTCM

並河良治 Yoshiharu NAMIKAWA*

畑原隆司 Takashi HATAHARA**

寺川 陽 Akira TERAOKA***

1 はじめに

社会資本を評価する際には、当該施設の有する機能のさまざまな側面から評価を行う必要がある。その一側面であるレクリエーションサイトとしての評価を行うに際しては、幾つかの手法が提案されている。本稿ではそれらの手法のうち顕示選好による手法の一つである H T C M (Hedonic Travel Cost Method) の適用性について考察を行った。適用性の検証に際してスキー場を選択したのは、レクリエーションサイトとして規模、位置、性状等の変化に富むこと、参加する人口が多く、年齢性別を問わないこと、移動のために支払う経費がまとまっていること等の理由による。

2. 評価手法

環境のような非市場財の評価手法については、幾つかの観点から分類されるが、直接被験者にその価値を問い、被験者の表明する選好(価値)から推計する方法(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状況から、あるいは対象とする非市場財の状態を反映した市場財の状況(顕示選好)から間接的に評価を行う方法(間接法)に分類することができる。直接法としては、C V M (Contingent Valuation Method) が知られており、間接法としては、旅費法(T C M: Travel Cost Method)やヘドニック価格法(H P M: Hedonic Price Method)などが知られている。間接法の一つ

である H P M は、環境質の違いが土地価格に反映されるものとして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。この手法は、情報の完全性及び市場が十分小さく住宅移転費用がない(Small-Open)など幾つかの仮定が成り立つ必要があること、説明変数間に多重共線性の可能性のあること及び非利用価値が反映されない点等、適用に当たっては注意が必要である。

また、T C M 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)¹⁾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。

本稿では、レクリエーション・サイトの利用価値についてサイトの種々の特性それぞれが総合的な評価に寄与する程度を、直接法により求められる結果と比較を行うための前段として、人々の行動の結果(顕示選好)から捉えることを目的としている。当該目的を達成する手法として、種々の特性を分離して評価できる H T C M を用いることにした。なお、各手法による結果の比較については、別稿にて報告する。

3. H T C M (ヘドニック旅費法)

本稿にて適用性を検討する H T C M は、T C M と H P M を組み合わせたものであり、総合的旅行費用モデルとも呼ばれている。この手法は Brown, Mendelsohn (1984)²⁾ 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

キーワード：公共事業評価法、観光・余暇、環境計画

* : 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
茨城県つくば市旭1、Tel 0298-64-2269, FAX 0298-64-7221

** : 正員 前 建設省土木研究所 交流研究員
現 (株)ニュージェック 東京本社 河川・港湾部
東京都文京区西片 1-15-15 Tel 03-5800-6701

*** : 正員 建設省土木研究所環境部環境計画研究室長
茨城県つくば市旭1、Tel 0298-64-2269, FAX 0298-64-7221

てたものである。適用面での制約から国内での実証的研究は、並河他が公園の評価に対して用いた³⁾以外にはほとんど見当たらない。

H T C Mでは、レクリエーション地の価値をT C Mと同様に一般化費用により計測できるものとして(1)式のごとく定式化する。

$$P = a_0 + \sum (a_j * Z_j) \quad (1)$$

ここで、P：一般化費用、 a_0 、 a_j ：パラメータ、

Z_j ：特性の値 である。

次に、この多項式を幾つかのレクリエーションサイトに適用し、多変量解析により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。

4. アンケート調査について

調査は、平成9年3月に実施した。調査の対象者は、スキー旅行を自らの選択で行うことができるであろう年齢として、平成9年1月時点で満20歳以上65歳未満の男女とした。また、被験者の住居は、東北道、関越道、中央道の各方面のスキー場へのアクセス性に偏りが生じないと考えられる東京都の江東区、墨田区、台東区、江戸川区及び葛飾区とした。サンプリングの方法は、住民台帳から上記の条件の下に無作為に選んだ7,500名に往復はがきを送り、過去2シーズン中に2回以上スキー旅行を行い、かつ、調査に協力してもらえ人を被験者とした。さらに、上記条件に合致するサンプルに加え、一部過去2年間に1回スキー旅行を行った人を加え、合計300サンプルとした。調査は、郵送で配布し、訪問により幾つかの聞き取り調査を行った後、調査員が

直接回収した。

回収したサンプル数は、300で、表-1に示すとおりである。被験者のうち3回以上スキーに出かけた人が224名、2回の人

表-1 被験者の年齢構成

性別	年齢	人数(構成比)
男性	20代	55 (0.183)
	30代	41 (0.137)
	40代	31 (0.103)
	50代	18 (0.060)
	60歳以上	6 (0.020)
女性	20代	65 (0.217)
	30代	48 (0.160)
	40代	24 (0.080)
	50代	9 (0.030)
	60歳以上	3 (0.010)
合 計		300 (1.000)

表-2 調査の質問項目

分 類	項 目
旅行属性	旅行日、宿泊日数、行き先スキー場、同行者、交通手段、経費（交通費、宿泊費、スキー費）、満足度
旅行に対する関心	ゲレンデの広さ、コースの本数、コースの充実度、リフト等移動施設の充実度、混雑度等（図-1参照）
個人属性	性別、年齢、職業、家族状況、車の保有状況、免許保有状況、最近3年間のスキー旅行回数、最近3年間のスキー旅行に費やす金額、スキー歴、保有するスキー用具

けの人が35名という結果であった。

(1) 調査項目

本調査は、H T C M、C V M及びA H Pの3つの手法による評価を行うための項目を調査票に入れたが、H T C Mに関連した項目としては、過去2シーズンにおけるスキー旅行のうち、最近のものから最大3つに関連した表-2に示す項目についての回答を求めた。

(2) 調査結果

予備調査の結果から、スキー場を決定する要因となる可能性の高い項目について、関心の高さを質問した。その結果を示したものが図-1である。関心度の高いもの（関心あり、とても関心ありの割合が6割を超えるもの）としては、スキーに関するものでは、ゲレンデの広さ及び雰囲気、雪質、コースの本数及び充実度、リフト等移動施設の充実度並びに混雑度であり、混雑度が最も関心度が高かった。レストハウスに関する項目では、唯一混雑度の関心が高かった。移動に関しては、移動時間及び疲労度の関心が高かった。その他の項目では、料金（支出）に関するものの関心が高かったが、知名度や異性の多さなどの関心は低いという結果になった。宿泊施設に関しては、ゲレンデとの距離に最も関心が高く、他に食事、入浴施設の充実度及び居住性に関心があることが示された。

5. H T C Mの適用

本稿では、一般化費用に何を採用するのが妥当かに着目して検討を行った。

これらの項目に関するデータのうち、スキー場に関するものはスキー雑誌から収集した。

回帰式に採用した説明変数は、当初、図-1に示されているスキー旅行に際して関心を持った人の割合の高かった項目を参考に、ゲレンデ面積、コース本数、リフト本数、積雪量、駐車台数、混雑度、標高差、最長滑走距離及び総入込数の9変数による定式化を試みたが、変数間の重共線性の問題から最終的には、表-2に示されている5変数及び一つの試行として、一部に移動時間を採用した。なお、移動に関するものは、被験者を区単位に考え、区毎の代表点からの距離を地図上で計測した。移動時間は、スキー場の位置と被験者の住居の位置から算出した往復の時間を採用した。ツアーに関するものは、代表的な旅行代理店のツアー料金を参考に推測した。また、時間価値は、基本的には東京都民の所得額と総労働時間から求めた2,342円/時間を用いた。

解析の対象としたスキー旅行は、旅行特性を揃えるため、日帰りのもの及び交通手段が鉄道利用のものは対象としなかった。また、被験者が初めて訪れるスキー場については得られるサービス水準(便益)を十分把握せず便益の範囲を超えて支払を行った可能性も否定できないため、今回の解析では被験者が2回以上訪れたことのあるスキー場に行った旅行のみ対象とした。

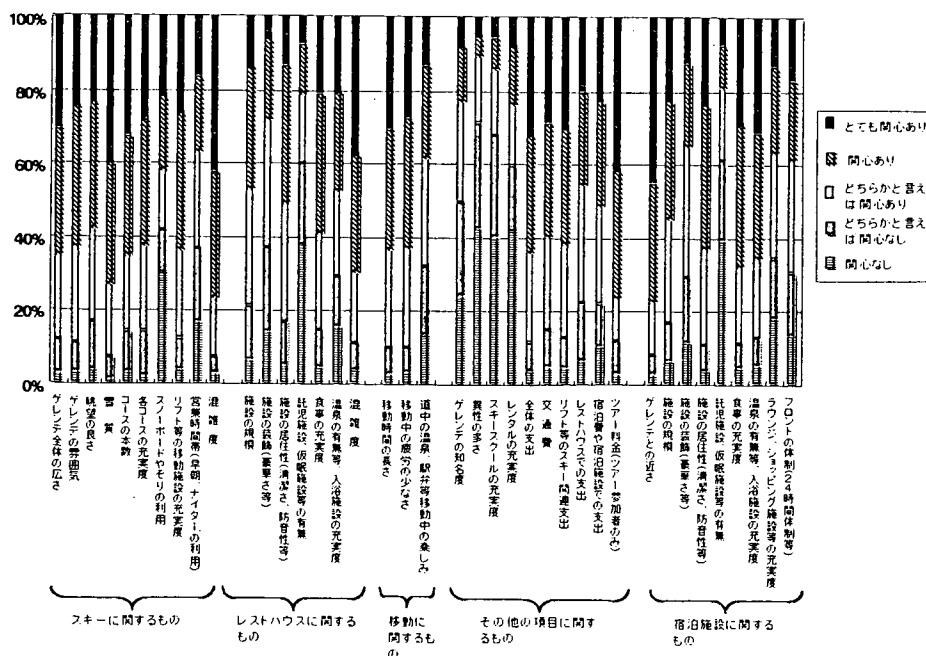


図-1 スキー旅行に際して関心のあった項目

6. 結果

レクリエーションにおける時間価値の取り扱いについては、未だ十分に検討されているとは言えない。そこで、本稿では、一般化費用に移動時間を考慮しないケース3、移動時間を旅行の属性と想定し、説明変数として扱ったケース1、2及び4、時間価値として移動に要した時間に関して時間価値単価を変化させたケース5、6、7及び8、ゲレンデに滞在する時間を機会費用と見做したケース10、ゲレンデに滞在する時間は旅行の目的であることからゲレンデ滞在の1時間当たりの費用を一般化費用としたケース2及び9の10のケースについて回帰分析を行った。

比較検討した10のケースでは、一般化費用に移動経費、滞在費、リフト代及び所得額と労働時間から求めた時間価値の2倍の時間価値を採用したケース8が修正重相関係数が最も大きく適合度が高いという結果となった。しかし、このケースの定数項の値が41,428と大きく、この回帰式には説明されるべき変数が表現されていない可能性もある。一般化費用にケース8と時間価値の値だけが異なるものを採用した4つのケース(ケース5、6、7、8)を比較すると時間価値が小さくなるほど適合度が悪くなっている。一方、時間価値が大きい程定数項が大き

くなっていて、標準偏回帰係数には大きな変化はない。既往の研究ではレクリエーションの時間価値は、所得から求めた時間価値の25%~50%程度とされ、最近の研究においてもそのような値が用いられていた^{3), 4)}が、今回の調査は、時間価値の大きさをそのように定めることに対して肯定的な結果をもたらしていない。

移動時間を説明変数として採用した2つのケースの結果からは、次のことが考察される。すなわち、一般

表－2 一般化費用の違いによる回帰式の相違

ケース	一般化費用	修正重相関係数	説明変数の標準偏回帰係数													
			移動時間	判定	グレンデ面積	判定	コース本数	判定	積雪量	判定	駐車台数	判定	総入込数	判定	定数項	判定
1	P0	0.2484	0.045		0.245	**	0.060		0.049		0.015		-0.044		8,468.0	**
2	P0'	0.1679	0.067		0.242	**	-0.083		0.067		-0.077		0.016		1,489.4	*
3	P1	0.4384			0.206	*	0.192	**	0.155	*	0.479	**	-0.507	**	22,040.8	**
4	P1	0.5372	0.383	**	0.195	**	0.087		0.114		0.138		-0.207		10,162.7	**
5	P2	0.5244			0.172	*	0.244	**	0.159		0.680	**	-0.665	**	30,428.6	**
6	P2-1/2	0.4904			0.189	*	0.224	**	0.159		0.598	**	-0.602	**	25,102.5	**
7	P2-1/4	0.4670			0.198	*	0.209	**	0.158		0.544	**	-0.559	**	22,434.5	**
8	P2-2/1	0.5594			0.143		0.266	**	0.155		0.775	**	-0.734	**	41,110.7	**
9	P2'	0.2605			0.170	*	-0.006		0.115		0.492	**	-0.411	**	5,853.2	**
10	P3	0.5138			0.137		0.277	**	0.160		0.657	**	-0.631	**	43,313.1	**

判定の欄 * : 5%有意 ** : 1%有意

P0=滞在費+リフト代、 P0'=P0/グレンデ滞在時間、 P1=移動経費+P0、 P2=移動時間経費+P1、
P2-1/2=移動時間経費/2+P1、 P2-1/4=移動時間経費/4+P1、 P2-2/1=移動時間経費×2+P1、
P2'=P2/グレンデ滞在時間、 P3=P2+グレンデ滞在時間経費

化費用から移動に関連する費用を除いたケース 1 については、修正重相関係数が 0.248 と説明力に問題がある。また、ケース 4 は、修正重相関係数は、0.537 と 10 ケース中 2 番目に高い値であったが、移動時間に対する偏相関係数の符号が正となっており、移動に時間のかかるスキー場ほど評価が高くなるということになり、解釈に課題を残している。

機会費用としてグレンデ滞在時間も一般化費用に加えたケース 10 では、修正重相関係数がケース 5 に近い 0.514 という結果を得たが、定数項が検討したケース中で最も大きな 43,313 という値になり、回帰式の解釈の点で課題がある。

さらに、一般化費用をグレンデ滞在時間で除した値としたケース 2 及び 9 では、いずれも修正重相関係数が 0.3 を下回る説明力にとどまっており、スキー旅行の便益を単位時間当たりの費用では説明できないことを示していると考えられる。

7. 考 察

一般化費用における時間価値の取り扱いに着目して調査結果を整理してきたが、今回の調査では、決定的な結果を得ることはできなかった。ただ、これまでの研究で利用されている賃金率の 25%～50% という値を指示する結果は得られなかった。ケース 4 で移動時間の係数の符号が正となっていることを示したが、このケースにおける移動時間に対する偏回帰係数は、2,100(円/時)である。時間が費用ではなく、価値あるものであるということに関しては、

Cesario (1976)³⁾ が移動時間の価値は正になることも負になることもあり得ることを示しているが、ケース 4 の結果と費用として移動時間を考慮したケース 5～8 で得られた時間価値を大きくとった方が説明力があるという結果とは整合が取れない。いずれにしても、移動時間を考慮したケースの方が良い結果が得られており、今後増加すると予想されるレクリエーション行動に対応する社会資本整備を評価する際、当該行動を規定する要因としての時間価値についてさらに検討を加える必要性は大きい。その際、行動全体のパターンを分析する必要もあるが、時間価値の問題は、時間が一人の人間にとって希少な資源であり、それは人生の目的に応じてなされるさまざまな活動に対する時間という希少な資源の配分問題であり、それを経済的な分析だけでは説明できないものであることを念頭に置くことが必要である。

<参考文献>

- 1) Clawson, M. : Methods of measuring Demand for and Value of Outdoor Recreation, RFF Reprint No.10, Resources for the Future, 1959
- 2) Gardner Brown, Jr. and Robert Mendershon : The hedonic travel cost method. *Review of Economics and Statics* 66, PP427-433. (1984)
- 3) Cesario, F. J. : Value of Time in Recreation Benefit Studies, *Land Economics*, Vol. 52, No. 1, Feb. 1976.
- 4) Bhat, G. et al. : An Ecoregional Approach to the Economic Valuation of Land- and Water-Based Recreation in the United States, *Environmental Management*, Vol. 22, No. 1, pp. 69-77, 1998.

多様な環境質の評価～HTCM, CVM及びAHPの適用～
Evaluation of the Various Environmental Element ~Using HTCM, CVM and AHP~

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

1. まえがき

近年の公共事業は、国民の高度化・多様化したニーズに対応するため、多様なサービスの提供が図られている。そのため、快適性、美観、自然環境といった市場価格の存在していないものも含めた、多様な環境質の便益の定量評価が求められている。

本研究は、多様な環境質の一つ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: Hedonic Travel Cost Method）による評価を行った。また、仮想金銭化法（CVM: Contingent Valuation Method）および階層化意思決定法（AHP: Analytic Hierarchy Process）を用いた評価も同時並行的に行い、各手法間の比較検討結果から、HTCMの適用可能性と環境の評価方法について考察を加えたものである。

2. 手法の概要

(1) HTCM

HTCMは、それぞれのレクリエーションサイトの持つ各属性（例えば、水質、湖面の広さ、付帯設備の内容等）の限界便益と旅費とが均衡するという仮定に立ち各属性の便益を求める手法である。¹⁾適用事例としては、Brown, Mendelsohn²⁾がワシントン州の河川の特質評価（混み具合、漁獲、景観）について用いたものがある。国内での実証的研究としては、並河、丹羽、谷本³⁾がつくば市内における公園利用の機能の評価に用いている。

具体的には、そのレクリエーションサイトの価値は、旅費法と同様に一般化された旅費、つまり、移動経費（ガソリン代、高速代等）と旅行時間価値の和により計測できるものとする。また、そのサイトの価値は、ヘドニックアプローチと同様に、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して以下のように定式化する。そして、複数のレクリエーションサイトを含めた多変量解析から、それぞれの環境質の係数を知ることにより、サイトの属性の価値を推計・比較するものである。

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

P: 一般化費用、 a_0 、 a_j : パラメータ、 z_j : 環境質

(2) CVM

CVMは、環境質の改善（改悪）や環境資源の整備に対して、その便益を享受する（損害を被る）住民自身に、個人が支払う最大意思額（WTP: Willingness To Pay）や最小補償受容額（WTA: Willingness To Accept）をアンケート調査によって直接引き出す手法である。なお、WTAは過大な額が出る傾向があり、一般にはWTPの使用が望ましいと⁴⁾されている。この手法はほとんどの環境価値の評価に対して利用可能であるが、データを被験者の仮想的な状況に対する回答に頼らなければならない点で、様々なバイアスが生じる恐れがある。近年の研究では、ISS研究会⁵⁾が四万十川の水質浄化に対する経済評価を試みている。

(3) AHP

AHPは、T. L. サーティ教授（米ピッツバーグ大）が提案した、主観的評価の定量的取り扱いを可能とする多基準型意思決定手法である。具体的手法を以下に示す。

- ①ある意思決定において、問題の要素を、最終目標…評価基準…代替案（またはより詳細な評価基準）の階層構造に作り上げる。
 - ②各階層内にある複数の評価基準（代替案）の一对比較を行い、一对比較行列を作成する。
 - ③一对評価行列の固有ベクトルをもって、当該レベル内の評価基準の重要度（ウェイト）とする。
 - ④階層構造における上位のウェイトを当該レベルのウェイトに乗じることにより、最終目標から見た、つまり総合化されたウェイトが求まる。
- なお、AHPの手法については、刀根⁶⁾が解説しており、刀根・眞鍋⁷⁾が事例集の形で整理している。

キーワード: 公共事業評価法、環境計画、観光・余暇

*: 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 株式会社ニュージェック東京本社 河川・港湾部
(〒113-0204 文京区西片1-15-15 Tel: 03-5800-6701)

** : 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
(〒305-0804 つくば市大字旭1番地 Tel: 0298-61-2211)

***: 正員、建設省土木研究所環境部環境計画研究室長

3. アンケート調査について

(1) 調査対象者とサンプリング

調査対象者（被験者）は、東北道、関越道、中央道の各方面のスキー場へのアクセス性に偏りが生じないよう、江東区、墨田区、台東区、江戸川区、葛飾区に住む、平成7年度、8年度にスキー旅行を経験している一般住民とした。

サンプリングは、最終的な被験者目標数を300人とし、上記のスキー旅行条件を満足し、かつ、本調査に協力してもらえらる人を抽出するため、住民基本台帳から7,500人を無作為抽出し、往復はがきを用いた郵送法により行った。

(2) 調査項目及び調査方法

(a) HTC M

説明変数候補となる表-1に示す9項目のスキー場属性（ゲレンデの広さ、駐車場台数等）は、スキー場別に収集・整理を行った。

アンケートでは、被験者の質的説明変数を抽出する目的で、各被験者に直近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）及びゲレンデ環境・宿泊施設環境・移動環境の旅行満足度と旅行関心度（何を期待していたか）について調査した。

調査は、質問項目が多いことから、郵送配布・訪問回収の留置き法を採用した。

(b) CVM

CVMは、HTC Mから求まる各環境質の偏回帰係数（パラメータ a_j ）を検証する目的で、以下に示す3つの環境質の変化に対するWTPを、アンケート回収時に付け値法を用いて面接調査した。

- ①スキー環境：ゲレンデ面積（初期値：約6.5ha）が約2倍になった場合の1日リフト券の許容最大値上がり値
- ②宿泊環境：温泉の有無以外は同一条件の宿泊施設があるとし、温泉有りは無しより宿泊費が高くなる場合の許容最大差額
- ③移動環境：スキー環境は同一条件だが移動時間が4時間と3時間のゲレンデがあるとし、1日リフト券が近いゲレンデは遠いゲレンデより高くなる場合の許容最大差額

(c) AHP

スキー旅行の行き先を決める場合、図-1に示す3階層構造により、意思決定していると仮定し、レ

ベル2、3の評価基準（環境質）毎の一対比較（5段階評価）をHTC Mと同様、留め置き法のアンケートにより行った。

なお、評価基準については、予備調査に基づいて詳細な環境質を設定した。

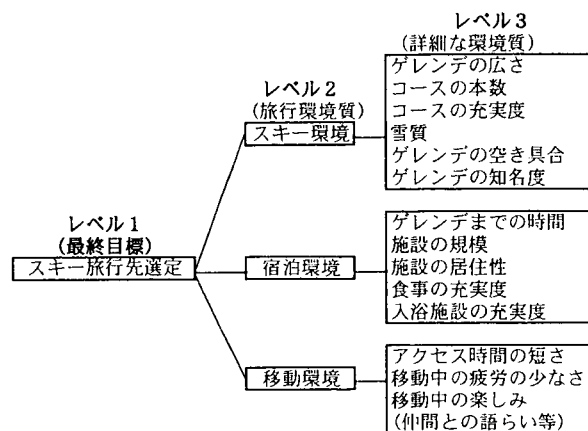


図-1 AHP階層構造図

4. 調査結果

(1) HTC M

解析に当り、旅行属性のうち宿泊環境を組み込む目的で宿泊旅行のみを解析対象とした。また、移動手段に関し、自動車利用と鉄道利用は別途に扱うこととし、鉄道利用は行き先スキー場が偏る可能性があり、かつ、数量も少ないため今回の検討対象から外した。

さらに、重回帰分析では、データ数が説明変数の個数以上が必要であることから、当該スキー場を対象とした宿泊旅行データが10件以上あるスキー場(21サイト)のみ解析対象とした。

目的変数Pは下式により各旅行毎に算出した

$$P = \text{移動経費} + \text{移動時間価値} + \text{滞在費} + \text{リフト代}$$

ただし、移動経費=高速料金+移動距離×ガソリン代/燃費
移動時間価値=東京都民1時間×往復移動時間=2,342円/時間
当り所得額
滞在費=アンケート結果より1人1泊当り宿泊費に換算
リフト代：スキー場雑誌より、平日は3.5千円、土日4千円

重回帰分析は、説明変数の重共線性を考慮し、かつ、重相関係数最大となるよう説明変数を選択し、その結果を表-1に示した。モデル適合度は、修正重相関係数が0.69と比較的良好な結果を得、危険率5%以下で有意な説明変数は、ゲレンデ面積、コース本数、駐車台数及び総入れ込み客数となっており、各説明変数とも符号条件を満足している。

また、個々のデータと偏回帰係数の関係から重回帰

モデルの妥当性を確認する目的で、有意となった4つの説明変数と目的変数の散布図を図-3に示した。

同図より、目的変数と説明変数の重心(2者の平均値)を通り傾きが偏回帰係数の直線は、目的変数と説明変数の関係を概ね近似していると判断できる。

表-1 重回帰分析結果(説明変数選択後)

説明変数	自動車利用		
	偏回帰係数	標準偏回帰係数	判定
1 ゲレンデ面積(ha)	17.4	0.169	*
2 コース本数(本)	187.2	0.301	**
3 リフト本数(本)	—	—	—
4 積雪量(cm)	26.8	0.133	—
5 駐車場台数(台)	4.413	0.905	**
6 混雑度(人/ha)	—	—	—
7 標高差(m)	—	—	—
8 最長滑走距離(m)	—	—	—
9 総入込み客数(人)	-0.011	-0.719	**
定数項	26940	—	**
データ数	139	—	—
修正済重相関係数	0.687	—	—

**: 1% 有意、*: 5% 有意

(2) CVM

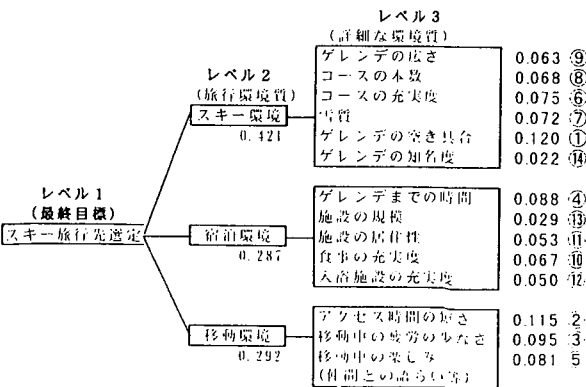
スキー環境、宿泊環境及び移動環境のCVM調査結果は表-2に示した。スキー環境及び宿泊環境とも市場価格と比較してほぼ妥当な値と考えられる。

表-2 CVMの集計結果

スキー旅行環境質	スキー環境	宿泊環境	移動環境
環境質の変化内容	ゲレンデ面積及びコース本数が約2倍	温泉施設の有無	移動時間が1時間短い
データ数	300	300	149
平均WTP(円)	1,060	1,740	480
95%信頼区間(円)	990~1,130	1,600~1880	580~640
標準偏差(円)	640	1,200	400
中央値(円)	1,000	1,500	500

(3) AHP

AHPにおけるレベル2,3の重要度は図-2に示した。



5. 各手法の比較評価

(1) HTC MとCVMの比較

(a) スキー環境

HTCMの重回帰モデルから、ゲレンデ面積6.5ha増とコース本数の2本増の貨幣価値を算出すると約500円($=17.4 \times 6.5 + 187.2 \times 2$)となった。一方、CVMの平均WTPは約1,000円であり、HTCMの2.2倍の結果となった。

差の理由として、本CVMシナリオにおいて規模が約2倍という極端な規模の変化を仮定したこと及び面積増大に伴うゲレンデ混雑度の改善への期待(シナリオでは言及していない)が含まれていることが予想される。

(b) 宿泊環境

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結果の約1,700円とほぼ整合した値が得られた。

また、民間の温泉入浴施設の入浴料は概ね1,500円から3,000円程度であり、この値と比較してもほぼ妥当な結果と言えよう。

(c) 移動環境

HTCM解析時に採用した時間単価は2,342円/時である。一方、CVM結果の約500円は上記の賃金ベースの約21%となっている。これは、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) AHP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位が移動時間の長さ、3位が移動の疲労の少なさとなった。一方、HTCMモデルの標準偏回帰係数の絶対値の大きさで評価すると、1位は駐車台数、2位が総入れ込み客数、3位がコース本数であった。

HTCMは人々の行動結果(顕示選好)から捉える手法であるのに対し、AHPはこれから起こす行動に対する事前の関心評価であるが、両手法とも、ゲレンデの混み具合が最重要環境質となっている点で一致している。

7. まとめ

本研究は、HTCM、CVM及びAHPの3手法により、スキー旅行を題材に多様な環境質個々の評価を試みた。

HTCM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が、スキー旅行というレクリエーション環境をHTCMにより評価したところ、重相関係数0.69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による個々の環境質の評価は可能と言えよう。

各手法間の比較のうち、HTCMとCVMの環境質の経済評価結果はオーダー的な一致をみた。しかし、両手法とも結果の安定性に問題があり、例えば、CVMシナリオにおける環境質の変化規模の設定によるWTPへの影響については、今後研究しなければならないテーマであろう。

また、HTCMとAHPによる環境質の相対的重要度比較では、両手法とも重要と評価される環境質は一致した。このことから、CVMの事前調査にAHPあるいはHTCMを実施することは、CVMシナリオに盛り込むべき環境質をある程度明確にでき、CVMの精度向上の観点から有意義と考える。

ある環境質を評価する場合、必ずそれ以外の複数の環境質の影響の有無及び程度を考慮しなければならない。従って、環境評価における調査精度と説明力のより一層の向上を図るためには、異なった視点の環境評価手法を同時並行、または、予備調査段階で行う等上手く組み合わせることが重要なポイントと言えよう。

参考文献

- 1) 竹林 征三：実務者のための建設環境技術，山海堂，PP349-351，1995
- 2) Gardner Brown, Jr. and Robert Mendersohn：The hedonic travel cost method. Review of Economics and Statics 66, PP427-433，1984
- 3) 並河 良治、丹羽 薫、谷本 茂：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 39-6, pp22-27，1997
- 4) 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. 18 No1, pp19-39，1995
- 5) ISS 研究会：新しい豊かさへの提言—高知県の自然・環境の価値評価とそれを生かした地域振興の提言—，pp10-20，1996
- 6) 刀根 薫：ゲーム感覚意志決定法 AHP入門，日科技連，1986
- 7) 刀根 薫、眞鍋 龍太郎：階層化意思決定法 AHP事例集，日科技連，1990

舟橋弥生**並河良治***寺川陽****

By Yayoi FUNAHASHI, Yoshiharu NAMIKAWA, Akira TERAKAWA

1. はじめに

近年、地域において生態系の保全や自然とのふれあいに対する要望が高まってきている。そして、その要望に応える形でさまざまな地域で生態系に配慮した社会資本整備が試みられつつある。このような試みは、初期には「ホタルの里」「トンボの池」などの単一の生物のための自然復元が多く行われていたが、次第に環境全体に目が向けられるようになり、最近では自然生態系の総合的な復元が多く目標とされてきている。

このような自然環境の整備を考えていくうえでは、生物の多様さ、自然の豊かさのみではなく、人と自然の共生の視点から各地域の住民の感じる価値意識も重要な要素となってくる。そこで、地域の特性をふまえ、生態系に配慮した社会資本整備を進めるためには、住民はどのような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、住民の生態系に対するイメージ構造分析の一步として、①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自然と生態系についての意識構造の把握、②緑地を含む公園、池、河川、道路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法を使った住民のイメージ構造の把握のため2つの実験を実施した。

2. 調査の概要

調査は、自然環境の程度の異なる3地域（東京都、印西市、つくば市）の住民及び、自然環境についての専門知識を有する学生（以下知識者）に対するアンケート形式で行った。アンケート調査の概要を以下に示す。

(1)属性及び自然への親しみ方

個人属性

・性別、年齢

自然への経験

・子供の頃行った遊びについての経験の有無

①魚釣り②昆虫採集③川遊び④野原での遊び⑤山登り

・現在行っている各種活動の頻度について

①登山・ハイキング・山林浴
②近場の公園、河川などへの散歩
③園芸作業

自然への関心

・自然への関心に関わる活動を行う頻度について

①生物を取り扱った番組の視聴
②使い捨て商品を買わない
③自家用車を控え公共交通機関を利用
④牛乳パック、プラスチックトレイのリサイクルへの参加

(2)言語連想調査

言語連想に用いられる手法についての説明は佐々木ら（1989）の研究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

*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主任研究員

****正員、工修、建設省土木研究所環境部環境計画研究室室長

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。

SD法は雰囲気などを測定する際、ある空間を体験した後、空間の「雰囲気」のような全体的な心的反応を用意した言語による評定尺度上の量として回答してもらい、その分析を通して、ある「概念」の構造を定量的に明らかにしようとする手法である。

3. 調查結果

調査の被験者数はつくば市 57 人、印西市 59 人、東京 65 人、知識者 32 人の合計 213 人である。性別については全体で男性 46.9 %、女性 53.1 %となっており若干女性の比率が高い。各地域についてもほぼ同様な構成となっている。年齢については全体で 10 代 20.2 %、20 代 29.6 %、30 代 16.0 %、40 代 17.8 %、50 代以上 16.4 %となっている。特に 20 代が多いのは知識者の年齢構成によるものである(32 人中 29 人が 20 代)。しかし、つくば市、印西市、東京都の年齢構成を見ると、約 20 %前後で、大きな差はない。

連想階層図に用いた想起関係の強い言語のペア抽出は、想起回数の多いペアの上位 30 とした。それは、想起関係の強さを連想確率 p_{ij} とすると、例え

区分	スライ番号	自然度	特 徴
公園	①公園1	低	・人工的に造られ管理された整備(管理された公園)
	②公園2	中	・人工と自然の中間的な整備(里山公園)
	③公園3	高	・自然を主体とした整備(狭守の森)
池	④池1	低	・人工的につくられ、管理が行き届いている。(都市的につくられた池)
	⑤池2	中	・都市の中で通常つくられている。(通常みられる池)
	⑥池3	高	・自然のままに維持されている。(ため池)
河川	⑦河川1	低	・水を流すことを主体にしている。(三面張り河川)
	⑧河川2	中	・表層形成は単一植生を主体にした整備(堤防に並木がある河川)
	⑨河川3	高	・その土地の自然の多様性を保持した整備(多自然型河川)
道路	⑩道路1	低	・街路樹のみを植栽した整備(街路樹のある道路)
	⑪道路2	中	・大規模な植栽であるが、常に管理を必要とする整備 (規模の大きい植栽に人的な手を入れた道路)
	⑫道路3	高	・大規模植栽であるが、半自然的状態が可能な整備 (規模の大きい植栽を半自然的にした道路)

1	美しい					美しくない
2	寂しい					にぎやかな
3	特徴ある					一般的な
4	都会的な					田園的な
5	休まる					疲れる
6	重い					軽い
7	うるおいのある					うるおいのない
8	静的な					動的な
9	親しみやすい					親しみにくい
10	広がり感のある					広がり感のない
11	好きな					嫌いな
12	手前感がある					手前感がない
13	良い					悪い
14	清潔感のある					清潔感のない
15	安全な					危険な
16	暖かい					冷たい
17	さわやかな					さわやかでない
18	落ち着きのある					落ち着きのない
19	男性的な					女性的な
20	良いにいい					良い(くさい)
21	強い					柔かい

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。

— 80 —

Figure 1 displays four semantic network diagrams for the word 'つくば市' (Tsukuba City), illustrating the relationships between concepts and their frequency (イメージのエイト (%)).

The diagrams are organized into four quadrants, each representing a different knowledge level or context:

- Top Left (つくば市):** Shows a network of concepts related to Tsukuba City. The vertical axis (イメージのエイト (%)) ranges from 0 to 9. Key concepts include 花 (Flower), 花壇 (Flower bed), 庭園 (Garden), 芝生 (Lawn), 池 (Pond), 魚 (Fish), 水辺の鳥 (Birds by the water), 沼地 (Swamp), 刀エル (Katana), 花壇 (Flower bed), 庭園 (Garden), 芝生 (Lawn), 池 (Pond), 魚 (Fish), 水辺の鳥 (Birds by the water), 沼地 (Swamp), 刀エル (Katana).
- Top Right (東京都):** Shows a network of concepts related to Tokyo. The vertical axis (イメージのエイト (%)) ranges from 0 to 10. Key concepts include 花 (Flower), 花壇 (Flower bed), 庭園 (Garden), 芝生 (Lawn), 池 (Pond), 魚 (Fish), 水辺の鳥 (Birds by the water), 沼地 (Swamp), 刀エル (Katana), 花壇 (Flower bed), 庭園 (Garden), 芝生 (Lawn), 池 (Pond), 魚 (Fish), 水辺の鳥 (Birds by the water), 沼地 (Swamp), 刀エル (Katana).
- Bottom Left (印西市):** Shows a network of concepts related to Inzai City. The vertical axis (イメージのエイト (%)) ranges from 0 to 10. Key concepts include 花 (Flower), 花壇 (Flower bed), 庭園 (Garden), 芝生 (Lawn), 池 (Pond), 魚 (Fish), 水辺の鳥 (Birds by the water), 沼地 (Swamp), 刀エル (Katana), 花壇 (Flower bed), 庭園 (Garden), 芝生 (Lawn), 池 (Pond), 魚 (Fish), 水辺の鳥 (Birds by the water), 沼地 (Swamp), 刀エル (Katana).
- Bottom Right (知識者):** Shows a network of concepts related to a knowledgeable person. The vertical axis (イメージのエイト (%)) ranges from 0 to 11. Key concepts include 花 (Flower), 花壇 (Flower bed), 庭園 (Garden), 芝生 (Lawn), 池 (Pond), 魚 (Fish), 水辺の鳥 (Birds by the water), 沼地 (Swamp), 刀エル (Katana), 花壇 (Flower bed), 庭園 (Garden), 芝生 (Lawn), 池 (Pond), 魚 (Fish), 水辺の鳥 (Birds by the water), 沼地 (Swamp), 刀エル (Katana).

(3) 因子分析

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。

次に、この抽出された因子軸に関してつくば市、印西市、東京都、知識者の各グループ間の因子得点に有意な差が存在するか検定を行った。検定にはノ

景観スライドについては、自然環境についての専門知識を有する知識者が各地域の人々と比べ自然度の高いスライドに対してより高い親近感をいだく、東京の住民が他地域や知識者と比べ自然度の高いスライドに対してよりやすらぎを感じるといった傾向がみられた。生物については各地域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。

213 人の被験者を自然への親しみ方についての経験、頻度によりグループ化し、各グループ間の各ス

表-3 地域間有意差が存在する組み合わせ(景観)

	因子1(緑地率(-))	因子2(やすらぎ(-))	因子3(活動性(+))
スライド1	東京-知床		
スライド2		東京-知床	
スライド3		つくば-東京	
スライド4	つくば-知床		
スライド5	印西-知床		
スライド6	つくば-東京	つくば-東京	
スライド7	印西-知床	東京-知床	
スライド8	東京-知床		
スライド9	つくば-知床		印西-知床
スライド10	印西-知床	つくば-印西	
スライド11	つくば-知床		つくば-知床
スライド12	東京-知床		東京-知床

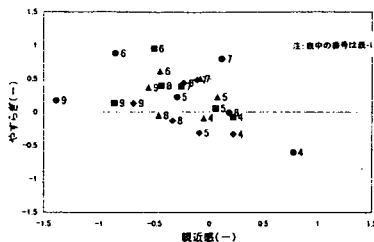


図-2 因子得点(地域別,景観 1軸,2軸)

表-4 地域間有意差が存在する組み合わせ(生物)

	因子1(緑地率(-))	因子2(やすらぎ(-))	因子3(活動性(+))
蛇	つくば-東京		つくば-印西
蛙	つくば-知床		印西-知床
鳥	つくば-知床		東京-知床
昆虫	つくば-知床		東京-知床
魚	つくば-知床		印西-知床
鳥	つくば-印西		印西-知床
青虫	つくば-知床		東京-知床
青虫	つくば-印西		つくば-知床
青虫	東京-知床		東京-知床

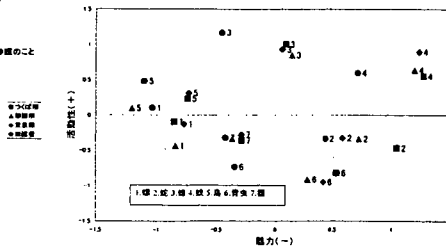


図-3 因子得点(地域別,生物 1軸,3軸)

表-5 頻度による有意差が存在する組み合わせ(景観)

	因子1(緑地率(-))	因子2(やすらぎ(-))	因子3(活動性(+))
スライド1	数ヶ月1-しない		
スライド4	数ヶ月1-しない		
スライド5	数ヶ月1-しない	数ヶ月1-しない	
スライド7	数ヶ月1-しない		数ヶ月1-数年1
スライド8	数年1-しない		数ヶ月1-数年1
スライド10	数年1-しない		数ヶ月1-数年1
スライド11	数年1-しない		数ヶ月1-数年1
スライド12	数ヶ月1-しない		数ヶ月1-数年1

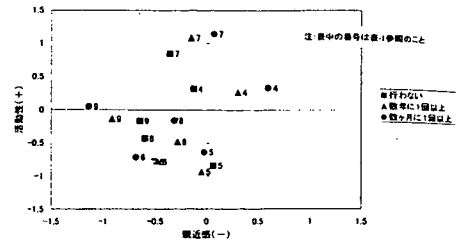


図-4 因子得点(登山等,景観 1軸,3)

ライドに対する因子得点の有意差の検定を行った。検定方法は(a)と同じ方法を用いた。その中で特に因子得点について有意な差がみられたのは、現在行っている各種活動の頻度①登山・ハイキング・山林浴の「行わない」(65人)「数年に1回以上」(94人)「数ヶ月に1回以上」(54人)の各グループ間で、いくつかの景観スライドの因子得点について有意な差がみられた(表-5, 図-4)。登山・ハイキング・山林浴等の自然とふれあう活動を「行わない」としているグループでは、人工度の高い景観により親近感を抱き、活動頻度が上がるにつれ自然度の高い景観に親近感を抱く傾向がみられる。

4. まとめ

本研究は、生態系に配慮した社会資本整備に関わる住民のイメージ構造分析の一歩として、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、及び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のための2つの実験を実施した。

今回使用した言語類による自然のイメージ構造は、「花」「林」「池」をキーワード(中心語)とした3つのイメージグループでできており、各人は「生物-生息空間」のイメージ構造で生物を認識していると思われる。

SD法によるイメージ構造分析については、地域による大きな差はみられなかった。イメージ構造については、自然生態系に関する知識の有無や、自然とふれあう各種活動の頻度の違いにより有意な差が現れる結果となっており、このような自然環境に対しての知識、嗜好性、接し方の違いによる自然生態系に抱くイメージの違いについて今後さらに研究を進めていく必要があると考えている。

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.

II - 2 景観の予測及び評価に関する研究

SD法を用いたダム湖景観評価の試み

舟橋弥生* 池田尚子** 寺川 陽*** 並河良治****

1. はじめに

社会資本整備に際し、維持管理も含むトータルコストを縮減し、効率的な事業執行を図ることが求められる一方で、「ゆとり」「うるおい」「快適さ」といった、従来はともすれば軽視されがちであった評価軸に対するニーズが確実に高まってきている。

ダム建設についてみると、洪水被害の軽減や水資源の確保といった施設としての本来の目的に加えて、広大なダム湖面の創出を機に、若干の人手を加えることにより、景観や親水活動といった環境機能を増進させ、いわば事業の付加価値を高めていくことが期待される。

本稿では、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を分析する手段として、人間の感性を定量評価する手法の一つであるSD法の適用を試みた結果について報告したい。

2. 調査方法

2.1 アンケート調査の方法

ダム湖の景観に対してSD法を用いたアンケート調査を行いダム湖景観を構成する各要素の評価を求める手法を採用した。SD法(semantic differential technique)意味微分法は、1957年にイリノイ大のOsgood教授によって提唱された^{1),2)}。雰囲気などを測定する際、ある空間を体験(今回はスライド上映)した後に空間の「雰囲気」のような全体的な心的反応を用意した言語による評定尺度上の量として回答してもらい、その分析を通して、ある「概念」の構造を定量的に明らかにしようとする手法である。SD法を河川の水辺空間の景観評価に応用した例としては例えば高科(1988)³⁾や皆川、島谷(1996)⁴⁾の研究があるが、ダム湖景観への適用事例は見あたらない。ケーススタディとして対象としたダム湖は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

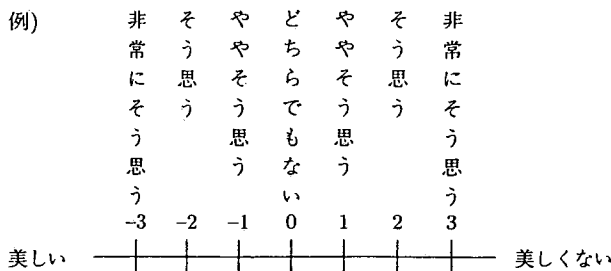


図-1 各形容詞対の点数づけ

表-1 アンケートに用いた形容詞対

No.	形容詞対
1	美しい - 美しくない
2	寂しい - にぎやかな
3	特徴のある - 一般的な
4	調和している - ちぐはぐな
5	複雑な - 単純な
6	自然な - 人工的な
7	休まる - 疲れる
8	重い - 軽い
9	うるおいのある - うるおいのない
10	静かな - 動的な
11	親しみやすい - 親しみにくい
12	老成した - 若々しい
13	広がりがある - 広がりのない
14	好きな - 嫌いな

ム湖として御所湖を選んだ⁵⁾。

ダムスライドを用いてダム湖の空間を被験者に体験してもらい、その結果生じた心的反応を言語による尺度を用いて測定した。アンケートに用いた形容詞対についてはレジャー空間を対象とした既往の研究^{6),7)}で用いられたものをもとに、ブレンストーミングを行い、選定を行った表-1に示す14個とし、これらについて図-1に示すように-3～3までの7段階で点数づけすることにより評価を行った。

アンケートの被験者は、年齢を20～60歳までの男女を対象とした。

さらに、レクリエーション施設を完備したダム湖を過去に訪れたことがあり具体的なダム湖に関する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および、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に調査を行った。被験者については、盛岡市では御所湖を訪れていた人に対して直接依頼、東京については住民台帳をもと抽出を行い募集を行った。

データの有効性が確認された後、全てのデータ

を因子分析にかけ、因子負荷量の大きい順に整理し直して数個の因子軸を抽出し、これらの因子軸を構成する尺度を考察した。また、形容詞対について総合指標である「好きな-嫌いな」を目的関数とした重回帰分析を行った。

抽出した共通因子の構成要素による評価を行うために各アイテムごとの因子得点プロット図の検討を行った。

2.2 被験者の属性

被験者の属性について表-2に示す。アンケート調査の被験者数は東京65人、盛岡市59人となっている。性別については東京は男性32人(49.2%)、女性33人(50.8%)、盛岡は男性27人(45.8%)、女性32人(54.2%)とほぼ同数であった。

年齢層については、60代を除き、東京、盛岡とも20~50代の層が各25%前後とほぼ均等に散らばっているが、東京で20代、盛岡で50代が最多となっている点が若干異なる。

職業については、両地域とも会社員・公務員、専業主婦、パート・アルバイトの順になっており構成比についてもほとんど差異はない。

ダムへの訪問経験については、東京は50人(76.9%)が「あり」と回答している。盛岡市が訪問経験59人(100.0%)となっていることについては、具体的なダム湖に関するイメージを有することを条件として過去に御所湖に2回以上行ったことのある被験者を対象としたためである。ダム湖への訪問経験「あり」と回答した被験者の過去5年間の年平均訪問回数は東京3.5回、盛岡15.4回となっている。

ダム湖での行動(複数回答を含む)については図-2に示すように、東京ではダム見学、自然散策が33人で最多となっている。盛岡では、自然散策50人、ダム見学、レストハウス利用36人が上位を占めている、また水際レクリエーション、スポーツ施設利用についても高い数値を示している。この結果から御所ダムが各分野にわたって施設が充実していることがわかる。

2.3 調査に用いたスライド

調査には、表-3に示す37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(写真-1)を基に表-3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

表-2 被験者の属性

調査地域		東京都		盛岡市	
被験者数		65		59	
内訳		人数	%	人数	%
性別	男性	32	49.2	27	45.8
	女性	33	50.8	32	54.2
年齢	20代	19	29.2	13	22.0
	30代	16	24.6	12	20.3
	40代	15	23.1	14	23.7
	50代	14	21.5	19	32.2
	60代	1	1.5	1	1.7
職業	会社員・公務員	27	41.5	26	44.1
	自営業	6	9.2	3	5.1
	パート・アルバイト	11	16.9	9	15.3
	学生	4	6.2	5	8.5
	専業主婦	15	23.1	13	22.0
	無職	1	1.5	1	1.7
	その他	1	1.5	1	1.7
ダム湖への訪問経験	あり	50	76.9	59	100.0
	なし	15	23.1	0	0.0
ダム湖への訪問回数(過去5年間)	0回	5	10.0	1	1.7
	1回	21	42.0	0	0.0
	2~5回	18	36.0	26	44.1
	6~10回	5	10.0	20	33.9
	11回以上	1	2.0	12	20.3
平均訪問回数(過去5年間)		3.5		15.4	

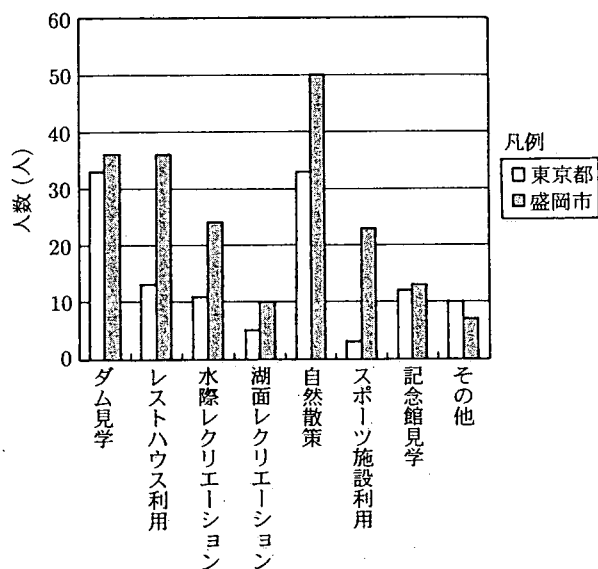


図-2 デム湖での活動の比較

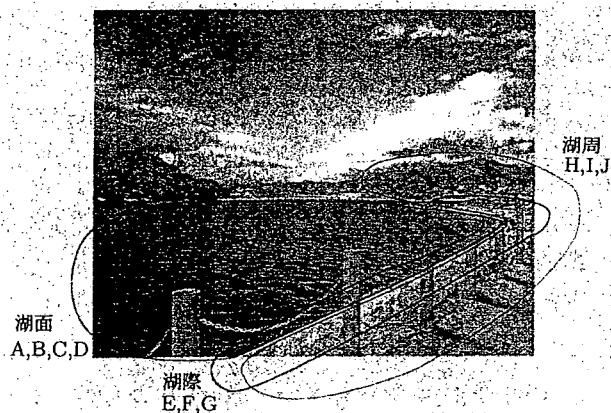


写真-1 ベース写真

表-3 調査に用いたスライド一覧

	アイテム	カテゴリー					
湖面	A 水面の色 ^(注1)	1. 濃い緑	2. 薄い青	3. 濃い青	4. 薄い緑		
	B 水面レク	1. ウインドサーフィン	2. 手漕ぎボート	3. カヌー	4. プレジャーボート		
	C 噴水	1. 高い	2. 放射状	3. 中			
	D 水鳥 ^(注2)	1. 白鳥	2. 小水鳥				
湖際	E 水辺地形	1. コンクリート	2. 自然石	3. 植生	4. 砂		
	F 水辺活動	1. 水遊び	2. 釣り	3. 散策			
	G 護岸材料	1. コンクリートブロック	2. 階段護岸	3. 植生護岸	4. 磯根固		
湖周	H 遊歩道	1. レンガタイル1	2. 砂利	3. インターロッキング	4. カラーコンクリート	5. レンガタイル2	
	I 高欄	1. 擬木コンクリート	2. 鋼製(細白)	3. 擬木チェーン	4. なし	5. 石チェーン	6. アルミチェーン
	J 法面(湖周道路)	1. コンクリート法面	2. 修景法面				

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、1. 濃い緑: 5G8/2、2. 薄い青: 2.5PB8/3、3. 濃い青: 10B7/8、4. 薄い緑: 2.5BG7/6、となっている。

注 2) 水鳥については、1. 白鳥: 白鳥、2. 小水鳥: みこあひさ、を用いた。

表-4 因子分析結果

因子	形容詞対	因子 No.1	因子 No.2	因子 No.3	因子軸
因子 No.1	休まる-疲れる	0.877	0.109	0.049	やすらぎ (-)
	親しみやすい-親しみにくい	0.865	-0.044	0.115	
	うるおいのある-うるおいのない	0.829	-0.049	0.140	
	調和している-ちぐはぐな	0.827	0.116	0.064	
	美しい-美しくない	0.804	-0.073	0.064	
	広がりがある-広がりのない	0.748	0.120	0.023	
	自然的な-人工的な	0.730	0.327	0.032	
因子 No.2	寂しい-にぎやかな	0.061	0.678	-0.293	活動性 (+)
	老成した-若々しい	0.040	0.619	-0.024	
	静的な-動的な	0.421	0.597	-0.243	
	重い-軽い	-0.100	0.415	0.312	
因子 No.3	複雑な-単純な	0.051	-0.091	0.722	単純さ (+)
	特徴ある-一般的な	0.287	-0.132	0.611	
	寄与率	0.377	0.119	0.091	
	累積寄与率	0.377	0.497	0.588	

$$\lambda_1 = 5.053 \quad \lambda_2 = 1.757$$

$$\lambda_3 = 0.828 \quad \lambda_4 = 0.245$$

となっており、 λ_4 より値が0に近づいていくことから、因子数は3と考えた。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持ち、残りの変量の因子負荷量はゼロに近いというかたちをとるが望ましいため、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。表-4に結果を示す。各因子の寄与率は、第1因子0.377、第2因子0.119、第3因子0.091となっており累積寄与率は0.588となっている。全体としての寄与率は決して高くないが、各因子については概ね約0.1以上との寄与率があり、各種景観要素の評価に適用することは可能であると思われる。

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1因子は「休まる-疲れる」「親しみやすい-親しみにくい」「うるおいのある-うるおいのない」「調和している-ちぐはぐな」「美しい-美しくない」等が高い数値を示しており『やすらぎ』(符号上は-)を示す因子であると考えられる。第2因子は「寂しい-にぎやかな」「老成した-若々しい」等が高い数値を示しており『活動性』を示す因子であると考えられる。第3因子は「複雑な-単純な」「特徴ある-一般的な」が高い数値を示しており『単純さ』を示す因子であると考えられる。

3.2 形容詞対に関する評価

昨年度、一対比較を用いた重要度判定手法であるAHPを用いた“ダム湖へ遊びに行くときの行動意識調査”を行った。その調査より、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⁴⁾。そこで各スライドについて好感度をみるため、地域別に被験者の各スライドについての「好きな-3～3「嫌いな」の評点づけのうち、「好き

りーと)、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。

3. データの解析

3.1 景観評価構造

スライド提示を行ったダム湖の37の景観について、因子分析を行い、因子軸の抽出を行った。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。今回は、ダム湖景観に関しての一般的な因子軸の抽出を行うために、盛岡、東京の結果を総合して分析を行うこととした。よってデータ数は、

スライド数 × 被験者数(盛岡 + 東京)

とした。

因子数の決定は、因子がいくつかの変量から合成される総合指標であるため、もとの変量1個分以上の情報をもつ必要があるということで固有値1以上をとるとされているが、実際に適用する際には1前後で落差の大きいところで切る方法がとられる。因子分析により固有値を求めると

な」側(-3、-2、-1)の評価が行われた割合(%)を集計した。集計結果を表-5に示す。

好感度が高い数値を示しているのは、盛岡で法面(湖周道路)(修景法面)91.0%、高欄(擬木コンクリート)86.7%、水鳥(白鳥)70.0%、東京で高欄(擬木コンクリート)90.8%、高欄(なし)75.4%となっている。好感度が低い数値を示しているのは、盛岡で水の色(薄い青)15.0%、遊歩道(カラーコンクリート)20.0%、水の色(薄い緑)20.0%、東京では水の色(薄い青)13.8%、水面レク(プレジャーボート)20.0%となっている。

表-5 各スライドの高感度

アイテム		カテゴリー	東京 (%)	盛岡 (%)	東京-盛岡
A	水面の色	1. 濃い緑	53.8	53.3	0.5
		2. 薄い青	13.8	15.0	-1.2
		3. 濃い青	52.3	48.3	4.0
		4. 薄い緑	21.5	20.0	1.5
B	水面レク	1. ウインドサーフィン	38.5	50.0	-11.5
		2. 手漕ぎボート	36.9	38.3	-1.4
		3. カヌー	47.7	38.3	9.4
		4. プレジャーボート	20.0	25.0	-5.0
C	噴水	1. 高い	36.9	48.3	-11.4
		2. 放射状	29.2	36.7	-7.5
		3. 中	27.7	36.7	-9.0
D	水鳥	1. 白鳥	61.5	70.0	-8.5
		2. 小水鳥	35.4	33.3	2.1
E	水辺地形	1. コンクリート	47.7	43.3	4.4
		2. 自然石	35.4	21.7	13.7
		3. 植生	63.1	53.3	9.8
		4. 砂	69.2	66.7	2.5
F	水辺活動	1. 水遊び	64.6	49.2	15.4
		2. 釣り	38.5	33.3	5.2
		3. 散策	35.4	31.7	3.7
G	護岸材料	1. コンクリートブロック	36.9	33.3	3.6
		2. 階段護岸	40.0	40.0	0.0
		3. 植生護岸	69.2	60.0	9.2
		4. 礫根固	49.2	40.0	9.2
H	遊歩道	1. レンガタイル 1	43.1	33.3	9.7
		2. 砂利	36.9	28.3	8.6
		3. インターロッキング	36.9	28.3	8.6
		4. カラーコンクリート	33.8	20.0	13.8
		5. レンガタイル 2	35.4	26.7	8.7
I	高欄	1. 擬木コンクリート	90.8	86.7	4.1
		2. 鋼製 (細白)	55.4	51.7	3.7
		3. 擬木チェーン	46.2	50.0	-3.8
		4. なじ	75.4	51.7	23.7
		5. 石チェーン	56.9	53.3	3.6
		6. アルミチェーン	36.9	28.3	8.6
J	法面 (湖周道路)	1. コンクリート法面	21.5	31.7	-10.2
		2. 修景法面	33.8	91.0	-57.2

表-6 重回帰分析(盛岡)

	標準偏回帰	F 値	判定	偏相関
親しみやすい - 親しみにくい	0.275	169.85	**	0.269
広がりがある - 広がりのない	0.169	110.89	**	0.221
休まる - 疲れる	0.215	95.52	**	0.205
美しい - 美しくない	0.159	82.49	**	0.191
うるおいのある - うるおいのない	0.096	24.25	**	0.105
調和している - ちぐはぐな	0.077	17.92	**	0.091
寂しい - にぎやかな	-0.056	13.29	**	-0.078

重相関係数 0.855 決定係数 0.730 修正決定係数 0.729
判定: **: 1%有意 * : 5%有意

ト)20.0%となっている。

また、総合指標である「好きな-嫌いな」の評価値を目的変数とし、因子分析に用いた13形容詞対を説明変数として重回帰分析を行った。分析については盛岡、東京それぞれについて、スライド数×被験者数のデータを用いた。

重回帰分析は定量的データを予測する変数とした線形(1次)の関数として得られ、いくつかの特性・要因についてそれぞれの係数(ウェイト)を得ることにより、予測式として用いられるものである。分析の結果を表-6、7に示す。

修正済決定係数は盛岡 0.729、東京 0.769 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、例えば盛岡の 0.729 という値は、目的変数(この場合は「好きな-嫌いな」指標)の持つ情報のうち、72.9%は13の形容詞対の変動で説明できることを示している。また表中の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り、次式で定義される。

$$F \text{ 値} = \{(\text{偏回帰係数})/(\text{偏回帰係数の標準誤差})\}^2$$

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判断され、変数の選択を行うことができる。

盛岡、東京とも数値に差はあるが「親しみやすい-親しみにくい」「広がりがある-広がりのない」「休まる-疲れる」「美しい-美しくない」の相関が高い値を示している。また、両都市間で異なる点は東京で「自然的な-人工的な」が「好きな-嫌いな」に対して偏相関0.110と比較的高い相関があるのに比べ盛岡では偏相関0.032と低い相関しか得られなかったことである。

盛岡、東京とも「好きな-嫌いな」に対して相関の高い形容詞対は第1因子『やすらぎ』(この場合

表-7 重回帰分析(東京)

	標準偏回帰	F 値	判定	偏相関
親しみやすい - 親しみにくい	0.267	255.91	**	0.311
広がりがある - 広がりのない	0.174	132.23	**	0.229
休まる - 疲れる	0.196	90.97	**	0.191
美しい - 美しくない	0.106	44.69	**	0.135
自然的な - 人工的な	0.085	29.08	**	0.110
寂しい - にぎやかな	-0.063	25.11	**	-0.102
うるおいのある - うるおいのない	0.079	21.57	**	0.095
調和している - ちぐはぐな	0.069	15.13	**	0.079
特徴ある - 一般的な	0.030	6.18	*	0.051

重相関係数 0.878 決定係数 0.770 修正決定係数 0.769
判定: **: 1%有意 * : 5%有意

は形容詞対の点数づけを「好きな」を負、「嫌いな」を正として行っていたため、符号上は+となる)への寄与が高い指標が多く含まれており、ダム湖景観を見て、好き嫌いの判断をする際には、やすらぎ感が重要な意味をもつと考えられる。

3.3 各アイテムについての評価

各アイテムについて因子得点プロットの結果及び好感度より評価を行った。因子得点プロットについては、各アイテムを湖面、湖際、湖周にグループ化し、それぞれについて第1因子『やすらぎ』、第2因子『活動性』を軸とした因子得点プロット図を作成し、図-3~5に示した。

なお、グラフ中の数字については、表-3の各アイテムごとのカテゴリー番号である。

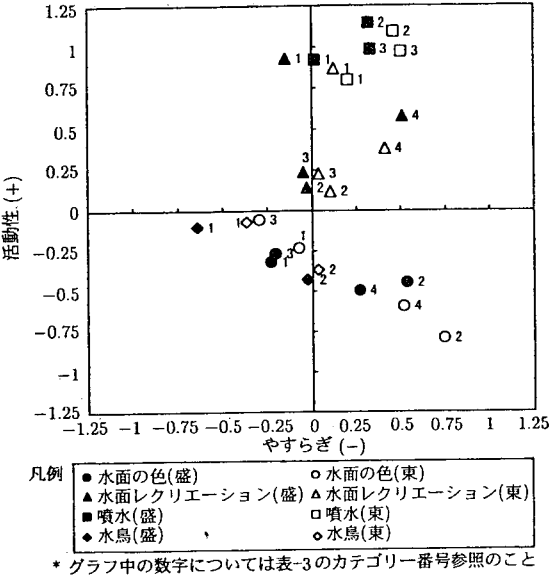


図-3 因子得点プロット図(湖面)

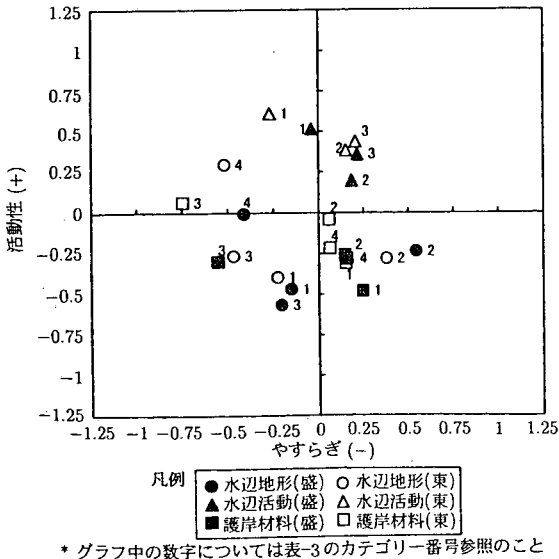


図-4 因子得点プロット図(湖際)

湖面

A. 水の色

水の色に関しては薄い青、薄い緑がやすらぎの否定側の評価となっている。また、好感度についても薄い青、薄い緑は、非常に低い数値を示している。このことより水の色に関しては深みが重要な意味をもつと考えられる。東京、盛岡を比べると、薄い青、薄い緑について東京は盛岡よりも各因子の否定側に大きく反応している。

B. 水面レクリエーション

全体的に活動性があるといえる。特にウインドサーフィンが高い活動性を示している。好感度について2地域でのレジャー嗜好の違いが見られる。

C. 噴水

全体的に活動性があるといえる、やすらぎは若干否定側に評価されている。好感度について東京が盛岡に比べ低い数値となっているのは、ダム湖に対しては自然的なものが求められているためと考えられる。

D. 水鳥

白鳥についてやすらぎの評価が高い。好感度についても白鳥が高い数値を示している。日常的に見ることのないタイプの動物について評価が高くなったためだと思われる。

湖際

E. 水辺地形

砂浜、植生についてやすらぎの評価が高い、自然石についてはやすらぎの否定側の評価となっている。自然石のごつごつした感じが受け入れられ

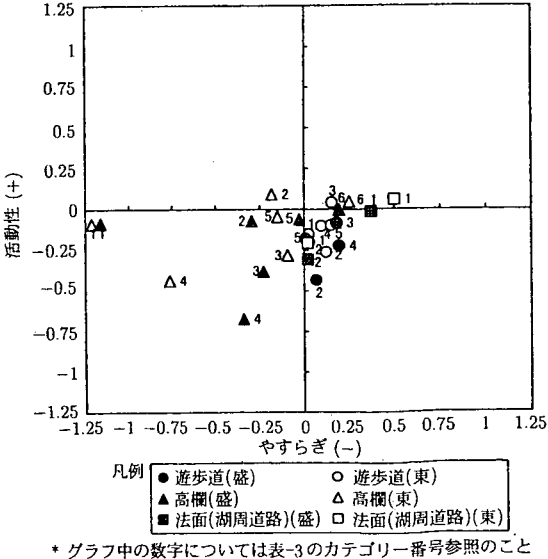


図-5 因子得点プロット図(湖周)

なかったためだと思われる。好感度についても、砂浜、植生は高く、自然石は低い。

F. 水辺活動

全体的に活動性があるといえる。水遊びについて東京では盛岡に比べやすらぎの評価が高くなっており、自然とのふれあいに対する評価の高さが伺える。

G. 護岸材料

植生護岸についてやすらぎの評価が高い。好感度についても植生護岸が高い数値を示している。

湖周

H. 遊歩道

やすらぎ、活動性とも若干否定側の評価となっている。好感度については、特にダム湖訪問経験の多い盛岡で低い値を示しており、遊歩道の整備に関しては今後さらなる検討が必要である。

I. 高欄

擬木コンクリートに関してやすらぎの評価が高い。高欄なしについては東京、盛岡でやすらぎについての評価が分かれるが、これも東京の被験者に自然を求める傾向が強いことによるものと考えられる。好感度についても高欄なしの評価が分かれている。

J. 法面(湖周道路)

コンクリート法面についてはやすらぎの否定側の評価となっている。好感度は、修景法面について盛岡が非常に高い数値となっている。これには直前に提示したコンクリート法面との評価の違いが影響している可能性がある。実際にダム湖を訪れた回数が多く、具体的なダム湖イメージを有する盛岡では、ダム湖景観をイメージした際、周辺部の法面は非常に目のいきやすい場所であると思われる、その修景により好感度の大幅な向上が図れるものと思われる。

4. まとめ

ダム湖の周辺整備施設について人々が望ましい

と考えている整備イメージを分析する手法としてSD法の適用を試みた。何分、試行の段階であり、具体的な調査解析手順の検討や手法の適用性の評価を一義的な目的としているためアンケート票数は決して十分な数とはいえないが、東京、盛岡両都市での結果の比較から次のような点が示された。

- (1) ダム湖景観に関するSD法による因子分析を行った結果、『やすらぎ』(-)、『活動性』(+),『単純さ』(+)の因子が抽出された。
- (2) 総合指標である「好きな-嫌いな」の評価値を目的変数とし重回帰分析を行った結果、第1因子『やすらぎ』への寄与が高い指標のF値が高い数値を示しており、ダム湖景観を見て、好き嫌いの判断をする際には、やすらぎ感が重要な意味をもつと考えられる。
- (3) 各アイテムの評価において東京の被験者は盛岡の被験者に比べ、ダム湖景観について自然とのふれあいが重視され、人工物については評価が低くなる傾向がみられた。

今後、本手法が美しいダム湖景観形成をはかる上でのひとつの手法として活用されることを期待したい。

参考文献

- 1) Osgood, C.E. et al. The 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) 高科豊：河川景観評価因子と空間構成要素の関わりについて, 第23回日本都市計画学会学術研究論文集, pp.427-432, 1988.
- 4) 皆川朋子、島谷幸宏：河川の自然景観の評価に関する研究—阿賀野川を事例として—, 環境システム研究 Vol.24, pp.13-19, 1996.10
- 5) ダム水源地環境整備センター：湖辺に憩う, 1995.
- 6) 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 20(2), pp.667-670, 1997.11
- 7) 田中奈美、土肥博彦：レジャー環境についての心理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

舟橋弥生*



建設省土木研究所環境部
環境計画研究室研究員
Yayoi FUNAHASHI

池田尚子**



同 環境計画研究室
交流研究員
Naoko IKEDA

寺川 陽***



同 環境計画研究室長
Akira TERAKAWA

並河良治****



同 環境計画研究室
主任研究員
Yoshiharu NAMIKAWA

景観評価システムの構築に関する研究*

A Study on Construct a System for Estimation of Landscape

小栗ひとみ** 寺川 陽***

by Hitomi OGURI and Akira TERAKAWA

1. はじめに

公共土木施設および建築物の建設にあたっては、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。そのため、建設省では、現場職員が手元のパソコンで手軽に使用できる「建設省景観シミュレーションシステム」(LSS)を開発し、フリーウェアとしてインターネット等を通じて広く一般に公開しているところである。LSSの開発概要については、第17回、19回土木計画学研究発表会において既に報告済みであるが、景観検討のための基本的な機能を有する汎用的なシステムが構築できたと考えている。今後、景観設計や合意形成などさまざまな局面において、有効に活用されることを期待している。

さて、基本的な機能の開発を終了した後は、ユーザーの意見や要望等に応じて機能の改良および追加を行うとともに、いくつかの拡張システムの開発を進めているが、その1つに「景観評価システム」がある。これは、景観向上のための支援情報の提供を目的として、景観の評価に関する知見をエキスパート化したシステムを構築しようとするものである。本稿では、システムの基本イメージを提示するとともに、街路景観を対象としたプロトタイプシステムの構築を通じて、道路景観評価システムの構築可能性を検討するものである。

2. システムの基本イメージ

システムの構築にあたって、既存の文献・研究成

果をもとに、景観評価・分析手法の体系的な整理を

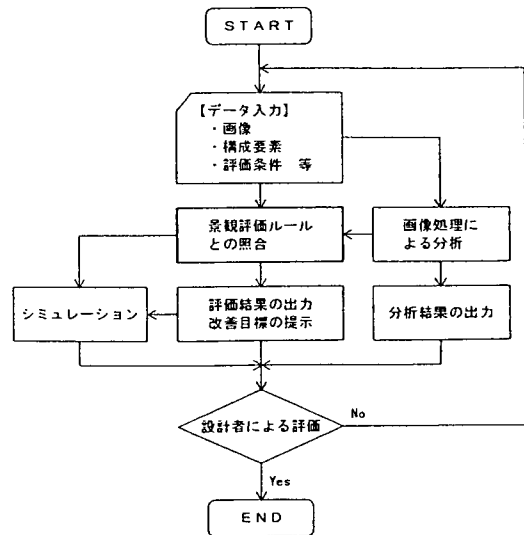


図-1 システムのフロー

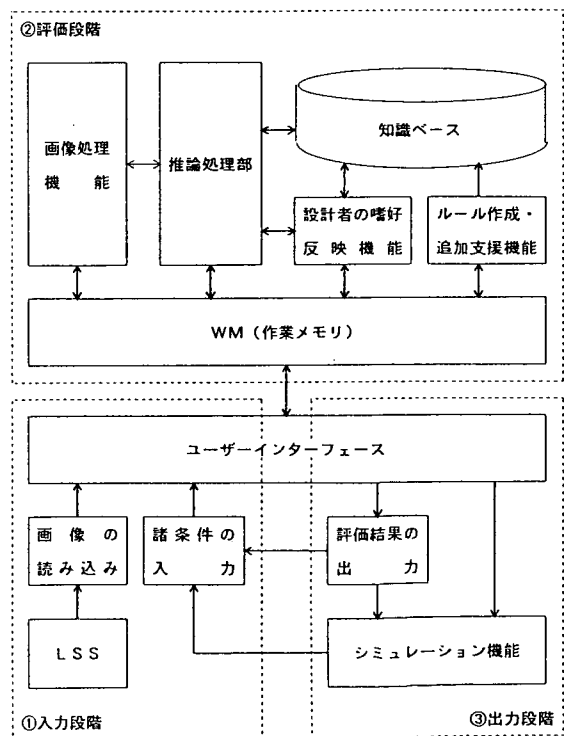


図-2 システムの構成

*キーワード：景観

** 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

行い、それら技術のシステムへの適用可能性を検討した上で、システムのイメージを整理した。（図－1、2）

(1)入力段階

景観シミュレータで、評価の対象となる画像を作成し、システムに取り込む。次に、作成した画像によっては、評価を行うための情報が不足しているので、例えば周辺、設計対象物、地形などのデータや、評価の対象、内容、主体などの情報を追加入力する。

(2)評価段階

評価段階は、推論処理部、知識ベース、ルール追加支援機能、ルール作成支援機能、設計者の嗜好反映機能および作業メモリから構成される。

入力されたデータは、推論処理部において景観評価ルールと照合され、景観評価が実施される。

景観評価ルールは、対象物や周辺施設の形態、寸法、材質、色彩等や地形といった景観を構成する各要素と、形容詞との関係を定義したもので、予め既存の研究成果等をもとに作成し、知識ベースに格納しておく。この景観評価ルールは、エキスパートシステムに関する専門的な知識を持たないユーザーでも、いくつかの過去の設計例とその印象を入力することにより、自動的に新規ルールの作成および知識ベースへの追加登録ができる。

ここで問題となるのは、景観評価ルールの作成方法である。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あり、どんな評価ルールを設定するかを予め十分に検討する必要がある。また、専門家と一般住民の感覚の差や、研究成果と現状との適合性の問題も考慮する必要がある。

評価対象	評価指標	定性的評価	定量的評価	改善点	
		コメント	ランク	ランクAにするには	ランクBに
街路	開放感	かなり開放的である	A		
	整然さ	やや雑然としている	D	・広告物を〇個減らして下さい ・幅員を〇mに広げて下さい	
	緑	かなり緑が少ない	E	・高木を〇本増やして下さい ・枝葉を〇mにして下さい	
	特徴	ふつうである	C	・舗装を〇〇舗装にして下さい	
	総合評価	やや良い	B		

図－3 評価結果の提示例

(3)出力段階

評価結果の出力およびシミュレーションを行う。評価結果は、定性的なコメントのほか、定量的にランクや得点などで表示したり、さらに改善点や改善方法の提案を行うことも考えられる。（図－3）

3. プロトタイプシステムの設計

景観評価システムの評価対象は道路、河川、ダム等の広範囲にわたっている。従って、それらすべてに対応するシステムを構築するためには、各対象ごとの評価ルールを用意する必要がある。しかし、対象によっては、既存研究からの活用が難しいものもあり、場合によっては新たな研究が必要となる。そこで、まず比較的景観評価ルールの設定が容易な評価対象に限定してプロトタイプを構築し、これをベースに徐々にシステムを拡張していくこととした。

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とした。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

表－1 構築の手順

時 期		第1段階	第2段階	第3段階
機 能	画像読み込み	○		
	経路の入力	○	◎	◎
	構成要素の表示	○	◎	◎
	構成要素データの入力	○	◎	◎
評 価	景観評価ルールの照合	○	◎	◎
	評価結果の表示	○	◎	◎
	改善目標の提示	○	◎	◎
	表示内容の出力	○	◎	◎
出 力	評価結果の保存	○	◎	◎
	条件の再設定	○	◎	◎
	ルール追加支援機能		○	
	ルール作成支援機能		○	
そ の 他	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	○	◎	◎
形 態 特 性	形態特性		○	◎
	その他			○

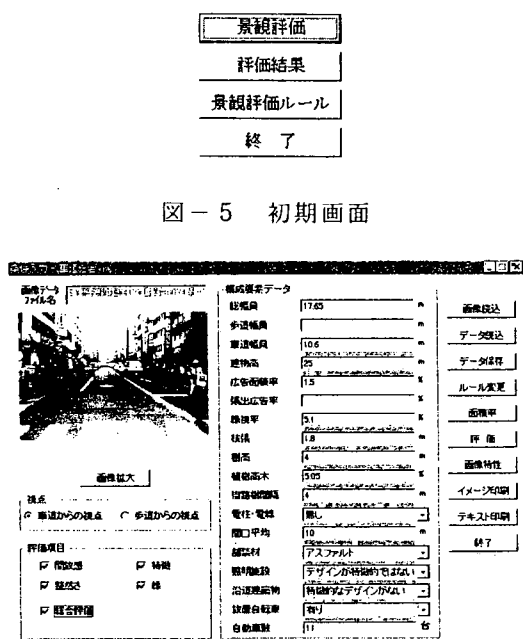
(注) ○機能の整備・追加、◎機能の拡充

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、今回のプロトタイプシステムでは、第1段階の機能の実現を図った。

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（図－5）。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（図－6、表－2）。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、評価項目ごとの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－7）。なお、総合評価は、「すべての評価項目がランクB以上で、かつそのうち1つ以上がランクAである」という条件を満たした場合は「良い」、それ以外は「すべての評価項目をランクB以上、そのうち1つ以上をランクAにすること」というコメントが表示される。

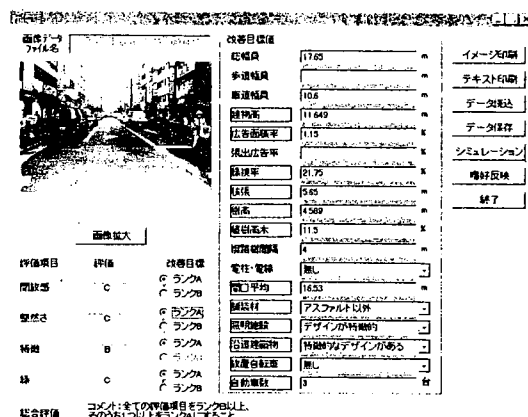
図－5 初期画面



図－6 条件入力画面

表－2 構成要素データの内容

構成要素	単位	内 容
歩道幅員	m	歩道幅員
車道幅員	m	車道幅員
建物高	m	沿道建物の平均的な高さ
広告面積率	%	画像の面積に占める広告物の面積の割合
露出広告率	%	画像の面積に占める露出広告物の面積の割合
緑視率	%	画像の面積に占める緑の面積の割合
枝張り	m	中高木の平均的な枝張り
樹高	m	中高木の平均的な高さ
植樹高木	%	画像の面積に占める中高木の面積の割合
街路樹間隔	m	中高木の平均的な間隔
電柱・電線	-	画像内における電柱・電線類の有無
間口平均	m	沿道建築物の平均的な間口幅
舗装材	-	アスファルト舗装、またはアスファルト以外の舗装
道路照明施設	-	デザインが特徴的である、または特徴的ではない
沿道建築物	-	特徴的なデザインの建築物の有無
動的要素	-	画像内における放置自転車の有無
放置自転車	-	画像内における放置自転車の有無
自動車数	台	画像内における自動車の台数



図－7 評価結果画面

前述したように、既存研究を活用して景観評価ルールを設定する場合、複数の研究成果や知識の中からどれを採用するかといった問題が生じる。これを解決するためには、複数の景観評価ルールの中からユーザーが参照したいものを自由に選択できるようにシステムに改良する必要がある。

4. 道路景観評価への適用に関する検討

次に、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、プロトタイプをもとに、道路景観評価システムを構築する際の追加・変更点を整理した。

(1) 景観評価ルールの設定可能性

道路景観には、道路区分、沿道土地利用、道路構造、景観の種類（視点位置、視点の移動速度）等によってさまざまなタイプがあり、また景観構成要素も多岐にわたっている。従って、これらを踏まえて

道路の類型化を行い、各類型ごとに景観評価ルールを設定する必要がある。そこで、景観評価ルールの設定可能性を検討するために、まず表－3のような道路景観の類型化を行い、既存の研究成果やマニュアル類を参考として、類型ごとの景観評価ルールの素材となりうる構成要素、評価条件、評価項目および評価結果を整理した（表－4）。次に、これら景観評価ルールの素材を、①評価条件が構成要素の定

表－3 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	農耕地	農地	樹林地	農林地区	土地区	橋梁	高架橋	トンネル	掘削
①住宅地の道路	○		○						○				
②商業地の道路	○			○					○				
③農耕地の道路	○				○				○				
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掘削		○											○

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

量値（○m、○％、○個 等）である場合、②評価条件が構成要素の有無等を表す場合（～がある、～である 等）、③評価条件が構成要素の定性的な大小を表す場合（広い、高い 等）の3つに区分して可能性を検討した。①のケースでは、構成要素データを定量値で入力することが可能であり、評価結果のランクづけを行えば、そのまま景観評価ルールとして設定することができる。しかし、今回整理した

素材には、このケースに該当するものがなかった。ほとんどが②のケースに、その他は③のケースにそれぞれ該当しているが、これら定性的な素材を景観評価ルールとして使うには、構成要素データを選択式で入力するチェックリスト的なシステムとするか、あるいは景観評価実験等を行って評価条件および評価結果の定量化が必要である。

(2)プロトタイプシステムの適用可能性

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必要がある。また、定性的な表現をそのまま活用するチェックリスト的なシステムについても、同様の考え方で構築が可能である。

5. まとめ

今回は、景観評価エキスパートシステムのフレームを検討し、プロトタイプシステムを構築した。今後、本システムを現場における景観評価支援に役立つものにブラッシュアップしていくためには、以下の各項目に関する検討が必要である。

- ①プロトタイプシステムの評価および機能追加
- ②地方部の道路景観を対象とした景観評価システムの構築
- ③景観評価ルール作成支援システムの構築

表－4 景観評価ルールの素材（地方部の道路）

類 型	景観の種類	視点	景観評価ルールの素材							可能性
			車 歩	構成要素		評価条件		評価項目		
④地方部の道路	道路内	シーン	○	○	遠景要素	山	見せる	地域性	表現される	○
						大型建造物	見せる	地域性	表現される	○
						海・湖等	見せる	地域性	表現される	○
			○	○	沿道資源	巨木・並木等	残す	地域性	表現される	○
						信号・標識類	暗い色	周辺景観との調和性	向上する	○
			○	○	防護柵	色彩	暗い色	周辺景観との調和性	向上する	○
						種類	ガードケーブル	眺望性	確保できる	○
			○	○	歩道	舗装材	地場産品の使用	地域性	表現される	○
						自然素材の使用	周辺景観との調和性	向上する	○	
			○	○		車道とのレベル差	ある	安心感	向上する	○
						植樹帯	密度	密植する	安全性	向上する
			○	○	切土のり面	高木の枝下高	高くする	開放感	向上する	△
						表面処理	自然素材の使用	周辺景観との調和性	向上する	○
			○	○	路肩	勾配	緩くする	圧迫感	緩和される	△
						幅員	広くする	開放感	向上する	△
			○	○	擁壁	表面処理	自然素材の使用	周辺景観との調和性	向上する	○
							地場産品の使用	地域性	表現される	○
			○	○	道路照明	支柱の色	暗い色	周辺景観との調和性	向上する	○
						電柱・電線類		地中化	美しさ	向上する
			○	○		色彩	暗い色	開放感	向上する	○
								統一感	向上する	
○	○	道路線形	平面線形	なめらか	安心感	向上する	△			
					快適性	向上する		△		
○			切土のり面	勾配	緩くする	危険感	緩和される		△	
			盛土のり面	表面処理	芝・花等を植栽	美しさ	向上する	○		
道路外						高木を密植	隠蔽性	得られる	○	

【可能性】◎：ルール設定可能（定量値で入力）、○：ルール設定可能（選択式で入力）、△：ルール設定困難（定量化が必要）

ダム湖における景観イメージ分析 Landscape image analysis of dam lake

池田 尚子^{*} 舟橋 弥生^{**} 並河 良治^{***} 寺川 陽^{****}

By Naoko IKEDA, Yayoi FUNAHASHI, Yoshiharu NAMIKAWA, Akira TERAKAWA

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、人々の生活意識は余暇重視へと変化してきており¹⁾、ダム湖においては余暇活動の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）といった本来の目的に加えて、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の心地良さなど、ダム湖の出現による良好な環境創造のプラスの効用についても積極的に評価し、付加価値を高めるための工夫をすることが重要であると考えられる。

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の事業制度も実現されてきているが、造り出される新たなダム湖空間の価値について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することを試みた。

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⁾を用いたアンケート調査を行った。（SD法を河川の水辺空間の景観評価に応用した例としては、高科³⁾や皆川、島谷⁴⁾の研究があるが、ダム湖景観への適用事例は見あたらない。）

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）。

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

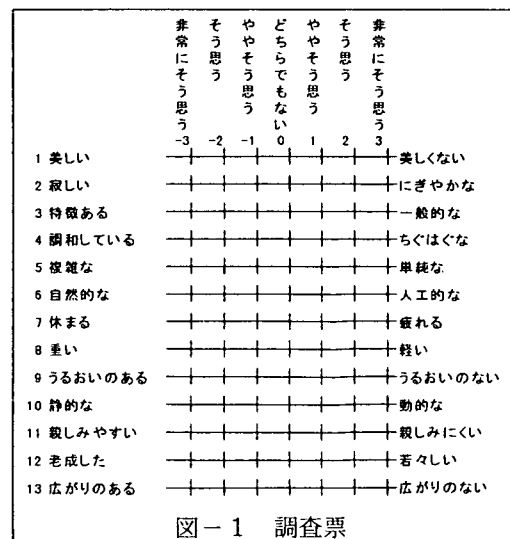


図-1 調査票

キーワード：景観、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交流研究員
(〒305-0804 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研究員

^{***}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、工修、建設省土木研究所環境部環境計画研究室室長

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京23区住民65人とした。それぞれ男女比はほぼ半数、年齢層は60代を除き、20,30,40,50代の層が各25%前後とほぼ均等に散らばっている。職業については、両地域とも会社員・公務員、専業主婦、パート・アルバイトの順になっており、構成比についてもほとんど差異はない。

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。

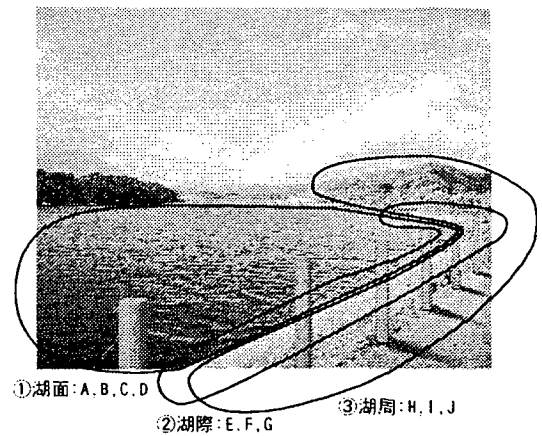


図-2 ベース写真

エーン高欄、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. 結果

4. 1 ダム湖訪問経験の有無

ダム湖訪問経験の有無と余暇活動の違いを東京23区住民で見てみた所、全く行ったことが無い被験者と行ったことがある被験者では、行ったことがない被験者の方が自然指向の活動が少ない事が分かった。(図-3)

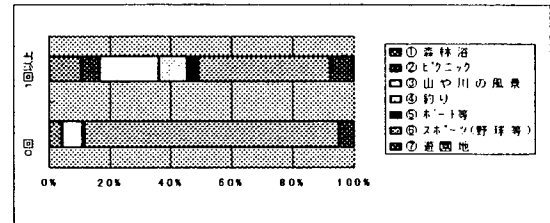


図-3 ダム湖の訪問経験と余暇活動

4. 2 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

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						
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						
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	散歩			
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		
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。

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、盛岡を塗りつぶして表記し、グラフ中の数字は表-1に対応している。)

5. 考察

好感度(表-1)と因子得点プロット図(図-4～図-6)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)

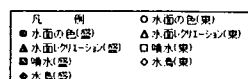
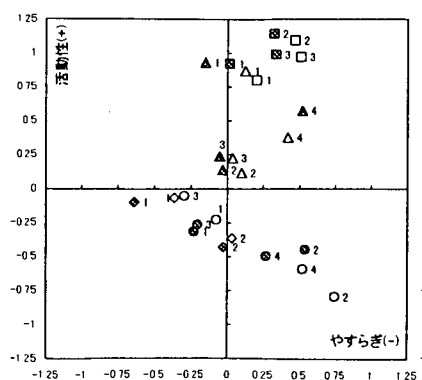


図-4 因子得点プロット図(湖面)

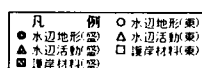
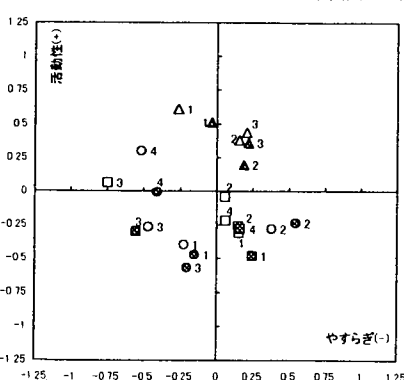


図-5 因子得点プロット図(湖際)

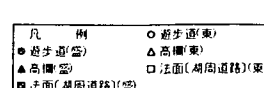
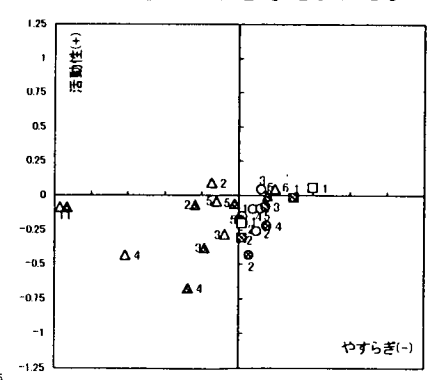


図-6 因子得点プロット図(湖周)

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さ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、ブレッジャーボート)

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ブレッ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。

ウィンドサーフィン、カヌーは好感度、やすらぎ共に高く、その存在は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高める効果がある。

④水鳥(白鳥、小水鳥)

白鳥は好感度、やすらぎ共に高く、白鳥の存在により、好感度を高める効果が示されている。

(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、やすらぎ共に低い、これは放置された自然石が評価を下げていることによると考えられる。

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いえる。

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。

(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）

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している。

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。

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が図れるといえよう。

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SD法をとりあげ、御所湖を対象としたケー

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⁸⁾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。

景観に観点を置いているため、生態学的な面については触れていない。それらを踏まえた各要素間の競合については今後の研究課題である。

＜参考文献＞

- 1)(財)余暇開発センター：レジャー白書'96, (財)余暇開発センター, 1996
- 2)Osgood, C.E. et al., : The Measurement of Meaning, Illinois Univ. Press. 1957.
- 3)岩下豊彦：SD法によるイメージの測定, 川島書店, 1983.
- 4)高科豊：河川景観評価因子と空間構成要素の関わりについて, 第23回日本都市計画学術研究論文集 pp. 427-432, 1998.
- 5)皆川朋子, 島谷幸宏：河川の自然景観の評価に関する研究－阿賀野川を事例として, 環境システム研究 Vol. 24, pp. 13-19, 1996.
- 6)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.
- 7)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.
- 8)経済企画庁：国民生活白書(平成5年版), 大蔵省印刷局, 1993

SD 法によるダム湖景観評価の試み

建設省土木研究所環境部環境計画研究室

“ “ “ “
“ “ “ “
“ “ “ “

池 田 尚 子*¹⁾

舟 橋 弥 生*²⁾

並 河 良 治*³⁾

寺 川 陽*⁴⁾

1. はじめに

身近な自然の喪失、環境への関心の高まり、人々の余暇重視へのライフスタイルの変化¹⁾といった社会環境の中でダム湖周辺の豊かな自然環境、余暇活動の場としてのニーズは高まりつつある。

また、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の事業制度も整備されてきており、平成9年には河川法が改正され「環境の整備と保全」が河川法の目的として明記された。

このような社会の状況に適切に応えるためには、ダム建設に際して、治水、利水といった本来の目的に加えて、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良好な環境創造というプラスの効用についても積極的に評価し、付加価値を高めるための工夫をすることが重要であると考えられる。

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るが、そのためにはダム湖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しておく必要がある。しかし、創出される新たなダム湖空間の価値についての分析的な評価は未だなされていない。

本稿では、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するため、ダム湖沼周辺施設整備に関わる各要素について、SD法^{2),3)}を用いた分析により人間の感性を定量的に評価することを試みた結果について報告したい。

2. 研究方法

ダム湖の景観を対象として、人間の感性を定評評価する手法の1つであるSD法を用いたアンケート調査を行った。SD法(Semantic Differential technique)は1957年にオスグッド(Osgood)によって提唱された心理学的手法である。今回の調査では、スライドを見た後の景観イメージを形容詞対により評価してもらい、その分析を通して評価のイメージ構造を明らかにすることを試みた。

SD法を河川の水辺空間の景観評価に応用した例としては、高科⁴⁾や皆川・島谷⁵⁾の研究があるが、ダム湖景観への適用事例は見あたらない。

調査の対象とするダム湖の選定に際しては、調査内容

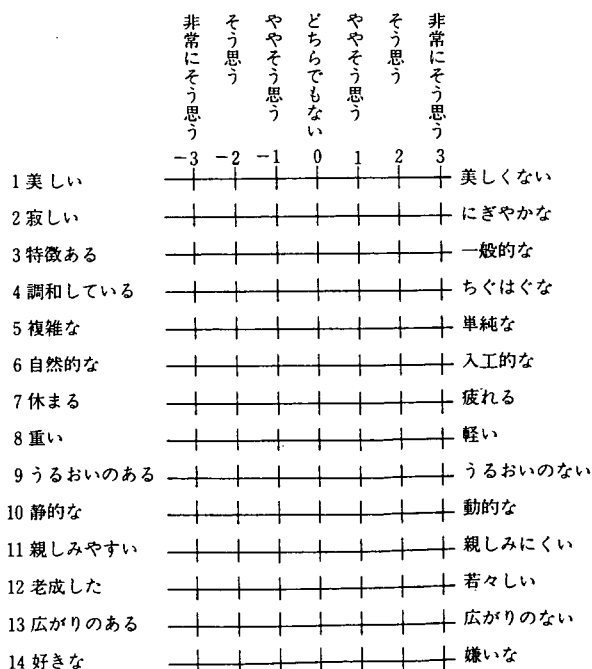


図-1 調査票

*1) 交流研究員

*2) 研究員

*3) 主任研究員

*4) 室長

を考慮し、都市部からアクセスしやすく、ある程度レクリエーション施設が充実していることに着目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^{6) 7)}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やすさも考慮して選定した(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京23区住民65人とした。それぞれ男女比はほぼ半数、年齢層は60代を除き、20、30、40、50代の層が各25%前後とほぼ均等に散らばっている。職業については、両地域とも会社員・公務員、専業主婦、パート・アルバイトの順になっており、構成比についてもほとんど差異はない。

調査には、表-1に示す57枚のスライドを用いた。ス

ライドには、個別的な要素の強い20枚の個別写真と、共通写真37枚を使用した。共通写真としては御所湖のある1点から撮影した写真(図-2)を基に表-1に示し

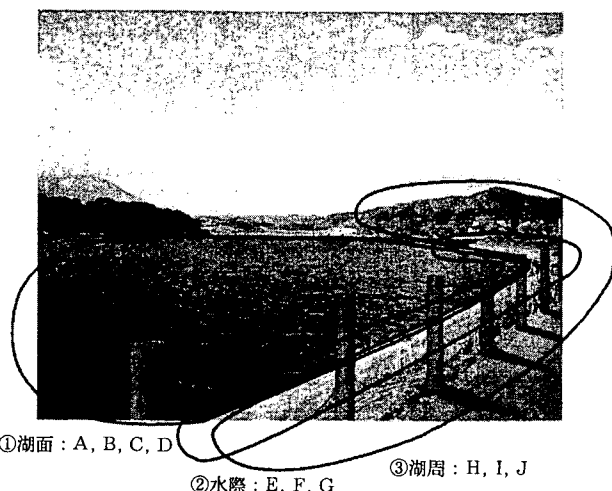


図-2 ベース写真

表-1 スライド一覧

			カテゴリー					
			1	2	3	4	5	6
湖 面	A	水面の色 ^{注1)} 好感度(%) ^{注3)}	濃い緑 53.8/53.3	薄い青 13.8/15.0	濃い青 52.3/48.3	薄い緑 21.5/20.0		
	B	水面レク 好感度(%)	ウインドサーフィン 38.5/50.0	手漕ぎボート 36.9/38.3	カヌー 47.7/38.3	プレジャーボート 20/25.0		
	C	噴水 好感度(%)	高い 36.9/48.3	放射状 29.2/36.7	中 27.7/36.7			
	D	水鳥 ^{注4)} 好感度(%)	白鳥 61.5/70.0	小水鳥 35.4/33.3				
ア イ 際	E	水辺地形 好感度(%)	コンクリート 47.7/43.3	自然石 35.4/21.7	植生 63.1/53.3	砂地形 69.2/66.7		
	F	水辺活動 好感度(%)	水遊び 64.6/49.2	釣り 38.5/33.3	散歩 35.4/31.7			
	G	護岸材料 好感度(%)	コンクリートブロック 36.9/33.3	階段護岸 40.0/40.0	植生護岸 69.2/60.0	礫根固 49.2/40.0		
湖 周	H	遊歩道 好感度(%)	レンガタイル1 43.1/33.3	砂利 36.9/28.3	インターロッキング 36.9/28.3	カラーコンクリート 33.8/20.0	レンガタイル2 35.4/26.7	
	I	高欄 好感度(%)	木製高欄 90.8/86.7	鋼製(細白) 55.4/51.7	擬木チェーン 46.2/50.0	高欄なし 75.4/51.7	石チェーン 56.9/53.3	アルミチェーン 36.9/28.3
	J	法面(湖周道路) 好感度(%)	コンクリート法面 21.5/31.7	修景法面 33.8/91.0				
個 別 写 真	K	公園 好感度(%)	日本庭園風 40/33	自然公園風 66/28	キャンプ場 17/17	スポーツ系 49/28	人工水路 45/22	フラワーパーク 63/40
	L	建築物 好感度(%)	キノコ展望台 20/18	3階建資料館 3/2	円錐レストハウス 31/37	マリーナハウス 40/38		
	M	取水塔 好感度(%)	四角家屋風 28/28	メタル操作室 22/22	六角柱 7/10	鉄筋コンクリート 42/47		
	N	モニュメント 好感度(%)	メタルアーチ噴水 43/47	メタル円 28/12	メタル鳥 12/5	石材案内板 7/7	石材名板 13/20	ブロンズ像 22/47

注1) 湖面、水際、湖周については、基本写真をもとに各項目をひとつだけ変化させたものを合計37種類準備した。

注2) 水面の色にいい湖面中央部をマンセル色票を用いて計測した値は以下になっている。

1. 濃い緑: 5 G 8/2 (近似) 2. 薄い青: 2.5 PB 8/3 (近似) 3. 濃い青: 10 B 7/8 (近似) 4. 薄い緑: 2.5 BG 7/6 (近似)。

注3) 好感度の欄の数値は前半が東京、後半が盛岡での被験者に対するアンケート結果を示す。[東京/盛岡]

注4) 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。



A-1



B-1



B-2



B-3



B-4



C-1



C-2



C-3



D-1



D-2



E-1 (G-1, 1-3)



E-2



E-3



E-4



F-1



F-2



F-3



G-2



G-3



G-4



H-1



H-2



H-3



H-4



H-5



I-1



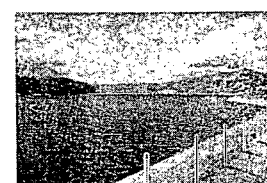
I-2



I-4



I-5



I-6

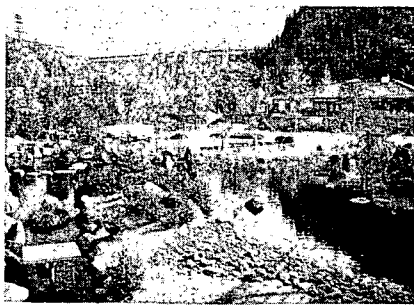


J-1

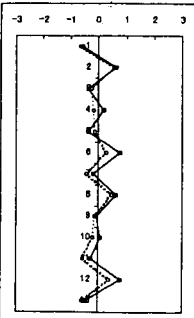


J-2

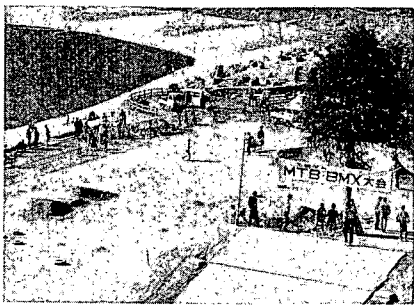
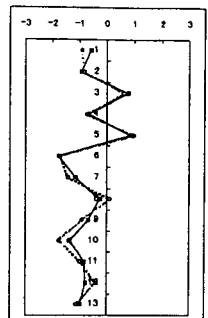
図-3 共通写真スライド (図番号は表-1のアイテム・カテゴリーに対応)



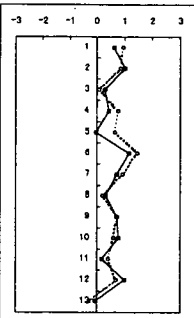
K-1 日本庭園風



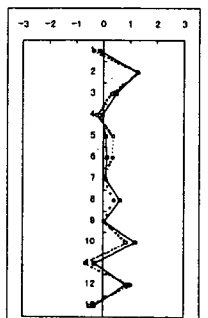
K-2 自然公園風



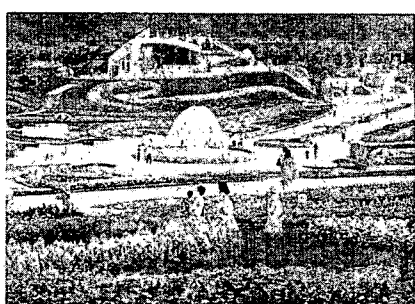
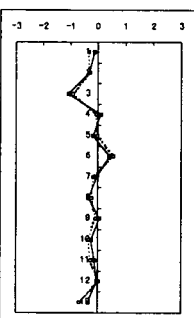
K-3 キャンプ場



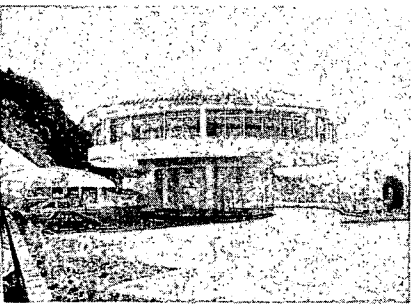
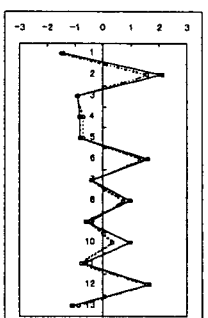
K-4 スポーツ系



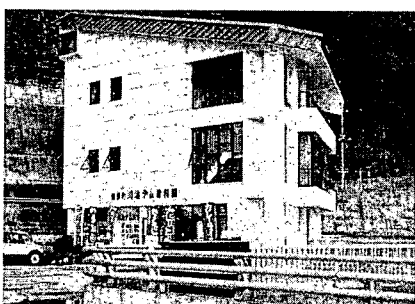
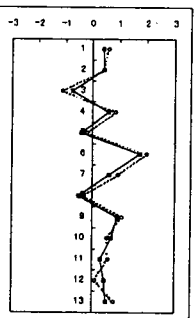
K-5 人工水路



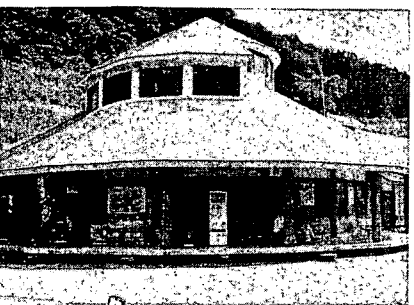
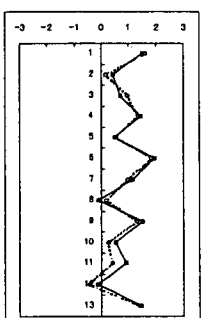
K-6 フラワーパーク



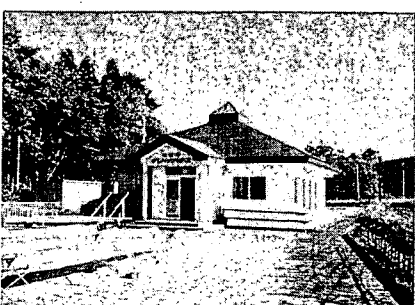
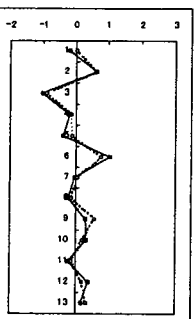
L-1 キノコ展望台



L-2 3階建資料館



L-3 円錐レストハウス



L-4 マリーナハウス

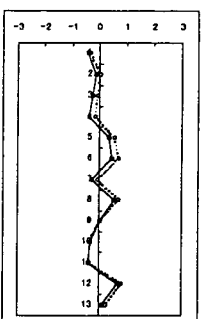
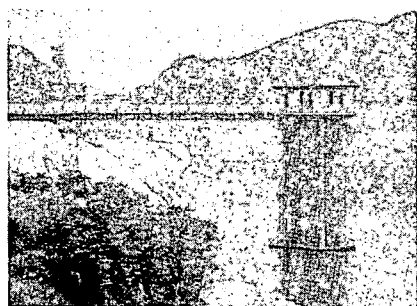
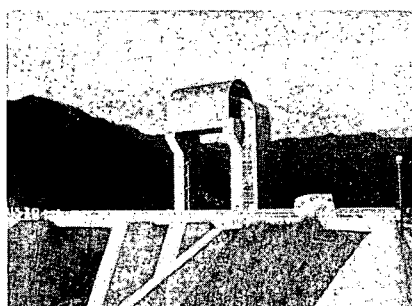
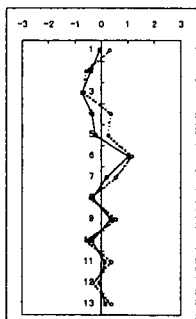


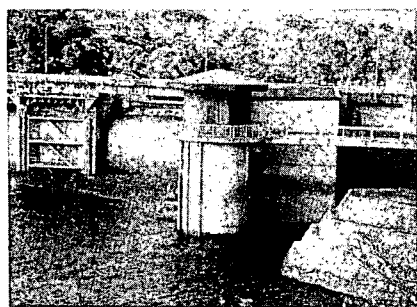
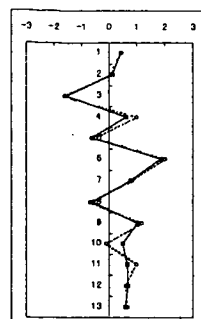
図-4 (1) 個別写真スライドとプロフィール曲線 (東京を○盛岡を■で表記し、図中の数字は図-1の1~13の形容詞対に対応)



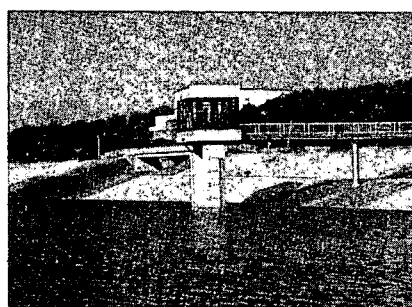
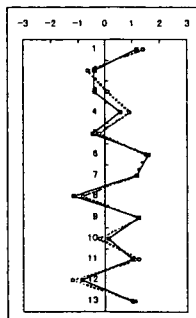
M-1 四角家屋風



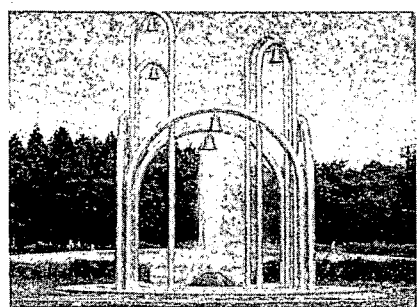
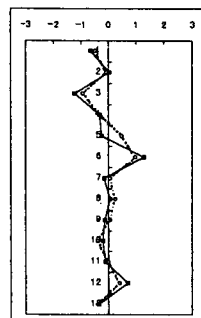
M-2 メタル操作室



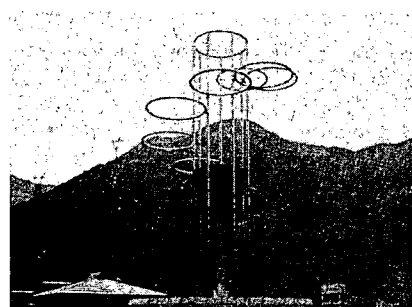
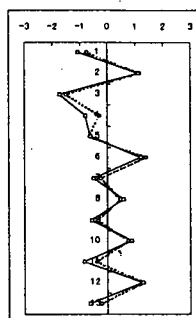
M-3 六角柱



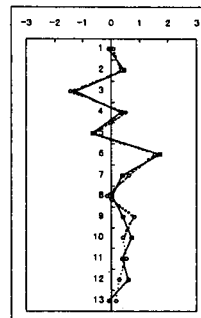
M-4 鉄筋コンクリート



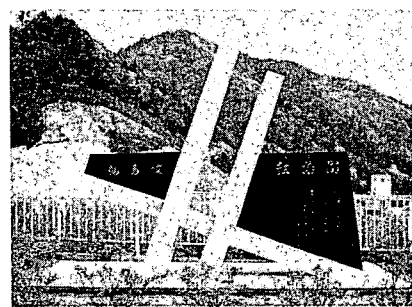
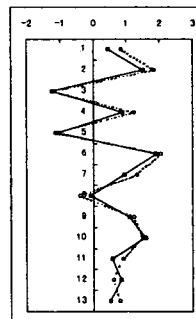
N-1 メタルアーチ噴水



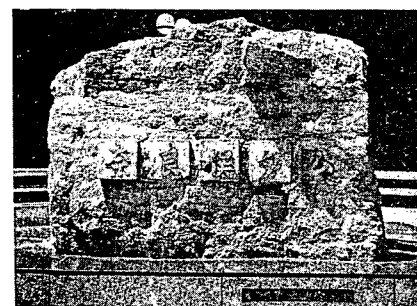
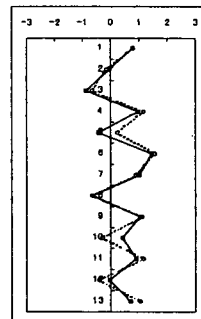
N-2 メタル円



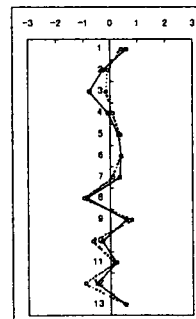
N-3 メタル鳥



N-4 石材案内板



N-5 石材名板



N-6 ブロンズ像

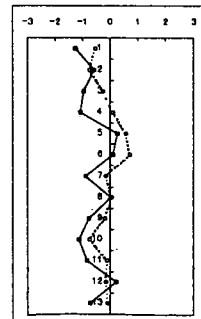


図-4 (2) 個別写真スライドとプロフィール曲線 (東京を○盛岡を■で表記し、図中の数字は図-1の1~13の形容詞対に対応)

たアイテムを個々のカテゴリーについての評価が可能となるように1つずつを変更したものをCG合成して作成した写真のことである。なお、共通写真作成のベース写真としては、水の色が濃い青、水辺地形がコンクリート、護岸材料としてコンクリートブロックを採用、擬木チェーン高欄ありの組み合わせとした(図-3、図-4)。

3. 結 果

(1) ダム湖訪問経験の有無

アンケートでは、解答者の性別や家族構成、ダム湖訪問経験の有無及び目的、登山、オートキャンプ、ドライブ、釣り等余暇活動の頻度等個人の属性についてもあわせて調査した。

ダム湖訪問経験の有無と余暇活動の違いを東京23区住民でみると、全く行ったことが無い被験者の方が自然指向の活動が少ない事が分かった(図-5)。

(2) 共通写真を用いた分析

i) 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。そこで各スライドの好きな側に反応した人の数の割合を好感度として定義した(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。

両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、砂地形および植生護岸であるのに対し、東京では木製高欄、高欄なし、植生護岸、

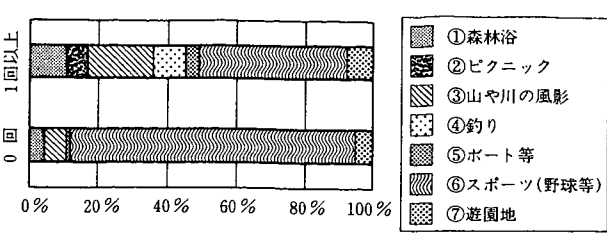


図-5 ダム湖の訪問経験と一般的な余暇活動

砂地形および水遊びであった。

ii) 因子分析

両地域のアンケート結果を総合して因子分析を行った。因子分析はデータの情報を少数の因子で表現して、問題を整理するために役立つ手法である。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持ち、残りの変量の因子負荷量をゼロに近いという形をとるのが望ましいため、因子と各変数との結びつきがはっきりして解釈もしやすくなるように座標軸を変換する。今回は、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指標を用いた分析の結果、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」などであるため『やすらぎ(-)』と命名した。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(表-2)。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(図-6)。(グラフ中の数字は

表-2 因 子 軸

因 子	形 容 詞 対	因子 No. 1	因子 No. 2	因子 No. 3	因 子 軸
因子 No. 1	休まる-疲れる	0.877	0.109	0.049	やすらぎ(-)
	親しみやすい-親しみにくい	0.865	-0.044	0.115	
	うおいのある-うおいのない	0.829	-0.049	0.140	
	調和している-ちぐはぐな	0.827	0.116	0.064	
	美しい-美しくない	0.804	-0.073	0.064	
	広がりのある-広がりのない	0.748	0.120	0.023	
	自然的な-人工的な	0.730	0.327	0.032	
因子 No. 2	寂しい-にぎやかな	0.061	0.678	-0.293	活動性(+)
	老成した-若々しい	0.040	0.619	-0.024	
	静的な-動的な	0.421	0.597	-0.243	
	重い-軽い	-0.100	0.415	0.312	
因子 No. 3	複雑な-単純な	0.051	-0.091	0.722	単純さ(+)
	特徴ある-一般的な	0.287	-0.132	0.611	
寄 与 率		0.377	0.119	0.091	
累積寄与率		0.377	0.497	0.588	

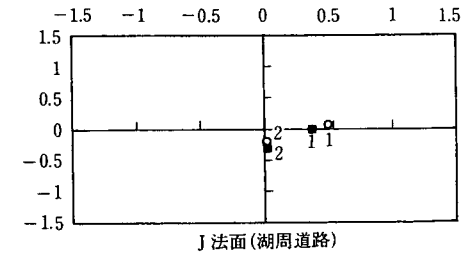
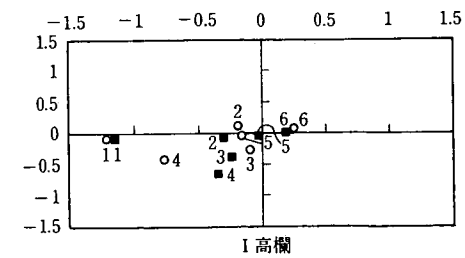
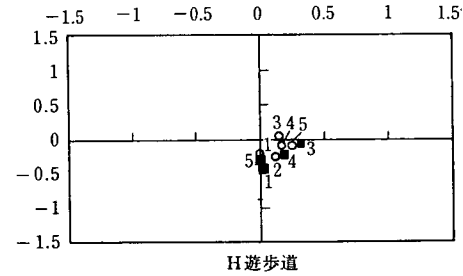
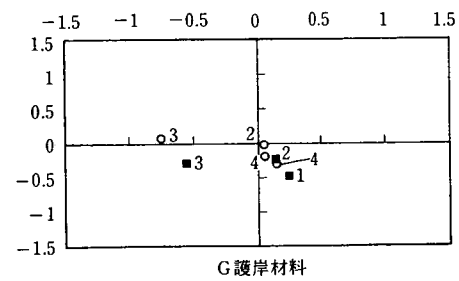
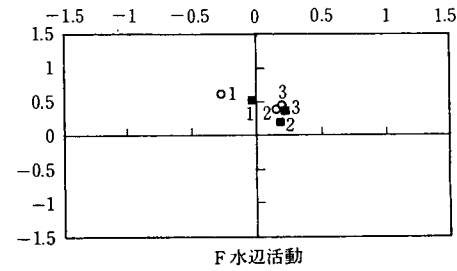
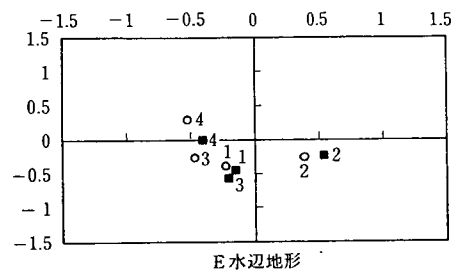
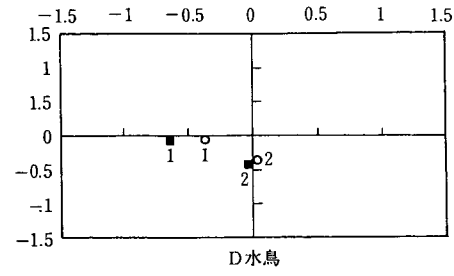
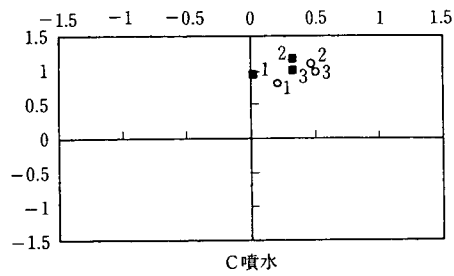
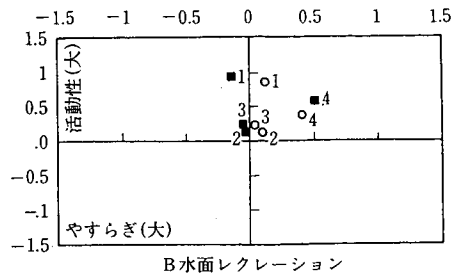
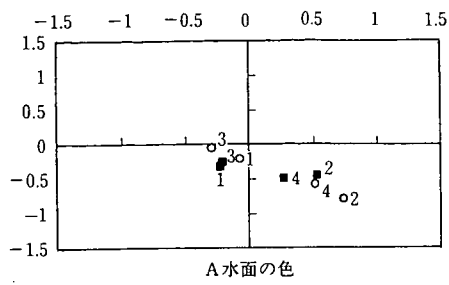


図-6 共通写真の因子得点プロット図
(東京を○盛岡を■で表記し、図中の数字は表-1に対応)

表-1の項目番号に対応している。)

iii) 考 察

好感度(表-1)と因子得点プロット図((図-6)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、水際および湖周に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(水面の水、水面レクリエーション、噴水、白鳥)

①水面の色(濃い緑、薄い青、濃い青、薄い緑)

濃い色は好感度が高く、薄い色はやすらぎが低い。水面の色に関しては色の濃さ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)

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評価されている。

ウィンドサーフィン、カヌーは好感度が高くその存在は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、両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高める効果があると思われる。

④水鳥(白鳥、小水鳥)

白鳥は好感度、やすらぎ共に高く、白鳥の存在により、好感度を高める効果が示されている。

(2) 水際(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、砂地形)

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、砂地形は好感度が高く、やすらぎは肯定側に評価されている。それに比べて自然石地形は好感度、やすらぎ共に低いが、これは放置された自然石が評価を下げていることによると考えられる。

②水辺活動(水遊び、釣り、散策)

全体的に活動性がある。水遊びは好感度が高く、やすらぎは肯定側に評価されている。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いえる。

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)

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、柔らかなイメージの天然素材を用いた整備が望まれている。

(3) 湖周(遊歩道、高欄、法面)

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)

全体的に評価は高くないが、若干東京の方が評価が高い。要素間の差はあまり見られないが、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、適度な変化が好まれることを意味している。

②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)

木製高欄は、好感度、やすらぎ共に高い。アルミチェーンは好感度、やすらぎ共に低い。これは人工的な材質が周囲に調和していないためと思われる。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。

③法面(コンクリート法面、修景法面)

コンクリート法面は修景法面に比べて好感度、やすらぎ共に低くなっている。また、盛岡の被験者では修景法面の好感度が非常に高い。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、目につきやすい法面の修景により好感度の向上が図れると思われる。

(3) 個別写真を用いた分析

i) 好感度

共通写真と同様に個別写真についても好感度を求めた(表-1)。好感度が全体的に高いのは、フラワーパーク、自然公園風公園及びメタルアーチ噴水である。逆に好感度が低いのは、デザイン的にあまり特徴のないデザインの3階建て資料館、石材案内板、六角柱取水塔、メタル鳥であった。

また、好感度の違いと因子プロファイル曲線を比べてみると、好感度の高いものは「美しい」「調和している」「親しみやすい」「広がりがある」等の形容詞に肯定側の反応を示し、逆に好感度が低いものは、否定側に反応を示し、「疲れる」に肯定側の反応を示すことが分かった。

東京の被験者と盛岡の被験者とで差が明らかになったものは、自然公園風の公園、ブロンズ像、フラワーパークである。ブロンズ像については、盛岡で「調和している」「休まる」「親しみやすい」等の形容詞が肯定側の反応を示しているのに対し、東京では否定側の反応になっている。盛岡の被験者にとってはなじみがあることによ

と思われる。また、自然公園風の公園が東京では評価が高いのに対して盛岡ではあまり評価されていないのは、自然に対する認識の差によるものと思われる。

iv) クラスタ分析

前節で好感度の地域による差を見たが、一部のスライド以外は、あまり差がなかった。そこで、被験者一人一人の好感度をもとにクラスタ分析を行った。クラスタ分析は一口に言えば、似た者同士を集める分析方法である。

分析の結果、以下に示す6つのクラスタに分類された各々のクラスタの構成及び嗜好は、次に示すとおりである(表-3、表-4)。

①クラスタ1 (構成比=26%)

男性が多く、若者が少ない。(男：女=58：42)、20～30代が若干少ない。職業は会社員が約半数である。ダムへ行った回数は2.1回/年で他のクラスタより若干頻度が高い。日本庭園風の公園やメタルアーチ噴

水、フラワーパークなど「美しい」「親しみのある」に反応する整然と整備されたデザインを好む。

②クラスタ2 (構成比=22%)

女性が多く(男:女=32：68) 20代～30代が2番目に多く6割強である。会社員が少なく専業主婦が最も多い。ダムへ行った回数は1.1回/年で平均より少ない。フラワーパーク、メタルアーチ噴水、マリナーハウスなど「若々しい」「軽い」に反応する軽快なデザインを好む。また、余暇活動ではスポーツを愛好する人が多い。

③クラスタ3 (構成比=14%)

男性が多く(男：女=67：33)、年齢はほぼ均等に分布している。会社員が半分弱である。ダムへ行った回数は0.9回/年と少し低めである。ダム見学、レストハウス利用、記念館見学などの施設利用が多い。他とくらべると鉄筋コンクリート取水塔、マリナーハウスなど建物に好感を持っている。

④クラスタ4 (構成比=14%)

表-3 個別写真の好感度による分類

(好感度：%)

		(人)	ス ラ イ ド 番 号																			
			合計	K-1	K-2	K-3	K-4	K-5	K-6	L-1	L-2	L-3	L-4	M-1	M-2	M-3	M-4	N-1	N-2	N-3	N-4	N-5
全 体 東 京 盛 岡		125	37	47	17	39	34	52	19	3	34	39	28	22	9	45	45	20	9	7	17	35
		65	40	66	17	49	45	63	20	3	31	40	28	22	7	42	43	28	12	7	13	22
		60	33	28	17	28	22	40	18	2	37	38	28	22	10	47	47	12	5	7	20	47
ク ラ ス タ	1	33	79	45	39	52	52	67	24	3	30	36	36	21	15	33	76	21	9	9	15	42
	2	28	29	57	7	46	25	100	25	4	39	61	25	14	4	50	82	14	11	4	36	39
	3	18	39	50	17	11	28	44	11	0	33	44	17	11	0	50	44	11	0	0	0	28
	4	17	35	65	24	76	88	88	35	6	65	65	47	82	24	71	100	65	35	24	47	88
	5	15	27	73	20	47	27	0	13	0	20	13	40	7	27	40	80	40	7	27	20	60
	6	14	7	86	0	36	29	21	0	0	21	7	0	0	0	7	0	7	0	0	7	21

注) スライド番号は表-1の(アイテム-カテゴリー)に対応する

表-4 クラスタ別属性表

ク ラ ス タ 1	人 数	性 別		年 齢				職 業						ダム訪問		ダム湖周辺活動							一般的な余暇活動								
		男	女	20代	30代	40代	50代	会社員・公務員	自 営 業	パート・アルバイト	学 生	専 業 主 婦	無 職	そ の 他	ダム訪問経験無し	ダム訪問回数	ダ ム 見 学	レ ス ト ハ ウ ス	水際レクリエーション	水面レクリエーション	周 辺 自 然 散 策	周 辺 ス ポ ー ツ	記 念 館	そ の 他	登 山 ・ 森 林 浴	オ ー ト キ ャ ン プ	風景を楽しむ旅行	釣 り	ボ ー ト	ス ポ ー ツ	遊 園 地
1	33	19	14	8	6	9	10	16	3	5	2	5	0	0	6	2.1	16	11	12	4	21	7	3	10	1.9	1.3	5.2	4.1	0.5	7.4	1.6
2	28	9	19	10	7	5	6	9	1	6	2	9	1	0	1	1.1	15	14	6	4	20	8	5	2	3.7	1.2	5	1.8	0.3	9.5	1.4
3	18	12	6	4	5	4	5	8	1	3	2	3	0	0	3	0.9	12	8	4	2	11	3	5	3	3.1	0.9	4.6	1.2	0.7	6.9	0.7
4	17	8	9	6	4	2	5	5	1	2	4	5	0	0	3	0.9	9	5	5	2	9	4	2	0	2.2	0.9	5.7	0.5	0.1	10	2.2
5	15	5	10	0	2	7	6	8	2	2	0	3	0	0	3	5.9	7	8	5	2	11	3	5	1	2.9	0.8	2.7	3.4	0.3	10	0.9
6	14	7	7	5	4	2	3	7	1	2	0	3	1	0	1	2.3	10	3	3	1	11	1	5	1	4.2	1.4	2.6	0.5	0.3	11	2.1

男女比はほぼ同じ（男：女=47：53）。6 クラスターの中で 40 代が一番少ない。会社員が一番少なく学生が最も多い。ダムへ行った回数では 0.9 回/年と少し低めである。「美しい」「広がりのある」に反応するメタルアーチ噴水、人工水路、フラワーパーク、ブロンズ像を好み、3 階建資料館、キャンプ場、六角柱取水塔、石材案内板等を嫌う。余暇活動ではスポーツが多い。

⑤クラスター 5（構成比=12%）

女性が多く（男：女=33：67）、40、50 代が 8 割を占める。会社員が多い。ダムへ行った回数では、6 回/年と 1 番ダムへ足を運んでいる。他のクラスターでは全て好感度の上位に入るフラワーパークが好感度 0 である。「にぎやかな」「複雑な」に肯定側の反応を示すメタル操作室やメタル鳥を嫌う。ダム湖周辺では自然散策をよく行う。

⑥クラスター 6（構成比=11%）

男女構成比は同じである。20、30 代が一番多く 6 割強である。ダムへ行った回数では 2.3 回/年と 2 番目に多い。好き嫌いの好みが激しく、いくつかのスライドを除くと 0 に近い値である。また、人工構造物は殆ど 0 もしくは、1 桁の評価である。自然公園風公園を好む。

日本庭園風の公園はクラスター 1 では最も好感度が高いが他のクラスターでは好感度が低く、メタル操作室はクラスター 4 以外では好感度が低い等被験者の嗜好パターンによって、望ましいと考える整備イメージに差異があるため、整備計画の検討にあたっては、対象としてどのような層にターゲットを絞るかも十分に配慮すべき要因であると思われる。

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望まれる整備イメージを分析する手段として、SD 法に着目して、御所湖を対象としたケーススタディを実施した。アンケート被験者は盛岡市住民 59% および東京 23 区住民 65% の計 124 名であり、限定されているものの、今回の調査分析によって得られ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。都市化の進んだ地域ほど自然を強く求めている⁸⁾ ことが、ダム湖周辺整備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。

（5） クラスター分析の結果、クラスター別に好感度が逆転するなどの現象が現れ、嗜好の違いを確認できた。このことにより対象として想定する人々の嗜好を踏まえた整備方針を立てることが望ましいといえる。

以上のことから、ダム湖周辺整備施設の計画・設計に際しては、利用者の範囲を想定した上で、利用者意識の地域特性を考慮することが重要である。SD 法は、そのような分析を行うために効果的な手法のひとつといえる。

今回の検討では、ダム湖およびその周辺の景観に焦点をあてたため、地域生態系の観点については触れていない。それらを踏まえた各要素間の競合については今後の研究課題であると認識している。

最後に、本研究の調査に協力して下さった多くの方々に深く感謝の意を表します。

〈参 考 文 献〉

- 1) (財)余暇開発センター：レジャー白書 '96, (財)余暇開発センター, 1996
- 2) Osgood, C.E. et al., : The Measurement of Meaning Illinois Univ. Press, 1957.
- 3) 岩下豊彦：SD 法によるイメージの測定, 川島書店, 1983.
- 4) 高科 豊：河川景観評価因子と空間構成要素の関わりについて, 第 23 回日本都市計画学術研究論文集 pp. 427-432, 1998.
- 5) 皆川朋子, 島谷幸宏：河川の自然景観の評価に関する研究－阿賀野川を事例として, 環境システム研究 Vol. 24, pp. 13-19, 1996.
- 6) 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.
- 7) 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.
- 8) 経済企画庁：国民生活白書（平成 5 年版）, 大蔵省印刷局, 1993

1/fゆらぎを導入した歩道の試験施工

川のせせらぎ、木の年輪、クラシック音楽、手紡ぎの織物など、人がやすらぎや心地よさを感じるものの時間空間的な変化を分析すると、「1/fゆらぎ」と呼ばれる共通の特性を示すことが知られています。「1/fゆらぎ」とは、両対数グラフの横軸に周波数、縦軸にパワースペクトル密度(周波数成分の振幅の2乗平均)をとると、その勾配が-1になる、すなわちパワースペクトルが周波数の逆数に比例するゆらぎのことです(詳しくは本誌pp.26~31参照)。心拍など生体の基本的なリズムも、同じ「1/fゆらぎ」のリズムを持っていることから、体内リズムと同じゆらぎを持つ外的な刺激が人に快適感を与えると推測されています。

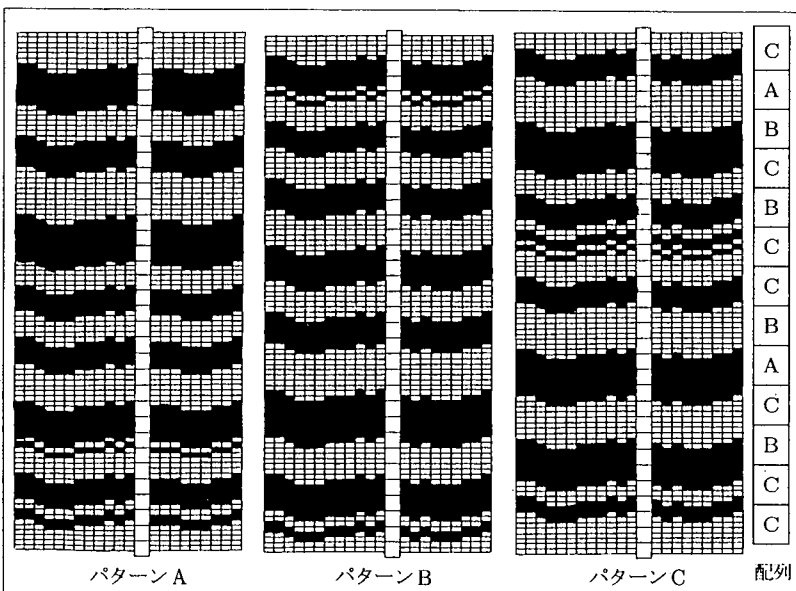
そこで、環境計画研究室では、人の感性にあった快適な環境づくりの重要なキーワードとして「1/fゆらぎ」に着目し、土木施設計画への適用に関する研究を進めています。平成9年度には、国道330号線(沖縄市胡屋地区)および国道329号線(豊見城村真玉橋地区)の歩道を対象としたケーススタディを行い、沖縄総合事務局の協力を得て試験施工を実施しました。

[国道330号線ゆらぎ歩道]

歩道空間への1/fゆらぎの適用範囲を検討した結果、街路樹、照明、歩道舗装の3つの要素が適用対象として抽出されました。しかし、対象地区の分析を行ったところ、十分な歩道幅がなく、樹木のゆらぎ配置が困難であることや、沿道に立地した商店等の照明が明るすぎ、ゆらぎ照明による演出効果が期待できないことがわかりました。そこで、デザイン対象を舗装に絞り、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ました。



整備前



ゆらぎ舗装パターン

2色の磁器質タイルで波を表現したゆらぎパターンA、B、Cを、ゆらぎ配列により組み合わせて配置しました。



整備後

〔胡屋交差点ポケットパーク〕

ゆらぎ歩道の終点に位置する胡屋歩道橋下のスペースは、土が盛られ低木等の植栽が施されていましたが、若干無秩序で雑然とした印象を与えていました。また、付近にベンチ等の適当な休憩施設も見あたらないことから、ポケットパークとして整備を行うことにより、歩行者の憩いとやすらぎの場、人々が集い地域の賑わいを演出する場を提供します。安全面や管理面への配慮を含めて検討を行った結果、ゆらぎの適用対象を照明のみとし、全体としてすっきりとしたシンプルなデザイン案を作成しました。夜間は、2基のポール照明と3基の埋設照明がゆらぎ調光により樹木(ガジュマル)を照らし、その反射光を映してベンチやスタンディングストーン(ニービ石)がゆらめきます。



整備前

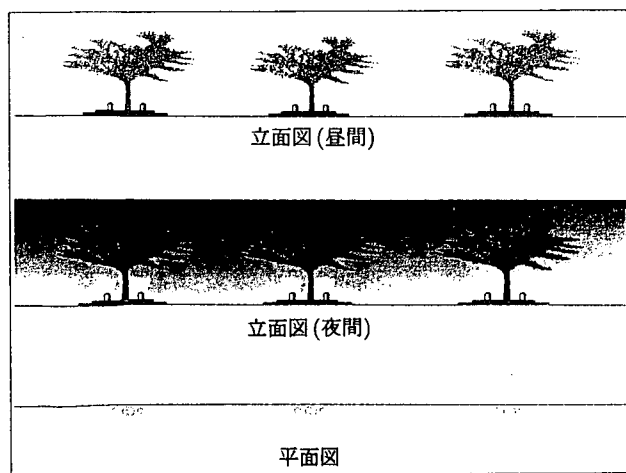


整備後

〔国道329号線ゆらぎ照明〕

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空間の創出をめざしました。

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、樹冠を下からろうそくの炎のようにゆらゆらと照らします。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ます。



ゆらぎ照明配置図



整備後の状況(夜間)

建設省土木研究所環境部環境計画研究室研究員 小栗ひとみ

1/f ゆらぎ理論を適用した歩行者空間の整備

小栗ひとみ* 寺川 陽**

1. はじめに

我が国の社会資本整備は、戦後から高度経済成長期にかけて機能性、効率性、公平性重視の量的な充足を優先する時代が続いていたが、80年代の終わりになると、美しさ、ゆとり、潤い、個性といった質の充実に対するニーズも高まり、いわゆるシビックデザインの重要性が認識されることとなった。「感性の時代」の到来が指摘されて久しい。工業製品の分野では、自動車やパソコンのデザインから食品のパッケージに至るまで、単に品質が良いだけでなく、より人間の感性に合った「人にやさしい」「快適な」ものづくりが求められている。社会資本整備においても然りである。

感性時代を支える技術としては、脳や心の研究による感覚・感性の定量的な計測・評価技術や、感性工学、快適科学といった人間の感性に基づく設計手法などがある。その中でも、筆者らが快適性向上のキーワードとして注目しているものに、「1/f ゆらぎ」がある。武者らの分析^{1),2)}によれば、人間が心地よいと感じるものの多くは、「1/f ゆらぎ」のリズムを持っており、生体リズムもまたこのゆらぎを示すことから、人は体内リズムと同じゆらぎを持つ外的な刺激を快適に感じると推測されている。本稿では、1/f ゆらぎ理論を導入した歩行空間整備について、沖縄県の国道330号線および329号線におけるケーススタディ結果を中心に報告したい。

2. 1/f ゆらぎとは何か

(1) 様々なゆらぎ現象

一般に、「ゆらぎ」とは揺れて動く様を表現する言葉であり、不規則な変化あるいは規則的な部分に予想できない微妙なズレをプラスした変化と行うことができる。我々の周りには、天体運動や地球の磁力線といった宇宙規模のゆらぎから、太陽の光、天候、風、波、川の流れなどの自然界のゆら

ぎ、熱雑音やブラウン運動などの物理的なゆらぎ、ニューロンの発射する電気パルス、心拍、呼吸、脳波、眼球の微細振動などの生体のゆらぎ、株価や景気などの経済的なゆらぎ、生物の進化や人間の感情に至るまで、様々なゆらぎが存在している。

(2) ゆらぎの種類

「ゆらぎ」には、種々の特性を持ったものがあるが、スペクトル解析手法を用いて、その特性を分類することができる。スペクトル解析とは、ゆらぎを様々な波長の波が合成されたものと考え、太陽光を波長ごとの光の成分に分解するように、様々な周波数を持った調和振動成分に分解する方法である。分解した周波数成分(スペクトル)の振幅を2乗平均したものをパワー・スペクトル密度と言ひ、このパワー・スペクトル密度と周波数の関係からゆらぎ現象を分類することができる。両者の相関は、両対数グラフの横軸に周波数、縦軸にパワー・スペクトル密度をとってスペクトル値を表示すると、判別がしやすくなる。武者^{1),2)}によれば、自然界に存在するゆらぎ現象は、白色ゆらぎ、1/f ゆらぎ、1/f² ゆらぎに大別することができる^{注1)}。白色ゆらぎは、理想乱数列で求められるもので、その1/2回積分で1/f ゆらぎのスペクトルを、また1回積分で1/f² ゆらぎのスペクトルを求めることができる。それぞれのゆらぎは、両対数グラフ上で、図-1のような傾きを示す。すな

注1) 微分法の公式から、n回積分は式(1)で表すことができる。

$$\Delta^{-n} X_m = \delta^n \sum_{r=0}^N \frac{n(n+1) \cdots (n+(r-1))}{r!} X_{m-r} \quad (1)$$

δ : 離散化した時間間隔
この式を用いて、1回積分を表す式(2)、1/2回積分を表す式(3)を得ることができる。

$$\Delta^{-1} X_m = \delta(X_m + X_{m-1} + X_{m-2} + \cdots) \quad (2)$$

$$\Delta^{-1/2} X_m = \delta^{1/2} \left(X_m + \frac{1 \cdot 3}{2 \cdot 1!} X_{m-1} + \frac{1 \cdot 3 \cdot 5}{2^2 \cdot 2!} X_{m-2} + \frac{1 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 7}{2^3 \cdot 3!} X_{m-3} + \cdots \right) \quad (3)$$

式(2),(3)に理想乱数列を代入することで、1/f² スペクトル、1/f スペクトルの時系列が求められる。式(3)を用いれば、理想乱数列を線形変換することにより、1/f ゆらぎ数値列を求めることができる。

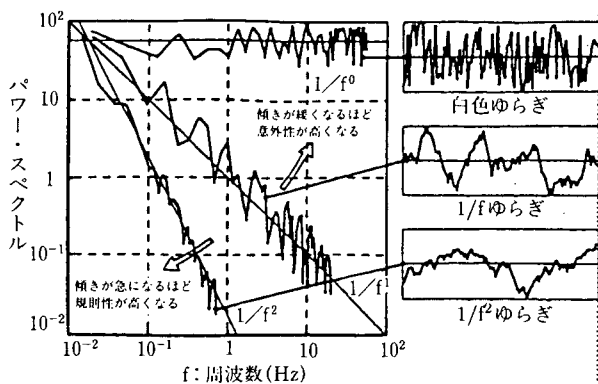


図-1 ゆらぎのパワー・スペクトル図³⁾

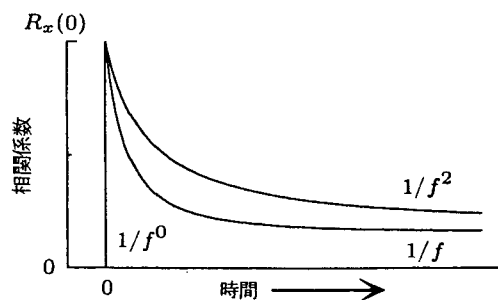


図-2 自己相関関数 (模擬図)⁴⁾

わち、白色ゆらぎは、周波数に関係なく一定のスペクトル値をとるゆらぎ、 $1/f$ ゆらぎはパワー・スペクトル密度が周波数の逆数に比例して傾きが -1 になるゆらぎ、 $1/f^2$ ゆらぎは周波数の増加とともにパワー・スペクトル密度が -2 で低下するゆらぎである。

スペクトル解析の他に、ゆらぎの性質を分析する方法として、自己相関関数がある。これは、ゆらぎの時間的な変化を見る方法であり、ゆらぎがある時間経過しても、それ以前の性質をある割合で維持していることから、現在のゆらぎの状態が過去の状態とどのような関連を持つのかを、時間遅れの関数として求めるものである。自己相関係数は、時間の増加とともに指数的に減少する関数となり、ゆらぎがゆっくりした変動であるほどその減衰は緩やかになる傾向を示す(図-2)。

自己相関関数とパワー・スペクトル密度は、片方が決まれば、もう一方も決まると言った1対1の関係にある。自己相関関数の減衰が急なほど、周波数に対するパワー・スペクトル密度の減少が緩やかになり、逆に自己相関関数の減衰が緩やかなほど、パワー・スペクトル密度の減少は急になる。つまり、パワー・スペクトル密度と周波数の

相関が低いほど、意外性の高い不規則な変化となり、相関が高いほど、もとのゆらぎの記憶効果があるため、規則性が強く予測性の高い変化となる。

$1/f$ ゆらぎは、無秩序な白色ゆらぎと、規則性の高い $1/f^2$ ゆらぎの中間にあるゆらぎであり、意外性と規則性を適度に合わせ持つゆらぎである。

(3) $1/f$ ゆらぎと快適性の関係

武者は、自然界に存在する種々のゆらぎ現象をはじめ、音楽、絵画、手作り工芸品、高速道路上の自動車の流れなど、様々なゆらぎの性質を分析している。その結果、小川のせせらぎや、木目模様、クラシック音楽、手紡ぎの織物など、人がやすらぎや心地よさを感じるものは、共通の性質、すなわち $1/f$ ゆらぎのリズムを持っていることがわかった。また、安静時の心拍や脳波(α 波)など生体信号のリズムも、 $1/f$ ゆらぎを示すことが確認されており、人は生体リズムと同じ性質を持つ外的なゆらぎ刺激に、美しさ、やすらぎ、心地よさといった感情を覚えると推測されている^{1),2)}。長町らの実験では、安静時のみならず、快い気分状態において心拍、 α 波が $1/f$ 型を示すことから、 $1/f$ ゆらぎ刺激と快適感の関係が確認されている⁴⁾。

もちろん、人間の快適感とは、外的な刺激のみに起因するのではなく、内的な状態(心理的生理的状态)と大きく関わっているものであるが、快適性を考える上で「 $1/f$ ゆらぎ」は重要な要素とすることができる。

3. 歩道空間への適用に関する検討

これまでの土木施設計画では、直線的、規則的、画一的な施設整備が多く行われてきたが、「 $1/f$ ゆらぎ」を導入することで、人の感性に合ったやわらかで快適な空間を作り出せる可能性がある。そこで、一般国道の歩道空間を対象として、「 $1/f$ ゆらぎ」の導入可能性を検討し、ケーススタディを通じて設計の手順を整理した(図-3)。

$1/f$ ゆらぎを歩道デザインに適用する場合、まずゆらぎの対象となる構成要素を決定する必要がある。すべての要素をゆらがせることは、逆に乱雑でまとまりのない不快な空間を作りだしてしまうことになりかねない。また、ゆらぐものと直線的・規則的なものを対比させることで、ゆらぎの効果を明らかにすることができる。今回の検討では、既設歩道という条件から、歩道舗装、街路樹

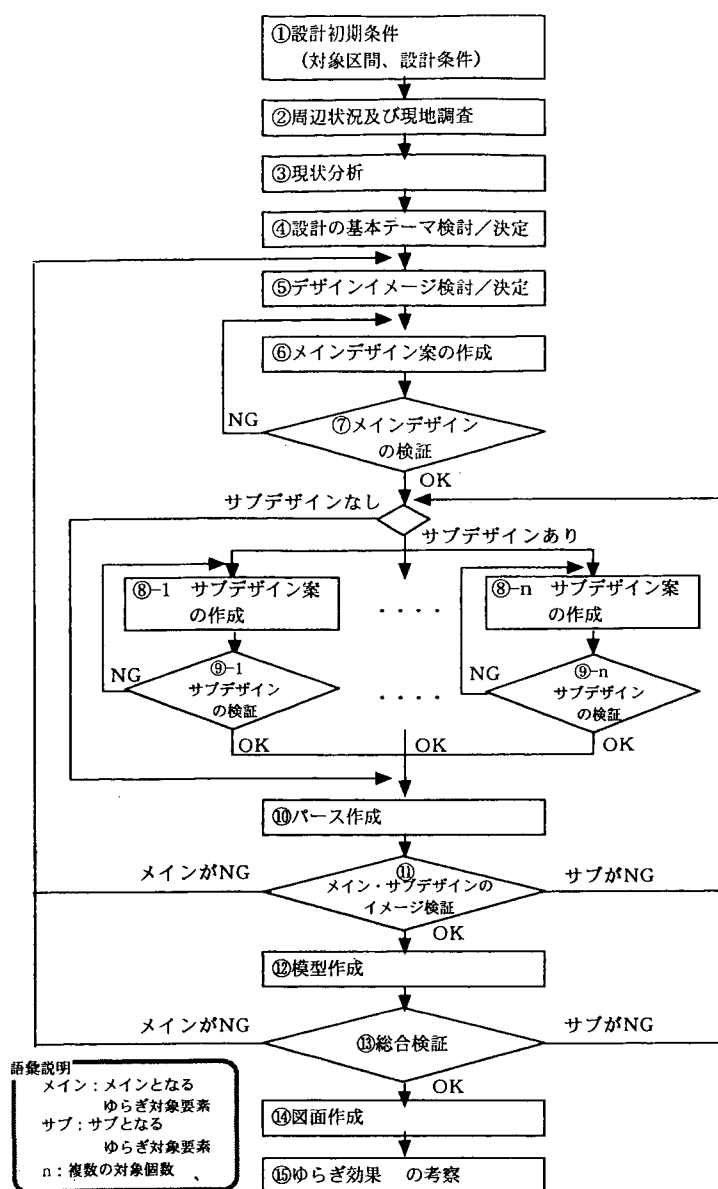


図-3 設計の手順

の配置および照明灯の照度と配置の3要素を、ゆらぎデザインの対象として抽出した。

次に、抽出したデザイン対象に、ゆらぎデザインの3原則(形のゆらぎ、配置のゆらぎ、配色のゆらぎ)を適用すると、次のような基本デザインコンセプトが作成される。

① 舗装デザイン

舗装デザインには、石畳のように材料そのものの形をゆらがせる方法と、既製のタイル等を用いて配置と配色をゆらがせる方法の2通りが考えられる。しかし、前者では、施工にかなりの困難が伴うという問題があり、現実的には後者の方法を取らざるを得ない。

② 街路樹

街路樹は、1/fゆらぎ曲線上に、配置幅、配置

間隔をゆらがせて配置し、林の中を歩いているような効果を演出する。歩道を単なる通行帯ではなく、散策の場として位置づけ、歩きたくなるような空間の創出をめざす。なお、円滑な通行を確保するために、歩道内を通行帯と散策帯に分けて、デザインを考える必要がある。

街路樹では、位置の操作の他にも、樹種をゆらがせる、樹高をゆらがせるといった方法も考えられる。

③ 照明灯の照度と配置

従来の照明計画では、安全面から見て必要な照度の確保が主な目的であったために、デザインに時間軸を取り入れるといった発想に乏しかったと言える。照度を時間的にゆらがせることで、行燈や提灯のようなやわらかさや暖かさを醸し出すことができる。また、空間的なゆらぎを取り入れ、照明灯の配置や照明柱の高さなどに変化を付けると、複雑な光の演出が行える。

4. ケーススタディ

(1) 国道330号線ゆらぎ歩道デザイン (沖縄市胡屋地区)

① 周辺状況および設計条件

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

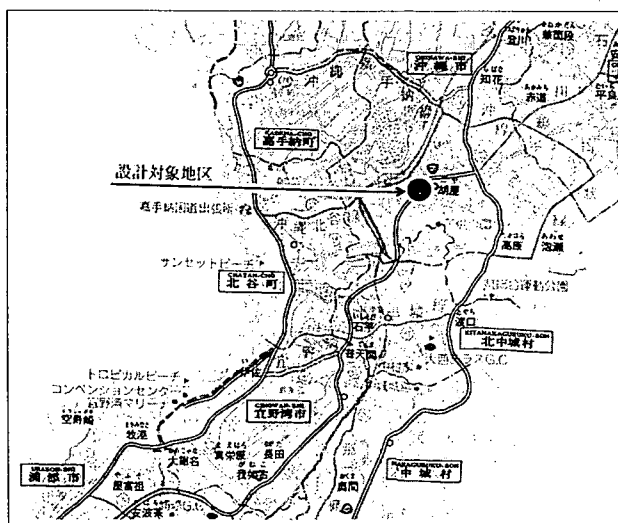


図-4 位置図

ゆらぎ配置により景観に森林のような奥行き感を与える

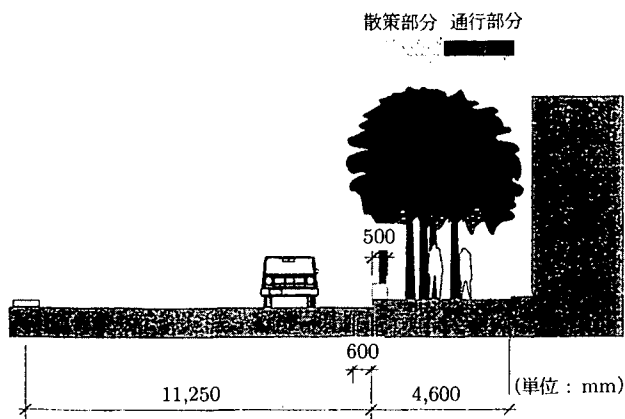


図-5 樹木の配置

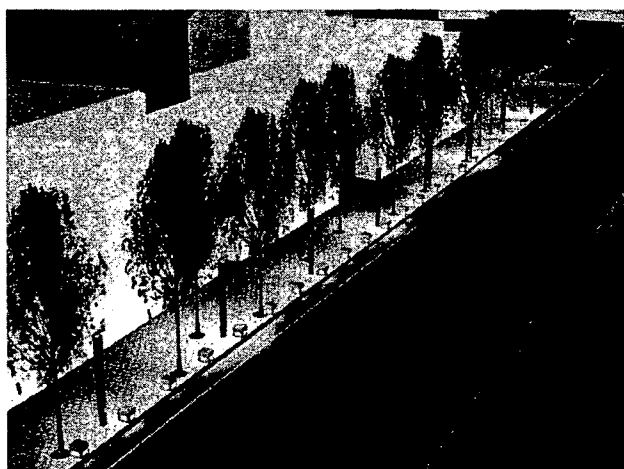


図-6 ゆらぎ照明のイメージ

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(図-4)。

当該地区は、電線の地中化に伴い歩道の修景が計画されていたため、胡屋交差点より宜野湾市方向の約350m区間の歩道(幅員約4.5m)を対象として、ゆらぎデザインを作成することとした。設計にあたっては、沖縄の地域特性を考慮して、赤瓦、琉球石灰岩、海・波および雲などをキーワードに色調やデザインテーマの設定を行った。

② デザイン概要

ゆらぎの適用対象を、舗装デザイン、樹木配置および照明の3要素としたデザイン案を作成した。歩行者のすれ違いが円滑に行える道幅を確保しながら、樹木の配置間隔を平均距離4~7m、歩道の車道側で横方向に最大2m程度の振れ幅を持たせた(図-5)。

また、亜熱帯に属する沖縄の気候では、散策を楽しむ時間が夜間になると予想されるため、夜の景観が重要なテーマとなる。そこで、街路樹の樹

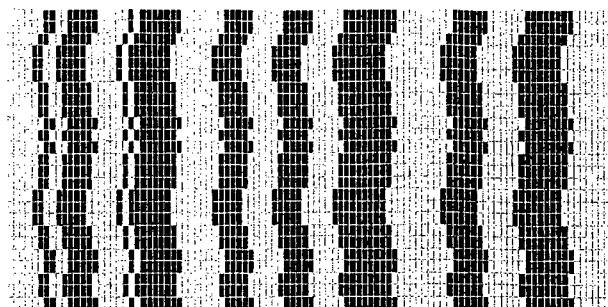


図-7 舗装デザイン

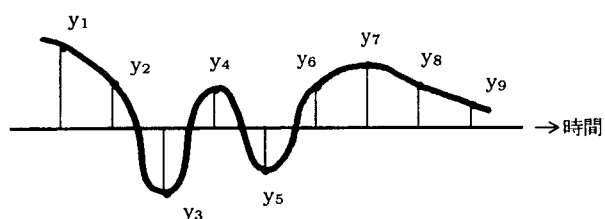


図-8 ゆらぎ数値列による曲線の作成

冠を下から照らす街灯と、琉球石灰岩の駒止めに内蔵した行灯のような照明により、光の演出を行うこととした(図-6)。

次に、舗装デザインについては、亀甲型に割った琉球石灰岩を用いて石畳風にアレンジしたデザイン案と、既製の磁器質タイルを用いて配色によりゆらぎを表現する案の2案を比較検討した結果、前者においては施工が困難なことが予想されたため、後者の案により海、雲、波をイメージとするデザイン案を作成した。

最終的には、地下に埋設される管路を避けてゆらぎ樹木を配置することが困難であること、また周辺の商店等の照明が明るすぎて、ゆらぎ照明の効果が期待できないことから、舗装デザインに絞った試験施工となった。イメージテーマは、波とした(図-7)。

ここでの、舗装デザインへの1/fゆらぎの適用方法は、次のとおりである。まず、乱数列 $x_1, x_2, x_3 \dots$ から線形変換により、1/fゆらぎ数値列 $y_1, y_2, y_3 \dots$ を作る。この数値 y_n を時間 t ごとの何らかの波形の振幅と見なすと、図-8のような曲線を描くことができる。そこで、この曲線をゆらぎの基本パターンとして、曲線上に磁器質タイルを配置する。次に、列の数が同じ赤白の帯を1ユニットとして、長さ方向の配置を1/fゆらぎ数値列により決めていく(図-9)。

元の乱数列を変えることによって、いくつかの

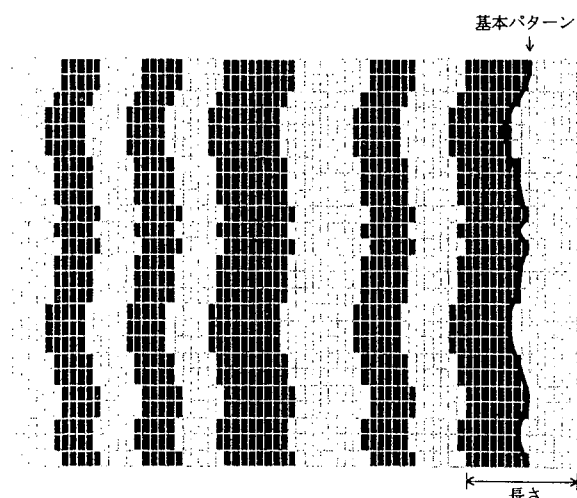


図-9 舗装デザインへの適用

1/fゆらぎ数値列を得ることができるが、その中から、デザインテーマに最適と判断されたパターンを最終的に選択している。

(2) 国道330号線ポケットパークデザイン(沖縄市胡屋地区)

① 周辺状況および設計条件

胡屋交差点歩道橋下のスペースは、土が盛られ低木等の植栽が施されているが、若干無秩序な印象であった。また、付近にベンチ等の適当な休憩施設も見あたらなかったことから、買い物客等歩行者の休憩スペースとして、また地域の賑わいの場として、ポケットパークの整備を行うことが適当な場所と考えられた。

② デザイン概要

ポケットパークの設計では、昼間は歩行者が強い日差しを避けて一休みできるような日陰を提供し、夜間はゆらぎ照明で心が和むようなくつろぎの空間を演出することとした。これらのコンセプトに基づき、ベンチ、照明、植栽、舗装およびその他の個別の要素のデザインならびに配置について、特にゆらぎ照明の効果に着目し計画を作成した。沖縄の地域特性やゆらぎの効果を考慮すると、デザイン要素として水(水面、せせらぎの音)の取り込みは重要と考えられたが、防犯、管理のしやすさといった点で不適切と判断された。最終的なデザイン案は、図-10(写真は本誌グラビア参照)のとおりである。中央にシンボルツリー(ガジュマル)を配置し、緑陰を確保するとともに、車道側の2面に直方体のシンプルなベンチを置き、休息の場を提供する。舗装は、濡れたような質感の茶色を

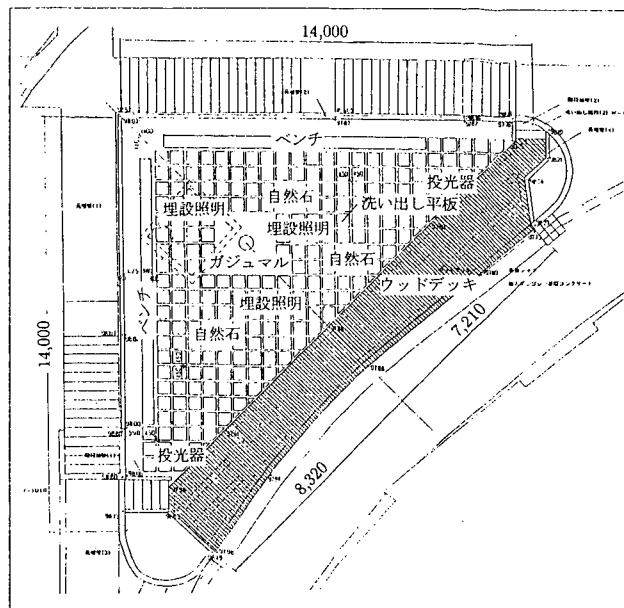


図-10 ポケットパーク平面図

基調とした豆砂利洗い出し平板に芝目地とし、自然な仕上がり与管理のしやすさを両立させた。また、歩道からのアプローチ部分にウッドデッキを設置して、歩道との境界を明確にした。

夜間は、2基のスポットライト様ポール照明と、3基の埋設照明が、いずれも1/fゆらぎ制御によりガジュマルの樹冠や幹をゆらゆらと照らすとともに、樹木下に置いたスタンディングストーン(地場産材のニービ石)に反射して、和やかでやすらぎのある空間を演出する。さらに、ベンチの正面に張られた金属の反射板が、光の帯を映す仕掛けとなっている。

(3) 国道329号線における照明デザイン(豊見城村真玉橋地区)

① 周辺状況および設計条件

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(図-11)。そこで、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つつやわらかで暖かみのある快適な歩行者空間を創出する。

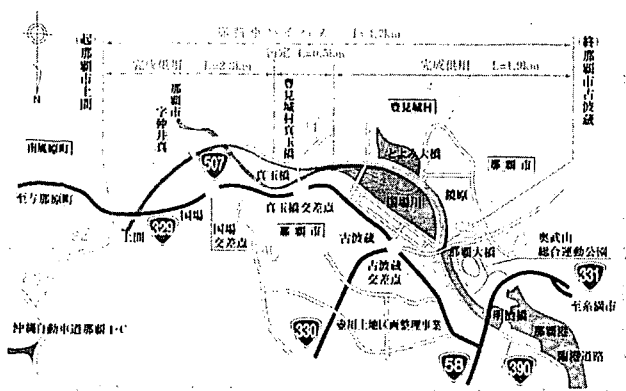


図-11 位置図

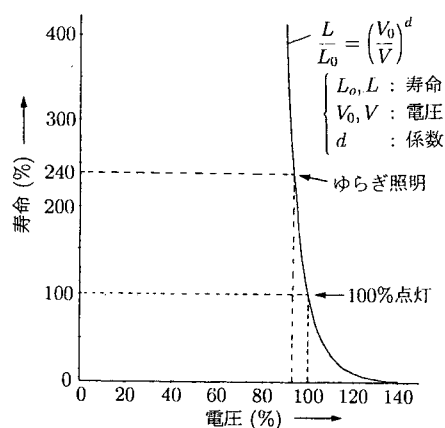


図-12 ゆらぎ照明の寿命曲線(白熱灯)

② デザイン概要

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。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。

ここで使用した電球は、レフレクターランプ(白熱灯)である。現在の調光技術では、白熱灯や蛍光灯はゆらぎ調光が可能であるが、水銀灯のように高輝度の放電灯は、調光の需要が低いこともあってゆらぎ調光を行うことはできない。もっとも、ろうそくの炎のようなゆらぎ照明には、暖かみのある白熱灯の色の方が向いていると言える。

なお、ゆらぎ照明の省エネ効果について検討したところ、一般的な照明(調光なし・100%点灯)に比べて、白熱灯では256段階の調光率において、平均134.05でゆらぎ調光した場合に、消費電力が約75.5%と小さくなり、電球の寿命が2.4倍に長くなることがわかった(図-12)。したがって、ゆらぎ照明では、美しさややすらぎといった心理的な効果のみならず、維持管理費縮減の効果も期待することができる。

5. おわりに

今後、試験施工区間を対象として、CG、模型および現地実験を実施し、1/fゆらぎの導入による快適性向上効果の評価を行う予定である。また、舗装、街路樹、照明以外の構成要素への適用可能性や、ゆらぎ要素の空間的な配置のあり方についても検討を進めたいと考えている。それらの結果については、稿を改めて報告したい。最後に、一般の試験施工に際して支援・協力をいただいた沖縄総合事務局および(株)ゆらぎ研究所に謝意を表します。

参考文献

- 1) 武者利光：ゆらぎの発想, NHK出版, 1994.3
- 2) 武者利光：ゆらぎの世界, 講談社, 1980.10
- 3) 青野文晃、松本直司、瀬田恵之、河野俊樹、武者利光、神谷彰伸：ゆらぎ理論にもとづく街路樹の変化が街路空間の乱雑・整然性および魅力度に与える影響—中心市街地における視覚的乱雑・整然性に関する研究—その11-, 日本建築学会大会学術講演梗概集(関東), 1997.9
- 4) 長町三生：快適科学, 海文堂, 1992.3

小栗ひとみ*



建設省土木研究所環境部
環境計画研究室研究員
Hitomi OGURI

寺川 陽**



同 環境計画研究室長
Akira TERAKAWA

II-3 GISを活用した湖沼流域管理技術に関する研究

湖沼流域環境管理シミュレーションシステム

安陪和雄* 和田一斗** 杉盛啓明*** 寺川 陽****

1. はじめに

流域における土地利用改変等が湖沼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切に推定することが必要である。汚濁負荷源は、一般にポイントソース(特定汚染源)系とノンポイントソース(非特定汚染源)系に分類される。特に、ノンポイントソース系の汚濁負荷は、自然系水循環である降雨・流出現象に加え、土壌・表層地質との化学的な相互作用等を伴いつつ湖沼に流入するため、そのメカニズムを精緻に再現することは現状では困難である。このため、流域別下水道総合計画調査等ではノンポイントソース系の汚濁負荷を簡便に見積もるために山林・市街地・田畑等の土地利用毎に汚濁負荷原単位を設定して算定することが多い。

一方、霞ヶ浦では、関係機関による汚濁負荷削減の努力にもかかわらず、ここ数年改善傾向がみられず環境基準を未だに達成していない。この現状を打開するためには、関係機関のさらなる努力はもとより、行政と市民が一体となって流域の汚濁負荷削減に向けた取り組み(流域環境管理)を実施していくことが不可欠であると考えられる。流域社会を構成するさまざまな主体が共通の問題意識を持ち流域環境管理の実施に向けた合意形成を図っていくためには、流域全体の平均的な汚濁負荷量の見積もりだけでは不十分であり、流域環境を地域の細部にまで踏み込んで視覚化し、解決すべき課題がどこにあり、その解決が全体的な目標達成の上でどんな位置を占めているかについて相互に認識する必要がある。

本研究は、汚濁負荷の面的な流出過程を再現するために、分布型降雨流出モデル¹⁾に汚濁負荷の物質流動を組み込んだ分布型物質流動モデルを構

築し、流域全体の視点からみた湖沼の環境管理に資することを目的とするものである。

2. 対象流域及び流域データの作成

霞ヶ浦流入河川の一つである恋瀬川の恋瀬橋上流域(約15.5km²)を対象流域とした。対象流域の位置を図-1に、GISを用いて作成した流域の鳥瞰図を図-2に、地目別土地利用占有率を図-3に示す。なお、流域データの作成にあたっては、気象水文情報としてAMeDASデータ(毎正時の降水量、気温、風速、日照時間等)、地理情報として国土地理院作成の数値地図データ(標高、土地利用、土壌、表層地質)を用いた。

3. メッシュスケールの選択

市民の参加を念頭においたきめ細かな流域環境管理を行うためには、物質流動の面的再現に際して局所的な情報が要求される場合も十分にあり得るものと想定される。一方、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

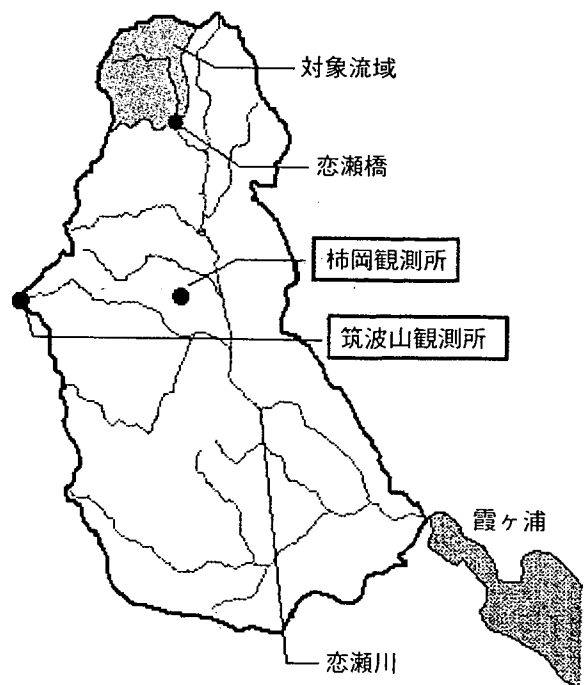


図-1 対象流域

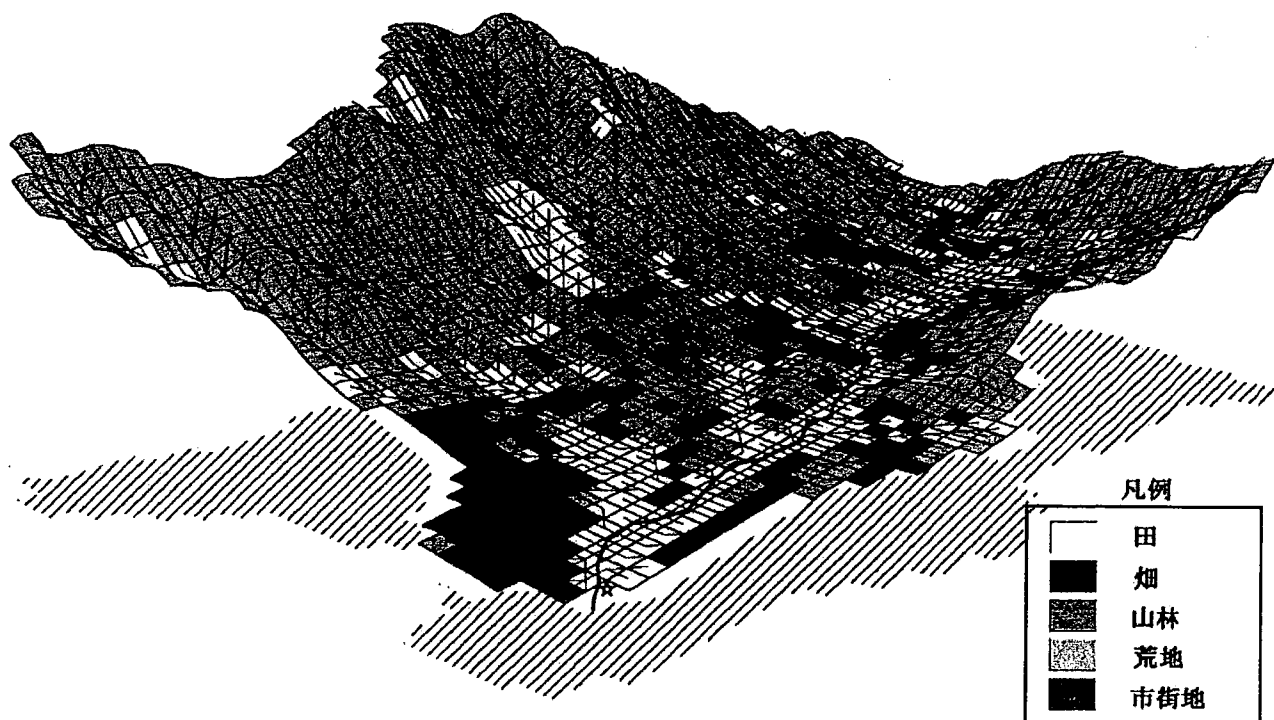


図-2 標高、土地利用、河道、落水線を重ね合わせた鳥瞰図

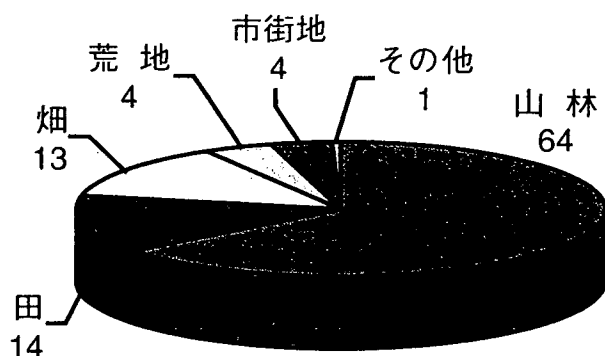


図-3 地目別土地利用占有率 (%)

と考える。そこで、数値地図の標高、土地利用データの精度がそれぞれ 50m、100m メッシュ (正確には、標準地域メッシュ第 3 次地域区画 1/20 細分区画及び 1/10 細分区画) であることも勘案し、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 100m メッシュを選択した。

4. シミュレーション用落水線データの作成

既報²⁾では、猪名川流域における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、水の移動方向を規定する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と 100m メッシュの重なり合う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-4 で当該メッシュ (斜線部分) 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ものとするが、“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、周囲のすべてのメッシュよ

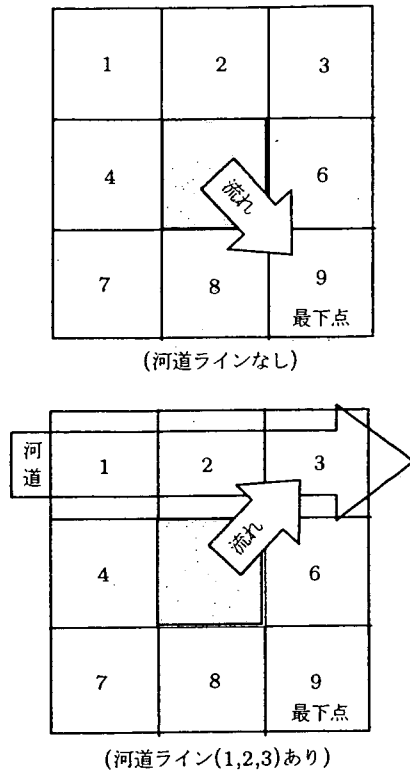


図-4 落水線データ作成の効率化

り低い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 1,539 メッシュ中 5 メッシュであった。

5. 分布型降雨流出モデルの概要

分布型降雨流出モデルの概要を図-5 に示す。本モデルは流域内の各メッシュに 2 段直列タンクを配置し、標高データから発生させた落水線に沿って各流成分(表面流量・中間流量・基底流量)を逐次計算するものである。各タンクのパラメータは、土地利用、土壌、表層地質の水文学的な特性と関連付けることができる。河道内の流下過程は Kinematic wave 法により追跡計算する。

6. 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^{3),4),5),6)}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。

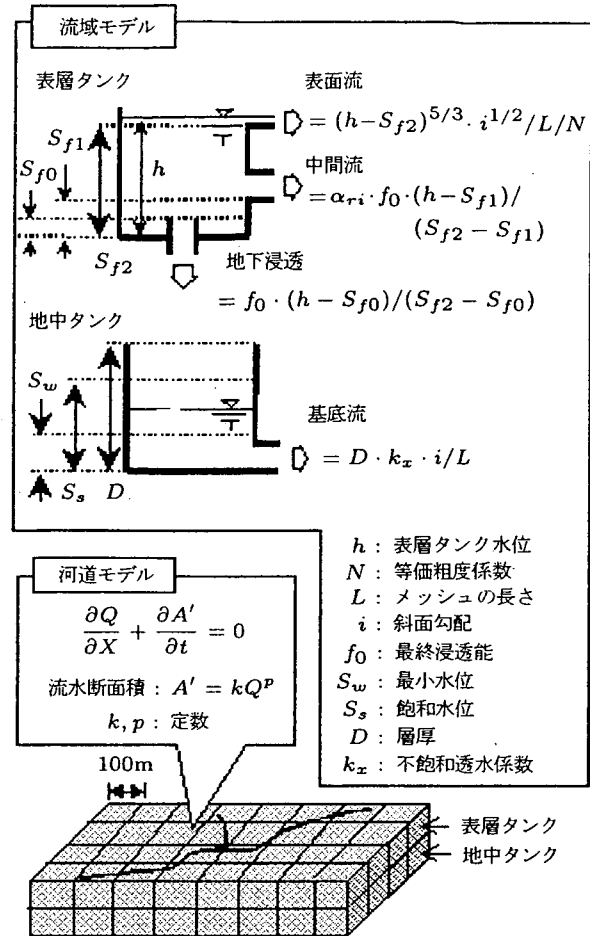


図-5 分布型降雨流出モデル

- 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表面流・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。

なお、対象流域が河川上流部にあること及び土地利用に占める市街地の割合が小さいことから、流域から河川に流出した汚濁負荷は河床に沈殿することなくすべて下流に運ばれるものと仮定している。

7. シミュレーション結果

小洪水時(平成 9 年 12 月 8 日午前 9 時から 24 時間)を対象としたシミュレーション($\Delta t=1$ 時間)を行った。

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

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
$L_1 = K_1 \cdot S^{m_1} \cdot Q_1^{n_1}$	$L_2 = K_2 \cdot D^{m_2} \cdot Q_2^{n_2}$	$L_3 = C_3 \cdot Q_3$
$S = S_0 - L_1 \cdot \Delta t$	$D = D_0 - L_2 \cdot \Delta t$	
$S_0 = S_u \cdot (1 - e^{-K_s \cdot T})$	$D_0 = D_u \cdot (1 - e^{-K_d \cdot T})$	
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/m ³)
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)	

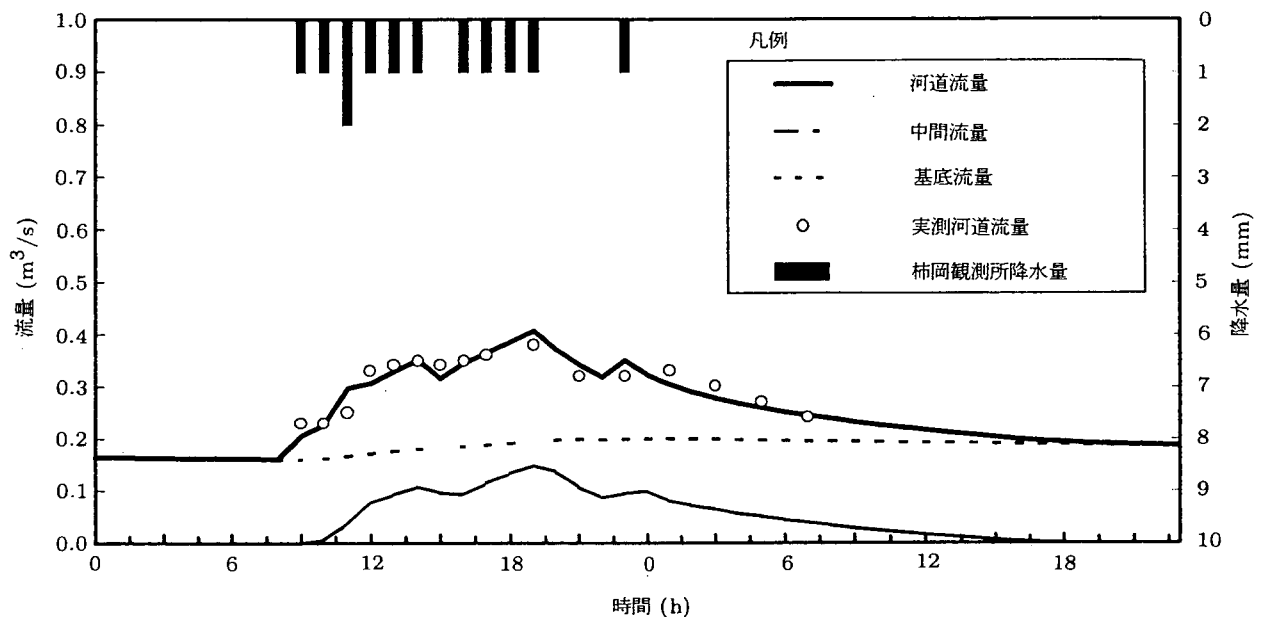


図-6 降雨流出シミュレーション結果

これらの流量を分布型物質流動モデルに入力して各メッシュの流出成分(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、恋瀬川流域全域を対象としたシミュレーション⁷⁾により検証したパラメータをベースに若干の修正(土地利用・土壌・表層地質分類毎に統一)を加えたものを用いている。

図-6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-7に物質流動モデルによる各流出成分を介したCOD負荷量の計算結果と実測COD負荷量の比較を示す。

図-6、7に示した各流出成分は、河道に接している各メッシュから河道に流出する各成分量の合計値である。これらの総和から河道貯留量の単位時間当たりの変化量を差し引いた値が、シミュレ-

ーション地点での河道流量及び河道流出負荷量に等しい。

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ものである。

降雨流出モデルでは、立ち上がり、ピーク、減衰とも実測値とよく合致している。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。

表-2、3に降雨流出モデル及び物質流動モデルに用いたパラメータを示す。

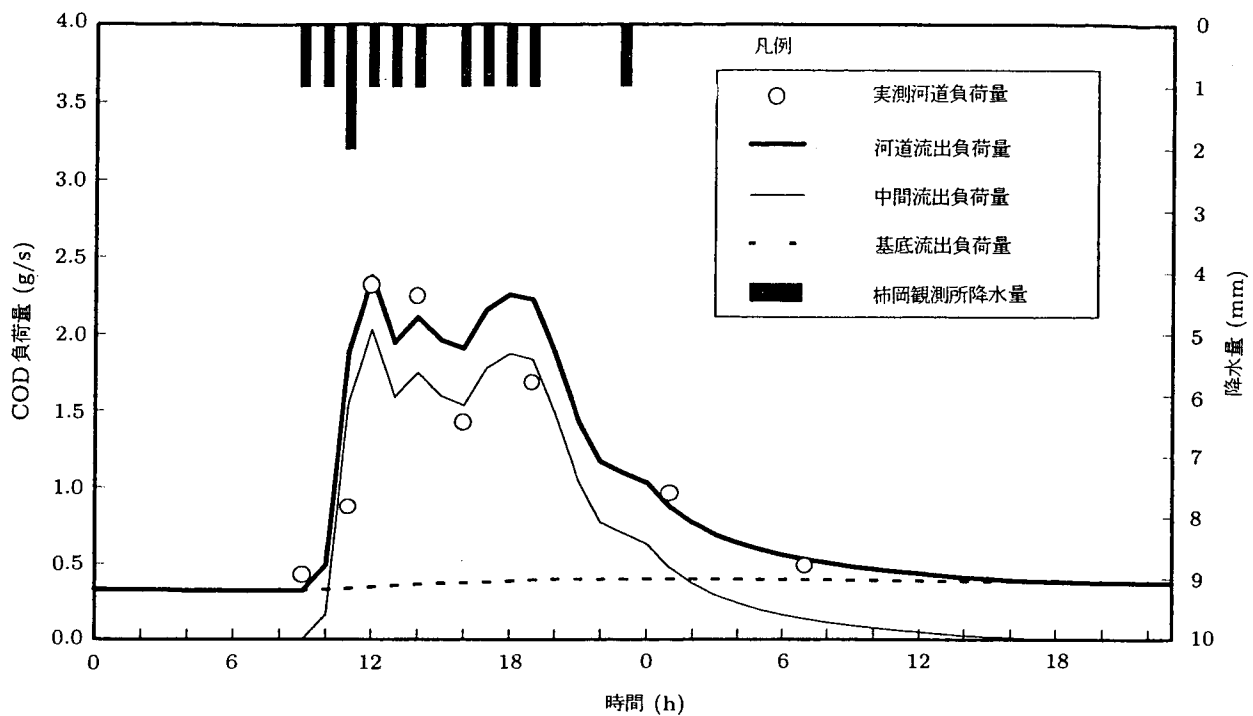


図-7 物質流動シミュレーション結果

表-2 降雨流出モデルパラメーター一覧

表層タンク		単位	土地利用状況				
			山林	田	畑	市街地	その他
最終浸透能	f_0	cm/s	0.008	0.0002	0.002	0.0002	0.004
表面流の発生する高さ	S_{f2}	m	0.150	0.200	0.100	0.030	0.150
中間流の発生する高さ	S_{f1}	m	0.015	0.005	0.005	0.002	0.01
地下浸透の発生する高さ	S_{f0}	m	0.005	0.002	0.002	0.001	0.0005
地表面の粗度係数	N	$m^{-1/3}s$	0.7	2.0	0.3	0.03	0.7
中間流に係る定数	α_{ri}	-	1.5	1.0	1.5	1.0	1.5

地中タンク		単位	浸透能		
			(大)	(中)	(小)
水平方向の透水係数	Kx	cm/s	2.00	0.25	0.08
層厚	D	m	6.0	4.5	3.0
モデル貯留高 S_{s2} に対する飽和水分量	θ_s	-	0.6	0.6	0.6
モデル貯留高 S_{s1} に対する最小水分量	θ_w	-	0.25	0.31	0.45
透水係数～水分量の換算係数	b	-	20	20	20

物質流動モデルにおいては、降雨流出モデルと同様、メッシュ毎に、国土数値情報の土地利用、土壌、表層地質データに対応させて、地表面、表層、地中の各物質流動モデルの各パラメータを変化させることが可能であるが、今回のテストシミュレーションでは、モデルの応答特性を把握することが第一の目的であったため、すべてのメッシュに同一の値を与えている。

8. まとめ

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(小洪水)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。

従来、流域から流出する汚濁負荷量の推定には、

表-3 物質流動モデルパラメーター一覧

地表面物質流動モデル		単位	
係数	m_1	-	1
	n_1	-	1
	K_1	1/d	1
極限堆積量	S_u	mg/m ²	500
堆積速度係数	K_s	1/d	0.02
表層物質流動モデル		単位	
係数	m_2	-	1
	n_2	-	1
	K_2	1/d	1.2
極限堆積量	D_u	mg/m ²	300
堆積速度係数	K_d	1/d	0.02
地中物質流動モデル		単位	
汚濁負荷濃度	C_2	g/m ³	2

土地利用に応じて日々一定の負荷が発生するという前提条件のもとで原単位法が用いられてきている。今回のモデルは降雨流出現象による負荷の変動を表現できる点に特色があるが、モデルによる計算結果と原単位法による推定値との比較検討を行う目的で、茨城県が湖沼水質保全計画を策定する際に使用した原単位を用いて対象流域の汚濁負荷流出量を算定した結果、COD 負荷量は、約1(g/s)となり、これと実測値(図-7)を比較すると原単位法による推定値は晴天時と降雨時の実測値の間に位置し、オーダー的には合致することが示された。

したがって、分布型物質流動モデルにより汚濁負荷流出量の時間的変動を求めて、動的な水質変動を計算するための湖沼水質モデルの入力条件とするとともに、土地利用の異なる流域を対象に数年間にわたり物質流動シミュレーションを実施し、これと原単位法による数年間の流出総量が一致するようにパラメータを設定すれば、両者の推定方

法が相互に生かされるものと考えられる。

なお、ノンポイントソース系の汚濁負荷削減のために市街地等の表面流出の抑制が実効ある対策のひとつであると思われるが、その実態及び対策の効果を評価するためには、原単位法ではおのずと限界があり、地表面・表層・地中の汚濁物質の流動を表現できる分布型物質流動モデルの適用が有効である。

今後は、河川における汚濁負荷の沈殿・再浮上等を表現できる河道内の物質流動モデルの構築を行うとともに、土地利用の異なる流域を対象に物質流動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方法を検討する予定である。

参考文献

- 1) 鈴木俊明、寺川陽、松浦達郎：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，pp.26-31，1996。
- 2) 安陪和雄、丹羽薫、小川和延、杉盛啓明、浦野隆：GISを用いた流域環境管理システム，土木技術資料，Vol.39-5，pp.24-29，1997。
- 3) 山口高志：雨天時合流式下水道からの汚濁流出シミュレーション，土木技術資料，Vol.18-2，pp.15-20，1976。
- 4) 海老瀬啓一、宗宮功、平野良雄：タンクモデルを用いた降雨時流出負荷量解析，用水と廃水，Vol.21-12，pp.46-56，1979。
- 5) 山田淳、梅原龍哉、中部淳：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。
- 6) 市木敦之、山田淳、辰巳直：数値フィルターを用いた降雨時流出汚濁負荷量の成分分離とその流出特性の検討，土木学会第52回年次学術講演会概要集7，pp.6-7，1997。
- 7) 安陪和雄、寺川陽、小川和延、杉盛啓明：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。

安陪和雄*



建設省土木研究所環境部
環境計画研究室主任研究員
Kazuo ABE

和田一斗**



同 環境計画研究室
交流研究員
Kazuto WADA

杉盛啓明***



東京大学空間情報科学
研究センター
(前 環境計画研究室
重点研究支援協力員)
Hiroaki SUGIMORI

寺川 陽****



建設省土木研究所環境部
環境計画研究室長
Akira TERAKAWA

分布型物質流動モデルによる降雨時汚濁流出負荷量の推定

建設省土木研究所 環境計画研究室 正会員 安陪 和雄
 同 上 和田 一斗
 同 上 杉盛 啓明
 同 上 正会員 寺川 陽

1. はじめに

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地域の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切に推定することが必要である。ポイントソース系汚濁源は、主に人間活動に起因するものであるため、年間を通じて流出負荷量はパターン化しており、原単位法による推定が可能である。一方、ノンポイントソース系汚濁源は、降雨量が流出負荷量に大きく影響するため、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。本研究は、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することにより、降雨時におけるノンポイントソース系汚濁負荷の面的な流出過程を推定する手法を開発することを目的とする。

2. 対象流域及び流域データの作成

霞ヶ浦流入河川の一つである恋瀬川の恋瀬橋上流域（約 15.5 km²）を対象流域とした。なお、流域データの作成にあたっては、気象水文情報として AMeDAS データ（毎正時の降水量、気温、風速、日照時間等）、地理情報として数値地図データ（標高、土地利用、土壌、表層地質）を用いた。メッシュスケールは 100m である。

3. 分布型降雨流出モデルの概要^{1),2)}

分布型降雨流出モデルの概要を図-1に示す。本モデルは流域内の各メッシュに2段直列タンクを配置し、標高データから発生させた落水線に沿って各流出成分（表面流量・中間流量・基底流量）を逐次計算するものである。各タンクのパラメータは、土地利用、土壌、表層地質の水文学的な特性と関連付けることができる。また、落水線は途中から河道となるが、河道内の流下過程は Kinematic wave 法により追跡計算する。

4. 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、表面流・

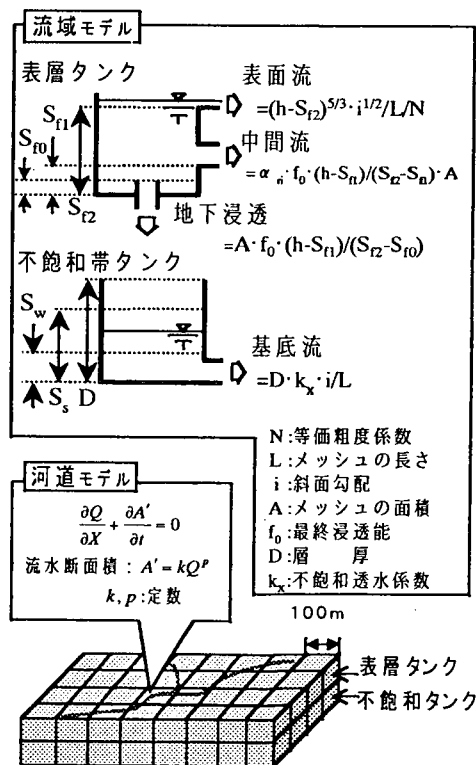


図-1 分布型降雨流出モデル

キーワード：分布型物質流動モデル、流出汚濁負荷シミュレーション、流域管理

連絡先：〒305-0804 つくば市旭1 TEL 0298(64)2269 FAX 0298(64)7721

中間流に比べて無視できるほど小さい。

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。

5. シミュレーション結果

小洪水時（平成9年12月8日午前9時から24時間）を対象としたシミュレーション（ $\Delta t = 1$ 時間）を行った。

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、これらの流量を分布型物質流動モデルに入力して各メッシュの流出成分（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、恋瀬川流域全域を対象としたシミュレーション³⁾により検証したパラメータをベースに若干の修正（土地利用・土壌・表層地質分類毎に統一）を加えたものを用いている。

図-2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-3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。

降雨流出モデルでは、立ち上がり、ピーク、減衰とも実測値とよく合致している。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いない。

6. おわりに

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（小洪水）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、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、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。

表-1 分布型物質流動モデル

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

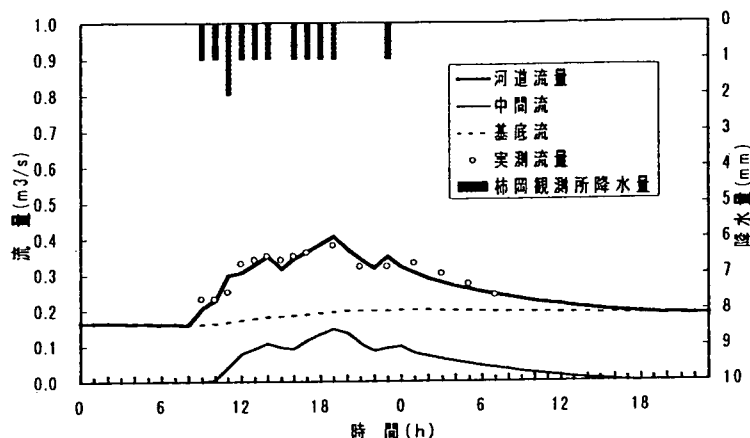


図-2 降雨流出シミュレーション結果

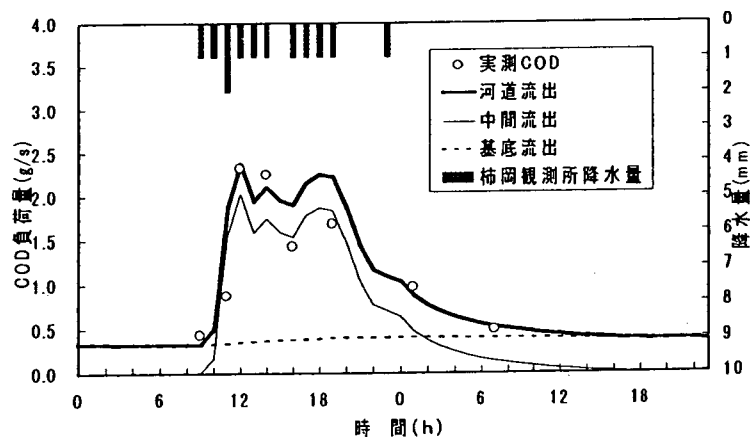


図-3 物質流動シミュレーション結果

<参考文献>

- 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
- 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
- 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回土木計画学研究会発表会講演集(1)，pp.143-146, 1997
- 山田他：晴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

建設省土木研究所	環境計画研究室	安陪	和雄
	同	上	和田 一斗
	同	上	佐藤 一幸
	同	上	寺川 陽
	I T S研究室	浦野	隆

【抄録】本研究は、流域の水循環及びそれに伴う物質流動に関する科学的な情報を、研究者が主体となって行政及び流域住民に幅広く提供する流域水環境データベースのあり方について検討した結果を報告するものである。データベースの構築にあたっては、ユーザー側のニーズと提供者側の開発及び維持管理に要する作業量を勘案しつつ、入力すべきデータ項目及び実現すべき検索機能を選定すべきであり、両者のバランスが極めて重要である。本稿では、試行錯誤を伴う検討の結果到達したデータベース構築手法の一例を示した。特に「G I Sとインターネットの連携」技術の採用により、ユーザーがデータ観測地点の地理的な分布状況を容易に把握するシステム環境が整備された。

【キーワード】情報の共有化、データベース、インターネット、G I S、リレーショナルデータベース、流域管理、水環境、水循環、物質循環、霞ヶ浦

1. 目的

流域における土地利用改変等が湖沼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地域のコンセンサスを得ながら実施していくためには、C O D、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切に推定することが必要である。

霞ヶ浦では、関係機関による汚濁負荷削減の努力にもかかわらず、ここ数年改善傾向がみられず環境基準を未だに達成していない。この現状を打開するためには、関係機関のさらなる努力はもとより、行政と市民が一体となった流域の汚濁負荷削減に向けた取り組み（流域環境管理）が不可欠である。流域社会を構成するさまざまな主体が共通の問題意識を持ち、流域環境管理の実施に向けた合意形成を図っていくためには、流域全体の平均的な汚濁負荷量の見積もりだけでは不十分であり、流域環境を地域の細部にまで踏み込んで視覚化し、解決すべき課題がどこにあり、その解決が全体的な目標達成の上でどのような位置を占めているかについて相互に認識する必要がある。

本研究では、流域環境管理の実施に向けた合意形成を側面から支援することを目的として、まず、霞ヶ浦

流域における水循環及び物質循環に係わる科学的情報を収集、電子データファイル化し、G I Sとインターネットの連携により、ユーザーがデータ観測地点の地理的な分布状況を容易に把握するシステム環境を構築した。また、データのグラフ化及びデータファイル転送機能を付加することにより、ユーザーがデータの具体的内容を容易に把握し、必要に応じてデータファイルを直接ダウンロードできるようにした。

2. プロトタイプ・データベースの概要

著者らは、本データベースの構築に先だって、プロトタイプ・データベース¹⁾の構築を行った。

今回報告するデータベースの構築にあたっては、そこで得られた経験が生かされているため、まず、著者らが過去に構築したプロトタイプ・データベースの概要について説明する。

プロトタイプ・データベースは、「リレーショナルデータベースとインターネットの連携」に主眼を置いたWWW・リレーショナル・データベースである。

リレーショナル・データベースにデータセットを格納することにより、通常の階層的な検索に加えて、リレーショナル・データベースの標準言語であるS Q L

言語を用いて柔軟性のある条件検索（例えば、“日雨量10mm以上”といった条件でのデータ検索）が可能となる。

図-1, 2に、通常の階層的な検索とSQLによる条件検索の操作例を示す。

図-3にシステム全体の構成を示す。

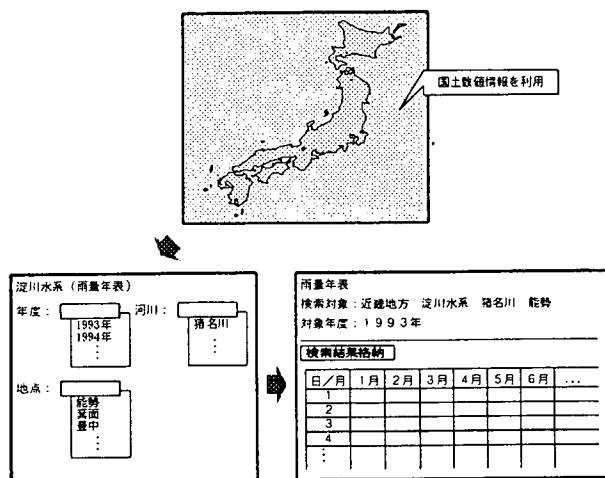


図-1 通常の階層的な検索の操作例

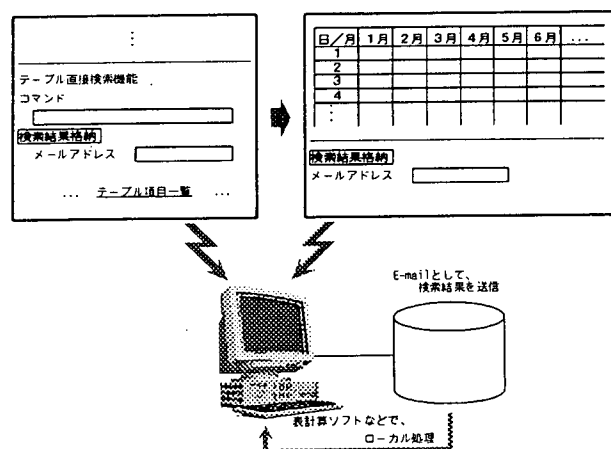


図-2 SQLによる条件検索の操作例

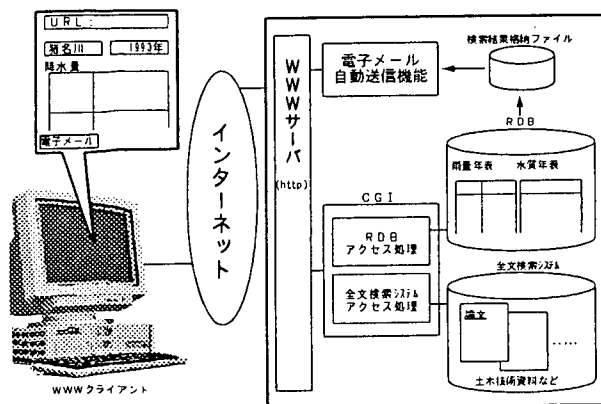


図-3 プロトタイプ・データベースの構成

3. プロトタイプ・データベースの評価

リレーショナル・データベースのメリットであるSQLによる条件検索は、各データ項目についてデータ量が膨大である場合にメリットを発揮する。

プロトタイプ・データベースでは、全国の一級河川流域の水文・水質データ公開のために最適なシステム環境の実現をデータベース構築の目的としていた。

全国の一級河川流域では、雨量、流量、水質等を多数の観測地点で長期間観測しており、そのデータ量の蓄積は膨大である。このため、プロトタイプ・データベースにおいてリレーショナル・データベースを採用したことは合理的な判断であったといえる。

ただし、リレーショナル・データベースの検索機能は確かに優れたものであるが、ここで用いたリレーショナル・データベース・ソフトの取り扱いは、通常のPC使用者にとって決して容易なものではない。

したがって、システムの変更、あるいは、維持更新等に際して、ソフトに精通している技術者による多大な作業が必要とされるため、研究所の資産として維持していく上で大きな負担になると想定される。

すなわち、データベースの構築にあたっては、ユーザー側のニーズと提供者側の開発・維持に要する負担を勘案しつつ、入力すべきデータ項目、実現すべき検索機能を選定すべきであり、両者のバランスが極めて重要であることが認識された。

4. データベース構築手法の方向転換

上述の経緯を踏まえ、流域環境管理への適用を目指したデータベースの構築にあたっては、将来の更新も含めた研究室の作業負担を最小にできるようなシステム環境の実現に主眼を置いた。

特に、著者らは、GIS技術の流域環境管理への適用可能性をテーマの一つとして研究を進めていることから、「インターネットとGISの連携」をテーマにGIS技術のデータベースへの適用可能性について検討することとした。

ケーススタディ流域を霞ヶ浦流域を設定し、GIS技術のデータベースへの適用可能性と併せて流域の水循環及び物質流動に係る科学的情報を行政、市民に提供する流域水環境データベースのあり方を検討することとした。

プロトタイプ・データベースでは、雨量、流量、水

質等の自然系の水循環及び物質流動に係るデータを対象としたが、新しく構築するデータベースではさらに人工系の水循環及び物質流動にまで対象を広げた。新たに収録することとした具体的なデータ項目は、生活・工業・農業用水取水量、生活・工業用水使用量、生活・工場・事業所・畜産・水産・面源系汚濁負荷量である。一方で、流域を霞ヶ浦に限定したため、対象となる水循環及び物質流動データの規模は顕著に小さくなった。

このため、データ項目が倍以上に増えたものの、各データ項目のデータ量が小さくなったため、SQLによる条件検索の必然性が薄れた。

5. WWW・GIS・流域水環境データベースの概要

(1)データベースのシステム構成

図-4に今回構築したデータベースのシステム構成を示す。

プロトタイプ・データベースでは、リレーショナル・データベース・ソフトがEWS用であったが、今回採用したGISソフトは、開発及び更新の容易性に配慮してPC用を採用している。

インターネットとGISソフトを連携するために、GISソフトの拡張機能ソフトを採用した。

(2)データ項目及び入力データ

データベースのデータ項目及び入力データを表-1に示す。

(3)データファイルの作成

(2)のデータ項目について、汎用的な表計算ソフトにデータを入力し、データ取得地点別にデータファイルを作成した。

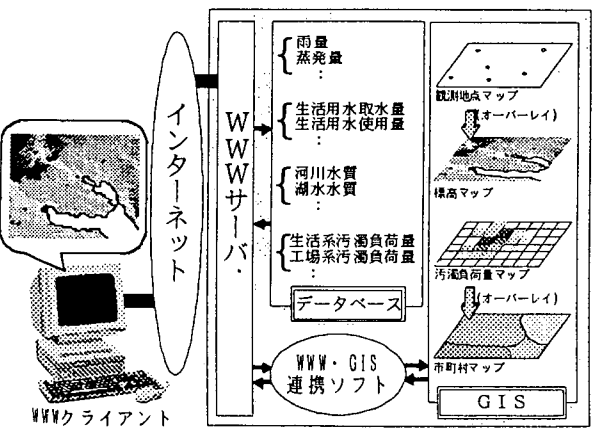


図-4 データベースの構成

(4)データの視覚化

データファイルのテキストデータだけではデータの具体的内容の把握が容易ではないため、表計算ソフトのグラフ作成機能を利用してデータの視覚化に努めた。なお、これらのグラフについては、インターネット上で閲覧が可能であるようにhtml形式に変換した。

(5)GISとインターネットの連携

流域水環境データベースにおけるGIS利用のメリットとしては、観測地点等の位置情報がGISに入力された時点で、その後どのような縮尺の地図を作成しても、その位置を正確に表示できるという点にある。

座標を伴わない単なる絵としての地図とは異なり、GISのモニター画面上では、観測地点等の位置情報を正確に表示しつつ、地図の必要な部分の拡大、縮小等が自在にできるため、位置情報の正確な把握に有効である。

そこで、(2)のデータ項目別に観測地点等の位置情報マップをGIS上で作成するとともに、GISとインターネットを連携するソフトにより、ユーザーがインターネットを介してデータ項目別のデータ位置情報マップにアクセスできるようにした。また、ユーザーがモニター画面上の観測地点等をクリックすると(3)で構築したデータの具体的内容を視覚化したグラフ等にジャンプできる機能をもたせた。

(6)ファイル転送機能の付加

(5)で作成した位置情報マップの観測地点からジャンプできるメニューの一つとして、(3)で作成したデータファイルの内、公開が可能なデータについては、

表-1 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	霞ヶ浦工事事務所資料	観測地点
		蒸発量	〃	〃
		風向・風速	〃	〃
		河川流量	〃	〃
		湖水位	〃	〃
	人工系	生活用水取水量	〃	市町村
		生活用水使用量	茨城県資料等を加工	〃
		工業用水取水量	霞ヶ浦工事事務所資料	〃
		工業用水使用量	茨城県資料を加工	〃
		農業用水取水量	霞ヶ浦工事事務所資料	観測地点
物質流動	自然系	河川水質	茨城県資料	〃
			霞ヶ浦工事事務所資料	〃
			市町村資料	〃
			土研資料	〃
		湖水水質	茨城県資料	〃
	人工系	生活系汚濁負荷	〃	市町村
		工場系汚濁負荷	〃	〃
		事業系汚濁負荷	〃	河川流域
		畜産系汚濁負荷	〃	市町村
		水産系汚濁負荷	〃	湖ブロック
		面源系汚濁負荷	〃	市町村

ユーザーにファイル転送する仕組みを付加した。

図-5に本データベースの検索例を示す。

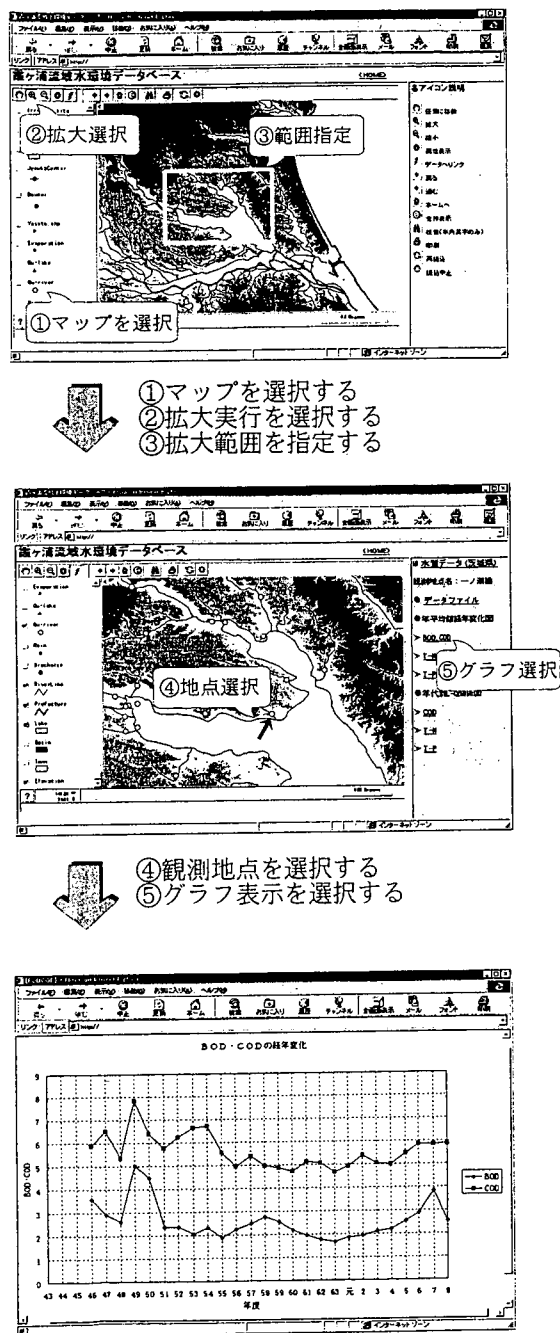


図-5 データベースの検索例

6. WWW・GIS・データベースの評価

WWW・GIS・データベースの特徴は、ユーザーがブラウザ上でGISのメリットを享受できることにある。

今回構築したWWW・GIS・データベースで実現できるGIS機能は、基本的には、地図の拡大、縮小、

及び移動に限られている。これは、採用したインターネットとGISを連携するソフトウェアの機能をそのまま使用していることによる。

この機能の価値は、ユーザーのニーズによって異なるが、例えば、観測地点の位置を正確に知りたい場合には、地図を拡大し、観測地点の分布状況を知りたい場合には、地図を縮小するなどの使い方が考えられる。

当初は予想していなかったメリットとして、表計算ソフトによって作成されたグラフをhtml形式に変換することにより、クリック後のグラフの出現速度が格段と向上したことがあげられる。

7. まとめ

霞ヶ浦流域でのケーススタディを通じて、流域環境管理の支援を目的としたWWW・GIS・流域水環境データベース構築の方向性を示した。

流域水環境データベースは、表-1に示したようにデータ項目のみならずデータ取得機関も多岐に渡る。また、その多くが電子データファイル化されておらず新たにデータ入力する煩雑さが伴う。

将来的には、各データ取得機関が個々にWWW・水環境データベースを構築し、ネットワークを通じてユーザーが各データベースにアクセスできる環境、すなわち、分散型データベースのシステム環境が望ましいが、今回の研究により、多くのデータをひとつの土俵で取り扱うための具体的手法を提案できたと考えている。

今後は、収録データの充実を図るとともに、流域環境管理に係わる行政担当者等からの外部評価をふまえて、使い勝手を向上させるための改良を図りたい。

なお、本研究は、科学技術振興調整費「地球観測データのデータベース化に関する研究(H6~10)」の1テーマである「建設環境情報のデータベース化に関する研究」の一環として実施したものである。

参考文献

- 1) 安陪和雄、丹羽薫、小川和延、杉盛啓明、浦野隆：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

GISを活用した霞ヶ浦流域水環境データベースの構築

1. はじめに

霞ヶ浦流域は、3県43市町村にまたがるエリアに、約95万人が生活を営み、農業、工業、畜産業、水産業等の経済活動が盛んに行われています。流域面積約2,100km²のうち、霞ヶ浦の湖面積はその約1割にあたる210km²に過ぎず、平均水深も約4mと浅いため、流域の人間活動は霞ヶ浦に大きな環境負荷をもたらしています。このため、国・県・市町村等の各行政機関は、それぞれの立場で霞ヶ浦の水質保全のために各種施策を実施しています。

関係各機関が互いに連携を図りながら、総合的な水質保全対策を効果的に推進するためには、流域の水循環及びそれに伴う物質流動の現状について共通の認識を有することが重要です。しかしながら、共通のデータベースが整備されていないために、他の機関がどのようなデータを取得しているかについて把握することは容易ではないのが現状です。もし、関係各機関でデータベースを共有することができれば、データ取得の二重投資が未然に回避されるとともに、他機関の取得データを有効に利用することが容易になるはずです。

表-1 データベースの概要

データ項目			データ	主題図
大分類	中分類	小分類		
水循環	自然系	雨量	日・雨量	雨量・観測地点・位置表示マップ
		蒸発量	日・蒸発量	蒸発量・観測地点・位置表示マップ
		風向・風速	日平均・風向風速	風向風速・観測地点・位置表示マップ
		流量	日・流量	流量・観測地点・位置表示マップ
		水位	日平均・水位	水位・観測地点・位置表示マップ
	人工系	生活用水取水量	日・取水量	生活用水取水量・観測地点・位置表示マップ
		生活用水使用量	水源別・年・使用量	生活用水使用量・市町村・円グラフマップ
		工業用水取水量	日・取水量	工業用水取水量・観測地点・位置表示マップ
		工業用水使用量	水源別・年・使用量	工業用水使用量・市町村・円グラフマップ
		農業用水取水量	日・取水量	農業用水取水量・観測地点・位置表示マップ
物質流動	自然系	河川水質	水質	河川水質・観測地点・位置表示マップ
		湖水水質	〃	湖水水質・観測地点・位置表示マップ
	人工系	生活系 (し尿) 負荷量	日・COD・TN・TP	①生活系(し尿)負荷量・メッシュ・グラデーションマップ
			〃	②生活系(し尿)負荷量(未処理)・メッシュ・グラデーションマップ
			〃	③生活系(し尿)負荷処理量・メッシュ・グラデーションマップ(②-①)
		生活系 (雑排水) 負荷量	〃	④生活系(雑排水)負荷量・メッシュ・グラデーションマップ
			〃	⑤生活系(雑排水)負荷量(未処理)・メッシュ・グラデーションマップ
			〃	⑥生活系(雑排水)負荷処理量・メッシュ・グラデーションマップ(⑤-④)
		工場系負荷量	〃	⑦工場系負荷量・メッシュ・グラデーションマップ
		事業所系負荷量	〃	⑧事業所系負荷量・メッシュ・グラデーションマップ
		畜産系負荷量	〃	⑨畜産系負荷量・メッシュ・グラデーションマップ
		水産系負荷量	〃	⑩水産系負荷量・メッシュ・グラデーションマップ
		面源系負荷量	〃	⑪面源系負荷量・メッシュ・グラデーションマップ
		合計負荷量	〃	⑫合計負荷量・メッシュ・グラデーションマップ (①+④+⑦+⑧+⑨+⑩+⑪)
		下水処理施設	年平均・水質・放流量	下水処理施設・位置表示マップ
		し尿処理施設	-	し尿処理施設・位置表示マップ
		ごみ処理施設	-	ごみ処理施設・位置表示マップ
基礎データ			土地利用分類	土地利用・メッシュ・分類表示マップ
			標高	標高・メッシュ・グラデーションマップ
			土壌・表層地質分類	土壌・表層地質・メッシュ・分類表示マップ

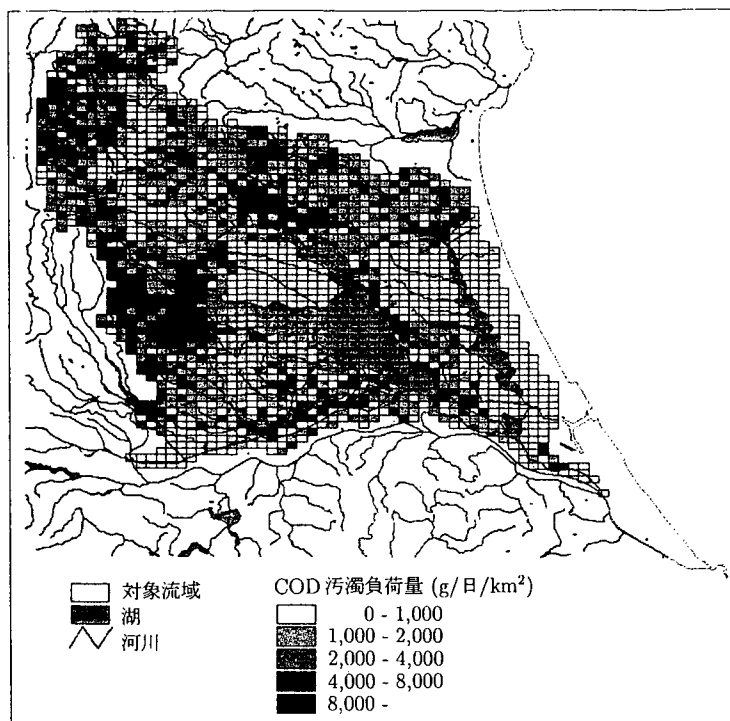


図-1 生活系(し尿)負荷量・グラデーション・マップ(H7)

環境計画研究室では、GISを活用して、各機関のデータを位置座標系という共通の土俵で整理し、霞ヶ浦流域の水環境をグラフィカルに表示する主題図を作成するとともに、これをデータベース化して外部公開するシステムの構築を進めています。

2. データベースの概要

表-1は、現在構築を進めているデータベースの収録内容の概要です。

ここでデータベースに収録した主題図のうちいくつかを紹介します。

2.1 観測地点及び施設・位置表示マップ

観測地点及び施設の位置データ(ポイント：点)をGISに入力して、位置表示マップを作成します。雨量等の時系列データは表計算ソフトに入力し、GISのリンク機能を用いて、位置データとリンクさせます。

2.2 用水使用量・市町村・円グラフマップ

市町村の位置データ(ポリゴン：多角形)をGISに入力して、市町村マップを作成します。各市町村の位置データに対して生活及び工業用水使用量を水源別に入力します。

GISの主題図作成機能を用いて、市町村マップの上に用水使用量(円の大きさ)及び水源別の取水割合を示す円グラフを表示します。

2.3 負荷量・メッシュ・グラデーションマップ

メッシュの位置データ(ポリゴン：四角形)をGISに入力して、メッシュマップを作成します。各メッシュの位置データに対して汚濁負荷原単位データに基づいた生活(し尿、雑排水)、工場、事業所、水産、面源系の負荷量を入力します。

GISの主題図作成機能を用いて、各メッシュの負荷量の大小に各メッシュの色彩が対応するグラデーションマップを発生させます。

図-1に生活系(し尿)負荷量・メッシュ・グラデーションマップ(表-1・①)を示します。

3. インターネットによる外部公開

GISで構築したデータベースをインターネットにより外部公開するためには、GISとインターネットを連携するソフトウェア

が必要です。近年のインターネットの急速な普及を受けて、複数のソフトウェアメーカーにより、こうしたシステム環境を実現するソフトウェアが提供されつつあります。本研究でも、この種のGIS拡張機能ソフトを用いて、GISとインターネットの連携を図りました。

これにより、外部ユーザーは、自らのPCからデータベースにアクセスすることにより、必要に応じて主題図を拡大、縮小、移動、オーバーレイしながら閲覧することができます。

4. おわりに

データベース構築にあたっては、関係行政機関を訪問し、データを収集する作業を繰り返してきました。

将来的には、各機関が自ら取得した最新データを自らのPCからインターネットを介して共通の流域水環境データベースに直接入力する等のクライアント・サーバ型データベースへの移行が望まれます。

建設省土木研究所環境計画研究室 正員 和田一斗

正員 安陪和雄

佐藤一幸

正員 寺川 陽

1. はじめに

GIS (Geographic Information System: 地理情報システム) は、地球の表面を覆う共通の位置座標系を接点に諸々の情報をコンピューター処理するシステムである。GISを活用して所定の目標を達成するためには、適切な空間データモデルを選択してGISデータベースを構築するとともに、選択したシミュレーションモデルが正常に作動するようにGISデータベースから必要な情報を抽出するシステムの構築が必要である。本稿では、湖沼流域環境管理システムにおけるベクトル型データモデルの適合性、及び、GISデータベースからシミュレーション流域を自動的に作成するシステムについて検討した結果を報告する。

2. 空間データモデル

空間データモデルは、一般に、ベクトル型データモデルとラスタ型データモデルに分類される。

(1)ベクトル型データモデル

ベクトル型データモデルは、点・線・多辺形により構成される。国土数値情報の水文観測所・河川・湖沼位置データ等はこれらの要素により構成されており、この空間データモデルは、地図フィーチャーの表現に優れている。国土数値情報・湖沼位置データ¹⁾を例にとると、湖沼位置を表現する多辺形は、データファイル内では、図-1のように保管されている。

2次 メッシュ コード	ユニット領域		湖沼 番号	始 終 点 タ グ	2次メッシュ 正規化位置	
	左隅下				ξ	η
	緯度	経度				
534001	4007300	352000	1077	03	0.24315	0.88600
534001	4007300	352000	1077	00	0.23891	0.88659
534001	4007300	352000	1077	00	0.23503	0.88738
534001	4007300	352000	1077	00	0.23983	0.87693
534001	4007300	352000	1077	00	0.24259	0.88048
534001	4007300	352000	1077	04	0.24315	0.88600
...	...	...	...	...	...	...

図-1 湖沼位置データ (抜粋)

(2)ラスタ型データモデル

ラスタ型データモデルは、同形状・同面積のメッシュにより構成される。数値地図の標高データ、及び、国土数値情報の土地利用・土壌・表層地質分類データ等は、全国を等分割したメッシュシステムにより構成されており、面的に分布するデータの表現に優れている。国土数値情報・土地利用分類データ²⁾を例にとると、土地利用分類を表現する各メッシュは、データファイル内では、図-2のように保管されている。

3次メッシュコード	土地利用コード								
	1	2	3	4	...	98	99	100	
53400000	08	05	05	05	...	05	10	10	
53400001	05	05	05	05	...	05	05	01	
53400002	05	05	05	05	...	05	05	05	
53400003	08	01	01	02	...	12	01	01	
53400004	01	08	01	01	...	01	08	05	

図-2 土地利用分類データ (抜粋)

3. 空間データモデルの選択

湖沼流域環境管理においては、流域の現状把握、将来予測等において行政と市民が合意形成することが不可欠である。このためには、流域の細部にわたって諸々の情報を視覚化する必要があり、点・線・多辺形を正確に表現できるベクトル型データモデルを基本とする必要がある。

一方、ラスタ型データモデル上の各メッシュは、ベクトル型データモデル上では、四辺形として保管することができるので、ベクトル型データモデルを基本とすることでこれらの空間データモデルを統合することができる。これにより、観測地点、河川、湖沼等の地図フィーチャーと標高、土地利用・土壌・表層地質分類等のメッシュ情報を重ね合わせることが可能となり、一つの主題図により多くの情報を効果的に表示することができる。

キーワード: GIS、データベース、シミュレーションモデル、流域管理 連絡先: 〒305-0804 つくば市旭1 TEL 0298(64)2269

4. シミュレーション流域作成システムの構築

本研究で構築を進めている湖沼流域環境管理システムでは、種々の対策の効果を定量的に評価するためのシミュレーションモデルとして分布型物質流動モデル³⁾を選択している。このモデルの特徴は、降雨流出に伴う物質の移動をメッシュ単位で表現するところにある。

以下に、標高、土地利用・土壌・表層地質分類データから分布型物質流動モデルを作動させるのに必要な情報を抽出するシミュレーション流域作成システムの概要を記す。

(1)流域メッシュ作成

これは、シミュレーション流域の基礎となる流域メッシュデータを作成する作業である。システム上では、所定のメッシュスケールを選択してメッシュデータを作成するとともに、このデータと流域界データとを重ね合わせ、流域を面積で50%以上包含するメッシュデータを抽出するようにした。

(2)メッシュスケール変換

これは、標高、土地利用・土壌・地質分類のオリジナルメッシュスケールを(1)で選択したメッシュスケールに変換する作業である。標高データは約50m四方メッシュ、土地利用分類及び土壌・表層地質分類データはそれぞれ約100m、1km四方メッシュで作成されている。

(3)属性データ再分類

これは、(2)でスケール変換された土地利用・土壌・表層地質分類を物質の浸透能力に応じて3～5項目程度

に再分類する作業である。それぞれのオリジナルデータは、12、49、24項目に分類されている。

(4)落水線データ作成

これは、(1)でスケール変換された標高データから物質の流動方向を規定する落水線データを作成する作業である。図-3に示すように、システム上では、ユーザーが自動発生させた落水線データと既存の河川位置データを重ね合わせつつ窪地の処理を実行できるようにした。

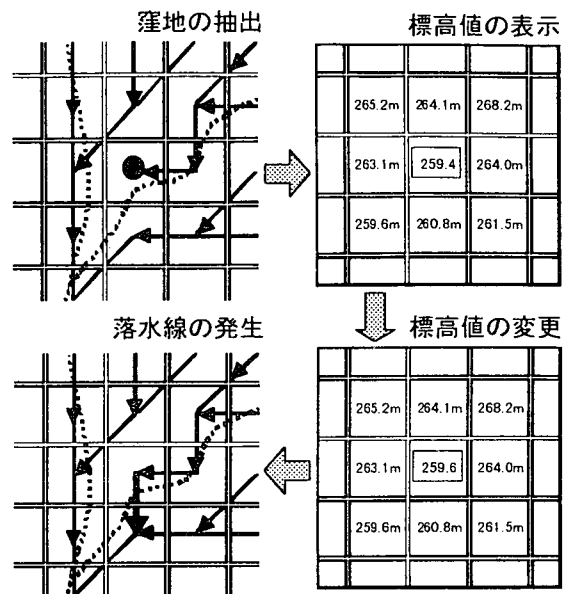


図-3 窪地の処理操作フロー

4. おわりに

我が国は、国土数値情報等の計画的な整備によりGISデータが着実に蓄積されつつある。一方、種々のシミュレーションモデルとGISデータを連携するソフトウェアの開発が進んでいないため、GISデータの利活用が不十分な現状にある。今後、各方面で、GISデータの利活用を促進することを意図したソフトウェアの開発が望まれる。

参考文献

- 1), 2) 建設省国土地理院監修：数値地図ユーザーズガイド（改訂版），pp153-154, pp205-206, 1994
- 3) 安陪和雄、和田一斗、杉盛啓明、寺川陽：湖沼流域環境管理シミュレーションシステム，土木技術資料 Vol.40-8, pp20-25, 1998



International Conference on Quality, Management and Availability of Data for Hydrology
and Water Resources Management

Koblenz, Federal Republic of Germany
22 - 26 March 1999

Lake watershed GIS data base for lake water quality management

Akira Terakawa, Kazuo Abe

Environmental Planning Division, Public Works Research Institute

1 Asahi Tsukuba Ibaraki, Japan 305-0804

Introduction

Reduction of point and non point source pollutants flowing into the lake is the essential measure to improve lake water quality. It should be noted that various stake holders in the watershed should have common understanding on the pollutants source : the distribution and the course to flow into the lake, in order to build consensus among the people in the watershed on the purpose, effect and importance of various pollutants reduction measures. Integrated approach based on the cooperation between administrative organizations with the consensus among the people in the watershed might be often time consuming, but would be a shorter way to effectively achieve a goal for a better management of lake water quality.

The data and information concerning hydrological cycle in the watershed is distributed over a wide range, which include (1) geographic data such as topography, geology, surface soil, land use, administrative boundary and population (2) meteorological data such as precipitation, temperature, wind speed and sunshine (3) hydrological data such as river discharge and water quality and (4) operational data related to man-made facilities such as water resources development facilities, water supply facilities for municipal, agricultural and industrial use and wastewater treatment facilities. There are many administrative organizations in the national, prefectural and municipal level. For example, in Japan, in the national government level, Ministry of Construction is in charge of geographical mapping data and hydrological data, while Meteorological Agency is in meteorological data. Water resources development facilities and waste water treatment facilities are within jurisdiction of the Ministry of Construction, while municipal, agricultural and industrial water supply facilities are each within the jurisdiction of the Ministry of Health and Welfare, Ministry of Agriculture and Ministry of International Trade and Industry.

For the integrated watershed management based on the understanding of watershed conditions as a whole, it is often necessary to display and/or analyze the related data collected by the different organizations. GIS data base would serve as an effective tool for compiling various data related to watershed aquatic environment using location as index.

This paper is on the development and utilization of the GIS data base for Lake Kasumigaura basin (lake area = 168km², basin area = 2,157km²), which aims at applying for lake water quality management.

GIS data base for Lake Kasumigaura watershed

GIS data base for Lake Kasumigaura basin has been developed, as a research project, aiming at sharing data among related national, prefectural and municipal administrative organizations. The system was designed so that users can retrieve various information concerning quantity and quality of water by clicking the point on the map shown on the monitor display, which would be useful for consensus building and/or decision making by providing an overview of present watershed circumstances.

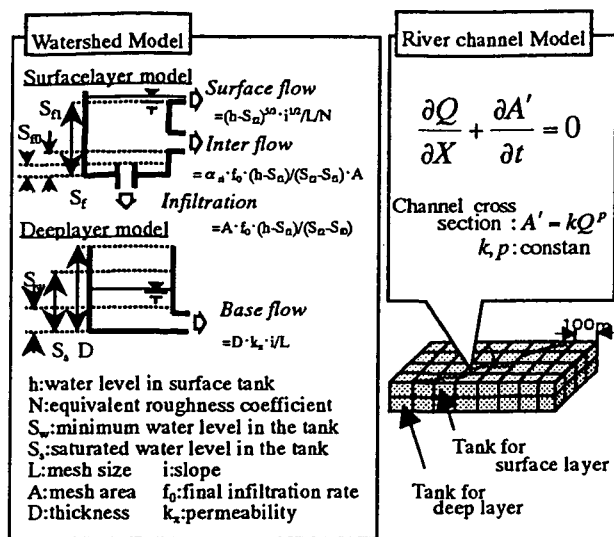
Mesh geographic data for a base map is based on the digital map prepared by Geographical Survey Institute, which covers the area with 50 m mesh for elevation, 100 m for land use and 1 km for surface soil and geology. Point data such as hydrological data are input with location of the observation point, while the areal data such as amount of municipal water supply in each municipality are input with municipal area as location.

For constructing the framework of GIS data base, we adopted EXCEL (Microsoft) as a popular and simple data base software and ArcView3 (ESRI) as a GIS software with rich presentation function, both of which can be run on WINDOWS PC. The reason is that we attached greater importance to easiness of operation and data updating rather than highly advanced analyzing ability. In order for disseminating the contents of data base through Internet Homepage, the data would be transformed into HTML format.

Example of application of GIS data base for lake watershed modeling

GIS data base for lake watershed can be applied for constructing and evaluating a model to simulate water and pollutants movement in the watershed, which is to be a useful tool to estimate the impact of land use change in the basin on lake water quality and to compare the effects of various measures for reducing pollutants load from the basin.

The concept of a distributed parameter model for simulating rain water runoff and consequent pollutant load runoff is as follows. Rainfall input for each mesh is first separated, through a combination of conceptual tanks having several outlet, into 3 components including surface flow, interflow and base flow, which is then flowing down along flow line based on the digital elevation model and produces channel flow. The channel flow is to be routed by kinematic wave method. In the process of identifying the model parameters, it was assumed that each parameter is a function of land use, soil type and surface geology of each mesh, which are stored in the GIS data base. Pollutants load model is based on the assumption that accumulated load on the land surface would be washed away by rain water and flow down through each component of runoff. The another assumption is that the pollutant load rate exponentially increases with river discharge, which is expressed in LQ formula. The structure of the model is shown in Fig. 1.



SurfaceLoadModel	SurfacerlayerLoadModel	UndergroundLoadModel
$L_1 = K \cdot S_m^m \cdot Q_1^n$	$L_2 = K \cdot D^m \cdot Q_2^n$	$L_3 = C_3 \cdot Q_3$
$S = S_0 - L_1 \cdot \Delta t$	$D = D_0 - L_2 \cdot \Delta t$	
$S_0 = S_u \cdot (1 - e^{-K_u \cdot T})$	$D_0 = D_u \cdot (1 - e^{-K_d \cdot T})$	
Q_1 : SurfaceFlow Discharge	Q_2 : InterFlow Discharge	Q_3 : Base Flow Discharge

Fig.1. Structure of the model parameters and is to be expanded to cover whole Kasumigaura Lake basin in the future.

Upper Koise River basin (Basin area = 15.5km²) was taken as a case study area for constructing 100 m mesh distributed parameter model. 64% of the basin is covered by forest and the other land use include paddy field (14%), farm land (13%), urbanized area (4%). Figure 2 shows a bird's eye view of the basin with land use information and generated stream lines based on GIS data base. Example of simulated results in the case of a small rainfall event in 1997 was compared with the actual observed data in Fig. 3. Simulated results could produce the whole shape of pollutant load runoff relatively well. The model would be applied to different rainfall events for checking the reliability of

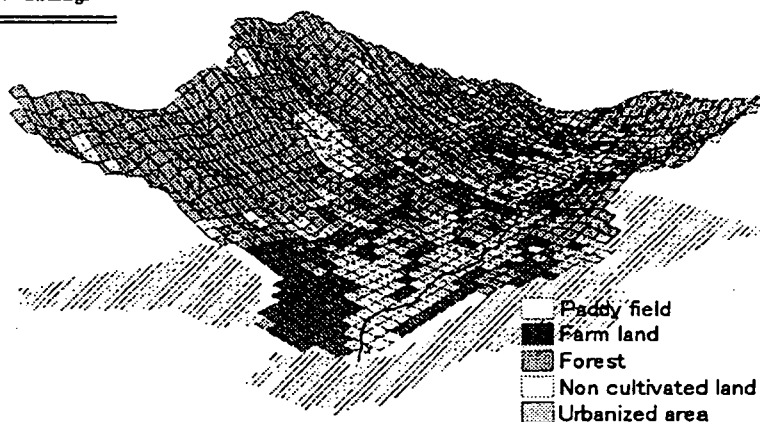


Fig.2. Bird's eye view of Upper Koise River basin

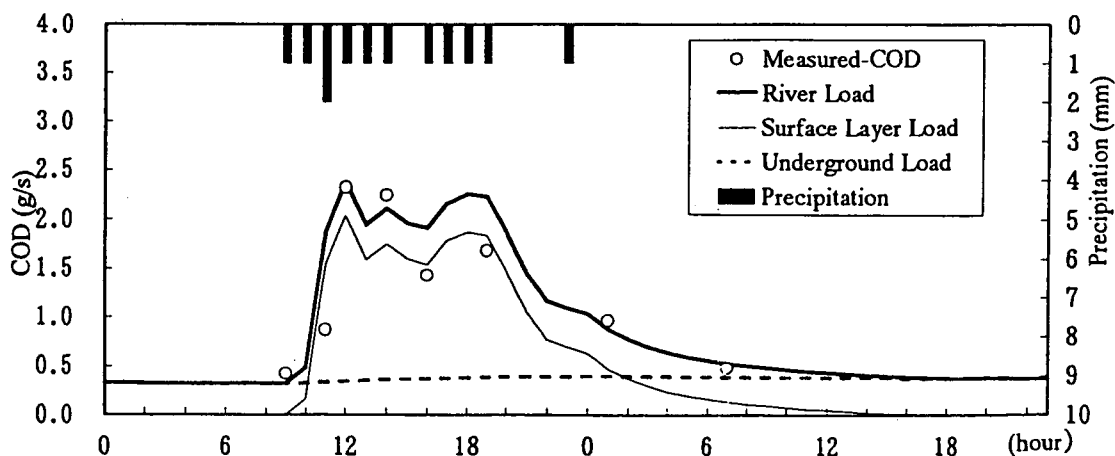


Fig.3. Comparison of simulated result with observed data

Conclusion

Framework of GIS data base for Lake Kasumigaura basin was constructed aiming at providing a tool for comprehensive lake water quality management. Various kinds of data including geographic, meteorological, hydrological and administrative data were stored in the data base, which would be disseminated to public through Internet in near future.

The GIS data base would contribute to build the consensus among various stake holders in the watershed by providing a common information about the present situation and problems to be solved. It also can be used for constructing/evaluating a distributed parameter watershed model, which would serve as a tool to estimate the impact of land use change in the watershed and of various measures for pollutant load reduction on lake water quality.

Reference

- Abe, K., Wada, K., Sugimori, H. and Terakawa, A. : Development of a simulation system for lake watershed management. (in Japanese) Civil Engineering Journal, Vol. 40, No. 8, 1998.
- Suzuki, T. Terakawa, A. and Matsuura, T. : Development of a distributed parameter runoff model for flood forecasting. (in Japanese) Civil Engineering Journal, Vol. 38, No. 10, 1996.

GIS と水文シミュレーションモデルの統合

Integration between GIS and Hydrological Simulation Model

佐藤一幸（東京大・院）*・安陪和雄・和田一斗（建設省土木研究所）

Kazuyuki SATO (Graduate Student of Univ. of Tokyo)

Kazuo ABE, Kazuto WADA (Public Works Research Institute)

キーワード：GIS、水文シミュレーションモデル、流域管理、空間情報

Keywords: GIS, Hydrological simulation model, river-basin management, spatial data

1. 研究の背景

空間情報の標準化に関する議論（国土空間データ基盤推進協議会,1998）がGISの社会的普及の文脈でなされているが、整備されたデータの利活用の側面も重要である。本研究では、流域管理に空間情報を有効利用するため、水文シミュレーションモデルとGISとの統合に関する欧米の研究動向をふまえて、両者を統合するシステムの機能等を検討した。

2. 分布型モデルとGISの統合

水文シミュレーションモデルの分類には大別して、(1)流域の一定のエリアをひとかたまりに捉えた集中型モデルと、土地利用や土壌等の空間的变化を考慮にいたした分布型モデルの分類、(2)パラメータに物理的意義を持たせた physics-based モデルとあくまでもブラックボックスモデルとして扱う概念モデル (conceptual model) の分類がある。分布型モデルは、対象エリアを分割するメッシュサイズ次第では、モデルの適用に問題点があるとする主張もあるが (Beven,1993)、流域の詳細な情報の反映が困難な集中型モデルとは異なり、土地利用の転換等、環境に影響を及ぼす流域の改変を考慮できるという点で、利点がある。

一方、GIS と水文モデルとの統合方法について整理した米国土木学会の調査委員会レポート (ASCE,1998) によれば、GIS 内部でモデルコードを記述する tightly-

coupling の立場と GIS の活用をモデルパラメータの入出力及び結果出力に限定する loosely-coupling の立場とがあり、前者の立場で統合されるべきモデルは集中型モデル、後者の立場では physics-based の分布型モデルが望ましい、と主張している。これは、リレーショナルデータベース構造を基本とする現状のGISにおいては、微分方程式を差分化して解を求める physics-based モデルの扱いが困難であることによる。

3. GISによるモデルインターフェイスの概念設計

本研究においては、既にプロトタイプとして開発された (安陪他, 1997) タンク連結型の分布型モデルを用いてGISによるインターフェイスの概念設計を行った。このモデルは、物理過程を単純化しつつも土地利用や土壌等の属性を考慮できるよう、タンクを空間的に複数配列したもので、semi-physics-based な分布型モデルといえる。

GIS とモデルの統合にあたっては、モデルコードの変更を最小限とするため、GIS の役割をモデルへの入力データの作成・保存と、計算結果のグラフィック表示とする、loosely-coupling の立場をとった。

分布型モデルの適用にあたって問題となるメッシュサイズについては、モデルのメッシュサイズが1 km であるのに対し、入手した空間情報は、標高が50m、土地利用が100m、土壌分類が1 km とグリッド間隔にばら

つきがあることから、1 km に統一する「グリッド間隔変換機能」を備えた。また、統一の際に水/物質の流動性を反映させるため、土地利用、土壌分類などのカテゴリーを集約する「属性データの精度変換・再分類」機能も付加した。さらに、タンクモデル上での流下方向は、メッシュの周囲 8 方向の標高を比較し、窪地を除いた後に自動算出し (Jenson and Dominique, 1988)、実河道のデータと比較して編集可能とする「落水線データの自動作成機能」「窪地処理機能」を備えた。

現状のタンクモデルは FORTRAN で記述されており、入力するパラメータ等はテキストファイル形式である必要があるため、GIS で利用するファイル形式からテキストファイル化する機能も付加した。また、テキストファイルとして出力された結果を、GIS ファイルに変換する機能も付加した。

4. 今後の課題

本研究においては、loosely-coupling の立場に立ったが、表計算で簡易に計算可能なモデルと GIS との tight-coupling を試みる研究の方向性がある。

また、環境影響評価法の施行に伴い、公共事業の実施に際してより科学的な環境影響評価と地域住民へのわかりやすい事業説明が求められる状況をふまえると、代替案の提示にグラフィカルな表現能力のある GIS をツールとして有効に機能させるための研究が必要である。流域管理の一分野として、情報技術を意思決定支援に利用する hydroinformatics (Abbott, 1991) の考え方をはじめとして、ユーザーインターフェイス、シミュレーションモデル、データベースのみならず、エキスパートシステムや、制約条件下での最適政策選択手法をシステムとして統合する研究が進んでおり、既に WATERWARE (Fedra et al., 1996) や NELUP (Dunn et al., 1996) のような実装例も出始めている。このような流域管理のための意思決定支援システムの一環としてどのように GIS を活用していくかについても研究課題である。

参考文献

- 安陪他 (1998) : 湖沼流域環境管理シミュレーションシステム、土木技術資料 40-8, 20-25
- 国土空間データ基盤推進協議会 (1998) : 国土空間データ基盤の整備推進に関する提言書、
- Abbott, M.B. (1991): *Hydroinformatics- Information technology and the Aquatic Environment*, Avebury Technical, Aldershot, U.K.
- Abbott et al. (1993): Comment on 'a discussion of distributed hydrological modelling' by K. Beven, in Abbott, M.B and Refsgaard, J.C. (eds.) *Distributed Hydrological Modeling*, Kluwer Academic Press, Netherlands, 279-287
- ASCE: (1998), GIS MODULES AND DISTRIBUTED MODELS OF THE WATERSHED, final report of the ASCE Task Committee on GIS Modules and Distributed Models of a Watershed
- Beven, K. (1993): A discussion of distributed hydrological modeling, in Abbott, M.B and Refsgaard, J.C. (eds.) *Distributed Hydrological Modeling*, Kluwer Academic Press, Netherlands, 255-278
- Dunn, S.M. et al. (1996): The hydrological component of the NELUP decision-support system: an appraisal, *J or Hydrology*, 177, 213-235
- Fedra, K and Jamieson, D.G. (1996): The 'water ware' decision-support system for river-basin planning, 2. Planning capability *J. of Hydrology* 177-198
- Jenson, S.K and Dominique, J.O. (1988): Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 54-11, 1593-1600

II - 4 湖沼の総合的な富栄養化対策技術
に関する研究

オランダにおける湖沼水質管理の取り組み

平成9年9月16日から28日にかけて、科学技術庁国際研究交流育成制度により、湖沼の生態系を利用した湖沼環境保全技術に関して先導的な研究を行っているオランダ国立陸水管理研究所(RIZA: Rijksinstitute voor Integraal Zetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling)及びRIZAと共同で湖沼の水質保全対策を推進している地域水管理機関を訪問する機会を得ました(訪問先の位置等については図-1参照)。

本稿では、特に印象に残ったことのいくつかを報告したいと思います。

国家的な水管理技術への取り組み

RIZAは、交通・公共事業・水管理省(Ministry of Transport, Public Works and Water Management)に所属する水管理に係る総合的な国立研究機関です。設立は1920年ですが、約30年前に首都アムステルダムから北東約60kmに位置するレリスタッド市(アイセル湖沿岸の干拓地に作られた新都市)に移転して現在に至っています。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おり、職員数は約500名です。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ました。

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報告書をもとに、湖沼水質保全に関する最近の研究成果の紹介を受けました。RIZAではここ10数年来、浅い湖沼において生息する底生魚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先進的な研究を実施しています。これは、自然界の食物連鎖を利用していわば自然の力で富栄養化現象を制するという、ユニークな着眼の技術です。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した。当方から

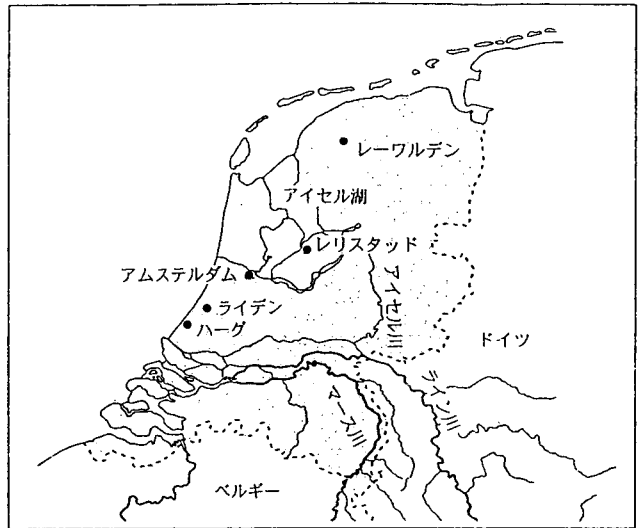


図-1 オランダはライン川及びマース川の下流に位置し、九州とほぼ同じ面積に1,600万人が住んでいる。治水及び水資源の確保の両面で、水管理は国家の生命線となっている。

は、土木研究所の概要並びに湖沼の水質管理を目的として実施してきている流動制御システム及び人工生態礁システムについて研究の現況を紹介しました。人工生態礁システムは広義の生態系制御技術のひとつと位置づけられます。現地視察行程では、ホスパー氏の案内で、1990年に上述の生態系制御技術の導入により水質改善に成功したボルダービード湖、干拓予定地を変更して5×11km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案内してもらいました。

地域の水管理組織

オランダの水管理は全国的に適用する基準の策定や共通的な技術開発・研究については中央省庁(公共事業省)及び付属の研究機関が担当し、各地域ごとの水管理実務は中央政府や地方政府から独立した水管理機関(Water Authority)が担当しています。各水管理機関の長及び評議員会メンバーは地域住民による選挙で選出され、水管理施設の操作や水質規制等大きな権限を有しています。オランダは、国土の25%が海面下に位置する低平地域であるため、水路(運河)で囲まれた各地域ごとに

いわゆる「輪中方式」で洪水氾濫の防止を図ってきました。当初は、この各小地域(ポルダー)ごとに設けられていた水管理機関が、時代の流れとともに整理、統合され、かつて1,000以上あったものが1997年1月1日現在66となっています。今回は、そのうち西部ラインラント州域をエリアとするラインラント水管理機関と、北部フリースランド州をエリアとするフリースランド水管理機関を訪問しました。

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金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ます。主要な水管理機関はいずれも同様な運営形態になっているとのことでした。総合水管理プロジェクトグループリーダーのファンドゥイン女史から湖沼水質保全プロジェクトについて、また、水生生物グループリーダーのフリンキング女史から事例研究としてニーウクープ湖の水生態についてそれぞれ説明を受けました。

水管理機関の建物にある評議員会議を行うための会議室は、周囲の壁の上部に過去の地域水管理上の歴史的な出来事がメモとして彫り込まれています。一番古いものは西暦1206年という表記があり、石造りの文化の息の長さを実感させられました(写真-1)。

ファンドゥイン、フリンキング両女史の案内で、ライデン市から車で約1時間のところにあるニーウクープ湖を訪れ、湖内生態系及び水質改善状況

についての説明を受けました。ここはかつて泥炭を採掘した跡地に水がたまってできた湖だそうですが、現在では自然湖沼の趣を呈しています。ちなみに、この湖で調査用等に用いているボートは、環境汚染防止のため電気駆動タイプでした。特別の免許なしに運転でき、1回の充電で4時間航行可能だそうです。

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、ナニューウィード湖における水質保全対策施設の現地案内をしてもらいました。ナニューウィード湖では、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ます。職員総数約340人のフリースランド水管理機関は、現在2つの建物に分かれているのを、1998年度に現在市の西部に新築中のビルに統合移転する予定だそうです。州域の河川・湖沼における数百の地点での定期的な採水及び水質分析を直営体制で行って、水質年表の形で報告することが機関の主な任務のひとつであるため、4階建ての本部庁舎の4階ワンフロアに有機塩素化合物をも含む各種の自動水質分析装置がずらりと並べられていました。また、流域の生態系を長期的にモニタリングする目的で、流域で採取されたプランクトンや水生植物の実物標本をファイルして体系的な保存を進めているのが印象的でした(写真-2)。

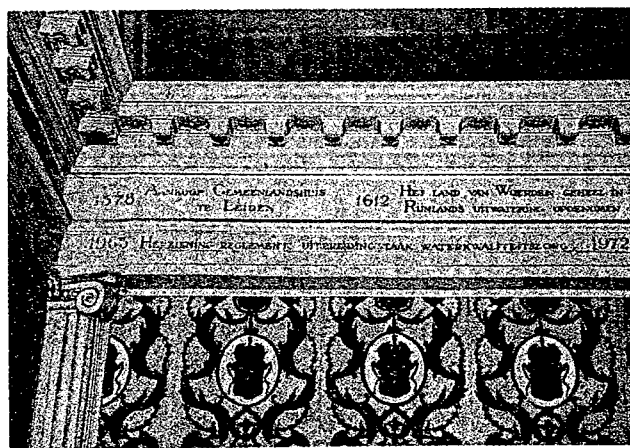


写真-1 ラインラント水管理機関の評議員会議を行う部屋の壁の上部に彫り込まれた地域の水管理の歴史。四方ぐるりと2段にわたっていた。

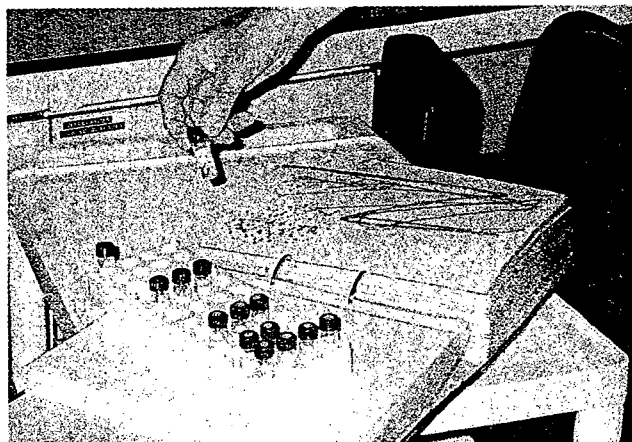


写真-2 フリースランド水管理機関における流域のプランクトンや水生植物の実物標本ファイル

建設省土木研究所環境部環境計画研究室長 寺川 陽

湖沼底泥からの栄養塩溶出メカニズムについて

【質 問】

湖沼等の富栄養化現象に底泥からの栄養塩の溶出が大きく寄与しているといわれていますが、底泥からの栄養塩溶出メカニズムと底泥対策の最近の動向について教えて下さい。

【回 答】

湖沼等閉鎖性水域における富栄養化対策では、下水道の整備等によって流域から窒素やリン等の栄養塩が大量に流入しないように努力することが基本です。しかし特に水深の浅い湖沼では、流域対策を講じてもうすぐには水質の改善が見られないことが多く、これは既に湖底に蓄積した底泥からの栄養塩の溶出が大きな負荷源になっていることによると考えられています。

1. 底泥からのリン溶出メカニズム

日本の湖沼等は、藻類の増殖に必要な各種栄養塩のうち、リンと窒素が湖内生物生産量を規定しています。特にダム貯水池の多くはリンによって藻類の現存量は制限されています。そこで、まず底泥からの栄養塩溶出現象の中で、特にリンの溶出メカニズムについて説明したいと思います。

1.1 底泥の状態

流入河川に含まれる有機汚濁物質や湖内生物生産による生物の遺骸は、湖底への沈降量が湖底で分解される量を上回る場合、底泥を形成します。

富栄養化した湖沼では大量に底泥が堆積しており、水温の上昇にあわせて底泥中の微生物の活動が活発になり、底泥に豊富に含まれる有機物の分解に伴う大量の酸素が消費されます。そのため、底層は嫌気(無酸素)状態となります。

1.2 嫌気状態の指標

水中の嫌気状態を把握する項目の一つに、酸化還元電位(ORP)があります。これは、測定した場所での酸化性物質(DO、 Fe^{3+} 等)と還元性物質(可溶性硫化物、 Fe^{2+} 等)の平衡状態によって生じる電位で、酸化もしくは還元状態の程度を示す指標です。

表-1は、文献2)を参考に、ORPの値に対する底泥中の状況についてまとめたものです。

溶存酸素(DO)がゼロの場合のORPは、+500～+300mVとされています。

底泥中の微生物はDOが無くなると、次に硝酸を脱窒するときのエネルギーを用いて底泥中の

有機物を分解し始めます。さらに硝酸がなくなると、表にあるようにマンガンの還元～メタンガスの発生と底泥の状況は変化していきます。ORPで-200mV以下になった時(メタンガスが発生している状態)は、もはや酸化性物質はほとんどなくなっています。

1.3 リンの溶出

底層が嫌気状態になったときにリンの溶出が始まる事は、よく知られています。

室内実験では、底泥上部が嫌気状態になると、好気状態であった時に比べ約15倍のリン酸の溶出が計測された事例が報告されています¹⁾。

また、現地での調査結果では、底層のリン(リン酸： PO_4^{3-})の濃度が上昇し始めるときには、同時に2価の鉄イオン(Fe^{2+})の濃度が上昇していることが確認されています。

すなわち底泥中に Fe^{3+} イオンと結合した形で固定されていたリンは、鉄還元微生物によって直接あるいは間接的に鉄が還元され始める時期、ORPで+200～-200mVの状態では溶出してくる考えられます。

図-1に、底泥の状態及びリンと鉄の溶出に関する模式図を示します。

底泥では間隙水がほとんど動かないために、深部は嫌気状態になっています。特に水温の高い時期は、湖水中にDOが存在していたとしても、底泥表面から数mmしか好気の層はありません。底泥中のDOやORPの鉛直分布を測定すると、各々図-1にあるような曲線になります。

表-1 酸化還元電位と底泥中の状況

底泥中の酸化還元電位 (Eh7 : mV)	底泥の状況 (物質の変化)	微生物のエネルギー 代謝
+500～+300	DOの消失	酸素呼吸
+400～+100	硝酸の消失	脱窒等の硝酸還元
+400～-100	Mn(II)の生成	微生物代謝物質による 間接還元
+200～-200(pH6～7)	Fe(II)の生成	鉄の還元
0～-200	S(II)の生成	硫酸還元
-200～-300	CH ₄ の生成	メタン発酵

底泥の嫌気化している部分では還元的な状態になっており、リン酸と結合していた3価の鉄は2価の鉄イオンに還元されます。(図-1中の④)この時、 PO_4^{3-} と Fe^{2+} は遊離し間隙水中に溶出してきました。そして、 PO_4^{3-} は高濃度の底泥間隙水中から、濃度の薄い湖水中に徐々に拡散していくのです。

湖水中にDOが豊富にあるときは、化学的な反応で鉄イオンは2価から3価に酸化されます。(図-1中の②)この時、 Fe^{3+} は水中の水酸化イオン(OH^-)と結合し、水酸化鉄になります。

しかし、 Fe^{3+} と OH^- の結合は非常に不安定で、他のマイナスイオンと置換されることがあります。この時の相手がリン酸(PO_4^{3-})であれば、難溶性の化合物となりすぐさま沈降します。通常の湖水では多量のリン酸は存在し得ないのは、このためです。

さらに、底泥の巻き上げ(図-1中の③)がある場合、リン酸を豊富に含んだ間隙水が一気に湖水中に拡散することになるので、植物プランクトンへのリン酸の供給が促進されます。

また、有機物が多く堆積し底泥から有機酸が溶出している湖沼では、有機酸が水酸化鉄と結合するため、リン酸の溶出が促進されます。

底泥からの大量のリンの溶出は、アオコ等の発生の誘因となり、魚類のへい死や、親水活動の阻害等様々な問題を生じることになります。図-2に、富栄養化した湖沼の模式図を示します。

2. 富栄養化防止のための底泥対策

底泥からのリンの溶出を抑制する手法は、上述の溶出メカニズムの各プロセスに対応して、大きく4種類に分類できます。

第1は、アルミ、ミョウバン、石灰、鉄等の化

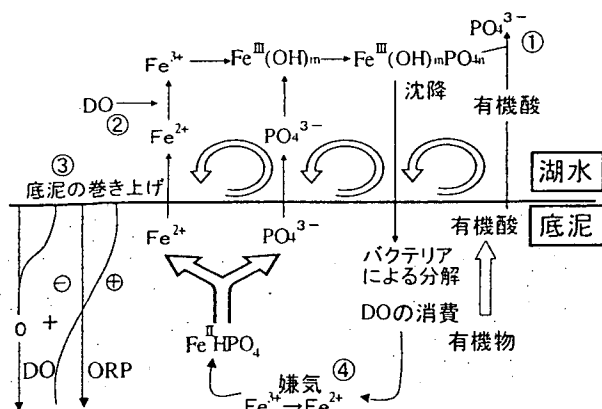


図-1 底泥からリン溶出に関する概略図

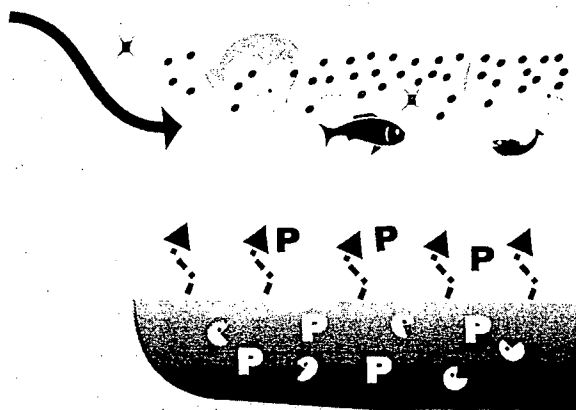
学物質を散布し直接湖水中に溶出してきたリン酸を凝集沈殿させる手法です。この場合、湖内生態系に対する影響についてあらかじめ十分に考慮する必要があります。

第2は、微生物の酸素消費速度以上の速さでDOを供給する方法です。曝気や高DO濃度水塊の注入等が考えられます。これは、底泥中で還元された Fe^{2+} を底泥直上部ですぐさま酸化し、再び PO_4^{3-} と結合させることを狙ったものです。

第3は、底泥の巻き上げを抑制する手法です。底泥表面を砂礫等で覆うことによって巻き上げを物理的に封じ込める覆砂法や底泥そのものを系外に除去する底泥の浚渫がこれにあたります。

第4は、底泥中の鉄の還元を抑制する目的で、微生物の利用優先順位の高い物質(例えば硝酸イオン)を底泥に供給したり、特別な微生物を用いて Fe^{2+} を嫌気状態で酸化させる手法です。

現在環境計画研究室では、溶存酸素(DO)がほとんどゼロの状態でも鉄を酸化させることが可能な、嫌気性鉄酸化微生物を用いたリンの溶出を抑制する手法について、基礎的な研究を行っています。



流入負荷が過剰となり、アオコ等が生じる。底層ではDOが消費されリン等の溶出が始まる。

図-2 富栄養化した湖沼の模式図

参考文献

- 1) Ishikawa, M. and Nishimura, H. : Mathematical model of phosphate release rate from sediments considering the effect of DO in overlying water, Water Research, Vol.23, pp.351-359, 1989.
- 2) 高井康雄 : 水田土壤中における遊離鉄の行動に関する研究(第一報), 土肥誌, 41巻, pp.1-6, 1978.

流動制御システムを導入したダム湖における湖内流動観測

建設省土木研究所 寺川 陽
福渡 隆
田中 康泰

1. はじめに

土木研究所の開発した流動制御システムは、散気管方式の曝気によってダム湖の表層約15-20m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（富栄養化現象）を抑制する技術である。¹⁾ 図1にその概念図を示す。流動制御システムは耶馬溪ダム（大分）旭川ダム（岡山）、草木ダム（群馬）、三春ダム（福島）等において導入されてきており、その効果は、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でも示されている。²⁾ 本稿では、実際に流動制御システムを導入したダム湖において曝気施設運転時の湖内流動をモニタリングする目的で ADCP（超音波ドップラー流速プロファイラー）³⁾ を用いた現地観測を試みた結果について報告する。

2. 観測の概要

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）では、富栄養化対策の一環として流動制御システム（浅層曝気施設が4基及び深層曝気施設が2基）が設置されている。

この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に上向きに固定したADCPを用いて、鉛直方向の流速分布の連続モニタリングを行った。曝気施設と ADCP 観測地点の位置関係を図2及び図3に示す。

使用したADCPは、超音波周波数 1200KHz のタイプであり、超音波発信間隔 3.5 sec、測定層厚 50cm、出力データの時間平均を5分間に設定した。この条件下でのメーカーによる公称測定誤差は±0.5cm/secである。

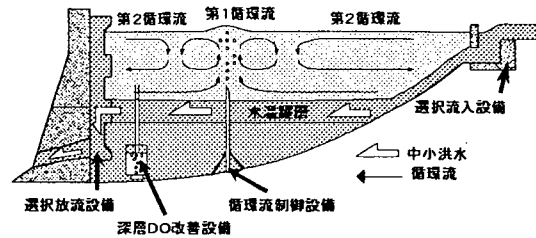


図1 流動制御システムの概念図

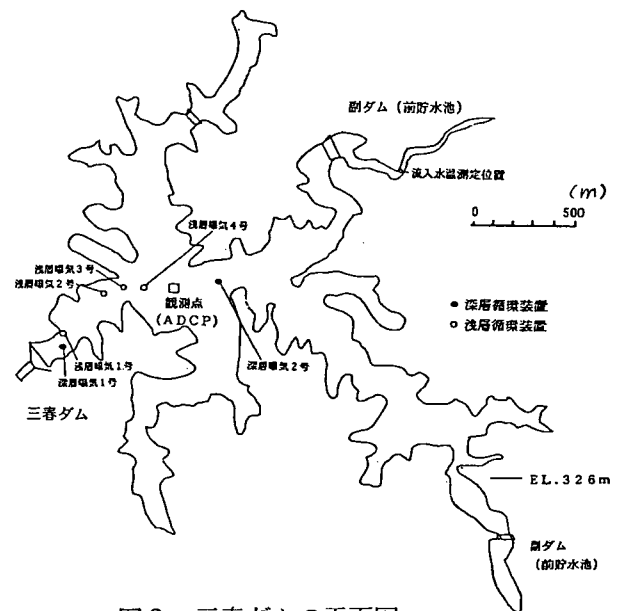


図2 三春ダムの平面図

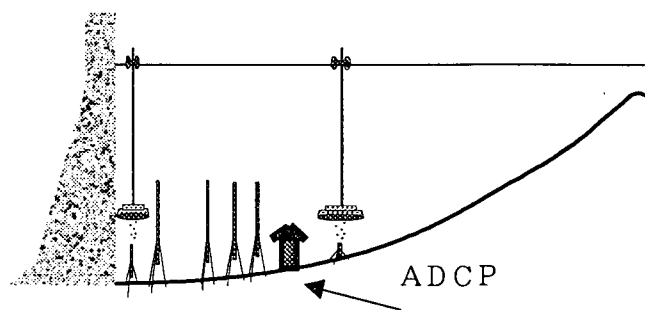


図3 ダム湖内の各施設設置状況

3. 観測結果

3.1 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、平均時間を長くすることによってデータの平滑化を図った。ここで適切な平均時間を検討する目的で、平均時間を5,10,20,30,60分とした時の標準偏差の変化を調べたところ、図4に示すように、30分を境に偏差変化の割合が小さくなることから、30分平均のデータを用いることとした。

3.2 出水時の観測結果

図5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。8月26日の17時から3時間計約20mmの降雨によって、翌27日の午前1時頃にピーク流量約4 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。また、水深約17m（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。

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によって観測可能であることが示された。

4. まとめ

富栄養化対策の一環として流動制御システムを導入した三春ダムにおいてADCPを用いた湖内流速のモニタリングを試みた。その結果、曝気による暑さ約17mの循環混合層の形成により、小出水時の河川流入水を深部に導く機能を果たしていることが示された。今後、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の一つとして活用することを考えている。

参考文献

- 1) 丹羽 薫：流動制御によるダム湖富栄養化対策、土木技術資料、第38巻第8号、pp.14-15、1996。
- 2) 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。
- 3) 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。

キーワード：流動制御システム、ADCP、湖内流動観測

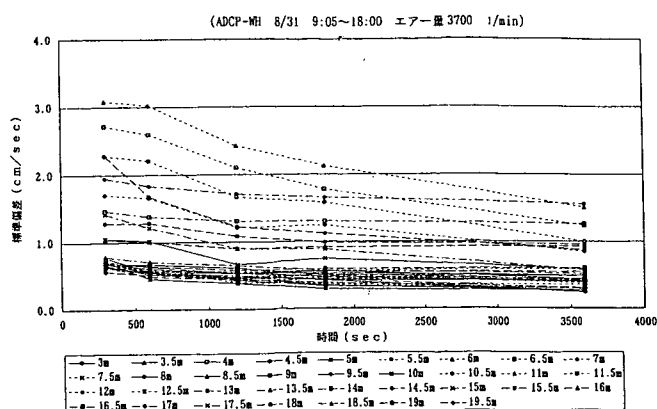


図4 平均時間の違いによる標準偏差の挙動

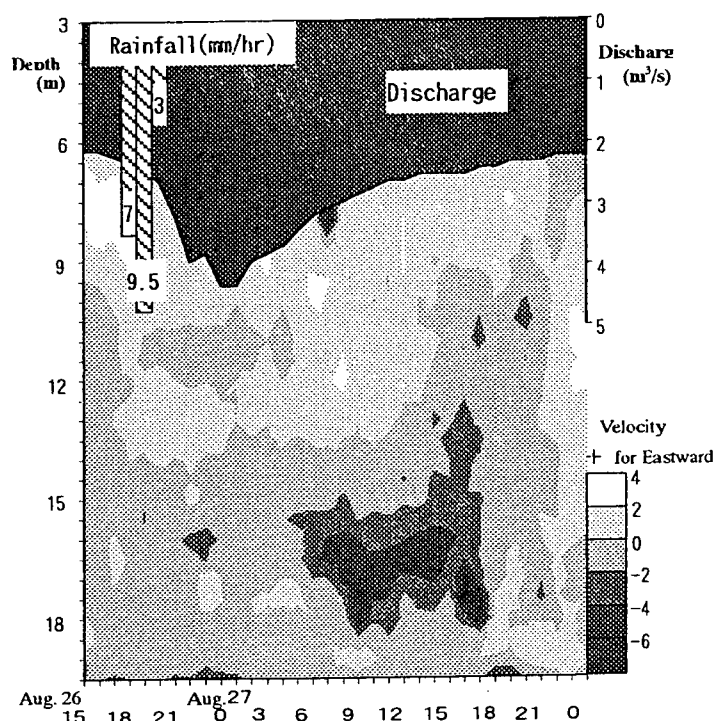


図5 出水時の連続モニタリング結果

Current Control System for Lake Water Quality Management

Akira TERAKAWA¹ and Takashi FUKUWATARI²

Abstract

In order to prevent excessive algae growth due to eutrophication in relatively deep dam reservoir, current control system was developed, which consists of two types of aeration systems : a circulating flow control facility and a deep layer DO improvement facility. The system creates a thick circulating mixed layer with a constant temperature to a depth of 15 – 20 m below the surface, which introduces nutrient rich river water during a small to medium flood to deeper zone to prevent the nutrient supply to floating algae in the surface layer. The system also aims at increasing DO in the deep layer near the bottom of the lake to decrease the leaching of nutrient from the bed mud. The system was installed in the actual dam reservoir and the current in the lake due to aeration was measured using Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP), fixed in the reservoir. The observation showed that the circulating layer with a thickness of about 16m formed by the bubbling aeration successfully introduced the inflow river water to the deeper part of the reservoir, which might be effective for preventing excessive algae growth.

Introduction

A drastic increase of nutrients flowing into the lake due to river basin development activates biological production and increases the standing stock of algae, which causes serious environmental problems, such as discoloration of reservoir surface water caused by flesh water red tides, foul odor, foul taste and harmful influences on water purification plants for drinking water.

The basic principle of countermeasures against eutrophication is to remove the factors that cause eutrophication. Specifically, the abnormal outbreak of algae can be hampered by removing at least one of the factors that causes algae propagation, such as nutrients flowing into and accumulated in reservoirs, environmental conditions including sunshine and water temperature necessary for photosynthesis, and sufficient residence time.

The key countermeasure against eutrophication is to restrain the inflow of nutrients. To achieve this, efforts must be made to promote countermeasures in the basin for reducing the inflowing nutrient load in close cooperation with relevant institutions. Composting of livestock excretions and improvement of sewage treatment are effective ways of reducing the nutrient load originating from animal husbandry wastewater and gray water in the basins. If the facility is designed adequately to meet the local conditions, land treatment of wastewater, with which the absorption and purification capacity of the surface layer soil is utilized positively, may

¹ Member of ASCE, Head, Environmental Planning Division, Public Works Research Institute, 1 Asahi Tsukuba, JAPAN 305-0804

² Research Engineer, Environmental Planning Division, Public Works Research Institute, 1 Asahi Tsukuba, JAPAN 305-0804

also be an effective way to remove nutrients, particularly phosphorus. (Hydrology Division of PWRI, 1988) In addition, prevention of surface soil erosion from farmland, which contains a huge amount of nutrients, is important to counteract both prolonged water turbidity and eutrophication.

On the other hand, countermeasures for river basins require a long period, as well as huge investment, since the source of the target load is distributed in a wide area. Thus, immediate measures in river channels and/or reservoirs are sometimes necessary in parallel with countermeasures in the basins.

Countermeasures against eutrophication in dam reservoirs can roughly be classified into physical, biological and chemical methods. Since the chemical method is usually costly, a combination of physical and biological methods should be used for large water bodies such as dam reservoirs. Current control system, developed by Public Works Research Institute, is to use bubbling aeration facility for cutting off the supply of nutrients to the surface layer and for hampering elution of nutrients from the bottom sludge by increasing the dissolved oxygen in the bottom layer.

Principle of Current Control System

A shallow-layer aerator, which is the major constituent of the current control system, forms a circulating layer of 15 to 20 m in thickness on the surface of a dam reservoir. This epilimnion, in which temperature is almost constant, is maintained even during small- and middle-scale floods, by which the supply of nutrients and sunlight to blue-green algae that live in the surface layer is restricted, thus hampering the abnormal outbreak of blue-green algae. Figure 1 shows a conceptual drawing of the current control system.

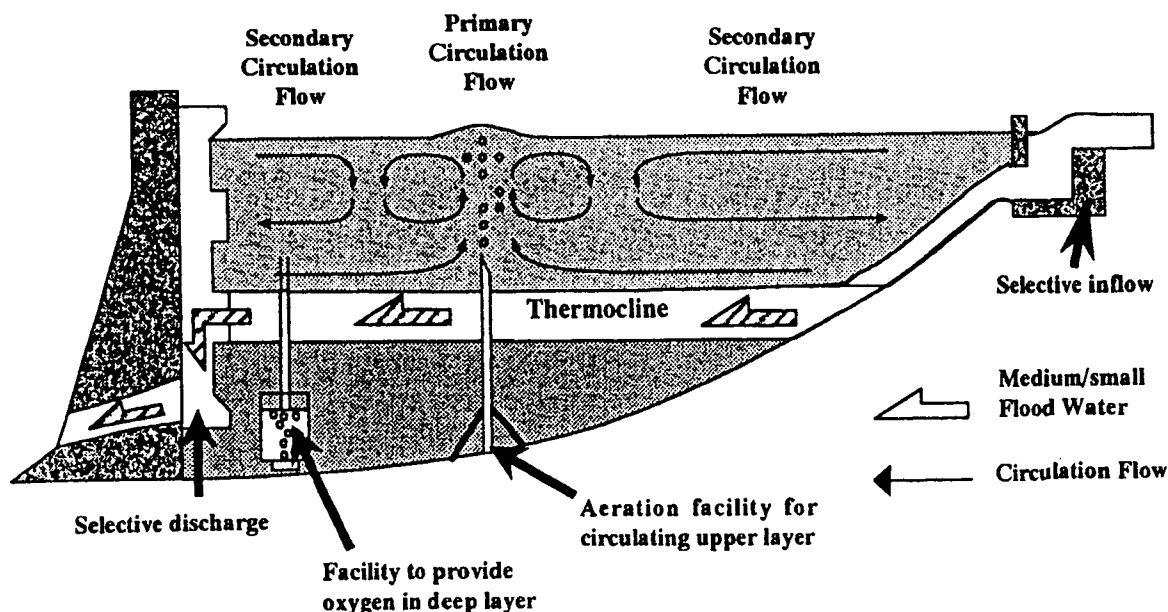


Fig. 1 Schematic diagram of the current control system

In general, the distribution of water temperature in summertime under natural conditions forms a so-called thermocline, i.e., the temperature is highest at the water surface and decreases with depth. The hydrosphere becomes quite stable when the thermocline is formed, since the water at the surface layer hardly moves vertically exceeding the metalimnion. This creates a suitable environment for blue-green algae to propagate, or to multiply explosively from time to time, because the river water, which contains abundant nutrients, flows into an area several meters below the water surface and supplies nutrients to the surface layer with sufficient sunlight.

When aeration by the bubbling aeration method is conducted at a water depth of 15 to 20 m, the water above the aerator is stirred and mixed and a circulating epilimnion with stable water temperature is formed. In this epilimnion, the surface water in the secondary circulating current is drawn toward the aerator, then is circulated back to the intermediate layer in several days where the sunlight does not reach. Due to this circulation, the floating algae which had started to propagate in the surface layer are drawn to the intermediate layer, and their growth is restricted. In addition, floating algae cannot propagate steadily even when the surface water is being drawn by the aerator, since the water tends to be mixed in the vertical direction on the surface of the circulating epilimnion, where the temperature is almost constant, as the temperature of the water surface lowers due to a sharp decrease of air temperature usually at night.

When a circulating epilimnion with a thickness of 15 to 20 m is formed, the inflow water due to small to medium scale floods, which contains abundant nutrients, is introduced to the thermocline in the lower part of the circulating epilimnion. This decreases the nutrients that mix into the surface layer where blue-green algae are living, thus preventing the abnormal outbreak of blue-green algae. This also helps to counteract prolonged water turbidity, i.e., clear water on the surface is not disturbed because the highly turbid water during small to medium scale floods is going through the middle layer and is discharged downstream.

The effects of the current control system are shown by analysis using a numerical simulation model combining a hydraulic model of lake water flow and a biological model of zooplanktons and phytoplanktons. (Niwa et. al., 1996; Fukuwatari et. al., 1997).

Results of Field Observation

The current control system has been experimentally introduced in several dam reservoirs and field observation was made for evaluating purpose.

Figure 2 shows the time-series variations of the vertical distribution of water temperature near the aerator during the shallow-layer aeration conducted at Yabakei Dam Reservoir. This figure shows that a clear circulating epilimnion is formed in about one month after the

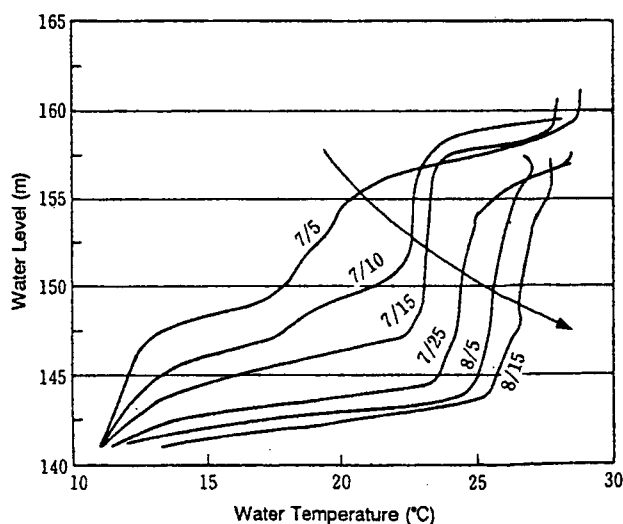


Fig. 2 Formation of circulating mixed layer (observed at Yabakei Dam)

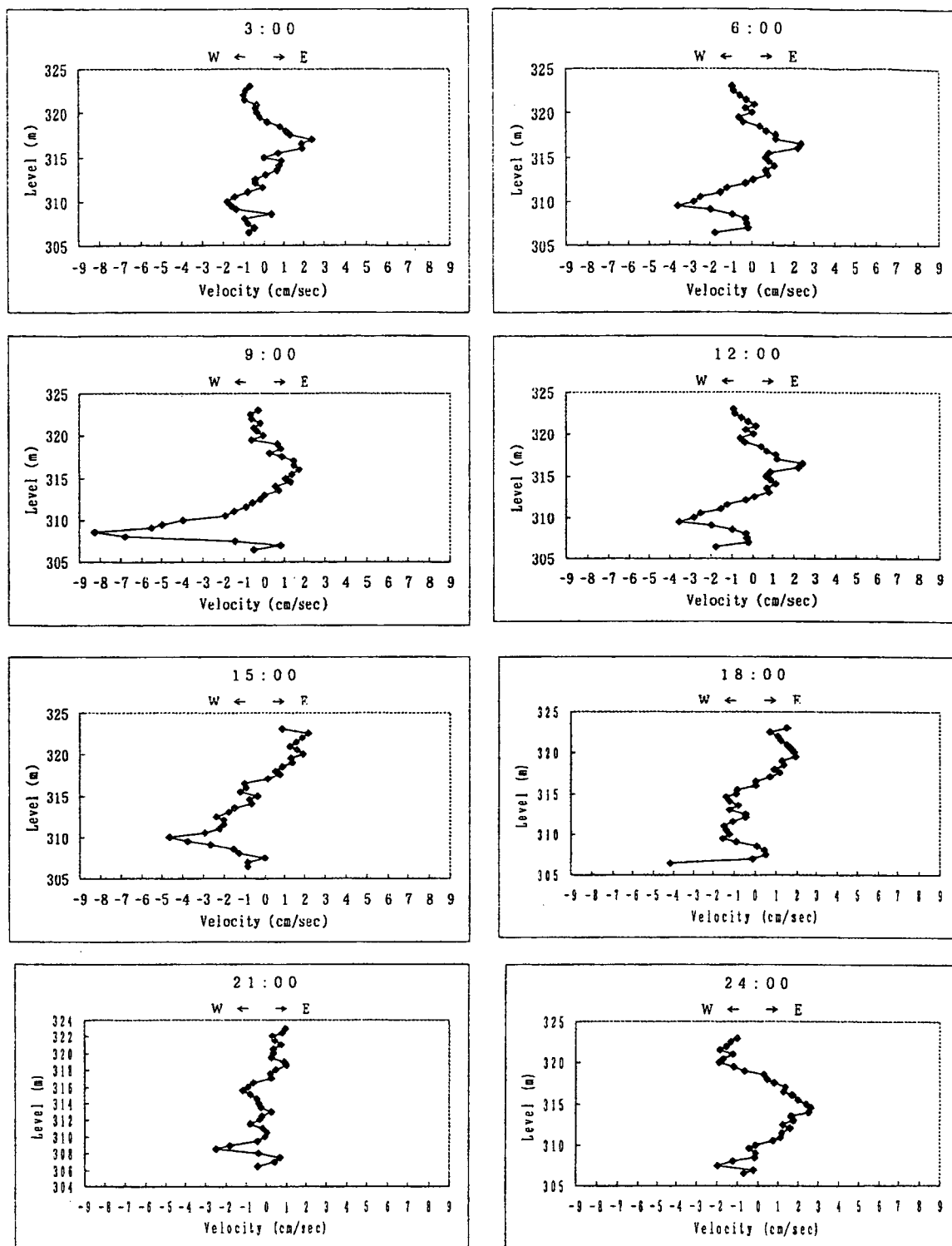


Fig 3. Vertical of Distribution of Horizontal Velocity Observed by ADCP

(at Miharu Dam , Aug 27)

shallow-layer aeration was commenced on July 5.

Figure 3 shows the results of continuous monitoring of the vertical distribution of horizontal velocity using an Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP), which was fixed upward on a frame installed on the bottom of the reservoir about 130 m away from the aerator, during the operation of the shallow-layer aeration facility at *Miharu Dam*. The ADCP used was a 1200 kHz-type, and the results of three-dimensional current velocity measurement, which was conducted in the surface layer at intervals of 50 cm in the vertical direction at a measurement frequency of once every 3.5 seconds, are recorded as the mean average of 85 pulses for every 5 minutes. The nominal measurement error declared by the maker is ± 0.5 cm/s. In this figure, the data obtained between August 26 and 27, 1997, when a small flood took place, were averaged for every 30 minutes, which show that the river water flows into an area at a water depth of about 17 m with the maximum current velocity of 8 cm/s.

Figure 4 shows the time-series variations of current velocity components in the horizontal direction obtained by the same ADCP (the direction going away from the aerator is eastward and positive). Due to the rainfall of about 20 mm in total during 3 hours from 17:00 p.m. on August 26, a peak discharge of about 4.3 m³/s was observed at around 1:00 a.m. on August 27, and the westward current velocity (heading downstream of the dam) increased at the observation point of current velocity with a delay of about 6 to 7 hours. The discharge in the figure was calculated as the sum of the amount of discharge from the dam and the amount of increase of reservoir water obtained from the water level variations in the reservoir. Figure 5 shows the vertical distribution of water temperature at 9:00 a.m. of this day. The temperature of the inflow water at the heel upstream of the reservoir was about 23°C at the peak of rainfall (at 19:00 p.m. on August 26) and about 20.9°C at the peak of discharge (0:00 a.m. on August 27). As shown in Figure 5, the water depth corresponding to

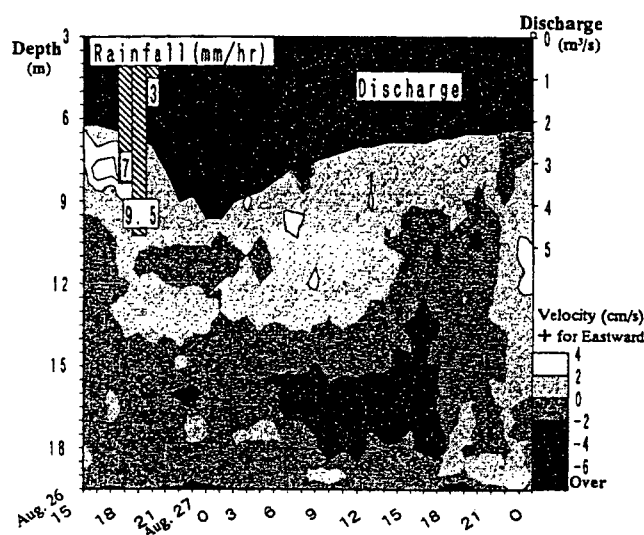


Fig. 4 Vertical distribution of horizontal velocity observed by ADCP

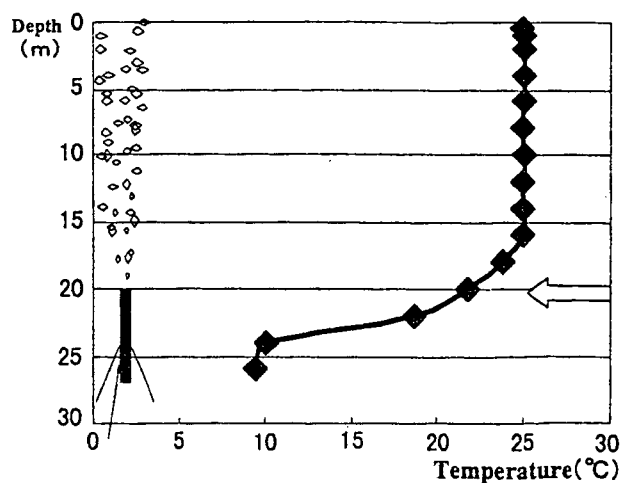


Fig 5 Vertical distribution of water temperature at 9 am, Aug 27

the water temperature of 23°C and 20.9°C are about 18 m and 20 m, respectively, which roughly conform with the water depth of 16 to 18 m measured when an increase of current velocity was observed from 6:00 a.m. to 6:00 p.m. on August 27. Thus, the circulating epilimnion with a thickness of about 16 m formed by the shallow-layer aerator was proven to be successfully guiding the inflow river water to the deeper part of the reservoir.

Along with the shallow-layer aeration circulation facility discussed so far, a deep-layer aerator for improving the deep-layer DO (dissolved oxygen) is an optional device of the current control system. The deep-layer aeration system has an umbrella-shaped structure with a radius of about 3 m above the aerator, which is installed at a point deeper than the outlet of the shallow-layer aerator to prevent drawing the bottom layer water toward the shallow zone.

The vertical distribution of both DO and ORP (oxidation-reduction potential) at a location about 390 m from the aerator during the operation of the deep-layer aerator was observed at *Miharu* Dam in August, 1997. Although DO is remained to be zero in the deep layer (where the oxygen demand is great), ORP keeps positive value, which shows that the aerator might work successfully to prevent the elution of nutrients from the bottom sludge.

Conclusion

Current Control System, combination of bubbling aeration facilities, is to create a thick circulating mixed layer with constant temperature to a depth of 15-20 m below the surface of a dam reservoir, which is expected to prevent excessive algae growth by reducing the nutrient supply to the surface layer. The system was introduced to actual dam reservoirs and the expected function of the system was confirmed through the field observation as follows.

- (1) A thick circulating mixed layer was formed in about one month after commencement of shallow layer aerations.
- (2) Based on the flow observation using ADCP, thick circulating mixed layer effectively guide the inflowing water at a time of small flood to the deeper zone of the reservoir.
- (3) Deep layer aerator contributed to keep the ORP of bottom layer positive, which would prevent the elution of nutrients from the bottom sludge.

References

Hydrology Division of the Public Works Research Institute: A Report of the Investigation on Land Treatment of Gray Water, Technical Memorandum of PWRI, No. 2591, 1988. (in Japanese)

Fukuwatari, T., Terakawa, A. and Tanaka, Y.: Water Quality Conservation in Dam Reservoirs by Current Control, Proceedings of the 5th Symposium on Water Resources, JSCE, 1997. (in Japanese)

Niwa, K., Kubo, T., Fukuwatari, T. and Furusato, E.: Simulation of the Effect of Water Quality Conservation Measures by Current Control, Proceedings of annual conference on hydraulic engineering, Vol. 40, JSCE, 1996. (in Japanese)

富栄養化現象の局地対策に関する予備実験について

建設省土木研究所 正員 福渡 隆 正員 田中 康泰 正員 寺川 陽
建設省中国地方建設局 土師ダム管理所 正員 武田 信保
建設省中国地方建設局 温井ダム工事事務所 正員 後藤 誠志

1. はじめに

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。

本稿では、ダム湖内の水深が比較的浅く藻類が集積しやすい箇所への対策として、後者の藍藻類の異常増殖しないよう環境を改変する手法の開発に主眼を置いた予備実験を行った結果について報告したい。

2. 予備実験の概要

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-1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10m、水深4mである。各区画は、成層の破壊し循環流を生じさせることで藻類への太陽光量の抑制を期待した曝気装置（吐出量；97ℓ/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コントロールの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。

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で藻類を捕食する動物プランクトンに着目し、動物プランクトンの生育環境を整備することで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-2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1m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ね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0.3～0.5m

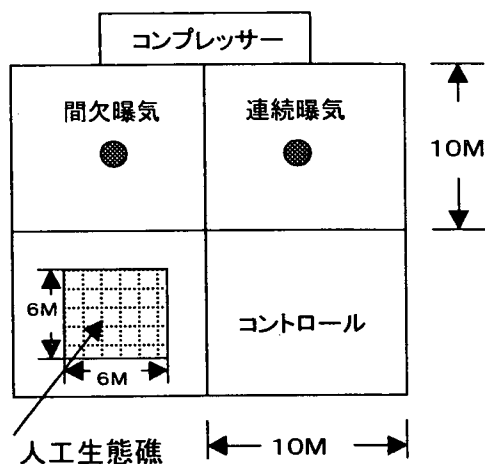


図-1 隔離水界実験の概略図

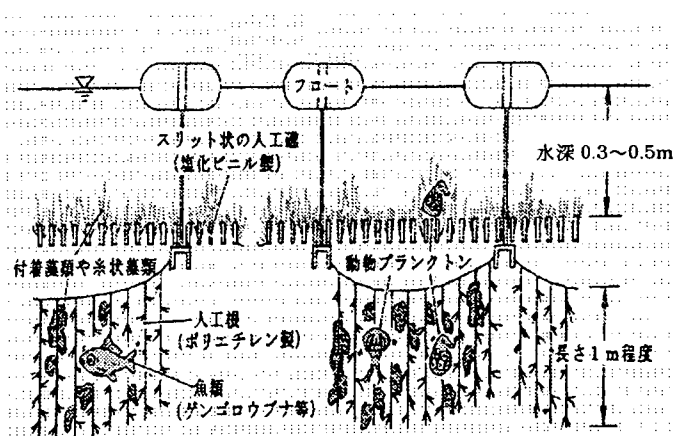


図-2 人工生態礁の概要図

富栄養化；生態系；水環境

建設省土木研究所 環境部環境計画研究室（茨城県つくば市大字旭1, tel 0298-64-2269, fax 0298-64-7221）

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。

3. 結果と考察

各隔離水界について、表層のSSの経時変化を図一3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、他の水界比非常に少ない値を示した。図一4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、肉眼でも違いがはっきり分かるほどであった。これは、図一5及び図一6に示す表層のクロロフィルaの変化からも見て取れるように、人工生態礁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)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。

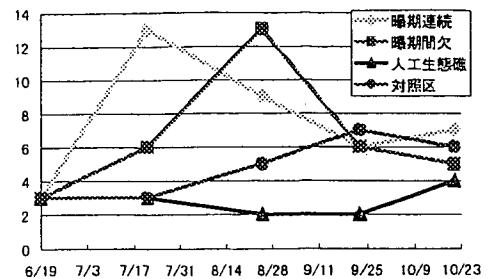
当初期待していた動物プランクトンの生息環境を整備する効果については、今回のプランクトン調査の結果を見る限り、動物プランクトンの種数に明瞭な差異が認められなかった。

4. まとめ

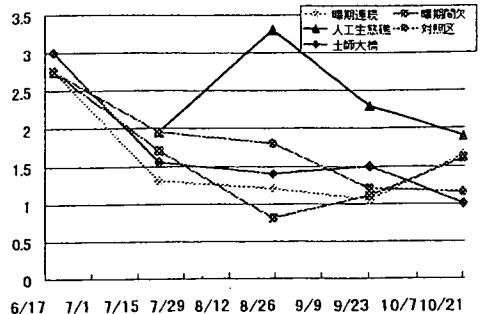
平成9年度は、浅瀬の富栄養化対策技術として3種類の方法について予備実験を行った。曝気装置ではアオコの発生抑制はできなかったが、人工生態礁設置区画では他の区画と水質に有意な差が認められた。

今後、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し、継続して実験を行うことにより、人工生態礁の効果の定量的な把握を試みることにしている。

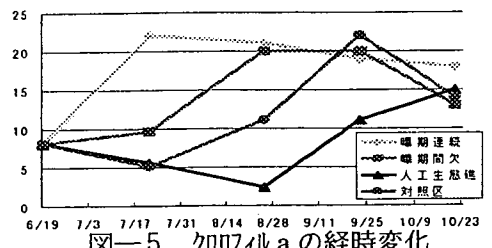
<参考文献> 1) 丹羽他：生態系を活用した湖沼の直接浄化の試み、第30回日本水環境学会年会講演集 1996.3, pp2150



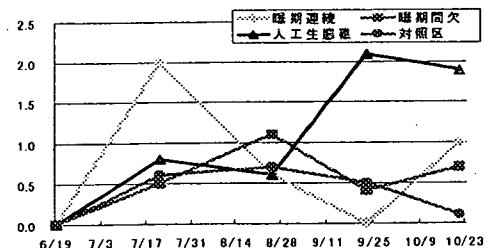
図一3 SSの経時変化



図一4 透明度の経時変化



図一5 クロロフィルaの経時変化



図一6 クロロフィルbの経時変化

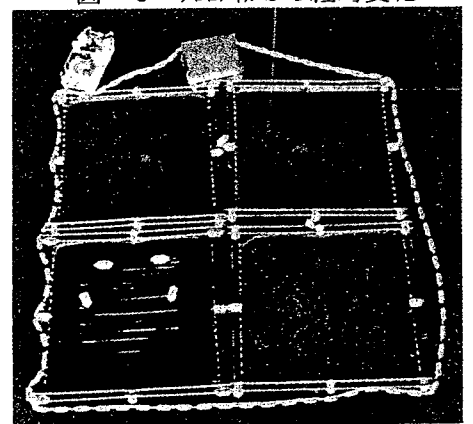


写真 隔離水界実験

秋期の東京湾奥部における風による成層破壊と 底層の無酸素水塊の湧昇過程

渡辺正孝¹・天野邦彦²・石川裕二³・木幡邦男⁴

¹正会員 Ph. D. 国立環境研究所 水圏環境部 (〒305-0053 茨城県つくば市小野川16-2)

²正会員 工博 国立環境研究所 水圏環境部 (〒305-0053 茨城県つくば市小野川16-2)

³理修 (財) 地球・人間環境フォーラム (〒106-0041 東京都港区麻布台1-9-7)

⁴理博 国立環境研究所 地域環境研究グループ (〒305-0053 茨城県つくば市小野川16-2)

3次元循環モデル(Blumberg and Goodrich)に海水面における熱交換モデルを結合し、熱収支計算が気象条件を与えることで可能となるように改良したモデルを東京湾に適用し、1989年7～10月の実際の気象条件下で計算を行い、検証した。計算から、北風の際に千葉県側湾奥部において、表層水が東岸に沿って南下し、底層水が北上する流れが生起するうえ、鉛直混合が促進される結果、湾奥部の全水柱水質が底層水質により規定されること、その際、海面冷却の効果でさらに成層が不安定になり鉛直混合が促進され青潮現象に至ることが示された。また、南風の際には北風時同様、千葉県側湾奥部において、鉛直混合が促進されるが、流動状況が北風時と逆になるため全水柱水質は表層水に規定されることが示された。

Key Words : Wind-induced circulation, destratification, hypoxia, surface cooling, vertical eddy-diffusivity coefficient

1. はじめに

東京湾奥部の千葉港から幕張、船橋にかけての沿岸域において、夏から初秋の時期に北～北東風が数日吹いた後に、海表面が青白もしくは青緑色に変色する現象がしばしば観察され(図-1)、このような海水の変色現象は青潮と呼ばれる¹⁾。

東京湾における青潮発生は1963年頃から観察され、1980～1994年の15年間で約110件、延べ日数にして160～170日に及んでいる。図-1のような大規模な青潮の発生は数年に一度の頻度で起こるが、小規模な青潮は船橋港や千葉港などで5～9月にかけて、頻繁に発生している²⁾。

夏期の海域は日照や淡水流入の影響で、表層水の方が底層水に比べて高温・低塩分のため軽く、鉛直混合の起こりにくい安定な成層構造になっている。表層で増殖した植物プランクトンはやがて死滅し、海底に堆積する。温度・塩分成層下では底層水の溶存酸素量は表層からの酸素供給が断たれる上に、堆積有機物の分解に伴って消費され続け、著しく減少する。ここで貧酸素とは溶存酸素が概ね3mg/l(飽和濃度の約40%)以下をいうこととする²⁾。無酸素(嫌氣的条件)下では底生生物などは生息できないが、有機物は微生物により分解され、硝酸塩還元、発酵、硫酸塩還元、メタン生成と、より還元的な過

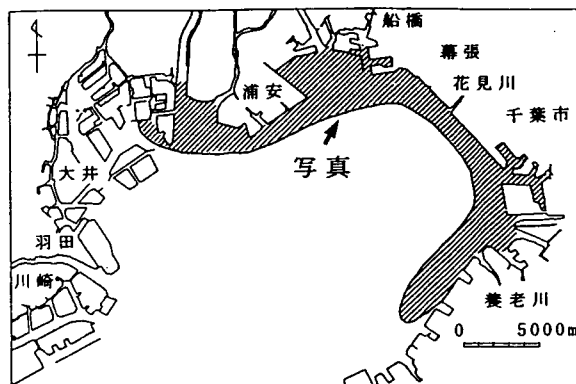


図-1 東京湾奥部の大規模青潮発生(1992年9月8日、船橋港沖、朝日新聞社提供)

程へと段階的に進む。海水中には豊富な硫酸イオンが存在するので、海水中、海底泥中では最も還元的な条件で硫酸塩還元が主な反応となる。この過程は、硫酸塩が還元され生物に有毒な硫化水素が発生することから、生態系に重要な現象といえる^{2), 3), 4)}。

青潮の発生時にはこのように貧酸素化した底層水が沿岸浅海域へ湧昇しながら表層に輸送され、同時に鉛直混合が促進され成層が破壊されるため水温・塩分の鉛直分布がほぼ一樣になることが観測されている²⁾。また、青潮の青緑色については、底層水中に大量に含まれる硫化水素（硫化物）が湧昇とともに酸化されコロイド状硫黄が生成され、このために青緑色を呈すると考えられる他、多硫化物イオンによる着色も原因の一つと考えられている^{5), 6), 7)}。

内湾域は河川からの淡水流入、湾口での潮汐および外洋からの高塩分・高水温海水の流入、海面での熱移動と風による応力の影響を受け、淡水と海水が交換・混合を繰り返している遷移領域として、複雑な海洋環境を形成する。内湾域において海洋生態系はこの複雑な流動に大きく規定されており、さらに海洋物質循環は生態系遷移にともない大きく変動する。しかし流動場が生態系を規定している以上、生態系変動及び物質循環を解析するためには、生態系にとって重要な水温・塩分成層、フロント、鉛直混合、集積・発散、鉛直循環など諸過程を再現できる流動モデルがまず求められる。

東京湾を対象とした流れの数値計算は数多くなされており^{8), 9), 10), 11), 12)}、また、青潮現象に代表される東京湾奥部での湧昇流に関する研究も、数多く行われてきている^{13), 14), 15), 16), 17)}。中辻ら¹³⁾は湧昇流の発生機構の仮説として(1)鉛直2次元吹送密度流説¹⁴⁾と(2)内部ケルビン波説¹⁵⁾とに大きく分類し、数値計算を行うことで後者の説を湧昇現象の一因として位置付けている。

本研究においては、風による成層破壊と循環流による底層水（無酸素水塊）の湧昇（青潮現象）の機構解明を目的とし、Blumberg and Goodrich¹⁸⁾モデルを改良した流動モデルを東京湾に適用し、観測データに基づいた再現計算（リアルタイムシミュレーション）を行うとともに、青潮現象が発生した際の特徴的な流動状況及び鉛直混合について解析を行った。さらに、気温及び日射量の低下に伴う海表面冷却が鉛直混合に与える影響についての検討を行い、成層破壊と青潮発生への寄与の定量的評価を行った。

2. 三次元流動モデルによる計算方法

感潮域や閉鎖性海域に通常見られる1~100kmの空間スケールと潮汐30日程度の時間スケールに代

表されるようなメソスケール現象を表現できるモデルは Blumberg and Mellor^{19), 20)}により開発された。

これを基礎とした Blumberg and Goodrich モデルは潮汐流、吹送流、塩分に基づく密度流により駆動されており、乱流による混合過程について、鉛直渦動粘性係数及び鉛直渦動拡散係数は Mellor and Yamada²¹⁾の $2\frac{1}{2}$ レベル乱流完結モデルを用い、水平渦動粘性係数及び水平渦動拡散係数は Smagorinsky²²⁾に従い逐次計算しているところは Blumberg and Mellor モデルと同様であるが、流入河川も計算領域として含めて計算するように改良されている。このモデルはチェサピーク湾での夏から秋にかけての成層破壊過程と鉛直循環過程に適用された¹⁸⁾。しかし、その適用では塩分は計算を行っているものの水温は観測値を用いている。計算結果からチェサピーク湾での秋の急激な鉛直混合には風による混合に加えて、海面冷却による水温の鉛直逆転分布が非常に重要な役割を果たしていることが鉛直渦動拡散係数の変遷から判明している¹⁸⁾。

(1) モデル式

Blumberg and Goodrich モデルに基づく連続、運動量、塩分および乱流モデルに新しく水温モデルを加え、全体モデルを構築した。以下に直交座標を用いた場合の支配方程式を示す。ここで、 x は東を正の方向、 y は北を正の方向、 z は上向きを正の方向とする座標軸で、 U, V, W は x, y, z 方向に対応したアンサンブル平均流速、小文字は乱れ成分である。自由水面は $z = \eta(x, y, t)$ 、海底は $z = -H(x, y)$ で表される。支配方程式においては Hydrostatic の仮定と Boussinesq 近似を用いている。

(連続方程式)

$$\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} + \frac{\partial W}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

(運動量方程式)

$$\begin{aligned} \frac{\partial U}{\partial t} + \frac{\partial U^2}{\partial x} + \frac{\partial UV}{\partial y} + \frac{\partial UW}{\partial z} - \nu \nabla^2 U \\ = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial(-\overline{uw})}{\partial z} + F_U \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{\partial UV}{\partial x} + \frac{\partial V^2}{\partial y} + \frac{\partial VW}{\partial z} + \nu \nabla^2 V \\ = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial(-\overline{vw})}{\partial z} + F_V \end{aligned} \quad (3)$$

$$\rho g = -\frac{\partial P}{\partial z} \quad (4)$$

ここで、 ρ_0 は基礎密度、 ρ は密度、 g は重力加速度、 P は圧力、 f はコリオリパラメータである。

水温 Θ と、塩分 S の保存式は次式で与えられる。

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Theta}{\partial t} + \frac{\partial U \Theta}{\partial x} + \frac{\partial V \Theta}{\partial y} + \frac{\partial W \Theta}{\partial z} \\ = \frac{\partial(-\overline{w\theta})}{\partial z} + F_\Theta \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial U S}{\partial x} + \frac{\partial V S}{\partial y} + \frac{\partial W S}{\partial z} \\ = \frac{\partial(-\overline{ws})}{\partial z} + F_S \end{aligned} \quad (6)$$

また、密度は状態方程式により次式のように与えられる²³⁾。

$$\rho = \rho(\Theta, S) \quad (7)$$

式(2), (3), (5)及び(6)中の運動量、熱量及び塩分濃度の乱流による拡散を定量化するレイノルズ応力及び熱と塩分濃度の二次相関式は Mellor²⁴⁾により Rotta のエネルギー再配分仮説及び Kolmogoroff の局所等方性仮説に基づきレベル4モデル²⁵⁾としてモデル化された方程式の高次の項を消去して作成された Mellor and Yamada の $2\frac{1}{2}$ レベル乱流完結モデル²¹⁾により逐次計算される。

$$-(\overline{uw}, \overline{vw}) = K_M \frac{\partial}{\partial z} (U, V) \quad (8)$$

$$-(\overline{w\theta}, \overline{ws}) = K_H \frac{\partial}{\partial z} (\Theta, S) \quad (9)$$

ここで K_M 、 K_H は鉛直渦動粘性係数及び鉛直渦動拡散係数であり、式(10)により計算される。

$$(K_M, K_H) = lq(S_M, S_H) \quad (10)$$

ここで、 l は乱流マクロスケール $q^2/2$ は乱れエネルギーである。安定関数 S_M, S_H 及び l, q は Mellor and Yamada²¹⁾に従い求められる。

モデルのグリッドによって直接表現できないサブグリッドスケールのプロセスによって生じる運動はすべて水平混合過程によってパラメータ化される。式(2), (3), (5)および(6)にある F_u, F_v, F_θ および F_s はそれら直接表現できないプロセスに起因する項であり、乱流拡散と類似の表現で次のように表現される²⁶⁾。

$$F_u = \frac{\partial}{\partial x} \left(2A_M \frac{\partial U}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left[A_M \left(\frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right) \right] \quad (11)$$

$$F_v = \frac{\partial}{\partial y} \left(2A_M \frac{\partial V}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left[A_M \left(\frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right) \right] \quad (12)$$

$$F_{\theta s} = \frac{\partial}{\partial x} \left[A_H \frac{\partial(\theta, S)}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[A_H \frac{\partial(\theta, S)}{\partial y} \right] \quad (13)$$

ここで A_M 、 A_H は水平渦動粘性係数及び水平渦動拡散係数である。本モデルにおいてこれらパラメータは次式のように Smagorinsky²²⁾に従い求められる。

$$A_{M,H} = C_{M,H} \Delta x \Delta y \left[\left(\frac{\partial U}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial y} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial U}{\partial y} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (14)$$

定数 $C_{M,H}$ については Oey²⁷⁾により詳細な感度分析が行われており、結論として0.075-0.1を与えることで良好な再現を得たと報告している。しかし、感度分析に使用されたグリッドのサイズは20km×20kmと今回の計算に比べて大きく、また今回の計算で用いたグリッドサイズと同様に1km×1kmのグリッドで計算を行っているケース²⁸⁾においては $C_{M,H} = 0.01$ が採用され良好な再現結果が得られたと報告されている。我々の計算では、この値を0.01-0.1の範囲で変化させた計算を行ったが、値を大きくすれば全体的に流速分布の変化がより滑らかな分布になるものの、水温・塩分濃度分布に与える影響についての鋭敏性は低かった。これらの結果とグリッドサイズが小さいほどこの値は小さくすべきものであることから、ここでは最終的に $C_{M,H} = 0.01$ を与えた。

(2) 境界条件

a) 自由水面 $z = \eta(x, y, t)$ での境界条件

$$\rho_0 K_M \left(\frac{\partial U}{\partial z}, \frac{\partial V}{\partial z} \right) = (\tau_{0x}, \tau_{0y}) \quad (15)$$

$$\rho_0 K_H \left(\frac{\partial \theta}{\partial z}, \frac{\partial S}{\partial z} \right) = (\dot{H}, \dot{S}) \quad (16)$$

ここで (τ_{0x}, τ_{0y}) は水面での風による応力、 $\dot{H}$ は水面での純熱フラックス、 $\dot{S}$ は水面での塩分フラックスである。

水面での純熱フラックスは次式で表される。

$$\dot{H} = (\phi_s - \phi_v) + (\phi_a - \phi_{\sigma}) - \phi_{br} - \phi_e - \phi_c \quad (17)$$

ここで、 ϕ_s (日射量)は直接計測値を用いたが、直接計測値が無い場合は、次式を用いた。

$$\phi_{sc} = \phi_s - \phi_{sv} = 0.94 \phi_{sc} (1 - 0.65 C^2) = \text{正味日射量}^{29)},$$

$$\begin{aligned} \phi_{\sigma} &= 5.9 \times 10^{-3} \left(\frac{e}{T_a} \right)^7 T_a^4 (1 + 0.17 C^2) \\ &= \text{雲による散乱放射}^{30)}, \end{aligned}$$

$\phi_{br} = 5.9 \times 10^{-3} (T_a + 273)^4$ = 海面からの長波放射,

$$\phi_c = (0.000308 + 0.000185W_z) \rho (e_s - e_z) \times (2493 - 2.26T_s) \times 10^3 = \text{蒸発による潜熱}^{31)},$$

$$\phi_c = 269.1(0.000308 + 0.000185W_z) \rho (T_s - T_z) = \text{熱伝導による顕熱}^{32)}$$

ここで, ϕ_{sc} は晴天時の日射量, ϕ_{sr} は雲による反射量, ϕ_s は散乱放射, C は雲量, e は水蒸気圧, T_a は気温, W_z は海面上高さ15cmでの風速, ρ は水の密度, e_s は海面上の気温に対する飽和水蒸気圧, e_z は海面上高さ15cmにおける水蒸気圧である.

また, 海面での塩分フラックスは次式で表される.

$$\dot{S} = S(0) [\dot{E} - \dot{P}] / \rho \quad (18)$$

ここで $[\dot{E} - \dot{P}]$ は蒸発-降雨による海面での純淡水量フラックスであり $S(0)$ は海面での塩分濃度である.

b) 海底 $z=-H$ での境界条件

海底では Θ, S の鉛直勾配はゼロであり, 境界を通しての熱・塩分の移動は無い.

$$\rho_0 K_M \left(\frac{\partial U}{\partial z}, \frac{\partial V}{\partial z} \right) = (\tau_{bx}, \tau_{by}) \quad (19)$$

$$\rho_0 K_H \left(\frac{\partial \Theta}{\partial z}, \frac{\partial S}{\partial z} \right) = 0 \quad (20)$$

ここで (τ_{bx}, τ_{by}) は海底における応力で, 次式のように対数近似則で与えられる.

$$(\tau_{bx}, \tau_{by}) = \rho_0 C_D (U_b^2 + V_b^2)^{1/2} (U_b, V_b) \quad (21)$$

$$C_D \equiv \kappa^2 (\ln(H + z_b) / z_0)^2 \quad (22)$$

ここで, $H(x, y)$ は海底地形を表し, z_b , U_b , V_b は海底に最も近い計算格子とそこでの流速を表す. κ は von Karman 定数である. 抗力係数 C_D は 0.0025 に定めるか式 (22) で計算された値とのどちらか大きい方の値を用いている¹⁸⁾. z_0 は海底の局所的な粗度に依存するが, 1cm とした.

c) Open boundary での境界条件

流入河川上流端では流量, 水温, 塩分を直接与える. 湾口では潮位, 水温, 塩分を与える.

(3) 座標変換

内湾における沿岸の水深変化をより効果的に表現するため, 本モデルにおいては上述のように設定した各式について鉛直方向に新しい変換座標 (x^*, y^*, z^*, t^*) を導入し, 全ての方程式の座標変換を行う. すなわち,

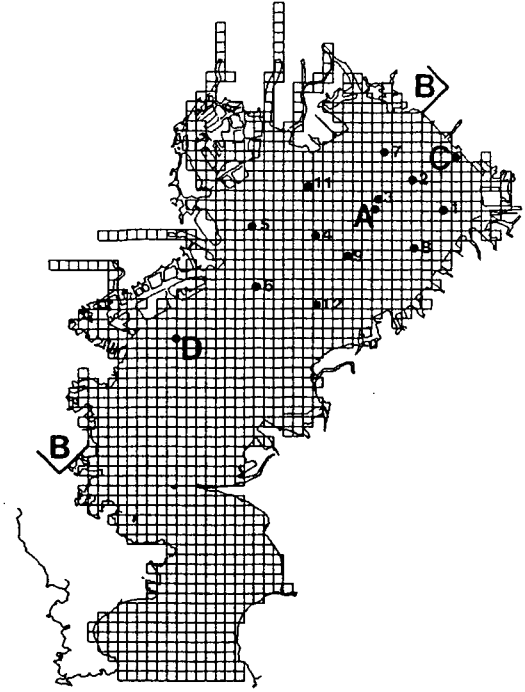


図-2 計算メッシュの平面的配列及び観測地点等の配置

$$x^* = x, y^* = y, \sigma = \frac{z - \eta}{D}, t^* = t \quad (23)$$

ここで, $D = H + \eta$ である. このため, $z = \eta$ で $\sigma = 0$, $z = -H$ で $\sigma = -1$ となる.

(4) 計算条件

北緯35度8分, 東経139度36分を原点とする城ヶ島より湾内を計算領域とした. 格子間隔は東西1km, 南北1kmとし, 水平方向の格子数は南北方向70メッシュ, 東西方向50メッシュ, 鉛直方向10層とした. 海底地形条件はJODCの水深データファイルよりメッシュ平均水深を求めた. 流入河川は鶴見川, 多摩川, 隅田川, 荒川, 江戸川の5河川とし, 河川上流10kmまでを計算領域とした. 計算メッシュの平面的配列については, 図-2に示す.

湾口部での水温・塩分の鉛直分布は観測値 (海況予報事業結果報告書 (神奈川県), 平成元年度, 2年度) を用いて与えた. また, 城ヶ島と岩井袋での調和常数のうち K_2 , M_2 , S_2 , O_1 , P_1 , K_1 及び S_1 分潮を考慮し, 湾口での潮位を与えた (日本沿岸潮汐調和常数表, 海上保安庁).

河川流量は鶴見川, 多摩川, 荒川, 江戸川の日平均流量 (流量年表, 建設省), 水温 (全国公共水域水質測定データ) を与えた. 隅田川に関しては流量

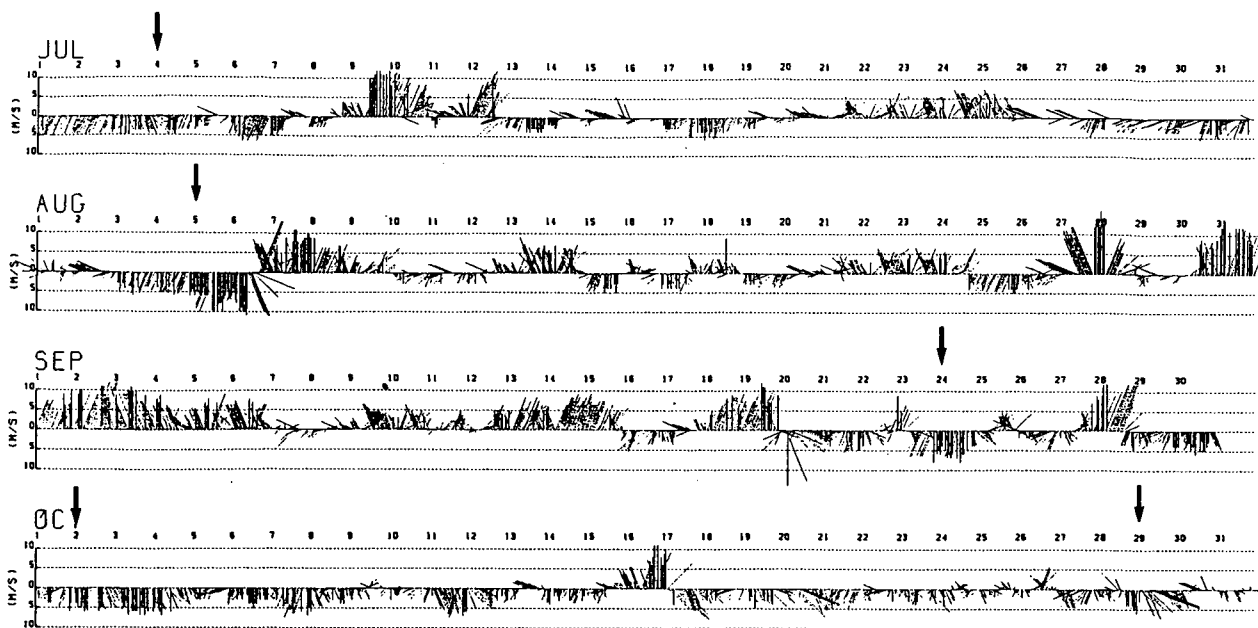


図-3 風向風速の連続観測値（千葉、木更津、及び東京ヘリポートの3地点での平均値）

データが存在しないため、流域規模がほぼ同じである多摩川の流量で代替することとした。さらに淡水供給源として沿岸に立地する下水処理場、事業場、及び発電所からの排水量についても記録に基づいて入力した。

気象条件としては気温、日射量、湿度、風速、雲量（気象月報、東京）の日平均値を用いて海面での熱収支の境界条件を与えた。また、水面での風応力の計算にはアメダスデータより千葉、木更津、及び東京ヘリポートの3地点での平均値をとることで求めた風向・風速の連続観測結果（図-3）を用いた。

さらに、湾内の水温・塩分の初期条件は全国公共水域水質測定データより与えた。

現況再現計算期間は1989年7月1日を初期値として、10月31日までの123日間を $\Delta t=10$ 秒で行った。1989年東京湾における青潮発生は6月から10月までの間に5回報告されているが（図-3の矢印）、この中でも特に10月2日に発生した青潮は中規模のものであり、この前後に詳細な流速、水温、塩分の観測がなされていることから、上記の現況再現計算に加えて、10月2日から青潮現象を引き起こした外部環境条件の一つと考えられる水面冷却が成層破壊にどのような影響を与えていたかを評価するため、気象条件として9月21日から気温及び日射量の低下がなかったと仮定したシミュレーション計算を10月7日までの17日間について行った。

3. モデルによる再現計算結果

1989年9月11日から10月21日にかけて海上保安庁水路部が東京湾4点において鉛直5層での定置測流（インペラ型ベルゲン流速計による流速2成分、水温、塩分）により流速、水温、塩分の連続観測を行っており^{3,3)}、検証に用いた。

(1) 潮流楕円の比較

海上保安庁水路部の観測のうち、青潮現象がしばしば観察される湾奥部に最も近い測点A（図-2）における連続観測と計算結果から求めた潮流楕円の比較を図-4に示す。表層、底層を表すものとして水深1.5mと10mでの観測値から得られた結果（細線）と対応する層における計算値から得られた結果（太線）を O_1 、 K_1 、 M_2 、 S_2 の4分潮ごとに比較した。実測値と計算値は非常に良く合致しており、十分満足できる結果となっている。

(2) 流速変動及びエネルギースペクトルの比較

潮流楕円の比較の結果から、主要な潮流成分に帰因する流速変動について十分満足できる再現性を持つことが示されたので次に、本モデルが主要な潮流成分に帰因する流速変動のみならず他の原因による流速変動特性をどの程度正確に再現しているのかを確認するため、連続観測結果より得られた流速変動及びエネルギースペクトルを用いて計算結果との比較を行った。ここでは、A点及びそのA点から最も離れたD点（図-2）における

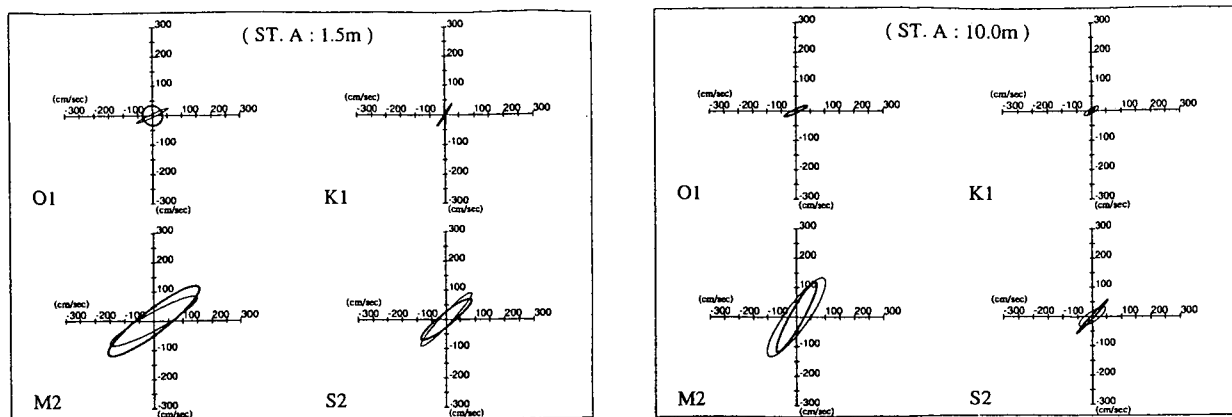


図-4 測点Aにおける潮流楕円の比較 (観測: 細線, 計算: 太線)

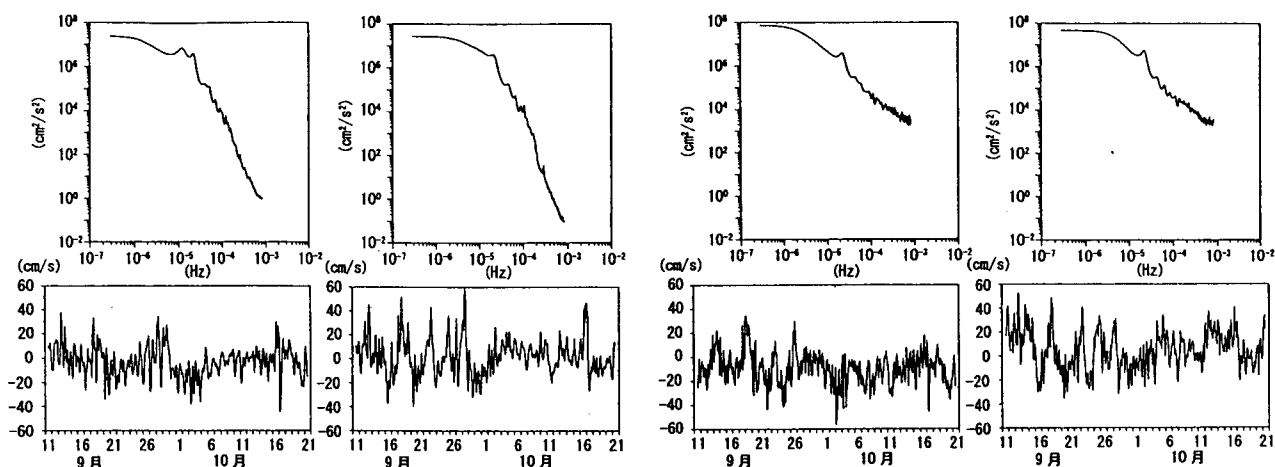


図-5 (a) 測点A表層における南北(左側), 東西(右側)成分の計算流速及びエネルギースペクトル

図-5 (b) 測点A表層における南北(左側), 東西(右側)成分の流速観測結果及びエネルギースペクトル

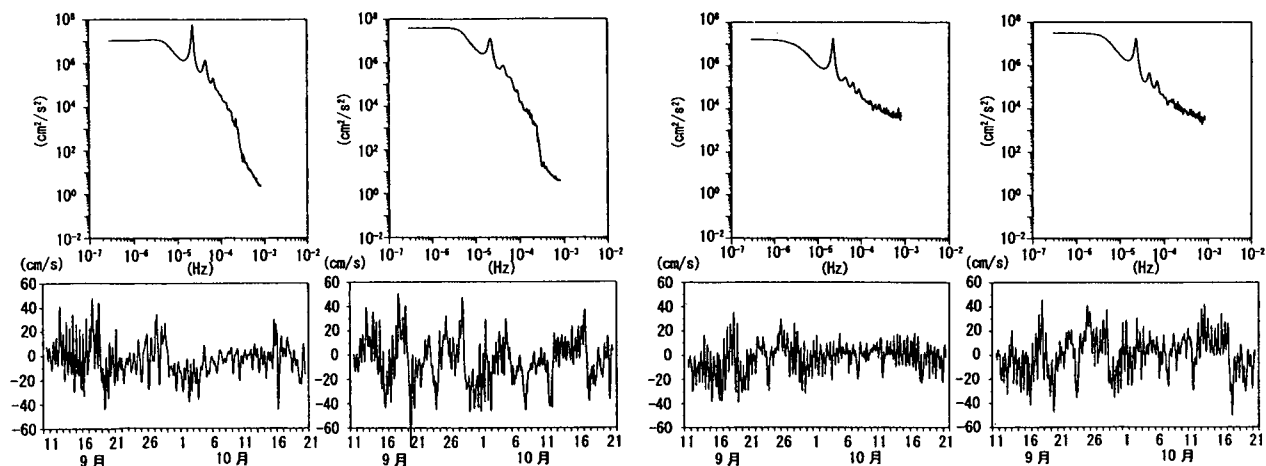


図-6 (a) 測点D表層における南北(左側), 東西(右側)成分の計算流速及びエネルギースペクトル

図-6 (b) 測点D表層における南北(左側), 東西(右側)成分の流速観測結果及びエネルギースペクトル

南北, 東西成分の流速観測結果及びエネルギースペクトルについて計算結果との比較を示し, 流速変動成分について量的に適切に再現されているかを検討した。

その結果, 日周期, 半日周期及び低周期のエネルギースペクトルは非常に良好に再現され, 流速変動の幅についても実測値と計算値ともほぼ同様の値を

示している(図-5, 6)。一方, 高周期のエネルギースペクトルの計算値は Smagorinsky^{2,2)}の方法を用いることで改善されたが, それでも実測値より低い値となる傾向が見られた。これは, モデルで用いている格子サイズが東京湾に存在する小規模渦を正確に表現するには十分細かいサイズではないことを示唆している。しかし, 格子サイズを小さくする

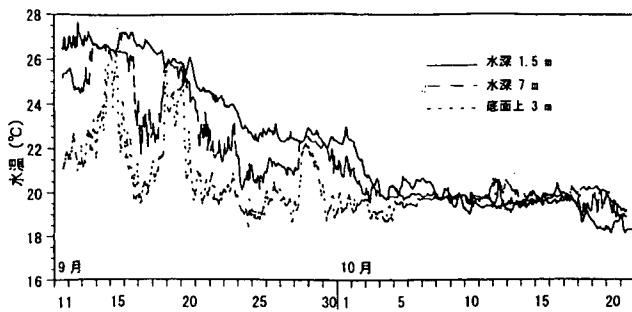


図-7 (a) 測点Aにおける水温変化の連続観測結果

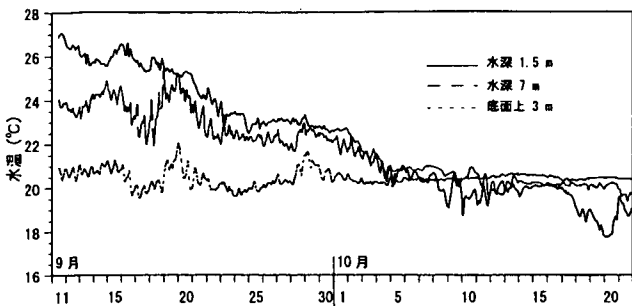


図-7 (b) 測点Aにおける水温変化の計算結果

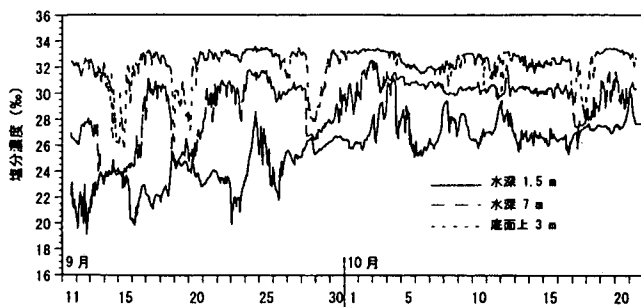


図-8 (a) 測点Aにおける塩分濃度変化の連続観測結果

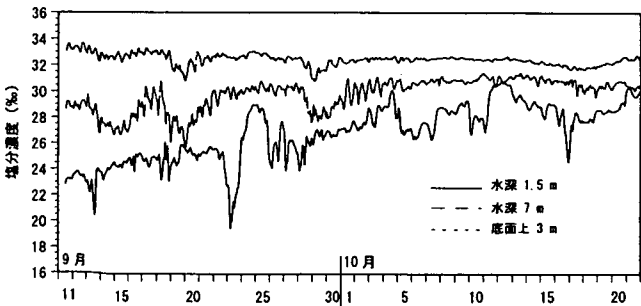


図-8 (b) 測点Aにおける塩分濃度変化の計算結果

ことは計算時間の制約から困難なことからこれ以上小さな格子サイズを採用することはしなかった。

(3) 水温・塩分の連続観測との比較

1989年9月11日から10月21日にかけての測点A (図-2) における水温、塩分の観測値と計算値を図-7, 8に示す。表層 (水深1.5m) での水温変化特に、水温成層が逆転するタイミングや、底層水温が間欠的に上昇する (鉛直混合が激しくなる) タイミングをよく再現している。前述のようにモデルは流れの短時間での変動成分を過少評価している傾向がある

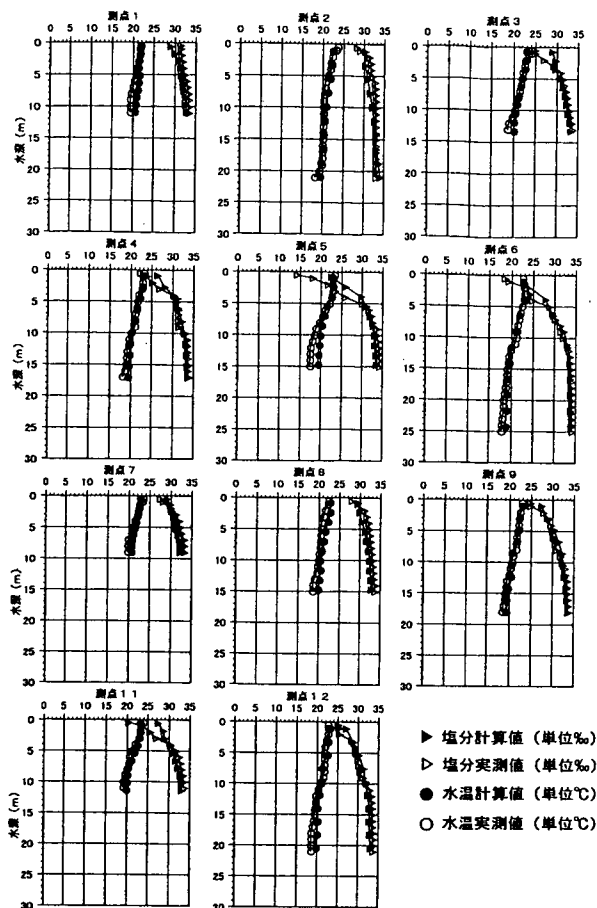


図-9 9月25日の多点観測結果と計算結果の比較

ため、実測値に見られるほど短時間に急激に起こる混合は完全には再現し得ず、底層における変動を過小に見積もる結果となかったが、青潮現象再現において重要な表層における水温・塩分の変化のパターンを良好に再現している。青潮現象再現にとってA点での水温・塩分変化は特に重要であるため、青潮現象発生時の計算結果については(5)で述べる。

(4) 多点観測結果との比較

A点での連続観測結果との比較において特に表層における良好な再現計算結果が得られたが、さらに空間的広がりを持った水温・塩分の鉛直分布観測結果³⁴⁾と計算値との比較を行い、湾全体の流動及び水質変化が適切に再現されているかを検討した。1989年9月25日の多点観測結果³⁴⁾との比較を図-9に示す。

各々の観測点における水温・塩分の観測値の鉛直分布と計算結果を比較すると、測点3, 4, 5, 6, 11において、河川からの淡水流入により表層の塩分濃度が低くなるが、計算結果は湾全域において、この影響による強い鉛直成層構造 (観測値) と同様の分布パターンを良好に再現していることを示している。隅田川流入域である測点5, 11において表層塩分濃度計算値が実測値より高い値を示している

理由としては、計算において境界条件として与えている隅田川流量（流域面積から推定）と実際の流量との誤差が挙げられるが、湾全体として熱量、塩分の収支は良好に再現されており、また今回の研究において主に注目している湾奥部での水温、塩分分布の再現は良好であることが示された。

(5) 青潮発生時の計算結果

青潮を引き起こす湾奥部における湧昇流の発生要因を解析するため、ここでは、まず青潮発生時の水質測定結果について検討するとともに、これに対応する時点における計算結果との比較検討を行った。

湾奥付近A点での流速及び水温・塩分の連続観測の期間中^{3,7)}であること、また、9月27日と10月3日には、公共用水域水質測定が行われており、種々の観測値が入手可能なことから、1989年に発生が報告されている青潮のうち9月23日及び10月2日から始まった2回の青潮を対象に、これらの観測結果と計算結果を比較することにする。9月23、24日にかけて発生した青潮は小規模、また、10月2日午後から4日にかけて発生したものは中規模であった。

青潮が発生した9月24日、10月2日には、発生要因と考えられる5m/s以上の北風が連続的に吹いている（図-3）。図-7(a)、8(a)のA点における水温・塩分の連続観測値は、表層水温が9月23日から24日にかけては約2℃、10月2日から4日にかけては約3℃の急激な低下を、また表層塩分濃度については9月23日から24日にかけて約7‰、10月2日から5日にかけては約5‰の急上昇を示している。これら2回の青潮現象発生時に共通している顕著な水質変化特性は、上述のように水温低下と塩分濃度上昇という表層での変化が急激であるのに対して、底層では、水温・塩分ともに変化がほとんど見受けられない点である（図-7(a)、8(a)）。

計算結果を見ると、表層水温で9月23日から24日にかけては約1℃、10月2日から4日にかけては約2℃の低下、表層塩分濃度で9月23日から24日にかけて約8‰、10月2日から4日にかけては約4‰の上昇を示しており、この間、底層では水温・塩分ともほとんど変化していない点を含めて良好な再現結果を示している（図-7(b)、8(b)）。

上述した青潮発生時のA点の表層における急激な水温低下、塩分濃度上昇を引き起こした水質変化過程について検証するため9月27日及び10月3日に行われた公共用水域水質測定結果と日平均計算結果とを比較する。ここでは、塩分濃度に着目して9月27日と、10月3日の表層における水平分布を比較する。

測定結果からは湾奥部において9月27日には25

～26‰程度であった表層塩分濃度（図-10(a)）が10月3日には32‰以上となっており（図-10(b)）高塩分濃度の水塊がこの期間中に湾奥部表層に現れたことが理解できる。計算値は、9月27日の湾奥部表層における塩分濃度が2‰程度高い結果になっているものの、10月3日には湾奥部表層の東側に32‰以上の高塩分濃度水塊が現れた点を非常に良好に再現している（図-11(a)、(b)）。測定値、計算値ともに北風に伴う湾奥部表層における塩分濃度の上昇を示した（図-10、11）が、この変化は前述の湾奥部における湧昇流と鉛直混合によるものと考えられる。

本研究において溶存酸素は計算対象としていないために計算値と実測値との比較は出来ないが、9月27日から10月3日にかけて起こった水質変化についてさらに検討を行うために9月27日と10月3日の表層及び底層における溶存酸素測定結果について述べる。

湾奥部表層で9月27日には10mg/l程度あった溶存酸素（図-12(a)）は10月3日には3mg/l以下に低下する（図-12(b)）とともに底層では9月27日にはA点（図-2）周辺で1mg/l以下の極小値（図-12(c)）を示していた分布は10月3日には湾奥部において1mg/l以下の極小値を示す分布となり（図-12(d)）10月2日から始まった青潮発生の際には底層に存在していた貧酸素水塊が湾奥部へと北上し、湾奥部において湧昇したことを示唆している。

10月3日の観測結果に示された表層における貧酸素かつ高塩分濃度の水塊の出現は青潮現象の発生に他ならない。この水塊が出現した場所は図-1において示された大規模青潮発生域と同一の地域である。

今回の計算では溶存酸素の変化の観点からモデル計算結果と実測値を直接比較することはできないが、湾奥部表層における水温・塩分の良好な再現結果は（図-7、8、9、10、11）、貧酸素かつ高塩分濃度の水塊が10月3日の観測結果（図-10(b)、12(b)）で湾奥部表層に現れた際に生じた流動及び拡散過程をモデル計算が正確に再現していることを示している。

ここで、この流動及び拡散過程について検討するため10月3日における流動及び鉛直渦動拡散係数に関する計算結果を示す。図-2のB-B断面での10月3日における日平均計算結果からは下層で湾奥に向かい上層で湾口に向かう2層流が形成され（図-13(a)）、その結果、湾奥に強い上昇流が発生していることが示されており（図-13(b)）、B-B断面において鉛直循環流が形成されていることが示されている。水平日平均流速の第1層及び第7層グリッドでの計算結果の水平分布からも千葉県側湾奥部において、



図-10(a) 9月27日の表層塩分濃度測定値 (単位‰)

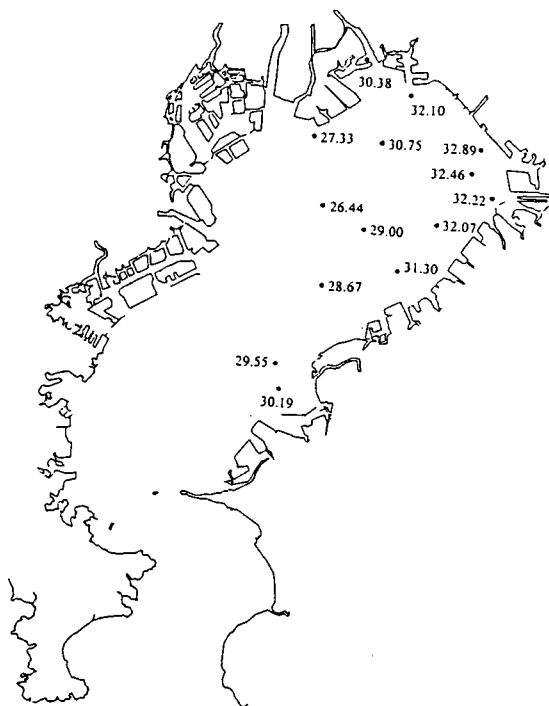


図-10(b) 10月3日の表層塩分濃度測定値 (単位‰)

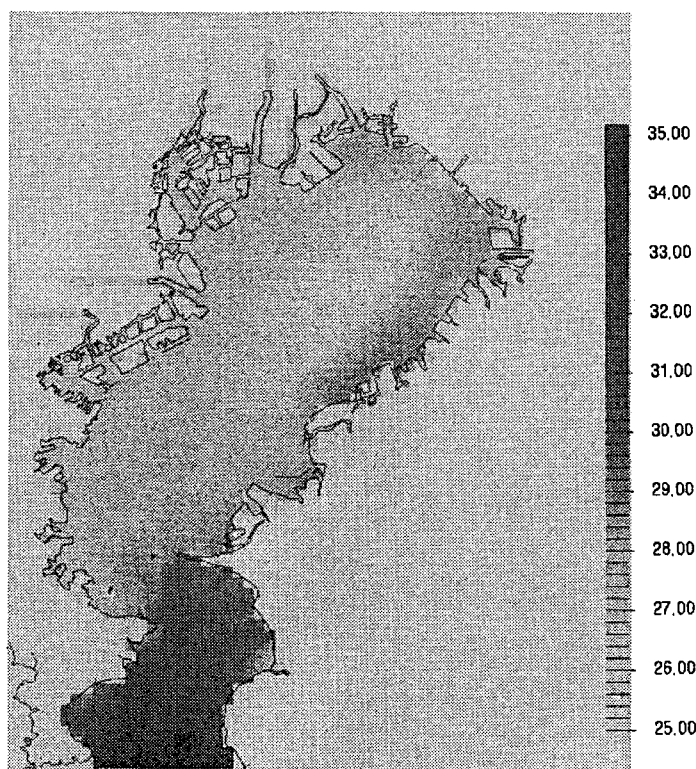


図-11(a) 9月27日の表層塩分濃度計算値 (単位‰)

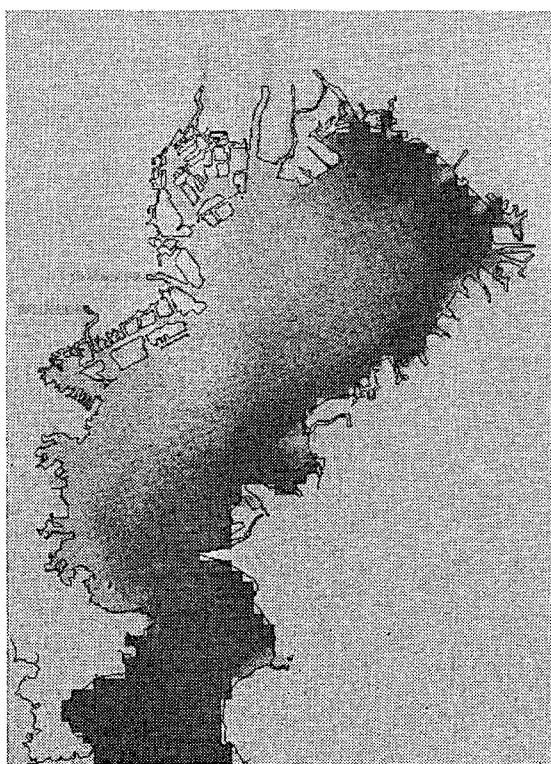


図-11(b) 10月3日の表層塩分濃度計算値 (単位‰)

表層水(第1層)が時計回りの回転をしながら東岸に沿って南に流下し、底層水(第7層)は湾の東岸に沿って北上し流れる様子が示されている(図-14(a), (b))。東岸に沿う表層の南下流は田中ら^{3.5)}による計算でも再現されているものと同様のものと考えられる。10月3日の流動計算結果からは特に東岸

において顕著な表層における南下流、底層における北上流が存在し、湾奥部において上昇流が発生することが示された。

湾奥部表層において10月3日に出現した高塩分貧酸素水塊は上昇流のみならず鉛直混合の増大を伴って起こったと考えられることから、湾奥部沿岸の点



図-12(a) 9月27日の表層溶存酸素測定値(単位 mg/l)

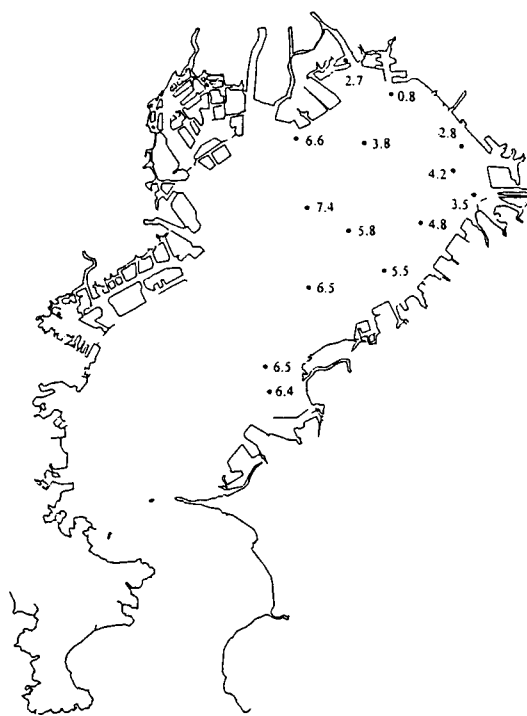


図-12(b) 10月3日の表層溶存酸素測定値(単位 mg/l)



図-12(c) 9月27日の底層溶存酸素測定値(単位 mg/l)

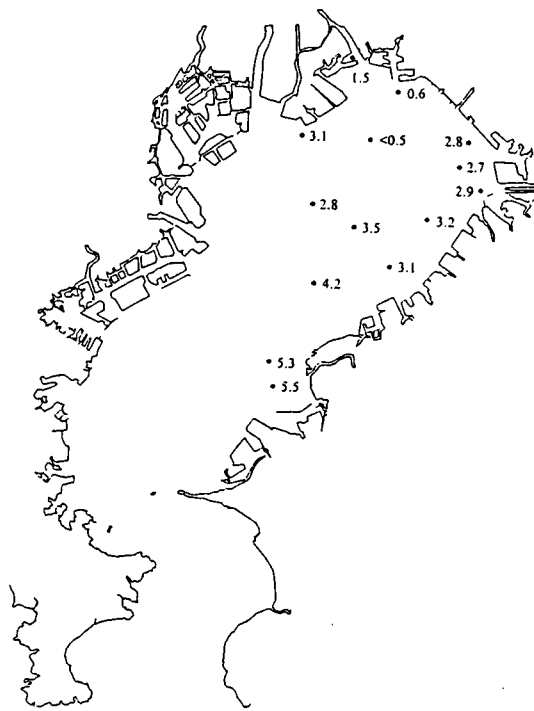


図-12(d) 10月3日の底層溶存酸素測定値(単位 mg/l)

C (図-2) において計算された鉛直渦拡散係数 K_v の水深方向分布の9月21日から10月5日までの経時変化(鉛直渦動拡散係数 K_v (単位 cm^2/s)の変化を $\log(K_v)$ で表示)を見ると南北方向の風に呼応して変化していることが示されている。すなわち鉛直渦動拡散係数は北風が強く青潮が発生した9月24日, 10月2日から10月4日(図-3)に著しく(他の日の10

～100倍以上)増大している(図-15(a))。また, 強い南風が吹いた9月28日も水柱全体にわたっての激しい増大(鉛直渦動拡散係数は他の日の100～10000倍以上)が見られ, 湾奥部において南北方向の風に伴い鉛直混合が促進されることを示唆している。

これらの結果を総合すると青潮現象を引き起こす

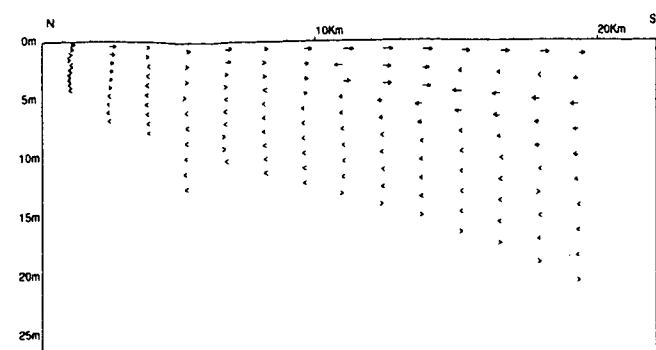


図-13(a) 10月3日のB-B断面での水平流速分布

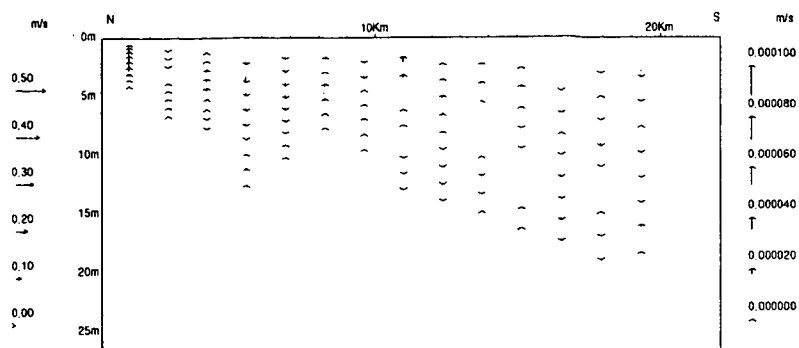


図-13(b) 10月3日のB-B断面での鉛直流速分布

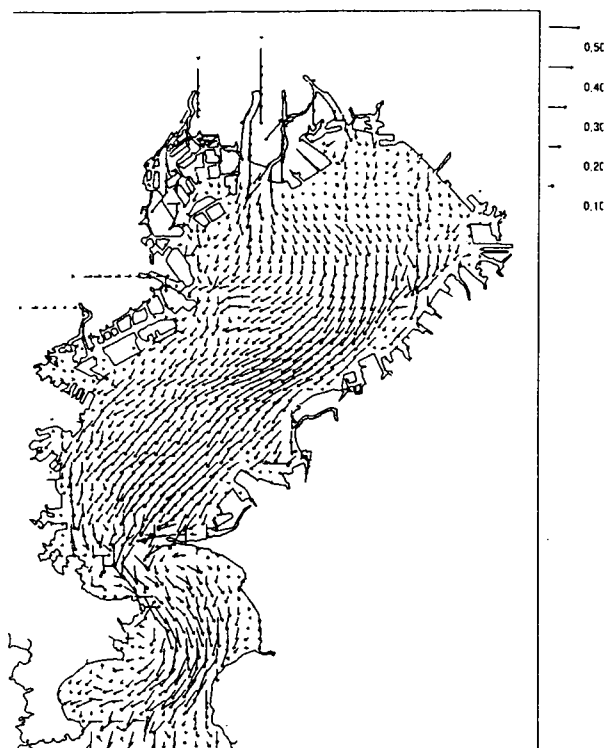


図-14(a) 10月3日の表層における水平流速分布

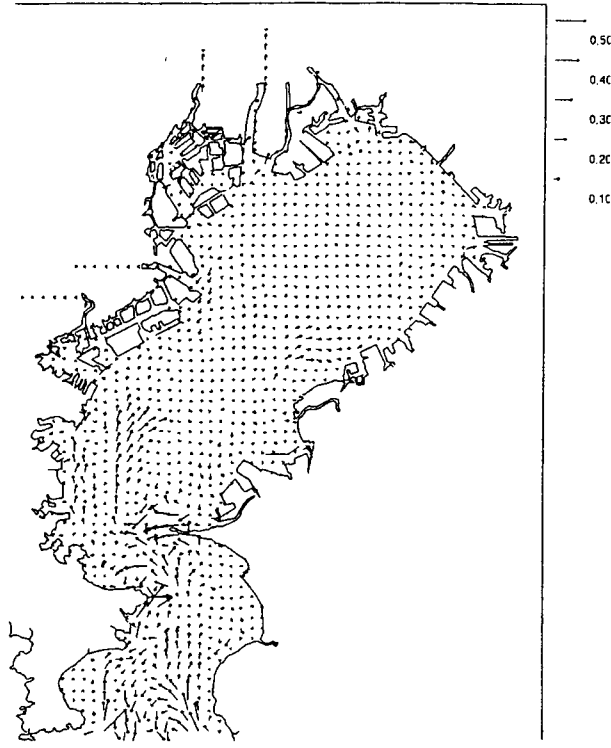


図-14(b) 10月3日の底層における水平流速分布

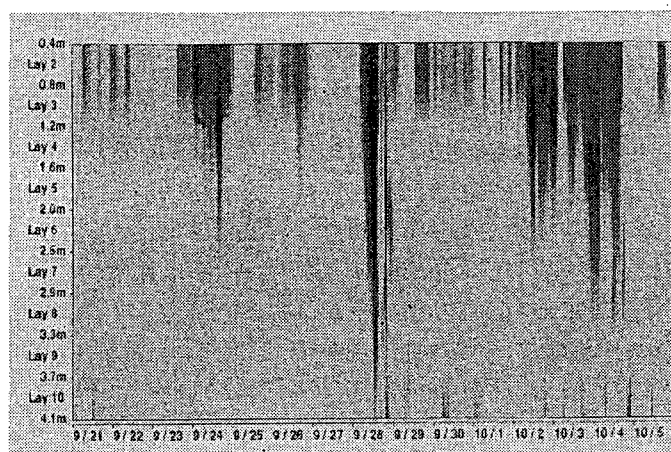


図-15(a) C点における鉛直渦動拡散係数 K_H の変化

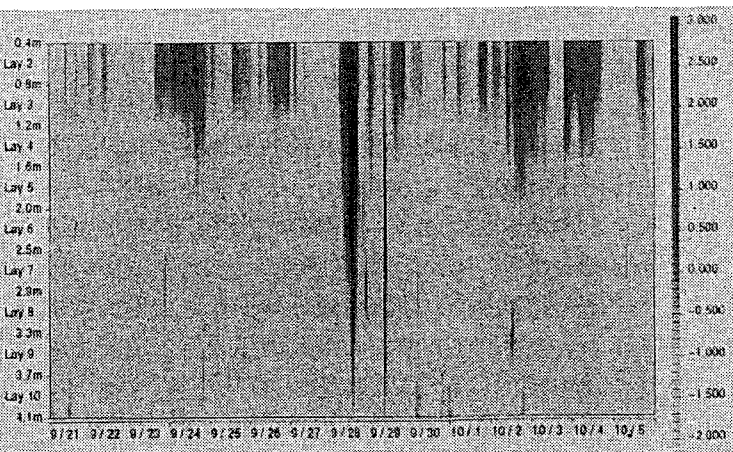


図-15(b) 北風に伴う冷却を無くした場合のC点における鉛直渦動拡散係数 K_H の変化

物理過程として以下のことがモデル計算により示される。すなわち、北偏風により湾奥部においては表層水が沖に向かう流れが生起し、これを補償する岸

向きの流れが底層部に起きる。このため、貧（無）酸素底層水が千葉県側の東京湾奥へと流れ、湾奥における強い上昇流と増大した鉛直拡散により千葉県

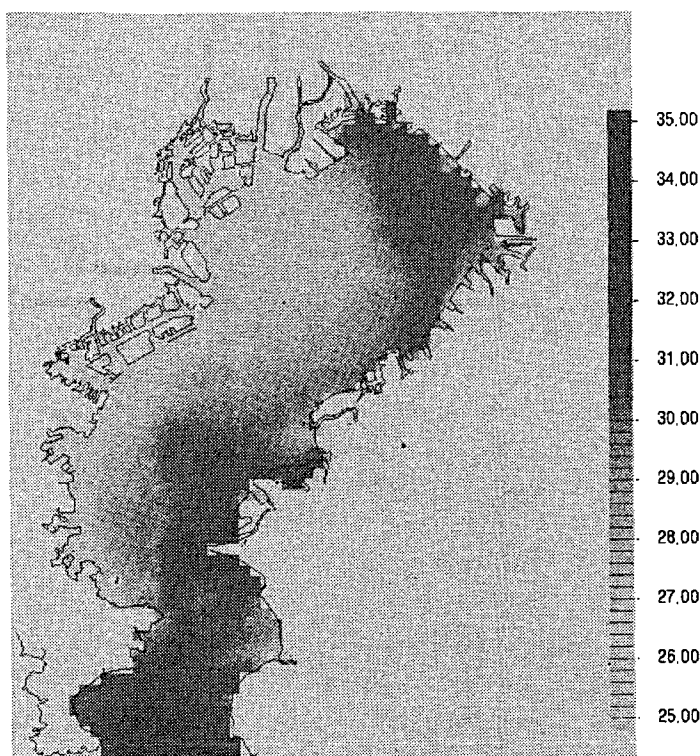


図-16 冷却を無くした場合の10月3日の表層塩分濃度の水平分布 (単位‰)

側の東京湾奥の水柱全体の水質が急激に底層水質によって置き換わる過程である。

(6) 東京湾奥部における成層破壊に与える海面冷却の効果検証計算結果

東京湾奥部における青潮発生への海面冷却に起因する鉛直混合促進の影響を確認するため、数値実験を行った。まず、海面冷却の効果を評価するため、実際には9月21日以降低下した気温及び日射量をそのまま一定値として計算を行った。風向風速については変化させていないため湾奥部における流動パターンには有意な差は現れなかったが、海面冷却の効果が抑制されたため、北風時(9月24日、10月2日から10月4日)の鉛直渦動拡散係数は $1/10 \sim 1/100$ のオーダーに減少し(図-15(b))、鉛直混合が促進されないため、10月3日の湾奥部における表層塩分濃度は現況再現計算結果(図-11(b))に比べ1‰程度下がる結果(図-16)となった。この比較計算により海面冷却は、鉛直混合を促進し、北風時の鉛直混合をさらに増大させることが示された。これにより底層無酸素水塊の表層への影響が強くなり青潮の規模が拡大すると考えられることから、青潮発生時の海面冷却の重要性^{(36), (37), (38)}を裏付ける結果となった。

4. 考察

青潮発生時には湾奥部において強い上昇流と鉛直拡散の増大が発生していることが計算結果から示された。計算結果からは、北風が吹くと湾奥部においては表層と底層で逆向きの流れが生起し、鉛直方向に水平流速勾配が増加しこれに応じて鉛直拡散係数が増大する(図-3, 14, 15(a))ことが理解できる。

南風の場合も鉛直渦動拡散係数が増大するが、風向きによって湾奥部の水柱に現れる影響は全く逆の結果となる。風向風速の経時変化(図-3)とA点における水温・塩分の実測値の経時変化(図-7(a), 8(a))について見ると北風が卓越していた9月24日、10月2~4日、10月8日、10月12日は先述したようにいずれも表層水質が急激に変化し(水温低下、塩分上昇)底層水質はほとんど変化しないのに対して、南風が卓越していた9月15日、19, 20日, 28, 29日、10月17日には、この逆で底層水質が急激に変化し(水温上昇、塩分低下)表層水質の変化は比較的少ない様子が記録されている。これら変化特性は計算結果(図-7(b), 8(b))にも再現されている。

千葉県側の東京湾奥を一つのコントロールボリュームとして考えると上に述べた水質変化を引き起こした物理過程がわかりやすくなる。すなわち、北風の際には、表層水がこの領域から沖合いに流出し、それに応じて底層水が沖合いからこの領域に流入してくることになる。湾奥部は、特に南北方向の風の際に鉛直拡散係数 K_H が高くなる傾向があり(図-15(a))、鉛直混合が促進される。北風の際には、表層水の流出、底層水の流入という移流による効果に加えて増大した鉛直混合の結果、湾奥部における全水柱の水質は鉛直混合直前の底層水質が支配的になる。

これは、混合に先立ち底層における貧酸素化が進行していれば表層水の貧酸素化が起ることを意味し青潮が発生することであり、これが今回のモデル計算から帰納的に導かれる青潮発生に必要な物理的機構である。

逆に南風の場合は、湾奥部領域に対して表層水が流入、底層水が流出という流動特性になることが計算結果から示される(図-17)。このため、南風によって北風の場合同様に鉛直渦動拡散係数が増大し(図-15(a))、鉛直混合が促進されるが、湾奥部の全水柱の水質は表層水質が支配的になる(図-7, 8)。9月24日から25日にかけての青潮が小規模で終わったのも、翌26日には南東風が吹いたた

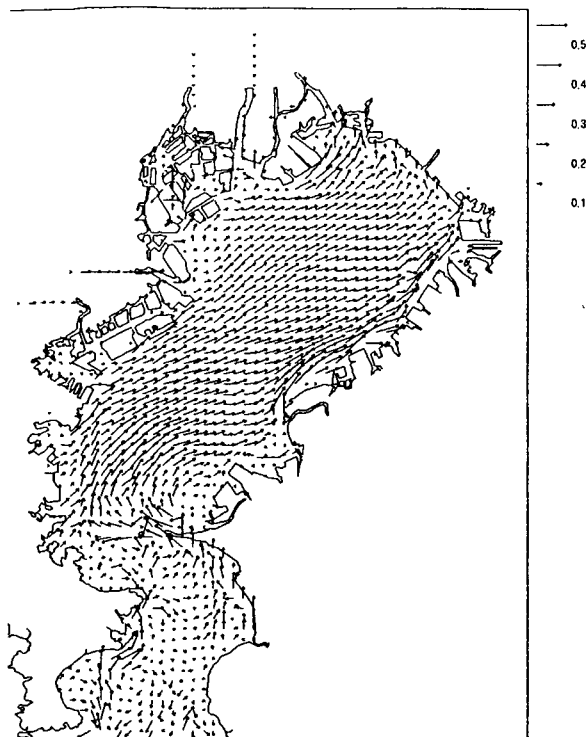


図-17(a) 9月28日（南風時）の表層における水平流速分布

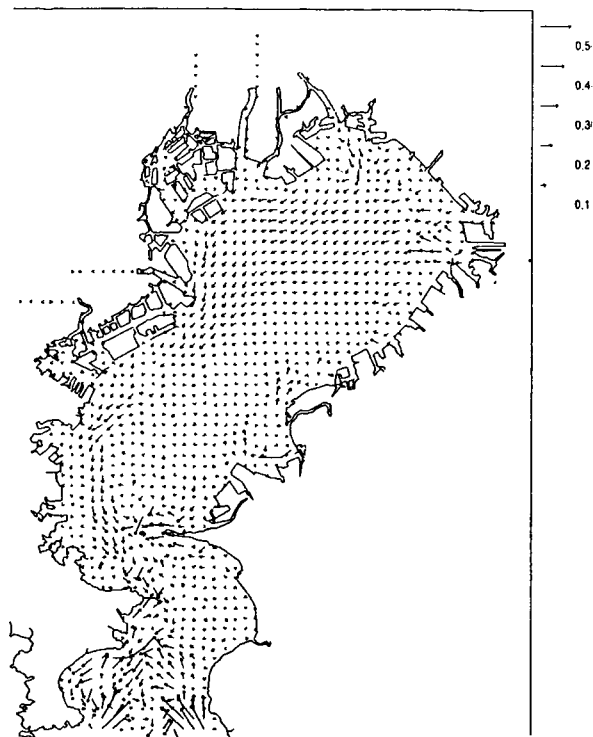


図-17(b) 9月28日（南風時）の底層における水平流速分布

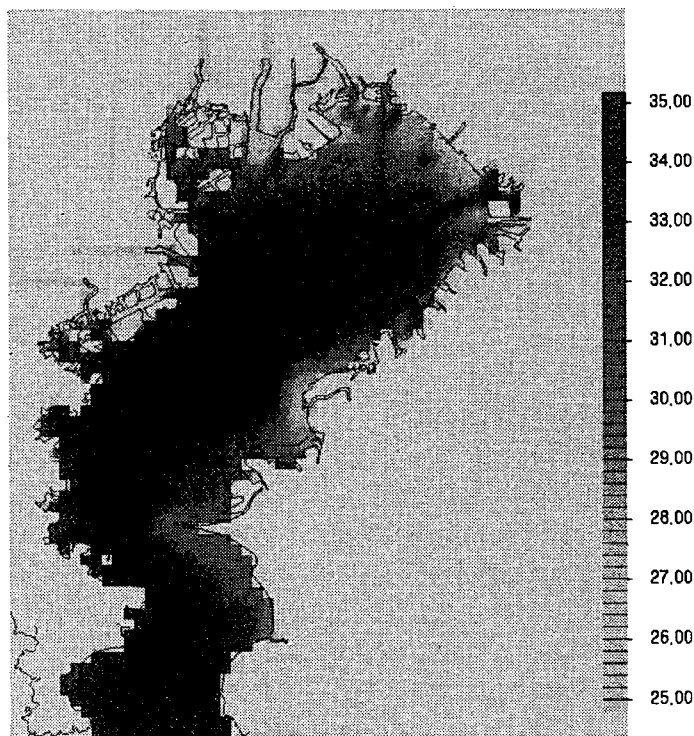


図-18 9月28日の底層塩分濃度計算値（単位‰）

め、沖合い表層に存在する溶存酸素濃度が高い水塊が湾奥部に流入し、湾奥部における貧酸素状態が短時間で解消したためであると考えられる。

このように東京湾奥部にとって南風は鉛直混合の促進による底層への酸素供給も行っており、青潮を

解消する役割を果たしていると考えられる。既に述べたように、9月28日の強い南風の際には湾奥のC点（水深4.1m）では水柱全体に鉛直渦動拡散係数 K_v の増大が確認され（図-15(a）），水柱全体にわたる鉛直混合が示唆された。これに対して、水深の大きい地点での鉛直渦動拡散係数の変化からは9月28日のような強い南風の際においても鉛直渦動拡散係数の顕著な増大が見られたのは水深約10mまでであった。この結果は成層期においても湾奥部で水深10m程度までは南風が吹くことで鉛直混合が促進され、表層より溶存酸素の供給が行われることを示し、また逆に湾奥部において水深が10m以上となる場所においては、成層期には底層にまで混合が起らず貧酸素化しやすいことを示しており、このことは青潮のそもそもの原因となる底層における無酸素水塊の発生位置を規定すると考えられる。実際、9月27日の底層における溶存酸素濃度の測定値（図-12(c））のうち1.0mg/l以下となっている点は何れも水深が10m以上となっている。成層期における流動及び鉛直混合の影響を溶存酸素変化同様に受ける塩分濃度について、強い南風が吹いた9月28日の底層での計算値（第10層における計算値）の分布を図-18に示す。底層塩分濃度が低下しているのは主に水深の浅い湾奥部の沿岸においてであり、千葉、船橋航路や湊渚による窪地部分では鉛直混合が底層ま

ではに至らず塩分濃度が高いままであることが示されている。図中の塩分濃度が32‰以上の値を示す箇所は水深10m以上の箇所に対応しており無酸素水塊が発生する可能性の高い箇所と考えられる。

北風時に気温・日射量が低下しなかったと仮定したシミュレーションからは海面冷却効果が無いことによる鉛直混合の抑制が示された（図-11(b)と16及び図-15(a), (b)）。東京湾では、秋期において北風が吹く場合の気象条件は低気圧が支配的であるため日射量が減少し同時に気温も低下することが多い。今回の計算期間である10月2日からの青潮発生時においても、北風と同時に気温及び日射量の測定値の低下が認められている。測定値をそのまま用いた現況再現計算（図-11(b), 15(a)）と比較するため気温及び日射量を低下させないで計算したシミュレーションでは、青潮が観測された10月3日、湾奥部の千葉県側沿岸において鉛直渦動拡散係数が現況再現計算に比べて減少し（図-15(b)）、表層での塩分濃度の上昇は抑制された（図-16）。このシミュレーション結果からも見られるように海面冷却は湾奥部の特に青潮が良く観測される千葉県側沿岸において鉛直混合に重要な役割を果たしていることが評価された。

青潮の発生機構として、宇野木¹⁵⁾が指摘した北東風に伴い東京湾東側で湧昇が発生し、これが内部ケルビン波として伝播し湾奥部における青潮につながるという考え方がある。しかし、宇野木¹⁵⁾の観測結果を見ると北風が吹く前には東風が吹いており、東岸においては風向きが北風になるより前に湧昇が始まっているように見える。今回研究対象とした期間中、8月5日から観測された青潮発生時には、北風に先立ち東風が吹き続けており、宇野木の観測と類似の風向きの変化が起こっている。この期間において現地観測結果³⁴⁾が存在するのでこれを見ると、図-19に示されるように8月2日の東岸側の測点8（図-2）の表層塩分が湾奥部の測点2に比べて早く上昇していることが示されている。これに対して同様に青潮が観測された時期ではあるが北風に先立ち東風が吹かなかった9月25日の観測結果からはこのような傾向は見られない。計算結果からも8月2日のケースでは、東岸側で先に湧昇が起こったように見える結果が得られた。

北風が吹き続けて10月2日に青潮発生に至ったケースについて塩分濃度分布の変化を3次元表示したのが図-20である。海面において塩分濃度30‰以上の部分を紫色で、海中の塩分濃度30‰の等値面を青緑色で表している。計算からは湾奥部千葉港沖から湾奥部にかけての沿岸部でまず湧昇が起こり、表層で

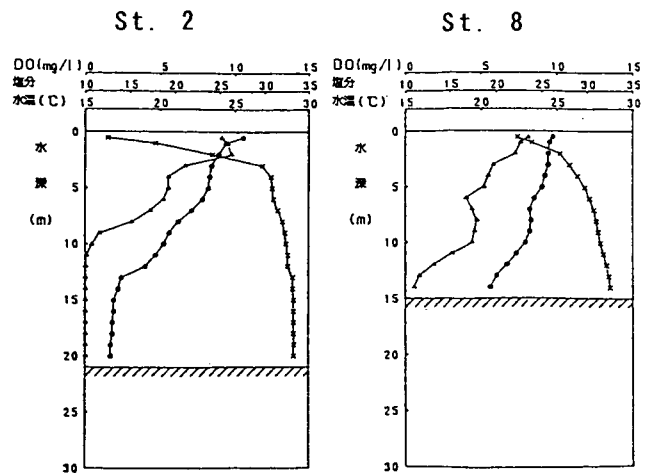


図-19(a) 水温 (○-○)・塩分 (×-×)・溶存酸素 (△-△) 鉛直分布観測結果 (8月2日)

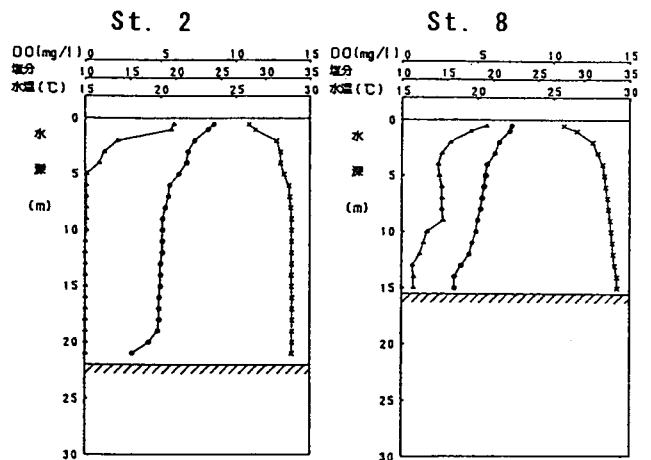


図-19(b) 水温 (○-○)・塩分 (×-×)・溶存酸素 (△-△) 鉛直分布観測結果 (9月25日)

の時計回りの流れにのって東岸側へ湧昇域の拡大が起こるという結果が示され、宇野木の指摘とはむしろ逆の結果になっている。

これらの結果を総合的に解釈すると、北風が連続的に吹き出す前に東～北東風が吹き続けた場合には、宇野木¹⁵⁾が指摘したように東岸側から先に湧昇が起こることもありうると考えられるが、今回、我々の研究対象とした秋期の湾奥部における青潮現象のように南風が急に北風が変わって北風が吹き続けて起こった場合は、むしろ千葉側湾奥部においてまず湧昇が起こっていると考えの方が妥当と考えられる。

以上述べたように計算を通して風向・風速の変化に起因する東京湾奥での流動、鉛直混合及びこれらに起因する水質変化についての知見が得られ青潮が起こる際の条件が明らかになった。しかし、計算期間を通して例えば10月8日、12日などは北風が卓越し、計算結果からは千葉県側の東京湾奥で塩分

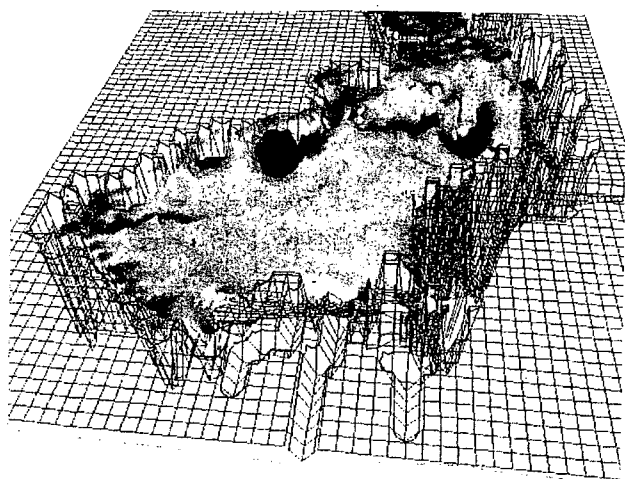


図-20(a) 海面塩分濃度30‰以上の分布と
塩分濃度30‰の等値面 (10月2日午前6時)

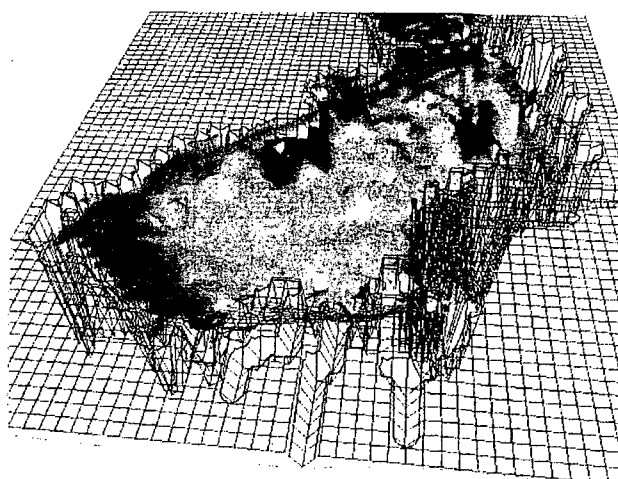


図-20(b) 海面塩分濃度30‰以上の分布と
塩分濃度30‰の等値面 (10月2日午後6時)

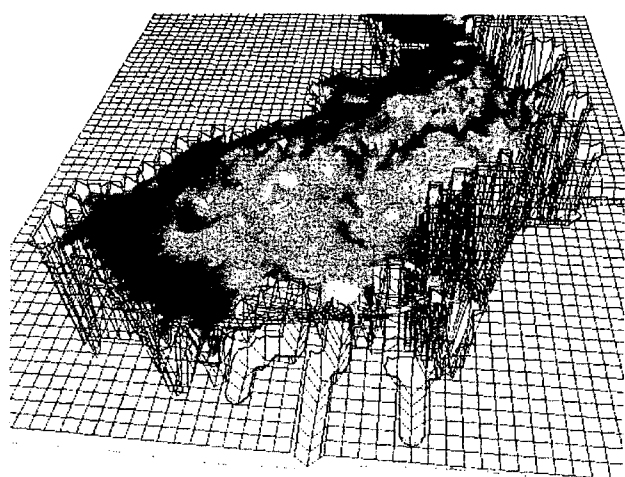


図-20(c) 海面塩分濃度30‰以上の分布と
塩分濃度30‰の等値面 (10月3日正午)

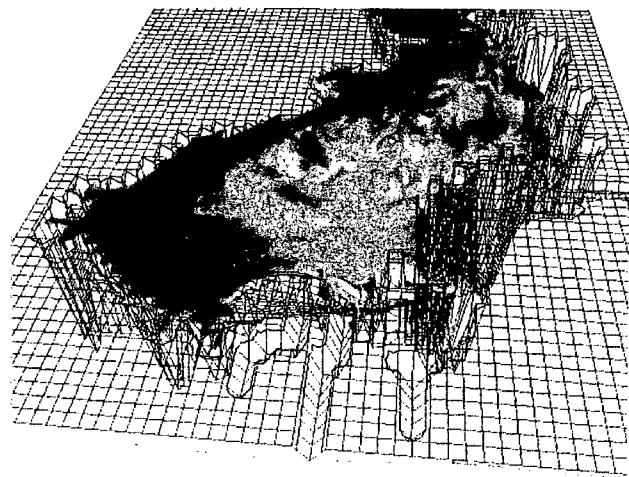


図-20(d) 海面塩分濃度30‰以上の分布と
塩分濃度30‰の等値面 (10月4日午前6時)

濃度が上昇する青潮現象発生時の様子が再現されている(図は割愛する)が、青潮現象は報告されていない。この理由としては、9月初旬には表層と底層で水温差が6℃、塩分濃度差が1.2‰程度あった成層が徐々に破壊され、水温差がほぼ解消し、塩分濃

度も4‰程度の差となり、鉛直混合に先立ち、底層における無酸素状態が解消されていたためと考えられる。青潮現象は、成層化により嫌気化した底層水が風による成層破壊と鉛直混合促進で表層に現れて起こる現象であると考えられる。このため、北風に

よって青潮発生時と同様な流れ及び鉛直混合が起こったとしても底層における貧酸素状態が解消されていれば青潮として現象が顕在化するわけではない。このため、青潮発生機構を検討する場合、本研究で試みた成層破壊により青潮発生に至る物理過程についての解析が重要であるとともに、成層が進行し底層水が嫌気化する過程についても同時に解析することが貧酸素化を伴う青潮の発生を予測するために必要であり、今後の課題である。

5. まとめ

河川からの淡水流入、湾口での潮汐及び外洋からの高塩分・高水温海水の流入、海面での熱移動と風による応力の影響を受け複雑な流動を呈する内湾における流動を3次元の流動モデルを用いて解析し、特に東京湾において夏から初秋にかけてしばしば観測され、内湾生態系にとっても重要な現象である青潮現象発生のメカニズム解明を試みた。本研究においては、湾が成層し、底層において貧（無）酸素化が進んだ水塊が移流と鉛直混合により湾奥部における水柱水質を支配することで青潮現象が起こること、その際の湾内の流動特性、またこのような流動を生起させる気象条件（北偏風、気温、日射量低下）を明らかにした。今回作成したモデルは水質項目として水温、塩分のみを考慮しており、底層において酸素が欠乏する過程や青潮現象特有の着色については解析していないため、青潮発生の必要条件を解析的に示したにとどまっている。しかし、従来より指摘されてきた北偏風によって生起する鉛直循環流の重要性に加えて水平流速の鉛直方向勾配の増大や海面冷却に伴って促進される鉛直拡散係数の増加として鉛直混合に及ぼす影響を定量的に示すことが可能になった。

今回のモデル計算により算定された鉛直渦動拡散係数は数時間の間に $10^4 \sim 10^6$ (cm²/s)のオーダーで変化している。今回の計算により示された急激な鉛直渦動拡散係数の変化をもってしても東京湾奥における水温・塩分が風によって受ける急激な変化特性を若干過小評価していることは青潮現象のように湾における流動、拡散混合に強く規定される現象を解析する際に流れについて乱流モデルを用いて解析することの重要性を示している。

今回の計算は、内湾における平均的な生態系及び水質の変化特性にとどまらず青潮のように成層化とその破壊により局所的かつ比較的短期間に顕在化する現象を流動場を正確に再現することで予測するこ

とが可能であることを示した。

今回、我々が可能な限り観測データを入手し現実生起した気象・海象条件を入力して計算を行った結果、前述したように東風が吹いた後に北風が吹き始めた場合には、宇野木^{1,5)}が示したように湾奥部より東京湾東岸において早く塩分濃度が上昇する可能性が高いが、北風が続けて吹く前に南風が吹いていた場合にはむしろ湾奥部においての方が東岸でよりも早く塩分濃度が上昇する結果が得られた。これらの結果から、青潮現象の発生機構については直接の原因となる北風が連吹する直前の風向・風速によって異なった様相を見せることが分かった。

我々が今回考察の対象とした秋期の東京湾奥部における風による成層破壊については、秋期には北風が連吹することが多いという気象条件を勘案すると、北風に伴い発生する吹送流により引き起こされる循環流と湾奥部における鉛直混合の促進が底層の無（貧）酸素水塊を湾奥部表層にまで湧昇させて成層を破壊し青潮を発生させていると考えることが妥当であることを示す結果を得た。

参考文献

- 1) 渡辺正孝, 木幡邦男: 内湾の環境保全 赤潮の発生機構と青潮の生成環境, 環境科学会誌, 8(4), pp. 449-460, 1995.
- 2) 国立環境研究所: 閉鎖性海域における水界生態系機構の解明及び保全に関する研究, 国立環境研究所特別研究報告, SR-20-96, 1996.
- 3) 柿野純: 東京湾奥部における貝類への死事例 特に貧酸素水の影響について, 水産土木, v23, n1, pp. 41-47, 1986.
- 4) 志々目友博: 海域の富栄養化防止対策の推進, かんきょう, v20, pp. 6-8, 1995.
- 5) 日本海洋学会(編): 海と地球環境, 東京大学出版会, p.409, 1991.
- 6) Takeda, S., Nimura, Y. and Hirano, R.: Optical, biological, and chemical properties of Aoshio, hypoxic milky blue-green water, observed at the head of Tokyo bay, *Journal of the Oceanographical Society of Japan*, 47, pp. 126-137, 1991.
- 7) 富永衛, 木村明, 寒川強, 太田一之, 松尾信, 山本雅洋, 北村博, 近磯晴: 東京湾北部海域における青潮の化学的特性—硫化物のオートオキシデーションについて, 公害, 23, pp. 17-26, 1988.
- 8) Guo, X. and Yanagi, T.: Seasonal variation of residual current in Tokyo Bay, Japan, *Journal of Oceanography*, 52, pp. 597-616, 1996.
- 9) 中辻啓二, 尹鐘星, 白井正興, 村岡浩爾: 東京湾における残差流系に関する三次元数値実験, 海岸工学論文集, 42, pp. 386-390, 1995.
- 10) 田中昌宏, Stelling, G. S., Markus, A.: 東京湾の残差流のシミュレーションとそれが水質解析に及ぼす影響について, 海岸工学論文集, 43, pp. 1121-1125, 1996.
- 11) 多田田茂, 藤野正隆: 東京湾の恒流と密度場の変動に関する数値計算, 海岸工学論文集, 41, pp. 306-310, 1994.

- 12) 小林卓也, 三村信男, 塚田光博: 三次元潮流シミュレーションによる東京湾の海水混合の解析, 海岸工学論文集, 42, pp. 1071-1075, 1995.
- 13) 中辻啓二, 尹鐘星, 湯浅泰三, 村岡浩爾: 東京湾における吹送密度流と青潮発生機構との関連性, 海岸工学論文集, 42, pp. 1066-1070, 1995.
- 14) 大坪国順, 村岡浩爾: 青潮発生の物理的メカニズムに関する一考察, 第22回水質汚濁学会講演集, pp. 193-194, 1980.
- 15) 宇野木早苗: 東京湾の湧昇と青潮, 日本海洋学会秋季大会講演要旨集, pp. 157-158, 1990.
- 16) Nakata, K. and Kuramoto, T.: A model of the formation of oxygen depleted waters in Tokyo bay, *Proceedings of the Advanced Marine Technology Conference*, 5, pp. 107-132, 1992.
- 17) 鈴木亨, 松山優治, 長島秀樹: 成層期の東京湾における北東風による循環流および湧昇域の形成過程に関する数値実験, 沿岸海洋研究, 35, pp. 99-108, 1997.
- 18) Blumberg, A. F. and Goodrich, D. M.: Modeling of wind-induced destratification in Chesapeake Bay, *Estuaries*, 13, pp. 236-249, 1990.
- 19) Blumberg, A. F. and Mellor, G. L.: A description of a three-dimensional coastal ocean circulation model, In N. Heaps (ed.), *Three-Dimensional Coastal Ocean Models*. American Geophysical Union, pp. 1-16, 1987.
- 20) Blumberg, A. F. and Mellor, G. L.: Diagnostic and prognostic numerical circulation studies in the South Atlantic Bight, *Journal of Geophysical Research*, 88, pp. 4479-4592, 1983.
- 21) Mellor, G. L. and Yamada, T.: Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problems, *Review of Geophysics and Space Physics*, 20, pp. 851-875, 1982.
- 22) Smagorinski, J: General circulation experiments with the primitive equations, I, The basic experiment, *Monthly Weather Review*, 91, pp. 99-164, 1963.
- 23) Fofonoff, N. P.: Physical properties of sea-water, In *The Sea*, Vol.1, Interscience, New York, pp. 3-30, 1962.
- 24) Mellor, G. L.: Analytic Prediction of the Properties of Stratified Planetary Surface Layers, *Journal of the Atmospheric Sciences*, 30, pp. 1061-1069, 1973.
- 25) Mellor, G. L. and Yamada, T.: A Hierarchy of Turbulence Closure Models for Planetary Boundary Layers, *Journal of the Atmospheric Sciences*, 31, pp. 1791-1806, 1974.
- 26) Mellor, G. L. and Blumberg, A. F.: Modeling Vertical and Horizontal Diffusivities with the Sigma Coordinate System, *Monthly Weather Review*, 113, pp. 1379-1383, 1985.
- 27) Oey, L. Y.: Simulation of mesoscale variability in the Gulf of Mexico: Sensitivity studies, comparison with observations, and trapped wave propagation, *Journal of Physical Oceanography*, 26, pp. 145-175, 1996.
- 28) Galperin, B. and Mellor, G. L.: A time-dependent, three dimensional model of the Delaware bay and river system, Part1: Description of the model and tidal analysis, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 31, pp. 231-253, 1990.
- 29) Wunderlich, W. O.: Heat and mass transfer between a water surface and the atmosphere, *T.V.A. Engineering Laboratory, report* No. 14, Norris, Tennessee, 1972.
- 30) Brutsaert, W.: On a derivable formula for long-wave radiation from clear skies, *Water Res. Research*, v. 11, n. 5, 1975.
- 31) Rohwer, E: Evaporation from free water surfaces, *U.S. Dept. of Agriculture, Tech. Bulletin*, n. 271, 1931.
- 32) Bowen, I. S.: The ratio of heat losses by conduction and by evaporation from air water surface, *Rhysical Review*, v. 27, 1926.
- 33) 大島幸一, 小田巻実, 下平保直, 松島弘, 西田浩志, 佐藤敏: 閉鎖性水域の風による流動および物質移動などの調査・評価手法に関する研究, 平成元年度環境保全研究成果集, 環境庁企画調整局環境研究技術課編, pp. 103-1 ~ 12, 1989.
- 34) 環境庁水質保全局: 平成元年度 青潮の発生機構の解明等に関する調査, 1990.
- 35) 田中昌宏, 稲垣聡, 八木宏: 東京湾成層期の流動のリアルタイムシミュレーション, 海岸工学論文集, 第44巻, pp. 386-390, 1997.
- 36) 竹下俊二, 木幡邦男: 湧昇流の発生に及ぼす温度・密度成層および風の影響, 第29回日本水環境学会年会, 広島, 1993.
- 37) 木幡邦男: 海域の富栄養化と青潮, かんきょう, 20, pp. 14-17, 1995.
- 38) 竹下俊二, 木幡邦男, 中村泰男, 田中秀之: 東京湾の青潮発生環境(I) - 気候変動との関連, 第27回日本水環境学会年会講演集, 1993.

(1997. 8. 26 受付)

ANALYSIS OF AUTUMN UPWELLING OF ANOXIC BOTTOM WATER, DESTRATIFICATION, AND VERTICAL CIRCULATION INDUCED BY WIND IN TOKYO BAY

Masataka WATANABE, Kunihiko AMANO, Yuji ISHIKAWA
and Kunio KOHATA

The mechanism which causes upwelling of anoxic bottom water (Awoshiwo), often occurs in the north-eastern coast of Tokyo bay during summer and early spring is analyzed by using a three dimensional circulation model (Blumberg and Goodrich Model). We showed that northern wind generates a flow directing to south-west at the surface and one directing to north-east at the bottom of the bay inducing upwelling at the north-eastern coast of Tokyo bay. We also demonstrated that northern wind accelerates the vertical mixing by cooling sea surface which enhances instability.

MODELING COMPETITION AND SUCCESSION BETWEEN RED-TIDE-CAUSING *CHATTONELLA* AND
DIATOMS
- ROLE OF VERTICAL MIXING AND NUTRICLINE DEPTH

By

Kunihiko Amano

Public Works Research Institute, Tsukuba 305-0804, Japan

and

Masataka Watanabe

National Institute for Environmental Studies, Tsukuba 305-0053, Japan

SYNOPSIS

We have constructed a mathematical model for describing the succession and competition between two phytoplankton species, *Chattonella antiqua* (Raphidophyceae) and *Skeletonema costatum* (diatom), to assess conditions leading to the outbreak of *C. antiqua* red tides. These two species have different characteristics but both can be the dominant species in summer depending on meteorological conditions: *C. antiqua* is a motile phytoplankton capable of diel vertical migration and nocturnal nutrient uptake. *S. costatum*, on the other hand, is non-motile and settles when mixing is suppressed. It does, however, have a higher growth rate than *C. antiqua* when placed under favorable conditions.

These characteristics are explicitly formulated in the model based on some experimental evidences presented by the existing studies. An evaluation was made of the effect of vertical mixing and nutricline depth on the two species. Simulation results showed that absence of mixing was necessary in order for *C. antiqua* to be dominant. Our model shows the potential to simulate plankton species succession under the influence of vertical mixing and nutricline depth.

INTRODUCTION

Chattonella antiqua (Raphidophyceae) red tides have often been observed since the 1960s in the Seto Inland Sea, Japan, following eutrophication there. It is known that the formation of a stable shallow (5 - 7 m) nutricline is characteristic when a *C. antiqua* red tide occurs. It is also known that a *C. antiqua* red tide often appears after several sunny and calm days in summer when vertical mixing is very weak.

When these environmental conditions prevail, *C. antiqua*, which is motile, is capable of diel vertical migration (DVM) and nocturnal nutrient uptake (16). They have an advantage over diatoms, which are not motile and tend to settle. Even if nutrients are depleted at the surface of the water where the light necessary for photosynthesis is available, *C. antiqua* can take up nutrients in a deep layer when the nutricline is shallow enough for them to access. *C. antiqua* can therefore obtain both the light and nutrients needed for growth even if they are available at the surface and at the bottom, respectively. *C. antiqua* is thought to be able to multiply sufficiently to form a red tide by exploiting this advantage (Fig. 1).

Watanabe et al. (17) have succeeded in making an artificial *C. antiqua* red tide by imposing a stable shallow nutricline in an *in-situ* enclosure

deployed in the Seto Inland Sea. Amano et al. (1) developed an ecological model for *C. antiqua* and quantitatively determined the necessary conditions for the *C. antiqua* red tide in a bay of the Seto Inland Sea.

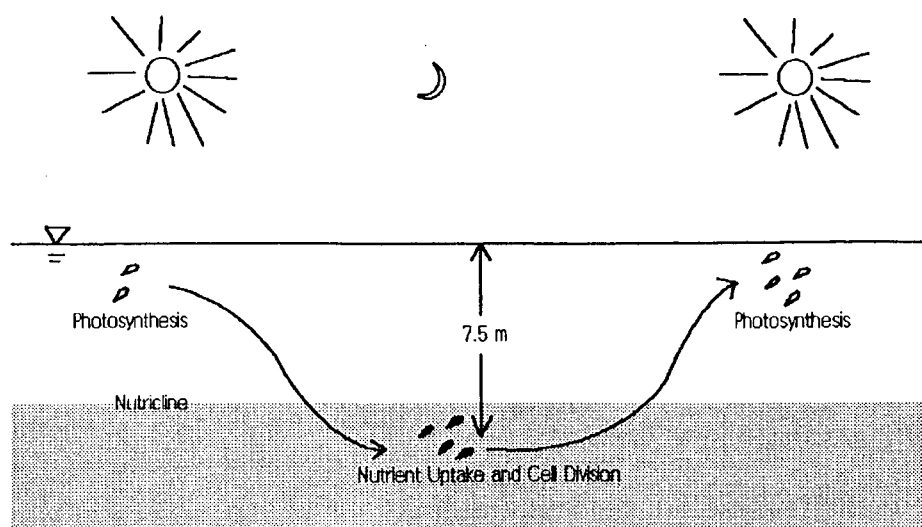


Fig. 1 Schematic figure of *C. antiqua* growth mechanism

In this paper, we present a new ecological model describing the competition between *C. antiqua* and *Skeletonema costatum*, which is a dominant diatom in the Seto Inland Sea. We examine the role of surface mixing and nutricline depth in the occurrence of the *C. antiqua* red tide in the presence of a competitor by using the model simulating different nutricline depths and mixing.

DERIVATIONS

The competitive success of *C. antiqua* seems to depend on its ability to exploit the situation in which light and nutrients are available at the surface and at the bottom, respectively. Since this situation is formed by the presence of the nutricline, which was caused by effects such as vertical surface mixing and settling of organic matter, it is essential that the model can describe variations in the vertical profiles of physicochemical parameters such as temperature and nutrient concentrations. Thus, we adopted a vertically one-dimensional model to focus on the effect of the depth of nutricline and the intensity of surface mixing on the competition between *C. antiqua* and *S. costatum*.

To describe the growth kinetics of *C. antiqua* in a bay, the model should include ecological components which deal with DVM and nocturnal nutrient uptake by *C. antiqua*, in addition to physicochemical components which calculate the surface mixing and the nutricline depth. Since *C. antiqua* is motile, it is of great importance that the model accounts for the DVM when simulating growth of the species.

There have been several studies on a model for motile plankton. Yamazaki and Kamykowski (18) used a Lagrangian approach to follow the trajectories of the cells and estimated the time history of Photosynthetically Active Radiation exposure of motile phytoplankton in the surface mixing layer. However, the number of phytoplankton cells must be limited in this approach for computational reasons, and it is difficult to apply to our study. Therefore, we adopted an Eulerian approach to describe the concentration variation of *C. antiqua* cells.

Kishi et al. (6) used an Eulerian approach for a vertically one-

dimensional model to calculate the growth of *C. antiqua* in a bay. Their model included parameters such as nutrients (orthophosphate, nitrate, inorganic iron), phytoplankton (*C. antiqua* and *Skeletonema costatum*) and zooplankton (*Paracalanus parvus*). Although their results showed that *C. antiqua* was depleted in three days even with DVM, their model of *C. antiqua* growth was different from that obtained in incubation experiments.

Since sites where *C. antiqua* red tides break out are characterized by stable stratification of salinity, temperature and nutrients in summer, the nutrient concentration which *C. antiqua* encounters varies markedly during the DVM process. In such cases, growth and nutrient uptake are unrelated (9).

It is therefore not appropriate to describe the specific growth rate by a function of the extracellular nutrient concentration. Our model employed a quota type formulation (4) to describe growth and a Michaelis-Menten model to describe nutrient uptake kinetics. This *C. antiqua* growth model is incorporated into a vertically one-dimensional diffusion model to estimate the effects of temperature, irradiance and nutrient concentrations on the growth of *C. antiqua*. The incorporation of the DVM model and the employment of a quota type formulation as the growth function make our model unique and capable of describing the ecological features of *C. antiqua* with its capability for DVM and nocturnal nutrient uptake. The DVM of *C. antiqua* is represented by a migration speed of 0.8 (m/h) when ascending from 0400 to 1700 h and descending from 1700 to 0400 h, based on field observations by Watanabe et al. (17).

Calculated variables include PO_4^{3-} , NO_3^- , NH_4^+ , *C. antiqua* and *S. costatum* cell concentrations, and P and N cell quota of *C. antiqua* and *S. costatum*. Base model representing the mass balance among calculated variables is shown by Eq. 1. Changes in the phytoplankton cell concentration, intracellular nutrient concentration from nutrient uptake and cell division, and extracellular nutrient concentration are calculated in the formula account for changes in the activity of phytoplankton. Submodels for this term will be discussed in the following sections.

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} = -\frac{1}{A} \left[\frac{\partial}{\partial z} (Q_v \cdot C_i) + \frac{\partial}{\partial z} (V_{M_i} \cdot A \cdot C_i) + \frac{\partial}{\partial z} (W_s \cdot A \cdot C_i) + \frac{\partial}{\partial z} \left(A \cdot E \cdot \frac{\partial C_i}{\partial z} \right) \right] \\ + \left\{ \text{change by the activity of phytoplankton} \right\} + \frac{U_i \cdot C_i^0}{A} - \frac{U_o \cdot C_i}{A} \quad (1)$$

Terms for: Vertical advection
DVM
Settling
Dispersion

biological production
horizontal advection

where

Q_v = vertical flowrate

$$= \int_0^L [U_i(z,t) - U_o(z,t)] dz;$$

U_i = horizontal inflow velocity;

U_o = horizontal outflow velocity;

A_j = horizontal cross-sectional area of control volume;

C_i^0 = concentration of component i (inflow);

E = vertical dispersion coefficient;

V_M = DVM velocity (*C. antiqua* only)

= +0.8 (m/h); upward during day

= -0.8 (m/h); downward during night; and

W_s = settling velocity.

Growth model of *C. antiqua*

The growth rate for *C. antiqua* can be represented by a function of temperature, irradiation, and intracellular nutrient concentration before cell division. Functions to represent these relations are shown in Eqs. 2-8.

Detailed explanations for these equations were provided by Amano et al. (1).

(Growth function (3))

$$\begin{aligned} N &= N_0 & 04:00 \leq t < 04:00 + 1 \text{ day} \\ N &= N_1 = N_0 \cdot \exp(\mu) & 04:00 + 1 \text{ day} \leq t < 04:00 + 2 \text{ days} \end{aligned} \quad (2)$$

where μ = specific growth rate;
 N_0 = cell concentration before division; and
 N_1 = cell concentration after division.

$$\begin{aligned} \mu &= f(T, I, Q^N, Q^P) \\ &= f_1(T) \cdot f_2(I) \cdot f_3(Q^N, Q^P) \end{aligned} \quad (3)$$

(Temperature function (7))

$$\begin{aligned} f_1(T) &= \left(\frac{T - T^*}{T_{\text{opt}} - T^*} \right)^n \cdot \exp \left[1 - \left(\frac{T - T^*}{T_{\text{opt}} - T^*} \right)^n \right] & T^* \leq T \leq T_{\text{opt}} \\ f_1(T) &= 1 - \left(\frac{T - T_{\text{opt}}}{T_{\text{max}} - T_{\text{opt}}} \right)^{m_1} & T_{\text{opt}} \leq T \leq T_{\text{max}} \end{aligned} \quad (4)$$

where T^* = threshold temperature for growth;
 T_{opt} = optimum temperature for growth;
 T_{max} = maximum temperature for growth; and
 n, m_1 = dimensionless parameters characteristic for algal species.

(Irradiation function for *C. antiqua* (2))

$$f_2(I) = \frac{i/i_k}{[1 + (i/i_k)^{m_2}]^{1/m_2}} \quad (5)$$

where $i = I - I^*$;
 $i_k = I_k - I^*$;
 I^* = threshold irradiation for growth;
 I_k = irradiance at which growth rate reaches a maximum; and
 m_2 = dimensionless parameter characteristic for algal species.

(Specific growth rate (3))

$$\mu_N = \mu_N^* (1 - q_0^N / Q^N) \quad (\text{Nitrogen limitation}) \quad (6)$$

$$\mu_P = \mu_P^* (1 - q_0^P / Q^P) \quad (\text{Phosphorus limitation}) \quad (7)$$

where μ_N = specific growth rate under nitrogen limitation;
 μ_P = specific growth rate under phosphorus limitation;
 q_0^N = minimum nitrogen cell quota;
 q_0^P = minimum phosphorus cell quota;
 μ_N^* = maximum growth rate obtained by making cell quota of nitrogen (Q^N) infinite; and
 μ_P^* = maximum growth rate obtained by making cell quota of phosphorus (Q^P) infinite.

(Multiple nutrient limitation (14))

When limiting factor switches, we have to consider the limiting effect of both nitrogen and phosphorus. Rhee (14) proposed Eq. 8 to take such situations into account. Since it is shown that the Droop type equation is not applicable to non-limiting factors (5), we adopted Eq. 8 to deal with such situations.

$$f_3 = \min[\mu_N, \mu_P] \quad (8)$$

(Uptake rate for phosphorus (11), (10), (12))

$$V_P = V_{PO_4} = V_{max}^{PO_4} \frac{S_{PO_4}}{K_S^{PO_4} + S_{PO_4}} \quad (9)$$

where $V_{max}^{PO_4}$ = maximum phosphate uptake rate;
 $K_S^{PO_4}$ = half saturation concentration for phosphate uptake; and
 S_{PO_4} = ambient phosphate concentration.

(Uptake rate for nitrogen (10), (12), (13))

$$V_N = V_{NH_4} + V_{NO_3} \\ = V_{max}^{NH_4} \frac{S_{NH_4}}{K_S^{NH_4} + S_{NH_4}} + \frac{1}{1 + \frac{S_{NH_4}}{K_i}} V_{max}^{NO_3} \frac{S_{NO_3}}{K_S^{NO_3} + S_{NO_3}} \quad (10)$$

where $V_{max}^{NH_4}$, $V_{max}^{NO_3}$ = maximum uptake rates of NH_4^+ and NO_3^- , respectively;
 $K_S^{NH_4}$, $K_S^{NO_3}$ = half saturation concentrations for NH_4^+ and NO_3^- , respectively;
 K_i = inhibition constant; and
 S_{NH_4} , S_{NO_3} = ambient concentrations of NH_4^+ and NO_3^- , respectively.

Growth model of *S. costatum*

The growth of *S. costatum* is also represented by a quota type formulation (Eqs. 6 and 7). Nutrient uptake kinetics are described by a Michaelis-Menten-type formula (Eqs. 9 and 10). However, the nutrient uptake formula for *S. costatum* does not consider how ammonium interferes with the uptake of nitrate as the formula for *C. antiqua* does. *S. costatum* has a higher specific growth rate than *C. antiqua* but it is not capable of DVM. All other functions representing the growth and nutrient uptake are the same for *S. costatum* and *C. antiqua* except for irradiation. Eq. 11 describes the irradiation function for *S. costatum*.

$$f_z(I) = 1 - \exp(-I/I_k) \quad (11)$$

By combining two ecologically different phytoplankton models, we can assess the competition and succession under the influence of changing environmental conditions. Parameter values are summarized in Table 1.

Table 1 Summary of the parameter values

	P				N			
	q_0	K_s	V_{max}	μ_{max}	q_0	K_s	V_{max}	μ_{max}
	(pmol/cell)	(μM)	(pmol/cell·h)	(1/d)	(pmol/cell)	(μM)	(pmol/cell·h)	(1/d)
<i>S. costatum</i>	0.002	0.1	0.003	1.752	0.04	1.5	0.02	1.752
<i>C. antiqua</i>	0.62	1.76	0.14	0.93	7.8	2.81	0.91	0.78 (NO_3)
						2.19	2.02	(NH_4)

From Nakamura (10), (12), (13) and Lehman et al. (8)

Eq. 12 calculates the irradiation in a water column. Since only *C. antiqua* accumulates at the surface, we are only concerned with the cell concentration of *C. antiqua* when calculating the attenuation parameter.

$$I(z) = I_0 \cdot \exp(-kz) \quad (12)$$

where

I_0 = Irradiance at the surface;
 $k = k_0 + \alpha \times 4.7 \times 10^{-7} \times N(z)$;
 $\alpha = 5.0$;
 $N(z) = C. antiqua$ cell concentration;
 k_0 = attenuation constant of sea water; and
 z = depth (m).

Calibration Results

We have applied our model to *C. antiqua* red tide-forming experiments (3 cases) carried out using a large axenic culture tank at the National Institute for Environmental Studies (NIES). Experiments were done following a procedure in which the medium was well mixed by bubbling air for the first several days

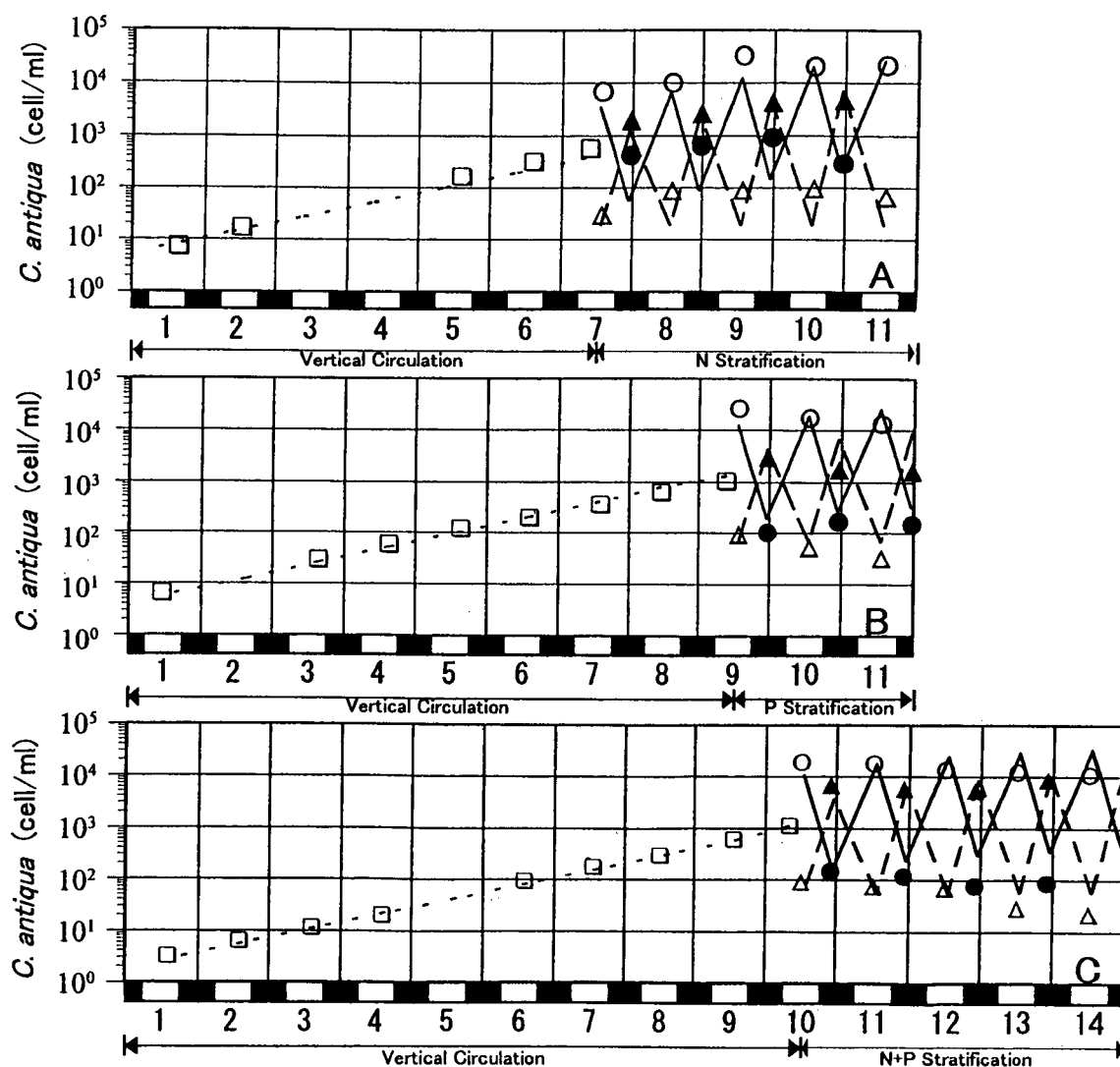


Fig. 2. *C. antiqua* cell concentration under nutrient stratification in the axenic tank.

Observed values are from the surface/daytime($\circ$), surface/night($\bullet$), bottom/daytime($\triangle$), bottom/night($\blacktriangle$), and the middle($\square$). Calculated values are for the surface(—), bottom(---), and middle(...). A. *C. antiqua* cell concentration under N stratification. B. Same for under P stratification. C. Same for under N+P stratification. (Light and dark periods are indicated above day number.)

to allow *C. antiqua* to multiply, and then stopping the mixing. After the bubbling had been shut down, 100 liters of water were withdrawn from the bottom of the column and replaced with nutrient-rich water. Newly replaced water also has higher salinity and cooler temperature ($\Delta S=2.8\text{‰}$, $\Delta T=2^{\circ}\text{C}$) (16). Thus, a nutricline was formed on the day of the experiment. During

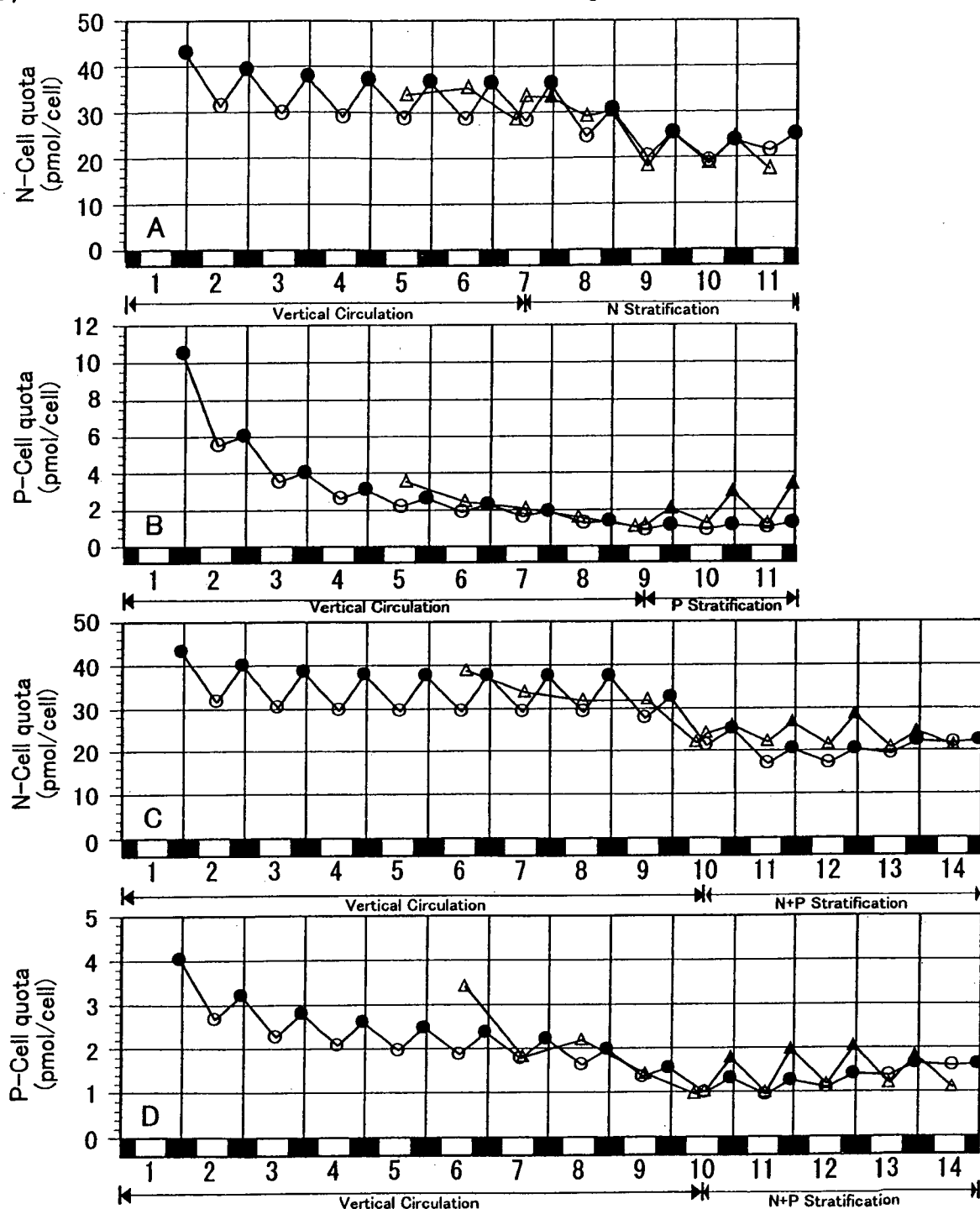


Fig. 3. Nutrient concentration change at the surface and the bottom in the axenic tank. Observed values are from the surface (●) and bottom (▲). Calculated values are for the surface (—) and bottom (---). A. NO_3^- concentration under N stratification. B. PO_4^{3-} concentration under P stratification. C. NO_3^- concentration under N+P stratification. D. PO_4^{3-} concentration under N+P stratification. (Light and dark periods are indicated above day number.)

experiments, vertical profiles of *C. antiqua* cell concentration, nitrate, phosphate, particulate nitrogen and particulate phosphorus were measured to observe possible changes from *C. antiqua* activity. A detailed description of these experiments is given in Watanabe et al. (16). Model calculations have been done according to the conditions of the experiments.

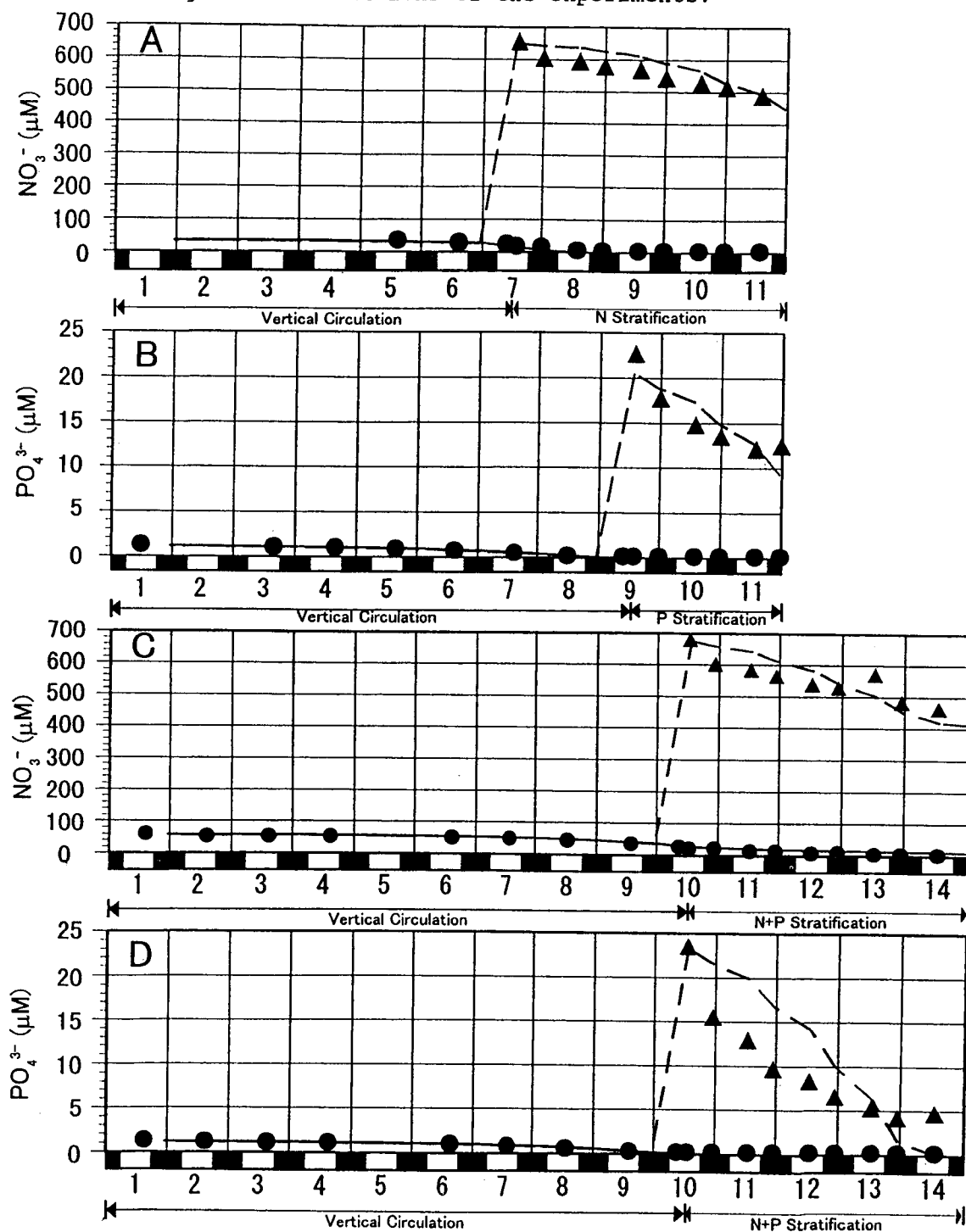


Fig. 4. Intracellular nutrient concentration change in the axenic tank experiments. Observed values are from the surface/daytime(Δ) and bottom/night($\bullet$). Calculated values are for the surface/daytime ($\circ$) and bottom/night($\bullet$). A. N cell quota under N stratification. B. P cell quota under P stratification. C. N cell quota under N+P stratification. D. P cell quota under N+P stratification. (Light and dark periods are indicated above day number.)

The calculated *C. antiqua* concentration change is compared with the one measured in Fig. 2. We assumed that cell division occurs once a day based on the experiment, and this assumption seems reasonable from the comparison. Since the column was well mixed due to bubbling for the first several days of the experiment, we compared the values measured at the middle depth with the calculated values. The mixing effect was represented by averaging the calculated results vertically throughout the column at each time step of the calculation ($\Delta t = 0.02\text{h}$). During the mixing period the calculated results agreed well with the measured ones. After the bubbling had been terminated, *C. antiqua* cells began DVM. Because of this, the vertical profile of *C. antiqua* cells varied depending on the DVM phase. Therefore, we compared the observed and calculated results for 1300 and 2300 h at the surface and at the bottom (Fig. 2). *C. antiqua* cells began to migrate upwards a few hours ahead of the light period and formed a bloom at the surface (1300 h)(16). They began to migrate downwards one to two hours before the light was turned off, and reached the bottom since the column was only 1.5 m high (2300 h)(16). The calculated results agreed well with the observed diel pattern.

Experimental and simulated values of nitrogen cell quota at 1300 h at the surface and at 2300 h at the bottom are compared in Figs. 3(A) and 3(C). The cell quota was obtained by dividing particulate nutrient concentrations by the cell concentration. The nitrogen cell quota decreased to almost half due to cell division and increased thereafter by nutrient uptake. Simulated results reflected this pattern quite well. Although nitrate was depleted at the surface after it was no longer being mixed (Figs. 4(A) and 4(C)), the nitrogen cell quota level continued to increase after cell division because of the nocturnal nutrient uptake at the bottom. Simulated results showed this feature even after nitrogen depleted at the surface, indicating that the model of nitrogen uptake was appropriate after cells began DVM. The measured and simulated results for phosphorus cell quota variation also agreed well (Figs. 3(B), 3(D)). Thus, the nutrient uptake kinetics for both nitrogen and phosphorus were shown to be reasonable in comparison with the experiment results.

The calculated bottom nitrate concentration of the medium was lower than the one measured after day 13 of N+P stratification case; however, the pattern of variation agreed well (Fig. 4(C)). Calculated and measured phosphorus concentration profiles of the medium also agreed well (Figs. 4(B), 4(D)).

These results prove that the *C. antiqua* ecological model is capable of representing unique ecological features. The DVM model was proved to be reasonable by comparison with the experiment results obtained by Watanabe et al (17)(1).

Simulation results and discussion

The simulation was conducted to analyze the effects of surface mixing and nutricline depth on the growth of *Chattonella antiqua*, taking into account its competition with *Skeletonema costatum*. In a 20 m deep bay, initial conditions provided *C. antiqua* concentration of 5 cells/ml for the bottom 1-m layer and 5 cells/ml of *S. costatum* throughout the water column. We conducted 4 simulations varying the nutricline depth and the surface mixing intensity. Nutricline was set at depths of 10 m and 6 m. We conducted two simulations for each nutricline depth. The intensity of the surface mixing varied: thoroughly mixed within the 5-m surface layer, no additional mixing to the diffusive effect by dispersion coefficient. Initial nutrient concentrations were set as follows:

Surface $\text{PO}_4^{3-} = 0.04 \mu\text{M}$, $\text{NO}_3^- = 0.2 \mu\text{M}$, $\text{NH}_4^+ = 0.4 \mu\text{M}$;

Bottom $\text{PO}_4^{3-} = 0.3 \mu\text{M}$, $\text{NO}_3^- = 4.0 \mu\text{M}$, $\text{NH}_4^+ = 2.0 \mu\text{M}$.

Simulation results were compared using the vertical profiles of two plankton species at 1400 h on day 30 from the beginning of the calculation. When the nutricline was formed at a depth of 10 m and no mixing was assumed at the surface, *S. costatum* almost disappeared because the cells sank. The *C. antiqua* concentration was minimal, because the cells were unable to reach the nutrient-rich bottom water. On the other hand, when we completely mixed the 5-

m surface layer, *S. costatum* cells were sustained and able to stay at the surface long enough to compensate for the loss from sinking. Since *S. costatum* was able to take up nutrients at the surface in this case, *C. antiqua* growth was further suppressed (Fig. 5).

When the nutricline was formed at a depth of 6 m and no mixing was assumed at the surface, *C. antiqua* was able to migrate deeper than the nutricline during the night, and nutrients were available for cells by nocturnal nutrient uptake. Thus, *C. antiqua* was able to grow, in spite of the

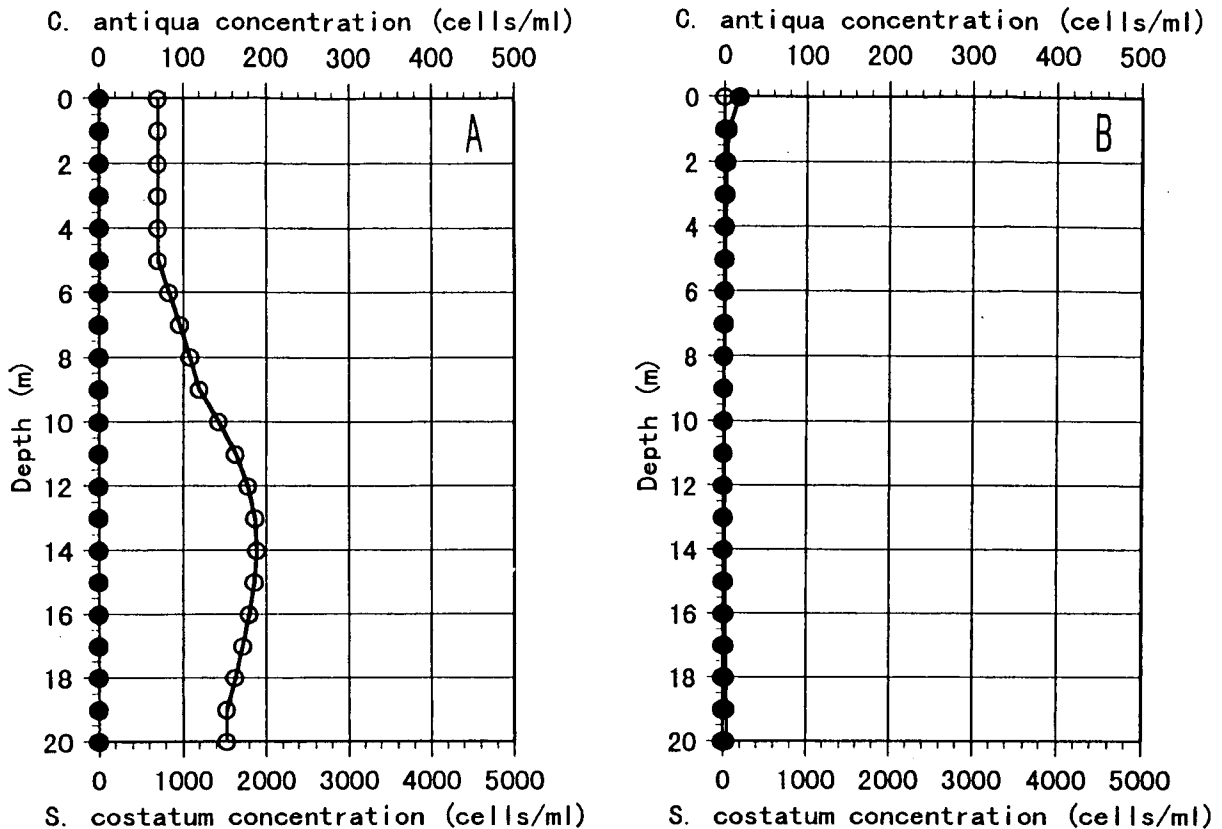


Fig. 5. Vertical profile for *C. antiqua* and *S. costatum* depending on the mixing intensity (Nutricline depth = 10 m)

C. antiqua (●), *S. costatum* (○)

A. 5m surface mixing condition

B. No mixing condition

nutrient depletion at the surface, to the level required to form a red tide. However, mixing suppressed the growth of *C. antiqua* by hindering their migration and increasing the nutrient uptake by *S. costatum* (Fig. 6).

These results seem consistent with field observations, where factors such as surface mixing and nutricline depth determine the dominant phytoplankton species. Diatoms like *S. costatum*, which are not motile, favor mixed conditions and will become dominant because of their fast specific growth rate. On the other hand, *C. antiqua*, which cannot grow as fast as *S. costatum*, is favored when stratification is stable and nutricline is shallow on account of its ability for DVM.

Each phytoplankton species has its own strategy to survive in the face of competition. DVM and nocturnal nutrient uptake, which are unique ecological features of *C. antiqua*, enable the species to become dominant when surface mixing is suppressed and a shallow nutricline is formed. *S. costatum*, which is not motile, has a rapid specific growth rate and has adapted ecologically to counter sinking. The sinking rate of a particle can be represented by Stokes' law as follows,

$$v_a = \frac{2gr^2(\rho' - \rho)}{9 \nu \phi_r}$$

where ϕ_r is a shape coefficient.

The density of a *S. costatum* cell was determined according to the experiment done by Watanabe (15). Although *S. costatum* cells are denser than ordinary seawater, the species reduces its sinking rate by increasing its shape coefficient by connecting cells like a chain. Since we did not consider this effect in the present study, we may have overestimated the sinking rate of *S. costatum*. Future research aimed at evaluating such an effect and the relationship between surface mixing and sinking rate will refine the model further.

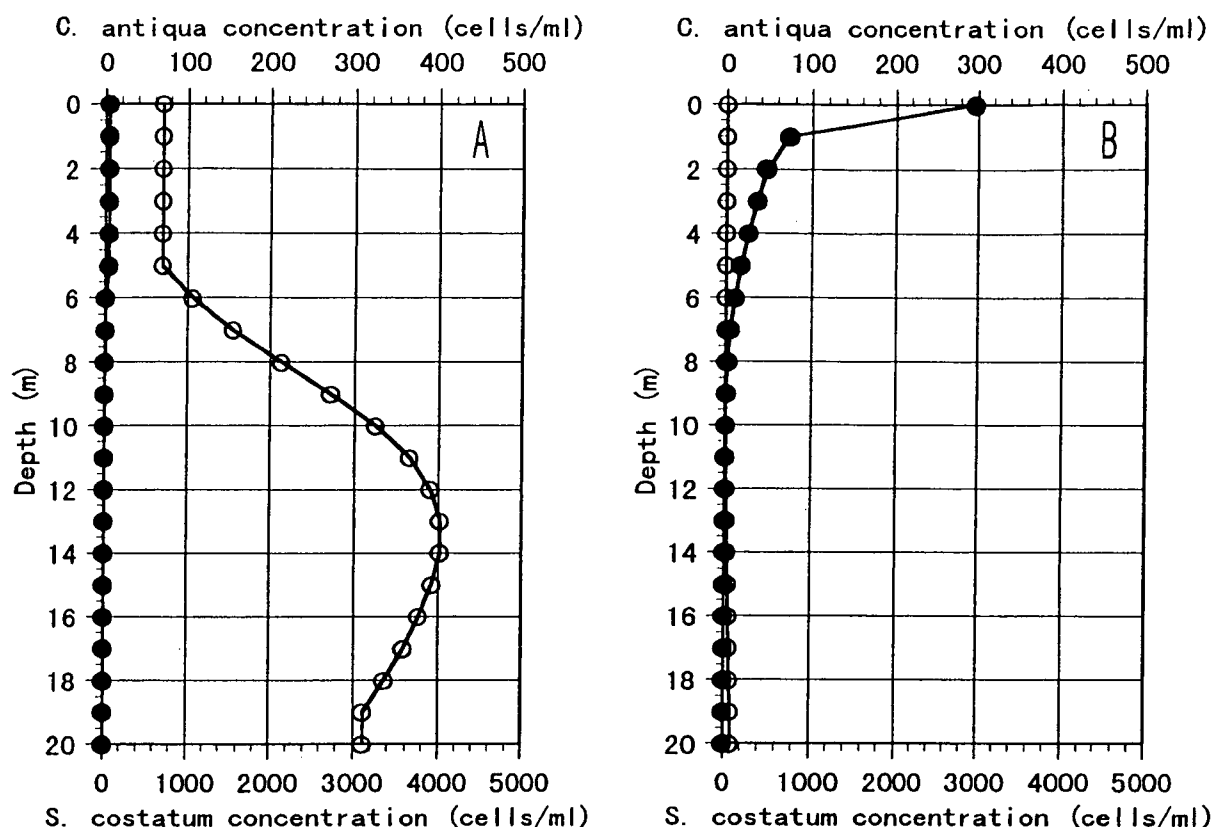


Fig. 6. Vertical profile for *C. antiqua* and *S. costatum* depending on the mixing intensity (Nutricline depth = 6 m)

C. antiqua (●), *S. costatum* (○)

A. 5m surface mixing condition

B. No mixing condition

Conclusion

We have developed an ecological model for two phytoplankton species (*C. antiqua* and *S. costatum*) to assess the effects that physicochemical marine features, such as surface mixing and the nutricline depth, have on the competition and succession of these two species. Simulation results showed that the above factors determine which species will be dominant. Since our model reflects the outcome of the ecologically unique features of these species, it can be used to explain the causes leading to the dominance of one species. Our model shows that the requirements for a *C. antiqua* red tide outbreak are a shallow nutricline and suppressed surface mixing.

REFERENCES

1. Amano, K., M. Watanebe, K. Kohata, and S. Harada : Conditions necessary for *Chattonella antiqua* red tide outbreaks, *Limnol. Oceanogr.*, Vol. 43, pp.117-128, 1998.
2. Bannister, T. T.: Quantitative description of steady state, nutrient-saturated algal growth including adaptation, *Limnol. Oceanogr.*, Vol.24, pp.76-96, 1979.
3. Droop, M. R. : Vitamin B12 and marine ecology: the response of *Monochrysis lutheri*, *J. Mar. Biol. Assoc. U. K.*, Vol.46, pp.659-671, 1966.
4. Droop, M. R. : Some thoughts on nutrient limitation in algae, *J. Phycol.*, Vol.9, pp.264-272, 1973.
5. Elrifi, I. R. and D. H. Turpin: Steady-state luxury consumption and the concept of optimum nutrient ratios: A study with phosphate and nitrate limited *Selenastrum minutum* (Chlorophyta). *J. Phycol.* Vol.21, pp. 592-602, 1985.
6. Kishi M., S. Ikeda, T. Hirano and A. Nishimura : Numerical simulation model of the ecology of red tide forming phytoplankton, *Engan-kaiyo-kenkyu Note*, Vol.22, pp.109-118, 1985, (In Japanese with English abstract).
7. Lamanna, C. and M. F. Mallette : Basic Bacteriology, The Williams and Wilkins Co., Baltimore, MD, 1965.
8. Lehman, J. T., D. B. Botkin and G. E. Likens: The assumptions and rationales of a computer model of phytoplankton population dynamics, *Limnol. Oceanogr.*, Vol.20, pp.343-364, 1975.
9. Mickelson, M. J., H. Maske and R. C. Dugdale : Nutrient-determined dominance in multispecies chemostat cultures of diatoms, *Limnol. Oceanogr.*, Vol.24, pp.298-315, 1979.
10. Nakamura, Y. and M. M. Watanabe : Nitrate and phosphate uptake kinetics of *Chattonella antiqua* grown in light/dark cycles, *J. Oceanogr. Soc. Japan*, Vol. 39, pp.167-170, 1983.
11. Nakamura Y. : Alkaline phosphatase activity of *Chattonella antiqua* and *Heterosigma akashiwo*, *Res. Rep. Natl. Inst. Environ. Stud., Jpn.*, No.80, pp.67-72, 1985 (In Japanese with English abstract).
12. Nakamura, Y. : Kinetics of nitrogen- or phosphorus- limited growth and effects of growth conditions on nutrient uptake in *Chattonella antiqua*, *J. Oceanogr. Soc. Japan*, Vol.41, pp.381-387, 1985a.
13. Nakamura, Y. : Ammonium uptake kinetics and interactions between nitrate and ammonium uptake in *Chattonella antiqua*, *J. Oceanogr. Soc. Japan*, Vol.41, pp.33-38, 1985b.
14. Rhee, G. Y. : Effects of N:P atomic ratios and nitrate limitation on algal growth, cell composition and nitrate uptake, *Limnol. Oceanogr.*, Vol.23, pp.10-25, 1978.
15. Watanabe, M: The diurnal variations in the cell densities of *Olisthodiscus luteus* and *Skeletonema costatum*, *Res. Rep. Natl. Inst. Environ. Stud.*, N.30, pp.143-154, 1982.
16. Watanabe, M., K. Kohata and T. Kimura : Diel vertical migration and nocturnal uptake of nutrients by *Chattonella antiqua* under stable stratification, *Limnol. Oceanogr.*, Vol.36, pp.593-602, 1991.
17. Watanabe, M., K. Kohata, T. Kimura, T. Takamatsu, S. Yamaguchi and T. Ioriya : Generation of a *Chattonella antiqua* bloom by imposing a shallow nutricline in a mesocosm, *Limnol. Oceanogr.*, Vol.40, pp.1447-1460, 1995.
18. Yamazaki, H and D. Kamykowski : The vertical trajectories of motile phytoplankton in a wind-mixed water column, *Deep-Sea Research*, Vol.38, pp.219-241, 1991.

APPENDIX - NOTATION

The following symbols are used in this paper:

A_j	= horizontal cross-sectional area of control volume;
C_i	= concentration of component i;
C_i^0	= concentration of component i (inflow);
E	= vertical dispersion coefficient;
g	= gravitational acceleration;
I	= irradiance;
I_0	= irradiance at the surface;
I_k	= irradiance at which growth rate reaches a maximum;
I^*	= threshold irradiation for growth;
k_0	= attenuation constant of sea water;
K_i	= inhibition constant;
$K_s^{NH_4}$	= half saturation concentration for ammonia uptake;
$K_s^{NO_3}$	= half saturation concentration for nitrate uptake;
$K_s^{PO_4}$	= half saturation concentration for phosphate uptake;
m_1	= dimensionless parameter characteristic for algal species;
m_2	= dimensionless parameter characteristic for algal species;
n	= dimensionless parameter characteristic for algal species;
N_0	= cell concentration before division;
N_1	= cell concentration after division;
q_0^N	= minimum nitrogen cell quota;
q_0^P	= minimum phosphorus cell quota;
Q^N	= cell quota of nitrogen;
Q^P	= cell quota of phosphorus;
Q_v	= vertical flowrate;
r	= radius of a particle;
S_{NH_4}	= ambient ammonia concentration;
S_{NO_3}	= ambient nitrate concentration;
S_{PO_4}	= ambient phosphate concentration;
T_{max}	= maximum temperature for growth;
T_{opt}	= optimum temperature for growth;
T^*	= threshold temperature for growth;
U_i	= horizontal inflow velocity;
U_o	= horizontal outflow velocity;
V_a	= sinking rate of a particle;
V_H	= DVM velocity;
$V_{max}^{NH_4}$	= maximum ammonia uptake rate;
$V_{max}^{NO_3}$	= maximum nitrate uptake rate;
$V_{max}^{PO_4}$	= maximum phosphate uptake rate;
V_N	= nitrogen uptake rate;

V_{NO_3}	= nitrate uptake rate;
V_{NH_4}	= ammonia uptake rate;
V_P	= phosphorus uptake rate;
V_{PO_4}	= phosphate uptake rate;
W_s	= settling velocity;
z	= depth;
μ	= specific growth rate;
μ_N	= specific growth rate under nitrogen limitation;
μ_P	= specific growth rate under phosphorus limitation;
μ_N^*	= maximum growth rate obtained by making cell quota of nitrogen (Q^N) infinite;
μ_P^*	= maximum growth rate obtained by making cell quota of phosphorus (Q^P) infinite;
ν	= kinematic viscosity;
ρ	= density of ambient water;
ρ'	= density of a particle; and
ϕ_r	= shape coefficient.

(Received February 27, 1998; revised May 6, 1998)

東京湾におけるタンカー事故による原油流出解析

渡辺 正孝* ・天野 邦彦** ・石川 裕二***
田村 正行****・村上 正吾*****・木幡 邦男*****

1. はじめに

平成9年7月2日午前10時5分に東京湾内本牧沖約6 km (中ノ瀬)において原油を積載したタンカー、ダイヤモンドグレース号が座礁し、約1,550 klの原油が流出したとされる事故が起こった(図-1)。

タンカーからの油流出が起こった際には、被害低減のためオイルフェンスの設置、油回収船による流出油の回収等の措置により汚染の拡散範囲、程度の軽減が図られるが、これら措置を効果的なものとするためには流出した油の挙動の将来予測を迅速かつ正確に行うことがまず必要になると考えられる。

本研究では、油流出に代表される汚濁物流出が東京湾において起こった場合、流出汚濁物(油)の移動現象を予測する手法の作成を目的として東京湾の流動計算モデルを用いた粒子追跡手法を適用し、計算結果の検証に航空機及び衛星写真を用いた検討を行った。

2. 検討方法

2.1 流動計算モデル概要及び入力条件

流動計算モデルには Blumberg and Goodrich (1990)により開発された3次元循環モデルに熱収支のモデルを組み込むことで改良したモデル(渡辺ら, 1998)を用いることで潮汐流、吹送流、水温・塩分に基づく密度流により駆動される流動を再現することを試みた。モデルについての詳細および検証結果については渡辺ら(1998)を参照されたい。

計算の境界条件として取得が必要になる入力条件としては、主要流入河川からの淡水流入量、湾口における潮汐、海面における熱収支を評価するための気象条件が挙げられる。

東京湾における主要流入河川からの淡水流入量のデータとしては、鶴見川、多摩川、荒川、江戸川からの日平

均流量については建設省が流量年表の中で公表している。流量年表の公表は測定時期の次年度となっており、今回の検討においては公表データについての入手は不可能であった。しかし、今回の事故の重大性に鑑み、最終的に公表されるデータと若干異なる可能性はあるものの計算時に入手可能な最良のデータである上記4河川流量の速報値を建設省関東地方建設局より提供を受け、これらを淡水流入量データとして用いた。隅田川については測定データが入手できなかったため、流域規模が同等の多摩川と同量の流量を入力することで、代替した。

潮汐の作用として城ヶ島と岩井袋における潮汐常数を、さらに水温予測のための気象条件としては日平均気温、日射量、雲量、相対湿度及び風向風速(千葉气象台)を与えた。表面応力計算のための風向風速は1時間平均値(図-2)を与えた。湾口部における水温、塩分濃度の境界条件、水温、塩分濃度の初期条件としては、公共用水域水質観測結果(東京都、神奈川県、千葉県)を用いた。計算の開始は事故当時の流動条件を再現することを目指して約2ヶ月前の平成10年5月1日からとし、7月5日まで $\Delta t=10$ 秒の時間ステップで行った。

水平方向のグリッドサイズは1 km×1 kmで、鉛直方向には10層に分割した σ 座標系を用いている。また、上記5流入河川については上流10 kmまでを計算範囲に含めて河口部における淡水、塩水の混合を計算することで河川からの淡水流入が適切に評価されるようになっていく。また、事故当時すでに東京湾横断道路のトンネル部換気塔(川崎人工島)及びトンネル出口部分の木更津人工島(通称海ほたる)が建設されていたため、現況再現計算において、これらの影響を考慮するためそれぞれ対応する位置の格子において水の流れを妨げる面を与えた。

2.2 流出油の挙動追跡

タンカー事故による油汚染の場合、流出した油の量がすぐには判明しないと言う問題がある。そのため、本研究においては汚染の広がりを限られた情報に基づき予測することを目的とし、流出原油に見立てた粒子をモデルに投入し、これら粒子の軌跡をモデル上で追跡することで汚染範囲の予測を行った。

* 正会員 Ph.D. 国立環境研究所
** 正会員 工博 国立環境研究所 (現 建設省土木研究所)
*** (財)地球・人間環境フォーラム
**** 工博 国立環境研究所
***** 正会員 工博 国立環境研究所
***** 理博 国立環境研究所

油の移動速度としては式(1)(Hoult, 1972)を用い、モデル計算から得られた流速と風向風速の観測値(千葉気象台における1時間平均値)を代入して得られた重心の移動速度を粒子に与えて軌跡を追跡計算した。

$$\frac{dx}{dt} = U_{\text{current}} + 0.035 U_{\text{wind}} \dots\dots\dots (1)$$

追跡粒子の投入条件については、どこでどれだけの量の油が流出したのかについての情報が不明であるため、海上保安庁が報告している推定航跡図(図-1)に基づいて座礁した位置から曳航された記録をもとに連続的に粒子を逐次投入することで油の流出を表現した。

3. 検討結果

3.1 事故当日の流動解析結果

風向きにより東京湾における流動及び水質分布は大きく変化することが既往の研究により知られており(例えば, Nakata and Kuramoto, 1992; 田中ら, 1996; 鈴木ら, 1997), 事故が発生した7月2日には南西からの強い風が吹いていたため、流出した油が東京湾全体に広がる

ことが懸念された。計算終了の7月5日までの間、風向きは南～南西の風が吹き続けていた(図-2)。このような風向きの場合、湾西側の河川流入水と風により北向きに流される表層水が衝突し、湾の長軸に垂直に等高線が引かれる形の水温・塩分濃度分布を示すことが知られている(例えば, 中辻ら, 1995)。

今回の計算では、人工島を考慮した場合、しなかった場合の2ケースの計算を行った。人工島の影響については、図-3(a), (b)中に示されるように川崎人工島については該当位置における計算格子の南北間で水の移動が起こらない、木更津人工島については、当該位置において計算格子の南北、東西間でそれぞれ水の移動が起こらないよう、まるで巨大な矢板が存在するという仮定のもとに計算を行っている。この仮定については、計算格子が1kmであるため、川崎人工島(直径約195mの円形構造物)の影響については過大に評価されている可能性が高いが、木更津人工島(海底で1480×240m、海上で650×100mの矩形構造物)については問題がないとはいえないものの、妥当な仮定と考えられる。

事故が起こった7月2日の日平均流速ベクトルの比較を図-3(a), (b)及び図-4(a), (b)に示す。表層においては、湾全域において東向きの流れが卓越し、湾の東岸に沿って北上する流れが確認できる(図-3(a))。

これに対して、上記2つの人工島を考慮しない場合、表層において湾全体の流れのパターンに大きな違いは見られないものの東京湾東岸側を木更津から北側の千葉に向かう流れは人工島を考慮した場合に比べて強いものとなっている(図-4(a))。

中層における流れについて見ると、人工島がある場合には木更津付近から西向きにやや弱い流れがあることが計算されているが(図-3(b)), 人工島が存在しないとして計算した場合にはこの西向きの流れが強く計算される結果となっている(図-4(b))。

表層、中層における流れについて比較した結果、人工島の有無により湾全体の流れのパターンには大きな違い

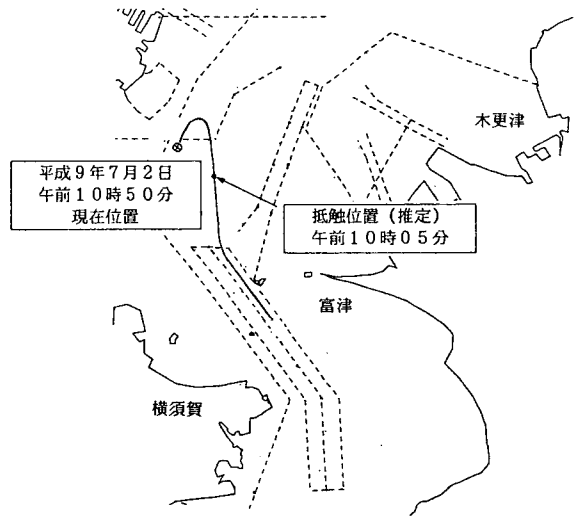


図-1 推定航跡図

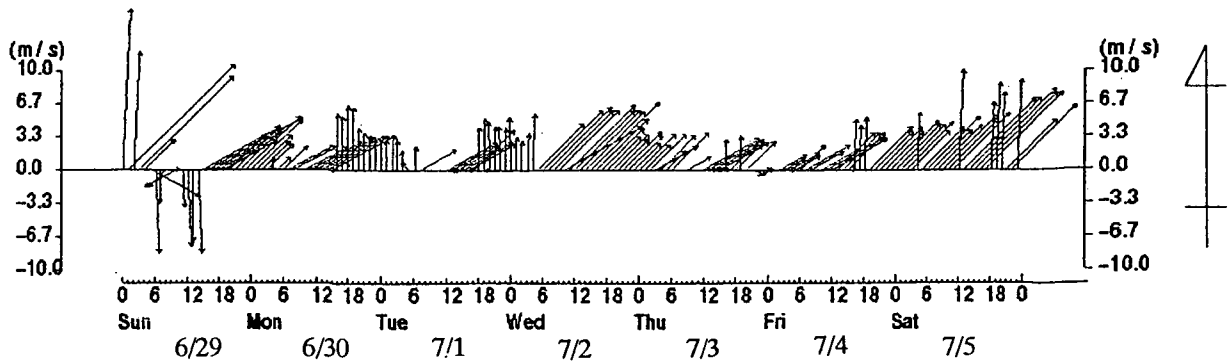


図-2 風向・風速ベクトル図(平成9年6月29日～7月5日)

が見られなかったものの、表層においては東岸側を北に向かう流れ、中層において木更津付近から西に向かう流れについて人工島の影響で抑制されていた可能性を示唆する結果となった。

3.2 油の拡散検討結果

事故発生から約5時間後の7月2日午後3時頃に航空

機から撮影された現場周辺写真をもとに作成した5時間後の油膜の広がりを図-5に示す。川崎港沖に5 km程度の範囲で油膜が広がっていることが示されている。

座礁した位置から曳航された記録を基に連続的に粒子を逐次投入することで油の拡散を追跡する手法を用いたが、事故5時間後の7月2日午後3時における粒子の拡

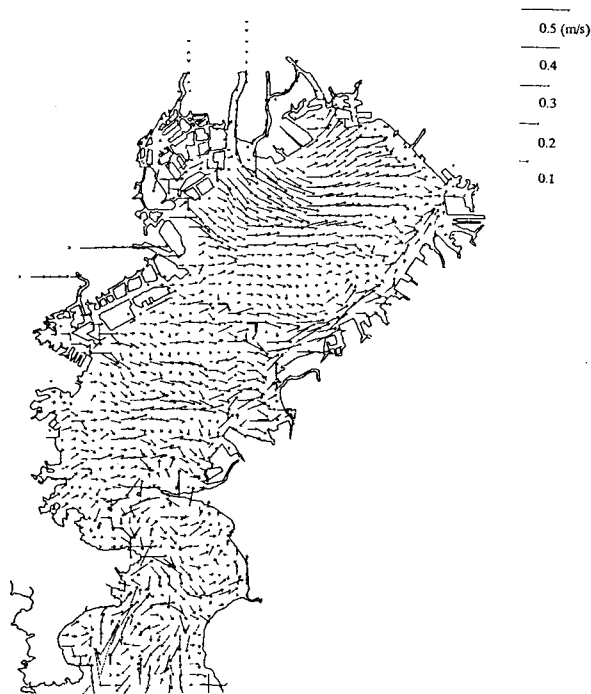


図-3(a) 7月2日の日平均水平流速ベクトル図
(人工島を考慮した場合、表層)

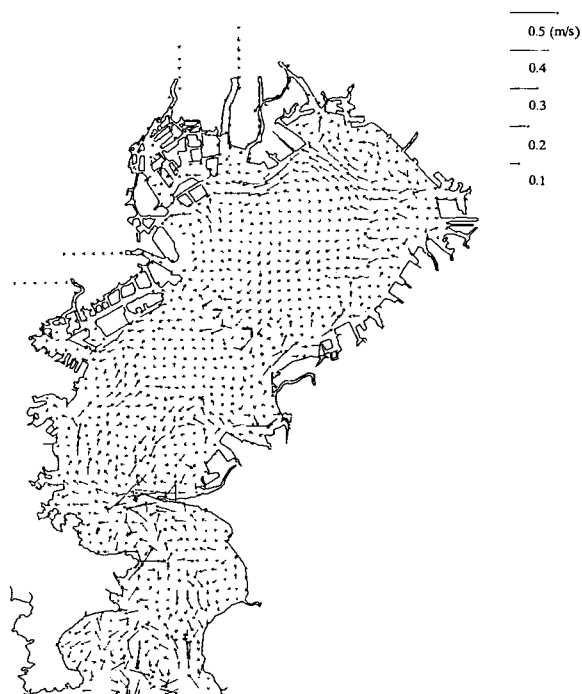


図-3(b) 7月2日の日平均水平流速ベクトル図
(人工島を考慮した場合、中層)

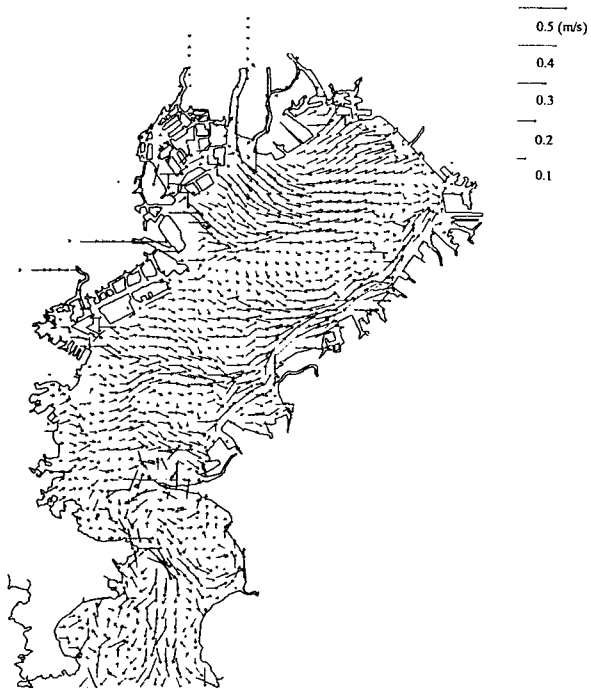


図-4(a) 7月2日の日平均水平流速ベクトル図
(人工島を考慮しない場合、表層)

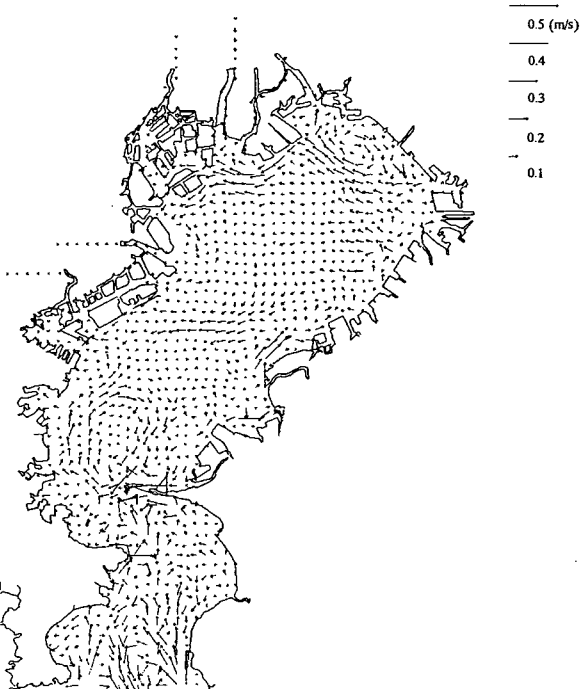


図-4(b) 7月2日の日平均水平流速ベクトル図
(人工島を考慮しない場合、中層)

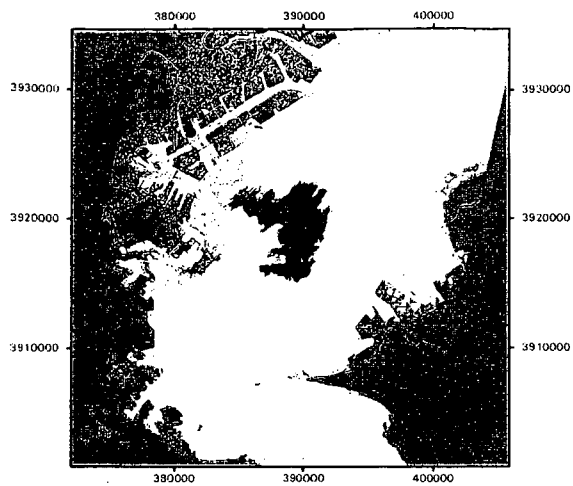


図-5 航空写真より判読した油膜の分布
(平成9年7月2日午後3時頃)
※数字は Universal Transverse Mercator (UTM)

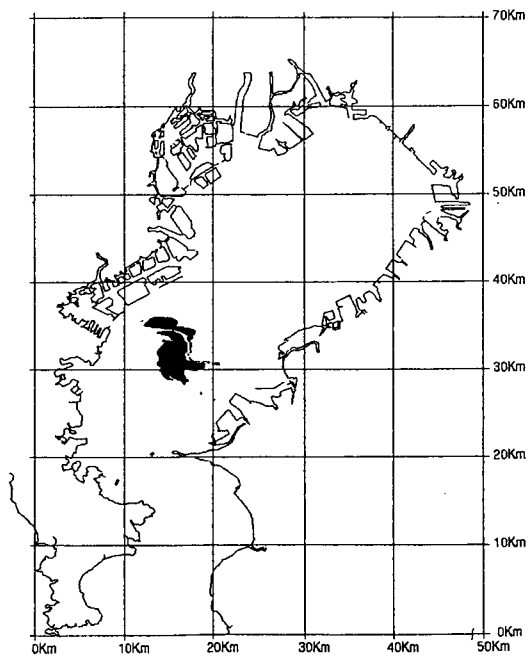


図-6 投入粒子分布 (流出油の分布を示す)
(平成9年7月2日午後3時)

散状況の計算結果と観測結果を比較することで油の流出に関するこの仮定の検証を行った。計算は人工島を考慮したケースの結果を用い、油の流出については図-1に基づき粒子を投入した結果、図-6に示される分布が得られた。当日の流れの分布から得られた東向きの流れによって流出地点より東側へ向かい流出油が拡散していることが分かる。また、この結果は航空写真から得られた分布と良好な一致を示しており、油の流出の初期条件として座礁した位置から曳航された記録を基に連続的に粒子を逐次投入するという仮定が妥当であったことを示す結果となっている。

事故発生から約25時間後(7月3日午前11時)の粒子

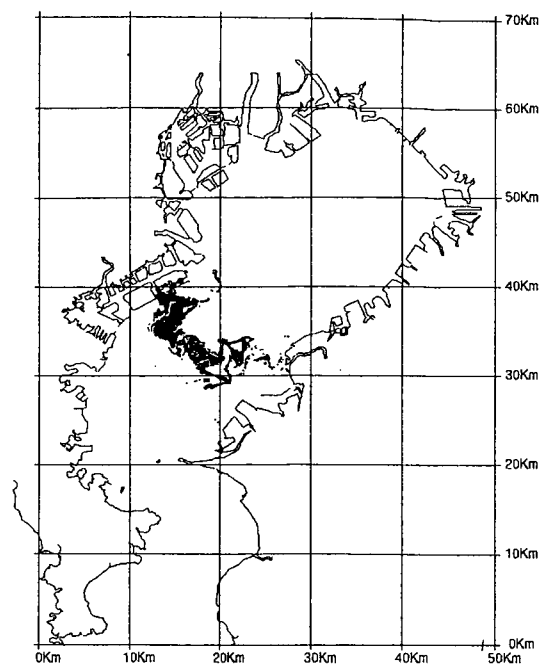


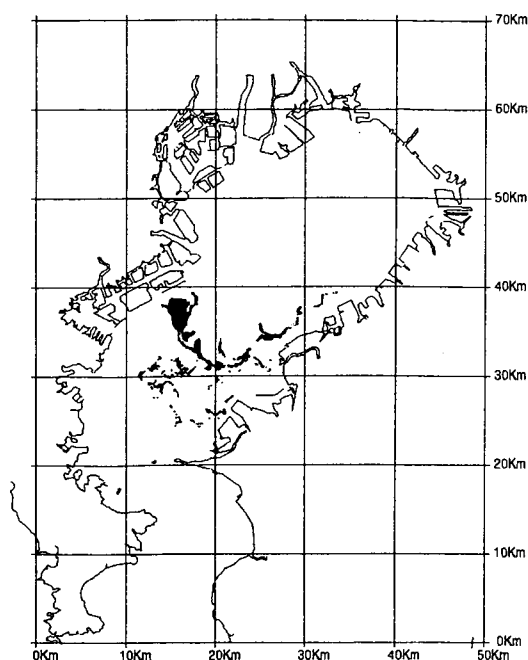
図-7 投入粒子分布 (流出油の分布を示す)
(平成9年7月3日午前11時)



図-8 衛星写真 (SPOT-II) に示された油膜の分布 (宇宙開発事業団提供の画像を基に作成 平成9年7月3日午前10時54分)
※数字は Universal Transverse Mercator (UTM)

の分布について図-7に示す。流出した粒子の分布は東京湾の長軸に垂直方向に拡散する結果となっている。7月2日における2潮汐期間の残差流について見ると、表層において横浜港から木更津へと向かう流れが示され、流れの一部は千葉港に向かう北東の方向へと進むが(図-3(a)), 粒子の大部分は、川崎港沖から木更津に向けて帯状に滞留する結果となった。

図-7に示した計算結果とほぼ同時刻の7月3日午前10時54分にSPOT IIによる東京湾の衛星画像が得られている。この画像を基に作成した油の拡散範囲を図-8



図一9 投入粒子分布 (人工島を考慮しない場合)
(平成9年7月3日午前11時)

に示す。この図から読みとれる油膜の拡散範囲と計算から得られた7月3日午前11時における粒子の拡散の分布は良好な一致を示しており、今回の検討において用いた手法によって流出油の移動現象の予測が、高い精度で可能であることを示す結果となった。

人工島が無いとして計算した場合の油の拡散について、図一7に示した再現計算と同じ時刻における投入粒子の分布を見ることで比較を行った結果、粒子は表層において東京湾東岸を北上する流れにのって湾奥部にまで到達するという結果が得られた (図一9)。

4. 考察およびまとめ

東京湾における流動解析モデルを用いて粒子追跡手法により油の拡散に関する予測計算を行った結果、粒子の挙動は観測された油膜の分布を精度高く再現した。

今回の計算では、新たに建設された人工島の影響評価を盛り込んだ結果、物質移動に重要な残差流について湾全体のパターンは大きく変化しなかったものの、人工島周辺の流れには変化があり、粒子が海面に放出された場合、それらの挙動にも影響することが認められた。人工島の再現には1つの格子間で流れを遮断するという手段を用いたが、川崎人工島が直径約195mの円形構造物であり、木更津人工島が海底で1480×240m、海上で650×100mの矩形構造物であるため現在の方法では影響が過

大に評価されている可能性は否定しきれない。しかしながら、今回の計算結果からは、これら2つの人工島が東京湾における残差流ひいては物質移動に影響を及ぼしている可能性も否定できないため影響についての判断については今後さらに検討が必要と考えられる。

油流出の初期値としては、曳航記録をもとに粒子を注入することで再現を試みた。今回の事故においても初期の段階で油流出の情報が明確には得られていなかったことを考慮すると、初期値の検証を行う意味においても事故直後の油流出状況を正確に把握し、流出特性を検証することがその後の計算結果の精度を向上させると考えられる。今回の検討結果は、海洋における汚濁物流失事故が起こった場合の影響予測を行う場合、航空機および衛星写真からの情報をシミュレーションモデルの検証データとして利用し、シミュレーションモデルによる計算とのカップリングを行うことの重要性を示す結果となった。

油の挙動については流出後のタール化など今回の検討では全く考慮されておらず、さらに改善が必要と考えられるが、量的に見て重要な油膜部分の分布を予測することは今回の検討で用いた手法を適用することで可能と考えられる。

謝辞：河川流量データについては速報値を建設省関東地方建設局より、衛星写真については宇宙開発事業団よりご提供いただいた。記して感謝いたします。

参考文献

- 鈴木 亨・松山優治・長島秀樹 (1997): 成層期の東京湾における北東風による循環流および湧昇域の形成過程に関する数値実験, 沿岸海洋研究, 第35巻, 第1号, pp. 99-108.
- 田中昌宏・Stelling, G. S.・Markus, A. (1996): 東京湾の残差流のシミュレーションとそれが水質解析に及ぼす影響について, 海岸工学論文集, 第43巻, pp. 1121-1125.
- 中辻啓二・尹 鐘星・白井正興・村岡浩爾 (1995): 東京湾における残差流系に関する三次元数値実験, 海岸工学論文集, 第42巻, pp. 386-390.
- 渡辺正孝・天野邦彦・石川裕二・木幡邦男 (1998): 秋期の東京湾奥部における風による成層破壊と底層の無酸素水塊の湧昇過程, 土木学会論文集, 投稿中.
- Blumberg, A. F. and D. M. Goodrich (1990): Modeling of wind-induced destratification in Chesapeake Bay, Estuaries, V. 13, pp. 236-249.
- Hoult, D. P. (1972): Oil spreading on the sea, Annual Rev. of Fluid Mech., V. 4, pp. 341-368.
- Nakata, K. and T. Kuramoto (1992): A model of the formation of oxygen depleted waters in Tokyo bay, Pro. Adv. Mar. Tech. Conf., V. 5, pp. 107-132.

富栄養化した貯水池における底泥のリン吸着能に及ぼす

酸化及び乾燥の影響に関する実験的検討

建土研 ○李建華, 天野邦彦, 田中康泰, 小森行也, 寺川陽

Effects of oxidation and drying on the phosphate sorption characteristics of sediments from an eutrophic water storage reservoir, Jianhua LI, Kunihiko AMANO, Yasuhiro TANAKA, Kouya KOMORI, and Akira TERAKAWA (PWRI,MOC)

1. はじめに

渡良瀬貯水池では、底泥由来の内部負荷が水質に大きく影響しているため、溶出抑制を目指し、干し上げ等底泥を酸化する試みが行われてきたが、酸化または乾燥による現地底泥のリン吸着特性及び吸着能の変化に関する知見は余りない。

本研究では、底泥の酸化または乾燥によるリン吸着能への影響に関する知見を得るため、現地の表層底泥を用いて、パッチスケール規模実験を行い検討した。

2. 実験方法

渡良瀬貯水池から柱状底泥を採取し、実験に供した。底泥試料は、初期条件を統一するため、表層底泥を混合してから、ろ過した底泥直上水を加え、ゴム栓で密栓した 500ml の三角フラスコ中で、一ヶ月間の前培養(25℃)を行った。前培養後、表 1 に示す処理を行った。処理後、乾燥処理以外の底泥試料は遠心分離により脱水し、燐吸着能実験に供した。

燐吸着能実験では、まず 10g の乾泥重に相当する湿泥を取り、NaNO₃ 溶液に懸濁させた後、超音波処理で均一分散した底泥スラリーを作成した。この際、スラリー中のイオン状態を均一に保つため HNO₃ により pH6.0 に調整した。この底泥スラリーを窒素ガス通気の下、50-ml の遠心管に 25ml ずつ分注した。これら遠心管中に設定の濃度になるように燐酸液を加え、実験を開始した。暗条件における振とう培養(110 rpm, 25℃)を行い、各遠心管中の PO₄-P の経時変化を分析した。燐吸着アイソサーム(Isotherm)の作成には平衡点に達した時の溶液中に残存した燐濃度(Ce)を用い、底泥に吸着された燐の量(Xe)を求めた。溶存反応リンの分析は遠心分離で得た上澄みをろ過後、テクニコン比色法により行なった。底泥中燐の形態別の分画定量については、Baldwin(1996a)により改良された連続抽出法を用いて行った。

3. 結果および考察

底泥スラリー中に添加された可溶性反応燐濃度の経時変化を図 1 に示す。酸化程度が強いほど燐吸着能が低下する傾向が見られた。未処理の系 (A) の吸着能は最も高く、乾燥された底泥 (E) の吸着能は最も低かった。一方、グルタルアルデヒドによる固定処理を行った系 (B) においては初期反応速度は速いが、実験終了時の吸着能では未処理のコントロール系より低いことが確認された。曝気酸化を受けた底泥 (D) の吸着能も低下した。さらに図 1 に示す溶液中溶存燐の経時変化の結果から求めた吸着された燐の量をプロットして求めたそれぞれの燐吸着アイソサームは図 2 のとおりである。この図から、図 1 の結果と同様の傾向が確認され、酸化の度合いが強いほど溶存反応燐に対する親和性が低減するという結果が得られた。

以上の実験結果と同様の現象は、Baldwin(1996b)によるオ

ーストラリアのあるダム湖の底質調査からも報告されている。このメカニズムを解明するため、異なる処理プロセスを受けたそれぞれの底泥試料中の無機態燐の形態変化や金属イオンの変化及び溶存態有機物の変化を分析した結果、図は割愛するが、吸着能の最も高い未処理のコントロール系の鉄態燐が最も高く検出されていることから、現地底泥の燐吸着能の変化は底泥中の鉄の形態変化に関連があると推察される。

表 1 酸化処理法一覧

処 理 種 類	
A	密栓培養のみ
B	グルタルアルデヒド (final conc. 3%) 添加, 密栓培養
C	直上水中曝気 (50 ml/min)
D	曝気, またスターラによる強く連続攪拌
E	遠心(3000 rpm)脱水後, 室温で乾燥
F	Ca(NO ₃) ₂ 注入 (final conc. 1.0%)
G	Ca(NO ₃) ₂ + グルタルアルデヒド (final conc. 3%)

底泥の前培養は、25℃, 暗条件, 30 日間とし、前培養後の処理では前培養と同条件でそれぞれ 2 週間とした。底泥の室内乾燥温度は 23℃ とした。

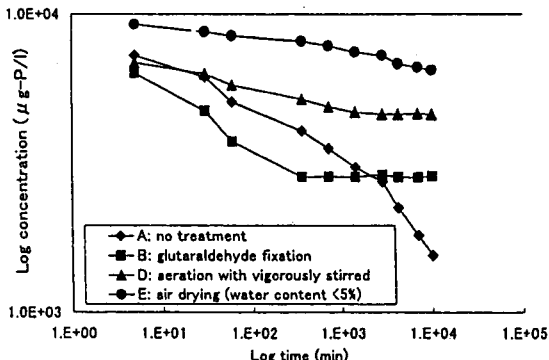


Fig.1 Kinetic plots for P uptake in sediment slurry. Initial phosphate loading was 10,000 μg-P/liter.

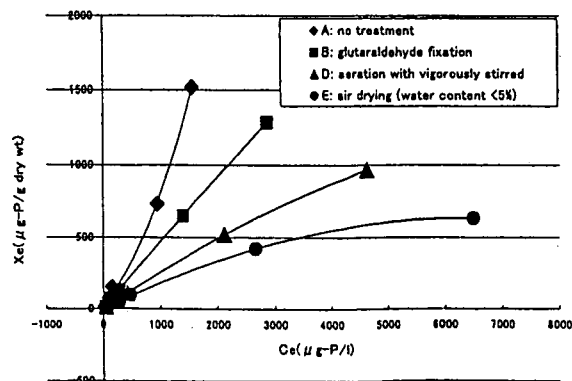


Fig.2 Phosphate adsorption isotherms for several treated sediments. Ce is the concentration at equilibrium; Xe is the amount of adsorbed P.

4. 参考文献

- Baldwin, D.S. 1996a. *Hydrobiologia*. 335: pp.63-73.
- Baldwin, D.S. 1996b. *Limnol. Oceanogr.* 41: pp.1725-1732

II - 5 交 流 研 究 員 報 告

赤潮鞭毛藻 *Peridinium bipes* のリン酸摂取について

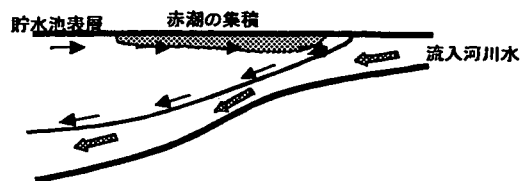
研究室名 環境計画研究室

氏 名 中 山 亮

1. はじめに

淡水赤潮を形成する原因種としては鞭毛藻類の *Peridinium* 属、*Ceratium* 属、*Uroglena* 属などが多く報告されており（宗宮ら，1998）、この中では *Peridinium* 属による事例がもっとも多い。

淡水赤潮現象は流入河川とダム湖水域の境界に見られることが多い。その理由として水温の低い流入河川がダム湖の下に潜り込み、それにともない表層部付近では上流に向う流れが形成される。正の走光性を持つ鞭毛藻は表層に浮上し、この流れに沿って流入端付近に集積すると報告されている。（中本，1991；畑，1991；山田ら，1995）。



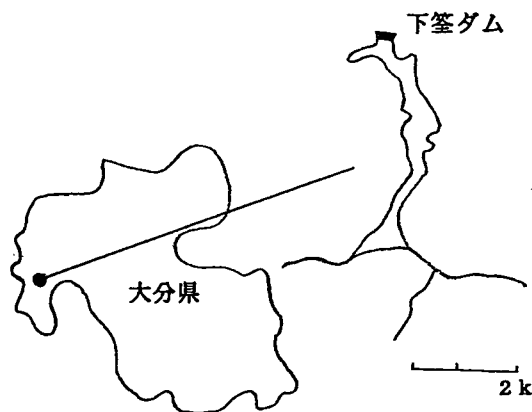
図－1 赤潮発生のおきみ

本研究対象とした下笠ダム（大分県）では毎年秋季から冬季にかけ流入端付近で *Peridinium bipes* による濃厚な淡水赤潮現象がみられる。連続観測を行った結果、日中は表層に、夜間は底層に集積することが明らかになった。海産の鞭毛藻 *Olisthodiscus luteus* や *Heterosigma akashiwo* を用いた室内実験によると、明期は表層に、暗期は底層に集積すること、その垂直移動は明暗切り換え時刻に先行して行われることが報告されている（渡辺ら，1982，1984）。

P.bips は、日中は表層で盛んに光合成を行い、夜間は栄養塩の豊富な底層に移動するものと考えられる。しかし、経時的な栄養塩摂取について定量的に測定した報告は少なく、栄養塩摂取の側面から赤潮発生機構について考察を行う目的で、*P. bipes* のリン酸摂取の日変化を室内実験により測定した。

2. 下笠ダムの概況

下笠ダムは大分県にあるアーチダム（堤高 98.0 m、堤頂高 248.2 m）で集水面積 185.0 k m²、湛水面積 200ha、総貯水容量 5930 万 m³ の多目的ダムである。当ダムの位置を図－2 に示す。



図－2 下笠ダム位置図

3. 実験方法

実験には 1998 年 12 月に下笠ダムで発生した *P. bipes* による赤潮湖水を用いた。実験に際しこの *P. bipes* の単離及び無菌化を試みたが、うまく生育しなかったため、赤潮湖水を直接実験に供した。実験期間中他の藻類はほとんど見られなかった。

実験は容量 5 l の三角フラスコに走光性を利用して集めた *P.bipes* を含む 3.5 l の湖水を入れ、生育に必要な各種栄養塩を添加し、15 °C、6000lux、12 時間明暗としたインキュベータ内に静置して行った。添加した栄養塩は W1 培地（渡辺，1983）のリン源を KH_2PO_4 に変更し、他の成分を 1/5 量としたものである。本実験での組成を表－1 に示す。

表－1 添加した栄養塩の組成

Urea	3.4 mg
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	20 mg
KNO_3	2 mg
KH_2PO_4	※
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	3 mg
PIVmetal	0.1 ml
VitaminB ₁₂	0.004 μg
Biotin	0.004 μg
ThiaminHCl	0.4 μg
Glycylglycin	100 mg
Lake water	1000 ml
pH	7.5

実験は、栄養塩濃度及び細胞の生理状態の違いによる摂取速度の変化を測定するため、異なる PO_4^{3-} 濃度での摂取速度の変化の測定（実験 1）、リン制限下においた飢餓状態の試料での摂取速度の変化の測定（実験 2）とした。

実験 1 は、現地で採水した湖水に KH_2PO_4 を若干量添加し 3 日間インキュベータ内で実験と同様の条件で順化させ、実験開始時に KH_2PO_4 をさらに添加し、初期濃度を PO_4^{3-} として A : 8.8 μM と B : 28.7 μM とした。また試料 A、B 共 *P.bipes* の個体数は約 4×10^3 cells/ml となった。

※ KH_2PO_4 の添加量は実験によって異なる

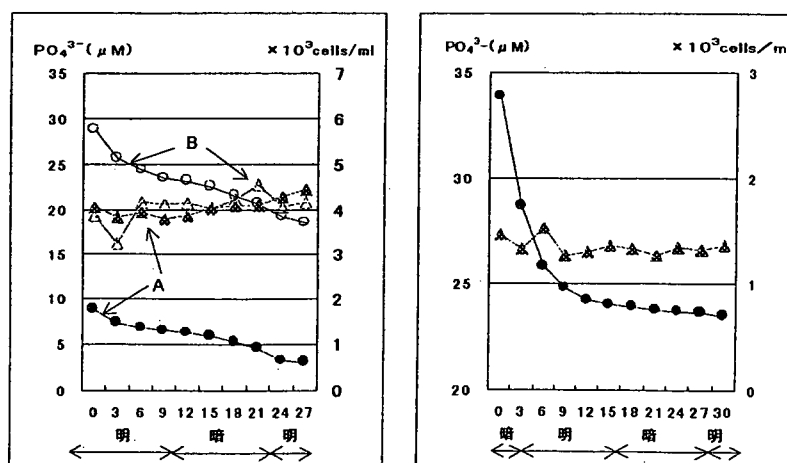
実験 2 は現地から採水した試料を 3 日間インキュベータ内に静置し、飢餓状態とした試料を用いた。実験開始時に KH_2PO_4 を添加し、初期濃度を PO_4^{3-} として 34 μM とした。*P.bipes* の個体数は 1.3×10^3 cells/ml となった。

実験 1、2 ともに用意した試料から 3 時間ごとに 50 ml 採取し、 PO_4^{3-} の測定および細胞数の計数を行った。 PO_4^{3-} の測定はモリブデン青（アスコルビン酸）吸光光度法により、細胞数の計数は 1 mm 方眼の目盛り付きスライドガラスに 0.1 ml の試料を入れ、顕微鏡下で計数し 1 ml 当たりの個体数に換算した。また、同時にコールターカウンター Z 2 型（コルタ製）を用いて個体数及び細胞粒径の測定も行った。

4. 実験結果及び考察

PO_4^{3-} 濃度の変化と細胞数の変化を図－3 に示す。*P.bipes* は明期暗期ともに PO_4^{3-} の減少がみられ、枯渇状態の試料の場合、 KH_2PO_4 添加直後 PO_4^{3-} の急激な減少がみられた。

細胞数の計数により分裂時刻の把握も期待したが、各実験とも細胞数に明確な変化が見られず、コールターカウンターによる細胞粒径も平均 45 μm 程度と各時間帯でほぼ一定であった。



● ○ PO_4^{3-} 濃度 ▲ △ *P.bipes* 個体数

図－3 PO_4^{3-} 濃度と個体数の日変化

室内実験において *P.bipes* の最大比増殖速度を算出した報告には、0.17 – 0.21 /d (西堀ら, 1991)、0.115 – 0.12 /d (池田ら, 1993)、0.171 /d (池田ら, 1997) があり、国立環境研究所より分譲を受けた *P.bipes* (NIES-497)を用いて、本実験と同様の培養条件によって算出したところ 0.10 – 0.11 /d (私信, 未発表) となった。これらの結果から細胞数が倍になる日数は約 3 ~ 7 日と算出され、本実験は 1 日の経時変化測定であったため、細胞数に明確な変化が見られなかったものとする。

各時間帯において減少した PO_4^{3-} がすべて *P.bipes* に摂取されたとして、 PO_4^{3-} の摂取速度 (V) を次式を用いて算出した。

$$V = -dS / dt / N \tag{1}$$

ここで、 $-dS / dt$ は単位時間での PO_4^{3-} 濃度の減少量、 N は細胞数である。

算出結果を表 – 2 に示す。

表 – 2 *P.bipes* の PO_4^{3-} 摂取速度

実験 1 における PO_4^{3-} の摂取速度は、

A : 21.8 ~ 128.2 fmol/cell/h (明期)、28.2 ~ 98.3 fmol/cell/h (暗期) B : 28.7 ~ 290.0fmol/cell/h (明期)、58.5 ~ 107.2 fmol/cell/h (暗期) となった。初期濃度が高いほど PO_4^{3-} の摂取速度が大きく、また KH_2PO_4 添加後最初の 3 時間が他の時間帯より摂取速度がやや大きかった。

実験 2 における PO_4^{3-} の摂取速度は 35.4 ~ 673.1fmol/cell/h (明期)、11.7 ~ 1242.4fmol/cell/h (暗期) となり、実験 1 と比較し KH_2PO_4 添加後最初の 3 ~ 6 時間の摂取速度が大きかった。

実験 1

	hrs	LorD	V(fmol/cell/h)
A	0-3	L	128.2
	3-6	L	40.7
	6-9	L	25.0
	9-12	L	24.9
	12-15	D	28.2
	15-18	D	47.0
	18-21	D	66.2
	21-24	D	98.3
B	24-27	L	21.8
	0-3	L	290.0
	3-6	L	119.9
	6-9	L	66.5
	9-12	L	28.7
	12-15	D	58.5
	15-18	D	73.4
	18-21	D	72.7
	21-24	D	107.2
	24-27	L	42.5

実験 2

hrs	LorD	V(fmol/cell/h)
0-3	D	1242.4
3-6	L	673.1
6-9	L	247.6
9-12	L	147.6
12-15	L	71.3
15-18	D	11.7
18-21	D	36.5
21-24	D	12.1
24-27	D	23.7
27-30	L	35.4

L:明期 D:暗期

fmol = 10^{-15} mol

実験結果から栄養塩の摂取速度は、細胞内の栄養塩含有量に影響を受けるものと考えられることから、PILAR. *et al.* (1997) のモデル式 (2) により栄養塩摂取速度を再現することを試みた。

$$V = V_{\max} ((q_{\max} - q) / (q_{\max} - q_{\min})) (S / (K_s + S)) \tag{2}$$

V : 栄養塩摂取速度 (pg-P/cell/h)、 $V_{\max}$: 最大栄養塩摂取速度 (pg-P/cell/h)、

S : 初期栄養塩濃度 (μM)、 K_s : 半飽和定数 (μM)

$q_{\min}$: 最小細胞内栄養塩含有量 (pg-P/cell)、 $q_{\max}$: 最大細胞内栄養塩含有量 (pg-P/cell)

各値は実験 2 の結果を用い、 $V_{\max}$ は最初の 3 時間から算出された速度、 S は実験開始時の $\text{PO}_4 - \text{P}$ 濃度、 $q_{\max}$ は 実験終了時まで減少した $\text{PO}_4 - \text{P}$ がすべて

表 – 3 計算緒元

P. bipes に摂取されたものとし、その減少量から算出した。 $q_{\min}$ については、現地での状態がきわめて最小に近いものと考え、現地調査時の値を用いた。

K_s は本実験では求められていないが、設定した $\text{PO}_4 - \text{P}$ 濃度 (S)

$V_{\max}$ (pg-P/cell/h)	40
S (μM)	34
$q_{\min}$ (pg-P/cell)	140
$q_{\max}$ (pg-P/cell)	400

に対し非常に小さいものと考え無視した。各値を表-3に示す。

栄養塩摂取速度計算値と実測値の関係を図-4に示す。計算は1ケースのみの場合ではあるが、表-3で与えたパラメータを用いると式(2)で再現よく表現できた。

5. まとめ

P.bipes は日中及び夜間とも同様に PO_4^{3-} を摂取でき、また、枯渇した状態では急速に PO_4^{3-} を摂取できる能力があることが明らかにになった。

淡水で他の藻類を用いた同様の報告は少ないが、海産の珪藻 *Skeletonema costatum* は夜間では日中と比較して栄養塩の摂取速度が大きく減少することが報告されている(渡辺ら, 1982)。しかし、今回の実験で明らかになった様に、*P.bipes* は夜間においても栄養塩の摂取速度が大きく減ずることもなく、底層に移動した際に栄養塩摂取が可能である。この栄養塩摂取能力と日周垂直移動能力により、貯水池流入端に生起する流れにより形成された環境に適合し、濃厚な赤潮を形成する原因になったと考えられる。

摂取速度は用いたモデル式で比較的良好に表現できたが、今後、より低いリン濃度での実験を行い、諸元の検証を行う予定である。

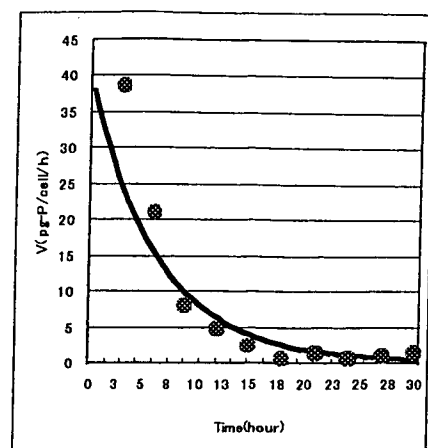


図-4 $\text{PO}_4\text{-P}$ 摂取速度計算結果

————— : 計算値 ● : 実測値

6. 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、天野主任研究員、田中研究員ならびに環境計画研究室の皆様にご感謝の意を表します。

所属 北海道開発コンサルタント株式会社

<参考文献>

- 畑 幸彦 (1991): 永瀬ダム湖 (高知県) の淡水赤潮。水質汚濁研究, 14(5): 25-29.
- 池田知司・松本達郎・吉舎廣幸・石田祐三郎・河合章 (1993): 渦鞭毛藻 *Peridinium bipes f. occultatum* による淡水赤潮の発生原因となる増殖制限因子の解析。陸水学会誌, 54(3): 179-189
- 池田知司・大西庸介・旗持和洋・石田祐三郎・河合章 (1997): 貯水池において淡水赤潮を形成する渦鞭毛藻 *Peridinium bipes f. occultatum* の生理的特徴について。陸水学会誌, 58: 395-403
- 中本信忠 (1991): 神流湖の淡水赤潮。水質汚濁研究, 14(5): 13-17.
- 西堀尚良・西島敏隆・小野田義輝・畑幸彦 (1991): 淡水赤潮プランクトン *Peridinium bipes f. occultatum* の増殖に及ぼす照度、温度、pH及び窒素栄養塩の影響。日本水産学会, 57(9): 1729-1735
- PILAR, H et al. (1997): Modeling eutrophication kinetics in reservoir microcosms. Wat. Res. 31 (10): 2511-2519
- 宗宮 功・岸本直之 (1998): ダム貯水池で発生する淡水赤潮の現状と問題点。ダム技術, 144: 4-10.
- 渡辺信・矢持進・木幡邦男・渡辺政孝 (1982): 赤潮鞭毛藻 *Olisthodiscus luteus* の垂直移動とリン酸摂取の日周期性。国立公害研究所研究報告, 30: 131-141.
- 渡辺 信 (1983): 純粋培養法による淡水赤潮 *Peridinium* の増殖特性の解析—合成培地の確立。国立公害研究所研究資料, 24: 111-121
- 渡辺信・中村泰男・木幡邦男 (1984): 赤潮鞭毛藻 *Heterosigma akashiwo* Hada の日周垂直移動—特にその生態的意味について。国立公害研究所研究報告, 63: 69-77.
- 山田正人・宗宮功・小野芳朗・小林尚礼 (1995): ダム貯水池における *Peridinium* 淡水赤潮の集積機構の評価。水環境学会誌, 18(10): 39-47.

気候の違いによる歩行者実態調査 ～快適性の観点からの一考察

研究室名 環境計画研究室
氏 名 池田 尚子

1. はじめに

近年、我々の生活における利便性は大きく向上した。利便性と同様に快適性も向上してきた。しかし、これらの利便性の向上と快適性の向上はエネルギー大量消費の上に成立するものとなっている。

20世紀の初頭、人類は科学技術の進歩により平和で繁栄した社会が実現すると期待した。しかし、2つの大戦とその後の世界情勢は、核戦争による人類の滅亡の恐怖にさらされると共に高度に発達した機械文明により消費される資源の枯渇という問題が表面化してきた。さらに、近年には資源の枯渇よりも先に地球環境問題が発生することが判明し、先進工業国はこぞってその対策に追われている。

一方、人々は生活様式を環境問題を動機としてこれまで享受している快適で安楽なものから、かつて行っていた不便で骨のおれるものに自発的に変化させるとは望むべくもない。

このような状況に鑑み、人々の快適性を損なうことなくエネルギー消費を削減するためにはどのような対策が有効かを明らかにする事は重要である。

本研究では、移動におけるエネルギー削減に最も寄与すると考えられる一つの変化すなわち、安楽・快適な車による移動から徒歩による移動に転換を図るために、歩行空間の快適性を向上させるという観点に着目した。

また、歩行は我々の生活にとって最も基本的な移動手段であるが、現在では、何処へでも便利な車で移動できるようになった。しかし便利な生活と引き換えに我々の運動量は減って行き、逆に成人病は増え続けている。¹⁾ ストレスが多く忙しくてまとまった時間が取れない現代人にとって、歩行は個人のペースで気軽に何時でも、何処でも、誰でも出来る簡単な運動であり、歩行環境を整えることは、国民全体の健康増進にも寄与すると考えられる。

2. 目的

歩行の目的、理由は様々である。通勤や通学など、自分の都合で動かせない要因に規定されるものも多い一方で、散歩や買い物など自らの意志でいつ行かうかを自由に選択できるものもある。これらのものが季節により、地域によってどのように変化するかを調査することにより、気候を含む地域特性が歩行行動に与える影響の程度や影響の与え方を明らかにし、快適な歩行空間整備を図る上での基礎的知見を得ることを目的とする。

3. 研究方法

気候の影響と歩行者

表－1 アンケート調査日

の意識の違いを明らかにするため、気候の異なる3地域（鹿児島、静岡、札幌）を調査対

	札幌市	静岡市	鹿児島市
夏	平成10年8月21日(金)	平成10年8月23日(日)	平成10年8月25日(火)
秋		平成10年10月4日(日)	平成10年10月8日(木)
冬	平成11年2月16日(火)	平成11年1月26日(火)	平成11年1月26日(火)
		平成11年1月31日(日)	

象地として選定し、その地域の歩行者に対して聞き取り調査を行った。また、平日と休日の違いを見るため静岡の冬の調査では平日と休日の2日調査を行った。

質問項目は、歩行の目的、頻度、歩行環境の満足状況等である。

調査地の3地域は、主に住宅、商店の近傍、業務地区の近傍（1km程度）で、2車線の道路に歩道と植樹があり、歩道幅、植樹状況、周辺の街並等を条件に選定した。

調査日は、表－1に示す通りである。調査は午前6:00～午後9:00の連続15時間行った。

4. 結果

4. 1 気象

調査の結果を以下に記す。調査日の天候は晴れ、夏の調査日の平均気温は札幌:22.2℃、静岡:26.3℃、鹿児島:28.3℃、秋の調査日の平均気温は静岡(休日):23.1℃、鹿児島:23.7℃、冬の調査日の平均気温は札幌:2.1℃、静岡(休日):5.1℃、静岡(平日)9.1℃、鹿児島:10.6℃であった。(図－1,4,7)

4. 2 歩行者数

札幌では、学童と園児の午前送迎時間帯に歩行者のピークが見られた。鹿児島では、朝夕の通勤時間帯に歩行者のピークが見られた。静岡では、午前11時頃から歩行者が増加した。鹿児島以外の2地域では冬の調査の方が夏、秋に比べて交通量が多かった。静岡の平日は、休日に比べて通勤時間帯に大きなピークが見られた。また、他の2地域と比べても歩行者が多かった。(図－2,5,8)

4. 3 自動車交通量

札幌では主に住宅地の中を通る道路であったため、交通量が少なかった。他の2地域が1日に6,000台を超えているのに対して1,000台前後であった。静岡の平日と休日を比べると、平日の方が多く、通勤時間帯にピークが見られた。(図－3,6,9)

表－2 有効回答者数

		男性	女性	合計
札幌	夏	49	80	129
	冬	74	114	188
静岡	夏	95	92	187
	秋	155	206	361
	冬(休日)	129	96	225
	冬(平日)	105	125	230
鹿児島	夏	26	87	113
	秋	121	196	317
	冬	27	66	93
合計		781	1062	1843

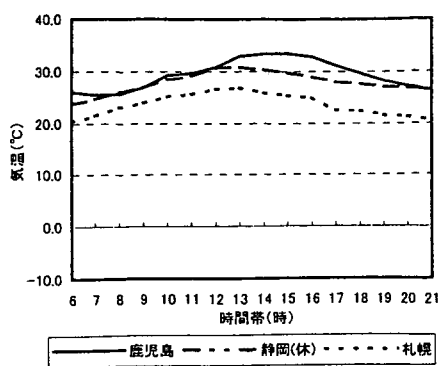


図-1 調査日の気温(夏)

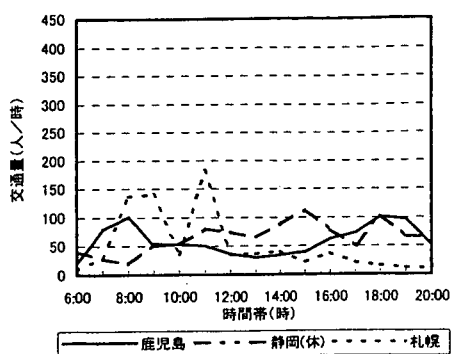


図-2 歩行者交通量(夏)

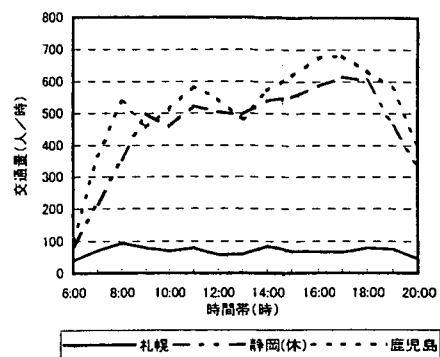


図-3 自動車交通量(夏)

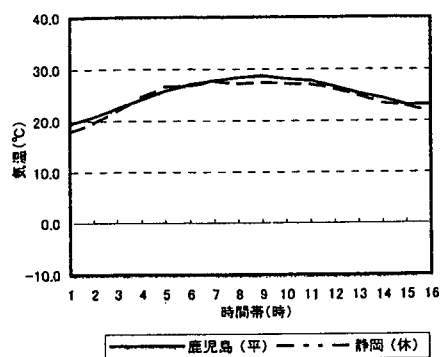


図-4 調査日の気温(秋)

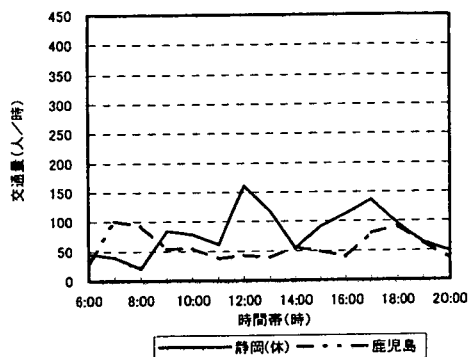


図-5 歩行者交通量(秋)

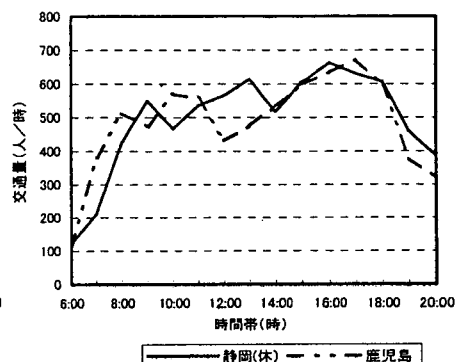


図-6 自動車交通量(秋)

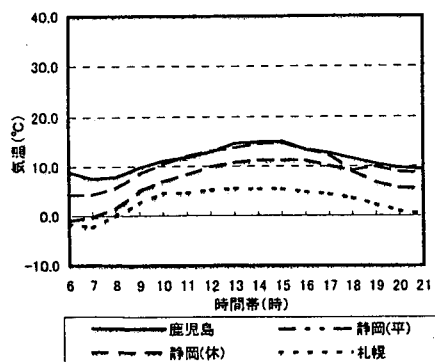


図-7 調査日の気温(冬)

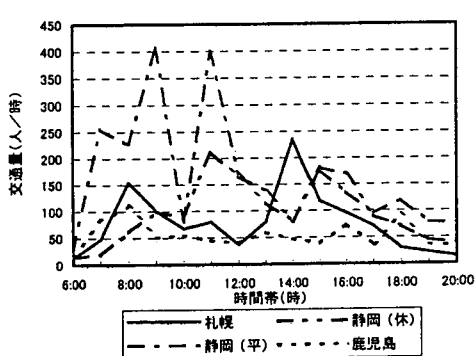


図-8 歩行者交通量(冬)

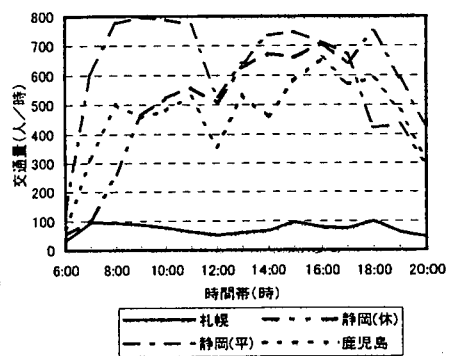


図-9 自動車交通量(冬)

4. 4 アンケート調査

4. 4. 1 被験者の属性

被験者の有効回答者数は、男性 781 人、女性 1062 人、合計 1843 人であった。

自動車の保有台数については図-10 に示す。

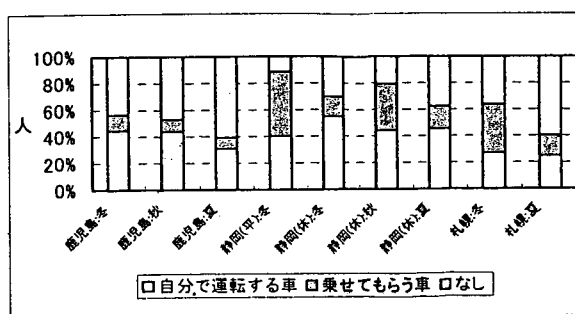


図-10 自動車の保有

4. 4. 2 アンケート結果

①目的地

全体的に見て、夏の調査よりも、冬の調査の方が散歩等の非拘束目的が多かった。

札幌と鹿児島県の平日の夏の調査では、夏休み期間中であったため、同地域の他の季節と比べて通学者が少なかった。

静岡の冬の平日と休日では休日の方が非拘束目的の散歩、公園、お店等へ行く人が多かった。鹿児島県の調査と静岡の平日の調査では業務地の近くであるため通勤者が多かった。散歩者の割合は3地域とも夏～秋、秋～冬へ行くに従い増加した。その他の主な項目は、郵便局や病院、児童館などであった。

②頻度

通勤・通学などの拘束目的以外の項目に記入している人の歩行の頻度を見ると、札幌では、40%以上の人々が毎日歩行し、週に2～3回を合わせると70%近くになる。また、若干冬の方が頻度が高い。鹿児島県では夏に、70%以上の人々が毎日歩いているのに対して秋、冬になると50%程度に減少する。静岡の休日では、40%以上の人々が毎日歩行している。

③時間帯選択理由

通勤・通学などの拘束目的以外の項目に記入している人の歩行の時間帯選択理由を見ると、静岡の平日調査の「人の混雑がないから」は他と比べて多かった。「生活の都合上」がそれぞれの調査日で首位を占めたが、その他の主な項目も「特になし」が多かった。しかし、「気持ちのいい時間帯だから」がそれぞれの地域において、秋、冬へと行くに従い増加している。

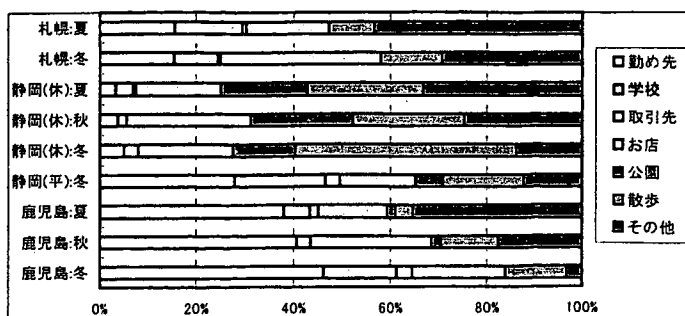


図11 目的地

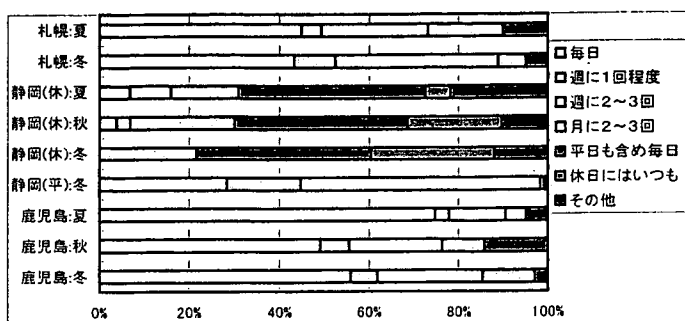


図12 頻度(非拘束目的)

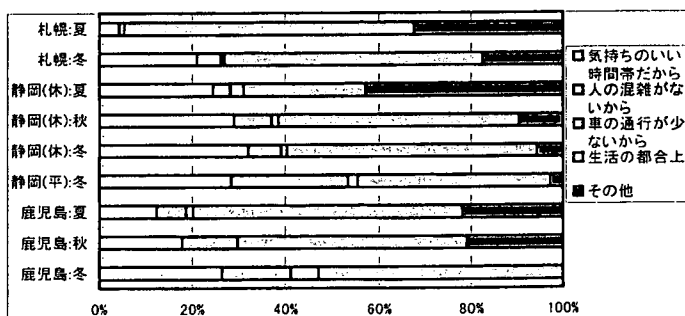


図13 時間帯選択理由(非拘束目的)

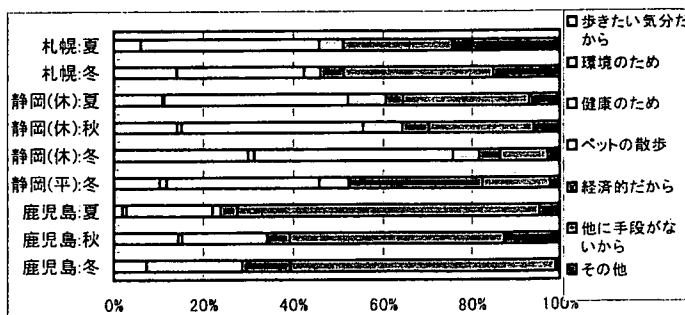


図14 歩行の理由

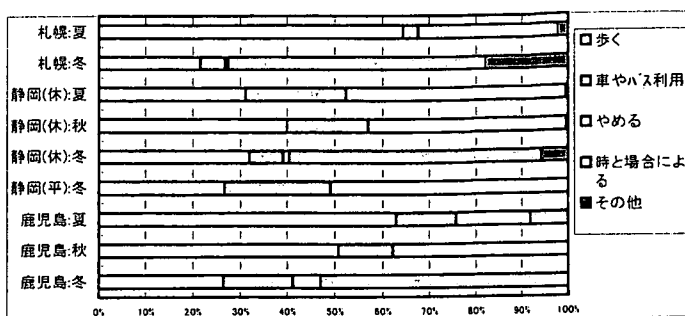


図15 降雨時の歩行(非拘束目的)

④歩行の理由

札幌、静岡(休)、鹿児島夏、秋で冬の方が「歩きたい気分だから」が増加している。鹿児島の夏では「歩きたい気分だから」が他と比べて随分少ない。また、「他に手段がないから」が多く50～60%程度あり、静岡では10～25%と少ない。自動車の保有でも同じことが言えるため、歩行の他に手段がない地域では自動車保有も高くなることが伺える。静岡(休)の自分で自動車保有をしている人の歩行理由を見た所、「健康のため」が40～50%あり、休日に運動していることが伺える。

⑤降雨時の歩行

拘束目的では、半数以上の人々が「歩く」となっていた。夏ではあまり差が出なかったが、秋と冬の調査では、寒い地域ほど「やめる」が多くなっている。

⑥街路樹・騒音・匂い

街路樹は、全て「ちょうど良い」が過半数を超えたが、札幌では「多い」が20%程度であるのに対して静岡・鹿児島では、「少ない」が鹿児島では20%弱、静岡では40%弱である。街路樹の量がそれぞれ札幌(大)、静岡(中)、鹿児島(小)と違う事も原因と思われる。

騒音は、札幌では「気にならない」が90%以上である。他の地域は「気になる」が20～40%である。

匂いは、札幌では「気になる」が10%以下であるのに対し、他の2地域は20～60%である。匂いと騒音については、自動車交通量と関係があると思われる。

⑦自由記述回答

季節の違いは、札幌の冬の調査の「歩道の雪」、鹿児島の夏の「樹木の少なさ」に対する指摘の多さに見られた。

3つの地域で代表的な指摘は、札幌の歩道の雪、樹木の多さと歩道の狭さ、静岡の自動車・自転車・歩行者のマナー、鹿児島の樹木の葉の少なさであった。

⑧歩行時間と気温

それぞれの調査日の平均歩行時間と平均気温を比較したところ、気温が20℃より高いのと低いのでは、低い方が歩行時間が長くなっている傾向が見られた。

5. 考察

夏と冬の歩行者では、冬の方が全体の歩行者も多いが散歩者等の自由目的で歩行している歩行者の数も多くなっている。

自由目的の歩行の頻度は鹿児島以外の2地域では冬の方が増加している。

時間帯選択と、歩行の理由においては、冬になると「気持ちのいい時間帯であるから」という理由が増えている。

以上の事より、夏の暑い気候よりも冬の寒い気候の方が歩行者にとって好まれると推測できる。

街路樹については、3地域とも樹木量、歩道幅などが若干異なっていたため、一概に言えないが、自由回答記述の鹿児島の暑い地域での樹木の少なさへの指摘と札幌の歩道を広く使

用したいための樹木の多さへの指摘に街路樹に対して若干の要望の違いが見られた。

騒音と匂いについては、自動車の交通量に関係があると思われる。

6. おわりに

気候の違いが歩行行動に与える影響を明らかにする事を目指して、札幌（寒冷地）、静岡（平均的な気候）及び鹿児島（温暖地）の3地域で歩行者の聞き取り調査を行った。調査票数が限られていることや温度感覚を受ける個人差を考慮すると結果の解釈に制約はあるが、夏の気候よりも冬の気候の方が歩行者に好まれている傾向が伺える。また、地域の気候の違いにより歩道に対する要望が違っている事が示された。

本調査結果から今後快適な歩行空間整備を行うに際しては、気候特性も十分考慮に入れるべきであることが示唆された。

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、小栗研究員、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。

所属：(株)マエダ

<参考文献>

- 1) ウォーキング万歳：レッツウォーク編集部, スキージャーナル, 1997
- 2) 新・気象観測の手引：毛利茂男, (財)日本気象協会, 1990.9
- 3) 筑波研究学園都市の散策路評価に関する研究：橋口徳郎, 青木陽二, 第21回日本都市計画学会学術研究論文集, 1986

GISを活用した湖沼流域環境管理システムに関する研究

研究室名 環境計画研究室

氏 名 和 田 一 斗

1. まえがき

GIS(Geographic Information System：地理情報システム)はコンピュータを用いて空間データの保存・解析・表示などを行うシステムであり、ハード・ソフトウェアの高性能化、空間データの整備に伴い急速に普及している。

一方、流域開発の進行した閉鎖系水域において目標とする水質指標を効果的に達成するためには、関係機関によるさまざまな対策を総合的に実施することが不可欠であり、そのためには複数の施策の効果や組み合わせを比較検討できる支援システムが必要である。また流域市民の水質保全に配慮した行動も重要であり、流域関係者が適切に合意形成を図るための手段として、流域の現状を分析し、対策効果を予測し、それらの結果をわかりやすく表示できる湖沼流域環境管理システムの構築が望まれている。

このような統合的な意志決定支援システムの実現には、従来型のシミュレーションシステムに加えて、データベース・地図作成・CAD・コンピュータグラフィックス等の技術を兼ね備えたGISを活用することが有効である。

2. 研究目的

GISの活用技術については、その成熟度に応じて、第一段階としてデータベースとしてのGIS、第二段階として分析システムとしてのGIS、第三段階として意志決定支援システムとしてのGISに分類される。

我が国のGISの活用事例ではその多くが第一段階にあり、第二・第三段階における事例は研究としては相当数あるものの運用まで至っている事例は数少ない。

本研究の最終目標は、意志決定支援システムの一形態としての湖沼流域環境管理システムにおけるGIS活用技術の確立である。現在は、GISデータベースとシミュレーションモデルのプロトタイプ構築が完了した段階であり、本報ではこれらをシステムとして統合する技術について検討した結果について紹介する。

表-1 データベースの概要

データ項目				出典	位置情報
大分類	中分類	小分類			
水循環	自然系	雨 量		霞ヶ浦工事事務所	21地点
		蒸 発 量		〃	5地点
		風向・風速		〃	8地点
		河川流量		〃	7地点
	人工系	湖 水 位		〃	26地点
		生活用水	取水量	〃	6地点
			使用量	県資料等を加工	44市町村
		工業用水	取水量	霞ヶ浦工事事務所	5地点
			使用量	県資料を加工	44市町村
農業用水	取水量	霞ヶ浦工事事務所	21地点		
物質流動	自然系	河川水質		県	38地点
				市 町 村	24地点
		湖水水質		土木研究所	24地点
				県	21地点
	人工系	汚濁負荷	生活系	〃	44市町村
			工場系	〃	〃
			事業所系	〃	25流域
			畜産系	〃	44市町村
			水産系	〃	7ブロック
			面源系	〃	44市町村

3. プロトタイプシステムの概要

3. 1 GIS データベース

GISを活用して所定の目的を効率よく達成するためには、空間データを取得してGISデータベースを構築することが必要である。霞ヶ浦等の閉鎖系水域では、水質保全に係わる行政機関は数多く、様々なデータが観測されている。本研究ではこれらのデータを表-1の枠組みに基づいて再整理し、表計算ソフトウェアを用いて観測地点毎にデータファイルを作成した。また、GISを用いて表-1のデータ項目毎に観測地点・位置表示マップ等の主題図を作成し、データファイルと連携させてGISデータベース¹⁾を構築した。

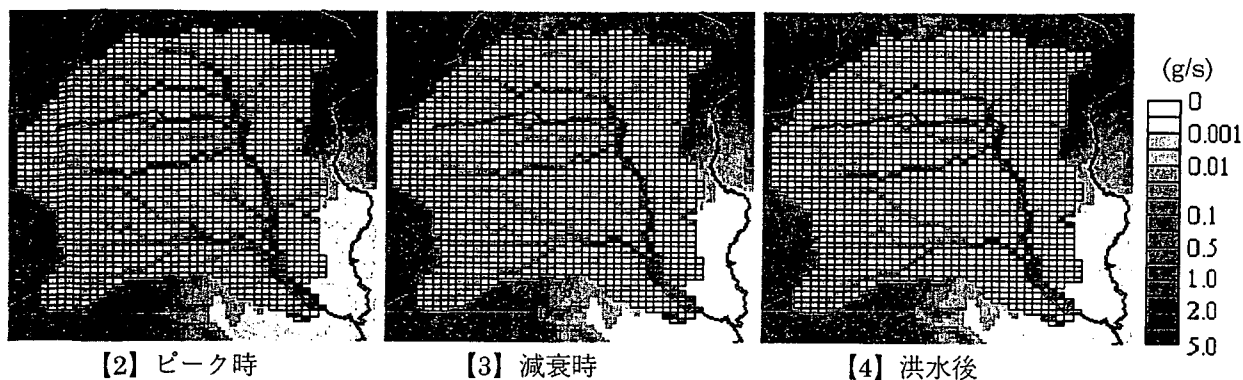
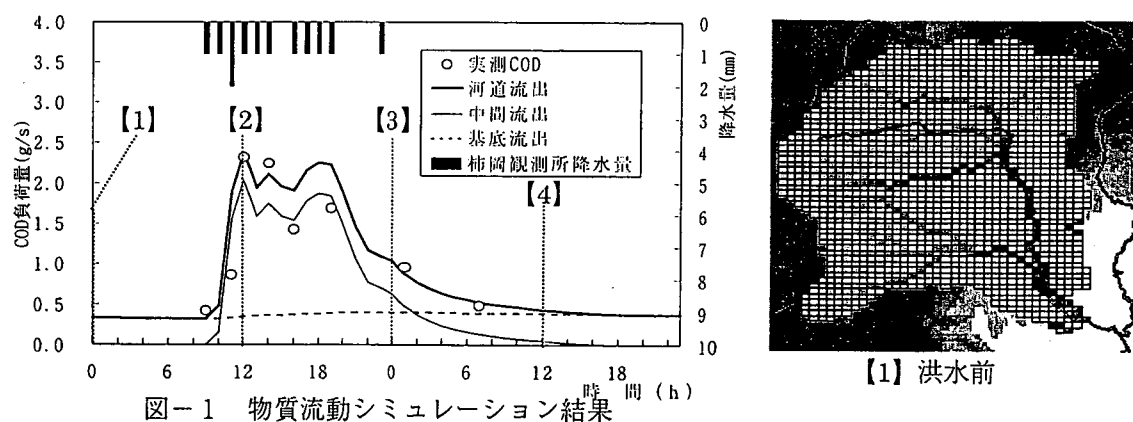
3. 2 シミュレーションモデル

本研究では、種々の対策の効果を定量的に評価するためのシミュレーションモデルとして分布型の水循環・物質流動シミュレーションモデル²⁾を用いた。

このモデルは、流域内の全メッシュに2段直列タンクを配置し、標高データから自動的に生成した落水線に沿って流出成分（表面流量・中間流量・基底流量）を逐次計算する。計算した各流出成分流量にL-Q式をあてはめ各負荷量流出成分（地表面汚濁負荷量・表層汚濁負荷量・地中汚濁負荷量）を算出するものである。本モデルの特徴としては各メッシュごとにパラメータを設定することにより土地利用、土壌、表層地質等流域の水文特性を反映できることが挙げられる。

4. プロトタイプシステムの評価

プロトタイプシステムではシミュレーションモデルの応答特性を検討するために、霞ヶ浦流域の一部15.5 km²を100mメッシュで分割しシミュレーションを実行した。図-1は対象流域最下流の観測点での



COD 負荷量、図-2は GIS を用いて流域全体の負荷量の時間変化を表した図である。GIS をツールとして用いることにより、流域の物質流動特性をこのように面的かつ時系列的に表示させることが可能となる。また、各々のメッシュの位置情報と道路、鉄道網、下水処理場等の位置情報を重ねることにより現状をより視覚的に表示することができる。

一方、シミュレーションモデルを作動させるためには、国土数値情報（流域界・河川位置、標高、土地利用・土壌・表層地質分類）から必要な情報を抽出して流域メッシュ及び落水線の作成、並びに分類項目のパラメータ化等、シミュレーション流域を新たに作成しなければならない。この煩雑さを克服しシステムの操作性を向上させるためには、この作業をシステム化する必要がある。これは図-3に示すような GIS データベースとシミュレーションモデルの統合を意味する。

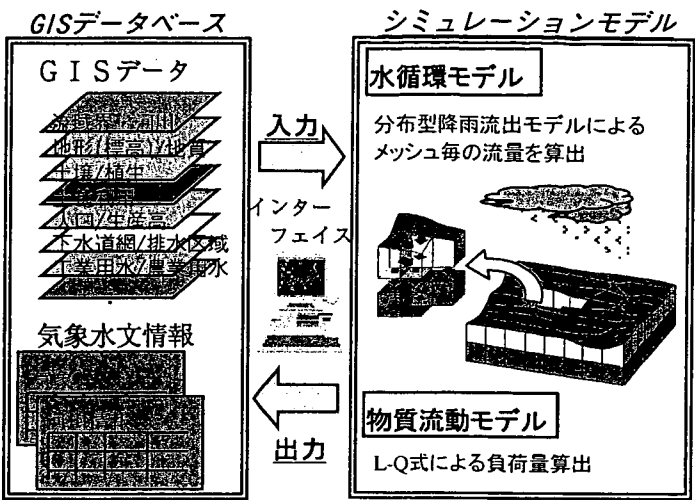


図-3 GIS データベースとシミュレーションモデルの統合

5. シミュレーション流域作成システムの構築

プロトタイプシステムの評価に基づき、属性データ再分類、メッシュスケール変換、流域メッシュ切り出し、落水線作成を効率的にコンピューター処理するシミュレーション流域作成システムの構築を汎用的な GIS ソフトウェアを改良して行った。

5. 1 属性データ再分類

国土数値情報の土地利用・土壌・表層地質分類データをシミュレーションモデルのパラメータに反映させるために、それぞれの分類項目（土地利用：12、土壌：49、表層地質：24）を物質の浸透能力に応じて3～5項目程度に再分類する作業処理システムである。図-4に示すように GIS に入力した国土数値情報の分類項目がモニター画面上に表示され、マウス操作により容易に再分類できるようにした。

5. 2 メッシュスケール変換

シミュレーションモデルの出力結果を必要十分な空間精度で表示させるために標高、土地利用・土壌・地質分類データのオリジナルメッシュスケールを適切なメッシュスケールに変換する作業処理システムである。なお、オリジナルの標高データは約 50m 四方メッシュ、土地利用分類及び土壌・表層地質分類データはそれぞれ約 100m、1km 四方メッシュで作成されている。システム上では

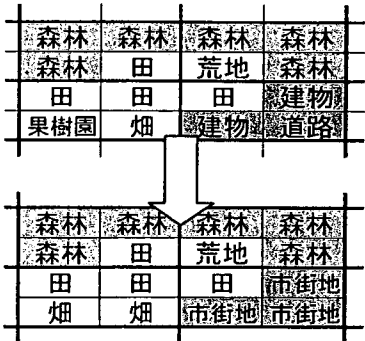


図-4 土地利用分類項目の再分類

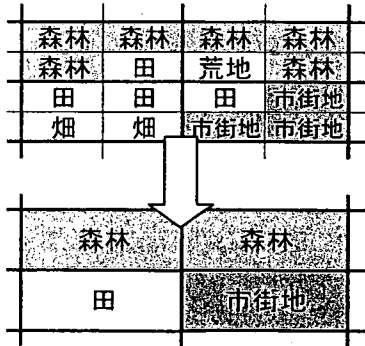


図-5 土地利用分類データ
メッシュスケール変換

選択したメッシュスケールがオリジナルデータのメッシュスケールより大きい場合、標高データについては平均化するとともに、分類データについては図-5に示すように最大占有分類項目をもって代表させた。

5. 3 流域メッシュ切り出し

シミュレーションモデルを実行する空間領域を決定するために、国土数値情報の流域界位置データを用いて流域メッシュデータを切り出す作業処理システムである。図-6に示すように具体的にはメッシュ位置データと流域界位置データを重ね合わせ、流域を面積で50%以上包含するメッシュを流域メッシュデータとして抽出するものとした。

5. 4 落水線データ作成

メッシュスケール変換された標高データから物質の流動方向を規定する落水線データを作成する作業処理システムである。図-7に示すように、システム上では、ユーザーが自動発生させた落水線データと既存の河川位置データを重ね合わせつつ窪地の処理を実行できるように工夫した。

6. まとめ

近年、我が国では各方面でのGISツールとしての有効性が認識されつつあり、応用に向けての研究が多数行われるようになった。本研究は、湖沼流域環境管理のための道具としての利用を念頭においてGISと従来型シミュレーションモデルの統合を意図したものである。

GISとシミュレーションモデルは、基本的にプログラム言語が異なるためこれらを連携するインターフェースの作成が必要である。本研究もその試みの一環として位置付けられ、国土数値情報等の既存のデジタル地図データからシミュレーションモデルの境界条件を出力するシミュレーション流域作成システムを構築した。今後、河川流下過程での汚濁負荷量変化のプロセスや湖沼内の水質変化も表現できるように発展させる必要があると考えている。

7. 謝 辞

本研究を行うにあたり、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、佐藤重点研究支援協力員、杉盛(前)重点研究支援協力員ならびに環境計画研究員の皆様に感謝の意を表します。

所 属 シーティーアイ調査設計(株)

<参考文献>

- 1) 安陪他：GISを活用した霞ヶ浦流域水環境データベースの構築，土木技術資料，Vol. 41-2，pp6-7，1999
- 2) 安陪他：湖沼流域管理シミュレーションシステム，土木技術資料，Vol. 40-8，pp20-25，1998
- 3) 和田他：GISを活用した湖沼流域環境管理システムに関する研究，第26回土木学会関東支部技術研究発表会(投稿中)，1999

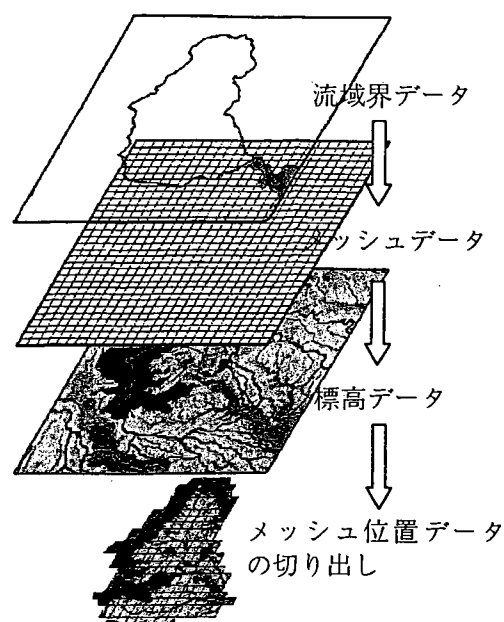


図-6 流域メッシュ切り出し

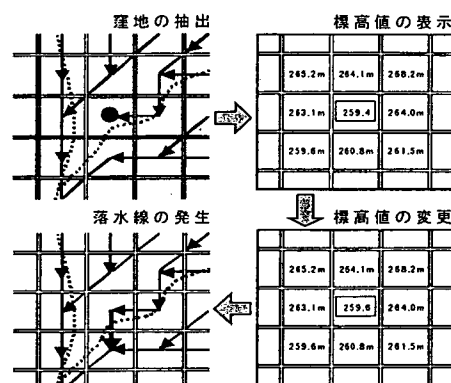


図-7 窪地の処理

III, 資 料 編

III - 1 發表論文一覽

環境計画研究室発表論文一覧 (1998.4~1999.3)

論文名	著者名	書籍名	発行所	巻号	頁	発行年	本誌掲載頁
CVM (仮想金銭化法) 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	土木技術資料	土木研究センター	40巻 5号	pp. 62 ~67	1998.5	
HTCMを用いたスキー場の評価	並河良治 畑原隆司 寺川 陽	土木計画学研究・講演集21	土木学会	No. 21 (1)	pp. 25 ~28	1998.11	
多様な環境質の評価～HTCM、CVM及びAHPの適用～	畑原隆司 並河良治 寺川 陽	土木計画学研究・講演集21	土木学会	No. 21 (1)	pp. 21~ 24	1998.11	
生態系に配慮した社会資本整備イメージの把握	舟橋弥生 並河良治 寺川 陽	土木計画学研究・講演集21	土木学会	No. 21 (2)	pp. 567 ~570	1998.11	
SD法を用いたダム湖景観評価の試み	舟橋弥生 池田尚子 寺川 陽 並河良治	土木技術資料	土木研究センター	40巻 5号	pp. 38 ~43	1998.5	
景観評価システムの構築に関する研究	小栗ひとみ 寺川 陽	土木計画学研究・講演集21	土木学会	No. 21 (2)	pp. 153 ~156	1998.11	
ダム湖における景観イメージ分析	舟橋弥生 池田尚子 並河良治 寺川 陽	土木計画学研究・講演集21	土木学会	No. 21 (2)	pp. 547 ~550	1998.11	
SD法によるダム湖景観評価の試み	池田尚子 舟橋弥生 並河良治 寺川 陽	ダム技術	ダム技術センター	No. 146	pp. 16 ~25	1998.11	
1/fゆらぎを導入した歩道の試験施工	小栗ひとみ	土木技術資料	土木研究センター	41巻 3号		1999.3	
1/fゆらぎ理論を適用した歩行者空間の整備	小栗ひとみ 寺川 陽	土木技術資料	土木研究センター	41巻 3号	pp. 26 ~31	1999.3	
湖沼流域管理シミュレーションシステム	安陪和雄 和田一斗 杉盛啓明 寺川 陽	土木技術資料	土木研究センター	40巻 8号	pp. 20~ 25	1998.8	
分布型物質流動モデルによる降雨時汚濁流出負荷量の推定	安陪和雄 和田一斗 杉盛啓明 寺川 陽	第53回年次学術講演会講演概要集・第7部	土木学会		pp. 302 ~303	1998.10	
GISとインターネットの連携による流域水環境データベースの構築	安陪和雄 和田一斗 左藤一幸 寺川 陽 浦野 隆	第23回土木情報システムシンポジウム講演集	土木学会		pp. 43~ 46	1998.10	
GISを活用した霞ヶ浦流域管理システムに関する研究	安陪和雄	土木技術資料	土木研究センター	41巻 2号	pp. 6~7	1999.2	
GISを活用した湖沼流域環境管理システムに関する研究	安陪和雄 和田一斗 左藤一幸 寺川 陽	第26回関東支部技術研究発表会	土木学会関東支部		pp. 1054 ~1055	1999.3	

論文名	著者名	書籍名	発行所	巻号	頁	発行年	本誌掲載頁
Lake watershed GIS data base for water quality management	安陪和雄 寺川 陽	International Conference on Quality Management and Availability of Data for Hydrology and Waater Resources Management				1999.3	
GISと水文シュミレーションモデルの統合	安陪和雄 左藤一幸 和田一斗	日本地理学会発表要旨集	日本地理学会	No, 55	pp. 176 ~177	1999.3	
オランダにおける湖沼水質管理の取り組み	寺川 陽	土木技術資料	土木研究センター	40巻 5号	pp. 11 ~10	1998.5	
湖沼底泥からの栄養塩溶出メカニズムについて	福渡 隆	土木技術資料	土木研究センター	40巻 7号	pp. 6 ~7	1998.7	
流動制御を導入したダム湖における湖内流動観測	寺川 陽 福渡 隆 田中康泰	水文・水資源学会 1998年研究発表会要旨集			pp. 116 ~117	1998.8	
Current Control System for Lake Watwr Quality Management	寺川 陽 福渡 隆	Proceedings of the International Water Resources Engineering Conference	American Society of Civil Engineers		pp. 1475 ~1480	1998.8	
富栄養化現象の局地対策に関する予備実験について	福渡 隆 寺川 陽 田中康泰	第53回年次学術講演会講演概要集・第7部	土木学会		pp. 506 ~507	1997.10	
秋期の東京湾奥部における風による成層破壊と底層の無酸素水塊の湧昇過程	渡辺正孝 天野邦彦 石川裕二 木幡邦男	土木学会論文集	土木学会	No, 608 VII-9	pp. 13~ 29	1998.11	
Modeling competition and succession between red-tide causing Chattonella and diatoms	天野邦彦 渡辺正孝	J.Hydroscience and Hydraulic Engineering	土木学会	V. 16 N. 2	pp. 49~ 62	1998.11	
東京湾におけるタンカー事故による原油流出解析	渡辺正孝 天野邦彦 石川裕二 田村正行 村上正吾 木幡邦男	海岸工学論文集	土木学会	45巻	pp. 926 ~930	1998.11	
富栄養化した貯水池における底泥のリン吸着能に及ぼす酸化及び乾燥の影響に関する実験的検討	李 建華 天野邦彦 田中康泰 小森行也 寺川 陽	日本水環境学会年会講演集	日本水環境学会	第33回	p. 431	1999.3	

Ⅲ - 2 研究室メンバー構成

環境計画研究室名簿

(平成12年6月現在)

(現職名簿)

氏名	役職
安田佳哉	室長
安陪和雄	主任研究員
天野邦彦	主任研究員
長野幸司	主任研究員
小栗ひとみ	研究員
舟橋生	研究員
鈴木幸	技官
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
大八木豊	交流研究員
大檀智之	交流研究員
大谷正太	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
寺川陽郎	室長	H9.4.1 ~ H11.3.31
安田吾	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
並河良治	主任研究員	H6.10.16 ~ H12.3.31
長野幸彦	研究員	H5.4.26 ~ H7.10.31
久保徳隆	研究員	H5.4.6 ~ H8.3.31
福田誠	技官	H7.4.1 ~ H11.6.30
田中奈美	特別研究員	H5.4.6 ~ H7.4.15
杉盛啓芳	重点研究支援協力員	H7.10.1 ~ H9.3.31
山下文里	交流研究員	H8.9.1 ~ H10.5.31
古森本浩	交流研究員	H5.4.6 ~ H5.9.30
古永充	交流研究員	H5.4.6 ~ H6.3.31
高橋健夫	交流研究員	H6.4.1 ~ H7.3.31
谷本茂	交流研究員	H6.4.1 ~ H7.9.30
山崎崇	交流研究員	H6.4.1 ~ H7.9.30
小川和延	交流研究員	H7.10.1 ~ H8.3.31
須藤晴夫	交流研究員	H7.10.1 ~ H8.9.30
相澤毅	交流研究員	H7.10.1 ~ H8.9.30
畑原隆司	交流研究員	H7.4.1 ~ H9.3.31
和中一斗	交流研究員	H8.10.1 ~ H9.3.31
池田亮子	交流研究員	H8.10.1 ~ H9.9.30
	交流研究員	H9.4.1 ~ H11.3.31
	交流研究員	H9.4.1 ~ H11.3.31
	交流研究員	H9.4.1 ~ H11.3.31