

静岡県戦略課題研究

「快適空間『佐鳴湖』の創造」

研究報告書(概要版)



平成 20 年 3 月

静岡県産業部

はじめに

静岡県では、平成17年度から平成19年度の3カ年にわたって戦略課題研究「快適空間『佐鳴湖』の創造」に取り組んだ。戦略課題研究とは、長期的・広域的な視点から取り組むべき県の戦略的政策課題に的確に対応するため、創知協働を基本理念に、県、国、大学や民間など幅広い分野の研究者が協働して研究を推進するものである。

研究の対象である佐鳴湖は、浜名湖の東方に位置する120haほどの小さな穏やかな汽水湖で、周囲に自然も残されており、市民の憩いの場として親しまれている一方で、平成13年度から連続してCOD全国ワーストワンとなっている。このワーストワンからの脱却と快適な湖岸景観の形成を目指し、公募により決定した県内5大学と5つの公設試験研究機関が総合的な視点で研究に取り組んだ。

研究を進めるにあたっては、従来の行政の枠にとらわれることなく、産学官民の様々な立場の研究者等を効果的にコーディネートし、実のある研究成果を導くために、研究統括マネージャー(芥川知孝氏 ヤマハ発動機株式会社 CSR 企画推進部企画担当 主管)を招聘した。

本研究では、研究統括マネージャーのもと、湖内はもとより上下流域を含む佐鳴湖を取り巻く環境の改善及び保全について、様々な視点で調査・研究を行い、多岐にわたる知見を得ることができた。さらに、市民主体の活動組織「佐鳴湖ネットワーク会議」に参画し、市民活動の活性化のための仕組みづくりにも寄与した。

ここに、3年間の研究成果を研究報告書としてとりまとめた。この概要版はそれを簡略化したものであり、内容もできるだけわかり易くなるよう心がけたが、専門性の高い分野であることから難解な部分もあるかもしれない。また、短期間でとりまとめとなったために意をつくせない項目もあると思われる。本書の活用にあたって、より理解を深めるためには研究報告書(詳細版)もあわせてご利用いただければ幸いである。そして、本書が市、県の関係機関や市民の活動を通じて「快適空間『佐鳴湖』の創造」につながることを期待している。

静岡県産業部振興局研究調整室



目 次 () は担当研究機関

「快適空間『佐鳴湖』の創造」への取り組み	1
第1章 佐鳴湖の歴史的背景	2
第2章 流域河川からの影響	
1項 農業からの影響 (静岡県農林技術研究所・果樹研究センター・茶業研究センター)	4
I 農地からの影響評価と負荷低減に向けての取り組み、II 果樹園からの環境評価と負荷低減 に向けての取り組み、III 茶園における施肥成分収支と負荷軽減施肥技術の確立	
2項 流入河川の負荷量と水田による窒素除去 (静岡理工科大学)	8
3項 佐鳴湖、流域が相互に及ぼす効果 (静岡大学工学部)	10
4項 地下水の循環 (静岡大学工学部)	12
5項 流入・流出河川の佐鳴湖の水質に及ぼす影響 (東海大学海洋学部)	14
第3章 佐鳴湖の水質と浄化技術	
1項 佐鳴湖の水理特性と水質特性 (東海大学海洋学部)	16
I 水位変動と潮汐による水交換、II 公衆衛生から見た佐鳴湖の細菌相、III 佐鳴湖の水質特性	
2項 佐鳴湖の水質浄化のための水質と底質 (東海大学海洋学部)	22
I 懸濁物質除去による湖水浄化の定量的検討、II ろ過による湖水浄化の定量的検討、III 光触媒による浄 化効果と佐鳴湖への適用の可能性の検討	
3項 佐鳴湖における底泥の特性－水質への影響と安全性－ (静岡県立大学環境科学研究所)	28
4項 佐鳴湖での水質汚濁原因の考察と物資収支に基づく浄化対策検討 (静岡大学工学部)	30
第4章 佐鳴湖内の生態系	
1項 佐鳴湖の生態系と食物連鎖 (東海大学海洋研究所、海洋学部)	32
2項 佐鳴湖中の微生物群集の特殊性 (静岡県立大学環境科学研究所)	36
3項 佐鳴湖のプランクトンの増殖と食物連鎖 (静岡大学工学部)	38
4項 佐鳴湖と浜名湖の生態系 (東海大学海洋学部)	40
第5章 佐鳴湖の景観と自然	
1項 佐鳴湖とその周辺の自然 (静岡県農林技術研究所森林・林業研究センター)	42
2項 佐鳴湖景観形成に係わる未利用資源(竹・葦)の活用方法 (静岡県畜産技術研究所中小家畜研究センター)	46
3項 佐鳴湖の景観 (静岡文化芸術大学)	48
第6章 まとめと提言	52
研究課題一覧表	56

「快適空間『佐鳴湖』の創造」への取り組み

背景・目標

佐鳴湖では、以前から県、浜松市によって水質浄化への取り組みが続けられているが、残念ながら全国の湖沼の中で水質ワースト1(環境省発表・平成18年度測定値)となっている。しかし、佐鳴湖は、市民から自然の宝庫、都会のオアシス、野鳥の楽園などとして期待されており、本研究は、水質の改善はもとより「快適な空間」としての佐鳴湖の実現を目指すものである。

研究の進め方

本研究では、創知協働を基本理念に、産学官民の“知”を結集し、佐鳴湖に対する新たな知見を得るため、図1に示した4つの研究領域を設定した。

佐鳴湖の研究対象区域は、図2のとおりである。

また、次の3つの点を基本に研究に取り組んだ。

- ①関係者が理念・目標を共有する。
- ②客観的な信頼できるデータを蓄積。
その総合評価により課題・方策を導く。
- ③産学官民が連携し課題の解決にあたる。

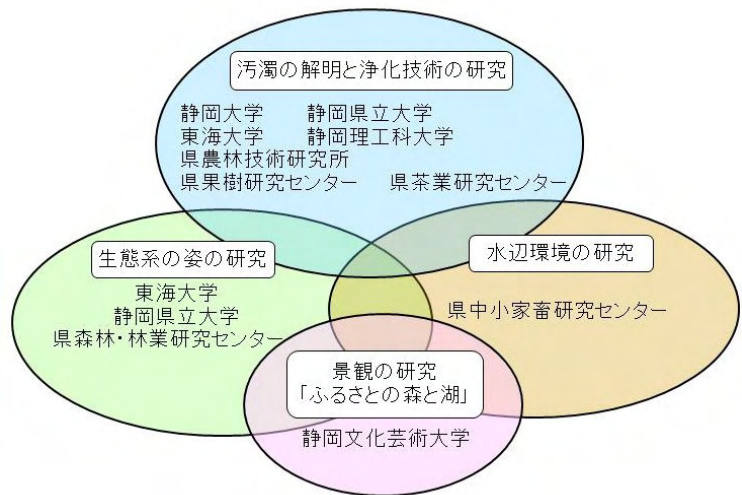


図1 「快適空間『佐鳴湖』の創造」の研究領域

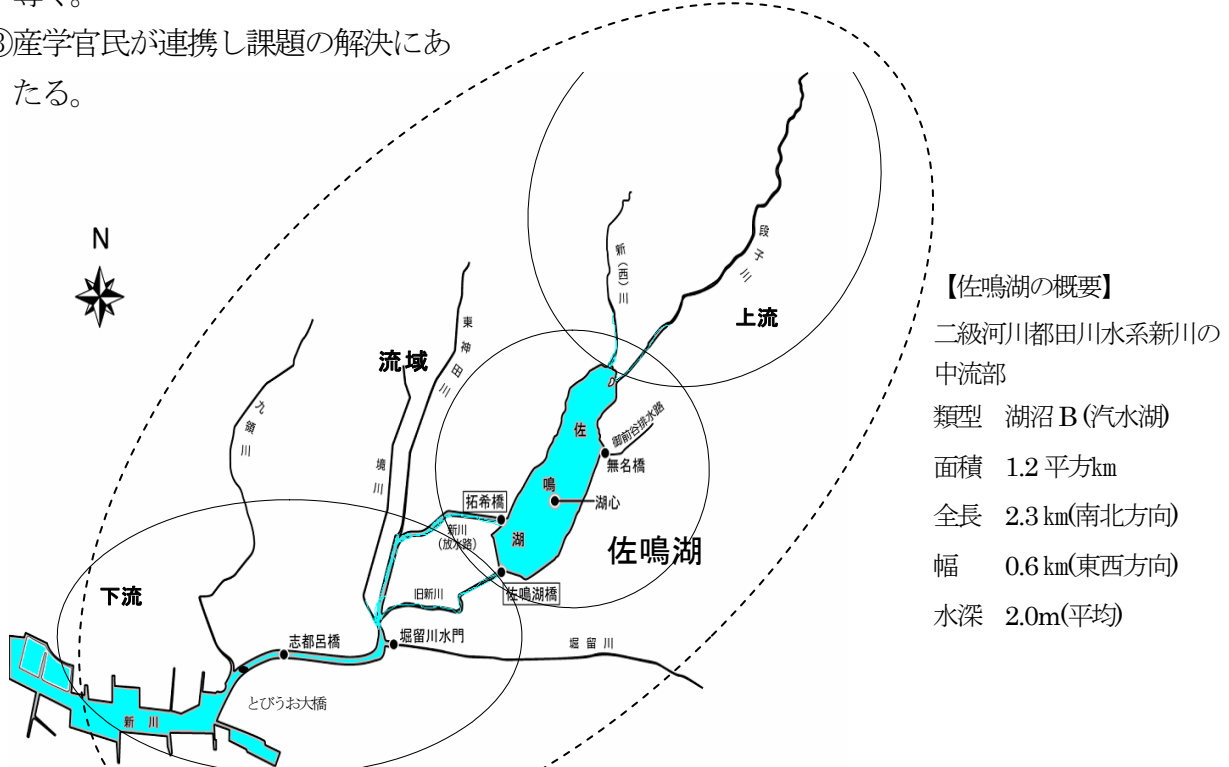


図2 佐鳴湖での研究対象範囲(区域)

第1章 佐鳴湖の歴史的背景

目的

佐鳴湖は JR 浜松駅から西へ 5Km の位置にあり、昔から住民生活との関わりが深い湖である。図 1 に佐鳴湖の周辺図を示す。佐鳴湖の研究を進める上で周辺の状態の変化を理解することは、今を知る上で重要であるため、この章で佐鳴湖の歴史的背景について整理する。なお、調査は国土地理院発行の地図や浜松市広報誌及び統計資料を中心に既存の資料で実施した。

佐鳴湖の変遷

<明治時代> (図 2 参照)

佐鳴湖北部に広がる三方原台地は、強酸性土壌であり、水に恵まれなかったことから、明治初めまで松や小型の灌木やすすき、笹が繁茂した原野であった。明治 6 年、気賀林らの茶栽培で台地の開拓が始まり、明治の中頃には台地のあちこちに茶畑等が見られるようになった。佐鳴湖の南は水田(沼田)で、明治 4 年には掘留運河が開通しているが、大雨時には水害に悩まされた地域でもあった。産業面では機械工業の発達を基に、綿織物工業も急速に発達、以降この地域の工業化の布石となった。

<大正～昭和初期まで>

太平洋戦争開戦直前の生糸・絹織物の輸出停止までは、佐鳴湖周辺でも生糸の生産が盛んで、周辺の畑は桑畑で占められていた。浜松地方では、それまでの繊維産業に加え、

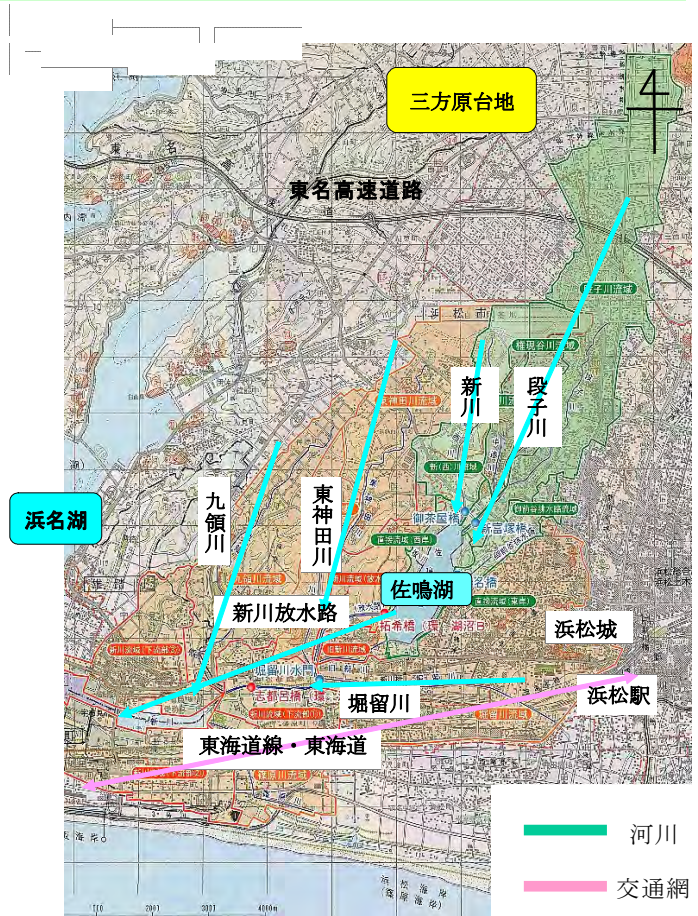


図 1 佐鳴湖の周辺図

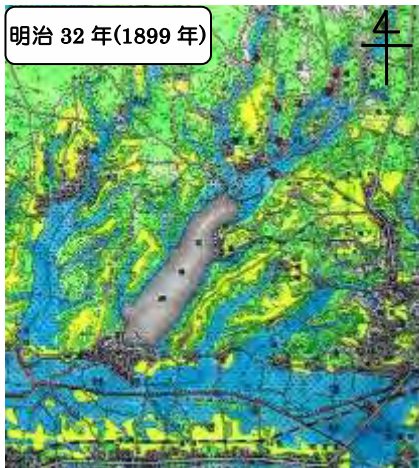


図 2 佐鳴湖周辺図

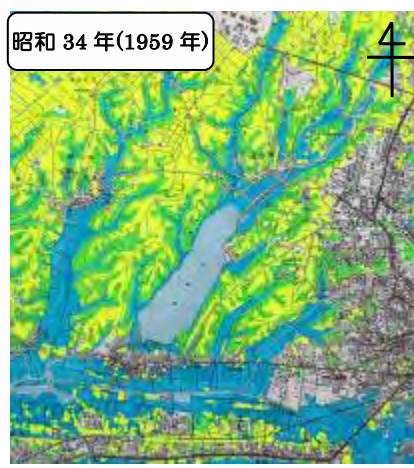


図 3 佐鳴湖周辺図

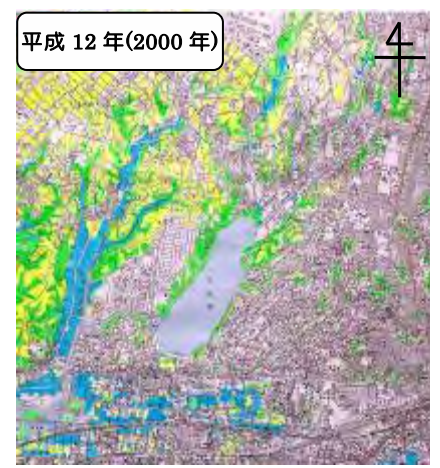


図 4 佐鳴湖周辺図

(凡例) ■ 森林 ■ 水田 ■ 畑・果樹園 未利用地・宅地 } 市街地・住宅

楽器産業、機械産業などの産業基盤を形成し発展した。市街地は浜松駅を中心に拡大し、周辺の村を結ぶ街道や三方原台地を北上する軽便鉄道など交通網の整備も進んだ。

<昭和20年代～40年代>(図3参照)

これまでの桑畑は昭和20年代には茶畑に転換された。また、三方原台地の開拓事業が、昭和22年から昭和35年にかけて行われ、1800haの農

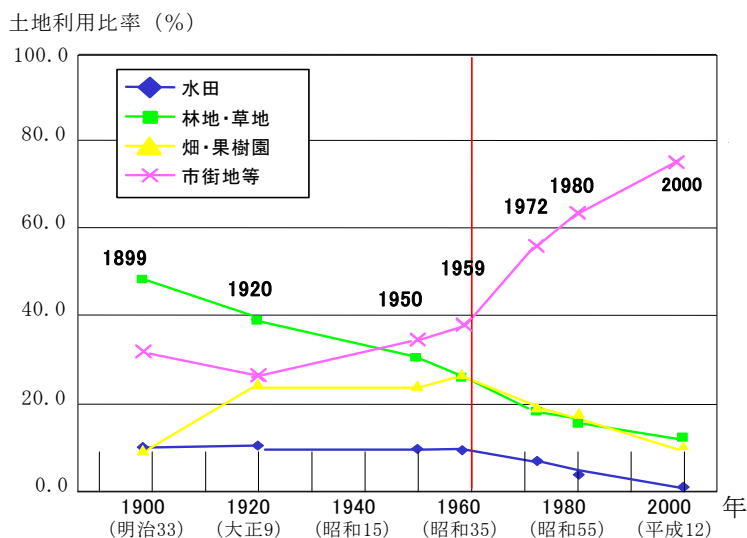


図5 佐鳴湖周辺の土地利用割合の変化

地に122軒の農家が入植、麦を収穫した。さらに、昭和42年(1967年)に三方原用水が通水し、台地上では本格的農業が始まった。一方、佐鳴湖の周囲では、工業の発展に伴い昭和30年代後半から宅地開発が盛んになり、昭和40年代には、湖の東岸や段子川沿いの農地は住宅に変わった。また、佐鳴湖北部及び南部には工場の建設が相次いだ。この結果、佐鳴湖および上流河川周辺の農地の減少に加え、林や水田が急速に減少した。市民生活においては市の中心部で昭和41年に下水道の供用が開始された。

<昭和50年代～現在>(図4参照)

佐鳴湖周辺での住宅需要は引き続き大きく、三方原台地上及び佐鳴湖西岸で宅地開発が進んだ。湖周辺に残っていた水田はほぼ消失し、茶畑も多くが住宅地や畑、果樹園に変わり、茶畑は新川西岸にわずかに残るだけになった(図5参照)。浜松市は昭和57年(1982年)には人口が50万人を突破し、平成17年(2005年)の周辺市町との合併により、平成19年に政令指定都市となった。このような経緯を経て、かつての緑豊かな佐鳴湖は、現在のような市街地に囲まれた湖となった。

汚濁時期等の推定

明治以降の佐鳴湖に関する調査データ(水温、透明度、水素イオン濃度)や浜松市広報の掲載記事、周辺住民からの聞き取り調査などから、湖の環境や水質が悪化したのは、昭和30年(1955年)から35年にかけてと推定される。この頃、佐鳴湖の周囲にはさほど開発の手は伸びていない(図3)。昭和20年に泳ぐことができた湖は、昭和30年代には湖底に繁茂した藻が足に絡みつくななどの理由から遊泳が禁止された。その後も佐鳴湖の富栄養化が進み、植物プランクトンの繁殖により透明度が低下し、湖底まで透き通って見えなかったかつての佐鳴湖とは一変した。

佐鳴湖の水質の悪化は、浜松市の発展による人口の増加と周辺土地利用の変化、及び洗濯機とリン含有洗剤の普及など、市民生活と深く関わっていることが示唆された。

第2章1項 農業からの影響

I 農地からの影響評価と負荷低減に向けての取り組み

静岡県農林技術研究所

背景 佐鳴湖はCODの汚染度が全国一の湖沼である。その問題を解決するために農林技術研究所では、流域における農耕地の耕作面積と施肥実態等を明らかにし、農地からの影響を評価検討したところ、以前に比べて農地等からの窒素の負荷は減少していた。また、佐鳴湖流域で栽培されている農産物の施肥法の改良等の新技術を開発し、負荷の軽減がさらに可能になった。以下に報告する。

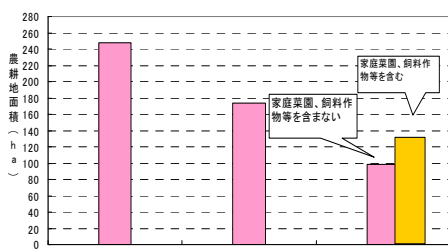
研究 1. 佐鳴湖流域での農地実態調査とその影響の評価

成果 農地の実態を、平成17年のゼンリン住宅地図に基づいて、地図に農地表示されている一筆毎の現況を調査して集計した。調査流域の設定範囲は、佐鳴湖浄化対策委員会資料の各流域区分地図で示した佐鳴湖上流域の3河川（段子川、新川、御前谷排水路）、下流域の4河川（東神田川、境川、九領川、堀留川）である（図1）。窒素施肥量は平成17年改訂版の静岡県施肥基準等を基にして算出した。窒素吸収量は全農資料、尾和、農業技術体系等を基に算出し、一部未解明な品目は実吸収量を栽培試験で求めた。

佐鳴湖流域における住宅地図上の農地表示面積は622haであるが、実際の農耕地面積は未耕作地や、住宅地が多く、これらが約3割を占めていた。また佐鳴湖全流域に占める農耕地面積は3割が上流域、7割が下流域であった。

上流域の農耕地面積は、平成11年当時の248haが、平成15年には約170haに減少し、今回の調査では平成11年当時の約4割の99ha（家庭菜園、植木林地を含むと138ha）に減少していた（図2）。

経営耕地面積は494haあり、野菜の作付けが225ha



1) H11年度は浜松市土木専門委員会資料より抜粋
2) H15年度は浜松市業務委託報告書より抜粋
3) H18年度は現地調査の結果

図2 上流域における農耕地面積の変遷

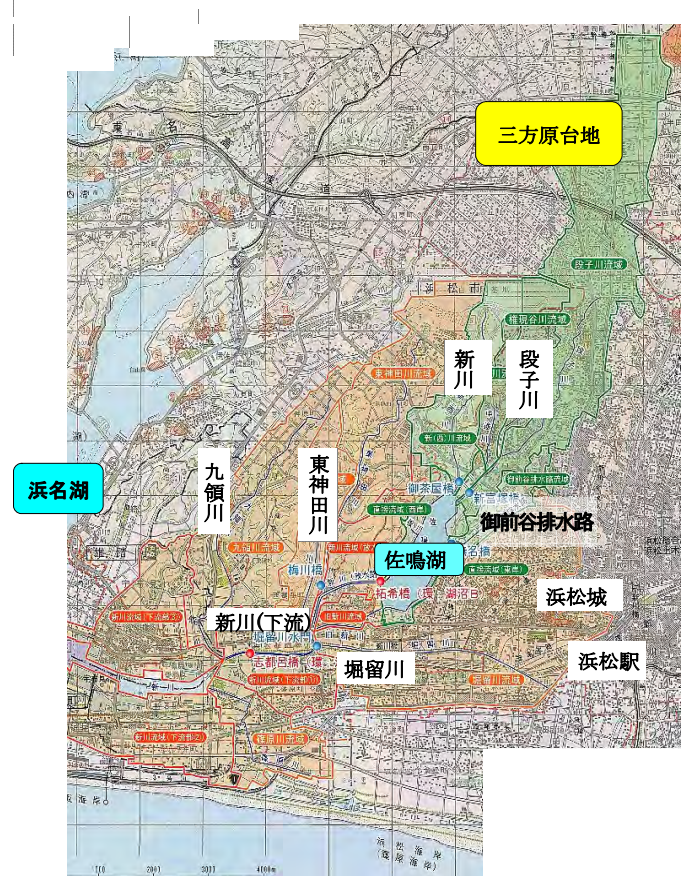


図1 佐鳴湖流域河川の流域概略図

表1 佐鳴湖全域における窒素収支の実態
(家庭菜園、飼料作物、牧草を含む 平成18年度調査 kg/年)

	流域河川	施肥量	吸収量	差引
(上流域)	段子川	35,071	23,614	12,530
	新川	8,598	5,077	3,692
	御前谷排水路	337	232	106
	小計	44,006	28,924	16,328
(下流域)	東神田川	33,775	19,134	14,641
	境川	12,067	10,033	2,034
	堀留川	6,982	6,085	897
	九領川	56,594	45,042	11,552
	小計	109,418	80,294	29,124
	合計	153,424	109,218	45,452

1) 差引の値は施肥量-吸収量がマイナスの品目は便宜上「0」で計算してある。また、この値は土壌蓄積、脱窒、揮散については考慮していない。
2) H18年版換算は、現地調査結果と既存の施肥量、吸収量データを用いて試算した。

と多かった。また、家庭菜園等も106haと多く、経営耕地面積の2割を占めていた。

佐鳴湖流域の農耕地からの肥料の影響を、土壌蓄積、脱窒、揮散について配慮しないで試算すると、佐鳴湖全流域における農耕地への施肥量は153t、作物体吸収量は109t、差引（施肥量-吸収量）45tである（表1）。

2. 野菜作りでの負荷低減に向けての取り組み

1) 新野菜プチベールの養分吸収量

佐鳴湖流域で生産されている新野菜プチベールは非結球性芽キャベツで栄養価も高く、今後生産量の伸びが期待されているが、施肥に関する基礎的データがない。そこでプチベールの養分吸収量を調査した。その結果、プチベールの窒素吸収量は30kg/10aであり（図3）、現在のプチベールの施肥量（28.8 kg/10a）はほぼ妥当だと考えられた。

2) 移植機を利用したセルリー植穴施肥による負荷低減対策

佐鳴湖周辺で栽培されていて施肥量が多いセルリー栽培について、肥効調節型肥料を基肥に植穴施肥を行う施肥管理技術と移植機利用による植穴施肥同時移植試験を行った。その結果、慣行栽培（50 kg/10a）より2割の施肥削減（40 kg/10a）が可能となった（図4、表2）。

3. 養液栽培における施肥成分収支と負荷低減栽培法の確立

佐鳴湖流域における養液栽培施設の大部分はサラダナ、ミツバ栽培であるが、培養液循環方式のため系外への肥料成分の排出はなかった。余剰な培養液を排出する非循環式からのN排出量を試算すると、年間391 kgと見積もられ、佐鳴湖流域の農耕地への施肥量から作物体の吸収量を差し引いた値（年間45 t）の0.9%であり、農地全体からみると肥料の排出量はわずかであると考えられた。

負荷低減対策として、高糖度トマト栽培における培養液循環システムを開発した（図5）。その結果、慣行の非循環式と同等の高糖度トマトが生産できた。

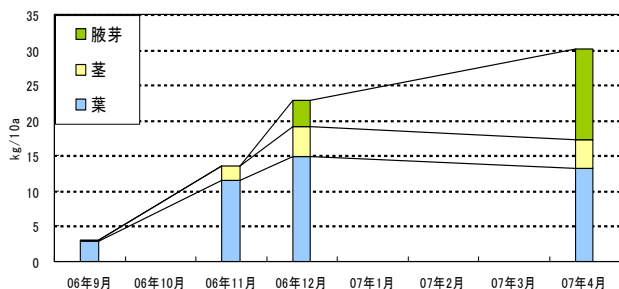


図3 プチベール窒素吸収量

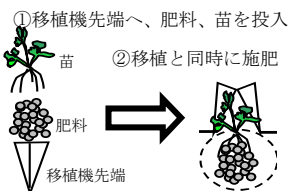


図4 機械施肥区の模式図

表2 セルリー植穴施肥収量調査結果

区	全重 kg/株	調整重 kg/株	草丈 cm/株
慣行50kg ¹⁾	3.14	2.19	78.8
植穴40kg ²⁾	3.25	2.15	76.7
機械施肥40kg ³⁾	3.27	2.20	78.7

注1)指定配合肥料で基肥窒素30kg/10a、追肥窒素20kg/10a施肥
 注2)肥効調節型肥料で基肥窒素40kg、植穴施肥
 注3)肥効調節型肥料で基肥窒素40kg、植穴施肥。移植機で定植

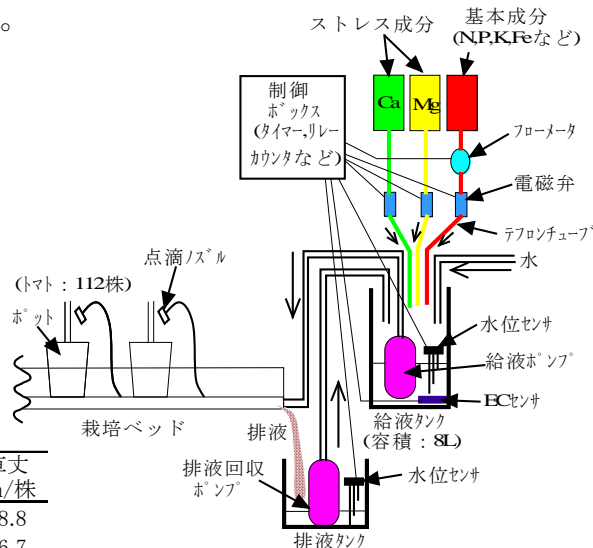


図5 高糖度トマト栽培における培養液循環システム

提案 佐鳴湖流域では、農地等の減少が明らかになった。また、家庭菜園等が多く存在することから、農家とともに周辺住民に対し、施肥基準を遵守して適正な施肥管理を実施していくよう啓発活動を実施していく必要がある。さらに、流域では耕作放棄地等の荒地面積が多いことから、地域の美観や活性化を図る上で有効な利活用方法を関係者が一体になって検討する必要がある。

（研究担当者・連絡先）○鈴木則夫、神谷径明、小杉徹、堀江優子、中島雅弥、堀内正美、大石直記、竹内淑子、中村仁美（○印：リーダー）・TEL 0538-36-1556

II 果樹園からの影響評価と負荷低減に向けての取り組み

—環境への影響を適切に評価し、環境を守りながら果樹の生産を維持できる栽培技術の開発—
静岡県農林技術研究所 果樹研究センター

背景 目的

果樹栽培が、佐鳴湖周辺の環境へ与える影響を評価するとともに、環境への負荷を低減できる栽培技術を開発し、将来に向けた環境の改善と産地の維持のための技術普及を図る。

研究 成果

1. 果樹栽培が環境に及ぼす影響評価

果樹園に由来する過去の環境負荷量の推定を行った。佐鳴湖上流域を対象とし、1935年から2005年までの栽培面積と施肥実態の調査から上流域の負荷を推定した。主要な果樹であるカンキツの環境負荷を評価すると、71年間の積算で施肥窒素量は約130tNと推定した(図1)。施肥量や栽培面積は1970年ごろをピークに減少したことから、1970年代後半以降の環境負荷は低いと考えられた。さらに、佐鳴湖周辺地域のJAとびあ浜松では、2005年に施肥基準を改定し施肥量を削減している。新基準では、主なカンキツである‘青島温州’では窒素成分が20~36%減の20~25kg/10aとなった。吸収量と同程度の窒素量であることから、新基準の施肥による系外への負荷はほとんど無いと考えられる。

2. 肥料資材等による施肥削減技術

施肥効率を高めて施肥量削減を図るため、肥効調節型肥料を用いた施肥方法を検討した。被覆肥料を用いた‘不知火’の施肥は、窒素量を慣行より29%減らしても、収量や果実品質等に差がなく、被覆型肥料を用いることで施肥量削減と施肥回数を減らした栽培が可能と考えられた(図2)。草生栽培の導入による負荷低減も、草種の実験や部分的な草生法とすることにより利用可能と考えられた(写真1)。

提案 提言

本研究により、果樹園からの環境負荷は、一時大きな時期もみられたものの、現状では極めて少ない状況であることが判明した。施肥削減の技術も開発できたことから、今後は現場への技術普及に努める必要がある。また、果樹園は果実の生産だけでなく、都市の緑地や地下水の涵養の機能も果たしており、これらの効果を広く周辺住民に知ってもらうことも、今後の課題と考える。

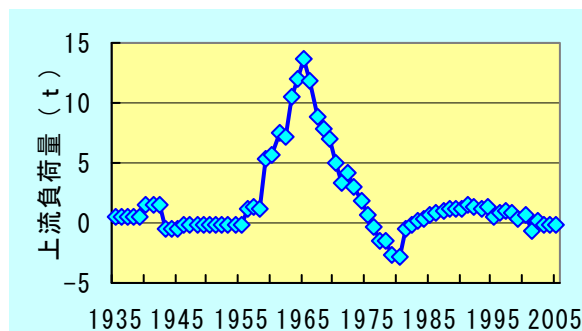


図1 佐鳴湖周辺カンキツ園の窒素肥料による年次毎の上流負荷量の推定 (1935-2005年)

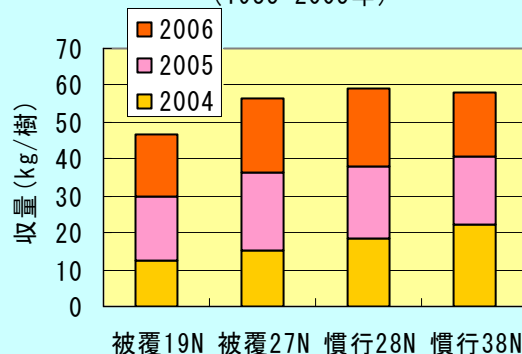


図2 肥料資材や窒素量の違いが‘不知火’の収量に及ぼす影響



写真1 草生栽培による負荷軽減

Ⅲ 茶園における施肥成分収支と負荷軽減施肥技術の確立

静岡県農林技術研究所 茶業研究センター

背景 目的

他の品目に比べ施肥窒素量が多く、環境へ与えるインパクトも大きいとされる茶栽培について、佐鳴湖流域での茶園面積、施肥量等の実態を調査し、地下浸透窒素量の推移を明らかにするとともに、環境負荷を軽減するための方策を検討した。

研究 成果

1. 佐鳴湖流域における茶栽培の実態

住宅地図に基づく一筆毎の農耕地現況調査及び茶生産者への聞き取り調査などから、流域茶園面積及び施肥窒素量を集計した結果を図1に示した。現在の流域茶園面積は約50haで、1950年代中盤の約700ha、1970年代中盤の約200ha、1990年代末の約60haと比べ激減していた。

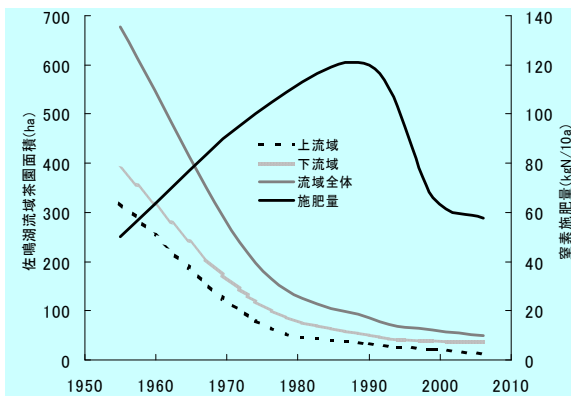


図1 佐鳴湖流域茶園面積と施肥窒素量の推移

*茶園面積は浜松土木専門委員会資料及び現地調査より作図、施肥量は静岡茶試(1968)、大石(2004a, 2004b)及び現地調査より作図

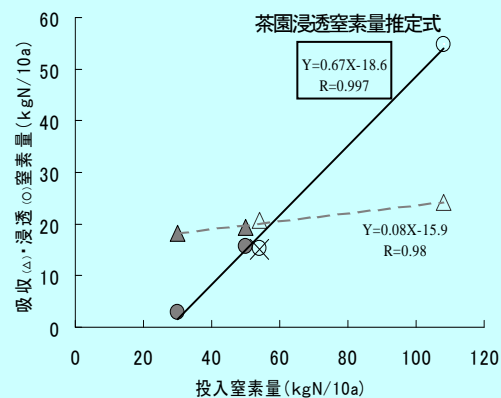


図2 ライシメータにおける窒素投入量に対する茶樹吸収(△)及び浸透(○)窒素量の変化

▲・●：渡部ら(2002)、△・○：静岡茶試(1980)、×：茶研センター内54kgN/10a施用ライシメータの2007年値

2. 流域茶園からの地下浸透窒素量の推定と削減のための方策

文献値を基に図2のとおり茶栽培から地下水系への浸透窒素量を推定する関係式を作成し、図1の数値を基に流域茶園から生じる地下水系への窒素負荷量を推定した。栽培面積の減少及び1990年代からの施肥窒素量削減により、流域全茶園からの推定地下浸透窒素量が激減し、現在では10t程度と考えられ、環境への負荷量はかなり少なくなっていると思われた(図3)。成島ら(2006)の報告では、9年間継続栽培しても40kgN/10a施用で収量及び窒素含有率に54kgN/10a施用と差が見られないとしており、持続的農業を推進する静岡県土壌肥料ハンドブックにおいて、2010年目標として掲げられている40kgN/10a施用が、佐鳴湖流域の茶園で実施されれば、地下浸透する窒素量を4t程度に減らすことが可能で、佐鳴湖の水質浄化に有効と考えられる。さらに、現在当センターで取り組んでいるかん水同時施肥、局所施肥等の利用率の高い施肥方法が確立され30kgN/10aでの肥培管理が可能となれば、流域推定地下浸透窒素量が0.8tとなり、40kgN/10a施用のさらに約1/5まで削減できると推定することから、早期にこれら肥培管理法を推進することが望まれる。

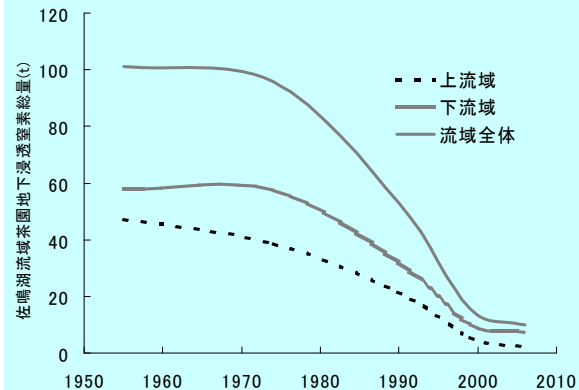


図3 佐鳴湖流域茶園から地下水系への浸透窒素推定量の推移

*流域茶園面積(浜松土木専門委員会資料及び現地調査)及び施肥窒素量(静岡茶試(1968)、大石(2004a, 2004b)及び現地調査)を基に過去の文献(渡部(2002)、静岡茶試(1980))から作成した推定式を用い推算

(研究担当者・連絡先) 太田充、○松浦英之、成島光昭、中村茂和 (○印：リーダー)・TEL 0548-27-2311

第2章 2項 流入河川の負荷量と水田による窒素除去

静岡理工科大学理工学部物質生命科学科

背景 佐鳴湖は、水質指標である COD 値が環境基準よりかなり高い状態が続いている。
目的 その要因として周辺 6 河川からの窒素、リンの流入が問題とされている。これまで、様々な調査が行われているが、さらに実態を把握するため、生活排水や周辺畑地土壌等から流入する負荷物質量を調査した。また、現地水田土壌を使った窒素除去試験を試みた。

研究 1 段子川流域の負荷量の調査

成果 段子川流域（発生小前から新富塚橋）の全窒素(T-N)と界面活性剤等の濃度及び負荷量の調査を行った。T-N の濃度は下水道未整備区域とされる大正橋で 3.0mg/L と最も高く、平均は 2.47mg/L であった(図 1)。家庭系排水とみられる界面活性剤の濃度は一里塚橋で 5.79mg/L、清水橋で 5.51 mg/L と高く、平均は 4.41mg/L であった(図 2)。負荷量は T-N で 35t/年、全リン(T-P)で 2.3 t/年、界面活性剤では 41t/年であった(図 5)。

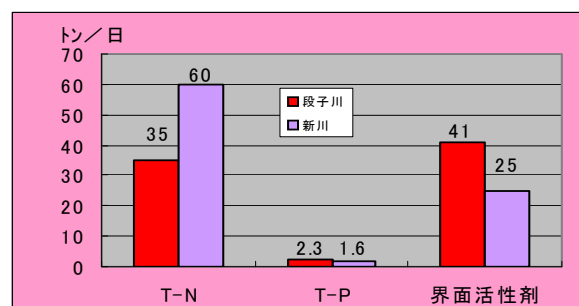
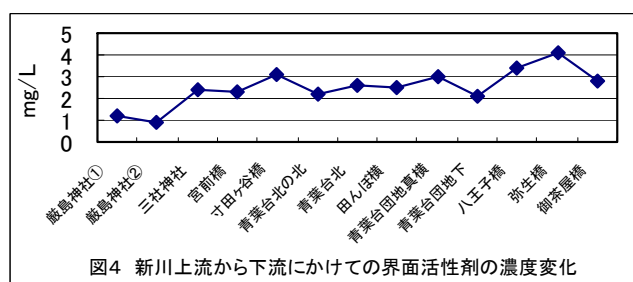
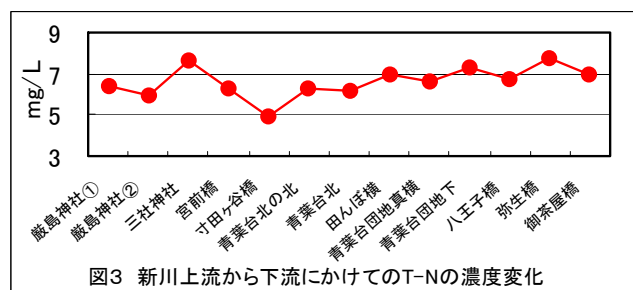
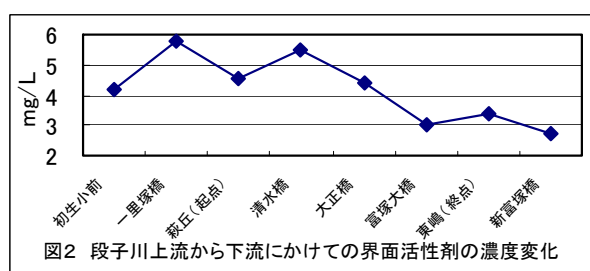
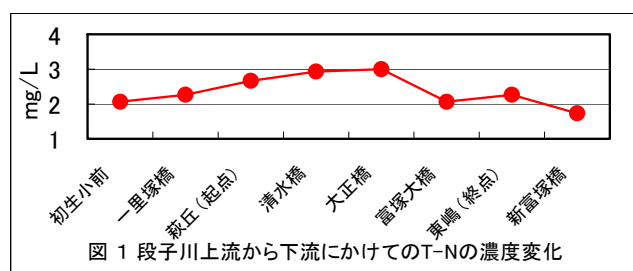


図 5 佐鳴湖上流域河川からの各々の負荷量

注) 図 1 ~ 4 : 平成 19 年度調査

図 5 ~ 6 : 平成 18 年度調査

2 新川流域の負荷量の調査

新川上流から下流にかけての調査を行った。T-N は 7.0mg/L 程度で推移し(図 3)、負荷量は 60t/年であった(図 5)。家庭系排水からの影響と思われる界面活性剤の濃度は上流から下流にかけ値が徐々に高くなっており、弥生橋で 4.08mg/L と最も高かった(図 4)。界面活性剤の負荷量は 25t/年、また、T-P の負荷量は 1.6t/年であった(図 5)。

3 堀留川、九領川、東神田川の負荷量の調査

調査結果を図6に示した。T-N負荷量は、25～30t/年と段子川の35t/年に比べ0.71～0.86倍とやや少ない値であった。界面活性剤の負荷量は74～82t/年で、逆に1.8～2.0倍と高い値であった。T-Pは0.8～1.9t/年の負荷量で、0.35～0.83倍の値であった。

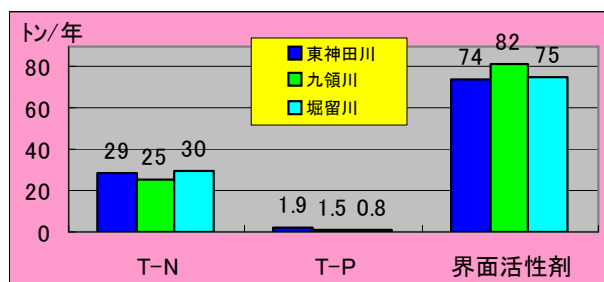


図6 佐鳴湖下流域河川からの各々の負荷量

4 水田および水田土壌による窒素減少量

微生物による脱窒作用は知られている。新川流域の水田と水田土壌を使い窒素減少量試験を行った。現地の水田に全窒素含有量6.3mg/Lの湧水を入れ、流出水の全窒素濃度を測定し、その差から窒素減少量として計算した。その結果を表1に示した。1㎡、1日あたり500mg以上の窒素の減少がみられた。また、室内で水田土壌とNO₃-Nが無添加の槽(0区)、15.7mg/L添加の槽(A区)、157mg/L添加の槽(B区)の3槽を設置し、試験を52日間行った。その結果を図7および表2に示した。この間の窒素減少量は、それぞれ5.3, 7.2, 23.6mg/日/㎡となった。添加量が10倍多いB区ではA区の3.28倍の減少量であった。

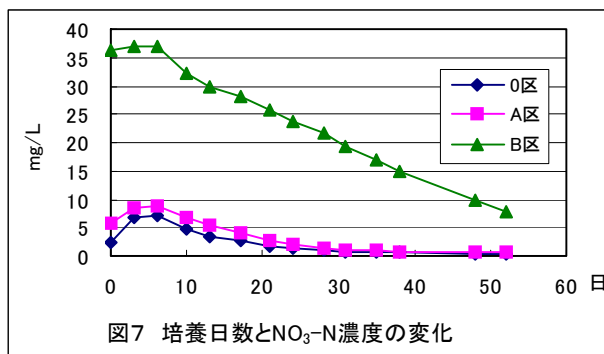


図7 培養日数とNO₃-N濃度の変化

表1 実験水田における窒素減少量

調査日	T-N 減量 (mg/L)	水田内で減少した窒素量 (mg)	貯留時間 (時間)	1日当たりの窒素減少量 (mg/㎡)
H19.7.2	0.7	245	11.6	506
H19.7.24	0.3	105	4.1	615

表2 室内実験による窒素減少量

	52日後のNO ₃ -N量の減少濃度 (mg/L)	容器中のNO ₃ -N減少量 (mg)	1日当たりのNO ₃ -Nの減少量 (mg/㎡)
0区	6.54	32.70	5.3
A区	8.13	40.65	7.2
B区	29.14	145.70	23.6

提言 提案

1 流入河川の負荷について

段子川流域では下水道未整備区域である大正坂橋でT-N等が高い値である。この対策が重要と思われる。新川のT-N負荷量は全体の50%を占める青葉台団地上流と85.5kg/日が急激に増える弥生橋付近の2つの地点における対策が重要である。下流3河川の界面活性剤は上流河川に比べて高い。家庭排水等の対策が重要と思われる。

2 水田を使った窒素減量

水田土壌を使った現地実験と室内試験で窒素の減少効果が確認された。新川流域に多く存在する未耕作水田に河川水を引き入れる等の簡単な対策で、河川の窒素を削減できるのではないかと考える。

第2章3項 佐鳴湖、流域が相互に及ぼす効果

静岡大学工学部システム工学科

背景 目的

佐鳴湖流域に降った雨はほとんどが表流水として佐鳴湖に流れ込み、これが佐鳴湖の水質を決定する要因となっている。佐鳴湖の水質を理解するには、流域がどのような状態にあるのかを理解することが重要である。一方、佐鳴湖も、周囲の流域に影響を与えている。佐鳴湖という水塊の存在は周囲の気温に影響を与え、地下水の分布を通じて周辺の植生に影響を与える。今後の佐鳴湖の在り方を考える上で、佐鳴湖とその流域の関係を理解することは非常に重要である。本研究では、人工衛星ランドサットからのリモートセンシング画像を用いて、佐鳴湖とその流域の環境の把握をねらう。具体的には、①リモートセンサデータによるプランクトンの分布状況の推定、②湖の存在が周囲の温度環境に与える効果についての研究、③佐鳴湖流域の土地利用を推定するためのアルゴリズムの開発、の3つの課題について研究を進めた。

研究 成果

1 プランクトン分布状況の推定

ランドサット5号の佐鳴湖上空通過にあわせて、2006年9月、2007年8月の2回、佐鳴湖の植物プランクトン調査を実施した。その結果、ランドサットとタイミングの合った、湖内クロロフィルa濃度の観測データを得ることができた。

それらの分析から、ランドサットの観測した佐鳴湖の反射率のうち、バンド1(青色光)、バンド2(緑色光)、バンド4(近赤外線)をバンド1/(バンド2+バンド4)の形で組み合わせた指標が、クロロフィルa濃度と良い相関を持つことがわかった(図1)。この図をもとにして推定した2006年9月5日の佐鳴湖内のクロロフィルa濃度分布を図2に示す。

2 佐鳴湖と周辺の温度環境の関係

ランドサット7号センサのバンド6は熱赤外領域の電磁波を捉えることができるので、このデータから地表の熱環境を推定することができる。2003年夏、2003年冬の2時点のデータについて、佐鳴湖周辺の熱環境を調べた。その結果、次のようなことが確認された。

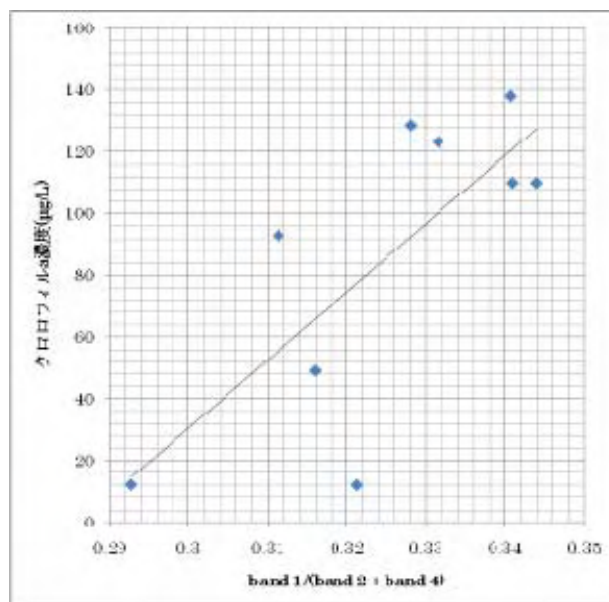


図1 クロロフィルaとランドサットデータの関係

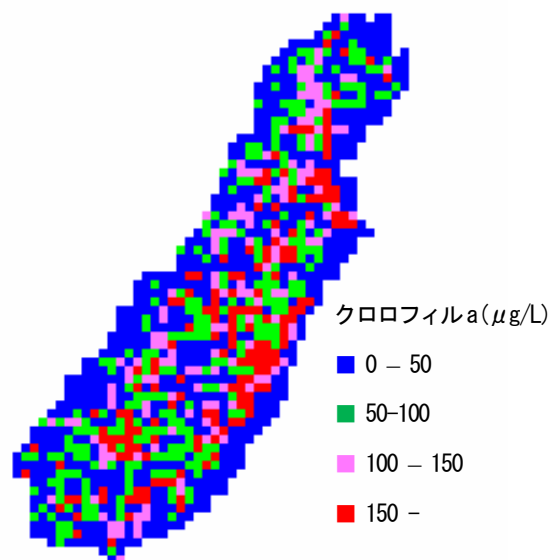


図2 クロロフィルaの推定分布(2006年9月5日)

第1に、夏のデータから、佐鳴湖に近づけば近づくほど温度が下がるという関係が得られた(図3)。第2に、冬のデータからは、逆に佐鳴湖に近づくほど若干温度が上昇する傾向が得られた。そして、第3に、夏のデータにおいて、バンド4の数値が上昇すれば温度が下がるという関係が確認された。このことは、植生を増やすことが夏の快適さに貢献することを示唆する。

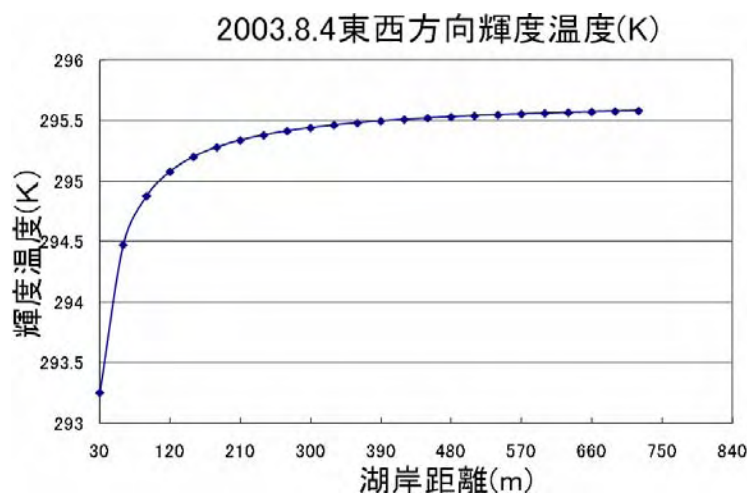
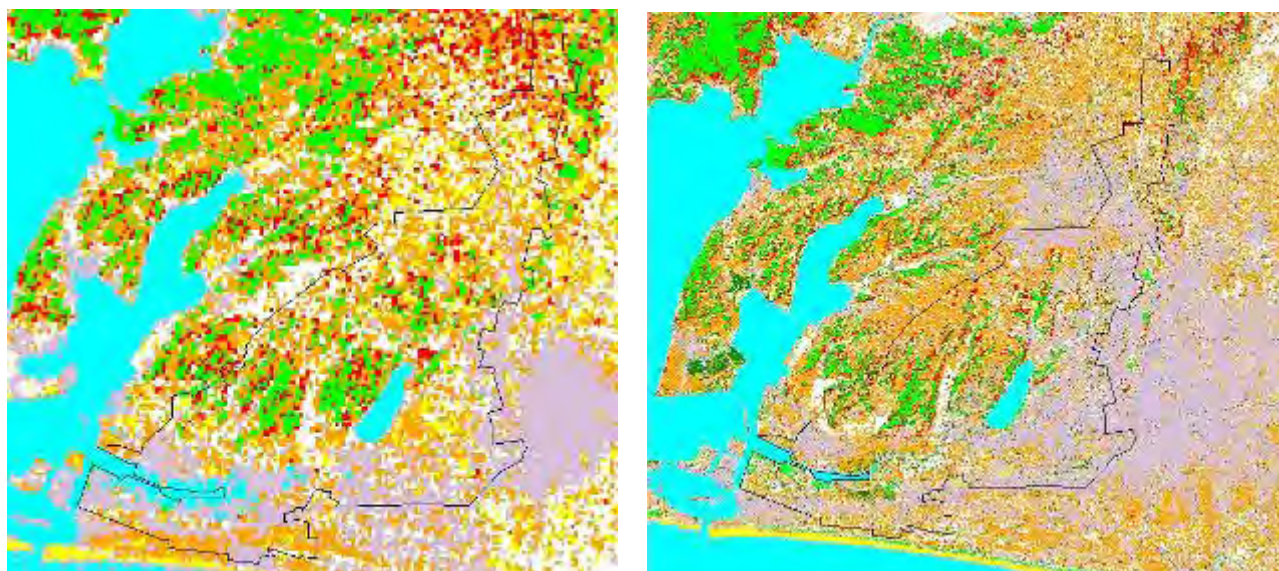


図3 佐鳴湖からの距離と輝度温度との関係

3 佐鳴湖流域の土地利用の推定

地面が何に覆われているか(これを土地被覆という)によって、太陽光の地表での反射スペクトルが変わってくる。ランドサットの捉えた地表の反射スペクトルを分析することによって、土地被覆の元となる土地利用を推定する。ランドサットには1972年からのデータの蓄積があるので、これを利用することによって、土地利用の変遷を見ることができる。

図4はランドサットデータに基づいて推定された、1972年と2003年の土地利用分類図である。この30年間で市街地が増加したことがよくわかる。また、その間の各土地利用割合の推移を見ると、森林の占める割合はそれほど減っておらず、市街地の増加は実はほとんど農地からの転用であったことがわかった。



■ : 水域、■ : 市街地、■ : 森林、□ : 水田、■ : 茶畑、■ : 畑、■ : 砂浜

図4 1972年(左)と2003年(右)の佐鳴湖流域土地利用分類図

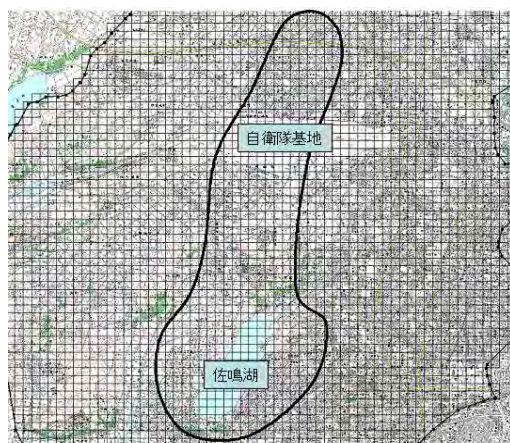


図5 佐鳴湖湧出領域の推定

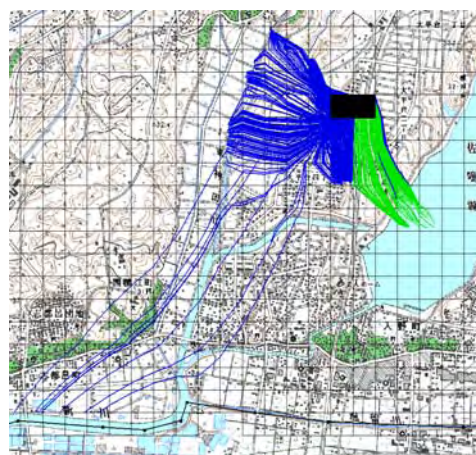


図6 大平台小学校からの地下水流路

各地点での地下水の流向を解析した結果、佐鳴湖及びその上流河川へ湧出すると推察される地下水の涵養地域(佐鳴湖の湧水に影響する地域)を図5に示す。一例として、大平台小学校からの地下水の流れを図6に示す。黒い部分が大平台小学校を、緑のラインが大平台小学校から佐鳴湖へ直接湧出する地下水流路を示している。

2. 土壌中の窒素濃度分布の解析

佐鳴湖周辺農地を対象として(図7中の黒丸部分)、土壌中の窒素の初期濃度をゼロとして、毎年施肥し続けた場合の15年後の窒素濃度分布を図7に示す。

3. 地下水モデルの評価

信頼性の評価のために、3つの観測井戸における2005年の実測地下水位と、同年の降水量を考慮して計算した地下水位との比較を行った(図8)。その結果、相対誤差は約6%程度であり、概ね浜松地域の地下水の流動を再現出来ていると思われる。

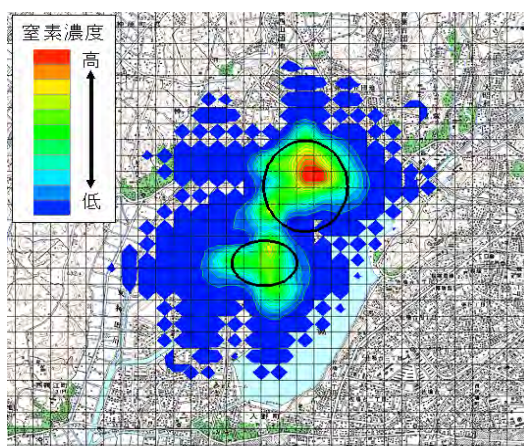


図7 15年後の窒素濃度分布

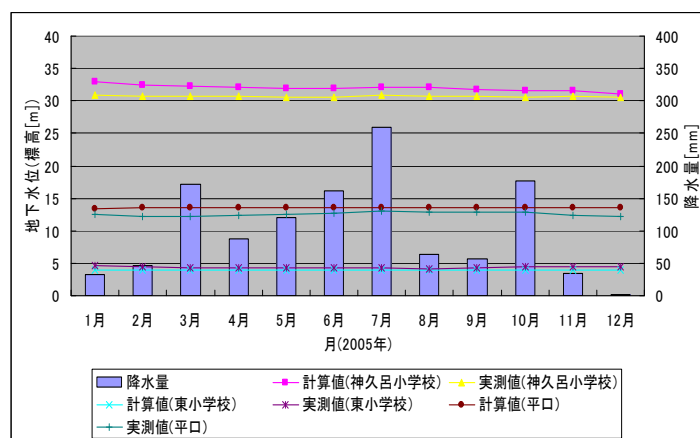


図8 各観測井戸における実測値と計算値

提言 佐鳴湖の湧水量増加のために、図5に示される地域において雨水浸透枡の設置等の地下水涵養策を実施する。また、同地域内にある公立学校の運動場・公園などにおいて植樹、芝生化を促進する。今後の都市計画の中で一定地域ごとに所定の規模の地下水涵養区を組み込むことが望ましい。

(研究担当者・連絡先) ○瀬野忠愛 村上佳奈 梶田大輔 (○印:リーダー) ・TEL 053-478-1206

第2章5項 流入・流出河川の佐鳴湖の水質に及ぼす影響

東海大学海洋学部海洋科学科

背景

戦後の高度成長期に始まる佐鳴湖の水質の悪化は、湖周辺の人口増加による生活排水の

目的

流入、なかでも合成洗剤に含まれるリンが大きく寄与していた。その後、1979年滋賀県の「琵琶湖富栄養化防止条例」の制定をきっかけに起った合成洗剤の無リン化と下水道整備により、佐鳴湖の水質はある程度改善の方向に向かいつつある。しかし、近年では流入河川の硝酸濃度の増加が顕在化し、新たな問題となっている。本研究では、佐鳴湖の水質に関する現況把握を目的として実施した佐鳴湖水質調査研究にあわせ、佐鳴湖周辺の河川水の分析を行ったのでその結果を報告する。

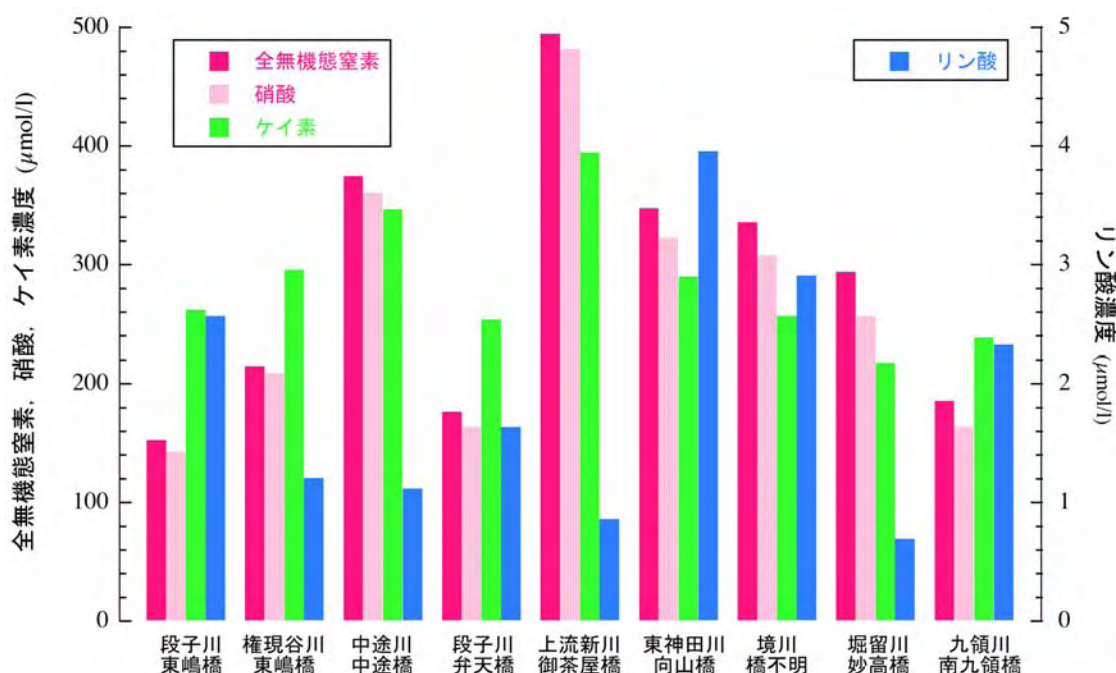


図1: 佐鳴湖周辺河川の各種栄養塩濃度の観測期間の平均値(観測期間 2005年6月~2007年9月) 全無機態窒素(硝酸、亜硝酸、アンモニアの合量)、硝酸、ケイ酸濃度の軸は左側、リン酸濃度の軸は右側である。

研究

1. 佐鳴湖周辺河川の栄養塩濃度とその支配因子

成果

佐鳴湖周辺河川の各種栄養塩濃度の観測期間の平均値を図1に示す。各河川の栄養塩濃度の空間的変動は、リン酸で大きく、次いで全無機態窒素と硝酸であった。ケイ酸の空間的変動は、他の栄養塩に比べ相対的に小さかった。各河川の全無機態窒素と硝酸濃度とその空間変動には、流域又は湧水の涵養源の土地利用と関係し、農地からの窒素肥料の流出量が大きく関与している。また、生活排水及び産業廃水の流入等の人的影響も関与している。ケイ素に関しては、流域の地質に加え、河道を含む流域からの地下水・湧水の流入に関与している。リン酸は、土壌に吸着しやすく他の栄養塩に比べ低濃度であり、濃度とその空間変動には、生活排水及び産業廃水等の人的影響が最も大きく現れている。また、河道内での微生物の活動による河床からの溶出も関与していると考えられる。各河川の各種栄養塩濃度の時間的変動は、全無機態窒素、硝酸及びリン酸で大きく、ケイ

素で小さい傾向にあった。濃度の変動には、季節的な傾向は見られなかったが、全無機態窒素とケイ素濃度には、一部例外はあるものの、正の相関の傾向がみられ、段子川で最も強い関係が見られた。これは、いずれの河川も流域面積が狭く、降水による栄養塩の洗い出し効果よりも、河川流量の増加による栄養塩の希釈効果が卓越するためと考えられる。

河川水濃度から判断して、佐鳴湖への窒素とケイ素の主要な供給源は上流新川、リン酸に関しては段子川であると言える(図2)。また、窒素に関しては、中途川、東神田川、境川及び堀留川、リン酸に関しては、東神田川、境川及び九領川も、佐鳴湖上流域の河川の栄養塩濃度よりも高く、佐鳴湖への栄養塩の供給源になり得る可能性がある。佐鳴湖への栄養塩供給量は、最終的には濃度と河川流量の積で決まるので、湖への栄養塩供給量の把握のためには、河川流量の把握が必要である。さらに、栄養塩濃度の時間的変動に比べ、河川流量の変動、すなわち降雨時の流量の増加の方が大きいと考えられるので、降雨直後の栄養塩供給量の把握も必要であり、これらは今後の課題と言える。

2. 佐鳴湖に対する下流新川の位置づけ

下流新川の塩分は、梅雨で降水量が増加する時期に、佐鳴湖の低塩分化に伴って減少するが、8月以降は高い塩分で推移する。図2に示すように、三又橋からとびうお大橋の間では、浜名湖から遡上する塩分の影響で、塩分が増加する傾向にはあるが、その変動周期は佐鳴湖の周期と同調していた。また、栄養塩濃度も、塩分と同様の傾向があった。とびうお大橋より上流部の下流新川の栄養塩濃度は、佐鳴湖と同じかむしろ高めの傾向にあり、この傾向は全無機態窒素とリン酸で強い。これは、下流新川に流入する河川に加え、下流新川の河川水内及び河床からの栄養塩の再生や溶出による供給、さらには浜名湖からの栄養塩の流入を示唆している。

提言 提案

以上のことから、少なくともとびうお大橋までは佐鳴湖の一部と考えるべきである。さらに、歴史を振り返れば、佐鳴湖の形成は浜名湖と同時期であり、共に同じ歴史を歩んできていることも認識すべきである。今後は、このことを念頭において、佐鳴湖の浄化対策、環境保全、また景観整備等を考えるべきである。つまり、将来的にも両湖はそれぞれ独立した湖ではなく、佐鳴湖-下流新川-浜名湖を一つの系として考えていく姿勢が必要であろう。

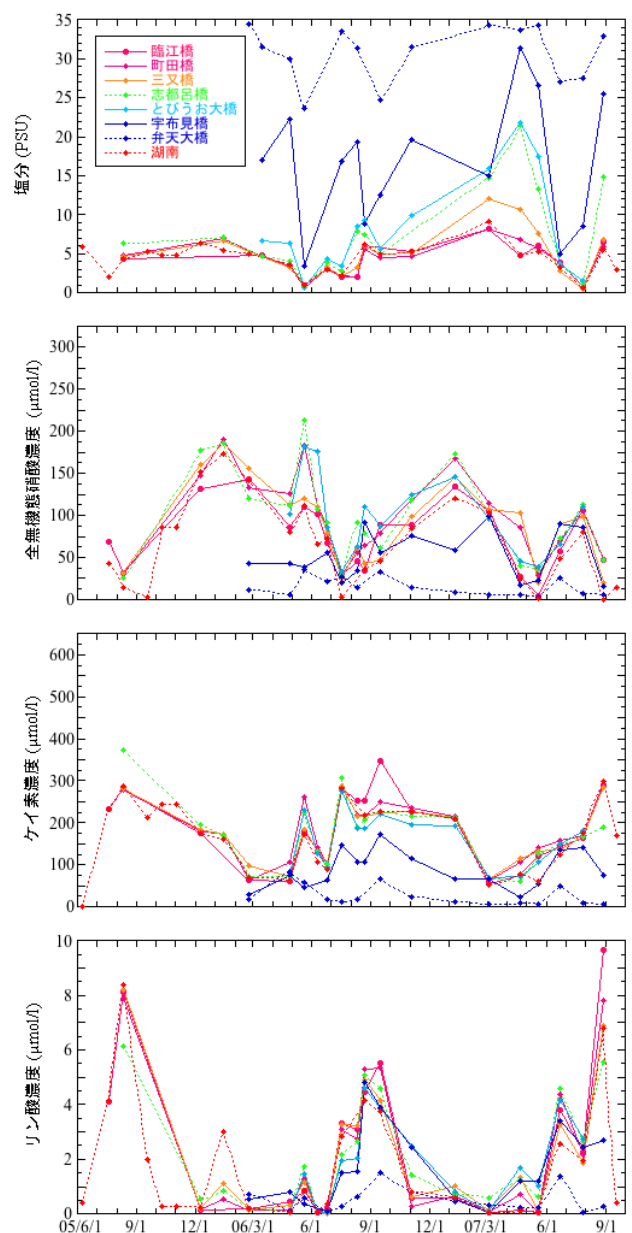


図2 下流新川の栄養塩濃度の時系列変化

第3章 1項 佐鳴湖の水理特性と水質特性

I 水位変動と潮汐による水交換

東海大学海洋学部海洋科学科

背景

佐鳴湖の水域環境を支配する要因の一つに流れなどの物理過程が挙げられる。上流の

目的

河川からは降水による淡水が流入し、ある期間湖内に滞留する。流入淡水に汚濁物質が含まれていれば、それも湖内に滞留することになる。一方、佐鳴湖は感潮汽水湖であり、下流の新川を通して浜名湖から潮汐が遡上しており、佐鳴湖の水位変動では潮汐変動が卓越している。そのため、潮汐による水交換によって下流側の出口からは海水を含む湖外水が流入し、代わりに湖内水が排出される。湖内水を排出する水交換は、同時に湖内に滞留し、湖内水に含まれる汚濁物質も湖外に排出する効果が期待される。

本研究では、まず佐鳴湖における潮汐の現況を調べ、佐鳴湖の下流側出口における流れと塩分の潮汐変動や湖内水の塩分の長期変動を測定し、潮汐による水交換の大きさや降水に伴って流入した淡水の湖内への滞留の状況を詳細に検討した。

研究

1. 佐鳴湖の水位変動

成果

佐鳴湖公園漕艇場（図 1、L2）における水位測定により、佐鳴湖における水位の潮汐変動の卓越が確認された（図 2）。潮差（満潮と干潮の水位差）は大潮期には約 50 cm に達することがあるが、下流の舞阪検潮所における潮差の 1/3 強程度である。また、佐鳴湖の潮時（満潮・干潮の時刻）は舞阪よりも約 3～5 時間遅れる。

佐鳴湖における潮汐は舞阪と同様に基本的には「混合潮」と呼ばれる潮汐で、1 日周期と半日周期の 2 種類の潮汐を含む。佐鳴湖の潮汐の舞阪との違いすなわち潮差の減衰と潮時の遅れは、佐鳴湖への潮汐の侵入が通水断面積が小さく細長い新川下流を通して行われるために生じ、佐鳴湖の潮差の舞阪の潮差に対する減衰比や潮時の遅れは両地点の半日周期潮汐と日周期潮汐の振幅比や潮時の遅れにより決まる。

2. 潮汐による水交換

佐鳴湖には下流側の 2 つの出口、新川放水路口（図 1、C1）と旧新川口（図 1、C2）から潮汐に伴う上げ潮流によって海水を含む湖外水が流入し、

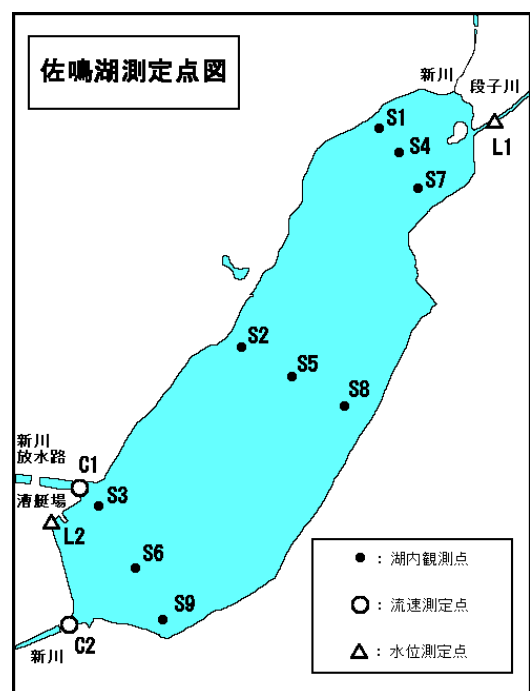


図 1 佐鳴湖観測点図

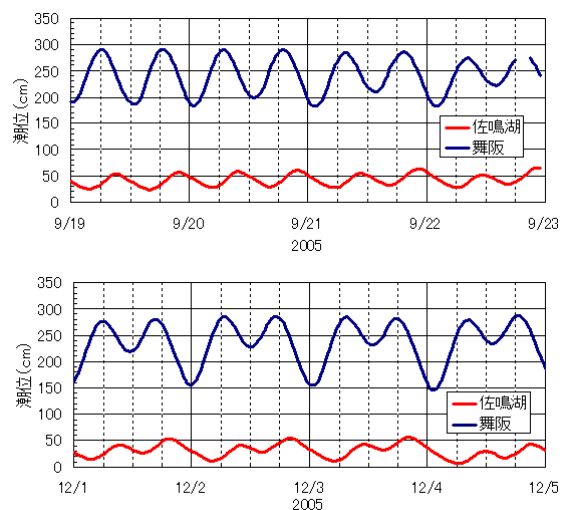


図 2 佐鳴湖（漕艇場）と舞阪の毎時潮位
（上：2005 年 9 月 19 日～9 月 22 日
下：2005 年 12 月 1 日～12 月 4 日）

下げ潮時には同量の水が流出する。この量を交流量と呼ぶ。上げ潮で流入した湖外水が下げ潮時にそのまま流出すれば、湖内水との入れ替わりは起きない。潮汐による水交換は、上げ潮時に流入した湖外水が下げ潮時に全て流出せず、湖内に留まる部分があることにより生じる。この時、湖内に留まった湖外水と同量の湖内水が代わりに流出することになる。この量が潮汐によって実質的に入れ替わる湖内外の水の量で、これを交換量と呼ぶ。

佐鳴湖の下流側の2つの出口、新川放水路口と旧新川口における流れと塩分の測定結果より、潮汐による交流量及び浜名湖水と佐鳴湖水の交換量を求めた。半日周期潮汐の1回の上げ潮、下げ潮による交流量の佐鳴湖水容積に対する割合は、大潮期で22%、平均すると15%であるが、交流量に対する交換量の比(交換率)は13%程度であり、潮汐による1回の上げ潮と下げ潮で実質的に交換し、佐鳴湖に流入する浜名湖水の量は大潮期でも佐鳴湖水容積の2.9%、平均すると1.9%程度となって、それほど多くはない。

佐鳴湖内の9測点(図1、S1～S9)において毎月1回実施した各層観測による湖内表層の平均塩分の月々の変化は、浜松気象観測所の日降水量と有意な関係が認められる(図3)。すなわち、降水の多い時期には上流河川等から流入する淡水によって湖内塩分が低下し、降水の少ない時期には潮汐による水交換等によって下流河川に淡水が排出されることにより塩分が高くなる。このような佐鳴湖への淡水の流入・流出過程を考慮して湖内への淡水滞留モデルを作成し、観測された湖内塩分の変動と最も相関の高い淡水滞留量を与える平均淡水滞留時間を求めたところ、22日～26日であった。この平均淡水滞留時間から下流側出口での潮汐による交換率を逆算すると、上記の値とほぼ一致する。このことは、湖内水の平均滞留時間は流入淡水の平均滞留時間とほぼ同じになることを意味する。

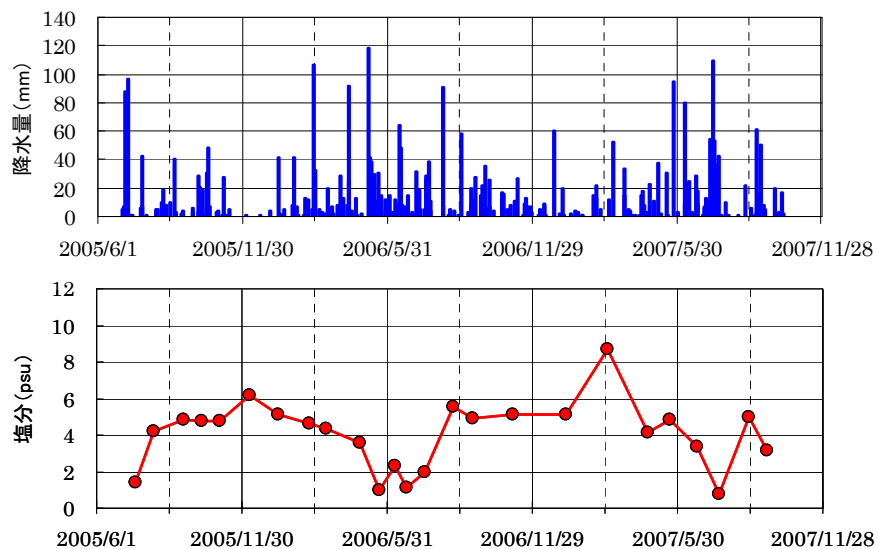


図3 浜松の日降水量(上)と佐鳴湖の平均表層塩分(下)の時間変化

**提案
提言**

佐鳴湖の溶存物質の起源が流入河川水にある場合や湖底の底泥からの溶出が考えられる場合は、その物質の水交換による浜名湖への排出に関しては、本研究において得られた交換率(13%)が適用できるであろう。一方、潮汐によって直接佐鳴湖に流入するのは新川下流域の河川水であり、その下流河川水と佐鳴湖水との間の交換率は最大で上記の値の5倍程度になり得る。そのため、下流河川水と佐鳴湖水の間では比較的容易に物質の輸送が起きると考えられる。したがって、佐鳴湖の水質環境への潮汐による水交換の効果を評価する際には十分な注意を要する。

II 公衆衛生から見た佐鳴湖の細菌相

東海大学海洋学部水産学科

背景

佐鳴湖は、静岡県西部の浜松市の市街地に隣接し周辺から流入する各種汚染水によって

目的

水質汚染が進んでいる湖である。また、佐鳴湖は、周囲の公園などを含めて市民の憩いの場として親水公園の役割も持っている。したがって、佐鳴湖の水質改善には、まず生物相を含めた総合的な水質の現状把握が重要である。そこで、本研究では、佐鳴湖と主要流入河川である段子川について、糞便などが含まれる家庭下水の影響を知るために、公衆衛生上重要な汚染指標である大腸菌群を中心とした細菌学調査を実施した。調査期間は、2005年7月から2007年9月で、表面水と湖底の泥表面からの試料採取は、佐鳴湖内の St. 7、St. 5、St. 3、新川放水路の St. B の4地点と佐鳴湖の主要流入河川である St. F(段子川弁天橋)の計5地点において行った(図1)。

研究

1. 佐鳴湖の大腸菌群数の推移

成果

調査期間内での佐鳴湖の平均大腸菌群数は、表面水では 3.6×10^4 CFU/100ml であった。菌数は冬期から春期にかけて減少する傾向を示した(図2)。一方、泥表面では大腸菌群は表面水よりも約10倍多く検出されるが、はっきりとした季節変動は認められなかった。琵琶湖や諏訪湖など他の湖と比較すると、佐鳴湖の大腸菌群数は、約10倍多い。段子川河口では、その平均菌数は 7.9×10^4 CFU/100ml を示し、佐鳴湖内の St. 7 よりも約2倍多く検出された。このうち約10%は糞便由来大腸菌が占めていた。さらに、大腸菌(*E.coli*)も毎回検出されており、段子川はその周辺からの家庭下水の汚染を受けている。さらに、その河川水が流入するので佐鳴湖にも大きな影響を与えていると考えられる。本調査から、佐鳴湖の大腸菌群や糞便由来大腸菌の菌数変動に大きな影響を与える最も重要な要因は降雨であると考えられる。調査日前7日間の降雨量が約50mmを超えた4回の調査結果(05年10月、06年1月、07年5月、07年7月)を見ると、いずれの場合も佐鳴湖内の菌数は急激に増加している(図2)。特に、前日40mm以上の降雨があった06年1月と07年7月で



図1 佐鳴湖および段子川の調査地点

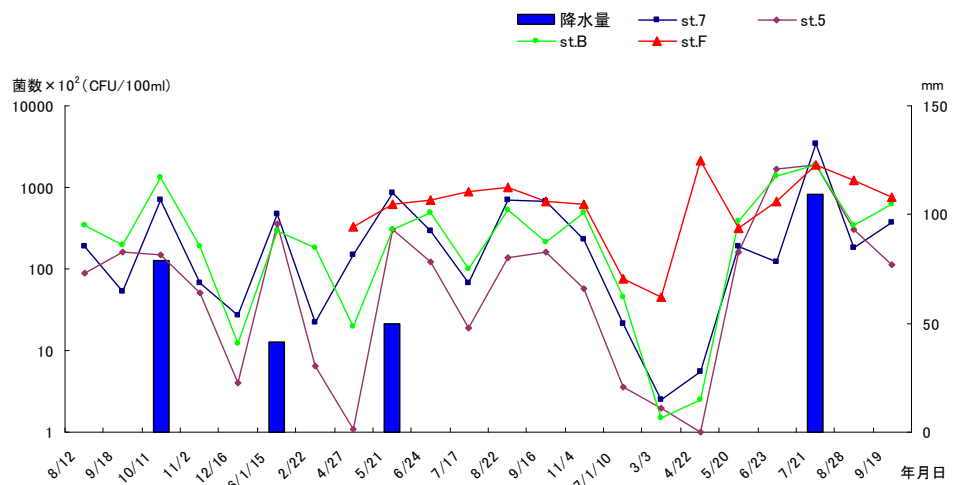


図2 佐鳴湖の表面水での大腸菌群数の推移と降水量

は、湖内各地点の大腸菌群数はほぼ同じであった。これは降雨によって流入河川である段子川などの増水した河川水が、一気に佐鳴湖内に流入したことを示している。さらに、糞便由来大腸菌が大腸菌群に占める割合は、平常時(07年9月)の0.5%に対して降雨後(07年7月)には5.1%まで急激に増加した。特に、St.7では段子川河口のSt.Fと同じくその割合は9.3%まで増加していた(図3)。これは降雨による増水で下水の流入が増加することを示唆している。

2. 佐鳴湖内から普通寒天培地で分離同定された細菌

分離した細菌は表面水、泥表面共に *Bacillus* 属、*Aeromonas* 属及び *Vibrio* 属が優占していた(図4)。この中でも *Bacillus megaterium* が最も多く分離された(図5)。さらに、沿岸海域に分布する *Vibrio* 属の細菌が分離されたことは、佐鳴湖に海水の影響を受けていることを意味している。また、*Aeromonas* 属や *Vibrio* 属には食中毒細菌に指定されたり、ヒトや魚類に各種感染症を引き起こす細菌も含まれている。佐鳴湖でもこれらの細菌の検出率が高いことから継続して調査する必要があると思われる。

提言 佐鳴湖の大腸菌群による汚染は、新川や段子川などの周辺河川からの下水の流入が主原因である。大腸菌群による汚染を減少させるためには、佐鳴湖に流入する水の約70%を占めている段子川での対策が重要となる。

段子川の大腸菌群数のレベルは、静岡市清水区を流れる典型的な都市型河川である巴川よりも少し低いレベルであるが、糞便由来大腸菌の占める割合は約2倍多く、その汚染を受けていると考えられる。下水道の整備が進んでも各家庭との接続が重要である。段子川流域では、87%にとどまる下水道への接続率を向上させるには、地域住民に対して下水道の普及の重要性について十分な説明行って理解を得ることが大切である。

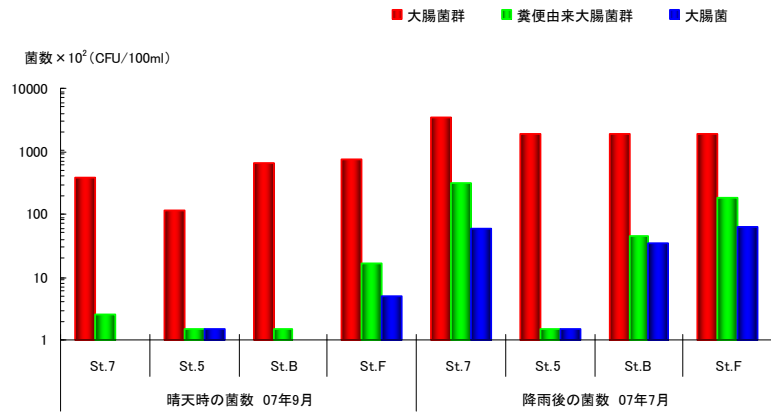


図3 佐鳴湖の表面水の大腸菌群数に及ぼす降雨の影響 CFU:コロニー形成能

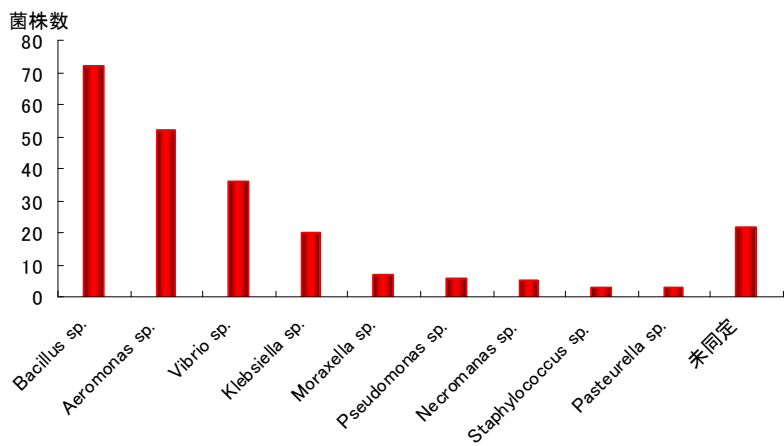


図4 佐鳴湖の表面水から普通寒天培地で分離された細菌(属)

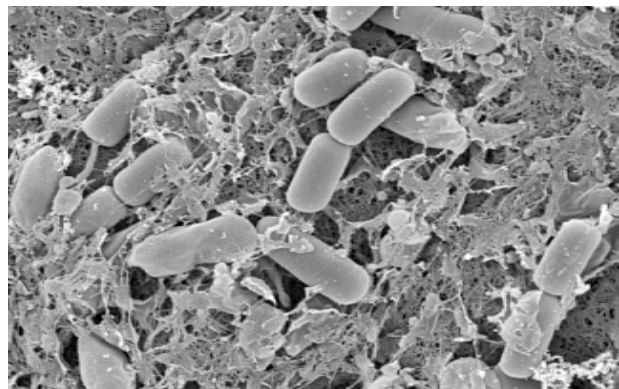


図5 *Bacillus megaterium* の走査電顕写真

Ⅲ 佐鳴湖の水質特性

東海大学海洋学部海洋科学科

背景 佐鳴湖の水質悪化は、日本各地の河川や湖沼と同様に、戦後の高度成長期に端を発する。
目的 1974年（昭和49年）には、16 mg/l あった COD(化学的酸素要求量)は、過去20年間で11~12 mg/l の値で推移しており、この減少には、無リン洗剤の普及や下水道整備等の対策が功を奏していると言える。しかし、2001年（平成13年）から2006年（平成18年）にかけて、国内湖沼の水質ランキングで、COD 値が連続ワースト1位となり、依然水質改善の兆しは見られていない。本研究では、佐鳴湖の水質に関する現況把握を目的として、2005年7月から2007年9月まで実施した佐鳴湖水質調査研究の結果を報告する。

研究 1. 湖内栄養塩濃度の季節変動と湖内生産量

湖内に溶存する各種栄養塩濃度は、大きな季節変動を示した（図1）。全無機態窒素濃度（硝酸、亜硝酸、アンモニアの含量；ただしおよそ90%以上が硝酸である）は、冬期に最大、夏期に最小となる。逆にリン酸とケイ素は、冬期から春期に最小、夏期に最大となる。湖内栄養塩濃度は、リン酸を除いては、湖への主要な栄養塩の供給源である上流の段子川や上流新川の濃度に比べ低く、全無機態窒素とケイ素では平均すると河川濃度の半分程度に減少していた。湖内のリン酸濃度は、佐鳴湖上流域の河川に比べ、同程度かやや高め傾向にある。特に、全無機態窒素濃度が最小となる夏期のリン酸濃度は高く、流入河川の最大濃度と比べても2~3倍であった。

佐鳴湖上流域の河川から供給された全無機態窒素やケイ素は、湖内の植物プランクトンの生産によって粒子態に変換されている。全窒素に占める粒子態の割合は、22~74%で、全無機態窒素濃度の低い夏期に高く、全無機態窒素濃度の高い冬期に低くなる。全リンに占める粒子態の割合は25~82%で、夏期に低く冬期に高い。ケイ素に関しては、粒子態は12~35%で、変動の傾向はリンと同様であったが、変動幅はすべての栄養塩の中で最も小さかった。

湖沼の植物プランクトンの生産量は、一般的にはリン酸によって制限される場合が多い。これは、日本の陸水においては、硝酸やケイ素に比べて、リン酸が低濃度であることによる。実際、佐鳴湖への流入河川で最もリン酸濃度の高かった段子川でも、平均でリン酸が1.6 μmol/l に対して、硝酸は163 μmol/l であり、植物プランクトンによるリンと窒素の取り込み比の1:16に比し

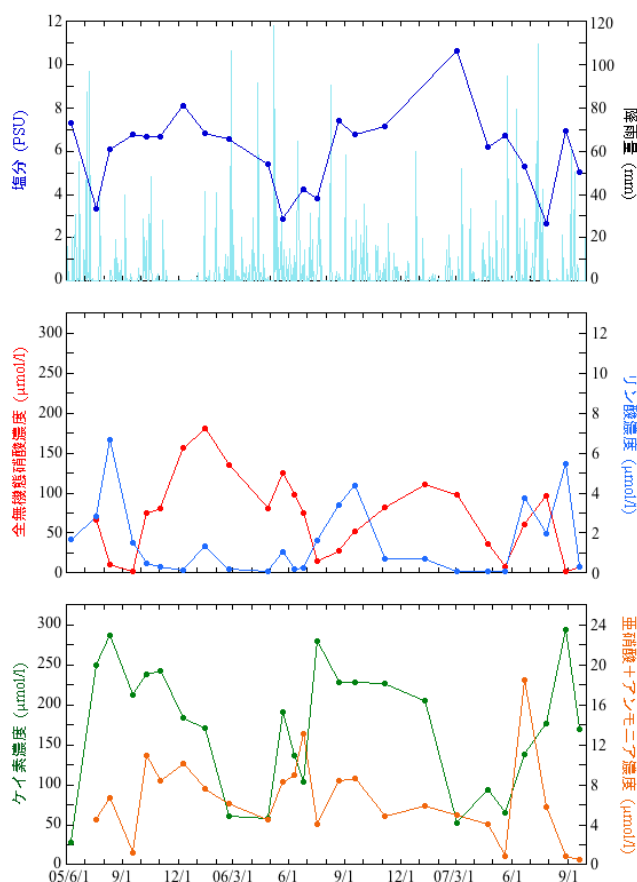


図1 佐鳴湖の各種栄養塩濃度の時系列変動
最上段は、塩分の変動と降雨量の時系列である

て、圧倒的にリン酸が不足している。この河川水でのリン酸の不足は、佐鳴湖の湖底から溶出するリン酸により補われている。すなわち、佐鳴湖の高い一次生産量は、上流から流入する高い硝酸濃度ではなく、基本的には湖底から溶出するリン酸の量によって支えられている。一方、夏期には、堆積物がより還元的になりリン酸の溶出量が増加すると同時に、堆積物中の脱窒量も増加し湖水から堆積物に硝酸が拡散し除去される。そのため、夏期には硝酸が枯渇、結果、リン酸が湖水で高濃度となる。つまり、夏期は硝酸が一次生産量を制限している。また、2005年6月には、湖内でケイ素の枯渇が観測されたことは、ケイ素が一次生産量を制限する可能性があることを示している。

2. 佐鳴湖の現況と下流域への影響

夏期を除けば佐鳴湖で優占する植物プランクトンは、ケイ藻類であり、また、湖の一次生産量は極めて高い。このことは、アオコが発生した昭和30年代に比べれば、湖の生態系としては極めて健全な状態にあると考えられる。また、平均的に見れば、全窒素や全リンのおよそ半分が粒子態窒素及びびリンであることから分かるように、高いCODに対しても植物プランクトンを含む粒子態物質が大きく寄与していることが予想される。従って、“CODが高い＝汚い”ととらえるのではなく、佐鳴湖は驚くほど生物生産が高い湖であるととらえる方が良いだろう。

佐鳴湖上流域の河川では、施肥の影響で高濃度の硝酸が観測された。また、流域に点在する湧水でも高い硝酸濃度が観測されている。佐鳴湖湖水の酸素同位体比には、標高の高い山で降った同位体比の“軽い”降水起源の地下水の影響が現れている(図2)。従って、施肥由来の硝酸の流出とその対策を考える際には、上流河川流域のみでなく、佐鳴湖北部の地下水涵養域周辺も対象とする必要がある。また、佐鳴湖周辺域の地下水水系の詳細な把握も不可欠となる。

提案 今日佐鳴湖で起る一次生産
提言 は、流入する河川の硝酸濃度を半分程度まで減少させており、下流域の富栄養化を防止しているとも考えられる。しかし、佐鳴湖での硝酸の消費は、同時に河川から供給されるケイ素濃度も低下させている。今後、佐鳴湖への硝酸の流入量の増大が進めば、湖内のプランクトンによるケイ素の消費はさらに助長され、下流域へのケイ素の供給量を減少させ、下流の浜名湖や沿岸海洋の生態系への悪影響につながる可能性も考えられる。従って、佐鳴湖の水質浄化は、下流域の水質や生態系の保全も視野に入れて考えていく必要がある。

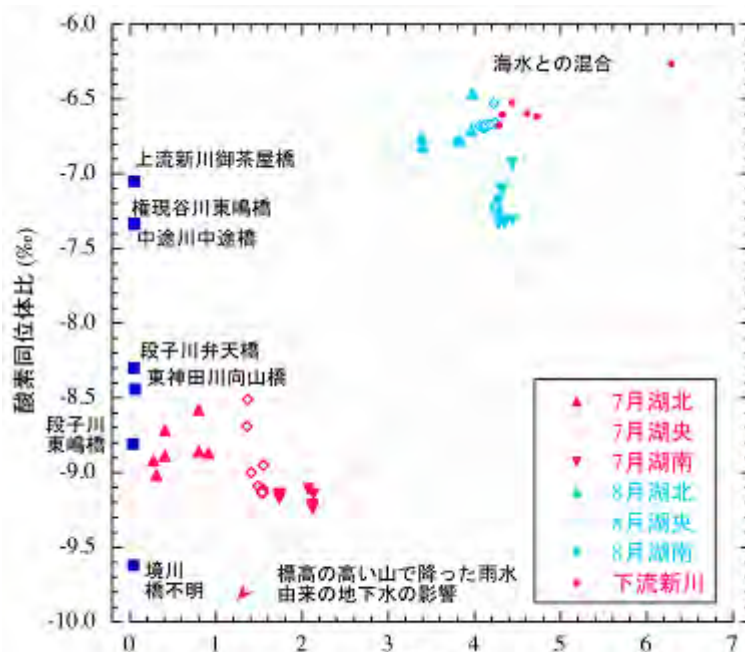


図2 2005年7月及び8月の湖水及び周辺河川の塩分と酸素同位体比のプロット。

第3章 2項 佐鳴湖の水質浄化のための水質と底質

I 懸濁物質除去による湖水浄化の定量的検討

東海大学海洋学部海洋建設工学科ほか^{※参照}

背景 自然界では懸濁物質が有害物質を吸着して、それらが堆積することで有害物質の拡散が防がれている。同じ現象について見方を変えると、湖沼における堆積物の汚染という形で現れている。なお、これらの有害物質はほとんどが人為的なものである。

目的 堆積物に蓄積された有機物や有害物質は再び水に溶け出る。したがって、負荷が進んだ閉鎖水域では環境的な問題がほぼ恒久的に起こることになる。これを防ぐためには、負荷物をその閉鎖水域から取り除く必要がある。その効果的な方法のひとつは、懸濁物質 (SS) を自然の吸着材として使うことである。そのために、SS 及び堆積物の粒子特性を調べた。

研究 懸濁物質 (SS) : SS とは水中のにごり成分で、その大きさは数ミクロンメートル以下であ

成果 る。これらの粒子は有害物質やバクテリアなどを吸着しているため、水質の指標として極めて重要な要素になる。また、それらはお互いに凝集し (図 1)、有機物、バクテリアなど種々の物質を付着した状態で沈降・堆積して、堆積物となる。

堆積物 (土) : 水底の泥で、いろいろな大きさの、無機物や有機物からなる。一般には、砂、シルト、粘土の大きさの粒子の集合体を指す。一般に、これらのうち、細かい粒子や有機物には有害物質が多く吸着されている。

COD : 化学的酸素要求量で、酸化によって分解する有機物の量を表す。わが国の水質の基準として重要な量になっている。したがって、佐鳴湖でも COD を下げることが目標である。佐鳴湖水の COD の観測結果を図 2 に示す。

リン : 代表的な栄養塩で、リンを抑制することで富栄養化が防げるとされている。佐鳴湖水の SS および沈降粒子のリン濃度と強熱減量との関係を図 3 に示す。これより、リンは有機物に多く吸着していることが分かる。また、これより SS 粒子が無機物に

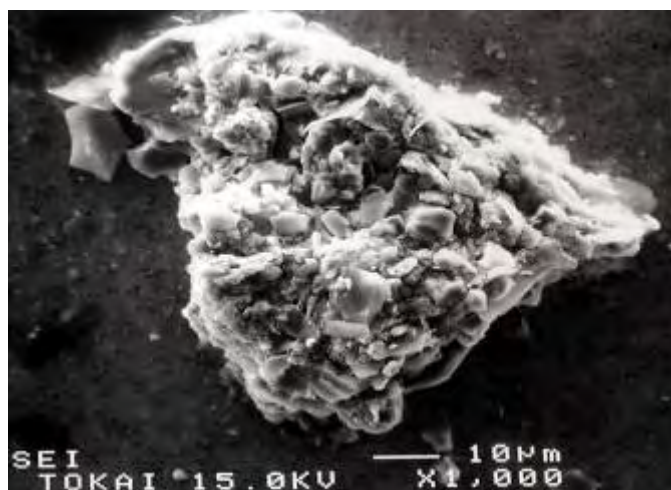


図1 沈降粒子の電子顕微鏡写真

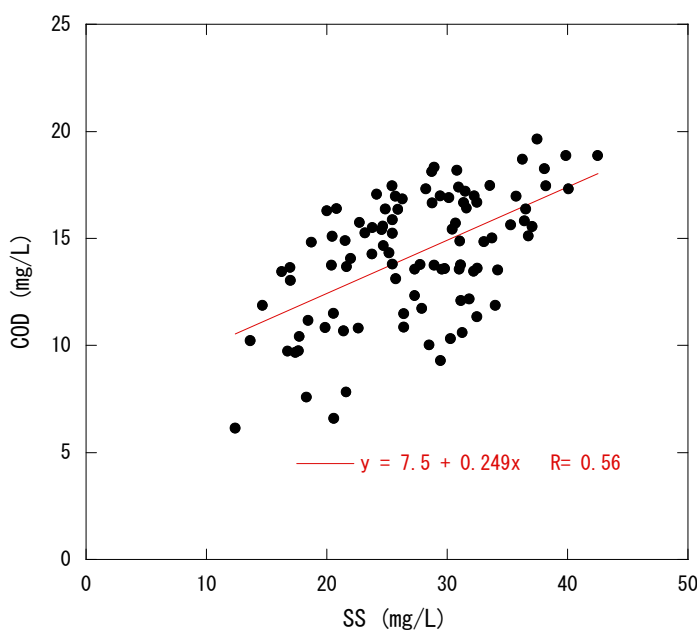


図2 佐鳴湖水中のCOD

付着すると沈降粒子となることが想像できる。

底質：堆積物に含まれる亜鉛や銅などの重金属、COD (図4)、リン濃度 (図5) などかなり高い。したがって、有機物の分解によって溶出が起こるおそれがある。

亜鉛、銅などの含有量の測定からは人為的影響が見られ、海外のガイドラインより高い濃度も見ら

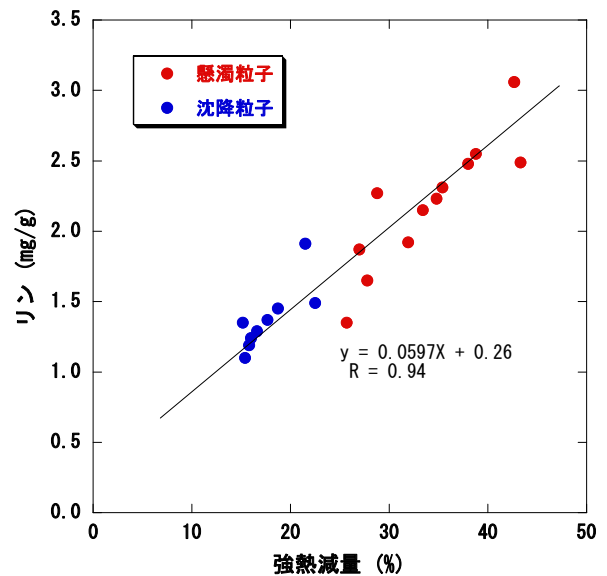


図3 懸濁物質及び沈降粒子のリン濃度と強熱減量の関係

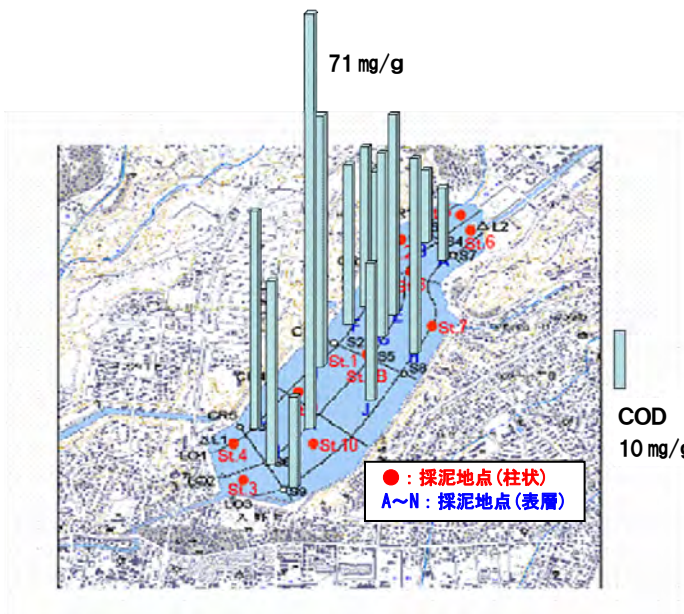


図4 佐鳴湖底表層土のCOD

れる。

硫化物の分布を調べると湖底表層では3g/kgほど含まれており (図6)、酸化還元電位や有機物含有量の深さ分布から検討すると、将来的に有害ガスの発生の恐れもないとは言えない。

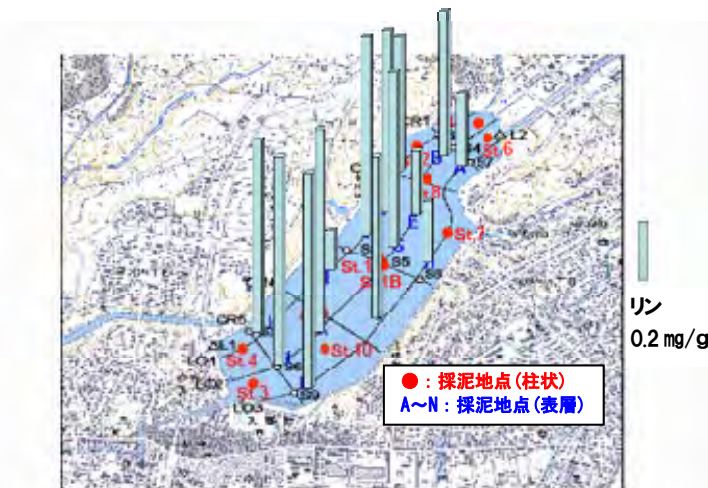


図5 佐鳴湖底表層土のリン濃度

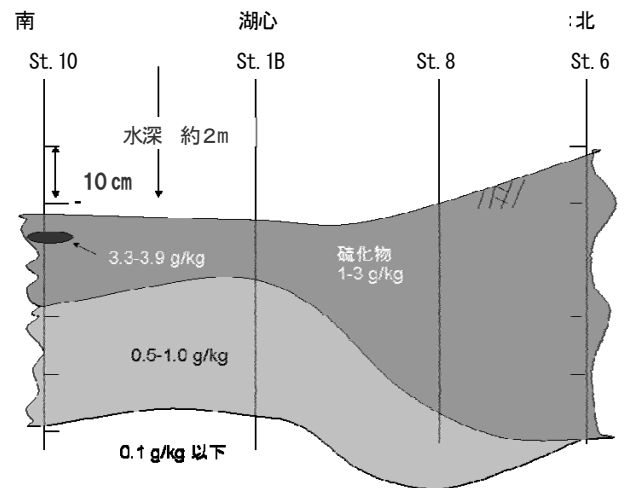


図6 硫化物の分布

(研究担当者・連絡先) 大石友彦、加藤義久、木村賢史、佐藤義夫、中山隆雄、○福江正治、萩原直樹
(○印 リーダー)・TEL 054-334-0411

研究協力者 国土総合建設株式会社 興亜開発株式会社 青木マリーン株式会社 Catherine N. Mulligan (Concordia University, Canada)

*東海大学海洋学部清水情報センター、海洋科学科、海洋生物学科、環境情報工学科

II ろ過による湖水浄化の定量的検討

東海大学海洋学部海洋建設工学科、海洋科学科

背景 目的

第3章2項の研究成果より、懸濁物質の除去により水質浄化が行えることが判明した。そして、懸濁物質の除去にはろ過が最も適当であると考え、以下の提言を行う。
ろ過原理 ろ過は昔から行われている水質浄化方法である。懸濁物質には多くの物質が付着しているため、懸濁物質を除去するのは水質浄化にとって最も効果がある方法である。砂を用いた緩速ろ過は100年も前からウイルス除去にも使われている。

自然の懸濁物質には細菌をはじめ、重金属、栄養塩、その他の有害物質が吸着されている。とくに有機物や細粒子には多く吸着されている。そこで、これらの粒子をろ過によって効率的に除去することを考える(図1)。

研究 成果

図2に佐鳴湖の堆積物に含まれる亜鉛の量をその形態別に示す。この形態は、重金属の種類や堆積物の種類によって異なる。

フィルター

フィルターには、砂、礫、不織布、織布などいろいろな材質が使われる。また最近では吸着剤として活性炭などが使われる場合がある。基本的に何を使用してもよいが、フィルターである限り目詰まりは避けては通れない課題である。ふるい目の大きさはある程度選択の余地があるので、目詰まり対策がフィルターの選択のための鍵となる。ろ過によって、フィルターにはバイオフィームが形成され(図3)、物理的ろ過に加えて生物学的ろ過が進行する。これによって、溶存物質のろ過も期待できると考えられる。

ろ過システム

ろ過システムには、水の導入装置(ポンプなど)、

ろ過の原理

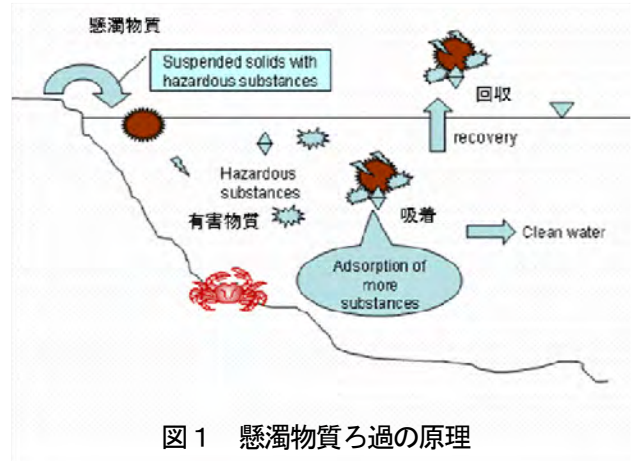


図1 懸濁物質ろ過の原理

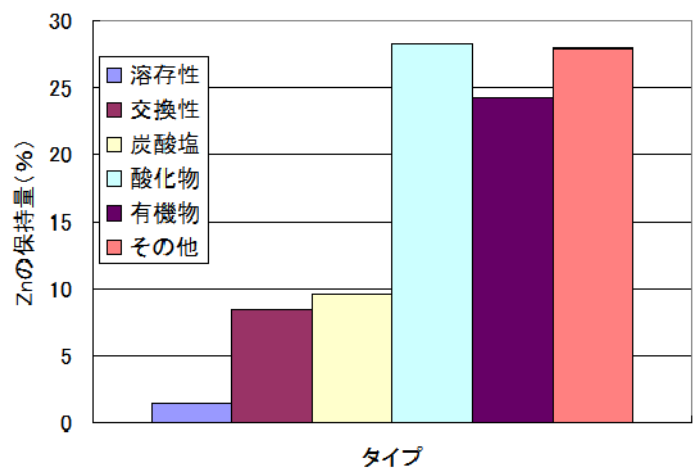


図2 連続抽出法による亜鉛吸着の形態

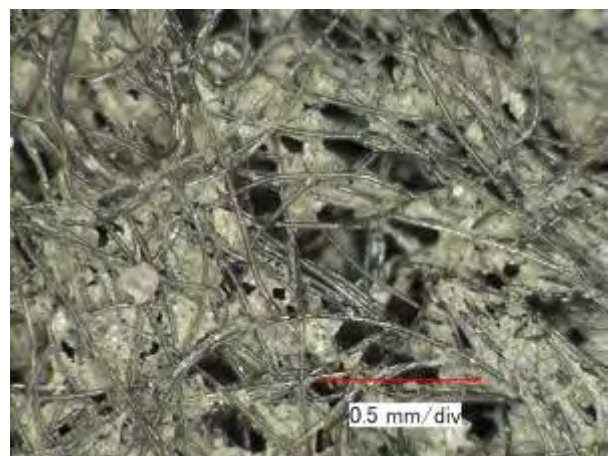


図3 湖水のろ過によって形成されたバイオフィーム

ろ過装置、排水装置、ろ過物の除去装置などが含まれ、図4の手順によって規模が決定できる。

ろ過効果

ろ過効果はろ過効率で表せる。すなわち、ろ過によって、SSが何%除去できたかを表す量である。これまでの経験では砂ろ過で約80%程度である。不織布の場合、目の大きさによって効率は異なる。また、pHの変化によってSSの凝集が起これ、SSがろ過しやすくなる現象が観測された。基本的にはSSの大きさとフィルター目の関係する。

再懸濁粒子の除去

堆積土には有害物質が蓄積されている。これを効果的に除去する方法として、再懸濁法を提案した。再懸濁される粒子は細粒または有機物であるので、それらは高度に有害物質を含んでいる。汚染堆積物の約10%を除去することによって、安全なレベルにまで下げることが可能である。

再懸濁法とは、湖底を攪拌させて懸濁した粒子を選択的に細粒分及び有機物を吸引除去する方法である。懸濁物質の拡散を防ぐために、再懸濁槽を使用する。水とともに吸引された再懸濁粒子はろ過されて除かれる。なお、ろ過過程は、懸濁粒子及び再懸濁粒子について同じである。

ある条件下で計算された1日あたりのSS除去量はろ過フィルターの面積に比例する(図5)。

再懸濁法によって、有機物が除去されることで、底質の嫌気化が抑制され、有害ガスの発生が抑えられる。またその他の有害物質も除去されるので、水産物の安全性が保たれることになる。

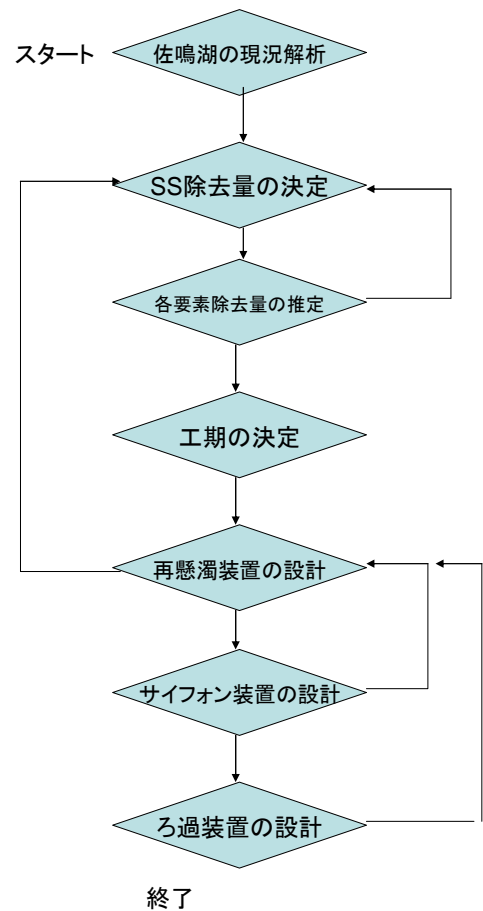


図4 ろ過システムの設計

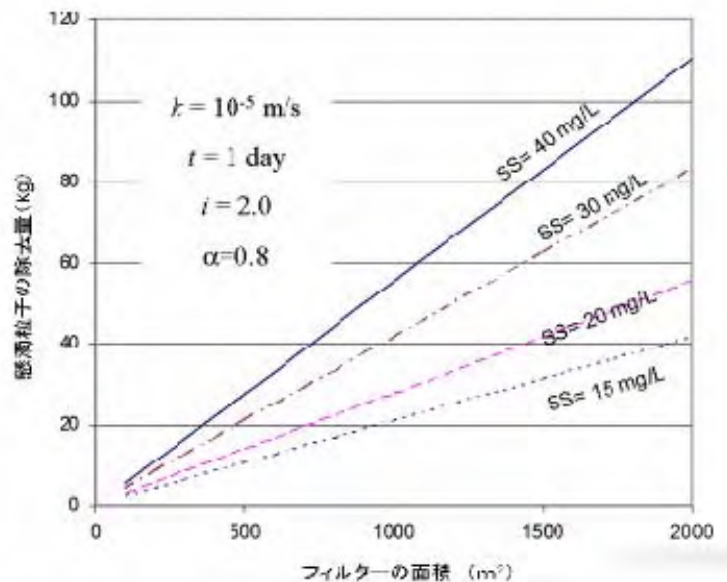


図5 ある条件下における1日あたりのSSの除去量の推定

(研究担当者・連絡先) 佐藤義夫、○福江正治 (○印 リーダー) ・TEL 054-334-0411

研究協力者 国土総合建設株式会社 興亜開発株式会社 青木マリーン株式会社 Catherine N. Mulligan (Concordia University, Canada)

Ⅲ 光触媒による浄化効果と佐鳴湖への適用の可能性の検討

東海大学海洋学部清水教養教育センター

背景 浄化システムの濾材に光触媒である
目的 二酸化チタンをコーティングし、紫外線光露光しながらポンプで汚れた水を循環してろ過浄化するシステムは検討されている。しかしながら、佐鳴湖のように河川から流入して大容量のプールをゆっくりと移動し、流出河川から海に流れ出るようなケースでは、ポンプによるろ過システムは効率が悪い。そこで、汚染物質の分解が早い光触媒系を設置したとき、どの程度のスピードで汚染物質の分解が可能になるかを検討した。特に、光触媒単独による分解速度を次亜塩素酸のような酸化剤で加速することを見出したので、この系で検討した。

研究 1 生物顕微鏡による植物プランク
成果 トンと処理による形状変化

佐鳴湖水の中には群生構造の植物プランクトンが存在していた。この生物顕微鏡による観察した写真を図1に示す。生物顕微鏡による観察から、湖水中の有機物の主なものは植物プランクトンであり、これがCODの値に反映していると考えられる。湖水の吸収スペクトルが680nmにピークを持つのは植物プランクトン中に存在する細胞中のクロロフィルaに由来しており、これが佐鳴湖水の色を呈する要因となっている。植物プランクトン本体だけでなく、クロロフィルaが植物プランクトンの光合成の増殖を担っていることから、この植物プランクトンの光触媒による分解そのものもCODの低減に有効であると考え、この観点にも注目して実験を行った。植物プランクトンが細胞単位まで外形が変化する分解と、細胞中のクロロフィルaの分解による脱色の変化を表1に示した。この変化を要約すると以下のとおりである。

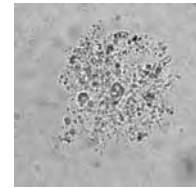


図1 原水中の生物プランクトンの写真 (群生構造)

表1 3種類の実験条件下で処理した後の植物プランクトンの形状変化

植物プランクトンの形状変化	
(1) NaOCl 溶液 $1.3 \times 10^{-3} \text{ mol/l}$ 添加した系	
(2) 二酸化チタン処理した石英ガラスチューブを装填した光触媒処理	
(2)の光触媒条件で、NaOCl 溶液 $1.3 \times 10^{-3} \text{ mol/l}$ 添加した系	

(1) NaOCl は植物プランクトン中の細胞中に含まれるクロロフィルaを分解するが、構造自体の破壊は極めて遅い。また、写真は途中の状況を示したが長時間処理すると外形構造は残ったままクロロフィルは完全に脱色された。
(2) 一方、光触媒ではクロロフィルの脱色だけでなく外形構造も破壊された。

2 植物プランクトンによる吸光度変化

380nm 光による吸光度は主として植物プランクトンの量に比例する。すなわち、380nm での吸光度は原水中の COD に対応した値であるとされている。一方、クロロフィル a は 680nm をピークに弱い吸収を示す。処理時間に対する ABS_{COD}^* 、及び ABS_{chl}^{**} の変化を図 2 に示した。NaOCl の添加量は、有効塩素濃度として 0 mol/l 、 $1 \times 10^{-4} \text{ mol/l}$ 、 $1 \times 10^{-3} \text{ mol/l}$ 、 $1 \times 10^{-2} \text{ mol/l}$ の 4 水準で行った。

細胞を抱え込んだ植物プランクトンの外形変化は、光触媒単独、NaOCl のみの添加でも分解速度は遅い。有効塩素濃度が高い $1 \times 10^{-3} \text{ mol/l}$ 系でも 5 時間の処理時間でやっと 24% の分解率であった。しかし、10% の分解でもその効果が大きいと考えれば、10 分間の処理で可能となる。これでも光触媒に対する接触時間を考慮すると、実際の系では現実的に COD の低減に有効な処理装置を作ることは難しい。一方、植物プランクトンの外形変化ではなく、細胞中のクロロフィル a の分解は外形変形に比べて極めて効率的で、有効塩素濃度 $1 \times 10^{-3} \text{ mol/l}$ の実験系では、約 1 分間で 100% 分解した。

光触媒の効果だけで植物プランクトンを破壊し、佐鳴湖水の COD を低減させようとすることは極めて困難である。しかし、プランクトンを構成する細胞中のクロロフィル a の分解速度は構造骨格の分解に比べて極めて早い。ため、クロロフィル a を分解することによって光合成を抑え、これが結果的として COD の低減に寄与することを考えると、光触媒による佐鳴湖水の浄化の可能性をクロロフィル低減から再検討し、最終的な実用性判断を行う必要があると思われる。

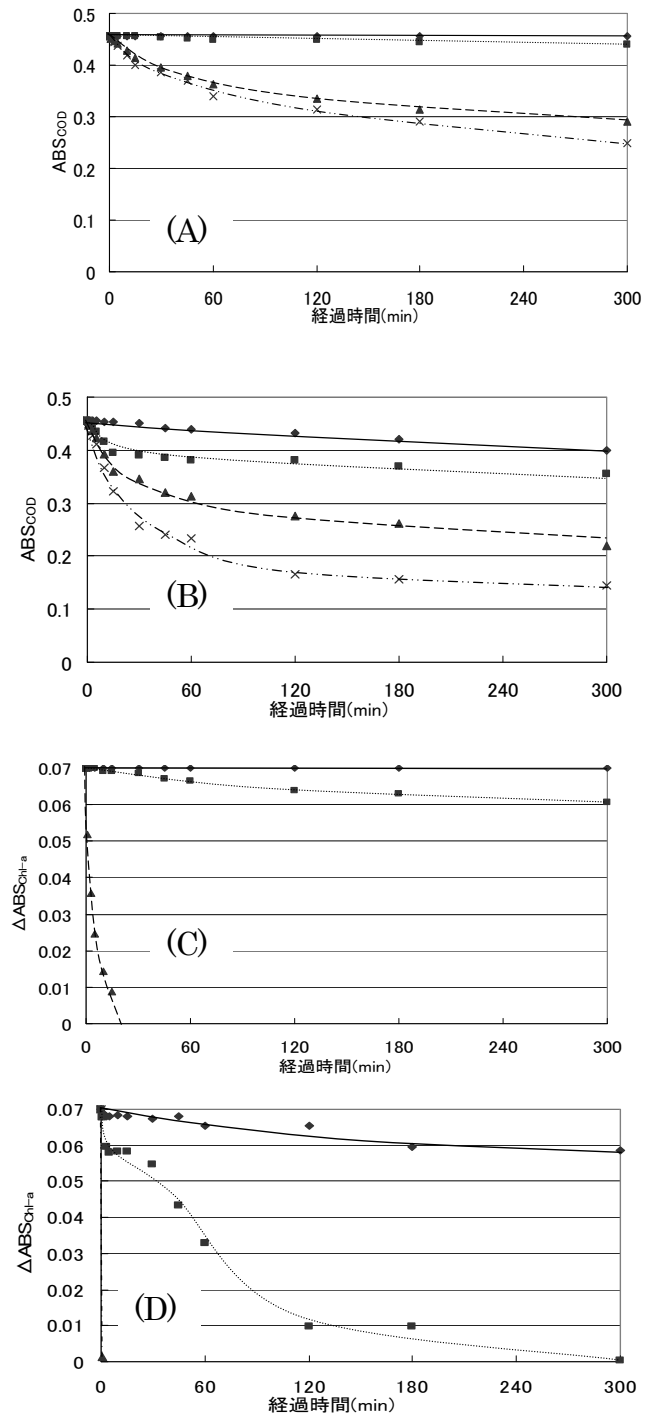


図 2 処理条件と時間による ABS の変化
 380nm (A) NaOCl のみ、(B) NaOCl + 光触媒
 680nm (C) NaOCl のみ、(D) NaOCl + 光触媒
 (原液 : ———, NaOCl 1×10^{-4} :
 1×10^{-3} : - - - - , $1 \times 10^{-2} \text{ mol/l}$ 添加 : - · - ·)

注) * ABS_{COD} : 波長 380nm で測定した吸光度で COD に対応
 ** ABS_{chl} : 波長 680nm で測定した吸光度でクロロフィル量対応

第3章3項 佐鳴湖における底泥の特性—水質に及ぼす影響と安全性—

静岡県立大学環境科学研究所

背景

水質汚濁の原因となる湖内への窒素とリンの負荷源には、主として流入水によるもの

目的

(外部負荷)と底泥からの溶出によるもの(内部負荷)の二つがある。佐鳴湖では、これまでに内部負荷に関する調査が不十分であるため、その寄与については不明であった。そこで、本研究では、佐鳴湖底泥からの窒素とリンの負荷量を評価するとともに、土壌被覆によるそれらの溶出低減対策を検討した。

これまでに佐鳴湖では、浄化対策の一環で底泥の浚渫が行われてきた。将来、湖内や河道部の底泥を浚渫する場合、その処分や有効利用を進める上で環境安全性の面から底泥を評価しておくことは有益である。このため、底泥が含有する有害化学物質の濃度測定に加えて、浚渫後の底泥を野積みした場合を想定した光による底泥の変質を、細胞毒性(光毒性)の観点から評価した。

研究

1 底泥からの窒素とリンの負荷量評価

成果

室内実験(図1)により、夏季(7月)と冬季(12月)における底泥からの窒素とリンの溶出フラックスを測定した(図2)。これらの測定値を基に推定された夏季における湖内全域(1.2 km²)からの窒素とリンの溶出量は、それぞれ流入負荷量の約2倍および6倍にも相当した。さらに、底泥から溶出した栄養塩は、植物プランクトンが直接利用可能な溶存態であり、かつ水深が浅いために直ちに利用可能であることから、それが佐鳴湖における植物プランクトンの生産量(水質汚濁の増加)に大きく寄与している可能性が高い。底泥からの栄養塩の溶出は、湖底に堆積した大量の植物プランクトン死骸が底泥表層部で急速に分解すること起因していると考えられる。

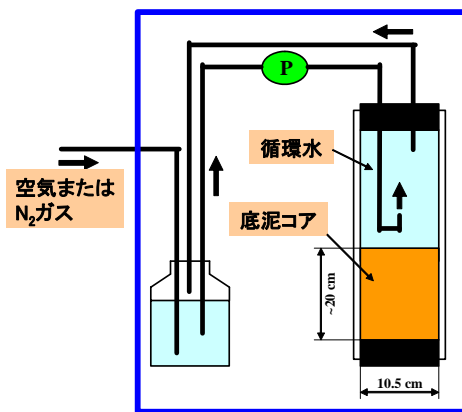


図1 底泥溶出実験装置

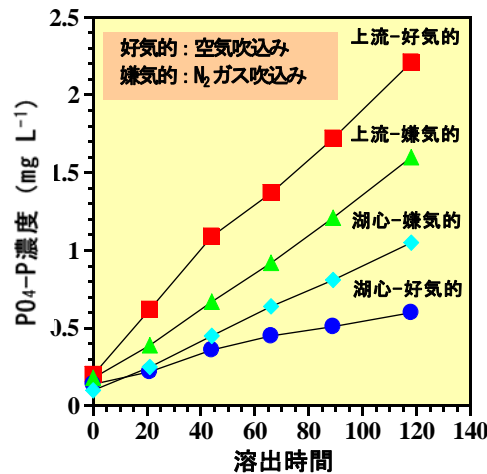


図2 循環水中のリン濃度の経時変化

溶出フラックス (mg/m ² /日)	溶出フラックス (mg/m ² /日)	
	好氣的	嫌氣的
上流部	86	60
湖心部	19	40

2 土壌被覆による底泥からのリンの溶出低減対策

上記の結果より、植物プランクトンの生産量を低下させるためには、湖水と湖底間における栄養塩の循環をいかに断ち切るかが鍵となる。特に底泥からのリンの溶出負荷量は流入負荷量に比べて大きいことから、その削減は有効であると判断される。そのための一つの方策として、佐鳴湖一帯に広く分布する赤色土を底泥表面に被覆することによるリンの溶出低減対策を検討した。その結果、赤色土を薄く(約2 mm)被覆するだけで、リンの溶出を防止できることがわかった(図3)。この

ように、土壌が有するリンの大きな吸着能力を利用することにより、従来内湾等で検討されてきた砂を使用する方法に比べて、大幅に被覆量を削減することが可能となる。

3 底泥中の有害化学物質濃度と光毒性の評価

佐鳴湖底泥中の重金属、多環芳香族炭化水素 (PAHs) 及び有機塩素系農薬の濃度を調査した結果、多くの重金属と PAHs については、底泥上層部に人為的な汚染の影響が認められた (図 4)。しかし、それらの汚染度は大きなものではなかった。一方、光による底泥の毒性変化を調査した結果、それによる生態系への急性影響の可能性は小さいことがわかった。これより、浚渫底泥の保管や処分に関して、その環境リスクを低減させるための新たな措置を必要としないことが示唆される。

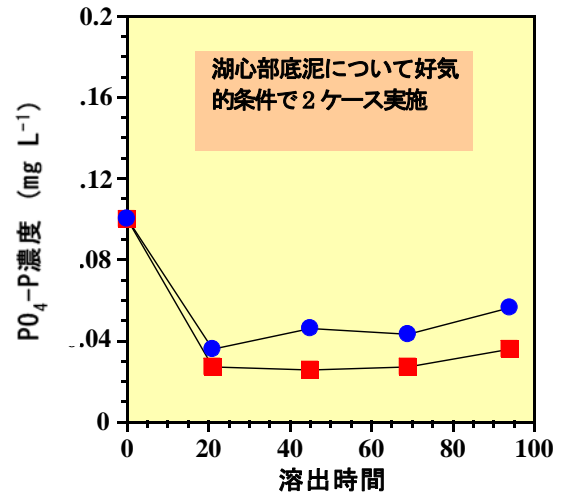


図3 赤色土を被覆した場合における循環水中のリン濃度の経時変化

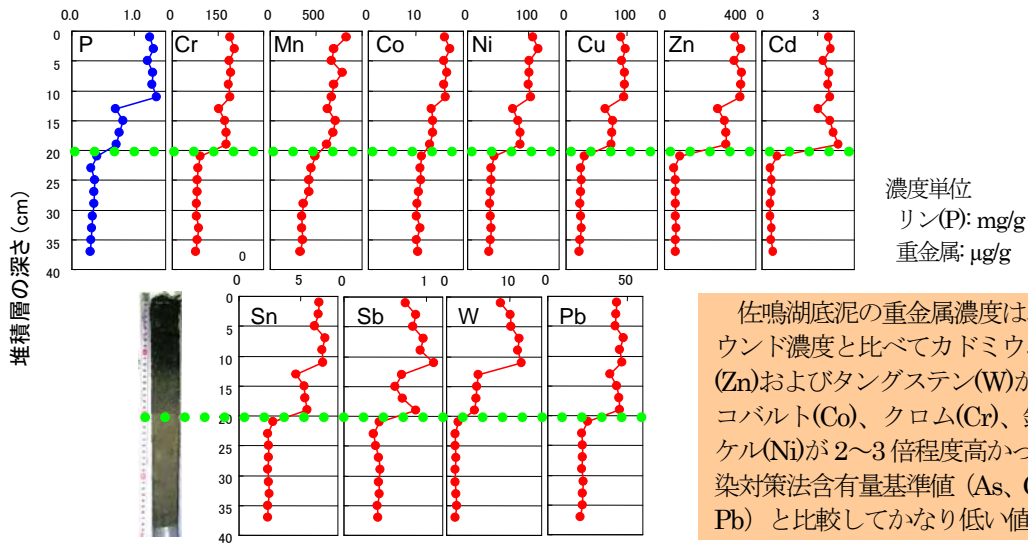


図4 湖心部における底泥中の重金属濃度の鉛直分布

提案 提言

上述したように、佐鳴湖一帯に広く分布する赤色土を湖底に薄く被覆することにより、底泥からのリンの溶出を低減することが可能である。赤色土は自然土壌であるため、薬剤を散布する場合に比べて、その使用は環境に優しくかつ廉価な溶出低減対策として期待できる。しかし、赤色土は砂とは異なり、小粒径の粒子を含むため、それを散布した場合には濁り等の二次的な影響が発生する可能性がある。このため、湖内においてリンの溶出フラックスが大きい上流域を中心に、夏季に赤色土を散布する方法 (必要に応じて複数回散布) が妥当であると考えられる。赤色土の被覆によるリンの溶出低減効果やその二次的影響については、現場での実証実験で正しく評価する必要がある。

(研究担当者・連絡先) ○坂田昌弘、谷幸則、伊吹裕子、大浦健、宮田直幸、雨谷敬史、岩堀恵祐 (○リーダー)

TEL 054-264-5729

第3章4項 佐鳴湖での水質汚濁原因の考察と

物質収支に基づく浄化対策検討

静岡大学工学部物質工学科、システム工学科

背景

著者らは、COD の内部生産量を求める場合に、栄養塩におけると同様、浜松市による

目的

水質実測データから、定常状態における流入、流出の COD (T-COD)の物質収支をとって求める方法が適用されるべきであると考えた。そこで本研究では、佐鳴湖において水質規制対象の COD 値に直接的影響を与える植物プランクトンの増殖に伴う COD、及びこの植物プランクトンの増殖に影響を与え得る栄養塩(N、P)の内部生産(負荷)量を、浜松市の水質の実測データに基づいて求めることを試みた。そのために、水域水体の流れをモデル化した上で、注目成分についての物質収支式を立ててシミュレーション計算を行った。

研究

2001～2006 年における浜松市のデータを

成果

用いて、水質指標としての全 COD と Chl.a

(クロロフィル a : 植物プランクトン濃度の指標) の関係を図1に示す。図から明らかなように、湖内で発生する藻類、すなわち Chl.a の濃度をゼロにできれば、湖内の COD 濃度は、8 mg/L 以下にすることができる。直線の切片は 5.3mg/L となるが、これは、懸濁態有機物がゼロである場合、すなわち溶存態(Sol)COD の値に対応すると考えられる。この値は、図2に示す Sol-COD の年次変化の平均値 5.3mg/L と、よく一致する。したがって、佐鳴湖の分析データから次のことが言える。

1) 全 COD は溶存態(Sol-COD)と懸濁態(SS-COD)の和で表せる(3態中2態から残りが推算可能)。

2) 懸濁態(SS-COD)は、Chl.a で示される植物プランクトン濃度を反映する。

なお、図1より Chl.a 濃度を 100 $\mu\text{g/L}$ 以下に削減することで、何とかぎりぎり、8 mg/L 以下という目標が達成できると考えられる。

また、佐鳴湖では、全 COD 値の季節変動が小さく、水温の最も低くなる1～2月においても SS-COD が顕著な低下を示さないことから、植物プランクトンの発生速度は温度に強く支配されていないようである。水温が低下しても、寒冷水向きの植物プランクトンが増殖するからであると考えられる。

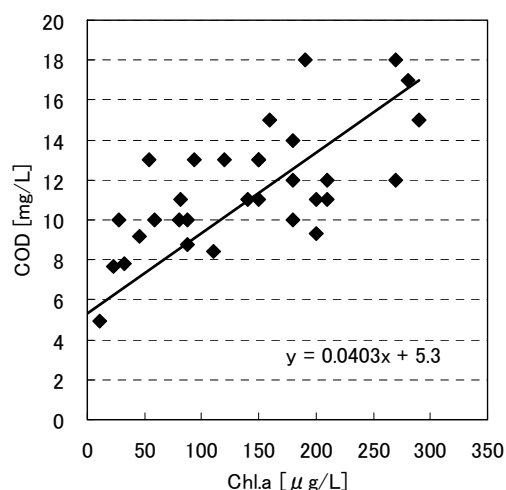


図1 佐鳴湖の全 COD と Chl. a (クロロフィル a) の相関

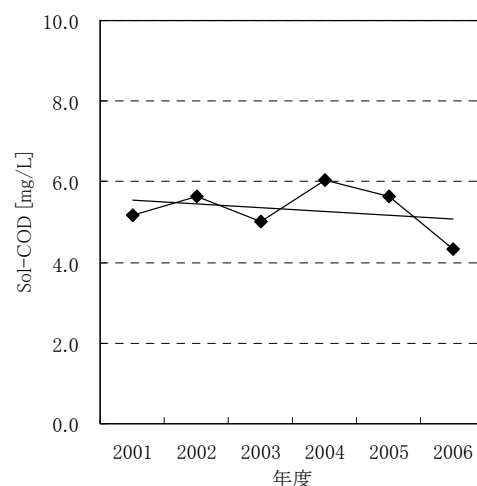


図2 佐鳴湖の Sol (溶存態)-COD の年次変化

次に、佐鳴湖の流出水部での潮の干満に起因する交換水量を考慮した水域水体の流れモデルを仮定した物質収支シミュレーションモデル式を作成して、これに浜松市の水質実測データを代入することで、湖内の COD 及び N の内部負荷量(生産量)を試算し、これらの水域水質への影響についても考察を加えた。式の導出等の詳細は省略し、結果のみ示す。

図3には COD 内部生産量の年次変化を示す。佐鳴湖の COD 内部生産量 rc1 は年度を通して 500kg/d 程度で安定して生産されていることがわかる。rc3 等は下流域での COD 内部生産量であるが、これらが異常に大きい値として計算される原因の一つとして、堀留川の流量が異常に大きいことが考えられる。今後、この値を再調査する。また、この流量を小さくした場合の、計算結果への影響を、定量的に検討する予定である。

全窒素についても、同様に内部生産量を試算した。結果を図4に示す。佐鳴湖内部での全窒素の内部生産量はゼロないし僅かにマイナスとなっており、湖内での内部生産が考えられないことが裏付けられている。

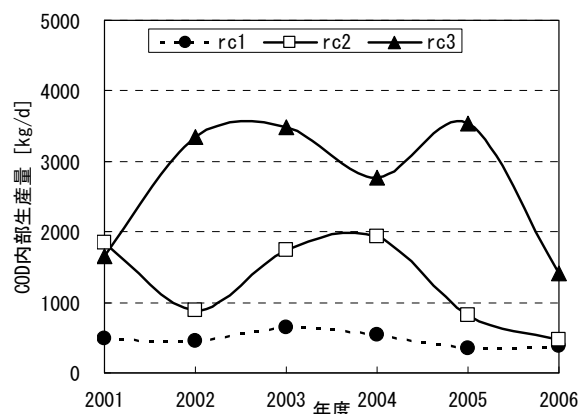


図3 全 COD 内部生産量の年次変化

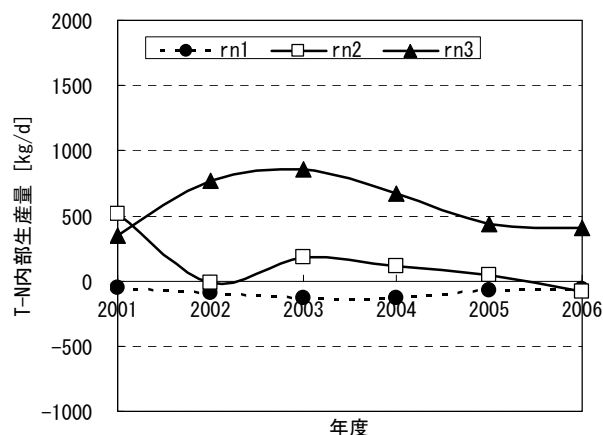


図4 T-N(全窒素)内部生産量の年次変化

提案 湖水の浄化対策には、2通りの方法が考えられる。1つは、流入河川の水質の浄化である。
提言 る。これが基本的な対策であるが、一般に時間と費用がかかる。佐鳴湖の場合、COD の削減、特に植物プランクトンの発生に起因する湖内の SS-COD の生成が問題になる。浄化対策としては、植物プランクトンの増殖を支配している栄養塩(N、P)の削減がある。流入河川水中の N、P は、流域住宅地からの雑排水に主として起因していると考えられる。そこでの下水道集水システムが完備していれば、河川への雑排水の流入は、原則として抑えられる。下水道は、分流式と考えられるので、雨水の流入はあるが、住宅地の雨水は、必ずしもきれいでない。今後、流入河川の流域の下水道普及の実態(年次と普及率の関係等)を詳しく調べる予定である。

植物プランクトンの増殖をどの程度抑えれば、水質浄化になるかについても、ここで提案したモデルで試算することができる。一例として、2006年度のデータを用いて、内部生産量 rc1 を現在の 30%にした場合の湖内 COD 濃度 C1 は、7.4mg/L と計算される。すなわち、この程度にプランクトン増殖を抑えれば、目標の水質が実現できることになる。今後、その方策を検討する。

注)図3、4の凡例：r：生産量(速度)、c：COD、n：全窒素、1:佐鳴湖本体、2:下流の志登呂橋付近まで、3:下流の宇布見橋・浜名湖付近までの区間を表す。よって、rc1は佐鳴湖本体(1)でのCOD成分(c)の内部生産量(r)を示す。

第4章 1項 佐鳴湖の生態系と食物連鎖

東海大学海洋研究所、海洋学部環境情報学科、海洋科学科

背景

佐鳴湖の水質は、COD 値からみると国内の湖では最も汚れており、大量に存在する植

目的

物プランクトンがその原因と考えられている。この植物プランクトンは湖水の色にも関係し、その変化は種組成や栄養塩類の質と量、日射量、水温の変化などに起因する。クロロフィル a 量の観測は約 30 年前より行われているが、観測頻度は年に数回程度と少ないこともあり、種組成の季節変化の様子(季節的消長)までは把握できていない。

この植物プランクトンを食べるのが動物プランクトンである。このプランクトンの定期的な調査は、ほぼ 100 年前(明治 42 年(1909 年) 4 月~45 年 3 月)に行われた。この頃のプランクトン量は少なかったものの、昭和 8 年(1933 年)8 月には赤潮が発生して魚類が大量に斃死する被害があり、翌年にはプランクトンは多く、アオコもみつかると組成も変わっていた。その後 1950 年代から 70 年代には、浜松北高校生物部によりプランクトン調査が行われ、最近では浜松市によって水質とともにプランクトンの調査が行われている。

ところで、佐鳴湖は浜名湖に繋がり、ほぼ 100 年前から汽水域であることは知られていた。浜名湖では 1956 年から 30 年の間に遠州灘からの海水が入りやすい環境が整えられ、佐鳴湖では 2000 年夏に新川放水路が完成したから、塩分はさらに高くなったであろう。

この佐鳴湖におけるプランクトンの現状を把握する目的で、2005 年 7 月より 2007 年 9 月までは毎月 1 回観測を行い、基礎生産量と動・植物プランクトン組成の季節変化を解析した。基礎生産量測定は安定同位体 ^{13}C を用いた現場法(6 時間培養)により、光合成色素濃度測定は高速液体クロマトグラフィ(以後 HPLC)による。植物プランクトンは採水により、動物プランクトンは曳網により試料を採集し、光学顕微鏡、走査型電子顕微鏡ならびに双眼実体顕微鏡により観察を行った。

図 1 に基礎生産測定点、採水点と曳網場所(3ヶ所)を示す。

研究

水域生態系における食物連鎖は、生食連

成果

鎖と微生物ループ(腐食連鎖)から構成される。生食連鎖は、光合成を行う植物プランクトンに始まり、動物プランクトンや小型魚を通り、大型の魚類ときにはヒトで終わる連鎖である。この連鎖の特徴は、生命のあるものが繋がる場所にある。これに対して腐食連鎖は、枯れたり破片となったりした植物プランクトン、動物プランクトン、動物の死骸やフンなど生命のない状態の有機物粒子から始まる。バクテリアがこの粒子の分解をはじめ(無機物化)とともに数を増し、小さな動物(鞭毛虫類などの原生生物)の餌になる。この動物は次に大きい動物(ワムシ類などの後生動物)の餌として利用され、上に述べた生食連鎖へと組み込まれる。

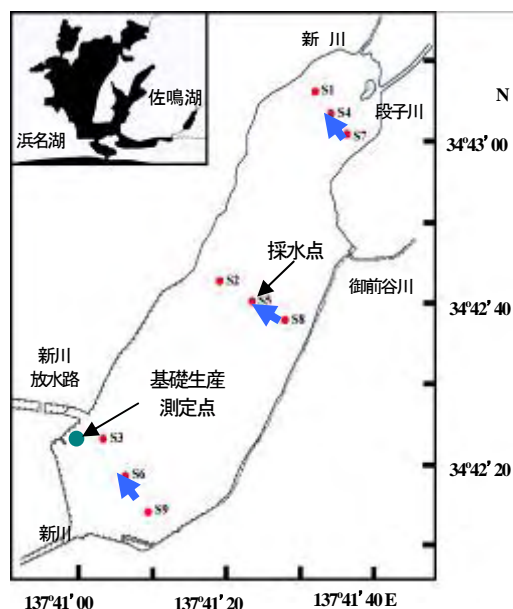


図1 プランクトン採集点と測定点

植物プランクトンが関わる基礎生産量についてみると、表層は顕著な季節変化を示し、7～9月に $20\text{gC}\cdot\text{m}^2\cdot 12\text{hr}$ 以上の高い値となった。一方、底層は最大でも $7\text{gC}\cdot\text{m}^2\cdot 12\text{hr}$ 以下であり、夏季には表層の1/10以下になった。これは、表層で激増した植物プランクトンにより太陽光が遮られ、光合成が抑制されたためと考えられる。なお、全域にわたって生産量が均一であると仮定すると、湖水全体では1日当たり最大18トンの炭素を固定することになる(図2)。

光合成補助色素の組成からは、珪藻類(図3b、3～6月)と藍藻類(図3a、7～9月)が重要であり、季節的に交代する(図3)。光学顕微鏡の観察からもほぼ同様の結果が得られた。電子顕微鏡による観察では、藍藻 *Synechococcus* が夏季に優占し、冬季には減少するが多種の珪藻が存在する(図4)。5、6月には珪藻の *Cyclotella* が急激に増加し、*Nitzschia* や *Chaetoceros* が減少する。この結果は図3の色素組成の季節変化と一致する。

水柱基礎生産量と月平均全天日射量と水温の関係を調べた。水柱基礎生産量は日射量、水温の上昇とともに増加し、日射量がピークになる5、6月頃に急激に上昇し、水温がピークになる7、8月の直前で最大値となった。この基礎生産量の増加は、高温に適応する藍藻 *Synechococcus* の増殖に起因する。

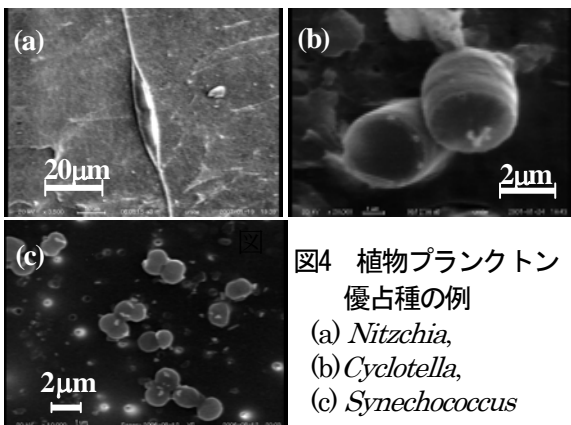


図4 植物プランクトン
優占種の例
(a) *Nitzschia*,
(b) *Cyclotella*,
(c) *Synechococcus*

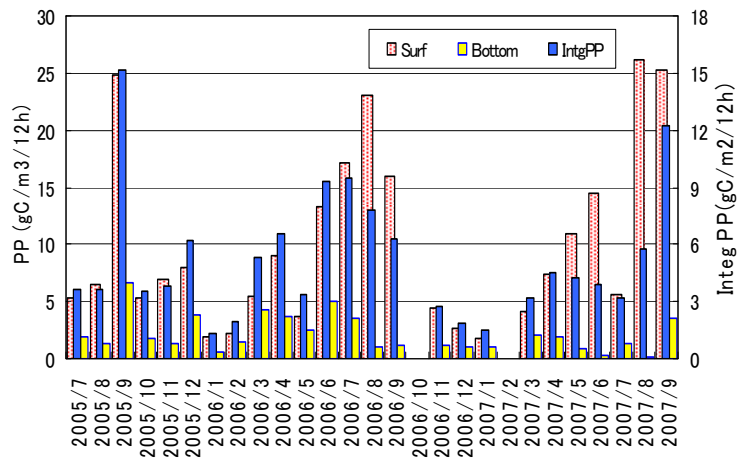


図2 現場培養法による純基礎生産量の測定結果
(夜明けから6時間培養した結果を12時間培養に換算。
Surf=表層, Bottom=底層(左側軸), IntgPP=水柱積分(右側軸))

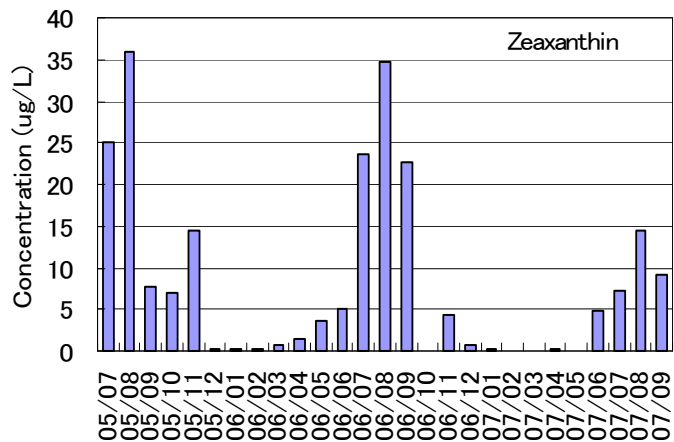


図3a Zeaxanthin 分析結果

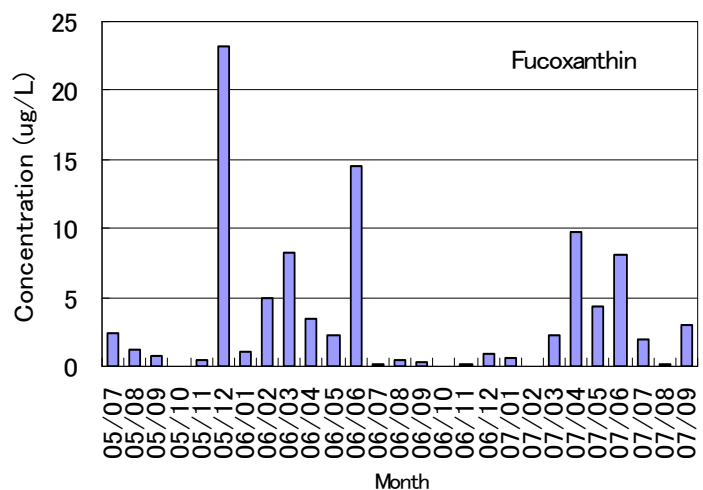


図3b Fucoxanthin 分析結果

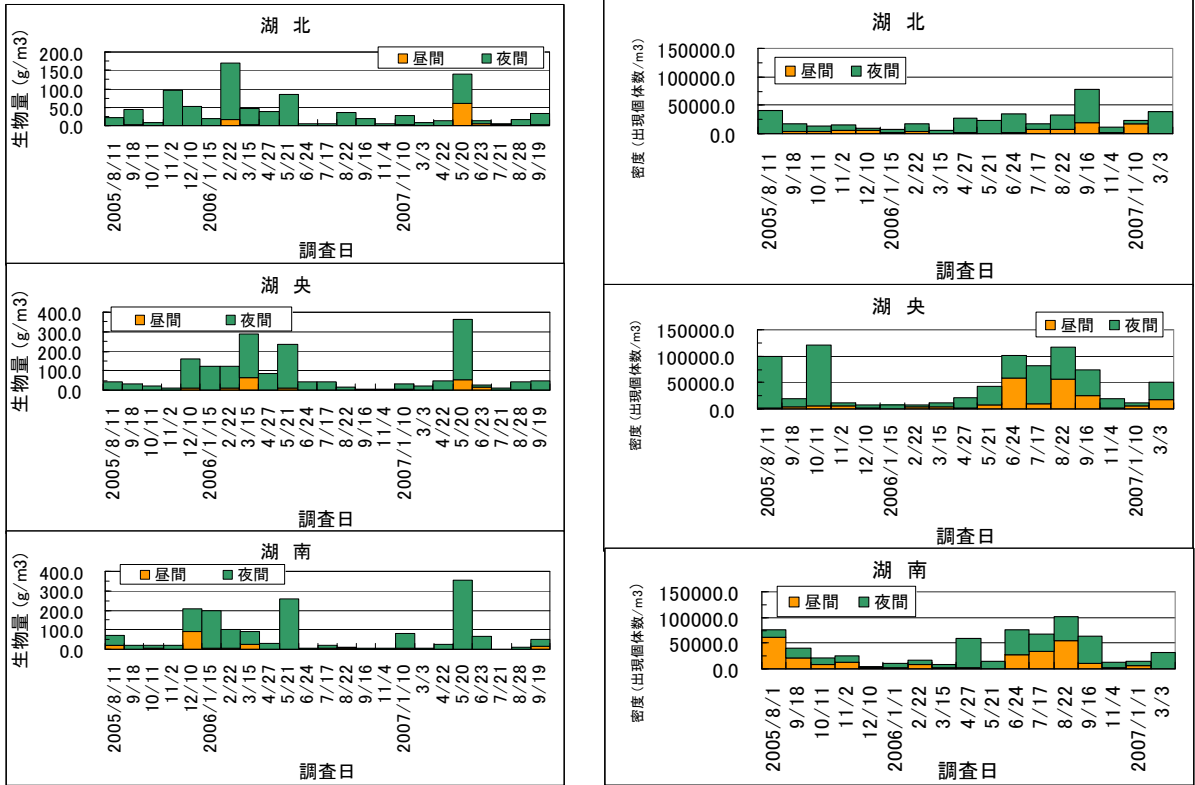


図5 佐鳴湖の動物プランクトン生物量(左)と個体数密度(右)
 生物量は2005年8月~2007年9月、個体数密度は2005年8月~2007年3月)

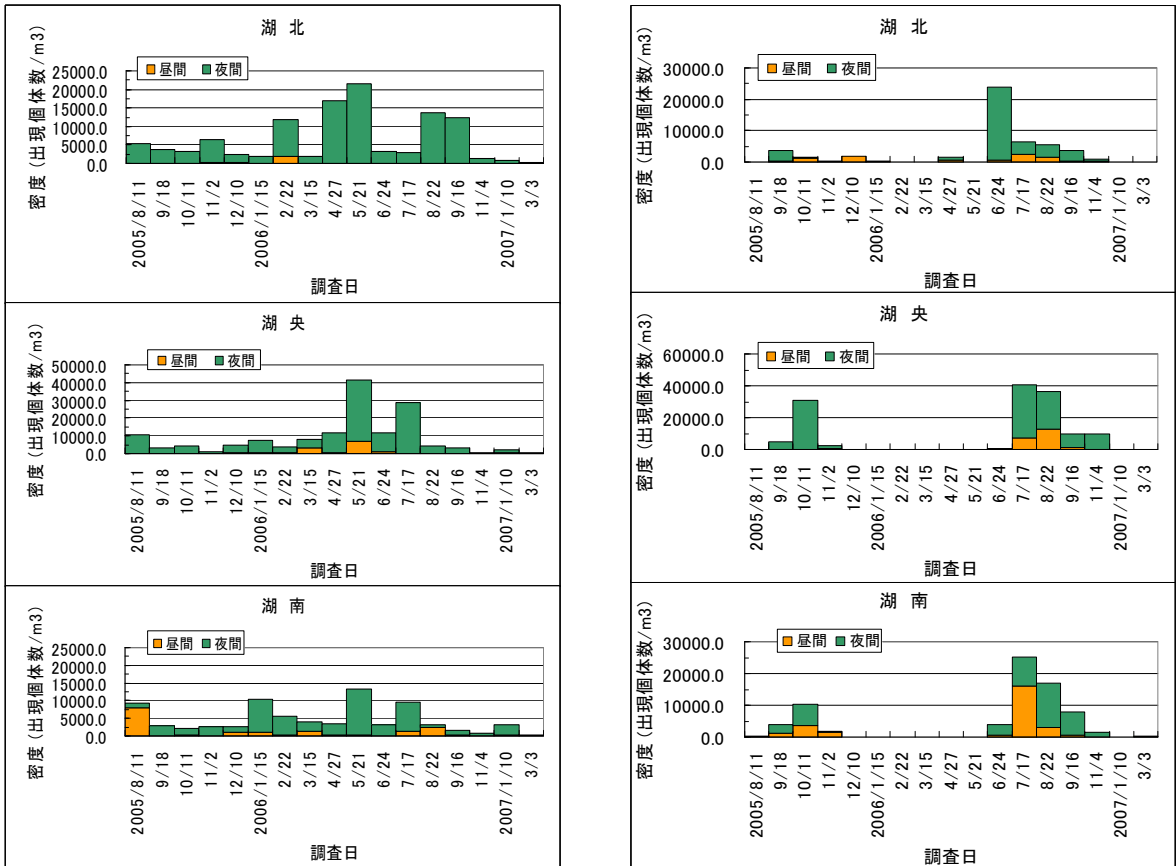


図6 佐鳴湖の優占動物プランクトン、ニホンイサザミ(左)とワムシ類(右)
 (2005年8月~2007年3月)

動物プランクトンの生物量は図5に示すように、2005年11月あるいは12月から翌年5月までと2007年5月に多く、湖南と湖央では100g/m³を、湖北では50g/m³を超え、湖南と湖央では200g/m³を超えることさえあった。しかし、出現個体数密度は、生物量の多い期間よりも、むしろ基礎生産量の多い夏季に対応するようであった。

出現した24動物群の大部分は節足動物門に属す動物であり、なかでもカイアシ類(2種と幼生)及びニホンイサザアミの出現個体数が極めて多く、これらとワムシ類の5種類で優占群を構成していた(図7)。これらの出現時期は、カイアシ類幼生、*Pseudodiaptomus inopinus*、ワムシ類は6~9月に、ニホンイサザアミは4~9月によく出現していた(図6)。カイアシ類の*Sinocalanus tenellus*は、100年ほど前に報告された種であり、佐鳴湖では湖北にのみ多く出現した。魚類も個体数は少ないものの採集された。これらは、ウナギ、イシカワシラウオ、シマイサキ、ヒイラギ、ボラ、ハゼなどの稚魚などであった。佐鳴湖で成長し浜名湖へ戻ると考えられる種類や浜名湖と行き来する種類などであるから、佐鳴湖は魚類には重要な水域であろう。



図7 佐鳴湖の主要動物プランクトン

(左からワムシ類、*Pseudodiaptomus inopinus*、*Sinocalanus tenellus*、カイアシ類幼生、ニホンイサザアミ)

今回の調査では、微生物ループを含めた解析までは行えなかった。しかし、藍藻類が繁殖する夏季に動物プランクトンの個体数が増えること、そのような動物としてワムシ類とカイアシ類が見つかったこと、これらを餌にするニホンイサザアミが大量に出現することが明らかになった。これらの動物は、微生物ループを生食連鎖に繋ぐ位置にいること、カイアシ類やアミは魚類の天然餌料として知られることから、佐鳴湖の生態系における重要な動物群と考えられる。

提案 湖水の色は植物プランクトンそのものの色であり、植物プランクトンの動態を見る限り、
提言 佐鳴湖は非常に豊かな湖である。この湖にはさまざまな動物プランクトンが生息しており、季節とともに変化する水色に対応する様子が推定できた。湖全体の生態系の保全のためにはこの低次生産に係る生物相を明らかにすることも重要であり、微生物ループを構成する生物を観察する必要がある。このためには、特別な道具を揃えなくてはならない。しかし、それらに繋がる小型の動物プランクトン、ワムシ類とカイアシ類を調べることは比較的容易である。ニホンイサザアミは佐鳴湖では最大の動物プランクトンであり、この個体数の増減は餌となるワムシ類とカイアシ類や捕食者の魚類に大きな影響を及ぼす。中学生や高校生であっても、図7に示す動物プランクトンを観察することにより、佐鳴湖の変化を身近に感じられるであろう。

(研究担当者・連絡先) ○澤本彰三、千賀康弘、安部俊彦 (○リーダー) ・TEL 054-334-0411

4章2項 佐鳴湖中の微生物群集の特殊性

—佐鳴湖の微生物群集の特徴を明らかにし、自然治癒力と豊かな生態系を取り戻す—
静岡県立大学環境科学研究所

背景

佐鳴湖は、塩分が5%程度の汽水湖であり、一般の淡水湖とは異なった特殊な微生物群

目的

集の存在が予想される。本研究は、①現在の湖水における植物プランクトン・微生物群集を調査し、それが湖内の生態系に与える影響を評価すること ②堆積物（湖の底にたまった泥）に残された指標物質を測定し、過去から現在への植物プランクトンの変化とその要因を解析すること、③現在の底泥における特殊な微生物群集を調べ、それが水質に与える影響を評価することを目的とした。

研究

1 佐鳴湖における微生物群集と食物連鎖への影響

佐鳴湖の植物プランクトンの特徴として、湖水温度が28℃を上回る期間（夏季）に、単細胞性の微細藍藻（ピコシアノバクテリア）*Synechococcus* sp.が単独的に優占する(図1)。その結果、動物プランクトンの成長に必要な栄養素である高度不飽和脂肪酸(DHA や EPA など)の含有率が他の季節よりも低いことが明らかとなった(図2)。このこと

から、夏季に優占する植物プランクトンは、餌になりづらく、この時期には湖内での食物連鎖が正常に機能していないことが示唆された。また、*Synechococcus* sp.の一部は、貝類や小エビ類の孵化率低下や幼生期における成長阻害を引き起こすことが報告されている。したがって、豊かな生態系を回復させるためには、夏季の *Synechococcus* sp. の単独的な優占を回避する必要がある。

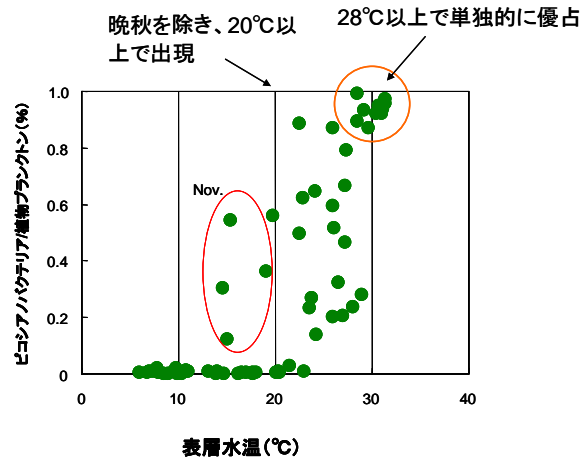


図1. 湖水温度とピコシアノバクテリアの関係

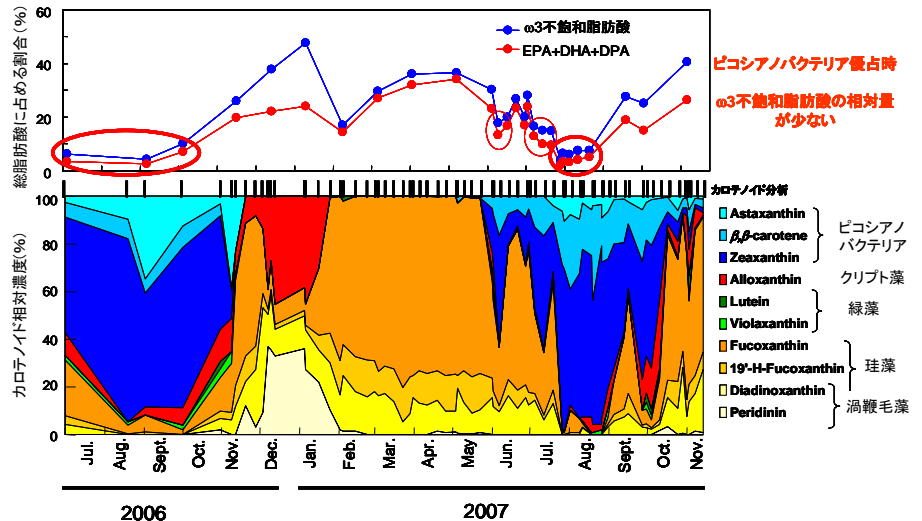


図2. カロテノイド組成から見積もった植物プランクトンと高度不飽和脂肪酸の含有量の季節変化

2 堆積物コアから推察される植物プランクトンの変遷とその要因

堆積物に残された生物の痕跡（珪藻殻や指標化学物質）の分析から、現在の湖水塩分濃度は過去に比べて高く、現在の夏季において優占する *Synechococcus* sp が生育しやすい環境に変化したこ

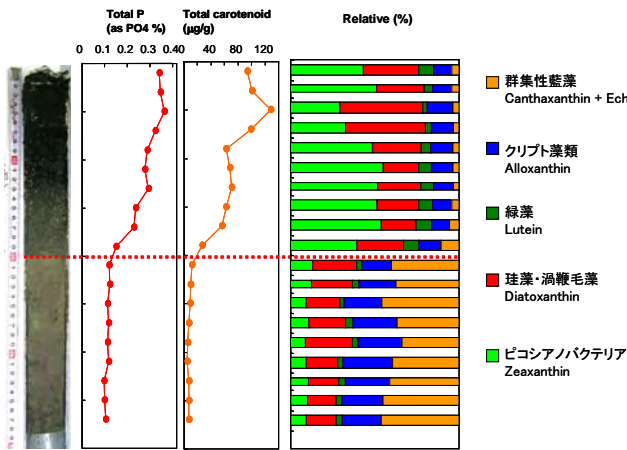


図3. 湖心から採取した堆積物コアの全リン、カロテノイド濃度、及びカロテノイド組成比

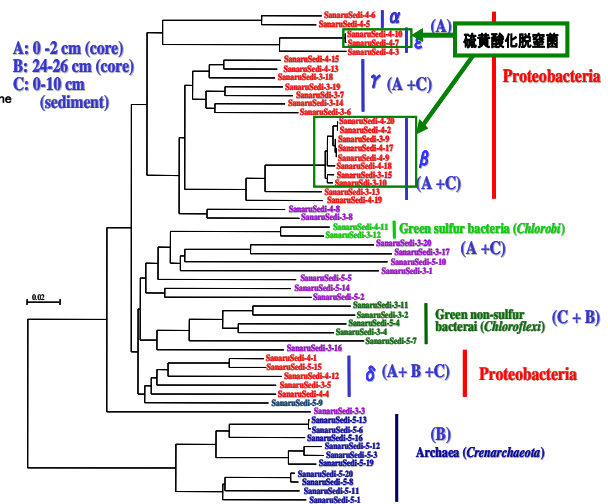


図4. 湖心の底泥より抽出した16S rDNAに基づいて作成した原核生物の系統樹。緑枠で囲った細菌は硫黄酸化脱窒菌を示す

とが明らかとなった(図3)。一方、塩分濃度が希薄であった過去には、アオコを形成する群集性藍藻が生育していた痕跡が見つかった。このことから、現在の比較的高い塩分濃度がアオコの発生を抑えていると考えられる。湖内18地点から採取した堆積物コアのリン分析から、湖全体として90トン程度の余剰なリンが底泥中に蓄積しているの見積もられ、これがリンの内部負荷源として植物プランクトンの増殖に寄与している可能性がある。

3 底泥における細菌群集構造と硫黄・窒素循環への関与

佐鳴湖の底泥表層において、還元型硫黄 (S^{2-} , S^0 , $S_2O_3^{2-}$, $S_4O_6^{2-}$)を酸化すると同時に、 NO_3^- 態窒素を N_2 ガスとして湖水中から除去する働きを持つ硫黄酸化脱窒細菌 *Thiobacillus denitrificans* や *Thiomicrospira denitrificans* が高い割合で生息していることが明らかとなった(図4)。窒素などの外部負荷量の低減とともに、これらの微生物の水質浄化機能をより有効に利用することが佐鳴湖の水質浄化には重要であると考えられる。

提案 提言

本研究の結果から、佐鳴湖の微生物群集の特殊性が明らかとなった。比較的高温の湖水温度と生存に適した塩分濃度が、夏季の *Synechococcus* sp.の単独的な優占の要因であることがわかった。*Synechococcus* sp.の単独的な優占は、湖内の食物連鎖や生態系に対し、大きな影響を与えている可能性がある。*Synechococcus* sp.の単独的な優占を回避するには、夏季における湖水温度を低温(28℃以下)に保つことが重要であると考えられる。堆積物コア中の指標物質の分析から、塩分が低かった過去には、群集性藍藻の痕跡が見出された。現在の佐鳴湖底泥には、内部負荷源として多量のリンが蓄積している。これらの結果を総合的に判断すると、栄養塩の外部・内部負荷量の削減対策を行わずに、河川から導水を施した場合、湖水塩分の減少から群集性藍藻が繁茂し、アオコが発生する環境に移行する可能性が高い。自然が持つ自然治癒力と豊かな生態系を取り戻すためには、佐鳴湖における微生物群集の特殊性を正確に把握し、それに応じた対策を取ることが重要である。

第4章3項 佐鳴湖のプランクトンの増殖と食物連鎖

静岡大学工学部物質工学科

背景

汚濁は、上流から供給される栄養塩を植物プランクトンが吸収し、光合成で有機物

目的

を生産することにより有機懸濁物（プランクトンを含む）が大量に生産されることで生じている。本研究では、植物プランクトンが種々の条件によりどう影響を受けるかを明らかにし、さらには汚濁を改善するにはどの程度の水準まで栄養塩濃度などの汚濁負荷を減少させればよいか、汽水湖である佐鳴湖独自の状況を明らかにする目的で研究を行った。

また、栄養塩や汚濁物質は、単に水の移動によって移動するだけでなく、食物連鎖などにより生物間で受け渡しがされる。栄養塩の由来とともに解明を試みた。

研究

培養実験から、リン濃度のみを減少さ

成果

せた場合でも、0.05 mg/l 以下で植物プランクトンの増殖を抑制でき、COD も 3 分の 1 程度に抑えることができると考えられた (図 1a)。窒素濃度については、1.0 mg/l 以下に低下させれば、植物プランクトンの増殖を抑制、さらに 0.5 mg/l 以下に抑えれば COD を 8 mg/l ほどにできると思われる (図 1b)。また、現在の佐鳴湖の塩分濃度 (塩化物イオン濃度) によっても、植物プランクトンの増殖が抑制されていることがわかった (図 1c)。

佐鳴湖流域の水に含まれる硝酸態窒素の安定同位体比を測定した結果、上流新川においては、河川始点の巖島神社脇から御茶屋橋まで、NO₃-N 濃度と δ¹⁵N の値の傾向が類似しており、硝酸態窒素については面源負荷 (農業負荷) が主であると考えられた (図 2)。一方、台地上の高丘、三方原地域については深度 15メートル未満の井戸水において 8~9ppm と高い濃度の硝酸性窒素が存在している (図 3)。農地の多い浜松環状線北側では、約 16 ppm に達している。対照的に 200 m の深井戸の硝酸濃度はその 1/5 ほどである。深さ 120 m の井戸水では 8.9 ppm であり、地中方向にもかなり広範囲の窒素分の蓄積があることが予想されるが、現在の湧水や地下水に溶存している硝酸態窒素がいつのものかは明らかでない。高濃度の硝酸塩濃度が観測された場所では δ¹⁵N が低く、硝酸塩濃度が低い所では δ¹⁵N が高い傾向がある。

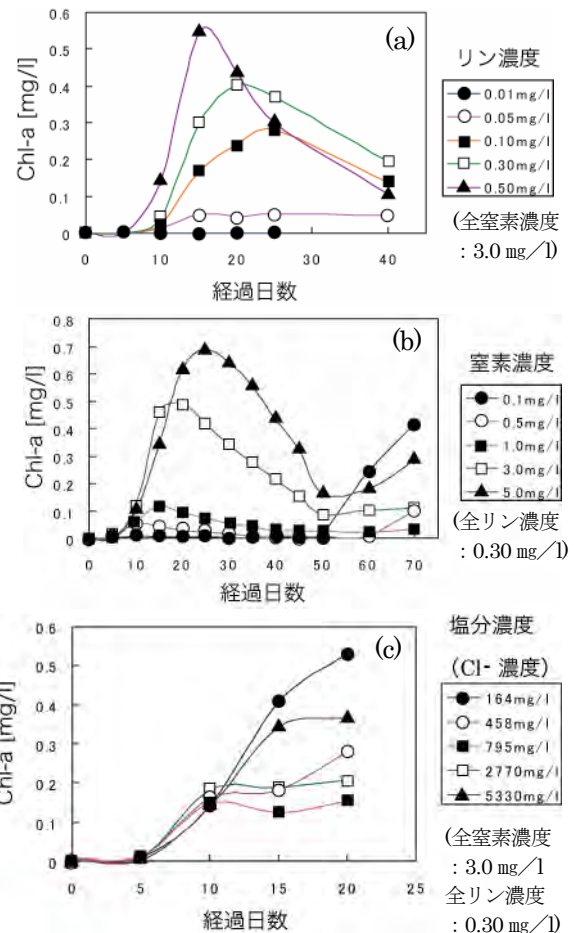


図1 培養実験結果 (a, b, c) (温度条件 25°C±1°C)

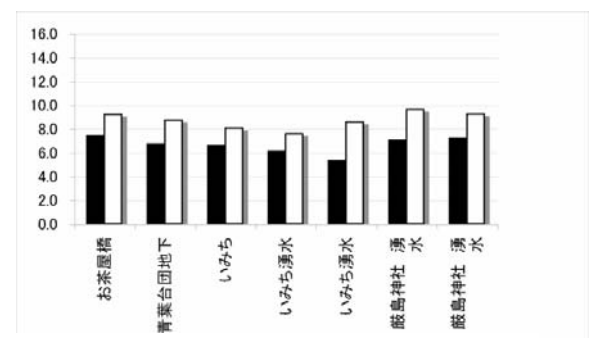


図2 上流新川の NO₃-N [濃度/ppm ■]と δ¹⁵N 値/‰ □

これは地中での脱窒を示している。

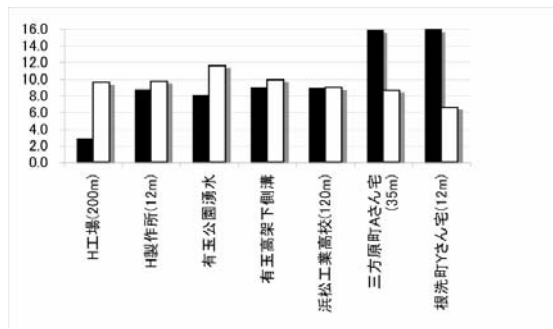


図3 高丘、三方原のNO₃-N
[濃度/ppm■とδ¹⁵N 値/‰□]

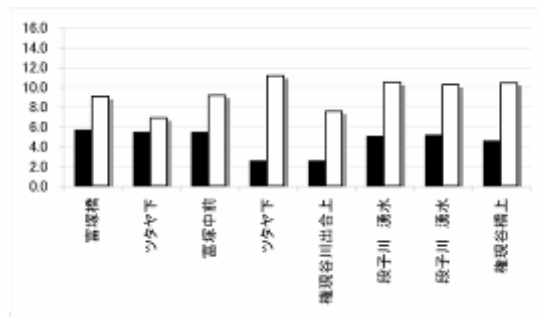


図4 段子川周辺のNO₃-N
[濃度/ppm■とδ¹⁵N 値/‰□]

段子川周辺のデータ（図4）の左側三つは、段子川に向けて開いているコンクリート土管の排出水の分析値である。硝酸性窒素については濃度、δ¹⁵N 値とも、特筆すべきことはないが、最大 1 ppm 程度の陰イオン性界面活性剤（合成洗剤の主成分）と、最大 PO₄:1 ppm 程度のリン酸、2 ppm 程度のアンモニア態窒素が検出された。

流域の生物：食物連鎖解析の結果、一般に、一段階食物段階が上がるごとにδ¹⁵N で 3.3‰、δ¹³C で 1 ‰ほど上昇することが知られている。流域の動植物、ss（水中懸濁物）等について、安定同位体分析により主に食物連鎖に注目して物質循環解析を行った。

δ¹⁵N-δ¹³C マップ上での位置関係と、以上の結果から、【植物プランクトン→ss→ニホンイサザアミ】という物質の流れはほぼ間違いない。また、ニホンイサザアミが食物連鎖、魚類の餌としても重要であることがわかったが、夏期の食物連鎖には謎が多い（図5、図6）。

**提案
提言** 各流域の負荷の内容が異なることがわかった。今後の対策については、下水道接続促進によるリン対策を積極的にかつ重点的に行うことが最も重要である。また、生態系に配慮しつつニホンイサザアミを利用することも検討する価値があると思われる。

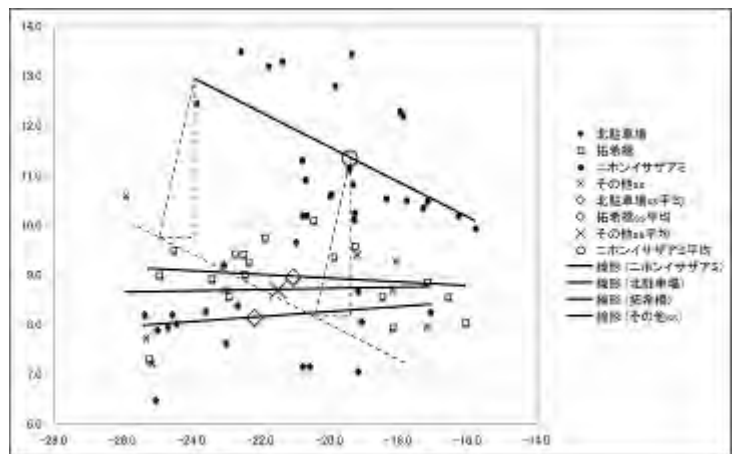


図5 ss とニホンイサザアミのδ¹⁵N とδ¹³C

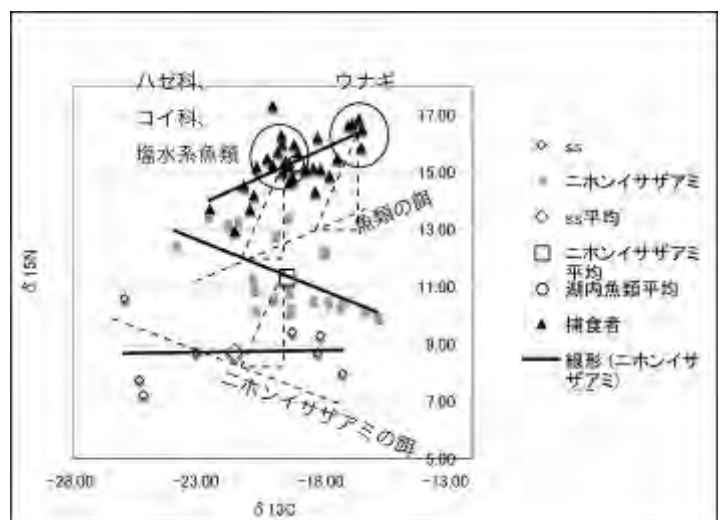


図6 ss とニホンイサザアミ、魚類のδ¹⁵N とδ¹³C

第4章4項 佐鳴湖と浜名湖の生態系

東海大学海洋学部環境情報工学科

背景 目的

佐鳴湖は、浜名湖と接続することから、水質環境には互いの影響が及んでいると考えられる。佐鳴湖は、典型的な閉鎖性水域であることから水質は悪化しやすい。ところで、水質改善対策を佐鳴湖に適用しその効果を評価するには、長期にわたる観測と改善対策の施工、運用、維持(順応的管理と呼ばれる)に大きな費用が必要となる。そこで、現在の佐鳴湖の物理的・化学的・生物的環境を再現するモデルを用いて、水質改善対策を導入した場合の環境変化を解析し、その効果について評価を行うことは、経費節減の面からも有効であろう。

佐鳴湖の観測から得られたデータをもとに「佐鳴湖モデル」を構築し、通年にわたる物理的・化学的・生物的環境の把握を行うことを目的とした。また、浜名湖との相互作用を考慮するために浜名湖モデルも構築し、その結果を佐鳴湖モデルに組み込んだ。モデルを構築する上で、根底となるのが流動モデルである。化学物質や植物プランクトンなどは、その場の流れに乗って、湖内を移動、停滞、上昇、下降を繰り返すからである。流動場の再現性が高くなれば、湖内の化学物質や微小浮遊性生物の動態を把握できるようになり、現在の佐鳴湖の水質悪化の原因を検討することが可能となる。

研究 成果

図1に示した計算格子と「佐鳴湖モデル」(生態系モデル)を用いて、佐鳴湖の数値シミュレーションを行った。その結果を示す(図2と図3)。

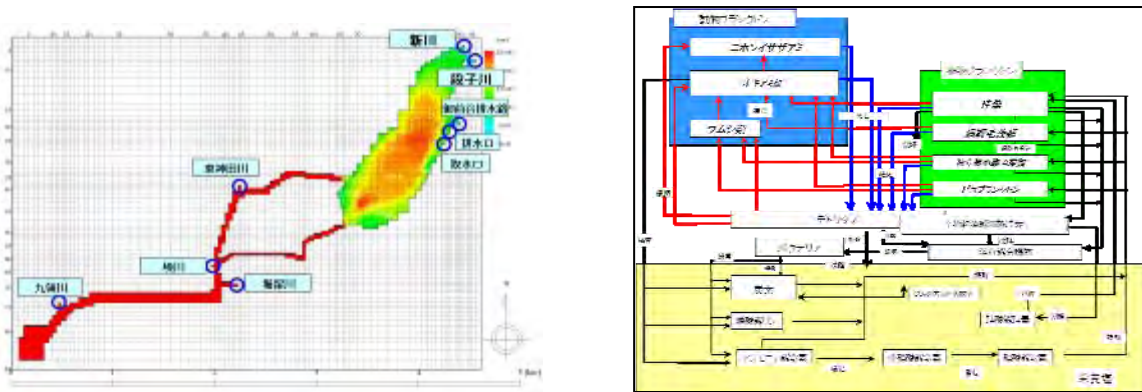


図1 佐鳴湖モデルで使用した計算格子(Oは河川の位置、色は水深を示している)と生態系モデルの概念図(左:格子図、右;生態系モデルの概念図)

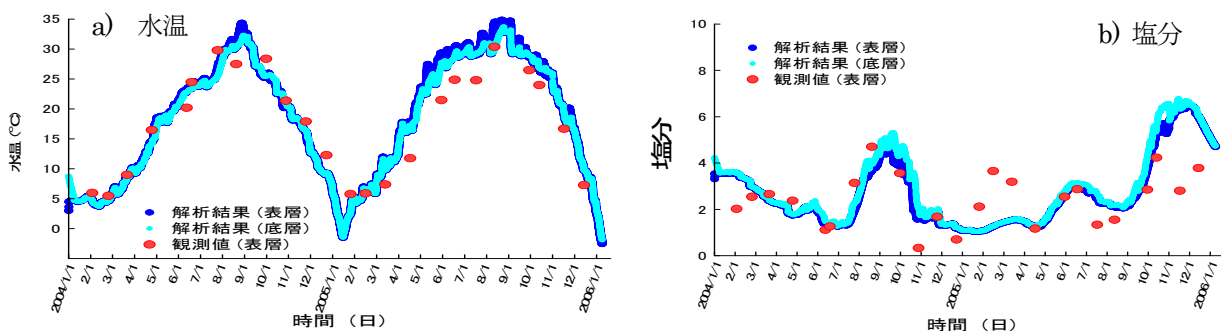


図2 佐鳴湖湖心における流動モデルの結果(a水温、b塩分)
点は観測値を示し、二つの線は表層と底層の解析結果を示す

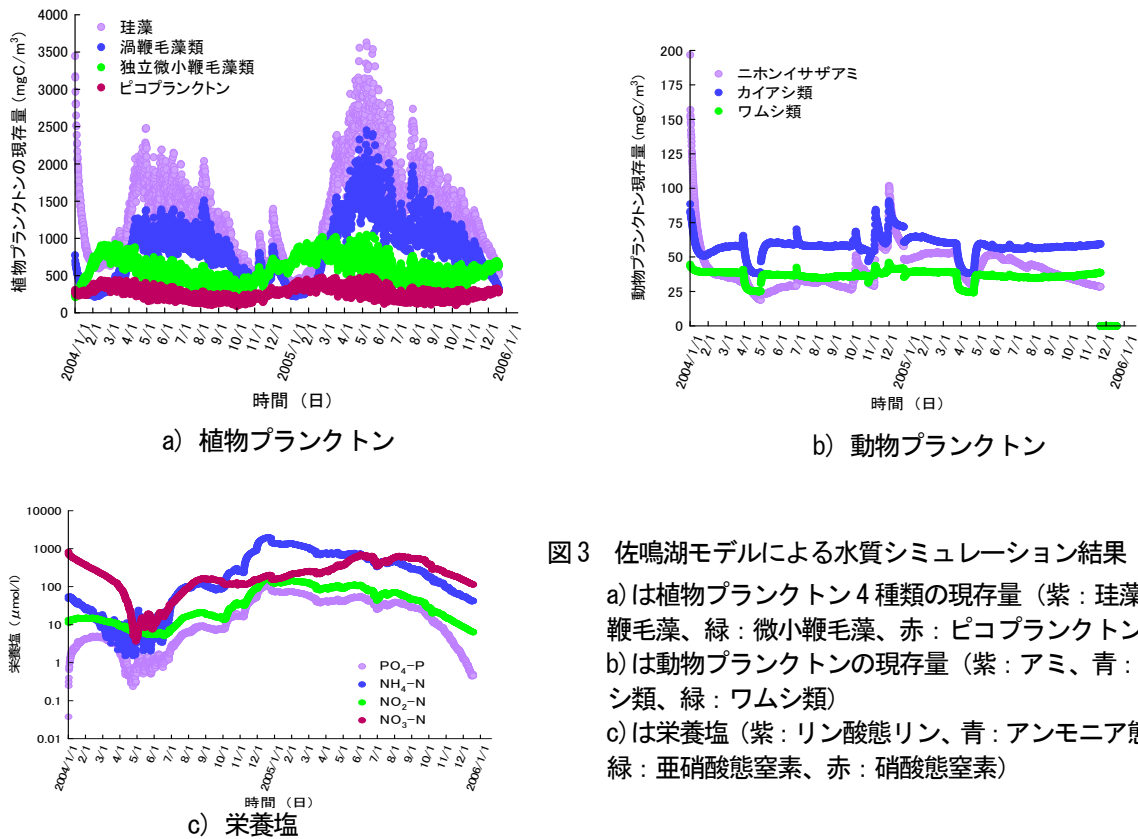


図3 佐鳴湖モデルによる水質シミュレーション結果

- a)は植物プランクトン4種類の現存量（紫：珪藻、青：鞭毛藻、緑：微小鞭毛藻、赤：ピコプランクトン）
 b)は動物プランクトンの現存量（紫：アミ、青：カイアシ類、緑：ワムシ類）
 c)は栄養塩（紫：リン酸態リン、青：アンモニア態窒素、緑：亜硝酸態窒素、赤：硝酸態窒素）

解析の結果、流動場に関しては観測値の再現性が非常に高かった(図2)。また、プランクトンについては、植物プランクトンが春から秋にかけて現存量が増加し、動物プランクトンは、冬季に増加するものの、年間を通してほぼ一定であった(図3 a, b)。栄養塩に関しては、春に植物プランクトンに消費されるが、湖内に蓄積されることとなった(図3 c)。

提言 「佐鳴湖モデル」から見えてきたもの

提案 湖内の流動は非常に弱いので、湖内水は滞留しやすい環境であることが明らかとなった。このような状態の佐鳴湖に、河川から植物プランクトンの増殖に必要な栄養塩が多量に流入することで、植物プランクトンが大量に発生している。その植物プランクトンの死骸は、底層に沈み分解されるために、貧酸素水塊が形成され硫化水素が発生するのが一般的である。しかし、現在の佐鳴湖ではそれが見られない。これは、佐鳴湖の水深が浅いので、風によって鉛直混合が起こりやすく、表層から底層まで、水温、塩分、栄養塩各種の値は均一化しやすい。このために、底層での貧酸素水塊は形成されにくく、湖内に多くの生物が生息できる環境になっていると考えられる。さらに、大型の動物プランクトン、ニホンイサザアミが非常に多いことから、底層に沈降している有機物を除去する役割を担っているのではないかと考えられる。

佐鳴湖の水質環境を改善させていくためには、まず河川からの栄養塩の流入を抑え、生産される有機物を除去、浄化することのできる環境を蘇らせることである。その手助けとなるのが、今回構築した「佐鳴湖モデル」である。現時点では改良の余地はまだあるが、湖内水の滞留時間の短縮と河川からの栄養塩負荷量削減による湖内の生態系の変化などを検討するために利用できる。このモデルは、佐鳴湖のより良い水環境を目指していく手がかりを与えることが可能である。

(研究担当者・連絡先) ○中田喜三郎、大野 創介 (○リーダー) ・TEL 054-334-0411

第5章 1項 佐鳴湖とその周辺の自然

—都市部に残る貴重な生物群と変化する自然環境そしてその保全—

静岡県農林技術研究所 森林・林業研究センター

背景 目的

この項目では、佐鳴湖とその周辺の高等植物とほ乳類、鳥類、魚類、昆虫などの自然環境の調査を行った。その目的は、COD 値だけでは測れないこの地域の自然環境の豊かさについて明らかにすることにある。そして、都市化が進み自然環境が失われていく中でも、豊かな生物相や生態系を最大限に保全していく方策を見つけることを目標とする。また、都市化の進んだ佐鳴湖周辺地域において、最も身近に生息する野生動物であるアブラコウモリについて生息実態や採食生態を明らかにし、佐鳴湖生態系の一員であるアブラコウモリを介した佐鳴湖の浄化メカニズムについて解明することを目指す。

研究 1 佐鳴湖周辺の植生・植 成果 物

《森林》 佐鳴湖周辺の森林植生は、かつてはほとんどマツ林であったが、それが変化していく様子をイメージ化し図1に示す。マツ林は、戦後の燃料革命以降次第に整備されなくなり、広葉樹の侵入、そして1970年代後半から松くい虫被害によりマツが枯れていき、コナラ林かシイ林に変わっていった。その後、コナラ林も次第にシイ林に変わりつつある。そして、そのまま放置すれば、やがてこのシイ林と社寺林として残されてきたシイ・タブ林そしてスギ・ヒノキ人工林だけになるものと考えられた。

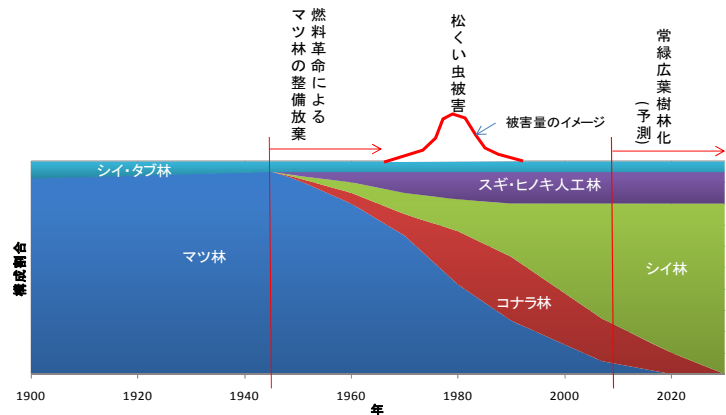


図1 佐鳴湖周辺の森林の変化

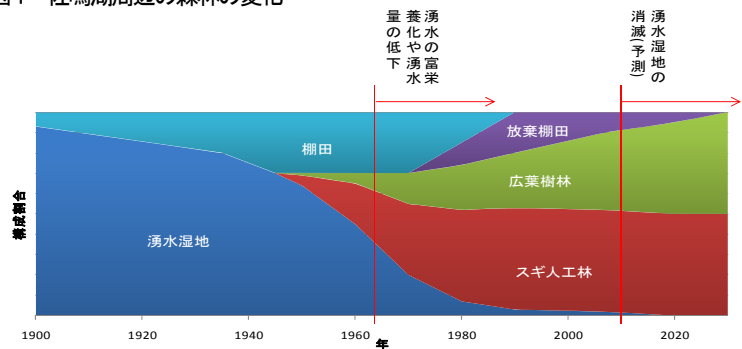


図2 佐鳴湖周辺の湧水湿地の変化

《湿地》 県内ではここにしか生育しないミカワバイケイソウなどが生育する湧水湿地は、佐鳴湖周辺で最も貴重な植生であると考えられる。その湧水湿地はこの地域に広くあったが、まず棚田への改変があり、その後湧水の富栄養化や湧水量の減少などによる広葉樹林化、またはスギの植栽により減少した(図2)。その後、棚田が放棄され、一部の湧水湿地起源の湿性植物がそこに残ったが、放棄棚田も植林や広葉樹の侵入により減少しつつある。この湧水湿

表1 佐鳴湖周辺で確認された高等植物の種数

分類群	現地確認	文献確認	計
シダ植物	(19) 64	(21) 84	(21) 87
裸子植物	(4) 5	(3) 8	(4) 9
双子葉植物	(84) 399	(101) 590	(102) 633
単子葉植物	(21) 191	(22) 286	(22) 308
計	(128) 659	(147) 968	(149) 1037

上段()内は科数で下段は種類数。

地も、そのまま放置すればやがてこの地域から消滅していくものと考えられた。

《ヨシ原》 その他、佐鳴湖岸には新たに造成された場所もあるが、北岸などには比較的良好なヨシ原があった。新川上流部には谷津田の跡があり、ヨシやカサスゲなどの湿性植物群落となっている場所があった。篠原町などの養鰻池跡には、様々な段階の水生・湿性植物の群落があった。

草地植生は明治期までの地形図では広く認められたが、大正期の地形図ではそれらは耕地などに変っていた。当時の草地植生がどのようなものであったかは不明である。

《まとめ》 植物相は文献と現地調査をあわせ 1037 種類もの高等植物が確認された。その特徴として、高木となる樹種やシダ植物などが少ない傾向にあったが、水生植物や湿性植物などが多いことが挙げられ、狭い範囲に様々な環境があることが、この地域の豊かな植物相の形成に貢献していることが分かった。しかし、水生・湿性植物や草地性植物を中心としての衰退が顕著であることが判明した。一方で、8種の静岡県版レッドデータブック掲載種（表2）がまだ生育していることは重要である。

表2 佐鳴湖周辺で確認された県版レッドデータブック掲載種

科名	種名	生育環境	カテゴリー
キンボウゲ科	シロバナカザグルマ	森林	絶滅危惧Ⅱ類
カバノキ科	サクラバハノキ	湿地	準絶滅危惧
ツツジ科	ナガボナツハゼ	森林	絶滅危惧ⅠB類
ヒルムシロ科	イトモ	水中	絶滅危惧Ⅱ類
ヒルムシロ科	リュウノヒゲモ	水中	絶滅危惧ⅠB類
カヤツリグサ科	エゾウキヤガラ	湿地	部会注目種
ユリ科	ミカワバイケイソウ	湿地	絶滅危惧ⅠB類
ラン科	キンラン	森林	準絶滅危惧
計	8種		



図3 絶滅危惧ⅠB類のナガボナツハゼ

2. 佐鳴湖周辺の哺乳類

県版レッドデータブックで準絶滅危惧種に指定されているカヤネズミ（図4）の生息が確認された（図5）。県内でカヤネズミが好む低地のイネ科植物などが生育する草地が減少するなか、佐鳴湖周辺では、かろうじて生息環境が維持されているためと考えられる。



図4 カヤネズミ
(伴野正志氏撮影静岡市麻機)



図5 カヤネズミの巣

湖周辺の林はほぼ全域で外来種であるタイワンリス（図6）が確認された。1970年頃に旧浜松動物園から逃げ出し野生化したものが由来と考えられ、今後、在来種ニホンリスへの影響と著しい樹皮はぎ等による生態系への影響について注意が必要である。



図6 タイワンリス

3. アブラコウモリが果たす役割

佐鳴湖周辺に生息するアブラコウモリ（図7）が、湖内で富栄養化の原因となる有機物、窒素、リンを体に蓄積するユスリカを湖岸上空で捕食していることが確認され、フンとして湖外に排出することで佐鳴湖の



図7 アブラコウモリ

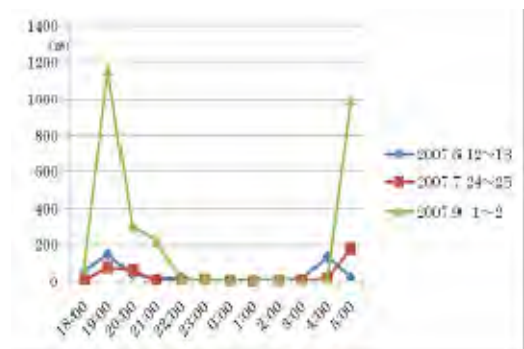


図8 湖岸上空を飛翔する昆虫数の時間変化
(直径45cm、竿2.0mの捕虫網を高さ2.0mで180°に50回振って捕らえた昆虫数)

水質浄化の一端を担っていると考えられた。また、アブラコウモリの採餌行動が集中的に行われる日没直後と日の出前は、湖岸上空を飛翔する昆虫の数が增加することがわかった（図8）。

4. 佐鳴湖とその周辺の鳥類

鳥類も環境の多様性が高いことが種数の豊かさにつながっていることが分かり、1982年から2006年までの調査で39科151種が確認された。その中には佐鳴湖が県内最大の飛来数となるミコアイサやヒクイナ、クイナ（図9）などの県版レッドデータブック掲載種が含まれる。鳥類は、個体数が増加している種、減少傾向の種、ほぼ変わらない種など様々である。しかし、比較的大きな魚を食べるアオサギ、カワウ、ミサゴなどや、ヨシ原に生息するオオバン、オオヨシキリ、オオジュリン、そしてミサゴなどのアンブレラ種が増加していることなど、鳥類相にとっての佐鳴湖周辺の環境は、概ね改善方向に進んでいるものと考えられた。



図9 クイナ

5. 佐鳴湖とその周辺のは虫類・両生類

外来移入種であるミシシippアカミミガメが湖内外で広く確認された。県内各所では、在来種のクサガメ、イシガメと競合した結果、在来2種が駆逐されている傾向が強いことから、今後動向を注意深く見ていく必要がある。

両生類では、県版レッドデータブックで要注目種に指定されているアズマヒキガエルとトノサマガエル（図10）が確認された。しかし、絶滅危惧II類と絶滅危惧IA類に指定されているニホンアカガエルとダルマガエルは、確認できなかった。佐鳴湖周辺には、両生類の生息に必要な湿地がかろうじて残っているが、圃場整備や開発により多くの湿地で乾燥化が進み、全体として湿潤な環境が減少していると考えられる。



図10 トノサマガエル

また、今回の調査で佐鳴湖周辺で圧倒的に多く見られたのは、本来は県内に分布していなかったヌマガエルであった。また、帰化種であるウシガエルやアフリカツメガエルも多く、在来種への影響等、今後の動向に注意が必要である。

6. 佐鳴湖水系の魚類

魚類は、同様の調査を20年前にも行っていたので、その結果と比較することができる。その結果、どちらの調査でも約50種の魚類が確認された（表3）。そして、県版レッドデータブック掲載種が8種から10種へ増加していた。しかし、県版レッドデータブックには汽水域の魚種が多く掲載さ

表3 佐鳴湖水系で確認された魚類 20年前の同様の調査との比較

科	和名	RDB	科	和名	RDB
アカエイ	アカエイ		ハオコゼ	ハオコゼ	
カライワシ	カライワシ		コチ	マゴチ	
ウナギ	ウナギ		カジカ	アユカケ	NT
ニシン	サツバ		カジカ	ウツセミカジカ	VU
ニシン	コノシロ		スズキ	スズキ	
カタクチイワ	カタクチイワシ		サンフィッシュ	ブルーギル	
コイ	コイ		サンフィッシュ	オオクチバス	
コイ	ゲンゴロウブナ		ヒイラギ	ヒイラギ	
コイ	ギンブナ		イサキ	ゴシヨウダイ	
コイ	アブラボテ	N-1	タイ	クロダイ	
コイ	タイリクバラタナゴ		ニベ	ニベ	
コイ	ハクレン		カワスズメ	ナイルティラピア	
コイ	ハス		シマイサキ	コトヒキ	
コイ	オイカワ		シマイサキ	シマイサキ	
コイ	カワムツ	N-2	ユゴイ	ユゴイ	N-3
コイ	ソウギョ		カワアナゴ	カワアナゴ	N-3
コイ	ウグイ		ハゼ	ミミズハゼ	
コイ	モツゴ		ハゼ	スミウキゴリ	
コイ	タモロコ	N-2	ハゼ	ウキゴリ	
コイ	カマツカ		ハゼ	エドハゼ	N-3
コイ	ニゴイ		ハゼ	ビリンゴ	N-2
コイ	スゴモロコ属の1種		ハゼ	マハゼ	
ドジョウ	ドジョウ		ハゼ	アシシロハゼ	
ドジョウ	シマドジョウ	N-2	ハゼ	ゴクラクハゼ	
ドジョウ	スジマドジョウ小型種東海型	EN	ハゼ	シマヨシノボリ	
ドジョウ	ホトケドジョウ	VU	ハゼ	オオヨシノボリ	
ナマズ	ナマズ		ハゼ	トウヨシノボリ	
アユ	アユ		ハゼ	カワヨシノボリ	N-2
シラウオ	イシカワシラウオ	VU	ハゼ	ヌマチチブ	
ボラ	ボラ		タチウオ	タチウオ	
ボラ	セスジボラ		タイワンドジョウ	カムルチー	
メダカ	メダカ	VU	フグ	シマフグ	
サヨリ	サヨリ				
			30科	65種	

凡例：前回調査でのみ確認できた種 16種
 今回調査でのみ確認できた種 15種
 両方の調査とも確認できた種 34種
 EN：絶滅危惧II類 N-1：現状不明種
 VU：絶滅危惧II類 N-2：分布上注目種
 NT：準絶滅危惧種 N-3：部会注目種

れているが、佐鳴湖の塩分濃度が上がるという大きな変化に伴い、湖内に生息する純淡水魚が大幅に減り、汽水域の魚種が増えるというダイナミックな変化があったため、一見貴重種が増えたような印象を与えた。むしろ純淡水魚がこの水系から減少している傾向が重要であると判断されたと同時に、今後、佐鳴湖本体は汽水魚の生息地として重要な位置づけになると考えられた。

7. 佐鳴湖周辺の昆虫

昆虫は、森林性の種の多様性は低いが、水生昆虫やヨシ原の湿地に生息する種が豊富であるなど、植物相とよく似た傾向があり、約1500種が現地確認された(表4)。これは、県全体の20%程度と考えられ、都市部に近い場所としては非常に豊かな昆虫相にあると言える。特に、水生のコウチュウ目やカメムシ目の昆虫は、篠原町等の養鰻池跡を中心として、極めて豊富で多くの貴重種を含むことが分かった(表5、図12)。しかし、トンボ類や草地性のチョウ類など減少傾向にあるグループもあった。

表4 佐鳴湖周辺で確認された昆虫と県全体の種数

目	現地確認		文献を含んだ総数		県目録に占める割合(%)	県目録
	科数	種数	科数	種数		
カゲロウ目			4	7	-	-
トンボ目	9	26	9	49	49	99
ゴキブリ目	2	3	3	4	31	13
カマキリ目	2	4	2	5	71	7
シロアリ目	1	1	1	1	-	-
バッタ目	10	34	12	56	38	146
ナナフシ目	1	1	1	1	14	7
ハサミムシ目	1	3	1	3	27	11
チャタテムシ目	7	10	7	10	-	-
カメムシ目	47	176	50	202	-	-
アミメカゲロウ目			7	9	-	-
コウチュウ目	78	801	78	818	20	4156
ハチ目			17	43	-	-
ハエ目			10	19	-	-
トビケラ目			6	8	-	-
チョウ目	45	402	46	430	21	2016
合計 16目	203	1,461	254	1,665		

表5 佐鳴湖周辺で確認された水生昆虫(成虫も水中または水辺にいる種)

目	科名	種数
	コオイムシ科	1
	タイコウチ科	1
	ミズムシ科	6
カ	マツモムシ科	1
メ	マルミズムシ科	1
ム	ミズカメムシ科	1
シ	イトアメンボ科	2
目	ミズギワカメムシ科	3
	カタビロアメンボ科	2
	アメンボ科	4
	ケシミズカメムシ科	1
小計	11科	23
コ	コツブゲンゴロウ科	2
ウ	ゲンゴロウ科	14
チ	ガムシ科	9
ユ	ダルマガムシ科	1
ウ	ヒメドロムシ科	5
目		
小計	5科	31
合計	16科	54



図11 全国的に極めて珍しいアバタツヤナガヒラタホソカタムシ



図12 県内で初めて見つけたテラニシセスジゲンゴロウ

提案 提言

COD 値ワーストワンの日本1汚い湖でも、その周囲に

は政令指定市の市街地に隣接した場所とは思えない豊かで貴重な生物相のあることが分かった。ところが一方で、都市化の進行は止むことが無く、ただでさえ狭い自然環境がさらに狭められ悪化していく恐れがある。

しかし、市街地に近いということは、多くの人々がこれらの自然に触れあったり学習したりできる場所とも言える。大勢の人が、ここで自然環境のことを学んだり、親しむことにより、この残された環境を保全していくことの大切さを訴えたり、保全活動に取り組んだりすることが望まれる。

我々の調査報告が、そのきっかけになれば望外の成果である。

(研究担当者・連絡先) ○加藤 徹 大橋正孝 (○印: リーダー) ・TEL 053-583-3121

(共同研究者) 河合孝佳 (浜松野鳥の会)、浜松水辺を愛する会、北野忠 (東海大学教養学部人間環境学科)、多比良嘉晃 (日本昆虫学会)、佐藤孝敏 (環境局自然ふれあい室)、大場孝裕 (環境局自然呆護室)、塩野青弘 (中部農林事務所)

第5章2項 佐鳴湖景観形成に係わる

未利用資源(竹・葦)の活用方法

静岡県畜産技術研究所 中小家畜研究センター

背景

近年、水生植物を利用した水質浄化システムの研究が数多く行われ、佐鳴湖において

目的

もヨシ(葦)やマコモなどの水生植物の植栽事業が進められている。しかしながら、実際にこれらの水生植物がどの程度水質浄化に寄与しているか詳細は不明である。また、水質浄化のために刈り取られたヨシは産業廃棄物として処理されており、これらの費用は決して少なくなく、資源としての有効利用が望まれている。

一方で、全国各地において放置竹林の拡大が問題視されているが、佐鳴湖沿岸においても竹の繁殖が激しく、景観を損なうばかりでなく生態系への影響も懸念されている。

そこで、本研究では、佐鳴湖の快適な景観整備に伴い発生する未利用資源(竹・葦)の有効活用方法を検討し、佐鳴湖の環境保全及び市民の憩いの場の創出に資することを目的とする。

研究

1 ヨシの成長と水質浄化機能

成果

佐鳴湖沿岸に生息するヨシの生育状況を調査した結果、ヨシは9月まで成長を続け草丈は最大約240cmまで成長した。成長速度のピークは5月～6月の間で、約40cmの成長が確認された。また、ヨシの水質浄化機能としてヨシに含まれる窒素量を調査したところ、6月が最も高いことが明らかとなった(表1)。

表1 佐鳴湖ヨシの生育状況

	5月	6月	7月	8月	9月	10月
草丈(cm)	158	200	213	228	239	237
地上部重量(g/m ² :FW)	2689	3324	3442	3525	3351	3133
本数(本/m ²)	239	231	216	258	234	192
1本当たり重量(g:FW)	11.25	14.39	15.94	13.66	14.32	16.32
窒素含量(% FW)	0.70	0.81	0.43	0.73	0.76	0.60
水分含量(%)	49.9	56.0	41.6	58.2	53.8	46.6

※ 3調査区画の平均値

2 効率的なヨシ刈り取り時期

ヨシの生育状況と調査月ごとの窒素含量から、年2回の刈り取りを行った場合の最も栄養塩分除去効率の高い刈り取り時期を検討した結果、6月と10月に刈り取りを行うのが最も窒素除去量が多く、約40g/m²の除去が可能であり、10月のみの刈り取りと比較して約2.1倍の窒素除去量の違いが認められた(表2)。これは、佐鳴湖全体のヨシ原面積を約1haとすると、年間で約400kgの窒素が除去できる。

表2 ヨシ刈り取りによる窒素除去量(g/m²)

5月+10月刈り取り	26.39
6月+10月刈り取り	39.50
7月+10月刈り取り	20.60
8月+10月刈り取り	28.88
9月+10月刈り取り	26.97
10月刈り取りのみ	18.80

※ 3調査区画の平均値

3 刈り取り後ヨシの活用

6月に刈り取りしたヨシは、粗蛋白質等の栄養価が高く、また、保存性を高めるサイレージ発酵品質に優れ、重金属等の有害成分も含まれていないため、安全な草食動物用飼料として利用できることが明らかとなった(表3)。これらの成果を踏まえ、佐鳴湖のヨシの適性管理システムとして、市民参加イベントによるヨシの刈り取り・飼料作り・浜松市動物園での飼料利用、という一連の佐鳴湖ヨシ管理システムを構築した(図1~3)。また、秋季から冬季に刈り取られたヨシは飼料としては適さないが、茶園のマルチング資材(敷きわら)としての利用が試みられている。

表3 ヨシの飼料化学成分

Dry matter(%)	37.8
Organic matter(%DM)	90
粗蛋白質(%DM)	8.75
粗脂肪(%DM)	2.52
ADF(%DM)	40.4
NDF(%DM)	72.62
OCW(%DM)	75.54
OCC(%DM)	14.46
Ob(%DM)	73.15
Oa(%DM)	2.39
粗灰分(%DM)	10
糖分	
Glucose(%DM)	1.95
Sucrose(%DM)	1.11
Fructose(%DM)	1.24



図1 ヨシ刈りイベント風景



図2 刈り取りヨシでサイレージ作り



図3 ヨシサイレージを動物達へプレゼント

4 モウソウチクの家畜飼料利用

放置竹林の抜本的解決のためには、竹が資源として継続的かつ大量に消費されるシステムが必要となる。本研究では、竹資源の継続的利用の可能性のある家畜の飼料化技術について検討を行った結果、竹は粉状に加工後、乳酸発酵させ鶏飼料に2.5%混合して給与する事で、免疫力を増強するなど有効な飼料添加資材として利用できる可能性が示された(図4)。

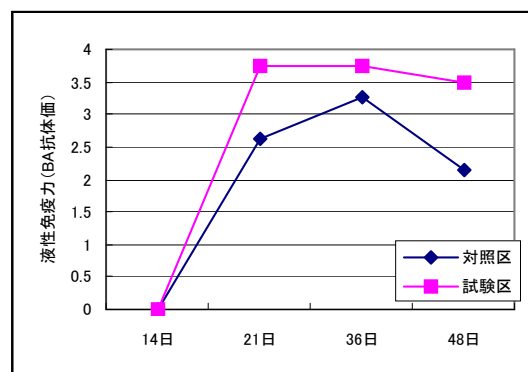


図4 免疫力上昇効果

提案 提言

現在、県や浜松市で進められている佐鳴湖底泥浚渫事業などと比較すれば、ヨシの刈り取りによる水質浄化への寄与の程度はかなり低いものかもしれない。しかしながら、ヨシの刈り取りには水質浄化作用以外にも、市民自らの手による刈り取り、飼料作りや動物園へのプレゼントなどを通じて、未利用資源の利活用に対する啓発としての意味合いが多く含まれている。

今回の研究で示したように、行政と NPO 活動の連携により佐鳴湖が市民の身近な憩いの場・教育の場のモデルとして存在できるのではないかとと思われる。

(研究担当者・連絡先) ○松井繁幸 岩澤敏幸 大谷利之 池谷守司(○リーダー) TEL 0537-35-2291
(共同研究機関) 浜松大学、静岡県立大学、(独) 畜産草地研究所

第5章3項 佐鳴湖の景観

静岡文化芸術大学デザイン研究科

背景 これまで様々な研究機関、市民団体、行政等が、それぞれに佐鳴湖の水質浄化をはじめとする各種研究・事業に関わってきた。しかし、必ずしも、佐鳴湖の将来像についての統一的な考え方なりイメージに基づき、進められてきているわけではない。

そこで、本研究では、関係研究機関、市民団体等をメンバーとしたワークショップを開催し、佐鳴湖に係わる人、団体等が共有可能な、快適空間創造の基本となるコンセプトの提案を行い、そのコンセプトに基づく景観ガイドライン、及び拠点整備のための構想モデルプランを作成・提案した。

研究 1. 平成17年度（初年度）

成果 ワークショップ及び集約会議でまとめられたコンセプトは、「自然と私たちの暮らしの都市型共生モデル空間」となった。佐鳴湖の特徴の一つは、私たちの暮らしに囲まれ、自然が孤立しているかのような状態にある都市型の湖である。そのため、人の手による管理と水質改善が共生のための必要条件である。また、本来せめぎあう自然と私たちの暮らしをひとところ共存させるため、みんなの知恵を持ち寄り、自然と人がバランス良く存在することが重要である。そして、佐鳴湖は、私たちが自然の一部であることを認識し、私たちが自然から学びながら、新たな共生の可能性を探求する空間でもある。同時に、ワークショップの結果、将来へ向けて次の5項目が提案された。①佐鳴湖を徹底研究、②水質を改善、③自然を保全・復元する、④人と湖の関係を改善する、⑤佐鳴湖を活用する。

2. 平成18年度（次年度）

利用者ヒアリングを実施した。有効回答者数は125。ヒアリング結果から次のことがわかった。佐鳴湖には年間を通じて数多くの来訪者がある。利用者の多くは近隣の地域から頻繁に訪れており、高齢者の割合が高い。また公園には、散歩・散策、運動の利用者が多い。水面の利用は、漁業と釣り、漕艇の練習が主である。娯楽レクリエーションとしてのボート遊びが衰退し、栈橋が活用されていない。景観面では、自然と都市双方の景観的魅力がある。北東部の遠景には富士山を望む。佐鳴湖は優れた景観を持っているが、その身近さのせいか市民に十分良さが認識されていない。

また、国内の他湖沼との物理的形狀比較から、佐鳴湖は、①細長い湖で、視線が長軸方向と短軸方向に制約される、②遠景をもたない景観である、③人が近づきやすい湖面であることが特徴として挙げられる。

3. 平成19年度（最終年度）

景観ガイドラインを作成した。景観テーマは、「里の湖佐鳴湖 緑の谷の親水庭園」とした。佐鳴湖＝庭園と定義し、庭園には、人の立ち入りを拒むような雄大な自然は存在しないが、手入れを欠かさなければいつでも美しい景観を楽しむことができる。佐鳴湖は、里人＝市民による継続的な管理を前提とした人と自然の関わりが緊密な里の湖である。都市の中でそこだけが緑の斜面緑地で切り取られた谷間に存在し、庭園的利用が可能であり、市民の美しい庭となる景観づくり

提案 1) 佐鳴湖の環境空間管理マスタープラン

提言 将来像の実現に向け、住民や関係者へのコンセンサスを高めるために、各種の活動や事業が、オーソライズされた体系を持つ計画策定が望まれる。内容は、水質浄化や自然環境保全、



図3 景観計画図



景観対象	環境保全景観・市街地景観
視点場	湖上・西岸ゾーンからの景観
景観評価	改善が必要
コメント	斜面緑地に張り付いたマンションが、緑地景観を浸食している。斜面は、良好な緑地として保全されることが望まれる。小藪の既存集落は、屋根形状が寄せ棟、切り妻、陸屋根であったり、色彩が鼠色、茶色、青色であったりと建築デザインにバラツキがある。既存集落を美しいものにするためには、建物の形態、材料、色彩において統一性が感じられるものにする工夫が必要。

図4 景観ガイドライン事例（北岸ゾーン）

維持管理等に関する「環境管理」と、景観、親水性確保、利活用等に関する「空間管理」の双方の性格を持つ。策定にあたっては、維持管理に主体的に関わる地域住民が参加し、行政との協働作業を行う。

2) 新佐鳴八景

新しい佐鳴湖の美しさを再認識し、次世代に伝えるため、新佐鳴八景の選定を提案する。同時に先人が発見した既存の佐鳴八景もPRする。

3) 拠点整備（構想モデルプラン）

現時点で最も未整備な南岸ゾーンの佐鳴湖に面した敷地に、景観という視点を中心に、モデルプランを作成した（図5、図6）。モデルプランAは、棚田的な公園案である。モデルプランBは、幾何学的公園案である。

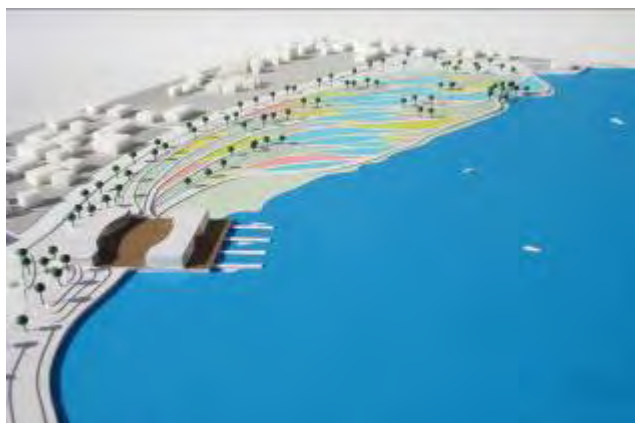


図5 モデルプランA



図6 モデルプランB

4) 今後へ向けての方策

佐鳴湖景観ガイドラインは、湖の水質向上とからめた湖上からの視点も加えて、湖全体を視野に入れた景観ガイドライン作成が望まれる。作成にあたっては、本研究成果をたたき台に、地域住民や市民団体等が主体となって検討し、かつ地域と行政との協働が必要不可欠である。特に南岸ゾーンにおいては、行政のイニシアチブによる積極的な景観形成が必要である。

第6章 まとめと提言

1 研究結果のまとめ

戦略課題研究では、以下のように多くの知見を得ることができた。

- ① 佐鳴湖汚染の主原因は、人口増加、生活の変化であり、昭和30年頃から汚染が始まっていた。
- ② 農業による窒素負荷は大幅に減少している。最近では家庭菜園の増加が目立っている。
- ③ 地下には、過去の茶園等への施肥による硝酸性窒素が蓄積されている。今後の湧水への影響を把握する必要がある。
- ④ 佐鳴湖に流入・湧出する地下水の涵養域を流動モデルにより推測した。自衛隊基地以南の浸透水は浅層地下水、それ以北は深層地下水を經由して流入・湧出していることが明らかとなった。
- ⑤ 生活由来の負荷物質が流入し汚濁の主要因の一つとなっている。降雨時には湖内で人由来の大腸菌が増加する現象も把握された。
- ⑥ 潮汐の影響があるため、とびうお大橋までの河川水が佐鳴湖に逆流する。そのため、下流域も佐鳴湖の領域として考えるべきである。

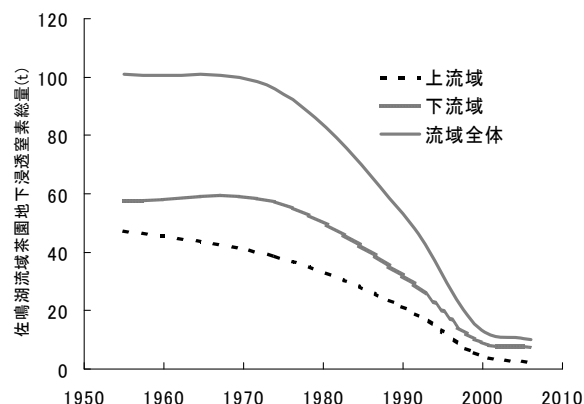


図1 佐鳴湖流域茶園から地下水系への浸透窒素推定量の推移

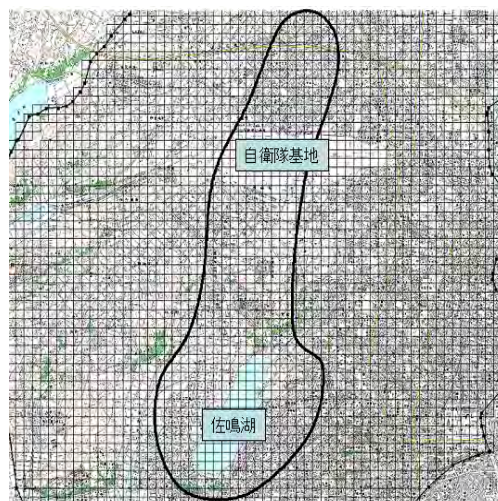


図2 佐鳴湖湧出領域の推定

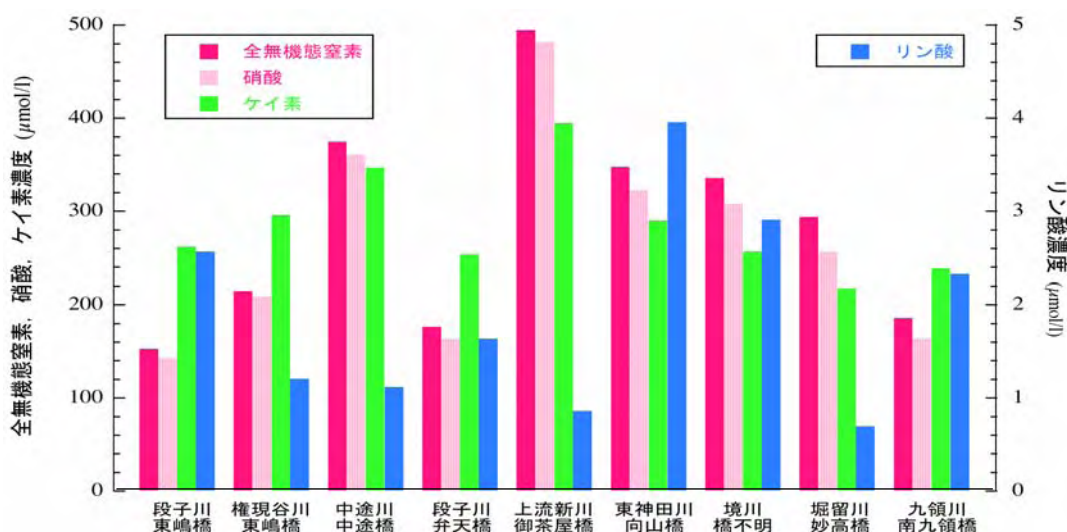


図3 佐鳴湖周辺河川の各種栄養塩濃度 (2005年6月～2007年9月平均)

- ⑦ 佐鳴湖底泥には、約 91 トンのリンが蓄積、溶出している状況を把握した。水質改善には、懸濁物質の除去が有効であるが、その技術・手法についてはさらに検討が必要である。
- ⑧ 植物プランクトンは、塩分濃度の上昇により淡水系から汽水系に生態系（種組成）が変化した。夏期にピコシアノバクテリア (*Synechococcus* sp.) が優占する特異な状況は、全国でも珍しい現象である。
- ⑨ 硫黄酸化脱窒細菌の存在が底泥表層で初めて明らかになった。これらの細菌は、湖水中の窒素の除去機能を有していると考えられる。
- ⑩ 佐鳴湖及びその周辺の植生調査では市街地に隣接した場所とは思えない豊かで貴重な生物相が観察された。しかし、都市化の進展により狭い自然環境がさらに悪化する恐れがある。
- ⑪ 「里の湖 佐鳴湖 緑の谷の親水庭園」を景観テーマに、湖全体を視野に入れた佐鳴湖景観ガイドラインを作成・提案した。

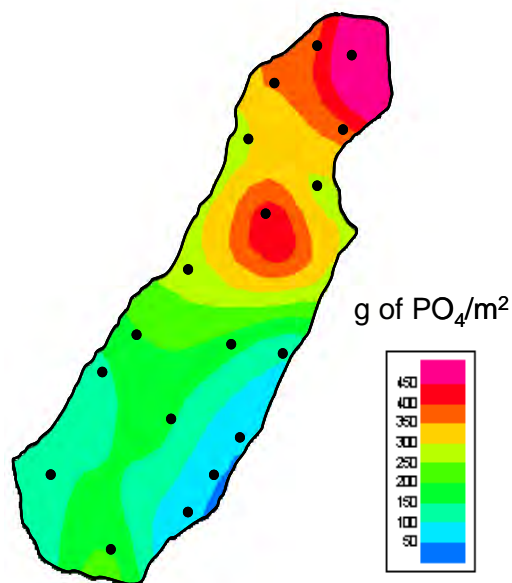


図4 佐鳴湖コアの全リン分析から得られた単位面積あたりの過剰リン量の分布図



図6 絶滅危惧種 ナガボツハゼ



図7 県内で初めて見つかったテラニシセスジゲンゴロウ

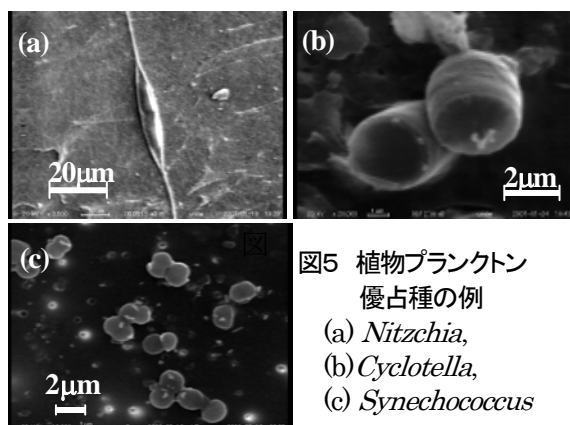


図5 植物プランクトン優占種の例
(a) *Nitzschia*,
(b) *Cyclotella*,
(c) *Synechococcus*

- 図1 茶園の栽培面積の減少及び1990年代からの施肥窒素量削減により、流域全茶園からの推定地下浸透窒素量が激減した。
- 図2 佐鳴湖及びその上流河川へ湧出すると推察される地下水の涵養地域を表す。
- 図3 各河川の栄養塩濃度の違いは、流域または湧水の涵養源の土地利用と関係し、生活排水及び産業廃水の流入、農地からの窒素肥料の流出等の人的影響も関与している。
- 図4 堆積物に含まれるリン濃度はかなり高く、底泥からの溶出が見られる。
- 図5 水温 28°C以上になる夏期には藍藻(c)が優占、他の季節は多種の珪藻(a) (b)などが存在する。
- 図6 新川上流部で確認。ナガボツハゼは愛知県東部と静岡県西部にしか分布しない希少種である。
- 図7 ゲンゴロウ類は近年各地で減少が著しいが、市街地に隣接し、開発が著しいこの地域でのこの種の発見は注目される。

2 目標達成のためのアプローチ

環境課題の解決には多くの人の参加が不可欠である。市民の意識を高め、参加し、行動することによって連帯感を深め、課題の共通認識により解決に向けての行動が可能となる。

佐鳴湖の諸問題に対応するには、汚濁の実態とその原因を総合的かつ正確に把握し、皆が納得できる知見により、改善へ向けての方向性を得ること（自然科学的アプローチ）、及び関係する人すべての人たちのベクトル、行動を合わせるための合意形成（社会科学的アプローチ）が必要である。さらに、目標達成のためには、上記の2つの側面の整合性を図る機能（インターフェース）が重要であり、関係組織の役割・機能の充実を図ることが望まれる（図8、9）。

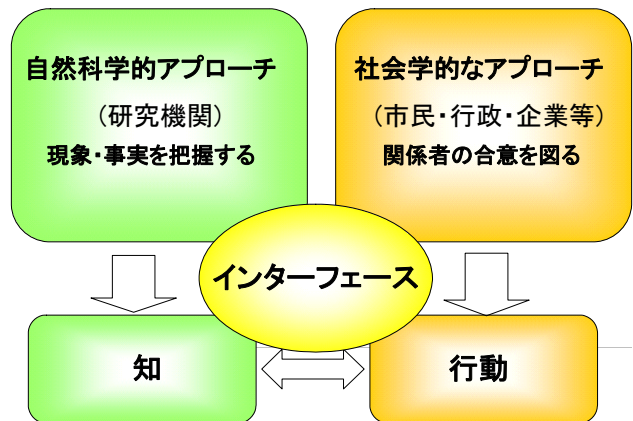


図8 目標達成のためのアプローチ

図8、9）。

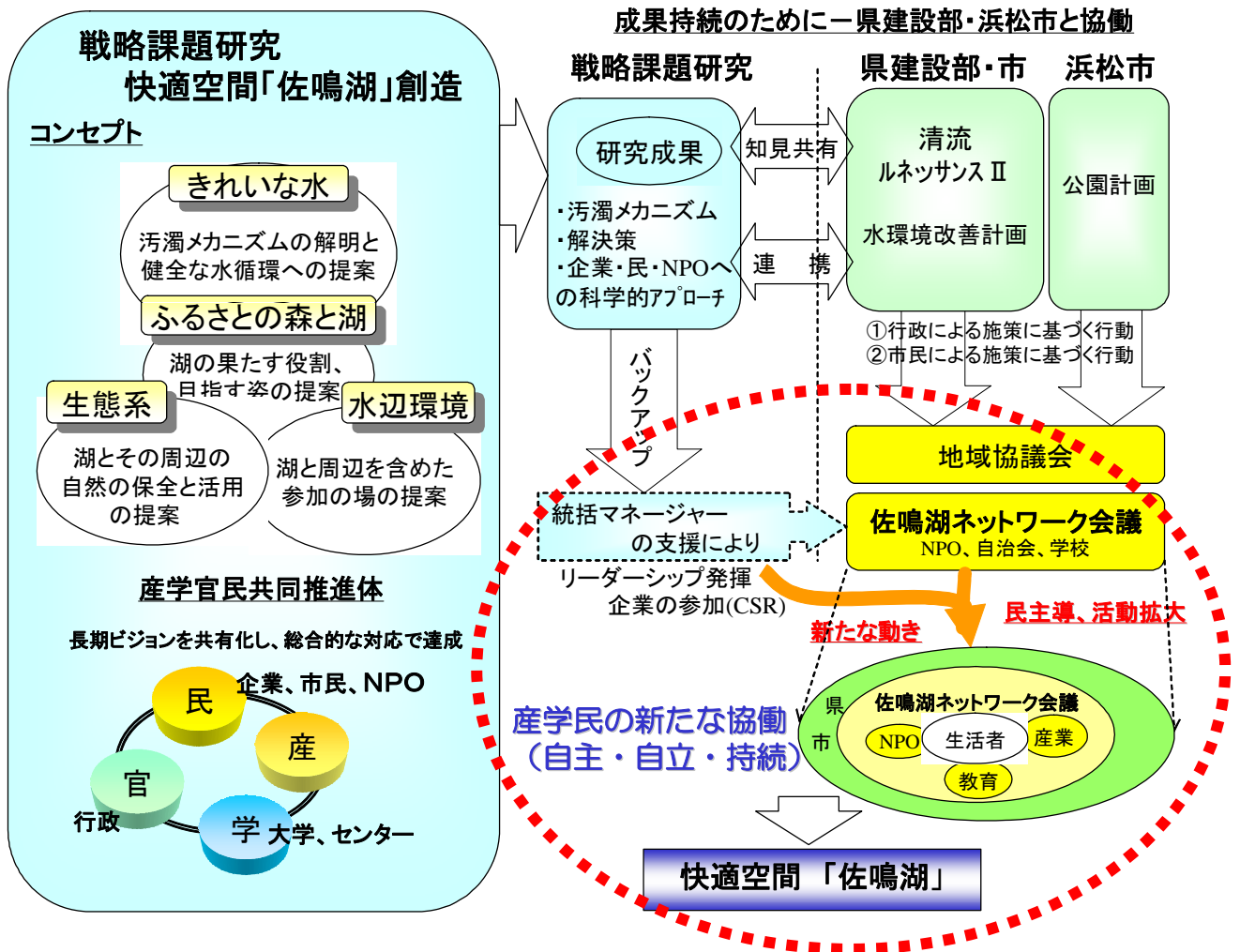


図9 戦略課題研究と佐鳴湖での活動のイメージ図

3 提言

① 流域対策

- 農用地における肥料削減栽培法の普及と、増加する家庭菜園への適正な施肥の指導が必要である。
- 上下流域の下水道整備、特に接続率の向上を図るとともに、下水道整備区域外においても、単独浄化槽から合併浄化槽への付け替えや、合併浄化槽の適切な管理を推進する。
- 佐鳴湖に流入する地下水の涵養域での雨水浸透枡の設置、植樹、芝生化や農用地などの保全を推進し、湧水量の確保を図る。

② 湖内の水質改善

- 水質の改善には、流域河川からの負荷物質の流入防止と、湖内に堆積しているリンへの対策の検討が必要である。
- 湖内の生態系への影響を考慮し、正常な食物連鎖による自然の浄化能力を高める。

③ 生態系の保全及び景観形成

- 周辺の景観と整合性を図りつつ生態系の保全に努める。
- 市民、団体、行政機関、研究機関等が情報や意見を交換し、佐鳴湖の目指すべき姿の合意形成を図る。

④ 産学官民の新たな協働

- 市民一人一人が佐鳴湖への認識を深め、行政や研究者、企業等と連携して、佐鳴湖の水質改善に取り組む市民主体の活動組織の輪を広げていく必要がある。



図10 パックテストによる佐鳴湖流域水質一斉調査（左、中央）及びヨシ刈り（右）

市民参加のパックテストやヨシ刈り等の企画（図10）は、「佐鳴湖ネットワーク会議（図9）」の産学官民が連携した活動として、参加者の認識や活動への意欲、あるいは佐鳴湖への愛着等を醸成した。今後は持続的で自主的な活動として定着することで、市民のライフスタイルの見直しに寄与することが期待される。

最後になるが、佐鳴湖に関する課題は複雑かつ幅が広く、今回の研究で得られた知見も佐鳴湖の一部を解明したに過ぎない。しかし、今後、この研究成果を基に更なる知見を得て、また、関係者が具体的な活動を積み上げていくこと（図9）により、全国に誇れる佐鳴湖として真の『快適空間』が創造されることを願ってやまない。

（執筆担当者・連絡先） 戦略課題研究統括マネージャー 芥川知孝 TEL 054-221-2676(研究調整室)

戦略課題研究 「快適空間『佐鳴湖』の創造」研究課題 一覧表

戦略課題研究における 研究課題名(実施年度)	概要報告書掲載対応箇所			研究機関・研究者 ＜☆研究代表者、○は他の研究機関等に所属＞
	章・項	タイトル ＜副題がある場合は副題＞	頁	
佐鳴湖流域農耕地における施肥成分収支の実態調査と負荷軽減対策確率(H17～19)	第2章 1項	農業からの影響	農地からの影響評価と負荷軽減に向けての取り組み	4 静岡県農林技術研究所 ☆生産環境部長 鈴木則夫、(志太榛原農林事務所企画経営課)主査 神谷啓昭、主任研究員小杉徹、技師 堀江優子、(西部農林事務所農業振興部)部長 中島雅弥、(中遠農林事務所)主幹 堀内正美、主任研究員 大石直記、(農林大学校研究部)技師 竹内淑子、(志太榛原農林事務所)技師 中村仁美
		果樹園からの影響	果樹園からの影響評価と負荷軽減に向けての取り組み	6 静岡県農林技術研究所 果樹研究センター ☆主任研究員 吉川公規、副主任 中村明弘
		茶園における施肥成分収支と負荷軽減施肥技術の確立	茶園における施肥成分収支と負荷軽減施肥技術の確立	7 静岡県農林技術研究所 茶業研究センター 研究主幹 太田充、☆主任研究員 松浦英之、主任研究員 成島光昭、(県畜産技術研究所中小家畜研究センター)主任研究員 中村茂和
生活系廃水の流入負荷実態の調査及び微生物を利用した負荷削減方法と底泥の処理(H17～19)	第2章 2項	流入河川の負荷量と水田による窒素除去	8 静岡理科大学 理工学部 物質生命科学科教授 惣田豆夫	
リモートセンサデータによる佐鳴湖および流域の評価(H17～19)	第2章 3項	佐鳴湖、流域が相互に及ぼす効果	10 静岡大学 工学部 システム工学科准教授 前田恭伸	
農地の施肥由来の栄養塩負荷解析のための地下水モデルの開発(H17～19)	第2章 4項	地下水の循環	12 静岡大学 工学部 ☆システム工学科准教授 瀬野忠愛、工学部4年生 村上佳奈、大学院工学研究科修士課程 梶田大輔	
浄化対策の全体像把握のための調査・評価研究(H19)	第3章 4項	佐鳴湖での水質汚濁原因の考察と物質収支に基づく浄化対策検討	30 静岡大学 工学部 ☆物質工学科准教授 松田智、准教授 戸田三津夫、システム工学科准教授 前田恭伸	
汽水湖における植物プランクトン増殖の研究(H17～18)	第4章 3項	佐鳴湖のプランクトンの増殖と食物連鎖	38 静岡大学 工学部 名誉教授 溝口健作、☆物質工学科准教授 戸田三津夫	
プランクトンの組成の季節変化とその要因の解明(H17～19)	第2章 5項	流入・流出河川の佐鳴湖の水質に及ぼす影響	14 東海大学 海洋学部 海洋科学科准教授 成田尚史	
	第3章 1項	佐鳴湖の水質特性	16 東海大学 海洋学部 海洋科学科教授 安田訓啓	
		佐鳴湖の水質特性	18 東海大学 海洋学部 水産学科教授 小野信一	
		佐鳴湖の水質特性	20 東海大学 海洋学部 海洋科学科准教授 成田尚史	
	第4章 1項	佐鳴湖の生態系と食物連鎖	32 東海大学 海洋研究所・海洋学部 ☆海洋研究所教授 澤本彰三、環境情報工学科教授 千賀康弘、海洋科学科教授 安部俊彦	
第4章 4項	佐鳴湖と浜名湖の生態系	40 東海大学 海洋学部 環境情報工学科教授 中田喜三郎、大学院博士課程 大野創介		
懸濁物質除去による湖水浄化の定量的検討(H17～19)	第3章 2項	佐鳴湖の水質と底泥	22 東海大学 海洋学部 清水教養教育センター教授 大石友彦、海洋科学科教授 加藤義久、海洋生物学科教授 木村賢史、海洋科学科教授 佐藤義夫、清水教養教育センター教授 中山隆雄、☆海洋建設工学科教授 福江正治、環境情報工学科講師 萩原直樹	
		ろ過による湖水浄化の定量的検討	24 東海大学 海洋学部 海洋科学科教授 佐藤義夫、☆海洋建設工学科教授 福江正治	
		光触媒による浄化効果と佐鳴湖への適用の可能性の検討	26 東海大学 海洋学部 清水教養教育センター教授 中山隆雄	
底泥からの窒素、リン、COD負荷の実態と削減対策(H17～18)	第3章 3項	佐鳴湖における底泥の特性－水質に及ぼす影響と安全性－	28 静岡県立大学環境科学研究所 ☆教授 坂田昌弘、助教 谷幸則、准教授 伊吹裕子、助教 大浦健、(秋田県立大学生物資源科学部)准教授 宮田直幸、准教授 雨谷敬史、教授 岩堀恵祐	
佐鳴湖における微生物群集の特殊性とその食物連鎖への影響の解明(H19)	第4章 2項	佐鳴湖中の微生物群集の特殊性	36 静岡県立大学環境科学研究所 ☆助教 谷幸則、教授 大橋典男、助教 大浦健、教授 坂田昌弘、准教授 橋本伸哉、助教 谷見	
佐鳴湖周辺の生態系と自然環境の保全に関する研究(H17～19)	第5章 1項	佐鳴湖とその周辺の自然	42 静岡県農林技術研究所 森林・林業研究センター ☆主任研究員 加藤徹、副主任 大橋正孝、	
佐鳴湖景観形成に係る未利用資源(竹・葦)の活用研究(H17～19)	第5章 2項	佐鳴湖景観形成に係る未利用資源(竹・葦)の活用方法	46 静岡県畜産技術研究所中小家畜研究センター ☆技師 松井繁幸、(農林大学校)主幹 岩澤敏幸、(畜産振興室)主査 大谷利之、研究主幹 池谷守司	
快適な水辺空間デザインの創造(H17～19)	第5章 3項	佐鳴湖の景観	48 静岡文化芸術大学 ☆デザイン研究科教授 川口宗敏、教授 寒竹伸一	

※各項の詳細については、研究報告書(詳細版)を確認いただくか、または、研究担当者連絡先(各項ごとに末尾に記載)に御照会下さい。

静岡県戦略課題研究

「快適空間『佐鳴湖』の創造」
研究報告書（概要版）

編集・発行

静岡県産業部振興局研究調整室

〒420-8601

静岡市葵区追手町9番6号

TEL 054-221-3643

メール kenkyuchousei@pref.shizuoka.lg.jp

※本報告書の無断の転載及び複写を禁じます。