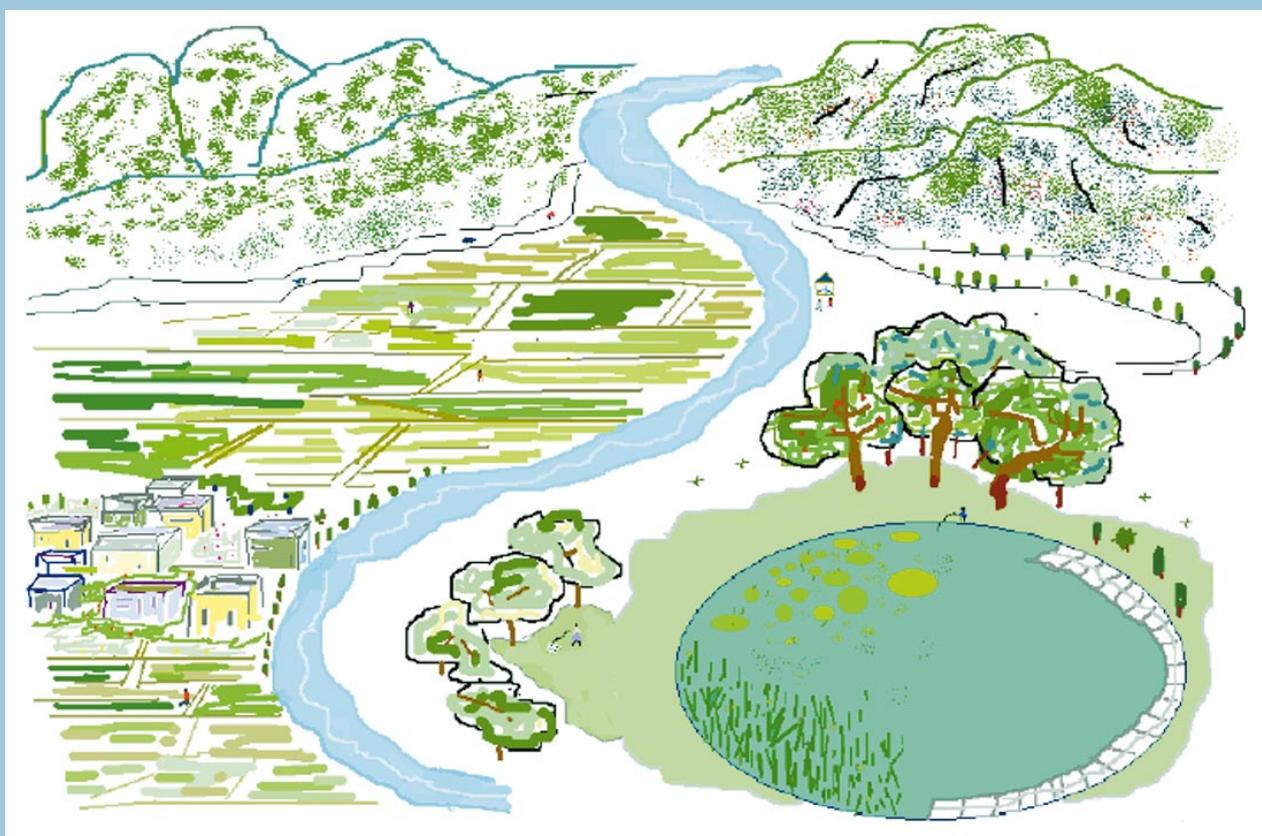


# ため池の評価と保全への取り組み

Research and Activities to Conserve Ponds in Japan



高村 典子 編

Edited by Noriko TAKAMURA

NIES



独立行政法人 国立環境研究所  
NATIONAL INSTITUTE FOR ENVIRONMENTAL STUDIES

## 序 ため池がつなぐ自然と人の輪

環境保全に対する社会の認識が高まり、自然保護を求める住民の声が行政に反映されることが多くなってきております。また、「環境の保全のための意欲の増進及び環境教育の推進に関する法律」の成立などに見るように、次の世代に自然の大切さを教えることの必要性も高まっています。自然というとにかく貴重な自然に目がゆきがちですが、実は毎日の仕事での営み、登下校の道筋、散歩や遊びの中で得られた自然とのふれあいこそ、本当に実感でき、永続するものでしょう。今や身の回りの二次林、二次的自然が人々の心のふるさとであり、ゆっくり時間をかけて楽しむ対象となっています。良く整備された自然は、英国のようにひとに誇れる観光資源にもなりえます。そして、毎日のふれあいからくる自然への畏敬の念が、地域から地球規模までの環境保全の駆動力です。

ため池は弘法大師の昔から農業利水にはなくてはならないものだったのですが、それだけでなく、いまでは身近な自然の様相、自然の価値が集約されたものとして里山保全と関連して見なおされて来ております。本シンポジウムの発表でも、ため池のトンボの種数は、ため池周辺 200 m 程度の森林面積、池の中の水草の種類数、護岸していない堰堤長、水中の窒素濃度の 4 つのパラメータで変動の 81% が説明できるとされ、ため池の生物相が地域の自然管理の結果を集約していることが明かになりました。ため池を、地域生態系の象徴として見なおすことによって、地域の環境管理への指針がえられ、その調査の過程でえられた知識が、環境教育の材料にもなるでしょう。

国立環境研究所の任務のひとつは、地方の環境研究機関・研究者との協働によって、地域の環境保全を一層推進することにあります。独立行政法人化して以来、一層その機能への期待が随所から寄せられております。当研究所では定常的な地方環境研究所との共同研究に加えて、今年度からは横断的なテーマでの共同研究促進を始めることと致しました。その第一陣として、幸いに高村典子総合研究官の先行研究がある、ため池についての研究交流を企画した次第です。この先行研究は、兵庫県の農林水産、地域振興、土地改良区担当の方々からの情報、35 ものため池の管理人の方々との協力、地域の大学、博物館、環境研究機関など多くの方々との協力を得たものでした。まさに、地域環境管理が地域の知恵を結集して出来るものであることを示しました。

このシンポジウムには、地方環境研究機関、大学、NGO、企業、一般から、予定をはるかに越える数の方々に参集いただきました。ため池を通じての地域環境管理の在り方、ため池の価値の再発見、保全のための手法について共有化が図れ、成功裡に終わったことをうれしく存じております。ご参集の皆様とそれを可能にくださった地方自治体の担当者、会の準備を確実にしていただいた方々に心からのお礼を申し上げます。

このシンポジウムがスタートポイントとなって、地域の環境研究と保全活動が一層高まることと期待しております。

平成 16 年 3 月

独立行政法人 国立環境研究所  
理事 西岡秀三

# 目 次

シンポジウム「ため池の評価と保全への取り組み」 生態学からのメッセージ - 高村典子 .....	1
三重県上野市におけるため池の魚類相 森 誠一 .....	5
ため池周辺のランドスケープからみたハビタット評価 三橋弘宗・高村典子.....	12
香川県のため池の現状 - 希少動植物保護に向けた取り組み - 白井康子・木村正英 .....	16
愛媛県内のため池とダム湖について 中村洋祐 .....	26
兵庫県におけるため池の水質と生物相の現状について 松山 稔・小巻 孝・玉木哲也・河野 哲・青山喜典・望月 証・嶋田竜太郎 .....	32
ため池と小型貯水池の水文・水質特性 - 小型貯水池が下流域に与える影響 - 多田明夫・畑 武志・田中丸治哉 .....	41
ため池の水源特性からみた多様性と水質解析 田淵俊雄・高村典子・黒田久雄 .....	47
ランドスケープの再生とため池の水質保全 國松孝男・橋本晋一・杉本好崇・駒井幸雄・梅本 諭 .....	61
地域別に見た降水による窒素・リンの負荷 梅本 諭・駒井幸雄・井上隆信 .....	69
ノンポイント汚染調査における自動採水システムの利用と課題 駒井幸雄・梅本 諭・井上隆信 .....	76
ため池の透視度と水環境の関係について 土山ふみ .....	83
群としてのため池システム - 入鹿池と犬山ため池群 - 大沼淳一 .....	89
ため池・内湖における窒素，リン，有機物の挙動 大久保卓也 .....	93
アオコを抑制する植物検索のためのバイオアッセイ法の検討 藤井義晴・津田久美子・高村典子 .....	98
ため池災害と防災について 谷 茂 .....	102
ため池の多面的機能を考慮した診断データベース 工藤庸介・桑原孝雄・木全 卓・西川英里子 .....	107
兵庫県におけるため池保全・整備の取り組みについて 三輪 顕 .....	120
名古屋市内ため池の現状と課題 - 保全と水質改善の取り組み - 若山秀夫 .....	125
豊稔池みずすまし運動について 冠野禎男 .....	132
ため池をめぐるポリティカル・エコロジー研究序説 金沢謙太郎 .....	137

# シンポジウム「ため池の評価と保全への取り組み」 生態学からのメッセージ -

高村典子

(独) 国立環境研究所 生物多様性研究プロジェクト (〒305-8506 つくば市小野川 16-2)

## Executive Summary of the Symposium 'Research and Activities to Conserve Ponds in Japan'

Noriko TAKAMURA

*National Institute for Environmental Studies, 16-2 Onogawa, Tsukuba 305-8506, Japan*

湖沼の沿岸域，湿地，池など，いわゆる水辺移行帯は，本来豊かな生物相に恵まれ，それ故に公益的機能を有する場と認識されています (Costanza *et al.* 1997)。しかし，過去約半世紀にわたる人間活動によって，もっとも大きく破壊された場となり，その保全の強化と自然の再生・修復は我々の世代の重要な課題になっています。

(独)国立環境研究所では平成 13-17 年の重点プロジェクトとして「生物多様性の減少機構の解明と保全」に関する研究を行っており，種多様性と地域固有性を考慮した保全地区設定手法の研究がひとつの柱となっています。このプロジェクトの一構成員である私は，研究の場を兵庫県南西部のため池に設定し，神戸大学理学部角野康郎先生，兵庫県立人と自然の博物館三橋弘宗さん，同じく田中哲夫さん，神戸市教育委員会青木典司さんなどの研究協力をいただいて，ため池の生物多様性の維持機構の解明に関する調査研究を始めました。

池を生息場所としている淡水生物種は，河川や湖沼といった水域と比較して，その数が多いと言われており (Williams *et al.* 1999; 角野 1998)，とりわけ，現在希少種や絶滅危惧種と認識されている種の数が圧倒的に多いのが特徴です (Williams *et al.* 1999)。こうした現状は，近代化に伴う農業形態の変化と都市化のために，ヨーロッパで過去一世紀の間に (Hull 1997)，日本でも過去 50 年の間に (内田 2003) 急速に池の数を減らしてきたという背景が一因となっています。従って，淡水域の生物多様

性の保全を考える上で，池は，その存続の方法を含め，早急に保全対策が必要なフィールドと言えらると思います。ところが，池の保全に関する研究は世界的に極めて少ないのが現状です (高村 2003)。

私たちは，まず，ため池の生物多様性の維持機構に深く関連する環境因子を明らかにし，次に，そうした環境因子を用いて，効果的なため池の保全地区を設定する手法について研究を行うことにしました。そのため，生物の種類・数や分布を決定している要因として，従来から水域の群集生態学の研究で問題にされてきた水質などの物理化学的要因，池の植生あるいは種間関係といった生物的要因に加え，新たに池の縁から 10m-10km といった異なった空間スケールでの土地利用を表すパラメータ，ならびに池の水抜きや農薬利用といった人の係わり方の違いが生物群集に与えるパラメータをとりあげました。空間スケールを取り上げたのは，現在，ため池の生物多様性の減少を引き起こしているであろう流域の開発，護岸，外来種の侵入が，順に池の流域，池周辺や縁，池の中と異なるスケールでおきていると考えたからです。私たちのこれまでの研究概要は，本シンポジウムの講演者のおひとりでもある名古屋市環境科学研究所の土山ふみさんが水環境学会誌に企画された「身近な水辺，ため池の現状と保全」の中の一報告文 (高村 2003) に詳しく紹介させていただきました。

ため池の生物多様性の維持機構は，対象とする生物群集により異なっています。魚類の種類構成は，

ため池周辺の景観的要素や池の植生などと無関係で、ブラックバスやブルーギルなどの魚食性外来種との関係で決められています。一方、ため池のプランクトン群集は、ため池から5-10kmを半径とする円の中の森林面積や市街地面積で規定されています。これは、ため池の水質が比較的広域の土地利用により規定されているという結果と関連しているようです。トンボ成虫と底生動物の群集構成は、ため池から10-200mを半径とする円の中の森林面積や池の水生植物群落の種類数により大きく規定されます。ため池の生物多様性の保全手法は、対象とする生物群により異なることになります。

ため池のコイ科魚類の数が、ブラックバスやブルーギルの数と負の相関があることは、三重県上野市のため池の調査からも指摘されています(森本報告書)。また、森は「水抜き」や「池干し」などの人為操作が総魚類数を減らすと述べています。従って、地域固有のため池の魚類群集は、「外来魚を放さない(駆除する)」「極端な水抜きはしない」などの啓蒙活動や人のネットワークを通じて、池単位で保全する必要があるようです。

一方、プランクトン群集はため池の水質と密接に関連しているため、ため池の水質悪化を防ぐことを目的に保全するのが良いのではないのでしょうか。というのは、プランクトンは分散能力が高く、特に希少種や絶滅危惧種が知られていないからです。私たちの調査地域である兵庫県南西部のため池の水中窒素濃度は、その集水域の主な土地利用(山林、水田、畑地、市街地)もしくは流入水の種類(ここでは、用水、排水、上池)の平均的な原単位濃度と灌漑に使用する水田面積から逆算した流入水量、降雨量と蒸発量からおおよその値が予測できます(田淵ら 本報告書)。実測窒素濃度が計算予測値を大きく上回る池は、その池に生活排水、事業所排水あるいは畜産排水などの点源汚濁水が流入している可能性が高いことを意味します。こうした池は、原因を調査して個別に対策を立てることができるでしょう。流域からの負荷については、これまで湖沼の流域管理でも言われているように、森林面積を減らさないことが大切です。やむをえない森林伐採などは、その生態的機能の代替を考える必要があると思います。また、流域での住宅や事業所の建設では、排水を池に入れない

か、もし、水が足りなくて入れざるを得ない場合は、排水から窒素・リンを取り除く処理が必要だと思います。

トンボ成虫や底生動物については、池の中の水生植物群落、池周辺200mの森林面積、草が繁っている自然の堰堤などの環境要素が大変重要になります。こうした環境要素の保全は、例えば、コンクリート護岸を作らないなど、池の管理上のくふうでも改善されるでしょうが、個別対応では限界があります。そのため、私たちは戦略的な保全地区の設定のための手法について検討を進めています(三橋・高村 本報告書)。その際、底生動物は、調査、ソーティング、同定などに多大な労力がかかります。さらに、同定するために対象生物を殺さねばなりません。そこで、トンボ成虫のセンサス調査が最も簡便で有効であり、今後はトンボ成虫を環境指標種として、ため池の保全地区設定を検討したいと考えています。

ため池をめぐる、私たち生態学者が問題としている課題のひとつは、生物多様性の減少や希少種の絶滅の危機とそれらに伴う生態的機能の低下が挙げられます。この「危機」の直接の原因は、埋め立て、コンクリートによる護岸整備、生活排水の混入による水質汚染、外来生物の放流そして希少種の乱獲などです。しかし、こうした要因の背景には、都市化、ダムや導水の整備、高齢化・減反政策・兼業化などに伴う農業形態や水需要の変化、スポーツフィッシング、珍しいペットの飼育、観葉植物の栽培など生き物を対象とした新しいレジャーの振興など、人間の社会あるいは経済の変化があります。そのため、私たちの研究成果を、例えば保全地域や指定地域の設定に利用してもらうためには、1)まず、科学的データに基づく理解や認識をもつこと、2)社会経済的側面を含め統合的に問題を捉え、循環型社会づくりと連携する統合的アプローチをとること、3)情報公開により住民の参加を促し関係者全てが情報を共有し、生物多様性の保全や利用の方向、目標についての合意形成を図る、4)自治体や住民が主体となる連携・共同、などが必要とされます(環境省自然環境局自然環境計画課2002)。しかし、「ため池」と「環境」をキーワードとしても、専門や所属学会が異なると研究者間の交流はほとんどないのが現状です。

そこで、まず、「ため池」に関する科学的理解を深め、様々な情報を共有するため、「ため池」関連で研究されている専門分野の異なる研究者、ならびにおのおのの地域のため池保全で中心的役割を果たされている地方環境研究機関の研究者ならびに行政担当者をお招きし、2003年12月5日に国立環境研究所にてシンポジウム「ため池の評価と保全への取り組み」を開催いたしました。

ため池は、本来の機能である灌漑施設や防災保全施設として、主に農業工学の分野で研究が行われてきています。こうした分野でも、最近では「環境」や「自然環境」を論じる動きが活発になっているようです（谷本報告書）。背景には、省力化と生産性の向上を目標とした従来の農業基本法から、新たに農業の多面的機能の発揮や自然生態系や景観に配慮した基盤整備事業の実施などが盛り込まれた1999年の食料・農業・農村基本法の制定があります（國松ら本報告書）。ため池も農業用灌漑施設や防災保全施設としての本来の機能に加えて、「地域景観」「自然環境」「親水空間」「歴史的資源」というような多面的機能の評価した上で、現状のため池を管理していく手法が提示されています（工藤ら本報告書）。地域の農業試験場によるため池の生物多様性や生態系保全研究への参入もみられます（松山ら本報告書）。

従来から進められてきた水域環境に関する分野では、ため池の水質に関する長期的データの集積がなされてきています（中村、大沼、土山本報告書）。色々な面源からの流出負荷量を正確に見積もることは、湖沼などの止水域の富栄養化防止に重要な情報をもたらします。この分野では自動採水などのくふうも加味され（駒井ら本報告書）、より正確な数値の算定が期待できるようになってきています（國松ら、梅本ら本報告書）。ため池の水理・水門特性の評価（多田ら本報告書）やため池・内湖の水質浄化機能の研究（大久保本報告書）は、ため池の公益的機能の評価に役立つ重要なデータを提供しています。水生植物群落は、生物多様性に極めて重要な環境要素ですが、その生態的機能の研究やその応用は未知の部分が多く、将来の水質浄化機能に新しい可能性を提示しています（藤井ら、土山本報告書）。そうした中で、社会の関心や要望は、水質悪化の克服から生物多様

性に配慮した水辺環境の創出へ向かっているようで、新しいテーマへの研究者の対応が報告されています（白井・木村本報告書）。こうした社会変化に連動して、ため池をめぐる人々の行動（例えば、地域の水辺ネットワークへの参加など）やため池の改廃の背景となる社会的経済的状況の解析（金沢本報告書）などの試みも始まりました。

兵庫県、香川県、名古屋市は、それぞれが地域特性を生かしたため池保全活動を実施しています（冠野、三輪、若山本報告書）。中でも、都市化に伴うため池の埋立て等の行為に対して、ため池を失わないために施行された名古屋市の「ため池保全要綱」は、都市域のため池保全の先駆的な事例であると思います。さらに、名古屋市環境科学研究所と共同で行われている1972年からの水質モニタリングデータを伴うため池の水質改善への取り組みは、事業を、その効果を検証しながら行ったという点で高く評価されると思います（若山本報告書）。都市域のため池の水質改善は、名古屋市の経験と技術から多くを学ぶことができるでしょう。

環境保全のためにフィールド科学を行ってきた研究者の役割は、これまで「科学的データに基づく理解や認識をもつこと」に踏みとどまっていたのではないかと思います。しかし、少しずつですが、研究者が取り組む範囲が広がっているように感じています。それには、研究者が他の専門分野の研究を理解する過程が必ず必要となってきます。そして、研究成果を社会に根付かせる過程に研究者が参加することで、研究者自身の意識改革が進み、環境研究のセンスが磨かれ、さらに新しい環境研究への突破口にもなるのではないのでしょうか。

最後に、本シンポジウムの開催は地域の環境研究の新しい分野を一層推進したいという国立環境研究所西岡秀三理事の資金援助を受けました。また、講演者のほとんどは、本シンポジウムの講演者のおひとりでもある兵庫県立健康環境科学センター駒井幸雄さんの人的ネットワークで集めていただきました。「ため池」に関する研究は、それほど多くはありません。しかし、人々の関心は大変高いようです。シンポジウムには環境研究機関の研究者だけでなく、大学、企業、NGOなど、予想を上回る多くの方々に参加していただくことができました。本プロシーディングスはそのシンポジ

ウムの記録として作成いたしました。当日は時間がなく、講演者への質問はアンケート用紙にご記入いただきましたが、講演者の返答とあわせ、質疑として掲載いたしました。あわせてお読みいただければ幸いに存じます。

#### 引用文献

Costanza, R., R. d'Arge, R. deGroot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R. V. O'Neill, J. Paruelo, R. G. Raskin, P. Sutton and M. vandenBelt (1997): The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387: 253-260.

Hull, A. (1997): The pond life project: A model for conservation and sustainability. In: *British Pond Landscape, Proceedings from the UK conference of the pond Life Project*. J. Boothby (ed): 101-109. Pond Life

Project, Liverpool.

角野康郎(1998): ため池の植物群落 - その成り立ちと保全. 水辺環境の保全 - 生物群集の視点から -, 江崎保男・田中哲夫(編) 1-16. 朝倉書店, 東京.

環境省自然環境局自然環境計画課(2002): 新・生物多様性国家戦略. 環境省自然環境局自然環境計画課, 東京.

高村典子(2003): ため池の保全を考える. 水環境学会誌, 26: 268-274.

内田和子(2003): 日本のため池. 海青社, 大津.

Williams, P., J. Biggs, M. Whitfield, A. Thorne, S. Bryant, G. Fox and P. Nicolet (1999): *The Pond Book: A guide to the management and creation of ponds*. The Pond Conservation Trust, Oxford.

# 三重県上野市におけるため池の魚類相

森 誠一

岐阜経済大学生物科学 (〒 503-8550 大垣市北方町 5-50)

## Fish Fauna and Reservoir Management in Ueno Basin, Mie Prefecture

Seiichi MORI

*Biological Laboratory, Gifu keizai University, 5-50 Kitagata-cho, Ogaki 503-8550, Japan*

### 1. はじめに

三重県の淡水魚類相は、木曾 3 川水系を含む東海・伊勢湾流入河川水域、熊野灘への流入河川水域、伊賀上野地域の琵琶湖・淀川水系に属する近畿中央水域という淡水域に基づいて 3 区分される(名越 1978, 1986)。近年、日本列島の淡水魚類相は、海峡や分水境界に基づき 25 区域に分けられその間の類似性が解析されている(Watanabe 1998)。これによると、東海・伊勢湾流入河川水域と琵琶湖・淀川水系の伊賀上野地域を含む近畿中央水域は類似を保ちながらも、その間で生物地理的な境界が存在していることがわかっている。これらのことは、三重県には琵琶湖・淀川水系と並んで、わが国为数の豊富な淡水魚類相をもつ伊勢湾流入河川水域があることを示してもいる(清水・森 1985; 森 1995; 多度町史編纂委員会 1997)。

「国の天然記念物」(淡水魚では 4 種選定)であるネコギギ(森・渡辺 1990; Watanabe *et al.* 1992; 渡辺 1997; 東海淡水生物研究会 1993)やウシモツゴ(森 2002)が伊勢湾流入河川水域に生息し、イタセンパラやハリヨ(現在、三重県内天然分布は絶滅)が両水系に分布しており、三重県の淡水魚の豊富さが伺える(森 1998b)。

本調査は琵琶湖・淀川水系に属する木津川水系の上野盆地におけるため池に調査地点を設け、魚類相の調査を実施した。本調査水域は内陸部にあるため、汽水魚や回遊魚は分布していない特徴がある。また、同地域はため池が多いことも、大きな特徴であり、代表的と思われるため池を選定して調査地点とした。さらに、現在ではその管理体制や堰改修の新旧などによって、いくつかの種類

化できる特徴をもっている。ため池は、水田を中心とした利水や治水としての機能をもち、また防災機能を中心に管理されているものもあった。

### 2. 調査期間及び調査方法

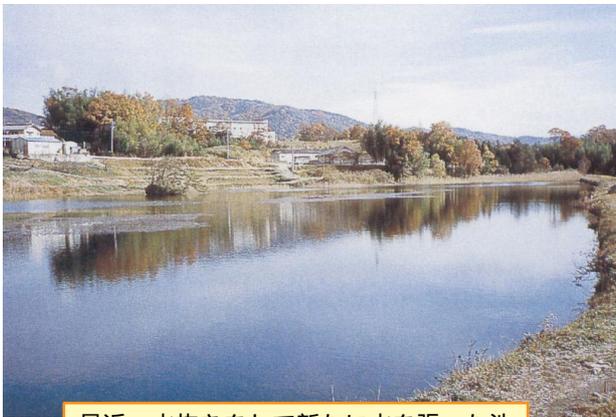
上野市の水系は、ほぼ南から北に流れる木津川と東側から合流する支流(柘植川、服部川、矢谷川、比自岐川)と西から合流する岩根川などからなり、盆地を形成している。この上野盆地は標高数百 m の山や丘陵地帯に囲まれ、谷間から平地になる周辺に数百を超えるため池がある(図 1)。いわゆる一方を堤体で堰き止めた谷池がほとんどで、水深は奥ほど浅く、堤体に近いほど深い。形状はおおむね細長楕円である。すべてのため池に識別番号を付けたが、同時に池の名称についても調べた。地図上に名前が公的になくても、周辺域でのみ使用されている通称が多く、池にはあった。

ため池によっては毎年のように水抜きをしたり、数十年もそのままの状態であるため池もあり、管理は池ごとに大きく異なっていた(図 2)。また、漏水や土砂掘削のため改修工事が、あるいは水辺環境整備の中で土木事業が実施されていた。ため池の管理状況を把握するために管理者に往復葉書で、各池の水抜き状況や計画などを聞き取りした(図 3)。管理にはおもに、放水・水抜き、堤体改修、草刈りなどがある。ちなみに、管理者ごとに管理する池の数は多様であり、1 個から 10 個以上を管理対象としていた。

魚類の捕獲調査は 1997 ~ 1999 年を中心に、木津川流域の上野盆地に散在する、上野城の堀池を含む約 100 個のため池において実施した。また 32



図1 . 日本人は巧みに「谷」(河川)を加工し水利用してきた。



最近、水抜きをして新たに水を張った池



近年、水抜きをしていない池



水抜きをした池



最近、堤の改修をした池

図2 . 上野市友生地区.

個のため池においては、オオクチバスとブルーギルの外来魚と在来魚の関係を検討した。1998年5～11月にかけて、両グループの捕獲による個体数の比較とため池管理の実態を調べ、在来種に対する外来魚やため池管理などの影響の程度を把握した。本発表は、この外来魚の影響評価をした調査結果を中心に報告する。また随時、小河川（向芝地区）や水路（森小場地区）を調査した。なお、ため池における在来魚に対する外来魚の影響を評価するために、2002年まで調査を続けた。

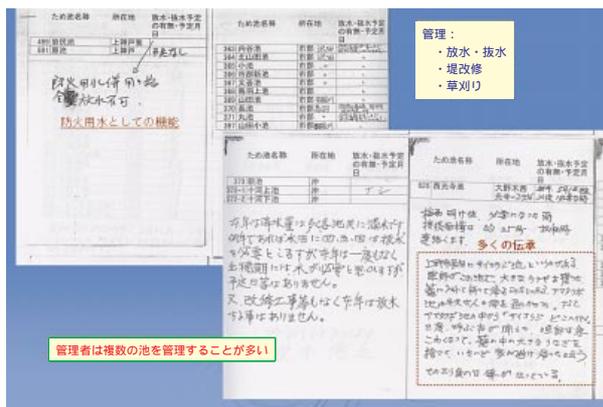


図3．ため池の管理状況を管理者に往復八ガキで照会した結果の一例。

魚類の調査方法は投網、手網、モンドリによって行うものとし、魚類の採集状況を見てその程度により回数を増減させた。外来魚と在来魚の関係を検討するための調査は、池ごとに網モンドリを1～2時間、2～3人で手網20分、投網5～10回、目視計数(オオクチバスとブルーギル)によって捕獲把握した個体数をもって行った。時間や回数、目視計数の差異は、池サイズに依っている。

なお、魚種の確認は原則として現地で行うが、現地で同定が困難なものについては5%ホルマリン液で固定し、持ち帰って詳細を検討した。現地調査時に調査地点及び周辺の状況、調査状況、捕獲された魚種の概要を記録し、写真の撮影を合わせて行った。

### 3. 結果および考察

#### 3.1 池沼の魚類相

小水路を含む池沼では16種が捕獲確認された(図4)。コイ科魚類が半数以上の10種で、オオクチバス、ブルーギル、タウナギなどの外来種も確認された。ここではオイカワ、カワムツ、モツゴ、

カワバタモロコ、タモロコ、ヒガイ、バラタナゴの7種を小型コイ科魚類として総称する。

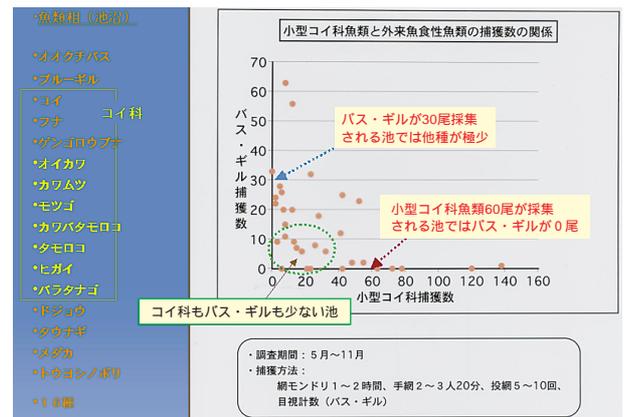


図4．三重県上野市における溜め池の魚類相。

ため池の魚類相は水干しや改修工事などの池管理の状況によって、大きく影響を受けるようであった。コイやフナの放流が随時実施され、また、それに混入してくる小魚類などによっても池の魚類相は変化するものと思われる。水の入れ替えがあまり行われておらず、水草類が繁茂しているため池には、モツゴが多く生息していた。

希少魚であるカワバタモロコが、友生と市部地区のため池で確認された。聞き取りによると、これ以外にも2個のため池に生息しているという。本種の生息は安定した水位と水草がよく生育し、オオクチバスやブルーギルなどが認められないため池に限られていた。

一方、水管理や改修がされていなくても、外来種が多く確認されたため池には、在来魚種がとてもしなかった。今やメダカも希少魚に選定されているが、上野盆地のため池や水路では散在的に生息していた。しかし、農業形態の変化による水環境の変化に加えて、魚食性の外来魚の増加とともに、その生息域が減少していることは否めない。いくつかのため池では、オオクチバスとブルーギルが顕著に捕獲確認された。向芝のため池の一つでは、ブルーギルとアメリカザリガニしか捕獲されなかった。こうした魚食性が強い外来魚の放流は止める必要があり、教育・啓発や池管理などにも系統立った工夫が必要となろう(森 1998b, 1999, 2000)。

カワバタモロコはこれまでの報告書ではなかった(近畿地方建設局木津川上流工事事務所 1975,

1990；諏訪カントリークラブ造成計画に係る環境影響評価準備書 1990)が、すでに生息情報の知見があった。本種は特に、減少傾向にある希少小型コイ科魚類であり、ため池のような止水域環境に適した生活史をもっている(森 1995)。

オオクチバスとブルーギルが急速に分布域を広げている。1990年当時、聞き取りでオオクチバスが上げられているが、捕獲されるほどではなかった。ブルーギルは初めての記録となる。しかし、分布域の広さはオオクチバスの方が大きかったが、ブルーギルが生息している場合、ため池の生物量の大半を占めるのではないかと思われるほどかなり多く認められる池沼があった。

### 3.2 ため池における外来魚と在来魚

上野市中央東部の友生、市部、沖や北部の高倉、野間にある33個のため池において、外来魚(オオクチバスとブルーギル)と在来魚の関係を、その単位時間当たりの捕獲数から検討した。両グループの捕獲による個体数の比較とため池管理の実態を調べ、在来種に対する外来魚やため池管理などの影響の程度を把握した(図4)。

オオクチバスとブルーギルが多いため池には、小型コイ科魚類(カワバタモロコ、タモロコ、メダカなど)が少ない傾向が明らかに認められた。

このことは、魚食性外来魚に小型コイ科魚類が食害を被り、減少していることを意味していると考えられる。もちろん、この減少傾向は、水管理、改修工事、水質汚染など他の要因(図5)によっても説明できようが、外来魚の影響は大きな一つの要因となっていると思われる(森 2002)。

バス・ギルが単位時間당りに30尾採集されると、他種の小型コイ科魚類が急に少なくなり、逆に小型コイ科魚類が60尾採集されると、バス・ギルが採集されないという傾向が認められた。たとえば、バス・ギルとコイ科魚類が個体数として同じであっても、バス・ギルは生物量も多く、成魚、未成魚、稚仔魚など様々な成長段階のものが採集確認されている。これらのことから次第に、バス・ギルが占有していくことが予想している。

また、バス・ギルが少なくても、同様にコイ科魚類が少ないため池もあった。これは、コイ科魚類の生息に与える影響要因としてバス・ギルの存在があるのではなくて、おそらく水管理(水抜き)や改修工事などがあり、ため池に物理的な影響を与えた結果と推定される(図2参照)。そうしたため池は魚種数や個体数がそもそも少なく、水を張った後に放流することが実施されていた。一方、水抜きは水質改善になる要素もあるが、あまりにき

埋め立て行為 = 消失(宅地化, 営利事業, 補償工事)

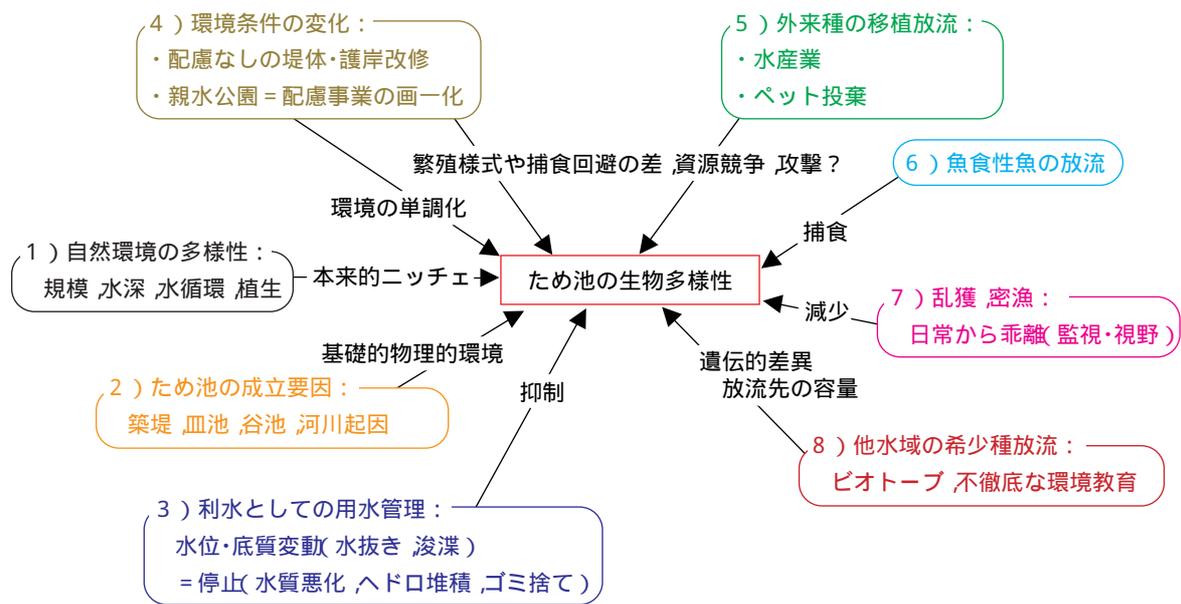


図5. ため池の生物に影響を与える要因.

れいにかつ完全に乾燥するまで水をなくすことは、生物の復活や定着に大きな影響を与えることになる。その水抜き程度は目的に応じて実施し、すなわち目的に何を設定するかを位置づけた管理が望まれる。

堤体護岸改修においては、多孔質の岸にしたり、河畔林、水草などが定着するような工夫をすることも必要とされよう。ただ、こうした土木事業において、留意しておくべきことは、計画された完成施工物もさることながら、工事する際の手順・段取りや、その後の評価と管理の必要性である。つまり、不用意に完全水抜きをしたり、工事車両が縦横無尽に池底を走り回ったりすることは回避されるべきであろう。

これらは今後、ギル・バスを駆除するにしても、在来魚種を保全するにしても、ため池の管理において効果的な方法を、管理者や行政、研究者らと協議し開発する必要があることを意味している（森 1988, 1998a, 2003）。すなわち、これからは水抜きを中心とする管理ばかりではなく、生物多様性が維持される新たなため池管理の手法が必至となる。地域住民による利用してこそ、残存自然としてのため池保全のあり方が切望されるのである。

#### 引用文献

- 近畿地方建設局木津川上流工事事務所(1975): 木津川上流ダム環境調査報告書。
- 近畿地方建設局木津川上流工事事務所(1990): 木津川上流域魚貝類調査業務報告書。
- 森 誠一(1988): 淡水魚の保護—いくつかの現状把握といくつかの提起。関西自然保護機構会報(大阪市立自然史博物館), 16: 47-50。
- 森 誠一・渡辺勝敏(1990): 淡水魚の保護 - ハリヨとネコギギの場合から。淡水魚保護。淡水魚保護協会, 3: 100-109。
- 森 誠一(1995): 津市南部丘陵地におけるカワバタモロコ。三重自然誌, 2: 12-18。
- 森 誠一(1998a): 復元生態学と自然の配慮。応用生態工学, 1: 43-50。
- 森 誠一(1998b): 魚から見た水環境: 復元生態学に向けて。信山社サイテック, 東京。
- 森 誠一(1999): 淡水生物の保全生態学。信山社

サイテック, 東京。

- 森 誠一(2000): 環境保全学の理論と実践。信山社サイテック, 東京。
- 森 誠一(2002): 環境保全学の理論と実践。信山社サイテック, 東京。
- 森 誠一(2003): 環境保全学の理論と実践。信山社サイテック, 東京。
- 名越 誠(1978): 木津川とその周辺溜池の水生昆虫と魚類。三重県上野市。三重県自然科学研究会。
- 名越 誠(1986): 三重県その自然と動物。魚類(淡水産)。三重県その自然と動物編集委員会。
- 清水義孝・森 誠一(1985): 員弁川の魚類相と分布。淡水魚。淡水魚保護協会, 11: 135-142。
- 諏訪カントリークラブ造成計画に係る環境影響評価準備書(1990)。
- 多度町史編纂委員会(1997): 多度町史・自然編, 三重県多度町教育委員会。
- 東海淡水生物研究会(1993): 国の天然記念物 - ネコギギ。三重県教育委員会。46。
- Watanabe, K., S. Mori, M. Nagoshi, S. Jeon and Y. Shimizu (1992): Morphological Comparisons between the Two Species of Catfish. Japanese Journal of Ichthyology, 39: 157-162。
- 渡辺勝敏(1997): ネコギギ。日本の希少淡水魚の現状と系統保存。長田芳和・細谷和海(編)。緑書房, 東京。
- Watanabe, K. (1998): Parsimony analysis of the distribution pattern of Japanese primary freshwater fishes, and its application to the distribution of the bagrid catfishes. Ichthyological Research, 45: 259-270。

#### 質疑

- (質問) 抜水, 放水(池干し)が魚類の多様性に影響しているということについて, ある面, 池干しは水質改善などに役立つと聞いていますが...
- (返答) 本文中に示しました。水抜きは水質改善になる要素もありますが, あまりにきれいにかつ完全に乾燥するまで水をなくすことは, 生物の復活や定着に大きな影響を与えることになりません。問題は, 今後の池管理として, ため池に現代的な価値を念頭においた池干しのやり方であると思います。

(質問)私共も、ため池の保全方法を模索しています。現況把握の方法には大変参考になりました。

(返答)有難うございます。今後とも情報交流などを含め、連携的にかつ継続的な交流の場作りが必要と考えます。

(質問)環境に配慮した堤体・護岸とはどんなものか？

(返答)本文中でも触れましたが、基本的に岸を多孔質(空隙)にしたり、植物が生えやすい工夫をすることかと思えます。

(質問)バス・ギルと小型コイ科の数が同じ所は、安定しているのか、移行期と考えて良いのですか？

(返答)本文中でも少し触れました。バス・ギルの採集量と小型コイ科魚類の個体数は負の相関があったわけですが、バス・ギルの方が明らかに成魚、未成魚、稚仔魚など様々な成長段階のものが採集確認されました。また、バス・ギルとコイ科魚類の個体数が同じくらいであっても、ほとんどの池で前者の方が生物量は大きかったといえます。次第に、バス・ギルが占有していくと判断しています。

(質問)水管理をしっかりやっているため池では、種多様性が小さい傾向があったが、最後の方向性のコメントとして、ため池の利用促進が大事ということであった。少し矛盾があるように思うが？

(返答)本文中で少し触れました。これまでの水管理は生物保全ではもちろんなく、農業水利であったわけですが、目的として明確に設定した管理が望まれると思います。利用促進の目的を生物多様性の保全と位置づけることが可能であり、そのように現代的な価値をため池に見出すということこそが今後の管理体制において重要であるということです。この視点なくして、多くのため池はその存在価値が主張することはできないとあえて断定したいと思います。

(質問)ため池保全とは関係なく申し訳ない質問かも知れませんが、主要な餌が魚食であるブラッ

クバスのみと、雑食性であるブルーギルのみの生息するため池の魚類相変化あるいは相関関係について、データをお持ちでしょうか。無ければ、上記観点のデータ分析をお願いしたいと思います。

(返答)残念ながら、バスのみ、ギルのみという池はありませんでした。ただ、バスよりもギルの方が明瞭に多い池は、概して水質や生息環境(泥質、水色、植生)が悪いという印象をもちました。

(質問)ため池の魚は、元々、人間が利用するために入れてきたものです。従って、ため池の魚類相を保全することは、地域ごとに指針などを作成して、人が管理するような体制にするような方向を考えていいのでしょうか。その場合、どのような種類をどこから供給するかなどの問題はどうか解決したらいいとお考えですか。絶滅危惧種のカワバタモロコは、ため池以外にも生息しているのか、それともため池が主な生息場所なののでしょうか？また、ブラックバス専用のため池などを作ることに ついての、お考えをお聞かせください。

(返答)基本的に、ため池管理を保全という目的を加えて地域ごとの指針を作成するべきと位置づけています。いわゆるように、その際、投入する種として、危険分散という目的で同水系内の希少魚類を想定することも、いくつかのハードルを越えれば十分進めていく価値があります。そのためにも周辺水環境の調査、例えば基礎的な分布調査や生物相調査が必要であり、それらを活用するための場や情報交流する場の設置こそが、ハードな土木事業を伴う作業以上に重要だと思います。カワバタモロコの現在の生息地はため池が確かに多いですが、農業水路にも生息しています。元来は、平地の水路や池の止水性の水域を中心に分布していたと思われます。そうした平地域では住宅造成や農業開発により、適した水域が減少し激減しています。それが、ため池造成によって、山間にコイ・フナなどと混入してきたと考えられる場合が少なくありません。つまり、もしそうだとすると、かつての管理者は今からみれば、無意識のうちに生物保全の活動を実践していたということになります。

バスについて私は駆逐していく方策を考えています。ただ現実的にみると、バス釣り専用の管理池の存在は、段階的な駆逐シナリオの中でごく短期的に考えざる得ないかもしれないと思っ

ています。また、わが国の自然特性を理解し、それとの付き合い方を周知するプログラムを作成することが重要でしょう。

# ため池周辺のランドスケープからみたハビタット評価

三橋弘宗<sup>1</sup>・高村典子<sup>2</sup>

<sup>1</sup>兵庫県立人と自然の博物館（〒669-1546 三田市弥生が丘6丁目）

<sup>2</sup>（独）国立環境研究所（〒305-0053 つくば市小野川16-2）

## Landscape Analysis of Wetland Habitats in an Agricultural Ecosystem

Hiromune MITSUHASHI<sup>1</sup> and Noriko TAKAMURA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Museum of Nature and Human Activities, Hyogo, 6 Yayoigaoka, Sanda 669-1546, Japan*

<sup>2</sup>*National Institute for Environmental Studies, 16-2 Onogawa, Tsukuba 305-0053, Japan*

### 1. はじめに

野生生物の生息地保全計画を立案するには、対象とする種の分布を明らかにするだけでなく、環境要因との対応関係から潜在的に生息可能な地域を明らかにする必要がある（USFWS 1981）。一般的に、広域にわたって見落としなく野生生物の分布情報を収集することは困難であり、時期や環境変動、人為攪乱の影響を考慮すると、生物分布調査を実施するだけでは、重要な生息地を見逃す恐れがある。特に、保全の対象として取り上げられることが多い希少種を想定した場合、もともと分布情報が少なく、環境変化によって既に地域的な絶滅が引き起こされていることが多く、十分な調査結果を得ることが難しい。環境アセスメントに該当するような事業の場合には、比較的短期間のうちに評価を下さねばならないため、限られた調査だけでは、誤った結論を導く恐れがある。

分布情報の不完全性を補完するには、分布情報と景観要因との関連性から、潜在的な生息場所（ポテンシャルハビタット）を推定し、最も効果的な場所を選定して保全対策を講ずることが必要である（三橋・池田 2001）。こうしたアプローチは、これまで様々な生態系を対象とし、生息場所の特性や構造、空間配置に関する景観要因の指標から、野生動物の潜在的な生息地推定が行われてきた（Faush *et al.* 1994; Dettmers and Bart 1999; Oberdorff *et al.* 2001）。

しかし、モンスーンアジアに特徴的である、ため池を基軸とした田園生態系を対象とした事例は

乏しい。ため池周辺に着目しても、森林の状況、地形、土地利用の隣接関係など、多様な生息環境を包含しているため、周辺の景観によって生息地の構造は大きく異なる。これまで、ため池に関して広域的な立地特性を記述する方法は、「皿池」、「谷池」といった定性的な分類がなされる程度で（角野 1998）、客観的な判断基準は定められていない。ため池を主な生息環境とするトンボ類に着目しても、生息環境に関する図鑑の表記を参照すると、「鬱蒼とした森林に囲まれた」、「湧き水が豊富な平地の池」、「水田地帯」といったように、周辺景観の状況を適切に表現しているものの、客観的な数値指標として記述された事例は乏しい。

そこで本研究では、ため池およびその周辺に生息する水生生物の生息場所評価を客観的に行うため、地理情報システムを用いて、広域的な景観要因の分布様式の定量把握を行い、現状において良好な景観特性が残存する地域の特定を行った。具体的には、ため池の水文地形学的な立地特性、ため池密度の評価、周辺ランドスケープの特性、人為影響を数値化し、オーバーレイを行うことで地域特性の概観を地図として表現することを試みた。

### 2. 方法

本研究は、兵庫県南部地域のため池群を対象とし、ため池の景観特性が分布様式に反映されると考えられるトンボ類および両生類を評価対象として想定した。景観要因については、これらの種群の生息条件を反映するパラメータを選定した（表

1)。水質や水草の分布を既定する地形要因として、topological wetness index (TWI) を採用し、丘陵地などの傾斜地の谷間に立地するため池と平地のため池を、連続関数でもって区分した。TWIは、水文地形学的な指標値であり、地下水位や地表侵食、湿地形成と関連することが知られている (Wilson and Gallant 2000)。また、トンボ類幼虫に対する積算温量や水生植物の一次生産の指標として、地形の立地条件によって左右される相対積算日射量を算出した。次に、人為的な影響として、生物の移動障害、人為干渉、汚濁負荷を想定し、土地利用図を活用して、半径 2 km 以内の森林占有率、市街地占有率、道路密集度を集計した。ため池の分布様式に関しては、トンボ類の移動分散が飛び石状に行われることを想定し、約 1 km 四方内に含まれるため池の個数からため池密集度を算出した。さらに、森林と水田・ため池のエコトーン部に形成される極めて小規模な湿地が、両生類をはじめ各種水生生物の生息に大きく関係することから (三橋 2002)、半径 2 km 以内に含まれる林縁密度を算出した。

これらの景観要因は、すべて地理情報システムを用いて空間データとして整備し、解析単位を 100m メッシュとした。集計にあたっては、まず、ため池の立地特性として、TWI から皿池 (8 以上)、谷池 (7 未満)、中間池 (7 以上 8 未満) に区分し、

これらの池タイプごとに、図 1 の手順でそれぞれの空間データを集計した。集計の際には、一般的に生物の生息に有利だと考えられる条件を取り上げ、相対的に人為攪乱による影響が低いこと、日射量が多く水生植物の繁茂に有利なこと、周辺に林縁やため池が集中することを基準にして条件設定した。今回のケースでは、解析のための外的基準が存在しないことから、各評価値の標準偏差による相対的な区分とした (図 1)。これらの集計結果から、すべての条件を満たす地域のみ抽出し、該当する領域を地図上に表現した。

### 3. 結果および考察

景観特要因を用いて、前述した手順に従って評価した図を示す (図 2)。図 2 に示す 3 種類の地図を見比べると、条件を満たす地域の分布様式に違いが認められる。おもに平地に立地する皿池では、比較的均等に散らばっており、ひとつのクラスターがやや大きい傾向がある。一方、谷池と中間池については、両者の分布様式は似ており、北東部の丘陵地帯に集中する傾向がある。存在量を比較してみても、条件を満たす皿池が 6114 セルに対して、中間池では 8152 セル、谷池では 8998 セルとなり、皿池が最も少なかった。この理由は、谷池や中間池が人為影響を受けにくい山間部や丘陵地の森林地帯に隣接するためだと考えられる。人

表 1. ため池を広域的に評価するための景観要因とその作成手順.

項目	説明
土地利用図	環境省自然環境保全基礎調査植生図から凡例を統合して作成、第3回、4回、5回のデータを重ね合わせ処理
森林占有率	上記土地利用図から森林 (竹林、植林を含み、果樹園を除外) のみ抽出し、半径 2km の範囲の占有率を計算して算出
市街地占有率	上記土地利用図から市街地 (工場、造成地を含む) のみ抽出し、半径 2km の範囲の占有率を計算により算出
道路密集度	数値地図 25,000 掲載の道路をラインデータに変換し、半径 2km の範囲に含まれるラインの長さの積算値を算出
ため池密集度	数値地図 25,000 掲載のため池をポリゴンデータに変換し、1km 四方の範囲に含まれるため池の個数と面積を算出
topological wetness index (TWI)	数値地図 50 m メッシュから作成した DEM に基づき、Wilson and Gallant (2000) に従って算出
相対積算日射量	数値地図 50m メッシュから作成した DEM に基づき、春分の日 (3月21日) を想定した日平均の指標値として算出
林縁密度	上記土地利用図の森林と水田、ため池が隣接するメッシュを選定し、半径 2km の範囲の占有率を計算により算出

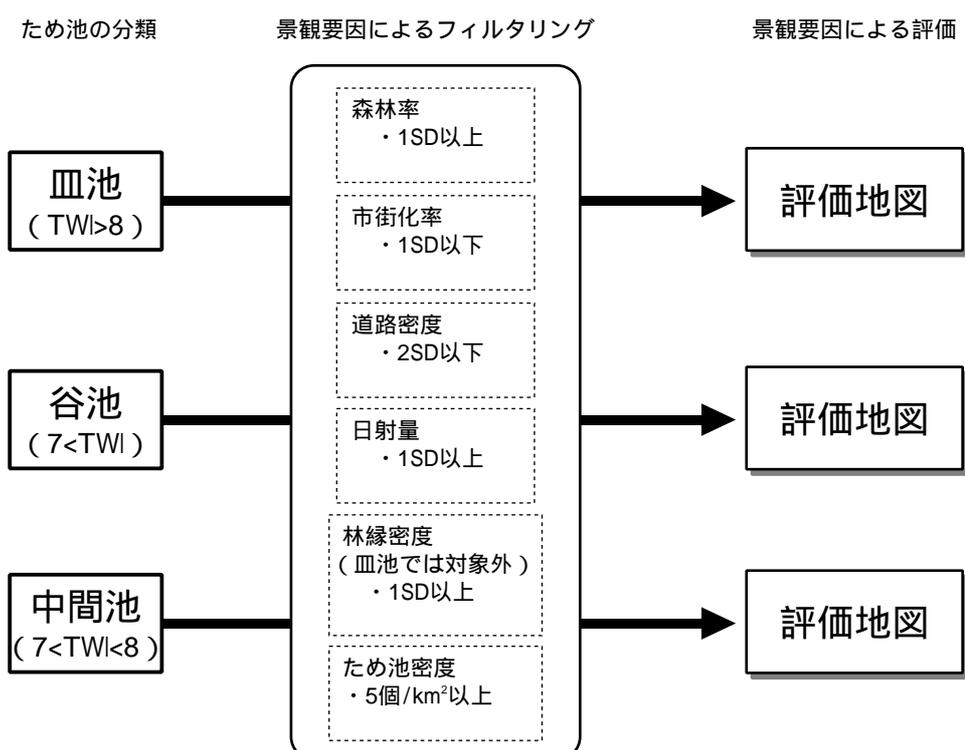


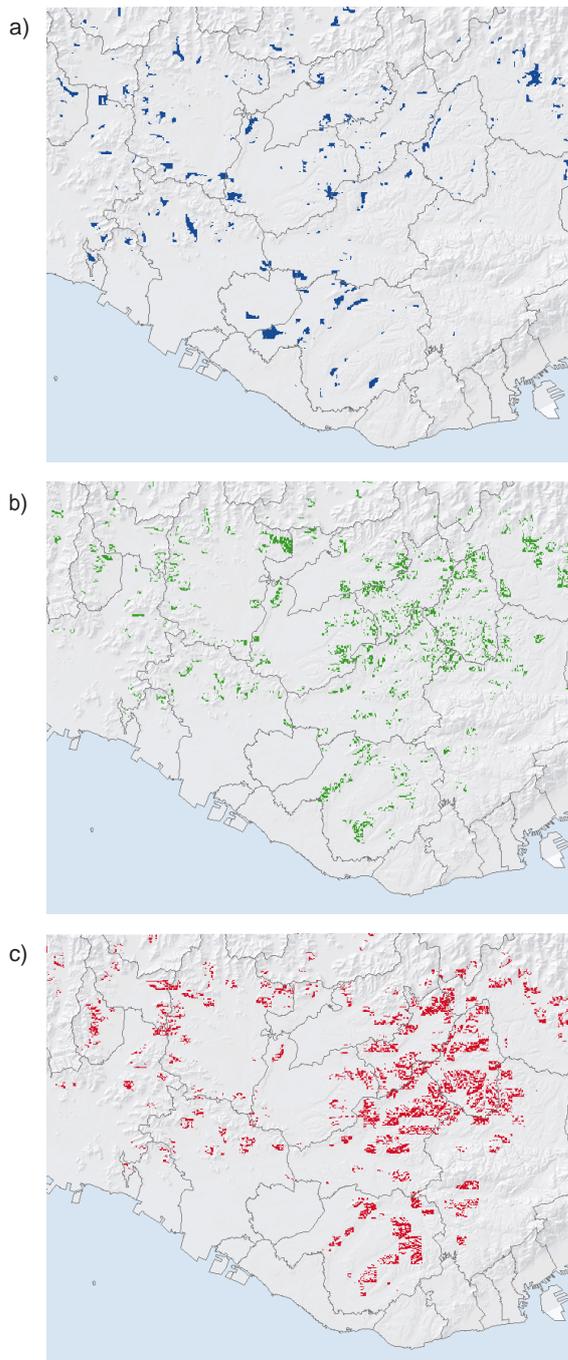
図1 . ため池評価の集計フロー.

為的な干渉が少なく、森林が隣接した平地の池沼が乏しいという結果になり、立地特性の観点からすれば、最も優先的に保全すべきタイプは、先述した条件を満たす皿池と考えられる。中でも、空間的な広がりを持って皿池が広がる地域は、三木市細川町周辺、青野ヶ原自衛隊演習場周辺、小野市鴨池南部周辺、神戸市西区平野～岩岡となった。これらの地域は、希少なトンボ類や半翅目類が多産する地域であり(八木私信)、希少水生動物の保護区設定の観点から、重点的に調査が必要だと思われる。

一方、条件を満たす谷池や中間池は、社町、吉川町、神戸市北区八多町および大沢町の周辺に集中している。これらの地域には、小規模のため池群が点在しており、中には地図に掲載されていないため池も少なくない。これまでも調査は十分に行われておらず、今後詳細な調査を要する地域だと考えられる。最近になって、条件を満たす中間池と谷池が密集する社町中央部において、絶滅危惧類に指定されているナニワマダラヤンマの新産地が発見されていることから(青木私信)、同じ

立地特性を有する地域を綿密に調査することで、さらに新産地の発見が期待される。

今回の集計に用いた方法は、外的基準によって尺度化されていないことから、極めて恣意的な評価である。評価の閾値を変動させることで、描かれる地図は異なったものとなる。しかし、こうした試験的な評価であっても、地域特性を概観することが可能であり、より詳細で厳密な解析への基礎として活用することが出来る。少なくとも、今回の方法は集計手続きが明瞭に示されており、第三者による集計の再現性があり、対話的に評価の閾値を変動させることで、好適地を絞り込むなど、地域を概観することができる。実際に、今回の結果では、以前から昆虫研究者が関心をもっていた地域が該当しており、希少野生生物の分布特性や生物多様性のホットスポットを解析的に取り扱うための、最初の取り組みとして、今回採用した方法は有効だと考えられる。今後は、外的基準として特定の水生昆虫類の分布等を尺度とした詳細な統計モデルを作成し、地域のポテンシャルを評価する作業が期待される。



a)皿池 , b)中間池 , c)谷池

図2 . 景観要因にもとづく評価図.

## 引用文献

- Dettmers, R. and J. Bart ( 1999 ): A GIS modeling method applied to predicting forest songbird habitat. *Ecological Applications*, 9: 152-163.
- Faush, K. D., S. Nakano and K. Ishigaki ( 1994 ): Distribution of two congeneric charrs in streams of Hokkaido Island, Japan: considering multiple factors across scales. *Oecologia*, 100: 1-12.
- 角野康郎 ( 1998 ): ため池の植物群落 - その成り立ちと保全 . 水辺環境の保全 - 生物群集の視点から - , 江崎保男・田中哲夫 ( 編 ): 1-16 . 朝倉書店 , 東京 .
- 三橋弘宗・池田 啓 ( 2001 ): フィールドワークの軌跡が語る生態系のすがた . *GIS Japan*, 1: 93-98.
- 三橋弘宗 ( 2002 ): 生息環境を地図化して隣接関係を評価する . *遺伝* , 56 ( 5 ) 75-79.
- Oberdorff, T., D. Pont, B. Hugueny and D. Chessel ( 2001 ): A probabilistic model characterizing fish assemblages of French rivers: a framework for environmental assessment. *Freshwater Biology*, 46: 339-415.
- U. S. Fish and Wildlife Service ( 1981 ): Standards for the development of suitability index models. *Ecological services manual 103*. U. S. Department of Interior, Fish and Wildlife Service, Division of Ecological Services. Government Printing Office, Washington, D. C., USA.
- Wilson, J. P. and J. C. Gallant ( 2000 ): *Terrain Analysis: Principles and Applications*. John Wiley & Sons, Inc., New York.

# 香川県のため池の現状 - 希少動植物保護に向けた取り組み -

白井康子<sup>1</sup>・木村正英<sup>2</sup>

<sup>1</sup>香川県環境保健研究センター（〒760-0065 高松市朝日町5-3-105）

<sup>2</sup>香川県環境森林部環境・水政策課自然保護室（〒760-8570 高松市番町4-1-10）

## Current Situation of Ponds in Kagawa Prefecture - Activities to Protect Endangered Species of Flora and Fauna -

Yasuko SHIRAI<sup>1</sup> and Masahide KIMURA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Kagawa Prefectural Research Institute for Environmental Sciences and Public Health, 5-3-105 Asahimachi, Takamatsu 760-0065, Japan*

<sup>2</sup>*Nature Protection Office, Environment and Water Resources Policy Division, Environment and Forest Department, Kagawa Prefectural Government, 4-1-10 Bancho, Takamatsu 760-8570, Japan*

### 1. はじめに

熱帯雨林の急激な減少、種の絶滅の進行への危機感、更には人類存続に不可欠な生物資源消失への危機感が動機となり、生物全般の保全に関する包括的な国際枠組みを設けるために、平成4年、国連環境開発会議（地球サミット）開催に併せ、「気候変動枠組み条約」とともに、「生物多様性条約」が採択された。これにより、各国政府は生物多様性の保全と持続可能な利用を目的とした国家戦略を策定することが求められることとなり、日本は平成7年に最初の国家戦略を、平成14年に「新生物多様性国家戦略」を策定した。新国家戦略は、生物多様性の危機の現状やそれらに対する国民意識の向上・成熟を踏まえて、「自然と共生する社会」実現を目的とした自然の保全と再生のためのトータルプランと位置づけられている（環境省2002）。生物多様性保全をめぐる動きを表1に示す。

また、日本の絶滅のおそれのある野生生物の種類について、減少率等を勘案した評価を基にレッドデータブックが策定されているが、この中には私たちが慣れ親しんできたメダカやタガメ等が含まれ、絶滅の危機が身の回りの生物に及んでいることに驚かされる。メダカやタガメ等は人間の営みにより維持されてきた二次的自然を生存基盤としていたが、社会情勢の変化に伴い、彼らに適した二次的自然が喪失し絶滅の危機に晒されている。レッドデータブックのカテゴリーを表2に示す。

こうした状況は香川県も例外ではない。香川県は、南は讃岐山脈、北は瀬戸内海に面し、中央部に数多くのため池や山々が点在する讃岐平野が広がり、変化に富んだ二次的自然を有している。このため、県内には里地・里山に生息する野生生物が数多く確認されていたが、近年、その生息数は減少傾向にあり、なかには絶滅の恐れのある種もでてきた。

表1. 生物多様性保全をめぐる動き.

平成5年	生物多様性条約締結	生物全般の保全に関する包括的な国際枠組み
平成5年	絶滅の恐れのある野生動植物の種の保存に関する法律	絶滅の恐れのある野生動植物の種の保存に関する基本構想を定めたもの、国内希少野生動植物種(57種)の指定
平成7年	生物多様性国家戦略	条約の内容を反映
平成12年	第2次環境基本計画	11の重点プログラムのひとつに「生物多様性保全のための取組み」掲げる
平成14年	新・生物多様性国家戦略	「自然と共生する社会」実現を目的とした自然の保全と再生のためのトータルプラン

表 2 . レッドデータブック (RDB) のカテゴリー. (環境省 1997)

絶滅 (EX)	わが国では既に絶滅したと考えられる種
野生絶滅 (EW)	飼育・栽培下でのみ存続している種
絶滅危惧IA類 (CR)	ごく近い将来における絶滅の危険性が極めて高い種
絶滅危惧IB類 (EN)	Aほどではないが 近い将来における絶滅の危険性が高い種
絶滅危惧 類 (VU)	絶滅の危険が増大している種
準絶滅危惧 (NT)	現時点では絶滅危険度は小さいが 生息条件の変化によっては「絶滅危惧」に移行する可能性のある種
情報不足 (DD)	評価するだけの情報が不足している種
絶滅の恐れのある地域個体群 (LP)	地域的に孤立している個体群で 絶滅の恐れが高いもの

平成 15 年 3 月に策定された香川県版レッドリスト (暫定版) では, 県内で絶滅の恐れのある野生生物として 798 種類 (植物 401 種, 動物 397 種) がリストアップされた。このうち約半数はタガメ, ゲンゴロウ, ドジョウ, メダカ, トノサマガエル, キキョウ, オミナエシなど, 身近な種であることが明らかとなった。これらの種に絶滅の危機をもたらしていると考えられる要因を分析したところ, 森林の開発, ため池や河川の改変など各種の開発行為に加え, ため池や森林の管理放棄やそれに伴う植生等の遷移, 過剰な捕獲・採取, ブラックバス等の移入種などが挙げられた。

香川県のため池の現状について, 希少動植物保護の取り組みを中心に紹介する。

## 2 . 香川県のため池の現状 (久米池の事例)

### 2・1 久米池の概要

久米池は, 平成 15 年 3 月に策定された香川県版レッドリストで絶滅危惧 類 (環境省 2002, 絶滅危惧 類 (VU)) に分類されている希少水生植物アサザ *Nymphoides peltata* が, 香川県で唯一残っている自生池である。

久米池は高松平野の東の端に位置し, 東部の雲附山地と高松低地の境 (国土庁 1973) に所在する, 満水面積 18.6ha, 貯水量 35.2 万 m<sup>3</sup> (香川県 2000) の台地ため池 (平野内陸部に位置し, 洪積層下位台地が沖積・扇状地平野と接する位置にあり, 下位台地が形づくる窪地を巧みに堰き止めたもの (日本水環境学会 2000)) で, 東側, 南側が浅く, 堤のある西側, 北側が深い。南西部の河川よりの導水と南東部の香川用水が主要な流入水で, 主たる流出水は北東から流出している。池内は南西から北東への流れが卓越しており, その両側は停滞

気味とのことである。久米池の全体図を図 1 に示す。

江戸初期に, ここから屋島にかけての低地に塩田が築かれたが, 現在は農地と住宅地が混在する地域となっており, 殊に雲附山地の西斜面は宅地開発が進んでいる。宅地開発に伴い後背地などから池内に土砂が流入し渚が形成されており, アサザはこの渚部を好んで生育している。

昔は, ハス, オニビシが繁茂していたと記録されている (香川県 2000) が, 現在はアサザのみが池の南東部分から東岸一帯及び南西部分に自生しており, 特に東岸では大きな群落が形成されている。しかし, アサザがいつごろより自生していたのかは記録がない。

池の利用は農業用水の取水及び池内での養魚である。香川県では, 比較的大きなため池にあたるが, 近年水質汚濁が進行し, ミクロキスティス属によるアオコが常時発生している。

### 2・2 久米池の周辺環境保全整備事業

香川県は平成 6 年に記録的な渇水に見舞われた。これを契機にため池の貯水機能が見直され, 以降, ため池の整備事業が県下一斉に進められる

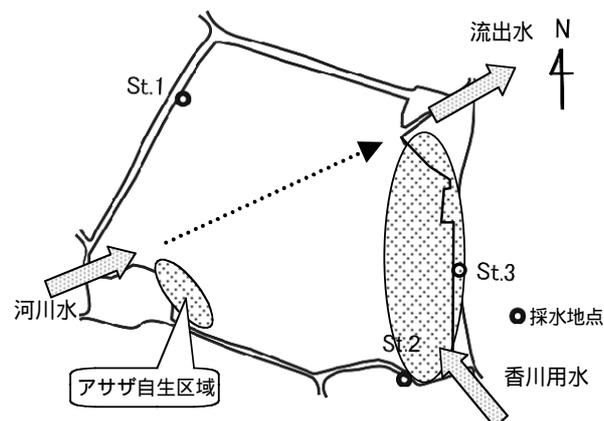


図 1 . 久米池全体図.

こととなった。

久米池の周辺環境保全整備事業は、古高松南部地区を対象とした、県営地域ぐるみため池再編総合事業（平成 9～14 年度、事業費 631,000 千円）の一部で、平成 13 年度には西及び北の堤体上をカラー舗装により遊歩道として整備し、平成 14 年度には東の池内に捨石工によりアサザ観察用遊歩道の基礎が作られたほか、これまで池内に直接流入していた地区外からの流入箇所を取合せ水路を 3ヶ所設置するなどした。（吉本 2003）

近年の公共事業のあり方や良好な環境に対する関心の高まりをうけ、河川法等の改正、公共事業の見直し等が行われ、各種事業実施にあたっては環境配慮が求められるようになった。農業分野でも、新たに制定された「食料・農業・農村基本法（平成 11 年法律第 106 号）」において、農業生産基盤の整備に当たっては環境との調和に配慮しつつ必要な施策を講ずることとされた。このことをうけ、「土地改良法（昭和 24 年法律第 195 号）」も同様の改正がされており、久米池における周辺環境整備事業でのアサザの保全対策の実施はこうした流れに沿ったものである。

今回の工事では、土地改良区、水利組合等関係者の理解を得て、アサザへの影響を少なくするよう検討いただいた。しかし、遊歩道の基礎工事等の行われた区域は東岸一帯のアサザ自生区域と重

なっており、工事前、この区域の群落の面積は約 5,400m<sup>2</sup>であったが、30%に相当する約 1,500m<sup>2</sup>が埋立てにより失われた。東岸工事区域拡大図及びアサザの自生区域を図 2 に示す。

### 2・3 久米池の水質

工事前のアサザ自生区域の水質を表 3 に示す。この水質を農業（水稻）用水質基準と比べると、EC、DO、SS の年間平均値は基準を満たしているが、pH、COD、TN の年間平均値は基準を超過しており、これらの項目については年間の最低値でも基準を満たさなかった。各測定項目の値は非常に高い数値となっており、久米池は富栄養化の進んだ池であることがわかる。しかしながら、香川県の平野部のため池の平均値 TN 1.9 mg L<sup>-1</sup>、TP 0.15mg L<sup>-1</sup>（石原ら 1998）と比べると、著しく水質が悪いわけではなく、同程度の水質である。

水質の経月変化について図 3 に示す。主にアオコ等プランクトンの増減に起因する Chl. *a* の増減と懸濁性 COD、SS、懸濁性 TN、懸濁性 TP の挙動が良く一致していることが読み取れる。これらの項目間には高い相関が認められており、池の水質変動はアオコの消長と関係が深いことが伺えた。

香川県に唯一残された久米池のアサザであるが、常時アオコが発生しているなど池の水質汚濁が進行しており、今後、水質改善のための何らかの対策が必要と思われる。

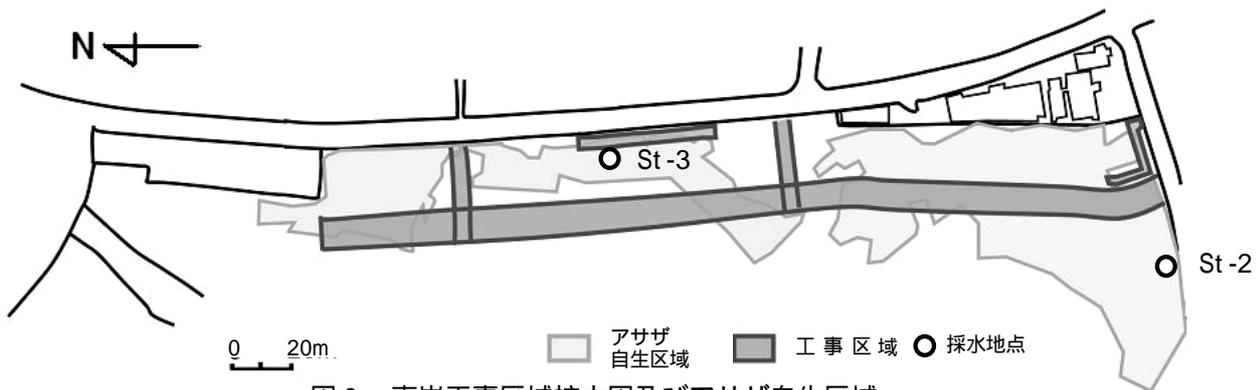
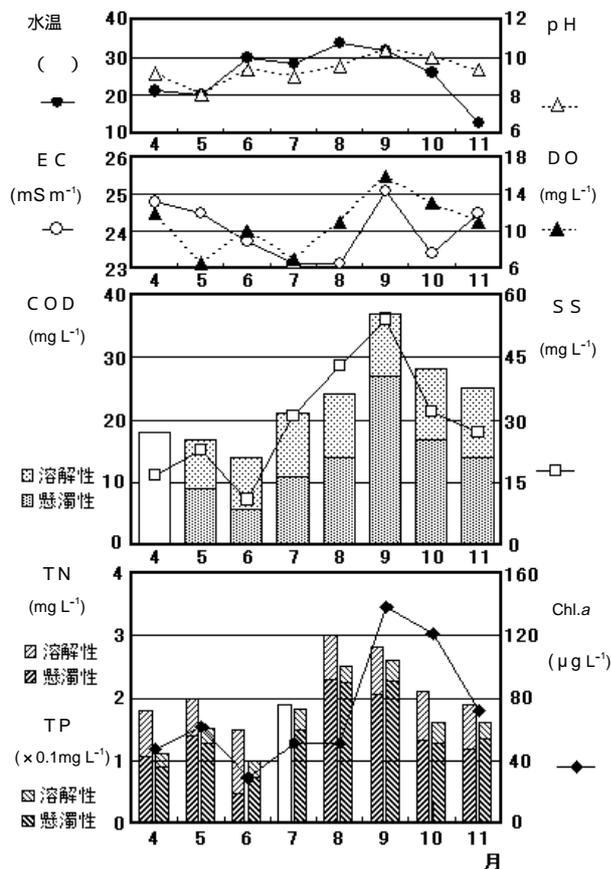


図 2 . 東岸工事区域拡大図及びアサザ自生区域.

表 3 . 工事前のアサザ自生区域の水質( St-2 平成 14 年 4 月～11 月平均 ,n= 8 ).

項目 地点	pH	EC (mS m <sup>-1</sup> )	DO (mg L <sup>-1</sup> )	COD( mg L <sup>-1</sup> )		SS (mg L <sup>-1</sup> )	TN( mg L <sup>-1</sup> )		TP( mg L <sup>-1</sup> )		Chl. <i>a</i> ( μg L <sup>-1</sup> )
					うち溶解性			うち溶解性		うち溶解性	
St-2	9.3	24.0	10.8	23.0	9.8	30	2.1	0.75	0.17	0.028	71
農業( 水稻 ) 用水質基準	6.0～ 7.5	30mS m <sup>-1</sup> 以下	5ppm 以上	6ppm 以下		100ppm 以下	1ppm 以下				



4月のCOD, 7月のTNIは総量のみ

図3. 水質経月変化( St-2 ).

## 2.4 久米池のアサザ保護の取組み

工事によりアサザ自生区域の一部が埋め立てられることとなったため、平成14年12月、水利組合、地元自治会、工事関係者等の協力を得て、工事区域内のアサザの掘り取り、緊急避難を行った。掘り取ったアサザは池内の他の場所へ移設したほか、池外への避難として近隣の2小学校、1中学校に預けられた。工事終了後、平成15年4月に、古高松小学校4年生121名、古高松南小学校4年生51名等の協力で、アサザの定植を行っており、これらの学校では、アサザの観察を続けている。アサザ保護の取組みの様子を図4に示す。

近年、総合学習などで子供の身近な環境を教材として選ぶことが増えている。こうした機会に子供たちが身の回りの自然に触れることは、周りの大人の関心が身の回りの自然に向けられる良い機会ともなる。今回の環境整備をきっかけに、地元住民による久米池の愛護会が発足し、アサザの保護が始まった(吉本 2003)。本事業により、住民



緊急避難(平成14年12月)



保管(平成15年2月)



植付け(平成15年4月)



見学(平成15年10月)

図4. アサザ保護の取組み.

# 絶滅危くの水草 アサザ守ろう



**高松の久米池 児童ら定植作業**

「アサザ」は絶滅危惧種に指定された。高松市の久米池で、児童らによる定植作業が行われた。アサザは、絶滅危惧種に指定された。高松市の久米池で、児童らによる定植作業が行われた。アサザは、絶滅危惧種に指定された。高松市の久米池で、児童らによる定植作業が行われた。

**水質浄化も期待**

アサザは、水質浄化にも効果的である。高松市の久米池で、児童らによる定植作業が行われた。アサザは、絶滅危惧種に指定された。高松市の久米池で、児童らによる定植作業が行われた。

図5 . 四国新聞(平成15年4月17日)

が地元の貴重な植物に目を向けるきっかけをつくれたことは大きな成果であった(図5)。

### 3 . 香川県における希少動植物保護の取り組み

香川県には、ニッポンバラタナゴ、オニバス、アサザ等全国的にみても貴重な野生生物が残されている。県では平成5年「絶滅の恐れのある野生動植物の種の保存に関する法律」が施行されたことを受け、これら希少な野生生物の保護及びその生息環境の保全に努めるため、平成6年度から希少野生動植物保護対策事業としてヤイロチョウ、ニッポンバラタナゴ、ハヤブサ、ミサゴ、オニバスについて生息実態調査等を実施してきた。

この事業の最初にニッポンバラタナゴが取り上げられ、平成6年度、7年度の2カ年で生息調査を実施し、平成8年度以降は、モニタリング調査と生息地周辺の生息調査、開発工事に伴う避難移植、復元移植などの事業を継続している。平成13年度までの生息調査で、32のため池と3河川で天然分布が確認されたが、平成13年度に生息が確認されたのは16ヶ所であった。これらのため池の散在する生息地域は、環境省の「日本の重要湿地500」のひとつに選定されている。

また、平成11年度からは、より効率的な保護対策を推進するために保護管理の指針を定めることとし、「オニバス保護管理マニュアル(平成12年3月)」「水生昆虫保護管理マニュアル(同13年

3月)」「ニッポンバラタナゴ保護管理マニュアル(同14年3月)」「ハクセンシオマネキ保護管理マニュアル(同15年3月)」の4つのマニュアルを作成しているが、対象種のうちオニバス、水生昆虫、ニッポンバラタナゴはため池と関係が深く、これらの種を適切に保護していくためには、ため池の環境をどう守っていくかという視点が欠かせない。

香川県環境保健研究センターも、これら調査に協力したほか、希少動植物に関する調査研究にも取り組んでいる。

#### 3・1 オニバスに関する研究(香川県環境保健研究センター 平成10～12年度)

オニバス *Euryale ferox salib.* (図6)は平成15年3月に策定された香川県版レッドリストで絶滅危惧類(環境省2002,絶滅危惧類(VU))に分類された水草で、全国的にみてもその生育地は100ヶ所程度、その半数以上は香川県に所在する。香川県におけるオニバスの発生状況を図7に示す。近年発生箇所数は微増傾向にあったが、2003年は夏季の天候不順のためか18箇所にとまった。

香川県環境保健研究センターでは、平成10～12年度に「ため池の富栄養化とオニバスの生育」をテーマに調査研究を行い、ため池水質の季節変化、種子の発芽、底泥の富栄養化の実態等を明らかにし、その成果を所報に報告している(石原ら1998)。現在は、オニバスの定植方法について検討を行っている。

#### 3・2 ニッポンバラタナゴに関する研究(同平成13年度～)

新国家戦略では、「わが国の河川は、大陸の河川



図6 . オニバス生息池とオニバスの花 善通寺市前池(平成14年10月)

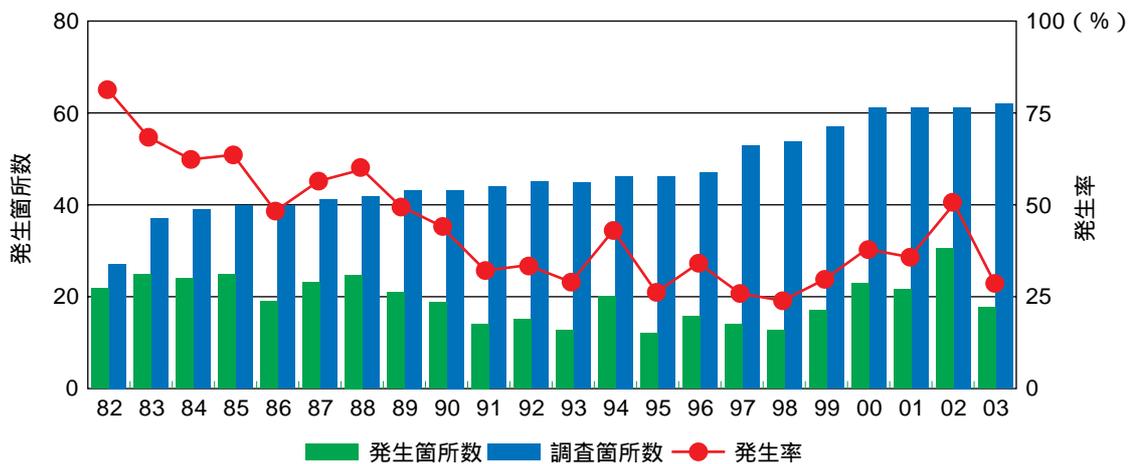


図7．オニバス発生池の経年変化（香川植物の会久米修氏データにより作成）

に比べてはるかに小規模で短いため、純淡水性魚類の種数は類縁性の高いアジア大陸東部と比較して少なくなっている。しかし、地史的過程を反映して、種や亜種の段階でわが国固有のものが少なくない」とされており、ニッポンバラタナゴ *Rhodeus ocellatus kurumeus* (図8)もこうした固有種のひとつである。

ニッポンバラタナゴは、コイ科タナゴ亜科に属する淡水魚で、かつては西日本に広く分布していたが、現在では、香川県、大阪府、北九州地方など一部の地域で生息するのみで、環境省レッドデータブックで絶滅危惧 A類(ごく近い将来における絶滅の危険性が極めて高い種)に指定されている。

ニッポンバラタナゴは、生息環境の劣化やブルーギル、ブラックバス等の移入種による捕食のほか、中国から持ち込まれたソウギョ等の種苗に混じって移入された近縁種であるタイリクバラタ

ナゴとの競合や交雑により生息数を減少させた。香川県においても、県西部を流れる財田川に放流されたアユの稚魚に混じって、タイリクバラタナゴが入ったといわれており、現在では、県中央部を南北に流れる香東川までタイリクバラタナゴが侵入している。また、ブルーギル、ブラックバスも非常に小さな池でも、かなりの場所で確認されるようになっており、ニッポンバラタナゴなど外来種の存在を脅かすようになってきている。

ニッポンバラタナゴの保護対策を円滑に実施するには、タイリクバラタナゴとの種判別が不可欠で、これまで、形態学的分類、アイソザイム分析、PCR-RFLP分析が実施されてきた。しかしながら、外部形態では種判別が困難であること、また、アイソザイム分析、PCR-RFLP分析も時間がかかるなどの問題点がある。

両種の外部形態の比較を表4に示す。

香川県環境保健研究センターでは、平成13年度より、両亜種の判別を、簡便かつ迅速に実施する手法を開発するため、香川県環境保健研究センターと香川大学遺伝子実験施設が共同でニッポンバラタナゴとタイリクバラタナゴの遺伝子の比較に関する研究を開始した。

香川県下に存在する他の希少動植物の保護対策の実施、レッドデータブックに記載された他のタナゴ類の保護にも本研究の成果を生かすことができると考えている。

#### 4．人と自然が共生する環境創造モデル事業

ため池は香川県の特徴的な生物相を形成し多様



図8．ニッポンバラタナゴ。



とめ、二次的自然環境の保全活動の充実を図ることとしている。

モデル事業の対象としたため池は、地域の過疎化、高齢化等により草刈など管理の間隔が長くなり、堤防には笹が繁茂し、また、沿岸は周辺の雑木林から樹幹が張り出し薄暗くなっていた。ワークショップで対象ため池をどう管理するのか検討した後、11月30日にボランティアによる草刈が行われた。また、12月14日には池干しが行われ、生態系調査も実施された。16年度中には数回のワークショップの開催を計画している。

## 5. まとめ

ここに掲げた取組みのほか、県下では様々な取組みが進められている。

香川大学工学部では県の委託を受け「牟礼町のため池をみんなで一緒に考える」というテーマのもとにPCM(プロジェクト・サイクル・マネジメント)ワークショップを開催し、農家と非農家の人たちがため池の問題について意見交換を行った。(森下ら 2002)

また、香川県水産試験場では、水産庁の委託を受け、ブルーギル、ブラックバスの駆除方法の検討を進めている。

これらの取組みとの連携を図ることにより、県下に残された多様な自然環境を適切に保全することが可能になるものと思われる。

## 引用文献

石原 暁・川波誉大・白井康子・小山 健・笹目康子(1998):ため池の富栄養化とオニバスの生育-(1)ため池水質の季節変化-.香川県環境研究センター所報,23:41-50.

香川県(2000):讃岐のため池誌.1121-1129.ぎょうせい,東京.

環境庁(1991):ニッポンバラタナゴ保護増殖事業報告書,4-8.

環境省(1997):日本の絶滅のおそれのある野生生物-レッドデータブック.自然環境研究センター,東京.

環境省(2002):新・生物多様性国家戦略.1-4.ぎょうせい,東京.

国土庁(1973):土地分類図(香川県)復刻版.

森下一男・白木 渡・石田健一・角道博文・守田秀則(2002):ため池保全における住民参加と情報発信.農業土木学会誌,70(10):913-916.

日本水環境学会(2000):日本の水環境 6中国・四国編.59-60.技報堂出版,東京.

吉本政輝(2003):「あさざ」の里・久米池-地域住民による保全活動の取り組み事例-.農業土木学会中四国支部シンポジウム「大切なため池を後世に残そう~ため池の整備・保全について~」要旨集,49-58.

## 質疑

(質問)聞き逃したかもしれませんが 結局アサザの保護には成功しましたか?

(返答)工事期間は平成14年12月より平成15年3月でした。

アサザの緊急避難を実施したのは平成14年12月、移植は平成15年4月です。4月には池内の株にも芽吹いたアサザが観察され、湛水開始後、すぐに浮葉が見られるようになりました。平成15年には再び以前と変わらぬ群落が出現しております。

しかしながら、今回の工事によって、アサザの生育環境に著しい改変が加えられたことによりはなくなり、今後も観察を続けていく必要があると考えています(図11)。

(質問)行政の取り組みには敬意を表します。しかし、アサザ群落の損壊を伴う工事そのものは是非、工法の検討は無かったのでしょうか?ミチゲーションやそれに付帯する住民の参加では問題の根本解決と言えないと思います。



図11. 池内での芽吹き 平成15年4月.

(返答) ご指摘のとおり、問題の根本解決ではないのは存じております。しかしながら、行政の立場からすれば、ため池の持つ他の機能を健全に保つことも重要な役割でもありますし、住民のニーズが希少動植物の保護とは別のところにある場合も考えられますので、個々の事例毎に判断するほかありません。香川県においては、希少な動植物の存在を理由に個人の権利が制限されてもよい、というほどの合意形成は現段階では困難と考えております。

今回の工事は、地区全体のため池再編事業の一部でもありました。工法等につきましては、土地改良区、水利組合等利害関係者や工事関係者の理解を得て、影響面積を出来るだけ少なくするよう検討していただきました。

今回の工事に伴うアサザ保護の取組みにより、住民が身近な自然に目を向けるようになったことが、ひとつの成果であったと思います。今回の取組みが次のステップに繋がるよう努力を続けてまいりますので、ご理解をお願いします。

(質問) 香川県のため池の現状を知ることができました。これからの調査結果が興味深いです。

(返答) 今回の久米池の調査結果の詳細については、香川県環境保健研究センター所報第2号(2003)に掲載します。香川県環境保健研究センターのホームページ([http://www.pref.kagawa.jp/kankyo/e\\_center/index.htm](http://www.pref.kagawa.jp/kankyo/e_center/index.htm))でも閲覧できると思いますので、参照してください。

(質問) 小学校へ預けたアサザの日常的な管理方法をお教え下さい。また、アサザを人工的に栽培・増やすことは出来ますか？

(返答) 小学校へ預けたアサザは、1株ごとにポット植えにしコンテナに入れました(図12)。管理は、一冬のみでしたので、乾燥させないように、また、浸かりすぎないように、足し水をする程度で充分でした。

アサザは、基本的に強健な植物です。池内で千切れて漂っている株でも、土に植えれば活着しますので、栽培は容易です。株分けは、新しい節を切って土に挿すだけです。バケツ栽培でも可憐な黄色い花を観察することが出来ます。

しかしながら、アサザは異型花柱性で、長花柱花、短花柱花、等花柱花があることが知られており、同じ花同士ではほとんど受粉しないことから、保護を行おうとするのであれば、配慮が必要です。

(<http://www.kasumigaura.net/asaza/syoukai/asaza030527/index.html> をご参照ください)

(質問) ボランティアによる池の管理の取組みは非常に大切、重要と思います。今後の成果を期待しております。

(返答) 平成16年度までの事業で実施中です。成果は香川県環境・水政策課自然保護室で取りまとめられることになると思います。

(質問) 小学校でのアサザの栽培方法はどのようにされているのでしょうか。(採集、配布から植付けまで)



図12. アサザの栽培 平成14年5月。

(返答) 今回の保護対策では、預かり先を募集したわけではなく、久米池近隣の小・中学校に個別にお願いしました。このうち2小学校には植え付けに参加していただきましたが、その他の作業はすべて、県、土地改良区、水利組合、工事関係者等で行いました。

小学校では、移植後もコンテナ栽培のアサザを校内に置き、観察を続けています。

(質問) 工事の際移植して、後で定植したアサザの生育状況はいかがですか。

(返答) 15年にも旺盛に生育し、群落を形成した

ことから移植作業には問題なかったものと考えています。ただし、移植株と池内に残っていた株を区別しているわけではありませんので、移植株の定着量は不明です。池内に残っていた株は、半年近く干上がっていたにもかかわらず春先には芽吹いていました。

(質問) 周辺の人々が保全したい、保全しようと思うため池とそうでない池について、何が違うのでしょうか。感じておられることがあれば教えてください。現状では、希少動植物が生息あるいは生育していれば、保全への取り組みが行われると考えていいのでしょうか？その場合、香川県ではアサザ以外にどのような生き物でどのようなことをやっておられるのか教えてください。

(返答) ご存知のように、ため池は多面的な機能を併せ持つ水系です。どの面が重視されるかは利用者毎に異なって当然です。香川県においては、希少な動植物の存在を理由に個人の権利が制限されてもよい、というほどの合意形成はありません。また、ため池は個人財産との認識が強いため、実質的利害関係者以外はそれほどの関心を持たないということも問題です。

香川県はオニバスが多く残っていますが、オ

ニバスはため池の管理上、厄介な植物です。あるため池の管理者はオニバス保護を考えてくださいますが、別のため池の管理者はオニバスを幼苗のうちに除去するようです。池での養魚の妨げとなるからです。どちらも、ため池としては、きちんと管理されていますが、オニバス保護の立場からは相反する方向が混在しています。希少動植物があるからといって、何か対策が可能かといえば、管理者へ個別にお願いする位しか出来ないのが現状で、地道な啓発が必要と考えています。

土地改良法の改正(平成14年施行)等を契機に、ため池の改修等の事業実施にあたって、環境配慮が求められるようになりました。久米池での取り組みもこの流れの上にあるものでした。今後も、ひとつひとつの事例を積み重ねながら、生態系の保全への理解を深めていきたいと思えます。

白井康子・石原 暁・土取みゆき・田中さと子・吉本政輝・上野真樹(2003): 希少水生植物保護の取り組み(第1報) - 香川県で唯一アサザの自生する久米池の環境について - . 香川県環境保健研究センター所報, 2: 64-71.

# 愛媛県内のため池とダム湖について

中村洋祐

愛媛県立衛生環境研究所 (〒790-0003 愛媛県松山市三番町8丁目234番地)

## Eutrophication of Reservoirs in Ehime prefecture

Yousuke NAKAMURA

*Ehime Prefectural Institute of Public Health and Environmental Science, 8-234*

*Sanbancho, Matsuyama 790-0003, Japan*

### 1. はじめに

富栄養化について検討するに当たり、従来の理化学試験に加えてプランクトン調査が必要であると考えており、昭和60年度に県下のため池や小規模のダム湖を含む湖沼(以下「県内湖沼」)について水質調査に合わせてプランクトン調査を実施し、その富栄養化状態等について検討を行ったので報告する。



図1. 調査を行った湖沼の位置図.

### 2. 調査方法

#### 2.1 調査地点

調査を実施したのは、図1に示す11湖沼であり、関地池、大谷池、依原池は灌漑用のため池でありそれ以外は全て農業用水、工業用水等のダム湖である。

#### 2.2 調査方法

pH, DO, COD および SS は、環境庁告示第59号の方法、全リン、全窒素は環境庁告示第140号の方法、Chl. *a*についてはアセトン抽出による吸光度法(気象庁1981)で行った。

プランクトン調査については、試料を中性ホルマリンで固定濃縮し、同定しながら計数した。また、同定については日本淡水プランクトン図鑑(水野1981)によった。

### 3. 結果及び考察

#### 3.1 水質調査結果について

水質調査結果とダム等の主要諸元を表1に示す。

##### 3.1.1 水質から見た富栄養化状態等について

有機汚濁の指標であるCODでは、依原池、関地

池は非常に高く、新宮ダム、別子ダム、大谷池、面河ダム及び黒瀬ダムは比較的低い。富栄養化状態を示す指標としてTN, TP, Chl. *a*では、依原池は最も高く、面河ダムは3項目とも低い値を示した。

以上の結果を流入負荷量と滞留時間から見ると、依原池は湖容積が100万m<sup>3</sup>と小さい割に他の同程度の湖容積の湖沼に比較して人為的流入負荷が大きく、滞留時間も約2.2ヶ月と長いため有機汚濁も高く栄養塩類等の濃度も高いものと思われる。逆に、面河ダムは山間部にあり、ほとんど自然系の汚濁のみであるためCOD, TP, TN及びChl. *a*は低い値を示したものと思われる。

ダム湖の類別の目安としては表2のとおり森下(1983)が示しており、これから判断すると、関地池、依原池及び鹿野川湖は富栄養湖であり、面河ダムは貧栄養湖である。

淡水湖沼において、藻類増殖に必要とされる窒素、リンはN/P比で10~25と一般的に言われている(日本水質汚濁研究協会1982)ことから、県内湖沼についてN/P比を求め表3に示した。この

表から県内湖沼はほとんどが窒素過剰で、どちらかというリン制限的な湖沼が多いと考えられる。

### 3.1.2 主成分分析による県内湖沼の特徴について

単相関マトリクス(表4)から求めた固有値,固有ベクトル及び因子負荷量を表5,図2に示す。第2主成分までで寄与率の合計が92.1%となることから,第2主成分まで以下の検討を行った。

図2から,Chl. a, SS, COD, TP及びDOはその挙動の類似性が高く,pH,TNはZ2軸(第2主

成分)に対する相関が高く,お互いに対象的な挙動を示すものである。

Chl. aとTP, TNの関係を図2から見ると,TNよりTPの類似性が高いことから,窒素は過剰であり,リン制限的な湖沼が多いことを示している。

表5,図2から,第1主成分は特にCOD, Chl. a, SS等の因子負荷量が大いことから富栄養化に伴う有機汚濁の程度を示す総合的な指標と考えられる。第2主成分は,pHとTNの因子負荷量が大いことから,窒素とpHを示す成分と考えた。

表1. 水質分析結果及び主要諸元.

No.	湖沼名	採水年月日	透明度 (m)	水温 ( )	pH	DO (mg L <sup>-1</sup> )	COD (mg L <sup>-1</sup> )	SS (mg L <sup>-1</sup> )	TP (mg L <sup>-1</sup> )	TN (mg L <sup>-1</sup> )	Chl.a (µg L <sup>-1</sup> )	流域 面積 (km <sup>2</sup> )	湖容積 (千m <sup>3</sup> )	滞留 時間 (月)
1	山財ダム	60. 8.22	2.5	26.0	9.0	9.2	2.6	3	0.014	0.34	10	29.4	5900	0.6
2	須賀川ダム	60. 8.22	2.0	27.0	9.2	9.2	3.2	4	0.014	0.38	8.6	14.0	3050	0.9
3	関地池	60. 8.26	1.5	27.4	9.4	10.8	5.3	7	0.032	0.49	10	3.3	3870	3.2
4	大谷池	60. 8.26	2.0	27.6	7.9	8.8	1.6	3	0.012	0.39	2.0	5.7	1258	2.3
5	俵原池	60. 8.28	1.0	31.5	9.9	14.2	7.7	9	0.046	4.41	21	4.7	1000	2.2
6	玉川ダム	60. 8.28	2.6	28.3	8.6	9.0	2.4	2	0.010	0.56	2.6	38.1	9900	1.8
7	別子ダム	60. 9. 2	4.0	22.0	7.4	8.7	1.5	1	0.024	0.46	2.0	15.2	5628	1.0
8	面河ダム	60. 9. 4	4.0	25.3	7.7	8.0	1.7	1	0.008	0.22	1.2	16.8	28300	3.0
9	鹿野川湖(No.1)	60. 8.20	2.5	28.4	9.1	9.9	2.4	2	0.026	0.49	7.3	455.6	48200	0.6
10	" (No.2)	60. 8.20	3.0	28.4	9.0	9.8	2.5	1	0.023	0.53	5.0	"	"	"
11	黒瀬ダム	60. 8.23	3.5	29.2	7.8	8.3	1.7	1	<0.008	0.55	2.0	100.6	36000	3.1
12	新宮ダム	60. 7.15	5.0	24.8	6.7	8.9	1.0	<1	0.008	0.56	1.0	214.9	13000	0.7

表2. 栄養塩類等から見た富栄養化状態.

	透明度(m)	pH	TP(mg)	TN(mg)
貧栄養湖	> 3	7.0前後	< 0.02	< 0.2
富栄養湖	< 3	しばしば8.0以上になる	> 0.02	> 0.2

表3. 水質分析結果から求めたN/P比.

No.	湖沼名	N/P
1	山財ダム	24.3
2	須賀川ダム	27.1
3	関地池	15.3
4	大谷池	32.5
5	俵原池	95.9
6	玉川ダム	56.0
7	別子ダム	19.2
8	面河ダム	27.5
9	鹿野川湖(No.1)	18.8
10	" (No.2)	23.0
11	黒瀬ダム	> 68.8
12	新宮ダム	70.0

表4. 相関マトリクス.

	DO	COD	SS	TP	TN	Chl.a
PH	0.705	0.796	0.742	0.675	0.463	0.828
DO		0.937	0.863	0.900	0.900	0.918
COD			0.953	0.840	0.810	0.932
SS				0.766	0.718	0.889
TP					0.719	0.814
TN						0.797

: 5%の危険率で有意  
: 10%の危険率で有意

しかもpHの因子負荷量はプラスでTNはマイナスとなっており、Z2の因子得点が負の場合はpHが低く、TNが高いことを表し、正の場合はTNが低く、pHが高いことを表している。

固有値、固有ベクトルから求めた因子得点を図3にプロットし、その水質の類似性から破線で示すとおり7種類に分類した。その特徴と合わせてその分類結果を表6に示す。

### 3.2 プランクトン調査結果について

県内湖沼のプランクトン調査結果を表7に示す。

表5. 主成分分析結果.

主成分 項目	第1主成分		第2主成分	
	固有ベクトル	因子負荷量	固有ベクトル	因子負荷量
pH	0.334	0.810	0.718	0.545
DO	0.402	0.973	-0.227	-0.172
COD	0.404	0.980	0.044	0.034
SS	0.383	0.929	0.116	0.088
TP	0.368	0.893	-0.089	-0.068
TN	0.349	0.846	-0.631	-0.479
Chl.a	0.398	0.966	0.105	0.079
固有値	5.874		0.576	
寄与率(%)	83.9		8.2	

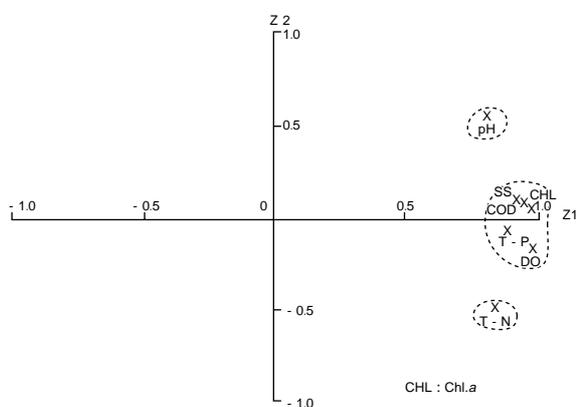


図2. 因子負荷量.

表6. 主成分分析による県内湖沼の分類結果.

分類結果	特徴	Z1	Z2
G1: 俵原池	富栄養化に伴う有機汚濁も窒素濃度も非常に高い	++	--
G2: 関地池	富栄養化に伴う有機汚濁が非常に高く pHが高い	++	+
G3: 山財ダム, 須賀川ダム 鹿野川湖No.1, 鹿野川湖No.2	富栄養化に伴う有機汚濁は平均的で pHが高い	±	+
G4: 大谷池, 玉川ダム	富栄養化に伴う有機汚濁は低く, pH, 窒素濃度とも平均的	-	±
G5: 別子ダム	富栄養化に伴う有機汚濁は低く, pHが低い	-	-
G6: 面河ダム, 黒瀬ダム	富栄養化に伴う有機汚濁は非常に低く, pHが低い	-	-
G7: 新宮ダム	富栄養化に伴う有機汚濁が非常に低く, pHが非常に低い	--	--

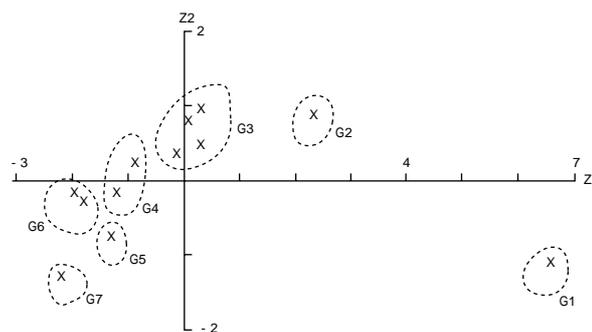


図3. 因子得点.

#### 3.2.1 県内湖沼のプランクトン相について

表7のとおり大谷池, 新宮ダムはプランクトン数も少なく, そのほとんどが *Cyclotella* 等の珪藻であることから貧栄養湖と考えられる。別子ダム, 面河ダム, 黒瀬ダムの固体数は前2湖沼に比較して多いようであるが, そのほとんどが *Synedra* や *Cyclotella* であることから, 貧栄養湖と考えられる。

俵原池はプランクトン数が非常に多く, その種類も多い。また, 中栄養以上の湖沼に出現する *Anabaena* 等の藍藻(水野 1981; 日本水質汚濁研究協会 1982)が出現していることから富栄養湖と考えられる。

また, 鹿野川湖は俵原池より個体数は少なかったが, 時には1ml当たり数千のプランクトンが出現することもあり(中村 1986)富栄養湖と考えられる。

#### 3.2.2 県内湖沼の多様性指数について

通常, 多様性指数は富栄養化が進むにつれて2次関数的に変化すると言われており, Ogawa and Ichimura(1984)ではその関係が示されていることから, 県内湖沼の Chl. a 測定結果及び多様性指数を図4のとおり合わせてプロットした。

なお, 多様性指数は植物プランクトンの個体数

表7. 県内湖沼のプランクトン調査結果.

湖沼名	山 ダム	財 ダム	須賀川 ダム	関地池	大谷池	俵原池	玉川 ダム	別子 ダム	面河 ダム	鹿野川 湖No.1	鹿野川 湖No.2	黒瀬 ダム	新宮 ダム
採水年月日	60. 9. 22	60. 8. 22	60. 8. 26	60. 8. 26	60. 8. 28	60. 8. 28	60. 9. 2	60. 9. 4	60. 8. 20	60. 8. 20	60. 8. 23	60. 7. 15	
プランクトン名													
珪藻	<i>Melosira</i> *		RRR	+		+		RRR					
	<i>Cyclotella</i>	R	R	C	+		CC		CCC	RRR	R	CCC	CCC
	<i>Synedra</i>	RR		RRR	RRR	CC		CCC	RRR	+	RRR		RRR
植物	<i>Gyrosigma</i>			RRR									
	<i>Navicula</i>	RR		RR	+		RRR	R				RRR	RR
	<i>Cymbella</i>			RR									
	<i>Sphaerocystis</i> *					RR							
	<i>Pediastrum</i>									RRR			
緑藻	<i>Golenkinia</i>					RR							
	<i>Micractinium</i> *									RRR			
藻	<i>Coerastrum</i> *			RR		RRR							
	<i>Westella</i> *					RR				RRR	R		
植	<i>Chodatella</i>										RRR		
	<i>Oocystis</i>						RR						
物	<i>Scenedesmus</i>	RRR	R	RR	RR		R			RR	C	RR	RRR
	<i>Cosmarium</i>									RRR			
	<i>Staurastrum</i>			RR		RRR	RR			RRR	RRR		
藍藻	<i>Chroococcus</i> *						R						
藻	<i>Microcystis</i> *					RR	RRR						
植物	<i>Phormidium</i> *					RR	RR	RRR					
	<i>Anabaena</i> *					R							
	<i>Peridinium</i>	CC	CCC	CC	RRR	+	RR		RRR	RRR		R	R
	<i>Ceratium</i>				RRR	RRR	RR		RR				
原	<i>Euglena</i>					RRR						RRR	
	<i>Chlamydomonas</i>	+	RRR			RR				+	+	RRR	
生	<i>Pandorina</i>	R		RRR		RRR				RR			
	<i>Eudorina</i>					RRR			RRR	RRR	RRR	RR	
動	<i>Diffugia</i>				RRR				RRR	RRR		RRR	
	<i>Halteria</i>		RRR			RR		RRR		RRR	RRR	RRR	RRR
物	<i>Strombolidium</i>		RRR			RRR					RR	RRR	RRR
	<i>Tintinnodium</i>					+				RRR			
	<i>Volticella</i>					RRR							
輪	<i>Conochilus</i>				RRR		RRR						
形	<i>Polyarthra</i>				RRR		RRR		RRR				RRR
	<i>Tricocerca</i>				RRR			RRR					RRR
動	<i>Keratella</i>		RRR		RRR								RRR
物	<i>Pompholyx</i>												RRR
節足動物	<i>Daphnia</i>						RRR						
プランクトン総数 ml <sup>-1</sup>	630	450	3400	60	3300	250	520	320	810	600	610	90	

CCC: 大部分が同じ種類(約80%以上), CC: 非常に多い(約80~50%), C: 多い(50~30%),  
 +: 普通(約30~15%), R: 少ない(約15~8%), RR: まれ(約8~2%), RRR: 極めてまれ(約2%以下)  
 \*印については群体数を計数

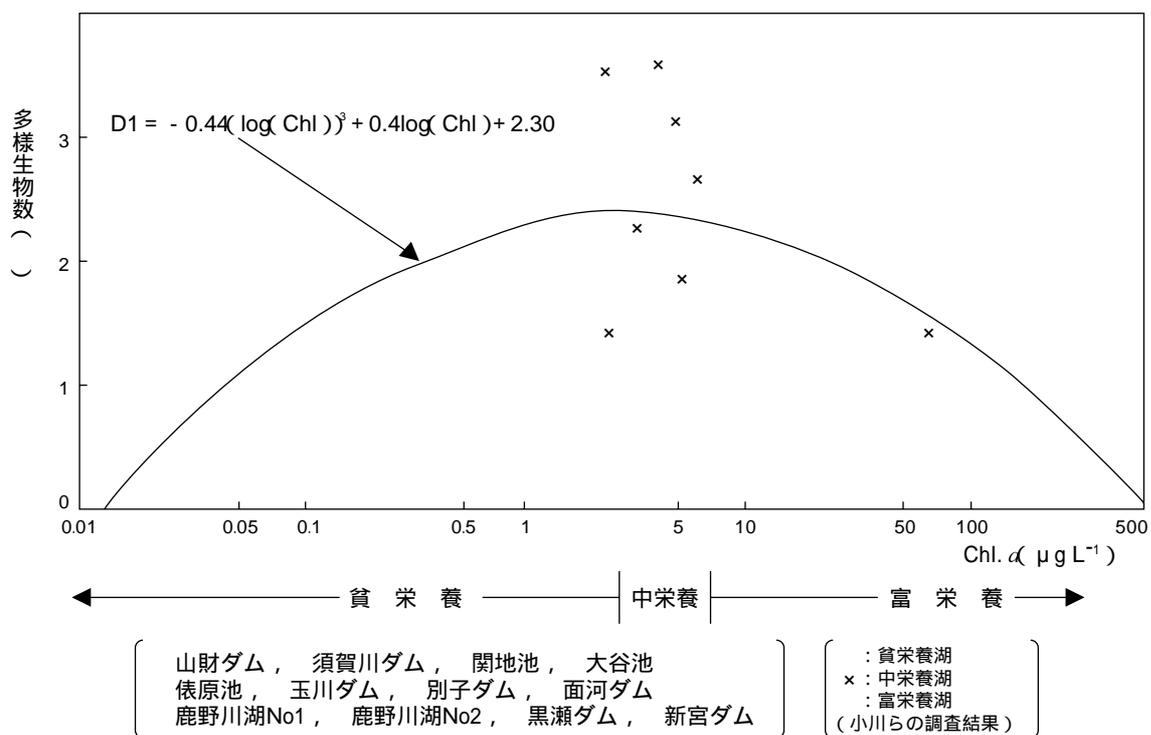


図 4 . 植物プランクトンから求めた多様性指数と富栄養化状態について.

表 8 . 県内湖沼の富栄養化状態について.

	貧 栄 養 湖	富 栄 養 湖
栄養塩類濃度等から	大谷池, 面河ダム	関地池, 俵原池, 鹿野川湖
主成分分析結果から	新宮ダム, 面河ダム, 黒瀬ダム	関地池, 俵原池
プランクトン相から	大谷池, 新宮ダム, 別子ダム, 面河ダム, 黒瀬ダム	俵原池, 鹿野川湖
多様性指数から	面河ダム, 新宮ダム, 別子ダム, 黒瀬ダム, 大谷池	俵原池, 山財ダム, 関地池, 鹿野川湖

から次のShanon-Weaverの式を用いて, Ogawa and Ichimura (1984) と同様の方法で求めた。

$$D1 = - \sum_{i=1}^N \frac{Ni}{N} \log_2 \frac{Ni}{N}$$

(N : 観測されたプランクトン総数, Ni : i 番目の属の個体数)

その結果, 面河ダム, 新宮ダム, 別子ダム, 黒瀬ダム及び大谷池は多様性指数も低く貧栄養湖と考えられる。また, 俵原池, 山財ダム, 関地池及び鹿野川湖は多様性指数も高く富栄養湖と考えられる。

#### 4 . まとめ

県内湖沼の富栄養化状態は水質検査結果及びプランクトン調査結果から表 8 のとおりとなり, いずれの方法においても面河ダムは貧栄養湖であり, 俵原池は富栄養湖と考えられる。

N/P 比及び主成分分析の結果から県内湖沼はり

ン制限的な湖沼と考えられる。

主成分分析の結果から県内湖沼は, その特徴から 7 種類に分類できる。

#### 引用文献

気象庁 (1981): 海洋観測指針. 日本海洋学会, 東京.

水野寿彦 (1981): 日本淡水プランクトン図鑑, 保育社, 大坂.

森下育子 (1983): ダム湖の生態学, 山海堂, 東京.  
 中村洋祐 (1986): 愛媛県公害技術センター所報第 7 号. 愛媛県, 松山.

日本水質汚濁研究協会編 (1982): 湖沼環境調査指針. 公害対策同友会, 東京.

Ogawa, S. and S. Ichimura (1984): Phytoplankton diversity in inland waters of different trophic status. Journal of Limnology, 45: 173-177.

質疑

(質問) プランクトンを属レベルで扱うことには、問題ないのか。

(返答) プランクトン相を見ることが主な目的であり、また、初めて行ったプランクトン調査でもあり、全て種までの同定となると困難なところもあり、今後数年間の調査結果の蓄積により可能となるものと考えております。多様性指数については、小川らの調査結果では属までの同定で安定した数値が得られるとのことであったので属までのデータを用いました。

(質問) Z1は、栄養塩を含む懸濁物質(土、粘土、底質、葉類)ではないか?(SSやChl. *a*は高くないので、そうともいえない様子。)

pHは多変量解析に入れると難しくなるのでは?(対数指標なので)

(返答) Z1の因子負荷量は全ての項目で高い値を示していることから総合指標と考えておりますが、これらの項目は、富栄養化を示す項目としてのリン、窒素及びChl. *a*(植物プランクトンの増殖量を示す指標)や、有機汚濁を示す指標であるCODが含まれていることから、「富栄養化に伴う有機汚濁の指標」と解釈して特に問題はないと考えております。懸濁物質と考えるのはChl. *a*が非常に接近した位置にあることに対する配慮がなさ過ぎると思います。むしろSSはほと

んど植物プランクトンであるとも考えられます。

主成分分析を行うに当たっては、他の測定項目(透明度、水温、滞留時間等)との組み合わせを変えて検討しましたが、逆に複雑になるのみで、今回発表した項目の組み合わせが最適と考えております。

Z2の解釈については因子負荷量から見てpHと窒素を示す指標と考えられます。pHの因子負荷量がプラスでTNの因子負荷量がマイナスであることから、pHの平均値(8.5)に対しその標準偏差(1.0)を単位にして大きくかつTNの平均値(0.78)に対しその標準偏差(1.1)を単位にして小さいほど、Z2の値はプラスとなり、逆の場合はZ2はマイナスとなります。

以上のことを考慮して、分類すると要旨集、表6のとおり分類結果が特徴となります。

(質問) 愛媛県のため池やダム湖の環境問題として何が問題となっているのか。また、それに対応するために、県はどのような取り組みをしているのか。

(返答) 昭和60年当時においてこれらの湖沼にも淡水赤潮の発生は認められたが現在では一部の湖沼においてアオコの発生、淡水赤潮が問題になっており、今年度県は、アオコ調査を実施し今後の再発防止対策等について検討する予定です。

# 兵庫県におけるため池の水質と生物相の現状について

松山 稔<sup>1</sup>・小巻 孝<sup>1</sup>・玉木哲也<sup>1</sup>・河野 哲<sup>1</sup>・青山喜典<sup>1</sup>・望月 証<sup>1</sup>・嶋田竜太郎<sup>2</sup>

<sup>1</sup>兵庫県立農林水産技術総合センター（〒679-0198 兵庫県加西市別府町南ノ岡甲 1533）

<sup>2</sup>現東京都農業試験場（〒190-0013 東京都立川市富士見町 3-8-1）

## Water Quality and Biota of Storage Reservoirs in Hyogo Prefecture

Minoru MATSUYAMA<sup>1</sup>, Takashi KOMAKI<sup>1</sup>, Tetsuya TAMAKI<sup>1</sup>, Satoshi KONO<sup>1</sup>,  
Yoshinori AOYAMA<sup>1</sup>, Akashi MOCHIZUKI<sup>1</sup> and Ryutaro SHIMADA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Hyogo Prefectural Technology Center of Agriculture, Forestry and Fishery, 1533 Kou, Minamino-oka, Befucho, Kasai 679-0198, Japan

<sup>2</sup>Tokyo Metropolitan Agricultural Experiment Station, 3-8-1 Fujimicho, Tachikawa 190-0013, Japan

### 1. はじめに

兵庫県内のため池数は4万4千と全国一多く、農業用水の水源としても46%をため池に依存しており、ため池の水質は本県の農業用水を良好に保つために重要である。また、近年、農業用水中の全窒素濃度は、当県の調査（松山ら 2001）でも、増加傾向となっている。さらに、当県のため池は1971年から2001年にかけて約11,500カ所が埋め立て等により減少しており、貴重な生物相を保全する必要性が高まっている。このような背景のもとに、水質、景観及び生態系保全のため、ため池、畦畔、里山等の一体的な管理が求められており、その新しい管理技術の開発を目的に昨年度からプロジェクト試験（兵庫県立農林水産技術総合センター 2003）を開始した。初年度は現状把握のための調査を行ったので、その概要を報告する。

### 2. 方法

周辺の土地利用状況から、ため池を山間型、田園農地型、市街地型に分類し、8カ所のため池を調査対象に選定した。

山間型：鶴池、榎谷池2号（小野市）、田園農地型：薬師池、皿池（加古川市）、大門家横池（社町）、添池西（神戸市西区）、市街地型：数池、今池（加古川市）

2002年7月から2003年6月まで毎月1回、流入口（入口）、取水口（出口）で採水を行い、25項目

（水温、水色、pH、EC、DO、透視度、COD、TN、NO<sub>3</sub>-N、NO<sub>2</sub>-N、NH<sub>4</sub>-N、TP、PO<sub>4</sub>-P、Ca、Mg、K、Na、Fe、Mn、Cu、Zn、Si、Cl、SO<sub>4</sub>、Br）の水質分析を行った。また、合わせて周辺の水生植物や昆虫等の生物相を写真撮影、採集等により調査した。

### 3. 結果

ため池の水質は、山間型、田園農地型、市街地型となるにつれて、窒素や各種栄養塩類濃度の増加傾向がみられた。また、水質は周辺の土地利用状況や水管理による水位の変動、植物の生育枯死等の影響を強く受けており、かんがい期と非かんがい期で水質の季節変動が大きくなった（表1、2）。

かんがい期には、農業や植物プランクトンの影響によりTN、TP、COD等が高く、非かんがい期には生活排水等による各種栄養塩類濃度が高くなった（図1、2）。形態別窒素濃度の比率をみると、かんがい期、非かんがい期とも入口よりも出口で無機態窒素の比率が低下した（図3）。非かんがい期では、無機態窒素の比率が増加し、特に硝酸態窒素は、汚濁の少ない山間型でその傾向が強くみられた。またNH<sub>4</sub>-Nは植生が多い池で高くなった。Caは農業の影響を受け、田園農地型のかんがい期に高くなる傾向を示した。汚濁の少ない池では逆に透視度、Si、Fe、Mnが高まった。植生の多い池

では、Si はかんがい期に低下し、アオコの発生する池では非かんがい期に低下した（図4）。降水量が増えると、透視度およびSiが高まる傾向がみられた。

生物相についてみると、ため池に生育する主な水生植物の種類は、山間型から田園農地型、市街地型へ移行するにつれて、沈水植物、浮葉植物、抽水植物、浮遊植物への遷移がみられた（表3）。角野（1998）は当県のため池で92種の水生植物を確認しているが、今回の調査では15種類が確認された。

沈水植物のみの山間型の鶴池の水質は各種栄養塩類濃度が低く、浮葉植物の多い山間型の榎谷池の水質も同様であるが、pH、水温、溶存酸素が低く、落ち葉が多く入るため水の色は褐色を示した。抽水植物の多い田園農地型の薬師池の水質は、各種栄養塩類濃度が高かった。市街地型の数池は富栄養化状態にあり、ハスを中心にヨシ、ガマ等抽

水植物と、外来種であるボタンウキクサやオオサンショウモ等の浮遊植物が侵入して、遷移の末期症状を呈していた。さらに2003年の夏期には、フナ類と植物プランクトンが大量発生し、ハスや浮遊植物の生育も低下する状況となった。アオコが発生した田園農地型の添池、市街地型の今池はコンクリート護岸で、緩傾斜の浅い沿岸帯が確保されないため水生植物が生育せず、かつ窒素等栄養塩類濃度が高かった。

ため池周辺の草本類は田園農地型の横池、薬師池、山間型の榎谷池で種類が豊富であった。市街地型の数池、今池では周囲に土がなく植物がみられなかった。木本類は山間型の榎谷池、鶴池で種類が豊富であり、その他の池ではほとんどみられなかった。

昆虫類では榎谷池でトンボ類が7種類、薬師池でトンボ類とチョウ類がそれぞれ8種類ずつと多く生息していた（表4）。その他の昆虫類では、薬

表1. かんがい期におけるため池の水質分析結果。  
（4～9月分平均値：2002年7～9月，2003年4～6月）

ため池名	地点	気温 ( )	水温 ( )	被度 (%)	アオコ	pH	E C (mS m <sup>-1</sup> )	DO (mg L <sup>-1</sup> )	透視度 (cm)	COD (mg L <sup>-1</sup> )	TN (mg L <sup>-1</sup> )	NO <sub>3</sub> -N (mg L <sup>-1</sup> )	NO <sub>2</sub> -N (mg L <sup>-1</sup> )	NH <sub>4</sub> -N (mg L <sup>-1</sup> )	
山間型	鶴池	入	28.7	25.0	0	0.0	7.2	4.7	7.1	65	4.4	0.54	0.18	0.00	0.03
		出	28.7	24.9	0	0.0	7.5	4.8	6.7	65	4.1	0.70	0.16	0.00	0.03
	榎谷池	入	27.3	22.9	60	0.0	7.1	7.7	4.1	60	2.8	0.57	0.05	0.01	0.04
		出	27.3	22.9	60	0.0	6.8	7.9	2.9	54	3.4	0.45	0.04	0.01	0.03
田園型	薬師池	入	24.3	23.3	38	0.0	7.0	24.8	5.6	57	7.0	0.89	0.13	0.03	0.13
		出	24.3	23.3	38	0.0	7.0	27.5	4.4	58	7.3	1.17	0.14	0.04	0.16
	皿池	入	26.0	25.5	18	0.0	7.2	14.1	6.7	39	5.7	0.93	0.22	0.03	0.04
		出	26.0	24.6	18	0.0	7.6	14.2	7.2	22	6.8	1.18	0.03	0.00	0.02
市街型	横池	入	26.0	23.2	11	0.2	8.4	23.6	7.3	46	7.8	1.17	0.23	0.02	0.11
		出	26.0	24.0	11	0.2	7.6	20.0	7.6	25	10.9	1.73	0.13	0.02	0.03
	添池	入	27.0	25.0	0	0.7	10.2	29.0	11.2	11	26.3	13.12	0.05	0.04	0.08
		出	27.0	24.7	0	0.7	10.4	30.1	11.5	12	22.4	6.47	0.05	0.03	0.28
市街型	数池	入	25.8	22.5	77	0.0	7.2	25.9	3.1	35	12.7	2.46	0.22	0.06	0.88
		出	25.8	22.9	77	0.0	7.4	16.4	3.9	34	13.8	2.62	0.04	0.03	0.05
	今池	入	26.3	24.3	0	0.7	9.7	21.6	8.7	14	25.6	3.69	0.02	0.00	0.11
		出	26.3	24.2	0	0.7	9.3	24.0	9.2	10	29.5	4.22	0.04	0.00	0.12

ため池名	地点	TP (mg L <sup>-1</sup> )	PO <sub>4</sub> -P (mg L <sup>-1</sup> )	K (mg L <sup>-1</sup> )	Na (mg L <sup>-1</sup> )	Ca (mg L <sup>-1</sup> )	Mg (mg L <sup>-1</sup> )	Fe (mg L <sup>-1</sup> )	Mn (mg L <sup>-1</sup> )	Cu (mg L <sup>-1</sup> )	Zn (mg L <sup>-1</sup> )	Si (mg L <sup>-1</sup> )	Cl (mg L <sup>-1</sup> )	SO <sub>4</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	Br (mg L <sup>-1</sup> )	
山間型	鶴池	入	0.023	0.001	0.9	4.6	1.6	0.7	0.084	0.006	0.002	0.002	6.3	5.0	6.8	0.00
		出	0.011	0.001	0.9	4.6	1.6	0.7	0.087	0.005	0.001	0.004	6.4	5.0	6.8	0.00
	榎谷池	入	0.042	0.003	1.8	4.6	6.2	1.3	0.324	0.039	0.003	0.002	5.8	3.6	7.9	0.04
		出	0.029	0.002	1.9	4.8	6.3	1.4	0.381	0.086	0.017	0.000	5.7	3.8	7.8	0.02
田園型	薬師池	入	0.065	0.009	4.1	18.2	22.0	2.7	0.815	0.080	0.002	0.000	5.6	30.9	25.4	0.10
		出	0.046	0.010	4.0	18.5	22.4	2.7	0.742	0.088	0.003	0.002	5.8	31.4	23.6	0.10
	皿池	入	0.054	0.010	3.0	8.8	12.9	1.9	0.072	0.003	0.004	0.016	4.8	10.2	17.2	0.04
		出	0.067	0.002	3.2	9.2	12.9	2.0	0.058	0.003	0.003	0.002	3.8	10.2	16.3	0.04
市街型	横池	入	0.155	0.064	6.1	14.6	21.6	2.9	0.180	0.010	0.005	0.003	3.8	27.8	22.2	0.08
		出	0.183	0.013	6.0	11.7	19.0	2.7	0.165	0.009	0.005	0.007	1.6	22.1	20.1	0.08
	添池	入	0.513	0.021	9.4	15.2	22.3	3.4	0.022	0.000	0.008	0.004	2.8	23.0	34.7	0.05
		出	0.505	0.048	9.6	15.3	22.2	3.4	0.028	0.000	0.005	0.007	2.9	22.9	34.5	0.06
市街型	数池	入	0.355	0.094	4.9	22.7	19.9	1.7	0.185	0.028	0.005	0.003	3.2	23.6	24.4	0.06
		出	0.186	0.028	3.9	15.6	13.0	1.6	0.135	0.005	0.002	0.007	1.1	16.5	13.6	0.05
	今池	入	0.490	0.045	7.4	14.2	16.9	2.6	0.072	0.001	0.004	0.008	2.2	19.9	23.7	0.07
		出	0.552	0.093	8.7	16.9	17.9	2.2	0.028	0.001	0.005	0.008	3.0	21.1	23.5	0.08

師池で多くみられた。これらの池では周辺の植物の種類が豊富で、緩傾斜の沿岸帯が存在する等の環境が昆虫類の生息に適しているものと思われた。その他の生物では、数池にカルムチー、ミシ

シッピーアカミミガメ、アメリカザリガニ等汚濁に強い外来侵入生物が多くみられた。榎谷池では北アメリカ原産の淡水苔虫類であるオオマリコケムシ(久米 2001)がみられた。

表2. 非かんがい期におけるため池の水質分析結果(10~3月分平均値:2002年10月~2003年3月)

ため池名	地点	気温 ( )	水温 ( )	被度 (%)	アオコ	pH	EC (mS m <sup>-1</sup> )	DO (mg L <sup>-1</sup> )	透視度 (cm)	COD (mg L <sup>-1</sup> )	TN (mg L <sup>-1</sup> )	NO <sub>3</sub> -N (mg L <sup>-1</sup> )	NO <sub>2</sub> -N (mg L <sup>-1</sup> )	NH <sub>4</sub> -N (mg L <sup>-1</sup> )	
山間型	鶴池	入	13.8	10.8	0	0.0	6.4	4.7	9.6	65	4.1	0.74	0.26	0.00	0.04
		出	13.8	11.3	0	0.0	6.9	4.7	10.1	65	4.3	1.38	0.26	0.00	0.05
	榎谷池	入	14.5	10.7	18	0.0	6.8	8.6	7.3	42	2.8	0.66	0.09	0.00	0.05
		出	14.5	11.2	18	0.0	6.8	8.5	7.9	49	3.0	0.97	0.08	0.00	0.06
田園型	葉師池	入	17.8	14.3	35	0.0	6.3	21.8	6.4	28	5.9	0.98	0.10	0.00	0.32
		出	16.8	11.6	33	0.0	6.3	21.8	6.2	45	6.1	1.81	0.05	0.00	0.40
	皿池	入	15.5	11.8	11	0.0	7.0	15.9	10.0	39	6.3	1.01	0.28	0.00	0.10
		出	15.5	12.0	11	0.0	6.8	13.5	10.1	21	6.9	1.45	0.12	0.00	0.14
	横池	入	13.2	11.5	8	0.0	7.9	30.2	11.9	31	7.1	1.19	0.31	0.01	0.08
		出	13.2	12.0	8	0.0	7.7	28.7	10.9	30	9.9	1.94	0.16	0.01	0.08
市街型	添池	入	13.8	12.4	0	0.5	9.3	26.8	10.8	16	14.0	1.96	0.17	0.01	0.09
		出	13.8	11.6	0	0.5	9.4	26.8	11.1	15	14.6	1.98	0.15	0.01	0.10
	数池	入	14.5	10.8	63	0.0	7.6	42.9	5.4	25	14.5	3.94	0.20	0.06	2.38
		出	14.5	12.3	63	0.0	7.2	29.1	5.7	35	13.6	2.11	0.14	0.02	0.27
	今池	入	15.5	12.1	0	0.5	9.2	27.7	10.9	22	14.6	3.10	0.88	0.05	0.44
		出	15.5	11.5	0	0.5	9.3	27.2	11.7	12	25.0	2.58	0.00	0.00	0.08

ため池名	地点	TP (mg L <sup>-1</sup> )	PO <sub>4</sub> -P (mg L <sup>-1</sup> )	K (mg L <sup>-1</sup> )	Na (mg L <sup>-1</sup> )	Ca (mg L <sup>-1</sup> )	Mg (mg L <sup>-1</sup> )	Fe (mg L <sup>-1</sup> )	Mn (mg L <sup>-1</sup> )	Cu (mg L <sup>-1</sup> )	Zn (mg L <sup>-1</sup> )	Si (mg L <sup>-1</sup> )	Cl (mg L <sup>-1</sup> )	SO <sub>4</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	Br (mg L <sup>-1</sup> )	
山間型	鶴池	入	0.058	0.002	0.9	4.8	1.7	0.6	0.049	0.009	0.005	0.011	6.3	5.2	6.5	0.00
		出	0.010	0.002	0.9	4.8	1.5	0.6	0.041	0.006	0.005	0.012	6.4	5.1	6.3	0.00
	榎谷池	入	0.021	0.002	2.3	5.3	7.2	1.0	0.236	0.028	0.004	0.011	7.6	3.9	10.1	0.00
		出	0.037	0.002	2.3	5.4	7.2	1.2	0.232	0.071	0.003	0.011	7.5	3.8	10.0	0.00
田園型	葉師池	入	0.028	0.002	4.3	14.8	18.2	2.4	0.220	0.453	0.003	0.005	4.7	20.9	43.7	0.05
		出	0.078	0.013	6.8	15.8	15.5	2.1	0.539	0.310	0.003	0.010	6.1	23.5	34.8	0.03
	皿池	入	0.056	0.005	2.8	10.7	14.0	2.3	0.133	0.013	0.004	0.008	1.8	12.5	23.6	0.02
		出	0.081	0.003	2.7	9.6	11.6	1.7	0.135	0.013	0.006	0.006	1.8	10.8	21.1	0.02
	横池	入	0.113	0.017	7.6	19.7	25.0	3.7	0.167	0.015	0.004	0.011	2.8	43.3	33.0	0.13
		出	0.118	0.004	8.7	18.8	24.3	3.3	0.267	0.016	0.004	0.011	1.0	42.6	32.1	0.09
市街型	添池	入	0.132	0.010	9.3	17.0	24.1	3.2	0.040	0.001	0.005	0.013	2.6	31.2	43.8	0.03
		出	0.127	0.008	9.3	17.1	23.9	3.2	0.075	0.003	0.004	0.007	2.7	31.2	43.6	0.05
	数池	入	0.617	0.260	5.9	55.9	22.2	2.3	0.138	0.043	0.009	0.019	4.7	54.4	63.8	0.06
		出	0.360	0.063	4.8	36.3	16.1	2.1	0.189	0.019	0.006	0.016	1.4	41.9	35.6	0.06
	今池	入	0.298	0.101	6.9	26.1	21.5	3.7	0.055	0.007	0.006	0.007	1.2	35.2	40.3	0.04
		出	0.361	0.005	9.2	20.4	20.6	3.7	0.056	0.005	0.005	0.012	0.9	31.5	37.8	0.05

表3. ため池に生育する主な水生植物.

類型	ため池名	浮遊植物			抽水植物						浮葉植物			沈水植物		種数	
		ヒナウキクサ	サンショウモ	ボタンウキクサ	ガマ	ヨシ	マコモ	クログワイ	キショウブ	ハス	ホシクサ	ヒメコウホネ	ヒシ	ガガバタ	ジュンサイ		イトタヌキモ
山間型	鶴池																3
	榎谷池																6
田園型	葉師池																7
	農地型																2
市街地型	皿池																3
	横池																3
	添池																0
市街地型	数池																6
	今池																0

表4. ため池周辺のトンボ類の生息状況.

ため池名	シオカラトンボ	ギンヤンマ	アキアカネ	ウスバキトンボ	チョウトンボ	ウチヤンマ	コシアキトンボ	アオモンイトトンボ	キイトンボ	アオイトトンボ	アジアイトンボ	モノサシトンボ	種数
鶴池													2
榎谷池													7
葉師池													8
皿池													3
横池													3
添池													3
数池													2
今池													1

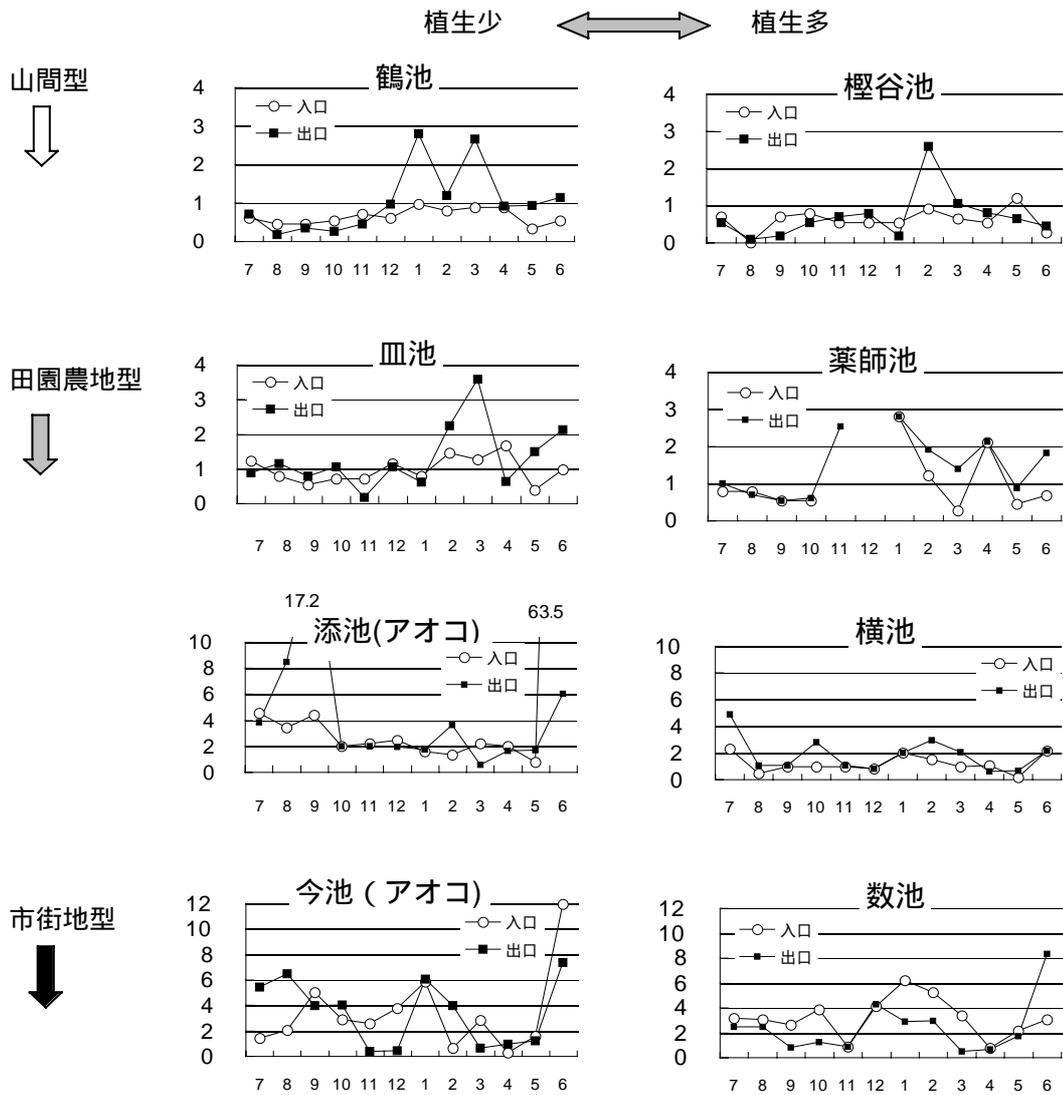


図1. ため池における全窒素濃度の季節変動 単位( $\text{mg L}^{-1}$ ). ○: 入口 □: 出口

表5. ため池の底質の調査分析結果.

ため池名		TN (%)	TC (%)	C/N 比	土壌の深さ (m)
鶴池	入	0.279	4.38	16	0.3
	出	0.184	1.73	9	0.3
櫻谷池	入	0.082	1.43	18	0.3
	出	0.028	0.20	7	-
薬師池	入	0.436	4.07	9	1 <
	出	-	-	-	1 <
皿池	入	0.102	0.96	9	1 <
	出	0.088	0.97	11	-
横池	入	0.086	1.00	12	-
	出	-	-	-	0.2
添池	入	-	-	-	-
	出	-	-	-	-
数池	入	0.237	3.68	16	-
	出	0.404	5.22	13	0.9
今池	入	0.045	0.28	6	0.6
	出	0.039	0.52	13	-

注) 1 底質は10月に表層を採取しNCアナライザーで分析  
2 土壌の深さは12月に検土杖で調査

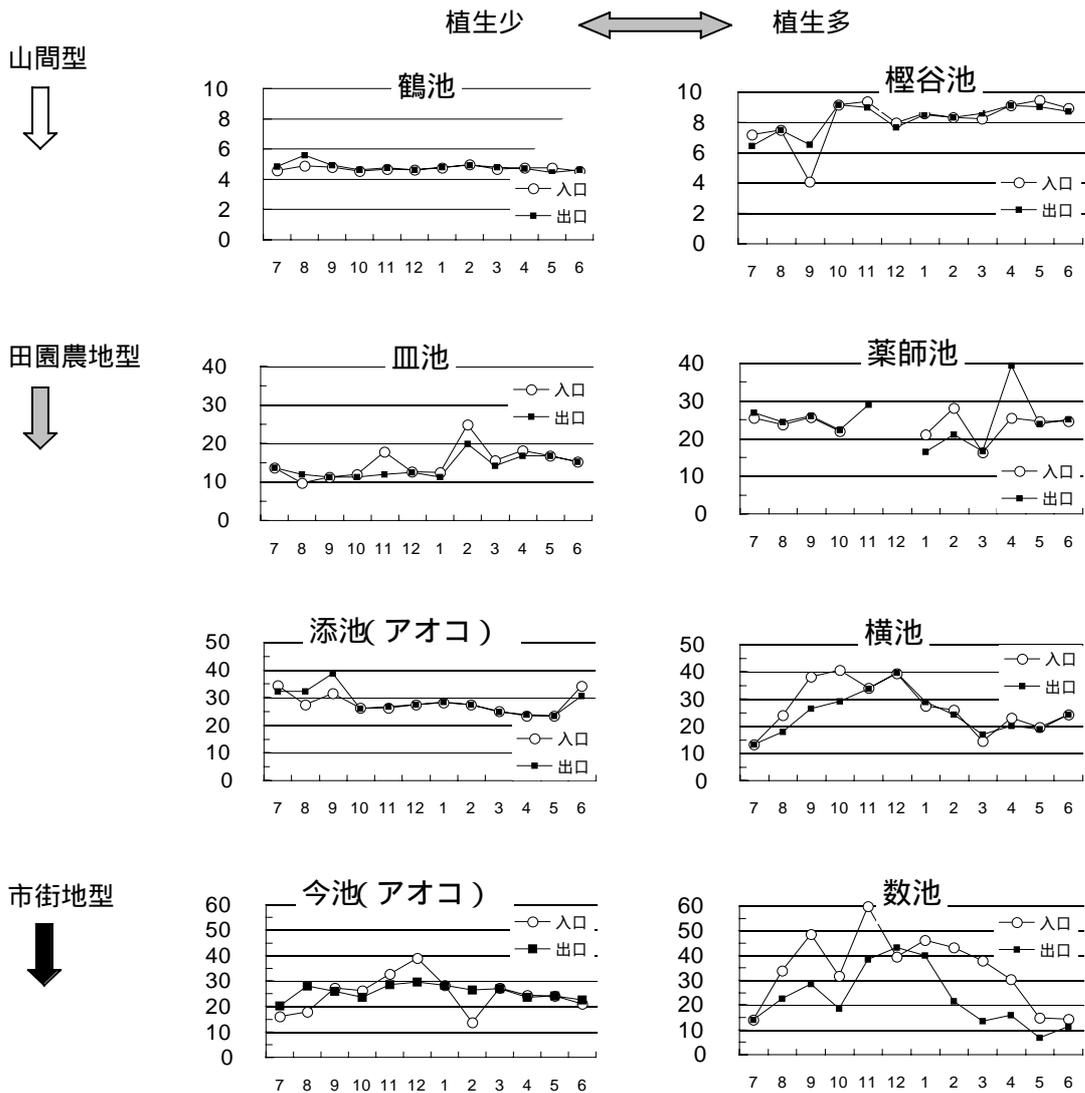


図2 . ため池におけるECの季節変動 単位( mS m<sup>-1</sup> ). : 入口 : 出口

表6 . ため池におけるN/P比の季節変動 ( 2002年7月 ~ 2003年6月 )

ため池名	地点	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	N/P比が10~16 の月の回数
山間型	鶴池	入 6	-	16	4	4	33	-	99	176	147	160	88	2
	出	-	150	8	19	48	76	-	66	532	152	186	13	
	榎谷池	入 7	0	15	29	17	25	-	36	27	38	44	7	2
	出	13	5	3	17	30	43	-	93	8	58	24	21	
田園型	薬師池	入 7	27	10	27	-	-	76	45	6	30	6	15	2
	出	57	24	16	30	30	-	100	83	5	35	9	43	
	皿池	入 30	45	7	11	10	23	12	45	24	21	10	15	8
	出	15	14	9	6	4	18	36	19	50	10	36	31	
	横池	入 9	3	6	5	10	13	31	11	7	10	1	12	7
	出 (アオコ発生1)	13	7	7	17	9	11	30	19	15	4	5	14	
	添池(アオコ)	入 13	11	9	8	13	23	21	11	25	23	6	37	9
	出 (アオコ発生7)	17	15	10	10	10	16	29	40	6	15	13	20	
市街型	数池	入 26	11	6	11	2	7	9	11	3	1	5	8	3
	出	18	11	7	15	2	6	6	13	1	2	8	33	
	今池(アオコ)	入 20	15	8	10	11	10	23	2	9	1	3	11	7
	出 (アオコ発生7)	10	11	9	9	1	1	22	15	2	2	2	10	

注) 1. 網かけした力所はN/P比が10~16でアオコの生育に最適な範囲

2. 四角で囲んだ力所はN/P比が17~26で真核藻類の生育に最適な範囲

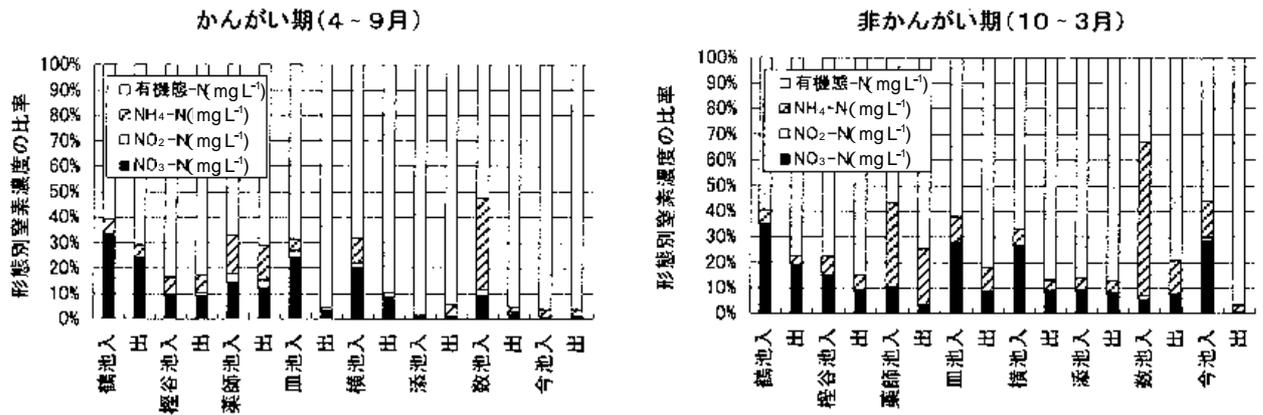


図3. ため池の形態別窒素濃度比率(%)

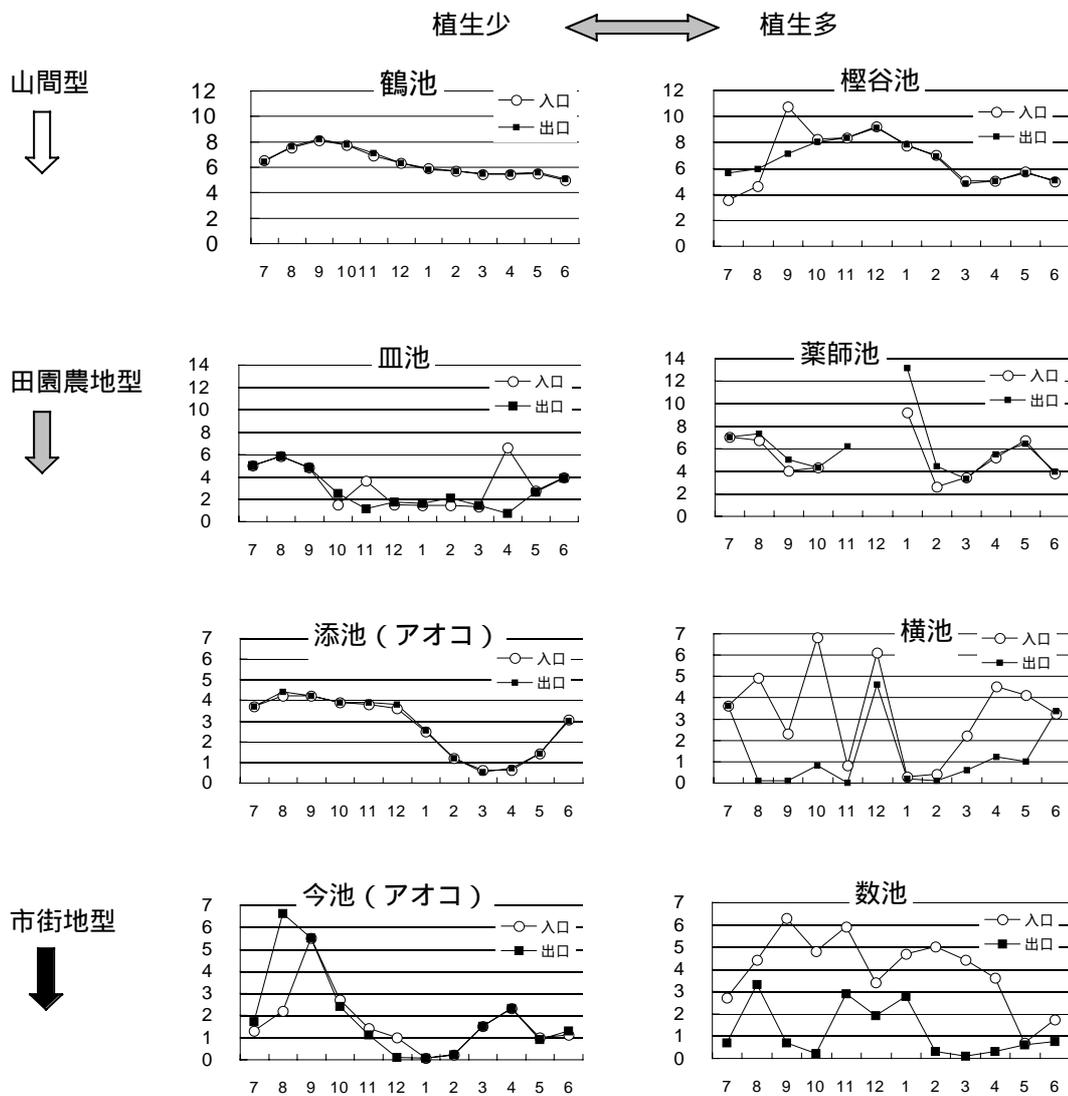


図4. ため池におけるケイ素濃度の季節変動 単位( $\text{mg L}^{-1}$ ). 〇: 入口 □: 出口

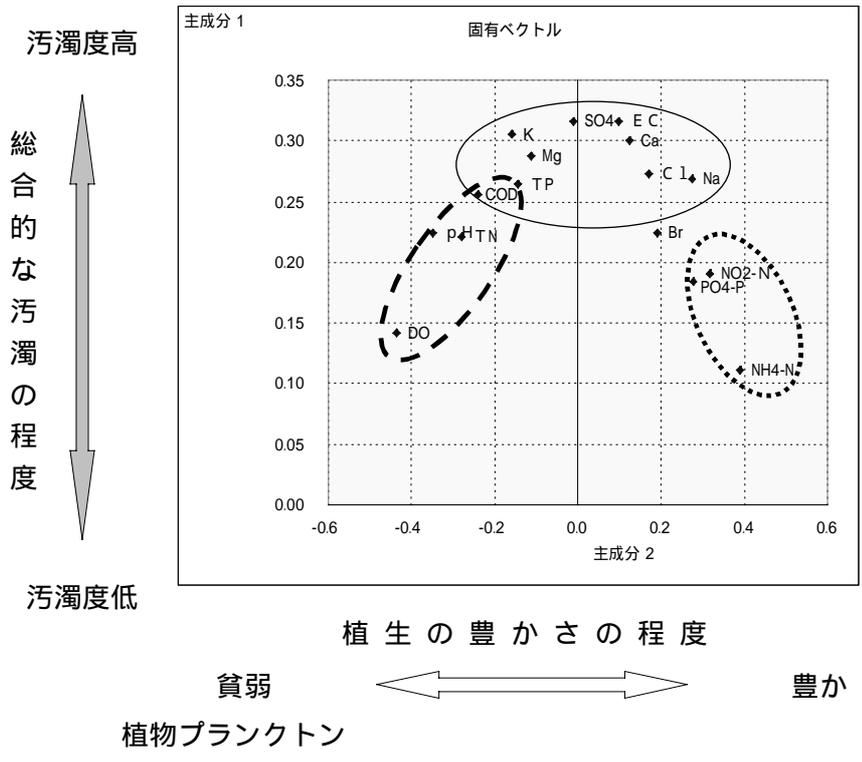


図5 . かんがい期における水質分析項目の主成分分析結果.

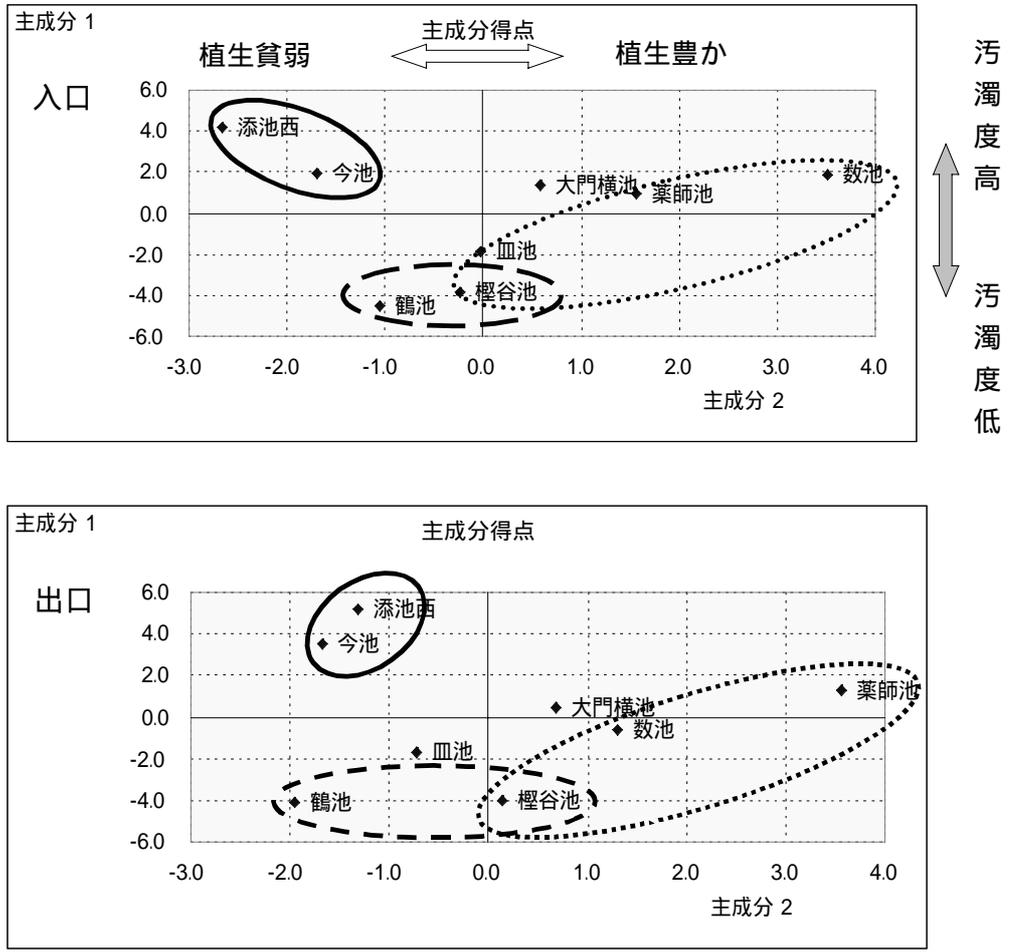


図6 . かんがい期におけるため池の主成分得点分布.

また、ため池の底質を調べた結果、ハスの生育している薬師池、数池でグライ化した泥と粘土層が1 m以上と深く、TN及びTCが高かった。アオコ発生の今池では逆に砂や礫が多くTN、TCは低かった(表5)。

#### 4. 考察

かんがい期の分析値で主成分分析を行った結果、第一主成分は総合的な汚濁の程度を表し、 $SO_4$ 、EC、K、Ca、Mg、Cl、Na、TP、COD、TN等が大きな寄与率を示した(図5)。

第二主成分は植生の豊かさの程度を表し、DO、pH、TN、COD等が大きな負の寄与率を示し、植生が少ないとこれら項目の数値が高くなった。第二主成分の負の側は逆に植物プランクトン発生の程度を表すと考えられた。また、EC、 $SO_4$ 、Clは植生に影響が少ない項目であった。各ため池の第一主成分得点と第二主成分得点をプロットすると、植生の豊かさと汚濁の程度でそれぞれの座標位置が決まり、ため池が類型別に分類されることが示唆された(図6)。

富栄養化したため池ではアオコが問題となっているが、TNとTPのN/P比について、彼谷(2001)は、アオコの発生に最適な値を10~16としており、この範囲の多いため池は、添池、今池で、これらは実際アオコの発生がみられた。特に添池は9ヶ月間がこの範囲に入っていた(表6)。

市街地型の数池はTNやTP濃度が高いにもかかわらず、透視度が高く、アオコの発生はみられなかった。これはハス等水生植物が多く、葉が水面を覆うため、水温が低くなること、さらにpHが低く、光や養分の競合等がアオコ抑制に働くものと思われた。

今後の課題としては、水生植物を利用してため池の持つ窒素浄化機能を高めることが水質と生態系の維持に重要と考えられる。そのためにはため池中の窒素の動態を把握する必要があり、水、水生植物、底泥等の窒素同位体比 $^{15}N$ を測定する(農林水産省農業環境技術研究所 1999)ことにより、窒素動態を明らかにしていきたいと考えている。また、アオコを抑制するため、水生植物やため池に入る落ち葉がアオコ抑制能を持つかどうかを農業環境技術研究所と共同して検討していく予

定である。

しかし、窒素浄化能を持つ水生植物を利用する場合、せっかく窒素を吸収させても、植物体残さの除去ができないと汚濁源として水中に戻ってしまい、いずれ富栄養化が進むことになる。もし、水生植物が多くなるようにため池の環境を改善できても、植物を回収する管理体制が必要になる。そのため、窒素吸収量が多く、栽培が容易でかつ収穫する価値のある植物の選定を考える必要があり、なかなか難しい条件であると考えられる。また、アオコ抑制能を持つ植物をため池に導入することが逆に富栄養化を促進したり、水生植物の移植が生態系のかく乱につながってしまうこと等も困難さを増している(角野 2002)が、今後の水質と生態系のさらなる調査研究により解決を目指したい。

#### 引用文献

- 兵庫県立農林水産技術総合センター(2003): プロジェクト研究(農林水産環境担当)試験成績書。
- 角野康郎(1998): ため池の植物群落 - その成り立ちと保全, 水辺環境の保全 - 生物群集の視点から - . 江崎保男・田中哲夫(編): 1-16. 朝倉書店, 東京。
- 角野康郎(2002): 水生植物の保全を考える, 保全と復元の生物学 - 野生生物を救う科学的思考. 種生物学会(編): 191-198. 文一総合出版, 東京。
- 彼谷邦光(2001): 飲料水に忍びよる有毒シアノバクテリア. 裳華房, 東京。
- 久米 修(2001): 淡水苔虫類, ため池の自然 - 生き物たちと風景. 浜島繁隆・土山ふみ・近藤繁生・益田芳樹(編): 178-185. 信山社サイテック, 東京。
- 松山 稔・大塩哲視・桑名健夫・岸上光男(2001): 1996年から1998年にかけての県下主要利水地点における農業用水の水質. 兵庫県農業技術センター研究報告[農業編], 49: 25-34。
- 農林水産省農業環境技術研究所(1999): 窒素負荷源解析への $^{15}N$ 値の利用. 水環境保全のための農業環境モニタリングマニュアル, 東京。

#### 質疑

(質問) Siは植物に利用されるため、灌漑期に低くなるのでしょうか？

(返答) はい。特に単子葉植物であるイネ科のヨシ、ガマ類やハス等によく吸収されるため、植物生育の旺盛なかんがい期に低くなるものと思われま。また、夏期から秋期にアオコの発生するため池では、かんがい期にSiの低下はなく、アオコがSiを必要としていないためと考えられます。逆に冬期から春期に珪藻類が発生するとSiが低下すると思われま。

また、非かんがい期にヨシやハス等が枯死すると、Siを吸収する植物がないことや、植物体の分解に伴ってSiが溶出するため、非かんがい期にSiが高まるものと思われま。

(質問) 貴重なデータが蓄積されている。報告書があったら入手したい。水生植物が水質に影響を与えているのでしょうか？

(返答) 報告書は、平成14年度分なら平成14年7月から12月の結果を載せているものがあります(兵庫県立農林水産技術総合センター(2003)のプロジェクト研究(農林水産環境担当)試験成績書)ので、お送りいたします。ため池の水生植物は、栄養塩類吸収による水質浄化にも、また、植物体枯死後の分解による水質汚濁にも影響していると考えられます。また、水生植物により水質を浄化しても植物体を除去しないといずれ、底泥となって堆積するので、汚濁への影響の方が強くなると思われま。

# ため池と小型貯水池の水文・水質特性 - 小型貯水池が下流域に与える影響 -

多田明夫<sup>1</sup>・畑 武志<sup>1</sup>・田中丸治哉<sup>2</sup>

<sup>1</sup>神戸大学農学部 (〒 657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1)

<sup>2</sup>神戸大学自然科学研究科 (〒 657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1)

## Hydrology and Water Quality Characteristics of a Small Irrigation and Regulation Pond - Effect on Downstream Water Chemistry -

Akio TADA<sup>1</sup>, Takeshi HATA<sup>1</sup> and Haruya TANAKAMARU<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Agriculture, Kobe University, 1-1 Rokkodai Nada, Kobe 657-8501, Japan

<sup>2</sup>Graduate School of Science and Technology, Kobe University, 1-1 Rokkodai Nada, Kobe 657-8501, Japan

### 1. はじめに

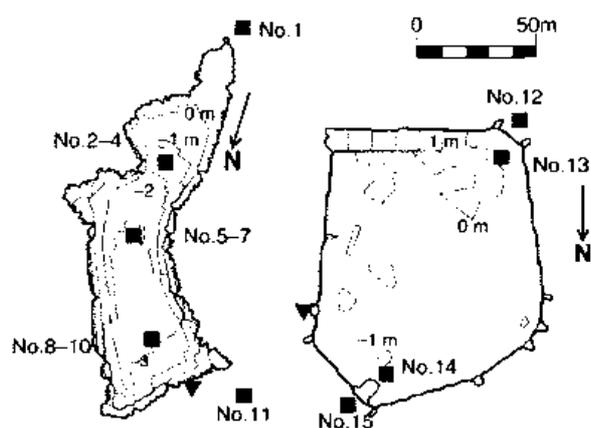
兵庫県は全国でも有数のため池を県下に有している。このような地域での広域の水質環境を検討する上で、ため池などの小型貯水池が有する水文・水質特性について明らかにしておく必要がある。神戸市北区の山田川流域は下流部にため池を多く有しており、さらに住宅地の開発に伴う洪水調整用の貯水池が複数建設されている。山田川流域の宅地の占める面積は20%を越えており、ため池だけではなくこの洪水調整池も流域の水収支と物質収支に影響を与えているものと考えられる。この流域の水質・水文特性を評価するため、流域内の農業用ため池と洪水調整用の貯水池について、水収支及び負荷収支の検討を行い、これらの小型貯水池の水理・水文特性と水質特性の関係について考察した。

### 2. 方法

#### 2.1 調査対象

調査対象とした小型貯水池は神戸市北区に位置するK農業用ため池(平水時最大水深3.5m,平水時容水量12,000m<sup>3</sup>,平水時水面積5,500m<sup>2</sup>)と洪水調整用のH調整池(平水時最大水深1.2m,平水時容水量3,000m<sup>3</sup>,平水時水面積9,900m<sup>2</sup>)である。平常Kため池はほぼ満水で管理され、調査期間中は冬季の水抜きなどの管理は行われていなかった。

Kため池は谷の出口に堤を築いた谷池であり、神戸市西区などで多く見られる皿池とは構造が異なるが、山林部である神戸市北区では谷池が主体である。H調整池は洪水流出ピークの平滑化の目的からオリフィス型の流出口を有しており、平常は低水位である。調査対象貯水池の概略を図1に、小型貯水池の集水域の地目構成を表1に示す。



：採水地点， ：センサ・雨量計設置地点

図1. 調査地点の概要.

表1. 集水域の地目構成.

地目	Kため池	H調整池
全面積	20.6	108
山林・未造成	20.28	2.0
池	0.038	0
水田	0.281	0
造成地(宅地等)	0	106

Kため池と比較して、H調整池は平均水深が1m以内であり、0.2～1m程度の底泥・土砂の堆積が見られる。池内ではヨシやヒシなどの水生植物が繁茂している。

### 2.2 調査方法

両小型貯水池とも水位センサ(分解能0.1%)と雨量計を設置し、5分ごとのデータをロガーにより収集した。H調整池は水位変動が激しいため、フルスケールが20mと2mの水位センサを設置し、これに対しKため池には1m水位センサを設置した。水質調査期間は1998年11月～1999年11月の1年間である。定期採水をこの期間に、平均して10日に1回程度の頻度で、計29回行った。定期採水には降雨時の影響を含むデータも含まれているが、降雨時の詳細な連続調査は行っていない。測定項目はDO、pH、RpH、EC、pH4.8アルカリ度(Mアルカリ度;水中の $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{CO}_3^{2-}$ 、強アルカリの量に対応し、主に $\text{HCO}_3^-$ の量に相当する)、TN、DTN、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 、TP、DTP、 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 、溶存 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{TCOD}_{\text{Mn}}$ 、 $\text{DCOD}_{\text{Mn}}$ 、SS、Chl. *a*である。採水地点は両貯水池とも、池内部、流入部、流出部の計15地点で行った。またKため池堤体上で雨水採取も行い、総沈着量を求めた。

## 3. 結果

### 3.1 水収支特性

両貯水池の平水時貯水量と水収支解析の結果得られた調査期間中の年回転率、及び実測の平均低水時流入量から求めた年回転率を表2に示した。両池の水収支解析は、以下の手順で行った。まず池の水位から池からの流出量を計算する。池内の水収支が適合するように、池への流入量を、集水域にタンクモデルを適用し、両貯水池内の水位あるいは貯水池からの流出量変動を再現するように最適化を行って推定した。このような手順を踏むことになった理由として、以下の2つの理由が挙げられる。まず谷池では一般に、流入地点を特定すること、もしくは全流入量を実測で得ることが困難な場合が多いことであり、Kため池でも主な流入路を押さえることしかできていなかったためである。また、ため池の場合、特に谷池で顕著であるが、池への流入は地表流入だけではないと考えられ、地表下の経路で池内部へ浸入する、も

しくは池外部へ浸出する水の量が特定できないためである。

表2. 池の年間回転率( $\text{y}^{-1}$ )<sup>\*</sup>.

低水時平均		年間	
Kため池	H調整池	Kため池	H調整池
0.9	87	4.5	526

\*: 年間総流入量 / 池平均貯水量

計算の結果得られた水収支の結果を表3に示した。表中、*P*は集水域への期間中の降水量、*Q<sub>i</sub>*は集水域から池への地表流入量、*Q<sub>o</sub>*は池からの地表流出量(集水域面積で除してmm単位に変換)、*Q<sub>g</sub>*は集水域から池内に入らないで流下したかもしくは池に地下流入して入り、地下流出した成分、*V<sub>p</sub>*は池内に貯留されている水量を集水域面積で除してmm換算した値である。

表3. 水収支の推定値(mm).

水収成分	Kため池	H調整池
<i>P</i>	1257	1387
<i>Q<sub>i</sub></i>	252	976
<i>Q<sub>o</sub></i>	257	998
<i>Q<sub>g</sub></i>	283	0
<i>V<sub>p</sub></i>	56	1.9

表から、Kため池では集水域からの流出のうち半分弱が池内に地表流入として流入するが、H調整池では集水域からの流出のすべてが地表流入として池内に流入している。もしKため池でも集水域からの流入のすべてが流入するものとしても、その年間の池の回転率は高々9.6回(地表流入のみで計算すれば4.5回)であり、H調整池の526回とは大きくかけ離れている。これは集水域で蒸発散により失われる成分量が宅地では山林と比べて非常に小さなこと、および平水時の貯水量がH調整池では非常に小さなことに起因しており、両池の水理特性を端的に表現している。

### 3.2 水質調査結果

両貯水池の水質の算術平均を表4に示した。各小型貯水池内の水質平均値は、池内の水質分布と貯留体積を考慮して、加重平均を行った値である。Kため池では平常時水深が3.5mと大きなため、夏季に池底部で低温層が形成され、DO値が $2\text{mg L}^{-1}$ 前後となり、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、リン、Mnなどが他の地点よ

りも高濃度になっていることが確認されている。

まず鉛直方向の水質濃度について整理する。両池で鉛直深度別の採水を行ったのは水深の深いKため池のみである。Kため池で下層ほど濃度が高かった項目はpH4.8アルカリ度, EC, TN, TP, DTP, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P, SiO<sub>2</sub>, TCOD, SS, Chl. *a* であり, やや下層で濃度が高かった項目がDTN, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N, DCODであり, ほぼ同じ濃度を示したのがNH<sub>4</sub><sup>+</sup>-Nであり, 総じてほとんどの項目が, 池内下層ほど濃度が高いという結果となった。

次に流入から池内, 流出にかけての水平方向の水質変化について整理する。これは表4からも明らかであるが, 流入から池内にはいることで濃度が増大しているものはKため池ではEC, pH4.8アルカリ度, DTN, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N, TP, DTP, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P, SiO<sub>2</sub>であり, 濃度が減少した項目はTCOD, DCOD, Chl. *a*, SSである。TNは池内で若干濃度が上昇しているものの, 水稻の作付け期では流入水質の方が池内水質よりも高い値である。H調整池で流入水より池内部の方が濃度が高かった項目としてはpH4.8アルカリ度, EC, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N, TP, DTP, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P, TCOD, DCOD, Chl. *a* があり, 濃度が減

少した項目はTN, DTN, SiO<sub>2</sub>であった。流入水質により池内の水質は左右されるとはいえ, 2つの小型調整池では池内の水質と流入水水質の大小関係は大きく異なっていることに注意が必要であろう。

### 3.3 負荷収支特性

貯水池内の負荷収支は次式に従って求めた。

$$L_{net} = \frac{d(V_p C_p)}{dt} - (C_{in} Q_{in} + C_R P - C_o Q_o) \quad (1)$$

ここで,  $V_p$ は池内貯水量,  $C_p$ は池内水質濃度,  $P$ は池への総降水量,  $C_R$ は期間中の降水の平均水質,  $Q_{in}$ は集水域から池内への地表流入水量,  $Q_o$ は池からの地表流出水量,  $C_{in} \cdot C_o$ は流入水質濃度・流出水質濃度,  $L_{net}$ は池内部での正味の負荷量変化である。表5には $L_{net}$ と池内への総流入物質質量(上式中の $C_{in} Q_{in}$ で, 総沈着量は含んでいない)の値を示した。

## 4. 考察

### 4.1 小型貯水池内の正味の負荷変化量について

表5から, 池内に流入した負荷の何割が年間に池内部で消費・生産されたかを見ることができ, 2

表4. 小型貯水池の平均水質(1998/11~1999/11)

項目	Kため池			H調整池		
	流入	池内	流出	流入	池内	流出
水温( )	13.6	14.4	14.5	17.3	18.0	17.5
DO( mg L <sup>-1</sup> )	9.20	7.71	9.04	9.84	9.01	6.99
pH	6.93	6.98	6.92	8.66	8.26	7.30
RpH	7.59	7.35	7.36	8.34	8.33	8.21
EC( μS cm <sup>-1</sup> )	131	88.5	92.2	293	301	306
M-Alk( meq L <sup>-1</sup> )*	0.652	0.355	0.379	1.77	1.83	1.90
TN( mg L <sup>-1</sup> )	0.786	0.878	0.696	1.48	1.18	1.90
DTN( mg L <sup>-1</sup> )	0.707	0.549	0.499	1.38	1.13	0.909
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N( mg L <sup>-1</sup> )	0.034	0.049	0.023	0.048	0.094	0.159
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N( mg L <sup>-1</sup> )	0.007	0.004	0.004	0.011	0.027	0.028
TP( mg L <sup>-1</sup> )	0.112	0.080	0.084	0.035	0.038	0.053
DTP( mg L <sup>-1</sup> )	0.098	0.041	0.056	0.028	0.029	0.036
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P( mg L <sup>-1</sup> )	0.085	0.017	0.036	0.016	0.016	0.020
溶存SiO <sub>2</sub> ( mg L <sup>-1</sup> )	51.9	32.2	29.7	19.8	16.6	13.5
TCOD <sub>M</sub> ( mg L <sup>-1</sup> )	6.22	9.07	8.27	5.26	5.35	5.83
DCOD <sub>M</sub> ( mg L <sup>-1</sup> )	5.29	7.47	6.60	4.55	4.88	5.04
SS( mg L <sup>-1</sup> )	19.0	18.2	15.2	3.46	2.66	5.42
Chl. <i>a</i> ( μg L <sup>-1</sup> )	1.48	18.3	8.17	1.38	1.96	2.02
Water Volume( ×10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> y <sup>-1</sup> )	5.3		5.3	110		110

\* : pH4.8アルカリ度

つの池で異なる結果となっている。変化量自体の大きさは、流入負荷量の1～6割程度のものが多く、小型貯水池といえども下流域の水質に与える影響は小さくないといえる。

#### 4.2 小型貯水池内の水質変化について

湖沼やダム貯水池などでは、水温成層(躍層)の形成と底質からの物質の溶出についての研究報告が多くなされている。岩佐(1990)によれば、その機構は、水温成層により底層に低温の貧酸素水層が安定して形成され、その部分での嫌気化が進み、金属やカチオン、リン、溶解性有機物が還元状態で上層に溶出・拡散する働きと、貯水池の表層・中層での植物プランクトンの光合成や呼吸・繁殖及びその遺体の沈殿・分解による働きの両者の強弱関係で、貯水池水質が決定されるというものである。底質からの溶出が支配的である場合、EC, pH, COD,  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ,  $\text{NO}_2^-\text{-N}$  は池内で物質供給され、脱窒により TN, DTN は池内で物質量が減少する。また藤永・堀(1982), 原島(2003)によれば、溶存  $\text{SiO}_2$  については、土粒子への吸着やケイ藻類の捕食による湖沼流入時の濃度低下が報告されている。従って、H調整池内での負荷量変化については、底質からの溶出で水質変化が説明できる。これに対してKため池では、EC, リン, TN,  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ,  $\text{NO}_2^-\text{-N}$  について、H調整池とは逆の結果である。これはKため池底層では底質からの溶出が夏季に底層部で見られるものの、表層・中層での植物やプランクトンによる栄養塩類の吸収が、底層からの溶出に勝っている結果と思われる。

細見・須藤(1992)は、手賀沼での TN, TP の浄化量として  $120 \sim 188 (\text{mg m}^2 \text{d}^{-1})$ ,  $30 \sim 35 (\text{mg m}^2 \text{d}^{-1})$  という数字を挙げており、長坂ら(2001)はやはり2つの小型ため池の値として、TNで  $13.9 \sim 29.3 (\text{mg m}^2 \text{d}^{-1})$ , TPで  $-0.3 \sim 1.7 (\text{mg m}^2 \text{d}^{-1})$  という値を挙げている。表4からこれらの値を計算すると、Kため池ではTNで  $-2.5 (\text{mg m}^2 \text{d}^{-1})$ , DTNで  $5.1 (\text{mg m}^2 \text{d}^{-1})$ , TPで  $0.74 (\text{mg m}^2 \text{d}^{-1})$ , DTPで  $1.5 (\text{mg m}^2 \text{d}^{-1})$ , H調整池ではTNで  $132 (\text{mg m}^2 \text{d}^{-1})$ , DTNで  $129 (\text{mg m}^2 \text{d}^{-1})$ , TPで  $-5.1 (\text{mg m}^2 \text{d}^{-1})$ , DTPで  $-2.27 (\text{mg m}^2 \text{d}^{-1})$  という値になる(負値は池内部で物質が供給されたことを意味する)。窒素については、TNが汚濁側に作用した結果は池内部の沈殿物や排水路での嫌濁物の巻き上

げによる影響のためと考えられるので、DTNを基準に浄化量を議論する。H調整池の値は手賀沼のものに近く、Kため池は長坂ら(2001)の報告した値に近い。リンについては、K・H両小型貯水池とも長坂ら(2001)の報告の値と近いものとなっている。通常的小型のため池ではTNで  $10 \sim 30 (\text{mg m}^2 \text{d}^{-1})$ , TPで  $0 \sim 2 (\text{mg m}^2 \text{d}^{-1})$  程度の値を浄化量として考えて良いと思われる。

表5. 貯水池内での正味の負荷量変化 ( $\text{kg y}^{-1}$ )

項目	Kため池		H調整池	
	Lnet	LI <sup>*4</sup>	Lnet	LI <sup>*4</sup>
EC <sup>*1</sup>	-2151	333	24133	2864
M-Aik <sup>*2</sup>	-16.9	1.67	200	17.3
TN	5.05	2.00	-478	14.6
DTN	-10.4	1.81	-467	13.8
$\text{NH}_4^+\text{-N}$	-0.84	0.087	117	0.499
$\text{NO}_2^-\text{-N}$	-0.085	0.018	18.3	0.111
TP	-1.50	0.283	18.6	0.234
DTP	-2.98	0.250	8.29	0.179
$\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$	-3.48	0.215	4.15	0.108
溶存 $\text{SiO}_2$	-834	132	-6212	199
TCOD <sub>Mn</sub>	153	15.8	843	48.8
DCOD <sub>Mn</sub>	109	13.4	743	43.2
SS	199	47.4	2098	50.2
Chl. <i>a</i> <sup>*3</sup>	901	3.79	734	16.3

\*1:  $\text{S cm}^{-1} \text{y}^{-1}$  \*2: pH4.8アルカリ度( $\text{keq/y}$ ) \*3:  $\text{g y}^{-1}$

\*4: haあたりの値(集水面積で除した値)

#### 4.3 貯水池の水理特性との関わり

東野(1998)の研究を参考に、底質からの物質の溶出フラックス( $J$ )について、(2)式のFickの法則を元に考察する。

$$J = D \frac{dC}{dy} \quad (2)$$

ここで、 $y$ は底部から鉛直上方への距離、 $C$ は濃度、 $D$ は拡散係数である。

Kため池の平均水深は約3.5m、H調整池での平均水深は0.3～0.5mである。また、H調整池においては、水面でのDOが過飽和～飽和であるにも関わらず、底泥表面では  $1 \text{ mg L}^{-1}$  以下(Kため池では夏季でも  $2 \text{ mg L}^{-1}$  前後)であり、 $d(\text{DO})/dy$ がKため池よりも非常に大きい上、嫌気条件も強いものとなっている。また流れが存在する場合、流速が大きくなると  $J$ も大きくなる。平水時の流入量を元に池内の平均流速を推定すると、流速の絶対

値はどちらも小さな値ではあるが、Kため池と比較してH調整池の池内平均流速は200～250倍程度である。以上のことが、H調整池で底質からの溶出効果が強く働く理由と考えられる。

## 5. 最後に

今回の報告では、両池ともに降雨時の流入負荷調査を行っていない。また、ため池(特に谷池)は流入量のすべてを実測で得ることが困難な点と、地中を経路とした流入・流出が押さえられない点から、まだ負荷収支を議論するには不十分な点があることをお断りしなければならない。しかし降雨時のデータが仮にあったとし、それが反映されたとすれば、おそらく池への流入負荷量は増えることになり、このためKため池で浄化型に分類された項目について、収支が均衡するか、汚濁型に転ずる可能性もある。このあたり、池の水収支の推定精度を向上させることとともに、今後のさらなる検討が必要である。

また、H調整池では多くの水質項目について池内で濃度が増大し、負荷収支上も汚濁型となる項目が多かった。これは底泥の厚さに比較して水深が小さなことを原因としてあげた。これはため池やダム湖などの貯水池の低層部で起こっている水質汚濁のメカニズムと同じであり、水管理や池の水理特性が水質に与える影響が顕著に表れたものと考えられる。

最後に本研究は文部科学省科学研究費(奨励研究09760221)を受けて行われたものであることを付記する。

## 引用文献

- 藤永太郎・堀 智孝(1982):琵琶湖の環境科学。日本学術振興会、東京。
- 原島 省(2003):陸水域におけるシリカ欠損と海域生態系の変質。水環境学会誌、26: 621-625。
- 細見正明・須藤隆一(1992):手賀沼における窒素およびリンの収支。水環境学会誌、115: 31-38。
- 岩佐義朗(1990):湖沼工学。218-229。山海堂、東京。
- 長坂貞郎・堀野治彦・野口寧代・三野 徹(2001):農業用ため池の物質収支とそれを含む流域の流出負荷特性--京都府京田辺市を事例として。農

業土木学会論文集、214: 35-42。

東野 誠(1998):水・底泥境界面での物質交換に起因する水質汚濁機構に関する研究。神戸大学大学院自然科学研究科博士論文。

## 質疑

(質問)pH 4.8 アルカリ度は初めて聞きました。ため池と貯水池の特性を比べたことは興味深いし、ため池の必要性、有利性を訴える資料となると思いました。SSがため池で大幅に増えた理由は何か知りたいです。

(返答)ため池のSSの多くは、ため池内部での藻類が主要なものですので、そのためだと思われます。

(質問)ダム、ため池、小型貯水池を分ける要因は何が一番大きいと考えられますか。

(返答)流入水質を除けば、水深と水の入れ替わりの速度、及び管理作業の有無と言って差し支えないと思います。

ため池も池干しなどの作業を行わなければもはや大きな水溜まりにすぎませんし、そういった池の底樋から一斉に水抜きをすれば、洪水調整池と何ら下流への水質の影響は変わらないと思います。

(質問)降雨時の物質流入が多いので(特にKため池)降雨時の水質調査をやらなければ、物質収支を把握できないと思われる。論文、報告書等の関連資料を送っていただければ幸いです。

(返答)まず正式な報告はまだ出せていないので、近い内にまとめる予定です。その時に送付させていただきます。

降雨時の調査について行っていないので、相当誤差が大きいと考えられます。そういった意味で、物質収支と言う表現は言葉不足であったと思います。ただし、ため池の物質収支把握の難しさとして、

- 1) 水収支が正確に把握できない(地中浸透成分)
- 2) 地表流入だけの場合でも、流入箇所が厳密に特定できない場合が多い。従って主な地表流入箇所を測定しても流入分を押さえたとは言

い難い。  
という問題があります。また調査箇所が池流入、出口、池内ということになりますので、かなりの手が必要となり、2つの池を抱える状態では、現実的な問題として調査を実施できませんでした。

今回は、そのために見かけの収支と言うことでお話をさせていただきましたが、正確には「平水時の」という言葉を補う必要があるかと思えます。また、厳密には、今回の報告が池自体の物質収支とはいえないのはご指摘の通りです。

ただし、定期採水時のデータには降雨の影響を受けているデータも含まれていますので、或る程度の傾向（増水時に濃度が増えるか減るのかという程度ですが）は反映されています。

今後とりまとめる際には、水収支計算のさらなるブラッシュアップとともに、流入水質の見積もりにも或る程度の幅を見込んで議論していこうかと思っています。

最後に、ため池というのは物質収支を取るのが難しい場であるというのが感想です。また、降雨時の調査をしたとしても、地中浸透（入）が存在することを否定できませんので、やはり「見かけの」物質収支、ということになるかと思えます。

この調査を行った当時はため池などの小型貯水池についてのこのような報告があまり数多くありませんでした。「ため池＋水質」というキーワードでも、ヒットする文献件数は非常に少なかったです。洪水調整池の水質に至っては、調査報告としては0でした。ここ4年ほど、ため池関連の報告がずいぶん増えているのも事実ですし、日大の長坂先生のように当方と同じような調査を行った事例もあります。今後は再度文献検索を行って比較できるような報告が出ているのか至急調べ、最終報告に反映できればと思っております。

# ため池の水源特性からみた多様性と水質解析

田淵俊雄<sup>1</sup>・高村典子<sup>2</sup>・黒田久雄<sup>3</sup>

<sup>1</sup>無所属（茨城県環境審議会霞ヶ浦専門部会長，元東京大学農学部教授）

<sup>2</sup>（独）国立環境研究所（〒305-8506 つくば市小野川16-2）

<sup>3</sup>茨城大学農学部（〒300-0393 茨城県稲敷郡阿見町中央3-21-1）

## Diversity of Irrigation Ponds Relating to the Type of Water Resources and Their Water Quality

Toshio TABUCHI<sup>1</sup>, Noriko TAKAMURA<sup>2</sup> and Hisao KURODA<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Former Professor of The University of Tokyo

<sup>2</sup>National Institute for Environmental Studies, 16-2 Onogawa, Tsukuba 305-8506, Japan

<sup>3</sup>College of Agriculture, Ibaraki University, 3-21-1 Chuo, Ami-machi 300-0393, Japan

### 1. はじめに

本研究はため池の水質に關与する水源，集水域，水利用，水管理などの基本的特性を調べて，その多様な実態と相互關連を調べることを目的とし，平成13～17年度国立環境研究所重点プロジェクトの一つとして行っている「生物多様性の減少機構の解明とその保全」の一環として2002年に行ったものである（高村2003）。調査地域は兵庫県南部のため池密集地帯で，35のため池を対象に調査した。調査は現地調査と資料調査から成る。土地利用図とため池データベースなどによりため池の面積，集水域，灌漑面積など基本事項を調べ，ため池の管理者へのアンケートと面接で使用状況などを調べ，県や土地改良区で農業用水など全体的な事項について調査した。現地調査では水の流動状況や水質，植生について調査した。

### 2. 調査地域

調査地域は兵庫県南部のため池密集地帯である。兵庫県にはため池が43,972個もあり，それは全国一の数である。2位は広島，3位香川，4位山口，5位大阪となっている（図1）。調査したため池は35あり，神戸市，明石市，加古川市，小野市，稲美町，社町に分布している。ため池の密集している地域では，水田地帯ばかりでなく住宅地の近辺にもため池が数多く分布している。

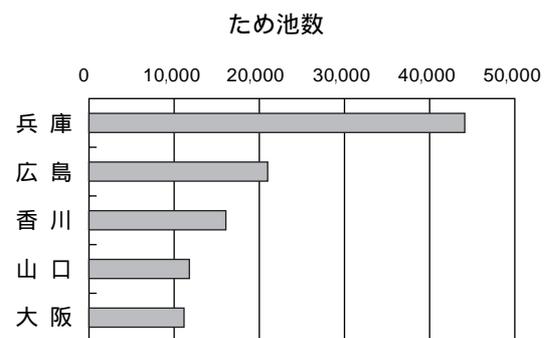


図1. ため池の多い府県  
（兵庫県農林水産部地整備課 2001）

### 3. ため池の多様性

35の調査ため池は当初生物多様性の研究のため，景観と池の植生の違いに着目して選ばれたもの（高村2003）であるが，それらは地形や水源，集水域の土地利用や面積，灌漑面積，貯水量，用水や排水との關連などの面でも，実に多種多様で（表1, 2），これほど多様なため池がある地域も珍しい。地形については平地にあるものが多いが，山の縁にあるものや，谷間にあるもの，傾斜地にあるものもあった。また単独で存在するため池と連結しているため池があり，後者の方が多かった。集水域の土地利用も多様で，山林，水田，町や集落などで構成されていた。その中に牛舎があるため池や養魚が行なわれているため池もあった。植生についても抽水，浮葉，沈水の各種の植物が存在し，また一方，無植生のものがあり，中にはアオコが発生しているため池

もあった。

図2はため池と水源との関係を模式化したものである。直接降雨はどのため池にもある水源である。山林,農地,市街地から成る集水域からの流入水もほとんどのため池に存在する。集水域の土地利用がその流出水の水質を規定するから(田淵・高村1985;田淵ら1998;田淵1999a,b),集水域の土地利用はため池の水質に大きな影響を与える(中曽根ら1998;長坂ら1998;白谷ら2001)。さらに

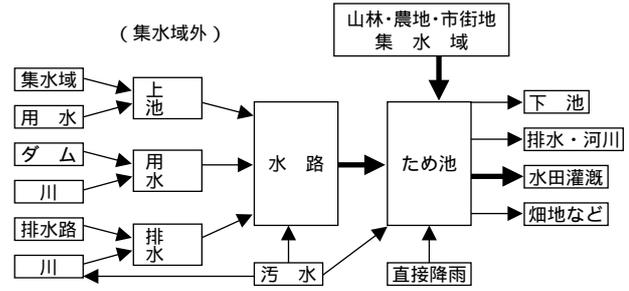


図2. ため池における多様な水源と水移動。

表1. 調査ため池の基本数値.

No	地名	地形	単連	タイプ	集水域・周辺状況	mg L <sup>-1</sup>					植生	備考	
						面積 ha		貯水量	TN平均値				
						ため池	集水域		稲作期	非稲作期			
1	25 中ノ池	傾斜地	連	上池集水域型	水田	0.42	9	10	6000	0.6	0.5	タヌキモ	上池から中継池
2	26 助ヶ池	傾斜地	連	上池集水域型	水田	0.51	2	6	7500	0.6	0.4	ハス	末端池・ハス鑑賞
3	48 櫻谷池2号	谷	連	上池集水域型	山林	0.24	29	10	3000	0.4	0.4	抽水	山
4	19 通り池	平地	連	用水間接・排水利用型	町	1.56	20	6	32000	0.8	0.8	浮葉	町中・下水・用水・公園
5	17 原新池	谷	連	集水域型	林・草地	0.34	6	1	6000	0.6	0.5	コウホネ	ゴルフ場・非利用・通過
6	15 鶴池	谷出口	単	集水域型	山林	0.41	8	1	20000	0.4	0.5	なし	山水・漏水
7	13 明神池	谷	連	上池集水域型	山林・畜産	0.53	3	200	9000	1.7	1.9	浮葉	通過・牛舎・釣り
8	10 葉師池	山縁	単	排水利用・集水域型	山林	0.44	10	1.2	1000	0.5	0.8	浮葉	排水利用 漏水
9	11 中の池	山縁	単	集水域型	山林	0.1	10		2000	0.4	0.5	抽水	苗代用
10	6 片山池	山縁	連	上池集水域型	山林	0.77	17	7	10000	0.4	0.5	ハス	ハス食用 漁獲
11	8 皿池A	平地	連	上池集水域型	山林・水田・集落	1.68	20	37	51000	0.7	0.8	抽水	上池より町縁
12	46 山田池	山縁	連	上池集水域型	山林	0.92	12	13	28000	0.5	0.4	浮葉	非利用
13	45 又池A	谷	連	集水域型	林・畑/養魚	0.87	8	2	5000	1.2	1.4	あし	養魚
14	35 今池	平地	連	用水・汚水混入型	町	2.88	25	10	60000	4.8	5.6	アオコ	草魚放流・井戸水 町中
15	29 辰ヶ谷池	平地	単	用水・排水利用型	水田・集落	1.76	0	6	22200	2.5	3.6	なし	用水・処理水利用
16	31 新池	平地	複	上池用水型	水田・集落	0.65	0	1	11300	1.7	2.1	なし	他の池から用水
17	40 添池西	平地	連	用水・汚水混入型	(水田・町)	0.57	0	50	16300	4.5	2.2	なし	アオコ 用水 連結
18	38 主池	山縁	単	天水型	(町)	1.37	0	6	27000	0.6	0.7	抽水	水源なし。住宅公園
19	36 又池B	平地	連	排水利用型	水田・集落	0.65	0	0.8	10000	5.1	2.9	抽水	アオコ もらい水
20	2 皿池C	山縁	連	上池集水域型	山林	0.95	30	30	18000	0.4	0.4	抽水	ダンベ池から
21	16 皿池B	山縁	単	集水域型	林・集落	1.99	10	25	12000	1.0	1.1	抽水	住宅 水路水?
22	21 二ゴ池	平地	連	用水・汚水混入型	町	0.57	11	15	10000	1.5	2.0	抽水	東条用水 町中
23	22 塩池	平地	連	上池用水型	町	0.37	7	15	8500	1.3	1.2	浮葉	東条用水 町中
24	23 社新池	平地	連	上池用水型	町	0.55	5	30	12000	0.6	0.8	浮葉	東条用水 上池から町縁
25	24 社上池	平地	連	用水型	町	0.35	6	3	4000	0.9	0.9	なし	東条用水と千鳥川 町中
26	27 長池	平地	連	天水・排水利用型	水田・集落	1.62	0	2	13770	3.2	1.3	枕水	排水流入
27	32 大道池西	平地	連	天水型	水田	0.84	0	0	9576	1.1	0.9	抽水	非利用
28	33 第一号池	平地	連	用水型	水田	1.71	0	12	23000	0.4	0.4	浮葉	東幡用水
29	34 数池	平地	単	用水・汚水混入型	町	2.02	4	2	23000	1.5	2.6	浮葉	新井用水 排水 町中
30	39 福池	平地	単	排水利用型	町	0.73	5	1.5	9000	5.0	6.4	抽水	アオコ 赤根川 排水 町縁
31	41 下女池南	平地	連	用水間接・排水利用型	水田・集落	0.39	0	12	3920	3.6	2.4	抽水	アオコ 天満大池より(東幡)
32	42 梶が池	平地	連	用水間接・排水利用型	水田・集落	1.16	0	3	15000	3.4	3.6	アオコ	幸竹池より(東幡)住宅
33	43 弁天池	平地	単	用水・汚水混入型	水田・集落	1.75	1	9	30000	1.1	1.1	なし	東幡用水+井戸? 住宅
34	44 亀が池	平地	単	用水・排水利用型	水田・集落	1.45	2	6.5	22500	2.4	4.2	浮葉	アオコ 東幡用水+曇川 町縁
35	47 大門南池	平地	連	用水間接・排水利用型	水田	0.19	0	36	2033	1.4	1.5	浮葉	東幡用水

稲作期は5~8月の4回の平均  
非稲作期は9~12, 3, 4の6回の平均

表 2 . 調査ため池の多様性.

地形	平地21, 山縁 7, 谷 5, 傾斜地 2
単・連	単独10, 連結25
水源	集水域32, 用水12, 用水(間接) 4, 排水9, 上池15, 天水 3
集水域	山林12, 水田14, 町・集落18, 畜産 1, 養魚 1
池面積	1 ha以下23, 1~2 ha 10, 2 ha以上 2
集水域面積	10 ha以下24, 10~20 ha 6, 20ha以上 5
灌漑面積	10 ha以下19, 10~30 ha 9, 30ha以上 6
貯水量	10,000 m <sup>3</sup> 以下14, 10,000以上21
窒素濃度	稲作期; 1mg L <sup>-1</sup> 以下17, 1~2mg L <sup>-1</sup> 9, 2~3mg L <sup>-1</sup> 2, 3 mg L <sup>-1</sup> 以上 7 非稲作期; 1mg L <sup>-1</sup> 以下17, 1~2mg L <sup>-1</sup> 7, 2~3mg L <sup>-1</sup> 6, 3mg L <sup>-1</sup> 以上 5
植生	抽水11, 浮葉13, 沈水 2, なし 9, アオコ 7
タイプ	集水域型13, 用水型10, 排水利用型 3, 用水排水両用型 6, 天水型 3
特徴	牛舎, 養魚, 処理水流入, 排水揚水
水利用	稲だけ24, 野菜にも 4, 防火にも 3
空になること	あり13, なし19
泥吐け	しない27, 毎年 1, 隔年 2
管理作業	なし 1, 毎日 3, 時々 6, 月 1~2回 1, 年 2~5回 4
困ること	ゴミ 7, つり 4, 汚水 2, 老朽化 3, 漏水 4, 安全性 3, 堆積 2, 除草 1

ため池には水路によって用水が導入されている場合がある。その用水の水源はダムや河川で、時には地下水である。また、上部にある別のため池(上池)から水が導入される場合があるが、その上池の水源は集水域であったり、用水であったりする。水が不足する場合にはさらに排水路の水がため池に導入されるケースがあり、この場合にはどうしても汚水が混入しやすい。汚水は集水域の流出水や用水がため池に流入する過程でも混入するが、排水利用の場合が最も混入しやすい。

実際のため池ではこれらの水源が単独なものもあるが、一般には複数の水源が組み合わさっている。

今回調査した 35 のため池については、天水だけの池から、集水域から流出する水を貯留する池、用水に依存する池、排水を再利用する池、汚水が混入する池などがある。水源が複数存在する池も多くまことに多様で、色々のタイプに分類できた(表 3)。この表では水源の組み合わせによって細かく 11 のタイプに分類したが、集水域の水を使うため池が 16 個、用水に依存するため池が 16 個、何らかの形で排水も導入しているため池が 10 個ある。大別すれば、集水域型、用水型、排水導入型の 3 タイプとなる。

表 3 . ため池の水源タイプによる分類.

	直接降水	集水域流出水	用水	排水	汚水	計
天水型						2
天水・排水型型						1
集水域型						5
上池集水域型						8
集水域・排水利用型						1
排水利用型						2
用水型						2
上池用水型						3
用水汚水混入型						5
用水・排水両用型						2
用水間接・排水利用型						4
合計	35	14	16	10	7	35

は副次的

#### 4. ため池の窒素濃度

水質調査は月1回とし、2002年5月から2003年3月まで冬期の1,2月以外の10ヶ月に水深0.5mの深さから採水した。今回はその中から窒素について検討する。図3に全窒素濃度の年間変動を示した。上図は $1\text{ mg L}^{-1}$ 以下の低濃度のため池7個の窒素濃度の変動を、下図は高濃度のため池8個の変動を示す。低濃度のため池では窒素濃度は一部のため池を除いてそれほど大きな変動はしていない。一方、高濃度のため池では変動の大きなものがある。夏期に $6\text{ mg L}^{-1}$ 近くに上昇するものや、4月に急上昇するものがある。

今回の調査では約半数の17のため池で年平均全窒素濃度が $1.0\text{ mg L}^{-1}$ 以下であった。しかし生活系、工場・事業場系や畜産系の汚水が流入するため池の窒素濃度は高く、10ヶ月前後のため池で $2\text{ mg L}^{-1}$ 以上で $5\text{ mg L}^{-1}$ を超えるものもあった(図4)。高濃度の福池、又池Bは排水利用型の典型であり、梶ヶ池、亀ヶ池、辰ヶ谷池は用水の他に排水も利用している型である。今池は市街地にあるため池で、生活

排水の混入がある。一方、低濃度の $0.4\sim 0.5\text{ mg L}^{-1}$ の梶ヶ谷池は山林集水域型で、一号上池は水利利用型で、汚水の混入のないため池である。35のため池の総平均窒素濃度は $1.6\text{ mg L}^{-1}$ であるが、ため池による差はかなり大きい。

各ため池の年平均全窒素濃度と年平均全リン濃度を比較したのが図5である。明神池と又池Bの2つのため池を除けば両者は良く対応している。前者には畜舎が流域にあり、後者には排水が流入している。点は全窒素濃度対全リン濃度が10:1の直線の近傍に分布している。全窒素濃度が高いため池では全リン濃度も高い。

また、稲作期と冬期の全窒素濃度を比較すると、高濃度のため池では稲作期に上昇するため池が多い(図6)。ここで稲作期の平均濃度とは5~8月の4ヶ月の測定値を平均したもので、非稲作期濃度は9~4月の平均値(ただし1,2月は欠測)、冬期は稲作期と非稲作期の間の過渡的な月を除いた11,12,3の3ヶ月の平均値である。稲作期には低濃度の用水が導入されるので、濃度は非稲作期よりも低下する

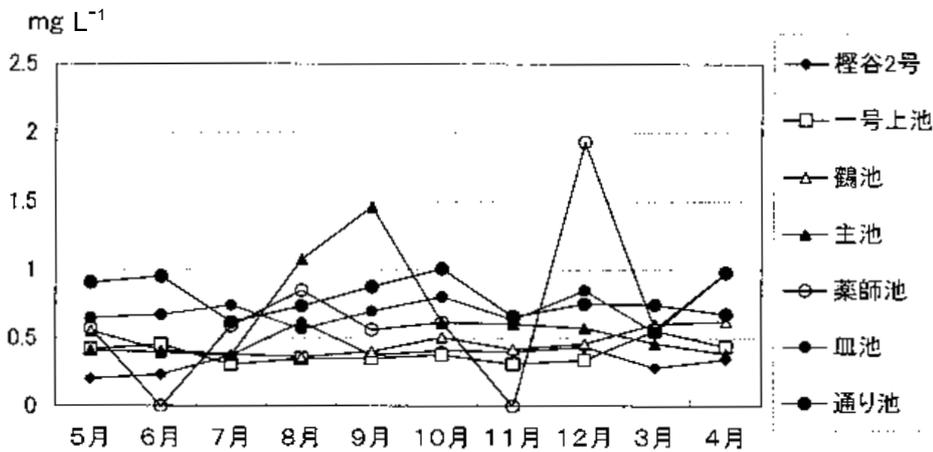


図3-1. ため池のTN濃度の年間変動(低濃度のため池)

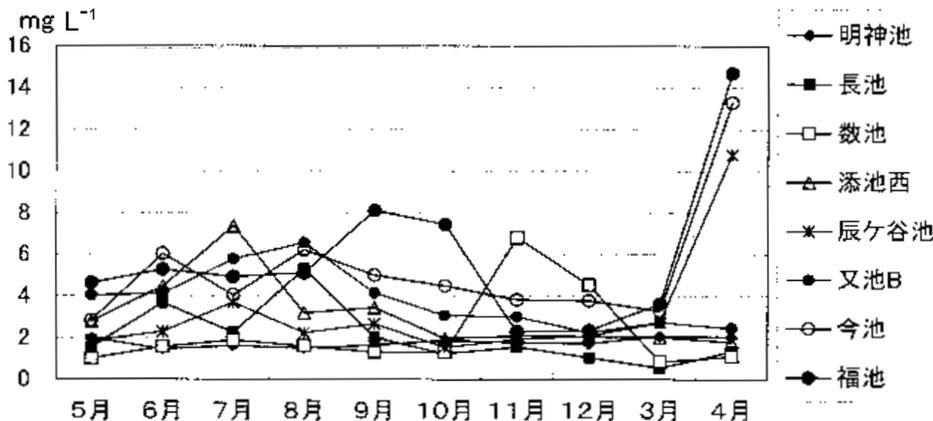


図3-2. ため池のTN濃度の年間変動(高濃度のため池)

だろうと予想していたが、高濃度の汚れたため池では稲作期にむしろ上昇した。稲作期に導入される水に汚水の混入があるためとみられる。

水源のタイプ別に窒素濃度を整理すると、集水域型と用水型の窒素濃度は $1 \text{ mg L}^{-1}$ 以下の低いレベルにあり、用・排両用型と排水利用型では窒素濃度が高かった(図7)。排水利用型では稲作期に $3 \text{ mg L}^{-1}$ 以上にもなり、稲作期に導入される排水に汚水が混入していることがわかる。

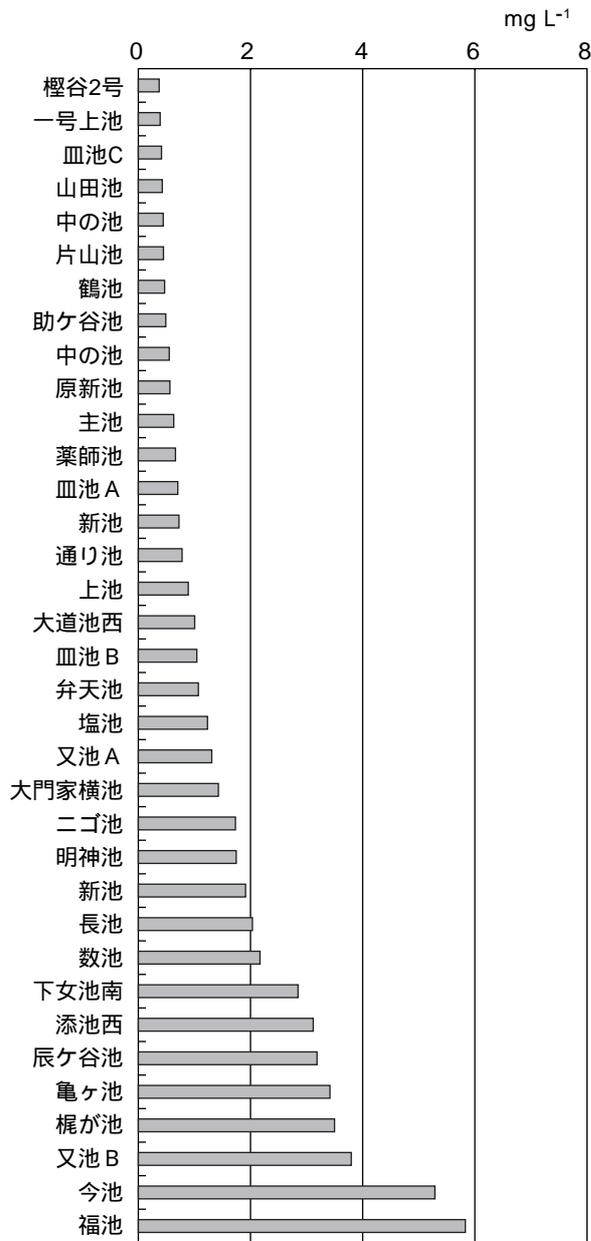


図4 . ため池の全期平均 TN 濃度 .

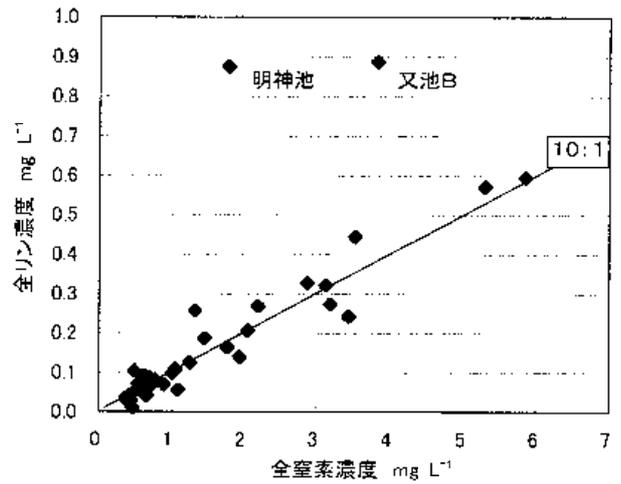


図5 . ため池の全期平均 TN 濃度と TP 濃度の関係 .

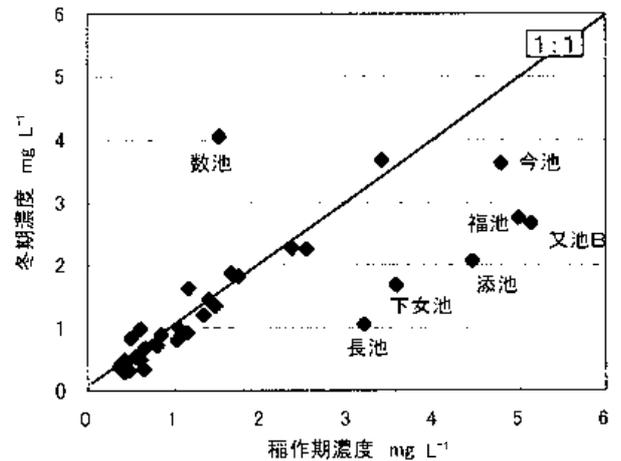


図6 . ため池の稲作期 TN 濃度と冬期 TN 濃度の関係 .

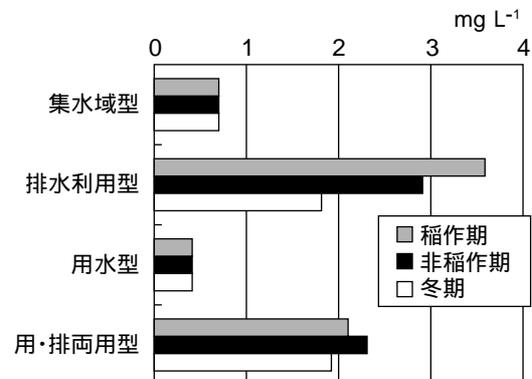


図7 . ため池の水源タイプ別 TN 濃度 .

5. 集水域の土地利用による非稲作期の窒素濃度の計算と実測値との比較

次に、ため池に流入する水の窒素濃度を集水域の土地利用をベースに計算して、それと実測したため池の窒素濃度とを比較することによって水質に係わる要因を検討する。

最初に用水の導入がなく単純な非稲作期の計算を行う。非稲作期には用水の流入がないので、ため池への流入水の窒素量は「集水域からの流入水」と「ため池への直接降雨」だけによって基本的に決まるはずである。実際には排水などの水が流入するが、非稲作期には0とした。それで集水域の土地利用別に面源流出水の窒素濃度を定め（表4）、それに集水域流出水量を乗じて流入窒素量を求めた。その際、集水域の流出水濃度は山林ならば  $0.5 \text{ mg L}^{-1}$ 、水田ならば  $1.0 \text{ mg L}^{-1}$  というように、その主体となる土地利用の値で計算し、中間的な値は使用しなかった。しかし水田と住宅地が半々という場合には例外的に両者の中間をとって  $1.5 \text{ mg L}^{-1}$  とした。一方、降雨による窒素供給量は降雨濃度を定め、それに降雨量を乗じて求めた。そして両者の合計窒素量を合計水量で除して、ため池への流入水の平均窒素濃度  $X_{cn}$  を求めた。それを非稲作期のため池の窒素濃度の実測値  $X_{pn}$  と比較した。この計算の手順と記号は表6と7に示した。

表4. 計算に用いた窒素濃度.

		mg L <sup>-1</sup>	
降雨水	Nr	1.0	
集水域流出水	Nb	山林	0.5
		水田	1.0
		畑地	5.0
		市街地	2.0
水路流入水	Nc	用水	0.6
		排水	4.0
		用排混入	2.0
		上池から	0.5

これは土地利用をもとにした単純な窒素濃度の計算で、自然浄化や底泥からの溶出などは考慮していない。そこで用いた各面源流出水の窒素濃度は面源の排出負荷量（田淵 1998, 1999a, b）や現地地の状況などを参考にして決めたものであるが、実際には地域により一律でないからそのため池の集水域に適合しなければ誤差の原因となる。精度の高い計算のた

めには実測で補正することが必要である。特に畑地の値が施肥量によって地域により大きく異なると思われる。また集水域の土地利用が単一でない場合にも誤差が生じる。

集水域から流入する水量は降雨量と蒸発量の差で求まる単位集水域流出量にため池の集水域の面積を乗じて求めた。非稲作期の単位集水域流出量は  $200 \text{ mm}$  とした（表5）。

表5. 計算に用いた水量関係数値.

非稲作期	降雨量 Rn	700 mm
	蒸発量 En	500 mm
稲作期	降雨量 Ri	500 mm
	蒸発量 Ei	300 mm
稲用水量	Ir	2,000 mm

計算濃度  $X_{cn}$  と実測濃度  $X_{pn}$  の比較をしたのが図8である。実測濃度が計算濃度よりも大きいものが多いが、これは生活排水や畜産排水、事業所排水などの点源汚濁水を計算で無視した結果である。逆に実測濃度が低いため池は自浄作用を考慮していないことや、面源流出水や降雨の濃度設定が高すぎたためと考えられる。この比較から各ため池での生活系などの影響の度合いや使用した濃度値の妥当性を判断できる。数池、梶が池、今池、又池Bなど実測濃度が2倍以上も高かったため池は市街地に存在するものや、排水の流入しているため池で、汚水の流入が多いものと推察される。逆に実測濃度の方が低いため池では降雨濃度や集水域流出水濃度が計算

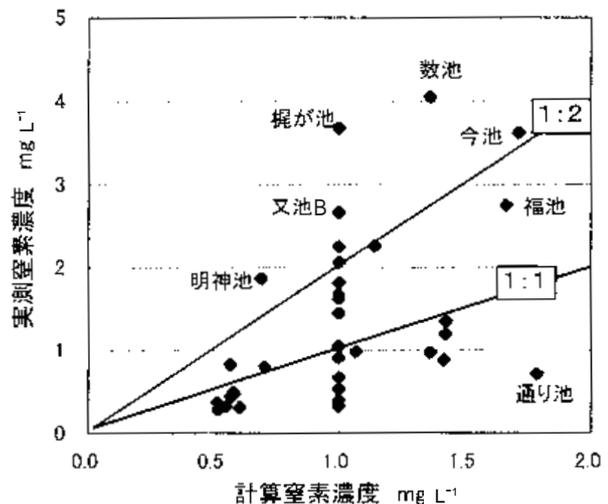


図8. ため池の計算濃度  $X_{cn}$  と実測濃度  $X_{pn}$  の比較(非稲作期 TN)

で使用した値よりも低いことが考えられる。例えば山林流出水の濃度を  $0.5 \text{ mg L}^{-1}$ 、水田流出水濃度を  $1.0 \text{ mg L}^{-1}$ 、降雨濃度を  $1.0 \text{ mg L}^{-1}$  としたが、やや高すぎたのかもしれない。それは冬期に  $0.5 \text{ mg L}^{-1}$  以

下の濃度を示したため池がかなりあるからである。水温の高い時期にはため池の脱窒、沈殿、植生吸収などの自浄作用もありえる。

表 6 . 記号表.

名 称	記 号	単 位	名 称	記 号	単 位
ため池面積	Ap	ha	ため池窒素減少速度	Rp	$\text{g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$
灌漑面積	Ai	ha	水田窒素除去速度	Rs	$\text{g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$
集水域面積	Ab	ha	室内窒素除去速度	Ro	$\text{g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$
ため池降雨水量	Qr	$\text{m}^3 / \text{期}$	ため池窒素減少係数	ap	$\text{m d}^{-1}$
集水域流出水量	Qb	$\text{m}^3 / \text{期}$	水田窒素除去係数	a	$\text{m d}^{-1}$
水路流入水量	Qc	$\text{m}^3 / \text{期}$	室内窒素除去係数	ao	$\text{m d}^{-1}$
総流入水量	Qt	$\text{m}^3 / \text{期}$	水温	T	
総流出水量	Qout	$\text{m}^3 / \text{期}$	時間	t	day
ため池蒸発水量	Qe	$\text{m}^3 / \text{期}$	水田流入水量	Q	$\text{m}^3 \text{ d}^{-1}$
ため池降雨窒素量	Lr	g / 期	流下湛水面積	A	$\text{m}^2$
集水域流出窒素量	Lb	g / 期	Q/A	q	$\text{m d}^{-1}$
水路流入窒素量	Lc	g / 期	降雨量	R	mm / 期
総流入窒素量	Lt	g / 期	蒸発量	E	mm / 期
総流出窒素量	Lout	g / 期	灌漑用水量	lr	mm / 期
窒素減少量	L	g / 期	降雨水窒素濃度	Nr	$\text{mg L}^{-1}$
流入水平均窒素濃度	Xc	$\text{mg L}^{-1}$	集水域流出水窒素濃度	Nb	$\text{mg L}^{-1}$
ため池平均窒素濃度	Xp	$\text{mg L}^{-1}$	水路流入水窒素濃度	Nc	$\text{mg L}^{-1}$

非稲作期の値には n , 稲作期の値には i をつける

表 7 . 計算の手順.

非稲作期	水量の計算	降雨供給水量	$Q_{rn} = 10 \times A_p \times R_n$		
		集水域流出水量	$Q_{bn} = 10 \times A_b \times (R_n - E_n)$		
		水路流入水量	$Q_{cn} = 0$		
		総流入水量	$Q_{tn} = Q_{rn} + Q_{bn} + Q_{cn}$		
	窒素量の計算	降雨供給窒素量	$L_{rn} = Q_{rn} \times N_r$		
		集水域流出窒素量	$L_{bn} = Q_{bn} \times N_b$		
		水路流入窒素量	$L_{cn} = Q_{cn} \times N_c = 0$		
		総流入窒素量	$L_{tn} = L_{rn} + L_{bn} + L_{cn}$		
	窒素濃度の計算	流入水平均濃度	$X_n = L_{tn} / Q_{tn}$		
		稲作期	水量の計算	降雨供給水量	$Q_{ri} = 10 \times A_p \times R_i$
				集水域流出水量	$Q_{bi} = 10 \times A_b \times (R_i - E_i)$
				水路流入水量	$Q_{ci} = 10 \times A_i \times I_r - Q_{bi}$
総流入水量	$Q_{ti} = Q_{ri} + Q_{bi} + Q_{ci}$				
窒素量の計算	降雨供給窒素量		$L_{ri} = Q_{ri} \times N_r$		
	集水域流出窒素量		$L_{bi} = Q_{bi} \times N_b$		
	水路流入窒素量		$L_{ci} = Q_{ci} \times N_c$		
	総流入窒素量		$L_{ti} = L_{ri} + L_{bi} + L_{ci}$		
窒素濃度の計算	流入水平均濃度	$X_i = L_{ti} / Q_{ti}$			

Nr, Nb, Ncは窒素濃度(表 4 参照)

R, E, lrは降雨量, 蒸発量, 灌漑水量(表 5 参照)

## 6. 稲作期の窒素濃度計算

稲作期には集水域流出水や降雨水に加えて、水路による用水流入や排水路の水の流入があるのでその水量を加えて計算した。その濃度は清浄の用水では  $0.6 \text{ mg L}^{-1}$  とし、汚水の混入が予想される場合は  $2 \text{ mg L}^{-1}$  とし、排水を再利用している場合は  $4 \text{ mg L}^{-1}$  とした。これらの濃度が地域によって大きく異なることが予想されるが、今回の計算では一律に適用した。上池からの流入水濃度は上池の集水域の土地利用に応じて変えたが、山林が多い場合は  $0.5 \text{ mg L}^{-1}$  とした(表4)。

ここで問題になるのは稲作期の水路流入水量の算出である。流入水量を直接測定できれば良いが、35のため池を精密に測定することは不可能に近い。用水の流量は日により時刻により大きく変動し、しかも流入口が1カ所とは限らないからである。それで水路流入水量は水田に必要な灌漑水量から逆算した。すなわち各ため池が灌漑している水田面積から稲作期に必要な灌漑水量を求め、それから集水域からの流入水量を差し引いた水量が用水や上池から補給されているとみなした。稲作に必要な水量としては  $2,000 \text{ mm}$  とした。実際にはこれとは異なるのでこの計算には当然誤差が生じる。

こうして求めた水量に、表4に示した濃度を乗じて窒素量を求めた。それに集水域からの窒素量と降雨窒素量を加えて合計窒素量とし、それを総水量で除して流入水の平均窒素濃度  $X_{ci}$  を算出した(計算手順は表7参照)。

この稲作期の流入水平均窒素濃度  $X_{ci}$  とため池の実測濃度  $X_{pi}$  を比較したのが図9である。非稲作期と同じように又池B、福池、今池などでは実測濃度が計算濃度よりもかなり高くなっている。福池と今池については住宅地排水が流入しており、その影響が出ている。排水利用型の池でこの傾向が強い。明神池は畜産系の排水の流入があった結果とみられる。このように稲作期にもかなり大きな流入汚水の影響がみられるが、点源負荷が集水域流出水や排水のみならず、用水にもかなり混入している結果とみられる。

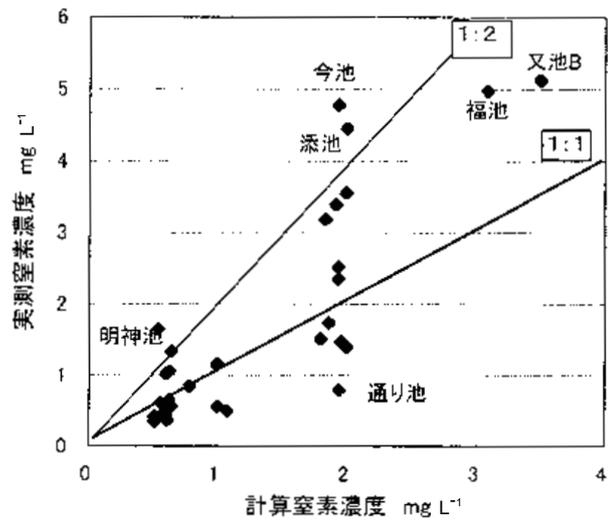


図9. ため池の計算濃度  $X_{ci}$  と実測濃度  $X_{pi}$  の比較(稲作期 TN)

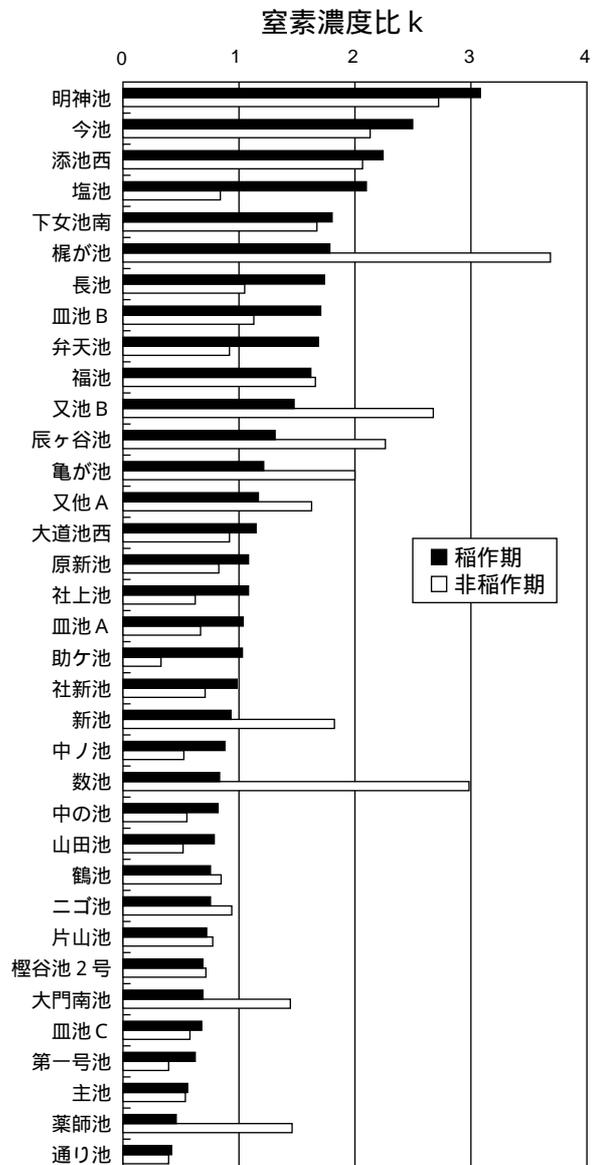


図10. ため池の窒素濃度比.  
(実測濃度  $X_p$  / 計算濃度  $X_c$ )

7. 実測窒素濃度  $X_p$  と計算窒素濃度  $X_c$  の比, 窒素濃度比  $k$  について

実測窒素濃度  $X_p$  を計算窒素濃度  $X_c$  で除して比を求め, それを窒素濃度比  $k$  とした。

$$\text{窒素濃度比 } k = \frac{\text{ため池実測窒素濃度 } X_p}{\text{流入水計算窒素濃度 } X_c} \quad (1)$$

図 10 は各ため池の稲作期と非稲作期の窒素濃度比  $k$  を示したものである。窒素濃度比  $k$  の大きなため池は 3 通りに分類できる。第一は稲作期と非稲作期の両方で大きな値を示している明神池, 今池, 添池西, 下女池など, 第二は稲作期の方でだけ高い値を示す塩池, 長池, 皿池 B, 弁天池など, 第三は非稲作期で高くなっている梶が池, 又池 B, 辰が谷, 亀が池などがある。稲作期で大きな値を示しているため池では灌漑で導入された水路流入水の窒素量が計算よりも大きいということであり, 水路流入水濃度は汚水の混入などにより計算で用いた値よりも高くなっていたとみられる。一方, 両期とも高い比を示したため池では集水域からの流入水濃度にも過小評価があるということになる。たとえば市街地からの流出水濃度が汚水の混入によって定常的に高くなっているものと思われる。

一方, 窒素濃度比が 1 以下の小さいため池が半数程度ある。稲作期と非稲作期の両期で 1 以下のため池はすべて集水域型か用水型で, 汚水の流入がないため池である。窒素濃度比が 1 以下になった理由としては前述したような集水域流出水濃度の過大評価と自然浄化が考えられる。このように計算濃度と実測濃度の比較から, 各ため池への集水域や水路流入水の影響, 特に汚水の影響が浮かび上がってくる。

8. ため池に流入する各種水路水の窒素濃度

ため池に流入する各種水路水の窒素濃度を 2002 年 6 月に調べた (図 11)。窒素濃度は森林や農村地域の集水域からの流入水や農業用水では低い, 市街地の汚水が混入した農業用水路や市街地の排水路では高い濃度が検出された。計算で使用した排水や用排混入水の濃度値  $2 \text{ mg L}^{-1}$  と  $4 \text{ mg L}^{-1}$  はこれらの測定値の最高値と最低値の間に位置するとはいえ, 実測値の最高値はかなり高い。排水路や河川で  $4 \text{ mg L}^{-1}$  を超える値が検出され, 汚水の混入している用水では  $8 \text{ mg L}^{-1}$  もの高い値が検出された。このような実情を反映して前項で述べたような実測濃度が

計算濃度を大きく上回る結果が生じたものとみられる。今回使用した  $2 \text{ mg L}^{-1}$  と  $4 \text{ mg L}^{-1}$  の値は,  $1 \text{ mg L}^{-1}$  程度の差で使い分けのべきであったと思うが, それには排水や汚水の混入した用水の濃度をある程度実測しないと推定は難しい。

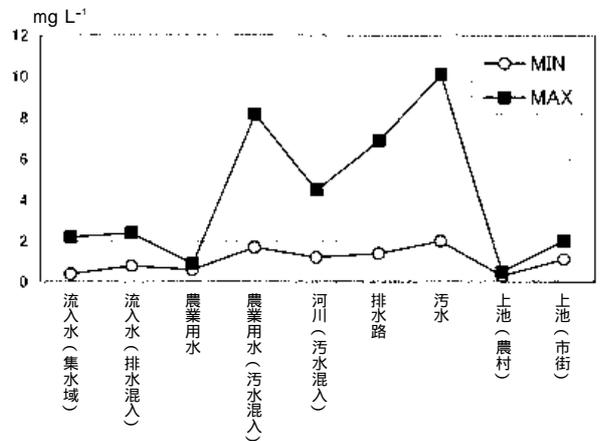


図 11. 流入水の実測 TN 濃度 ( $\text{mg L}^{-1}$ )

9. 植生面積のため池窒素濃度への影響

1) 植生面積率と非稲作期の窒素濃度比

前述した窒素濃度比  $k$  の値が 1 以下のため池, すなわち流入水濃度よりもため池の濃度が低いため池では, 自浄作用が存在する可能性がある。そこで窒素濃度比  $k$  が 1 以下のため池を対象にして, 植生面積率と窒素濃度比の関係をグラフに描いた (図 12)。植生面積率は 2001 年夏にヘリコプタにより空中撮影した写真から三橋弘宗氏が算出した値を用いた。

図ではかなりの変動幅があるが, 非稲作期では植生面積率が大きくなるにつれて窒素濃度比の値は低下する傾向がみられる (図 12-1)。植生面積率が大きいため池では, 実測濃度が計算濃度よりも小さくなっている。しかし稲作期の方ではその傾向はそれほど現れていない (図 12-2)。稲作期の水路流入水の算出に前述したような誤差があるためとみられる。

2) 窒素減少量の計算

窒素濃度比が 1 以下のため池の窒素減少量を計算する。非稲作期には灌漑のための水路流入水はないので, 流入水は原則として集水域からの水とため池への直接降雨水の 2 つである。したがってこれら 2 つの水の窒素量が流入窒素量になる。

$$L_{tn} = L_{bn} + L_m \quad (2)$$

(記号は表7参照, n は非稲作期の表示である)。流出水量  $Q_{outn}$  は流入水量  $Q_{tn}$  から池での蒸発量  $Q_{en}$  を差し引いて求める。

$$Q_{outn} = Q_{tn} - Q_{en} = Q_{tn} - 10A_p \cdot E_n \quad (3)$$

流出窒素量  $L_{out}$  は流出水量にため池の濃度  $X_{pn}$  を乗じて求める。

$$L_{outn} = Q_{outn} \cdot X_{pn} \quad (4)$$

ため池での窒素減少量  $L_n$  は流入窒素量  $L_{tn}$  と流出窒素量  $L_{outn}$  の差から求まる。

$$L_n = L_{tn} - L_{outn} \quad (5)$$

この窒素減少量をため池の面積  $A_p$  (ha) と非稲作期の日数(8ヶ月間, 242日)で除して, 一日当たりの単位面積窒素減少量  $R_p$  ( $g\ m^{-2}\ d^{-1}$ ) を求めた。

$$R_p = L_n / (10000A_p \cdot 242) \ g\ m^{-2}\ d^{-1} \quad (6)$$

これを「窒素減少速度」と呼ぶことにする。求めた非稲作期の窒素減少速度を図示したのが図13-1である。図には減少速度の大きい順にため池が並んでいる。窒素減少速度の平均値は  $0.006\ g\ m^{-2}\ d^{-1}$ , 最小値は  $0.002\ g\ m^{-2}\ d^{-1}$ , 最大値は  $0.015\ g\ m^{-2}\ d^{-1}$  になった。

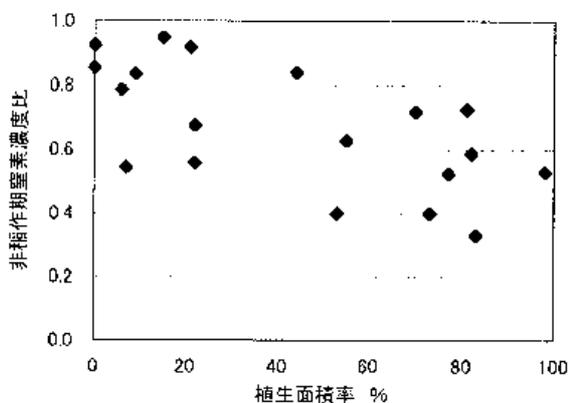


図12-1. 植生面積率と非稲作期窒素濃度比(TN).

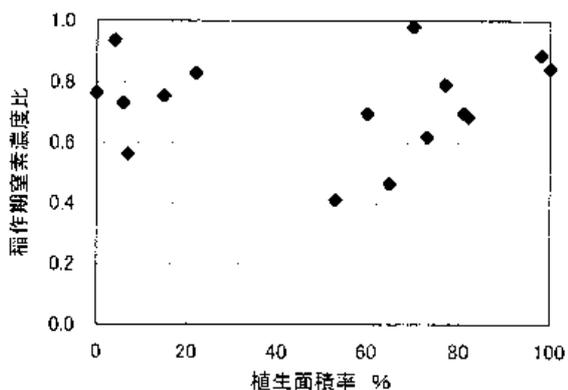


図12-2. 植生面積率と稲作期窒素濃度比(TN).

図13-2には稲作期の窒素減少速度を示した。稲作期には水路流入水による窒素流入量を加えて求めた。

$$L_{ti} = L_{bi} + L_{ri} + L_{ci} \quad (7)$$

そのため窒素減少速度はかなり大きく, かつため池による差が大きくなった。最大値は  $0.097\ g\ m^{-2}\ d^{-1}$ , 最小値は  $0.002\ g\ m^{-2}\ d^{-1}$  で, 平均は  $0.030\ g\ m^{-2}\ d^{-1}$  となった。非稲作期の値の5倍程度大きい。稲作期の方が水温も高く, かつ植生の生育も活発であるから窒素減少速度が大きくなるのは当然といえるが, 水路流入水の計算誤差も影響しているとみられる。これについては改めて後述する。

湿地や水田など湛水土壤系で測定された窒素除去速度については1980年代に  $0.02 \sim 0.5\ g\ m^{-2}\ d^{-1}$  と報告したが(田淵ら1983; 田淵・高村1985), 今回のため池での値よりもかなり大きい。それは湛水水中の窒素濃度が  $1 \sim 50\ mg\ L^{-1}$  と高かったからである。一般に, 湿地・水田での窒素除去速度  $R_s$  ( $g\ m^{-2}\ d^{-1}$ ) はその濃度  $X$  ( $mg\ L^{-1}$ ) に比例して大きくなる。かなりの変動幅があるが, 近似的には  $R_s = 0.01X$  の直線の近傍に点は分布し, 夏期の水温の高い時期には直線の上方に, 冬期には下方に位置した。すなわち濃度と水温の影響が大きい。この近似式で  $10\ mg\ L^{-1}$  の濃度では  $0.1\ g\ m^{-2}\ d^{-1}$  程度の除去速度ということに

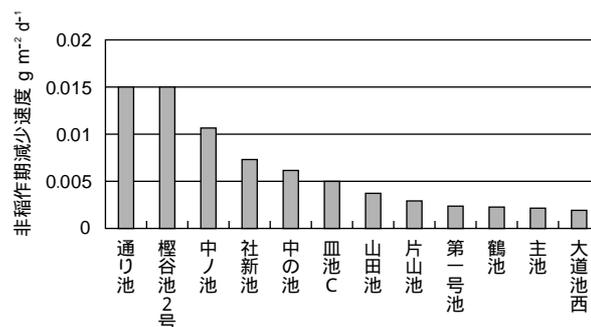


図13-1. ため池の窒素減少速度(非稲作期).

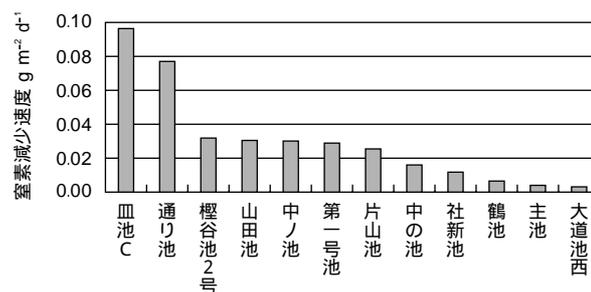


図13-2. ため池の窒素減少速度(稲作期).

なる。濃度が $1 \sim 2 \text{ mg L}^{-1}$ の場合では除去速度は $0.01 \sim 0.02 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 程度、夏期には $0.02 \sim 0.05 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ になるから、今回のため池の減少速度の値とそれほど変わらない。

その後1990年代に多くの研究が水田を中心に行われ、データが蓄積された(細見・須藤1991;長谷川1992;近藤ら1995;宮地ら1999;田淵ら1993,1996;黒田2000など)。これらの多くは水田に水を流下させたタイプの試験であるが、その除去速度はほぼ $0.01 \sim 0.7 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ の範囲にあり、使用された流入水は $1 \sim 40 \text{ mg L}^{-1}$ と高濃度であった。これは畑地・樹園地や畜産地域からの高濃度の窒素流出水の浄化を目的にしていたからである。流入水の濃度が高くなると除去速度は大きくなるが、その比例定数は $0.01 \text{ m d}^{-1}$ を中心に、 $0.005 \sim 0.03 \text{ m d}^{-1}$ の範囲にあった。こうして濃度が主要な要因であることが明らかになってきた(田淵1994,2000;Tabuchi2001)。

### 3) ため池の窒素減少係数の試算

上記のように窒素除去速度が濃度に大きく依存するので、ため池の窒素減少速度 $R_p$ をため池の窒素濃度 $X_p$ で除して $a_p$ を求めた。

$$a_p = R_p / X_p \quad (8)$$

この値を「窒素減少係数」と呼ぶことにする。求めた係数 $a_p$ は非稲作期では最小値が $0.002 \text{ m d}^{-1}$ 、最大値が $0.040 \text{ m d}^{-1}$ 、平均値が $0.012 \text{ m d}^{-1}$ になった。植生面積率と減少係数の関係は図14-1のようになる。植生面積率が小さい範囲では減少係数は $0.005$ 以下で小さいが、植生面積率が增大すると減少係数の値は大きくなる傾向がある。

この中で最大の値を示している「榎ヶ谷池」は谷間にいくつものため池が連続しているため池で、そこに流入している水は集水域から直接流入する水よりも上部に連なったため池を通過した水の方が多い。したがって上部のため池の窒素減少機能も加味されて計算されることになるので、減少係数は大きく算出されたとみられる。「通り池」も隣接したため池が上部に存在するし、町中にあるのでその流入水濃度を $2 \text{ mg L}^{-1}$ として計算したが、この値が過大である可能性もある。そうすればその減少係数は過大に算出される。また降雨水の濃度を $1 \text{ mg L}^{-1}$ として計算しているが、梅本らの兵庫県下での調査結果では、神戸市で $1.1 \text{ mg L}^{-1}$ 、山林地域の生野町では

$0.49 \text{ mg L}^{-1}$ であった(梅本ら2003)。したがって調査ため池の中で山間地に近いところに存在するため池では $1 \text{ mg L}^{-1}$ で計算すると過大評価になる。一方、過小評価の要因もある。集水域面積が小さいため池が多いのであるが、もしも排水などの窒素を含んだ水が流入していれば、それは過小評価の原因になる。

図14-2の稲作期のグラフでは「皿池C」の値がかなり大きく、「通り池」や「榎ヶ谷池」などの値も非稲作期よりも大きくなっている。皿池Cや通り池については、大量の水路流入水が稲作期にはあるので、その計算濃度がやや過大だったことが影響したのではないかと考える。それで稲作期の平均減少係数は $0.062 \text{ m d}^{-1}$ と非稲作期の5倍も大きくなったが、実際にはもう少し小さいのではないかとみられる。

以上のように計算過程に過大や過小の要因があり、植生面積率と減少係数の間には明確な関係を示すことはできなかった。計算に使用した濃度、特に水路流入水の濃度が正確に把握されれば減少係数の

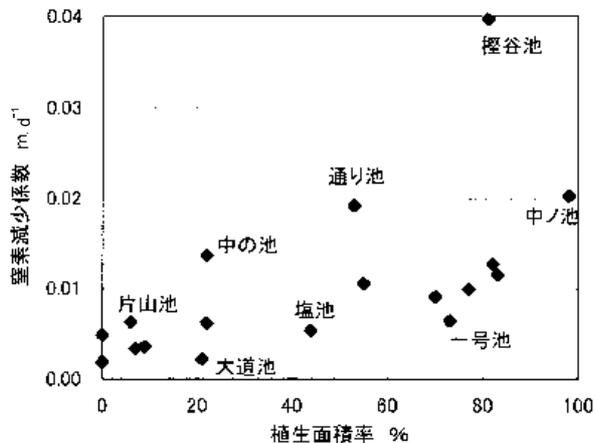


図14-1. 植生面積率と窒素減少係数(非稲作期)

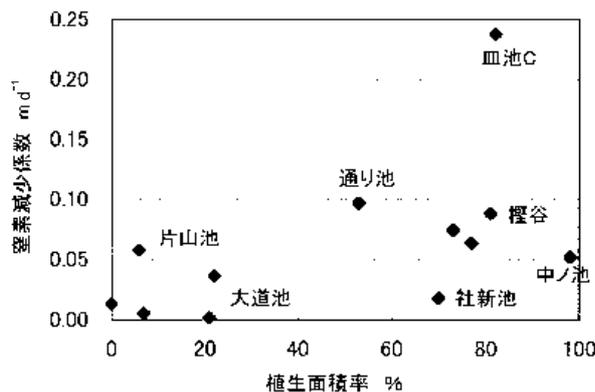


図14-2. 植生面積率と窒素減少係数(稲作期)

変動幅は狭まり、植生面積率との関係もクリアになっていくことと思われる。

#### 10. ため池の管理者へのアンケート結果

ため池の管理者にアンケート用紙を配布して、水の利用方法やため池の水源や水位、管理作業などについて記入してもらい、実際に会って話を聞いた。その結果、管理上困っているのはゴミ処理や釣り、汚水の流入や漏水、老朽化や安全対策であった(表2)。補修が必要なため池も多いが、その補修費の負担に耐えられないので修復できないという訴えが聞かれた。調査地域では小さなため池が多いが、その関係農家数も少ないので負担が厳しい結果になっている。維持管理の手間も容易ではない。一部のため池では周辺の市民によるため池の保全活動が自発的に行われていたが、身近にある貴重な水辺だけに何らかの支援が必要である。

以上、ため池の水源特性からみた多様性と窒素濃度の状況について検討した。ため池の水源には集水域からの流入水や直接降雨だけでなく、上池からの補給や用水による供給、さらに排水の再利用がある。それに加えて汚水の混入があるなど水源はまことに多様であった。このような水源特性に応じてそれぞれのため池の窒素濃度は大きく異なっており、生活系などの汚水の流入がため池の窒素濃度を高くする要因であることが判明した。またそれはアオコの発生など生態系にも大きな影響を与えていた。

ため池の水源多様性が生態系の多様性にどのような影響を与えているか、今後の詳しい検討が必要になっている。

#### 謝辞

本調査を行うにあたって、兵庫県農地整備課、三木土地改良事務所、東幡土地改良区、東幡用水土地改良区、ため池の管理者の方々、ならびに神戸大学の角野康郎氏、多田明夫氏、近畿中国四国農業研究センターの志村もと子氏、農業工学研究所の谷茂氏など大勢の方々にご協力いただいた。植生面積率の算出は三橋弘宗氏、現地採水は(有)地域生態系保全、水のろ過と分析作業は柚木秀雄氏、山村純子氏の手を煩わした。これらの方々には厚く感謝する次第である。

(参考) 湛水土壤系での窒素除去係数

水田土壤を使った室内試験や実際の水田での実測により、下記のような窒素除去についての解析が試みられているので参考に付記する。

恒温・暗所の室内でガラス容器に水田土壤を入れ、その上に5cm程度の浅い水深で硝酸性窒素を含む水を貯留して、その窒素濃度の低下を測定して窒素除去速度  $R_0$  ( $\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ) を求めた。その結果除去速度が濃度  $X$  ( $\text{mg L}^{-1}$ ) に近似的に比例することがわかった(田淵ら 1987)。

$$R_0 = a_0 \cdot X \quad (9)$$

この係数  $a_0$  を室内暗所で測定された除去係数といい、脱室による窒素除去を示す基本的係数である。

この式から初期濃度  $X_0$ 、水深  $H$  (m) の貯留水中の窒素濃度の時間  $t$  (day) にたいする変化を示す次式が導かれる。

$$X = X_0 \cdot \exp(-a_0 \cdot t/H) \quad (10)$$

また流下型の場合は、流入水量を  $Q$  ( $\text{m}^3 \text{d}^{-1}$ )、湛水面積を  $A$  ( $\text{m}^2$ )、流入水濃度を  $X_0$  とすれば、流出水の濃度  $X$  は次のようになる(田淵ら 1996、田淵 2000)。

$$X = X_0 \cdot \exp(-a_0/q) \quad \text{ここで } q = Q/A \quad (11)$$

除去速度  $R_0$  は、

$$R_0 = X_0 \cdot q(1 - \exp(-a_0/q)) \quad (12)$$

除去速度  $R_0$  は流入水濃度  $X_0$  と水量負荷  $q$  によって変化するが、 $q$  が大きくなると  $q(1 - \exp(-a_0/q))$  は  $a_0$  に収斂するので、

$$R_0 = a_0 X_0 \quad (13)$$

したがって  $q$  が大きければ、除去速度  $R_0$  と流入水濃度  $X_0$  の関係は直線で表され、 $a_0$  はその直線の勾配になる。

また、その除去係数  $a_0$  は室内恒温暗所無植生の条件下で水温  $T$  の二次式で近似された(田淵ら 1993)。

$$a_0 = 0.000011T^2 + 0.005 \quad (14)$$

20 °では0.0094、30 °では0.015になる。この式は湿田の土壤で測定されたもので、水田土壤の室内での脱室による窒素除去係数である。土壤によっても変わる可能性があり、20 °の恒温条件で測定した湿田土壤の除去係数は0.009であったが、ハス田土壤で0.014、陸田では0.001であった。

また屋外での太陽光の当たる条件下で測定された除去速度  $R_s$  は室内の除去速度  $R_0$  よりも2~3倍

程度大きくなる傾向があった(田淵・久保田 1995; 田淵ら 2001)。それは藻類や植生の発生ならびに多様な生物の活動があるためである。それで実際の水田での流下試験で測定された  $R_s$  と  $X_o$  の間の係数  $a$  は  $a_o$  よりも大きくなる。

今回のため池調査で各月の水質測定時のため池底部の水温の非稲作期の平均値は、最も低いため池で 13.0 , 高いため池で 15.1 , 平均で 14.1 であった。この平均水温で上記の(14)式で室内除去係数  $a_o$  を求めると  $0.007 \text{ m d}^{-1}$  となる。稲作期のため池の水温は平均 24.3 で、この水温に対する除去係数  $a_o$  は  $0.012 \text{ m d}^{-1}$  になる。屋外での除去係数  $a$  はこれの 2 倍とみれば非稲作期で  $0.014 \text{ m d}^{-1}$  , 稲作期で  $0.024 \text{ m d}^{-1}$  となる。ただし、この倍数は未だ研究中で確定した値ではない。

今回試算したため池の減少係数  $a_p$  は非稲作期の平均が  $0.012 \text{ m d}^{-1}$  で、稲作期が  $0.062 \text{ m d}^{-1}$  であった。ため池のような水深が大きくかつ植生や水流など水田とはかなり異なる条件下で、湛水土壌系の係数がそのまま適用できるとは考えられないので単純な比較はできないが、上記のような結果になったのは興味深い。今後の検討が待たれる。

#### 引用文献

長谷川清善(1992): 水田における窒素の動態と環境への影響評価に関する研究。滋賀県農業試験場特別研究報告, 17.

細見正明・須藤隆一(1991): 湿地による生活排水の浄化。水質汚濁研究, 14: 674-681.

兵庫県農林水産部農地整備課(2001): ひょうごのため池。兵庫県農林水産部農地整備課, 神戸.

近藤 正・尾崎保夫・前田守弘・石塚加織(1995): 谷津田の水質浄化機能について。日本土壌肥料学会講演要旨集, 41: 206.

黒田久雄・田淵俊雄・高阪快児・中曽根英雄(2000): 休耕田を活用した窒素除去の持続性と有機物に関する検討。農業土木学会誌, 68(9): 59-65.

宮地直道・望月康秀・渥美和彦(1999): 茶園排水由来の河川水を灌漑した休耕田における窒素除去効果。日本土壌肥料学会講演要旨集, 45: 262.

長坂貞郎・堀野治彦・渡辺紹裕・丸山利輔(1998): 農業用ため池の水質実態と主成分分析による評

価。農業土木学会論文集, 194: 125-131.

中曽根英雄・黒田久雄・渡辺政子・田淵俊雄(1998): ため池の窒素・リン濃度と集水域の土地利用。水環境学会誌, 21: 83-87.

白谷栄作・吉永育生・久保田富次郎・長谷部 均(2001): 農業用ため池の灌漑期の窒素濃度予測モデルと水質保全対策の効果評価。水環境学会誌, 24: 527-533.

田淵俊雄・鈴木誠治・高村義親(1983): 非稲作期の谷津田における畑地流出水中の  $\text{NO}_3\text{-N}$  の除去について。農業土木学会論文集, 104: 9-15.

田淵俊雄・高村義親(1985): 集水域からの窒素・リンの流出。東京大学出版会, 東京.

田淵俊雄・末正奈緒希・高梨めぐみ(1987): 水田湛水による硝酸態窒素の除去試験。農業土木学会誌, 55(8): 53-58.

田淵俊雄・篠田鎮嗣・黒田久雄(1993): 休耕田を活用した窒素除去の試み。農業土木学会誌, 61(12): 19-24.

田淵俊雄(1994): 農地における自然浄化機能の強化策。自然の浄化機構の強化と制御, 楠田哲也(編著): 53-69。技報堂出版, 東京.

田淵俊雄・久保田建蔵(1995): 湛水土壌系における窒素除去量に及ぼす硝酸態窒素濃度と植生の影響。土壌の物理性, 72: 3-8.

田淵俊雄・志村もと子・尾野充彦(1996): 休耕田における窒素除去試験の結果と実用性の検討。農業土木学会誌, 64(4): 27-32.

田淵俊雄・安楽 敏・中曽根英雄・柚山義人(1998): 清らかな水のためのサイエンス。農業土木学会, 東京.

田淵俊雄(1999a): 湖沼流域における面源の窒素排出負荷量。用水と廃水, 41(6): 42-47.

田淵俊雄(1999b): 水・土壌圏における窒素の挙動と循環。用水と廃水, 41(10): 12-16.

田淵俊雄(2000): 湛水土壌系での窒素除去について。応用水文, 13: 35-44.

Tabuchi, T. (2001): Nitrate removal in the flooded paddy fields, Proceedings of the International Workshop on Efficiency of Purification Processes in Riparian Buffer Zones, in Kushiro, 81-90.

田淵俊雄・黒田久雄・志村もと子(2001): 休耕田を活用した長期窒素除去試験。土壌の物理性,

87: 27-36.

高村典子(2003): ため池の保全を考える. 水環境学会誌, 26: 25-30.

梅本 諭・駒井幸雄・井上隆信(2003): 地域別に見た降水による窒素・リンの負荷. 国立環境研究所, ミニシンポジウム要旨「ため池の評価と保全への取り組み」, 27-28.

#### 質疑

(質問) 泥はけとは、池干し後にする泥の処理のことですか？

(返答) 池干しの際に、水と一緒に泥を出すことと理解しています。

(質問) ため池の管理者と直接話し合っていることは、非常に重要であると思います。少し大胆な計算ですが、要因をあらゆる方面から考えるこ

とにより問題点が見つけれられると思いました。兵庫県がため池日本NO.1(数)だということを初めて知りました。

(返答) コメントとして承ります。

(質問) 排水利用型と集水域型の違いは、後者は山林100%ということですか？

(返答) 集水域が水田であれば、水田として計算します。

(質問) 稲作期、非稲作期、冬期の分け方を具体的に教えて下さい。

(返答) 稲作期は5～8月の4ヶ月、非稲作期はそれ以外の9～4月の8ヶ月としました。冬期は12～2月としたいのですが、今回は水質データの測定値が1～2月がないので、11, 12, 3月の測定値で計算しました。

# ランドスケープの再生とため池の水質保全

國松孝男<sup>1</sup>・橋本晋一<sup>1</sup>・杉本好崇<sup>1</sup>・駒井幸雄<sup>2</sup>・梅本 諭<sup>2</sup>

<sup>1</sup>滋賀県立大学環境科学部 (〒 522-8533 彦根市八坂町 2500 )

<sup>2</sup>兵庫県立健康環境科学研究所 (〒 654-0037 神戸市須磨区行平町 3-1-27 )

## Management of Water Quality of Irrigation Ponds to Renovate Rural Landscapes

Takao KUNIMATSU<sup>1</sup>, Shinich HASHIMOTO<sup>1</sup>, Yoshitaka SUGIMOTO<sup>1</sup>, Yukio KOMAI<sup>2</sup>  
and Satoshi UMEMOTO<sup>2</sup>

<sup>1</sup>University of Shiga Prefecture, School of Environmental Sciences, 2500 Hassakacho,  
Hikone 522-8533, Japan

<sup>2</sup>Hyogo Prefectural Institute of Public Health and Environmental Sciences, 3-1-27 Yukihirocho, Suma-ku,  
Kobe 654-0037, Japan

### 1. 農村環境・景観の再生

戦後の経済成長以来、機械化・化学化を主とする農業の近代化を推し進めるために、土地改良法に基づいて生産基盤の整備が実施されてきた。その結果、水田については図1に滋賀県の例(滋賀県農政水産部農政課 2003)を示したように、今や、大方何らかの整備が完了している。言い換えれば、水田を中心とする日本の農村景観は、この30~40年の間にほぼ完全に改変させられたことになる。その結果はよく指摘されるように、農地の平坦化、用排水路の直線化・コンクリート化、自然池沼の干拓、ため池の埋め立てなどによって、景観の自然的・文化的要素の喪失、水辺生態系の破壊と生物多様性の劣化が進んだ。一方、農村集落においても混住化と生活様式の都市化、上水道の普及、

道路整備とクリークの消滅、防災と農家の建て替え、中山間地集落の過疎化などが進んだ。その結果、多くの農村地域で集落の様相は一変し、地域の特徴が失われ、代わり映えのしない建て売り住宅が多くを占める単純な空間に変貌した。

国際的には1980年代前後から予測されていた人口の急増、資源の枯渇、地球環境の危機など人類生存に関わる深刻な事態が、1990年代に入る頃からにわかに現実味を帯び始め、対策の緊急性が広く認識されるようになり、その統一的対策理念として「持続可能な開発」がキーワードとして登場した。1992年にブラジルのリオデジャネイロで開催された国連地球環境サミットでは「環境と開発に関するリオ宣言」とその行動計画「アジェンダ21」、気候変動枠組条約などが合意され、各国政府は持続可能な社会の形成に向けて具体的に施策を展開することが要請された。1997年には京都で第3回気候変動枠組条約締約国会議(地球温暖化防止京都会議、COP3)が開催され、二酸化炭素の排出抑制・削減が各国に課せられることになり、現在、排出権取引、森林の二酸化炭素吸収量の評価が課題になっている。

これらの国際情勢を受けて国内的にも地球環境問題への対応は急速に進められた。1993年に公害対策基本法が環境基本法に改正され、それまでの規制中心から「健全な生態系の維持と自然と人間

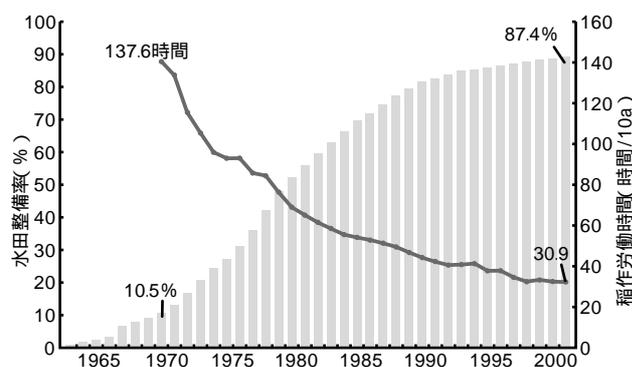


図1. 水田整備率と稲作労働時間との推移(滋賀県).

の共生」の達成が基本理念に据えられた。農業・農村環境分野でも、食料輸入の自由化・国際化などに対抗するためもあって、持続可能な「環境保全型農業」の展開、農地とくに水田の多面的機能の発揮と稲作文化の継承が強調されるようになった。また1990年前後に起こった空前のリゾートブームがバブル経済の崩壊によって去ったあと、農村景観・文化を活用したグリーンツーリズムの潮流が芽生え始めた。そして1999年には省力化と生産性の向上を政策目標にしたいわゆる近代化路線が基調の農業基本法から、食料の安定供給、農業の多面的機能の発揮、農業の持続可能な発展、農村の振興を理念にする食料・農業・農村基本法へ大転回して21世紀を迎えることになった。

21世紀に入っても矢継ぎ早に環境に関わる法律が制定されていくが、環境に関する農林行政の展開に限って見ると、2000年には新基本法の理念の具体化・実施の基本方向を示した「食料・農業・農村基本計画」が閣議決定され、例えば食糧生産については自給率45%の数値目標が設定され、農業生産基盤の整備事業については自然生態系・景観等への配慮、農業用水の地域用水としての機能の発揮などの多面的機能の重視が明記された。それに伴って同年には土地改良法も改正され、その第1条で「環境との調和への配慮」が農業農村整備事業などの事業実施のための原則の一つに掲げられた。2002年にはその実施のために「環境との調和を図るために事業実施のための調査・計画・設計の手引き（第1,2編）」が作成された。そこには水田および水路・ため池・農道・移入種について基本的な考え方や具体的な留意事項・実施例などが示されている。これまでいくつもの国の事業で悪しき先例があるように、このような手引き書によって本来個性的な地域景観の再生に金太郎飴のような事業が国中に蔓延することがないように望まれる。21世紀に入って農業を取り巻く環境は、20世紀の後半に破壊的に進められた農業・農村環境を、とにかく再生・活用（ワイズユース）する方向へ、大きく舵が切られることになった。

## 2. ため池の保全

ため池は水田の水管理に対応して、1年周期で変動する水位環境の下で、生物相が維持されてき

た。かつては多くのため池で請負業者によってフナやコイが養殖され、このようなため池では数年一度は池ざらえが実施されるのが普通であった。このようにため池は地域共同体の共有財産であり、地域の水資源であり、タンパク資源の供給源であるとともに、その堤体や木石の類、中山間地にあっては連続した湿地・雑木林などを含めて、周辺の水田・用排水路・石垣・里道・祠などの文化施設と一体となって農村景観の一部を形成する地域資源でもあった。言い換えれば、ため池を保存・修復するとすれば、単に水利施設としての機能だけではなく、生産・生活・文化・水環境・生物相などを一体としたいわゆる景観の中にしっかり位置づけて、保全しかつ活用されなければならない。

水環境の保全と水質の改善は、このようなため池の機能を維持・再生するための要件の一つである。ため池のような小水塊の水質は、流入する水量・水質に直接、短期間に大きく影響される。従ってその水質を良好に維持するためには、流入する水路・河川の水質を良好に維持することが基本的に重要である。すなわち流入負荷を制御する必要がある。そのためにはまず、ため池の集水域における汚濁物質の発生源の構造と発生量を知る必要がある。

集水域における汚濁負荷発生量の評価には、これまで原単位法が用いられてきた。流入（流達）負荷量は、各発生源での排出負荷量と水路・河川における自然浄化（流達）率の関数で表される。

$$L = b_1 b_2 \dots (a_1 L_1 + a_2 L_2 + \dots a_i L_i) \quad (1)$$

ここで、 $L_i$ は発生源*i*の汚濁負荷発生量、 $a_i$ は浄化施設等で処理されたあとの排出率（1 - 浄化率）、 $b_j$ は水路・河川の流達率である。

数年～10数年の比較的短い期間で見ても、汚濁負荷発生源のうち家庭排水や工場排水のような点源（特定汚染源）では、食糧事情や嗜好・生産工程・廃水処理形態は変化する。林地や農地・大気降下物などの面源（非特定汚染源）の汚濁負荷量は、地域（地質・地形）や人為（林地の場合は伐採・植林など、農地の場合は作目・施肥量・農地管理・水管理など）の影響を強く受け、その上やっかいなことに気象の影響とくに降雨の影響を強く受けるので（実際には時々刻々変化するがここでは、簡単のため時間は1年単位で考える）、地域や

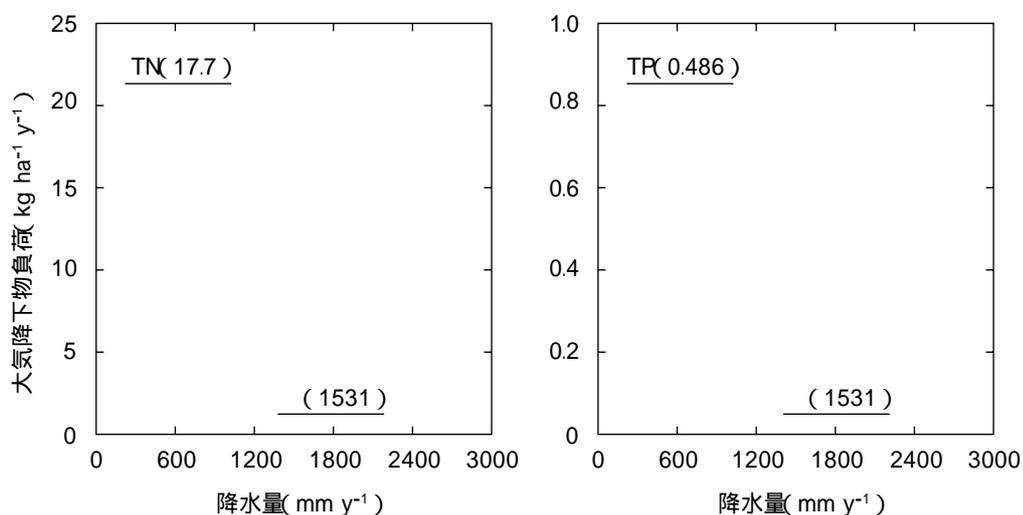
年によって大きく変動する。

図2に大気降水物負荷量の年変動(國松・須戸1994), 図3に林地からの流出負荷量の年変動・地点変動(Kunimatsu *et al.* 2001)を示した。いずれも2倍を超える変動があることがわかる。すなわちこれらの非特定汚染源の汚濁負荷流出に関する研究には, 1年や2年の測定では不十分で, 数年にわたる長期間の観測を必要とする。そのような理由でこれまで精度の高い研究は, 数えるほどしか行われていない。そこで気象・地域パラメーターなどによって長期変動を予測できる流出負荷量予測モデルの構築が期待されるが, 気象・地勢・人為影響が複雑なわが国では現在のところ実用に耐えるモデルは提出されていない。

何らかの事業がため池水質に与える影響について調査・研究するような場合, 集水域の物質収支を解析して検討しなければならないが, 面源負荷については今のところその都度その地域でいちいち実測する外ない。そのため集水域が大きくなれば, 少なくとも林地・水田・畑の典型的な地点(集水域が大きくなれば1タイプ以上)で, それぞれ少なくとも3年以上の“膨大”な実測調査が必要になる。

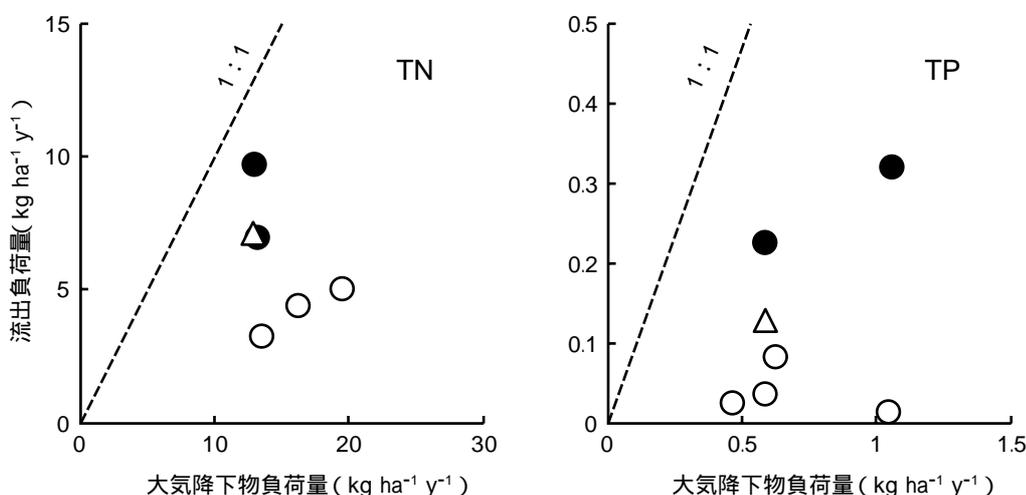
### 3. 研究の目的

農地からの汚濁負荷発生量に関する研究は, わが国では1975年頃から始まったが, 樹園地に関する水質化学的研究は非常に少ない。最近, 畑や樹



測定期間は1975～1981, 1990～1992年の10年間, デポジット法で測定。  
 ; 各年データ, ; 10年平均値, カッコ内の数値は平均値

図2. 大気降水物負荷量の年変動(滋賀県草津市)。



それぞれ○; 油日岳S, △; 油日岳N, ●; 妙光寺山森林実験流域(いずれも滋賀県)

図3. 森林の大気降水物負荷量と流出負荷量との関係。

園地の窒素肥料による地下水やため池の汚染が問題になっている。またわが国では米の生産調整が行われており、2001年度についてみると、水田の37%は水稲が作付けされていない。しかし、休耕されているのはその約4割で、残りの約6割(58.8万ha)はコメ以外の作物に転作されている。転作作物の作付け面積の割合は、野菜22%、飼料作物19%、ダイズ17%、ムギ16%となっている。ブドウ・モモ・イチジクなどの果樹(0.7%)への転作も増えてきている(農林水産省統計部2003)。水田の畑作物への転作は、施肥量・土壌条件・水管理などが異なるので、当然、水稲の栽培とは異なった汚濁負荷を排出するはずである。しかるに転作田の水質と汚濁負荷に与える影響については研究されていない。

そこで本研究プロジェクト「ため池とその周辺環境を含む地域生態系の水環境と公益的機能の評価」の一環として、ブドウ畑の汚濁負荷発生量とその流出機構および地下水汚染の解明を目差すこととし、2003年7月から調査を開始した。さらに水稲からムギに転作した田の水環境への影響についても別途、研究を開始した。以下ではこれらの研究の一部を報告する。

#### 4. ブドウ畑の汚濁負荷

##### 4.1 実験方法

###### (1) 実験圃場の概要

兵庫県加西市倉谷町のブドウ園経営農家の協力を得て、丘陵地に造成された3区画、合計0.57haのブドウ畑(図4)を対象にして、2003年7月か



○：地下水の採取位置， ●：量水堰。

図4. 汚濁負荷調査ブドウ畑の概要。

ら調査を開始した。ブドウ畑からの直接流出水(一部暗渠排水を含む)は、専用の側溝からため池に流入する。上流域の山林からの直接流出水は、周囲の道路側溝から系外へ流出し、ブドウ畑には流入しない。

###### (2) 水文調査

ブドウ畑の側溝の合流点に0.8×0.8m、深さ1.0mの集水マスを設置し、直接流出水の水質と流量を測定した。集水マスの流出側の壁面に、排水パイプ(300mmのPVC製)に密着させてステンレス製の堰板を取り付けた。堰は幅250mmの矩形堰で、堰の高さは集水マス底面から350mmである。整流と堰へのゴミのからみ防止のために、ステンレス製パンチボード(1000×600mm、穴径5mm)をコの字型に折り曲げて、堰の手前に立てた。堰の水位は圧力式水位計(STS社製MC1100W)でデータロガーに連続記録した。

自記雨量計、蒸発計、大気降水採取装置2基(それぞれ300,200mmポートを取り付けた20L容のPVCタンク)を設置した。

###### (3) 地下水調査

地下水1 集水マス施工時に、底部の中央部を約400mm掘り下げ、地下水採取管を立て、川砂でマス底面の高さまで埋め戻し、モルタルを流し込んで底面を密封した。地下水採取管は、100mm、長さ約1,800mmのPVC管の下端にキャップを被せ、その上約150~250mmの間に約3mmの穴を多数あけてストレーナーとした。ストレーナー部の外側にはナイロン繊維製寒冷紗を5重に巻き付けて、ステンレスの針金で縛り付けて土砂の流入を防いだ。

地下水2 上流の森林域にも、刃先開口部が120mmのアースオーガーで約1m掘り下げ、湧水があることを確認して、同様の地下水採取管を埋設した。

###### (4) 水質調査

直接流出水と地下水1,2は、週に1回、定期的に採水した。ただし、直接流出水は越流水がない時は採水しなかった。地下水1,2は採水後、パイプ内に滞留している水を排水した。定期調査の他に降雨時精密調査を行った。大気降水物は月に1回の頻度で、タンク内の水量を測定し、採水した。

全窒素・全リン・全有機炭素は、表面排水、大

気降水物についてはる過前後の試料水を分析したが、地下水はる過後の試料水についてのみ分析した。水質分析法は JIS 法に準じて行った。

#### (5) 土壌調査

ブドウ畑の各区画ごとに、対角線上の15カ所で土壌を深度別に採取した。A<sub>0</sub>層を手で取り除いてA層を採取し、それ以下は10 cmごとに6～8層について、検土杖を用いて採取した。土壌サンプルはそれぞれ15カ所を混合して風乾後、2 mmの篩を通して、風乾細土とした。

ブドウ畑側溝では20 mごとに1 mの範囲の堆積物を採取し、2 mmの篩を通して持ち帰り風乾した。試料採取後に、側溝の堆積物を総て取り除いた。

#### 4・2 実験結果

図5はブドウ畑の直下流の地下水1と直上流の森林域の地下水2の窒素濃度の変動である。地下水1は今のところ7～10月までの夏期約4ヶ月間の分析ではあるが、平均濃度は12.1 mg L<sup>-1</sup>で、8～15 mg L<sup>-1</sup>の間で変動した。地下水2はデータが2回分しかないが、平均濃度は0.5 mg L<sup>-1</sup>であった。地形的には地下水1は畑地浸透水が上流域から流入する地下水2によって希釈された後の水と考えられるが、今のところ希釈率を定量的に評価することはできない。単純に両者の濃度の比較からブドウ畑の地下水汚染の程度を計算すると、約25倍の窒素（主に硝酸塩）汚染であった。

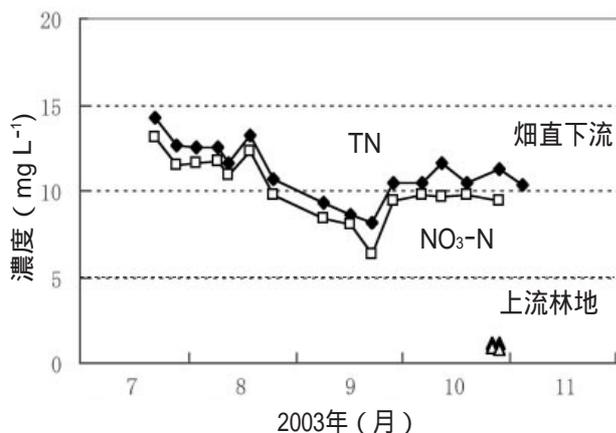


図5. ブドウ畑直下流と上流林地の地下水の窒素濃度.

## 5. ムギ転作水田の水質影響

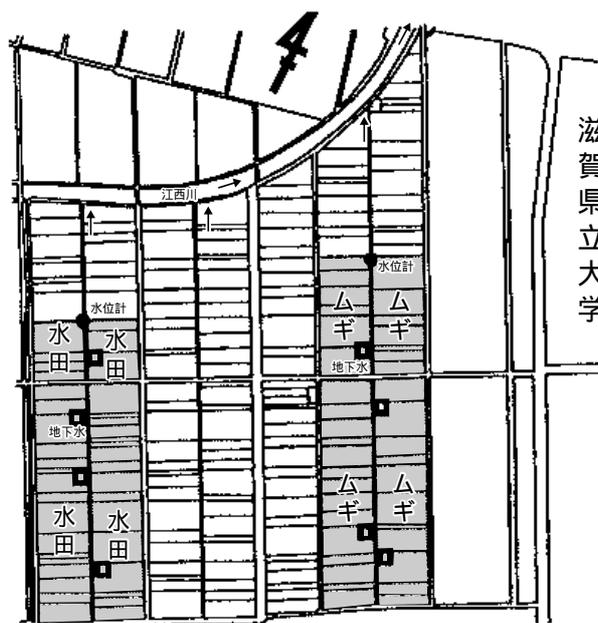
### 5・1 実験方法

#### (1) 実験圃場の概要

滋賀県彦根市甘呂町で28戸の水田経営農家の協力を得て、図6に示す2群の水田を調査対象とした。東側の水田群（以下東水田）は6.7 haで38筆の水田からなり、西側（西水田）は6.0 haで39筆からなっている。この地域は1980～85年に基盤整備されており、各水田は直線の排水路を中央にして両側に並んでいる。灌漑水は琵琶湖水がポンプ・パイプラインシステムで各水田に供給され、バルブの開閉で灌漑できるようになっている。東水田は2002年度からムギに転作されている。

#### (2) 水文調査

排水 この地域の水田排水は北側を流れる<sup>えづら</sup>江西川に排水されるが、琵琶湖岸からの距離は400～800 m、標高が0.5～0.7 mと低いため、100 mm前後の降雨があると、排水が困難になり浸水する。そのため調査定点は、排水路末端ではなく、できるだけ浸水の起こりにくい地点（図6）まで遡った地点に設定した。排水路は両側面はコンクリートパネル（1.8 × 0.7 m）でライニングされているが、底盤はライニングされていない。断面は東水田が幅550 × 高さ600 mm、西水田が750 × 600 mmである。両排水路とも対象水田群の南端から始まり、他地域からの排水または用水の流入はないので、



西水田:6.0ha 東水田(ムギ転作):6.7ha, :水位計

図6. 調査水田の概要.

定点での流量が対象水田からの排水量である。

定点では排水路の側面に近い底盤に 500 mm の PVC 製パイプを打ち込み、圧力式水位計センサーを挿入し、管とセンサーとの間に川砂を充填して固定した。適時、電磁流速計で流速を測定して流量を求め、水位・流量曲線を作成した。

灌漑水 灌漑水量はパイプラインシステムの給水ブロックごとの日給水量データと、ブロック内水田作付け面積から計算した平均日灌漑水量を用いた。

降水量 0.5 mm 転倒マス式自記雨量計とデータロガーを各定点に設置し、自動採水機のトリガーとしても使えるように設定した。降雪期は約 500 m 離れた滋賀県立大学実験圃場の気象観測ステーションの雨雪量計のデータを用いた。同ステーションには大気降水採取装置 2 基（それぞれ 300, 200 mm ロート付 20L PVC 製タンク）を設置した。

地下水 水田の排水路側の図 6 に示したそれぞれ 4 カ所に、地下水採取管を埋設した。採水管は刃先開口部が 120 mm のアースオーガーで約 1 m 掘り下げ、ブドウ畑に使用したものと同じ仕様の 100 mm、長さ約 1.5 m の PVC 管を立て、ストレーナーの高さまで川砂を充填し、次に掘り上げた現地の心土で踏み固めた。

### (3) 水質調査

排水 定期調査と降雨時流出調査を行った。定期調査は 1 回 / 週の頻度で、定点で排水を直接採水した。降雨時流出調査は自動採水機を 5 mm の降雨量で作動させ、1 時間間隔で採水した。精密調査は、水質変動をトレースできるようにハイドロカーブに沿って適当に間引いたサンプルについて水質を分析した。本調査は降雨規模の異なる 5 ~ 6 降雨について行う。その他の降雨時流出調査は、1 降雨ごとに 1 時間間隔で自動採水したサンプルを時間平均流量比例コンポジットサンプルにして分析し、全流量から流量加重平均濃度と流出負荷量を算出した。

灌漑水 灌漑期間に流入中の水田から 1 回 / 週の頻度で、定期的に採水した。

地下浸透水 1 回 / 週の頻度で定期的に採水し、それぞれ 4 カ所を当量混合したコンポジットサンプルを分析した。採水は PVC 製のドラム缶用手動

ポンプで行い、採水後に残留水を排水した。

大気降水物 1 回 / 月の頻度で、デポジットゲージの水量を測定し、採水した。

水質分析 排水、灌漑水および大気降水物はる過前後の試料水を分析し、地下浸透水はる過後のサンプルについてのみ分析した。水質分析は JIS 法に準じて行った。

### 5・2 実験結果

図 7 は水稲収穫後の 2003 年 10 月 14 ~ 15 日に降った 26 mm の降雨時に行った降雨時精密調査の結果から、水田とムギ転作田の直接流出(排水)の比流量と窒素濃度の変化を示している。ハイドログラフ、ハイドロカーブともほぼ 1 山で、水田では雨量約 7 mm で流出が始まったが、ムギ転作田では約 14 mm から流出し始めている。一方、流量ピークはほぼ同じ時期に現れたが、ピーク流量はムギ転作田では水田の 1.8 倍になった。ピーク後は水田はムギ転作田よりゆっくり流出した。

窒素濃度を見ると、水田では濃度の変動は小さく、TN は  $2 \text{ mg L}^{-1}$  前後で、大部分は有機体窒素であった。一方、ムギ転作田では TN は  $8 \text{ mg L}^{-1}$  から  $11 \text{ mg L}^{-1}$  に上昇し、その大部分は硝酸態窒素で、

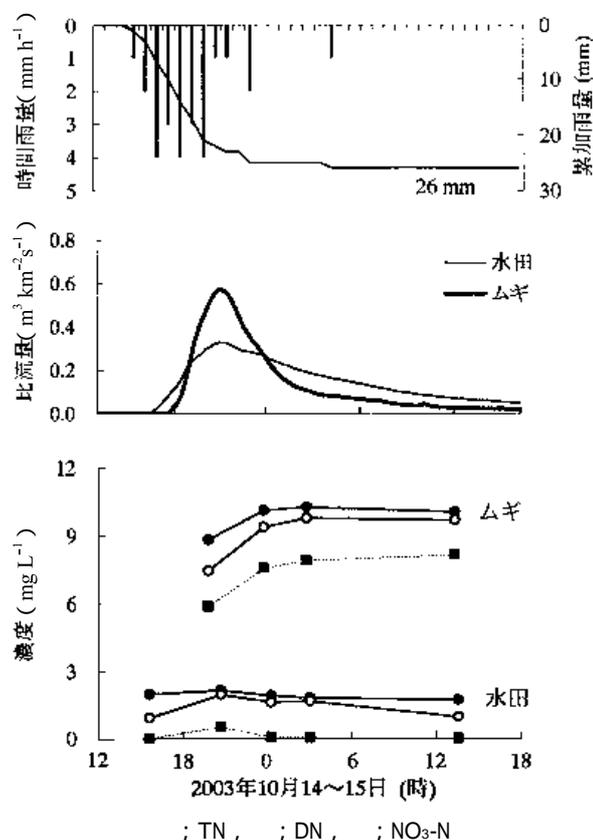


図 7 . 降雨(26mm)時の排水量と窒素濃度  
に与えるムギ転作の影響。

ピーク後も濃度はほとんど低下しなかった。いずれもアンモニア態窒素，亜硝酸態窒素は低濃度であった。

## 6. 結論

ため池の水質を保全するためには，流入する汚濁負荷量を制御する必要がある。そのためには汚濁負荷発生源での発生抑制と排出制御(除去)，河川系での浄化機能の強化，などの技術を開発しなければならない。それには何より各発生源での汚濁物質の動態に関する詳細な基礎的研究が必要である。

畑作は，ダイズのように窒素肥料をあまり必要としない作物もあるが，一般には水田より窒素施肥量が2～3倍多く，かつ土壌条件が酸化的であるので，窒素が硝酸塩になって流亡しやすいことが知られている。本研究でもまだ予備的段階であるが，ブドウ畑は硝酸塩を高濃度で溶脱することが確かめられた。この地域でも水田をブドウやイチジクに転作する農家が増えてきている。これらの樹園地の面積と比較して林地や水田などの希釈要素の面積が小さくなる地域では，地下水を汚染(環境基準は硝酸態窒素および亜硝酸態窒素10 mg L<sup>-1</sup>以下)する恐れが強い。

一方，水田のムギ転作でも，窒素の流出負荷量が多くなり，10mg L<sup>-1</sup>に達する表面排水を排出することがあることがわかった。さらに水田より洪水流出ピークを高めることが明らかにされた。これはムギが過湿を嫌うために，排水を良くして栽培されることに起因する。従って，ムギ転作は汚濁負荷量を増大させるのみならず，水田の洪水調節機能と地下水涵養機能を小さくする。

先に述べたように食料・農業・農村基本計画による食糧自給率45%を目標にしており，そのためにムギ・ダイズなどの一層の生産振興が打ち出されている。すなわち今後は，現在休耕されている水田を含めて，畑や果樹園に転用される面積は確実に増えていく。それ故，ため池水質および流域水環境管理上，今後増加すると推定される転作田による水質汚染と洪水調節機能と地下水涵養機能の低下について，対策技術の開発が急務である。そのために本研究プロジェクトでも基礎的な流出特性と流出負荷特性に関する研究を進める必要が

ある。

## 引用文献

國松孝男・須戸 幹(1994): 大気降水物によるチッソ，リンの供給とその変動．環境技術，23: 710-713.

Kunimatsu, T., E. Hamabata, M. Sudo and Y. Hida (2001): Comparison of nutrient budgets between three forested mountain watersheds on granite bedrock. Water Science and Technology, 44: 129-140.

農林水産省統計部(2003): ポケット農林水産統計2003年版，231．農林統計協会，東京．

滋賀県農政水産部農政課(2003): 滋賀の農林水産業2003年版，14.

## 質疑

(感想)

- ・ 転作(殊に，集団転作奨励による大規模なもの)によって，流域の耕地形態が急激に変化し危惧しているが，発表での示唆は極めて重要と受けとめた。
- ・ 全く同感である。転作によって汚濁負荷は現状では確実に増大する。

(質問)ムギ畑でN, P流出が水田より多くなる結果となっているが 施肥量は，どの程度違うのか？

(返答)一般に作物に対する施肥量は作物・地域・耕作者などによって異なる。そのうち転作に関わる作物について農林統計および滋賀県の栽培指針を基に大略を示すと表1のようになる。注意すべきことは，農地からのN, Pの流出負荷量は施肥量が同じであっても，肥培管理，土壌管理(特に水田状態と畑状態の相違が大きい)などの人為条件および地形，土壌，降雨等の自然条件などによっても異なるということである。そのため全日一律ではなく一定地域ごとの系統的な研究が必要であるが，少なくとも水質化学・環境科学的研究はほとんど進んでいないのが実情である。ムギ転作についてみると，たとえ施肥量が同じであっても，土壌が酸化状態に維持され，かつ排水管理が重視されることから，原理的に窒素の流出負荷量は水稲作より多くなると予測される。一方，リンの農地流出について

はもともと研究例が少なく，正確にはほとんど何もわかっていないのが現状である。

(質問)水田排水中のTCODを測定していたが，有機物以外でCOD値を高めてしまうFe<sup>2+</sup>等の影響はあるか。

(返答)有機物以外にも鉄，マンガ，イオウ化合物などが考えられる。ただし，もともと農地排水のCODを年間を通して測定した事例は1,2例

しかなく，ましてこれらを継続して分別測定した研究はない。本研究ではTOCを測定するとともに，無機還元性物質についても詳しく検討したいと考えている。ただし，CODを測定する目的が流入先（河川，池沼など）での溶存酸素の消費の評価が目的であるとすれば，原因物質をことさら問題にすることはないと考えることもできる。

表1．水田転作作物の施肥量と収量(kg ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup>)

作目	窒素施肥量	収量	備考
水稲	75.7	5370	全国平均，施肥量は1999年，収量は2000年
コムギ	110 ~ 130	3760	滋賀県，収量は全国平均（2000年）
ダイズ	0 ~ 20	1920	滋賀県，収量は全国平均（2000年）
野菜	220 ~ 340	-	滋賀県（大カブ・ハクサイ・キャベツ）
果樹*	60 ~ 220	-	滋賀県（ブドウ・モモ・ウメ・イチジク・クリ・ナシ・カキ），*普通作

# 地域別に見た降水による窒素・リンの負荷

梅本 諭<sup>1</sup>・駒井幸雄<sup>1</sup>・井上隆信<sup>2</sup>

<sup>1</sup>兵庫県立健康環境科学研究所 (〒654-0037 神戸市須磨区行平町 3-1-27)

<sup>2</sup>岐阜大学工学部 (〒501-1193 岐阜市柳戸 1-1)

## Nitrogen and Phosphorus Loadings by Total Deposition on Urban and Forest Areas

Satoshi UMEMOTO<sup>1</sup>, Yukio KOMAI<sup>1</sup> and Takanobu INOUE<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Hyogo Prefectural Institute of Public Health and Environmental Sciences, 3-1-27 Yukihiro-cho, Suma-ku, Kobe 654-0037, Japan

<sup>2</sup>Department of Civil Engineering, Gifu University, 1-1 Yanagido, Gifu 501-1193, Japan

### 1. はじめに

面源からの汚濁物質の環境水域への流出負荷量を検討する上で、降水を含めた集水域全体への流入負荷量を把握することが重要である。栄養塩類についてみると、降水中の窒素化合物およびリン化合物の濃度については、降水の酸性化現象（酸性雨）や森林域の生態学的研究の一環として、無機態イオンの形で測定されているものが多い（原 1997; 岩坪ら 1997; Likens and Bormann 1995; 徳地 1995）。しかし、大気環境に大きく影響すると考えられる産業活動や生活活動の違いに伴う濃度および負荷量の相違について、あるいは湿性降水物と乾性降水物を含めた全大気降水物との相違について比較検討した報告はほとんど見当たらない。そこで、産業活動や交通機関の発達した都市域とそれらがほとんど発達していない山林域とを対象にして、湿性降水物および全大気降水物による全窒素（TN）および全リン（TP）濃度を測定し、年間負荷量を算出するとともに、それらの区域別による比較を行った。また、得られた結果を用いて大阪湾および播磨灘への大気降水物による TN および TP の直接負荷量を見積もった。

### 2. 方法

山林域の調査地点としては兵庫県中央部の朝来郡生野町（兵庫県中播磨県民局県土整備部姫路土木事務所生野ダム管理所の 2 階建てビル屋上、以

下生野と示す）を、都市域の調査地点としては神戸市須磨区（兵庫県立健康環境科学研究所の 6 階建てビル屋上、以下神戸と示す）を選定した。調査地点の概略を図 1 に示す。調査は 1995 年 11 月から 1999 年 10 月の 4 年間実施した。

使用した大気降水物採取装置を図 2 に示す。湿

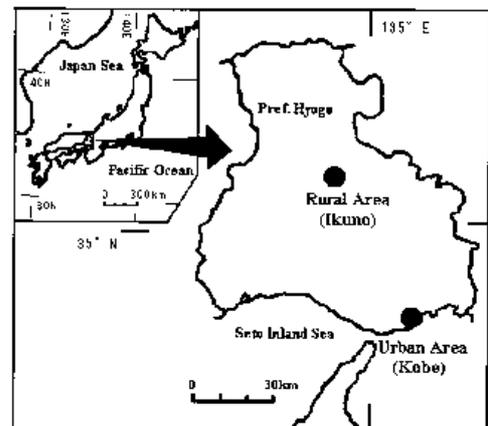


図 1 . 調査地点の概略図.



図 2 . 大気降水物採取装置.

左:神戸の湿性降水物採取装置  
右:生野の採取装置(手前...湿性降水物 奥...全大気降水物)

性降水物は、生野では市販の70リットル容量のポリエチレン製丸型容器に集水と蒸散防止を兼ねたビニール製大型ロートを付けたものを、神戸では自動雨水採水器（小笠原製作所製 US-300-S）を用い、1回の降雨開始から降雨終了までのすべての降雨を一降雨ごとに採取し分析に供した。生野は原則的に月1回の頻度で、神戸は休日等を除いて全降水量の80%以上の降水量に相当するほとんどの降雨を採取した。一方、全大気降水物の採取装置としては、簡易型雨水採取装置（小林・中川1991）を設置し、1週間～10日間ごとに回収し、それらを合わせて約1か月間ごとのコンポジット試料として分析を行った。分析項目はpH等4項目で、その方法を表1に示す。

表1．分析方法.

項目	方 法
pH	ガラス電極法
EC	電極法
TP	ペルオキシニ硫酸カリウム分解後アスコルビン酸還元メチレンブルー法
TN	TN計（柳本製 TN-301P）法

EC；電気伝導度

日降水量は、生野についてはサンプリング地点と同じ管理所屋上で、管理所が測定している時間降水量の値を、神戸についてはサンプリング地点から約9 km東に離れた神戸海洋気象台の月報に示された日降水量の値（神戸海洋気象台1995-1999）を用いた。なお、神戸海洋気象台の月間降水量（mm）とセンター屋上における簡易型雨水採取装置による月降水量（mm）（=採取量/採取装置のロート開口部の面積）を比べた結果、両者に、相関係数で0.97以上のほぼ1:1の直線関係が得られたので、神戸における降水量として神戸海洋気象

台の値を採用することとした。

### 3．結果および考察

#### 3.1 降水中全窒素・全リン濃度の変動

湿性降水物中、全大気降水物のpH、EC、TNおよびTPの降水量による加重平均値を表2に示した。

湿性降水物のpHは神戸および生野それぞれについて4.1～7.1および4.1～6.4の範囲であり、全期間の加重平均値は4.7および4.9であった。電気伝導度（以下ECと示す）は神戸および生野それぞれについて0.4～10.1mS m<sup>-1</sup>および0.2～12.9mS m<sup>-1</sup>の範囲で、全期間の加重平均値は2.1mS m<sup>-1</sup>および1.9mS m<sup>-1</sup>であった。原（1997）は1989～1993年に行われた環境庁の全国規模の酸性雨調査結果としてpHは4.5～5.8の範囲に分布し平均値は4.8、ECは1.1～4.8mS m<sup>-1</sup>の範囲で平均値は2.1mS m<sup>-1</sup>と報告している。これらから本調査地点の近隣である近畿における値を抽出してみると、pHは4.6～4.7、ECは1.7～1.8mS m<sup>-1</sup>の範囲であった。多田（1998）は1993～1996年に香川大学農学部（香川県木田郡三木町）において、1回の降雨ごとにpHを測定し、3.3～6.8の間に変動し、平均値は4.9であったと報告している。また、志田ら（1999）は、山形大学工学部（山形県米沢市）において、1993～1996年の内陸部における一雨（雪）中のECを測定し、年平均値で2.1～2.7mS m<sup>-1</sup>であったと報告している。今回のpHおよびECの結果はこれらの結果とよく一致しており、今回得た降水試料が一般的なものであると考えた。

湿性降水物中TN濃度は神戸、生野それぞれで0.07～4.7mg L<sup>-1</sup>および0.07～1.2mg L<sup>-1</sup>の範囲で、降水量による加重平均値は0.54mg L<sup>-1</sup>および0.28mg L<sup>-1</sup>であった。神戸の濃度範囲は生野に比

表2．湿性降水物，全大気降水物のpH, EC, TNおよびTPの濃度範囲と加重平均値.

地区		pH	EC (mS m <sup>-1</sup> )	TP (mg L <sup>-1</sup> )	TN (mg L <sup>-1</sup> )	
湿性降水物	神戸	範囲	4.1～7.1	0.4～10.1	<0.001～0.080	0.07～4.7
		加重平均	4.7	2.6	0.005	0.54
	生野	範囲	4.1～6.4	0.2～12.9	0.002～0.039	0.07～1.2
		加重平均	4.9	1.3	0.005	0.28
全大気降水物	神戸	範囲	4.5～6.9	1.3～20.0	0.001～0.050	0.31～3.3
		加重平均	5.2	3.2	0.008	1.1
	生野	範囲	4.3～7.1	0.5～8.8	0.002～0.040	0.06～3.3
		加重平均	5.0	1.6	0.008	0.49

べて広く、最高濃度および加重平均値とも高かった。加重平均値でみると神戸が生野に比べ約2倍の高い濃度を示していた。TP濃度は、 $< 0.001 \sim 0.080 \text{ mg L}^{-1}$  および  $0.002 \sim 0.039 \text{ mg L}^{-1}$  の範囲で、TN同様神戸のほうが広い範囲で、最高濃度も高かった。しかし、加重平均値は両地点とも  $0.005 \text{ mg L}^{-1}$  で同じ濃度であった。

全大気降水物中のTPおよびTN濃度の変化状況を図3に示す。濃度はTPおよびTNとも神戸のほうがほとんどの月で高く、加重平均値でみると、神戸および生野についてTN濃度は  $1.1 \text{ mg L}^{-1}$  および  $0.49 \text{ mg L}^{-1}$  で、神戸は生野の2.2倍であった。しかし、TP濃度は両地点で差が無く  $0.008 \text{ mg L}^{-1}$  であった。これらは、全大気降水物が乾性降水物を含むため、湿性降水物の場合に比べて濃度は高くなっているが相互の傾向は同様であった。

大気中における窒素成分のうち大気汚染観測データとして測定されている窒素酸化物の濃度をみると、神戸市の須磨観測局における一酸化窒素と二酸化窒素の平成10年度年平均濃度はそれぞれ  $0.026 \text{ ppm}$  および  $0.030 \text{ ppm}$  で、生野における移動観測車による両成分の測定値の  $0.003 \text{ ppm}$  および  $0.005 \text{ ppm}$  に比較して6～9倍の高濃度である(兵庫県生活文化部環境局 1999)。降水による大気中物質の捕捉(和田 1990)により窒素酸化物も降水物に取り込まれるが、産業活動や交通機関の発達

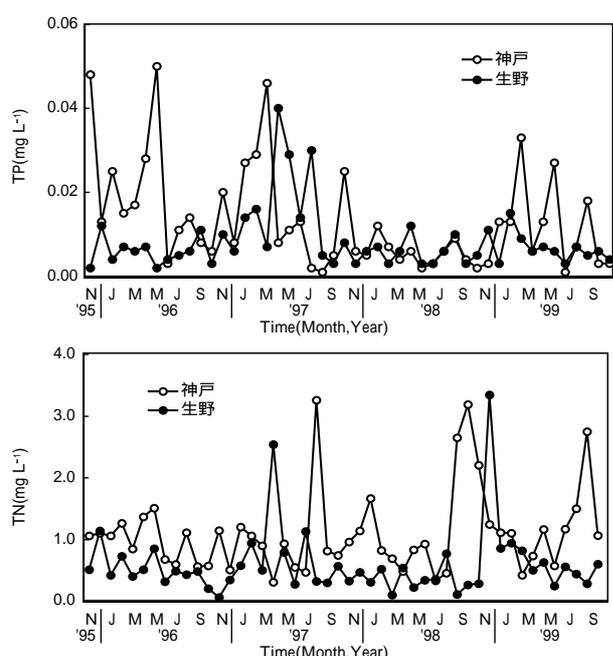


図3. 全大気降水物中のTPおよびTN濃度の変動状況.

の違いによる大気中の濃度の差が取り込み量に反映し、神戸におけるTN濃度が高くなったものと推察された。

### 3.2 降水による栄養塩類の負荷量

TNおよびTPの単位面積(ha)当たりの年間負荷量を以下の式に従って算出した。

神戸における湿性降水物による負荷量:

$$\text{年間負荷量} = \{ (C_{kw} \times P_{kw}) \} \times \frac{P_{kt}}{P_{kw}} \quad (1)$$

ここで、 $C_{kw}$  は湿性降水物中のTNあるいはTPの濃度 ( $\text{kg m}^{-3}$ )、 $P_{kw}$  は一回ごとの降水イベントの降水量 ( $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ) として  $P_{kt}$  は神戸における年間降水量 ( $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ) である。

生野における湿性降水物による負荷量:

$$\text{年間負荷量} = L_w \quad (2)$$

ここで、 $L_w$  は生野における一降水の降水量 ( $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ) とTNおよびTPの負荷量 ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) との相関式を用いて計算されたそれぞれの一降水による負荷量 ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) である。なお、用いた相関式と相関図を

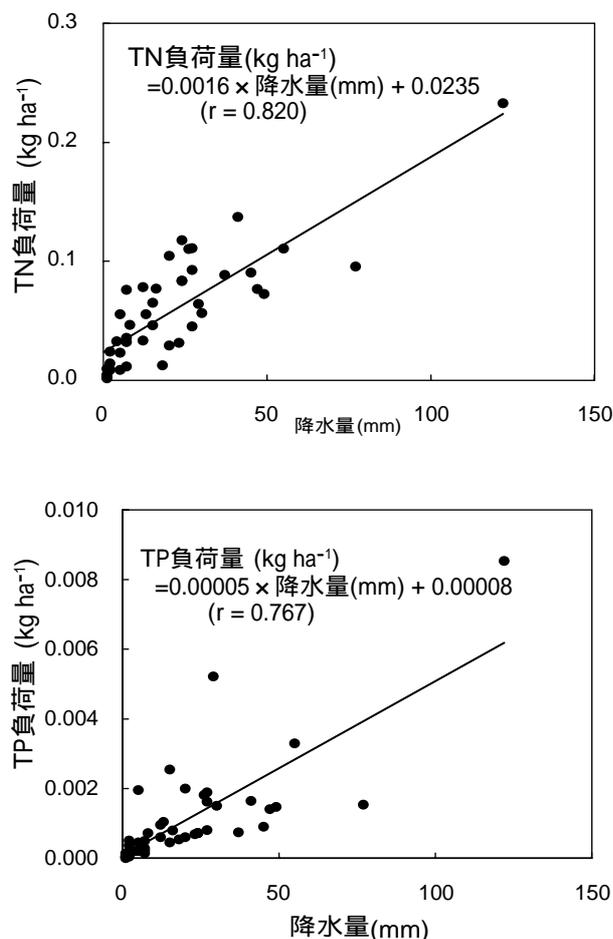


図4. 生野における一降水の降水量とTNおよびTPの負荷量との関係

図4に示す。

神戸における全大気降下物による負荷量：

$$\text{年間負荷量} = (C_{kt} \times P_{kt}) \quad (3)$$

ここで、 $C_{kt}$  は神戸における全大気降下物中の TN あるいは TP の濃度 ( $\text{kg m}^{-3}$ ) そして  $P_{kt}$  は月間降水量 ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ) である。

生野における全大気降下物による負荷量：

$$\text{年間負荷量} = (C_{it} \times P_{it}) \quad (4)$$

ここで、 $C_{it}$  は生野における全大気降下物中の TN あるいは TP の濃度 ( $\text{kg m}^{-3}$ ) そして  $P_{it}$  は月間降水量 ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ) である。

求められた4年間の年間負荷量と年間降水量を表3に示した。全大気降下物による TN の年間負荷量は、生野のほうが神戸より明らかに少なく、年により大きく変動していた。最大負荷量と最小負荷量では、神戸で約3倍、生野で約2倍も差があった。TPの全大気降下物による年間負荷量も最大値と最小値で2～2.5倍程度の差があったが、神戸と生野間の差は少なかった。1996年11月からの1年間において、生野でのTP負荷量が他の年間の値よりも多く、約2.5倍の値を示していた。これは、1997年4～7月の4か月間のTP濃度が高いことが原因であるが、当該区域内に植林されているスギやヒノキの花粉が多量に飛散する時期(2～3月頃)ともずれており、花粉の影響のみとは考えにくい。また、リン化合物は主として粒子状の物質に由来し、窒素化合物は降雨に取り込まれた形で

降下する(國松・村岡1989)といわれており、また、雨水中に含まれる降下風成塵が春季に多くなるとの報告(井上ら1994)や、砂漠土壌由来の風成塵が大気中のリン成分の重要な発生源であるとの報告(Migon and Sandroni 1999)から、中国大陸から長距離輸送された風成塵(黄砂)の影響も考えられたが、同時期における神戸のTP濃度においてほとんど影響が現れておらず、風成塵の影響のみとも考えにくい。高濃度になった原因は不明である。この1年間を除くと3年間の平均年間負荷量は  $0.11 \text{ kg ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$  と計算され、神戸および生野両地点に大きな差が認められず、全大気降下物による全リンの負荷量は地点による差が少ないことが分かった。大気汚染観測データとして測定されている浮遊粉塵量をみると、須磨観測局における値と生野における移動観測車による測定値(兵庫県生活文化部環境局1999)はそれぞれ  $0.038 \text{ mg m}^{-3}$  および  $0.029 \text{ mg m}^{-3}$  となっており両地点で差が少ない。これが、両地点におけるTP負荷量の差が少ない一因と考えられるが定かではなく、原因の解明は今後の課題である。それに対してTN負荷量ではほとんどの年で神戸のほうが多く、平均の年間負荷量で見ると両地点の差は約1.6倍となっていた。濃度差の場合と同様に神戸における大気中窒素化合物濃度が高い(兵庫県生活文化部環境局1999)ため、年間負荷量も多くなったものと考えられた。

次に、湿性降下物による負荷量を求め、全大気降下物による負荷量と比較した。湿性降下物によるTNおよびTP負荷量は表3に示したように神戸

表3 . 年間降水量と負荷量および湿性降下物の全大気降下物に対する割合.

	降水量 ( $\text{mm y}^{-1}$ )	TN負荷量( $\text{kg ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ )		TP負荷量( $\text{kg ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ )		
		湿性降下物	全大気降下物	湿性降下物	全大気降下物	
神戸	Nov., '95 - Oct., '96	1,079	5.8	8.9	0.05	0.15
	Nov., '96 - Oct., '97	1,308	6.2	10	0.04	0.13
	Nov., '97 - Oct., '98	1,720	13	25	0.14	0.08
	Nov., '98 - Oct., '99	1,252	11	15	0.07	0.09
	平均値	1,340	9.2	15	0.08	0.11
湿性降下物 / 全大気降下物		0.61		0.73		
生野	Nov., '95 - Oct., '96	1,669	4.9	8.3	0.09	0.10
	Nov., '96 - Oct., '97	1,925	5.3	13	0.10	0.26
	Nov., '97 - Oct., '98	2,171	6.2	6.7	0.12	0.11
	Nov., '98 - Oct., '99	1,805	4.4	9.4	0.09	0.10
	平均値	1,893	5.2	9.3	0.10	0.14
湿性降下物 / 全大気降下物		0.56		0.71		

においてはTNで  $9.2 \text{ kg ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$  , TPで  $0.08 \text{ kg ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$  , 生野においてはTNで  $5.2 \text{ kg ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$  , TPで  $0.10 \text{ kg ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$  となり , 全大気降下物による負荷量のそれぞれ60%程度および70%程度であった。大気降下物による栄養塩類の流入負荷量を的確に求めるためには , 従来主として行われていた湿性降下物のみによる負荷量を用いると過小評価されることとなり , 全大気降下物による値を採用すべきである。

大気降下物中の窒素については , 酸性雨や森林地域の生態学の研究として多く測定されているが , 硝酸イオンやアンモニウムイオン等の無機態イオンの形で測定されおり (原 1997; 岩坪ら 1997; Likens and Bormann 1995; 徳地 1995) , 湿性降下物を対象としているため , 全大気降下物によるTNおよびTPの負荷量の報告は少ない (田淵・高村 1985; 國松ら 1992; 國松・須戸 1994, 1997; 多田 1998) 。それらのデータをまとめて表4に示す。これらの値と今回の研究で得られた値を比較してみると , TNは , 田淵・高村 (1985) の値と比べると神戸は少し多く生野は同程度 , 國松ら (1992) および國松・須戸 (1994, 1997) の値と比べると神戸で少し多く生野で少なめ , 多田 (1998) の値とでは全窒素に含まれる無機態窒素の割合から考えて同程度であった。田淵・高村 (1985) は山地や農耕地でのデータをまとめていること , 國松・須戸 (1994) および多田 (1998) は市街地周辺部でのデータであること , そして國松ら (1992) および國松・須戸 (1997) は森林域でのデータであることから , 本研究の値を含めて全体を土地利用形態別にまとめると , 山林域 < 農耕地 < 市街地周辺部 < 市街地の順で変化しており , 産業活動や交通機関の発達の違いによる大気中窒素酸化物濃度の差が土地利用形態の違いによる差として現れたものと考えられた。なお , TPは  $0.1 \sim 1.2 \text{ kg ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$  と変動範囲は

あるものの値は小さく , 神戸と生野おけると同様にいずれの地域においても大きな違いはなかった。

年間降水量とTN負荷量との関係については , 國松・須戸 (1994) が10年間のデータで検討し , 両者に関係が認められなかったと述べている。しかし今回の結果では , 神戸において年間降水量が増加すればTN負荷量が増加する傾向が認められた。それを図5に示した。なお , 多田 (1998) は年間降水量と無機態窒素の年間全降下量のデータから , 降水量の増加で無機態窒素の年間降下量が増加すると報告しており , 今回と同様な結果であった。

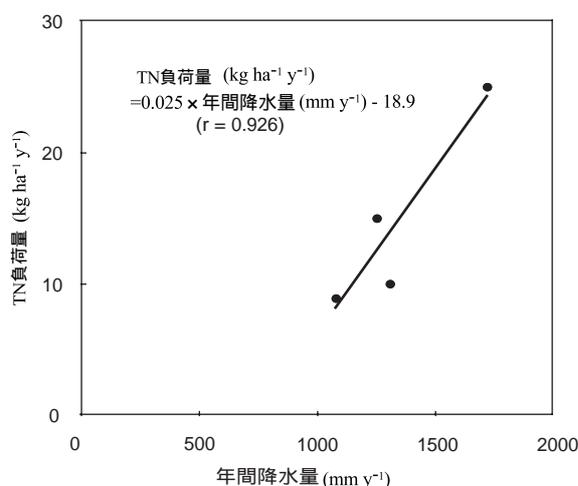


図5 . 神戸における年間降水量とTN負荷量の関係.

### 3.3 大阪湾あるいは播磨灘への大気降下物による栄養塩類の直接負荷

大阪湾および播磨灘への大気降下物による栄養塩類の直接流入量を見積もるため , 表3の神戸および生野におけるTNおよびTPの全大気降下物による負荷量の平均値を用いて推算した。ここで , 神戸の値は市街地のような大気降下物による栄養塩類が高負荷である地域の値として , 生野の値は山林域の値としてではなく , 市街地より遠距離に

表4 . これまで報告されている大気降下物によるTNおよびTP負荷量 .

文献	TN負荷量 ( $\text{kg ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ )	TP負荷量 ( $\text{kg ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ )	調査年	地点等
田淵・高村 (1985)	6.1 ~ 18	0.1 ~ 0.6	1961 ~ 1980年	全国データのまとめ
國松ら (1992)	12.6	0.478	1989年	滋賀県朽木村
國松・須戸 (1994)	$15.2 \pm 4.1$	$0.486 \pm 0.146$	1975 ~ 1981年 1990 ~ 1992年	滋賀県草津市
國松・須戸 (1997)	13 ~ 21	0.6 ~ 1.2	1991 ~ 1995年	琵琶湖集水域
多田 (1998)	10*	0.1	1997年	香川県

\* : 全無機態窒素として

ある低負荷の地域の値として代用した。その結果を表5示す。

TNの大気降下物による直接負荷量は、神戸の値を使用すると大阪湾および播磨灘それぞれに対して2,290 ton y<sup>-1</sup> および5,140 ton y<sup>-1</sup> となり、陸上からの負荷量の2.9%、19.8%、生野での値を採用すると1,420 ton y<sup>-1</sup> および3,190 ton y<sup>-1</sup> となり、陸上からの負荷量の1.8%および12.3%に相当することが分かった。一方、TPの直接負荷量は、大阪湾および播磨灘それぞれに対して16.8 ton y<sup>-1</sup> および37.7 ton y<sup>-1</sup> と計算された。これらの値は両海域に流入する陸域からの負荷量の、大阪湾では約0.3%、播磨灘では2.9%に相当することが分かった。

陸域からの流入負荷が大きく、その面積も播磨灘の1/2以下である大阪湾に比べて、陸域からの流入負荷が大阪湾の1/3以下で、面積が広い播磨灘では降水による栄養塩類の負荷の影響が、特に窒素において生野で得られた低負荷地域の値を用いても、その影響が大きいことが分かった。

#### 4. まとめ

土地利用形態の違いの影響を見る目的で、都市域（神戸）と山林域（生野）を対象にして、湿性降下物および全大気降下物によるTNおよびTP濃度を測定し、年間負荷量を算出するとともに、それらの地区別による比較を行った。また、得られた結果を用いて大阪湾および播磨灘への大気降下物によるTNおよびTPの直接負荷量を見積もった。その結果をまとめると以下のようなものである。

面源への大気降下物による負荷を見積もるには、湿性降下物のみによる負荷量を用いると過小評価されることとなり、全大気降下物による値を採用すべきである。

TN負荷量は調査地点における大気中窒素酸化物濃度の違いの影響を受けて地域により異なること、

および年間降水量の増加で増加することが分かった。一方、TP負荷量は地点の違いや年間降水量の違いによってほとんど影響されず、どの地域においてもほぼ同じであることが分かった。これまでに報告されている全大気降下物によるTN負荷量と今回の値から、負荷量は山林域 < 農耕地 < 市街地周辺部 < 市街地の順で変化しており、産業活動や交通機関の発達の違いによる大気中窒素酸化物の濃度差が影響していると考えられた。

陸域からの流入負荷量が多い大阪湾に比べて、播磨灘では降水による栄養塩類の負荷の影響が、特に窒素において大きいことが分かった。

#### 引用文献

原 宏(1997):日本の降水の化学.日本化学会誌, 1997: 733-748.

兵庫県生活文化部環境局(1999):環境白書(平成11年版).330-342.兵庫県生活文化部環境局,神戸.

井上克弘・張 一飛・成瀬敏郎(1994):東アジア中緯度域における雨水の水質に及ぼす広域風成塵の影響.日本土壌肥科学雑誌, 65: 619-628.

岩坪五郎・徳地直子・仲川泰則(1997):降水と森林流出水の水質,降水溶存元素量の30年間の変動,降水と流出水にともなう溶存元素収支と森林流出水質の広域の変動.森林立地, 39: 63-71.

小林禎樹・中川吉弘(1991):1ヶ月間採取法による雨水中水銀のモニタリング.兵庫県立公害研究所研究報告, 23: 21-26.

神戸海洋气象台(1995-1999):兵庫県気象月報. 698-739.神戸海洋气象台,神戸.

國松孝男・村岡浩爾(1989):河川汚濁のモデル解析.2-34,技報堂出版,東京.

國松孝男・須戸 幹・島田佳津比古・海老沢秀男(1992):朽木『朝日の森』落葉広葉樹二次林に

表5.大阪湾および播磨灘への大気降下物によるTNおよびTPの直接流入量.

面積	大気からの負荷量			陸域からの負荷量*		大気負荷量 / 陸域負荷量			
	TN(1)	TN(2)	TP(1)	TN(3)	TP(2)	TN(1)/TN(3)	TN(2)/TN(3)	TP(1)/TP(2)	
(km <sup>2</sup> )	(ton y <sup>-1</sup> )	(%)	(%)	(%)					
播磨灘	3,425	5,140	3,190	37.7	25,900	1,310	19.8	12.3	2.9
大阪湾	1,529	2,290	1,420	16.8	79,200	5,070	2.9	1.8	0.3

\* ; 1994年の値(清木ら(1998))  
 TN(1); 神戸における全大気降下物による負荷量を用いて計算  
 TN(2); 生野における全大気降下物による負荷量を用いて計算

おける水質形成機構に関する研究 ( I ) 隣接する 2 試験流域から流出する渓流水の水質特性の比較 . 森林文化研究 , 13: 81-94.

國松孝男・須戸 幹 ( 1994 ): 大気降水物によるチッソ , リンの供給とその変動 . 環境技術 , 23: 710-713.

國松孝男・須戸 幹 ( 1997 ): 森林溪流の水質と汚濁負荷流出の特徴 . 琵琶湖研究所所報 , 14: 6-15.

Likens, G. E. and F. H. Bormann ( 1995 ): Biogeochemistry of a Forested Ecosystem, Second Edition. 32-45, Springer-Verlag, New York.

Migon, C. and V. Sandroni ( 1999 ): Phosphorus in rainwater: Partitioning inputs and impact on the surface coastal ocean. Limnology and Oceanography, 44: 1160-1165.

清木 徹・駒井幸雄・小山武信・永淵 修・日野康良・村上和仁 ( 1998 ): 瀬戸内海における汚濁負荷量と水質の変遷 . 水環境学会誌 , 21: 780-788.

志田惇一・広瀬慎悟・吉川 律 ( 1999 ): 山形県米沢市における降水中の主要イオン成分の経年変化 . 日本化学会誌 , 1999: 425-429.

田淵俊雄・高村義親 ( 1985 ): 集水域からの窒素・リンの流出 . 18-37 . 東京大学出版会 , 東京 .

多田邦尚 ( 1998 ): 降水中の窒素・リン濃度と内湾への栄養塩負荷 . 海と空 , 73: 125-130.

徳地直子 ( 1995 ): 森林生態系における物質循環 , 窒素に注目して . 環境保全 , 11: 34-41.

和田安彦 ( 1990 ): ノンポイント汚染源のモデル解析 . 22-23 . 技報堂出版 , 東京 .

質疑

( 質問 ) N の大気降水量の経年変化 ( 長期変化 ) のデータがあれば見せてほしい .

( 返答 ) 上記本文に記載の 4 年間以外に 2001 年 12 月までの神戸および生野における調査結果を加えて , 1996 年 1 月 ~ 2001 年 12 月の 6 年間における両地点での年間降水量と TN 負荷量の変化を図 6 に示す . 神戸における年間降水量は 2001 年の 863 mm から 1998 年の 1558 mm と約 2 倍の幅で変動しており , TN 負荷量は  $6.49 \text{ kg ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$  から  $24.0 \text{ kg ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$  と約 4 倍の幅で変動していた . 生野における年間降水量は 2000 年の 1684 mm から 1998 年の 1946 mm と少し変動しており , TN 負荷量も  $7.74 \sim 14.1 \text{ kg ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$  と 2 倍弱の変動であった . 本文でも示したが , この 6 年間においても , 神戸における TN 負荷量は降水量の増減に相応して増減していることが認められ , 経時的な傾向は認められなかった .

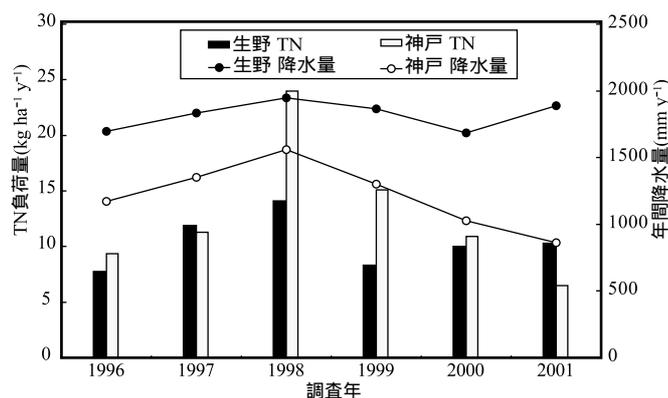


図 6 . 神戸および生野における年間降水量と TN 負荷量の経年変化 .

# ノンポイント汚染調査における自動採水システムの利用と課題

駒井幸雄<sup>1</sup>・梅本 諭<sup>1</sup>・井上隆信<sup>2</sup>

<sup>1</sup>兵庫県立健康環境科学研究所（〒654-0037 神戸市須磨区行平町3-1-27）

<sup>2</sup>岐阜大学工学部（〒501-1193 岐阜市柳戸1-1）

## Utilization and Problems with Automatic Sampling System to Investigate Diffuse Pollution

Yukio KOMAI<sup>1</sup>, Satoshi UMEMOTO<sup>1</sup> and Takanobu INOUE<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Hyogo Prefectural Institute of Public Health and Environmental Sciences, 3-1-27*

*Yukihiracho Suma, Kobe 654-0037, Japan*

<sup>2</sup>*Department of Civil Engineering, Gifu University, 1-1 Yanagido, Gifu 501-1193, Japan*

### 1. はじめに

面源からの汚濁物質流出負荷量の把握には、流量と流量変化に応じた調査が必要となる。かつては月1回、年12回程度の定期調査が多く見られたが、わずか12回のデータによって年間流出負荷量を見積もった場合当然その誤差は大きくなる。日本では平均4日に1回の降雨があることを考えれば、流出負荷量の見積りの精度をあげるためには年間を通してできるだけ頻度の多い調査が必要とされるため、最近では1週間に1回程度の調査がよく行われている。しかし、こうした多頻度の定期調査でも、流量と水質が大きく変化する降雨時については直接反映していないため、結果として年間流出負荷量は過小評価されることが指摘されている。このように年間流出負荷量の算出では定期調査に加えて降雨時調査は不可欠となるが、そのための労力は多大なものとなることから、河川調査における採水作業の軽減のために自動採水器を使用した調査が多く見られるようになった。

一般に、山林域は調査機関の所在地から離れた所にあるため、調査地点に到着したときには既に降雨が開始していたり、終了していることが少なからずあり、データの蓄積は容易ではない。調査現場までの所要時間に加えて、天気予報どおりに降水が始まるケースは少なく、降雨開始は夜中や明け方など日中以外の時間帯や休・祝日にかかる場合も多い。農地の場合は、上記の問題に加えて、

農作業と、それに伴う用水・排水の管理、および水質に対する施肥の影響があるため、降雨時と共に耕作期間を通じた水質調査への対応が求められる。しかし、常時採水できる体制が無理な現状では、降雨時採水のみならず定期調査の場合もきめの細かい調査を人手に頼って行うことは、林地における調査と同様に一般には難しい状況にある。したがって、面源調査では自動採水器をいかに有効に使うかが精度の高い負荷量を見積もれるかどうかのポイントともなってくる。

多くの場合、定期採水は人手によって行われ、降雨時調査については自動採水器が使用されている。黒田ら（1991）は、林地からの汚濁負荷量の測定のために自動採水器で6時間ごとに1日4回の採水をし、同時に1週間に1回人手による採水を1年間実施している。岡澤ら（2003）は、2台の自動採水器を使い、1台は1日1回の定期調査用とし、もう1台は降雨時用に雨量計と連動させ、1時間に1回の採水を行っている。また、井上ら（私信）は、自動採水器がもつプログラミング機能を利用し、サンプル瓶の領域を1日1回採水と降雨時採水部分の2つに分けて、定期採水と降雨時採水を1台の自動採水器で行っているように、自動採水器は様々な使われ方がされている。

定期調査で自動採水器を使用する場合、定時に1本ずつ採水させるが、降雨などの状況変化とは関係なく指定時間に採水することになるので、結

局は採水時間間隔の設定が考慮すべき点となる。一方、流量と水質が大きく変化する降雨時の調査ではいくつかの制限が出てくる。降雨時調査では、非定常な降雨状況の下で水位あるいは降水量変化を自動採水器の採水トリガーとし、採水開始後は1時間や30分間隔というように、あらかじめ設定された時間間隔で採水を続けることになる。一般に使用されている自動採水器の場合、普通は1Lのサンプル容器が24本セットされるタイプなので、仮に1時間間隔でサンプリングした場合は24回24時間が、30分間隔では12時間が限度となる。サンプル容器の数を増やす方法として、容量を500 mLにした自動採水器を連結する方法もある。その場合も、流量ピークを逃さないためにはサンプリング回数を増やさなければならず、そうするとサンプル瓶の制限によりサンプリング時間が短くなるため、サンプルの回収を機敏に行わなければならないなど、単にサンプル瓶を増やすだけでは対応に限界があることは否めない。

最近では、携帯電話を使って現地の情報（降水量、水位など）を確認し、採水トリガーを入れたり採水停止をさせることも可能となっているが、都市近郊であっても谷筋によっては携帯電話がつかないところも多いので万全ではない。このように、自動採水器を使った場合も、降雨による水位上昇前から降雨後の元の水位レベルに戻るまでのハイドログラフに沿った採水ができないケースが多くある。

そこで、我々は、降雨時調査において降水量と水位変化を組み合わせた採水プログラムによって自動採水器で採水させ、降雨の開始から終了までの間のハイドログラフに沿った自動採水を効率よく行う自動採水システムを開発した（Komai *et al.* 2002；駒井ら2002）。本稿では本システムの概要とその有効性、および農地調査への適用の課題について述べる。

## 2. 自動採水システムの構成

本システムの構成を図1に示す。本システムは、自動採水器（ISCO6700）、雨量計（大田計器No.34-T）、水位計（DRAG PDCR-940）、pH（CAMPBELL CSIM11（ガラス電極））ECおよび水温（CAMPBELL 247W-L25）、およびデータロガー（CAMPBELL CR10X）で構成した。電源はソーラーバッテリー（センサーおよびデータロガー用）と個別バッテリー（自動採水器用）を併用した。全てのデータは適時パーソナルコンピュータにより回収し、テキストファイルとして保存した。

自動採水プログラムは、データロガー（CAMPBELL CR10X）に付属するプログラム言語の命令の組み合わせにより作成した。本システムの特徴は、データロガー（CAMPBELL CR10X）により多くの信号の入出力の制御ができることである。後述するように、本システムの制御パラメーターとしては、水位、降水量、および時間を使っているが、現在測定しているpH、EC、水温、気温を使うことが

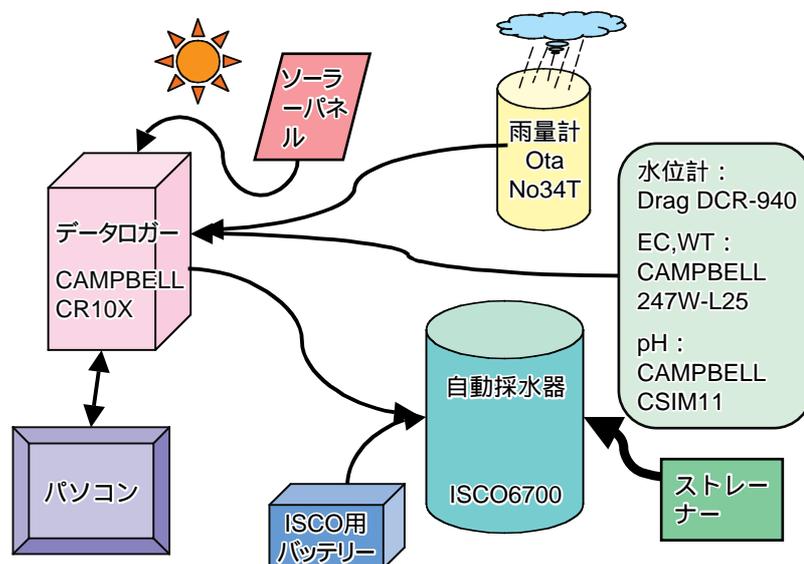


図1. 自動採水・測定システムの構成.

でき、この他にも必要なセンサーをセットさえすれば制御パラメータとできる。このことは、現場の多様な条件を目的によって制御パラメータの選択が自由にできるという利点があり、たとえば融雪期のサンプリングも融雪前の気温変化により制御できるなど応用範囲は広い。

採水プログラムの要点を以下に示す。ここで、アルファベットで示している採水開始の時間降水量、水位の変化量、採水スキップの水位変化量、最高水位確認の水位変化量、減少モードにおける採水のための水位変化量、プログラム終了の時間や水位変化量、また前回採水から次の採水までのチャタリング時間など、各パラメータの値は、現地でパーソナルコンピューターに接続しその画面上で操作することができる。

- a) 採水は、時間A mm以上の降水で開始し、水位上昇期には毎時間採水する(上昇モード)。上昇モードにあっても一定以上の水位上昇がない場合には定時採水をスキップする。なお、水位の判断は瞬間値ではなくT1分間平均値とする。
- b) 最高水位近傍の採水は、各B分間毎の平均水位がそれ以前の水位からHi cm以上減少した時点で行い、その後上昇モードから減少モードに移行する。
- c) 減少モードにおいては、水位がそれぞれHd cm減少する毎に採水する。途中で降水があり水位がHc cm以上上昇した場合は上昇モードに変更する。
- d) 採水の終了の判断は、初期水位からHs1 cm以内に水位が減少した時、あるいは最大水位記録後T時間経過でHs2 cm以上の上昇が無い時とする。

各パラメーターの最適条件は、実際の降雨における採水結果を元に調整して決めた。たとえば、降雨による水位が上昇する前のサンプルを採水するため、採水開始の条件として当初は時間降水量5 mm以上としたが、結局時間降水量3 mm以上に変更した。また、各フィールドでの採水に適用する場合、当然のことではあるがそれぞれの流出特性に応じたパラメーターの変更は必要である。最初に設置した兵庫県中央部の生野地域では、水位上昇期の水位変化パラメーターを3 cmに設定した

が、都市近郊の六甲山地域では2 cmとしている。現場における数回の降雨時の降水量と水位変化のデータが得られれば、最適条件はシミュレーションにより決定することはできるが、場所が少し異なれば流出条件も異なってくるので、最終的な決定はやはり調査地点における降水量と水位変化データに基づかなければならない。

### 3. 測定データの画面出力と記録データ

現場におけるモニター画面では、リアルタイムの測定値の他、設定された制御パラメーターや最大水位、現在のモード、プログラムのバージョンなどが表示される。また、水位、pH、およびECの校正用パラメーターもここで入力し修正することができる。データは10分ごとのデータ(100)、時間降水量(200)、採水開始(301)、採水(300)、採水停止(302)、採水のスキップ(309)などのジョブとして3桁の番号で識別されている。それぞれのジョブごとに、各パラメーターについての瞬間値または10分間平均値が記録されており、自動測定器の動作をトレースできるようにしている。

### 4. 結果

本システムを兵庫県中央部に位置する生野町東部にある山林集水域の溪流河川末端に設置した。ここは、集水域面積5,300 haで地質は生野層群に属する流紋岩質溶結凝灰岩である。スギ・ヒノキの人工林と落葉広葉樹からなる山林集水域で、産業としては林業のみ行われている。域内に居住者はいない。年降水量は1,869 mm(2001~2002年)であった。河床が岩盤のところの淵になっている場所を選定したが、量水堰は設けていない。調査地点には別に水位板を設置し、自動水位計の測定精度について水位板との関係で検討したところ、6ヶ月間で1 cm程度の誤差の範囲であった。流量の大きな増加後に2 cmの差が出たことがあり、これは河床の状態の変化に伴うと考えられ、2 cm以上の差がある場合にはパラメーターの修正を行った。

自動採水例を、図2および図3に示す。図2の例は降水量が40 mmの場合であり、一旦降雨が途中で停止後すぐに再び降っているため、連続する2つのピークが見られる。最初の3 mm以上の降雨で採水された後、ハイドログラフの変化に沿って

採水が行われ、ピーク付近の採水の後減少モードとなって採水がされている。図3の場合は、大きく100mmと約23mmの二つの降雨があり、ハイドログラフのピークは3つ認められる。最初の降雨後に水位が減少する途中で次の降雨が始まった時、減少モードから上昇モードに切り替わり、次のハイドログラフの変化にも対応してサンプリングしていることがわかる。

同じシステムを都市近郊林として大阪湾に面する阪神工業地帯の後背地に接する東六甲山系の住吉川上流域に移設した(駒井ら 2004)。集水域面積は37.5 haで地質は花崗岩であり、主にアカマツやスギの針葉樹と落葉広葉樹の混合林からなる山林集水域である。2002年の年降水量は2,578 mmであり、これは平年値に比べて多い降水量であった。自動採水例を図4に示す。図からわかるように、生野地域と同じくほぼ降雨の開始から終了までの間のハイドログラフに沿って採水されていた。このように集水域の背景や大きさ等が異なる山林集水域においても、本システムにより降雨時における

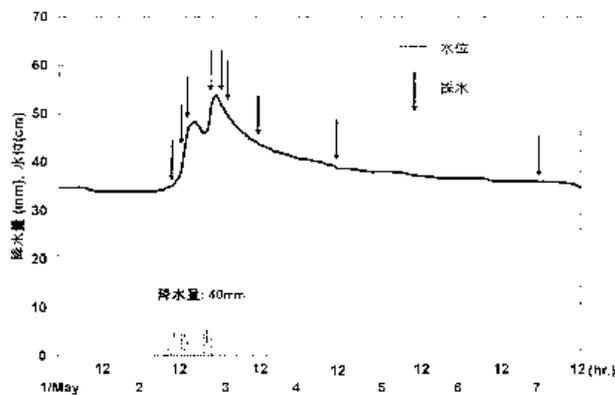


図2 . 自動採水システムによる採水例(生野1)

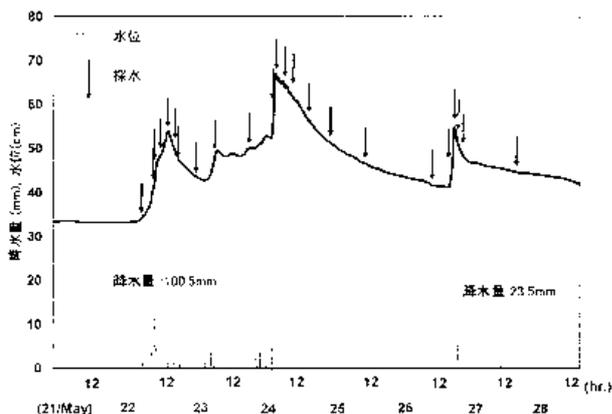


図3 . 自動採水システムによる採水例(生野2)

採水は、ほぼ期待されたようにハイドログラフに沿った採水が可能となった。

次に採水された水質について、六甲山の結果の一例を図5に示す。pHおよびECは水位の上昇と逆の変化パターンを示している。また、アニオンのうち $\text{Cl}^-$ と $\text{SO}_4^{2-}$ 、およびカチオンについては $\text{K}^+$ 以外の主要無機イオンの濃度は流量増加と共に減少し、降雨終了後は元の濃度レベルまで戻るパターンが示されている。一方、 $\text{NO}_3^-$ 濃度は、水位上昇とともに他の主要無機イオンと同様に減少したが、その後は元の濃度レベル以上に増加し徐々に戻るパターンを示した。これは、生野における降雨時の $\text{NO}_3^-$ 濃度の変動パターンとは異なった挙動であった。平田・村岡(1988)は、筑波山の溪流河川において降雨時における主要無機イオン濃度変化をいくつかのパターンに分け、逡減時に濃度が降雨前のベース値を上回るTypeの代表的な物質として $\text{NO}_3^-$ をあげている。六甲山における $\text{NO}_3^-$ 流出パターンは、筑波山と同じ傾向にあることが示されたが、生野の場合は、 $\text{NO}_3^-$ は流量の増加とともに濃度が流量ピーク時にも低下せず、上昇するパターンを示していた(Komai *et al.* 2002)。流量ピーク時の $\text{NO}_3^-$ 濃度の変化の違いはあるものの、いずれの場合も降雨前に比べて $\text{NO}_3^-$ 濃度が増加するという共通の傾向を示した。また、 $\text{K}^+$ は、流量増加とともに濃度が上昇するパターンを示していた。このように対象地域によって流出パターンに差は見られたが、それぞれ降雨流出時の水質変化パターンを捉えることができた。生野地域では、本システムの使用以前に人手による降雨時調査も行っている。そのときの物質の流出パターンは自動採水器により採水した時と同じ傾向を示し、両

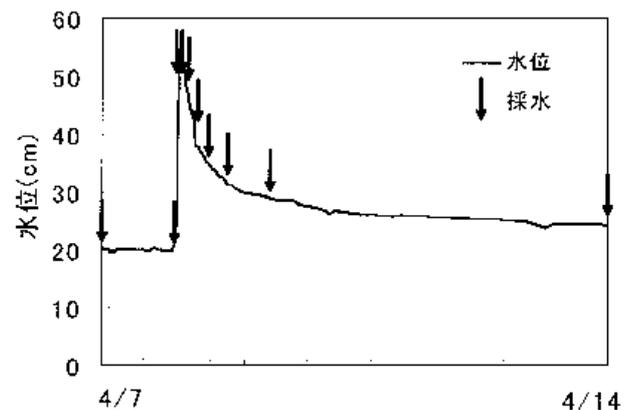


図4 . 自動採水システムによる採水例(六甲山)

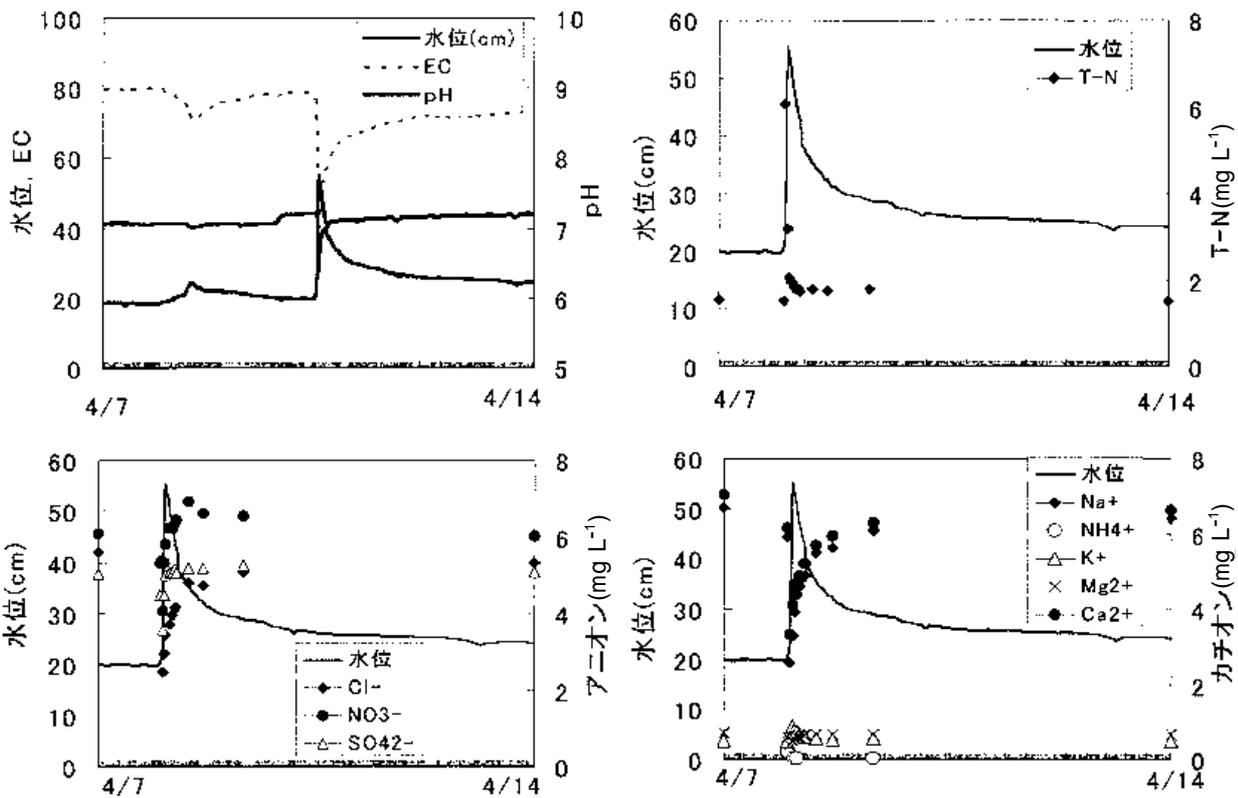


図5．自動採水システムによる降雨時水質の変化(六甲山)

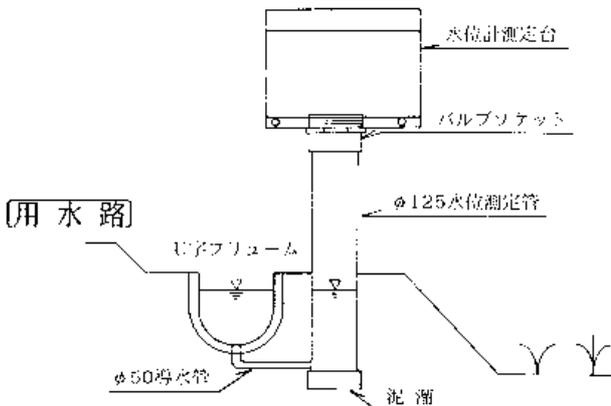


図6．農地調査における水位計の設置例。

者の結果には大きな違いは認められず、水質の点からも降雨時調査の採水方法として本システムの有効性を確認することができた。

自動採水器を使用する場合、冬季にチューブや採水器内のノズルの凍結により採水が不可能となる問題がある。実際、北海道の場合には、冬季のサンプリングはできていない(岡澤ら 2003)。生野の場合は、凍結により降雨時のサンプリングができなかったのは2回であり、六甲山では気象条件によってそのトラブルは生ぜず、両地域のように北海道などと比べれば降雪日数ははるかに少なく降雪量も多くないことから、全体としては大き

な問題とはならなかった。しかし、こうした積雪や凍結への対策は今後の課題の一つといえる。

### 5．農地における降雨時調査における課題

次に、このシステムを農耕地調査に適用する場合の課題について考えて見る。

水田を対象とした農耕地調査のうち、農耕地河川調査は一般の河川水質調査と同じであるが、区画水田調査あるいは広域水田調査の場合は、用・排水路における調査が中心となる(國松・村岡 1991)。用・排水路の絶対的な水位変動は河川に比べて小さいが、降雨時に加えて農作業に伴う水管理により、水位の変化はゼロから水路の深さまで短時間に極端に変動する。また、正確な流量測定のための三角堰あるいは四角堰の設置も難しいので、一定の工夫が必要である。滋賀県農業試験場(1999)は、図6に示すように用水路の底面にU字管をとりつけてその水位を測定しているが、通常は簡単ではない。水位測定については圧力式水位センサーの使用が一般的になってきているが、底面からセンサー高さまでの最低数 cm の水位の確保が必要である。測定精度はフルスケールの  $\pm 0.1 \sim 0.3\%$  であり、mm 単位の変動は数字上の変化と

して読み取れるが、誤差の範囲といえる。加えて表面水位の乱れへの対応や温度変化の補正のチェックが必要となる。採取したサンプルの保管は、冷蔵庫付の自動採水器以外では常温で野外に置かれることから、速やかな回収が求められる。

このように、農耕地調査での流量測定の問題は多いが、上記自動採水システムとの組み合わせにより、より正確な負荷量の把握が可能になると思われる。

## 6. まとめ

降雨時調査において降水量と水位変化を組み合わせた採水プログラムによって自動採水器で採水させ、降雨の開始から終了までの間のハイドログラフに沿った自動採水を効率よく行う自動採水システムの概要とその有効性、および農地調査への適用の問題について検討したところ、(1) 背景の異なる二つの山林集水域の渓流河川において自動採水システムを設置し、降雨条件の違うケースの下でのサンプリング結果はいずれもハイドログラフに沿った採水ができていること、(2) 自動採水システムで採水されたサンプルは、人手による調査結果のパターンと一致したことから、本システムが降雨時の自動採水にとって有効であることが確認された。(3) 本システムを農地調査に適用する上での問題は多いが自動採水システムとの組み合わせにより、より正確な負荷量の把握が可能になると思われた。

## 引用文献

平田健正・村岡浩爾(1988): 森林域における物質循環特性の渓流水質に及ぼす影響. 土木学会論文集, 399: 131-140.

Komai Y., S. Umemoto and T. Inoue (2002): Application of Automatic Sampling and Measurement System to Mountainous Stream Investigation during Rain Events. Water Science and Technology, 44: 213-218.

駒井幸雄・梅本 諭・井上隆信・今井章雄(2002): 自動測定・採水システムによる渓流河川の降雨時流出調査. 環境システム計測制御学会誌, 7: 241-244.

駒井幸雄・梅本 諭・井上隆信・今井章雄(2004): 都市近郊山林集水域からの窒素の流出について.

第38回日本水環境学会年会講演要旨集.

國松孝男・村岡浩爾(1991): 河川汚濁のモデル解析. 266. 技報堂出版, 東京.

黒田久雄・田淵俊雄・菊地英樹・鈴木正道(1991): 森林小集水域における流出水の濃度と流出負荷. 農業土木学会論文集, 154: 25-35.

岡澤 宏・井上 京・山本忠男・長澤徹明・鶴木啓二(2003): 北海道東部の畑作地帯における降雨流出時の河川水質特性. 農業土木学会論文集, 227: 22-40.

滋賀県農業試験場(1999): 水稻作付期における中粗粒グライ土水田からの栄養塩類発生負荷削減実証, 平成11年度研究成果資料.

## 質疑

(質問)自動採水については、北大でも同様のことを行っているが、それとの比較してどうなのか?

(返答) ISCO 内蔵のプログラムを使った自動採水の例は多くあり、採水のトリガーとして降水量あるいは水位変化が使われているようです。採水開始後は一定時間間隔での採水となり、結局24本～増設分までの本数を取らせることとなります。ご指摘の北大院農学研究科Gの研究は、「岡澤ら(2001)北海道南西部の農林地流域における降雨時の河川水質環境, 農業土木学会論文集, 211: 35-42.」として論文発表されていますが、ISCO6700内蔵プログラムを使い“降水量をトリガーにして、以後6時間までは30分間隔、その後の12時間は1時間間隔、計24本”という方式となっています。我々の自動採水の特徴は、データロガーであるCR10Xでプログラミングし、サンプルの保管の問題はありますが、数回の降雨においても採水ができるようにハイドログラフに沿ったできるだけ効率の良いサンプリングをめざしたものです。一降水以上についてそれぞれハイドログラフに沿って採水できる点で我々の方式は有利かと思われます。

(質問)すでに水収支データのある所で、シミュレーションのみでプログラム評価が可能と思われるか?

(返答)現場での最適条件を決める場合、ご指摘の

ように既に降水量と水位のデータがあればシミュレーションは可能です。問題は、降水量と水位変動はそれぞれの地点特有の条件を持っていることであり、同じ集水域内であっても地点が異なればハイドログラフは異なってしまうため、参考にはなっても結局は調査地点のデータが必要となります。

(質問) 会所マス 22 による量水堰の詳細を知りたい。

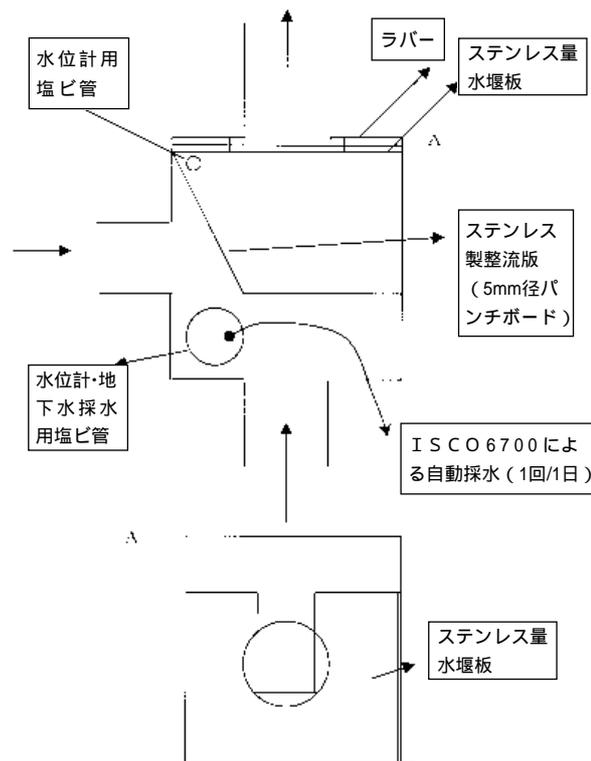
(返答) 「会所マス 22」とありますが、ブドウ畑の排水路に設置した会所マスのことと思われるので、その概略図を示します。國松先生の講演要旨にその概要を記述していますので、参考にしてください。

(質問) サンプルの保管に問題がある。SSは保管しておくとは増加する。

(返答) SSの増加のみならず、特に夏季の気温が高くなる場合は、水質の変質の可能性(特に窒素関係)があり、ご指摘のとおり保管方法は大きな問題です。冷蔵庫付の自動採水器もありますが高価でもあり、何よりも電源がないところでは使えません。結局、現状では機器は日陰に置き、できるだけ早いうちに回収する、という対応にならざるを得ません。なお、1週間程度放置した場合の水質変化については、今後検討したいと思います。

(質問) 費用としては、現段階でどの程度かかるのでしょうか。

(返答) 今回示したシステム一式で、約250万円です。



図・会所マス( # 32 ).

# ため池の透視度と水環境の関係について

土山ふみ

名古屋市環境科学研究所 (〒 457-0841 名古屋市南区豊田 5-16-8)

## Relationship of Transparency and Aquatic Environment in Irrigation Ponds

Fumi TSUCHIYAMA

*Nagoya City Environmental Science Research Institute, 5-16-8 Toyoda, Minami-ku, Nagoya 457-0841, Japan*

### 1. はじめに

今、多くのため池が、灌漑用としての役割だけでなく、生き物の生息場としての役割や身近に触れあう水辺としての役割が注目されている。そうした役割を果たしてゆくためには、地域住民と共に、ため池を取りまく自然環境の保全と水質の保全にとり組んでゆくことが必要である。地域住民による水質のモニタリングを実現してゆくためには、富栄養化を示す簡易な測定法が必要である。

湖沼や内湾などの閉鎖水域で水域の富栄養化を知るための簡便な指標としては、濁りの指標である「透明度」が用いられており、浮遊物質(SS)だけでなく、クロロフィル  $a$  (Chl.  $a$ ), 全リン(TP), 全窒素(TN), COD などと高い相関関係のあることが知られている。

一方、ため池の場合、「にごり」の指標として「透視度」が測られることが多いが、季節的な変動やSS・富栄養化を示す他の水質項目との関連のデータは数少ない(土山ら 1982, 1998; 糟谷 2001)。そこで、ここでは、名古屋の39池の2000～2002年の3年間の春夏秋冬の調査結果から「透視度」と他の水質項目(SS, Chl.  $a$ , TP, COD等)との関係を調べ、透視度の富栄養化指標としての有効

性を検討した。また、透視度と水生植物との関連について、名古屋のため池の調査事例から紹介する。

### 2. ため池の透視度と各水質項目の関連について

ため池は浅く小さな水域であるが、湖沼と同様の閉鎖水域であるため、その水質は藻類の増減に伴って季節変動をする。そこで、季節別に透視度と水質との関係を調べ、両者の関係を図1に、相関係数を表1に表した。

透視度と浮遊物質(SS)との相関関係は、どの季節も極めて高く、自然対数に変換した $\text{Ln}(\text{透視度})$ と $\text{Ln}(\text{SS})$ は、ほぼ直線的な負の相関があり、どの季節でも $r = -0.92$ 以上の高い相関があった。

一方、透視度と富栄養化を示す水質項目との関係は、どうであろうか。両者の相関関係は季節により異なり、藻類の繁茂する夏季に最も高い相関が得られた。また、富栄養項目の中ではChl.  $a$ との相関が最も高く、夏季のその相関係数は、Chl.  $a$ が $r = -0.84$ で、TP, TN, CODのいずれもが $r = -0.75$ 以上の値を示した。夏季のため池の「透視度」とChl.  $a$ の相関係数 $r = -0.84$ は、日本の調和型湖沼の調査結果から得られた「透明度」とChl.  $a$ と

表1. 透視度と各水質項目との相関係数(季節別)

	$\text{Ln}(\text{透視度})$ $\text{Ln}(\text{SS})$	$\text{Ln}(\text{透視度})$ $\text{Ln}(\text{Chl.}a)$	$\text{Ln}(\text{透視度})$ $\text{Ln}(\text{COD})$	$\text{Ln}(\text{透視度})$ $\text{Ln}(\text{TP})$	$\text{Ln}(\text{透視度})$ $\text{Ln}(\text{TN})$
春	-0.95	-0.75	-0.66	-0.74	-0.61
夏	-0.94	-0.84	-0.78	-0.79	-0.84
秋	-0.93	-0.69	-0.51	-0.73	-0.47
冬	-0.92	-0.58	-0.50	-0.67	-0.46
全データ	-0.93	-0.72	-0.62	-0.74	-0.60

の相関係数  $r = -0.96$  (相崎ら 1981) と比べると低い値である。この原因は、湖沼における浮遊物質のほとんどが藻類であるのに対し、ため池の場合、水深が浅いため、藻類以外の土砂などの懸濁物質に由来するものがかなり含まれるためである。

このように、ため池の透視度は、湖沼の透明度と比べると、富栄養項目との相関関係は低いが、藻類の繁茂する時の簡易な富栄養化の指標としては、十分有効といえよう。藻類の最も繁茂する夏季の透視度と各水質項目との関係式を求めると以下のようなものである。

$$\ln(SS) = 6.99 - 1.27\ln(\text{透視度}) \quad r = -0.94$$

$$\ln(\text{Chl.}a) = 9.23 - 1.67\ln(\text{透視度}) \quad r = -0.84$$

$$\ln(\text{TP}) = 1.41 - 1.20\ln(\text{透視度}) \quad r = -0.79$$

$$\ln(\text{COD}) = 5.04 - 0.77\ln(\text{透視度}) \quad r = -0.78$$

$$\ln(\text{TN}) = 3.32 - 0.90\ln(\text{透視度}) \quad r = -0.84$$

この回帰式から求めた水質 (SS, Chl. a, TP, TN, COD) の値を表 2 に示した。この表の値を使って、透視度から水質の値を、即、推測することには問題があるが、水質項目間の相互の関係を知る資料にはなるであろう。図 2 に夏季の透視度と水質の関係を示した。この図を参照して、透視度からおおよその水質を推測することができる。たとえば、透視度が 30 以上であれば、SS20 mg L<sup>-1</sup> 以下、Chl. a

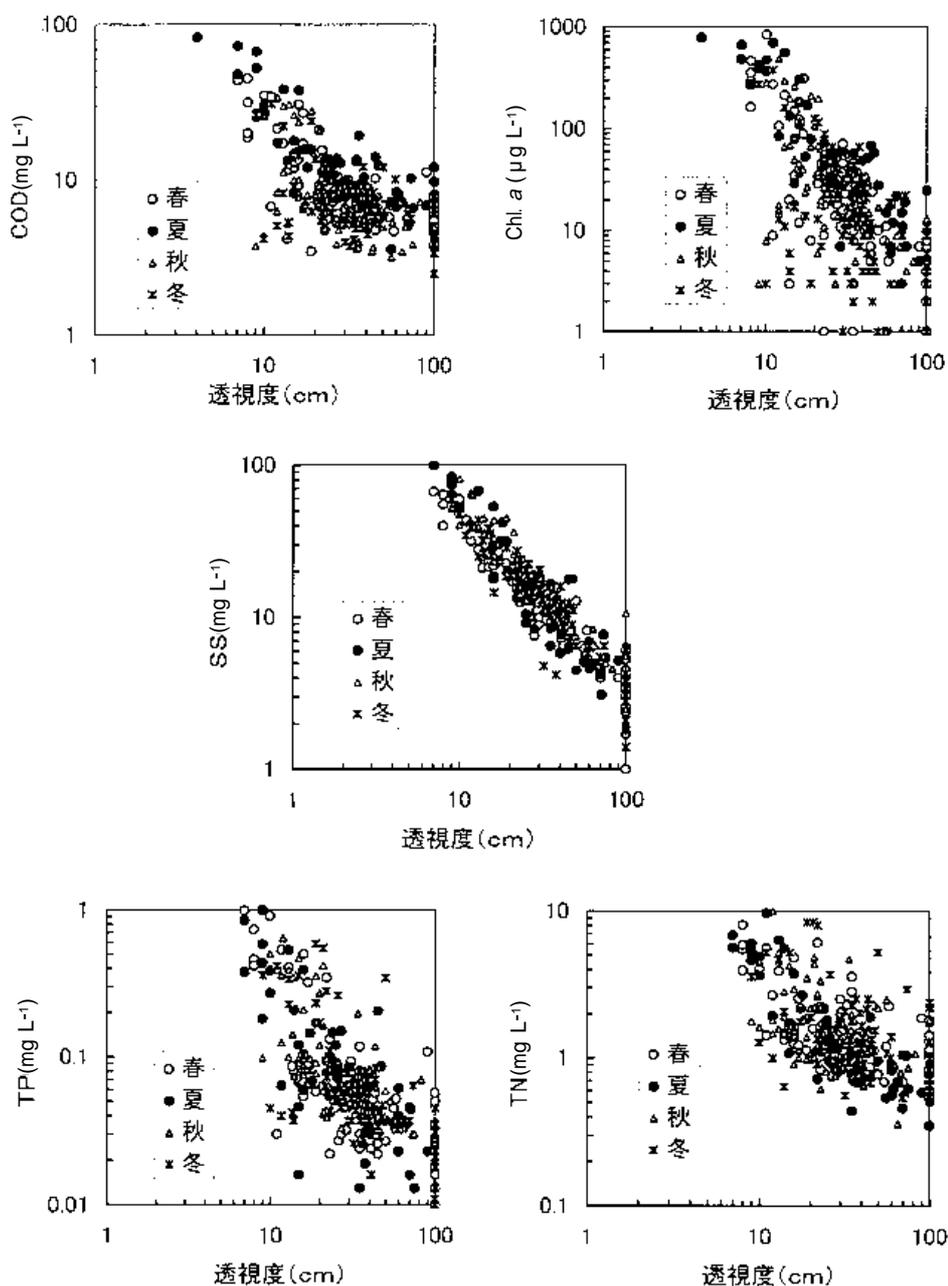


図 1 . ため池の透視度と水質の関係(季節別)

は  $50 \mu\text{g L}^{-1}$  以下, COD  $15 \text{ mg L}^{-1}$  以下, TP  $0.1 \text{ mg L}^{-1}$  以下, TN  $2 \text{ mg L}^{-1}$  以下, また, 透視度が 20 以上であれば, SS  $30 \text{ mg L}^{-1}$  以下, Chl. *a* は  $100 \mu\text{g L}^{-1}$  以下, COD  $20 \text{ mg L}^{-1}$  以下, TP  $0.15 \text{ mg L}^{-1}$  以下, TN

$3 \text{ mg L}^{-1}$  以下とおおよそ推測することができる。

### 3. 沈水植物の繁茂と透視度との関連について

湖沼等における水生植物群落は, 栄養塩の取り込みや池水が水草帯を通過したときの汚濁物質の沈殿・吸着・分解などの働きにより, 水質浄化に寄与するといわれているが, 実際の水域における報告事例は多くない。

ここでは, 名古屋市東部丘陵地にあり, 今も昔ながらの池の形態を留め, 周囲の自然環境にも恵まれた塚の杵池(池面積  $32,113 \text{ m}^2$ , 池容積  $54,000 \text{ m}^3$ , 流域面積  $9.14 \text{ ha}$ , 水深  $1.7 \text{ m}$ ) における水質調

表 2 . 回帰式から求めた水質(夏季)。

透視度 (cm)	水質推測値				
	SS ( $\text{mg L}^{-1}$ )	Chl. <i>a</i> ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	COD ( $\text{mg L}^{-1}$ )	TP ( $\text{mg L}^{-1}$ )	TN ( $\text{mg L}^{-1}$ )
10	58	218	26.2	0.258	3.48
20	24	69	15.4	0.112	1.87
30	14	35	11.3	0.069	1.30
50	8	15	7.6	0.037	0.82
100	3	5	4.5	0.016	0.44

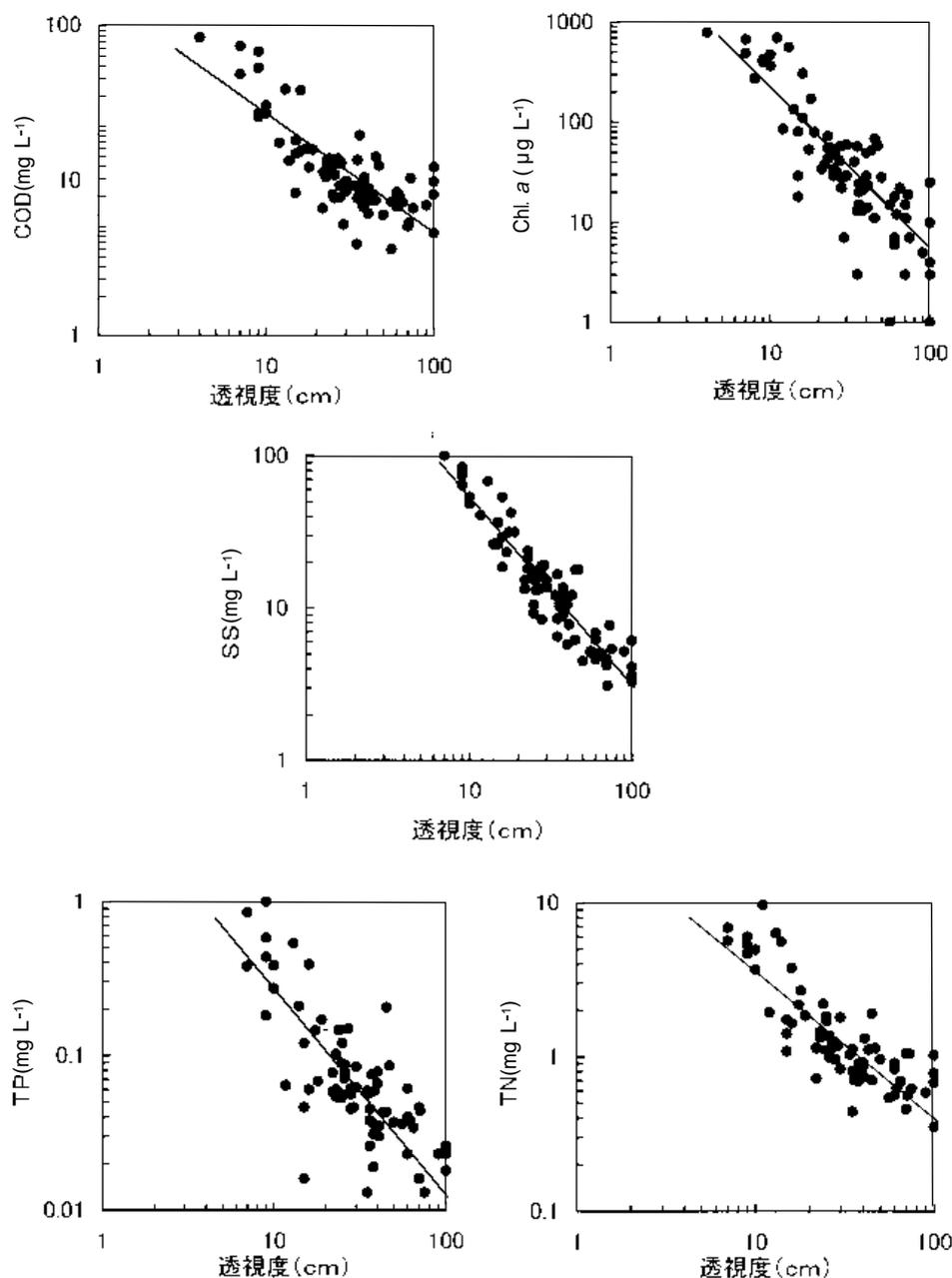
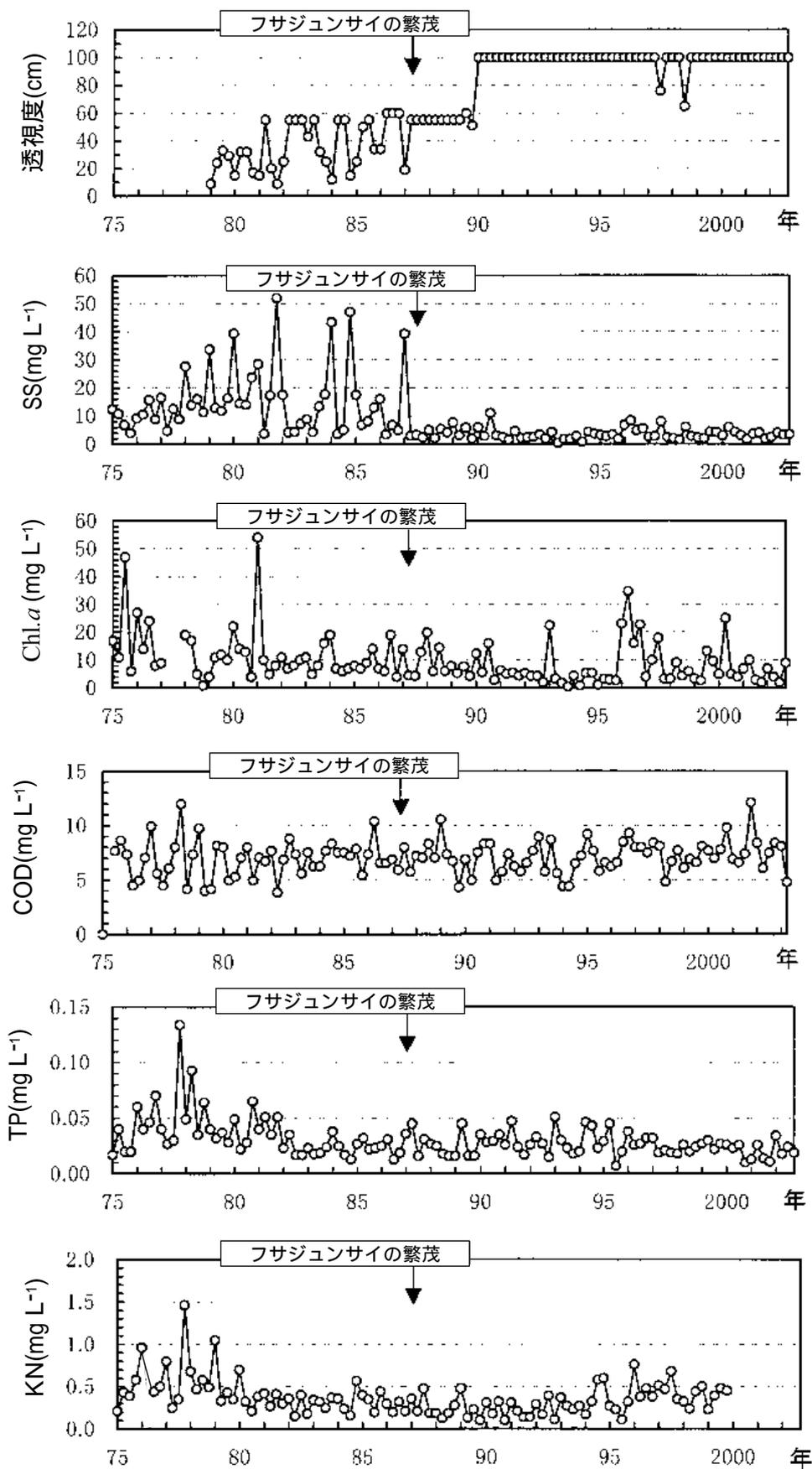


図 2 . 夏季のため池の透視度と水質の関係。



(注1 . 1980-1990年までの透視度60cm値は、透視度50 < を示す。1990年以降の100cmは、透視度100 < を示す)

図3 . 塚の杵池における水質の変遷(1975~2002年)

査(名古屋市土木局河川計画課 2000)と水草の調査から、沈水植物の繁茂が水質に及ぼす影響について考えてみたい。

この池の水質調査は1975年の春から2003年の現在に至るまで春夏秋冬の年4回、継続して行ってきた(図3)。水草の調査は、1982～1992年の浜島(1994)の詳しい調査に主として拠っている。

塚の杵池は、雨水と湧水のみで涵養されている池である。調査を始めた1975～1980年の水質は、COD<sub>3.5</sub> 5～12 mg L<sup>-1</sup>(平均値6.8 mg L<sup>-1</sup>)、SS<sub>4</sub> 30～39 mg L<sup>-1</sup>(平均値15 mg L<sup>-1</sup>)、TP 0.017～0.134 mg L<sup>-1</sup>(平均値0.045 mg L<sup>-1</sup>)、1～47 μg L<sup>-1</sup>(平均値14 μg L<sup>-1</sup>)、透視度9～50 cm(平均値21 cm)の範囲にあり、水質は比較的良好であるが、細かいシルト質で濁った池であった。しかし、1980年代の後半頃から、浮遊物質量が激減し、年間を通して透明度の高い水質となった。この水質の変化は、沈水植物のフサジュンサイの繁茂と時を同じくしている。浜島(1994)の1982～1992年の11年間の塚の杵池の水草の調査によると、1984年に、帰化水草のフサジュンサイが突如出現し、その翌年には3×4 m<sup>3</sup>の団塊の群落が8カ所になり、1986年に池の70%を占有し、1987年には池の90%を占有するようになった。その後、多少の減少はあるものの1993年の時点で80%を占有していた。このフサジュンサイの繁茂に関連して、1987年以降、浮遊物質の顕著な減少とケルダール窒素、クロロフィル濃度の減少が観察された。

その後1990年代の半ばまで、透明度の高い安定した水質が続いたが、1990年代の後半に入り、季節によっては、かなり高いクロロフィル濃度(35 μg L<sup>-1</sup>)が観察されるようになった。2003年の現在もフサジュンサイは、池のかなりの面積を専有した状態が続いている。このような在来種の種を排除し、爆発的に増えてゆく帰化植物が主になったことによる水質への影響は、今後更に継続観察してゆきたい。

#### 引用文献

相崎守弘・大槻 晃・福島武彦・河合崇欣・細見 正明・村上浩爾(1981): 国立公害研究所研究報告, 23: 13-31.  
浜島繁隆(1994): 塚の杵池(名古屋市)の水草相

11年の動態. 水草研究会報, 54: 19-22.

糟谷真宏(2001): 「ため池の自然」(浜島繁隆, 土山ふみ, 近藤繁生, 益田芳樹編著). 信山社サイテック, 東京.

名古屋市土木局河川計画課(2000): 市内河川・ため池等の水質の変遷. 名古屋市環境科学研究所, 名古屋.

土山ふみ・安藤 良・成瀬洋児・榊原 靖(1982): 名古屋市内池沼への富栄養化状態指標の適用について. 名古屋市公害研究所報, 12: 71-81.

土山ふみ・安藤 良・成瀬洋児・榊原 靖(1998): 都市のため池の水環境 - 名古屋市のため池水質の現状と簡易指標の適用について. 第32回日本水環境学会年会講演集, 382.

#### 質疑

(質問)透視度と水質の関係は、池によって相当異なるのではないのでしょうか? 多くの池のデータにより、池の分類を行って、適合度の改善ができないか。

(返答)透視度と水質の関係は、2つの要因(濁りの指標であるSSと富栄養化の指標に関連する水質項目)に分けて考える必要がある。まず、透視度とSSとの相関関係は、濁りの成分が単一であるか混合物であるか、また主成分が藻類かシルトかなどにより、違いが生ずると思われるが、どちらも濁りの指標であるから、大きな係数の差はでないに違いない。一方、透視度と富栄養項目との相関関係は、濁りの主成分が何であるかにより、大きな影響を受ける。濁りの主成分が藻類であれば両者の相関は高くなるが、藻類以外の土砂・シルトなどの量が多ければ、その相関は低くなる。したがって、池をそうした特性毎に分類して、個々の池毎についての相関関係を求めれば、透視度と他の富栄養項目との相関は高くなり、透視度の富栄養化指標としての有効性(適合性)も高まるものと思われる。

(質問)フサジュンサイが繁茂するとSSが激減する理由は何でしょうか。底泥に根をはり固めてしまうのでしょうか。それとも透視度が高まったのでフサジュンサイが増えたのでしょうか。

(返答)塚の杵池のフサジュンサイの繁茂とその生

活環については、浜島（1994）の詳しい報告がある。そこでは、フサジュンサイが、1984年に池に人為的な投入により突如出現し、わずか2年あまりの間に池の70%を占有し、その後、多少の増減はありながらも、今も池のかなりの部分を占有しているのは、その繁殖様式と生育様式にあると考察している。フサジュンサイは、茎が「切れ藻」状になって、池底に沈むと容易に発根、定着でき、池底に厚さ20～30cmマット状に広がるため、他の水草の入る余地がなくなり、その生育域を占拠すると報告している。

塚の杵池で、SSの値が年間を通して低くなったのは、フサジュンサイが池面積の70%あまりを占めるようになった1987年頃からである。したがって、池底がフサジュンサイの厚く密生したマット状の茎で覆われたことにより、泥の舞い上がりが抑えられ、水中のSS量が激減したものと思われる。

（質問）名古屋市のため池の水質については、詳細なデータが蓄積されているようですが、それらはデータベースとして公表されるのでしょうか？また、測定されている水質項目を教えてください。若山さんの講演要旨に関係して、ため池の水質環境目標値はBODとなっているようですが、研究者としての立場で、他の数値を指標

にするように提言はできなかったのでしょうか？

（返答）名古屋市のため池の水質については、およそ5年に一度発行している「市内河川・ため池等の水質の変遷」（名古屋市土木局河川部計画課・名古屋市環境科学研究所編、最新版は、2000.3）で冊子にして公表している。しかし、現在は、まだ生データを利用できるようなシステムにはなっていない。

測定水質項目は、水温、pH、透視度、溶存酸素、COD、BOD、浮遊物質（SS）、ケルダール窒素（KN）、全リン（TP）、塩素イオン（Cl）、クロロフィル $a$ の11項目である。

閉鎖水域であるため池の有機汚染の指標としては、BODよりもCODの方が望ましいことは論じるまでもない。ただ、法的な観点からいうと、名古屋市のため池の水質を法的に規制するものが何もないため、流入先の河川にかかる水質の環境基準値（BOD）を当面のため池の目標値として当てはめた経過がある。しかし、平成16年から施行されることになる名古屋市の総合排水の計画や、現在その改訂に向けての作業を行っている名古屋市環境保全条例では、CODと全リンを指標とした、ため池の水質目標値の導入を検討している。

# 群としてのため池システム - 入鹿池と犬山ため池群 -

大沼淳一

愛知県環境調査センター (〒462-0032 名古屋市北区字流7-6)

## Lake Iruka and It's Satellite Ponds at Inuyama

Junichi OHNUMA

*Aichi Environmental Research Center, 7-6 Aza Nagare, Kita-ku, Nagoya 462-0032, Japan*

### 1. はじめに

北九州から瀬戸内地方を経て近畿，東海へと続くため池ベルトは，木曾川の中流域にあたる可見市や犬山市付近から南下し，名古屋市を含む尾張平野を貫いて知多半島に達している。その数は愛知県内だけでも数千カ所に達するものと思われるが，愛知用水（木曾川水源）や明治用水（矢作川水源）の開通によって灌漑目的を失い，高度経済成長にともなう都市化，埋め立てなどの圧力，管理の手が届かなくなることによる崩壊，さらには減反などの社会的諸要因によって次々と姿を消しつつある。

ため池の存在価値は灌漑目的に限られるわけではない。遊水池としての防災機能，生物多様性のホットスポット，水生植物のシードバンクなどとしての価値，歴史的文化遺産としての価値，環境教育の貴重なフィールドとしての役割，水辺のアメニティ空間としての役割など，ため池の今日的な意義はむしろ増大している。名古屋市や春日井市などでのため池保全条例の施行，大阪府によるため池整備基本構想（1991）の策定などはそうした新しい価値認識を反映したものと考えられる。しかし，ため池の消失速度にブレーキをかける力は未だ不十分であり，これらの価値認識の啓蒙，強化，さらには新しいコンセプトに基づく価値付けが求められている。

ため池ベルトの北東端にあたる犬山市のため池台帳には，日本有数の入鹿池をはじめとして，153カ所のため池が記載されている。この犬山ため池群について水質や周辺環境の調査を行いつつある

が（大沼 1999，2003；大沼・坂井田 2002），調査はまだ緒についたばかりである。得られた結果はまだ不十分であるが，ため池群およびそれらを囲む周辺環境を相互に関連を持ったネットワークシステムとしてとらえながら考察を試みたい。

### 2. 犬山98ため池群の現況

153カ所のため池のうち108カ所について調査を行ったが，9カ所はすでに崩壊や埋め立てによって消失し，1カ所は工事中であった。水を探取することが出来た98カ所のうち，87カ所は尾張地方で典型的なコナラーアベマキアカマツ林を主とする里山帯に分布していた。そのうち62カ所はコンクリートや石垣の護岸がほとんどなく，水際線が生物にとって良好な状態であった。さらにそのうち48カ所は，周囲の大部分が林で囲まれていた。池の規模は，168haと大型の入鹿池を除けば，ほとんど（93カ所）が2ha未満の小規模なものであった。これらのため池を里山型（非汚染）71池，里山型（農耕地など，なんらかの人為汚染源あり）16池，平地型11池に分類して，その平均水質を表1に示した。里山型（非汚染）はpHが6.4と低く，電気伝導度も約30  $\mu\text{S cm}^{-1}$ と極めて低く，DOCやDTNも低い。

### 3. 入鹿池とそのサテライトため池群

犬山ため池群に属する池は，各々が独立して存在するケースはむしろ稀であり，水路や河川，水田などを経由してつながっている。そのうち入鹿池につながっているサテライトため池は，59池を

表 1 . 犬山98ため池のタイプ別平均水質.

ため池分類	pH	EC( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )	DOC	DTN	C/N	NH <sub>4</sub> -N	Na	K	Na/K
里山( 非汚染 )型	6.4	29.46	0.93	0.263	4.48	0.082	1.84	0.93	2.36
平地型	7.2	66.71	1.43	0.689	3.02	0.122	3.39	1.85	1.90
里山( 汚染 )型	7.3	89.19	2.05	0.755	4.10	0.076	4.43	2.44	2.18

ため池分類	Mg	Ca	Ca/Mg	NO <sub>3</sub> -N	PO <sub>4</sub> -P	Cl	F	Br	SO <sub>4</sub>
里山( 非汚染 )型	0.75	2.03	2.48	0.173	0.011	4.16	0.01	0.03	3.12
平地型	1.17	7.07	6.73	0.552	0.007	6.40	0.05	0.05	9.24
里山( 汚染 )型	1.90	8.96	4.64	0.604	0.004	8.99	0.03	0.04	13.05

単位 : mg L<sup>-1</sup> ( 但し元素比, pH, ECを除いて )

数えることができる( 図 1 )。入鹿池に注ぎ込む 3本の河川ごとに整理すると、五条川系 4 池、郷川系 8 池、成沢川左岸系 34 池、成沢川右岸系 13 池である。

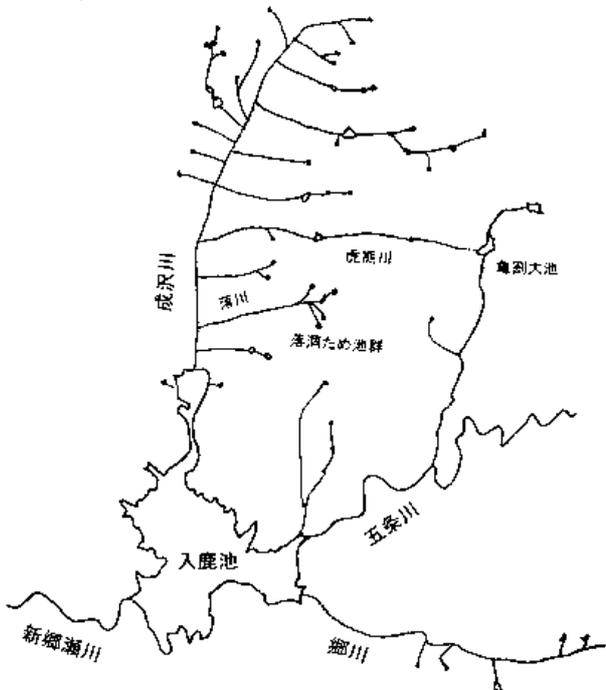


図 1 . 入鹿池とサテライトため池群.

### 3.1 入鹿池の富栄養化

入鹿池については、公共用水域水質監視調査定点であったことから、約 30 年間にわたる毎月 1 回の観測データがある。1990 年代に入ってから、鉛直方向の水質観測やプランクトンの調査も行われている。比較的清澄な水質を保ってきたが、1993年に初めて *Peridinium bipes* による淡水赤潮が発生した( 大沼ら 1994 ; 大沼 1997 )。1997 年夏季には *Microcystis aeruginosa* のアオコが観測され、さらに秋季になって *Anabaena planktonica* の分厚い膜が湖面を覆い、カビ臭が漂った( 大沼 1999 )。

4 月から温度成層が始まり、夏季には表層と水

深 10m で約 20 の温度差となり、躍層下部に栄養塩類が蓄積される。9 月から 10 月にかけて成層構造が崩れ、表層に供給された栄養塩類によって *Anabaena* のアオコが発生したものと考えられる。一方、夏季に観測された *Microcystis* のアオコは、衛星ため池のうちで最も大きい亀割大池で発生したものが豪雨出水によって越流したものと推定された( 大沼 1999 )。亀割大池の水は取水口から北洞南池、虎熊大池を経て虎熊川となって成沢川に流入し、最終的には入鹿池に流入する。灌漑期にはこの経路に水田が加わる。しかし、豪雨時には越流口から五条川に流れ込み、入鹿池に直行する可能性がある。

亀割大池の流域には、2,000 頭規模の養豚舎が立地し、糞尿と木屑による大規模な堆肥化作業が野外で行われている。処理施設がないために降雨時に汚濁物質の流出があり、それを受ける亀割大池の栄養塩類濃度、有機物濃度は衛星ため池の中にあつて際だって高い。それが取水されて成沢川左岸系に入ると希釈や自然浄化を受け、虎熊大池では栄養塩類濃度が約半分になる。亀割大池でアオコが発生して、それが流出せずに湖底に沈殿すればさらに下流への負荷を減らすことが出来るはずである。発生源対策を急がねばならないことは言うまでもないが、過渡的にはアオコを五条川系へ越流させない水位管理と、成沢川左岸系へ流出させない取水水深の適切なコントロールと、非灌漑期の亀割大池湖底のヘドロ除去があれば、入鹿池への栄養塩類負荷を大幅に減らすことが出来よう。

この事例は特殊なケースであるが、生活排水や農耕地などからの非点源負荷がある他の衛星ため池による栄養塩類削減効果も今後の調査で明らかにしていきたいと考えている。

入鹿池の全窒素，全磷などの栄養塩類濃度に増加傾向はみられない(大沼1999)。しかし，入鹿池の電気伝導度の経年変化(図2)をみると，約20年間で2倍近い増加をしている。無機イオン分析が比較的最近になってからしか行われていないために，この増加が主として何によるものかは不明である。流域人口の変動がほとんどないこと，衛星ため池の水質が亀割大池を除けばほとんどが貧栄養であり，かつ電気伝導度が極めて低いことから原因は他にあるものと考えられる。衛星ため池を経由しないで直接流入してくる碎石場などからの負荷増大や冬季に周辺道路で多用されている塩化カルシウムなど凍結防止剤による負荷増大の可能性があり，今後の調査の課題である。

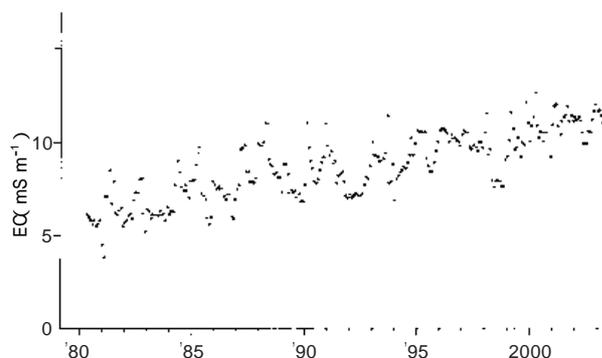


図2．入鹿池における電気伝導度の経年変化。

### 3・2 落洞ため池群の水質と周辺環境

入鹿池集水域を小流域に分割して調査を始めている。ここでは入鹿池の水質に対して希釈水の役割をはたしている落川小流域の落洞ため池群についての調査結果について述べる。

落洞ため池群は，落洞上・下池，落洞南池，落洞池の4つのため池から構成されている(図3)。合流後に隠者の池の水を合わせて落川となって成沢

川に合流している。流域は完全に里山林に被われ，それ以外の負荷源はない。地質は鮮新世・新第三紀瀬戸層群矢田川累層に属する砂礫・砂・粘土の互層である。この4つの池に，成沢川右岸系で同じ地質である白山池を加えて，それらの冬季(湯水期)と夏季(豊水期)の水質を比較して表2に示した。

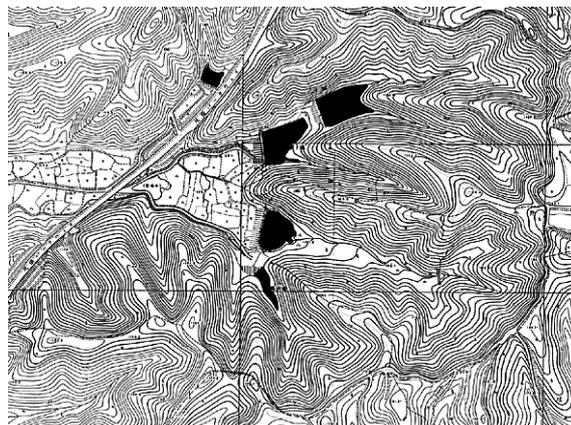


図3．落洞ため池群。

いずれの池もpHはやや弱酸性を示し，白山池では酸性を好む植物とされているフトヒルムシロガ池いっぱいには繁茂していた。しかし，落洞ため池群では水生植物が認められなかった。微妙なpHの違いによるものか，あるいは池の管理の仕方の違いによるものか，目下の所不明である。

いずれの池もNa/K比が低く，周辺の里山林起源のKイオンの寄与が大きいのかのように思われたが，一方，溶存態有機炭素(DOC)濃度が比較的低い。この食い違いを明らかにするためにこれらため池の冬季と夏季の水質比較を行った。その結果は，いずれの池も電気伝導度が冬季も夏季も20 μS cm<sup>-1</sup>以下であり，溶存無機イオン濃度の季節差

表2．落洞ため池群および白山池の冬季夏季水質比較。

観測年・月	ため池名	地質	pH	EC (μS cm <sup>-1</sup> )	DOC	C/N	Na/K	Mg	Ca	Ca/Mg	Cl	SO <sub>4</sub>
2000.1	落洞上池	Py	7.0	15.53	0.48	14.68	1.0	0.25	0.33	1.32	2.87	1.16
2002.8	落洞上池		6.4	18.20			1.2	0.27	0.24	0.89	2.30	1.18
2002.8	落洞下池	Py	6.3	18.00			1.1	0.25	0.26	1.04	2.57	1.29
2000.2	落洞南池	Py	6.8	16.03	0.38	17.89	1.0	0.25	0.37	1.48	2.57	0.97
2002.8	落洞南池		6.4	21.10			1.0	0.32	0.44	1.38	2.45	1.13
2000.2	落洞池	Py	6.8	18.23	0.72	9.51	1.1	0.25	0.95	3.80	2.45	1.27
2002.8	落洞池		6.5	23.60			1.0	0.29	1.00	3.45	2.44	1.21
2000.2	白山池	Py	6.2	15.49	0.80	7.74	1.1	0.23	0.27	1.17	2.47	0.87
2002.8	白山池		6.0	18.71			1.2	0.19	0.26	1.36	2.53	1.02

(Py:鮮新世・新第三紀瀬戸層群矢田川累層)

も極めて小さいことが特徴となっている。また、溶存態の窒素濃度が極めて低く、そのために溶存態のC/N比が比較的大きくなっている。これらのことは、これらの池の水質が周辺の里山林よりも、地質（母材層）により強い支配を受けていることを示しているものと思われる。

#### 4. おわりに

愛知県刈谷市にある小堤西池は、野生のカキツバタ群落で有名であり、戦前に国の天然記念物指定を受けている。その指定地域は池だけにとどまらず、後背地である里山林に被われた丘陵地全体が天然記念物となっている。すでにため池とその周辺環境を一体の生態系としてとらえ、カキツバタ群落の保護保全のためには生態系全体を保護保全しなければならないとした先人の見識の深さに感嘆する。

日本ため池ベルトの東端、愛知県尾張地方と知多半島に分布するため池の保護保全は急を要する。県レベル、あるいは国レベルでのため池保全のための条例あるいは法律の制定が望まれる。その場合、ため池を個別のものとして考えるのではなく、ため池群としてとらえ、里山林や地質などの周辺環境やため池相互間のネットワークシステムが水質保全や防災の機能を高め、ウエットランドの生物多様性を維持する要となっていることを基本軸として立法化が図られるべきであろう。また、ため池研究の際にも、同じ考え方が必要となろう。

#### 引用文献

- 大沼淳一・井口季敏・木村康男・佐野昌之・柴田晋・鈴木亮太・名和正博(1994): 入鹿池のプランクトン. 愛知県環境調査センター所報, 22: 61-71.
- 大沼淳一(1997): 入鹿池の渦鞭毛藻類, *Peridinium bipes*. 愛知県環境調査センター所報, 25: 51-54.
- 大沼淳一(1999): 入鹿池の水の華. 第14回全国環境・公害研究所交流シンポジウム要旨集.
- 大沼淳一・坂井田稔(2002): 犬山98ため池群の集水域環境と水質特性. 第36回水環境学会講演要旨集.
- 大沼淳一(2003): 犬山ため池群の周辺環境と水質特性. ため池の自然, 37: 1-4.

#### 質疑

##### (感想)

- ・水系と生物のネットワークの大切さを感じました。カキツバタの保全例は達観だと思えます。
- ・土浦市においてのため池のネットワークを地図上に調べて見たいと思いました。私の家の近くにつる沼があり、穴塚大池も大切な場所です。

(質問) 入鹿池と尾張富士は、小学校の時、遠足で行きました。畜舎のし尿の野積みは禁止ではないのか？

(返答) 廃棄物に関する法律の適用や解釈にはなかなか難しいところがあります。この施設の場合は、屋外で堆肥を製造していることになっています。そうすると、野積みではなく、生産工程ということになってしまいます。

しからは水質汚濁防止法を適用できるかどうかということになります。この場合は、排水量が1日に50トンを超えないと規制対象になりません。この施設では、排水は堆肥の上に散布するから排水は出ないという届けがなされています。目下、犬山市が主管して入鹿池保全対策会議が開催され、業者との話し合いも持たれていますが、まだ解決には時間がかかりそうです。

(質問) 愛知県のため池保全に対して、県が行っている取り組みの現状についての紹介もお願いします。ネットワークとしてとらえる視点は重要だと思えます。愛知県にはため池自然研究会などもあり、場を同じくした、水質から生物までの総合調査が可能な人材がおられます。ため池保全やため池研究の拠点となることを期待します。

(返答) 愛知県下のため池総数は、愛知県農林水産部農地計画課の調査によれば3,193カ所(2001年3月現在)です。シンポジウムで発表があったように、名古屋市にはため池保全要綱がありますが、愛知県にはそれに類したものはありません。わずかに国の50%補助事業としての老朽化ため池の修繕工事が行われているにとどまっているようです。これではため池消失の流れを止めることは出来ません。早急ななんらかの施策が求められています。

# ため池・内湖における窒素，リン，有機物の挙動

大久保卓也

滋賀県琵琶湖研究所（〒520-0806 大津市打出浜 1-10）

## Input and Output Mass Balances of Nitrogen, Phosphorus and Organic Carbon at Ponds and Lagoons in Shiga Prefecture

Takuya OKUBO

*Lake Biwa Research Institute, 1-10 Uchidehama, Ohtsu 520-0806, Japan*

### 1. はじめに

琵琶湖の水質保全対策として、生活排水、工場排水等の点源負荷に対しては、下水道の整備、排水規制を中心に進められ、その効果が河川や南湖の水質改善として徐々に目に見える形で現れてきている。しかし、農地からの面源負荷対策については、施肥量の削減、代かき・田植え方法の改良、循環灌漑、農業用水の反復利用など様々な対策が実施されてきたが、今なお目に見える形でその効果が現れていない。また、市街地から降雨時に流出する汚濁負荷の対策については、ほとんど手付かずの状態である。これら農地および市街地の面源負荷対策として、現在、ため池や内湖を利用することが行政部局で検討されているが、基礎的データが不足しており、その効果はまだよくわかっていない。米国などで面源負荷対策として湿地、ため池を利用する事例が数多く報告されているが、日本とは気象条件や流入水組成、濃度の条件が異なるためそれらの事例から日本における効果を予測することは難しいと考えられる（大久保 2003b）。

このような背景から、筆者らは、ため池・内湖における水質浄化効果、汚濁負荷削減効果を明らかにするため、琵琶湖周辺の複数のフィールドで調査を進めている。本稿では、ため池・内湖における窒素，リン，有機物の挙動について、これまで調査してきた結果の概要を報告する。

### 2. 調査方法

調査してきたフィールドは、農業用ため池とし

て多賀町「大門池」、日野町「大正池」の2カ所、内湖として安曇川町「十カ坪沼」（通称「エカイ沼」）、彦根市「神上沼」の2カ所、および、消波堤で人工的な内湖となった守山市地先の「赤野井湾」の合計5カ所である。それぞれのため池・内湖の諸元、水質の概況等を表1に示す。

これらのフィールドの中でエカイ沼と神上沼では、特に詳細な調査を行い、ため池・内湖における窒素，リン等の物質収支の年間変動と物質収支に及ぼす環境因子の影響について解析を進めている。物質収支は、流入・流出する主な河川・水路において濃度と流量を定期的に測定して求めた。エカイ沼（図1参照）では、流入1箇所、流出1箇所において定期採水調査を週1回の頻度で1997～2001年（5年間）に行い、降雨時採水調査を降雨前から降雨後にかけて3～6時間の頻度で30回の降雨イベントに対して実施した（大久保ら 2000；大久保 2003a）。神上沼（図2参照）では、流入1箇所、流出2箇所において自動採水器（ISCO製MODEL3700）を用い12～24時間間隔で採水調査を2002年8月～2003年12月の約1年半の期間行った。また、神上沼では自記濁度計（CTIサイエンスシステム製C105型およびアレック電子製COMPACT-CLW）を各流入・流出箇所に設置し15～20分間隔で濁度を測定し、降雨時等の短期的濃度変動を把握した。流量は、水位と流速を圧力式水位計（GRANT社製ED550）と流速計（VALEPORT製BFM002およびアレック電子製ACM-8M）を用いて10～30分間隔で測定して求めた（大久保 2004）。この他に、大門池では、1988年と1989年の4～

表 1 . 滋賀県におけるため池・内湖の調査結果( 大久保ら：一部未発表 )

名称	分類	集水域の特徴	池の諸元			池の水質			流入・流出量から求めた物質収支		
			面積 (ha)	水深 (m)	滞留時間	TN濃度 (mg L <sup>-1</sup> )	TP濃度 (mg L <sup>-1</sup> )	Chl. a 濃度 (μg L <sup>-1</sup> )	TN	TP	有機物
大門池	農業用ため池	水田主体	5	2	2~数百日 (灌漑期は50日以下)	0.5~3 平均1.4	0.03~0.14 平均48	数~200 平均48	素通り	30~40%が沈澱	30~70%増加
大正池	農業用ため池	森林とゴルフ場主体	3.3	約5	数ヶ月程度	約1	約0.1	夏季に20~100	不明	不明	増加
エカイ沼	内湖	水田主体, 湧水豊富	1.3	1.5	1~3日	0.2~1.5 平均0.7	0.03~0.13 平均0.05	0.1~70 平均3	晴天時は流出量>流入量, 降雨時には逆転	晴天時は流出量>流入量, 降雨時には逆転	5~20%増加
神上沼	内湖	水田主体, 養魚場排水の影響大	6.2	2	5~20日	1~4 平均2	0.1~0.4 平均0.2	0.5~230 平均25	約10%減少	約60%が沈澱	増加
赤野井湾	人工内湖	水田と市街地が混在	143	2	平均4日	平均1.1	平均0.08	3~90 平均17	素通り	約36%が沈澱	増加

9月に週一回程度の頻度で流入部6箇所, 流出部1箇所において採水調査と流量調査を実施し, 物質収支を求めた(大久保ら 2002c)。大正池では, 流入部と流出部および池内において1998年度に5回の水質調査を行った(大久保ら 未発表)。人工内湖の赤野井湾では, 1998~1999年に流入河川では週1回程度, 湾内, 湾口部では10日に1回程度の調査を実施して, 物質収支を求めた。また, 代表的な流入河川では降雨時調査も実施した(大久保 2002; 大久保ら 2002a, b)。



図 2 . 神上沼の全景.



図 1 . エカイ沼の全景.

### 3 . 調査結果および考察

流入量と流出量から求めた全窒素 (TN), 全リン (TP), 有機物の収支の概要を表 1 に示す。

これまでの調査結果からわかってきたことを列挙すると次の通りである。

a) 流入濃度が高い条件(場所および時間帯)では, TN, TP の除去率が高くなる。

b) TN と TP を比べると TP の方が除去されやすく, TN の除去効果は一般的に小さい。

c) 溶存態の窒素, リン濃度は, ため池・内湖で一般的に減少する。

d) 有機物はため池・内湖で増加するケースが多い。溶存態有機物も増加するケースが多い。

e) 滞留時間が長くなると植物プランクトンが増殖する。その結果, 有機物が増加し, TN, TP 除去率は低下する。溶存態有機物も滞留時間の長いため池では濃度が高くなる。

a) については, 神上沼のように流入濃度が高い

ため池・内湖では窒素,リン除去率が高くなり,また,一つのため池・内湖でも流入濃度が高い時期(例えば降雨時)には,除去効果が高くなることがわかった。一方,流入濃度の低いため池・内湖では,窒素,リンの除去効果は小さく,エカイ沼のように晴天時には流出量が流入量を上回る場合がある。エカイ沼における30回の降雨時調査から,降雨期間(流出部で降雨の影響が見られなくなるまでの期間)の物質除去率を算出し,平均流入濃度との相関をみると図3のようになる。図中に相関係数の高い直線および曲線回帰式を示した。各物質とも流入濃度が高くなると除去率が高くなる相関関係が有意にみられた(有意水準1%)。また,流入濃度がある値以下になると,各除去率はマイナスになることがわかった。つまり,流入濃度の低いため池・内湖ではSS,窒素,リンの除去効果は望めないということになる。琵琶湖周辺の

農業排水路の水質は,代かき・田植え時期や降雨時を除くと低濃度の場合が多く,ため池・内湖を利用して農業排水の窒素,リンの除去を図るためには何らかの工夫が必要と考えられる。

b)については,滋賀県が実施している内湖での水質調査結果でも同様の傾向があり(大久保2001),琵琶湖周辺の内湖の一般的な傾向と考えられる。

c)については,植物プランクトンによる溶存態栄養塩の摂取が主な原因と考えられるが,リンについては,化学的な凝集沈殿や底泥・懸濁粒子への吸着の可能性もある。

d)e)については,有機物,クロロフィル濃度がため池・内湖を通過することによって増加する現象が一般的にみられ,植物プランクトンの増殖がその原因と考えられる。エカイ沼では,水の滞留時間(HRT)が長くなるとChl. a濃度が高くな

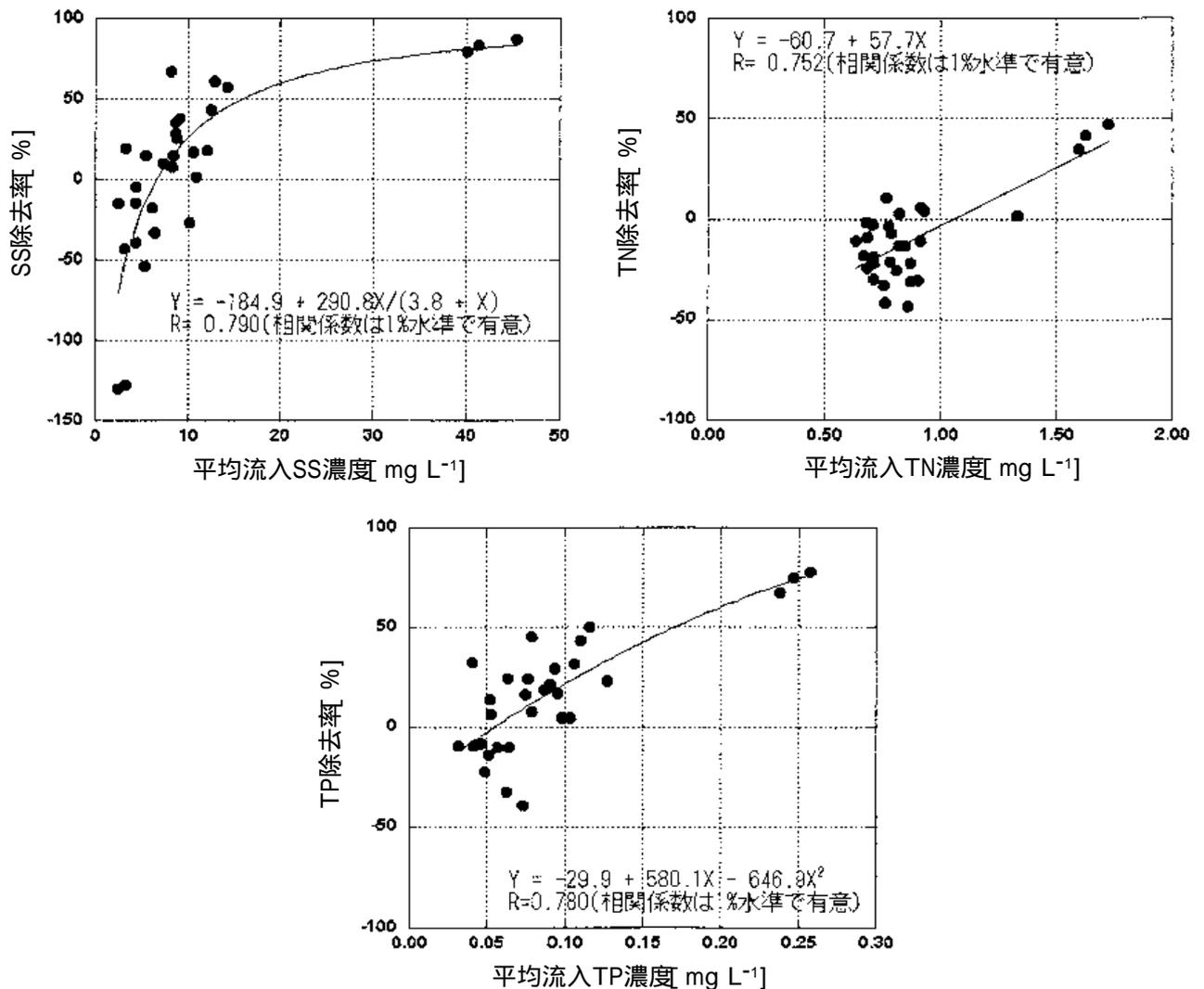


図3 . 降雨時における流入濃度と除去率の関係(エカイ沼).

り(図4),それに対応するようにSS,TOC,TN,TP除去率は低下する傾向がみられた(図5)。滞留時間が長くなると植物プランクトンが増殖し,窒素,リンが植物プランクトンに保持(濃縮)されるため,除去率が低下するのではないかと考えられる。窒素,リンの除去率がマイナスになるのは,底泥から溶出したものを植物プランクトンが取り込んで保持しているためではないかと考えられる。

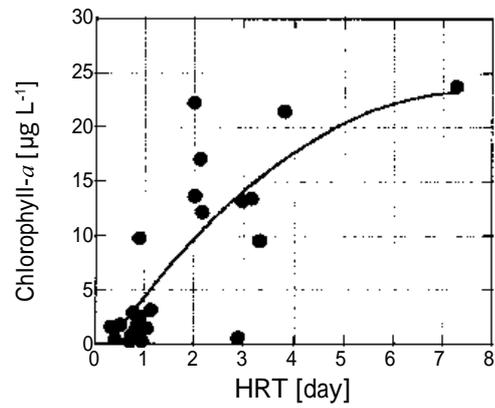


図4 . 晴天時における滞留時間とクロロフィルa濃度の関係(エカイ沼)

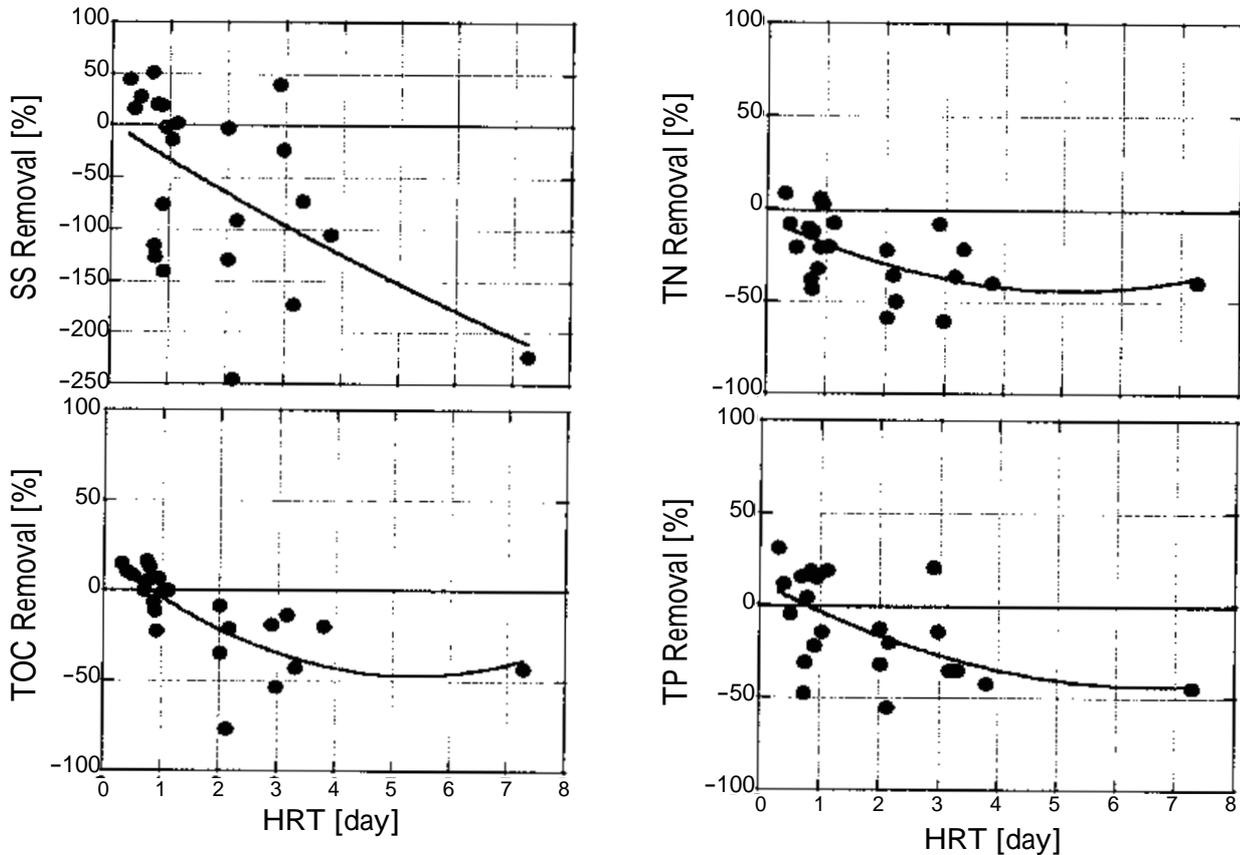


図5 . 晴天時における滞留時間と除去率の関係(エカイ沼)

備考

本研究は,滋賀県琵琶湖研究所プロジェクト研究費(平成9~14年度),および,河川整備基金(平成10,11年度),下水道振興基金(平成12,14年度)の研究助成費により実施した。

引用文献

大久保卓也・辻村茂男・須戸 幹(2000):内湖の水質浄化機能-安曇川町エカイ沼での調査結果- . 滋賀県琵琶湖研究所所報, 18: 36-47.  
大久保卓也(2001):湿地の負荷対策.平成12年

度滋賀県立大学・試験研究機関連携推進事業報告書「琵琶湖流入負荷,特に面源負荷の再評価とその削減対策」,45-89.

大久保卓也(2002):赤野井湾における物質収支.オウミア,75:1-2.  
大久保卓也・東 善広・早川和秀(2002a):集水域からの栄養塩負荷(晴天時),湖内現象を考慮したノンポイント負荷削減対策の検討.滋賀県琵琶湖研究所プロジェクト研究報告書,01-A01:128-152.  
大久保卓也・寺村善幸・市木敦之(2002b):集水

域からの栄養塩負荷(降雨時),湖内現象を考慮したノンポイント負荷削減対策の検討. 滋賀県琵琶湖研究所プロジェクト研究報告書,01-A01: 153-179.

大久保卓也・辻村茂男・田中浩之(2002c): アオコが発生する農業用ため池における水質特性 - 滋賀県大門池での調査事例 - . 用水と廃水, 44 (2): 134-141.

大久保卓也(2003a): 内湖における汚濁負荷削減効果と環境因子の関係. 滋賀県琵琶湖研究所所報, 20: 42-47.

大久保卓也(2003b): ため池の浄化効果. エコテクノロジーによる河川・湖沼の水質浄化 - 持続的な水環境の保全と再生 -, 島谷幸宏・細見正明・中村圭吾(編): 218-237. ソフトサイエンス社, 東京.

大久保卓也(2004): 内湖における窒素・リンの除去効果 - 彦根市神上沼での調査事例 - . 滋賀県琵琶湖研究所所報, 21: 46-53.

## 質疑

### (感想)

- ・内湖,ため池が,一定量の栄養塩濃度を調整する機能を有していることが感じられます。すばらしい事ではないかと思えます。
- ・「水と緑の回廊」という考え方を土浦市の都市計画マスタープランでは位置づけていますから,どう実現させるか,提案するチャンスが今,あると思っています。

(質問) 水収支がとれないと思われるが,どうか。

収支を求める詳細な過程の情報があると良いが。

(返答) エカイ沼の場合は,流入部と流出部が一箇所ずつしかなく,流入・流出水量を実測した結果,両者がほぼ一致していたため,両者は等しいとみなして物質収支を計算した。神上沼の場合は,流入部1箇所と流出部2箇所で水位,流速の連続測定を行い流入・出水量を求めたが,実測した流入・流出水量のデータのみでは,欠測や測定誤差が原因で水量収支がうまくつり合わなかった。そのため,収支が合うように流入,流出量を再調整した。水面からの蒸発量は流入水量の12%程度であると推算されたため無視し

た。水量収支については,現在,さらに細かい調整,検討を行っている。

(質問) ため池は流入が抑えにくく,降雨時調査自体が困難(特に谷池で小さいものは)

(返答) 流入,流出が把握しやすいため池を選んで調査するしかないのではないかと。谷池では降雨時には周囲斜面の多地点から流入してくること,地下水の流入も無視できないことなどがあり,ため池への総流入量を把握することは確かに難しい。

(質問) 滞留時間の測定はどのように行うのですか。また簡易な方法はありますか。

(返答) 流入水量または流出水量を自記水位計等を用いて実測するか,集水域の面積,降水量,流出率から降水由来流入水量を推定し,これに他の集水域から流入してくる農業用水量などを加えてため池に流入する総水量を求める。この総流入(流出)水量とため池の水量(一定ではない)から滞留時間を計算する。ただし,この方法で求められる滞留時間は理論的な値であって,実際のため池では短絡流などが発生しているので,この方法で求めた滞留時間と実際の滞留時間とは異なる可能性がある。

(質問) ため池の積極的な活用を考えると,必要かつ重要な研究であると思う。植生が浄化機能にどのようにきくのでしょうか?

(返答) 水生植物の水質に及ぼす影響については,実験室規模の研究や短期的なパイロット試験では,水質浄化に寄与しているとした報告が多くみられます。しかし,現場で調査している私の経験からは,水生植物の水質浄化効果は,あまり大きなものではないと感じています。水生植物による窒素,リンの吸収量は,通常は流入負荷量に比べると微々たるものです。一方,水生植物帯に生息する動物プランクトンや貝類などのフィルターフィーダーの働きによって透明度は上がるという報告もあります。水生植物の水質浄化効果については,研究者によって意見が異なり,まだよくわかっていないというのが現状だと思えます。

# アオコを抑制する植物検索のためのバイオアッセイ法の検討

藤井義晴<sup>1</sup>・津田久美子<sup>1</sup>・高村典子<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(独)農業環境技術研究所(〒305-8604 つくば市観音台3-1-3)

<sup>2</sup>(独)国立環境研究所(〒305-0053 つくば市小野川16-2)

## Bioassay and Screening of Aquatic Allelopathic Plants for the Suppression of *Microcystis aeruginosa*

Yoshiharu FUJII<sup>1</sup>, Kumiko TSUDA<sup>1</sup> and Norio TAKAMURA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>National Institute for Agro-Environmental Sciences, 3-1-3 Kan-non-dai, Tsukuba 305-8604, Japan

<sup>2</sup>National Institute for Environmental Studies, 16-2 Onogawa, Tsukuba 305-8506, Japan

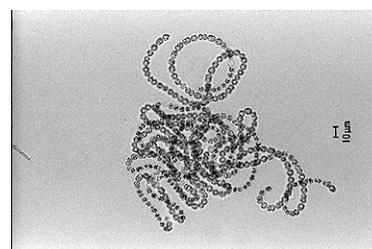
### 1. はじめに

農業用水として利用されてきたため池では、農業従事者の高齢化や社会システムの変化に伴い、富栄養化による水質の悪化が進行し、藍藻類の異常増殖、すなわちアオコなどの社会問題が発生している。湖沼管理および湖沼水質の保全是、これまでは治水と利水を目的に行われてきたが、今後は生態系機能や生物多様性等の自然環境に配慮したものである必要があると考えられる(Watzel 1999)。このような管理においては、植物の有する浄化能力を活用した手法が注目されている。そこで、植物が持っている天然の化学物質が他の生物(植物、昆虫、微生物、小動物など)に及ぼす作用(阻害作用であることが多いが促進も含む)であるアレロパシー(allelopathy 他感作用)に着目し、水生植物やため池周辺に生育する樹木落葉から放出される物質(他感物質と呼ぶ)によるアオコの抑制に関する研究を開始した。

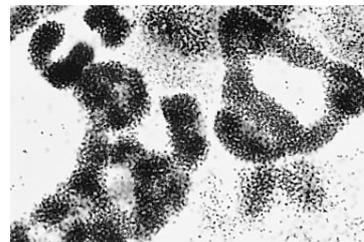
### 2. アオコとは

アオコとは藍藻類が異常増殖して、水面に緑色のクリーム状の膜となったものをさす。アオコは、異臭発生や浄水管理における過障害にとどまらず、アオコを形成する主要な藍藻であるミクロキスティスやアナベナ(図1)が有毒物質ミクロキスチンを産出することによっても深刻な影響を及ぼしている。例えば、イギリスではミクロキスチンを含んだ水を農業用水としてジャガイモ畑に散布

したため、葉が全部枯れてしまう事件が発生している。これは、ミクロキスチンが葉の光合成電子伝達系を遮断するためだと考えられている。これまでのところ、日本ではミクロキスチンによる農業被害は顕在化していないが、異臭の発生や水質管理に加えて、今後重要な問題となる可能性がある。



*Anabaena flos-aquae* f. *flos-aquae*



*Microcystis aeruginosa* f. *aeruginosa*

図1. アオコを形成する藍藻類.

### 3. 研究目的

藻類の増殖を抑制する手法として、植物が有する浄化能力を活用する方法が注目されている。まず、植物は富栄養化の要因となる窒素やリンといった栄養塩を体内に吸収するのみならず、水中の植物体表面に付着した生体膜による有機物の分

解や栄養塩の除去効果などの二次的な効果によって栄養塩の濃度を下げる効果が期待される。水中の窒素とリンがアオコ等の発生の第一要因であるからである。一方、植物が放出する化学物質によるアオコの増殖抑制作用も報告されており、前述の水質浄化能に加えて藍藻類の増殖抑制に利用できる可能性がある。一般に、高等植物と藻類の間には拮抗的關係が報告されており、特に植物が放出する天然化学物質による作用はアレロパシーと定義されている (Molisch 1937)。作用する他感物質は生物由来の物質であるため、水域生態系への長期間にわたる残存・蓄積性が少なく、湖沼やため池の生態的管理手法の確立には有効的であると予想される。

そこで、本研究では、藍藻類の増殖を抑制する化学物質 (他感物質) を有する植物を検索するためのバイオアッセイ法を確立することを目的とし、植物抽出液の活性を評価するための、吸光度を測定する方法 (吸光度測定法) と、植物自身の影響を評価する方法 (寒天重層法) を検討した。

#### 4. 吸光度測定法による検索

“生きている”藻類量の目安となるのは、乾燥重量や培養液から抽出したクロロフィル *a* 量などがあげられる。藍藻はクロロフィル *a* を持ち、酸素発生型の光合成を行うからである。しかし、大量の培養液を必要としたり、抽出操作が煩雑であったりするなど、問題点も多い。また、他感物質が藍藻へ与える影響を経時的にモニタリングする必要がある。そこで、まず最も的確に藻類の生物量を評価できる波長を検索し、この波長で非破壊的に培養液の吸光度を測定することにより藻類量を測定できないかどうか検討した。アオコは、国立環境研究所で純粋培養された *Microcystis aeruginosa* NIES-88 株とし、これを CT 培地に接種して培養すると、初期の接種量にかかわらず、12 日目に最大増殖期になることが分かった。また、血球計算盤で求めた細胞数と様々な波長で測定した培養液の吸光度との間で相関分析を行った結果、680 nm の測定結果で  $r$  (相関係数) = 0.985 の良好な関係が得られた (図 2)。

以上を踏まえたうえで、図 3 に示すような検定手法を確立した。すなわち、ねじ口試験管に 10 ml

の CT 培地を入れて滅菌し、継代培養していたアオコ溶液、および植物抽出物を各々 100  $\mu$ l、すなわち培地に対して 1% 濃度となるように添加した。なお、試験は 1 つのサンプルにつき 3 反復で行った。12 日間静置培養した後、培養液の 680 nm 吸光度を測定し、藻類量から増殖抑制効果を評価した。図 4 は、12 日目の培養液の色の変化をデジタルカメラによって記録したものである (一番左端がコントロール)。植物種による違いが肉眼でも確認できる。

実験結果の一例を図 5 に示す。これは、3 種の水生植物抽出物の藍藻に対する増殖抑制効果を経時的にモニタリングしたものである。最大増殖期を迎える 12 日目には試験区間で有意な差が出ることが確認できる。この試験では、とりわけウォーターレタス (*Pista stratiotes* L.) とサルピニア・モレスタ (*Salvinia mollesta* D. S. Mitch) の 90% メタ

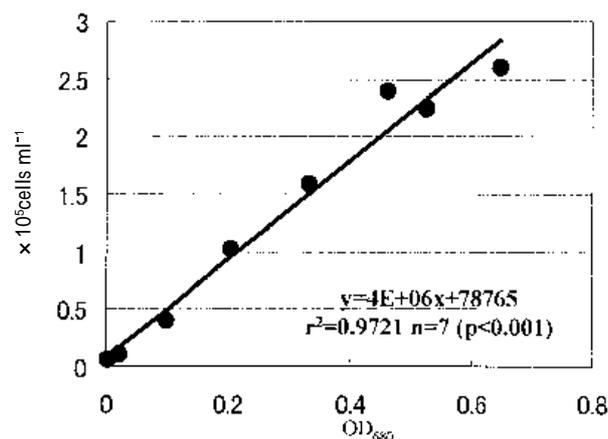


図 2 . 藍藻の細胞数と培養液の 680nm 吸光度との関係  
藍藻: *Microcystis aeruginosa* NIES-88.

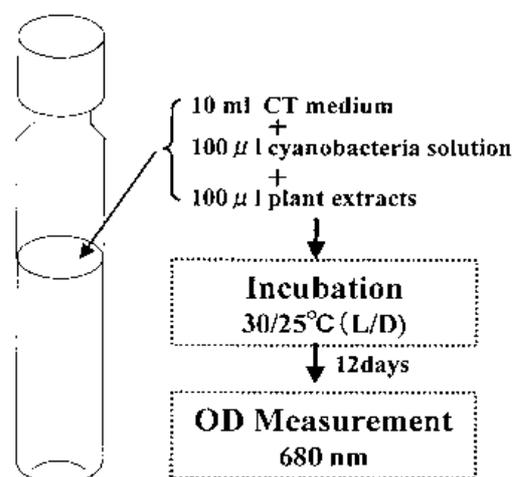
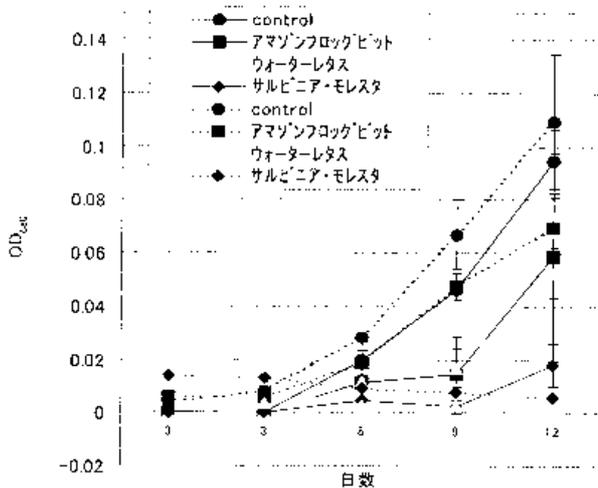


図 3 . 吸光度測定法による検定手法のあらまし。

ノール抽出物が藍藻類に対して強い増殖抑制効果を示すことが分かった。



図4．吸光度測定法による結果の例。左端がコントロール。



実線：100% DMSO抽出，破線：90% MeOH抽出

図5．吸光度測定法による水生植物抽出物の藍藻に対する増殖抑制効果。

## 5．寒天重層法による検索

寒天重層法はリーフディスクを用いて、植物自身の影響を評価するための方法である。検定手法のあらましを図6に示す。まず、0.75%の低温ゲル化寒天を固めた平板の上に、藍藻を包埋した0.5%の寒天を重層した。この上層のプレートの作成には、最大増殖量となったアオコ溶液を遠心分離にかけ、沈殿の“濃縮アオコ溶液”に同量の1.0%寒天濃度のCT培地を混和する手法を用いた。表面が完全にゲル化したら、リーフディスクを並べ、シャーレを密封して7日間培養した。そして、ディスク周辺の阻止円の大きさや形状で増殖抑制効果を定性的に判定した。

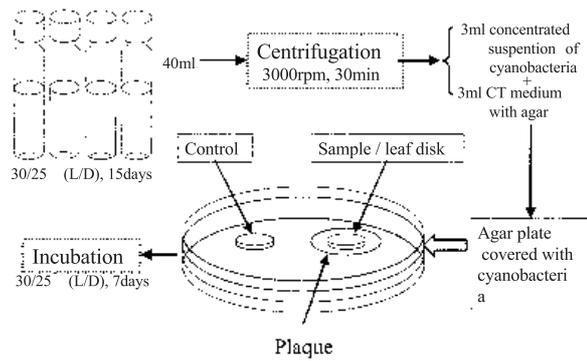


図6．寒天重層法による検定法のあらまし。

予備実験では、実際に兵庫県のため池周辺で採取された落葉広葉樹のリーフディスクを用いて行った。ため池の周辺あるいは浅瀬に沈殿していた落ち葉をリーフディスクパンチで6mmにくり抜き、UV照射により表面に滅菌処理を施したあと、試験に供した。その結果、ヤマウルシ (*Rhus trichocarpa* Miq.) やアベマキ (*Quercus variabilis* Blume), アカメガシワ (*Mallotus japonicus* (Thunb.) Muell. Arg.) で、くっきりとした大きな阻止円が再現性よく観察された。なお図7はヤマウルシの結果を示している。これらの落ち葉には藍藻類の増殖を抑制する他感物質が内在している可能性が高いと考えられる。

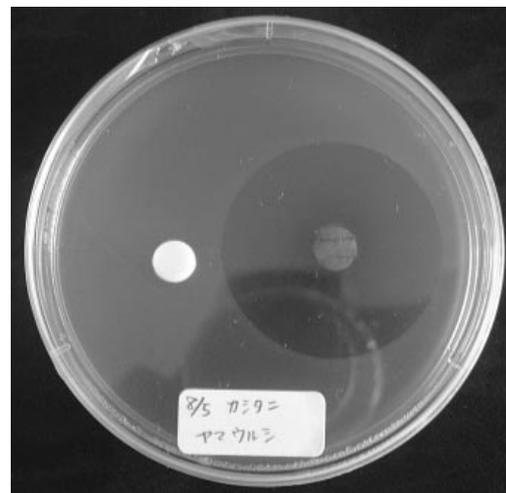


図7．寒天重層法による検定において形成された阻止円の例  
供試植物はヤマウルシ (*Rhus trichocarpa*)

## 6．今後の課題と展開

このように、藍藻類の増殖抑制効果を評価する方法として、吸光度測定法と寒天重層法という2種類のバイオアッセイ法を検討した。いずれのバイオアッセイ法も簡便かつ迅速で(7~12日で検

定できる), 結果に再現性があることが分かった。今後, これらの手法を用いて, アオコなど藍藻類の生育を抑制する他感物質を持つ水生植物や樹木落葉を検索したい。そして, 強い活性を持つ植物が得られた場合は, 作用物質を単離・同定したい。

しかし, 藍藻類の増殖を抑制する他感物質が同定されたとしても, その物質の作用機構を明にする必要がある。また, 実際にため池等で水中に分泌されて現場の濃度で作用を發揮するかどうか, など, 今後明らかにしなければならない課題も多い。現場での実用的なアオコ抑制につながる技術の開発をめざしてさらに研究を進めたい(図8)。

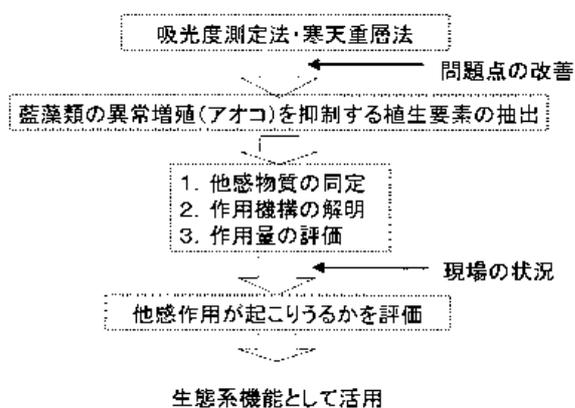


図8. 今後の研究方針.

## 謝辞

本研究を行うにあたり, 兵庫県農林水産技術総合センターの松山稔氏に多くのアドバイスを頂いております。深く御礼を申し上げます。

## 引用文献

- Molisch, H. (1937) : Der Einfluss einer Pflanze auf die Anderd-Allelopathie. Fischer, Jana, Germany.
- Watzel, R. G. (1999) : Freshwater Ecology: Changes, Requirements, Future demands. The 64th Convention of the Japanese Society of Limnology, Symposium.

(B), 1-8.

## 質疑

(質問) 浮遊水生植物が水中下への光を遮るため, 沈水植物に悪影響を与える事はビクトリア湖のホテイアオイの異常繁殖という事例でいわれているが, その辺の検討はどのように考えられていますか。

(返答) 水圏生態系における高等植物と高等植物, あるいは藻類との競合には, 光・栄養塩・微量元素濃度など複数のファクターが重要な働きをしていると思います。陸上植物の場合も, 光の競合が8割の寄与をしていると考えております。しかし, ある植物が新しい環境に侵入してくる際など, 競合が特に激しい場合は, アレロパシーによって積極的に相手に対して有利になろうという戦略があると思います(Gross 1999)。また, 光の競合で優位に立ったものが, 更に化学的戦略によって相手を完全に抑圧する場合があります。ホテイアオイの場合も, 侵入初期には早い生育で光の遮蔽によって沈水植物に対して優位に立ち, ある程度繁茂した段階になって, アレロパシーの寄与で完全に沈水植物の生育を抑制してしまうのではないのでしょうか。これは, あくまで私見であり, このような関係を完全に説明した水生植物に関する研究は今のところないようです。今回のシンポジウムに発表したバイオアッセイ法によって, このあたりの解明の足がかりが出来ればと考えています。

- Gross, E. M. (1999) : Allelopathy in benthic and littoral areas: case studies on allelochemicals. In: Inderjit Dakshini, K. M. M., Foy, C. L. (Eds.), Principles and Practices in Plant Ecology: Allelochemical Interactions. CRS Press, Boca Raton, FL.

# ため池災害と防災について

谷 茂

独立行政法人農業工学研究所（〒305-7609 茨城県つくば市観音台 2-1-6）

## Disaster to Small Earth Dams and Disaster Prevention

Shigeru TANI

*National Research Institute for Rural Engineering, 2-1-6 Kannondai, Tsukuba 305-8609, Japan*

### 1. はじめに

昨今の大地震，豪雨によってかんがい用のため池に被害が発生している。自然災害は地震，豪雨・台風によるものが主なものであるが，本報告ではこれらのため池災害の現状と，災害防止の現状についてまとめてみた。現時点では災害を精度よく予測する事は困難であるが，いくつかの手法を組み合わせる事により，災害をある程度までは事前に予測し，防止する事は可能である。ため池は様々な動植物の生息環境として重要な役割を担っている。今後もため池を良好な状態に維持・保全していくためにも，災害に強いため池にしていく必要がある。

### 2. ため池の災害について

ため池は貯水量1,000 m<sup>3</sup>以上だけでも約10万箇所程度になる。歴史も古く6世紀には本格的なため池の築造が始まっている。このため地震・豪雨などの自然災害によりため池が被災してきている。ため池が決壊すると，下流域への2次災害の懸念があることから，災害の影響が大きい。

表1，図1は昭和61年から平成8年度までのため池の被災箇所数を地域別，原因別に分類したものである。兵庫県南部地震の被害を除けば，地域的には中国四国，近畿管内の比率が59%と高い。被災原因では地震が概ね10%，豪雨・融雪等によるものが90%となる。豪雨はほぼ毎年の様に何処かで発生しているが，大きな地震はここ15年間で4回発生しているだけなので，平均ではこのような比率になる。地震によるため池の被災数は豪雨等によるものに比べ少ないが，豪雨のように避難

表1. ため池の被災箇所数(昭和61年・平成7年)

地域	S61~63	H1~3	H4~6	H7~8	計
北海道	34 (8)	10	28	8	80 (18)
東北	472	329	188 (7)	78 (5)	1,067 (12)
関東	74 (9)	41	13	27	155 (9)
北陸	113	184	140	134	571
東海	48	60	46	10	164
近畿	669	802	326	1,517 (1,247)	3,314 (1,247)
中国 四国	1,493	1,589	817	445	4,344
九州	858	1,242	545	485	3,130
計	3,761 (27)	4,257	2,103 (7)	2,704 (1,252)	12,825 (1,286)

( ): 地震による

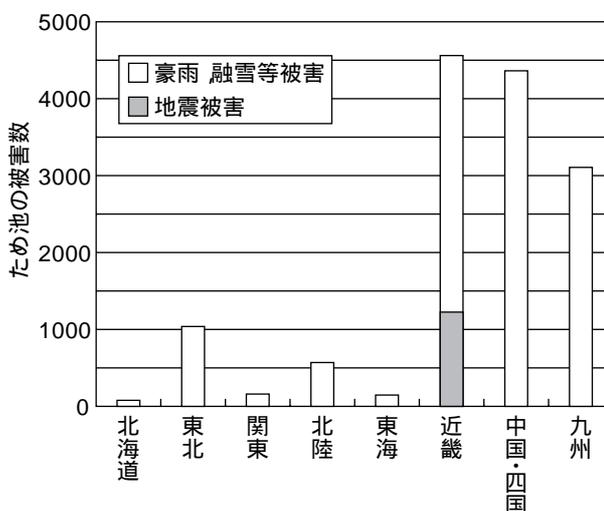


図1. ため池の被災地域の分布と被災原因 (昭和61年～平成7年)

する時間的余裕がないことや、比較的広い地域に災害が同時に発生するために災害の与える影響が大きく、重要である。特に1995年の兵庫県南部地震では約1,200箇所のため池が被害を受けたため、ため池の地震による被災事例を図2,3に示す。図2は堤体がすべり破壊を起こし、越流決壊したものである。図3は豪雨によりため池が決壊している状況である。



図2．地震によるため池の決壊事例。



図3．豪雨によるため池の決壊事例。

### 3．ため池の災害予測

地震については過去の地震被害調査から、マグニチュードと震央からの距離(限界震央距離)で、図4に示すようにため池に被害が発生する(しない)限界を定めている。現在、気象庁では計測震度に基づく震度を観測地点単位で発表しているが、さらにメッシュ単位で予測計測震度を計算することが出来る。しかし、計測震度と被害率の関係が明確でないとの意見があり、詳細な予測計測震度を公表していない。1km単位程度のメッシュごとの詳細な予測計測震度が公表されれば、より詳細に地震被害(被害率)の予想が可能になるため公表が待たれる。

次に豪雨災害の予測について述べる。ため池災害と降水量との間に概ねの限界値が得られている。ため池に災害が発生する降雨条件(時間雨量, 連続雨量)は豪雨特雨条件の関係については十分なデータがないため、精度の高い関係は得られてい

ない。ここでは単純に図4に示すような連続雨量と時間最大雨量の関係から過去の災害データに基づいて、図中に示すような性の違いや、降雨履歴によって大きく異なるため、一律に限界値を決めることは出来ないため、少なくとも県単位毎に決めていくことが必要である。

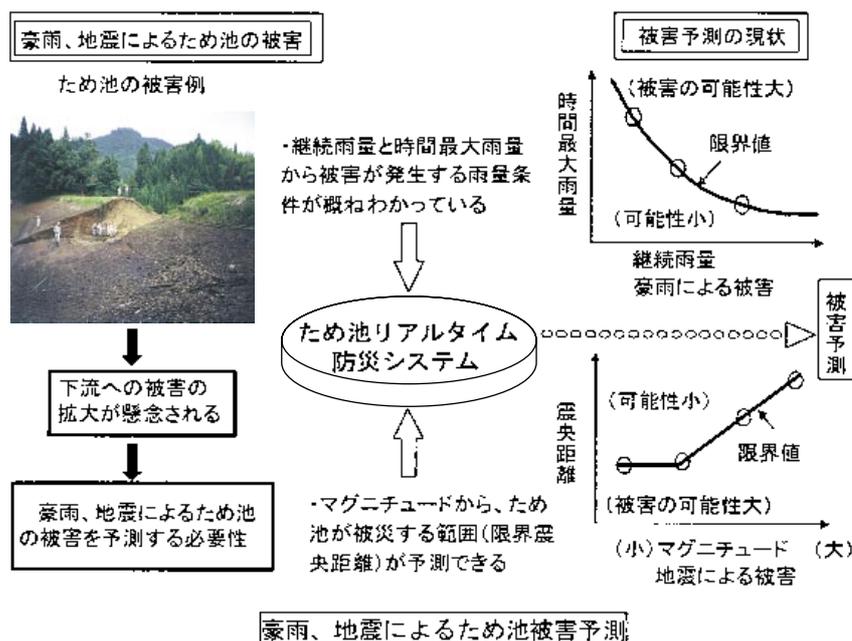


図4．豪雨、地震によるため池被害予測の概念。

#### 4. 「ため池リアルタイム防災データベース」

災害の増大に伴い、リアルタイム気象情報に基づき集中豪雨時や地震時のため池被災の可能性を広域かつリアルタイムに予測することが必要とされている。ため池台帳に代わるものとして、平成11年から全国の45道府県ですでに稼働している「ため池防災データベース」(谷・福原1999による)がある。このデータベースはため池、約9万箇所の位置(緯度・経度)、諸元(堤高、貯水量、築造年、管理者情報等)および写真が入力されている。このデータベースはカーナビゲーションに使用されている地図システムと類似のものを用いたGISデータベースである。このデータベースにリアルタイム気象情報を結合し、図5で述べた予測方法により、ため池の広域災害を予測するために開発したものが「ため池リアルタイム防災データベース」である。

#### 5. ため池の改修

老朽ため池整備事業制度の発端は、昭和25年から27年にかけての農業用施設災害を契機としてであった。この時のため池被災件数は全体被害数の10%程度であったが、決壊によるため池下流における二次被害額はため池の復旧額の数倍にも達していた。このため老朽しているため池の決壊を防止することが急務となり、昭和28年度から老朽た

め池の改修が老朽ため池補強事業として制度化された。

制度の発足当初は、洪水吐の能力不足による堤体の溢流がため池決壊の主たる原因であった。事業はこの改修工事のみを補助対象として発足した。しかし、昭和28年におけるため池災害が約4,800ヶ所にもおよんだことにより、さらに昭和30年に事業内容の拡充がなされ、洪水吐のみならず、堤体の改修工事についても事業の対象となった。現在は農地防災事業の中のため池等整備事業として機能向上のためのしゅんせつも可能になるなど、事業範囲が拡充されている。

ため池はその多くが築造後100年以上を経過していて、老朽化が進んでいるため、災害を受けやすくなっている。ため池整備事業にあたっては環境に配慮した設計が望まれている。「ため池整備」(農林水産省2000)では農業用施設、防災保全施設としての機能に加え、水辺空間として多面的機能を有していることから、周辺の自然環境や景観との調和や個々のため池固有の諸条件に配慮したため池改修・整備を行うこととして以下の点に留意することとしている。

設計に先立ち、ため池周辺の自然環境、社会環境および歴史的環境を十分調査し、その地域の特色や広域的な自然生態系の調和についても留意しなければならない。

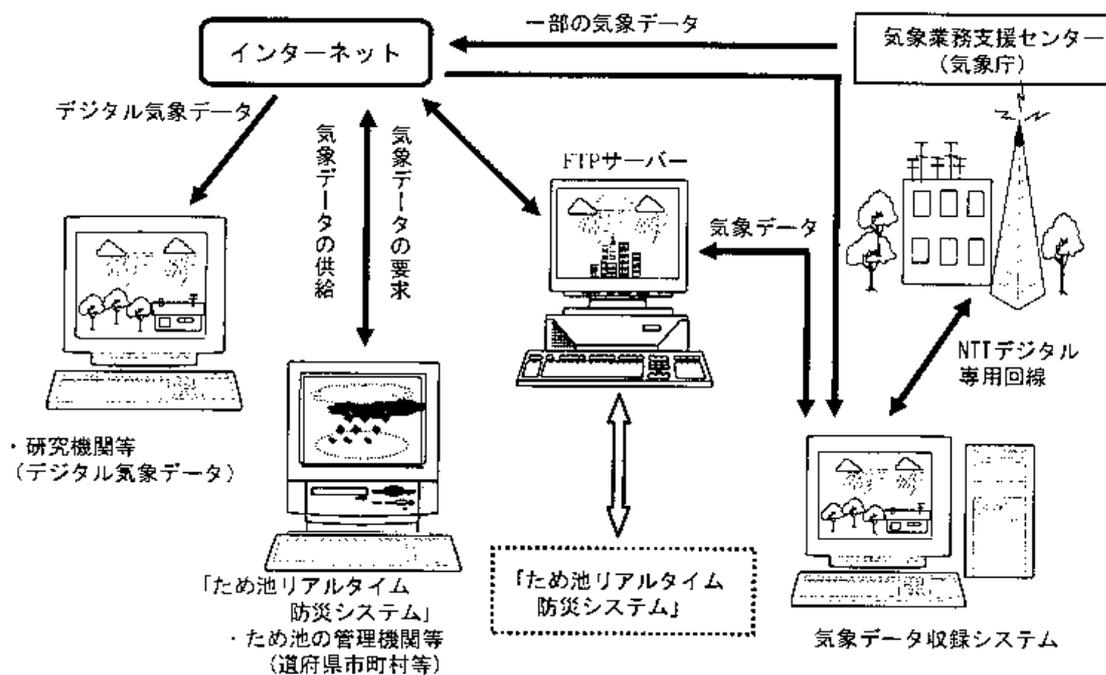


図5. ため池リアルタイム防災システム.

整備計画においては、ため池管理者や地域住民が反映されるよう調整が必要であり、ため池が本来持つ農業用施設、防災保全施設としての機能を損なうことのないよう留意しなければならない。

ため池改修工事にあたって現存の自然生態系の破壊はまた負荷を与えることがある。工事にあたっては、できるだけ負荷を最小限に抑えるような配慮を行うことが望ましい。また、自然環境の保全、復元にも努めるものとする。

## 6. おわりに

本報告では、ため池の災害、災害予測法、及び改修について述べた。食料・農業・農村基本法に基づく計画の中で、農業基盤整備の一環として、「管理体制の整備等を通し老朽化したため池の防災対策の計画的な推進」が位置づけられている。ため池の管理・保全体制の確立とともに、ハード的整備についても多面的機能の発揮、環境に配慮したため池整備(改修、補修)、保全の適切な方法を検討していく必要がある。

## 引用文献

農林水産省(2000): 土地改良事業設計指針「ため池整備」. 農業土木学会, 東京.

谷 茂・福原正斗(1999): 高度地理情報を有する「ため池データベース」の構築, 情報地質学会誌, 10(2) 118-119.

## 質疑

(質問) 防災は人命が係わるので第一に重きをおくことになると思います。今後は環境へも配慮するというようなことでしたが、具体的に防災上の維持管理をする際、また改修工事を行う際、どのようなところには配慮していこうというようになっているのでしょうか? 国の施策について、ため池関連での動向はどうでしょうか? 例えば、河川法が環境に配慮するようにかわったとか、そうした動きがあれば教えてください。

(返答) ため池の防災、すなわち地震や豪雨に強い構造物にするために盛土を強化するとか、洪水吐きの容量を大きくする、斜面の浸食を防ぐためブロックを張るなど対策をとることになるた

め、景観や動植物の生息環境に好ましくない場合もあります。一般的には環境配慮型の設計ではコスト増大になりますが、公共工事においての環境負荷低減の原則からして、これからのため池改修工事では環境への配慮は重要です。以前からも、たとえば奈良県のため池などでは、景観への配慮から洪水吐きに擬石を用いることが行われていました。

土地改良事業設計指針「ため池整備便覧」(2000.2)では、自然環境や景観との調和に配慮したため池の整備(P.182-186), ということでも留意事項が述べられています(本文の5.ため池の改修に述べていますので参照ください)。予算的には一般のため池改修整備事業の中で行われていますが、その中で動植物の保全対策、環境に配慮した工法、材料の選択等が行われています。また自治体の中には「ため池保全要項」を定め、ため池の買い取り、自然環境に配慮した整備を独自に行っているところもあります。

(質問) 防災と環境への配慮が対立した場合、その点をどう克服していくのか。

実際の管理主体の減少の中で、管理をどう継続させていくのか?

震央距離の定義は?

防災・環境(生物多様性)・維持管理おのこの関係での、対立点をどのように克服するのか?

(返答) 防災と環境は対立する物ではないと考えていますが、ため池整備事業は国、自治体、ため池所有者が負担金を出し合っているもので、灌漑用水を安定的に供給するのが目的です。したがって、環境に配慮した整備を行う場合には三者の理解と同意が必要になります。

管理主体(水利組合)が高齢化等により減少していく場合に管理の粗放化による危険度の増加、環境の悪化が考えられます。このような場合にだれが管理していくかは、これからの課題ですが、周辺住民の方を含めたボランティア活動による管理活動がいくつかの地区で行われています。

震央距離は震央からの平面的な距離で計算されています。

(質問)ため池データベースは、台帳に載っているため池数が少ないし、載っていてもデータの無い項目が多いように思います。今後、データをもっと整備していく計画はあるのでしょうか。

(返答)今回ご紹介しました「ため池防災データベース」は防災を目的としたデータベースのため、貯水量1,000 m<sup>3</sup>以上のため池(全国で約10万箇所)が対象になっています。このほかに、調査目的が異なりますが、受益面積1 ha以上につ

いてのため池について整備したデータベースもありますが、基本的にはデータは県等の自治体が入力し、維持管理を行うようになっています。このため、データの数・精度は自治体の財政事情によってかなり差があるのが現状です。しかし、兵庫県等のようにすでにデータがかなり整備されている自治体もあり、今後データの整備が全国的に進むものと考えています。

# ため池の多面的機能を考慮した診断データベース

工藤庸介<sup>1</sup>・桑原孝雄<sup>1</sup>・木全 卓<sup>1</sup>・西川英里子<sup>1</sup>

<sup>1</sup>大阪府立大学大学院農学生命科学研究科 (〒 599-8531 堺市学園町 1-1)

## Diagnostic Database System for Considering Multifunctionality of Improvement of Irrigation Ponds

Yosuke KUDO<sup>1</sup>, Takao KUWABARA<sup>1</sup>, Takashi KIMATA<sup>1</sup> and Eriko NISHIKAWA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Graduate School of Agriculture and Biological Sciences, Osaka Prefecture University, 1-1 Gakuencho, Sakai 599-8531, Japan

### 1. はじめに

21世紀を迎えて国土建設から国土マネジメントの時代へと変わりつつある現在、より良い社会生活の実現にとってはさらなる基盤施設の建造よりもむしろ、既存施設がその機能を健全に発揮し続けるように適切な維持管理を行い、多様な社会的要請に応え得る更新・改修のあり方を考えることが求められるようになってきた(三木 2000)。本研究で取り上げるため池も、このような新しいあり方が模索されている基盤施設の一つである。

ため池は、改めて言うまでもなく農業用灌漑施設として築造されたものである。しかし農業を取り巻く状況の変化や環境に対する意識の高まりなどから、歴史の経過に伴った地域の貴重な景観資源、水に係わる生態系の貴重な空間、さらに周辺部の都市化に伴う周辺住民の貴重なオープンスペースや水辺空間といった多面的な価値や機能を有する地域資源(今村ら 1995)としての役割が重視されるようになってきた。人間が自然に働きかける活動を開始したかなり早い段階から地域資源として存在してきたため池は、地域の自然条件が持つ地域個性を存分に発揮する場として活用される可能性を有している。したがって農村地域の持続的発展という観点からも、ため池の多面的な利活用には大きな意義がある。

こうした考えの元に、大阪府の「ため池オアシス構想」、滋賀県の「みずすまし構想」、兵庫県の「兵庫県ため池整備構想」などの新たなため池文化の創造を目指したため池の環境整備事業が、地方

自治体においても積極的に推進されている。これらは、「食料・農業・農村基本法」(平成 11 年 7 月 16 日制定)において農業・農村の重要な役割として規定された「多面的機能の十分な発揮」を担う地域資源として、ため池を積極的に位置付けようとするものと言うこともできる。以上のことから、今後のため池整備においてはその多面的機能に対する配慮が必要不可欠であることがわかる。そのためには、整備対象のため池が有する多面的機能の現状と可能性を適切に把握し、それを踏まえた整備計画の立案が望まれる。

しかしながら、個々のため池が現在どのような多面的機能を有し、また整備等によってどのような多面的機能が発揮され得るのかを判断することには困難が伴う。そこで著者らは、誰もが簡単に作成できるような診断カルテを用いて、ため池が有する多面的機能の現状を把握・評価する方法について研究を進めてきた(工藤ら 2001)。この診断カルテによって蓄積された情報を実際のため池整備において活用するために、診断カルテに基づいた現状評価から整備案の提示、そしてその整備案に対する評価までを体系的に統合させようとする試みが、ため池診断データベース(桑原ら 2003)である。本研究では、ため池の整備計画に携わる関係者(行政、技術者、地域住民など)が様々な局面(設計、ワークショップ、合意形成など)で用いることを念頭において、必ずしも高度な専門知識を持たなくても多面的機能に配慮したため池の整備計画を効率的に立案できることを目

指して、ため池診断データベースを構築した。以下では、まずため池が有する機能を整理した後に、構築したため池診断データベースの構成を示し、その内容についてデータ構成、現状評価、整備案作成、整備案評価という順序で実際の出力画面を中心に説明する。最後にこの診断データベースの利点と今後の課題についても述べる。

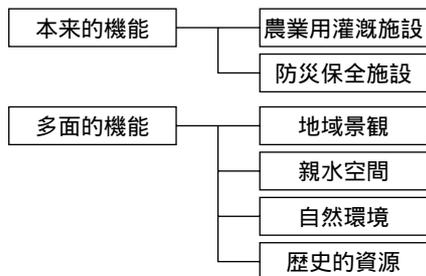


図1. ため池が有する機能.

## 2. ため池が有する機能

平成13年に日本学術会議が農業の有する多面的機能の内容を学術的見地から整理したところによると、適切な農業生産活動による多面的機能には、

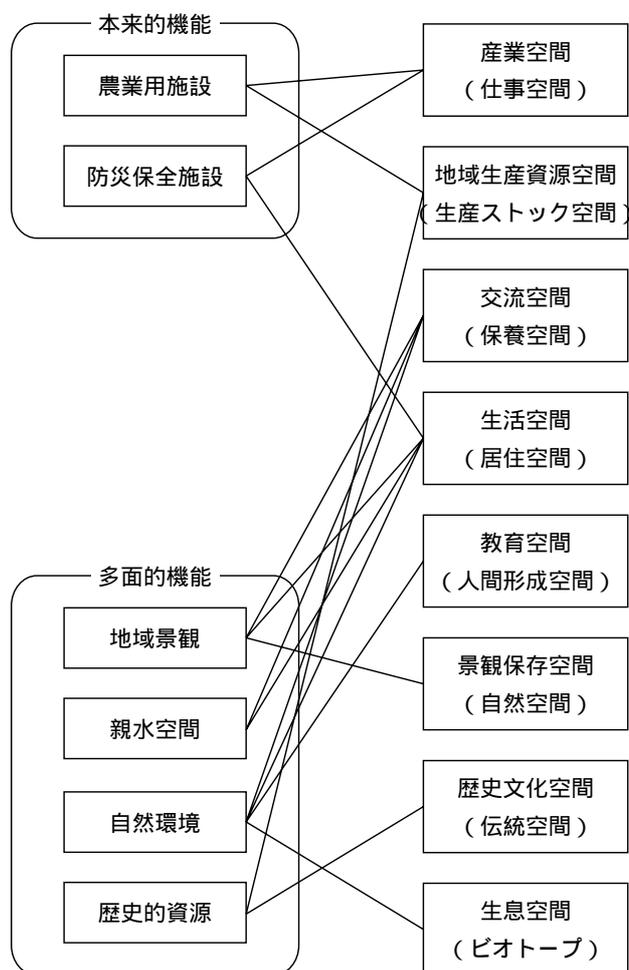


図2. ため池と農村空間とが有する機能の対応.

「国土の安全機能」、「水源のかん養機能」、「自然環境の保全機能」、「良好な景観の形成機能」、「文化の伝承機能等」、「食料の安定供給」といった役割が含まれる（農林水産省 2002）。これらは農業あるいは農村空間の有する多面的機能であるが、ため池においても同様の分類が可能である。本研究では、ため池が有する機能を、農業利水や防災保全施設としての基本的な機能と、動植物生息の場あるいは水辺の空間が持つ安らぎの場としての多面的かつ公益的な機能とに大別し、前者を本来的機能、後者を多面的機能として図1のように整理した（工藤 2003）。

図1の中で多面的機能として分類されている機能の内、「地域景観」とは地域の景観資源としての機能、「自然環境」とは水辺に関わる生態系の場としての機能、「親水空間」とは水とふれあい、親しむ場を提供するとともに、周辺住民が憩いの場として活用することで地域の快適性を高める機能を意味する。それぞれの機能は、今村ら（1995）が整理した「農村空間デザインの基本視角」と図2のように対応する。このことから、ため池という

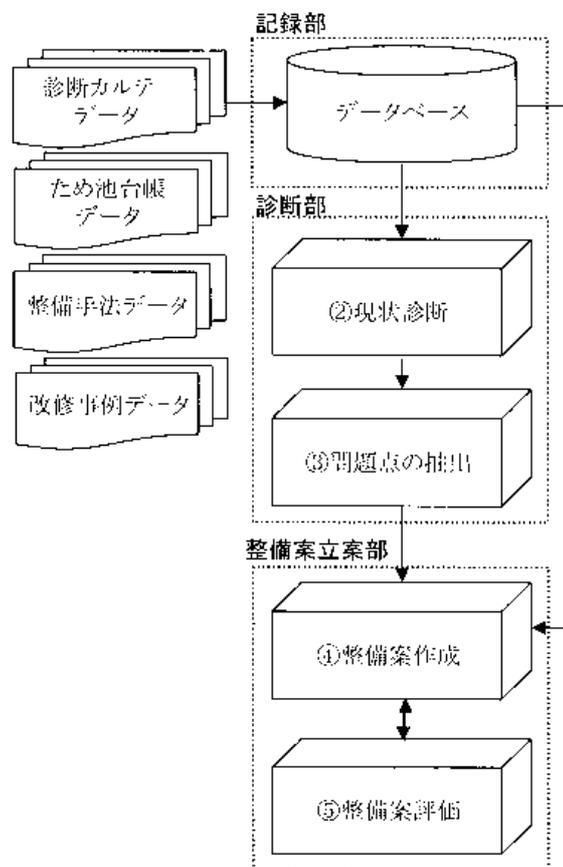


図3. 診断データベースの構成.

診断カルテ1

水質	点数:	<input type="text" value="0"/>	杭・浮石	点数:	<input type="text" value="0"/>
	備考:	<input type="text"/>		備考:	<input type="text"/>
植生	点数:	<input type="text" value="-1"/>	地形 中の島 平面形状	点数:	<input type="text" value="0"/>
	高木の代表種:	<input type="text"/>		点数:	<input type="text" value="0"/>
	中低木の代表種:	<input type="text"/>		備考:	<input type="text"/>
	中面部の植生:	<input type="text"/>	水面への近づ きやすさ	点数:	<input type="text" value="0"/>
	備考:	<input type="text"/>		備考:	<input type="text"/>
	点数:	<input type="text" value="-1"/>			
	形状:	<input type="text"/>			
護岸工	備考:	<input type="text"/>			
生息動物	点数:	<input type="text" value="0"/>			
	鳥類の代表種:	<input type="text"/>			
	魚類の代表種:	<input type="text"/>			
	貴重種の存在:	<input type="text"/>			
	備考:	<input type="text"/>			

図4．診断カルテデータ(1)

空間が単なる基盤施設に留まらず、農村空間と同様の多種多様な機能・役割を持つことがわかる。

### 3．診断データベースの構成

本研究で構築した診断データベースの構成を、図3に示す。データベースは記録部、診断部、整備立案部の3つの部分から成り、基本となるデータは診断カルテデータ、ため池台帳データ、整備手法データ、改修事例データの4つである。この診断データベースでは、登録されているデータの閲覧・検索のみならず、診断カルテデータとため池台帳データに基づいて対象となるため池の本来の機能と多面的機能の現状を診断し、その診断結果に応じた整備案の作成、および作成された整備案の評価までを行うことができる。

## 4．データ構成

### 4.1 診断カルテデータ

診断カルテは、特に多面的機能についての現状を効率良く把握するためのものである(工藤ら2001)。このカルテに記録された情報を、診断カルテデータとして格納する。図4と図5に、データ入力画面を示す。「点数」という欄には、後述する採点表(表1,2)の分類にしたがって各項目の現状を入力する。

なお、水質については特別に専門的な調査を行うのではなく、主として景観上の影響を調べるために『池の色』標準色のカラーチャートを用いた色調判定結果を記載する。『池の色』標準色は、湖

沼の水面の色調判定に従来用いられてきたフォーレルおよびウーレの標準色系列が、きれいな湖や北欧森林地方の腐食質の褐色湖を対象に作成されているために、富栄養化の進行したプランクトンの多い池等には適用が困難であるという問題を解決すべく選択された色調系列である(共立理化学研究所1998)。

### 4.2 ため池台帳データ

ため池台帳に記載されている諸元等の本来の機能に関する情報を、ため池台帳データとして格納する。これは、「概要」、「提体諸元(1,2)」、「老朽度・その他」の4部分から構成される。本研究では、大阪府のため池防災データベース(井谷ら2000)のデータを利用した。図6~9に、ため池

診断カルテ2

フェンス	点数:	<input type="text" value="0"/>
	備考:	<input type="text"/>
レクリエーション施設	点数:	<input type="text" value="0"/>
	施設の種類および形状:	<input type="text"/>
	備考:	<input type="text"/>
景観障害物	点数:	<input type="text" value="0"/>
	備考:	<input type="text"/>
散策の利便性	点数:	<input type="text" value="0"/>
	遊歩道の形状:	<input type="text"/>
	備考:	<input type="text"/>
歴史的資源(寺社・仏閣):	<input type="text"/>	
歴史的資源(行事・伝承等):	<input type="text"/>	

図5．診断カルテデータ(2)

ため池ID:	0			整備案の作成
名称:				
概要	堤体諸元	堤体諸元2	老朽度・その他	多面的機能1   多面的機能2

ため池台帳(概要)

行政コード:		データベース更新年度:	0	旧台帳の地区番号:	
水系:		河川区分:		GISコード:	
型式:		地形:		座標	北緯:
農政局:	管区:	表層地質:			東経:
事業者:		事業費:		着工年度:	竣工年度:
目的:				築造年代:	
施設所有者:		低地所有者:			
多目的利用	<input type="checkbox"/>	将来の利用予定:			
管理者:		管理者名:			
管理者住所:		管理者電話番号:			
市町村担当課:		市町村電話番号:			
都道府県担当部署:		都道府県電話番号:		地震強度区分:	

指 定 地 域 等		画 像 情 報 の 有 無	
地震の危険域であるか:		半島振興地域であるか:	
台風常襲地域であるか:		山村振興地域であるか:	
豪雪地帯であるか:		中山間率法地域であるか:	
特別豪雪地帯であるか:		地域防災計画に計上されているか:	
離島地域であるか:		地域防災計画に計上された年:	
過疎地域であるか:		地域区分:	
		位置図:	断面図:
		写真:	平面図:
		その他の図面:	
		緊急時の対応を表す図表の有無:	

図6. ため池台帳データ(概要)

ため池ID:	0			整備案の作成
名称:				
概要	堤体諸元	堤体諸元2	老朽度・その他	多面的機能1   多面的機能2

ため池台帳(堤体諸元)

現	状	1
天端幅:		基礎地盤
堤体積:	0	地質:
堤高:	0	記事:
堤頂長:	0	堤体材料
斜面勾配:		
総貯水量:	0	材料:
有効貯水量:	0	記事:
流域面積:	0	
満水面積:	0	
かんがい受益地:		形式:
被害想定	水田: 0	材料:
	畑: 0	能力:
かんがい戸数:	0	記事:
戸数:		
人口:		
集落名:		
冠水面積:		
公共施設:		

図7. ため池台帳データ(堤体諸元(1))

台帳データの入力画面を示す。

#### 4.3 整備手法データ

ため池の整備手法として考えられるものに対して、その整備を行う目的と、整備が多面的機能に及ぼす影響(後述する「評価点」とをまとめたものを、整備手法データとして格納する(図10)。整備手法は常に新しいものが取り入れられなければならないため、適宜追加・更新できるように配慮している。

#### 4.4 改修事例データ

ため池整備を考える上での資料として、実際の事例を改修事例データとして格納する(図11)。ここには、多面的機能に配慮したため池の整備内容に加え、ため池整備に当たったの活動や維持管理状況なども併せて記録する。主として積極的にため池の多面的機能を発揮させようとした事例が対象となるが、ため池の多面的な利活用に対するイメージの画一化を避けるためには、本来の機能に

ため池ID:	0				整備案の作成
名称:					
▶ 概要	堤体諸元	堤体諸元2	老朽度・その他	多面的機能1	多面的機能2
ため池台帳(堤体諸元)					
現 状 2					
設計洪水流量:			下流法面保護工	種類:	
取水施設	構造:			記事:	
	材料:				
	能力:	0	配置形態:		
	記事:		貯水区分:		
底樋	構造:		管理	草刈り:	
	能力:	0		泥吐き:	
	記事:			管理費:	
				管理費財源:	
				管理記事:	
上流法面保護工	種類:		対岸距離:		
	記事:				

図8．ため池台帳データ(堤体諸元(2))

ため池ID:	0				整備案の作成
名称:					
▶ 概要	堤体諸元	堤体諸元2	老朽度・その他	多面的機能1	多面的機能2
ため池台帳(老朽度・その他)					
老朽度	取水施設:		堤体の損傷	沈下:	
		<input type="checkbox"/> 改修の要否		クラック:	
	洪水吐:			法面損傷:	
		<input type="checkbox"/> 改修の要否		はらみだし:	
	堤体:		堆砂	状況:	
		<input type="checkbox"/> 改修の要否		<input type="checkbox"/> 堆砂除去の必要性	
	漏水:			記事:	
	洪水吐等の 周辺地山:				
	管理施設:				
	総合判定:				
	廃止区分:		廃止年:		

図9．ため池台帳データ(老朽度・その他)

関する整備を重点的に行った事例もデータとして記録するのが望ましい。

## 5．現状診断

### 5.1 本来の機能

本来の機能の現状診断は、ため池台帳データ内の「老朽度」を参照し、堤体(構造・漏水)、取水施設、洪水吐のそれぞれについて、老朽化や構造的な欠陥および破損等によって整備の必要性がある箇所を指摘することで行う。

### 5.2 多面的機能

多面的機能の現状診断は、「地域景観」、「親水空間」、「自然環境」という3つの機能に対して評価点を求めることで行う。図1では多面的機能として他に「歴史的資源」という機能も挙げているが、

これは点数化することが困難であるために、ここでは扱わない。評価点は、以下のような手順で算出する。まず診断カルテデータの各項目(「水質」をのぞく)について、表1に示したような採点表を用いて5段階(-2~2点)および3段階(-1~1点)で採点する。整備を行うことによって多面的機能の向上に大きく貢献すると考えられる項目(「植生」、「水質」、「護岸工」、「地形」、「フェンス」、「水面への近づきやすさ」、「散策の利便性」、「レクリエーション施設」)は評価結果に強く反映するように5段階評価を用い、多面的機能の向上にあまり影響を及ぼさないと考えられる項目(「生息動物」、「杭・浮き石」、「景観障害物」)は3段階評価としている。

水質の採点は、共立理化学研究所(1998)の分

表1. 採点表.

項 目		評 価	点 数
植生		緑がため池周囲をほぼ覆っている	2
		緑がため池周囲の1/2以上を占めている	1
		緑がため池周囲の1/4以上を占めている	0
		一部, 緑がある	-1
		ほとんど緑がない	-2
護岸工		護岸全体が近自然型工法である	2
		近自然型工法の護岸の割合がコンクリート護岸を上回っている	1
		どちらとも言えない	0
		近自然型工法の護岸の割合がコンクリート護岸を下回っている	-1
		護岸全体がコンクリート護岸である	-2
生息動物		鳥類が数種類生息している	1
		どちらとも言えない	0
		確認できない	-1
地形	平面形状	岸の平面的な形状が変化に富んでいる	1
		どちらとも言えない	0
		岸の平面的な形状が直接的である	-1
	中の島	中の島が2ヶ所以上ある	1
		中の島が1ヶ所ある	0
		中の島がない	-1
杭, 浮き石		杭, 浮き石が点在している	1
		どちらとも言えない	0
		杭, 浮き石がない	-1
景観障害物		電柱, 鉄塔がない	1
		どちらとも言えない	0
		電柱, 鉄塔が乱立している	-1
フェンス		フェンスがない	2
		一部フェンスがある(景観的な配慮がある)	1
		一部フェンスがある(景観的な配慮がない)	0
		全面的にフェンスがある(景観的な配慮がある)	-1
		全面的にフェンスがある(景観的な配慮がない)	-2
水面への近づきやすさ		全面的に水辺に降りることができる	2
		一部、水辺に降りることができる	0
		水辺に降りることができない	-2
散策の利便性		全面的に遊歩道が整備されている	2
		一部, 遊歩道が整備されている(ため池周囲を一周できる)	1
		一部, 遊歩道が整備されている(歩けない部分がある)	0
		遊歩道が整備されていない(ため池周囲を歩ける)	-1
		遊歩道が整備されていない(ため池周囲を歩けない)	-2
レクリエーション施設		Aが3ヶ所以上設置されている+Bが設置されている	2
		Aが2ヶ所以上設置されている+Bが設置されている	1
		Aが1ヶ所以上設置されている+Bが設置されている	0
		Bのみ設置されている	-1
		設置されていない	-2

表2. 水質採点表.

記号	点数
100-0, 100-20, 80-0	2
100-40, 80-20, 80-40	1
60-0, 60-20, 60-40, 40-0, 40-20, 40-40	0
80-60, 60-60, 40-60, 20-20, 20-40	-1
100-60, 20-0, 20-60	-2

表3. 各機能に属する項目.

評価の内容		項目
自然環境	生態系	水質 植生 生息動物
	多孔質な空間の創出	護岸工 地形 抗 浮き石
地域景観	構造物の呈する景観	護岸工 フェンス 景観阻害物
	自然景観	水質 植生
親水空間	水辺空間	水質 護岸工
	接合空間	植生 レクリエーション施設
	アプローチ空間	水面への近づきやすさ 散策の利便性

類を参考にして作成した表2によって行う。表中の番号は、色を表す記号である。

次に、「地域景観」、「親水空間」、「自然環境」の各機能に関係する診断カルテデータの項目を表3のように分類し、それぞれの機能に関わる項目の得点を合計する。見やすさのために、合計点を次式のように10点満点に換算して各機能の評価点とする。

「親水空間」に属する各項目の合計点 × 10 / 12

= 「親水空間」の評価点

「地域景観」に属する各項目の合計点 × 10 / 9

= 「地域景観」の評価点

「自然環境」に属する各項目の合計点

= 「自然環境」の評価点

こうして算出された評価点は各機能の絶対的な評価を与えるものではなく、せいぜい順序尺度を構成する程度のものであることに注意する必要がある。また、採点表の配点や各機能に関わる項目の重みなどにも検討の余地が多く残されている。しかしながら、このように得点化することには、ため池の現状を簡易に把握できるという利点がある。

### 5.3 問題点の抽出

現状診断の結果から、本来的機能(図12)と多面的機能(図13)のそれぞれについて整備が必要とされるような問題点を抽出する。特に多面的機能については、3つの機能の評価点を各機能を軸とするグラフで図示する。

### 6. 整備案作成

前章で述べた現状診断の結果に従い、整備の必要があるため池についてその多面的機能にも配慮した整備案の例を、図14の手順に沿って作成する。ここでは、現状診断の結果から本来的機能に

ID	項目	整備手法	得点自然環境	得点親水空間	得点地域景観	得点工事費	得点維持管理費	得点維持管理作業性
1	水質	水質の浄化・改善	1	1	1	1	1	1
2	植生	高木の移植	2	0	1	1	1	1
3	植生	高木の移植	3	0	0	0	0	0
4	護岸工	石積み護岸の導入(護岸工)	4	0	0	-1	-1	-1
5	護岸工	緑化護岸の導入(護岸工)	5	0	0	0	1	-2
6	護岸工	加工製品を用い自然の状態に近	6	0	1			
7	地形・平面形状	平面的に入り江等の変化をつける	6	1	0			
8	地形・中の島	中の島の造成	6	1	0			
9	水面への近づき	防護フェンス・安全柵の除去	1	1	1			
10	水面への近づき	景観に配慮したフェンスの導入	1	1	0			
11	散策の利便性	遊歩道の設置	1	1	1			
12	レクリエーション	親水利用施設の設置	1	1	0			
13	レクリエーション	自然観察施設の設置	3	1	1			
14	水質	歴史文化施設の設置	2	1	0			
15	堤体	石積み護岸の導入(堤体)	4	0	0			
16	堤体	緑化護岸の導入(堤体)	5	0	0			
17	堤体	加工製品を用い自然の状態に近	6	0	1			
18	取水施設	景観に配慮した取水塔形式の取	1	1	1			
19	フェンス	防護フェンス・安全柵の除去	1	1	1			
20	フェンス	景観に配慮したフェンスの導入	2	1	1	0	0	0
21	洪水吐	化粧型枠	0	0	0	0	0	0
0			0	0	0	0	0	0

図10. 整備手法データ.

詳細	画像																								
満水面積	<input type="text" value="1"/> ha																								
キーワード	<input type="text" value="出会い、歴史、自然"/>																								
住民参加	<input type="text" value="なし"/>																								
活動内容	<input type="text"/>																								
維持管理状況	<input type="text" value="良い"/>																								
維持管理作業の内容	<input type="text"/>																								
利用状況	<input type="text" value="良い"/>																								
改善された点	<input type="text" value="治安がよくなった"/>																								
問題点、課題	<input type="text" value="掃除の手間"/>																								
整備内容																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th>整備項目</th> <th>整備手法</th> <th>備考</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>▶ 護岸工</td> <td>石積み、緩傾斜護岸</td> <td>生態系に優しい</td> </tr> <tr> <td>水質</td> <td>水質の浄化・改善</td> <td>接触酸化水路</td> </tr> <tr> <td>その他</td> <td>林地</td> <td>自然環境に配慮</td> </tr> <tr> <td>遊歩道</td> <td>石畳園路</td> <td>隣接する神社に続く参道であり一体的</td> </tr> <tr> <td>休憩施設</td> <td>あずまや</td> <td></td> </tr> <tr> <td>休憩施設</td> <td>ベンチ</td> <td></td> </tr> <tr> <td>植生</td> <td>ソメイヨシノ、ハノミズキ、ヤブツバキ</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		整備項目	整備手法	備考	▶ 護岸工	石積み、緩傾斜護岸	生態系に優しい	水質	水質の浄化・改善	接触酸化水路	その他	林地	自然環境に配慮	遊歩道	石畳園路	隣接する神社に続く参道であり一体的	休憩施設	あずまや		休憩施設	ベンチ		植生	ソメイヨシノ、ハノミズキ、ヤブツバキ	
整備項目	整備手法	備考																							
▶ 護岸工	石積み、緩傾斜護岸	生態系に優しい																							
水質	水質の浄化・改善	接触酸化水路																							
その他	林地	自然環境に配慮																							
遊歩道	石畳園路	隣接する神社に続く参道であり一体的																							
休憩施設	あずまや																								
休憩施設	ベンチ																								
植生	ソメイヨシノ、ハノミズキ、ヤブツバキ																								

図11．改修事例データ．

ため池ID:

名称:

改修が必要な箇所は以下の部分です。

取水施設改修の要否

洪水吐改修の要否

堤体改修の要否

このため池について多面的機能に配慮しますか？

図12．問題点の抽出( 本来的機能 )

ついて整備の必要性がないと判断された場合と、整備の必要があっても多面的機能に配慮しない場合は、整備案の作成を行わないものとした。これは、図12の画面で選択する。

本来的機能について整備の必要があり、かつ多面的機能にも配慮する場合は、以下のように整備案を作成する。まず、整備の必要性がある機能を明らかにするために、評価点が0点未満である機能を整備対象とする(図13)。次に、選択された機能に属する項目の中で得点が0点以下のものから

評価点	
自然環境:	<input type="text" value="-3"/>
地域景観:	<input type="text" value="-333"/>
親水空間:	<input type="text" value="-417"/>

今すぐ重視する機能を決定  評価点分布を見てから決定  やり直し

評価点が0点未満の機能の中から選んで下さい。

テキスト6:

図13．問題点の抽出・機能の選択( 多面的機能 )

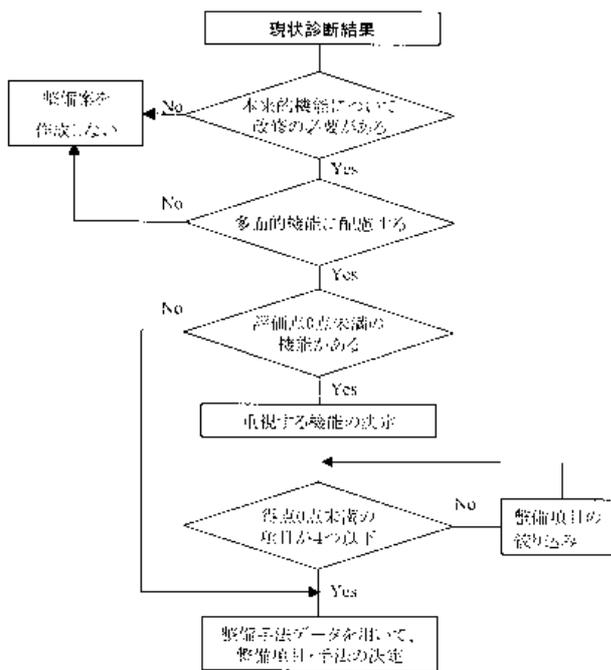


図14．整備案の作成手順．

整備項目を選択し、各項目に対応する整備手法を決定して、整備案とする。全ての機能の評価点が0点以上の場合、本来的機能について必要とされるものを優先して整備項目を任意に選択し、整備案を作成する。この一連の作業は、図15のフォーム上にて行う。この作業を任意に繰り返すことで、複数の整備案を効率よく作成することができる。作業を体系化することで作成される整備

案の画一化が懸念されるが、整備案の作成には作業を行う者の主観的な考えが反映されることと、複数の整備案を容易に比較対照できることでこの問題は十分に避けられる。

### 7．整備案評価

以上のように作成された整備案を、図16～19のように整理する。整備項目とそれに対する整備手法およびその効果を一覧にし(図17)、採用された整備手法については図18のような画像も示す。また、現状評価の際に得点化しなかった「歴史的資源」の機能に関する特記事項と、主として「自然環境」の機能に関わる生息動物等の情報を図19のようにまとめる。

最後に、まとめられた整備案に対して多面的機能に関する現状診断と同様の評価を行う。この結果を現状評価と比較することによって、整備案がもたらす効果を確認することができる。さらに、多面的機能にも配慮した整備を行う際に発生する追加のコストも把握しておく必要があるため、「工事費」、「維持管理費」、「維持管理作業性」という3つの側面からも評価することを検討している。整備後にため池を維持管理する当事者の負担を考慮することも重要で、農家心理や経済収支、就労意欲といった評価軸の導入も含め、このようなコ

A池 について 整備案ID: \_\_\_\_\_  
 自然環境 に注目した整備案を作成します。 開始

赤く着色された部分が対象となります。多面的機能に配慮する項目と整備手法を選択してください。

本来的機能に属する項目		項目		手法	
取水施設	<input checked="" type="checkbox"/>	堤体	<input type="text"/>	石積み護岸の導入(堤体)	<input type="text"/>
洪水吐	<input type="checkbox"/>				
堤体	<input checked="" type="checkbox"/>				
多面的機能に属する項目		多面的機能についての整備案			
水質	0	植生	<input type="text"/>	高木の移植	<input type="text"/>
植生	-1	護岸工	<input type="text"/>	石積み護岸の導入(護岸工)	<input type="text"/>
護岸工	-1				
地形・中の島	0				
地形・平面形状	0				

Next >>

図15．整備案作成フォーム．

整備案ID:	54
名称:	A池
ため池ID:	1
重視する機能	自然環境

図16. 出力レポート.

Form \_ 各整備案の持つ得点

ID	整備内容	整備手法	整備により上がった点数					
			自然環境	親水空間	地域景観	工事費	維持管理費	維持管理作業性
D1	洪水吐	水質の浄化・改善	0	0	0	0	0	0
D1	水質	高木の移植	1	1	1	1	0	1
D1	植生	高木の移植	2	0	1	1	1	1
D1	護岸工	石積み護岸の導入(護岸工)	4	0	0	00	-1	-1
D1	地形・中の島	緑化護岸の導入(護岸工)	6	1	0			

図17. 出力レポート(整備案).

Form \_ 画像

No:	5
整備案ID:	95
名称:	A池
項目:	護岸工
整備手法:	石積み護岸の導入(護岸工)
パス:	C¥ Documents and Settings¥ eriko nishikawa¥ デスクトップ¥ ため池写



図18. 出力レポート(整備手法画像).

Form \_ 画像

ため池ID:	
生息動物鳥類の代表種:	
生息動物魚類の代表種:	
貴重種の存在:	
生息動物備考:	
歴史的資源(寺社・仏閣):	周囲に古墳あり
歴史的資源(行事・伝承等):	

図19. 出力レポート(備考).

ストに関わる評価の方法については今後の課題である。これらの評価結果を図 20 のように整理し、図 16 ~ 20 をまとめて出力レポートとする。

## 8 . おわりに

以上、ため池診断カルテに基づいたため池の現状評価から多面的機能を考慮した整備案の作成、そして作成した整備案に対する評価までを行う、ため池診断データベースの概要を示した。このシステムの利点は、次の通りである：

多面的機能に関する現状や整備に関する情報をデータベースに蓄積・整理することで、整備計画を立案する際に必要となる多様な客観的データを利用することが容易になる。

一連の手順を踏むことで、現状を反映した整備案の作成作業を省力化し、複数案の作成も可能になる。

具体的な整備案の内容(整備項目・手法)や、それに対する評価結果を分かりやすく示すことができる。

今後は、診断カルテの項目や採点表の見直しや、整備案の提示方法に関する検討、コスト面からの整備案評価法の確立などといった問題を解決し、診断データベースの有用性と使いやすさを向上させる必要がある。このような課題は残っているものの、この診断データベースは整備計画に必要な客観的データを提供することも可能であり、住民

参加や合意形成が重視される近年のため池整備において様々な利用の可能性がある。

基盤施設のあり方において社会的・環境的コストの観点から、今後ますます重視されていくものと思われる。ため池のように、これからも必要な基盤施設の新規建設や老朽化した施設の再生・更新にあたり、その多面的機能を活用して環境負荷を低減させようとする事は、持続可能な社会の実現にとって不可欠な視点である。本研究で提案した診断データベースの考え方は、こうした新時代の基盤施設づくりに大きく貢献するものと期待される。

## 引用文献

今村奈良臣・向井清史・千賀裕太郎・佐藤常雄 (1995): 地域資源の保全と創造. 全集 世界の食料世界の農村9, (社)農山漁村文化協会, 東京.

井谷昌功・半田修弘・小林秀匡・谷 茂 (2000): 「ため池防災データベース」の構築. 農業土木学会誌, 68 (3): 49-53.

工藤庸介・木全 卓・桑原孝雄・雪本博志 (2001): ため池の多面的機能を把握・利活用する「ため池診断カルテ」の構築. 第58回農業土木学会京都支部研究発表会講演要旨集, 102-103.

工藤庸介 (2003): 豊かな地域空間を創出する社会基盤施設のあり方. 農学から地域環境を考える,

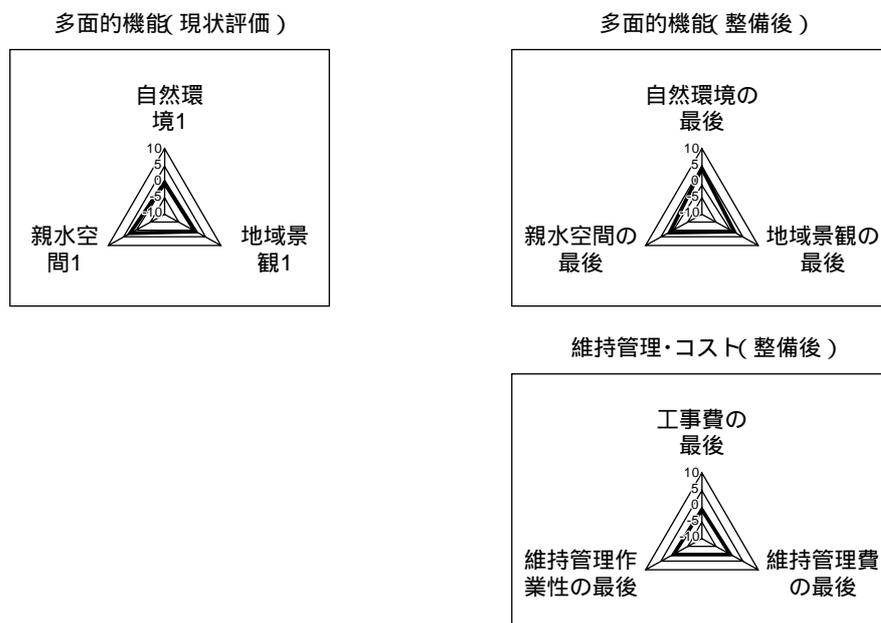


図20 . 出力レポート(再評価)

地域環境を考える会(編):125-130.大阪公立大学共同出版会,大坂.

桑原孝雄・木全 卓・工藤庸介・西川英里子(2003):多面的機能に配慮したため池整備に寄与する診断データベースの構築.第60回農業土木学会京都支部研究発表会講演要旨集,84-85.

共立理化学研究所(1998):『池の色』標準色解説書.共立理化学研究所,東京.

三木千壽(2000):社会基盤の超寿命化に向けた維持管理技術の動向(特集「社会基盤の維持管理と再生を考える」).土木学会誌,85(2):5-7.

農林水産省(2002):平成14年度 食料・農業・農村白書のポイント.16.

### 質疑

(質問)最近のため池整備事業では,結局末端の事業においては画一的で自然環境や歴史的背景に配慮が少なく,このような診断は有意義だと思います.但し,親水性はおおむね自然環境の保全と相反し,評価に配慮が欲しいと思います.水面と陸域間のバッファゾーンなど配慮が欲しい.近自然工法についても十分な生態学的な評価を組み込めないかと思います.新たな「画一化」にならない事を望みます.

(返答)ご意見,大変ありがとうございました.“新たな「画一化」にならない事を望みます”に対する見解は,本文中に盛り込みました.

(質問)当社では一つの業務として,ため池評価手法を検討したことがあります.愛知県豊橋市の業務で,緊急雇用事業として自然環境調査を実施しました.(生物,水質,その他)兵庫県のため池整備のパンフレット(資料名は忘れてしまいました)を参考に,治水面,生物面,利用面の3視点で,同様の評価を試みました.評価の点数化については,生物面では外来種等の生息の有無も評価項目とし,地元有識者で構成された懇談会に手法を諮りました.緊急雇用による課題も多々ありますが,方向性までを検討したものです.今後とも情報交換させていただきたいと思います.

(返答)ご意見,大変ありがとうございました.

(質問)多面的機能で農業関係事業は成立・維持できるのか?データベースの評価軸に農家心理と経済収支・就労意欲を入れられないか?

(返答)第三者が農業や農村地域に対していわゆる多面的な価値を見出すことと,実際に農業を担う農家との間には大きな意識のギャップがあると思います.今後の事業展開において多面的機能の持つ意義を積極的に評価して取り入れていくことは時代の要請と言うこともできるでしょうが,それを維持していく当事者の負担を考慮することは極めて重要な問題であると考えます.そうした意味において,ご質問いただいた農家心理・経済収支・就労意欲といった評価軸は非常に有用なものであると思います.現在のところ,コストといった観点から整備後の維持管理の負担を評価しようと考えておりますが,これらの評価軸も取り入れることによって,多面的機能を有するため池の価値についての意識を高めていくことにもつながれば,とも期待するものであります.

(質問)「農業土木」の枠組の中での「多面的機能」という概念にとどまるのではなく,本来の意味での「多面的機能」を診断することについて考えることが必要ではないでしょうか.特に生態関連の機能などは,「農業土木」の枠組の中での「多面的機能」に単に同列に付加すると,本質的に対象を捉え損なうことになるのでは?診断しすぎるデータベースではなく,対象を客観的に捉える枠組としてのデータベース構築にとどめて,有用な枠組の構築をかんがえられることがより必要ではないでしょうか.

(返答)ため池という対象をどのように捉えるかによって,その「多面的機能」に対する考え方にも違いが出てくると思います。「農業土木」の立場とは必ずしも言えないとは思いますが,筆者らは今まさに農業用の灌漑施設として利用されているため池を念頭において研究を進めております.そのために,生態関連の機能をはじめとしたいわゆる「環境形成機能」のようなものは,現実の維持管理等を考えると副次的な機能として受け止められることが多いと判断しております.ただし,持続可能な地域の発展といった観

点からもこのような環境に関わる機能は今後ますます重要になるものと思われるため、それらをいかにこれからのため池整備の中で反映させていくかが大事になってきます。新規建造ではなく、現在利用されているため池の整備・改修という制約の中でこの目的を実現するためには、付加的な価値として多面的機能を取り扱うことも、決して意味のないことではないと考えます。

「診断しすぎるデータベース」というご意見はごもっともで、今回発表したシステムの中でも特に整備案を作成する部分においてそうした印象を持たれたものと思いますが、筆者らの意図は整備計画を拘束するような整備案立案ではなく、対象の現状と多面的利活用の可能性をわかりやすい形で示すために整備案という形をとって提示することにあります。いずれにいたしましても、システムを構築することに留まらず、今後のため池のあり方を考えながらこのようなシステムをどのように活用していくかを考えていくことが重要だと思っております。

(質問)私は常々、工学の研究者が強調する「親水性」の中身がよくわかりません。ため池は、プールやウィンドサーフィンをする遊び場ではないわけで、整備して脱衣場を作ったりするようなことは邪道だと思います。それとも、そういう考えは異端なのでしょうか？「親水性」の中身を少し説明してください。また、「自然環境」としている中身の説明もお願いします。

(返答)“ため池は、プールやウィンドサーフィンをする遊び場ではないわけで、整備して脱衣場を作ったりするようなことは邪道だと思います”という部分については、まったくその通りだと思います。そのために、先に「本来的機能」に対する評価を行い、あくまでもそれに対する改修に際して、どのような「多面的機能」を發揮することができるのかを検討しようとするのが、本研究の狙いです。今回発表した内容の場合、特に「整備手法データ」の検討が不十分でしたので、“邪道”と思われるような整備手法が目についたのだと思われませんが、この点は今後の課題として考えております。なお、「親水性」と「自然環境」の中身については、本文に書き加えました。

# 兵庫県におけるため池保全・整備の取り組みについて

三輪 顕

兵庫県農林水産部農林水産局農地防災室（〒650-8567 神戸市中央区下山手通5丁目10番1号）

## Reservoir Conservation and Maintenance Activities in Hyogo Prefecture

Akira MIWA

*Hyogo agriculture, forestry and fishery department agriculture-and-forestry fishery office farmland disaster prevention room, 5-10-1 Shimo-Yamate-dori, Chuo-ku, Kobe 650-8567, Japan*

### 1. 兵庫のため池

兵庫県には約4万4千のため池があり、全国一である。中でも、瀬戸内海に面している播磨地域、阪神地域、淡路地域は特にため池の多い地域となっている。

兵庫のため池の特徴としては、いなみの台地（明石川から加古川に至る地域）にみられる「ため池群」があり、複数のため池が高密度に水路でつながり網の目のように分布し、文化財としても価値がある（図1）。



図1. いなみの台地のため池群。

水利形態や、周辺環境、堤体構造などの違いから県下には、様々なタイプのため池（谷池、皿池、重ね池）が存在し、農業用水の安定供給とともに、洪水調節、景観形成、動植物のすみかなど多様な役割を有する地域資源となっている。

### 2. ため池を取り巻く状況

管理の粗放化

ため池管理者の高齢化や管理意識の低下などが

ら、ため池の働きを保つのに必要な管理が行き届かず、荒れたため池が増えている。

### 関心の高まり

美しい景観や快適な地域環境に対する県民の意識の高揚に伴い、ため池への関心も高まりつつある。

### 3. 兵庫県ため池整備構想

兵庫県では、ため池を貴重な地域財産として保全・整備するための目標や基本方向を示し、ため池管理者や地域住民の参加と連携を基調とした「新たなため池文化の創造」を目指している（図2）。

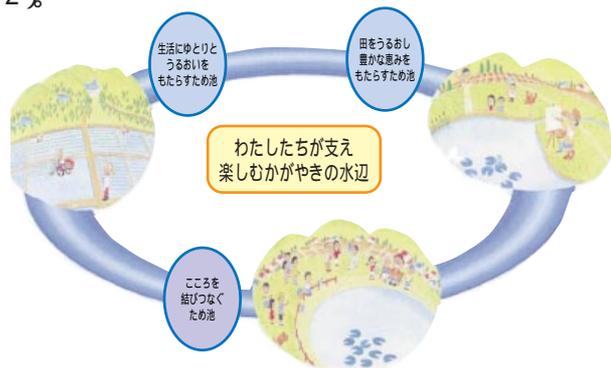


図2. 兵庫県ため池整備構想イメージ。

### (1) ため池保全整備の目標（表1）

農業用水供給能力や治水能力が高い安心・安全なため池

自然にふれられる快適なため池の形成

気軽に水に親しめるため池の形成

## (2) ため池保全整備の基本方向

表 1 . ため池保全整備の基本方向 .

( 農業用水 防災 自然 親水 景観 交流 文化 管理・運営から )

類 型	整 備 の 方 向
自然共生型	・ 防災や取水機能の向上に限定 ・ 現状の優れた自然の保全
地域ふれあい型	・ 地域の交流の場として活用できる整備 ・ 自然の保全や復元に配慮
広域ふれあい型	・ 広域の交流の場として活用できる整備 ・ 自然の保全や復元に配慮

### 4 . 兵庫県のため池保全整備活動について

身近にあるため池を守り育てるため、ため池管理者、地域住民等の参画と協働により、地域の財産として保全するとともに、施設を活用した地域社会の形成を目指し、地域と連携した様々なため池保全・整備活動を行っている。

#### (1) ため池周辺の環境美化活動

ため池クリーンキャンペーン

ため池美化・保全活動を平成 4 年度より実施。

平成 14 年度は県下 75 箇所 ( 図 3 ) 。



図 3 . クリーンキャンペーン .

#### (2) ため池の自然環境保全活動

水生植物の保全活動

天満大池 ( 加古郡稲美町 ) では、貴重な水生植物である「アサザ」の絶滅を防ぐために、自然保護団体「兵庫・水辺ネットワーク」の協力により、地元住民等が、工事期間中、一時的にアサザを移植し、工事完了後に植え戻し、美しい「アサザ」の花が再び咲いた。

また、帰化植物であるホテイアオイが大繁殖す

る恐れがあり、アサザの生育への影響が懸念されたため、ホテイアオイの除去作業を行った。

地域住民によるため池保全活動

西島新池 ( 明石市 ) は、稀少種である「オニバス」の大群生池で、地元の主婦グループが中心となって、市、自然保護団体が参加する「江井ヶ島だいすきの会」を結成し、住民手作りのフォーラムや「オニバス」の観察会などを開催している。

水生植物園

加古大池 ( 加古郡稲美町 ) では、絶滅の恐れのある水生植物を保全するため、自然ゾーンの一角に、「水辺植物園」を設け、自然保護団体「播磨ウエットランドリサーチ」の協力を得て、稲美町内のため池に生育する多種多様な水草を移植した。

メダカの放流

東安田中池 ( 多可郡中町 ) では、地域住民の憩いと安らぎの場とするため、池の外周に散策道路を設けるとともに、ため池上流側の浅瀬に石を積み上げてメダカの生息場所を作り、改修前に地元住民たちの手で保護していたメダカ ( 約 100 匹 ) を放流した ( 図 4 ) 。



図 4 . 地域住民によるメダカの放流 .

また、池周辺に自生していたサギソウ等の植物群の環境保全について、ため池周辺の環境保全に努める看板を設置した。

魚類の緊急避難と水生植物の保全対策

榎谷池 ( 小野市 ) では、ため池環境調査で確認された稀少種「カワバタモロコ」を保全するため、改修工事前に「兵庫・水辺ネットワーク」の協力の下、捕獲し、近接する重ね池に放流する緊急避難措置を行った ( 約 1600 匹を放流し、約 500 匹を水槽に緊急保護した ) ( 図 5 ) 。



図 5 . 魚類の捕獲作業.

また、工事中に仮締め切りを行い、池面積の1/4について仮堤防を設置して、仮貯水を行い、湿潤状態を保って、水生植物(ヒメコウホネ、スブタ)の保全を図るとともに、工事完成後に旧堤体土を新堤体に張り付け、埋土種子を活用した水生植物の回復を試みた(図6)。



図 6 . 埋土種子を利用した制波工.

#### CSR 施設との連携

飾磨郡夢前町のCSR施設内にある通宝寺池改修工事に併せて、ため池利活用保全整備工事により、親水護岸(自然石による石張)や擬木安全柵等を整備した。ため池周辺の散策道については、CSRサイドで整備した。

#### 水利遺産の復元

江戸時代に築造され、地域の人に親しまれてきた西光寺池(篠山市今田町)の改修工事にあたり、旧堤体護岸や洪水吐に利用されている地元産の丹波石を再利用して、200年も続く先人の水利遺産を復元整備した(図7)。



図 7 . 水利遺産.

#### (3) ため池防災保全指導

##### ため池防災パトロール

兵庫県では、毎年6月を「豊かなむらを災害から守る月間」として、市町やため池管理者とともにため池防災パトロールを行い、要警戒ため池の点検指導や水難事故防止運動を展開している(図8)。



図 8 . 防災パトロール.

##### 優良ため池の管理者表彰

ため池の優れた維持管理を行っているため池管理者に対し、知事から感謝状を授与している。

#### (4) ため池協議会活動

##### 黒田むらづくり協議会(多可郡黒田庄町)

末谷池の改修工事に伴って、地域住民の意見を取り入れた末谷池利活用整備計画を策定するため、小学生高学年以上の住民を対象としたアンケートを実施し、むらづくりの方向や末谷池の活用方策を検討した(図9)。

ため池利活用整備では、自然環境に恵まれたた

め池を地域住民の憩いの場として活用するため、自然石護岸や散策道を兼ねた巡回道路を整備するとともに、ため池堤体下に親水広場を造成した。

また、末谷池下流側では、田園空間整備事業が実施され水車小屋や親水公園、トイレなどが設置された。



図9．ため池協議会。

野田池なかよしの会（加古川市）

ため池改修工事に併せて実施する利活用施設整備工事について地元協議を重ねるなかで「いくら利活用を計画しても水質が悪いから～」がネックとなり協議が難航した（水が褐色で上流に養鶏場がある）。

そこで地域住民と一緒にため池周辺の環境把握をすることを目的にワークショップを開催し、自然環境保護団体及び学識経験者の意見を参考に、水質改善に取り組んでいる（改善方法：ラグーンの設定、流入水路への竹炭使用等）。

また、この取り組みを契機に周辺3町内会、大学、自然保護団体等による「野田池なかよし会」を設立したため池を中心としたイベント開催や保全活動も実施している。

#### (5) モデル先進的な取り組み事例

加古大池（稲美町）

加古大池は、県下一滴水面積の大きなため池で、渡り鳥の生息地になるほどの豊かな自然環境が残っていると同時に、広域ふれあい型のため池として地域住民の憩いや交流の場として活用されることが期待されている。

このため、加古大池利活用検討委員会で検討を

重ね、自然ゾーン、水景ゾーン、コミュニティパークゾーンに分けて様々な利活用施設整備を行った。

ため池教室

21世紀を担っていく小学生を対象に、ため池の役割や大切さを理解してもらうために「ため池教室」を実施している（図10）。

県職員や市町職員がパソコンやプロジェクターを使って身近にあるため池に関する授業を行った。

平成14年度は県下27小学校で実施した。

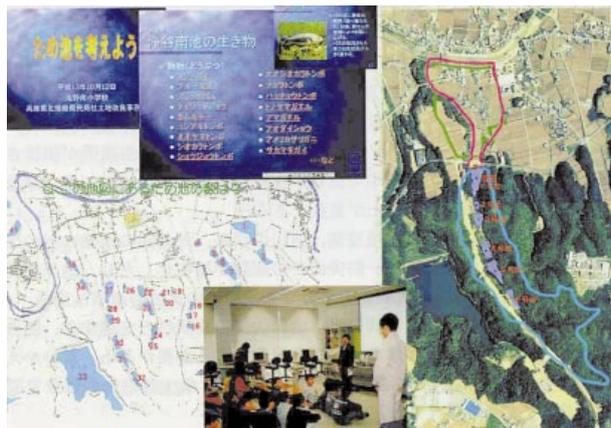


図10．ため池教室。

#### (6) 地域におけるため池保全の取り組み

いなみ野ため池ミュージアム

（県、東播磨地域3市2町）

「ため池群と水路網」を主役とし、地域の様々な活動主体の参画と協働により、地域全体を博物館とする新しい地域づくりを進めている（図11）。

ため池に関わるリレーフォーラムの開催、イベントへの出展及び普及啓発活動を実施。



図11．いなみ野ため池ミュージアム(仮称)イメージ。

いなみ野ため池ミュージアム創設プロジェクト  
ア) 企画，人材開発，活動支援

- ・ 地域の人々が中心となった取り組みの視野の拡大，質的な向上を促進する企画開発を進める。
- ・ 各分野での企画開発を進める。
- ・ 水辺をいかした学習活動やまちづくり活動，ため池の維持管理活動など，多様な主体の様々な取り組みを支援する。

イ) いなみ野パール(ドブガイによる淡水真珠づくり)プロジェクト

- ・ 兵庫県のため池に生息するドブガイを使い，東播磨産の真珠(いなみ野パール)をつくらせてため池の可能性をアピールしていく。

ウ) いなみ野ため池講座

- ・ ため池群や水路網といった先人が築きあげてきたかけがいのない財産について，それらが持つ歴史的・文化的価値や現在の意義を見つめ直し，これからの地域づくりへ活用していく道を探る，講座「いなみ野ため池学」を兵

庫大学で開催した(兵庫大学正規カリキュラムの「経済情報特論」の中で実施)。

淡路ため池保全隊

(県，淡路島1市10町)

淡路ため池保全隊推進協議会を組織し，淡路のため池を，管理者，地域住民並びに学識経験者等が参画と協働により保全する。

平成14年度から10年間で110箇所のため池において，草刈り，清掃等の維持管理活動。

小学生を対象にため池の生き物や植物を現地で観察する自然観察会やため池教室など環境保全・美化活動等。

淡路ため池保全隊活動は全国農村振興技術連盟主催の平成14年度農業農村整備事業「広報大賞」を受賞した。受賞理由は「身近なため池について，ため池管理者や地域住民・学識経験者・行政等が中心となってゴミ拾い等の保全隊活動や，小学生を対象としたため池教室を通じて，ため池の大切さを認識させ，地域の財産として守っていくべきものと気運を高め，こういった運動が広がりをみせていること」が評価された。

# 名古屋市内ため池の現状と課題 - 保全と水質改善の取り組み -

若山秀夫

名古屋市緑政土木局河川部河川計画課（〒460-8508 名古屋市中区三の丸三丁目1番1号）

## Present Condition and Problem of Irrigation Ponds in Nagoya City - Works of Conservation and Improvement of Water Quality -

Hideo WAKAYAMA

*Greenification and Public Works Bureau, City of Nagoya, 3-1-1 Sannomaru, Naka-ku, Nagoya 460-8508, Japan*

### 1. ため池の数

#### (1) ため池数の変遷と現況

名古屋市には、かつて、300を超えるため池があった。それらのほとんどが農業用水の供給を目的として造られたもので、地域的には、河川からの農業用水取水が困難な東部丘陵地に偏在していた。

これらのため池が農業用水供給のために活用されていた時代には、農業用水の慣行水利権が存在し、農民による維持管理も行き届いていたために、ため池の壊廃は問題とならなかった。しかし、昭和40年代の高度経済成長期以降、歴史上未曾有の宅地開発によって農地が消滅するに伴い、慣行水利権も消滅して、ため池数も急激に減少した。その推移は図1のとおりで、1965(昭和40)年の360から1999(平成11)年にはその33%にあたる117に減少した。国公有ため池数は増えているが、民

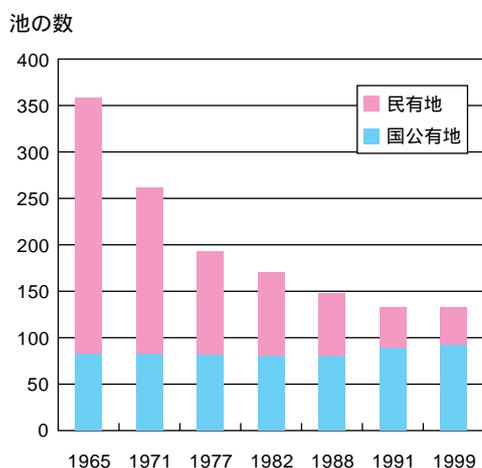


図1. ため池数の推移.

有ため池は278から、その9%の26へと著しく減少した。

1999(平成11)年度末現在の117ため池の所有者別内訳は、国公有91(国有26,県有6,市有59),民有26であって、国公有が全体の78%,民有が22%となっている。

#### (2) ため池保全要綱の制定

名古屋市は、ため池の環境の保全及び利用に関する調査審議を行う庁内機関として1974(昭和49)年3月に「名古屋市ため池環境保全協議会(以下「協議会」という)」を発足させた。そして、ため池の埋立てを伴う開発行為等の申請があったときは、協議会に諮問することとし、申請者を指導してため池を保全するよう努力してきた。しかし、法的な基盤を持たない協議会は、埋立てに対する完全な抑止力とはなり得ず、図1で見たように、埋立てによるため池の減少を抑止することはできなかった。また、ため池を残すことに開発者が同意した場合でも、協議会の指導が治水(洪水調節)機能の確保を中心とせざるを得なかったために、雨水をためる機能だけを持ち、自然環境への配慮を欠いた形態のため池に改変されるケースが少なかった。

近年の自然環境保全への行政ニーズの高まりに対応し、治水機能、かんがい機能、環境や景観保全の要請を総合的に満足するため池保全を図るため、1992(平成4)年4月1日に「ため池保全要綱」を施行した。この要綱は、ため池に係る水面

の埋立て等の行為に名古屋市が同意できない場合は、市が土地所有権を買い取ったり、管理に要する費用を補助して、ため池を保全できるようにしたものである。この要綱に基づき、民有ため池のうち、1989(平成元)年度に蛭池(守山区)、1991(平成3)年度にアマ池・大池(守山区)、1995(平成7)年度に安田池、1998(平成10)年度に二つ池(守山区)を買い取り、自然環境の保全を図った整備を進めている。

## 2. ため池の水質

### (1) 水質環境目標値

「水質汚濁に係る環境基準」では、「湖沼」の環境基準も定めているが、この「湖沼」は「天然湖沼及び貯水量1,000万立方メートル以上の人工湖」と定義されている。名古屋市内には、これに該当する「湖沼」はなく、従って、環境基準も適用されていない。名古屋市環境条例の水質汚濁にかかる環境目標値は「生活環境の確保に関する環境目標値」および地域区分を定めているが、この地域区分は、「川及びこれらに流入する公共用水域」とされているため、市内河川のうち環境目標値が設定されていない鞍流瀬川以外の流域に位置する全てのため池に適用される。従って、この環境目標値の達成が、ため池の水質保全の行政目標となる。

### (2) 汚染メカニズムの特徴

ため池(中川運河や荒子川、戸田川のように、流れがほとんどない河川を含む。以下、ため池等という。)の汚染メカニズムの特徴は、流れのある河川と異なり、有機性汚濁が池の内部で生産されることにある。流れのある河川では、流入した有機汚濁の流下に伴う分解や沈殿を考慮すれば十分なのに対して、ため池等ではそれに加えて、水中のリンや窒素などの栄養塩を利用して、光合成によってアオコなどの植物性プランクトンが増殖し、BODやCODで表される有機物量が増大する現象(富栄養化)への考慮が不可欠である。

光合成による植物プランクトンの生産は、光合成に必要な栄養素のうち最も不足するものによって制限される。一般的には、制限因子となる微量栄養素はリン、窒素であることが多いので、環境

基本法に基づく「水質汚濁にかかる環境基準」でも、湖沼の「生活環境の保全に関する環境基準」に、全窒素・全リンの環境基準を定めている。ため池の有機性汚染への寄与度は、池に流入する有機物よりリンや窒素などの微量栄養素のほうが数段高い。湖沼の富栄養化の制限栄養素は全リンであることが一般的なので、名古屋市のため池等について全リンに対するBODの回帰式を求めると次のようになる。

$$(BOD) \text{mg L}^{-1} = \{0.85 + 43.1 \times (\text{全リン})\} \text{mg L}^{-1}$$

この式で分かるように、 $0.1 \text{mg L}^{-1}$ の全リンの増加は $4.3 \text{mg L}^{-1}$ のBOD上昇を招く。また、全リンを $0.1 \text{mg L}^{-1}$ 以下に削減すれば、BODもおおむね $5 \text{mg L}^{-1}$ 以下に押さえることができる。

### (3) 水質浄化の手法

富栄養化を防止するための種々の対策が、表1に示すように、各国で実施されている。

### (4) ため池水質の変遷と現況

ため池が農業用水源として活用されていた頃は、流域に汚染源が少なく、また、数年毎に池の水を干し、池底の泥を乾燥させたり、池の底ざらえをして水質悪化を防いでいたため、ため池の水質は良好に保たれていた。

ため池は、水深も浅く、水量も少ないので汚染されやすく、流域の開発により汚濁負荷の流入量が増えると急激に汚濁が進む。かんがい用水としての機能を失って、池の水干しなどの維持管理が行われなくなることが水質悪化に拍車をかける。

緑政土木局では、環境科学研究所に委託して、主要38ため池について、春・夏・秋・冬に年4回の水質調査を、18池は毎年、20池は3年に1度実施している。調査は、1968(昭和43)年度から調査ため池数を適宜増加させて行っているが、その結果からため池水質の変遷と現況を概観しよう。

名古屋市内の比較的大きなため池の、1972(昭和47)年から2001(平成13)年に至る水質(COD)の変遷を図2に示す。

昭和40年代の始めまでは、千種区の東山新池、緑区の新海池、水主ヶ池を除き、COD $5 \text{mg L}^{-1}$ 以下の比較的清い池が多かったが、昭和40年代

表 1 . 各種の富栄養化防止対策.

手 法	概 要	実 施 例	問題点
遮集水路の 築造 (ダイバー ジョン)	湖沼に流入する汚水を 水路を開削して他の放 流先に流し、湖沼への 汚水流入をカットする。	Rock(1974)によれば、各国の16湖沼で実施されたうち、明確な改善 が認められたのは5湖沼だけであった。成功例としてWashington湖、 失敗例としてSammamish湖をあげている。ダイバージェンに加えて 浚渫を実施した後に効果が上がったTrummen湖などの例もある。	新たな放流先の水 質汚濁を起す可能 性がある。
三次処理	湖沼に流入する汚水を 三次処理してリンを除 去し、湖沼へのリン流 入量を削減する。	Mohne貯水地、Soepe貯水池、Lough Ennell湖で実施されたが、効果 については記述がない。 Shagewa湖では、Ely市の下水処理場で三次処理を行い、70%のリン を削減した。2年後に湖のリン濃度が0.05から0.02mg L <sup>-1</sup> 、夏のクロ ロフィル a が65から 22µg L <sup>-1</sup> に減少した。しかし、泥底からのリン 溶出のため湖は依然富栄養湖。	三次処理しても、 放流水リン濃度は 1mg L <sup>-1</sup> と高い。高 い費用をかけて対 策を実施しても、 湖の水質が改善さ れるという明確な 保証がない。
しゅんせつ	リン等を溶出して、湖 の内部汚染源となっ ている底泥を除去する。	Trummen湖ではダイバージェンの10年後も水質が改善しなかったが、しゅんせつ後は速やかに水質が改善した。	高い費用を要する。
前貯水池に よるリン除 去	前貯水池でリンを沈澱 除去し、湖沼へのリン 流入量を抑制する。	中央ヨーロッパのほとんどは前貯水池を持つ。 リン除去率の調査結果として70%、下期90%以下、冬季0~30%、40% 40~80%、8~65%という報告がある。	冬季にリン除去率 が下がる。
曝気	底層を好気性に保つこ とにより、リンの溶出 を防止する。	Jarla 湖では全リンが0.75 mg L <sup>-1</sup> から0.5 mg L <sup>-1</sup> に減少。Gr-ebiner湖で は凝集沈澱と併用して生物量、生産量を50%削減した。	
人工的循環 による生長 抑制	上層の藻類を光が届か ない下層に送り、光合 成を抑制する。	ロンドンの上水道貯水池と Biesbosch地方の上水道用貯水池で採用。 藻類の成長を抑えるのに非常に有効。	水深が浅く、成層 しない湖では、凝 集剤を併用する必 要がある。
湖中での化 学的沈澱	湖または河川に、凝集 剤を直接投入し、リン 化合物を沈澱させる。	Berenplaat貯水地では良好な結果とはいえない。Braakman貯水地では 藻類の成育が抑えられ、藍藻類が消失した。Grote Rug貯水池Liberty 湖、Snake湖、Dollar and Twin湖、Clines湖では効果があった。	沈澱したリンが再 溶出して藻類に利 用される可能性が ある。
流量の増加 (Flashing)	植物プランクトンが増 殖しないうちに湖から 排出する(3~5日の 滞留時間とする)。	Vekdeserc 湖で実施。Green 湖ではクロロフィル a、全リンがそれぞ れ50から10µg L <sup>-1</sup> 、0.06から0.02mg L <sup>-1</sup> は凝集に、Moses湖ではそれ ぞれ100から10以下、0.15~0.2から0.03mg L <sup>-1</sup> は凝集に改善された。	流水が短絡する危 険性と汚濁の危険 性がある。
深層水の放 流	高濃度の栄養塩を含む 深層水を排出する。	Klopein 湖および Kraig 湖で採用され、富栄養化対策として有効と考 えられている。	成層する湖に適用 可。放流先への悪 影響。

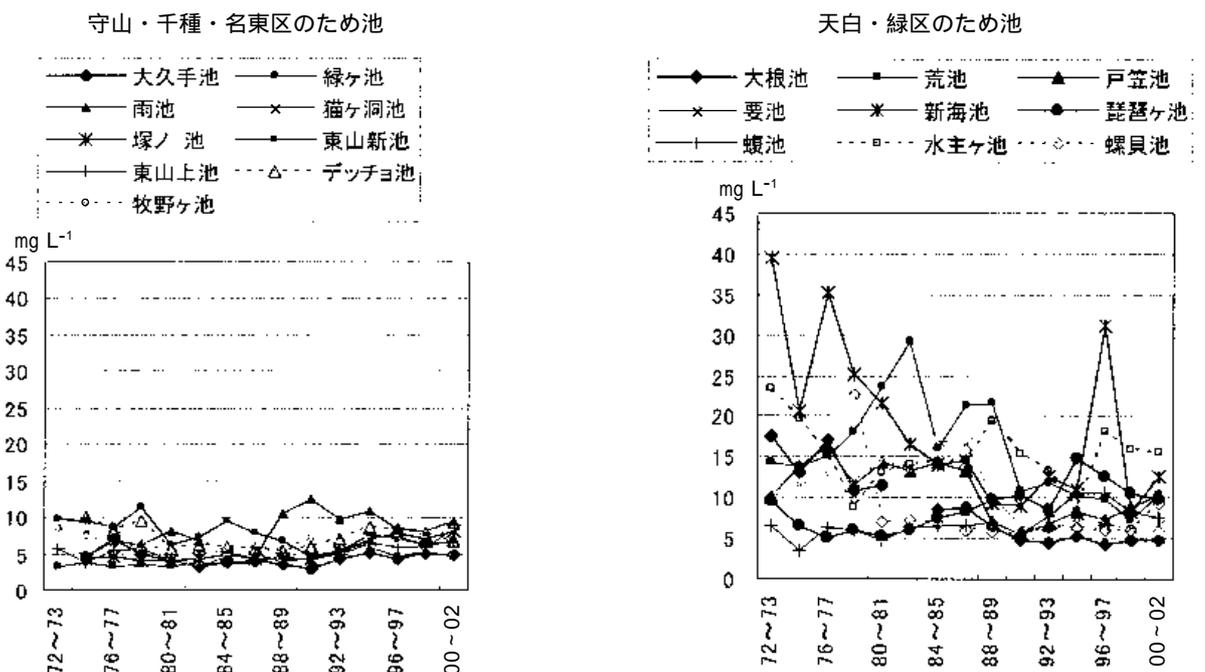


図 2 . 名古屋市内ため池のCOD経年変化.

半ば以降、汚れた池が急速に増えていく。守山区の雨池、千種区の猫ヶ洞池、名東区の牧野ヶ池、天白区の大根池、荒池、緑区の戸笠池、要池などがその例である。40年代後半以降になると、猫ヶ洞池、東山新池、デッチョ池、大根池、新海池で水質が改善されているが、これは池への汚水流入を防ぐために、バイパス水路を造って汚水を池下流に放流した効果である。

主要 39 ため池の 2000 ~ 02 (平成 12 ~ 14) 年度の調査結果から、水質の平均値の水質階級別分布を、BODと全リンについて表2に示す。BODは、サケ科魚類、及びアユ等の水産生物用に適する  $3 \text{ mg L}^{-1}$  以下のものが、調査ため池数の 33%にあたる 13 池あるが、約 15%にあたる 6 池が「国民の日常生活(沿岸の遊歩等を含む。)において不快感を感じない限度」の  $10 \text{ mg L}^{-1}$  を超えている。

全リンでは、ワカサギ等の水産生物用に適する  $0.03 \text{ mg L}^{-1}$  以下のものは 5 池で、調査ため池数の 23%にあたる 9 池が「国民の日常生活(沿岸の遊歩等を含む。)において不快感を感じない限度」の  $0.1 \text{ mg L}^{-1}$  を超えている。

名古屋市環境条例で規定する環境目標値の達成状況を、2000 ~ 2002 年度の平均値を対象に表3に示す。環境目標値が A ランクのため池では 67%が適合、33%が不適合で、B ランクでは 90%が適合、10%が不適合であり、全体では 81%が適合、19%が不適合である。

#### (5) これまでの浄化対策とその効果

本市では、ため池等の水質を浄化するため、これまでいくつかの水質浄化対策を講じてきた。遮集水路の築造(ダイバージョン)や下水道整備による池への汚水流入カット、流量増加(フラッシング)、しゅんせつの対策である。

遮集水路の築造(ダイバージョン)や下水道整備の効果は、猫ヶ洞池、東山新池、デッチョ池、大根池、戸笠池、要池、新海池、螺貝池で効果があり(図 3-1 ~ 8)、ため池への汚水流入カットはため池の水質を顕著に向上させる。

2000 ~ 02 年度の水質調査結果から、BOD と全リンの 3 年間の平均値は表 4 の通りで、汚水流入がカットされたため池では、おおむね  $5 \text{ mg L}^{-1}$  以下、全リン  $0.1 \text{ mg L}^{-1}$  以下とすることができる。

底泥のしゅんせつも、東山新池、大根池で効果があり、水質浄化に寄与している。

水量の増加(フラッシング)は、ため池では実施例も少なく調査していないが、ため池と同様の閉鎖性水域で栄養塩濃度が高い荒子川へ、1989(平成元)年度から庄内用水(農業用水)の余剰水を導入した。その結果、導水前のような著しい植物プランクトンの増殖は抑制され、水質の浄化にかなりの効果が認められる。

池の水を干して底泥を乾燥させたのち新たに雨水を貯留することも、大久手池、雨池、水主ヶ池で、一時的ではあるが、水質を向上させる効果があった。

表 2 . ため池の水質階級分布(2000~2002年度平均)

全 リ ン			B O D		
範囲( $\text{mg L}^{-1}$ )	池 数	割合(%)	範囲( $\text{mg L}^{-1}$ )	池 数	割合(%)
~ 0.03	5	13	~ 3	13	33
0.03 ~ 0.05	8	21	3 ~ 5	14	36
0.05 ~ 0.1	17	44	5 ~ 8	6	15
0.1 ~	9	23	8 ~ 10	0	0
計	39	100	10 ~	6	15
			計	39	100

表 3 . BOD環境目標値達成状況.

(2000 ~ 2002年度の平均値)

地域	環境目標値	池数	適合数	割合(%)
A	$5 \text{ mg L}^{-1}$ 以下	15	10	67
B	$8 \text{ mg L}^{-1}$ 以下	21	19	90
小 計		36	29	81

図 3-1 . 猫ヶ洞池の経年変化.

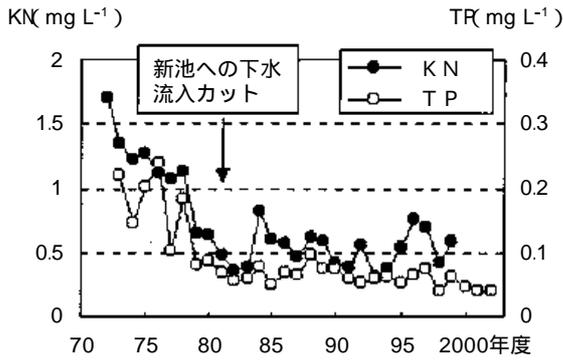


図 3-2 . 東山新池の経年変化.

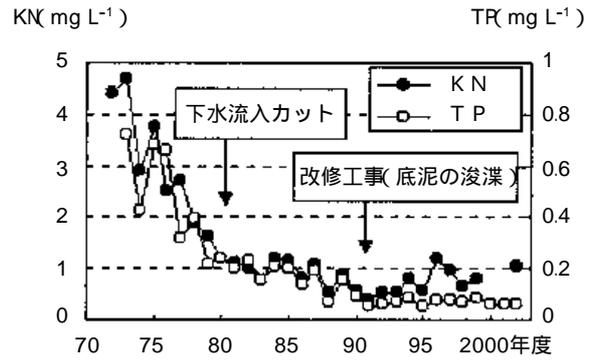


図 3-3 . デッチョ池の経年変化.

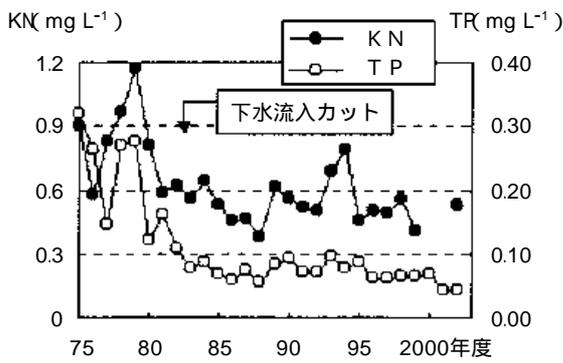


図 3-4 . 大根池の経年変化.

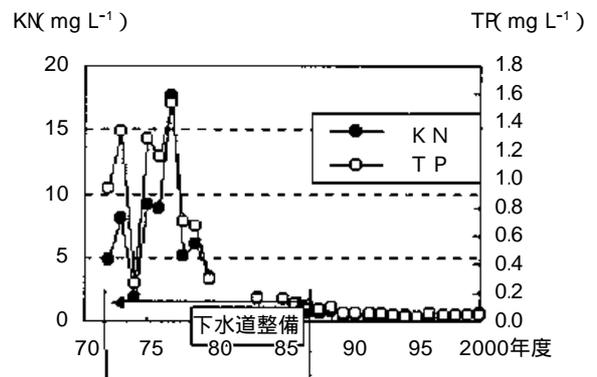


図 3-5 . 戸笠池の経年変化.

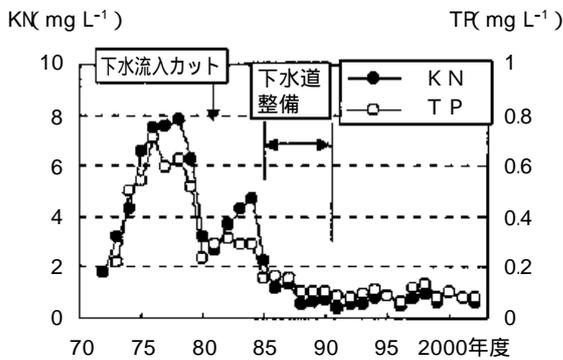


図 3-6 . 要池の経年変化.

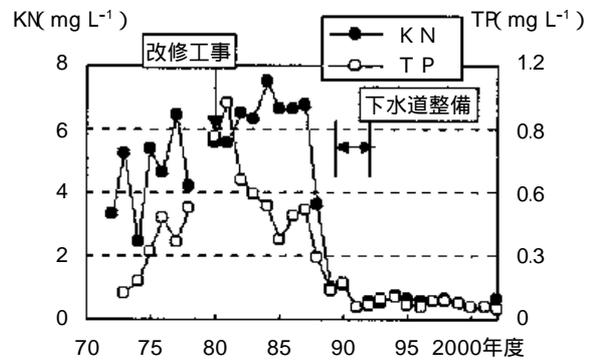


図 3-7 . 新海池の経年変化.

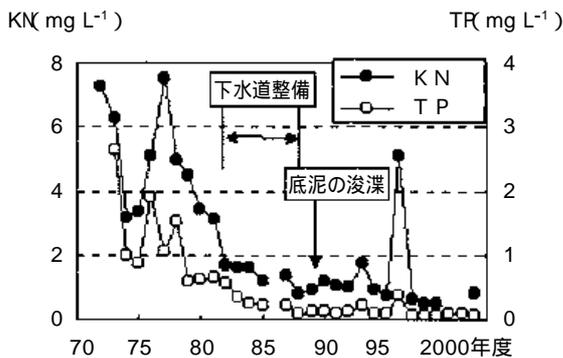


図 3-8 . 螺貝池の経年変化.

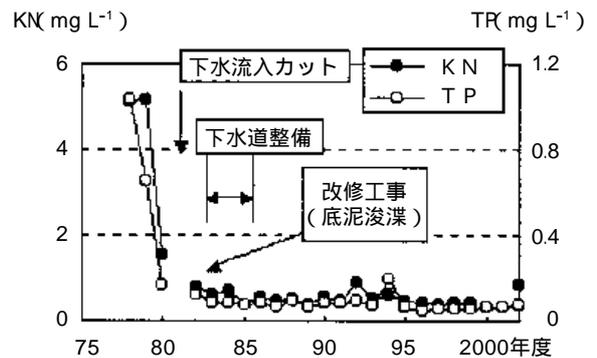


表 4 . BOD , 全リンの年間平均値( 2000 ~ 2002年度平均 )

ため池名	BOD	全リン	ため池名	BOD	全リン
大久手池	2.1	0.038	大根池	1.5	0.038
緑ヶ池	1.6	0.025	戸笠池	6.6	0.084
雨池	5.9	0.080	要池	3.1	0.054
神池	3.3	0.106	新海池	4.1	0.078
石捨池	4.6	0.082	琵琶ヶ池	4.8	0.060
見返ヶ池	1.9	0.020	水主ヶ池	13.4	0.384
牧野ヶ池	3.4	0.061	蝮池	3.5	0.056
塚ノ坎池	1.7	0.022	螺貝池	4.8	0.068
デッコヨ池	3.0	0.052	水広下池	1.8	0.044
隼人池	11.2	0.298	神沢池	3.3	0.061
猫ヶ洞池	3.1	0.043	安田池	2.9	0.050
東山新池	3.6	0.061	有松大池	18.3	0.973
東山上池	2.7	0.044	平野池	7.7	0.177
荒池	6.5	0.078	東ノ池	17.1	0.512

(注) は、流域が概ね未開発で、もともと汚水流入が少ない池。

(6) 水質浄化の今後の課題

ため池等の水質浄化には、ダイバージョンやフラッシング、底泥のしゅんせつ等が効果のあることがこれまでの実施例で明らかとなってきた。今後は、現在も汚水が流入しているため池で、ダイバージョンの手法を中心に浄化事業を実施し、環境目標値をすべてのため池で満足させる必要がある。ダイバージョンによって環境目標値は満足できるが、市民の環境に対するニーズが高度化している現在では、さらに良好な水質を確保することも望まれている。そのための手法として、凝集剤の併用を考慮した「人工的循環による生長抑制」が他都市での成功例が多いので、本市での実施も検討する必要がある。

いずれにせよ、ため池は都市に残された貴重な自然環境・水辺空間であり、その水質保全を一層進めることが要請されている。

質疑

(質問) 国公有のため池数が増えているが、民有地からの転換ですか？ それとも新築？

(返答) 国公有のため池が増えているのは、民有ため池を買収して公有としたためです。

(質問) 対症的な手法、特にダイバージョンや浚渫は、新たな問題を引き起こしますので、その解決法についてはどのようにされているのかお教

えください。

(返答) ダイバージョンについては、池の下流水路への流出負荷を増大させますので、遮集(バイパス)水路の途中に嫌気性接触浄化施設を設置したり、水路内で礫や植物による浄化を試みしました。後者は、礫が急速に目詰まりするので、管理が困難でした。

(質問) 用水機能を失ったため池を、どの様に誰に管理させるのか(名古屋市の委託とする?)、もう少し具体的に教えてください。

(返答)

1) 市有のため池

かんがい用水機能のあるもの 農政部局  
都市公園内にあるもの 公園部局  
治水機能の大きいもの 河川部局  
機能が複合する場合は、個々の状況や経緯による。

2) 民有のため池

所有者管理が原則。「ため池保全要綱」第11条で「名古屋市が管理費用を補助することができる」と規定しているが、実施例はない。

公園や治水で必要なものは、各事業で買収できるものはその事業で、できないものは「要綱」第13条で買収して取得する。

「要綱」第12条で「緊急の場合」は名古屋市が

措置できるが 緊急でない場合は要綱に基づかず、任意の協定で措置する。(天白区の荒池は、任意協定を締結して、名古屋市が放流施設の管理、除草を行っている。)

(質問) 防災、維持管理、環境の3つの対立軸に対しての、参加者としての地域住民の意識はどのようなのか?(例えば、水抜き、堤体改修など)

(返答) 地域住民との協同による水抜きについては、今年の2月末から3月初めにかけて緑区の螺貝池で初めて実施しました。地域ぐるみで池の浄化に取りくむことをめざし、3月6日には付近の子どもや町内会役員が参加して「螺貝池池干し大作戦」と称して、池の魚の捕獲といけすへの移動を行いました。この試みの評価は今後の課題です。

(質問) 底泥の浚渫の効果はあったといえるのでしょうか? グラフでは良くわかりませんでした。

(返答) 底泥を浚渫する場合は、池の水を抜いてから実施します。浚渫工事が完了すると、池に水を貯めますが、大量の雨が降ったときに貯めるなど、水質の良い水を貯めるようにしています。そのためもあり、浚渫前より池の水質は向上しますが、底泥からのリンや窒素の溶出が抑制されたために、水質が向上したかどうかは確かめていません。また、浚渫後、時間が経過して池に汚濁が蓄積するに伴い、水質は悪化します。

(質問) 名古屋市の事例は、都市のため池の維持管理とその効用について、他の都市域のため池にも大変参考になると思いました。名古屋市で条例ができた経緯や公有地として残していこうとするよう名古屋市行政を動かした動機などについて、説明をお聞かせください。今後、ため池を生物多様性や自然環境の場としていくような、取り組みについては、その動向に注目したいと思いますが、どのような切り口で進めようとしているのか展望をお聞かせください。

ため池の水質環境目標値にBODを使っているのは、感心しません。行政的には仕方がないでしょうか。もし、可能なら、各々のため池の水質浄化対策に係った費用について、お教えください。

(返答) 「ため池保全要綱」(条例ではない)を制定した1992年4月以前から池は埋め立てられていましたが、原因は灌漑機能の消失で、大部分は小規模な池でした。

要綱制定の10年位前から大規模なため池も宅地開発のターゲットになってきました。しかし、1974年3月に発足した「ため池環境保全協議会」(庁内組織)による行政指導は、宅地開発区域内の一部に治水機能だけをもつコンクリート張りの池を残すことはできても、池の「環境」を保全することはできませんでした。このような状況の中で、名古屋市の職員が危機感をもったのが要綱制定の最大の要因です(当時、牧野ヶ池、安田池、荒池、平手池などを埋めたてる動きがあり、規模が大きく水質も良好な牧野ヶ池、安田池の埋め立てには強い危機感を感じた)。市民の動きとして、自宅付近のため池を守ろうとする個別の運動はありましたが、市全体で保全しようという圧力にはなりませんでした(上記のため池のうち、牧野ヶ池は愛知県が県営公園として、安田池と平手池は名古屋市が要綱に基づき買収しました)。

従来は、池を大きく掘り込んで治水のための洪水調節容量を確保するとともに、コンクリート護岸を施すのが工事の主流でした(平均水深は0.5~1M)。今後は、池の環境(特に自然環境)を保全(具体的には、平常水位を極力変えない、護岸整備は最小限とするなど)した上で、治水機能も確保する整備を行っていきます。

BODを指標としていることは、名古屋市の条例上の規定です。現在、環境目標値の見直し中ですので、その中で検討します。全ての公共用水域に目標値が設定されていることは評価できると思います。

# 豊稔池みずすまし運動について

冠野禎男

香川県環境森林部環境管理課（〒760-8570 香川県高松市番町 4-1-10）

## Honen Reservoir Clean-up Project

Yoshio KANNO

*Environmental Management Division, Kagawa Prefectural Government, 4-1-10*

*Bancho, Takamatsu 760-8570, Japan*

### 1. はじめに

豊稔池（香川県三豊郡大野原町）では、近年、アオコの発生が顕著に見られるなど、水質の悪化が懸念されていることから、地域住民、各種団体、行政等が協力・連携して豊稔池及びその集水域の水環境を改善するため、平成12年8月に「豊稔池みずすまし運動推進会議」を設立し、「豊稔池水環境保全行動計画」を策定することなどにより、水環境を再生・創出するための事業や取り組みを総合的かつ計画的に推進しているため、今回はその活動内容等について紹介する。

### 2. 水環境の現況

#### 2.1 豊稔池の概況

豊稔池は、讃岐山脈西端の優れた自然環境の中にあつて、全国で唯一のマルチプルアーチダムとして、国の登録有形文化財に指定され、周辺に整備された親水公園とあわせると本来の灌漑機能に加え、憩いの場や行楽の場となっている（図1）。また、この池は柞田川の上流大字五郷田野々の山あい、本流を堰き止めるような形で建設されており、柞田川西岸の農地530ヘクタールを灌漑する農業用ため池で、大正15年に着工され、昭和5年に竣工した。その諸元及び流域の概要は表1、2に示す。

#### 2.2 豊稔池水系の水質

平成14年度に豊稔池水系で実施した水質調査の地点図は、図2に示すとおりであり、豊稔池の2地点及び流入、流出河川である柞田川の4地点における年4回の水質調査結果の流程変化は、図3に

示すとおりである。なお、池の放流部では表層と底層の2層調査を行った。

有機汚濁を示すCOD（化学的酸素要求量）は、最上流部の唐谷堰堤では、 $1.4 \text{ mg L}^{-1}$ と清澄で、縄手川合流点では、 $3.4 \text{ mg L}^{-1}$ とやや汚濁が進み、湖水内で $4.8 \sim 5.0 \text{ mg L}^{-1}$ となるなど、汚濁の進行が認められた。



図1. 豊稔池.

表1. 豊稔池の諸元.

流入河川	柞田川
形式	マルチプルアーチダム (国の登録有形文化財)
堤高	30.4 m
堤長	128.0 m
総貯水量	1,643 千 $\text{m}^3$
有効貯水量	1,593 千 $\text{m}^3$
満水面積	15.1 ha
最大水深	25.3 m
平均水深	9.94 m

表2. 流域の概要.

流域面積		800 ha
土地利用	山林	640 ha
	畑	64 ha
	水田	24 ha
	その他	72 ha
流域人口		226人
畜産	牛	133頭
	豚	643頭

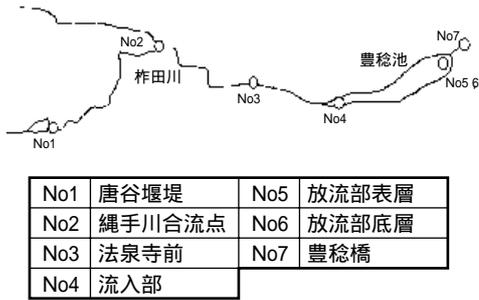


図2. 調査地点図.

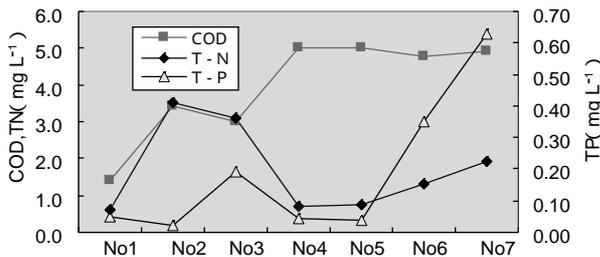


図3. 豊稔池水系の流程水質変化(平成14年度).

3. 豊稔池水環境保全行動計画について

- ・対象地域：豊稔池及びその集水域
- ・期 間：平成12年度から15年度
- ・保全目標  
水系別の保全目標を表3のとおり定めた。

表3. 保全目標.

水系別保全目標	生息する生物
<p>讃岐山脈に広がる森林に育まれた清流には、ゲンジボタルが種み、カワセミなどの水鳥が見られる。 水質は河川環境基準A類型を維持する。</p>	
<p>豊かな水辺林のみどりや、紅葉を映す湖面には、カイツブリやバンが見られ、トンボ類の良好な生息地となっている。 豊かな水量を確保するとともに、水質は湖沼環境基準B類型及びV類型まで改善する。</p>	

・水環境保全施策

施策体系については、図4に示す。

・推進体制

豊稔池みずすまし運動推進会議の構成団体は次のとおりである。

大野原町五郷田野々地区自治会

大野原町衛生組合五郷支部

豊稔池土地改良区

大野原町

香川県水環境保全対策連絡調整会議

施策体系

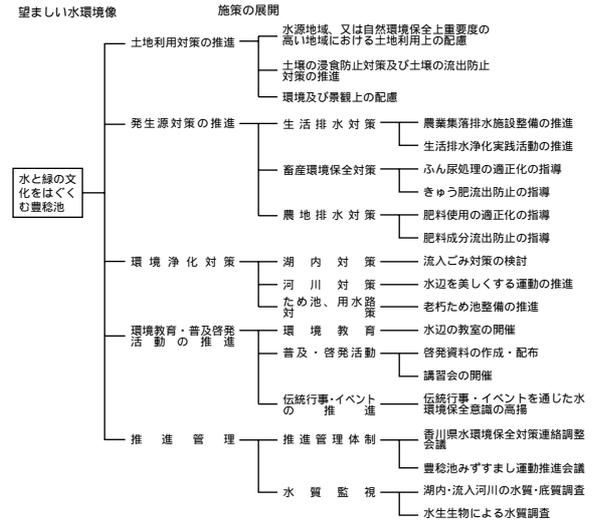


図4. 施策体系.

4. 施策の実施状況について

4.1 農業集落排水施設整備の推進

豊稔池上流の田野々地区(230人, 56戸)の, し尿と生活雑排水を処理するため, 平成12年度から整備事業を開始している。平成14年度までに, 管路施設設置工事完了し, 平成15年度は処理施設整備を行っており, 完成に向けて順調に進捗している。

4.2 生活排水浄化実践活動の推進

生活排水対策は, 行政はもとより住民の方々の理解と主体的な取り組みが必要であることから, 大野原町が香川県の補助を受け, 生活排水浄化実践活動モデル事業を実施している。

・講演会の開催

生活排水の浄化に関する講演会を開催している。

・普及啓発活動

町広報誌に生活排水浄化実践活動による水質改善効果について掲載するなど, 広く地域住民に水環境の保全に関する周知を行っている。

・家庭でできる生活排水浄化実践活動

五郷田野々地区において、モデル期間を設け、流しから調理くず等を流さない、洗剤の適量使用等の家庭でできる生活排水浄化実践活動が行われている。

#### ・水質調査

生活排水浄化実践活動の水質改善効果を把握するため、実践活動前、実践活動後の水質検査を行ったところ、改善が確認された。

#### ・美化活動

地区自治会で、田野々水源地等において、当番制によるごみの清掃、不法投棄物回収及びパトロールを定期的に行っている。

### 4・3 畜産環境保全対策の推進

資源循環型畜産確立対策事業として設置している「西部地域環境保全推進協議会」のメンバーが中心となって畜産環境改善の調査指導を行っている。

### 4・4 農地排水対策の推進

農業分野の環境問題への対応強化学業として、県三豊地域農業改良普及センターが地下水汚染の少ないタイプである緩効性肥料と従来の肥料との比較試験を実施し、その成果をとりまとめ、普及に努めている。

### 4・5 流入ごみ対策の推進

流入ごみ対策としては、県河川砂防課において、河川への廃棄物の不法投棄を抑止するとともに良好な河川環境を形成・保全するため、柞田川を含め主要な河川に河川情報協力員を置き、夜間早朝等や河川に関する情報の収集を行っている。

### 4・6 EM活性液（有用微生物）による水質浄化実験

衛生組合五郷支部が、豊稔池上流部からEM活性液を定期的に投入し、水質の浄化について実験を行っている。

### 4・7 水生植物による水質浄化対策

豊稔池において、富栄養化の原因となっている窒素、燐を除去するため、栄養塩類吸収能力の高い水生植物（ヨシ、クレソン、ゼラニウム、インパチェンス）を活用した水質浄化実証施設を平成13年度に設置し、農業集落排水施設（最大排水量約 $60\text{m}^3\text{d}^{-1}$ ）の排水を処理することを想定して、池流入水の一部（ $60\text{m}^3\text{d}^{-1}$ ）を導水して実証実験を行っている（図5）。

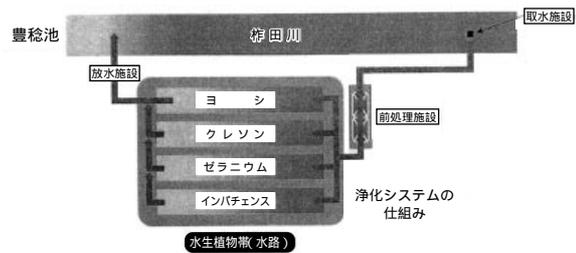


図5．水生植物を活用した水質浄化実証施設。

なお、同施設で使用する電力については、平成13年度に豊稔池に整備した水上設置型太陽光発電施設（30kw）を活用した。同施設は四国で初めて平成14年度第7回新エネ大賞を受賞した。（図6）

また、水生植物を活用した水質浄化の手引きとして、「豊稔池水質浄化ハンドブック」を作成した。



図6．水上設置型太陽光発電施設（30kw）。

### 4・8 環境体験学習

五郷小学校が県や町の協力のもと、柞田川支流において水辺の教室を開催し、水生生物調査や美化活動等の体験学習を通じ、水環境保全についての理解を深めている。

### 4・9 豊稔池みずすまし運動推進会議の開催

豊稔池及びその集水域の水環境を改善するための取組等を、総合的かつ計画的に推進するため、豊稔池みずすまし運動推進会議の総会及び幹事会を開催している。

### 4・10 水質等監視調査

#### ・水質調査

県（環境保健研究センター）が、豊稔池及び流入河川等7地点において、年4回、生物化学的酸素要求量等8項目について水質検査を行っている。

#### ・底質調査

県(土地改良課)が、4地点で化学的酸素要求量等7項目について、年1回調査を行っている。

## 5. 結果

### 5.1 水生植物を活用した水質浄化実証実験

水生植物による水質浄化対策の結果のうち、植物の種類ごとの除去率は表4に示すとおり、年間を通じて生育が良好であったクレソンは、全窒素が31%、全リンが19%で、旺盛な生育が見られた5月には、全窒素が73%、全リンが58%と最大除去率となった。

インパチエンスは、全窒素及び全リンの除去率が20%で、全窒素の除去率が最大78%、全リンが32%を示すなど生育が良好であれば水質浄化効果が高いが、害虫の影響等により除去率が低下した。

また、ヨシの平均除去率は、全窒素が10%、全リンが5%でクレソンに比べ低かった。

全般的には、池の水質汚濁が進む夏期に除去率が高くなり、水生植物の生育が悪くなる冬期に低くなっている。

表4. 水生植物の種類別除去率.

種類	項目	平均(%)	最小~最大(%)	測定期間
クレソン	全窒素	31	7~73	H14.4 ~H15.3
	全リン	19	-25~56	H14.7 ~H15.3
インパチエンス	全窒素	20	-50~78	H14.5 ~H14.11
	全リン	20	0~32	H14.5 ~H14.11
ヨシ	全窒素	10	-39~38	H14.4 ~H15.3
	全リン	5	0~24	H14.7 ~H14.12
ゼラニウム	全窒素	33	21~44	H14.5 ~H14.6
	全リン	2	-6~9	H14.5 ~H14.6
キショウブ	全窒素	9	3~17	H14.12 ~H15.3
	全リン	20	8~29	H14.12 ~H15.3
ユリオプス・デージー	全窒素	10	-	H14.12
	全リン	35	-	H14.12

### 5.2 豊稔池の水質

豊稔みずずまし運動の結果、池の水質の経年変化は、図7に示すとおり、TNは改善傾向が見られたが、COD、TPはほぼ横ばいで推移している。

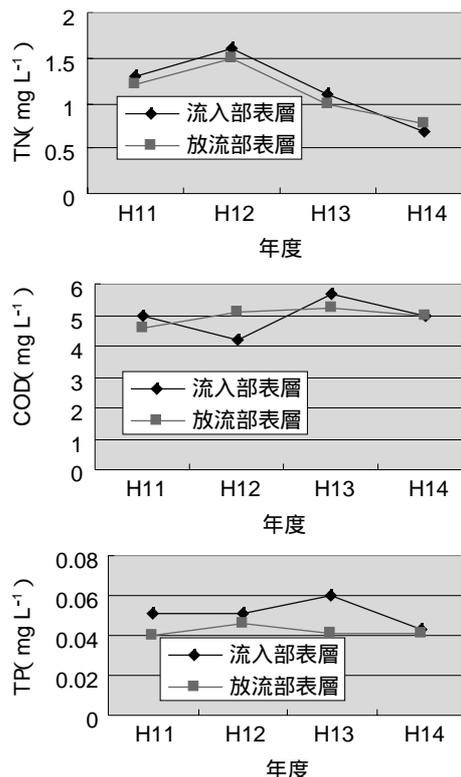


図7. 豊稔池の水質(年平均値)の推移.

## 6. 考察

「豊稔池水環境保全行動計画」に基づく各種取り組みを行った結果、流入水の栄養塩類濃度など、改善傾向が見られる項目はあるが、豊稔池のCOD値は横ばいであり、平成15年12月に完成予定の農業集落排水施設による生活排水の処理が待たれる。

### 質疑

(質問)水生植物は健全成長のあと、枯死前に撤去することによる除去ですか？汚染源がはっきりしており、実験的規模で取り組みやすい好例で今後を期待します。植生浄化は問題も多く、特にクレソン等外来種の使用は思わぬ問題を起こしています。霞ヶ浦などの轍を踏まないように願います。EMも各地でやっている割には、実証的好結果を見ていません。

(返答)ヨシは、枯死前に年1回刈り取り撤去しますが、クレソンは、成長が早く、花が付く前に、年3回程度刈り取り撤去しています。

植物選定は「水生植物を活用した水質浄化実証事業調整会議」などにおいて、農林部局の専

門家の意見も交えて実施したもので、問題となったことのあるホテイアオイ、ミント、ボタンウキクサなどは実験対象からはずした経緯があります。EM活性液による水質浄化実験につきましては、地元衛生組合が実施しているもので、ごみの減量化等の取り組みとして培養したEMの残りを利用したものです。

(質問)水質対策を、皆、汚染がおきる“場”で対応を考えてしまうが、それは困難で、元々“点”対策しかない。表4の値はおもしろいが、具体的にどうやって除去率を計算しているのか、もう少し詳しく知りたい(実験規模など)。畜産対策が一番水質改善に寄与すると思われる。その効果は？野積みは畜舎では禁止ではないか？

(返答)水質浄化実証実験の規模は、長さ20m、幅2mの水路4列にクレソン、ヨシ、インパチエンス、キショウブなど各々異なった植物を用いて実験したもので、施設全体の処理水量は平成15年度完成予定の農業集落排水施設の処理能力：60m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup>程度に調整しました。除去率は以下の計算式により算定しました。

$$\text{除去率} = \frac{\text{接触酸化槽処理後の水質} - \text{各植物帯の処理後の水質}}{\text{接触酸化槽処理後の水質}} \times 100(\%)$$

畜産対策も豊稔池みずすまし運動の1つとして県が指導を行っていますが、狭い流域で多くの住民の協力を得るため、個別発生源の水質改善寄与効果は究明していません。

堆肥などの野積みの禁止につきましては、「家畜排泄物法」の規定によりまして、平成16年11月1日から適用されると聞いております。

(質問)畜産の放牧を止めてもらったそうで、難しいと思いますが、農家の対応はどうでしたか？植物による浄化について、栽培した植物は最終的にどう処理されていますか。

(返答)畜産の放牧については、体力が低下した豚10頭程度について、行っていたものですが、西部家畜保健衛生所の指導により、速やかに中止されたと聞いております。また、刈り取った植物につきましては、乾燥した後、地元農家に引き取ってもらっています。

(質問)表4の水生植物の除去率について。単位面積当りの除去量(g m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>)と濃度変化を教えてください。

(返答)実証実験に用いた河川水の窒素濃度は年平均2.5mg L<sup>-1</sup>で、表に示した除去率に応じて減少しています。単位面積当りの除去量(g m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>)は平均でインパチエンスが0.55、クレソンが0.46でした。同様に河川水のリン濃度は、年平均0.18mg L<sup>-1</sup>で、表に示した除去率に応じて減少しています。単位面積当りの除去量(g m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>)は平均でクレソンが0.024、インパチエンスが0.032でした。なお、詳細は香川県環境保健研究センターの所報に掲載される予定です。

# ため池をめぐるポリティカル・エコロジー研究序説

金沢謙太郎

神戸女学院大学人間科学部 (〒 662-8505 兵庫県西宮市岡田山 4-1)

## An Introduction to Political Ecology of Japanese Irrigation Ponds ‘Tameike’

Kentaro KANAZAWA

*Kobe College, School of Human Sciences, 4-1 Okadayama, Nishinomiya 662-8505, Japan*

### 1. はじめに

1978年に24万6千個余り記録されていた全国のため池のうち、1999年時点でおよそ4万個が姿を消している(香川県農林水産部 2000)。兵庫県だけに限っても同期間に約1万個のため池が埋め立てられた。そこで、本研究は、ため池はなぜ、そしてどのようにして減少しているのかという基本的な問題意識から出発することとしたい。

### 2. ポリティカル・エコロジーのアプローチ

近年、人文地理学や文化人類学などの社会科学の諸分野でポリティカル・エコロジー論というアプローチが注目されている。ポリティカル・エコロジーとは、エコロジーと広く定義されたポリティカル・エコノミーを結びつけた造語である。文化生態学的、人間生態学的研究をその出自とするポリティカル・エコロジー論は、ポリティカル・エコノミーの概念を導入し、人間による資源利用の政治経済学的側面に焦点を当てる(金沢 1999)。

このアプローチは、フィールドワークに基づく現地調査結果を一地域の特殊性として重要視しない開発理論や一部の政治経済学の研究に対しては、地域レベルの生態学的問題の重視が必要なことを主張する一方で、フィールドワークに基づく研究がややもすれば看過しやすい、研究対象の地域を取り巻く経済社会的状況に対し研究者がもっと注意を払うべきことを要求している。

ポリティカル・エコロジー論の主な分析領域としては、第一に、環境・資源利用変化の原因とコンテキスト、第二に、資源へのアクセスをめぐるコンフリクト、第三に、環境・資源利用変化に伴

う社会経済的影響に大別することができる。本研究では、そのうちため池灌漑の利用変化に注目し、その原因、コンテキストをとりあげてみたい。

### 3. 本研究の問い

筆者はとりあえず職場近くのため池を歩いてみた。一般に、ため池減少の要因として、開発事業や圃場整備、自然消滅などが挙げられる。確かに地図上でため池だったところのいくつかは既に埋め立てられ、住宅や諸施設などに姿を変えていた。しかし、ため池の周辺に目を転ずれば、単にため池の改廃にとどまらない問題設定の必要性を感じた。すなわち、ため池減少の契機は、ため池それ自体にあるのではなく、その灌漑用水を利用する農地の減少にあるのではないかと。

本研究では特に水田作付面積を管理している減反政策をとり上げ、ため池の利用・管理との関係を追究したい。ちなみに、『日本のため池』で内田(2003)は、ため池の改廃状況の分析において、今後の課題として生産調整による減反とため池の利用・管理との関係を指摘している。

米の生産調整(減反政策)は、1971年から本格的に導入された。この行政指導に基づく政策では、転作面積は都道府県単位で配分され、そこで決まったその県の転作率がほぼ一律にすべての農家に割りあてられている。現在、兵庫県下で生産調整の対象となっている農地は2万8千ha強で全水田面積の4割を超える。減反により、ため池灌漑に依存する農地/農家の維持管理コスト・負担は、灌漑用水へのアクセスが容易な農地/農家に比べ、大きく、重くなっているのではないだろうか。

#### 4．調査の対象と方法

調査対象は、西宮市のため池と農業である。筆者の職場周辺は、今から約350年前に新田開墾されたという。そこは特に水源に乏しく、開墾後は常に灌漑用水の不足に悩まされていた。水をめぐり集落間の争いや犠牲が絶えなかった。そこで、人びとは水路やため池の築造に汗を流してきた。同市内において、当該農家への聞きとりをベースに、農政担当部局の諸記録を参照し、減反がため池の減少、改廃プロセスにどう関係してきたか検討していきたい。また、集落や水利組合、土地改良区、地域住民など関係アクターの動向も視野に入れて考察する。

#### 5．都市ため池のゆくえ

仮に減反政策が都市のため池灌漑農業の脆弱性を高めているとするならば、それを廃止した先で、改めて都市近郊農業の価値が問われることになるだろう。そのとき、都市住民のため池を含む都市農業との自覚的なかわりがますます重要になっていくものと思われる。

#### 引用文献

香川県農林水産部(2000)香川県ため池実態調査・平成12年3月最終改訂。

金沢謙太郎(1999):第三世界のポリティカル・エコロジー論と社会学的視点 環境社会学研究 5: 224-231.

内田和子(2003)日本のため池,海青社,大津。

#### 質疑

##### (感想)

- ・具体的な提起でなかったので良く解りませんが、“人とのかわり”の部分を実社会的に分析することは重要であることに共感しました。研究を期待します。
- ・政策とため池との関連性課題ですね。地域の中でも考えたいと思いました。

(質問)防災,維持管理主体,環境生態系の3つの対立軸で調整が必要な時,社会学的,経済学的な妥当な判断基準というのはつくることができるのか?

減反というのは結果であって原因ではなく,長い人類の生存史では短期的必然の流れなのかも知れない。とすれば,減反は連続的にため池減少をくい止めてきたのかも知れない。例えば,中山間地の放棄水田(谷津田など)農家収入の相対的低下 離農が原因であろう(就農意識の低下)減反は確かに,耕作不利益が優先される。(返答)「社会学的,経済学的な(に)妥当な判断基準」が求められているというよりも,社会的アプローチと生態学的アプローチをリンクさせて妥当な判断基準をつくっていく必要があります。離農(就農意識の低下)の原因について文明史的にご指摘いただきましたが,私自身はまずもって戦後日本の農政との関連で考えていきたいと思っています。

(質問)分野の文化もあると思いますが,対象の捉え方が必要以上に意味を与えて捉えているように思います。資源利用の変化,背景,storyを概括することは非常に重要なことだと思いますので,できるだけ客観的記述によって捉えていかれると良いと思います。また,柄組は異なるものの,地理学,農業水利などでも戦前から高度成長期,現在まで多くの研究がなされているので,それらを踏まえた上で資源利用という面から捉えなおしていかれることが重要ではと思います。

(返答)ため池の減少を環境問題として捉えた場合,その問題の原因を探るということは基本的に重要な課題です。ため池の激減に歯止めがかからない現状を鑑みれば,いわゆる客観的な記述や中立的な立場の研究は現状追認に等しく,ときに問題の悪化を招きかねない側面があることにも注意が必要でしょう。今後,個別の情報収集のレベルでは,ご指摘いただいた地理学,農業水利などの研究の蓄積に学んでまいります。

RESEARCH REPORT FROM  
THE NATIONAL INSTITUTE FOR ENVIRONMENTAL STUDIES, JAPAN

No.183

国立環境研究所研究報告 第183号  
( R-183-2004 )

問い合わせ先：高村典子 電話 029-850-2471  
e-mail noriko-t@nies.go.jp

---

【平成16年3月8日編集委員会受付】  
【平成16年3月23日編集委員会受理】  
平成16年3月発行

発行 独立行政法人 国立環境研究所

〒305-8506 茨城県つくば市小野川16番2  
電話 029-850-2343 (ダイヤルイン)

---

印刷 朝日印刷株式会社

〒309-1117 茨城県真壁郡協和町向川澄82-1

Published by the National Institute for Environmental Studies

16-2 Onogawa, Tsukuba, Ibaraki 305-8506 Japan

March 2004

---

無断転載を禁じます

