

ため池の富栄養化とオニバスの生育

— (2) ため池の水質と浮葉植物の生育観察 —

Effects of farmpond Eutrophication on *Euryale ferox Salisb*

— (2) Water quality and growth of Floating-leaved plants. —

石原 暁 小山 健 笹田 康子 白井 康子 安藤 友継
Akira ISHIHARA Tuyoshi KOYAMA Yasuko SASADA Yasuko SHIRAI Tomotugu ANDOU

We observed growth of Floating-leaved plants and water quality of 4 farm ponds where *Euryale ferox Salisb* (E. f. S) had grown rich (A) and poor (B).

1. At one of A pond, receiving low N, P content water, E. f. S grew well. But at another one receiving high N, P content water, the blooming of Blue-green Algae occurred from April to July in 1999. More over, declining and death of E. f. S occurred one month earlier than other ponds with low DO value of pond water.
2. At one of B pond, young E. f. S died under low DO and high N, P content of pond water.
3. At another one of B pond, no E. f. S appeared and only water chestnut grew vigorously.

1 はじめに

オニバスは以前、平野部の池沼で普通に見られたが、水質の汚濁等により、近年絶滅が危惧されるまでに減少している。水質の汚濁・富栄養化に伴い、生育する水草の種類減少、或は特定種のみが異常繁殖する状況¹¹⁾¹²⁾については各地で報告されている。最近ため池など身近の水域は、景観の形成、自然との交流の場として必要性が高まっている。オニバスは、本県の特徴的な水辺環境であるため池の、生態系保全状況を示す指標にも成るのではなかろうか。オニバスの生育実態を把握し、生育に必要な環境条件、より望ましい生育環境整備の基礎資料を得るため、1998年度より調査を始めた。1998年度はオニバスの生育が良好な池から、絶えかけた池まで、丸亀平野の4つのため池について、水質の季節変化を調べた。各池ともに、pH、CODが年中高いこと、生育が絶えかけた池では、夏季に底泥から放出されたリン濃度が、生育良好な池より著しく高いこと等が明らかになった程度で、オニバスの生育の良否に、直接かかわる要因はわ

からなかった。

1999年度は、生育状況をより詳細に観察するとともに、継続して水質の季節変化を調査し、オニバスの生育状況と水質の変動との関係について検討を行ったので、その結果について報告する。

2 調査方法

2-1 調査地点

前年度と同じ表1に示す丸亀平野の4つの池である。八丈池へは、水質の良い香川用水の水のみが、パイプ配管で流入している。他の3池へは、農業用水路を経て、香川用水及び満濃池等上流の親池の水、降雨後の余剰水等が貯留されるが、それらは農地からのみならず、商工業地や住宅地からの生活排水等を含むものである。また、前池以外の3つの池では、フナノ養殖が行われており、春から夏にかけて飼料が施されることがある。

調査開始前及び調査期間中の落水(池干し)、湛水時期

を、表2及び図2中の↓↑で示した。

時の間に採取し、分析に供した。

2-2 調査方法と測定項目

平成11年4月から12年3月まで、毎月初旬に1回、各池の表層水と下層水(池底から30cm上を目標)を、12~15

今年度は植物プランクトン増殖程度を目安として、透視度(50cm計を使用)を測定項目に加えた他は、前年度と同じである¹⁾。

表1 調査対象ため池

池名	満水面積 (ha)	平均水深 (m)	堤の状況	オニバスの発生状況(2)	浮葉・浮遊植物等	沈水植物(2)	抽水植物(2)
前池	0.7	2.0*	ヨシの密生した土堤	毎年多数発生	オニバス主・ヒシ徒 オニバス・アオコ	クロモ マツモ	ヨシ クログワイ
八丈池	6.9	1.8	コンクリートブロック張り堤	発生回数増加傾向	ヒシ主 オニバス徒 ウキクサ アオウキクサ オニバス・アオコ	クロモ マツモ	ヨシ・ヒメガマ・ハス チクゴスズメノヒエ クワイ・クログワイ
籠池	0.9	1.3	大半コンクリートブロック張り	発生回数減少傾向	ヒシ主 しばしばアオコ発生 ウキクサ・トチカガミ サンショウモ	なし	マコモ・ヒメガマ チクゴスズメノヒエ キシウブ
田村池	17.7	2.0	コンクリートブロック張り堤	回数少なく断続的	ヒシ主・ウキクサ しばしばアオコ発生	なし	ヨシ・マコモ チクゴスズメノヒエ キシウスズメノヒエ オニバス・ウキヤガラ

* 1999年現在1.5m程度で使用 (2)引用文献2)を参考に作成

3 結果と考察

3-1 オニバス等の生育と池の状況

表3に池水の性状とオニバス等浮葉植物の生育状況を示した。各池とも4月下旬~5月上旬に、ヒシの幼植物が水面に出現し、田村池以外では5月中旬よりオニバスのハート型浮葉の発生が見られた。

前池では、4月からアオコが発生し、5月初旬には、透視度が9度になった。それでもオニバス浮葉は池全面に発生し、抜けて流れる個体も見られたものの、明確な障害は認められなかった。池の管理者がオニバスの生育を心配して、5月に2回、毎回水深20cm相当の池水を入れ換えたこと、早期栽培水稲用の放流などで、池水が流動した事も、好い影響を及ぼしたものと考えられる。以後生育は順調で、7月下旬には流入口近くの一面を残し、池全面がオニバスによって覆われた。ただ、全般に葉は小型で、直径60cmを越すものは少なかった。また9月に入ると草勢が衰え、10月初めには枯死水没した。これは

例年より1ヶ月早く、種子の熟度不足が懸念される。

八丈池のオニバスとヒシの生育には、前年と大差は見られなかった。

籠池では水が澄み、底泥の吸光のためか水中が黒く見え、酸素欠乏によると思われる大型のフナの死魚が、4月から多数見られた。しかし、浮葉植物は別段障害を受けた様子もなく、5月末にはヒシが池全面に広がり、オニバス幼植物の浮葉は、北岸と南西岸に沿って数10株認められた。ところが6月初旬、比較的深い池東半のヒシがすべて抜け、やや浅い西半に折り重なるように集まっていた。これは、酸欠状態の進行を恐れた養魚業者の行為と、後で知った。岸近くのオニバスは抜け流れるのを免れて居たが、次第に黄褐化し、6月末には消滅した。

表2 調査前及び調査期間中ため池の落水・湛水時期
(落水年, 月/湛水年, 月)

前池	99.1/99.2	99.10/99.10	99.12/00.2
八丈池	98.11/99.1	99.11/00.1	
籠池	98.11/99.1	以後落水なし	
田村池	98.11/98.11	99.10/99.11	

表3 池水の性状とオニバス等浮葉植物の生育

月 旬	前 池	八 丈 池	籠 池	田 村 池
4月下旬	植生なし、アオコ著しい	植生なし	ヒシ幼植物発生、比較的水澄むが、25cm程の死魚散見	植生なし
5月初旬	ヒシ幼植物発生	ヒシ幼植物発生	ヒシ全面に多数発生	ヒシ幼植物発生 水口にエビモ生育
中旬	オニバスのハート型浮葉全面に発生、岸近くは特に密生、アオコ著しい	一部にハス発生するが、生育不良。アオコ少々あり。	オニバスのハート型浮葉少数発生。水色青黒く澄み、死魚散見	ヒシ全面に発生
下旬		オニバスの浮葉発生	ヒシ全面に広がる。オニバス健在。池水暗色	
6月初旬	オニバス葉数増す。アオコ著しく一部でゼリー状	ヒシ広がり、オニバスも健在	池東半のヒシが抜けて西半に集積される。大型ばかりでなく小魚も死ぬ、アオコなし	ヒシ広がる
中旬	同上	同上	池水澄み、黒く見える。オニバスの葉褐色を増すが、岸近くに生育。	同上
下旬	径10~15(一部は20)cmのオニバス楯状葉出る。		オニバス消滅、ヒシ枯死、ウキクサ広がる。	池中心にヒシ群落。他は1/3ヒシ、1/3ウキクサ他は開水面に泡状の糸状藻塊多い。
7月初旬	オニバス急成長	オニバス急成長		ヒシ広がる
下旬	水口部等15~20%の開水面を残して、残りはオニバスが被覆、わずかにヒシ混える。	池西半の1/3オニバス1/3ヒシ、他はわずかのハスと開水面。	ウキクサのみ。	同上
8月中旬	アオコ消滅、水口部ヒシ密生、その外は全面をオニバスが被覆、但し、例年より葉は小型で30~50cmが多く、径60cmは稀。	池西半の70%をオニバス被覆。他はヒシとウキクサ	ウキクサわずかに残る。90%が開水面、水色は緑色を増し、プランクトン増えはじめる。	池面の20%、岸近くに、ヒシ、ホテイアオイ、ウキクサが混合生育する。
9月中旬	オニバス枯れ始める。例年に較べ、1ヶ月早い。	同上	同上	同上
10月初旬	オニバス消滅	オニバス、ハス、ヒシ枯れ始める		
下旬		オニバス、ヒシ消滅、ハス枯れる。	ホテイアオイとウキクサわずかに残る	ホテイアオイわずかに残る。

この間、6月13日のユル抜き時の放流水は硫化水素臭が著しかったし、メタンや炭酸ガスであろうか、黒い池底から気泡の発生するのが認められた。

田村池も前年に比して澄んでヒシが広がり、今年もオニバスの発生が認められなかった。

3-2 EC(電気伝導率)・COD

図1に各池水質の最も簡単な指標となる電気伝導率(EC)の季節変化を示した。大別するとECの低い八丈池と、比較的高い他の3池に分かれるのは、先に述べた様に流入する用水の違いによる。また各々のため池については、6月までに比べ7或は8月以降の値が低下していることが認められる。丸亀平野では香川用水、満濃用水の給水が6月10日及び13日以降である。冬の池干し後、良質な用水の供給の無い時期に生活排水などの混ざった雨後の余剰水等を時間をかけて貯留した池水と、用水の補給を受けた後の水質の違いが判然としている。オニバスが発芽し、水中葉を作るのが4月、若い浮葉を浮かべるのが5月であるから、水質の悪い条件下で、幼植物期を過すことがうかがわれる。

各池のCOD及び水溶性CODを図2に示した。水溶性CODは各池ともに10mg/l前後で年間変動も少ない。これに対し、CODは大きく変動する。この原因は前年度明らかにしたように植物プランクトンの増殖に起因している。

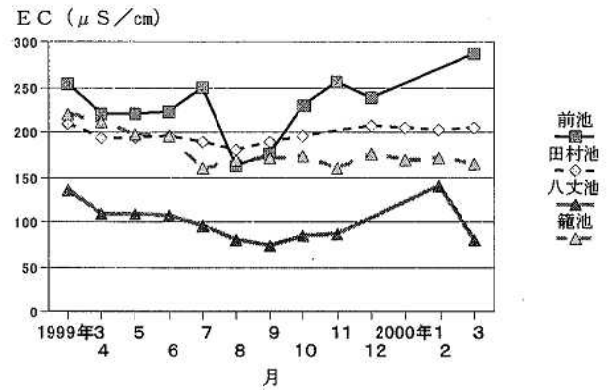


図1 電気伝導率の季節変化

ただ澄んで、死魚の多かった籠池では、灌漑期以前に5月の水溶性CODの値が大きいのは、何らかの異常の有った事が考えられる。

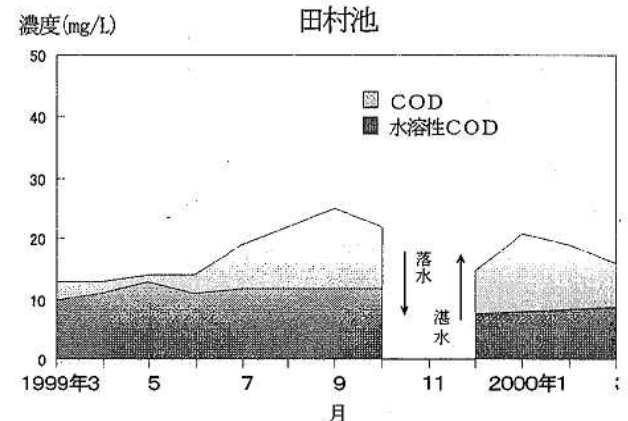
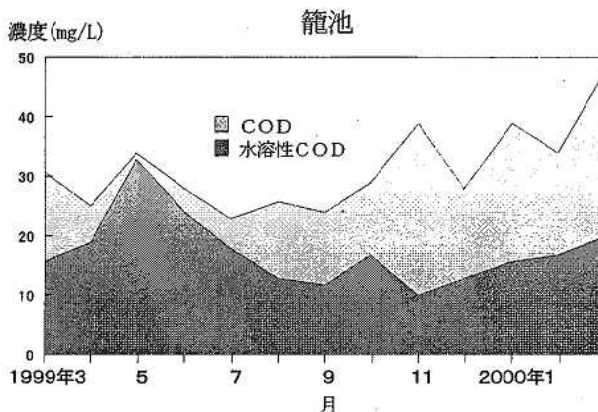
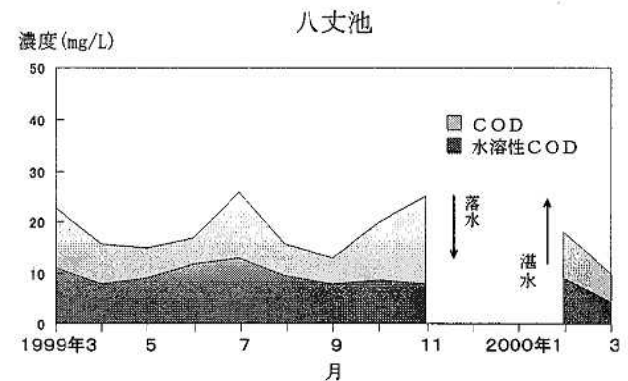
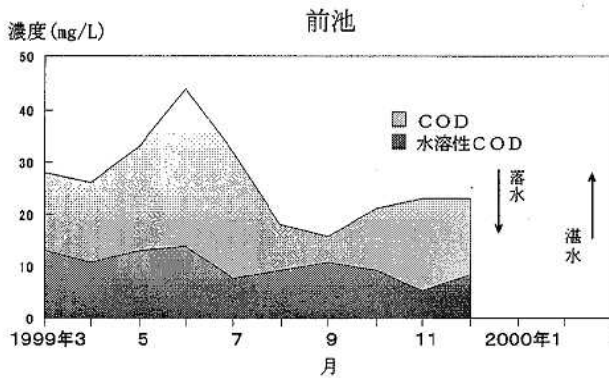


図2 COD及び水溶性CODの季節変化

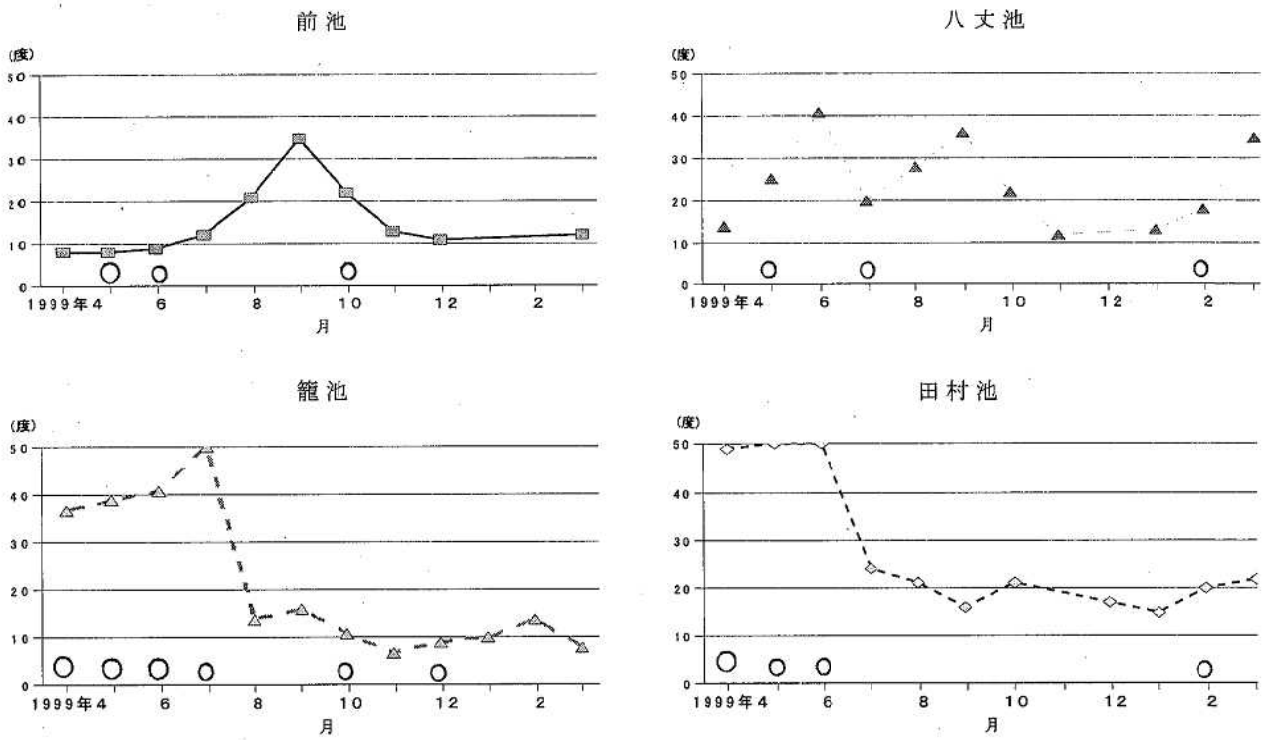


図3 透視度の季節変化及びミジンコ

ミジンコの体長
 ○ 1~2mm
 ○ 0.5mm以下

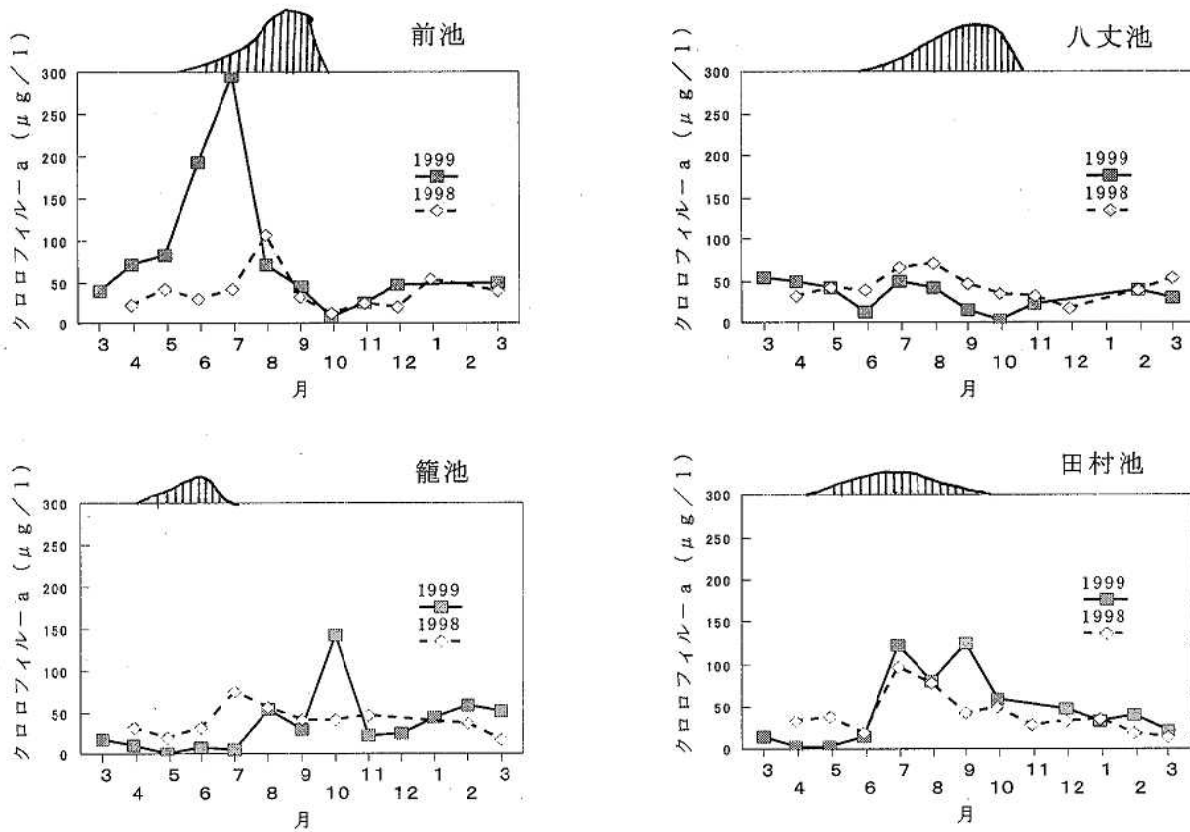


図4 クロロフィルaの季節変化及び浮葉植物

浮葉植物の繁茂度



3-3 透視度, クロロフィルa, SS, DO, pH

各池表層水の透視度の季節変化を図3に示した。前池のアオコ発生と籠池の4~7月の異常に澄んだ水については、先にも触れたところであるが、透視度の値から確認することが出来る。また田村池と籠池では、それぞれ7・8月以降、透視度が急に低下するのは、植物プランクトンの増殖による。

植物プランクトン量の指標として測定したクロロフィルaを図4に示した。田村池では7~9月にクロロフィルaが大きく、籠池でも8~10月にその増大が示される。

一方、前池では4月から増大を続け7月に頂点に達したクロロフィルaは、8月以降急減する。これを浮葉植物生育量模式図と比較すると、オニバスによる植被完了後とよく一致している。光を遮られたアオコ生成プランクトンが速やかに消滅したものである。

図5に各池表層水のSSの季節変化を示したが、クロロフィルaの増減と類似しており、ため池のような静止水域においては、植物プランクトンがSSの大半を占め

ることが明らかである。

図6に各池表層及び下層水の溶存酸素飽和度の季節変化を示した。死魚の多かった籠池では、下層は6~10月にわたり、また表層でも6, 7月には、低い値が示されている。なお他の3池においても7~9月の下層水の溶存酸素飽和度は低く、池底の水や底泥の還元状態の著しいことが予想される。

ところで8, 9月の前池では、下層ばかりでなく表層水の溶存酸素飽和度が著しく低い。これは水面を覆ったオニバスの葉が、空気中から水中への酸素の移行溶解をさえぎったためで、森下³⁾はホテイアオイで、埜山等⁴⁾は水面を埋め尽くしたボタンウキクサで同様の状況を示している。

前池において例年より1ヶ月も早く、9月からオニバスの衰退枯死の始まったことと、低い溶存酸素とのかかわりは不明である。死滅したアオコの池底堆積、分解に伴う酸素の欠乏、底泥の酸化還元電位の著しい低下によるオニバス根の障害も想定される。¹⁰⁾

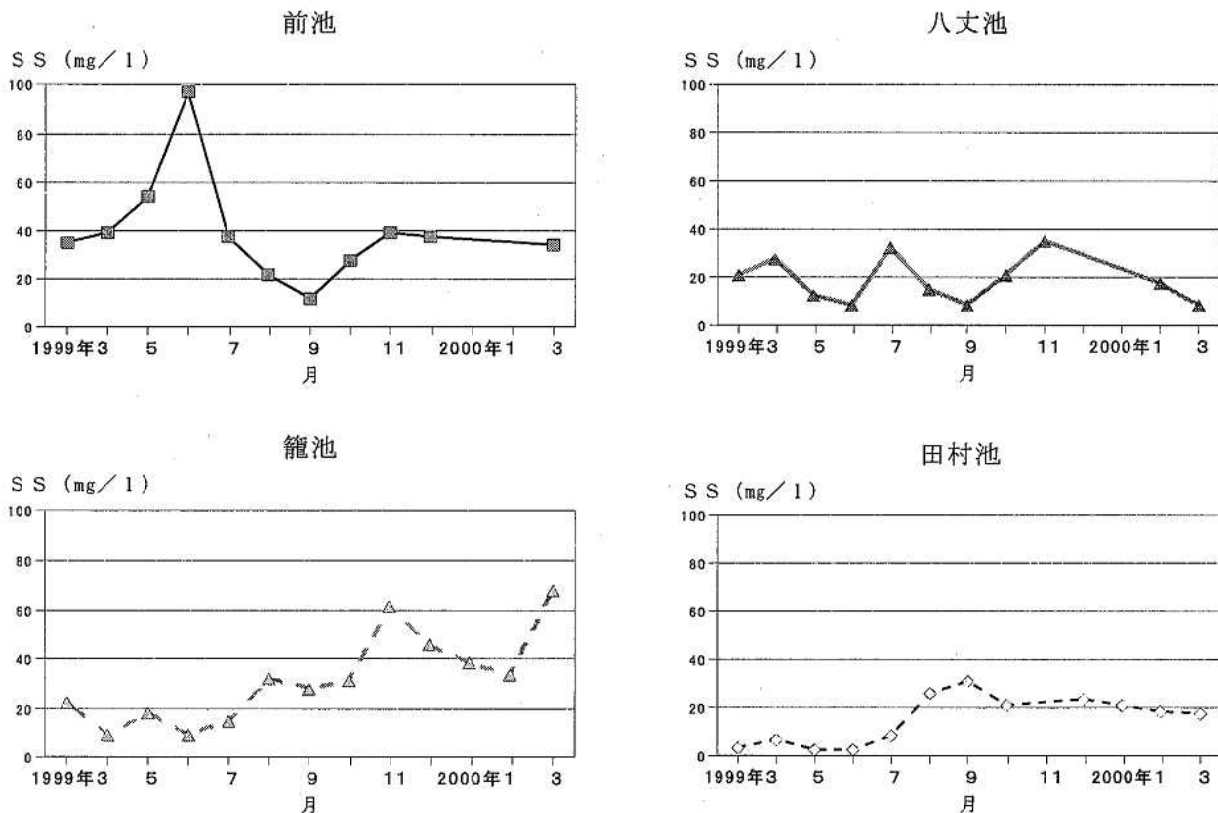


図5 表層水のSS

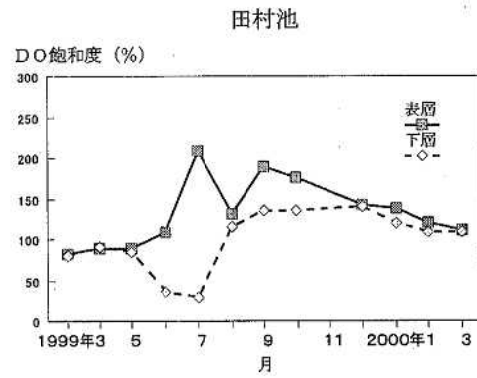
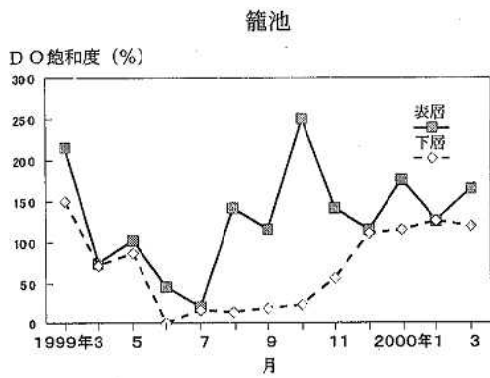
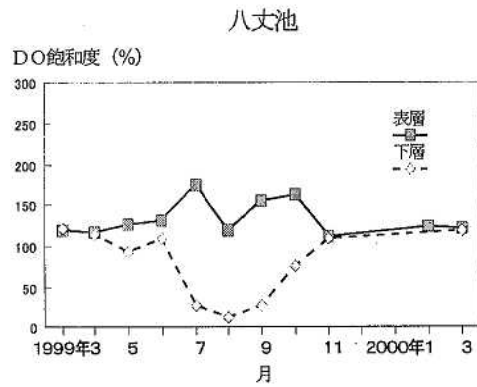
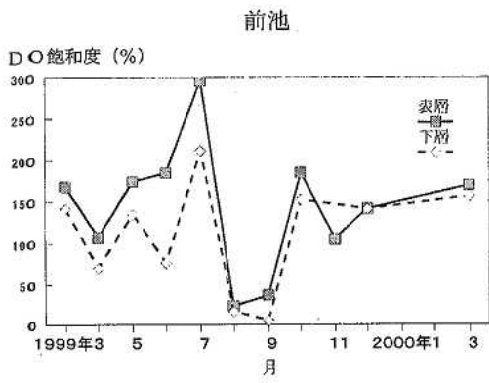


図6 溶存酸素飽和度の季節変化

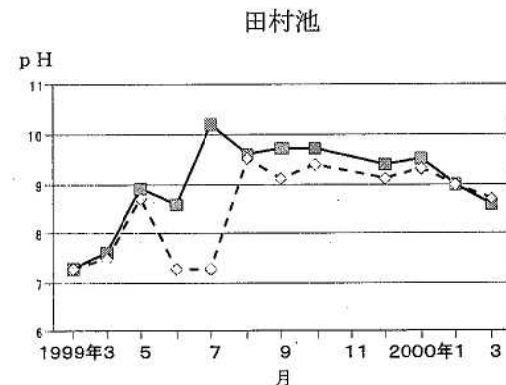
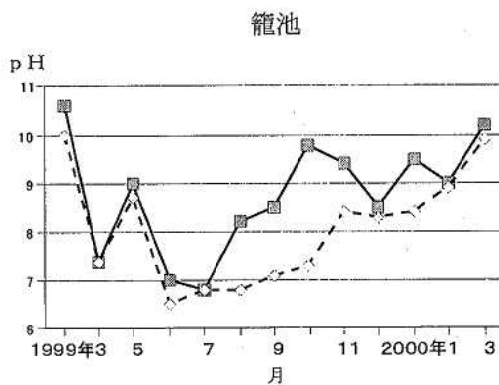
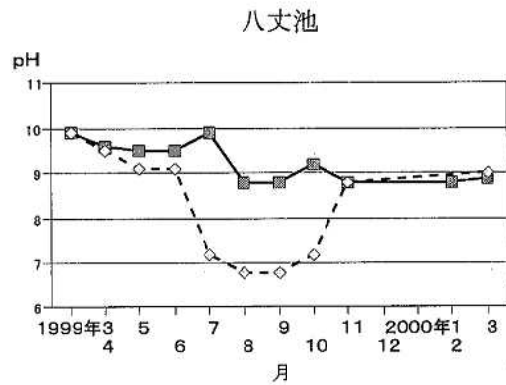
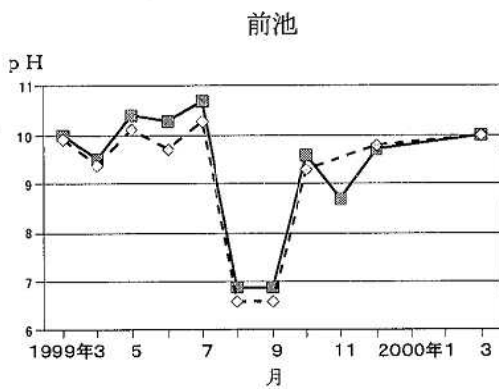


図7 pHの季節変化

表層及び下層水の pH の季節変化を図 7 に示した。表層・下層とも溶存酸素飽和度の図とよく似ている。両者の相関を図 8 に示す。相関は良く pH から溶存酸素を推定出来る。

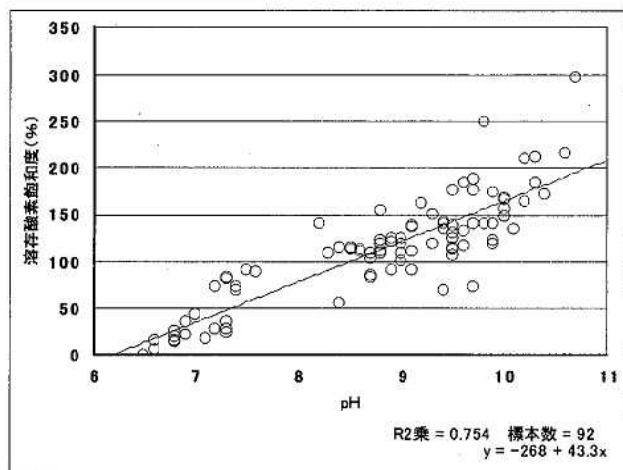


図 8 pH と溶存酸素飽和度の相関

3-4 リンと窒素

図 9 に各池表層・下層水の全リン、懸濁態リン、無機態(P O₄態)リン等、濃度の季節変化を示した。

籠池は他の 3 池に比べ、全リンが著しく多いことが明らかである。さらに全リン中に占める P O₄-P の割合が多く、4~7 月では 80% も占めていること、田村池にも同じような傾向のあることが示される。一方前池、八丈池では、リンのほとんどが懸濁態、すなわち植物プランクトンに取り込まれた形で存在している。

籠池の底泥には平均 1.1mg/g のリンが含まれており²⁾、前年度夏にも多くの P O₄-P の溶出をみたが、その最大値に比べて今年度 6 月の表層の全リンは 1.2mg/l で約 1.8 倍、下層水ではさらに大きい。ちなみに、底泥のリン含有量は平均で田村池 0.98mg/g、前池 0.75mg/g であり、籠池では含有量の差以上に多く溶出している。

図 10 に各池表層・下層水の T-N、水溶性 N、無機態 N、懸濁態 N の季節変化を示した。

田村池と八丈池では春から秋まで、ほぼ 1.5~2 mg/l で経過し、変動は少なかった。しかし前者では、透視度が下がり SS と COD の増加した 7 月以降と、懸濁態 N の増加とが符合しており、N がプランクトンに利用されたことが明らかである。また、7 月までアオコの発生が継続した前池では、T-N 含有量が 6 月には 5 mg/l を越し、その多くが懸濁態 N で占められた。8 月以降、アオコの消失に伴い 2 mg/l 以下となるのは、オニバスの養

分吸収に伴う底泥からの溶出の減少、水の入れ換えによるものと思われる。

荻野等⁵⁾は湖沼において藻類の増殖を制限する因子の判別法として、OECD 陸水モニタリング協力計画総合報告書が、予備的方法として示した「溶解性無機態窒素/P O₄-P < 10 以下の湖沼は窒素制限的である」ことを利用して、児島湖は夏期には窒素制限的、冬季にはリン制限的であることを報告している。これに習って 4 つの池を比較すると、図 1 1 に示すように夏期には、前池のみがリン制限的で他の 3 池は窒素制限的と試算された。前報¹⁾で示したように、前池への流入水の水溶性窒素含量は大きいので底泥より溶出する P O₄-P はただちに藻類に取り込まれて、今年度のようなアオコの発生をまねく結果となると考えられる。他の 3 池においては、リンは十分に有るので、窒素が制限因子、すなわち若し窒素に富む生活排水などが流入すれば、急激にアオコの発生を見る可能性があると思われる。

3-5 ミジンコ

籠池では、4~6 月まで十分な窒素・リン濃度がありながら、前年と異なり植物プランクトンの増殖が見られなかった。夏期のアオコを形成する藍藻特に *Microcystis* は N O₃-N を選択的に吸収する⁹⁾。図 1 2 に示すように 4、5 月の籠池には他の池よりも高濃度の N O₃-N が存在している。水中の鉄、特にキレート鉄の不足が湖水のアオコ形成プランクトン増加を妨げるが、浅いため池では、底泥からの供給が得易いので、原因と考えにくい。除草剤や重金属など、プランクトンの増殖阻害物質が混入していないか、また透視度が高かったのはなぜかについて考察するため、2 つの簡単な実験を行った。

実験 1

6 月 3 日に採水し、冷蔵保存してあった籠池の水を、0.06mm 目のガラスフィルターで濾過後、各々 600ml をガラスビンに入れ、下記のように処理して 3 日間、半日陰の窓際に静置した後透視度を測定し、下の結果を得た。

処理名	処理内容	透 視 度	
		前(8/24)	後(8/27)
A	無処理	>50	>50
B	アオコを含む水 1ml 添加	>50	15.5

B) にはアオコ形成プランクトン(藍藻)が急激に増殖して透視度を低下させた。したがって生育阻害物質は、

含まれていないことが明らかである。

実験2

実験1のB)と同様に処理し、4日間プランクトンを増殖させた籠池の水それぞれ600mlに、下記の処理をし、結果を得た。

処理名	処理内容	透視度	
		前(9/10)	後(9/14)
C	無処理	27	14
D	ミジンコ20匹放飼	27	45

Cでは藍藻類がいっそう増殖したのに対し、ミジンコ放飼のDではミジンコに摂食されてアオコを形成する藍藻類が減少したことが明らかである。

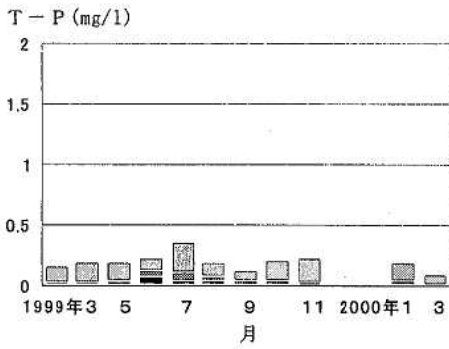
ヘラブナは植物プランクトンも食べるので、籠池の場合を、すべてミジンコによるとは言い切れないであろうが、酸素欠乏により多くの魚がへい死した状況は、あたかもミジンコ食性魚の生息密度を低く制御することにより大型のミジンコを増殖させ、ミジンコにより植物プランクトンの増殖を抑え、富栄養湖の透明度を保つバイオ

マニピュレーションと同じ効果が⁶⁾、はからずも生じたものと考えられた。なお実験に用いたアオコは、当センターの水槽に発生した雑多なもの ミジンコは籠池で6月6日採取して飼育していたもので、図鑑⁸⁾によれば*Daphnia pulex*と思われる。

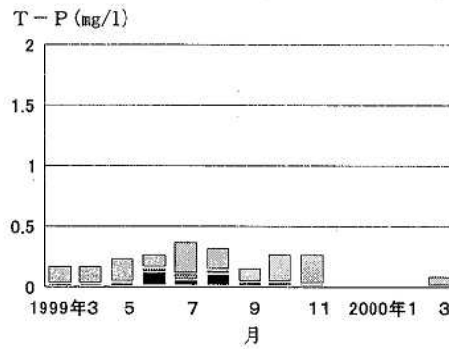
採取時にミジンコは赤く、100匹/1程の生息密度であった。*Daphnia pulex*等は、水中の酸素が欠乏すると血液中のヘモグロビン含量を増加させ、赤くなる。それにより、0.1mg/l程度の酸欠状態にもたえ得る⁷⁾。また小型のミジンコは群体を作る藍藻類を食べることが出来ない。*Daphnia pulex*等大型のミジンコのみが藍藻類を食べることが可能とのことである。

ミジンコの調査を目的としたわけではないが、採水時ビンに入ったミジンコの有無、大型種、小型種の観察結果を丸印の大小に要約して図3の透視度に併記した。籠池にこの時期大型のミジンコが多かったことを示している。

表層
八丈池

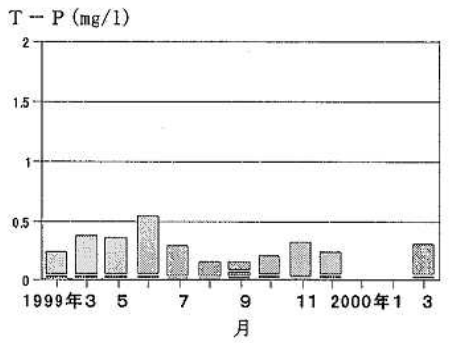


下層
八丈池

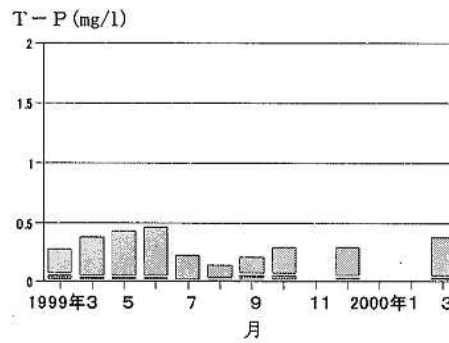


懸濁態P
 PO₄以外の水溶性P
 PO₄-P

前池

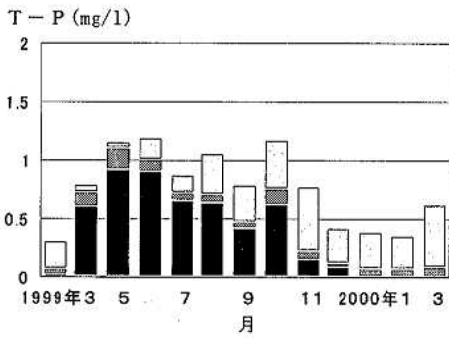


前池

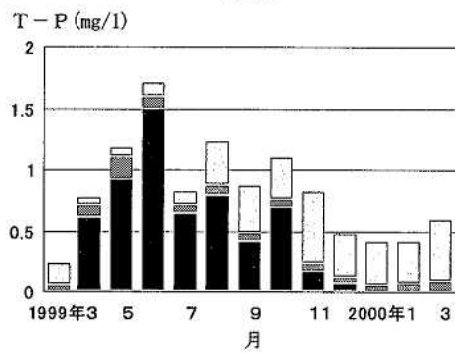


懸濁態P
 PO₄以外の水溶性P
 PO₄-P

籠池

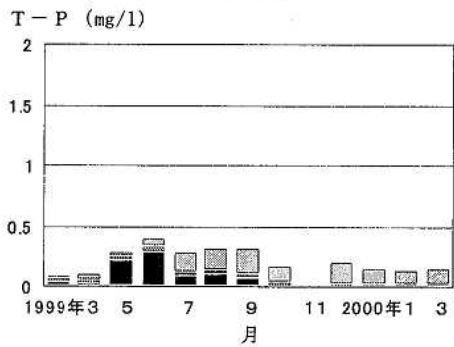


籠池

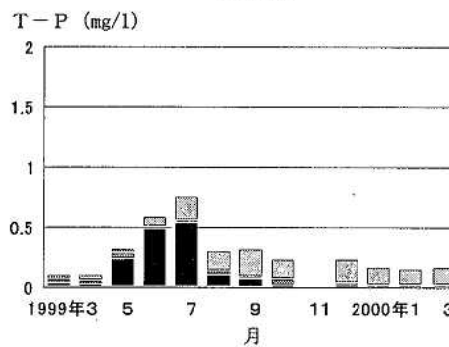


懸濁態P
 PO₄以外の水溶性P
 PO₄-P

田村池



田村池



懸濁態P
 PO₄以外の水溶性P
 PO₄-P

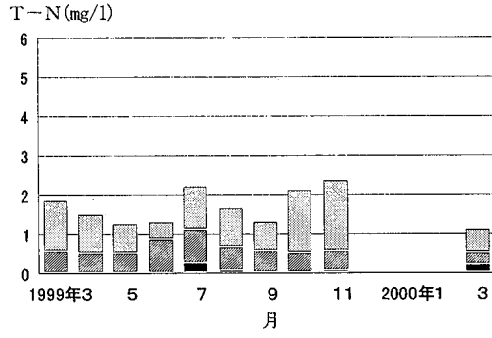
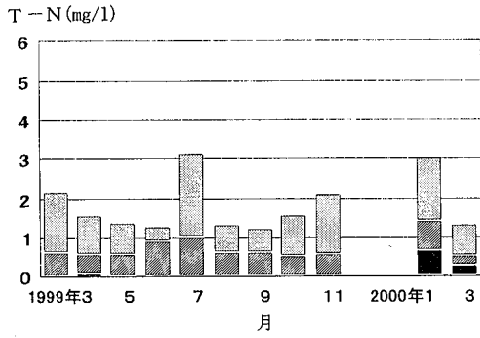
図9 各形態リン含量の季節変化

表層

下層

八丈池

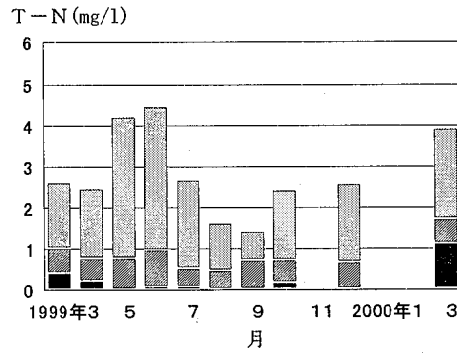
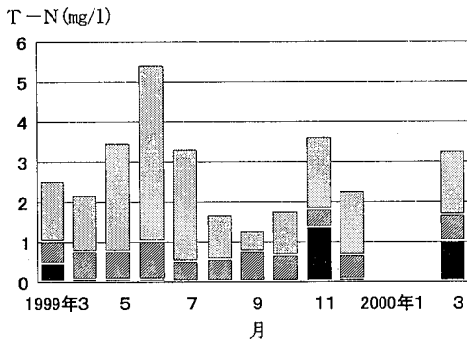
八丈池



□ 懸濁態N
 ▨ 無機態以外の水溶性N
 ■ 無機態N

前池

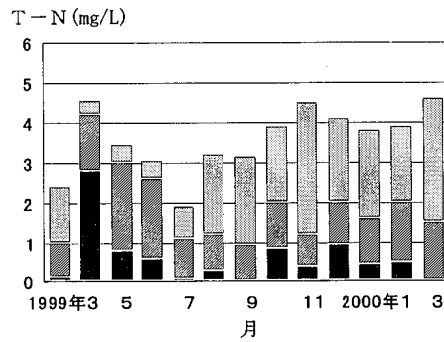
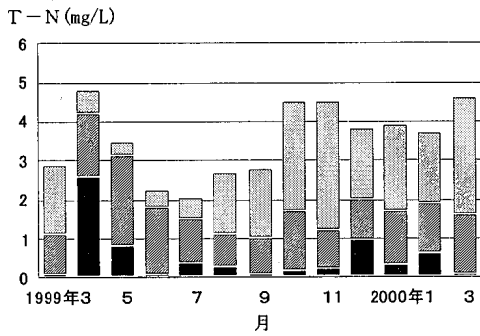
前池



□ 懸濁態N
 ▨ 無機態以外の水溶性N
 ■ 無機態N

籠池

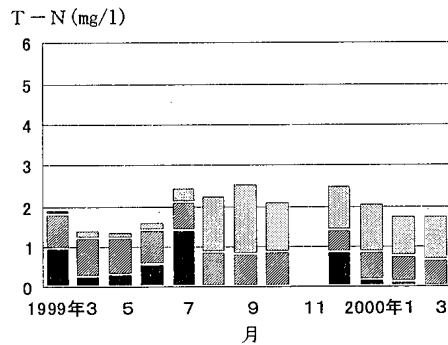
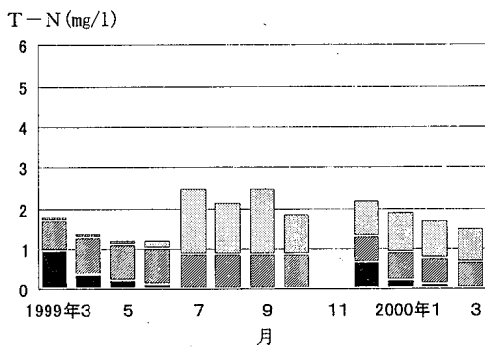
籠池



□ 懸濁態N
 ▨ 無機態以外の水溶性N
 ■ 無機態N

田村池

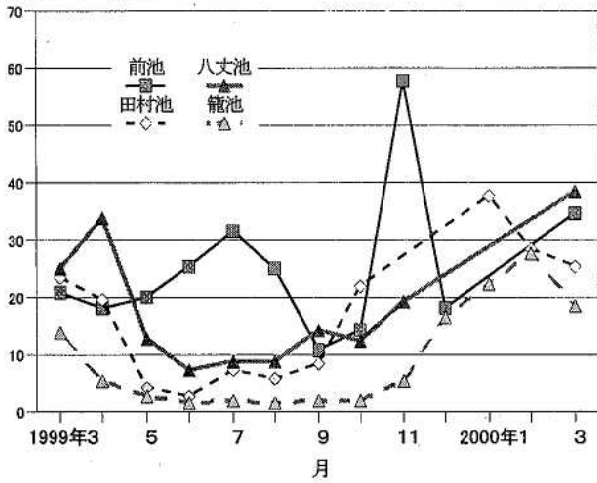
田村池



□ 懸濁態N
 ▨ 無機態以外の水溶性N
 ■ 無機態N

図10 各形態窒素含量の季節変化

水溶性N/水溶性P



T-N/T-P

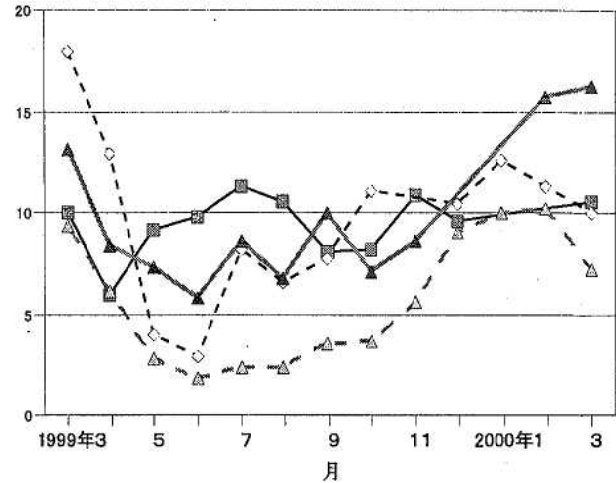
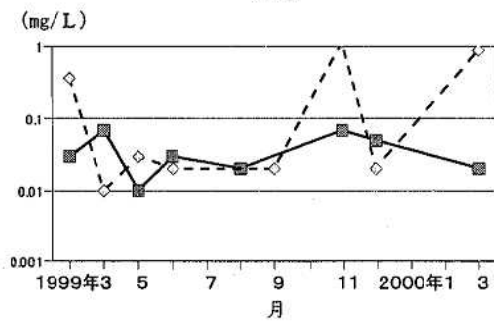
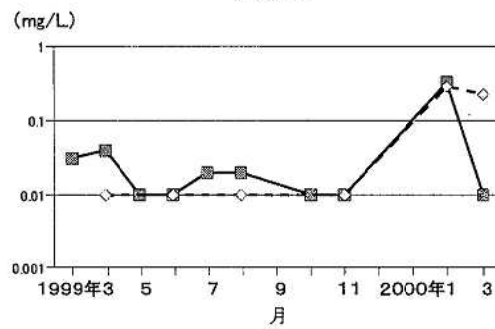


図11 各ため池における窒素及びリンの存在比

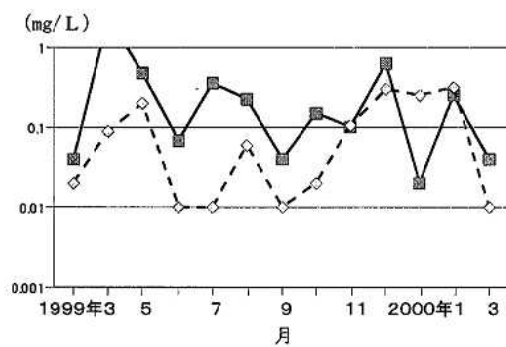
前池



八丈池



籠池



田村池

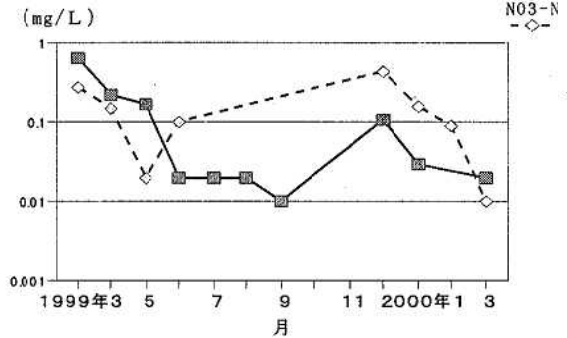


図12 表層水のアンモニア態及び硝酸態窒素

4 まとめ

前年度に続き、丸亀平野のオニバスの発生・生育状況の異なる4つのため池水質の季節変化と浮葉植物等の生育観察をした。

1. オニバスは前池、八丈池、籠池に発生したが、籠池では6月中に消滅した。
2. 生活排水等を含む余剰水を、冬・春季に貯留するため池の水質は、オニバスの発芽・初期生育期の4～6月には、年間で最も厳しい状態にある。
3. 籠池では6・7月に、表層水まで溶存酸素が低下した。8月以降、植物プランクトンの増殖に伴い、表層水では回復したが、下層では10月まで、酸欠が続いた。そのため、底泥から溶出するとみられる PO_4-P 濃度は、前年度以上に高く、 $T-P$ では最高 $1.7mg/l$ に達した。
4. 水溶性窒素とリンの比率から、夏期における植物プランクトン繁殖の制限因子は、前池以外の3池では、窒素と判定された。
5. 毎年継続してオニバスが生育して来た前池で、アオコの発生、例年より早い衰退・枯死が観察された。今後、池底における底泥、沈澱物、根の実態観察や相互作用の解明が必要と思われる。

引用文献

- 1) 石原 暁, 川波誉大, 白井康子他: 香川県環境研究センター所報, 23, 41(1998)
- 2) 香川県生活環境部環境局自然保護室(1998)オニバス生育状況調査報告書
- 3) 森下郁子: ダム湖の生態学p99山海堂(1983)
- 4) 埜山里志, 興古田 亨, 川満 尚: ダム湖に繁茂したボタンウキクサ(*Pistia stratiotes* L)の影響第47回全国水道研究発表会講演集454~455(1996)
- 5) 荻野泰史・大西 昇・片山靖夫他: 岡山県環境保健センター年報9, (1985)
- 6) 花里孝幸: ミジンコ その生態と湖沼環境問題 p 193 名古屋大学出版会(1998)
- 7) 同上 p 26
- 8) 水野壽彦: 日本淡水プランクトン図鑑 保育社(1981)
- 9) 大槻 晃: 栄養塩類濃度の季節変動から見た霞ヶ浦の植物プランクトンの増殖と制御機構: 国立公害研究所調査報告 22, 175 (1982)
- 10) 角野康郎: オニバスの自然誌 *Nature Study* 29 (6) (1983)
- 11) 浜島繁隆: 池沼植物の生態と観察, グリーンブックス55, p31, ニューサイエンス社 (1979)
- 12) 小林節子: 湖沼の生態系の変遷(II) - 印旛沼の開発と汚濁 - 公害と対策 16 (9) p881 (1980)