

# 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 —

Effects of farmpond Eutrophication on *Euryale ferox* Salisb.

— (1) Seasonal Variations of Farmpond water quality —

石原 暁 川波 誉大 白井 康子 小山 健 笹田 康子  
Akira ISHIHARA Yoshihiro KAWANAMI Yasuko SHIRAI Tuyoshi KOYAMA Yasuko SASADA

Formerly, *Euryale ferox* Salisb. (*E. f. S*) grew widely in Japanese ponds and swamps, but it is on the brink of ruin with water pollution and eutrophication today. We observed seasonal variation of water quality of 4 farm ponds where *E. f. S* grew well (A) and poor (B). Results were as follows. (1) pH of ponds surface water were 8.5~10 in most case but they were 6.5~8.0 where *E. f. S* were full of vigor. (2) T-P of B were about 2 times higher than that of A in summer and considerable amount of  $PO_4\text{-P}$  appears from May to October in B but it appears a little or from August to November in A. (3) T-N were 2mg / ℓ in many case. Then we considered that T-N concentration must be the limiting factor of increase of floral plankton.

## 1 はじめに

ため池は灌漑用であると同時に、魚、鳥、昆虫、水草等をはぐくむビオトープである。とげの生えた直径1m余の葉をスイレンのように水面に浮かべるオニバス (*Euryale ferox* Salisb.) も、そこに生育する。かつては日本各地の池沼に広く自生していたが、水質の汚濁、水域の改修等により激減し、現在確認されている生育地は全国で70程<sup>り</sup>で、環境庁は「絶滅危惧種Ⅱ類」に指定している。香川県は全国一の生育地ではあるが、農地と混在する住宅や商工業地からの排水の流入や利用方法の変化が影響するためか、年々減少傾向にあり、予断を許さない状況である。

香川県では、その保護と増殖を図るため、自然保護室が平成8、9年度に「香川県希少野生動物植物保護対策調査」にオニバスを取り上げた。当センターも、重点調査池の水質、底質の分析について協力し、若干の知見を得たが、なお多くの問題が残された。そこでため池の富栄養化とオニバスの生育については、平成10~13年度の調査研究で生育条件等について解明につとめることとした。

今回は、平成10年度に実施したため池水質の季節変化を中心に報告する。

## 2 調査方法

### 2-1 調査地点

オニバスが毎年多数発生する池から発生がまれな池まで、表1の4つの池について調査した。いずれも本県中央部の丸亀平野にあり、四辺を堤で囲った、いわゆる皿池である。

八丈池へはパイプ配管により香川用水が直接流入しており、灌漑期間中は受益地への給水と香川用水の受水を繰り返す、配水の調整池としても機能している。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、多雨時の余剰水等が流入、貯留される。前池と籠池では5月の早期栽培水稻の田植え時以外には利用される機会が少ない。ただ前池では、オニバス保護のため、池水の性状が不良の場合には水位にして20~30cmの水を流出させ、雨後の余剰水等新しい水を入れ替えている。また、籠池の傍には飲食店があり、雑排水が流入する場合がある。

表1 調査したため池

池名	満水面積 a (ha)	貯水量 b (m <sup>3</sup> )	平均水深 b/a (m)	堤の状況	オニバスの 発生状況等	水草等	所在地
前池	0.7	14,200	2.0*	ヨシの密生した土堤	毎年多数発生	オニバス主 ヒシ従	普通寺市稲木町
八丈池	6.9	128,000	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 オニバス従	丸亀市川西町南
籠池	0.9	12,000	1.3	大半コンクリートブロック張り、 一部土堤、ヨシ生育	発生回数減少傾向	ヒシ主 しばしばアオコ発生	丸亀市三条町
田村池	17.7	358,100	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 しばしばアオコ発生	丸亀市田村町

\* 現在は1.5m程度で使用

田村池と八丈池は平成9年11月に池干しをし、12月末に水が張られた。また、前池と籠池は平成10年1月末に水を抜き3月末に水を入れた。

## 2-2 調査方法

平成10年4月から11月3月まで毎月1回、各月の初旬に各池の表層水と下層水を(底から30cmを目標に)12~15時の間に採取した。なお、下層水の採取は、図1に示す自作の吸引式採水器を用いて岸から行った。採水地点は各池ともにユル(流出樋門)の近く、又はその側の岸とした。

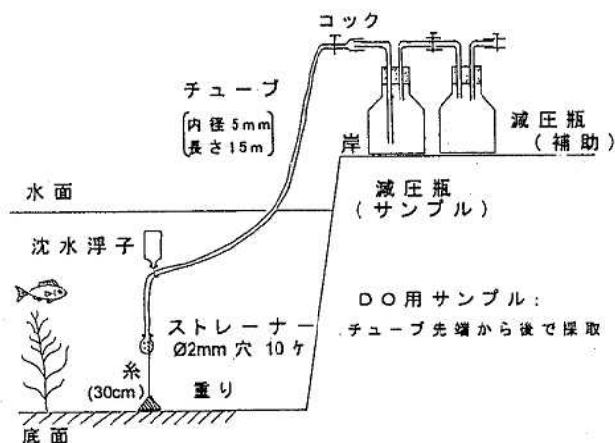


図1 吸引式採水器

## 2-3 測定項目

水位、水温、pH、電気伝導率(EC)、COD、SS、DO; ウィンクラーアジ化ナトリウム変法

全窒素(T-N)及び水溶性全窒素(DTN); 三菱化学製 TN-05型自動窒素分析計による  
NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, PO<sub>4</sub>-P; ブランルーベ社製TRACCS-2000型オートアナライザーによる  
全リン(T-P)及び水溶性全リン(DTP);  
JIS法による(ペルオキシ二硫酸カリウム酸化分解モリブデンブルー比色法)  
クロロフィル-a; アセトン抽出蛍光光度法  
懸濁態N; (T-N) - DTN  
懸濁態P; (T-P) - DTP

## 3 結果と考察

### 3-1 オニバスの生育

前池、八丈池、籠池では、5月初旬に浮葉の展開をみたが、田村池では生育を確認できなかった。

その後、抜けて流亡する幼植物が多数あり、籠池では6月初旬に全滅した。

八丈池ではヒシ主、オニバス従で池面の約50%が、前池ではほぼ池の全面が7月末から9月下旬までオニバスによって覆われた。両池とも9月中旬より開花、結実がみられ、10月末には自然枯死した。

### 3-2 流入水質と水位変動

表-2に流入水質の一例を示す。八丈池へパイプで供給される香川用水は、T-N、T-Pともに極めて低濃度である。

平成10年春、池干しの終わった籠池へは香川用水を多く含む満濃水系の水が、前池へは金倉川から取水した満

濃水系の水が供給された。金倉川は琴平町市街地からの排水を含むこと、農業用水路が善通寺市街地を経由する際さらに汚染されるため、前池への流入水のT-N、T-P濃度は他の2者に比べて高い。田村池への流入水質は把握できなかった。

オニバスの生育期間である5~10月の水位の変化は、田村池で50cm、他の3池では20~30cm以内と比較的少なかった。

表2 流入水質の一例

項目	(mg/l)		
	八丈池	籠池	前池
pH	6.9	7.0	7.5
EC ( $\mu$ S/cm)	50	101	235
T-N	0.46	1.23	3.20
NH <sub>4</sub> -N	<0.01	0.07	0.28
NO <sub>3</sub> -N	0.40	0.99	0.04
NO <sub>2</sub> -N	<0.01	0.02	<0.01
懸濁態N	0.04	0.03	0.35
T-P	0.008	0.075	0.294
PO <sub>4</sub> -P	0.003	0.032	0.18
懸濁態P	0.0007	0.043	0.097
SS	4.0	14.3	9.2
備考	1998. 3. 23	1998. 3. 23	1998. 4. 4
	香川用水		

### 3-3 水温・pH・DO・クロロフィル-a

毎月の採水時に測定した水温を図2に示す。各池とも5月には表層水温が25℃に達し、7~9月の間は30℃以

上であり、また最高水温は8月で他の3つの池が34~35℃であるのに対し、池面をオニバスが覆いつくした前池は32℃とやや低かった。この違いは下層ではいっそう明らかで、前2者の33~34℃に対し30℃であった。いずれにしても、池底近くが30℃を超える高温になることは、底泥からの栄養塩類の溶出をうながす条件と思われる。

各池のpHの季節変化を図3に示す。表層水のpHは各池ともにアルカリ性で、特に夏期には9から10と高い。一方、下層水は表層水に比べpHが低く、7~10月の前池は中性である。富栄養化して植物プランクトンが繁殖する池では、その光合成に伴いpHが上昇する。7月及び11月の試水にエアープンプで30分間通気を行った後測定したpH値(RpH)<sup>\*)</sup>を図3中に示す。RpH値は、表・下層水ともに7.7前後に分布することが明らかである。

各池のDO(溶存酸素)の季節変化と浮葉植物の繁茂度を図4に示す。田村池、籠池、八丈池表層水のDOは常に飽和状態で推移し、植物プランクトンの旺盛な光合成を示している。一方、6~10月の下層水は、いずれもDOは少なく、表層水と同程度の飽和状態に戻るの、11月以降である。特に籠池では、6月に1mg/l(5月以前は未測定であるが)、7月以降9月まで2mg/lと低く経過している。また、前池では7月から10月まで貧酸素状態が続いた。これは温度上昇に伴う底層水や底泥の有機物分解により、下層水中の酸素が消費されたものと思われる。底泥は著しい還元状態であると思われる。

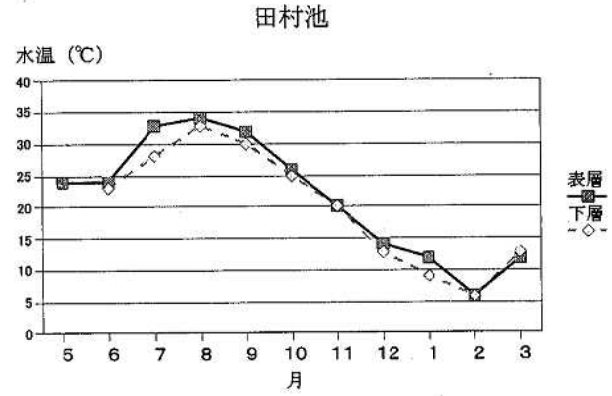
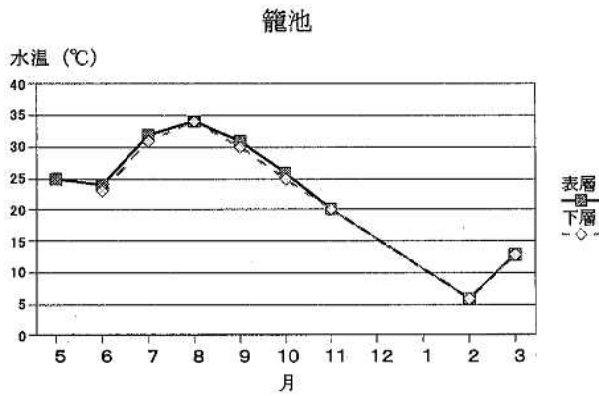
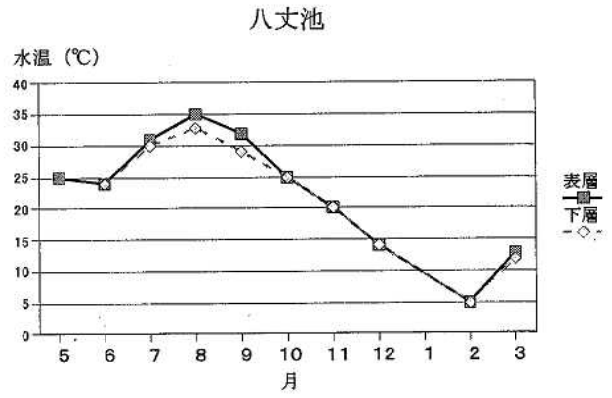
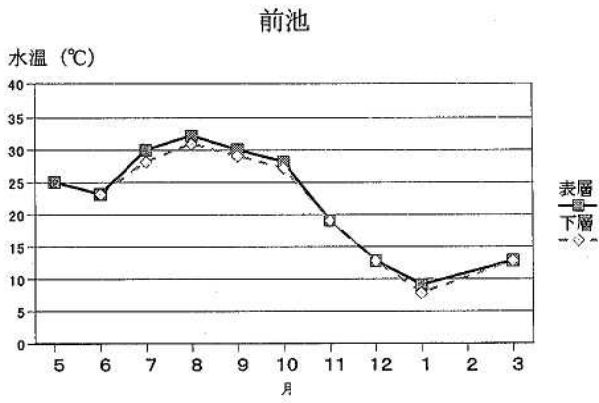


図2 水温の季節変化

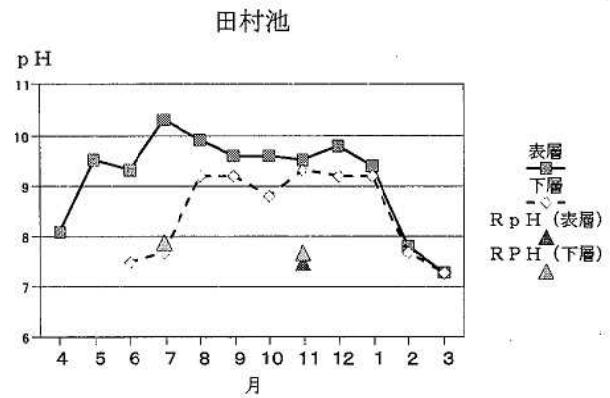
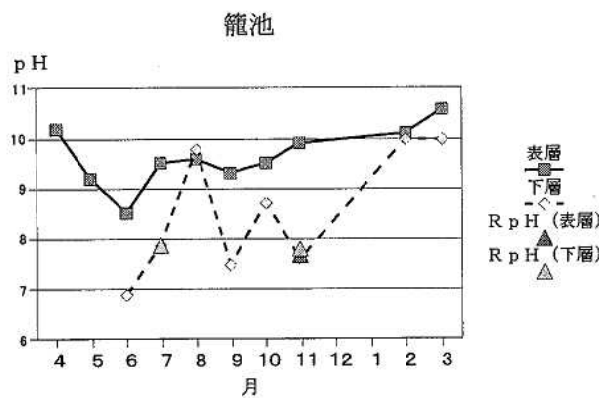
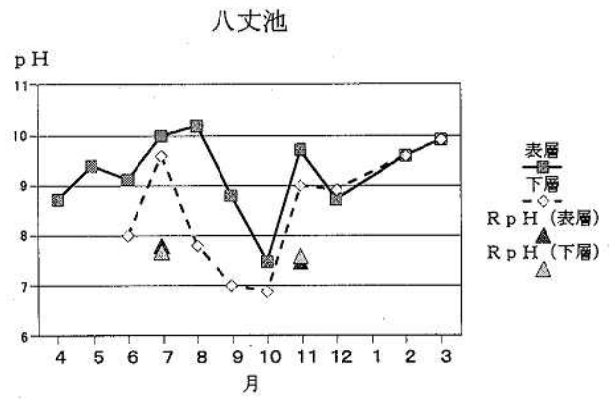
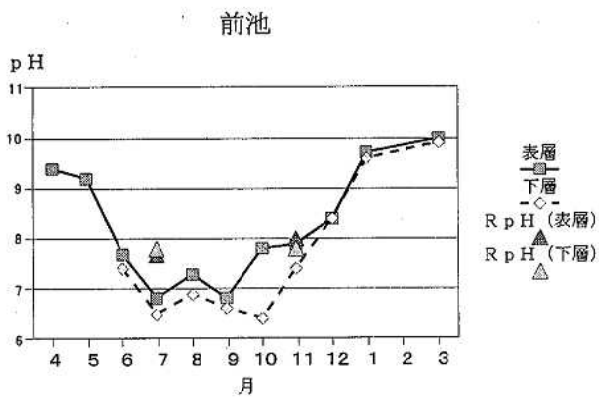


図3 pHの季節変化

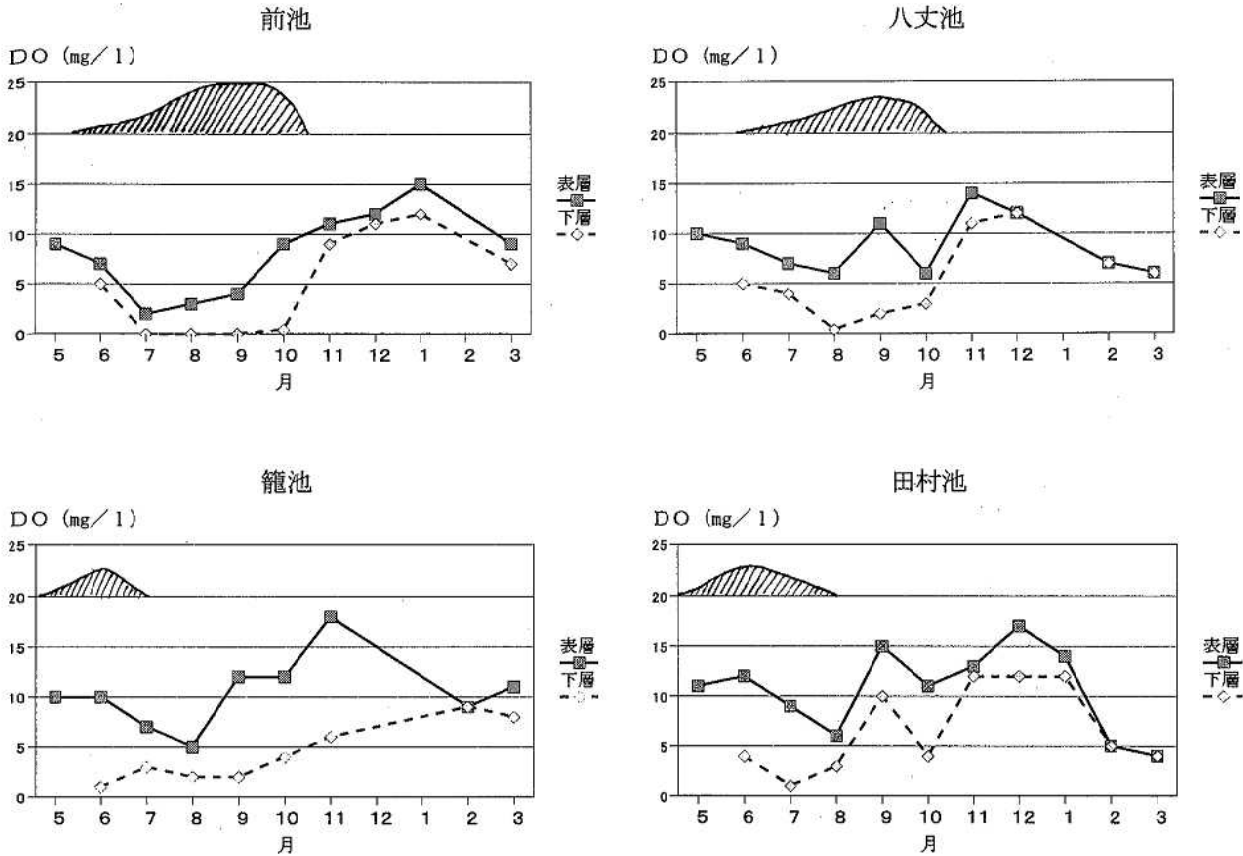


図4 DOの季節変化と浮葉植物の繁茂度

浮葉植物の繁茂度

図4中にオニバスやヒシなど浮葉植物の繁茂の様子を模式的に示す。

前田<sup>6)</sup>によれば、オニバス葉中心部の光透過率は3%、浮葉が覆う池の相対照度は開水面のそれに対して6~28%、植物プランクトンの光合成による酸素の放出は開水面下の値の36%に低下したという。

前池では6月中旬から9月末まで池全面がオニバスの葉で覆われるので、水中の光量不足から植物プランクトンの光合成が制限され、表層においてもDOが比較的低く経過したものと思われる。これは、前述の表層のpHが前池のみ中性を示したことも符合する。

浅いため池では、風や波、一日の温度変化によって容易に混合、攪乱が生じると思われるのに、pH、DO等が上層、下層間で大きく異なることに関して、土山<sup>7)</sup>等は、風があまりなく流れが穏やかなときには生物的増殖の速さが鉛直混合速度より速いと言っており、この測定結果にも当てはまるものである。

図5に各池表層水のクロロフィル-a量を示す。いずれも7~8月に最大を示す。夏期のクロロフィル-a量が100  $\mu\text{g}/\ell$ を示す湖沼は、著しく富栄養化した湖沼と

いわれる<sup>5)</sup>

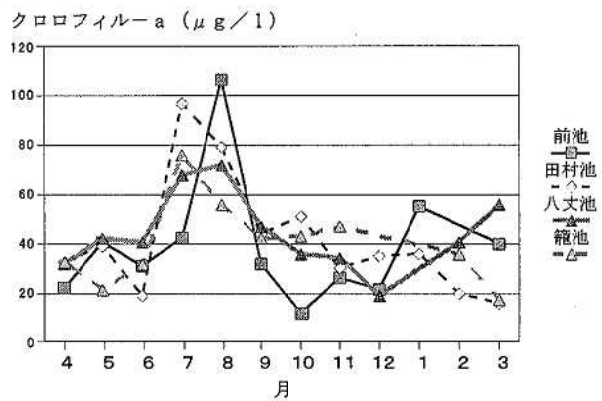


図5 各池表層水のクロロフィル-a量

### 3-4 EC (電気伝導率)・SS・COD

図6に各池表層の電気伝導率の季節変化を示す。ECは含有する塩類濃度に対応するので、富栄養化の最も簡単な指標となる。香川用水を直接導入している八丈池は4~11月まで100  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下、籠池は夏の間130から

170  $\mu\text{S}/\text{cm}$ へと増加しているが、前池は225~140  $\mu\text{S}/\text{cm}$ まで順次低下、田村池も低下傾向を示している。

各池表層水のSSを図7に、CODを図8に示す。下層は上層とほぼ同様の傾向なので省略した。前池におけるSSの急激な減少と籠池における増加は植物プランクトンの増減と対応している。

各池ともにCODは15~30mg/l付近にある。これは湖沼環境基準C類型の基準値8mg/lに比べ極めて大きい。各池ともに外部からの汚水の流入をさけるため、流入口は通常閉じられているので、SS、CODの増加は植物プランクトンの増加と対応しており、いわゆる内部生産CODが主である。

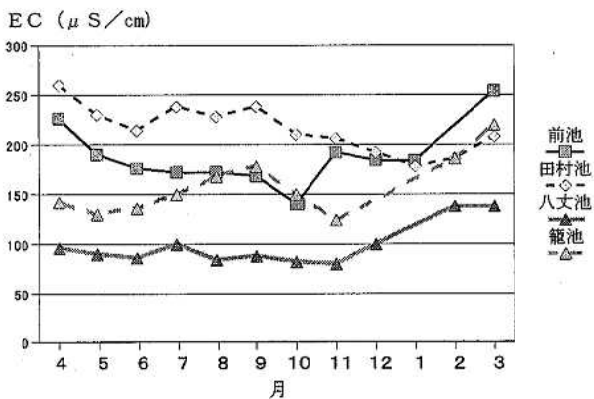


図6 表層の電気伝導度

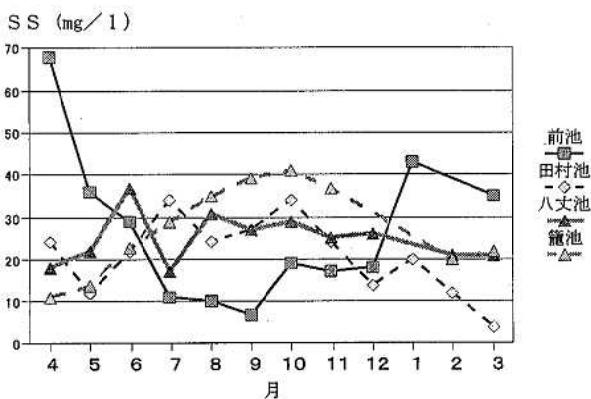


図7 表層水のSS

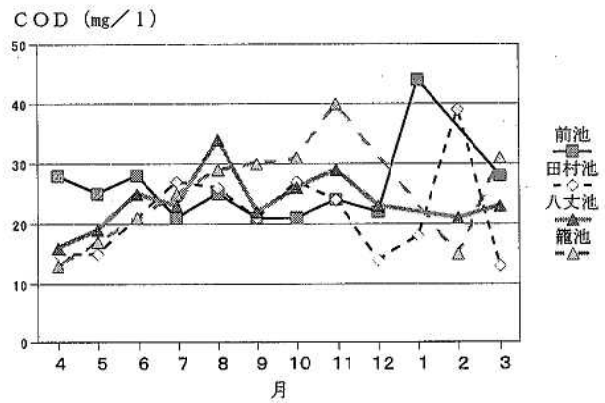


図8 表層水のCOD

### 3-5 リンと窒素

図9に各池表層水の全リン、水溶性全リン、 $\text{PO}_4$ 態、懸濁態リン濃度の季節変化を示す。

リン濃度の低い水を受け入れた八丈池、籠池、明確ではないが比較的低い水が入ったと思われる田村池では、4月のT-Pが0.2mg/l以下であったが、5月以降急激に増加している。特に籠池では、 $\text{PO}_4$ -P濃度が5~10月までの期間0.3~0.4mg/lで経過することは、植物プランクトン増殖の大きなポテンシャルとなりうることを示している。一方、T-P濃度0.3mg/lの流入水を受け入れた前池では、4月のT-Pは0.4mg/lであるが、その大部分が懸濁態リンで、それが7月まで順次低下しており、この間新たに植物プランクトンの増殖を支える $\text{PO}_4$ -Pはほとんど存在しない。8月になってやっと $\text{PO}_4$ -Pが発現する。この違いは、先にDOのところでも述べたように、図4に示すDOが7月になって0近くへと低下し、以後10月まで低く保たれるので、この間に底泥の還元が進み $\text{PO}_4$ -Pが放たれた<sup>3)</sup>ものであろう。一方、籠池ではすでに6月にDOが低下しており、早くから還元状態にあったと思われる。

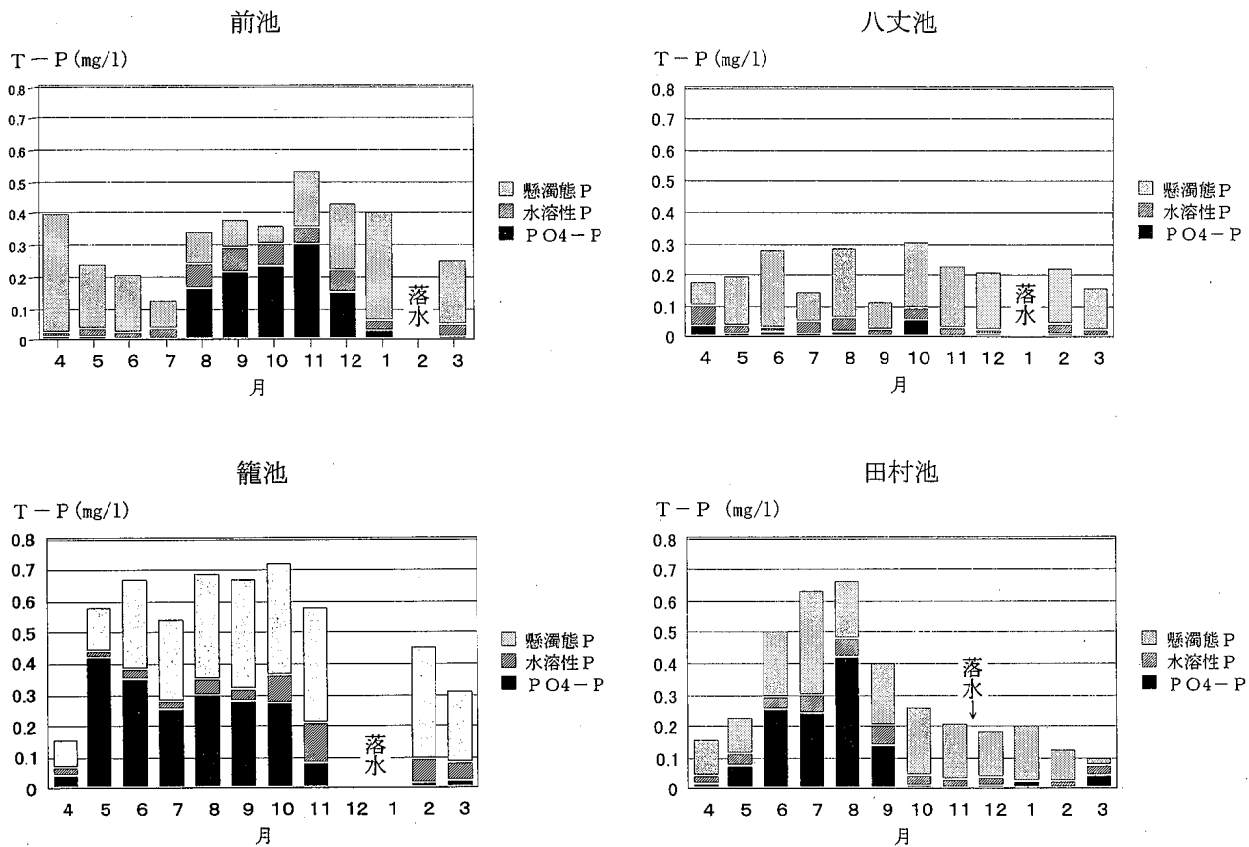


図9 各池表層水の全リン，水溶性全リン，PO<sub>4</sub>態リン，懸濁態リン濃度

籠池，前池，田村池の底泥は多量のリンの蓄積が知られている<sup>2)</sup>。また，籠池にはわずかのヒシ以外水草に乏しいが，前池では旺盛に生育するオニバスが底泥中から多量のリンを吸収し，植物体として一時固定するので，池水中への放出は少ない。先にも述べたように，植被による遮光も植物プランクトンの増殖を妨げたものと推定される。八丈池の底泥はリン含量が低いこと<sup>2)</sup>，T-Pのほとんどを懸濁態Pが占めていることからして，底泥から発現したリンの多くは植物プランクトンに吸収固定されているものと思われる。籠池などに比べてCODの増加が緩やかであることもこの間の事情を示している。

図10と図11に各池の懸濁態PとCOD，懸濁態NとCODの相関を見るとどちらも良く対応しており，懸濁態Pや懸濁態Nは植物プランクトンであることが知られる。

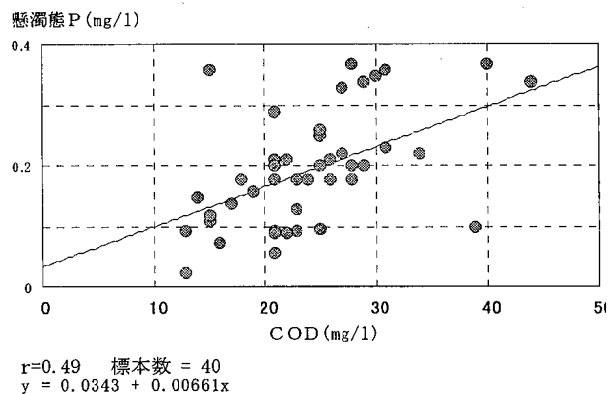


図10 懸濁態PとCODの相関

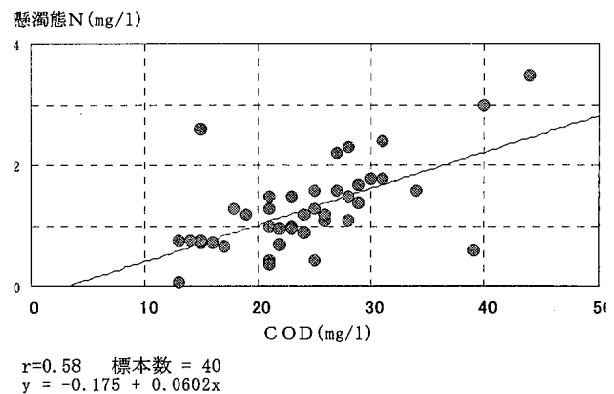


図11 懸濁態NとCODの相関

図12に各池表層水のT-N, 水溶性N, 無機態N, 懸濁態Nの季節変化を示す。籠池では4月から11月の落水期までT-N含量は直線的に増え, 約3倍の4.5mg/lに達した。一方, 前池では7月まで減少した後, ほぼ横這いで推移した。八丈池, 田村池では2mg/l前後で, 変動は少なかった。なお, 増減したのは懸濁態Nで, 水溶性Nの変化は少なかった。また, 各池ともに, 池干し後, 新しく水を入れ替えた時期にNO<sub>3</sub>-Nが発現したほかには, 微量のNH<sub>4</sub>-Nが極まれに検出されるのみであった。これは発現した無機Nは直ちに植物プランクトンに利用されて懸濁態に変化したためと思われる。

プランクトン体のN/P比は10~25<sup>3)</sup>と知られている。各池の夏期のN/P比は5~6でNに対してPが過剰に存在していることが明らかであり, これらため池では窒素がさらなる植物プランクトン増殖の制限因子となっている。

OECDが示した湖水の栄養度区分によると, 年平均T-P量がeutrophic0.035~0.10mg/l, hypertrophic $\geq 0.10\text{mg/l}$ また, 環境庁の湖沼のNまたはPに係る水

質環境基準のうち, 最も高い値であるV類型でもT-N $\leq 1.0\text{mg/l}$ , T-P $\leq 0.1\text{mg/l}$ となっている。前述の測定値はこれら基準値に比べても高いことが知られる。

なお, 香川県のため池を含めた湖沼富栄養化実態調査結果<sup>9)</sup>から算出した, 平野部のため池の平均値はT-P 0.15mg/l, T-N 1.9mg/lである。今回の測定値を比べるとT-Nは籠池以外は同等, T-Pは0.2~0.7mg/lで, 調査したため池は県内でもP含量の多い部類に位置している。

久米等<sup>2)</sup>によれば, 平成8, 9年度の調査で前池, 八丈池にはクロモ, マツモの沈水植物が少ないながら生育しているが, 他の2池には沈水植物は認めていない。水質が富栄養化すると, まず沈水植物が消え, 次いで浮葉植物の種類が減少し, 特定の種のみが異常繁殖することが知られている<sup>4)</sup>が, 今年度の調査ではオニバスと直接関わる事項は見いだせなかった。

今後は底泥の性質及び底泥からの溶出を含めた水質の変動を調査する必要がある。

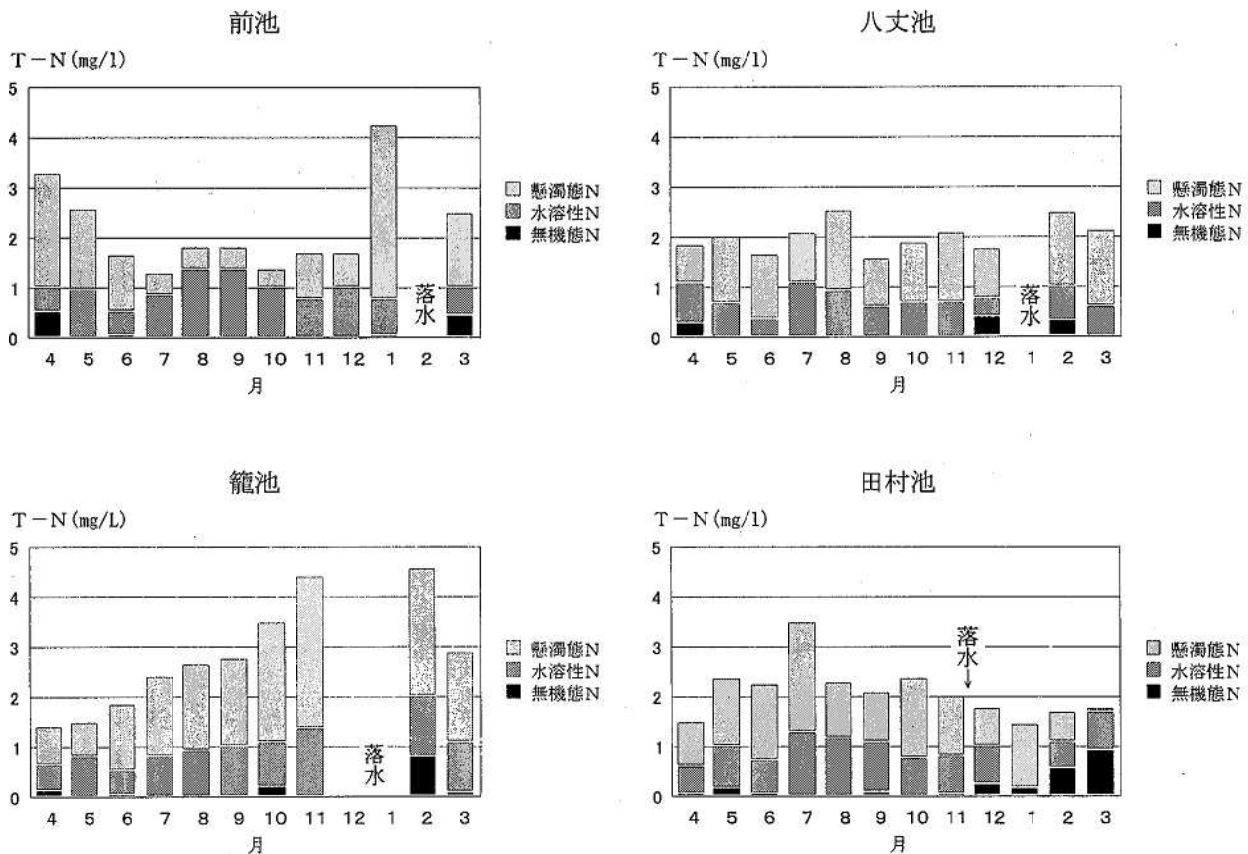


図12 各池表層水のT-N, 水溶性N, 無機態N, 懸濁態Nの季節変化



### 3 ま と め

オニバスが毎年継続して発生する池から近年発生がまれになった池まで、代表的な4つの池について水質の季節変化をみた。

1. 表層のpHは通年、概して8.5~10で経過した。しかし、浮葉植物繁茂時には6.5~8.0を示した。
2. 夏期のCODは各池とも20~30mg/ℓで、高く推移した。
3. T-Pは各池ともに著しく高く、特にオニバスが消滅傾向の池では夏期には0.5~0.7mg/ℓと、生育良好池の約2倍の濃度であった。また、前者ではPO<sub>4</sub>-Pが5、6月から多く出現したが、後者での発現は8月以降、あるいは極低濃度であった。
4. T-Nは各池とも2mg/ℓ前後で、その増減は懸濁態窒素の増減によっている。無機態窒素の出現は少なく、窒素がプランクトン増殖の制限因子と推定された。
5. 混層しやすい浅い池でも夏期表層のDOが過飽和のときに、下層のDOは極く低い場合があった。
6. 今年度は、オニバス生育の良否に直接かかわる要因を見出せなかった。今後は、底泥も含めた生育環境につき調査する予定である。

### 引 用 文 献

- 1) 角野康郎; オニバス, 滅びゆく日本の植物50種 (加藤陸奥雄, 沼田真監修) P101~
- 2) 香川県生活環境部環境局自然保護室; 「オニバス生育状況調査報告書」(1998.3)
- 3) 三宅泰雄, 北野康; 新水質化学分析法
- 4) 小林節子; 湖沼の生態系の変遷—印旛沼の開発と汚濁—(II). 公害と対策16, 877-886
- 5) 日本水質汚濁研究協会編; 湖沼環境調査指針
- 6) 前田修, 中島徹, 高橋義三郎; 穴塚大池のオニバス, 筑波の環境研究7(1983)
- 7) 土山ふみ等; 新海池における富栄養化について, 名古屋市公害研究所報13(1983)
- 8) 小林節子; 手賀沼における好気下での底泥からのりん溶出についての一考察, 千葉県水保研年報(昭和60年度)
- 9) 平成9年度 水質測定結果 香川県(1998)