

## 7. 湖山池、東郷池の内部生産と窒素、リンについて

【水質調査第一科】

福田 明彦・南 條 吉之・若 林 健二  
九 鬼 貴 弘

### 1 はじめに

鳥取県東部に位置する湖山池、中部に位置する東郷池はいずれも海跡湖で鳥取県を代表する湖沼である。

湖山池は流域面積45.7km<sup>2</sup>、湖面積6.81km<sup>2</sup>、貯水量1.92×10<sup>7</sup>m<sup>3</sup>、平均水深2.8mで農業用水、内水面漁場として利用されるほか、湖畔に吉岡温泉があり、その風光明媚な環境から市民の憩いの場として重要視され、湖山池公園基本計画も平成4年12月に作成されている。

東郷池は流域面積53.0km<sup>2</sup>、湖面積4.08km<sup>2</sup>、貯水量7.4×10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>、平均水深1.8mで内水面漁場として利用されるとともに、三朝東郷湖県立自然公園に指定され、湖畔に東郷温泉、羽合温泉があり、東郷湖臨海公園も整備されて、観光地として県民の憩いの場として重要な位置を占めている。

しかしながら、両湖ともに富栄養化が進んでおり、昭和46年9月に水質基準に係る環境基準湖沼類型Aのあてはめを行い、基準達成のための種々の施策がとられているが、平成6年度の水質はCOD平均値で湖山池が7.7~8.2mg/ℓ（4地点）、東郷池は4.1~4.4mg/ℓ（4地点）であり基準を達成するに至っていない。

湖沼の有機汚濁の指標として用いられるCODは外部流入CODと内部生産CODに大別される。外部流入CODは河川等から湖沼内に流入する有機物であり、内部生産CODは主に湖沼内で植物プランクトンにより生産される有機物である。従って、湖沼のCODを低下させて水質浄化を図るためには、河川等からの外部流入CODを減らすとともに内部生産CODを減らすことが必要である。

多くの水域で環境基準達成のための事業場排水規制ならびに下水道整備等生活排水対策など多くの施策が採られているにもかかわらず、全国で約60%の湖沼で基準が達成されないでいる理由として、富栄養化による内部生産CODの増加が大きな理由の一つであると言われているところである<sup>1)</sup>。

湖山池でも毎年、藍藻類の *Microcystis*, *Anabaena* によるアオコが発生していることから、CODに占める内部生産はかなりのものがあり、過去に何回かこれについて報告している。

最近では、昭和59~62年のデータをもとに、その内部生産CODは湖山池中央部上層で3.6mg/ℓであるとしているが<sup>2)</sup>、この内部生産が近年増加しているのか、減少しているのか、長期にわたって考察した報告はない。

そこで、湖山池と、アオコの発生がないので内部生産についての報告例がない東郷池とを対比して、過去10年間の内部生産の状況を検討した。

また、内部生産CODは植物プランクトンの発生による有機汚濁であることから、窒素やリンの栄養塩類濃度<sup>3)</sup>、湖水の滞留時間、気象条件<sup>4)</sup>等に影響される。特に、栄養塩類は植物プランクトン発生の基本的要素であるので、内部生産と窒素、リンの関係についても検討し、水中に含有される窒素やリンの何割が植物プランクトンに吸収され、CODとして測定されるか（変換率）を算出した。以上のように、湖山池、東郷池の水質浄化のための基礎資料とするため、COD、窒素、リンの水質特性について検討したので報告する。

## 2 方 法

### (1) 内部生産CODの算出

#### ① $\Delta$ COD CHL

内部生産CODが植物プランクトンによるCODとみなされることから、植物プランクトン増殖の指標と見なされているクロロフィルa（以下Chl-aと記す）とCODの回帰式からChl-aがゼロの時のCOD値（回帰式のy軸の切片）を植物プランクトンの発生がなく、内部生産がない時のCOD値とし、これをその年度の外部流入COD（COD out CHL）とし、COD年平均值（COD AV）から差し引いたものを内部生産COD（ $\Delta$ COD CHL）とする。

#### ② $\Delta$ COD MIN

年間でCODが最小となるのは、植物プランクトンによる生物生産がほとんどない時であると仮定して、年間のCOD最小値をCOD outとし、COD AVから差し引いたものを内部生産COD（ $\Delta$ COD MIN）とする。

### (2) 変換率の算出

窒素およびリンの $\Delta$ CODへの変換率の算出は中西らの方法<sup>5)</sup>に準じて行い、植物プランクトン生産の化学組成式に基づき、実測の全窒素（TN）、全リン（TP）濃度の全部が植物プランクトンの生産に使われた場合の $\Delta$ COD（理論値）を100%とした時に、実際の $\Delta$ CODが理論値の何%に相当するかを表した変換率は次式により求めた<sup>6)</sup>。窒素の $\Delta$ CODへの変換率

$$\alpha(N) = \Delta\text{COD} / 11.07 \cdot \text{TN} \times 100 (\%)$$

リンの $\Delta$ CODへの変換率

$$\alpha(P) = \Delta\text{COD} / 80.34 \cdot \text{TP} \times 100 (\%)$$

$\Delta$ COD、TN、TP：単位mg/l

### (3) 使用した水質データ

公共用水域水質測定計画に基づき、毎月1回測定している湖山池中央部および東郷池中央部の昭和59年度から平成5年度までの10年間の測定データを使用した。

## 3 結果および考察

### (1) COD、TN、TPの経年変化

湖山池、東郷池の水質の状況を見るため、COD、TN、TPの経年変化を図1～図6に示した。

図1、図2に示したCODについてみると、湖山池は10年間の平均が上層で6.5mg/l、下層が5.4mg/lで上層が下層よりも高い。

上層は最大9.2mg/l、最小5.1mg/lと変動が大きく昭和59年と平成4年が突出しているが、これはアオコの異常発生が影響したものと考えられ、全般的に植物プランクトンの活動の影響を強く受けていると考えられる。

東郷池は上層4.5mg/l、下層4.4mg/lで上下層の差がなく年変動も小さい。

平成3年の上層6.0mg/lという突出は、海水の流入により海洋性プランクトンが異常発生したためである。

両湖ともに10年間の経年変化は、植物プランクトンによる突出を除けば横ばい状態にある。上下層をあわせた平均は、湖山池が5.9mg/l、東郷池が4.4mg/lで湖山池の方が汚濁が進んでいる。両湖の環境基準値は湖沼類型Aの3mg/l以下であるが、いずれも基準を越えている。

図3、図4のTNについてみると、湖山池は上層0.95mg/l、下層0.79mg/lでCODと同じく上層が高く、年変動も同様の傾向にある。

東郷池は上層0.91mg/l、下層1.03mg/lでCODには上下層に差がなかったが湖山池とは反対に下層が高い。上下層を合わせた平均は湖山池が0.87mg/l、東郷池0.97mg/lで、CODは湖山池が高かったがTNは東郷池が高い。

図5、図6のTPについては湖山池が上層0.068mg/l、下層0.065mg/l、東郷池が上層で0.058mg/l、下層0.082mg/lで、東郷池は上下層の差が大きく下層の数値が高い。

上下層を合わせると、湖山池0.067mg/l、東郷池0.070mg/lで東郷池の方が高い。

TPはCOD、TNに比べて年変動が大きく東郷池の変動が大きいのが目立つ。

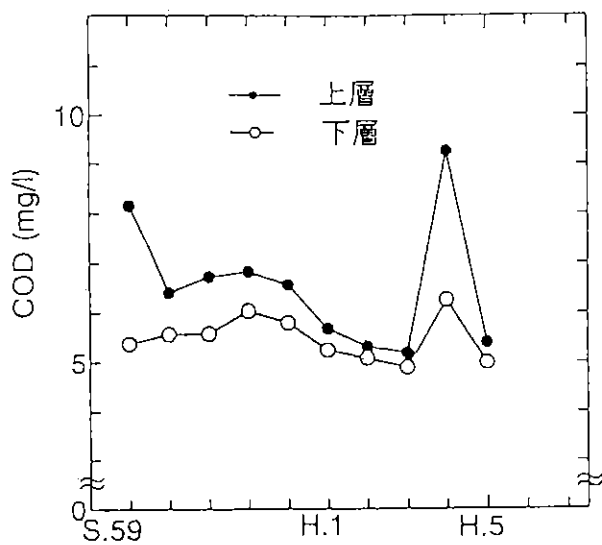


図1 CODの水質経年変化 (湖山池)

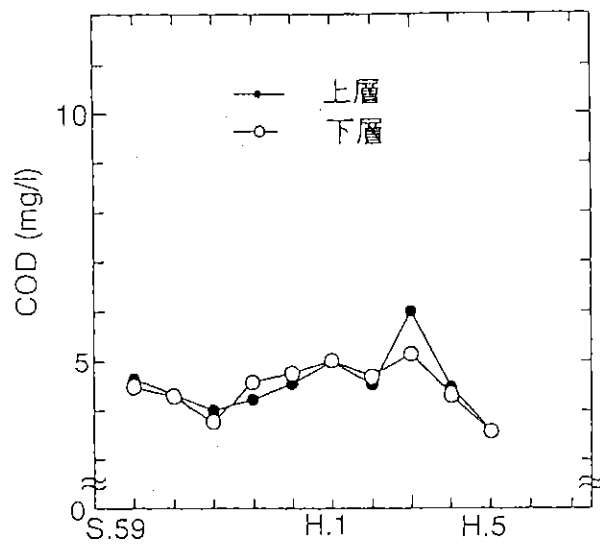


図2 CODの水質経年変化 (東郷池)

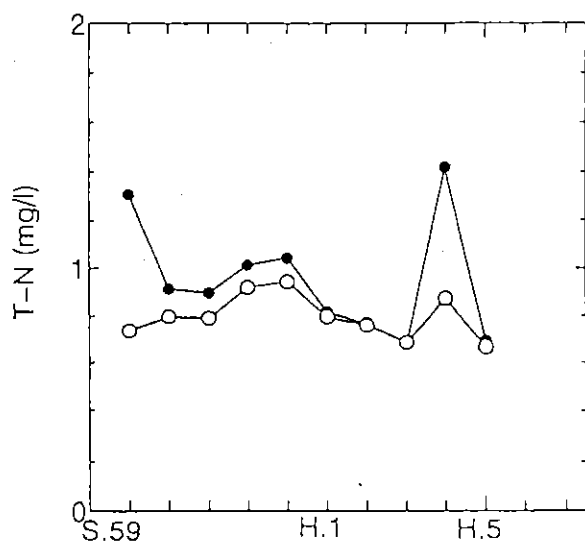


図3 T-Nの水質経年変化 (湖山池)

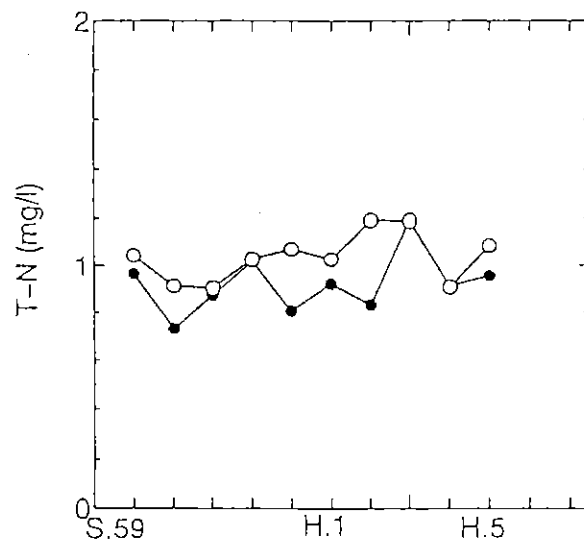


図4 T-Nの水質経年変化 (東郷池)

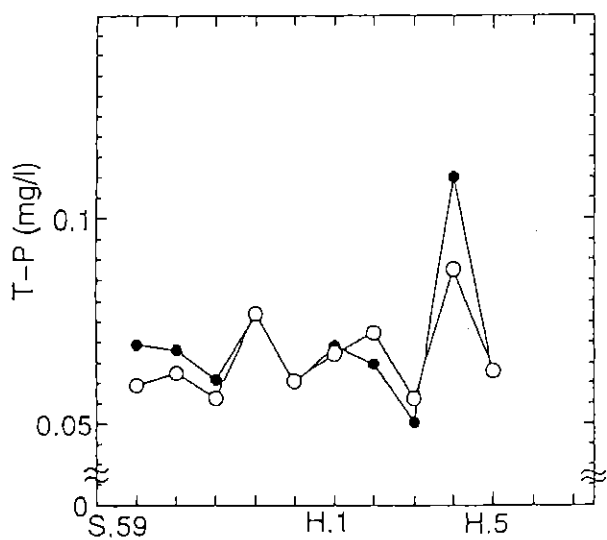


図5 T-Pの水質経年変化 (湖山池)

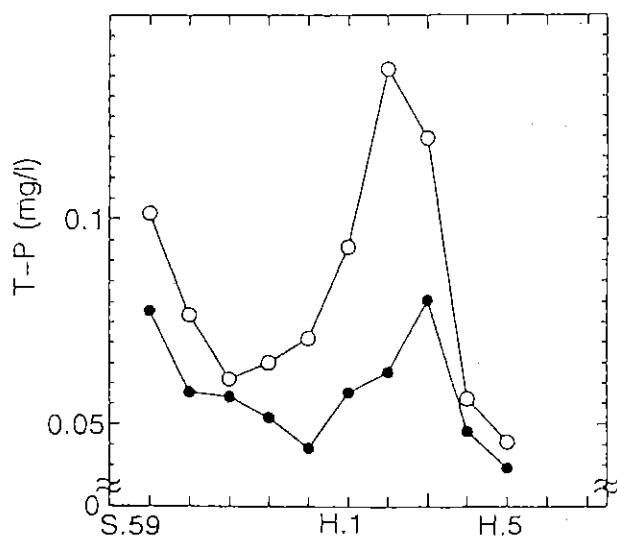


図6 T-Pの水質経年変化 (東郷池)

TPだけが異なったパターンで年変動が大きい理由については今後の検討課題としたい。

有機汚濁指標のCODは湖山池が高いが、栄養塩類のTN、TPは逆に東郷池の方が高く、特に東郷池の下層の高いが目立つ。

TN、TPについては両湖とも環境基準の当てはめはされていないが、環境基準類型Vに相当する汚濁状態にある。

## (2) 内部生産COD

### ① 内部生産CODの算出について

(1)で内部生産CODを2通りの方法で算出し、 $\Delta\text{COD CHL}$  と  $\Delta\text{COD MIN}$  とすることを述べたが、算出したこの両者の値を比較検討した。 $\Delta\text{COD CHL}$  は  $\text{COD} \sim \text{Chl-a}$  の関係から各年度ごとに  $\text{Chl-a}=0$  の時のCODを  $\text{COD out CHL}$  とし、 $\Delta\text{COD MIN}$  は各年度の最小のCOD値を  $\text{COD out MIN}$  とし、各年度の  $\text{COD AV}$  から  $\text{COD out CHL}$   $\text{COD out MIN}$  を差し引いて  $\Delta\text{COD CHL}$  と  $\Delta\text{COD MIN}$  とした。

そこで、湖山池、東郷池の測定データから得た  $\text{COD out CHL}$  と  $\text{COD out MIN}$  の関係を図7に示した。両者は1:1の関係から若干はずれて小林

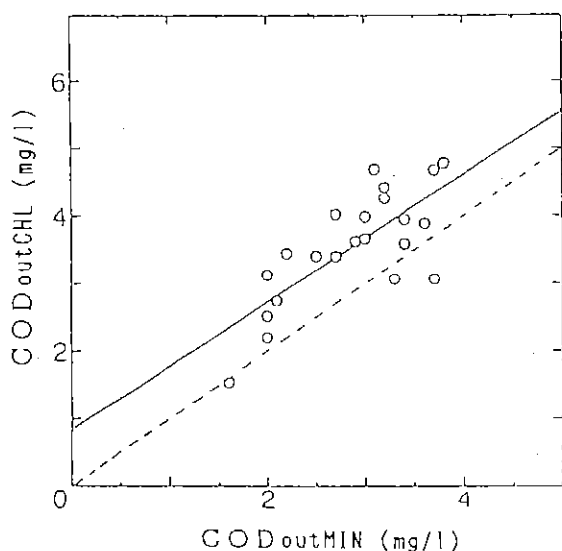


図7 COD out CHLとCOD out MINの関係

ら<sup>6)</sup>の印旛沼、手賀沼の場合と同様に  $\text{COD out CHL} > \text{COD out MIN}$  であるが、

$$\text{COD out CHL} = 0.94 \text{ COD out MIN} + 0.83$$

$$(n=24, r=0.740)$$

と対応を示しており、 $\text{COD out}$  の値として  $\text{COD out CHL}$ 、 $\text{COD out MIN}$  のいずれの値を用いてもよいのではないかと考えられる。

### ② 内部生産CODの経年変化

前述のように外部流入CODとして  $\text{COD out CHL}$ 、 $\text{COD out MIN}$  のいずれを用いてもよいと考えられるので  $\text{COD out MIN}$  を使用して湖山池、東郷池の上層について内部生産COD（以下 $\Delta\text{COD}$ と表す）を算出し、 $\text{COD AV}$ 、 $\text{COD out}$  と対比して湖山池の経年変化の状況を図8に、東郷池の状況を図9に示した。

湖山池の $\Delta\text{COD}$ は1.7~5.5mg/l、平均3.1mg/l  $\text{COD AV}$  に占める $\Delta\text{COD}$ の割合は、34~63%、平均47.2%であり、年度により変動がはげしい。この変動は前述のTN、TPの存在量がTN 1mg/l 前後、TP 0.06mg/l 前後で富栄養の状態では推移しており、これらの栄養塩類濃度が植物プランクトンの変動に影響しているとは考えがたく、前に田中ら<sup>4)</sup>が報告している気象条件が影響しているものと考えられる。

過去の報告では昭和48~54年<sup>7)</sup>  $\Delta\text{COD}$  2.8mg/l、 $\text{COD AV}$  に占める $\Delta\text{COD}$ の割合は47%、昭和57年<sup>8)</sup> 2.3mg/l、52%、昭和59~62年<sup>9)</sup> 3.6mg/l、51%であった。

湖山池の $\Delta\text{COD}$ の昭和59年~平成5年までの経年変化は、年により変動がはげしいものの、過去の報告と大差なく、平均的には増減はみられない。また、図8のグラフから、 $\text{COD AV}$  の経年変化は、そのまま $\Delta\text{COD}$ の変化に対応しており、湖山池の水質が植物プランクトンに大きく影響されていることがわかる。

東郷池の $\Delta\text{COD}$ は1.4~2.8mg/l 平均2.0mg/l で湖山池の3.1mg/l に比べて低く、アオコの発生がないため、年度による変動も小さく、経年的には横ばい状態である。

しかし、 $\text{COD AV}$  に占める $\Delta\text{COD}$ の割合は46.2%で湖山池の47.2%とあまり差がなく、外観上は湖山池のようなアオコの異常増殖がなく、植物プランクトンの活動は目立たないが、活発であることがわかったが、栄養塩類のTN、TPが湖

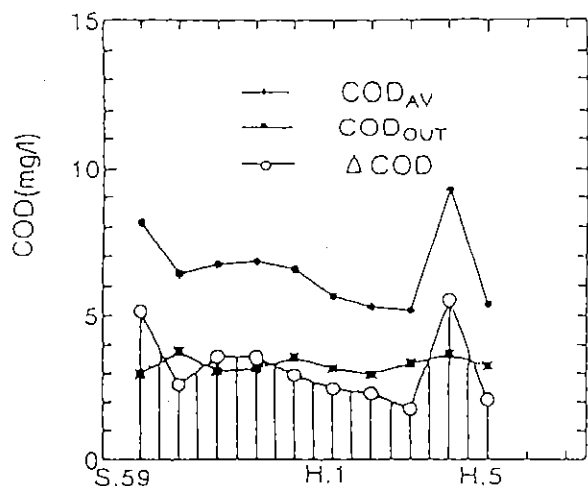


図8 内部生産のCODの経年変化 (湖山池)

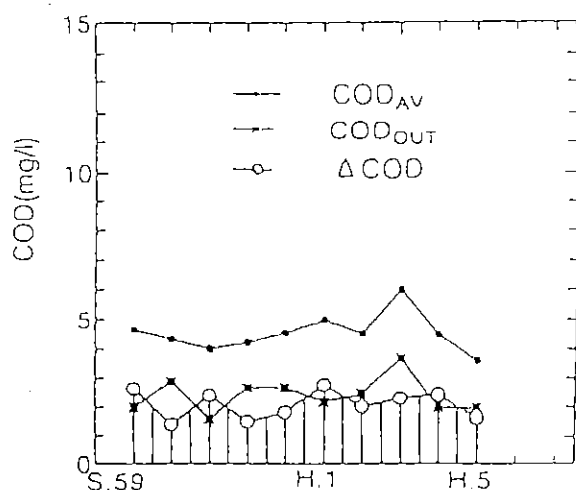


図9 内部生産CODの経年変化 (東郷池)

山池より高いことから、むしろ当然のことなのかもしれない。

東郷池にアオコの異常増殖が見られないのは、東郷池は塩素イオン濃度が湖山池より高く、しかも270~6,200mg/lと変動が大きいことが一つの制限因子になっていることは先に報告した<sup>10)</sup>。

湖山池の $\Delta\text{COD}$ 3.1mg/l、東郷池の $\Delta\text{COD}$ 2.0mg/lという数値は、湖山池、東郷池の環境基準当てはめ値がCOD3.0mg/l以下であることを考えると、 $\Delta\text{COD}$ をおさえるため、植物プランクトン増殖の基本条件である窒素、リンを削減することが浄化対策として重要である。

## (2) 窒素及びリンの内部生産CODへの変換率

### ① COD、TN、TPの季節変化

図10~15に湖山池、東郷池のCOD、TN、TPの季節変化を示した。値は昭和59年度~平成5

年度の10年間の平均値である。

図10、11に示したCODについて見ると、湖山池は夏季に高く冬季に低く、特に、夏季に上下層の差が大きいのが目立つ。これは藍藻によるアオコの異常発生が原因と考えられ、植物プランクトンによる内部生産が大きく影響していることがわかる。

東郷池は春~秋季に高く冬季に低い、その変動幅は湖山池に比べて小さく、上下層の差もわずかである。これは植物プランクトンの異常発生がないためと考えられる。

図12、13のTNについて見ると湖山池は上層下層ともにCODの季節変化に類似した変化を示しており、TNにも植物プランクトンの影響が認められる。

東郷池は夏季および冬季が高く、春季および秋季が低い。夏季の下層のピークは底質からの溶出と考えられるが、冬季の高値については考察できず今後の課題としたい。

図14~15のTPについて見ると、湖山池は夏季に高く冬季に低い傾向はCOD、TNとかわりないが上下層に差のないことがCOD、TNの季節変化と異なっている。

東郷池も夏季に高く冬季に低い季節変化を示しているが、夏季の下層の突出したピークが特長で、底質から溶出したものと考えられる。

COD、TN、TPともに、その季節変化に湖山池と東郷池に差異が認められ、大まかには湖山池は植物プランクトンによる影響が大きく、東郷池は底質の影響が大ききように考えられるが、湖山池と東郷池の底質の影響の大きく異なる原因は何なのか、今後の課題としたい。

### ② 変換率の季節変化

(2)により算出した湖山池、東郷池の中央部上層の窒素のCODへの変換率： $\alpha(N)$ およびリンのCODへの変換率： $\alpha(P)$ の季節変化を図16、17に示した。

$\alpha(N)$ についてみると、湖山池は夏季~秋季(8~10月)にかけて変換率が高く、冬季に低い。東郷池は湖山池のような夏季のピークはみられず

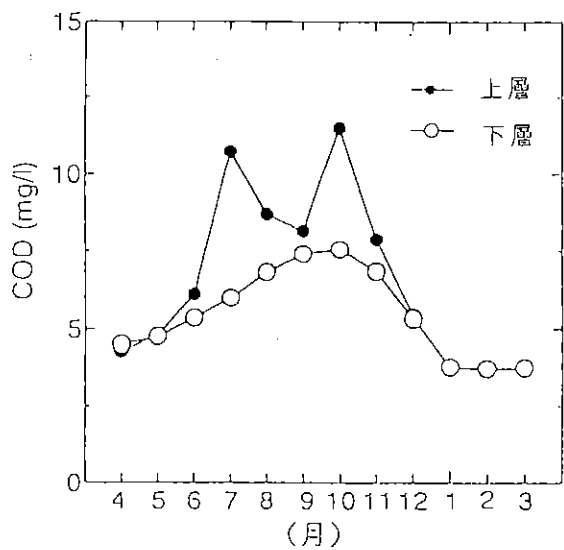


図10 CODの季節変化 (湖山池)

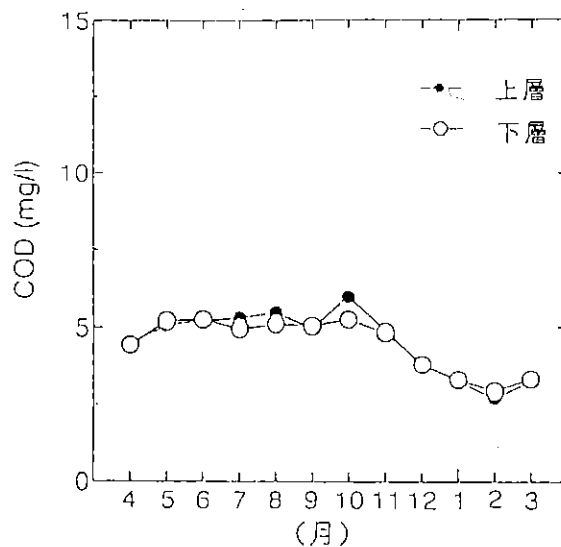


図11 CODの季節変化 (東郷池)

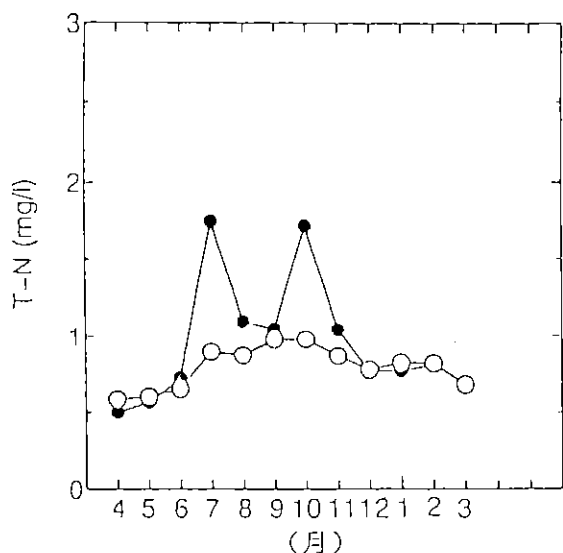


図12 T-Nの季節変化 (湖山池)

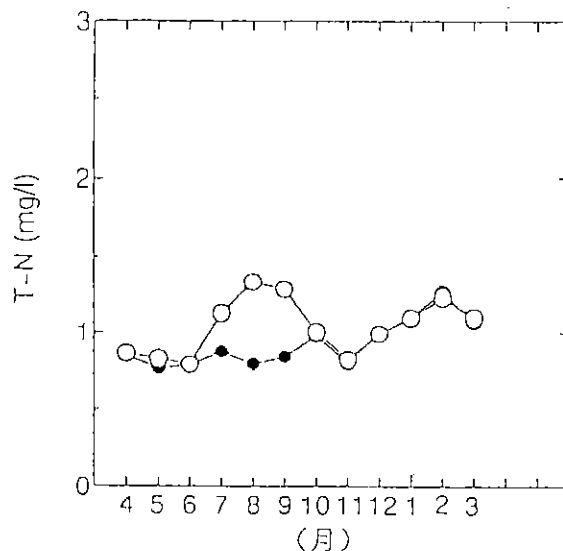


図13 T-Nの季節変化 (東郷池)

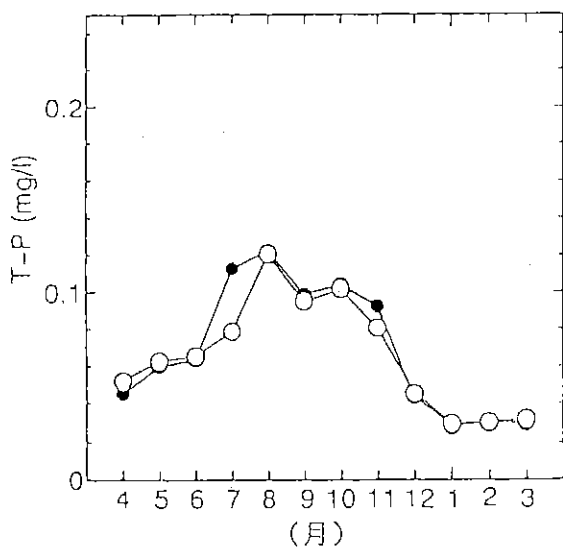


図14 T-Pの季節変化 (湖山池)

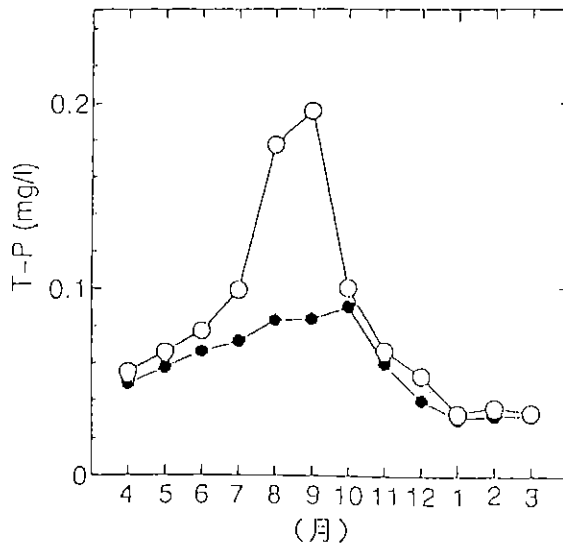


図15 T-Pの季節変化 (東郷池)

春～秋季（5～11月）にかけて高く、冬季に低い。藻類の異常増殖の有無が湖山池、東郷池の変換率の季節変化の差異となってあらわれている。湖山池は最高45%程度、東郷池は最高35%程度の変換率であるが、植物プランクトンの活動が低下する冬季は両湖の変換率に差が見られない。

$\alpha(P)$ についてみると、湖山池、東郷池ともに $\alpha(N)$ の季節変化と同じようなパターンで変化していると言えるが、変換率は $\alpha(N)$ よりもかなり高く、湖山池で最高約90%、東郷池で約55%であった。

$\alpha(N)$ と $\alpha(P)$ を比較してみると、湖山池、東郷池ともに年間を通じて $\alpha(P) > \alpha(N)$ であり、窒素、リンの変換率からみると、両湖ともに植物

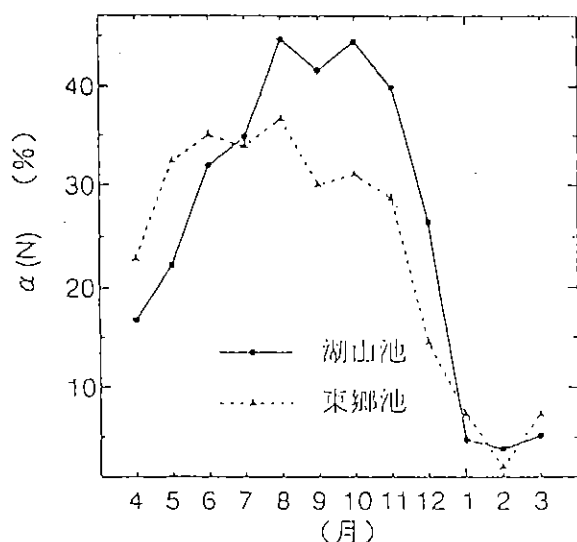


図16  $\alpha(N)$ の季節変化

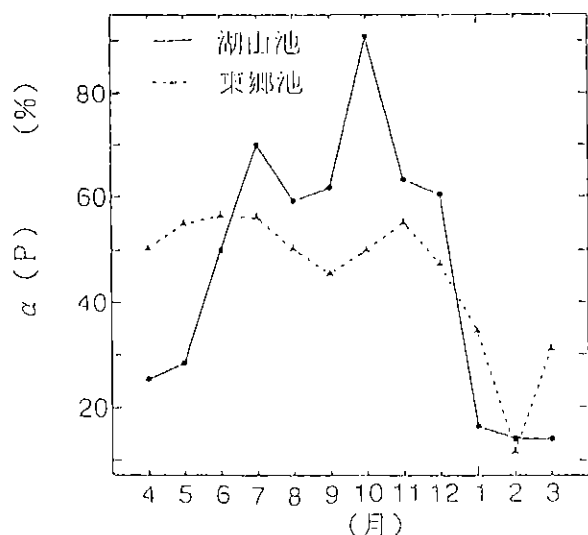


図17  $\alpha(P)$ の季節変化

プランクトンの活動はリンが制限因子となっているものと考えられる。

### 3 まとめ

昭和59年～平成5年の10年間の公共用水域測定結果を用いて湖山池、東郷池の内部生産CODとこれに関連する窒素、リンの水質特性について検討した。

- (1) CODの10年間の経年変化は湖山池、東郷池ともに、時に植物プランクトンの異常増殖により高い値の年もあるが、おおむね横這い状態である。
- (2) TNの経年変化は湖山池、東郷池ともにCODとほぼ同様な経年変化であるが、東郷池は上層よりも下層のTNが高い特徴がある。

また、TPについては、COD、TNの経年変化とは異なった変化を示し、特に東郷池の上下層の差の大きいこと、年変動の大きいのが目立つ。

また、COD平均値は湖山池の方が高いがTN、TPの平均値は東郷池の方が高い。

- (3) 湖山池の内部生産CODは過去の報告の値と大差なく増減は認められないが、内部生産CODの変化がそのままCODの経年変化に対応しており、湖山池の水質は植物プランクトンの発生に大きく影響されている。

東郷池の内部生産CODは湖山池より低いがCODに占める内部生産CODの割合は湖山池と差がなく、アオコの発生がないので目立たないが、植物プランクトンの活動は活発である。

- (4) TN、TPの季節変化は湖山池の場合は植物プランクトンの活動に強く影響されているが東郷池のそれは湖山池と異なり、植物プランクトンの活動よりも底質の影響が大きいと考えられる。

- (5) 湖水中の窒素、リンが植物プランクトンに吸収されてCODとして測定される割合を変換率 $\alpha(N)$ 、 $\alpha(P)$ として求めた。湖山池、東郷池ともに年間を通じて $\alpha(P) > \alpha(N)$ であり、変換率から見ると両湖ともリンが植物プランクトンの活動の制限因子となっているものと考えられる。

## 文 献

- 1) 岡田光正：非特定汚染源による水質汚濁の現状、用水と排水、32、857～863 (1990)
- 2) 安田満夫、南條吉之、田中賢之介、笈 一郎、坂田裕子：湖沼の汚濁機構の調査 —湖山池、淡水湖、中海の水質汚濁現象の相違と湖沼の内部生産について—、鳥取県衛生研究所報、28、43～55 (1988)
- 3) 安田満夫、南條吉之、田中賢之介、笈 一郎、坂田裕子：湖山池の植物プランクトンと栄養塩類の関係、29、55～62 (1989)
- 4) 田中賢之介、安田満夫、南條吉之、笈 一郎、坂田裕子：湖山池水質の時系列分析と、水質と気象の関係について、第34回鳥取県公衆衛生学会発表集、10～12 (1991)
- 5) 中西 弘、浮田正夫、宇野良治：海域におけるCOD生産量について、用水と廃水、17、724～735 (1975)
- 6) 小林節子、宇野健一、吉澤 正：印旛沼、手賀沼のCOD、窒素、リンの水質特性、公害と対策、26、1417～1426 (1990)
- 7) 安田満夫、油井磊輔、笈 一郎、三田正之、哇崎俊敬：湖沼の水質汚濁機構の解析について(その2)—湖山池、東郷池の水質予測についての一考察—、第23回鳥取県公衆衛生学会発表集、9～11 (1980)
- 8) 三田正之、安田満夫、油井磊輔、笈 一郎、坂田裕子：湖沼の水質汚濁機構の解析について(その3)—湖山池の水質汚濁機構と湖沼の内部生産について—、第25回鳥取県公衆衛生学会発表集、4～6 (1982)
- 9) 安田満夫、南條吉之、田中賢之介、笈 一郎、坂田裕子：淡水湖と汽水湖における湖沼の内部生産について、全国公害研誌、14、122～126 (1989)
- 10) 南條吉之、福田明彦、平尾優年、杉本多恵子：アオコ (*Anabaena affinis*) の増殖特性—水温、塩素イオン濃度との関係について、鳥取県衛生研究所報、34、59～62 (1994)