

湖山池の湖沼水質管理指針策定調査

安田 満夫 油井 磊輔^{※1} 山内 佳見
 寛 一 郎 三田 正之 坂田 裕子
 田村 知央^{※2} 杉本 雅美^{※2} 沢田 勉^{※2}

はじめに

環境庁の「昭和56年度湖沼水質管理指針策定調査」として湖山池の湖沼水質調査、河川水質調査、湖沼プランクトン調査、COD成分分析、生産量調査、底質調査を行い「環境庁委託業務結果報告書」として取りまとめた。

本調査により、湖山池の内部生産の実態、富栄養化現象について若干の知見を得たのでその概要について報告する。

湖山池の概要

湖山池は、東西4 km、南北2.5 kmのほぼ楕円形を呈し、水面積6.81 km²、平均水深2.8 m、最大水深7.0 mの低鹹水湖である。

水質の現況

① 湖山池の水質は、中央部地点L10の上層で年平均値pH 8.2、透明度0.9 m、COD 5.6 ppm、P-COD 2.6 ppm、T-N 0.867 ppm、TPN 0.489 ppm、T-P 0.062 ppm、TPP 0.045 ppm、Chlorophyll-a (以下Chl-aという)は55.0 $\mu\text{g}/\ell$ である。

※1 現在、衛生環境部環境保全課

※2 衛生環境部環境保全課

② CODは夏季に高く、冬季に低い季節変化を示しており、最大は9月の11.8 ppmで、最小は2月の2.6 ppm、平均は5.6 ppmと高い数値を示している。

P-COD¹⁾は、最大は9月の7.8 ppm、最小は2月の0.2 ppmと変動幅が大きく、夏季に高く、冬季に低い変化を示している。D-COD²⁾は最大4.0 ppm、最小2.3 ppmで、変動幅は1.7 ppmとP-CODに比べて少ない。Chl-aは最大199 $\mu\text{g}/\ell$ 、最小2.5 $\mu\text{g}/\ell$ で夏季に高く、冬季に低い季節変化を示している。T-Nは最大1.823 ppm、最小0.408 ppm、TPN³⁾は最大1.410 ppm、最小0.020 ppm、TDN⁴⁾は最大0.524 ppm、最小0.190 ppmであり、T-N、TPNは季節変化を示すが、TDNは季節変化に之しい。T-Pは最大0.190 ppm、最小0.018 ppm、TPP⁵⁾は最大0.156 ppm、最小0.003 ppmで、いずれも変動幅は大きい。TDP⁶⁾は最大0.034 ppm、最小0.012 ppmと変動幅が少ない。

-
- 1) P-COD: 懸濁物質状(Whatman GF/Cろ過残渣)のCOD
 - 2) D-COD: 溶解性(Whatman GF/Cろ液)のCOD
 - 3) TPN: 懸濁物質状(Whatman GF/Cろ過残渣)の全窒素
 - 4) TDN: 溶解性(Whatman GF/Cろ液)の全窒素
 - 5) TPP: 懸濁物質状(Whatman GF/Cろ過残渣)の全リン
 - 6) TDP: 溶解性(Whatman GF/Cろ液)の全リン

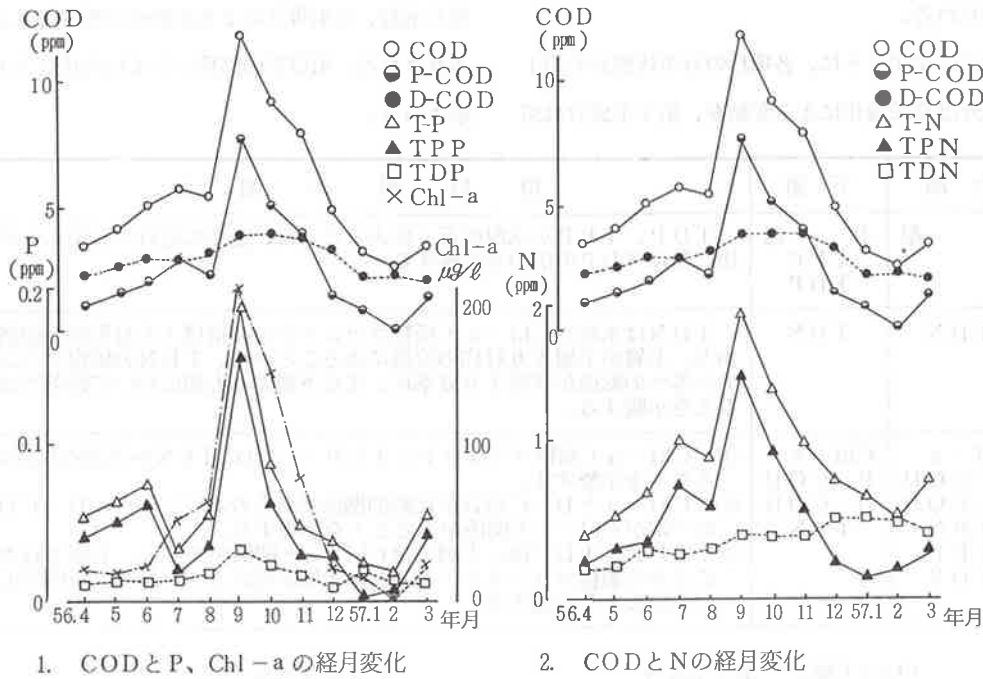


図1 水質の経月変化(L10上層)

項目間の関係

① 水質の項目間の相関係数は、上層で、CODはT-Pと0.8246、T-Nと0.9572、Chl-aと0.9656と極めて高い数値を示し、P-CODはTPPと0.8256、TPNと0.9633、Chl-aと0.9766で1%($r:0.7079$)で有意、水温とは0.6309で5%($r:0.5760$)で有意である。

② Chl-aとKjeldahl-Nは6~10月に高く、1・2月に低い季節変化を示しているが、 $(NO_2+NO_3)-N$ は逆に6~10月で低く、1・2月に高い季節変化を示し、植物プランクトン(Chl-a)の活動状況を表わしている。

③ 測定項目相互間の相関を知るために水温、Chl-a、TPN、TDN、TPP、TDP、P-COD、D-CODの8項目について、相関行列を用いた主成分分析を行った。

第1主成分と第2主成分の累積寄与率は上層で85.9%、下層で70.6%と全変動の大半を、第1主成分から第3主成分までの累積寄与率は、上層で92.0%下層で87.2%と全変動の大部分を説明し得るので、主成分分析による解析は有効であると

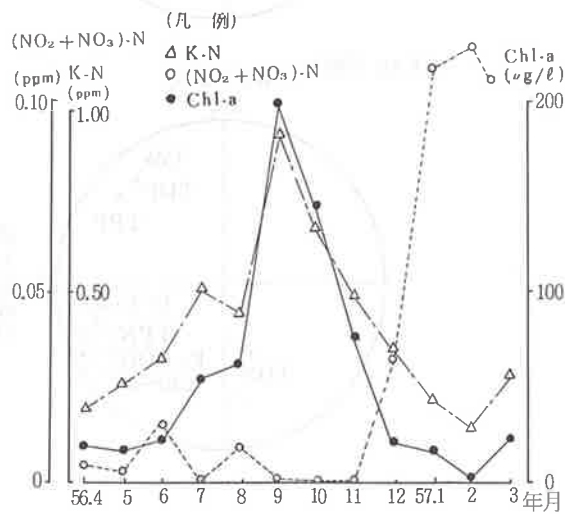


図2 Kj-NとChl-aの経月変化

考えられる。

象(水温、日射等)による変動を示唆するものと

図3に示すように、各項目の分布状態から第1主成分は富栄養化による変動を、第2主成分は気

考察される。項目間の関係としては次のように考察される。

上層	下層	項目間の関係
水温	水温 TPP TDP	TDP、TPPが水温の近くにあることは、夏季に底質から湖水への溶出、特にTDPの溶出を示唆する。
TDN	TDN	TDNは水温やChl-a(植物プランクトンの指標)と対称的な位置にあり、上層が下層より対称的位置にあることから、TDNの植物プランクトン等への転換が冬季より夏季に、また下層より上層において顕著であることを示唆する。
Chl-a P-COD D-COD TPN TPP TDP	Chl-a P-COD D-COD TPN	① Chl-a(植物プランクトン)とP-COD、TPNが密接な関係にあることを示唆する。 ② Chl-aとD-CODが比較的關係が見られることから、D-CODの一部がChl-aと関係があることを示唆する。 ③ TPPとTDPは、上層ではChl-aと関係があるが、下層ではないことから植物プランクトンの生産は上層が殆んどで下層は余り関与していないことを示唆する。

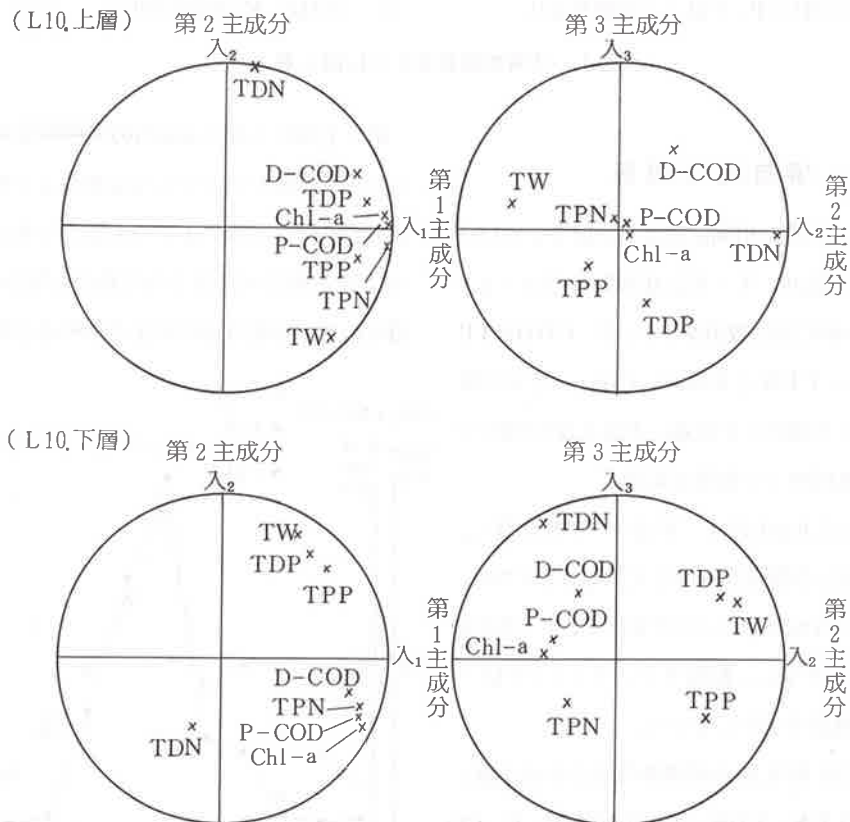


図3 主成分の因子負荷量

季節別調査

季節別調査を昭和56年5月、8月、10月および昭和57年2月に実施した。

- ① 5月および2月の調査では、特に顕著な現象は見られなかった。
- ② 8月の調査では、上層と下層に差が見られ、水深が最も深い地点L8では、この現象が顕著に現われており、DOは表層で11ppm、底層は0.1ppmと殆んど無酸素状態であった。地点L8のT-Pは上層で0.050ppm(T-P P 0.030ppm)であるのに対して下層は0.122ppm(T-P P 0.080ppm)、T-Nは上層で0.692ppm(T-P N 0.330ppm)、下層で0.861ppm(T-P N 0.440ppm)といずれも下層が高い数値を示した。
- ③ 10月の調査では、DOは表層で15~12ppm、底層で7ppm程度を示し、CODは上層が15.7~8.1ppm(P-COD 7.8~4.6ppm)で下層の9.3~6.0ppm(P-COD 4.9~2.1ppm)より高い数値を示し

た。同様にT-P、TPP、T-N、TPN、TDNも上層が高く、水の華現象も見られた。

底質分析

底質を地点L3、L8、L10の3か所で採取し、それぞれ深度40cm、55cm、35cmまで5cm間隔で底質分析を行った。

- ① 強熱減量、COD、T-Nは深度による変化は少ないが、T-Pは顕著であった。
- ② T-PについてI-PのAl-P、Fe-P、Ca-PとO-P深度30cmまで分画を行った。Fe-P値により下層からC、B、Aの3層に区分した。地点L3で見れば、それぞれFe-Pは0.093~0.048mg/g→0.188~0.154mg/g→0.346mg/gと増加している。これは湖水中のPの増加に起因しているとも考察されるので、今後、湖水中のPと底泥中のPの関係について研究する必要がある。

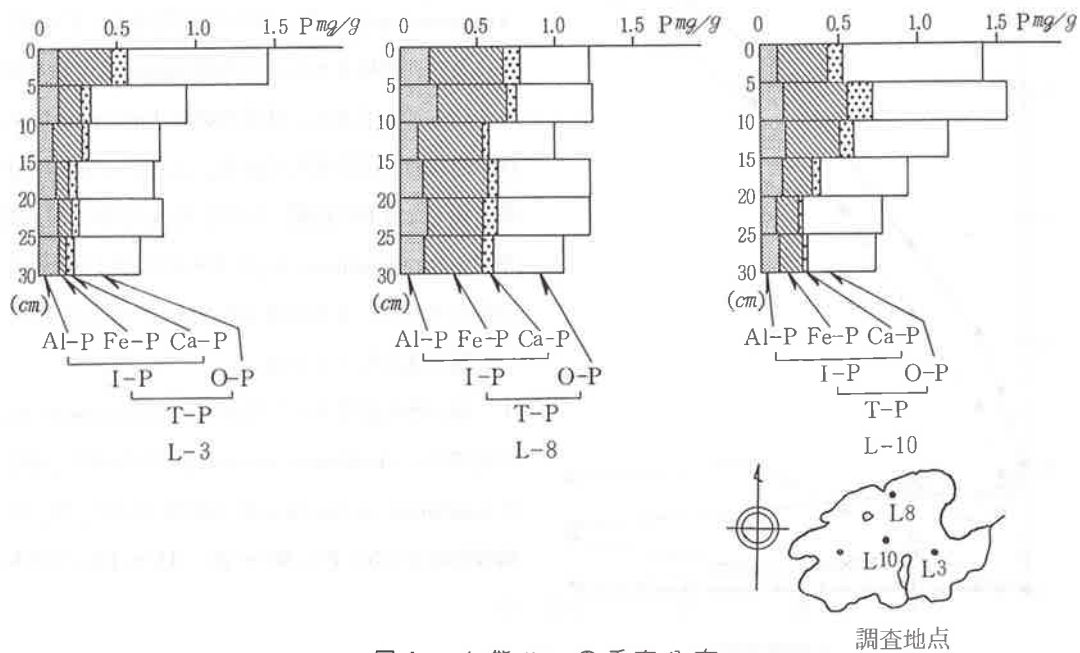


図4 各態リンの垂直分布

溶出試験

地点L10の底質を現地状態のまま採取し、静置、好気、嫌気の3条件で20日間溶出試験を行った。底質からの溶出状態については次のとおりである。

- ① CODは、静置、好気、嫌気のいずれの条件においても溶出は認められなかった。
- ② 窒素は、静置条件で $\text{NH}_4\text{-N}$ の溶出が認められ、DINの溶出速度は $58.3\text{mgN}/\text{m}^2\cdot\text{日}$ が試算された。好気条件では溶出は認められなかった。嫌気条件では $\text{NH}_4\text{-N}$ の溶出が認められ、その溶出速度は最大 $135\text{mgN}/\text{m}^2\cdot\text{日}$ 、最小 $7.5\text{mgN}/\text{m}^2\cdot\text{日}$ 、平均 $47.0\text{mgN}/\text{m}^2\cdot\text{日}$ が試算された。
- ③ リンは、3条件とも $\text{PO}_4\text{-P}$ の溶出が認めら

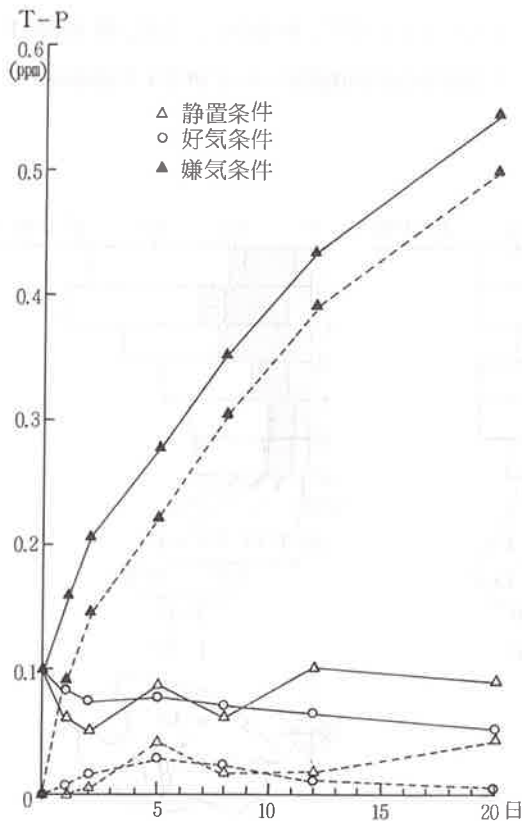


図5 T-Pの経日変化

れ、静置条件と好気条件は12~16日頃で、その最高濃度は静置条件で 0.077ppm 、好気条件で 0.050ppm であった。嫌気条件では溶出が1日目から20日目まで継続性が認められ、その溶出も前者に比べて顕著で、溶出速度は平均 $23.1\text{mgP}/\text{m}^2\cdot\text{日}$ であった。

プランクトン調査

- ① 湖山池のプランクトンは、藍藻類5属、珪藻類8属、緑藻類2属、その他9属の計24属である。
- ② プランクトンの経月変化を藍藻類、珪藻類、動物性プランクトンで見れば、4~6月は珪藻類が優占し、7~11月は藍藻類が優占する。藍藻類と動物性プランクトンが減少する12月に珪藻類が再び優占し、1~3月に及んでいる。プランクトンの総数は冬季の12~2月に少く、夏季の8~10月に優占する周期性を有している。
- ③ 優占種の推移の概要を見れば、藍藻類の *Anabaena spiroides* は5月に出現し、7~12月に及び、特に8~10月の間では水の華現象を生じていることもある。珪藻類の *Melosira italica* は年間を通じて分布しており、5月、6月には最優占種となり100万個/ℓ以上に及んでいる。珪藻類の *Skeletonema sp.* は4~6月と12~3月に出現しており、4月には100万個/ℓ以上も発生し最優占種となっている。
- ④ 湖山池の藍藻類(7月は *Aphanizomenon sp.* が52.7%、*Anabaena spiroides* が46.0%、8月は *Anabaena spiroides* が94.8%)のC、N、P構成比はC:N:P = 68~74:11~12:1である。

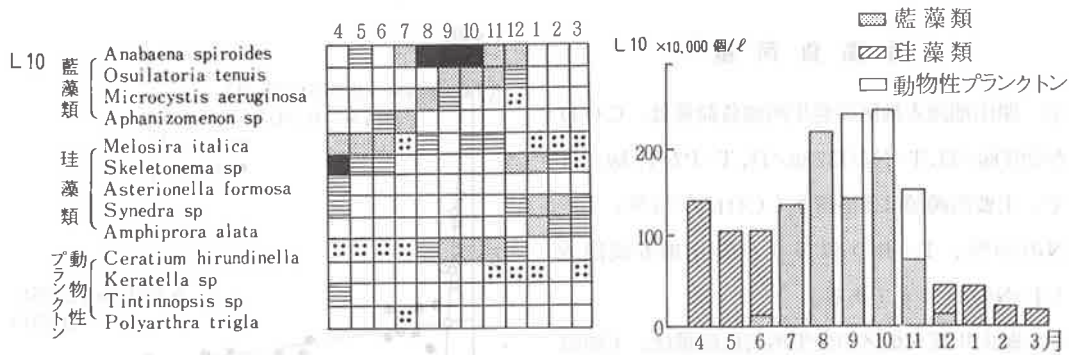


図6 プランクトンの経月変化

生産量調査

生産量調査を昭和56年6月、7月、10月および昭和57年2月に行った。湖沼の生産量を24時間におけるDO、CODの増加分として見れば次の通りである。

- ① 6月は、DOが2.0ppm増加し、CODも0.8ppmの増加を示した。これはP-COD 0.5ppm、D-COD 0.3ppmからなっている。
- ② 7月、10月は、DO、CODの増加量が6月

より大きいにもかかわらず、Chl-aが減少していた。これは、生産量調査の時期がAnabaenaの生長増殖における対数期を過ぎ、定常期後半かあるいは死滅期に相当していたものと考えられる。

- ③ 2月は、DO、COD、Chl-aの増加がごく僅かで生産量も少ないものと考察される。
- ④ 湖山池の光合成層を相対照度が1%になる深度とすれば、6月は1.8m、7月は0.6~1.5m、10月は0.5~0.6m、2月は4.0mで、藻類の生産量が多い6~10月は2m以浅となっている。

表1 湖水の吸光係数、相対照度1%深度

調査日時	1mでの減衰率 %	吸光係数 K				相対照度が1%になる深度 m	透明度 m	
		0.1~3.5m	0.1~0.6m	0.6~1.6m	1.6~3.5m			
6月10日 12時	78.2	1.21	2.44	1.08	1.02	1.8	0.8	
7月21日 12時	92.8	1.55	3.96	1.04	1.27	0.6	0.3	
	14時	94.3	1.68	2.81	1.66	1.49	0.8	0.3
	16時	87.6	1.42	2.16	1.54	1.23	1.2	0.5
	17時30分	79.1	1.25	1.70	0.97	1.28	1.5	1.0
10月12日 12時	97.4	1.94	4.49	1.53	1.44	0.5	0.5	
	13時	92.5	1.45	3.50	1.46	1.04	0.6	0.5
2月1日 14時	66.7	0.40	1.38	0.27	0.28	4.0	2.2	

注) 10月12日と2月1日の吸光係数は0.1~0.5m、0.5~1.5m及び1.5~3.5mの数値である。

汚濁負荷量

- ① 湖山池流入地区の発生汚濁負荷量は、CODが267kg/日、T-Nが132kg/日、T-Pが17kg/日で、主要汚濁源は生活排水（CODの74%、T-Nの39%、T-Pの67%）と農用地等流出水（T-Nの44%）である。
- ② 湖山川流入地区の発生汚濁負荷量は、下流の湖山川から逆流によって湖山池に流入し汚濁負荷となるが、CODは622kg/日、T-Nは154kg/日、T-Pは34kg/日である。

COD成分分析と内部汚濁負荷量

- ① 主成分分析により、P-COD、D-COD、Chl-a、TPN、TPP、TDPが1つのグループとなり、特にP-CODとChl-a、TPNが密接な関係にあることが示唆された。
- ② P-CODを目的変数とし、水温、Chl-aを説明変数とする重回帰分析を行ったところ、重回帰係数（ $n=39$ ）は0.9734で、F検定1%で有意、偏回帰係数のt検定0.1%で有意であった。
- ③ P-CODとプランクトンの関係では、4～6月は珪藻類のMelosiraとSkeletonema、7～10月は藍藻類のAnabaenaが優占しており、P-CODは7～10月に高い数値を示している。Chl-aとP-COD/Chl-aの関係をみると、4～6月の相関係数は-0.7426（ $n=11$ ）7～10月は-0.7319（ $n=18$ ）、1%で有意であり、回帰式で表わされる。4月から10月の全体について $\log \text{Chl-a}$ と $\log (\text{P-COD}/\text{Chl-a})$ の関係をみれば相関係数は0.9062（ $n=29$ ）と高い数値を示し、1%（ $r=0.4627$ ）で有意であるという興味ある関係がみられた。

以上のことからChl-aがP-CODと密接な関係にあることが明らかとなった。

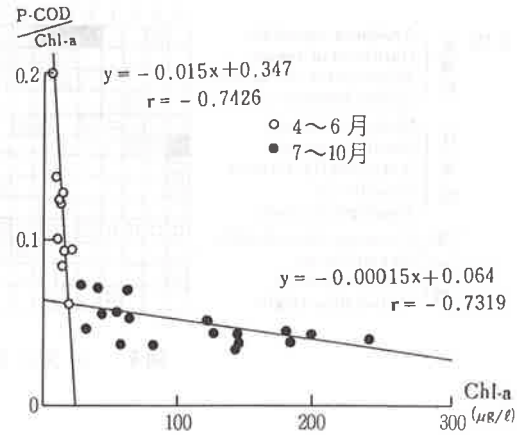


図7 Chl-aとP-COD/Chl-aの関係(上層)

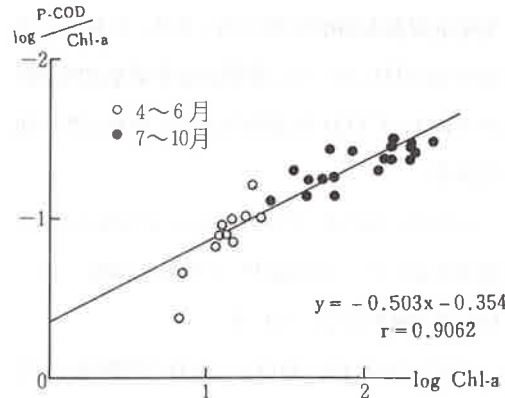


図8 $\log \text{Chl-a}$ と $\log (\text{P-COD}/\text{Chl-a})$ の関係(上層)

- ④ 生産量調査でのDO増加量から光合成商PQを1.25と仮定すれば、炭素量は純生産量として6月は0.60 Cmg/l・日、7月は1.11 Cmg/l・日、10月は0.81 Cmg/l・日、2月は0.06 Cmg/l・日が算出された。

- ⑤ 湖山池では富栄養化により夏季に水の華現象が見られ、富栄養化現象により有機物を生じ、P-COD、D-CODの増加をもたらすが、マクロ的に考えれば、P-CODは湖内で発生した内部汚濁負荷量と考えることができる。

湖水のCODのうち内部汚濁負荷量の占める割合は、上層で52.4%、下層で39.2%、特に9月の上層では66%が試算された。