

# 本栖湖・西湖・山中湖および河口湖の 夏季水質の垂直分布\*

笠井 和 平

中島 郁 子

堤 充 紀

田 中 正 二 郎

われわれは、昭和46年度に環境庁の委託および県単独事業を併せた富士五湖の水質調査を実施したが、その成績等はすでに公表されている。また、昭和47年度からは、水質汚濁防止法に基づく監視測定を五湖の湖心部の表面水について毎月実施し、富士五湖の水質保全のために努力している。

しかし、湖は河川とは全く異なった水質特性があり、その表面水質を測定するのみでは十分な水質の状況を知ることができない。また、46年度調査では、本栖湖および西湖については30mまでの測定のみで、最高90m以上の水深を有する両湖の湖底水質は明らかにされなため深水層までの測定が望まれていた<sup>4)</sup>。

筆者らは、これまでの調査では十分知り得なかった水質を少しでも多く明らかにし、富士五湖水質の保全対策の資料としたいことを目的として、湖水の状況を最も代表するといわれる夏季停滞期に、標記四湖について、表面から湖底までの各層の水の窒素、りん等の栄養塩類をはじめ、各種化学成分の分析を実施し、多くの知見を得たので報告する。

## 採水および分析方法

採水方法：湖心部にボートを固定し、転倒採水器又は注射筒を用いて採水し、ポリエチレンびんに入れ研究室に持ち帰り氷室に保存した。

分析方法：試料の処理方法および分析方法については前報（4報）<sup>13)</sup>と同じであるが、総りん分析用の試料は研究室に持ち帰った後、直ちに各50mlを磁皿に分取したのち分析に供した。なお、前報の総りんについても同様に処理した。

## 分析結果および考察

分析結果を図1～4に示した。

水温：表面水温は四湖とも24～26°Cと大差はないが、河口湖と山中湖は、4～6m付近に変水層が認められるが、あまり明確でない。湖底は11～12°Cで正列成

層をなしている。一方、本栖湖は10～30m、西湖は5～20mに深湖の典型的な変水層（水温躍層）が認められ、それ以深は湖底水温5.8および5.2°Cまでほぼ同水温を示しているが、西湖の方が本栖湖より全層にわたって低温である。

透明度：本栖湖14.5m、西湖7.0m、河口湖3.0mで、次報（6報）<sup>1)</sup>で示される平均値に近いが、山中湖は5.0mで48年度の最高の透明度であったが、その原因は明らかでない。46年度の本栖湖では7月28日に9.3mを記録しているが<sup>2,3)</sup>、本栖湖の様な貧栄養湖では、わずかなSSの変化が、透明度に大きな影響を与えるといわれており<sup>4)</sup>水質汚濁監視上重要な測定項目と云えよう。

pH：河口湖の表面水は船津沖の7.8に対し、湖心部では8.2と差が大きいが、垂直分布は湖心部が船津沖よりやや高いレベルで、両者とも5m付近から急激に低下し、湖底では6.8と微酸性である。山中湖は河口湖とやや異なり、表面水は7.8と同じであるが、中層で8.1のふくらみをみせ湖底部では河口湖と同じ6.8へと急激に低下しており、共に中栄養湖<sup>4)</sup>であってもpHの分布様式は異なっている。本栖湖は表面水では7.2と四湖中最も低いが、10～20mにわずかではあるが高いふくらみをみせ、50～100mは7.0で安定している。西湖の表面水は山中・河口湖と同じ7.8であるが、15mに8.0のピークを示し、30mでは7.3へと急激に低下し、以深本栖湖と並行した分布で60mでは7.1となっている。

pHはプランクトンの光合成に強く影響されることが知られているが<sup>5,6)</sup>、プランクトンの少ない本栖湖<sup>4)</sup>でもわずかではあるがこの現象があらわれている。これは本栖のCa<sup>2+</sup>が約5ppmと極めて少なく（西湖約8.5ppm、山中湖約8ppm、河口湖約12ppm）湖水の緩衝作用が小さいために、プランクトンの光合成によるCO<sub>2</sub>の消費が少なくともpHへの影響が発現するためではなからうか<sup>7)</sup>。

DO：表面水では四湖とも7.5～9ppmと大差はないが、垂直分布では四湖ともそれぞれ特徴をもっている。各湖の最高濃度とその深度は西湖13ppm(15m)本栖湖11ppm(20m)山中湖10ppm(5m)河口湖9・9.5ppm(5m)となっている。飽和濃度との交点は本栖湖の40mが最深で西湖25m、山中湖7m、河口湖5.5・

\* この報文を富士五湖の水質に関する調査研究（第5報）とする。

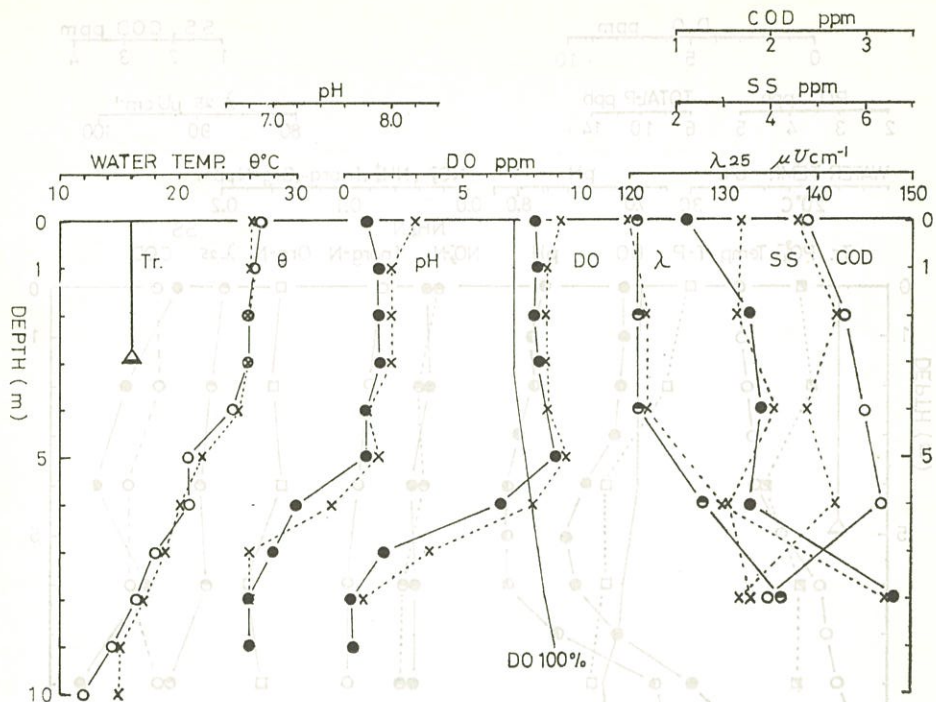


図1 河口湖 (その1)  
 1973年7月18日 湖心部 (×印) 午前8:30~9:25  
 天候 はれ 船津沖 (○印) 水深 10.5m // 9:30~10:30  
 気温 24~28°C 水色 9

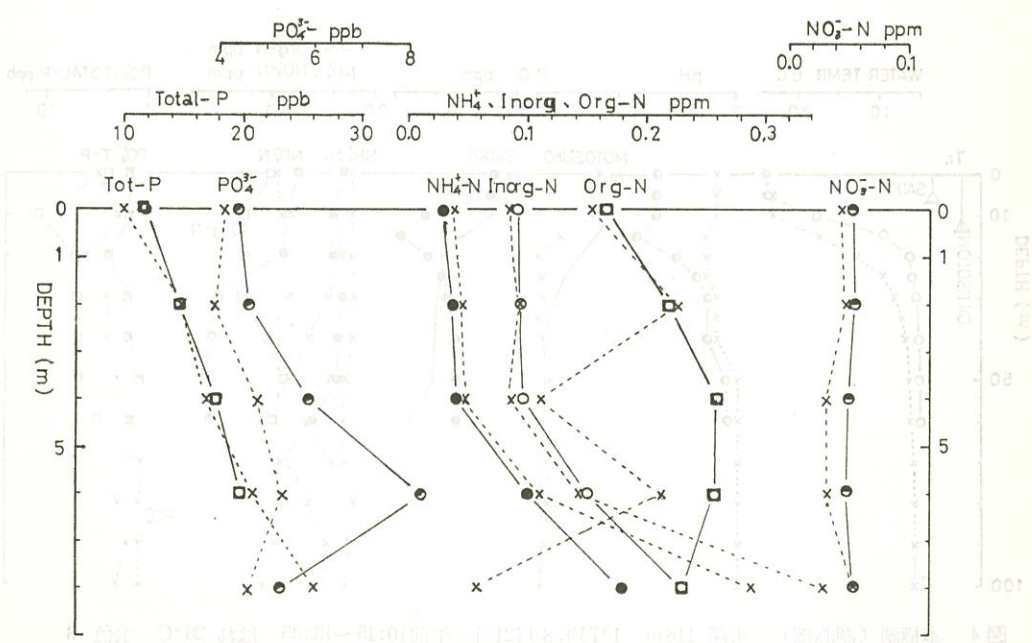


図2 河口湖 (その2)

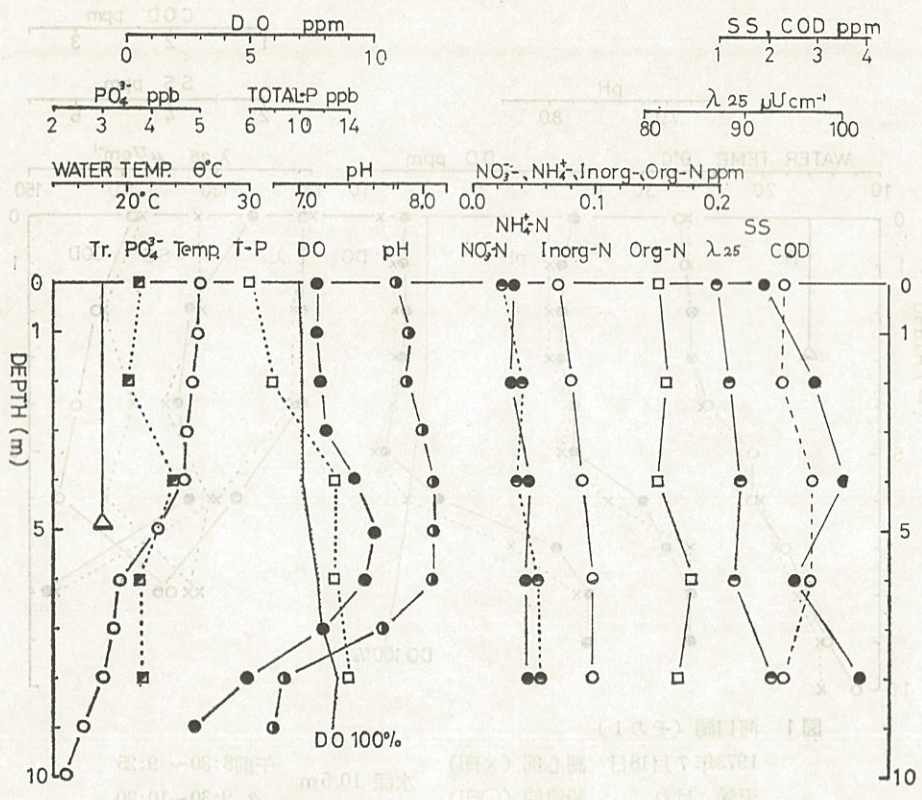


図3 山中湖  
 1973年7月19日 湖心部 水深 11.7m 午前10:30~12:30  
 天候 はれ 気温 26°C 水色 7

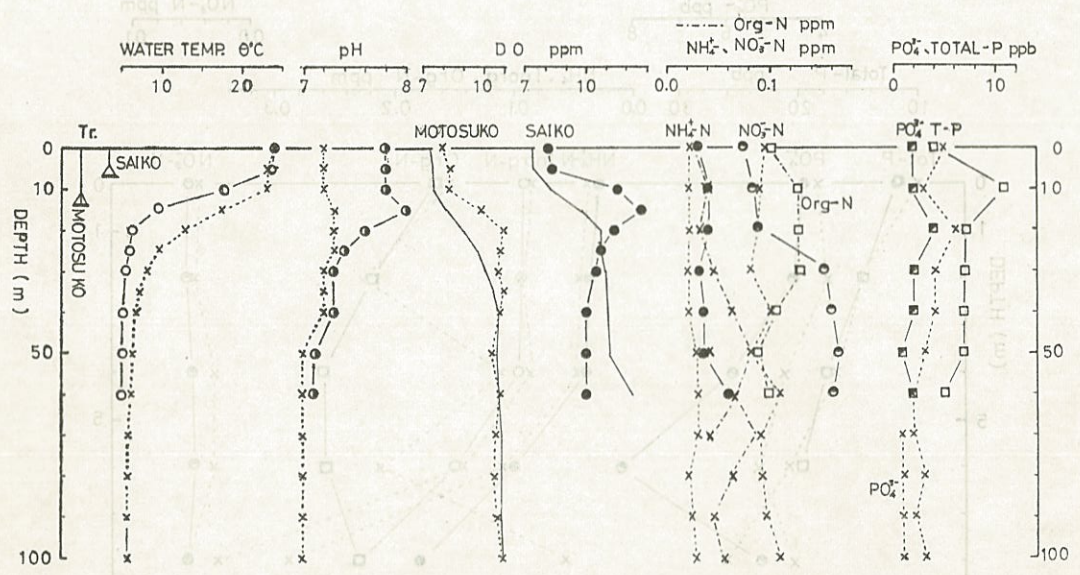


図4 本栖湖(湖心部) 水深 118m 1973年8月21日 午前10:15~13:45 はれ 26°C 水色 3 (×印)  
 西湖(湖心部) 水深 73m 1973年8月22日 午前10:00~12:00 はれ後くもり 25°C 水色 6 (○●●□印)

6mの順となっているが、本栖湖はそれ以深100mまではほぼ100%の飽和濃度を保っており、典型的な貧栄養湖の分布を示している。西湖は40mから10ppmに安定しているが、飽和度でみると本栖湖より栄養化が進んでいることがわかる。山中湖は湖底で3ppmであるが、河口湖の8mでは1ppm以下とほとんど無酸素状態となっており、山中湖より富栄養化が一步進んでいることが考えられる。

四湖ともDOの分布とpHの分布は酷似しており、後述するN・P比の分布ともよく一致していることから、両者の分布はプランクトンの光合成および栄養の分解による影響が大であろう。

このことから、本栖湖におけるDOのふくらみは、必ずしも物理化学的な原因<sup>4)</sup>のみでひきおこされるものではないと思われる。

窒素およびリン：NはPと共に湖の富栄養化を左右する重要な栄養成分であるが、WisconsinのMendota湖のN収支計算によると、湖水表層水の沈でん物に由来するものが21%と最も高い値を示し、湖底たい積物からの溶出がN源として極めて重要であるとしている<sup>9)</sup>。湖水表層からの沈でん物由来の有機態Nの分布は、河口湖の船津沖では表面水0.168ppmから2mと4mでは0.26ppmとプラトーを示しているが、他の三湖はわずかではあるが、中層または底層が高濃度を示しており湖底へのたい積のようすがうかがえる。

第3の形態である無機態Nは $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ であるが、有機態Nに比較して濃度は低い。しかし生物群の生産性の大小を決定するに非常に重要な栄養塩類であるが、これ等の成分の垂直分布に目立った差異が見られるのは、河口湖の $\text{NH}_4^+\text{-N}$ と西湖の $\text{NO}_3^-\text{-N}$ である。河口湖の $\text{NH}_4^+\text{-N}$ と $\text{NO}_3^-\text{-N}$ とでは、DOの多い5m付近までは $\text{NO}_3^-\text{-N}$ がやや高値であるが、DOの急激な減少に伴って $\text{NH}_4^+\text{-N}$ は急増する。しかし $\text{NO}_3^-\text{-N}$ の分布はほとんど変化が認められない。Tioreeは1971年に淡水中における腐敗した藻類からのNとPの無機化は好気性の状態下よりも嫌気性の状態下の方が多量としているが<sup>9)</sup>、河口湖と山中湖の分布からみると、有機態 $\text{N} \rightarrow \text{NH}_4^+\text{-N}$ への無機化の限界DOは約5ppm以下と思われる。本栖湖は $\text{NO}_3^-\text{-N}$ が $\text{NH}_4^+\text{-N}$ よりもはるかに高濃度であり、表層から湖底までほとんど変化がない。西湖は $\text{NH}_4^+\text{-N}$ が本栖湖よりやや高いレベルではあるものの中層では目立った変化はなく、湖底部では約1.5倍に増加している。西湖の特徴は、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ で、20~30mにかけての急増は他の三湖には見られない。Hutchinson(1957年)は深い湖の多くは $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 濃度は脱Nと固定により中間層が最高濃度になり、湖底と湖面に低く二分された分布様式を示す<sup>9)</sup>と

しているが、本栖湖はこれに該当しないが、西湖は十分な湖底(60m以下70m)において低濃度であるならば、このタイプの湖と云えるだろう。

夏季停滞期の $\text{NO}_3^-\text{-N}$ は、植物性プランクトンに消費され、上部の栄養層中では貧栄養湖より富栄養湖のほうが少なくなり、また深水層では $\text{O}_2$ 欠乏のため $\text{NO}_3^-\text{-N} \rightarrow \text{NH}_4^+$ に還元されるため $\text{NO}_3^-\text{-N}$ は減少するとされているが<sup>7)</sup>、富士五湖の場合 $\text{NO}_3^-\text{-N} \rightarrow \text{NH}_4^+$ の還元はあまり行なわれない要因があるのではなからうか。 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ の分布は一般的湖沼の例にはあまり従わないようであり興味深い。

なほ、昭和46年度調査で、冬期の本栖湖の表面水の $\text{NH}_4^+\text{-N}$ が異常に増加した(湖心で約0.3ppm)のは成層破壊に伴う底層のまきあがりによる可能性が強いとしているが<sup>4)</sup>今回の調査では、底層への $\text{NH}_4^+\text{-N}$ の蓄積は認められず、その可能性は考えられず、原因は他にもあるものと思われる。

Pは自然水中では可溶性りん酸塩・可溶性有機態りんおよび固形有機態りんの三態であり、植物プランクトンの光合成で取り込まれるのは溶性りん酸塩であるが、有機態Pの無機化もNと同じように湖底部の嫌気性度と関係があり、表水層で生成されたタンパク質が深水層で分解されて可溶性りん酸塩となることが知られている<sup>7)</sup>。四湖のうち最も嫌気性度の強い河口湖にその現象が顕著にあらわれている。しかし6mがピークで8mでは急減しているのが注目される。 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ は中性に近い場合にはりん酸カルシウムの形が多いが酸性の場合にはりん酸鉄になる傾向がある。夏季成層期に深水層の酸素が欠乏し酸性に傾むくと湖底たい積物からりん酸第一鉄となりPが溶出してくるが、酸素が供給されると酸化されて不溶性のりん酸第二鉄となり沈でんするとされている<sup>9)</sup>。精進湖の場合は都合よく説明されるが、河口湖の場合はより嫌気性度の高い8mで逆に $\text{PO}_4^{3-}$ 濃度が減少している。

りん酸鉄は水には不溶性で、 $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$ より $\text{FePO}_4$ の方がより可溶性との記録<sup>10)</sup>もあるが、明確な溶解度等の記録は見当らず検討を要する。山中湖では4mで $\text{PO}_4^{3-}$ の濃度が高く深水層では表層と同じであり、西湖では20mで高くなっているが大差はない。本栖湖は70m以深に極微量検出されたのみである。

先に述べたPと関係が深いと思われるFeは嫌気性度の高い河口湖の深水層の8mで0.08ppmと6mの0.03ppmから急増しているのが特徴といえる。

湖水中の全Nおよび全P量が多い程植物プランクトンの現存量も多くなることは広く認められ、またその生産性にはN/P比が重大な制限因子であるとされている。

総窒素及び総りんの垂直分布と総窒素/総りん比

水深 m	河口湖 (湖心)			河口湖 (船津沖)			水深 m	本 栖 湖		
	T-N μg/l	T-P μg/l	T-N T-P	T-N μg/l	T-P μg/l	T-N T-P		T-N μg/l	T-P μg/l	T-N T-P
0	238	10	23.8	259	12	21.6	0	143	5	28.6
2	319	15	21.3	311	15	20.7	10	156	3	52.0
4	317	17	18.7	358	19	18.8	20	144	6	24.0
6	354	21	16.9	407	22	18.5	30	146	4	36.5
8	398	26	15.3	429	19	22.6	40	190	4	47.5
							50	150	3	50.0
							60	191	2	95.5
							70	161	2	80.5
							80	186	3	62.0
							90	168	2	84.0
							100	194	3	64.7

水深 m	山 中 湖			水深 m	西 湖		
	T-N μg/l	T-P μg/l	T-N T-P		T-N μg/l	T-P μg/l	T-N T-P
0	226	6	37.7	0	210	4	52.5
2	238	8	29.8	10	257	11	23.4
4	241	13	18.5	20	269	7	38.4
6	278	13	21.4	30	316	7	45.1
8	271	14	19.4	40	304	7	43.4
				60	316	5	63.2

この比率は大部分の湖水域では 10/1~25/1 のせまい変動幅の中にあり、この変動幅の中ではNおよびPの量と植物プランクトンの現存量間にはきれいな直線関係がなり立っているという<sup>11)12)</sup>。

表に示すとおり、河口湖の N/P は全層がこの変動幅に入り、山中湖の4, 6, 8m西湖の10, 20m, 本栖湖の20mがこの変動幅に入る。先に述べた四湖の共通点である pH と DO のピークが、10/1~25/1 の変動幅の中に入ることは興味ある点である。勿論、藻類生産の増加をもたらす因子は単に N/P 比ばかりでなく、N・Pの量をはじめ多くの成分および因子の相乗作用によるものと云われるが、N/P 比およびその量の増加は湖水域の富栄養化に関する最も重要な因子であることは、この四湖についても例外ではないと思われる。但し今回の調査では、不溶性有機態Pを含めたものを測定したが、可溶性有機態Pとの相関について検討する必要がある。

SS：水質汚濁防止法の環境項目であるが本栖、西両湖はパラツキが大きく深度別特徴は認められない。山中湖はおおむね深水層が高いレベルであり、河口湖の船津沖では表面水の 2.3 ppm に対し、深水層の 8 m では 6.5 ppm と明らかに増加しているが、湖心では明確な変化は見られない。

全般的に、他の項目に比して分布にパラバツキが大きく、SS値の低いレベルで汚濁防止が論じられる湖水の監視項目としては問題があると思われる。

COD：四湖とも目立った特徴は見られないが、河口湖はSSの分布と類似していることが特徴と云える。S

Sと同様に低いレベルで論じられる自然環境保全の指標としてはその重要性に若干疑問が残る。

導電率：溶解塩類等の代表値であるλは、本栖・西の両湖は全層にわたって大差はなかったが、山中・河口両湖は深水層ほど高いレベルであるが、最高値と最低値の差は山中湖 5.4 μΩcm<sup>-1</sup> と少差であるのに対し、河口湖は 27 μΩcm<sup>-1</sup> (湖心) 15.5 μΩcm<sup>-1</sup> (船津沖) と差が大である。この分布はDOおよびpHの分布と対照的であり、嫌気状態における湖底たい積物からの電解質の溶出を示している。Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> でもほぼ同じ傾向を示している。

む す び

貧栄養湖である本栖湖と西湖との較差、中栄養湖といわれる山中湖と河口湖との較差は調査前の予想以上に大きいことが確認された。

湖水の実態を十分把握するためには、まだまだ多くの研究を重ねる必要を痛感すると同時に、一日も早く抜本的な対策が講じられることを願いたい。幸い山中湖・河口湖には広域下水道の設置が本年度から着手されることになっているが完成まで約15年の年月を要すると聞いているが、その間の汚濁進行については十分監視し、警鐘を鳴らす必要がある。特に河口湖については、また山中湖についても、表面水質の監視はもとより、湖底たい積物の蓄積、たい積物からの栄養成分の溶出、プラクトンの発生状況等多角的な密度の濃い研究を重ねて、富士五湖の環境保全に資することができれば幸いである。

終りに臨み、本研究のためにご助力を賜わった県厚生部の関係諸氏および試料採取にご協力願った関係各位に深甚なる謝意を表わします。

### 引用文献

- 1) 中島郁子ほか：山梨県立衛生研究所，年報17，(1973)
- 2) 山梨県：富士五湖水質調査報告書 (1973)
- 3) 笠井和平ほか：山梨県立衛生研究所年報，15，45 (1971)
- 4) 環境庁自然保護局：国立公園沼湖調査報告書 (1972)
- 5) 杉山昭典他編：衛生工学ハンドブック，898(1967) 朝倉
- 6) 西条八束：湖沼調査法，85，(1951) 古今書院

- 7) 山本荘毅：地球化学講座9陸水，228，230，231 (1971) 共立
- 8) G. Sykes ほか編藤原喜久夫ほか訳：環境汚染と微生物，250，260，252 (1973) 医歯薬出版
- 9) 津田松苗：水質汚濁の生態学，150 (1972) 公害対策技術同友会
- 10) 日本化学会編：化学便覧基礎編1，141，(1966) 丸善
- 11) 均本 充：用水と廃水，15，25 (1973)
- 12) 坂本 充：水産学シリーズ・水圏の富栄養化と水産増養殖，9 (1972) 恒星社
- 13) 堤 充紀ほか：山梨県立衛生研究所年報，17，75 (1973)

### 表 式 題 実

表 1 湖沼汚染調査結果 (1973年) (単位:  $\mu\text{g/l}$ )

湖沼名	調査項目	調査結果
富士五湖	湖沼水質	0.1 ~ 0.5
	湖沼底質	0.1 ~ 0.5
	湖沼底泥	0.1 ~ 0.5
	湖沼底砂	0.1 ~ 0.5
山梨県立衛生研究所	湖沼水質	0.1 ~ 0.5
	湖沼底質	0.1 ~ 0.5
	湖沼底泥	0.1 ~ 0.5
	湖沼底砂	0.1 ~ 0.5

### 表 2 湖沼汚染調査結果 (1973年)

表 2 湖沼汚染調査結果 (1973年) (単位:  $\mu\text{g/l}$ )

湖沼名	調査項目	調査結果
富士五湖	湖沼水質	0.1 ~ 0.5
	湖沼底質	0.1 ~ 0.5
	湖沼底泥	0.1 ~ 0.5
	湖沼底砂	0.1 ~ 0.5
山梨県立衛生研究所	湖沼水質	0.1 ~ 0.5
	湖沼底質	0.1 ~ 0.5
	湖沼底泥	0.1 ~ 0.5
	湖沼底砂	0.1 ~ 0.5