

## 4. 富士五湖の水質に関する調査研究(Ⅱ)

(精進湖について)

笠井和平 大木 学 中島 郁子

前報告<sup>1)</sup>において、環境庁による全国湖水調査事業の一環として行った、精進湖をのぞく富士五湖の調査結果の概要を述べたが、この精進湖についても県単独事業として並行して調査を行ったので、この機会をかりて、その結果を報告する。

### 調査の方法

#### 1. 調査の時期および回数

夏季(成層期)として7~8月, 秋期(循環期)として9~10月, および冬期として12月にそれぞれ各1回; 計3回採水分析を実施した。春季(循環期)の調査も計画したが、台風のため中止した。

#### 2. 採水の方法

晴天がつづき、水質状態が安定する日を選ぶよう努力した。採水地点は、水域の規模、週辺の開発状況等を考慮して、図1に示すごとく6地点を選んだ。採水部位は湖の中心点で5mおよび10mの2層について採水した。

#### 3. 調査分析項目および方法

1) 気温: 棒状 水銀温度計, 2) 水温: サーミスター温度計, 3) 水色: フォーレル水色計, 4) 透明度: セッキ板, 5) 透視度: JIS K0102-6, 6) pH: 比色法, 7) DO: JIS K0102-24, 8) SS: 上水試験法・31-(2), 9) BOD: 上水試験法・15, 10) COD: 上水試験法・25, 11) 塩素イオン: 上水試験法22-(2), 12) アンモニヤ性窒素: 上水試験法16-(1), 13) 亜

硝酸性窒素: 上水試験法・18-(2), 14) 硝酸性窒素: 上水試験法・19-(2), 15) リン酸イオン: JIS K 0102-27, 16) けい酸: JIS K 0101-33.1, 17) 総アルカリ度: 上水試験法・10-(1), 18) 総硬度: 上水試験法・34-(1), 19) カルシウム硬度: 上水試験法・34-(2), 20) 硫酸イオン: 比濁法, 21) 一般細菌数: 上水試験法・5, 22) 大腸菌群: 上水試験法・6-(2), 23) 電導度: 東亜電波 CM-2A, 24) 総窒素, 25) 総りん, 26) プランクトン, 以上のうち, 24), 25), 26), については国立公衆衛生院衛生工学部が実施した。

### 調査成績と考察

#### I. 水質汚濁防止法の生活環境に係る環境基準項目について

1. 水素イオン濃度(pH): 表層水については通年7.1~7.4と微アルカリ性で、垂直分布をみると、夏期において表層が深部よりアルカリ性に傾むく。この湖は後述するように、プランクトンが多いので、光合成によって水中のCO<sub>2</sub>が消費され、それを補ってHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>が分解して(2HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> ⇌ CO<sub>2</sub> + CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> + OH<sup>-</sup>)水はアルカリ性になることが知られている<sup>2)3)</sup>。秋~冬期においては上・下層循環によってpH垂直分布はほぼ一様となる。水質汚濁防止法<sup>4)</sup>の基準ではAA型に属す。(表1, 図2)

2. 化学的酸素要求量(COD): 8月に1.76ppmの値を示し、これは5湖中の最高値で、基準ではA型に属する。(表1)

3. 浮游物質(SS): 約3~5ppmを示してA型に属する。(表1)

4. 溶存酸素量(DO): 季節による変動が大きく、夏季はB型, 秋季はC型, 冬季はAA型, A型となる。飽和度でみると、秋季に43%と極端に減少した後、冬季には100%に回復する。9月の表面水が43%(約3ppm)という低値を示したが、秋期循環の開始した直後に採水したためと思われる。(表1, 図2)

5. 大腸菌群: 春~秋季に最高値を示し、冬季に減少するのは、観光客の増減による影響であろう。大腸菌汚染の程度は40~100MPN/100mlで西湖に匹適し、河口、

図1 精進湖調査地点

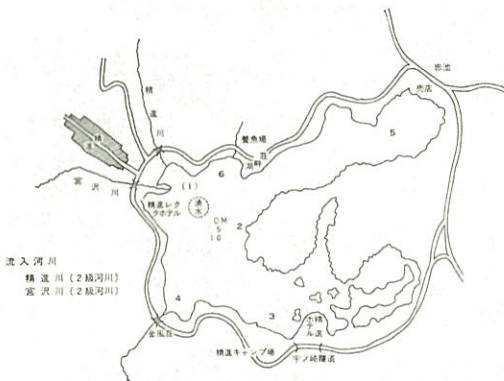
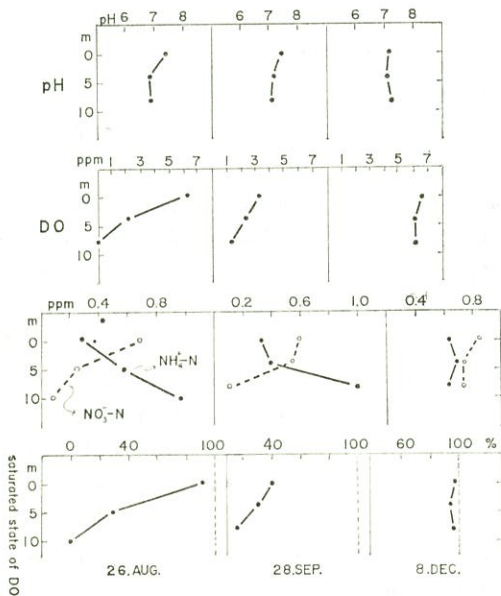


表1 精進湖の表面水調査結果総括

項目	区分	第1回(8.26)			第2回(9.28)			第3回(12.8)		
		Min.	Max.	Ave.	Min.	Max.	Ave.	Min.	Max.	Ave.
採水時刻		6.40	~	8.10	16.30	~	17.48	10.15	~	11.40
気温	°C	19.5	22.0	20.4	15.5	18.1	16.7	4.0	6.0	4.4
水温	°C	22.2	23.0	22.9	20.0	20.3	20.1	6.6	7.2	7.0
水色		9	9	9	9	9	9	10	10	10
透明度	m	2.2	2.5	2.5	2.0	2.5	2.2	2.3	1.7	2.0
pH	比色	7.1	7.4	7.3	7.3	7.3	7.3	7.0	7.2	7.1
DO	ppm	5.63	7.00	6.64	3.16	3.67	3.37	10.25	10.64	10.43
SS	ppm	2.2	3.6	2.7	1.9	4.3	3.1	2.7	6.9	4.8
BOD	ppm	1.73	2.76	2.16	1.13	1.47	1.23	2.04	2.67	2.37
COD	ppm	1.41	2.09	1.76	0.46	1.00	0.71	0.86	1.29	1.02
Cl <sup>-</sup>	ppm	2.01	2.42	2.22	1.99	2.59	2.19	2.53	3.05	2.73
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	ppb	56	520	226	200	330	262	120	660	514
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	ppb	18	26	23	15	30	25	9	15	14
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	ppb	400	792	612	562	620	598	850	1130	994
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	ppb	2	3	3	4	6	5	1	4	3
SiO <sub>2</sub>	ppm	2.73	5.65	3.57	1.04	1.35	1.16	4.88	5.85	5.28
総アルカリ度	ppm	41.6	42.6	42.2	—	—	—	—	—	—
総硬度	ppm	32.2	35.3	33.1	—	—	—	—	—	—
カルシウム硬度	ppm	20.0	21.7	20.5	—	—	—	—	—	—
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	ppm	0.48	1.12	0.98	—	—	—	—	—	—
一般細菌	個/ml	80	286	152	42	113	78	18	27	22
大腸菌群	MPN/100ml	13	94	43	49	278	113	0	33	10
λ <sub>25</sub>	μv/cm	78.90	81.90	79.88	79.45	81.10	80.28	82.35	86.50	84.21

図 2



山中両湖についている。(表1)

II. その他の理化学的項目

1. 水温：夏24°C前後まで上昇し、12月には8°C前後に低下した。垂直分布の季節変化は、8月において強い成層がみられ、これは9月末においてもほとんど破壊されていないのが、この湖水の特徴である。(表1, 図3-1)

2. 透明度：透明度は水中のSSの反映であり、その主体であるプランクトン量に左右されている。図4をみると、精進湖においても、これらの測定値の季節変化が対応していることがわかる。透明度の上からも、この湖は富栄養湖に属するものである<sup>5)</sup>。透明度の年次別推移をみると<sup>6)</sup>、1929年5.5m, 1941年5.3m, 1953年4m, 1968年1.3m, 1971年2m, であり、昭和30年以後の富栄養化が著しい。該湖は、汚濁に対して強い体質にある湖といえないが<sup>5)</sup>、流入河川も排水河川もほとんどないことから、レジャー関係施設等が原因しているものと思われる。

3. 生物化学的酸素要求量 (BOD) : 1.2~2.4ppm



であって、通年5湖中最高である。(表1)

4. 塩素イオン ( $\text{Cl}^-$ ): 通年2~3 ppmである。  
(表1)

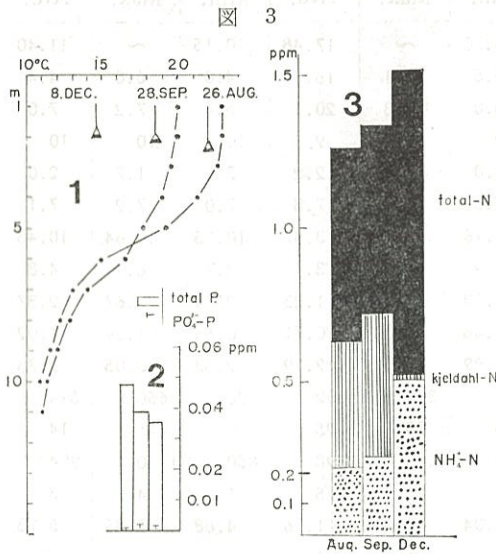


図 3

5. アンモニア性窒素 ( $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ): 表面水は通年0.2~0.5 ppmと著しく高い。垂直分布は夏季に下層での蓄積がすすみ1 ppmを越え、秋季の湖水循環により表層に供給されて、表面水が0.5 ppmに達するものであろう。(表1, 図2)

6. 亜硝酸性窒素 ( $\text{NO}_2^-\text{-N}$ ): 0.01~0.03 ppmで他4湖より1オーダー高く、汚濁の強さを示している。  
(表1)

7. 硝酸性窒素 ( $\text{NO}_3^-\text{-N}$ ): 0.6~1 ppmと著しく高いが、これは下層より供給された多量の  $\text{NH}_4^+$  の一部が酸化され  $\text{NO}_3^-$  となったものも多く含むであろう。  
(表1, 図2)

8. 全窒素 (T-N): 1.3~1.5 ppmと5湖中最高を示し、富栄養湖の基準0.2 ppmの7倍に達している。構成内容は ( $\text{NH}_4^+\text{-N}$ +有機態N) と  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  がほぼ同量で、西湖と類似している。(図3-3)

9. 全りんと溶解性りん酸 (T-Pと  $\text{PO}_4^{3-}$ ):  $\text{PO}_4^{3-}$  は富栄養化の進んだ精進湖でも、秋季に最高0.005 ppm (Pとして0.0017) にすぎず、これは富士五湖すべてに共通な特徴である。しかし、T-Pは、精進湖がPとして0.035~0.048 ppmと富栄養湖の基準を越えている。 $\text{PO}_4^{3-}$  が非常に少ない理由について考察すると、表2にみるように、T-N:T-P比が27~42であり、プランクトン繁殖の至適N:P比は15:1前後であるといわれている<sup>7)</sup>のと較べて、N過剰(あるいはP過少)である。このアンバランスがプランクトンの制限因子となり、 $\text{PO}_4^{3-}$  が非常に少ない原因と考えられる。この点今後の富士五湖の富栄養化防止対策を進める上に留意すべきであろう。(表1, 表2, 図3-2)

### III. プランクトン

プランクトンの発生の最盛期である春期の採水ができなかったので、更に今後の検討を必要とするが、種類では40と比較的少ない。これは珪藻と鞭毛藻、黄藻の種類減少による。一般に汚濁が極度に減少すると、限られた種類のみが、多量に発現する傾向があるといわれている。量的には400~1,000個/mlで、河口、山中湖より若干多い。緑藻、鞭毛藻、黄藻について、その種構成をみると、河口、山中湖とほとんど同じであるが、量的には1オーダー高い。殊に、鞭毛藻の *Cryptomonas* は、冬季に330個/mlと多量に発生した。藍藻の *Microcystis* が非常に少なかったことは、本湖に多量の栄養塩類、とくにNがあることを考えると興味深い。いずれにせよ、富栄養化の極度にすすんだ本湖の総プランクトン数が最高1,000個/mlであり、同程度の富栄養化にある湯の湖が8,500個/mlであることを考えると、大変少なく前述

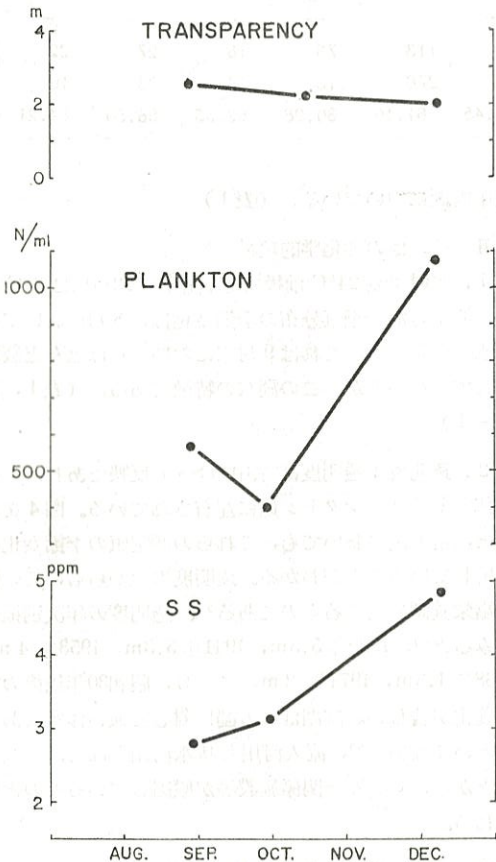


図 4

表2 精進湖のN:P比, プランクトン, 推定水質

調査項目		調査月日		
		8/26	9/28	12/8
N:P比		27	35	42
無機	N/全N %	56	29	34
無機	P/全P %	3	8	6
出現 個体 プランク ク数 N/ml	珪藻	330	100	677
	緑藻	133	211	55
	鞭毛藻, 黄藻	96	53	335
	藍藻	1	13	+
	原生動物	5	4	+
	計	552	381	1067
集水可能水の推定水質	負荷量 kg/y	N 3,788 P 654 BOD 15,155		
	集水可能量 m <sup>2</sup> /y	3.57 × 10 <sup>6</sup>		
	N ppm	0.106		
	P ppm	0.018		
	BOD ppm	0.425		

(注) 人の汚濁負荷量原単位 N=11 g/day, P=1.9 g/day, BOD 44 g/day  
但し, 宿泊客はそのまま, 日帰り客は ×1/5

のごとく, N:P比の高いことが, 富士五湖共通的にプランクトン発生制限因子として働いているのかもしれない。(表2)

#### IV. 汚濁負荷および集水可能量より湖水質の推定

富士五湖の南岸は, 浸透性の高い溶岩流および火山礫等より形成されているため, この地域の観光施設および住宅等からの排水の多くは, 地下浸透し, 地下水として湖に湧出するか, または湖を経ずして直接湖域外へ流出するものと考えられる。

五湖の実績放水量は, 集水可能量に比べて極めて少なく, 精進湖の零をはじめ, 本栖・西湖が2.5分の1, 山中湖が6分の1, 河口湖が6.7分の1で, 年間10億m<sup>3</sup>の降雨量に対し, 4.2億m<sup>3</sup>が地下浸透し流出するものと推定されている<sup>8)</sup>。従って, 湖水質の推定にあたり希釈容量として実績放水量を使うことは問題があり, むしろ集水可能量を使うのが妥当と思われる。今, 年間の汚濁負荷量を $x$ kg, 集水可能量を $y$ m<sup>3</sup>とすると, 年間平均としての水質は  $x \times 10^6$ (mg)/ $y \times 10^3$ (l)・ppm と推定される。

次に, 汚濁物質は地層を流下する間に各種の作用により自然浄化される。これによる汚濁負荷の減少を  $Z$ ppm とすると, 湖の水質は  $(x \times 10^6$ (mg)/ $y \times 10^3$ (l)) -  $Z$

ppm となる。

次に観光客数および定住人口より, 推定した汚濁負荷と集水量を前式に代入して求めた水質が表2である。これによると, 本湖は本栖湖・西湖とならんで, 河口湖や山中湖よりかなりひくい。精進湖のみが極端に栄養化がすすんでいるのは集水量のほとんどが, 地下浸透により流出するため, SSが濃縮されるためであろう。

$Z$ ppm は具体的なデータがないが, 湖周辺の土壌を用いるなどのモデル実験を行なって,  $Z$ を求める必要がある。

## まとめ

陸水学的区分からは, 本栖湖と西湖は貧栄養湖に属し河口・山中の両湖は, 富栄養湖への曲がり角にあり, 精進湖は完全な富栄養湖である。

精進湖は, 早くから富栄養湖であることは知られているが, 集水可能量は本栖・西湖と大差はなく, 実績放水量は0にもかかわらず, 容量は本栖湖の55分の1, 西湖の13分の1であることから分かるように, 滞水時間が短かいため栄養化の進行し易い, 即ち汚濁に対して極めて弱い体質である。自然進化のみの栄養化であるなら, 昭和30年以降の透明度の急激な低下はおこらないはずである。精進湖は, 早急に富栄養化の急激な進行の原因を究明し, 防止対策を講じなければならない。

どのような湖でも, 本質的には長い年月の間にその内容が変化していく。即ち, 貧栄養湖→中栄養湖→富栄養湖→湿原となる。しかし, 自然の栄養化は非常に長い地質的なタイムスケールのもので, しかも多くの場合, バランスがとれているが, 人的栄養化は急激かつアンバランスであるため, 生態系の破壊へとつながる。

このような汚染は, 河川も同様であるが, 問題は両者の循環速度の相違である。日本の河川は, だいたい3~7日で海に流出するが湖の水は滞留する。そして, 湖に流入した物質は蓄積される。もし汚染源を完全に閉鎖したとしても, 河川の場合は, 通過する水がきれいであれば河底の有機物質の分解速度は, はやまり速かに浄化されるが, 湖の場合は長い年月を要する。河川と異なり, 汚染防止対策が遅れると, 回復にはその何十倍もの期間が必要である。

最後に, 富士五湖の調査研究の機会を与えられた県公害課, 観光課に感謝します。

なお, 試験の一部を実施するとともに, 実施および解析に当たって多大な助言と指導を賜った国立公衆衛生院衛生工学部, 南部祥一郎部長, 橋爪健一郎技官, 国包章一技官に感謝するとともに, 細菌試験を実施した細菌血清科, 採水に協力願った公害科および県公害課, 採水時の



ポート等のお世話になった富士五湖観光船協会の各位に感謝します。

## 文 献

- 1) 笠井和平他：富士五湖の水質に関する調査研究(I) (本栖湖，西湖，河口湖，山中湖について) 要旨，本誌，(1971)
- 2) 杉本昭典：衛生工学ハンドブック (昭45)
- 3) 小泉清明：川と湖の生態 (昭46)
- 4) 水質汚濁防止法 (昭46)
- 5) 吉村信吉：湖沼学 (昭11)
- 6) 渡辺仁治：精進湖の富栄養化，水本水処理生物学会誌，Vol. 5, No. 1 (1969)
- 7) 土木学会：琵琶湖の将来水質に関する調査報告書 (昭44)
- 8) 山梨県：水資源と用水対策 (富士北麓，八ヶ岳山麓) (水シリーズVII) (昭41)