

Ⅱ 研究報告

富士五湖の栄養度に関する一考察

堤 充 紀 田 中 正 二 郎 笠 井 和 平
中 島 郁 子 庄 司 元 和

近年、河川、湖沼などの水域の富栄養化については、科学的にも社会的にも多くの人々の関心を集めるに至った。従来は資源としての水が、量的な要素についてのみ重要視されてきたが、近年はさらに質的な面についても重視しなければならない、という認識が高まってきたからである。

我々は昭和46年から富士五湖の水質調査に着手し、現在も調査を継続しているが、最近、これらの湖のうち精進湖において特に富栄養化が著るしく進行していることを報告した¹⁾。

今回は、富士五湖相互間の栄養度の位置づけを試みる目的で、透明度および表面水のSS、COD、さらに植物プランクトン量に対応するクロロフィルa量を取りあげて検討を加えた。その結果、興味ある知見を得たので報告する。

調査方法

測定期間

昭和49年1月から51年3月まで、毎月1回採水して測定を行なった。採水時間は、午前10時から午後2時までの間とした。

採水地点

採水はすべて湖心部で行ない、河口湖については東部の副湖心(船津)を加えた。

測定方法

透明度：直径30cmのSeccki板を用いた。

SS：50年3月までは、Millipore Membrane Filter HA、50年4月からはMillipore Glass Fiber Filter AP 40を水洗後乾燥して使用した。乾燥温度は105~110°Cとした。

COD：未濾過の試水について、JISK 0102の過マンガン酸カリウム100°C法により測定した。

クロロフィルa(chl)：3波長吸収法²⁾で行なった(50年2月以後測定)。

測定結果および考察

通算25~27回の採水回数のうち、湖面の凍結、強風などのため透明度が測定できなかった日の値、および台風などの異常値(49年8月)を除いて、平均値を算出した結果が表1である。

透明度は湖の美しさを表わす代表的な尺度であるが、富士五湖では本栖湖が最も透明度がよく、次に西湖、山

表1 富士五湖の透明度および表面水のSS、COD
(昭和49年1月~51年3月)

湖名	データ数	透明度 ±s. d. m	測定期間中の最大透明度(m)とその年月日	SS ± s. d. ppm	COD ± s. d. ppm
本 栖 湖	24	14.22±3.00	21.0 (50. 2.19)	0.40±0.22	0.57±0.29
西 湖	25	7.80±1.47	10.4 (49.11.18)	0.76±0.44	1.41±0.52
山 中 湖 [※]	19	4.03±0.76	5.3 (50. 7.21) (50.12.22)	1.51±0.45	2.23±0.28
河口湖(湖心)	20	3.74±1.16	6.5 (50. 3.17)	1.89±0.57	2.60±0.55
河口湖(船津)	21	3.26±0.72	5.1 (50. 1.13)	1.92±0.52	2.61±0.54
精 進 湖	20	2.27±0.60	3.5 (51. 2.16)	3.68±1.66	3.56±0.83

s. d : 標準偏差

※：昭和49年11、12月に観測されたプランクトン大発生による異常値は、平均値の計算から除外してある。

中湖、河口湖、精進湖の順であった。特に本栖湖では21.0mに達したことがあり、戦前に記録された最大透明度18.0m³⁾(1929年8月26日)を越え、今なお日本有数の透明な湖の一つであることを示していた。

一方SS, CODはそれぞれ湖の汚濁の程度を表わす尺度の一つと考えられるが、これらの数値は透明度とは全く逆の順位となり、精進湖が最も汚濁していることを示している。このように透明度, SS, CODから判定した富士五湖の栄養度は完全に一致し、本栖湖が最も貧栄養であり、西湖、山中湖、河口湖、精進湖の順に富栄養になっていると考えられる。

ここで富士五湖の透明度, SS, CODの三者の間の相関関係を検討してみた。まず、透明度(Tr)とSSを両対数グラフ上にプロットすると図1のように、ほぼ直線上にならび、両者の対数値がきわめてよい逆相関関係にあることがわかる。回帰直線式および相関係数(r)を求めると、

$$\log SS = -1.17 \log Tr + 0.926 \quad (r = -0.993)$$

となった。またこの式を書きかえると、

$$SS = 0.843 / Tr^{1.17}$$

となり、従来からいわれている⁴⁾ように、透明度とSSは富士五湖においてもほぼ反比例の関係にあることが確かめられた。

SSが高いと透明度が低くなるであろうということは、容易に想像できることではあるが、ここでは両者の対数が逆相関の関係をもっているということが重要である。すなわち、本栖湖のような透明度の高い湖ほどSSのごくわずかな変化が透明度に大きな影響を与えるが、逆に精進湖のように透明度の低い湖では、SSが多少増減しても透明度にはさほど変化がないことを意味している。

湖沼の透明度は、太陽光線が到達する深さに密接に対応しているものであるから、透明度の変化は直接植物プ

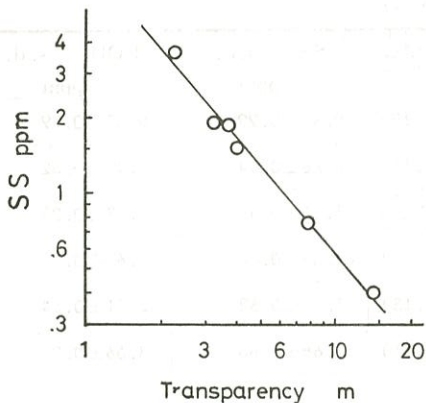


図1 透明度とSSの相関

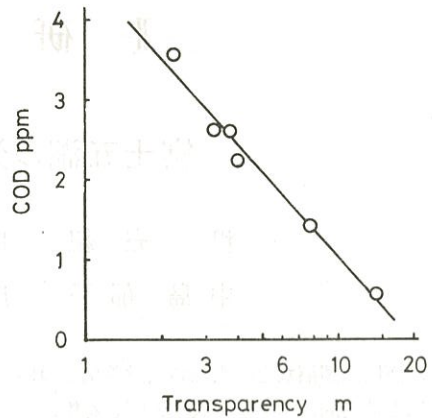


図2 透明度とCODの相関

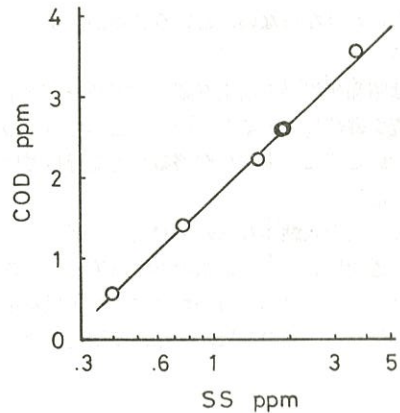


図3 SSとCODの相関

ランクトンの増殖に影響を与え、ひいては湖沼の生態系全体に大きな変化をもたらす。それゆえ、湖沼中へ外来性のSSや、植物プランクトンを増殖させ結果的にSSを増加させるような原因物質(栄養など)が流入することは、極力避けなければならないことがわかる。

図2に透明度とCODの、図3にSSとCODの関係を示したが、これらはいずれも非常によい相関関係をもち回帰式および相関係数はそれぞれ次のようになった。

$$COD = -3.57 \log Tr + 4.60 \quad (r = -0.988)$$

$$COD = 3.07 \log SS + 1.76 \quad (r = 1.00)$$

この結果、富士五湖においては透明度と同様CODもSSによって規定されるのではないかということが推論される。

50年2月以後行なったクロロフィルaの測定値の平均値と、他の指標との関係をグラフにしたものが図4~7である。

まず、クロロフィルaとSSの関係は図4のようになり、クロロフィルの増加につれては、SSは直線的には上昇していない。富士五湖のSSは、顕微鏡的にはほと

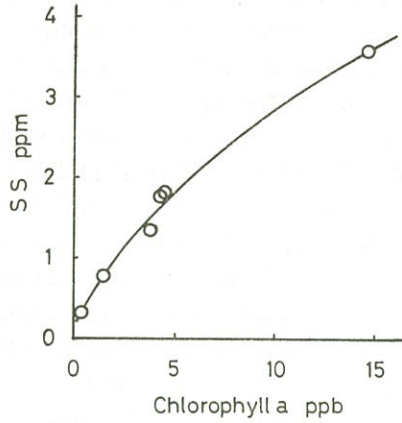


図4 クロロフィルaとSSの関係

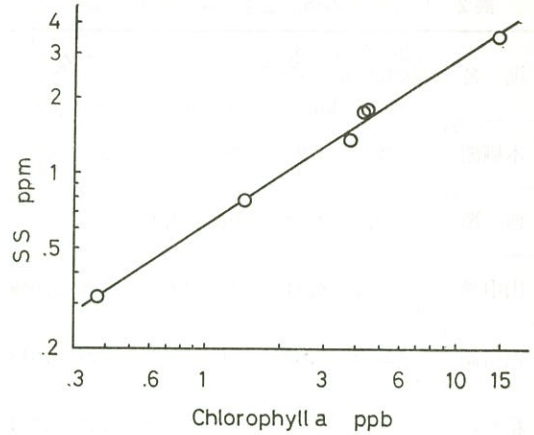


図5 クロロフィルaとSSの相関

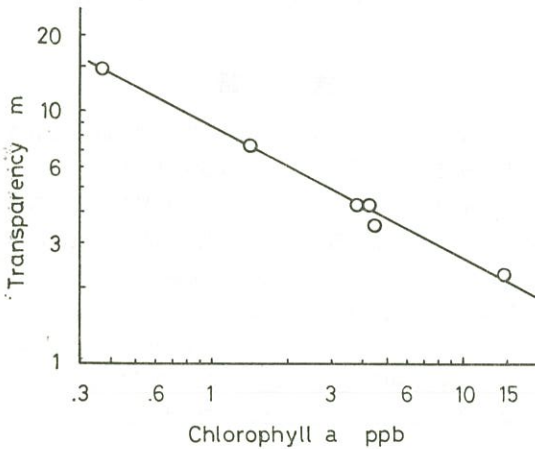


図6 クロロフィルaと透明度の相関

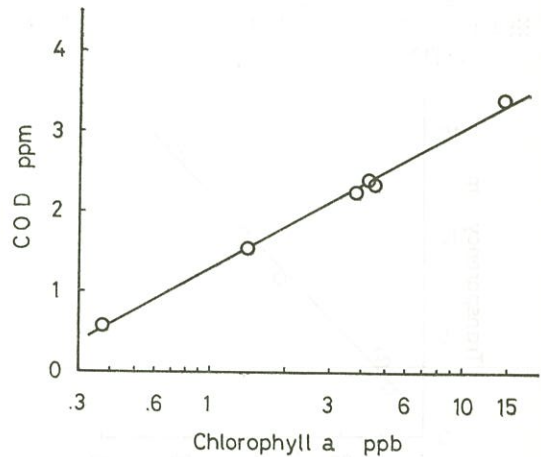


図7 クロロフィルaとCODの相関

んどすべてが植物プランクトンであるので、プランクトンの少ないときには、プランクトンに占める珪藻の割合が多いが、プランクトンが多くなると外殻の軽い緑藻、藍藻の割合が増加する^{1,5)} ことに対応していると考えられる。このクロロフィルaとSSを、両対数グラフ上にプロットしなおしたものが、図5となり回帰式および相関係数は、

$$\log SS = 0.664 \log [\text{chl}] - 0.208 \quad (r = 0.994)$$

$$\text{または、} SS = [\text{chl}]^{0.664} / 1.62$$

であり、非常によく対数相関関係にあることがわかる。

この相関関係から、クロロフィルaは透明度、CODとも相関をもつことが容易に予想される。それぞれの相関関係は図6、7で示され、相関式はそれぞれ、

$$\log Tr = -0.519 \log [\text{chl}] + 0.937 \quad (r = -0.995)$$

$$\text{または、} Tr = 0.865 / [\text{chl}]^{0.519}$$

$$COD = 1.75 \log [\text{chl}] + 1.29 \quad (r = 0.998)$$

となった。

今までに述べた多くの相関関係から、富士五湖におい

ては、植物プランクトン量が透明度やSSのほとんどすべての要因であり、植物プランクトンやその分泌物がCODの大きな要因となっていることが推測される。

ここで、湖によって植物プランクトン量に差が生ずるのは、なぜであるかが問題となる。富士五湖では水温を含めた気象条件はお互いによく似ている⁹⁾ ので除外すると、考えられるおもな要因は、栄養物質濃度と湖盆形態であろう。栄養として植物プランクトンに特に重要な窒素、リンについて測定した結果を表2に示した。これらの全窒素、全リンはただ1回の測定値ではあるが、先の透明度などの指標の順位と一致し、植物プランクトン量との正の相関を示唆しているが、もっと多くの測定データで確かめる必要がある。また、植物プランクトンにとって必須の栄養は、窒素、リンに限定されるものではないことにも留意する必要がある。

富士五湖の湖盆形態に関しては、現在の平均水位に即した正確な計測値はなかなか見あたらないが、今かりに

表2 富士五湖の概況と全窒素, 全リン濃度

湖名	水面海拔高度 m	湖面積 km ²	水容量 10 ⁶ m ³	平均深度 m	濃度	
					全窒素 ppm	全リン ppm
本栖湖 ⁷⁾	902	4.9	320	65.3	0.15	0.004
西湖 ⁸⁾	903.5	2.20	86	39.1	0.23	0.008
山中湖 ⁸⁾	981.1	6.41	69	10.8	0.24	0.009
河口湖 ⁷⁾	822.4	6.08	60	9.9	0.29	0.014
精進湖 ^{※1}	900.2	0.70	5.8	8.2	0.62	0.041

※1: 吉村らの計測値⁹⁾から、現在の平均水位にあてはめて計算した値¹⁾。

※2: 昭和48年夏季の表水層での平均値^{10,11)}(未濾過試料)。

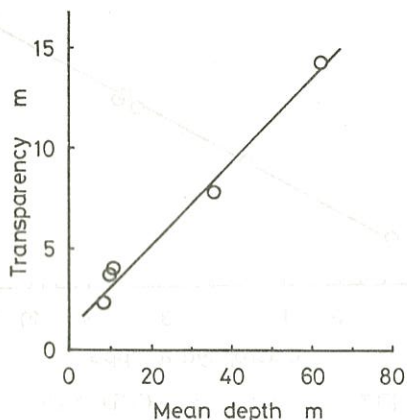


図8 平均深度と透明度の関係

表2の平均深度を使い(本栖湖と西湖については、現在の平均水位をそれぞれ、899, 900mとして¹⁾単純にスライドさせ、平均深度をそれぞれ、62.3, 35.6mとした)、平均深度と透明度との関係をグラフに表わすと、図8のようになり、かなりよい正の相関があることがわかる。このことから当然、平均深度とクロロフィルa量の間にも、一定の式で表わされる関係があることが予想される。すなわち、平均深度は湖の栄養度を規定する重要な因子であることが推定される。

富士五湖は大きな流入流出河川をもたない閉鎖型の湖沼であるが、もし富士五湖への、湧水を含めた流入水中

の栄養物質濃度、および単位湖底面から溶出する栄養物質総量が一定し、流入水の湖内での濃縮の割合も一定であると仮定するならば、平均深度の違いによって表2に示されたような、湖水中の栄養物質濃度の違いが生じ、その結果植物プランクトン量の差すなわち、透明度, SS, CODなどの栄養指標の差となり、栄養度と平均深度との相関が理解される。しかしこの仮定には無理があることは否めず、さらに多くのデータをそろえた検討が必要であろう。また数多くの湖で、平均深度がそれほど低下しているとは思われないのにも拘らず、年々富栄養化が進行しているという事実は、湖沼の栄養度が平均深度だけで規定されるものではないことを意味している。

ここで言えることは、地理的、地質的環境の互いによく似た富士五湖においては、平均深度がその湖の栄養度にかかなり関与しているであろうということである。

結 語

大きな流入流出河川をもたない、閉鎖型の湖沼である富士五湖では、透明度、表面水のSS, COD, クロロフィルa量の平均値の間にきわめてよい相関関係がみられた。これらの指標から判定した富士五湖の栄養度は、本栖湖、西湖、山中湖、河口湖、精進湖の順で、本栖湖の貧栄養性、精進湖の富栄養性がきわだっていた。この順位は全窒素、全リンの濃度の順位とも一致しているが、これらの栄養指標は湖の平均深度などの形態的要素ともかなり密接な関係があることが示唆された。

文 献

- 1) 山梨県, 精進湖の水質調査に関する報告書(1976)
- 2) 小山忠四郎ほか, 湖水・海水の分析, 116 講談社(1972)
- 3) 宮地伝三郎, 水産研究誌, 25, 28 (1930)
- 4) 山本荘毅編, 陸水, 181, 共立出版(1968)
- 5) 橋爪健一郎, 用水と排水, 17, 736 および 879 (1975)
- 6) 笠井和平ほか, 同上, 18, 695および861 (1976)
- 7) 堀江正治, 陸水学雑誌, 18, 22 (1956)
- 8) 山梨県, 水資源と用水対策, 20 (1966)
- 9) 吉村信吉ほか, 地理学評論, 18, 454 (1942)
- 10) 堤充紀ほか, 山梨衛研年報, 17, 75, (1973)
- 11) 笠井和平ほか, 同上, 17, 80 (1973)