

# 富士五湖の水質環境の変化

長谷川 裕弥, 吉沢 一家

Change of the Water quality environment of Fuji Five Lakes

Yuya Hasegawa, Kazuya Yoshizawa

キーワード：富士五湖, 透明度, 水質変動, クロロフィル a, リン, 窒素

富士五湖の水質調査は1973年より、山梨県により公共用水域調査として継続して行われている。さらに本研究では、これとは別に富士五湖の水質調査を独自に行っており(富士五湖補足調査)、公共用水域調査では測定していない水深別水温などの膨大な量の測定結果が蓄積されている。そこで、本報告では2002～2010年度までの富士五湖補足調査で得られた既存のデータを整理し、水質環境の情報を読み取りやすい透明度とクロロフィルa、栄養塩類(リン、窒素)等に着目し、各湖の水質変動を把握することにした。

## 調査方法

### 2.1 調査地点と時期

図1に示す富士五湖の各地点で2002年4月から2010年3月まで毎月1回、富士五湖補足調査を行った。また、西湖と山中湖の湖心地点では、鉛直方向の栄養塩類の分析も行った。

### 2.2 調査項目及び分析方法

各調査地点において水温や透明度等を現場測定するとともに表層水を採取し、当所で全リン(TP)や全窒素(TN)、クロロフィルa、浮遊物質(SS)等を分析した。各項目の分析は常法<sup>1,2)</sup>にしたがった。

## 調査結果

### 3.1 透明度の推移

透明度は水の濁りを表す指標の一つである。各湖の2002年から2010年度の透明度の12ヶ月移動平均を図2



図1 富士五湖の採水地点

に示す。

本栖湖: 本栖湖の湖心(M1)の透明度は富士五湖の中で最も良好で2008年10月に最大23mを記録した。移動平均をみると12～18mで推移しており、透明度の上昇傾向がみられた。また、本栖湖の西部(M2)の透明度は2008年11月に最大21.5mを記録し、湖心と同様の傾向を示した。

西湖: 西湖の湖心(S1)の透明度は2008年11月に最大13.4mを記録した。移動平均をみると6～9.5mで推移しており、年ごとの変動幅が大きかった。また、西湖の西部(S2)では2009年9月に最大11.8mを記録し、湖心と同様の傾向を示した。

河口湖: 河口湖の湖心(K2)の透明度は2011年2月に最大9.5mを記録した。移動平均をみると4～6mで推移し

ている。清水ら(1990)の報告<sup>3)</sup>では1972年～1989年の湖心の透明度の60ヶ月移動平均が3～4mで推移していたことから、近年透明度は回復傾向にあるように考えられた。河口湖の西部(K1)の透明度は2009年6月に最大11.6mを記録し、移動平均をみると近年透明度の改善傾向を示した。船津(K3)の透明度は2009年6月に最大10.2mを記録し、移動平均は湖心と同様の傾向を示した。

山中湖: 山中湖の湖心(Y2)の透明度は2008年9月に最大7.5mを記録した。移動平均をみると2002年からほぼ横ばいで推移しており透明度の大きな変化はみられなかった。また、平野(Y1)の透明度は2008年9月に最大4.2mを記録し、移動平均をみるとほぼ横ばいで推移した。

精進湖: 精進湖の湖心(SH)の透明度は2008年7月に最大5.6mを記録した。移動平均をみると2.5～4mで推移しており、春に透明度が悪くなり秋に良くなる季節変動が他の湖と比べて顕著に現れた。

### 3.2 透明度とSS、クロロフィルaの関係

一般的に透明度は、湖内に流入する土壌粒子や風による底泥の巻き上がり、植物プランクトン量(クロロフィルa)によって変動する。堤ら(1976)は、富士五湖の透明度、SS、COD、クロロフィルaの相互関係について明らかにした<sup>4)</sup>。それによるとこれらには極めてよい相関関係が得られ、湖水中の植物プランクトン量が透明度、SSの要因となっていることが推測された。

今回は、2002年～2010年度の透明度、SS、クロロフィルaの相互関係について精査してみた。欠測のあった月のデータは解析から除いた。富士五湖の透明度とSSの間には高い相関があり(図3, R=0.88)、透明度を低下させる原因因子としてSSの影響が高いことが改めて確認された。さらにSSとクロロフィルaの間には、高い相関があり(図4, R=0.82)、SSとして存在している多くが植物プランクトン(クロロフィルa)であることが確認され、透明度とクロロフィルaの間にも高い相関が得られた(図5, R=0.84)。

以上より、近年の富士五湖の水質環境として透明度とSS、クロロフィルaの間には良好な相関関係が得られ、1970年代初期の水質環境と大きな変化がないことが確認された。

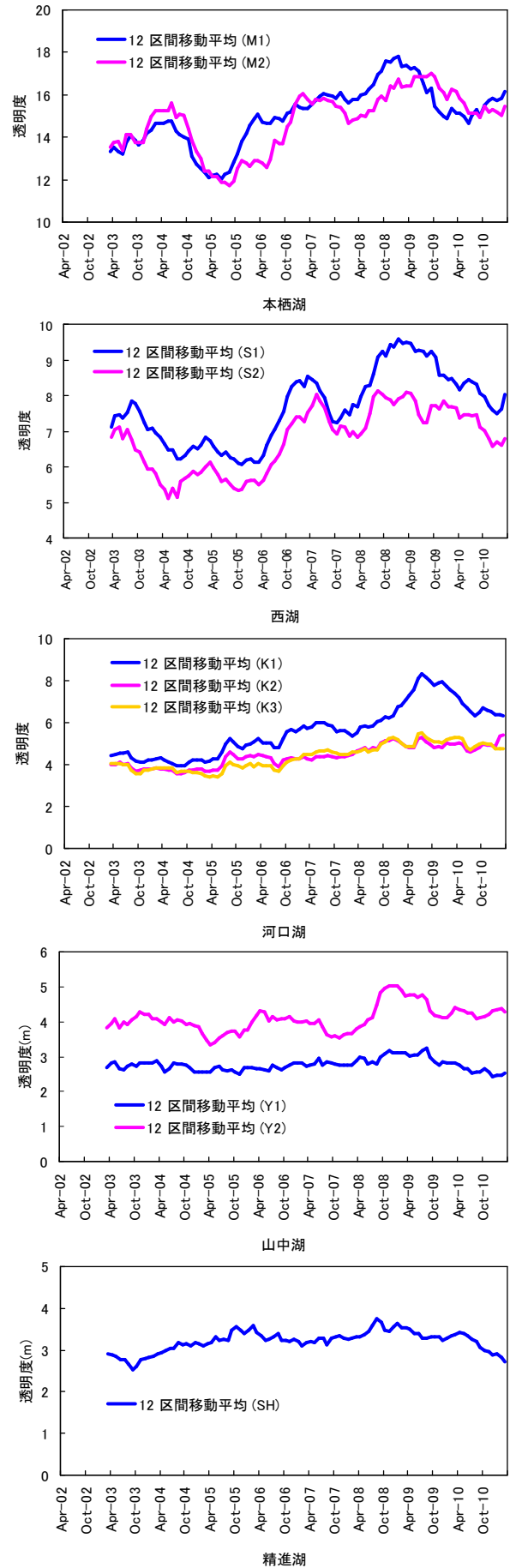


図2 透明度の経年変化 (12ヶ月移動平均)

### 3.3 クロロフィルaと全リン、全窒素の関係

クロロフィルaは植物プランクトン量の指標となる。透明度とクロロフィルaに高い相関があり、透明度の回復には植物プランクトン量を減少させる必要がある。また、植物プランクトン(アオコ)が大量に発生すると水産や観光面で被害をもたらす。植物プランクトンの増減には、湖水中のTNやTP濃度に依存していることが知られており<sup>5)</sup>、清水ら(1990)も河口湖のTP濃度の減少に合わせてクロロフィルa濃度も減少傾向にあったと指摘している<sup>3)</sup>。2002年から2010年度のクロロフィルaとTP、TNとの関係を図6、7に示す。ただし、TP濃度が1 μg/l以下のデータは、定量下限値未満のため解析から除いた。その結果、クロロフィルaとTPの間には高い相関が得られた(図6, R=0.76)。一方でクロロフィルaとTNの間には相関が得られず(図7, R=0.40)、富士五湖の場合クロロフィルaの増減は、TP濃度に依存していると推測された。従って、湖水中のTP濃度の把握は植物プランクトンの増殖を監視する上で重要な因子の一つであることが推測された。しかし、各湖によって水質環境が異なるため

TP濃度以外の要因についても検討していく必要がある。

### 3.4 全リン濃度の経年変化

3.3で湖水中のTP濃度の把握は水質環境を保全する上で重要であることが示された。そこで各湖の2002年～2010年度のTP濃度の12ヶ月移動平均を図8に示し、その時間的変化を解析した。

本栖湖:M1とM2はほとんど横ばいで推移していた。西湖:S1はほとんど横ばいで推移していた。S2は2005年に一度TP濃度が上昇したが、その後は減少した。TP濃度が上昇した理由は今回分からなかった。河口湖:K1とK2、K3で減少傾向が見られた。山中湖:Y1とY2はほぼ横ばいで推移していた。精進湖:SHはほぼ横ばいで推移していた。近年の富士五湖は、TP濃度がほぼ横ばいで推移しているか、減少傾向にあり大きな水質変動は見られなかった。

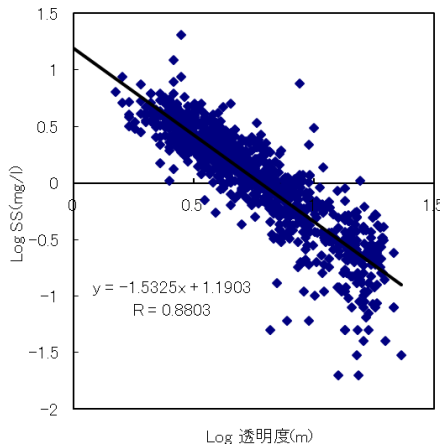


図3 透明度とSSの関係

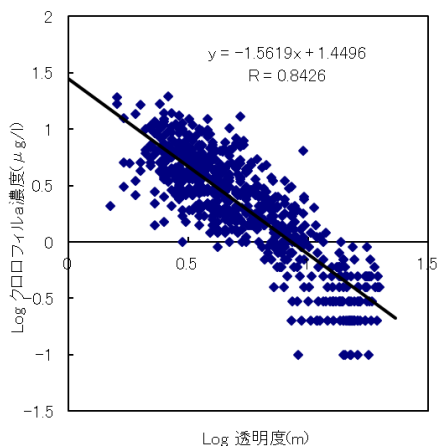


図4 透明度とクロロフィル a の関係

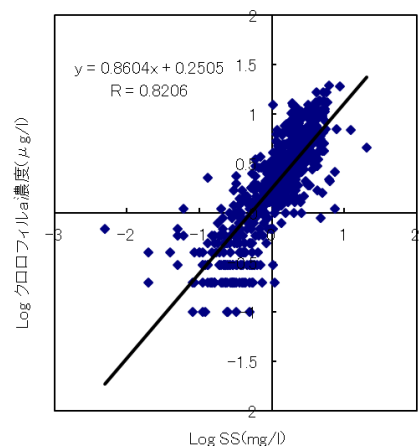


図5 SSとクロロフィル a の関係

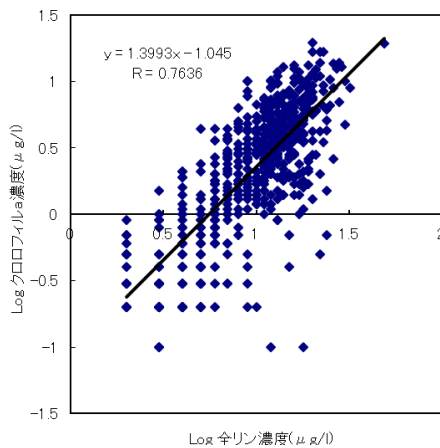


図6 TPとクロロフィル a の関係

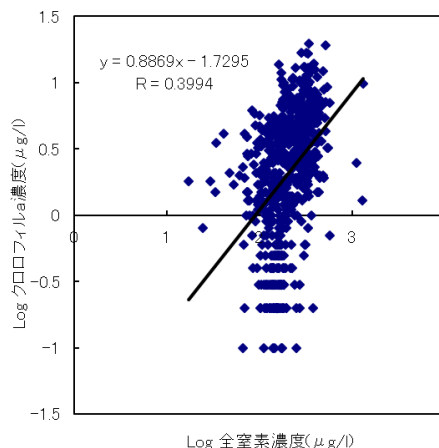
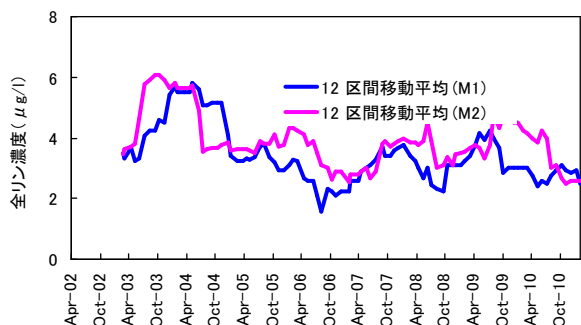
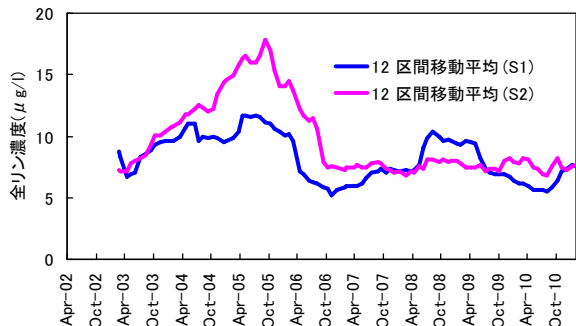


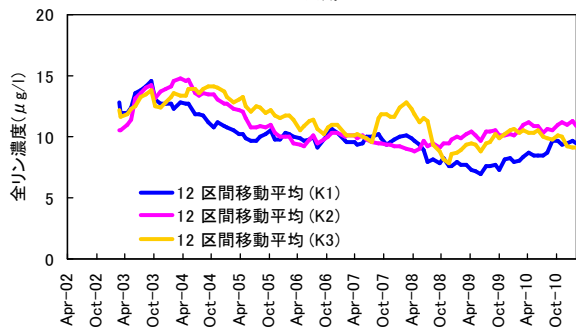
図7 TNとクロロフィル a の関係



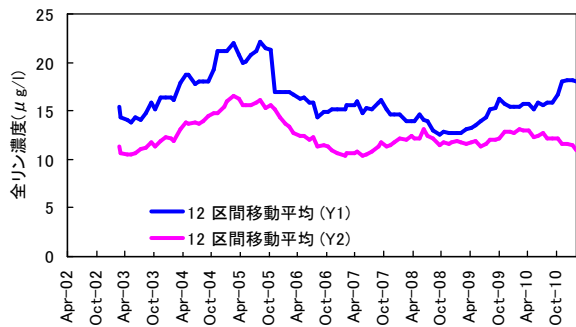
本栖湖



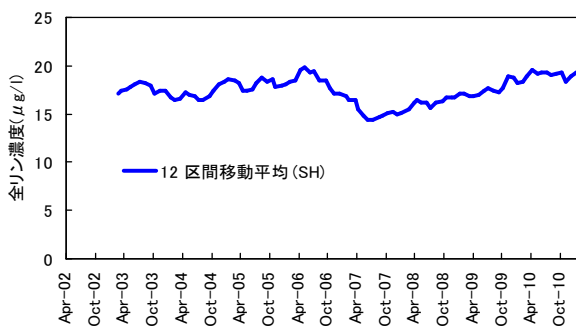
西湖



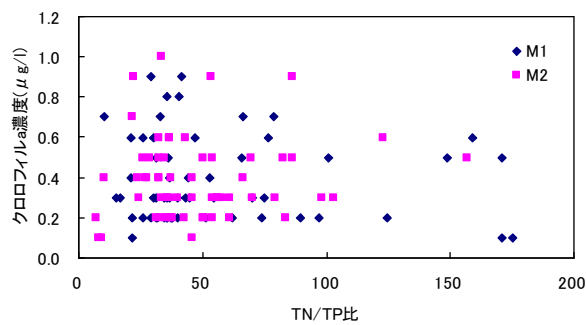
河口湖



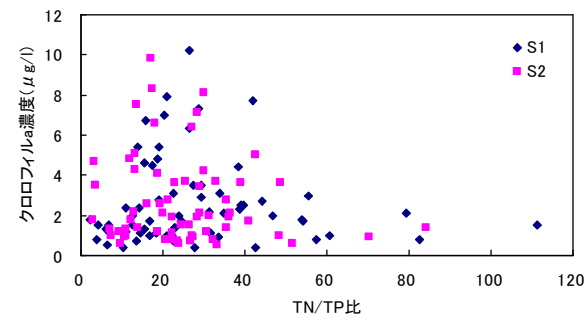
山中湖



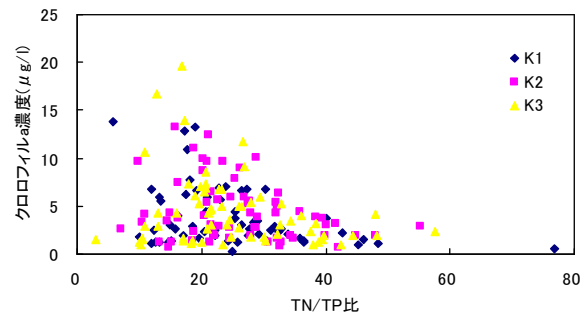
精進湖



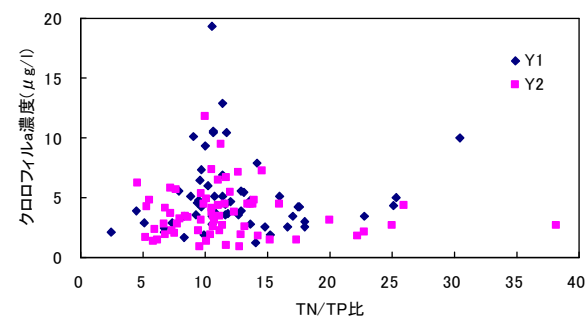
本栖湖



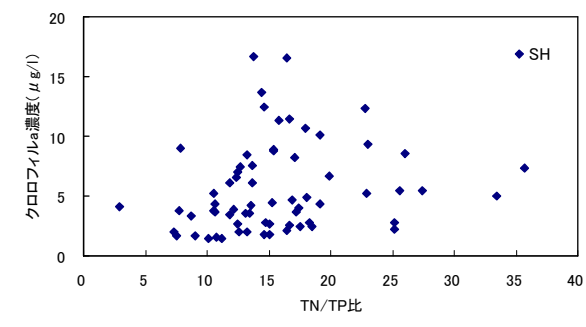
西湖



河口湖



山中湖



精進湖

図8 全リンの経年変化 (12ヶ月移動平均)

図9 TN/TP比とクロロフィル a 濃度の関係

### 3.5 TN/TP比を用いた水質評価

植物プランクトンが光合成を行う際、ほぼ一定の割合のTN/TP (Redfield比7.2)の比率で各元素を取り込んでいることが知られている<sup>6)</sup>。この値より高い場合はリン制限、低い場合は窒素制限として評価されている。本報告では、TN/TP比を用いて植物プランクトンの増殖を制限する要因を解析した。解析には、2002年～2010年度までのクロロフィルa、TN、TPが測定されている月を対象とした。各湖のクロロフィルaとTN/TP比の関係について図9に示す。

本栖湖:M1とM2は、TN/TP比が高くすべての月でリン制限と評価した。クロロフィルa濃度は、TN/TP比に依存することなく変動したが、1.0 mg/lを越えることはなかった。

西湖:S1とS2は、ほとんどの月でリン制限と評価した。クロロフィルa濃度はTN/TP比が10～30の時に高濃度になる傾向が見られた。

河口湖:K1とK2、K3はほとんどの月でリン制限と評価した。クロロフィルa濃度は、TN/TP比が10～30の時に高濃度になる傾向が見られた。

山中湖:Y1とY2はTN/TP比が7.2より低くなる時があり、窒素制限とリン制限の両方が存在した。クロロフィルa濃度は、TN/TP比が約10の時に高濃度になる傾向が見られた。

精進湖:SHはほとんどの月でリン制限と評価した。クロロフィルa濃度はTN/TP比が10～20の時に高濃度になる傾向が見られた。

富士五湖は、TN/TP比に当てはめると山中湖を除いてリン制限であることが確認された。しかし、TN/TP比とクロロフィルa濃度に相関が得られず、クロロフィルaの増殖にはTP濃度以外の要因があると考えられ他の原因因子(水温等)も合わせて今後解析が必要であった。

### 3.6 春季の全リン濃度と夏季のクロロフィルa濃度の関係

3.3で示したように、湖水中のクロロフィルa濃度とTP濃度には高い相関関係があり、TP濃度が高くなれば植物プランクトン量も多くなる。新編湖沼調査法では、温帯のいくつかの湖について植物プランクトンが増殖する前の春季循環期のTP濃度と増殖後の夏季のクロロフィルa濃度の間に高い相関関係があることが報告されている<sup>7)</sup>。これにより、春季のTP濃度で増殖後の植物プラ

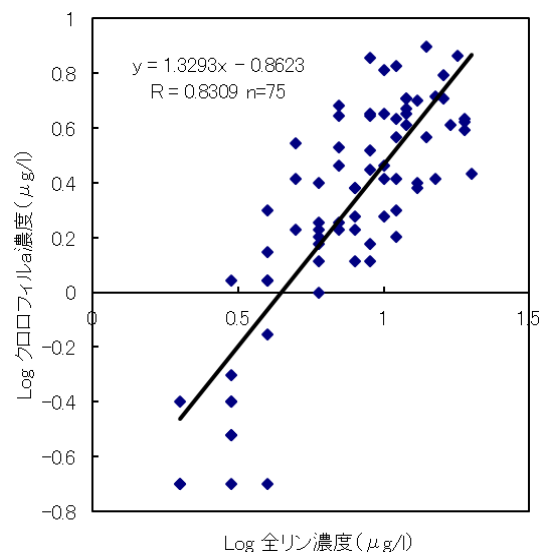


図10 春季TP濃度と夏季クロロフィルa濃度の関係

ンクトン量をおおまかに予測することができる。2002年から2010年度の春季のTP濃度とその年の夏季のクロロフィルa濃度の関係を図10に示す。春季のTP濃度は、1月から3月で最も低い値を使用し、夏季のクロロフィルa濃度は7月から9月の間で最も高い値を使用した。ただし、TP濃度が1 μg/l以下のデータは、定量下限値未満のため解析から除いた。その結果、春季のTP濃度と夏季のクロロフィルa濃度には高い相関関係(図10, R=0.83)が得られ、富士五湖においてもこれらの関係が成り立っていることが確認された。これは富士五湖が狭い地域に存在するにも関わらず、温帯地域の湖の関係を示すことができ、富士五湖の水質環境を把握することは意義の高いものであると考えられた。今後は、より正確にクロロフィルa濃度を予測できるように気象条件等も考慮して検討していきたい。

### まとめ

本報告は2002年4月から2010年3月までの富士五湖補足調査のデータを解析したものであり、以下のことが明らかになった。

- 1) 富士五湖の透明度は近年回復傾向にあるか、ほぼ横ばいで推移していた。
- 2) 透明度とSS、クロロフィルa濃度にそれぞれ高い相関関係が得られ、透明度を低下させる原因として植物プランクトンの影響が大きい可能性が示唆さ

れた。

- 3) 植物プランクトン量とTP濃度に相関関係が得られ、湖水の水質保全のためにTP濃度の監視が重要であると考えられた。富士五湖のTP濃度は、ほぼ横ばいで推移しているか減少傾向にあった。
- 4) TN/TP比 (Redfield比) から各湖の植物プランクトンの増殖を制限している元素を検討した結果、本栖湖、西湖、河口湖、精進湖はリン制限であった。山中湖は窒素制限またはリン制限であった。
- 5) 春季のTP濃度とその年の夏期のクロロフィルa濃度に相関関係が得られ、植物プランクトンが増殖する前に、次式によりおおまかな量を予測できることが示唆された。

$$[\text{クロロフィルa}, \mu\text{g/l}] = 10^{(1.3293 \log [\text{全リン}, \mu\text{g/l}] - 0.8623)}$$

### 参考文献

- 1) 有泉ら: 山梨県衛生公害研究所年報, 41, 63-71 (1997)
- 2) 日本水道協会: 上水試験法 (1985)
- 3) 清水ら: 山梨県衛生公害研究所年報, 34, 52-55 (1990)
- 4) 堤ら: 山梨県衛生公害研究所年報, 19, 23-26 (1976)
- 5) 保坂ら: 日本大学生産工学部研究報告A, 42, 19-31 (2009)
- 6) 藤本ら: 水環境学会誌, 18, 901-908 (1995)
- 7) 西条八束, 三田村緒佐武: 新編 湖沼調査法, 96-97, 講談社, 東京 (1995)