

4. 精進湖における栄養塩類の成層^{1) 2)}

堤 充 紀 笠 井 和 平
 中 島 郁 子 田 中 正 二 郎

緒 言

湖水は一般に春から夏にかけて水温が正列に成層し、いわゆる夏季停滞期となる。このとき水温は、はじめ表面からの深さが増すに従って徐々に低下し（表水層）、途中変水層とよばれる水温が急激に低下する層をはさんで、深水層へと連続している（図1参照）。

このように水温が正列に成層した場合には上下水層間の混合はほとんど行なわれなくなり、生物活動等によって湖水中の化学成分も一部成層することが知られ³⁾、特にリンについては底層に行くに従って濃度が増加するという、顕著な成層の例が米国で報告されている⁴⁾。また窒素化合物の場合も同様に成層することが推論されるが、顕著な例は見あたらない。日本の湖については堀江

が琵琶湖で詳しく調査した例が発表されている⁵⁾。

筆者らは1972年8月23日精進湖において、栄養塩類としてアンモニア性窒素(NH_4^+-N)、硝酸性窒素(NO_3^--N)、溶解リン酸性リン($\text{PO}_4^{3--}\text{P}$)、全リン(T-P)を測定しその成層状態を詳しく観測したのでここに報告する。

実 験 方 法

採水方法：湖心部にボートを固定して深層の湖水試料は転倒採水器を使用して採取し、ポリエチレンびんにたくわえ研空室に持ち帰ってすみやかに次に述べる5以下の分析を行なった。

分析方法：

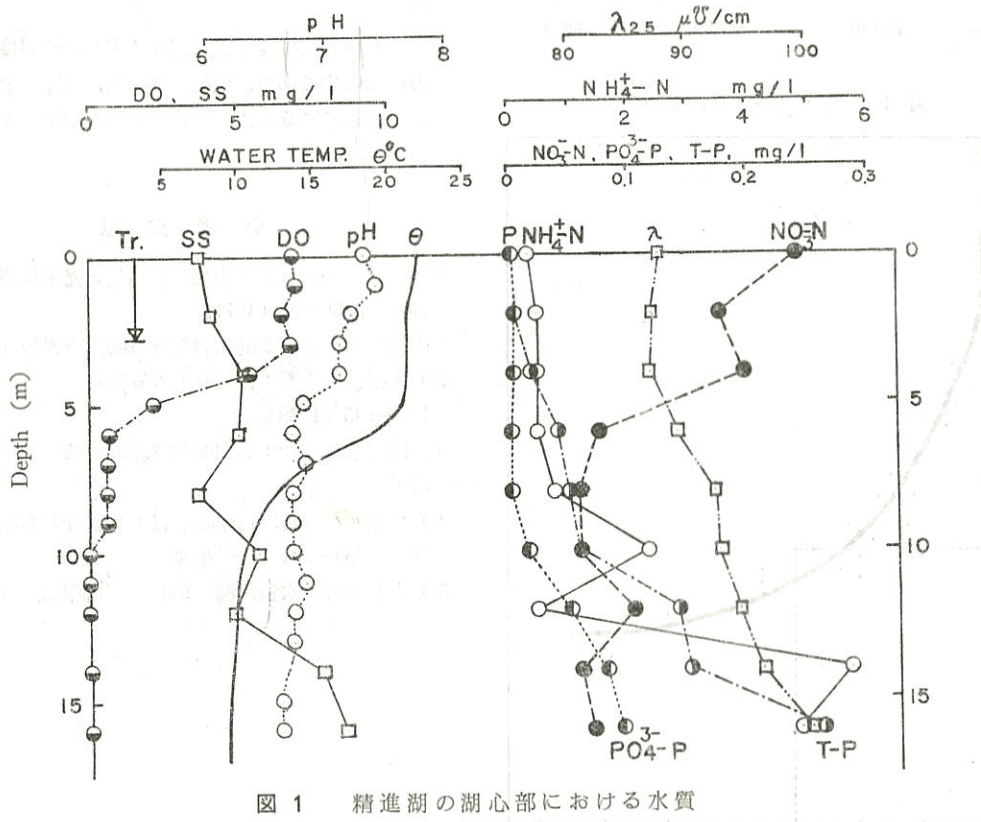


図 1 精進湖の湖心部における水質

1972年8月23日 午前10:50~12:35, 天候 晴,
 気温 20.9°C~21.5°C, 風波 おだやか,
 水深 17.5m, 水色 : 9, 透明度 (Tr) : 2.8m

- 1 透明度, 水色: それぞれセッキ板, Forel 水色計を用いた。
- 2 水温: サーミスター温度計で測定した。
- 3 pH: 比色法によった。
- 4 溶存酸素 (DO): Winkler アジ化ナトリウム変法⁶⁾を採用した。
上記の4項目は現地で測定した。
- 5 導電率 (λ_{25}): 持ち帰り試料について採取日に研空室で測定した。
- 6 懸濁物質 (SS): 試料 500~1000 ml について採取の翌日 G 4 ガラス濾過器をもちいて濾過し, 105~110 °C で乾燥後秤量して測定した⁶⁾。この場合はじめの濾液は捨て残りの濾液を NH_4^+-N , $\text{N O}_3^--\text{N}$, $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ の定量に使用した。
- 7 NH_4^+-N : Nessler 法⁶⁾。
- 8 NO_3^--N : フェノールジスルホン酸法⁶⁾。
- 9 $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$: Murphy らによる改良モリブデン青吸光法⁷⁾を採用した。この方法は J I S 0102-1972 の方法にくらべ, 低濃度の場合にも再現性がよかった。
- 10 T-P: 濾過前の試料について有機物等にとり込まれている非溶解性リン化合物を過塩素酸分解^{8) 9)}したのち, 上記9の方法に従って定量した。

実験結果および考察

実験結果を図1に示した。図から明らかなように水温は完全な夏季停滞型成層となり, 深さ0~5 mではほぼ一定(22~21 °C)で表水層をなし, 5~10 mが変水層であり, 10 m以深が深水層となっている。

DOは深さ3 mから急激に減少をはじめ, 6~9 mで一担0.6 mg/lのプラトーを作るが, 10 m以深では完全な無酸素状態となっている。すなわち, 4~5 m以上の深さでは魚類はもとよりプランクトンも棲息できないと考えられる。一般に表水層では表面からの酸素の補給が可能といわれ, さらに透明度も2.8 mあるので深度5 mくらいまでは光合成による酸素の放出も考えられるにも拘らず, DOがすでに3 mの深さから急激に低下しはじめているのは, 多分表水層において植物プランクトンの数が少ないこと^{2) 10)}, および好気性分解による酸素の消費がはげしいためと考えられる。

pHは0~4 m層では7.1~7.4であるが, 5 m以深では6.8~6.6に低下している。一般に強酸性の湖を除いて, 湖水のpHは大体炭酸ガスや重炭酸イオンの量で決定される³⁾から, この事実は溶解している炭酸ガスおよび重炭酸イオンの増加を示すと考えてよいだろう, ($\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$)。すなわち5 m以深での

pHの低下は, 深さ4~5 mくらいを境にして浅い方では栄養の生成(CO_2 の消費)が優先し, より深い方では栄養の分解(CO_2 の発生)が優先していることを示している。これはDOの測定結果からの推論とよく一致している。

図1の右側の部分には, 導電率および栄養塩類の垂直分布の状態を示した。

導電率の曲線は, もし塩類の組成に変化がないものと仮定すれば, 深さと共に溶解している塩類の濃度の増加(湖水の密度の増加)の傾向があることを示している。

窒素化合物については, NH_4^+-N は深さが増すと共に増加する傾向にあり, NO_3^--N は逆に減少する傾向にある。アンモニウムイオンは, 雨水, 河川, 下水等の流入水を除けば, 主として沈澱したあるいは沈澱しつつある窒素性有機物が嫌氣的に分解することによって由来するから, 深層の方が濃度が高いのであろう。このようにして生成したアンモニアは硝化細菌により好氣的に酸化され, 最終的には硝酸イオンの形となるためDOの多い表水層で NO_3^--N が増加しているのであろう。これとは反対に, 硝酸イオンの一部は嫌氣的に還元され⁹⁾てアンモニウムイオンとなり, 深層における NH_4^+-N の増加に寄与していると考えられる。

表水層に溶解している硝酸イオンは, 植物プランクトンによって吸収同化されてさらに濃度が低下してもよいと考えられるが, 次に述べるリン系の栄養の不足のため, プランクトンの増殖がおさえられ吸収されないまま溶解しているのであろう。

溶解性リン酸イオン(pH 6~8ではおもに H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} の形)としてのリン($\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ であらわした)は, 0~8 mまでの表水層および変水層域では0.005 mg/l以下であるが, 10 m以上の深水層では深さと共に増加し16 mでは0.095 mg/lにまで達している。リンは動植物体中では, 種々のリン酸塩, リン酸エステルとして存在しているため, $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ も NH_4^+-H と同様に, 沈澱したあるいは沈澱しつつある動植物体等の分解により生成し湖水中に拡散するものであるが, 停滞期であるため拡散はさまたげられ, 表水層中では植物プランクトンによりほとんど吸収し尽され, 窒素系の栄養は豊富であるにも拘らず, プランクトンのより以上の増加をおさえられているものと考えられる^{11) 10)}。(生物体に必要な窒素とリンの比は5.3~6:1といわれる¹¹⁾)。

T-Pについては, $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ にさらにSS中にも含まれている完全に分解されていない有機性の種々のリン酸塩(エステル)が加わるため, 4~8 mの変水層域にも測定され, 深水層では $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ と同様深さと共に増加している。なお16 mでの $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}/\text{T-P}$ の値は0.36であった。

以上述べてきたように、1972年8月23日の精進湖においては、DO, pH, λ_{25} , NH_4^+-N , NO_3^--N , $\text{PO}_4^{3--}\text{P}$, T-Pの垂直変化が顕著であり合理的に解釈できた。すなわち、pH, DO, NO_3^--N は深さと共に減少する傾向があり、 λ_{25} , SS, NH_4^+-N , $\text{PO}_4^{3--}\text{P}$, T-Pは増加する傾向にあり、そしてこれらはおもに栄養生成作用（プランクトン増加）および栄養分解作用に帰結できた。

一方、富士五湖中最も汚染されていない^{2) 10)}本栖湖では、40 m（水深は133 m）まではこの精進湖のような垂直変化はなく、汚染が進んでいるといわれる河口、山中両湖でもこれほど顕著ではなかった。

結 び

湖の富栄養化はリンによって行なわれる^{3) 12)}ともいわれるが、この精進湖の場合、窒素系の栄養は各層にわたって豊富であるが、それにくらべ表水層、変水層のリン系栄養が少なく、藻やプランクトンの増殖を抑制していると考えられる。しかし深水層ではかなりのリンの蓄積があり、これが表水層へ十分に拡散されるようになり、いわゆる開発が進み、リンを多量に含むし尿排水、生活排水等の流入が増加するならば、精進湖の富栄養化はさらに早い速度で進行するものと思われる。

文 献

- 1) この報文を富士五湖の水質に関する調査研究（第3報）とする。
- 2) 前報（第1, 2報）, 笠井和平, 大木 学, 中島郁子, 山梨県立衛生研究所年報, No. 15, 45-47, 48-52 (1971)。
- 3) 山本荘毅編, 地球化学講座 9 陸水, 共立 (1968) p. 181~259。
- 4) D. G. Frey (Ed.), Limnology in North America, Madison p. 375 (1963)
- 5) 堀江正治, 日本の湖, 日経新書 (1964)。
- 6) 日本水道協会編, 上水試験方法, 同協会 (1970)。
- 7) J. Murphy, J. P. Riley, Anal. Chim. Acta, 27 31~36 (1962)
- 8) 高橋武雄編, 超微量成方分析 3, 水, 産業図書 p. 78 (1972)。
- 9) 西条八束, 湖沼調査法, 古今書院 p. 117 (1957)
- 10) 環境庁自然保護局, 国立公園湖沼水質調査報告書, p. 162 (1972)。
- 11) 杉山昭典他編, 衛生工学ハンドブック, 朝倉 p. 898 (1967) およびその引用文献。
- 12) F. R. Hayes 他, J. Ecology, 40, 202 (1952)。