

鹿児島県鰻池のクロロフィルと有機懸濁物

著者	市川 敏弘, 松本 裕子
雑誌名	鹿児島大学理学部紀要. 地学・生物学
巻	27
ページ	221-227
別言語のタイトル	Chlorophyll and Particulate Organic Matter in Lake Unagi, Kagoshima Prefecture
URL	http://hdl.handle.net/10232/00006957

鹿児島県鰻池のクロロフィルと有機懸濁物

*市川敏弘・松本裕子

(1994年10月17日)

Chlorophyll and Particulate Organic Matter in Lake Unagi,
Kagoshima Prefecture

Toshihiro ICHIKAWA and Yuko MATSUMOTO

Abstract

Depth-time diagrams of temperature, dissolved oxygen, chlorophyll *a*, and particulate organic carbon in 50 m water column in Lake Unagi, Kagoshima Prefecture, were studied from November 1983 to October 1984. The pattern of temperature distribution was strongly characterized by thermocline observed in summer. The thermocline was completely destroyed in winter by cooling of water column. Below 25 m depth, the temperature showed a relatively uniform value around 10°C through the year. The oxygen concentrations ranged from almost zero to 9 ml/l. The higher oxygen content was observed in summer and the oxygen maximum coincided with chlorophyll maximum layer. The low values of oxygen less than 1 ml/l appeared below 35 m depth in autumn. The oxygen content in winter was uniform in the entire water column. The characteristic chlorophyll maximum in the water column was located just above or in the thermocline in summer. The chlorophyll content in the maximum layer was above 10 μ g/l, and rapidly decreased with depth less than 1 μ g/l. The total amounts of chlorophyll in the water column was high in summer and low in winter.

The particulate organic carbon concentrations ranged from 100 to 700 μ gC/l. The pattern of depth-time variation of carbon was essentially similar to the chlorophyll variation. This suggests that a significant fraction of particulate organic matter in Lake Unagi is originated from phytoplankton living in the euphotic layer.

Key words: Lake Unagi, Temperature, Oxygen, Chlorophyll, Particulate Carbon

* 鹿児島大学理学部生物学教室 890 鹿児島市郡元1丁目21-35
Department of Biology, Faculty of Science, Kagoshima University, 1-21-35Korimoto, Kagoshima
890, Japan.

はじめに

鰻池は鹿児島県にある火口湖で、水面高度120m、湖岸線4.5km、面積1.15km²、最大深度56mのほぼ円形をした湖である(西条, 1968)。山川町ではこの湖水を農業用水及び上水道の水源として用いている。鰻池は昭和初期には透明度が10mを越す貧栄養湖であったが、近年生活排水の流入や水産養殖などにより富栄養化が急速に進行し、1970年代には藍藻と鞭毛藻の水の華(赤潮)がたびたび発生するようになり、透明度は1m以下に低下することもあった。われわれは鰻池の低次生産系の物質循環を解明することを主な目的として、1978年から1984年の間に計48回調査を行ってきた。ここでは、1983年11月から翌年10月までの期間の水温、溶存酸素、植物プランクトン(クロロフィル)、および有機懸濁物(有機炭素)の分布について報告する。これは鰻池の環境管理に関する基礎資料となるものである。

方 法

鰻池の最深部付近に定点を設け、表面から50m層までの水柱について調査を行なった。調査は1983年11月から1984年の10月までの期間に計11回行なった。実験に用いた試水は、容量6リッターのバンドーン採水器を用いて、0、5、10、15、20、25、30、35、40、45、50m、およびそのときの補償深度の計12層から採水された。補償深度は透明度板(セッキディスク)を用いて測定された透明度の2倍の深さとした。溶存酸素は採水後ただちに試水を酸素瓶に移し、船上で酸素固定してから数時間以内にウインクラー法によって測定した。水温は棒状水銀温度計で測定し、残りの試水は5リッターのポリタンクに入れて実験室に持ち帰った。この試水を1~2リッターワットマンGF/Cグラスファイバーフィルターで吸引濾過してフィルター上にプランクトンを含む懸濁物を捕捉し凍結保存した。このフィルターを用いて、植物プランクトンは吸収法によりクロロフィルaとして測定し、また有機懸濁物は湿式酸化法で粒状有機炭素として定量した。有機炭素測定に用いたフィルターは、製造の過程でフィルターに含まれている有機物を除くために、使用前に電気炉で450℃で3時間焼いたものを用いた。また、濾液を250mlのポリビンで凍結保存して栄養塩(硝酸、亜硝酸、アンモニア、リン酸)の分析に用いた。クロロフィル、粒状有機炭素、および栄養塩の測定はStrickland and Parsons (1972)に従って行なった。

結 果

Fig. 1 に水温の時間的変動を示す。表面水温は年間を通して9.0~30.5℃の変動を示し、2月に最も低く7月に最も高い値となった。最も大きな特徴は、夏から秋にかけて水温躍層(変水層)が形成されることであろう。特に7月から9月では、5~15m層に強い水温躍層が発達し、たとえば9月では5mの水深の変化で12℃という急激な低下を示した。この水温躍層は、春の気温の上昇とともに徐々に形成され秋まで継続するが、冬期の表面からの冷却による湖水の鉛直混合によって1月から3月には完全に消失する。このため、1月から3月までは表面から50mまで全水柱で水温は均一となり、特に2月には水温が最も低い値(9.0℃)を示した。このように、表面から20m層までは水温の変動が大きいが、それ以深では年間を通して変動幅は小さく9~10℃であった。

Fig. 2 に溶存酸素の分布を示す。溶存酸素は湖面を通して大気から供給され、また植物の光合成によっても水中に放出される。一方、溶存酸素は動植物の呼吸や微生物による有機物の分解で消費されていく。したがって、酸素の分布は湖水の生産と分解を知るうえで有力な情報となる。鰻池の溶存酸素

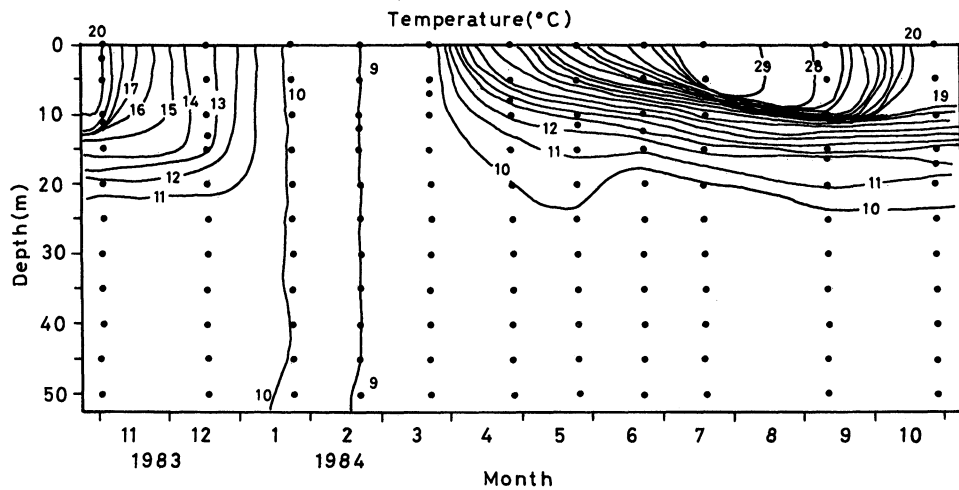


Fig. 1 Depth-time diagram of temperature.

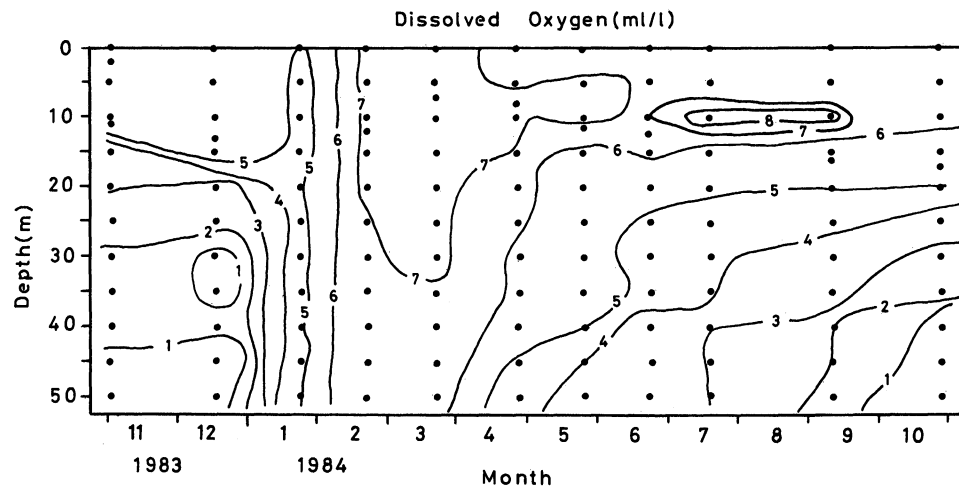


Fig. 2 Depth-time diagram of the concentrations of dissolved oxygen.

素濃度は最大9.0 (7月, 10m) から酸素が全く検出できない嫌気的環境 (11月, 50m) に至る範囲まで広く分布した。溶存酸素は湖水の鉛直混合が50m層にまでおよぶ1, 2月では表面から50mまで均一の値を示した。1月の濃度が2月よりも低いのは, 1月以前の深水層の溶存酸素濃度が低く, その影響が現れたためであろう。また水温が低いほど飽和濃度が高くなるので, 鉛直混合がさかんで水温が最も低い2月には全水柱で7.0ml/lと濃度が高い。水温躍層が形成される時期では躍層以浅では濃度が高いが, 深水層では有機物の分解の進行とともに溶存酸素は徐々に消費され, 特に10月以降は35m以深で1 ml/l以下となる。

7月から9月の15m層では溶存酸素は8.0ml/l以上の最大濃度を示したが, この層とクロロフィルの極大層とがよく一致する (Fig. 3) ことから, この酸素極大層は植物プランクトンの光合成の影響によるものと考えられる。

Fig. 3はクロロフィル a の時間的変動を示す。クロロフィル a は湖沼・海洋のすべての植物プランクトンに含まれる色素であるので, 植物プランクトンの現存量や基礎生産の指標として広く用いられている。クロロフィルの鉛直分布は光の分布の影響を大きく受け, 一般に有光層で濃度が高く深さと

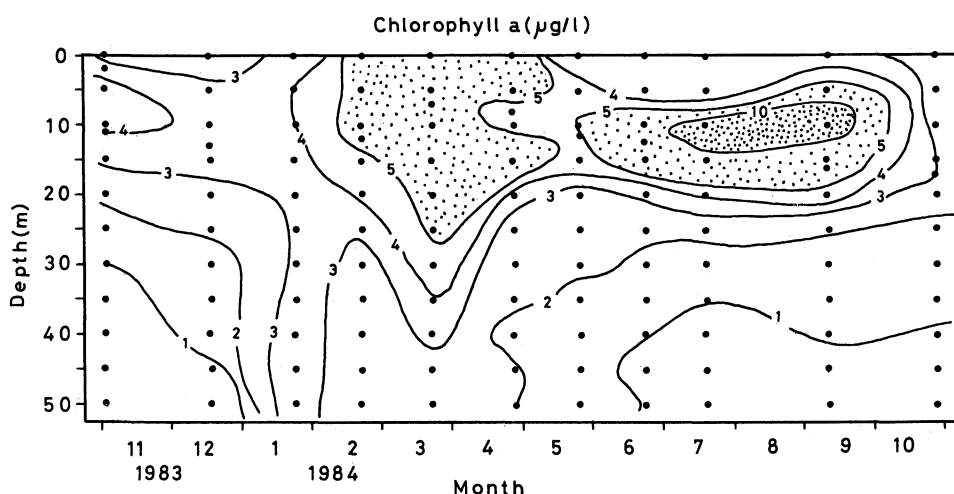
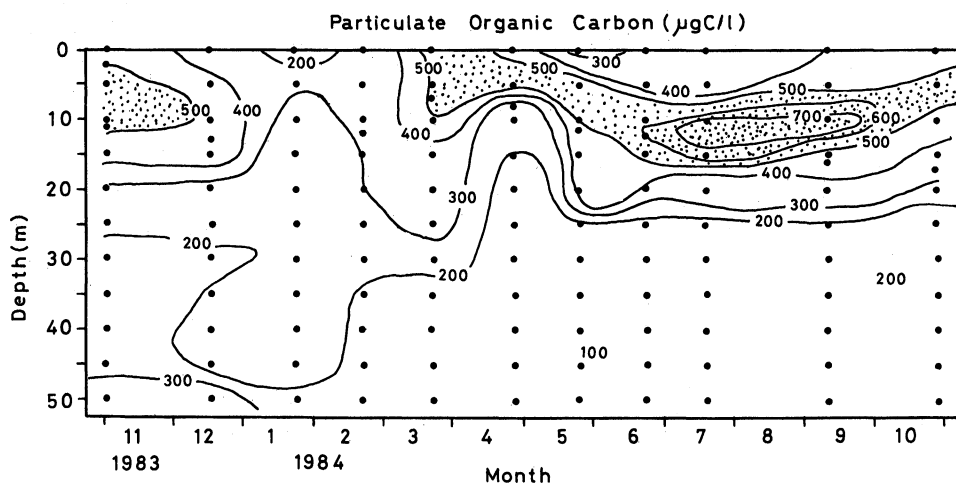
Fig. 3 Depth-time diagram of the concentrations of chlorophyll *a*.

Fig. 4 Depth-time diagram of the concentration of particulate organic carbon.

ともに急速に低くなる。ただし、日射の強い地域では、真夏の表面における光が強すぎて強光阻害が生じて表面のクロロフィル濃度は低くなる。鰻池でも7~9月の表面で強光阻害が観察され、特に7月の表面では $1.7 \mu\text{g/l}$ と低濃度で10m層 ($31 \mu\text{g/l}$) の18分の1であった。鉛直分布の最も大きな特徴は、クロロフィル極大層が出現することであろう。5月から9月までの期間、5~20m層に $5 \mu\text{g/l}$ 以上の極大層が観察され、これは水温躍層とよく一致する。特に7~9月では極大層の濃度は $10 \mu\text{g/l}$ の高い値を示した。極大層以深では濃度は急速に減少し、6~12月では40m層で通常 $1 \mu\text{g/l}$ 以下となる。1月の深水層では $4 \mu\text{g/l}$ 前後の高い値を示すが、これは冬期の鉛直混合の結果であり、クロロフィル極大層が破壊され全水柱ではほぼ同じ濃度となっている。今回得られた季節変動の特徴は、春から夏にかけて植物プランクトンの現存量が大きくなっていき、特に夏に最大のピークを持ち、秋から冬に向かって低くなることである。

Fig. 4 に粒状有機物の分布を有機炭素濃度で示した。粒状物とは一般にメンブランフィルターやガラスファイバーフィルターで濾過したときにフィルター上に捕捉されるものとして任意に定義されているが、ここではガラスファイバーフィルターで捕捉されたものを粒状物とした。粒状物には植物プ

ランクトン、動物プランクトン、原生動物、バクテリアなどの生物とこれらの生物の分解産物であるデトライタスが含まれる。湖水や海水から生物と非生物（デトライタス）とを分離することは今のところ不可能であり、したがって粒状有機物とは生物と非生物の両方を含んだものであることに注意しなければならない。しかしこれらのうち、デトライタスと植物プランクトンの占める割合が最も大きく、特に有光層以深ではデトライタスが量的に多いと考えられる。調査期間で粒状有機炭素は100前後から600 $\mu\text{gC}/\text{l}$ を超える濃度まで変動した。低濃度は春から秋にかけて深水層でしばしば見られ、高濃度は夏期の10m層付近に観察された。鰻池の粒状有機炭素分布の大きな特徴は、炭素とクロロフィルとの分布パターンが似ていることである。特に粒状有機炭素の極大層はクロロフィル極大層と一致する傾向が見られ、このことは粒状物の変動に植物プランクトンが大きく関係していることを示すものである。

考 察

以上の結果、1983年11月から翌年10月までの1年間の変動パターンが明らかになった。しかし、湖沼の植物プランクトンや粒状有機物の現存量は環境要因の変動の影響を直接に受けやすく、一定した変動パターンが毎年繰り返されているとはかぎらない。鰻池の場合でも、クロロフィルと有機炭素の現存量が最大となる月が年によって異なることを示す証拠がわれわれの調査で得られている。たとえば、表面から50m層までのクロロフィルの積算値は、1982年では4月に最も高い値(360 mg/m^2)を持ち、それ以後減少して12月に最小(87 mg/m^2)となった。ところが今回の調査では、12月に積算値が最小(108 mg/m^2)となる傾向は同様であったが、最大値(330 mg/m^2)は9月に見られ、前年度とはまったく異なる変動パターンを示した。さらに1981年度までさかのぼると、植物プランクトン現存量は12月で最大であり(329 mg/m^2)、明らかに鰻池の植物プランクトンの生産サイクルは一定したパターンではない。また、クロロフィル積算値は水の華(赤潮)が出現すると異常に高くなる(676 mg/m^2 , 1980年3月)。今回の調査を含む約3年間の調査期間では、水の華が生じたときを除くと、月別のクロロフィル積算値は87~360 mg/m^2 の変動幅に入っている。すなわち、クロロフィル現存量は年間約4倍の変動幅を持つが、その最大となる季節は一定せず、その年の環境によって決まるといことになる。

今回の調査結果の大きな特徴は、クロロフィルと粒状有機炭素の分布パターンが特に表水層と水温躍層でよく一致することであった。粒状有機物の起源はさまざま、生物と非生物懸濁粒子(デトライタス)、さらに溶存有機物からも生成されるといわれているし(Ichikawa, 1980)、湖沼では外部からの流入も無視できない。それにもかかわらず、両者の鉛直分布と時間的変動のパターンが一致することは、鰻池定点の水柱内の粒状有機物を構成するものとして植物プランクトンと植物に直接起源をもつ懸濁物が量的に最も重要であることを示すものである。クロロフィル濃度が高い表水層と水温躍層では生体の植物プランクトンの占める割合が多くなり、クロロフィルが低濃度となる深水層では相対的にデトライタスが重要となるであろう。湖沼にはさまざまな大きさの懸濁物が存在するが、生態系内での懸濁物の挙動に関してはまだ不明な点が多い。最近、湖沼に存在する数ミリ以上の大型の粒状物は最近レイクスノーとよばれるようになり、水界の物質循環系での重要性が注目されている(Grossart and Simon, 1993)。レイクスノーはマリンスノーと同様に、マイクロメートル単位の小さなサイズの粒子よりも数は少ないが、生態系で果たす役割は大きいと考えられている。この大型粒子は採水などの物理的ショックで破壊されやすいので、通常の採水器では現存量の推定が困難である。大型粒子は現存量が少なくても沈降速度が大きいので水界の物質循環で有機物の鉛直輸送に大き

な役割を果たしていると予想される。そこで、定点にセディメント・トラップを垂下して粒状有機物の鉛直輸送量の推定を試みた。トラップは口面積 5 cm^2 、高さ 20 cm のプラスチック製の円筒形で、水深 $5, 10, 15, 30, \text{ および } 50 \text{ m}$ の 5 層にそれぞれの層に 5 本ずつ蒸留水を満たして $5 \sim 10$ 日間垂下した。鉛直輸送量測定用のトラップを垂下する前に、一度まったく同様にしたトラップを垂下してただちに引き上げ、このときに入る有機炭素を測定してコントロールとした。この実験は 1984 年 3 月から 11 月の間に計 7 回行なわれた。セディメント・トラップで得られた有機炭素の鉛直輸送量は $100 \sim 300 \text{ mgC/m}^2/\text{day}$ の値を示し、深さとともに鉛直輸送量が増加していく傾向が 7 回のうち 6 回まで観察された。これは、湖が円錐形状の形態をしているために、懸濁粒子が沈降していく過程で、深くなるほど濃縮されていくためではないかと考えられる。

水温躍層上に濃縮された有機懸濁粒子はやがて沈降していくが、その過程で一部は溶存有機物として湖水に溶出し、微生物による分解を受けて栄養塩などの無機物に回帰していく。したがって、湖水が成層する期間は有機物の分解作用で深水層の溶存酸素はしだいに減少し、鰻池の場合は 11 月の 50 m 層では完全に酸素が消費し尽くされている。この嫌気的環境は栄養塩の分布に大きな影響を与える。たとえば 11 月の栄養塩（硝酸、亜硝酸、アンモニア）の鉛直分布は、嫌気的環境下の 50 m 層では硝酸還元作用によって硝酸濃度が急激に減少しアンモニアが増加している（Fig. 5）。深水層に蓄積したアンモニアは冬期の鉛直循環で有光層に輸送され、やがて植物プランクトンの光合成に利用されていく。

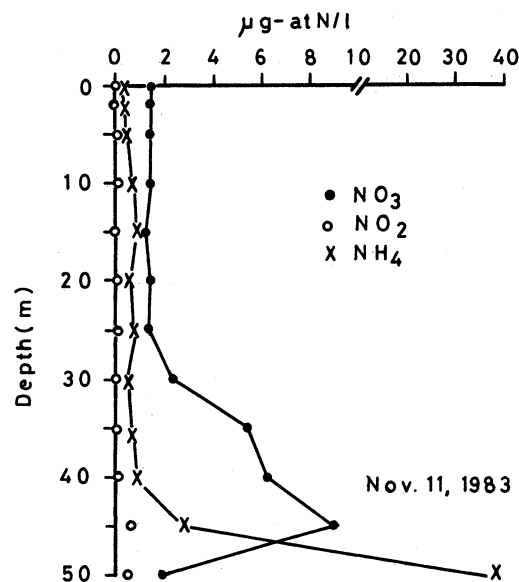


Fig. 5 Vertical distribution of nitrate, nitrite, and ammonia.

一般に湖沼の植物プランクトンの生産サイクルを決めている最も大きな要因は、有光層への栄養塩の供給速度であると考えられている。栄養塩は上に述べた生態系の物質循環によって供給されるものと、外部から流入するものがある。長期的には、栄養塩の外部からの供給が増大するにつれて富栄養

養化が進行し、その結果一次生産が高くなったと理解してよいが、短期的変動を決める要因はより複雑である。数年程度の比較的短い時間帯において、湖の外部から流入する栄養塩の供給が一定だったと仮定すれば、有光層で植物が利用可能な栄養塩は、深水層から有光層への栄養塩の供給によって決ってくるだろう。深水層に蓄積された栄養塩は、冬期の表面からの冷却による湖水の鉛直循環によって輸送される。湖面が最も強い冷却を受ける2月の水温分布は1983年では10℃前後であったが、1984年には9℃まで下がっている。これらの年度で、水温躍層が形成される期間のクロロフィル分布を比較すると、強い冷却があった1984年は前年度よりも水柱のクロロフィル積算値は2倍以上大きい。長期間の観測がないので断定的なことは言えないが、冬期の湖面の冷却の強さが有光層への栄養塩の供給量に関係し、その年の生産量を決める重要な要因のひとつになっているのではないかと予想される。

謝 辞

この調査の試料収集にあたり、山川町役場および鹿児島大学理学部無機化学及び分析化学講座の皆様にご協力いただいた。ここに厚くお礼申し上げます。

文 献

- Grossart, H. P. and M. Simon. 1993. Limnetic macroscopic organic aggregates (lake snow): occurrence, characteristics, and microbial dynamics in lake Constance. *Limnol. Oceanogr.* 38, 532-546.
- Ichikawa, T. 1980. Particle formation from dissolved material by the use of a continuous harvesting system. *Rep. Fac. Sci. Kagoshima Univ. (Earth Sci. & Biol.)*, 13, 131-144.
- 西條八束。1968.湖沼調査法。古今書院，東京。
- Strickland, J. D. H. and T. R. Parsons. 1972. A practical handbook of seawater analysis. Fish. Res. Bd. Can., Canada.