

## 木崎湖湖底堆積物中の珪藻殻

林 秀剛・飛沢 浩\*・清沢弘志\*\* (信州大・理・生物)

Diatoms in sediment core of Lake Kizaki

Hidetake Hayashi, Hiroshi Hizawa\*, and Hiroshi Kiyosawa\*\*

### はじめに

湖とそれを取りまく環境の変遷を知る手掛かりとして湖底堆積物が重要であることはよく知られている。堆積物の層序中に含まれている、化学物質や生物的要因を読みとることによって過去の状況を推定する方法であり、そうした生物的要因としては、植物の花粉や遺体、珪藻殻、甲殻類遺体、などがある。中でも、珪藻は成育環境の変化に比較的敏感に対応すること、殻が珪酸の重合体で堆積物中での保存性が良いことからしばしば環境の生物指標として用いられる(厳佐, 1976)。

湖の歴史とこれらの指標がよく対応している例として、Stockner & Benson (1967)の研究が挙げられよう。この研究、Edmondson, らによる Washington 湖に関する一連の研究 (Edmondson, 1969, などに総括) として行なわれたものであるが、Seattle市の人口増加にともなう水質の悪化、廃水規則の徹底と浄化施設の運転による水質の好転などの過程と、堆積物中の生物遺体との対応が検証されている。

我が国でも、堆積物中の珪藻殻の研究は少なくないが、それと湖の栄養状態とが結び付けられた例は必ずしも多くはない。琵琶湖、余呉湖、諏訪湖、霞が浦、などでその試みが成されているが、堆積の状況が必ずしも十分に把握されておらず、Washington湖の場合のようには見事に証明されていない。しかし、珪藻の培養上の知見の増加や、自然環境での観察なども蓄積され、珪藻殻がどのような湖の状況を反映しているかも次第に解明されてきている。

筆者らは、近年、富栄養化が問題となっている長野県大町市北方に位置する仁科三湖のひとつ、木崎湖について様々な調査を行なってきているが、富栄養化の過程が必ずしも明らかでなく、それを追跡する手段を模索してきた。ここに報告するのは、そのひとつとして湖底堆積物中の珪藻殻の分布を調べた結果であるが、湖の環境保全のための有効な知見となれば幸いである。

なお、本研究を進めるにあたっては、適切な助言をいただいた名古屋大学水圏科学研究所の西条八束教授、木崎湖の珪藻についての資料を提供いただいた東京女子林育大学福島博教授に感謝いたします。また、本研究は筆者らの研究室で進めている木崎湖の研究の一部であり、それに参加した諸氏に感謝いたします。

なお、本研究の一部は、文部省科学研究費(課題番号: 58035017, 59035020)によったものであることを付記しておく。

### 調査水域の概要と研究方法

木崎湖は1982, 83年にアメーバの大発生が観察され、社会問題となった。それより先に、ナベナのブルーム状態が観測されており、富栄養化が指摘されてきた。しかし、このブルーム状態が何時の時点から発生していたのかは、この湖の生物相に関する近年の資料が少なく、はっきりしない。古くから記録があり、しかも現在の知見とも比較可能な透明度の測定値を比較すると、1970年代の後半から急激に富栄養化が進行していることは推定されている(林・ら, 1984)。

湖底堆積物は、木崎湖の湖心部(図1)より内径4.5cmの透明アクリル管を装着した重力式コーサンプラーにより採取した。得られたサンプルは、実験室に持ち帰り、表層より2cm毎に切り、実験に用いた。同時に採取したコーサンプルにより、Eh, pH, などの測定も行なった。

コーサンプルの各層より、先端を切落した注射器を用いて1mlづつ取り、 $10^4 \sim 10^5$ 倍に希釈した懸濁液を珪藻殻の計数に用いた。計数には、懸濁液の0.1~0.05mlを野線入りスライドガラス上に取り、検鏡した。

サンプルの一部は、80℃で乾燥し、水分含量、有機炭・窒素含量を測定した。

堆積物への珪藻殻の供給量を知るため、新生沈澱物として沈降する珪藻殻を測定した。新生沈澱物の捕集には、直径10.7cm、高さ25cmの塩化ビニール製の円筒型捕集器を水深26mに設置して行なった。捕集期間は7~23日であった。採取した沈澱物は、全量を均一に攪拌し、その

\*: 現所属は、東京法令出版(株)

\*\* : 現所属は、東京都立大学理学部生物学教室

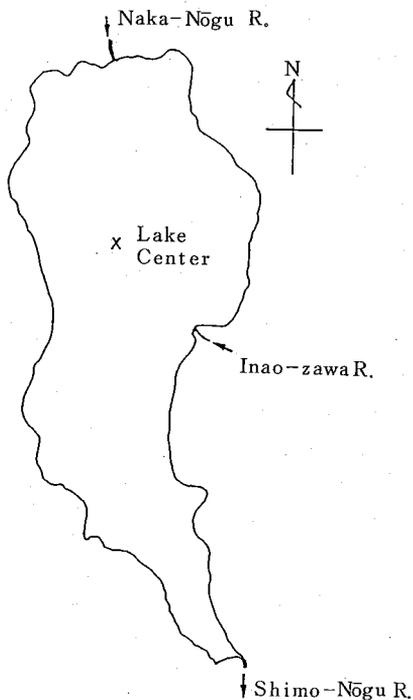


図1 木崎湖の概要と観測地点(×印)

一部ホルマリンで固定し、計数に用いた。また、一部をGF/C(Whatman Co.)濾紙により濾過し、それについて乾燥重量、有機炭・窒素含量を測定した。

また、湖水中の植物プランクトンとしての珪藻は、木崎湖の定期観測の計測の試料について計数した。

なお、珪藻は、出現頻度の高い5種を計数したが、同定は特定のものを除き属レベルまでであり、それ以上の分類は行っていない。

## 結 果

### 1) 木崎湖堆積物の性状

1982年7月20日採集のサンプルについて、EhおよびpHの測定結果を図2に示した。この時期の表層部では、黒色の還元状態を示しており、Ehは約-200~-250mVと低く、木崎湖の湖底が夏には無酸素状態となり、堆積物は還元的事であることを示している。pHは微酸性を示している。

図3には堆積物の乾燥量、有機炭素・窒素含量、およびその比率(C/N比)を示した。表層部約6cmはいわゆる浮泥状態を示し、単位体積当たりの乾燥量は100mg/ml以下と小さいが、それより下の層からは急激に増加する。有機物含量の目安となる有機炭素の含量はこの層のすぐ下部の6~8cm層で特異的に高い。そのほかの層

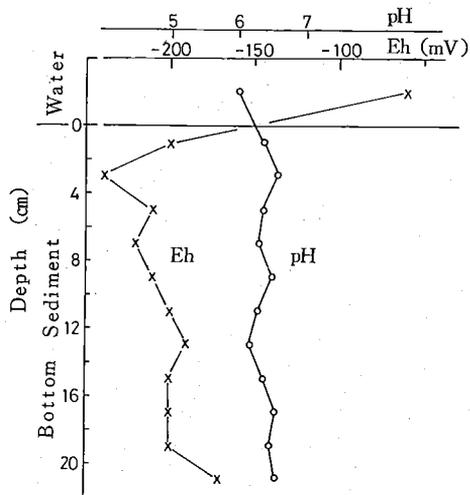


図2 木崎湖湖底堆積物のEh(mV)およびpH

では表層(0~2cm層)の約6%-d.wt.をのぞき、4%-d.wt.以下である。堆積物中の有機物分解過程を示すとされているC/N比は、表層部で約9とかなり高い。

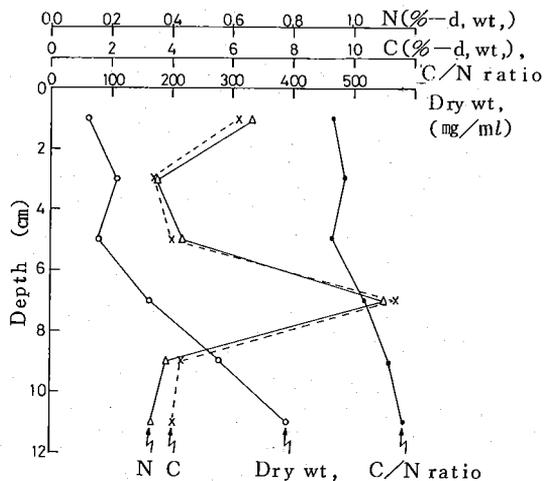


図3 木崎湖堆積物の乾燥量(mg/ml wet sed.)および有機炭・窒素含量(%-dry wt.)(1982年7月20日採取コアサンプル)

また、調査地点の生物的要因として検出される底生動物としては、ユスリカおよびフサカの幼虫、イトミミズがあるが、量的には非常に少ない(平林, 1987)。

### 2) コアサンプル中の珪藻殻分布

図4に堆積物容積当たりの珪藻殻の分量を示した。*Asterionella* spp.は表層で、 $10^7$  cells/g-wet wt.であり、約10cm以深では、減少する。これと同様な傾向を示すも

のとしては, *Synedra* spp. および *Fragilaria crotonensis* がある。これらに対し *Cyclotella* spp., *Melosira italica* があり, これらは, 表層に少なくとも下層に多い分布を示す。

図5には, この5種の総計に対する比率を示した。これから明らかなことは, 深層部では *Cyclotella* が圧倒的に多く, 表層部では *Synedra* と *Fragilaria* が多くなる傾向が認められる。

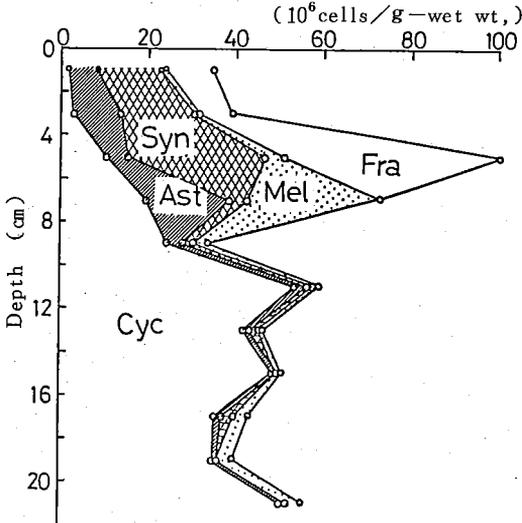


図4 木崎湖堆積物中の珪藻殻の分布(cells/g-wet wt.)。1983年4月14日採取コアサンプルについて測定。  
Cyc: *Cyclotella*, Mel: *Melosira italica*, Ast: *Asterionella* spp., Syn: *Synedra* spp., Fra: *Fragilaria crotonensis*。

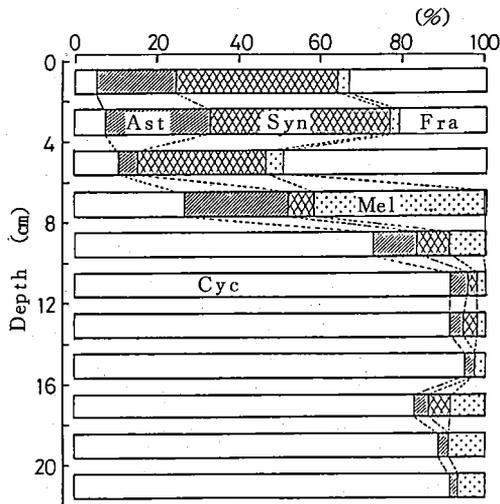


図5 堆積物中に出現する主要5種の珪藻殻の比率(%). 図中の珪藻名の略語は図4に同じ。

3) 新生沈澱物中の珪藻の構成  
新生沈澱物中に見られる珪藻のうち, 主要な5種についての季節変化を図6に示した。沈澱の総量は春および

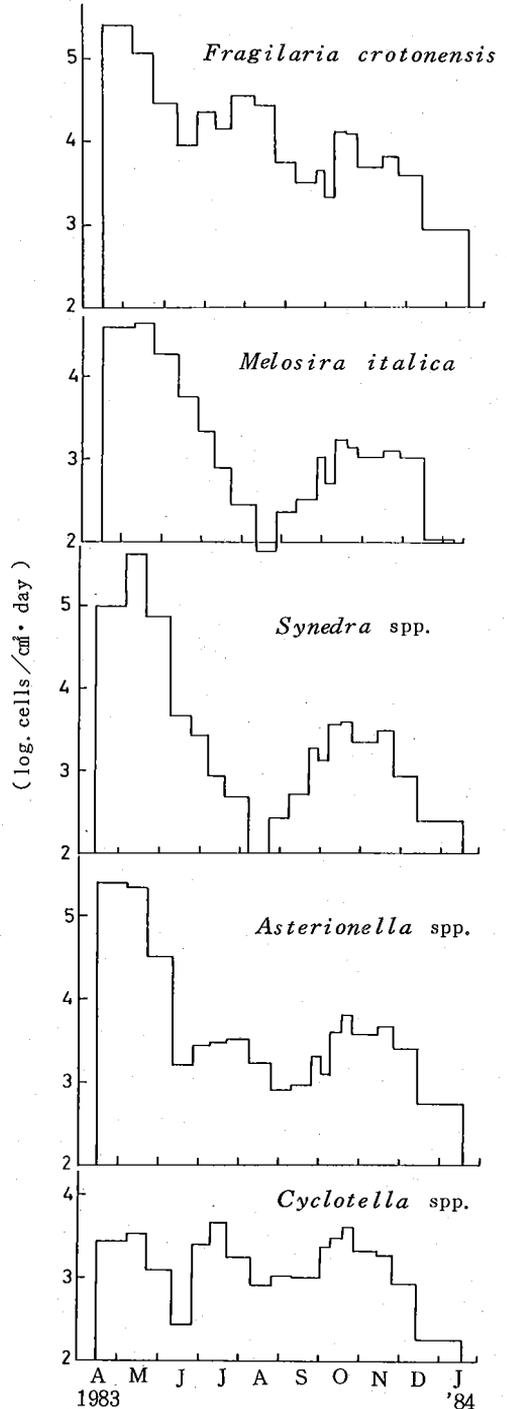


図6 新生沈澱物中の珪藻殻の季節変動 (log. cells/cm<sup>2</sup> day)

秋期の循環期に多い傾向が見られる。春は, *Asterionella* spp., *Fragilaria crotonensis*, *Synedra* spp. が  $10^5$  cells/cm<sup>3</sup>・day オーダーで多い。夏の成層期には  $10^3 \sim 10^4$  cells/cm<sup>3</sup>・day であり, *Fragilaria crotonensis* が最も多く, *Cyclotella* spp. および *Asterionella* spp. がこれに次ぎ, *Synedra* spp. は少ない。

新生沈澱物および堆積物中の珪藻の供給源は, 水中の植物プランクトンであるが, 清沢 (1984) によれば, 木崎湖においては, 近年, *F. crotonensis* が春から夏にかけて増殖しており,  $10^3$  cells/ml のオーダーを維持しており, そのほか *Asterionella*, *Synedra*, *Cyclotella* 等が検出されるとしている。図7に先述の植物プランクトンの結果 (清沢, 1984) も含め, これらをまとめて示した。新生沈澱物中における出現種とほぼ一致することが明らかである。

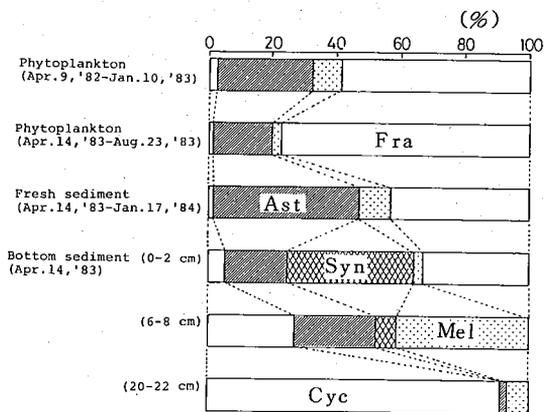


図7 木崎湖のプランクトン, 新生沈澱物, および湖底堆積物中における珪藻殻の比率 (%)

### 考 察

堆積物に含まれる生物的要因は, それが堆積する過程において, 上下方向の攪乱がないと仮定すれば, その層理は湖の生産過程の一面を記録していると考えられる。とくにそれが分解されにくいものであり, しかも環境の変化に敏感に対応するものであれば, 湖の環境の指標として使える可能性がある。珪藻についての生物指標的観点からの検討は, 比較的古くから行なわれていたが, 中でも Washington 湖の富栄養化過程とその対策の効果について Stockner & Benson (1967) がその関係を見事に実証し, 注目された。彼等の研究では, 人為的な富栄養化過程に対応して, 珪藻の中心目 (Centrales) の割合が減少し, 羽伏目 (Pennalea) の無溝垂目 (Araphidinea) が

増加するとしている。

木崎湖の堆積物をこのような観点から検討してみると, 図4に明らかなように, 8~10 cm 層以深での珪藻殻の占める割合は *Cyclotella* が圧倒的に多い。

8~10 cm 層を境に, それより上の層では構成が著しく変る。すなわち, 6~8 cm 層で中心目の *M. italica* が全体の42%を占めており, *Asterionella* も増加する。さらにその上の層では *Synedra*, *Fragilaria* が著しく増加している。これらの種と水体の富栄養度との関係を見ると, 福島・小林 (1975) は, *Fragilaria*, *Asterionella* を富栄養性プランクトンとし, *Cyclotella* を貧栄養性の珪藻としている。近年の植物プランクトン中 *Fragilaria* の占める割合が大きくなっていることからそれは証明されているといえよう。

一方, 木崎湖の植物プランクトンとしての珪藻については, 川村 (1928), 田村・畑 (1937), 等が1920~30年代の状況を報告している。これらによると, 1930年代には *Asterionella gracillima* と *Melosira italica* が優占種であると報告しており, ここでは *Fragilaria crotonensis* はリストに入っていない。その後, 安田・ら (1975) は, 1974年8月の調査結果を報告しているが, これによると珪藻では, *Cyclotella comta* が優占 (57%) しており, *Fragilaria crotonensis* はこれに次いで24.4%を占め, 細胞数では, 中層 (7 m) で  $10^5$  cells/l を報告している。また, 清沢 (1984) は, 1982~83年のプランクトン組成を経時的に追跡し, 現在の木崎湖の植物プランクトン組成は通年の平均でも *Fragilaria* が優占しており, とくに夏期に多いことを明らかにしている (図7)。

次に, このような珪藻殻を指標として, 富栄養化現象が何時から進行してきたかを推定するために, 堆積速度との関連を検討する。

木崎湖の堆積速度について, 忍 (1978) が  $^{210}\text{Pb}$  を用いて推定している。これによると, 表層堆積物のコアサンプル (0~20 cm) による測定で, 0.9 mm/year と推定している。一方, 本研究では新生沈澱物量を実測しており, これを年間の値に換算すると平均  $4.9 \text{ g/m}^2 \cdot \text{day}$  ( $178.9 \text{ mg/cm}^2$ ) となる。この値は, 西条 (1956) の1953年6月~12月における測定値  $3.3 \sim 5.9 \text{ g/m}^2 \cdot \text{day}$  と非常に近い。この値を表層部 (0~2 cm 層) の比重を用いてコアサンプルの厚さに換算すると2 cm 以上にもなる。また, 同様に表層部の珪藻殻の数と新生沈澱物として沈降する珪藻殻との関係を用いて換算すると, 約1.4 cm という値となる。もちろん, 新生堆積物がそのまま湖底堆積物として全部が残存する訳ではなく, 圧密による堆積変

化も考慮しなくてはならないが、これらの新生堆積物による推定値は異常に高い値である。堆積後の分解過程および珪藻殻の組成変化、とくに底生動物の食性との関係などについて今後さらに検討の必要がある。

いずれにしても、木崎湖において Stockner & Benson (1967) の指摘するような、無溝亜目 (Araphidineae) の珪藻である *Fragilaria*, *Asterionella*, *Synedra* が近年多くなったことは明らかであり、このことは、堆積物とプランクトン組成の両面から立証されたわけである。したがって、湖底堆積物の表層にあり、乾物量の低い浮泥状態の約 6 cm の厚さの層が、近年、急速に堆積したものであり、これが栄養塩類の水中への回帰と再沈降などとも密接に関連することは予想されることであり、さらに検討を進めて行く予定である。

こうした状況を見ると、木崎湖の湖底堆積物にも富栄養化の記録は現われており、現在の水質の決定に、これらが関与している可能性もある。今後こうした観点から堆積物を注視していくことは、湖の保全・管理の問題を考える上で有意義なものと確信する。

#### 引用文献

- (1) 巖佐 耕三 (1976) “珪藻の生物学” (東京大学出版会) pp. 136.
- (2) Edmondson, W. T. (1969) Eutrophication in North America, pp. 124-149. In “Eutrophication: causes, consequence, correctives” (National Academy of Sciences, Washington).
- (3) 川村 正雄 (1928) 木崎湖水温及び浮遊生物調査, 水産研究雑誌, 23, 243-265.
- (4) 清沢 弘志 (1984) 信州大学理学部修士論文.
- (5) 西条 八束 (1956) 湖沼における物質代謝の化学的研究, 第 4 報, 木崎湖, 中綱湖, 青木湖の沈澱現象に関する二・三の考察, 日本化学雑誌, 77(6), 930-936.
- (6) 忍 恵子 (1978)  $^{210}\text{Pb}$ 法による堆積速度決定における問題点, 第 22 回放射線化学会年会要旨集(2A05).
- (7) Stockner, J. G. & W. W. Benson (1967) The succession of diatom assemblages in the recent sediments of Lake Washington, *Limnol. Oceanogr.*, 12, 513-532.
- (8) 田村 正・畑 久三 (1937) 木崎湖における重要プランクトンの季節的消長, 水産学雑誌, 42, 1-12.
- (9) 林 秀剛・船越 真樹・清沢 弘志 (1984) 木崎湖におけるプランクトン等の発生機構調査 (長野県) pp. 46.
- (10) 平林 公男 (1987) 信州大学修士論文.
- (11) 福島 博・小林 艶子 (1975) 生物指標としての珪藻. “環境と生物指標 2, 水界編” p. 54-60, (日本生態学会環境問題専門委員会編), 共立出版, pp. 310.
- (12) 安田 郁子・荒井 優実・井山 洋子 (1975) 仁科三湖のプランクトン, *Jap. J. Limnol.*, 36, 139-146.