

## 木崎湖および諏訪湖底泥中の溶藻性微生物の分布

山本 鎔子\*・菅野徳彦\*\*,\*\*・林 秀剛\*\*\*

\*明治大学農学部 (214 神奈川県川崎市多摩区東三田1-1-1)

\*\*\*信州大学理学部 (390 長野県松本市旭3-11-1)

Yamamoto, Y., Kanno, N. and Hayashi, H. 1991. The distribution of alga-lysing microbes of sediments in Lake Kizaki and Lake Suwa. Jpn. J. Phycol. 39: 271-276.

Seasonal and vertical distributions of alga-lysing microbes and pigment contents (chlorophyll *a* and phaeophytin *a*) in the sediments of Lake Kizaki and Lake Suwa were determined. The number of alga-lysing microbes in the upper sediment (0-2 cm) was  $10^3$ - $10^4$  cells·g<sup>-1</sup> dry wt in Lake Kizaki and  $10^4$ - $10^6$  cells·g<sup>-1</sup> dry wt in Lake Suwa. The pigment contents were high in the upper layer and decreased rapidly with depth. In the upper sediments of both lakes higher proportions (40-70%) of the total carbon were estimated to have originated from phytoplankton. A close relationship between the microbial number and the carbon content originated from pigments was obtained in Lake Suwa.

*Key Index Words:* alga-lysing microbes—lake sediment—chlorophyll.

Yoko Yamamoto and Naruhiko Kanno, Faculty of Agriculture, Meiji University, Higashimita 1-1-1, Kawasaki, Kanagawa, 214 Japan (Present address of N.K.: Toyo Ushiku Senior High School, Miyanodai 1360-2, Kashiwada-cho, Ushiku, Ibaraki, 300-12 Japan)

Hidetake Hayashi, Faculty of Science, Shinshu University, Asahi 3-11-1, Matsumoto, Nagano, 390 Japan

湖沼の底は、湖水中の懸濁物が沈降し堆積する場であり、また、この堆積物を分解して栄養塩として水中に放出する役割を果たしているところでもある。富栄養化の進んだ諏訪湖や中栄養湖の木崎湖では湖内で生産された有機物の大半が植物プランクトンであり、湖水柱内での分解（植物プランクトンの5-22%が分解される、Matsunaga 1982, 坂本・加藤1984）や湖外へ流出する量を除けば、沈降懸濁物のほとんどが植物プランクトンで、しかも富栄養化の進んだ湖ほどこのような堆積量が多いとされている（西条1956）。このような内生有機物の多くは主に従属栄養生物により分解されるが、湖水と底泥中に数多く存在する溶藻性微生物もその一つである。この微生物は湖水中では植物プランクトンの消長と深い関わりを持っている（Yamamoto 1981, 山本1988）。本報告では、富栄養化のレベルの異なった木崎湖と諏訪湖の底泥における溶藻性微生物の分布を調べ、さらに、植物プランクトン起源の底泥有機物量と溶藻性微生物量との関わりについて検討を試みた。

### 実験方法

木崎湖および諏訪湖の概要を Table 1 に示す。調査した底泥試料は、両湖のほぼ湖心でコアサンプラーを用いて1988年4月から10月にかけて月1回の割合で採取した。採取試料は直ちに表層より2 cm 間隔で分割し以下の分析を行った。

底泥中の溶藻性微生物数は、石と大型動物を除いたのち、ワーリングブレンダー（500ACD, マルサン製）を用い0.01 M トリス緩衝液（pH 7.2）中で均一分散（16000 rpm, 3 min）させ希釈後、寒天重層法に従って計測した（山本1978）。嫌気培養は好気培養と同様に

Table 1. Characteristics of Lake Kizaki (Horie 1962) and Lake Suwa (Okino 1988).

	L. Kizaki	L. Suwa
Altitude (m)	764	759
Surface area (km <sup>2</sup> )	1.4	13.3
Volume (m <sup>3</sup> )	$2.51 \times 10^7$	$6.5 \times 10^7$
Depth (m) Maximum	29.5	6.8
Mean	17.9	4.7
Residence time (days)	186	38.8

\*\* 現所属：東洋大学付属牛久高（300-01 茨城県牛久市柏田町宮台1360-2）

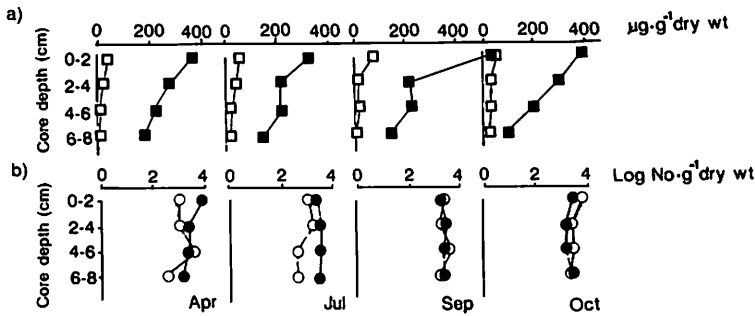


Fig. 1. Seasonal changes of the vertical distributions of chlorophyll *a* (□), pheophytin *a* (■) and aerobic (○) and anaerobic (●) alga-lysing microbes in the sediment of Lake Kizaki in 1988.

処理したのちガスバク内の暗所で25°Cで3週間行い溶解斑を計測し、底乾土1gあたりの菌数として表した。

クロロフィルの定量は蛍光法(西条1975)で行った。抽出は湿底泥(0.1~0.5g)からWhatman GF/Cフィルターにより水分を十分除去したのち、90%アセトン10mlを加え、密栓して冷暗所に1昼夜おいて抽出し(Hansson 1988)、抽出液について日立蛍光分光光度計F-4000により430nm励起の蛍光を663nmの波長で測定してクロロフィル*a*量を求め、またこの抽出液に1N塩酸を数滴加えて室温で5分間振盪したのち同じ波長で蛍光を測定し、フェオフィチン*a*量を求めた。クロロフィル*a*標準試薬には和光純薬の市販品(*Spirulina*)を使用し、あらかじめ酸性係数を求めておき、この値を用いて底泥中のクロロフィル*a*とフェオフィチン*a*を算出した。

底泥中の全炭素および全窒素の分析は、住友製NC-80高感度炭素・窒素分析器により行なった。

## 結 果

木崎湖では、1988年には、1982年および1983年の初夏にみられた*Anabaena macrospora*(渡辺ら1985)はみられず、1987年秋から出現した*Peridinium bipes*の赤潮(朴

ら1988)が1988年にも発生し、北部農具川河口部では表層水(0m)中に最高1mlあたり $1.5 \times 10^3$ が計測された。諏訪湖では、春季には*Cyclotella* spp., *Fragilaria crotonensis*, *Melosira granulata*, *Navicula* sp.などの珪藻が優占し、夏季には*Microcystis* spp.が60-80%を占め、ここ数年来はほぼ同じ様な富栄養化状態を示す。沖野(1988および私信)によれば、諏訪湖では下水道設置(1979年11月)前に比べると*Microcystis*は後退し、*Anabaena*が多くなる傾向にあるという。

Fig. 1に木崎湖底泥中のクロロフィル*a*とフェオフィチン*a*量(a)および溶藻性微生物数(b)の鉛直分布を示す。クロロフィル*a*およびフェオフィチン*a*量は、それぞれ60-75  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ および200-550  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ で、9月には最も高濃度に存在し、何れの季節でも0-2cm以深で急激に減少している。湖水中の溶藻性微生物数は年間を通じて1mlあたり数個から十数個と少ないが、底泥(0-12cm)では $10^3 \sim 10^4 \cdot\text{g}^{-1}$ の値を示し、秋季には増加の傾向を示すが諏訪湖(Fig. 4a;  $10^4 \sim 10^6 \cdot\text{g}^{-1}$ )のように大きな変動はみられない。嫌気性溶藻性微生物数は10月を除き好気性溶藻性微生物に比べてやや高い値を示した。

Fig. 2に、木崎湖底泥中の全炭素と全窒素量およびC/N比の鉛直分布を示す。全炭素量は4-5  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 、全窒素量は0.2-0.45  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 、C/N比は10-20であっ

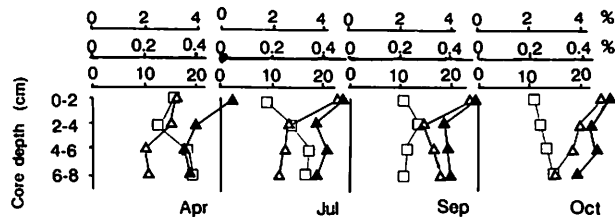


Fig. 2. Seasonal changes of the vertical distributions of total carbon (▲) and nitrogen (Δ) and C/N ratio (□) in the sediment of Lake Kizaki in 1988.

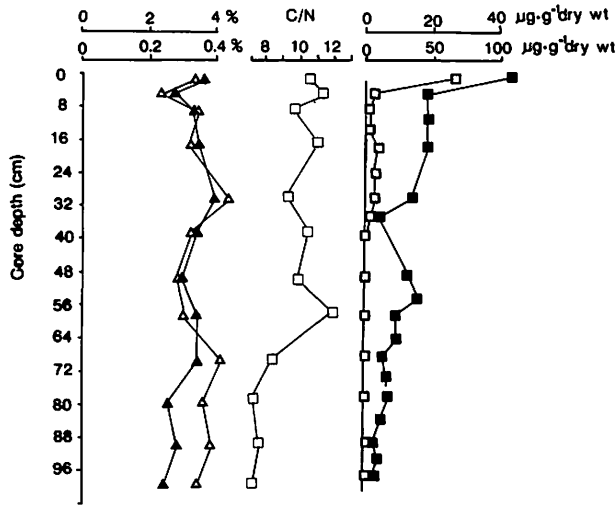


Fig. 3. Distributions of chlorophyll *a* (□), pheophytin *a* (■), total carbon (▲), nitrogen (△) and C/N ratio (○) in the sediment of Lake Suwa in September 1988.

た。全炭素および全窒素量とも 0-2 cm 層で最も高濃度で存在し、それ以深では急激に減少する。

Fig. 3 には 1988 年 9 月における諏訪湖底泥中の全炭素と全窒素量, C/N 比, クロロフィル *a* およびフェオフィチン *a* 量の鉛直分布を示す。全炭素と全窒素量および C/N 比はそれぞれ 2.5-4%, 0.2-0.4%, 8-12 であった。クロロフィル *a* 量は、表層では  $30 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  で、深さにもなつて急激に減少し、40 cm 以深では検出できなかった。フェオフィチン *a* 量は表層で  $119 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  で深さ 50 cm までは急激に減るが、55-60 cm 層でやや増え、それ以深では徐々に減少した。

Fig. 4 には諏訪湖底泥中の溶藻性微生物数の季節変動 (a) と鉛直分布 (b) を示す。溶藻性微生物数は表層 0-2 cm 層では  $10^4 \sim 10^6 \cdot\text{g}^{-1}$  で夏季から秋季にかけて高い値を示し、深さにもない減少し、1 m 層におい

ては僅かに存在したに過ぎない。また諏訪湖における好氣的溶藻性微生物数については、Fig. 5 に示すように光合成色素由来の炭素量と相関関係が認められた ( $r=0.8507, n=9, p<0.005$ )。しかし、木崎湖の底泥表層 (0-12 cm) においては、このような関係は認められなかった。

植物プランクトン中の光合成色素含有量は光や栄養



Fig. 4(a). Seasonal changes of alga-lysing microbes in the surface sediment (0-2 cm) at the center of Lake Suwa in 1984 (▨) and 1988 (■). ★: not determined.

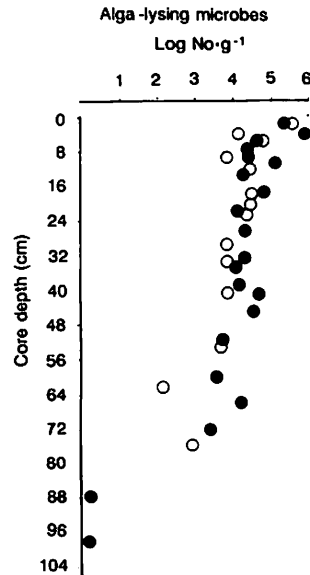


Fig. 4(b). Vertical distributions of alga-lysing microbes at the center of Lake Suwa in November 1984 (○) and September 1988 (●).

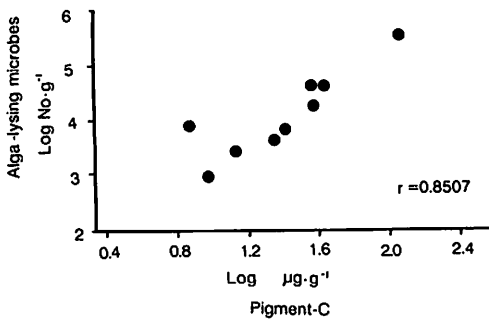


Fig. 5. Relationship between the number of alga-lysing microbes and the content of pigment-C in Lake Suwa in September 1988.

Table 2. Chlorophyll *a* content and carbon/Chl. *a* ratio of *Microcystis* spp. and *Bacillariophyceae*.

	Chl. <i>a</i> % dry weight	C/Chl. <i>a</i>
<i>Microcystis</i> spp. (Lake Suwa)	0.5	89.4
<i>Asterionella formosa</i>	0.68*	0.76 (mean)
<i>Fragilaria crotonensis</i>	0.74*	
<i>Melosira granulata</i>	0.87*	

\* After Reynolds (1984).

塩濃度等の環境要因によって著しく変化するが、各湖に優占する藻株のクロロフィル *a* および全炭素量 (Table 2) から底泥における植物プランクトン起源の炭素量の推定を試みた。なお小山ら (1969) は諏訪湖底泥中の全炭素量のうちで無機態炭素の占める割合は 2% にもならずその大部分が有機炭素であると報告しているため、有機炭素の値を全炭素の測定値をもって代用した。また両湖とも植物プランクトンの種組成は季節により変動するが、木崎湖では珪藻 *Asterionella*, *Fragilaria*, *Melosira* が、諏訪湖では *Microcystis* が、優占

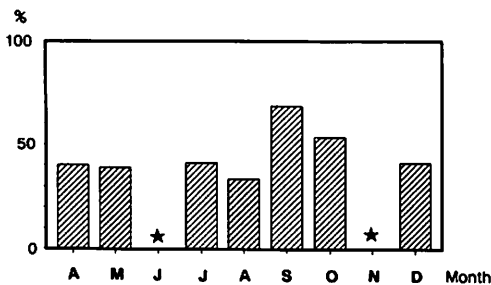


Fig. 6. Seasonal changes of the ratio of pigment-C to total organic carbon in the surface sediment (0-2 cm) of Lake Kizaki. ★: not determined.

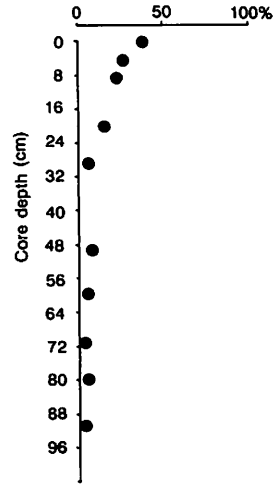


Fig. 7. Vertical changes of the ratio of pigment-C to total organic carbon in the sediment of Lake Suwa in September 1988.

していると仮定して、それぞれの植物プランクトンに含まれるクロロフィル量の平均値から計算すると、木崎湖の底泥 (0-2 cm) では有機炭素量中の 35-70% (Fig. 6) が、諏訪湖の底泥 (0-2 cm) では有機炭素中の 40% (Fig. 7) が植物プランクトン由来の炭素となった。

考 察

Koyama *et al.* (1968) の 1965 年 7 月に行った木崎湖の調査によると、底泥中のクロロフィル *a* およびフェオフィチン *a* の量は底泥表層 (0-2 cm) で最も高く、深くなるにつれて急激に減少している。本報告の 1988 年の結果 (Fig. 1) も同様の傾向を示すが、各色素の含有量は Koyama *et al.* (1968) のおよそ 1/2 である。木崎湖は、1965 年以降徐々にではあるが、富栄養化が進み湖水中のクロロフィル量も増大してきている (林ら 1988)。それにもかかわらず 1988 年の底泥中のクロロフィル量が 1965 年より少ないのは、湖水中の植物プランクトンの分解速度が 1965 年よりも上回り沈澱量が減少したか、あるいは測定法の違いが原因と考えられる。湖水中の植物プランクトンの分解速度が大きく変化したとは考えにくく (倉沢ら 1976, 坂本・加藤 1984)、本報告と Koyama *et al.* (1968) とクロロフィル量の差は、測定法の違いによるものと考えられる。即ち、Koyama *et al.* (1968) は吸光法により測定しているが、吸光法は蛍光法に比べ、他成分の影響を受けた場合、著しく高い値を示す (Flovacek and Hannan 1977, 芳竹ら 1988, 谷

野ら1988)。諏訪湖におけるクロロフィル (Fig. 3) も同様に吸光法により測定した値より小さくなっている (山本未発表)。また本報告で使用したアセトンによるクロロフィル抽出についても再検討する必要があるが、Mantoura and Llewellyn (1983) によればアセトン抽出法は他の方法に比べ良好な値を示す。

本報告で示したクロロフィル *a* および フェオフィチン *a* 量の年間の変動をみると、両湖とも夏季から秋季にかけて増加するが、木崎湖では年間を通じて諏訪湖より高い値を示している。諏訪湖における一次生産量は、1986年には  $651 \text{ g} \cdot \text{C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$  (沖野1988) であったが、沖野 (私信) によれば1988年もほぼこの値に近い。一方、木崎湖では一次生産量が  $0.2\text{--}0.23 \text{ g} \cdot \text{C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$  (坂本・加藤1984) と諏訪湖より小さいにもかかわらず、底泥中の色素含有量は高くなっている (Fig. 1)。木崎湖の沈澱量は諏訪湖に比べて大きいわけではない (西条1956)。木崎湖の水深約30 mの底泥は1年を通じて低温 ( $5\text{--}6^\circ\text{C}$ ) で且つ酸素が不足しているため、一旦沈澱した植物プランクトンは容易に分解が進まない状態にあるのであろう。Sudo *et al.* (1978) および Ohtsuki and Hanya (1972a, b) は、嫌気的条件下での植物プランクトンの分解は好気状態に比べ極端に遅いことを報告している。Fig. 6, 7に示すように、両湖の底泥表層中の炭素は、植物プランクトン由来の炭素が大部分を占めている。この値は抽出されたクロロフィル *a* とフェオフィチン *a* から推定したものであり、未抽出のクロロフィル由来の色素を考慮に入れば、底泥中の植物プランクトン由来の炭素量はさらに多くなると考えられる。

諏訪湖底泥中のクロロフィルおよびフェオフィチン色素、全炭素および全窒素量の鉛直分布 (Fig. 3) では50–60 cm にピークがみられる。このピークは林 (1984) の報告した有機態炭素と有機態窒素の鉛直分布、また渡辺ら (1982) による全リンの鉛直分布とも一致する。フェオフィチン *a* は、木崎湖の場合には表層 (0–2 cm) に対して約10 cmの深度では50%以上が、諏訪湖の場合には表層に対して10 cmの深度では40%が、50 cmの深度では80%以上が分解されている。植物プランクトンの生産量の高い印旛沼においても同じように深さにともない色素の急激な減少がみられている (小林・宇田川1975)。

溶藻性微生物は、植物プランクトンやこれに由来する有機物を分解する微生物群であり、湖水中では植物プランクトン量と密接な関係があり (Yamamoto 1981, 山本ら1988)、夏季から秋季にかけて増えることが判

明している (山本1988)。諏訪湖の底泥では、溶藻性微生物数と全炭素ならびに植物プランクトン由来の炭素との間に相互関係が認められたが、木崎湖ではこのような相関関係は認められなかった。この点に関しては、さらに検討をおこなっているが、諏訪湖底泥の溶藻性微生物はアメーバと細菌が大部分を占めているのに対し、木崎湖ではほとんどが細菌であった。

## 文 献

- Flovacek, R. and Hannan, P. 1977. In vivo fluorescence determination of phytoplankton chlorophyll *a*. *Limnol. Oceanogr.* 22: 919–925.
- Hannsson, L. A. 1988. Chlorophyll *a* determination of phytoplankton on sediments: identification of problems and recommendation of method. *Freshwater Biology* 20: 347–352.
- 林秀剛 1984. 諏訪湖における有機物分解と堆積速度. 日本陸水学会49回大会講演要旨 p. 148.
- 林秀剛・市川忠史・森 正幸・楠見和彦・朴 虎東・関 道代・上西 実・清沢弘志・松岡明彦・平松公男 1988. 木崎湖におけるクロロフィルの変遷 (1981–1988). 日本陸水学会甲信越支部会講演要旨 p. 84–85.
- Horie, S. 1962. Morphometric features and the classification of all the lakes in Japan. *Mem. Coll. Sci. Univ. Kyoto (Ser. B)* 29: 191–262.
- 小林節子・宇田川理 1975. 手賀沼底質中のクロロフィル分解物・陸水雑 36: 65–75.
- Koyama, T., Shimomura, O. and Yanagi, K. 1968. Vertical distribution of pigments in a lake sediment as determined by paper chromatography. *Geochem. J.* 2: 87–103.
- 小山忠四郎・松永捷司・早川博信 1969. 諏訪湖底泥堆積物の化学的研究. JIBP-PF 諏訪湖生物群集の生産力に関する研究経過報告 1: 57–66.
- 倉沢秀夫・JIBP-PF 諏訪湖研究グループ 1976. 諏訪湖生物群集の生産力に関する研究. 諏訪湖臨湖実験所報告 1: 1–53.
- Matsunaga, K. 1982. An estimation of allochthonous and autochthonous organic matter of the fresh sediments on the basis of Ti content. *Jap. J. Limnol.* 43: 113–120.
- Mantoura, R. F. C. and Llewellyn, C. A. 1983. The rapid determination of algal chlorophyll and carotenoid pigments and their breakdown products in natural waters by reverse-phase high-performance liquid chromatography. *Anal. Chim. Acta* 151: 297–314.
- 沖野外輝夫 1988. 諏訪湖の水質と生物相の変遷. 日本陸水学会甲信越支部会報 13/14: 8–15.
- Otsuki, A. and Hanya, T. 1972a. Production of dissolved organic matter from dead green algal cells. I. Aerobic microbial decomposition. *Limnol. Oceanogr.* 17: 248–257.

- Otsuki, A. and Hanya, T. 1972b. Production of dissolved organic matter from dead green algal cells. II. Anaerobic microbial decomposition. *Limnol. Oceanogr.* 17: 258-264.
- 朴 虎東・木田浩司・林 秀剛 1988. 木崎湖における *Peridinium* spp. の発生について. 日本陸水学会 53回大会講演要旨 p. 30.
- Reynolds, C. S. 1984. The ecology of freshwater phytoplankton. Cambridge Univ. Press. p. 31, p. 38.
- 西條八東 1956. 湖沼における物質代謝の化学的研究 (第1-4報). 日本化学雑 77: 917-936.
- 西條八東 1975. クロロフィルの測定法. *Jap. J. Limnol.* 36: 103-109.
- 坂本 充・加藤憲二 1984. 湖沼における有機物の生産とその自然浄化機構. 微生物生態 12. 学会出版センター. p. 145-169.
- Sudo, R., Ohtaka, H., Aiba, S. and Mori, T. 1978. Some ecological observations on the decomposition of periphytic algae and aquatic plants. *Water Res.* 12: 179-184.
- 谷野道夫・若竹良影・森田全律・重松恒信・西川泰治 1988. クロロフィル *a, b* ならびにフェオフィチン *a, b* の分光特性. 44回分析討論会. p. 99-100.
- 山本鎔子 1978. 寒天重層法による湖沼中のラン藻溶解性微生物因子の測定. 陸水雑 39: 9-14.
- Yamamoto, Y. 1981. Observation on the occurrence of microbial agents which cause lysis of blue-green algae in Lake Kasumigaura. *Jap. J. Limnol.* 42: 20-27.
- 山本鎔子 1988. 溶藻性微生物の種類と日本の湖沼, 河川における分布. 微生物生態雑 2: 77-88.
- 山本鎔子・林 秀剛・菅野徳彦 1988. 汚染水域における溶藻性微生物. 微生物生態雑 2: 45-51.
- 若竹良影・会田四郎・山崎秀夫・森重清利・西川泰治・重松恒信 1988. 微分蛍光法によるクロロフィル *a, b* ならびにフェオフィチン *a, b* の超微量定量法—励起微分スペクトルの有効性—. ぶんせき 33: 667-671.
- 渡辺真之・清沢弘志・林 秀剛 1985. 浮遊性藍藻の研究 1. 木崎湖産 *Anabaena macrospora* Klebahn. *Bull. Nat. Sci. Mus. Tokyo Ser. B.* 11: 69-76.
- 渡辺義人・関 弥文・山本満寿夫・沖野外輝男 1982. 諏訪湖湖底堆積物の炭素・窒素およびリンの分布・諏訪臨湖実験所報告 4: 15-23.