

Bull. Natn. Sci. Mus., Tokyo, Ser. B, 11 (2), June 22, 1985

# 浮遊性藍藻の研究 1. 木崎湖産 *Anabaena macrospora* KLEBAHN

渡辺眞之<sup>1</sup>・清沢弘志<sup>2</sup>・林 秀剛<sup>2</sup>

## Studies on the Planktonic Blue-green Algae 1. *Anabaena macrospora* KLEBAHN from Lake Kizaki

By

Masayuki WATANABE,<sup>1</sup> Hiroshi KIYOSAWA<sup>2</sup>  
and Hidetake HAYASHI<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 国立科学博物館植物研究部 Department of Botany, National Science Museum, Sakura-mura, Ibaraki-ken 305   <sup>2</sup> 信州大学理学部生物学教室 Department of Biology, Faculty of Science, Shinshu University, Matsumoto 390

**Abstract** In order to evaluate variations in vegetative cells, heterocysts, and akinetes, samples containing the planktonic blue-green alga, *Anabaena macrospora* KLEBAHN, were collected from a highland lake in central Japan between April and October of 1983. The range of variability in the dimensions of the different cell types and shapes of the vegetative cells of the alga was defined and consequently the existence of *Anabaena macrospora* KLEBAHN as a species was reaffirmed. Seasonal development of the alga was investigated and discussed with regard to the water temperature of the lake.

KLEBAHN (1985) はドイツ北部の湖 Grossen Ploener と Schluen-See において採集された標本を基に *Anabaena macrospora* を記載した。原記載の内容は当時発表された他の藻の場合と同様、極めて簡単であるが、“休眠胞子が中央部で多少円筒形、両端で円錐形の傾向を示し、その結果縦断面が六角形に似る。”という部分がこの種の主要な特徴を表わしていると考えられている。また KLEBAHN はこの藻に比べて大形のものを変種 *crassa* として同時に命名記載している。その後 LEMMERMANN (1898) が新たに2つの変種 *robusta* と *gracilis* を加えたが、基準変種についての記録は少ない。従って、その後 *A. macrospora* そのものについての知見は蓄積されることなく、世界各地で出版された主要な分類書には簡単な原記載の内容がそのまま再録されている (LEMMERMANN, 1910; GEITLER, 1925, 1932; HUBER-PESTALOZZI, 1939; HOLLERBACH *et al.*, 1953; STARMACH, 1966; KONDRATIEVA, 1968)。1958年 KOMÁREK は卓越した論文“チェコスロバキアの浮遊性藍藻の分類学的再検討”を公表した。そこで *A. macrospora* KLEBAHN の変種 *crassa* と *robusta* は *A. solitaria* KLEBAHN f. *planctonica* (BRUNNTH.) KOMÁREK の、*gracilis* は *A. affinis* LEMM. f. *affinis* の異名であること、基準変種については、栄養細胞の寸法が *A. affinis* f. *affinis* に一致し、休眠胞子の寸法が *A. solitaria* f. *planctonica* に一致することから、何か異常な藻を観察した結果であるか、観察のまちがいでないかとの考えが示された。

筆者のうち、清沢と林は 1979 年以來木崎湖のプランクトンの生態学的研究に従事しており、湖の生態系の主要要素として *Anabaena* が係わっていることを明らかにしてきた。渡辺はこの藻を *A. macrospora* と同定した。多数の標本を観察した結果 KLEBAHN の記載した藻の形態学的特性に追加すべき知見を得、種としての *A. macrospora* の存在を再確認したので報告する。また同種の木崎湖における発生の状況と生態学的特性についても合わせて考察する。

## 材料と方法

採集は 1983 年 4 月から 11 月にかけて毎月 2~4 回、木崎湖湖心の定点において行われた。プランクトンネット (Nxx 25) によって、水深 10 m から表層までの垂直引きで採集、直ちにホルマリンで固定された試料が形態学的観察に供された。細胞数等の計数に用いられた試料は 0, 2, 4, 6, 8, 10 m の 6 層からバンドーン型採水器により採水、ホルマリンにより固定、静置、濃縮 (浮上している細胞を残すために中層をアスピレーターにより吸取る)、さらにメンブレンフィルター (ミリポア HA) 上で濾過、濃縮後検鏡、計数に供された。栄養細胞、異質細胞、および休眠胞子をそれぞれに計数し、湖心上層 10 m までの単位面積当りの積算値を全細胞数として算出した。

## 結果と考察

### 1. 形態および分類学的特性

トリコームは真直、厚さ約 6  $\mu\text{m}$  の無色透明の精鞘におおわれ、単独で浮遊生活をする。トリコーム先端部の細胞が特に細長くなることはない。

栄養細胞はガス胞をもち、球形、レモン形、樽形、両端の切れた楕円形 (長い樽形)、時に円筒形に近い中央部と台形状の両端をもつなど多様な形をとる。これら様々な形の栄養細胞はしばしば 1 本のトリコーム中に混在する。栄養細胞の直径は 5-8 (-10)  $\mu\text{m}$ 、長さは (3.5-) 4-10 (-16)  $\mu\text{m}$ 。長さとの直径の比は 0.5-1.6 (-2.5)。栄養細胞の直径の変異を Fig. 1 にみると、6 月 10 日と 9 月 23 日の 1 例を除けば 5-8  $\mu\text{m}$  の間におさまっている。この 2 例のように直径のより大きい細胞からなるトリコーム (Fig. 2g, h) は木崎湖の *Anabaena* 集団中にいつも極少量存在した。また、*A. macrospora* のものと異なる型の休眠胞子は認められなかった。従って大形細胞のトリコームは通常細胞のトリコームから生じたもので、木崎湖の *Anabaena* 集団は単一の種からなるものと判断された。根来 (1936) は北海道の大沼から *A. macrospora* を報告した。大沼の藻の栄養細胞は 6-11  $\mu\text{m}$  の直径、4.5-12  $\mu\text{m}$  の長さをもつとされ、木崎湖産のものと近似である。直径の測定値が大沼の集団でどのような分布を示すか興味深い。

異質細胞はほぼ球形、両端は多少突出している。直径は (6.3-) 7-9 (-11)  $\mu\text{m}$ 、長さは (6.6-) 7-8.5 (-9.7)  $\mu\text{m}$ 。原記載において異質細胞は球形または球形-楕円形で、直径 6-6.5  $\mu\text{m}$  とされており、木崎湖のもの最小値にほぼ一致している。KLEBAHN の測定値は極めて狭く与えられており、ごく少ない標本の測定の結果であることは明らかであるから、タイプロカリティーである北ドイツの十分な材料で他の形態学的特徴と共に再調査する必要がある。

休眠胞子は両端で広円形ないし鈍円錐形の卵形ないし円筒形をしており、異質細胞から 1~10 数細胞離れて形成される。休眠胞子は無色、平滑の厚膜におおわれている。直径は (14.8-) 15.5-17.5 (-19.5)  $\mu\text{m}$ 、長さは (21-) 23-28 (-31)  $\mu\text{m}$ 、長さとの直径の比は (1.3-) 1.4-1.6 (-1.8)。休眠胞子は異質細胞の近くの栄養細胞から分化する。初めのうちは球形のまま貯蔵物質の顆粒を蓄積しつつ体積を増す (Fig.

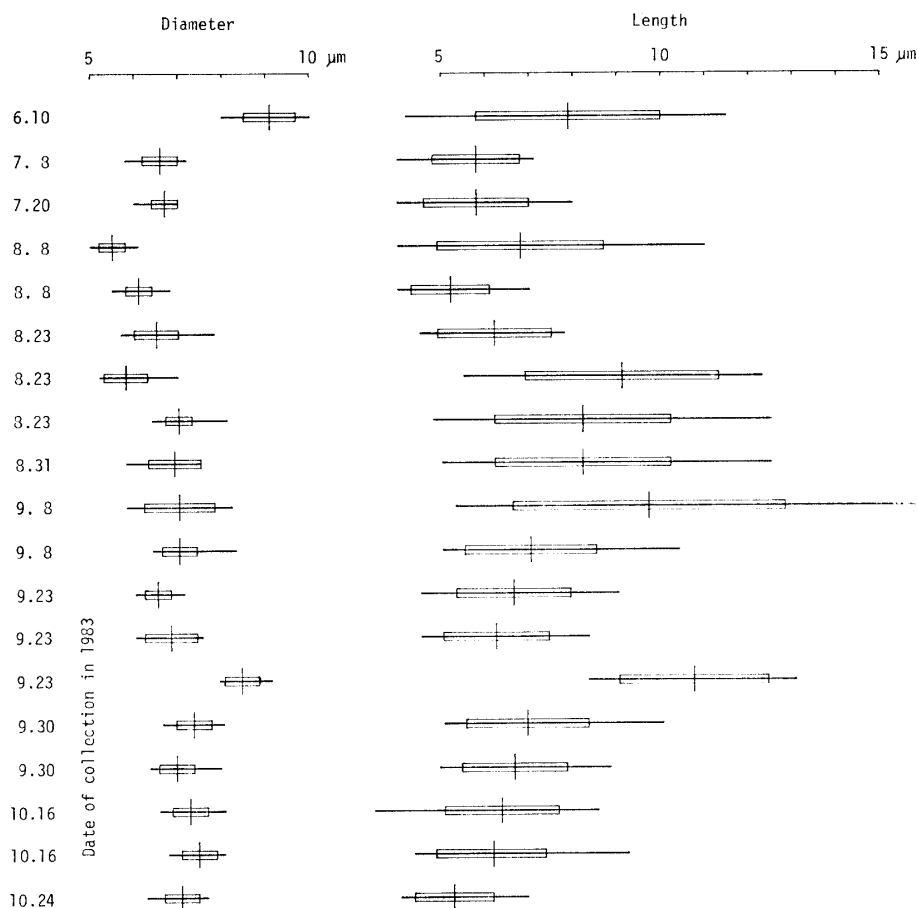


Fig. 1. Variations in dimensions of vegetative cells in *Anabaena macrospora* KLEBAHN from Lake Kizaki.

2d) が、やがて長さの増大に転じ (Fig. 2c), 或る程度の大きさに達して厚膜を形成する (Fig. 2a, e, f). 休眠胞子は全長の約3分の1付近に発芽の時開口する切れ目を持っているが、この切れ目は厚膜形成のごく初期から認められる (Fig. 2c).

トリコームが真直で、ガス胞を持ち浮遊生活をする *Anabaena* の代表として *A. solitaria*, *A. affinis* とそれらの品種 (sensu KOMÁREK) があげられる。これらのほとんどにおいて栄養細胞の形は球形ないし短い楕形で、長さが直径より大きい場合はほとんどない。*A. viguieri* var. *danica* NYGAARD (1949) は栄養細胞の形と大きさにおいて *A. macrospora* に最もよく似ているが、休眠胞子の断面が六角形にならない点で異なる。楕円形の栄養細胞によって特徴づけられている *A. elliptica* LEMM. (1898) についても我々は十分な知識をもっていないわけだが、知られる限りではそれは常に長い楕円形の栄養細胞をもち、休眠胞子の断面が六角形にならないなどの点で *A. macrospora* と異なる。

原記載の内容は極めて簡単で、KLEBAHN の観察がごく少数の標本に基づいて行われたためと推察されるが、木崎湖の藻についての今回の観察結果を参考にすると原記載の内容と図から分類学上重要と思われるいくつかの特徴を読み取ることができる。1) “栄養細胞の形は球形または楕円形、直径5-6.5 μm, 長さ5-9 μm.” 栄養細胞の長さがしばしば直径より大きい値を示すことは KLEBAHN の図

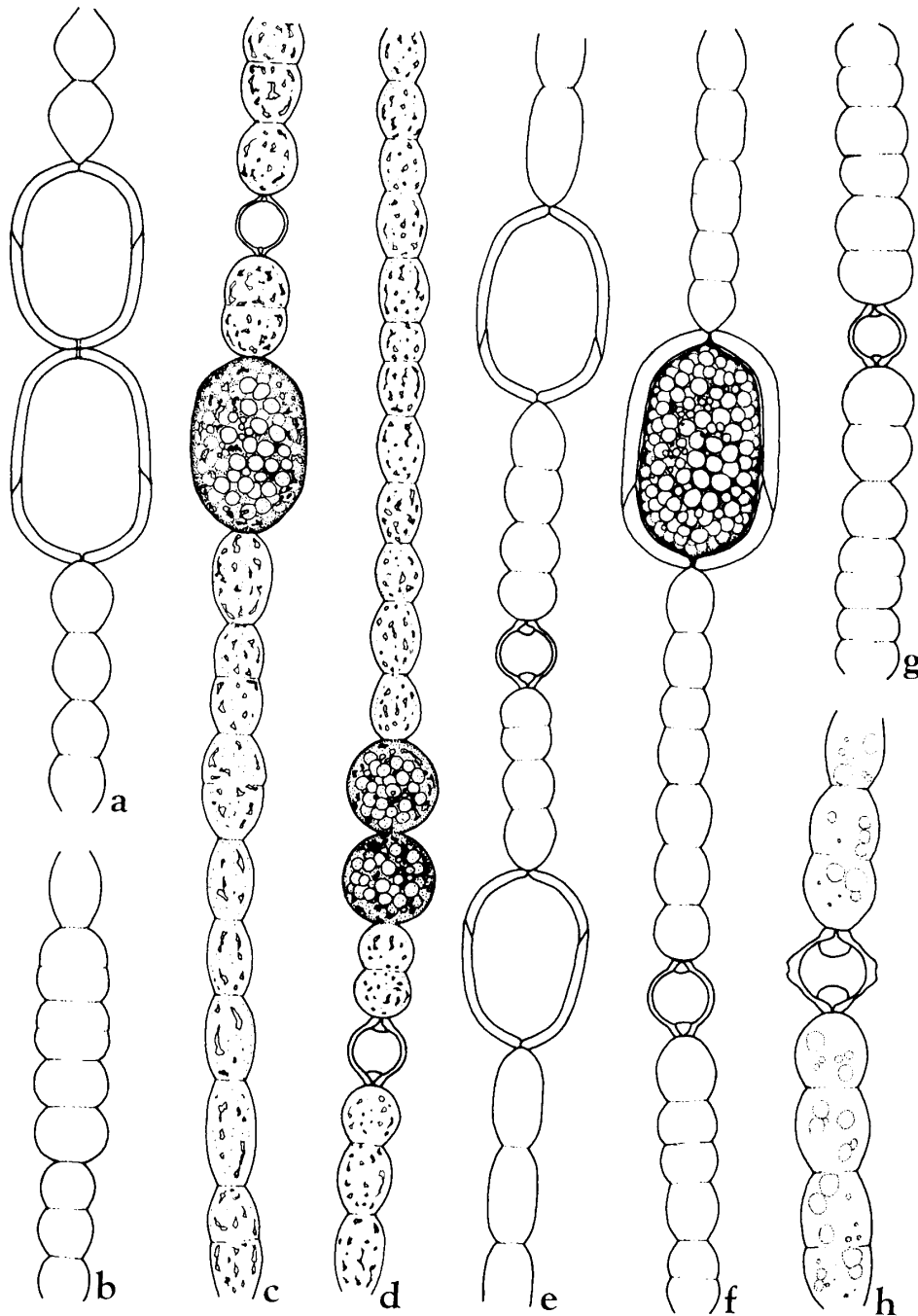


Fig. 2. Variations in cell shape of *Anabaena macrospora* KLEBAHN from Lake Kizaki. ( $\times 1000$ )  
 a. Citriform cells and double akinetes. b. Large cells in a series of ordinary cells. c. Ellipsoidal cells, a heterocyst, and an immature akinete. d. Barrel-shaped cells, a heterocyst, and young double akinetes. e. Cylindrical cells, barrel-shaped (or globose) cells, a heterocyst, and akinetes. f. Barrel-shaped (or globose) cells, a heterocyst, and a mature akinete. g, h. Trichomes composed of large cells.

(Taf. IV-17) からも窺うことができる。この点について今回の観察結果と合わせて整理すると、栄養細胞の形が多様である点と、直径に対する長さの比において変化の幅が大きい点とが *A. macrospora* の重要な特性として注目される。2) 栄養細胞の大きさに対する休眠胞子の大きさをみると、直径に関して KLEBAHN の藻と木崎湖の藻のいずれも約2倍となっている。栄養細胞の大きさの割に休眠胞子が大きいという意味で KLEBAHN は *macrospora* の名称を用いたに相違なく、KOMÁREK はそれをありそうもないと合わせて考えたが、我々は KLEBAHN の記録した藻の存在を木崎湖において再確認すると同時にその特徴を *A. macrospora* の主要な属性のひとつとして主張しておく。3) “休眠胞子は略楕円形であるが、中央部で多少円筒形、両端で円錐形の傾向を示す。その結果縦断面が低い六角形に似る。” この特徴については、それが *A. macrospora* の存在を認める立場の主要な根拠とされて来たものであるからあらためて強調する必要はない。

## 2. 発生状況と生態学的特性

木崎湖は長野県大町市の北方、仁科三湖の南端に位置し、標高 764 m、最大水深 29.5 m 面積 1.4 km<sup>2</sup> の南北に細長い湖である。この湖の植物プランクトンに関する研究報告は少なく、*Anabaena* に関する記録は皆無であった(川村, 1928, 菊池, 1935, 田村・畑, 1937, 安田, 1974)。従来、この湖は中栄養湖と看做されていたが(桜井・渡辺, 1974)、1970年代中頃から富栄養化に伴う生物相の変化が注目されはじめた(北川, 1974)。その頃から夏期の透明度が著しく低下し、その主因が *Anabaena* であることが明らかになってきた。

Fig. 3 に 1983 年木崎湖における *Anabaena* の発生状況を湖心部上層(表層から 10 m まで)の単位面積当りの積算細胞数で示した。解氷直後の 4 月 14 日に採集された試料中に *A. macrospora* は全く見出されなかった。4 月 26 日に 2~6 m 層にわずかに出現し始め、その後対数的に増殖する。この出現開始から急激な増殖の時期は湖水中に無機態窒素が欠乏する時期と完全に一致する(清沢・林, 1983)。増殖速度は 6 月中旬の梅雨時に一時低下するが、8 月の初めまで上昇を続ける。全細胞数の最

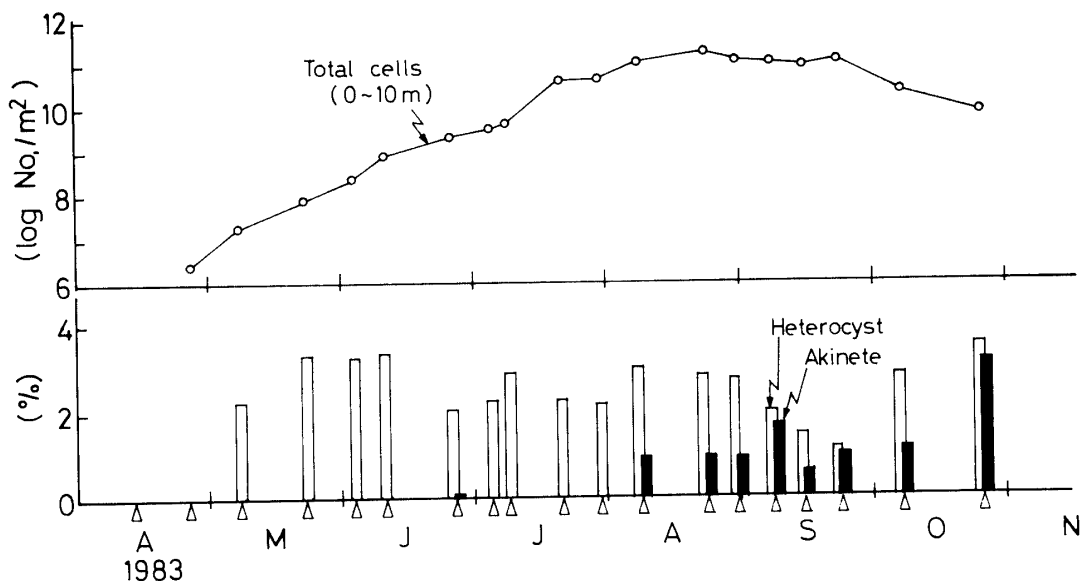


Fig. 3. Seasonal changes in total cell numbers, heterocyst frequency, and akinete frequency of *Anabaena macrospora* in Lake Kizaki.

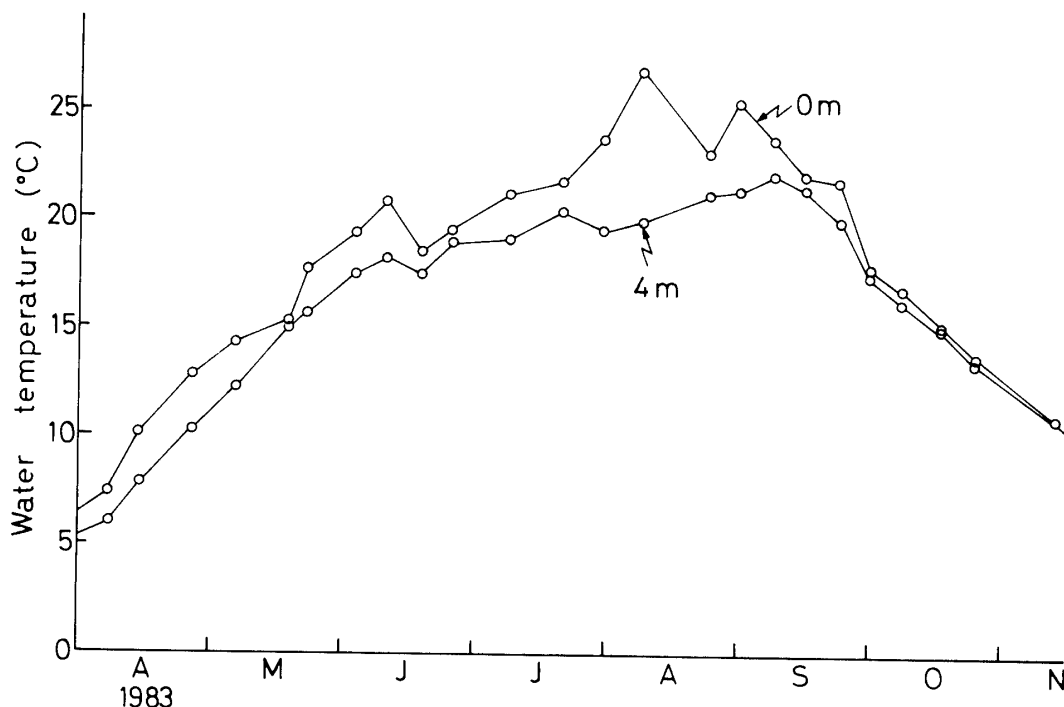


Fig. 4. Seasonal changes of water temperature in Lake Kizaki.

高値は  $1.49 \times 10^{11}$  cells/m<sup>2</sup> (8月23日) であるが、8月初めから9月末までほとんど同じレベル ( $10^{11}$  cells/m<sup>2</sup>) で水の華の状態が維持される。9月末から急激な減少期が始まる。

異質細胞は5~6月の対数増殖期に3%以上の比率で出現するが、9月末全細胞数の減少が始まる時期に低下し、9月23日には最小値(1.11%)を示す。異質細胞は窒素固定に関与しており、その消長と上述の無機態窒素の増減とが密接に関係していることが示唆される。

休眠胞子は7月までの増殖期にはほとんど見られない。しかし、6月25日の試料中にはごくわずか(0.01%)出現している。この時期に梅雨の影響と思われる一時的な水温の低下が見られ(Fig. 4)、このことが休眠胞子の形成に関係しているものと推察される。休眠胞子は対数的増殖の終わる8月初旬から増加し、その後常に存在している。そして10月末には、2.66%と急速な増加を示し、水の華状態の終息を告げる。

冒頭で述べたように *A. macrospora* に関する記録は少ないので、その分布を決定する要因についての検討は今後の研究に待つとして、木崎湖の観測から得られた資料と既知の産地のそれとに共通する環境要因を挙げておく。タイプロカリティーのひとつ Schluen-See については目下湖が特定できないので比較できない。HUTCHINSON (1956) によれば Grosser Ploener では、4月に珪藻のブルームが起り、それに引続き *Anabaena* が増殖する。この増殖には沿岸部からのりん酸塩の供給が関与していることが指摘されており、木崎湖にも同様の現象がみられる(加藤・他、1983)。

湖水における水温の季節変化(Fig. 4)と *Anabaena* の増殖、休眠胞子形成(Fig. 3)の関係をみてみる。表層の温度は気温の影響を受けてしばしば大きく変動するが4m層の温度はずっと緩やかに推移している。湖に *Anabaena* が出現したのは4月26日で、その時の水温は10.7°C(2m層)および10.2°C(4m層)であった。その後水温は9月上旬まで上昇を続けるが、藻の対数的増殖は8月上旬で終わっている。7月と8月、*Anabaena* の密度は4~6m層で大きい値を示し、この時期表層では

高い水温と強光が藻の増殖を阻害しているものと考えられる。6月24日の4m層と6m層に一時休眠孢子が形成され、その時の温度はそれぞれ18.1°C, 15.7°Cであった。その後、休眠孢子が継続的に形成され始めたのは8月8日で、当時孢子形成が最も盛んであった6m層の水温は16.8°Cであった。以上の結果から木崎湖の藻の場合、増殖には10~18°C、休眠孢子形成には17°C前後の温度条件が好適という推測ができる。ここで *A. macrospora* の存在が知られている他の湖の水温を資料で調べてみると、原標本の産地のひとつ Grosser Ploener では、夏期に強い温度成層が形成され、1931年10月15日の表層水温は12°C、底層（最大水深は49m）の水温は6°C、6月3日の表層水温は16.3°Cと記録されている。また、北海道の大沼でも、1979年8月29日に水温は21.8°C (0m), 21.0°C (5.6m) と記録されている。これらのいずれもが木崎湖の場合と近似して先推測を支持している。

## 謝 辞

本研究を進めるにあたってお世話になった名古屋大学の西条八束教授と現場調査等で協力していただいた信州大学理学部生物学教室生態学研究室の諸氏に感謝いたします。

## 引用文献

- GEITLER, L., 1925. Cyanophyceae. In PASCHER's Süßw. fl. 12, 450 pp.  
 ———, 1932. Cyanophyceae. In RABENHORST's Krypt.-Fl. 14, 1196 pp.  
 林 秀剛・船越真樹・清沢弘志, 1983. 木崎湖におけるプランクトンなどの発生機構解明調査報告. 46 pp. 長野県生活環境部公害課.  
 HOLLERBACH, M. M., E. K. KOSSINSKAJA & V. J. POLJANSKIJ, 1953. Sinezelenye vodorosli. Opried. presnov. vodoroslej SSSR. 2, 652 pp., Moskwa.  
 HUBER-PESTALOZZI, G., 1938. Das Phytoplankton des Süßwassers 1. Teil. 342 pp., E. Schweizerbart'sche Verlag., Stuttgart.  
 HUTCHINSON, G. E., 1956. A Treatise on Limnology. I. Geography, Physics and Chemistry. 1015 pp., Wiley, New York.  
 加藤正明・清沢弘志・山本 悟・林 秀剛, 1983. 木崎湖におけるりんの挙動について. 日本陸水学会甲信越支部会報, 7: 34.  
 川村正雄, 1928. 木崎湖水温及び浮遊生物調査. 水産研究誌, 23: 243-265.  
 菊池健三, 1935. 琵琶湖, 木崎湖, 水月湖の湖水型とそれらのプランクトンの季節的消長. 動雑, 39: 438-439.  
 北川礼澄, 1973. 木崎湖, 青木湖, 中網湖, 野尻湖ならびに諏訪湖の底生動物相の研究. 陸水雑, 34: 12-23.  
 清沢弘志・林 秀剛, 1983. 木崎湖における *Anabaena* sp. の bloom 形成と窒素の挙動. 日本陸水学会第48回大会講演要旨集, p. 107.  
 KLEBAHN, H., 1895. Gasvacuolen, ein Bestandtheil der Zellen der wasserblüthebildende Phycochromaceen. *Flora*, 80: 241-282.  
 KOMÁREK, J., 1985. Die taxonomische Revision der planktischen Blaualgen der Tschechoslowakei. In KOMÁREK, J. & H. Ettl, Algologische Studien, 206 pp., Tschech. Akad. wiss., Prag.  
 KONDRATIEVA, N. V., 1968. Hormogoniophyceae, Vznachnik prisnov. vodorostei Ukr. RSR. Cyanophyta 2., 523 pp., Naukova Dumka, Kiev.  
 LEMMERMANN, E., 1898. Beiträge zur Kenntniss der Planktonalgen. *Bot. Centralbl.* 76: 150-156.  
 ———, 1910. Kryptogamenflora der Mark Brandenburg III, Algen I, 712 pp., Leipzig.  
 根来健一郎, 1936. 日本湖沼の浮遊性藍藻 I. 陸水雑, 6: 163-168.  
 NYGAARD, G., 1949. Hydrobiological Studies on Some Danish Ponds and Lakes. *Kong. danske*

*vidensk. Selskab. biol. Skr.* **7**: 1-293.

STARMACH, K., 1966. Cyanophyta-sinice, In *Flora słodkowodna Polski* **2**, 807 pp., Warszawa.

桜井善雄・渡辺義人, 1974. 信州の陸水 **1**, 193 pp., 環境科学研究会, 上田.

田村 正・畑 久三, 1937. 木崎湖に於ける重要プランクトンの季節的消長 (1931-34). *水産研究誌*, **42**: 1-12.

安田郁子・荒井優実・井上洋子, 1975. 仁科三湖のプランクトン. *陸水雑*, **36**: 139-146.