

Microcystis アオコに要注意 2000年 *Microcystis* アオコは大発生するか？

清沢 弘志

はじめに

アオコ形成種の淡水産藍藻類 *Microcystis* 属をご存じの方も多いと思う。従来からアオコの発生は湖表面に緑色のペンキをこぼしたように漂うため、湖沼の富栄養化や観光資源としての景観面から社会問題として捉えられてきたが、さらに現在にいたってHABの原因種に仲間入りした。アオコそのものは1948年には報告があり、 $10^5 \sim 10^6$ cells/mlの高密度なアオコになったのは高度成長が進む1960年代以降、さらに1970年代以降には富栄養湖を中心に各地の湖沼やダム湖で夏季を中心に見られるようになった。アオコの広域化にともない研究も進み、分布・季節性・アオコ発生原因・発生の抑制機構等が次第に明らかにされているが、未だ十分に解明されていない。今後この猛毒アオコの分布を定量化していくためには、まず分析者間で種の同定基準に統一見解を持つ必要があることは言うまでもない。しかし実際には分類についてもこの20年間に変更点が多く混乱を招いてきた。ここでは、今何故 *Microcystis* が要注意なのか、そして分類の現状を紹介する。

1. HAB (harmful algal blooms) に仲間入りした *Microcystis* によるアオコ

浮遊プランクトンの大発生現象で社会的に問題視されるのは、決まって赤潮やアオコなどである。赤潮やアオコはプランクトンの大増殖の結果に水色の呈色を引き起こす現象を示すが、その突発性や色調、分布の規模などにより異質な自然現象として報道されるほか、原因種によっては有害・有毒プランクトンの発生として報道される。その一つに淡水産藍藻類 *Microcystis* 属によるアオコが

仲間入りした。

一昔前はRed tide (赤潮)、Novel phytoplankton blooms (珍奇な植物プランクトンブルーム)、Toxic phytoplankton blooms (有毒植物プランクトン) と言われ、そして今はHAB (harmful algal blooms; 有害藻類ブルーム) といわれるプランクトンの大発生現象が知られる。現在、国際的には人類や生物に何らかの悪影響を与える微細藻類の発生現象をHABとよんでいる。麻痺性貝毒、下痢性貝毒、シガテラ、記憶喪失毒などの原因種は有毒プランクトンとよばれその多くは海産種である。しかし、淡水産の藍藻類の中にも生物に悪影響を及ぼし時には死亡に起因する原因種がいることが古くから知られていた。そして現在は、藍藻類 *Microcystis* 属の数種もまたHABを起こす原因種HA (harmful algae) として知られる。これらは、藍藻毒ミクロシスチンという肝臓毒を生産する。

最近のHABのトピックと言えば、魚の大量死や人間にも記憶障害を引き起こす渦鞭毛藻類の一種 *Pfiesteria piscicida* の大発生 (アメリカのノースカロライナ州ヌース川) (11月28日読売新聞) が記憶に新しい。この *P. piscicida* は "phantom plankton (幽霊プランクトン)" として1992年に初めて報告されたプランクトンで (Burkholder et al. 1992)、特命リサーチ2000X! (1999年3月21日、日本テレビ放映) や「川が死で満ちるとき」(ロドニー・バーカー著 渡辺正隆・大木奈保子訳 草思社1989.11) などでご存じの方も多いものと思う。また日本では、有害渦鞭毛藻類 *Heterocapsa circularisquama* が近年新出し、その赤潮の発生と西日本を中心に分布を拡大していることが挙げ

られる。*H. circularisquama*による初めての赤潮は1988年高知県の内浦湾で報告され、アコヤガイやアサリ、カキ等の二枚貝類の斃死による被害が続出している(日本プランクトン学会報 46 (2) 特集1999)。そして1999年、*Microcystis*アオコもまた新聞をにぎわした(「猛毒アオコ日本にも」1999年9月8日朝日新聞)。

2. *Microcystis*の藍藻毒ミクロシスチン(MC)

*Microcystis*の毒作用が日本において報告されたのは1980年以降のことで(Watanabe & Oishi 1980)、毒物質が明らかにされたのは1987年のことである(渡辺信 1989)。渡辺信(1989)は、藍藻毒の紹介の中で環境中での有毒物質の存在は行政的にも緊急を要す研究課題であるとの時既に警告している。それ以降10年余を経過し、毒性をはじめアオコの発生、発生抑制、分類などについては、1997年の日本水産学会でのシンポジウム(日本水産学会報 vol.64(2)1998)や特集青粉(アオコ)(海洋と生物 vol.20(2)1998)またWaterbloom アオコ その出現と毒素(東京大学出版会 1994)等が研究面での進展を知る有効な資料といえる。また藍藻毒については1999年今年の夏の関西水圏環境研究機構公開シンポジウム「地球上で顕在化する有害有毒プランクトンの増加」での「富栄養化湖沼における有毒ラン藻と毒素の挙動」について(朴 1999)が最も新しい研究情報であろう。

藍藻毒ミクロシスチン(MC)を生産する*Microcystis*は現在*M. aeruginosa*、*M. viridis*、*M. ichthyoblabe*、*M. wesenbergii*が知られている。このMCには多くのタイプが知られているが、最も毒性の強いMC-LR型のマウスに対する半数致死量(LD50)は50 μ g/kgである。この毒は肝臓毒であるほか、慢性的な影響として発ガン促進作用があることも知られている。ちなみにフグ毒のLD50は8 μ g/kgである。

今年、岡山県小島湖で発生したアオコでは表層

水中のMC濃度は最高30mg/lを検出し、国内平均値の10倍以上であった(1999年9月8日朝日新聞)。長野県諏訪湖の季節・経年変化でも高いときで0.2mg/l以下であるから(朴 1999)、この報道された値はかなり高い値である。同様の報道は1994年琵琶湖南湖で発生したアオコで比較的高いMCが検出された際にも、飲料水として利用している近畿圏で社会問題として関心事となっていた。世界保健機構(WHO)は1998年に飲料水中の有害化学物質の濃度基準を定めたガイドラインの中で基準値を飲料水中1 μ g/l以下とした。しかし、行政的に厚生省はこれまで日本における基準値策定を見送っている。これには、日本に分布する*Microcystis*の毒性が他国に比較して低く、人的また他の生物への被害が報告されていなかった背景がある。現状ではアオコ発生抑制も含め行政面の対策はかなり遅れているといえる。日本でも1995年夏には10数羽のカルガモがスクラム状のブルームを摂取して死亡した例があるほか、1996年にはブラジルでヒトの死亡事故が報告されており早急な対応が望まれる。

3. *Microcystis*属の分類

最近植物プランクトンの分類に関して図鑑を含む報告の多さに驚かされる。それも日本の出版物に限ってであるからなおさらである。湖沼のプランクトンを対象に同定計数業務を行っている分析者は非常に多いと思うが、同定の参考とする図鑑や資料によって結果が異なってしまう可能性が心配される。アオコの代表種である*Microcystis*属もその例で、研究者が同じであっても、執筆した図鑑などにより記載している種が異なったり、新しい種が増えたり、さらには種名の変更が続いた。

結論から述べると、今後の*Microcystis*属の同定に使用したい資料として、渡辺真之(1999)「浮遊性藍藻類の観察と研究、淡水藻類入門 淡水藻類の形質・種類・観察と研究 山岸高旺(編) P369-380」を紹介したい。これに記載されたアオ

コを形成する *Microcystis* 属は以下の 5 種である。
Microcystis aeruginosa (Kützig) Kützig 1846
Microcystis ichthyoblabe Kützig 1843 (*M. flos-aquae* (Wittrock) Kirchner 1898 を含む)
Microcystis novacekii (Komárek) Compère 1974
Microcystis viridis (A. Braun in Rabenhorst) Lemmermann 1903
Microcystis wesenbergii (Komárek) Komárek in Kondrateva 1968

この図鑑の出版年は 1999 年であり、*Microcystis* の同定には従来異なった図鑑資料が用いられてきた。ここではこれまでに報告された図鑑・資料を挙げ種名の混乱を招いてきた経緯について解説してみたい。

従来から同定に使用されてきた代表的な図鑑は以下の 2 冊である。

- ・日本淡水プランクトン図鑑 1964 水野寿彦 保育社
- ・日本淡水藻類図鑑 1977 広瀬弘幸・山岸高旺 (編) 内田老鶴圃

そして 1990 年以降に主に日本で報告があった資料の一部を挙げると、

- ・渡辺眞之 1994 Waterbloom アオコ その出現と毒素. 東京大学出版会, pp.25-54
- ・渡辺 信 1995 環境微生物図鑑. 講談社サイエンティフィック, pp.180-185
- ・渡辺眞之 1998 特集アオコ アオコの分類. 海洋と生物, 20 (2) : 83-87
- ・近藤竜二ほか 1998 アオコの分類. 日本水産学会, 64 (2) : 291-292
- ・Komárek & Anagnostidis 1999 Süßwassrflora von Mitteleuropa, Cyanoprokaryota 1Teil
- ・渡辺眞之 1999 淡水藻類入門. 内田老鶴圃, pp.369-380

など非常に多くの *Microcystis* 属に関する情報がある。

1980 年以降に一般に用いられた種名について

その経緯は、まず渡辺・千原 (1980) が、霞ヶ浦に出現する種として *M. aeruginosa f. aeruginosa*、*M. aeruginosa f. flos-aquae*、*M. viridis*、*M. wesenbergii* の 4 種を報告した。この報告はその後のアオコに関する研究によく引用され、多くの研究者がこれに従い 1980 年代はこの 4 種 (*M. aeruginosa*、*M. flos-aquae* (Syn. *M. aeruginosa f. flos-aquae*)、*M. viridis*、*M. wesenbergii*) が用いられた。1980 年代の国内のアオコ形成種リストには *M. ichthyoblabe* と *M. novacekii* は載ることがなかったと記憶する。この 2 種の *Microcystis* は同定基準が整理されていなかったために他の種に同定されていた可能性が高いと考えられる。*M. novacekii* は、1989 年のプランクトン学会で渡辺眞之によって紹介された。そして *M. ichthyoblabe* は、渡辺眞之 (1994) で紹介された。このなかで渡辺は *M. flos-aquae* を *M. ichthyoblabe* の中に含め代表 5 種に整理し、以後これに統一している (渡辺 1998, 1999)。さらに日本産として代表 5 種のほか 2 種を報告したほか (渡辺 1998)、代表種 5 種について初めて一同に写真図版を示した (渡辺 1999)。渡辺は日本における藍藻類の分類の第一人者であり今後はこの 5 種が同定に使用されることになると思われる。

このほか渡辺信 (1995) は、*M. aeruginosa*、*M. viridis*、*M. wesenbergii* の 3 種をあげ、*M. aeruginosa* をさらに *f. aeruginosa* と *f. flos-aquae* に分けている。これは渡辺・千原 (1980) と基本的に同様である。また、近藤ほか (1998) は、日本産について *M. aeruginosa*、*M. wesenbergii*、*M. viridis*、*M. ichthyoblabe*、*M. flos-aquae*、*M. novacekii* の 6 種のほか 3 種を報告している。

これらの経緯を把握しておくことは今後の同定や情報整理において必ずや役立つものと思う。しかし、*M. ichthyoblabe*、*M. novacekii* を含めた 5 種を実際の同定に適用しようとする、それぞれの種の形態が近似するほか、同種内でも群体毎に形状や色調が微妙に異なることがしばしばあ

る。また、季節別に変化が著しいことがあるなど、実際には十分な観察と経験が必要であるといえる。渡辺 (1994, 1998, 1999) に記載された種の説明や検索表を片手に実際のサンプルを繰り返し観察することが重要のようである。特に細胞サイズが小さく近似するため、今まで以上に細胞の大きさの計測には十分な注意が必要である。一方、現状での形態分類における疑問点もある。それは *M. ichthyoblabe* についてである。渡辺 (1994, 1998) は、*M. ichthyoblabe* の細胞直径は平均 3.0-4.2 μm であるとし、また *M. flos-aquae* を区別せずに構造的性質の違いが遺伝的なものかについて今後の課題としている。これに対し、藍藻類の分類の権威 Komárek は別種として扱っている (Komárek & Anagnostidis 1999)。これによると、*M. ichthyoblabe* は細胞直径 3.2 μm 以下、*M. flos-aquae* は細胞直径 3 μm 以上で区別できる。今後、細胞直径が平均 3.0-4.2 μm で内部および表面にわたり均質な群体を *M. flos-aquae*、細胞直径 2-3.2 μm で海綿状 (群体の内部まで網目状) 構造をした群体を、*M. ichthyoblabe* とするなどの形態的な検討結果が報告されることを熱望する。

これまでの *Microcystis* の分類は形態分類が中心であったが、近年 PCR などの普及に伴いプランクトンの分類でも遺伝子分類が盛んに行われるようになった。Otsuka et al. (1999) は、*Microcystis* 代表 5 種のそれぞれについて複数の strain (株) を対象に形態分類と遺伝子分類を比較した報告を行っている。遺伝子分類が隆盛な中で細胞サイズや増殖速度、GC などを同時に比較した例は初めてであり興味深い報告である。そしてさらに、形態分類と遺伝子分類の結果が一致せず、同一種が様々な群体形成をする可能性、同一種を異なった種に分類している可能性が高いことを指摘している。このことは、*Microcystis* の分類が未だ確定していないことを意味する。

4. 今後の *Microcystis* アオコの発生はどうか？

有毒アオコの出現が報じられ行政的にも、発生の警戒や、発生の抑制対策が急務であることは明らかであるが、*Microcystis* によるアオコの発生は今後どうなるのであろうか。

湖沼への栄養塩負荷を削減することが富栄養化の対策の根本課題であるが、広域下水処理の普及が進んでも、コスト面で二次処理が精一杯で、N P 除去を目指した三次処理を行っている地方自治体は皆無であると思われる。この現状は、発生したアオコの回収技術の開発や、水塊の攪乱など物理的にアオコ形成種の増殖抑制を行うことはできても、栄養塩濃度の負荷削減ができない限りアオコの発生や規模の縮小、さらにはアオコの長期化を抑制することはできないと考えられる。すなわち今後もアオコが大発生することは間違いない。業務の一環で様々な湖沼やダム湖水を観察する機会が多いが、1999 年はアオコの当たり年であった。夏の猛暑を原因に挙げることもできるが、その他にも複雑な要因が関係していると考えられる。アオコが多くの湖沼で観測されるようになり富栄養化の深刻化が懸念されるほか、栄養塩環境のバランスの変化等も要因として考えられる。TN/TP 比が 25 以上になるとアオコは発生しないとする実験的な報告があるが、かつて諏訪湖でのアオコ発生量が少なかった年の TN/TP 比がこれに対応していたという報告がある (朴 1999)。また霞ヶ浦でも 1980 年代には *Microcystis* が優占したが、1980 年代後半から *Oscillatoria* などの糸状藍藻の優占する湖沼に変化したことがある。これについても栄養塩環境のバランスの変化の関与を指摘した報告がある。アオコ発生のメカニズム、アオコの発生抑制手法の開発など今後さらなる研究の進展が期待される。

5. Microcystisの検索表

今後、*Microcystis*属の同定を行う上での参考資料として、写真（図1）と検索表をしめす。検索表の内容は、渡辺（1989, 1998, 1999）を参考に作成した。

- 1a 群体を包む寒天状基質の縁が見える
- 2a 群体を包む粘質鞘の縁は顕微鏡下で光を屈折し明瞭（境界が光って見える）
細胞は8個ずつ規則的に並び、立方体の小群体を形成*Microcystis viridis*
細胞は袋状の粘質鞘の内側に沿って一層に並ぶ*Microcystis wesenbergii*
- 2b 細胞を取りまく厚い寒天鞘よりなる
（境界が光ることはない、寒天物質は往々かすかなそして不規則が層状をなす）
群体は忠実、亜球形ないし不定形、時に群体はじゅず状につながり
複合群体をつくる 細胞は密に集合
.....*Microcystis novacekii*
- 1b 群体を包む粘質鞘の縁は顕微鏡下で不明瞭
- 3a 細胞の直径の平均値は4.5～5.5 μ m
.....*Microcystis aeruginosa*
- 3b 細胞の直径の平均値は3.0～4.2 μ m4
- 4a 群体は海綿状あるいは均質 細胞は互いに多少離れて並ぶ*Microcystis ichthyoblabe*
- 4b 群体は忠実、亜球形ないし不定形、時に群体はじゅず状につながり
複合群体をつくる 細胞は密に集合
.....*Microcystis novacekii*

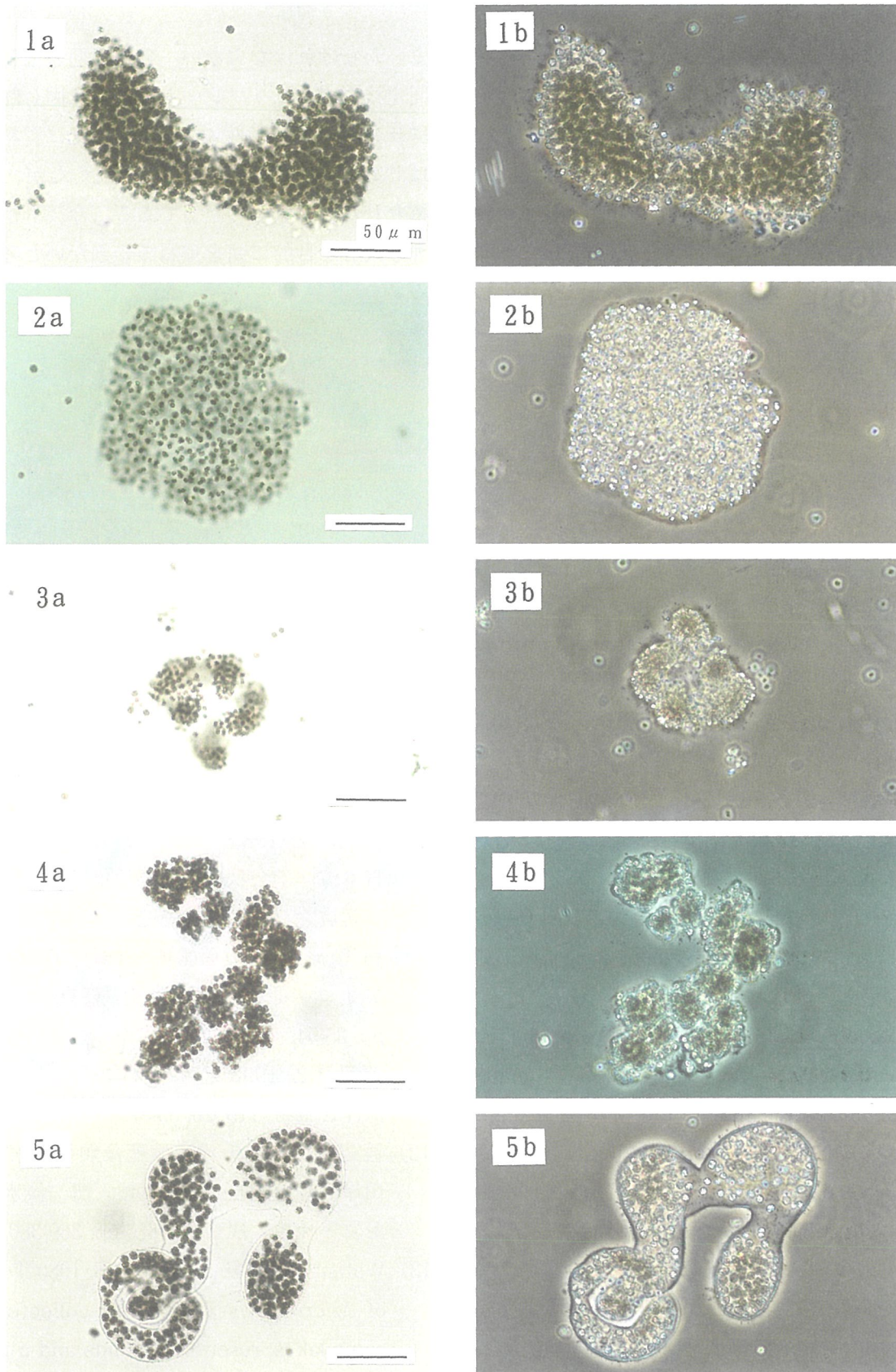


図1 *Microcystis*属の代表種 同一サンプル中に代表5種が混在することもある。

1999年夏季、霞ヶ浦 a. 光学顕微鏡 b. 位相差像

1. *Microcystis aeruginosa* 2. *Microcystis ichthyoblabe* 3. *Microcystis novacekii* 4. *Microcystis viridis* 5. *Microcystis wesenbergii*

6. おわりに

プランクトンの同定と定量とは言っても、様々な分類群が対象でまた、海洋から淡水、浮遊性から付着性のプランクトンとその分布・生息様式も多様である。また前述したように、最近分類に関する情報が非常に多い。専門の技術者として一般社会に貢献するためにも、より多くの情報を整理しそれを共有することにより頑強な組織作りをし

ていかなければならない。分析者間の情報交換と同定技術のキャリブレーションを意図し昨年からはプランクトン部門のメンバーを対象に資料作成をはじめた。資料は年間33回を数えたが、ここで紹介した内容もその一つである。今後も情報の整理と共有を目的に回を重ねていきたいと考えている。

参考資料

- 1) Burkholder, J. M., E. J. Noga, C. H. Hobbs and H. B. Glasgow 1992 New 'phantom' dinoflagellate is the causative agent of major estuarine fish kills. *Nature*, 358: 407-410.
- 2) 近藤竜二・鍵谷 豪・幸保 孝・廣石伸互・渡辺眞之 1998 日本水産学会シンポジウム アオコの分類, 64: 291-292.
- 3) Komárek J. and K. Anagnostidis 1999 Süßwasserflora von Mitteleuropa, Cyanoprokaryota 1Teil, 548pp.
- 4) Otsuka S., S. Suda, R. Li., M. Watanabe, H. Oyaizu, S. Matsumoto and M. M. Watanabe 1999 Characterization of morphospecies and strains of the genus *Microcystis* (Cyanobacteria) for a reconsideration of species classification. *Phycological Research*, 47: 189-197
- 5) 朴 虎東 1999 富栄養化湖沼における有毒ラン藻と毒素の挙動. 第12回関西水圏環境研究機構公開シンポジウム要旨 80-90.
- 6) 渡辺 信 1989 アオコの毒性に関する研究の現状と課題. *水質汚濁研究*, 12: 750-756
- 7) 渡辺 信 1995 藍藻綱 *Microcystis*属. 小島貞男・須藤隆一・千原光雄 (編), 環境微生物図鑑, 講談社サイエンティフィク, pp. 180-185.
- 8) 渡辺眞之・千原光雄 1980 筑波研究学園都市地区の藻類相V, 霞ヶ浦産藍藻プランクトンの分類. *筑波の環境研究*, 5A: 80-86.
- 9) 渡辺眞之 1989 アオコの形態に基づく分類, 日本海洋学会秋季大会要旨集, 292-293.
- 10) 渡辺眞之 1994 水の華をつくる藍藻. 渡辺眞利代・原田健一・藤木博太(編), *Waterbloom アオコ その出現と毒素*, 東京大学出版会, pp. 25-54.
- 11) 渡辺眞之 1998 特集アオコ アオコの分類. *海洋と生物*, 115, 20: 83-87.
- 12) 渡辺眞之 1999 浮遊性藍藻類の観察と研究. 山岸高旺 (編), '淡水藻類入門 淡水藻類の形質・種類・観察と研究', pp. 369-380.
- 13) Watanabe, M. F. and Oishi, S. 1980 Toxicities of *Microcystis aeruginosa* collected from some lakes, reservoirs, ponds and a moat in Tokyo and adjacent regions. *Jpn.J.Limnol.*, 41: 5-9.