

大阪市内公園池に発生するアオコと 淡水赤潮原因プランクトンの特性について*

大 島 詔¹⁾・鶴 保 謙四郎²⁾

キーワード

- ① urban park pond ② Osaka city ③ *Microcystis* ④ *Oscillatoria*
⑤ euglenophyceae ⑥ dinophyceae

Abstract

To reveal the phytoplankton species and their interspecies relationships which cause heavy algal bloom turning water surface color to strong green (*aoko*) or to brown (*akashiuo*), two-year-long monthly investigation with microscope was employed at six urban park ponds in Osaka city. *Microcystis* were the most abundant species, and it had not disappear in winter season (Jan. to Mar.) in many ponds. Some of them kept 10^3 cells mL⁻¹-order that is near to algal bloom. Mean phytoplankton composition of algal blooming genus or class could classify these ponds into four categories; 1) Chlorophyceae-Bacillariophyceae dominant pond which causes no heavy blooms, 2) *Microcystis* pond, 3) *Oscillatoria* pond, 4) *aoko* and *akashiuo* pond with cyanophyceae, euglenophyceae and dinophyceae. Additionally, Spearman's rank correlation analysis showed the confliction between *Microcystis* and *Oscillatoria*. Nitrogen: phosphorus ratio was suspected as a driver controlling the dominant species in the water. Also, a tendency was shown toward the co-occurrence of *Microcystis* and euglenophyceae or dinophyceae, this suggests that the co-occurrences of *aoko* and *akashiuo* at the same time. This phenomenon was seemed due to surface water sampling, because those species have ability for rising up in the water column when heavy algal blooms occurred. Anyhow, supplement investigations was required.

序 論

大阪市には池を持った公園が多数あり、これらの池が醸し出す空間は市民の憩いにとって非常に重要な役割を果たしている。ただしこれら公園池は都市域にあり、容易に富栄養化しやすくアオコ（藻類の異常増殖により池水が緑色に着色する現象、以下同じ）や淡水赤潮（藻類の異常増殖により池水が赤色や褐色に着色する現象、以下同じ）

が恒常的に発生する傾向にある。

飲料水源として利用されるようなダムや湖などでは増殖した藻類が出す、たとえば *Microcystis aeruginosa* のミクロキスチンといった毒性物質が健康の側面から問題となるが^{1,2)}、大阪市内にある公園池は通常飲料水源等として利用されないののでこの面からはあまり問題視されない。それでも住民が憩いや安らぎを求めて集う公園池が常にア

*Characteristics of phytoplankton species causing heavy algal blooms at the urban park ponds in Osaka city.

¹⁾Akira Oshima, ²⁾Kenshiro Tsuruho (大阪市立環境科学研究所) Osaka city Institute of Public Health and Environmental Sciences

Table 1 The fundamental property of investigated Pond A to F in this study

Pond	Area (m ²)	Volume (m ³)	Water source	Water color
A	130000	500000	?	almost clear*
B	500000	2000000	Treated sewage water	almost clear
C	5000	8500	Nothing	green and/or brown
D	38000	57000	Ground water	green and/or brown
E	40000	44000	Industrial water	green
F	21000	29000	Ground water	green

*Occasionally turned to light green.

オコや淡水赤潮によって一面が覆い尽くされているようでは、市民は感覚的に「きたない」と感じ、このような景観からは精神的な健康は得難いであろう。

大阪市の公園池ではアオコを抑制するための技術はいくつか検討され、試されてはきたものの十分な成果を上げるには至っていない。その理由の一つとしてプランクトン群集組成の把握が不十分なことが考えられる。一言に「アオコ」や「淡水赤潮」といっても原因となるプランクトン種は多種多様であり、その発生要因も種によりまちまちである。したがってプランクトン種の把握なしにアオコや淡水赤潮の抑制は難しいと思われる。そこで本研究では大阪市内公園池で発生するアオコや淡水赤潮の原因となる植物プランクトン種の把握を第1の目的とし、さらに原因となるプランクトン属(綱)間の対応関係を解析し、アオコや淡水赤潮の発生傾向の分析を行った。

調査方法

本研究では調査場所として採水が容易である大阪市内にある公園池6カ所を選んだ(A池, B池…順にF池とする)。それぞれの池の特性をTable 1に示す。C池からF池までの4池は夏場を中心として著しいアオコの発生がみられた。

植物プランクトンの調査は2000年4月より2002年3月までの2年間にわたり、毎月定期的に表層水を採取することにより行われた。A池, D池, F池には池の中心付近に橋が架かっているのでその橋上から水を採取した。B池, C池, E池では池の岸から採水した。なお2001年9月は欠測である。

試料は池水約100mlをあらかじめ四ホウ酸ナト

リウムで中和処理を行った中性ホルマリンを最終濃度が約2%になるように添加して固定した。検鏡のために試料の濃縮を行ったが、この操作に先立ち*Microcystis*などが持つガス胞の破壊を目的として超音波処理を行った。2000年4月から2001年3月までの試料は超音波発生装置(UD-200, TOMY製)でプローブを試料に直接差し込み、出力50Wで1分間処理した。2001年4月から2002年3月までの試料は超音波洗浄機(D-150, *Delta new instrument Co. Ltd.*製)で保存に用いたポリエチレン製の容器ごと10分間処理した。なお、これらの処理により植物プランクトンは完全に沈降するようになり、また顕著な細胞破壊は認められなかった。濃縮操作は先にメスシリンダー、次に遠心チューブで試料をそれぞれ24時間以上静沈させることにより行った。この操作により多くの試料は2ml以下にまで濃縮された。

濃縮された試料は光学顕微鏡とビルケルチュルク血球計算盤を用いて植物プランクトン種の同定と計数を同時に行った。同定は種レベルを原則としたが珪藻類をはじめとして多くの種は光学顕微鏡による観察だけで種名を判別することは困難であるためにほとんどが属レベルでの同定にとどまった。元の試料に換算して10cells ml⁻¹以上存在する種が検出できる水準まで計数を繰り返した。

各池ごとでアオコや淡水赤潮を引き起こすとされる藻類5グループ(*Microcystis*, *Oscillatoria*, *Anabaena*, ユーグレナ藻類, 渦鞭毛藻類)^{3,4)}, C池とD池でかなりの発生が見られた*Lyngbya*, その他の藻類の7グループとに分けて月ごとに組成比を算出し、この値を平均化してプランクトン種の発生傾向を把握した。さらにこの値をもとにグ

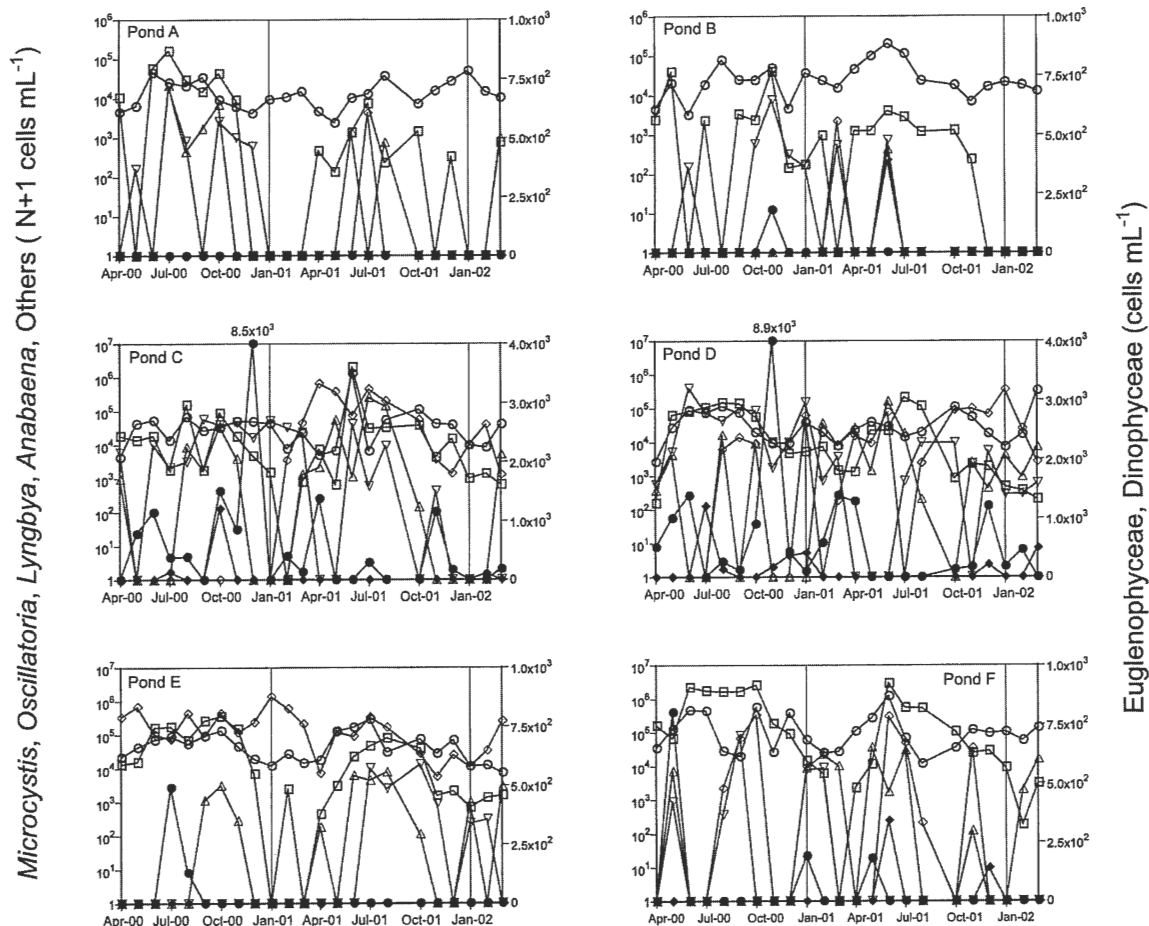


Fig.1 The variation of blooming phytoplankton *Microcystis* (⊕), *Oscillatoria* (⊕), *Anabaena* (▽), *Lyngbya* (△), euglenophyceae (right axis, ○), dinophyceae (right axis, ◆) and other species (●) at Pond A-F.

Table 2 The result of Spearman's ρ test and their valid sample numbers (n) among the ratio of *Microcystis*, *Oscillatoria*, *Anabaena*, *Lyngbya*, euglenophyceae, dinophyceae and number of other species to the total number of community

ρ	n	<i>Microcystis</i>	<i>Oscillatoria</i>	<i>Anabaena</i>	<i>Lyngbya</i>	Euglenophyceae	Dinophyceae	Others	Valid Case
<i>Microcystis</i>			57	60	55	67	50	121	121
<i>Oscillatoria</i>		-0.521***		36	28	35	29	61	61
<i>Anabaena</i>		0.009	0.061		34	35	30	61	61
<i>Lyngbya</i>		0.068	-0.141	0.219		39	22	60	60
Euglenophyceae		0.257*	-0.227	0.202	0.215		36	70	70
Dinophyceae		0.335*	-0.157	0.359	0.619**	0.444**		53	53
Others		-0.403***	-0.468***	-0.096	-0.135	0.061	0.217		138

shows significant correlation ($p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$).

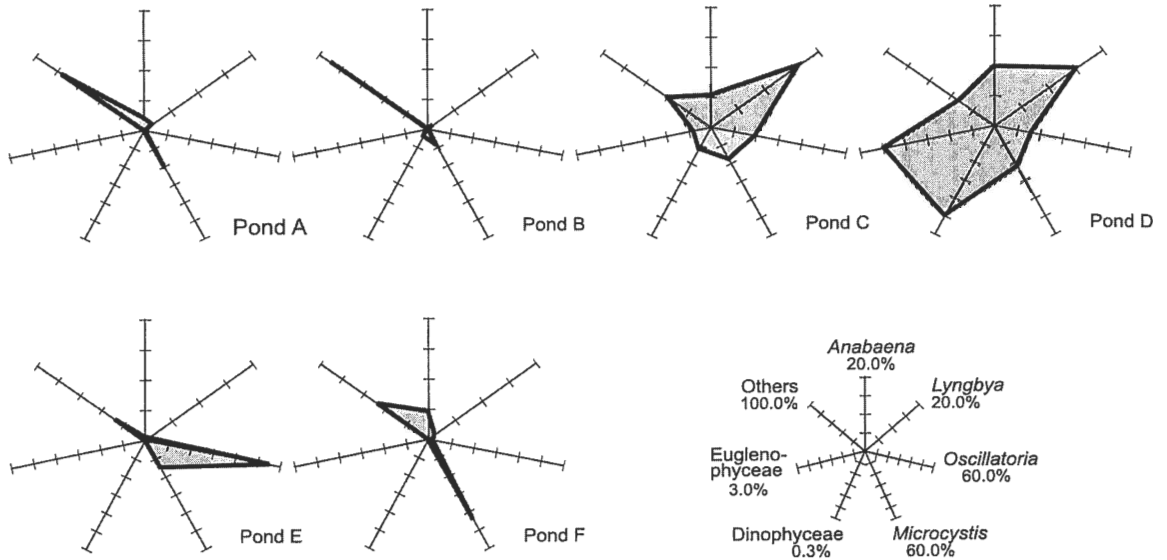


Fig.2 The mean ratio of *Microcystis*, *Oscillatoria*, *Anabaena*, *Lyngbya*, euglenophyceae, dinophyceae and other species at Pond A-F. The ratio is average of monthly ratio of each seven group.

ループ間の関係を Spearman の順位相関分析で解析した。その際に、対応関係を調べる両グループのうちいずれか、もしくは双方が0であったペアは解析からは除いた。

結 果

A 池 (Fig. 1-Pond A) では2000年7月に *Microcystis* の極大が見られたがアオコとはならなかった。この池では年間を通じて緑藻の割合が高く、春から秋にかけて *Pediastrum duplex* が $10^3 \sim 10^4$ cells ml⁻¹ の桁で見られ、多くの月で優占種であった。8月には両年とも *Coelastrum microporum* や *Pandorina morum* の優占が見られ、12~3月にかけては珪藻の *Cyclotella kützingiana* が優占する季節変化を示した。B 池 (Fig. 1-Pond B) でもアオコの原因となるプランクトン種の増大はほとんど見られなかった。A 池同様に相対的に緑藻類の割合が高かったが、2000年7月、2001年6月の *Pediastrum duplex* による優占を除くと春から秋にかけて優占していたのは *Scenedesmus spp.* であった。*Cy. kützingiana* は10月~2月(2001年)、もしくは3月(2002年)まで優占し、この期間はA池よりも長かった。2001年6月には *Co. microporum* が優占し 1.9×10^5 cells ml⁻¹ を示した。

C 池 (Fig. 1-Pond C) は2000年と2001年とで池水の色が異なった。2000年の池水は褐色味を帯びた緑色であることが多く、翌年はより緑色が強くなった。2000年にはユーグレナ藻類(主に *Trachelomonas*)が多く出現し、12月を最大として平均 1.9×10^3 cells ml⁻¹ であったが翌年は出現頻度や数量が大きく減少し、平均 2.9×10^2 cells ml⁻¹ であった。代わって *Microcystis* や *Anabaena*、そして2000年には観察されなかった *Oscillatoria* が細胞数を大きく伸ばした。D 池 (Fig. 1-Pond D) でもユーグレナ藻類(主に *Euglena*)が年間を通じて発生し、加えて渦鞭毛藻類(主に *Ceratium hirundinella*)も2000年を中心として多く発生した。中でも2000年7月は最もはなはだしい赤潮状態であり、このときに *C. hirundinella* を 1.2×10^3 cells ml⁻¹ 記録した。2000年は夏から秋をピークに *Microcystis* の出現も見られたが、2年目は順に *Lyngbya*、*Microcystis*、その他の藻類、*Oscillatoria* と優占種が変化した。C池とD池ではユーグレナ藻類や鞭毛藻類の出現以外にも *Anabaena* や *Lyngbya* の割合が高いという特徴が見られ、これらの池では組成の内おおむね5~10%程度を占めていた (Fig. 2)。

E 池 (Fig. 1-Pond E) では2000年は年間を通

じてほぼ *Oscillatoria* (ほとんどが *O. limnetica*) が優占した。しかし2001年にかけてその数を徐々に減らす傾向にあり、10月～12月までは絶対数は少ないものの *Microcystis* の優占が見られた。この池では前述の2者以外の細胞数は少なかった。F池 (Fig. 1-Pond F) は最も甚だしいアオコ状態を呈し、その原因となった *Microcystis* は6月に急激に細胞数を増大させて10月頃までずっと優占し続けた。11月以降は両年とも *Fragilaria* sp. が1月までと2月～5月までは *Scenedesmus* spp. が優占した。

各池ごとのプランクトン7グループ間の年間平均出現割合の比較より (Fig. 2), 公園池は以下に示す4つのカテゴリーに大別された。

- 1) アオコや淡水赤潮原因種が少なく、その他の藻類の割合 (主に緑藻と珪藻) が高い A, B 池
- 2) *Microcystis* が半分程度を占める F 池
- 3) *Oscillatoria* が半分以上を占める E 池
- 4) 発生する藍藻類はバランスがとれており、淡水赤潮を引き起こすユグレナ藻類や渦鞭毛藻類も多く見られる C, D 池である。

さらに、アオコや淡水赤潮を起こす生物群間の関係を Spearman の順位相関係数で比較を行ったところ、*Microcystis* と *Oscillatoria*, *Microcystis* とその他の藻類, *Oscillatoria* とその他の藻類間で負の相関, ユグレナ藻類と渦鞭毛藻類の間, *Lyngbya* と渦鞭毛藻類, *Microcystis* とユグレナ藻類, *Microcystis* と渦鞭毛藻類との間で正の相関を示した (Table 2)。

考 察

A池とB池ではアオコがほとんど観察されず、プランクトン種は緑藻・珪藻型であり公園池のプランクトン組成としては非常に良好であった。おもに中栄養から富栄養の湖沼で見られる *Scenedesmus* spp. や *Pediastrum duplex*, *Coelastrum microporum*, *Cyclotella kützingiana* 等が優占した⁵⁾。理想的な姿であった。

公園池におけるプランクトン組成の比較より、アオコを引き起こすプランクトン種では唯一 *Microcystis* がどの池でも10%以上の割合で普遍的に出現する種であった。この種が大阪市内公園池を

代表することを示す。さらに *Microcystis* はA池を除いて年間を通じて観察されることが多かった。11月以降は3月にかけて徐々に数を減少させ、場合によっては消滅したが、D池では2年とも観察が途切れなかった。その数も、たとえば2001年2月で 7.3×10^3 cells ml⁻¹も計数され、F池でも 6.1×10^3 cells ml⁻¹もの値を記録した。国内では冬季においても *Microcystis* がこの水準で維持されている湖沼に関して報告例に乏しいが、これは大阪市内公園池におけるひとつの特徴であると思われる。大まかに水の華は優占種がだいたい 10^4 から 10^5 cells ml⁻¹のレベルから引き起こされるようであるが³⁾、大阪市内公園池においては真冬の2月でもこの値に近く、冬季においても *Microcystis* によるアオコが発生する潜在的な危険性を示している。ただし冬季においてもこの細胞数が維持される機構については不明である。

Spearman の順位相関分析によりアオコや淡水赤潮を引き起こす各グループ間の関係が部分的に明らかになった。なかでも *Microcystis* は多くのグループ間と有意な相関を示した (Table 2)。

Microcystis と *Oscillatoria* 間にみられた負の相関は池に存在する窒素/リン比が作用している可能性がある。Takamura et al. (1992) は霞ヶ浦において窒素/リン比の増大により優占種が *Microcystis aeruginosa* から *Oscillatoria agardii* へシフトしたと報告している⁶⁾。大阪市内公園池の場合、*Oscillatoria* 型のE池では窒素, *Microcystis* 型のF池ではリンがそれぞれ相対的に過剰になりやすい傾向にあり (未発表), この例と相似である。しかしながら一方で窒素/リン比は両者の優占にさほど寄与していないという反論もあり⁷⁾, また *O. agardii* は当然のことながら大阪市内公園池で発生した *O. limnetica* とは異なる種であるので外挿は難しいかもしれない。両者は大阪市内公園池における主要な優占種であるため、窒素/リン比を軸にこれらの動態に関与する要因の解明は早急に取り組む必要がある。

また *Anabaena* はその出現があまり観察されなかった。この種はおもに北海道や標高の高い所にある湖沼でアオコを形成する傾向にあるため³⁾, 大阪市でこの藻類によるアオコが形成されなくてもなんら疑問はないであろう。

淡水赤潮の原因となるユーグレナ藻類と渦鞭毛藻類は相関分析により正の順位相関を示した。ただしユーグレナ藻類の発生した70件のうち約半数の34件は渦鞭毛藻類を伴っていなかったためこの解析には反映されておらず、逆の渦鞭毛藻類のみが発生したケースでは17件もある。一般的にユーグレナ藻類はごく浅い湖沼で、渦鞭毛藻類は湖やダム湖といった具合に淡水赤潮を引き起こす場所が異なり、その発生要因も異なる⁸⁾。さらに今回の相関分析でも多くのケースが除外されているのでこの解析は両者の関係を十分に反映しているとは考えられず、両者間で出現の要因はやはり異なると予想される。

また、淡水赤潮とアオコ間でも一般的には発生する場所が大きく異なるとされているが⁸⁾、ユーグレナ藻類や渦鞭毛藻類は *Microcystis* と有意な正の相関を示した。このことは調査対象を表層水のみとしたことに起因するかもしれない。藻類が大量増殖した水柱内では表層の一部を除くと光量が決定的に欠乏し純生産量が負となることもある⁹⁾。アオコ状態が甚だしい状態であればあるほど群集内に占める *Microcystis* の割合は相対的に増大し、また他のプランクトンは光資源を求めて表層のごく一部分にとどまる必要性が強くなる。このような状況下では運動能力をもつユーグレナ藻類や渦鞭毛藻類は表層に移動することによって容易に対応可能と思われる。実際の3者の関係は、たとえば渦鞭毛藻類は *Microcystis* の毒素により生育を阻害されるという例もあり¹⁰⁾、複雑であると思われる。今回の例も相関分析では関係を示したものの、赤潮を引き起こすユーグレナ藻類や渦鞭毛藻類が多く出現したC池やD池では相対的に *Microcystis* の割合が低いという特徴も見られた。それでも、採水を行った表層水のみに限定的な場合に公園池ではアオコ原因種の *Microcystis* と淡水赤潮の原因種は同時に表層に生じる傾向にあることを示した。

以上の結果をまとめると、

- 1) 大阪市内公園池におけるアオコの原因種として *Microcystis* が第1にあげられ、冬季においてもかなりの細胞数が維持されている
- 2) *Microcystis* と *Oscillatoria* の出現には負の関係があり、池水中の窒素：リン比が疑われる
- 3) *Microcystis* と淡水赤潮を生じさせるプランクトンは同時に表層水中に出現する傾向にある

今回の調査では残念ながら特徴的な大阪市内公園池のアオコや淡水赤潮発生メカニズムの解析にはほど遠く、データの蓄積範囲を水質等にも広く拡大し、群集組成に大きな影響を及ぼす因子を多角的に抽出する必要がある。

—引用文献—

- 1) Elise M. Jochimsen, W. W. Carmichael, Jisi An, Denise M. Cardo, Susan T. Cookson, Christianne E. M. Holmes, M. Bernadete de C. Antunes, Djalma A. de Melo Filho, Tereza M. Lyra, Victorino Spinelli T. Barreto, Sandra M. F. O. Azevedo, William R. Jarvis: Liver failure and death after exposure to microcystins at hemodialysis center in Brazil. *New England Journal of Medicine*, **338**, 873–878, 1998
- 2) Skulberg, O. M., G. A. Codd, W. W. Carmichael: Toxic blue-green algae blooms in Europe: a growing problem. *Ambio*, **13** (2), 244–247, 1984
- 3) 渡辺真利代, 原田健: 有毒アオコ—その生物学的, 化学的特性—. *Japanese Journal of Limnology*, **54** (3), 225–243, 1993
- 4) 根来健一郎: 淡水赤潮を引き起こすプランクトン, 門田元, 淡水赤潮, pp. 1–19, 恒星社厚生閣, 東京, 1987
- 5) 水野壽彦: 日本淡水プランクトン図鑑, p. 287, 保育社, 大阪, 1964
- 6) Takamura, N., A. Otsuki, M. Aizaki, Y. Nojiri: Phytoplankton species shift accompanied by transition from nitrogen dependence to phosphorus dependence of primary production in Lake Kasumigaura, Japan. *Archiv fur Hydrobiologie*, **124** (2), 129–148
- 7) 藤本尚志, 福島武彦: 湖沼における藻類種と環境因子との関係。アオコの計量と発生状況, 発生機構—アオコ指標検討会資料— (国立環境研究所編), 105–114, 1995
- 8) 渡辺泰徳: アオコの生物学と生態学, 渡辺真利代, 原田健一, 藤木博太, アオコその出現と毒素, p. 4, 東京大学出版会, 東京, 1994
- 9) Ganf, G. G., A. J. Horne: Diurnal stratification, photosynthesis and nitrogen-fixation in a shallow, equatorial lake (Lake George, Uganda). *Freshwater Biology*, **5**, 13–39, 1975
- 10) A. Sukenik, R. Eshkol, A. Livne, O. Hadas, M. Rom, D. Tchernov, A. Vardi, A. Kaplan: Inhibition of growth and photosynthesis of the dinoflagellate *Peridinium gatunense* by *Microcystis* sp. (Cyanobacteria): A novel allelopathic mechanism. *American Society of Limnology and Oceanography*, **47** (6): 1656–1663 (2002)