培養によるアオコの生理学的特性*1

中原 紘之, 中川 功, 長尾 文孝*2

(京都大学農学研究科)

ある限られた種のみがブルームを起こし、様々な影響を生態系に与えている。発生要因の解明のためには、野外でブルームが発生したときの様々な環境条件を抽出し、どの様な条件が最も関係が深いかを、室内実験で確かめるという方法が最もオーソドックスなやり方であろう。さらに、ある種がどのような生態的、生理的特性をもつが故にブルームを形成するのかの解明をめざして、野外あるいは実験室でいろいろ実験が行われている。野外材料を用いた本質的な実験も多く行われているが、^{1,2)} 材料の生理的狀態を揃えた実験を行うのは困難である場合が多い。そこで培養株を用いて様々な実験が行われることになる。さらに培養株を用いた実験によらなければ解明し辛いいくつかの生理特性がある。無菌培養株を用いて初めて明らかにできる特性がある。特に栄養生理、栄養塩の取り込み特性などは、無菌培養株の使用が必須である。

培養株の問題点

培養株を用いた各種培養実験による生理的特性の解明が、植物プランクトンのブルームの形成要因の解明に有効であるためには、培養株が野外で生育しているものと異なったものでないことが必須である。生理的に異なっていないかを確かめるのは困難であるが、少なくとも形態的に野外で見られるものと異なっていない生理的にも異なっている可能性を否定することはできない。自然で生じている現象が実験室で再現できる株でなければ、ほとんど意味を持たない場合がある。

アオコ、特に *Microcystis* の優占機構の解明に培養生理実験が有効であるためには、実験に無菌株を用い、その無菌株が野外で見られるような群体を形成し、かつ野外で見られるほどの増殖速度を持つ条件が明らかにされることが必要である。しかし無菌分離された株のほとんどは群体を形成しない。³⁾ このことは自然では細菌類が *Microcystis* の生活に重要な役割を果たしていることを示唆しており、群体形成に関わる細菌を明らかにするこ

とがまず重要であるのかもしれない。群体はその周囲をスライムで取り囲まれており、表面の細胞はそのスライムを通して外部と関係をもつ。また群体内部の細胞は表面の細胞と異なった条件のもとにある。バラバラの無菌株を用いて明らかにされた生理特性は、群体で生活している場合にはほとんど当てはまらなないと考えた方がよい。一方、細菌が混在して群体を形成する株を用いると、栄養生理学的な実験はまず意味を持たないし、増殖生理の解析に必要な経時的な生長量の測定は非常に難しい。

浮上、沈降の調節

Microcystis で見られる重要な生理特性の一つとして、浮力を調節し、上下運動を行うということがある。アオコの発生湖沼の特徴は次のようにまとめられている。1) 栄養塩濃度が高い (富栄養か過栄養湖沼)、2) 水深が浅い (13 m 以下)、3) 水温が高い (17°C 以上)、4) 塩分濃度が低い (塩素濃度 2,400 ppm 以下)。^{*3} これらの内、2) と 3) の条件のもとでアオコの発生が起こるのは、*Microcystis* がある条件下では上下運動を行うという特性が関与しているものと考えられる。この現象に関しては群体を形成する株を用いて実験室で再現できれば、この現象が起きるときの生理的な性質の解明が可能であると考えられる。*Microcystis aeruginosa* では細胞内の窒素が欠乏すれば沈降し、窒素を十分にため込んでいるときは、常に表面に浮上する。このいずれの場合も上下運動を行わない (表 1)。明け方上昇し、午後に沈降するのは、細胞内窒素含量がある範囲内にあり、光合成産物のうち、どれくらいが蛋白質に合成され、どれくらいが炭水化物として蓄えられるかに関係している (表 2)。

生活史

アオコの発生が持続する期間は湖により異なるが、春あるいは初夏に始まり、秋になると湖底に沈降し水中からは消失する。消失時期は湖底で生存し続け、しかも泥の中に埋もれ完全な暗条件下でも生存し続けることが知ら

*1 Physiological Property of *Microcystis* Clarified by Culture Studies.

*2 Hiroyuki Nakahara, Isao Nakagawa and Fumitaka Nagao (Graduate School of Agriculture, Kyoto University, Sakyo, Kyoto, 606-8025, Japan).

*3 福島武彦: アオコの発生と湖沼環境。第 18 回日本環境化学会講演会予稿集, 1-8 (1996)。

表1 *Microcystis aeruginosa* の浮上沈降におよぼす窒素の濃度ならびに光量の影響 (14 時間明期, 10 時間暗期の明期の 2 時間目に移植)

材 料	培地中の N 濃度	光 量			
		200 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$	40 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$	10 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$	dark
浮上していた colony (CT 培地で 15 日培養したもの, そのまま培養を続けるとあと 3 日後に沈降し始める)	0.7 $\mu\text{M}/\text{L}$	6 時間以内に沈降再浮上なし	2 日間浮上後沈降再浮上なし	3 日間浮上後沈降再浮上なし	浮上し続ける
	7 $\mu\text{M}/\text{L}$	6 時間以内に沈降再浮上なし	2 日間浮上後沈降再浮上なし	7 日間浮上後沈降再浮上なし	浮上し続ける
	35 $\mu\text{M}/\text{L}$	6 時間以内に沈降次の暗期に浮上し昼に沈降。その後 4 日間昼夜上下運動を行い沈降	2 日後の明期に沈降次の暗期に浮上し昼に沈降。その後 4 日間昼夜上下運動を行い沈降	浮上し続ける	浮上し続ける
	2.26 mM/L (CT 培地)	浮上し続ける	浮上し続ける	浮上し続ける	浮上し続ける
沈降していた colony (N 欠乏培地に移し沈降してから 1 日後のもの)	0.7 $\mu\text{M}/\text{L}$	沈降したまま	沈降したまま	沈降したまま	沈降したまま
	10 $\mu\text{M}/\text{L}$	沈降したまま	沈降したまま	沈降したまま	沈降したまま
	2.26 mM/L (CT 培地)	24 時間後に浮上以後浮上続ける	6 時間後に浮上以後浮上続ける	6 時間後に浮上以後浮上続ける	沈降したまま

表2 *Microcystis aeruginosa* の異なった光条件のもとでの浮上細胞と N 欠で沈降した細胞の炭水化物とタンパク質量 ($\mu\text{g}/\text{乾燥藻体 } 1 \text{ mg}$)

	200 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$	40 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$	10 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$	N 欠で沈降直後
炭水化物	212.2 $\pm$ 20.2	227.1 $\pm$ 7.0	187.1 $\pm$ 4.6	360.8 $\pm$ 8.3
タンパク質	332.3 $\pm$ 66.5	346.1 $\pm$ 36.1	261.2 $\pm$ 23.0	143.5 $\pm$ 24.1
炭水化物/タンパク質	0.64	0.66	0.72	2.51

れている。^{4,5)} この湖底に沈んだアオコが再浮上する際に、湖底から大量のリンを回帰させることも知られている。⁶⁾ アオコの生活史の進行の条件を培養株を用いて検討した結果、水温が 15°C 以下になると培地中に窒素が十分にあって沈降し始め、再浮上が見られなかった。沈降したコロニーは明条件下では 20 日後には白化し始めた。しかし、それらを暗条件に保つと色素は保たれ、水温を 20°C 以上に上昇させると浮上した。琵琶湖産の *Microcystis aeruginosa* では生活史の進行には水温が最も重要な要因を果たしていると考えられる。

文 献

- 1) N. Takamura, T. Iwakuma, and M. Yasuno: Photosynthesis and primary production of *Microcystis aeruginosa* Kütz. in Lake Kasumigaura. *J. Plankton Res.*, **7**, 303-312 (1985).
- 2) N. Takamura, T. Iwakuma, and M. Yasuno: Uptake of ^{13}C and ^{15}N (ammonium, nitrate and urea) by *Microcystis* in Lake Kasumigaura. *J. Plankton Res.*, **9**, 151-165 (1987).
- 3) 熊谷光彦, 高村義親, 矢木修身, 須藤隆一: 藍藻 *Microcystis aeruginosa* と細菌 *Moraxella nonliquefaciens* との相互関係. 陸水学雑誌, **47**, 219-228 (1986).
- 4) C. S. Reynolds: The ecology of freshwater phytoplankton. Cambridge Univ. Press, Cambridge, 1984, p. 384.
- 5) 高村典子: 藍藻による水の華, 特に *Microcystis* 属の生態学的研究の現状. 藻類, **36**, 65-79 (1988).
- 6) A-K. Brunberg: Microbial activity and phosphorus dynamics in eutrophic lake sediments enriched with *Microcystis* colonies. *Freshwater Biol.*, **33**, 541-556 (1995).