中筋川下流域に発生する淡水赤潮の原因種 *Plagioselmis* sp. (87 株) の増殖生理特性

西島 敏隆, 畑 幸彦, 橋本 尚之

(1989 年 10 月 20 日受付)

Growth Characteristics of *Plagioselmis* sp. (strain 87) Causing Freshwater Red Tide in the Lower Part of the Nakasuji River, Japan

Toshitaka Nishijima,^{*1} Yoshihiko Hata,^{*1} and Naoyuki Hashimoto^{*1,2}

Freshwater red tides by *Plagioselmis* sp., a Cryptophyceae, frequently occur in the lower part of the Nakasuji River during the cold seasons. The present paper describes the growth characteristics of *Plagioselmis* sp. (strain 87) isolated from the river water in 1987.

The optimum temperature and light intensity for the growth of *Plagioselmis* sp. (strain 87) were found to be 10–25°C and 1,000–14,000 lx. This alga preferred the neutral and lower alkaline pH (7–9).5 and lower salinity (0–3.4‰). The amounts of nitrate, phosphate, and vitamin B₁₂ required to maximize both growth rate and cell yields were 5 mg N/l, 0.15 mg P/l, and 50 ng/ml, respectively. The half-saturation constants of nitrate, phosphate, and vitamin B₁₂ based on the growth rate were estimated to be 0.15 mg N/l, 0.0078 mg P/l, and 2.3 ng/l, respectively. The minimum cell quotas of nitrogen, phosphorus, and vitamin B₁₂ were 1.5×10^{-2} ng N/cell, 5.5×10^{-4} ng P/cell, and 2.5×10^{-4} pg/cell, respectively.

Phosphate concentration, but not nitrogen and vitamin B₁₂ concentration, in the Nakasuji River water was found to reach almost the level which can maximize the growth rate of this alga. Growth potential in the water was estimated to be more than 6×10^8 cells/ml from the quotients of those nutrient concentrations divided by each minimum cell quota of the alga. These results suggest that the water of the Nakasuji River has the potential of growing enough algae for the abundance of red tide during the cold seasons.

中筋川は高知県中村市の市街地を流れ、四万十川の下流部に合流している比較的小さい河川であり、生活・産業廃水によって水質汚濁が進行しつつある。近年、本河川の下流域において、晩秋から冬季にかけて、毎年のように淡水赤潮が発生している。この赤潮の第一優占種はグリプト藻の *Plagioselmis* sp. であり、その他、クリプト藻の *Isoselmis* sp. および渦鞭毛藻の *Katodinium* sp. が混在する。¹⁾ クリプト藻による淡水赤潮は今まで *Cryptomonas*³⁾ および *Cyanomonas*²⁾ によるものがわずかに報告されているが、*Plagioselmis* および *Isoselmis* による例はない。

赤潮の発生機構を解明するには、原因種の増殖生理特性を解析することが必要である。そこで、前報¹⁾では1984年に発生した赤潮から分離した *Plagioselmis* sp. (84株)の基本的な増殖生理について報告した。本研究で

は1987年に分離した株(87株)について、より詳細な増殖生理特性を調べると共に、これらと赤潮発生現場の水質との関連を解析した。

材料と方法

供試生物 1987年中筋川下流の赤潮発生水域から *Plagioselmis* sp. を分離し、ビベット洗浄法により無菌化したクローン株(87株)を供試した。

培養および増殖量の測定 保存および試験培養は培養液として Table 1 に示す Chu No. 10³⁾ 改変培地を用い、通常、水温 21°C、照度 9,000 lx、14 時間明/10 時間暗のサイクルで行い、試験目的に応じて培養液成分および培養条件を変更した。また、光源として昼光色蛍光灯を使用した。

培養は 18 mm 試験管に 10 ml 量の培養液を入れてバ

^{*1} 高知大学農学部 (Faculty of Agriculture, Kochi University, Nankoku, Kochi 783, Japan).

^{*2} 現在、兵庫県環境科学技術センター (Hyogo Prefecture Institution of Environmental Science and Technology, Yukihiro, Suma, Kobe 654, Japan).

^{*3} 小黒美樹, 大垣光治: 徳島公害センター報告, 4, 109-111 (1978).

Table 1. Composition of modified Chu No. 10 medium

Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	40 mg
K ₂ HPO ₄	30 mg
MgSO ₄ ·7H ₂ O	20 mg
Na ₂ CO ₃	20 mg
Na ₂ SiO ₃	25 mg
FeCl ₃ ·6H ₂ O	0.8 mg
PIV metals* ¹	0.5 ml
Vitamin mix. S3* ²	10 ml
Vitamin B ₁₂	0.2 µg
Tris buffer	1 g
Distilled water	1,000 ml
pH	8.0

*¹ One ml of PIV metals contained: FeCl₃·6H₂O, 0.194 mg; MnCl₂·4H₂O, 82 µg; ZnCl₂, 10 µg; Na₂MoO₄, 8 µg; CoCl₂·6H₂O, 4 µg; Na₂EDTA, 1.5 mg.

*² One ml of Vitamin mix. S3 contained: Thiamine HCl, 50 µg; Nicotinic Acid, 10 µg; Ca Pantothenate, 10 µg; *p*-Aminobenzoic Acid, 1 µg; Biotin, 0.1 µg; Inositol, 500 µg; Folic Acid, 0.2 µg; Thymine, 300 µg.

ッチ法で行い、試験はいずれも3本法で実施した。増殖量は1~2日毎に少量の培養液を採り、界線入りスライドグラスを用いて細胞数を直接計数して求めた。試験培養中は少量の培養液をSTP_{ss}⁴⁾培地に接種して培養し、細菌による汚染を監視した。

増殖生理に関する試験 増殖に及ぼす水温、照度、pHおよび塩分の影響を調べ、これらの至適条件下で窒素源、リン源、ビタミンおよび金属の影響を調べた。栄養塩およびビタミンの要求量は培養液中の他の栄養物質成分が充足される条件(NO₃-N, 5 mg/l; PO₄-P, 0.5 mg/l; ビタミン B₁₂, 0.2 µg/l)で試験し、増殖速度論的解析によって算定した。

なお、増殖に及ぼす水温、照度、pHおよび塩分の影響を調べる試験では保存培養した藻体をそのまま、栄養物質の影響を調べる試験では接種に伴って栄養物質が試験培養液へ持ち込まれるのを防ぎ、かつ接種藻体内の栄養物質蓄積量を減じるために、目的栄養物質を含まない培養液で7~10日間飢餓培養した藻体を接種藻に用いた。

増殖速度論的解析 比増殖速度は指数増殖期の細胞数の変化から次式(1)により、基質半飽和定数は Monod の式(2)を直線化した Woolf プロット(3)⁵⁾によって算出した。

$$\ln N_t = \ln N_0 + \mu \cdot t \quad (1)$$

$$\mu = \mu_m \frac{S}{K_s + S} \quad (2)$$

$$\frac{S}{\mu} = \frac{1}{\mu} \cdot S + \frac{K_s}{\mu_m} \quad (3)$$

ここで、 N_0 は培養初めの、 N_t は t 日間培養後の細胞数 (cells/ml) を、またそれぞれ、 μ は比増殖速度 (d^{-1})、

Table 2. Effects of temperature on the growth of *Plagioselmis* sp. (strain 87)*

Water temperature (°C)	Maximum cell yields (cells/ml)	Period for maximum growth (d)
5	63,900	13
10	176,000	13
15	214,000	13
20	267,000	11
25	215,000	13

* Incubated at 9,000 lx.

Table 3. Effects of light intensity on the growth of *Plagioselmis* sp. (strain 87)*

Light intensity (lx)	Maximum cell yields (cells/ml)	Period for maximum growth (d)
1,000	202,000	11
3,000	234,000	11
6,000	232,000	11
10,000	332,000	11
14,000	219,000	11

* Incubated at 21°C.

S は基質濃度 (mg/l または ng/l), K_s は基質半飽和定数 (mg/l または ng/l), μ_m は基質飽和時の最大比増殖速度 (d^{-1}) を表す。

最少細胞内含量の算定 植物プランクトンにある一種類の必須栄養物質制限下でバッチ培養した場合、増殖が定常期に達した藻体中のその制限栄養物質含量は、その藻の生存にとっての必要最少量、最少細胞内含量 (minimum cell quota) にとどまると考えられる。したがって、十分飢餓培養した藻体を接種して培養した場合、定常期までに増加した細胞数は初期制限栄養物質濃度に比例する。そこで、次式(4)により最少細胞内含量を算定した。

$$q_0 = \frac{S}{N_t - N_i} \quad (4)$$

ここで、 q_0 は最少細胞内含量 (µg/cell または pg/cell), N_i および N_t はそれぞれ接種時および定常期の細胞数 (cells/ml) を表す。

結 果

増殖に及ぼす水温の影響 培養温度と本藻の最大増殖量との関係を Table 2 に示す。これに見るとおり、増殖は 10~25°C の範囲で良好であり、増殖最適温度は 20°C 付近にあった。また、5°C では増殖は至適水温の場合の約 1/4 に抑制されたが、十分増殖が可能であった。これより、本藻は低水温に適応した広い好適温度域を持つことがわかった。

増殖に及ぼす照度の影響 照度 1,000~14,000 lx の範囲で試験した。結果は Table 3 に示すとおり、試験した

Table 4. Effects of pH on the growth of *Plagioselmis* sp. (strain 87)*

pH	Maximum cell yields (cells/ml)	Period for maximum growth (d)
6	184,000	14
7	220,000	14
8	280,000	12
9	270,000	12
9.5	225,000	14

* Incubated at 21°C.

Table 5. Effects of salinity on the growth of *Plagioselmis* sp. (strain 87)*¹

Salinity (‰)	Maximum cell yields (cells/ml)	Period for maximum growth (d)
0.0	277,000	15
3.4	180,000	15
6.8	—* ²	—* ²
10.3	—* ²	—* ²
13.7	—* ²	—* ²
17.2	—* ²	—* ²
34.2	—* ²	—* ²

*¹ Incubated at 21°C and 9,000 lx.*² No growth.**Table 6.** Effects of metals on the growth of *Plagioselmis* sp. (strain 87)*¹

Metals added* ²	Maximum cell yields (cells/ml)
None	—* ³
Fe	—* ³
Ca	—* ³
Mg	—* ³
Fe, Ca	—* ³
Ca, Mg	31,200
Mg, Fe	—* ³
Fe, Ca, Mg	39,800
Fe, Ca, Mg, PIV metals	253,000

*¹ Incubated at 21°C and 9,000 lx. Metals-omitted modified Chu No. 10 medium was used for the basal medium.*² The concentration of metals added to the basal medium: Fe, FeCl₃·6H₂O 0.8 mg/l; Ca, CaCl₂·2H₂O 28 mg/l; Mg, MgSO₄·7H₂O 25 mg/l; PIV metals, 0.5 ml/l (see Table 1.).*³ No growth.

全照度で増殖は良好で、本藻は 1,000 lx の比較的低い照度でも十分増殖が可能であると考えられる。また、最高増殖は 10,000 lx で得られ、14,000 lx でも明確な強光阻害は認められなかった。

増殖に及ぼす pH の影響 試験の結果を Table 4 に示す。試験した pH 6.0~9.5 の範囲では、pH 7.0 以上

Table 7. Effects of nitrogen sources on the growth of *Plagioselmis* sp. (strain 87)*¹

Nitrogen added		Maximum cell yields (cells/ml)
Compound	Concentration (mg N/l)	
None		4,100
NO ₂ -N	1.0	89,500
	5.0	382,000
	10.0	421,000
NH ₄ -N	1.0	70,000
	5.0	260,000
	10.0	397,000
NO ₃ -N	1.0	106,000
	5.0	293,000
	10.0	510,000
Urea-N	1.0	120,000
	5.0	347,000
	10.0	435,000

*¹ Incubated at 21°C and 9,000 lx. Nitrogen-omitted modified Chu No. 10 medium was used for the basal medium.

で良好な増殖を示し、pH 6.0 では増殖が多少抑制された。また、pH 8 付近で最高の増殖が得られた。これより、本藻はかなり広い pH 域で増殖が可能であり、弱アルカリ性付近に増殖至適 pH を有することがわかった。

増殖に及ぼす塩分の影響 培養液の塩分と最大増殖量との関係は、Table 5 に示すとおりである。すなわち、塩分 3.4‰ 以下でのみ増殖が認められ、塩分 0‰ で最も良好に増殖した。また、塩分 6.8‰ 以上では全く増殖せず、本藻は淡水から低いレベルの中塩水に適応した種であることが明らかである。

増殖に及ぼす金属類の影響 金属類として、Fe, Ca, Mg, Mn, Zn, Mo および Co を種々の組合せで含む培養液で試験した。その結果を Table 6 に示す。これから、Fe, Ca および Mg の単独添加並びに Fe と Ca, Fe と Mg の複合添加では全く増殖が認められず、Mg と Ca の 2 種、および Fe, Ca, Mg の 3 種共添加した場合に若干の増殖が認められた。しかし、7 種の金属を含む場合と比較して、その増殖量はそれぞれ約 12 および 16% に抑制された。これから、本藻の増殖には、基本的に Ca および Mg が必須であり、最高の増殖にはさらに、Fe, Mn, Zn, Mo および Co の一部、または全部が必要であることがわかった。

窒素の要求 窒素源として、亜硝酸、アンモニア、硝酸および尿素の各態窒素の利用能を試験した結果を Table 7 に示す。これに見るとおり、いずれの窒素化合物も、唯一の窒素源として利用することがわかった。さらに、試験した濃度範囲 1~10 mg N/l では、いずれの

Table 8. Specific growth rate, mean generation time, and maximum cell yields of *Plagioselmis* sp. (strain 87) grown in various $\text{NO}_3\text{-N}$ concentrations as a nitrogen source*¹

$\text{NO}_3\text{-N}$ concentration (mg N/l)	Specific growth rate (d^{-1})	Mean generation time (h)	Maximum cell yields (cells/ml)
20	1.30	12.8	327,000
10	1.27	13.1	322,000
5.0	1.22	13.6	346,000
1.0	1.04	16.1	103,000
0.1	1.02	16.4	31,200
0.01	0.92	18.1	29,100
0.00	—* ²	—* ²	—* ²

*¹ Incubated at 21°C and 9,000 lx. Half-saturation constant of $\text{NO}_3\text{-N}$ was calculated to be 0.15 mg N/l.*² No growth.**Table 9.** Specific growth rate, mean generation time, and maximum cell yields of *Plagioselmis* sp. (strain 87) grown in various $\text{PO}_4\text{-P}$ concentrations as a phosphorus source*¹

$\text{PO}_4\text{-P}$ concentration (mg P/l)	Specific growth rate (d^{-1})	Mean generation time (h)	Maximum cell yields (cells/ml)
5.0	1.14	14.6	258,000
1.0	1.13	14.7	293,000
0.5	1.08	15.5	292,000
0.1	1.14	14.6	190,000
0.05	1.13	14.7	83,000
0.01	0.94	17.8	24,500
0.00	—* ²	—* ²	—* ²

*¹ Incubated at 21°C and 9,000 lx. Half-saturation constant of $\text{PO}_4\text{-P}$ was calculated to be 0.0078 mg P/l.*² No growth.

窒素源も 1 mg N/l の低濃度で増殖が抑制され、10 mg N/l で最も高く、試験した濃度ではいずれも高濃度による増殖阻害は認められなかった。

次に、植物プランクトンが最も一般的に利用する硝酸態窒素に関し、濃度と比増殖速度および最高増殖量との関係を Table 8 に示す。これから、増殖量と増殖速度はともに培養液の窒素濃度に依存し、両者ともに 5 mg N/l 以上でそれぞれほぼ一定となった。

また、Woolf のプロット法から、本藻の増殖速度基準の窒素半飽和定数は 0.15 mg N/l と推算された。一般に、半飽和定数の 10 倍の基質濃度で、飽和時の 91% の増殖速度を与えると算定されるので、本藻の増殖速度は、他の栄養条件が充足される場合、1.5 mg N/l 付近の窒素濃度で飽和すると推察される。結局、本藻の増殖量と増殖速度を最高にする硝酸態窒素の濃度は 5 mg N/l 程度である。

増殖量が制限される窒素濃度 5 mg N/l 以下において、培養液中の初期濃度と増加した細胞数との関係は、Fig. 1 に示すとおり、両対数グラフで傾き 1 の直線に乗ることがわかった。このことは、窒素制限下で増加した細胞数は初期窒素濃度に比例し、前述の (4) 式で求めた細胞内含量が一定値をとることを示す。これから、本藻の最

Fig. 1. Maximum cell yields of *Plagioselmis* sp. (strain 87) grown in various $\text{NO}_3\text{-N}$ concentrations.

少細胞内窒素含量は 1.5×10^{-2} ng N/cell と算定された。

リンの要求 培養液の無機態リンの濃度と、最大増殖量および比増殖速度の関係を Table 9 に示す。これから、増殖量と増殖速度はともにリン濃度に依存し、この

Fig. 2. Maximum cell yields of *Plagioselmis* sp. (strain 87) grown in various PO₄-P concentrations.

Fig. 3. Maximum cell yields of *Plagioselmis* sp. (strain 87) grown in various vitamin B₁₂ concentrations.

Table 10. Effects of B group vitamins on the growth of *Plagioselmis* sp. (strain 87)*¹

Vitamins added* ²	Maximum cell yields (cells/ml)
None	—* ³
B ₁₂	293,000
Biotin	—* ³
Thiamine	—* ³
B ₁₂ , Biotin	340,000
Biotin, Thiamine	—* ³
Thiamine, B ₁₂	280,000
B ₁₂ , Biotin, Thiamine	271,000
B ₁₂ , Vitamin mix. S3	273,000

*¹ Incubated at 21°C and 9,000 lx. Vitamins-omitted modified Chu No. 10 medium was used for the basal medium.

*² The concentration of vitamins added: B₁₂, 0.2 µg/l; Biotin, 0.2 µg/l; Thiamine, 0.2 µg/l; Vitamin mix. S3 (see Table 1.), 10 ml/l.

*³ No growth.

うち増殖量は 0.5 mg P/l 以上で、増殖速度は 0.05 mg P/l 以上ではほぼ一定となった。また、増殖速度基準のリン半飽和定数は 0.0078 mg P/l と算定された。

次に、窒素の場合と同様にして求めた、増加した細胞数と培養液の初期リン濃度との関係は、Fig. 2 に示す。これから、最終増殖量は 0.15 mg P/l で飽和し、最少細胞内リン含量は 5.5×10^{-4} ng P/cell と算出された。

結局、他の条件が好適な場合、本藻の増殖速度はリン濃度 0.08 mg P/l で、最終増殖量は 0.15 mg P/l で、それぞれ飽和すると推察され、増殖抑制が生じないリンの要求量は 0.15 mg P/l である。

ビタミン類の要求 あらかじめビタミン類を含まない培養液で前培養した藻細胞を、9 種の B 群ビタミンを種類の組合せで含む培養液で培養した結果を Table 10 に掲げる。その結果、増殖はビタミン B₁₂ (以下 B₁₂ と称す) を含む培養液でのみ良好であり、本藻は試験した B

Table 11. Specific growth rate, mean generation time, and maximum cell yields of *Plagioselmis* sp. (strain 87) grown in various vitamin B₁₂ concentrations*¹

Vitamin B ₁₂ concentration (ng/l)	Specific growth rate (d ⁻¹)	Mean generation time (h)	Maximum cell yields (cells/ml)
1,000	1.07	15.5	340,000
500	0.99	16.8	355,000
100	1.14	14.6	367,000
50	1.07	15.5	332,000
10	1.03	16.1	39,700
1	0.43	39.0	3,930
0	—* ²	—* ²	—* ²

*¹ Incubated at 21°C and 9,000 lx. Half-saturation constant of vitamin B₁₂ was calculated to be 2.3 mg/l.

*² No growth.

群ビタミン類のうち B_{12} のみを必須的に要求することがわかった。

次に、本藻の比増殖速度および最大増殖量と B_{12} 濃度との関係を Table 11 に示す。これから、比増殖速度と増殖量は共に B_{12} 濃度に依存し、両者とも 50 ng/l 以上ではほぼ一定となった。また、Woelf プロット法で求めた増殖速度基準の B_{12} 半飽和定数は 2.3 ng/l であり、本藻の増殖速度基準の B_{12} 要求量は 23 ng/l 程度である。

さらに、培養液の初期 B_{12} 濃度と増殖量との関係から (Fig. 3), 増殖量が飽和する B_{12} 濃度は約 50 ng/l, 最少細胞内 B_{12} 含量は 2.5×10^{-4} pg/cell と算定された。

これらの結果から、増殖量および増殖速度を最高にするための B_{12} 要求量は 50 ng/l 程度と推察される。

栄養物質充足時の増殖速度 本藻の必須栄養物質、窒素、リンおよび B_{12} の要求量を充たし、塩分、pH、水温および照度が好適となる条件の下で得られた最大比増殖速度は、 $0.90 \sim 1.33 \text{ d}^{-1}$ 、平均世代時間は 12.5~18.5 h の範囲であり、多くの場合それぞれ $1.05 \sim 1.22 \text{ d}^{-1}$ および 13.6~15.8 h であった。

考 察

Plagioselmis sp. (87 株) の最適増殖には水温 20°C 、照度 10,000 lx、塩分 0‰ および pH 8 の各条件が必要であり、前報の 84 株¹⁾と比較して、87 株が増殖可能な塩分範囲が狭い点を除いて、両株に殆ど差が認められなかった。また、増殖速度と増殖量の両者を最大にするのに要する窒素濃度は、87 株が 84 株より多少高いが、そのリンおよび B_{12} 濃度に関しては、両株で差が認められなかった。

本藻の窒素要求量は 5 mg N/l と算定されたが、これは中栄養のダム湖で多発している赤潮の原因種、*Peridinium penardii* の 5 mg N/l^{*1}と同等である。しかし、琵琶湖の赤潮の原因種、*Uroglena americana* が $0.014 \sim 1.75 \text{ mg N/l}$ の範囲で最大増殖が可能なこと^{*2}と比べて、本藻の窒素要求量は相当高い。また、坂本³⁾がまとめた、最適増殖に必要な淡水性藻類の窒素要求量 $0.26 \sim 6.8 \text{ mg N/l}$ と比較すると、この値は、最も高濃度を必要とする、*Microcystis aeruginosa* の 6.8 mg N/l に匹敵している。すなわち、これらの藻類のなかで、本藻は高濃度の窒素を要求する種類に属する。

さらに、本藻のリン要求量 0.15 mg P/l は、*P. cun-*

ningtonii, *P. penardii* の 0.5 mg P/l ⁷⁾ よりやや低いが、*U. americana* の要求量 0.005 mg P/l ⁸⁾ よりかなり高い値である。また、坂本³⁾による淡水性藻類 (前述) のリン要求量 $0.018 \sim 0.45 \text{ mg P/l}$ の中でも比較的要求濃度の高い部類に属する。

赤潮を形成する藻類の殆どが B_{12} を必須に要求することが知られ、 B_{12} の要求量は *P. cunningtonii* が 12 ng/l,^{*1} 他の海洋性藻類は $10 \sim 20 \text{ ng/l}$ ⁷⁾ 程度とみなされている。本藻もこのビタミンを要求することが確認されたが、その B_{12} 要求量 (50 ng/l) は、これらと比べて 2~5 倍程高い。

本藻による赤潮発生は低水温期に限定され、その現場水温はおおよそ $5 \sim 18^\circ\text{C}$ である。^{*3,4} 培養試験による本藻の増殖最適水温は 20°C 付近に、好適水温は $10 \sim 25^\circ\text{C}$ であり、発生現場の水温より多少高い適水温域を持つ。しかし、本藻は発生時の下限の水温、 5°C でも増殖が可能であり、現場の水温条件と矛盾はない。また、本藻は塩分 0‰ を増殖最適とする淡水性種であるが、塩分 3.4‰ でもよく増殖し、本藻による赤潮が河川の感潮域で発生していることとよく一致している。

赤潮発生期にあたる秋季から春季の中筋川下流域における溶存態全窒素および溶存態全リンの濃度は、1985 年度および 1986 年度を通してみると、それぞれ $0.1 \sim 1.4 \text{ mg N/l}$ (平均 0.4 mg N/l) および $0.01 \sim 0.15 \text{ mg P/l}$ (平均 0.06 mg P/l) であった。^{*3,4} これら窒素・リン濃度 (平均値) を本藻の要求量に照らしてみると、リンは増殖速度が飽和する濃度にはほぼ達し、増殖量飽和濃度の約 1/2 にあたる。一方、窒素は増殖速度飽和濃度の約 1/4、増殖量飽和濃度の 1/10 以下に相当する。すなわち、この水域の窒素濃度は、本藻の最適増殖に必要なレベルには達していないが、リン濃度はこのレベルに近い。

次に、本藻の最少細胞内窒素・リン含量と、発生水域の溶存態窒素、リン濃度から、現場水域における増殖限度量を推定すると、窒素に関しては、 $6.7 \times 10^8 \sim 9.3 \times 10^4 \text{ cells/ml}$ 、リンに関しては、 $1.8 \times 10^4 \sim 2.7 \times 10^8 \text{ cells/ml}$ と算定された。本藻は約 $3 \times 10^8 \text{ cells/ml}$ の増殖量で赤潮と視認されるので、本水域の窒素とリンは、秋季から春季の期間は、いずれも赤潮となり得るレベルに達していることが明らかである。

赤潮発生水域の溶存態 B_{12} 濃度は、 $6.7 \sim 17.0 \text{ ng/l}$ (平

*1 畑 幸彦, 西島敏隆, 藤岡敏修: 永瀬ダム湖における淡水赤潮の発生機構に関する研究 (畑 幸彦編), 高知県, 1984, pp. 130-153.

*2 石田祐三郎: びわ湖におけるプランクトンの異常発生機構に関する調査研究報告 (びわ湖プランクトン異常発生調査団編), 滋賀県, 1981, pp. 120-131.

*3 建設省四国地建中筋川ダム工事事務所・西日本科学技術研究所: 昭和 60 年度 中筋川赤潮調査業務報告書, 1986, pp. 80-91.

*4 中筋川水産資源調査会: 昭和 61 年度 中筋川環境影響調査業務委託報告書, 1987, pp. 41-49.

均 12.1 ng/l) であり,*1 本藻の増殖速度飽和濃度の約 1/2, 増殖量飽和濃度の約 1/4 に相当している。また, 最少細胞内 B₁₂ 含量とこれら B₁₂ 濃度とから, 現場水域における増殖限度量は $2.6 \sim 6.8 \times 10^4$ cells/ml と推算された。すなわち, B₁₂ についても, この水域では赤潮と視認される増殖量になり得るレベルに達していると考えられる。

結局, 中筋川下流域において, 本藻の必須栄養物質, 窒素, リン, および B₁₂ は, いずれも赤潮となり得る濃度を充たしているが, 最適増殖を与える濃度には至らず, 窒素, B₁₂, リンの順位で増殖を制限していると推定される。

文 献

- 1) 畑 幸彦, 西島敏隆, 橋本尚之: くろしお *Special Series* 1, 87-94 (1987).
- 2) L. S. Pfister and J. R. Holt: *Southwestern Naturalist*, 23, 103-110 (1978).
- 3) S. P. Chu: *J. Ecol.*, 30, 284 (1942).
- 4) 岩崎英雄: 藻類研究法 (西沢, 千原編), 共立出版, 東京, 1979, pp. 281-293.
- 5) J. E. Dowd and D. S. Riggs: *J. Biol. Chem.*, 240, 863-869 (1965).
- 6) 城本 充: 生態遷移 II, 共立出版, 東京, 1976, pp. 115-169.
- 7) 西島敏隆, 畑 幸彦: 赤潮の科学 (岡市友利編), 恒星社厚生閣, 東京, 1987, pp. 181-193.

*1 西島, 畑 (未発表).