

Coscinodiscus wailesii Gran の栄養要求

本田 恵二

The Nutrient Requirements of *Coscinodiscus wailesii* Gran

Keiji Honda

The great diatom *Coscinodiscus wailesii* Gran occurring mainly from autumn to following spring in the Seto Inland Sea is considered to be one of the growth-inhibiting species of Nori (*Porphyra*) by removing much nutrient salts such as inorganic nitrogen in the sea water. In this study, the growth response of *C. wailesii* to various nutrient salts and the effect of N:P ratio in the seawater were examined using bioassay. The cultures were incubated at $22 \pm 0.5^\circ\text{C}$ with fluorescent light of $50 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ under a light/dark cycle of 12h/12d.

As a result, it was found that high concentration of inorganic nitrogen and phosphorus were indispensable for the propagation of *C. wailesii* in the sea water. Phosphorus was likely to be more growth-limiting factor than nitrogen, especially in case the concentration of $\text{PO}_4\text{-P}$ was below $0.3 \mu\text{g-at}/\text{L}$. Besides sufficient N and P, trace elements such as P II metal mixture were also needed for their growth in large quantities. In addition, according to the result of enrichment test by each addition of P II metal elements, B (as H_3BO_3) was remarkably effective, enhanced the growth of *C. wailesii*. However supplement of vitamin mixture was found ineffective.

On the other hand, *C. wailesii* showed relatively high maximum cell yield and specific growth rate in the media with N:P ratios ranging from 9 to 17. These results coincided well with the fact that *C. wailesii* was often observed in the sea water at the same N:P ratios from October to November in 2003 and 2004.

Therefore, it was presumed that N:P ratios of about 9 to 17 in the sea water was favorable for the propagation of *C. wailesii* in autumn.

キーワード：*Coscinodiscus wailesii*, 栄養塩添加試験, 増殖制限要因, N:P 比

香川県のノリ養殖業の生産金額はここ10年間, 約59～123億円で推移し¹⁾, 海面養殖業の生産額の約30～40%を占める重要な産業として位置づけられている。ところが, 近年珪藻類を中心としたプランクトンの大量発生により, 漁場によっては海水中の溶存態無機態窒素(DIN)が急激に減少し, ノリの色落ちを引き起こしたりあるいは助長する傾向が見られ, ノリ養殖業に多大な影響を与えている。

そうしたノリ養殖被害原因藻とされる珪藻類の一つに *Coscinodiscus* 属の種がある。なかでも大型種の *Coscinodiscus wailesii* Gran は1980年代から播磨灘北部沿岸で大量に発生し, 深刻な被害をもたらしている²⁾。

香川県のノリ漁場においても毎年 *Coscinodiscus* 属の種が出現しているが, *C. wailesii* に関するデータの蓄積が少なく, 本種がどの程度ノリの色落ちに関与していたか明らかではない。本種による色落ち被害の軽減を図るためにも *C. wailesii* を対象とした基礎的知見を得ることは重要と思われる。

播磨灘における *C. wailesii* の発生機構や生理・生態等に関しては, 次のような知見が得られている。

本種は秋期と春期にまとまって出現するが³⁾, 海底の嫌気状態の進行および暗黒条件により栄養細胞から休眠細胞への形成が誘引され⁴⁾, 海底泥中の休眠細胞は暗黒条件下で長期間生存して, 増殖に適した条件下で

すみやかに栄養細胞に復活・増殖し^{5) 6)}, 秋期の播磨灘における同種のブルーム形成に大きな役割を果たしていること⁷⁾, また, 休眠細胞が検出される時期である春から夏期の水温の積算値と秋期の発生量に負の相関関係があることを見出し, 同種の秋期発生量の予察がある程度可能とした⁸⁾。

C. wailesii の増殖と水温, 塩分, 光強度との関係については, これまで本種は増殖可能な温度・塩分範囲が広い種であり, 水温が 10 ~ 25°C では現場海域の塩分範囲において高い増殖速度を維持できること⁹⁾, 冬期の 12 ~ 1 月に細胞密度が減少するのは, 水温の低下よりも日射量の低下が主に作用していること¹⁰⁾ が報告されている。

また, *C. wailesii* の増殖に及ぼす栄養塩の影響についても詳細に検討され, 春期のブルームの終息には, 栄養塩のなかで特にリン酸態リンと珪酸態珪素濃度の低下が大きく関与していること¹¹⁾ が示された。

しかしながら, 近年, 海水の鉛直混合開始後の栄養塩が豊富にある時期に *C. wailesii* が大量に発生しない年が認められたり¹²⁾, 前述の秋期の発生量予測でも積算水温と細胞密度が明確に対応していない年もあり, *C. wailesii* の発生予察の精度を高めるための課題が残されている。

そこで今回 *C. wailesii* 発生予察の一助とするため, 栄養塩添加による *C. wailesii* の培養実験を行い, 本種の基本的栄養要求並びに増殖応答について検討したので報告する。

材料および方法

栄養塩が豊富にあるにもかかわらず, 本種の大量発生が抑止される要因について検討するため, *C. wailesii* が基本的にどのような栄養要求をしているか, 環境水(海水)中の N : P (DIN : DIP) 比に着目し, これが *C. wailesii* の増殖速度および増殖収量にどのような影響を与えているかを把握するため培養実験を行った。

(1) 供試株, 供試海水, 培養操作

C. wailesii の培養株(蓋殻径平均 280 μ m, 側筒長平均 90 μ m) は 2003 年 4 月 14 日に播磨灘の調査定点 K 4 (Fig. 1) で採取し, ピペット洗浄法により単離・無菌化した後, MP 1 培地¹³⁾ に準じた基本培地 (Table 1) で継代培養したもので, これを供試株とした。

培地調製に供した海水は培養株と同じく 4 月 14 日に K 4 (表層) で採取し, グラスファイバーフィルター (Whattoman GF/C) およびメンブレンフィルター (ミリポア社, 孔径 0.45 μ m) で濾過し, 培地は滅菌処理 (120°C, 10 分) した。培養器は 6 ウェ

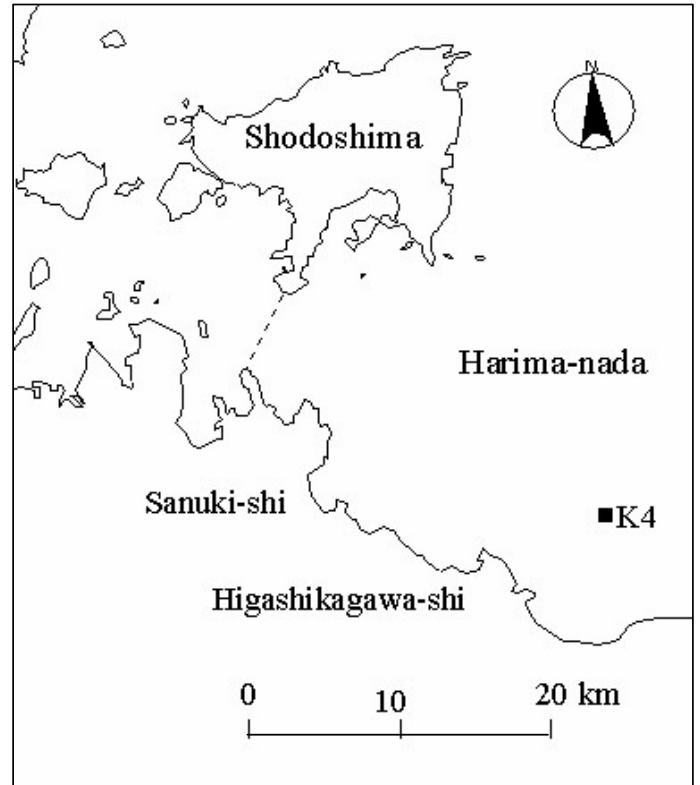


Fig.1. Location of sampling site K4 in Harima-nada.

Table 1. Composition of basal medium (modified MP1) for the pre-culture of *Coscinodiscus wailesii*

substance	quantity	concentration in the medium
• NaNO ₃	20mg	about 260 μ g-atN/L ※
• K ₂ HPO ₄	1.7mg	about 10 μ g-atP/L ※
• NaHCO ₃	100mg	
• Na ₂ SiO ₃ · 9H ₂ O	80mg	about 280 μ g-atSi/L ※
• Tris	1,000mg	
• P II metal mixture	1mL	
• Vitamin mixture	10mL	
• Filtered sea water	1,000mL	

※ Concentration by actual measurement

• P II metal mixture 1000mL		• Vitamin mixture 1000mL	
FeCl ₂ · 4H ₂ O	0.33g	Thiamine · HCl	50mg
MnCl ₂ · 4H ₂ O	0.43g	Nicotinic acid	10mg
ZnCl ₂	31.1mg	Ca-panthenate	10mg
CoCl ₂	6.5mg	P-Aminobenzoic acid	1mg
CuSO ₄ · 5H ₂ O	5mg	Biotin	0.1mg
H ₃ BO ₃	3.4g	i-Inositol	500mg
Na ₂ MnO ₄ · 2H ₂ O	0.13g	Folic acid	0.2mg
EDTA · 2Na · 2H ₂ O	3g	Thymine	300mg
Distilled Water	1000mL	Cyanocobalamin	0.02mg
		Distilled Water	1000mL

ルマイクロプレート (1 ウェル容量 10ml に 8ml ずつ基本培地を分注) を使用し, *C. wailesii* を対数増殖期の終期まで予備培養した後, パスツールピペットを用いて貧栄養海水 (DIN 及び PO₄-P 濃度がそれぞれ 1.2 μ g-at/L, 0.18 μ g-at/L) に接種し, 2 日間飢餓状態にした後予め用意した各実験培地に

10 ~ 15cells/well で接種した。そして外部からの雑菌混入等を防ぐため培養器の蓋をビニールテープで密閉し、*C.walesii* の増殖が定常期に達するまで、細胞数を実体顕微鏡下でほぼ毎日計数した。培養期間中、奇形は見られなかったため特に形態観察は行わなかった。培養操作についてはできる限り無菌的に行うよう配慮したが、無菌検査は行わなかった。なお、培養条件は海水の鉛直混合期である秋期を想定し、温度 $22.0 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 、明暗周期 12 L : 12 D、光度約 $50 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ とした。

(2) 基本的栄養要求実験

I 栄養塩添加実験

基本培地を組成する各成分の添加で、*C.walesii* の増殖にどのような差が生じるかを把握するため、Table2 に示す試験区を設定し、各試験区ごとに3ウエルで培養を行った。そして細胞密度は3ウエルの平均値で表した。

II P II 金属添加効果確認実験

P II 金属の添加効果を確認するため、Table 2 に示した N, P, N + P 添加区を2ウエルずつ設定して培養試験を行った。

Table 2. Each nutrient combination based on composition of basal medium for enrichment test

(1)+N	(6)+N + P + P II
(2)+P	(7)+N + P + V
(3)+P II metal mixture	(8)+N + P + P II metals + Vitamin
(4)+Vitamin	(9) CONTROL (SW+NaHCO ₃ +Na ₂ SiO ₃ +TRIS)
(5)+N + P	(10) Basal medium

III P II 金属組成成分添加実験

P II 金属組成のうち、どの成分が *C.walesii* の増殖に効いているのか詳細に調べるため、基本培地から P II 金属 (EDTA・2Na のみ残す) 及びビタミン混液を除いた培地 (コントロール) に各成分 (Table3) を単独に添加 (3ウエルずつ) して培養を行い、10日後の細胞収量で比較した。

Table 3. Each additive based on composition of P II metal mixture for enrichment test

(1) +Mo (Na ₂ MnO ₄ ·2H ₂ O)	(5) +Zn (ZnCl ₂)
(2) +B (H ₃ BO ₃)	(6) +Mn (MnCl ₂ ·4H ₂ O)
(3) +Cu (CuSO ₄ ·5H ₂ O)	(7) +Fe (FeCl ₂ ·4H ₂ O)
(4) +Co (CoCl ₂)	
(8) CONTROL (SW+NaNO ₃ +K ₂ HPO ₄ +NaHCO ₃ +Na ₂ SiO ₃ +TRIS+EDTA・2Na・2H ₂ O)	

IV N : P 比 (DIN : DIP 比) 別実験

本県播磨灘海域における秋期の DIN 濃度 (NH₄-N + NO₃-N + NO₂-N) のほぼ最高値を想定して、先述の貧栄養海水に DIN が約 $20 \mu\text{g-at}/\text{L}$ 、

PO₄-P が 0.18 (無添加), 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 $\mu\text{g-at}/\text{L}$ になるように栄養塩を添加した。

なお、実験培地は各 N : P 比別に3ウエルずつとし、*C.walesii* の栄養塩の摂取量は、培養前後の各培地中の栄養塩の濃度差を求め、3ウエルの平均値で示した。

(3) 栄養塩の分析

本研究に係る栄養塩の分析は、栄養塩自動分析装置 (TrAAcs800, Bran+Luebbe 社) で行った。

(4) *C.walesii* の増殖速度の解析

培養中の *C.walesii* の増殖速度 (μ) は、理論曲線の対数増殖期の変曲点の接線の傾きを求め次式により求めた。

$$\mu = 1/t * \log_2(Nt/No)$$

μ : 対数期増殖速度, N t : t 日後の細胞数, N₀ : 最初の細胞数, t : 経過日数

結 果

I 栄養塩添加実験

培養実験の結果を Fig.2 に示す。培養を開始して9日後、*C.walesii* は N + P + P II 金属添加区で N + P + P II 金属 + Vitamin 添加区 (基本培地) とほぼ同様の高い増殖応答 (1,135cells/well) を示し、P, N + P, N + P + Vitamin 添加区である程度増殖効果 (184 ~

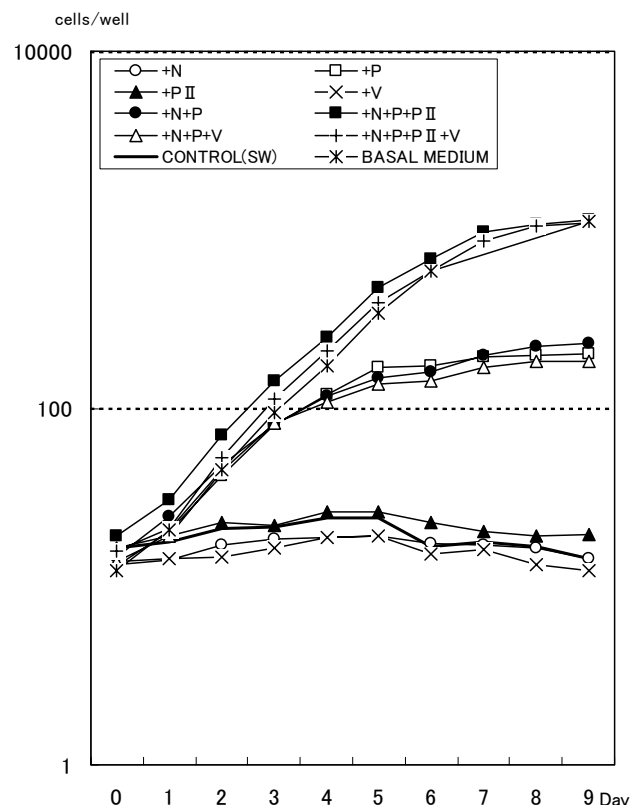


Fig.2. Growth of *Coscinodiscus walesii* by sole or Combined addition of each nutrient salt in the basal medium to the sea water.

230cells/well) が見られた。

一方, N, Vitamin, P II 金属各単独添加区ではほとんど増殖効果が見られず, Nと Vitamin 添加区については概ねコントロールよりも増殖応答が低かった (12 ~ 20 cells/well)。

II P II 金属添加効果確認実験

当初, 約 10 cells/well の細胞密度で培養を開始して 2 週間後, P, N + P 添加区で *C. wailesii* の増殖が対数期を経て定常期に達した (170 ~ 190cells/well) ので, ここで P II 金属 を各培地に添加したところ, N + P 添加区で約 800 cells/well (2 ウェル平均) と高い増殖効果が見られた。一方, N 単独添加区では細胞収量は 20 ~ 30 cells/well 程度で, それ以上増殖せず, P II 金属の添加効果も見られなかった (Fig.3)。

以上から *C. wailesii* の増殖には N よりも P の供給が重要で, 特に大量発生となると, 高濃度の N + P だけでは不十分で, その他に P II 金属等の微量元素が必須であることが示唆された。

III P II 金属組成成分添加実験

培養 10 日後, B (ホウ酸) と Fe の添加区で増殖効果が見られ, 特に B (ホウ酸) の添加で細胞収量は約 1,000 cells/well (3 ウェル平均) に達し, 効果的であることが分かった (Fig.4)。

また, Fig.4 のコントロールは金属類を加えず EDTA · 2Na のみを添加したものであるが, その場合でも約 600cells/well の細胞収量が得られた。その他の添加区の細胞収量はコントロールより少なかった。

IV N : P 比 (DIN : DIP 比) の影響

培養実験の結果を Fig.5 及び 6 に示す。オートクレー

ブで滅菌後, 培地中の N, P 濃度に若干の変動があり, 結果的に N, P の添加濃度はそれぞれ 17.96 ~ 24.4 μ g-at/L, 0.122 ~ 1.98 μ g-at/L となり, N : P (モル) 比で 178 (21.7:0.122), 78(22.3:0.287), 32(24.4:0.761), 17(20.27:1.2), 12(19.78:1.63), 9(17.96:1.98) の 6 段階の設定

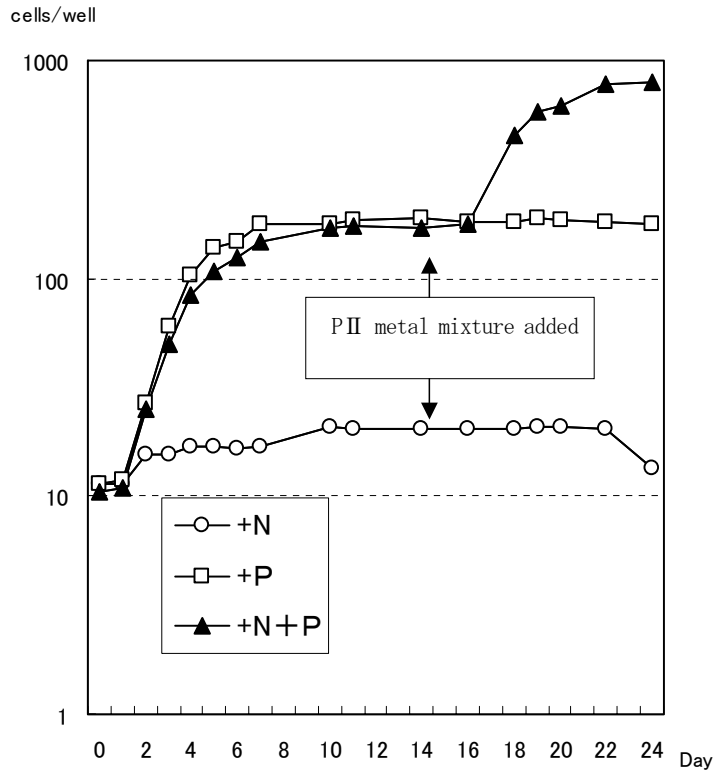
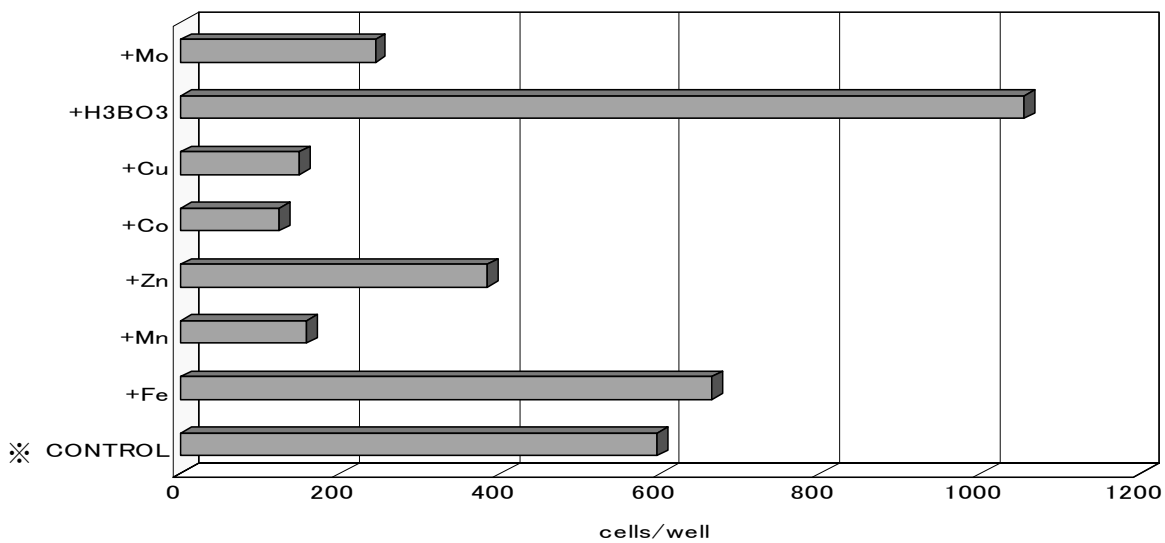


Fig.3. Growth of *Coscinodiscus wailesii* by sole or combined addition of N and P in the basal medium to the sea water. Two weeks after the start of culture, P II metal mixture was added to each medium.



※ (SW+NaNO₃+K₂HPO₄+NaHCO₃+Na₂SiO₃+TRIS+EDTA · 2Na · 2H₂O)

Fig.4. Comparison of maximum cell yields of *Coscinodiscus wailesii* by addition of each element of P II metal mixture to the modified basal medium free of P II metal mixture and vitamin mixture.

となった。

$\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度が高いほど *C. wailesii* の細胞収量が多くなる傾向が見られ、培養開始 10 日後 N:P 比 9, 12, 17 の 3 培地で 130~160 cells/well の細胞収量が得られ、次いで N:P 比 32 で多く (76 cells/well), 78, 178 の N:P 比ではそれぞれ 17, 21 cells/well と細胞収量は僅かであった。この 2 つの培地は $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度が 0.28, 0.12 $\mu\text{g-at/L}$ と少なく、環境水中の $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度が 0.3

$\mu\text{g-at/L}$ を下回ると *C. wailesii* の増殖条件として厳しいことが伺われた (Fig.5)。

また、各培地における *C. wailesii* の対数期増殖速度 (μ) を求めたところ、N:P 比 32 以下で 0.8 以上の速度が得られ、17 (1.32), 9 (1.00), 12 (0.89), 32 (0.86) の順に高く、細胞収量の場合と同様に $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度が低いと増殖速度が小さくなる傾向が見られた (Fig.6)。

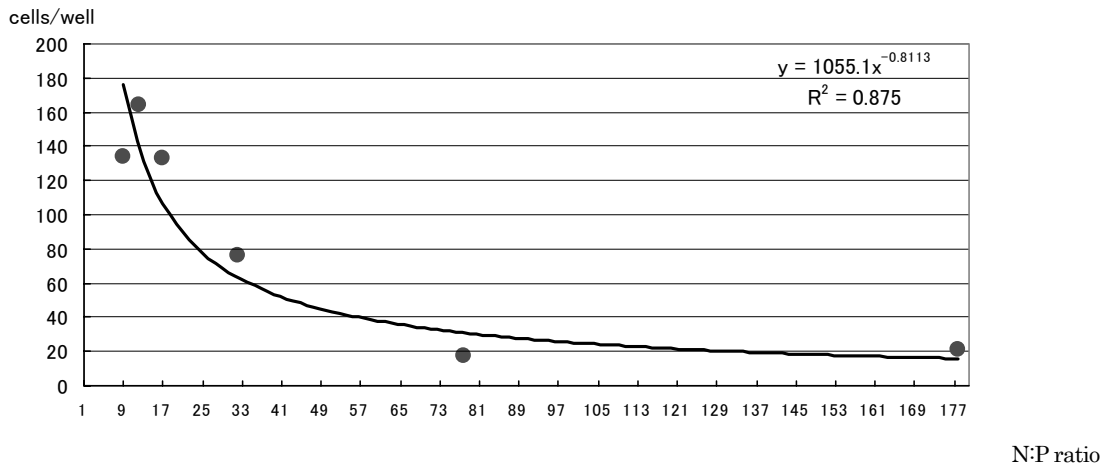


Fig.5. Changes of maximum cell yields of *Coscinodiscus wailesii* as a function of N:P ratios of the media. Concentrations of DIN ($\mu\text{g-at/L}$) and $\text{PO}_4\text{-P}$ ($\mu\text{g-at/L}$) in the media and adjusted N:P ratios [] are as follows. 17.96 and 1.98 [9], 19.78 and 1.63 [12], 20.27 and 1.2 [17], 24.4 and 0.761 [32], 22.3 and 0.287 [78], 21.7 and 0.122 [178].

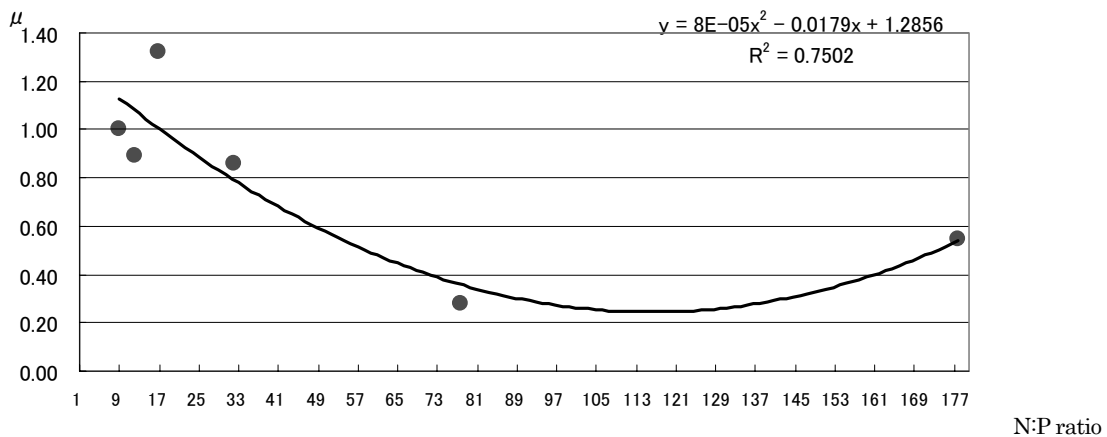


Fig.6. Changes of specific growth rate (μ) of *Coscinodiscus wailesii* as a function of N:P ratios of the media. Concentrations of DIN ($\mu\text{g-at/L}$) and $\text{PO}_4\text{-P}$ ($\mu\text{g-at/L}$) in the media and adjusted N:P ratios [] are as follows. 17.96 and 1.98 [9], 19.78 and 1.63 [12], 20.27 and 1.2 [17], 24.4 and 0.761 [32], 22.3 and 0.287 [78], 21.7 and 0.122 [178].

考 察

(1) 海水中の栄養塩濃度と *C. wailesii* の増殖制限

まず、秋期の海水中の栄養塩濃度で *C. wailesii* の増殖が直接的に制限されるかどうかについて考えてみたい。

実験結果から *C. wailesii* の増殖には、十分な N と P が不可欠と思われ、特に P の供給が重要であるこ

とが示唆された。

浅海定線調査結果によると、本県でノリ養殖が行われている海域では、年間の表層の DIN (Fig.7) 及び $\text{PO}_4\text{-P}$ (Fig.8) 濃度の平年値は、それぞれ 2.8~9.5 $\mu\text{g-at/L}$, 0.13~0.75 $\mu\text{g-at/L}$ (播磨灘) 及び 2.7~9.2 $\mu\text{g-at/L}$, 0.16~0.61 $\mu\text{g-at/L}$ (備讃瀬戸) で推移し、特に播磨灘では 4~9 月まで両者とも低い傾向にある。

今回は $10 \mu\text{g-at/L}$ を下回る DIN 濃度の設定で実験は行わなかったが、西川ほか (2004)¹¹⁾ は水温 20°C 及び 9°C における *C. walesii* の N に対する半飽和定数を $1.4 \mu\text{g-at/L}$ と算定し、播磨灘では本種の増殖に及ぼす無機態窒素濃度の影響は小さいとしている。本県の播磨灘及び備讃瀬戸の DIN 濃度も周年この値を上回っており、同様に影響は小さいと思われた。

P については本研究で *C. walesii* の増殖に厳しいと考えられた $0.3 \mu\text{g-at/L}$ を下回るのは主に 3~

9月に相当し、ノリ養殖業の盛期でもある 11~2月 は *C. walesii* の増殖を律するほどの強い P ストレス環境下にあるとは考えられなかった。また、両海域の表層の Si 濃度の平年値は約 $4 \sim 21 \mu\text{g-at/L}$ で、特に 10~12月、播磨灘では DIN とともに年間で比較的高い値を示す (Fig.9)。珪藻類の増殖を制限する Si 濃度については種々検討されており、例えば $2 \mu\text{g-at/L}$ ¹⁴⁾, $2 \sim 3 \mu\text{g-at/L}$ ¹⁵⁾, $0.84 \sim 2.6 \mu\text{g-at/L}$ ¹⁶⁾ 等、概ね $3 \mu\text{g-at/L}$ 以下で試算されている。

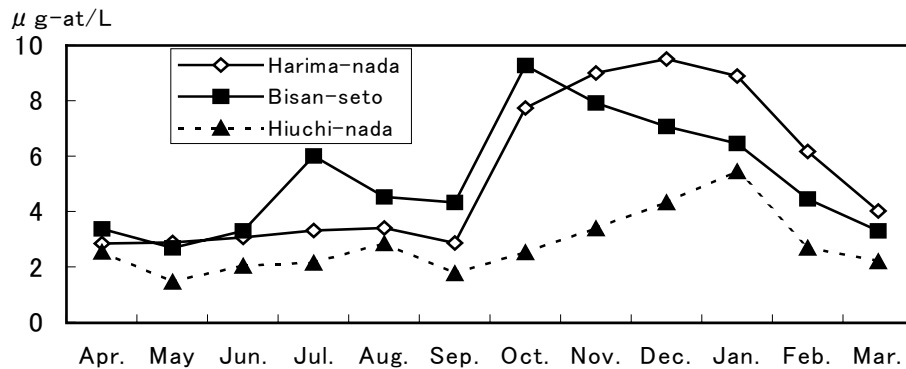


Fig.7. Changes in average concentrations of DIN at the surface layer based on the monthly investigation at 7 stations in Harima-nada, 14 stations in Bisan-seto and 4 stations in Hiuchi-nada. Data were treated by 30 years (1973-2002).

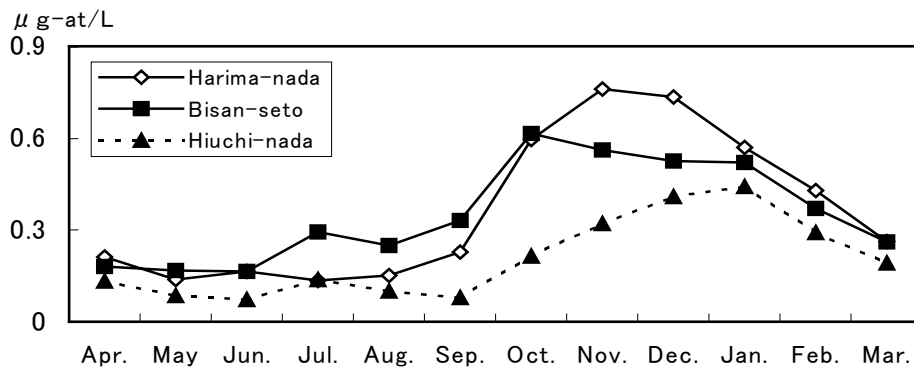


Fig.8. Changes in average concentrations of $\text{PO}_4\text{-P}$ at the surface layer based on the monthly investigation at 7 stations in Harima-nada, 14 stations in Bisan-seto and 4 stations in Hiuchi-nada. Data were treated by 30 years (1973-2002).

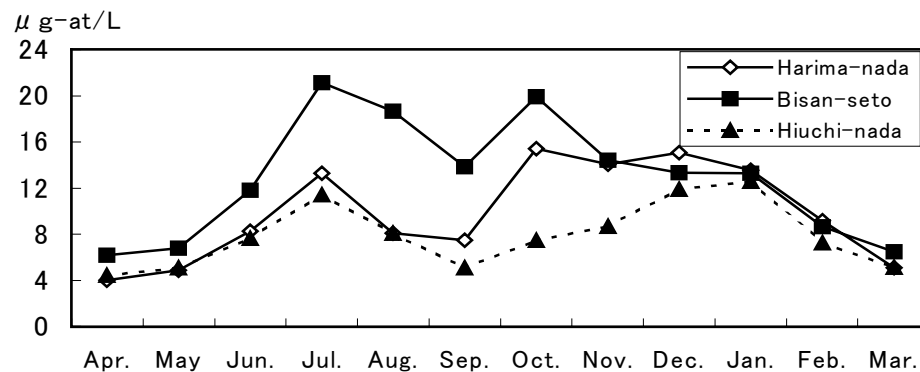


Fig.9. Changes in average concentrations of $\text{SiO}_2\text{-Si}$ at the surface layer based on the monthly investigation at 7 stations in Harima-nada, 14 stations in Bisan-seto and 4 stations in Hiuchi-nada. Data were treated by 30 years (1973-2002).

したがって、*C. wailesii* と競合するその他の珪藻類の発生量にもよるが、本県の播磨灘及び備讃瀬戸海域において、秋期の海水中の栄養塩濃度で *C. wailesii* の増殖が直接的に制限されるとは考え難い。

(2) *C. wailesii* の栄養要求と大量発生の予測

C. wailesii の N, P 利用特性について、西川ら (2004)¹¹⁾ によれば $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度が約 $50 \mu\text{g-at/L}$ の条件下では三態窒素のなかで $\text{NO}_2\text{-N}$ 添加による増殖効果が最も大きく、次いで $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$ の順に増殖量が多かったとしている。今回の実験では $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度が $0.3 \mu\text{g-at/L}$ を下回ると $\text{NO}_3\text{-N} + \text{NO}_2\text{-N}$ はほとんど利用されず、むしろ $\text{NH}_4\text{-N}$ が多く利用されており、*C. wailesii* が $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度によって N 源を選択的に利用することが伺われた。

一方、秋期における *C. wailesii* の大量発生の際には、十分な N、P の他に、その他の微量成分が不可欠と考えられた。ただし、微量成分のうちビタミン類 (特に B12) については、同じ珪藻類の *Skeletonema costatum* (Greville) Cleve や *Rhizosolenia setigera* Brightwell の増殖に必須とされる¹⁷⁾ のに対し、ビタミン類に対する増殖応答は実験結果によれば低く、本種のビタミン類の要求度はそれほど高くないと思われた。

すなわち、今回の結果に沿えば、本種の大量発生を促す要因として微量金属成分、なかでもホウ酸、鉄、キレーターが存在が重要と考えられたが、兵庫県 (1998)¹⁸⁾ は P II 金属から目的とする各成分を除いて行なった増殖速度の比較実験 (温度 23°C 、光度 $130 \mu\text{mol/m}^2/\text{s}$) で、鉄と特にマンガンの

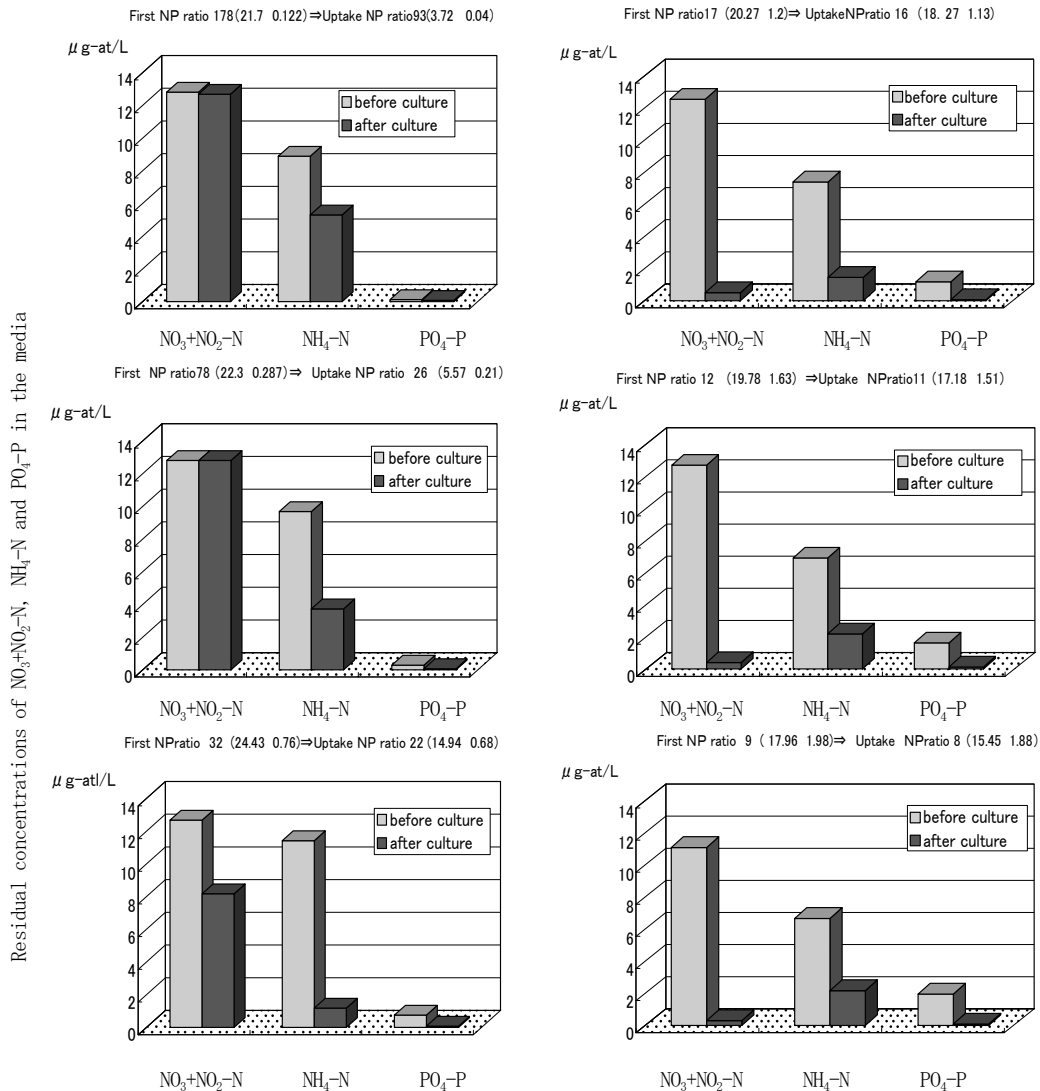


Fig.10. DIN and $\text{PO}_4\text{-P}$ uptake by *Coscinodiscus wailesii* in the media with N:P ratios of 178,78,32,17,12 and 9. Vertical axis in the graph indicates residual nutrient concentrations in the media. Nutrient concentrations before and after the culture are indicated as \square and \blacksquare respectively.

効果が顕著であることを報告し、ホウ酸の効果については重要視していない。

また、ホウ酸の珪藻類の増殖に及ぼす影響について、鶴田ら(1987)¹⁹⁾は人工海水による *Skeletonema costatum* の培養実験でホウ酸の必要性を指摘しながらも、天然海水にはホウ酸がある程度含まれていることから同種の制限要因にはならないとしている。

こうした増殖応答の差の原因として、実験に供した培地のベースとなる海水、培養条件、そして珪藻の種類(株)等が考えられたが、*C. wailesii* に及ぼす微量元素の影響については、さらに人工海水による詳細な検討が必要と思われた。

いずれにしても、*C. wailesii* の大量発生を予測するうえで、発生時期直前の9月下旬頃の海水(特に灘部では鉛直混合が始まる直前の底層の海水)で *C. wailesii* を対象に A G P (algal growth potential) 試験を行い、その海水の増殖能を大量発生があった年となかった年で比較してみるのも一つの有効な手段と考えられた。

(3) 海水中の N : P 比と *C. wailesii* の増殖

N : P 比別培地による培養実験で、*C. wailesii* の細胞収量が比較的多かった3種類の培地では、当初の N : P 比(9,12,17)と培養後 *C. wailesii* に摂取された N, P 量の比(8,11,16)がそれぞれ近似しており、これらの培地では、*C. wailesii* により N, P がバランスよく消費されていたことが伺われた(Fig.10)。

西島ら(1993)²⁰⁾は *Skeletonema costatum* による半連続培養実験から、同種が制限された栄養塩を節約し、非制限の栄養塩を多く摂取した結果、細胞内の N : P 比が培養液の N : P 比に類似したと結論づけている。

本実験はバッチ培養で行ったが、ある程度以上の栄養塩があれば *C. wailesii* についても同様の結果が生じるものと推測された。また、*Coscinodiscus* 属の細胞内の N P 含量比については、*Coscinodiscus* sp. で 15²¹⁾、*C. wailesii* で 11.5²²⁾と試算されており、*C. wailesii* の増殖に最適な細胞内の N P 含量比を 11 ~ 15 と仮定すると、Fig.5 および 6 の増殖応答の結果によく当てはまる。つまり、*C. wailesii* 単独で考えた場合、秋期に海水中の N : P 比が 9 ~ 17 であれば、N, P に関する栄養環境としては *C. wailesii* の増殖に適当と推測された。

ちなみに平成 15 ~ 16 年度、2 カ年分のノリ漁場調査結果のうち、10 ~ 11 月における漁場の海水中の N : P 比と *C. wailesii* の出現密度との関係を Fig.11 に示す。N : P 比が 9 ~ 17 の範囲外で *C. wailesii* の出現も若干見られるものの、概ねこの N :

P 比の範囲内で出現しており、先の推測とよく符合した。ただ、実験に供する *C. wailesii* の株や照度及び温度等の培養条件によって状況が変わることも想定されることから、海水中の N : P 比と *C. wailesii* の増殖の関係については、有機態 N, P の影響も含めて今後さらに検討を要する。

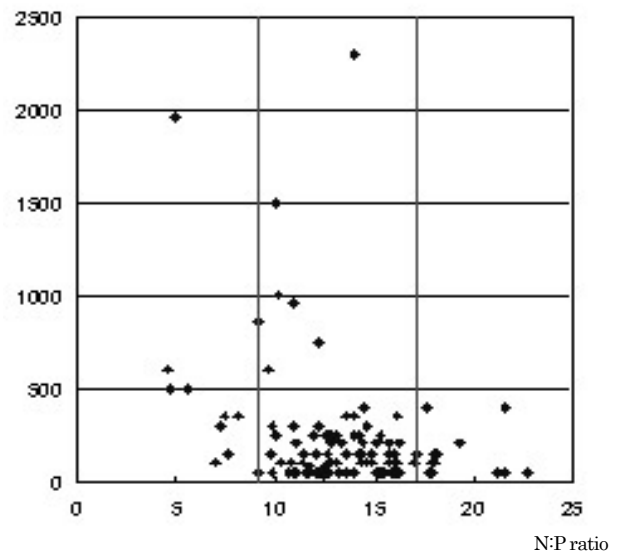


Fig.11. Scatter plot showing the relationship between cell density of *Coscinodiscus wailesii* versus N:P ratios in the sea water during the period of October to November in 2003 and 2004.

謝 辞

本研究をとりまとめるにあたり、御指導、御校閲を賜った香川県赤潮研究所顧問 岡市友利博士、小野知足博士に厚く御礼申しあげる。

また、文献の収集等で御協力を賜った瀬戸内海区水産研究所赤潮環境部 長井敏博士、兵庫県立農林水産技術総合センター水産技術センター 西川哲也主任研究員に深く感謝する。

そして、試料採取等にあたって海上作業に協力いただいた香川県漁業指導調査船「やくり」の乗組員各位に御礼申しあげる。

引用文献

- 1) 香川農林統計協会：2001-2005, 香川水産統計年報。
- 2) 眞鍋武彦・長井敏・堀豊：1994, 厳しさを増す沿岸漁業. 水産と環境(清水誠編), 恒星社厚生閣, 東京, pp.9-18.
- 3) 岡山県・香川県・徳島県・兵庫県：1999, 平成10年度

- 赤潮対策技術開発試験 瀬戸内海東部海域広域共同調査 (冬期調査) 報告書. 45.
- 4) Nagai, S. & I. Imai : 1999, Factors including resting-cell formation of *Coscinodiscus wailesii* Gran(Bacillariophyceae) in culture. *Plankton Biol. Ecol.*, 46, 94-103.
 - 5) 長井敏・堀豊・眞鍋武彦・今井一郎 : 1995, 播磨灘海底泥中から見いだされた大型珪藻 *Coscinodiscus wailesii* Gran 休眠細胞の形態と復活過程. *日本水誌*, 61(2), 179-185.
 - 6) 長井敏・今井一郎 : 1999, 大型珪藻 *Coscinodiscus wailesii* の休眠細胞の形成, 生存および復活に及ぼす培養諸条件の影響. *日本プランクトン学会報*, 46, 143-151.
 - 7) Nagai S., Y. Hori, K. MiyaHara, T. Manabe & I. Imai : 1996, Population dynamics of *Coscinodiscus wailesii* Gran(Bacillariophyceae) in Harima-nada, Seto Inland- Sea, Japan. In "Pro. 7th Int. Con. On Toxic Phytoplankton", (eds. Yasumoto T., Y. Oshima & Y. Fukuyo), Sendai, pp. 239-242.
 - 8) 長井敏 : 1995, 播磨灘産の大型珪藻 *Coscinodiscus wailesii* Gran の生活環と生態に関する研究. 京都大学博士論文, 京都, 177p.
 - 9) 西川哲也・宮原一隆・長井敏 : 2000, 播磨灘産大型珪藻 *Coscinodiscus wailesii* の増殖に及ぼす水温, 塩分の影響. *日本水誌*, 66(6), 993-998.
 - 10) 西川哲也・宮原一隆・長井敏 : 2002, 播磨灘産有害珪藻 *Coscinodiscus wailesii* Gran の光強度に対する増殖応答. *日本プランクトン学会報*, 49, 1-8.
 - 11) 西川哲也・堀豊 : 2004, ノリの色落ち原因藻 *Coscinodiscus wailesii* の増殖に及ぼす窒素, リンおよび珪素の影響. *日本水誌*, 70(6), 872-878.
 - 12) 長井敏 : 2000, 播磨灘における有害大型珪藻 *Coscinodiscus wailesii* の大量発生機構とその予知. 有害・有毒赤潮の発生と予知・防除 (水産研究叢書 48), 日本水産資源保護協会, 東京, pp.71-95.
 - 13) 長井敏・眞鍋武彦 : 1993, 培養条件下における大型珪藻類の *Coscinodiscus wailesii* の増大胞子形成. *日本プランクトン学会報*, 40, 151-167.
 - 14) Egge, J. K. & Aksnes, D. L. : 1992, Silicate as regulating nutrient in phytoplankton competition. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 83, 281-289.
 - 15) Whitney, F. A. : 2003, The state of the eastern North Pacific entering spring. *PICES Press*, 11(2), 8-9.
 - 16) 川口修・山本民次・松田治・橋本俊也 : 2004, 水質の長期変動に基づく有明海におけるノリおよび珪藻プランクトンの増殖制限元素の解明. *海の研究*, 13(2), 173-183.
 - 17) 西島敏隆・畑幸彦 : 1997, ビタミン類. 赤潮の科学第二版 (岡市友利編), 恒星社厚生閣, 東京, pp.213.
 - 18) 兵庫県 : 1998, 地域対象種の系群解析 (大型珪藻 *Coscinodiscus wailesii* Gran) 報告書. 1-4.
 - 19) 鶴田新生・大貝政治・上野俊士郎・山田真知子 : 1987, 浮遊珪藻 *Skeletonema costatum*(G rev.)Cleve の増殖に及ぼす栄養塩類の影響. *日本水誌* 53(1), 145-149.
 - 20) 西島敏隆・深見公雄 : 1993, ラフィド藻類及び珪藻類. 水域の窒素 : リン比と水産生物 (吉田陽一編), 恒星社厚生閣, 東京, pp. 23-24.
 - 21) Parsons, T. R., K. Stephens and J. D. H. Strickland : 1961, On the chemical composition of eleven species of marine phytoplankters. *J. Fish. Res. Bd. Canada*, 18, 1001-1016.
 - 22) Tada, K., P. Santiwat, K. Ichimi and S. Montani : 2000, Carbon, nitrogen, phosphorus, and chlorophyll a content of the large diatom, *Coscinodiscus wailesii* and its abundance in the Seto Inland Sea, Japan. *Fisheries Science*, 66, 509-514.