

播磨灘における *Coscinodiscus wailesii* の発生と 水質, 気象要因等との関係

西川 哲也, 堀 豊, 長井 敏, 宮原 一隆
吉田 陽一, 小玉 一哉, 酒井 康彦

(1999 年 3 月 24 日受付, 1999 年 11 月 24 日受理)

Relationship between the Bloom of *Coscinodiscus wailesii* and Water Quality or Meteorological Factors in Harima-nada

Tetsuya Nishikawa,*¹ Yutaka Hori,*¹ Satoshi Nagai,*² Kazutaka Miyahara,*³
Yoichi Yoshida,*⁴ Kazuya Kodama,*⁴ and Yasuhiko Sakai*⁴

The relationship between the bloom of *Coscinodiscus wailesii* and water quality or meteorological factors was examined in Harima-nada between April 1995 and March 1998, by referring to the Meteorological Agency's data. Monthly changes in water quality factors and dominant phytoplankton showed that the bloom of *C. wailesii* occurred from November to February under conditions of high salinity, DIN (dissolved inorganic nitrogen), DIP (dissolved inorganic phosphorus), DSi (dissolved inorganic silicon), and DIN×DIP, and low water temperature, DIN : DIP ratio (ca. 10 $\geq$) and TN×TP (total nitrogen×total phosphorus): DIN×DIP ratio. The comparison of each average water quality factor among the dominant phytoplankton from autumn to winter showed that *C. wailesii* occurred in water with high DIN, DIP, DSi, and DIN×DIP, and a low TN×TP : DIN×DIP ratio, whereas *Pseudonitzschia* spp. occurred in water with a high TN×TP : DIN×DIP ratio compared to other dominant phytoplankton.

キーワード: 播磨灘, *Coscinodiscus wailesii*, 水質要因, 気象要因, 季節的变化

播磨灘は, 大阪湾に隣接する海域であり, 近年減少傾向が見られるものの, *Chattonella* 属, *Gymnodinium* 属等の赤潮が比較的多く発生する海域として知られており, また秋から春にかけては, 海水中の栄養塩等を消費するため海苔養殖に有害種とされている, 大型珪藻 *Coscinodiscus wailesii* が比較的高密度に出現する海域でもある。

C. wailesii は, 室内培養実験で観察された範囲では直径が約 70–520 μm 程度の大型種であり, 培養条件下では水温が 6–28°C, 塩分が 15–35 の範囲で増殖可能であり, 広水温, 広塩分適応性種であること, また大型種であるにも関わらず, 増殖速度が比較的速く, 好適条件下では分裂速度が 1 日当たり 1–2 分裂程度であること等が指摘されている。¹⁾ また同種は, 比重が大きく (1.060), 沈降速度も非常に速い (6 m/hr) こと, 同種

が大増殖すると, 2,000–3,000 cells/l に達し, DIN (溶解無機態窒素) 等の栄養塩類が著しく減少すること, 同種に粘質塊 (gelatinous aggregate) 形成能があり, 同種や他種の植物プランクトンをからめ込んで, 大きな沈殿物として急速に沈降し, 透明度の増大を招くこと,²⁾ やこのような沈殿物が底曳網漁業に大きな被害をもたらすこと等も指摘されている。^{3,4)}

一方, *C. wailesii* の生活環等に関しては, 無性的な増大胞子, 造精器, 休眠細胞の形成, やこれらの形成条件等も調べられ, 増大胞子の形成は, 10°C から 20°C への昇温が有効であること, 高照度から暗黒 (低照度), 暗黒から高照度への移行が効果的であること等が明らかにされている。^{1,3–10)}

著者らはこれまで大阪湾, 播磨灘, および東京湾について主要植物プランクトンの高密度出現水域の水質諸要

*1 兵庫県立水産試験場 (Hyogo Prefectural Fisheries Experimental Station, Futami, Akashi, Hyogo 674-0093, Japan).

*2 兵庫県但馬水産事務所試験研究室 (Hyogo Prefectural Tajima Fisheries Experimental Station, Kasumi, Kinokawa, Hyogo 669-6541, Japan).

*3 兵庫県水産課 (Fisheries Division, Hyogo Prefectural Office, Kobe, Hyogo 650-8567, Japan).

*4 新日本気象海洋株式会社 (Shin-Nippon Meteorological & Oceanographical Consultant Co., Ltd., Nishi, Osaka 550-0002, Japan).

因の特徴について比較検討し, *Skeletonema costatum* は他種プランクトンに比し, TN (全窒素)×TP (全リン) や DIN : DIP (溶存無機態リン) 比の高い水域に出現する傾向が強いこと等を指摘した。¹¹⁻¹⁴⁾ しかし *C. wailesii* は大型種ではあるが, 数的には非常に少なく, したがって播磨灘においては重要種であったが, 前報¹¹⁾ では検討されなかった。今回, 多量の試水をろ過し, 同種についての計数結果が得られたので, これまでの他種についての計数資料等とあわせて解析し, 同種の出現水域の水質諸要因の特徴等を明らかにしようと試みた。

方 法

播磨灘に設定された定点 5, 6 および 7 (Fig. 1) について, 1995-1997 年の 3 年間の表層の調査結果 (毎月上旬 1 回調査) を用いて, 同海域における水質諸要因, 植物プランクトンの季節的变化, 主要植物プランクトンの高密度出現水域の水質諸要因の特徴等を調べた。

調べた水質諸要因は, WT (水温, °C), Sal (塩分), Tr (透明度, m), TN, TP, DIN, DIP, DSi (ケイ酸態ケイ素), DIN×DIP, TN×TP (富栄養度), DIN : DIP, TN : TP, TN×TP : DIN×DIP 比 (栄養塩利用強度。略称, TNP : DINP 比) の 13 項目である。なお, 水質の分析方法は前報¹¹⁾ と同様であり, また, 栄養塩の単位は, $\mu\text{g at/l}$ で表わし, 窒素 : リン比は原子比で表わした。

植物プランクトンは, 出現した主要植物プランクトン, *S. costatum*, *Eucampia zodiacus*, *Pseudonitzschia* spp., *Leptocylindrus danicus*, *Chaetoceros affine*, *C. curvisetum*, および *C. wailesii* について調べた。また, 1995-1997 年の 3 年間の通年 (4 月から翌年 3 月まで), または秋-冬期 (9 月から翌年 3 月まで) における主要植物

プランクトンの各種について, 特定の種が高密度に出現した水域のうち 1 ml 中の細胞数が 1-6 番目に多い水域 (年または月) の水質諸要因 (3 定点, 毎月, 3 年間の計 108 例のうち 6 例) の平均値を求めてその種の出現水域の水質諸要因の特徴 (水質特性) とし, このようにして求めた各種植物プランクトンの水質特性を比較した。*C. wailesii* は 200 ml の海水をグラスファイバーフィルター GFC (Whatman) でろ過し, フィルター上に集められた *C. wailesii* を直接計数した後, cells/l で表わし, また他種の植物プランクトンは前報¹¹⁾ と同様の方法で計数した後, cells/ml で表わした。

気象諸要因は, 気象庁月報 (神戸)¹⁵⁾ を参照し, 気温, 風速, 日照時間, および雨量の 4 項目について月平均値を求め, これらの季節的变化を調べた。

結 果

水質諸要因および主要植物プランクトンの経月变化 播磨灘における水質諸要因および主要植物プランクトンの経月变化を Figs. 2-5 に示す。

水温は, 7.6-28.4°C の範囲で変動し, 1995, 1996, および 1997 年の 3 年間共に同様な傾向がみられ, 8 または 9 月に最高温度 (それぞれ 27.2, 26.3, および 28.4°C) に達し, 2 または 3 月頃に最低温度 (それぞれ 7.6, 8.4, および 9.5°C) に達した。塩分は, 24.7-33.5 の範囲で変動し, 2 または 3 月に最も高くなり, 7 または 8 月に最も低くなる傾向がみられた (Fig. 2)。

1995 年における TN および TP の経月变化は, それほど大きな変動はみられない (それぞれ 9.3-33.3 および 0.52-1.35 $\mu\text{g at/l}$) が, DIN, DIP, および DSi にはかなりの変動がみられ (それぞれ 0.27-15.40, 0.09-0.87, および 1.0-67.0 $\mu\text{g at/l}$), いずれも 7 月に正, 8 月に負, および 12 月頃に緩やかな正のピークがみられた (Fig. 3A)。また, TN×TP および TN : TP 比ではそれほど大きな変動はみられない (それぞれ 6.2-49.6 および 11.4-28.5) が, DIN×DIP および TNP : DINP 比ではかなりの変動がみられ (それぞれ 0.04-9.01 および 2.6-888.2), DIN×DIP では 7 月に正, 8, 9 月に負, 11, 12 月頃に緩やかな正のピークを示し, また TNP : DINP 比は 7 月に負, 8 月に正, 11, 12 月頃に緩やかな負のピークを示した。DIN : DIP 比は, 1.7-54.7 の範囲で変動がみられ, 6 月に正, 9 月に負のピークがみられ, 12 月頃は緩やかな正のピーク (約 10) を示した (Fig. 3B)。植物プランクトンに関しては, *S. costatum* が 4 月および翌年 3 月, *C. curvisetum* が 9 および 10 月に 100 cells/ml 以上の比較的高密度で出現し, *C. wailesii* は 2 月に 180 cells/l とやや高密度で出現した (Fig. 3C)。

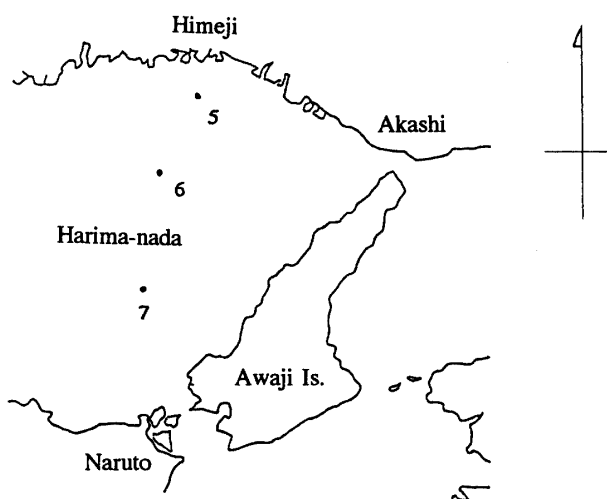


Fig. 1. Locations of the stations in Harima-nada.

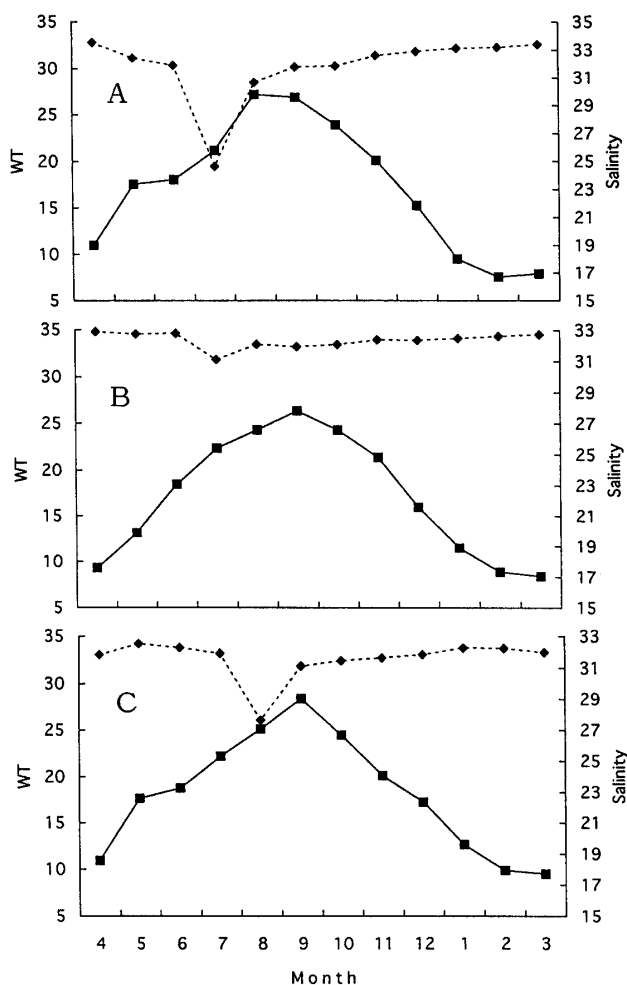


Fig. 2. Monthly changes of WT (water temperature) and salinity in Harima-nada in 1995 (A), 1996 (B), and 1997 (C).
■, WT; ◆, salinity.

1996 および 1997 年では, 両年共に TN は周期的に変動は少ないが, TP, DIN, DIP, および DSi は, 一般に 10 月から翌年の 2 月までは, 4 月から 9 月までに比し, 比較的高い値を示した (Fig. 4A および 5A)。また, $TN \times TP$, $TN : TP$, および $DIN : DIP$ 比は両年共にあまり大きな変動がみられないが, $DIN \times DIP$ は 5 月と 9 月に負, 8 月に正, および 12 月頃に緩やかな正のピークを示した。TNP : DINP 比は両年で特徴が少し異なり, 1996 年では 8 月に負, 9 月に正, 12 月頃に緩やかな負のピークがみられ, 1997 年では 5 月に正, 12 月に負のピークがみられた (Fig. 4B および 5B)。植物プランクトンに関しては, 1996 年は *C. curvisetum* が 7 月に, *Pseudonitzschia* spp. が 9 月に, *L. danicus* が 3 月に比較的高密度で出現し, *C. wailesii* は 11 月にやや高密度で出現した。また, 1997 年は *S. costatum* が 7, 8 月および翌年の 3 月に比較的高密度で出現し, *C. wailesii* は 11 月, および翌年の 1, 2 月にやや高密度で

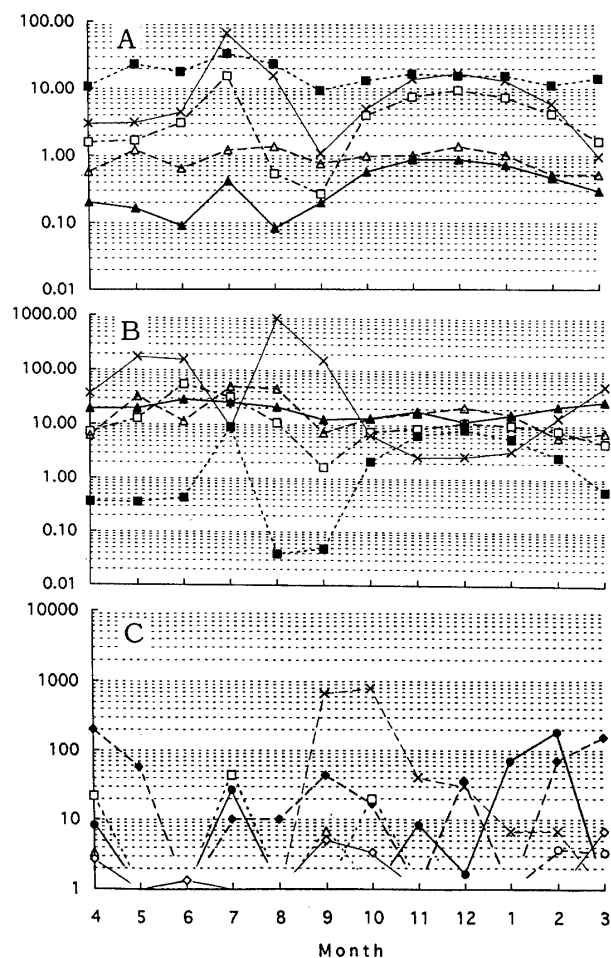


Fig. 3. Monthly changes of nutrient salts (A, $\mu\text{g at/l}$), these rates and products (B, atomic ratio and product), and the dominant phytoplankton (C, cells/ml or l) in 1995.

A: □, DIN; ▲, DIP; ■, TN; △, TP; ×, DSi.
B: □, DIN:DIP ratio; ■, $DIN \times DIP$; ▲, TN:TP ratio; △, $TN \times TP$; ×, TNP:DINP ratio.
C: ◆, *S. costatum*; □, *L. danicus*; ○, *E. zodiacus*; ×, *C. curvisetum*; △, *C. affine*; ◇, *Pseudonitzschia* spp. (cells/ml); and ●, *C. wailesii* (cells/l).

出現した (Fig. 4C および 5C)。

主要植物プランクトンの出現水域の水質諸要因の特徴
1995 年から 1997 年までの 3 年間の, 4 月から翌年 3 月までの通年 (Fig. 6A) および 9 月から翌年 3 月までの秋-冬期 (Fig. 6B) における主要植物プランクトンの出現水域の水質諸要因の特徴を調べた。

通年比較では, 他種に比し *C. wailesii* は, 塩分, DIN, DIP, DSi, および $DIN \times DIP$ が高く (それぞれ 32.33, 4.75, 0.51, 7.21, および 3.15), 水温, 透明度, TN : TP, および TNP : DINP 比が低い (それぞれ 12.8, 5.0, 15.4, および 14.2) 水域に出現する傾向が強かった。また, *Pseudonitzschia* spp. は水温, TNP :

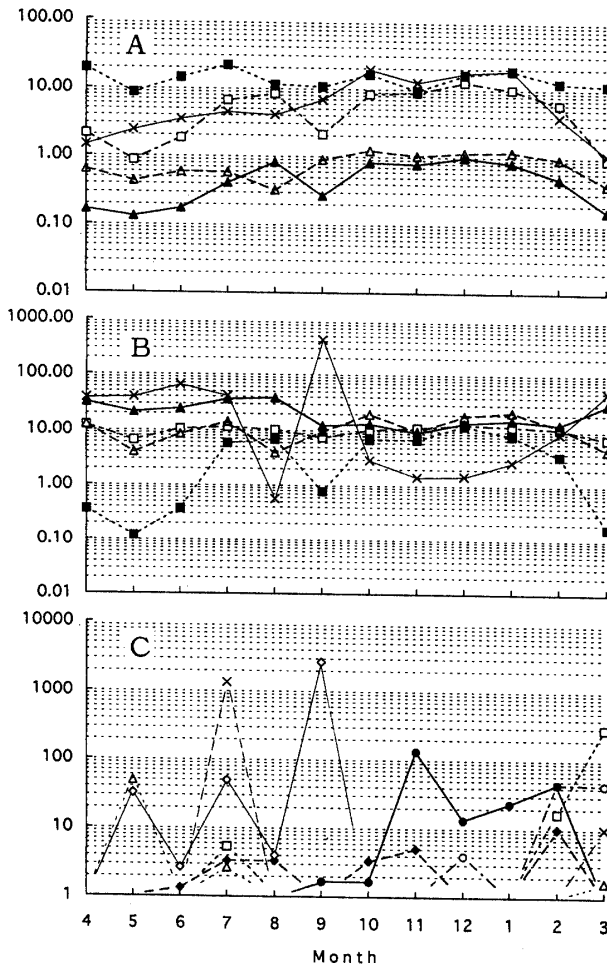


Fig. 4. Monthly changes of nutrient salts (A), these rates and products (B), and the dominant phytoplankton (C) in 1996.

Symbols and units as in Fig. 3.

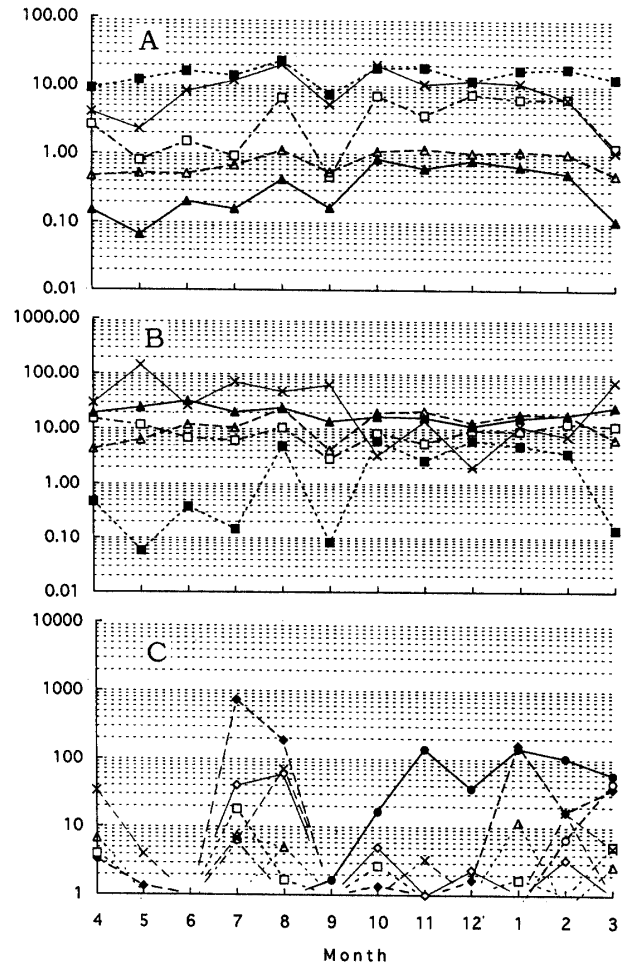


Fig. 5. Monthly changes of nutrient salts (A), these rates and products (B), and the dominant phytoplankton (C) in 1997.

Symbols and units as in Fig. 3.

DINP 比が高く, DIN, DIP, および $\text{DIN} \times \text{DIP}$ が低い水域に, *L. danicus* は塩分が低く, DIN, DSi, TN, DIN : DIP, $\text{DIN} \times \text{DIP}$, TN : TP, および $\text{TN} \times \text{TP}$ が高い水域に出現する傾向が強かった。

秋一冬期の比較では, 通年比較とは若干の差異がみられるが, 他種に比し, *C. wailesii* は DIN, DIP, DSi, および $\text{DIN} \times \text{DIP}$ が高く, TNP : DINP 比が低い水域に出現する傾向が強く, また *Pseudonitzschia* spp. は TNP : DINP 比が最も高い水域に出現する等, 通年比較と同様の傾向がみられた。しかし, *L. danicus* は通年比較とは全く逆の傾向の, DSi, TN, および $\text{TN} \times \text{TP}$ が低い水域に出現した。なお, *C. wailesii* の DIN : DIP 比は 8.6 であり, 一般的には低い値であるが, 同時期の他種に比すれば, 中程度の値であった。

気象諸要因の季節的变化 1995 年 3 月から 1998 年 2 月までの 3 年間の気象諸要因の経月変化を Fig. 7 に示す。気温は 4.4–29.1°C の範囲で変動し, 3 年共に 8

月に最高値, 1 または 2 月に最低値を示した。風速は約 2.1–4.0 m/s の範囲で変動し, 5, 6 月頃が最も遅く, 1 月頃が最も速かった。日照時間は 3.8–9.2 h/day の範囲で変動し, 1995 年は 8 月, 1996 年は 4, 7 月にピークがみられたが, 1997 年は変動が少なくあまり顕著なピークは見られなかった。雨量は 1.0–11.9 mm/day の範囲で変動がみられ, 1995 年には 5, 7 月, 1996 年には 6 月, 1997 年には 7, 9 月にピークが見られた。

考 察

播磨灘における *C. wailesii* は冬期を中心に出現するが, 主成分分析の結果では *C. wailesii* の出現は海域の低い鉛直安定度と密接な関係のあることが指摘されている。⁵ また, 同種は 10°C またはそれ以下の温度では細菌等による影響を受けないが, 15–28°C の比較的高温では, *C. wailesii* を殺滅する海洋細菌 (*Alteromonas* sp.) が存在することも報告されている。¹⁶⁾ したがって, 同種

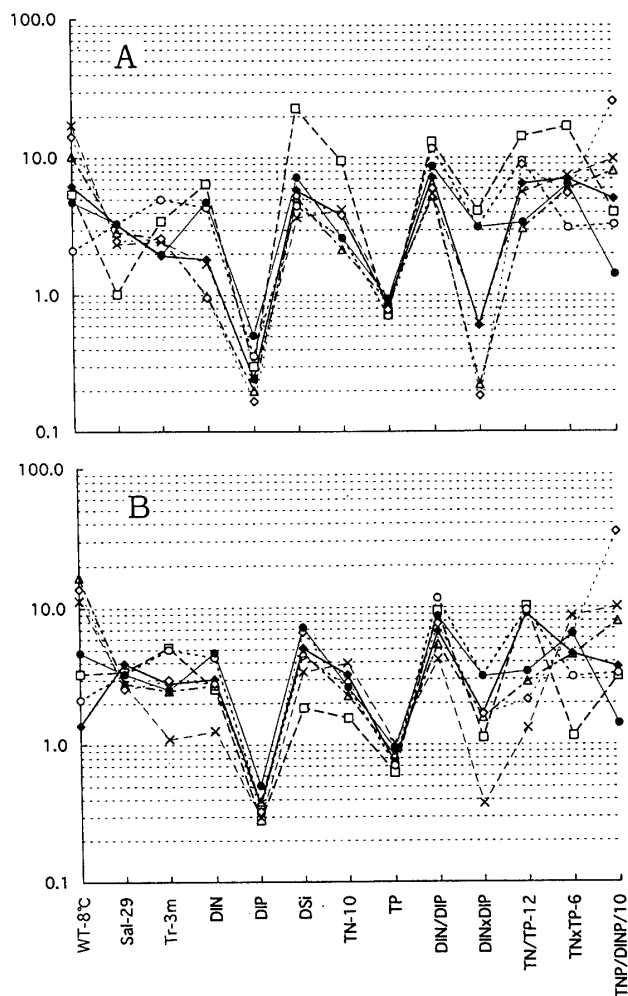


Fig. 6. Characteristics of water quality factors of the dominant phytoplankton occurred during from April to March (A) or from September to March (B).

Symbols and unit as in Fig. 3C.

は鉛直安定度の低い、低温の冬季に出現するのに適したプランクトンととらえることができる。

水質諸要因および主要植物プランクトンの経月変化について調べた結果では、*C. wailesii* がやや高密度で出現した11月から翌年の2月頃までは、1995, 1996, および1997年の3年間共に、水温は下降期（鉛直混合期）に相当し、塩分は比較的高い値で安定していた。また、他の水質諸要因も他の時期に比し比較的安定しており、一般にDIN, DIP, DSi, およびDIN×DIPが高く、TNP:DINP比が低い（栄養塩濃度が高く、これらの利用強度が低い）という特徴がみられた。なお、DIN:DIP比は10前後かそれ以下であり、大阪湾に比しかなり低く、¹⁷⁾ また、DIPに対し相対的にDINが低い傾向

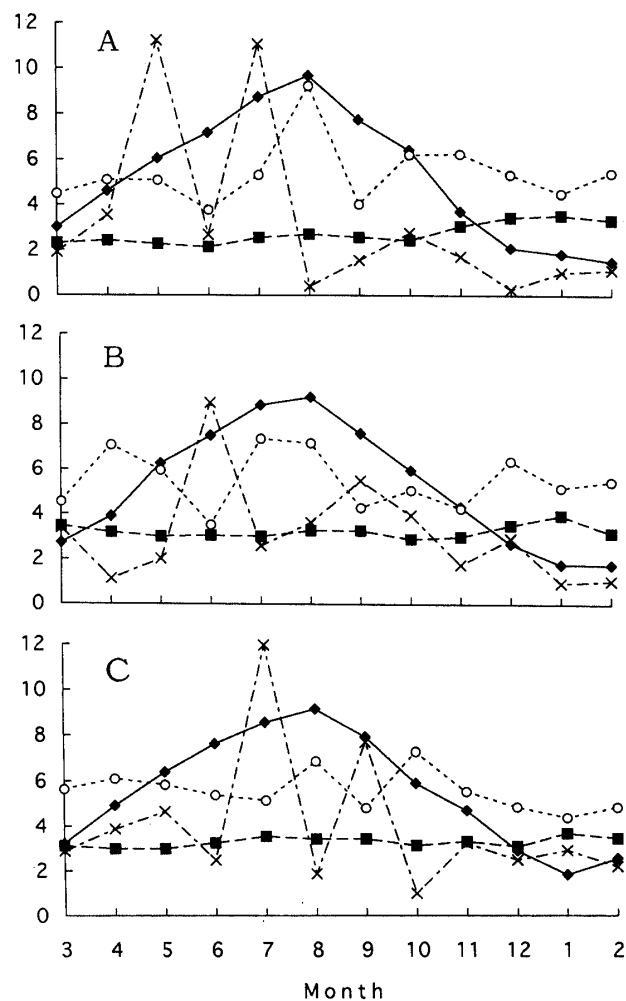


Fig. 7. Monthly changes of the meteorological factors in 1995 (A), 1996 (B), and 1997 (C).

◆, air temperature (°C/day); ■, wind velocity (m/s/day); ○, sunshine duration (h/day); ×, precipitation (mm/day).

が強かった。

主要植物プランクトンについて出現水域の水質諸要因の特徴を比較した結果、*C. wailesii* は他種に比し、通年比較でも、また、秋—冬期の比較でも、前述の水質、プランクトンの経月変化について調べた結果と同様に、DIN, DIP, DSi, およびDIN×DIPが高く、TNP:DINP比が低い水域に出現する傾向が強かった。しかし、*L. danicus* は、通年比較では他種に比しDSi, TN, およびTN×TPが最も高い水域に出現したが、秋—冬期の比較では全く逆の傾向の、DSi, TN, およびTN×TPが最も低い水域に出現した。このことは、前報¹⁷⁾でも指摘したように、*L. danicus* のように通年にわたって出現する種では春と秋等、季節によって出現水域の水質諸要因の特徴を大きく変化させる種があること、また、

*5 長井 敏：珪藻類赤潮。シンポジウム“わが国沿岸海域における有害有毒プランクトン被害の現状、発生機構と予知および防除対策”，平成10年度日本水産学会春季大会講演要旨集，1998，pp. 295.

このような種は季節別に水質諸要因の特徴を比較することが必要であると思われた。

前述のように, *C. wailesii* は 11 月から翌年の 2 月頃までの 1 年間の内でも気温や水温が低く, 日射量が低下する時期に比較的高密度で出現している。したがって, 同種は海水の鉛直安定度が低く, 底層から栄養塩の供給は豊富であるが, 水温や日射量が比較的低い時期(極端に低い 12 月を除く)に, 他種の植物プランクトンよりも優位に出現しうる特性または増殖機構を持ったプランクトンであるように思われた。しかし, 同種は大型種であり, 沈降速度も非常に速いので, 鉛直安定度が低い水域においても, 沈降性からのみみれば水の抵抗性の大きい小型種に比し, 表層(有光層)に長時間留まるのに不適な形態をもっているようにも思われる。したがって, *C. wailesii* が播磨灘で他の小型種よりも優位に(量的に)出現し, さらには年により異常に大量に増殖する機構等に関しては, まだよく分かっていないのが現状である。

プランクトンの浮上, 沈降性に関しては, かなり多くの研究が行われており,¹⁸⁻²⁵⁾ 浮上性の調節には細胞内の比重調節が重要であり, 比較的大型の珪藻 *Ditylum brightwelli* は細胞内の無機イオンの組成や量を変えて, 浮上調節を行なうこと,²¹⁾ また, 浮上性が非常に強く, 集積により帯状や塊状の着色域を形成することで知られる大型の鞭毛藻 *Noctiluca scintillans* (*N. miliaris*) は, 細胞内に多量の $\text{NH}_4\text{-N}$ (アンモニア態窒素) を蓄積し, 浮上調節を行なうこと,^{20,23),*6} 等が指摘または示唆されている。また, プランクトンの沈降速度は 0-20 m/day 程度であり, 一般にブルームの初期から最盛期にかけて速くなり, その末期には浮上調節機能が失われ, 沈降速度は最大になること,^{18,19,22)} また, 細胞外に分泌された粘質物による粘質塊はさらにその塊の中に包まれた植物プランクトン等の沈降速度を速める (50-100 m/day) こと,^{19,24,25)} 等が指摘または示唆されている。

C. wailesii に関しては, 調べられた 10 種の植物プランクトンの内でも最も大型種であり, その沈降速度は, 増殖期で約 3 m/day, 増殖停止期で約 30 m/day と, 最も沈降速度が速いこと, しかし細胞内の相対的比重は 10 種のうちでもむしろ最も低いこと等が指摘されている。¹⁹⁾ 一方, *C. wailesii* の浮上速度等に関しては殆ど研究がみられないが, 同種は表層から底層かけて分布し, また, 同種の発生期には数 mm—数 10 cm 程度の比較的大きい粘質塊が多く (m² 当たり数 10 程度) 海水中にけん濁しているのが船上から観察される。したがっ

て, *C. wailesii* が細胞内の比重調節を行い, 環境水よりも比重を軽くしうる機能をもっているならば, 大型種であり, また粘質塊を形成しうる同種は, 単体の小型種よりも水の抵抗性が少ないので, 浮上速度は小型種よりもむしろ速くなることが考えられる。

C. wailesii の近縁種である, *Coscinodiscus nobilis* は細胞外に粘質物を分泌して粘質塊を形成し, *C. wailesii* と同様にトロール漁業に被害を与える種であるが, *C. nobilis* の分泌物はフコース, ラムノース, 等を含んだ多糖類であることが明らかにされている。²⁶⁾

したがって, *C. wailesii* も *C. nobilis* と同様な粘質物を分泌し, 粘質塊を形成していることが示唆される。また, 若干種の植物プランクトンは多糖類からなるグリコカリックス (またはスライム) に栄養塩類や溶存有機物を吸着し, DIN や DIP を直接または間接的に利用していることが指摘または示唆されている。^{13,27),*7}

以上のことから, *C. wailesii* は, 海水の鉛直安定度は低い底層からの栄養塩の供給量の多い環境下で, 比較的大きい粘質塊の形成により栄養塩類や溶存有機物等を吸着し, DIN や DIP を直接または間接的に細胞内に取り込み, 増殖に利用すると共に, 粘質物を浮上性の調節にも有効に利用していることが可能性として考えられた。

謝 辞

本研究を進めるに当たり, プランクトンの浮上性等について種々貴重な御教示を賜った香川大学名誉教授岡市友利博士に深謝する。また, 本研究は水産庁委託事業(漁場富栄養化対策事業)の一環として行った。記して感謝の意を表わす。

文 献

- 1) 長井 敏: 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. 博士論文, 京都大学, 京都, 1995, p. 1-177.
- 2) T. Manabe and S. Ishio: Bloom of *Coscinodiscus wailesii* and DO deficit of bloom in Seto Inland Sea. *Mar. Poll. Bull.*, **23**, 181-184 (1991).
- 3) G. T. Boalch and D. S. Harbupur: Unusual diatom off the coast of south-west England and its effect on fishing. *Nature*, **269**, 687-688 (1977).
- 4) 真鍋武彦, 長井 敏, 堀 豊: 敵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, 1994, pp. 9-18.
- 5) 長井 敏, 真鍋武彦: 培養条件下における大型の珪藻類の *Coscinodiscus wailesii* の増大胞子形成. 日本プランクトン学会報, **40**, 151-167 (1994).
- 6) S. Nagai, Y. Hori, and I. Imai: Promotion of sperm forma-

*6 岡市友利, 延沢文代: 有機物等の増殖促進作用に関する研究. 大規模有害赤潮発生の早期予知および被害防除に関する調査研究報告書(水産庁), 1975, pp. 81-98.

*7 吉田陽一, 石田祐三郎, 中原紘之: アオコのスライムの形状等の特徴. 平成 9 年度日本水産学会秋季大会講演要旨 (1997).

- tion of a giant diatom *Coscinodiscus wailesii* by a marine bacterium. *Fisheries Science*, **60**, 625-626 (1994).
- 7) 長井 敏, 堀 豊, 今井一郎: 海底泥から見いだされた大型珪藻類 *Coscinodiscus wailesii* 休眠細胞の形態と復活. 日水誌, **61**, 179-185 (1995).
 - 8) S. Nagai, Y. Hori, T. Manabe, and I. Imai: Restoration of cell size by vegetative cell enlargement in *Coscinodiscus wailesii* (Bacillariophyceae). *Phycologia*, **34**, 533-535 (1995).
 - 9) S. Nagai, Y. Hori, K. Miyahara, T. Manabe, and I. Imai: Population dynamics of *Coscinodiscus wailesii* Gran (Bacillariophyceae) in Harima Nada, Seto Inland Sea, Japan, in "Harmful and Toxic Algal Blooms" (ed. by Y. Yasumoto, Y. Oshima, and Y. Fukuyo), Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, 1996, pp. 239-242.
 - 10) S. Nagai and I. Imai: The effect of irradiance and irradiation time on the size of initial cells in vegetative cell enlargement of *Coscinodiscus wailesii* (Centrales, Bacillariophyceae) in culture. *Phycological Research*, **45**, 117-121 (1997).
 - 11) 堀 豊, 宮原一隆, 長井 敏, 辻野耕実, 中島昌紀, 山本圭吾, 吉田陽一, 荒木伸生, 酒井康彦: 大阪湾および播磨灘における主要植物プランクトンと DIN : DIP 比等との相互関係. 日水誌, **64**, 243-248 (1998).
 - 12) 吉田陽一, 三嶋義人, 佐藤正春: 東京湾奥域における主要植物プランクトンと DIN : DIP 比等との相互関係. 日水誌, **64**, 259-563 (1998).
 - 13) 吉田陽一, 小玉一哉, 酒井康彦, 辻野耕実, 中島昌紀, 山本圭吾, 堀 豊, 西川哲也, 宮原一隆, 長井 敏: 大阪湾および播磨灘におけるギムノディニウムの高密度発生と水質, 気象要因との関係. 日水誌, **64**, 1006-1012 (1998).
 - 14) 吉田陽一, 小島伸一, 佐藤正春: 東京湾奥域におけるヘテロシグマの高密度発生と水質, 気象要因との関係. 日水誌, **64**, 1006-1012 (1998).
 - 15) 気象庁: 気象庁月報 (1995-1998).
 - 16) S. Nagai and I. Imai: Killing of a giant diatom *Coscinodiscus wailesii* Gran by a marine bacterium *Alteromonas* sp. isolated from the Seto Inland Sea of Japan, in "Harmful Algae" (ed. by B. Reguera, J. Blanco, M. L. Fernandez, and T. Wyatt), Xunta de Galicia and Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, 1998, pp. 402-405.
 - 17) 吉田陽一, 山本圭吾, 中島昌紀, 辻野耕実, 小玉一哉, 酒井康彦: 大阪湾北東域における *Skeletonema costatum* の高密度発生と水質, 気象要因等との関係. 日水誌, **66**, 200-206 (2000).
 - 18) T. J. Smayda and B. J. Boleyn: Experimental observations on the flotation of marine diatoms. I. *Thalassiosira* cf. *nana*, *Thalassiosira rotula* and *Nitzschia seriata*. *Limnol. Oceanogr.*, **10**, 499-509 (1965).
 - 19) R. W. Eppley, R. W. Holmes, and D. H. Strickland: Sinking rates of marine phytoplankton measured with a fluorometer: *J. exp. mar. Biol. Ecol.*, **1**, 191-208 (1967).
 - 20) 岡市友利, 西尾幸郎: 夜光虫 (*Noctiluca miliaris*) の毒性について. 日本プランクトン学会報, **23**, 75-80 (1976).
 - 21) L. W. J. Anderson and B. M. Sweeney: Role of inorganic ions in controlling sedimentation rate of a marine centric diatom *Ditylum brightwelli*. *J. Phycol.*, **14**, 204-214 (1978).
 - 22) C. L  nnergren: Buoyancy of natural populations of marine phytoplankton. *Mar. Biol.*, **54**, 1-10 (1979).
 - 23) 岡市友利: 赤潮生物の生物学的集積, 「赤潮に関する近年の知見と研究の問題点」(赤潮研究会編集委員会), 日本水産資源保護協会, 1980, pp. 81-88.
 - 24) M. W. Silver and A. L. Alldredge: Bathypelagic marine snow: deep-sea algal and detrital community. *J. Mar. Res.*, **39**, 501-530 (1981).
 - 25) V. S. Smetacek: Role of sinking in diatom life-history cycles: ecological, evolutionary and geological significance: *Mar. Biol.*, **84**, 239-251 (1985).
 - 26) E. Percival, M. A. Rahman, and H. Weigel: Chemistry of the polysaccharides of the diatom *Coscinodiscus nobilis*. *Phytochemistry*, **19**, 809-811 (1980).
 - 27) 吉田陽一・沖野外輝夫: 諏訪湖におけるアオコの発生と DON : DIN 比等との相互関係. 日水誌, **62**, 631-637 (1996).