

1991年夏季播磨灘の海況と表層水中における浮遊性 珪藻類 *Chaetoceros* 休眠胞子の分布

板倉 茂・今井 一郎

Distribution of *Chaetoceros* (Bacillariophyceae) resting spores observed in the surface water of Harima-Nada, in the summer of 1991, with reference to the oceanographic conditions

Shigeru ITAKURA* and Ichiro IMAI*

Abstract

In the summer of 1991 (14-18 July), abundant *Chaetoceros* spp. resting spores (maximum 6,700 cells/ml) were observed in the surface water (0-5 m) of Harima-Nada, eastern Seto Inland Sea, Japan. *C. curvisetus*, *C. distans*, and *C. lauderi* were the dominant spore forming species observed in this study. Oceanographic conditions (temperature, salinity, chlorophyll *a*, DIN, PO₄-P, SiO₂-Si) were also determined. Most part of Harima-Nada were steeply stratified and nutrient concentrations in the surface water were very low (DIN <1 μg-at/l, PO₄-P <0.1 μg-at/l, SiO₂-Si <5 μg-at/l) at this period. In each *Chaetoceros* species, resting spores were observed even in relatively high ambient nutrient conditions. But the percentage of resting spores to the total cells increased at low (<1 μg-at/l) ambient DIN concentrations. This fact suggests that resting spore formation was stimulated with low nitrogen concentrations in the surface water. On the contrary, spore formation did not appear to be closely associated with low silicate levels. Resting spores formed in the surface (N-depleted) layer should sink to the sea bottom and the spores deposited on the bottom sediments may serve as the "seed bank" of these species for the following blooms in Harima-Nada.

1. はじめに

環境の変動が時空間的に著しい沿岸や内湾域に出現する浮遊性珪藻類の中には、その生活史の一時期に、休眠胞子 (Resting spores) や休眠細胞 (Resting cells) と呼ばれる、休眠期細胞 (Resting stage cells) を形成する種類のあることが知られている (HARGRAVES and FRENCH, 1983, GARRISON, 1984, 板倉ほか, 1992)。一般にこれらの細胞は、栄養細胞の増殖あるいは生存に不適な時期を海底に沈降して過ごす役割を持つと考えられてきた。しかし実際には、これらの休眠期細胞の生理的な特徴や現場水域における挙動等については

不明な点が多いため、浮遊性珪藻類の休眠期細胞が生活史の中で果たしている生態的機能は十分に明らかにされているとは言えない (GARRISON, 1984, 中原, 1986, ROUND *et al.*, 1990)。すなわち、現場における珪藻類休眠期細胞の形成条件や形成時期、形成された休眠期細胞の海底泥中における分布密度や生残期間、発芽の条件や時期等、今後解明すべき問題が数多く残されている。

沿岸域で顕著に観察される浮遊性珪藻類のなかでは、特に *Chaetoceros* 属に、休眠胞子を形成する種類が多く知られている (STOCKWELL and HARGRAVES, 1986)。休眠胞子は栄養細胞から無性的に形成されるが、通常の細胞分裂とは異なった過程で形成され、栄養細胞より厚い珪酸質の殻を持ち、形態的に栄養細胞

平成5年12月6日受理

* Nansei National Fisheries Research Institute,
Ohno-cho, Saeki-gun, Hiroshima 739-04, Japan.

とは著しく異なった特徴を示す (HARGRAVES and FRENCH, 1983, GARRISON, 1984)。Chaetoceros 属が形成する休眠胞子は、現場海中においてもしばしば観察されるため、その形態に関する知見は比較的多く、分類学的にも重要視されている (小久保, 1960, RINES and HARGRAVES, 1988)。

近年我々は、Chaetoceros 属の休眠胞子を含む珪藻類の休眠期細胞が、瀬戸内海の海底泥中に高密度で ($10^3 \sim 10^6 / \text{cm}^3 \cdot \text{湿泥}$)、しかも年間を通して存在していることを明らかにした (今井ほか, 1990; 板倉・今井, 1991)。これらの結果は、沿岸や内湾域の海底泥中の珪藻類休眠期細胞が、“シード・バンク”(HARPER, 1977, 沼田, 1981) としての役割を果たす可能性を強く示唆している。

今回我々は、1991年夏季の播磨灘における調査の際に、表層水中に Chaetoceros 属の休眠胞子が多数存在しているのを観察することができた。そこで、本報告では、現場海域で Chaetoceros 属の休眠胞子形成に関与する条件を把握することを目的とし、調査時の、播磨灘における Chaetoceros 属休眠胞子の分布と環境要因の特徴を述べ、その関係について考察する。

2. 材料と方法

1991年7月14~18日の間、水産庁南西海区水産研究所の調査船“しらふじ丸”(138トン)によって、東部瀬戸内海の播磨灘(34測点: Fig. 1)で現場調査を行った。各測点における主な調査項目は、Table 1に示したとおりである。採水にはバンドーン採水器を用い、各測点で水深0, 5, 10, 20, …B-1 m(海底上1 m)深の海水を採取した。そのうち水深0, 5, 10, B-1 m深の試水については、採水当日に顕微鏡観察を行い、各試水中の植物プランクトン (Chaetoceros 属の栄養細胞および休眠胞子を含む) の存在密度 (cells/ml) を調べた。また、すべての海水試料を、採取直後にグラスファイバーフィルター (Whatman GF/C) で濾過 (500 ml) し、濾過海水およびフィルターを凍結保存して研究室に持ち帰った。その後、濾過海水中の無機栄養塩 ($\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$, $\text{SiO}_2\text{-Si}$) を、STRICKLAND and PARSONS (1972) の方法に準じて TRAACS 800 (ブラン・ルーベ社) 自動分析装置を用いて測定した。なお、DIN (溶存態無機窒素) の値は、 $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$ の合計値とした。また、グラスファイバーフィルター上に捕集した植物プランクトンについては、90% アセトンで抽出を行った後、蛍

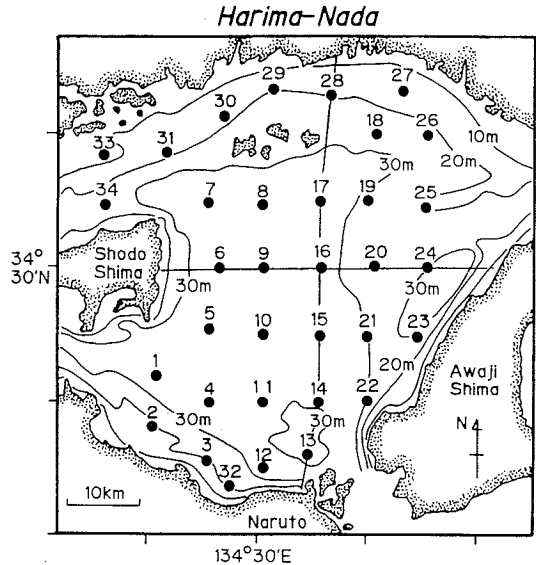


Fig. 1. Location of the sampling stations in Harima-Nada showing positions of transect stations.

Table 1. Sampling period and determined parameters in this study (Harima-Nada).

Sampling period	Determined parameters
14-18 July 1991	Meteorology, Hydrology, Temperature, Salinity, Transparency, Dissolved oxygen, Dissolved inorganic nutrients, Chlorophyll <i>a</i> , Phytoplankton.

光光度計 (ターナー・デザインズ社) で蛍光強度を測定し、クロロフィル *a* の定量を行った。

3. 播磨灘表層水における Chaetoceros の分布

本調査で休眠胞子が顕著に観察されたのは、*C. curvisetus*, *C. distans*, *C. lauderi* の3種であった。これら3種と、Chaetoceros spp. (上記3種を含む) について、総細胞数 (栄養細胞と休眠胞子の合計) と休眠胞子数の表層水における分布を以下に述べる。なお、各測点の0 mおよび5 m深における細胞密度の平均値 (cells/ml) を、表層水における Chaetoceros の分布密度とした。

1) *Chaetoceros curvisetus*

各測点の表層水における *C. curvisetus* の総細胞と休眠孢子の分布密度を Fig. 2 に示す。*C. curvisetus* (総細胞; Fig. 2-a) は、灘の北西部沿岸を中心に比較的高密度 (400 cells/ml 以上) で存在しており、最高値は St. 30 の 910 cells/ml であった。一方、灘の中央～東側では少なく、広い範囲で 100 cells/ml 以下の密度であった。休眠孢子の分布をみると (Fig. 2-b)、灘北西部、小豆島の南東部、および灘南部の局所的な水域に

において比較的高密度 (10~40 cells/ml) で存在しており、南部沿岸の St. 32 で 46 cells/ml の最高値が観測された。

2) *Chaetoceros distans*

各測点の表層水における *C. distans* の総細胞と休眠孢子の分布密度を Fig. 3 に示す。*C. distans* (総細胞; Fig. 3-a) は、灘北部沿岸を中心に 400 cells/ml 以上の密度で存在し、広い範囲で 200 cells/ml 以上の比較的高い密度であった (最高値: 家島諸島北の St. 29 で、

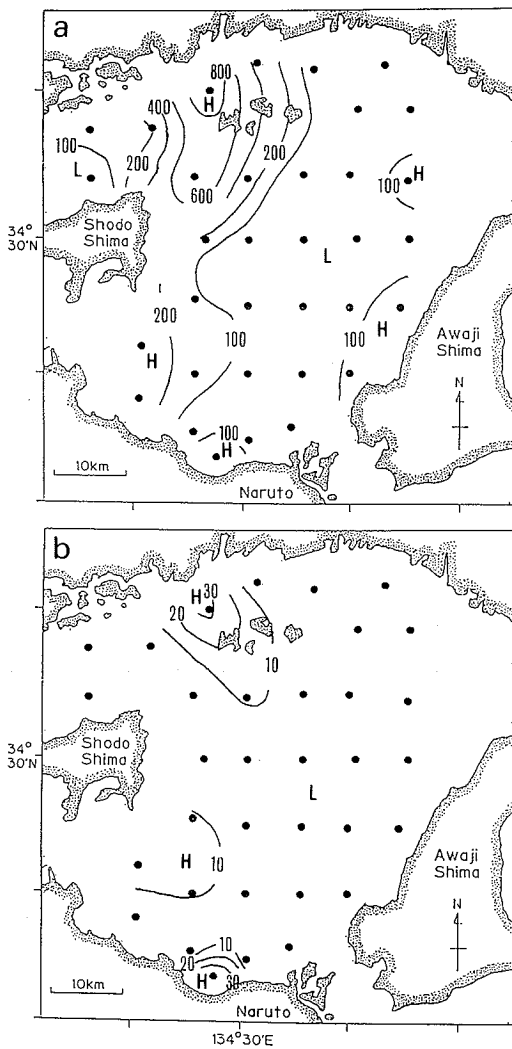


Fig. 2. Horizontal distribution of *Chaetoceros curvisetus* in surface water (average cell densities of 0 and 5 m; cells/ml). a: total cells. b: resting spores.

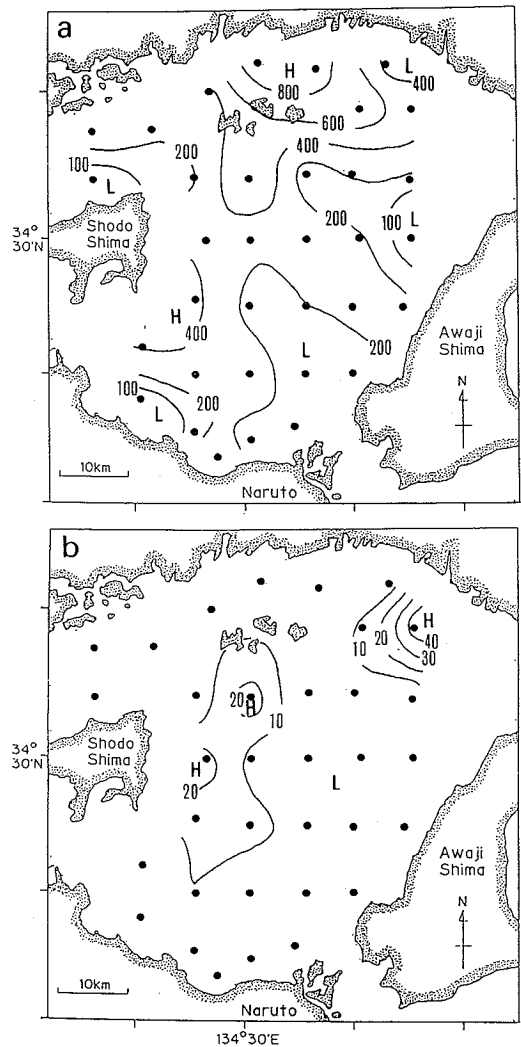


Fig. 3. Horizontal distribution of *Chaetoceros distans* in surface water (average cell densities of 0 and 5 m; cells/ml). a: total cells. b: resting spores.

950 cells/ml)。休眠孢子 (Fig. 3-b) は、小豆島東部の水域と灘北東部沿岸で比較的高密度で存在しており、特に灘北東部の St. 26 で最も多く、44 cells/ml の密度であった。

3) *Chaetoceros lauderi*

各測点の表層水における *C. lauderi* の総細胞と休眠孢子子の分布密度を Fig. 4 に示す。*C. lauderi* (総細胞; Fig. 4-a) は、灘南部を中心に存在しており、特に鳴門海峡から淡路島西部沿岸にかけての水域と小豆島

南部においては、200 cells/ml 以上の密度で検出された (最高値: 淡路島南西部付近の St. 22 で、341 cells/ml)。一方、灘の中央から北側の水域においては比較的低密度であった (100 cells/ml 以下)。休眠孢子子 (Fig. 4-b) は、小豆島の東部から灘の南西部にかけての水域で比較的多く検出された。特に、小豆島の東部 (St. 6) で最も多く、53 cells/ml の密度であった。

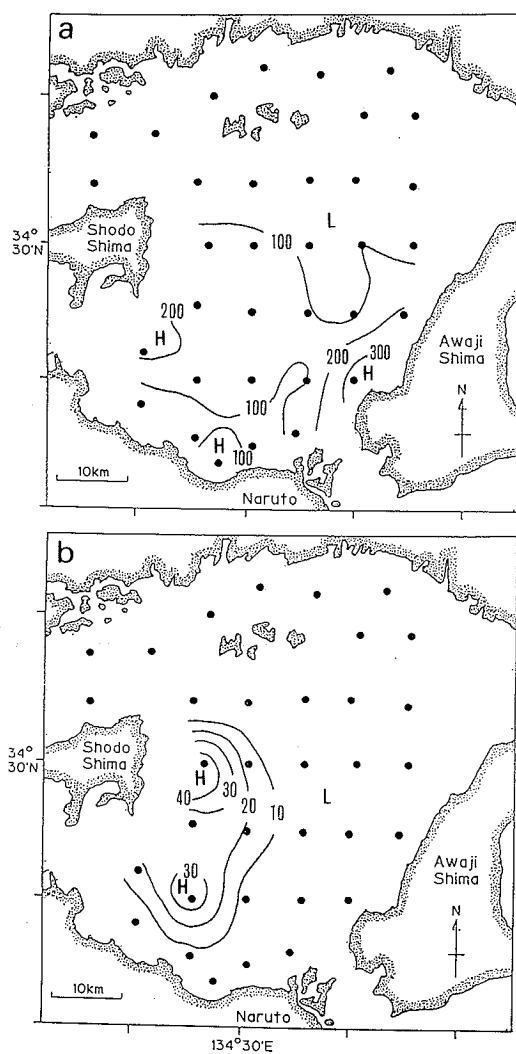


Fig. 4. Horizontal distribution of *Chaetoceros lauderi* in surface water (average cell densities of 0 and 5 m; cells/ml). a: total cells. b: resting spores.

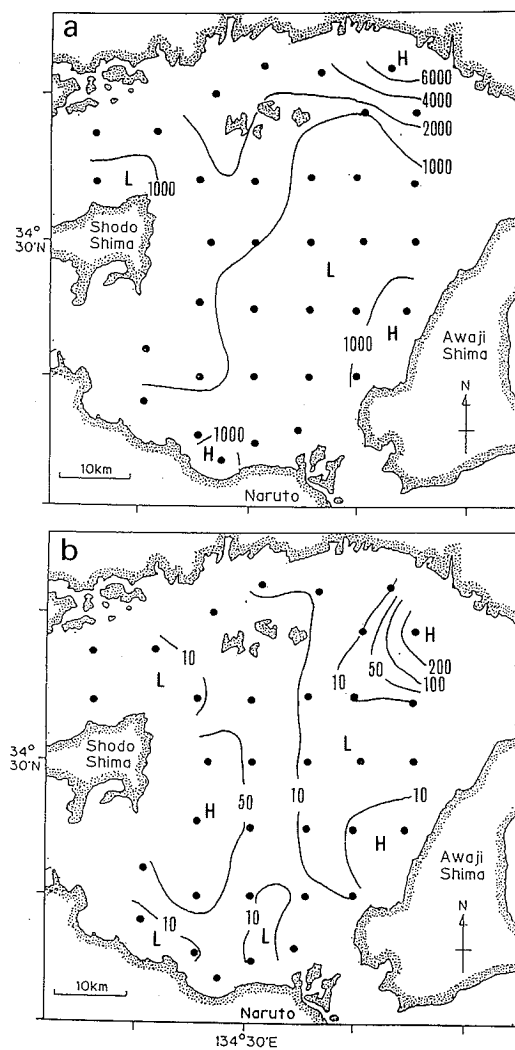


Fig. 5. Horizontal distribution of *Chaetoceros* spp. (including *C. curvisetus*, *C. distans*, and *C. lauderi*) in surface water (average cell densities of 0 and 5 m; cells/ml). a: total cells. b: resting spores.

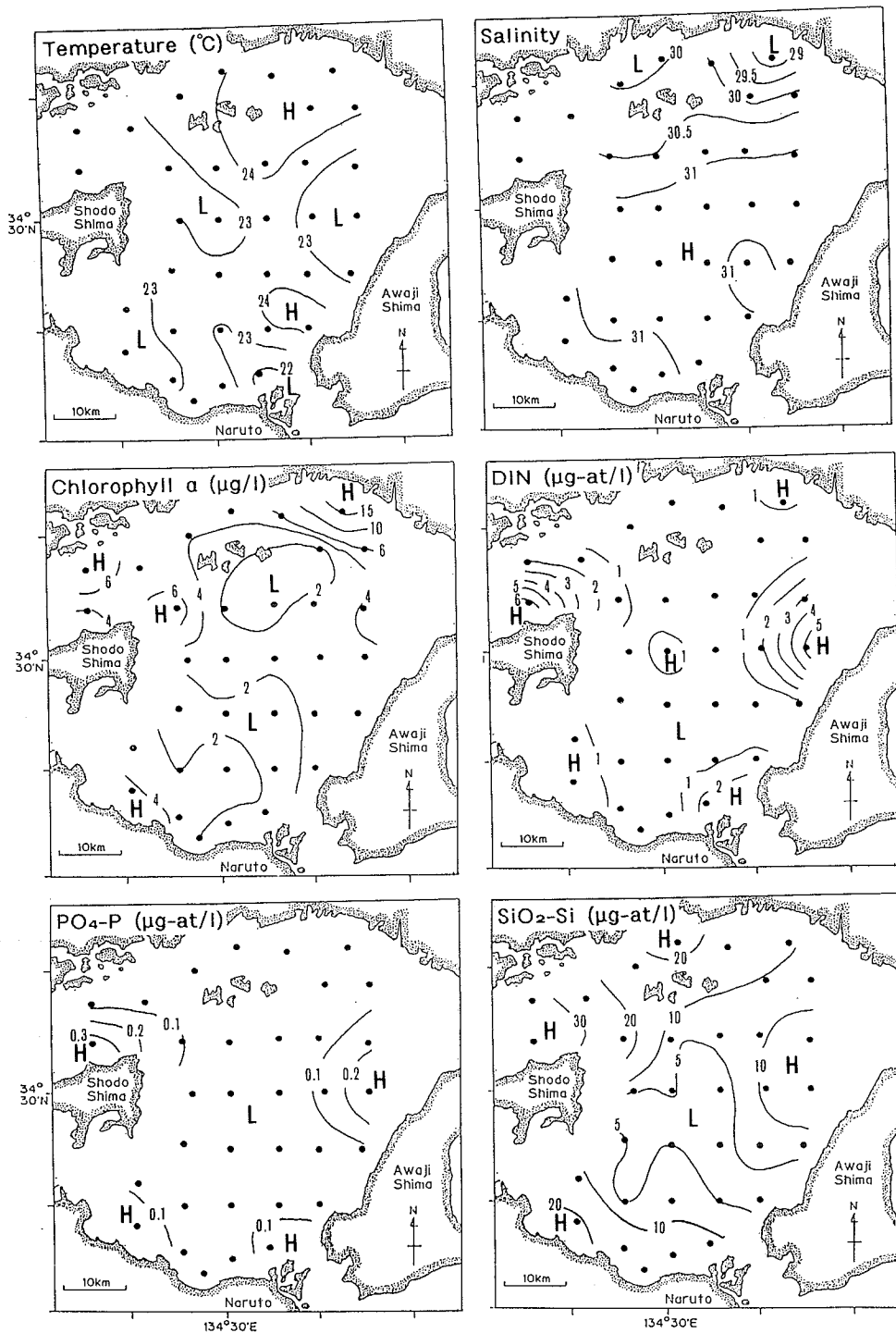


Fig. 6. Horizontal distributions of temperature, salinity, chlorophyll *a*, DIN, PO₄-P, and SiO₂-Si, in surface water (average values of 0 and 5 m).

4) *Chaetoceros* spp.

各測点の表層水における *Chaetoceros* spp. (観察された *Chaetoceros* の合計, 上述の3種類も含む) の総細胞と休眠胞子の分布密度を Fig. 5 に示す。*Chaetoceros* spp. の総細胞 (Fig. 5-a) は, 灘北部沿岸を中心に高密度 (2,000 cells/ml 以上) で存在していた (最高値: 高砂市沖の St. 27 で, 6,700 cells/ml)。一方, 明石海峡南部から灘南部沿岸にかけての帯状の水域においては, やや低密度 (1,000 cells/ml 以下) であった。休眠胞子 (Fig. 5-b) は, 灘北東部の沿岸と小豆島の東部付近の水域において, それぞれ 50 cells/ml 以上の密度で検出された (最高値: St. 26 で, 285 cells/ml)。

以上のように, *Chaetoceros* の休眠胞子は, それぞれの種類が比較的高密度で存在する水域の近くで検出されたが, 総細胞数と休眠胞子数の高密度域は必ずしも一致していなかった。

4. 播磨灘の海況

1. 水平分布

調査時の播磨灘表層水における水温, 塩分, ならびにクロロフィル *a*, DIN ($\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$ の合計), $\text{PO}_4\text{-P}$, $\text{SiO}_2\text{-Si}$ 濃度の水平分布を Fig. 6 に示す。なお, 各測点の 0 および 5 m 深における値の平均値を, それぞれ各項目の表層水の値とした。

1) 水温

表層水温は 21.8~24.8°C の範囲にあり, 海峡部に近い, 灘西部, 東部, 南東部の各水域では, 23°C 以下の比較的低い水温であった。特に, 鳴門海峡に近い St. 13 では 21.8°C と, 表層での最低値が観測された。一方, 灘北東部沿岸域と, 淡路島南西部の沿岸の局所には, 24°C 以上の比較的高水温の水域が存在していた。

2) 塩分

表層塩分は 28.8~31.2 の範囲にあった。南部の鳴門海峡付近から灘中央部にかけて塩分 31 以上の水域が広がっていたが, 灘北部, 南西部沿岸, および淡路島南西部沿岸においては, 31 以下のやや低い値であった。特に, 灘北東部のごく沿岸 (St. 27) においては, 28.8 と最も低い値が観測され, 河川水流入の影響を受けていることがわかる。

3) クロロフィル *a*

表層のクロロフィル *a* の濃度は 0.8~15.1 $\mu\text{g/l}$ の範囲にあった。灘北部沿岸の広い範囲と南西部の局所で, 比較的濃度の高い (4 $\mu\text{g/l}$ 以上) の水域が認められた。特に, 河川水流入の影響を受けている北東部のごく沿

岸 (St. 27) において, 最高値 (15.1 $\mu\text{g/l}$) が観測された。一方, 2 $\mu\text{g/l}$ 以下の低濃度域が, 灘中央部の北と南に存在していた。

4) DIN

表層の DIN は 0.2~6.5 $\mu\text{g-at/l}$ の範囲にあり, 灘のかなり広い範囲で 1 $\mu\text{g-at/l}$ 以下の低い値が観測された。ただし, 小豆島北部および南部, 明石海峡付近と鳴門海峡付近の, 4 つの海峡付近では, 1 $\mu\text{g-at/l}$ 以上の比較的高い値であった。また, 灘北東部沿岸 (St. 27) と, 中央部 (St. 9) でも, 1 $\mu\text{g-at/l}$ 以上の値が観測された。

5) $\text{PO}_4\text{-P}$

表層の $\text{PO}_4\text{-P}$ は 0.03~0.4 $\mu\text{g-at/l}$ の範囲にあった。分布傾向は DIN の場合とほぼ同様であり, 海峡部付近で高く (0.1 $\mu\text{g-at/l}$ 以上), 灘の広い範囲で低くなっていた (0.1 $\mu\text{g-at/l}$ 以下)。

6) $\text{SiO}_2\text{-Si}$

表層の $\text{SiO}_2\text{-Si}$ は 3.7~36.5 $\mu\text{g-at/l}$ の範囲にあった。淡路島南西部から灘中央部に向かって, $\text{SiO}_2\text{-Si}$ が 5 $\mu\text{g-at/l}$ 以下の低濃度域が帯状に広がっていた。それ以外の水域では, 概ね 10 $\mu\text{g-at/l}$ 以上の値であり, 特に灘北西部と南西部では 20 $\mu\text{g-at/l}$ 以上の比較的高い値が観測され, DIN や $\text{PO}_4\text{-P}$ とはやや異った分布傾向であった。

2. 鉛直分布

a) 東西断面

調査時の水温, 塩分, クロロフィル *a*, DIN ($\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$ の合計), $\text{PO}_4\text{-P}$, $\text{SiO}_2\text{-Si}$ 濃度の各項目について, 東西 (Sts. 24~6) 断面での鉛直分布を Fig. 7 に示す。

1) 水温

水温は 17.7~23.4°C の範囲にあり, 表層 (水深 10 m 以浅) では概ね 22°C 以上であった。海峡部に近い St. 24 では表面水温 (22.2°C) と底層水温 (21.6°C) の差は小さく, 海峡部での海水の上下混合の影響を受けていると考えられた。一方, St. 20 より西側においては顕著な水温成層が観察された。特に St. 6 では 0 m 層 (23.4°C) と B-1 m 層 (17.7°C) の水温差が 5°C 以上となっていた。

2) 塩分

塩分は 31.0~31.8 の範囲にあり, あまり大きな変化は観察されなかった。しかしながら, 分布傾向は水温の場合と同様で, 東側 (St. 24) で表層と底層の差が小さく (約 0.2), 西側 (St. 6) で大きい (約 0.7) とい

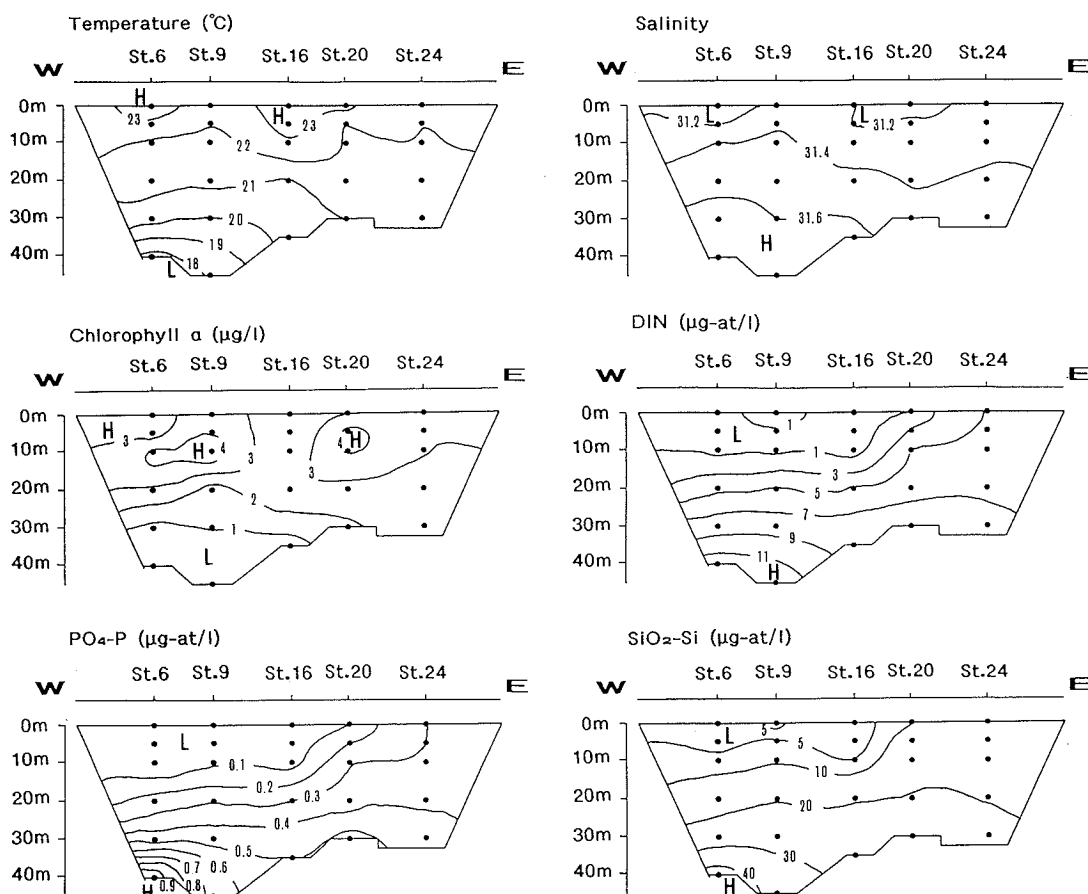


Fig. 7. Vertical profiles of temperature, salinity, chlorophyll *a*, DIN, PO₄-P, and SiO₂-Si, along a transect from St. 6 to 24 (west to east).

う傾向がみられた。

3) クロロフィル *a*

クロロフィル *a* 濃度は 0.3~4.7 µg/l の範囲にあった。St. 20 の 5~10 m 深と、St. 9 と St. 6 の 10 m 深を中心と比較的高濃度 (3 µg/l 以上) の範囲が広がっていた。一方、水深 30 m 以深では概ね 1 µg/l 以下の低い値であった。

4) DIN

DIN は 0.2~12.1 µg-at/l の範囲にあり、水温の分布と同様な傾向が認められた。水温成層が発達していた St. 20 から西側の水域では、表層 (10 m 以浅) で 1 µg-at/l 以下の低い値になっていた。また、これらの水域の底層では、いずれも 7 µg-at/l 以上の高い値が観測されており、表層と底層で大きな濃度差が認められた。一方、水温の表底層差が小さかった St. 24 においては、

DIN の濃度も 0 m 層 (5.1 µg-at/l) と B-1 m 層 (7.7 µg-at/l) の差が比較的小さかった。

5) PO₄-P

PO₄-P は 0.02~1.0 µg-at/l の範囲にあり、水温や DIN と同様な分布傾向を示していた。St. 20 より西側においては、表層 (10 m 以浅) で 0.1 µg-at/l 以下の低い値、底層 (30 m 以深) で 0.5 µg-at/l 以上の高い値を示し、表層と底層の濃度差が大きかった。一方、St. 24 では 0 m 層 (0.3 µg-at/l) と B-1 m 層 (0.4 µg-at/l) の濃度差が小さかった。

6) SiO₂-Si

SiO₂-Si は 2.4~44.0 µg-at/l の範囲にあり、他の栄養塩と同様な分布傾向を示していた。10 µg-at/l 以下の低い値の範囲が St. 20 から西側の表層 (10 m 以浅) にみられ、底層 (30 µg-at/l 以上) との濃度差が大き

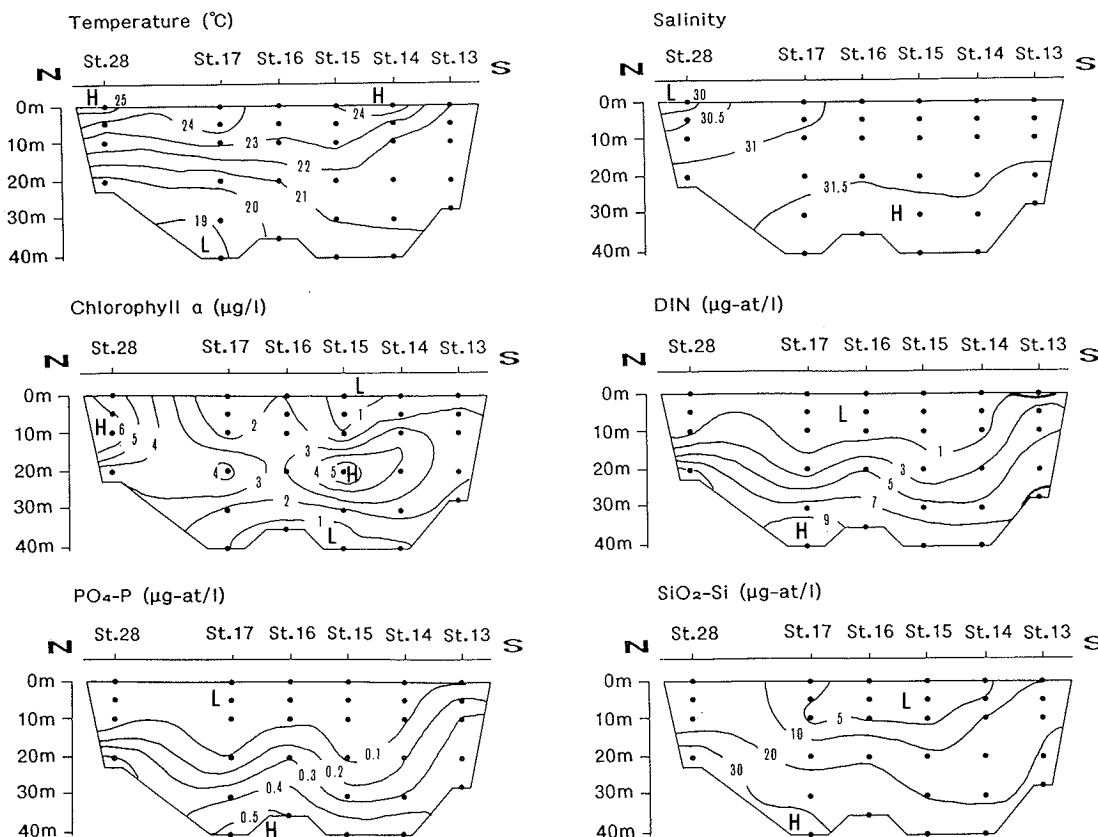


Fig. 8. Vertical profiles of temperature, salinity, chlorophyll *a*, DIN, PO₄-P, and SiO₂-Si, along a transect from St. 28 to 13 (north to south).

く、St. 24 では 0 m 層 (16.3 µg-at/l) と B-1 m 層 (21.1 µg-at/l) の濃度差が小さかった。

東西断面の分布の特徴として、東側 (St. 24) で各項目の値とも表底層の差があまり大きくなかったことが挙げられる。これは、明石海峡に近い St. 24 付近で、海水の上下混合によって比較的均一な水塊が形成されていたことを示すものであろう。しかし、西側に向かうにしたがってその影響は弱まり、水温成層が発達するにつれて各項目の値の表底層差も大きくなっていった。

b) 南北断面

各項目の値について、南北 (Sts. 13~28) 断面での鉛直分布を Fig. 8 に示す。

1) 水温

水温は 18.9~25.6°C の範囲にあり、南 (St. 13) から北 (St. 28) に行くにしたがって表底層の温度差が大きくなる傾向にあった。表面 (0 m) はすべて 22°C 以上

の温度であったが、北部沿岸の St. 28 の 0 m 層において、25.6°C と最も高い水温が観測された。鳴門海峡に近い St. 13 では、0 m 層 (22.1°C) と B-1 m 層 (20.9°C) の水温差は比較的小さかった。

2) 塩分

塩分は 29.7~31.6 の範囲にあり、南側の底層から北側の表層に向かって次第に塩分が低下する傾向がみられた。北部沿岸 (St. 28) の 0 m 層において 29.7 と最も低い塩分が観測されたが、これは河川水流入の影響によるものと考えられた。

3) クロロフィル *a*

クロロフィル *a* 濃度は 0.6~7.0 µg/l の範囲にあり、北部沿岸 (St. 28) の 5~10 m 層 (6 µg/l 以上) を中心に、St. 17 の 20 m 層にかけて比較的高い値 (3 µg/l 以上) の範囲が存在した。また、St. 15 の 20 m 層 (5.9 µg/l) を中心に、St. 16 の 20 m 層と St. 14 の 10~20 m 層

にかけての範囲においても高い値 ($3 \mu\text{g}/\text{l}$ 以上) が観測された。

4) DIN

DIN は $0.2 \sim 10.8 \mu\text{g-at}/\text{l}$ の範囲にあり, St. 14 から St. 28 にかけての表層 (10 m 以浅) では $1 \mu\text{g-at}/\text{l}$ 以下の低い値であった。また, 底層ではいずれも $7 \mu\text{g-at}/\text{l}$ 以上の値を示し, St. 17 の B-1 m 層で $10.8 \mu\text{g-at}/\text{l}$ の最高値が観測された。一方, 鳴門海峡に近い St. 13 においては, 各層における値が, それぞれ他の測点の同じ水深の値と比較して高くなっていた。

5) $\text{PO}_4\text{-P}$

$\text{PO}_4\text{-P}$ は $0.03 \sim 0.52 \mu\text{g-at}/\text{l}$ の範囲にあり, 分布傾向は, DIN の場合とよく似ていた。すなわち, St. 14 から St. 28 にかけての表層 (10 m 以浅) では $0.1 \mu\text{g-at}/\text{l}$ 以下の低濃度であり, 底層ではいずれも $0.4 \mu\text{g-at}/\text{l}$ 以上の比較的高い値を示していた。

6) $\text{SiO}_2\text{-Si}$

$\text{SiO}_2\text{-Si}$ は $2.4 \sim 38.1 \mu\text{g-at}/\text{l}$ の範囲にあり, St. 14 から St. 17 における表層 (10 m 以浅) に $10 \mu\text{g-at}/\text{l}$ 以下の比較的低濃度の水塊が存在していた。特に St. 15 と St. 16 の表層では, $5 \mu\text{g-at}/\text{l}$ 以下のかかなり低い値が観測された。St. 28 では表層でも $10 \mu\text{g-at}/\text{l}$ 以上の比較的高い値であったが, これは河川水の影響であろう。底層においては, 概ね $20 \mu\text{g-at}/\text{l}$ 以上の値を示しており, St. 28 の B-1 m 層で $38.1 \mu\text{g-at}/\text{l}$ の最高値が観測された。

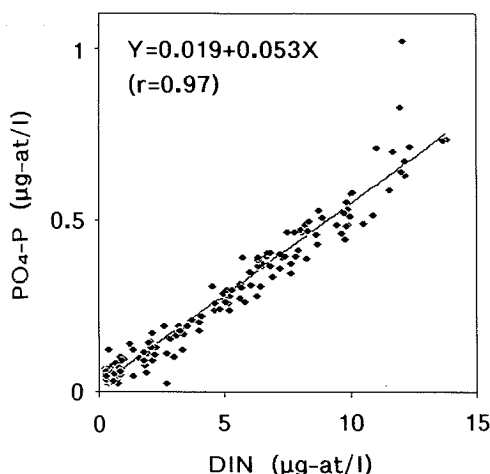


Fig. 9. Relationship between DIN versus $\text{PO}_4\text{-P}$ in Harima-Nada ($n=175$).

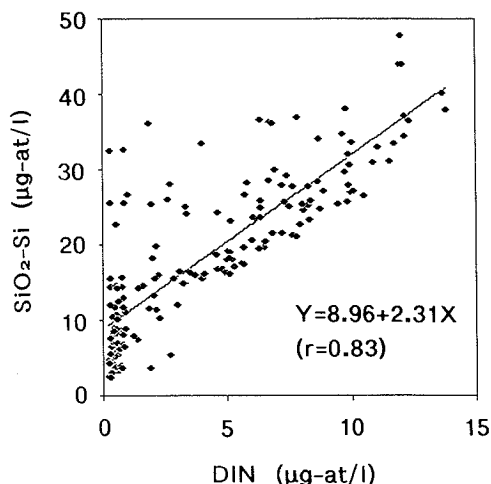


Fig. 10. Relationship between DIN versus $\text{SiO}_2\text{-Si}$ in Harima-Nada ($n=175$).

以上のように, 調査時の播磨灘においては, 海峡付近を除く比較的大い範囲で水温成層が発達し, 表層 (10 m 以浅) の大部分では貧栄養の状態にあった。これは, *Chaetoceros* 属等の植物プランクトンの増殖により, 表層の栄養塩が消費された結果と考えることができる。一方, 底層では高い栄養塩濃度が観測されたが, これらは底泥からの溶出・蓄積によるものであろう。

播磨灘の各測点の各深度における栄養塩濃度のデータ ($n=175$) から DIN と $\text{PO}_4\text{-P}$ (Fig. 9), ならびに DIN と $\text{SiO}_2\text{-Si}$ (Fig. 10) の相関関係を調べた。DIN ($=X$) と $\text{PO}_4\text{-P}$ ($=Y$) の濃度 ($\mu\text{g-at}/\text{l}$) の間には, 高い相関関係 ($Y=0.019+0.053X$, $r=0.97$) がみられたが, DIN ($=X$) と $\text{SiO}_2\text{-Si}$ ($=Y$) の濃度の間には, それほど高い相関関係は認められなかった ($Y=8.96+2.31X$, $r=0.83$)。なお, いずれの場合も回帰直線の Y 切片が正の値であったことから, DIN が他の栄養塩 ($\text{PO}_4\text{-P}$ と $\text{SiO}_2\text{-Si}$) よりも先に枯渇する傾向があるものと考えられた。これらの回帰直線の傾きから, 水中の N, P, Si が消費される割合 (原子比) を求めると, $\text{N}:\text{P}:\text{Si}=18.8:1:43.4$ になる。RAYMONT (1980) が, いわゆるレッドフィールド比などをもとに示した値 ($\text{N}:\text{P}:\text{Si}=16:1:15$) とこの値を比較すると, N と P についてはほぼ同様な割合と判断できるが, Si の割合は明らかに大きい。しかしながら, これらの値のうち, 特に Si については, 水域に存在するプランクトンの種組成によってその値が大きく変動する

ことが知られている(RAYMONT, 1980)。調査時の播磨灘においては、Siを大量に消費する植物プランクトンである珪藻類が比較的多く存在していたために、Siの値の割合が大きくなったと推察される。

Chaetoceros の休眠孢子形成が、栄養塩欠乏(特に窒素欠乏)によって起こることは、これまでも培養条件下や現場の観察から示唆されている(HOLLIBAUGH *et al.*, 1981, GARRISON, 1981, HARGRAVES and FRENCH, 1983, KUWATA and TAKAHASHI, 1990, 板倉ほか, 1993)。たとえばGARRISON (1981)は、現場における調査結果から、*Chaetoceros* の休眠孢子形成は、表層水中の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度が約 $1\ \mu\text{g-at/l}$ 以下になった時に観察され、 $\text{SiO}_2\text{-Si}$ 濃度の変化は休眠孢子形成の引き金にはなっていないと結論した。また、KUWATA and TAKAHASHI (1990)は、休眠孢子的形成に際しては、厚い珪酸質の殻を作るために多くの珪素が必要とされるので、 $\text{SiO}_2\text{-Si}$ 濃度があまり低下すると(約 $4\sim 6\ \mu\text{g-at/l}$)休眠孢子が形成されなくなることを示している。そこで、今回の調査で観察された*Chaetoceros* 休眠孢子形成と栄養塩濃度(特にDINと $\text{SiO}_2\text{-Si}$)との関係を中心に以下に検討を行う。

5. 栄養塩濃度と*Chaetoceros* 休眠孢子形成

海水中のDIN濃度と休眠孢子形成との関係を把握するため、各測点の0, 5, 10 mにおけるデータから、DIN濃度と*Chaetoceros* 総細胞数、DIN濃度と休眠孢子数、DIN濃度と休眠孢子的割合(総細胞数に対する休眠孢子的割合、%)、のそれぞれについて種類ごとにプロットした。Fig. 11~Fig. 14にその結果を示す。

DIN濃度とそれぞれの種類の*Chaetoceros* 総細胞数の関係を見ると(Fig. 11~Fig. 14, 上段)、いずれの種類においても、DIN濃度と総細胞数の間に有意な関係は認められなかった。また、DIN濃度と休眠孢子数との間(Fig. 11~Fig. 14, 中段)には、DINが少なくなると孢子数がやや多くなる傾向がみられたものの、この場合にもその関係はさほど明らかではなかった。一方、DIN濃度と休眠孢子的割合(%)との間では(Fig. 11~Fig. 14, 下段)、いずれの種類においても、DIN濃度がある一定の値(約 $1\ \mu\text{g-at/l}$)より低くなると休眠孢子的割合が高い場合が多くなる、という関係が認められた。すなわち、海水中のDIN濃度が約 $1\ \mu\text{g-at/l}$ 以下に低下すると、*Chaetoceros* の休眠孢子が高頻度で形成されると考えられる。また今回の調査においては、DINの大部分が $\text{NO}_3\text{-N}$ で占められていたことか

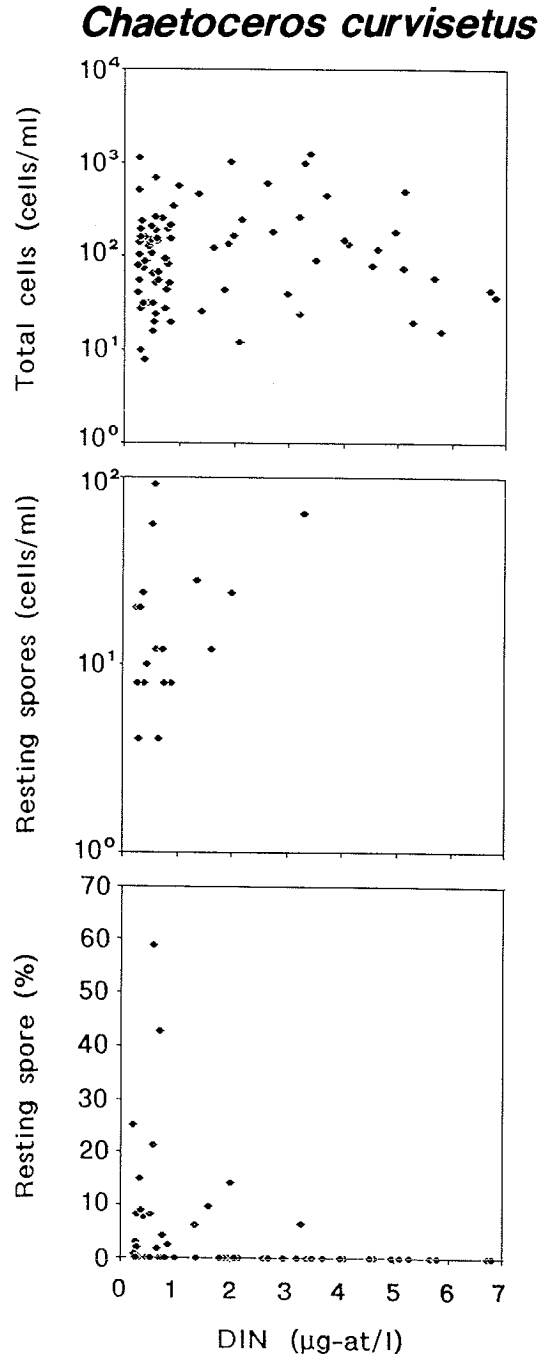


Fig. 11. Relationship between ambient DIN concentrations versus total cells (upper), resting spores (middle), and resting spore percentages (bottom) of *C. curvisetus*.

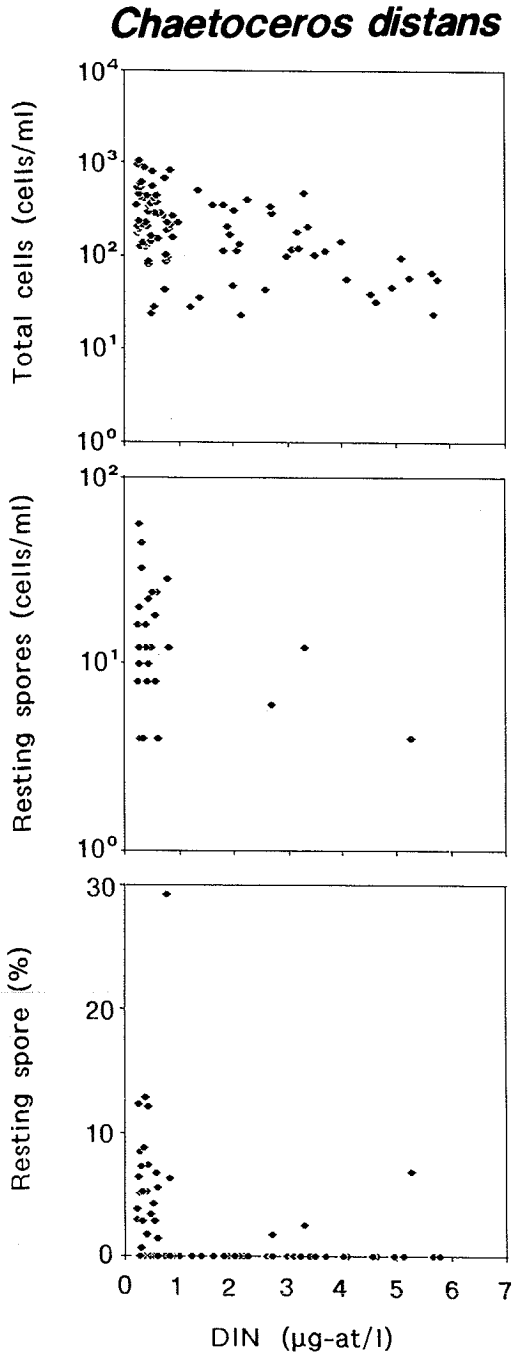


Fig. 12. Relationship between ambient DIN concentrations versus total cells (upper), resting spores (middle), and resting spore percentages (bottom) of *C. distans*.

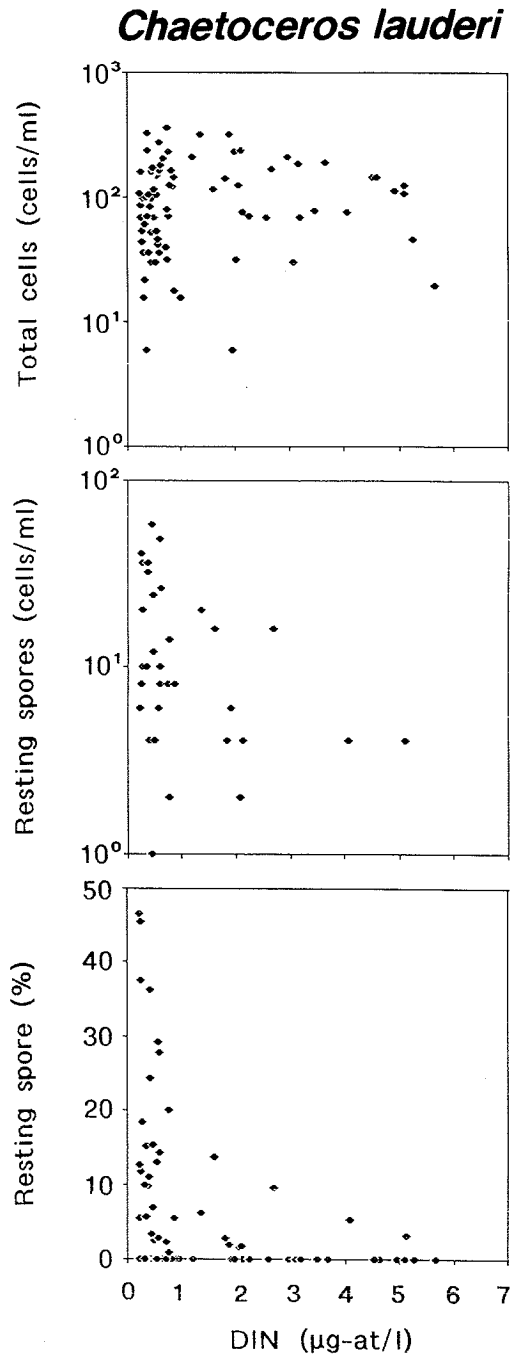


Fig. 13. Relationship between ambient DIN concentrations versus total cells (upper), resting spores (middle), and resting spore percentages (bottom) of *C. lauderi*.

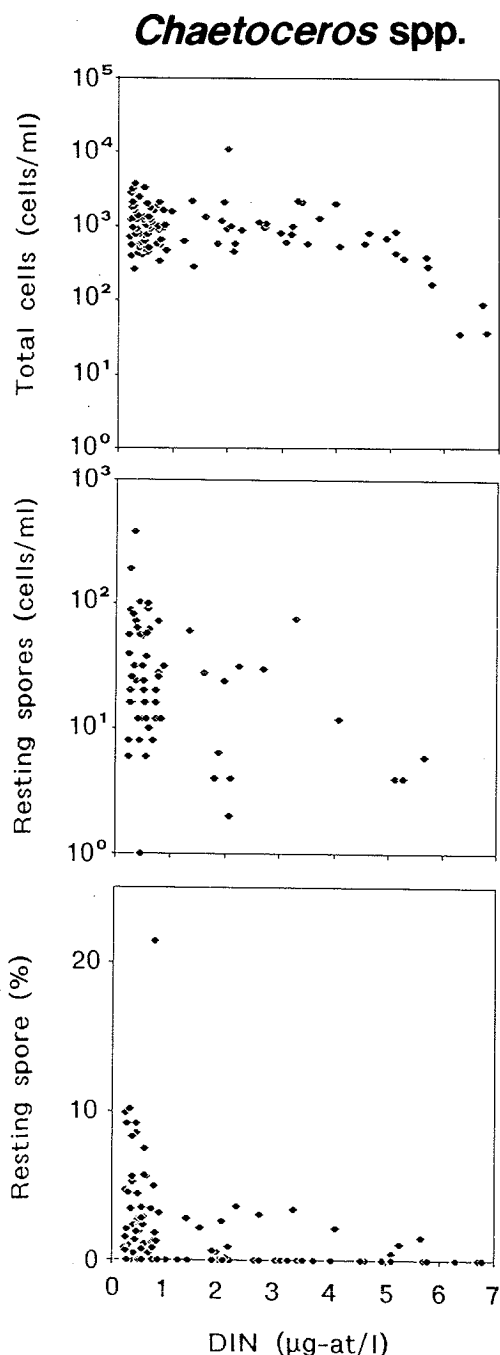


Fig. 14. Relationship between ambient DIN concentrations versus total cells (upper), resting spores (middle), and resting spore percentages (bottom) of *Chaetoceros* spp.

ら、このような関係が $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度と胞子の割合についても成り立つものと判断される。

$\text{SiO}_2\text{-Si}$ 濃度と休眠胞子の割合(%)との間の関係を見ると(Fig. 15), 各種類とも休眠胞子の割合が最も高くなるのは $\text{SiO}_2\text{-Si}$ 濃度が約 $10 \mu\text{g-at/l}$ 前後の所であったが, DIN の場合と比較するとあまり明瞭な関係は認められなかった。前述の GARRISON (1981) や KUWATA and TAKAHASHI (1990) 等の結果と併せて考えると, $\text{SiO}_2\text{-Si}$ 濃度は, *Chaetoceros* 休眠胞子の形成を引き起こす要因としては, さほど重要でないと推察することができる。

中田(1982)は春季の噴火湾で, 珪藻類の増殖のピークの後に, 底層に多くの *Chaetoceros* の休眠胞子が存在することを明らかにした。しかし本調査では, 各測点の B-1 m 深の海水試料中において, *Chaetoceros* の休眠胞子はほとんど検出されなかった。これは, 今回観察された休眠胞子の大部分が, 形成後さほど時間がたっておらず, 底層に沈降する以前のものであったことを示すものであろう。海水中で形成された *Chaetoceros* 休眠胞子は, 比較的速やかに($0.04\sim 10.05 \text{ m/day}$)沈降するので(ODATE and MAITA, 1990), 今回行ったような調査で休眠胞子の分布状況を把握するためには, 調査時期を慎重に選ぶ必要がある。しかし, 調査のタイミングは非常に難しいものであり, 今後現場調査を行う際には, セジメント・トラップ等を用いるのも有効な手段と考えられる。

今回調査を行った播磨灘のうち, 特に南部海域では, 6~7月頃に *Chaetoceros* spp. が卓越して出現することが知られており, その後(7月以降)の *Chattonella* 赤潮の発生・非発生とも深い関わりを持つものと推察されている(大塚ほか, 1991)。*Chaetoceros* が休眠胞子を形成して沈降を始める時期には, 表層水は貧栄養状態にあり, 他の植物プランクトンにとっても増殖に不適な環境にあるといえる。もし, その後擾乱がなく, 夏季を通してそのままの状態が続けば, 珪藻類だけでなく *Chattonella* 等による有害な赤潮も発生しにくい状況になるであろう。しかし気象の変化等による擾乱によって, 底層に蓄えられた栄養塩が表層にもたらされた場合, そのタイミング(その時の水温条件, 珪藻類の存在の有無等)によっては有害赤潮の発生に結び付く可能性が高くなると思われる(今井, 1990)。このように, プランクトン種交替現象の観点からも, *Chaetoceros* が休眠胞子を形成する時期と栄養環境は重要といえよう。

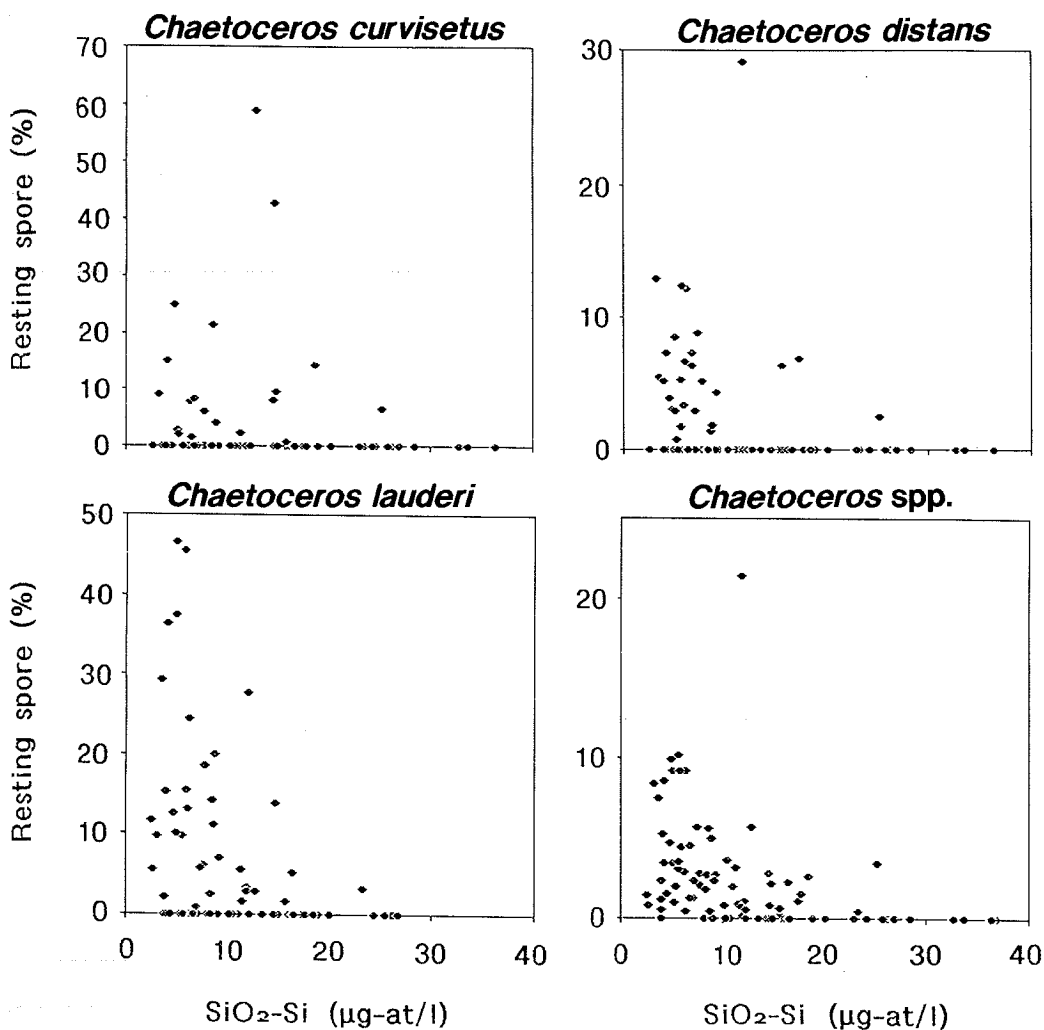


Fig. 15. Relationship between ambient $\text{SiO}_2\text{-Si}$ concentrations versus resting spore percentages of *C. curvisetus*, *C. distans*, *C. lauderi* and *Chaetoceros* spp.

形成後に海底に沈降した *Chaetoceros* の休眠孢子がその後どのように挙動するのか、ということは将来的に興味深い問題である。海底泥中の休眠孢子的分布は、海域の物理的要因（海流・密度等）に左右されるであろう。また、海底に沈降した休眠孢子が発芽し、再び栄養細胞として表層水中で増殖していく過程を明らかにするためには、休眠孢子的の生理的な特徴も把握しなければならない。そして現場水域において、休眠孢子的の発芽—栄養細胞の増殖—休眠孢子的の形成—海底への沈降、といった一連の過程を把握することが、休眠孢子的の果たす生態的機能を解明する上で重要な課題とい

える。

6. 謝 辞

本稿をまとめるにあたり有益なご意見を戴いた、南西海区水産研究所赤潮環境部部長本城凡夫博士に衷心より感謝致します。また、本研究を遂行する際に試料採取等に御協力を戴いた、南西海区水産研究所の調査船“しらふじ丸”の乗組員の方々、ならびに同研究所赤潮環境部海況動態研究室の松山幸彦技官に心より御礼申し上げます。さらに、栄養塩分析に際して有益なご助言を戴いた、同研究所赤潮環境部漁場保全研究室主

任研究官田中勝久氏に感謝の意を表します。本研究は、環境庁国立機関公害防止予算「有害赤潮の生態学的制御による被害防除技術の開発に関する研究」の一環として行われた。

引用文献

- GARRISON, D.L. (1981) Monterey Bay phytoplankton. II. resting spore cycles in coastal diatom populations. *J. Plankton. Res.*, **3**, 137-156.
- GARRISON, D.L. (1984) Planktonic diatoms. *In*, Marine Plankton Life Cycle Strategies, eds. K.A. Steidinger and L.M. Walker, CRC Press, Boca Raton, Florida, 1-17.
- HARGRAVES, P.E. and F.W. FRENCH (1983) Diatom resting spores: significance and strategies. *In*, Survival Strategies of the Algae, ed. G.A. Fryxell, Cambridge Univ. Press, Cambridge, 49-68.
- HARPER, J.L. (1977) Population biology of plants. Academic Press, London.
- HOLLIBAUGH, J.T., D.L.R. Seibert and W.H. THOMAS (1981) Observations on the survival and germination of resting spores of three *Chaetoceros* (Bacillariophyceae) species. *J. Phycol.*, **17**, 1-9.
- 今井一郎 (1990) 有害赤潮ラフィド藻 *Chattonella* のシストに関する生理生態学的研究. 南西水研報, **23**, 63-166.
- 今井一郎・板倉 茂・伊藤克彦 (1990) 播磨灘および北部広島湾の海底泥中における珪藻類の休眠細胞の分布. 沿岸海洋研究ノート, **28**, 75-84.
- 板倉 茂・今井一郎 (1991) 海底泥中の珪藻類休眠細胞密度の地理的分布と季節変化. 有害赤潮の生態学的制御による被害防除技術の開発に関する研究, 平成2年度報告書, 南西水研, 15-30.
- 板倉 茂・今井一郎・伊藤克彦 (1992) 海底泥中から見出された珪藻 *Skeletonema costatum* 休眠細胞の形態と復活過程. 日本プランクトン学会報, **38**, 135-145.
- 板倉 茂・山口峰生・今井一郎 (1993) 培養条件下における浮遊性珪藻 *Chaetoceros didymus* var. *protuberans* の休眠胞子形成と発芽. 日水誌, **59**, 807-813.
- 小久保清治 (1960) 浮遊珪藻類, 増補版. 恒星社厚生閣, 東京, 330 pp.
- KUWATA, A. and M. TAKAHASHI (1990) Life-form population responses of a marine planktonic diatom, *Chaetoceros pseudocurvisetus*, to oligotrophication in regionally upwelled water. *Mar. Biol.*, **107**, 503-512.
- 中原紘之 (1986) 藻類の生活史と生態. 藻類の生態, 秋山優・有賀祐勝・坂本 充・横浜康継編, 内田老鶴圃, 東京, 533-592.
- 中田 薫 (1982) 北海道噴火湾の1981年春季増殖期における植物プランクトンの組成. 水産海洋研究会報, **41**, 27-32.
- 沼田 真 (1981) 種子の生態学. 種子の科学—生態学の立場から—, 沼田 真編, 研成社, 東京, 9-16.
- ODATE, T. and Y. MAITA (1990) Seasonal distribution and vertical flux of resting spores of *Chaetoceros* (Bacillariophyceae) species in the neritic water of Funka Bay, Japan. *Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.*, **41**, 1-7.
- 大塚弘之・萩平 将・吉田正雄 (1991) 植物プランクトン種の短期交替と環境変動—II. 有害赤潮の生態学的制御による被害防除技術の開発に関する研究, 平成2年度報告書, 南西水研, 67-73.
- RAYMONT, J.E.G. (1980) Plankton and Productivity in the Oceans (2nd edition), Vol. 1, Phytoplankton. Pergamon Press, 489 pp.
- RINES, J.E.B. and P.E. HARGRAVES (1988) The *Chaetoceros* Ehrenberg (Bacillariophyceae) flora of Narragansett Bay, Rhode Island, U.S.A. *J. Cramer, Berlin*, 196 pp.
- ROUND, F.E., R.M. CROWFORD and D.G. MANN. (1990) The Diatoms. Cambridge Univ. Press, Cambridge, 747 pp.
- STOCKWELL, D.A. and P.E. HARGRAVES (1986) Morphological variability within resting spores of the marine diatom genus *Chaetoceros* Ehrenberg. *In*, Proceedings of the 8th international diatom symposium, ed. M. Ricard, Koenigstein, O. Koeltz, 81-95.
- STRICKLAND, J.D.H. and T.R. PARSONS (1972) A practical handbook of seawater analysis. 2nd ed. *Bull. Fish. Res. Bd. Canada*, **167**, 310 pp.