

播磨灘南西域における *Chattonella antiqua* の高密度発生と水質, 気象要因等との関係

小野 知足, 吉松 定昭, 吉田 陽一

(1998年8月31日受付)

Relationship between the Bloom of *Chattonella antiqua* (Hada) Ono and the Water Quality or Meteorological Factors

Chitari Ono,*1,*2 Sadaaki Yoshimatsu,*1 and Yoichi Yoshida*3

The relationship between the bloom of *Chattonella antiqua* and water quality or meteorological factors was examined in the southwest part of Harima-nada, by referring to the Meteorological Agency's data (1986-1988).

In early August 1986, *C. antiqua* with comparatively high density of cells occurred in the water with low DIN (dissolved inorganic nitrogen), DIP (dissolved inorganic phosphorus), and DIN×DIP, and high DON (dissolved organic nitrogen): DIN, DOP (dissolved organic phosphorus): DIP, TN (total nitrogen): DIN, and TP (total phosphorus): DIP ratios. Then, high density plankton which formed a red tide occurred in the water with low DIN, DIP, and DIN×DIP, and a high DIN:DIP ratio. This occurred in early August 1987 when the meteorological conditions showed high precipitation and low air temperature in mid July, and long sunshine duration and high air temperature in late July.

These characteristics of water quality and meteorological factors suggest that the abnormal occurrence of *C. antiqua* was closely related to a sudden increase in diatoms due to marked rainfall, the subsequent intense consumption of nutrient salts by these plankton, and the utilization of very low concentrations of nutrient salts by *C. antiqua*.

キーワード: 播磨灘, シャットネラ, DIN×DIP, DIN : DIP 比, 気象

播磨灘では, ラフィド藻 *Chattonella antiqua* (Hada) Ono による大規模 (広域的) な赤潮が, 1972, 1977, 1978, 1987 年等, これまで数回発生し, 養殖ハマチに大量へい死を引き起こすこと等で, 大きな社会問題となっていた。同種による赤潮発生は 1987 年以降はかなり減少し, 代って近年は *Gymnodinium mikimotoi* による赤潮が発生するようになってきている。

しかし, *C. antiqua* による赤潮の漁業被害は他種プランクトンによる赤潮に比し最も大きいこと等から, 同種に関して広く研究が行なわれ, 研究報告等もかなり多い。¹⁻¹¹⁾ *C. antiqua* の増殖範囲は, 水温で 15-30°C, 塩分で 10-35 とかなり広く, 好適水温は 25°C, 好適塩分

は 25 程度であること,^{4,6,7)} 細胞の分裂速度は 1 日当たり最高で 1.0 に近いこと,⁷⁾ 等が明らかにされている。また, 増殖促進物質として鉄やビタミン B₁₂ 等が重要であること,^{1,2,9)} ムコ多糖類からなるグリコカリックスをもつこと, このグリコカリックスはコロイド鉄と高い親和性があること等も明らかにされている。^{8,10,11)} しかし, 播磨灘における同種の大規模な異常発生の原因や近年同種による赤潮発生が減少し, 代って *G. mikimotoi* による赤潮が発生するようになった原因等については, まだ不明な点も多い。

小野, 吉松は, 長年にわたり播磨灘南西域の水質や赤潮プランクトンの詳細な調査を続けており,^{*4-7} また *C.*

*1 香川県赤潮研究所 (Akashiwo Research Institute of Kagawa Prefecture, Takamatsu, Kagawa 761-0111, Japan).

*2 現所属 東京久米水圏環境研究所 (Department of Environmental Protection, Tokyokyu Co., Ltd., Kawaguchi, Saitama 333-0665, Japan).

*3 水産環境微生物研究所 (Laboratory of Fishery and Environmental Microbiology, Hiyoshidai, Otsu, Shiga 520-0112, Japan).

*4 水産庁ほか: 赤潮予察調査報告書 (1982-1991).

*5 水産庁ほか: 赤潮予察調査事業調査資料 (1982-1991).

*6 香川県: 昭和 62 年播磨灘に発生したシャットネラ赤潮の概要と対応 (1988).

*7 香川県赤潮研究所: シャットネラ赤潮被害防止技術開発試験, 現場海水による増殖能獲得試験。赤潮対策技術開発試験報告書 (1990-1994).

antiqua, *G. mikimotoi*, および *Heterosigma akashiwo* の細胞の分裂速度は1日当たり, それぞれ0.7, 0.7, および1.1程度であること,¹²⁾ *C. antiqua* のシスト発芽の好適温度は20°C付近にあること, 多数のシストの発芽には底土の強い攪拌が必要であること,¹³⁾ *C. antiqua* の短時日での急増は, 同種の集積や水塊の移動による影響が大きいこと,^{12,14)} 等を指摘または示唆した。また, 吉田ら¹⁵⁻²¹⁾ は, 淡水域や海域の各種植物プランクトンの水質特性等を比較, 検討し, 海域に関しては, *Skeletonema costatum* は DIN : DIP (溶存無機態窒素 : 溶存無機態リン) 比の高い水域に, *H. akashiwo* は同比の低い水域に高密度で出現すること, *G. mikimotoi* は降雨後, 珪藻類が急増し栄養塩が減少した後, 高密度に出現すること, 等を指摘または示唆した。

本報では, *C. antiqua* が高密度で発生する原因を明らかにするために, 同種による赤潮が大規模に発生した1987年, それ程規模は大きくないが, 比較的高密度で出現した1986年, および同種が殆ど出現しなかった1988年の3年間を中心に, *C. antiqua* の発生と水質, 気象要因, 他種植物プランクトン等との関係について調べ, また, 得られた結果を比較検討した。

方 法

調べた調査点は播磨灘南西域に設定された定点のうち, K1, K3, K4, およびK5の4点である (Fig. 1)。

調べた水質要因は, 1986, 1987, および1988年では, WT (水温), DO (溶存酸素飽和度), DIN, DIP, $DIN \times DIP$, DIN : DIP 比の6項目であり, また, 1986年の St. 4 についてはさらに DON (溶存有機態窒素), DOP (溶存有機態リン), TN (全窒素), TP (全リン), $DON : DIN$, $DOP : DIP$, $TN : DIN$, および $TP : DIP$

比の8項目を加えた。

試水は2 l容の採水器を用いて採取し, 一部はガラスファイバーフィルター GFC でろ過した後, 水質分析の直前まで凍結保存した。

水質の分析法に関しては, アンモニア態窒素 (NH_4-N) はインドフェノール青, EDTA 変法 (真鍋, 日水誌 1969), 亜硝酸態窒素 (NO_2-N) はナフチルエチレンジアミン吸光光度法, および硝酸態窒素 (NO_3-N) は銅カドミウムカラム還元法, ナフチルエチレンジアミン吸光光度法で測定し,²²⁾ DIN は NH_4-N , NO_2-N , および NO_3-N の各濃度の和から求めた。また, TN は銅カドミウムカラム還元法, TP はペルオキシニド硫酸カリウム分解法で測定し,²²⁾ DON または DOP は, グラスファイバーフィルター GFC でろ過した試水を TN または TP と同様の方法で処理して溶存全窒素 (DTN) または溶存全リン (DTP) を求め, さらに DTN または DTP から DIN または DIP を差し引いて求めた。なお, 窒素やリンの単位は $\mu g \text{ at/l}$ 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採水した1000 mlのサンプルを孔径8.0 μm のメンブランフィルターを用いて50 mlに濃縮した後, 生試料のままその日のうちに計数した。植物プランクトンはラフィド藻, 渦鞭毛藻, およびケイ藻について調べ, またラフィド藻は *C. antiqua*, *C. marina*, および *C. globosa* の3種について調べた。なお, 細胞密度が0.05 cells/ml 以下の場合には0.05 cells/ml として図示した。

気象要因は気象庁月報 (高松気象台)²³⁾ を参照し, 気温, 降雨量, 日照時間, および風速の4項目について調べた。

結 果

***C. antiqua* の発生と気象諸要因との関係** 1986, 1987, および1988年における7月の気象諸要因の日変化を比較した (Fig. 2)。1986年は降雨量が非常に少なく, 7月20日前後は比較的風速が速く, また気温の高い日がみられたが, 7月下旬は比較的日照時間が長く, 気温は中程度の日が持続した。1987年および1988年は7月中旬に降雨があり, 日照時間が短く, 気温も比較的低かったが, 1987年7月下旬は比較的気温が高く, 日照時間の長い日が持続した。また1988年7月下旬は逆に比較的気温が低く, 日照時間の短い日が持続した。

***C. antiqua* の発生と水質諸要因との関係** 1986, 1987, および1988年の3年間の5月から9月までにおける *Chattonella* 属と水質諸要因の季節的变化や鉛直的变化について調べた。

表層と底層の水温および底層の溶存酸素飽和度の季節

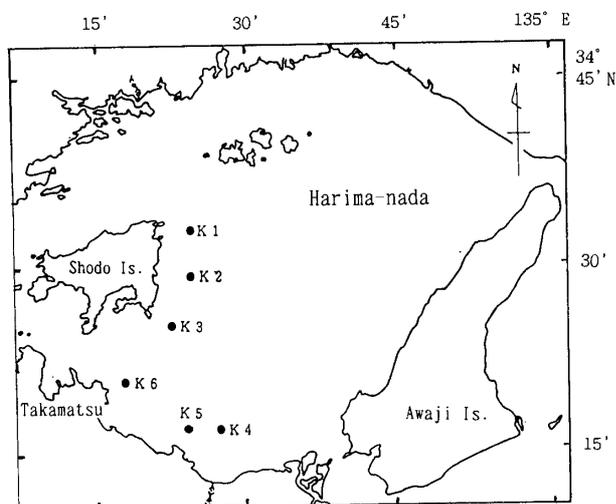


Fig. 1. Locations of the stations in Harima-nada.

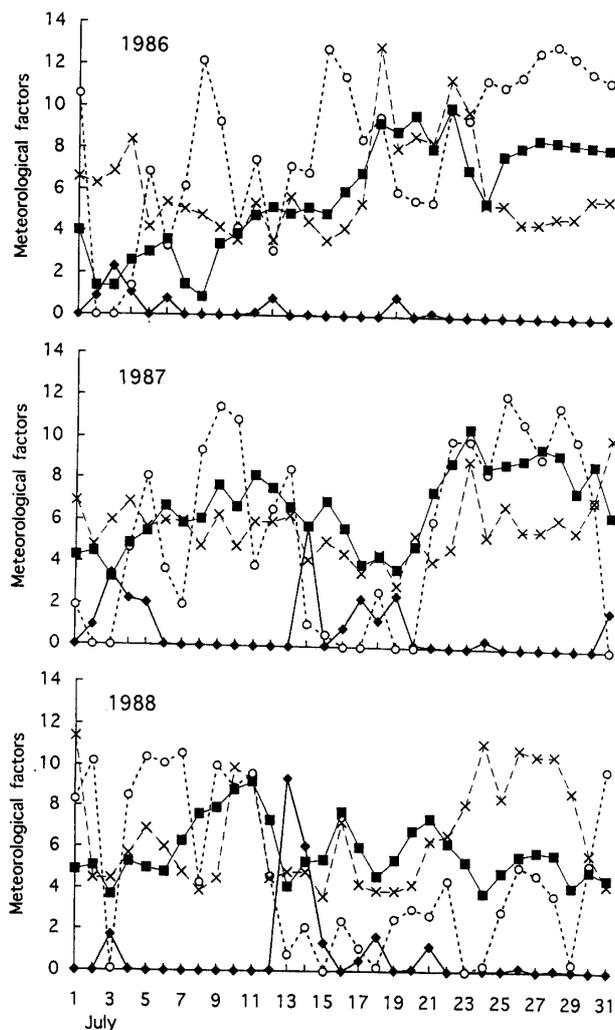


Fig. 2. Daily changes of meteorological factors during July, in 1986, 1987, and 1988.

◆, precipitation/10 (mm/day); ○, sunshine duration (hr/day); ■, air temperature -20 (°C/day); ×, wind velocity ×3 (m/sec/day).

的变化の比較では, 1986年の6月下旬から7月上旬および8月の中旬, および1987年の6月下旬から7月中旬にかけては表層と底層の水温差が小さく, また1986年の8月上旬および1987年の7月中旬には底層の溶存酸素飽和度の急上昇(ピーク)がみられた。また, 1988年の6月から8月中旬にかけては, 表層と底層の水温差が大きく, また, 底層の溶存酸素飽和度の上昇(ピーク)もみられなかった (Fig. 3)。

水質諸要因および *Chattonella* 属 (K1, K3, K4, および K5 の4定点, 各定点の0, 5, および10 m層の総計12点の平均値) の季節的变化を Figs. 4-6 に示す。1986年では, 比較的高密度のピーク (10-100 cells/ml) が, *C. globosa* では5月下旬および7月中旬に, *C. antiqua* では8月上旬にみられ, また8月上旬には *C. marina* の比較的低密度のピークがみられた。水質諸要因は

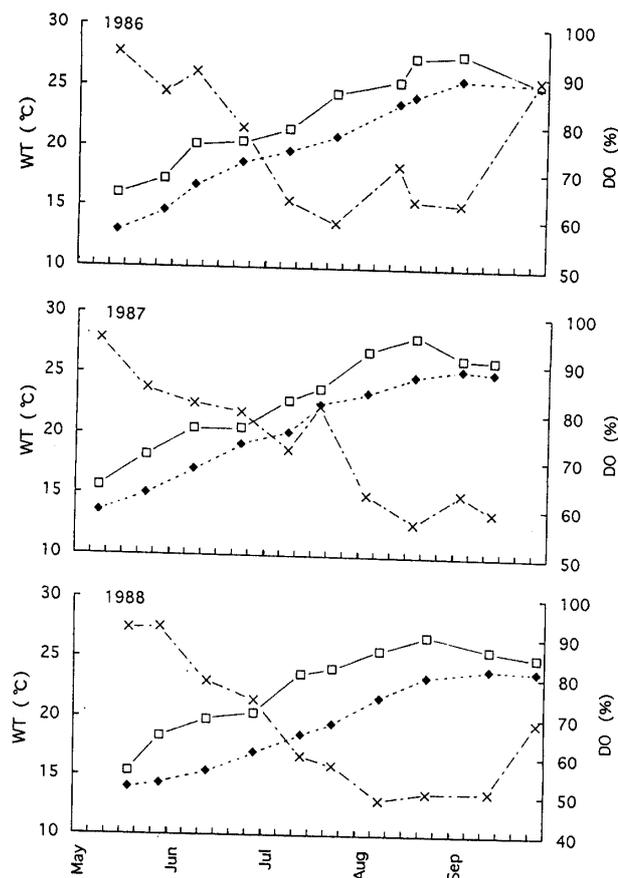


Fig. 3. Semimonthly changes of mean values (Sts. K1, 3, 4, and 5) of water temperature (WT) at surface (0 m) and near bottom (B-1) and DO (%) at near bottom, in 1986, 1987, and 1988.

□, WT at 0 m; ◆, WT at near bottom; ×, DO (%) at near bottom.

8月中旬頃に DIN, DIP, および DIN×DIP の負のピークが, また, DIN : DIP 比の小さなピークがみられた (Fig. 4)。1987年では, 8月上旬に *C. antiqua* の非常に高密度のピーク (325 cells/ml) がみられ, また, 比較的低密度のピーク (1-10 cells/ml) が *C. globosa* で3回, *C. marina* で1回みられた。水質諸要因は *C. antiqua* のピークがみられた8月上旬と同時期に顕著な DIN : DIP 比のピーク (71.5) がみられたが, 他はそれ程顕著な特徴はみられなかった (Fig. 5)。1988年では, *C. globosa* の比較的低密度のピーク (0.1-1.0 cells/ml) が2回みられたが, 他の2種は殆ど出現がみられなかった。水質諸要因は一般に DIN, DIP, DIN×DIP が高く, 変動も大きい。また, 7月中旬には DIN : DIP 比の中程度のピークがみられた (Fig. 6)。

8月上旬の定点 K4 における水質諸要因および *C. antiqua* の鉛直分布の比較については, 1986年は底層に比し, 表層 (0-10 m) で DIN, DIP, DIN×DIP, および DIN : DIP 比がいずれも低くなり, また特に5 m層で

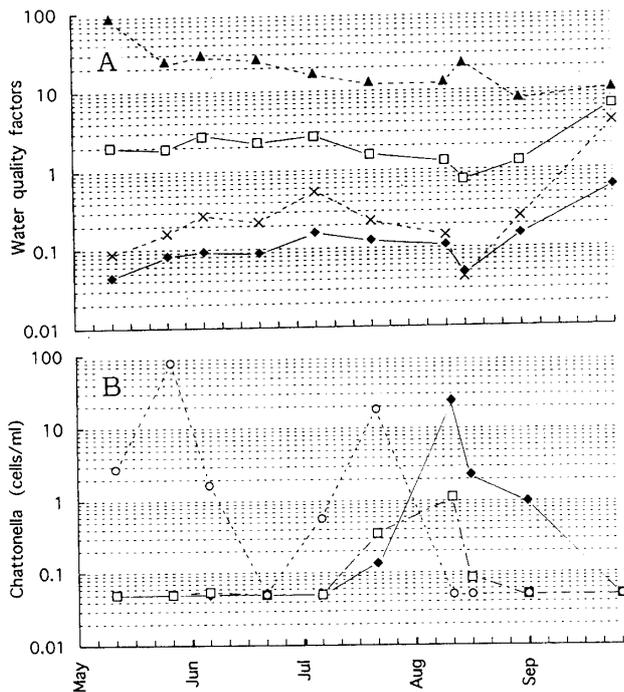


Fig. 4. Semimonthly changes of mean values (Sts. K1, 3, 4, and 5, and 0, 5, and 10 m at each station) of DIN, DIP, DIN×DIP, and DIN:DIP ratio (A), and genus *Chattonella* (B), in 1986.

A: □, DIN; ◆, DIP; ▲, DIN:DIP ratio; ×, DIN×DIP. B: ◆, *C. antiqua*; □, *C. marina*; ○, *C. globosa*.

負のピークを示した。また, *C. antiqua* は表層でのみ比較的高密度でみだされた (Fig. 7A)。1987年は表層でDIPおよびDIN×DIPが低くなり, 特に10m層で負のピークを示したが, DIN:DIP比は逆に10m層で顕著な正のピーク(250)を示した。*C. antiqua* は全層にわたり, 高密度(100–800 cells/ml)で出現し, 特に0m層で最も高い密度で出現した (Fig. 7B)。1988年は表層でDIN, DIPおよびDIN×DIPが低くなる傾向はみられるが, 1986や1987年にみられたような顕著な特徴(正または負のピーク)はみられなかった。また*C. antiqua* は全層にわたり殆ど見いだされなかった (Fig. 7C)。

有機態の水質諸要因は1986年の定点K4について調べた。7月から9月までの定点K4における表層(0–10m)の変化では, 7月から8月の中旬頃にかけてDOP, DON:DIN, DOP:DIP, TN:DIN, およびTP:DIP比が高くなる傾向がみられ, 特にDOP:DIPおよびTP:DIP比は8月18日に顕著なピークを示した (Fig. 8)。また, 7月21日 (Fig. 9A), 8月11日 (Fig. 9B), および8月18日 (Fig. 9C)における水質諸要因の鉛直分布の比較では, 一般にDON:DIN, DOP:

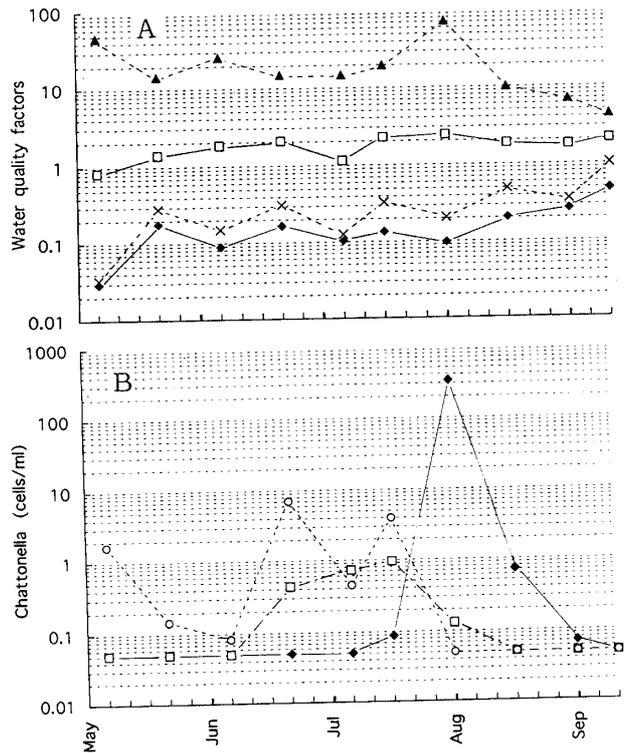


Fig. 5. Semimonthly changes of mean values of DIN, DIP, DIN×DIP, and DIN:DIP ratio (A), and genus *Chattonella* (B), in 1987.

Symbols as in Fig. 4.

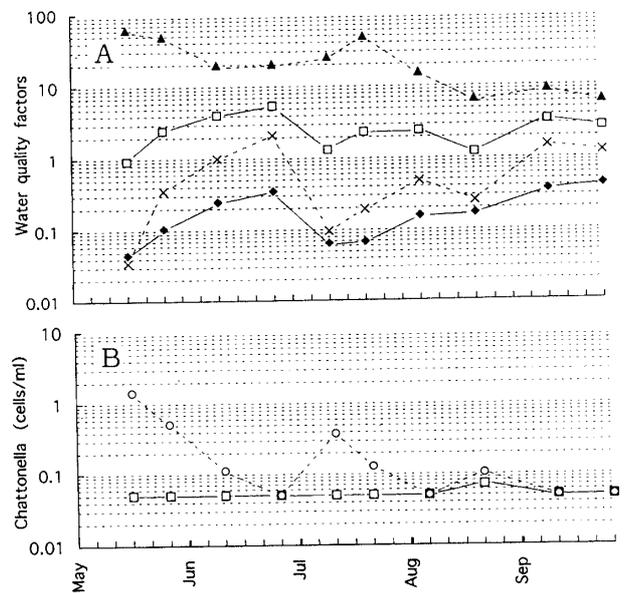


Fig. 6. Semimonthly changes of mean values of DIN, DIP, DIN×DIP, and DIN:DIP ratio (A), and genus *Chattonella* (B), in 1988.

Symbols as in Fig. 4.

DIP, TN:DIN, およびTP:DIP比が底層から表層になるにしたがって高くなる傾向が強く, 特に8月11日の5–10m層でDON:DINやTN:DIN比が, また8

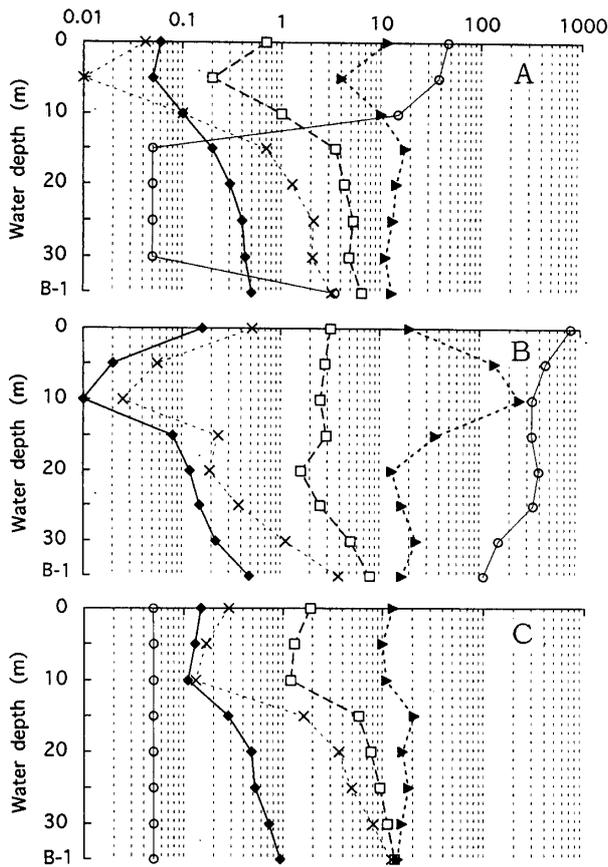


Fig. 7. Vertical changes of DIN, DIP, DIN×DIP, DIN:DIP ratio, and *C. antiqua* at St. K4, on 11 August in 1986 (A), 3 August in 1987 (B), and 8 August in 1988 (C).
 ◆, DIP; □, DIN; ▲, DIN:DIP ratio; ×, DIN×DIP; ○, *C. antiqua*.

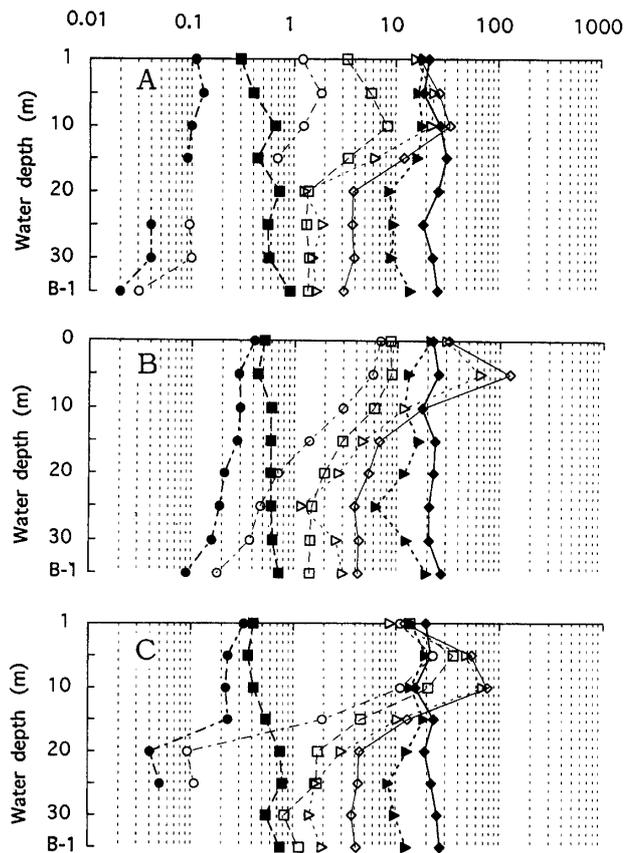


Fig. 9. Vertical changes of TN, TP, DON, DOP, TN:DIN, TP:DIP, DON:DIN, DOP:DIP ratios at St. K4, on 21 Jul (A), 11 August (B), and 18 Aug (C) in 1986.
 Symbols as in Fig. 8.

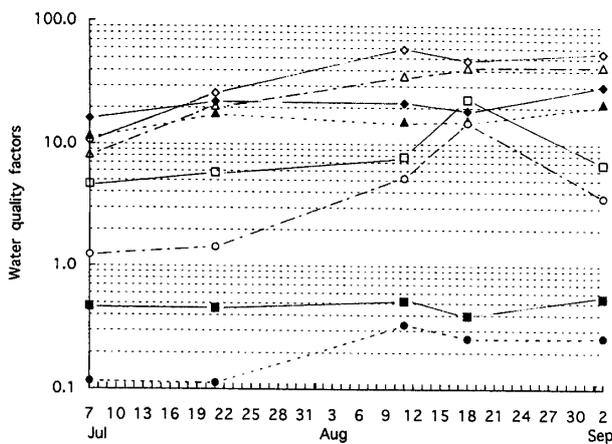


Fig. 8. Semimonthly changes of mean values (0, 5, and 10 m) of TN, TP, DON, DOP, TN:DIN, TP:DIP, DON:DIN, and DOP:DIP ratios at St. K4, in 1986.
 ◆, TN; ■, TP; ▲, DON; ●, DOP; ◇, TN:DIN ratio; □, TP:DIP ratio; △, DON:DIN ratio; ○, DOP:DIP ratio.

月18日の5-10 m層でDON : DIN, DOP : DIP, TN : DIN, および TP : DIP比が、それぞれ顕著なピークを示した。

ラフィド藻類, 渦鞭毛藻類, および珪藻類の季節的変化
 ラフィド藻類, 渦鞭毛藻類, および珪藻類のグループ別の季節的変化を Fig. 10 に示す。珪藻類は一般に最も出現密度が高く, 変動幅も大きい (1-2000 cells/l程度) が, 1986年の中旬, 1987年9月上旬, および1988年の7月18日を除き, 7月中旬から8月中旬までの期間はかなり高密度で出現した。ラフィド藻類に関しては1986年の6月9日, 7月29日, および8月11日に比較的高密度のピークがみられ, また1987年の8月3日には高密度のピーク (530 cells/ml) がみられたが, 1988年は調査期間中殆ど顕著な出現がみられなかった。また, 渦鞭毛藻類は3年間共に出現密度が低く, 変動幅も小さく (0.2-40 cells/ml程度), また, 毎年8月下旬にかけて増加傾向がみられるものの, 他の2グループとの関連はあまり見い出せなかった。

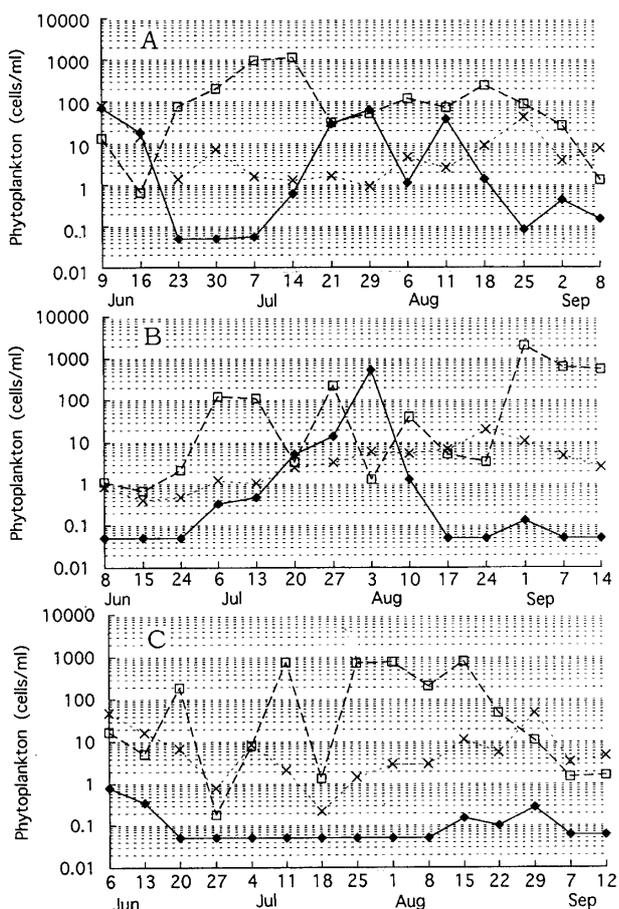


Fig. 10. Weekly changes of mean values (0, 5, and 10 m) of the density of Raphidophyceae, Bacillariophyceae, and Dinophyceae at St. K4, in 1987.

◆, Raphidophyceae; □, Bacillariophyceae; ×, Dinophyceae.

考 察

底層水温はシストの発芽に影響をあたえるが、播磨灘においては底層水温が高めに推移し、発芽適温範囲に早く達した年に *Chattonella* 赤潮がよく発生すること、また著しい海底の攪乱があれば、シストの巻き上がりや、埋没していたシストの海底泥表面への持ち上がり等が起こり、より多くのシストに発芽の機会が与えられること、等が指摘されている。²⁴⁾ また、吉松は、底泥を用いた室内実験で、*Chattonella* 属は底泥の攪拌がなければ極く表層のもののみが出現可能であるが、15 mm の泥の層では攪拌、無攪拌により栄養細胞の出現に大きな差異がみられること、出現がみられる温度範囲は 16–28°C 程度であるが、最適温度は 20°C であること等を明らかにしている。¹³⁾

1986 年および 1987 年は、底層水温が 20°C に達したのは 7 月上旬頃で、7 月下旬頃に達した 1988 年に比

し、比較的早かった。また、1986 年および 1987 年は、1998 年に比し、一般に表層と底層の水温差が少なく、上下層の攪乱が多いこと、したがって底層からのシストや、栄養塩、増殖促進物質等の供給が大きかったことが考えられる。また特に、1987 年の 7 月中旬頃はさらに底層の溶存酸素飽和度も急上昇しており、顕著な海底の攪乱による多量の栄養塩等やシストの供給によって、7 月下旬の珪藻類の急増や 8 月上旬の *C. antiqua* の急増に繋がったことが示唆された。

C. antiqua および *C. marina* の最適増殖温度は共に 25°C 付近にあることが指摘されており、⁷⁾ 本調査の結果でも、両種は、*C. globosa* が 5–7 月頃に比較的高密度で出現するのに比し、比較的高温の 7 月中旬から 8 月上旬にかけて出現がみられた。しかし、*C. marina* は比較的低温期の 11 月にも高密度で出現することが明らかにされており、²⁵⁾ 同種の出現温度範囲は、*C. antiqua* に比し、かなり広いように思われた。

C. antiqua が最も高密度に出現した 1987 年の 8 月上旬頃の表層 (0–10 m) における水質諸要因は、他の時期や同一時期でも他の水深の層に比し、DIN, DIP, DIN×DIP 等が低く、DIN : DIP 比が高いという傾向が強かった。また、比較的高密度で出現した 1986 年の 8 月上旬頃の表層における水質諸要因は同年の他の時期や水深に比し、DIN, DIP, DIN×DIP 等が低く、DOP, DON : DIN, DOP : DIP, TN : DIN, TP : DIP 比等が高いという傾向がみられた。これらの DIN や DIP の片方または両方が低く、また DIN や DIP に比し DON, DOP, TN や TP が相対的に高いという水質諸要因の特徴は、前報^{20,21)}でも示唆したように、グリコカリックス (またはスライム) をもち、微量の NH₄-N, DIP, 溶存有機物等を吸着し、これらを直接、または間接的に利用しうる植物プランクトンにとって有利な環境と考えられる。しかし、*C. antiqua* はグリコカリックスをもつが、^{8–10)} グリセロリン酸やその他の溶存有機物は殆ど増殖促進効果がみられないことも指摘されている。^{3,5)} したがって同種は主に NH₄-N や DIP を吸着し、効率的に利用していることが考えられる。

吉田ら^{26–30)}は、海水中の無機態窒素化合物の微生物群集 (動物、植物プランクトンおよび細菌類) による摂取または放出量は数分の 1–数 10 分の 1 μg at/l/h 程度であること、またこれらの摂取または放出量は NH₄-N が最も多いこと、また、海水中の昼間における植物プランクトンの増殖率は 2 倍時間で数–数 10 時間程度であること、昼間に増殖した植物プランクトン数のかなりの部分は、夕方から夜間にかけて、動物プランクトンの摂食によって失われること等を指摘している。

一方、*Chlamydomonas reinhardtii* は動物プランクト

ンの排泄物等によって形成された、栄養塩等のマイクロパッチ（径が mm 程度かそれ以下の微細水塊）内の栄養塩（ P^{32} ）を効率的に蓄積（accumulate），利用すること，^{31,32} 24 時間飢餓状態におかれた *Thalassosira pseudonana* の NH_4-N の摂取速度は， NH_4-N 添加後最初の 5 分間は非常に速く，その後速度は若干低下するが，次の 10-30 分間は単位時間当たりの摂取量はほぼ一定量であること，また 40 分後には NH_4-N はほとんど消失する（吸着性によることが示唆される）こと，³³ 等が明らかにされている。また，海域環境では栄養塩等の分布が時空間的にある程度不均一なことが知られており，³⁴ 特に躍層近くの上層では潮流等の影響で生じた渦流等により，比較的栄養塩等が多い小パッチが形成されやすいと考えられる。

1987 年の 8 月上旬の *C. antiqua* の鉛直分布は 0 m 層で最も高密度に出現したが，水質諸要因の鉛直分布では，5-10 m 層で DIN や DIP が著しく低下していた。このことは同種が夕方から数時間をかけて 5-10 m 層に沈降し，数時間という比較的短い時間内に多量の栄養塩を取り込み，再び数時間をかけて 0 m 層近くまで浮上することが必要であることを示している。したがって，*C. antiqua* は夜間 5-10 m 層内を活発に泳ぎまわり，栄養塩等の比較的多いパッチ内で NH_4-N や DIP（特に DIP）を急速に吸着または取り込んでいることが示唆された。

珪藻類の急減は 1987 年の 8 月上旬以外の時期や他の年にもみられているが，珪藻類の急減の原因としては，次の 3 型が考えられる。A 型：栄養塩類および増殖促進物質は比較的多いが，日照時間の短い日が数日続いたため，珪藻類は増殖率が低下し，動物プランクトンの摂食圧に抗しきれず，急減する型。この型は天候の回復と共に珪藻類の急増がみられるようになる。B 型：栄養塩類に比し，相対的に増殖促進物質が多かったため，栄養塩類が強度に消費され，珪藻類は増殖率が低下し，急減する型。この型は，増殖促進物質が多いため多量の増殖促進物質を要求する鞭毛藻類の急増をひき起こす。C 型：栄養塩類に比し，相対的に増殖促進物質が少なかったため，増殖促進物質が強度に消費され，珪藻類は増殖率が低下し，急減する型。この型は，栄養塩はそれほど極端に減少しないが，増殖促進物質が非常に少ないため多量の増殖促進物質を要求する鞭毛藻類の急増はみられない。1987 年 7 月 20 日，1988 年 6 月 27 日（日照 0 時間の日が 23 から 26 日まで持続），および同年 7 月 18 日の例は A 型，1987 年 8 月 3 日の例は B 型，また，1986 年 7 月 21 日の例は B および C の中間型であるように思われる。

鞭毛藻類による赤潮は，降雨後珪藻類が急増し，栄養

塩類が減少した後に発生することが指摘または示唆されている。^{20,21,35,36} また，メゾコズムを用いた実験では，栄養塩添加後，植物プランクトン相が珪藻類-渦鞭毛藻類-*C. antiqua* 赤潮の順に遷移するという結果が得られている。³⁷ しかし，1987 年の 7 月下旬から 8 月上旬にかけては珪藻類-*C. antiqua* 赤潮の順に遷移しており，両藻の間に渦鞭毛藻類のピークは見い出されなかった。

以上のことから，1987 年において *C. antiqua* が高密度の発生に至るまでの過程として次のような 6 段階の過程が可能性として考えられた。

- 1) 7 月中旬の降雨と気温の低下に伴う上下層の鉛直混合等により，表層水中に多量のシスト，栄養塩類，増殖促進物質等が供給された。
- 2) その後の晴天の持続で珪藻類が急増したが，増殖促進物質に比し，栄養塩類が相対的に少なかったため，栄養塩類が強度に消費された。
- 3) 急増した珪藻類に動物プランクトンの増殖が追いつけず，動物プランクトンによる珪藻類の過食や不完全消化^{38,39} が起った。
- 4) 栄養塩の極端な減少のため，珪藻類の増殖率が低下し，動物プランクトンの摂食圧に抗しきれず，珪藻類が急減した。
- 5) 動物プランクトンの排泄物等により，海水中に粒子態や溶存態の有機物が急増し，またこれらの有機物は比較的高温の条件下で急速に分解，無機化された。
- 6) 無機化により生じた NH_4-N や DIP 等を急速に吸着または取り込み，効率的に利用しうると考えられる，*C. antiqua* にとって好適な環境が形成され，8 月上旬を中心とした同種の高密度発生をひき起した。

文 献

- 1) 岩崎英雄：赤潮鞭毛藻に関する研究Ⅳ。1970 年備後灘に出現した *Eutreptiella* sp. と *Exuviella* sp. について。日海誌，**27**，152-157 (1971)。
- 2) 岩崎英雄：赤潮の生理特性からみた赤潮の発生機構。日本プランクトン学会報，**19**，104-114 (1973)。
- 3) 西村昭史：魚類養殖漁場の有機汚染が赤潮生物 *Gymnodinium* type '65 および *Chattonella antiqua* の増殖に及ぼす影響。日本プランクトン学会報，**29**，1-7 (1982)。
- 4) Y. Nakamura and M. M. Watanabe: Growth characteristics of *Chattonella antiqua* (Raphidophyceae). Part 1. Effect of temperature, salinity, light intensity and pH on growth. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **39**，110-114 (1983)。
- 5) Y. Nakamura and M. M. Watanabe: Growth characteristics of *Chattonella antiqua* Part 2. Effects of nutrients on growth. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **39**，151-155 (1983)。
- 6) 矢持 進：大阪湾に出現する赤潮鞭毛藻 6 種の増殖に及ぼす水温の影響。日本プランクトン学会報，**31**，15-22 (1984)。
- 7) 山口峰生，今井一郎，本城凡夫：有害赤潮ラフィド藻 *Chattonella antiqua* と *Chattonella marina* の増殖速度に及ぼす水温，塩分及び光強度の影響。日水誌，**57**，1277-1284 (1991)。
- 8) 岡市友利，本城凡夫，福代康夫：赤潮種と発生環境。「赤潮の科学第二版」(岡市友利編)，恒星社厚生閣，東京，1997，pp. 247-291。

- 9) 本城凡夫: 赤潮生物の増殖促進物質, 「赤潮—発生機構と対策」(日本水産学会編), 恒星社厚生閣, 東京, 1980, pp. 25-37.
- 10) M. Yokote and T. Honjo: Morphological and histochemical demonstration of a glycocalyx on the cell surface of *Chattonella antiqua*, a 'naked flagellate'. *Experientia*, **41**, 1143-1145 (1985).
- 11) 本城凡夫: ラフィド藻類の細胞表面に存在するグリコカリックス. 水産の研究, **4**, 14-15 (1985).
- 12) 小野知足: 播磨灘における赤潮生物の細胞周期と群生長速度. 香川県赤潮研究所研究報告, 第3号, 1-68 (1988).
- 13) 吉松定昭: 瀬戸内海における赤潮生物特に渦鞭毛藻類 *Alexandrium* 属2種, ラフィド藻類3種の生活史に関する研究. 香川県赤潮研究所研究報告, 第4号, 1-90 (1992).
- 14) 吉松定昭: 播磨灘におけるシャトネラの増殖動態. 月刊海洋, **24**, 25-32 (1992).
- 15) 吉田陽一, 中原紘之: 琵琶湖北湖諸港におけるアオコの異常発生機構. 日水誌, **62**, 230-235 (1996).
- 16) 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).
- 17) 吉田陽一, 中原紘之, 藤田裕子: アオコの発生と水質, 気象要因との関係. シンポジウム「アオコの特性和その発生機構」日水誌, **64**, 309-310 (1998).
- 18) 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).
- 19) 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**, 259-263 (1998).
- 20) 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).
- 21) 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**, 1013-1019 (1998).
- 22) 日本規格協会: JISハンドブック10, 環境測定, 1995, pp. 1077-1098.
- 23) 気象庁: 気象庁月報 (1982-1991).
- 24) 今井一郎: 瀬戸内海のシャトネラ赤潮におけるシストの生態的役割. 月刊海洋, **24**, 33-42 (1992).
- 25) T. Honjo: Growth potential of *Chattonella marina* (Raphidophyceae) collected in Gokasho Bay, Central Japan. *Bull. Plankton Soc. Japan*, **34**, 119-124 (1987).
- 26) 吉田陽一, 木俣正夫: 海水中の無機態窒素化合物利用微生物に関する研究—V. 海水中の微生物群集による無機態窒素化合物の摂取または放出について(1). 日水誌, **35**, 307-310 (1969).
- 27) 吉田陽一, 木俣正夫: 燧灘, 備後灘における微生物, 化学的研究—II 微生物群集の無機態窒素化合物の代謝活性について. 日海誌, **26**, 6-10 (1970).
- 28) Y. Yoshida and M. Kimata: Effects of zooplankton on the changes in concentration of inorganic nitrogen compounds and phytoplankton number in natural sea water, in "Biological Oceanography of North Pacific Ocean" (ed. by A. Y. Takenouti *et al.*), Idemitsu Shoten, Tokyo, 1972, pp. 535-540.
- 29) Y. Yoshida and M. Kimata: The diurnal variation of the number of phytoplankton in natural sea water, in "Nitrogen Fixation and Nitrogen Cycle" (ed. by H. Takahashi), University of Tokyo Press, Tokyo, 1975, pp. 141-146.
- 30) 吉田陽一: 自然水域における植物プランクトンの増殖率—測定法を中心として—, 「微生物の生態—増殖をめぐって」(微生物生態研究会編), 東京大学出版会, 東京, 1976, pp. 41-55.
- 31) J. T. Lehman and D. Scavia: Microscale patchiness of nutrients in plankton communities. *Science*, **216**, 729-730 (1982).
- 32) J. T. Lehman and D. Scavia: Microscale nutrient patches produced by zooplankton. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **79**, 5001-5005 (1982).
- 33) J. S. Parslow, P. J. Harrison, and P. A. Thompson: Development of rapid ammonium uptake during starvation of batch and chemostat cultures of marine diatom *Thalassiosira pseudonana*. *Mar. Biol.*, **83**, 43-50 (1984).
- 34) 飯塚昭二, 上 真一, 石田祐三郎: 赤潮の生態学的諸問題, 「赤潮の科学第二版」(岡市友利編), 恒星社厚生閣, 東京, 1997, pp. 115-180.
- 35) S. Maestrini and E. Graneli: Environmental conditions and ecophysiological mechanisms which led to the 1988 *Chrysochromulina polylepis* bloom: an hypothesis. *Oceanologica Acta*, **14**, 397-413 (1991).
- 36) 越智 正, 吉松定昭, 松岡 聡, 東 健二, 栢山高志: 播磨灘南部における1995, 96年の *Gymnodinium mikimotoi* 赤潮. 海水学会誌, **52**, 228-235 (1998).
- 37) 渡辺正孝: 赤潮の発生機構—播磨灘におけるシャトネラ赤潮の発生機構—. 月刊海洋, **24**, 43-49 (1992).
- 38) 安楽正照: 橈脚類の食性について(綜説). 日本プランクトン研究連絡会報, **9**, 10-35 (1963).
- 39) 谷口 旭: 動物プランクトンの代謝活性, 「海洋プランクトン」(岩下光男, 星野通平, 堀部純男, 増沢譲太郎, 元田 茂編), 東海大学出版会, 1975, pp. 131-192.