

## 2006年に広島県沿岸で発生した *Chattonella verruculosa* および *Chattonella globosa* 混合赤潮

川 口 修・高 辻 英 之・村 上 倫 哉・飯 田 悦 左

*Chattonella verruculosa* and *Chattonella globosa* occurred along coastal waters  
of Hiroshima Prefecture in 2006.

Osamu KAWAGUCHI, Hideyuki TAKATSUJI, Tomoya MURAKAMI, Yoshisuke IIDA

*Chattonella verruculosa* および *Chattonella globosa* は Hara *et al.* によって新たに記載されたラフィド藻である<sup>1)</sup>。その形態的特徴から、それ以前までトゲシャットネラやイガグリシャットネラと呼ばれていた種が *C. verruculosa* に、球形シャットネラや球形ホルネリアと呼ばれていた種が *C. globosa* に相当すると考えられる<sup>1)</sup>。これまでに *C. verruculosa* や同種によると考えられる赤潮は、福岡県、山口県、大分県で確認されており<sup>2-4)</sup>、*C. globosa* は、同種によると考えられる赤潮が東京湾で確認されている<sup>5)</sup>。*C. verruculosa* は、その赤潮によって、福岡県ではヒラマサ (*Seriola lalandi*)、山口県ではハマチ (*Seriola quinqueradiata*) に対する漁業被害が報告されており<sup>2), 3)</sup>、*C. globosa* は、漁業被害との関連よりむしろ他のシャットネラ属による赤潮発生の前駆現象として注目されてきた<sup>6)</sup>。

表1 マガキへ曝露した赤潮海水中の植物プランクトン組成  
(cells/mL)

|                                 | I      | 試験区<br>II | III    |
|---------------------------------|--------|-----------|--------|
| 珪藻                              |        |           |        |
| <i>Skeletonema costatum</i>     | 290    | 770       | 550    |
| <i>Leptocylindrus</i> sp.       |        | 20        | 10     |
| <i>Thalassiosira</i> spp.       |        |           | 10     |
| <i>Rhizosolenia</i> spp.        |        | 20        | 10     |
| <i>Chaetoceros</i> sp.          | 20     | 40        | 50     |
| <i>Chaetoceros calcitrans</i> * | 119000 | 112000    | 108000 |
| <i>Nitzschia</i> spp.           | 430    | 510       | 500    |
| シャットネラ                          |        |           |        |
| <i>Chattonella verruculosa</i>  | 980    | 880       | 680    |
| <i>Chattonella globosa</i>      | 30     | 70        | 110    |
| <i>Heterosigma</i> spp.         | 40     | 30        | 90     |
| 渦鞭毛藻                            |        |           |        |
| <i>Gymnodinium</i> spp.         | 20     | 20        | 20     |
| <i>Gyrodinium</i> spp.          |        | 20        | 10     |
| <i>Prorocentrum</i> spp.        | 30     | 20        | 10     |
| <i>Gonyaulax</i> spp.           | 20     | 40        | 20     |
| Small flagellates               | 80     | 50        | 50     |

\*：添加した *Chaetoceros*

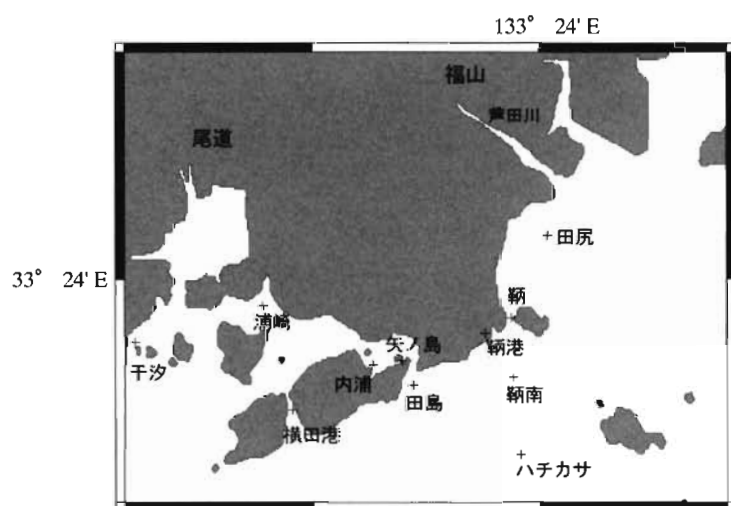


図1 福山市沿岸の海岸図と観測点

2006年5月に広島県東部に位置する福山市および尾道市の沿岸において *C. verruculosa* および *C. globosa* による混合赤潮が発生し、同時に周辺海域において養殖魚や天然魚の異常やへい死が報告された。これまで、広島県でこれらの種による赤潮の形成や漁業被害が報告された例はなく、今後これらの種に対する監視の強化が必要と考えられる。本稿では赤潮の発生状況と発生時の気象・水質環境を整理した。さらに、曝露試験によって赤潮による魚介類への影響を調査したので報告する。

## 材料と方法

*C. verruculosa* および *C. globosa* の赤潮発生前後に、広島県へ寄せられた魚介類の異常やへい死を整理するとともに、情報提供者に対する聞き取り調査を行った。

また、赤潮発生状況および発生時の水質環境を調査するため、図1に示した11測点において、5月2、8、19、25日に水質（水温、塩分、クロロフィル蛍光値）およびプランクトンの調査を行った。ただし、赤潮の発生状況やその他の要因により観測日によっては観測ができていない測点もある。水温、塩分、クロロフィル蛍光値はクロロテック（アレック電子）を用いて0.1 m 毎の鉛直プロファイルを得た。プランクトンは北原式採水器を用いて0、2、5 m 層の海水を採取し、顕微鏡下で種の同定と計数を行った。細胞密度はそれぞれの層を鉛直的に加重平均し、0～5 m 層の平均的な水平分布を得た。

赤潮発生時の気象環境は、気温、降水量、風速、風向、日照時間について、平年値（1990～2005年の平均値）と赤潮発生年（2006年）の値との比較を行った。データは気象庁ホームページ<sup>7)</sup>より福山市における1990～2006年の4月1日～5月31日のデータを用いた。

さらに、赤潮による魚介類への影響を調査するため、ヒラメ (*Paralichthys olivaceus*)、メバル (*Sebastes inermis*) およびマガキ (*Crassostrea gigas*) に対する曝露試験を行った。ヒラメに対する曝露試験は、5月8日に持ち帰り一昼夜置いた赤潮海水 (*C. verruculosa* : 890 cells mL<sup>-1</sup>, *C. globosa* : 130 cells mL<sup>-1</sup>) を用いた。まず、ろ過海水を用いて赤潮海水を1/2, 1/4, 1/8の3段階に希釈し、これに赤潮海水区（無希釈区）を加えた4つの試験海水区を設けた。また、対照区としてろ過海水区を設定した。試験は、15 L 容水槽に7.5 L の各供試海水を満たしたものを2つずつ用意し、これに平均全長111 mm, 平均体重14.5 g のヒラメを3尾ずつ収容して、水温を17～19℃に保った状態で弱いエアレーションを行いながら48時間魚体の症状を観察した。

メバルに対する曝露試験は上記赤潮海水を用いて、赤潮海水区、1/8 希釈区および、ろ過海水区を設けた。試験には30 L 容水槽に20 L 供試海水満たしたものを扱い、これに平均体長30 mm のメバルを20尾ずつ収容してヒラメと同様の試験を行った。これらの試験は全て無給餌で行った。

マガキに対する曝露試験は、試験区（赤潮海水区）とろ過海水区を各3つずつ容水層の設置を行い、両区にマガキの餌として用いる *Chaetoceros calcitrans* を約10万

細胞添加した。これに、それぞれ殻長約10 cm のマガキを1個ずつ収容し、水温を約17℃に保った状態で弱いエアレーションを行いながら24時間行った。マガキに対する赤潮の影響は *C. calcitrans* の密度変化から簡易的に推定されるマガキの濾水速度<sup>8)</sup>によって評価した。なお、この時用いた試験区海中には *C. verruculosa* が680～980 cells mL<sup>-1</sup>, *C. globosa* が30～110 cells mL<sup>-1</sup> 存在したほか、*Skeletonema costatum* や *Nitzschia* 属が比較的多く見られている（表1）。

## 結 果

**魚介類の異常へい死状況** 2006年4月30日の夜に鞆港内で出荷用のハマチ600尾がへい死したとの報告があった。その後5月9日には、田島・横島周辺、横田港内において海面着色（黒っぽい）と網生簀や漁船の生簀（活魚槽）で魚がへい死する事例が報告された。また、田島の定置網では袋網内でウマズラハギ (*Thamnaconus modestus*) などのへい死やその他魚類の衰弱が報告された。その後の1週間は報告がなかったが、17日に再び田島の定置網でのウマズラハギのへい死や箱崎港の出荷用のウマズラハギ、イカ類、マダイ (*Pagrus major*)、クロダイ (*Acanthopagrus schlegelii*) のへい死が報告された。18日には田尻でアサリ (*Ruditapes philippinaru*) の洗浄中におけるへい死、走島周辺でも定置網の漁獲魚が生簀内でへい死していると報告され、21日には、弓削島から田島内浦に移動させたマダイ200尾（計150 kg）、22日にはごち網でとれたマダイやクロダイのへい死が報告された。その後、24日には海域の色が戻っているとの報告があり、それ以降被害報告はなくなった。聞き取り調査によると、魚類のへい死は5月21、22日頃がピークであり24日以降は確認されなかった。また、赤潮に対してマダイ、ウマズラハギ、クロダイ、スズキ (*Lateolabrax japonicus*)、ハマチ、サバ類、タチウオ (*Trichiurus lepturus*)、イカ類などが弱く、カニ類、トラフグ (*Torafugu rubripes*) は強いなど魚種によって抵抗力に差があった。

**赤潮発生状況と水質環境** *C. verruculosa* は5月8日に132～420 cells mL<sup>-1</sup>, 5月19日に131～1814 cells mL<sup>-1</sup>, 5月25日に2～34 cells mL<sup>-1</sup>, *C. globosa* は5月2日に22～45 cells mL<sup>-1</sup>, 5月8日に15～145 cells mL<sup>-1</sup>, 5月19日に37～80 cells mL<sup>-1</sup>, 5月25日に10～59 cells mL<sup>-1</sup> と推移した。いずれの種も陸上からの栄養塩負荷が多いと考えられる芦田川河口付近（田尻）よりもむしろ南側の岸寄り（鞆、鞆港、田島、横田港）で多く、西側（尾

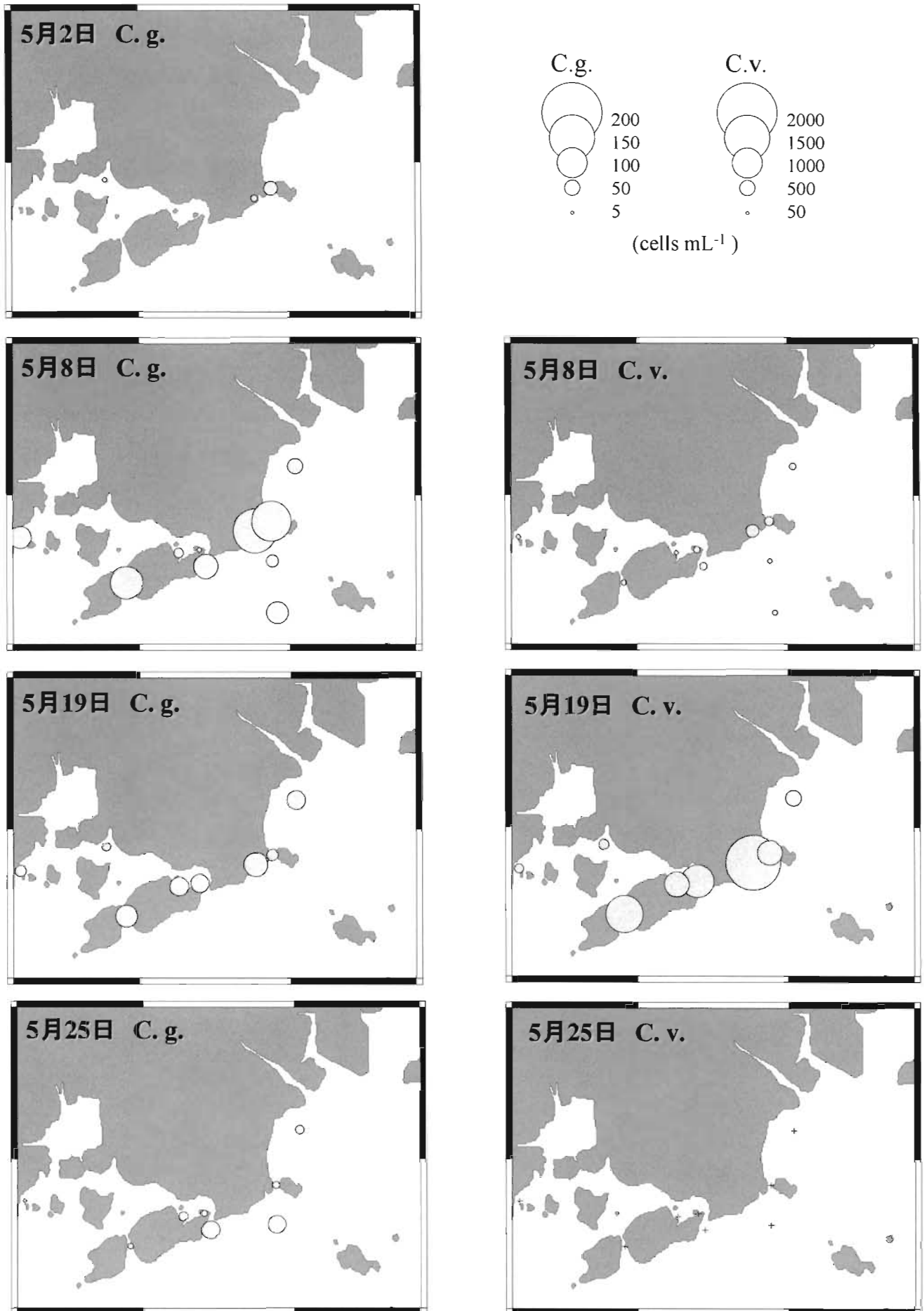


図2 *Chattonella globosa* (C.g.) および *Chattonella verruculosa* (C.v.) の細胞密度の時・空間分布

道市沿岸)よりも東側(福山市沿岸)で多く観察された。また、*C. verruculosa* よりも *C. globosa* のほうが高密度のピークが早かった(図2)。

水温は5月2日においては約14℃付近で鉛直的に一様であったが、5月8日までに表層でおよそ3℃、底層でもおよそ2℃上昇し、その後25日まではほぼ同様の分布であった(図3)。クロロフィル蛍光値は *C. verruculosa* 密度が高かった5月19日に最も高い値を示し、海底直上を除いて常に2～5mにピークが見られた(図4)。

**赤潮発生時の気象** 4月と5月における気温、風速、降水量および日照時間を図5に示した。気温は4月17日から28日まで平年より低く推移していたが、それから5月1にかけて平年より高めの水準まで急激に上昇し、その後、上昇と低下を繰り返しながら緩やかに上昇していっ

た。いずれにせよ、4月後半から5月前半にかけての上昇傾向が顕著であった(図5左上)。また、4月20日、24日、30日付近で平年より顕著に強い南西の風が吹いていた(図5左下)。降水量は4月2日から15日までと5月2日から17日まで断続的に平年より多い降水量が観測された一方、4月16日から5月1日までほとんど雨が降らなかった(図5右上)。また、これとほぼ逆の傾向で日照時間は4月後半から5月前半にかけて平年より長かった(図5右下)。

**魚介類への赤潮海水曝露試験** ヒラメを赤潮海水へ曝露したところ、鰓蓋運動数、すなわち呼吸数が増加しているように観察された。そのため、各試験区および対照区でそれぞれ計数したところ、水中の赤潮プランクトン数が多いほどヒラメの鰓蓋運動数が多くなる傾向がみられ

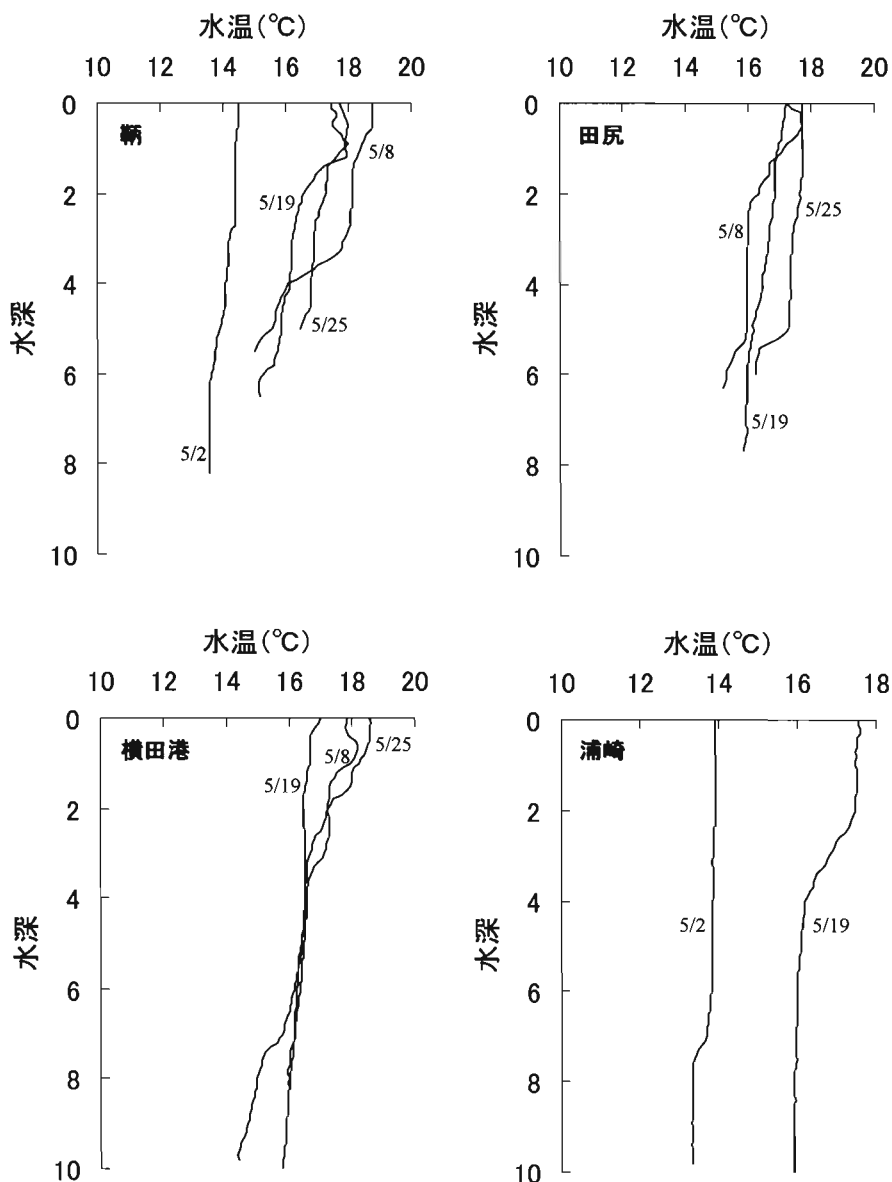


図3 水温の鉛直分布とその経時変化

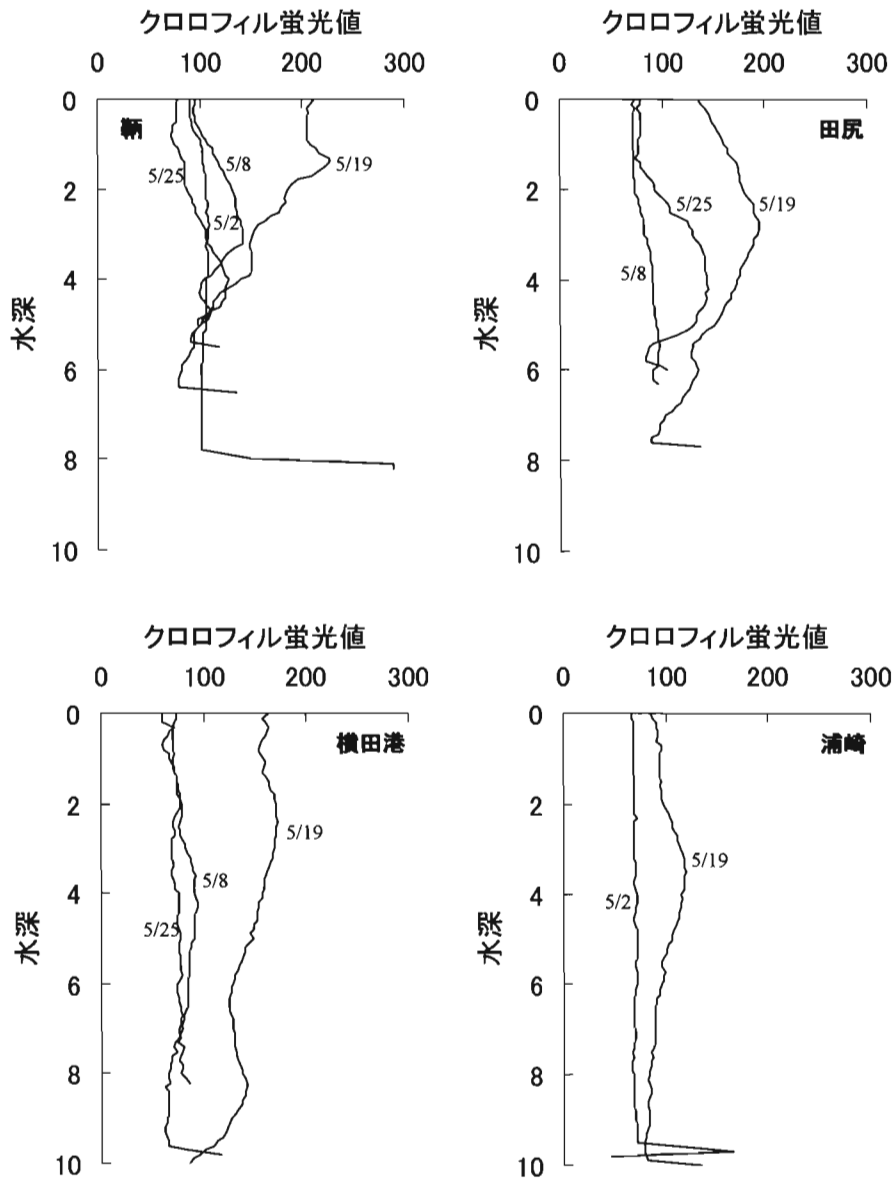


図4 クロロフィル蛍光値の鉛直分布とその経時変化

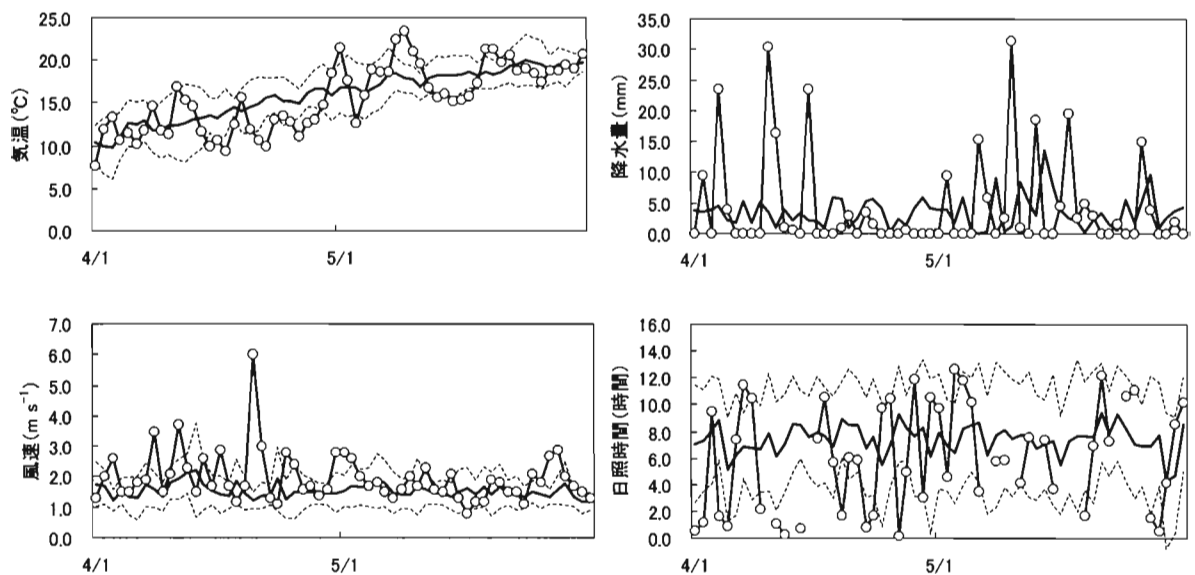


図5 気温(左上), 風速(左下), 降水量(右上), 日照時間(右下)の経時変化。図中の実線, 点線, 白丸と実線はそれぞれ平年値, 平年値±標準偏差, 赤潮発生年の値を示す。

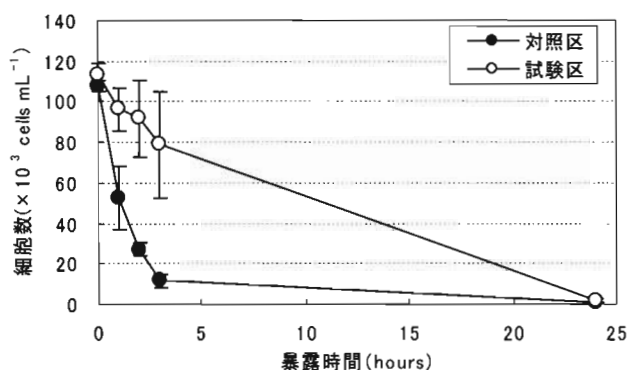


図6 マガキへの曝露試験における *Chaetoceros calcitrans* 細胞密度の経時変化

た。しかしながら、統計的な有意差は無かった（分散分析,  $P>0.05$ ）。また、試験期間中にへい死したヒラメは無かった。同様に、メバルも曝露試験中に死亡することはなかったが、対照区および1/8希釈区では底層に定位しているメバルが赤潮海水原液区では曝露直後から表層に定位するという異なる行動が見られた。マガキは赤潮海水曝露によって曝露開始から3時間まで水槽内の *C. calcitrans* の細胞密度は有意に高く、ろ水の阻害が見られたが、24時間後には細胞密度に有意差は無くなっていった（図6）。

## 考 察

**赤潮の発生・拡大の要因** 広島県の調査とは別に、燧灘の香川県海域でも5月1日から100 cells mL<sup>-1</sup>を超える *C. globosa* と、300 cells mL<sup>-1</sup>を超える *C. verruculosa* が観測されていた（香川県私信<sup>9)</sup>）。すなわち、*C. verruculosa* と *C. globosa* が高密度とは言えないまでも、既に4月末において広範囲に分布していたことが示唆される。このことと本研究の調査結果から今回の赤潮が福山市沿岸で拡大した原因については、以下のように仮説が立てられる。まず、広範囲にあった *C. verruculosa* と *C. globosa* が4月末に吹いた強い南西の風（図5左下）によって、福山市沿岸に吹き寄せられた。さらに、4月末から5月の始めにおける急な気温上昇（図5左上）に伴う、水温の急上昇（図3）により、*C. verruculosa* の至的水温である15℃付近<sup>10)</sup> になったこと、5月2日からの断続的な雨によって低塩分化したことで（至的塩分は25PSU<sup>10)</sup>）、*C. verruculosa* の増殖速度が増加したというものである。さらに、5月4日以降小潮に入っており、潮流による細胞の分散効果の低下が、赤潮の拡大に寄与したと考えられる。残念なことに *C. globosa* の増殖生理に関する知見がないため、これに関する議論につい

てはここで除外する。Yamaguchi *et al.*<sup>10)</sup> は水温と塩分から *C. verruculosa* の増殖速度を見積もるための回帰式を示しており、これによれば、5月2日に1.56 divisions day<sup>-1</sup>、5月8日に1.57 divisions day<sup>-1</sup>、5月19日に1.62 divisions day<sup>-1</sup>、5月25日に1.61 divisions day<sup>-1</sup>の増殖速度であったと推定される。これに栄養塩や光による制限がかかるにしても本研究による調査で得られた細胞密度の増加を支えるには十分な増殖速度があったと考えられる。ただし、そもそも4月末に広範囲に *C. verruculosa* がなぜ発生したかについては不明な点が多く、また、気象・海象に対する赤潮発生の再現性については検討課題も多い。そのため、今後すぐに *C. verruculosa* 赤潮の発生予測を行うことは困難である。しかしながら、今回の赤潮の発生状況をもとに、気象や水温、塩分といった比較的得やすい情報から赤潮拡大について注意喚起することは可能であり、必要なことである。

**魚介類へ及ぼす赤潮の影響** 今回の赤潮において魚介類の異常やへい死の情報があつた。さらに、それらの情報が寄せられた時期と *C. verruculosa* の細胞密度が高かった時期とがほぼ一致しており、これらの間に強い関係があると考えられる。しかしながら、本研究における曝露実験では1000 cells mL<sup>-1</sup>を超える高密度の赤潮海水でもヒラメ、メバルのへい死が見られず、追加的に行ったマダイとウマズラハギに対する同様の試験でも死亡は見られなかった。そのため赤潮が直接的な魚類の死亡原因と認めるには十分な証拠が得られていない。また、赤潮を曝露された魚類の鰓の呼吸上皮にも組織学的影響が見られなかったことから、これまで報告されている *Chattonella* がブリ鰓2次鰓弁を粘液様の物質で覆ってしまう病害性<sup>11)</sup>とは異なる形で魚介類へ影響していることが考えられる。マガキについても摂餌の抑制が見られたものの、その影響は長時間続かないことが示唆された。近年、微細構造解析や分子系統学的研究から、*C. verruculosa*、*C. globosa* 共にシャットネラ属ではなく、ディクティオカ属と類縁関係にあることが分かってきている<sup>12), 13)</sup>。すなわち、これら2種による赤潮について、他のシャットネラ赤潮の発生や漁業被害に関する知見からの類推はあまり意味を持たない可能性があり、今後、新たな視点からの継続した研究が望まれる。

## 文 献

- 1) Hara Y., Doi K. and Chihara M. (1994): Four new species of *Chattonella* (Raphidophyceae, Chromophyta) from Japan. *Jpn. J. Phycol.*, **42**, 407–420.

- 2) 山本千裕・田中義興(1990): 福岡湾で発生した2種類の有害赤潮プランクトンについて. 福岡水試研報, **16**, 43-44.
- 3) 馬場俊典・桃山和夫・平岡三登里(1995): 徳山市戸田地先で発生した有害赤潮プランクトンについて. 山口県内海水産試験場報告, **24**, 121-122.
- 4) 田森裕茂・平澤敬一(2002): 大分県平成14年度発表会, <http://www.mfs.pref.oita.jp/planning/H14happyou/15.htm>
- 5) 保坂三継・高山尚子・平井正風・権田 基・原 慶明(1991): 東京湾におけるラフィド藻 *Chattonella* sp. (球形シャットネラ) の出現. 日本プランクトン学会報, **38**, 1-8.
- 6) 秋月友治・北門 至・佐々木正雄(1981): ホルネリア出現初期に認められる球形細胞について. 徳島県水産試験場報告書, 201-204.
- 7) 気象庁: <http://www.data.kisyuu.go.jp>
- 8) Matsuyama Y. and T. Uchida (1997): Simplified method to measure the clearance rate of Bivalve Fed on microalgae. Bull. Nansei Natl. Fish. Res. Inst. **30**, 183-188.
- 9) 香川県 赤潮研究所: <http://www.pref.kagawa.jp/suisanshiken/akashiwo/akashiwo-index.htm>
- 10) Yamaguchi M., S. Itakura, K. Nagai, Y. Matsuyama, T. Uchida and I. Imai (1997): Effects of temperature and salinity on the growth of the red tide flagellates *Heterocapsa circularisquama* (Dinophyceae) and *Chattonella verruculosa* (Raphidophyceae). J. Plank. Res., **19**, 1167-1174.
- 11) Ishimatsu A., M. Sameshima, A. Tamura and T. Oda (1996): Histological Analysis of *Chattonella*-Induced Hypoxemia in Yellowtail. Fish. Sci. **62**, 50-58.
- 12) 深谷幸子・本多大輔・左子芳彦(2002): *Chattonella verruculosa* (ラフィド藻綱) は珪酸鞭毛虫類とペデイネラ類に近縁であった. 第34回日本原生動物学会講演要旨, 原生動物学雑誌, **35**, 67.
- 13) 高野義人・山口晴生・坂本節子・山口峰生(2006): 分子系統学的解析を用いたラフィド藻 *Chattonella globosa* の分類学的再評価. 2006年日本プランクトン学会・日本ベントス学会合同大会要旨集, 86.