

## 長崎県薄香湾における有害渦鞭毛藻 *Cochlodinium polykrikoides* の出現密度の季節変化と増殖特性

山砥稔文<sup>1</sup>・坂口昌生<sup>1</sup>・岩滝光儀<sup>2</sup>・松岡数充<sup>2</sup>

<sup>1</sup>長崎県総合水産試験場 (851-2213 長崎県長崎市多以良町 1551-4)

<sup>2</sup>長崎大学環東シナ海海洋環境資源研究センター (〒851-2213 長崎県長崎市多以良町 1551-7)

Toshifumi Yamatogi<sup>1</sup>, Masao Sakaguti<sup>1</sup>, Mitsunori Iwataki<sup>2</sup> and Kazumi Matsuoka<sup>2</sup>: Seasonal occurrence and growth characteristics of a harmful dinoflagellate *Cochlodinium polykrikoides* in Usuka Bay, west Japan. Jpn. J. Phycol. (Sôru) 53: 229-235, Nov. 10, 2005

An unarmored dinoflagellate *Cochlodinium polykrikoides* Margalef is one of the most harmful red tide organisms causing mass mortality of cultured fish in western Japanese and southern Korean coastal waters. To understand an initial growth of this species, it is important to clarify the seasonal occurrence even in low temperature periods. Seasonal occurrence of *C. polykrikoides* was observed from February 2004 to March 2005 in Usuka Bay, west Japan. The highest cell density was observed in September, and the water temperature and salinity were about 25°C and 33.5 psu, respectively. From April 2004 to March 2005, the motile cells of *C. polykrikoides* were observed at the temperature range of 12.3-27.6°C and salinity range of 32.52-34.40 psu. The growth response of *C. polykrikoides* isolated from Usuka Bay in 2003 was examined on two strains in 54 different culture conditions of temperature (10-30°C) and salinity (16-36 psu) under an illumination of 80 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> with a photoperiod of 14 h light and 10 h dark cycle. *C. polykrikoides* grew well at the temperature range of 17.5-30°C and salinity range of 16-36 psu. The highest growth rate was obtained in the combination of 27.5°C and 28-32 psu with maximum growth rates (μm) of 0.60-0.64 day<sup>-1</sup>. These results explain that *C. polykrikoides* forms red tides during warm seasons in high salinity condition and the motile populations have a potential ability of overwintering in Usuka Bay.

Key index words: *Cochlodinium polykrikoides*, dinoflagellate, red tide, growth rate, seasonal occurrence, cell density

<sup>1</sup>Nagasaki Prefectural Institute of Fisheries, 1551-4 Taira, Nagasaki, Nagasaki 851-2213, Japan

<sup>2</sup>Institute for East China Sea Research, Nagasaki University, 1551-7 Taira, Nagasaki, Nagasaki 851-2213, Japan

無殻渦鞭毛藻 *Cochlodinium polykrikoides* Margalef による赤潮は近年、九州をはじめとする西日本各地および韓国南部沿岸域で頻発し、養殖魚類等を斃死させる漁業被害を与え続けている (尹 2001, 独立行政法人水産総合研究センター 2002-2004)。また、フィリピン・ルソン島でも本種赤潮による魚類の斃死が確認されるなど、本種赤潮は東南アジア沿岸域において、多発化・広域化する傾向にある (松岡・岩滝 2004)。本種赤潮は数億から数十億円の莫大な漁業被害 (養殖

魚類の大量斃死) を伴うことが多く、水産業の振興上大きな問題となっている (山砥ら 2005, 九州漁業調整事務所 2001, 2003-2004)。本種赤潮による魚類斃死被害の防除・軽減を行う上で、本種の生活様式、増殖特性、種間競合等を把握し、赤潮の発生機構を解明することは早急に解決すべき今後の重要な検討課題とされてきた (松岡・岩滝 2004)。

本種の赤潮発生機構を解明する上で、第一に重要なことは年間生活様式の把握である。つまり、本種の高水温期におけ

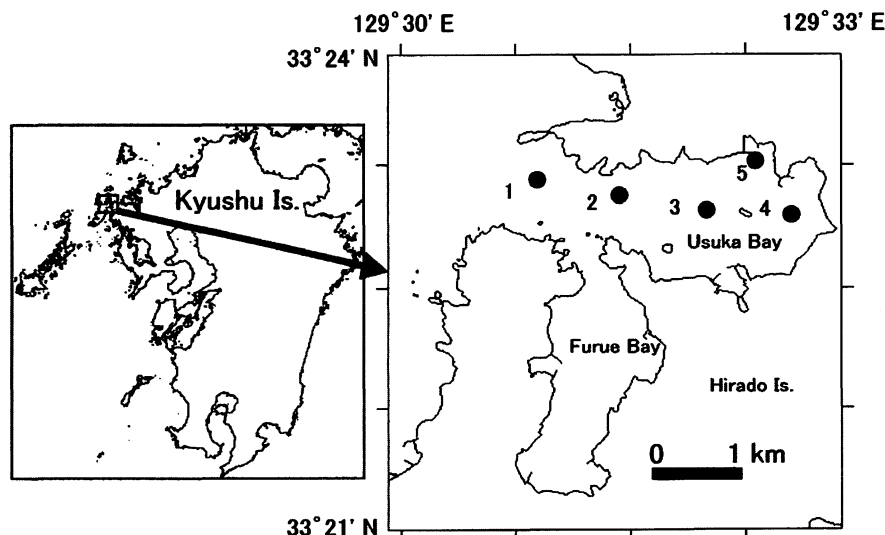


Fig. 1. Location of the sampling stations in Usuka Bay, west Kyushu, Japan.

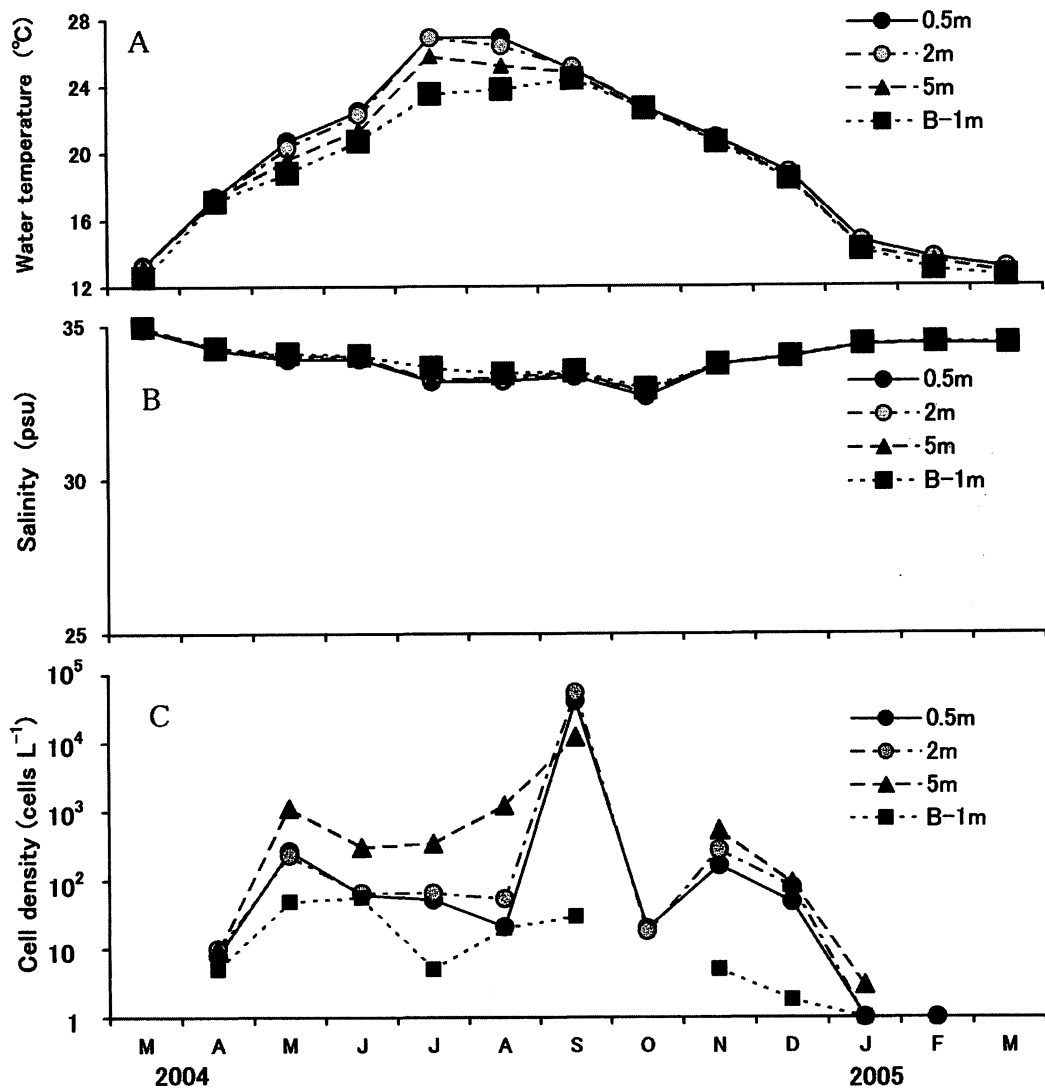


Fig. 2. Seasonal changes of water temperature (A), salinity (B) and cell densities of *Cochlodinium polykrikoides* (C) in the mean of 5 stations (Stn. 1-5) in Usuka Bay from March 2004 to March 2005.

る大増殖が遊泳細胞と休眠シストのどちらに起因するのかを明らかにすることが必要である。年間の生活様式に関しては、これまで遊泳細胞の状態での越冬（山砥ら 2005, 金・本城 2005）と休眠シストの形成（Kim *et al.* 2002, 松岡・岩滝 2004）の可能性が指摘されているが、現状では研究情報がきわめて少ない。また、本種の増殖特性については、数例の報告がある（荒牧ら 1994, 尹 2001, 山砥ら 2003, 2005, Kim *et al.* 2004）。しかし、赤潮種の増殖特性は培養株が分離さ

れた海域によって差異があり得る（Watanabe *et al.* 1982, 山本・樽谷 1997）ので、原因種の基礎的増殖特性は海域ごとに把握しておく必要がある。さらに、本種出現の直前後に、渦鞭毛藻 *Karenia mikimotoi* および珪藻類の出現が現場で観察される場合がある（三重県水産技術開発センター 1987, 山砥ら 2003, 金・本城 2005）ため、本種出現と植物プランクトン種間の相互関係を把握する必要がある。本研究では、秋季から冬季（9 - 12月）に計5回本種赤潮が発生し、漁業被害

Table 1. Cell density of *C. polykrikoides*, water temperature and salinity at Station 5 in Usuka Bay on February 2004 and March 2005.

Date	Depth (m)	Cell density (cells L <sup>-1</sup> )	Water temperature (°C)	Salinity (psu)
Feb. 2004	0.5	8	12.8	34.80
	2	10	12.8	34.80
	5	2	12.9	34.80
Mar. 2005	0.5	0.1	12.4	34.00
	2	0.2	12.3	34.00
	5	0	12.3	34.00

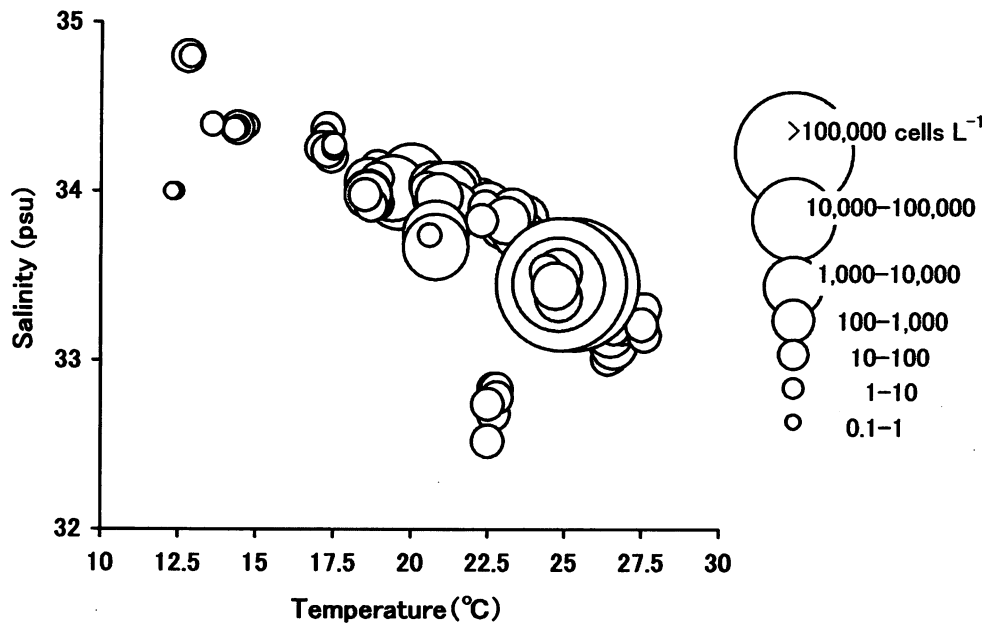


Fig. 3. Relationships among abundance of *C. polykrikoides*, water temperature and salinity in Usuka Bay from February 2004 to March in 2005.

を2回出した薄香湾（長崎県総合水産試験場 1992-1993, 2004）を対象海域として、本種の出現・増殖機構の解明という観点から、現場における本種、*K. mikimotoi*および珪藻類の出現密度の推移を調べるとともに、同湾から分離した培養株を用い、増殖に及ぼす水温、塩分の影響について室内実験を行った。

#### 材料と方法

##### 出現密度の季節変化

現場調査は2004年3月から2005年3月までのほぼ1年間にわたり、薄香湾内に設けた5定点（Stn. 1-5, 平均水深24.4 m）で、毎月1回の頻度で *C. polykrikoides* および *K. mikimotoi* 出現密度を調べた（Fig. 1）。採水は原則として、各調査定点の0.5, 2, 5, B-1 m（海底面上1 m）で行い、夏季から秋季にかけての高水温期（7-10月）には10 m層を追加し、北原式採水器によって0.5-2 L採取した。採水時に各層における水温と塩分を現場用多項目水質計 Quanta

（Hydrolab社製）により測定した。*C. polykrikoides* および *K. mikimotoi* 細胞数は各層毎の試水をセルロースアセテートフィルター（東洋ろ紙社製,  $\phi 8 \mu\text{m}$ ）によって常圧濃縮後（濃縮率は約100-500倍）、全量を計数した。珪藻類は7-12月の間、各調査定点の0.5, 2, 5, B-1 m層で生海水（1 mL）中の細胞数を計数した。2004年2月と2005年3月の低水温期には、採水を2-10 Lに増量した調査を1定点（Stn. 5の0.5, 2, 5 m層）で実施し、上記測定項目に加え、*C. polykrikoides* 遊泳細胞の連鎖状態を観察した。2004年3月には5定点（Stn. 1-5）、2004年4月-2005年3月にはStn. 4において、月1回の頻度で、KK式コアサンプラーまたはエクマンバージ型採泥器により採泥調査を行った。泥試料（0-1 cm）は終点希釈法（伊藤・今井 1987）により、*C. polykrikoides* 休眠シストの存在密度を測定した。

##### 供試株と培地

実験に用いた *C. polykrikoides* は2003年10月に分離した薄香湾産2株（03U06, 03U12）で、いずれもピペット洗浄法お

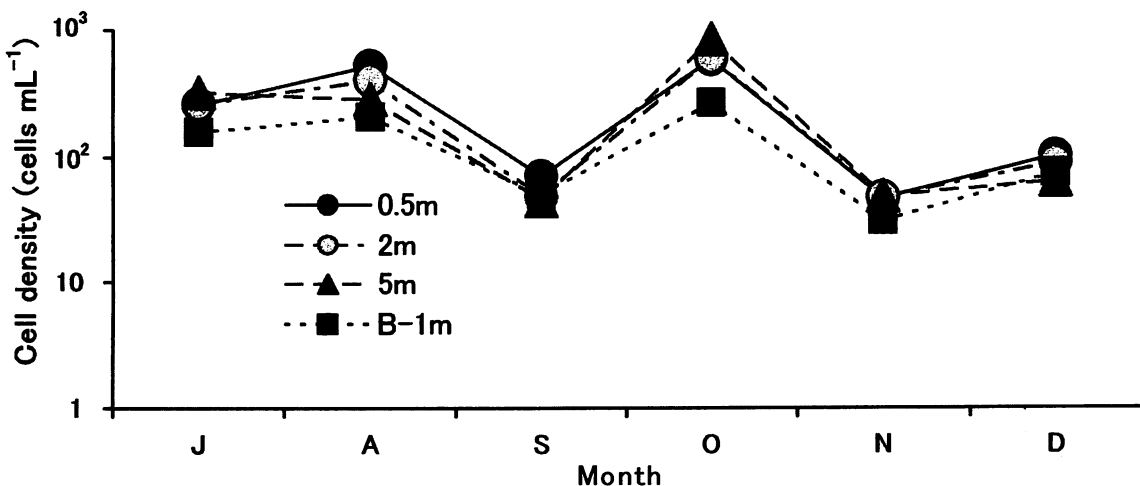


Fig. 4. Changes of cell densities of diatoms in the mean of 5 stations (Stn. 1-5) in Usuka Bay from July to December in 2004.

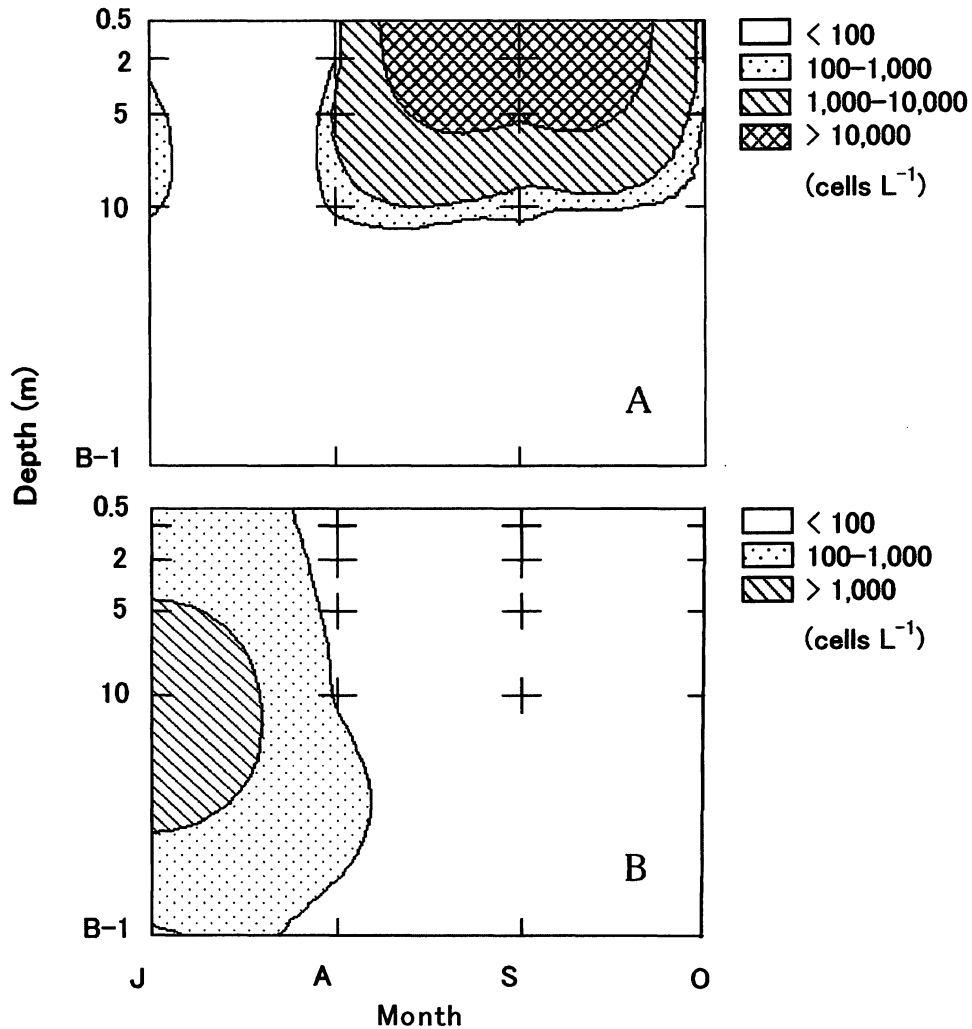


Fig. 5. Changes of cell densities of *C. polykrikoides* (A) and *Karenia mikimotoi* (B) in the mean of 5 stations (Stn. 1-5) in Usuka Bay from July to October in 2004.

よび泳がせ法 (今井 2000) によってバクテリアによる汚染を最小限に抑えたクローン株である。供試株の保存および実験培地には ESM (岡市ら 1982) を用いた。

#### 増殖に及ぼす水温と塩分の影響

実験は水温を 10, 12.5, 15, 17.5, 20, 22.5, 25, 27.5, 30°C の 9 段階, 塩分を 16, 20, 24, 28, 32, 36 psu の 6 段階とし, それらを組み合わせて計 54 通りに設定した。塩分は 1995 年 7 月に五島列島西沖約 60 km (32° 55.5' N, 128° 15.5' E) で採取した表層水を GF/C でろ過したものを基本海水 (塩分 34.4 psu) とし, これを超純水で希釈, あるいは 50°C の恒温器を用いた加温濃縮によって調整した。実験は試験管 (φ 15 × 150 mm) に培地を 5 mL 入れ, オートクレーブ滅菌後 (120 °C, 20 min) に, 対数増殖期後期まで前培養した本株を 100 cells mL<sup>-1</sup> の密度になるように実験培地へ接種し, 3 本立て, バッチ培養法で, 光強度 80 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, 14 時間明 10 時間暗の明暗サイクルの条件下で行った。なお, 前培養条件は水温 17.5°C (低温度実験区へ移行) および 22.5°C (高温度実験区へ移行) とし, 塩分は 28 psu とした。培養温度は 1 日に 1 - 2.5°C ずつ上昇あるいは下降させ, 0 - 2 日目ま

での 3 日間で各実験温度へ移行した。細胞数は実験開始後, 2 日おきに培養液の一部を採取して界線入りスライドガラスを用いて直接計数し, 片対数グラフにプロットし, その直線部分である対数増殖期について最小二乗法により比増殖速度 (μ; day<sup>-1</sup>) を求めた。また, 定常期の最高細胞密度から初期細胞密度を差し引いた値を最終細胞収量 (cells mL<sup>-1</sup>) とした。

#### 結果

##### 出現密度の季節変化

薄香湾における水温, 塩分および *C. polykrikoides* 細胞密度 (全定点平均値) の季節変化を Fig. 2 に示す。本種の出現は 2004 年 4 月から 2005 年 2 月までに継続して確認され, 細胞密度は 2 - 320 × 10<sup>3</sup> cells L<sup>-1</sup> の範囲であった。本種出現時の水温・塩分範囲は 13.5 - 27.6°C と塩分 32.83 - 34.42 psu であった。細胞密度の最高値が観察されたのは 9 月 (Stn. 4, 2 m 層) であり, 水温 24.9°C, 塩分 33.45 psu であった。2004 年 3 月, 2005 年の 3 月上旬には本種は確認できなかった。今回の本種出現密度調査の結果から, 本種の出現がみられた場

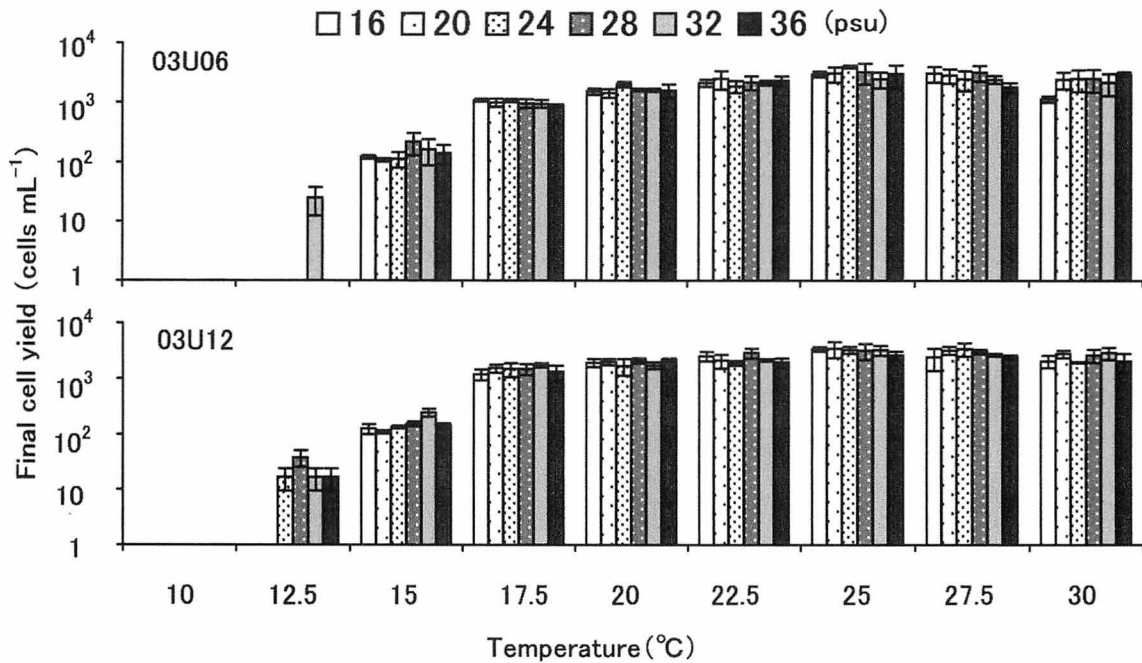


Fig. 6. Final cell yield of two strains of *C. polykrikoides* at different temperature and salinity combinations. Vertical bars indicated standard deviations.

合の現場の水温、塩分値と細胞密度との関係を集約し、Fig. 3に示す。現場で本種の出現が100,000 cells L<sup>-1</sup>出現した時の水温・塩分条件は24.9 – 25.3°Cと塩分は33.45 psuであった。2004年2月と2005年3月中旬の低水温期における本種の細胞密度と出現時の水温・塩分条件をTable 1に示した。本種の出現は低水温期には通常の1 L程度の採水量ではみられないが、10 L程度の採水を行うことで0.1 – 10 cells L<sup>-1</sup>と低密度ながら確認された。本種出現時の水温・塩分範囲は

12.3 – 12.9°Cと塩分34.00 – 34.80 psuであった。本種遊泳細胞は2004年2月には単細胞および2, 3, 4連鎖、2005年3月中旬には単細胞および2連鎖の状態を確認された。終点希釈法による底泥からの休眠シストの発芽は全ての試料で確認されなかった。同湾における珪藻類細胞密度(全定点平均値)の推移(7 – 12月)をFig. 4に示す。7 – 8月には158 – 523 cells mL<sup>-1</sup>で推移していたが、9月は44 – 77 cells mL<sup>-1</sup>に減少、10月は529 – 860 cells mL<sup>-1</sup>に増加、11月には32 –

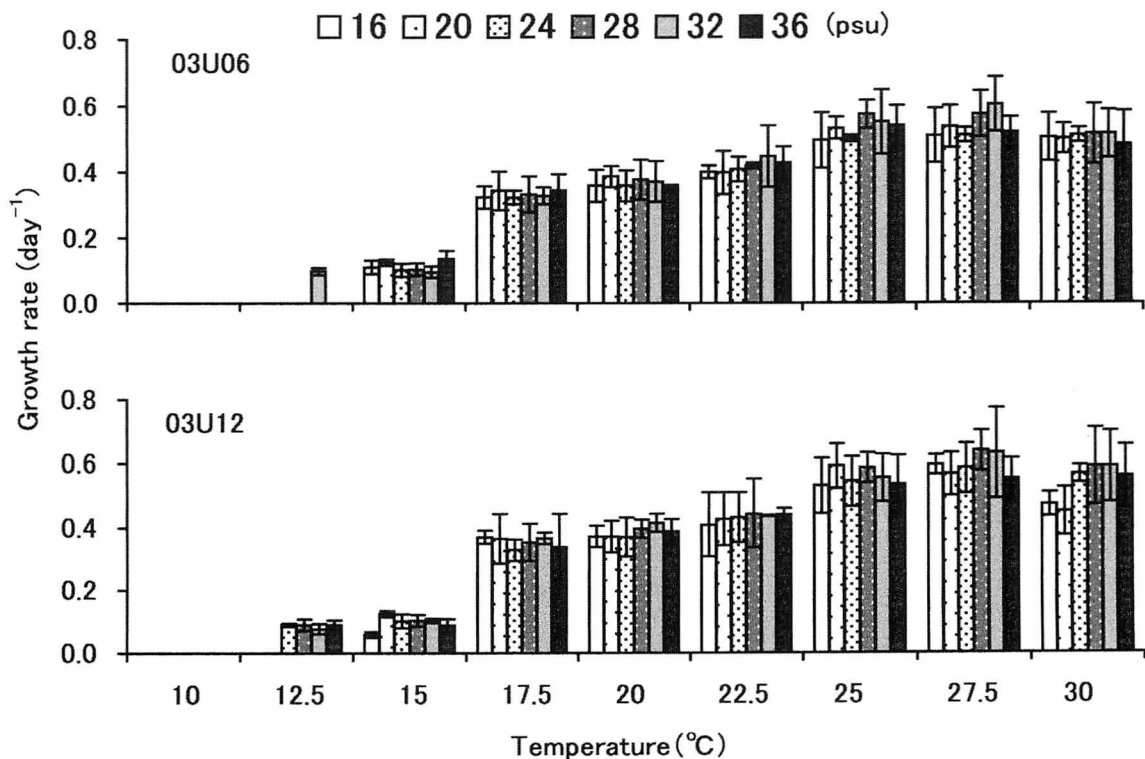


Fig. 7. Growth rate of two strains of *C. polykrikoides* at different temperature and salinity combinations. Vertical bars indicated standard deviations.

50 cells mL<sup>-1</sup>と再び減少、12月には66–104 cells mL<sup>-1</sup>とやや増加した。9月から12月にかけては増減を繰り返す傾向があった。同湾におけるC. polykrikoidesとK. mikimotoiの細胞密度の全定点平均値の推移(7–10月)をFig. 5に示す。K. mikimotoi遊泳細胞の出現がみられたのは7, 8, 10月であった。K. mikimotoi遊泳細胞が最も多く出現したのは7月であり、5–10 mに高密度に分布し、最高細胞密度は10 m層で $11.1 \times 10^3$  cells L<sup>-1</sup>であった。8月の最高出現密度は265 cells L<sup>-1</sup>と減少した。9月には出現は認められず、10月に再び出現が観察されたが、最高細胞密度は10 cells L<sup>-1</sup>であった。この期間中でC. polykrikoidesの遊泳細胞が最も多く出現したのは9月(最高出現密度  $320 \times 10^3$  cells L<sup>-1</sup>)で、10 m以浅では100 cells L<sup>-1</sup>以上みられ、5 m層以浅では10,000 cells L<sup>-1</sup>以上の高密度で分布していた。その前後の7, 8, 10月の出現(最高出現密度  $60 - 5.14 \times 10^3$  cells L<sup>-1</sup>)は比較的少なかった。

#### 増殖に及ぼす水温と塩分の影響

C. polykrikoides 2株の水温と塩分との組み合わせにおける最終細胞収量をFig. 6, 比増殖速度をFig. 7に示す。10℃では2株ともすべての塩分で増殖はみられなかった。12.5℃では03U06株が塩分32, 03U12株が塩分24–36 psuで増殖が認められ、最終細胞収量は17–36 cells mL<sup>-1</sup>, 比増殖速度は0.08–0.10 day<sup>-1</sup>であった。15–30℃では2株とも全ての塩分で増殖が認められ、最終細胞収量は $0.108 \times 10^3 - 3.47 \times 10^3$  cells mL<sup>-1</sup>, 比増殖速度は0.06–0.63 day<sup>-1</sup>であった。2株の最大比増殖速度は0.60–0.64 day<sup>-1</sup>であり、その時の水温・塩分の組み合わせはそれぞれ、03U06株が27.5℃と塩分32 psu, 03U12株が27.5℃と塩分28 psuであった(Fig. 7)。

#### 考察

C. polykrikoidesの出現は薄香湾において、Fig. 2に示したように2004年2月から2005年3月の14カ月間ほぼ周年にわたって継続的に確認(0.1– $320 \times 10^3$  cells L<sup>-1</sup>)され、高水温期に多く、低水温期に少ない傾向にあった。出現が確認されなかったのは2004年3月と2005年3月上旬の2回のみであったが、その前後の2004年2月と2005年3月中旬には、採水量を多くすることで、低細胞密度(0.1–10 cells L<sup>-1</sup>)での出現が観察された。これらのことから、出現がみられなかった調査時にも本種は非常に低密度で存在していた可能性が考えられる。本種出現時の最低水温は12.3℃であり、長崎県県北水産普及指導センターが薄香湾汐ノ浦地先で、概ね毎月3回実施している水温調査(1987–2000年)の表層水温の最低値である12.0℃にほぼ近い値であった。したがって、薄香湾では本種は周年にわたって、遊泳細胞の状態で見られるものと考えられる。冬季における本種遊泳細胞は他海域においても観察されている(宮村・田村 2003, 金・本城 2005)ことから、冬季水温が12℃以上で推移する海域では遊泳細胞の状態で見られると指摘できる。薄香湾では、冬季の最低水温期(水温12.3–12.9℃)における本種遊泳細胞の出現

様子は単細胞, 2, 3, 4連鎖の状態で見られる。他の海域で本種が冬季に確認された時の遊泳細胞は単細胞の状態で見られる(金・本城 2005)。このように本種は低密度出現時には単細胞で見られることがあり、本種単細胞には他の形態的類似種の存在が知られている(松岡・小田 2005)ことから、今後は赤潮発生予察の観点からも、本種の単細胞の形態的特徴を明確に把握しておく必要がある。

C. polykrikoidesは、Fig. 2, 4からみて、珪藻類の細胞密度が低い時期に多く、逆に珪藻類が多い時には少ない出現にとどまった。また、C. polykrikoidesとK. mikimotoiの関係を見ると、両者間には種の交替現象がみられた。つまり、C. polykrikoidesはK. mikimotoiの細胞密度が高い7月には少なかったが、K. mikimotoiの細胞密度が低下した8月には増加しはじめ、K. mikimotoiが出現しなかった9月には急増した。その後、C. polykrikoidesが激減した10月になるとK. mikimotoiが少量で再び出現した。このようなC. polykrikoidesとK. mikimotoiの交替(三重県水産技術開発センター 1987, 山砥ら 2003)やC. polykrikoidesと珪藻類およびK. mikimotoi(金・本城 2005)の種間交替現象は他の海域でも観察されていることから、これらの間には増殖の競合関係があることが示唆された。さらに、今回の調査結果から、昼間C. polykrikoidesは5 m以浅、K. mikimotoiは5–10 m層に高密度に分布することが明らかとなった。これらのことは、現場調査と培養実験の結果から、C. polykrikoidesは5.9 m以浅で赤潮を形成する増殖能を有すると推測されている(山砥ら 2005)こと、K. mikimotoiの分布の中心は大村湾では10 m層にあること(飯塚・入江 1969)とよく一致した。

今回のFig. 6, 7に示した室内実験結果に基づくと、C. polykrikoidesは低水温(12.5℃)での増殖が可能であった。これまで調べられてきた他海域産株では低水温(10–12.5℃)で増殖し、遊泳細胞の状態で見られる可能性が示唆されており(山砥ら 2005)、同様の低温耐性をもつ薄香湾個体群はやはり遊泳細胞での越冬が可能と考えられる。C. polykrikoidesが現場で赤潮と視認される細胞密度はおおよそ500 cells mL<sup>-1</sup>以上である(山砥ら 2005)。本実験株2株は17.5–30℃, 塩分16–36 psuの範囲で共通して細胞最終収量が867 cells mL<sup>-1</sup>以上であったことから、17℃程度の水温でも赤潮を形成する増殖能を有していると考えられる。このことは、薄香湾で12月に赤潮を形成した時の水温・塩分条件が16.6–18.5℃, 塩分34.11–35.92 psuであった(長崎県 1992, 1993)ことと一致する。他の海域でも大分県猪ノ串湾では約17℃で本種赤潮が観察されている(宮村・田村 2003)。また、高知県野見湾で本種赤潮が発生し(独立行政法人水産総合研究センター 2004)、その時の水温は17–19℃であったとの情報を高知県水産試験場の担当者から得ている(私信)。本実験株2株は12.5–30℃, 塩分16–36 psuの範囲では、比増殖速度が増殖最適温度(27.5℃)および塩分(28–32 psu)に向かって緩やかに上昇する共通の増殖応答を示した。本種の水温・塩分に関する最適増殖条件については、古江湾

産株が25°Cと塩分34 psu (Kim *et al.* 2004), 韓国産株が22–25°Cと塩分35 psu付近 (尹2001), 伊万里湾産株が27.5°Cと塩分32 psu (山砥ら 2003), 対馬浅茅湾, 上五島奈摩湾および青方湾産株が27.5°Cと塩分28–32 psuとの結果が報告されている (山砥ら 2005)。最適塩分範囲は本実験株とほぼ同じであるが, 最適増殖を与える水温に関しては報告結果に差がみられ, 本株は若干高水温を好むと判断された。八代海での赤潮現場調査の結果では, 本種赤潮は表層水温27–28°Cで発生しており (荒牧ら 1994), 今回得られた培養実験の最適温度とほぼ一致していた。

以上のことから *C. polykrikoides* は冬季水温が12°C以上で推移する薄香湾において, 遊泳細胞の状態越冬し, 冬季(17°C程度)でも赤潮を形成する増殖能を有し, 高水温(25–27.5°C程度), 高塩分(28–32 psu)条件では短期間に高密度に増殖する可能性が高いと判断された。今後は, 本種の越冬遊泳細胞が次の高水温期における赤潮の seed population となっていることを証明するため, 遺伝学的方法による裏付けが望まれる。また, 本種とその類似種の単細胞状態での形態的特徴の把握が必要となる。

## 謝辞

この調査研究に際してご助言等を賜った京都大学大学院今井一郎博士, 独立行政法人水産総合研究センター瀬戸内海区水産研究所の山口峰生博士に深く感謝します。また, 情報提供頂いた高知県水産試験場の林芳弘研究員, 現場調査にご尽力頂いた薄香漁業協同組合の皆様, 現長崎県壱岐水産業普及指導センターの舩田大作氏にお礼申し上げます。

## 文献

- 荒牧孝行・折田和三・徳永成光 1994. 八代海(鹿児島県海域)に出現した赤潮. p. 6–27. 平成5年度赤潮対策技術開発試験. 九州シャットネラ赤潮広域共同調査報告書. 水産庁. 東京.
- 独立行政法人水産総合研究センター・瀬戸内海区水産研究所 2002–2003. 漁場環境保全関係試験研究推進会議. 赤潮・貝毒部会議事要録: 6–9.
- 独立行政法人水産総合研究センター・瀬戸内海区水産研究所 2004. 漁場環境保全関係試験研究推進会議. 赤潮・貝毒部会議事要録: 7–11.
- 飯塚昭二・入江春彦 1969. 大村湾における *Gymnodinium* 赤潮発生と海底水無酸素化現象との関連. 日本プランクトン学会報 16: 99–115.
- 伊藤克彦・今井一郎 1987. ラフィド藻. p. 122–130. 日本資源保護協会(編) 赤潮生物研究指針. 秀和. 東京.
- 今井一郎 2000. 赤潮微細藻類の計数と無菌培養法. p. 85–90. 石田祐三郎・杉田治男(編)「海洋環境アセスメントのための微生物

実験法」. 恒星社厚生閣. 東京.

- Kim, D.-I., Matsuyama, Y., Nagasoe, S., Yamaguchi, M., Yoon, Y. -H., Oshima, Y., Imada, N. and Honjo, T. 2004. Effects of temperature, salinity and irradiance on the growth of the harmful red tide dinoflagellate *Cochlodinium polykrikoides* Margalef (Dinophyceae). *J. Plankton Res.* 26: 61–66.
- Kim, C.-H., Cho, H.-J., Shin, J.-B., Moon, C.-H. and Matsuoka, K. 2002. Overwintering potential of hyaline cysts of *Cochlodinium polykrikoides* (Gymnodiniales, Dinophyceae): An annual red tide organism along the Korean coast. *Phycologia*. 41: 667–669.
- 金 大一・本城凡夫 2005. 八代海における *Cochlodinium polykrikoides* の赤潮. p. 40–47. 月刊海洋. 海洋出版. 東京.
- 九州漁業調整事務所 2001, 2003–2004. 九州海域の赤潮. 九州漁業調整事務所. 福岡.
- 松岡数充・岩滝光儀 2004. 有害渦鞭毛藻 *Cochlodinium polykrikoides* Margalef 研究の現状. 日本プランクトン学会報 51: 38–45.
- 松岡数充・小田達也 2005. コクロディニウムの分布特性とその魚毒性. 平成16年度川上から川下に至る豊かで多様性のある海づくり事業赤潮等被害防止対策事業報告書. 水産庁. 東京. (印刷中)
- 三重県水産技術開発センター 1987. ギムノディニウム赤潮発生に対応した養殖及び漁場適正利用手法に関する研究. p. 24–29. 昭和61年度赤潮対策技術開発試験報告書. 水産庁. 東京.
- 長崎県総合水産試験場 1992–1993, 2004. 赤潮プランクトン等監視調査事業報告書—I — 長崎県下における赤潮の発生状況—. 長崎.
- 岡市友利・西尾幸郎・今富幸也 1982. 有毒プランクトン研究法. p. 26. 「有毒プランクトン—発生・作用機構・毒成分」(日本水産学会編) 水産学シリーズ42. 恒星社厚生閣. 東京.
- 宮村和良・田村勇司 2003. 漁場監視強化対策事業有害プランクトン生理・生態研究. p. 134–140. 平成14年度事業報告. 大分県海洋水産研究センター. 大分.
- Watanabe, M. M., Nakamura, Y., Yamochi, S. and Mori, S. 1982. Effects of physico-chemical factors and nutrients on the growth of *Heterosigma akashiwo* Hada from Osaka Bay, Japan. *Jpn. J. Phycol.* 30: 279–288.
- 山砥稔文・丸田 肇・浦 賢二郎 2003. 1999年伊万里湾に出現した *Cochlodinium polykrikoides* Margalef の赤潮発生状況と増殖特性. 長崎水試研報 28: 21–26.
- 山砥稔文・坂口昌生・岩滝光儀・松岡数充 2005. 西九州沿岸に分布する有害渦鞭毛藻 *Cochlodinium polykrikoides* Margalef の増殖に及ぼす水温, 塩分および光強度の影響. 日本プランクトン学会報 52: 4–10.
- 山本民次・樽谷賢治 1997. 広島湾産有害渦鞭毛藻 *Alexandrium tamarense* の増殖に及ぼす水温, 塩分及び光強度の影響. 藻類 45: 95–101.
- 尹 良湖 2001. 韓国沿岸海域における渦鞭毛藻, *Cochlodinium polykrikoides* 赤潮の発生機構に関する一つの考察. 日本プランクトン学会報 48: 113–120.

(Received 10 June 2005; Accepted 3 Oct. 2005)

