

諫早湾に出現する有害赤潮鞭毛藻4種の 増殖に及ぼす水温、塩分の影響

山砥稔文,^{1*} 坂口昌生,¹ 岩滝光儀,² 松岡敷充²

(2005年6月24日受付, 2005年9月14日受理)

¹長崎県総合水産試験場, ²長崎大学環東シナ海海洋環境資源研究センター

Effects of temperature and salinity on the growth of four harmful red tide
flagellates occurring in Isahaya Bay in Ariake Sound, Japan

TOSHIFUMI YAMATOI,^{1*} MASAO SAKAGUCHI,¹
MITSUNORI IWATAKI,² AND KAZUMI MATSUOKA²

¹Nagasaki Prefectural Institute of Fisheries, Taira, Nagasaki 851-2213, ²Institute for East China Sea Research,
Nagasaki University, Taira, Nagasaki 851-2213, Japan

Three harmful red tide causative raphidophytes *Chattonella antiqua* (Hada) Ono, *Chattonella marina* (Subrahmanyam) Hara et Chihara and *Heterosigma akashiwo* Hada, and a dinoflagellate *Cochlodinium polykrikoides* Margalef were isolated from Isahaya Bay, Japan in 2003-2004. The growth characteristics of these four clonal cultures were examined in 60 different combinations of temperature (10-32.5°C) and salinity (16-36) under a light intensity of 80 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. *C. antiqua* reproduced at 15-32.5°C and 16-36 PSU, and the maximum growth rate was 0.99 day^{-1} at 30°C and 32 PSU. *C. marina* reproduced at 12.5-32.5°C and 16-36 PSU. The maximum growth rate was 0.83 day^{-1} , which was obtained at 30°C and 24 PSU. *H. akashiwo* reproduced at 10-32.5°C and 16-36 PSU. The maximum growth rate was 1.14 day^{-1} at 25°C and 24 PSU. *C. polykrikoides* reproduced at 10-32.5°C and 16-36 PSU. The maximum growth rate was 0.56 day^{-1} at 27.5°C and 32 PSU. Four red tide flagellates examined in this study appeared to be euryhaline. The optimum temperatures for maximum growth were different in each species and these conditions clearly corresponded with recent red tide occurrences in Isahaya Bay. Compared with growth conditions previously reported, four isolates from Isahaya Bay are likely to tolerate relatively higher temperature.

キーワード: *Chattonella antiqua*, *Chattonella marina*, *Cochlodinium polykrikoides*, *Heterosigma akashiwo*, 赤潮, 諫早湾, 比増殖速度

西日本における代表的な沿岸浅海域の一つであり、古くから多様な生物資源の宝庫として知られてきた有明海¹⁻⁵⁾では、近年、赤潮の発生件数が増加し、それによる漁業被害件数も増加傾向にある。⁶⁻⁹⁾ 有明海全体で見ると、珪藻類を原因種とする赤潮が多いのに対して、有明海の中西部長崎県側に位置する一支湾の諫早湾¹⁾ではラフィド藻 (*Chattonella antiqua* (Hada) Ono, *Chattonella marina* Hara et Chihara, *Heterosigma akashiwo* Hada) や渦鞭毛藻 (*Cochlodinium polykrikoides* Margalef) などの有害赤潮が多発する傾向にある。⁹⁾ 諫早湾の主な漁

業対象種はアサリ等の貝類で、^{10,11)} その他定置網漁業等も行われている。同湾では1998年以降毎年、夏季にアサリの斃死が生じ、大量斃死もしばしば確認されるようになり、¹¹⁾ 安定した生産を阻害する最大の要因となっている。また、タイラギ、マテガイ、コケガラス等の二枚貝、クロダイ、コノシロ、スズキ等の魚類、シャコ、イシガニ等の甲殻類の斃死も確認^{6,11)}されるなど、水産振興上大きな問題となっている。これらの斃死要因については、*Chattonella* 赤潮^{11,12)}や貧酸素と高水温¹¹⁾の可能性が考えられているが、これらの要因が単独あるいは複

* Tel : 81-95-850-6316. Fax : 81-95-850-6374. Email : yamatogi@marinelabo.nagasaki.nagasaki.jp

合してアサリの斃死を引き起こしているのかという疑問に対して明確な解答はない。いずれにしてもアサリ等浅海定着性底生生物は赤潮、貧酸素、高水温等環境変化にその生残が強く影響される。従って、アサリの大量斃死を防止・軽減するためには、貧酸素や赤潮の発生機構を解明することは急務である。赤潮現象は特定種の大増殖が前提であるが、このような赤潮種の大増殖の要因が何であるのかを知るためには、原因種の基本的増殖条件を明らかにすることが必須である。一般的に植物プランクトンの増殖特性は海域ごとに差異があると考えられる^{13,14)}ので、赤潮原因種でもその基本的増殖特性は海域ごとに把握する必要がある。また、内湾域において特定の赤潮原因プランクトンは毎年特定の季節に優占することが知られている。^{15,16)}この傾向は諫早湾においてもみられ、数種の有害種が特定の季節に赤潮を形成している。⁹⁾このように特定有害種が特定時期に赤潮を引き起こす環境要因として、水温、塩分が考えられる。特に、水温は赤潮原因種の生存、増殖、生活史等にきわめて重要な影響を及ぼす。¹⁷⁾諫早湾の海域特性の一つとして、夏季に 30°C 以上の高水温環境が表層を中心に形成されることが挙げられる。また、本湾では前述の高水温時に有害赤潮原因種として *C. antiqua*, *C. marina*, *H. akashiwo*, *C. polykrikoides* の 4 種がこれまでに確認されてきた。¹⁸⁾本研究では、諫早湾における有害赤潮発生機構解明の観点から、その基礎資料を得るために同湾で 2003～2004 年に分離した有害赤潮種 4 種 *C. antiqua*, *C. marina*, *H. akashiwo*, *C. polykrikoides* の培養株を用い、増殖に及ぼす水温と塩分の影響について室内実験を行った。

試料および方法

供試株と培地 実験に用いた *C. antiqua* 04A3 株は諫早湾口部、*C. marina* 04A1 株は諫早湾内でいずれも 2003 年 11 月に採取した底泥中のシストを発芽させ、得られた遊泳細胞から分離した。*H. akashiwo* 04A2 株、*C. polykrikoides* IS-ND69 株は諫早湾内の海水中からそれぞれ 2004 年、2003 年のいずれも 8 月に採取、分離した。以上 4 株はいずれもピペット洗浄法および泳がせ法¹⁹⁾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 ESM²⁰⁾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, 32.5°C の 10 段階、塩分は 16, 20, 24, 28, 32, 36 の 6 段階とし、それらを組み合わせると計 60 通りに設定した。塩分は 1995 年 7 月に五島西沖約 60 km (32°55.5'N, 128°15.5'E) で採取した表層水を GF/C フィルターを用いてろ過し、基礎海水 (塩分 34.4) 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。培

養はガラス製の試験管 (φ15×150 mm) に培地を 5 mL 入れ、オートクレーブ滅菌後 (120°C, 20 min.) に、保存培地で対数増殖期後期まで前培養された各株を 100 cells/mL 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/m²/s, 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、前培養条件は水温を 17.5, 22.5, 27.5°C, 塩分を 28 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 日までの 3 日間で各実験温度へ移行した。塩分は 28 から各設定条件へ直接移行した。細胞密度は実験開始後 2 日おきに培養液の一部を採取し、界線入りスライドグ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⁻¹) 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とした。

諫早湾における有害赤潮の発生環境 上記培養実験から得られる各試験藻の増殖特性と諫早湾におけるこれらの発生状況および発生環境の関係を検討した。検討に当たっては、長崎県南水産業普及指導センターおよび長崎県総合水産試験場によって実施された本湾における現場赤潮調査^{18,21,22)}で得られたデータの一部を利用した。

結 果

Chattonella antiqua 各水温・塩分条件における 04A3 株の最終細胞収量および比増殖速度を Fig. 1 に示す。10～12.5°C ではすべての塩分で増殖がみられなかった。15°C では、塩分 16～28 で増殖し、最終細胞収量は 53～167 cells/mL, 比増殖速度は 0.09～0.11 day⁻¹ であった。17.5～32.5°C では、すべての塩分で増殖が認められ、得られた最終細胞収量は 0.180×10³～37.9×10³ cells/mL, 比増殖速度は 0.23～0.99 day⁻¹ の範囲にあった。最大比増殖速度 (0.99 day⁻¹) は 30°C, 塩分 28 の条件で得られた。

Chattonella marina 各水温・塩分条件における 04A1 株の最終細胞収量および比増殖速度を Fig. 2 に示す。10°C ではすべての塩分で増殖がみられなかった。12.5°C では、塩分 20 のみ増殖し、最終細胞収量は 87 cells/mL, 比増殖速度は 0.13 day⁻¹ であった。15～32.5°C では、すべての塩分で増殖が認められ、得られた最終細胞収量は 0.64×10³～40.9×10³ cells/mL, 比増殖速度は 0.14～0.83 day⁻¹ の範囲にあった。最大比増殖速度 (0.83 day⁻¹) は 30°C, 塩分 24 の条件で得られた。

Heterosigma akashiwo 各水温・塩分条件における 04A2 株の最終細胞収量および比増殖速度を Fig. 3 に示す。すべての水温、塩分の組み合わせで増殖が認められ、最終細胞収量は 54.6×10³～118×10³ cells/mL, 比

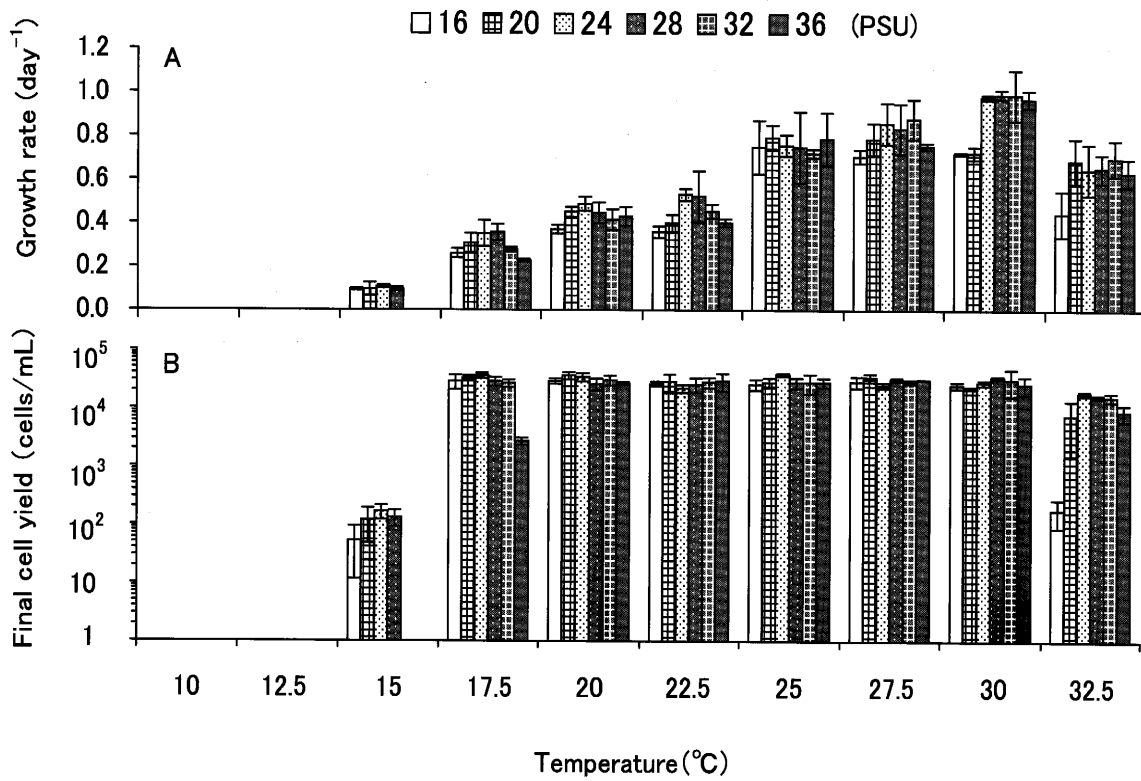


Fig. 1 Growth rate (A) and final cell yield (B) of *Chattonella antiqua* at different temperature and salinity combinations.

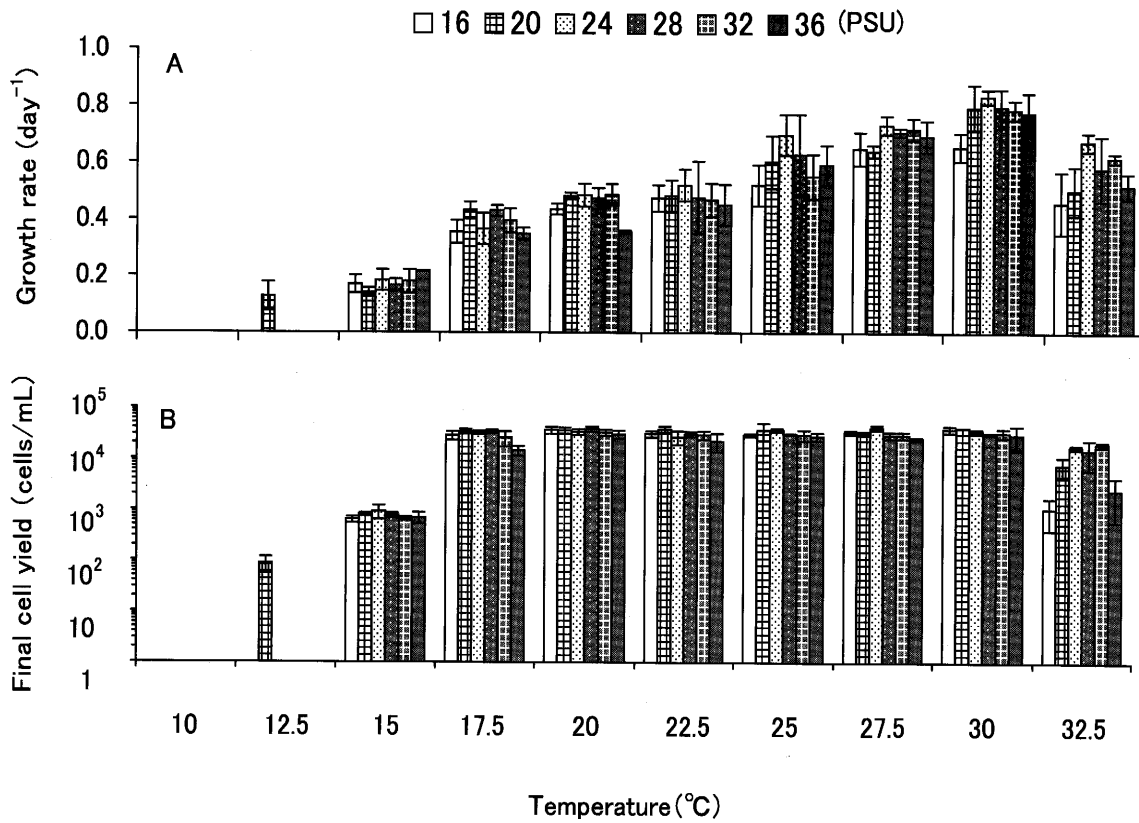


Fig. 2 Growth rate (A) and final cell yield (B) of *Chattonella marina* at different temperature and salinity combinations.

増殖速度は $0.41 \sim 1.14 \text{ day}^{-1}$ の範囲にあった。最大比増殖速度 (1.14 day^{-1}) は 25°C , 塩分 24 の条件で得ら

れた。

Cochlodinium polykrikoides 各水温・塩分条件に

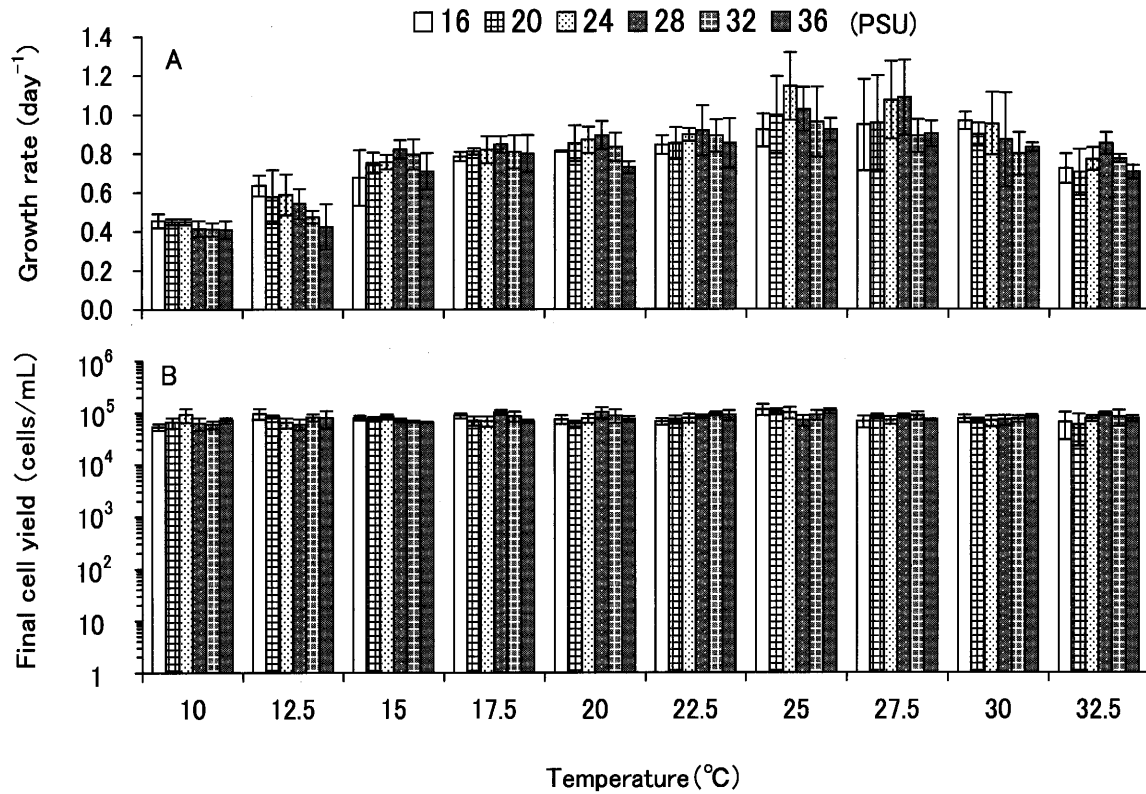


Fig. 3 Growth rate (A) and final cell yield (B) of *Heterosigma akashiwo* at different temperature and salinity combinations.

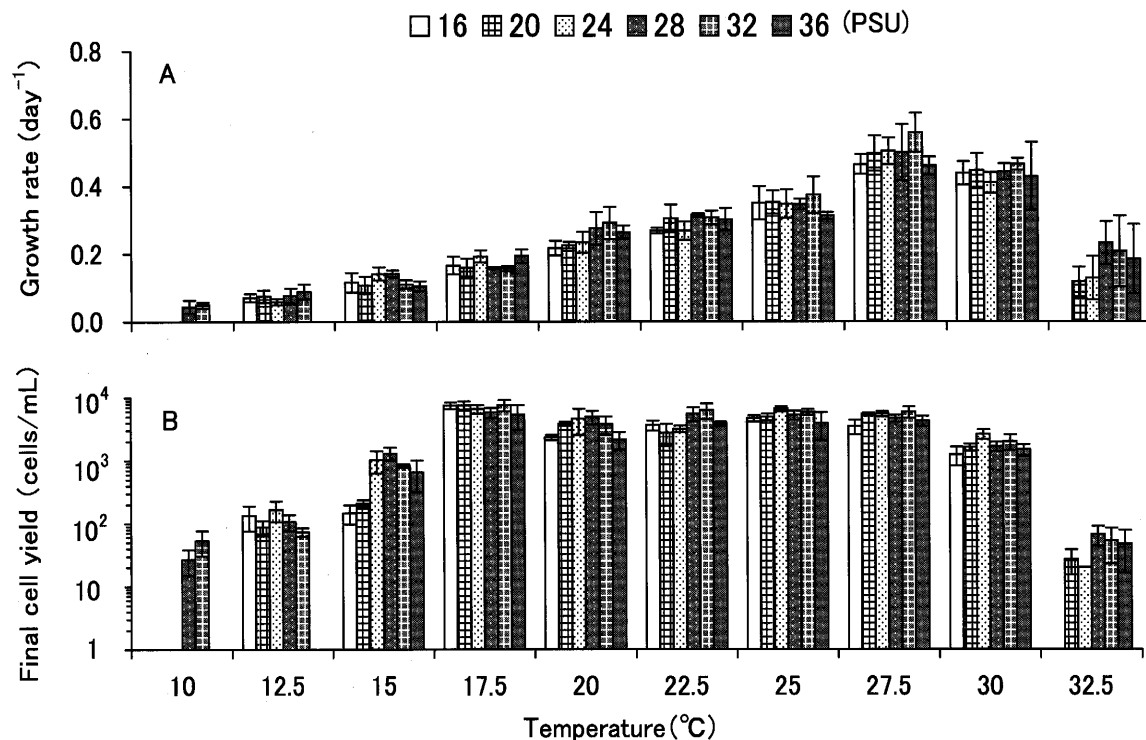


Fig. 4 Growth rate (A) and final cell yield (B) of *Cochlodinium polykrikoides* at different temperature and salinity combinations.

における IS-ND69 株の最終細胞収量および比増殖速度を Fig. 4 に示す。10°C では、塩分 28~32 で増殖し、最終細胞収量は 27~53 cells/mL、比増殖速度は 0.04~0.05 day⁻¹ であった。12.5°C では、塩分 16~32 で増殖し、

最終細胞収量は 73~133 cells/mL、比増殖速度は 0.06~0.09 day⁻¹ であった。15~30°C ではすべての水温、塩分の組み合わせで増殖が認められ、最終細胞収量は 147~7.57 × 10³、比増殖速度は 0.10~0.56 day⁻¹ の範

囲にあった。32.5°Cでは、塩分20~36で増殖し、最終細胞収量は20~67 cells/mL、比増殖速度は0.12~0.23 day⁻¹であった。最大比増殖速度(0.56 day⁻¹)は27.5°C、塩分32の条件で得られた。

考 察

被害を与える細胞密度までの増殖環境 4種鞭毛藻が室内実験で増殖した水温範囲は、*C. antiqua*が15~32.5°C、*C. marina*が12.5~32.5°C、*H. akashiwo*および*C. polykrikoides*が10~32.5°C、塩分範囲はいずれも16~36であったことから、これら4種は広い温度・塩分において増殖可能な生理的特性を有していることが明らかとなった。

C. antiqua および *C. marina* が養殖ハマチを斃死させる細胞密度は300 cells/mL以上とされる。²³⁾ 今回の室内実験で最終細胞収量が300 cells/mL以上得られたのは、*C. antiqua*が17.5~32.5°C、*C. marina*が15~32.5°Cであった。また、*C. marina*がアサリの生残に影響を及ぼす細胞密度は 2.5×10^4 cells/mLとされる。¹²⁾ 室内実験で*C. marina*最終細胞収量が 2.5×10^4 cells/mL以

上得られたのは17.5~30°Cであった。*H. akashiwo*が養殖ハマチを斃死させる細胞密度は数万 cells/mLとされる。²⁴⁾ 室内実験で得られた*H. akashiwo*最終細胞収量は水温10~32.5°Cで、 $54.6 \times 10^3 \sim 118 \times 10^3$ cells/mLとなった。*C. polykrikoides*は500 cells/mL程度(450~865 cells/mL)で養殖ヒラマサ、ハマチ、トラフグを斃死させている。²⁵⁾ 室内実験で得られた*C. polykrikoides*最終細胞収量は水温15~30°Cで、 $0.147 \times 10^3 \sim 7.57 \times 10^3$ cells/mLであった。従って、これら4種鞭毛藻は広い温度範囲で魚類あるいは貝類の生残に影響を及ぼす細胞密度まで増殖することが可能である。

比増殖速度と現場出現環境 4種の水温・塩分に対する比増殖速度をFig. 5に、1994~2004年に諫早湾で4種の出現した現場の水温、塩分値をFig. 6に示す。*C. antiqua*出現時の現場水温は23.6~33.1°C、塩分は18.40~35.93であり、ほぼ室内実験で比増殖速度が0.7 day⁻¹以上となる水温25~32.5°C、塩分16~36の範囲内にあった。*C. antiqua*が1000 cells/mL以上出現した時の水温は26.6~33.1°C、塩分は18.40~35.93にあり、比増殖速度が0.8 day⁻¹以上と高くなる水温27.5~

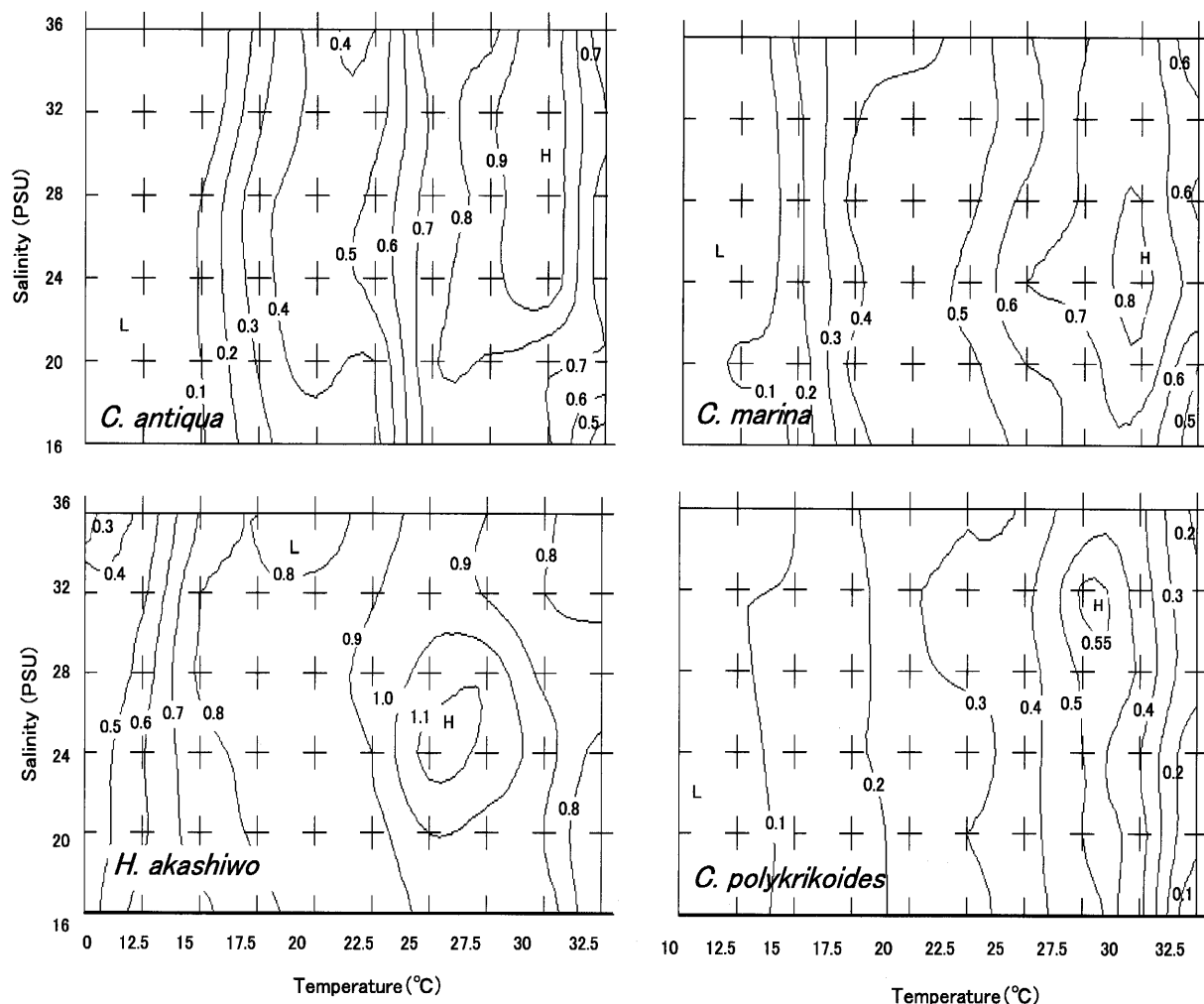


Fig. 5 Growth rate (day⁻¹) of four phytoplankton.

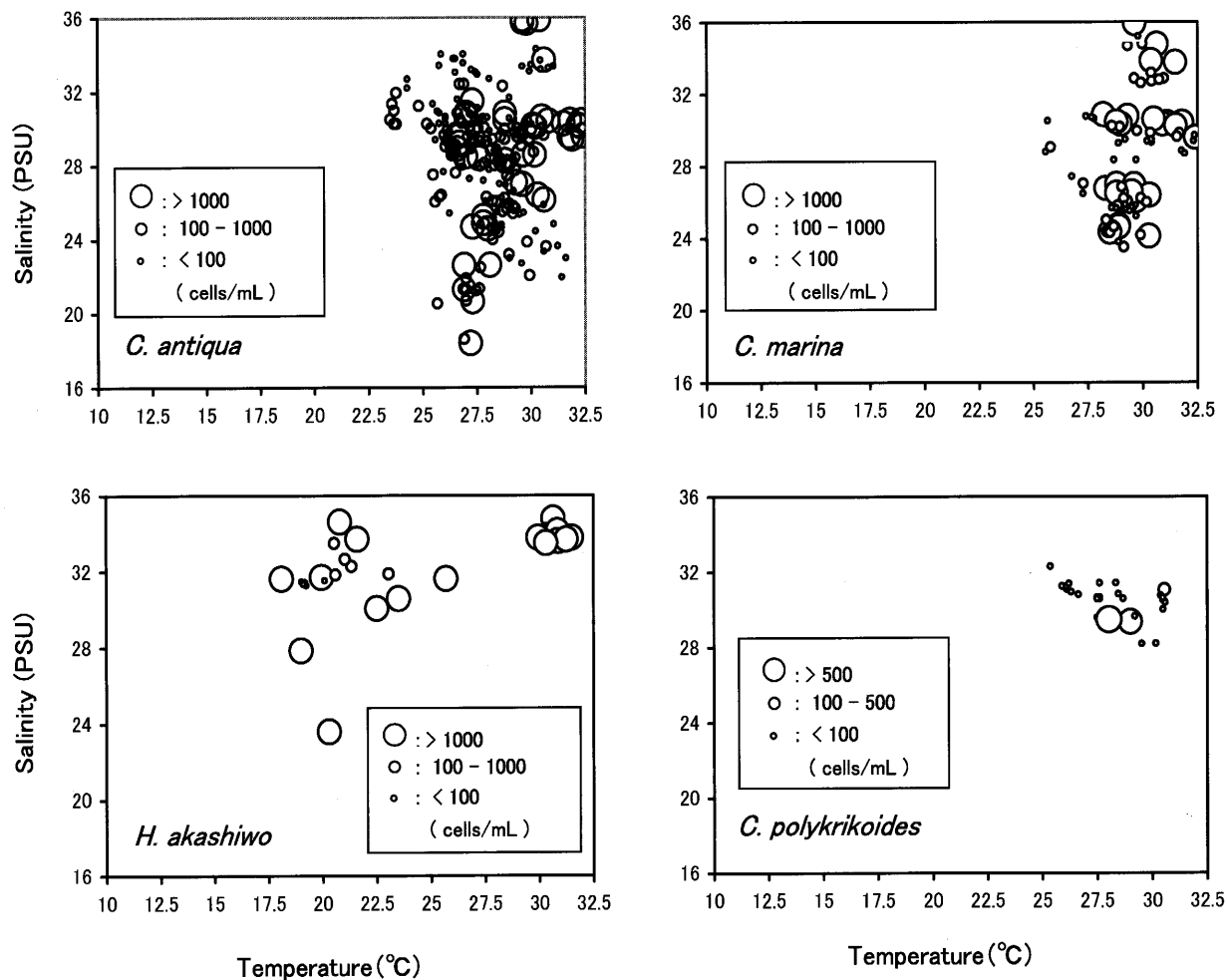




Fig. 6 Relationship among abundance of four phytoplankton, water temperature and salinity in Isahaya Bay during 1994–2004.

30°C, 塩分 20~36 の範囲に一致する場合が多い。このことは *C. antiqua* が高水温時、広い塩分範囲で短期間に高密度増殖する特性を有していることを意味している。*C. marina* 出現時の現場水温は 25.6~33.1°C, 塩分は 23.39~35.93 にあり、ほぼ比増殖速度が 0.6 day^{-1} 以上となる水温 25~32.5°C, 塩分 16~36 の範囲内にあった。*C. marina* が 1000 cells/mL 以上出現した時の水温は 28.2~32.7°C, 塩分は 24.13~35.93 にあり、比増殖速度が 0.7 day^{-1} 以上と高くなる水温 27.5~32.5°C, 塩分 20~36 の範囲に一致する場合が多い。このことから *C. marina* は *C. antiqua* と同様に高水温時、広い塩分範囲で短期間に高密度増殖する特性を有しているといえる。*H. akashiwo* 出現時の現場水温は 18.1~33.1°C, 塩分は 23.60~34.78 にあり、ほぼ比増殖速度が 0.8 day^{-1} 以上となる水温 15~32.5°C, 塩分 16~36 の範囲内にあった。*H. akashiwo* が 1000 cells/mL 以上出現した時の水温は 18.1~31.5°C, 塩分は 23.60~34.78 にあり、*Chattonella* で観察されたような出現時の細胞密度差と出現環境との関係はみられなかった。また、至適増殖環境 (比増殖速度 1.0 day^{-1} 以上を示す水温, 塩分環

境) に相当する水塊の形成は今のところ観察されていない。このことから *H. akashiwo* は *Chattonella* と比較して広い水温, 塩分範囲で高密度に増殖できる特性を有していると考えられる。*C. polykrikoides* 出現時の現場水温は 25.2~30.5°C, 塩分は 27.88~32.22 にあり、ほぼ比増殖速度が 0.4 day^{-1} 以上となる水温 25~30°C, 塩分 16~36 の範囲内にあった。*C. polykrikoides* が 500 cells/mL 以上出現した時の水温は 27.9~29.0°C, 塩分は 29.33~29.36 にあり、ほぼ比増殖速度が 0.55 day^{-1} 以上となる水温 27.5°C, 塩分 28~32 (至適増殖環境) とよく一致した。このことから *C. polykrikoides* は高水温, 高塩分条件で短期間に高密度増殖する特性を有していると考えられる。以上から、諫早湾産有害種 4 種の最適水温・塩分特性を比較すると、*C. antiqua* および *C. marina* は高水温・広塩分型、*H. akashiwo* は広水温・広塩分型、*C. polykrikoides* は高水温・高塩分型の増殖特性を有していることが判明した。諫早湾における 4 種赤潮の近年の発生状況を Table 1 に示す。現場海域では、*C. antiqua*, *C. marina* および *C. polykrikoides* は 7 月中旬から 9 月中旬までの高水温期に赤潮化している

Table 1 Recent red tide occurrences and their periods of four phytoplankton in Isahaya Bay

Species	Year	April		May		Jun		July		August		September	
		early	middle	late	early	middle	late	early	middle	late	early	middle	late
<i>Chattonella antiqua</i>	1989												
	1992												
	1994												
	1996												
	1998												
	1999												
	2000												
	2001												
	2002												
	2003												
2004													
<i>Chattonella marina</i>	1999												
	2002												
	2003												
	2004												
<i>Heterostigma akashiwo</i>	1994												
	1995												
	1997												
	1999												
	2000												
	2001												
	2002												
	2003												
	2004												
	1995												
<i>Cochlodinium polykrikoides</i>	1995												
	1996												
	1999												
	2001												
	2004												

 : > 1000 cells/mL
 : 100 - 1000 cells/mL

のに対し、*H. akashiwo* は4月下旬から8月下旬までの広い水温範囲において赤潮が確認されている。このことから、*C. antiqua*、*C. marina* および *C. polykrikoides* は高水温期に、*H. akashiwo* は広い水温範囲で高密度増殖し、赤潮を形成していることがわかる。

水温に対する増殖応答—他海域産株との比較 *C. antiqua* 播磨灘産株²⁶⁾は15~28°Cで増殖、25°Cで最大増殖速度を示し、10°Cおよび31°Cでは増殖できない。大阪湾産株では、矢持¹⁶⁾は20~30°Cで好適増殖、27°Cでは増殖量が減少、11°C以下で増殖できないとし、山口ら²⁷⁾は15~30°Cで増殖、最適増殖は25°C、10°Cで増殖不可能と報告している。これに対して諫早湾産株は15~32.5°Cで増殖し、最大比増殖速度は30°Cで得られたことから、他海域産株よりも高水温に対する耐性限界がやや大きいと考えられた。*C. marina* 大阪湾産株は21~30°Cで好適増殖、31°Cで増殖量減少、13°C以下で増殖できない。¹⁶⁾ 周防灘産株は15~30°Cで増殖、最適増殖は25°C、10°Cで増殖不可能である。²⁷⁾ 鹿児島湾産株²⁸⁾は17.5~27.5°Cで増殖、適温は22.5°C、15°Cあるいは30°Cでほとんど増殖がみられないと報告されている。諫早湾産株は12.5~32.5°Cで増殖し、最大比増殖速度は30°Cで得られたことから、他海域産株に比べ低水温と高水温に対する耐性限界が大きく、*C. marina* も *C. antiqua* と同様により高水温で高い増殖能を示すものと判断された。また、諫早湾産の *C. antiqua* と *C. marina* が10°Cで増殖できないことは、冬季水温が9~10°Cまで低下する諫早湾¹⁾では、これらの *Chattonella* 両種は遊泳細胞の状態では越冬できないことを意味している。今井²⁹⁾は *Chattonella* はシストの状態では越冬し、11°C以下で成熟、15~30°Cで発芽するとしている。従って、諫早湾産 *Chattonella* 両種は同湾の海洋環境によく適応した生活様式を保有していると考えられる。*H. akashiwo* 大阪湾産株では、矢持¹⁶⁾は概ね10~30°Cで増殖し、好適増殖は18~26°C、最適増殖は22°Cであり、30~31°C以上で増殖が抑制されるとし、Watanabe *et al.*¹⁴⁾は15~25°Cで最適増殖、10°Cおよび30°Cでは増殖速度が急激に減少すると報告している。鹿児島湾産株^{30,31)}は15~30°Cで増殖し、最適増殖は20~25°Cと報じられている。諫早湾産株は10~32.5°Cで増殖し、最大比増殖速度は25°Cで得られたことから、他海域産株に比べ高水温における耐性限界がより高水温側にシフトしていると判断された。特に、30~32.5°Cの高水温でも高い増殖速度(0.70~0.97 day⁻¹)を示すことがわかった。また、本株は10°Cで増殖可能であったことから、諫早湾では *H. akashiwo* は遊泳細胞の状態でも越冬可能と考えられる。今井らは *H. akashiwo* はシストを形成し、³²⁾ 5°Cでは発芽しないが10°Cで僅かに発芽すると報告している。³³⁾ 従って、諫早湾における *H.*

akashiwo の越冬様式については2つの可能性があると考えられる。*C. polykrikoides* 古江湾産株³⁴⁾は15~30°Cで増殖、25°Cで最高の増殖速度を示し、八代海産株は15~30°Cで増殖、25°Cで最も増殖が促進され、³⁵⁾ 韓国産株では10~31°Cで増殖、22~25°Cの水温で最もよく成長すると報じられている。³⁶⁾ 伊万里湾産株³⁷⁾は15~30°Cで増殖、最適増殖条件は27.5°Cである。浅茅湾および青方湾産株は12.5~30°C、奈摩湾産株は10~30°Cで増殖、最適増殖条件はいずれも27.5°Cである。³⁸⁾ 諫早湾産株は10~32.5°Cで増殖し、最大比増殖速度は27.5°Cで得られたことから、他海域産株に比べ低水温と高水温に対する耐性限界がやや大きく、より高水温で高い増殖能を示すものと判断された。本株は10°Cで増殖できることから、諫早湾では *C. polykrikoides* も *H. akashiwo* と同様に遊泳細胞の状態では越冬可能と考えられる。

まとめ 諫早湾産有害赤潮種4種の増殖特性には若干の相違がみられ、*C. antiqua* および *C. marina* が高水温・広塩分型、*H. akashiwo* が広水温・広塩分型、*C. polykrikoides* が高水温・高塩分型の最適増殖特性を保有するが、共通の特徴としては、広水温、広塩分の環境条件で増殖する潜在能力を持ち、特に、高水温期には短期間に高密度増殖する特性を有していると考えられる。従って、諫早湾では今後も、夏季高水温期を中心にこれら4種が赤潮を形成する可能性がきわめて高いと判断される。また、赤潮終期にプランクトンの死骸が沈降すると、特に高水温時の底層では負酸素の形成を促進し、ひいては硫化水素発生を促す可能性がある。今後、移設、給餌制限等が難しいアサリ等浅海定着性底生生物の被害防止・軽減のため、これら有害種が赤潮を形成する可能性が高い高水温時には、モニタリングを強化することによって初期発生段階を把握し、有効と考えられる対策(物理的細胞破壊による赤潮駆除法³⁹⁾等)を講ずる必要がある。

謝 辞

この調査研究に際してご助言を賜った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感謝します。また、情報提供頂いた京都大学大学院の今井一郎博士、現場調査等にご協力頂いた長崎県総合水産試験場漁場環境科、長崎県南水産業普及指導センター、島原漁業協同組合および小長井町漁業協同組合の皆様にお礼申し上げます。

文 献

- 1) 日本海洋学会沿岸海洋研究部会編、有明海。日本全国沿岸海洋誌。東海大学出版会、東京。1985; 815-878。
- 2) 中田英昭。有明海の環境と生物生産一序論一。月刊海洋

- 2003; **35**: 213-216.
- 3) 田北 徹. 有明海の漁業生産における河口域の意義について. 月刊海洋 2003; **35**: 216-221.
 - 4) 滝川 清. 有明海の環境・漁業を考える. I. 有明海の変遷と現状. I-1 物理環境有明海特性. 日水誌 2002; **68**: 95-96.
 - 5) 藤田雄二. 有明海の環境・漁業を考える. I-4-(2)漁業—ノリ養殖. 日水誌 2002; **68**: 102-103.
 - 6) 水産庁九州漁業調整事務所. 平成 15 年九州海域の赤潮. 福岡. 2004; 33-51.
 - 7) 板倉 茂. 有明海の環境・漁業を考える. I-3. 赤潮発生の状況. 日水誌 2002; **68**: 99-100.
 - 8) 磯部雅彦. 有明海の環境・漁業を考える. II. 有明海の再生に向けて. II-1 有明海の調査と評価の現状. 日水誌 2002; **68**: 104-105.
 - 9) 松岡数充. 諫早湾における赤潮原因プランクトンの最近の変化. 月刊海洋 2003; **35**: 246-251.
 - 10) 藤井明彦, 山本憲一. 2001 年夏季に諫早湾の浅海域でみられた負酸化について. 長崎水試研報 2002; **28**: 9-14.
 - 11) 藤井明彦, 山本憲一. 諫早湾におけるタイラギ・アサリの現状と問題点. 月刊海洋 2003; **35**: 235-240.
 - 12) Kim D, Kumamoto O, Lee K, Kuroda A, Fujii A, Ishimatsu A, Oda T. Deleterious effect of *Chattonella marina* on short-necked clam (*Ruditapes philippinarum*); possible involvement of reactive oxygen species. *J. Plankton Res.* 2004; **26**: 967-971.
 - 13) 山本民次, 樽谷賢治. 広島湾産有毒渦鞭毛藻 *Alexandrium tamarense* の増殖に及ぼす水温, 塩分及び光強度の影響. 藻類 1997; **45**: 95-101.
 - 14) Watanabe M, Nakamura Y, Yamochi S, Mori S. Effects of physico-chemical factors and nutrients on the growth of *Heterosigma akashiwo* Hada from Osaka Bay, Japan. *Jpn. J. Phycol.* 1982; **30**: 279-288.
 - 15) 藤田則孝, 五十嵐輝夫, 岩井拓郎, 渡辺盛樹. 気仙沼湾における赤潮プランクトンの推移と環境. 宮城県気仙沼水試研報 1979; **5**: 114-139.
 - 16) 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 1984; **34**: 15-22.
 - 17) 今井一郎. ラフィド藻赤潮の発生機構と予知. 「有害・有毒赤潮の発生と予知・防除」(石田祐三郎, 本城凡夫, 福代康夫, 今井一郎編) 水産資源保護協会. 恒星社厚生閣, 東京. 2000; 29-70.
 - 18) 長崎県総合水産試験場. 赤潮プランクトン等監視調査事業報告書—I. 一長崎県下における赤潮の発生状況一, 長崎県総合水産試験場, 長崎. 1995-2005.
 - 19) 今井一郎. 赤潮微細藻類の計数と無菌培養法. 「海洋環境アセスメントのための微生物実験法」(石田祐三郎, 杉田治男編) 恒星社厚生閣, 東京. 2000; 85-90.
 - 20) 岡市友利, 西尾幸郎, 今富幸也. 有毒プランクトン研究法. 「有毒プランクトン—発生・作用機構・毒成分」(日本水産学会編) 恒星社厚生閣, 東京. 1982; 26.
 - 21) 長崎県水産試験場. 赤潮貝毒監視調査事業報告書—I. 一赤潮情報伝達一(長崎県における赤潮の発生状況), 長崎県水産試験場, 長崎. 1990-1994.
 - 22) 長崎県総合水産試験場. 長崎県総合水産試験場事業報告, 長崎県総合水産試験場, 長崎. 2001-2003.
 - 23) 代田昭彦. 赤潮研究の現状と課題—④. 水産の研究, 1988; **7**: 36-42.
 - 24) 折田和三. 1995 年 4 月鹿児島湾で発生したヘテロシグマ赤潮について. 南西海ブロック会議赤潮・環境生物研究会議事要録平成 7 年度, 1996; 7.
 - 25) 九州漁業調整事務所. 平成 13 年九州海域の赤潮. 九州漁業調整事務所, 福岡. 2002; 31-32.
 - 26) Nakamura Y, Watanabe M. M. Growth characteristics of *Chattonella antiqua* (Raphidophyceae) Part I. Effects of temperature, salinity, light intensity and pH on growth. *J. Oceanogr. Soc. Jpn.* 1983; **39**: 110-114.
 - 27) 山口峰生, 今井一郎, 本城凡夫. 有害赤潮ラフィド藻 *Chattonella antiqua* と *C. marina* の増殖に及ぼす水温, 塩分および光強度の影響. 日水誌 1991; **57**: 1277-1284.
 - 28) 野沢治治. 鹿児島湾における赤潮生物の生理特性に関する研究. 「大規模赤潮の形成及び赤潮被害抑止に関する研究」5 年間の研究成果, 水産庁, 東京. 1984; 139-152.
 - 29) 今井一郎. 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. 南西海区水研研報 1990; **23**: 63-166.
 - 30) 鹿児島県水産試験場. 平成 14 年度閉鎖性海域赤潮被害防止対策事業(八代海 鹿児島湾) 報告書. 水産庁, 東京. 2003; 25-30.
 - 31) 鹿児島県水産試験場. 平成 15 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貝毒等被害防止対策事業報告書. 閉鎖性海域赤潮被害防止対策(八代海 鹿児島湾), 水産庁, 東京. 2004; 37-41.
 - 32) Imai I, Itakura S, Itoh K. Cysts of the red tide flagellate *Heterosigma akashiwo*, Raphidophyceae, found in bottom sediments of northern Hiroshima Bay, Japan. *Nippon Suisan Gakkaishi* 1993; **59**: 1669-1673.
 - 33) Imai I, Itakura S. Importance of cysts in the population dynamics of the red tide flagellate *Heterosigma akashiwo* (Raphidophyceae). *Mar. Biol.* 1999; **133**: 755-762.
 - 34) Kim D-I, Matsuyama Y, Nagasoe M, Yamaguchi M, Yoon Y-H, Oshima Y, Imada N, Honjo T. Effects of temperature, salinity and irradiance on the growth of the harmful red tide dinoflagellate *Cochlodinium polykrioides* Margalef (Dinophyceae). *J. Plankton Res.* 2004; **26**: 1-6.
 - 35) 荒牧孝行, 折田和三, 徳永成光. 八代海(鹿児島県海域)に出現した赤潮. 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. 1994; 6-27.
 - 36) 尹 良湖. 韓国沿岸海域における渦鞭毛藻, *Cochlodinium polykrioides* 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 2001; **48**: 113-120.
 - 37) 山砥稔文, 丸田 肇, 浦 賢二郎. 1999 年伊万里湾に出現した *Cochlodinium polykrioides* Margalef の赤潮発生状況と増殖特性. 長崎水試研報 2003; **28**: 21-26.
 - 38) 山砥稔文, 坂口昌生, 岩滝光儀, 松岡数充. 西九州沿岸に分布する有害渦鞭毛藻 *Cochlodinium polykrioides* 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 2005; **52**: 4-10.
 - 39) 中島琢自, 宮崎洋介, 小田達也. 物理的細胞破壊による赤潮防除の有効性. 平成 17 年度日本水産学会九州支部総会・大会講演要旨集, 福岡. 2005; 2.