

長崎県薄香湾における有害赤潮ラフィド藻 *Chattonella* 3 種の出現状況と増殖特性

山砥稔文¹・坂口昌生¹・岩滝光儀²・松岡敷充²

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

²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 Yamatogi¹, Masao Sakaguti¹, Mitsunori Iwataki² and Kazumi Matsuoka²: Occurrence and growth characteristics of three harmful raphidophytes, *Chattonella ovata*, *C. antiqua* and *C. marina* in Usuka Bay, west Japan. Jpn. J. Phycol. (Sôru) 54: 157-164, November 10, 2006

Three harmful red tide causative raphidophytes *Chattonella ovata* Y. Hara et Chihara, *Chattonella antiqua* (Hada) Ono, and *Chattonella marina* (Subrahmanyam) Y. Hara et Chihara occurred in Usuka Bay, Japan in 2005. The growth characteristics of these three clonal cultures were examined in 60 different conditions combined with temperature (10-32.5°C) and salinity (16-36 psu) under a light intensity of 80 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. *C. ovata* reproduced within 10-32.5°C and 16-36 psu, and the maximum growth rate was 1.09 day⁻¹ at 30°C and 28 psu. *C. antiqua* reproduced within 12.5-32.5°C and 16-36 psu, and the maximum growth rate was 1.15 day⁻¹ at 30°C and 24 psu. *C. marina* reproduced within 10-32.5°C and 16-36 psu, and the maximum growth rate was 0.87 day⁻¹ at 30°C and 28 psu. Their growths are characterized by euryhaline. Compared with growth conditions previously reported, they showed the tendency to tolerate relatively lower temperature. These results suggest that three flagellates cause red tides during warm seasons in Usuka Bay.

Key Index Words: harmful raphidophyte, *Chattonella*, monitoring of red tides, growth rate, Usuka Bay

¹Nagasaki Prefectural Institute of Fisheries, 1551-4 Taira, Nagasaki, Nagasaki, 851-2213 Japan

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

海産ラフィド藻 *Chattonella*, 特に *Chattonella antiqua* (Hada) Ono と *Chattonella marina* (Subrahmanyam) Y. Hara et Chihara は大規模な赤潮を形成し、養殖魚類の大量斃死を引き起こす原因生物として知られている。西日本における *Chattonella* 赤潮による漁業被害は世界最大規模であり、現在も続いている (水産庁九州漁業調整事務所 2006, 今井 2000a, Imai et al. 2006)。一方、これら *Chattonella* 属 2 種とは細胞外形および発達した液胞の存在により識別できる *C. ovata* Y. Hara et Chihara は (Fig. 1), 瀬戸内海等における出現は確認されていたものの、この種が優占する赤潮は確認されていなかった。従って、これまでこの種を有害種として認識することはなかった (原 1990, Hara et al. 1994)。しかし、2004 年夏季に瀬戸内海のほぼ全域で *C. ovata* による赤潮が発生し、養殖ヒラメ、マダイ、ハマチに金額として約 2 億円の被害をもたらした (水産庁瀬戸内海区漁業調整事務所 2005)。同種は本邦では瀬戸内海播磨灘と鹿児島湾に出現すること (今井・伊藤 1985, 吉松・小野 1986, Hara et al. 1994) や *C. antiqua*, *C. marina* と混合して出現することが多いこと (吉松 2006) が知られるが、詳細な出現状況や生育分布域等に関する情報は極めて少ない (原・千原 1987, 原 1990)。長崎県沿岸域では、過去に *C. antiqua* と *C. marina* による赤潮が発生し、それに伴う漁業被害も報告されているが、*C. ovata* の出現も赤潮も未確認であつ

た (長崎県水産試験場 1979-1997, 長崎県総合水産試験場 1998-2005a)。

これらの赤潮による漁業被害を防止するためにはそれぞれの出現状況や増殖特性等、基本的な情報を把握することが重要である。特に、*C. ovata* については、出現や赤潮発生事例が少なく、あらかじめ出現状況や増殖特性を把握しておくことが漁業被害を未然に防止するのに有効と考えられる。

これらの *Chattonella* の出現は全国第 2 位の海面養殖業生産額のある長崎県にとって脅威である。2004 年と 2005 年には、福岡県豊前市沿岸域 (瀬戸内海周防灘) で、*C. ovata* の出現が確認されており (江藤・長本 2006, 独立行政法人水産総合研究センター 2005), 分布の拡大が懸念されていた。このような特定赤潮種の天然における増殖の要因を知るためには、培養株を用いた室内実験により、その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ており (山本・樽谷 1997, Watanabe et al. 1982, 山砥ら 2006), *Chattonella* 属の種類でもそれらの基本的増殖特性を海域ごとに把握する必要がある。

本研究では、長崎県沿岸域で魚類養殖が行われている海域を中心に、特にこれまで *C. antiqua* と *C. marina* の出現と赤潮発生が確認されている海域において、*C. ovata*, *C. antiqua* および *C. marina* の出現動態を把握するための分布調査を実

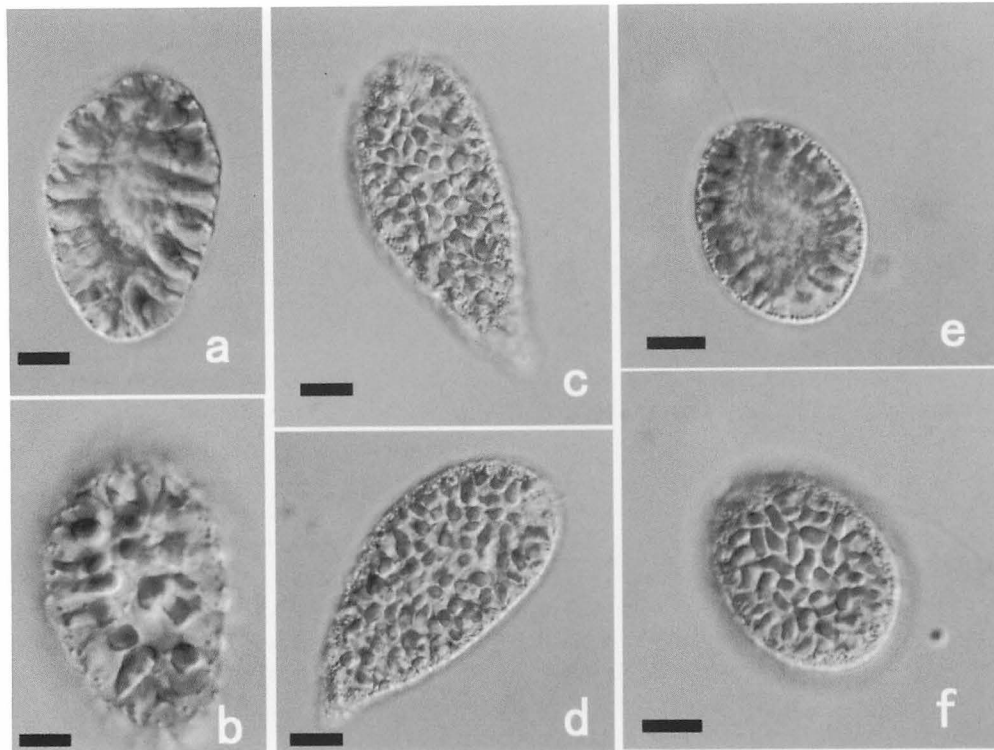


Fig. 1. Light microscopic photographs of three species of *Chattonella* collected from Usuka Bay. a, b: *C. ovata* (05U3 strain); c, d: *C. antiqua* (04U1 strain); e, f: *C. marina* (05U1 strain). Scale bar = 10 μ m.

施するとともに、薄香湾で分離した培養株を用い、それらの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ので、報告する。

材料と方法

Chattonella 3種の分布調査

現場調査は2005年4月-2006年3月に、長崎県平戸島の薄香湾、伊万里湾、大村湾、橘湾、有明海、対馬の浅茅湾、三浦湾、五島列島の奈摩湾、青方湾、計9海域に設定した定点(計39定点)で、有明海、伊万里湾は夏季(6-9月)、他の7海域は周年、概ね月1回の頻度で遊泳細胞の出現密度を調べた(Fig. 2)。試水は原則として水深2m層で採取し、必要に応じて0.5, 5, 10m層、およびB-1m(海底面上1m)層でも採取した。採取した試水中の細胞数の計数は、当日から翌日までに研究室で行った。有明海、伊万里湾のサンプルは、生海水(1×3mL)中の細胞数を、他の7海域のサンプルは、各層毎の試水(0.2-1L)をセルロースアセテートフィルター(東洋ろ紙社製、 ϕ 8 μ m)によって常圧濃縮後(濃縮率は約100-500倍)、全量の細胞数を計数した。採水時には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。

供試株と培地

実験に用いた*C. ovata* 05U3株、*C. marina* 05U1株はいずれも薄香湾内の海中から2005年9月に分離確立した。*C. antiqua* 04U1株は2004年3月に採取した海底泥中のシストを発芽させ、得られた遊泳細胞から分離確立した。以上3株はいずれもピペット洗浄法(今井2000b)によってクローン株とした(Fig. 1)。これら3株の細菌検査は実施していないが、培

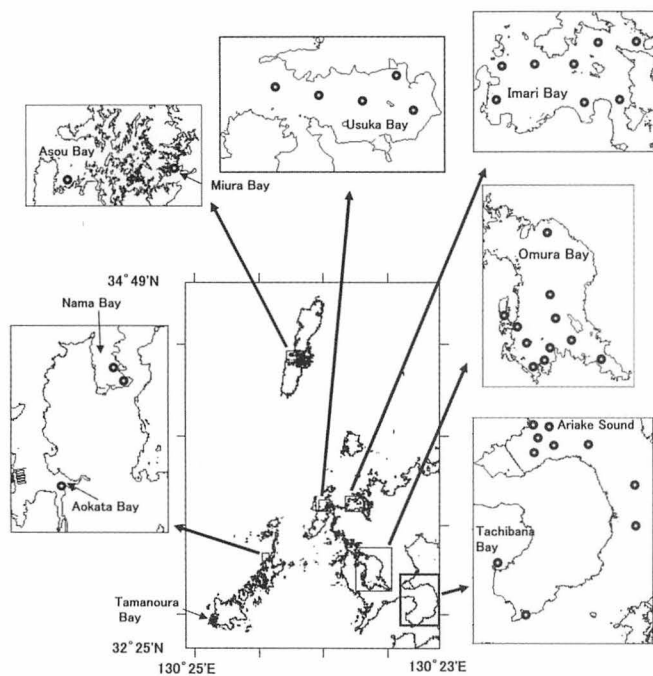


Fig. 2. Maps showing sampling stations (●) of coastal waters in Nagasaki Prefecture.

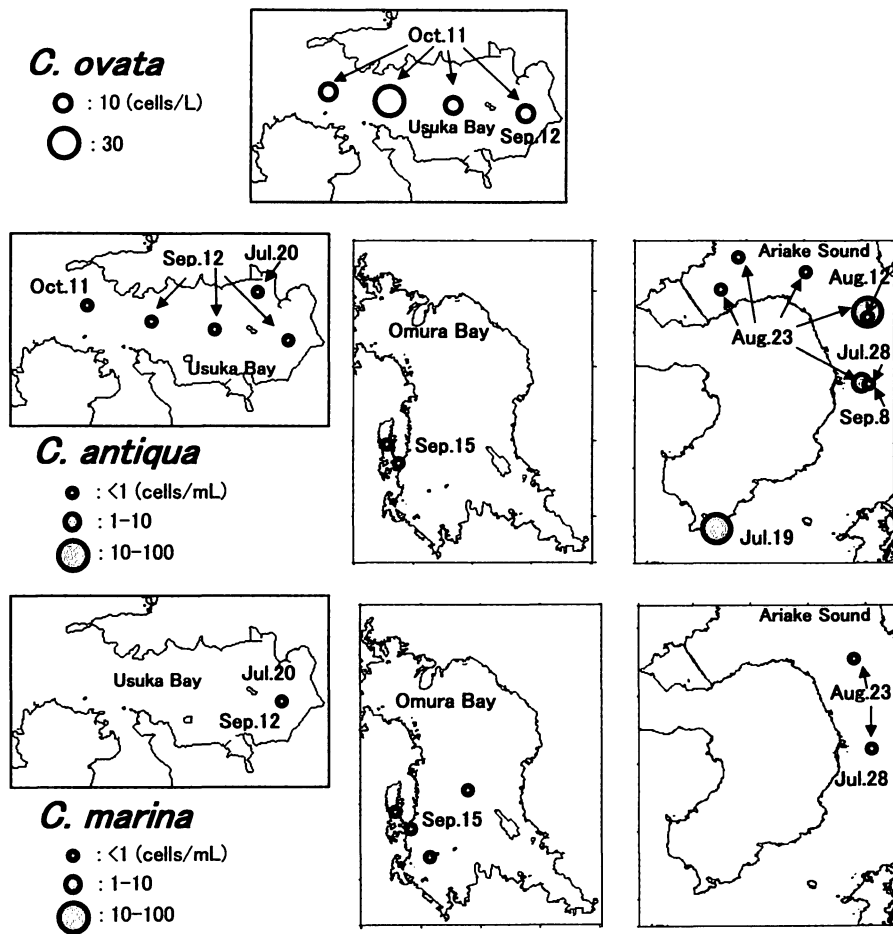


Fig. 3. Maps showing the maximum cell densities and distributions of three species of *Chattonella* in each sampling station of Nagasaki Prefecture in 2005.

養実験終了時、培養液の白濁は認められなかったことから、バクテリアによる汚染は最小限に抑えられたと判断した。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

増殖実験は水温を 10, 12.5, 15, 17.5, 20, 22.5, 25, 27.5, 30, 32.5°C の 10 段階、塩分を 16, 20, 24, 28, 32, 36 psu の 6 段階の組み合わせ、計 60 通りで実施した。塩分の調整は 1999 年 3 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 ガラス繊維濾紙でろ過したものを基本海水 (塩分 34.2 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行った。ESM 添加による培地の塩分変化は極めて僅少であることを確認した。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 (120°C, 20 min) 後に、対数増殖期後期まで前培養した藻体を 100 cells mL⁻¹ の密度になるように実験培地へ接種し、3 本立てで、光強度 80 μmol m⁻² s⁻¹, 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、この前培養は水温を 17.5, 22.5, 27.5°C のいずれかで、塩分は 28 psu で行った。それぞれの実験の温

度条件への馴化は 1 日に 1-2.5°C ずつ上昇あるいは下降させて行い、0-2 日目までの 3 日間を要した。細胞の計数は実験開始後、2 日おきに培養液の一部を採取しプランクトン計数板を用いて行った。計数結果を片対数グラフにプロットし、対数増殖期の直線部分に基づき、最小二乗法により比増殖速度 (μ) を求めた。 μ は内的自然増加率 (day⁻¹) を表す。また、定常期の最高細胞密度と初期細胞密度の差を最終細胞収量 (cells mL⁻¹) とした。なお、室内実験で得られた増殖特性と、薄香湾および近隣水域 (大村湾以北) におけるこれらの発生状況および発生環境との関係を検討するため、長崎県の各水産業普及指導センター (県央, 県北, 上五島, 対馬) および総合水産試験場によって実施された現場赤潮調査 (長崎県水産試験場 1979-1997, 長崎県水産試験場 1992-1997, 長崎県総合水産試験場 1998-2005a, b) で得られたデータの一部を利用した。

結果

Chattonella 3 種の出現状況

調査期間中、*Chattonella* 3 種の出現は 2005 年の 7 月から 10 月の間に限られた (Fig. 3)。 *C. ovata* は薄香湾では 9 月

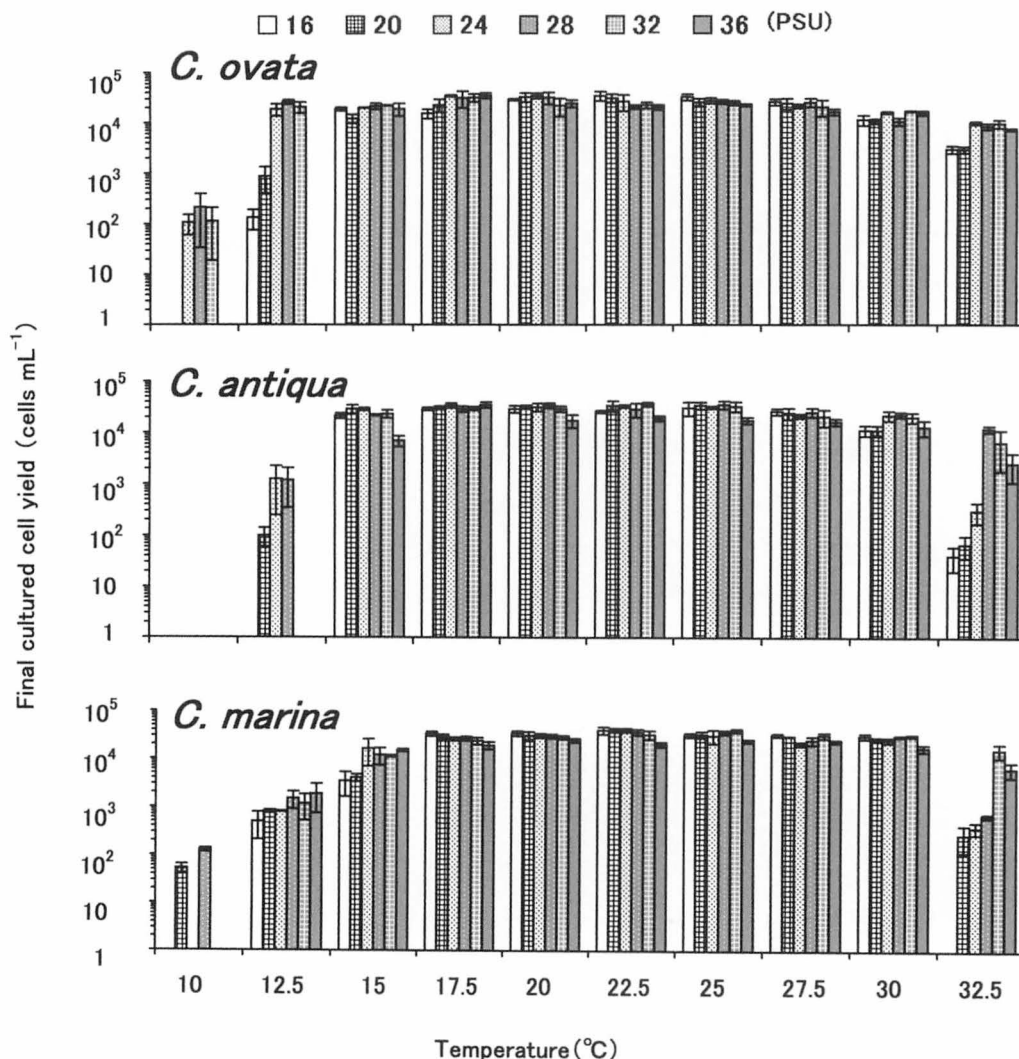


Fig. 4. Final cultured cell yields of three species of *Chattonella* at different temperature and salinity combinations. Vertical bars: standard deviations.

12日に0.01 cells mL⁻¹, 10月11日に0.01-0.03 cells mL⁻¹出現した。*C. antiqua*は薄香湾では7月20日に0.10 cells mL⁻¹, 9月12日に0.02-0.03 cells mL⁻¹, 10月11日に0.01 cells mL⁻¹, 大村湾では9月15日に0.01-0.27 cells mL⁻¹, 有明海では7月19日に40.7 cells mL⁻¹, 7月28日に0.7 cells mL⁻¹, 8月12日に0.3 cells mL⁻¹, 8月23日に0.3-27.7 cells mL⁻¹, 9月8日に0.3 cells mL⁻¹出現した。7月19日に*C. antiqua*が40.7 cells mL⁻¹出現した有明海では湾口部の口之津地先で養殖ブリ77尾が斃死した。五島水産業普及指導センターからの情報によれば, これまで報告のなかった五島列島玉之浦湾で*C. antiqua*が7月下旬に0.3-0.5 cells mL⁻¹出現していた。*C. marina*は薄香湾では7月20日に0.10 cells mL⁻¹, 9月12日に0.01 cells mL⁻¹, 大村湾では9月15日に0.02-0.22 cells mL⁻¹, 有明海では7月28日に0.3 cells mL⁻¹, 8月23日に0.3-0.7 cells mL⁻¹出現した。

培養株を用いた増殖に及ぼす水温と塩分の影響解析

実験を行った各水温・塩分条件における*Chattonella* 3株の最終細胞収量をFig. 4に, 比増殖速度をFig. 5に示す。*C. ovata*は, 10°Cでは24-32 psuで増殖し, 最終細胞収量は107-213 cells mL⁻¹, 比増殖速度は0.07-0.08 day⁻¹であった。また, 比増殖速度が0以下となる塩分は16-22 psuと34-36 psuであった。12.5-32.5°Cではすべての塩分条件下で増殖が認められ, 得られた最終細胞収量は133-34.2 × 10³ cells mL⁻¹, 比増殖速度は0.10-1.09 day⁻¹の範囲にあった。最大比増殖速度(1.09 day⁻¹)は, 30°C, 28 psuの条件で得られた。*C. antiqua*は10°Cではすべての塩分条件下で増殖しなかった。12.5°Cでは, 20-28 psuで増殖し, 最終細胞収量は100-1.25 × 10³ cells mL⁻¹, 比増殖速度は0.08-0.14 day⁻¹であった。また, 比増殖速度が0以下となる塩分は16 psuと30-36 psuであった。15-32.5°Cではすべての塩分条件下で増殖し, 最終細胞収量は40-35.3 × 10³ cells mL⁻¹, 比

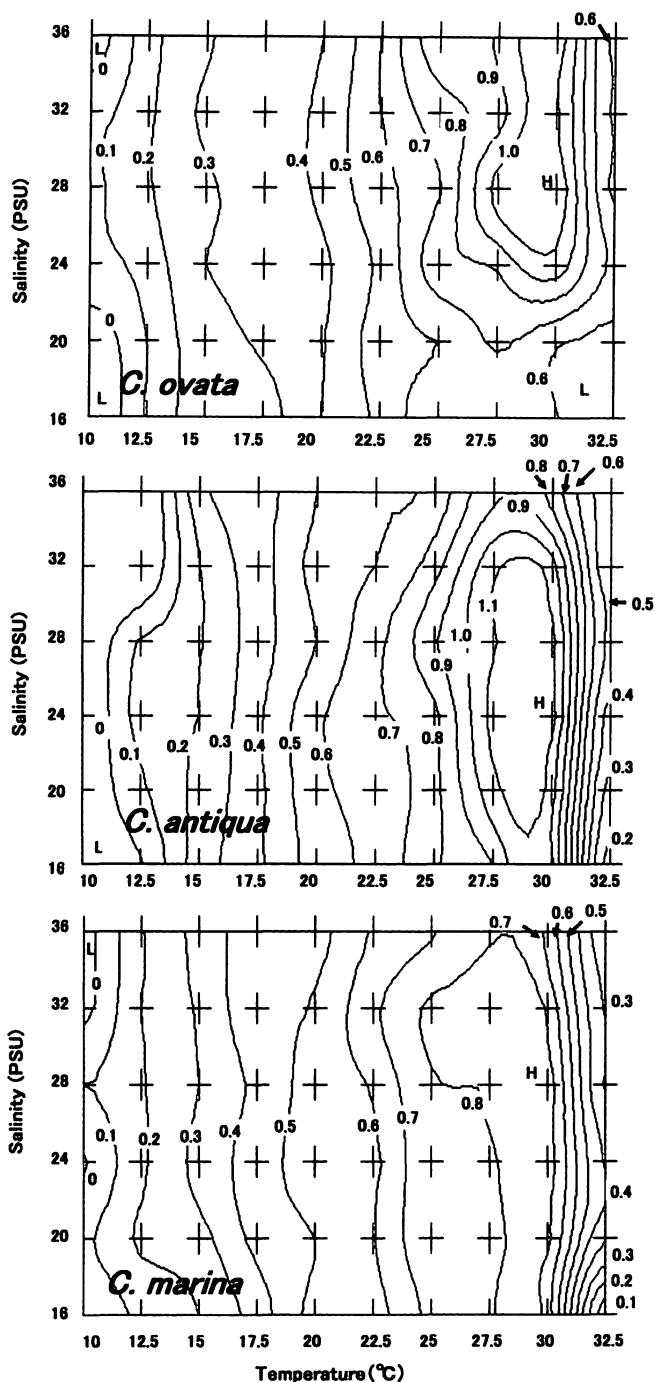


Fig. 5. Growth rates (day^{-1}) of three species of *Chattonella* under various conditions combined with temperature and salinity.

増殖速度は $0.14\text{--}1.15 \text{ day}^{-1}$ の範囲にあった。最大比増殖速度 (1.15 day^{-1}) は、 30°C 、 24 psu の条件で得られた。*C. marina* は、 10°C では 20 と 28 psu で増殖し、最終細胞収量は $53\text{--}127 \text{ cells mL}^{-1}$ 、比増殖速度は $0.09\text{--}0.10 \text{ day}^{-1}$ であった。また、比増殖速度が 0 以下となる塩分は 16 と 24 psu と $31\text{--}36 \text{ psu}$ であった。 $12.5\text{--}30^\circ\text{C}$ ではすべての塩分条件下で増

殖し、最終細胞収量は $493\text{--}39.8 \times 10^3 \text{ cells mL}^{-1}$ 、比増殖速度は $0.12\text{--}0.87 \text{ day}^{-1}$ の範囲にあった。 32.5°C では $20\text{--}36 \text{ psu}$ で増殖し、最終細胞収量は $267\text{--}15.6 \times 10^3 \text{ cells mL}^{-1}$ 、比増殖速度は $0.23\text{--}0.39 \text{ day}^{-1}$ であった。また、比増殖速度が 0 以下となる塩分は 16 psu であった。最大比増殖速度 (0.87 day^{-1}) は、 30°C 、 28 psu の条件で得られた。

考察

Chattonella 3 種の出現状況

瀬戸内海および鹿児島湾以外ではこれまで報告のなかった *C. ovata* の生育が、今回の調査で薄香湾でも確認できた。*C. antiqua* と *C. marina* については薄香湾、大村湾、有明海での出現を再確認した。また、薄香湾で9月に、瀬戸内海での観察結果 (吉松 2006) と同様に、*C. ovata*、*C. antiqua* と *C. marina* が混在して出現することを確認した。さらに、五島列島では報告のなかった *C. antiqua* が玉之浦湾に出現していることがわかった。従って、今後、これらの海域および近隣水域における *Chattonella* の出現や赤潮発生のモニタリングを強化する必要がある。

被害を与える細胞密度までの増殖環境

室内実験で増殖した水温範囲は、*C. ovata* が $10\text{--}32.5^\circ\text{C}$ 、*C. antiqua* が $12.5\text{--}32.5^\circ\text{C}$ 、*C. marina* が $10\text{--}32.5^\circ\text{C}$ 、塩分範囲はいずれも $16\text{--}36 \text{ psu}$ であったことから、これら3種は広い温度・塩分範囲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. ovata 培養株が魚類を斃死させる細胞密度は、マダイで $4.1 \times 10^3\text{--}6.8 \times 10^3 \text{ cells mL}^{-1}$ 、マアジで $5.4 \times 10^3 \text{ cells mL}^{-1}$ 、ハマチで $2.8 \times 10^3 \text{ cells mL}^{-1}$ と指摘されている (Hiroishi *et al.* 2005)。また、*C. ovata* の赤潮海水 (およそ $300 \text{ cells mL}^{-1}$) を用いた暴露実験で、ヒラメが斃死したとされる (独立行政法人水産総合研究センター 2004, 高辻ら 2005)。*C. antiqua* および *C. marina* が養殖ハマチを斃死させる細胞密度は $300 \text{ cells mL}^{-1}$ 以上とされる (代田 1988)。今回の室内実験で最終細胞収量が $300 \text{ cells mL}^{-1}$ 以上得られた水温は、3種とも $12.5\text{--}32.5^\circ\text{C}$ であった。本研究における分布調査時の養殖ブリを斃死させた *C. antiqua* の細胞密度は $40.7 \text{ cells mL}^{-1}$ であった (長崎県総合水産試験場 2006a)。室内実験で *C. antiqua* の最終細胞収量が $40.7 \text{ cells mL}^{-1}$ 以上得られたのは $12.5\text{--}32.5^\circ\text{C}$ 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 $2.5 \times 10^4 \text{ cells mL}^{-1}$ とされる (Kim *et al.* 2004)。室内実験で *C. marina* の最終細胞収量が $2.5 \times 10^4 \text{ cells mL}^{-1}$ 以上得られたのは $17.5\text{--}30^\circ\text{C}$ であった。従って、*Chattonella* 3種は広い温度範囲で、魚類の斃死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といえる。また、薄香湾における周年の表層水温は $12.3\text{--}27.6^\circ\text{C}$ の範囲であり (長崎県総合水産試験場 2005)、薄香湾では *Chattonella* 3種はほぼ年間を通じて、漁業被害を誘引する細胞密度まで増殖可能とも指摘できる。

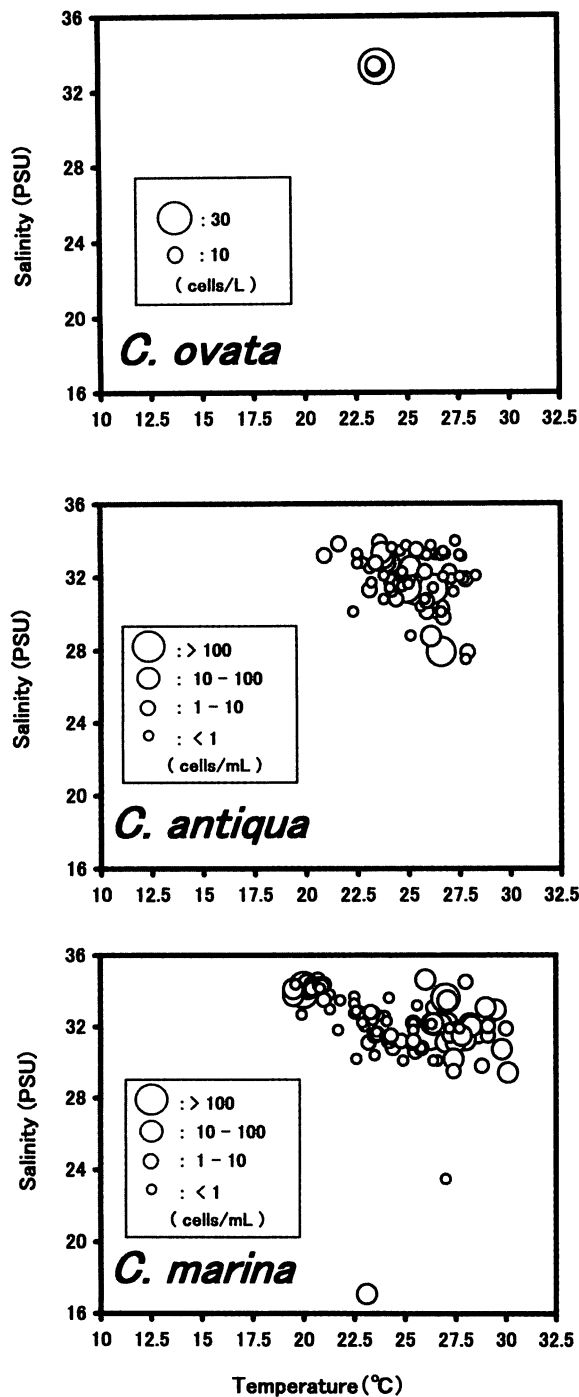


Fig. 6. Growth relationships between temperatures and salinities of three species of *Chattonella* collected from Usuka Bay and adjacent sea in 1990-2005.

比増殖速度と現場出現環境

1990-2005年に薄香湾および近隣海域で *C. ovata*, *C. antiqua* および *C. marina* が出現した際の水温、塩分値を Fig. 6 に示す。 *C. ovata* 出現時の水温は 23.5-23.6°C、塩分は 32.96-33.38 psu であり、室内実験で比増殖速度が 0.7 day⁻¹ 以上となる水温、塩分の範囲内にあった。瀬戸内海の

播磨灘では、 *C. ovata* は水温 15.8-31.3°C、塩分 18.4-33.02 psu (本田ら 2005)、広島湾では水温 24.9-29.3°C、塩分 22.8-31.2 psu (高辻ら 2005) の範囲での出現が確認されている。このように薄香湾と播磨灘において *C. ovata* が出現する水温と塩分の範囲はほぼ重複していることが分かった。ただし、薄香湾では、播磨灘や広島湾で *C. ovata* の出現がみられたような至適増殖環境 (比増殖速度 1.0 day⁻¹ 以上を示す水温 27.5-30°C、塩分 24-36 psu) になっても同種は観察されなかった。 *C. antiqua* 出現時の現場水温は 21.0-28.3°C、塩分は 27.50-33.95 psu であり、室内実験で比増殖速度が 0.5 day⁻¹ 以上となる水温、塩分の範囲内にあった。 *C. antiqua* が 100 cells mL⁻¹ 以上出現したときの現場水温は 24.9-26.6°C、塩分は 27.9-31.40 psu にあり、室内実験で得た比増殖速度が 0.8 day⁻¹ 以上になるときの水温と塩分の範囲にほぼ一致する。このことから *C. antiqua* は 25°C 付近の高水温条件下で、短期間のうちに高密度に増殖する特性をもつといえる。 *C. marina* 出現時の現場水温は 19.5-30.1°C、塩分は 17.10-34.63 psu であり、室内実験で比増殖速度が 0.5 day⁻¹ 以上となるときの水温、塩分の範囲とほぼ同じであった。 *C. marina* が 100 cells mL⁻¹ 以上出現した時の水温は 20.0-27.0°C、塩分は 31.5-34.24 psu にあり、 *C. marina* は *C. antiqua* に比べ、高水温側の広い塩分範囲で高密度増殖する特性を有しているといえる。

これらのことより、 *Chattonella* 3種の最適水温・塩分特性を比較すると、培養実験結果からは、3種に共通して高水温・広塩分条件で最適増殖をすることが判明した。現場出現環境からは、 *C. antiqua* は 25-27.0°C、 *C. marina* は 20-30°C、塩分は両種とも 28-34 psu 程度で多く出現する傾向がみられることが明らかとなった。また、 *Chattonella* 3種の出現が最適増殖環境 (30°C) であまり観察されていないのは、薄香湾および近隣海域における夏季最高水温期の表層平均水温が、薄香湾 27.6°C (山砥ら 2005)、伊万里湾 27.5°C、大村湾 28.4°C (長崎県総合水産試験場 2006b) であるためと考えられる。

水温に対する増殖応答—他海域産株との比較

C. ovata 広島湾産株は 15-32.5°C で増殖し、最適増殖は 25-30°C と報告されている (山口ら 2005)。これに対して薄香湾産株は、最大比増殖速度は 30°C と広島湾産株と同程度で得られたが、10-32.5°C で増殖し、低水温でも増殖できることから、広島湾産株よりも低水温に対する耐性がやや大きい傾向がみられた。

C. antiqua 播磨灘産株 (Nakamura & Watanabe 1983) 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 では増殖できないという。大阪湾産株では、20-30°C で増殖し、27°C 以上では増殖量の減少がみられ、11°C 以下で増殖できないとされ (矢持 1984)、山口ら (1991) によれば、15-30°C で増殖、最適増殖は 25°C、10°C 以下で増殖不可能と報告されている。諫早湾産株は 15-32.5°C で増殖し、最大

比増殖速度は30°Cであるという(山砥ら 2006)。これに対して薄香湾産株は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、諫早湾産株と同様に高水温に対する耐性が大きく、他海域産株よりも低水温に対する耐性がやや大きい傾向を示している。

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と報告されている(矢持 1984)。周防灘産株は15-30°Cで増殖、最適増殖は25°C、10°C以下で増殖せず(山口ら 1991)、鹿児島湾産株は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(野沢 1984)。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(山砥ら 2006)。それに対して薄香湾産株は10-32.5°Cで増殖し、最大比増殖速度は30°Cで得られたことから、諫早湾産株と同様に高水温に対する耐性が大きく、他海域産株よりも低水温に対する耐性がやや大きい傾向が示唆された。以上のように、薄香湾産の *Chattonella* 3株は共通して比較的の高い水温でよく増殖し、低い水温に対する耐性が大きいと特徴づけられる。

Chattonella 3種の越冬様式

室内実験で、比増殖速度が0以下となる水温・塩分条件は、*C. ovata* が10°Cの16-22 psuと34-36 psu、*C. antiqua* が10°Cの16-36 psuおよび12.5°Cの16 psuと30-36 psu、*C. marina* が10°Cの16と24 psuと31-36 psuである。これらの条件下では、これら3種は増殖できないことを意味している。薄香湾の周年の平均水温・塩分範囲は、12.3-27.6°C、32.52-34.99 psuである(長崎県総合水産試験場 2005)。従って、薄香湾では、12.5°Cの16-36 psuで増殖する *C. ovata* と *C. marina* は遊泳細胞の状態では越冬可能と考えられるが、12.5°Cの30-36 psuで増殖しない *C. antiqua* は遊泳細胞の状態では越冬できないと指摘できる。薄香湾では、*C. antiqua* のシストの存在が報告されている(長崎県総合水産試験場 2005)。今井(1990)は播磨灘の海底泥調査により、*C. ovata*、*C. antiqua* および *C. marina* のシストの存在を確認している。今後は、薄香湾における *Chattonella* 3種の越冬様式について詳細な調査研究をしなければならない。同時に、薄香湾およびその周辺海域の養殖漁場ではこれら3種を含めた有害藻類の出現や赤潮発生のモニタリングを周年実施し、漁業被害防止を図る必要がある。

謝辞

本研究における現場調査に際して、ご協力頂いた長崎県各水産業普及指導センターの山口 忠氏、鎌田正幸氏(現長崎県総合水産試験場)、若杉隆信氏、杉原志貴氏、浦 賢二郎氏(現長崎県水産部水産振興課)にお礼申し上げます。また、情報提供頂いた北原 茂氏および舩田大作氏にも感謝申し上げます。

引用文献

- 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: 3.
- 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 2005. 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: 10-15.
- 江藤拓也・長本 篤 2006. 赤潮等被害防止対策事業調査一周防灘広域共同調査一. p. 270-274. 平成 16 年度事業報告. 福岡県水産海洋技術センター. 福岡.
- 原 慶明 1990. ラフィド藻(緑色鞭毛藻)綱ラフィドモナス目ヴァキュオリア科. p. 340-341. 福代康夫・高野秀明・千原光雄・松岡敦充(編)日本の赤潮生物—写真と解説—. 内田老鶴圃. 東京.
- 原 慶明・千原光雄 1987. ラフィド藻. p. 544-566. 日本資源保護協会(編)赤潮生物研究指針. 秀和. 東京.
- Hara, Y., Doi, K. & Chihara, M. 1994. Four new species of *Chattonella* (Raphidophyceae, Chromophyta) from Japan. *Jpn. J. Phycol.* 42: 407-420.
- Hiroishi, S., Okada, H., Imai, I. & Yoshida T. 2005. High toxicity of the novel bloom-forming species *Chattonella ovata* (Raphidophyceae) to cultured fish. *Harmful Algae.* 4: 783-787.
- 本田 恵二・吉松定昭・大山憲一 2005. 有害プランクトン *Chattonella ovata* の香川県海域における出現動向. 平成 16 年度日本藻類学会第 29 回大会講演要旨: 112.
- 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. 南西水研研報 23: 63-166.
- 今井一郎 2000a. ラフィド藻赤潮の発生機構と予知. p. 29-70. 石田祐三郎・本城凡夫・福代康夫・今井一郎(編)「有害・有毒赤潮の発生と予知・防除」水産資源保護協会. 恒星社厚生閣. 東京.
- 今井一郎 2000b. 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.
- 今井一郎・伊藤克彦 1985. 1984 年 4 月, 播磨灘における海底泥中の *Chattonella* 耐久細胞分布. 南西水研研報 19: 43-52.
- Imai, I., Yamaguchi, M. & Hori, Y. 2006. Eutrophication and occurrences of harmful algal blooms in the Seto Inland Sea, Japan. *Plankton Benthos Res.* 2: 71-84.
- Kim, D., Kumamoto, O., Lee, K., Kuroda, A., Fujii, A., Ishimatsu, A. & Oda, T. 2004. Deleterious effect of *Chattonella marina* on short-necked clam (*Ruditapes philippinarum*); possible involvement of reactive oxygen species. *J. Plankton Res.* 26: 967-971.
- Nakamura, Y. & Watanabe M. M. 1983. Growth characteristics of *Chattonella antiqua* (Raphidophyceae) Part 1. Effects of temperature, salinity, light intensity and pH on growth. *J. Oceanogr. Soc. Jpn.* 39: 110-114.
- 長崎県総合水産試験場 1998-2005a. 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—. 長崎県総合水産試験場. 長崎.
- 長崎県総合水産試験場 1998-2005b. 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.
- 長崎県総合水産試験場 2005. 長崎県総合水産試験場事業報告: 139-142. 長崎県総合水産試験場. 長崎.
- 長崎県総合水産試験場 2006a. 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—. 45-46. 長崎県総合水産試験場. 長崎.
- 長崎県総合水産試験場 2006b. 赤潮プランクトン等監視調査事業報告書—II—資料集—: 3-14. 長崎県総合水産試験場. 長崎.
- 長崎県水産試験場 1979-1997. 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—. 長崎県水産試

- 験場, 長崎.
 長崎県水産試験場 1992-1997. 長崎県水産試験場事業報告, 長崎県水産試験場, 長崎.
- 野沢治治 1984. 鹿児島湾における赤潮生物の生理特性に関する研究, p. 139-152. 「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.
- 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.
- 代田昭彦 1988. 赤潮研究の現状と課題-④, 水産の研究 7(5): 36-42.
- 水産庁九州漁業調整事務所 2006. 九州海域の赤潮: 34-53. 水産庁九州漁業調整事務所, 福岡.
- 水産庁瀬戸内海漁業調整事務所 2005. 瀬戸内海の赤潮: 9. 水産庁瀬戸内海漁業調整事務所, 広島.
- 高辻英之・飯田悦左・高山晴義 2005. 2004年に広島県沿岸で発生した *Chattonella ovata*. 広島水試研報 23: 19-22.
- Watanabe, M. M., Nakamura, Y., Yamochi, S. & 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.
- 山口晴生・坂本節子・山口峰生 2005. 有害赤潮ラフィド藻 *Chattonella ovata* の増殖に及ぼす水温および塩分の影響. 平成16年度日本水産学会春季大会講演要旨集: 258.
- 山口峰生・今井一郎・本城凡夫 1991. 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 57(7): 95-96.
- 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.
- 山砥稔文・坂口昌生・岩滝光儀・松岡数充 2005. 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. 藻類 53: 229-235.
- 山砥稔文・坂口昌生・岩滝光儀・松岡数充 2006. 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. 日水誌 72(2): 160-168.
- 矢持 進 1984. 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 34: 15-22.
- 吉松定昭 2006. 香川の赤潮生物(第3版): 7. 香川県魚類養殖業赤潮対策本部, 香川.
- 吉松定昭・小野知足 1986. 播磨灘南部での赤潮生物および鞭毛藻類の季節的消長. 香川赤潮研報 2: 1-42.

(Received August 7, 2006; Accepted October 2, 2006)