

西九州沿岸における有害無殻渦鞭毛藻 *Cochlodinium* sp. type-Kasasa の分布と増殖特性

山砥稔文¹・坂本節子²・山口峰生²・村田圭助³・櫻田清成⁴・高野義人⁵・岩滝光儀⁶・松岡敷充⁵

¹ 長崎県対馬振興局水産課 (〒 817-8520 長崎県対馬市厳原町宮谷 224)

² 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 (〒 739-0452 広島県廿日市市丸石 2-17-5)

³ 農林水産省水産庁漁政部企画課 (〒 100-8907 東京都千代田区霞が関 1-2-1)

⁴ 熊本県水産研究センター (〒 869-3603 熊本県上天草市大矢野町中 2450-2)

⁵ 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)

⁶ 山形大学理学部生物学科 (〒 990-8560 山形県山形市小白川町 1-4-12)

Toshifumi Yamatogi¹, Setsuko Sakamoto², Mineo Yamaguchi², Keisuke Murata³, Kiyonari Sakurada⁴, Yoshihito Takano⁵, Mitsunori Iwataki⁶ and Kazumi Matsuoka⁵: Geographical distribution and growth characteristics of a harmful unarmored dinoflagellate *Cochlodinium* sp. type-Kasasa in west Kyushu, Japan. Jpn. J. Phycol. (Sôrui) 58: 167-172, November 10, 2010

To elucidate the mechanism of bloom outbreaks and to prevent fishery damages by the bloom of *Cochlodinium* sp. (type-Kasasa), distribution of the cells and concomitant environmental factors were investigated in coastal area of Nagasaki Prefecture from April 2005 to September 2008. We examined the growth responses of *Cochlodinium* sp. (type-Kasasa) with 54 different combinations of temperature (10-30°C) and salinity (16-36) using a culture strain of this organism (05O1) isolated from Omura Bay in 2005. Morphological characteristic of the strain 05O1 was compared with *Cochlodinium* sp. strain 99i and the strain CP87IMR, which were isolated from Imari Bay in 1999 and 2004, respectively. Distribution of the organism was confirmed in Omura Bay in September 2005 and 2008. Morphological similarity between the strain 05O1 and the strains 99i and CP87IMR, and its swimming behavior indicate that these strains belong to the same morphotype. *Cochlodinium* sp. (type-Kasasa) tolerated a wide range of temperature (15-30°C) and salinity (16-36), and the maximum growth rate of 0.55 day⁻¹ was found at 27.5°C and salinity 28. These results suggest that *Cochlodinium* sp. (type-Kasasa) have distributed relatively wide areas in western Kyushu since the late 1990s and will cause red tides during warm seasons in high salinity water thereafter.

Key Index Words: *Cochlodinium* sp. (type-Kasasa), growth rate, harmful dinoflagellate, Omura Bay

¹ Nagasaki Prefectural Tsushima District Office, Fisheries Division, 224 Miyadani, Izuhara, Tsushima, Nagasaki 817-8520, Japan

² National Research Institute of Fisheries and Environment of Inland Sea, Fisheries Research Agency, 2-17-5 Maruishi, Hatsukaichi, Hiroshima 739-0452, Japan

³ Policy Planning Division, Fisheries Policy Department, Fisheries Agency, Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, 1-2-1 Kasumigaseki Chiyoda-ku, Tokyo 100-8907, Japan

⁴ Kumamoto Prefectural Fisheries Research Center, 2450-2 Oyanochonaka, Kamiamakusa, Kumamoto 869-3603, Japan

⁵ Institute for East China Sea Research, Nagasaki University, 1551-7 Taira, Nagasaki 851-2213, Japan

⁶ Faculty of Science, Yamagata University, 1-4-12 Kojirakawa, Yamagata 990-8560, Japan

緒言

無殻渦鞭毛藻 *Cochlodinium polykrikoides* Margalef は、西日本や韓国南岸で大規模な赤潮を形成し、養殖魚類等の大量斃死を引き起こす原因生物として知られている (松岡・岩滝 2004, Matsuoka *et al.* 2008)。本種による日本での漁業被害金額は数億から数十億円に上り、水産養殖産業に多大な影響を与えている (水産庁九州漁業調整事務所 2006)。*Cochlodinium* 属の中には *C. polykrikoides* と類似した形態をもついくつかの種があることが報告されている (Iwataki *et al.* 2008)。瀬戸内海で報告された *Cochlodinium* sp. (Yuki & Yoshimatsu 1989) は西九州海域でも出現が確認され、近年、培養株を用いた詳細な形態観察と分子系統解析の結果から *Cochlodinium fulvescens* Iwataki, Kawami *et al.* Matsuoka として新種記載された (Iwataki *et al.* 2007)。

一方、東シナ海に面した鹿児島県南さつま市笠沙町片浦湾では、1982 年と 1985 年に *C. polykrikoides* 類似種による赤潮によって、ブリやカンパチ、ヒラマサ等の養殖魚類に合計金額で約 1 億 7 千万円の被害が発生した (鹿児島県水産試験場 1995)。この渦鞭毛藻は形態や遊泳様式が *C. polykrikoides* とやや異なることが指摘され、笠沙型 (*Cochlodinium* sp. (type-Kasasa)) として区別されてきた (鹿児島県水産試験場 1995)。*Cochlodinium* sp. (type-Kasasa) は片浦湾以外での赤潮形成は希であったため、出現分布状況や増殖環境等の情報は極めて少ない。長崎県沿岸域では過去に *C. polykrikoides* 赤潮とそれに伴う漁業被害の報告はあるが、*Cochlodinium* sp. (type-Kasasa) の赤潮は未確認であった (長崎県水産試験場 1979-1997, 長崎県総合水産試験場 1998-2008, 山砥ら 2003)。しかし、2005 年に

は大村湾で *Cochlodinium* sp. (type-Kasasa) と推察される細胞の出現が確認された。また、2006 年には、熊本県羊角湾でも *Cochlodinium* sp. (type-Kasasa) を原因藻とした赤潮が発生した(櫻田ら 2007)。このように、*Cochlodinium* sp. (type-Kasasa) は細胞が形態的に類似しているため、これまで *C. polykrikoides* と正確に識別された調査は行われておらず、これらは混同されて記載されていた可能性がある。*Cochlodinium* sp. (type-Kasasa) は魚毒性を有する有害赤潮原因藻であると考えられることから、本藻の分布域および出現環境や増殖特性を把握しておくことは本藻の赤潮発生機構の解明や、それによる漁業被害を未然に防止するのに有効と考えられる。

そこで本研究では、長崎県沿岸域で魚類養殖が行われている海域を中心に、*Cochlodinium* sp. (type-Kasasa) の出現動態を把握するための分布調査を実施するとともに、大村湾で分離した培養株を用いて、増殖に及ぼす水温と塩分の影響について室内培養実験を行った。さらに、長崎県沿岸域で *C. polykrikoides* として記録されてきた渦鞭毛藻について、保存していた培養株や顕微鏡写真をもとに *Cochlodinium* sp. (type-Kasasa) である可能性を検討した。

材料と方法

Cochlodinium sp. (type-Kasasa) の分布調査

Cochlodinium sp. (type-Kasasa) の出現調査は、2005 年 4 月から 2008 年 9 月に長崎県対馬・浅茅湾と三浦湾、平戸島薄香湾、大村湾、橘湾の 5 海域に設定した計 12 定点で行い、概ね月 1 回の頻度で遊泳細胞の密度を調べた (Fig. 1)。試水は原則として水深 2 m 層で SY 式採水筒付水温計 (吉野計器製作所製) を用いて採取し、必要に応じて 0.5, 5, 10, B-1 m (海底面上 1 m) 層でも採取した。サンプルは、各層毎の

試水 (0.1-1.0 L) 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)、全量の細胞数を当日から翌日までの間に顕微鏡下で計数した。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 *Cochlodinium* sp. (type-Kasasa) 05O1 株は、2005 年 9 月に大村湾の西部に位置する支湾の形上湾 (Fig. 1 の St. 1) の海水より分離し、ピペット洗浄法 (今井 2000) によってクローン株とした。株の保存および実験培地には ESM 培地 (岡市ら 1982) を用いた。本株の細菌検査は実施していないが、培養実験終了時に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ていたと考えられる。

また、*C. polykrikoides* として保存されてきた株の検討は、1999 年と 2004 年のそれぞれ 8 月に伊万里湾で発生した *Cochlodinium* 赤潮海水から分離し、ESM 培地を用いて継代培養した 99i 株と f/2 培地で継代した CP871MR 株を用いた。両株ともに 22.5°C で培養を行った。これらの細胞の形態を光学顕微鏡および蛍光顕微鏡を用いて詳細に観察し、大村湾産 *Cochlodinium* sp. (type-Kasasa) 05O1 株および既報の *C. polykrikoides* の形態的特徴と比較した。

増殖に及ぼす水温と塩分の影響

増殖実験は水温を 10.0, 12.5, 15.0, 17.5, 20.0, 22.5, 25.0, 27.5, 30.0°C の 9 段階、塩分を 16, 20, 24, 28, 32, 36 の 6 段階の組み合わせ、計 54 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) で採取した表層海水を 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) 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塩分調整を行った。増殖実験には試験管 ($\phi 15 \times 150 \text{ mm}$) を用い、塩分調整した海水に ESM 培地の成分を添加した培地を 5 mL ずつ分注して 120°C, 20 分間オートクレーブ滅菌した。この培地に対数増殖期後期まで前培養した藻体を $100 \text{ cells mL}^{-1}$ の密度になるように接種し、3 本立てで、光強度 $80 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, 14 時間明 10 時間暗の明暗サイクルの条件下で培養した。なお、この前培養株は塩分 28, 水温 17.5 または 22.5°C で培養したのち、1 日に 1.0-2.5°C ずつ培養温度を上昇あるいは下降させ、3 日かけてそれぞれの実験の温度条件へ馴化させたものを用いた。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細胞の計数を行った。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) (day^{-1}) を求めた。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九州西岸域における本種の発生状況との関係を検討するため、長崎県総合水産試験場、鹿

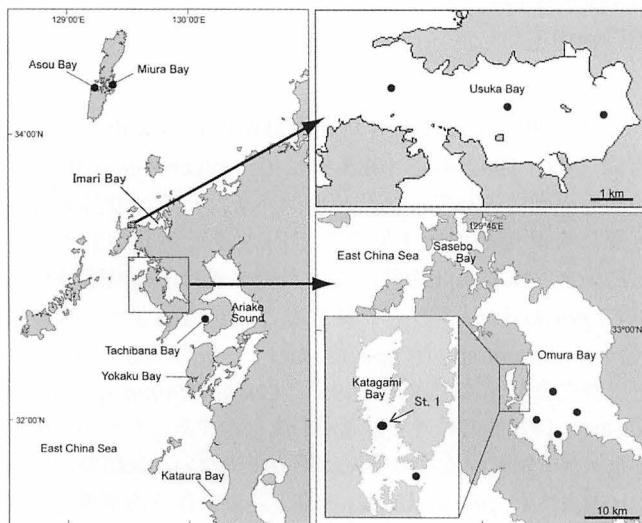


Fig. 1. Maps showing sampling stations (●) of coastal waters in Nagasaki Prefecture.

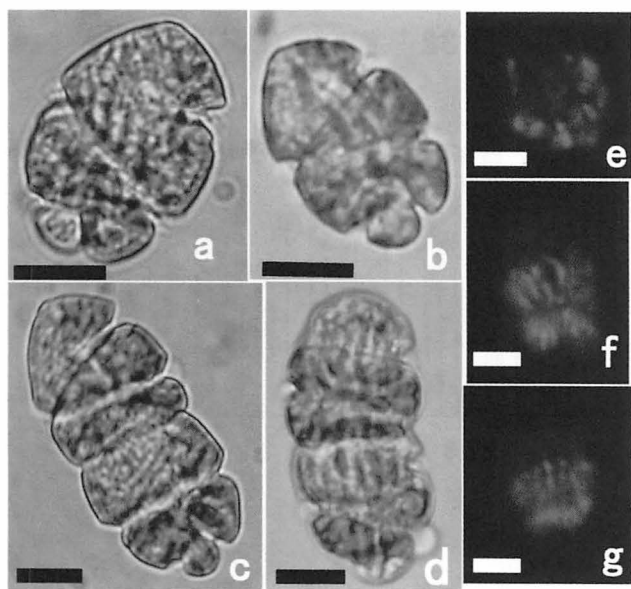


Fig. 2. Light (a-d) and fluorescence (e-g) microscopic photographs of *Cochlodinium* sp. (type-Kasasa) collected from Omura Bay. a; ventral view, b; dorsal view, c-d; chain consisting of two cells, e-g; rod-like chloroplasts. Scale bar=10 μ m.

児島県水産技術開発センターおよび熊本県水産研究センターによって実施された現場赤潮調査で得られたデータの一部を利用した (荒巻 1984, 長崎県総合水産試験場 2005, 櫻田ら 2007)。

結果

大村湾での *Cochlodinium* sp. (type-Kasasa) の出現環境と形態

広範な現場調査の結果, *Cochlodinium* sp. (type-Kasasa) の出現が見られたのは大村湾のみであり, それ以外の海域での出現は確認されなかった。大村湾での本藻の出現時期は 2005 年 9 月 15 日と 2008 年 9 月 18 日であった。本藻は St. 1 (Fig. 1) の水深 0.5-2.0 m 層に細胞密度 0.01-36 cells mL⁻¹ で出現し, その時の水温は 27.4-28.1°C, 塩分は 32.5-32.6 であった。2005 年 9 月に出現した細胞は単細胞と 2 細胞の連鎖群体であった。単細胞の細胞長は約 30 μ m, 横溝は細胞を 2 周し, 広く, 深い。外形は 2 連鎖群体で丸みを帯びた卵形であるのに対し, 単細胞では長楕円形で頂端がやや尖る。下錐後端は 2 つのこぶをもつように見える。色素体は薄黄茶色を呈し, 棒状からそれらが括れた小判状で縦方向に配列する特徴があった。泳ぎ方は推進方向の軸がぶれ, 藻体が横揺れする特徴が見られた。同湾から分離確立した 05O1 株でも, 連鎖群体は増殖最盛期においても最大で 2 細胞であった (Fig. 2)。

伊万里湾での *Cochlodinium* sp. (type-Kasasa) 株の形態
1999 年より継代培養していた伊万里湾産株 (99i) の形態

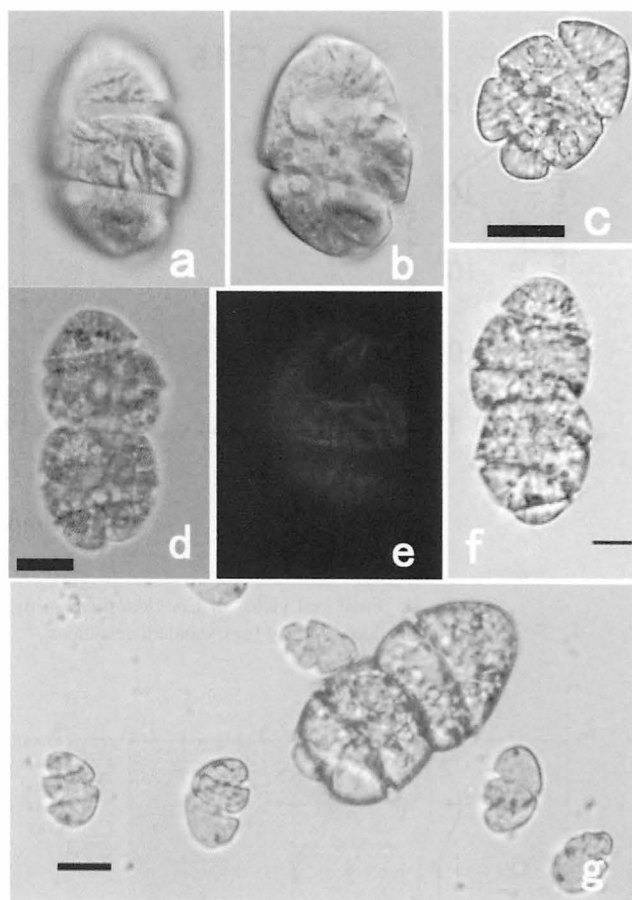


Fig. 3. Light (a-d, f-g) and fluorescence (e) microscopic photographs of cultured *Cochlodinium* sp. (type-Kasasa) cells collected from Imari Bay in 1999 and 2004. a-e; in 1999, f-g; in 2004. Scale bar=10 μ m.

を再観察し, 次のような特徴を確認した。単細胞時は長楕円形で頂端がしばしば尖り, 下錐の縦溝が深いことから腹面観で 2 つのこぶをもつように見える (Fig. 3)。長さ 27 - 33 μ m, 幅 18 - 23 μ m であり, 横溝は細胞を 2 周し, 広く, 深い。色素体は薄黄茶色で, 棒状からそれがくびれて小判状になり縦方向に配列する。遊泳時には細胞は横揺れする。連鎖群体は 2 細胞以下で, 2 連鎖群体では丸みを帯びた卵形であった。また, 2004 年より継代培養していた伊万里湾産株 (CP871MR) は細胞長 13.8 - 32.4 μ m, 幅 8.9 - 34.2 μ m であり, 形態的な特徴は 99i 株と一致した。連鎖群体は 2 細胞以下であった。単細胞では細胞長 20 μ m 以下の小型の細胞がしばしば観察された (Fig. 2g)。これら 2 株の形態的特徴は大村湾から分離した培養株 05O1 とよく一致していた。

Cochlodinium sp. (type-Kasasa) の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 *Cochlodinium* sp. (type-Kasasa) 05O1 株の最終細胞収量を Fig. 4 に, 比増殖速度を Fig. 5 に示す。本株は, 10.0-12.5°C ではすべて

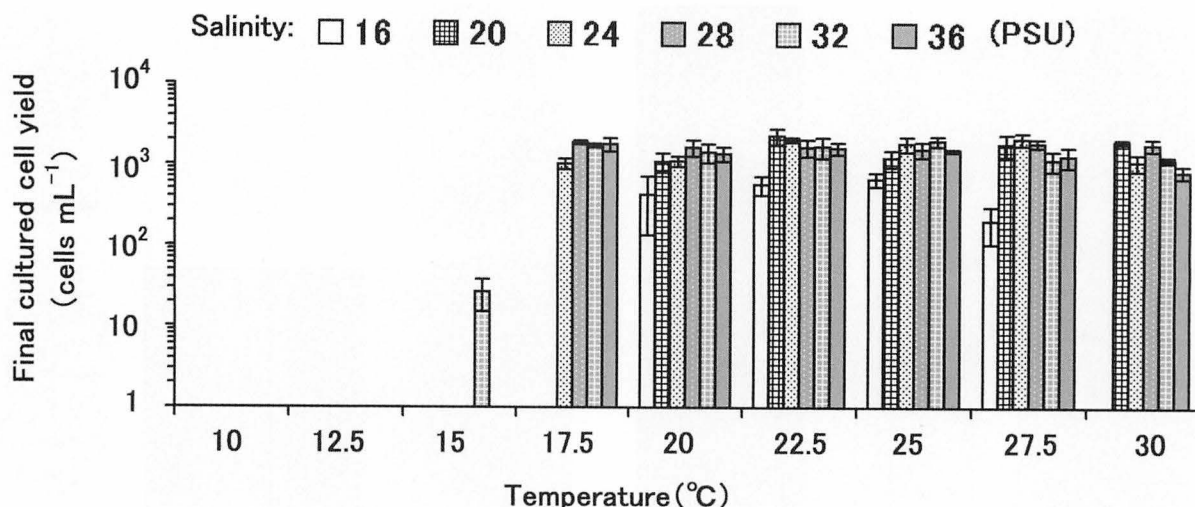


Fig. 4. Final cell yields of *Cochlodinium* sp. (type-Kasasa) cultured at different temperature and salinity combinations. Vertical bars: standard deviations.

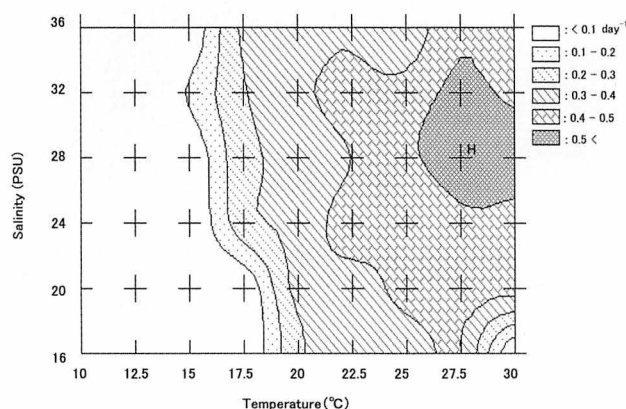


Fig. 5. Growth rate of *Cochlodinium* sp. (type-Kasasa) under various conditions combined with temperature and salinity.

の塩分条件下で増殖しなかった。15.0°Cでは、塩分 32 のみで増殖し、最終細胞収量は 27 cells mL⁻¹、比増殖速度は 0.11 day⁻¹であった。17.5-27.5°Cではすべての塩分条件下で増殖し、最終細胞収量は 2.07×10^2 - 2.1×10^3 cells mL⁻¹、比増殖速度は 0.27-0.55 day⁻¹の範囲にあった。30.0°Cでは塩分 16 で増殖できなかったものの、20-36 では増殖し、最終細胞収量は 8.53×10^2 - 2.0×10^3 cells mL⁻¹、比増殖速度は 0.42-0.54 day⁻¹であった。最大比増殖速度 (0.55 day⁻¹) は、水温 27.5°C、塩分 28 の条件で得られた。

考察

今回の分布調査で大村湾に出現した *Cochlodinium* sp. の連鎖群体は最大で 2 細胞であり、遊泳時に横揺れするなど、片浦湾で報告されていた *Cochlodinium* sp. (type-Kasasa) (荒巻 1984, 鹿児島県水産試験場 1995) の特徴と一致し

たことから、この渦鞭毛藻は大村湾にも出現することが確認された。さらに、1999 年 8 月に伊万里湾で漁業被害を伴った *Cochlodinium* 赤潮海水から分離確立された培養株 (99i) の形態等を再検討した結果、*Cochlodinium* sp. (type-Kasasa) の特徴を持つことが判明した。この伊万里湾での赤潮原因藻は、*C. polykrikoides* として報告がなされたものの、連鎖群体が 2 細胞にしかならないことから、典型的な *C. polykrikoides* との異同について検討が必要であると指摘されていた (山砥ら 2003)。また、2004 年 8 月に伊万里湾で発生し、養殖トラフグを中心に漁業被害を及ぼした *Cochlodinium* 赤潮の原因藻も *C. polykrikoides* と報告されていたが (長崎県総合水産試験場 2005)、赤潮発生時の増殖最盛期においても連鎖群体が 2 細胞以下であったことが長崎県県北水産業普及指導センターの調査で観察されていた。さらに、この時に分離された培養株 (CP87IMR) も *Cochlodinium* sp. (type-Kasasa) と同じ形態学的特徴を持ち、連鎖群体は 2 細胞までにしかならなかった (Fig. 3)。これらのことから、*Cochlodinium* sp. (type-Kasasa) は伊万里湾にも出現することが分かった。したがって、*Cochlodinium* sp. (type-Kasasa) は 1990 年代末から西九州の広い範囲に分布していたが、*C. polykrikoides* として報告されてきた可能性がある。また、大村湾および伊万里湾ではすでにそれぞれ 2 回、*Cochlodinium* sp. (type-Kasasa) の発生が確認されていることを考えると、今後も *Cochlodinium* sp. (type-Kasasa) は西九州沿岸周辺海域で赤潮を形成し、漁業被害を及ぼす可能性が高い種であるといえる。

室内実験では、*Cochlodinium* sp. (type-Kasasa) が増殖した水温範囲は、15.0-30.0°C、塩分範囲は 16-36 であったことから (Figs. 4, 5)、本種は広い温度・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。

大村湾産株の比増殖速度が 0.5 day^{-1} 以上となる培養条件は水温 $26.0\text{--}30.0^\circ\text{C}$ 、塩分 $25\text{--}34$ の範囲内にあった。また、先に *C. polykrikoides* として報告された伊万里湾産株 (99i) も $27.5\text{--}30.0^\circ\text{C}$ で最適増殖することが示されている (山砥ら 2003)。一方、天然での本種の発生状況を見てみると、大村湾で出現したときの水温は $27.4\text{--}28.1^\circ\text{C}$ 、塩分は $32.5\text{--}32.6$ であり、伊万里湾では水温 $26.0\text{--}28.9^\circ\text{C}$ 、塩分 $32.1\text{--}33.0$ の範囲で本種が赤潮を形成していた (Table 1)。また、片浦湾では *Cochlodinium* sp. (type-Kasasa) の赤潮発生時の水温は $27\text{--}28^\circ\text{C}$ 、塩分は $31\text{--}32$ であった (荒巻 1984)。このように室内培養実験で得られた水温・塩分の増殖至適条件は、大村湾、伊万里湾、および片浦湾で *Cochlodinium* sp. (type-Kasasa) が出現した水温と塩分の範囲とほぼ合致する。これらのことから、*Cochlodinium* sp. (type-Kasasa) は $27\text{--}30^\circ\text{C}$ 、 $28\text{--}32$ 付近の高水温・高塩分条件下で、短期間のうちに高密度に増殖する特性をもつと指摘できる。以上のことから、*Cochlodinium* sp. (type-Kasasa) は高水温 ($25\text{--}28^\circ\text{C}$)・高塩分 ($28\text{--}36$) 条件で最適増殖する *C. polykrikoides* (山砥ら 2005a, 2005b, 2006, 山砥 2006) と類似した増殖特性をもつといえる。さらに、大村湾産株および伊万里湾産株 (山砥ら 2003) は $17.5\text{--}30.0^\circ\text{C}$ の広い範囲で $1,000 \text{ cells mL}^{-1}$ を越えて増殖できることから、至適増殖条件より低い水温でも赤潮を形成する潜在的増殖能を有すると考えられる。実際、羊角湾では比較的水温の低い 10 月中旬 ($22.5\text{--}24.6^\circ\text{C}$) に赤潮を形成したことが報告されている (櫻田ら 2007)。一方、*C. polykrikoides* は $10.0\text{--}12.5^\circ\text{C}$ で増殖が可能であるのに対し (山砥ら 2005a, 2005b, 2006, 山砥 2006)、*Cochlodinium* sp. (type-Kasasa) 大村湾産株は 15°C 以上でしか増殖できない。伊万里湾産株も 15°C 以下ではわずかにしか増殖しないことが示されている (山砥ら 2003)。従って、大村湾産株と

伊万里湾産株は形態的に一致するだけでなく、増殖特性においても特に低水温側の耐性限界が小さい点が類似し、これまでに報告されている典型的な *C. polykrikoides* の培養株とは異なることがわかった。

C. polykrikoides は冬季水温が 12°C 程度まで低下する長崎県平戸島薄香湾や八代海では遊泳細胞の状態越冬することが確認されている (山砥ら 2005a, 金・本城 2005)。しかし、今回の培養実験結果から、*Cochlodinium* sp. (type-Kasasa) は冬季水温が 10°C 以下になる大村湾 (飯塚 1985) では遊泳細胞の状態越冬できないと考えられる。一方、片浦湾の冬季水温は 15°C 程度までしか低下しない (鹿児島県水産技術開発センター 2006-2007) ことから、同湾では *Cochlodinium* sp. (type-Kasasa) は遊泳細胞の状態越冬できると考えられ、この越冬細胞が次の高水温期における赤潮のシードポピュレーションとなる可能性が考えられる。松岡・岩滝 (2004) は、*C. polykrikoides* が夏季から秋季に西九州の東シナ海東部沿岸から日本海西部沿岸にかけてその分布を広げていくことを指摘している。これまで片浦湾や羊角湾でのみ報告されていた *Cochlodinium* sp. (type-Kasasa) が、これらの湾の対馬暖流下流域に位置する大村湾や伊万里湾でも確認されたことは、*Cochlodinium* sp. (type-Kasasa) も夏季から秋季に西九州の東シナ海東部沿岸から日本海西部沿岸にかけてその分布を広げていくことを示唆している。*Cochlodinium* sp. (type-Kasasa) の生態を明らかにするためには、今後、より広域で詳細な分布状況を明らかにするとともに、休眠シストを含めた越冬様式や出現・拡散過程についての詳細な調査研究が必要である。同時に、西九州周辺海域の養殖漁場では *Cochlodinium* sp. (type-Kasasa) 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継続的に実施し、漁業被害防止を図る必要がある。

Table 1. The ranges of water temperature, salinity, cell density and damages to fishery during the occurrence of *Cochlodinium* sp. (type-Kasasa) in western Kyushu from 1982 to 2008.

Year	Month	Locality	Temperature ($^\circ\text{C}$)	Salinity (PSU)	Maximum cell density (cells mL^{-1})	Fish damaged	Economical loss (1000 Yen)	Reference
1982	Aug.	Kataura Bay	27-28	31-32	27,800	Yellowtail, Goldstriped Amberjack, Purplish Amberjack	90,990	Aramaki 1984
1983	Aug.	Kataura Bay			460	-		Aramaki 1984
1985	Jul.	Kataura Bay	-	-	12,500	Yellowtail, Goldstriped Amberjack, Purplish Amberjack	76,265	Kagoshima Pref. Inst. of Fish. 1995
1992	Sep.	Kataura Bay	-	-	6,400	-		
1999	Aug.	Imari Bay	26.0-28.9	32.1-33.0	11,060	Silver Seabream, Yellowtail, Tiger Puffer, White Trevally	760,000	Yamatogi <i>et al.</i> 2003
2004	Aug.	Imari Bay	26.4-27.8	32.3-32.5	9,930	Tiger Puffer	7,000	Nagasaki Pref. Inst. of Fish. 2005
2005	Sep.	Omura Bay	27.7	32.6	0.01	-		This study
2006	Sep.	Kataura Bay	28.7	31.6	ca. 10	-		Murata (unpublished)
2006	Oct.	Yokaku Bay	22.5-24.6	33.2-33.7	15,000	-		Sakurada (unpublished)
2008	Sep.	Omura Bay	27.4-28.1	32.5-32.6	8-36	-		This study

謝辞

本研究における調査に際して、ご協力頂いた長崎県県北振興局水産課の坂口昌生氏、長崎県県北水産業普及指導センターの川原隆浩氏、長崎県総合水産試験場の舩田大作氏、狩野奈々氏、大村湾南部漁業協同組合所属の川下幸男船長、長崎県水産部の丸田 肇氏、鹿児島県水産技術開発センターの西 広海氏に感謝申し上げます。

引用文献

- 荒巻孝行 1984. 鹿児島県の赤潮, No. A-15. 鹿児島県水産試験場, 鹿児島.
 飯塚昭二 1985. 大村湾. II. 物理. pp. 885-890. 「日本全国沿岸海洋誌」(日本海洋学会沿岸海洋研究部会編). 東海大学出版会. 東京.
 今井一郎 2000. 赤潮微細藻類の計数と無菌培養法. pp. 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.
 Iwataki, M., Kawami, H. & Matsuoka, K. 2007. *Cochlodinium* sp. nov. (Gymnodiniales, Dinophyceae), a new chain-forming unarmored dinoflagellate from Asian coasts. *Phycological Research* 55: 231-239.
 Iwataki, M., Kawami, H., Mizushima, K., Mikulski, C. M., Doucette, G. J., Relox Jr. J. R., Anton, A., Fukuyo, Y. & Matsuoka, K. 2008. Phylogenetic relationships in the harmful dinoflagellate *Cochlodinium polykrikoides* (Gymnodiniales, Dinophyceae) inferred from LSU rDNA sequences. *Harmful Algae* 7: 271-277.
 鹿児島県水産技術開発センター 2006-2007. 鹿児島県水産技術開発センター事業報告. 鹿児島.
 鹿児島県水産試験場 1995. 鹿児島県の赤潮生物 (増補版). No. A-8. 鹿児島県水産試験場. 鹿児島.
 金 大一・本城凡夫 2005. 八代海における *Cochlodinium polykrikoides* の赤潮. 月刊海洋. 37(1): 40-47.
 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.
 Matsuoka, K., Iwataki, M. & Kawami, H. 2008. Morphology and taxonomy of chain-forming species of the genus *Cochlodinium* (Dinophyceae). *Harmful Algae* 7: 261-270.
 長崎県総合水産試験場 1998-2008. 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一. 長崎県総合水産試験場. 長崎.
 長崎県総合水産試験場 2005. 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一. p. 16. 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一. 長崎県水産試験場. 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.
 櫻田清成・木野世紀・小山長久・糸山力生 2007. 八代海における有毒プランクトンの発生状況と予察法の検討. 熊本水研研報 7: 31-44.
 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.
 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 2005a. 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・高木信夫・岩滝光儀・松岡数充 2005b. 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. 日本水産学会誌 72: 160-168.
 山砥稔文 2006. 九州沿岸に分布する有害渦鞭毛藻 *Cochlodinium polykrikoides* の生理生態学的研究. 長崎水試研報 32: 23-90.
 Yuki, M. & Yoshimatsu, S. 1989. Two fish-killing species of *Cochlodinium* from Harima Nada, Seto Inland Sea, Japan. In: Okaichi, T., Anderson, D. M. & Nemoto, T. (eds) *Red tides: Biology, environmental science, and toxicology*. Elsevier, Amsterdam, pp. 451-454.
 (Received April 30, 2010; Accepted August 31, 2010)