

有害無殻渦鞭毛藻 *Cochlodinium polykrikoides* Margalef 研究 の現状 (総説)

松岡敷充¹⁾・岩滝光儀²⁾

¹⁾ 長崎大学水産学部 〒852-8521 長崎市文教町 1-14

²⁾ 長崎県産業振興財団・長崎大学水産学部 〒852-8521 長崎市文教町 1-14

Present status in study on a harmful unarmored dinoflagellate *Cochlodinium polykrikoides* Margalef

KAZUMI MATSUOKA¹⁾ AND MITSUNORI IWATAKI²⁾

¹⁾ Laboratory of Coastal Environmental Sciences, Faculty of Fisheries, Nagasaki University, 1-14 Bunkyo-machi, Nagasaki 852-8521, Japan

E-mail: kazu-mtk@net.nagasaki-u.ac.jp

²⁾ Nagasaki Industrial Promotion Foundation, Faculty of Fisheries, Nagasaki University, 1-14 Bunkyo-machi, Nagasaki 852-8521, Japan

Abstract An unarmored chain-forming dinoflagellate *Cochlodinium polykrikoides* Margalef is one of the harmful species for fish aquaculture in western Japan and southern Korea for the last two decades. This species was first recognized in the Yatsushiro Sound of West Japan in 1978 with a serious economic damage to yellow-tail aquaculture industries, and thereafter this species has been continuously expanding its habitat and giving damages to aquaculture industries in both Japan and Korea. Recently, the geographical distribution of *C. polykrikoides* seems to expand in tropical to subtropical coastal waters of Southwest Asia. However, its biological nature such as optimum environmental conditions for reproduction, life history and ichthyotoxicity are still unclear for the moment. Noxious effects on aquaculture, expanding mechanisms and taxonomic histories of motile cells and cysts were summarized and discussed in the present study for clarification of various problems concerning with *C. polykrikoides*.

Key words: *Cochlodinium*, *Cochlodinium polykrikoides*, dinoflagellate, taxonomy, cyst

1. はじめに

無殻渦鞭毛藻 *Cochlodinium polykrikoides* Margalef は大西洋プエルトリコ島から Margalef (1961) によって記載された。日本では 1978 年に八代海で本種を原因種とした赤潮が発生した後、西日本ではほぼ毎年その出現が記録されている。近年は韓国でも朝鮮半島南部沿岸海

域で本種による甚大な漁業被害が発生している。しかし、本種の増殖特性や生活史、魚毒性についての研究はこれまで十分になされてきたとはいえない。また、これまでの形態の記載を整理した結果、本種の生物名についても再検討を要することが明らかになった。さらに本種の出現記録から判断すると、本種は熱帯～亜熱帯沿岸域に適應して生息していると思われ、今後西日本のみならず東アジアや東南アジア沿岸域でも大規模な赤潮を形

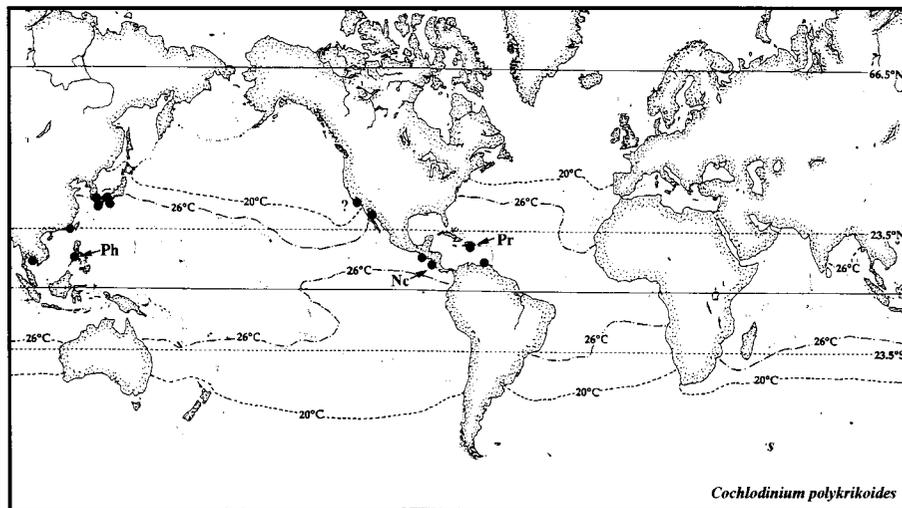


Fig. 1. Map showing the distribution of *Cochlodinium polykrikoides* Margalef. Ph: Luzon Isls., Philippines, Nc: Nicoya Bay, Costa Rica, Pr: Puerto Rico

成する可能性がある。小論では *C. polykrikoides* 研究の現状を整理し、早急に解明すべき課題を探る。

2. *Cochlodinium polykrikoides* 及び *Cochlodinium* sp. による漁業被害

日本では *Cochlodinium polykrikoides* による最初の被害は1979年に西九州・橘湾や八代海でブリやタイの斃死（被害金額約180万円）として発生した（水産庁九州漁業調整事務所1980）。これ以降1992年までは八代海を主としていたが、長崎県水産試験場報告書によると対馬や平戸沿岸域でも漁業被害が発生している。その後1998年には伊万里湾でマダイやブリ、トラフグ、シマアジの大量斃死（被害金額約8億円）が確認されるまでは、本種による大規模な漁業被害の報告はない。1999年と2001年には九十九島周辺海域で本種による赤潮が発生し、小規模な漁業被害が確認されている。また、これらとは別に1982年には鹿児島県笠利町地先で本種とは異なる *Cochlodinium* sp. の赤潮によってブリやヒラマサ、マダイに被害（被害金額約9千万円）が及んだ（水産庁九州漁業調整事務所1983）。

尹(2001)によると、韓国では1995年朝鮮半島南岸から東岸にかけて本種は大規模な赤潮を引き起こして多くの魚類養殖場に被害（764億 Won）を及ぼした。以降2001年に至るまではほぼ毎年沿岸海域に出現して被害を与えている。被害魚種はヒラメ、ブリ、クロソイなどで、1995年以降の被害金額は1996年21億 Won, 1997年15億 Won, 1998年2億 Won, 1999年3億 Won, 2000年3億 Won にのぼっている。

フィリピン・ルソン島南東部でも Fig. 1 の点 Ph に示すように、2002年に本種の赤潮発生による天然魚の斃死が確認されている (Relox & Bajarias 2003)。

3. *Cochlodinium polykrikoides* の魚毒性

Yuki & Yoshimatsu (1989) は瀬戸内海・播磨灘に出現した *Cochlodinium polykrikoides* には *Leiognathus nuchalis* (ヒイラギ) の稚魚に対して毒性があるとした。Onoue & Nozawa (1989a) は八代海に出現した本種から神経毒や溶血毒、血球凝集素を検出・確認した。さらに、Onoue & Nozawa (1989b) は八代海の本種が麻痺性貝毒 (paralytic shellfish poisoning) を産生する可能性を示したが、その後PSP産生は追認されていない。

Lee (1996) は朝鮮半島南部に出現した本種から粘液物質 (mucus-like substance) が放出されている事を示した。Kim D.-K. et al. (2002) は粘液物質による組織学的反応 (biologically multiple metabolites such as cytotoxic agents and mucus substance) を確認し、それが魚類斃死の原因であることを示唆した。Kim C.-S. et al. (1999) は1995年に鎮海湾で、1997年に忠武湾でそれぞれ分離された *C. polykrikoides* 2株が活性酸素 (superoxide anion; O_2^-), hydroxyl radical (-OH), hydrogen peroxide; H_2O_2) を産生していることを示し、それが魚類斃死の原因であるとした。しかし、Kim D.-K. et al. (2002) によると八代海・宇和海・伊万里湾・橘湾で分離・培養された *C. polykrikoides* 株の活性酸素産生は確認されておらず、魚類斃死は活性酸素を含むいくつかの要因があると報告している。

4. *Cochlodinium polykrikoides* の出現過程

Cochlodinium polykrikoides は2002年の春季から夏季、秋季にかけて西日本で多数出現した(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2002)。それらの資料を時系列で再整理したところ、本種には2通りの出現・拡散過程があると推察された。一つは夏季から秋季に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型(海流依存型)と他の一つは小規模な海湾で散発的に発生し、増殖に適合した環境で赤潮を形成する型(個別発生型)である。2002年に西日本各地で確認された *C. polykrikoides* の出現確認時期は次のように整理できる。

1. 海流依存型(対馬暖流域; Fig. 2, Table 1)

この分布拡大型は後述する韓国沿岸域での拡大様式と一致する。すなわち春季から夏季に九州南部の八代海や五島列島沿岸域で発生した *Cochlodinium polykrikoides* は水温の上昇とともに増殖を続け、赤潮状態にまで達する。その一部が対馬暖流によって運搬され、流域の各湾に搬入される。その場が増殖に適した環境であれば赤潮

状態に到る。2002年に伊万里湾や博多湾で出現していないことは、*C. polykrikoides* を運ぶ流れがこの時期に西九州北岸にはあまり接近せず、沖合を流れ、さらに日本海西部を東流した可能性が考えられる。2000年の夏季に伊万里湾で本種の赤潮による大規模な魚類斃死があったことは、その年には *C. polykrikoides* を運ぶ流れが伊万里湾に到達していたことを示唆している。

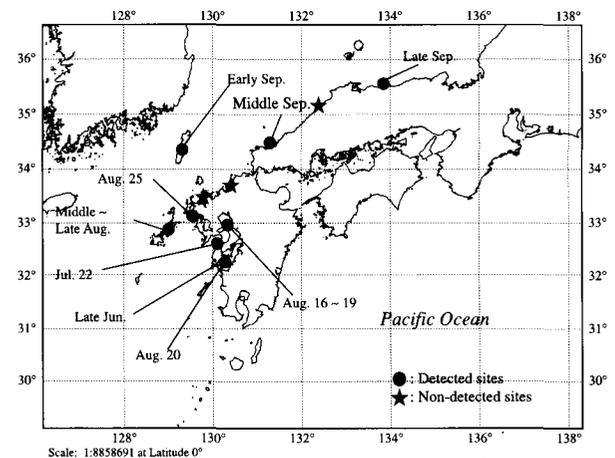


Fig. 2. Occurrence dates and locations of *Cochlodinium polykrikoides* Margalef along the Tsushima Current in 2002.

Table 1. Occurrence dates, locations and cell densities of *Cochlodinium polykrikoides* Margalef in West Japan in 2002. Upper column; Coast of the Tsushima Current in 2002, Lower column; West Japan in 2002.

Sea area	Appearance	Maximum cell density (cells/ml)
Yatsushiro Bay, Kagoshima	20 Aug.	10000
Yatsushiro Bay, Kumamoto	late June	ND
Tachibana Bay, Nagasaki	22 July	
Ariake Sound, Nagasaki	16-19 Aug.	3080
Goto Islands, Nagasaki	mid-late Aug.	221
Kujukushima Is, Nagasaki	25 Aug.	700
Tsushima Islands, Nagasaki	early Sept.	798
Imari Bay, Nagasaki	NR	
Kariya Bay, Saga	NR	
Hakata Bay, Fukuoka	NR	
Japan Sea, Yamaguchi	mid Sept.	>1000
Off Shimane		ND
Off Shimane	late Sept.	ND
Uranouchi Bay, Kochi	8 July	ND
Inokushi Bay, Oita	early April-mid May	3125
Nagoya Bay (West Seto Inland Sea)	late April	2200
Bungo, Uwa Sounds	8-17 July	933
Harima Sound	late June-mid Oct.	ND
Bisanseto Sound	late July-mid Aug.	ND
Hiuchi Sound	late Aug.-early Sept.	ND

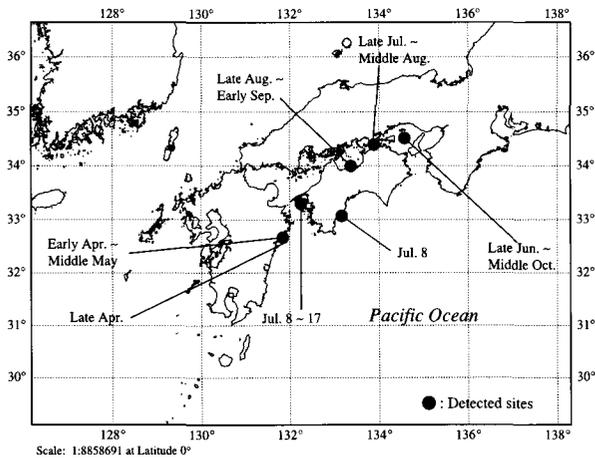


Fig. 3. Occurrence dates and locations of *Cochlodinium polykrikoides* Margalef in West Japan in 2002.

2. 個別発生型（西日本太平洋南岸や瀬戸内海沿岸海域；Fig. 3, Table 1）

対馬暖流沿岸以外の他の海域では *Cochlodinium polykrikoides* の出現時期に時系列的規則性が認められない。このことは、これらの海域では独自に *C. polykrikoides* の種（タネ）となるべき個体群が存在しており、水温上昇など至適環境が整ったときに出現すると考えられる。

韓国での初期発生と拡大過程

尹 (2001) によると、「韓国では *Cochlodinium polykrikoides* の赤潮発生時には初期細胞として堆積物表層部に沈積したシストからの発芽（未確認）とともに、6月頃には済州島沖や羅老島沖の外洋域に生息している栄養細胞が想定されている。これらが8月下旬からの海水温低下などの刺激により沿岸域で赤潮状態にまで増殖し、それが対馬暖流によって朝鮮半島南部から東部へと運搬され、その過程で各地の沿岸域で増殖し、大規模な赤潮となる」と説明されている。

韓国の *C. polykrikoides* は1982年に釜山沿岸域でその出現が初めて記録された後、鎮海湾や唐東湾や普州湾での小規模な出現が認められている (Park 1991, Kim et al. 1998)。1995年以降には朝鮮半島南西部の羅老島海域まで分布が拡大するとともに、出現が大規模化したことが指摘されている (尹 2001)。

5. *Cochlodinium polykrikoides* の増殖特性

韓国沿岸域に出現した *Cochlodinium polykrikoides* は水温 10~31°C, 塩分 15~45 で増殖が認められ、最大

増殖速度を与える環境は水温 22~25°C, 塩分 35 付近にあるとしている (NFRDI 1998, 2000)。日本沿岸域での本種の出現事例をみると西日本に偏っており、また出現時期が春季から初秋で、大規模な赤潮形成は7~8月に多いことから、本種は高温域を好むと思われる。山砥他 (2003) は1999年に長崎県伊万里湾に出現した本種の赤潮発生状況と増殖特性を検討し、水温 17.5~30.0°C, 塩分 16~35 の環境で増殖が可能であり、最大比増殖速度 (0.90 day⁻¹) は水温 27.5°C, 塩分 32 であることを報告した。日本ではこれまで *C. polykrikoides* の人工培養例が少なく、個体群ごとの最適増殖水温や塩分については十分に検討されていない。

6. *Cochlodinium polykrikoides* の分類学上の問題点

日本では漁業被害を与える *Cochlodinium* 属渦鞭毛藻はこれまでに3種が確認されている。東京湾を中心に出現した *C. catenatum* Okamura, 西九州を中心に出現している *C. polykrikoides* と1982年に鹿児島県笠利町地先で出現した *Cochlodinium* sp. である。このうち最も古い記録は1907年6月に三浦半島東岸に出現した *C. catenatum* である (朝倉 1908)。

Cochlodinium catenatum Okamura 1916, p. 32, 41, figs. 1-3.

岡村 (1916) の原記載では細胞は亜球形。3, 4, 6細胞からなる連鎖群体が描かれている。色素体は棒状で、前後方向に伸長。核は細胞の約半分を占め、前端に位置する。上錐部に「所謂眼点」とされた顆粒がある。透明被膜シスト (hyaline cyst) は描かれていない。岡村 (1916) の記述にはこれらの図はカメラルシダにて描かれているとあることから、観察時の細胞は停止しており、外部形態の変形が始まっていた可能性が高い。

岡村 (1916) によると、本種はその後1909年6月と1913年8月、1914年7月にやはり東京湾の三浦半島東岸を中心に出現している。さらに岡村 (1916) は1910年と1911年に観察した横浜港の試料を基に、本種を *Cochlodinium catenatum* Okamura と命名して記載した。その後、平坂 (1922) は *C. catenatum* の出現を三河湾と五ヶ所湾で確認している。この報告を最後に本種の日本近海からの出現記録は途絶える。Kofoid & Swezy (1921) による *C. catenatum* の記載は、岡村 (1916) の原記載と比較すると核が細胞のほぼ中央にあること、色素体が描かれず、細胞の色が黄緑色から黄土色を示す点で異なる。

C. catenatum と同定された *Cochlodinium* 属の種は 1979 年 3 月に初めて中米コスタリカのニコヤ湾で赤潮を形成し (Hargaves & Viquez 1981), その後も継続して出現している (Hargaves & Viquez 1995). しかし Hargaves & Viquez (1981; p. 33, Fig. 1) はニコヤ湾に出現した *Cochlodinium* を *C. catenatum* Okamura と仮に同定しているものの, Kofoid & Swezy (1921) のいう *C. catenatum* は岡村 (1916) の原記載と細胞の色が異なる点を指摘し, ニコヤ湾での *Cochlodinium* はむしろ *C. heterolobatum* Silva に類似していると記述している. このように, Kofoid & Swezy (1921) のいう *C. catenatum* は岡村 (1916) の原記載と異なっている点が以前より指摘されている.

Cochlodinium polykrikoides Margalef 1961, p. 76, fig. 27 m.

Margalef (1961) の原記載では, 本種は連鎖群体で出現することが多く, 細胞長約 $50 \mu\text{m}$, 上錐は円錐からロート状, 下錐は左右非対称のドーム状, 横溝は 1.5~1.8 回転, 核は卵形で細胞中央部よりやや前に位置し, 大きな赤褐色眼点を細胞背面前部にもつ, と記載されている.

本種は 1978 年に九州・八代海で出現し, 多大の漁業被害を与えた (水産庁九州漁業調整事務所 1980). 出現当初, 本種は *Cochlodinium* sp. type Yatsushiro や *Cochlodinium* sp. 78 八代型と仮称された (鹿児島県水産試験場 1985) が, Yuki & Yoshimatsu (1989) によってそれらが *C. polykrikoides* であると同定された.

2002 年に五島列島福江島沿岸で採取された標本や 1999 年に西九州沿岸域の伊万里湾に出現した標本, 2001 年に韓国南部釜山沿岸海域で採取した標本の形態を著者が観察した結果は以下の通りである.

単細胞では前端がやや尖り, 後端は丸みをおびたやや細長い卵形あるいは砲弾形である (Fig. 4-1). 細胞は $30\text{--}40 \mu\text{m}$, 細胞幅は $20\text{--}30 \mu\text{m}$, 細胞厚は $20\text{--}28 \mu\text{m}$. 連鎖群体では, 先頭細胞の前端はやや尖るが, 後端は後続細胞の前端と強く接するため平坦になる. 最後部細胞の前端は平坦であるが, 後端は丸みを帯び, 縦溝によるへこみがある. 連鎖群体の中間細胞では前端, 後端とも平坦で, ビール樽状の形態を示す (Figs. 4-4a, 5). 連鎖群体は 2, 4, 8 細胞から構成されることが多いが, 希に 16 細胞になることもある (Figs. 4-2, 4, 5). 細胞は核の位置する部分を除き, 黄褐色を呈する. 核は無色・球形で, 細胞長の 1/4 を占め, 前端部に位置し, その中には常に大型の染色体が観察される (Figs. 4-2b, 4b). 色素体

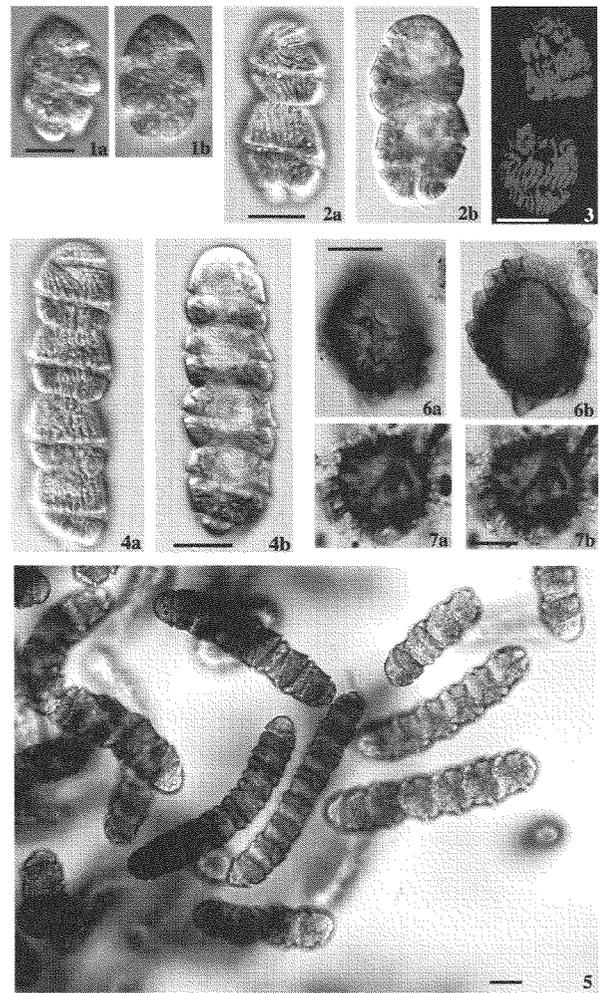


Fig. 4. Morphology of vegetative cells and possible resting cysts of *Cochlodinium polykrikoides* Margalef.

1; Single cell, a; ventral view, b; optical cross section showing a large nucleus; sample from Imari Bay collected in 2000.

2; Two cells chain, a; dorsal view showing a distribution of rod-like chloroplasts, b; optical cross section showing orange pigmented bodies; sample from Tachibana Bay collected in 2002.

3; Two cells chain, photograph taken under B emission of confocal microscope showing a distribution of rod-like chloroplasts; sample from Kamigoto collected in 2002.

4; Four cells chain, a; optical cross section for lateral view showing a large nucleus in the epicone, b; dorsal surface showing a distribution of rod-like chloroplasts; sample from Kamigoto collected in 2002.

5; 4 to 8 cell chains in red tide sample collected from Pusan, Korea in 2001.

6; Possible resting cyst of *Cochlodinium* sp. 1; (cf. *polykrikoides*); empty cyst ornamented with fin-like projections collected from surface sediment of Puerto Qutzale, Guatemala.

7; Possible resting cyst of *Cochlodinium* sp. 2; empty cyst possessing slender rod-like processes.

Scale bar; $20 \mu\text{m}$

は黄褐色棒状で、細胞周縁部に縦方向に密に分布する (Figs. 4-2a, 3, 4a). 新鮮な天然細胞はしばしば 1~2 個の橙色顆粒を含む (Fig. 4-2a). 球形で無色の顆粒 (貯蔵デンプン粒) が多数含まれる。

Cochlodinium sp. of Yuki & Yoshimatsu 1989, p. 452, Figs. 2a-d.

Yuki & Yoshimatsu (1989) の記載では、本種は通常は単細胞で出現し、まれに 4 細胞連鎖を形成、横溝はほぼ 2 回転、縦溝はほぼ 1 回転、下錐右後端がやや凹み、核は細胞前部、眼点は細胞背面前部にあり、黄茶色で多数の色素体をもつ。本種は 1985 年に播磨灘で小規模な赤潮を形成し、その際にブリの異常行動が確認されている (Yuki & Yoshimatsu 1989)。

Cochlodinium polykrikoides と *C. catenatum* は、1) 4 細胞以上の連鎖群を形成する、2) 黄褐色で棒状の色素体が細胞周縁部に多数分布する、3) 核は球形で大きく上錐部に位置する、4) 魚毒性を示す、などの点で一致するが、細胞外形が *C. polykrikoides* は細長い卵形であるのに対し、*C. catenatum* は亜球形である点が異なっている。しかし、Kim, C.-H. et al. (2002) が示したように、*C. polykrikoides* は運動性を失った時に連鎖群体の状態で透明被膜シストを形成し、その時の細胞は亜球形である。この形態は岡村 (1916) による *C. catenatum* の原記載図と一致する。岡村 (1916) の記載が採取直後の新鮮で運動性を有する栄養細胞に基づいていたのか否かの記述が明確になされていないが、原記載図は細胞の外形から判断すると hyaline cyst である可能性が極めて高い。

Cochlodinium polykrikoides と *Cochlodinium* sp. of Yuki & Yoshimatsu とは後者が通常は単細胞で出現すること、楕円形であることから識別可能のようであるが、色素体の形態も異なっているようであり、今後の検討が必要である。

7. 日本沿岸域に出現する *Cochlodinium* 属の その他の種

Cochlodinium sp. of Yuki & Yoshimatsu 1989, p. 452, figs. 2a-d.

細胞は楕円形、通常は単細胞であるが、まれに 4 細胞以下の連鎖群を形成。横溝は 2 回転、縦溝は 1 回転。上錐溝は左旋回型。上錐に核。色素体は黄褐色、多数。

Cochlodinium convolutum Kofoid & Swezy 1921, p. 363-364, pl. 10. fig. 115, text-fig. HH5.

核は細胞中央部で、やや丸みを帯び、前後に伸長した直方体。

Cochlodinium flavum Kofoid; 1931, p. 26-27, pl. II, fig. 13.

細胞は紡錘形。黄土色~淡茶色。楕円形から短い棒状の色素体。核は下錐部。透明被膜シストを形成する。陸奥湾から報告されている。表層水温 25.3°C で出現。

Cochlodinium helicoides Lebour; Kofoid 1931, p. 27-28, Fig. R; 安達 1972, p. 66-67, pl. 7, F-J.

細胞は非対称な卵形。核は亜球形で下錐部。楕円形で淡橙色の色素体が細胞周縁部に散在。透明被膜シストを形成する。Kofoid (1907) は陸奥湾から、佐藤他 (1966) は的矢湾から本種を報告している。陸奥湾での本種の出現時の表層水温は 25.4°C であった (Kofoid 1931)。

Cochlodinium radiatum Kofoid & Swezy; Kofoid 1931, p. 28-29, Fig. S.

細胞は丸みを帯びた楕円形。核は楕円形で、細胞中央部の右側。楕円形、淡橙色の色素体が細胞周縁部に散在。透明被膜シストを形成する。陸奥湾から報告されている。表層水温 24.5°C で出現。

Cochlodinium schuettii Kofoid & Swezy; Kofoid 1931, p. 29-30, Fig. T.

細胞は非対称な卵形、レモン色。核は楕円形でややねじれ、ほぼ細胞中央部。レモン色で細い楕円形の色素体が細胞周縁部。透明被膜シストを形成する。陸奥湾から報告されている。表層水温 24.5°C で出現。

Cochlodinium sp. of Takayama (pers. com.; 未記載種)

細胞は砲弾型。横溝は 1.5 周、段差は 1/2~2/3。縦溝は細胞周囲を 0.5 周して底端にくる。核は長楕円形で細胞右にある。顆粒状の色素体が散在。透明被膜シストを形成する。1997 年 9 月に鹿児島湾奥部で赤潮を形成した。

8. *Cochlodinium polykrikoides* のシスト

Cochlodinium polykrikoides は現時点では冬季の水温低下期に栄養細胞が確認されていないこと、海域ごとに初出現の時期がずれること、等から休眠性シストを形成

すると推察されるが、現時点では生シスト培養発芽実験による確認はない。堆積物に保存されるシストが本種に存在するの否かを明らかにすることは、本種の初期発生を考察する上で極めて重要である。本種のシストに関する現時点での報告を以下に整理する。

Cochlodinium sp.

福代 1982, p. 207, pl. II, figs. 1-4.; Matsuoka 1985, p. 221-222, pl. II, figs. 4-5.

シストは茶褐色で亜球形～楕円形、表面に分布が不規則で先端が円くなった繊維質のヒレ状突起物を備える。発芽孔はスリット状 (chasmic)。

福代 (1982) の播磨灘表層堆積物試料を用いた発芽実験や Matsuoka (1985) の大村湾表層堆積物試料を用いた発芽実験により、それぞれ *Cochlodinium* sp. と同定できる栄養細胞が確認されている。しかし、それらの遊泳細胞は種までの同定がなされていない。

Cochlodinium sp. 1 (*C. cf. polykrikoides*), Rosales-Loessener et al. 1996, Fig. 1.

Rosales-Loessener et al. (1996) は中米・グアテマラ太平洋沿岸で *Cochlodinium polykrikoides* の赤潮に遭遇し、その時に採取した表層堆積物から赤色顆粒を含む新鮮な原形質で充たされた茶褐色楕円形でヒレ状突起物を備えたシストを多数検出し、それを *Cochlodinium polykrikoides*? として図示した。この報告を踏まえ、Matsuoka & Fukuyo (2000) は福代 (1982) や Matsuoka (1985) が示した茶褐色楕円形でヒレ状突起物を備えたシストは *C. polykrikoides* である可能性が高いと判断し、それを *Cochlodinium* sp. 1 (*C. cf. polykrikoides*; Plate 1, Fig. 6) として再掲載した。その際、茶褐色で亜球形、板状で先端が広がった (antleriform) 突起物を備えたシストを *Cochlodinium* sp. 2 (Plate 1, Fig. 7) として区別した。

本種には *Cochlodinium* 属の他種と同様に透明被膜シストの形成が最近になって確認された。Kim, C.-H. et al. (2002) は 2001 年夏季に朝鮮半島南部から東南部沿岸海域で大規模に出現した *C. polykrikoides* の室内培養を試みたところ、培養後 1 日で連鎖群体の細胞は活動を停止し、それぞれの細胞が球形化した後に、連鎖群体全体が透明の被膜で包み込まれたことを観察するとともに、さらに 1996 年に採取された時にも *C. polykrikoides* がこの透明被膜シストを形成し、その細胞は 4°C で光を遮断した環境で長期間保存された後に、20°C, 2000 lux の環境に戻したところ、それらは再度活動を開始したことを

報告した。これに基づき、Kim, C.-H. et al. (2002) は透明被膜シストは休眠細胞の一形態であると考えたが、赤潮発生現場で採取された表層堆積物からは透明被膜シストは確認されていない。

9. 今後の課題

1. 被害対策: 本種の赤潮による魚類斃死被害の予察・防除を行うためには、本種の増殖特性を明確にする必要がある。また、本論文で推察した 2 通りの出現・拡散過程を証明するためには、更なる遺伝学的手法を用いた裏付けが望まれる。
2. 分類: 記載の比較からは *C. polykrikoides* Margalef と *C. catenatum* Okamura との形態上の違いは確認されなかった。これらが同種であることが記載地の試料の比較等により確認されるのであれば、分類学上の再検討が必要になる。学名の優先権は現在広く使われている *C. polykrikoides* ではなく *C. catenatum* にある。
3. 休眠シスト: 異なる海域における赤潮発生の種となりうる休眠シストは、*Cochlodinium cf. polykrikoides* からの報告はあるが、未だ *C. polykrikoides* のシストとしての確認はなされていない。本種の「個別発生型」個体群の分布域を明確にするためにも、シスト形態の再確認が待たれる。

謝 辞

本研究には水産庁平成 14 年度赤潮・貝毒被害防止対策事業経費および長崎県地域結集型共同研究事業経費を用いた。また長崎県総合水産試験場および熊本県水産研究センターからは *Cochlodinium polykrikoides* による漁業被害等の資料を提供していただいた。また、広島県水産試験場高山晴義博士には *Cochlodinium polykrikoides* の形態について有益な議論をしていただいた。関係各位に深くお礼申し上げる。

引用文献

- 朝倉慶吉 1908. 横濱近海の赤潮に就て. 神奈川県測候所.
 安達六郎 1972. 赤潮生物の分類学的研究. 三重大学水産学部紀要 9: 10-144.
 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. 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, 24 pp.
 福代康夫 1982. 無殻渦鞭毛藻のシスト. 環境科学研究報告書「海洋環境特性と赤潮発生に関する基礎研究」B-148-R14-8,

- pp. 205-214, 文部省科学研究費報告書.
- Hargaves, P. E. & M. Viquez 1981. The dinoflagellate red tide in Golfo Nicoya, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical* **29**: 31-38.
- Hargaves, P. E. & M. Viquez 1995. Annual cycle of potentially harmful dinoflagellates in the Golfo de Nicoya, Costa Rica. *Bull. Mar. Sci.* **57**: 467-475.
- 平坂恭介 1922. 本年春期に起れる赤潮. *動物学雑誌*, **34**: 740-748.
- 鹿児島県水産試験場 1985. *Cochlodinium* sp. 78 八代海型種のシストの存在確認試験. 昭和 59 年度赤潮対策技術開発試験報告書. 6-1 魚貝類斃死防止技術開発試験 (B), 50-55.
- Kim, C. -H., H. -J. Cho, J. -B. Shin, C. -H. Moon & K. Matsuoka 2002. Overwintering potential of hyaline cysts of *Cochlodinium polykrikoides* (Gymnodiniales, Dinophyceae): An annual red tide organism along the Korean coast. *Phycologia*. **41**: 667-669.
- Kim, C. -S., S. -G. Lee, C. -K. Lee, H. -G. Kim & J. Jung 1999. Reactive oxygen species as causative agents in the ichthyotoxicity of the red tide dinoflagellate *Cochlodinium polykrikoides*. *J. Plankton Res.* **21**: 2105-2115.
- Kim, D. -K., T. Oda, T. Muramatsu, D. -I. Kim, Y. Matsuyama & T. Honjo 2002. Possible factors responsible for the toxicity of *Cochlodinium polykrikoides*, a red tide phytoplankton. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C*. **132**: 415-423.
- Kim, H. G. 1998. Harmful algal blooms in Korean coastal waters focused on three fish-killing dinoflagellates. pp. 1-20. In *Harmful algal blooms in Korea and China* (ed. H. G. Kim, S. G. Lee & C. K. Lee). National Fisheries Research and Development Institute, Busan.
- Kofoed, C. A. 1931. Report of the biological survey of Mutsu Bay. 18. Protozoan Fauna of Mutsu Bay. Subclass Dinoflagellata; Tribe Gymnodinioidae. Science Report of the Tohoku Imperial University, Fourth Series (Biology), vol. 6, No. 1, 43 pp.
- Kofoed, C. A. & O. Swezy 1921. The free living unarmored Dinoflagellata. *Memoirs of the University of California (Berkeley)*, **5**, pp. viii + 538.
- Lee, J. S. 1996. Bioactive components from red tide plankton, *Cochlodinium polykrikoides*. *J. Korean Fish. Soc.* **29**: 165-173.
- Margalef, R. 1961. Hidrografía y fitoplancton de un área marina de la costa meridional de Puerto Rico. *Invest. Pesq.* **18**: 33-96.
- Matsuoka, K. 1985. Archeopyle structure in modern gymnodinial dinoflagellate cysts. *Rev. palaeobot. Palynol.* **44**: 217-231.
- Matsuoka, K. & Y. Fukuyo 2000. Technical guide for modern dinoflagellate cyst study. WESTPAC-HAB/WEAT-PAC/IOC, JSPS, Tokyo. 29 pp.
- 長崎県総合水産試験場 1992-2003. 赤潮プランクトン等監視調査事業報告書-1. 一長崎県における赤潮の発生状況一.
- NFRDI (National Fisheries Research and Development Institute) 1998. Recent red tides in Korean coastal waters (2nd ed.), Republic of Korea. 292 pp.
- NFRDI (National Fisheries Research and Development Institute) 2000. Proceedings of the inter-state symposium on the evaluation on the mitigation capability of clay and yellow loess at the harmful algal blooms and their impacts on marine ecosystem, Republic of Korea. 121 pp.
- 岡村金太郎 1916. 赤潮に就て. 水産講習所試験報告. **12**: 26-41.
- Onoue, Y., K. Nozawa, K. Kumanda, K. Takeda & T. Aramaki 1985. Toxicity of *Cochlodinium* type '78 Yatsushiro occurring in Yatsushiro Sea. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* **51**: 147.
- Onoue, Y. & K. Nozawa 1989a. Separation of toxins from harmful red tides occurring along the coast of Kagoshima Prefecture, pp. 371-374. In *Red Tides: Biology, Environmental Science and Toxicology* (ed. T. Okaichi, D. M. Anderson & T. Nemoto). Elsevier, Amsterdam.
- Onoue, Y. & K. Nozawa 1989b. Zinc-bound PSP toxins separated from *Cochlodinium* red tide, pp. 359-366. In *Mycotoxins and Phycotoxins '88* (ed. S. Natori, K. Hashimoto & Y. Ueno). Elsevier, Amsterdam.
- Park, J. S. 1991. Red tide occurrence and countermeasure in Korea, pp. 1-24. In *Recent Approaches on Red Tides* (ed. Park, J. S. & H. G. Kim). National Fisheries Research and Development Institute, Busan.
- Relox Jr., R. J. & F. A. Bajarias 2003. Harmful algal blooms (HABs) in the Philippines, pp. 65-68. In *Extended abstracts of Workshop on Red Tide Monitoring in Asian Coastal Waters*. March 10-12, 2003, the University of Tokyo, Tokyo.
- Rosales-Loessener, F., K. Matsuoka, Y. Fukuyo & E. H. Sanchez 1996. Cysts of harmful dinoflagellates found from Pacific coastal waters of Guatemala. pp. 193-195. In *Harmful and Toxic Algal Blooms* (ed. Yasumoto, T. Y. Oshima & Y. Fukuyo). IOC-UNESCO, Sendai.
- 佐藤忠勇・武市善彦・安達六郎 1966. 1964 年志摩半島に出現したる赤潮について. 日本水産資源保護協会版. 84-94.
- Silva, Sousa E. 1967. *Cochlodinium heterolobatum* n. sp.: Structure and some cytophysiological aspects. *J. Protozool.* **14**: 745-754.
- 水産庁九州漁業調整事務所 1980 九州西部海域の赤潮. 15 pp.
- 水産庁九州漁業調整事務所 1983 九州西部海域の赤潮. 17 pp.
- Whyte, (Ian) J. N. C., N. Haigh, N. G. Ginther & L. J. Keddy 2001. First record of blooms of *Cochlodinium* sp. (Gymnodiniales, Dinophyceae) causing mortality to aquacultured salmon on the west coast of Canada. *Phycologia*. **40**: 298-304.
- 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. 長崎県水産試験場研究報告. **28**: 21-26.
- Yuki, K. & S. Yoshimatsu 1989. Two fish-killing species of *Cochlodinium* from Harima Nada, Seto Inland Sea, Japan, pp. 451-454. In *Red Tides: Biology, Environmental Science and Toxicology* (ed. T. Okaichi, D. M. Anderson & T. Nemoto). Elsevier, New York.
- 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.