

田辺湾における *Alexandrium catenella* (Dinophyceae)
の栄養細胞とシストの分布¹⁾

竹内 照文²⁾・小久保 友義²⁾・福代 康夫³⁾
和歌山県水産試験場²⁾・東京大学農学部³⁾

Distribution of Vegetative Cells and Cysts of *Alexandrium catenella*
(Dinophyceae) in Tanabe Bay¹⁾

TERUFUMI TAKEUCHI²⁾, TOMOYOSHI KOKUBO²⁾ AND YASUWO FUKUYO³⁾

*Wakayama Prefectural Fisheries Experimental Station, Kushimoto-cho,
Nishimuro-gun, Wakayama 649-35²⁾ and Faculty of Agriculture, the Uni-
versity of Tokyo, 1-1-1 Yayoi, Bunkyo-ku, Tokyo 113³⁾*

Abstract

A toxic dinoflagellate, *Alexandrium catenella* (WHEDON & KOFOID) BALECH blooms to make red tides in Tanabe Bay, Wakayama Prefecture, almost every year in this decade. Seasonal change in abundance of vegetative cells was monitored from 1981 to 1987 at one station (St. 4 in Fig. 1) in eastern area of the bay, where the species bloomed most frequently. Distribution of vegetative cells in the surface water was surveyed at 16 stations (Fig. 1) on May 27, 1987, and that of resting cysts in sediment was analyzed on June 10 and October 5, 1987, at the same stations. The density of cysts in the sediment was also observed 8 times in 1987 at two stations near St. 4.

Vegetative cells showed similar seasonal change in abundance from 1981 to 1987 (Fig. 2). Usually they appeared at the level of 10^2 cells \cdot l $^{-1}$ between January and March, and started rapid growth at mid-April and reached the peak density at mid-May (Fig. 2). Then the vegetative cells decreased quickly and disappeared in summer season of high temperature. The vegetative cells were distributed denser in the eastern area than in the northern and southern areas (Fig. 3). The density of cysts in the eastern area (Table 1) was low in May and June, and increased gradually from July by sedimentation of cysts formed during the bloom of the vegetative cells. The density was the highest in December. The cysts were distributed 0-42 cells \cdot cm $^{-3}$ in June (Fig. 4) and 0-186 cells \cdot cm $^{-3}$ in October (Fig. 5). While the density and pattern of the distribution differed between the two surveys, the higher number of cysts were found in the eastern area at each observation. These results showed that distribution patterns of the vegetative cells and resting cysts of *A. catenella* were similar, and the highest densities of both forms were found in the eastern area in Tanabe Bay. The density of the resting cyst in the bay was much lower in 1986 and

¹⁾ 1990年12月25日受理

1987 than in 1981 (Table 2). The highest density of the vegetative cells, however, did not decrease. It made red tide of the density of 10^4 - 10^6 cells \cdot l $^{-1}$ every year from 1981 to 1987. These results indicate that the blooming of vegetative cells of *A. catenella* in Tanabe Bay may not be affected by the cyst density, i.e. the size of seed population.

近年、生活史の一時期に非運動性のシストを形成する赤潮渦鞭毛藻が多く知られるようになり、赤潮の発生機構を解明するためにはこのシストの発芽や休眠について究明することが重要であると考えられてきた (ANDERSON 1984, 福代 1987). ANDERSON & WALL (1978) は *Alexandrium tamarense* (LEBOUR) BALECH ではシストが分布の広域化の手段になっていると指摘し、ANDERSON & MOREL (1979) は水温の上昇と下降がシストの発芽を誘起し、赤潮の発生に関連すると報告している。

麻痺性貝毒の原因プランクトンである *Alexandrium catenella* (WHEDON & KOFOID) BALECH は西日本の各地で広範囲に分布することが知られ (FUKUYO 1985), 生態学的特徴 (竹内 1985, 1989), 有性生殖の過程 (吉松 1985), シスト形成の季節性と栄養細胞との関連性 (竹内 1985), 更に、全国的なシストの分布範囲についても報告されている (FUKUYO 1985).

田辺湾では *A. catenella* が毎年5月中旬頃をピークに高密度に出現し (竹内 1985), ヒオウギガイやアサリが毒化する。また、シストが高密度に分布していることも知られている (水産庁 1987)。

そこで、*A. catenella* の栄養細胞とシストの分布を調査し、従来から得られている結果もふくめて、田辺湾における栄養細胞とシストの分布の関連性や栄養細胞の出現に果たすシストの役割について検討した。

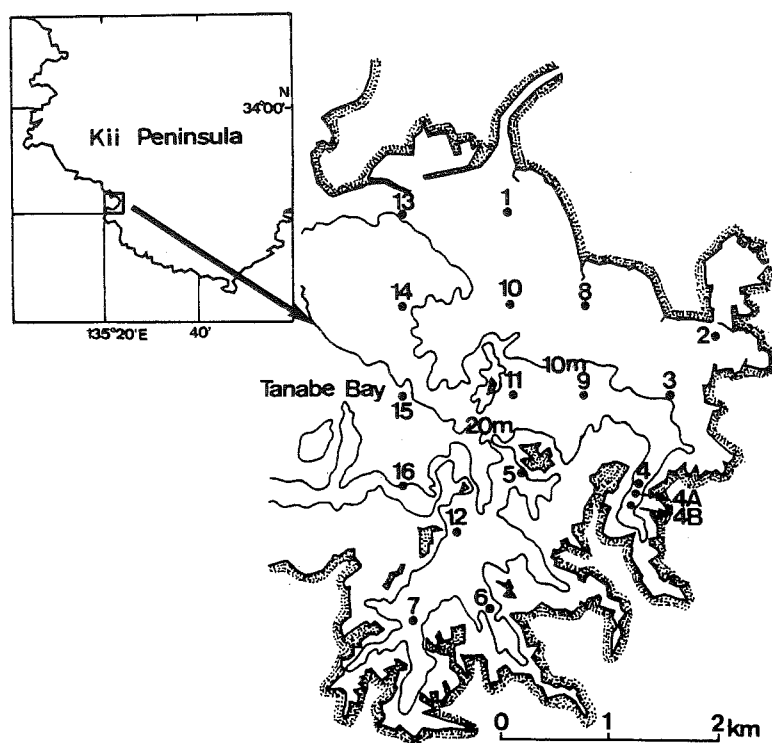


Fig. 1. Sampling stations in Tanabe Bay.

方 法

田辺湾内に出現する *A. catenella* の発生量の季節変動を調べるため、東部域の1定点 St. 4 (Fig. 1) において1981年から1987年まで毎月1-9回、バンドーン採水器を用いて表層水の採水を行った。また、*A. catenella* の水平分布を調べるため、1987年5月27日に湾内16定点 (Fig. 1) で表層と5m層の採水を同様に行った。*A. catenella* の栄養細胞は、採水した海水1リットルを孔径5 μm のフィルターを用いて重力ろ過法により10-20 mlに濃縮した後、その1 ml中の細胞数を計数した。

一方、*A. catenella* のシストについては、分布密度の変化をみるため、St. 4の近傍に St. 4A と St. 4B を設け、1987年3-12月に8回調査を行った。また、1987年6月10日と10月5日には16定点 (Fig. 1) で分布調査を行った。底泥は柱状採泥器 (コア内径38 mm) を用いて採取し、表面から1 cm深までの間の泥を分取して試料とした。シストの濃縮は試料を分画用フルイに載せ、超音波を照射しながらろ過海水で洗浄することによって行い、洗浄後は37-125 μm 画分をろ過海水で20 mlに定容して計数用試料を得た。計数は0.2 mlを分取して顕微鏡下で行い、4回 (合計0.8 ml) 繰り返した後、1 cm^3 中のシスト数に換算した。

結 果

1. 栄養細胞の季節変動

1981年から1987年の St. 4の表層における *A. catenella* の推移を Fig. 2に示す。*A. catenella* は毎年ほぼ同じようなパターンで推移し、3、4月から増殖し始め、5月中旬頃には $10^4-10^6 \text{cells} \cdot \text{l}^{-1}$ になってピークに達した。ピーク後は急速に減少し、夏場の高水温期にはほとんど検出されなくなった。9月下旬頃から再び出現するようになり、冬季の低水温期には $10^3 \text{cells} \cdot \text{l}^{-1}$ 以下の密度であったが、比較的コンスタントに出現していた。また、分布調査を行った1987年には概ね上記のようなパターンで推移していたが、増殖は4月中旬から始まり、5月中旬にはピークに達して、 $5.0 \times 10^5 \text{cells} \cdot \text{l}^{-1}$ になった。

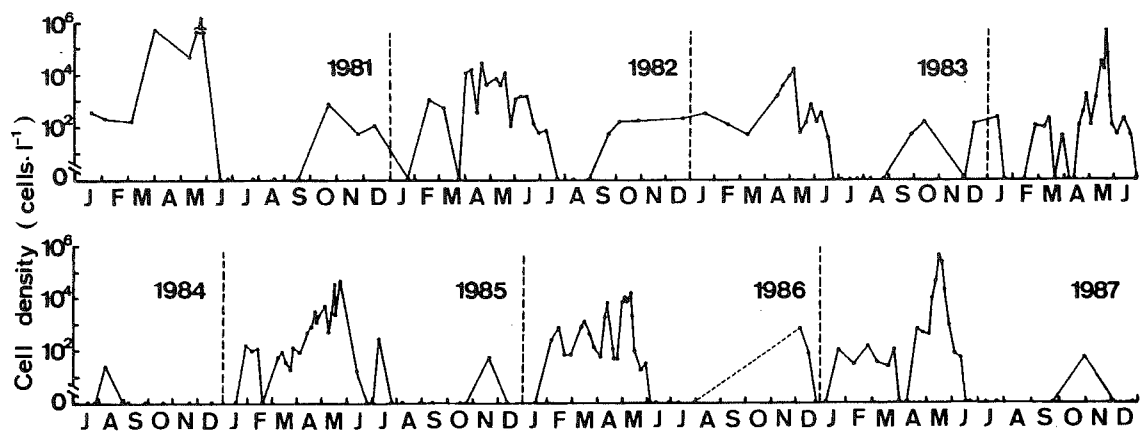


Fig. 2. Seasonal change of vegetative cells of *Alexandrium catenella* at the surface at St. 4 from 1981 to 1987.

2. シストの季節変動

St. 4A と St. 4B の底泥中のシスト堆積量の季節変動を Table 1に示す。シストは St. 4A では5月と6月に最も少なかったが、St. 4B では8月が最も少なく、両定点で幾分異なったパターンを示した。しかし、平均値でみると栄養細胞が高密度に出現し始める4月からシストは減少し、栄養細胞が最も高密度になった直後の5、6月に最も少なくなった。また、栄養細胞が消滅した7月からシストが徐々に増加し始め、12月に最も多くなった。

TABLE 1. SEASONAL CHANGE OF CYST ABUNDANCE OF *ALEXANDRIUM CATENELLA* IN THE SEDIMENT AT Sts. 4A AND 4B IN TANABE BAY FROM MARCH TO DECEMBER, 1987.

Date	Number of Cysts (cells·cm ⁻³)		
	St.4A	St.4B	Mean
March 24	519	379	449
April 20	179	220	200
May 21	11	100	56
June 22	5	115	60
July 22	362	89	226
August 24	446	55	251
October 30	259	282	271
December 2	629	430	530

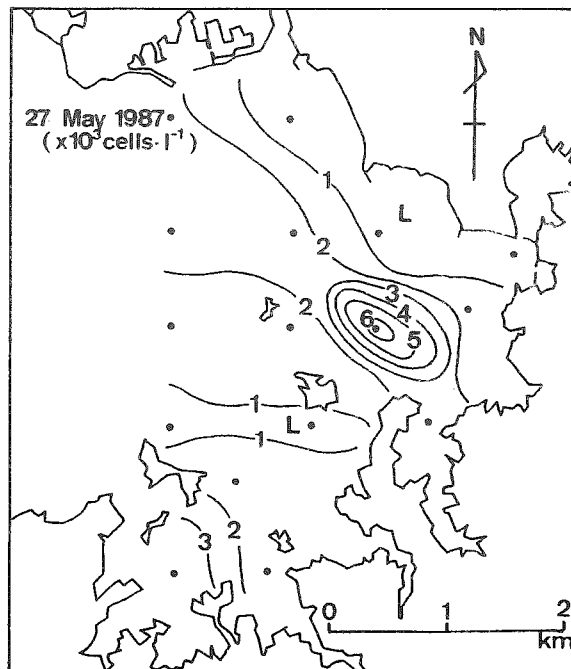


Fig. 3. Distribution of vegetative cells of *Alexandrium catenella* in the surface water (mean of 0 and 5 m layers) on May 27, 1987.

3. 栄養細胞の分布

5月27日の表層と5m層の平均値による *A. catenella* の分布を Fig. 3に示す。Fig. 2に示した St. 4での出現量の推移から、栄養細胞の調査は *A. catenella* の出現のピーク直後に行われたことになる。分布密度は $1.9 \times 10^2 - 6.2 \times 10^3 \text{ cells} \cdot \text{l}^{-1}$ で、湾東部の St. 9がわずかに濃く、湾北部から東部の St. 1, 2, 8や南部の St. 5, 16では $10^3 \text{ cells} \cdot \text{l}^{-1}$ 以下でやや少なかった。ただ、調査がピーク直後であったため、 10^4 , $10^5 \text{ cells} \cdot \text{l}^{-1}$ といった高密度に出現する定点がなく、比較的低密度であった。

4. シストの分布

6月10日と10月5日のシストの分布を Fig. 4と Fig. 5に示す。栄養細胞のピーク時から約1ヶ月後の6月10日には最高 $42 \text{ cells} \cdot \text{cm}^{-3}$ で、全定点の単純平均値が $11 \text{ cells} \cdot \text{cm}^{-3}$ であった。定点間の密度差は少なく均一な分布をしていたが、 $30 \text{ cells} \cdot \text{cm}^{-3}$ 以上のシストは湾東部の St. 2, 南部の St. 6や中央部の St. 11でみられ、湾北部から湾口部にかけての St. 1, 10, 13, 14では全く検出されなかった。栄養細胞のピーク時から約5ヶ月経過した10月5日には最高 $186 \text{ cells} \cdot \text{cm}^{-3}$ の密度で検出され、定点間の密度差がやや大きくなった。また、単純平均値が $52 \text{ cells} \cdot \text{cm}^{-3}$ で、6月に比べるとほぼ全定点で増加していた。湾東部の St. 4が最も濃く、南部から中央部にかけて $50 \text{ cells} \cdot \text{cm}^{-3}$ 以上の密度で分布していた。しかし、北部から湾口部にかけては少なく、St. 10, 13, 14と St. 15では6月10日と同様に検出されなかった。

考 察

1987年5月27日には栄養細胞が St. 9でやや多かったが、その他の定点ではあまり差がなく比較的均一な分布をしていた (Fig. 3)。過去の調査結果では、栄養細胞は St. 4を中心とする湾奥東部

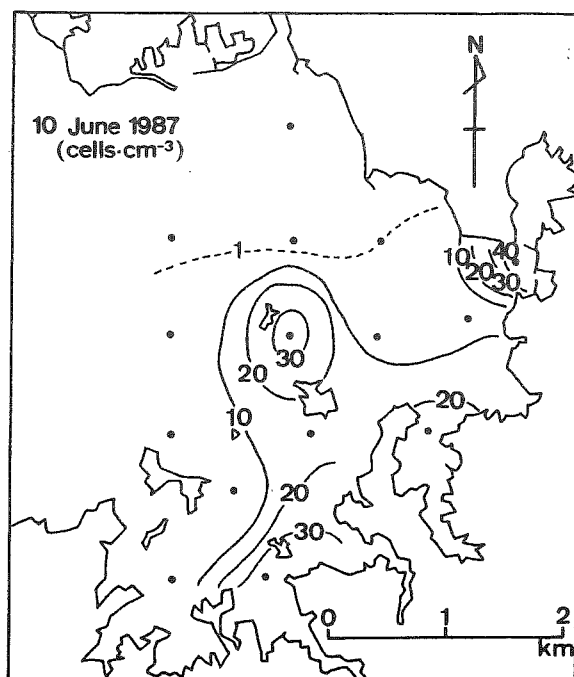


Fig. 4. Distribution of cysts of *Alexandrium catenella* on June 10, 1987.

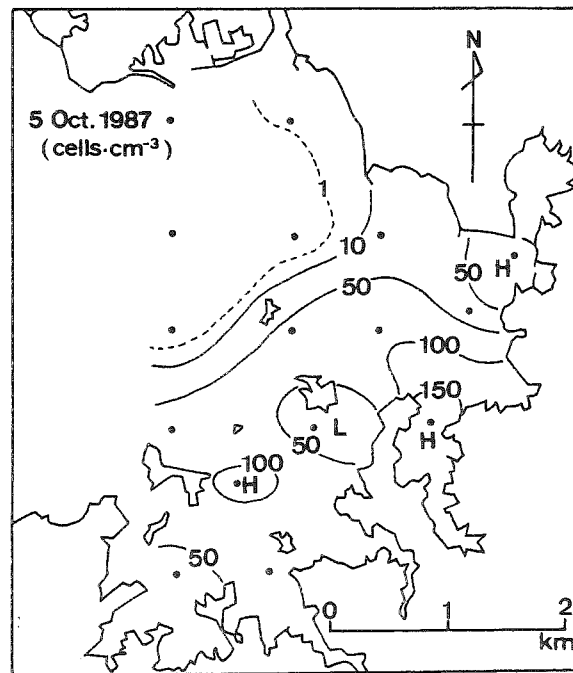


Fig. 5. Distribution of cysts of *Alexandrium catenella* on October 5, 1987.

域で最も多く出現し、湾中央や湾口部では徐々に少なくなる傾向が認められており（竹内 1985）、今回の分布パターンとは異なっていた。これは、調査が出現のピークを過ぎて行われたため（Fig. 2）、ピーク時から消滅時にかけて、栄養細胞が周辺水域に輸送、分散されていると考えられる。St. 4では5月中旬のピーク時には 10^5 cells \cdot l $^{-1}$ のオーダーで出現していた（Fig. 2）ことから推察して、1987年も増殖初期からピーク時にかけては、1980年や1984年に得られた分布パターン（竹内 1985）と同様に、St. 4を中心とした東部域で高密度に分布していたものと考えられる。

シストの分布密度は6月より10月の方が多かった（Fig. 4, 5）。6月の調査時はシストが海底に堆積する途中に当たっていたためと考えられる。本種のシストは、栄養細胞の増殖期に有性生殖によって生じた運動性接合子が、数週間かけて遊泳中に耐久性を獲得することによって形成され、次いで海底に沈降することが既に報告されている（竹内 1985）。即ち、1987年には栄養細胞が高密度に出現した5月中—下旬から数週間にわたって形成されたシストが海底へ徐々に沈降しており、この結果、海底に堆積しているシスト量が5、6月頃に最も少なく、7月頃から徐々に増加し始め、12月に最も多くなったと考えられる。

また、シストの分布は一様でなく、かなり複雑であった。しかし6月10日の 10 cells \cdot cm $^{-3}$ 以上や10月5日の 50 cells \cdot cm $^{-3}$ 以上の密度を示す分布域は概ね一致し、東部及び南部域で多く、湾口部や北部域で少ない傾向が認められた。特に、1987年のシストの現存量を集約するとともに、翌年へのシード・ポピュレーションを表していると考えられる秋季、即ち、1987年10月には東部のSt. 4が最も多かった。これらは、1986年9月（水産庁 1987）に行われた結果ともほぼ一致していた。

以上の結果より、田辺湾では *A. catenella* の栄養細胞とシストが湾奥の東部域で最も高密度に出現し、湾北部から湾口部で少ないことが明らかになり、概ね、両者の分布傾向はよく似ていた。

TABLE 2. CHANGE OF CYST ABUNDANCE OF ALEXANDRIUM CATENELLA IN TANABE BAY.

Date	Number of Sampling Stations	Number of Cysts (cells·cm ⁻³)	
		range	mean
July 1, 1981*	10	463-21,632	7,889
September 10-15, 1986**	36	0- 620	101
June 10, 1987	16	0- 42	11
October 5, 1987	15	0- 186	52

* Fukuyo (1982).

** Fisheries Agency (1987).

シストは非運動性の微細粒子であるため、微細土粒子と同様に流れの影響を強く受け、停滞性の強い環流域や異水塊との収束線付近で高密度に分布することが知られ (WHITE & LEWIS 1982, 今井・伊藤 1985, 今井ほか 1986), 栄養細胞の分布にも流れ等の集積効果が重要な役割をはたしていることが指摘されている (吉田・沼田 1982). 田辺湾東部域は外海水と湾内水の収束域であり、停滞域を形成しやすいことが知られていること (加来ほか 1975), 海底は含水率が50%以上、粒径63 μ m以下の粒子が75%以上を占める軟泥でおおわれていることから (水産庁 1987), 東部域は微細粒子の集積しやすい環境であることが示唆される。また、*A. catenella*では栄養細胞の出現量に正比例して、シストも多く形成されることが知られている (竹内 1985). そこで、田辺湾東部域は栄養細胞が高密度に出現し、しかも、集積条件が備わっていることからシストが高密度に分布しているものと考えられ、*A. catenella*のたね場になっていると推察される。

福代ほか (1982) は *A. tamarense* ではシストの分布密度が翌年の栄養細胞の出現を支配するが、*A. catenella* の出現はシストの発芽よりも水温などの増殖に関与する環境要因に強く制御されるのではないかと報告している。そこで、*A. catenella* の栄養細胞の出現に及ぼすシストの分布量の影響を、栄養細胞は Fig. 2に示した1981-1987年の結果、シストは田辺湾における過去の調査 (福代 1982, 水産庁 1987) と今回の調査の結果 (Table 2) をもとに検討した。シストは1981年7月には平均7,889 cells·cm⁻³で、非常に高密度に分布していた (福代 1982). 翌年には栄養細胞が4月上旬から5月下旬にかけて10³ cells·l⁻¹を超え、ピーク時には4.8×10⁴ cells·l⁻¹になった。1983年も10⁴ cells·l⁻¹のオーダーで出現していた。一方、1986年9月 (水産庁 1987) にはシストの分布密度が平均101 cells·cm⁻³で、1981年に比べると極端に減少していた。しかし、1987年には栄養細胞がピーク時に5.0×10⁵ cells·l⁻¹になった。また、1987年のシストの分布密度は最高でも186 cells·cm⁻³であり (Fig. 5), 近年、田辺湾では *A. catenella* のシストが減少している。しかし、栄養細胞の出現は年により若干の変動がみられるものの、減少傾向は認められなかった (Fig. 2). このことは *A. catenella* ではシストの分布密度が翌年の栄養細胞の出現を必ずしも支配するものでないことを示唆している。和歌浦湾では *A. catenella* のシストが21-221 cells·cm⁻³ (福代 1982), 栄養細胞も通常は10³ cells·l⁻¹以下の出現であるが、1981年6月には赤潮を形成した (竹内 1988). また、*A. catenella* の自然群集は最大、1日1回程度の分裂をするのではないかと考えら

れており(竹内 1985), 好適環境の形成時にはかなり速い生長をすることのできる種であるといえよう。そこで, *A. catenella* の出現については福代ほか(1982)が指摘しているように, シストの分布密度よりも増殖にかかわる環境要因の方が重要であると考えられる。しかしながら, 初期個体群の多少がその後の増殖を支配することも完全には否定できない。

今後は *A. catenella* シストの発芽条件や発芽量と栄養細胞の出現との関連性について究明する必要がある。

謝 辞

本稿をまとめるにあたり, 原稿の校閲を賜った東京水産大学石丸 隆博士に心から謝意を表す。また, シストの計数に協力をいただいた水産生物資源研究所吉田勝美氏に厚く御礼申し上げる。

本研究は水産庁の重要貝類毒化対策事業の一環として行われた。

引用文献

- ANDERSON, D. M., 1984. Shellfish toxicity and dormant cysts in toxic dinoflagellate blooms, pp. 125-138. In *Seafood Toxins*, (ed. RAGELIS, E.P.). *Amer. chem. Soc. Symposium Series No. 262*, Wash. D. C.
- ANDERSON, D. M. & F. M. M. MOREL, 1979. The seeding of two red tide blooms by the germination of benthic *Gonyaulax tamarensis* hypnocysts. *Estuar. coast. mar. Sci.*, 8: 279-293.
- ANDERSON, D. M. & D. WALL, 1978. Potential importance of benthic cysts of *Gonyaulax tamarensis* and *G. excavata* in initiating toxic dinoflagellate blooms. *J. Phycol.*, 14: 224-234.
- 福代康夫, 1982. 昭和56年度赤潮対策技術開発試験報告書 6 - 内湾海域赤潮生物挙動試験: 6 pp.
- FUKUYO, Y., 1985. Morphology of *Protogonyaulax tamarensis* (LEBOUR) TAYLOR and *Protogonyaulax catenella* (WHEDON and KOFOID) TAYLOR from Japanese coastal waters. *Bull. mar. Sci.*, 37: 529-537.
- 福代康夫, 1987. 赤潮生物の生物学的特徴. 3.2 生活史. 赤潮の科学(岡市友利編): pp. 53-61. 恒星社厚生閣, 東京.
- 福代康夫・渡辺 信・渡辺正孝, 1982. 赤潮鞭毛藻類のシスト形成と発芽 II, *Protogonyaulax tamarensis* と *P. catenella* におけるシストの発芽の季節性. 国立公害研報, 30: 43-52.
- 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* 耐久細胞の分布. 南西水研報, 19: 43-52.
- 今井一郎・伊藤克彦・寺田和夫・神菌真人, 1986. 周防灘における *Chattonella* 耐久細胞の分布と夏季の赤潮. 日本水産学会誌, 52: 1665-1671.
- 加来靖弘・渡辺勇二郎・竹内淳一・坂本博規・中筋 孝・西浦幸雄・田上伸治, 1975. 新川改修事業に係わる漁場の実態調査-II. 和歌山県水試事報(昭和49年度): 179-192.
- 水産庁, 1987. 昭和61年度内湾海域シスト調査報告(田辺湾): 47 pp.
- 竹内照文, 1985. “貝毒プランクトンの生態学, 9. 紀伊半島西岸域”. 水産学シリーズ 56, 貝毒プランクトン—生物学と生態学(福代康夫編): pp. 98-108. 恒星社厚生

閣, 東京.

竹内照文, 1988. 和歌山県沿岸域における麻ひ性貝毒プランクトン *Protogonyaulax catenella* の分布と出現. 和歌山県水試事報 (昭和61年度): 87-96.

竹内照文, 1989. *Protogonyaulax catenella* (Dinophyceae) の日周鉛直移動. 日本プランクトン学会報, 35: 149-157.

WHITE, A. W. & C. M. LEWIS, 1982. Resting cysts of the toxic, red tide dinoflagellate *Gonyaulax excavata* in Bay of Fundy sediments. *Can. J. Fish. aquat. Sci.*, 39: 1185-1194.

吉田陽一・沼田克己, 1982. *Chattonella antiqua* (HADA) ONO の潮流による集積. 日本水産学会誌, 48: 1271-1275.

吉松定昭, 1985. “貝毒プランクトンの生物学, 3. 生活史”. 水産学シリーズ56, 貝毒プランクトン—生物学と生態学 (福代康夫編): pp. 31-39. 恒星社厚生閣, 東京.