

短 報

高知県浦の内湾における渦鞭毛藻 *Prorocentrum sigmoides*

BÖHM の赤潮¹⁾

上田拓史²⁾・岩崎 望³⁾・内田卓志⁴⁾・松山幸彦⁴⁾・森山貴光⁵⁾・宗景志浩⁶⁾

愛媛大学理学部附属臨海実験所 〒791-4502 愛媛県温泉郡中島町小浜²⁾
高知大学海洋生物教育研究センター 〒781-1164 高知県土佐市宇佐町井尻194³⁾
南西海区水産研究所 〒739-0452 広島県佐伯郡大野町丸石2-17-5⁴⁾
高知県水産試験場 〒785-0167 高知県須崎市浦の内灰方1-153-23⁵⁾
高知大学農学部 〒783-0093 高知県南国市物部⁶⁾

Prorocentrum sigmoides BÖHM (Dinophyceae) red tide in Uranouchi Inlet, Kochi, Japan

HIROSHI UEDA²⁾, NOZOMU IWASAKI³⁾, TAKUJI UCHIDA⁴⁾, YUKIHIKO MATSUYAMA⁴⁾,
TAKAMITSU MORIYAMA⁵⁾ AND YUKIHIKO MUNEKAGE⁶⁾

Marine Biological Station, Ehime University, Nakajima-cho, Ehime 791-4502²⁾
Usa Marine Biological Institute, Kochi University, Usa-cho, Tosa-shi, Kochi 781-1164³⁾
Nansei National Fisheries Research Institute, Ono-cho, Saeki-gun, Hiroshima 739-0452⁴⁾
Kochi Fisheries Experimental Station, Uranouchi, Suzaki-shi, Kochi 785-0167⁵⁾
Faculty of Agriculture, Kochi University, Monobe, Nangoku-shi, Kochi 783-0093⁶⁾

Abstract: Red tides of *Prorocentrum sigmoides* Böhm, which are rare in Japan, occurred in the innermost part of Uranouchi Inlet, a small, semi-enclosed eutrophic inlet of Tosa Bay, Kochi Prefecture, on November 17 and December 3, 1997. This is the first record of a *P. sigmoides* red tide in the coastal area of Shikoku Island. The density of the dinoflagellate in surface waters during the red tides was 1560–3464 cells · ml⁻¹. The red tides disappeared within one day, but the species maintained a high density (567 cells · ml⁻¹) at the surface of the innermost station through December 15. Weekly surveys in the central part of the inlet for 4 years from January 1994 revealed that *P. sigmoides* occurred regularly from midsummer to early winter with minor annual variations, and that the population density had rapidly increased year after year. No consistent vertical distribution pattern was observed when the population density was high, but the population tended to concentrate at particular layers when the density was relatively low. The temperature range during the reproductive season was 15–30°C, and population growth usually began when temperatures were highest, suggesting that high water temperatures at midsummer might cause increased population growth. Frequent occurrences of *P. sigmoides* red tides in recent years have already been reported from Kagoshima Bay and Omura Bay, Japan, and from subtropical waters in China. The recent dominance of *P. sigmoides* in Uranouchi Inlet as well as the other sites may be related to increased water temperatures caused by global warming. Red tides of *P. sigmoides* may become more common in Japan.

Key words: red tide, *Prorocentrum sigmoides*, vertical distribution, temperature, global warming

浦の内湾は土佐湾のほぼ中央に位置し、半島によって外海と隔てられた東西約12kmの細長い小湾である (Fig. 1)。同湾は地形的にきわめて閉鎖的な上

に、昭和30年ごろから真珠、ハマチ、アオノリ養殖がさかんに行われ、そのために富栄養化が進行して、例年、春から夏にかけて主に渦鞭毛藻 *Ceartium furca*

¹⁾ 1998年5月10日受付, 1998年6月3日受理

(Ehrenberg)や*C. fusus* (Ehrenberg)の赤潮が発生している(大野ほか 1984)。1997年11月17日および12月3日、同湾の湾奥域で渦鞭毛藻*Prorocentrum sigmoides* Böhmの赤潮が発生した。本種の赤潮は、国内では香川県小豆島内海湾、京都府舞鶴湾(以上、Toriumi 1980)、長崎県大村湾(田北 1985)、愛知県渥美湾(飯塚 1985)および鹿児島湾(九州海域赤潮予察調査報告書 1982, 1983, 九州海域赤潮調査報告書(西海ブロック) 1986-1995)からの報告があるが、四国本島の沿岸域からは初めての記録である。福代ほか(1990, 1997)がまとめた日本の主な赤潮生物の中には*P. sigmoides*の名はない。しかし、すでに大村湾や鹿児島湾では主要な赤潮生物の一つになっており、また、中国広東省の大鵬湾(Dapeng Bay)(Lin et al. 1995)や香港のTolo Harbour(Lam & Ho 1989)で近年頻りに赤潮を起こしているという報告があり、今後、*P. sigmoides*は我が国の主要な赤潮生物になる可能性がある。このため、浦の内湾での*P. sigmoides*の赤潮出現状況や近年の動向について報告する。

材料と方法

本報告に用いた*Prorocentrum sigmoides*のデータは以下の採集によって得られたものである。採集は4

つの機関によって合計湾内8点で行われ、ここではそれらを湾口側から順にSt. A-St. Hと呼ぶことにする(Fig. 1)。

1) 高知県水産試験場が1997年11月17日の赤潮発生時に行った赤潮域内のSt. FとGでの表層採水、および赤潮域外のSt. BからSt. Eの4点での0, 2, 5, 10mおよび底から1m上の層別採水。

2) 高知大学農学部生産環境工学科水産土木研究室が1997年12月3日赤潮発生時に行った赤潮域内のSt. EとHの表層、およびSt. Eの2m層での採水。この観測時には、赤潮域内外の数点で投下型クロロフィル計(SEA-TECH社蛍光光度計FL-600)を用い表層から1m間隔でクロロフィル量を測定した。

3) 高知大学海洋生物教育研究センターが赤潮消滅後の1997年12月15日に行ったSt. A, E, Hでの表、中(4m)、底層(St. AとEは17.5m, St. Hは10m)の層別採水。

4) 同センターが1996年8月5日から12月26日まで原則として月3回行ったSt. Eでの表層採水。

5) 高知県水産試験場および南西海区水産研究所が1994年1月10日から1998年1月19日まで原則として週1回行った湾中央部St. Cでの0, 2, 5, 10, 15mの層別採水。*Prorocentrum sigmoides*の細胞密度が低い時には、各層で採取した試水を混合・濃縮して得た

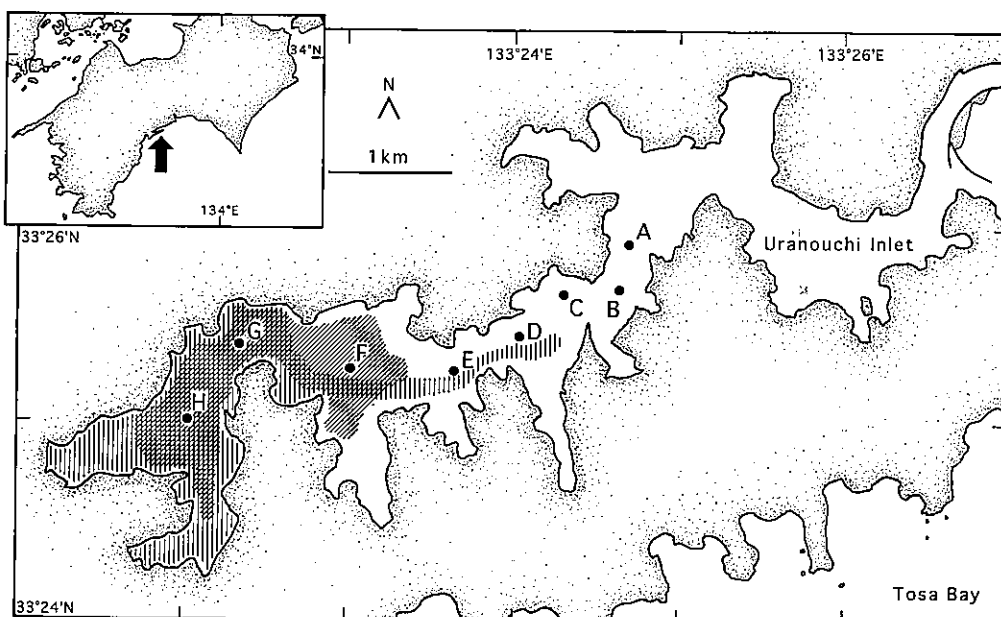


Fig. 1. Uranouchi Inlet showing location of sampling stations and ranges of the *Prorocentrum sigmoides* red tide on November 17 (oblique lines) and December 3 (vertical lines), 1997.

試水について計数を行い、それを全層平均密度とした（検出限界は $0.1 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ ）。

なお、水温、塩分はそれぞれの採集時に各機関によって測定された。

結果

1. *Prorocentrum sigmoides* の赤潮発生状況

1997年11月17日の *Prorocentrum sigmoides* 赤潮は、最湾奥部を除き、St. EとSt. Fの中間部より湾奥側のほぼ全域に発生した（Fig. 1, 斜線部）。赤潮域の表層細胞密度、透明度および水色（瀬戸内海水産開発協議会による赤潮観察水色カード番号）は、St. Fでそれぞれ $1,560 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ 、2.8m、水色33番（緑褐色）、St. Gで $2,060 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ 、2.0m、水色24番（褐色）であった。赤潮域外のSt. BからSt. Eの表層では $40\text{--}160 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ で、湾口側ほど密度は低下した。赤潮域外の表層から5m層までの鉛直的な細胞密度の変化はあまり大きくなかったが、St. Cの10m以深では $10 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ で、5m層までの $50\text{--}80 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ に比べると明らかに少なかった。赤潮域に近いSt. Eの表層では水温 20.8°C 、塩分33.10、10m層では水温 20.9°C 、塩分33.36で、躍層はなかった。

12月3日午前中、湾奥部に2回目の赤潮が発生した。赤潮域は最湾奥部の岸辺まで達し、湾口側へは細い舌状にSt. Dあたりまで伸びた（Fig. 1, 縦線部）。最湾奥部では、浦の内湾の赤潮ではこれまで観察されることがないような濃いチョコレート色を呈していた。*Prorocentrum sigmoides* の表層密度はSt. Hで $3,464 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ 、St. Eで $2,359 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ 、またSt. Eの2m層では $1,500 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ であった。クロロフィル量は、St. Hでは1m層が最も高く（計測上限値 $100 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ をこえる）、2m以深では急減して5m層では $5.8 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ となり、*P. sigmoides* が表層に集中していたことが示された。赤潮域を少し外れたSt. Fでは、表層から2m層まで $20 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ 未満なのに対し、4m層でSt. Hの表層値（ $69.9 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ ）を上回る $80.8 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ になり、赤潮域外でも中層に高密度な個体群があることがわかった。しかし、St. Aでは最高でも3m層の $12.4 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ であった。赤潮観測時、St. Hの表層では水温 15.25°C 、塩分31.00、10m層では水温 18.46 、塩分32.65であった。同日午後1時頃から冷たい風が出て、3時に再び観測を行った時にはすでに赤潮は消失していた。しかし、12日後の12月15日、St. Hの表、

中、底層では $567, 348, 243 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ 、St. Eでは $156, 167, 104 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ 、湾口に近いSt. Aでも $126, 81, 65 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ という比較的高密度な個体群が依然として見られた。

2. *Prorocentrum sigmoides* の季節的消長、経年変化、鉛直分布

1994年1月から1998年1月までの4年間にわたるSt. Cでの層別採集によると、*Prorocentrum sigmoides* は夏から初冬にかけて増殖する明瞭な季節性を示した（Fig. 2）。しかし、増殖期の開始と終了の時期は年によって多少の違いが認められた。増殖期の始まりにおいて全層平均密度が $1.0 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ 以上に達した日を見ると、1994年9月12日、1995年8月28日、1996年9月9日、1997年10月27日となり、1997年は他の3年に比べて1ヶ月以上遅かった。各日の表（底）層水温はそれぞれ $28.0 (27.8), 30.0 (28.6), 28.7 (28.5), 25.7 (25.9)^\circ\text{C}$ であった。増殖期の終わりについては、平均密度が $1.0 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ 未満に減少した各年の日と比較すると、1994年12月27日、1995年12月6日、1996年10月21日、1998年1月6日となり、1996年は他の3年より1ヶ月以上早く増殖期が終わった。各日の表（底）層水温はそれぞれ $15.4 (15.6), 16.6 (16.6), 23.8 (23.8), 15.8 (15.7)^\circ\text{C}$ であった。また、出現量は年々急激に増加していることが明らかであり、1994年は全層平均密度が最高 $2.2 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ （9月19日）であったのに対し、赤潮を形成した1997年では145倍の $320 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ （11月25日）に達した。

4年間のSt. Cにおける層別採集において、全層平均密度が $10 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ をこえた採集日は1996年と1997年に計10日あった。それらの日のうち、表層で最も密度が高くなった日は3日、2m層が3日、5m層が3日（うち1日は2m層と同密度）、10m層が2日あり、通常、底層（15m層）で密度が減少することを除いて、最高密度層の深さには一定の傾向は認められなかった。また、鉛直分布の偏りを平均密度に対する最高密度層の密度の比でみると、その10日における値は $1.1\text{--}3.9$ （平均2.1）で、全層にほとんど均一な状態から1層に集中する状態まで様々な偏りの程度がみられた。平均密度が5以上 $10 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ 未満の中密度日は1995年と1996年に計7日あり、それらの日でも最高密度層の深さには一定の傾向はなかった。しかし、各日の平均密度に対する最高密度層の密度の比は、高密度の日より有意（ $P < 0.05$, t-test）に高い

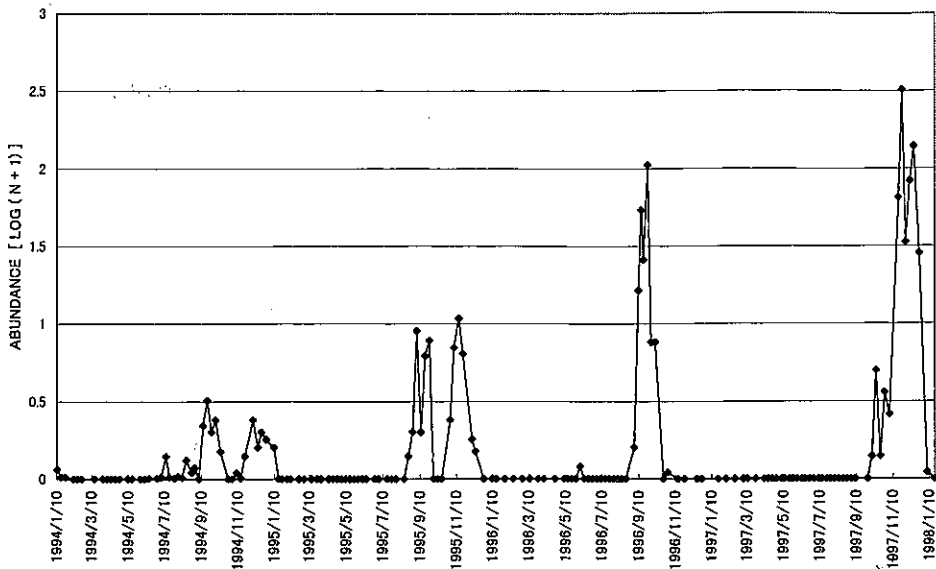


Fig. 2. Seasonal and annual change in numerical abundance (cells · ml⁻¹) of *Prorocentrum sigmoides* at St. C from 10 January 1994 to 19 January 1998. The abundance represents the mean values of those at the depths of 0, 2, 5, 10 and 15 m, and is shown in log scale.

1.5-6.7 (平均3.6) になり、鉛直分布の偏りが強くなる傾向がみられた。

1996年8月から12月まで月3回行ったSt. Eでの表層採水では、*Prorocentrum sigmoides*は8月30日から10月8日まで出現し、出現期間は同年St. Cでの結果 (Fig. 2) とほぼ同様であった。密度については、同年St. Cでは最高表層密度270 cells · ml⁻¹ (9月24日) であったのに対し、St. Eでは最高353.5 cells · ml⁻¹ (9月10日) であり、両点間に大きな差はなかった。このことから、1996年は少なくとも湾中央部から湾奥にかけて広範囲に、かつ比較的一様に分布していたことがうかがわれる。

考 察

*Prorocentrum sigmoides*の赤潮時の細胞密度については、渥美湾7,300 cells · ml⁻¹ (飯塚 1985)、鹿児島湾450-74,000 cells · ml⁻¹ (九州海域赤潮予察調査報告書1982, 1983, 九州海域赤潮調査報告書(西海ブロック)1986, 1988)、中国広東省大鵬湾329 cells · ml⁻¹ (Lin et al. 1995) の記録がある。鹿児島湾で1981年8月下旬に記録された74,000 cells · ml⁻¹はその時の赤潮の最大値として報告されているが、この値は他の値と比べて極端に高く、赤潮域の中でもとくに濃密な

部分の採集ではなかったかと想像される。一方、低い値は鹿児島湾1987年の450 cells · ml⁻¹と中国大鵬湾の329 cells · ml⁻¹である。しかし、表層への偏りが著しい赤潮の場合、船による攪拌等、採集のしかたによって細胞密度を過小評価しがちであり、また、浦の内湾では1997年12月15日St. Hの表層密度567 cells · ml⁻¹でも海面の着色はみられなかったこと、さらに、浦の内湾を含めて他の数値(鹿児島湾の最高値を除く)がすべて10³のオーダーであることから、本種赤潮の呈色開始密度は通常1,000 cells · ml⁻¹前後とみなされる。

浦の内湾の*Prorocentrum sigmoides*は、例年、真夏を過ぎてから急激に増え始め、晩秋から初冬まで増殖を続けた。この期間の水温15-30°Cは本種の好適水温範囲とみなされる。九州海域赤潮予察調査報告書(1982, 1983) および九州海域赤潮調査報告書(西海ブロック)(1986-1995)によれば、鹿児島湾では1981年から*P. sigmoides*の赤潮が起り始め、1994年までに9回の本種赤潮が発生している。その赤潮は7月末から10月下旬の間に発生し、平成6年度の同報告書(1995)は「例年9月以降水温の降下期に発生することが多く、高水温の影響と考えられる」と考察している。浦の内湾では、赤潮は増殖期の終わりに近くなって発生したが、増殖期が好適水温範囲の上

限の時期から始まる現象は、本種の増殖開始にやはり高水温が影響していることを示唆するものと考えられる。

Prorocentrum sigmoides は日本からは Toriumi (1980) によって初めて報告され、浦の内湾では St. C での 4 年間のデータで明らかのように最近急激に増加した種である。また、大村湾では最近の傾向として *Gymnodinium* 赤潮が減り、代わりに *P. sigmoides* や *P. compressum* (Bailey) の赤潮が秋季に長期出現するようになったといわれている (岡市 1997)。中国亜熱帯域の富栄養湾における *P. sigmoides* 赤潮の頻発も、近年の傾向として報告されている (Lin et al. 1995, Lam & Ho 1989)。夏の高水温が増殖の引き金になるとすれば、地球温暖化に伴う平均水温の上昇が、近年の国内外における本種の増加をもたらしていることも考えられ、その関連性について詳しく検討していく必要がある。1997 年の浦の内湾の赤潮では水産被害は伝えられていないが、12月3日の赤潮の際、地元の高齢者が「80年来こんな(強力な)のは初めてだ。地カキが死んでいる」と話しており、今後さらに大型の赤潮が起これば被害が出るおそれもある。ここ数年間における浦の内湾の *P. sigmoides* 個体群の増加を見れば、他湾でも急に増えて赤潮を起こす可能性も十分に考えられ、とくに温暖な富栄養域では本種の動向に対して注意を促したい。

謝 辞

採集に協力していただいた、高知県水産試験場及び高知大学海洋生物教育研究センターのスタッフに、感謝の意を表します。

文 献

- 福代康夫・高野秀昭・千原光雄・松岡数充 1990. 日本の赤潮生物 (第二版). 恒星社厚生閣, 東京, 337 pp. (初版発行 1990).
- 福代康夫・松岡数充・今井一郎・高橋正征・渡辺正孝 1997. “赤潮生物の生物学的特徴”, 赤潮の科学 (第二版) (岡市友利編): pp. 43-113. 恒星社厚生閣, 東京.
- 飯塚昭二 1985. 最近のわが国沿岸内湾域における植物プランクトンの出現状況 (1) — 海域の最高出現細胞数に関するアンケートまとめ —. 日本プランクトン学会報 32: 67-72.
- 九州海域赤潮予察調査報告書 1982-1985. 昭和56-59年度. 鹿児島湾海域. 水産庁.
- 九州海域赤潮調査報告書 (西海ブロック) 1986-1995. 昭和60-平成6年度. 鹿児島湾海域. 水産庁.
- Lam, C. W. Y. & K. C. Ho 1989. Red tides in Tolo Harbour, Hong Kong. pp. 49-52. In *Red Tides: Biology, Environmental Science, and Toxicology* (ed. T. Okaichi et al.). Elsevier Science Publ., New York.
- Lin, Y. J. Zhou & Q. Lin 1995. The spatio-temporal variational characteristics of *Prorocentrum sigmoides* in Yantian waters, Depang Bay. *Tropic Oceanology* 14: 77-83, pl. 1.
- 岡市友利 1997. “赤潮現象”. 赤潮の科学 (第二版) (岡市友利編): pp. 5-41. 恒星社厚生閣, 東京.
- 大野正夫・岡田久美・井本成彬・井本善次 1984. 高知県浦の内湾の海況と植物性プランクトンの周年変化 (1980年). 高知大・海洋生物研報 No. 6: 75-85.
- 田北 徹 1985. “大村湾 IV. 生物”. 日本全国沿岸海洋誌 (日本海洋学会沿岸海洋研究部会編): pp. 894-900. 東海大学出版会, 東京.
- Toriumi, S. 1980. *Prorocentrum* species (Dinophyceae) causing red tides in Japanese coastal waters. *Bull. Plankton Soc. Japan* 27: 105-112.