

広島湾における赤潮渦鞭毛藻 *Gymnodinium nagasakiense* 出現密度の季節変化

板倉 茂・今井 一郎・伊藤 克彦

Seasonal Occurrence of the Noxious Red Tide Dinoflagellate *Gymnodinium nagasakiense* in Hiroshima Bay, Seto Inland Sea

Shigeru ITAKURA, Ichiro IMAI and Katsuhiko ITOH

Seasonal occurrence of the noxious red tide dinoflagellate *Gymnodinium nagasakiense* was observed during the period from May 1987 to May 1988 in Hiroshima Bay, Seto Inland Sea. When cell densities of *G. nagasakiense* were too low to be detected (<1 cell/ml), concentrating procedure using hand operated vacuum pump was employed to enumerate the motile cells of *G. nagasakiense*. After the filtration on Nuclepore filter of $8\ \mu\text{m}$ pore size under mild vacuum of less than 100 mmHg, the motile cells of *G. nagasakiense* were retained almost 100% in concentrated sample. During the observation period, the highest cell density (ca. 20 cells/ml) was observed in August 1987, and the water temperature and salinity were about 25°C and 25~30‰, respectively. Cell density decreased thereafter to an undetectable level (lower than 2×10^{-3} cells/ml) in November and December 1987. In January and February 1988, the motile cells were again observed at very low level (10^{-4} ~ 10^{-3} cells/ml). The water temperatures were 9.5 ~ 11°C and the salinities were about 32‰ during this period. These results suggest that the motile populations of *G. nagasakiense* can survive in the cold winter season and they have a potential ability of overwintering in Hiroshima Bay.

渦鞭毛藻に属する *Gymnodinium nagasakiense* による赤潮は、1965年に *Gymnodinium* '65年型種として長崎県大村湾で初めて発生が報告(飯塚・入江 1966)されて以来、瀬戸内海をはじめとする西日本各地の沿岸や内湾水域で頻発し、魚介類の大量斃死を引き起こす等、大きな漁業被害を与えている(例えば池田他 1985, 伊藤他 1986, 寺田・神蘭 1987)。

本種の赤潮の発生機構を解明する研究は、これまで夏期の赤潮発生時期における環境要因の解析に重点がおかれており、特に底層の無酸素化や大量の降雨が増殖に大きく影響していること等が報告されている(例えば飯塚・入江 1969, 飯塚 1972a, b, HIRAYAMA and NUMAGUCHI 1972)。しかしながら、発生機構を明らかにするための基本となる *G. nagasakiense* の年間の生活史の把握は遅れており、その解明が重要な課題として残されていた。

ごく最近になって、中田・飯塚(1987)、寺田他(1987)、ならびに HONJO et al. (1990) などによって、冬期における *G. nagasakiense* 遊泳細胞の出現状態に関する報告がなされ、本種が遊泳細胞のまま越冬する可能性が示唆された。そこで本研究では、内湾性の強い広島湾において

G. nagasakiense の季節的な出現状態、特に冬期の出現について明らかにするため、まず低密度で存在する *G. nagasakiense* 遊泳細胞を検出するための濃縮法を検討し、次にその方法を用いて *G. nagasakiense* 出現密度の季節変化を調べた。

本稿をまとめるにあたり校閲の労を賜った、南西海区水産研究所赤潮環境部海況動態研究室長本城凡夫博士に衷心より感謝すると同時に、本研究の推進に際して有益な御助言と御協力を戴いた、同研究室山口峰生研究員に深く感謝する。

材料および方法

1. 濃縮法について

実験には1985年夏期に周防灘より分離した *G. nagasakiense* のクローン株を用い、その細胞密度を3段階の濃度 (約 100 cells/ml, 10 cells/ml, 1 cell/ml) に調製した後、それぞれの細胞数を計数した (0.5~2 ml を 5~10回計数)。濃縮は Fig. 1 に示したように、孔径 8 μ m のニュークリポア・メンブレンフィルターを使い、手動式真空ポンプ (Nalgen 社製) による弱い吸引条件下 (100 mmHg 以下) で、500 ml が 10 ml になるまで行った。濃縮試料中の細胞数を計数し (各試料につき 0.5~1 ml を 5 回計数)、濃縮前の細胞数と比較して濃縮による回収率を算出した。

天然の試料についての濃縮法の検討には、現場で *G. nagasakiense* が約 1 cell/ml の密度で出現した1987年8月13日の3m深の試料を用いて、上述の濃縮操作を行って回収率を調べた。

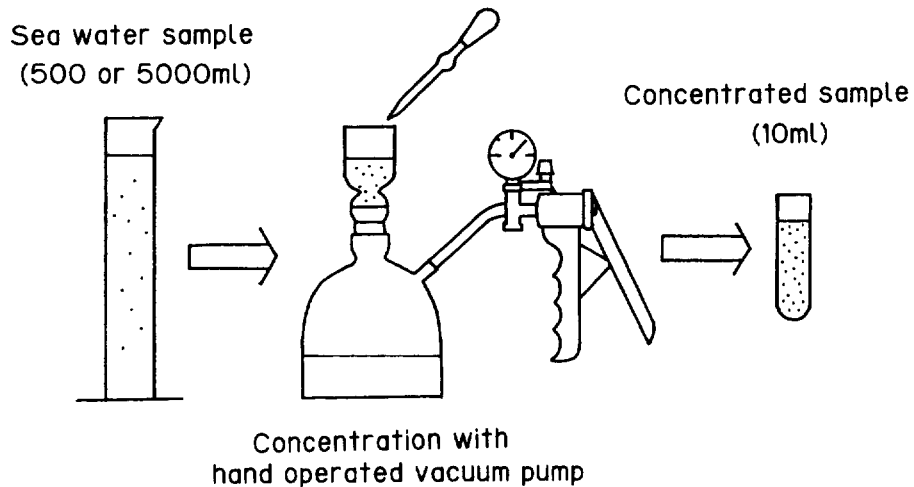


Fig. 1. Procedure for concentrating *G. nagasakiense*.

2. 出現密度の季節変化

広島湾の奥部に位置する南西海区水産研究所 (Fig. 2) の棧橋 (水深約 5 m) において、1987年5月下旬~1988年5月下旬までのほぼ1年間にわたって *G. nagasakiense* の出現密度を調べた。調査は1ヶ月に2回以上の頻度で行い、水温と塩分を測定すると同時に、表面および3m深の海水をバンドーン採水器によって採取した。細胞数の計数は未処理の試水を1ml毎に3回以上

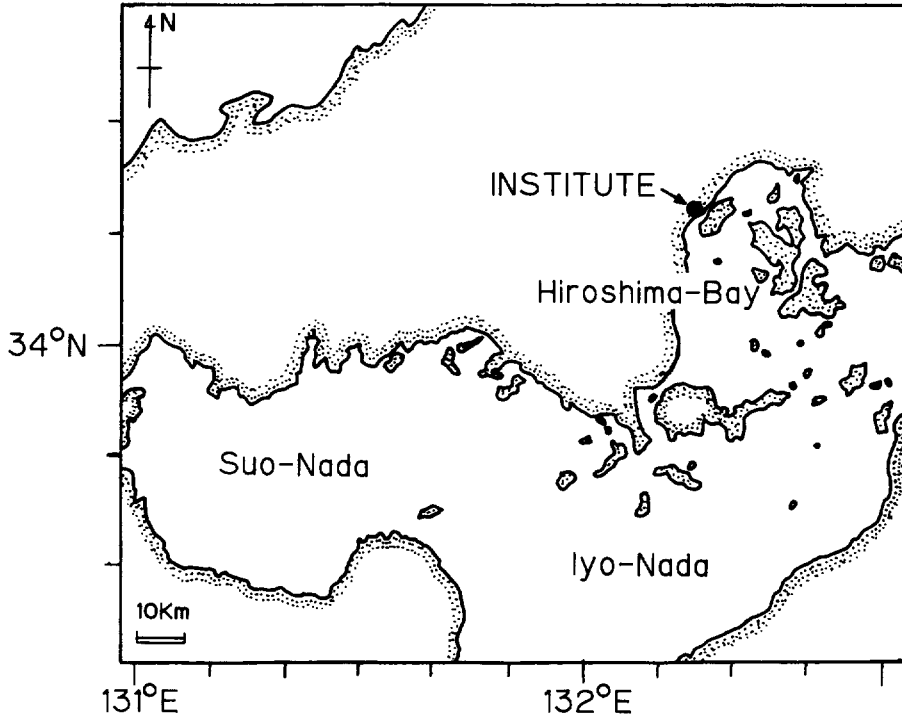


Fig. 2. Location of the sampling station in Hiroshima Bay, Seto Inland Sea.

検鏡して行ったが、密度が低くて細胞が検出されない場合には、前述の方法によって植物プランクトンを濃縮し、*G. nagasakiense* 細胞を計数した。ただし、1987年5月～12月までは試水 500 ml を 10 ml (50倍) に、1988年1月以降には試水 5000 ml を 10 ml (500倍) に濃縮した。濃縮試料中の細胞数は、0.5～1 ml を3回以上検鏡観察することによって計数した。

結 果

1. 濃縮法について

培養株を用いて調製した3段階の細胞密度の試料、および現場から得られた天然の試料について、濃縮前の細胞密度、濃縮後の計数値から換算した細胞密度、ならびにそれぞれの回収率を Table 1 に示した。培養株を使った実験では92～109%、現場試料を濃縮した場合には92%の回収率であった。

Table 1. Recovery of *G. nagasakiense* cells after the concentrating by filtration.

	cell density (cells/ml)		Percentage (%) (after/before)
	Control (before concentration)	Recovery (after concentration)	
Cultured cells	117.3±3.56	112.1±6.79	95.6
	12.2±0.91	11.2±0.67	91.8
	1.1±0.20	1.2±0.10	109.0
Wild cells	1.3±0.58	1.2±0.13	92.3

2. 出現密度の季節変化

Fig. 3 に1987年5月から1988年5月までの表面および3m深における水温, 塩分, ならびに *G. nagasakiense* 出現密度の季節変化を示した。*G. nagasakiense* は7月に入って約1 cell/ml以上の細胞密度で出現し, 最高値は8月中旬の3m深での約20 cells/mlであった。その後, 11月から12月にかけて *G. nagasakiense* は検出されなくなった。そのため1988年1月以降に濃縮率を500倍に変えたところ, 1月下旬と, 2月上旬の調査時にそれぞれ 4×10^{-4} , 5×10^{-3} cells/mlの密度で遊泳細胞が検出された。しかし, 2月下旬以降この濃縮率でも遊泳細胞は検出されなくなった。

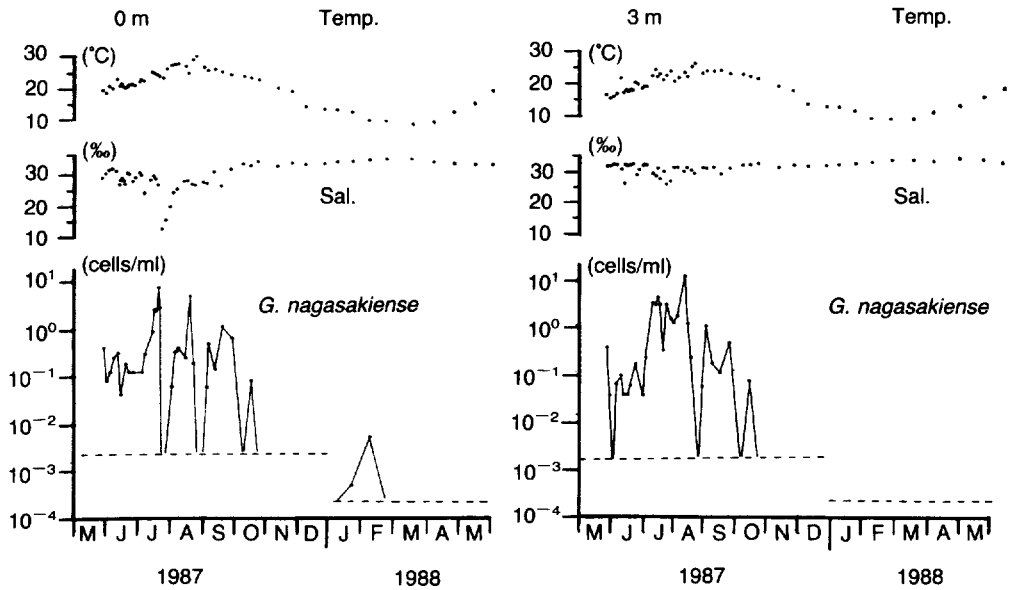


Fig. 3. Seasonal changes in water temperature, salinity, and cell densities of *G. nagasakiense* at 0 m and 3 m depths of the raft of the institute, located in Hiroshima Bay, during the period from May 1987 to May 1988. Dotted lines represent the detection level of motile cells.

細胞密度の出現のピークがみられた8月の水温は25°C前後, 塩分は25~30‰の範囲にあった。冬期に再び遊泳細胞が検出された1~2月の水温は9.5~11°C, 塩分は32‰前後の値であった。

考 察

G. nagasakiense は渦鞭毛藻の中でセルロース質の殻を欠く無殻類に属し, 細胞は繊細であるので種々の刺激に対して比較的弱く, 崩壊し易いと考えられる。現場水域における本種の出現状況を調べる際, 海水中での存在密度が低い場合には濃縮が必要となる。濃縮に際しては, 細胞の壊れ易さに由来する誤差をできるだけ小さくするため, これまで主として重力による濾過濃縮法 (例えば Honjo 1987) が採用されてきた。しかし, この方法は試料の濃縮に長時間を要し,

多くの試料を短時間で濃縮するには不都合であった。本研究で試みた手動式真空ポンプによる吸引濾過濃縮法では、細胞を壊すことなく、ほぼ100%の *G. nagasakiense* を濃縮回収することができた。また本法は、試料の処理に要する時間が、重力による濾過濃縮法と比較して短かいという利点を持つ（1試料につき、50倍濃縮で約5分以内、500倍濃縮で約50分程度）。本法を用いれば多くの試料を短時間で処理することができるので、現場水域において低密度の *G. nagasakiense* を検出・計数するためには有効な方法であると考えられる。

広島湾において、*G. nagasakiense* を優占種とする赤潮は、7-10月を中心にしばしば発生している（高山・大内 1981, 高山 1986）。本研究における調査期間中、*G. nagasakiense* は7月に入ってから1 cell/ml以上の密度で出現し、8月中旬には約20 cells/mlと最高密度になったが、その後減少した。そして厳冬期（1月下旬～2月上旬）に再び遊泳細胞の存在が確認された。

冬期の現場水域における *G. nagasakiense* の出現に関しては、大村湾（中田・飯塚 1987）、五ヶ所湾（HONJO et al. 1990）、ならびに周防灘沿岸（寺田他 1987）での観察報告がある。この中でも周防灘の南西部沿岸に位置する宇島港では、広島湾奥部と同様に、厳冬期に水温が10°C以下まで低下する。寺田他（1987）はこの水域で冬期における *G. nagasakiense* の挙動を詳しく調査した。それによると、1987年1月に10³ cells/ml以上の高密度で本種の遊泳細胞が出現していた。また、水温7°C前後の時でも、分裂中と判断される細胞がしばしば観察されたという。

一方、山口・本城（1989）は1985年夏期に周防灘で赤潮を形成した *G. nagasakiense* を分離培養し、その増殖に及ぼす水温と塩分の影響について、室内培養条件下で検討を行った。その結果、本種の増殖には水温と塩分の両方の因子が相互に関連しながら影響を及ぼし、光条件が最適な場合、水温25°Cと塩分25‰の条件下では1.0 division/day以上の、また水温10°Cと塩分25‰以上の条件下では0.1 divisions/day前後の速度で、それぞれ増殖したと報告されている。

ところで著者らはこれまで、海底泥中の *Chattonella* のシストや珪藻の休眠胞子の分布調査を、底泥試料の培養を基本とする方法（IMAI et al. 1984, 今井・伊藤 1985）で数多く行ってきた。その調査水域は、周防灘、広島湾、播磨灘、大阪湾、紀伊水道等、広い水域に及んでいる。しかしながら現在までのところ、底泥試料の培養によって *G. nagasakiense* の遊泳細胞が確認された例はない。この事実は、本種がシスト等の耐久性を持った状態で底泥中で越冬する可能性が低いことを示唆している。

以上のことをまとめると、*G. nagasakiense* は夏期以外の季節も遊泳細胞の状態で生息し、生理的に越冬できる潜在能力を持っているものと考えられる。そして、冬期に出現する *G. nagasakiense* 遊泳細胞は、越冬群として夏期の赤潮の発生と深い関わりを持つと推察される。今後はそのような関係の有無を明かにするために、温暖な他水域で越冬した個体群の広島湾への輸送の可能性も考慮し、冬から夏にかけての組織的な現場調査によって、各水域における遊泳細胞の出現動向を定量的に把握する必要がある。さらに、夏期と冬期に出現するそれぞれの遊泳細胞の生理的性質、とりわけ種々の温度に対する増殖特性などについて検討する事が必要と思われる。

摘 要

有害赤潮渦鞭毛藻 *G. nagasakiense* の濃縮法を検討し、1987年5月から1988年5月にかけて、南西海区水産研究所棧橋において本種の出現密度の季節変化を調べ、以下の知見を得た。

1. 手動式真空ポンプを用いた弱い吸引濾過 (100 mmHg 以下) 法によって試料の濃縮が可能であり、*G. nagasakiense* 遊泳細胞をほぼ100%回収できた。
2. 調査期間中の広島湾において *G. nagasakiense* 遊泳細胞密度は夏期に 1 cell/ml 前後で推移し、8月に約 20 cells/ml の最高値が観察された (水温 25°C 前後、塩分25~30‰)。しかし、厳冬期の1月下旬と2月上旬 (水温 10°C 前後、塩分32‰前後) にもわずかながら (10^{-4} ~ 10^{-3} cells/ml) 遊泳細胞が確認されたことから、広島湾においても *G. nagasakiense* は遊泳細胞の状態で越冬している可能性が示唆された。

引 用 文 献

- HIRAYAMA, K. and K. NUMAGUCHI, 1972: Growth of *Gymnodinium* Type-'65, causative organism of red tide in Omura Bay, in medium supplied with bottom mud extract. *Bull. Plankton Soc. Japan*, **19**(1), 13-21.
- HONJO, T., 1987: Growth potential of *Chattonella marina* (Raphidophyceae) collected in Gokasho Bay, central Japan. *Bull. Plankton Soc. Japan*, **34**(2), 119-124.
- HONJO, T., S. YAMAMOTO, O. NAKAMURA and M. YAMAGUCHI, 1990: Annual cycle of motile cells of *Gymnodinium nagasakiense* and ecological features during the period of red tide development. In "Toxic Marine Phytoplankton" (ed. by E. GRANÉLI, B. SUNDSTRÖM, L. EDLER and D. M. ANDERSON), Elsevier, New York, 165-170.
- 飯塚昭二, 1972a: 大村湾の赤潮発生機構と発生要因。「内湾赤潮の発生機構」(花岡 資・入江春彦・上野福三・飯塚昭二・岡市友利・岩崎英雄 編), 水産研究叢書 **23**, 日本水産資源保護協会, 東京, 35-57.
- 飯塚昭二, 1972b: 大村湾における *Gymnodinium* '65年型種赤潮の発生機構. 日本プランクトン学会報, **19**(1), 22-33.
- 飯塚昭二・入江春彦, 1966: 1965年夏季大村湾赤潮時の海況とその被害—II, 後期赤潮とその生物学的特徴について. 長大水研報, (21), 61-101.
- 飯塚昭二・入江春彦, 1969: 大村湾における *Gymnodinium* 赤潮発生と海底無酸素化現象との関連. 日本プランクトン学会報, **16**(2), 99-115.
- 池田武彦・松野 進・桃山和夫, 1985: 周防灘の赤潮 *Gymnodinium* '65年型種赤潮について. 山口内海水試報, (13), 236-237.
- 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.
- IMAI, I., K. ITOH and M. ANRAKU, 1984: Extinction dilution method for enumeration of dormant cells of red tide organisms in marine sediments. *Bull. Plankton Soc. Japan*, **31**(2), 123-124.
- 伊藤克彦・今井一郎・山口峰生・松尾 豊・安楽正照・寺田和夫・神菌真人, 1986: 1985年夏季に周防灘で発生した *Gymnodinium nagasakiense* 赤潮の経過と海況. 赤潮の発生予知技術の開発に関する研究, 昭和60年度研究報告書, 南西水研・東海水研, 7-18.
- 中田憲一・飯塚昭二, 1987: 赤潮鞭毛藻 *Gymnodinium nagasakiense* の越冬に関する一観察. 日本プランクトン学会報, **34**(2), 199-201.
- 高山晴義, 1986: 広島県沿岸に出現する赤潮生物—IV ナガサキハダカウズモ *Gymnodinium nagasakiense*

広島湾における *G. nagasakiense* 出現密度

- TAKAYAMA et ADACHI. 広水試研報, (16), 39-44.
- 高山晴義・大内 晟, 1981: 1978年と1979年の広島湾北部におけるケイ藻と *Gymnodinium* 属の増殖状況. 昭和54年度赤潮予察調査報告書 (瀬戸内海ブロック), 水産庁, 75-79.
- 寺田和夫・池内 仁・高山晴義, 1987: 冬期の周防灘沿岸で観察された *Gymnodinium nagasakiense*. 日本プランクトン学会報, 34(2), 201-204.
- 寺田和夫・神蘭真人, 1987: 豊前海の赤潮発生状況について (第 XIV 報). 昭和60年度福岡豊前水試研報, 161-168.
- 山口峰生・本城凡夫, 1989: 有害赤潮鞭毛藻 *Gymnodinium nagasakiense* の増殖におよぼす水温, 塩分および光強度の影響. 日水誌, 55(11), 2029-2036.