

田辺湾における *Gymnodinium mikimotoi* の群生長と 流況による赤潮分布域の変化

竹内 照文, 小久保友義, 辻 泰俊, 本城 凡夫

(1994年5月11日受付)

Growth of *Gymnodinium mikimotoi* Population in Tanabe Bay and Change of Distribution Pattern of Red Tide by Current

Terufumi Takeuchi,*¹ Tomoyoshi Kokubo,*¹ Yasutoshi Tsuji,*² and Tsuneo Honjo*³

Cell densities of *Gymnodinium mikimotoi* and currents in Tanabe Bay were investigated during late May to early September, 1990. From early June to early August, before the red tide appeared, cell densities of *G. mikimotoi* increased gradually through the water column, with most cells occurring in the middle layer at 5 m depth. The growth rates during this period were estimated to range from 0.2-0.5 divisions/day. An extremely high growth rate was estimated for the surface layer just prior to discoloration of the water. It is possible that this rapid increase was caused by the movement of *G. mikimotoi* cells from the middle layer to the surface layer. There was a clear counterclockwise current in the bay. The movement of the red tide from the southern area to the northern area and then toward the entrance of the bay during the last stage of the red tide was consistent with this counterclockwise pattern, implying that the distribution of *G. mikimotoi* red tide is at least partly dependent upon this current.

キーワード: *Gymnodinium mikimotoi*, 赤潮, 田辺湾, 群生長, 流況

Gymnodinium mikimotoi Miyake et Kominami ex Oda は西日本の内湾域で頻発する代表的な赤潮原因生物である。^{1,2)} この生物による赤潮は一般に晩春から初秋にかけての高温温期に発生するが、冬期の低温温期にも赤潮を形成することが知られている。^{3,4)} これまでに本種の赤潮は天然及び養殖魚介類に被害を及ぼし、その被害金額は我国において *Chattonella* 赤潮に次いで高くなっている。⁵⁾ そのため、本種の赤潮発生機構の解明と被害防除対策の確立は水産業の振興を図る上で緊急な研究課題となっている。

田辺湾では *G. mikimotoi* による赤潮が 1977 年に初めて記録されて以来、1989 年まで 10 回発生し、主として養殖魚類に被害を及ぼしてきた。特に、1987 年に発生した赤潮は 6 月下旬から 9 月上旬まで継続する大規模なものであった。⁴⁾ しかし、本種細胞群の増殖や赤潮の分布域の移動を明らかにすることは被害防止の上から重要であるにもかかわらず、田辺湾においてこうした目

的に沿った定期的な観測は行われてこなかった。そこで、1990 年の晩春から晩夏にかけて *G. mikimotoi* 遊泳細胞の観察と流況調査を実施し、本種の群生長と流況による赤潮分布域の変化に関する知見を得たので報告する。

方 法

Fig. 1 に示す 22 定点 (St. 1-22) で 1990 年 5 月 29 日から 9 月 4 日まで毎週 1 回の頻度で合計 15 回の調査を行い、全定点における各層海水中の *G. mikimotoi* 遊泳細胞の密度を調べた。採水はバンドーン採水器を用いて水深 0 m (表層)、5 m (中層) 及び海底上 1 m (底層) の 3 層で行った。細胞密度が 100 cells/ml を超える時は適切な液量を計数盤に採って細胞を計数し、1 ml の細胞密度に換算した。一方、細胞数が 1 cell/ml 以下の時は各層から採水した 1 l の海水を 10-20 ml になるまで濃縮し、その 1 ml 中の *G. mikimotoi* 遊泳細胞を

*1 和歌山県水産試験場 (Wakayama Prefectural Fisheries Experimental Station, Kushimoto, Nishimuro, Wakayama 649-35, Japan).

*2 アジア航測株式会社 (Asia Air Survey, Co. Ltd., Asahi, Atsugi, Kanagawa 243, Japan).

*3 養殖研究所 (National Research Institute of Aquaculture, Nansei, Watarai, Mie 516-01, Japan).

*4 竹内照文: 田辺湾における赤潮発生状況と *Gymnodinium nagasakiense* の出現環境. 和歌山県水産試験場事業報告, 139-149 (1990).

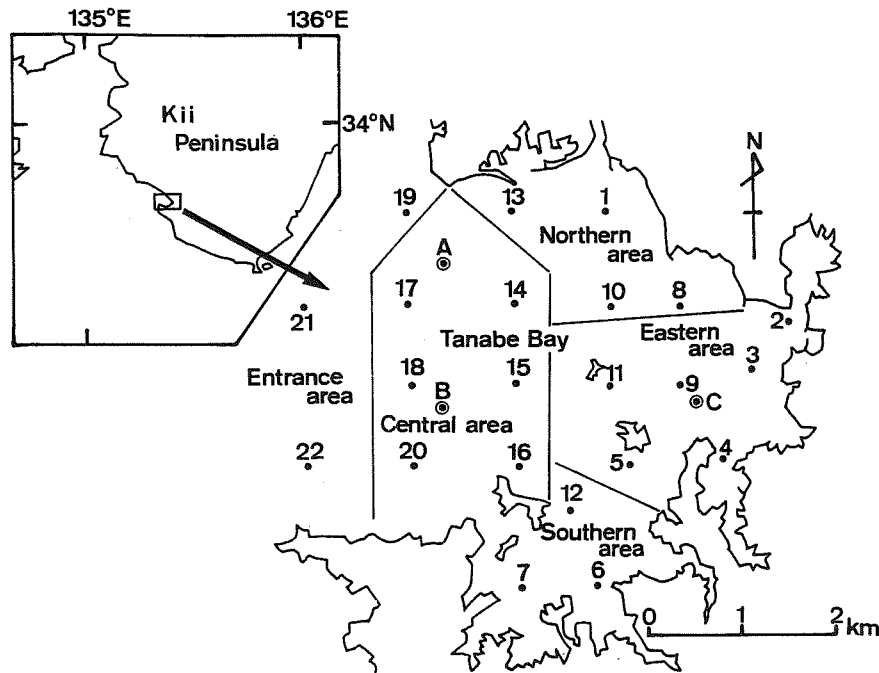


Fig. 1. Locations of the 22 monitoring stations and division of Tanabe Bay into geographical regions. Current meters were set at A, B, and C.

計数し、原海水 1 ml の細胞密度に換算した。濃縮はミリポアーフィルター（孔径 5 μm ）を装着した濾過装置を使用し、常圧下で行った。

生長速度 (μ_2) は 1 日あたりの分裂回数 (division/day) で表し、以下の式で算出した。

$$\mu_2 = (\ln N_t - \ln N_0) \cdot t^{-1} \cdot \ln 2^{-1}$$

N_0 , N_t はそれぞれ 0 日と t 日後の細胞数を示す。

一方、Fig. 1 に示す 3 定点 (St. A-C) の水深 3 m (上層) と海底上 1 m (下層) にベルゲン式流速計 (PRCM-4) を設置し、5 月 28 日から 9 月 14 日まで、流向及び流速の連続観測を行った。観測値には種々の周期成分の流れが混在している。そこで、観測値から潮流成分を分離するため、25 時間の移動平均計算を行った。この結果は潮流成分を除いた日平均流を表しているが、3 定点の日平均流速が最大でも 10 cm/sec 以下であったため、流速階級を 5 cm/sec 以下と 5-10 cm/sec の 2 つの範囲に分け、この 3 定点の上層と下層の日平均流から想定される湾内の流況を模式的に流線で図示した。

8 月 21 日と 28 日は低気圧の襲来により流速計を撤収したので流況を観測することはできなかった。そこで、本調査海域の流れが潮汐の干満による流れ (潮流) よりも風の影響による流れ (吹送流) に支配されていることを考慮し、欠測期間以外の観測値を用いて風と流れとの相関を求めた。その結果、3 定点の相関係数が上層で 0.541~0.786、下層で 0.478~0.671 と有意性が認められたため、定点ごとの相関式に風向と風速を代入し

て、流況観測ができなかった期間の流速を推算した。風資料は田辺湾口の南側に位置する京都大学防災研究所付属白浜海象観測所の記録である。なお、St. A の流れと風との相関式は上層で $V_n = 0.126 W_n - 1.223$, $V_e = 0.659 W_e - 0.699$, 下層で $V_n = 0.067 W_n - 0.830$, $V_e = 0.432 W_e + 1.021$, St. B は上層で $V_n = 0.914 W_n - 1.219$, $V_e = 0.079 W_e + 1.742$, 下層で $V_n = -0.036 W_n + 1.227$, $V_e = -0.285 W_e + 0.692$, St. C は上層で $V_n = 0.120 W_n + 1.010$, $V_e = -0.026 W_e - 0.354$, 下層で $V_n = -0.149 W_n + 0.364$, $V_e = 0.101 W_e + 0.021$ であった。ここで、 V_n は流速の南北成分、 V_e は流速の東西成分、 W_n は風速の南北成分、 W_e は風速の東西成分である。

結果および考察

Gymnodinium mikimotoi 遊泳細胞群の生長 天然の植物プランクトン群集の生長は細胞密度を追跡⁶⁾したり、分裂細胞の出現率⁷⁾を計数することにより行われているが、開放流動系である海域において生長の実態を把握することは極めて困難である。⁶⁾そこで、多数の定点を設定したり、⁶⁾調査頻度を高くして⁴⁾生長の追跡が行われており、ここでもこれに従って細胞群の生長を調べた。

Fig. 2 に全定点における表層、中層及び底層の *G. mikimotoi* 細胞密度並びに 3 層平均細胞密度の推移を示した。*G. mikimotoi* は 6 月 5 日に最初に観察され、以

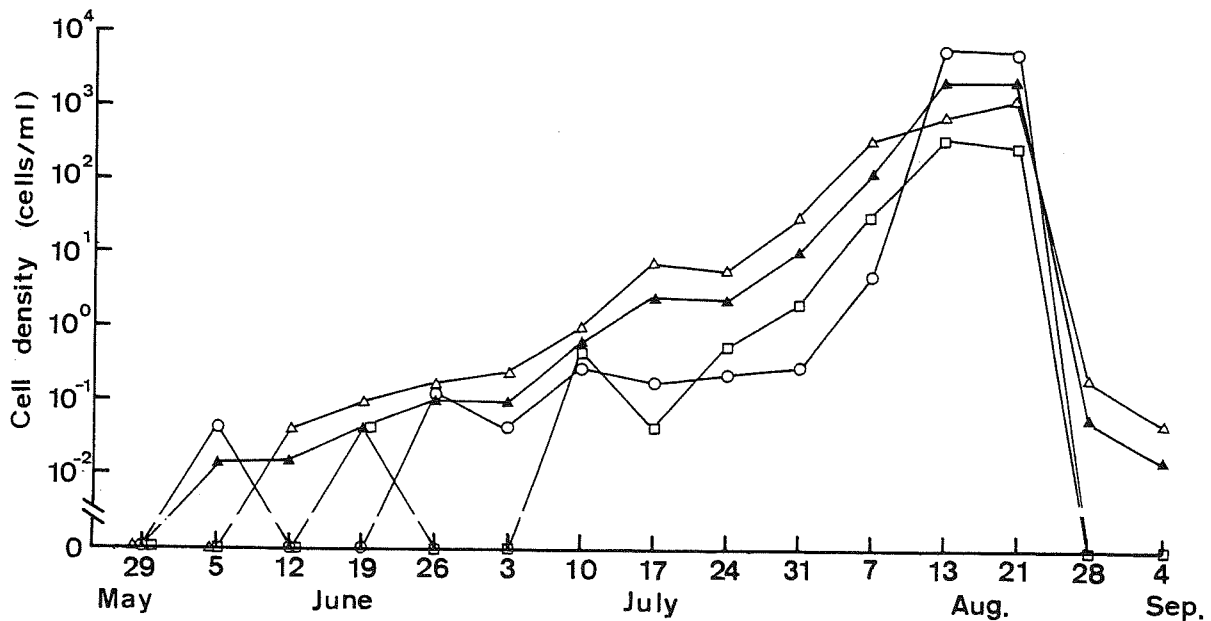


Fig. 2. Changes in mean cell densities of *Gymnodinium mikimotoi* at 22 stations in Tanabe Bay from May 4 to September 4, 1990.

Open circles indicate cell densities at the surface layer (0 m depth), open triangles at the middle layer (5 m depth), open squares at the bottom layer (1 m above the bottom), and closed triangles indicate the mean of the three layers, respectively.

後、徐々に増加した。平均細胞密度では6月12日の0.015 cells/ml (最高密度は St. 8 の 1 cell/ml) から8月13日の 2.2×10^3 cells/ml (最高密度は St. 11, 表層の 4.0×10^4 cells/ml) まで62日間で約15万倍に増加し、この間の生長速度は0.28 divisions/dayであった。しかし、調査期間中に2回の生長停滞時期があったので、これに基づいて生長期を3期に分けてそれぞれの生長速度を算出すると、6月12日から6月26日の間で0.20 divisions/day, 7月3日から7月17日の期間で0.35 divisions/day, 7月24日から8月13日の期間で0.50 divisions/dayであった。このように全定点の細胞密度が高くなるにつれて生長速度は2倍以上高くなるが、本種の赤潮は短期間に形成されるのではないことを示している。

各層別にみると、中層の細胞密度は7月17日から8月7日まで表層や底層に比較して常時1~2桁高い密度であった。また、6月12日から8月7日の細胞密度は全層平均密度の推移とほぼ一致しており、*G. mikimotoi*の群生長が中層細胞群を中心に進行していることを示唆している。田辺湾においても、Honjo *et al.*⁴⁾が五ヶ所湾で報告しているのと同様に本種が中層増殖性の生態特性を有していると言えよう。

表層の細胞密度は6月26日から7月31日まで顕著な増加が認められなかった。しかし、その後、急速に増加が始まり、7月31日から8月13日までの13日間で

1.01 divisions/dayの生長速度が算出された。この速度は本種で観察された最高生長速度に匹敵する。⁸⁾さらに、8月7日から13日までの6日間ではそれを上回る1.69 divisions/dayという高い値を示した。一方、中層群の生長速度は7月31日から8月7日の期間で最高であった(0.58 divisions/day)。Honjo *et al.*⁴⁾は細胞群の生長が進行するにつれて、昼間の定位水深が浅くなり、最終的に表層性赤潮を形成することを報告している。本調査では表層、中層及び底層の3層のみの観察であるので、この間の細胞群定位層の変化状況を十分に把握することはできないが、表層での高い生長速度は中層からの細胞の移動によって生じた可能性がある。飯塚、上⁶⁾は鞭毛藻赤潮個体群の生長に関する一般的特徴を整理し、生長過程の実相把握の困難さを述べており、今後、生物学的あるいは物理学的集積現象の両面からさらに研究を必要とするが、本種の赤潮形成の実態を把握するうえで中層での増殖と表層への細胞の移動を無視することは出来ないことを示している。底層では7月10日から出現し、7月24日から8月7日の間には表層群よりも高密度に推移していた。但し、8月13日と21日の底層の細胞密度は表層や中層の密度に比べると低かった。

今回の *G. mikimotoi* 赤潮(海面が着色した状態)の継続期間は25日間であった。しかし、田辺湾では60日間、⁴⁾また、熊野灘では約40日間⁵⁾に亘って赤潮が

持続したことも記録されている。本種は風による攪拌や降雨による塩分の低下などの影響を受け難い中層を中心に生長するためにこのような長期間の赤潮が形成されるものと考えられる。

群生長に伴う分布域の変化 全定点の3層平均細胞密度の推移から、観測期間を出現初期（6月5日から7月3日）、増殖期（7月3日から8月13日）、盛期（8月13日から8月21日）及び衰退期（8月21日から9月4日）の4期に分けた。これに基づいてG. mikimotoi 個体群分布域の変化と流況との関係について検討した。

出現初期に遊泳細胞が一度も観察されなかった調査定点は St. 2, 3, 4, 7, 9, 13, 14, 16 及び 20 であり、分布域は湾口域や中央域に限られていた。

Fig. 3 に増殖期から衰退期に至るまでの平均細胞密度に基づく分布域の変化を一週間毎に示す。但し、増殖初期に相当する7月3日には G. mikimotoi の出現定点が少なかったため図を示さなかった。7月10日には出現初期と同様に湾口部に出現が認められ、湾中央部を除く水域で細胞が観察された。しかし、全ての定点で 10 cells/ml 以下の細胞密度であった。7月17日には東部域の St. 3 と St. 11 で 10 cells/ml 以上となり、7月24日には 10 cells/ml 以上の分布域が南部域に移った。また、7月31日には南部域奥部の St. 7 が 183 cells/ml（中層は 516 cells/ml）の細胞密度になり、パッチ状の薄い着色が観察された。次いで、8月7日には St. 4, 5, 6, 9, 11, 12 が 10^2 cells/ml 以上になり、南部域から東部域で最も濃密になった。赤潮の盛期である8月13日には St. 11 で 1.5×10^4 cells/ml となり、濃い着色域が東部域で観察された。8月21日になると北部域でも高い細胞密度を示した。この時期には湾口部の定点でも $10^1 - 10^2$ cells/ml の密度が記録され、同時に赤潮の湾外への拡大が認められた。8月28日になると赤潮は終息し、1 cell/ml 以下の密度で湾中央域に観察されるにすぎなかった。以上の結果は出現初期と増殖期の初期には湾口や湾奥部に出現し、分布域は次第に東部域から南部域に移り、南部域で小規模な赤潮を形成した後、南部域から東部域へ、ついで北部域へと移り、最終的に湾口域へ拡大して終息する一連の分布域の変化に整理される。

増殖期から衰退期までの上層と下層の流況の変化を模式的に Fig. 3 に示す。上層では7月10日に反時計回りの速い流れが観測され、その後、流れの遅い期間が約1ヶ月間続いたが、基本的には反時計回りの流向を示した。一方、下層の流速は7月17日と8月28日に 5 cm/sec 以下になったのを除けば速く、流向は反時計回

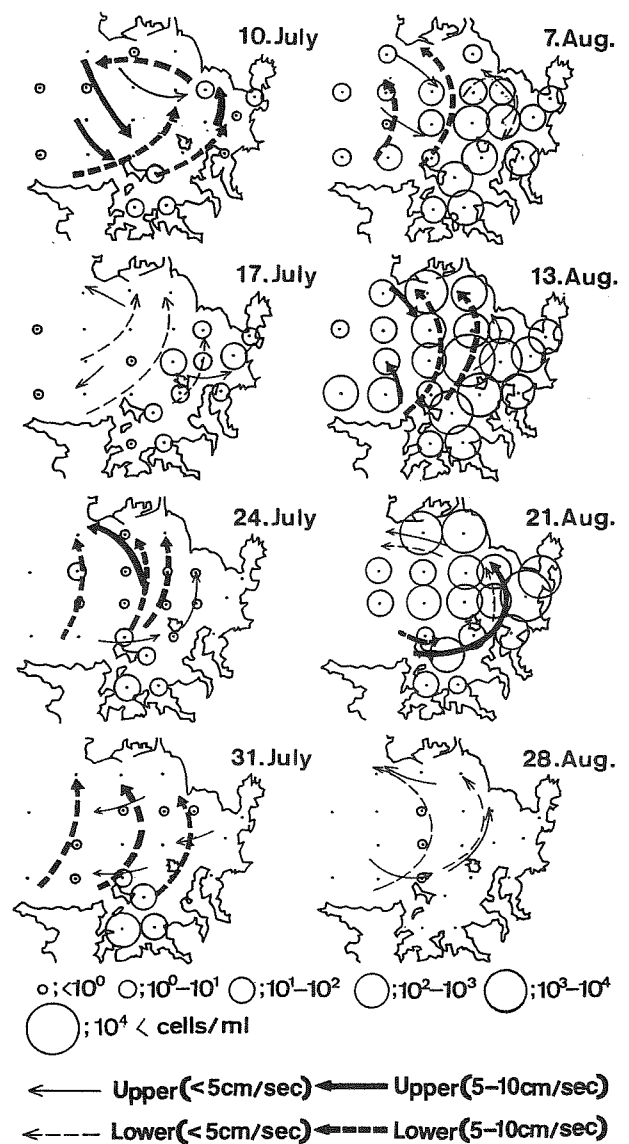


Fig. 3. Changes in distribution of *Gymnodinium mikimotoi* cell densities and current vectors in Tanabe Bay from July 10 to August 28, 1990.

Cell densities at each station represent the mean cell density of the three layers. Current vectors indicate the mean current speed and direction.

りであった。このように、1990年の田辺湾における流況は上層及び下層共に反時計回りの流れが卓越し、上層に比較して下層の流れの速いのが特徴であった。8月21日の流況は気象条件等からの推測ではあるが、反時計回りの速い流れが上層で想定された。

本種遊泳細胞群の分布域と流況に関する上記の結果は流況によって分布域が変化していることを示している。特に、増殖後期から盛期にかけての高密度分布域の南部

*5 竹内照文, 金盛浩吉, 渡辺勇二郎, 芳養晴雄, 金丸誠司, 中西一, 小川満也, 竹内淳一, 南忠七: 1984年7月熊野灘南部域に出現した *Gymnodinium nagasakiense* 赤潮について (調査報告). 和歌山県水産試験場事業報告, 54-111 (1984).

域から北部域への移動及び湾口への拡大には流況との密接な関連が認められた。本種は細胞密度が高くなると表層赤潮を形成する傾向があるので、上層のゆるやかな反時計回りの流れがこうした赤潮分布域の移動に大きく関係したと言えよう。また、8月21日の濃密な細胞群の北部域から湾口への拡大と8月28日での赤潮の終息は低気圧の通過による海水の湾口への移動と攪拌に関係したと推察される。出現初期において遊泳細胞が湾口部でも観察された。これはこの時期の上層及び下層における反時計回りの速い流れが湾奥部で増殖した細胞を湾口へ運搬したためと考えられる。

田辺湾において最初に赤潮が形成されたのは南部域の奥部であった。魚類養殖場は南部域の沖部から東部域にかけて存在するので、南部域奥部の細胞密度と流況を監視することによって、これらの養殖場への赤潮襲来の時期が予測可能であることを本調査の結果は示唆している。

文 献

1) 高山晴義, 松岡数充: *Gymnodinium mikimotoi* Miyake et

- Kominami ex Oda と *Gymnodinium nagasakiense* Takayama et Adachi の種形質の再評価. 日本プランクトン学会報, 38, 53-70 (1991).
- 2) 本城凡夫: ギムノディニウム, 「赤潮の科学」(岡市友利編), 恒星社厚生閣, 東京, 1987, pp. 228-237.
- 3) 寺田和夫, 池内 仁, 高山晴義: 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, 201-203 (1987).
- 4) T. Honjo, S. Yamamoto, O. Nakamura, and M. Yamaguchi: 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. Sundstrom, L. Edler, and D. M. Anderson), Elsevier Science, New York, 1990, pp. 169-170.
- 5) 代田昭彦: 赤潮の対策研究と技術開発試験の経緯と展望. 月刊海洋, 24, 3-16 (1992).
- 6) 飯塚昭二, 上 真一: 赤潮の生態学的諸問題, 「赤潮の科学」(岡市友利編), 恒星社厚生閣, 東京, 1987, pp. 92-123.
- 7) 山口峰生, 本城凡夫: 有害赤潮鞭毛藻 *Gymnodinium nagasakiense* (Dinophyceae) の同調的細胞分裂と分裂頻度による増殖速度の測定. 日本プランクトン学会報, 37, 3-18 (1990).
- 8) 飯塚昭二, 峯 邦宏: 培養条件下で期待される赤潮渦鞭毛藻 *Gymnodinium* sp. ('65年型種) の最高生長速度. 日本プランクトン学会報, 30, 139-146 (1983).