

## 田辺湾における *Gymnodinium mikimotoi* の増殖域の 環境特性と本種赤潮の発生環境

竹内 照文, 小久保友義, 内田 卓志

(1996年4月17日受付)

Environmental Features of the Area Where *Gymnodinium mikimotoi*  
Appeared and Conditions for Occurrences of the Red Tide in Tanabe Bay

Terufumi Takeuchi,\*1 Tomoyoshi Kokubo,\*1 and Takuji Uchida\*2

Relationships between the occurrences of *Gymnodinium mikimotoi* red tide and the environmental factors in Tanabe Bay were studied on the basis of field observation during 1989–1994. *G. mikimotoi* red tide first appeared at the southern area and then spread over the whole bay. The southern area is topographically semi-closed and nutrient concentrations were higher than those in the other areas of this bay. It appears that these features of this area permit the high proliferation of the species. Nutrient concentrations of the southern area was kept at the levels which support the occurrences of *G. mikimotoi* red tide period. However, *G. mikimotoi* red tide was observed in 1990, 1991 and 1994. The rate of seawater exchange in these years was considered to be lower than that in the years when the red tide did not occur. It is highly considered that the occurrences of *G. mikimotoi* red tide in Tanabe bay depends on the rate of seawater exchange in the southern area.

キーワード: *G. mikimotoi*, 赤潮, 増殖, 環境特性, 海水交換, 発生環境, 田辺湾

田辺湾では *Gymnodinium mikimotoi* Miyake et Kominami ex Oda<sup>1)</sup>による赤潮が1977年に初めて記録されて以来, 1994年までに13件の発生が確認されている。同湾では本種の赤潮が7月下旬から発生し, 1カ月間ほど継続するのが一般的であるが, 1987年のように6月下旬から9月上旬まで続いた大規模なものもある。<sup>3)</sup> また, 本種の赤潮は主として養殖魚類に直接的な被害を及ぼすが, 赤潮の盛期から終息期にかけては大規模な貧~無酸素水塊を形成することが多く,<sup>2), 4)</sup> このことが天然の魚介類にも大きな被害を及ぼし, 水産業の振興とともに生態系の保全を図るうえで, 極めて深刻な問題となっている。

著者らは1990年の調査結果から, 田辺湾において本種が赤潮を形成するまでの群生長の実態と群生長に伴う分布域の変化について検討し, その中で本種が南部域の奥部で増殖することを明らかにした。<sup>3)</sup>

ここでは1989年~1994年の調査結果から, 増殖域について前報<sup>3)</sup>との照合を行うとともに, 増殖域として

明らかになった南部域の環境特性や赤潮の発生と環境要因の関係について検討したので報告する。

### 方 法

1991年の赤潮調査 調査はFig. 1に示す11定点(Sts. 1-11)で, 1991年の6月上旬から9月中旬まで一週間に1~2回の頻度で行い, 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0m(表層), 5m(中層)および海底上1m(底層)の3層で行った。*G. mikimotoi* は通常採水した海水1ml中の細胞数を計数したが, 細胞数が1 cell/ml以下の場合には採水した1lの海水を孔径5μmのミリポーターフィルターを用いて重力ろ過し, 10~20mlまで濃縮した後, その1ml中の細胞数を計数し, 元の海水1ml中の細胞密度に換算した。

増殖域の環境特性 田辺湾全域の環境特性をFig. 1に示す14定点(Sts. 1-14)で1992年4月~1993年3月まで毎月1回の割合で調査した。採水はバンドーン

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

\*2 南海海区水産研究所(Nansei National Fisheries Research Institute, Ohno, Saeki, Hiroshima 739-04, Japan).

\*3 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. 和歌山県水試事業報告, 139-149 (1990).

\*4 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). 和歌山県水試事業報告, 54-111 (1985).

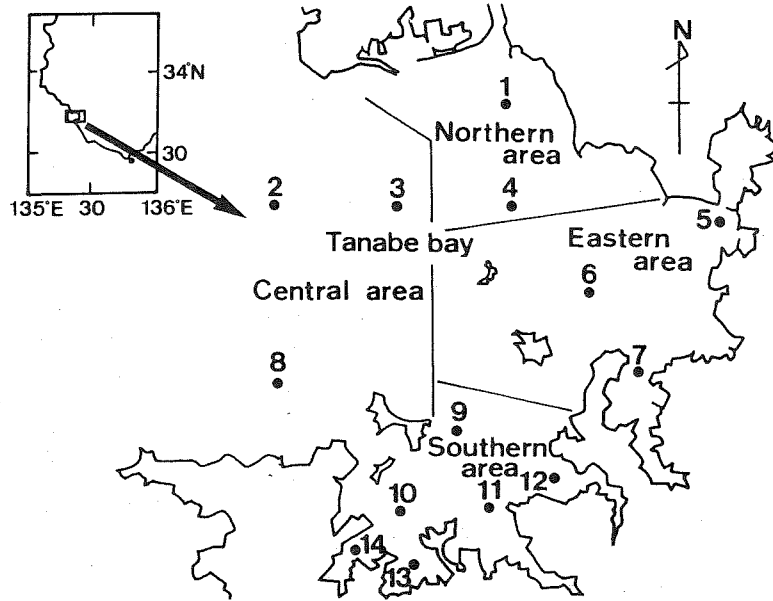


Fig. 1. Location of the 14 monitoring stations and division of Tanabe Bay into geographical areas.

採水器を用いて、0 m (表層) と海底上 1 m (底層) で行い、水温 (棒状水銀温度計)、塩分 (ヨーカル社製サリノメーター)、溶存酸素量 (ウインクラーアジ化ナトリウム変法) とクロロフィル a (吸光度法) を測定した。また、試水をグラスファイバーフィルター (ワットマン GF/C) でろ過した後、トラックス 800 (ブランルーベ社製) を用いて栄養塩類 ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{NO}_2\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$ ,  $\text{PO}_4\text{-P}$ ) の分析に供した。

**南部域における本種赤潮の発生と環境** 南部域における *G. mikimotoi* の発生状況および発生時の環境を明らかにするため、1989 年～1991 年には Fig. 1 に示す Sts. 9-11 の 3 定点、また、1992 年～1994 年には上記の定点に Sts. 12-14 を追加して、毎年 6 月上旬から 9 月下旬まで週 1～2 回の割合で調査した。水温と塩分は STD (アレック電子社製 AST-1000) を用いて表層から底層まで 0.5 m 間隔に観測した。採水は北原式採水器を用いて 0, 3, 5, 10 m と海底上 1 m で行い、*G. mikimotoi* の細胞密度の計数と溶存酸素量の測定を行った。また、St. 10 では、1992 年～1994 年まで、バンドーン採水器を用いて上記の 5 層で採水し、*G. mikimotoi* の細胞密度を計数するとともに水温、塩分、溶存酸素量と栄養塩類 ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{NO}_2\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$ ,  $\text{PO}_4\text{-P}$ ) の分析を行った。*G. mikimotoi* の計数と栄養塩類等の分析は全て前項の方法に準じて行った。

#### 結果および考察

***Gymnodinium mikimotoi* の群生長に伴う分布域の変化** 竹内らは 1990 年の調査結果から、同湾における *G. mikimotoi* の増殖域が南部域の奥部であることを指摘

した。<sup>3)</sup> 1991 年に前年と同様の調査を行ったところ、8 月下旬から 9 月中旬にかけて本種の赤潮が発生し、群生長に伴う分布域の変化が把握できた。そこで、本種の初期出現から消滅期にかけての分布域の変化を 3 層の平均細胞密度として Fig. 2 に示し、前報<sup>3)</sup>との照合を行った。

本種は 8 月 8 日に南部域 (Sts. 10, 11) で初めて観察され、その後、中旬から下旬にかけて南部域 (主に St. 10) を中心にして緩やかに細胞数が増加した。8 月 29 日には St. 10 の 3 層平均細胞密度が 420 cells/ml (表層: 870 cells/ml) で小規模な赤潮を形成したが、この時点では本種の分布域が南部域に偏っていた。9 月 10 日には東部域の St. 7 (細胞密度:  $3.1 \times 10^3$  cells/ml) が最も濃く、ここを中心にして本種が湾全域に拡大した。9 月 17 日には細胞数が全体的に減少したものの、東部域から北部域がいくぶん濃くなっていた。このような群生長に伴う分布域の変化は 1990 年<sup>3)</sup>と概ね一致するものであり、増殖期の分布状況から、南部域の奥部が本種の初期増殖域であると考えられた。

**増殖域の環境特性** ここでは *G. mikimotoi* の増殖域である南部域の環境特性について検討し、本種の増殖と環境要因の関係について考察した。

海況特性をみるため、全湾 (14 定点) と南部域 (6 定点) に区分して、表層と底層の水温、塩分の季節変化を Fig. 3 に示した。水温は表層が 12～28°C、底層が 13～26°C で推移し、7, 8 月に最も高く、3 月に最も低かった。表層と底層の水温差は 5 月頃から生じ、7 月に最も大きかった。また、10 月から 4 月にかけては、底層水温が表層よりも高くなる現象がしばしば見られた。

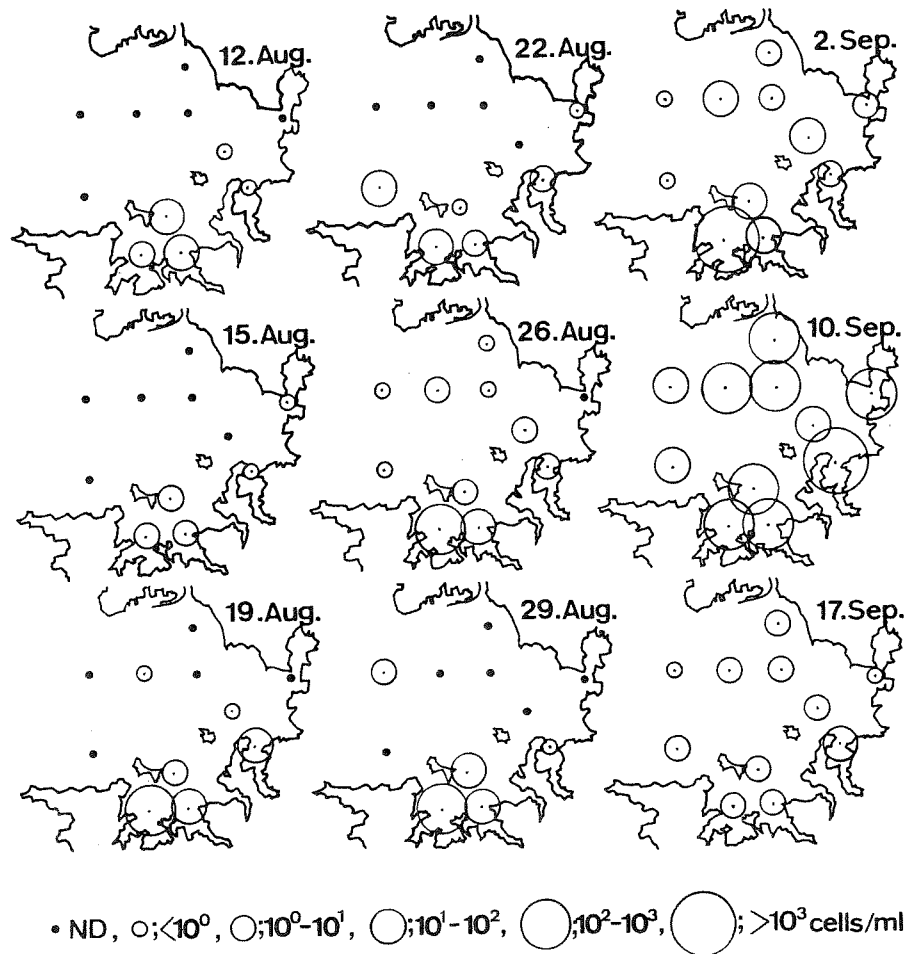


Fig. 2. Changes in distribution of *Gymnodinium mikimotoi* cell densities in Tanabe Bay from August 12 to September 17, 1991.  
Cell densities at each station represent the mean cell density of the three layers (0 m, 5 m, bottom-1 m).

南部域は全定点の平均値に比べると表、底層ともに冬季の水温がいくぶん低い程度で、高水温期にはほとんど差がなかった。塩分は、表層では 29.00~35.00 で推移し、11 月のように、降雨時には著しく低下して、定点間の差が大きくなったが、その他は定点による差はあまり認められなかった。底層では 33.00~35.00 で推移し、定点間の差が少なく、比較的均一であった。このように田辺湾は開放的な小湾であるために、降雨時を除くと均一な水塊分布を示すことが多く、南部域の水塊特性が表れなかったものと考えられた。

次に、富栄養化の状況を検討するために、前報<sup>3)</sup>で *G. mikimotoi* の群生長を検討した場合と同様に湾内を地理的状況から Fig. 1 に示す 4 水域に区分して、それぞれの水塊における表層と底層の酸素飽和度と DIN の季節変化を定点間の平均値として Fig. 4 に示した。

表層の酸素飽和度は 90~110% で推移することが多

く、高水温期である 7 月~9 月は水域間の差が大きく、低水温期である 12 月~3 月にはいくぶん低めで均一になった。底層では 80~100% で推移することが多く、高水温期に低下した。南部域は表、底層とも他の水域に比べるといくぶん低めに推移していた。特に、4 月から 9 月の底層では南部域が最も低く、東部域、それに北部域や中央部が続き、水域間の差が顕著に認められた。このような分布傾向とは逆に 7 月の表層では南部域の方が他の水域よりも高くなっていった。この時、南部域のクロロフィル a は 12.12  $\mu\text{g/l}$  であるのに対してその他の水域は 3.34~4.70  $\mu\text{g/l}$  であった。これは以前から知られている結果と一致するもの<sup>45)</sup>であり、南部域は植物プランクトンが増殖しやすい環境のため、活発な光合成により表層での溶存酸素量が高くなったものと推定された。

DIN は表、底層ともに 10  $\mu\text{M}$  以下のことが多く、高

<sup>45)</sup> 竹内照文, 芳養晴雄: 田辺湾の赤潮-III 赤潮多発期の湾内におけるプランクトン相について. 昭和 56 年度赤潮予察調査報告書 (瀬戸内海ブロック), 63-75 (1983).

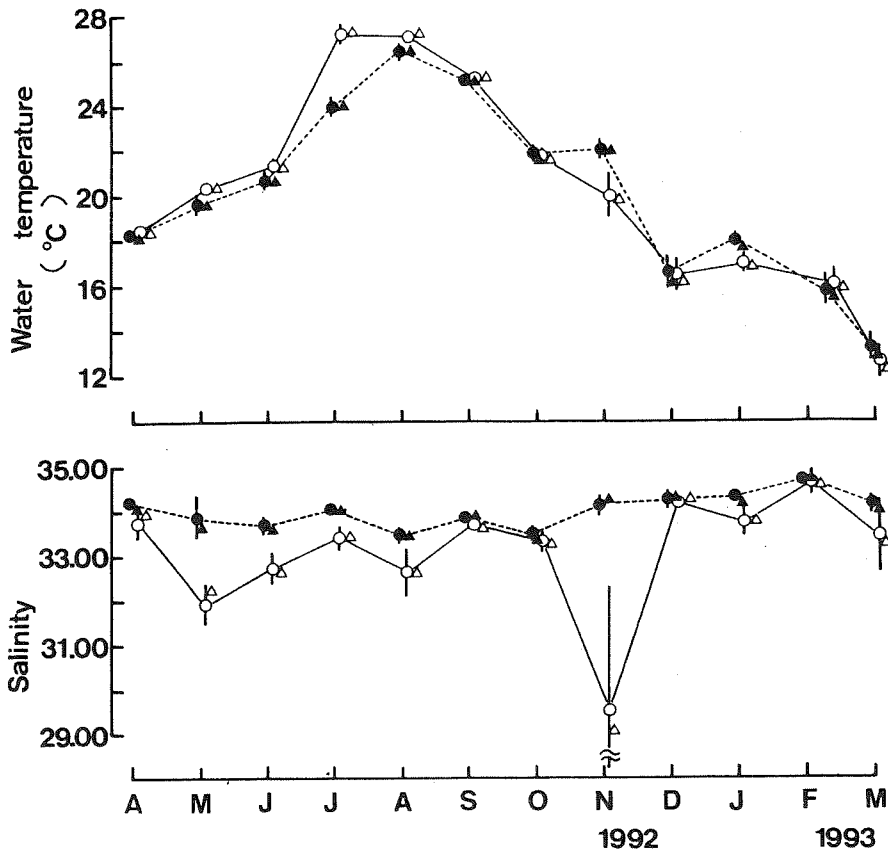


Fig. 3. Seasonal changes in water temperature (upper) and salinity (lower) in Tanabe Bay from April 1992 to March 1993.

Symbols: ○, mean value of the surface layer at 14 stations; ●, mean value of the bottom layer at 14 stations; △, mean value of the surface layer at the stations of southern area (Sts. 9-14); ▲, mean value of the bottom layer at the stations of southern area (Sts. 9-14). Vertical bars denote standard deviations.

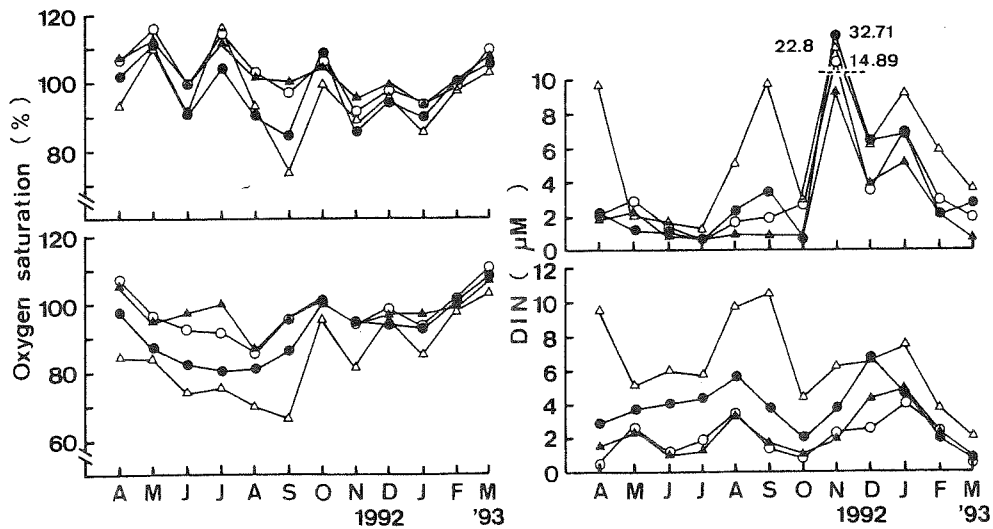


Fig. 4. Seasonal changes in oxygen saturation (left) and DIN (right) in Tanabe Bay from April 1992 to March 1993.

Upper and lower panel represent the value in the surface and bottom layers, respectively. Symbols: ○, Northern area; ●, Eastern area; △, Southern area; ▲, Central area.

水温期に低く, 低水温期にいくぶん高く推移していたが, 降雨時や底層の酸素飽和度が低下した時には DIN が上昇した。南部域の DIN は他の水域に比べると高めで推移することが多く, 底層ではこの傾向が顕著に認められた。このように酸素飽和度と DIN では湾内の濃度傾斜が大きく, 水域間の差が顕著に認められた。すなわち, 南部域は底層の酸素飽和度が低く, DIN が著しく高いことが明らかになり, 富栄養化の進んでいる状況が窺えた。ここはいくぶん閉鎖的な地形で魚類養殖が大規模に行われており, これらの要因が富栄養化を促進していると考えられた。

本種は比較的低濃度から高濃度にわたる広い範囲の栄養塩濃度で増殖し,<sup>4)</sup> 沿岸域から内湾域にかけて広く赤潮を形成することが報告されている。<sup>5)</sup> しかし, 熊野灘<sup>\*4</sup>や周防灘<sup>\*6</sup>で本種の赤潮が大規模に発生した時には栄養塩濃度が通常よりも高いことが明らかにされている。また, 周防灘では DIN 濃度が高濃度であった年に本種

が高密度に増殖することが観察されており,<sup>6)</sup> 田辺湾においても上述のように南部域では栄養塩濃度が高く, 本種の増殖を促進しているものと考えられた。

一方, 赤潮はプランクトンの増殖と集積により形成され, 物質の集積されやすい水域が初期出現域になる可能性が高いと指摘されている。<sup>7)</sup> 田辺湾の南部域は閉鎖的な地形であることから物質が拡散されにくい水域であると考えられ, このことも本種の増加を促進しているものと推察されたが, 今後, 湾内の流況について精査することが必要である。

南部域における *Gymnodinium mikimotoi* の発生状況 1989年~1991年には Sts. 9-11 の3定点, また, 1992年~1994年には Sts. 9-14 の6定点における *G. mikimotoi* の全層平均細胞密度の推移を Fig. 5 に示した。本種は, 1990, 1991年と1994年には  $10^3$  cells/ml 以上の密度になり赤潮を形成した。すなわち, 1990年には7月中旬以降急速に増加し初め, 8月中旬に赤潮を

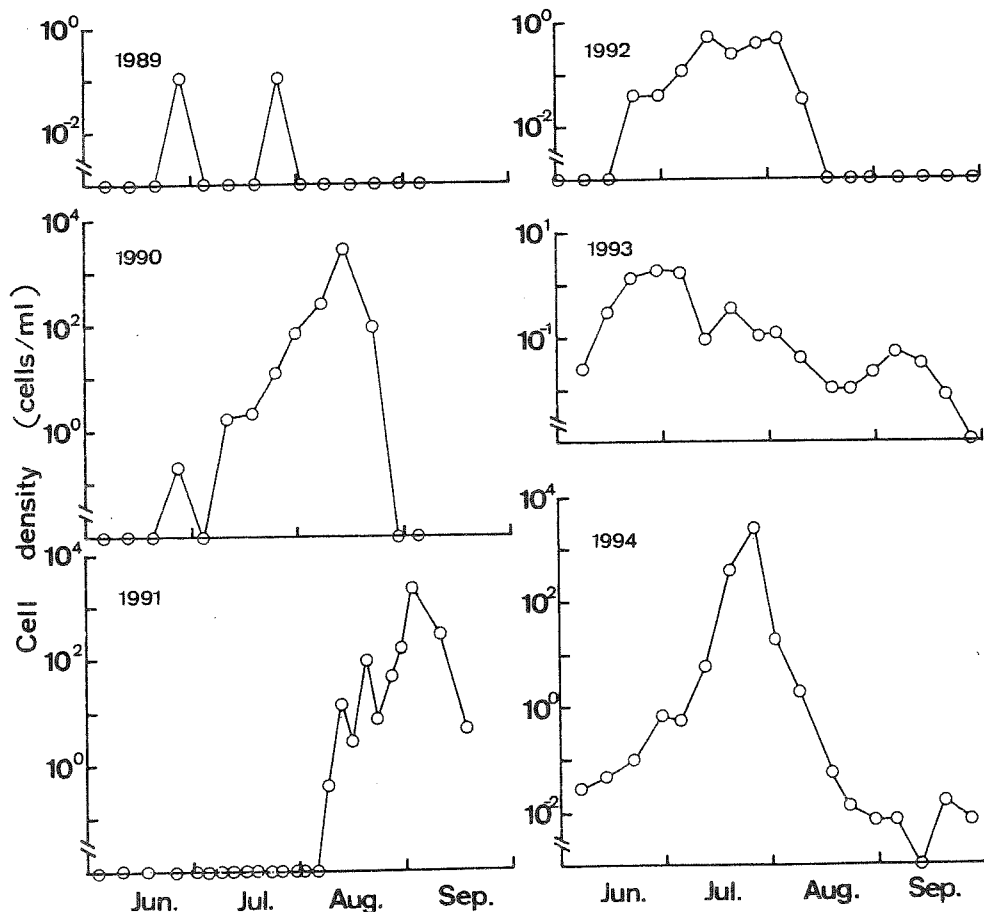


Fig. 5. Changes in mean cell densities of *Gymnodinium mikimotoi* at southern area in Tanabe Bay. Cell density of 1989-1991 represent the mean value of all layers at 3 stations (Sts. 9-11) and 1992-1994 represent the mean value of all layers at 6 stations (Sts. 9-14).

\*6 水産庁: 昭和60年度夏期西部瀬戸内海ギムノディニウム赤潮の発生状況と被害の概要. pp. 18 (1986).

形成した。1991年は7月下旬までは全く検出されなかったが、8月上旬に観察され、中旬以降急速に増加して9月上旬に赤潮を形成した。また、1994年には6月上旬に観察され、その後、緩やかに増加しながら7月下旬に赤潮を形成した。

一方、赤潮非発生年のうち、1992年は6月下旬から観察され、7月上、中旬に緩やかに増加して、 $5.0 \times 10^{-1}$  cells/ml (最高値 St. 14 の 3 m 層 10 cells/ml) になった。その後、8月上旬までは横ばいに推移していたが、8月中旬には急速に消滅した。1993年は6月上旬から観察され、中、下旬にかけて急速に増加して、 $1.9 \times 10^0$  cells/ml (最高値 St. 13 の 3 m 層 19 cells/ml) になったが、その後緩やかに減少した。この2カ年は赤潮非発生年であったが、本種は低密度ながらも長期間にわたって観察され、しかも、生長曲線の対数増殖期に相当する期間が認められた。1989年は6月下旬と7月下旬に低密度観察されただけで、赤潮非発生年の中でも発生状況は1992年や1993年と異なっていた。

南部域における本種赤潮の発生環境 田辺湾では赤潮の非発生年であっても本種が観察され、ある程度増殖していることが明らかになった。このことから、本種が赤

潮形成密度に達するか否かは、その時の環境条件に支配されていることが窺えた。そこで、発生年と非発生年の環境条件を比較しながら、赤潮の発生環境について以下に検討した。

1) 降水量と日照時間：1989年～1994年の6～8月にかけての降水量と日照時間を Table 1 に示した。降水量は赤潮発生年の1991年には3カ月間で594 mm あ

Table 1. Precipitation and daylight-time at Tanabe Bay in summer seasons from 1989 to 1994

	1989	1990*	1991*	1992	1993	1994*
Precipitation (mm)						
June	242	130	331	230	326	185
July	189	64	198	135	320	13
August	136	69	65	185	107	88
Daylight-time (hr.)						
June	119	134	87	98	122	137
July	150	171	172	133	32	179
August	224	261	185	171	153	260

\* The *G. mikimotoi* red tide occurred.

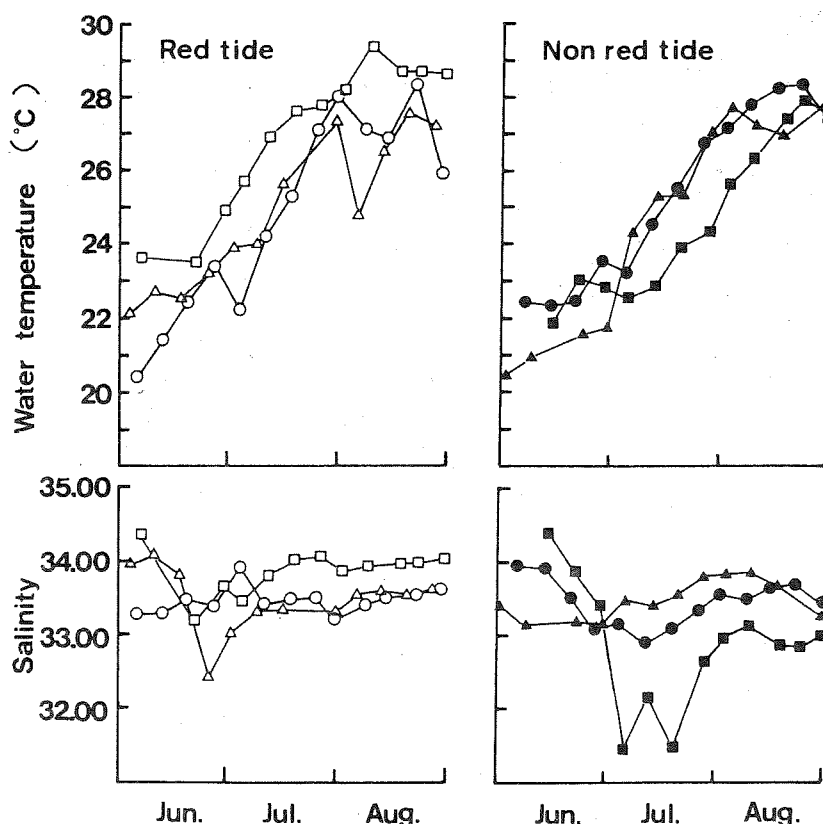


Fig. 6. Changes in water temperature (upper) and salinity (lower) at southern area in Tanabe Bay.

Water temperature and salinity indicate the mean values of 3 m to 6 m depth. Symbols: ●, 1989; ○, 1990; △, 1991; ▲, 1992; ■, 1993; □, 1994.

り、非発生年であった1989年や1992年と同程度であった。しかし、1990年と1994年には各々263 mmと286 mmで、非発生年に比べると著しく少なかった。また、Fig. 5から本種の増殖期に相当する期間、すなわち、1990年の7, 8月、1991年の8月と1994年の7月には、各月の降水量が各々100 mm以下で、非発生年の同時期に比べると著しく少なかった。日照時間は、赤潮発生年では6月が80~140時間、7月が170~180時間、そして、8月が180~260時間で、各月とも非発生年より長かった。これらは周防灘<sup>4)</sup>や大村湾<sup>5)</sup>で観察されている発生環境と異なるものであり、田辺湾では本種の赤潮発生と降雨との間に相関はないものと考えられた。また、日照時間の減少が他の植物プランクトンの増殖に不適な環境を形成し、*G. mikimotoi*と競合する種の排除に役立つことが指摘されている。<sup>4)</sup> 田辺湾でも本種の増殖期に他のプランクトンの増殖が抑制されている可能性は考えられたが、前述のように赤潮発生年の日照時間は非発生年よりも長いので、田辺湾では日照時間の減少による競合種の排除が*G. mikimotoi*の赤潮発生に関連していることはなさそうであった。

2) 水温と塩分：*G. mikimotoi*は中層域で増殖し、一

定の密度になると表層に浮上して赤潮を形成することが知られ、中層域が本種の増殖にとって重要な場であることが指摘されている。<sup>2)</sup> 田辺湾においても本種の群生長が中層細胞群を中心に進行しているという報告がある。<sup>3)</sup> そこで、赤潮発生年である1990, 1991, 1994年と非発生年である1989, 1992, 1993年に区分して、南部域の中層域における水温、塩分の推移を比較した (Fig. 6)。なお、ここでは中層域の水温、塩分として3~6 m層の平均値を用いた。水温は6月が20~25°C、7月が22~28°C、また、8月が25~29°Cで変動幅が見られたものの、発生年は非発生年に比べると7月の水温が高めに推移する傾向が認められた。特に、1993年と1994年でその差が著しかった。塩分は33.00~34.00で推移することが多く、赤潮の発生年は非発生年に比べると7月にいくぶん高い傾向が認められた。ただ、発生年であった1991年にはこの時期33.00~33.50で推移し、非発生年との間にはほとんど差が認められなかった。

赤潮発生年と非発生年の海洋構造を検討するため、本種の増殖期における表層と底層の水温、塩分の関係をFig. 7に示した。ここでは本種の増殖期に注目したため1989年と1992年~1994年には6月と7月、また、

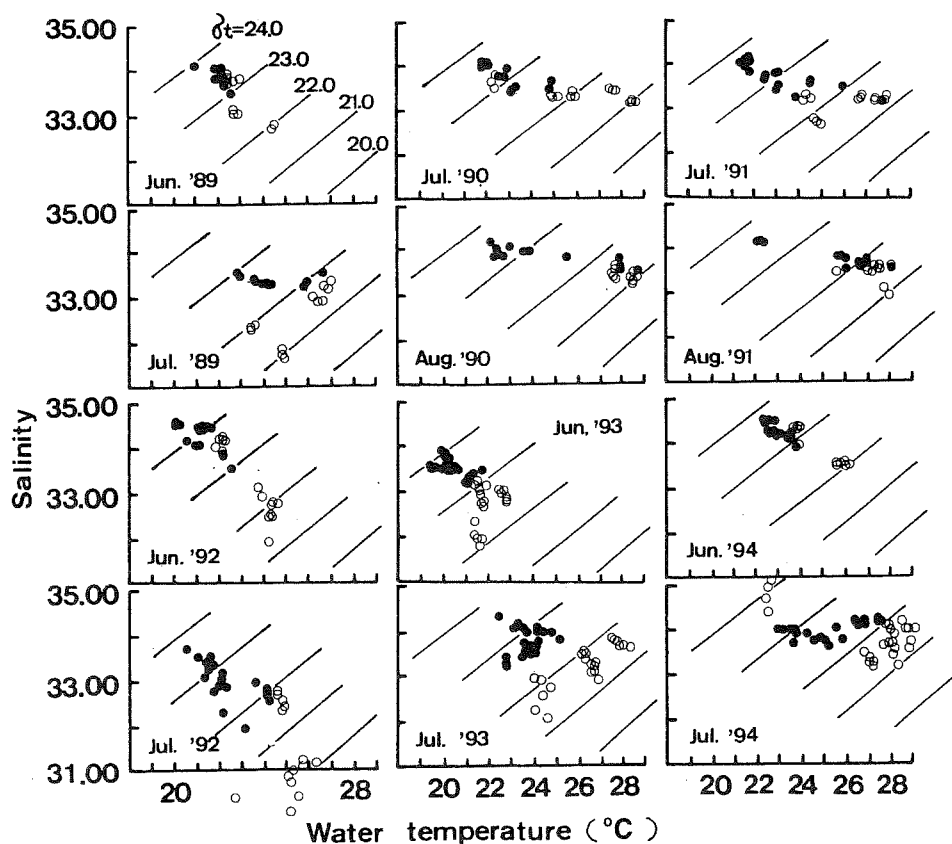


Fig. 7. Relationships between water temperature and salinity during the growth of *Gymnodinium mikimotoi* at southern area in Tanabe Bay.

Symbols: ○, surface layer; ●, bottom layer.

1990年と1991年には7月と8月の値を用いた。赤潮の発生年は1990年と1991年の7,8月や1994年の7月にみられるように底層の塩分が33.50~34.50で比較的高めで一定していたのに対して、水温差が大きく、この時期の海水密度の差が主に温度効果によって生じていることが判った。また、表層では1991年7月を除くと塩分は33.00以上のことが多く、あまり低下することがなかった。一方、非発生年は、1992年や1993年の7月にみられるように、底層の塩分は差が大きいに対して、水温差が小さく、海水密度の低下が主として塩分効果により生じていた。また、表層では塩分が33.00以下に低下することが多かった。このように赤潮発生年は日射の影響により海水密度が変化していると考えられ、底層水の流動が弱く、かつ、海水交換があまり大きくないことが窺えた。一方、非発生年は降雨の影響が底層まで及び、海水交換の大きいことが推察された。

3) 酸素飽和度：南部域の底層における酸素飽和度の推移を Fig. 8 に示した。赤潮発生年である1994年には7月中旬頃から酸素飽和度が低下し、下旬以降に60%以下の貧酸素水塊がしばしば形成され、非発生年である1992年や1993年に比べると全般に低めに推移していた。ただ、本種の増殖期である6月から7月中旬までを比べると1992年が最も低く、周防灘<sup>6)</sup>や大村湾<sup>8)</sup>で指摘されているような低酸素と赤潮発生との関連は認められなかった。

4) DINとDIP：St. 10におけるDINとDIPの全層平均値と底層水での推移を Fig. 9, 10 に示した。DINは、赤潮発生年である1994年には非発生年である1992, 1993年に比べると全般に高めに推移していた。また、本種の増殖期である6, 7月を比べても、1994年には全層平均値が3.80  $\mu\text{M}$ 、底層では7.54  $\mu\text{M}$ で、1992年や1993年よりも高めに推移していた。一方、

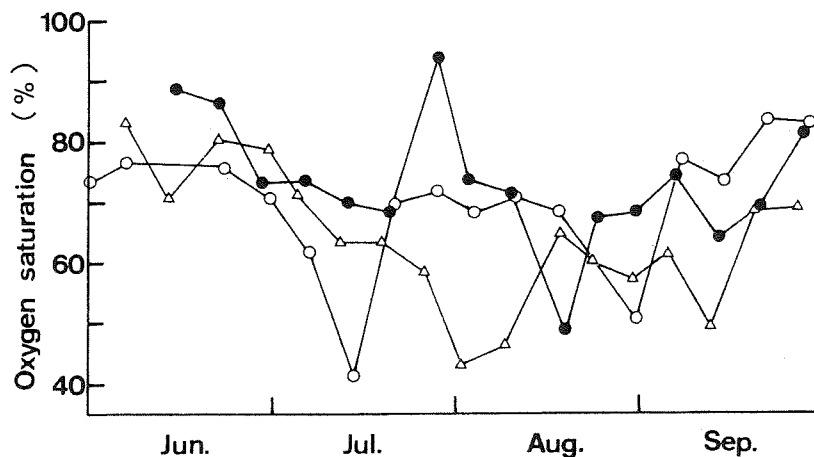


Fig. 8. Changes in oxygen saturation in the bottom layer at 6 stations of southern area in Tanabe Bay. Symbols: ○, 1992; ●, 1993; △, 1994.

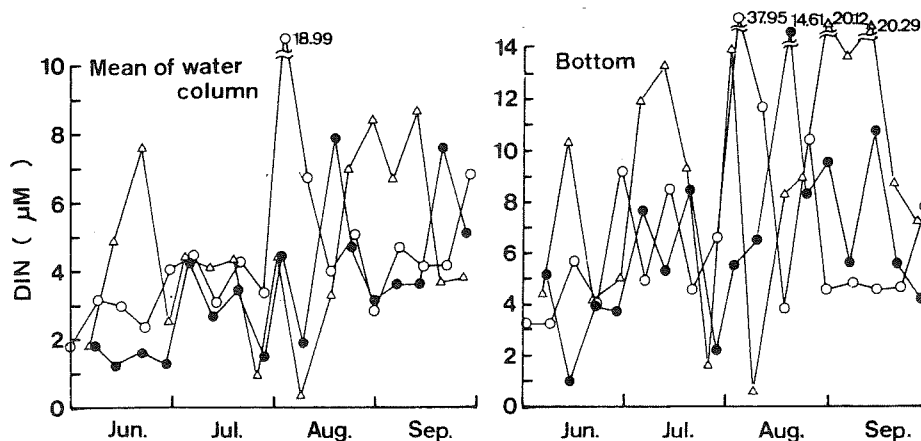


Fig. 9. Changes in DIN concentrations at St. 10 of southern area in Tanabe Bay. Symbols: ○, 1992; ●, 1993; △, 1994.



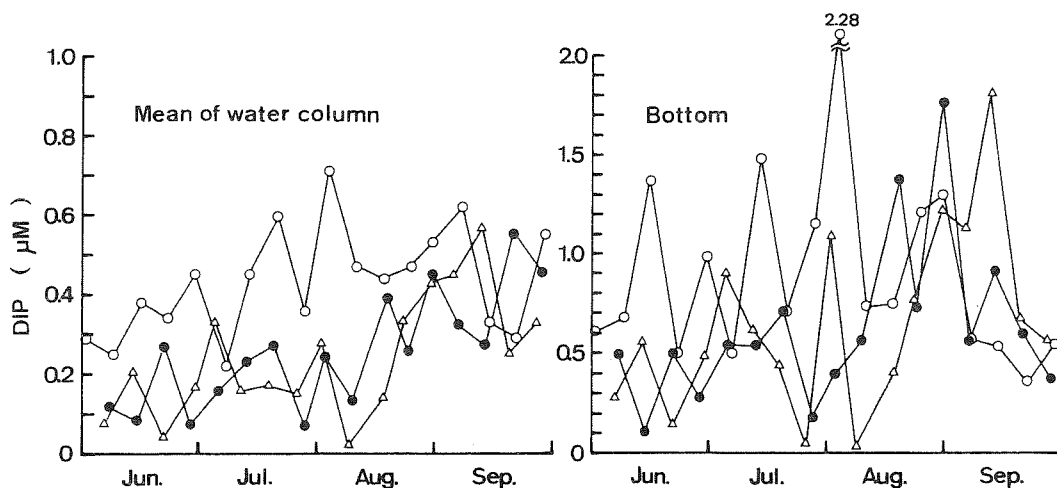


Fig. 10. Changes in DIP concentrations at St. 10 of southern area in Tanabe Bay.  
Symbols: ○, 1992; ●, 1993; △, 1994.

DIP は全層平均値, 底層水とも赤潮非発生年であった 1992 年が他の 2 カ年より高めに推移していた。また, 増殖期である 6, 7 月に注目すると, 赤潮発生年であった 1994 年は 7 月上旬に一時的に上昇していたが, 2 カ月間の全層平均値は  $0.16 \mu\text{M}$ , 底層水は  $0.44 \mu\text{M}$  で, 1992 年の 1/2 程度の濃度であった。このように DIN については赤潮発生年が非発生年よりも高かったが, DIP についてはこのような傾向が認められなかった。そこで, 山口<sup>4)</sup>が求めた *G. mikimotoi* の細胞内 N 含量 ( $3.75\sim 3.95 \text{ pM/cell}$ ) と P 含量 ( $0.23\sim 0.35 \text{ pM/cell}$ ) を用いて, 田辺湾南部域の栄養塩濃度 (Fig. 9, 10) から増殖可能な細胞密度を試算すると, DIN では全層平均値で  $(0.57\sim 0.99) \times 10^3 \text{ cells/ml}$ , 底層水で  $(1.23\sim 1.96) \times 10^3 \text{ cells/ml}$ , また, DIP では全層平均値で  $(0.55\sim 1.28) \times 10^3 \text{ cells/ml}$ , 底層水で  $(1.45\sim 3.07) \times 10^3 \text{ cells/ml}$  になり, 低く見積もられた細胞密度でも生物学的および物理的に若干の集積力が加われば, 赤潮を形成する密度に達しうることになる。また, 広島湾では長年にわたる調査結果から, 独自の赤潮発生子察が試みられ, 本種が赤潮を形成するには底層水の DIN 濃度が  $5.0 \mu\text{M}$  以上必要とされており (大内私信), 田辺湾では非発生年でもこの値を満たしていた。

以上のことから, 田辺湾の南部域では本種が赤潮を形成するための栄養塩濃度が常に維持されているものと推察され, 本種赤潮の発生と非発生を支配するのは増殖しつつある個体群をいかに保持するかという海水交換の程度が重要な働きをしているものと考えられた。今後, 本種の増減と海水交換の関連について検討することが必要である。

これまでの結果から, 田辺湾において *G. mikimotoi* が赤潮を形成する過程を考えると次のようになる。

田辺湾では冬季も *G. mikimotoi* の遊泳細胞の存在が湾全域で観察されており (未発表), 豊前海など<sup>9-12)</sup>と同様に遊泳細胞のまま越冬することが明らかになっている。これらの越冬細胞は Honjo et al.<sup>10)</sup>が指摘しているように水温の上昇に伴って緩やかに細胞密度を増加させるが, 田辺湾の場合, おそらく全湾一斉に起こるものと考えられた。1990 年の出現初期に本種が湾口域や中央域で観察され, 増殖期の初期には中央域を除く全域に分散して出現していた<sup>3)</sup>のはこのことを裏付けるものである。しかし, その後の増殖は栄養塩濃度の高い南部域で顕著になるものと推察された。更に, 南部域は半閉鎖的な地形であるため, 個体群の散逸が妨げられることが考えられ, これらの要因がこの水域における *G. mikimotoi* の高い細胞密度を支えているものと考えられた。一方, 他の水域は栄養塩濃度が比較的低いため増殖速度が遅く, かつ, 開放的な地形が本種を拡散させやすいため, 個体群が増加しにくいものと推察された。

#### 謝 辞

この調査研究に対して終始懇切なご指導を賜った九州大学農学部教授本城凡夫博士に深甚なる謝意を表します。また, 現場調査に多大の協力をいただいた堅田漁業協同組合組合長堅田隆弘氏と同組合員清水昭治氏に心よりお礼申し上げます。さらに, 報告の機会を与えていただいた水産庁漁場保全課に記して感謝します。

#### 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) 竹内照文, 小久保友義, 辻 泰俊, 本城凡夫: 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. 日水誌, 61, 494-498 (1995).
  - 4) 山口峰生: *Gymnodinium nagasakiense* の赤潮発生機構と発生子知に関する生理生態学的研究. 南西水研研報, 27, 251-394 (1994).
  - 5) K. Matuoka, S. Iizuka, H. Takayama, T. Honjo, Y. Fukuyo, and T. Ishimaru: Geographic distribution of *Gymnodinium nagasakiense* Takayama et Adachi around west Japan. in "Red Tides: Biology, environmental science, and toxicology" (ed. by T. Okaichi, D. M. Anderson, and T. Nemoto), Elsevier Science, New York, 1989, pp. 101-104.
  - 6) 小泉喜嗣, 高島 景, 神園真人, 江藤拓也, 馬場俊典, 檜山節久, 池田武彦, 岩男 昂, 樋下雄一, 内間満明, 矢沼 隆, 内田卓志, 本城凡夫: 西部瀬戸内海における *Gymnodinium mikimotoi* の増殖域の環境特性と分布拡大機構. 海の研究, 3(2), 99-110 (1994).
  - 7) 田森裕茂, 岩男 昂, 神園真人, 吉田幹英, 池田武彦, 馬場俊典, 小泉喜嗣, 内間満明, 三浦秀夫, 矢沼 隆: 西部瀬戸内海における *Gymnodinium nagasakiense* の初期出現域とその環境特性. 日水誌, 57, 2179-2186 (1991).
  - 8) 飯塚昭二, 入江春彦: 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, 99-115 (1969).
  - 9) 寺田和夫, 池内 仁, 高山晴義: 冬季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, 201-204 (1987).
  - 10) 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. Graneli, B. Sundstrom, L. Edler, and D. M. Anderson), Elsevier Science, New York, 1990, pp. 169-170.
  - 11) 馬場俊典, 檜山節久, 神園真人, 江藤拓也, 岩男 昂, 樋下雄一, 小泉喜嗣, 高島 景, 内田卓志, 本城凡夫: 西部瀬戸内海における赤潮渦鞭毛藻 *Gymnodinium mikimotoi* 遊泳細胞の越冬について. 日本プランクトン学会報, 41, 69-71 (1994).
  - 12) 保坂三継: 東京湾における *Gymnodinium nagasakiense* Takayama et Adachi の出現. 日本プランクトン学会報, 37, 69-75 (1990).