

1994～1996年夏期の大阪湾における*Gymnodinium mikimotoi* 赤潮の発生状況について

山本 圭吾

Occurrence of *Gymnodinium mikimotoi* Red Tide in Summers of 1994 to 1996 in Osaka Bay

Keigo Yamamoto

はじめに

Gymnodinium mikimotoi MIYAKE et KOMINAMI ex ODA (以下*G. mikimotoi*) は西日本の内湾域で多く見られる代表的な赤潮生物の一種である。*G. mikimotoi*の赤潮は養殖魚のハマチやマダイ、天然魚介類のカレイなどの魚類だけでなく、アワビ、サザエなどの貝類も死亡させる。これまでに多くの海域で被害報告があり、その被害金額は*Chattonella* 属とともに上位を占める¹⁾。近年では1995年に主に播磨灘において養殖ハマチを主体に6億円を越える被害がでており、次ぐ'96年にも1.4億円の被害となっている^{2),3)}。

本種は大阪湾においても、1991年に赤潮として発生したあと、'92年、'93年には発生が見られなかったが、'94年以降3年連続で発生しており、特に'95年は播磨灘と同様大発生が確認された。大阪府においては直接的な漁業被害は報告されていないが、赤潮の発生とともに貧～無酸素水塊が形成されることが多く、このことが漁業にも少なからず影響を与えることから、その発生要因を明らかにする事は重要と考えられる。本報では大阪湾で*G. mikimotoi*赤潮の発生が見られた1994～1996年について*G. mikimotoi*の出現状況を明らかにするとともに、水温、塩分を主とした環境要因と*G. mikimotoi*赤潮の発生との関係について検討したので報告する。

材料と方法

調査は大阪湾全域の20定点 (図1-a) もしくは大阪湾東部の14定点 (図1-b) において1994年から1996年の3ヵ年、いずれも4月から11月の8ヶ月間について行った。20定点の調査は月1回月上旬に、東部と西部に分け2日間かけて行い、14点の調査は概ね週1回の頻度で1日で行った。ただし'95年8月上旬に*G. mikimotoi*の大量発生が見られたため、'95年8月9日の調査時のみ図1-cに示すとおり大阪湾全域を1日で把握できるよう変則的な定点をとった。各調査とも表層 (0 m) 海水中の*G. mikimotoi*遊泳細胞の密度および環境要因を調べ、加えて各月の月上旬の調査では大阪湾奥、中部、南部の3点 (St.1, 12, 18: 図1-d) において表層、5 m, 10 m, 底層 (B-1 m) の4層において層別採水を行った。ただし水深の浅い南部のSt. 1については10 m層を除いた3層とした。表層の採水にはバケツを、層別の採水には北原式採水器を用い、調査船の逆進により海水が巻き上げられるため表層については逆進前に、その他の層については船が停止した後、時間をおいて採水を行った。採水した海水は実験室に持ち帰り、海水1 ml中の細胞数を検鏡により計数した。

現場では、観測時にSTD (アレック電子製) を下ろし、0.5 m間隔で水温、塩分を測定した。ただし、表層水温については採水時に棒状水温計で、表層の塩分については試水を実験室に持ち帰り、塩分

計 (TS塩分計デジオートmodel3G) により測定した。また、水温、塩分の経時的なデータは図1-dに示す岬沖の定点 (白丸) で行っている水温、塩分の定置観測のデータのうち毎日午前9時のものを使用した。水温、塩分の解析に際しては短周期変動を除くため5日間移動平均を用いた。

また、試水の一部は採水後直ちにガラス繊維濾紙 (Whatman GF/C, ϕ 47mm) でろ過し、栄養塩類の分析用とした。栄養塩類 (DIN, DIP) の測定はオートアナライザー (プラン・ルーベ社製Traacs 800) を用いて、常法で行った。栄養塩の分析は月1回上旬の調査時に行ったが、8月のみ全域の20定点 (図1-a), それ以外は東部海域の14定点 (図1-b) の試料のみで行った。

溶存酸素 (以下DO) 分析用の海水は底層より採水を行い、採取した海水を現場で固定し、実験室に持ち帰った後、ウィンクラー窒化ナトリウム変法により測定した。溶存酸素の測定は月に2回、上旬と中旬について行ったが、解析に当たっては上旬、中

旬の調査で共通する定点の資料のみを利用した。

気象の資料については大阪管区気象台の月報のデータを用いた。また播磨灘における赤潮の発生状況と比較するため瀬戸内海の赤潮の資料^{2),3),4)}の一部を利用した。

結 果

1. *G. mikimotoi*最高細胞密度の推移

1994～1996年まで3年間の*G. mikimotoi*最高細胞密度の推移を図2に示した。

'94年は7月19日の調査で初めて 10^2 のオーダー (600cells/ml) で遊泳細胞が確認され、このとき *Eutreptiella* sp.に次ぐ第2 優占種として赤潮を形成していた。続く7月26日の調査時には120cells/mlに減少し、赤潮も消滅していたが、8月1日には再び 10^4 (10,950cells/ml) まで増殖し、単独で赤潮となっていた。その後8月8日には赤潮は継続していたものの、細胞数は 10^3 (3,120cells/ml) まで減少し、次ぐ8月25日の調査では12cells/ml、9月5

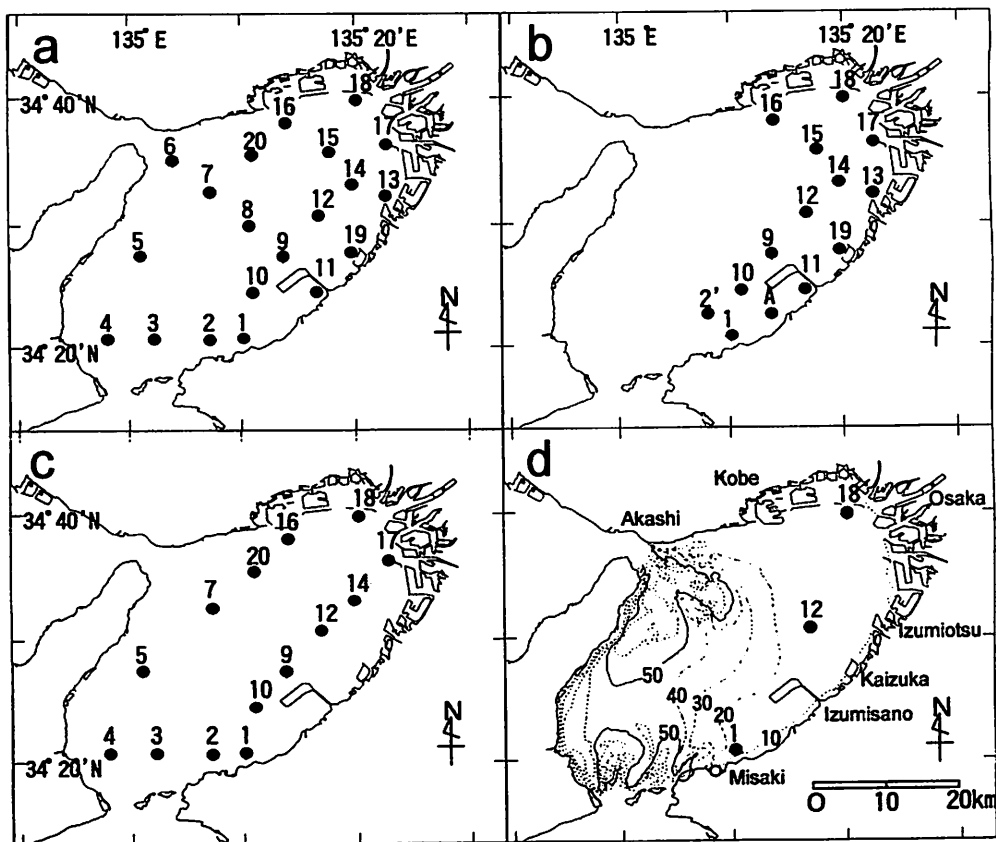


図1 調査定点図

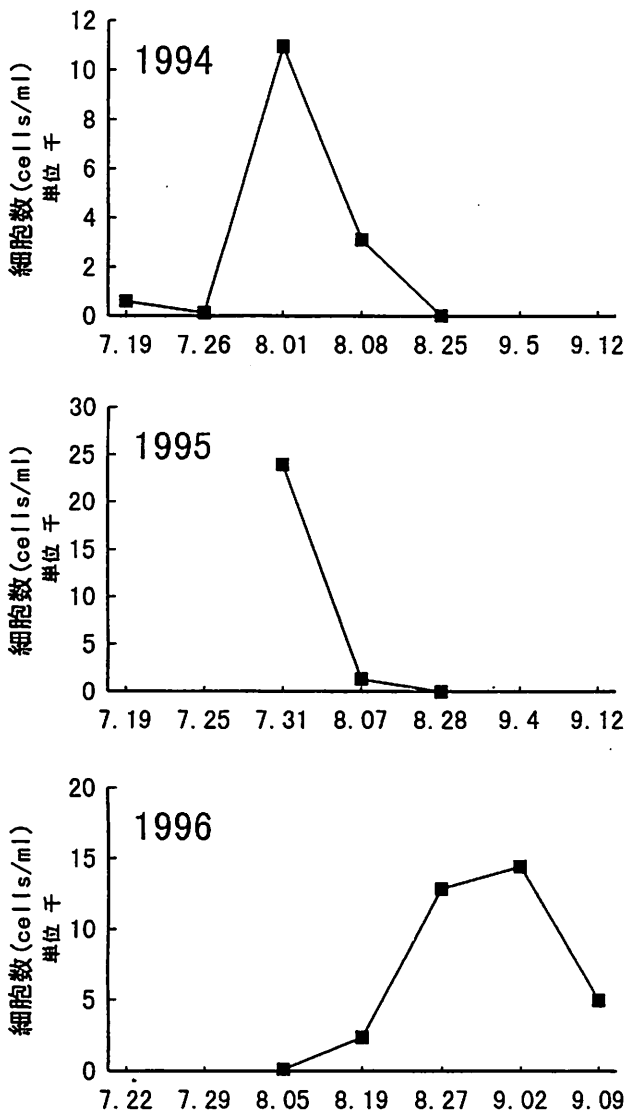


図2 最高細胞数の推移

日の調査では遊泳細胞は全く確認されなかった。

'95年は7月31日に、 10^4 のオーダー (23,970 cells/ml) で確認された。このとき単独で赤潮を形成していた。その後、8月7日の調査では引き続き赤潮は継続していたものの、細胞数は 10^3 (1,270 cells/ml) まで減少していた。さらに8月28日の調査では遊泳細胞は全く確認されなかった。

'96年は過去2年より少し遅い8月5日に 10^1 のオーダー (96 cells/ml) で細胞が初めて確認された。続く8月19日の調査では 10^3 (2,360 cells/ml) まで増殖し、単独で赤潮を形成していた。その後、8月27日には 10^4 (12,830 cells/ml)、次ぐ9月2日には14,420 cells/mlとさらに増殖し出現期間中最高密度

となった。さらに9月9日には 10^3 (4,990 cells/ml) と細胞数は減少したものの依然単独で赤潮を形成していた。本年は'94年、'95年に比べて長期間赤潮状態が継続していた。

2. *G. mikimotoi* 遊泳細胞の分布

0 m層における遊泳細胞の水平分布の推移を図3-1,2,3に示した。

'94年は7月19日に泉大津市沖を中心とする海域に発生したが、26日には関空南部に見られるものの細胞数は減少していた。その後8月1日に湾奥で再び高密度域が認められ、8月8日には分布の中心が南部に移っていた。8月25日になると遊泳細胞は南部の点で見られたものはほぼ消滅していた。

'95年は7月31日に湾の南西部を中心に遊泳細胞が分布し、湾全体に及ぶ大規模な赤潮となった。その後8月7日には分布の中心は湾奥に移り、それ以外の定点では細胞数は減少していた。さらに8月28日になると*G. mikimotoi* 遊泳細胞は確認されなかった。

'96年には8月5日に明石海峡から南東方向にのびる定点で細胞が最初に確認され、明石海峡に最も近いSt. 6で96 cells/ml, St. 7で38 cells/ml, St. 8で20 cells/ml, St. 9で6 cells/mlと明石海峡に近づくにつれ細胞密度は増加していた。8月19日には湾奥で赤潮状態で確認されたが湾南部では確認されなかった。8月27日には湾の南部にまで分布が広がり最高細胞数も増加していた。9月2日には分布の中心は泉大津市の沖合に見られたが、9月9日になると分布の中心は淀川河口沖を中心とする湾奥部と貝塚市沿岸を中心とする海域に2極化していた。赤潮の発生が見られた8月中旬は当調査では西部海域の資料がかけているが、同時期に行われている兵庫県資料*を参照すると、南西部の細胞密度は小さい傾向にあった。

層別採水を行った点の内、*G. mikimotoi* 遊泳細胞が出現した各点における鉛直分布を図4に示した。ここで出現率は各層の出現密度の合計に対する割合とした。'94年から'96年の3年間でのべ8定点において鉛直分布の観察が可能であったが、各定点とも

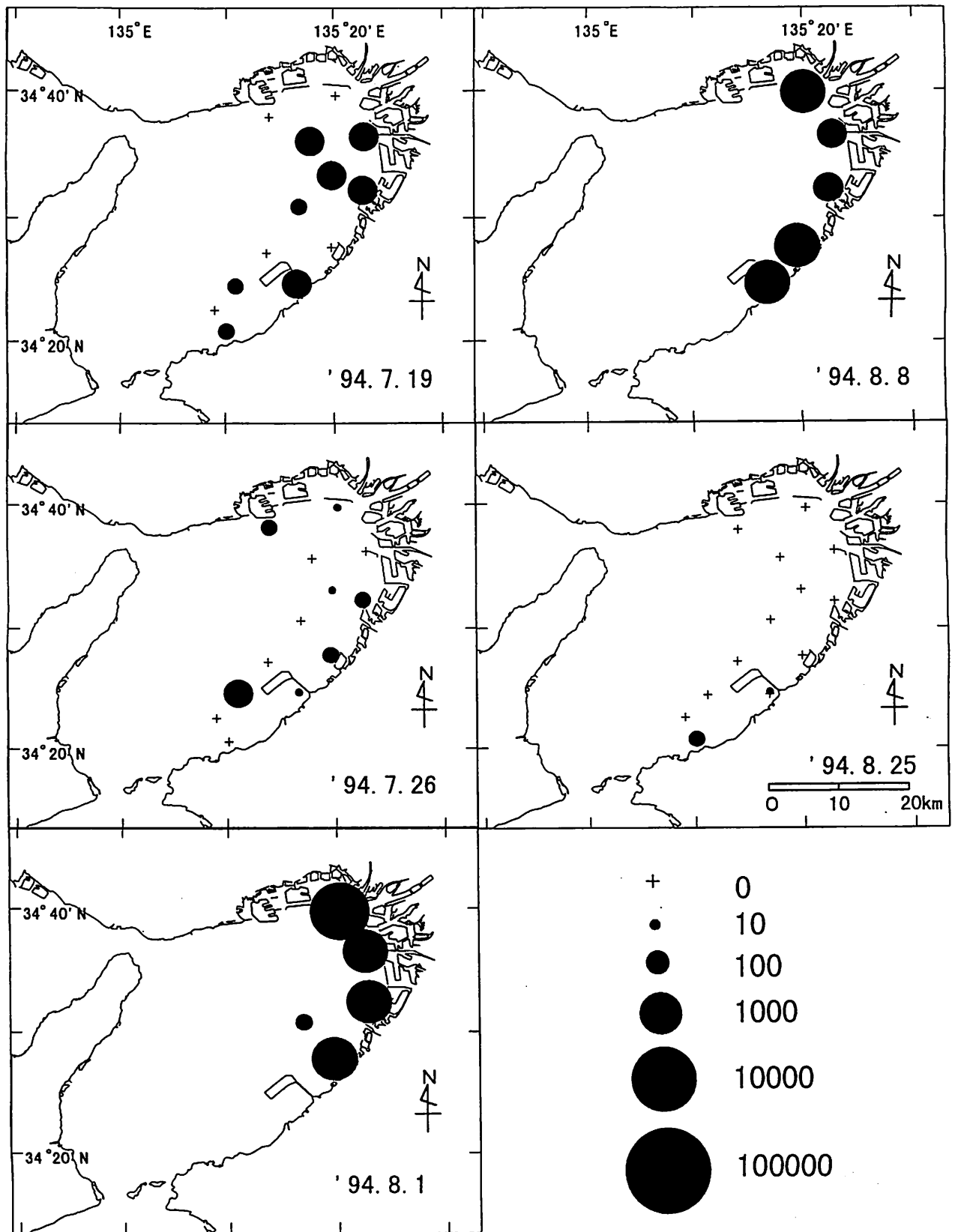


図3-1 *G. mikimotoi*遊泳細胞の水平分布 ('94年)

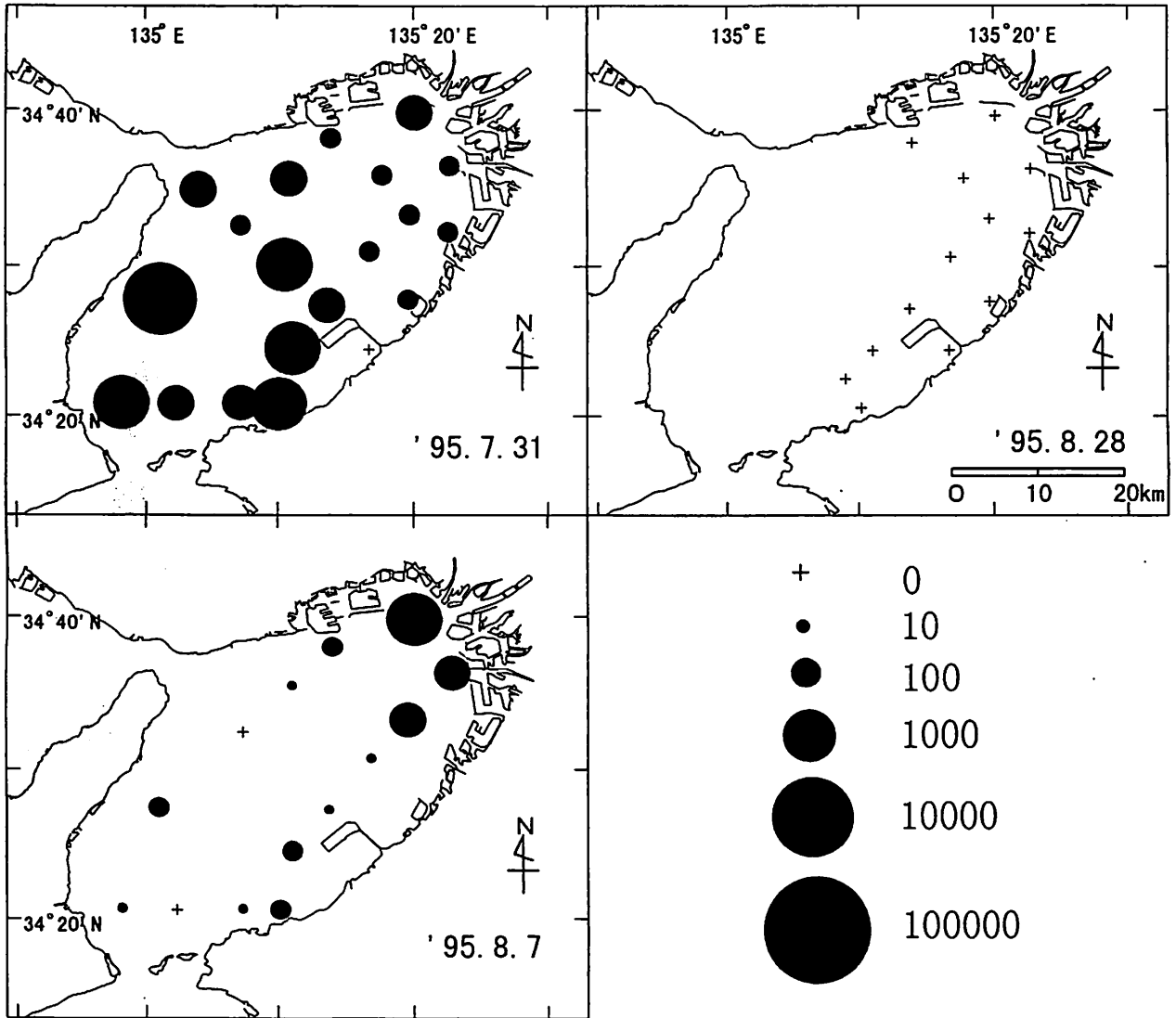


図3-2 *G. mikinotoi* 遊泳細胞の水平分布 ('95年)

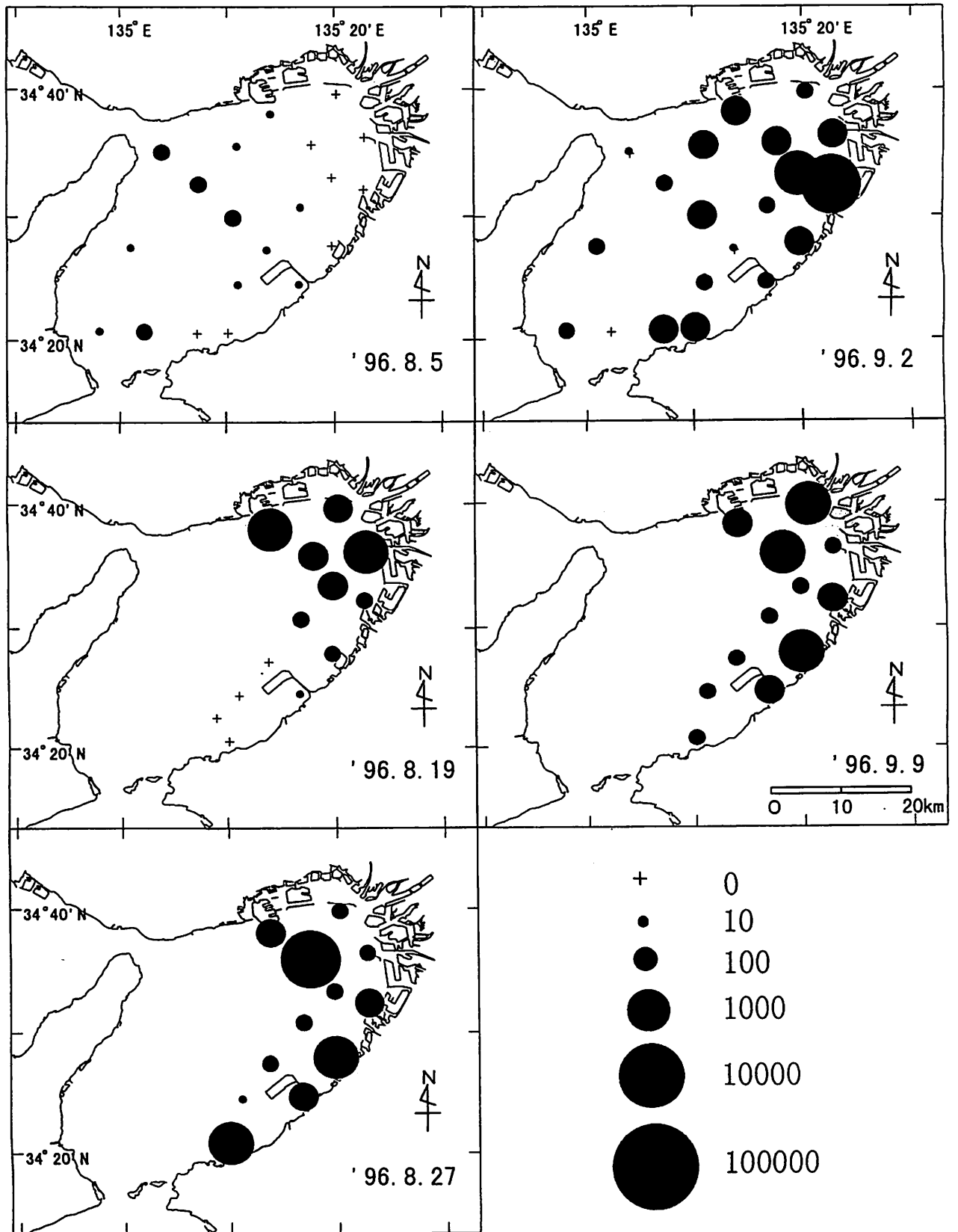


図3-3 *G. mikimotoi*遊泳細胞の水平分布 ('96年)

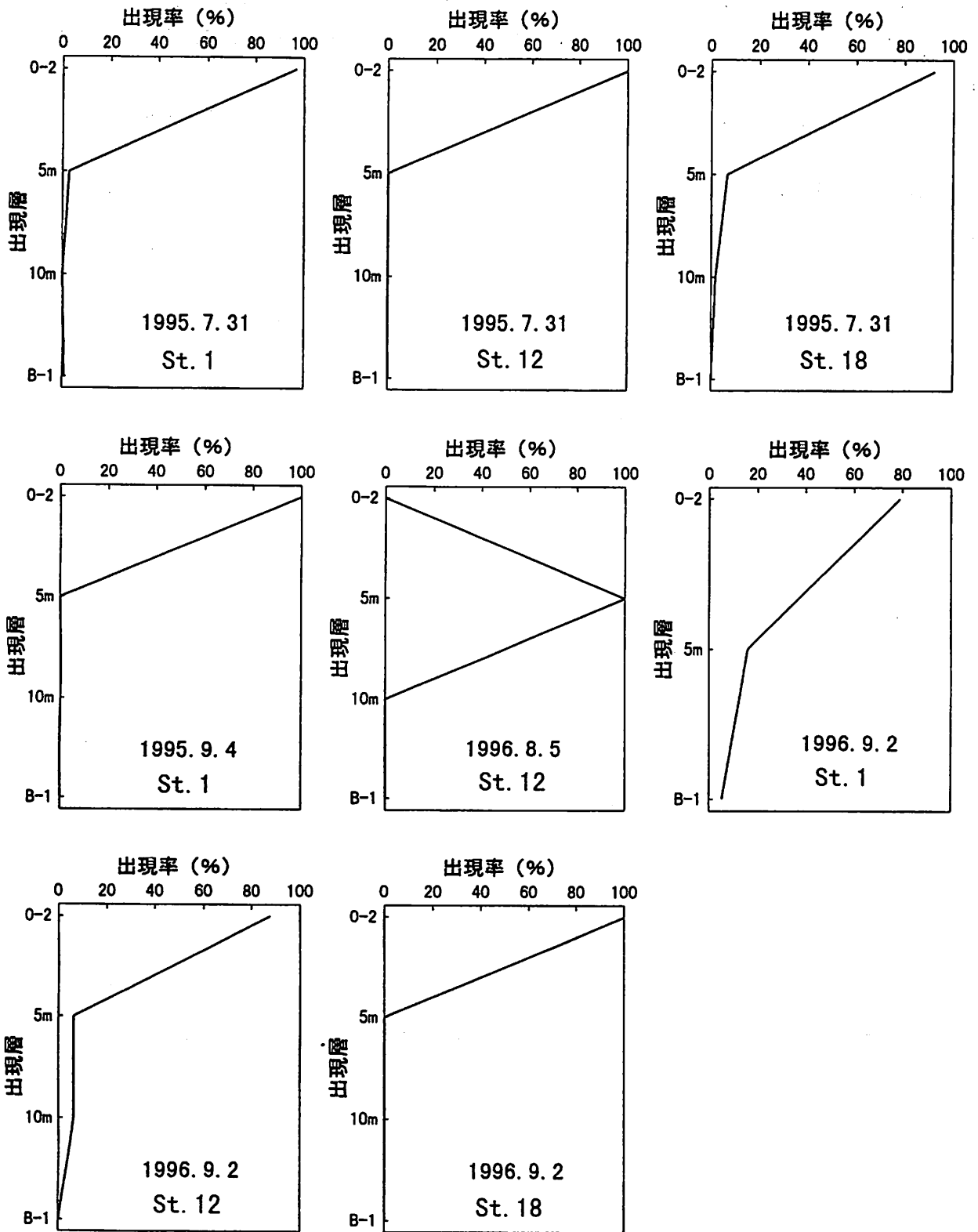


図4 *Gymnodinium mikimotoi* 遊泳細部の鉛直分布

細胞は表層に最も多く、水深5m以深の層では遊泳細胞は急激に少なくなっていた。ただし、'96年8月5日のSt.12でのみ5m層に分布の中心が見られたが、このときの細胞密度は2細胞/mlであった。

*兵庫県漁海況情報、平成8年度第13号

3. 環境要因

1) 気象

大阪管区気象台資料によると'94年、'95年の夏期は記録的な猛暑であったが、'96年は同時期はほぼ平年並みに推移していた。そこで気象の要因の内プランクトンの増殖に特に影響を与えと考えられる降水量と、全天日射量について解析を行った。

図5に降水量の日変化を示した。ただし、'94年と'95年は*G. mikimotoi*赤潮の発生した7～8月、

'96年は同様に8～9月の値を示した。

降水量を見ると'94年が記録的な小雨であったのに対し、'95年は7月上旬に323mm、下旬に68.5mmといずれも平年値の3倍を超える大量の降雨があった。一方、'96年は8月下旬（8月29日に最大61.5mm）と9月中旬（9月13日に最大71.0mm）にまとまった雨が見られたものの、7月から9月にかけてはほぼ平年並みに推移した。

図6に全天日射量の日変化を示した。日射量は'95年の7月上中旬、'96年の9月以降は比較的少ないものの、それ以外は概ね15～25MJ/m²/day程度で推移していた。

2) 海象

図7に岬町沖定点における水温、塩分の経時変化を示した。

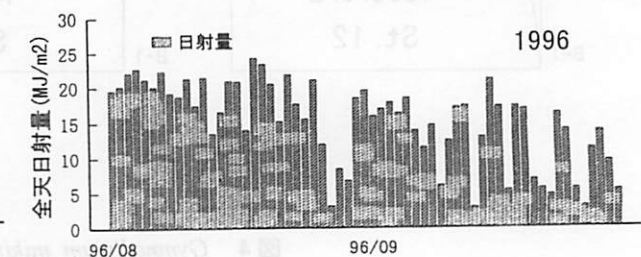
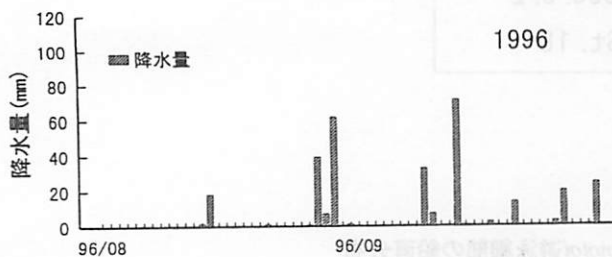
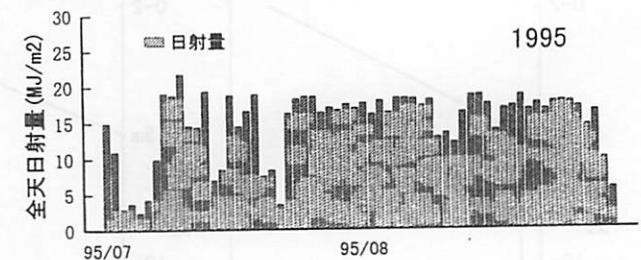
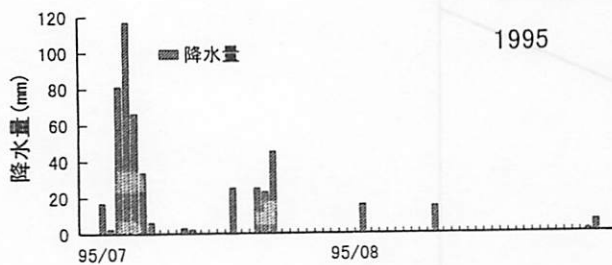
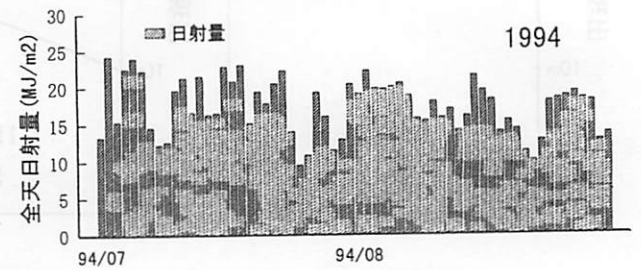
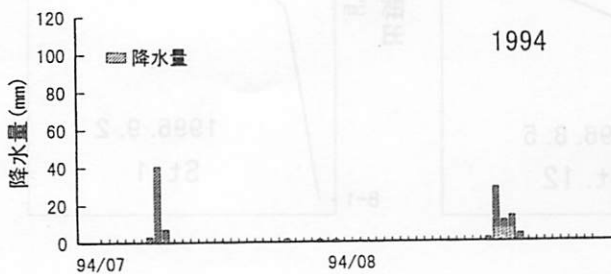


図5 降水量の推移

図6 全天日射量の推移

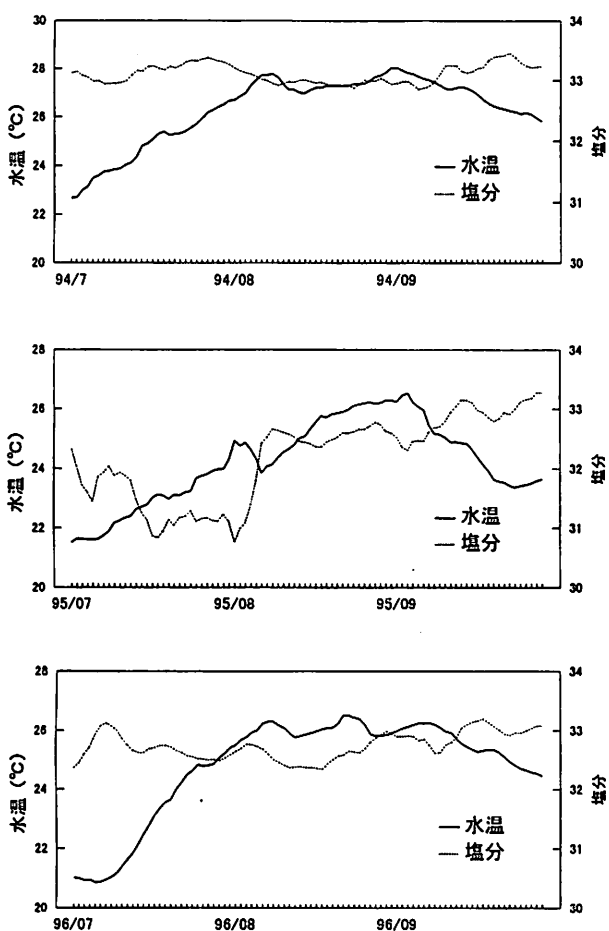


図7 水温、塩分の推移

'94年は、水温が7月3日の移動平均値で22.7℃と他の2年に比べ若干高め、その後も順調に昇温し、7月13日の値で24℃、7月28日には26℃となった。その後水温はいったん下降したものの、8月31日には期間中最高の28.0℃となった。その後は下降

を続け、9月28日の移動平均値では25.8℃であった。一方塩分も、7月3日の移動平均値では33.12と高めで、その後も最低でも9月5日の32.85と期間中は高めで推移した。

'95年は、水温が7月3日の移動平均値で21.5℃と前年より低く、その後は順調に昇温したものの、8月1日の値で24℃となった後いったん急激に下降し、8月24日に26℃となった本年の水温の上昇は前年に比べ約一ヶ月遅れていた。また、最高値も9月3日の26.5℃と前年より1.5℃低いものであった。一方、塩分も7月3日の移動平均値で32.32と低めで、その後も7月上旬の降雨の影響と思われる下降を続け、8月2日の値では30.77と期間中最低を記録した。しかし、その後塩分は急速に上昇し、8月中旬以降は33前後で推移した。

'96年は、水温が7月3日の移動平均値で21.0℃と'95年よりさらに低かったが、その後急速に上昇し、7月23日の値で24℃、8月6日には26℃となり、やや急激であるがほぼ'94年と同様の上昇傾向であった。その後、水温はいったん下降したものの再び上昇し、8月23日の値では期間中最高の26.5℃であった。一方、塩分は7月3日の移動平均値は32.37と'95年並であったが、その後も下降することなく、32.3-33.2の範囲で高めに推移した。

図8,9に*G. mikimotoi*遊泳細胞が多数確認された定点(1mlあたり 10^2 以上の細胞数が確認された点)について現場における水温、塩分と細胞数の関係を示した。

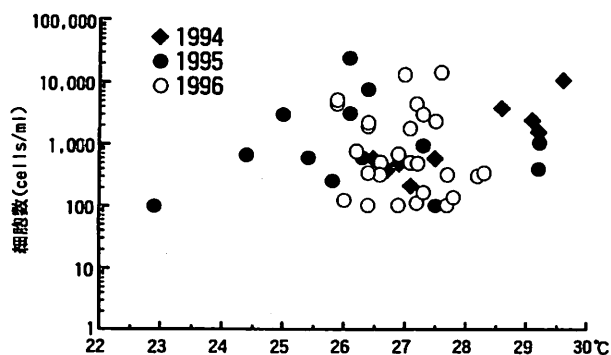


図8 水温と細胞数の関係

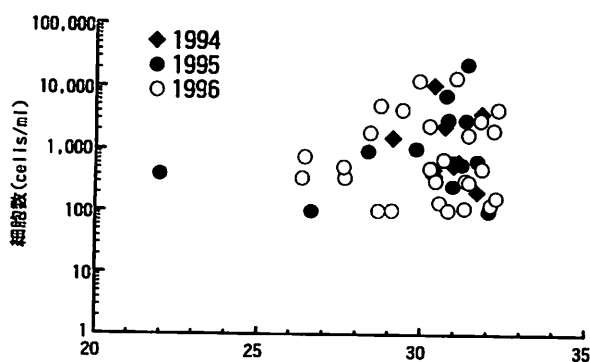


図9 塩分と細胞数の関係

G. mikimotoi が 10^2 cells/ml以上確認された定点における水温は22.9–29.6℃の範囲にあったが、多くの定点は26–28℃の範囲に集中して分布した。ただし、水温と細胞数の間には明確な相関関係は見られなかった(図8)。また塩分についても定点の分布は21.99–32.34の範囲にあったが、多くの点は30–32の範囲に集中していた。塩分についても水温と同様、細胞数との間には明確な関係は見いだせなかった(図9)。年ごとの傾向を見ると水温については'94年、'96年の定点が26℃以上に位置するのに対し、'95年は約23℃から29℃付近まで比較的広範囲に散らばっていた。塩分については'95年の1定点のみが22付近にあるがその他は約26から33付近の範囲内にあり、年による差は認められなかった。

図10-1,2に'95年、'96年の*G. mikimotoi* 赤潮発

生前および発生時の栄養塩の分布を示した。両年も赤潮発生前にはDIN, DIPとも東部湾奥域を中心と比較的高濃度の分布域が見られ、特に'95年の発生前には泉大津沿岸でDINで $112.88 \mu\text{g-at/l}$, DIPで $3.21 \mu\text{g-at/l}$ と非常に高い濃度域が見られた。一方、発生後には'96年のDINで湾奥部に一部高濃度域が見られるもののDIN, DIPとも全体的に低濃度であった。

図11に溶存酸素飽和度の旬別の推移を示した。'94年の飽和度は7月上旬から50%を下回り8月上旬に最低となった後徐々に回復していった。'95年の酸素飽和度は7月上旬には60%を超えていたが、中旬以降低下して貧酸素化し9月上旬まで続いた。一方、'96年の飽和度は8月上旬に50%を下回った以外は50%を上回る値で推移し、貧酸素水塊の形成

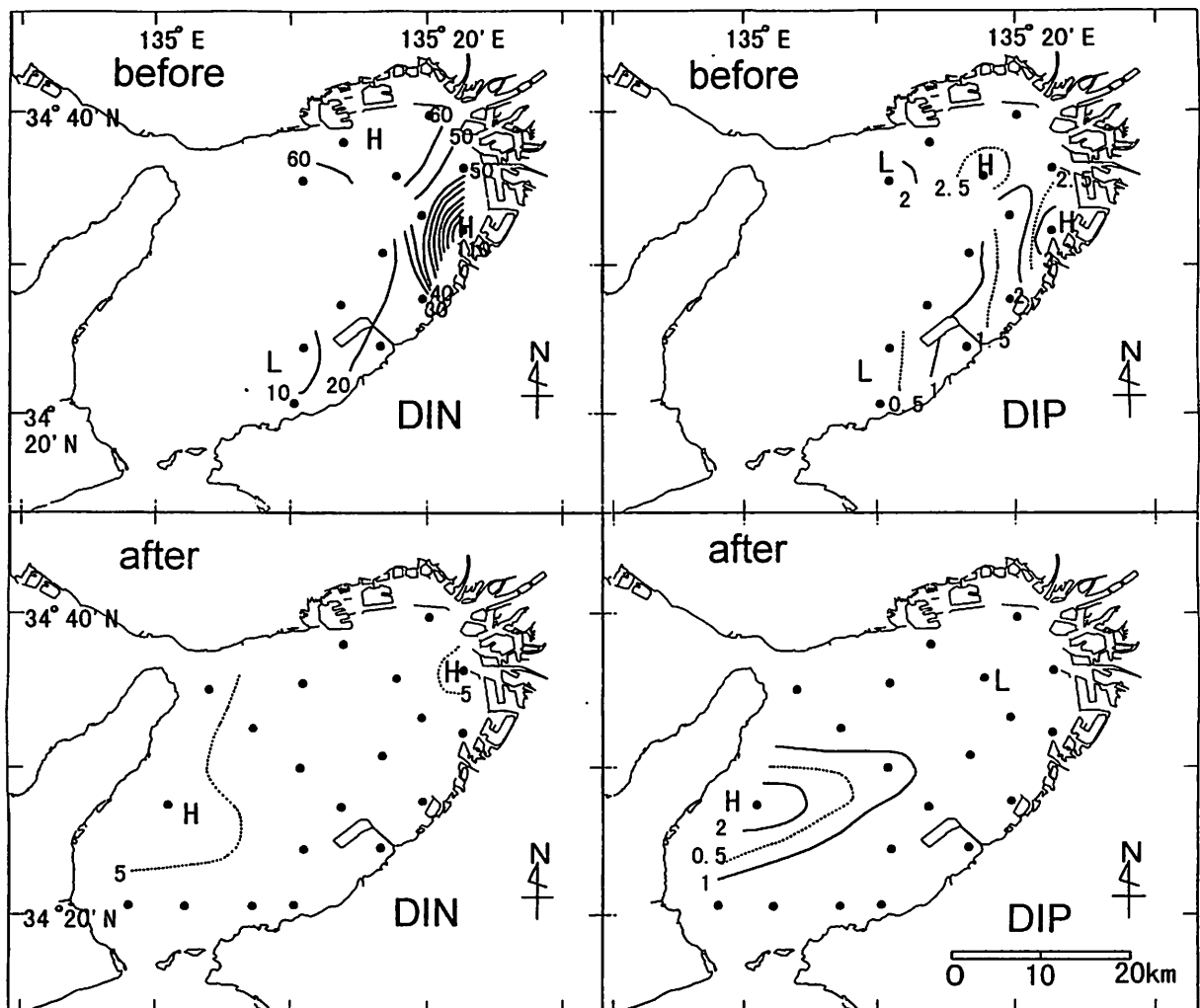


図10-1 赤潮発生前後の栄養塩の分布 (1995)

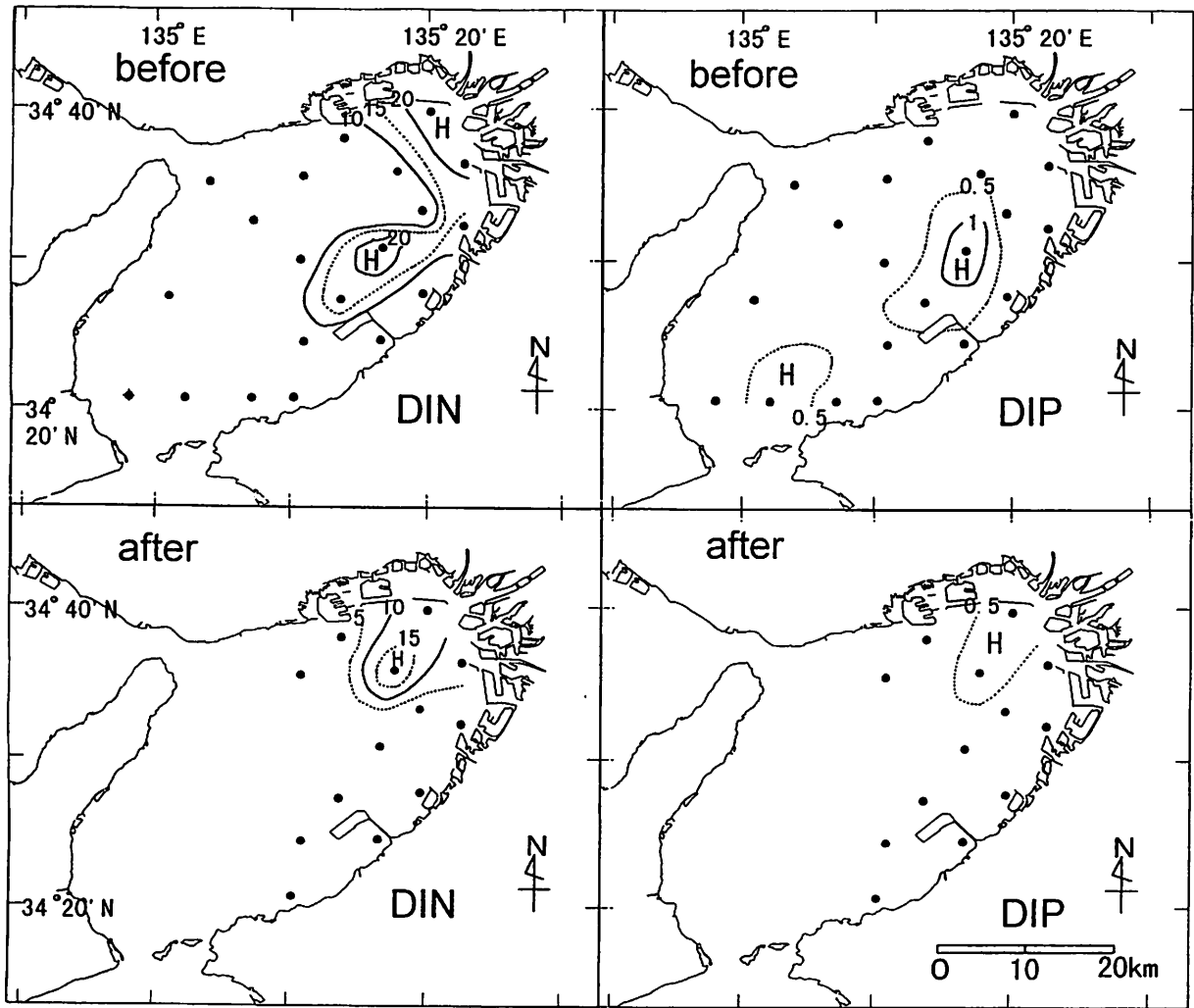


図10-2 赤潮発生前後の栄養塩の分布 (1996)

は弱かった。

4. 大阪湾および播磨灘における*G. mikimotoi*赤潮の発生

図12に大阪湾および播磨灘における赤潮発生状況

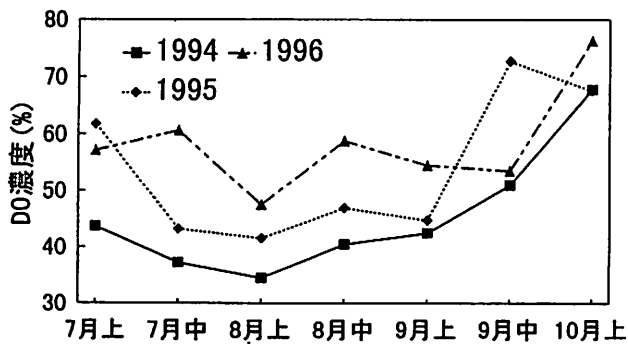


図11 DOの推移

を示した。

'94年は播磨灘南部では赤潮の発生は見られなかったが、大阪湾で7月19日と8月上旬、播磨灘北部では7月下旬から8月上旬にかけて赤潮の発生が見られた。

'95年は播磨灘、大阪湾とも8月上旬から中旬にかけて赤潮の発生が見られた。1995年の発生は3年のうち最も大規模で播磨灘では前述のように大きな被害となった。

一方、'96年は播磨灘では南部北部とも8月上旬から中旬にかけてみられたが、大阪湾では8月の中旬から9月の中旬までと発生時期にずれが見られた。

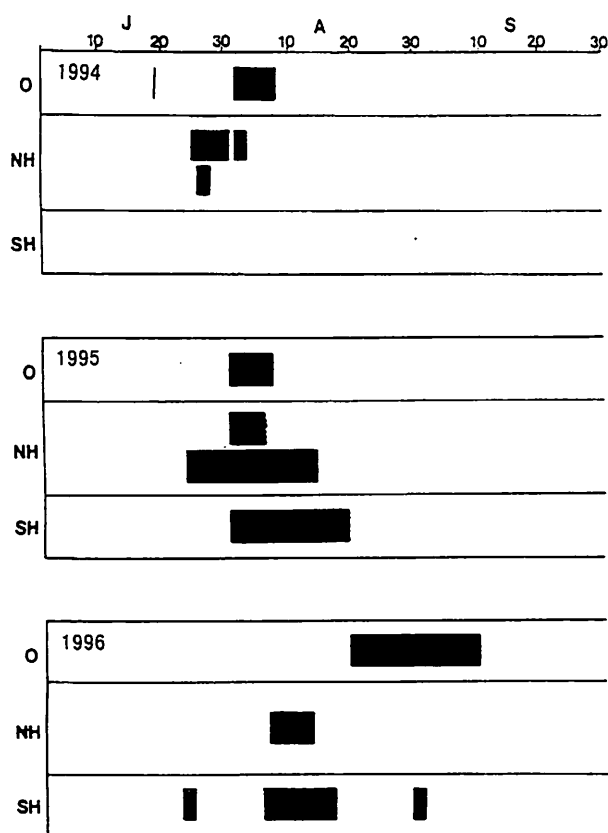


図12 播磨灘および大阪湾における*G. mikimotoi*赤潮の発生状況
O：大阪湾，NH：播磨灘北部（上段，兵庫県，下段，香川県），SH：播磨灘南部

考 察

1994年から1996年の大阪湾における*G. mikimotoi*赤潮の発生状況を見ると，'94年，'95年はともに8月上旬に発生した後急速に消滅していた。しかし，'96年は8月下旬に発生した後比較的長期間継続しており，発生時期で見ると'96年が他の2年と異なる傾向を示していた。一方，赤潮の発生期間の水温，塩分を見ると，まず水温では'94年と'96年はともに水温26℃前後で赤潮となっていたが，'95年は赤潮の発生が確認された調査日の水温データは22℃付近と，他の2年に比べかなり低かった。塩分についても'94年，'96年が赤潮発生前後に32-33付近であったのに対し，'95年のみ約31と他の2年に比べて顕著に低かった。このように発生時期あるいは環境要因で見ると，'96年と'95年はそれぞれの項目につい

て他の2年と異なった傾向がみられたと言えよう。

*G. mikimotoi*遊泳細胞が高密度で確認された定点の水温は26～28℃，塩分で30～32の範囲に集中していた(図8,9)。*G. mikimotoi*は広温，広塩性で，培養試験での結果では水温，塩分単独で見た場合，水温10～30℃，塩分15～30の範囲で増殖可能であり，増殖速度の最大値を与える水温，塩分の組み合わせは水温25℃，塩分25とされている⁵⁾。ただし現場では塩分が培養試験に比べて高めの28-33の範囲にある⁶⁾。このように'94年，'96年の2年について得られた結果は，水温では培養実験の結果を，また塩分では過去の現場における出現状況を裏付けており，これらの値(水温で26～28℃，塩分で30～32)が大阪湾における*G. mikimotoi*赤潮の発生に最適な水温，塩分であると推察される。

ここで，夏期の大阪湾における平均的な水温，塩分の分布をみると，水温は湾奥から南部に向かって低くなり，逆に塩分は湾奥から湾口に向かって高くなる傾向が見られる⁷⁾。赤潮発生が26℃，32-33で見られた'94年，'96年については，その発生が主に湾奥のものであり，湾口での水温，塩分を用いて発生要因を解析することに問題がある可能性も考えられた。しかし，移動平均で比較する限り，これらの年でも図1に示す定点における水温と湾口の定置観測で得られた結果とはほぼ同様の傾向を示しており，湾口のデータを用いても発生条件を検討することが可能と判断された。将来的には定置観測による水温・塩分のモニタリングを用いた*G. mikimotoi*赤潮の予察手法の開発を検討する必要があると考えられる。

現場における水温，塩分を各年別に見ると，'94年，'96年はほぼ発生に最適と思われる水温26～28℃，塩分30～32の範囲内にあったのに対し，'95年は特に水温のばらつきが大きかった。飯塚・入江⁸⁾は*G. mikimotoi*の発生する要因の一つとして大量の降雨をあげている。降水量の多さは同時に多量の栄養塩の供給をもたらす可能性があり，'95年にはこの降雨がきっかけとなって，水温が26℃に達する以前にも赤潮の発生が見られた可能性が考えられる。その結果として現場における赤潮発生期の水温傾向

のばらつきが生じたのであろう。

次に、同じく26℃付近で赤潮の発生が見られたにもかかわらずその発生時期にずれが見られた'94年、'96年について比較する。'94年には水温上昇期に26℃を越えた時点で*G. mikimotoi*の増殖が見られたが、'96年は水温がいったん26℃まで上昇した後一時低下し、再び上昇した時期に赤潮となっていた。大阪湾では表層水温が26℃に達するのは平均すると7月の下旬から8月上旬であり(中嶋, 私信), 水温の上昇傾向は'94年、'96年ともほぼ平年と同様であるといえる。また塩分もほぼ増殖に適すると考えられる範囲内にあり、'96年の発生が遅れた原因として水温、塩分は考えたい。

ここで播磨灘と大阪湾の発生時期を検討した結果を見ると、'96年のみ播磨灘と大阪湾の赤潮の発生に時期的なずれが観察された(図12)。*G. mikimotoi*はシストに関する報告がなく、一方で冬季に遊泳細胞が確認されており^{9), 10), 11)}, 栄養細胞で越冬した群が次の年のシードポピュレーションになると考えられている。寺田他¹⁰⁾によれば本種は6.5-9.0℃で生存し得る可能性が示唆されている。大阪湾における冬季の最低水温は表層ではこの水温を下回るが、底層では下回ることはない。このことから*G. mikimotoi*栄養細胞が生き残る可能性は高く、1994年、1995年については播磨灘とほぼ同時期に発生していることを見ても大阪湾における前年の越冬群がシードポピュレーションになった可能性が高い。一方、赤潮の発生時期が遅れた'96年については、8月上旬から中旬にかけて播磨灘では赤潮を形成しており、また水温も26℃付近にまで上昇していたにもかかわらず、大阪湾で発生が見られなかった。中嶋¹²⁾によると'96年2月から3月の水温は平年に比べ顕著に低い傾向が見られ、この影響により前年の群が湾内で越冬できず、死滅した可能性が考えられた。さらに、'96年の分布状況をみると*G. mikimotoi*栄養細胞が初めて確認された8月5日には大阪湾中央部から明石海峡に向かって細胞数が増加しており、播磨灘から*G. mikimotoi*栄養細胞が流入した後、大阪湾内で増殖し赤潮を形成した可能性が考えられる。しかし、

大阪湾ではこれまで冬季に*G. mikimotoi*栄養細胞が確認されておらず、これらの仮説の検証のためにもさらに冬季について調査を行う必要があると考えられる。

次に赤潮の発生規模と環境要因との関係について考察する。

まず発生範囲を見ると、1994年、1996年は主に湾奥での発生にとどまっていたが、1995年については大阪湾西部を主とした湾全域で大規模発生がみられた。また、細胞密度をみても、最高細胞密度は各年とも 10^4 cells/mlのオーダーに達していたが、特に'95年は他の2年に比べ約2倍の細胞密度が観察された。このように発生規模においても水温、塩分の傾向と同様に95年は他の2ヵ年と異なる傾向が見られた。

飯塚・入江¹³⁾は蒸留水希釈海水の方が現場海水より培養成績がよいことから*G. mikimotoi*が低塩分種であると推測している。大阪湾における*G. mikimotoi*赤潮が、降雨の少なかった'94年、'96年は主に淀川河口にあたる湾奥で、また大量の降雨が見られた'95年には湾西部を主とする湾全域で発生したことは、本種の低塩分性を裏付けるものと考えられる。一方、栄養塩の分布をみると、'95年、'96年とも*G. mikimotoi*赤潮の発生前にはDIN、DIPとも概ね湾奥から東部海域で高く、南部、西部に向かって栄養塩濃度は低下していた。しかし、赤潮発生期には逆に西部海域もしくは湾奥のごく一部で栄養塩濃度は高くなっていた(図10-1, 2)。大阪湾における成層形成期の平均的な栄養塩分布は東高西低型の前者の分布形を示すことが多く¹⁴⁾, 発生前には平均的な栄養塩分布を示していたが*G. mikimotoi*の増殖によりDIN、DIPのほとんどが消費された結果後者の分布パターンを示したものと考えられた。ここで発生前の栄養塩濃度を比較すると、'96年の最高値はDINで $29.84 \mu\text{g-at/l}$, DIPで $1.37 \mu\text{g-at/l}$ であったのに対し、'95年の値はDINで $100 \mu\text{g-at/l}$ 以上, DIPで $3.21 \mu\text{g-at/l}$ と'96年に比べ高濃度であった。これら高濃度の栄養塩類は水温、塩分の場合と同じく7月上旬の降水の影響によるものと思われる。すな

わち'95年の大規模な赤潮発生にはこの時期の降水と高濃度の栄養塩が関係したことが推察される。*G. mikimotoi*はDIN, DIP以外にも他の栄養源としてビタミンB₁₂や特に4価のセレンを他の植物プランクトンより高濃度に要求するとされている¹⁵⁾。これらの項目は今回測定していないが、セレンに関しては河川水からの補給が考えられ、降水に伴い陸域から多量に補給されたとするればこれらの微量栄養素も'95年の大増殖に影響を与えた可能性も考えられる。

DOの変化を見ると赤潮の発生前には各年とも概ね貧酸素状態にあった。前述の飯塚・入江⁹⁾は*G. mikimotoi*の発生要因として底層の無酸素化もあげており、この貧酸素条件も*G. mikimotoi*赤潮の発生に寄与した可能性が高い。ただし、大阪湾では夏期にはほぼ毎年例外なく東部海域で貧酸素水塊が発生する。海底の無酸素化は海底からの栄養塩の溶出を伴うが、大阪湾における8月の栄養塩の平均値('73-'96)は表層でDINが $6.54 \mu\text{g-at/l}$, DIPが $0.37 \mu\text{g-at/l}$, 底層でDINが $11.56 \mu\text{g-at/l}$, DIPが $1.52 \mu\text{g-at/l}$ と比較的高い(中嶋, 私信)。*G. mikimotoi*はいわゆる富栄養性赤潮ではなく、むしろ中栄養性赤潮であり¹⁶⁾、低い栄養塩濃度の下でも十分増殖できる特性を備えた生物であるとされている¹⁷⁾ことから、淀川その他の河川からの流入に加えて、夏期には貧酸素水塊の形成による底層からの栄養塩の溶出が常に見込まれる大阪湾奥においては*G. mikimotoi*の発生に必要な栄養塩濃度は恒常的に維持されていると考えられる。これらのことから'95年の広範囲に赤潮発生をもたらした栄養塩は海底からの溶出より、降雨による陸域からの供給による可能性が大であると考えられる。

最後に赤潮発生に伴う分布域の変化について考察する。'94年、'95年については発生後すみやかに消滅しており、分布の推移を追うのに適当でないと考えられたため、ここでは'96年についてのみ考察する。また、'96年についても上旬の調査と中旬以降の調査では定点数が異なるため厳密な分布域の変化を把握しきれないが、前述のように兵庫県の情報なども参考にして論議する。

最初に赤潮の発生が見られた8月19日は、主に湾奥の定点で赤潮を形成し、湾南部では細胞はほとんど確認されなかった。次ぐ8月27日には湾奥部の細胞密度が減少する一方、湾南部には 10^3 cells/ml のオーダーで確認されるなど、分布域の南部への拡大が観察された。その後も分布は湾東部に偏っており、その中心は調査ごとに変化したものの、湾奥部、南部とも遊泳細胞は確認され、その状況は赤潮消滅まで継続した。竹内ら¹⁸⁾は田辺湾で流況により*G. mikimotoi*の分布域が変化し、特に表層に主に分布する増殖後期から盛期にかけての高密度域の移動、拡大に上層の流況が密接に関連していることを見いだした。大阪湾では北東海域に西宮沖環流と呼ばれる上層を時計回りに流れる恒流が、その南部に東岸恒流帯と呼ばれる全層を南西方向に流れる恒流が存在する¹⁹⁾。8月19日から27日にかけての分布の南部への拡大は恒流の流況と一致することから、遊泳細胞が恒流に乗って南部に運ばれたものと推察される。

*G. mikimotoi*の鉛直分布では、'96年8月5日のSt. 12を除くすべての点において、ほとんどの細胞は表層で確認された。*G. mikimotoi*は一般的には中層で増殖した後表層に浮上して赤潮を形成するとされている²⁰⁾が、今回の結果では同様の傾向は見られなかった。この原因は明らかではないが、今回層別採集を行った点がすべて水深20m以浅の定点であり、浅海域が湾の約半分を占める大阪湾では他の海域と異なる鉛直分布を示す可能性も考えられる。

以上のことをまとめると、夏期の大阪湾における水温、塩分は*G. mikimotoi*の発生に好適条件にあること、発生規模の大小は降雨による陸域からの栄養塩の供給量に左右される可能性が示唆された。さらに湾奥で発生した場合、恒流に乗って南部に分布を広げることも推察された。赤潮の発生予測には汎用性のある生理生態の情報に加えて海域ごとの発生の特徴も考慮に入れる必要がある。今後は、大阪湾独自の予測をするため、データをさらに蓄積し精度の高い予測を可能にすることが重要と考えられる。

要 約

1. 大阪湾で*Gymnodinium mikimotoi* 赤潮が確認された1994年から1996年についてその発生状況と環境要因について検討した。
2. 1994年から1996年における*G. mikimotoi* の発生状況を見ると、発生時期においては'96年に、発生規模においては'95年に他の2年と異なる傾向が見られた。
3. 大阪湾における*G. mikimotoi* 赤潮発生に最適な環境は水温26~28℃、塩分は30~32程度と推察された。ただし、大量の降雨による塩分濃度の低下が著しい場合には、より低水温でも赤潮が発生することが判明した。
4. 大阪湾は*G. mikimotoi* の発生に関して栄養的には十分な条件にあると推察されたが、大規模な発生には降雨による陸域からの栄養塩の供給が重要であると考えられた。
5. 湾奥で発生した*G. mikimotoi* 赤潮が南部に分布を拡大する要因として大阪湾に存在する恒流の流況が重要であることが判明した。
6. *G. mikimotoi* は一般的には中層で増殖した後表層に浮上して赤潮を形成するとされているが、鉛直分布の調査ではほとんどの細胞が表層で確認された。

謝 辞

本研究を行うにあたり調査にご協力いただいた、水産試験場調査船「はやて」の榎昭彦船長はじめ乗組員の方々に深く感謝する。また貴重な御教示を頂いた瀬戸内海区水産研究所山口峰生博士に厚く御礼申し上げます。

引用文献

- 1) 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)
- 2) 水産庁：平成7年瀬戸内海の赤潮，8-9 (1996)
- 3) 水産庁：平成8年瀬戸内海の赤潮，6 (1997)
- 4) 水産庁：平成6年瀬戸内海の赤潮，6 (1995)
- 5) 山口峰生・本城凡夫：有害赤潮鞭毛藻*Gymnodinium nagasakiense* の増殖に及ぼす水温，塩分および光強度の影響。日水誌，55 (11)，2029-2036 (1989)
- 6) Matsuoka, K., S. Iizuka, H. Takayama, T. Honjo, Y. Fukuyo and T. Ishimaru: Geographic distribution of *Gymnodinium nagasakiense* TAKAYAMA et ADACHI around west Japan. In red tide Biology, Environmental Science and Toxicology. (eds. Okaichi, T., D.M. Anderson and T. Nemoto). Elsevier New York・Amsterdam・London, 101-104 (1989)
- 7) 中嶋昌紀：大阪湾の成層構造と水質の変動。海と空，73 (1)，15-21 (1997)
- 8) 飯塚昭二・入江晴彦：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 (2)，99-115 (1969)
- 9) 中田憲一・飯塚昭二：赤潮渦鞭毛藻*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 (1987)
- 10) 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 (2)，201-203 (1987)
- 11) 板倉茂・今井一郎・伊藤克彦：広島湾における赤潮渦鞭毛藻*Gymnodinium nagasakiense* 出現密度の季節変化。南西海水研報，23，(1990)
- 12) 中嶋昌紀：浅海定線調査。平成8年度大阪水試事報。
- 13) 飯塚昭二・入江晴彦：1965年夏期大村湾赤潮の海況とその被害-II。後期赤潮とその生物学的特徴について。長崎大学水産学部研究報告，21，67-101 (1966)
- 14) 城久・矢持進：赤潮”漁業からみた閉鎖性海域の窒素・リン規制”(村上彰男編)。水産学シリーズ62。恒星社厚生閣。東京。32-46 (1986)
- 15) Ishimaru, T., T. Takeuchi, Y. Fukuyo and M. Kodama: The selenium requirement of *Gymnodinium nagasakiense*. "Red Tide" ed. by T. Okaichi et al., Elsevier, New York, 357-360 (1989)

- 16) 飯塚昭二・平山和次：“赤潮. 3. 大村湾”. 沿岸域保全のための海の環境科学（平野敏行編）. 恒星社恒星閣, 東京, 324-342 (1983)
- 17) 山口峰生：*Gymnodinium nagasakiense* の赤潮発生機構と発生予知に関する生理生態学的研究. 南西海研報. 27. 251-394 (1994)
- 18) 藤原建紀・肥後竹彦・高杉由夫：大阪湾の恒流と潮流・渦. 海岸工学論文集, 36, 209-213 (1989)
- 19) 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. 日水試, 61 (4), 494-498 (1995)
- 20) 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. Sundström, L. Edler, and D.M. Anderson), Elsevier Science, New York, 169-170 (1990)