

福岡湾における *Gymnodinium mikimotoi* 栄養細胞の季節変化

佐藤 利幸・本田 清一郎・池内 仁

(筑前海研究所)

Seasonal change of vegetative cells of *Gymnodinium mikimotoi* in Fukuoka Bay.

Toshiyuki SATO, Seiichiroh HONDA

and Hitoshi IKEUCHI

(Chikuzenkai Laboratory)

福岡湾では、*Gymnodinium mikimotoi* (以下 *G. mikimotoi* と称す) による赤潮発生が1973年に最初に記録されて以来、現在までしばしば発生しており、アワビ、サザエ等の磯根資源を中心に漁業被害を与えている。また、全国的にも本種による赤潮が頻繁に発生しており、本種に対する調査・研究が重要視されている。

これまで、福岡湾で本種を対象とした調査・研究は夏季の赤潮形成時期を中心とした期間でなされてきた¹⁻⁴⁾。そのため、本種による赤潮の発生機構を解明するうえでの栄養細胞の季節変化やその分布および生活史は十分に把握されていない。そこで、福岡湾における本種栄養細胞の季節変化を把握することを目的として、赤潮発生年の'94年から赤潮非発生年の'95年までの約2年間にかけて調査を実施した。

その結果、福岡湾における本種栄養細胞の季節変動について若干の知見を得たのでここで報告する。

方 法

プランクトンおよび水質調査を図1に示す福岡湾に19定点設けて、'94年2月14日から'95年12月7日にかけて、夏季の6月から9月までは月4回、その他の月には月2回行った。プランクトンおよび水質試料については、北原式採水器を用いて表層、2m層、5m層および底層(海底上1m)の4層を採水し、水深6m以浅の調査点については表層、2m層、底層の3層を採水した。同時に全調査点についてクロロテック(アレック電子社製ACL-200)を用いて表層から底層まで0.1m間隔で水温、塩分の観測を行った。

プランクトンについては、採水した各層の生海水を均

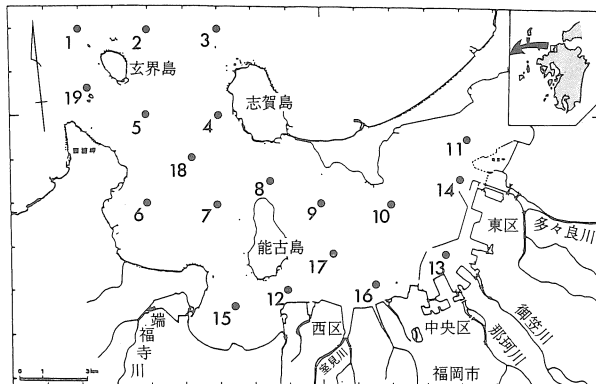


図1 調査定点

等に混ぜ100mlとし、10μmのガラスフィルターを用いて約1mlまで自然濾過法により濃縮した試験液全量について本種栄養細胞の検鏡を行い細胞密度を求めた。また、別にStn. 13~18の表層、2m層、底層については生海水1ml中の植物プランクトンの検鏡も行った。

さらに、栄養細胞の分布範囲を把握するため、田森らにより定義された⁵⁾分布指標を用いた。この分布指標とは次式で表し、その値が小さければ細胞の分布域は局所的であり、大きければそれだけ細胞の分布域が広いことを意味している。

$$\text{分布指標値} = (\text{栄養細胞がみられた定点数} / \text{全調査点数}) \times 100$$

水質分析については、アンモニア塩、硝酸塩、亜硝酸塩、リン酸塩の測定を行った。その他、気象については福岡管区气象台の資料を用いた。

また、冬季から春季の栄養細胞の出現に關与する環境特性を把握するため、2月から5月にかけて水温、塩分、DINの類似度指数⁶⁾を求めて群平均法によるクラスター

分析による海域区分を試み検討した。

結 果

1. *G. mikimotoi* の出現状況

'94年と'95年の栄養細胞の出現状況を把握するため、

全調査点の平均の栄養細胞密度の推移を図2に、栄養細胞の分布指標の推移を図3に示した。さらに、栄養細胞の出現域の変化を把握するため、'94年の栄養細胞の出現状況を図4に、'95年の栄養細胞の出現状況を図5に示した。

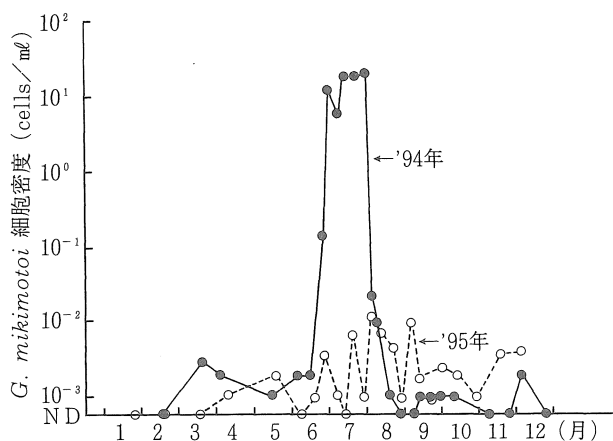


図2 '94年, '95年 *G. mikimotoi* の平均細胞密度 (全調査点) の推移 (ND: 10^{-4} cells/ml以下)

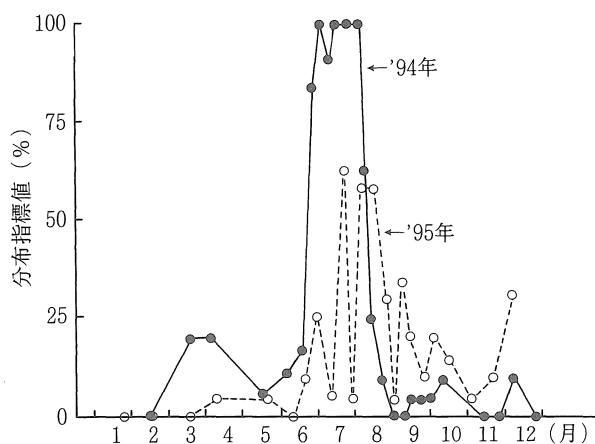


図3 '94年, '95年 *G. mikimotoi* の分布指標値の推移

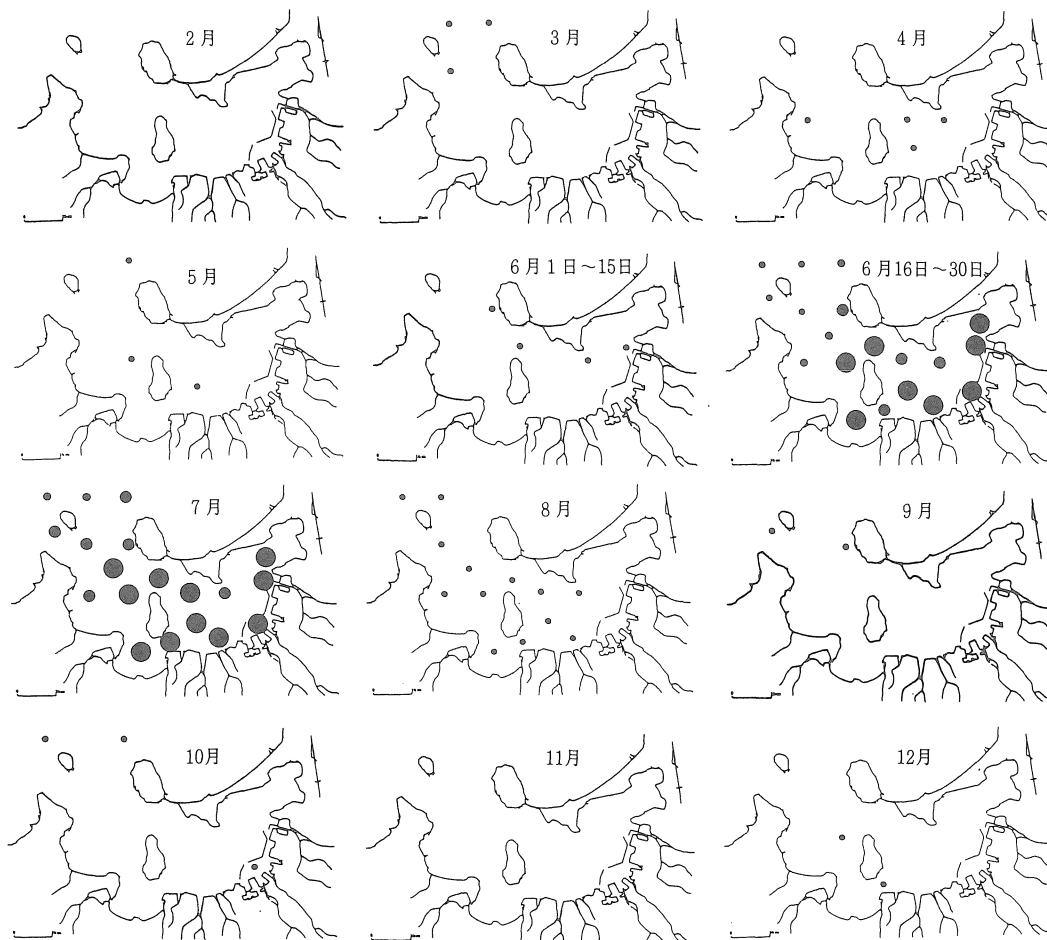


図4 '94年の *G. mikimotoi* の出現状況 (10^{-2} = ●, 10^{-1} = ●, 10^0 = ●, $10^1 \leq$ ● : cells/ml)

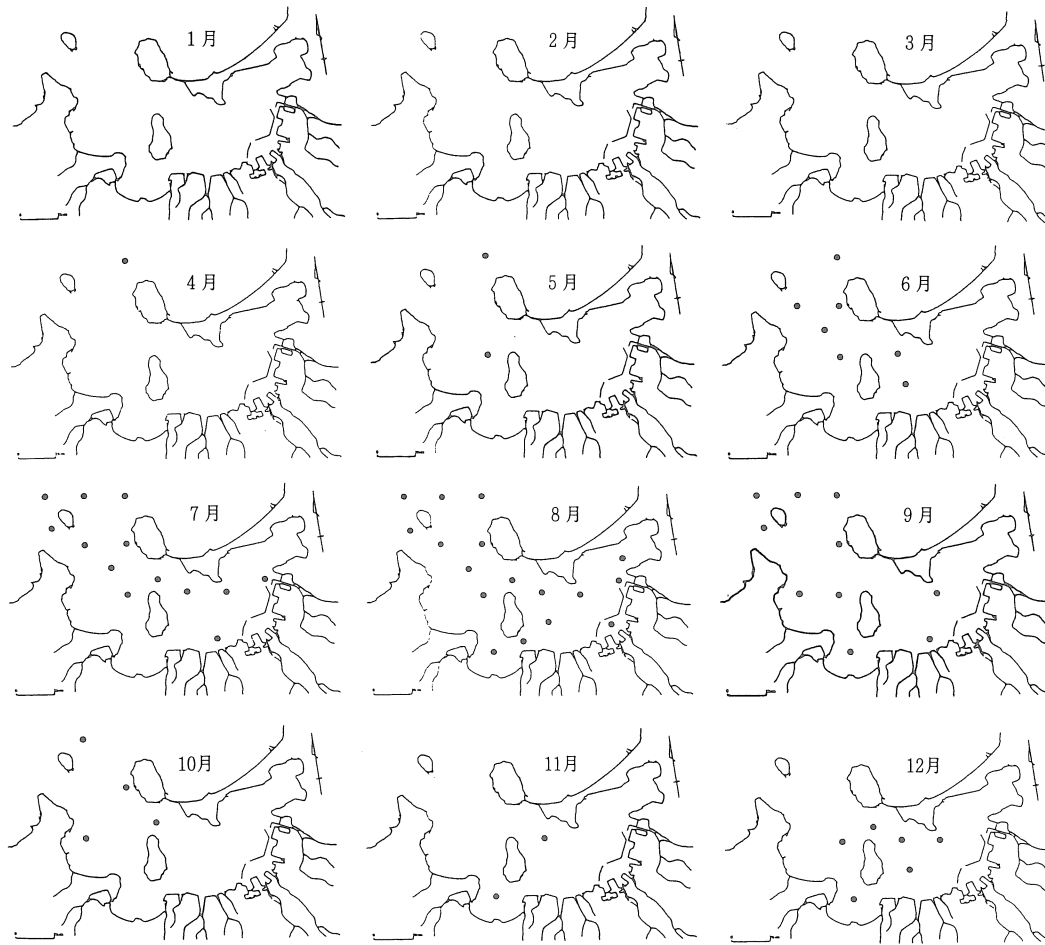


図5 '95年の *G. mikimotoi* の出現状況 (10^{-2} = ●, 10^{-1} = ●, 10^0 = ●, $10^1 \leq$ ● : cells/ml)

'94年の栄養細胞は、3月17日にはじめて湾口部において 10^{-2} cells/mlの低密度でみられた。その後、4月以降、湾奥部においても 10^{-2} cells/mlの低密度でみられるようになり、6月16日から30日に湾中部から湾奥部において対数増殖がみられ、6月30日以降には 10^2 cells/mlのオーダーに達し、赤潮を形成した。8月上旬になると急激に細胞密度は減少し 10^{-2} cells/mlとなった。その後、12月まで湾全域において 10^{-2} cells/mlの低密度で推移した。

'95年は1月から3月まで栄養細胞はみられず、4月3日にはじめて湾口部において 10^{-2} cells/mlの低密度でみられた。その後、6月以降、'94年同様に栄養細胞は分布域を拡大したが対数増殖はみられず、*G. mikimotoi*は周年 10^{-1} cells/ml以下の低い細胞密度で推移した。

つまり、'94年、'95年ともに栄養細胞は3月から4月上旬にかけて湾口部でみられ、4月中旬から12月にかけて湾全域でみられた。

2. 水温、塩分の季節変化

福岡湾の湾口部 (Stn. 2), 湾奥部 (Stn. 14) を代表点とし、その調査点の水温の季節変化を図6に示した。水温についてみると、'94年では7.6~30.7℃, '95年では8.6~29.9℃で推移した。両年ともに4月と7月に急激な水温の上昇がみられ、9月から1月にかけて徐々に水温の低下がみられた。水温の鉛直分布をみると、'94年では2月から6月にかけては鉛直的に様な分布を示していたが、7月上旬から躍層が形成され、表層ほど高温となった。その後、8月下旬に躍層が消失し、鉛直的にほぼ様な分布となり、'95年6月まで続いた。'95年も昨年同様に7月上旬に躍層が形成され、8月下旬に躍層の消失がみられ12月まで鉛直的にほぼ様な分布となった。躍層が形成された7月の表層と底層の水温差は両年ともに約4~5℃であった。

次に、塩分の季節変化を図7に示した。塩分についてみると、'94年では25.75~34.78, '95年では3.85~34.80で推移した。'94年では湾口部で周年33.5以上の高塩分

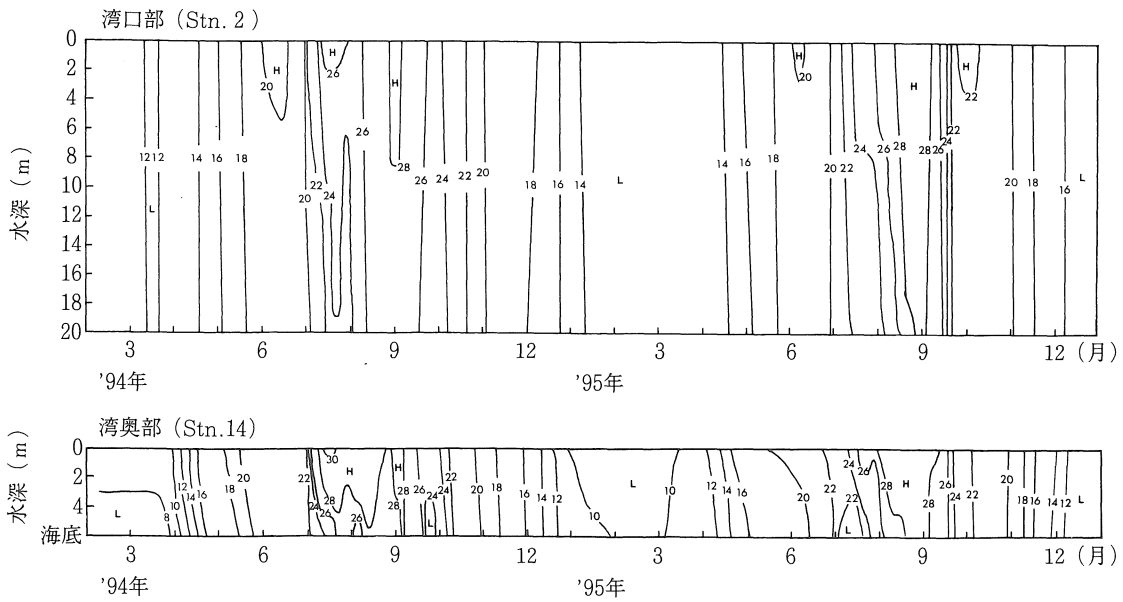


図6 水温の季節変化(°C)

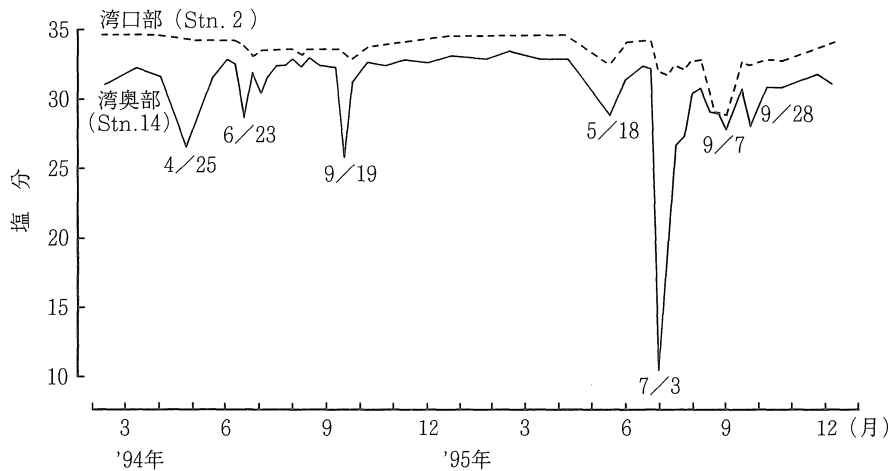


図7 塩分の季節変化(表層)

で推移した。湾奥部では4月25日、6月23日、9月19日に顕著な塩分低下がみられ、塩分躍層が形成された。'95年では湾口部で7月から9月にかけて塩分低下がみられたが、その他の月はおおむね33.0前後の値で推移し、'94年より若干低めであった。また、湾奥部では5月18日、7月3日、9月7日、28日に顕著な塩分低下がみられ塩分躍層が形成された。特に7月3日に湾奥部のStn. 13では表層で3.85を観測した。

3. *G. mikimotoi*の冬季出現海域の環境特性

(1) 冬季の *G. mikimotoi* と水温の関係

冬季の水温と *G. mikimotoi* との関係を見るため、水温の水平分布に *G. mikimotoi* の出現調査点を加えて検討した。この結果を図8に示した。

'94年、'95年ともに1月から3月にかけて水温は湾口部(約11~15°C)が湾奥部(約8~11°C)より高く、水温差は最大約5°Cであった。栄養細胞は1月から4月上旬にかけては水温が約11°C以上の湾口部の調査点のみでみられた。4月中旬以降、栄養細胞は水温の上昇とともに湾奥部(約15°C)でもみられるようになった。

(2) クラスタ分析による海域区分

冬季から春季の環境特性を把握するため、クラスタ分析を行い海域区分を試みた。この結果、図9に示すように海洋環境の違いにより3~4つのクラスター(以下A~D海区とした)に区分された。

2月、3月のA海区クラスターは湾口部に位置し、水温、塩分ともに平均値より高め、D I Nは平均値より低



図8 冬季から春季における平均水温 (°C) の水平分布 (●: *G. mikimotoi* の出現点)

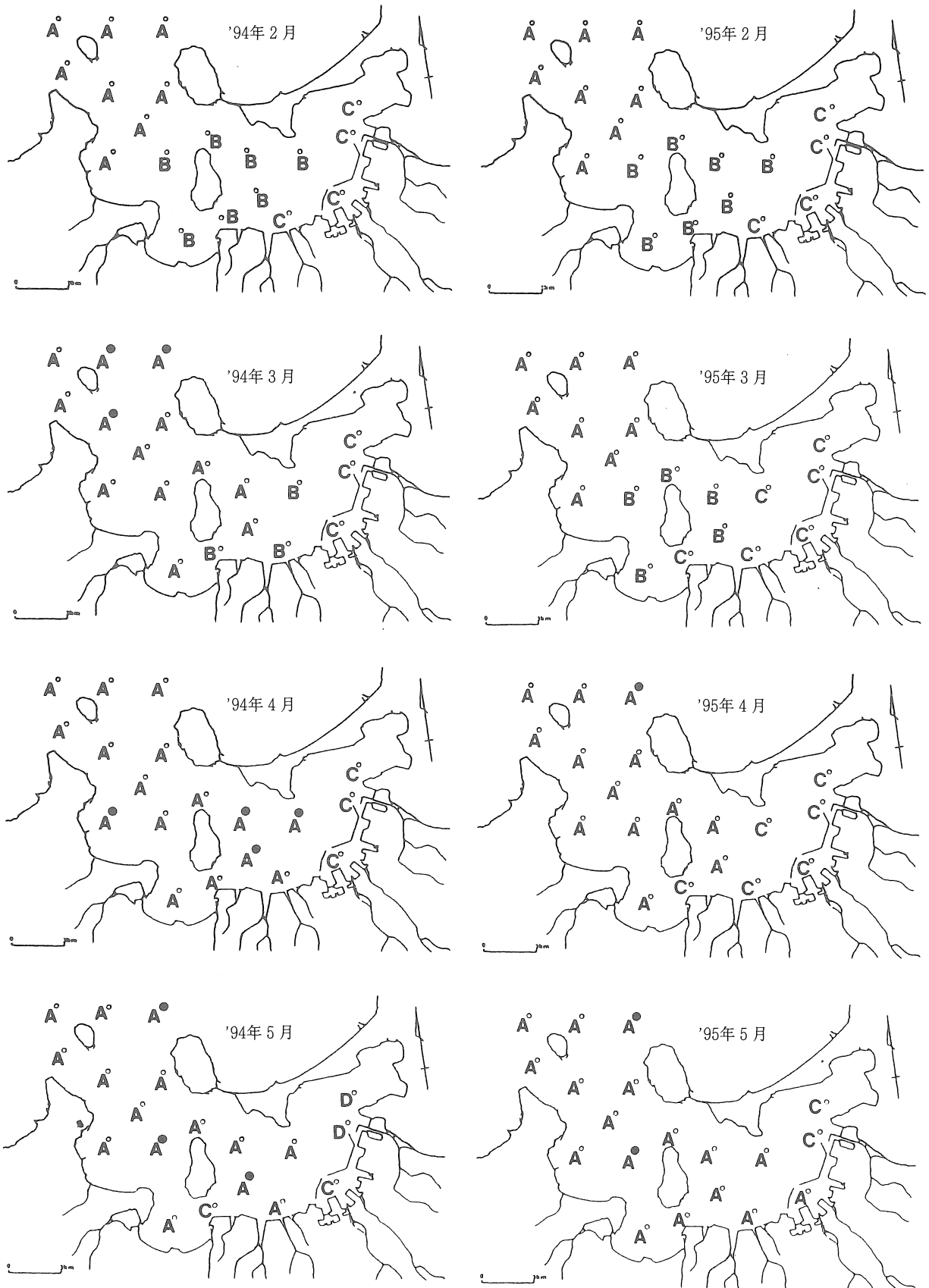


図9 クラスタ分布による海域区分 (● : *G. mikimotoi* の出現点)

めであった。B海区クラスターは能古島周辺海域にみられ、水温、塩分、DINともに平均値並みであった。C海区クラスターは湾奥部にみられ、水温、塩分ともに平均値より低め、DINは平均値より高めであった。

4月、5月のA海区クラスターは湾奥部を除く68~89%の調査点を含み、水温、塩分、DINともに各月の平均値並みであった。C海区クラスターは湾奥部の一部にみられ、水温、DINは平均値より高め、塩分は平均値より低めであった。D海区クラスターは湾奥部のごく一部にみられ、水温は平均値より高め、塩分は平均値よりかなり低め、DINは平均値よりかなり高めであった。

つまり、A海区クラスターは冬季、湾口部に位置し、その後、春季になるにつれて湾奥部へと分布域が広がる事が明らかとなった。

4. *G. mikimotoi* と珪藻類との関係

一年間のなかで最も多く赤潮が発生する夏季（5月中旬から9月上旬）について本種の増殖と珪藻類の増殖の関係を検討した。'94年、'95年夏季における本種と珪藻類の出現状況を図10に示した。

'94年夏季の珪藻類は6月15日まで $8.0 \times 10^2 \sim 1.2 \times 10^3$ cells/ml でみられていたが、23日には 1.2×10^1 cells/ml まで減少した。その後、7月になると再び細胞密度は増加し、25日には 10^4 cells/ml に達した。それに対して、*G. mikimotoi* は6月15日まで 10^{-2} cells/ml でみられていたが、珪藻類が衰退した15日以降に増え始め、約2週間後の30日には 2.7×10^1 cells/ml の細胞密度に達した。その後は顕著な増殖はみられず8月上旬まで続いた。

'95年夏季の珪藻類は6月19日まで $1.1 \times 10^2 \sim 9.2 \times 10^2$ cells/ml でみられ、7月11日には 2.3×10^4 cells/ml に達し、9月上旬までおよそ 10^4 cells/ml のオーダーで経過した。つまり、6月27日以降細胞密度は 1.0×10^3 cells/ml を下回ることはなかった。この期間中に出現した珪藻類の優占種は7月下旬まで *Skeletonema costatum*、その後は、*Thalassiosira* spp. であった。細胞数密度の最大値は7月中旬の *S. costatum* で 1.2×10^5 cells/ml であった。それに対して、*G. mikimotoi* の細胞密度は 10^{-2} cells/ml の低い値であった。

考 察

G. mikimotoi の冬季出現に関与する環境特性を把握するため水温、塩分、DINを変量としたクラスター分析による海域区分を試みた。その結果、*G. mikimotoi* の栄養細胞はA海区クラスターのみにもみられた。また、

A海区クラスターは春季になるにつれ湾口部から湾奥部へと広がった。つまり、冬季から春季にかけての栄養細胞の出現範囲とA海区クラスターの範囲は一致する傾向がみられた。

そこで、A海区クラスターの環境について検討を加えた。その結果、冬季から春季の栄養細胞の出現は水温と最も関係が深かった。つまり、冬季（1月から3月）に水温が11℃以上（約11~15℃）で経過する湾口部に栄養細胞の出現がみられ、栄養細胞は水温格差のなくなる4月以降（約12~15℃）に全域で見られるようになる。それに対して、水温が11℃未満の調査点では全て栄養細胞の出現はみられなかった。本城⁷⁾らは五ヶ所湾における本種栄養細胞の研究のなかで、栄養細胞が冬季も出現するとともに、春季の生長は越冬した栄養細胞の保存個体群に依存し、越冬する栄養細胞の量は冬季の水温に規制されていることを報告している。つまり、五ヶ所湾の規制水温は12℃と報告している。また、山口⁸⁾は本種栄養

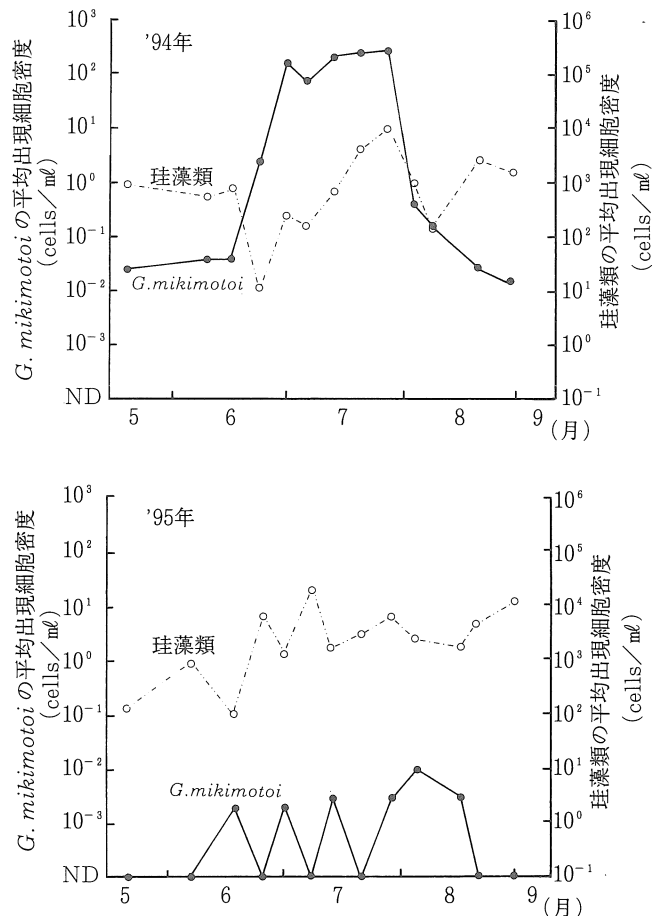


図10 夏季における *G. mikimotoi* と珪藻類の出現状況 (ND: 10^{-4} cells/ml 以下)

細胞の室内培養実験から水温条件が10℃でも本種は増殖が可能であると報告している。さらに、その他の海域⁹⁻¹⁰⁾においても冬季に栄養細胞は観察されており、ある程度以上の水温が保証される海域では、本種は栄養細胞の形態で越冬していることが明らかとなっている。福岡湾でも *G. mikimotoi* 栄養細胞の冬季出現についてみると、五ヶ所湾と同様に水温が規制要因となっていることが考えられる。つまり、福岡湾では栄養細胞の出現を制限する水温は冬季の出現状況から11℃であることが示唆される。今後の課題として、冬季水温が11℃以上で推移する玄界灘についても栄養細胞の有無を観察する必要がある。

次に、一年間のなかで最も多く赤潮が発生する夏季について本種の増殖と珪藻類の増殖の関係を検討した。本種の増殖と珪藻類の増殖の間には、珪藻類の細胞密度が低い場合に本種の増殖がみられ、反対に珪藻類の細胞密度が高い場合には本種の増殖が抑えられる傾向がみられた。山口⁸⁾は、内之浦湾における調査で本種と珪藻類との間に何らかの競合関係が存在するか、増殖生理的に異なった性質を有することを報告している。山口⁸⁾の報告と本調査における栄養細胞の増殖過程がよく一致した。このことから、夏季における本種の赤潮発生要因の一つに珪藻類の出現量の多少が示唆された。

要 約

1) '94年2月から'95年12月にかけて福岡湾を対象とし、*G. mikimotoi* 栄養細胞の季節変化と水質、珪藻類の調査を行った。

2) 福岡湾における *G. mikimotoi* の季節変化は、冬季に11℃以上の水温が保証される湾口部において栄養細胞で存在し、春季、水温の上昇とともに湾奥部へ分布域が拡大され、秋季、水温の低下とともに湾口部に分布域が縮小するものと推察される。また、*G. mikimotoi* は夏季に湾中部から湾奥部の海域で対数増殖を引き起こし、赤潮を形成するものと推察される。

3) *G. mikimotoi* の増殖と珪藻類の増殖との間には、珪藻類の細胞密度が低い場合に本種は増殖し、高い場合には増殖が抑えられる傾向がみられた。つまり、本種の赤潮形成には珪藻類の出現量の一つの環境要因として推察される。

文 献

- 1) 山本千裕・寺井千尋・田中義興：*Gymnodinium nagasakiense* による赤潮発生と環境。平成元年度九州海域赤潮調査報告書，pp. 1-9 (1989)。
- 2) 本田清一郎・田中義興・渡辺一民：*Gymnodinium nagasakiense* による赤潮発生と環境。平成2年度九州海域赤潮調査報告書，pp. 1-11 (1990)。
- 3) 本田清一郎・田中義興・金澤孝弘：*Gymnodinium nagasakiense* による赤潮と環境。平成3年度九州海域赤潮調査報告書，pp. 1-11 (1991)。
- 4) 本田清一郎・金澤孝弘：*Gymnodinium nagasakiense* による赤潮発生と環境。平成3年度九州海域赤潮調査報告書，pp. 1-10 (1992)。
- 5) 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。日本水産学会誌，57，2179-2186 (1991)。
- 6) 田中 豊・垂水共之・脇本和昌：パソコン統計ハンドブック II 多変量解析編，第9版，共立出版株式会社，東京，1984，pp. 226-257。
- 7) 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. 165-170。
- 8) 山口峰生：*Gymnodinium nagasakiense* の赤潮発生機構と発生予察に関する生理生態学的研究。南西海区水産研究所研究報告，No27，pp. 251-394 (1994)。
- 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，pp. 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，pp. 201-204 (1987)。
- 11) 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。