

2006年夏季に周防灘西部海域で発生した *Karenia mikimotoi* 赤潮

江藤 拓也・俵積田貴彦
(豊前海研究所)

2006年夏季に周防灘西部海域で *Karenia mikimotoi* (以下 *K. mikimotoi*) による赤潮が発生すると同時に顕著な貧酸素水塊が形成され、一部の天然魚介類が斃死する漁業被害が生じた。本種の初期増殖期は、高水温・低塩分かつ貧酸素水塊が形成されやすい周防灘南西部沿岸域であり、赤潮発生の一つの要因である貧酸素水塊形成に降水量が目安となることが確認された。7月上旬に小規模な赤潮が形成された後、中旬の強風が福岡県沿岸域の成層を崩壊し、周防灘全域に *K. mikimotoi* の分布域が拡大し、大規模な赤潮が形成されたと推測された。

キーワード：周防灘西部海域, *K. mikimotoi* 赤潮, 貧酸素水塊

2006年夏季に、周防灘西部海域で *K. mikimotoi* による大規模な赤潮が発生し、同時期に福岡県沿岸域で顕著な貧酸素水塊が形成され、一部の天然魚介類が斃死する漁業被害が生じた¹⁾。

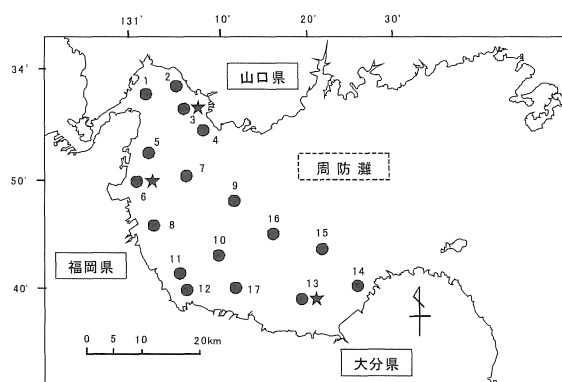
過去において、当該海域で本種による大規模な赤潮が発生したのは、'88年で^{2) 3)}、顕著な貧酸素水塊が形成されたのは、'91年であり⁴⁾、十数年ぶりとなる発生である。

本種の発生要因として、大村湾では、底層の貧酸素化と関連性⁵⁾；福岡湾では成層の崩壊と関連すること⁶⁾、さらに周防灘では成層の発達と崩壊が関連することを報告している。²⁾³⁾本報告では、共同調査を行った山口県水産研究センター内海研究部と大分県水産試験場浅海研究所のデータを用いて過去の解析結果と比較するとともに、今回の *K. mikimotoi* 赤潮の発生における本種の初期出現期（出現細胞密度が低くかつ出現範囲がせまい期間）の環境特性と分布拡大機構について検討した。

方 法

'06年の7～9月にかけて、約2週に1回、小潮時に調査を行った。周防灘西部に設けた17調査点（うち代表点3点）を図1に示した。なお、17調査点中Stn. 1～4は山口県の、Stn. 13～17は大分県のデータを用いた。

各調査点での表層（水深0.5m）、中層（水深5m）及び底層（底上1m）の3層それぞれからバンドン採水器によって海水を採水し、各々500mlずつを生海水試料とした。生海水1ml中の *K. mikimotoi* の遊泳細胞を3回繰り返して計数し、平均細胞数を求めた。



(●は調査点, ★は代表点を示す)

図1 調査海域

全調査点において、クロロテック（アレック電子社製 ACL-1000）を用いて上層から下層まで0.5m間隔で水温・塩分を測定するとともにDOメーター（YSI社製）を用いて底層の酸素飽和度(%)を測定した。

代表点（Stn. 3, Stn. 6, Stn. 13）では、上記の測定に加えて、各採水層における栄養塩類（DIN, DIP）とクロロフィルa量の測定を行うとともに海水1ml中の全珪藻細胞数を計数した。

結 果

1. *K. mikimotoi*と水質環境の推移

(1) *K. mikimotoi*の出現状況

K. mikimotoi の出現状況を図2示した。6月上旬には周防灘南西部域に出現し、6月中旬にはほぼ全域に出現していた。7月上旬にStn. 6（福岡県北部沿岸域）付近と大分県沿岸域（Stn. 13の南側）で赤潮を小規模に形成し、

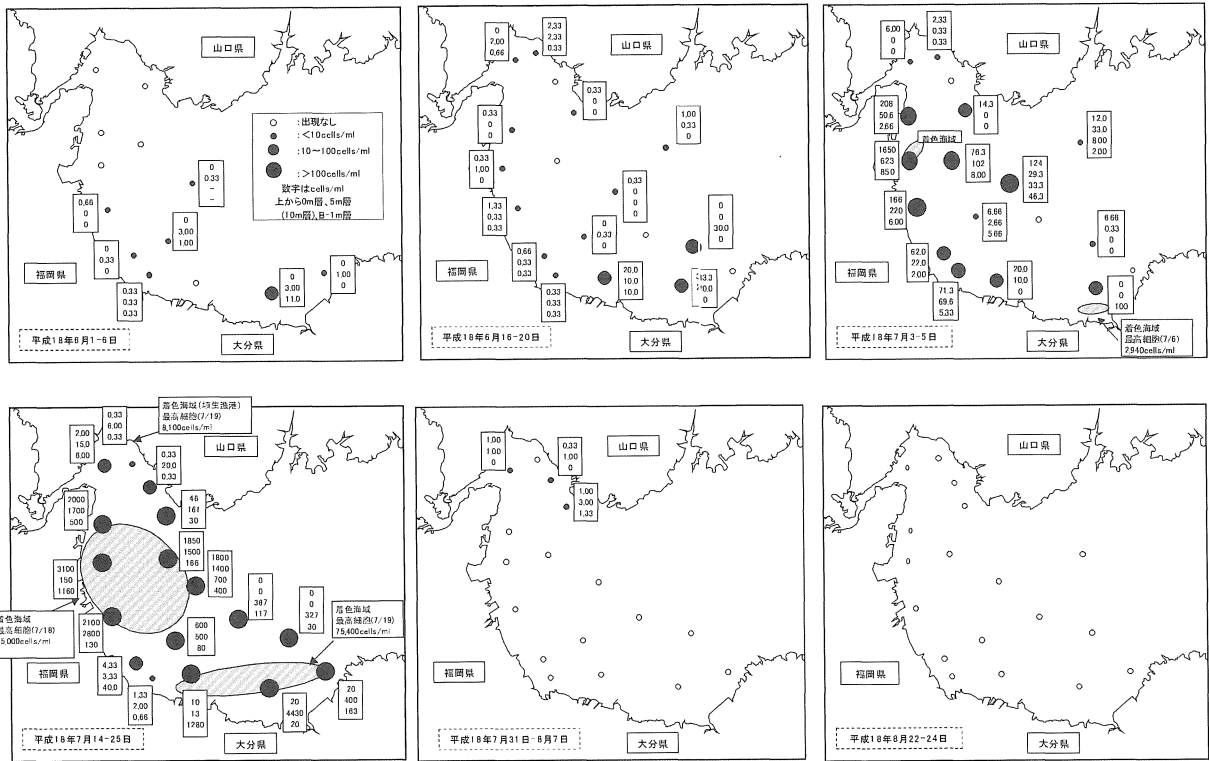


図2 *Karenia mikimotoi* の出現状況

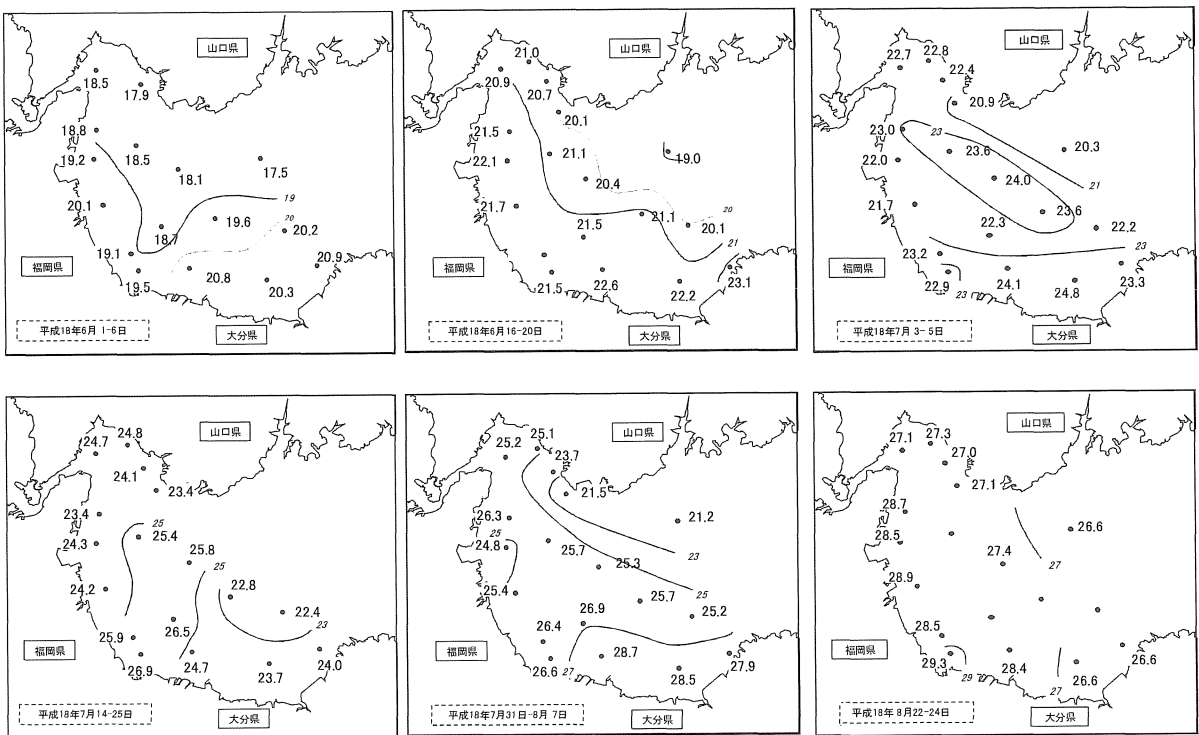


図3 5m層の水温(°C)の水平分布

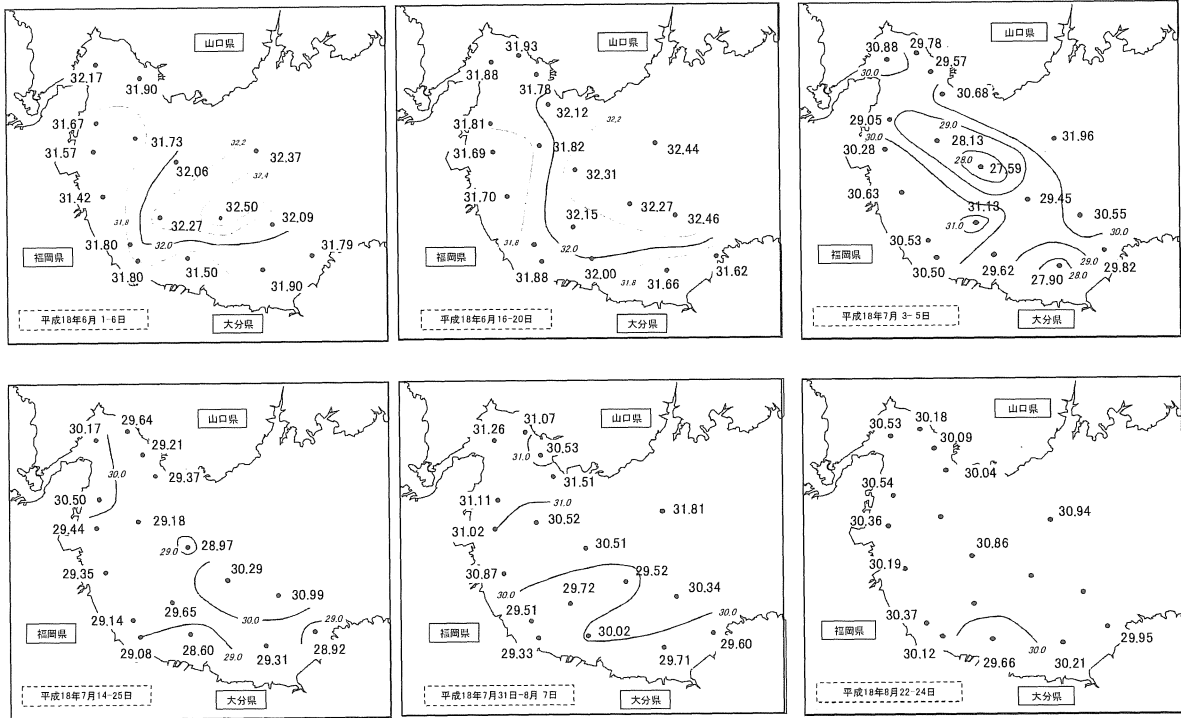


図4 5 m層の塩分の水平分布

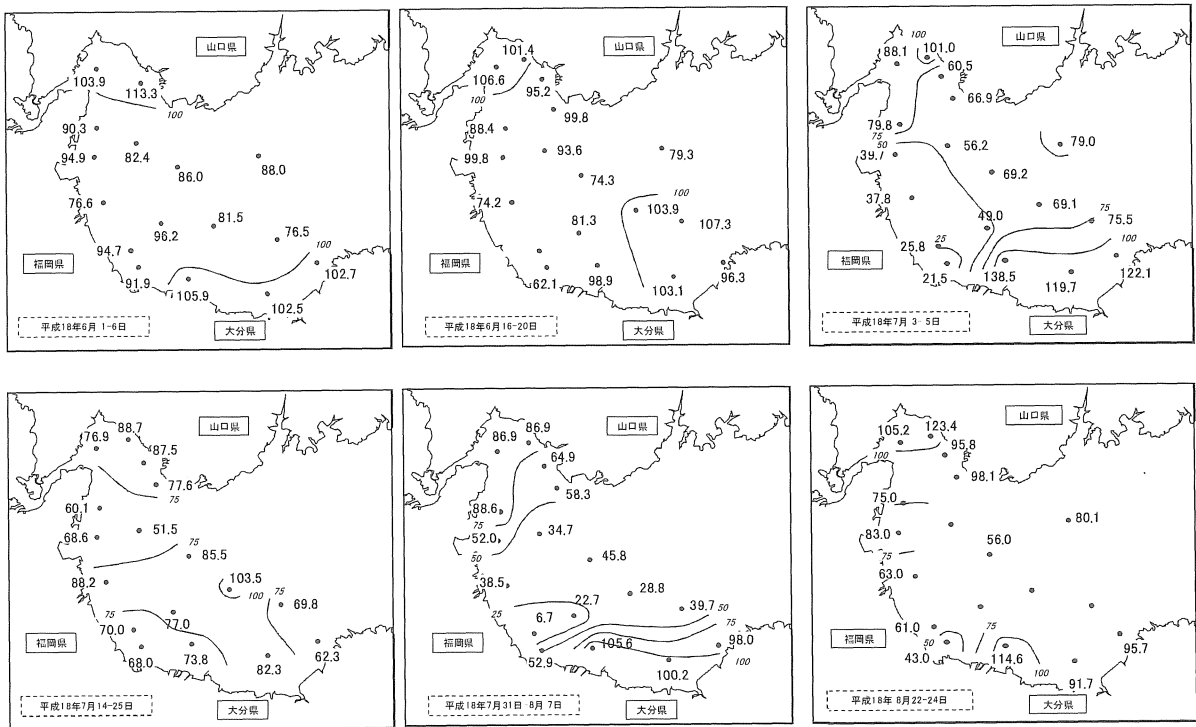


図5 底層の酸素飽和度 (%) の水平分布

最高細胞密度がそれぞれ1,650cells/mlと2,940cells/mlであった。7月中旬に両海域の赤潮範囲が拡大し、福岡県沿岸の最高細胞密度は15,000cells/mlに達した。またStn. 17, 13, 14（大分県沿岸域）にかけて最高細胞密度は75,400cells/mlに達した。その後8月上旬には減少し、山口県海域において低細胞密度で出現しただけであった。8月中旬以降は出現が確認されなかった。

(2) 水質環境

5 m層の水温(°C)の水平分布を図3に代表点の推移を図6に示した。代表点では7月中旬から9月下旬までの水温の範囲は、17.9~29.3°Cであり、最高水温を記録したのが大分県海域は8月上・中旬で、その他2県海域では8月中旬であった。分布をみると6月上旬から7月上旬にかけて、福岡県と大分県沿岸域では、他の海域に比べて水温が高い傾向がみられた。

5 m層の塩分の水平分布を図4に代表点の推移を図7に示した。27.59~32.50の範囲で推移した。代表点では7月上旬から中旬にかけて低下し、その後やや上昇した。分布をみると6月下旬から7月上旬にかけて、福岡県と大分県沿岸域では、他の海域に比べて塩分が低い傾向がみられた。

底層の酸素飽和度(%)の水平分布を図5に代表点の推移を図8に示した。代表点では山口県及び福岡県海域では7月上旬に急激に低下し、7月中旬にやや上昇したが、8月上旬に再び低下した。分布をみると特にStn. 11, 12（福岡県沿岸域）では低下した両期間とも25%以下の顕著な貧酸素水塊が形成され、貧酸素水塊形成が2回みられた。

鉛直安定度（成層の発達度）を以下のように求め、代表点の推移を図9に示した。

$$\text{鉛直安定度} = \frac{\text{上層と下層の海水密度差}}{\text{水深差}} \times 10^3$$

各海域とも7月上旬に急激に成層が強く発達（鉛直安定度が増加）した。7月中旬には一度成層が崩壊したが、8月上旬に福岡県沿岸域では再び成層が発達した。8月中旬には福岡県沿岸域の成層も崩壊し全海域とも成層が見られなかった。福岡県沿岸域の成層は、8月上旬よりも7月上旬のほうが強かった。

2. 代表点における栄養塩濃度と珪藻数の推移

(1) 栄養塩(DIN, DIP; 表層, 5 m層, 底層の平均値)

DINは、山口県沿岸(Stn. 3)と福岡県沿岸(Stn. 6)で7月上旬に急激に増加し、5 μmol/Lを超えた。大分県沿岸(Stn. 13)では調査期間を通して2 μmol/L以下と低かった(図10)。DIPは、福岡県沿岸の8月中旬に増加し

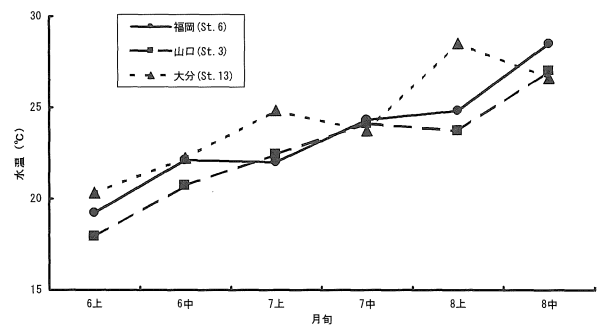


図6 水温の推移 (代表点5 m層)

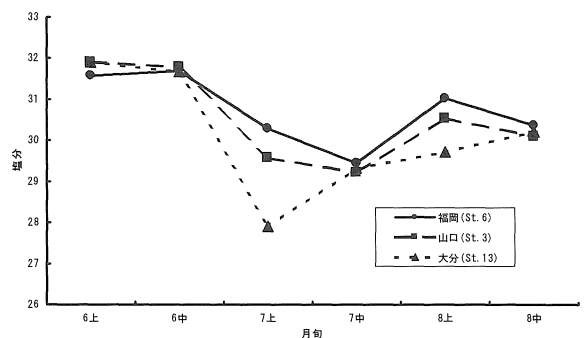


図7 塩分の推移 (代表点5 m層)

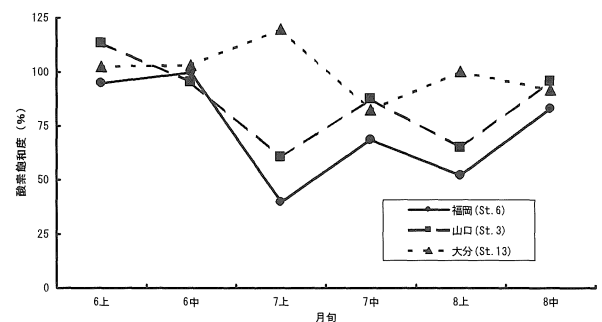


図8 酸素飽和度の推移 (代表点底層)

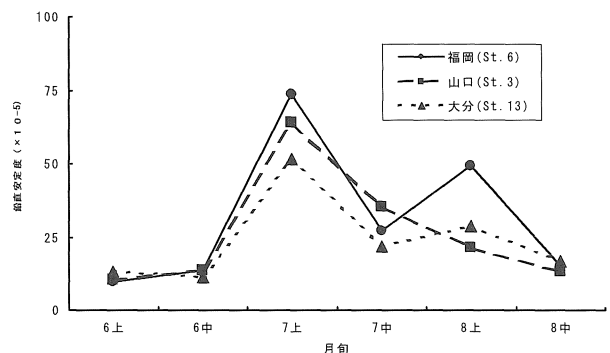


図9 鉛直安定度の推移 (代表点全層平均)

0.3 μmol/Lを超えたが、山口県沿岸と大分県沿岸では調査期間を通して0.2 μmol/L以下と低かった（図11）。7月上旬に山口県と福岡県沿岸でDINはかなり急激に増加したが、DIPの増加は微量であった。

(2) 全珪藻類細胞数（表層, 5 m層, 底層の平均）

山口県沿岸では、初回調査の6月中旬に2,000cells/ml以下であったが、その後増殖し6,000cells/ml以上で推移した。一方、福岡県・大分県沿岸では、調査期間を通じて低密度で推移し、福岡県沿岸では平均50cells/ml程度、大分県沿岸では平均230cells/ml程度の密度であった（図12）。

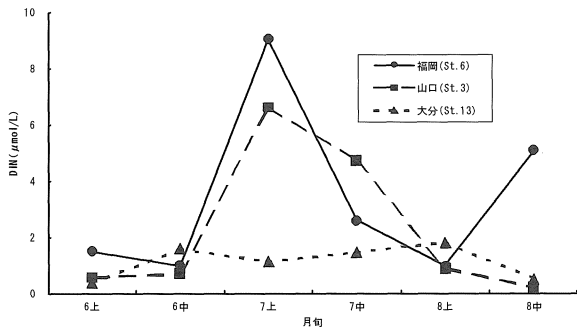


図10 DINの推移（代表点全層平均）

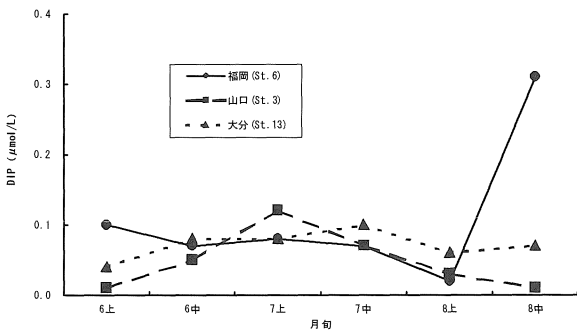


図11 DIPの推移（代表点全層平均）

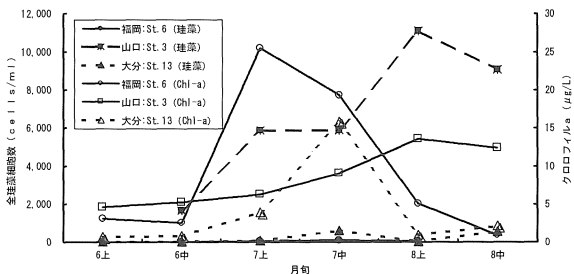


図12 全珪藻類細胞数とクロロフィルa量（代表点全層平均）

山口県沿岸の全珪藻細胞数とクロロフィルa量の推移は、概ね正の相関を示した。福岡県沿岸の7月上, 中旬と、大分県沿岸の7月中旬にクロロフィルa量が急激に増加したことは、調査点付近で *K. mikimotoi* 赤潮が形成されていたことによるものと思われる。

考 察

K. mikimotoi は6月上旬に周防灘南西部域に出現し、7月上旬には小規模な赤潮を形成した。その海域では、上記期間中は他の海域に比べ、高水温、低塩分の傾向を示した。6月下旬に降水量が401mmと急激に増加した後（図13）⁷⁾、7月上旬に福岡県南部海域では酸素飽和度が25%以下の貧酸素水塊が形成された。

田森ら²⁾は、周防灘における本種の初期出現期は高水温・低塩分域でかつ貧酸素水塊が形成されやすい周防灘西部から南部の沿岸域であることを報告している。今回の初期出現期の *K. mikimotoi* の特徴とよく一致している。

7月上旬に貧酸素水塊が形成され時期に、DIN濃度が急激に増加していた（図10）。これは降雨による陸上からの負荷に加え、底層水の貧酸素化によって底泥からの栄養塩類がもたらされたものと推測され、本種の増殖を促進したと考えられる。

神園ら⁴⁾は'75から'92年の豊前海における貧酸素水塊形成と降水量との関係を整理している。そこで、今回と比較するため'97から'06年の夏季の降水量と底層水の酸素濃度の関係をみると（図14）、負の相関がみられた。

($Y=0.485X+64.963$ $R^2=0.5584$ $P<0.05$) 酸素濃度30%以下を貧酸素水塊と定義すると、'97, '98, '01, '06の酸素濃度が該当し、'99, '03を除く他の年では6, 7月の積算降水量が500mmを超えており、特に'06年は酸素濃度が6%と最低値を、降水量が1,014mmと最高値を示した。従って、過去の知見と同様に、降水量が貧酸素水塊形成の1つの目安となることが確認された。

K. mikimotoi はこのように増加した栄養塩を利用することができ、また、7月上旬から下旬までは日照時間も少なかったことが（図13）、低照度でも増殖可能な本種にとって好条件であった。その後、7月10日に福岡県沿岸域で最大風速14m/sの東南東の強風が観測されている（図15）⁷⁾。

7月上旬に強い成層がみられた後、中旬には成層が崩壊した（図5）。底層の酸素濃度の変動はこの鉛直安定度の変動とよく一致しており（図8, 9）、酸素飽和度の回復時には鉛直安定度が低下し、成層が崩壊して底層

の酸素飽和度が回復している。

小泉ら³⁾は'89年から'91年の西部瀬戸内海における*G. mikimotoi* (現;*K.mikimotoi*)の増殖域の環境特性と遊泳細胞の分布拡大機構を整理しており、分布域の拡大と増殖には成層の発達と崩壊が関係しているを報告している。

今回も同様に福岡県沿岸域の成層が発達した後、強風により崩壊し、*K.mikimotoi*の分布域が周防灘全域に拡散し、大規模な赤潮が形成されたと推測される。

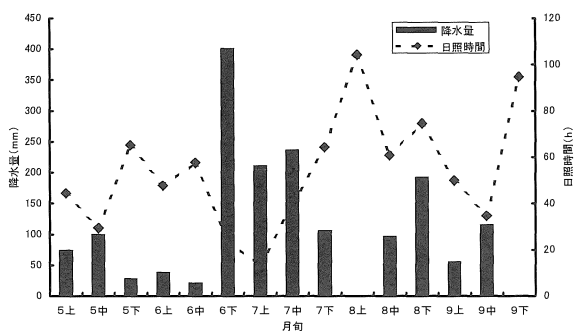


図13 行橋気象観測点による降水量、日照時間 (5～9月までの旬ごとの積算)

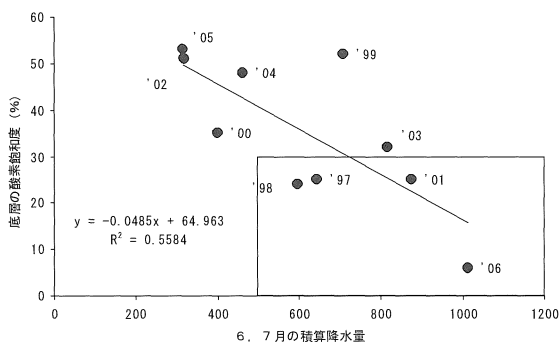


図14 夏季における底層の酸素濃度と降水量との関係 (降水量は6, 7月の積算降水量, 底層の酸素濃度は最も低い値を示した測点での値を示す)

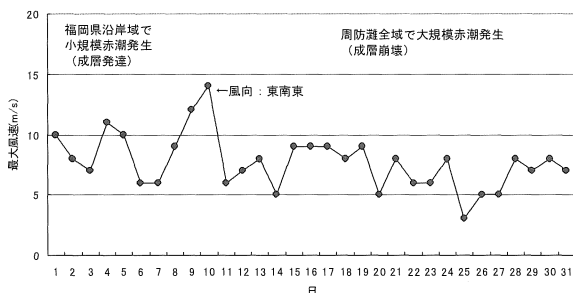


図15 北九州空港観測点による風向, 風速 (7月の日ごとの値を示す)

今回、過去の周防灘の事例と比較して、*K.mikimotoi*増殖の環境特性と分布拡大機構について検討を行った。

今後は本種赤潮の発生機構を解明するため、貧酸素水塊形成や他の赤潮発生要因についても検討を深め、総合的な解析を行う必要がある。

謝 辞

本研究を行うにあたり、現場調査のデータを提供していただいた山口県水産研究センター内海研究部の馬場俊典氏、大分県水産試験場浅海研究所の岩野英樹氏に深く御礼申し上げます。

文 献

- 1) 江藤拓也・長本篤: 周防灘広域共同調査. 福岡県水産海洋技術センター事業報告, 平成18年度, 252-262 (2006).
 - 2) 田森裕茂・その他: 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).
 - 3) 小泉喜嗣・その他: 西部瀬戸内海における*Gymnodinium nagasakiense*の増殖域の環境特性と分布拡大機構. 海の研究, 3, 99-110 (1994).
 - 4) 神菌真人・江藤拓也・荒田敏生: 豊前海の貧酸素水塊形成と降水量との関係. 福岡県水産海洋技術センター研究報告, 平成5年度, 第1号: 217-224 (1993).
 - 5) 飯塚昭二・入江春彦・大村湾における*Gymnodinium*赤潮発生と海底水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).
 - 6) 川上大和・田中義興・松尾新一・高橋実: 福岡湾の赤潮予察についてVI. 福岡県水産試験場研究業務報告, 147-156 (1985).
 - 7) 気象庁気象統計情報電子閲覧サイト (<http://www.data.kishou.go.jp/etrn/prefecture/index82.html>)
- hen, L. C. M., T. Edelstein and J. McLachlan, 1969. *Bonnemaisonia hamifera* Harriot in nature and in culture. J. Phycol., 5, 211-220.