

2015年夏季に筑前海で発生した *Karenia mikimotoi* 赤潮

里道 菜穂子・恵崎 撰・杉野 浩二郎・片山 幸恵
(研究部)

2015年夏季に筑前海全域で *Karenia mikimotoi* (以下 *K. mikimotoi*) による大規模な赤潮が発生し、蓄養中または天然の魚介類が斃死する漁業被害が生じた。細胞密度調査と漁業被害調査を行い、*K. mikimotoi* 赤潮の経過と環境要因との関係及び漁業被害状況について整理した。本年の *K. mikimotoi* 赤潮の長期化・大規模化の要因としては、広水温、日照不足及び定期的な降雨に伴う栄養塩の供給との関連が示唆された。漁業被害が発生した海域は響灘～唐津湾と広範囲で、アワビ・サザエを中心に過去最大規模の被害となった。

キーワード : *Karenia mikimotoi*, 赤潮, 筑前海, 漁業被害, 気象, 水質

K. mikimotoi の赤潮は、瀬戸内海及びその周辺海域、九州沿岸域において多く発生し、漁業被害が多数報告されている。¹⁾九州北西海域においても、1965年に大村湾で発生した大規模赤潮による漁業被害²⁾を皮切りに被害が相次ぎ、近年では2012年に薄香湾及び伊万里湾で被害額がそれぞれ1.6億円、0.9億円に上る大規模な漁業被害が発生した。³⁾福岡県筑前海においては、1980年以降、福岡湾を中心に関門北九州海域、唐津湾等で本種赤潮が発生し、被害が報告されている(表1)。

2015年夏季に筑前海全域で *K. mikimotoi* による大規模な赤潮が発生し、蓄養中または天然の魚介類が斃死する漁業被害が生じた。漁業被害額は、過去の聞き取り結果と比較して最大規模であった。

筑前海における本種赤潮は、福岡湾や関門北九州海域、唐津湾等の内湾や沿岸海域で発生することはあったものの、本年のように全域で大規模な分布を見せたことはな

かった。

そこで今回は、2015年夏季に筑前海で発生した *K. mikimotoi* 赤潮の経過と環境要因との関係及び漁業被害状況について整理した。

方 法

1. *K. mikimotoi* の分布状況

2015年5～8月にかけて、筑前海全域で実施した細胞密度調査の調査点を図1に示した。当初は関門北九州及び響灘東部海域の漁港で調査を開始したが、赤潮の拡大に伴い唐津湾、玄界灘、福岡湾、響灘西部海域と調査海域を拡大した。各漁港では原則週1回、福岡湾では漁港の調査に加え、湾内海上で月1回調査を実施し、沖合漁場及び磯漁場については臨時調査を実施した。採水は漁港では表層(水深0.5m)及び底層(底上1m)、沖合漁

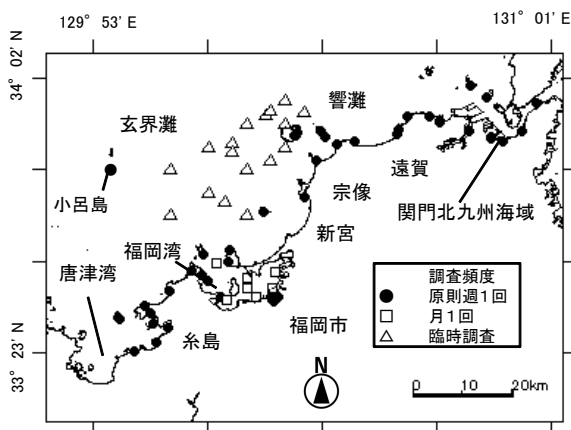


図1 細胞密度調査点

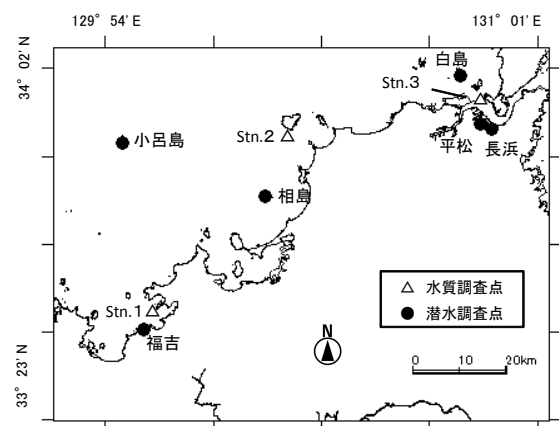


図2 水質・潜水調査点

表 1 福岡県筑前海における *K. mikimotoi* 赤潮の発生と被害状況

年	被害期間		日数	海域	発生場所	被害の内容			被害量		被害額 (円)
	発生日	終息日				被害対象物	状況	数量	単位		
1980	7/31	~ 8/1	2	福岡湾	-	-	-	-	-	-	-
1980	8/4	~ 8/4	1	福岡湾	-	-	-	-	-	-	-
1980	8/7	~ 8/7	1	福岡湾	-	-	-	-	-	-	-
1980	8/11	~ 8/12	2	福岡湾	-	-	-	-	-	-	-
1980	8/16	~ 8/18	3	福岡湾	-	-	-	-	-	-	-
1981	8/13	~ 8/17	5	福岡湾	-	-	-	-	-	-	-
1985	7/23	~ 7/30	8	関門港一帯	天然	アワビ・サザエ・ トコブシ・タコ	斃死	不明	-	-	不明
1985	7/29	~ 8/10	13	福岡湾	-	-	-	-	-	-	-
1988	8/24	~ 9/5	13	福岡湾	-	-	-	-	-	-	-
1990	7/25	~ 8/17	24	福岡湾	-	-	-	-	-	-	-
1992	7/29	~ 8/8	11	福岡湾・新宮相島	蓄養	アワビ	斃死	不明	-	-	200万
1993	9/26	~ 10/4	9	福岡湾	-	-	-	-	-	-	-
1999	7/22	~ 8/22	32	福岡湾	-	-	-	-	-	-	-
2000	7/11	~ 7/31	21	響灘海域	天然	アワビ・サザエ	斃死	不明	-	-	不明
2000	8/23	~ 9/1	10	福岡湾	-	-	-	-	-	-	-
2002	7/11	~ 8/2	23	福吉漁港・加布里湾	蓄養	アワビ	斃死	不明	-	-	約50万
2002	7/11	~ 8/11	32	福岡湾	-	-	-	-	-	-	-
2004	7/9	~ 7/21	13	福岡湾	-	-	-	-	-	-	-
2004	11/29	~ 3/2	94	福岡湾(今津湾中部~ 能古島南部地先)	養殖 蓄養 天然	ノリ ワカメ アジ サザエ	色落ち 生育不良 斃死	不明	-	-	不明
2006	7/18	~ 7/26	9	響灘東部~関門北九州海域	天然	アワビ タコ	斃死	不明	-	-	不明
2013	7/22	~ 7/23	2	糸島市志摩町の漁港内	天然	アワビ・サザエ	斃死	不明	-	-	不明
2013	7/22	~ 7/23	2	福岡湾口部の漁港内	天然	アワビ・サザエ	斃死	不明	-	-	不明
2013	7/30	~ 7/31	2	福岡湾	天然	アワビ・サザエ	斃死	不明	-	-	不明
2013	7/30	~ 7/31	2	糸島市二丈町の漁港内	天然	アワビ・サザエ	斃死	不明	-	-	不明
2014	7/31	~ 8/18	19	響灘東部~関門北九州海域	蓄養 天然	アワビ・マダコ	斃死	250	kg	-	約40万
2015	7/7	~ 8/10	35	唐津湾南東部の沿岸海域 新宮相島沿岸海域 福岡湾口部 宗像沿岸海域 遠賀沿岸海域 響灘東部~関門北九州海域	天然 蓄養 船上魚槽	アワビ・サザエ・タコ・ アジ・サバ・カンパチ・ イサキ等	斃死	不明	-	-	約365万

場及び磯漁場では表層（水深0.5m）及び中層（5m）の海水を採水し、海水 1 ml 中の *K. mikimotoi* の細胞数を計数した。唐津湾西部の細胞密度に関しては、佐賀県のデータ⁴⁾を使用した。佐賀県海域の採水層は、表層（0m）、2.5m、5m、10m（水深が10m 未満の調査点については、底層（底上1m））であった。

2. 水質

水質及び潜水の調査点を図2に示した。水質の調査点は海域の特性から、唐津湾（Stn. 1）、宗像沿岸海域

（Stn. 2）、関門北九州海域（Stn. 3）の3点とし、2015年5～8月にかけて月一回調査を行った。調査日は、5月7日、6月1日、7月6日、8月3日であった。各調査点において、クロロテック（JFEアドバンテック社製）を用いて上層から下層まで0.1m 間隔で水温・塩分を測定するとともに、DOメーター（HACH社製）を用いて底層（底上1m）の酸素飽和度（%）を測定した。また、各調査点の表層（水深0.5m）、中層（5m）及び底層（底上1m）の海水を持ち帰り、オートアナライザ（ビーエルテック社製）を用いて栄養塩類（DIN及びDIP濃度

(PO_4 -P濃度をDIP濃度として用いた)) を測定した。水質調査の各項目の平年値は、過去10年間(2005~2014年)の平均とした。

3. 気象

気象データは、気象庁ホームページ内各種データ・資料 (<http://www.jma.go.jp/jma/menu/menureport.html>) より、福岡管区気象台の気温、降水量、全天日射量のデータを用いた。気象データの各項目の平年値は過去10年間(2005~2014年)の平均とした。

4. 漁業被害状況

(1) アンケート調査

漁業被害については、各漁協にアンケート調査を行い、斃死個体数及び重量、漁協への聞き取り単価から、魚種別に被害額の算定を行った。

(2) 潜水調査

県内の主要な磯漁場で潜水調査を実施し、アワビ・サザエ等の斃死状況を目視で確認した。白島・福吉については100m × 2m、長浜・平松・相島については50m × 2mのライントランセクト法で調査を実施した。小呂島については、目視で概況を確認した。

結 果

1. *K. mikimotoi* の分布状況

K. mikimotoi の細胞密度の推移を図3に示した。

5月1日~20日にかけては、5月7日に関門北九州及び響灘東部海域の漁港、5月8日に福岡湾で調査を行ったが、*K. mikimotoi* の出現は確認されなかった。5月21日~6月10日にかけては、5月25、26日の調査において、関門北九州及び響灘東部海域の漁港で出現が初認され、最高細胞密度は63cells/mlであった。その後、細胞密度は上昇し、6月1日には最高細胞密度886cells/mlとなった。

6月11日~30日にかけては、6月11日に唐津湾西部で初認され、最高細胞密度は4 cells/mlであった。その後、唐津湾の細胞密度は上昇し、6月25日には最高細胞密度52cells/mlとなった。関門北九州及び響灘東部海域では6月29日に最高細胞密度131cells/mlとなった。

7月1日~8日にかけては、関門北九州及び響灘東部海域では7月6日に最高細胞密度24cells/ml、唐津湾では西部海域で7月3日に最高細胞密度4,900cells/mlが確認され、7月7日には東部海域でも分布が確認された。

その後分布域は拡大し、7月9日~15日にかけては、

7月9日に福岡湾口部で *K. mikimotoi* が初認され、最高細胞密度は7月15日の30cells/mlであった。また7月13日には新宮の漁港で初認され、最高細胞密度218cells/mlであった。関門北九州及び響灘東部海域では7月13日に最高細胞密度158cells/ml、唐津湾では7月14日に最高細胞密度15,000cells/mlであった。

7月18日~24日にかけて、本種赤潮の分布域はさらに拡大し、7月22日に宗像沖で *K. mikimotoi* が初認され、最高細胞密度2,850cells/mlの濃密な着色域が確認された。7月23日に実施した新宮~宗像沖合の臨時調査では、広範囲で分布が確認され、最高細胞密度599cells/mlであった。また、福岡市の沖合約40kmに位置する小呂島の漁港において、7月24日に初認され、最高細胞密度27cells/mlであった。関門北九州及び響灘東部海域、唐津湾においても引き続き本種赤潮は継続し、最高細胞密度はそれぞれ52cells/ml、18,000cells/mlであった。

7月27日~30日にかけては、7月27日に遠賀の漁港で最高細胞密度127cells/mlで初認され、筑前海全域への分布拡大が確認された。福岡湾でも湾奥部まで分布域が広がり、最高細胞密度110cells/mlであった。関門北九州及び響灘東部海域、唐津湾においても本種赤潮は継続し、最高細胞密度はそれぞれ815cells/ml、3,975cells/mlであった。

8月以降 *K. mikimotoi* の細胞密度は急激に低下し、8月17日には関門北九州及び響灘東部海域、福岡湾で終息し、8月24日には筑前海全域で終息した。

2. 水質

K. mikimotoi の鉛直分布の中心は水深2~5mの中層域である¹⁾ことから、5~8月の中層(5m)の水温・塩分を図4に示した。水温は17.0~27.1℃で推移し、5~6月はすべての点で平年並み、7月は平年値を2.1~2.2℃下回った後、8月は上昇し宗像沿岸海域では平年並み、唐津湾及び関門北九州海域では平年値を0.6~0.8℃上回った。

塩分は、32.4~34.4で推移し、6~7月はすべての点で平年値を上回った。

底層の酸素飽和度を図5に示した。酸素飽和度は81.6~112.0%で推移した。

DIN及びDIP濃度の表層・中層・底層の平均値を図6に示した。DIN濃度は0.17~3.44μMで推移し、5月は唐津湾では平年並み、宗像沿岸海域及び関門北九州海域では平年値を下回った。6月はすべての点で平年値を下回っていたものの、7月は唐津湾及び関門北九州海域で平年値を1.05~1.24μM上回った。8月は唐津湾では平年

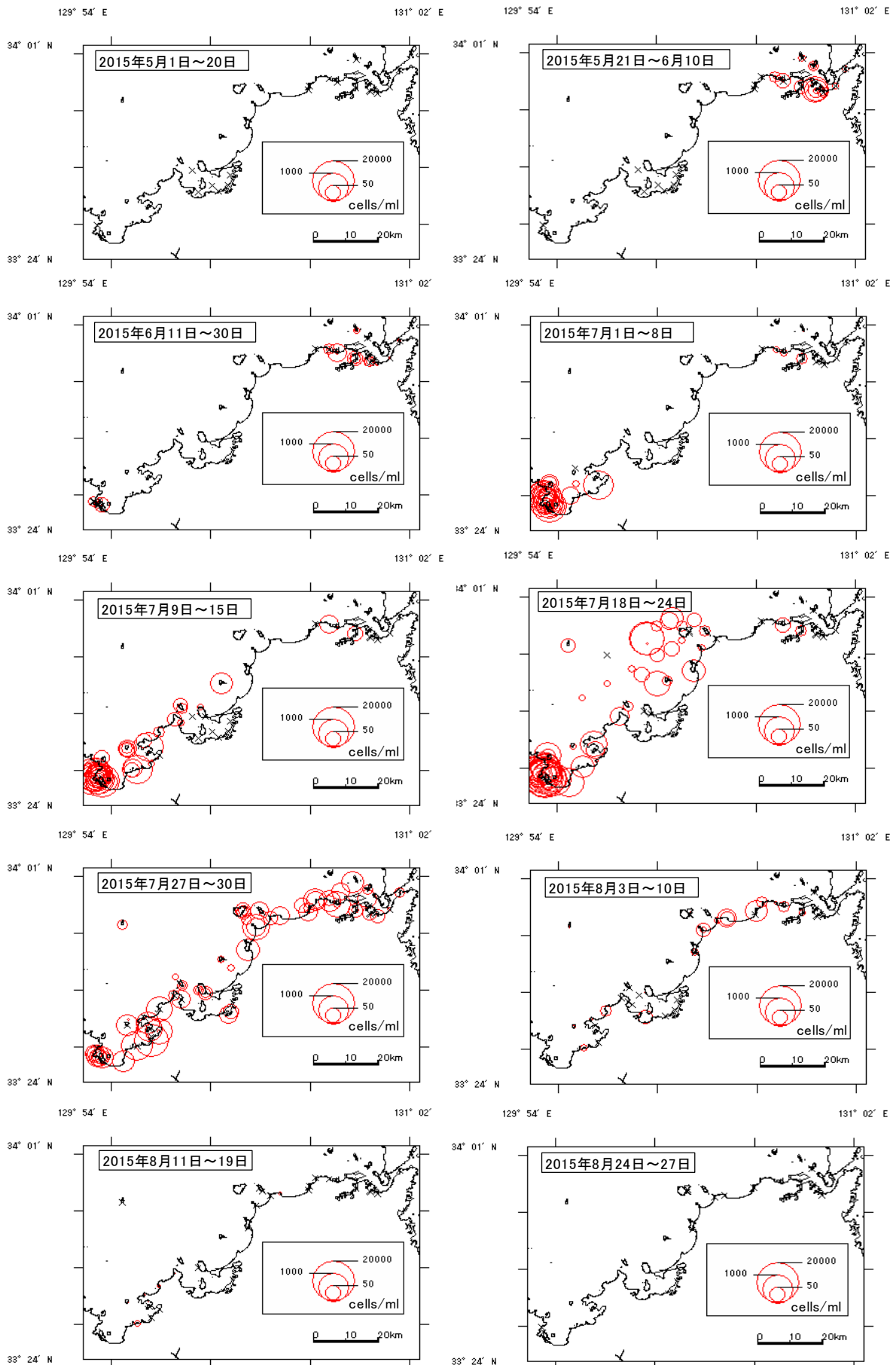


図3 *K. mikimotoi* の細胞密度の推移

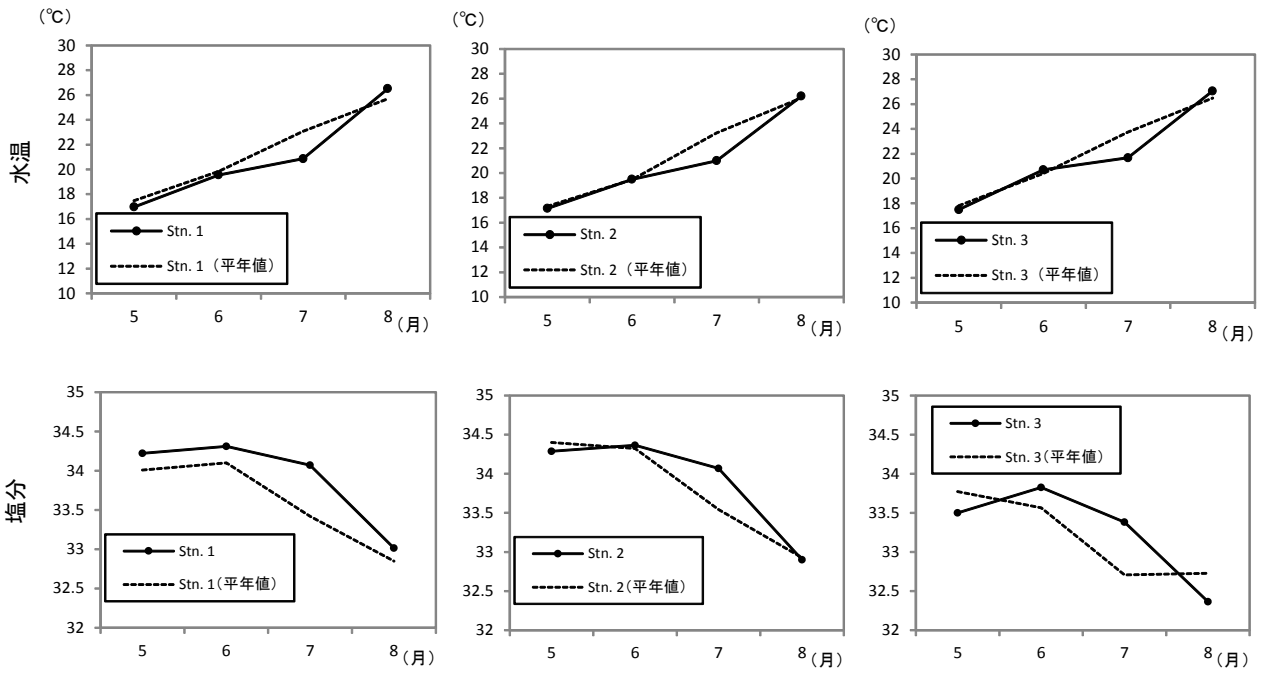


図4 水温・塩分の推移 (5m層)

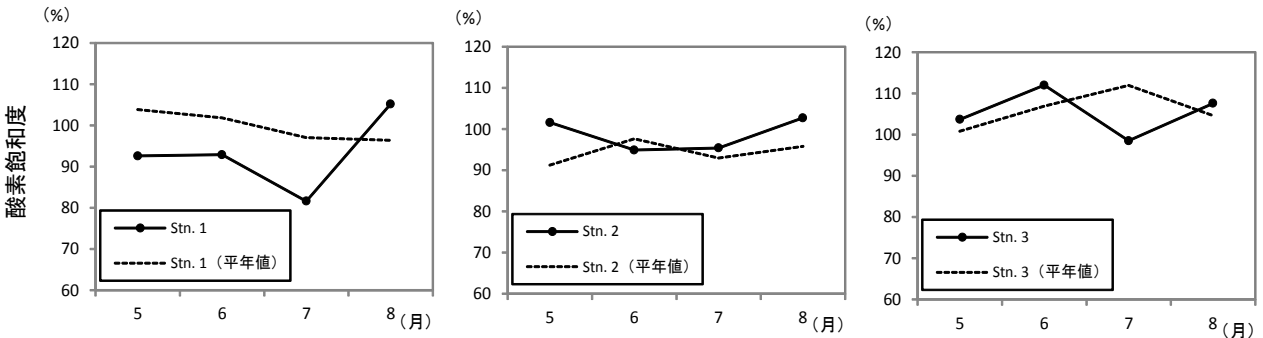


図5 酸素飽和度の推移 (底層)

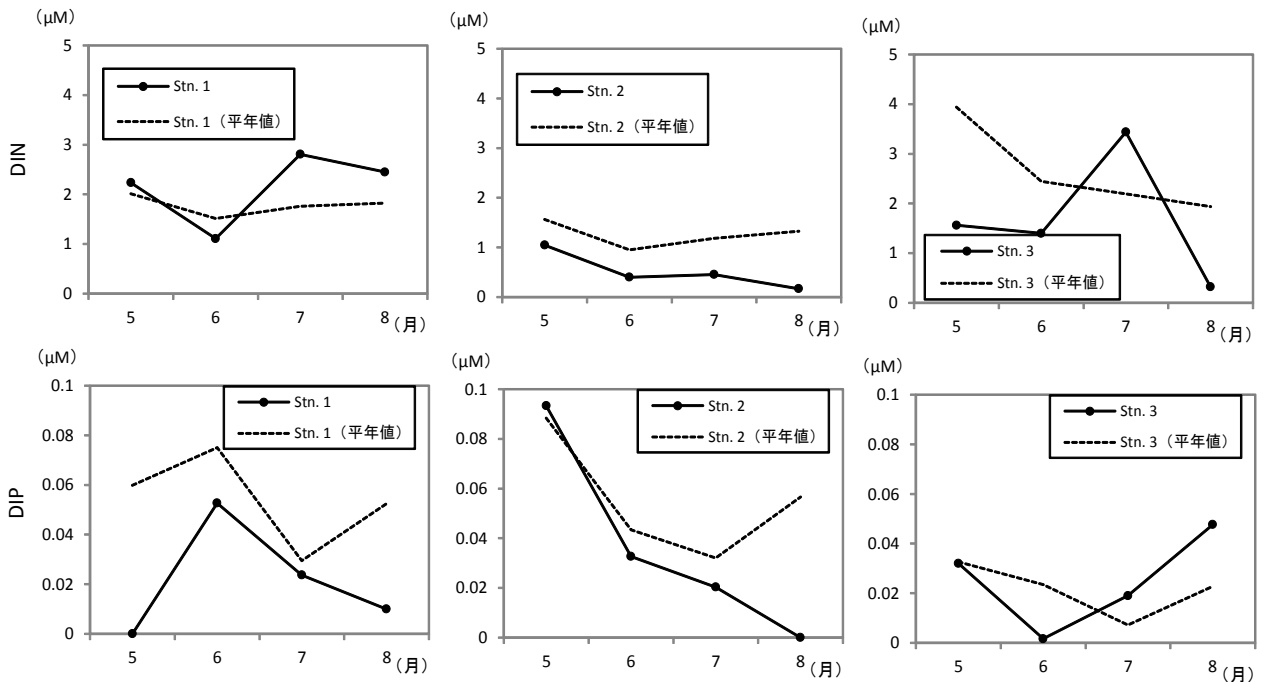


図6 DIN及びDIP濃度の推移 (表層, 5m層, 底層の平均値)

値を上回り、宗像沿岸海域及び関門北九州海域では平年値を下回った。DIP濃度は、0（検出限界値0.02μM以下）～0.09μMで推移し、5月の宗像沿岸海域を除き、すべての月、調査点で平年値を下回った。

3. 気象

5～8月の平均気温、降水量及び全日射量の推移を図7に、旬別平均気温、降水量及び全日射量を表2に示した。

2015年の九州北部地域における梅雨期間は6月2日～7月29日の58日間で、平年の45日間より13日長かった。

気温は17.5～31.3℃で推移し、5月は平年値を上回り、6月上旬～7月中旬にかけては平年値を下回った。7月下旬～8月上旬は平年値を上回ったが、8月中旬以降は

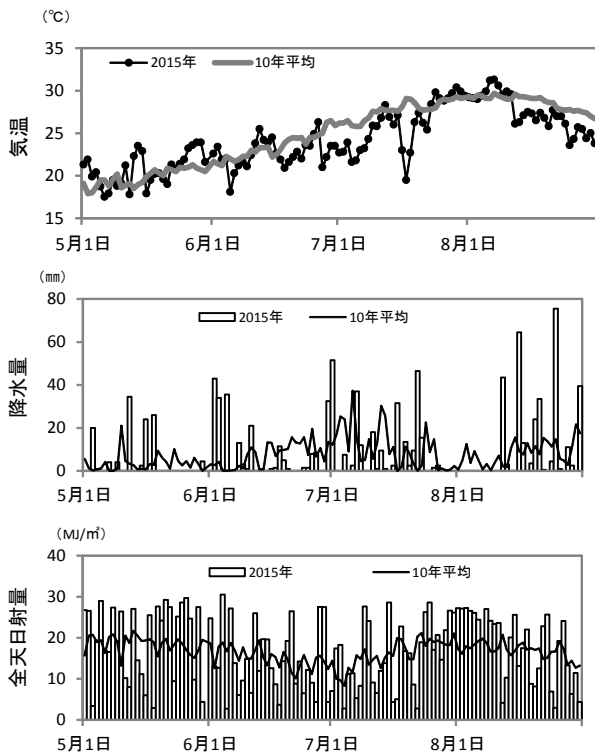


図7 福岡管区気象台における平均気温、降水量及び全日射量の推移

再び平年値を下回った。

降水量は5月上旬から8月下旬までの合計で829.1mmと平年並みであった。赤潮期間中の主な降雨は、6月2～3日の7mm、5日の35.5mm、11日の21mm、30日～7月1日の84mm、7日の37mm、17日の31.5mm、22日の46.5mm、8月12日の43.5mmであった。

全日射量は、6月及び7月の月平均日射量がそれぞれ14.6MJ/m²、15.5MJ/m²と平年値の15.2MJ/m²、16.1MJ/m²を下回り、日射量が20MJ/m²以上の日が3日以上続くことはなかった。

4. 漁業被害状況

(1) アンケート調査

筑前海の漁協に実施した漁業被害についてのアンケート調査の結果を表3に示した。アンケート調査では、12の漁協・支所から漁業被害が報告されており、蓄養中のアワビ・サザエ・アジを中心に約365万円の被害が発生した。最も被害額が大きかったのは、ひびき灘漁協藍島支所でアワビの96万円であった。

表2 福岡管区気象台における旬別平均気温、降水量及び全日射量

月	旬	気温(℃)		降水量(mm)		全日射量(MJ/m²)	
		2015年	(平年値)	2015年	(平年値)	2015年	(平年値)
5	上	19.5	(19.0)	29.0	(35.1)	21.1	(18.5)
	中	20.5	(19.6)	87.0	(34.6)	15.7	(19.3)
	下	22.0	(20.8)	4.5	(38.0)	21.9	(18.2)
5月計		20.7	(19.8)	120.5	(107.7)	19.7	(18.6)
6	上	21.5	(22.0)	129.5	(21.8)	15.5	(16.8)
	中	23.1	(23.3)	41.0	(83.9)	14.2	(15.5)
	下	23.3	(25.0)	52.0	(119.4)	14.1	(13.3)
6月計		22.6	(23.4)	222.5	(225.1)	14.6	(15.2)
7	上	23.5	(26.5)	110.5	(163.8)	13.3	(12.8)
	中	25.4	(28.1)	79.5	(115.0)	13.5	(16.2)
	下	28.7	(28.6)	76.0	(56.4)	19.3	(19.0)
7月計		26.0	(27.8)	266.0	(335.2)	15.5	(16.1)
8	上	29.9	(29.3)	0.0	(43.4)	25.3	(17.8)
	中	27.0	(29.2)	151.5	(86.7)	15.3	(17.7)
	下	25.5	(27.6)	168.0	(126.4)	13.6	(15.5)
8月計		27.4	(28.6)	319.5	(256.5)	17.9	(17.0)

表3 筑前海における漁業被害の状況

海域	漁協支所名	アワビ	サザエ	アジ	イサキ	サバ	カンパチ	ブリ	メジナ	スズキ	アイゴ	マダコ	クサフグ	クロダイ	ハモ	イカ	計(円)
唐津湾南部	糸島漁協福吉支所	400,000	2,400									7,000			不明		409,400
唐津湾東部	糸島漁協本所	10,000	29,000	50,000			60,000	10,000	15,000	12,000	9,000		5,000	1,500			201,500
唐津湾東部	糸島漁協船越支所		640,000														640,000
福岡湾口部	福岡市漁協志賀島支所	不明		75,000													75,000
玄界灘	新宮相島	120,000		103,500		62,500		25,000									311,000
玄界灘	福岡市漁協玄界島支所	70,000															70,000
玄界灘	福岡市漁協小呂島支所	37,260															37,260
玄界灘	宗像漁協神湊支所	159,000	150,000														309,000
玄界灘	宗像漁協大島支所	104,300	28,000														132,300
響灘	遠賀漁協柏原支所	227,500	100,267														327,767
響灘	ひびき灘漁協藍島支所	960,000															960,000
響灘	ひびき灘漁協岩屋支所	177,125															177,125
計(円)		2,265,185	949,667	153,500	75,000	62,500	60,000	35,000	15,000	12,000	9,000	7,000	5,000	1,500	不明	不明	3,650,352

表4 潜水調査による魚介類の斃死状況

日付	海域	漁場	斃死状況 (斃死個体数)
7月6日	玄界灘	小呂島	アワビ(数個体)
7月7日	響灘	白島	斃死は見られなかった
7月8日	関門北九州海域	長浜	斃死は見られなかった
7月14日	唐津湾南部	福吉	クロアワビ(9), メガイアワビ(2), サザエ(2), トコブシ(3)
7月22日	関門北九州海域	平松	斃死は見られなかった
7月25日	玄界灘	相島	サザエ(2)

(2) 潜水調査

潜水調査の結果を表4に示した。小呂島、福吉、相島の漁場でアワビ・サザエ等の斃死が確認された。

考 察

2015年夏季の筑前海における *K. mikimotoi* 赤潮は、関門北九州及び響灘東部海域では5月初旬から、唐津湾では6月中旬から発生し、7月上旬以降は福岡湾、玄界灘、響灘東部海域に分布域を拡大し、筑前海全域における大規模な赤潮となった。

K. mikimotoi は室内実験において水温10~30℃、塩分15~30の範囲で増殖可能であることが確認されており、他の植物プランクトンに比べ、増殖可能な温度範囲と塩分が広い広水温・広塩分性種である。¹⁾ 本年の筑前海の水温は気温変化と同様に、7月は平年値を下回った後、8月は平年並みまで上昇し、7~8月間の上昇幅が平年より大きかった。このことは、広水温性種である *K. mikimotoi* にとって有利に働いたと推測される。

また、本種は低光強度下でも増殖可能という報告がなされており、他の植物プランクトンにとって不適といえる曇天の気象条件において有利とされている。⁵⁾ 本年の福岡管区気象台における全天日射量は、6月及び7月の月平均日射量が平年値を下回ったうえ、日射量が20MJ/m²以上の日が3日以上続くことがないなど、他の植物プランクトンが優先しにくい環境であったと推測される。

栄養塩については、唐津湾及び関門北九州海域で7月にDIN濃度の上昇が見られた。これは、6月末~7月初旬のまとまった降雨により、陸水の影響を受けやすい唐津湾及び関門北九州海域では栄養塩が十分量供給されていたことを示唆している。唐津湾では降雨の後、細胞密度の上昇が見られ、関門北九州海域及び響灘東部では、細胞密度の顕著な上昇は見られなかったものの、赤潮の発生は継続した。そのため、これらの海域では *K.*

mikimotoi が降雨によって供給された栄養塩を利用し、赤潮を形成したことが推察される。一方、宗像沿岸域では、降雨に伴う栄養塩濃度の上昇は見られなかったものの、7月中旬以降には *K. mikimotoi* が出現した。本海域での *K. mikimotoi* 赤潮の発生機構については、今後検討する必要がある。

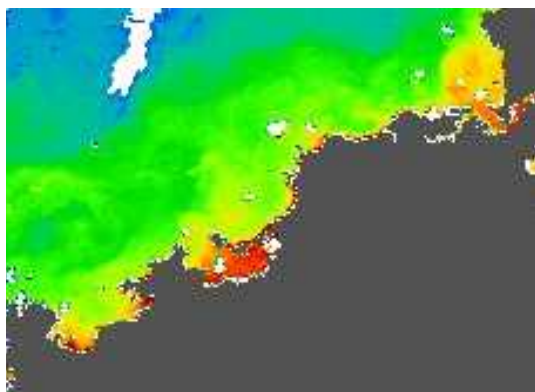
飯塚ら⁶⁾ は、大村湾における *K. mikimotoi* 赤潮の発生について「降水性赤潮」と「低(貧)酸素化関連赤潮」の2つの型に分類しており、2012年に佐賀県伊万里湾海域で発生した本種赤潮では、西山ら⁷⁾ によって「降水性赤潮」との関連が示唆されている。2015年の筑前海における赤潮についても、6~7月に定期的な降雨が見られたこと、底層の酸素飽和度は赤潮期間中も80%を下回ることがなく、貧酸素状態⁸⁾ とはいえないことから「降水性赤潮」との関連が伺える。

関門北九州及び響灘東部海域の *K. mikimotoi* 赤潮については、本海域で初認される約1月前の4月27日に周防灘の苅田地先で赤潮発生が確認され、5月7日には福岡県周防灘の全域へ分布が拡大していた。⁹⁾ 寺井ら¹⁰⁾ は、2006年に周防灘で発生した本種赤潮の一部が潮流により、関門東口から西口を通り、周防灘から響灘へ移送される可能性を報告しているが、本年も周防灘北部において *K. mikimotoi* 赤潮が出現した後、関門北九州及び響灘東部海域に本種赤潮が出現したことから、周防灘との関連が示唆された。

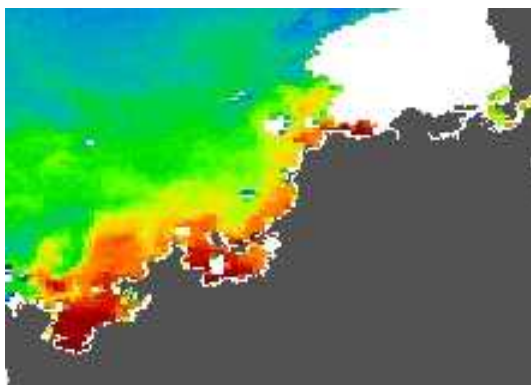
赤潮の発生状況を広範囲に把握するために、MODISによるChl-a濃度の衛星データ¹¹⁾ を図8に示した。7月15日の映像では筑前海沿岸全域でChl-a濃度の高い値が見られ、7月18日の映像では宗像沖合域を中心に、7月25日の映像では、再び筑前海沿岸域に高い値が見られた。細胞密度調査結果と比較すると、7月15日のChl-a濃度が高い範囲は、調査が実施された関門北九州及び響灘東部、新宮以西の沿岸域では赤潮分布域とおおむね一致している。宗像沖合域で赤潮の発生を確認したのは7月22日であったが、衛星データでは7月18日から沖合域でChl-a濃度が高くなって。その後、Chl-a濃度が高い範囲と同様に赤潮分布域は再び沿岸域へと移動している。このことからChl-a濃度の衛星データからも *K. mikimotoi* 赤潮の広域化が確認された。山口¹⁾ は *K. mikimotoi* 赤潮の発生に至る要因の1つとして、風や潮流による物理的な集積を挙げているが、本年の筑前海で本種赤潮が大規模化した要因については、物理的条件も含めて今後更に検討する必要がある。

漁業被害について、過去の状況と比較すると(表1) 2015年の被害金額は約365万円で、1992年の200万円を上

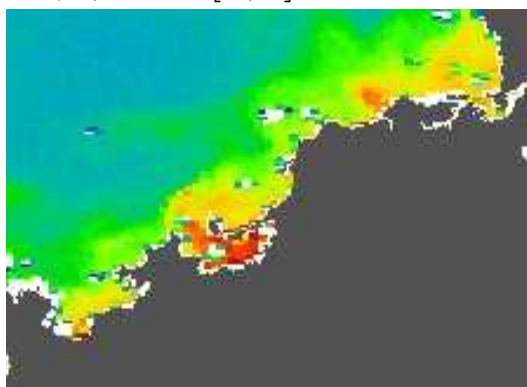
2015/07/15 04:30 [AQUA]



2015/07/18 05:03 [AQUA]



2015/07/25 05:09 [AQUA]



2015/07/31 04:31 [AQUA]

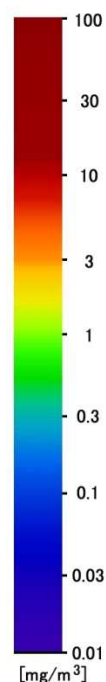
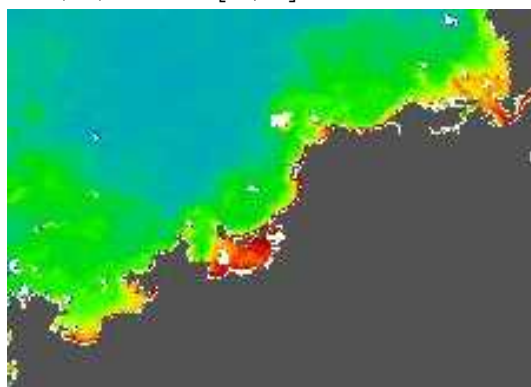


図8 Chl-a濃度の推移 (MODIS)

回り、被害額が判明している年では過去最高となった。被害が生じた魚介類については、過去に報告例のあったアワビ・サザエ・マダコ・アジに加え、サバ・カンパチ・イサキ等の魚類が初めて報告されている。魚類については、漁港内での蓄養の外、7月21日に新宮相島沖で釣り漁業の操業中に船上魚槽に活かしていた漁獲物が、沖合に分布していた *K. mikimotoi* 赤潮によって斃死したという報告がなされている。漁業被害が深刻化した背景には、*K. mikimotoi* 赤潮が沿岸域全域で長期間出現したことに加え、沖合まで広範囲で分布した影響があると推察される。

以上のことから、2015年夏季の気象及び水質の特徴は、広水温、日照不足及び定期的な降雨による栄養塩の供給であった。これらの要因によって筑前海全域で大規模な *K. mikimotoi* 赤潮が発生し、過去最大規模の漁業被害が生じたものと思われる。*K. mikimotoi* は遊泳細胞の状態越冬し、翌年のシードポピュレーションとなることが知られており、¹⁾ また福岡湾では冬季の赤潮も発生している¹²⁾ ことから、今後の漁業被害軽減のため、夏季赤潮発生期間中以外の *K. mikimotoi* の動態にも注視し、赤潮発生及び拡大の要因を解析する必要がある。

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佐賀県玄海水産振興センターの皆様には深く御礼申し上げます。

文 献

- 1) 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. 南西水研研報 1994 ; 27 : 251-394
- 2) 飯塚昭二, 入江春彦. 1965年夏季大村湾赤潮時の海況とその被害—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 1966 ; 21 : 67-101
- 3) 水産庁九州漁業調整事務所. 九州海域の赤潮. 2012.
- 4) 九州海域赤潮・貧酸素共同研究機関: 沿岸海域水質・赤潮観測情報ポータルサイト 沿岸海域水質赤潮分布情報, <http://akashiwo.jp/>
- 5) 山口峰生. 有害渦鞭毛槽 *Gymnodinium nagasakiense* の増殖におよぼす水温, 塩分および光強度の影響

- 響. 日本水産学会誌 1989 ; 55(11) : 2029-2036.
- 6) 飯塚昭二. 大村湾における *Gymnodinium* ‘65年型赤潮の発生機構. 日本プランクトン学会報 1972 ; 19(1) : 22-33.
- 7) 西山嘉乃, 河口真弓, 吉田幸史, 野口浩介, 寺田雅彦, 明田川貴子, 江口泰蔵. 2012年夏季に伊万里湾佐賀県海域で発生した *Karenia mikimotoi* 赤潮. 佐賀県玄海水産振興センター研報 2013 ; 6 : 31-62.
- 8) 柳哲雄. 貧酸素水塊の生成・維持・変動・消滅機構と化学・生物的影響. 海の研究 2004 ; 13 : 451-460.
- 9) 俵積田貴彦, 宮内正幸, 山田京平. 広域発生赤潮共同予知調査－瀬戸内海西部広域共同調査－. 福岡県水産海洋技術センター事業報告 2016 ; 371-387.
- 10) 寺井千尋. 響灘, 関門・北九州海域(関門西口海域)で発生した *Karenia mikimotoi* の赤潮. 福岡県水産海洋技術センター研究報告 2007 ; 17 : 93-99.
- 11) 宇宙航空研究開発機構 地球観測研究センター: MODIS, http://kuroshio.eorc.jaxa.jp/ADEOS/mod_nrt_new/index.html
- 12) 寺井千尋, 佐藤博之, 後川龍男, 山本千裕. 福岡湾で冬季に発生した *Karenia mikimotoi* の赤潮. 福岡県水産海洋技術センター研究報告(資料) 2006 ; 16 : 155-158.

