

養殖技術研究

(2) 養殖カキの食害防止調査

山田 京平

豊前海区のカキ養殖は導入以来急速に普及し、「豊前海一粒かき」というブランド名で冬季の主幹漁業に成長している。

しかしながら、平成22年から豊前海南部地域でクロダイなど魚によるカキの食害が報告され¹⁾、23年にその被害は苅田南港以南の海域で激化した。また、24年度には食害はさらに激化し、南部漁場では収穫量が例年のわずか1割となった。このような状況はカキの付着数の著しい低下を招き収穫量の減少に直結するため、早急な食害防止策の考案が必要である。

方 法

平成24年度、食害被害が最も激しかった南部漁場宇島地先のカキ筏において食害対策試験区（カゴ垂下区、東ね垂下区、通常垂下区）を設置し、その食害防止効果を検証した。種苗の垂下は5月に行い、測定は6月中旬、7月中旬、8月中旬に行った。測定においては食害による減耗をはかるために、垂下連の中部コレクターを3枚程度ランダムに採取し、付着数およびへい死率を追跡した。

また、豊前海全体での食害の状況を把握するため、4月から8月に豊前海5漁場（北部漁場、人工島周辺漁場、中部漁場、中南部漁場、南部漁場）及び苅田南港において（図1）コレクター1枚あたりの食害痕を数え、食害痕率（全付着数における食害痕の割合）を求めた。また、同時にカキの殻高の成長の推移を追った。

結 果

豊前海5漁場及び苅田南港における食害痕率の推移を図2に示した。食害の被害は6月において南部漁場で最もひどく、食害対策をしていない垂下連の約6割が食害を受けへい死した。なお、食害被害は7月中旬にはほぼ収束し、その時のカキの殻高は50mmを超えていた。（図3）

各試験区における付着数の推移を図4に示した。24年度食害が最も激しかった6月中旬については通常垂下

区（対照区）において、カキ付着数が約76%の減耗となった。これに対して東ね垂下区ではわずか24%の減耗、カゴ垂下区ではわずか17%の減耗にとどまった。なお、食害が完全に収まった8月においては東ね垂下区のカキ付着数が32個、カゴ垂下区で34個と通常垂下区の16個に対し2倍程度の付着数を維持した。

カゴ垂下区ではカゴで垂下連全体を覆ってしまうため、食害痕は全く見られなかった。したがって、食害の最も激しかった6月中旬時点においてカゴの付着数の減耗を全て自然へい死によるものとし、試験区の各へい死率からカゴ区のへい死率を差し引いたものを試験区ごとの食害率とした。さらに食害生残率(%)=100-食害率として食害生残率を求めた。その結果、表1に示すように、何も食害対策をしていない通常垂下区は41.0%の食害生残率、すなわち59%のカキが食害を受けるという結果になった。一方、東ね垂下区においては食害の激しい6月

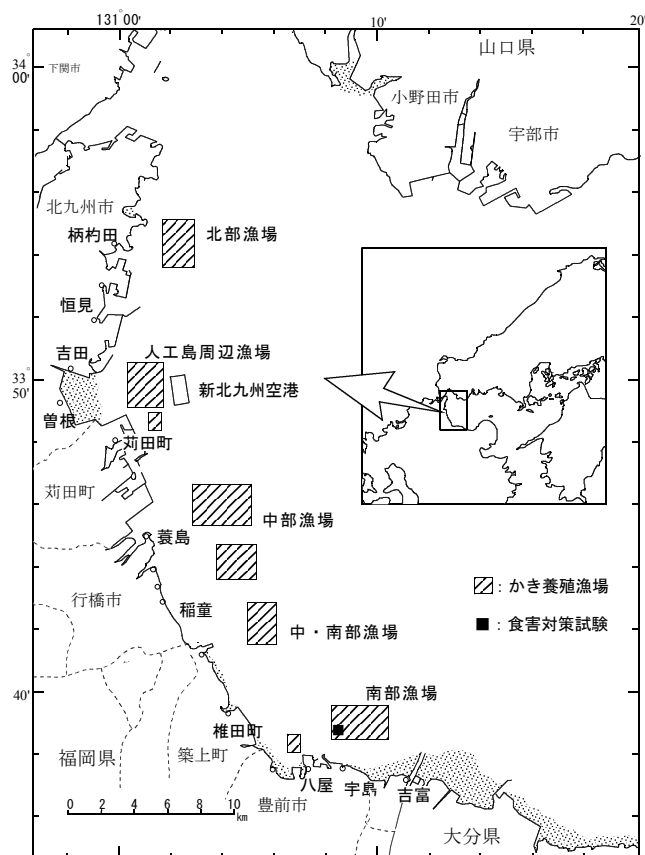


図1 漁場位置図

において 92.8%のカキが食害から生残することが示され、束ね垂下区の食害防止における有効性が明らかになった。

実際にこの束ね垂下は安易かつ安価で効果の高い食害対策手法として、25年度漁期より南部地域を中心として漁業者によって導入された（図5）。その効果もありこの年は南部漁場において収穫前期の付着数が平年を上回った（表2）。しかしながら、束ね垂下をすることが

カキの成長に及ぼす影響、及び束ね垂下の束ねを解放するのに適した時期などは現在のところ明確には解明されておらず、今後さらなる研究が必要である。

文 献

- 1) 中村 優太・中川 浩一：豊前海におけるマガキ食害実態の把握. 福岡県水産海洋技術センター研究報告, 第21号, 105-110 (2011) .

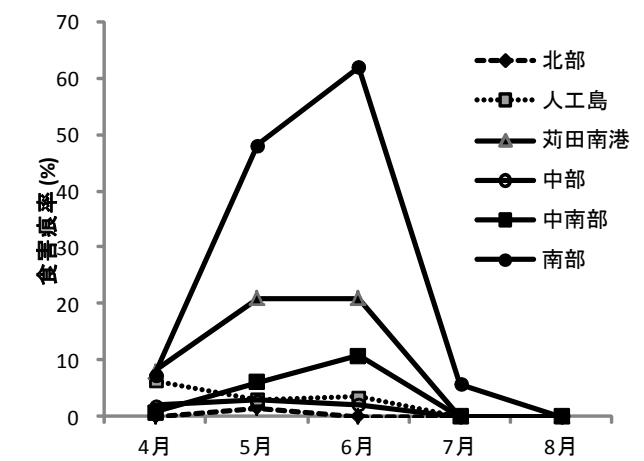


図2 豊前海各漁場の食害痕率

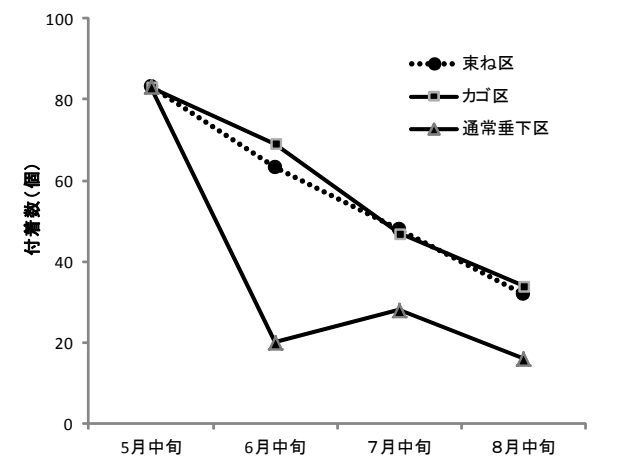


図4 食害対策試験区におけるカキ付着数の推移

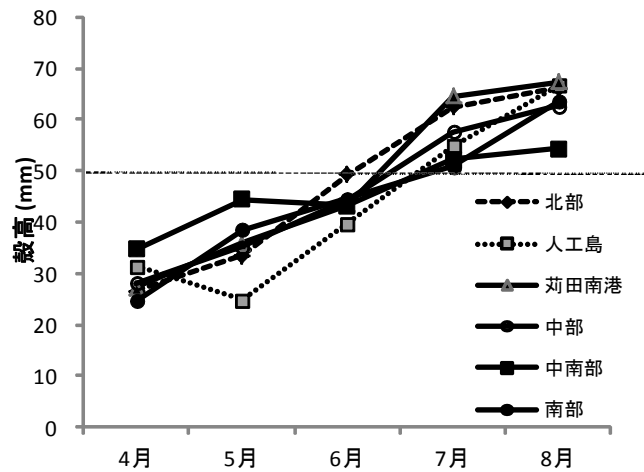


図3 豊前海各漁場におけるカキの殻高の推移

表2 収穫前期（11月）の南部漁場のカキ付着数

11月の付着数	
H24年	3
H25年	18
平年値	16

表1 6月中旬における食害生残率（南部試験区）

6月中旬の食害生残率	
通常垂下区	41.0%
束ね垂下区	92.8%
カゴ垂下区	100%



図5 束ね垂下（南部漁場筏）

養殖技術研究

(3) かき養殖状況調査

山田 京平

福岡県豊前海のかき養殖は、昭和58年に導入されて以来急速に普及し、現在では約1,500トンの生産を揚げる冬季の主幹漁業に成長した。また平成11年からは「豊前海一粒かき」というブランド名で積極的な販売促進活動を行うことにより、その知名度は年々高まっている。

しかしながら、生産面では他県産の種ガキへの依存や、餌料競合生物による成長不良やへい死、風波による施設破損や漁場間の成長格差等の問題が生じており、また流通面では生産量の増大に伴う需要の相対的な低下も懸念されるなど、様々な問題が表面化しつつある。

一方で、11年には持続的養殖生産確保法が施行され、生産者による養殖生産物の安全性の確保や養殖漁場の環境保全への責任が拡大するなど、養殖業を取り巻く諸環境も急激に変化している。

また、24年度からは23年3月11日に発生した東日本大震災により、例年種苗を購入している宮城県の抑制場が被害を受けたため、例年より早期に種苗を受け入れ漁業者自らが種苗の抑制を行っている。

本調査では、このような状況下で行われた平成25年度における豊前海一粒かきの養殖概況を報告する。

方 法

1. 養殖概況調査

カキの生産状況を把握するため、生産漁協及び支所への聞き取り調査を実施し、図1に示した5漁場ごとに養殖筏台数、従事者数及び経営体数を集計した。

2. カキ成長調査

養殖期間のうち、6月から11月にかけて図1に示した5漁場において、筏中央部付近の水深2m層のコレクターを取り上げ、付着したカキの殻高、重量を測定するとともに、へい死率を調査した。

結 果

1. 養殖概況調査

漁協への養殖概況聞き取り調査結果を表1に示した。

平成25年度の養殖筏数は、北部、人工島周辺、中部、中・南部及び南部漁場で各々11、133、33、2及び10台の計189台であり、平年と同様に静穏域に形成される新北九州空港西側の人工島周辺漁場で約7割を占めた。

表1 平成25年度養殖概況調査結果

	従事者数	経営体数	筏設置台数
北部(柄杓田)	15	5	11
人工島周辺(恒見・吉田・曾根・苅田町)	116	64	133
中部(蓑島・稲童)	17	4	33
中南部(椎田町)	3	1	2
南部(八屋・宇島・吉富)	20	6	10
合計	171	80	189

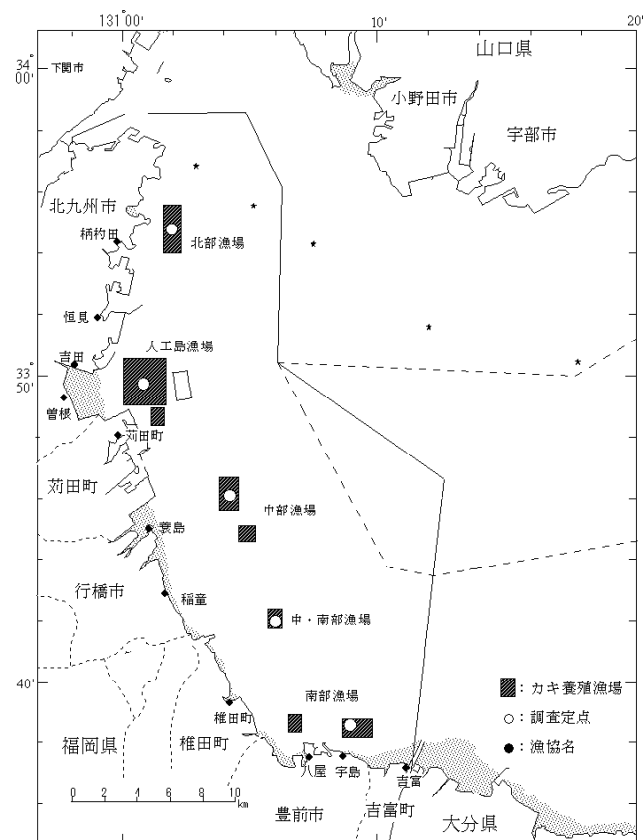


図1 調査位置図

2. カキ成長調査

(1) 今年度の各漁場における育成状況

各漁場におけるカキの殻高及び重量の推移を図2及び図3に示した。漁場別のカキの成長をみると、例年通り、風波の影響が少ない静穏域に位置する人工島周辺漁場で11月に平均殻高、平均重量が95.9 mm, 60.4 gに達するなど、最も成長が良い傾向がみられた。

また、今年度のへい死状況は図4に示すとおりであり、ここ数年6月に南部地域で深刻なへい死を引き起こした食害が食害対策の束ね垂下の導入により軽減されたため、6月のへい死は全域で20%を下回った。

一方、10月以降の水温低下時にしばしば発生する40%を超えるへい死¹⁾については、昨年度と同様に今年度も

発生しなかった。

(2) かき身入り状況（人工島周辺漁場）

今年度のカキの身入り状況については、図5に示すように、平年値（過去5年間の平均値）よりやや小さめであった。

文 献

- 1) 中川 浩一・俵積田 貴彦・中村 優太：近年の「豊前海一粒かき」の育成状況と漁場環境との関係。福岡県水産海洋技術センター研究報告，第19号，109-114（2009）。

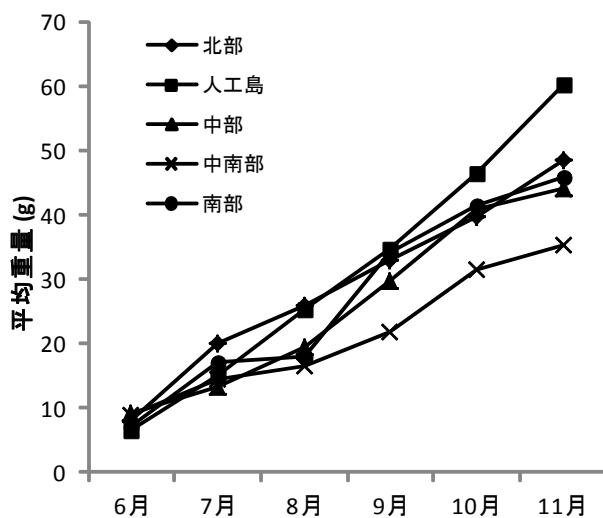


図2 各漁場におけるカキ平均殻高の推移

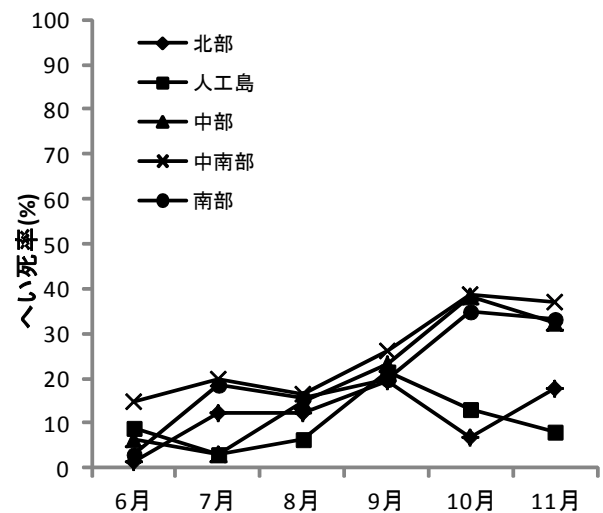


図4 各漁場におけるカキへい死率の推移

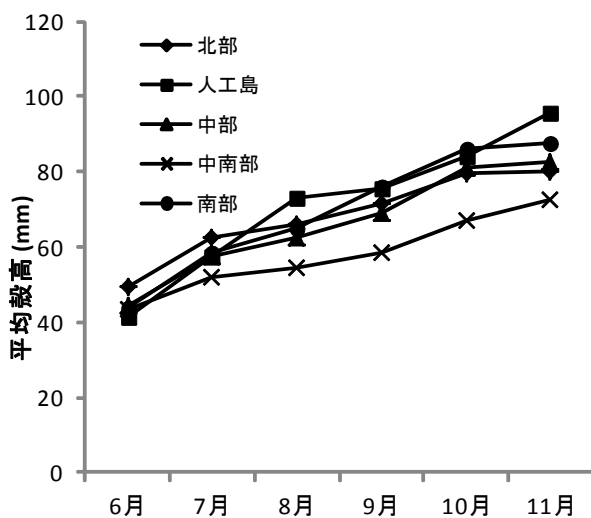


図3 各漁場におけるカキ平均重量の推移

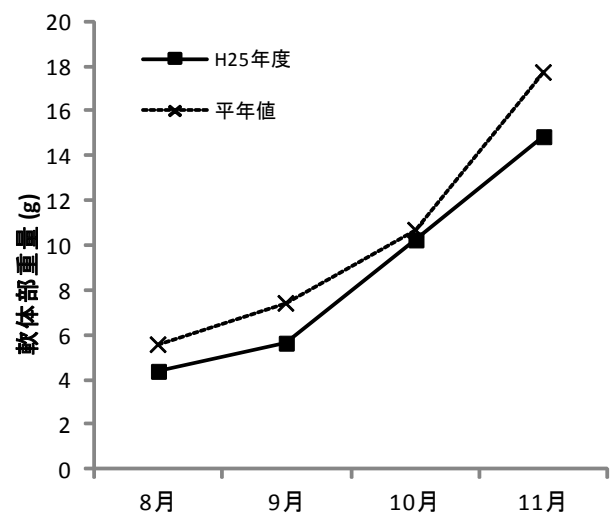


図5 カキ身入り状況の比較（人工島周辺漁場）

瀬戸内海水産資源回復調査 ーカレイ類資源量および分布調査ー

宮内 正幸・尾田 成幸

本調査は、平成 25 年度から始まった農林水産技術会議事務局委託プロジェクト研究「生態系ネットワーク修復による持続的な沿岸漁業生産技術の開発」の一環として行われており、瀬戸内海に面する関係府県が参画している。

西日本におけるカレイ類は大幅に資源が減少しており、種苗放流などの取組が行われてきたものの、資源は減少する一方であった。そのため、資源量が増加しない原因は、自己回復が難しいレベルにまで減少した個体数そのものにあるのではなく、個体数を制限する生息環境の劣化や分断にあると考えられるようになった。特にカレイ類は生活史段階で生息場所を変えていくため、ある生活史段階で利用する生息環境が劣化・分断するだけで生活史を回すことができなくなり、成魚になるまでに大きく個体数を減少させてしまう。そこで、上記プロジェクト研究では、その劣化場所・分断箇所を特定し、劣化・分断要因を解明するとともに、修復する技術を開発することを目的としている。

この目的を達成するため、関係府県は、瀬戸内海の各海域においてカレイ類の各生活史段階の分布状況および生息場所をできる限り把握するための調査を行っている。

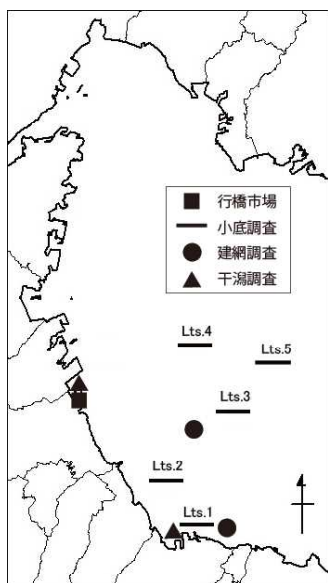


図 1 調査場所

方 法

1. 市場調査

行橋市魚市場において毎月 1 ～ 3 回の市場調査を実施し、水揚げされたカレイ類の全長を測定した（図 1）。

2. 採集調査

小型底びき網調査（以下、小底調査）、建網調査、干潟調査によりカレイ類の採集調査を行い、全長、体重を測定した（図 1）。小底調査は、4,5,7,8,9,11,12,3 月に月 1 回、建網調査は、10 月に 1 回、12 月に 2 回、1 月に 1 回、干潟調査は、5 月に 1 回、3 月に 2 回実施した。

結 果

1. 市場調査

192 尾のカレイ類を測定し、イシガレイ 39%、メイトガレイ 34%、マコガレイ 17%、ヒラメ 8%、ウシノシタ類 2%と、イシガレイとメイトガレイで約 70%を占めた（図 2）。

また、マコガレイ、イシガレイ、メイトガレイの 3 種について見ると、それぞれ測定尾数は 32 尾、75 尾、66 尾であった（図 3）。マコガレイ、イシガレイは 12 月に、メイトガレイは 1 月に水揚げが多く、3 種ともそれ以外の時期は少なかった。月別平均全長は、マコガレイは 200 ～ 300mm、イシガレイは 190 ～ 350mm、メイトガレイ

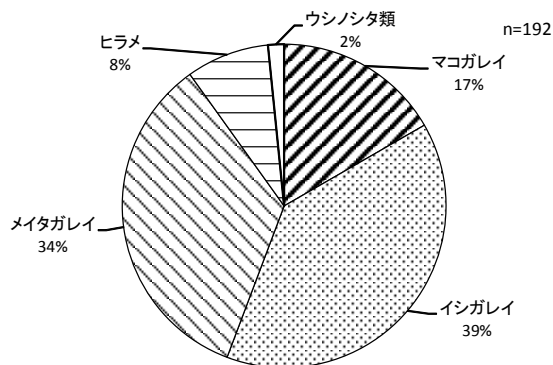


図 2 市場調査における魚種別漁獲割合

は 150 ～ 230mm の範囲を推移した。

2. 採集調査

小底調査、建網調査および干潟調査で採集されたカレイ類は 424 尾で、ウシノシタ類 74%、メイタガレイ 15%、イシガレイ 9%、マコガレイ 2%と、ウシノシタ類が大部分を占めた（図 4）。

また、マコガレイ、イシガレイ、メイタガレイの 3 種について見ると、それぞれ測定尾数は 10 尾、36 尾、63 尾であった（図 5）。マコガレイは 5 月に小底調査で 2 尾、12 月に建網調査で 8 尾が採集された。5 月は全長約 90mm、12 月は全長約 240mm であった。イシガレイは 5 月と 3 月の干潟調査においてのみ稚魚が漁獲され、5 月は全長約 50mm、3 月は全長約 20mm であった。特に 3 月に 35 尾と大部分が漁獲された。メイタガレイは他 2 種と比べると 1 年を通して満遍なく採集され、ほとんど

が小底調査で獲れた。5 月から 1 月にかけては全長約 90 ～ 180mm の範囲を推移し、2,3 月は全長約 50 ～ 80mm で推移した。

市場調査、採集調査ともマコガレイ、イシガレイ、メイタガレイの 3 種の漁獲は少なく、資源量が少ないことが伺われた。

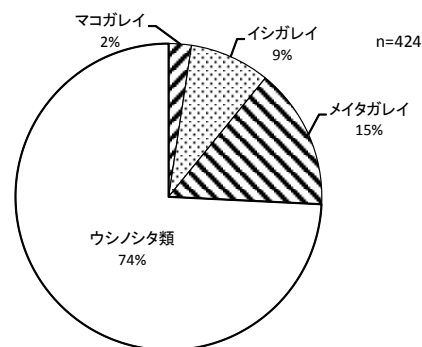


図 4 採集調査における魚種別漁獲割合

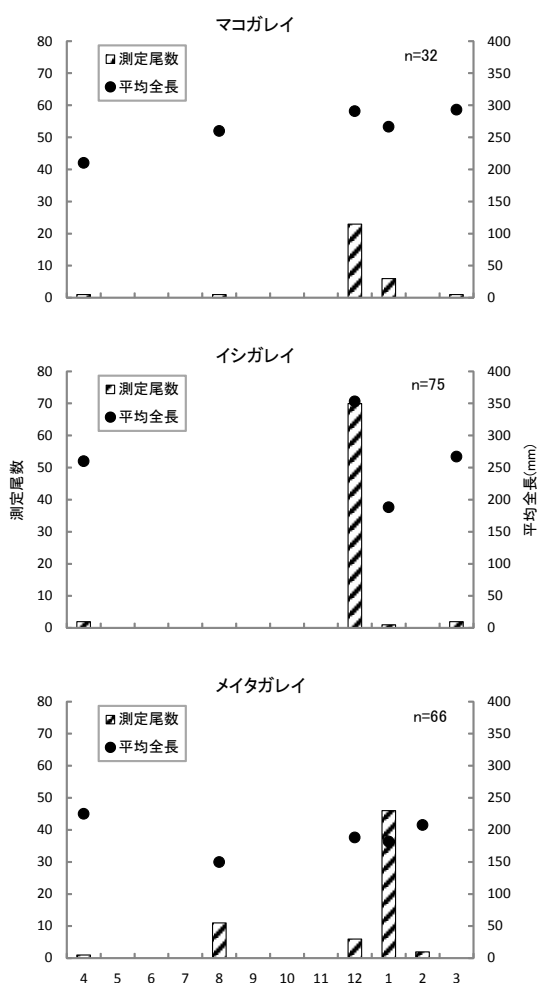


図 3 市場調査における魚種別測定尾数および平均全長の推移

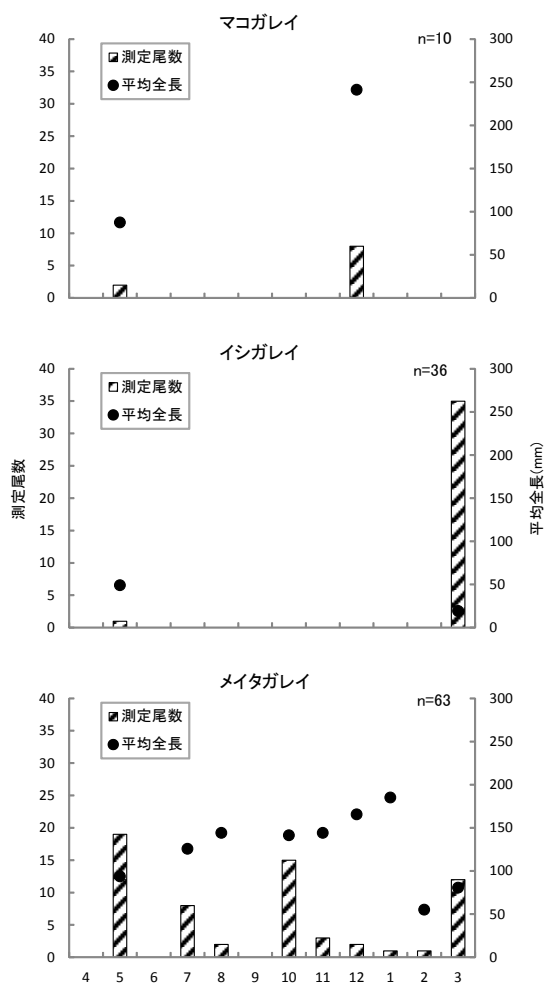


図 5 採集調査における魚種別測定尾数および平均全長の推移

めていない消化物のみの個体もあった。二枚貝の捕食が認められたのは、全20個体中12個体（60％）で、空胃の個体は8個体（40％）だった。胃内容物の中で最も重量が多かったのは、8月20日に採捕された雄個体（体盤幅長78.6cm、6.7kg）で、その湿重量は79gとなり、体重の約1.2％に相当する二枚貝類を捕食していた。これらのように、本種は有用種を含む二枚貝類を選択的に捕食し、その捕食圧も高いことから、本県における食害の影響は

極めて深刻であると推察された。

3. 標識放流調査

調査期間中、計17個体のナルトビエイを捕獲した。標識付けした個体の平均体盤幅長及び平均重量は、雄は体盤幅長75.8cm、体重9.2kg、雌は86.8cm、体重9.2kgであった。標識放流放流後、関係機関、漁協にポスターを配布し、再捕報告を依頼した。

調査月		全体			雄			雌		
5月8日	尾数	平均体盤幅長(cm)	平均重量(kg)		尾数	平均体盤幅長(cm)	平均重量(kg)	尾数	平均体盤幅長(cm)	平均重量(kg)
*6月11日	97	79.7±8.8	7.6±3.4		71	77.3±6.6	6.7±1.7	26	86.3±11.5	10.2±5.1
7月29日	3	101.7±22.5	20.0±9.9		-	-	-	3	101.7±22.5	20.0±9.9
8月20日					捕獲されず					
9月12日、30日	3	79.0±1.0	7.5±0.8		3	79.0±1.0	7.5±0.8	-	-	-
10月15日	17	84.2±14.9	9.3±3.9		4	75.8±14.3	9.2±0.5	13	86.8±14.6	9.2±4.7
*駆除事業にて測定										

表1 捕獲されたナルトビエイの平均体盤幅長および重量

表2 捕獲されたナルトビエイの胃内容物の状況

和名	検体1			検体2			検体3			検体4			検体5		
	体盤幅長 (cm)	111.6		体盤幅長 (cm)	118.7		体盤幅長 (cm)	76.0		体盤幅長 (cm)	90.0		体盤幅長 (cm)	70.1	
	体重 (kg)	23.0		体重 (kg)	28.0		体重 (kg)	9.0		体重 (kg)	11.7		体重 (kg)	4.7	
	重量あたり湿重量	0.10		重量あたり湿重量	0.00		重量あたり湿重量	0.80		重量あたり湿重量	0.00		重量あたり湿重量	0.00	
	個体数	湿重量	消化状況	個体数	湿重量	消化状況	個体数	湿重量	消化状況	個体数	湿重量	消化状況	個体数	湿重量	消化状況
アカニシ															
腹足綱															
フネガイ科															
アサリ															
マルスダレガイ科	12	23.6	2				23	72.2	2						
バカガイ															
マテガイ															
二枚貝綱															
ホヤ綱															
検体別合計	12	23.6		空胃			23	72.2		空胃			空胃		

和名	検体6			検体7			検体8			検体9			検体10		
	体盤幅長 (cm)	70.5		体盤幅長 (cm)	80.9		体盤幅長 (cm)	65.4		体盤幅長 (cm)	75.0		体盤幅長 (cm)	80.9	
	体重 (kg)	5.3		体重 (kg)	6.5		体重 (kg)	3.4		体重 (kg)	5.4		体重 (kg)	6.9	
	重量あたり湿重量	0.15		重量あたり湿重量	0.00		重量あたり湿重量	0.00		重量あたり湿重量	0.65		重量あたり湿重量	0.55	
	個体数	湿重量	消化状況	個体数	湿重量	消化状況	個体数	湿重量	消化状況	個体数	湿重量	消化状況	個体数	湿重量	消化状況
アカニシ															
腹足綱															
フネガイ科															
アサリ										+	0.7	3	2	0.8	2
マルスダレガイ科	14	7.8	2												
バカガイ															
マテガイ										+	26.3	3	28	37.3	2
二枚貝綱															
ホヤ綱										+	8.1	3			
検体別合計	14	7.8		空胃			空胃				35.1		30	38.1	

和名	検体11			検体12			検体13			検体14			検体15		
	体盤幅長 (cm)	74.1		体盤幅長 (cm)	81.3		体盤幅長 (cm)	83.4		体盤幅長 (cm)	79.4		体盤幅長 (cm)	78.6	
	体重 (kg)	5.8		体重 (kg)	7.6		体重 (kg)	7.2		体重 (kg)	7.5		体重 (kg)	6.7	
	重量あたり湿重量	0.00		重量あたり湿重量	0.00		重量あたり湿重量	1.06		重量あたり湿重量	0.00		重量あたり湿重量	1.18	
	個体数	湿重量	消化状況	個体数	湿重量	消化状況	個体数	湿重量	消化状況	個体数	湿重量	消化状況	個体数	湿重量	消化状況
アカニシ				4	0.04	4									
腹足綱															
フネガイ科															
アサリ							1	0.4	2				1	1.2	2
マルスダレガイ科															
バカガイ															
マテガイ							43	67.7	2				18	38.4	2
二枚貝綱							10	7.6	2						
ホヤ綱													+	39.5	3
検体別合計				4	0	4	54	76		空胃			19	79	7

和名	検体16			検体17			検体18			検体19			検体20		
	体盤幅長 (cm)	80.1		体盤幅長 (cm)	70.5		体盤幅長 (cm)	88.4		体盤幅長 (cm)	81.9		体盤幅長 (cm)	97.5	
	体重 (kg)	8.2		体重 (kg)	4.8		体重 (kg)	9.5		体重 (kg)	8.7		体重 (kg)	14.2	
	重量あたり湿重量	0.10		重量あたり湿重量	0.00		重量あたり湿重量	0.62		重量あたり湿重量	0.16		重量あたり湿重量	0.03	
	個体数	湿重量	消化状況	個体数	湿重量	消化状況	個体数	湿重量	消化状況	個体数	湿重量	消化状況	個体数	湿重量	消化状況
アカニシ	111	7.79	3												
腹足綱	16	0.16	4												
フネガイ科															
アサリ															
マルスダレガイ科										+	0.71	3	29	3.56	3
バカガイ															
マテガイ							29	58.50	2	+	13.48	3			
二枚貝綱															
ホヤ綱															
検体別合計	127	8	7	空胃			29	59			14		29	4	

注1：個体数の＋は計数不能を示す。
注2：“空胃”は試料中に胃が含まれていなかった場合も含む。
消化状況
1：あまり消化されていない。軟体部は外形・肉質とも未消化のものに近い。
2：やや消化がすすむ。軟体部の外形は保持されているが、肉質はもろくなり始めている。

広域発生赤潮共同予知調査

－瀬戸内海西部広域共同調査－

尾田 成幸・大形 拓路

周防灘西部に位置する豊前海では*Karenia mikimotoi*をはじめとした有害赤潮がたびたび発生し漁業被害を引き起こしており¹⁾、赤潮の発生過程の把握や初期発生域の特定が急務となっている。

周防灘ではこれまで、有害プランクトンの初期発生から増殖、消滅に至るまでの全容を把握することを目的とし、水産庁の委託を受け山口、福岡、大分の3県で共同調査を実施してきたところであるが、近年は周防灘で発生した*K. mikimotoi*赤潮が響灘や豊後水道周辺海域まで移流、拡散し^{2,3)}漁業被害を引き起こす事例が発生している。このため、平成21年度より広島、愛媛、山口、福岡、大分、宮崎の6県7機関で共同調査を開始し、さらに平成25年度からは愛媛大学と瀬戸内海区水産研究所も加わり、有害種の発生状況をモニタリングするとともに、その要因についても総合的に解析することとなった。

方 法

1. モニタリング調査(各県)

調査水域は、図1に示す瀬戸内海西部海域の48点(うち周防灘の代表点3点(Stn. Y3, F11, O13)を含む)とし、平成25年6月から8月までの間に、原則として周防灘は計4回、豊後水道は計5回行った。

対象プランクトンは*K. mikimotoi*, *Cochlodinium polykrikoides*, *Heterocapsa circularisquama*, *Chattonella*

antiqua+marina, *Heterosigma akashiwo*とし、周防灘では各定点の上層(0.5m), 5m層, 10m層(Stn. F9, O15, O16のみ), 底層(底上1m)から、豊後水道では各定点の上層(0.5m), 10m層から海水を採取し、生試料1mlを計数し出現密度を算出した。また、環境調査として水温、塩分、溶存酸素飽和度、透明度等を測定し、代表点では各採水層におけるDIN, PO₄-P, Chl-*a*量、及び全珪藻細胞密度を測定、計数した。

2. カレニア・ミキモトイ高感度調査(各県、愛媛大学)

平成24年度(前年度)夏季に当該海域で過去最大規模の甚大な漁業被害を出した原因有害プランクトンである*Karenia mikimotoi*の監視体制強化のため、遺伝子検出法を用いた高精度検出を実施した。図1に示す海域の計48点の調査定点の内、各県1～2点について、表1及び表2に示すとおり、モニタリング調査時及びモニタリング調査に先立ち遺伝子検査用に海水1Lを5μmのメンブレンフィルター(Millipore JMWPO4700)で濃縮濾過し、フィルター上に残った試料をフィルターと共に凍結保存した。その後、愛媛大学南予水産研究センターにて、フィルター試料を解凍し、速やかにビーズ粉砕によりホモジナイズ

表 1 調査項目

	海 域	調査機関	モニタリング調査	高感度監視調査
調査定点数	周防灘	山口県	4	1
		福岡県	8	1
		大分県(浅海)	5	1
	広島湾	広島県	7	－
		大分県(上浦)	9	2
	豊後水道・別府湾	宮崎県	3	－
		愛媛県	12	1
合 計		48	6	
採水層	周防灘	山口県	0m、5m、10m ^(※1) 、B-1m	0m、5m、B-1m
		福岡県		
		大分県(浅海)		
	広島湾	広島県	0m、10m	0m、10m
		大分県(上浦)		
	豊後水道・別府湾	宮崎県		
	愛媛県			
調査項目	水温		○	○
	塩分		○	○
	DO		○	○
	栄養塩		○	○(※3)
	有害種赤潮計数		○	○
	珪藻類計数		○	○
	クロロフィル極大層採水	○(※2)	－	－
	クロロフィル極大層有害赤潮検鏡	○(※2)	－	－
	海水濃縮(100～1,000倍)	－	－	○(※4)
	濃縮海水有害赤潮検鏡	－	－	○(※4)
濃縮赤潮送付	－	－	○(※4)	

(※1) 一部の定點について実施。

(※2) クロロフィル保有機関が実施。極大層が観測されない定點については不要。

(※3) 1～2月の調査結果は除く。

(※4) フィルターにて濃縮、フィルターを冷凍して愛媛大学南予水産研究センターに送付して分析。

表2 調査日程

調査名	海 域	調査機関	5月			6月			7月			8月			1月	合計 調査回数
			上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬		
モニタリング 調査	周防灘	山口県						6/27	7/5	7/11	7/25					4
		福岡県						6/20	7/2	7/11	7/23	8/1		8/21		6
		大分県(浅海)				6/17		7/1	7/11	7/26	8/5	8/19				6
	広島湾	広島県				6/17			7/11	7/22	8/8	8/15	8/26			6
		大分県(上浦)						6/28	7/12	7/18	7/26	8/1				5
		豊後水道・別府湾						6/24	7/8	7/16	7/29	8/9				5
高感度監視 調査	周防灘	山口県				6/5		6/27	7/5			8/2			1/14	5
		福岡県		5/20	5/31	6/20		7/2			8/1				1/7	6
		大分県(浅海)			5/21	6/4	6/17	7/1			8/5				1/7	6
	豊後水道・別府湾	大分県(上浦)			5/31			6/28	7/12	7/18	7/26	8/1			1/15	7
		愛媛県			5/21			6/24	7/11	7/18	7/30	8/19			1/8	7
		山口県				6/5		6/27	7/5			8/2			1/14	5

ズした。さらに、DNeasy Plant Mini Kit (QIAGEN, 69106) を用いてDNAを抽出した。DNAの検出定量は、PCR法及びLAMP法を用いて行った。PCR法には、*K. mikimotoi*, *Cochlodinium polykrikoides*, *Chattonella* spp., *Heterosigma akashiwo*の遺伝子をそれぞれ特異的に識別するプライマーと蛍光プローブ (Taqmanプローブ) を作成し、マルチプレックス検出可能なリアルタイムPCR機 (バイオ・ラッド, CFX96) を用いて解析した。LAMP法も同様に前記4種の赤潮プランクトンをそれぞれ識別するプライマーを作成し、リアルタイム濁度測定装置 (栄研科学, Loop ampEXIA) を用いて解析した。PCR法で得られた数値は、既知の細胞数を測定して得られた値を元に細胞数へと変換し、データとして利用した。

3. 当該年度結果の解析及び考察

以上のように取得したデータに基づいて、瀬戸内海西部・豊後水道海域における有害赤潮発生・非発生と気象条件・海洋環境との関係を考察するために、当該年度の気象条件や海洋環境の平年値との比較を行うとともに、鉛直安定度や分布指標と赤潮発生状況との関係を検証した。

4. 既存データ等を用いた解析 (愛媛大学, 瀬戸内水研)

大規模な*K. mikimotoi*赤潮が発生した平成24年夏季の発生状況について、人工衛星Aqua/MODISで観測された光合成有効放射照度や宇和海沿岸の水温変化と比較し、その大規模化に寄与した環境要因を検討した。また、過去の*K. mikimotoi*赤潮発生状況と気象条件との関係を明らかにするために、昭和48年以降の全天日射量データと瀬戸内海西部海域の赤潮発生状況を比較した。

結果及び考察

1. モニタリング調査 (各県)

1) 有害プランクトンの出現状況

・*Karenia mikimotoi* (図2, 6)

(周防灘) 7月中旬から8月上旬にかけて、一部の定点で1.0cells/mlの低密度で確認されたのみであった。

(広島湾) 7月中旬に最大4.0cells/ml確認され、8月中旬に最大173.0cells/mlを観測したが、その後の増殖は確認されなかった。

(豊後水道・別府湾) 7月下旬から8月上旬にかけて、別府湾と愛媛県海域の一部で1.0cells/mlの低密度で確認されたのみであった。

・*Cochlodinium polykrikoides* (図3, 6)

(周防灘) 7月上旬に0.2 cells/ml確認され、8月上旬に最大13.0cells/mlを観測したが、その後の増殖は確認されなかった。

(広島湾) 確認されなかった。

(豊後水道・別府湾) 7月中旬に別府湾で1.0cells/ml認められたのみであった。

・*Chattonella* spp. (*antiqua* + *marina*) (図4, 6)

(周防灘) 6月下旬に最大3.0 cells/ml確認され、7月上旬に灘中央部において最大29.0cells/mlを観測したがその後減少し、7月下旬以降は確認されなかった。

(広島湾) 7月中旬に最大4.0cells/ml確認され、8月中旬に最大55.0cells/mlを観測したが、8月下旬には確認されなかった。

(豊後水道・別府湾) 6月中旬に別府湾で1.0cells/mlの低密度で確認されたのみであった。

・*Heterosigma akashiwo* (図5, 6)

(周防灘) 6月中旬に南部沿岸の1定点で26.0cells/mlが確認されたのみであった。

(広島湾) 6月中旬に最大で2.0cells/ml、7月中旬に1.0 cells/mlが確認されたのみであった。

(豊後水道・別府湾) 6月下旬から8月上旬にかけて、宮崎県から豊後水道大分県海域において1~8cells/mlの低濃度で確認されたのみであった。

2) 珪藻類の出現状況 (図7)

周防灘海域 (代表点Y3, F11, O13) で1~2,908cells/ml、広島湾海域 (全点) で70~11,300cells/ml、豊後水道・別府湾海域 (代表点O3, O9, E4, E9及びM1~3) で1~7,000cells/mlの範囲で確認された。鉛直平均値は、周防灘海域では7月上旬と8月におよそ1,000cells/mlのピークを示し、広島湾海域では6月中旬から8月中旬まで1,000cells/ml以上で推移し、豊後水道・別府湾海域では7月中旬と8月上旬におよそ1,000 cells/mlのピークを示した。各海域とも8月上旬以降、細胞数が減少し、8月中・下旬は調査期間中最低の出現数となった。

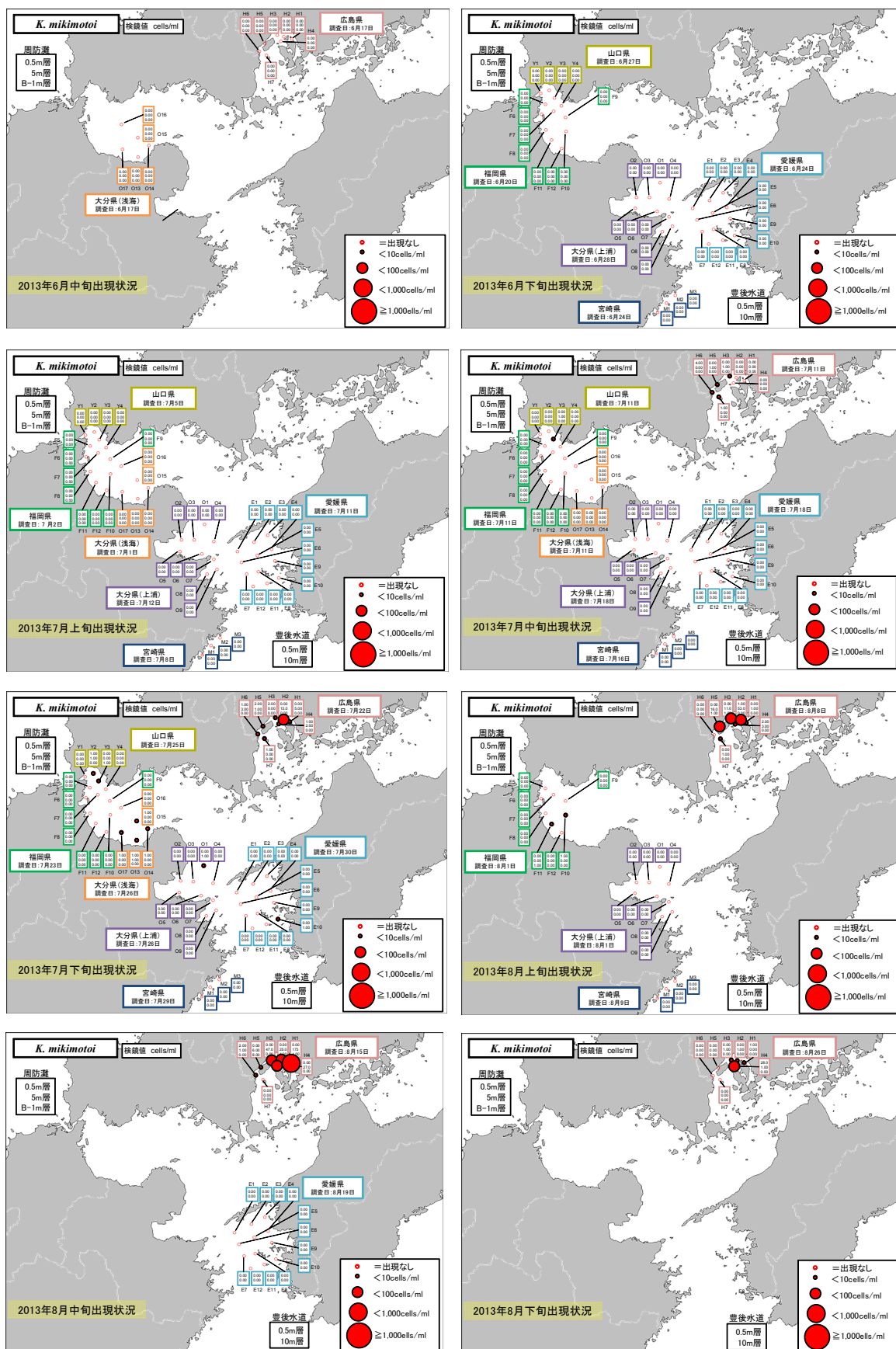


図2 *Karenia mikimotoi* 旬別分布状況

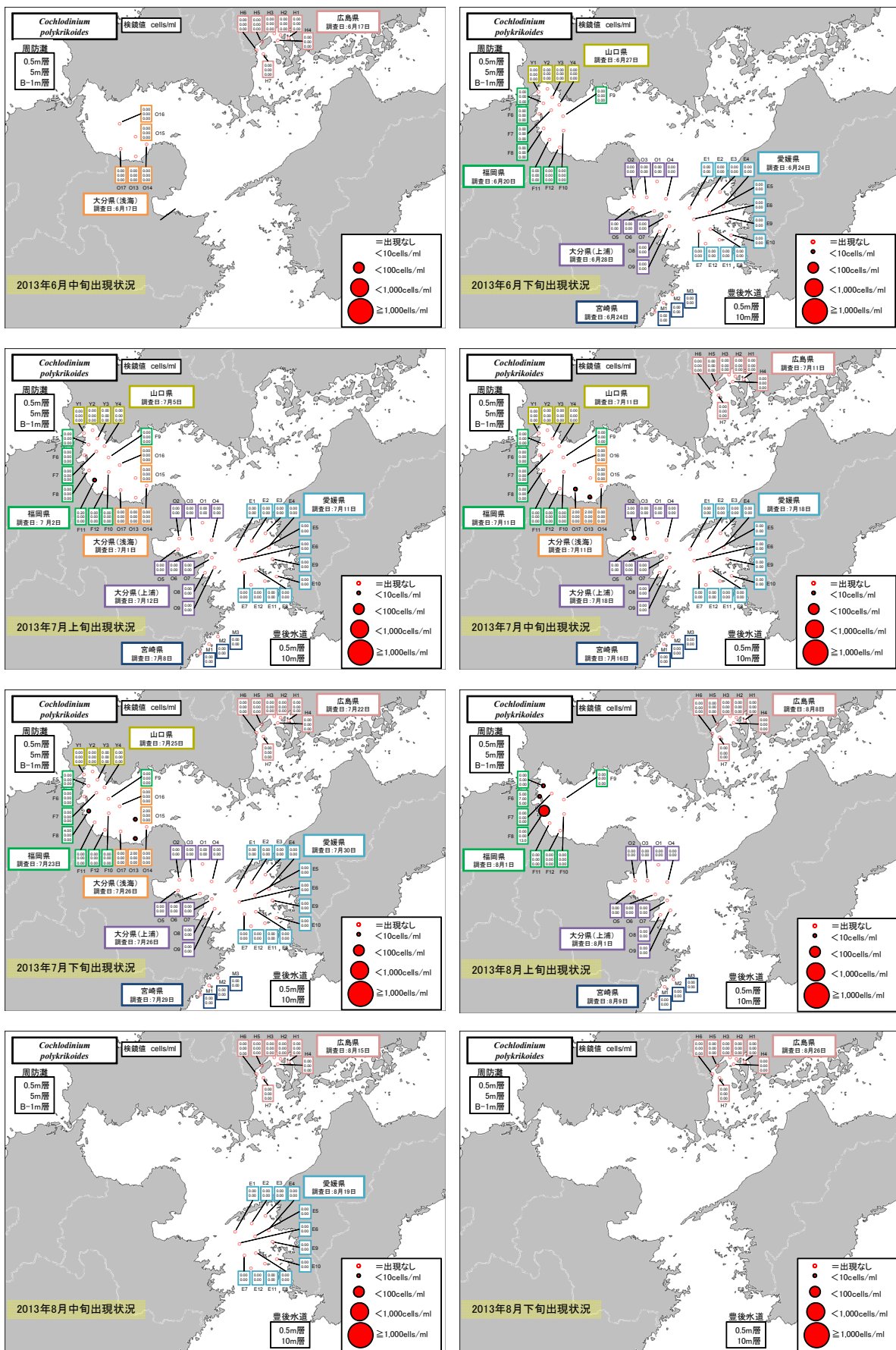


図3 *Cochlodinium polykrikoides* 旬別分布状況

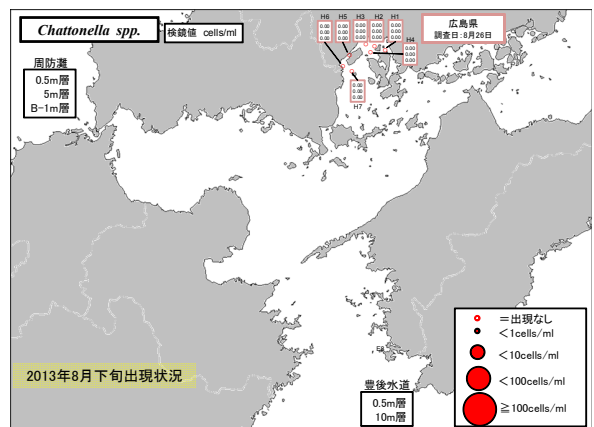
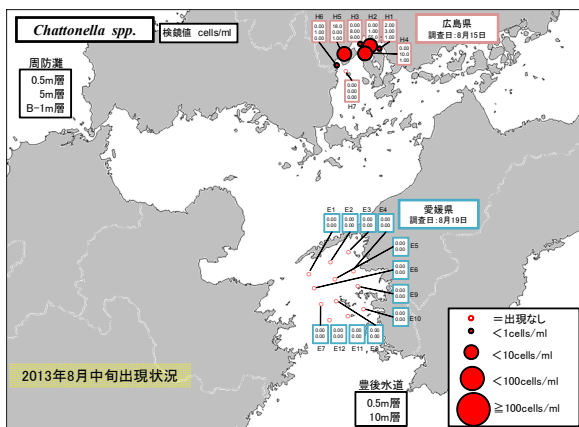
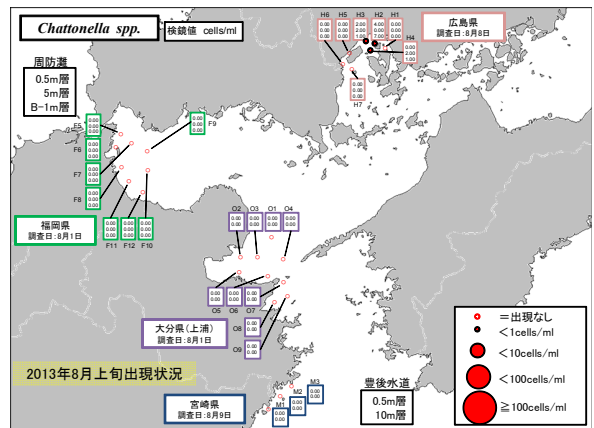
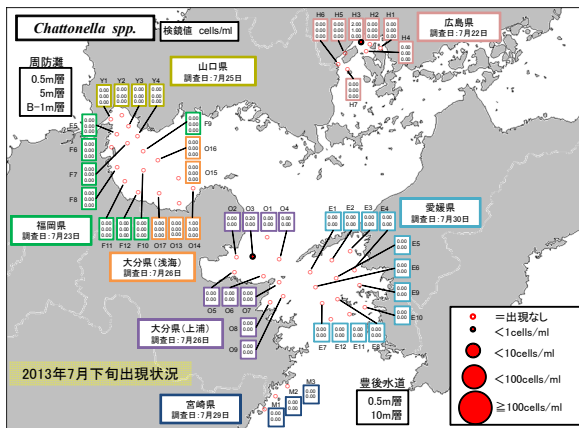
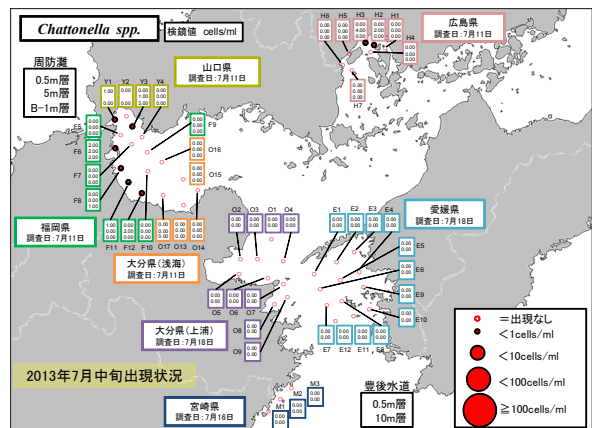
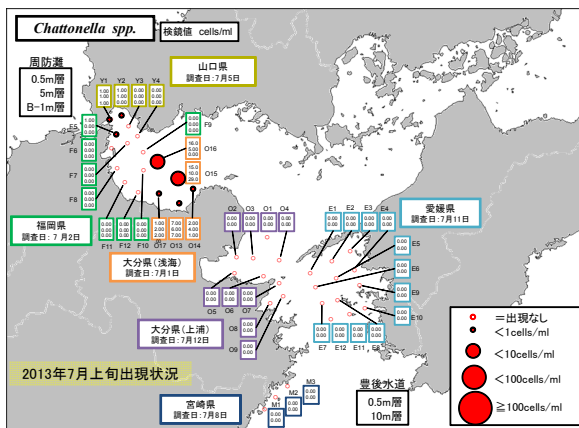
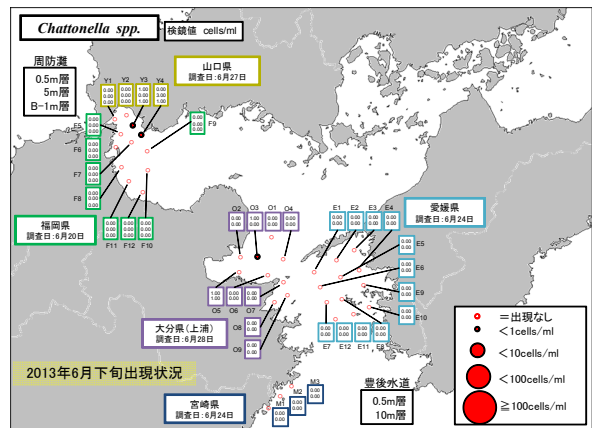
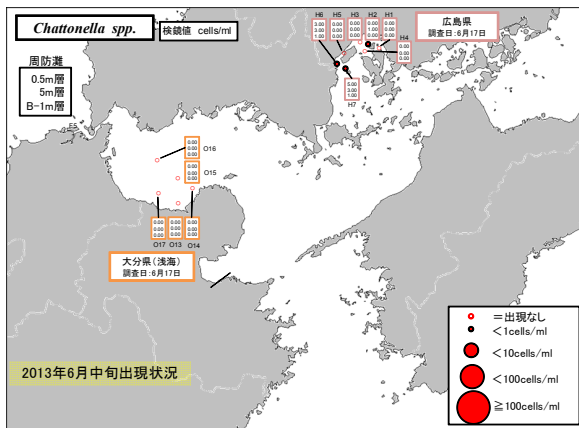


図 4 *Chattonella* spp. 旬別分布状況

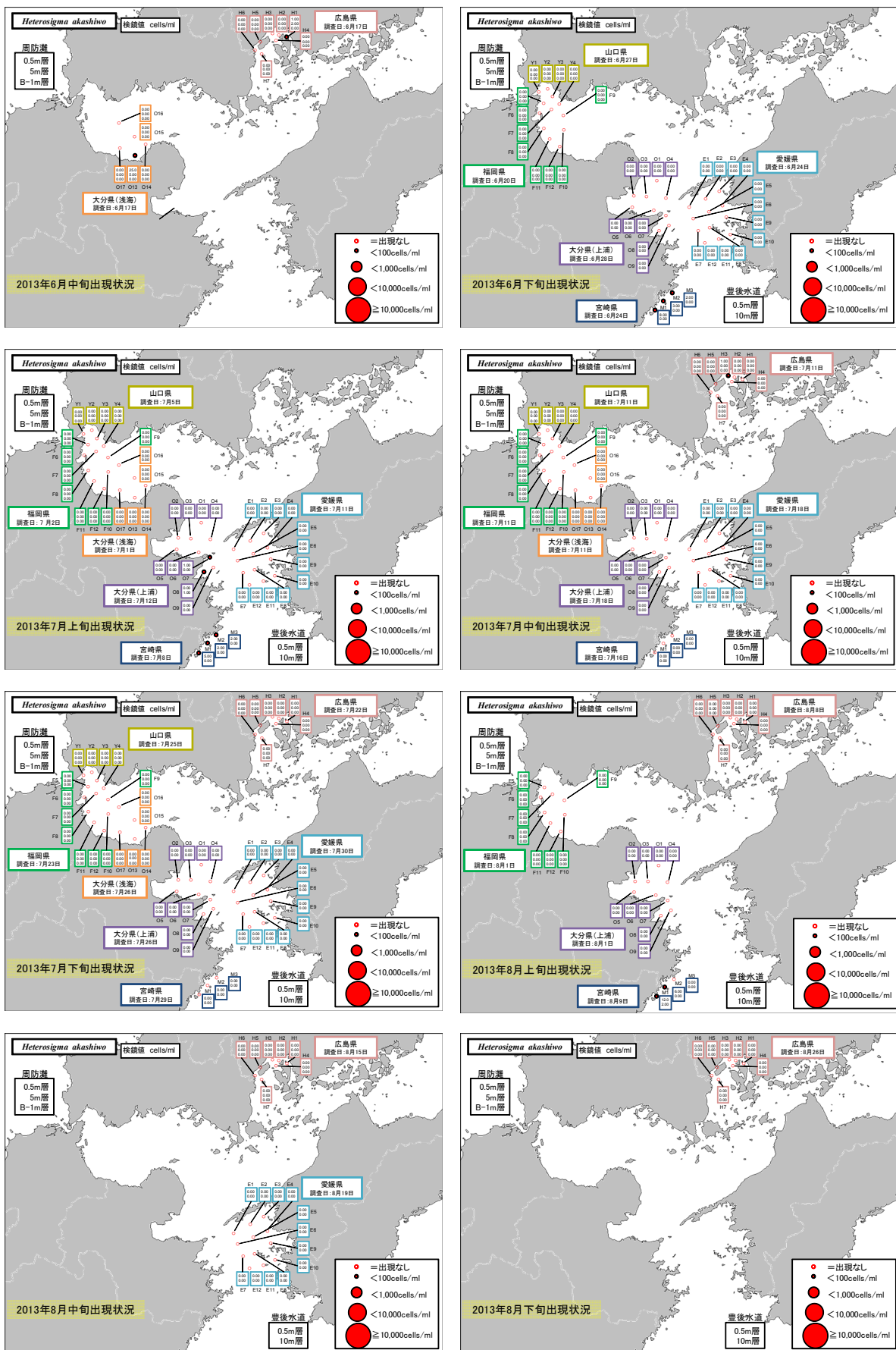


図5 *Heterosigma akashiwo* 旬別分布状況

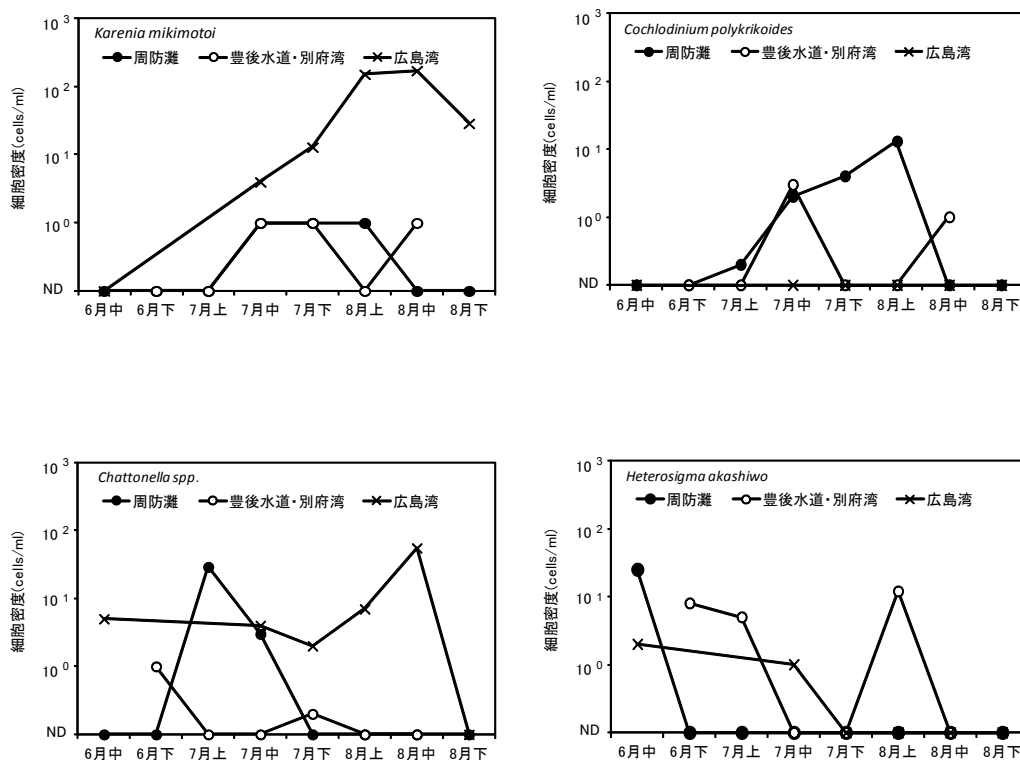


図 6 有害プランクトンの海域別最高細胞密度の推移

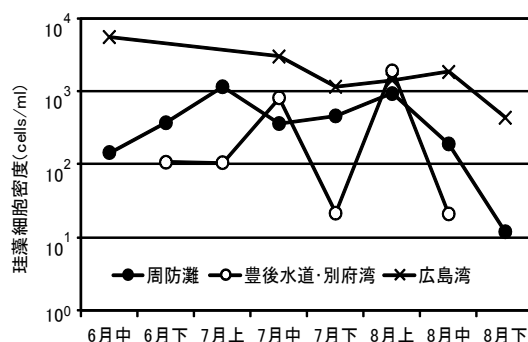


図 7 各海域における全珪藻細胞密度(鉛直平均値)の推移

3) 環境

・水温

周防灘及び広島湾の5m層ではそれぞれ19.7～30.0℃と18.7～26.7℃, 豊後水道・別府湾の10m層では18.9～27.3℃の範囲で観測された。全点平均値は, 周防灘及び広島湾では7月上旬までは横ばいで, その後著しい上昇傾向を示した。豊後水道・別府湾では7月中旬にかけて横ばいで推移し, その後上昇傾向を示したが, 7月中旬以降は前年に比較して低めで推移した。また, 調査期間中, 周防灘の水温は, 広島湾及び別府湾・豊後水道に比較して2～4℃高い傾向がみられた(図8)。

・塩分

周防灘及び広島湾の5m層ではそれぞれ, 28.7～33.0と29.8～32.9, 豊後水道・別府湾の10m層では32.5～34.3の範囲で観測された。全点平均値の推移によると, 周防灘及び広島湾では7月上旬から中旬にかけて塩分濃度31を下回る値が観測された。豊後水道・別府湾では塩分変動幅は小さく33～34の値であった(図9)。

・栄養塩

DINは, 周防灘代表点では山口県海域(定点Y3)で0.0～4.6 μ M, 福岡県海域(同F11)で0.1～2.4 μ M, 大分県海域(同O13)で0.2～9.1 μ M, 広島湾では0.0～31.2 μ M,

豊後水道・別府湾では大分県海域で $0.0 \sim 1.25 \mu\text{M}$ 、宮崎県海域で $0.0 \sim 2.7 \mu\text{M}$ 、愛媛県海域で $0.1 \sim 3.3 \mu\text{M}$ の範囲で観測された。周防灘南部沿岸の定点017では8月中旬に、広島湾奥の定点H2では6月下旬～7月中旬に、局地的に高い値が観測された。鉛直平均値の推移をみると、周防灘と豊後水道・別府湾海域では、 $2 \mu\text{M}$ 以下で推移し、広島湾では6月下旬から7月中旬まで $5 \mu\text{M}$ 程度とやや高い値であったが、7月下旬以降は、 $2 \mu\text{M}$ 以下で推移した（図10）。

$\text{PO}_4\text{-P}$ は、周防灘代表点では山口県海域（定点Y3）はND（ < 0.01 ） $\sim 0.30 \mu\text{M}$ 、福岡県海域（同F11）はND（ < 0.01 ） $\sim 0.13 \mu\text{M}$ 、大分県海域（同O13）は $0.05 \sim 0.33 \mu\text{M}$ の範囲で観測され、広島湾では、 $0.02 \sim 1.43 \mu\text{M}$ 、豊後水道・別府湾では、大分県海域で $0.02 \sim 0.21 \mu\text{M}$ 、宮崎県海域で $0.03 \sim 0.33 \mu\text{M}$ 、愛媛県海域でND（ < 0.01 ） $\sim 0.12 \mu\text{M}$ の範囲で観測された（図11）。

・周防灘及び広島湾における鉛直安定度

山口県海域では $0.1 \sim 27.4 (\times 10^{-5})$ 、福岡県海域では

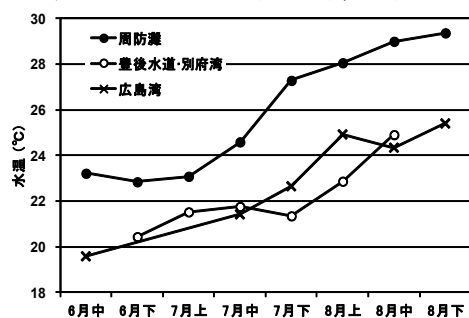


図8 海域別中層水温の推移

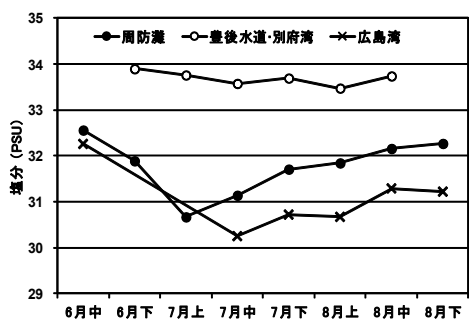


図9 海域別中層塩分の推移

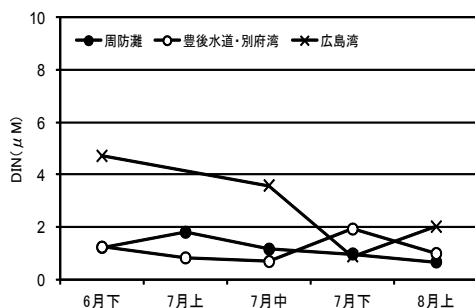


図10 海域別DIN濃度鉛直平均値の推移

$2.3 \sim 41.0 (\times 10^{-5})$ 、大分県海域では $9.1 \sim 38.4 (\times 10^{-5})$ 、広島湾では $8.2 \sim 106.2 (\times 10^{-5})$ の範囲であった。海域別の全点平均値は、周防灘海域では、20前後の値で推移したが、8月上旬には低い値を示した。広島湾では、7月中旬から8月下旬に60前後の高い値を示したが、その他の時期は40前後で推移した（図12）。

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

・周防灘及び広島湾底層における溶存酸素飽和度と濃度

溶存酸素濃度の最低値は、山口県海域では $4.3 \sim 5.5 \text{ ml/l}$ 、

福岡県海域では $1.4 \sim 5.4 \text{ ml/l}$ 、大分県海域では $1.8 \sim 5.6 \text{ ml/l}$ 、広島湾では $1.4 \sim 10.5 \text{ ml/l}$ の範囲で観測された。本年度は、灘南西部海域において著しく低い値が観測された（図13）。貧酸素とされる溶存酸素濃度 2.5 ml/l は、山口県海域以外の海域で7月の中旬から8月の下旬にかけて周防灘西部と広島湾の湾奥部で観測された。

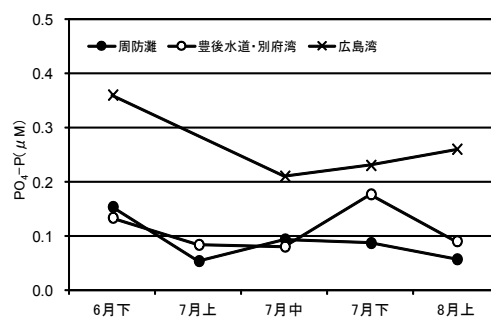


図11 海域別 $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度鉛直平均値の推移

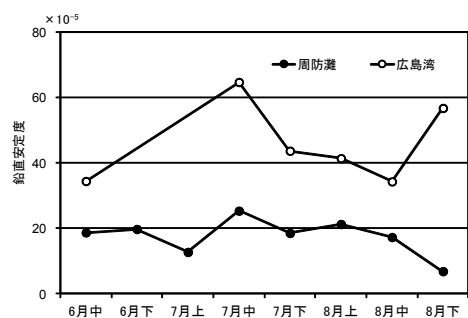


図12 周防灘及び広島湾における鉛直安定度の推移

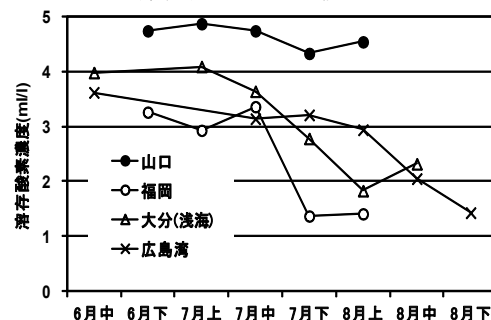


図13 周防灘及び広島湾における底層溶存酸素濃度最低値の推移

・行橋市、広島市及び宇和島市の気象観測点における降水量と日照時間

気象庁気象統計情報電子閲覧サイト⁴⁾から得た福岡県行橋市と愛媛県宇和島市及び広島市における降水量と日照時間の旬別積算値の推移を図14に示した。6月及び7月の降水量は行橋市が平年の119%及び56%, 広島市が平年の134%及び68%, 宇和島市が67%及び23%であり, 6月は周防灘及び広島湾海域では平年に比較してやや多く, 豊後水道海域では平年に比較して少なかったが, 7月は3海域ともに平年を大きく下回った。日照時間は, 3海域とも

6月は平年を下回り (67~87%), 7月は平年を上回った (114~131%)。

2. カレニア・ミキモトイ高感度調査 (各県、愛媛大学)

表2に示すとおり, 5月~8月及び1月にモニタリング調査を実施した。

採取したサンプルは約2週間以内に解析を行い, 結果を各機関へ通知した。表3に各海域のモニタリング調査結果と高感度検出状況を纏めた (測定値は定点中最も高い値を記載)。実海域で採取された全ての定点サンプルにおいて, 良好な測定結果が得られた。各定点において, *K. mikimotoi*, *C. polykrikoides*, *Chattonella* spp., および *H. akashiwo* が時期特異的に検出され, 特に, 検鏡計数では確認できない赤潮発生前の5月中旬から6月中旬, および冬期の1月における調査において, 各プランクトンの存在を確認した。測定期間全体を通じて, 高感度検出値の出現及び分布・分散に検鏡計数と同様の傾向が認められた。また, 検鏡計数よりもはるかに高感度に低密度のプランクトンを検出できたことから, 長期及び中期的な予測を行う上での, 本調査の有効性が示された。

検鏡計数と高感度検出 (PCR値) を比べた結果, 高感度検出 (PCR値) のみで確認された件数は, *K. mikimotoi* 56件, *C. polykrikoides* 18件, *Chattonella* spp. 36件, *H. akashiwo* 84件である。逆に, 検鏡計数で認められたが, 高感度検出 (PCR値) で認められなかった件数は, *K. mikimotoi* 1件, *C. polykrikoides* 3件, *Chattonella* spp. 3件, *H. akashiwo* 0件であったことから, 高感度監視調査の検出力の高さが示された。また, 豊後水道域においては *H. akashiwo* が, 周防灘においては *Chattonella* spp. の細胞が継続して確認され, 当該海域において赤潮発生の潜在的な危険性が示唆された。さらに, 1月の調査においても, 山口県, 福岡県, 大分県, 愛媛県の各定点で *K. mikimotoi* が確認されたことから, 平成26年度の越冬細胞の多さが明らかとなり, 今後の *K. mikimotoi* の赤潮発生について注視する必要性が強く支持された。

3. 当該年度結果の解析及び考察 (全機関)

調査期間中, 調査海域の沿岸部において, *K. mikimotoi* 赤潮2件, *C. polykrikoides* 赤潮5件, *Chattonella* spp. 赤潮3件, *H. akashiwo* 赤潮9件が発生し, 漁業被害は, 4月下旬から5月下旬に *C. polykrikoides* 赤潮で愛媛県と大分県, 5月下旬に *H. akashiwo* 赤潮で福岡県, 7月中旬から8月中旬に *K. mikimotoi* 赤潮で大分県に発生した。

各赤潮プランクトンの出現状況を表4に示す。沿岸部で

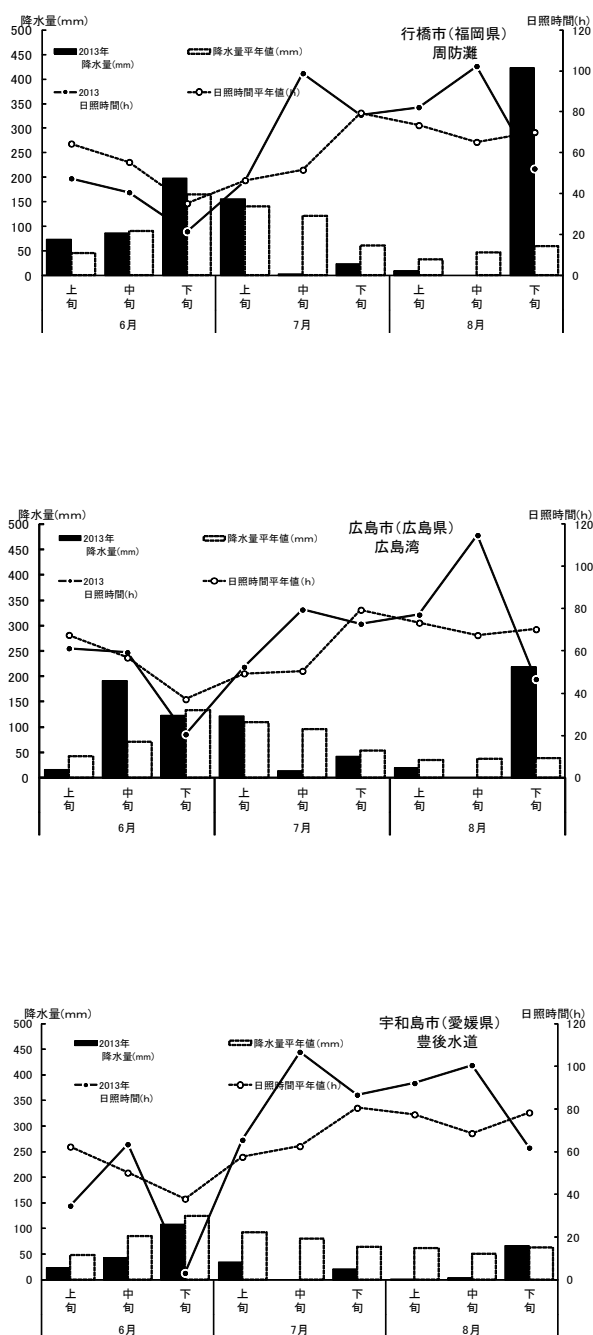


図14 平成25(2013)年夏季の降水量と日照時間の推移

表3 カレニア・ミキモトイ高感度調査結果

Karenia mikimotoi																
調査名	海域	担当県	5月			6月			7月			8月			1月	(単位)
			上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬		
モニタリング調査	周防灘	山口県						0.0	0.0	1.0	1.0				モニタリング定点 検鏡計数 (cells/ml)	
		福岡県						0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0		
	豊後水道・別府湾	大分県(浅海)					0.0		0.0	0.0	1.0	0.0	0.0			
		大分県(上浦)						0.0	0.0	1.0	0.0	0.0				
高感度監視調査	周防灘	山口県				0.00		0.00	0.00			0.00		0.00	高感度定点 検鏡計数 (cells/ml)	
						0.0196		0.0107	0.0156			0.0162		0.1960		
		福岡県			0.00	0.00	0.00					0.02		0.02		
				0.0000	0.0772		0.0000		0.0000			0.1287		0.0150		
	豊後水道・別府湾	大分県(浅海)			0.00	0.00		0.00			0.00			0.0020	PCR検出値 (cells/ml)	
					0.0000	0.0000	0.0000		0.0000			0.0000		0.0736		
		大分県(上浦)			0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			0.00		
					0.0065			0.0006	0.0027	0.0100	0.1365	0.0000		0.0016		
愛媛県	大分県(上浦)			0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			0.00	LAMP法 検出結果		
				0.00												
	愛媛県			0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
				0.0031		0.0211	0.0197	0.1038	0.5650		0.0363		0.0083			
Cochlodinium polykrikoides																
調査名	海域	担当県	5月			6月			7月			8月			1月	(単位)
			上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬		
モニタリング調査	周防灘	山口県						0.0	0.0	0.0	0.0				モニタリング定点 検鏡計数 (cells/ml)	
		福岡県						0.0	0.2	0.0	4.0	13.0		0.0		
	豊後水道・別府湾	大分県(浅海)					0.0		0.0	2.0	2.0	0.0	0.0			
		大分県(上浦)						0.0	0.0	3.0	0.0	0.0				
高感度監視調査	周防灘	山口県				0.00		0.00	0.00			0.00		0.00	高感度定点 検鏡計数 (cells/ml)	
						0.0008		0.0001	0.0001			0.0005		0.0000		
		福岡県			0.00	0.00	0.00		0.20			0.00		0.00		
				0.0000	0.0000		0.0000		0.0001			0.0153		0.0000		
	豊後水道・別府湾	大分県(浅海)			0.00	0.00		0.00			0.00			0.00	PCR検出値 (cells/ml)	
					0.0008	0.0000	0.0000		0.0000			0.0000		0.0000		
		大分県(上浦)			0.00		0.00	0.02	0.02	0.02	0.00			0.00		
					0.0000		0.0000	0.0000	0.0001	0.0007	0.0000			0.0149		
愛媛県	大分県(上浦)			0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			0.00	LAMP法 検出結果		
				0.0000									+			
	愛媛県			0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00			
				0.0024		0.0030	0.0000	0.0000	0.0000		0.0017		0.0000			
Chattonella spp.																
調査名	海域	担当県	5月			6月			7月			8月			1月	(単位)
			上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬		
モニタリング調査	周防灘	山口県						3.0	1.0	3.0	0.0				モニタリング定点 検鏡計数 (cells/ml)	
		福岡県						1.0	1.0	2.0	0.0	0.0		0.0		
	豊後水道・別府湾	大分県(浅海)					0.0		29.0	0.0	0.0	0.0	0.0			
		大分県(上浦)						1.0	0.0	0.0	0.2	0.0				
高感度監視調査	周防灘	山口県				0.00		1.00	0.00			0.00		0.00	高感度定点 検鏡計数 (cells/ml)	
						0.0025		1.5911	0.5397			0.0773		0.0090		
		福岡県			0.00	0.00	1.00		0.00		0.00		0.01			
				0.0352	0.0948		2.7997		0.2282			0.0168		0.0000		
	豊後水道・別府湾	大分県(浅海)			0.02	0.03	0.04		7.00			0.01		0.00		
					0.3194	0.2196	0.1252		0.4133			0.0056		0.0116		
		大分県(上浦)			0.00		0.15	0.01	0.01	0.10	0.00			0.00		
					0.0648			0.9683	0.0170	0.0154	0.1121	0.0000		0.0000		
愛媛県	大分県(上浦)			0.00		0.00	0.00	0.00	0.00				0.00	LAMP法 検出結果		
				0.0000		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000		0.0062		0.0000			
	愛媛県														+	
Heterosigma akashiwo																
調査名	海域	担当県	5月			6月			7月			8月			1月	(単位)
			上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬		
モニタリング調査	周防灘	山口県						0.0	0.0	0.0	0.0				モニタリング定点 検鏡計数 (cells/ml)	
		福岡県						0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0		
	豊後水道・別府湾	大分県(浅海)					25.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0			
		大分県(上浦)						0.0	1.0	0.0	0.0	0.0				
高感度監視調査	周防灘	山口県				1.00		0.00	0.00			0.00		0.00	高感度定点 検鏡計数 (cells/ml)	
						0.0299		0.0189	0.0042			0.0262		0.0015		
		福岡県			0.00	0.00	0.00		0.00		0.00		0.00			
				0.2782	0.0142		0.0185		0.0002			0.0004		0.0055		
	豊後水道・別府湾	大分県(浅海)			0.00	0.00	0.10		0.00		0.00		0.00	PCR検出値 (cells/ml)		
					0.0322	0.0029	0.0111		0.0000			0.0002			0.0022	
		大分県(上浦)			1.00			0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			0.00	
					0.0410			0.0052	0.0008	0.0008	0.0007	0.0001			0.0004	
愛媛県	大分県(上浦)			0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	LAMP法 検出結果			
				0.0141		0.0277	0.0500	0.0050	0.0080		0.0060			0.0018		
	愛媛県			+		+	+	+	+	+	+	+		+		
															+	

表4 有害赤潮プランクトンの出現状況

対象種	海域	担当県	6月			7月			8月		
			上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬
Karenia mikimotoi	周防灘	山口県			0.0	0.0	1.0	1.0			
		福岡県			0.0	0.0	0.0	0.0	1.0		0.0
		大分県(浅海)		0.0		0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	
	広島湾・ 豊後水道・ 別府湾	広島県		0.0			4.0	13.0	153.0	173.0	28.0
		大分県(上浦)			0.0	0.0	1.0	0.0	0.0		
		宮崎県			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
		愛媛県			0.0	0.0	0.0	1.0		0.0	
Cochlodinium polykrikoides	周防灘	山口県			0.0	0.0	0.0	0.0			
		福岡県			0.0	0.2	0.0	4.0	13.0		0.0
		大分県(浅海)		0.0		0.0	2.0	2.0	0.0	0.0	
	広島湾・ 豊後水道・ 別府湾	広島県		0.0			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		大分県(上浦)			0.0	0.0	3.0	0.0	0.0		
		宮崎県			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
		愛媛県			0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	
Chattonella spp.	周防灘	山口県			3.0	1.0	3.0	0.0			
		福岡県			1.0	1.0	2.0	0.0	0.0		0.0
		大分県(浅海)		0.0		29.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	広島湾・ 豊後水道・ 別府湾	広島県		5.0			4.0	2.0	7.0	55.0	0.0
		大分県(上浦)			1.0	0.0	0.0	0.2	0.0		
		宮崎県			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
		愛媛県			0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	
Heterosigma akashiwo	周防灘	山口県			0.0	0.0	0.0	0.0			
		福岡県			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0
		大分県(浅海)		25.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	広島湾・ 豊後水道・ 別府湾	広島県		2.0			1.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		大分県(上浦)			0.0	1.0	0.0	0.0	0.0		
		宮崎県			8.0	5.0	0.0	0.0	12.0		
		愛媛県			0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	
						細胞密度 (cells/ml)					
Karenia mikimotoi						0	<10	<100	>100		
Cochlodinium polykrikoides						0	<10	<100	>100		
Chattonella spp.						0	<1	<10	>100		
Heterosigma akashiwo						0	<100				

赤潮発生時、本調査定点においても、わずかに赤潮プランクトン数の増加が認められたが、平成24年度(2012年)の*K. mikimotoi*赤潮発生時のような、広範囲な分布は確認されなかった(図15)。

1) 気象条件と漁場環境

今年度は、昨年度と同様に、周防灘及び広島湾海域において6月中旬から7月上旬にまとまった降雨があり、同時期の日照量も平年を下回った。しかし、昨年度に比較してその割合は低く、これにより昨年度、周防灘において7月上旬から8月中旬まで長期にわたって継続した31を下回る低塩分環境が観測されず(図8)、また、鉛直安定度においても昨年度に比較して低い値で安定しており(図12)、貧酸素水塊の観測地点も昨年に比較少ないことから、今年度は成層の発達が弱かった。一方、豊後水道・別府湾海域では同時期、昨年をやや下回る降水量であったが日照量も含めほぼ平年並みで推移した。愛媛県水産研究センター地先の水温変動によると、今年度は昨年度に比較して7月には底入り潮の影響とみられる水温低下、8月以降は周期的に起こる急潮による水温上昇といった、黒潮系水の流入に伴う海水交換が活発であったことが示唆された。(図16)。

2) 珪藻細胞密度と有害プランクトン出現状況との関係

周防灘及び豊後水道・別府湾の代表点における全珪藻類の全点全層平均値と有害プランクトンの最高細胞密度の推移と、広島湾における全珪藻類の全点表層平均値と有害プランクトンの最高細胞密度の推移を調査海域別に図

17に示した。周防灘の全珪藻類は6月下旬から8月上旬まで400～1,000cells/mlの比較的高い値が継続し、降水量が多く日射量が不足した6月中においても大きく減少することなく優占していた、一方、有害赤潮プランクトンは珪藻類の増減に関わらず比較的低調に推移した。

広島湾の全珪藻類数は、8月中旬まで103cells/ml以上の高い値が継続し、*K. mikimotoi*と*Chattonella* spp.が、およそ102cells/mlに増殖した8月上旬から中旬にかけても珪藻類が優占した。

豊後水道愛媛県海域の全珪藻類数は、調査期間を通して20～1,800cells/mlと大きく変動したが、この変動は黒潮系水の流入によるものと考えられる。前述のとおり今年度は海水交換が良好で、日照量不足もなかったことから、珪藻類が優占したものと考えられた。

3) カレニア・ミキモトイの分布指標と最高細胞密度の関係

6～8月の最高細胞密度と分布指標(遊泳細胞が出現した定点数/全調査点数×100)が、周防灘の*K. mikimotoi*赤潮の発際予察指標となる可能性が平成22年度の本事業で報告されている。広域赤潮発生年(最高細胞密度1,000 cells/ml以上)である平成18年20年及び24年度について適用すると、平成18年と20年は、6月中下旬の最高細胞密度が10cell/ml以上で、かつ分布指標が75%以上であり、平成24年度は最高細胞密度44cells/ml、分布指標は58.8%であり、非広域発生年に比較していずれも高い値であった。今年度は広域発生がなく、6月中下旬の最高細胞密

される成層強化が本種の大増殖に影響したと考えられた。今年度は、栄養細胞が7月上旬まで確認されず、初観測された7月中旬には日射量強い日が続く、塩分低下が小さかったため昨年度に比べ鉛直安定度も小さかった。このような条件の違いが、大規模化に至らなかった要因と考えられた。

一方、別府湾・豊後水道では、黒潮系水の流入（急潮や底入り潮）が赤潮の消長に寄与することが報告されている。⁷⁾ 当該海域に広域赤潮が発生した昨年度と発生しなかった今年度を海況の違いから考察すると、昨年度、明瞭な水温変化が確認されなかった7月に今年度は底入り潮の影響とみられる水温低下が確認され、8月以降は急潮による周期的な水温変化が起こっていた。そのため、当該海域の海水交換は昨年度比べ良好で、このことが赤潮の大規模化の阻害要因となった可能性がある。

今年度、当該海域では、広域赤潮は発生しなかったが、一部の沿岸域では赤潮が発生し、漁業被害も発生した。当該海域での広域赤潮の原因種である*K. mikimotoi*はシストを形成せず、わずかな数の個体が栄養細胞の状態で越冬し、翌春に増殖を開始した細胞が拡散・増殖することで、広範囲に赤潮を形成すると考えられている。しかし、冬季栄養細胞、越冬個体群については、細胞密度が非常に薄く、海水を濃縮して検鏡しても、その存在を確認することは困難であり、このことが、発生の予測を困難なものにしている。そこで、今年度から、調査項目に、遺伝子検出手法を用いた高感度調査を加えて実施した。赤潮の発生を予察できれば漁業被害を軽減できるが、発生要因は気象条件や海況に依存する部分も多い。有害プランクトン分布や海況の的確な把握は、被害拡大の防止だけでなく、後の検証や予察に活用できると考えられ、今後もモニタリング事業の継続が必要であると考えられる。

4. 既存データ等を用いた解析（愛媛大学、瀬戸内水研）

平成24年（2012年）夏季に西日本の広範囲で*K. mikimotoi*の赤潮が発生し、豊後水道沿岸を中心に甚大な漁業被害をもたらした。各地の発生時期は6月下旬～7月下旬でほぼ同期していたことから、広範囲で共通する環境要因、特に既往知見で*K. mikimotoi*赤潮との関連が指摘されている光環境について検討した。図19に平成24年6月下旬の光合成有効放射照度（PAR）の水平分布および愛媛県・大分県における平成24年と平年値（平成15年から平成25年の平均値）のPARの季節変化を示す。図19によると*K. mikimotoi*赤潮発生直前の6月下旬に九州から四国、紀伊半島にかけて広範囲でPARの値が低くなっている。これは

この時期活発化する梅雨前線によるもので平成15年から平成25年の平均値でも6月下旬から7月上旬にかけて低下する傾向が認められる。しかしながら、平成24年の低下は平年値と比べても顕著な低下を示しており、この時期の水中光量は例年と比べて広範囲で小さかったと考えられる。*K. mikimotoi*の増殖速度と光強度の関係を調べた室内実験によると、非常に小さい光強度で増殖可能であることが明らかとなっている。⁶⁾ 6月から7月にかけて低日射量の年は*K. mikimotoi*にとって他種に比べて相対的に有利な環境といえるのかもしれない。上記を裏付けるために、過去の瀬戸内海西部海域における*K. mikimotoi*赤潮大規模発生年の光環境を確認した。表5は昭和48年（1973年）以降の瀬戸内海西部海域における*K. mikimotoi*赤潮発生状況であり、水産庁瀬戸内海漁業調整事務所が毎年発行している「瀬戸内海の赤潮」⁸⁾ から赤潮発生海域・発生時期・最高細胞密度・被害額等のデータを基に作成した。*K. mikimotoi*赤潮は過去にもたびたび西日本の広範囲で発生していることがわかる。この中で周防灘・豊後水道（大分県）・豊後水道（愛媛県）で大規模発生した昭和55年（1980年）、60年（1985年）、61年（1986年）、平成14年（2002年）、17年（2005年）、18年（2006年）、20年（2008年）、24年（2012年）について、赤潮最盛期までの全天日射量（大分）の平年比を示す（図20）。平成20年を除いて、赤潮最盛期にかけての3旬で平年値を大きく下回っており、大規模発生年は赤潮発生前に低日射量の傾向があることが確認された。既往知見によると、*K. mikimotoi*赤潮発生の条件として、多量の降雨による低塩分化（鉛直安定度増大）および栄養塩供給とその後の日射量の増加や⁹⁾、初夏～7月中旬に低日射量・低水温・降水量多で日射量が平年値を上回る時期に発生すること¹⁰⁾が報告されている。平成24年を含む過去の大規模発生年の光環境は既往知見と整合しており、西日本の広範囲で発生した一因と推察された。

平成24年の*K. mikimotoi*赤潮の特徴として、豊後水道海域、特に愛媛県沿岸で高密度化し、漁業被害が集中したことが挙げられる。この海域は、急潮や底入り潮と呼ばれる黒潮系水の流入による海水交換が間欠的に起こり、植物プランクトン動態に影響していることが知られている。^{7,11,12)} しかしながら、平成24年7月には愛媛県沿岸で他の年と比べて明瞭な水温変化は確認されず（図16）、海水の入れ替わりが小さかった可能性がある。図21に愛媛県中部の遊子周辺の最高細胞密度の推移と水温変化を示す。6月28日に急潮による急激な水温上昇が起こっており、その直後から*K. mikimotoi*の細胞密度は指数関数的

に上昇しているが、7月中旬に細胞密度が急減するまで大きな水温変化はみられず、この間の海水交換は小さかったと推察される。最高細胞密度となる7月12日までの対数増殖期のみかけの増殖速度は0.50 div./dayで、海水交換が小さいなか、上述したように低日射量であった6月下旬から7月上旬にかけて亜表層から表層で*K. mikimotoi*が着実に増殖していたことが示唆された。平成24年7月に急潮が弱まった程度・範囲・原因や急潮と赤潮の因果関係については、本報告書で示した結果のみで議論することはできないが、海水交換が小さくなることで結果として*K. mikimotoi*赤潮が大規模化した可能性がある。当該海域における今後の有害赤潮軽減に資するためにも2012年夏

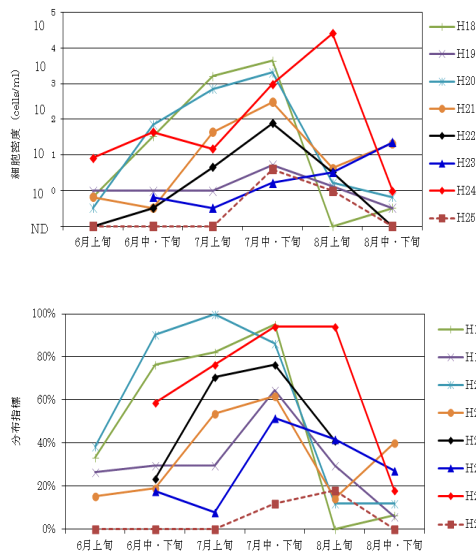


図18 周防灘における*K. mikimotoi*出現最高細胞密度(上段)と分布指標(下段)の推移
(分布指標(%))=遊泳細胞が出現した定点数/全調査点数×100)

季の海洋環境に例年と比べどのような違いがあったのか、さらに詳細な検討を行っていく必要がある。

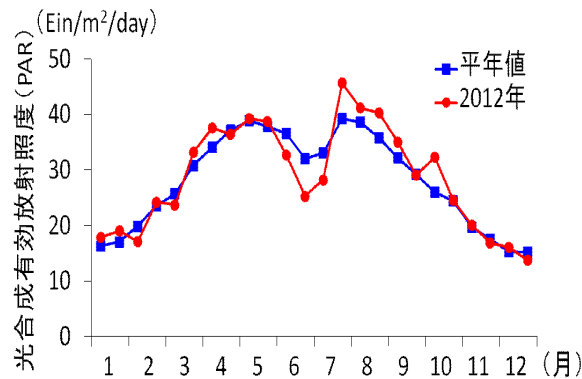
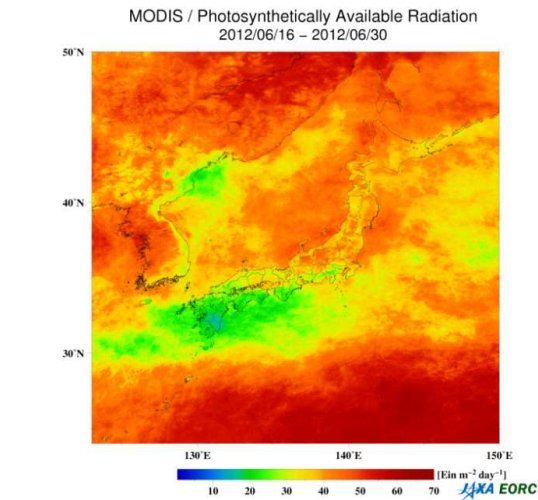


図19 Aqua/MODISで観測された光合成有効放射照度(PAR)の平成24年(2012年)
6月下旬の水平分布図(左)および、愛媛県と大分県の領域平均の時系列(右)
(提供:宇宙航空研究開発機構(JAXA))

表5 昭和48年(1973年)から平成24年(2012年)の瀬戸内海西部における海域ごとの*K. mikimotoi*赤潮発生状況

	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
安芸灘		△	▲		☆		▲							▲					▲	●
伊予灘					☆					△			▲	▲			▲		▲	●
周防灘	△			▲			▲	△		▲			▲	▲		△	▲		▲	○
豊後水道(大分)				△				△	▲				▲	▲	▲					○
豊後水道(愛媛)						☆	▲	▲	▲		▲		▲	▲	△					●
	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
安芸灘	●	●	●	●	○	●	○	○	●	●	●	●	○			●			●	●
伊予灘				●	●			○	○	●	●			●		●	●	○	○	●
周防灘	○			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
豊後水道(大分)		●	●		●		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
豊後水道(愛媛)								●		●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

● 継続日数:10日以上かつ最高細胞密度5000cells/ml以上

○ 上記に満たないが発生

▲ 継続日数:10日以上で最高細胞密度が不明

△ 継続日数:10日未満で最高細胞密度が不明

☆ その他の発生

■ 漁業被害:1億円以上の場合

■ 漁業被害:1億円未満の場合

■ 漁業被害:金額が不明

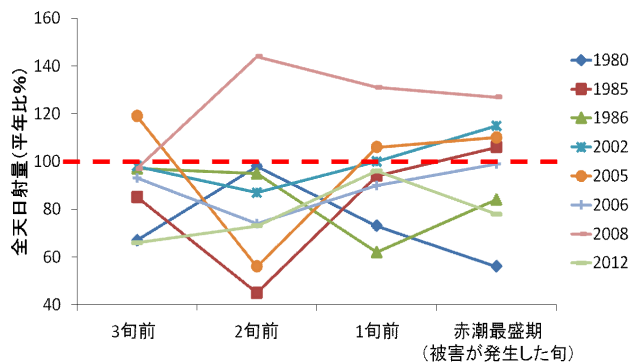


図20 *K. mikimotoi*赤潮大規模発生年の全日射量
(大分) 平年比

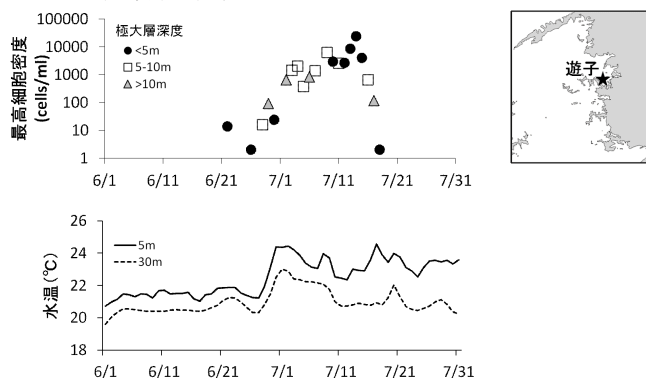


図21 平成24年(2012年)の遊子周辺における*K. mikimotoi*最高細胞密度推移(上)と水温ブイで観測された水温時系列(下)

(*K. mikimotoi*最高細胞密度は多項目水質計の蛍光センサーで検出された垂表層極大層の採水検鏡結果であり、遊子漁協によって実施された。提供：愛媛県農林水産研究センター)

文 献

- 1) 江藤拓也・俵積田貴彦：2006年夏季に周防灘西部海域で発生した*Karenia mikimotoi*赤潮，福岡海水技セ研報，第18号，107-112(2008)
- 2) 小泉喜嗣他：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，3，2179-2186(1991)
- 3) 宮村和良他：リモートセンシング技術を用いた赤潮監視の試み，水産海洋研究，73(4)，2009
- 4) 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>)
- 5) Polligher, U.・E. Zemel: In situ and experimental evidence of the influence of turbulence on cell division processes of *Peridinium cinctum forma westii*(Lemm.) Lefevre. Br. Phycol. J., 16, 281-287(1981)
- 6) 山口峰夫：*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，27，251-394(1994)
- 7) 兼田淳史・小泉喜嗣・高橋大介・福森香代子・郭新宇・武岡英隆：2007年宇和海下波湾における有害渦鞭毛藻*Karenia mikimotoi*赤潮の底入り潮の発生による消滅，水産海洋研究，74，167-175(2010)
- 8) 水産庁瀬戸内海漁業調整事務所：瀬戸内海の赤潮，1974-2013.
- 9) 伊藤克彦・今井一郎・板倉茂・山口峰生・松尾豊・寺田和夫・神菌真人・池内仁：周防灘における*Gymnodinium nagasakiense*赤潮の発生環境の特徴，赤潮の発生予知技術の開発に関する研究 5カ年の研究報告，(南西水研・東海水研)，145-158(1990)
- 10) 柳哲雄・浅井良保・小泉喜嗣：：*Gymnodinium nagasakiense*の赤潮発生の物理的条件，水産海洋研究，56，107-112(1992)
- 11) 小泉喜嗣・河野芳巳：夏季の下波湾の珪藻プランクトン増殖機構に対する急潮の影響，沿岸海洋研究ノート，32，81-89(1994)
- 12) 速水祐一・扇山 舟・山田正徳・山田政彦・竹村公宏・武岡英隆：宇和海・北灘湾におけるクロロフィルa濃度の季節・経年変化，水産海洋研究，69，1-9(2005)

地先型増殖場造成事業費

－効果調査－

尾田 成幸・宮内 正幸・大形 拓路・山田 京平

豊前海は海底が平坦で軟泥質のため、岩礁域に生息するメバル、カサゴ等の根魚に適した漁場が少ない。メバルやカサゴは定着性が強く、比較的高価格で取引され値崩れも起こりにくいため、県では豊前海区において根魚増殖場の造成事業を実施している。

平成19年度から実施している北部増殖場造成事業の効果調査を実施したのでここに報告する。

方 法

福岡県北九州市門司区柄杓田地先において、豊前海北部地区増殖場造成事業として行われた図1に示す増殖場施設付近を調査海域として、図2に示す増殖礁でさし網と潜水による生物蛸集調査を行った。

さし網調査は計4回行った。さし網は、高さ1.5m目合い約5.5cmの魚網を用い、5反(約200m)～15反(約300m)

分を夕方に設置し翌朝回収した。

また、潜水による増殖礁の魚類の蛸集状況、及び増殖礁への付着生物の付着状況、破損や埋没等の設置状況等も観察した。

結果及び考察

さし網による計4回の調査の結果を表1と図2～5に示した。さし網では魚類20種144個体、甲殻類3種15個体、軟体動物(アカニシ)1種3個体、棘皮動物1種類5個体の計25種167個体が採捕された。採捕された魚種は、4月にクジメ、カサゴ、メバル、6月にシログチ、ウシノシタ類、ハモ、メバル、カサゴ、9月にメバル、ボラ、カサゴ、カワハギ、コショウダイ、マダイ、12月にメバル、カサゴ、シログチ等で、いずれも根魚類が認められた。

潜水目視調査では1月に撮影が可能であった。増殖礁周辺の水中写真を図6～9に示した。潜水目視調査の結果、基質としてのカキ殻表面はホヤ類、ワレカラ等の付着生物で覆われていることが確認された。また、カキ殻基質の隙間にはメバルの稚魚、魚礁の内部にはクロダイ、魚礁の周辺にはマナマコ等の蛸集も確認され、今年度の調査においても増殖礁や魚礁としての機能を果たしていることが確認できた。

平成24年度の報告では、計5回の漁獲調査において魚類26種類241個体、甲殻類2種4個体、軟体動物3種3個体、棘皮動物1種類5個体が採捕されたのに対し、今年度は計4回の調査において、魚類20種144個体、甲殻類3種15個体、軟体動物1種3個体、棘皮動物1種5個体の計25種167個体が採捕された。

計4回の調査全てでメバル、カサゴ、キジハタ、タケノコメバル、クロソイ、ムラソイ等の根魚の他、スズキ、ハモ等の有用水産生物の漁獲が認められた。さらに、潜水目視調査においても増殖礁に蛸集するメバル、スズキ、クロダイ、マナマコ等の蛸集が確認され、カキ殻基質に付着するホヤ、ワレカラ等も確認できた。以上のことから、今年度も、増殖礁としての機能や有用魚種を対象とした魚礁としての機能を備えている事が確認できた。

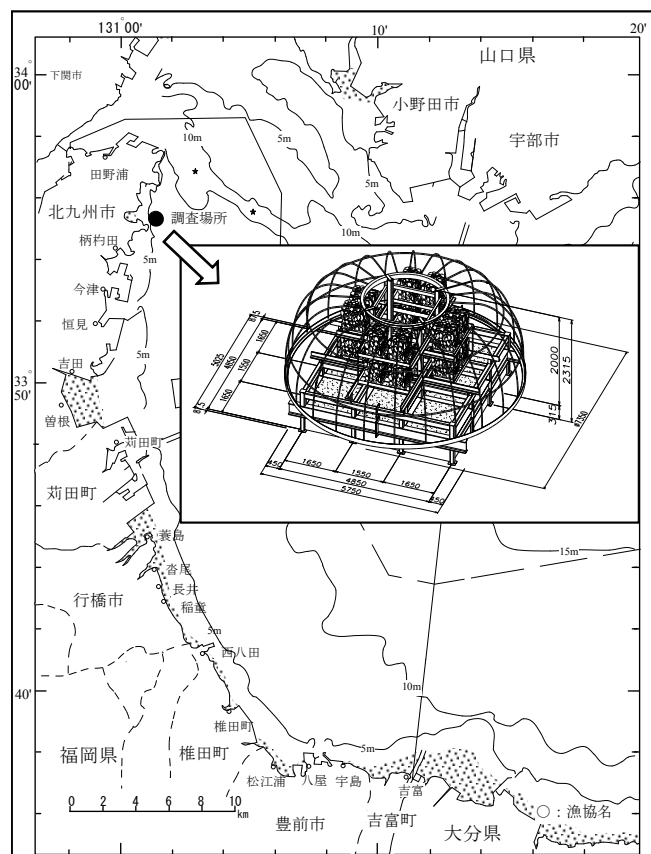


図1 調査海域と増殖礁の形状

表 1 有用生物調査結果

採捕口	採捕方法	魚種	採捕個体数	合計体重 (g)	平均体重 (g)	平均測定長 (mm)	さし網1反あたり漁獲	
							採捕個体数	合計体重 (g)
4月	魚建網5反	クジメ	8	825.3	103.2	189.0	1.6	65.06
		カサゴ	4	610.2	152.6	200.8	0.8	122.04
		メバル	4	222.8	55.7	151.5	0.8	44.56
		ムラソイ	2	180.9	90.5	169.0	0.4	36.18
		タケノコメバル	1	119.4	119.4	170.0	0.2	23.88
		イシガニ	4	389.9	97.5	78.8	0.8	77.98
		アカニシ	1	126.8	126.8		0.2	25.36
6月	魚建網15反	マダマコ	2	272.4	136.2	136.2	0.4	54.48
		シログチ	46	5917.6	128.6	220.5	3.1	394.5
		ウシノシタ鰯	9	720.4	80.0	223.9	0.6	48.0
		ハモ	3	3170.4	1056.8	881.7	0.2	211.4
		メバル	3	202.3	69.4	164.0	0.2	13.9
		カサゴ	2	441.9	221.0	225.0	0.1	29.5
		クロダイ	2	2059.7	1029.9	414.0	0.1	137.3
		スズキ	1	3539.8	3539.8	765.0	0.1	236.0
		マゴチ	1	98.1	98.1	264.0	0.1	6.5
		メナダ	1	3334.4	3334.4	712.0	0.1	222.3
		キジハタ	1	930.0	930.0	400.0	0.1	62.0
		キュウセン	1	176.3	176.3	243.0	0.1	11.8
		カマエビ	2	91.3	45.7	151.5	0.1	6.1
		イシガニ	5	323.8	64.8	70.6	0.3	21.6
		シャコ	1	15.0	15.0	100.0	0.1	1.0
		アカニシ	2	396.0	198.0		0.1	26.4
		メバル	11	940.9	85.5	171.0	1.1	94.1
9月	魚建網15反	ボラ	5	11540.2	2312.8	564.6	0.5	1156.4
		カサゴ	4	774.9	193.7	203.5	0.4	77.5
		カワハギ	3	111.6	37.2	121.0	0.3	11.2
		コショウダイ	3	328.1	109.4	182.3	0.3	32.8
		マダイ	1	170.5	170.5	139.0	0.1	17.1
		マゴチ	2	374.2	187.1	312.5	0.2	37.4
		シログチ	2	44.0	22.0	122.5	0.2	4.4
		ハモ	2	1842.8	921.4	419.5	0.2	184.3
		ヒラメ	2	969.5	484.8	317.0	0.2	97.0
		キジハタ	1	1780.5	1780.5	482.0	0.1	178.1
12月	魚建網10反	イシガニ	1	63.8	63.8	72.0	0.1	6.4
		メバル	9	787.1	87.5	180.7	0.9	78.7
		カサゴ	3	494.6	164.9	204.2	0.3	49.5
		シログチ	2	172.5	86.3	190.0	0.2	17.3
		スズキ	2	334.4	167.2	265.0	0.2	33.4
		クロソイ	1	124.3	124.3	190.0	0.1	12.4
		イシガニ	2	153.8	76.9	74.0	0.2	15.4
		マダマコ	3	737.2	245.7		0.3	73.7



図 2 さし網調査漁獲物（4月）



図 3 さし網調査漁獲物（6月）



図 4 さし網調査漁獲物（9月）



図 5 さし網調査漁獲物（12月）



図 6 増殖礁上部の状況



図 7 増殖礁下部の状況



図10 増殖礁内部に蛸集するクロダイ②



図 8 増殖礁内部カキガラ基質の状況



図11 増殖礁内部に蛸集するマナマコ



図 9 増殖礁内部に蛸集するクロダイ①