

表 15 山口県徳山湾海域における判別予察・結果（太字は前期との共通項目）

判別時期	解析手法	説明変量 (平均値：発生年/非発生年)	2002～22年の 的中率(%)	2023年の 値	2023年（発生）	
					予察	的中
前年11月	線形判別	前年10月中層水温 (24.5/23.7 °C)	85.7%	(欠測)	-	-
		<b>前年11月表層塩分 (32.50/32.17)</b>		32.28		
	線形判別	前年10月中層水温 (24.5/23.7 °C)	85.7%	(欠測)	-	-
		<b>前年11月中層塩分 (32.55/32.27)</b>		32.41		
	線形判別	前年10月中層水温 (24.5/23.7 °C)	90.5%	(欠測)	-	-
		前年11月上旬日照時間 (50.0/63.3)		78.6		
線形判別	前年10月中層水温 (24.5/23.7 °C)	81.0%	(欠測)	-	-	
	前年11月下旬日照時間 (56.7/46.4)		51.2			
線形判別	前年10月表層塩分 (32.33/31.92)	81.0%	(欠測)	-	-	
	<b>前年11月表層塩分 (32.50/32.17)</b>		32.28			
線形判別	前年11月上旬日照時間 (50.0/63.3)	85.7%	78.6	×	×	
	前年11月下旬日照時間 (56.7/46.4)		51.2			
1月	線形判別	前年11月下旬日照時間 (56.7/46.4)	90.5%	51.2	○	◎
		<b>1月中旬日照時間 (42.2/53.3)</b>		37.2		

表 16 福岡県周防灘海域における判別予察・結果（太字は前期との共通項目）

判別時期	解析手法	説明変量 (平均値：発生年/非発生年)	2002～22年の 的中率(%)	2023年の 値	2023年（非発生）	
					予察	的中
5月	線形判別	<b>5月5m層塩分 (32.4/32.9)</b>	90.5%	32.7	×	◎
		<b>4月上旬日照時間 (55.4/79.3 h)</b>		79.4		
6月上旬	マハラノビス距離	<b>6月底層DIP (0.131/0.058 μM)</b>	90.5%	0.020	×	◎
		<b>4月上旬日照時間 (55.4/79.3 h)</b>		79.4		
	マハラノビス距離	6月0m層DIP (0.085/0.035 μM)	90.5%	0.030	×	◎
		4月上旬降水量 (57.1/17.1 mm)		25.0		
マハラノビス距離	<b>6月5m層DIP (0.096/0.033 μM)</b>	90.5%	0.010	×	◎	
	4月上旬降水量 (57.1/17.1 mm)		25.0			
マハラノビス距離	<b>6月底層DIP (0.131/0.058 μM)</b>	90.5%	0.020	△	△	
	4月上旬降水量 (57.1/17.1 mm)		25.0			
6月中旬	マハラノビス距離	6月中旬降水量 (168.3/45.8 mm)	90.5%	16.5	×	◎
		<b>4月上旬日照時間 (55.4/79.3 h)</b>		79.4		
6月下旬	線形判別	6月0m層DIP (0.085/0.035 μM)	90.5%	0.030	×	◎
		6月下旬気温 (23.2/24.7 °C)		25.0		
	マハラノビス距離	6月0m層DIP (0.085/0.035 μM)	90.5%	0.030	○	×
		6月下旬日照時間 (29.1/49.6 h)		16.1		
	マハラノビス距離	<b>6月5m層DIP (0.096/0.033 μM)</b>	90.5%	0.010	○	×
		6月下旬日照時間 (29.1/49.6 h)		16.1		
	マハラノビス距離	<b>6月底層DIP (0.131/0.058 μM)</b>	90.5%	0.020	×	◎
		6月下旬気温 (23.2/24.7 °C)		25.0		
マハラノビス距離	<b>6月底層DIP (0.131/0.058 μM)</b>	95.2%	0.020	○	×	
	6月下旬日照時間 (29.1/49.6 h)		16.1			
7月上旬	線形判別	7月底層水温 (21.8/23.2 °C)	95.2%	23.7	×	◎
		<b>5月5m層塩分 (32.4/32.9)</b>		32.7		
	線形判別	7月底層水温 (21.8/23.2 °C)	95.2%	23.7	×	◎
<b>5月底層塩分 (32.6/33.0)</b>	32.9					

表 17 大分県周防灘海域における判別予察・結果（太字は前期との共通項目）

判別時期	解析手法	説明変量 (平均値：発生年/非発生年)	2002～22年の 的中率(%)	2023年の 値	2023年（非発生）	
					予察	的中
5月	線形判別	1月気温 (5.8/4.8)	95.2%	5.7	×	◎
		<b>5月5m水温 (17.4/18.2)</b>		18.3		
7月	マハラノビス	<b>5月表層水温 (18.2/19.0)</b>	85.7%	18.9	×	◎
		<b>7月分布指標 (10cells/mL) (43.0/19.3)</b>		4.8		
	マハラノビス (欠測あり)	1月気温 (5.8/4.8)	88.9%	5.7	○	×
		7月表層DIN (1.98/0.84)		3.26		
	マハラノビス	7月5m水温 (24.2/25.1)	85.7%	23.0	△	△
		<b>7月分布指標 (10cells/mL) (43.0/19.3)</b>		4.8		

表 18 大分県佐伯湾海域における判別予察・結果（太字は前期との共通項目）

判別時期	解析手法	説明変量 (平均値：発生年/非発生年)	2002～22年の 的中率(%)	2023年の 値	2023年（発生）	
					予察	的中
1月	線形判別	<b>1月表層水温 (14.2/15.0 °C)</b>	71.4%	15.1	△	○
		2月表層水温 (13.5/14.3 °C)		13.9		
3月	線形判別	<b>3月降水量 (158.6/249.5 mm)</b>	81.0%	108.5	△	○
		<b>3月日照時間 (186.5/162.7 h)</b>		173.1		
	線形判別	<b>3月降水量 (158.6/249.5 mm)</b>	76.2%	108.5	×	×
		<b>1月表層水温 (14.2/15.0 °C)</b>		15.1		
	線形判別	<b>3月日照時間 (186.5/162.7 h)</b>	85.7%	173.1	△	○
		<b>1月表層水温 (14.2/15.0 °C)</b>		15.1		
	線形判別	<b>3月降水量 (158.6/249.5 mm)</b>	90.5%	108.5	○	◎
		2月表層水温 (13.5/14.3 °C)		13.9		
	線形判別	<b>3月降水量 (158.6/249.5 mm)</b>	76.2%	108.5	○	◎
		3月表層水温 (13.9/14.4 °C)		14.9		
	線形判別	<b>3月日照時間 (186.5/162.7 h)</b>	90.5%	173.1	○	◎
		2月表層水温 (13.5/14.3 °C)		13.9		
線形判別	2月表層水温 (13.5/14.3 °C)	71.4%	13.9	△	○	
	3月表層水温 (13.9/14.4 °C)		14.9			
線形判別	<b>3月日照時間 (186.5/162.7 h)</b>	85.7%	173.1	×	×	
	3月表層水温 (13.9/14.4 °C)		14.9			
線形判別	<b>1月表層水温 (14.2/15.0 °C)</b>	71.4%	15.1	△	○	
	3月表層水温 (13.9/14.4 °C)		14.9			
8月	マハラノビス距離	<b>3月降水量 (158.6/249.5 mm)</b>	85.7%	108.5	△	○
		8月表層塩分 (32.9/31.7)		31.6		
	マハラノビス距離	<b>3月日照時間 (186.5/162.7 h)</b>	85.7%	173.1	△	○
		8月表層塩分 (32.9/31.7)		31.6		
	マハラノビス距離	<b>1月表層水温 (14.2/15.0 °C)</b>	95.2%	15.1	×	×
		8月表層塩分 (32.9/31.7)		31.6		
	マハラノビス距離	2月表層水温 (13.5/14.3 °C)	76.2%	13.9	△	○
		8月表層塩分 (32.9/31.7)		31.6		
マハラノビス距離	3月表層水温 (13.9/14.4 °C)	81.0%	14.9	△	○	
	8月表層塩分 (32.9/31.7)		31.6			

表 19 愛媛県岩松湾海域における判別予察・結果 (太字は前期との共通項目)

判別時期	解析手法	説明変量 (平均値：発生年/非発生年)	2002～22年の 的中率(%)	2023年の 値	2023年(発生)	
					予察	的中
3月	マハラノビス距離	3月クロロフィルa濃度 (0.99/0.57μM)	95.2%	0.85	○	◎
		2月中旬5m層水温 (14.7/15.6°C)		14.1		
	線形判別	3月クロロフィルa濃度 (0.99/0.57μM)	85.7%	0.85	△	○
		3月上旬5m層水温 (14.9/16.0°C)		14.6		
	マハラノビス距離	3月クロロフィルa濃度 (0.99/0.57μM)	90.5%	0.85	○	◎
		2月平均気温 (7.4/8.8°C)		8.2		
	線形判別	3月クロロフィルa濃度 (0.99/0.57μM)	85.7%	0.85	○	◎
		2月上旬日照時間 (38.9/51.2h)		37.9		
4月	線形判別	3月クロロフィルa濃度 (0.99/0.57μM)	85.7%	0.85	○	◎
		<b>4月下旬5m層水温 (17.5/16.8°C)</b>		17.4		
	線形判別	3月クロロフィルa濃度 (0.99/0.57μM)	85.7%	0.85	△	○
		4月下旬降水量 (36.9/62.7mm)		32.5		
	線形判別	3月上旬5m層水温 (14.9/16.0°C)	85.7%	14.6	○	◎
		<b>4月下旬5m層水温 (17.5/16.8°C)</b>		17.4		
6月中旬	線形判別	6月中旬平均気温 (27.4/25.8°C)	90.5%	28.6	○	◎
		2月中旬5m層水温 (14.7/15.6°C)		14.1		
	線形判別	6月中旬平均気温 (27.4/25.8°C)	85.7%	28.6	○	◎
		3月上旬5m層水温 (14.9/16.0°C)		14.6		
	線形判別	6月中旬平均気温 (27.4/25.8°C)	85.7%	28.6	○	◎
		<b>4月下旬5m層水温 (17.5/16.8°C)</b>		17.4		
	線形判別	6月中旬平均気温 (27.4/25.8°C)	90.5%	28.6	○	◎
		2月平均気温 (7.4/8.8°C)		8.2		
	線形判別	6月中旬平均気温 (27.4/25.8°C)	95.2%	28.6	○	◎
		2月下旬平均気温 (8.6/11.1°C)		7.4		
	線形判別	6月中旬平均気温 (27.4/25.8°C)	85.7%	28.6	○	◎
		<b>2月平均風速 (3.4/2.9m/s)</b>		2.6		
	線形判別	6月中旬平均気温 (27.4/25.8°C)	85.7%	28.6	○	◎
		2月上旬日照時間 (38.9/51.2h)		37.9		
線形判別	6月中旬平均気温 (27.4/25.8°C)	85.7%	28.6	○	◎	
	4月下旬降水量 (36.9/62.7mm)		32.5			
線形判別	6月中旬平均気温 (27.4/25.8°C)	85.7%	28.6	○	◎	
	3月クロロフィルa濃度 (0.99/0.57μM)		0.85			

表 20 高知県浦ノ内湾海域における判別予察・結果

判別時期	解析手法	説明変量 (平均値：発生年/非発生年)	2002～22年の 的中率(%)	2023年の 値	2023年(発生)	
					予察	的中
4月下旬	マハラノビス距離	4月下旬降水量 (87.8/26.3 mm)	95.0%	163.5	○	◎
		3月中旬気温 (11.4 /9.1 °C)		12.9		
6月下旬	マハラノビス距離	6月下旬降水量 (153.4/40.3 mm)	95.0%	86.0	○	◎
		3月中旬気温 (11.4 /9.1 °C)		12.9		
	マハラノビス距離	6月下旬降水量 (153.4/40.3 mm)	95.0%	86.0	○	◎
		4月下旬降水量 (87.8/26.3 mm)		163.5		
7月	マハラノビス距離	7月5m層水温 (25.2/25.8 °C)	95.0%	24.3	○	◎
		3月中旬気温 (11.4 /9.1 °C)		12.9		
	マハラノビス距離	7月5m層水温 (25.2/25.8 °C)	90.0%	24.3	○	◎
		4月下旬降水量 (87.8/26.3 mm)		163.5		
	マハラノビス距離	7月5m層水温 (25.2/25.8 °C)	95.0%	24.3	○	◎
		6月下旬降水量 (153.4/40.3 mm)		86.0		
	マハラノビス距離	7月5m層DO (3.5 /4.8mg/L)	90.0%	6.1	○	◎
		3月中旬気温 (11.4 /9.1 °C)		12.9		
	マハラノビス距離	7月5m層DO (3.5 /4.8mg/L)	95.0%	6.1	○	◎
		4月下旬降水量 (87.8/26.3 mm)		163.5		
	マハラノビス距離	7月5m層DO (3.5 /4.8mg/L)	90.0%	6.1	△	○
		6月下旬降水量 (153.4/40.3 mm)		86.0		
マハラノビス距離	7月5m層DO (3.5 /4.8mg/L)	95.0%	6.1	○	◎	
	7月5m層水温 (25.2/25.8 °C)		24.3			

表 21 予察モデルによる予測・結果の的中率 (%)

ただし「◎」(発生と予察し発生, または非発生と予察し非発生)の割合で算出

県・海域	2018-22年 的中率	2023 発生非発生	2023年 的中率	2023年的中率 (共通項目あり)
広島県広島湾	25.7	発生	0.0	0.0
山口県徳山湾	42.0	発生	50.0	100.0
福岡県周防灘	41.9	非発生	69.2	70.0
大分県周防灘	26.7	非発生	50.0	66.7
大分県佐伯湾	34.5	発生	20.0	25.0
愛媛県岩松湾	31.0	発生	87.5	100.0
高知県浦ノ内湾	60.0	発生	90.0	-

表 22 行動計画にかかるアンケート結果 (注意/警戒基準細胞密度)

海域		対象種別細胞密度 (cells/ml)					
		<i>K.mikimotoi</i>	<i>Chattonella</i> spp.	<i>C.polykrikoides</i>	<i>H.akashiwo</i>	<i>G.polygramma</i>	<i>H.circularisquama</i>
広島県 (周防灘)	注意基準	500	10	100	5,000	-	50
	警戒基準	5,000	100	1,000	50,000	-	500
山口県 (周防灘)	注意基準	100	<i>C.marina</i> :10 <i>C.antiqua</i> :10	100	5,000	-	50
	警戒基準	5,000	<i>C.marina</i> :1,000 <i>C.antiqua</i> :100	500	50,000	-	1,000
福岡県 (周防灘)	注意基準	概ね100	概ね数十	※左の <i>K.mikimotoi</i> や <i>Chattonella</i> spp.を含め明確な基準値は定められていないが, 明らかな着色や魚介類の斃死がある場合に情報発出			
	警戒基準	概ね1,000	概ね100				
大分県 (周防灘)	注意基準	200	10	30	5,000	-	50
	警戒基準	2,000	100	300	50,000	-	1,000
大分県 (豊後水道)	注意基準	200 (マクロ:20)	10 (マクロ:1)	30 (マクロ:3)	5,000 (マクロ:500)	-	-
	警戒基準	2,000 (マクロ:200)	100 (マクロ:10)	300 (マクロ:30)	50,000 (マクロ:5,000)	-	-
愛媛県 (豊後水道)	注意基準	-	-	-	-	-	-
	警戒基準	魚類:1,000 アワビなど:200 アコヤガイ:10,000	100	300	50,000	10,000	二枚貝:100
高知県 (浦ノ内湾・野見湾・宿毛湾)	注意基準	-	-	-	-	-	-
	警戒基準	魚類等の斃死:数百~	魚類等の斃死:10~	魚類等の斃死:数百~	魚類等の斃死: 50,000~	-	二枚貝:50

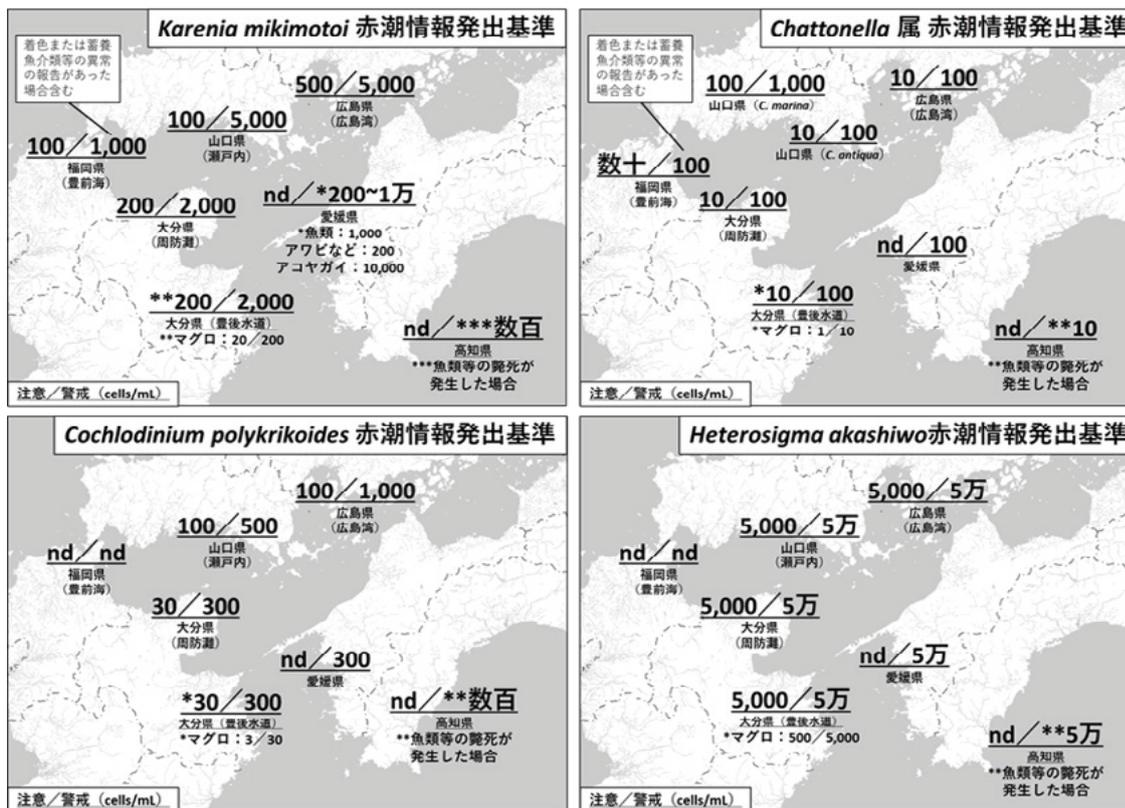


図 26 赤潮情報発出のための各種赤潮原因種の基準細胞密度 (nd: 基準を設けていない, 地図: 地理院地図 Vector)

1) 有害赤潮プランクトンの出現動態監視及び予察技術開発並びに赤潮の発生段階に応じた一連の対策（行動計画）の検討・策定  
ウ. 伊勢湾・三河湾・英虞湾海域

愛知県水産試験場  
二ノ方圭介, 河住大雅, 石田俊朗, 柘植朝太郎, 大澤 博  
三重県水産研究所  
奥村宏征, 渥美貴史, 今井絵美, 岡野健次, 大田幹司  
三重県水産研究所鈴鹿水産研究室  
岩出将英  
水産研究・教育機構 水産技術研究所  
中山奈津子  
福井県立大学  
浜口昌己

## 1 全体計画

### (1) 目的

近年、伊勢湾・三河湾・英虞湾海域では、有害赤潮プランクトンやノリ色落ち原因珪藻による漁業被害が生じている。赤潮による漁業被害を未然に防止および軽減するためには、赤潮発生海域を網羅した広域連携調査を実施する必要がある。

本課題では、伊勢湾・三河湾・英虞湾海域において各機関が連携して広範な調査を実施し、有害赤潮プランクトンやノリ色落ち原因珪藻の発生状況および海洋環境を監視するとともに、既存データも含めたデータ解析によって当該海域における有害赤潮プランクトンおよびノリ色落ち原因珪藻の発生シナリオを構築・改良し、赤潮発生予察により漁業被害軽減に資することを目的とする。また、貧酸素など環境要因が与えるヘテロカプサ等有害赤潮プランクトンの生理生態への影響を評価し、より精緻なシナリオ構築への貢献を図る。また、赤潮の発生段階に応じた行動計画の検討を行う。

## 2 令和5年度計画および結果

### (1) 目的

全体計画と同じ

### (2) 方法

有害赤潮プランクトンおよび珪藻類の赤潮が発生する契約月から翌3月まで共同提案機関がそれぞれに有する海洋観測調査船または傭船を用いて広域的な海洋調査を実施し、伊勢湾・三河湾・英虞湾海域における有害赤潮プランクトンの出現特性、および伊勢湾・三河湾におけるノリ色落ち原因珪藻の出現特性を明らかにする。また、ヘテロカプサ等有害赤潮プランクトンの増殖に与える貧酸素の影響について知見を得る。行動計画を検討するため、情報収集や課題の抽出を行う。

#### 1) モニタリング調査

##### a. 有害赤潮プランクトン調査

図1に示す海域に計26点の調査定点を配置し、4月から翌3月まで週1回～月1回程度、海洋環境（水温、塩分、栄養塩、クロロフィル *a*、溶存酸素）およびプランクトン細胞密度等のモニタリング調査を実施する（表1）。

##### b. ノリ色落ち原因珪藻調査

図2に示す海域に計29点の調査定点を配置し、10月から翌3月まで週1回～月1回程度、海洋環境（水温、塩分、栄養塩、クロロフィル *a*、溶存酸素）およびプランクトン

細胞密度等のモニタリング調査を実施する（表 2）。

## 2) 有害赤潮およびノリ色落ち被害の発生シナリオ構築

1) で取得したデータおよび既存データ等に基づいて、当該海域における有害赤潮プランクトンおよびノリ色落ち原因珪藻の発生と気象条件・海洋環境との関係を解析し、有害赤潮およびノリ色落ち被害の発生シナリオを構築・検証する。

### 3) ヘテロカプサ・サーキュラリスカーマの増殖に与える貧酸素の影響評価

有害赤潮プランクトンの増殖に与える貧酸素の影響を評価するため、ヘテロカプサ・サーキュラリスカーマ (*Heterocapsa circularisquama*)、カレニア・ミキモトイ (*Karenia mikimotoi*) 及び天然の泥から発芽させた珪藻類について、異なる酸素濃度下で増殖試験を行った。試験には、1) *H. circularisquama* 培養株は、HU9433-P（浦の内湾）、HCLG1（五ヶ所湾 1999）、Kamo05（加茂湖）、2) *K. mikimotoi* 培養株は、GmSB4（佐世保湾）、Km13TG09（英虞湾）を用い、3) 天然の珪藻類は、五ヶ所湾（2024）、大阪湾（2023）から採取した海底泥から栄養細胞を発芽させて用いた。

酸素濃度の調整は、がん細胞の細胞培養に用いる低酸素培養キット BIONIX（株式会社スギヤマゲン）を使用して、次の通り行った。同キットに付属の透明ガスバリア性パウチ袋に、O<sub>2</sub> メーター、*H. circularisquama* 培養株、*K. mikimotoi* 培養株、または、珪藻類のいずれかを入れた培養プレート、ガス濃度調節剤を入れて密閉し、マニュアルに従って酸素濃度を調節した。

1)及び2)の培養株を用いた試験では、培養容器は24穴プレートを用い、細胞初期密度は約 1,000 cells/mL に調製した。珪藻類は、泥 1g を IMK 培地 10 mL 内で攪拌し、48 穴プレートを用いて段階希釈法で 2 日培養して発芽させたもののうち、10<sup>-1</sup> 及び 10<sup>-2</sup> 希釈段階で発芽した細胞を用いた。試験は 1)及び 2)と同じ要領で実施した。1)、2)及び 3)の培養条件は、温度 20°C、光強度 130~150 μmol photons/m<sup>2</sup>/s、明暗周期 12h:12h L:D で、パウチ袋ごとインキュベータに入れ培養した。酸素濃度は、4 mg/L 及び自然通気（対照区）とした。培養開始から毎日パウチ袋からプレートを取り出して計数し、パウチ袋内に戻して酸素濃度を調整し培養を続けた。さらに、追加試験として、1)及び 2)の培養株については、酸素濃度を 4mg/L とし、異なる温度（25°C）で培養試験を行なって生育状況を比較した。

## 4) 行動計画の検討

行動計画を検討するために必要な情報収集や課題の整理を行う。

## (3) 結果および考察

### 1) モニタリング調査

#### a. 有害赤潮調査

##### ①海洋環境

図 3~9 に、2023 年 1 月~12 月の海洋環境データを示した。

水温（図 3）：

伊勢湾の表層は、年間を通じて平年並から高めで推移し、平年に比べて 9 月は 2.5°C、10 月は 2.6 °C 高くなった。底層は、1、6、9、11 月に平年より 1°C 以上高めとなり、1 月は 1.9°C 高くなった。他の月は概ね平年並で推移した。

三河湾の表層は、平年より 1.4°C 低くなった 12 月を除き平年並から高めで推移し、4 月は 3.6°C、10 月は 3.1°C 高くなった。また、8、9 月は気温が高く表層水温が 30°C を超えることがあった。底層は、平年より 1.0°C 低くなった 1、7 月を除き平年並から高めで推移し、5 月は 2.3°C、9 月は 2.5°C 高くなった。

英虞湾の表層は年間を通じて平年並から高めで推移した。冬季は 1 月中旬は 4.2°C、2 月上旬は 3.3°C 高くなった。夏季は 8 月中旬を除き、7 月上旬から 9 月上旬は平年より高い状態が継続し、7 月中旬は 2.6°C、9 月上旬は 3.0°C、9 月下旬は 2.2°C 高くなった。底層は 12

月上旬を除き平年並みから高めで推移した。1月上旬は 3.5°C、2月上旬は 1.7°C高くなった。7月下旬から9月中旬は、平年より 2.0°C以上高い状態が継続し、8月中旬は 3.1°C高くなった。

塩分 (図 4) :

伊勢湾の表層は、5~7月に平年より低めとなり、特に7月が低くなった。底層は、1~8月まで平年並、9月にやや低めとなり、その後、平年よりやや高めで推移した。

三河湾の表層は、3、4月が高めで5月以降は平年並から低めで推移し、6月は上旬に記録的な降雨があり著しく低下した。底層でも6月に特に平年より低くなった。

英虞湾の表層は、1月から6月は平年並みに推移し、6月下旬以降はやや高めで推移した。6月上旬は線状降水帯による降雨の影響で、低い値となった。底層は、概ね平年並で推移した。

溶存酸素 (図 5) :

伊勢湾の表層は、3、6、7月に平年よりも高くなったが、他の月は平年並から低めで推移した。底層は、平年より高めとなった10月を除き平年並から低めで推移し、7~9月は 0.0~0.2mg/Lであった。

三河湾の表層は、7月に平年よりも高くなったが、他の月は平年並から低めで推移した。底層は、概ね平年並から低めで推移し、7~9月は 0.0~2.2mg/Lであった。

英虞湾の表層は、年間を通して平年並からやや低めで推移した。底層は、8月下旬から9月中旬は 1.4 mg/L~ 3.7 mg/L で推移した。

クロロフィル *a* (図 6) :

伊勢湾の表層は、3、5~7、12月に平年よりも高くなったが、他の月は低めで推移した。表層で特に高かった7月は小型鞭毛藻類と *Thalassiosira spp.*の複合赤潮が発生した。底層は、3、10月に平年よりも高くなったが、他の月は低めで推移した。

三河湾の表層は6月に高くなった以外は平年並か低く推移した。底層は、3月に高かった以外は平年並か低く推移した。表層で特に高くなった6月は、クリプト藻類と *H. akashiwo*の複合赤潮が発生した。

英虞湾の表層は、珪藻類が多く発生した6月上旬、*K. mikimotoi*の赤潮が発生した8月中旬を除き、平年並から低めで推移した。底層は、5月下旬および6月下旬に平年より高めとなった。

栄養塩 (DIN 図 7) :

伊勢湾の表層は、2、5月に平年より高く、3、6、8月以降は低くなった。底層は、7、9、11月に高くなったが、他の月は平年並から低く推移した。

三河湾の表層は、5、6月が平年より高くなったが、他の月は平年並から低く推移した。底層は4、6、9月に高くなったが、他の月は平年並から低く推移した。

英虞湾の表層は、年間を通して平年並、又は平年より低く推移した。底層では8月中旬に平年値を超える高い値が確認された。

栄養塩 ( $\text{PO}_4\text{-P}$  図 8) :

伊勢湾の表層は、年間を通じて平年並から低めで推移した。底層は9月に高くなったが、他の月は平年並から低めで推移した。

三河湾の表層は、5、6月に高くなったが、他の月は平年並から低めで推移した。底層は、4、6、9月に高くなったが、他の月は平年並から低く推移した。

英虞湾の表層は1月上旬から3月下旬は概ね高く推移した。底層では、年間を通して平年並、又は平年より低く推移した。

栄養塩 ( $\text{SiO}_2\text{-Si}$  図 9) :

伊勢湾の表層は、3、8~11月に平年より低く、他の月は平年並から高くなり、特に7月に高くなった。底層は、7、9、11月に高くなったが、他の月は平年並から低く推移した。

三河湾の表層は、3、8～10月に平年より低く、他の月は平年並から高くなり、特に6月に高くなった。底層は、3月に低くなったが、他の月は平年並から低く推移した。

特記事項として、伊勢湾、三河湾では、2021、2022年は*K. mikimotoi*赤潮による漁業被害が発生していたが、2023年は*K. mikimotoi*は年間を通じてほとんど確認されなかった。英虞湾では、7月下旬から8月下旬にかけて*K. mikimotoi*による赤潮が発生したあと、9月上旬に五ヶ所湾でも同種の赤潮が発生した。この赤潮により、五ヶ所湾では小規模であるが、魚介類のへい死が確認された。黒ノリ養殖では、2022年漁期は顕著な色落ちは見られなかったが、2023年漁期は色落ちが確認されている。

## ②プランクトン（図10）

### *Heterocapsa circularisquama*

英虞湾で、8月中旬～10月上旬に確認され、最高密度は149cells/mLであった。三重県内では、英虞湾以外では五ヶ所湾で9月上旬～9月下旬、阿曾浦で9月下旬～10月上旬、尾鷲湾で10月上旬に確認され、最高密度は五ヶ所湾で12,550 cells/mL、阿曾浦で6,907 cells/mL、尾鷲湾で150 cells/mLであった。伊勢湾、三河湾は確認されなかった。

### *Chattonella* spp. (*C. marina*, *C. antiqua* および *C. ovata*)

三河湾、英虞湾で確認された。三河湾では、9～12月に確認され、最高密度は266 cells/mLであった。英虞湾では7月中旬～8月上旬に確認され、最高密度は466 cells/mLであった。

### *Karenia mikimotoi*

伊勢湾、三河湾、英虞湾の3海域で確認された。伊勢湾の三重県側では、7月上旬、10月上旬に確認され、最高密度は15 cells/mLであった。三河湾では9～10月に確認され、最高密度は4 cells/mLであった。英虞湾では7月中旬から9月下旬に確認され、最高密度は10,260 cells/mLとなり赤潮となった。このほか三重県内では、五ヶ所湾、阿曾浦で確認された。五ヶ所湾では9月上旬から9月中旬に確認され、最高密度2,160 cells/mLとなり赤潮となった。阿曾浦では9月下旬に最高密度8cells/mLが確認された。

### *Heterosigma akashiwo*

伊勢湾、三河湾で確認された。伊勢湾では6月上旬、10月上旬に確認され、最高密度は3,650 cells/mLであった。三河湾では5月上旬から6月中旬、8月中旬、9月下旬、10月上旬、11月上旬から12月中旬に確認され、最高密度は5月上旬に11,050 cells/mLが確認され赤潮となった。伊勢湾の三重県側では、6月上旬に観測点以外の地点で本種が確認され、鈴鹿市白子地先で最高密度49,500 cells/mLが確認された。このほか三重県内では、尾鷲湾で5月中旬に最高密度82,750cells/mL、二木島湾で6月下旬に最高密度13,725 cells/mLが確認された。

### *Vicicitus globosus*（旧種名：*Chattonella globosa*）

三河湾のみで確認された。5、7、11、12月に確認され、最高密度は3 cells/mLであった。

## ・有害赤潮プランクトンの発生に関する特記事項（考察）

英虞湾における*H. circularisquama*の発生環境に関する考察：

英虞湾では2016年9～10月以来、7年ぶりに*H. circularisquama*による赤潮が発生した。*H. circularisquama*は8月下旬に初認され、9月下旬には三重県における赤潮基準値である100cells/mLを上回る密度となった。赤潮発生時の海況として、8月下旬～9月中旬に、底層の溶存酸素濃度の低い状態が継続した。英虞湾では7月下旬～8月下旬に*K. mikimotoi*による赤潮が発生しており、赤潮終息時に溶存酸素を多量に消費したことが考えられた。また、底層の栄養塩濃度は8月下旬に増加した地点が多かった。これらのことから、今年度の*H. circularisquama*発生時の海況は、非発生年である2017年～2022年に比べ、底層の貧酸素状態が長期であったことに加え、栄養塩濃度が例年より高く、同種の増殖に適して

いた可能性が考えられた。

また、今年度は、英虞湾の他に、五ヶ所湾においても *H. circularisquama* による赤潮が確認されており、赤潮発生以前には *Karenia* spp. およびタカヤマ属の高密度発生および溶存酸素濃度の低下が確認された。

三河湾における *K. mikimotoi* の発生環境に関する考察：

6月上旬に記録的な大雨があった。また、8月は上旬から下旬の各旬とも平年を上回る降雨があったことで、*K. mikimotoi* が三河湾外へ流出した可能性が考えられた。

過去、*K. mikimotoi* が高密度となった7、8月は、今年度については *Skeletonema* spp. などの赤潮が確認され、窒素、リンともに平年より少なかった。このため、珪藻類などとの競合も増殖を抑制した要因と考えられた。

広域的な有害赤潮の発生に関する考察：

本年度は、*H. circularisquama* および *K. mikimotoi* による赤潮が熊野灘沿岸の複数の海域で確認された。*H. circularisquama* による赤潮は、英虞湾では8月中旬、五ヶ所湾から阿曾浦、尾鷲湾にかけては、9月上旬から10月上旬に徐々に南下して発生した。*K. mikimotoi* による赤潮は、英虞湾では7月下旬、五ヶ所湾では9月上旬に発生した。これらの発生状況から、2018年の *H. akashiwo* 赤潮や2022年の *K. mikimotoi* 赤潮のような愛知県から三重県にかけての広域発生に比べて規模は小さいものの、熊野灘沿岸において、初期発生海域から近隣海域へ赤潮プランクトンが拡散したものと考えられた。

## b. ノリ色落ち原因珪藻調査

### ①海洋環境（図11, 12）

水温：

伊勢湾の三重県側におけるノリ漁場では、平年並で推移した。（1月末時点）

三河湾では12月上旬に平年より低くなったが、他の期間は平年並から高めで推移した。

塩分（比重）：

伊勢湾の三重県側におけるノリ漁場では、概ね平年並みから高めで推移した。

三河湾では10月上旬に降雨の影響により平年より低くなったが、その後は平年並から高めで推移した。

栄養塩：

伊勢湾の三重県側におけるノリ漁場では、今年度は、12月は降雨が少なく栄養塩が低下したが、12月中旬から下旬にかけて増加、1月上旬から下旬にかけて減少し、降雨不足の影響が考えられた。平年と比較すると、DINは10月上旬、11月中旬、12月上旬は平年を上回ったが、他の期間は平年並から低めで推移した。PO<sub>4</sub>-Pは10月上旬、12月上旬および12月下旬は平年を上回ったが、他の期間は平年並から低めで推移した。

三河湾ではDINは期間を通じて平年を下回った。PO<sub>4</sub>-Pは11月中旬に平年を上回ったことを除くと、平年と同様に10月から1月にかけて低下傾向であった。10月上旬のPO<sub>4</sub>-Pを除き、10月上旬から11月上旬にかけての栄養塩の減少は、珪藻類の増殖が影響していると考えられた。

クロロフィル *a*：

三河湾では11月中旬に *Akashiwo sanguinea* 赤潮が発生し平年を上回ったが、その他の期間は平年を下回った。

### ②プランクトン（図13）

*Skeletonema* spp.

伊勢湾の三重県側におけるノリ漁場では、10月下旬に最高密度 24,450 cells/mL を確認し

た。その後は減少し、11月下旬から12月下旬までは、低密度で推移したが、1月上旬に増加し、1,895cells/mL が確認された。

三河湾では10月上旬から11月上旬にかけて高密度で推移し、11月上旬の最高密度は20,550 cells/mL となった。その後、増減を繰り返し、12月中旬から1月中旬にかけて増加した。

#### *Chaetoceros* spp.

伊勢湾の三重県側におけるノリ漁場では、10月下旬に最高密度1,590 cells/mL が確認された。その後は数十から数百 cells/mL 程度で推移した。

三河湾では10月上旬、10月中旬の最高密度はそれぞれ6,550 cells/mL、6,200 cells/mL となりその後、11月上旬から12月上旬まで低密度で推移した。その後、*Skeletonema* spp.と同様に1月中旬にかけて増加した。

#### *Eucampia zodiacus*

伊勢湾の三重県側におけるノリ漁場では、11月下旬に300 cells/mL が確認された。

三河湾では10月上旬以降に確認されており、12月上旬に最高密度が159 cells/mL となった。

### ・ノリ色落ち原因珪藻の発生に関する特記事項（考察）

#### 伊勢湾：

伊勢湾の三重県側におけるノリ漁場では、DIN、PO<sub>4</sub>-Pともに10月中旬以降、平年を下回る濃度で推移し、11月下旬に降雨により一時的に回復したが、12月以降は、再び平年を下回った。10月上旬から中旬にかけては、*Skeletonema* spp.が高密度で増殖し、栄養塩の減少がみられたが、11月以降は*Skeletonema* spp.は減少し、11月下旬にディチルム属とユーカンピア属が見られるようになった。昨漁期は、顕著な色落ちを確認されなかったが、今漁期は12月上旬から下旬および1月以降に、桑名を除く漁場で色落ちが発生している（1月末時点）。

#### 三河湾：

DINは期間を通じて平年を下回っており、PO<sub>4</sub>-Pは降雨により11月中旬に増加した以外は、平年並から下回った。10月上旬から11月上旬にかけては珪藻類の増殖によりDIN、PO<sub>4</sub>-Pともに減少した。1月にノリの色落ちが一部の海域で確認されたが、赤潮を形成するほどの細胞密度ではなかった。

## 2) 有害赤潮およびノリ色落ち被害の発生シナリオ構築

### a. 有害赤潮の発生シナリオ構築

#### ・三河湾（*K. mikimotoi* の発生シナリオ構築）

三河湾では2021、2022年ともに*K. mikimotoi*赤潮が発生し、2021年は漁業被害が発生した。一方、今年度は*K. mikimotoi*の最高密度が4 cells/mL とほとんど確認されなかった。そこで、*K. mikimotoi*と競合種となる珪藻類の分布状況を整理し、増殖の関係性や、今年度、低密度で推移した要因を検討した。特徴的な年（2017、2022年）と2023年を図14に、2010～2023年の7～9月の平均細胞密度について図15に示した。2017年の分布をみると、8月上旬では湾西部から湾中央部にかけて*K. mikimotoi*の密度が高かったが、8月中旬には湾中央部で高密度な分布がみられた。8月上旬の湾西部では*K. mikimotoi*と珪藻類が分布していたが、湾中央部では、珪藻類が少ない海域で*K. mikimotoi*が高くなっていった。*K. mikimotoi*が高密度化した8月中旬の湾中央部でも珪藻類の密度が低下していた。2022年は7月に*K. mikimotoi*が高密度となり、その後衰退した。高密度となった海域は湾西部で珪藻類とも分布していた。一方、2023年の7、8月は、*K. mikimotoi*が確認されず、その後も9月に最高密度で4cells/mL と低密度であったため、その要因について検討した。2023

年は6月上旬に記録的な降雨があり(図16, 17), 表層塩分が著しく低下した。6月の沿岸域の海況をみると, 内湾系水が外海へ流出している様子が観測されている(図18)。珪藻類の密度は記録的な降雨のあった6月上旬に低下した後, 7, 8月は増加傾向(図19)で, 河口付近を中心に分布していた。栄養塩は6月上旬と8月中旬に降雨の影響で供給がみられたが, 6月と7月の中下旬は降雨が少なかったこともあり, 低レベルで推移した(図20)。以上から, *K. mikimotoi* の密度が低レベルで推移した要因は, 極度の塩分低下によって増殖が抑制されたことや, 大雨による河川水流入の増加や黒潮流路に起因する沿岸域の流況により内湾系水とともに湾外へ流出したこと, また, 栄養塩供給が少なく, 珪藻類と競合したことも関係したと考えられた。

2010~2023年の7~9月の平均細胞密度をみると, 珪藻類の密度が低い湾中央部で *K. mikimotoi* の密度が高くなっていった。また, 湾西部では, *K. mikimotoi* の密度は湾中央部ほどではないものの分布がみられ, 珪藻類の密度が高かった。これらのことから, 競合種が少ない海域で *K. mikimotoi* が増殖しやすいが, 湾西部のような河口域で栄養塩供給がある海域では, *K. mikimotoi* の増殖が可能と考えられた。

#### ・英虞湾 (*K. mikimotoi* 赤潮の発生シナリオ構築)

英虞湾における *K. mikimotoi* の発生状況を図21に示した。三重県では, *K. mikimotoi* の細胞密度が100 cells/mLを超えた場合を赤潮発生年としている。2011年度以降, 三重県内における *K. mikimotoi* 赤潮の発生頻度は増加しており(表3), 今年度は2021年度から3年続けて赤潮発生年となった。

今年度, 三重県内で *K. mikimotoi* が初認されたのは, 7月5日の伊勢湾(表層)で, 100倍濃縮海水中に0.11 cells/mLが確認された。

*K. mikimotoi* は7月10日に湾奥の間崎(0.5m)で2 cells/mLが初認され, 7月24日に湾奥の大明神前(B-1m)で171 cells/mLが確認され, 三重県における *K. mikimotoi* の赤潮基準値(100cell/mL)を上回り, 赤潮となった。8月7日に湾奥から湾奥の中層~底層で2~271 cells/mL, 8月10日には間崎で本種による着色が見られ, 水深4.5mで1,150 cells/mLと細胞密度が増加した。8月16日には湾奥の立神, 湾口の浜島でも着色が見られ, 立神(0.5m)で8,920 cells/mL, 浜島(1.5m)で2,200 cells/mLと, 顕著に細胞密度が増加した。8月21日には, 迫子(5m)で10,260 cells/mLと, 本赤潮における最高密度が確認されたが, 他地点の多くで1~305 cells/mLまで細胞密度が減少した。8月25日には湾奥の大明神(4.5m)で1,790 cells/mL, 赤崎(5m)で2,580 cells/mLと, 再度, 細胞密度は増加したものの, 8月28日にはすべての地点で赤潮基準値以下となった。

赤潮発生期間の水温は, 湾奥のタコノボリ(5m)で26.3~29.6°C, 湾奥の立神(5m)で26.7~31.3°Cであり(図22), *K. mikimotoi* の増殖に好適であった(飯塚・入江1966, 本城1997)。

昨年度までの英虞湾における *K. mikimotoi* 赤潮の発生シナリオ検討で, 夏季, 黒潮系外洋水の英虞湾内への侵入時, 一時的に栄養塩濃度が増加し, その栄養塩をめぐる競合を制して珪藻類が優占種となるが, 日照時間の減少に伴って衰退し, *K. mikimotoi* が優占種になり赤潮を形成すると考えられた。

今年度, 珪藻類は, 立神(5m)では, 7月10日に1,790 cells/mLが確認されたが, *K. mikimotoi* 赤潮が発生した7月24日には790 cells/mL, 8月7日には470 cells/mLと減少し, 8月16日には確認されなくなった(図25)。

栄養塩は, 今年度, *K. mikimotoi* 赤潮の発生前および発生初期にあたる7月中下旬に顕著な増加はなかった(図23)。8月15日に台風7号が通過し, 南伊勢アメダスで98mm(日積算)の降雨が確認され(図24), 台風通過後の8月16日には, 立神を除くすべての地点の底層で栄養塩の増加が見られた(図23)。檜扇荘前では表層から底層にかけて顕著な増

加が見られ、前川や西川から、降雨に伴う河川水流入の影響が考えられたが、前川や西川の他に英虞湾に流れ込む河川は少ないことから、多くの地点で栄養塩が増加した理由は、台風に伴う強風により海水が攪拌された影響が考えられた。*K. mikimotoi* の細胞密度が増加した8月10日と8月16日から、それぞれ遡って3日間程度は、天候不順に伴って日照時間の減少がみられた(図24)。

これらのことから、7月上旬から下旬は珪藻類と *K. mikimotoi* が競合して存在していたが、8月上旬の日照時間の減少に伴って珪藻類が衰退し、代わりに *K. mikimotoi* が増加して優占種となり、台風の影響によって栄養塩濃度が増加したタイミングで、細胞密度を顕著に増加させたものと考えられた。その後は、8月下旬から顕著な溶存酸素濃度の低下が続く、*K. mikimotoi* の生育に不適な環境となったことで、赤潮が衰退したと考えられた。これまでの室内試験による知見と同様の結果が得られた。

英虞湾は河川からの流れ込みが少ないため、栄養塩の供給に関して外洋水の流入の影響が考えられることから、風の影響について検討したが、今回の赤潮発生前および発生期間中には、英虞湾への湧昇をもたらす顕著な北西風は観測されなかった。このことについては、データ数が少ないため、次年度以降も引き続き検討を続ける必要がある。

今年度の英虞湾における *K. mikimotoi* 赤潮の発生パターンは、初期の栄養塩増加プロセスを除き、おおむね *K. mikimotoi* 赤潮発生シナリオと一致した。今年度の台風のように、強風による浅海域の攪拌についても検討に加える必要がある。

#### b. ノリ色落ち被害の発生シナリオ構築

##### ・伊勢湾の三重県側におけるノリ漁場

これまでの解析により、伊勢湾北中部に位置する鈴鹿地先においては、珪藻類の合計密度が 9,000 cells/mL 以上の場合や *Eucampia* spp. が 500 cells/mL 以上の場合には、すべての事例において DIN が 7.1  $\mu$ M 以下となることが確認されている。

今年度は、珪藻類の合計密度が 9,000 cells/mL 以上確認されることはなく、主要な珪藻類や *Eucampia* spp. がこれらの密度以上確認されることもなかったものの、10月中旬から11月上旬、11月下旬、12月中旬から1月下旬には、DIN が 7.1 $\mu$ M 以下の状況が確認され、これまでの条件とは合致しなかった。

三重県側のノリ漁場における主な色落ち原因珪藻類は、小型珪藻 (*Skeletonema* 属, *Chaetoceros* 属) であったが、今年度の珪藻類の種組成(図26)のように、近年では *Rhizosolenia* 属など、これまであまり見られなかった種が増加している。珪藻類の種組成の変化の原因としては、黒潮大蛇行による外洋水流入の影響も考えられる。近年、ノリ漁期に 9,000 cells/mL を越える高密度の珪藻類の発生はあまり見られておらず、今後は外洋種の流入など、伊勢湾での珪藻類の増殖特性についても詳細な調査を実施し、新たな評価指標を設定する必要があると考える。

##### ・三河湾

これまでの解析結果から、三河湾における主要なノリ色落ち原因珪藻類である *E. zodiacus* 赤潮の発生条件について、11月の南知多の気温および11月の水温が高く、12月上旬の *Chaetoceros* spp. と *Skeletonema* spp. の細胞密度の合計が少ない場合、1月以降に *E. zodiacus* による赤潮発生の可能性が高くなることが明らかになっている(柴田・中嶋2016)。この3条件を *E. zodiacus* 赤潮発生予測の指標とし、2015年度から赤潮発生予察を行っている。そこで、観測結果からこれら3つの指標による *E. zodiacus* 赤潮の発生予察手法を検証した。

2023年度の検証結果を図27に示した。11月の気温および水温は高く条件に当てはまったが、12月の *Skeletonema* spp. と *Cheatoceros* spp. の細胞密度の合計は高くなり条件から外れた。このため、予測に使用する1つの項目が発生年の値の範囲から外れたことから、1月

以降 *E. zodiacus* 赤潮によるノリの色落ち被害が発生する可能性は低いと予測した。*E. zodiacus* の最高細胞密度は、159cells/mL でノリの色落ち被害は発生しておらず（1月末現在）、予測通りとなっている。

今年度は1月に *C. wailesii* と *E. zodiacus* の複合赤潮が三河湾の臨時調査点の底層でそれぞれ 14cells/mL, 114cells/mL 確認されたが（図 28）、その後、赤潮は解消した。赤潮が発生した渥美湾の 12, 1月の透明度は概ね 6m 以上で推移しており（図 29）、底層でも増殖に必要な照度が確保されていたと考えられた。

### 3) ヘテロカプサ・サーキュラリスカーマの増殖に与える貧酸素の影響評価

酸素濃度 4mg/L 下に置かれた *H. circularisquama* 培養株（試験区）は、対照区とともに、いずれも生残し増殖した。*K. mikimotoi* 培養株は、試験区、対照区ともに試験開始1日目以内に死滅した。珪藻類は、英虞湾の泥からは、主に *Chaetoceros spp.* や *Skeletonema spp.*、大阪湾の海底泥からは、*Skeletonema spp.* や *Thalassiosira spp.* が発芽し、それらを供試したが、試験区、対照区ともに1日目以内に全て死滅した。形態観察では、*H. circularisquama* は変化がなく、運動性にも変化が認められなかった。*K. mikimotoi* 培養株は数時間後に円形になり、その後破裂した。珪藻類は形態に変化が認められず破裂した。

これまで英虞湾や三河湾、加茂湖において、海水中の酸素濃度が減少傾向にある際、*H. circularisquama* の増殖が認められてきたため、本事業において、酸素濃度が *H. circularisquama* など有害藻類の増殖に与える影響について評価してきた。これまでの試験では、*H. circularisquama* や *Chattonella* 属は、海水培地中の酸素濃度が低いところで増殖速度が高くなり、酸素濃度が高いところでは増殖速度が低くなるという結果が得られた。一方、*K. mikimotoi* は逆の傾向を示した。具体的には、*H. circularisquama* 培養株(HCKam06)は、温度 20°C, 0, 2, 4, 6 mg/L の低酸素濃度下に5日間置かれた場合でも生残し、*K. mikimotoi* 培養株(KmUW3)は、6 mg/L 以下では24時間以内に死滅することが明らかになった。今年度はさらに、両種の培養株について酸素濃度 4mg/L 及び 25°C の条件で培養し、20°C の結果と比較したところ、これまでの 20°C における実験と同様の結果となった。ただし、*H. circularisquama* 培養株は、25°C で培養した方が 20°C で培養するより増殖が良好であり、動きやキツキ運動も活発であった。

自然環境下では、貧酸素状態になると、*H. circularisquama* のような低酸素に強い種は生残し、鉛直運動によって至適溶存酸素濃度の深度で酸素を得ることができれば、増殖すると推察される。一方、貧酸素下では増殖が困難な *K. mikimotoi* や珪藻類などは、低酸素濃度下では増殖が抑制されるか、あるいは、鉛直運動によって至適溶存酸素濃度の深度に停滞することが考えられる。三河湾における 2021 年 6~9 月の自動観測ブイによる溶存酸素濃度と *K. mikimotoi* の鉛直分布データによると、*K. mikimotoi* は貧酸素水塊を避けて鉛直運動をしていることが明らかになっている（加藤ら 印刷中）。したがって、低酸素が好適である種、低酸素下では増殖抑制が起り死滅あるいはシスト化する種、低酸素を避けて鉛直移動する種などが存在し、酸素濃度が種の優占や共存・競合関係に少なからず影響を与えていることが推察された。

今年度、珪藻類は培養株を準備できなかったため、次年度は培養株についても試験を試みる予定である。また、*K. mikimotoi* が低酸素に弱い要因については現在のところ不明であり、原因究明もさることながら、貧酸素状況下における *K. mikimotoi* の現場海水中での生残や増殖について知見を得ることが、今後の課題である。

### 4) 行動計画の検討

漁業被害の軽減に向けて、伊勢湾の三重県側におけるノリ漁場では、近年、ノリ色落ち原因珪藻類の種組成に変化が見られることから、珪藻類の発生状況についてデータ解析を

行い、新たな評価指標の設定など、発生シナリオの改良を進める。

三河湾では、*K. mikimotoi* と *E. zodiacus* の赤潮発生シナリオについて検討した。*K. mikimotoi* については、競合種となる珪藻類との関連を分布状況から解析した。*K. mikimotoi* の分布は、貧酸素水塊の形成状況とも関連があるため、今後、解析を進める。*E. zodiacus* については、これまでの解析結果から得られた予察手法の検証を行った。引き続き検証を進める。

英虞湾では、今年度の *K. mikimotoi* 赤潮の発生パターンを解析し、*K. mikimotoi* 赤潮発生シナリオの評価を行った。今年度の赤潮の発生状況は、これまでに作成した発生シナリオとおおむね一致した。今後は、英虞湾における栄養塩増加時の環境について解析を進めることで、発生シナリオをより精緻なものに改良していく。

漁業被害の軽減に向けて、赤潮の発生予察は今後ますます重要になってくる。このため、赤潮発生シナリオについて検証を進め、予察精度の向上を図りつつ、漁業者などの関係機関への周知や活用に関して、引き続き行動計画の作成を検討していく。

## 引用文献

本城凡夫．ギムノディニウム．「赤潮の科学第二版」（岡市友利編）恒星社厚生閣，東京．1997；264-273．

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；21，61-101．

柴田晋作，中嶋康夫．三河湾における養殖ノリ色落ち原因珪藻 *Eucampia zodiacus* 赤潮の発生予察．愛知県水産試験場研究報告，2016；21：1-3．

加藤毅士，柘植朝太郎，二ノ方圭介．三河湾における有害渦鞭毛藻 *Karenia mikimotoi* の出現状況と環境特性及び2021年夏季赤潮の消長要因の検討．愛知県水産試験場研究報告，2024（印刷中）

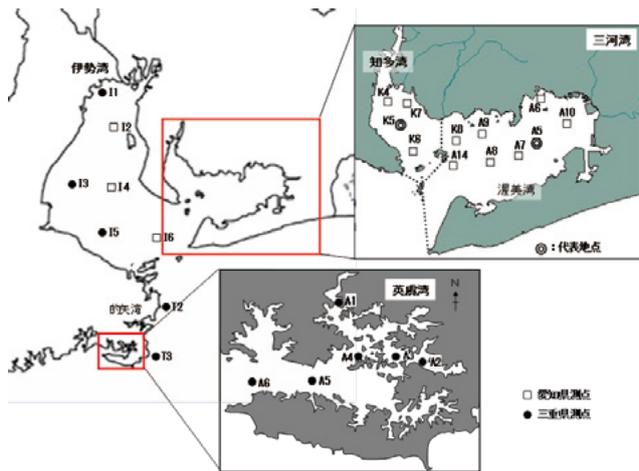


図1 有害赤潮プランクトン 調査地点図

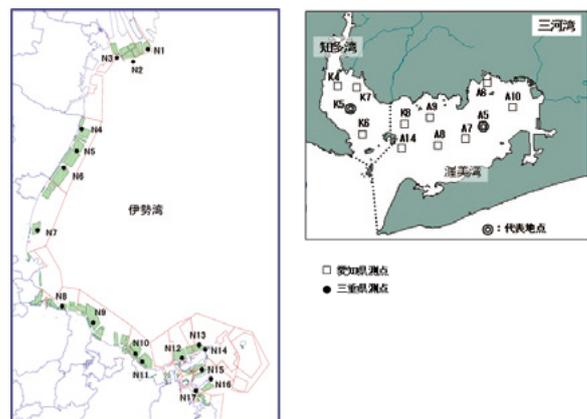


図2 ノリ色落ち原因珪藻 調査地点図

表1 有害赤潮 調査項目

		三重県	愛知県
調査点数		伊勢湾(St.I1, I3, I5) : 3点 伊勢湾口(St. T2, T3) : 2点 英虞湾(St.A1~A6) : 6点	伊勢湾(St.I2, I4, I6) : 3点 三河湾(St.A5~A10, A14, K4~K8) : 12点
調査期間		4月~翌3月	4月~翌3月
調査頻度		週1回~月1回	月1~2回
観測層		伊勢湾 : 0m 伊勢湾口 : 0m 英虞湾 : 0, 5, 10, 20, B-1m	伊勢湾 : 0m 三河湾 : 0m, 5m(A5, K5のみ), B-1m(A5, K5のみ)
調査項目	水温	○	○
	塩分	○	○
	DIN	△ (英虞湾のみ)	○
	PO <sub>4</sub> -P	△ (英虞湾のみ)	○
	SiO <sub>2</sub> -Si	—	○
	クロロフィル a	△ (英虞湾のみ)	○
	溶存酸素	△ (英虞湾のみ)	○
	有害種細胞密度	○	○

表2 ノリ色落ち原因珪藻 調査項目

		三重県	愛知県
調査点数		伊勢湾ノリ漁場(St.N1~N17) : 17点	三河湾(St.A5~A10, A14, K4~K8) : 12点
調査期間		10月~翌3月	10月~翌2月
調査頻度		週1回	月2回
観測層		0m	0m, 5m(A5, K5のみ), B-1m(A5, K5のみ)
調査項目	水温	○	○
	塩分	○	○
	DIN	○	○
	PO <sub>4</sub> -P	○	○
	SiO <sub>2</sub> -Si	—	○
	クロロフィル a	—	○
	溶存酸素	—	○
	珪藻細胞密度	○	○

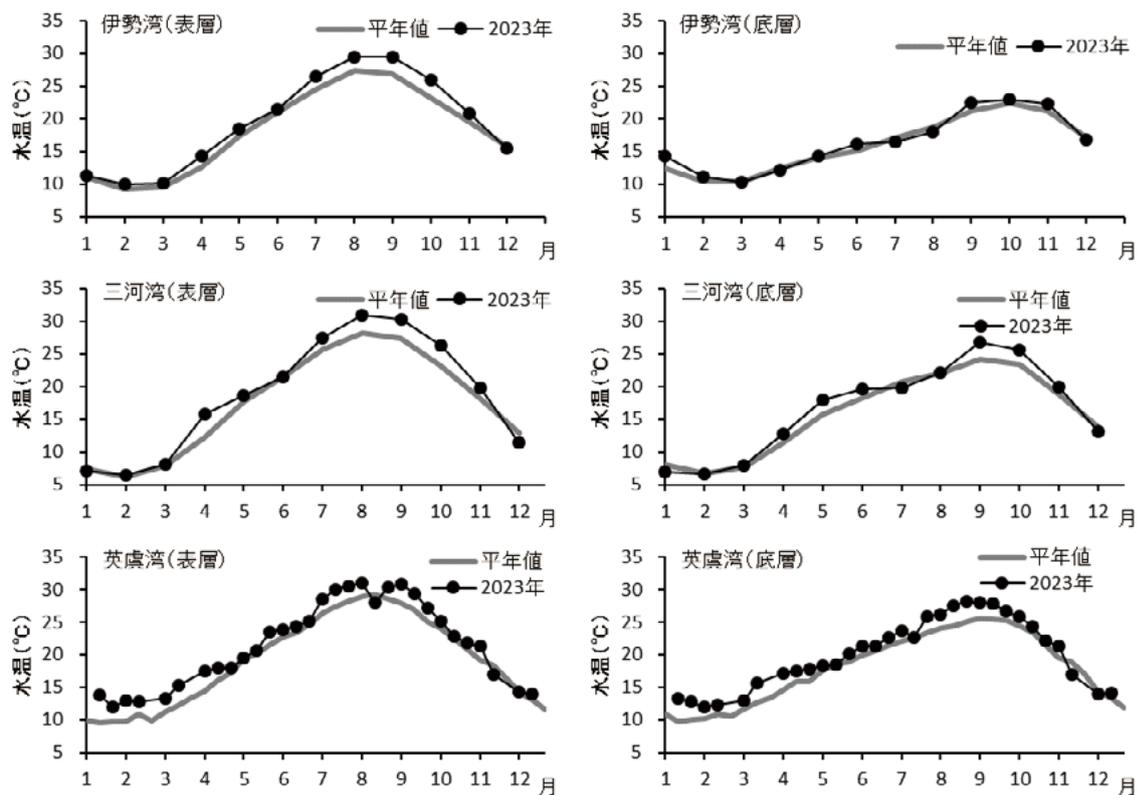


図3 表層と底層における水温の変化（伊勢湾 St.4, 三河湾 St.A5, 英虞湾 St.A3）  
 ※平年値：伊勢湾（2003～2022年），三河湾（2003～2022年），英虞湾（2003～2022年）

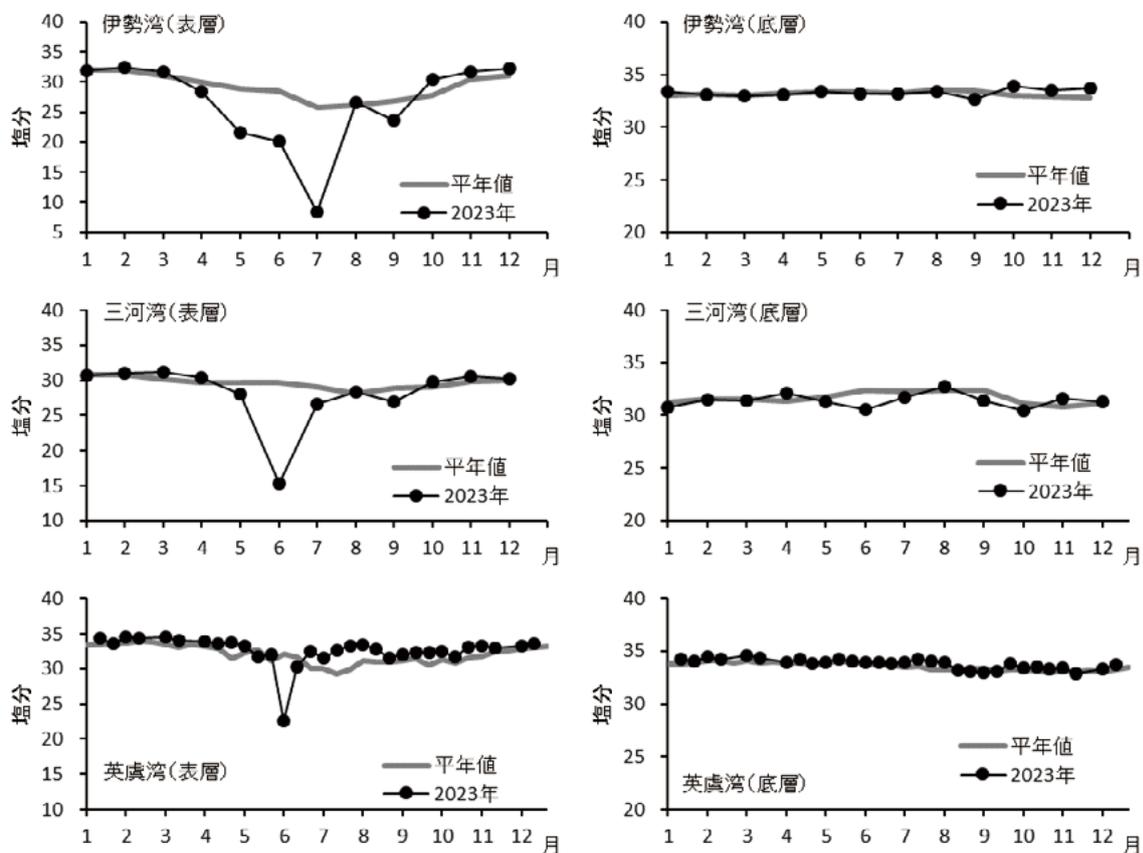


図4 表層と底層における塩分の変化（伊勢湾 St.4, 三河湾 St.A5, 英虞湾 St.A3）  
 ※平年値：伊勢湾（2003～2022年），三河湾（2003～2022年），英虞湾（2003～2022年）

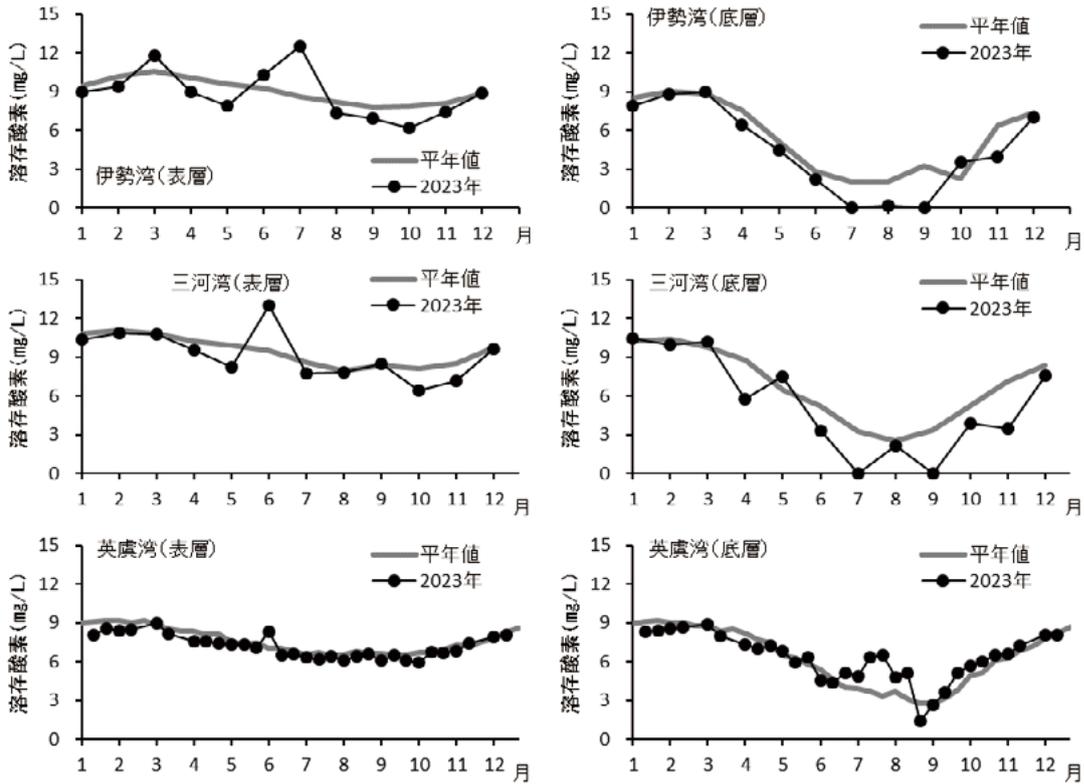


図5 表層と底層における溶存酸素濃度の変化(伊勢湾 St.4, 三河湾 St.A5, 英虞湾 St.A3)  
 ※平年値：伊勢湾 (2003～2022年), 三河湾 (2003～2022年), 英虞湾 (2003～2022年)

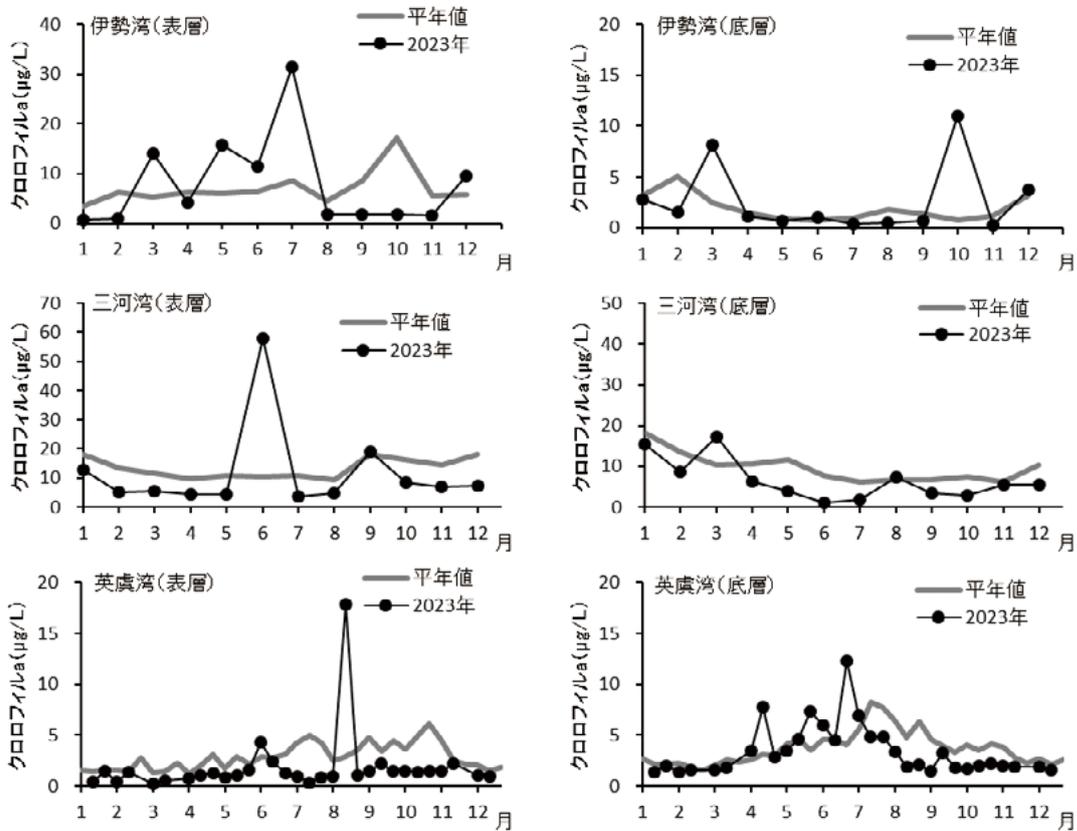


図6 表層と底層におけるクロロフィル a の変化(伊勢湾 St.4, 三河湾 St.A5, 英虞湾 St.A3)  
 ※平年値：伊勢湾 (2003～2022年), 三河湾 (2003～2022年), 英虞湾 (2003～2022年)

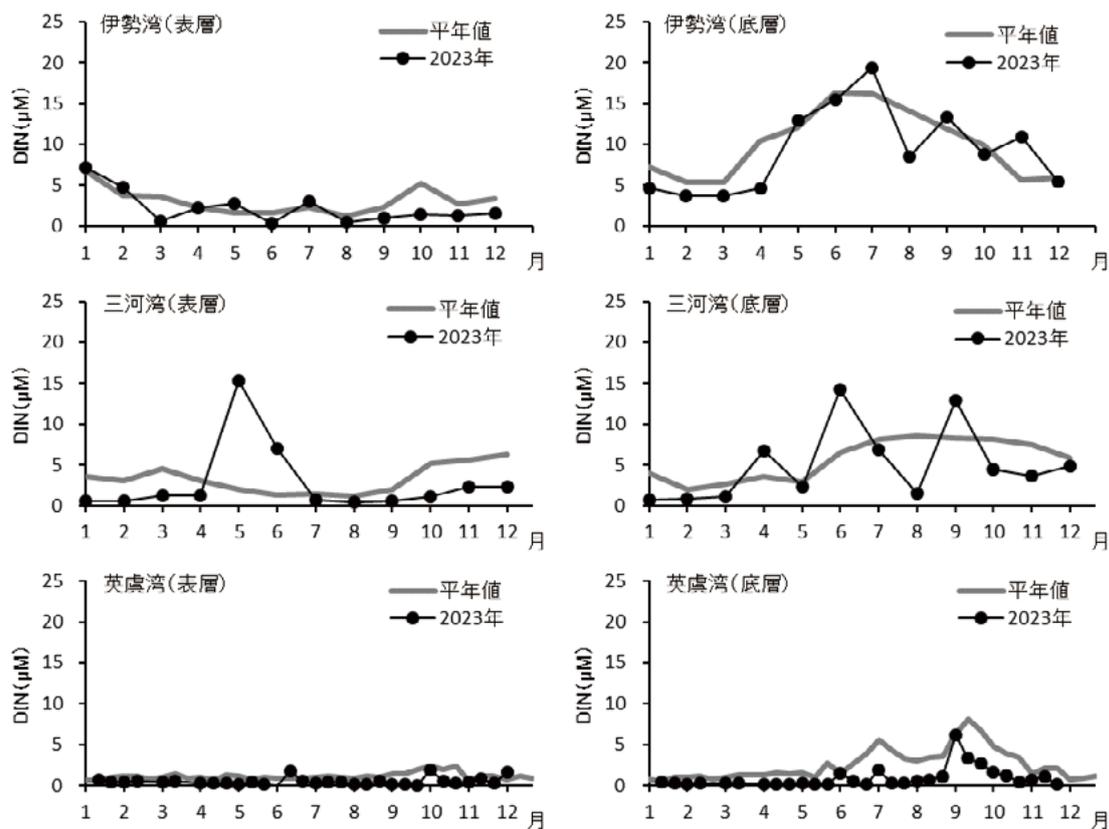


図7 表層と底層における DIN の変化 (伊勢湾 St.4, 三河湾 St.A5, 英虞湾 St.A3)  
 ※平年値：伊勢湾 (2003～2022 年), 三河湾 (2003～2022 年), 英虞湾 (2003～2022 年)

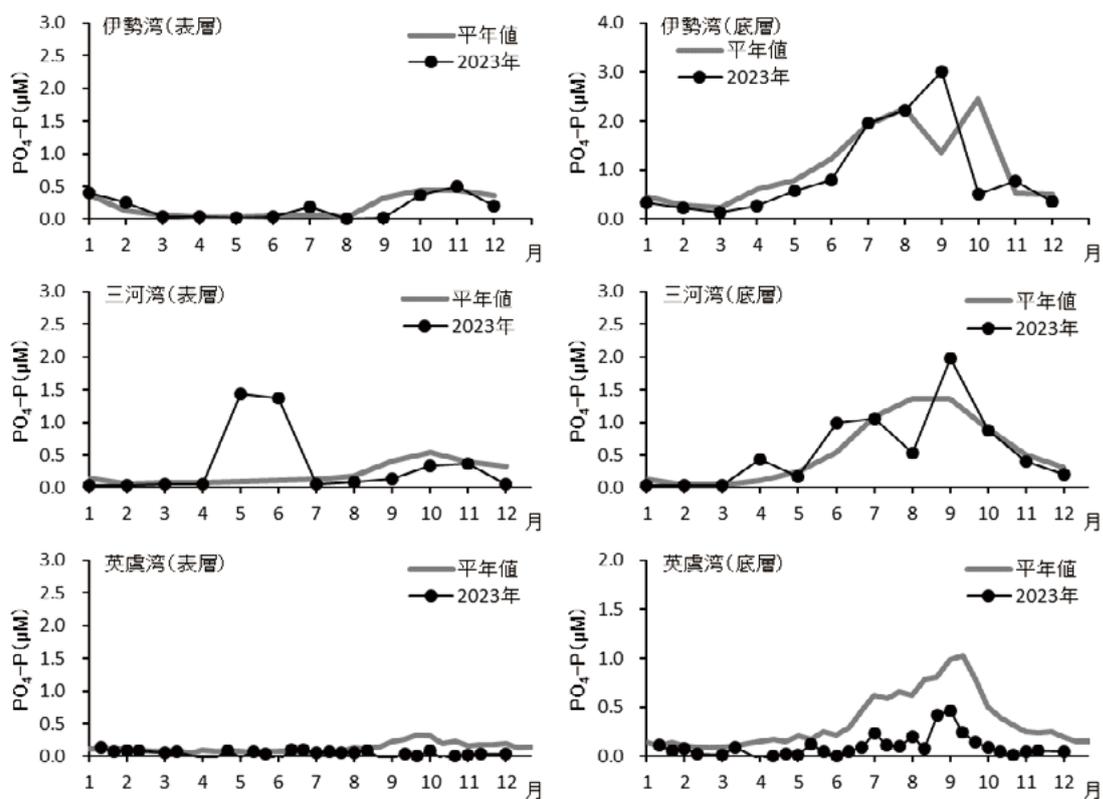


図8 表層と底層における PO<sub>4</sub>-P の変化 (伊勢湾 St.4, 三河湾 St.A5, 英虞湾 St.A3)  
 ※平年値：伊勢湾 (2003～2022 年), 三河湾 (2003～2022 年), 英虞湾 (2003～2022 年)

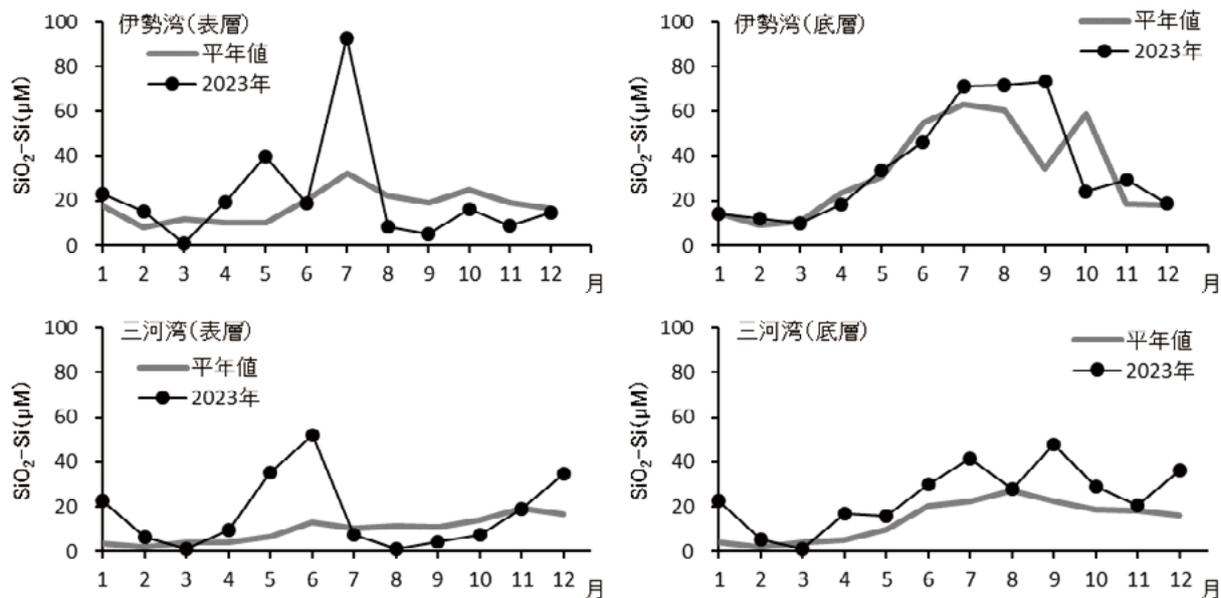


図9 表層と底層における  $\text{SiO}_2\text{-Si}$  の変化 (伊勢湾 St.4, 三河湾 St.A5)

※平年値：伊勢湾 (2003~2022年), 三河湾 (2003~2022年)

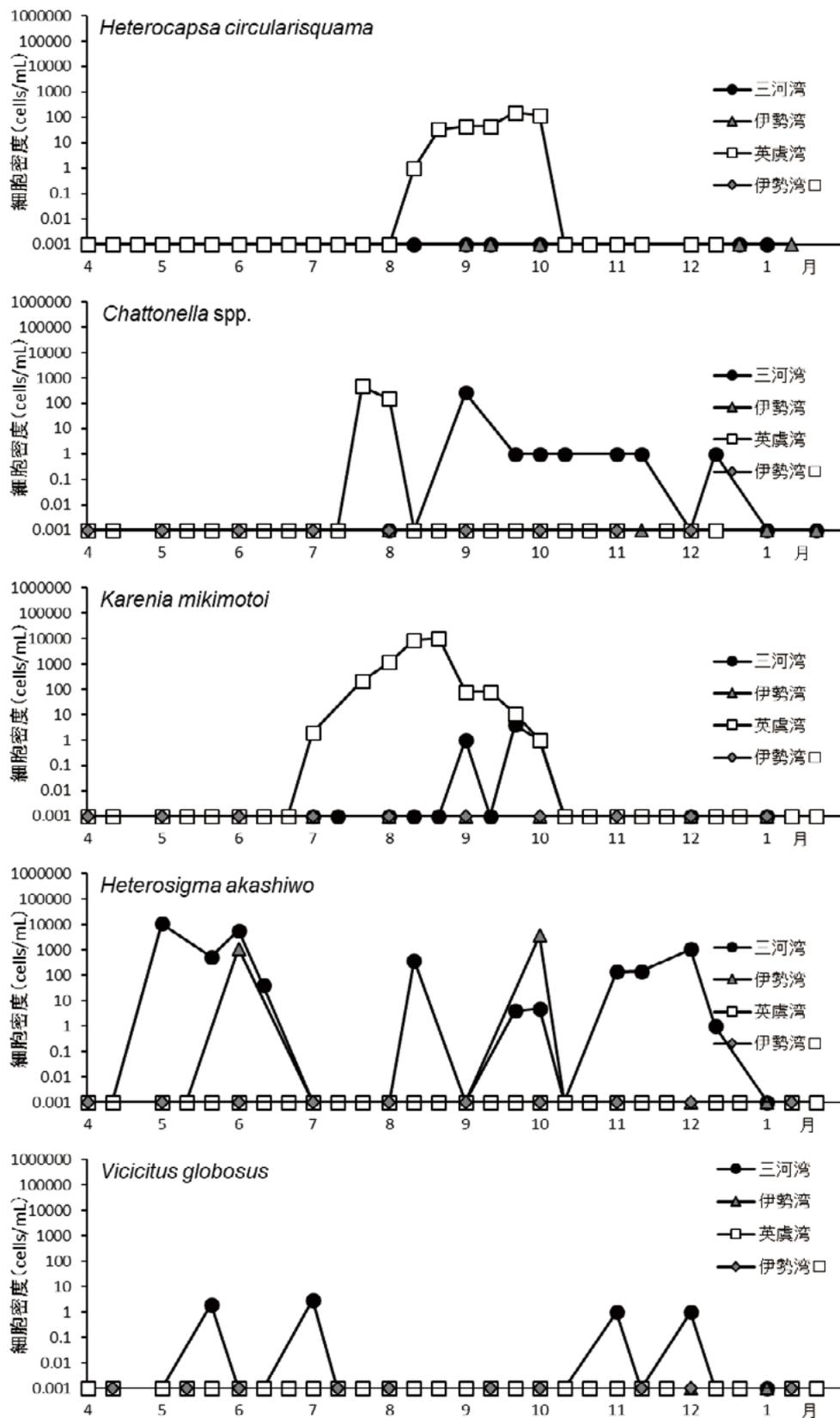


図 10 伊勢湾，三河湾，伊勢湾口，英虞湾（調査点）における有害赤潮種の最高密度の変化（2023 年度）

※英虞湾における *H. circularisquama* および *K. mikimotoi* の最高密度は，赤潮発生時の臨時調査結果を含む

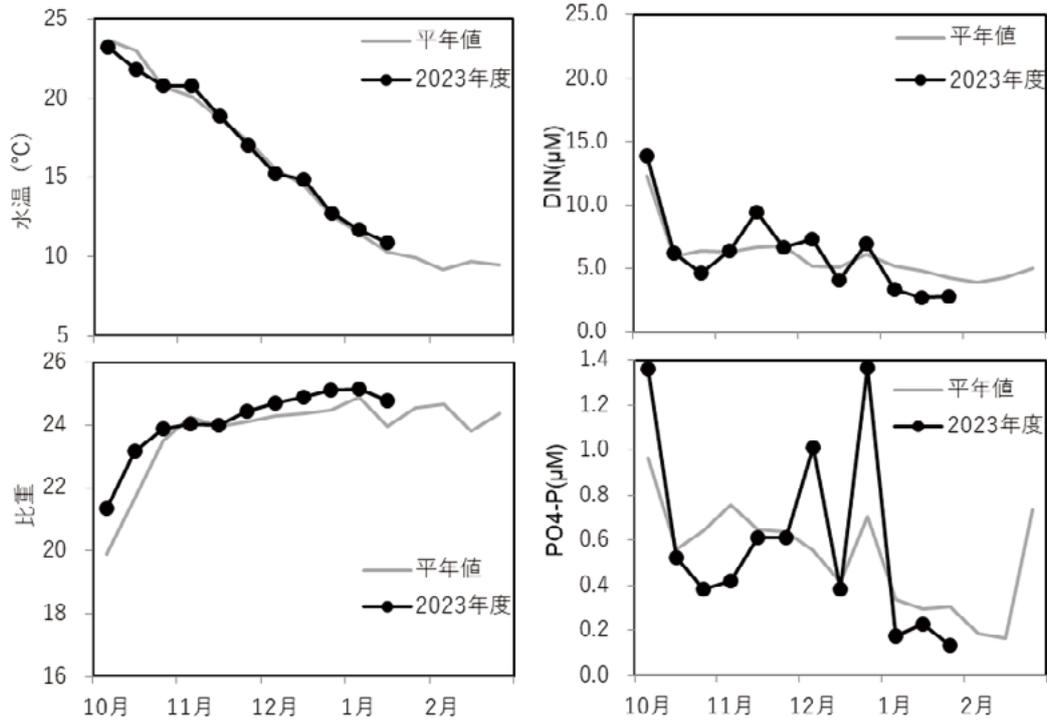


図 11 伊勢湾の表層における水温，比重，DIN，PO<sub>4</sub>-P の変化  
 ※平年値（2003~2022 年度）

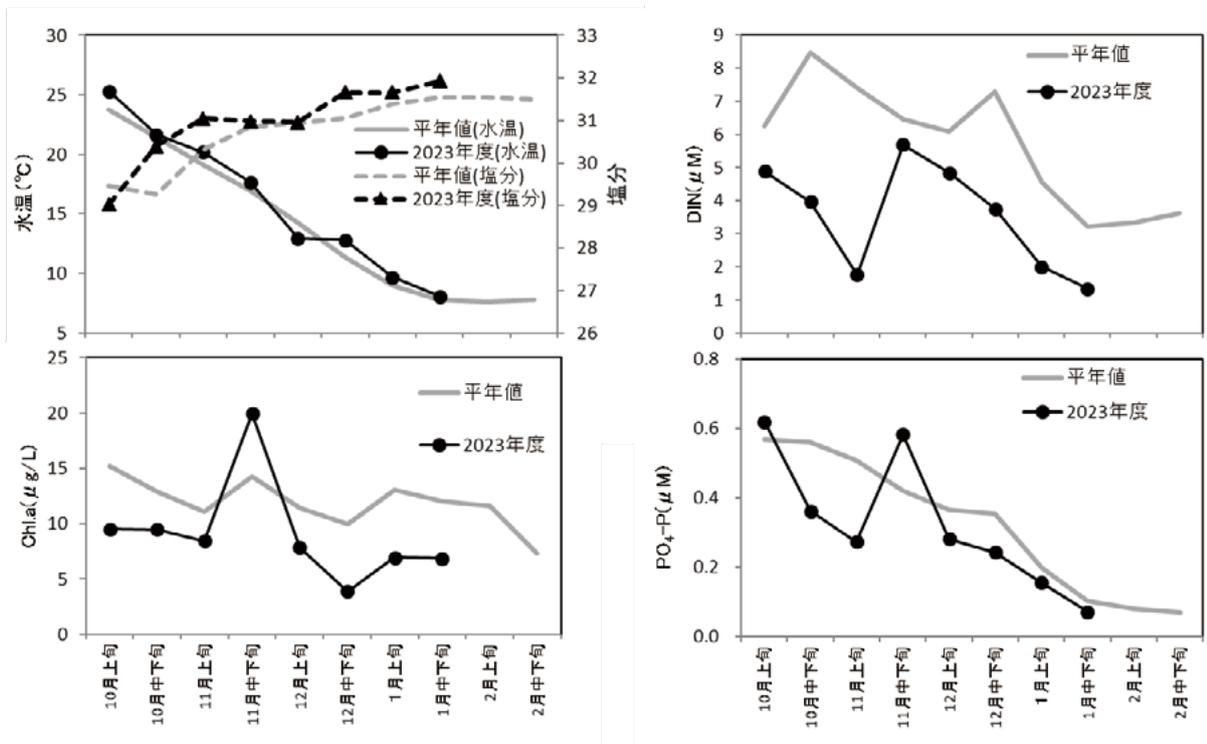


図 12 三河湾の表層における水温，クロロフィル *a*，DIN，PO<sub>4</sub>-P の変化  
 ※平年値（2005~2022 年度）

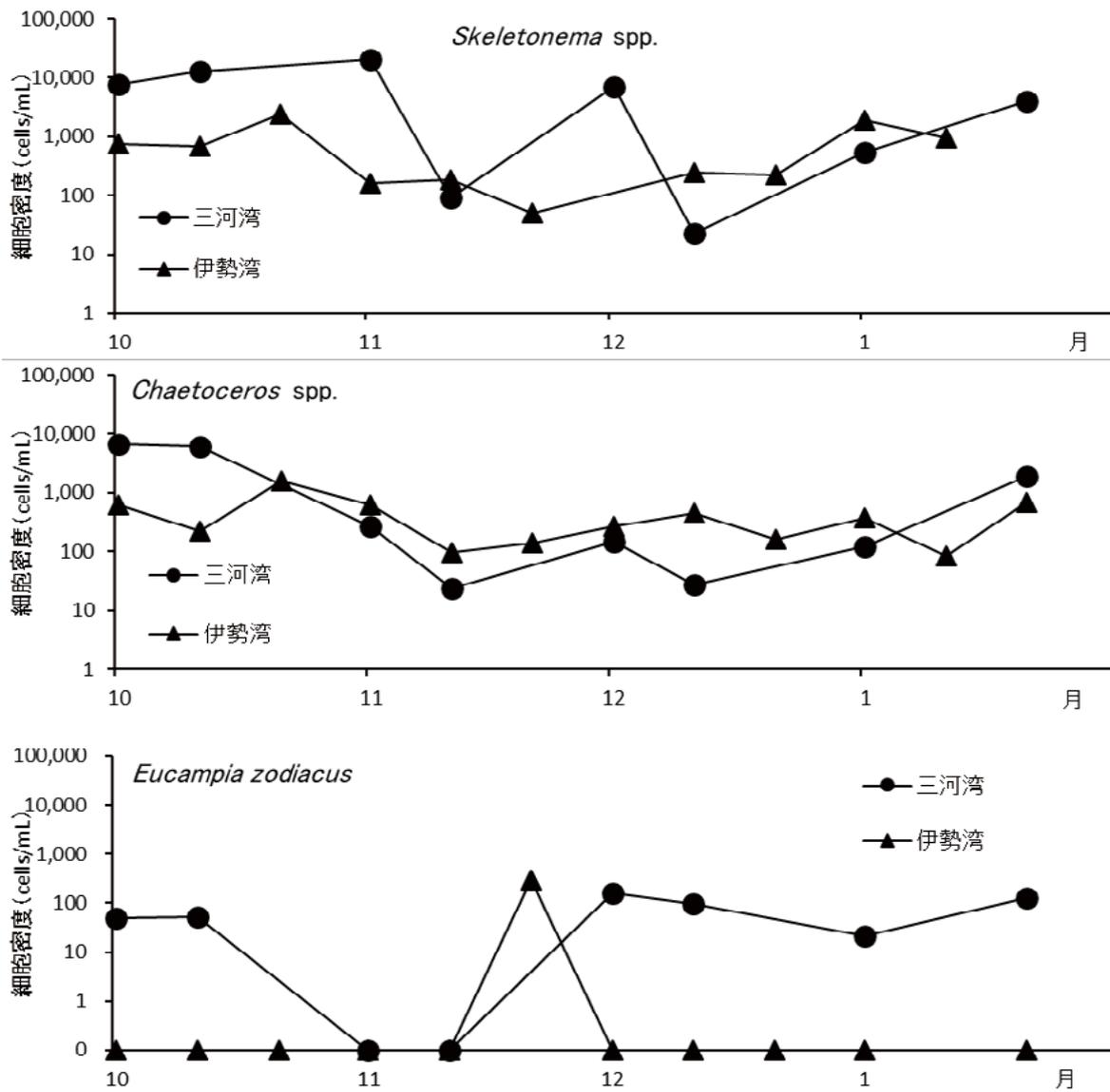


図 13 伊勢湾ノリ漁場及び三河湾（調査点）における珪藻主要種の最高密度の変化（2023年度）

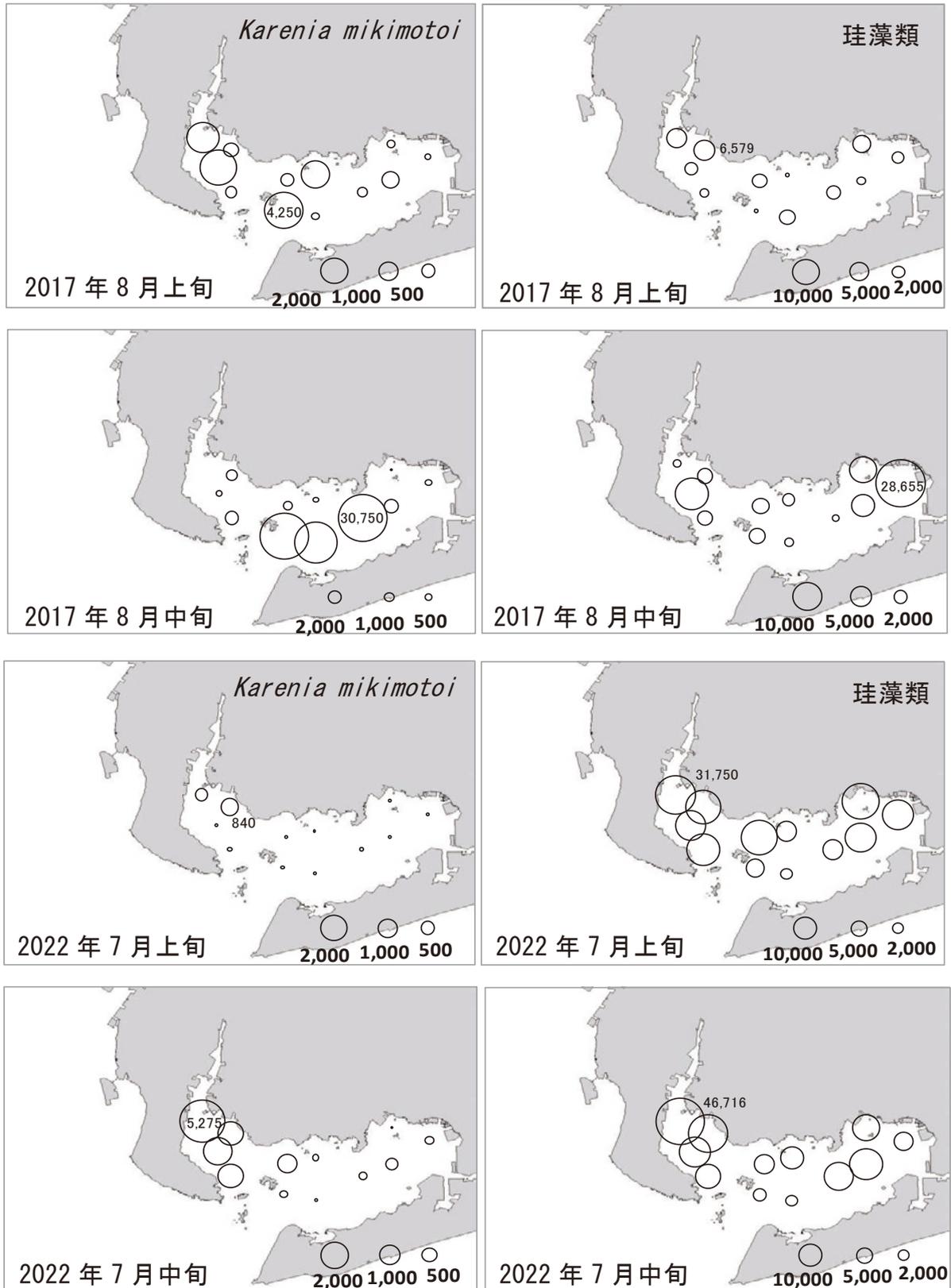


図 14-1 *Karenia mikimotoi* と珪藻類の分布（上 2 段：2017 年，下 2 段：2022 年，数値は最高密度：cells/mL）

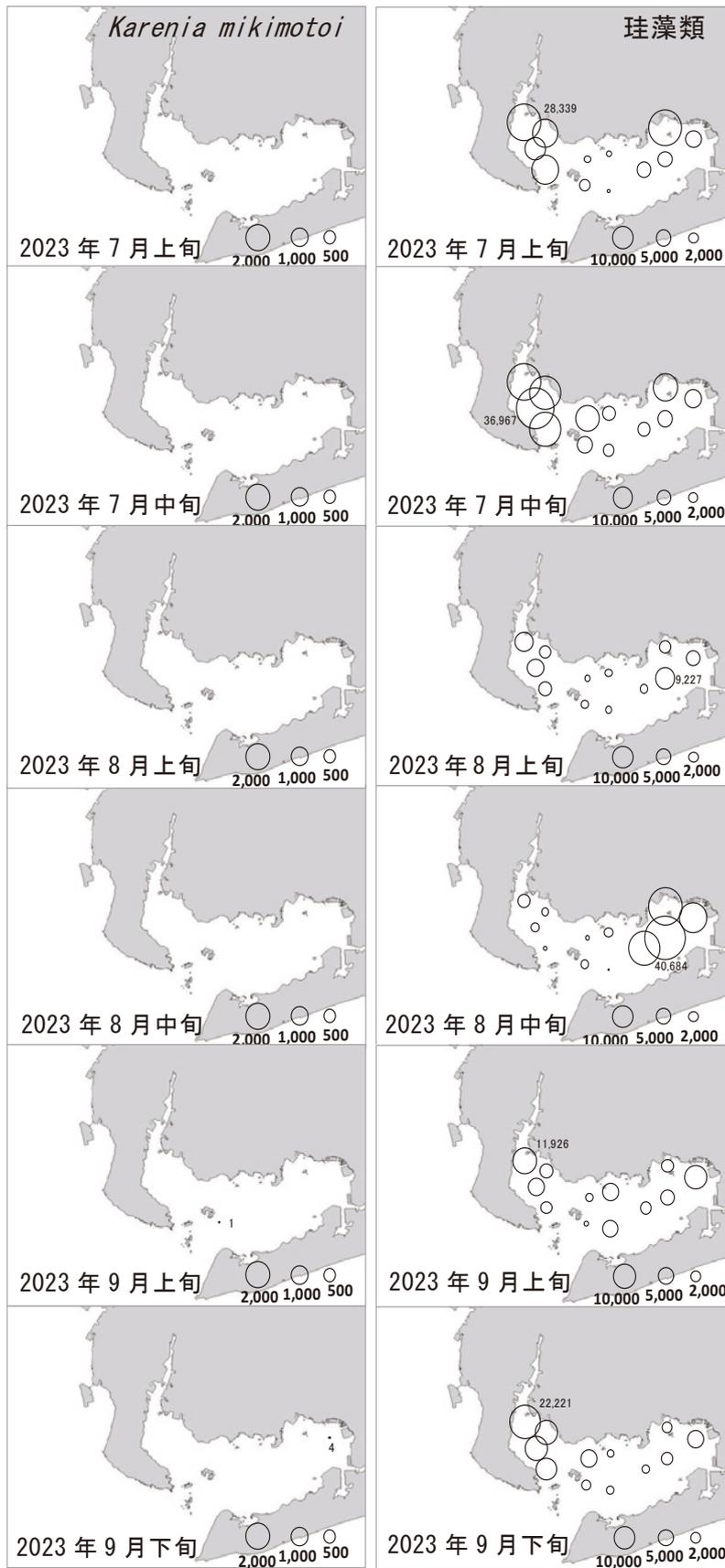


図 14-2 *Karenia mikimotoi* と珪藻類の分布 (2023年, 数値は最高密度: cells/mL)

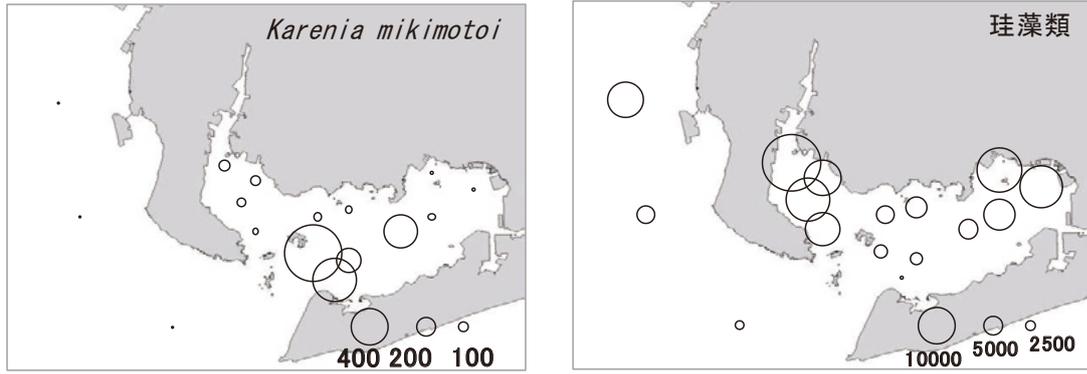


図15 *Karenia mikimotoi* と珪藻類の分布(2010～2023年の7～9月平均密度:cells/mL)

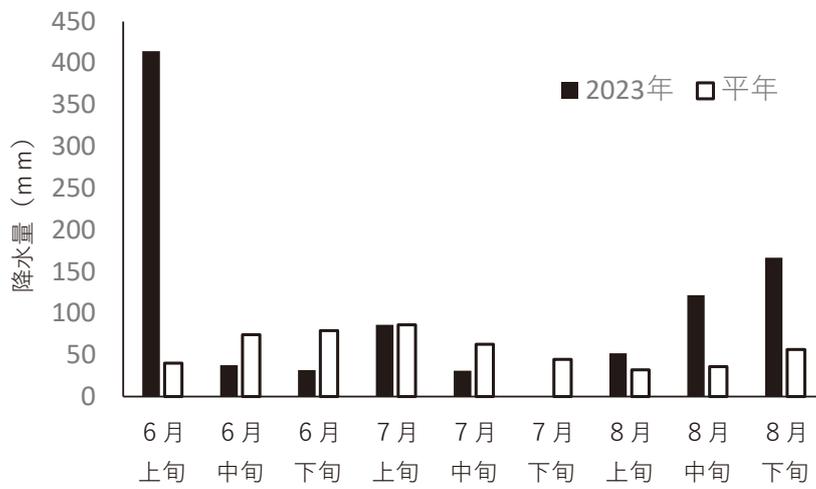


図16 降水量(2023年:蒲郡)



図17 各調査点

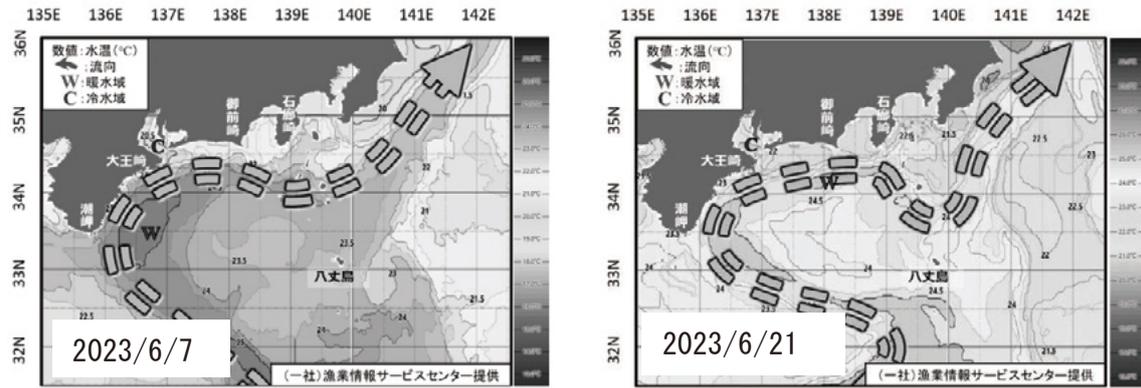


図 18 内湾系水の流出 (愛知県水産試験場: 海況速報より抜粋)

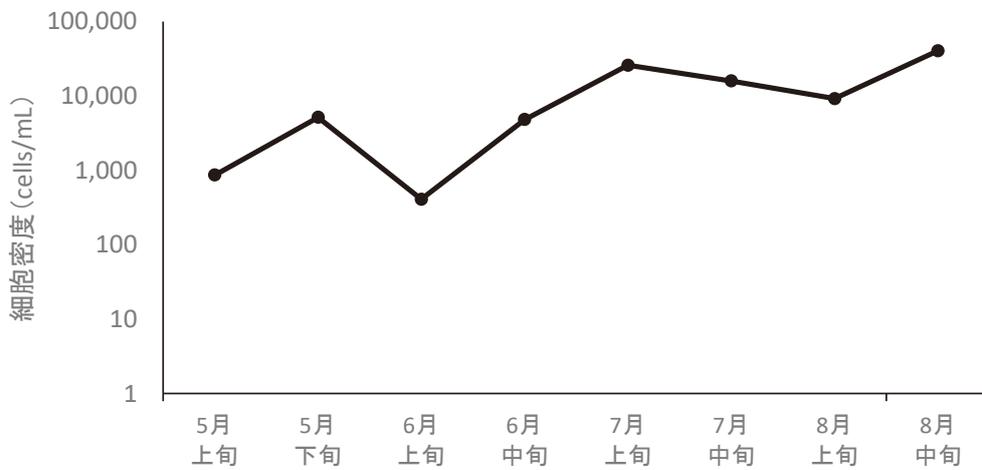


図 19 珪藻類最高密度 (渥美湾)

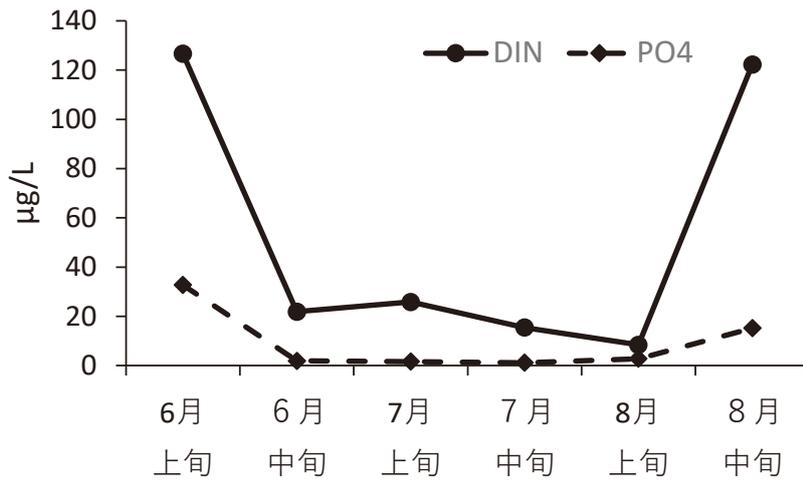


図 20 栄養塩濃度 (三河湾、平均値)

表3 英虞湾における *K. mikimotoi* 発生状況 (最高密度 cells/mL)

年	cells/mL	年	cells/mL	年	cells/mL	年	cells/mL
1995	5	2003	1	2011	1,170	2019	3
1996	15	2004	1	2012	1,705	2020	6
1997	10	2005	2	2013	205,000	2021	420
1998	0	2006	9,163	2014	5,025	2022	1,670
1999	1	2007	1	2015	3,290	2023	10,260
2000	125	2008	2	2016	10		
2001	0	2009	25	2017	9,300		
2002	9	2010	3	2018	2		

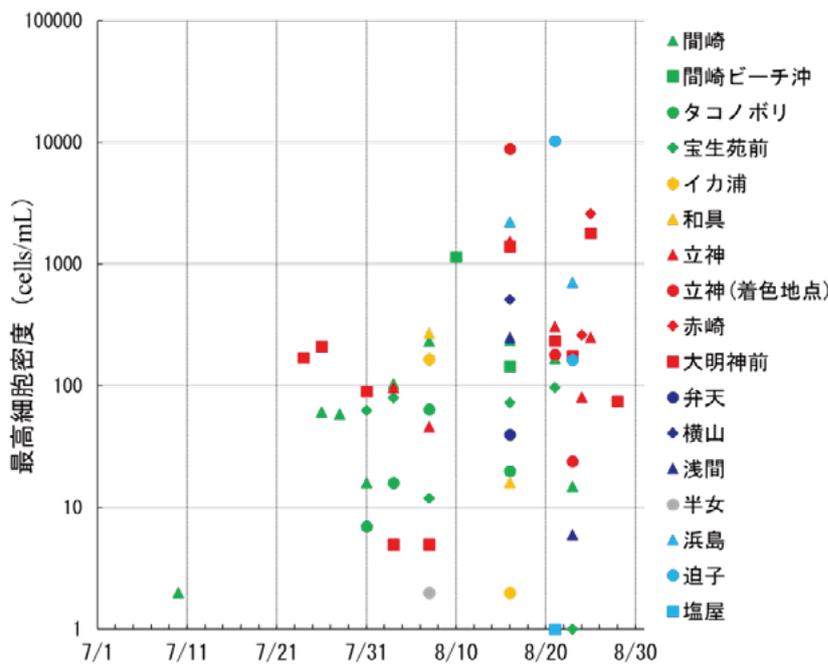


図21 英虞湾における *K. mikimotoi* 細胞密度 (2023年7月1日~8月31日)

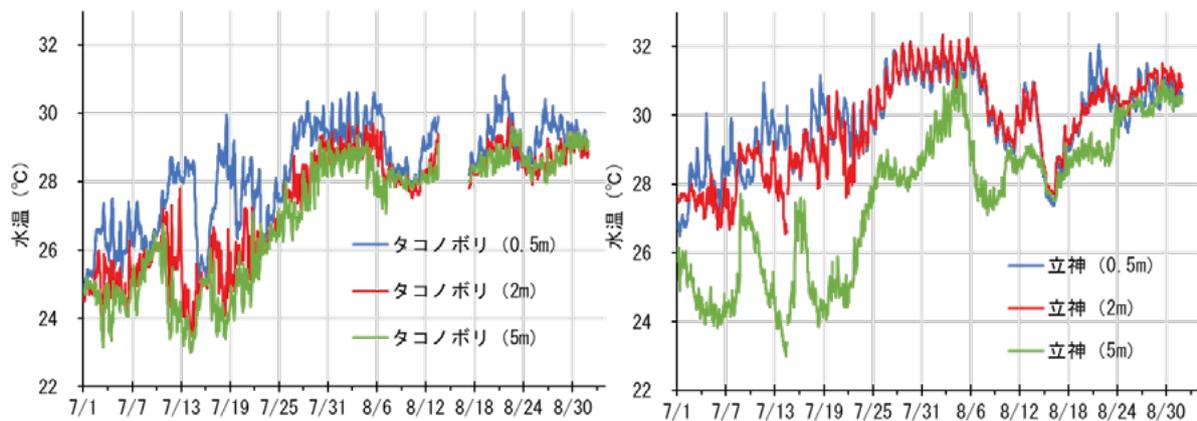


図22 英虞湾 (タコノポリ, 立神) 自動観測ブイの水温データ  
 ※タコノポリの8月14日~8月16日は、台風の影響でデータなし

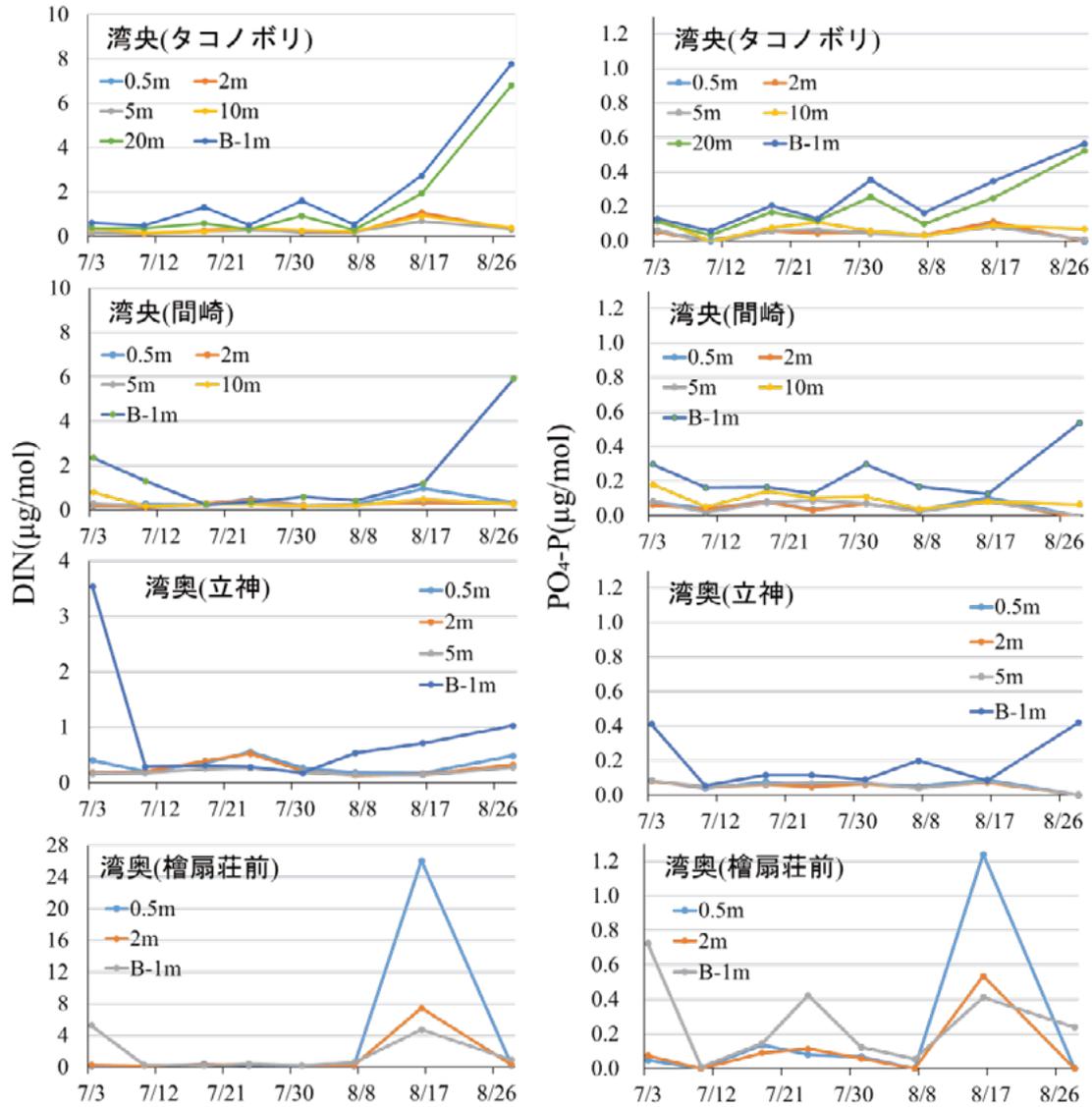


図 23 英虞湾における栄養塩濃度

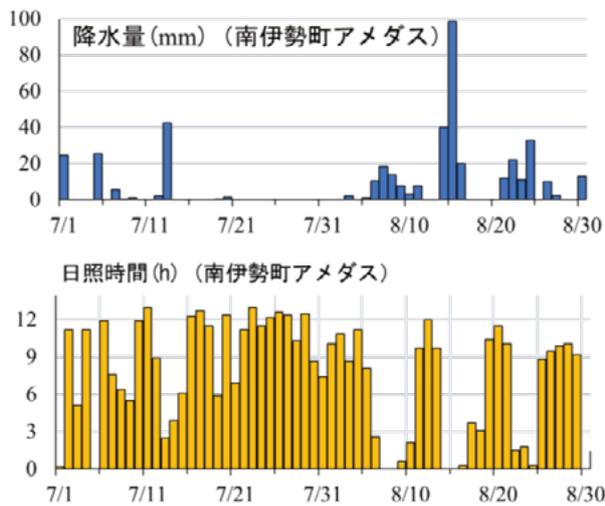


図 24 英虞湾における降水量と日照時間

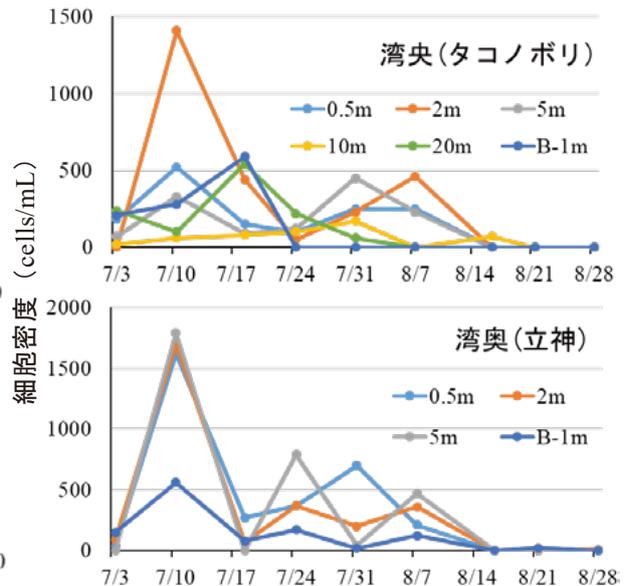


図 25 英虞湾における珪藻類の細胞密度

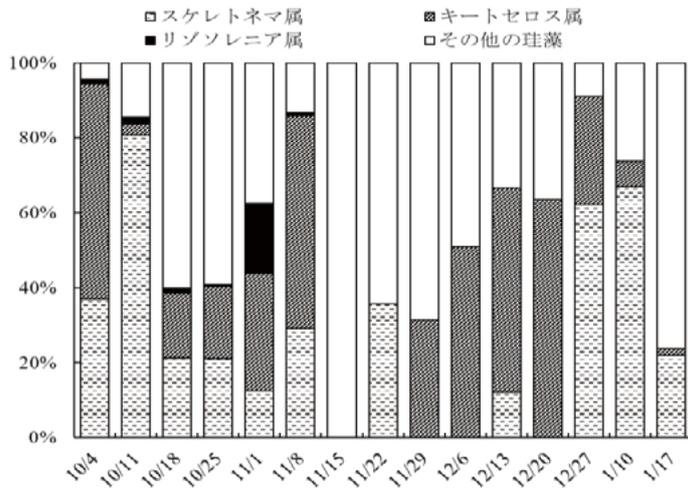
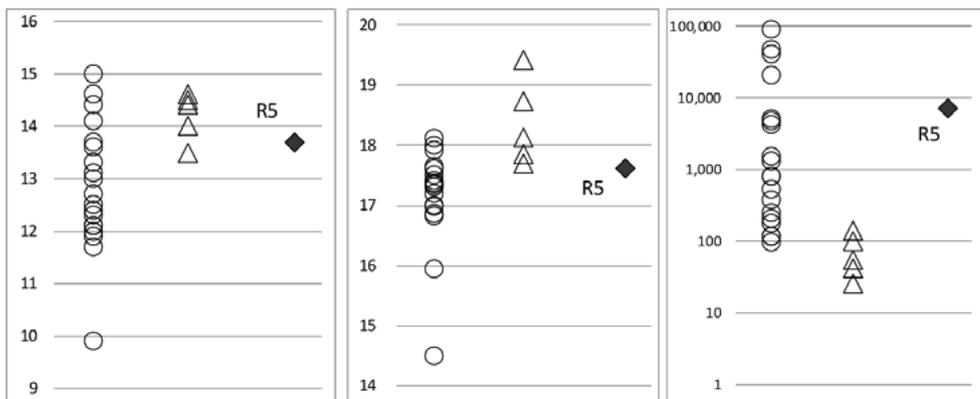


図 26 伊勢湾の三重県側ノリ漁場における珪藻類の種組成



A:11月の南知多町平均気温 (°C) 「発生年は高い」  
 B:11月の2号ブイ底層水温平均 (°C) 「発生年は高い」  
 C:12月の *Skeletonema* spp. と *Chaetoceros* spp. 細胞密度合計の最大値 (cells/mL) 「発生年は少ない」

図 27 *E. zodiacus* 赤潮被害の発生予察 (2023 年度)



図 28 *C. wailesii* と *E. zodiacus* の複合赤潮 (1月9日)

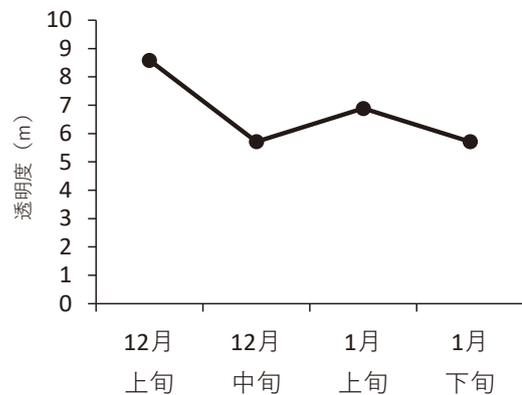


図 29 透明度 (渥美湾)

# 1) 有害赤潮プランクトンの出現動態監視及び予察技術開発並びに赤潮の発生段階に応じた一連の対策（行動計画）の検討・策定

## エ. 日本海西部海域

兵庫県水産技術センター但馬水産技術センター  
鈴木雅巳  
鳥取県栽培漁業センター  
福本一彦  
鳥取県水産試験場  
前田啓助  
島根県水産技術センター内水面浅海部  
清川智之, 古谷尚大  
島根県水産技術センター漁業生産部  
井口隆暉  
山口県水産研究センター外海研究部  
白木信彦  
水産機構水産技術研究所  
鬼塚 剛, 坂本節子

## 1 全体計画

### (1) 目的

2000年代以降、日本海西部海域では有害赤潮プランクトン *Cochlodinium polykrikoides* (= *Margalefidinium polykrikoides*) による赤潮がたびたび発生しており、本種による赤潮は魚類に加えて貝類などの磯根資源にも被害が及ぶため、その発生状況の監視と予察の精度向上が求められている。対馬暖流上流部に位置する中国や韓国沿岸では、1990年代以降、*C. polykrikoides* を含む有害渦鞭毛藻による赤潮が頻発しており、今後もそれら有害赤潮の山陰沿岸への漂着や将来的には新奇有害赤潮種の定着が懸念される。また、九州北部海域ではほぼ毎年本種赤潮が発生していることから、山陰沿岸域への輸送には今後も注意が必要である。さらに、2015年には北海道函館湾で *Karenia mikimotoi* による漁業被害を伴う赤潮が発生し、この由来として対馬暖流上流域が推察されるなど、我が国沿岸域における有害赤潮プランクトンの広域化も懸念されている。

このような赤潮による漁業被害を軽減するために、赤潮発生海域を網羅した広域連携調査を実施する必要がある。本課題では、日本海西部海域において各機関が連携して広範な海域を調査し、有害赤潮プランクトンの発生状況および海洋環境を監視するとともに、衛星データや数値モデル等を用いた解析を組み合わせることによって、当該海域における有害赤潮発生シナリオおよび赤潮発生予察の検証を図る。あわせて、赤潮が発生した際の一連の対策方法（行動計画）について現状を把握するとともに、他の海域等で活用されている各種漁業被害軽減対策技術に関する情報を収集し、今後の改良に資することを目的とする。

## 2 令和5年度計画および結果

### (1) 目的

全体計画と同じ

### (2) 方法

1) 海洋観測調査・サンプル分析・当該年度調査結果の解析および考察

1. 漁場モニタリング調査

*C. polykrikoides* や *Karenia* 属等の有害赤潮が発生する主に7月から9月まで、共同提案機関がそれぞれに有する調査船（または備船）および、陸上からの採水調査により、広域的な海洋調査を実施し、これら有害赤潮種の日本海西部海域における発生状況を監視した。図 1-1（沖合調査定点位置図）と図 1-2（沿岸調査定点位置図）に示す海域にそれぞれ計 15 点程度の調査定点を配置し、沖合調査定点では計 8 回程度、そして沿岸調査定点では計 30 回程度、海洋環境（水温、塩分、水色、透明度等）および有害赤潮プランクトン細胞密度等のモニタリング調査を実施した。また、上流域での発生状況などから西部日本海への侵入経路上および山陰沿岸域へ輸送される可能性が高い場合や、*C. polykrikoides* や *Karenia* 属以外の有害赤潮が発生した際には、必要に応じて随時、臨時調査を行うこととしている。前年度に島根県隠岐の島町西郷湾で着色域が確認され、*K. mikimotoi* が 1,300 cells/ml（西郷湾（島根県合同庁舎前））確認されたため（清川ら 2023）、本年度の調査では臨時調査として西郷湾に計 3 点の調査点を配置して調査を行った（図 1-3）。

## 2. LAMP 法による *C. polykrikoides* および *K. mikimotoi* の検出

日本海西部海域では、沖合の調査点が広範囲であるため、検鏡までに時間がかかり、細胞のコンディションが悪化する場合がある。また、細胞がごく低密度に存在する場合や混雑物が多い場合でも、迅速かつ正確な種判別を行うために分子生物学的手法（LAMP 法）を導入し、モニタリング精度の向上を図っている。採水した海水サンプルの一部で LAMP 法を実施し、日本海西部海域における有害プランクトンの広域化の実態把握を行った。具体的には 3.0  $\mu\text{m}$  孔のヌクリポアフィルターで海水をろ過して水中のプランクトンを回収、5% Chelex (BioRad) 中で加熱抽出して、DNA 粗抽出液を得た。得られた DNA を *C. polykrikoides* および *K. mikimotoi* を種特異的に検出する LAMP 法に供した。*C. polykrikoides* の LAMP 法には以下の 6 本のプライマーを用いた；CPLAMP-FIP；5'-TATCCTCggCCACCAATCACCAAgTgTgAgTTCTggTCgTCT-3'，CPLAMP-BIP；5'-CCTgCAAAGgCATggTAGCCCACACCACTCACATgATCAgC-3'，CPLAMP-F3；5'-gTTgCACTTTCAACgCAAAT-3'，CPLAMP-B3；5'-AAgTCgTTCgCCggTTAC-3'，CPLAMP-LF；5'-CCCACggCAAAGAACAC-3'，CPLAMP-LB；5'-ggTgAACgCgTTTgTTAgTACTCg-3'。反応試薬には Loopamp DNA 増幅キット（栄研化学）および Loopamp 蛍光・目視試薬（栄研化学）を用い、試薬のプロトコールに従い検出を実施した。また、*K. mikimotoi* の LAMP 法には赤潮原因プランクトン検出キット 1 - カレニアミキモトイ - （ニッポンジーン）を用い、キットのプロトコールに従い検出を実施した。

## 3. 九州北部から日本海西部海域における *K. mikimotoi* の定量 PCR 法（qPCR）による広域分布実態の把握

特に日本海沿岸対馬暖流域での分布域の拡大、広域化が懸念される *K. mikimotoi* を対象に、九州北部海域から日本海西部海域における *K. mikimotoi* の分布実態調査を行った。なお、本広域調査は九州北部海域の課題の一部でもあるが、調査研究は共同で実施し、成果の報告は日本海西部海域の報告書の中で行うこととする。

調査は 2023 年 4 月から 2024 年 1 月に九州北部海域（壱岐および対馬南部の対馬暖流域および玄界灘）の 4 定点（図 2）で月 1 回、表層海水を採水した。プランクトンの回収および DNA 抽出は前述の LAMP 法分析用試料と同じ方法で行った。加えて、山口県から鳥取県の沖合調査（7～9 月、表層および 20 m 層）で得られた LAMP 法分析試料を用いて同様に qPCR による高感度検出を実施した。qPCR には *K. mikimotoi* の rDNA LSU D1-D2 領域上の種特異的配列を標的とした以下のプライマーおよびプローブを用いた：フォワードプライマー KM-MGB-F1：5'-CTCATTgAACTgCTCTCTgTgT-3'，リバープライマー KM-MGB-R1：5'-CTCCTggCACCAACAACCTT-3'，プローブ KM-MGB-Taq1：5'-ATgTgCTTgCCTgCgAT-MGB-3'。また、反応試薬には TaqMan Gene Expression Master Mix (Thermo Fisher Scientific)，検出器に StepOnePlus (Applied Biosystems) を用いた。反応液の組成は反応試薬のプロトコールに従い調製し

た。PCR 反応はプレヒート 95°C, 10 分の後, PCR サイクル 95°C, 15 秒と 60°C, 1 分 (定量検出) とを 40 サイクル実施した。得られた抽出液中の標的遺伝子コピー数を Yarimizu et al. (2021) が報告している *K. mikimotoi* の細胞当たりの rDNA コピー数の値 6,710~8,420 copies/cell をもとに約 7,000 copies/cell として細胞密度に換算し, 海水 1 L 中における *K. mikimotoi* の細胞密度を算出した。

2) 衛星データや数値モデル等を用いた解析による発生シナリオと予察技術の検証および赤潮が発生した際の一連の対策方法 (行動計画) の検討

対馬暖流上流域である韓国沿岸域や九州北部海域における有害赤潮発生情報 (韓国水産科学院赤潮情報 <https://www.nifs.go.kr/board/actionRedtideInfoList.do>, 赤潮ネット <https://akashiwo.jp>, 各県赤潮情報等), 対馬海峡での風向・風速 (気象庁メソ数値モデル GPV-MSM), 日本海西部海域の水温分布 (日本海漁場海況速報 <http://jsnfri.fra.affrc.go.jp/Physical/sokuho.html>), 衛星画像によるクロロフィル高濃度水塊 (Aqua/MODIS: [https://www.eorc.jaxa.jp/cgi-bin/adeos/modis\\_index.cgi](https://www.eorc.jaxa.jp/cgi-bin/adeos/modis_index.cgi), GCOM-C/SGLI: [https://www.eorc.jaxa.jp/JASMES/SGLI\\_NRT/index\\_j.html](https://www.eorc.jaxa.jp/JASMES/SGLI_NRT/index_j.html)) の監視を行った。また, 1) で取得したデータや上記解析データをもとに赤潮発生シナリオ (図 3) の検証を行った。なお, 例年行っている日本海の流動場を用いた赤潮輸送シミュレーションは, 後述するように初期発生海域である韓国沿岸域で有害種の発生が認められなかったことから, 今年度の実施を見送った。

行動計画検討のためのロードマップを作成し, これをもとに赤潮が発生した際の一連の対策方法 (行動計画) の検討を進めることとした。赤潮が発生した際の一連の対策方法 (行動計画) の検討として, 水産庁九州漁業調整事務所が発行する「九州海域の赤潮」を参照し, 九州北部海域 (長崎県五島列島以東) から山口県海域 (日本海側) までの過去の *K. mikimotoi* 赤潮発生状況を整理した。また, 福岡県北九州市から山口県の下関市以北における漁業被害発生状況の整理を行い, 被害魚種や斃死密度に関する情報を収集した。

### (3) 結果および考察

#### 1) 海洋観測調査・サンプル分析・当該年度調査結果の解析および考察

##### 1. 漁場モニタリング調査

本海域では *C. polykrikoides* および *K. mikimotoi* を主要対象種としており, 今年度の検鏡結果は *C. polykrikoides* および *K. mikimotoi* はいずれもごく低密度でのみ確認された。

##### ① 沖合調査

###### ア) 主要対象種

*C. polykrikoides* は兵庫県沖合の Stn.H2(20 m) で 7 月 26 日に 0.002 cells/ml が確認された。*K. mikimotoi* は鳥取県沖合の Stn.T2 (20 m) と Stn.T3(20 m) で 8 月 30 日にそれぞれ 0.021 cells/ml, 0.038 cells/ml が確認された (表 1-1)。

###### イ) その他有害種

*Dinophysis* 属は兵庫県沖合で *D. mitra* と *D. caudata* が散見されたが, それぞれ 0.001~0.007 cells/ml, 0.001~0.002 cells/ml と低密度であった。また, 9 月 6 日に Stn.2(20 m) で *Alexandrium sp.* (*A. fraterculus* 様) が 0.023 cells/ml 確認された。

##### ② 沿岸調査

###### ア) 主要対象種

*C. polykrikoides* は本年度調査では検鏡では確認されなかった。*K. mikimotoi* は鳥取県沿岸の Stn.T7 (表層) で 7 月 26 日に 0.017 cells/ml, 9 月 27 日に 0.027 cells/ml が確認された (表 1-2)。

#### イ) その他有害種

*Dinophysis* 属は島根県沿岸で *D. mitra* と *D. caudata* が散見されたが、それぞれ 0.003~0.057 cells/ml, 0.003~0.03 cells/ml と低密度であった。兵庫県沿岸で *D. acuminata* と *D. caudata* が散見されたが、それぞれ 0.05~0.342 cells/ml, 0.001~0.012 cells/ml と低密度であった。

*Gymnodinium catenatum* が山口県沿岸の Stn.Y7 (表層) で 7月13日に 0.003 cells/ml, 島根県沿岸の Stn.S6 で 8月2日に表層 (0 m) で 0.05 cells/ml, 底層 (5 m) で 0.026 cells/ml が確認された。

#### ③臨時調査

*K. mikimotoi* は検鏡では確認されなかった。また, *C. polykrikoides* も確認されなかった (表 1-3)。その他, Stn.ST1-2 で 7月4日に 0 m で *D. mitra* が 0.010 cells/ml, 2 m で 0.003 cells/ml 確認された。Stn.ST1-1 で 9月5日に 0 m で *D. caudata* が 0.003 cells/ml 確認された。

#### 2. LAMP 法による *C. polykrikoides* および *K. mikimotoi* の検出

本年度に臨時調査を含めて各県で実施した *C. polykrikoides* および *K. mikimotoi* の検鏡結果と LAMP 法による検出結果の比較を表 1-1~1-3 に示す。

*C. polykrikoides* が検鏡で確認された兵庫県沖合調査の 1 サンプルは, LAMP 法で陽性を示した。一方, 検鏡で確認されなかった島根県沖合調査の 8 サンプルのうち 1 サンプル, 鳥取県沖合調査の 20 サンプルのうち 3 サンプル, 兵庫県沖合調査の 23 サンプルのうち 7 サンプルで陽性を示した。また, 検鏡で確認されなかった島根県沿岸調査の 39 サンプルのうち 4 サンプル, 鳥取県沿岸調査の 21 サンプルのうち 7 サンプル, 兵庫県沿岸調査の 11 サンプルのうち 1 サンプルで陽性を示した。また, 山口県の沖合調査の 12 サンプルと沿岸調査の 24 サンプル, 島根県臨時調査の 18 サンプルは全て検鏡で確認されず, LAMP 法も陰性であった。

*K. mikimotoi* が検鏡で確認された鳥取県沖合調査の 2 サンプルと沿岸調査の 2 サンプルは, 全て LAMP 法で陽性を示した。一方, 検鏡で確認されなかった鳥取県沖合調査の 18 サンプルのうち 5 サンプルで陽性を示した。山口県沿岸調査の 24 サンプルのうち 3 サンプル, 島根県沿岸調査の 39 サンプルのうち 3 サンプル, 鳥取県沿岸調査の 18 サンプルのうち 5 サンプル, 兵庫県沿岸調査の 11 サンプルのうち 2 サンプル, 島根県臨時調査の 18 サンプルのうち 2 サンプルで陽性を示した。また, 山口県の沖合調査の 12 サンプルと島根県の沖合調査の 8 サンプルは全て検鏡で確認されず, LAMP 法も陰性であった。

#### 3. 定量 PCR 法による九州北部から日本海西部海域における *K. mikimotoi* の広域分布実態の把握

##### ア) 九州北部海域

台風や時化の影響により調査ができなかった 8 月を除き, *K. mikimotoi* は周年, 低密度で検出された (図 4)。検出された細胞密度の範囲は 0.21~134.79 cells/L であった。沿岸に近い定点 St. 18 で 7 月に最も高い細胞密度 (134.79 cells/L) が検出されたが, これは 6 月下旬に, 隣接する伊万里湾内で *K. mikimotoi* が最高細胞数 284 cells/ml となり, その後の豪雨の影響で伊万里湾内から輸送された可能性が考えられた。詳細については本報告書の九州北部海域の報告を参照されたい。調査の間 (2023 年 4 月~2024 年 1 月) の水温は 15.8°C (1 月, St. 18) ~27.9°C (9 月, St. 6), 塩分は 32.1 (9 月, St. 18) ~34.5 (5 月, St. 6) であった。水温, 塩分環境については *K. mikimotoi* が周年増殖できる環境であり, 低密度ではあるものの栄養細胞としてシードポピュレーションが生残しやすい環境であることが示唆された。今年度の結果が今年度特有であるのか毎年同じ状況であるのか, 対馬暖流域のさらに上流域からの移流があるのか, といった点については今後の検討課題である。

##### イ) 日本海西部海域

2023 年 7 月から 9 月の日本海西部海域 (山口県~鳥取県) 沖合における *K. mikimotoi* の分布は, 定量 PCR では 8 月の島根県沖合の定点 SA で 0.02 cells/L の細胞密度で検出されたが, これ以外は検

出限界以下であった（図 5）。今年度の LAMP 法による調査では 8 月を中心に島根県～鳥取県の沖合で *K. mikimotoi* が検出されており、これらの結果を合わせて考えると日本海西部沖合では九州北部よりもさらに低密度で分布していたことが想像される。また、今回定量 PCR では分析できていない沿岸の定点でも LAMP 法や検鏡で *K. mikimotoi* が検出されていることから、より沿岸に近いルートで分布域を拡大している可能性もある。さらに、沿岸・島嶼ではすでに分布を広げた *K. mikimotoi* が地場でシードポピュレーションとなり繰り返し発生している可能性もある。今回の調査では、日本海西部沖合海域において、少なくとも高密度で発生しているような海域や長期間に *K. mikimotoi* が検出されるような海域はなかった。この結果が本年度特有であるかはさらに調査が必要である。

## 2) 衛星データや数値モデル等を用いた解析による発生シナリオと予察技術の検証

本海域では、これまでに得られた成果から、*C. polykrikoides* が山陰沿岸域および隠岐諸島周辺海域で赤潮を形成するシナリオを策定し（図 3）、それをもとに、①長期予測（～1 ヶ月程度）：7 月以降の韓国沿岸域での *C. polykrikoides* の発生状況とその際の風向風速（特に南西寄りの風）の監視、②中期予察（～1 週間程度）：対馬暖流流路の検討、衛星画像によるクロロフィル高濃度域の時空間変動の監視と赤潮輸送シミュレーションによる赤潮の到達可能性の検討、③短期予察（～数日程度）：調査船等による現場調査（赤潮プランクトン細胞密度等）、衛星画像によるクロロフィル高濃度域の監視、山陰周辺海域の気象・海象条件の検討、という 3 段階の赤潮監視・予察（図 3）を行ってきた（宮原ら 2011）。また、韓国沿岸域と同様に対馬暖流の上流部にあたる九州北部沿岸域での有害赤潮発生状況等の監視も実施している。今年度も上記の手順に従って赤潮の監視・予察を行うとともに、発生シナリオの検証を行った。

### 1. 対馬暖流上流部における有害赤潮の発生状況

2023 年は韓国南部沿岸域で *C. polykrikoides* の出現が確認されず、2017 年以来 6 年ぶりの赤潮非発生年となった。また、表 2 に示すように、*C. polykrikoides* 以外の有害種として、*Heterosigma akashiwo* が最高細胞密度 1,800 cells/ml だったほかは、無害種のみ報告だった。一方、九州北部海域では、伊万里湾や五島列島で 7 月から 8 月にかけて *K. mikimotoi* が数百 cells/ml 程度確認されていた。

### 2. 対馬海峡における風向風速

8 月から 9 月にかけての対馬海峡における海上風ベクトルの時系列を図 6 に示す。8 月下旬および 9 月中下旬に南寄りの風が数日間連吹しており、この間に韓国沿岸域で赤潮が発生していた場合、沖合へ輸送された可能性があった。

### 3. 対馬暖流流路の検討

対馬暖流の沖合分枝の流路の目安として 50 m 深の水温フロントを確認した（図 7）。9 月上旬の 50 m 深水温分布によると、隠岐諸島の西側では冷水の張り出しに沿って明瞭な水温フロントが確認できるが、隠岐諸島の東側では水温フロントは不明瞭だった。水温分布は *C. polykrikoides* 赤潮発生年と非発生年の中間的な分布となっており、対馬暖流の沖合分枝の流路は離岸と接岸の中間的な位置だったと推察された。

### 4. 衛星クロロフィル画像

日本海西部海域の 9 月の衛星クロロフィル画像を確認したところ、日本海西部海域で特徴的な分布は認められなかった。韓国沿岸域でクロロフィル高濃度が分布していたが、無害種だったと考えられる。

## 5. 発生シナリオの検証

*C. polykrikoides* 赤潮が山陰沿岸域や隠岐諸島周辺海域で出現する条件として、①韓国沿岸域で大規模な赤潮が発生すること、②南西風により韓国沿岸域から *C. polykrikoides* の赤潮水塊が沖合域へ輸送されること、③対馬暖流沖合分枝が接岸傾向であること、この3つの条件が全て揃う必要があることが示されている (Onitsuka et al. 2010)。今年度は条件①の韓国沿岸で *C. polykrikoides* が確認されなかったことから、山陰沿岸域や隠岐諸島周辺海域に出現しなかったと考えられた。モニタリング調査で得られたサンプルの顕微鏡観察や LAMP 法でも上記を裏付けており、今年度の結果はこれまで構築してきた *C. polykrikoides* 赤潮発生シナリオを支持する結果となった。一方で、条件②と③は一時的に成立していた可能性があり、仮に8月から9月に韓国沿岸で *C. polykrikoides* 赤潮が発生していた場合には、*C. polykrikoides* が韓国南部沿岸域から隠岐諸島や山陰沿岸域へ輸送される可能性がある海況であった。

## 6. 行動計画検討のためのロードマップの作成

検討項目を整理し、段階的に検討を行うためのロードマップを作成した (表3, 図8)。このロードマップに沿って対策方法 (行動計画) の検討を進めていく予定である。

## 7. 過去の *K. mikimotoi* 赤潮発生状況と漁業被害状況の整理

2022年9月に隠岐諸島の西郷湾で *K. mikimotoi* 赤潮が発生した。近年、*K. mikimotoi* 赤潮は北海道函館湾で確認され、粒子追跡モデル解析により対馬暖流域で拡散していることが示唆されるなど、日本海西部海域でも発生リスクが高まっている恐れがある。そこで、今後の対策方法 (行動計画) の検討のため、過去の *K. mikimotoi* 赤潮発生状況と漁業被害状況の整理を行った。図9は1979~2022年の九州北部海域から山口県海域における *K. mikimotoi* 赤潮発生時期を示す。本種赤潮は7~8月を中心に発生しており、近年はやや長期化していることがみてとれる。*C. polykrikoides* 赤潮が山陰沿岸域や隠岐諸島周辺海域で出現する時期は主に8~9月であり (鬼塚ら2022)、日本海西部沿岸では *C. polykrikoides* の出現時期よりも少し前の7月から9月にモニタリング調査を行い、監視を強化している。*K. mikimotoi* 赤潮の監視も現在の監視体制で重要な時期はカバーできていると考えられる。また、*K. mikimotoi* 赤潮による魚種別の漁業被害状況を整理した結果、養殖に限らず様々な漁業で多くの魚種に被害が報告されていた (表4)。被害報告としては、種別ではアワビ (8件)、タコ (7件)、サザエ (6件)、漁業種類別では採貝 (2~5件)、畜養 (1~3件)、タコつぼ (2件)、釣り (1~2件)、養殖 (1件) の順に件数が多く、漁業被害は概ね1,000 cells/ml を超えるあたりから認められていた。このことから、日本海西部海域ではこれらの魚種や畜養等における赤潮被害対策を検討することが漁業被害軽減において有効であると考えられる。これらの情報を参考に対策方法 (行動計画) の検討を行っていく予定である。

## 引用文献

- 清川智之, 谷口祐介, 鈴木雅巳, 福本一彦, 前田啓助, 柿並宏明, 白木信彦, 鬼塚剛, 坂本節子.  
1) 有害赤潮プランクトンの出現動態監視および予察技術開発 エ. 日本海西部海域. 令和 4  
年度漁場環境改善推進事業「(2) 赤潮被害防止対策技術の開発」報告書. 水産庁, 東京. 2023 ;  
134-148.
- 宮原一隆, 鬼塚剛, 渡辺秀洋, 野々村卓美, 勢村均, 堀玲子, 西川哲也, 宮地邦明, 山口峰生. 日  
本海における *Cochlodinium polykrikoides* 赤潮. 日本水産学会誌 2011 ; 77 : 440.
- Onitsuka G, Miyahara K, Hirose N, Watanabe S, Semura H, Hori R, Nishikawa T, Miyaji K, Yamaguchi M.  
Large-scale transport of *Cochlodinium polykrikoides* blooms by the Tsushima Warm Current in the  
southwest Sea of Japan. Harmful Algae 2010; 9: 390-397.
- 鬼塚剛, 清川智之, 鈴木雅巳, 福本一彦, 柿並宏明, 坂本節子. 日本海西部海域. 養殖ビジネス  
2022; 59: 28-32.
- Yarimizu K, Sildever S, Hamamoto Y, Tazawa S, Oikawa H, Yamaguchi H, Basti L, Mardones JI,  
Paredes-Mella J, Nagai S. Development of an absolute quantification method for ribosomal RNA gene  
copy numbers per eukaryotic single cell by digital PCR. Harmful Algae 2021; 103, 102008.

表 1-1 *C. polykrikoides* および *K. mikimotoi* の検鏡結果と LAMP 法による検出結果 (沖合調査)

山口県

月日	調査点 (水深)	<i>C. polykrikoides</i> (cells/ml)	LAMP	<i>K. mikimotoi</i> (cells/ml)	LAMP	水温 (°C)	塩分	Chl-a (µg/L)
7月31日	Y1 (0 m)	ND	-	ND	-	29.4	32.00	--
	Y2 (0 m)	ND	-	ND	-	28.8	32.70	--
	Y3 (0 m)	ND	-	ND	-	28.5	33.10	--
	Y1 (20 m)	ND	-	ND	-	24.0	33.00	--
	Y2 (20 m)	ND	-	ND	-	21.3	33.40	--
	Y3 (20 m)	ND	-	ND	-	22.1	33.60	--
9月11日	Y1 (0 m)	ND	-	ND	-	28.1	33.00	--
	Y2 (0 m)	ND	-	ND	-	27.5	32.80	--
	Y3 (0 m)	ND	-	ND	-	27.3	33.10	--
	Y1 (20 m)	ND	-	ND	-	27.8	33.40	--
	Y2 (20 m)	ND	-	ND	-	27.6	33.20	--
	Y3 (20 m)	ND	-	ND	-	27.4	33.30	--

島根県

月日	調査点 (水深)	<i>C. polykrikoides</i> (cells/ml)	LAMP	<i>K. mikimotoi</i> (cells/ml)	LAMP	水温 (°C)	塩分	Chl-a (µg/L)
8月1日	SA (0 m)	ND	-	ND	-	26.9	32.83	--
	SB (0 m)	ND	-	ND	-	28.9	32.65	--
	SA (20 m)	ND	-	ND	-	22.1	33.52	--
	SB (20 m)	ND	-	ND	-	23.6	33.45	--
8月29日	SA (0 m)	ND	-	ND	-	28.5	32.65	--
	SB (0 m)	ND	-	ND	-	28.7	32.70	--
	SA (20 m)	ND	-	ND	-	21.1	33.68	--
	SB (20 m)	ND	+	ND	-	26.2	32.92	--

兵庫県

月日	調査点 (水深)	<i>C. polykrikoides</i> (cells/ml)	LAMP	<i>K. mikimotoi</i> (cells/ml)	LAMP	水温 (°C)	塩分	Chl-a (µg/L)	
7月26日	H1 (0 m)	ND	-	ND	-	27.6	32.53	0.4	
	H2 (0 m)	ND	-	ND	-	26.7	32.28	0.1	
	H3 (0 m)	ND	-	ND	-	27.3	32.77	0.2	
	H4 (0 m)	ND	-	ND	-	27.4	33.06	0.1	
	H5 (0 m)	ND	+	ND	-	27.2	33.87	0.1	
	H6 (0 m)	ND	-	ND	-	27.0	33.85	0.1	
	H1 (20 m)	ND	+	ND	-	24.6	33.07	0.1	
	H2 (20 m)	0.002	+	ND	-	25.1	33.30	0.1	
	H3 (20 m)	ND	-	ND	-	24.8	33.61	0.1	
	H4 (20 m)	ND	-	ND	-	24.7	33.76	0.2	
	H5 (20 m)	ND	-	ND	-	24.1	33.94	0.2	
	H6 (20 m)	ND	+	ND	-	24.8	33.83	0.1	
	9月5日	H4 (0 m)	ND	-	ND	-	27.7	32.81	0.5
		H5 (0 m)	ND	-	ND	-	28.1	33.16	0.4
		H6 (0 m)	ND	+	ND	-	27.9	33.06	0.5
		H4 (20 m)	ND	-	ND	-	26.5	33.24	0.5
H5 (20 m)		ND	-	ND	-	28.0	33.23	0.5	
H6 (20 m)		ND	-	ND	-	28.1	33.14	0.5	
9月6日	H1 (0 m)	ND	+	ND	-	28.2	32.62	0.5	
	H2 (0 m)	ND	+	ND	-	28.1	32.98	0.3	
	H3 (0 m)	ND	-	ND	-	28.2	33.08	0.3	
	H1 (20 m)	ND	-	ND	-	25.7	33.57	0.3	
	H2 (20 m)	ND	+	ND	-	27.7	33.26	0.4	
	H3 (20 m)	ND	-	ND	-	27.7	33.46	0.4	

鳥取県

月日	調査点 (水深)	<i>C. polykrikoides</i> (cells/ml)	LAMP	<i>K. mikimotoi</i> (cells/ml)	LAMP	水温 (°C)	塩分	Chl-a (µg/L)
7月24日	T4 (0 m)	ND	-	ND	-	26.7	32.90	--
	T6 (0 m)	ND	+	ND	-	27.0	32.70	--
	T4 (20 m)	ND	+	ND	-	24.7	33.60	--
	T6 (20 m)	ND	-	ND	-	24.8	32.90	--
7月25日	T2 (0 m)	ND	-	ND	-	27.4	32.70	--
	T3 (0 m)	ND	-	ND	-	25.4	33.60	--
	T5 (0 m)	ND	+	ND	+	26.3	33.60	--
	T2 (20 m)	ND	-	ND	-	24.5	33.40	--
	T3 (20 m)	ND	-	ND	-	24.5	33.60	--
8月28日	T5 (20 m)	ND	-	ND	-	24.1	33.80	--
	T4 (0 m)	ND	-	ND	+	28.7	33.00	--
	T6 (0 m)	ND	-	ND	-	29.0	32.80	--
	T4 (20 m)	ND	-	ND	-	24.2	33.30	--
8月29日	T6 (20 m)	ND	-	ND	+	26.7	33.10	--
	T5 (0 m)	ND	-	ND	-	28.5	33.10	--
8月30日	T5 (20 m)	ND	-	ND	+	26.0	33.40	--
	T2 (0 m)	ND	-	ND	+	28.6	32.90	--
	T3 (0 m)	ND	-	ND	-	28.8	32.90	--
	T2 (20 m)	ND	-	0.021	+	25.4	33.40	--
8月30日	T3 (20 m)	ND	-	0.038	+	25.7	33.40	--

表 1-2 *C. polykrikoides* および *K. mikimotoi* の検鏡結果と LAMP 法による検出結果 (沿岸調査)

山口県

月日	調査点 (水深)	<i>C. polykrikoides</i> (cells/ml)	LAMP	<i>K. mikimotoi</i> (cells/ml)	LAMP	水温 (°C)	塩分	Chl-a (µg/L)
7月13日	Y4 (0 m)	ND	-	ND	-	26.6	30.43	-
	Y5 (0 m)	ND	-	ND	-	26.7	32.11	-
	Y6 (0 m)	ND	-	ND	-	25.2	31.53	-
	Y7 (0 m)	ND	-	ND	-	25.7	26.44	-
	Y4 (底層)	ND	-	ND	-	25.8	30.45	-
	Y5 (底層)	ND	-	ND	-	25.8	32.47	-
	Y6 (底層)	ND	-	ND	-	25.0	32.26	-
Y7 (底層)	ND	-	ND	-	25.3	30.65	-	
8月3日	Y4 (0 m)	ND	-	ND	-	29.8	32.57	-
	Y5 (0 m)	ND	-	ND	+	28.9	33.03	-
	Y6 (0 m)	ND	-	ND	-	27.6	32.67	-
	Y7 (0 m)	ND	-	ND	-	28.9	32.28	-
	Y4 (底層)	ND	-	ND	+	29.5	32.53	-
	Y5 (底層)	ND	-	ND	-	28.4	33.14	-
	Y6 (底層)	ND	-	ND	-	27.4	32.76	-
Y7 (底層)	ND	-	ND	-	28.4	32.43	-	
9月8日	Y4 (0 m)	ND	-	ND	-	26.0	33.27	-
	Y5 (0 m)	ND	-	ND	-	26.1	32.99	-
	Y6 (0 m)	ND	-	ND	-	27.4	32.13	-
	Y7 (0 m)	ND	-	ND	-	28.1	33.30	-
	Y4 (底層)	ND	-	ND	-	25.9	33.29	-
	Y5 (底層)	ND	-	ND	-	25.9	33.22	-
	Y6 (底層)	ND	-	ND	+	27.3	32.90	-
Y7 (底層)	ND	-	ND	-	27.2	33.39	-	

島根県

月日	調査点 (水深)	<i>C. polykrikoides</i> (cells/ml)	LAMP	<i>K. mikimotoi</i> (cells/ml)	LAMP	水温 (°C)	塩分	Chl-a (µg/L)
7月5日	S1 (0 m)	ND	-	ND	-	24.5	34.40	-
	S2 (0 m)	ND	-	ND	-	25.7	14.20	-
	S3 (0 m)	ND	-	ND	-	24.8	33.40	-
	S6 (0 m)	ND	-	ND	-	24.9	34.00	-
	S1 (5 m)	ND	-	ND	-	24.1	35.30	-
	S1 (9 m)	ND	-	ND	-	24.5	35.30	-
	S2 (5 m)	ND	-	ND	-	24.0	34.10	-
	S3 (2 m)	ND	-	ND	-	24.5	33.90	-
	S6 (5 m)	ND	-	ND	-	24.1	34.20	-
	S4 (0 m)	ND	-	ND	-	25.0	30.01	-
7月12日	S5 (0 m)	ND	-	ND	-	25.5	32.23	-
	S4 (5 m)	ND	-	ND	-	24.7	30.37	-
	S5 (2 m)	ND	-	ND	-	25.1	30.79	-
	S1 (0 m)	ND	-	ND	-	29.7	34.20	-
	S2 (0 m)	ND	+	ND	-	28.6	13.89	-
8月2日	S3 (0 m)	ND	-	ND	-	27.9	32.96	-
	S6 (0 m)	ND	-	ND	-	29.2	33.24	-
	S1 (5 m)	ND	-	ND	+	29.5	34.20	-
	S1 (9 m)	ND	-	ND	-	29.0	34.20	-
	S2 (5 m)	ND	-	ND	-	27.1	33.31	-
	S3 (2 m)	ND	-	ND	-	27.5	33.09	-
	S6 (5 m)	ND	+	ND	+	27.2	33.41	-
	S4 (0 m)	ND	-	ND	-	31.0	27.91	-
	S5 (0 m)	ND	-	ND	-	29.4	27.11	-
	S4 (5 m)	ND	-	ND	-	27.1	32.32	-
8月3日	S5 (2.5 m)	ND	-	ND	-	27.5	27.39	-
	S4 (0 m)	ND	-	ND	-	27.9	-	-
	S5 (0 m)	ND	-	ND	-	27.5	-	-
	S4 (5 m)	ND	-	ND	-	27.4	-	-
	S5 (2 m)	ND	-	ND	+	27.5	-	-
9月1日	S1 (0 m)	ND	-	ND	-	28.1	31.60	-
	S2 (0 m)	ND	+	ND	-	25.3	15.34	-
	S3 (0 m)	ND	-	ND	-	26.0	33.11	-
	S6 (0 m)	ND	-	ND	-	27.3	32.54	-
	S1 (5 m)	ND	-	ND	-	27.6	31.70	-
	S1 (9 m)	ND	-	ND	-	27.5	31.90	-
	S2 (5 m)	ND	-	ND	-	25.9	33.35	-
	S3 (2 m)	ND	-	ND	-	26.2	33.33	-
	S6 (5 m)	ND	+	ND	-	26.9	33.02	-

鳥取県

月日	調査点 (水深)	<i>C. polykrikoides</i> (cells/ml)	LAMP	<i>K. mikimotoi</i> (cells/ml)	LAMP	水温 (°C)	塩分	Chl-a (µg/L)
7月24日	T8 (0 m)	ND	-	ND	+	28.9	29.90	-
	T9 (0 m)	ND	+	ND	-	29.2	32.40	-
	T10 (0 m)	ND	+	ND	-	26.6	32.80	0.0
	T11 (0 m)	ND	+	ND	-	26.8	32.30	0.2
	T10 (10 m)	ND	+	ND	-	25.1	33.20	0.2
	T11 (10 m)	ND	-	ND	-	25.4	32.80	0.3
7月26日	T7 (0 m)	ND	+	0.017	+	27.1	32.20	-
8月24日	T7 (0 m)	ND	-	ND	+	29.0	31.90	-
	T8 (0 m)	ND	-	ND	-	29.0	32.20	-
	T9 (0 m)	ND	-	ND	-	29.5	31.80	-
	T10 (0 m)	ND	-	ND	+	26.6	32.80	0.4
	T11 (0 m)	ND	-	ND	-	26.8	32.30	0.2
	T10 (10 m)	ND	+	ND	-	25.1	33.20	0.2
9月26日	T11 (10 m)	ND	-	ND	-	25.4	32.80	0.3
	T8 (0 m)	ND	-	ND	+	25.8	32.00	-
	T9 (0 m)	ND	-	ND	+	25.2	30.50	-
	T10 (0 m)	ND	-	ND	-	26.7	32.80	0.3
	T11 (0 m)	ND	+	ND	-	26.4	32.80	0.6
	T10 (10 m)	ND	-	ND	-	26.7	32.80	0.3
9月27日	T7 (0 m)	ND	-	0.027	+	25.5	30.70	-

兵庫県

月日	調査点 (水深)	<i>C. polykrikoides</i> (cells/ml)	LAMP	<i>K. mikimotoi</i> (cells/ml)	LAMP	水温 (°C)	塩分	Chl-a (µg/L)
2月7日	HS (0 m)	ND	-	ND	-	12.1	-	1.2
3月8日		ND	-	ND	+	13.1	33.70	1.0
4月6日		ND	-	ND	-	15.6	31.16	1.2
5月1日		ND	-	ND	-	16.2	33.87	1.2
6月6日		ND	-	ND	+	21.1	32.36	2.4
6月30日		ND	+	ND	-	24.7	32.92	1.7
7月31日		ND	-	ND	-	29.1	32.61	1.3
8月30日		ND	-	ND	-	29.1	32.72	1.3
9月28日		ND	-	ND	-	26.3	32.55	2.0
10月27日		ND	-	ND	-	21.4	32.90	2.4
12月14日		ND	-	ND	-	15.7	33.37	0.8

表 1-3 *C. polykrikoides* および *K. mikimotoi* の検鏡結果と LAMP 法による検出結果 (臨時調査)

島根県 (隠岐島西郷湾内)

月日	調査点 (水深)	<i>C. polykrikoides</i> (cells/ml)	LAMP	<i>K. mikimotoi</i> (cells/ml)	LAMP	水温 (°C)	塩分	Chl-a (µg/L)
7月4日	ST1-1 (0 m)	ND	-	ND	-	24.0	14.60	-
	ST1-2 (0 m)	ND	-	ND	+	25.0	28.00	-
	ST1-3 (0 m)	ND	-	ND	-	25.0	32.50	-
	ST1-1 (1.7 m)	ND	-	ND	-	-	33.60	-
	ST1-2 (2 m)	ND	-	ND	-	-	34.10	-
	ST1-3 (2 m)	ND	-	ND	-	-	34.70	-
8月1日	ST1-1 (0 m)	ND	-	ND	-	31.0	32.50	-
	ST1-2 (0 m)	ND	-	ND	-	31.0	33.00	-
	ST1-3 (0 m)	ND	-	ND	-	31.0	28.90	-
	ST1-1 (1.7 m)	ND	-	ND	-	-	33.10	-
	ST1-2 (2 m)	ND	-	ND	-	-	34.20	-
	ST1-3 (2 m)	ND	-	ND	-	-	33.90	-
9月5日	ST1-1 (0 m)	ND	-	ND	-	27.0	33.60	-
	ST1-2 (0 m)	ND	-	ND	-	27.0	32.40	-
	ST1-3 (0 m)	ND	-	ND	-	27.0	34.80	-
	ST1-1 (1.7 m)	ND	-	ND	+	-	34.50	-
	ST1-2 (2 m)	ND	-	ND	-	-	34.10	-
	ST1-3 (2 m)	ND	-	ND	-	-	34.80	-

表2 韓国沿岸域における7月下旬以降の赤潮発生状況（韓国水産科学院赤潮情報）

Date	Red tide organisms	Density (Population/mL)	Water temperature (°C)	Salinity
2023/7/21	<i>Ceratium furca</i>	250 ~ 500	23.1 ~ 23.5	25.8 ~ 28.9
	<i>Skeletonema costatum</i>	15,000 ~ 19,000	23.1 ~ 23.5	25.8 ~ 28.9
2023/7/26	<i>Ceratium furca</i>	28~ 650	22.7 ~ 24.3	27.5 ~ 32.0
	<i>Chaetoceros sp.</i>	104~ 104		
	<i>Heterosigma akashiwo</i>	112~ 112		
	<i>Ceratium furca</i>	10 ~ 650	22.7 ~ 25.8	26.8 ~ 32.0
	<i>Chaetoceros sp.</i>	10~ 104		
	<i>Heterosigma akashiwo</i>	112~ 112		
	<i>Skeletonema sp.</i>	10 ~ 1,220		
2023/7/31	<i>Noctiluca sp.</i>	750 ~ 800	~	~
2023/8/1	<i>Heterosigma akashiwo</i>	100 ~ 150	27.4 ~ 28.6	23.1 ~ 30.8
	<i>Ceratium furca</i>	50~ 550	22.4 ~ 27.3	~
2023/8/2	<i>Ceratium furca</i>	50 ~ 250	25.0 ~ 26.8	29.3 ~ 29.9
2023/8/8	<i>Heterosigma akashiwo</i>	1,600 ~ 1,800	23.2 ~ 24.3	31.0 ~ 31.1
2023/8/9	<i>Ceratium furca</i>	200 ~ 500	26.6 ~ 26.6	30.4 ~ 30.4
2023/8/17	<i>Ceratium furca</i>	200 ~ 400	26.1 ~ 26.7	30.8 ~ 31.9
2023/11/2	<i>Prorocentrum dentatum</i>	6,000 ~ 6,000	19.0 ~ 19.0	~

表3 行動計画検討のロードマップにおける検討項目

年度	項目
令和5年度	<input type="checkbox"/> 行動計画検討のロードマップ作成 ・各県の赤潮が発生した際の一連の対策（行動計画）の現状整理 ・赤潮情報収集方法の確認と整理
令和6年度	<input type="checkbox"/> 斃死密度の情報収集 <input type="checkbox"/> 赤潮発生段階の整理：いつ（発生時期）、どこで（海域）、何が（種）、どれくらい（密度、規模） <input type="checkbox"/> 他海域で活用されている漁業被害軽減対策技術に関する情報収集
令和7年度	<input type="checkbox"/> 斃死密度の情報収集 <input type="checkbox"/> 赤潮発生段階の整理：いつ（発生時期）、どこで（海域）、何が（種）、どれくらい（密度、規模） <input type="checkbox"/> 他海域で活用されている漁業被害軽減対策技術に関する情報収集
令和8年度	<input type="checkbox"/> 他海域で活用されている漁業被害軽減対策技術に関する情報収集 <input type="checkbox"/> 発生段階に応じた技術導入の可能性の検討： いつ（発生段階ごとに）、どこで、だれが（行動する主体）、どうする（対策・対応）
令和9年度	<input type="checkbox"/> 他海域で活用されている漁業被害軽減対策技術に関する情報収集 <input type="checkbox"/> 発生段階に応じた技術導入の可能性の検討： いつ（発生段階ごとに）、どこで、だれが（行動する主体）、どうする（対策・対応）

表4 福岡県北九州市から山口県の下関市以北における魚種ごとの漁業形態と斃死時の *K. mikimotoi* 細胞密度（最高細胞密度として報告されているデータの最小値・最大値）

山口～北九州市

魚種	漁業	<i>K. mikimotoi</i> 最高細胞密度 (cells/ml)		データ件数
		Min	Max	
ブリ	養殖	180	180	1
ハマチ	養殖	57500	57500	1
ヒラマサ	養殖	4900	4900	1
イサキ	畜養	57500	57500	1
クロダイ	畜養	1575	1575	1
タイ	釣り	12850	12850	1
マダイ	釣り	180	180	1
スズキ	釣り	12850	12850	1
ベラ	釣り	12850	12850	1
カサゴ	釣り	180	10000	2
カレイ	釣り	10000	10000	1
アナゴ	釣り	180	180	1
イカ	畜養	57500	57500	1
マダコ・タコ	畜養・活間	1575	69250	3
	釣り	3960	10000	2
	タコつぼ	1361	43100	2
アワビ	畜養	2357	57500	3
	採貝・天然	866	43100	5
トコブシ	採貝	3960	10000	2
サザエ	畜養	1361	14800	2
	採貝	866	10000	4

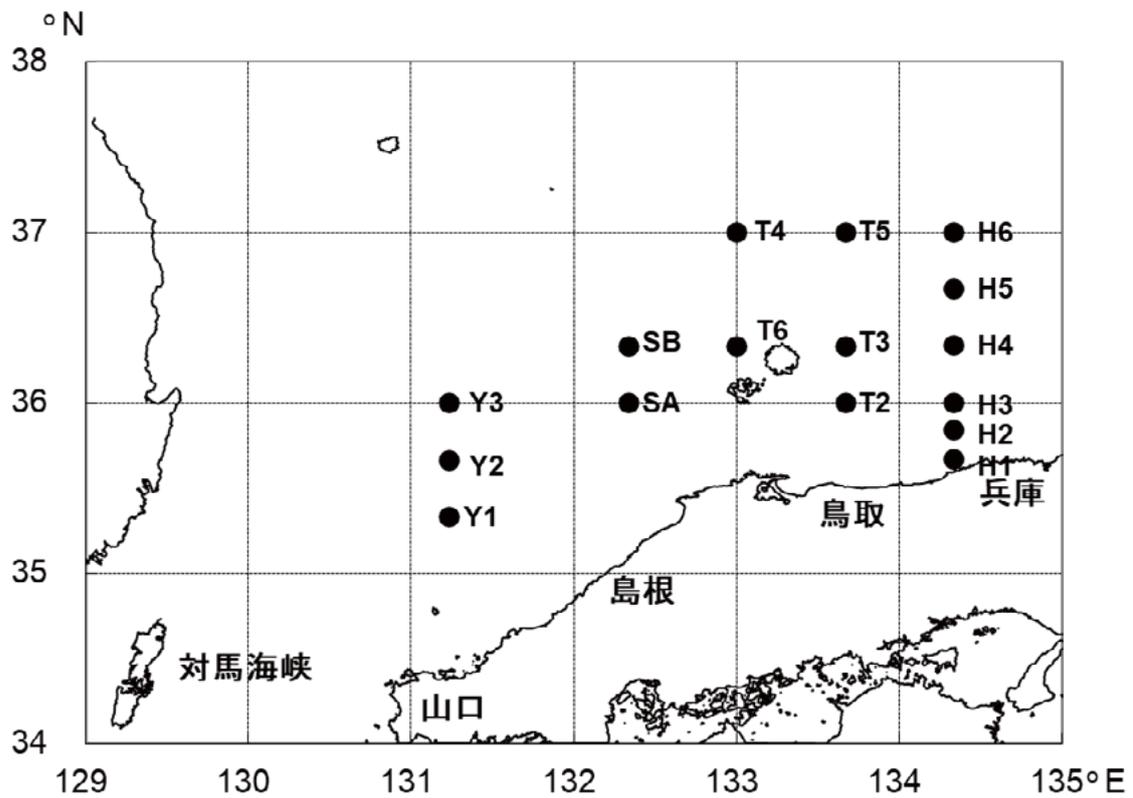


図 1-1 日本海西部海域における沖合調査定点位置図

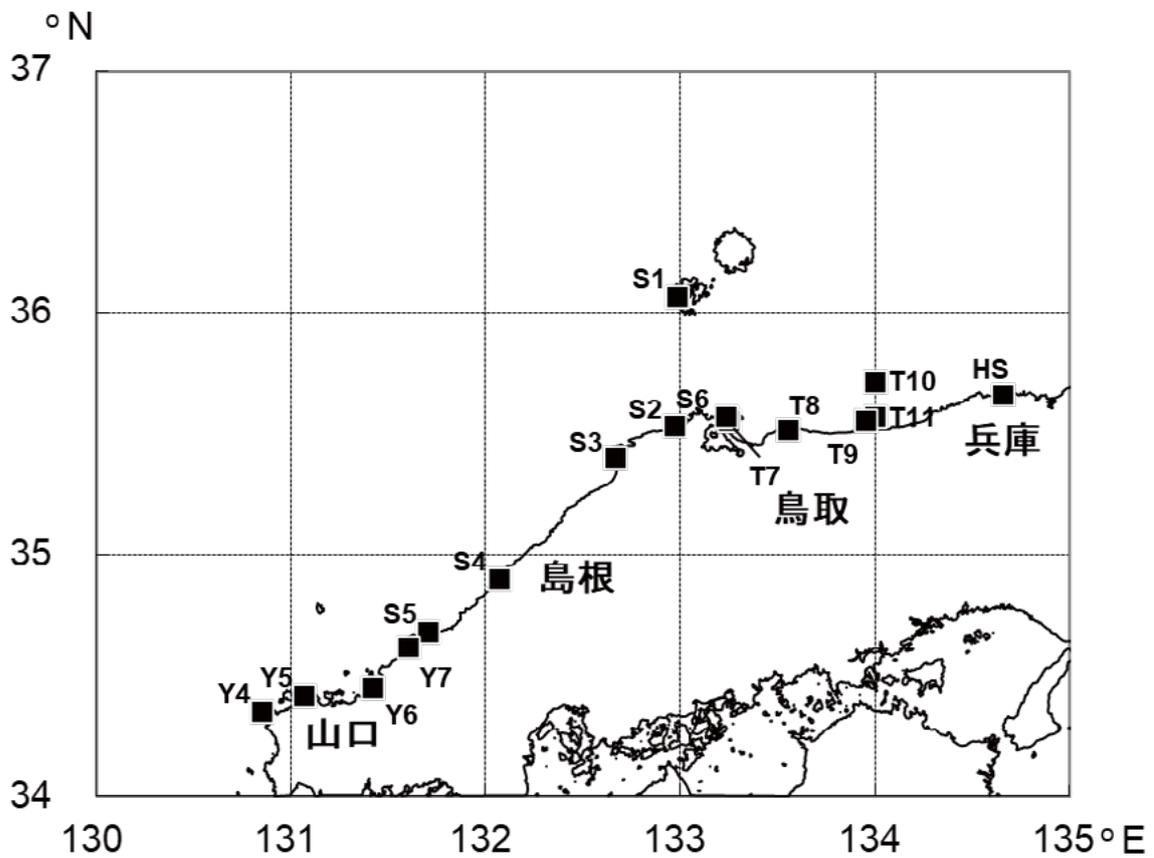


図 1-2 日本海西部海域における沿岸調査定点位置図

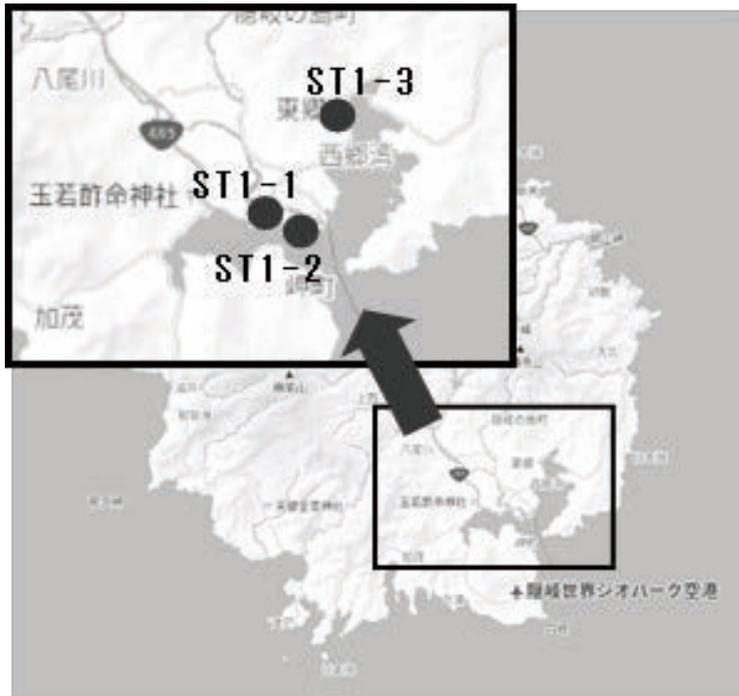


図 1-3 日本海西部海域における臨時調査定点位置図（島根県隠岐島後西郷湾）

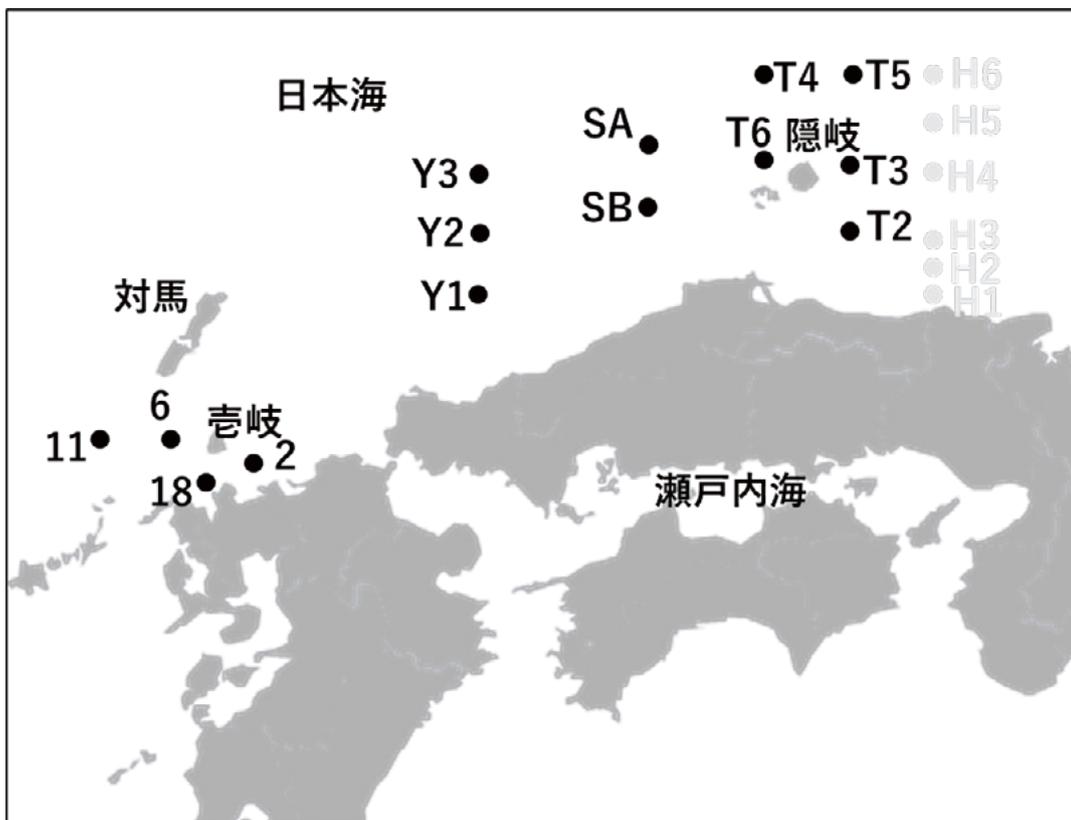


図 2 定量PCRによる *K. mikimotoi* の広域分布調査定点

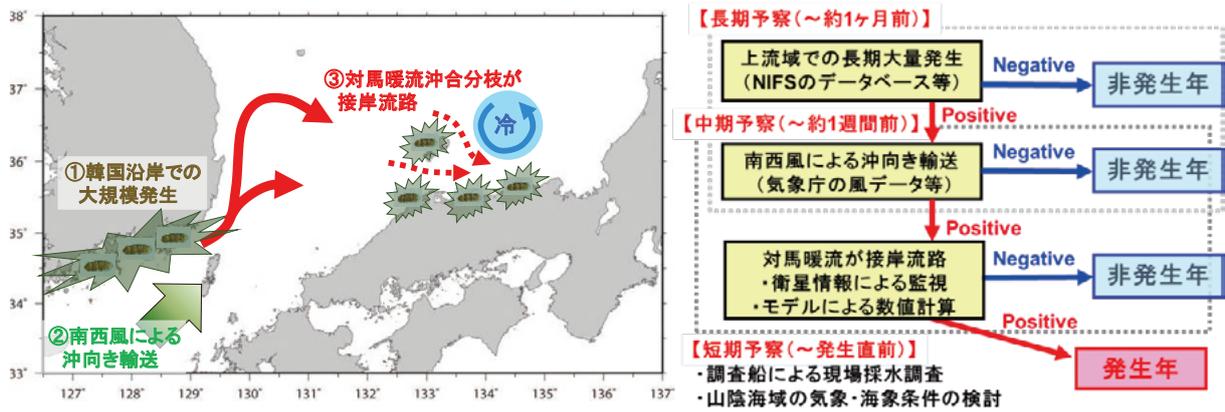


図3 山陰沿岸での *C. polykrikoides* 赤潮発生シナリオ (左) と予察フロー図 (右)

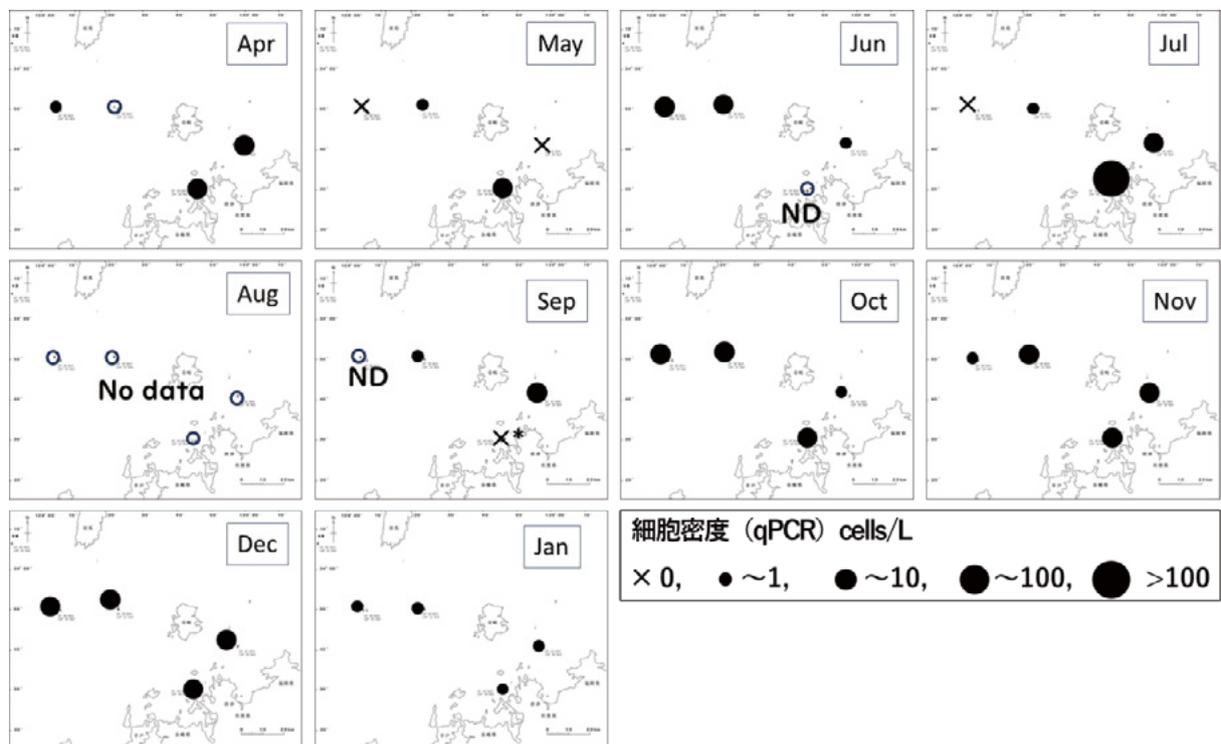


図4 2023年4月から2024年1月の九州北部海域(玄界灘, 対馬暖流域)における *K. mikimotoi* の分布 (検出は定量PCRによる)



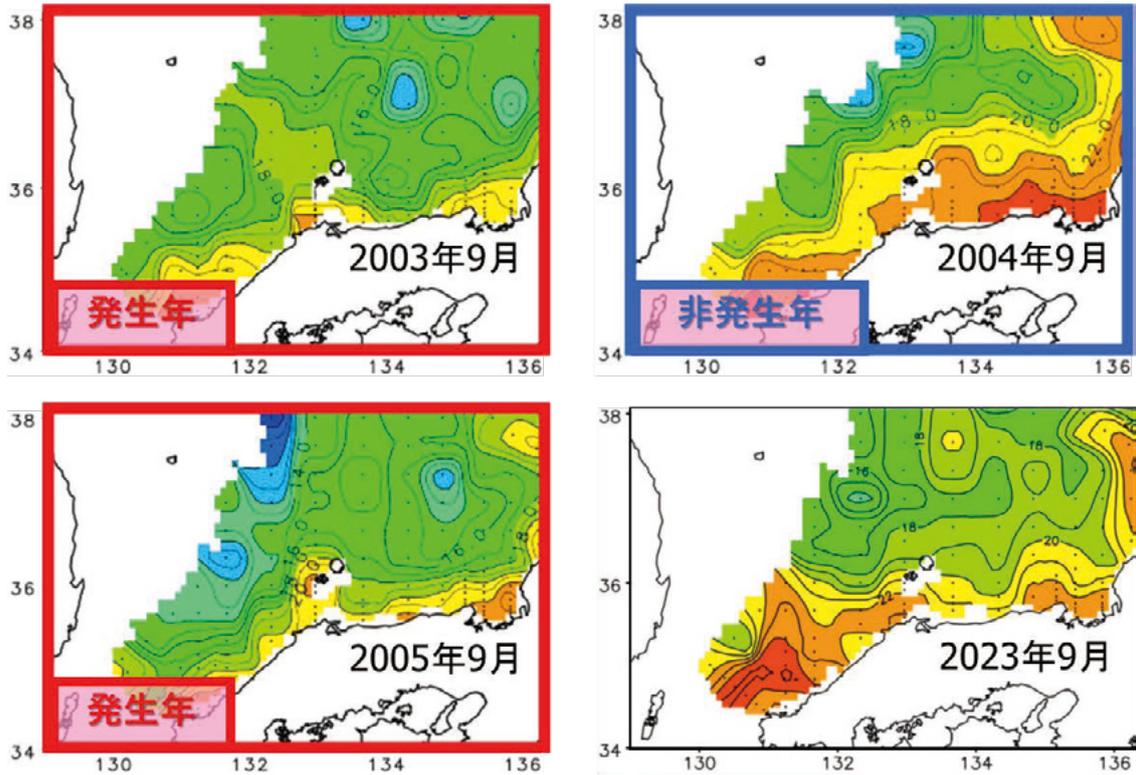


図7 2003～2005年9月上旬および2023年9月上旬の日本海南西部水温分布図（50 m 深）水産研究・教育機構が発行している日本海漁場海況速報を基に一部改変

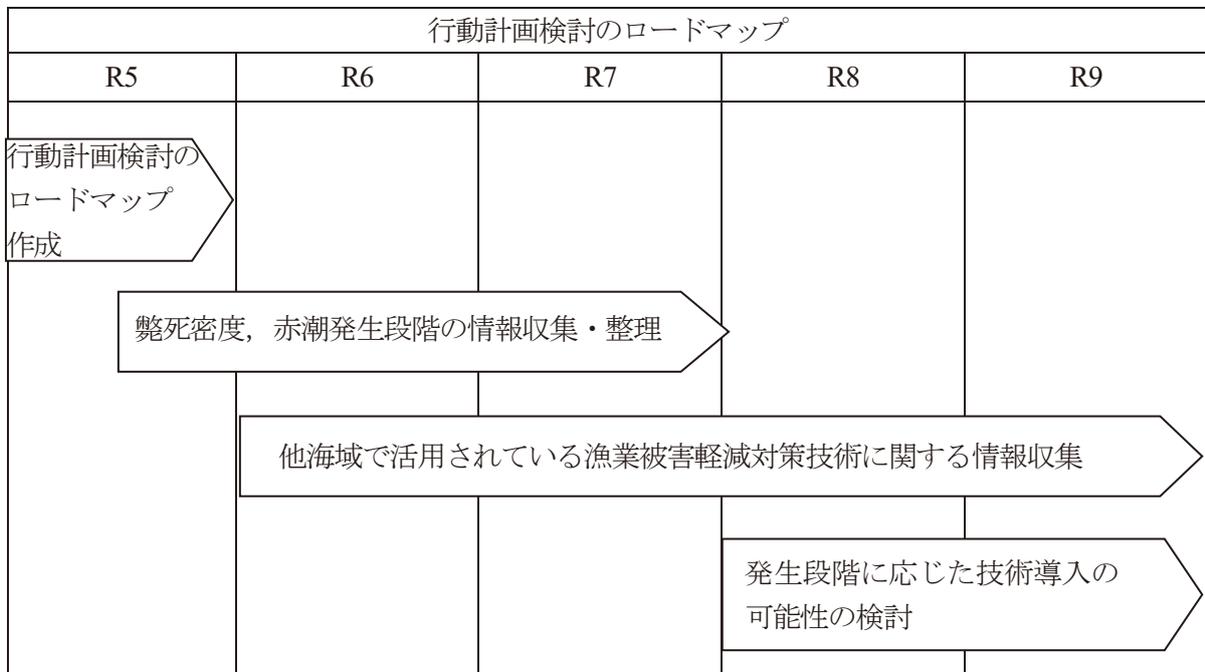


図8 行動計画検討のためのロードマップ

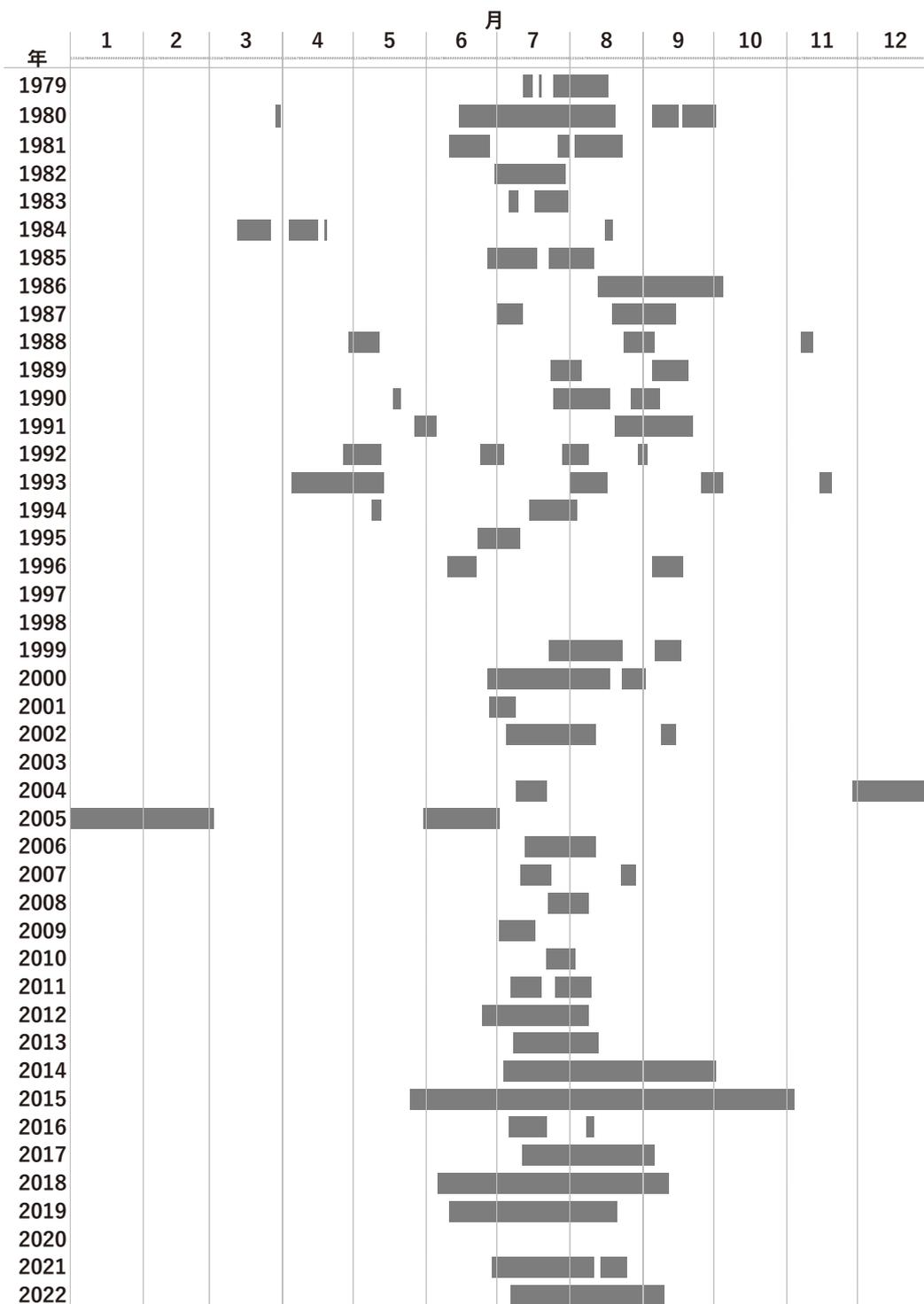


図9 九州北部海域（長崎県五島列島以東）から山口県海域（日本海側）における *K. mikimotoi* 赤潮発生状況（1979～2022年）

「九州西部海域の赤潮」（水産庁九州漁業調整事務所, 1979, 1980）および「九州海域の赤潮」（水産庁九州漁業調整事務所, 1981～2022）より該当海域のデータを抽出して作成した。

1) 有害赤潮プランクトンの出現動態監視及び予察技術開発並びに赤潮の発生段階に応じた一連の対策（行動計画）の検討・策定  
オ. 九州北部海域

佐賀県玄海水産振興センター  
豊福太樹, 松本日向乃, 梅田智樹  
長崎県総合水産試験場  
鎌田正幸, 山名涼太, 山砥稔文  
九州大学総合理工学研究所  
山口創一  
水産研究・教育機構 水産資源研究所  
青木一弘

## 1 全体計画

### (1) 目的

近年、伊万里湾を中心とする九州北部海域においてカレニア等鞭毛藻による有害赤潮が発生し、魚介類がへい死する漁業被害が発生していることから、各機関が連携して広域共同モニタリングを実施することにより、有害赤潮の監視体制の強化、発生機構の解明と、発生予測技術の開発並びに被害防止技術の開発を行い、有害赤潮等による漁業被害の防止と健全な海洋生態系の保全に資することを目的とした。

## 2 令和5年度計画および結果

### (1) 目的

全体計画と同じ

### (2) 方法

#### 1) 長崎県海域における赤潮モニタリング（長崎県総合水産試験場）

##### 【定点調査】

- ① 調査定点  
伊万里湾内 8 定点 (Stn. 1-8 : 図 1 と表 1 参照)
- ② 調査回数  
6 月下旬-8 月下旬にかけて、原則 1 回/週
- ③ 調査項目
  - ・多項目水質計による鉛直観測（水温、塩分、クロロフィル蛍光値）
  - ・プランクトン検鏡（0, 5, 10 m およびクロロフィル蛍光極大層）
  - ・栄養塩分析（0, 5, 10 m 層の NO<sub>3</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N, NH<sub>4</sub>-N, PO<sub>4</sub>-P）

##### 【定点連続観測】

図 1 および表 1 の Stn. 15 の養殖筏において実施した。

- ① テレメーター（水温、クロロフィル蛍光値、濁度）によるリアルタイムモニタリング
  - ・設置期間：6 月-8 月（3 ヶ月間）
  - ・設置水深：1.5 m 層, 5 m 層30 分毎にデータを取得し、関係機関に専用 WEB サイト上で自動送信

#### 2) 佐賀県海域における赤潮モニタリング（佐賀県玄海水産振興センター）

##### 【定点調査】

- ① 調査定点  
伊万里湾内 6 定点程度 (Stn. 9-14 : 図 1 と表 1 参照)

② 調査回数

6-8月：週1回程度

③ 調査項目

(水質) 水温, 塩分, DO, pH, 栄養塩 (NO<sub>3</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N, NH<sub>4</sub>-N, PO<sub>4</sub>-P)

クロロフィル蛍光値

(プランクトン) 有害赤潮プランクトンの同定・計数

④ 調査層

0, 5, (10), B-1 m (水温, 塩分, クロロフィル蛍光値, DO については多項目水質計による鉛直測定を実施)

3) 数値モデル解析による発生・非発生のシナリオの検証 (九州大学総合理工学研究院)

本研究では非構造格子を採用した有限体積法沿岸海洋モデル FVCOM(Finite Volume Community Ocean Model, Chen et al. 2006)をベースとして, 外海条件に海況予測モデル Dreams\_Cp (Hirose et al. 2005)および Matsumoto et al.(2000), 気象条件に気象庁 MSM/GPV, 淡水流入量評価に降雨流出氾濫モデル RRI (Rainfall Runoff Inundation model, 佐山ら 2013) による計算値を取りこんだ高解像度沿岸海洋モデル(通称 UCHI ; Unstructured Coastal model with High-resolution Information)を利用した。図2に FVCOM および RRI モデルを適用した計算対象領域を示す。対象海域は伊万里湾を含む外海まで拡張し, 河川については伊万里湾集水域に位置する 12 河川を計算に導入した。初期条件は, 流れは静穏, 水温・塩分は長崎県総合水産試験場および長崎県北水産普及指導センターが行った 1995 年から 2015 年までの現地観測の平均値を用いた。計算期間は 2021 年から 2023 年の 1 月から 9 月までとし, 特に 7 月初旬に着目して解析を行った。本モデルによって同期間の流動場や水温塩分のスカラー場に関する良好な再現性を確認した。海水交換の強弱を評価するためにトレーサー実験を行った。初期のトレーサー位置は, 福島東部と南部海域 (図 3) として, 設置後の移流・拡散過程によって同海域内のトレーサー量の時間変動を追うことで海水交換の強弱を評価した。実験開始は 2022 年および 2023 年の 7 月 1 日 0:00, 初期濃度は 1.0 として, 図 3 で示した海域の海面から海底まで各層に配置した。

4) 伊万里湾 *Karenia mikimotoi* 赤潮の中長期予察指標の探索 (水産研究・教育機構)

Aoki et al. (2020) によって, 春季東部海域の全窒素濃度と M2 潮汐振幅および春季済州一仮屋の水位差を用いた直線判別分析による伊万里湾における *K. mikimotoi* 赤潮の予察法が提案された。また, その後の解析により, 4-6 月の五島沖水温が指標になり得ることが判明した (遠山ら 2023) が, 発生機序を考えると湾外データを用いることに飛躍感が否めない。本事業において, 伊万里湾が対象になった課題の開始から十年程度が過ぎ, 春季における湾内 (特に東部) のデータがある程度蓄積されたことから, 湾内環境データを対象に解析を実施した。図 1 に示す佐賀県海域 (Stn.9-14) の 1-6 月の水温・塩分・クロロフィル値と伊万里湾の *K. mikimotoi* 赤潮出現の関係性を見るために, 小規模以上発生年 (100 cells/ml 以上, 15 日以上) とその他の年の差を Mann-Whitney の u 検定を用いて解析した。

(3) 結果および考察

1) 植物プランクトンの出現状況

令和 5 年度は伊万里湾における調査期間中の有害赤潮の発生は無く, 長崎県及び佐賀県での養殖魚介類への漁業被害は発生しなかった。なお, 本報告本節における *K. mikimotoi* の赤潮の定義は, 山砥・石田 (2016) に基づく警戒基準値の 500 cells/ml 以上とする。以下に *K. mikimotoi*, 珪藻類,

その他渦鞭毛藻類の出現状況を示す。

① *K. mikimotoi*

令和5年度の調査期間中の *K. mikimotoi* 最高細胞密度の水平分布の推移を図4に、海域別の最高細胞密度の推移を図5に示す。

*K. mikimotoi* は5月15日に東部 Stn.11, 12 で2 cells/ml が初認された後、5月下旬から6月中旬までは、湾全域で0-32 cells/ml と比較的低密度で推移した。初期増殖は6月下旬に東部一帯で確認され、最高141 cells/ml までの増加が見られた。しかしながら、7月上旬には東部 Stn.10-12 で4-46 cells/ml と減少する地点があった一方で、湾最奥部の Stn.13-14 では218-284 cells/ml と増加しており、東部一帯の初期増殖個体が湾最奥部へ移流した様子が確認された。その後7月中旬には湾全域で0-18 cells/ml と大幅に減少し、7月下旬にはほぼすべての地点で確認されなくなった。8月においても *K. mikimotoi* の顕著な増加は確認されず、8月中旬に西部 Stn.1 で54 cells/ml、東部 Stn.10 で58 cells/ml の一時的な増加が見られたのみで、これ以降減少し令和5年度は赤潮非発生となった。

② 珪藻類とその他渦鞭毛藻

海域別の珪藻類の最高細胞密度の推移を図6に、東部における渦鞭毛藻類 *Dictyocha* 藻、*Prorocentrum sigmoides* の最高細胞密度の推移を図7に示す。6-8月における東部の珪藻類は期間を通じて高めで推移し、低密度の1,000 cells/ml 以下となったのは6月下旬と7月下旬のみであった。中西部においては7月上旬を除きほとんどの期間で1,000 cells/ml 以下の低密度で推移した。

また東部では、珪藻類が減少に転じた7月中旬から7月下旬にかけて *Dictyocha* 藻の増加が見られ、7月下旬に最高552 cells/ml に増加した。8月上旬には *Dictyocha* 藻は見られなくなったが、8月中旬にかけて再び増加し、8月下旬には最高736 cells/ml となった。この8月中下旬にかけては、*Dictyocha* 藻に加えて *P. sigmoides* の増加も見られ、本種は8月下旬に最高428 cells/ml となった。

2) 水質

① 水温

Stn. 1, 7, 10 及び14における令和5年6月5日から8月29日までの表層0.5m及び底層B-1mの水温の推移を図8に示す。表層水温は20.9-30.1°C、底層水温は18.6-27.4°Cの範囲で推移した。

② 塩分

Stn. 1, 7, 10 及び14における令和5年6月5日から8月29日までの表層0.5m及び底層B-1mの塩分の推移を図9に示す。表層塩分は20.1-33.9、底層塩分は32.7-34.2、の範囲で推移した。

③ DO

Stn. 1, 7, 10 及び14における令和5年6月5日から8月29日までの表層0.5m及び底層B-1mのDOの推移を図10に示す。表層DOは91.5-160.5%、底層DOは57.5-107.8%の範囲で推移した。

④ DIN

Stn. 1, 7, 10 及び14における令和5年6月5日から8月29日までの表層0.5m及び10m層のDINの推移を図11に示す。表層DINは0.00-12.77 µmol/L、10m層DINは0.00-1.95 µmol/Lの範囲で推移した。

⑤ PO<sub>4</sub>-P

Stn. 1, 7, 10 及び14における令和5年6月5日から8月29日までの表層0.5m及び10m層のPO<sub>4</sub>-Pの推移を図12に示す。表層PO<sub>4</sub>-Pは0.00-0.22 µmol/L、10m層PO<sub>4</sub>-Pは0.00-0.47 µmol/Lの範囲で推移した。

#### ⑥ 水温（定点連続水温）

Stn.15 の水深 1.5 m 層、5 m 層における令和 5 年 6 月 28 日から 8 月 31 日までの水温連続観測結果を図 13 に示す。本年の観測結果は、1.5 m 層は 23.9–29.2°C、5 m 層は 23.4–28.9°C の範囲で推移した。

### 3) 植物プランクトンの増減と環境要因との関係

#### ① *K. mikimotoi* 初期増殖個体の減少と豪雨との関係

6 月下旬に東部一帯で見られた初期増殖個体は、7 月上旬に湾最奥部に移流し、その後全域で低密度化する様子が確認された（図 4）。この要因を今年度発生した豪雨との関係から推察する。

今年度、6 月下旬から 7 月上旬にかけて、佐賀県伊万里で平年比 1.5 倍の 565 mm、長崎県松浦で平年比 1.4 倍の 463 mm の降雨があった（図 14）。豪雨にともなう出水によって、伊万里湾の東中部では塩分と比重の顕著な低下が見られ、7 月 3–4 日には湾奥部から湾口部にかけて密度勾配が形成され、東部 Stn.9–14 にかけては水深 2 m 以浅に密度躍層が形成された（図 15）。*K. mikimotoi* は、表層の低塩分水によって鉛直移動が阻害され、躍層境界付近で留まることが知られており（Shikata et al. 2014）、東部 Stn.10–14 における観測結果でも、7 月上中旬は躍層以深の 2.5 m 層で最高細胞密度が確認され、表層ではほとんど確認されなかった。また、内湾域における河川水の流入は、エスチュアリー循環と呼ばれる密度流を駆動することが知られており、躍層以浅の表層水は沖合へ、以深は反対の湾奥に向かう流れが生じ（藤原 2007）、この流れの強弱は河川流量に依存していることが報告されている（柳・阿部 2003）。実際に東部 Stn.12 で観測した流速データから、7 月上旬から 7 月下旬にかけては、表層水は北向きの強い流れ、中底層水は南向きの流れが強まっており（図 16）、今年度は豪雨にともなう出水によって密度流が強化されたと考えられた。加えて、7 月上中旬にかけては南風が強まっており（図 17）、表層水の北向きの流れをさらに強化したものと推察された。

以上の観測結果より、6 月下旬に東部一帯で見られた初期増殖個体は、6 月下旬から 7 月上旬の豪雨にともなう密度躍層の発達により躍層以深に分布し、強化された吹送流と密度流によって躍層以深の湾最奥部へ向かう流れに乗って輸送されたと考えられた。

#### ② *K. mikimotoi* と珪藻類、その他渦鞭毛藻類との競合

豪雨後に低密度化した *K. mikimotoi* はその後 7–8 月においても顕著な増加は確認されなかった。この要因を他種藻類との競合関係から推察する。

珪藻類は豪雨直後の 6 月下旬から 7 月上旬にかけて優占し、出水によって供給された DIN は 7 月中旬から下旬には低下し貧栄養状態となった（図 11）。これによって 7 月中旬から 7 月下旬にかけて珪藻類は減少したが（図 6）、これと入れ替わるように 7 月下旬に *Dictyocha* 藻が増加した（図 7）。この *Dictyocha* 藻は 8 月上旬には減少し、その後 *K. mikimotoi* がわずかに増加したが（図 5）、8 月中下旬に *Dictyocha* 藻と *Prorocentrum sigmoides* の 2 種の増加が見られ、*K. mikimotoi* は減少した（図 5, 7）。

以上の結果より、豪雨後の 7–8 月の期間中はほぼすべての期間で競合種が存在しており、このことが *K. mikimotoi* の増加を抑制したものと考えられた。

### 4) 数値モデル解析による発生・非発生のシナリオの検証

図 18 に 2022 年および 2023 年の 7 月 2 日、4 日、6 日の海面のトレーサー濃度分布を示す。トレーサー実験開始 1 日後の 7 月 2 日時点で 2023 年は 2022 年に比べてトレーサーが初期設置海域外に輸送されており、濃度がかかなり薄まっていることが分かる。その後も 2023 年の初期海域濃度は低下を続ける一方で 2022 年はそれに比べると高い濃度を維持していることが分かる。図 19 は初期投入海域に残存するトレーサー量の時間変動を示した。2022 年と 2023 年ではトレーサー投入時（7 月 1 日 0:00）の潮時が異なるため、初期トレーサーの総量が異なる。そこで、同図では初期投入量（最

大値) に対しての相対トレーサー量 (RTA) として表している。同図には参考値として 2021 年における同様の実験結果についても示している。なお 2021 年は *K. mikimotoi* による赤潮の発生年である。2023 年は 2021 年、2022 年と比べて RTA の減少が早く、外海との海水交換が活発であったことが分かる。こうした海水交換の活発化が、赤潮形成を抑制した可能性がある。

#### 5) 伊万里湾 *K. mikimotoi* 赤潮の中長期予察指標の探索 (水産研究・教育機構)

1-6 月における佐賀県海域の各測点・各基準層水深における水温・塩分・クロロフィル値が、小規模以上発生年 (100 cells/ml 以上, 15 日以上) とその他の年で異なるか検定した結果 (危険率  $p$  値) を図 20 に示す。 $p$  値が 0.05 以下となった基準層水温・クロロフィル値はわずかであったが、大半の測点・基準層において、6 月塩分が  $p < 0.05$  となることが認められた。また、特に初期発生域になりやすい Stn.12-13 の塩分では、5 月にも  $p < 0.05$  となることが確認できた。さらに、小規模以上の赤潮が非発生となる年は低塩であることが特徴的であった (図 20)。低塩となる場合は、陸域から栄養塩が付加され、増殖速度が *K. mikimotoi* より速い珪藻等の競合種が出現していた可能性が考えられるが、基準層では特徴的なクロロフィル変動が捉えられておらず (図 20)、鉛直積算値でも同様にその傾向は捉えられていなかった (図 21)。クロロフィル値には、*K. mikimotoi* の存在量も内包されており、競合種の変動を反映できていない可能性もあることから、今後、競合種の計数データを整理し、解析する必要があると考えられる。

#### 6) 行動計画

佐賀県では、赤潮情報を迅速に漁業者個人へ配信することを目的に、公式ラインを作成しており、漁業者個人への登録を促している。登録者数は令和 6 年 1 月時点で 200 名となり、伊万里湾の魚類養殖業者はすべて登録が完了している。今後も関係機関と連携し、迅速な情報配信により被害の軽減を図る。長崎県では、モニタリング等で得られた情報をホームページ (長崎県漁場テレメーターシステム水質情報) やラインで公表し、漁業被害軽減対策を効率的に実施するための赤潮の発生状況や FSI, クロロフィル等の水質, 気象, 海況に加え、現状が赤潮種の増殖にとって好適な条件かどうかを提示した。

#### 引用文献

- Aoki K, Yamatogi T, Hirae S, Yamamoto K, Yoshida K, Muta K. Increased occurrence of red-tides of fish-killing dinoflagellate *Karenia mikimotoi* and related environmental conditions in Imari Bay, Japan. *Regional Studies in Mar. Sci.* 2020; **39**: 101470.
- Chen C, Beardsley RC, Cowles G. An unstructured-grid finite-volume coastal ocean model (FVCOM) system. *Oceanogr* 2006; **19**: 78-89.
- 藤原建紀. 河口域および内湾域におけるエスチュアリー循環流. 沿岸海洋研究 2007 ; **44** : 95-106.
- Hirose N, Fukumori I, Kim C.-H, Yoon J.-H. Numerical simulation and satellite altimeter data assimilation of the Japan Sea circulation. *Deep-Sea Res. II* 2005; **52**: 1443-1463.
- Matsumoto K, Takanezawa T, Ooe M. Ocean tide models developed by assimilating TOPEX/POSEIDON altimeter data into hydrodynamical model: a global model and a regional model around Japan. *Journal of Oceanography* 2000; **56**: 567-581.
- 佐山敬洋・建部祐哉・藤岡奨・牛山朋来・田中茂信. 大規模洪水氾濫の時空間資源分析に関する研究. 水工学論文集 2013 ; **57** : 463-468.
- Shikata T, Sakamoto S, Onitsuka G, Aoki K, Yamaguchi M. Effects of salinity on diel vertical migration behavior in two red-tide algae, *Chattonella antiqua* and *Karenia mikimotoi*. *Plankton Benthos Res.* 2014; **9**: 1-9.
- 遠山陽香・戸澤隆・山砥稔文・津城啓子・川名拓里・梅田智樹・山口創一・青木一弘. 有害赤潮プランクトンの出現動態監視及び予察技術開発 オ. 九州北部海域. 令和 4 年度漁場環境改善推

進事業「赤潮被害防止対策技術の開発」報告書，赤潮共同研究機関 2023; 149–162.

山砥稔文，石田直也．島嶼海域での低密度赤潮による新たな漁業被害の発生．「有害有毒プランクトンの科学」（今井一郎・山口峰生・松岡數充編）恒星社厚生閣，東京 2016 ; 131–138.

柳哲雄，阿部良平．有明海の塩分と河川流量から見た海水交換の経年変動．海の研究 2003 ; **12** (3) : 269–275.

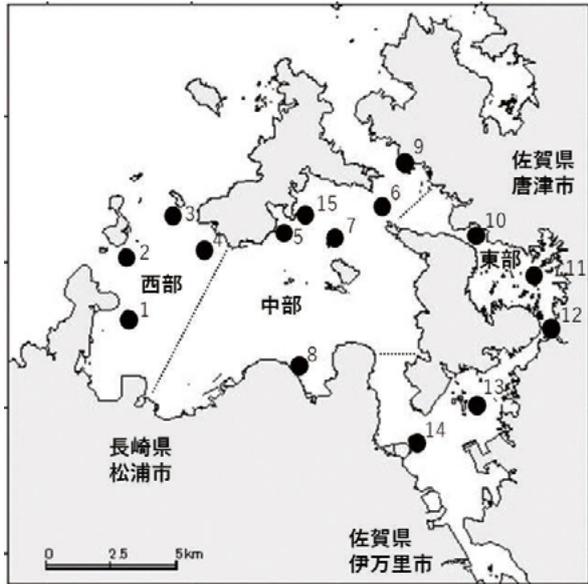


表 1 伊万里湾における調査定点座標

定点番号	緯度経度	
	北緯	東経
1 (城山下)	33°22' 56.64"	129°41' 22.92"
2 (青島南)	33°24' 13.68"	129°41' 18.24"
3 (魚固島南)	33°25' 04.08"	129°42' 32.04"
4 (船唐津沖)	33°24' 18.36"	129°43' 15.24"
5 (浦下沖)	33°24' 42.12"	129°45' 15.48"
6 (初崎沖)	33°25' 13.80"	129°47' 35.52"
7 (山島東)	33°24' 31.32"	129°46' 27.48"
8 (今福沖)	33°21' 51.12"	129°45' 40.32"
9 (晴気)	33°26' 03.00"	129°48' 16.80"
10 (阿漕)	33°24' 34.80"	129°49' 55.80"
11 (大浦浜)	33°23' 47.40"	129°51' 24.60"
12 (波多津)	33°22' 38.40"	129°51' 49.20"
13 (福島南)	33°21' 03.60"	129°50' 00.60"
14 (伊万里港入口)	33°20' 21.60"	129°48' 26.40"
15 (南ヶ崎)	33°25' 02.00"	129°45' 39.00"

図 1 伊万里湾における調査定点 (Stn. 15 は連続観測定点)

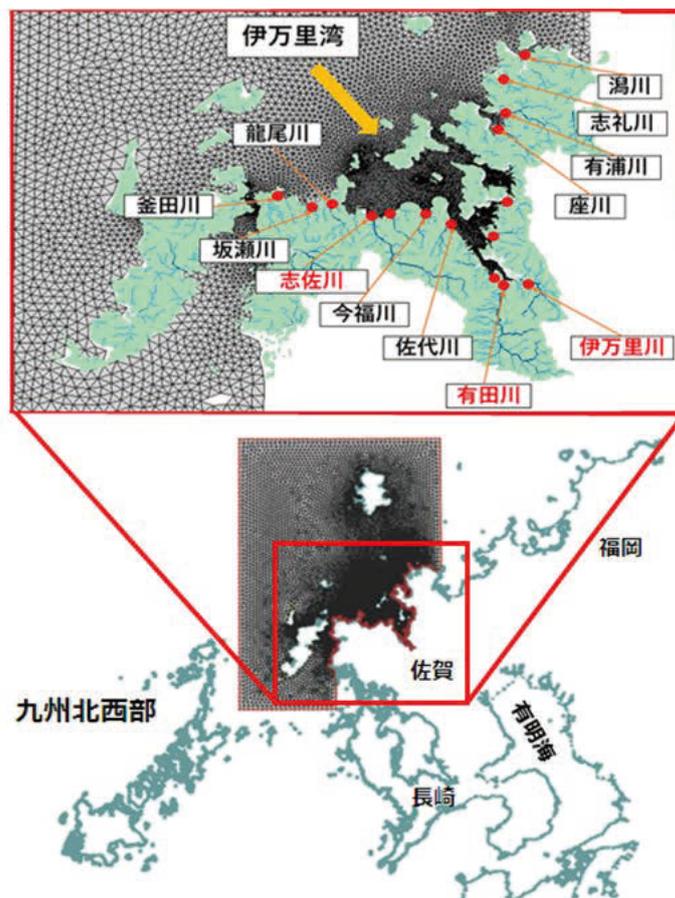


図 2 FVCOM および RRI モデルの計算対象領域  
(下 : FVCOM 上 : RRI モデル)

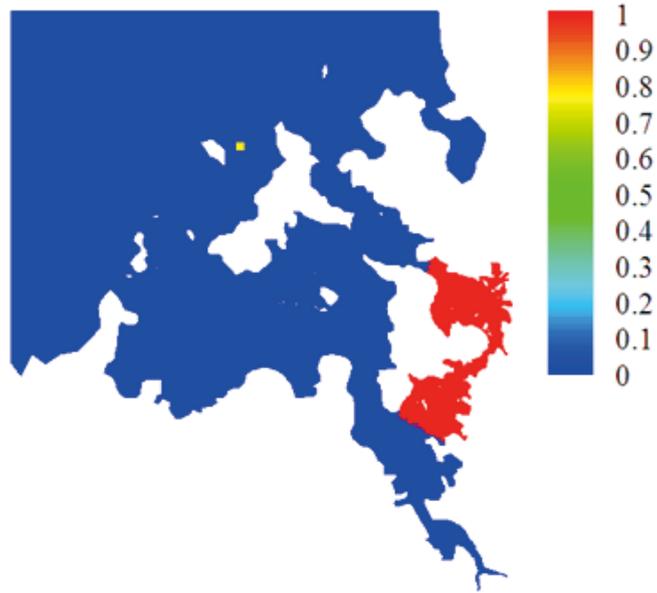


図3 トレーサーの初期設置海域

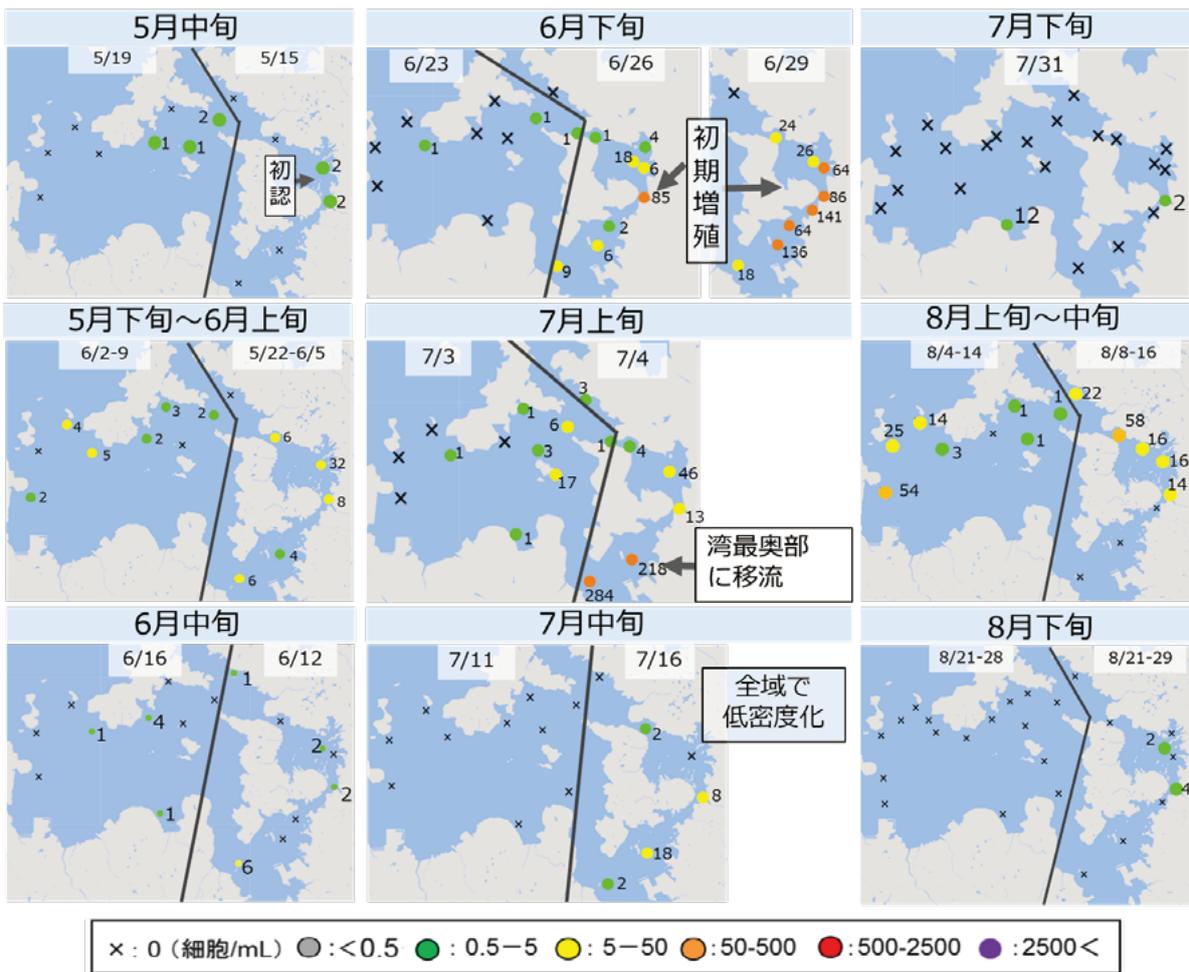


図4 *K. mikimotoi* の水平分布図 (複数層採水による最高細胞密度)

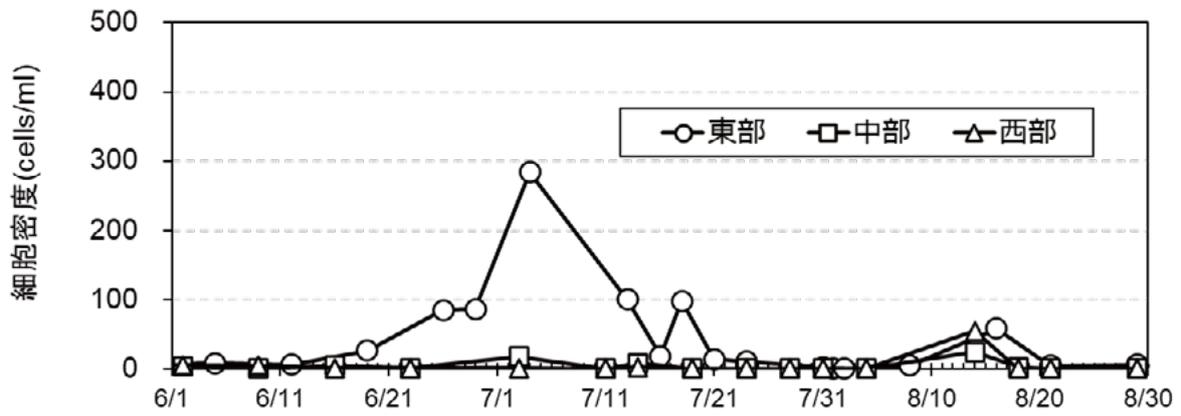


図5 *K. mikimotoi* の海域別の最高細胞密度の推移

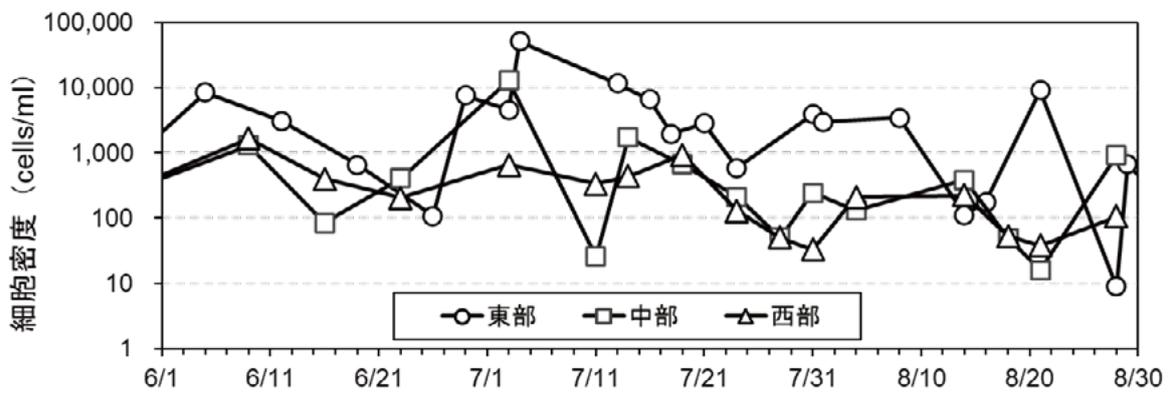


図6 珪藻類の海域別の最高細胞密度の推移

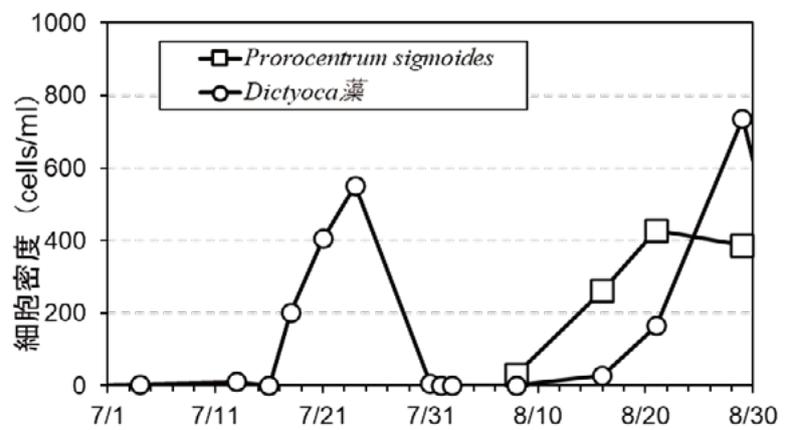


図7 その他渦鞭毛藻類の最高細胞密度の推移 (東部)

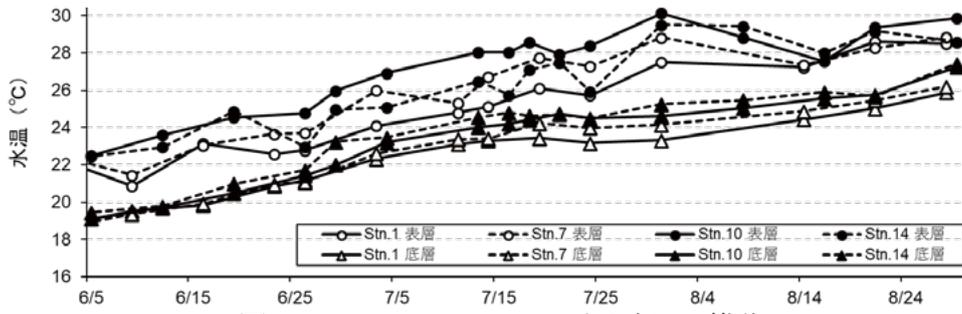


図8 Stn. 1, 7, 10, 14 における水温の推移

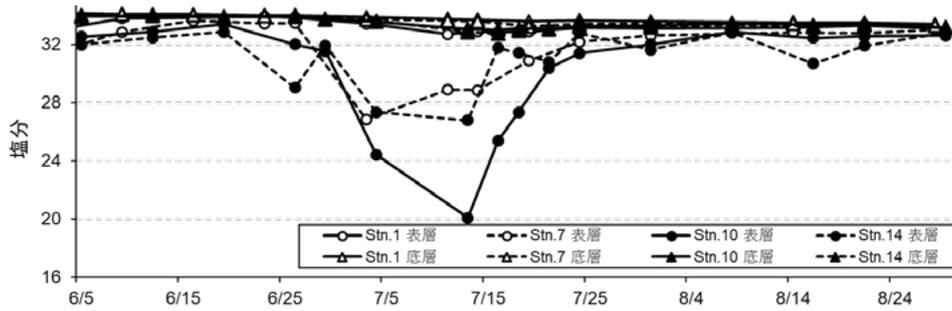


図9 Stn. 1, 7, 10, 14 における塩分の推移

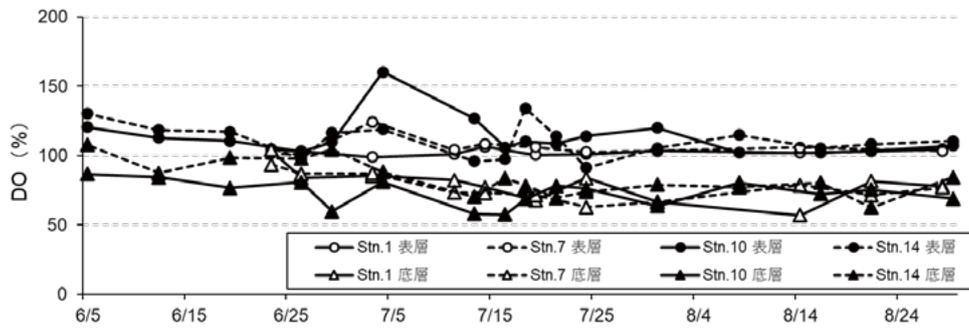


図10 Stn. 1, 7, 10, 14 におけるDOの推移

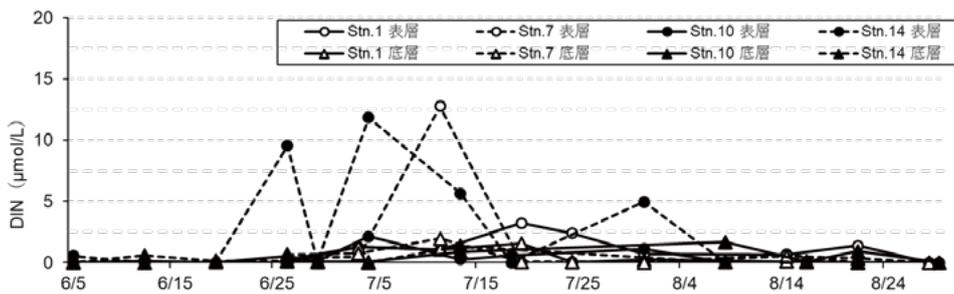


図11 Stn. 1, 7, 10, 14 におけるDINの推移

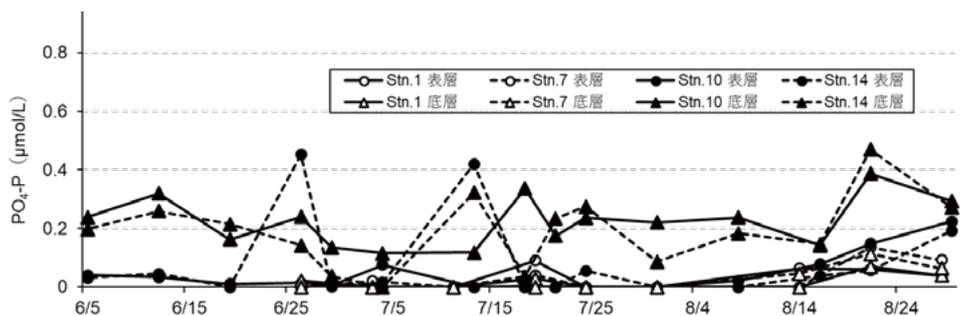


図12 Stn. 1, 7, 10, 14 におけるPO<sub>4</sub>-Pの推移

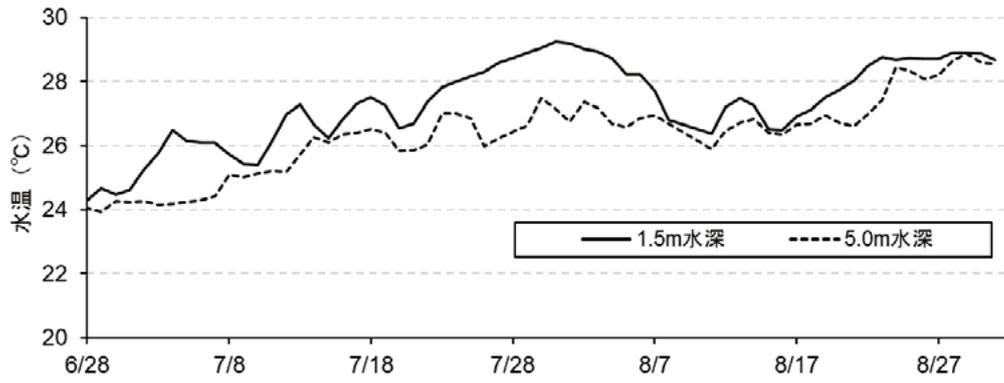


図13 Stn. 15における水温の推移

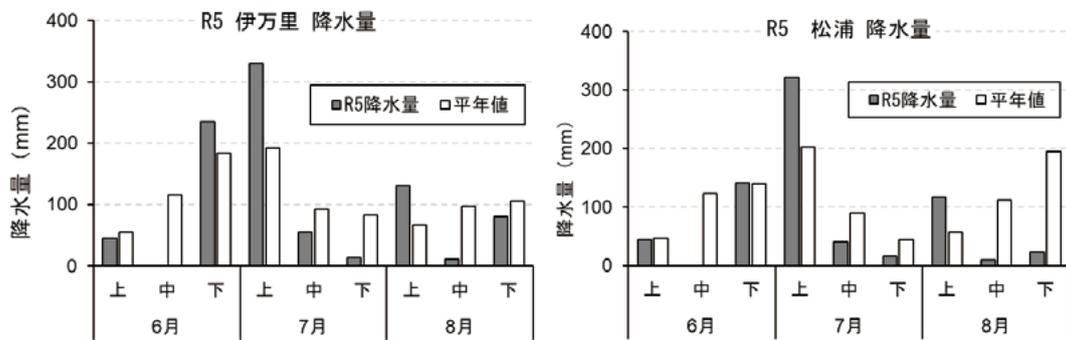


図14 伊万里, 松浦における降水量 (気象庁より)

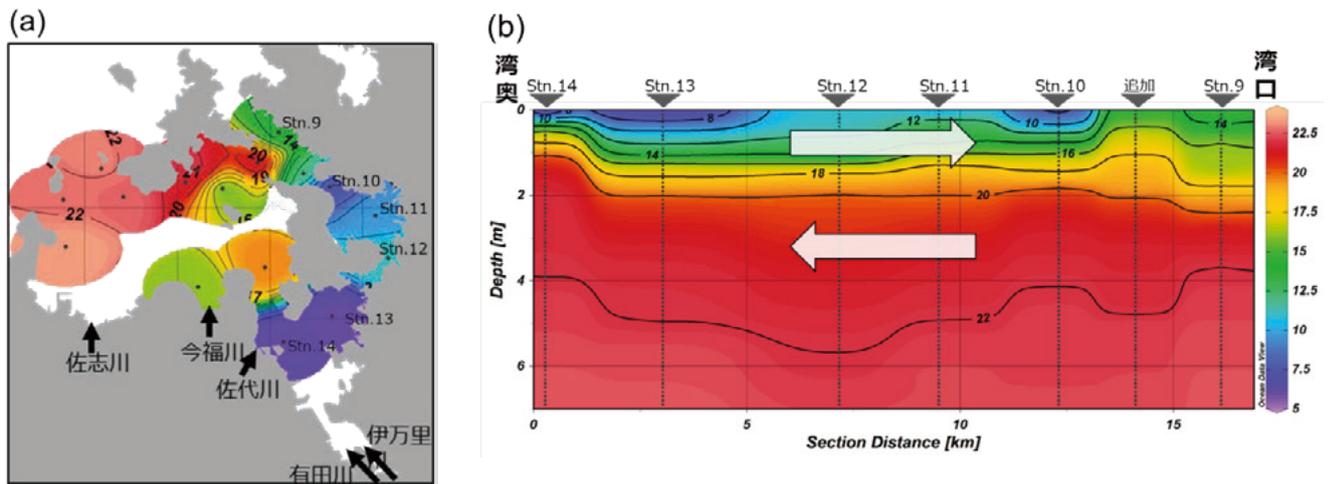


図15 令和5年7月3-4日の表層の水平密度  $\sigma_T$  分布 (a) と鉛直密度  $\sigma_T$  分布 (b)