

安心・安全で環境に優しい養殖推進事業－2 養殖漁場環境調査

野田 誠・宮村和良

事業の目的

持続的な養殖漁場の保全を図るために、持続的養殖生産確保法で定められた養殖漁場改善の、自主的な取り組みのための基礎資料を得ることを目的として、県南城の養殖漁場を対象に水質・底質のモニタリング調査を行った。

事業の方法

2014年8月25日～9月3日に、魚類または貝類養殖場の39定点（図1）において、水質・底質のモニタリング定期調査を実施した。

水質は、水温、塩分、透明度、溶存酸素（DO）、化学的酸素要求量（COD）、溶存無機三態窒素（DIN）及びリン酸態リン（ $PO_4\text{-P}$ ）の7項目について、また底質は強熱減量（IL）、化学的酸素要求量（COD）及び酸揮発性硫化物（AVS）の3項目について調査した。

水質は、各調査点の4層（0、5、10、B-1m）または3層（0、5、B-1m）においてSTDを用いて水温、塩分、水深の測定を行った後、リゴ－B号採水器により採水した試料海水を実験室に持ち帰って分析した。

底質は、エクマンバージ採泥器（15×15cm）で採泥し、表層泥を試料泥として採取し実験室に持ち帰り分析した。

分析は、海洋観測指針¹⁾、水質汚濁調査指針²⁾に

基づき行った。なお、ILについては450℃・2時間の強熱後の値と、さらに550℃・6時間強熱処理した値の2種類の測定値を得た。

事業の結果

水質の観測・分析結果は表1、底質の分析結果は表2に示したとおりである。

過去10年間（1994年～2003年）のデータがそろっている30定点について、夏季の底質データのうち、IL（450℃・2h）、COD、AVSを用いて主成分分析を行い合成指標の式を求めたところ、合成指標値（S）＝ $0.561 \times (IL - 3.55) / 2.48 + 0.588 \times (COD - 15.05) / 14.37 + 0.582 \times (AVS - 0.28) / 0.52$ が得られた。これを用いてI（ $S < -0.1$ ）は良好な底質環境、II（ $-0.1 \leq S < 2$ ）はやや悪い底質環境、III（ $2 \leq S$ ）は有機汚染が進行し悪い底質環境とし、2014年度の底質調査の結果を評価すると、データの得られた38定点のうち24点がI、11点がII、3点がIIIに分類された。

文献

- 1) 気象庁：海洋観測指針, 日本海洋学会, 東京, 1990, pp.149-186.
- 2) 日本資源保護協会：新編水質汚濁調査指針, 恒星社厚生閣, 東京, 1980, pp.242-257.

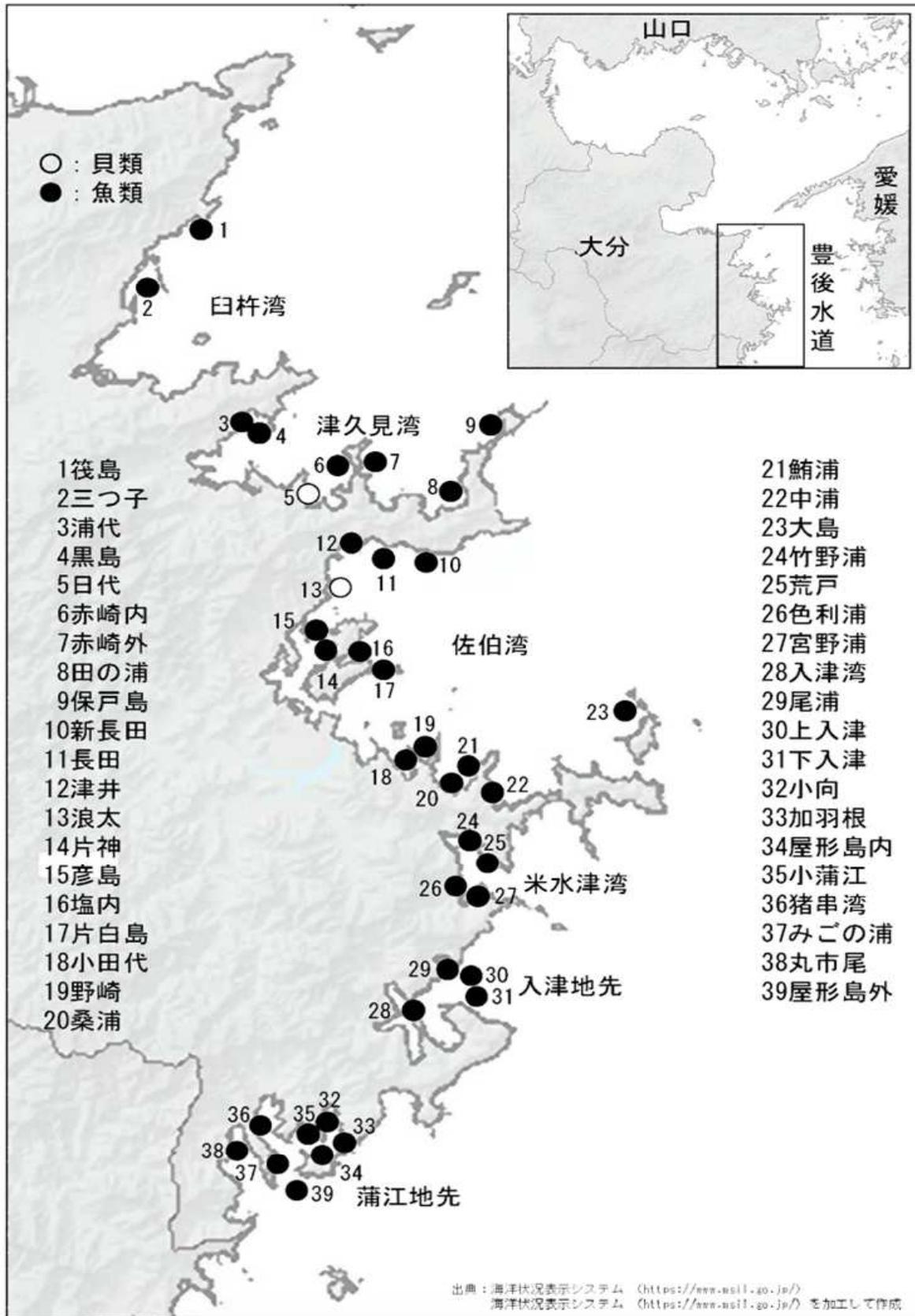


図1 2014年度 養殖漁場環境調査定点図.

表1 2014年度 養殖漁場環境調査結果一覧

項目	佐賀関		臼杵		津久見						上浦				佐伯				鶴見		
	後島	三つ子	浦代	黒島	日代	赤崎内	赤崎外	田の浦	保戸島	新長田	長田	津井	浪太	片神	彦島	塩内	片白島	小田代	野崎	桑浦	
調査月日	8/27	8/27	9/2	9/2	9/2	9/2	9/2	9/2	9/2	8/26	8/26	8/26	8/26	8/26	8/26	8/26	8/26	8/25	8/25	8/25	
水深(m)	20.2	18.1	21.3	33.6	27.8	40.3	47.8	48.9	31.5	49.0	39.9	14.7	28.1	22.8	21.1	23.0	32.4	22.8	23.8	18.3	
Tr (m)	7.5	3.5	6.0	5.0	5.0	5.0	7.0	6.0	7.0	8.0	8.0	8.7	7.0	8.0	8.0	7.0	8.0	9.0	11.0	8.0	
水温	0	23.2	24.3	24.4	24.5	24.0	23.3	23.2	23.0	23.9	24.5	25.2	24.7	26.1	26.3	24.6	24.0	25.4	24.8	24.7	
	5	23.0	23.2	23.6	23.2	23.7	23.0	23.2	23.0	23.1	23.7	23.9	23.8	24.0	23.9	23.6	23.8	24.1	24.1	23.7	
	10	22.8	23.0	23.1	22.9	23.1	23.0	22.9	23.2	22.9	23.1	23.6	-	23.6	23.7	23.7	23.3	23.7	23.6	23.5	
	B	22.8	22.8	23.0	22.4	22.5	22.3	22.5	22.3	22.4	22.7	23.9	23.2	23.2	23.3	23.1	22.7	23.2	23.0	23.2	
塩分	0	33.26	33.04	33.02	33.04	33.02	33.05	33.19	33.15	33.18	33.43	33.38	33.13	33.36	32.19	32.84	33.35	33.41	32.79	33.20	
	5	33.23	33.16	33.16	33.18	33.09	33.15	33.20	33.18	33.17	33.50	33.44	33.43	33.45	33.40	33.40	33.47	33.45	33.36	33.40	
	10	33.27	33.19	33.23	33.18	33.16	33.22	33.23	33.22	33.23	33.50	33.45	-	33.46	33.49	33.47	33.52	33.44	33.45	33.49	
	B	33.29	33.29	33.28	33.41	33.40	33.45	33.37	33.43	33.37	33.59	33.56	33.43	33.58	33.56	33.55	33.56	33.62	33.51	33.56	
DO	0	4.69	5.06	5.73	5.50	5.83	5.72	5.36	4.93	4.38	5.04	5.16	4.55	5.06	5.12	5.15	4.67	5.10	5.47		
	5	4.65	4.13	5.72	5.62	5.75	5.41	5.07	5.08	4.40	4.86	4.42	4.97	4.34	4.48	4.75	4.92	5.12	5.30		
	10	4.59	3.80	5.30	4.83	5.39	5.03	4.94	4.79	4.69	4.62	4.46	-	5.14	4.78	4.76	4.65	5.01	5.11		
	B	4.49	4.23	4.91	4.03	3.78	3.85	4.41	4.26	4.45	4.29	4.10	4.91	4.68	3.74	4.15	4.09	4.35	4.65		
DIN	0	3.31	1.91	1.11	0.01	0.06	0.14	0.89	1.83	6.30	1.18	1.13	4.21	0.89	1.89	1.14	2.30	0.20	0.44		
	5	3.09	4.90	0.03	0.13	0.02	2.57	2.38	2.46	2.97	2.18	1.85	0.92	3.31	1.81	1.58	0.44	0.09	0.54		
	10	3.40	5.45	0.12	2.05	0.44	1.14	2.18	2.64	2.71	2.33	2.06	-	0.55	0.78	0.86	1.82	2.10	1.23		
	B	3.74	4.11	0.41	4.37	4.28	5.78	3.58	4.27	3.76	4.64	4.94	1.49	1.91	5.51	3.95	3.90	3.99	2.04		
P04-P	0	0.34	0.20	0.09	0.06	0.05	0.07	0.19	0.26	1.02	0.20	0.16	0.41	0.21	0.37	0.34	0.28	0.14	0.18		
	5	0.35	0.62	0.10	0.13	0.08	0.33	0.33	0.34	0.43	0.33	0.29	0.20	0.49	0.52	0.55	0.23	0.14	0.24		
	10	0.34	0.81	0.15	0.29	0.15	0.21	0.31	0.35	0.39	0.32	0.25	-	0.19	0.26	0.21	0.33	0.34	0.31		
	B	0.38	0.52	0.21	0.64	0.66	1.04	0.44	0.55	0.51	0.87	0.78	0.29	0.30	1.20	0.62	0.62	0.46	0.43		

項目	鶴見		米水津						入津地区				蒲江南部地区						
	鮎浦	中浦	大島	竹野浦	荒戸	色利浦	宮野浦	入津湾	尾浦	上入津	下入津	小向	加羽根	屋形島内	小蒲江	猪串湾	みこの浦	丸市尾	屋形島外
調査月日	8/25	8/25	8/25	8/28	8/28	8/28	8/28	9/3	9/3	9/3	9/3	9/1	-	9/1	9/1	9/1	9/1	9/1	9/1
水深(m)	33.4	28.5	44.9	25.8	32.2	19.8	24.9	23.2	14.1	30.8	14.1	7.7	-	18.8	14.3	20.2	23.2	11.0	31.9
Tr (m)	9.0	10.0	10.0	6.0	5.0	4.0	4.0	4.0	5.0	8.0	8.0	5.0	-	7.5	7.0	5.5	8.0	5.5	8.5
水温	0	23.7	24.4	24.5	23.5	23.4	24.5	24.7	25.2	24.7	23.3	23.5	24.9	-	24.9	25.2	25.1	24.4	25.3
	5	23.6	24.1	24.5	23.2	23.2	23.4	23.3	24.3	23.6	22.7	23.0	24.0	-	24.8	24.1	24.6	24.3	24.4
	10	23.7	23.7	24.3	22.9	23.2	23.1	23.2	23.7	22.2	21.6	22.8	-	-	23.4	23.8	23.7	24.1	-
	B	22.9	23.1	21.6	21.8	22.6	22.5	22.2	19.0	21.2	20.9	21.7	23.8	-	22.4	22.8	22.4	21.5	23.8
塩分	0	33.46	33.34	33.18	33.75	33.93	33.32	33.29	33.15	33.30	33.62	33.60	33.35	-	33.79	33.81	33.41	33.72	33.30
	5	33.46	33.37	33.19	33.78	33.78	33.72	33.70	33.43	33.57	33.66	33.60	33.60	-	33.77	33.65	33.67	33.74	33.68
	10	33.48	33.47	33.24	33.84	33.83	33.78	33.74	33.54	33.74	33.73	33.57	-	-	33.70	33.67	33.76	33.73	-
	B	33.62	33.62	33.85	33.86	33.86	33.87	33.94	34.06	33.80	33.88	33.72	33.67	-	33.79	33.71	33.87	33.94	33.71
DO	0	4.59	4.98	5.20	5.13	5.07	5.61	5.77	6.16	5.75	4.47	4.98	4.81	-	4.68	5.09	5.30	4.47	5.35
	5	4.59	4.80	5.25	4.88	4.81	4.80	4.76	5.24	5.56	4.22	4.87	4.70	-	4.52	5.14	4.76	4.52	5.14
	10	4.48	4.82	5.21	4.39	4.68	4.52	4.51	4.02	4.60	4.43	4.81	-	-	4.76	5.15	4.39	4.38	-
	B	4.00	4.53	4.44	4.21	4.66	4.26	4.03	0.10	4.46	4.36	4.59	4.55	-	4.00	4.84	3.39	4.20	4.97
DIN	0	2.95	0.81	0.50	1.85	0.83	0.10	0.11	0.02	1.54	3.39	1.04	1.15	-	1.77	0.16	2.16	1.72	0.05
	5	3.18	1.19	0.59	4.13	2.23	3.11	2.81	0.95	0.98	4.73	1.84	1.62	-	1.17	0.05	2.85	1.95	0.11
	10	2.78	0.78	0.58	3.89	2.35	2.12	3.38	3.98	2.82	3.90	3.33	-	-	1.90	0.20	1.37	1.93	-
	B	4.00	2.26	3.89	5.55	3.34	5.02	6.01	80.13	3.93	5.23	4.69	2.44	-	5.41	2.64	8.38	4.62	0.17
P04-P	0	0.22	0.17	0.15	0.31	0.28	0.08	0.08	0.14	0.09	0.39	0.17	0.19	-	0.11	0.08	0.10	0.19	0.19
	5	0.26	0.23	0.18	0.67	0.46	0.37	0.60	0.36	0.16	0.52	0.27	0.26	-	0.10	0.08	0.29	0.18	0.26
	10	0.61	0.18	0.16	0.48	0.46	0.30	0.55	0.73	0.43	0.41	0.37	-	-	0.23	0.12	0.23	0.20	-
	B	0.70	0.39	0.45	0.83	0.46	0.63	0.99	12.60	0.53	0.52	0.45	0.38	-	0.63	0.34	1.13	0.72	0.38

*水温は0.5m層を示す。 単位：WT(°C)、S、DO(ml/L)、DIN・P04-P(μM)
 *DO(ml/L)÷0.7=DO(mg/l)

表2 2014年度 底質分析結果

調査 年月日	No.	調査 点名	湾・海域	漁業種類	H26年度				合成指標 (S)	底質評価
					IL(%) 450°C	IL(%) 550°C	AVS (mg/g乾泥)	COD (mg/g乾泥)		
H26.8.27	1	筏島	臼杵湾	魚類小割	1.87	3.06	0.00	4.19	-1.14	I
H26.8.27	2	三ツ子	臼杵湾	魚類小割	2.07	3.81	0.12	6.32	-0.87	I
H26.9.2	3	浦代	津久見湾	魚類小割	1.92	3.43	0.09	5.77	-0.97	I
H26.9.2	4	黒島	津久見湾	魚類小割	3.62	5.90	0.03	15.09	-0.26	I
H26.9.2	5	日代	津久見湾	真珠	2.59	4.41	0.01	9.41	-0.75	I
H26.9.2	6	赤崎内	津久見湾	魚類小割	4.79	6.61	0.16	22.58	0.45	II
H26.9.2	7	赤崎外	津久見湾	魚類小割	4.09	6.24	0.03	15.18	-0.16	I
H26.9.2	8	田の浦	津久見湾	魚類小割	5.45	8.01	0.13	23.61	0.62	II
H26.9.2	9	保戸島	津久見湾	魚類小割	2.35	4.09	0.30	11.18	-0.41	I
H26.8.26	10	新長田	佐伯湾	魚類小割	5.65	8.10	0.07	19.64	0.42	II
H26.8.26	11	長田	佐伯湾	魚類小割	5.04	7.02	0.29	23.55	0.70	II
H26.8.26	12	津井	佐伯湾	魚類小割	2.02	3.47	0.04	6.81	-0.96	I
H26.8.26	13	浪太	佐伯湾	真珠	2.80	4.37	0.00	8.82	-0.73	I
H26.8.26	14	片神	佐伯湾	魚類小割	11.07	14.14	2.69	50.98	5.86	III
H26.8.26	15	彦島	佐伯湾	魚類小割	3.28	5.50	0.33	18.95	0.16	II
H26.8.26	16	塩内	佐伯湾	魚類小割	2.46	4.68	0.07	10.38	-0.68	I
H26.8.26	17	片白島	佐伯湾	魚類小割	3.76	5.86	0.07	14.89	-0.19	I
H26.8.25	18	小田代	佐伯湾	魚類小割	6.07	10.06	0.73	30.27	1.70	II
H26.8.25	19	野崎	佐伯湾	魚類小割	2.79	4.76	0.00	8.37	-0.75	I
H26.8.25	20	桑浦	佐伯湾	魚類小割	3.57	5.19	0.43	15.04	0.18	II
H26.8.25	21	鮪浦	佐伯湾	魚類小割	5.13	6.31	0.26	25.06	0.75	II
H26.8.25	22	中浦	佐伯湾	魚類小割	2.45	3.86	0.10	13.62	-0.51	I
H26.8.25	23	大島	佐伯湾	魚類小割	2.60	4.45	0.02	10.70	-0.68	I
H26.8.28	24	竹野浦	米水津湾	魚類小割	4.51	6.13	0.16	19.72	0.27	II
H26.8.28	25	荒戸	米水津湾	魚類小割	2.87	5.03	0.10	14.65	-0.37	I
H26.8.28	26	色利浦	米水津湾	魚類小割	3.38	5.11	0.02	23.69	0.03	II
H26.8.28	27	宮野浦	米水津湾	魚類小割	2.76	3.89	0.11	18.84	-0.22	I
H26.9.3	28	入津湾	入津地区	湾央	8.24	10.99	2.08	46.11	4.34	III
H26.9.3	29	尾浦	入津地区	魚類小割	1.63	3.66	0.06	6.08	-1.05	I
H26.9.3	30	上入津	入津地区	魚類小割	2.15	3.80	0.70	8.41	-0.12	I
H26.9.3	31	下入津	入津地区	魚類小割	1.30	2.85	0.02	3.04	-1.29	I
H26.9.1	32	小向	蒲江南部	魚類小割	2.15	3.77	0.02	7.74	-0.91	I
H26.9.1	33	加羽根	蒲江南部	魚類小割	筏無し					
H26.9.1	34	屋形島内	蒲江南部	魚類小割	2.41	3.82	0.03	8.24	-0.82	I
H26.9.1	35	小蒲江	蒲江南部	ひおうぎ	2.18	4.21	0.00	6.97	-0.95	I
H26.9.1	36	猪串湾	蒲江南部	魚類小割	5.96	10.24	0.53	27.01	1.31	II
H26.9.1	37	みごの浦	蒲江南部	魚類小割	2.78	5.02	0.01	9.57	-0.70	I
H26.9.1	38	丸市尾	蒲江南部	魚類小割	7.94	12.83	0.23	44.74	2.15	III
H26.9.1	39	屋形島外	蒲江南部	魚類小割	0.97	2.03	0.01	1.73	-1.43	I

単位：IL(%)、AVS・COD(mg/g・dry)

* 合成指標値(S)=0.561×(IL-3.55)/2.48+0.588×(COD-15.05)/14.37+0.582×(AVS-0.28)/0.52

漁場評価 I S < -0.1 良好な底質環境
 II -0.1 ≤ S < 2 やや悪い底質環境
 III S ≥ 2 悪い底質環境

資源・環境に関するデータの収集・情報の提供事業－2 浅海定線調査等 (国庫交付金)

野田 誠・宮村和良

事業の目的

本調査は、別府湾・伊予灘海域における漁場環境の実態把握及び内海漁業資源の動向予測に必要な基礎データ収集を目的とする。

事業の方法

1. 浅海定線調査

毎月上旬に漁業調査船「豊洋」を使用して行った。水温と塩分はCTDで観測し、採水試料の栄養塩はオートアナライザー(SWAAT BLTEC社)を用いて分析した。

1) 調査月日

2014年 4月 7日～10日	10月 15日～17日
5月 7日～ 9日	11月 4日～ 7日
6月 3日～ 6日	12月 1日～ 4日
7月 1日～ 4日	2015年 1月 5日～ 7日
8月 欠 測	2月 2日～ 4日
9月 欠 測	3月 2日～ 4日

2) 調査項目

気象、海象、水温、塩分、透明度、DO、COD、NH₄-N、NO₂-N、NO₃-N、PO₄-P(ただし、DO、COD、NH₄-N、NO₂-N、NO₃-N、PO₄-Pについては、定点7、9、17、21、22、26、27、31のみ測定した。)

3) 調査定線

調査定線(ナーセー9線)を示したものが図1である。

2. 水温の定点調査

1) 調査体制

佐伯湾内に位置する水産研究部前(図2)の棧橋付近における表層海水(0m)を、午前8時30分に採水し、棒状水温計で水温を測定した。平年値

は、1990年～2010年の20年間の平均値を用いた。

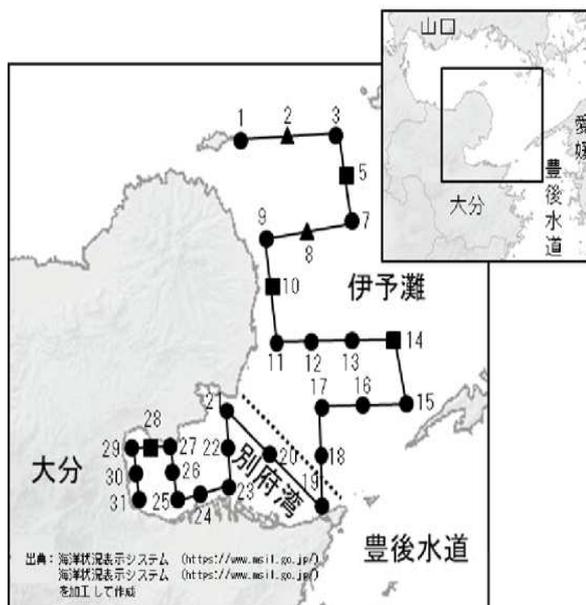


図1 浅海定線調査定線図

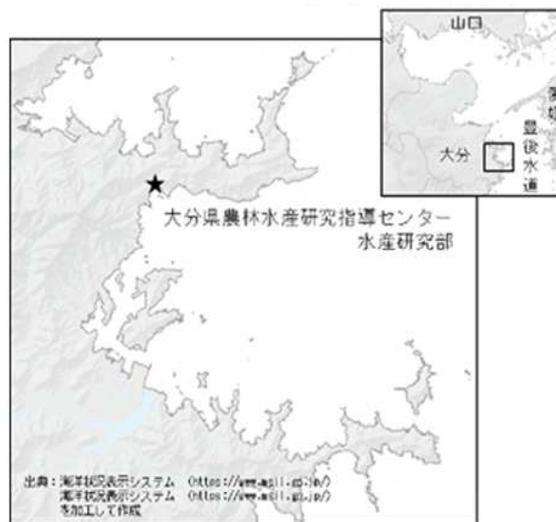


図2 水温定点観測調査点

事業の結果

1. 浅海定線調査等

1) 気象

図3は大分市における2014年度の気象の推移（大分気象台）である。

気温：6月中旬～9月中旬、12月上旬～1月上旬は概ね低め傾向であった。

降水量：8月上旬、10月中旬には台風12号と19号の影響によって平年の2倍以上の降水が観測された。

日照時間：8月は寡照であり、月間日照時間は8月の最少記録を更新した観測箇所が多かった。6月上旬から12月下旬に平年値を上回ったのは、7月下旬と10月下旬のみであり、全体的に日照は少なかった。

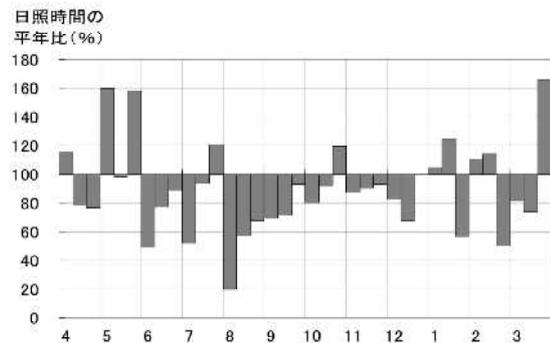
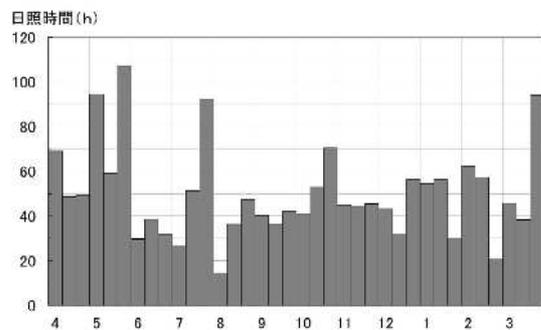
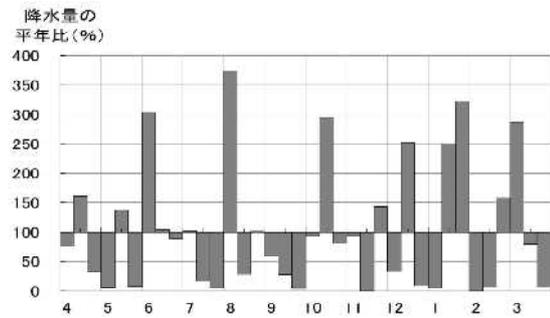
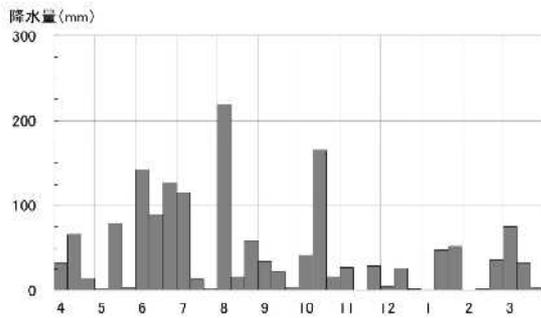
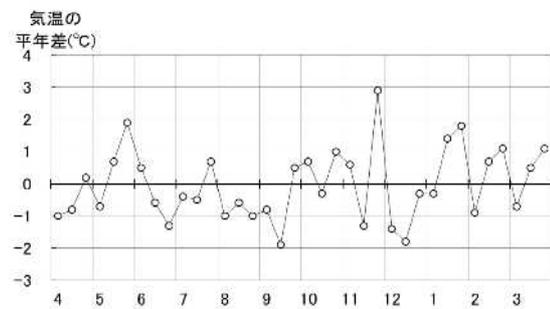
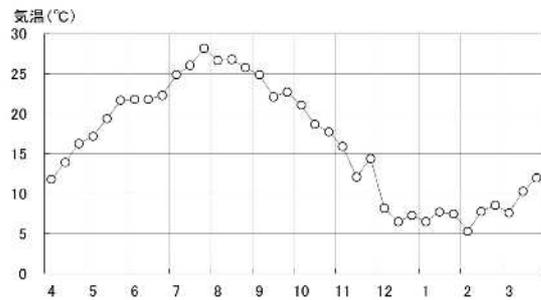


図3 2014年度大分市における気象（気象庁気象統計情報）

2) 海象

A. 水温

水温の観測結果を示したものが図4である。今年度は8月と9月が欠測であった。なお、例年は9月に最高水温が観測されている。

伊予灘の表層は10.3~22.2℃、底層は9.6~22.3℃で推移した。表層は4月~7月が「やや低め」~「平年並」、10月は「かなり高め」であった。一方底層は12月が「やや高め」であった以外は、「甚だ低め」~「平年並」であった。

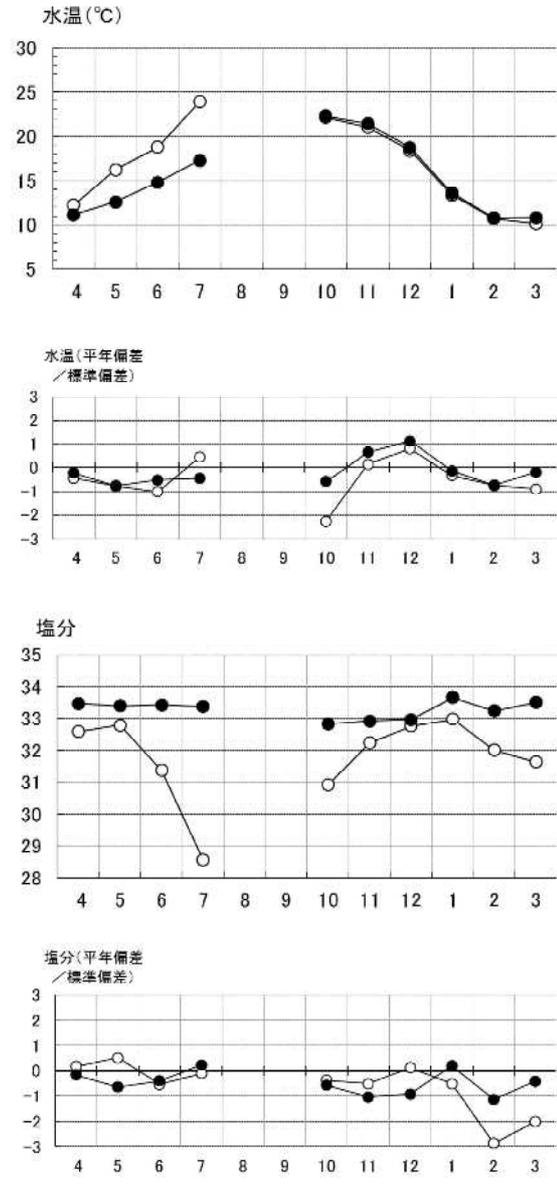
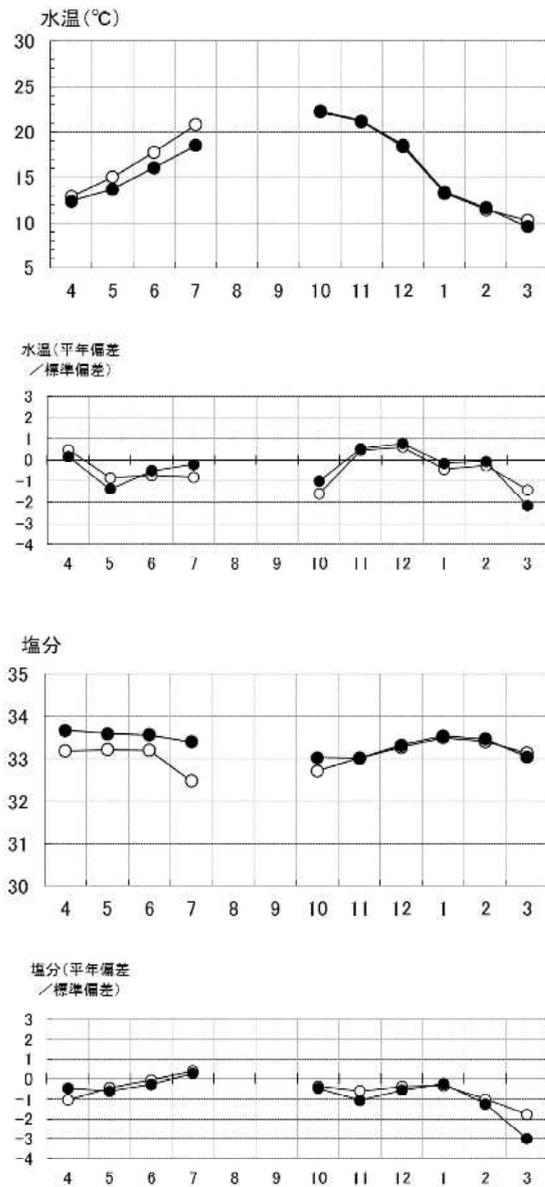
別府湾の表層は10.1~23.9℃、底層は10.8~22.3℃で推移した。表層は4月~7月が「やや低め」~

「平年並み」、10月は「甚だ低め」であった。一方底層は11月、12月が「やや高め」、2月、5月が「やや低め」であった以外は「平年並」であった。

塩分

塩分の観測結果は図4に示したとおりである。

伊予灘の表層は32.48~33.50 で、底層は33.01~33.68 で推移した。表層は3月が「かなり低め」、底層は3月が「甚だ低め」であった。別府湾の表層は28.56~32.99 で、底層は32.82~33.66 で推移した。表層の2月、3月は「甚だ低め」、底層は「やや低め」~「平年並み」で推移した。



○：表層 ●：底層

図4 2014年度 水温、塩分の推移 (左：伊予灘 右：別府湾)

B. 透明度

図5は透明度の観測結果である。

伊予灘は7.6～12.1mで推移した。10月が「かなり高め」、12月と1月が「やや低め」、2月が「やや高め」であった以外は「平年並み」であった。

別府湾は、4.8～16.5mで推移した。11月は「かなり高め」、2月は「甚だ高め」、12月は「かなり低め」、4月～6月と10月は「やや低め」であった。

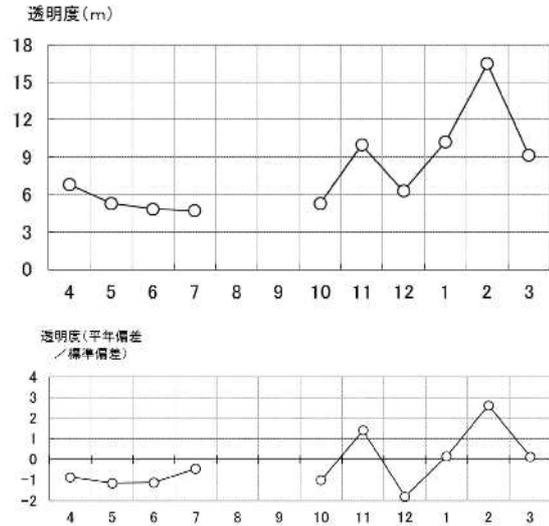
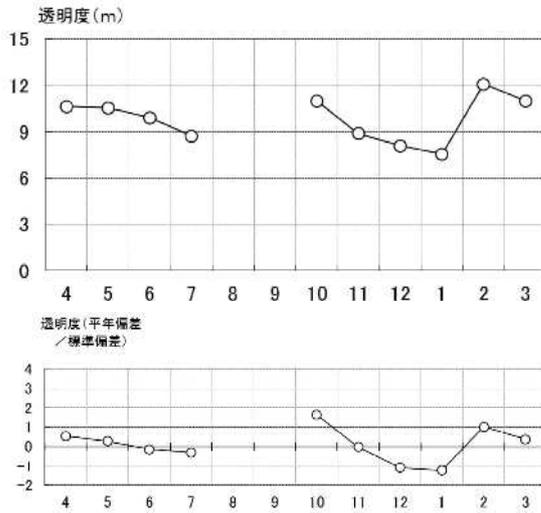


図5 2014年度 透明度の推移 (左:伊予灘 右:別府湾)

*各項目の評価基準

評価基準 (平年偏差/標準偏差)

平年並 : -0.6~0.6

やや高め (低め) : 0.6~1.3 (-1.3~-0.6)

かなり高め (低め) : 1.3~2.0 (-2.0~-1.3)

甚だ高め (低め) : 2.0~ (~-2.0)

3) 栄養塩等

A. DIN

DINの測定結果は図6に示したとおりである。

伊予灘のDINは、表層が0.50~3.83 μ M、底層が0.44~3.30 μ Mで推移した。表層は5月、6月が「やや低め」、2月が「やや高め」であった以外は「平年並み」であった。底層は3月が「甚だ低め」であった。

別府湾のDINは、表層は0.10~4.29 μ M、底層は1.15~4.25 μ Mの範囲で、10月の表層、11月の底層を除き、表・底層ともに年間を通して平年を下回って推移した。

B. PO₄-P

PO₄-Pの測定結果を示したものが図6である。

伊予灘は、表層が0.14~0.54 μ M、底層が0.23~0.53 μ Mの範囲で、表層は「平年並み」~「甚だ高め」、底層は「平年並み」~「かなり高め」で推移した。

別府湾は、表層が0.09~0.49 μ M、底層が0.32~0.67 μ Mで推移し、表層の10月は「甚だ高め」であった。

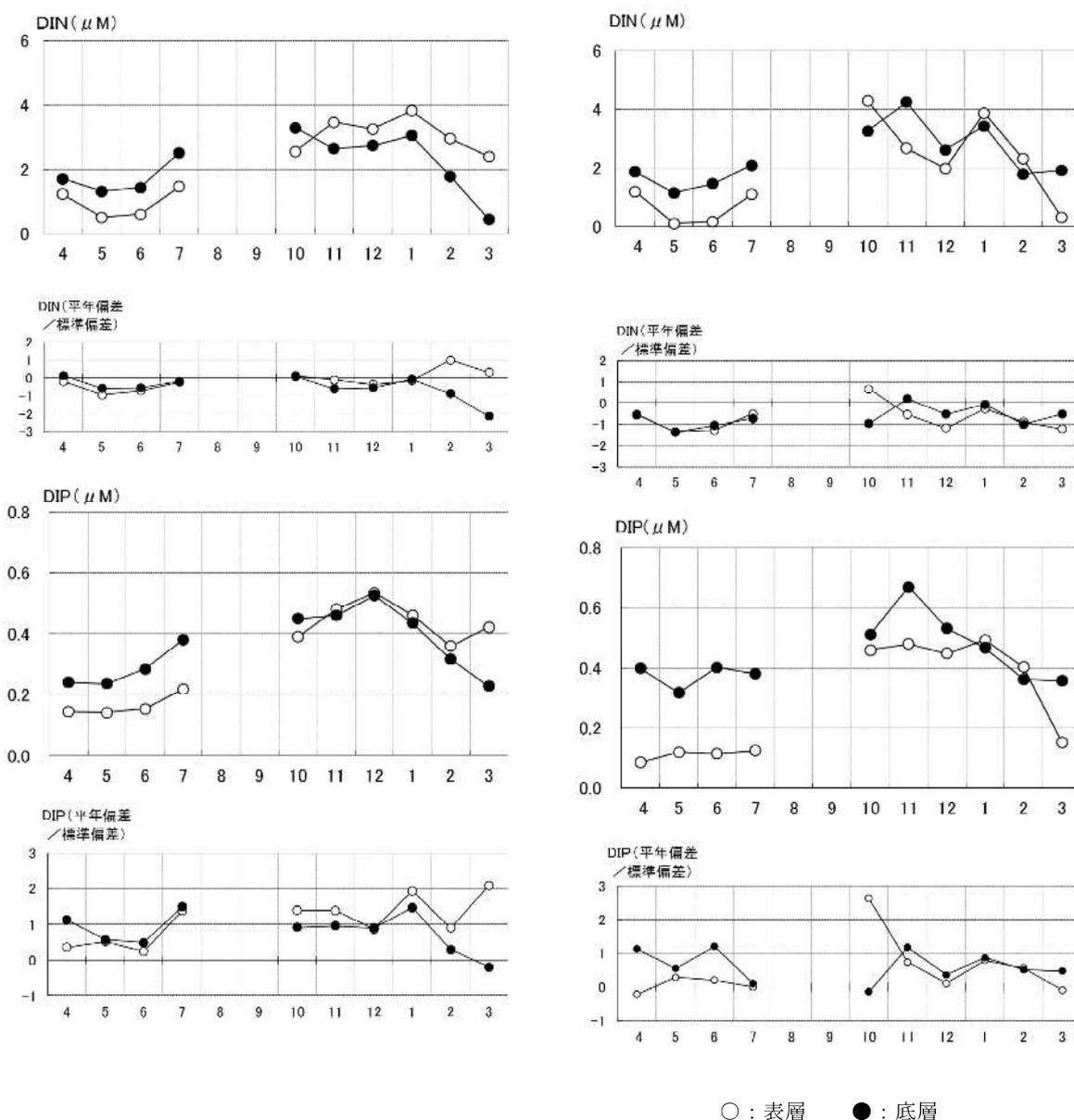


図6 2014年度 DIN、PO₄-Pの推移 (左:伊予灘 右:別府湾).

C. DO

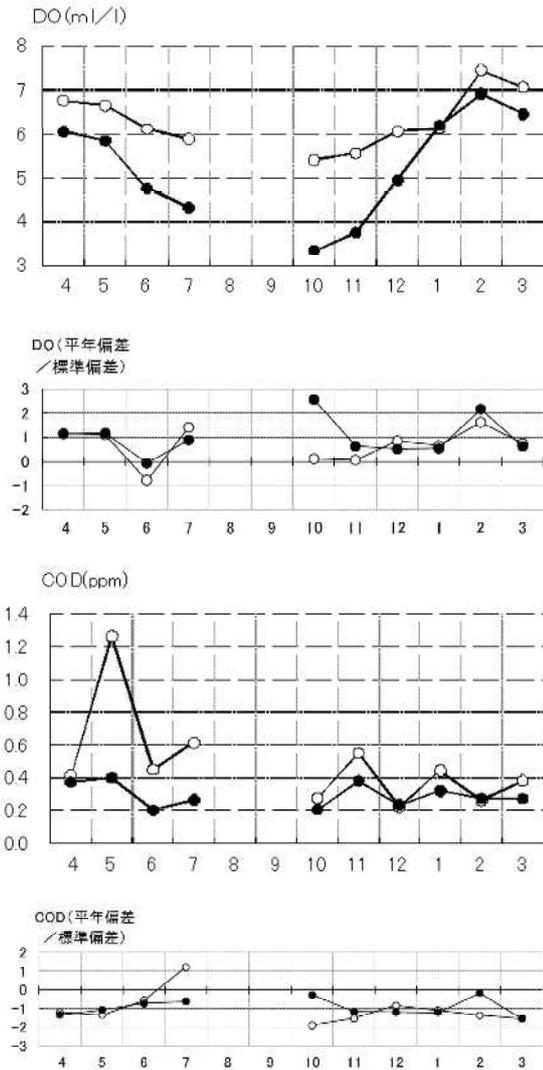
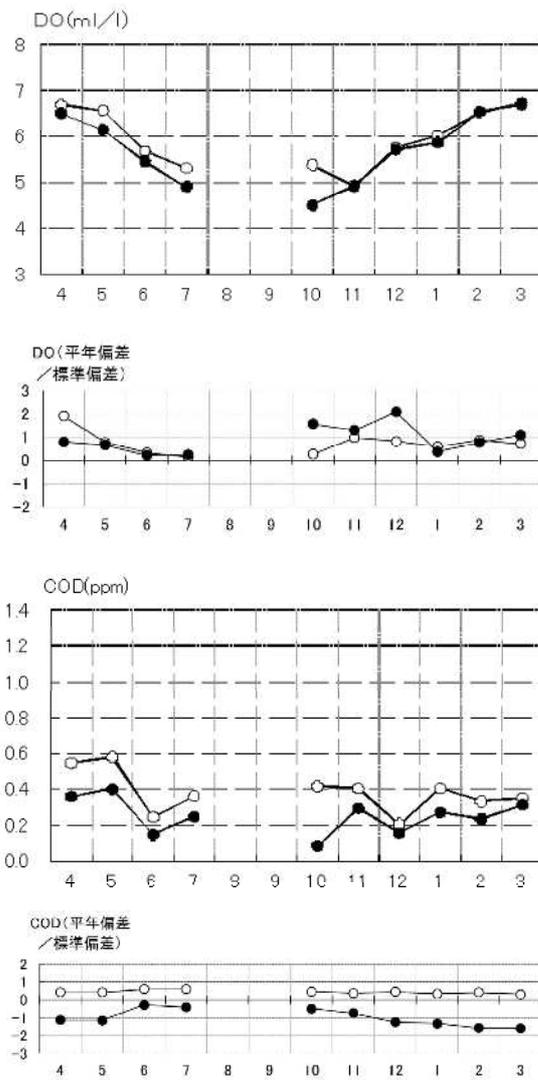
DOの測定結果は図7に示したとおりである。伊予灘の表層は、4.98~6.64 ml/Lで、底層は4.84 ml/L~6.47 ml/Lの範囲で、表・底層ともに平年を上回って推移した。

別府湾の表層は、5.45~6.99 ppm、底層は4.79~5.58 ppmの範囲で、7月の表層が「やや高め」であった以外は、表・底層ともに平年より低く推移した。以外、表・底層ともに平年より低く推移した。

D. COD

CODの測定結果は図7に示したとおりである。伊予灘の表層は、0.30~0.59 ppm、底層は0.24~0.52 ppmの範囲で、7月の表層が「やや高め」であった以外は、表・底層ともに平年より低く推移した。以外、表・底層ともに平年より低く推移した。

別府湾の表層は、0.05~1.23ppm、底層は0.29~0.58 ppmの範囲で、7月の表層が「やや高め」であった以外は、表・底層ともに平年より低く推移した。以外、表・底層ともに平年より低く推移した。



○：表層 ●：底層

図7 2014年度 DO、CODの推移 (左：伊予灘 右：別府湾)。

2. 水温の定点調査

佐伯湾内（上浦地先）の水温（0 m）の定点調査結果を示したものが図8である。

2014年度は、8月中旬の25.2℃が最高値で、3月上旬の12.0℃が最低値であった。年間を通じて平年値

を下回って推移することが多く、平年値を上回ったのは、4下旬（+0.80℃）、5月中旬（+0.02℃）、5月下旬（+0.28℃）、6月上旬（+0.16℃）、7月下旬（+0.38℃）、10月下旬（+0.10℃）、11月下旬（+0.37℃）、1月上旬（+0.12℃）だけであった。

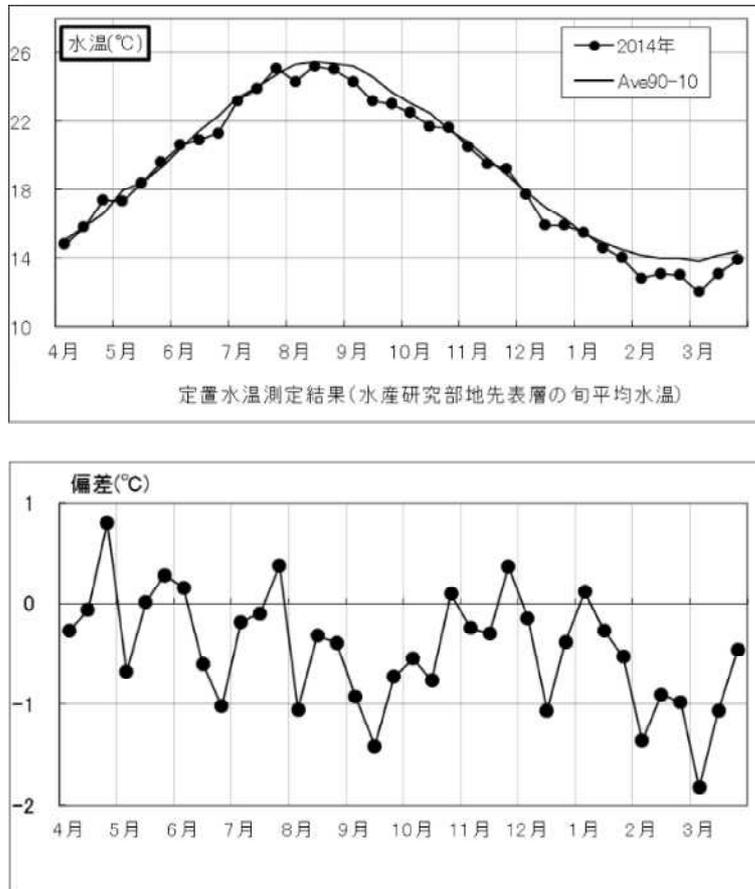


図8 2014年度 佐伯湾定点表層水温(旬平均値)の推移.

漁場環境保全推進事業（赤潮）

野田 誠・宮村和良

事業の目的

近年、西日本では従来種に加え新奇有害プランクトンの蔓延等による甚大な被害【*Cochlodinium polykrikoides* 赤潮（被害額：1999年長崎県7.6億円、2000年熊本県35億円）、*Heterocapsa circularisquama* 赤潮（1998年広島県38億円）、*Chattonella spp.* (*Ch. antiqua*及び*Ch. marina*) 赤潮（2003年徳島県6.6億円、香川県4.9億円、熊本県3.3億円、鹿児島県1.6億円、2009年鹿児島県20億円、熊本県8.7億円、長崎県4.3億円、2010年鹿児島県36.8億円、熊本県16億円、長崎県1.6億円）】が報告されている。大分県内においても毎年、有害赤潮による漁業被害が報告され、今後の被害拡大が危惧されるとともに、監視強化の必要な有害プランクトン種が増大する傾向にある。漁業被害を防止するためには、プランクトンの生理生態研究で予察技術を確立し、定期的なモニタリング調査で赤潮発生を早期に予知して、適切な被害防止策を講じることが、現状における最善策である。しかし、漁業協同組合職員や漁業者による初期のモニタリングは技術面において困難であることから、業界からは有害プランクトンの監視について一層の強化が望まれている。

本事業の目的は、魚介類を致死させる有害プランクトンの発生および養殖被害を伴う環境悪化等を予察することによって漁業被害を軽減することである。

事業の方法

1. 漁場監視モニタリング調査

豊後水道に接する佐賀関以南の各湾（図1）に調査点4～7点（精密調査点1～2点を含む）を設定し、5～9月に調査を行った。各調査点ではCTD（JFEア

ドバンテック社製AAQ-RINKO）による水温、塩分、クロロフィル蛍光値の測定および、採水器（リゴールB号）による表層、5m層の採水を行った（大分市沿岸は表層、2m層の採水のみ）。得られた試料海水は有害プランクトンの同定・計数に用いた。精密調査点では上記の採水層、調査項目に加え、10m層、底上1m層の採水も行い、各層の溶存酸素（ウインクラ法）、栄養塩（DIN、PO₄-P）の測定を行った。また、鉛直クロロフィル蛍光値の測定で極大値が確認された際には、採水器を用いて極大層を採水し、試水中の有害プランクトンの同定及び計数を行った。定期調査および海水持ち込み時の際の有害プランクトンが確認された湾及び赤潮多発期の7～8月には、調査回数、調査点を増やした。

2. 広域赤潮監視調査

周防灘、伊予灘、別府湾に調査点44点（図2参照）を設け、2014年5月、6月と7月に各1回、計3回の調査を行った。各調査点ではC-CTD（JFEアドバンテック社製）による鉛直水温、塩分、クロロフィル蛍光値の測定および表層の採水を行った。観測時に鉛直クロロフィル蛍光値で極大値（極大層）が観測された際には、採水器を用いて極大層の採水を行った。採水した海水は翌日に光学顕微鏡を用いて、濃縮せずに有害プランクトンの同定・計数を行った。

3. 指導事業

赤潮シーズン前に、佐賀関以南の振興局、市町村、漁協、養殖業者を対象に赤潮担当者会議を開催し、最近の赤潮発生状況や被害についての説明を行った。また、漁業者から赤潮講習会の要望があった場合には現場に赴き講師を務めた。

赤潮発生時や有害プランクトン発生時及び赤潮になる危険がある場合には、緊急赤潮情報、赤潮情報を発行し、周知徹底を図った。

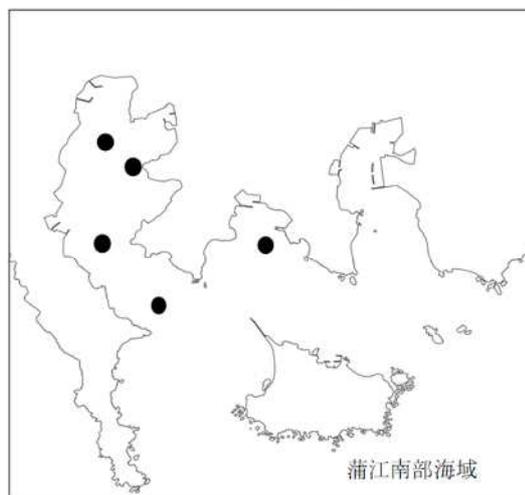
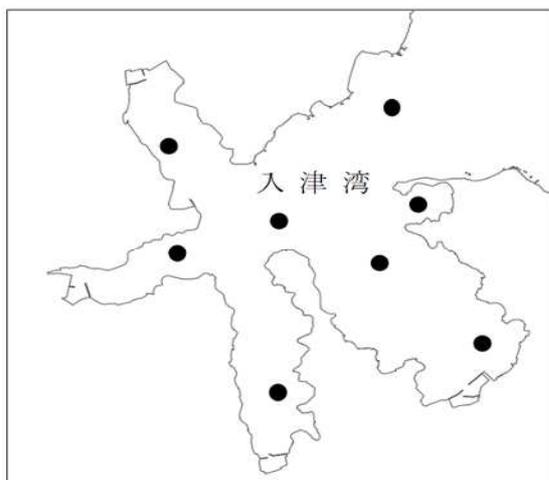
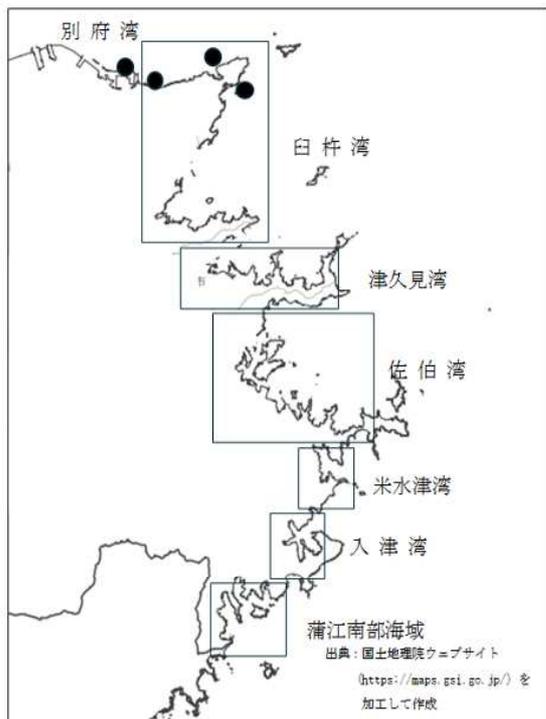


図1 赤潮調査定点

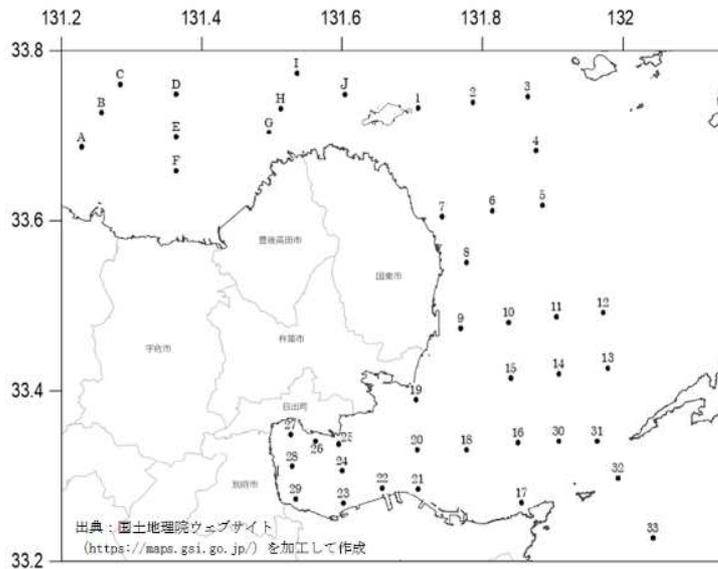


図2 広域赤潮監視調査定点

事業の結果

1. 現場監視モニタリング調査

1) 気象

A. 概要（気象月報抜粋）

6月は曇りや雨の日が多く日照時間が少なかった。平均気温は上旬に高く中旬・下旬は低めに経過した。県内アメダスの月降水量は平年比57～183%で豊後高田・耶馬溪・日田で少ないほかは平年並みか多いかかなり多かった。月平均気温は平年差-1.3～+0.2℃で国見・杵築で平年並の他は低いかかなり低かった。月間日照時間は平年比51～74%で少ないかかなり少なかった。7月は上旬・中旬は梅雨前線や台風8号の影響で曇りや雨の日が多く、21日の梅雨明け以降は晴れの日が多かった。県内アメダスの月降水量は平年比52～113%で、大分・佐伯で少ない他は平年並だった。月平均気温は平年差-0.7℃～+0.5℃で、杵築で高く玖珠で低い他は平年並だった。月間日照時間は平年比82～93%で平年並か少なかった。8月は全般に曇りや雨の日が多く、寡照で月間日照時間は8月の最少記録を更新する観測所が7箇所あった。県内アメダスの月降水量は平年比133～303%で多いかかなり多く、月平均気温は平年差-1.4℃～-0.1℃で、杵築・宇目で平年並の他は低いかかなり低かった。月間日照時間は平年比37～56%でかなり少なかった。

B. 気温・降水量

4～9月の佐伯市アメダスの月平均気温の推移は図3に、月降水量は図4に示したとおりである。平均気温は、5月に平年より+0.1℃高め、7月に平年並みであった以外は、平年より低めで推移した。降水量は6月、8月に平年の2倍程度の降水があったが、9月の降水量は平年の25.9%と少なかった。

2) 海象

各海域5m層の水温、塩分、DIN、PO4-Pの推移は図5～7に示したとおりである。津久見湾の観測は9月2日の1回だけである。

水温は白杵湾 19.1～23.7℃、佐伯湾 17.0～23.9℃、米水津湾 19.8～23.3℃、入津湾 18.9～24.3℃、猪串湾 17.6～24.2℃で推移した。塩分は白杵湾 32.97～33.76、佐伯湾 33.27～34.16、米水津湾 33.57～34.01、入津湾 33.29～34.09、猪串湾 33.30～34.46で推移した。DINは白杵湾 0.01～2.24 μM、佐伯湾 0.00～4.05 μM、米水津湾 1.57～2.81 μM、入津湾 0.00～4.51 μM、猪串湾 0.00～3.07 μMで推移した。PO4-Pは白杵湾 0.07～0.29 μM、佐伯湾 0.16～0.51 μM、米水津湾 0.35～0.60 μM、入津湾 0.12～0.56 μM、猪串湾 0.03～0.21 μMで推移した。

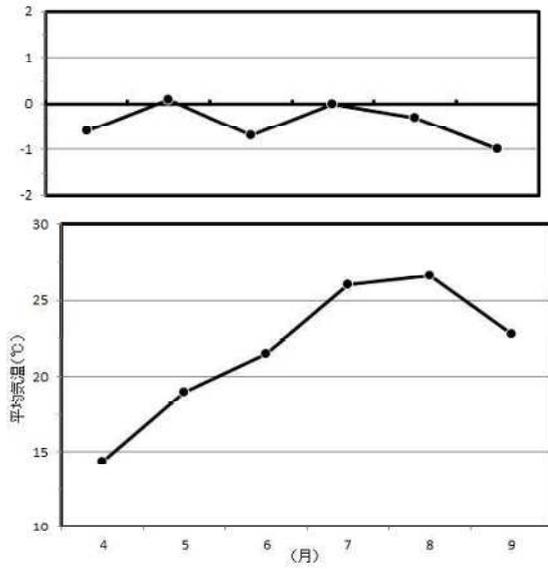


図3 月平均気温の推移と年偏差（上段：年偏差、下段：月平均気温 アメダス 佐伯）

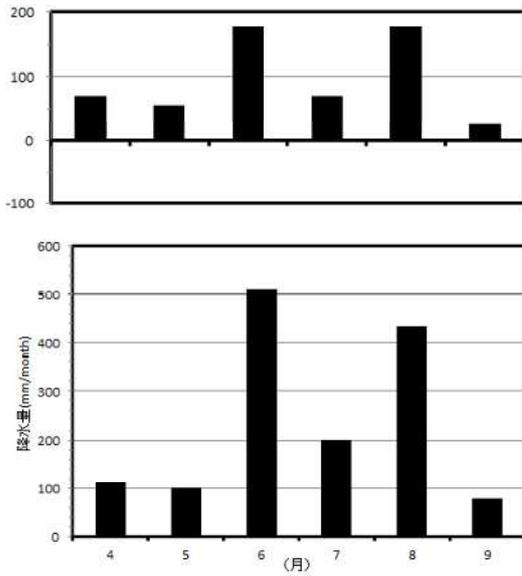


図4 月降水量の推移と年偏差（上段：年偏差、下段：月降水量 アメダス 佐伯）

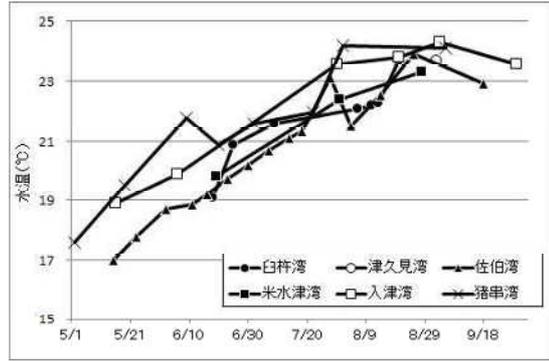


図5 豊後水道各湾の5m層水温の推移

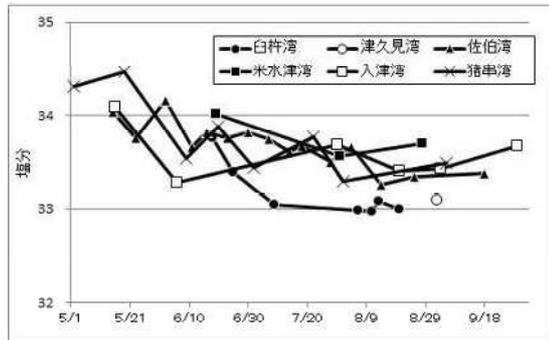


図6 豊後水道各湾の5m層塩分の推移

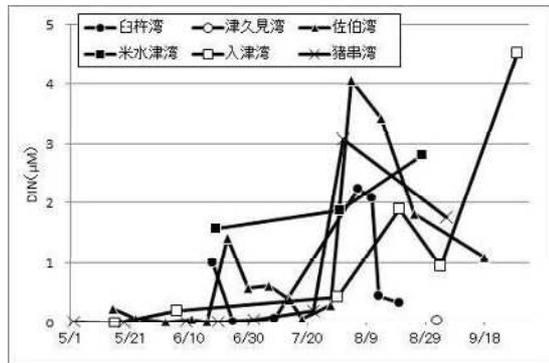


図7 豊後水道各湾の5m層DINの推移

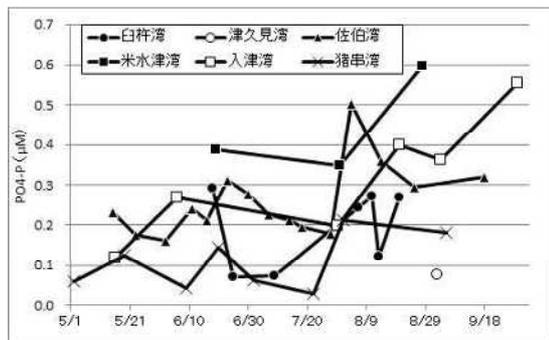


図8 豊後水道各湾の5m層P04-Pの推移

表1 2014年度豊後水道西岸域および別府湾における赤潮発生状況

整理番号	発生期間			発生海域	赤潮構成プランクトン		漁業被害の有無	最高細胞数 (cells/ml)	
	発生日	～	終息日		日数	属			種
1	1月8日	～	6月9日	132日間	猪串湾	<i>Cochlodinium</i>	<i>polykrikoides</i>	無	1,700
2	6月6日	～	7月16日	40日間	別府湾	<i>Heterosigma</i>	<i>akashii</i>	無	19,200
3	3月11日	～	7月7日	127日間	佐伯湾	<i>Heterosigma</i>	<i>akashii</i>	無	27,000
4	3月30日	～	8月26日	(58日間)	佐伯湾	<i>Karenia</i>	<i>mikimotoi</i>	無	1,300
5	7月30日	～	9月20日	(20日間)	臼杵湾	<i>Karenia</i>	<i>mikimotoi</i>	無	2,600
6	9月3日	～	9月29日	(27日間)	入江湾	<i>Gonyaulax</i> <i>Prorocentrum</i>	<i>polygramma</i> <i>sigmoides</i>	無	1,000
7	9月8日	～	9月22日	(15日間)	小蒲江湾	<i>Gonyaulax</i>	<i>polygramma</i>	無	10,800
8	9月8日	～	9月22日	(15日間)	米次津湾	<i>Gonyaulax</i>	<i>polygramma</i>	無	8,000
9	8月8日	～	8月18日	(11日間)	佐伯湾	<i>Gonyaulax</i>	<i>polygramma</i>	無	1,200
10	3月18日	～	10月20日	(22日間)	猪串湾	<i>Karenia</i>	<i>mikimotoi</i>	有	1,800
11	10月20日	～	10月29日	(10日間)	佐伯湾	<i>Myrionecta</i>	<i>rubra</i>	無	4,900
12	12月10日	～	12月17日	(8日間)	猪串湾	<i>Myrionecta</i>	<i>rubra</i>	無	1,500
13	1月5日	～		継続中	猪串湾、宇羅屋湾、蒲江湾	<i>Cochlodinium</i>	<i>polykrikoides</i>	調査中	調査中

有害種は注意密度を超えた場合に赤潮として記載した。

3) 赤潮発生状況

表1は赤潮発生状況の一覧を示したものである。赤潮発件数は13件で内1件で漁業被害が発生した。赤潮構成プランクトンは*Gonyaulax polygramma* 4件(内1件は*Prorocentrum sigmoides*との混合赤潮)、*Karenia mikimotoi* 3件、*Myrionecta rubra* 2件、*Heterosigma akashiwo* 2件、*Cochlodinium polykrikoides* 2件、であった。なお、整理番号13については、整理番号1と同様、年度をまたいで赤潮の発生が継続している。

4) 特記事項

C. polykrikoides (整理番号1) は冬季の低水温時から遊泳細胞が認められ、12月上旬～2月上旬まで、ゆっくりと増加し続けた。その後5月上旬に、急激に個体群密度が増加し赤潮形成および分布域の拡大が観測された。

C. polykrikoides (整理番号13) も冬季の低水温時から遊泳細胞が認められ、3月下旬にかけてゆっくりと増加し続けた。

K. mikimotoi は臼杵湾、佐伯湾と猪串湾で赤潮が確認された。佐伯湾の初認は5月中旬であり、例年より早かった(図9)。しかし、*K. mikimotoi* と同時に他の渦鞭毛藻(*Prorocentrum.spp*)が存在していたためか、大幅に増加することなく、7月中旬に1,300 cells/mlまで増殖したものの、その後減少し、8月下旬には終息した。

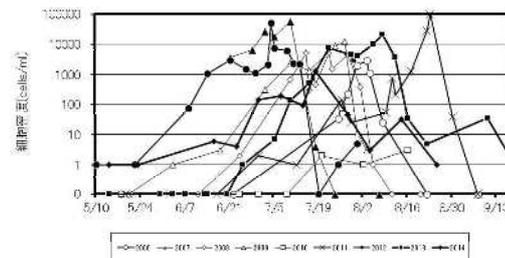


図9 佐伯湾の2006年～2014年夏季における*K. mikimotoi*の最高細胞密度の推移

5) 各湾における有害プランクトン発生状況

各湾の有害赤潮プランクトンの出現の概況については、図10にまとめたとおりである。なお、細胞密度は調査期間中の最高細胞密度である。

臼杵湾：*K. mikimotoi*は790 cells/ml（8月11日）、*H. akashiwo*は2 cells/ml（6月18日）、*C. polykrikoides*は6 cells/ml（8月13日）、*Chattonella spp*は1 cells/ml（8月13日）、であった。

津久見湾：*K. mikimotoi*は80 cells/ml（8月12日）、*C. polykrikoides*は10 cells/ml（9月2日）、*Ch. spp*は1 cells/ml（8月8日）で、*H. akashiwo*は確認されなかった。

佐伯湾：*K. mikimotoi*は1,300 cells/ml（7月18日）、*H. akashiwo*は27,800 cells/ml（6月11日）で、*Ch. spp*と*C. polykrikoides*は確認されなかった。

米水津湾：*K. mikimotoi*は1 cells/ml（7月31日）、*H. akashiwo*は3 cells/ml（8月28日）で、*Ch. spp*と*C. polykrikoides*は確認されなかった。

入津湾：*K. mikimotoi*は2 cells/ml（9月3日）、*H. akashiwo*、*Ch. spp*と*C. polykrikoides*は確認できなかった。

蒲江南部海域：*K. mikimotoi*は2 cells/ml（7月15日）、*H. akashiwo*は10 cells/ml（6月20日）、*C. polykrikoides*は272 cells/ml（5月2日）で、*Ch. spp*は確認されなかった。

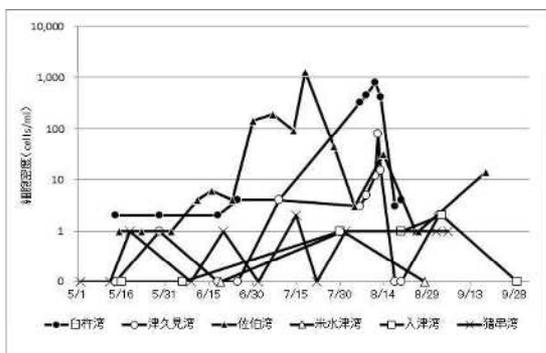


図10 豊後水道各湾の*K. mikimotoi*の最高細胞密度の推移

2. 広域赤潮監視調査

2014年5、6および7月に行った有害プランクトンの調査結果は以下に示したとおりである。

5月（5月7～9日）：*Ch. spp*、*H. akashiwo*は検出されなかった。*K. mikimotoi*は8 cells/ml以下の密度で分布し、周防灘（St.A,C,E,F,H,J）、伊予灘（St.10）、別府湾（St.17,21～29）で確認された。

6月（6月3～6日）：*Ch. spp*、*H. akashiwo*は検出されなかった。*K. mikimotoi*は14 cells/ml以下の密度で分布し、周防灘（St. A,E,H）、伊予灘（St.11,15,ア）、別府湾（St.16,17,20～24,26,28,29）で確認された。

7月（7月1～4日）：*Ch. spp*は検出されなかった。*H. akashiwo*は10 cells/ml以下の密度で分布し、別府湾（St.24,28）で確認された。*K. mikimotoi*は17 cells/ml以下の密度で分布し、伊予灘（St.10,12～15）、別府湾（St.16～18,20～23,25～27,29）で確認された。

3. 指導事業

1) 赤潮担当者会議

開催日：2014年5月28日

開催場所：水産研究部大会議室

出席者：37名（佐賀関以南の漁協各支店、市役所、振興局、県庁）

2) 講師派遣

平成26年度赤潮講習会（JF大分佐伯支店）

開催日：2014年5月22日

出席者：9名 漁業者、市役所

講師：宮村和良

豊後水道北部海域赤潮研究会

開催日：2014年6月13日

出席者：12名 漁業者、管内漁協各支店
市役所

講師：宮村和良

3) 赤潮情報・緊急赤潮情報の発行回数

- ・赤潮情報：6回
- ・緊急赤潮情報：12回

漁場環境保全推進事業（貝毒）

宮村和良・野田 誠

事業の目的

近年、貝毒原因プランクトンの発生や、それに伴う二枚貝の毒化がしばしば報告されている。本県佐伯市南部沿岸域においてもヒオウギガイ、アサリ、ムラサキイガイで麻痺性貝毒プランクトンによる毒化が問題となった経緯がある。本事業の目的は、貝毒原因プランクトンをモニタリングすることで二枚貝の毒化を監視し、食品としての安全性を確保することである。

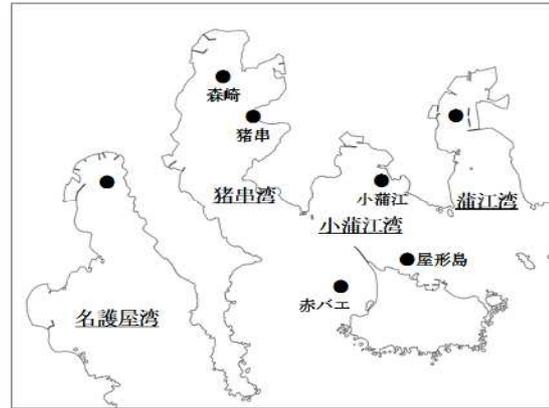
事業の方法

1. 猪串湾、小蒲江湾（図1参照）

佐伯市蒲江にある猪串湾、小蒲江湾において調査点5点を設置し、2014年4月から2015年3月の間に毎月1回～4回の採水および環境調査および二枚貝の採取を行った。なお赤バエ、蒲江湾の各点では出荷が行われていない期間は観測は行っていない。採水は森崎で表層、2m層、5m層、10m層および海底上1m層を行い、その他の点では表層および3m層を行った。水温、塩分の測定は猪串湾0.5m層から海底まで0.1m毎にCTD(JFEアドバンテックAAQ-125)を用いて行った。二枚貝の採取は小蒲江および赤バエ（避難漁場）では養殖ヒオウギガイを、森崎では天然ムラサキイガイとした。採水した海水は直ちに実験室に持ち帰り、孔径10 μ mのプランクトンネットを用いて100倍に濃縮後、固定せずに光学顕微鏡を用いて貝毒原因プランクトンの同定、計数を行った。採取した二枚貝は、既報に従い貝毒成分を抽出後、ELISA法で分析を行った。

2. 名護屋湾、蒲江湾（図1参照）

養殖イワガキの出荷の各時期に表層および3m層の採水を行った（水深の浅い海域では表層のみ）。採水した海水は既述と同様な方法で、貝毒原因プランクトンの同定、計数を行った。採水は水産改良普及指導員が行った。



出典：国土地理院ウェブサイト（<https://maps.gsi.go.jp/>）を加工して作成

図1 調査定点

事業の結果

1. 貝毒原因プランクトン出現状況

1) 猪串湾、小蒲江湾

A. *Gymnodinium catenatum*

各調査点の*G. catenatum*の鉛直平均細胞密度の推移は図2に示した通りである。森崎はN.D.(4cells/L以下)～74,111 cells/L、猪串はN.D.(10cells/L以下)～62,176cells/L、鵜の糞はN.D.(10cells/L以下)～1,111 cells/L、赤バエはN.D.(10cells/L以下)～65 cells/L、屋形島はN.D.(10cells/L以下)～8,111 cells/L、小蒲江はN.D.(10cells/L以下)～675 cells/Lで推移した。遊泳細胞は7月下旬および12月下旬に検出できなかったがほぼ周年観測され、7月上旬に最も細胞密度が高かった。今年度は過去4年間の出現と比較して7月の細胞密度が高かったことを除き、比較的低密度で推移した（図3参照）。

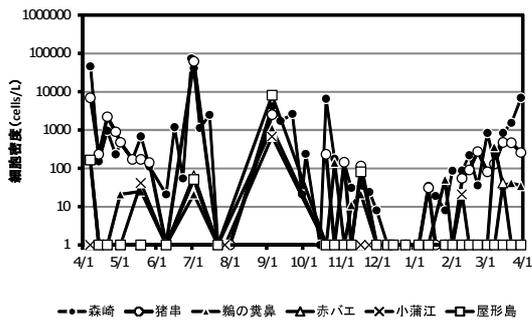


図2 猪串湾、小蒲江湾における各調査点の *G. catenatum*細胞密度の推移

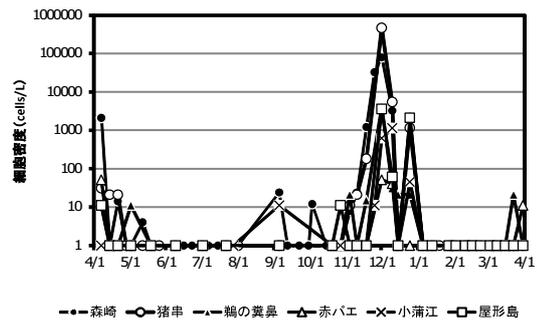


図4 猪串湾、小蒲江湾における各調査点の *A. catenella*細胞密度の推移

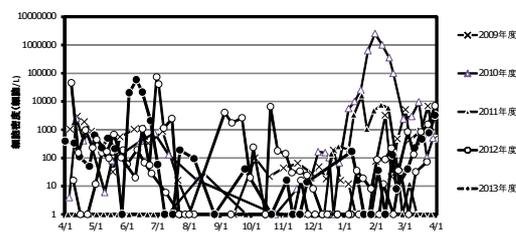


図3 2009～2014年の猪串湾森崎地区における *G. catenatum*細胞密度（5層平均）の推移

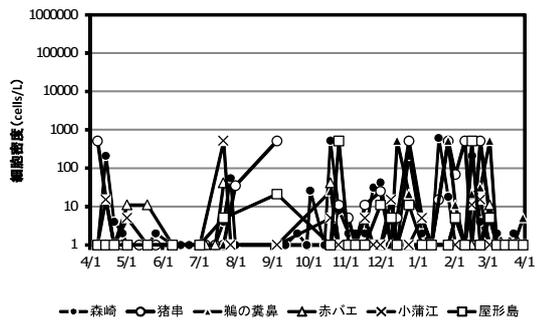


図5 猪串湾、小蒲江湾における各調査点の *Dinophysis* spp. の細胞密度の推移

B. *Alexandrium catenella*

各調査点の *A. catenella* の鉛直平均細胞密度の推移は図4に示した通りである。森崎はN.D.(4cells/L以下)～79,111 cells/L、猪串はN.D.(10cells/L以下)～465,111 cells/L、鵜の糞鼻はN.D.(10cells/L以下)～4,111 cells/L、赤バエはN.D.(10cells/L以下)～51 cells/L、屋形島はN.D.(10cells/L以下)～3,585 cells/L、小蒲江はN.D.(10cells/L以下)～1,141 cells/Lで推移した。11月～12月の期間にピークが確認された。12月1日には最も細胞密度が高く湾奥の弁天島前では水深6m付近で極大層が観測され、その層を採水した結果127,000 cell/Lの最高細胞密度が確認された。

C. *Dinophysis* spp.

各調査点の *Dinophysis* spp. の鉛直平均細胞密度の推移は図5に示した通りである。森崎はN.D.(4cell s/L以下)～612 cells/L、猪串はN.D.(10cells/L以下)～511 cells/L、鵜の糞鼻はN.D.(10cells/L以下)～515 cells/L、赤バエはN.D.(10cells/L以下)～41 cells/L、屋形島はN.D.(10cells/L以下)～515 cells/L、小蒲江はN.D.(10 cells/L以下)～511 cells/Lで推移した。6月下旬を除きほぼ周年遊泳細胞が観測されたが1000 cells/Lを超えることはなかった。

2) その他の海域

A. *Gymnodinium catenatum*

G. catenatum の鉛直平均細胞密度の推移は図6に示した通りである。名護屋湾ではN.D.(10 cells/L以下)～471 cells/Lで、蒲江湾ではN.D.(10 cells/L以下)～3,631 cells/Lで推移した。蒲江湾では4月下旬に1,000 cells/L以上の細胞が確認された

B. *Alexandrium catenella*

A. catenella の鉛直平均細胞密度の推移は図7に示した通りである。名護屋湾ではN.D.(10 cells/L以下)～26,511 cells/Lで、蒲江湾ではN.D.(10 cells/L以下)～1,591 cells/Lで推移した。両海域とも11月～12月に期間にピークが観測され、名護屋湾では12月中旬に10,000 cells/L以上の密度が確認された。

C. *Dinophysis* spp.

Dinophysis spp. の鉛直平均細胞密度の推移は図8に示した通りである。名護屋湾ではN.D.(10 cells/L以下)～2,111 cells/L、蒲江湾ではN.D.(10 cells/L以下)～21 cells/Lであった。名護屋湾では1月下旬に一時的に1,000cells/Lを超えた期間が確認された。

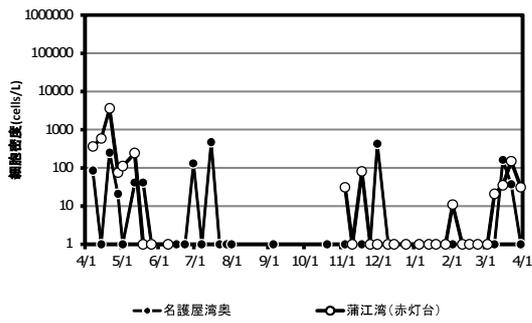


図6 名護屋湾、蒲江湾におけるの*G. catenatum*細胞密度の推移

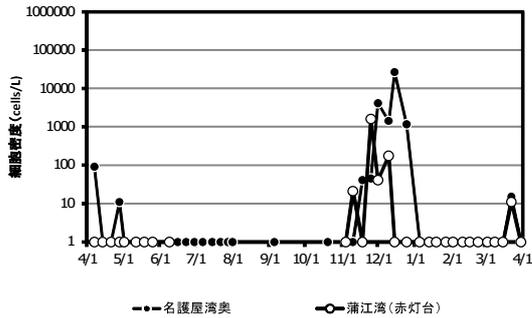


図7 名護屋湾、蒲江湾における*A. catenella*細胞密度の推移

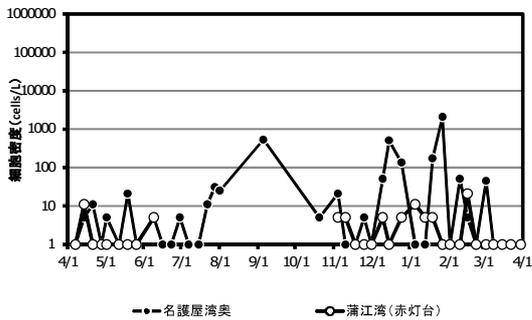


図8 名護屋湾、蒲江湾における*Dinophysis* 属の細胞密度の推移

2. 環境

1) 水温

各層水温の推移および平年値との比較は図9に示した通りである。各層水温は、0.5m層が14.3~26.5℃、2m層が14.6~25.6℃、5m層が14.7~25.4℃、10m層が14.7~25.3℃、底上-1m層が14.7~25.4℃で推移した。最高水温は9月上旬に、最低水温は3月上旬に観測された。成層は4月下旬から10月下旬まで認められた。月平均水温は7月~8月の期間および1月~3月は平年より低めで推移した。

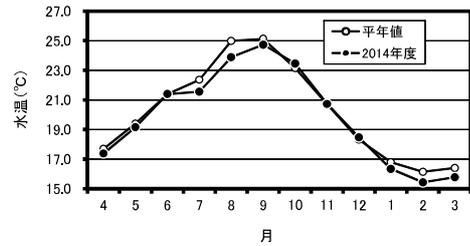
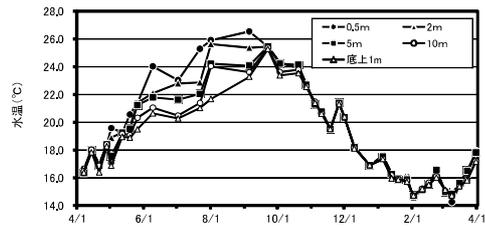


図9 2014年度猪串湾における各層水温の推移(上段)と平年値との比較(下段)。平年値は1999年12月~2014年3月の、2m、5m、10m、底上1mの各層の値を平均した。

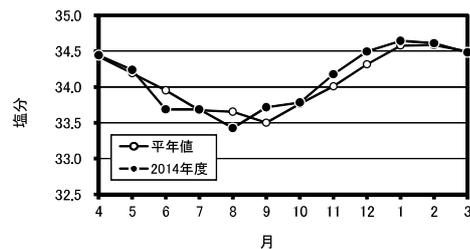
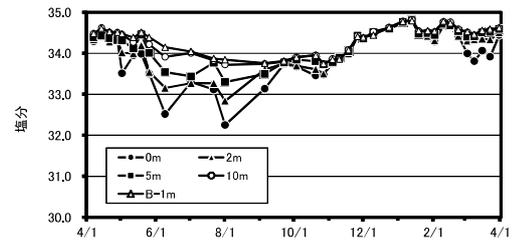


図10 2014年度猪串湾における各層塩分の推移(上段)と平年値との比較(下段)。平年値は1999年12月~2014年3月の期間の2m、5m、10m、底上1mの各層の値を平均した。

2) 塩分

各層塩分の推移および年平均値との比較は図10に示した通りである。各層塩分は、0.5m層が32.25～34.80、2m層が32.84～34.82、5m層が33.30～34.80、10m層が33.72～34.82、底上-1m層が33.75～34.79で推移した。最低塩分は0.5m層、2m層、5m層、10m層で8月上旬、底上1m層で10月下旬、に観測された。最高塩分は全層で1月中旬に観測された。月平均塩分は6月、8月は低め、9月、11月、12月は高めで推移した。

3. 二枚貝毒化状況

1) 猪串湾

ムラサキイガイの麻痺性貝毒毒力の推移は図11に示した通りである。毒力はN.D. (0.1 MU/g以下) ～73.9 MU/gで推移し、毒力増加のピークは4月、7月、11月～1月、3月の計4回確認され、11月～1月の期間の毒力が最も高かった。毒力の増加した各期間には *A.catenella* (11月～1月)、*G. catenatum* (4月、7月、3月) の各麻痺性貝毒原因プランクトンが高密度に確認され増減が近似していることから本種が毒力増加の原因と考えられた。

2) 小蒲江湾、赤バエ

小蒲江および赤バエの各漁場の養殖ヒオウギガイの毒力の推移は図12に示した通りである。各漁場のヒオウギガイの毒力は、小蒲江は0.6～16.7 MU/g、赤バエは0.7～4.4 MU/gで推移した。なお *A.catenella* が高密度に出現した際には養殖ヒオウギガイの毒力が増加した12月～3月の期間は赤バエ（避難漁場）に移動することで毒力の増加を抑制し出荷した。またELISA法で2.0 MU/gを超えた際にはマウスアッセイ法で毒力が規制値以下であることを確認した。

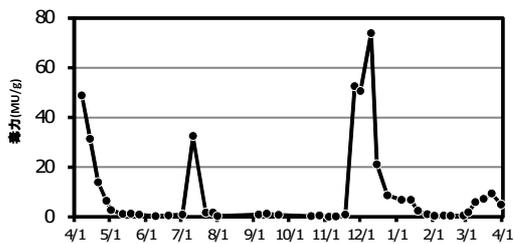


図11 猪串湾森崎の天然ムラサキイガイの毒力の推移

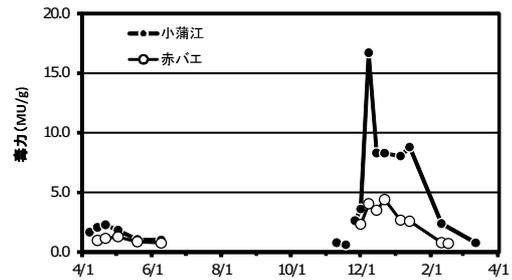


図12 小蒲江（既存漁場）および赤バエ（避難漁場）の養殖ヒオウギガイの毒力の推移

赤潮に強い養殖生産に向けた支援技術開発－1

宮村和良・野田 誠

事業の目的

大分県沿岸では有害プランクトンが原因とされる赤潮が度々発生し、水産業に与える被害が問題となっている。現在、有害プランクトンの現場監視による発生予報、現地指導によって、迅速な対応(給餌制限や避難など)が可能になっている。しかしながら、近年の環境変化によって、発生件数、出現密度とも増加傾向にあり、従来の対策だけで被害を完全に防止することは困難になってきており、生産現場から新たな技術開発が望まれている。そこで本研究では、有害プランクトンによる被害を最小限に抑えるため、環境に優しく、効果的な有害プランクトンの増殖抑制技術について検討した。なお本事業は北海道大学および愛媛大学との共同研究で行った。

事業の方法

1. 競合プランクトン（珪藻）密度分布の把握、発芽条件の検討、および現場珪藻発芽実験

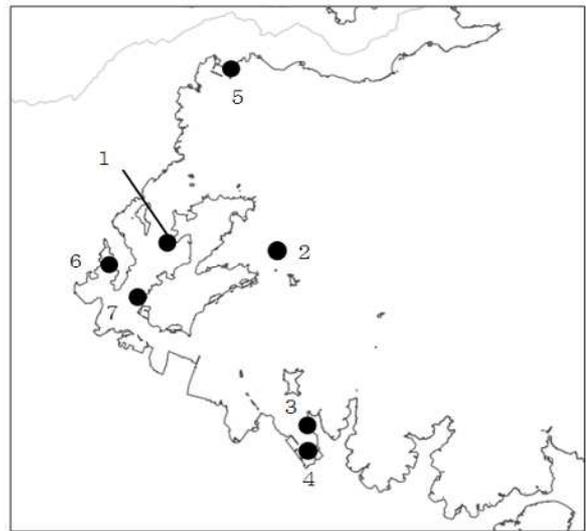
1) 珪藻シスト密度調査

佐伯湾（図1上）において2014年6月11日にエクマンバージ採泥器を用いて海底泥を採取した。表層泥は葉サジにて採取し、現地でプラスチック容器に収容した後、遮光して実験室に持ち帰った。試料泥は冷暗所（7℃）で1～3か月間保管した後、珪藻シストの計数に供した。計数は、SWM-3改変培地に試料を添加して、20℃、明暗周期14hL:10hDの培養条件によるMPN法で行った。

2) ボトル吊り下げによる珪藻と赤潮渦鞭毛藻の競争試験

赤潮渦鞭毛藻と休眠期細胞起源の珪藻の競争状態を再現するため、水産研究部地先の筏において2014年9月25日～10月7日の期間に濾過海水を充填した2Lペットボトルに沖松浦漁港底泥と培養した*Karenia mikimotoi*を添加し、各ボトルを表層及び水深5m層に設置した。底泥の添加量は1g/Lとした。実験開始から1, 2, 4, 6, 8日目に各容器から副試料200mlを採集して固定および各分析への処理を行い、植物

プランクトン組成、栄養塩濃度（NH₄-N、No₂-N、NO₃-N、PO₄-P、SiO₂-Si）、Chl.aの各測定に供した。また観測期間は毎日12時頃にCTDを用いて水温、空中光量子束密度を測定した。



出典：国土地理院ウェブサイト (<https://maps.gsi.go.jp/>) を加工して作成



出典：国土地理院ウェブサイト (<https://maps.gsi.go.jp/>) を加工して作成

図1 調査点（上段は佐伯湾、下段は猪串湾）。佐伯湾の各調査点は1. 片神、2. 片白島、3. 小田代、4. 沖松浦漁港、5. 大分水研筏、6. 霞ヶ浦、7. 守後。

3) 現場珪藻発芽実験（海底泥持ち上げ試験）

2014年9月4日の午前中に佐伯湾沖松浦漁港内において、海底泥の珪藻を発芽増殖させる目的で、サン

ドポンプ（鶴見製作所HSD2.55S）を用いて100分間の海底泥散布試験を行った。泥散布効果を調査するため、実験海域から離れた小田代漁港を対照海域として、散布前日から定期的に両海域で表層、2m層、5m層、10m層の採水および多項目水質計による環境調査を行った。採水した海水は植物プランクトンの同定、計数およびChl.a、栄養塩の分析に供した。

2. 高感度検出による有害プランクトンの検出

1) *Karenia mikimotoi*

2014年4～5月に佐伯湾の沖松浦漁港および水産研究部地先において、海面～海底直上1m（水深 約10 m）の柱状海水および表層、2m層、5m層、底上1m層の採水を行った。柱状海水は一部を有害プランクトンの検鏡用海水とし、残りの海水をOmnipore membrane filter（孔径 $5\mu\text{m}$ ）で濾過後、濾紙を -40°C で冷凍保存し高感度検出用試料とした。各層海水および柱状海水内の有害プランクトンの計数は濃縮を行わず、光学顕微鏡下で行った。

2) *Cochlodinium polykrikoides*

2014年11月～2015年1月に猪串湾奥で表層、2m層、5m層、10m層および底上1m層の採水を行い、*K. mikimotoi*と同様の方法で高感度検出用試料を調製し、有害プランクトンの計数を行った。なお *K. mikimotoi*および*C. polykrikoides*の高感度検出は、愛媛大学南予水産研究センターに委託して、Real-time PCR法を用いて行った。

事業の結果及び考察

1. 競合プランクトン（珪藻）密度分布の把握、発芽条件の検討、および現場珪藻発芽実験

1) 珪藻シスト密度分布

2014年6月11日の佐伯湾7地点の海底泥中における珪藻類休眠期細胞の分布密度は図2に、その種組成は図3に示したとおりである。分布密度は $4.4 \times 10^4 \sim 2.4 \times 10^5 \text{ cells g}^{-1} \text{ wet sediments}$ （平均： $1.0 \times 10^5 \text{ cells g}^{-1} \text{ wet sediments}$ ）の範囲で検出され、佐伯湾全体に高密度で珪藻シストが存在していることが判った。この海域で昨年度に調べた値（ $2.7 \times 10^4 \sim 2.1 \times 10^5 \text{ cells g}^{-1} \text{ wet sediment}$ 、平均： $6.9 \times 10^4 \text{ cells g}^{-1} \text{ wet sediment}$ ）とほぼ同等の値であったことから、2年間における休眠期細胞密度の分布に大きな変動はなかったと思われる。全7地点のうち、比較的水深の深い片神と片白島の2地点（水深20m, 37m）で特に値が高かった。休眠期細胞は光が発芽の引き金になるので、水深の大きい地点では底層まで光が届かず、発芽が誘因されず、堆積状態のままになっ

ていたと考えられる。分類群組成をみると、水深の浅い4地点において羽状目の*Navicula*属の存在密度が高かった。これらの地点では光が海底に十分届くため、底生性の*Navicula*属が増殖したと想定される。*Navicula*属における休眠期細胞存在の報告は殆ど知られておらず、形態の確認が急務であり、生理、生態、休眠、発芽・復活条件等の検討が必要である。

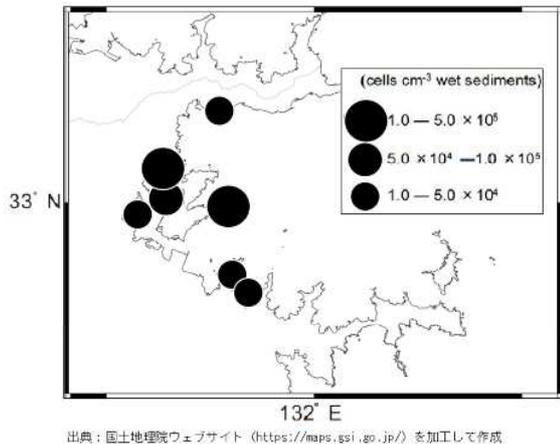


図2 海底堆積物における珪藻類の全休眠期細胞数。

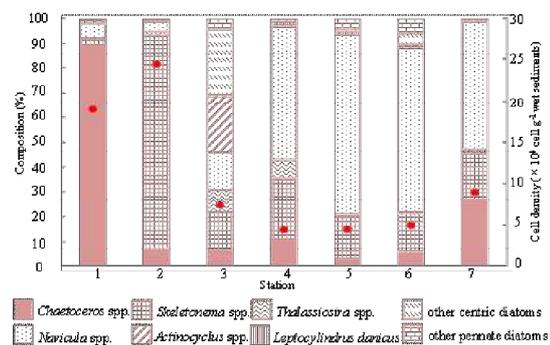


図3 佐伯湾の各調査点の珪藻類休眠期細胞種組成の構成比。

2) ボトル吊り下げによる珪藻と赤潮渦鞭毛藻の競争試験

各層のボトル内の*K. mikimotoi*および珪藻類の細胞密度の推移は図4に、珪藻類の種組成は図5に示したとおりである。各層の両プランクトンとも同様な増減の傾向が認められ、*K. mikimotoi*は6日目まで緩やかに増加し8日目には減少した。一方、珪藻類は2日目まで緩やかに、その後急激に増加し、4日目には*K. mikimotoi*の細胞密度を超えた後、6日目以降は横ばいで推移した。珪藻の種組成は底生性の2日目までは羽状目 (*Navicula* spp., Other Pennales) が優占していたが、2日目以降は浮遊性の中心目 (*Chaetoceros*属、*Skeletonema*属) が優占した。また各層の*K. mikimotoi*、珪藻類の細胞密度を比較した結果、

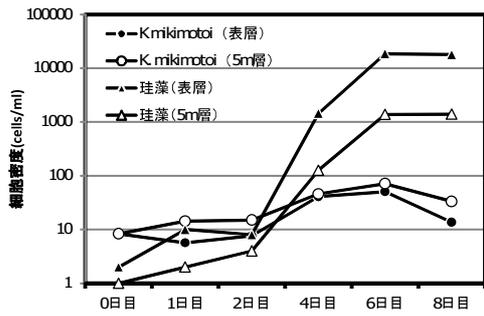


図4 表層および水深5m層に設置したボトル内の*K. mikimotoi*および珪藻類の細胞密度の推移.

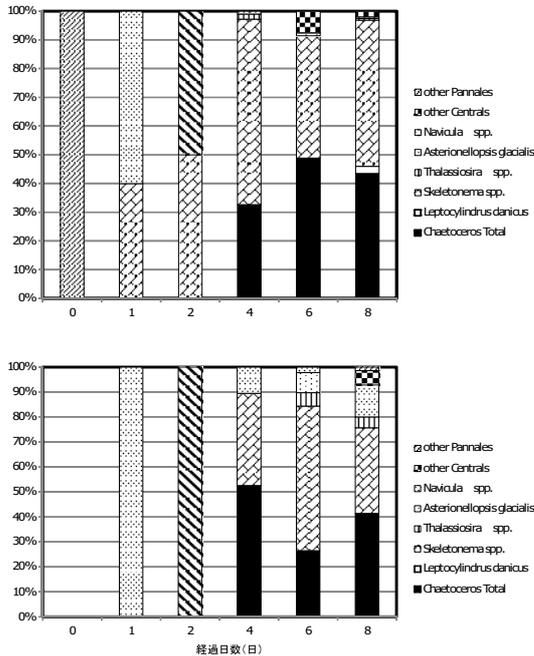


図5 表層(上段)および水深5m層(下段)に設置したボトル内の珪藻類種組成比の推移.

*K. mikimotoi*は5m層で高く、珪藻類は表層で高い傾向が認められた。両層とも珪藻類の細胞密度が高密度で推移した際には*K. mikimotoi*の細胞密度は減少した。

表層、5m層の各栄養塩の推移(DIN, PO₄-P, SiO₂)は図6に示したとおりである。表層の各栄養塩濃度は4日目までは横ばいで推移したが、6日目から急減した。一方5m層は各栄養塩とも大きな変動は認められず、概ね横ばいで推移した。表層の栄養塩の減少は珪藻類細胞密度の急増後に確認されていることから、珪藻類による栄養塩の取り込みによると考えられる。一方5m層では表層と比較して珪藻類が低密度であるため、ボトル内の栄養塩の取り込み量が少なかったと考えられる。

今回の各層ボトル内の珪藻と*K. mikimotoi*の細胞密度の違いについて、表層と5m層では光以外の条件は全て同じであり、両プランクトンの光利用特性の違いが反映されたと考えられる。現場観測において、珪藻類は表層に高密度に分布し、強光を利用して個体群密度を増加させることが可能であるのに対し、*K. mikimotoi*は中層で増殖することが確認され、培養実験結果においても弱光下での増殖に適している種である。すなわち、両種の光利用に対する生理的違いが各層に設置したボトル内のプランクトン密度の違いとなって現れたと考えられる。今後、*K. mikimotoi*の増殖抑制を検討する際には、中層で増殖している*K. mikimotoi*個体群を表層に浮上させ強光に暴露させることや底層、中層で分布している珪藻類を表層に浮上させ珪藻増殖による海水中の栄養塩を枯渇させる両方法が考えられる。

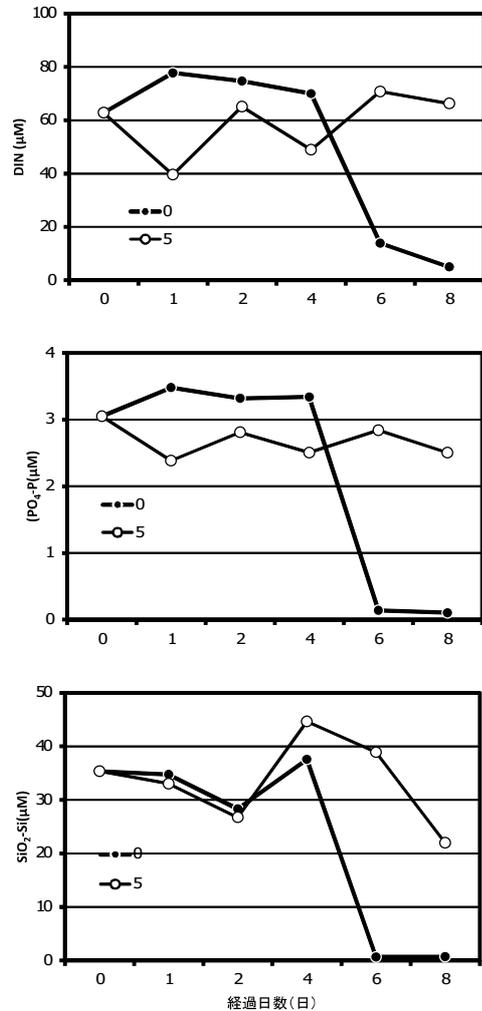


図6 表層および5m層に設置したボトル内の栄養塩濃度の推移(上段 DIN、中段 PO₄-P、下段SiO₂)。

3) 現場珪藻発芽実験 (海底泥持ち上げ試験)

試験期間中の実験海域(沖松浦漁港)と対照海域(小田代漁港)の水温、塩分、光量子束密度は図7に、栄養塩濃度の推移は図8に、Chl.a濃度の推移は図9に示したとおりである。試験期間中の水温和塩分に関しては、両海域でほぼ同様の傾向が見られ、海底泥の持ち上げの影響は殆ど認められなかった。光量子束密度は、試験期間を通じて対照海域において試験海域より高い値が確認された。栄養塩類は、両海域ともに試験期間の前半は珪藻類の増殖にとって好適な環境であったが、その後試験開始から6日目以降DINとSiO₂が急激に減少した。Chl.a濃度は、試験開始から6日目まで両海域間に殆ど差はみられなかったが、7日目に試験海域の表層において5.60 µg /L¹を記録した。今回は低気圧通過直後に海底泥捲き上げ試験を実施したため、現場海域の水柱が良く攪乱され、両海域の環境要因、栄養塩やChl.a濃度の間に大きな違いが認められなかったことに加えて、対照海域でも珪藻類の有光層への加入が起こったと考えられる。しかしながら、試験7日目には試験海域の表層においてChl.a濃度の増加が確認されており、海底泥を人為的に捲き上げたことで、有光層に到達した珪藻類休眠期細胞が発芽・復活を経て増殖し、試験7日目には試験海域のChl.a濃度が対照海域よりも大きな値を示したと考えられる。

2. 高感度検出による有害プランクトンの検出

1) *Karenia mikimotoi*

佐伯湾沖松浦漁港および水産研究部筏での*K. mikimotoi*のPCR法による定量および顕微鏡観測結果は表1に示したとおりである。顕微鏡観測では全ての区で検出されなかったが、PCR法では3検体で検出された。

2) *Cochlodinium polykrikoides*

猪串湾奥での*C. polykrikoides*のPCR法および顕微鏡での観測結果は図10に示したとおりである。顕微鏡観測では11月中旬まで検出されなかったが、PCR法では10月中旬以降に細胞密度の増加が確認され、顕微鏡観測より早期に本種の出現を検知することができた。

表1. 各海域でReal time PCRおよび顕微鏡観測でされた*K.mikimotoi*細胞密度

採水日	沖松浦		上浦	
	Real time PCR	顕微鏡観測	Real time PCR	顕微鏡観測
2014/4/24	0.060	N.D.	0.094	N.D.
2014/5/15	0.009	N.D.	N.D.	N.D.

単位 cells/ml

顕微鏡観測結果は表層、2m層、5m層、底上1mの結果の最高細胞密度を示した。

顕微鏡観測のN.D.は1cells/ml未満を示す。

Real time PCR法のN.D.は0.001未満を示す。

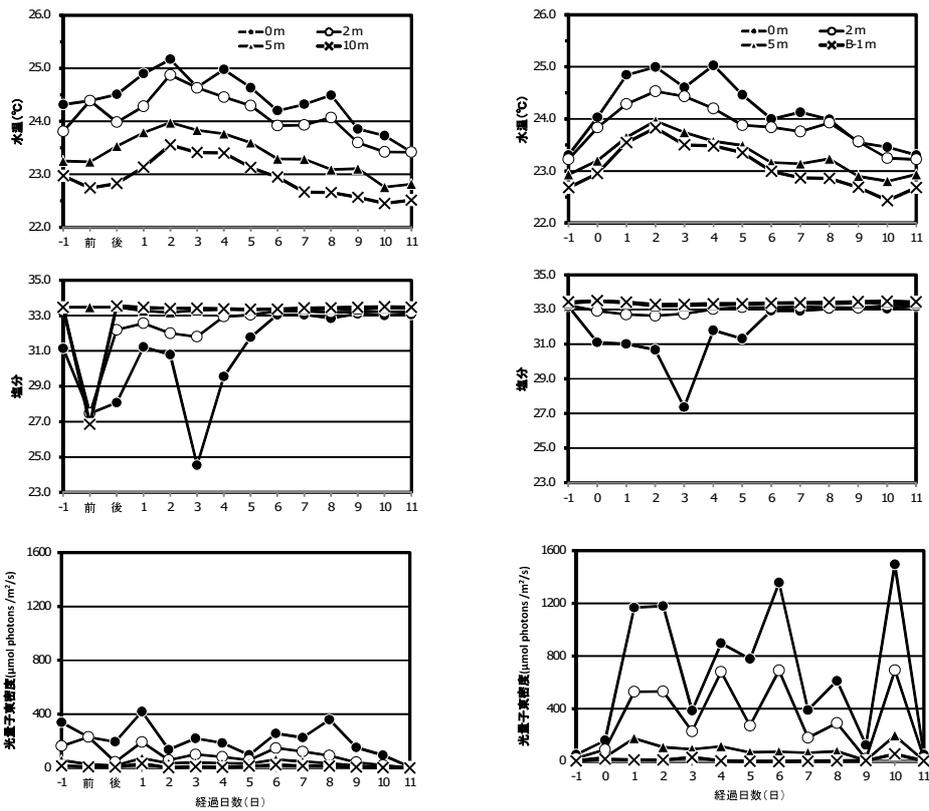


図7 沖松浦漁港（左）と小田代漁港（右）の水温、塩分、光量子束密度の推移。

経過日数の前は実験直前、後は実験直後を示す。

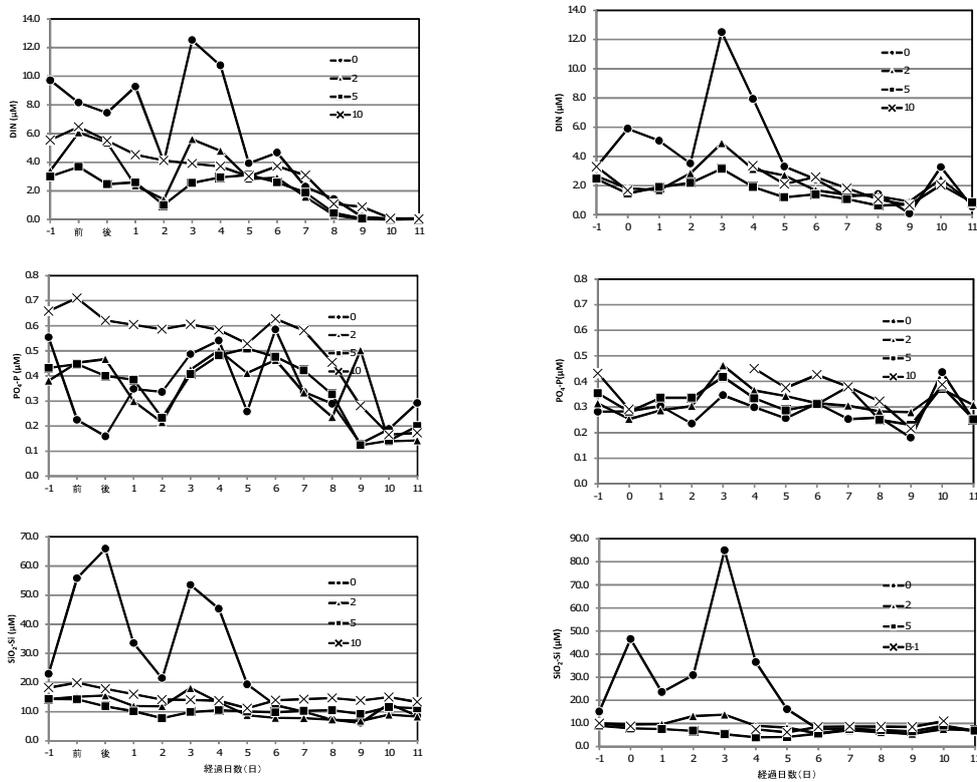


図8 沖松浦漁港（左）と小田代漁港（右）の各種栄養塩濃度（DIN、PO₄-P、SiO₂-Si）の推移。

経過日数の前は実験直前、後は実験直後を示す。

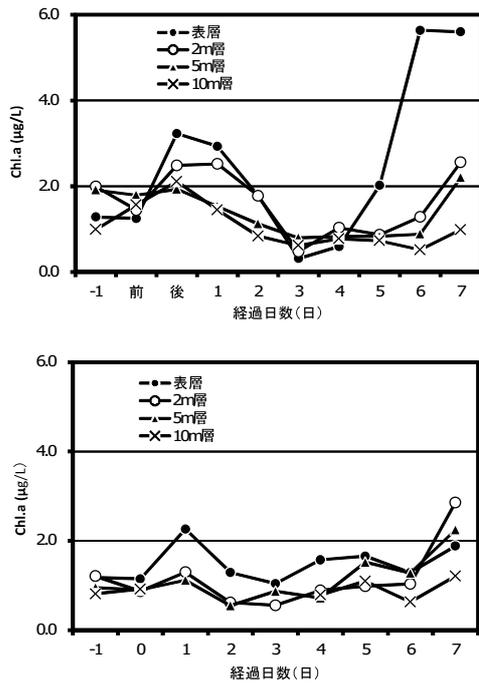


図9 沖松浦漁港（上段）と小田代漁港（下段）の Chl. a濃度の推移。

経過日数の前は実験直前、後は実験直後を示す。

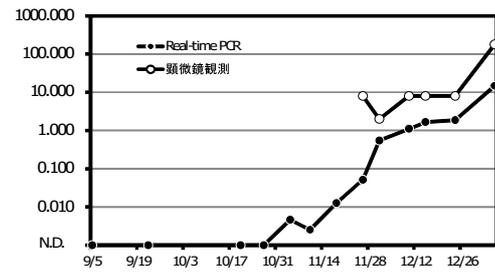


図10 Real-time PCR法および顕微鏡観測で検出した猪串湾の各層の *Cochlodinium polykrikoides*細胞密度の推移（顕微鏡観測での検出限界値は1cells/ml未満、Real-time PCRでの検出限界値は0.001cells/ml）。

赤潮に強い養殖生産に向けた支援技術開発－ 2

カレニア等有害赤潮の発生機構解明、被害防止対策

赤潮・貧酸素水塊漁業被害防止対策事業

(国庫委託)

宮村和良・野田 誠

本事業の詳細は、平成26年度漁場環境・生物多様性保全総合対策委託事業 赤潮・貧酸素水塊漁業被害防止対策事業報告書の「瀬戸内海等での有害赤潮発生機構解明と予察・被害防止等技術開発」(2)－③－ウ 現場マイクロゾムを用いたカレニア等有害赤潮鞭毛藻の動態と環境条件との関係の解明に記載した。本報告はその概要である。なお本事業は独立行政法人水産総合研究センター瀬戸内海区水産研究所との共同調査として実施した。

事業の目的

近年、西日本の沿岸域において、カレニアやシャットネラ等鞭毛藻による有害赤潮が頻発しており、甚大な被害が報告されている。これまで直接赤潮を駆除する技術が実用化された例はほとんどなく、現在のところ、発生状況を見ながら、筏の移動、餌止め、出荷等を計画的に実施する「事前対策」が最も有効な被害軽減策である。しかしながら、効率よく事前対策を実施するためには、各海域において赤潮の発達あるいは衰退が起こる際にキーとなる環境条件を事前に特定しておく必要がある。そこで本課題では、近年甚大な被害が発生している豊後水道および八代海において、現場垂下式のマイクロゾムを用いてカレニア等有害赤潮鞭毛藻の現場個体群の増殖、他生物群との共存・競合、捕食－被捕食関係とそれらに及ぼす諸環境条件との関係を定量的に明らかにする。これにより、当該海域における赤潮発生機構がより明瞭になることはもちろん、複数の環境条件の相乗効果や捕食圧など室内実験では取得困難なパラメータを取得できるので、現存の赤潮シミュレーションモデルを大幅に補強することにもつながる。なお、本課題では有害赤潮鞭毛藻およびそれらの競合種（優占珪藻種）を研究対象とする。

事業の方法

実験を実施するにあたり *karenia mikimotoi* 赤潮を採取するため、佐伯湾、宇和海沿岸において2014年5～8月の期間に採水および環境調査を行った。環境調査はCTD (JFE アドバンテック社製 AAQ)を用いて水温、塩分、光量子量およびクロロフィル蛍光値の測定を行い、採水した海水は直ちに、光学顕微鏡を用いて有害プランクトンの同定、計数を行った。*K. mikimotoi*の赤潮が観測された際には、以下の方法でマイクロゾム実験を行った。なお2014年度は宇和海で広域な*K. mikimotoi*による赤潮が観測されたため宇和海で実験を実施した。

1. 植物プランクトンの増殖動態

宇和島湾の3定点（遊子、三浦、宇和島）において、*K. mikimotoi*赤潮末期～衰退までの10日間（2014年7月12～22日）、現場海水の垂下式マイクロゾム実験および各種調査を行った。毎朝9:00頃に本種のクロロフィル蛍光値の極大層より採水し、5 L容のペットボトルに封入してマイクロゾムを作成した。それらを表層と5 m層に係留し、翌日同時刻に回収した。光顕下で海水中の*K. mikimotoi*を計数し、1日間の細胞密度の変化を計測した。また、昼間（11:00～13:00）に、3定点の表層、極大層、底層より採水し、本種および各種植物プランクトンの細胞密度を調べた。同時に、各種データロガーや多項目水質計等を用いて、環境諸条件（水温、塩分、無機態栄養塩濃度、水中照度等）も計測した。

2. 従属栄養性プランクトンの動態

宇和島および遊子では7月13～21日、三浦では7月15～21日の昼間（11:00～13:00）に表層、クロロフィル蛍光値の極大層、底層から採水した。生海水から1 mL採取し、*K. mikimotoi*を捕食する従属栄養性渦鞭毛藻 *Gyrodinium dominans*を光学顕微鏡下で計数した。また、海水試料200～250 mLを5%酸性ル

ゴール液で固定して3~5 mLまで静置濃縮後、光学顕微鏡下で各種動物プランクトンおよび*G. dominans*と同様の従属栄養性渦鞭毛藻*Noctiluca scintillans*を計数した。

3. *K. mikimotoi*を殺滅するウイルスの動態

宇和島において、マイクロゾム内の海水を垂下前後に採取し、限界希釈法により、*K. mikimotoi*殺滅性ウイルスを定量した。具体的には、海水試料をボルテックスで振盪攪拌し、0.45 μmのフィルターでろ過後、濾液画分を段階希釈した。希釈試料にウイルス感受性の異なる*K. mikimotoi*培養株4株を8本立てで接種した。接種後、10日目と15日目に顕微鏡で溶藻の有無を確認し、各希釈段階における陽性数の組み合わせから、海水試料中の溶藻因子密度を推算した。

事業の結果及び考察

宇和島湾におけるマイクロゾム実験および環境動態調査の結果

1. *K. mikimotoi*および植物プランクトンの動態

全ての調査定点において、*K. mikimotoi*の細胞密度は調査開始時には高かったが（最高値：31,000 cells/mL）、7月15日付近から急激に減少した。また、*K. mikimotoi*の衰退開始と同時に*Chaetoceros* spp.や*Skeletonema* spp.といった小型珪藻が急速に増加し、*K. mikimotoi*に代わって優占種となった。調査期間中、マイクロゾム内における*K. mikimotoi*の細胞密度は前日比で12%~168%の範囲で変化し、調査後半は多くの場合、100%以下となり、特に表層係留で低かった。水温および塩分は*K. mikimotoi*の増殖にとって好適な範囲内にあった。一方で、日中の表層照度は7月15日以降、本種の光合成阻害が起こる1000 μmol m⁻² s⁻¹を超えた。また、無機態窒素およびリン濃度は、三浦および宇和島において、調査開始日~7月16日に増殖に必要な閾値（*K. mikimotoi*の細胞内最小含量に細胞密度を乗じた値）を下回った。以上の結果から、2014年の宇和島湾における*K. mikimotoi*赤潮衰退要因として、強光による増殖（光合成）阻害と栄養塩不足が考えられた。また、珪藻類の増加は*K. mikimotoi*の栄養塩取り込みを妨害し、赤潮衰退を促進したと推察された。

2. 従属栄養性プランクトンの動態

調査期間中、*G. dominans*は全ての調査定点で確認され、7 cells/mL以下の細胞密度で推移した。*N. scintillans*は調査開始直後の細胞密度が一番高く、90 cells/Lであった。これら*G. dominans*および*N. scintillans*の*K. mikimotoi*に対する1日あたりの捕食率はそれぞれ最高で13.2%および0.9%であった。従って、これらの従属栄養性渦鞭毛藻が赤潮衰退を助長した可能性がある。一方で、動物プランクトン群集では、有鐘繊毛虫*Tintinnopsis corniger*や*Tintinnopsis* spp.、無殻繊毛虫*Strombidinopsis* spp.、ノープリウス幼生が優占した。しかしながら、これらの動物プランクトンの多くは*K. mikimotoi*を捕食するには小さ過ぎる種か、あるいは植食性ではない種であった。よって、調査期間中、*K. mikimotoi*を捕食し得る動物プランクトンは少なかったと推察される。宇和島および三浦では、7月16日以降、動物プランクトン総個体数が漸増した。このことは*K. mikimotoi*の毒性と関連づけて今後検証する必要がある。

3. *K. mikimotoi*を殺滅するウイルスの動態

*K. mikimotoi*4株に対する溶藻因子（ウイルス）密度をMPN法により推算した。その結果、*K. mikimotoi*の減衰開始直前の7月14、15日に、溶藻因子が検出され、両日ともマイクロゾム係留前（1 titer unit/mL）から係留後（2.3 ~ 9.1 titer unit/mL）に増加していた（前日比：204~1000 %）。このことから、*K. mikimotoi*赤潮の衰退にウイルス感染が関与した可能性が示唆された。今回得られた溶藻因子がウイルスであるかどうかについては、今後、溶藻したウェルからウイルス画分を精製し、検証する予定である。また、調査期間中、全体的にウイルスタイターが低かったが、その理由として、試験に用いた*K. mikimotoi*の培養株が調査海域中のウイルスを検出するには適当でなかった可能性が考えられる。*Heterocapsa circularisquama*や*Heterosigma akashiwo*とそれらウイルスの感染性において、ウイルスと宿主プランクトンは、それぞれが多様な感染型を有することが知られており、ウイルスの定量値は宿主株によって大きく影響を受ける。よって、今後、調査海域より分離した株を検出に用いること、多数の株を用いて検出を行うこと、予め感染型をグルーピング後、それらの代表株を検出に用いることなどを試し、検出方法を再検討する予定である。

赤潮に強い養殖生産に向けた支援技術開発－3

有害プランクトンによる貝類への影響評価

赤潮・貧酸素水塊漁業被害防止対策事業

(国庫委託)

宮村和良・野田 誠

本事業の詳細は、平成26年度漁場環境・生物多様性保全総合対策委託事業 赤潮・貧酸素水塊漁業被害防止対策事業 報告書「瀬戸内海等での有害赤潮発生機構解明と予察・被害防止等技術開発」(2)－④－イ 有害赤潮鞭毛藻の遊泳特性を利用した新規赤潮防除技術の開発に記載したので、本報告はその概要である。なお本事業は独立行政法人水産総合研究センター瀬戸内海区水産研究所、水産工学研究所、独立行政法人水産大学校との共同調査として実施した。以下に概要のみを記載した。

浮上した細胞の増殖停止・死滅が起こる環境条件(光環境や塩分など)等を把握し、本技術の効力が十分発揮される適用条件を特定する。なお、研究対象生物は*Karenia mikimotoi*とする。

本課題では、有害赤潮鞭毛藻類の遊泳特性に着目し、赤潮初期段階で高密度化を防ぐあるいは赤潮発生時に養殖魚介類との接触を軽減する新規の赤潮防除技術の提案を目指す。

事業の方法

事業の目的

近年、豊後水道など西日本の沿岸域においてカレンニア等鞭毛藻による有害赤潮が頻発しており、その発生防止策の構築あるいは駆除技術の開発が急務である。多くの有害赤潮藻類は鞭毛運動を行って遊泳し、生残や増殖に好適な環境条件の存在する深度層に定位することで細胞密度を増大させることが知られている。そこで、本課題では、このような有害種の遊泳特性に着目し、赤潮初期段階で高密度化を防ぐあるいは赤潮発生時に養殖魚介類との接触を軽減する新規の赤潮防除技術を提案することを目的とする。アイデアは二つあり、①赤潮鞭毛藻類の走光性を利用して赤潮を分散させるあるいは養殖魚介類にいない層へ集積させる技術開発、②大型パイプやポンプ等を用いて、亜表層や中層に定位している細胞を強光や低塩分等の増殖に不適な環境が存在する表層へ浮上させ、光合成・増殖の停止や死滅を誘導する技術開発である。そのために、本研究では以下のことを行う。

【サブテーマ①】赤潮鞭毛藻類の走光性や養殖魚介類の光応答特性を把握し、養殖魚介類の健康状態に悪影響がなく、赤潮鞭毛藻類と養殖魚介類との接触頻度が減じる光照射条件を明らかにする。

【サブテーマ②】赤潮浮上装置の開発を行う。また、

【サブテーマ①】

1. 赤潮鞭毛藻類の走光性の詳細把握(担当:瀬戸内海区水産研究所)

赤潮原因ラフィド藻類*Chattonella antiqua*について、光から逃避する条件(波長、強度)を明らかにするために、各種光源を用いた行動解析実験を行った。*C. antiqua*は、25°C、300 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (白色蛍光灯)、12hL:12hDの明暗周期(6:00~18:00明)で継代培養した無菌クローン株を用いた。試験前日に、細胞密度が5,000 cells/mLになるように新鮮な培地と培養液を混合して角型水槽(水深5 cm)に入れ、明期の光強度を20 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (白色LED)に下げて培養した後、実験に供した。照射実験は本種が日周鉛直移動により、表層に集積する時間帯である8:30~15:00に実施した。赤外線(850 nm)を観察光としてCCDカメラ(CFW, Scion Corporation製)で各層の培養液部分を10秒に1回、15分間撮影し、その後Image Jを用いて画像解析を施すことで細胞の表層集積度を算出し、光照射中の細胞分布の経時変化を観察した。まず、基礎生物学研究所の大型スペクトログラフを用いて、*C. antiqua*の負の走光性の作用スペクトルを取得した。照射条件は、波長320~680 nmの40 nm間隔、光量子量50 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ とし、各単色光を上方向から照射し、遊泳行動を観察した。次に、光逃避行動を誘導する光強度および照射時間を特定する

ための照射実験を実施した。LED光源（ホロライト HL01型455 nm, パイホトニクス社製）により、異なる光強度（10, 30, 100, 150 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ）の青色光（455 nm）を *C. antiqua* に照射し、遊泳行動を観察した。実環境中の表層では、単色光環境は存在しないし、完全な単色光環境を人為的に作り出すことは難しい。そこで、まずは、光逃避行動の誘導に有効な単色光と有効でない緑色光を同時に照射し、光逃避行動に及ぼす後者の影響を把握するための照射実験を実施した。LED光源（ISL-150X150-HGB45, CCS株式会社）により、*C. antiqua* に青色光（450 nm, 50 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ）または緑色光（525 nm, 50 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ）を単独で、あるいは同じ強度の青色光および緑色光を同時に照射して遊泳行動を観察した。

2. 養殖生簀内の魚類の行動解析（担当：水産工学研究所，瀬戸内海区水産研究所）

本年度は養殖現場における養殖魚の行動に及ぼす環境条件の影響を解析する方法論を確立することを目的とした。今回は、魚群探知機および各種データロガー（光量子計など）を用いて養殖生簀内の魚類の行動と環境条件を同時に自動観測する方法を試した。2014年9月8～12日に、臼杵湾のブリ養殖生簀（北緯33度09.9分，東経131度50.3分，重宝水産）において調査を実施した。生簀中には飼育2年目の体重約2キロのブリが約3,200匹とマダイ80匹が飼育されていた。モイストペレット（イワシのミンチ）の給餌は通常7～14時に実施されているが、調査期間中は8:30～9:00に実施され、9月11日は実施されなかった。生簀内の中央部1箇所、周辺部4箇所に小型ブイに装着した魚群探知機の振動子（本体HDS-10，振動子HST-DFSBL，ともにLowrance製）を設置し、周波数200kHzでブリ魚群エコーの鉛直分布の経時変化を観測した。同時に、生簀外に光量子計を0.3 mと5 m層に、水温・塩分計，クロロフィル・濁度計を5 m層に設置し、各種環境条件を観測した。また、毎日8:30, 12:30, 17:00に、生簀で魚群探知機のデータ吸い上げおよびデータロガーの動作確認等を行った。

【サブテーマ②】

1. 佐伯湾における赤潮鞭毛藻類の日周鉛直移動および中層定位と環境条件の関係解明（担当：大分県水産研究指導センター，瀬戸内海区水産研究所）

2012年6月21日～7月5日の11:00～13:00，佐伯湾内9点においてCTDを用いて各種環境条件（水温，塩分，光量子量，クロロフィル蛍光値）の鉛直プロファイルを取得した（全15回）。また，クロロフィル蛍光値の極大層より採水して *K. mikimotoi* の細胞密度を検鏡により算出した。得られたデータを用いて，*K. mikimotoi* の昼間の定位深度と環境条件との関係

を解析した。

2. 佐伯湾における中層赤潮浮上技術の開発（担当：大分県水産研究指導センター，水産大学校）

本年度はブイに装着した大型ポンプ（赤潮浮上装置，以降，浮上装置）を用いて，*K. mikimotoi* の中層赤潮を表層へ浮上させる技術について検討した。まず，前年度に作成した試作機を用いて，現場の中層赤潮に適用し，浮上効果を検証した。その後，現場試験の結果を受けて，室内の大型水槽内で浮上装置を模した小型浮上装置を用いたシミュレーション実験を行い，揚水効率を向上させるために必要な装置の構造上の問題点を探索した。また，浮上させた細胞の表層滞留時間も本技術の効力に直接影響するので，まずは *K. mikimotoi* の現場個体群を用いて，表層に浮上させた細胞が沈降する様子を観察した。詳細な調査実験の方法を以下に記す。

1) 浮上装置による *K. mikimotoi* 中層赤潮海水の浮上効果

佐伯湾松浦漁港において，中層で *K. mikimotoi* の濃密度層が認められた2014年7月17日に，赤潮浮上装置を用いて10:05～15:35の330分間，中層海水の揚水を行った。*K. mikimotoi* の細胞集積層は薄く，また定位深度が経時的に変化する。そこで，浮上装置の取水口に装着したクロロフィル蛍光計測器で，クロロフィル蛍光値をモニターしながら，適時，取水口の位置を調節した。浮上装置直下（以降，中央）および浮上装置の周辺10定点（中央から引いた3本のライン [Line 1～3] 上に位置する中央からの距離が10 m, 25 m, 50 mの点）において，実験前後にCTDを用いてクロロフィル蛍光値の鉛直プロファイルを取得するとともに，表層から採水して，検鏡による *K. mikimotoi* の細胞計数に供した。中央においては表層に加えて，クロロフィル蛍光値の極大層においても採水・検鏡を行った。

2) 大型水槽実験による装置構造の問題点の把握

大型水槽（容量50,000L）に小型ポンプと塩ビパイプで作成した揚水装置（以降，小型装置）を設置し，異なる取水口の内径（48 mm, 38 mm, 18 mm）および揚水速度（66.5 L/min, 58.2 L/min, 47.0 L/min）の組合せで小型装置を稼働し，小型流速計を用いて，取水口の流軸に対して水平と鉛直方向の流速を測定した。また，内径48 mmの取水口を用いた揚水時は，微細気泡発生装置で気泡を発生させて水流を可視化し，取水状況を観察した。

3) 浮上細胞の表層滞留時間の把握

2014年7月23日に佐伯湾松浦漁港の浮き桟橋にて実験を行った。まず，実験前日より，長さ5.5 m，内径25 mmの軟質塩化ビニール製透明チューブに現場濾過海水を充填させた後，クレーンを用いて海水

中に垂下し、静置した。実験当日、*K. mikimotoi*が含まれる海水を同港内の中層より採取し、チューブ上層0.5 mの海水と置換して密栓した後、チューブ内の水面が海面の高さとなるように沈めた。その後1時間毎に4回、各チューブをクレーンでつり上げ、チューブ下端に取り付けたバルブから静かに海水を50 cm層ずつ採水した。採水した海水を*K. mikimotoi*の検鏡計数に供し、細胞の鉛直分布の経時変化を観察した。

3. 浮上した細胞の増殖活性の測定（担当：大分県水産研究指導センター、瀬戸内海区水産研究所）

佐伯湾松浦港内の中層（7 m深）より採取した*K. mikimotoi*を5 L容の透明ペットボトルに封入し、表層および5 m層に3時間20分間垂下した。約50分ごとに、ペットボトル内の*K. mikimotoi*の光合成活性をパルス変調型光合成活性測定装置（Waltz社、Water-PAM）によって計測するとともに、多項目水質計（AAQ-RINKO、JFEアドバンテック製）を用いて水中の光量子量を計測した。

4. 貧栄養下における*K. mikimotoi*等赤潮鞭毛藻類の生残に及ぼす光強度の影響の把握（担当：瀬戸内海区水産研究所）

前年度に、*K. mikimotoi*は栄養塩が十分存在する条件下では強光阻害がそれほど起こらないことが判明した。そこで、本年度はより現実的な現場環境を考慮して、栄養塩制限下で異なる強度の光を細胞に与え、光合成活性の変化を計測した。実験には佐伯湾より分離し、無菌化した*K. mikimotoi* Km69-9株を供した。完全培地（改変SWM-3培地）あるいは滅菌濾過海水中で10日間培養した*K. mikimotoi*を試験管に5 mL移した後、水を張った透明水槽中に設置した。水槽の外側からプロジェクターランプを用いて、*K. mikimotoi*の培養液に $2,000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ の強光を1時間照射した。光照射中、水槽中の水は恒温器で、25℃に保った。強光照射前後にWater-PAMを用いて光合成活性（ F_v/F_m ）を計測した。

5. 佐伯湾松浦漁港における流速鉛直分布構造の把握（瀬戸内海区水産研究所）

佐伯湾松浦漁港では細胞が定位しやすい中層は流れが停滞しているのに対し、表層では湾内外へ向かう強い流れが発生する場合があることが予備調査により見出されている。そこで、流速鉛直分布を把握するために、佐伯湾松浦漁港内（北緯32度57.4分、東経131度57.5分；水深24m）に超音波ドップラー流速計（Workhorse ADCP 600 KHz, Teledyne RD Instruments製）や電磁流速計（COMPACT-EM, INFINIT Y-EM, JFEアドバンテック製）を設置した。超音波

ドップラー流速計では水平方向の流向流速を10分おきに鉛直1 m間隔で計測し、電磁流速計では1時間おきにそれぞれ1 m深、5 m深の流向流速を計測した。

事業の結果及び考察

【サブテーマ①】

1. 赤潮鞭毛藻類の走光性の詳細把握

*C. antiqua*の光逃避行動の作用スペクトルを取得した結果、320～480 nmおよび640～680 nmの単色光下で、表層集積度が経時的に低下した。3分後の表層集積度の減少量は440 nm（青色光）で最大値、520 nm（緑色光）で最低値となった。また、*C. antiqua*の光逃避行動に及ぼす青色光の光強度および照射時間の影響を調べた結果、 $30 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 、 $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ または $150 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ の青色光を照射した場合には、照射開始後3分以内に表層集積度の低下が観察された。また、 $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ および $150 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ の青色光を照射した場合には、照射開始後3分以内に表層集積度の減少量が飽和し、光強度を上げても表層集積度が減少しないことが確認された。これらの結果より、*C. antiqua*の光逃避行動を光照射開始後3分以内に誘導するために必要な青色光（455 nm）の光強度の閾値は $10 \sim 30 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ であることが明らかとなった。次に、青色からの逃避行動に及ぼす緑色光の混在の影響を調べた。青色光を単独で照射した場合のみ、表層集積度の低下が観察された。従って、 $50 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ の青色光（450 nm）を照射した場合、緑色領域の光（525 nm）を青色光と同じ以上の強度で同時に照射すると*C. antiqua*の光逃避行動の誘導が阻害されるため、実環境中では太陽光から緑色領域の光をカットすることによっても光逃避行動を誘導することができる可能性が示唆された。

2. 養殖生簀内の魚類の行動解析

魚群探知機で得られたデータはSonar viewer 2.1.2（Lowrance製）で再生し、30分おきに魚群の上限深度と下限深度を読み取り、魚群の鉛直分布深度を定量化した。魚群の上限深度は時間帯ごとに大きく変動したが、下限深度は期間中、9月8日17:30～18:30、9月9日18:00～18:30、9月10日6:00～7:00、9月11日6:00～8:00、10:30～17:00（断続的）の合計5回のみ、全ての振動子の設置場所において明確に上昇した。すなわち、ブリ魚群はほとんどの時間帯で生簀全体に広がった状態か、生簀底層に集積した状態であったが、上記時間帯は表層に集積した。表層に集積したのは、毎日、朝あるいは夕方のおぼ同じ時間帯で

あったが、給餌のなかった9月11日の日中は長時間表層に集積した。一方で、調査期間中、晴天が続き、全ての調査日において、日中の光量子量は0.3 m層で $1,200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 、5 m層で $200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 付近まで達した。5 m層における水温は $22.3 \sim 24.0^\circ\text{C}$ で推移し、夕方(16:00頃)～夜中に上昇し、その後低下するパターンを毎日繰り返した。5 m層における塩分は $32.8 \sim 33.4$ の範囲で推移し、ほとんど変化しなかった。5 m層における濁度は $0.7 \sim 1.1 \text{ ppm}$ 、クロロフィル蛍光値は $1.6 \sim 4.9 \text{ fsu}$ と低いレベルで推移した。以上の結果より、魚群探知機を用いて養殖生簀内の魚類の鉛直分布変化と環境条件との関係を定量的に観測可能であることが証明された。今回構築した観測系を用いて今後長期的な連続観測を行い、海産養殖魚類の養殖生簀内の行動に及ぼす光環境の影響を明らかにしていく予定である。

【サブテーマ②】

1. 佐伯湾における*K. mikimotoi*の中層定位と環境条件の関係解明

調査期間中、*K. mikimotoi*の定位深度は $1.1 \sim 6.1 \text{ m}$ の範囲にあった。定位深度における*K. mikimotoi*の細胞密度は $99 \sim 7,150 \text{ cells/mL}$ の範囲にあり、調査日間あるいは定点間で大きな差が認められたが、定位深度との関係は明確でなかった。水温は表層で $20.2 \sim 23.7^\circ\text{C}$ 、定位層で $20.1 \sim 22.4^\circ\text{C}$ の範囲にあり、調査日間(あるいは定点間)および表層一定位層間で大きな差はなかった。塩分は表層で $12.7 \sim 32.7$ 、定位層で $22.8 \sim 33.4$ の範囲にあり、調査日間(あるいは定点間)および表層一定位層間で大きな差が認められた。表層および定位深度における水中光量子量はそれぞれ $32 \sim 1,035 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ および $9 \sim 298 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ の範囲にあり、ほとんどの場合、定位深度の光量子量は $100 \sim 300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ であった。また、定位深度の光量子量が $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 未満の場合、表層の光量子量は $32.3 \sim 443.7 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ と広範囲であったのに対し、表層塩分は共通して $12.7 \sim 20.6$ と低かった。これまでの室内実験により、強光下で*K. mikimotoi*の上昇遊泳が弱まること、25未満の低塩分が上層に存在する場合、本種は上昇遊泳を停止することが分かっている。今回のデータ解析結果はこれらの室内実験の結果と一致しており、実環境においても*K. mikimotoi*の定位深度は水中の光透過量と塩分に多大なる影響を受けることが明らかとなった。

2. 佐伯湾における中層赤潮浮上技術の開発

1) 浮上装置による*K. mikimotoi*中層赤潮の浮上効果

浮上装置の直下(中央)における蛍光値の極大層

は、実験開始直前(9:59)には 7.5 m 深付近に明確に存在したが、浮上装置稼働後(15:31)、不明瞭となり、極大層における*K. mikimotoi*の細胞密度も減少した。浮上装置の周辺における調査の結果、浮上装置の稼働前、Line 2-25 m、50 m以外の定点において、 $7.0 \sim 7.5 \text{ m}$ 深付近でクロロフィル蛍光値の極大層が検出された。実験後、Line 1、3の点では $3 \text{ m} \sim 6 \text{ m}$ 深付近で極大層が検出されたが、Line 2-10mでは明瞭な極大層が認められなくなった。また、装置設置地点周辺の定点における表層採水・検鏡の結果、浮上装置稼働前、*K. mikimotoi*は未検出(検出限界 $< 1 \text{ cell/mL}$)～ 3 cells/mL であったが、稼働終了後は未検出～ 10 cells/mL となり、Line 1では全点の表層で本種が検出され、特にLine 1-10 mでは細胞密度が高かった。一方で、取水口部のクロロフィル蛍光値は実験開始直後から10前後で推移していたが、11:15以降減少し12:35まで $6 \sim 7$ の範囲で推移した。その後、取水口の深度を調整した結果、クロロフィル蛍光値は急激に増加し、増減を繰り返しながら14:35まで比較的高い値を維持した。また、実験開始直後の10:05～11:15、12:35～14:35ともに、クロロフィル極大層と取水口間でクロロフィル蛍光値に大差はなかった。以上のことから、本実験において*K. mikimotoi*の表層浮上はそれほど明確でなかったが、少なくとも、試作した浮上装置を用いて、中層に存在する*K. mikimotoi*が集積している水塊を一部取水できることは確認できた。

2) 大型水槽実験による装置構造の問題点の把握

いずれの内径の取水口を適用した場合でも、取水口から 20 mm 離れると流軸水平方向の流れは揚水量や内径を変えても大きく減少し、取水口から 20 mm 以上の地点からはほとんど取水できなかった。垂直方向の流れについては、揚水量の増加に伴い、取水口直上の流速が増加したが、取水口から 50 mm 離れると揚水量や内径を変えても流速は上昇しなかった。気泡で水流を観察した結果、揚水により、取水口から水平方向に約 10 cm (内径の約2倍)離れた地点までしか流れが波及しないことが分かった。以上のことから、現状の浮上装置の構造では、揚水量を増加させても、取水口周辺の海水のみが取り込まれ、水平方向に離れた層の水を効率良く取り込めないことが判明した。今後、取水口の表面積を可能な限り大きくするなど、構造を改変して揚水効率を上げる予定である。

3) 浮上細胞の表層滞留時間の把握

試験当日は晴天であり、海面の光量子量は $393 \sim 2,246 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ で推移した。*K. mikimotoi*は1時間後に $0.5 \sim 1.5 \text{ m}$ の上層で検出されたが、2時間後には $0.5 \sim 1.0 \text{ m}$ 層、 $3.0 \sim 4.0 \text{ m}$ 層、 $4.5 \sim 5.0 \text{ m}$ 層で検出され、細胞分布が下層に広がった。3および4時間後には1.

0~2 m層で細胞が確認された。これらのことから、中層に分布する*K. mikimotoi*を人為的に表層に浮上させると、一部の細胞は1時間後に一旦4~5 mまで沈降するが、大部分の細胞は最低数時間、表層に滞留すると考えられた。今回は実験に供した*K. mikimotoi*の細胞密度が極めて低かったので、今後濃密な個体群を用いて再実験を実施する予定である。

3. 浮上した細胞の増殖活性の測定

垂下開始時の光合成活性 (F_v/F_m) は0.49であったが、表層および5 m層いずれに垂下した場合も50分後に低下し、その後次第に上昇していった。光合成活性の低下は5 m層 (0.36) と比べて、表層 (0.25) の方が大きかった。一方で、表層の光量子量は垂下開始時~50分後は $1,500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 以上で非常に高かったが、100~150分後は $300\sim 400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ まで一旦低下し、実験終了時には再び $1,450 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ まで上昇した。5 m層における光量子量は表層の13~28%で推移した。以上の結果から、晴天時の日差しの強い日に*K. mikimotoi*が表層に強制的に浮上させられた場合、長くとも1時間以内に光合成活性が大きく低下するが、1時間程度の表層滞留であれば、雲がかかるなどして日差しが弱くなると1~2時間以内に光合成活性が回復することが示唆された。よって、中層赤潮を表層へ浮上させるタイミングとして、晴天が安定して続く日が良いと考えられた。

4. 貧栄養下における*K. mikimotoi*等赤潮鞭毛藻類の生残に及ぼす光強度の影響の把握

強光照射前の完全培地下および濾過海水で培養された*K. mikimotoi*の光合成活性 (F_v/F_m) はそれぞれ0.52および0.40であった。強光照射後、完全培地あるいは濾過海水で培養された細胞の光合成活性はそれぞれ0.47および0.32まで低下した。以上の結果より、*K. mikimotoi*の光合成活性は貧栄養条件下で低下し、さらに強光条件が加わることで極めて低い値となることが判明した。よって、中層赤潮を表層へ浮上させるタイミングとして、栄養塩濃度が低い状態が続いた後が良いと考えられた。

5. 佐伯湾松浦漁港における流速鉛直分布構造の把握

観測機器を設置した2014年5月1日16:00から10月8日13:00までの流向流速データが無事に取得できた。超音波ドップラー流速計と電磁流速計1台は2013年5月28日から10月3日にも同じ場所に設置し、データを取得している。次年度以降、兩年のデータを合わせて、佐伯湾松浦漁港における流速鉛直分布構造を解析する予定である。