

2012年夏季に伊万里湾佐賀県海域で発生した *Karenia mikimotoi* 赤潮

西山嘉乃・河口真弓・吉田幸史・野口浩介・寺田雅彦・明田川貴子・江口泰蔵

A Red Tide of *Karenia mikimotoi* in the Saga Imari Bay in Summer, 2012

Kano NISHIYAMA, Mayumi KAWAGUCHI, Yukifumi YOSHIDA, Kohsuke NOGUCHI,
Masahiko TERADA, Takako AKETAGAWA and Taizo EGUCHI

The red tide of *Karenia mikimotoi* occurred widely in the Saga sea area of Imari Bay in the summer months of 2012, which caused the severest damage to the local fish farming since another red tide of 1991. Several factors in the occurrence of the red tide are thought to be as follows; 1) enough population of the species for the red tide was found in the end of June; 2) unusual rainfall caused decrease in the salinity and brought nutrients to the sea; 3) few competitors against *K. mikimotoi* were observed after *Prorocentrum dentatum* and diatoms, which had formed red tides temporarily, decreased; 4) increase in the temperature and decrease in the salinity of the surface seawater made stratification strong in the closing days of the rainy season and sunshine hours were longer than usual after the end of the rainy season.

キーワード： *Karenia mikimotoi* 赤潮，伊万里湾佐賀県海域，漁業被害，気象，海況

渦鞭毛藻 *Karenia mikimotoi* は瀬戸内海，熊野灘，九州北西水域を中心として赤潮を形成し¹⁾，多くの漁業被害をもたらしてきた本邦における代表的な有害藻類である。

K. mikimotoi 赤潮は九州北西水域では，大村湾において1965年に記録²⁻⁵⁾されて以来，長崎湾，伊万里湾，博多湾などで確認されてきた⁶⁾。伊万里湾佐賀県海域では魚介類養殖が営まれている（表1，図1）が，*K. mikimotoi* 赤潮による漁業被害が度々発生しており，

1976年，1981年，1987年および1991年の赤潮では，1,000万円を超える甚大な被害をもたらした（表2）。

このような中，2012年夏季には宇和海，豊後水道など

表1 伊万里湾佐賀県海域における主な魚介類養殖状況

海区	漁場	主な養殖魚介類
北部	犬頭	ブリ，ヒラマサ，シマアジ
	晴気	マガキ
	高串	マダイ，ブリ，マアジ，マガキ
中部	阿漕	トラフグ（1才魚），ヒラマサ
	大浦浜	マダイ，ウマヅラハギ
東部	大浦浜	マガキ，アコヤガイ
南部	波多津	マダイ，トラフグ（0才魚） マガキ，クルマエビ

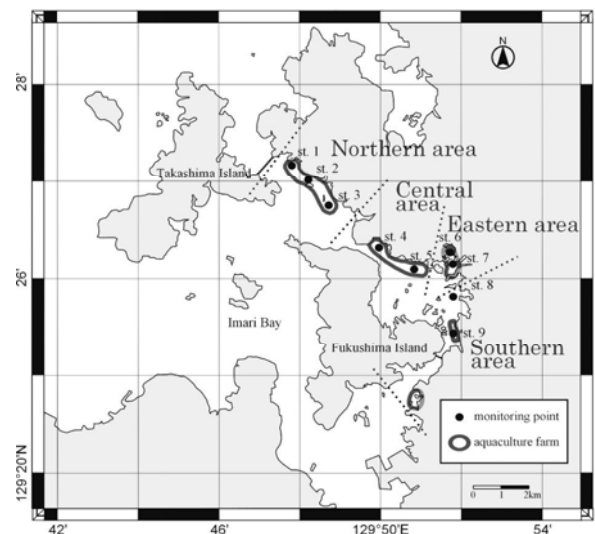


図1 調査点図

表2 佐賀県北部沿岸域における *K.mikimotoi* 赤潮の発生と被害状況

年	通報番号*	期 間	海 域	最高細胞密度 (cells/mL)	その他赤潮構成種	被害の 有無	被 害 魚 種	被害数(尾) (貝類はkg)	被害額 (千円)
1976	不明	8/20~9/8	伊万里湾	5,640		有	養殖ハマチ・タイ類など	約99,000	約45,000
1978	SA-2	8/16~8/28	仮屋湾	5,370		無			
1979	SA-5	8/2~8/16	仮屋湾	3,870		無			
1980	SA-2	8/8~8/16	仮屋湾	9,140		無			
	SA-3	8/8~8/14	伊万里湾	3,410		無			
	SA-4	8/10~8/13	唐津湾	1,550		無			
	SA-5	8/11~8/14	伊万里湾	11,810		無			
	SA-9	9/18~9/30	伊万里湾	39,000		無			
	SA-1	6/11~6/27	仮屋湾	3,810		無			
1981	SA-2	8/3~8/22	伊万里湾	15,790		有	養殖マダイ・ハマチなど	約110,000	約23,000
	SA-3	8/9~8/18	仮屋湾	6,370		無			
	SA-4	8/12~8/22	名護屋湾	2,880		無			
1982	SA-2	7/12~7/15	仮屋湾	4,990		無			
1984	SA-11	8/17~8/18	仮屋湾	410		無			
1986	SA-8	8/23~9/20	伊万里湾~ 仮屋湾	26,020		有	養殖マダイ・マアジなど	約3,700	約2,000
1987	SA-11	9/1~9/11	伊万里湾	29,240		有	養殖マダイ・ハマチ	約28,000	約43,000
	SA-12	9/9~9/13	伊万里湾	7,380		有	養殖ハマチ	約7,000	約15,000
1988	SA-14	8/26~8/28	名護屋浦	2,000		無			
1989	SA-06	7/26~7/26	伊万里湾	2,460		無			
1990	SA-09	8/27~8/30	伊万里湾	3,620		有	養殖ブリ	約150	約270
	SA-05	8/20~9/8	伊万里湾	19,900		無			
	SA-06	8/24~9/11	伊万里湾	9,100		有	養殖マダイ・ブリ	約49,000	約66,000
1991	SA-07	8/31~9/10	仮屋湾	12,120		有	養殖マダイ	約150	約160
	SA-08	9/2~9/21	外津浦	17,280		有	養殖ブリ	約520	約1,700
	SA-09	9/3~9/15	名護屋浦	3,360		有	養殖ブリ	約1,500	約2,400
1993	SA-07	8/1~8/15	伊万里湾	21,300	<i>Prorocentrum</i> spp.	有	養殖ブリなど	約600	約510
	SA-08	8/4~8/12	伊万里湾	21,920		無			
	SA-10	11/15~11/19	伊万里湾	60	<i>Akashiwo sanguinea</i> , <i>Prorocentrum sigmoides</i>	無			
1994	SA-05	7/15~8/3	仮屋湾	18,410		有	養殖マダイ・トラフグ	約15,000	約3,100
1996	SA-07	9/5~9/17	仮屋湾	10,890		有	養殖マダイ・トラフグ	約2,200	約2,700
	SA-07	8/3~8/9	伊万里湾	3,740		無			
1999	SA-08	8/3~8/9	仮屋湾	11,040		無			
	SA-09	8/5~8/9	外津浦	1,940		無			
2000	SA-06	6/27~7/27	伊万里湾	10,040		無			
	SA-07	7/10~7/19	仮屋湾	12,060		無			
2002	SA-06	7/5~7/13	仮屋湾	117,980		有	養殖アワビ・サザエ	約190	不明
	SA-07	7/19~7/22	伊万里湾	6,660		有	養殖ヒラマサ	約200	不明
	SA-08	7/26~7/28	外津浦	648		無			
	SA-12	9/9~9/14	外津浦	194		無			
2009	SA-08	7/7~7/14	伊万里湾	5,800	<i>Prorocentrum</i> spp.	無			
2010	SA-12	7/22~8/2	唐津湾	7,080	<i>Prorocentrum</i> spp.	有	蓄養カンパチ	約10	約23
	SA-07	6/25~8/8	伊万里湾	104,200	<i>Prorocentrum dentatum</i> , 珪藻類	有	養殖ブリ・トラフグなど	約166,000	約60,000
2012	SA-11	7/18~8/2	仮屋湾	860	微細藻類(クリプト藻主体), <i>Chaetoceros</i> spp.	有	養殖アコヤガイなど	不明	不明
	SA-13	7/23~8/8	波戸	56		有	養殖アワビ	不明	不明
	SA-13	7/23~8/8	名護屋岡	352		有	養殖アワビ	不明	不明
	SA-13	7/23~8/8	串浦	13,700		有	蓄養アワビ・サザエ	不明	不明
	SA-13	7/23~8/8	外津浦	36,700		有	蓄養サザエ	不明	不明

*九州漁業調整事務所への通報番号

西日本各地で *K. mikimotoi* 赤潮が発生し、養殖魚介類に対し大きな漁業被害をもたらした。佐賀県北部沿岸域においても広域に *K. mikimotoi* が確認⁷⁾され、特に伊万里湾において大規模な赤潮を形成し漁業被害をもたらした。

今回は2012年夏季に発生した伊万里湾佐賀県海域における *K. mikimotoi* 赤潮の経過と環境要因との関係および漁業被害の状況について報告する。

材料および方法

2012年6月25日から8月9日までの期間、図1に示す伊万里湾佐賀県海域において、主要な魚介類養殖漁場付近に調査点9点を設けた。当初は、st.6, st.8, st.9の3点で調査を開始したが、赤潮の拡大と合わせ調査点数を増やした。また、適宜臨時調査点を追加した。なお、便宜上海域および養殖漁場を北部、中部、東部、南部の4つに区分した。調査頻度は毎日を基本とし、午前9時から正午の間に調査を行った。調査層は0 m (表層)、1 m, 2 m, 5 m, 海底から1 m直上 (B-1 m, 底層) を基本とし、必要に応じて3 m, 4 m, 10 mを追加した。0 m層は柄付きピーカーで、それ以外の層はリゴ-B型透明採水器 (離合社) を用いて採水し、ポリビンに採取した。採取した試水は実験室に持ち帰るまでの間、直射日光を避け、濡れタオルで覆い、さらに海水をかけることにより温度の上昇を防いだ。

調査項目は水温、塩分、溶存酸素飽和度 (DO)、各種栄養塩類 (DIN, PO₄-P, および SiO₂-Si)、透明度およびプランクトン組成である。水温、塩分および DO は多項目水質計 (YSI 社, MODEL600XLM) により現場で測定した。各種栄養塩類は7月14日の調査以降、3日に1回程度サンプリングし、オートアナライザー (Bran Luebbe 社, Traacs2000) により測定した。透明度は、セッキ板 (直径30 cm) により、定法にて測定した。プランクトン組成は原則として試水500 μL 中の優占種を顕微鏡下で計数した。

気象データは、気象庁ホームページ内気象統計情報 (<http://www.jma.go.jp/jma/menu/report.html>) より、佐賀地方気象台伊万里地域気象観測所のデータを用いた。なお、日照時間については、7月4日から9日は欠

測あるいは資料不足値であるため、佐賀地方気象台唐津地域気象観測所のデータを使用した。

漁業被害の状況は、漁協および漁業者からの報告をまとめた。

結 果

1. *K. mikimotoi* 赤潮の発生経過

伊万里湾佐賀県海域における *K. mikimotoi* の細胞密度の推移を図2に、各調査点における *K. mikimotoi*, *Prorocentrum dentatum*, および珪藻類の最高細胞密度の推移を図3に示す。

調査開始日である6月25日に st.6 および st.8 において *K. mikimotoi* が確認された。最高細胞密度は36 cells/mL (st.8, 2 m層) であった。なお、東部海域から南部海域にかけて *P. dentatum* による着色域が確認され、最高細胞密度は8,350 cells/mL (st.8, 1 m層) であった。*K. mikimotoi* はその後増加傾向となり、最高細胞密度は7月4日には1,150 cells/mL (st.5, 2 m層)、7月6日には、250 cells/mL (st.9, 1 m層) となった。なお、7月6日の調査では、*P. dentatum* に代わって小型の *Chaetoceros* 属を主体とする珪藻類が優占しており、その最高細胞密度は57,000 cells/mL (st.6, 1 m層) であった。7月9日には、*K. mikimotoi* は中層および底層を中心に確認され、最高細胞密度は1,274 cells/mL (st.8, 5 m層) であった。なお、珪藻類は引き続き優占していたものの、最高細胞密度は10,800 cells/mL (st.9, 2 m層) と減少した。

7月12日には、*K. mikimotoi* による着色域を初認した。st.6 周辺にてパッチ状の濃密な着色域を形成しており、最高細胞密度は17,850 cells/mL (st.6, 表層) であった。*K. mikimotoi* による着色域は拡大を続け、7月16日には調査を行ったほぼ全域で着色域が確認された。また、北部海域の臨時調査点において、104,200 cells/mL (表層) という、今回の調査期間における最高細胞密度が確認された。7月17日から7月26日の期間は、調査範囲のおおむね全域で本種による着色域を確認した。また、後述する漁業被害が発生した。

7月27日には全調査地点で着色域は確認されなかった。しかし、8月1日には st.5 および st.7 において再



図2 各調査点における調査水深ごとの *K. mikimotoi* の細胞密度 (cells + 1/mL) の推移
 図中の () は調査時の水深 (m), ●は調査点, ○は未調査, ★は臨時調査点を示す。

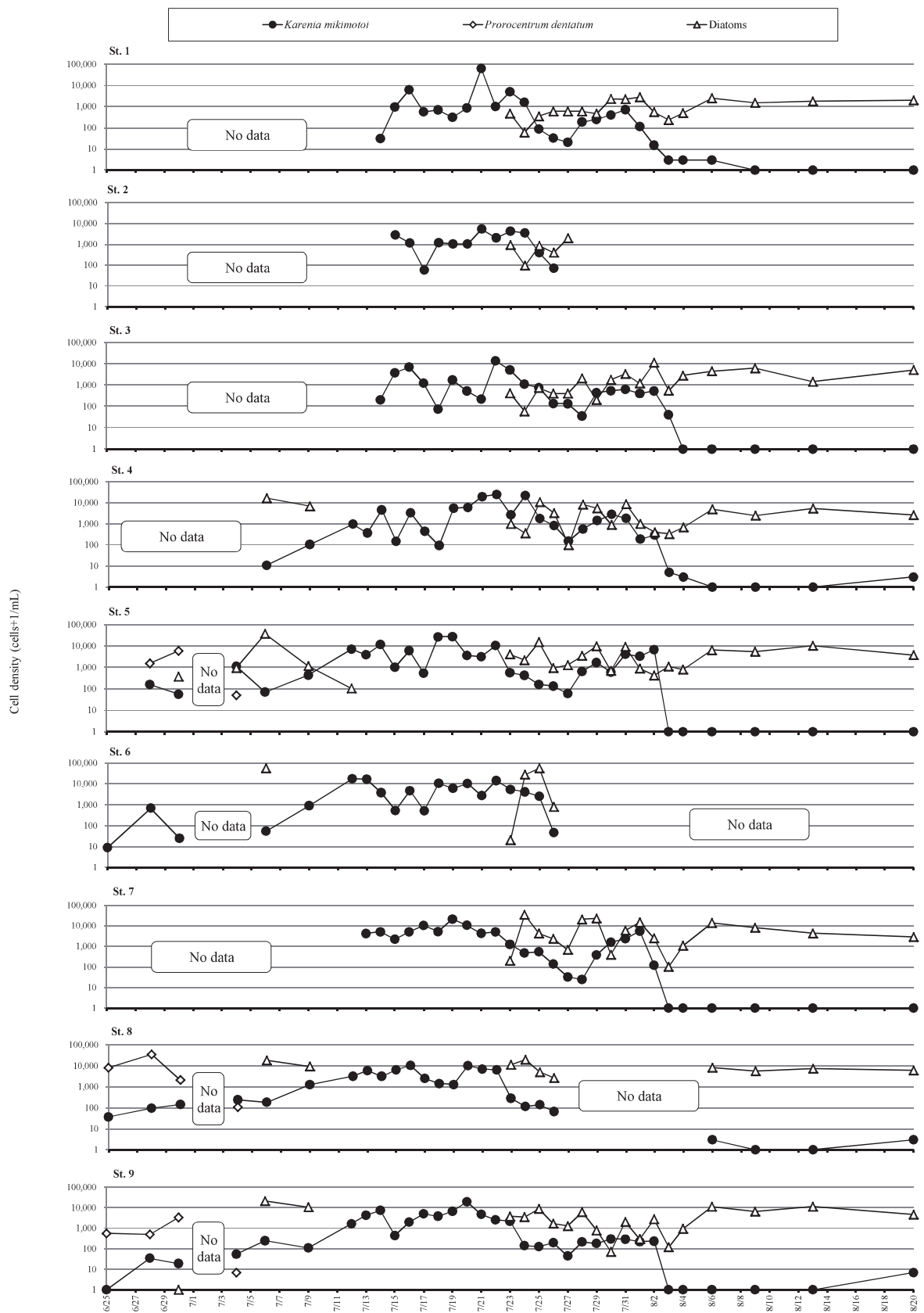


図3 伊万里湾佐賀県海域におけるプランクトン最高細胞密度の推移

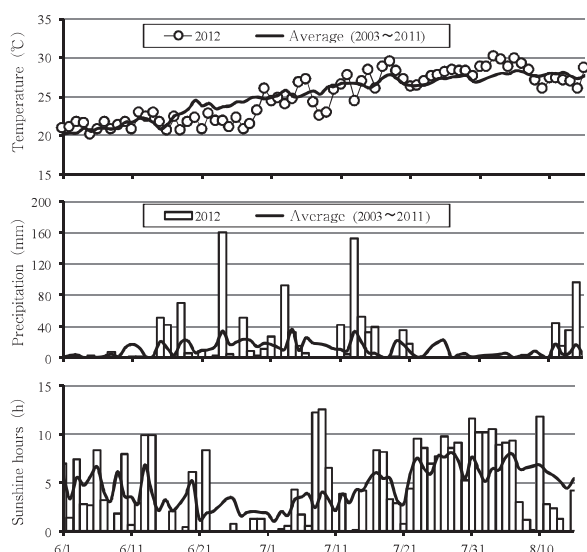


図4 佐賀地方気象台伊万里地域気象観測所における平均気温、降水量および日照時間の推移

表3 佐賀地方気象台伊万里地域観測所における旬別平均気温、降水量および日照時間

月	旬	気温 (°C)		降水量 (mm)		日照時間 (h)	
		2012年	(平年値)	2012年	(平年値)	2012年	(平年値)
6	上	21.1	(20.8)	10.0	(28.2)	42.4	(48.3)
	中	21.8	(22.3)	169.5	(116.0)	31.6	(36.0)
	下	22.1	(24.2)	249.5	(183.4)	11.5	(21.6)
7	上	24.7	(25.5)	171.5	(174.4)	38.4	(26.5)
	中	27.4	(26.8)	357.0	(125.4)	30.7	(42.6)
	下	27.6	(27.0)	19.5	(77.0)	82.0	(72.3)
8	上	28.5	(27.9)	0.0	(33.0)	74.2	(66.0)
	中	27.8	(27.6)	203.5	(95.7)	51.8	(54.6)
	下	26.8	(26.5)	108.5	(82.2)	52.8	(54.7)

び *K. mikimotoi* による着色域を確認した。最高細胞密度は 5,650 cells/mL (st. 7, 1 m 層) であった。なお、他の調査点では、中・底層において数 100 cells/mL 程度と高密度化しなかった。8 月 2 日には、st. 5 の 5 m 層において 6,900 cells/mL と、一部では高密度であったものの、全体的には減少傾向となっており着色域は確認されなかった。

8 月 3 日以降は、100 cells/mL を超える高密度層は確認されなかった。また、小型の *Chaetoceros* 属を主体とする珪藻類が優占していた。8 月 9 日には *K. mikimotoi* は全調査点で未確認となったため、伊万里湾佐賀県海域における *K. mikimotoi* 赤潮の終息とした。珪藻類は、引き続き優占していた。

2. 気象海況

1) 気象

気象の変化を図 4 に、旬別平均気温、降水量および日照時間を表 3 に示す。

九州北部地区は 5 月 30 日に梅雨入りし、梅雨明けは 7 月 23 日と平年より 10 日ほど梅雨期が長かった。また、7 月 11 日から 14 日にかけて集中豪雨による被害（平成 24 年 7 月九州北部豪雨）が発生するなど、平年と比較し、梅雨期の降水量は多くなった。

気象データを見ると、気温は 6 月中旬から 7 月上旬まで平年値を下回っていた。降水量は、6 月中旬から 7 月中旬の合計降雨量が 947.5 mm となり、平年値の計 599.2 mm と比較し約 350 mm 多かった。6 月以降、*K. mikimotoi* 赤潮終息まで期間における主な降水は、6 月 15 日から 16 日の 92.0 mm、6 月 24 日の 160.5 mm、6 月 27 日の 51.5 mm、6 月 28 日から 30 日の 21.5 mm、7 月 3 日から 6 日の 144.5 mm、7 月 11 日から 16 日の 320.5 mm、7 月 20 日から 21 日の 53.5 mm であった。日照時間は、7 月上旬については 7 月 8 日および 9 日には 12 時間を超えるなど平年値を上回ったが、6 月上旬から下旬および 7 月中旬については平年値を下回った。特に、6 月下旬の日照時間は、11.5 時間と平年値の約半分程度であった。このように、2012 年の 6 月上旬から 7 月中旬の伊万里の気象は、低温、多雨および低日照時間と特徴づけられた。

7 月下旬および 8 月上旬について述べると、気温は、平年値を上回った。降水量は、7 月下旬は 19.5 mm、8 月上旬は 0.0 mm と平年値を下回った。日照時間は平年値を上回った。このように、高温、少雨、高日照時間となった。

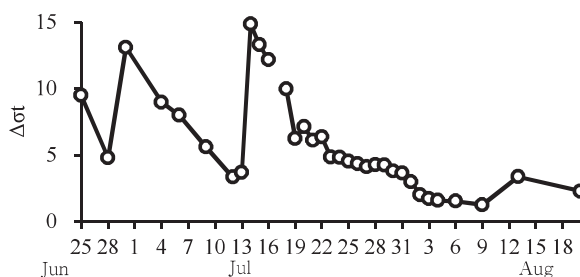


図5 st. 9 における表底層の密度差 $\Delta\sigma_t$ の推移

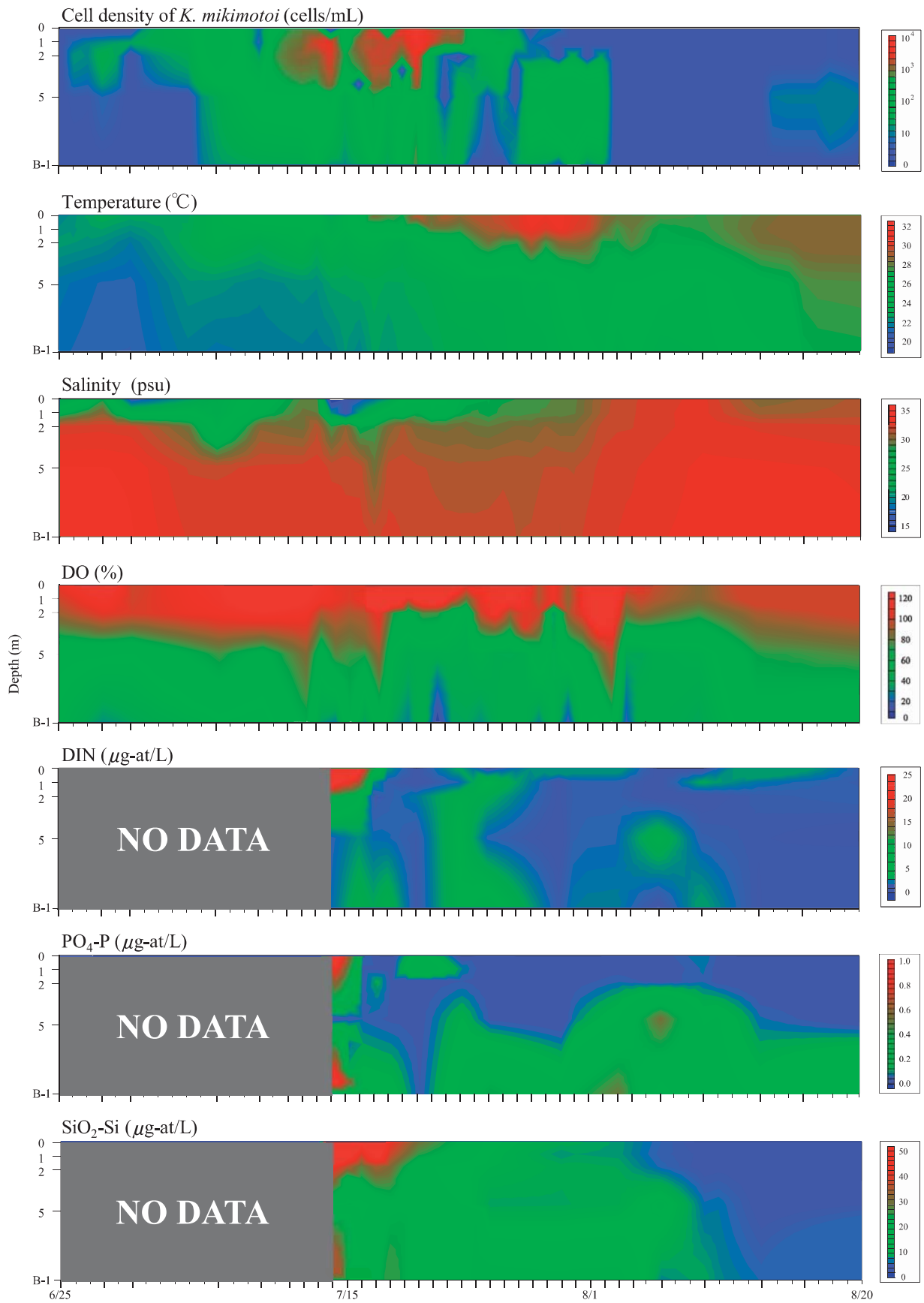


図6 st.9における *K. mikimotoi* の細胞密度と水質（水温、塩分、DO、DIN、PO₄-P、SiO₂-Si）の変化

2) 海況

代表点 st.9 における水温と塩分から算出した表底層の密度差 $\Delta \sigma_t$ の推移を図5に示す。また、st.9 における水質および *K. mikimotoi* 細胞密度の変化を図6に示す。

6月24日には160.5mmの降雨が観測された。このような中、6月25日の調査では、表層の塩分は表層で21.4psuと低下しており、表底層の塩分差は12.3psu、密度差は9.5と、降雨による低塩分水の流入による、塩分成層の形成がうかがえた。28日の調査では、表層の塩分は28.3psuと回復傾向であったが、30日には16.9psuと再び低下した。6月30日の調査以降、表層塩分は緩やかに回復し、7月12日には表層で29.2psu、密度差は3.4と成層は一時的に弱まったことが示唆された。

7月14日の調査では水温の逆転現象が起きており、表層では23.3℃、2m層では24.6℃となっていた。塩分は表層で13.1psuと低下し、密度差は14.9と再び塩分成層は強化された。また、この日より調査を開始した栄養塩はDIN、 $PO_4\text{-P}$ および $SiO_2\text{-Si}$ は豊富に存在していた。これら表層の水温・塩分の低下および豊富な栄養塩類の存在は、降雨によって冷たい低塩分水塊が流入したことに由来すると考えられた。7月15日以降、表層の水温は上昇傾向となり、7月20日には表層水温29.6℃に上昇し、表底層の水温差は、6.5℃となった。また、表底層の塩分差は6.8psu、密度差は7.1と、温度差と塩分差により成層が維持されていることが示唆された。栄養塩は7月18日には $PO_4\text{-P}$ が0.0~0.2 $\mu\text{g-at/L}$ 、7月20日にはDINが0.1~2.0 $\mu\text{g-at/L}$ とそれぞれ減少傾向となったものの、中・底層では比較的高い値を示した。

7月28日の調査では、塩分は表層で28.9psuと、表底層の塩分差は小さくなったものの、表層水温は31.1℃と上昇しており、表底層の水温差は7.1℃となった。密度差は4.3と減少していた。栄養塩は7月中旬以降低い水準で推移し、7月30日には、DINは表層での3.9 $\mu\text{g-at/L}$ 、底層での0.9 $\mu\text{g-at/L}$ を除き、それ以外の各層では0.1~0.4 $\mu\text{g-at/L}$ 、 $PO_4\text{-P}$ は、底層での0.3 $\mu\text{g-at/L}$ を除き、それ以外の各層では0.0 $\mu\text{g-at/L}$ と、枯渇傾向となった。

8月2日以降、表層の水温は29.0℃以下となった。また、密度差は3を下回り成層の衰退がうかがえた。

表4 伊万里湾佐賀県海域における養殖魚介類の被害状況

海区	漁場	魚種	被害確認日	被害数(尾)	被害額(千円)
北部		ブリ	7/17	約1,200	約3,000
	犬頭	ヒラマサ	7/17~7/18	約530	約430
		シマアジ	7/17	約370	約520
	晴気	マガキ	不明	不明	不明
	高串	マダイ	7/17	約10	約20
		ブリ(0才魚)	7/17	約2,000	約60
ブリ		7/17~7/18	約140	約270	
マアジ		7/17	約30	約5	
中部	阿漕	トラフグ(1才魚)	7/22~7/26	約2,300以上	約6,800以上
	大浦浜	ウマヅラハギ	7/17,7/21~7/22	約380	約100
東部	大浦浜	マガキ	不明	不明	不明
		アコヤガイ	不明	不明	不明
南部	波多津	マダイ	7/15	約250	約200
		ブリ(蓄養)	7/20	約20	約40
		ヒラマサ(蓄養)	7/20	約20	約50
		カンパチ(蓄養)	7/20	約20	約90
		トラフグ(0才魚)	7/20~7/24	約160,000	約48,000
	マガキ	不明	不明	不明	
合計				約166,000	約60,000

調査期間中における底層のDOはおおよそ30~50%で推移したが、7月21日の調査では底層で5.0%と、一時的に著しい貧酸素状態となった。

このように、本調査期間の海況は、梅雨入り後の降雨による成層の形成と一時的な衰退、7月中旬の降雨およびその後の気温の上昇による成層の形成と緩やかな衰退という推移を辿った。

3. 漁業被害の発生状況

漁業被害の発生状況を表4に示す。

養殖魚の被害は、7月15日の南部漁場(波多津)におけるマダイ約250尾のへい死を皮切りに、各漁場で数10尾から数1,000尾のへい死が報告された。南部漁場で約160,000尾飼育されていたトラフグ0才魚は、7月20日に約1,000尾、21日に約6,000尾、22日に約3,000尾のへい死が報告された後、23日、24日の2日間で約140,000尾以上の大量へい死が起り、約160,000尾のトラフグ0才魚が全滅という大被害になった。7月27日以降は、養殖魚のへい死は報告されていない。

南部漁場において築堤式で養殖されているクルマエビについては、赤潮対策として換水を控えていたため、赤潮による被害は生じなかった。

二枚貝類への影響は、天然マガキの資源量減少および

成長不良、養殖マガキの成長不良、養殖アコヤガイの生産不調が報告されている。このように、当該海域の二枚貝類生産に何らかの悪影響があったことが示唆されるものの、2012年8月30日から9月9日にかけて二枚貝類および巻貝類に対して特異的に被害をもたらす *Heterocapsa circularisquama* 赤潮が発生⁸⁾ したため *K. mikimotoi* 赤潮による影響がどの程度であったか評価することは難しい。

アワビ類、サザエなど巻貝類は、同海域ではほとんど採取されていないため、影響は不明である。天然マガキを除く天然魚介類のへい死等は報告されていない。

考 察

1. 赤潮発生と気象海況の関係

1) 初期出現

本種は現在までシスト等の耐久細胞が確認されていないこと、水温10℃で増殖可能⁹⁾、かつ、6.5～9℃で生存可能¹⁰⁾と報告されていることから、遊泳細胞が赤潮のシードポピュレーションであると推察されている¹¹⁾。

本センターは、st.5周辺において周年環境調査*を実施しているが、本海域の底層における年間最低水温はおおむね9℃となっており、2011～2012年の冬季では、底層の最低水温は2012年1月に観測された9.8℃であった。

このことから、*K. mikimotoi* は当海域において越冬が可能であったと思われる。今回の赤潮についても、初期発生は、越冬した遊泳細胞がシードポピュレーションとなり、水温の上昇とともに増殖を開始し、調査を開始した6月下旬には十分な規模の初期個体群を形成していたものと推察される。

2) 増殖期～着色まで（6月25日～7月11日）

K. mikimotoi は調査を開始した6月25日には既に36 cells/mLという比較的高い密度で確認され、その後、*P. dentatum* 赤潮、後に珪藻赤潮が発生している期間に、中層を中心に増殖した。

St.9の水温は21.2～25.1℃、塩分は16.9～33.8 psuで推移した。塩分成層が形成されていたが、この期間で

は成層は徐々に弱まっていた。

本種は水温、塩分単独で見た場合、水温10～30℃、塩分15～30 psuの範囲で増殖可能であること、また、増殖速度の最大値を与える水温と塩分の組み合わせは25℃、25 psuであることが報告されており⁹⁾、増殖期の水温および塩分は、本種の増殖に適していたと思われる。

今回の赤潮では、東部、中部および南部海域が初期発生域となった。当該海域は閉鎖性が高く残差流が弱い¹²⁾ため、逸散の影響を受けにくく、初期個体群の増殖に有利な海域であることが示唆された。

また、本種は、最大で日間20 mの鉛直移動が可能であり¹³⁾、底層の栄養塩類を利用可能とすることで、成層発達下で有利に増殖可能であるとされている。増殖期において栄養塩の調査を実施していないが、*P. dentatum* 赤潮および珪藻類の赤潮により表層の栄養塩は枯渇状態であったと推察され、このような中、本種は中・底層の栄養塩を積極的に利用し赤潮を形成したと思われた。

3) 赤潮期（7月12日～7月26日）

7月12日には塩分成層は弱まっていた。このような中、*K. mikimotoi* の着色域が初認された。7月13日から16日の275 mmの降雨により、塩分成層が強化されるとともに栄養塩が供給された。St.9の表層の水温は23.3～29.9℃、塩分は13.1～29.2 psuの範囲で推移し、*K. mikimotoi* の増殖に好適な水温、塩分であった。また、6月下旬から増殖していた *P. dentatum* や珪藻類などの競合種は既に減少していた。このように、諸条件、すなわち、水温、塩分、栄養塩および競合種について、*K. mikimotoi* の増殖に好適な条件が合わさった中、*K. mikimotoi* は一気に増殖したと推察された。

着色域は、東部、中部および南部海域全体に広がった後、北部海域に拡大した。当該海域では、残差流は北向きであるとされており¹²⁾、このことが北部海域への赤潮の拡大に寄与したものと考えられた。

4) 減少期～終息期（7月27日～8月9日）

栄養塩類は、赤潮期には底層中心に一定以上の栄養塩が存在していたが、7月30日には、前述したように枯渇傾向となっていた。

K. mikimotoi の増殖速度の半飽和定数は、窒素で

* 玄海漁場環境保全調査、漁場環境監視等強化対策事業

0.58~0.78 μM , リンで0.14~0.15 μM とされている¹⁾。

この半飽和定数を7月30日のst.9における調査結果と比較すると、表層の窒素を除き、窒素およびリンとも、底層では半飽和定数を上回る値であったが、それ以外の各層では下回っていた。前述したように、*K. mikimotoi* は鉛直移動により底層の栄養塩を活用し増殖することが可能である。しかし、底層の栄養塩が減少し半飽和定数程度しか存在しなかったため、赤潮を維持するために十分な増殖速度を得ることができず、*K. mikimotoi* の細胞密度は減少したと考えられた。なお、今回は有機態の窒素およびリンの調査を実施していないが、本種は有機態の窒素およびリンを利用可能であるため、今後検討が必要である。

また、光条件による影響については次項にて述べる。

2. 植物プランクトン優占種の変化

紫加田ら¹⁴⁾は、八代海において珪藻類と鞭毛藻類の増減は交互に起こり、特に短期変動については、水中への強い光が透過した後珪藻類の細胞密度が増加し、逆に水中に光が透過しにくい時期には珪藻類は直ちに減少し、代わりに鞭毛藻類が増加することを報告している。また、山口¹⁾は、*K. mikimotoi* の増殖に及ぼす光強度の影響を調べており、弱光下での増殖に適合していることを見出している。

まず、7月上旬の珪藻類から7月中旬の*K. mikimotoi* の種変遷をみると、7月11日には降雨のため、日照時間は0時間となった。このため、珪藻類は十分な光を得ることができず減少し、代わって*K. mikimotoi* が優占したことが示唆された。その後、珪藻類等の競合種が不在となった*K. mikimotoi* は降雨により供給された栄養塩類を独占的に利用することにより、赤潮の規模を拡大したと考えられた。

また、8月上旬には*K. mikimotoi* が減少した後、珪藻類が優占した。2012年7月下旬から8月上旬にかけての日照時間は平年値と比較し長かった。また、st.5およびst.9における透明度(表5)は、7月31日には、st.5では珪藻類の増加により低下していたものの、st.9では平年並みに回復していた。このように、強い光が透過しやすい条件が整ったことで、徐々に珪藻類の増殖に有利な条件が整ったことが示唆された。

表5 St.5およびSt.9における透明度(m)

調査点	6月5日(平年値)	7月4日(平年値)	7月31日(平年値)
st.5	5.5 (4.8)	2.5 (3.1)	1.8 (5.4)
st.9	5.2 (4.0)	1.5 (2.7)	3.9 (4.4)

以上のように、光条件と今回の*K. mikimotoi* および珪藻類の消長には、関連があったことがうかがえた。

なお、佐賀地方気象台伊万里地域気象観測所では光強度(全天日射量)を観測していないため、今後、現場における光強度と植物プランクトン相との関係を議論するためには、独自に観測を行うことが必要である。

6月下旬には、*K. mikimotoi* に先行し、*P. dentatum* 赤潮が発生していた。柳ら¹⁵⁾は、五ヶ所湾では、*K. mikimotoi* と*P. dentatum* が競合関係にあること、水温25℃を境に、25℃以下では*P. dentatum* が、25℃以上では*K. mikimotoi* が優占することを報告している。

同様に、伊万里湾においても*K. mikimotoi* に先行して増殖する*P. dentatum* の動態を把握することで*K. mikimotoi* 赤潮の短期予察指標として活用できる可能性がある(本城：私信)。

8月下旬には*H. circularisquama* による赤潮⁸⁾が確認された。*K. mikimotoi* 赤潮の後に別種の有害赤潮が発生する現象は、五ヶ所湾における*H. circularisquama* 赤潮¹⁶⁾、伊万里湾における*Cochlodinium polykrikoides* 赤潮¹⁷⁾が報告されている。また、*K. mikimotoi* は冬季にも赤潮を形成することが報告されている¹⁸⁾。今後は、*K. mikimotoi* 越冬細胞を含め、冬季の動向について調査を行うとともに、他の有害種の動態にも注意を払う必要がある。

3. 赤潮発生と魚介類のへい死との関係

St.9近傍の南部漁場で7月21日から24日にかけて、トラフグ0才魚の大量へい死が発生した。北部および中部漁場でも魚類養殖は行われているが、南部漁場と比較すると小規模な被害にとどまった。このような差が生じた理由として、飼育条件の違いがあげられる。北部および中部漁場の水深は、おおむね15~25mの範囲であり網丈(養殖網の深さ)を一般的な5m、あるいはそれ以上とすることが可能である。一方、南部漁場では、水深が10m以内と浅く、特に夏季は底層を中心にDOが低下すること、また、トラフグ0才魚に対する養殖作業の

利便性から、網丈を2.0~2.5 mとしている。

今回の赤潮では、日によって異なっていたものの、赤潮の盛期にはおおむね表層から2 m層において高密度層が存在していた。網丈が5 m以上あった北部および中部漁場では、養殖魚は、赤潮の盛期であっても比較的密度の小さい層に移動することが可能であった。一方、南部漁場においては、養殖網の中で2 m以深に移動することができず、表層から2 m層において存在した高密度層に長時間さらされた。このため、大量へい死に至ったと考えられた。

表6に魚種別年齢別の絶食期間とへい死率との関係について示す。今回のトラフグ0才魚におけるへい死は、*K. mikimotoi*による着色の確認後、絶食を開始からお

よそ7日目に一部へい死、およそ9日目に大量へい死と、宮崎ら¹⁹⁾の報告より早く発生していた。*K. mikimotoi*が濃密に存在する条件下では、絶食に耐える期間が短くなるという可能性もあるため、高密度かつ長期間の暴露に加え、餌止めによる複合的な影響によって大量へい死に至った可能性も否定できない。今後は、赤潮対策の一環として、種々の条件下における絶食耐性について、評価する必要がある。

なお、*K. mikimotoi*の毒性は、これまでも種々の研究がおこなわれてきた。致死性毒性の発現要因としては、溶血性毒素群²⁴⁻³⁰⁾、細胞毒性ポリエーテル³¹⁾、活性酸素 (reactive oxygen species : ROS)^{32, 33)}について報告されている。18:5n3脂肪酸についてはヨーロッパムラ

表6 魚種別年齢別の絶食期間とへい死率との関係

供 試 魚	年 齢	平均体長 (mm)	平均体重 (g)	設 置 条 件	試験区あたりの 収 容 尾 数	試験時 水 温 (℃)	結 果		引用 文献
							試 験 設 定	へい死率 (%)	
トラフグ*1	0	80	10	海上筏 3×3×3 m網	200	25~29	91日間給餌飼育 (対照区)	2	19)
							5日間絶食後, 86日間給餌飼育	1	
							10日間絶食後, 81日間給餌飼育	19	
							15日間絶食後, 76日間給餌飼育	91	
マダイ	0	101	24	海上筏 1.5m角小割網	50	13~24	84日間給餌飼育 (対照区)	12	20)
							7日間絶食後, 77日間給餌飼育	22*2	
							14日間絶食後, 70日間給餌飼育	8	
							21日間絶食後, 63日間給餌飼育	10	
							35日間絶食後, 49日間給餌飼育	16	
マダイ	1	262	443	海上筏 3 m角小割網	50	21~29	91日間給餌飼育 (対照区)	4	21)
							7日間絶食後, 84日間給餌飼育	2	
							14日間絶食後, 77日間給餌飼育	4	
							28日間絶食後, 63日間給餌飼育	8	
							91日間絶食	0	
ブリ	0	121	27	陸上水槽 250L 塩ビ水槽	20	24~26	32日間給餌飼育 (対照区)	15	22)
							7日間絶食後, 25日間給餌飼育	5	
							14日間絶食後, 18日間給餌飼育	35	
							32日間絶食*4	100	
ブリ	0	213	160	海上筏 1.5m角小割網	50	21~29	91日間給餌飼育 (対照区)	14	21)
							7日間絶食後, 84日間給餌飼育	8	
							14日間絶食後, 77日間給餌飼育	2	
							28日間絶食後, 63日間給餌飼育	4	
							91日間絶食*5	98	
ブリ	1	記載なし	1,390	海上筏 3 m角小割網	50	24~30	91日間給餌飼育 (対照区)	26*3	23)
							7日間絶食後, 84日間給餌飼育	2	
							14日間絶食後, 18日間給餌飼育	2	
							32日間絶食後, 59日間給餌飼育	8	
							63日間絶食後, 28日間給餌飼育	52	

*1: 歯切りしたもの

*2: 試験開始5週日以降に発生した滑走細菌感染症によるへい死が発生

*3: 5週間試験経過時の測定の際、麻酔時間が通常より長くなりへい死が発生

*4: 累積へい死率は21日目35%, 28日目75%

*5: 累積へい死率は14日目14%, 36日目78%

サキウニ (*Paracentrotus lividus*) 卵に対する卵割遅延効果および異常変態誘発効果が報告されている³⁴⁾。松山ら³⁵⁾は、アワビ類に対する強い毒性を報告している。Zouら³⁶⁾は、ワムシ (*Brachionus plicatilis*) に対する毒性を報告している。Mitchell と Rodger³⁷⁾は、2005年にアイルランドで発生した *K. mikimotoi* 赤潮によりへい死した魚類および貝類において、鰓、消化管、肝臓に病理組織学的な異常を確認した。しかし、これまでの研究に関わらず、正確な魚介類のへい死機構は明らかとされていない。

4. まとめと今後の課題

K. mikimotoi 赤潮と成層の関係について述べる。今回の赤潮では、*K. mikimotoi* は成層存在下で増殖したのち、一時的に成層が衰退したタイミングで細胞密度を増加させ赤潮を形成した。周防灘や伊予灘においては、*K. mikimotoi* は成層の発達期に増殖し、崩壊により分布域を急速に拡大することが知られており^{38, 39)}、今回の赤潮でも同様であったと考えられる。

また、前述したように *K. mikimotoi* の増殖にとって、成層の存在は有利に働く。周防灘において *K. mikimotoi* による大規模赤潮が発生する年の特徴は、6～7月のいわゆる梅雨期に多量の降雨があり、それによって成層が発達し、それが長期間持続することとされている¹⁾。今回の赤潮でも、6月中旬から7月中旬にか

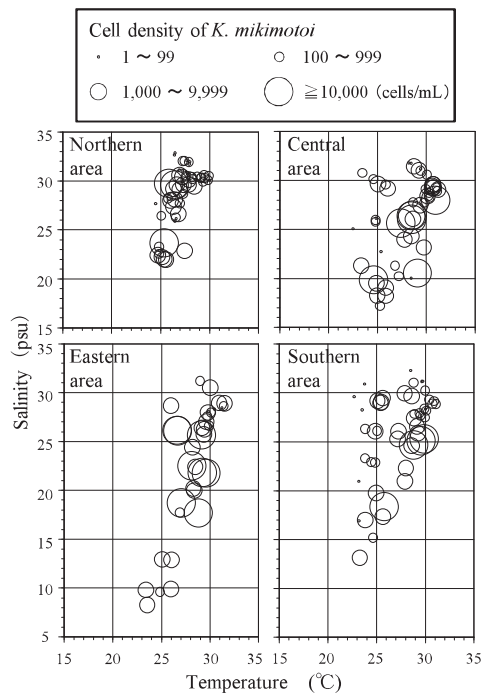


図7 各海域ごとの *K. mikimotoi* 最高細胞密度および0 m層の水溫-塩分の関係

けて平年値と比較し降水量が多かったことに加え、梅雨末期からは表層水温の上昇と降雨による表底層の温度差と塩分差により、成層が長期間維持された。

このように、今回の赤潮では、成層の一時的な衰退をきっかけに *K. mikimotoi* が細胞密度を増大させ、着色域を形成した後、成層が再び強化されたことで赤潮が拡

表7 まとめ

項目	6月上旬	6月中旬	6月下旬	7月上旬	7月中旬	7月下旬	8月上旬	
プランクトン	K. mikimotoi		未調査	初期出現～増殖期		赤潮期	減少～終息期	
	競合種		未調査	P. dentatum 赤潮	珪藻類 赤潮	競合種不在		珪藻類 増加
気象	降水量 (mm)	2012年 (10.0)	116.5 (+53.5)	249.5 (+66.1)	171.5 (-2.9)	357.0 (+231.6)	19.5 (-57.5)	0.0 (-33.0)
	日照時間 (h)	2012年 (42.4)	31.6 (-4.4)	11.5 (-10.1)	38.4 (+11.9)	38.4 (-11.9)	82.0 (+9.7)	74.2 (+8.2)
海況	成層	未調査	未調査 降雨による塩分 成層形成と推測	塩分成層	成層 衰退	水温塩分成層	成層衰退	
	栄養塩	未調査	未調査 降雨による供給と推測	未調査 競合種による 枯渇と推測	降雨による供給		枯渇傾向	
漁業被害						へい死	大量 へい死	

大し長期化したと推察された。

今回の赤潮において、北部海域を除く、東部、中部および南部海域で10,000 cells/mLを超える細胞密度が確認されたのは、表層水温24.6~30.1℃、表層塩分17.7~28.0 psuの範囲であり(図7)、*K. mikimotoi*は、表層の低塩分が回復し、28 psuを超えた後は高密度にならなかった。

以上のように、*K. mikimotoi*赤潮と成層の強度には関連があることが示唆された。今後は、発生・維持・終息の予察に活用するため、これらの関連について解析を行うことが必要である。

飯塚⁴⁰⁾は、大村湾において*K. mikimotoi*赤潮の発生様式を梅雨期の降雨による“降水性赤潮”と9月の底層における貧(低)酸素現象に対応した“貧(低)酸素化関連赤潮”の2型に分類し、後者の方が大型化しやすいことを述べている。

今回の伊万里湾の赤潮では、6月中旬から7月中旬にかけて平年値を超える降雨が見られたこと、底層のDOについて著しい低下が見られなかったことから、“降水性赤潮”との関連が示唆される。一方、過去に1,000万円を超える被害を出した1976年、1981年、1987年および1991年に発生した赤潮は、8月から9月上旬にかけて発生したことが今回の赤潮とは異なっていた。

伊万里湾においても大村湾と同様に7月の“降水性赤潮”と9月の“貧(低)酸素化関連赤潮”に類別できるかどうかはここでは議論しないが、今後は、過去の発生状況と詳細な比較を行い、大規模赤潮発生条件について検討を行う必要がある。

表7に、今回の*K. mikimotoi*赤潮の発生時の諸条件をまとめた。*K. mikimotoi*赤潮の発生過程は山口^{1), 11)}によって次のとおり整理されている。すなわち①越冬した遊泳細胞がシードポピュレーションとなり、水温の上昇とともに細胞密度を増すことで初期個体群を形成したのち、②降雨による塩分低下や栄養塩の補給、③日照不足による競合種の脱落、④梅雨後の水温および日射量の増大、鉛直安定度の増加、⑤捕食圧の低下のもとで、最大増殖速度(1.0 division・day⁻¹)に近い増殖速度で飛躍的に個体群密度を増大させ、風、潮流などによる物理的な集積作用も加わって赤潮形成に至るとしている。今回の伊万里湾における*K. mikimotoi*赤潮について、赤

潮形成に至った過程を山口の整理に従い列挙すると次の類似点があげられる。すなわち、①6月下旬には赤潮を形成するために十分な規模の個体群が確認されたこと、②平年値を上回る降水量により塩分が低下するとともに、栄養塩の供給がされたこと、③赤潮を形成していた*P. dentatum*および珪藻類が減少し競合種が不在となったこと、④梅雨末期には表層水温の上昇と降雨による表層塩分の低下により成層(鉛直安定度)が強化されたことおよび梅雨明け後には日照時間が平年値以上となったこと、である。⑤の捕食圧および集積については、今後検討を行う必要がある。

なお、今回の赤潮の初期発生域となった東部、中部および南部海域は潮流が弱く逸散の影響が少ない海域¹²⁾であり、赤潮の形成に好適な海域であることはここで述べておく。

一般的に、*K. mikimotoi*赤潮に対する現場での被害軽減対策として、餌止め⁴¹⁾、筏の移動・大規模化が実施されている。*K. mikimotoi*赤潮が多発している豊後水道では、赤潮初期に中層で形成される*K. mikimotoi*濃密域の早期発見により、赤潮発生の約1~2週間前に漁業関係者へ周知を行い、養殖現場の赤潮対応(餌止め、筏避難、出荷調整)を迅速に行うことで、漁業被害を軽減することに成功している⁴²⁾。

今回、特に大きな被害が発生した伊万里湾南部漁場におけるトラフグ0才魚における対策を検討した場合、トラフグ0才魚は長期間の餌止めが難しいこと(表6)、また、伊万里湾南部漁場は水深が浅いため網丈を深くするなどの筏の大規模化が難しいことから、今回のように赤潮が長期化する可能性がある場合にとりうる最善の対応は筏の避難である。

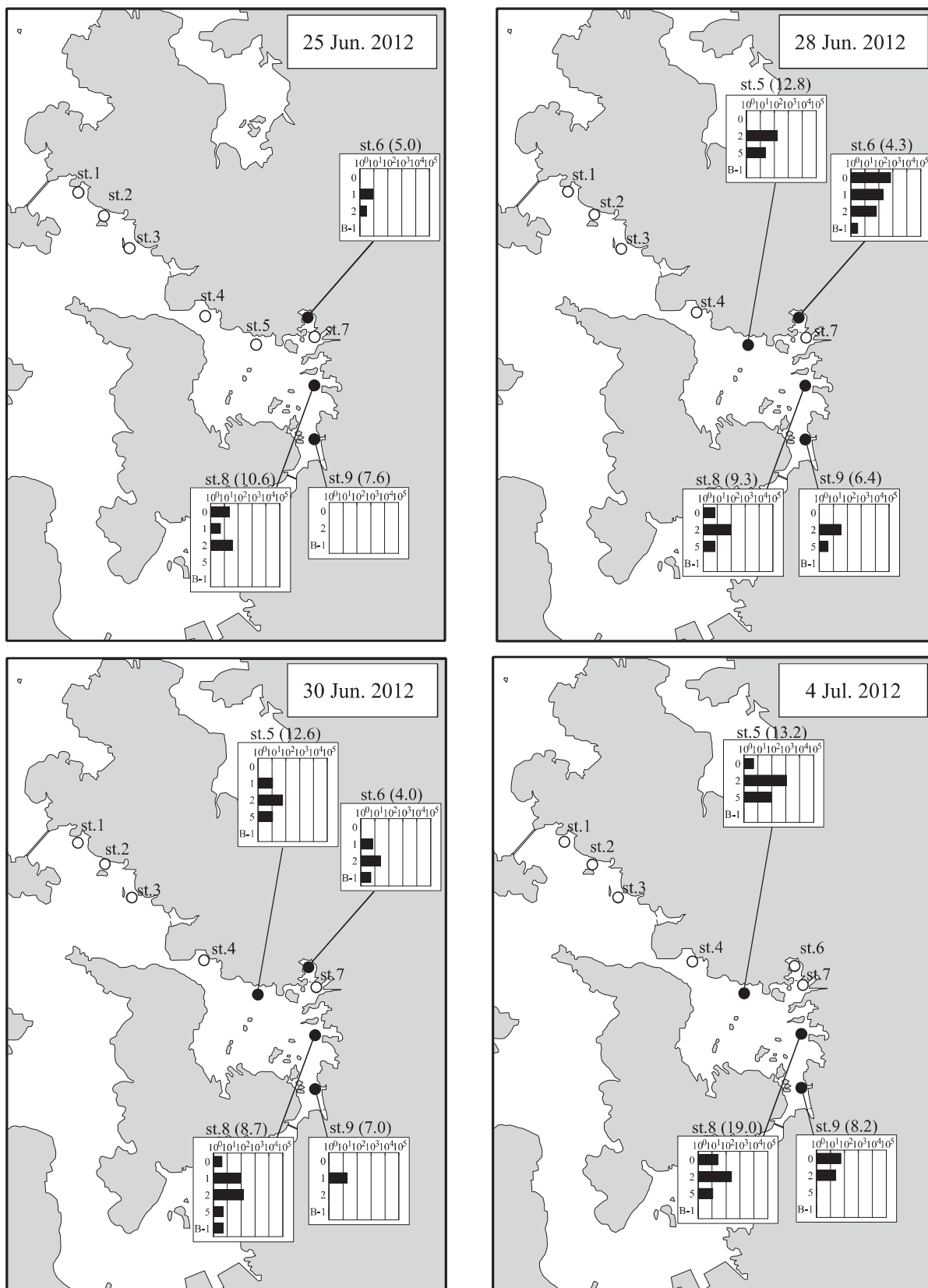
本県においても、赤潮による漁業被害の軽減のため、鉛直観測および定点連続観測による赤潮発生・拡大監視体制の構築により、被害軽減対策、特に筏避難の判断を迅速に行う必要がある。また、化学的・物理的手法等の新たな赤潮防除・被害軽減対策にも取り組む必要がある。

文 献

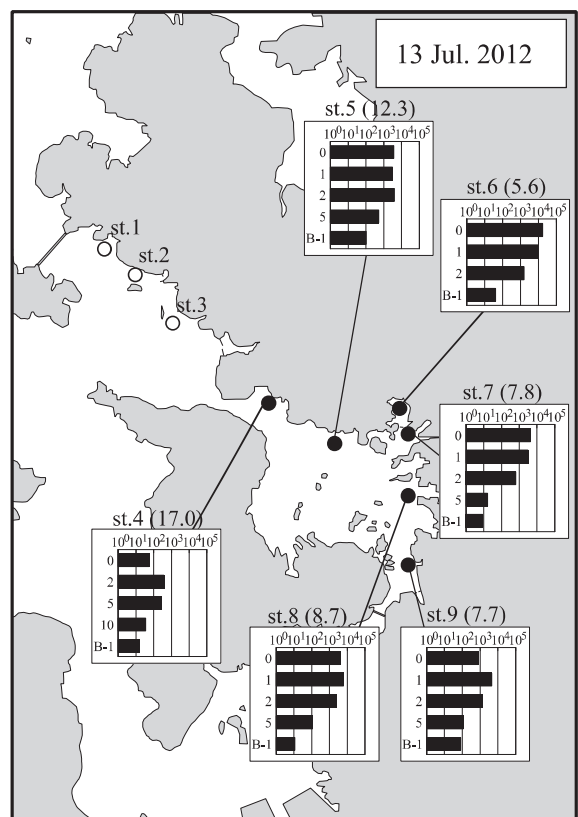
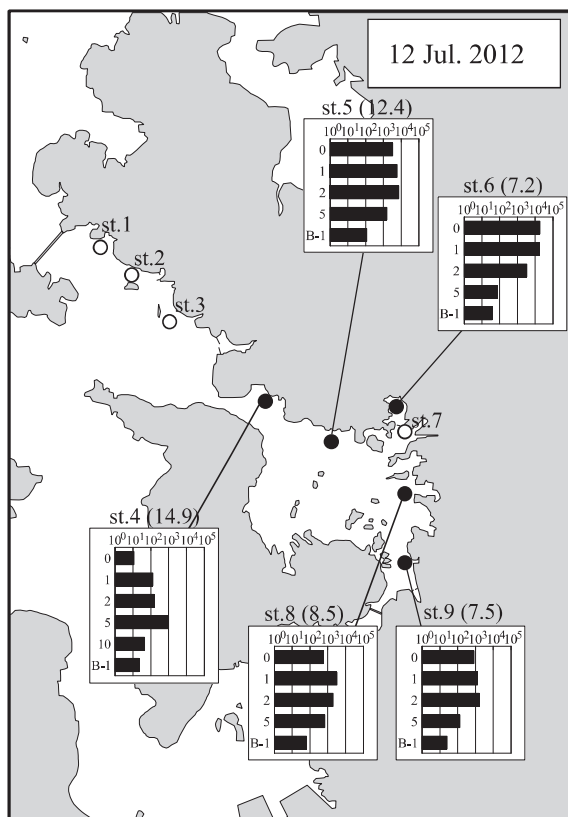
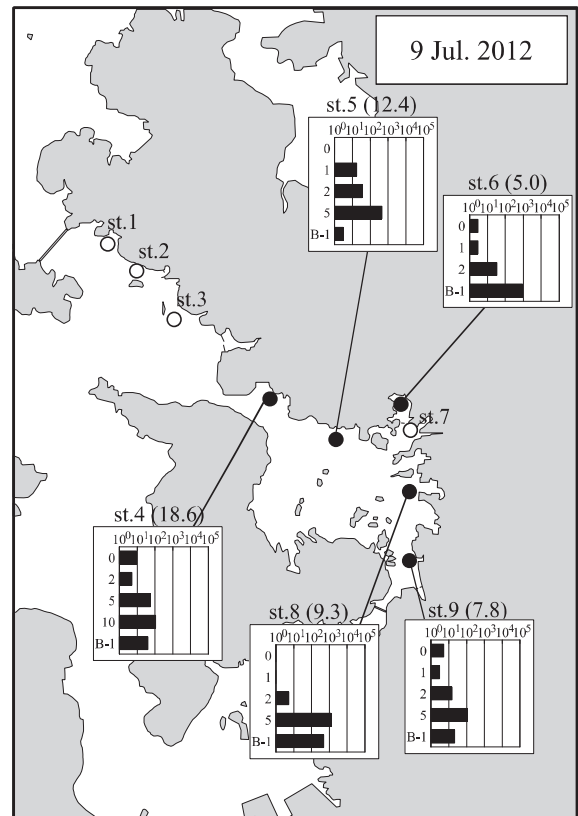
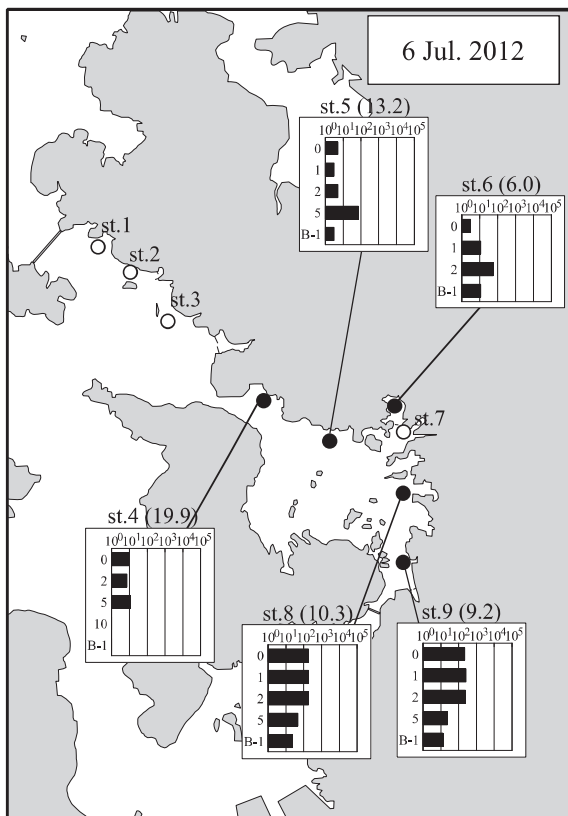
- 1) 山口峰生(1994): *Gymnodinium nagasakiense*の赤潮

- 発生機構と発生予知に関する生理生態学的研究. 南西水研
研報, **27**, 251-394.
- 2) 入江春彦・浜島謙太郎 (1966): 1965年夏期大村湾赤潮
時の海況とその被害-I 1965年夏期大村湾赤潮の概説.
長崎大学水産学部研究報告, **21**, 59-65.
- 3) 飯塚昭二・入江春彦 (1966): 1965年夏期大村湾赤潮時
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, **21**, 67-101.
- 4) 森 勇・入江春彦 (1966): 1965年夏期大村湾赤潮時の
海況とその被害-III. 赤潮発生時の大村湾沖合域の海況.
長崎大学水産学部研究報告, **21**, 103-113.
- 5) 塩川 司・入江春彦 (1966): 1965年夏期大村湾赤潮時
の海況とその被害-VI. 赤潮による水産被害について. 長
崎大学水産学部研究報告, **21**, 115-129.
- 6) 本城凡夫 (1997): 赤潮の科学 第二版, 264-273, 恒星
社厚生閣, 東京.
- 7) 西山嘉乃・河口真弓・吉田幸史・野口浩介・寺田雅彦・
明田川貴子・江口泰蔵 (2013): 2012年夏季に佐賀県北部
沿岸域で発生した *Karenia mikimotoi* 赤潮, 佐玄水振セ研
報, **6**, 113-121.
- 8) 西山嘉乃・河口真弓・吉田幸史・野口浩介・寺田雅彦・
明田川貴子・江口泰蔵 (2013): 2012年に伊万里湾佐賀県
海域で発生した *Heterocapsa circularisquama* 赤潮, 佐玄
水振セ研報, **6**, 123-124.
- 9) 山口峰生・本城凡夫 (1989): 有害赤潮鞭毛藻
Gymnodinium nagasakiense の増殖におよぼす水温, 塩分
および光強度の影響. 日本水産学会誌, **55**(11), 2029-2036.
- 10) 寺田和夫・池内 仁・高山晴義 (1987): 冬季の周防灘
沿岸で観察された *Gymnodinium nagasakiense*. 日本プラ
ンクトン学会報, **34**(2), 201-204.
- 11) 山口峰生 (2000): 水産研究叢書48「有害・有毒赤潮の
発生と予知・防除」, 101-136, 社団法人日本水産資源保護
協会, 東京.
- 12) 鈴木誠二・西田 渉 (2008): 赤潮発生要因の1つであ
る伊万里湾の流動構造に及ぼす風の影響に関する研究. 長
崎大学工学部研究報告, **38**(7), 46-51.
- 13) Y. Koizumi, T. Uchida and T. Honjo (1996): Diurnal
vertical migration of *Gymnodinium mikimotoi* during a red
tide in Hoketsu Bay, Japan. Journal of Plankton Research,
18(2), 289-294.
- 14) 紫加田知幸・櫻田清成・城本祐助・生地 暢・吉田
誠・大和田紘一 (2010): 八代海における植物プランク
トンの増殖に与える水温, 塩分および光強度の影響. 日本水
産学会誌, **76**(1), 34-45.
- 15) 柳 哲雄・平尾賢治・松山幸彦・本城凡夫 (1994): 五
ヶ所湾のギムノディニウム赤潮, 日仏海洋学会誌, **32**(1),
65-70.
- 16) 内田卓志・本城凡夫・松山幸彦 (2001): 三重県五ヶ所
湾における *Gymnodinium mikimotoi* の消長と物理・化学
的要因及び生物学的要因との関係について. 日本プランク
トン学会報, **48**(2), 104-110.
- 17) 山砥稔文・丸田 肇・浦賢二郎 (2002): 1999年伊万里
湾に出現した *Cochlodinium polykrikoides* Margalef の赤潮
発生状況と増殖特性. 長崎県水産試験場研究報告, **28**,
21-26.
- 18) 寺井千尋・佐藤博之・後川龍男・山本千裕 (2006): 福
岡湾で冬季に発生した *Karenia mikimotoi* の赤潮. 福岡水
海技セ研報, **16**, 155-158.
- 19) 宮崎隆徳・山砥稔文・坂口昌生・塚原淳一郎 (2005):
絶食がトラフグ稚魚に及ぼす影響, 長崎県水産試験場研究
報告, **31**, 15-22.
- 20) 小川 健・藤井久之 (1986): 主要養殖魚類の絶食試験-I
—マダイ稚魚について—, 和水分試報, **17**, 88-91.
- 21) 狭間弘学・小川 健 (1988): 主要養殖魚類の絶食試験-
III—マダイ1年魚及びブリ稚魚について—, 和水分試報,
19, 40-47.
- 22) 大西圭二・城 泰彦・谷本尚則 (1981): ブリ稚魚にお
ける絶食の影響, 徳島県水産試験場事業報告書, 43-45.
- 23) 小川 健・狭間弘学 (1987): 主要養殖魚類の絶食試験-
II—ブリ1年魚について—, 和水分試報, **18**, 38-42.
- 24) G. Arzul, P. Gentien, M.-P. Crassous (1994): A haemolytic
test to assay toxins excreted by the marine dinoflagellate
Gyrodinium cf. aureolum. Water Res., **28**(4), 961-965.
- 25) Parrish, C. C., Bodennec, G., Gentien, P. (1998):
Haemolytic glycolipids from *Gymnodinium* species.
Phytochemistry, **47**(5), 783-787.
- 26) Fossat, B., Porthé-Nibelle, J., Sola, F., Masoni, A., Gentien,
P., Bodennec, G. (1999): Toxicity of fatty acid 18:5n3
from *Gymnodinium cf. mikimotoi*: II. Intracellular pH and
K⁺ uptake in isolated trout hepatocytes. J. Appl. Toxicol.,
19, 275-278.
- 27) Sola, F., Masoni, A., Fossat, B., Porthé-Nibelle, J., Gentien,
P., Bodennec, G. (1999): Toxicity of fatty acid 18:5n3 from
Gymnodinium cf. mikimotoi. I. morphological and
biochemical aspects on *Dicentrarchus labrax* gills and
intestine. J. Appl. Toxicol., **19**, 279-284.
- 28) Jenkinson, I.R., Arzul, G. (2001): Mitigation by cysteine
compounds of rheotoxicity, cytotoxicity and fish mortality
caused by the dinoflagellates, *Gymnodinium mikimotoi*
and *G. cf. maguelonnense*. In: Hallegraeff, G. M., Blackburn,
S. I., Bolch, C. J., Lewis, R. J. (Eds.), Harmful Algal Blooms
2000. IOC, Paris, 71-84.
- 29) Neely, T., Campbell, L. (2006): A modified assay to
determine hemolytic toxin variability among *Karenia*
clones isolated from the Gulf of Mexico. Harmful Algae, **5**(5),
592-598.
- 30) Mooney, B.D., Nichols, P. D., De Salas, M.F., Hallegraeff, G.
M. (2007): Lipid, fatty acid, and sterol composition of eight
species of Kareniaceae (dinophyta): chemotaxonomy and
putative lipid phycotoxins. J. Phycol., **43**(1), 101-111.
- 31) Satake, M., Shoji, M., Oshima, Y., Naoki, H., Fujita, T.,
Yasumoto, T. (2002): GymnocinA, a cytotoxic polyether
from the notorious red tide dinoflagellate, *Gymnodinium*
mikimotoi. Tetrahedron Lett., **43**, 5829-5832.
- 32) Yamasaki, Y., Kim, D.-I., Matsuyama, Y., Oda, T., Honjo,
T., (2004): Production of superoxide anion and hydrogen

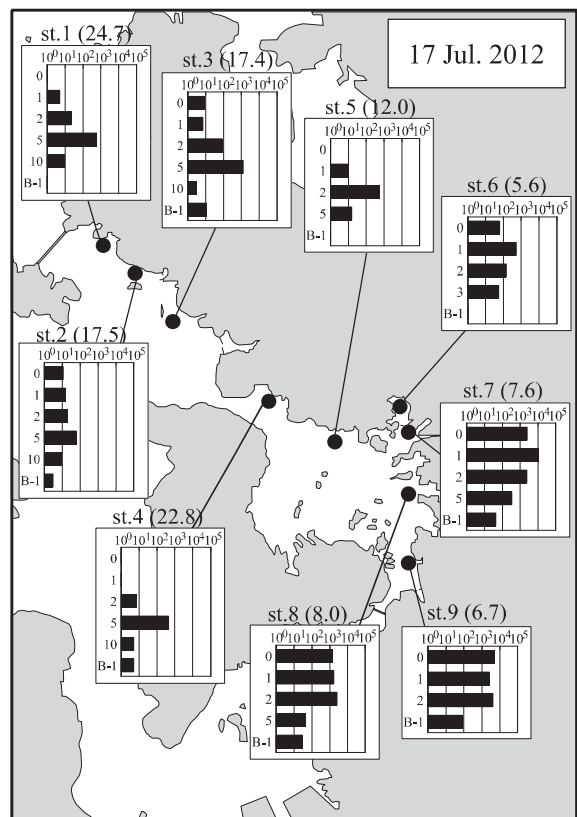
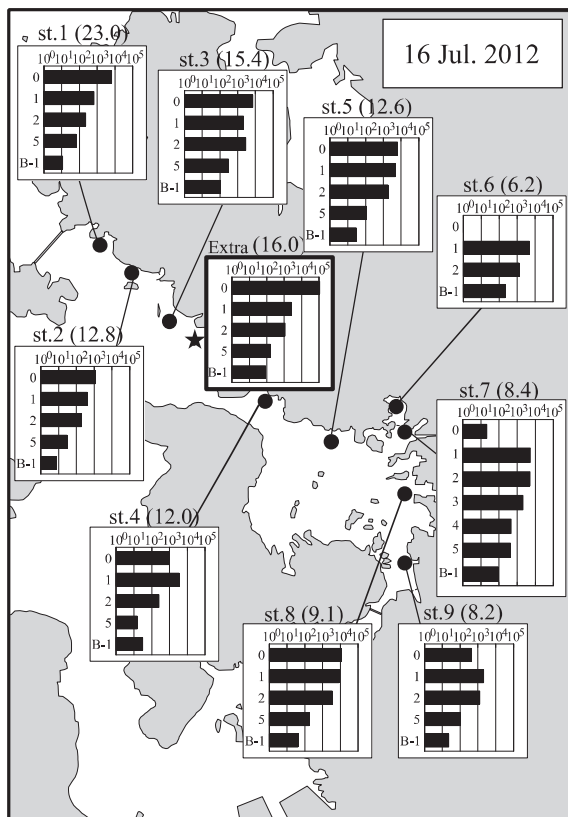
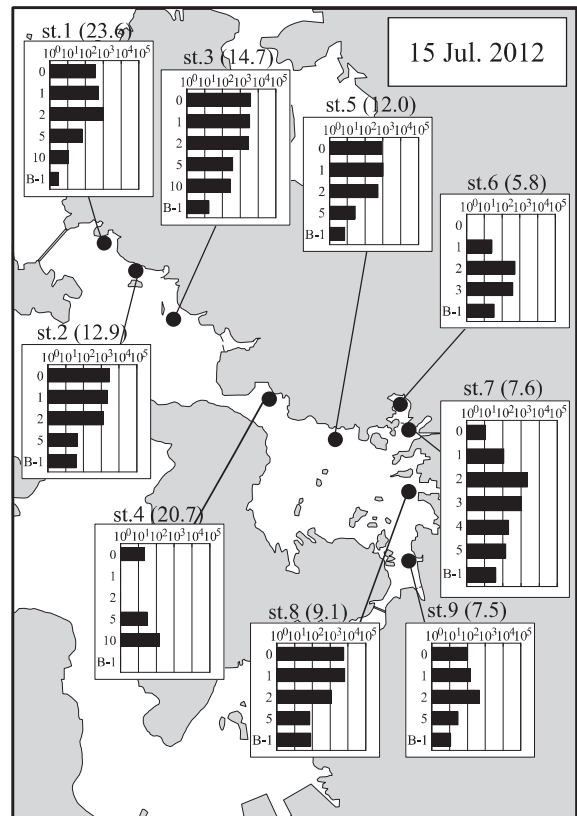
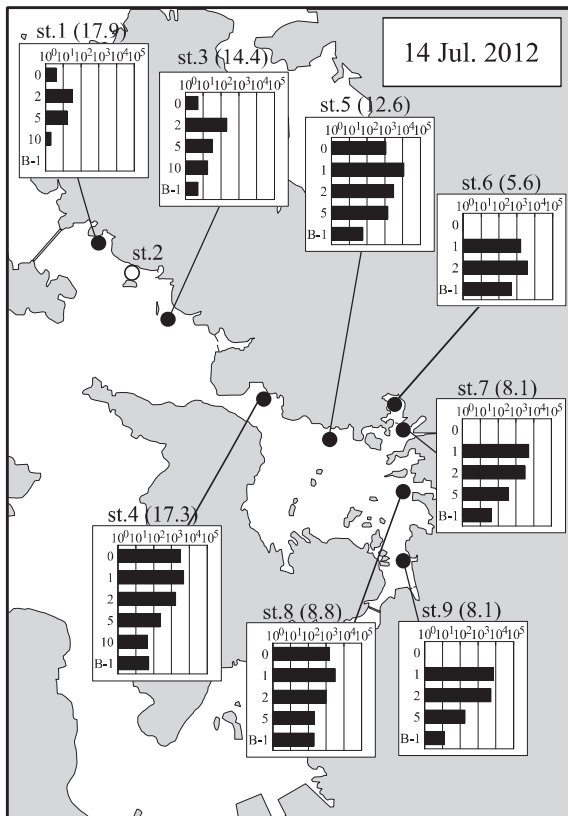
- peroxide by the red tide dinoflagellate *Karenia mikimotoi*. J. Biosci. Bioeng., **97**, 212-215.
- 33) Gentien, P., Lunven, M., Lazure, P., Youenou, A., Crassous, M. P. (2007): Motility and autotoxicity in *Karenia mikimotoi* (Dinophyceae). Philos. Trans. Roy. Soc. B **362**, 1937-1946.
- 34) Sellem, F., Pesando, D., Bodennec, G., Abed, A.E., Girard, J. P. (2000): Toxic effects of *Gymnodinium* cf. *mikimotoi* unsaturated fatty acids to gametes and embryos of the sea urchin *Paracentrotus lividus*. Water Res., **34**, 550-556.
- 35) Y. Matsuyama, Y. Koizumi and T. Uchida (1998): Effect of Harmful Phytoplankton on the Survival of the Abalones, *Haliotis discus* and *Sulculus diversicolor*. Bull. Nansei Natl. Fish. Res. Inst., **31**, 19-24.
- 36) Y. Zou, Y. Yamasaki, Y. Matsuyama, K. Yamaguchi, T. Honjo, and T. Oda (2010): Possible involvement of hemolytic activity in the contact-dependent lethal effects of the dinoflagellate *Karenia mikimotoi* on the rotifer *Brachionus plicatilis*. Harmful Algae, **9**, 367-373.
- 37) Mitchell, S., Rodger, H. (2007): Pathology of wild and cultured fish affected by a *Karenia mikimotoi* bloom in Ireland, 2005. Bull. Eur. Ass. Fish Pathol., **27**, 39-42.
- 38) 田森裕茂・岩男 昂・神菌真人・吉田幹英・池田武彦・馬場俊典・小泉喜嗣・内間満明・三浦秀夫・矢沼 隆 (1991): 西部瀬戸内海における *Gymnodinium nagasakiense* の初期出現域とその環境特性. 日本水産学会誌, **57**(12), 2179-2186.
- 39) 江藤拓也・依積田貴彦 (2008): 2006年夏季に周防灘西部海域で発生した *Karenia mikimotoi* 赤潮. 福岡水海技セ研報, **18**, 107-112.
- 40) 飯塚昭二 (1972): 大村湾における *Gymnodinium* '65年型種赤潮の発生機構. 日本プランクトン学会報, **19**(1), 22-33.
- 41) 山口県水産研究センター・宮崎県水産試験場・愛媛県農林水産研究所水産研究センター (2009): 平成20年度漁場環境・生物多様性保全総合対策委託事業報告書 (活性酸素消去剤等による魚類へい死防止対策・豊後水道周辺漁場モニタリング). 1-7.
- 42) 宮村和良 (2011): ミニシンポジウム記録 沿岸域における有害有毒プランクトンの発生メカニズムと予知 4. 豊後水道における *Karenia mikimotoi* 赤潮. 日本水産学会誌, **77**(3), 442.



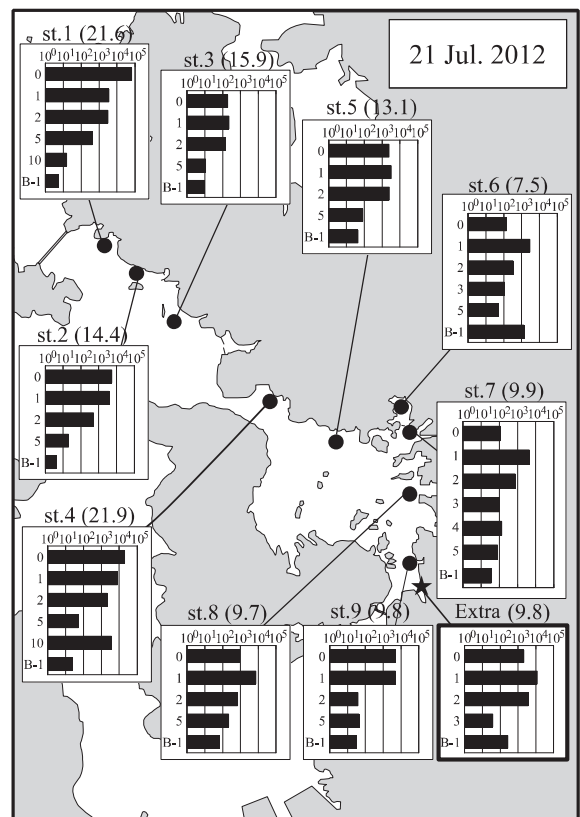
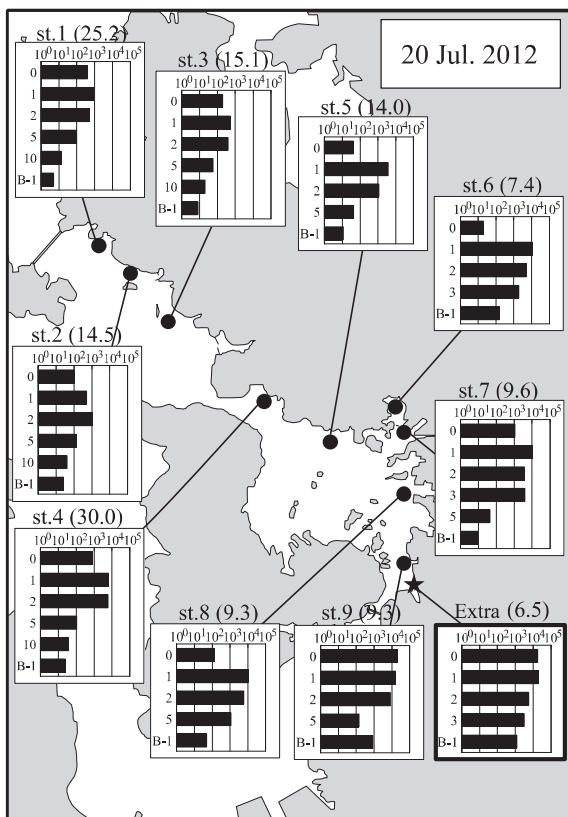
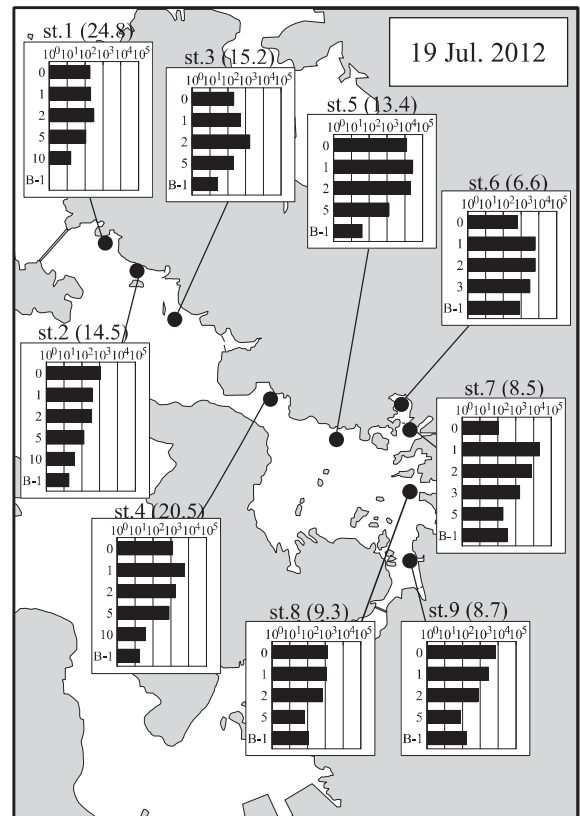
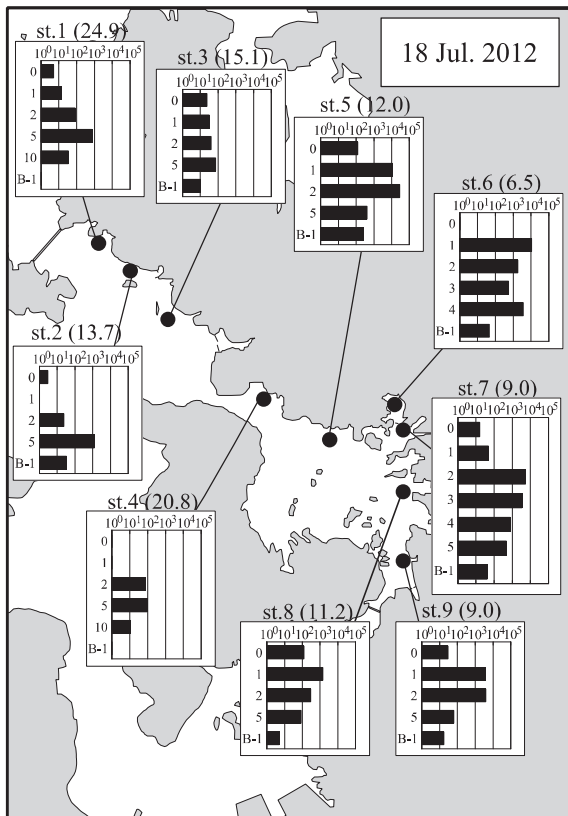
付図1-1) 伊万里湾の調査点における調査水深ごとの *Karenia mikimotoi* の細胞密度 (cells +1/mL) の推移
 図中の () は調査時の水深 (m), ●は調査点, ○は未調査, ★は臨時調査点を示す。



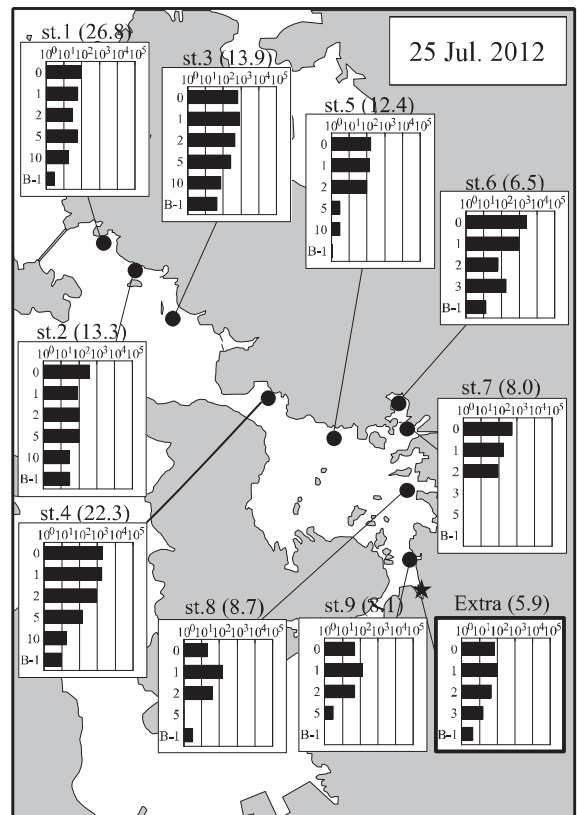
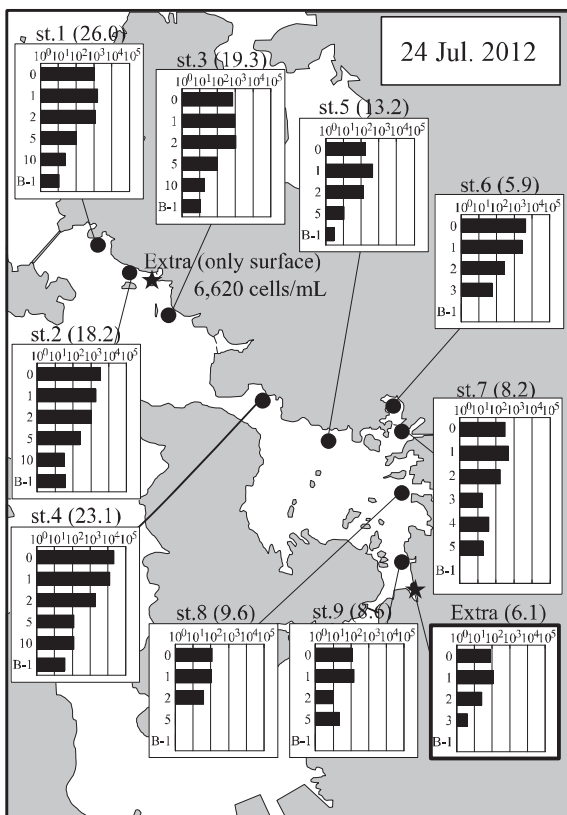
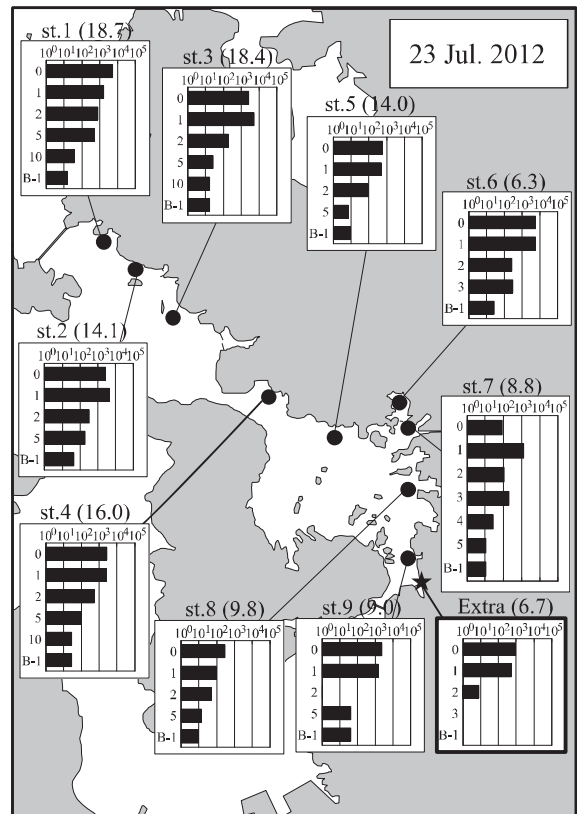
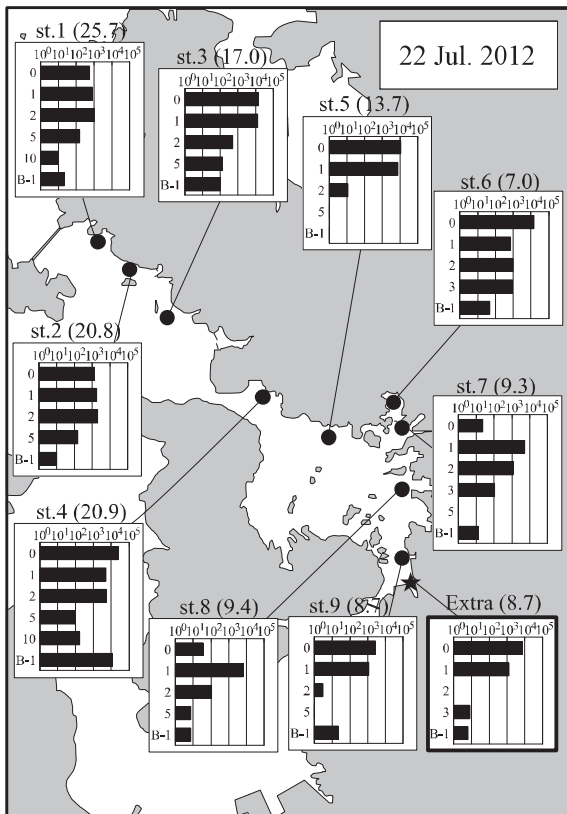
付図1-(2) 伊万里湾の調査点における調査水深ごとの *Karenia mikimotoi* の細胞密度 (cells +1/mL) の推移
 図中の () は調査時の水深 (m), ●は調査点, ○は未調査, ★は臨時調査点を示す。



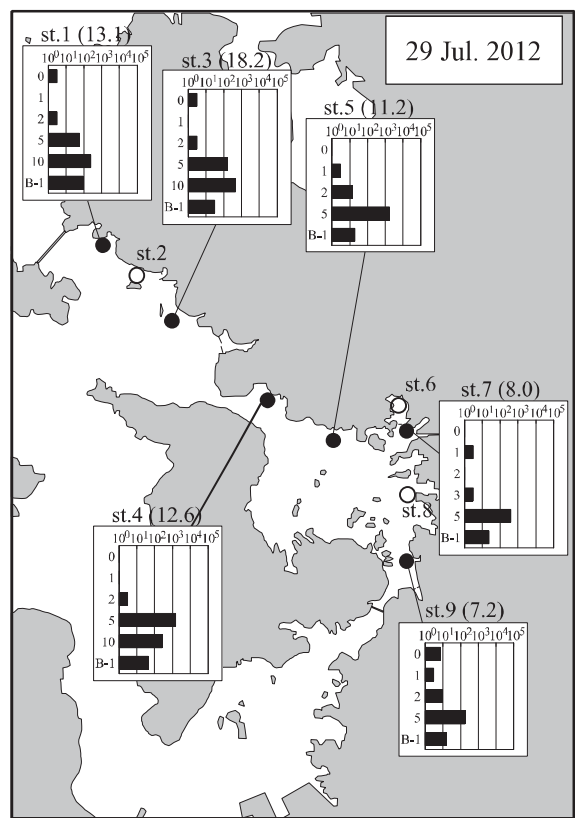
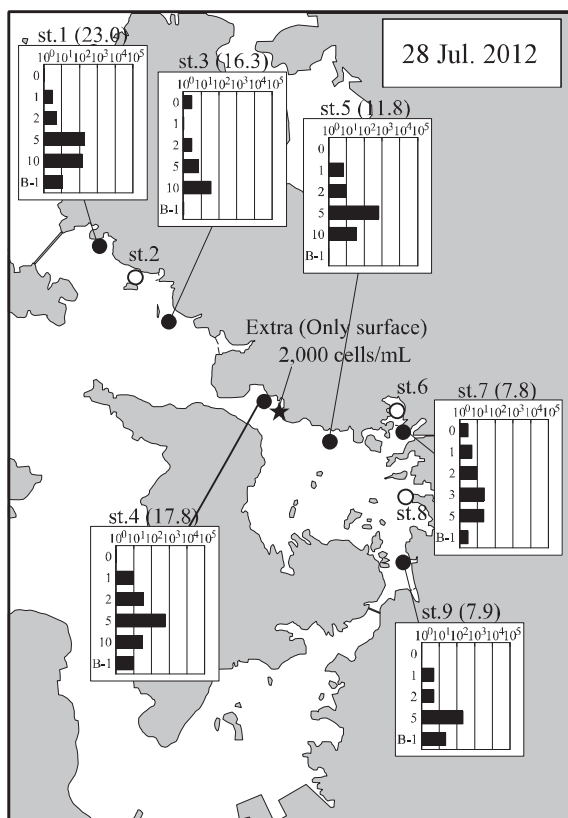
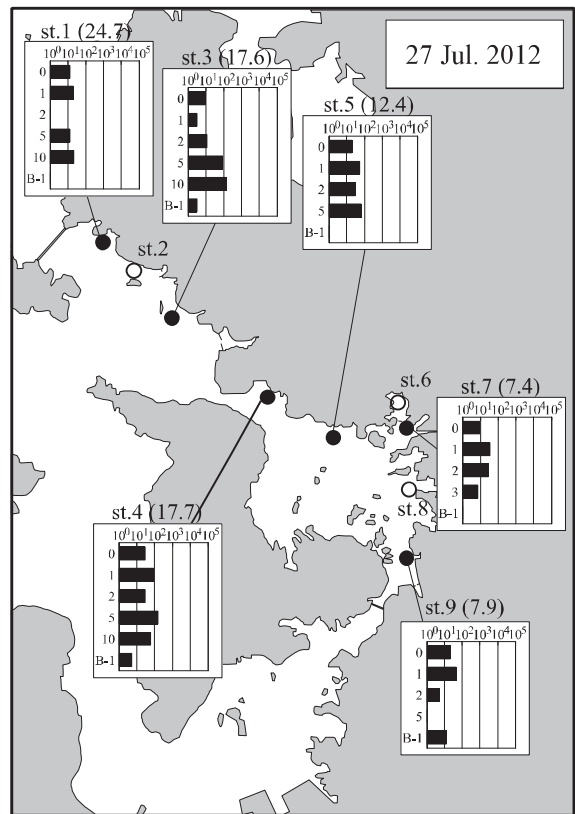
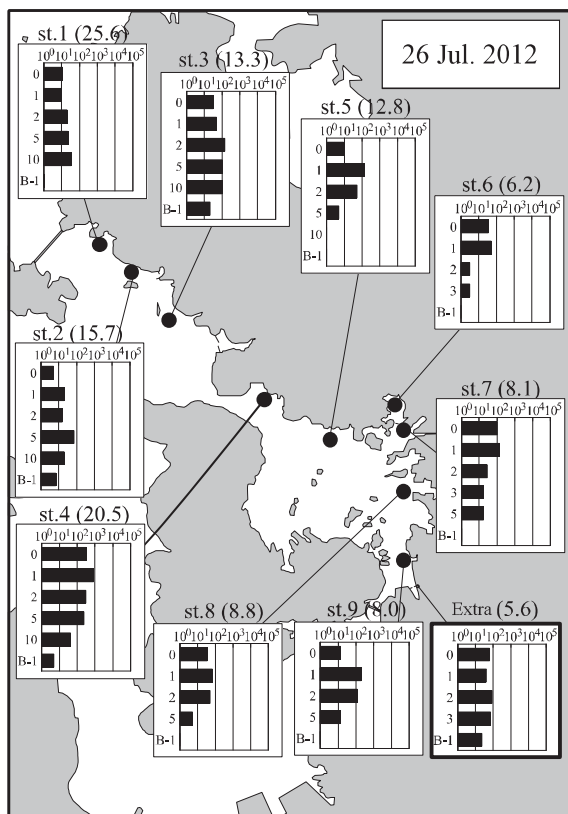
付図1-(3) 伊万里湾の調査点における調査水深ごとの *Karenia mikimotoi* の細胞密度 (cells +1/mL) の推移
 図中の () は調査時の水深 (m), ●は調査点, ○は未調査, ★は臨時調査点を示す。



図付1-(4) 伊万里湾の調査点における調査水深ごとの *Karenia mikimotoi* の細胞密度 (cells +1/mL) の推移
 図中の () は調査時の水深 (m), ●は調査点, ○は未調査, ★は臨時調査点を示す。



付図1-(5) 伊万里湾の調査点における調査水深ごとの *Karenia mikimotoi* の細胞密度 (cells +1/mL) の推移
 図中の () は調査時の水深 (m), ●は調査点, ○は未調査, ★は臨時調査点を示す。



付図1-(6) 伊万里湾の調査点における調査水深ごとの *Karenia mikimotoi* の細胞密度 (cells +1/mL) の推移
 図中の () は調査時の水深 (m), ●は調査点, ○は未調査, ★は臨時調査点を示す。

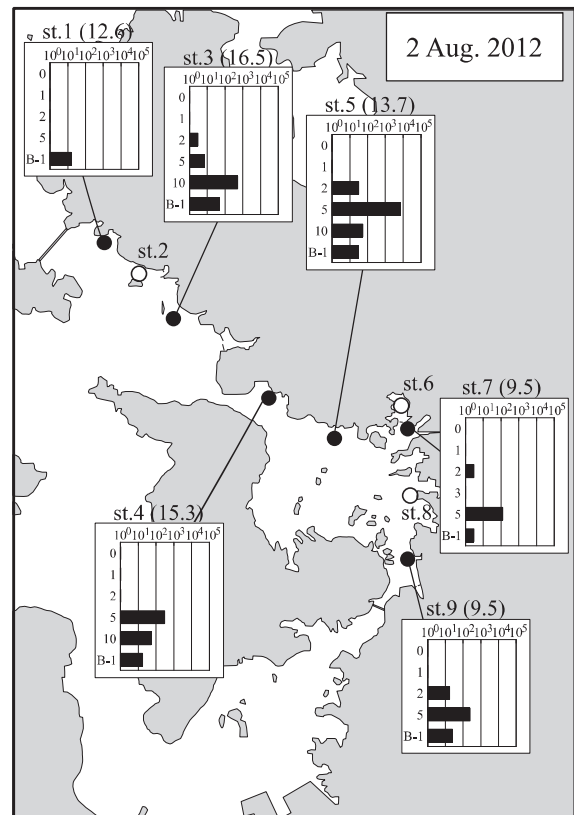
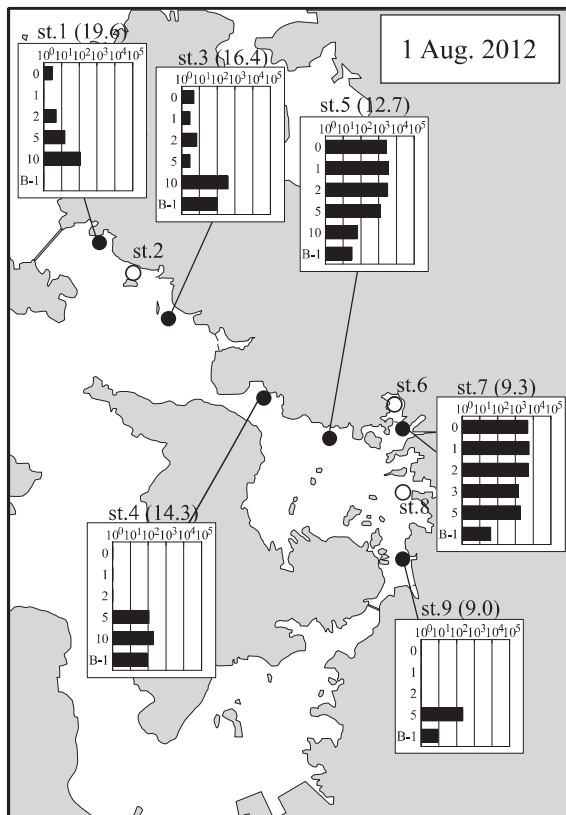
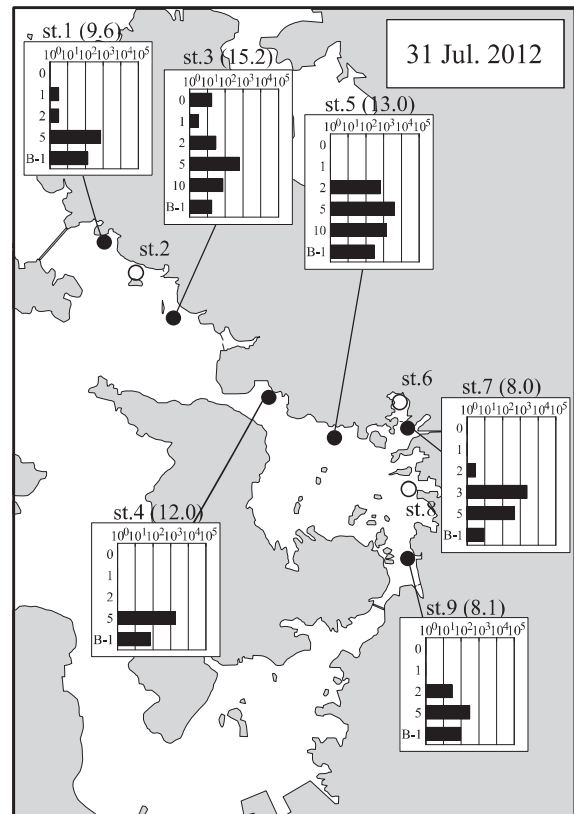
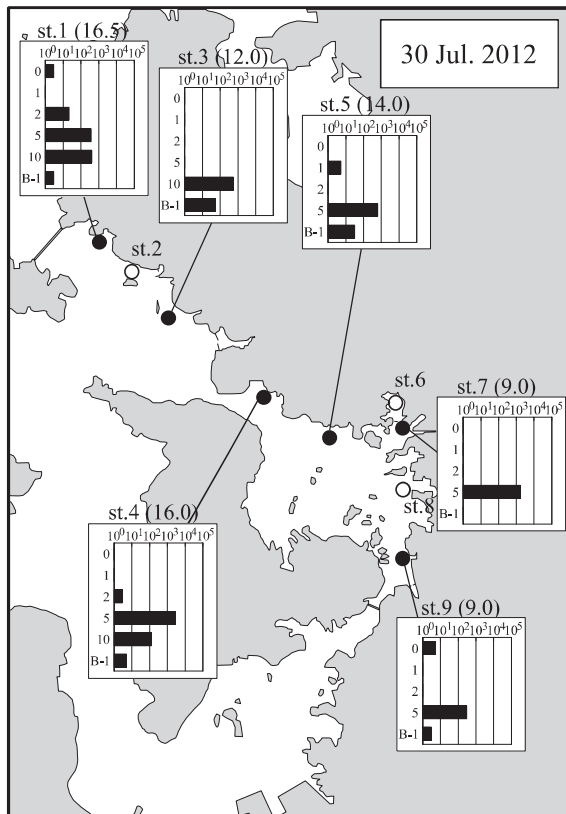
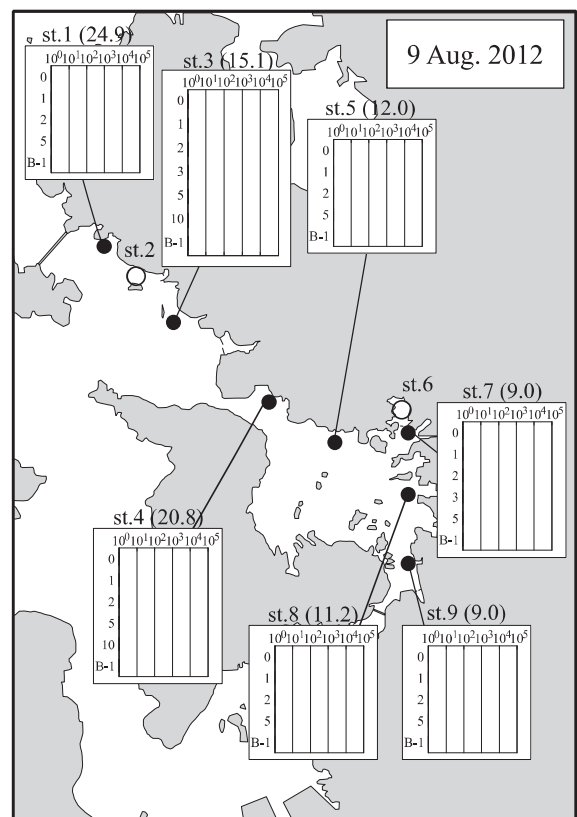
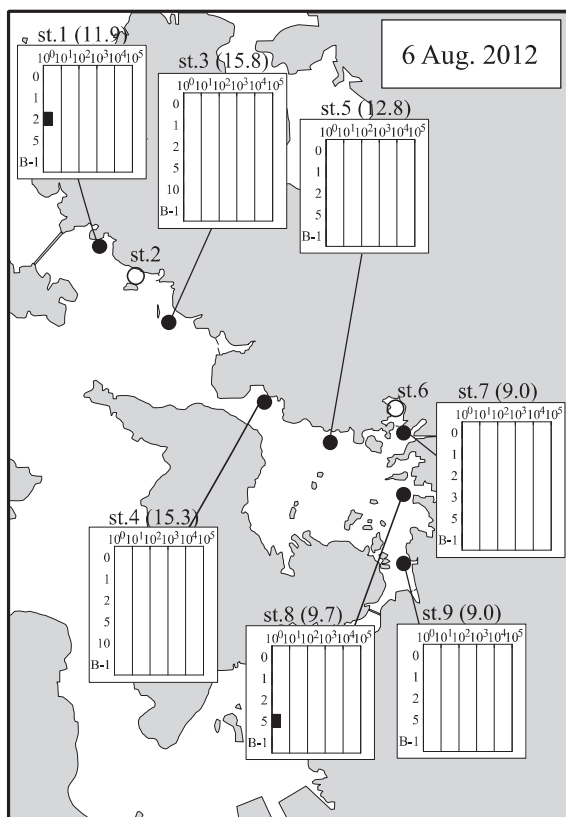
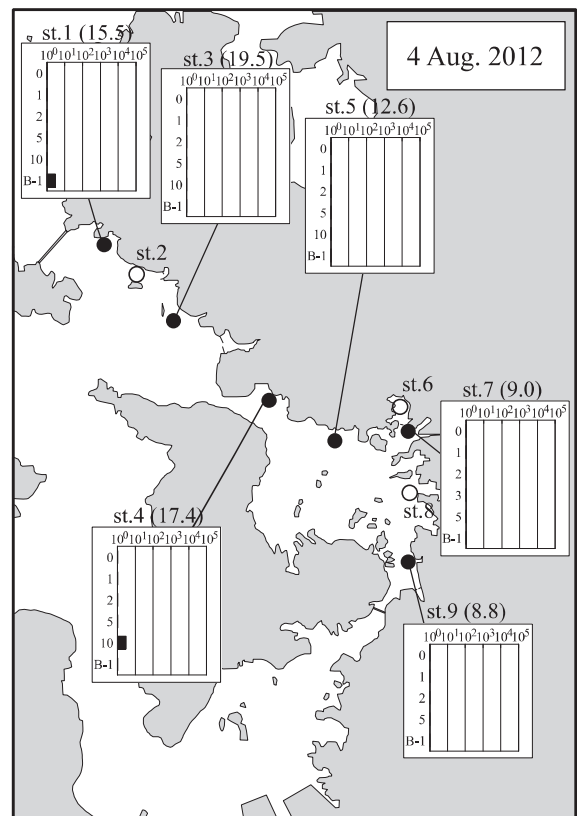
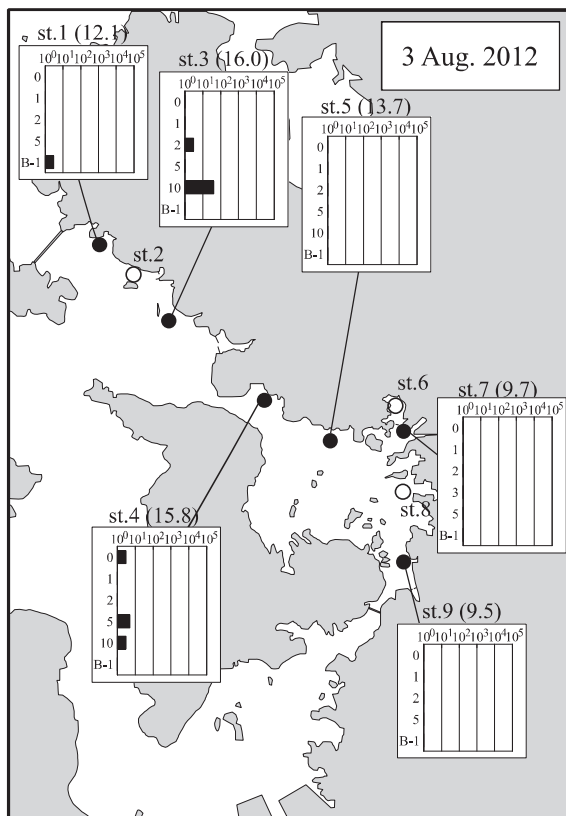
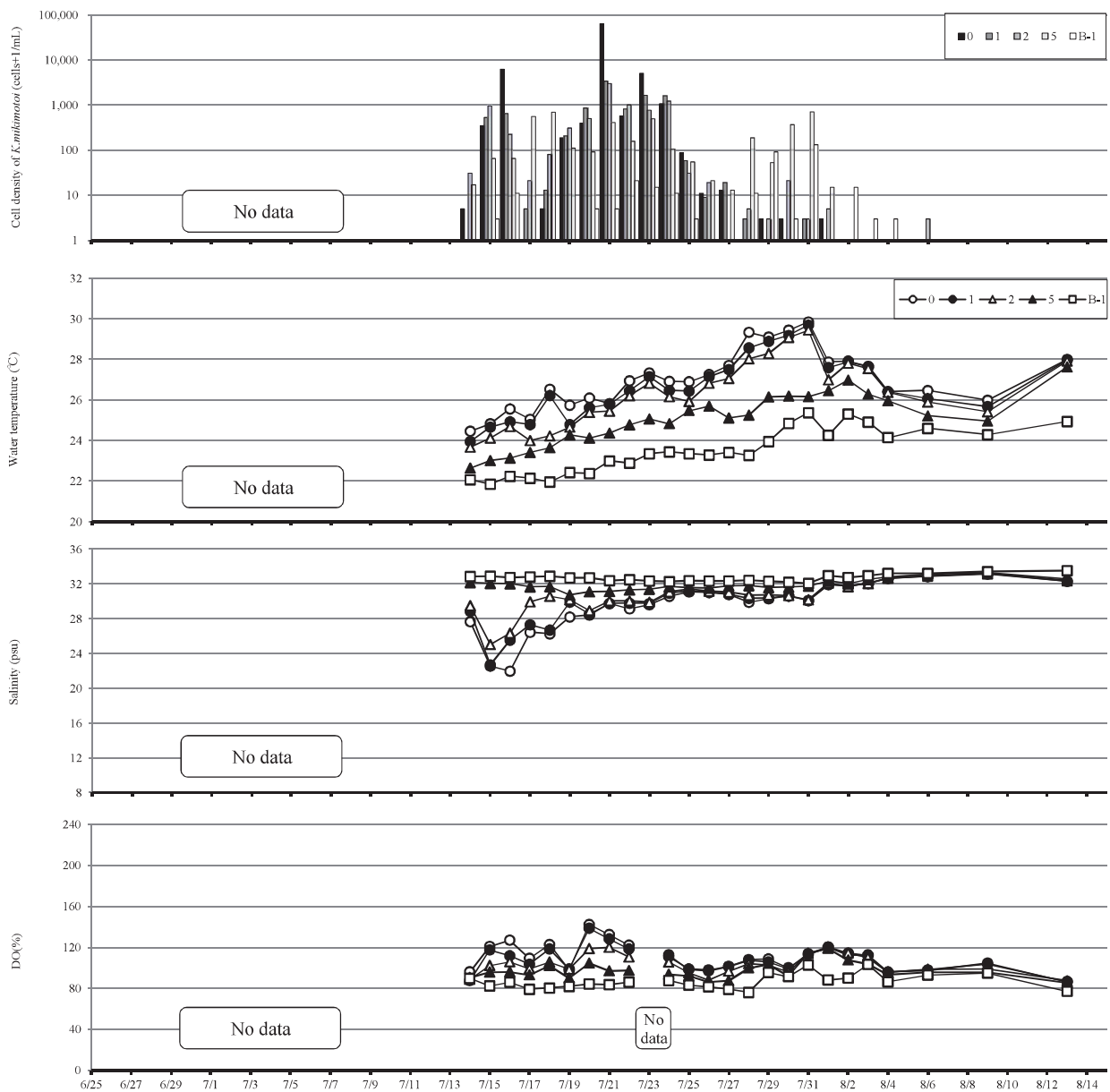


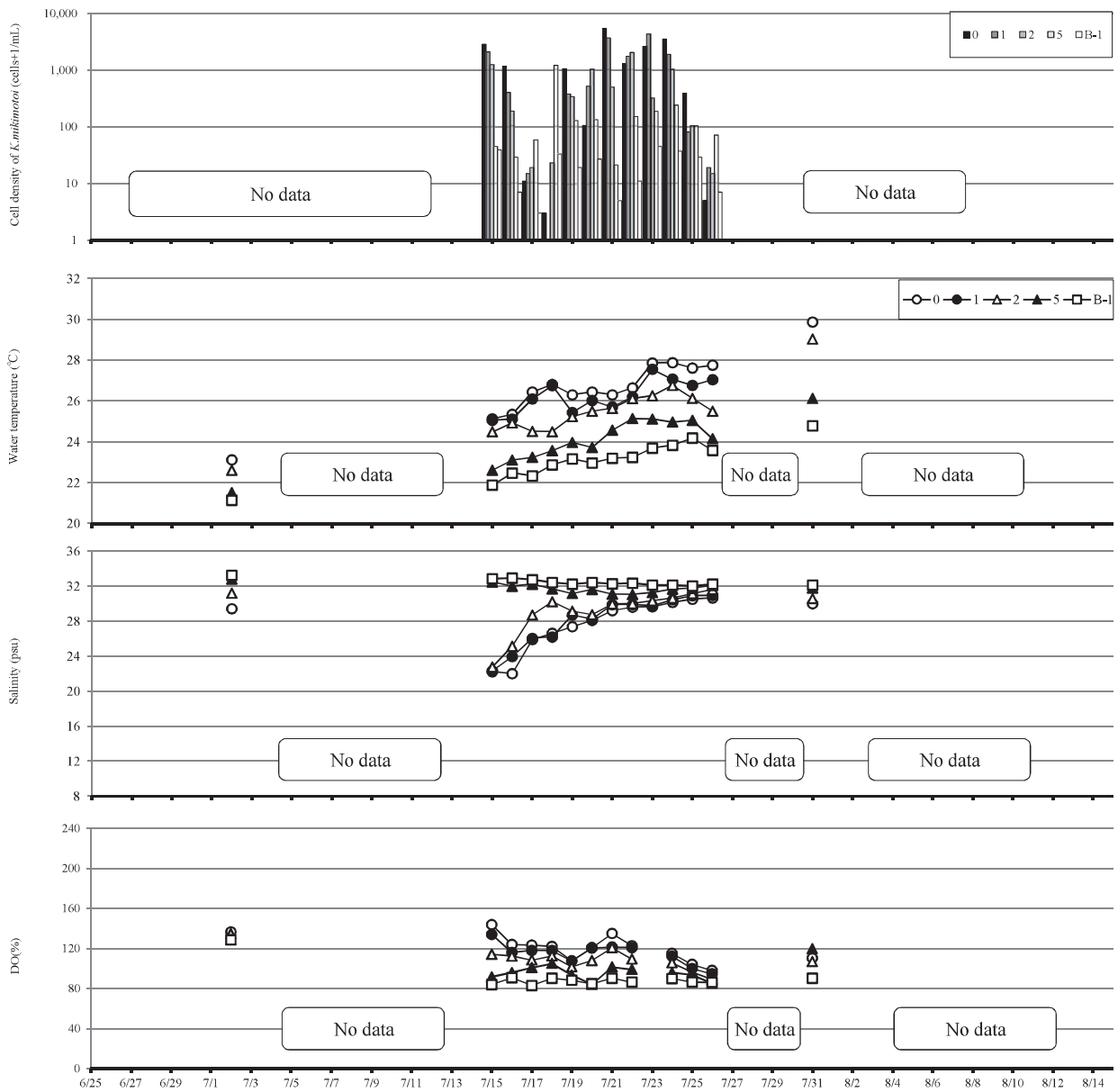
図1-7) 伊万里湾の調査点における調査水深ごとの *Karenia mikimotoi* の細胞密度 (cells +1/mL) の推移
 図中の () は調査時の水深 (m), ●は調査点, ○は未調査, ★は臨時調査点を示す。



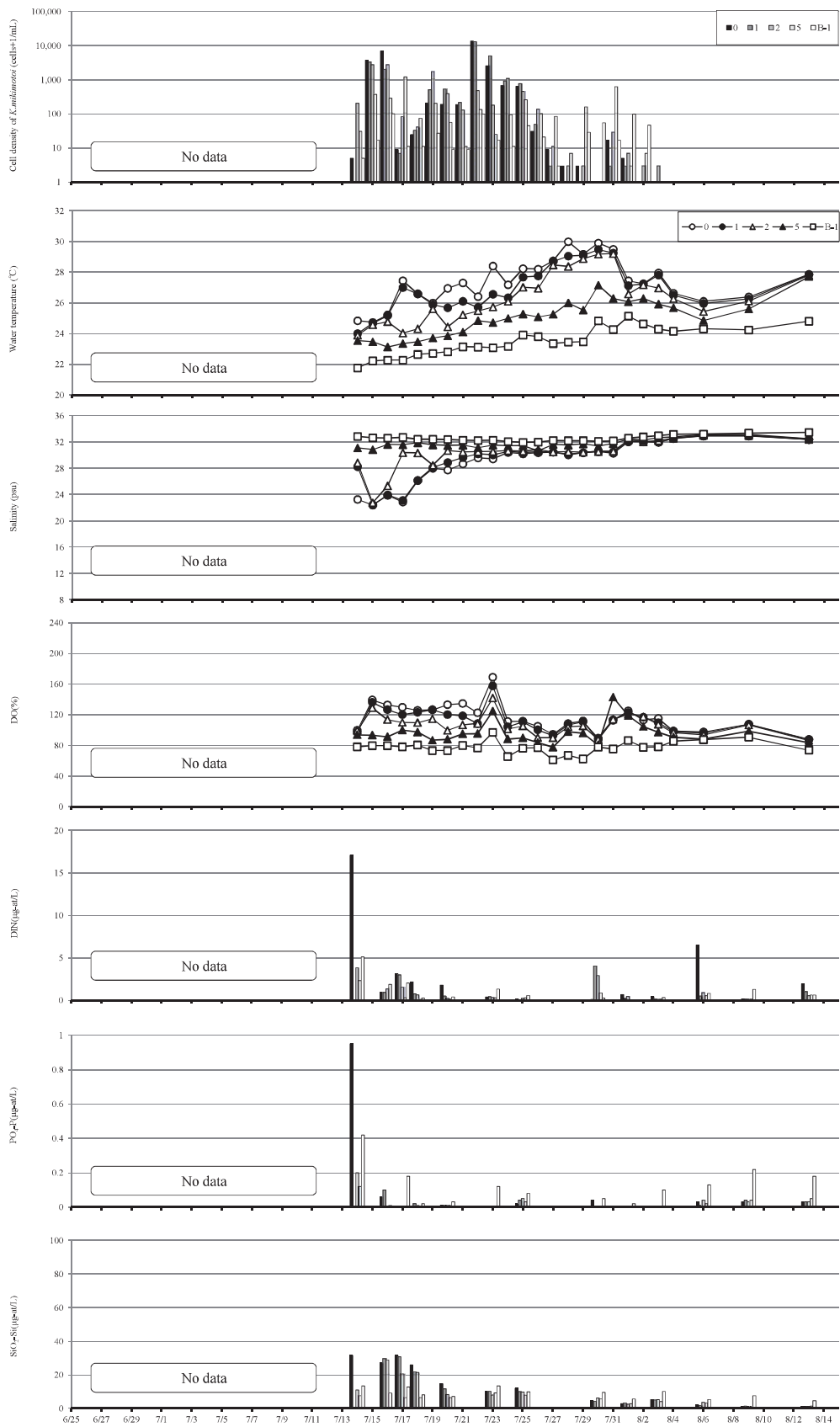
図付 1-(8) 伊万里湾の調査点における調査水深ごとの *Karenia mikimotoi* の細胞密度 (cells +1/mL) の推移
 図中の () は調査時の水深 (m), ●は調査点, ○は未調査, ★は臨時調査点を示す。



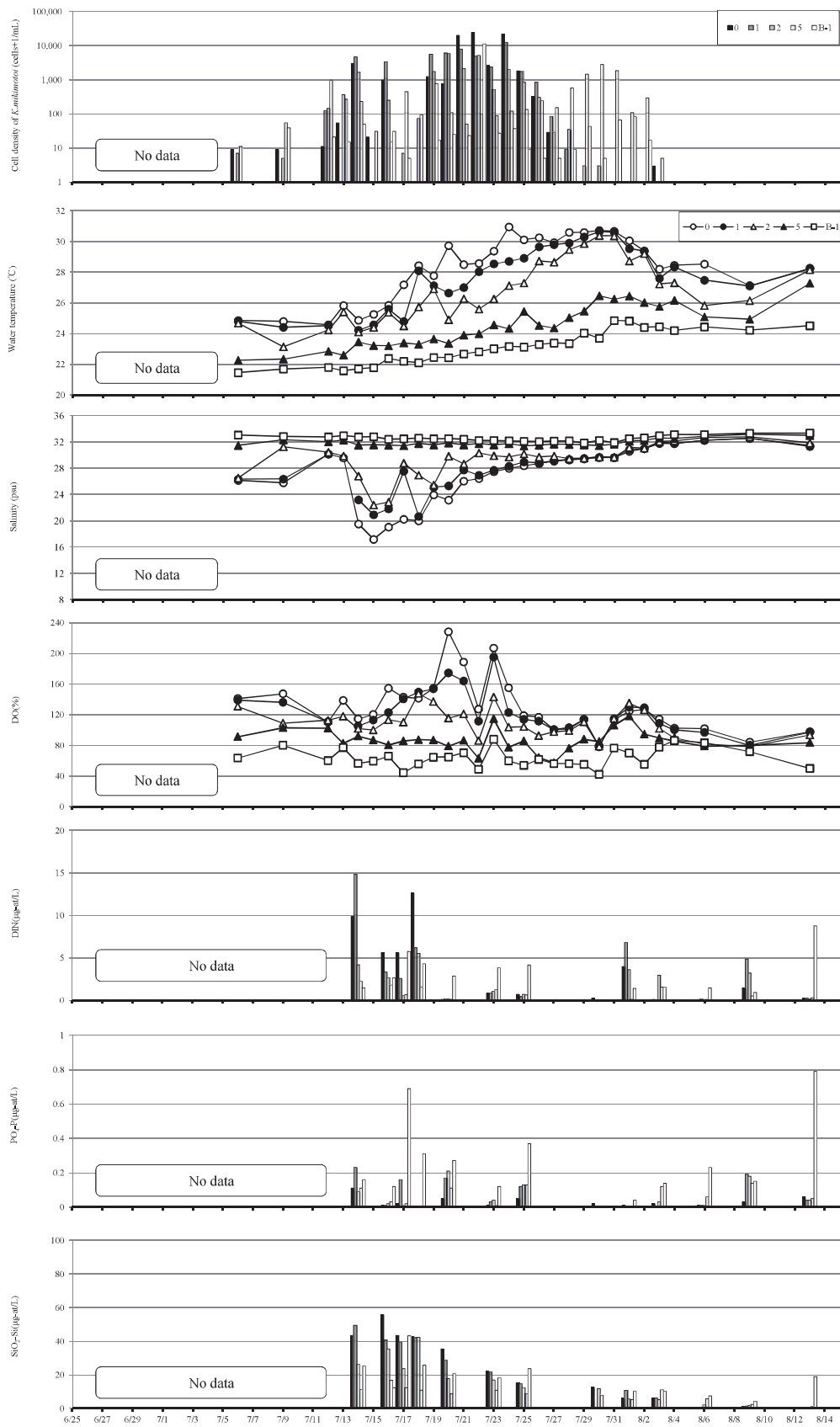
付図2-(1) 伊万里湾 St.1 における *Karenia mikimotoi* 細胞密度, 水質の推移



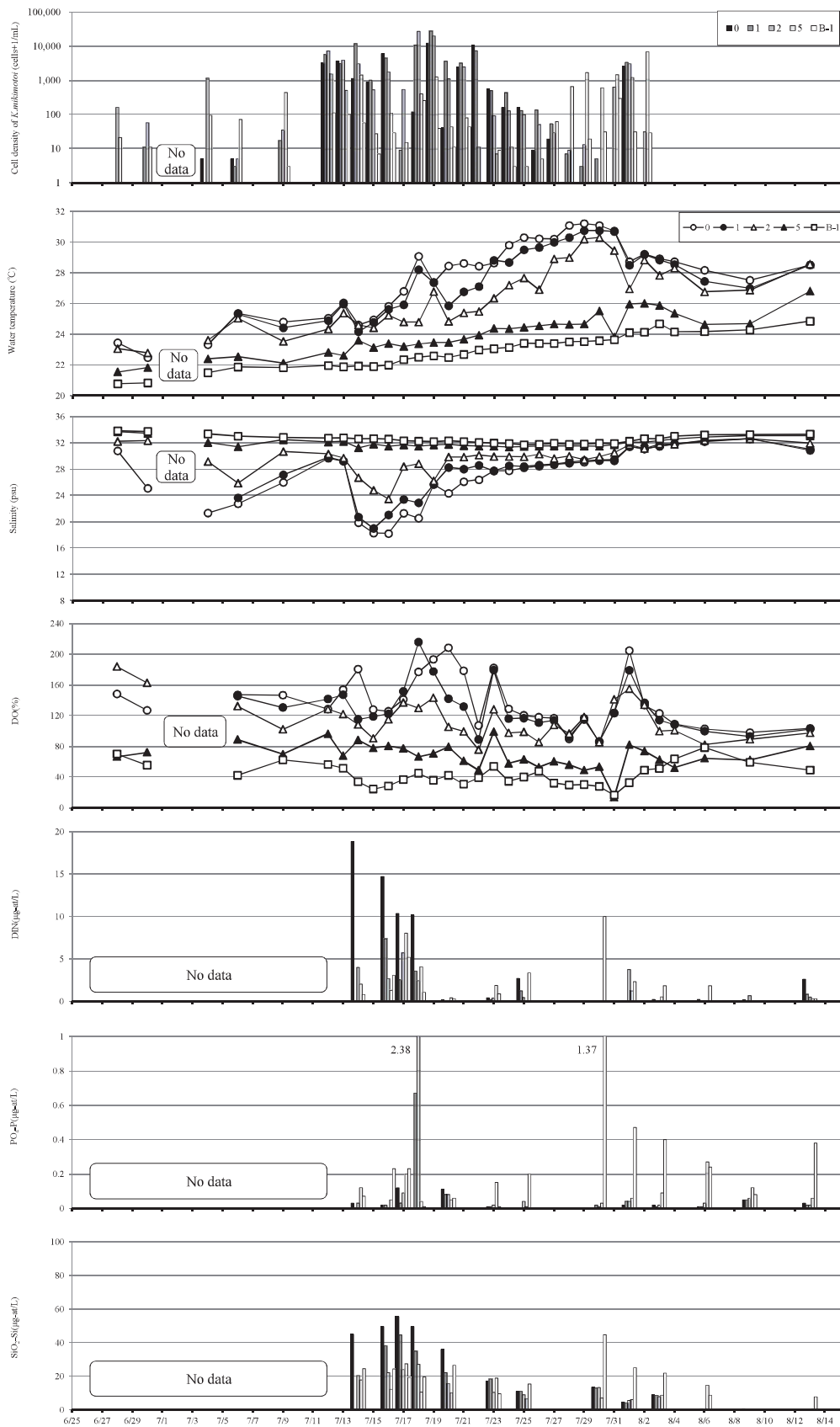
付図2-(2) 伊万里湾 St.2における *Karenia mikimotoi* 細胞密度, 水質の推移



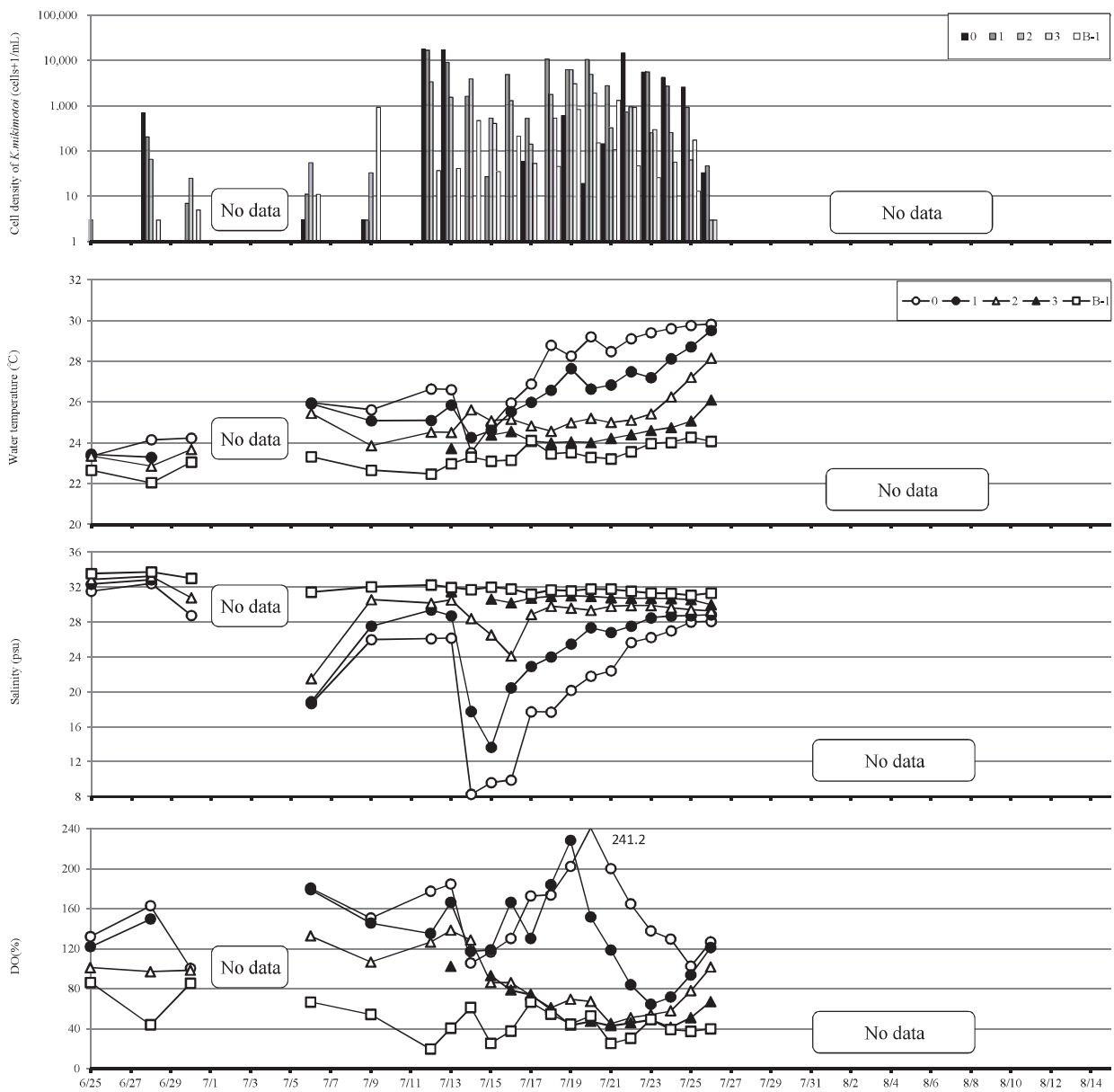
付図2-(3) 伊万里湾 St.3における *Karenia mikimotoi* 細胞密度, 水質の推移



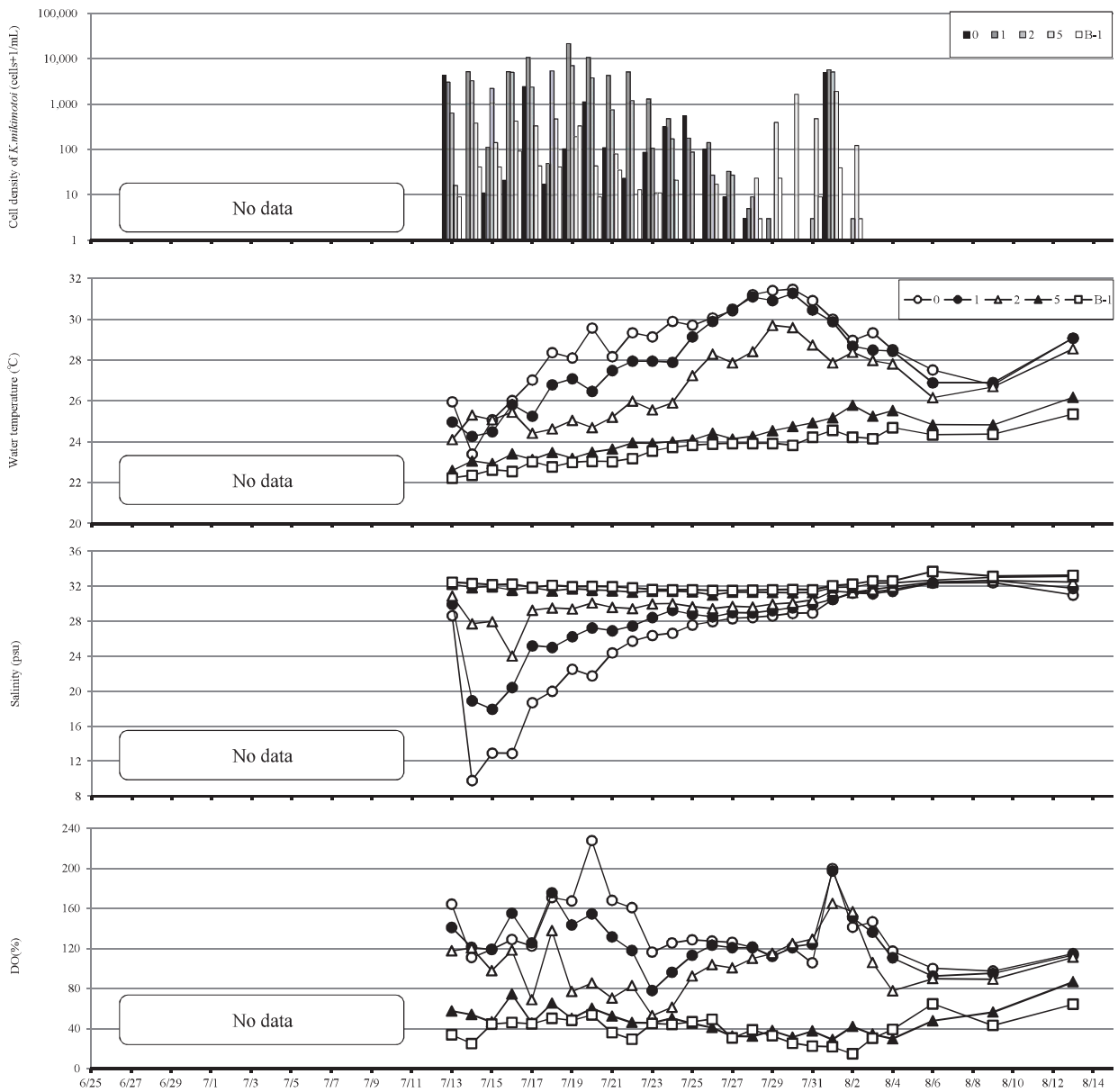
付図2-(4) 伊万里湾 St.4における *Karenia mikimotoi* 細胞密度, 水質の推移



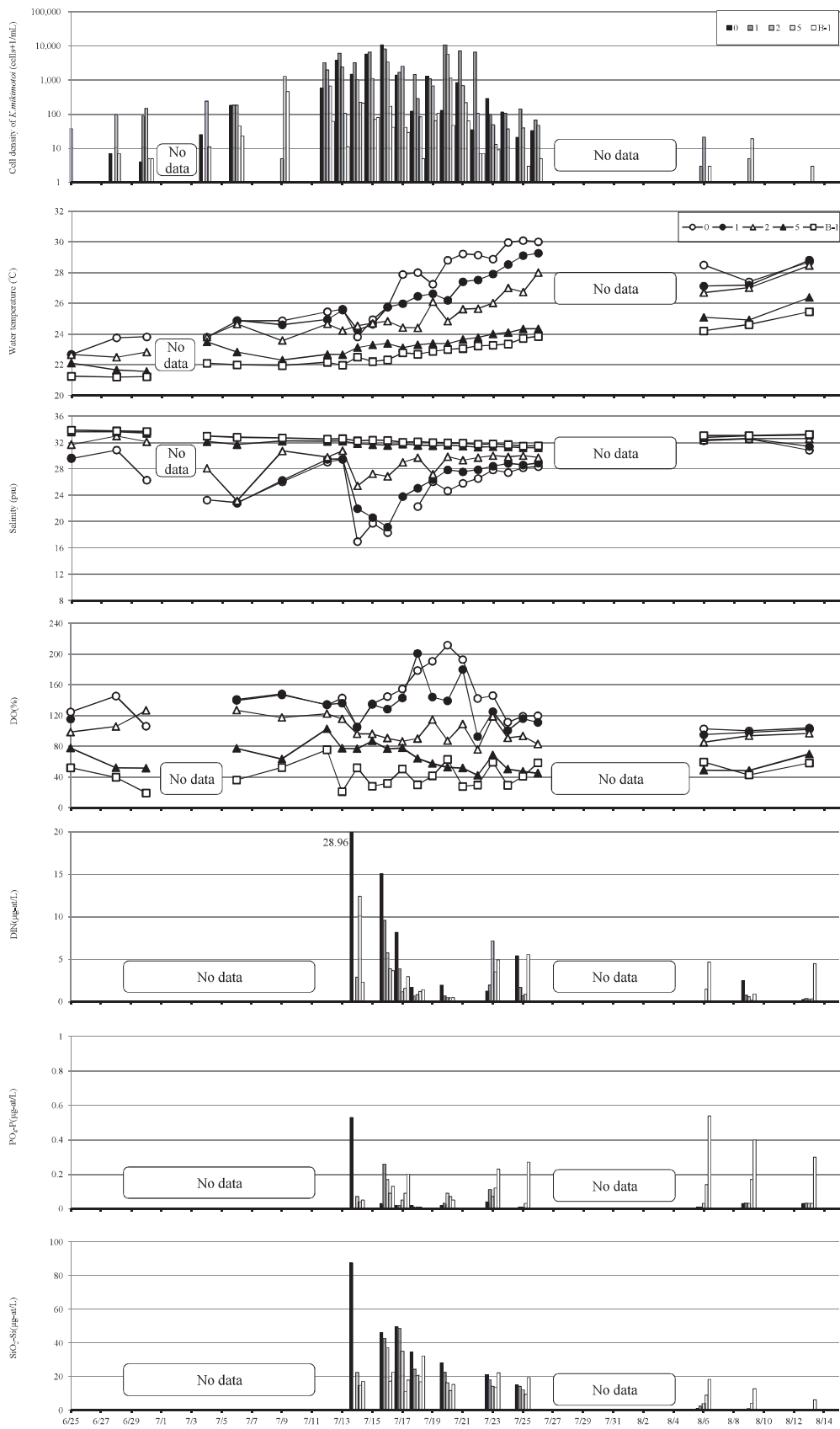
付図2-(5) 伊万里湾 St.5 における *Karenia mikimotoi* 細胞密度, 水質の推移



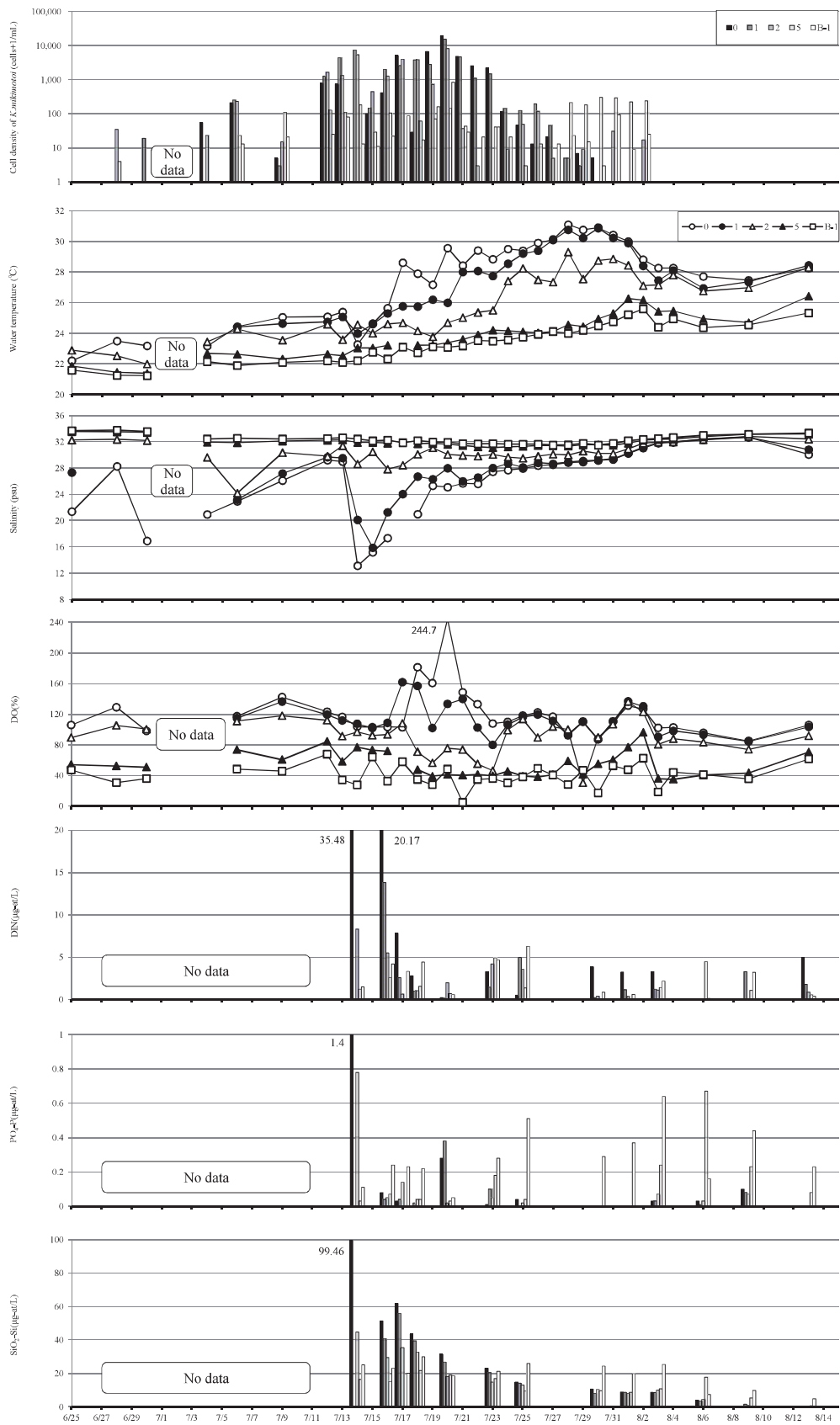
付図2-(6) 伊万里湾 St.6 における *Karenia mikimotoi* 細胞密度, 水質の推移



付図2-(7) 伊万里湾 St.7における *Karenia mikimotoi* 細胞密度, 水質の推移



付図2-(8) 伊万里湾 St.8における *Karenia mikimotoi* 細胞密度, 水質の推移



付図2-(9) 伊万里湾 St.9における *Karenia mikimotoi* 細胞密度, 水質の推移