

「有明海の再生に向けた新たな取組」

環境変化の仕組みの  
更なる解明のための調査

—調査結果のまとめ—

平成20年12月

九州農政局

# 目 次

## I. 調査結果のまとめの基本方針

## II. 調査結果のまとめ

1. 貧酸素現象調査・・・・・・・・・・・・・・・・・・1-1
  - (1) 調査の目的
  - (2) 調査の実施状況
  - (3) 調査結果
  - (4) その他の調査結果
  - (5) まとめ
2. 赤潮調査・・・・・・・・・・・・・・・・・・2-1
  - (1) 調査の目的
  - (2) 調査の実施状況
  - (3) 調査結果
  - (4) まとめ
3. 底質環境調査・・・・・・・・・・・・・・・・・・3-1
  - (1) 調査の目的
  - (2) 調査の実施状況
  - (3) 調査結果
  - (4) まとめ
4. 二枚貝類等生息環境調査・・・・・・・・・・・・・・・・4-1
  - (1) 調査の目的
  - (2) 調査の実施状況
  - (3) 調査結果
  - (4) まとめ
5. 水質調査
  - 5-1 調整池排水拡散調査・・・・・・・・・・・・・・・・5-1-1
    - (1) 調査の目的
    - (2) 調査の実施状況
    - (3) 調査結果
    - (4) その他の調査結果
    - (5) まとめ
  - 5-2 干潟水質浄化機能調査・・・・・・・・・・・・・・・・5-2-1
    - (1) 調査の目的
    - (2) 調査の実施状況
    - (3) 調査結果
    - (4) まとめ
6. 潮流調査・・・・・・・・・・・・・・・・・・6-1
  - (1) 調査の目的
  - (2) 調査の実施状況
  - (3) 調査結果
  - (4) まとめ

# I. 調査結果のまとめの基本方針

## I. 調査結果のまとめの基本方針

本調査は、有明海の環境変化の仕組みの更なる解明のため平成16年度より取り組んでいるところであるが、本調査以外の他の調査結果等も踏まえ、学識経験者等の助言・指導を得ながら、平成19年度までの調査結果のとりまとめを行うものである。

各調査項目別のとりまとめ基本方針は次のとおりである。

### 1. 貧酸素現象調査

貧酸素水塊の発生と淡水の流入状況や気象・海象などとの関係を明らかにする。

### 2. 赤潮調査

赤潮の発生海域や拡大状況の実態を明らかにする。

### 3. 底質環境調査

底質等の変化状況等から、底質環境の変化を把握する。また、改善対策の検討に資するため底質特性格別海域区分図を作成する。

### 4. 二枚貝類等生息環境調査

ナルトビエイが二枚貝類へ与える食害の影響を把握する。

### 5. 水質調査

#### 5-1 調整池排水拡散調査

調整池排水の拡散の状況を把握する。

#### 5-2 干潟水質浄化機能調査

有明海における泥質干潟の水質浄化機能について把握する。

### 6. 潮流調査

潮流変化の状況や要因を明らかにする。

## II. 調査結果のまとめ

## 1. 貧酸素現象調査

### (1) 調査の目的

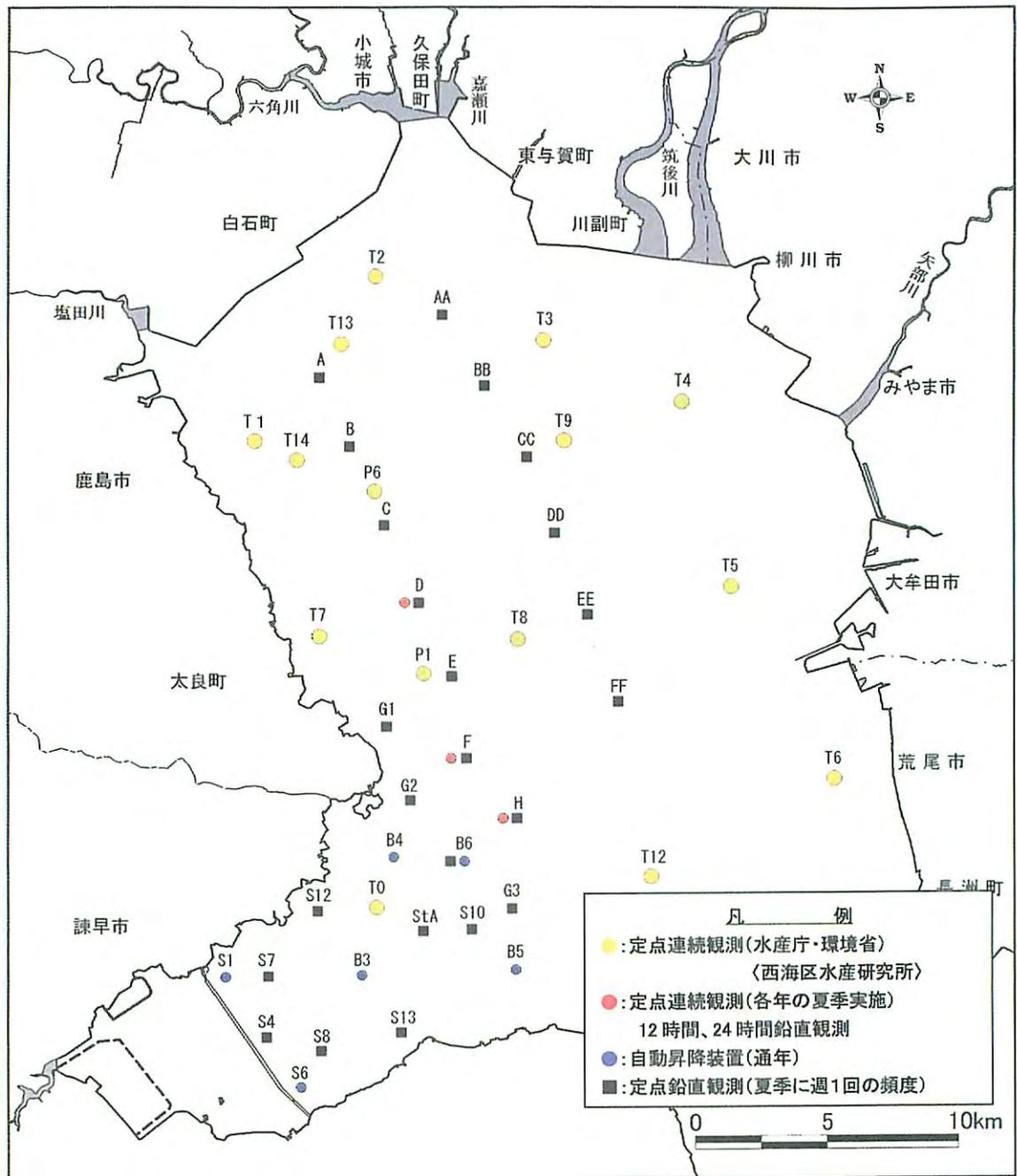
本調査は、諫早湾を含む有明海において、夏季に形成される貧酸素水塊の発生と淡水の流入状況や気象・海象などとの関係を明らかにすることを目的に行った。

### (2) 調査の実施状況

九州農政局では、2004年度から2007年度にかけて、諫早湾と有明海湾奥において、塩分濃度・流速・溶存酸素濃度（DO）などの定点連続観測、定点鉛直観測、12時間・24時間鉛直観測のほか、諫早湾においては2002年6月以降、自動昇降式観測装置（以下、自動昇降装置という）による毎正時の鉛直観測を実施した。

これらの調査の実施状況は、表1-1のとおりであり、観測地点は図1-1のとおりである。

また、有明海湾奥部において、水産庁と環境省の委託等により（独）水産総合研究センター西海区水産研究所では、2004年度から2007年度にかけて、主に底層の溶存酸素濃度の連続測定を行った。観測地点は図1-1のとおりである。



※1：水産庁・環境省調査は、2006年の観測でT5、T6、T12、T0の4地点、2007年の観測でT5、T6、T7、T8、T9、T12、T0の7地点を調査対象から除外し、2007年の観測でT13の地点を新設している。

※2 連続観測地点の海域特性に応じた区分は以下のとおり。

地点	水深(m)		東側			西側			諫早湾	有明海中央部	地点	水深(m)		東側			西側			諫早湾	有明海中央部
	平均	最小～最大	沿岸部	沿岸部	水道部	沿岸部	沿岸部	水道部				平均	最小～最大	沿岸部	沿岸部	水道部	沿岸部	沿岸部	水道部		
T0	7.7	4.8 ~ 10.3							○		P1	23.1	19.9 ~ 26.2								
T1	2.9	0.0 ~ 5.5		○							P6	12.6	9.7 ~ 15.2								
T2	2.7	0.0 ~ 5.3		○							D	17.5	15.1 ~ 19.0								
T3	3.3	0.1 ~ 6.1	○								F	22.2	19.8 ~ 24.2								
T4	3.3	0.2 ~ 5.8	○								H	22.5	20.2 ~ 23.7								
T5	9.4	6.4 ~ 12.0	○								S1	3.6	0.9 ~ 6.6							○	
T6	4.5	1.6 ~ 7.1							○		S6	3.7	0.9 ~ 6.6							○	
T7	4.7	1.8 ~ 7.4		○							B3	8.3	5.1 ~ 11.1							○	
T8	11.6	8.4 ~ 14.2			○						B4	8.0	5.0 ~ 10.6							○	
T9	4.5	1.4 ~ 7.1	○								B5	13.4	10.7 ~ 16.1							○	
T12	23.2	20.0 ~ 26.8							○		B6	14.1	11.2 ~ 17.1							○	
T14	5.0	2.0 ~ 7.0		○																	

注) 水色は平均水深が5m未満、黄色は5～10mの地点を示す。  
注) D、F、H地点の平均水深は、定点鉛直観測時の観測水深を平均したものを示す。

図1-1 九州農政局と水産庁・環境省による貧酸素調査地点

表 1-1 九州農政局による貧酸素調査の実施状況

項目	2004年(平成16年度)	2005年(平成17年度)	2006年(平成18年度)	2007年(平成19年度)		
定点連続観測	観測地点	2地点(D, F)			3地点(D,F,H)	
	観測期間	7/12~9/16	D:7/14~9/30 F: 6/6 ~ 9/30	D:7/1~9/30 F: 7/11~ 9/30	D:7/20~9/30 F: 7/3 ~ 9/30 H: 7/3~9/30	
	観測間隔	10分間隔				
	観測層	2層(-1.0m, B+1.0m)	2層(-1.0m, B+0.2m)			
	観測項目	表層:水温, 塩分, 濁度, 流向・流速, DO(2004年のみ DOは未測定) 底層:水温, 塩分, 濁度, 流向・流速, DO				
定点鉛直観測	観測地点	有明海:12地点(A~F, AA~FF) 諫早湾:7地点(S4,S7,S8,S10,S12,S13,StA)		有明海14地点 (G1,G2,H地点の追加) 諫早湾 9地点 (G3,B6地点の追加)		
	観測期間	7/15~9/16(全15回)	6/6~9/26(全21回)	6/1~9/28(全24回)	6/6~9/26(全24回)	
	観測間隔	毎週1回(満潮時)				
	観測頻度	週1回の頻度で満潮時に実施。かつ、塩分躍層や貧酸素形成時には4日連続で満潮時と干潮時の観測				
	観測層と観測項目	多項目水質計(クロテック:アレック電子社製)を用い、海面から海底までの水質(水温、塩分、濁度、DO、クロロフィル蛍光強度)を0.5m間隔で測定。				
12・24時間鉛直	観測地点	2地点(D, F)			3地点(D,F,H)	
	観測日	24H	7/29~7/30(中潮)	7/21~7/22(大潮)	8/31~9/1(小潮)	8/24~8/25(中潮)
		12H	大潮:7/16 中潮:7/21 小潮:7/26	大潮:8/4 中潮:7/26 小潮:7/30	大潮:8/25 中潮:8/28 小潮:9/1	実施せず
	観測間隔	30分間隔				
	観測層と観測項目	定点鉛直観測と同様				
自動昇降装置	観測地点	6地点(S1, S6, B3, B4, B5, B6) ※B6は、平成19年度欠測				
	観測開始	S1, B3, B4:2002年6月末開始。S6, B5, B6:2003年10月末開始。				
	観測頻度	毎正時に海面(0.0m)から海底上0.1mまでを0.5m間隔で測定				
	観測項目	水温, 塩分, 濁度, クロロフィル蛍光強度, DO, pH, 深度				

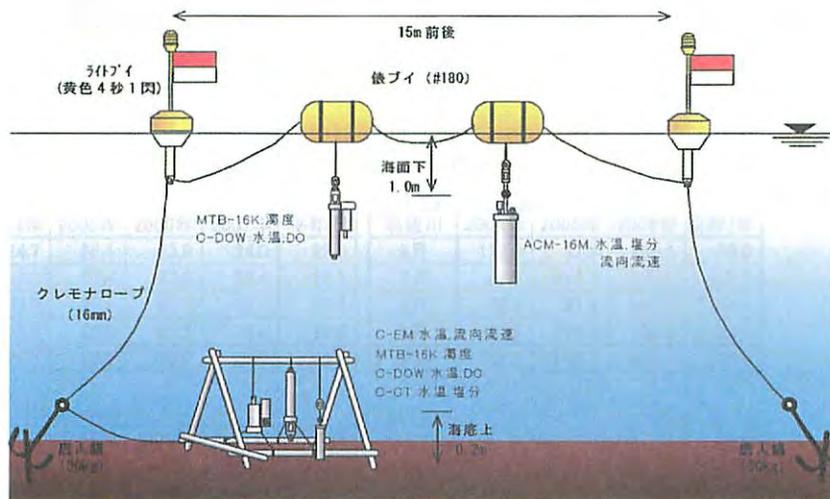
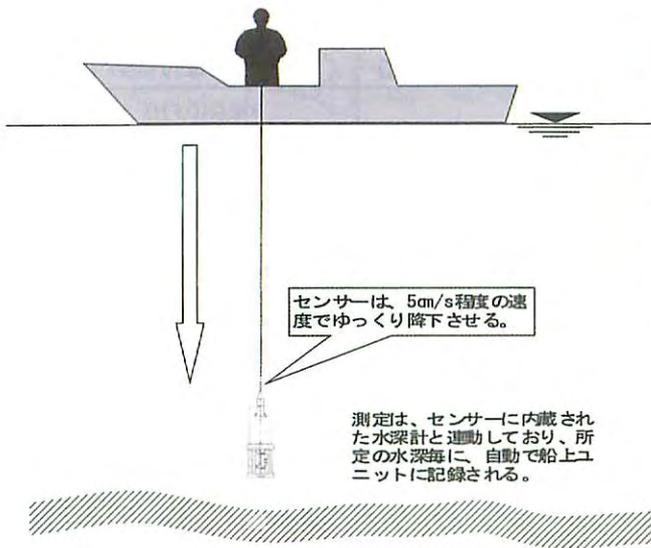


図 1-2 (1) 定点連続観測概念図



多項目水質計					
名称	AAQ1183				
製品名	仕様・性能				
測定項目	タイプ	測定レンジ	分解能	精度	測定数
深探	半導体圧力センサ	0~100m	0.002m	0.3%FS	0.2秒
水温	サーミスタ	-5~40℃	0.001℃	±0.02℃	0.28秒
電導度	電磁誘導セル	0~60mS/cm	0.001mS/cm	±0.02mS/cm	0.28秒
淡水用EC	電磁誘導セル	0~500μS/cm	0.1μS/cm	±20μS/cm	0.2秒
塩分	実用塩分式	0~40	0.001	±0.03	
濁度	赤外光後方散乱	0~1000FTU (ホルマジン基準)	0.03FTU	測定値の±2%	0.2秒
クロロフィル	蛍光測定	0~400μg/l	0.01μg/l	直線性±1%(0~200μg/l) ゼロドリフト±0.1μg/l	0.2秒
DO	ガルバニ電極	0~20mg/l (0~200%)	0.01mg/l -0.0001	±0.2mg/l (±1%)	3.5秒
pH	ガラス電極	0~14pH	0.01pH	±0.2	10秒
光量子	フォトダイオード	0~5000μmol/s/m <sup>2</sup>	0.1μmol/s/m <sup>2</sup>	±5%	0.1秒

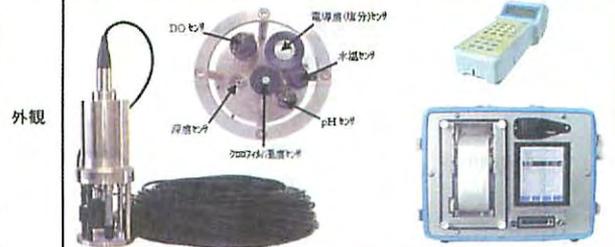


図1-2(2) 定点鉛直観測機器と観測概念図

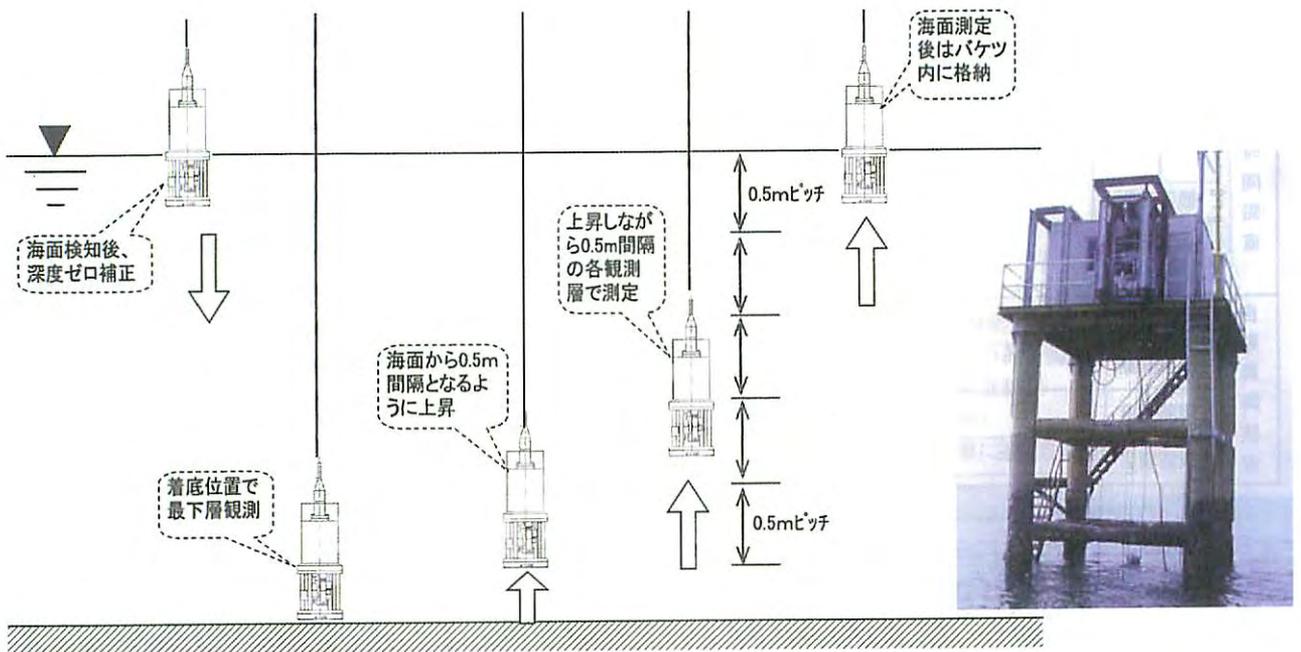


図1-2(3) 自動昇降観測装置観測概念図

### (3) 調査結果

#### 1) 有明海と諫早湾における貧酸素水塊の発生状況

##### ①水温躍層と塩分躍層の形成状況と酸素飽和度の経時変化

2004年度から2007年度にかけて実施した諫早湾（B3地点）と有明海湾奥（D地点）における夏場（7月～9月）の定点連続観測結果を用いて、水温躍層と塩分躍層の形成状況と酸素飽和度の低下の状況について整理した。

図1-3は、両観測地点の表層と底層の水温、塩分、酸素飽和度の経時変化である。両地点は、直線距離で約14km離れているが、両地点の表層と底層の水温、塩分、酸素飽和度は、いずれも酷似した経時変化を示している。

各年の躍層の形成時期や期間は、台風の通過や降雨の時期によって異なっており、河川流量が多かった2006年（表1-2参照）が最も塩分躍層の形成期間が長かった。逆に、降水量および河川流量の少なかった2004年や2005年は、塩分躍層の形成期間は短かった。また、2004年は台風の通過回数が多く、躍層の形成されにくい年であった。

2006年は、3ヶ年のうちで最も降雨が多く、著しい塩分躍層が形成されたほか、気温と水温の上昇により水温躍層も長期間形成された。このため、2006年は最も貧酸素水塊の形成期間が長く、酸素飽和度が著しく低下していた。

2007年は、河川流量が多かったものの、台風の通過により鉛直混合が促進され、長期間、塩分躍層が形成されることはなかった。

躍層の大きさや継続期間等は、各年の気象・海象条件によって異なっていたが、貧酸素水塊は、各年とも躍層の発達に伴って形成されており、流動の大きくなる大潮期においても解消されない場合もあるが、台風や低気圧の通過時に、密度躍層の消滅とともに解消されていた。

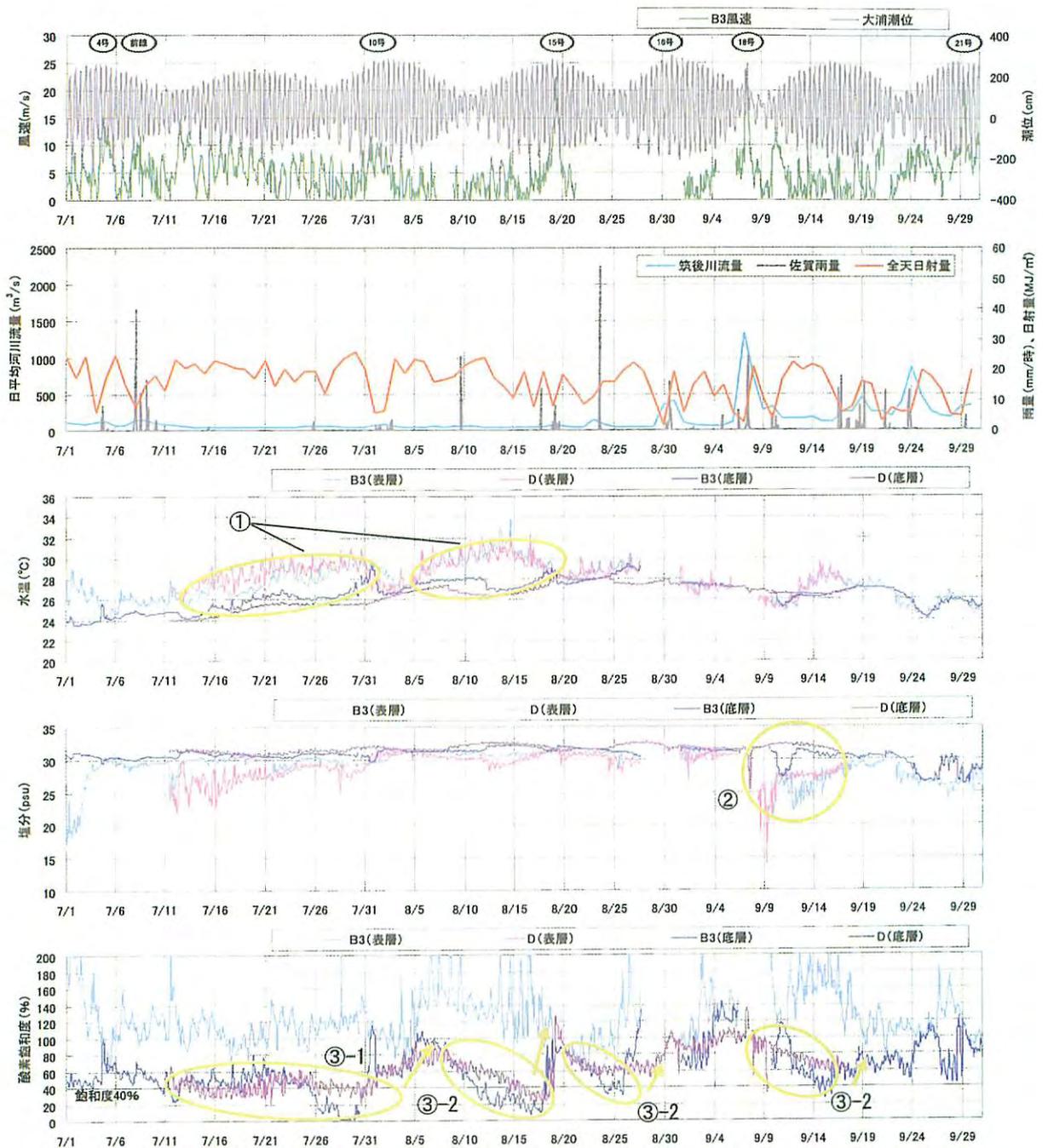
このように、水温躍層や塩分躍層は、日射の連続や降水量および河川流量の増大などの気象条件に応じて発達し、風浪や潮流などの海象条件によって消滅していた。一方、酸素飽和度は、躍層の発達にともなって低下し貧酸素水塊を形成するとともに、躍層の消滅とともに酸素飽和度の回復がみられた。

表1-2 各年の月平均降水量（佐賀気象台）と河川流量（筑後川）

※各月の平均気温(°C)						※各月の平均流量(m <sup>3</sup> /s)				
佐賀	2004年	2005年	2006年	2007年	平年値	筑後川	2004年	2005年	2006年	2007年
6月	24.7	25.1	23.9	24.0	22.9	6月	172.9	32.9	250.4	66.0
7月	28.3	27.4	27.6	26.4	26.7	7月	69.5	314.7	536.8	488.0
8月	28.3	27.9	28.9	28.9	27.4	8月	76.2	51.3	207.4	144.4
9月	24.5	25.8	23.7	26.9	23.6	9月	287.2	184.1	193.8	63.0
平均	26.5	26.5	26.0	26.6	25.2	平均	151.5	145.7	297.1	190.4

※各月の合計降水量(mm)					
佐賀	2004年	2005年	2006年	2007年	平年値
6月	248.0	63.0	332.0	123.0	362.8
7月	176.0	350.5	376.0	593.5	331.8
8月	198.5	79.0	224.0	213.5	204.3
9月	277.0	170.5	221.5	95.5	182.7
合計	899.5	663.0	1153.5	1025.5	1081.6

注) 赤で示した数字は4年間の最大値を示す。

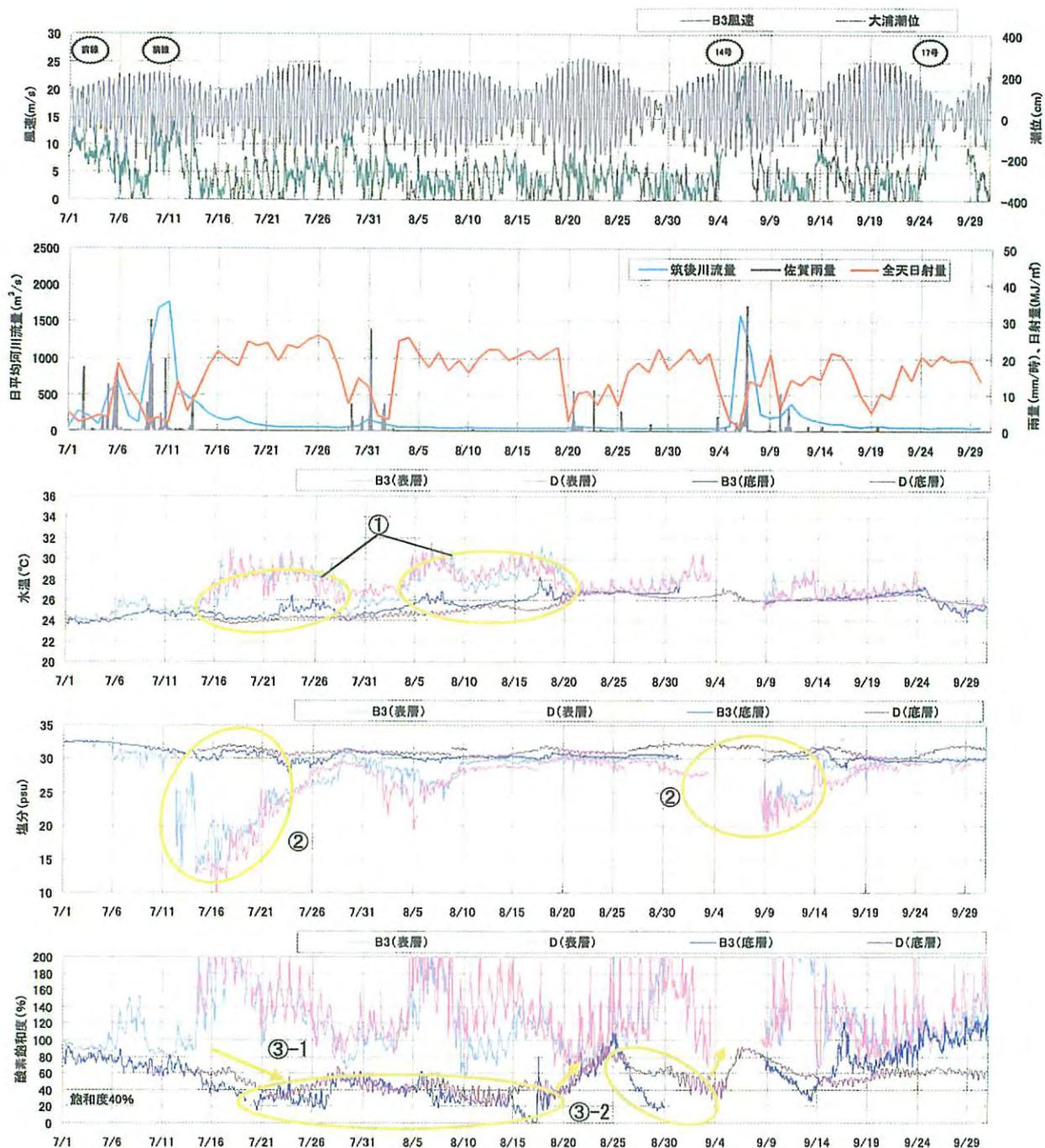


注1) B3の表層は海面下0.5m、底層は海底上0.1m、Dの表層は海面下1.0m、底層は海底上1.0mただし、D地点の表層では、溶存酸素の測定を実施していない。

注2) 風速は諫早湾干拓事務所のB3地点、潮位は気象庁の大浦観測所、河川流量は筑後川河川事務所の瀬ノ下、降水量は気象庁の佐賀地方気象台における観測データをそれぞれ用いた。

- ①: 水温躍層は、晴天が続いた影響で、7月中旬から8月初旬にかけて潮期に関係なく形成された。また、8月中旬の台風と台風の間にも顕著な水温躍層が形成された。
- ②: 7月と8月は降水量が少なく、河川流量がほとんど変化しなかったため、塩分躍層はほとんど発達しなかった。しかし、河川流量の増加した9月には、やや明確な塩分躍層を形成した。
- ③-1: 7月中旬に40～60%程度の低酸素状態が続き、小潮期となった7月末にB3地点では著しい貧酸素状態を示した。
- ③-2: このあと、台風の接近により一時的に貧酸素状態が解消するものの、8月中旬には、再び水温躍層と小潮期の重なりによって、顕著な貧酸素状態を形成していた。これ以降は、小潮期前後や塩分躍層形成時期に、飽和度の低下を示すものの、台風の相次ぐ接近により、明確な貧酸素状態には至らなかった。

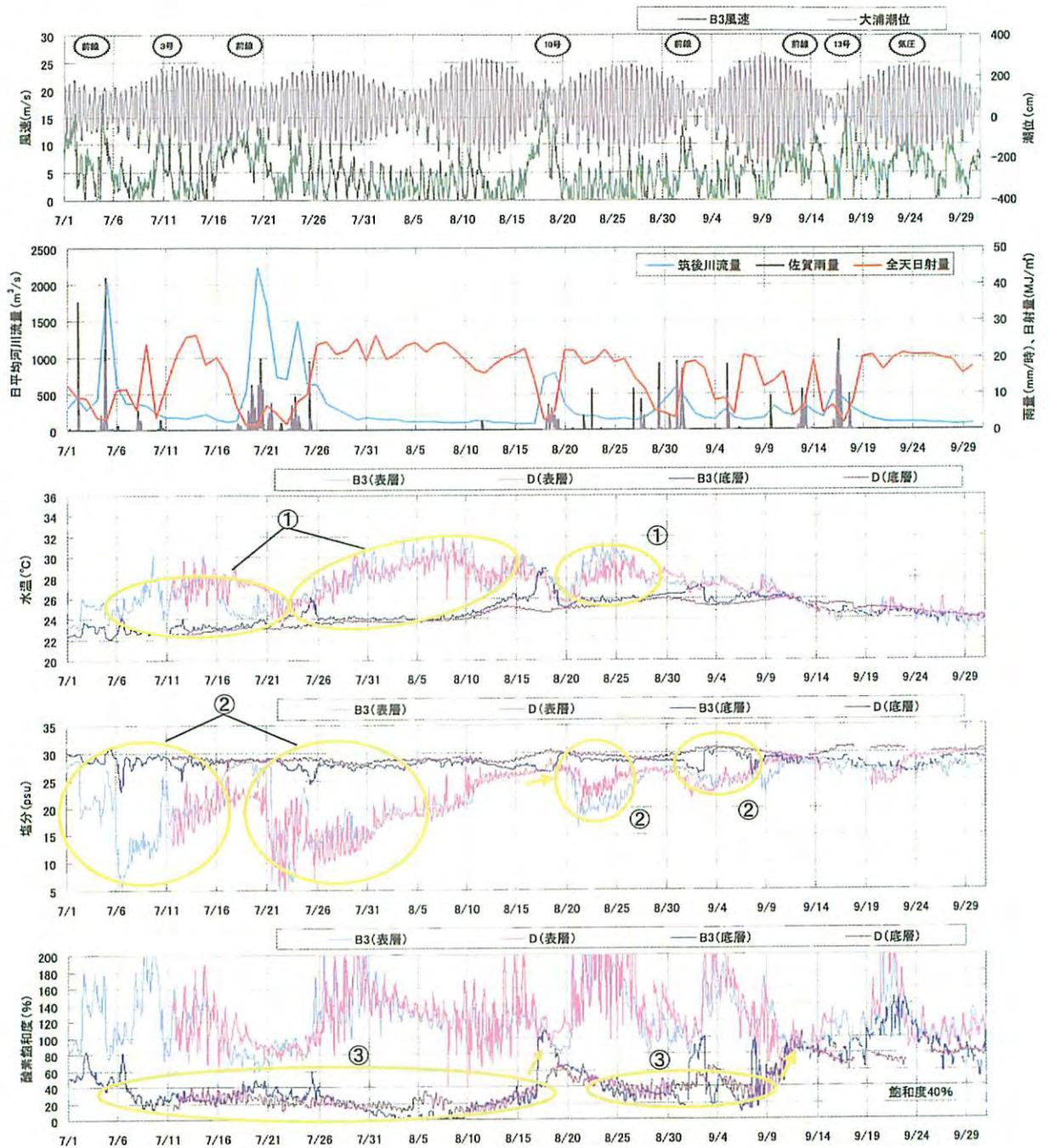
図1-3 (1) 有明海と諫早湾における躍層と貧酸素水塊の形成状況 (2004年)



注 1) B3 の表層は海面下 0.5m、底層は海底上 0.1m、D の表層は海面下 1.0m、底層は海底上 0.2m  
 注 2) 風速は諫早湾干拓事務所の B3 地点、潮位は気象庁の大浦観測所、河川流量は筑後川河川事務所の瀬ノ下、降水量は気象庁の佐賀地方気象台における観測データをそれぞれ用いた

- ①: 水温躍層は、7 月中～下旬と、8 月 5 日～ 20 日の期間に晴天の連続によって形成された。8 月 20 日以降は、気温が平年より高めの晴天続きだったが、台風接近のため水温躍層が形成されなかった。
- ②: 塩分躍層は、7 月 10 日前後の降雨時と 9 月 6 日の台風時期に河川流量が増加すると、その後 1～2 週間ほど形成された。
- ③-1: 酸素飽和度の低下は、7 月中旬の塩分躍層と下旬の水温躍層時期に連続で認められた。7 月 31 日前後の降雨期には、酸素飽和度の回復がみられた。8 月中旬には塩分躍層形成後に持続した水温躍層時期に、酸素飽和度の低下がみられた。
- ③-2: 8 月 20 日以降の大潮期は、飽和度の回復がみられたものの、25 日以降に表層での過飽和と底層での貧酸素化がみられた。この時期の成層はそれほど厳しくなかったが、表層の過飽和な状況が 7 月中旬から続いており、有機物の供給量が多く酸素消費量が大きかったものと考えられる。

図 1-3 (2) 有明海と諫早湾における躍層と貧酸素水塊の形成状況 (2005 年)

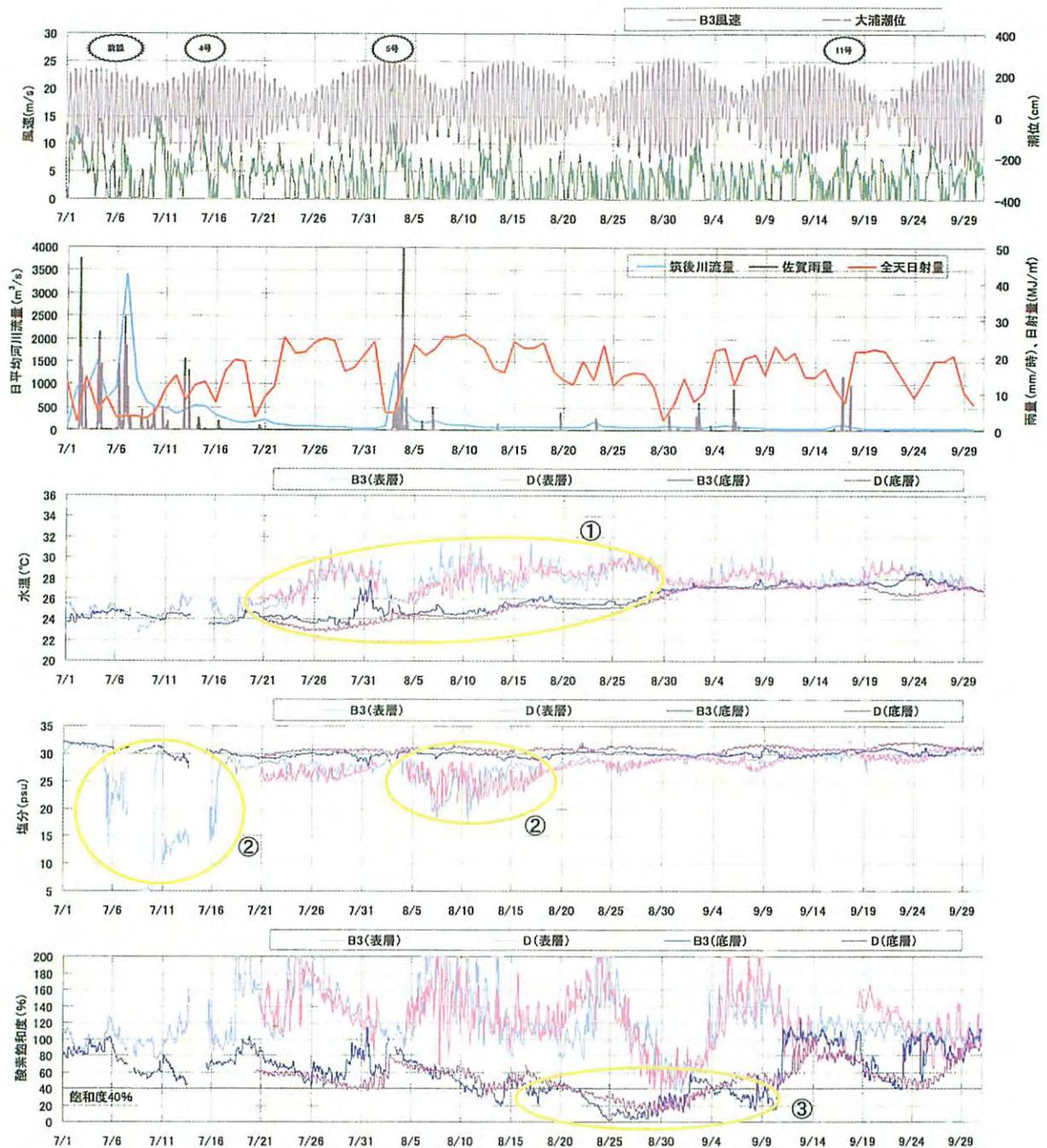


注 1) B3 の表層は海面下 0.5m、底層は海底上 0.1m、D の表層は海面下 1.0m、底層は海底上 0.2m

注 2) 風速は諫早湾干拓事務所の B3 地点、潮位は気象庁の大浦観測所、河川流量は筑後川河川事務所の瀬ノ下、降水量は気象庁の佐賀地方気象台における観測データをそれぞれ用いた

- ①: 水温躍層は、7月中旬と7月末から8月中旬にかけて形成され、8月18日に通過した台風によって一時回復するものの、台風後に再び弱い躍層が形成された。
- ②: 塩分躍層は、6月から7月の降雨によって、7月のほとんどの期間で著しい塩分躍層を形成していた。8月18日の台風によって一時回復するものの、その後8月20日から9月8日頃にかけて、弱い塩分躍層が形成された。
- ③: 酸素飽和度は、7月はじめから8月中旬にかけて流動の大きくなる大潮期においても水温、塩分躍層が解消されなかった影響で、7月7日頃から8月17日(台風接近)まで、長期間低下したままであった。台風通過後も、弱い水温、塩分躍層の影響で、8月25日から9月9日頃にかけて貧酸素状態が続いた。

図1-3 (3) 有明海と諫早湾における躍層と貧酸素水塊の形成状況 (2006年)



注 1) B3 の表層は海面下 0.5m、底層は海底上 0.1m、D の表層は海面下 1.0m、底層は海底上 0.2m  
 注 2) 風速は諫早湾干拓事務所の B3 地点、潮位は気象庁の大浦観測所、河川流量は筑後川河川事務所の瀬ノ下、降水量は気象庁の佐賀地方気象台における観測データをそれぞれ用いた

- ①: 水温躍層は、7月中旬から8月末にかけて形成され、8月2日に接近した台風によって一時的な解消がみられた。  
 ②: 塩分躍層は、7月上旬の降雨によって著しい塩分躍層が形成されたが、7月14日に接近した台風によって解消された。また、8月2日の台風に伴う降雨により、8月上旬から中旬に弱い塩分躍層が形成された。  
 ③: 酸素飽和度は、8月20日頃から水温躍層と小潮期の重なりによって、酸素飽和度の低下がみられ、8月下旬か9月初めにかけて貧酸素状態が続いた。

図1-3(4) 有明海と諫早湾における躍層と貧酸素水塊の形成状況(2007年)

## 2) 有明海湾奥から諫早湾までの躍層の形成と貧酸素水塊の発達状況

### ①水温及び塩分の鉛直分布の推移

貧酸素水塊の形成には、水温差や塩分差に伴う躍層の形成が最も重要な要因となっている。

有明海と諫早湾では、貧酸素調査として毎週1回の頻度で、図1-4に示す17地点(■印)で定点鉛直観測を実施した。水温・塩分躍層の形成状況を見るため、測線1(10地点)の水温と塩分の鉛直断面図を作成した。酸素飽和度が低下した2006年の7月13日から8月3日にかけての4回の満潮時における水温及び塩分の鉛直分布の推移を図1-5に示す。

#### <水温躍層>

水温の鉛直分布の推移は、図1-5(1)に示すとおりであり、2006年7月13日は有明海から諫早湾にかけて水深5~7m付近に水温躍層がみられた。7月20日は、諫早湾内の表層水温が下がり、有明海側でも水温差が小さくなるなど、水温躍層は解消傾向にあった。7月27日には、再び表層水温が上昇し、有明海湾奥部から諫早湾奥部にかけて、表層水温が28℃前後となり、水深5~8m層に水温躍層を形成していた。1週間後の8月3日には、さらに表層の水温が上昇し、有明海湾奥部から諫早湾奥部にかけて、表層の水温が30℃前後となり、水深5m以浅が25~30℃(水温差5℃前後)の著しい水温躍層を形成していた。このように、水温躍層は、晴天時に表層水が暖められることによって、有明海湾奥部と諫早湾奥部の浅海域から発達し、その後、晴天が持続することによって一体的な水温躍層へと発達していった。

なお、諫早湾奥部のように水深が浅い地点では、水温が上昇し易いほか、風による鉛直混合が行われやすいと考えられることから、2006年の8月3日のように、底層まで水温が高く、見かけ上躍層がみられない状態となりやすいと考えられた。

#### <塩分躍層>

塩分の鉛直分布の推移は、図1-5(2)に示すとおりであり、2006年7月13日は、降雨による河川流量が増加した後の塩分分布であり、有明海湾奥部から諫早湾奥部にかけて、水深0~5m層に28psu以下の低塩分水が認められ、特に有明海湾奥部では15psu(psu=practical salinity unitの略：実用塩分を示す記号)。前後の低い濃度がみられた。1週間後の7月20日は、有明海湾奥部の表層塩分濃度は依然として低いものの、諫早湾奥部から塩分濃度が回復する傾向にあり、断面全体としては躍層の解消過程にあった。7月27日は、21日前後の降雨に伴う河川流量の増加により、全域の水深5m以浅に著しい低塩分水が分布し、顕著な塩分躍層を形成した。これ以降は、徐々に塩分の回復が進み、8月3日には塩分躍層の状態にはあるものの、鉛直分布の濃度勾配は緩やかになっていた。このように、塩分躍層は、降雨に伴う河川水の増大によって有明海湾奥部から発達していた。この時の塩分躍層は、おおむね水深5m前後に形成された。

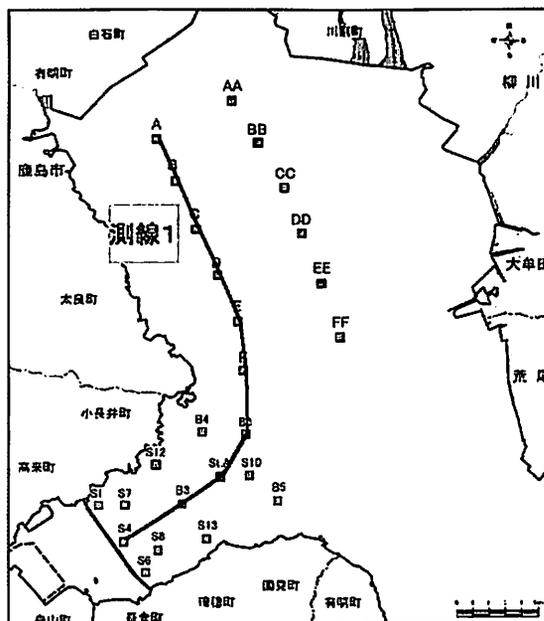


図1-4 定点鉛直観測地点

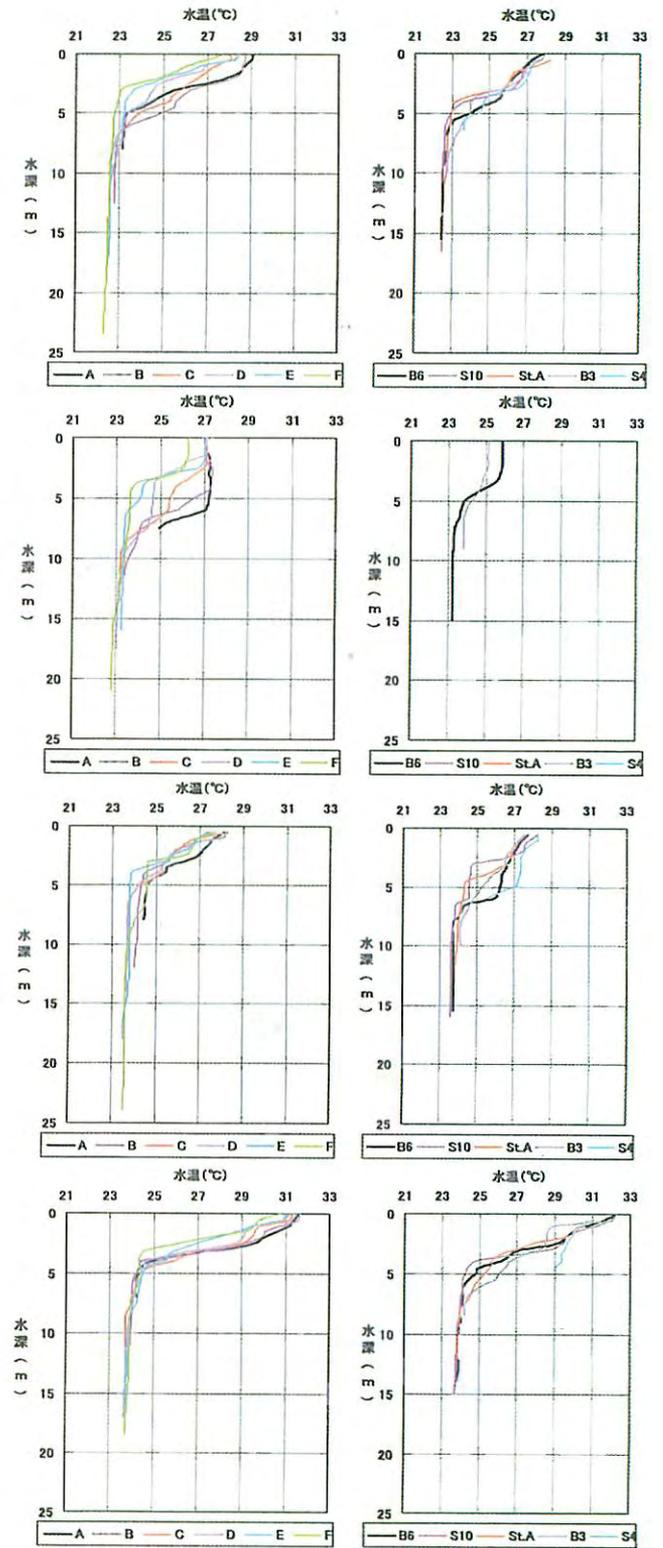
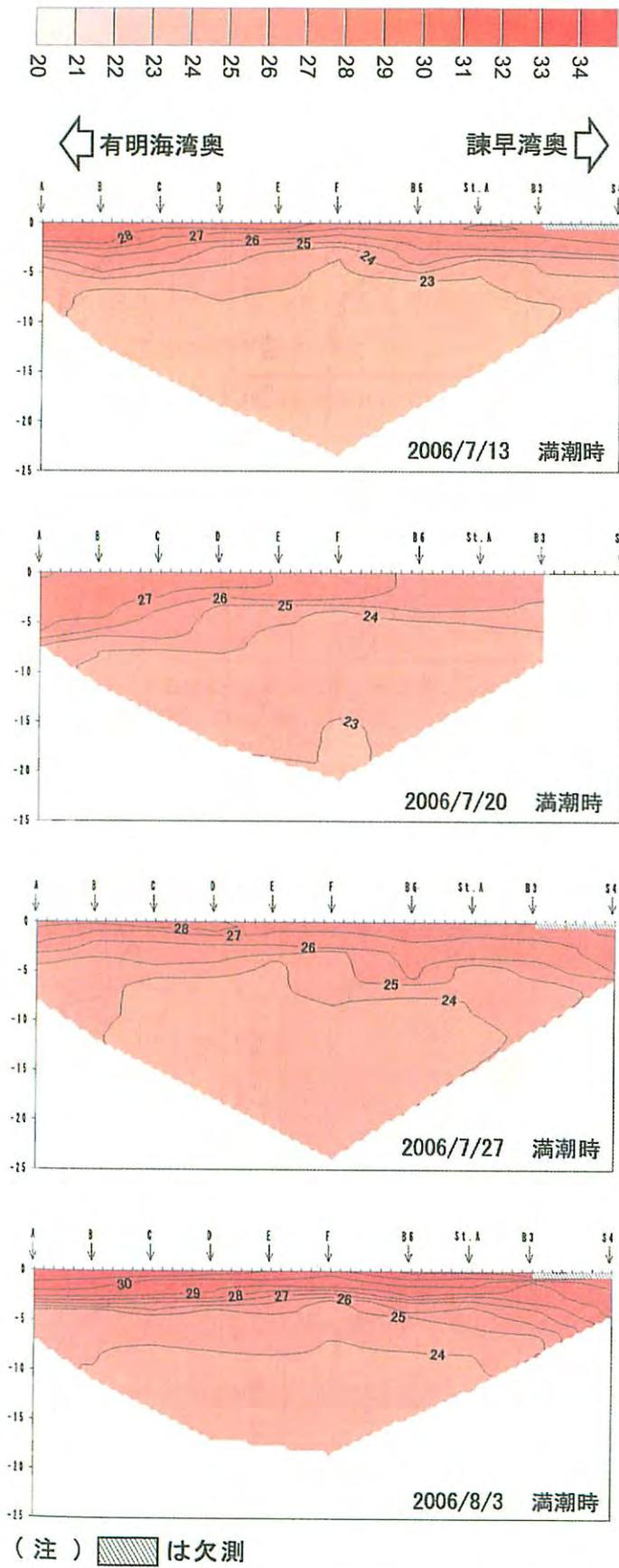


図1-5 (1) 水温の鉛直分布の推移 (2006年7月13日~8月3日)

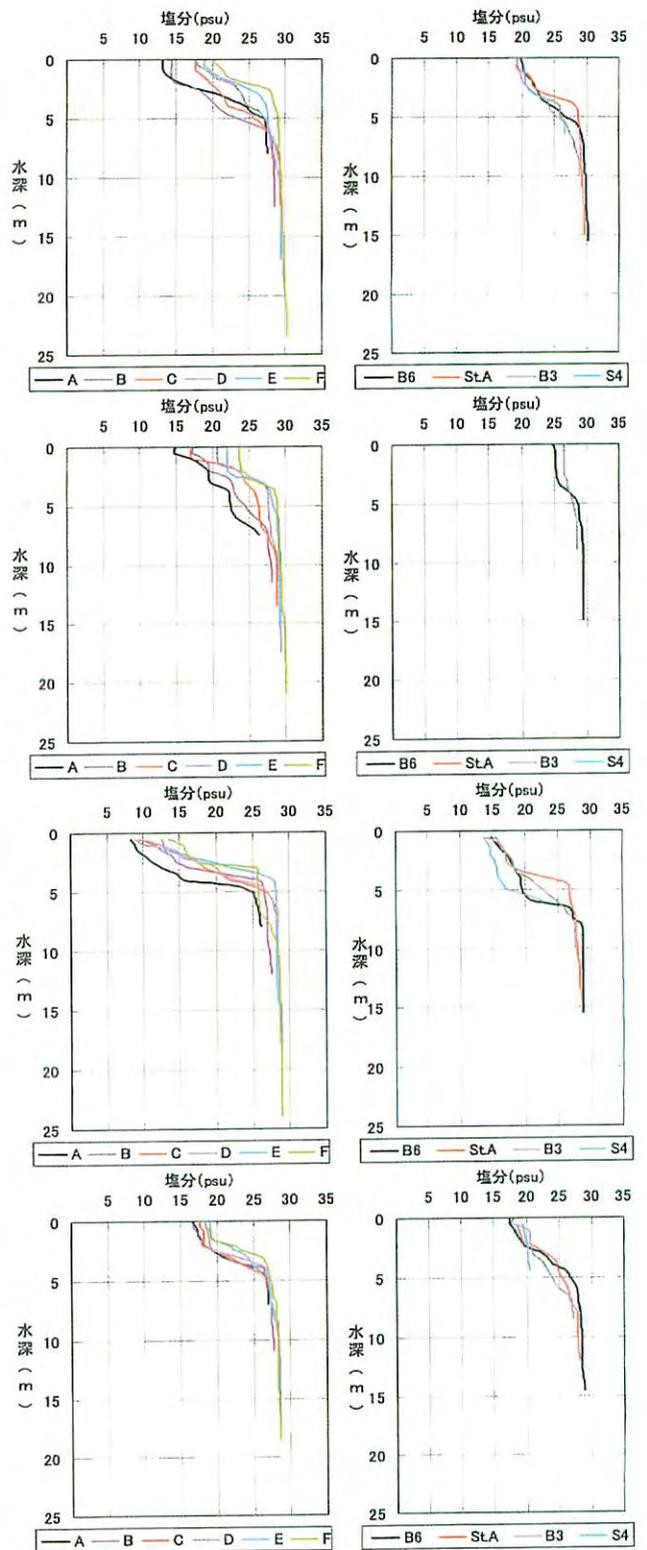
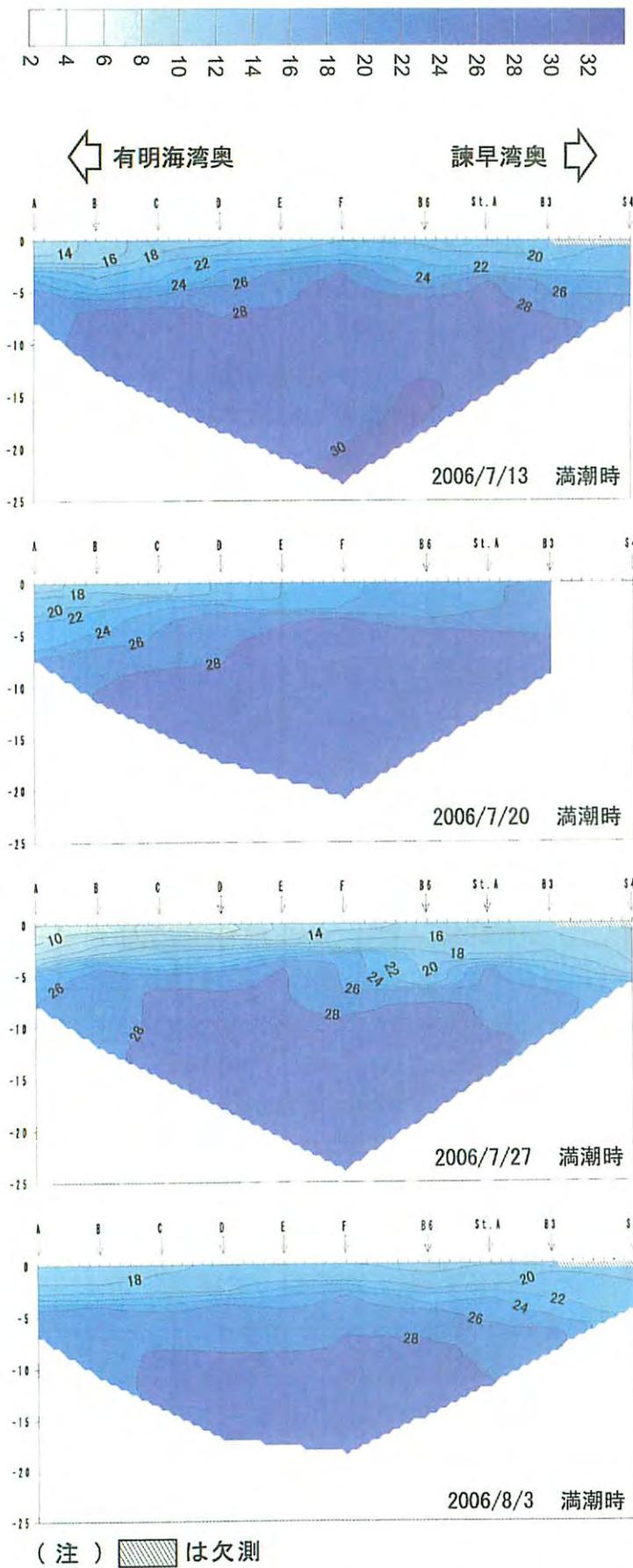


図1-5 (2) 塩分の鉛直分布の推移 (2006年7月13日~8月3日)

## ②密度の算定と鉛直分布の推移

密度躍層の形成状況を把握するため、次の式により水温と塩分濃度から、2006年7月13日から8月3日にかけての密度を求め、この間の密度の鉛直分布の推移を図1-7に示す。なお、密度躍層の形成には、水温よりも塩分の寄与が大きいという知見※1があり、確認のため、2006年のD地点とB3地点における上層（海面下1.0m）と下層（海底上0.2m）の水温差と塩分差により生じる密度差を求めた（図1-6）。この結果から、知見のとおり塩分差による密度差は、水温差による密度差に比べて大きな割合を占めていることが認められた。

海水の水温が  $t$  (°C)、実用塩分が  $S$  の時の現場密度 ( $\sigma_t$ ) は以下の式で求められる。

$$(\rho_t - 1) \times 1000 = \Sigma t + (\sigma_0 + 0.1324) \{ 1 - At + Bt(\sigma_0 - 0.1324) \}$$

ここに、 $\sigma_0 = -0.069 + 1.4708C_1 - 0.001570C_1^2 + 0.0000398C_1^3$

$$\Sigma t = -\frac{(t - 3.98)^2}{503.570} \cdot \frac{t + 283.0}{t + 67.26}$$

$C_1 = (S - 0.0305) \div 1.80655$  -----塩素濃度

$$At = t(4.7867 - 0.098185t + 0.0010843t^2) \times 10^{-3}$$

$$Bt = t(18.030 - 0.8164t + 0.01667t^2) \times 10^{-6}$$

※1) 深山顕寛、磯部雅彦、鯉淵幸生 (2005) 有明海奥部における貧酸素水塊の動態に関する現地観測、海岸工学論文集、第52巻 951-955

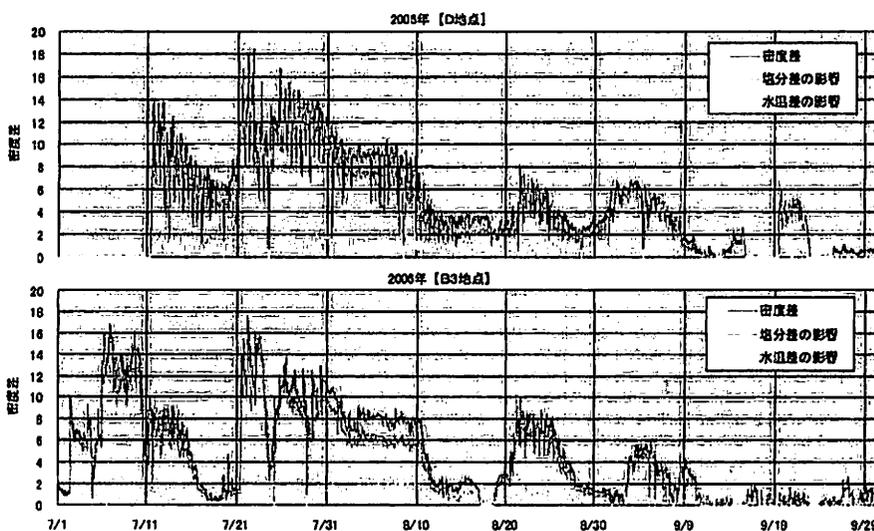


図1-6 水温差と塩分差による密度差の推移 (2006年)

## ③密度躍層の形成と貧酸素水塊の発達の状況

7月13日は、水温躍層がピーク時期、塩分躍層がやや解消時期にあり、密度躍層が有明海湾奥部から諫早湾奥部にかけて水深5m付近に形成されていた。図1-8に示す酸素飽和度の鉛直分布状況を見ると、有明海湾奥部のA～E地点において、躍層面から海底まで40%以下の貧酸素水塊が認められ、諫早湾においても、奥部のS4からSt.Aにかけて底層に40%以下の貧酸素水塊がみられた。有明海と諫早湾の間に位置するB6では、中層付近に40%以下の濃度分布がみられるものの、有明海と諫早湾の貧酸素水塊は分離されていた。

1 週間後の 7 月 20 日は、密度躍層の回復過程にあり、諫早湾奥部から回復していく傾向にあった。この時、40%以下の貧酸素水塊は、有明海から諫早湾まで連続し、貧酸素水塊の拡大がみられた。また、有明海湾奥部では A～C 地点にかけて 20%以下の著しい貧酸素状態を示した。

7 月 27 日は、21 日前後の降雨により、有明海側から諫早湾にかけて水深 5～8m 以浅に顕著な密度躍層が形成され、特に、有明海湾奥部の A から D 地点では、表層が 10σ<sub>t</sub> 以下の著しい密度低下を示した。このとき、酸素飽和度は、密度躍層面の水深 5m 以深で各地点とも 40%以下を示し、有明海湾奥部の A～C 地点については、水深 6m 以深で 20%以下の著しい貧酸素状態を示した。

1 週間後の 8 月 3 日には、密度躍層が有明海から諫早湾にかけた水深 5m 以浅に一樣に形成され、酸素飽和度は、この躍層以深で 20%以下の著しい貧酸素状態を示した。

このように、密度躍層は、水深 5～8m 付近に形成され、40%以下の貧酸素水塊は躍層下に形成されていた。また、貧酸素水塊は、7 月 13 日の時点では、有明海湾奥部と諫早湾で別々に発生していたが、密度躍層の拡大とともに、全域に広がったものと考えられる。さらに、20%以下の貧酸素水塊については、7 月 20 日頃から有明海湾奥部で発達し、その後諫早湾でも発生し、8 月 3 日には貧酸素水塊が全域で観測された

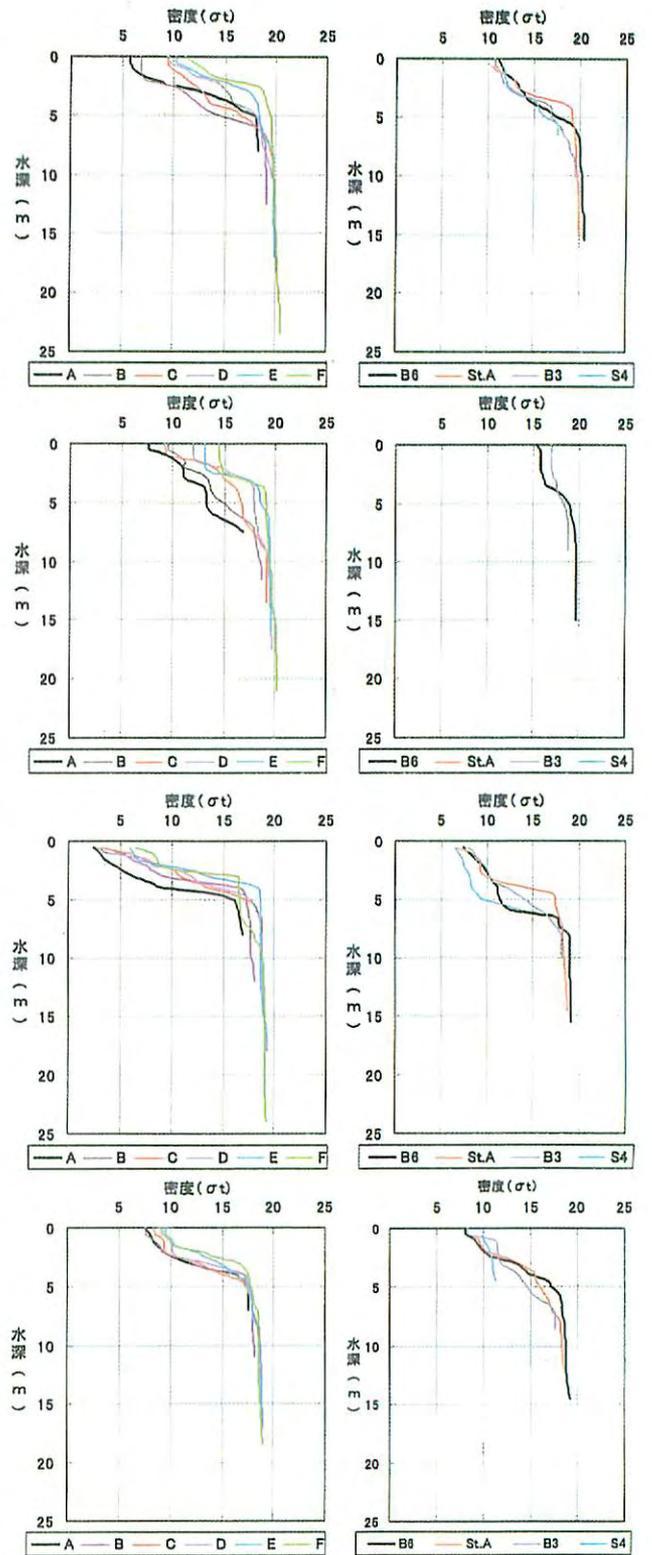
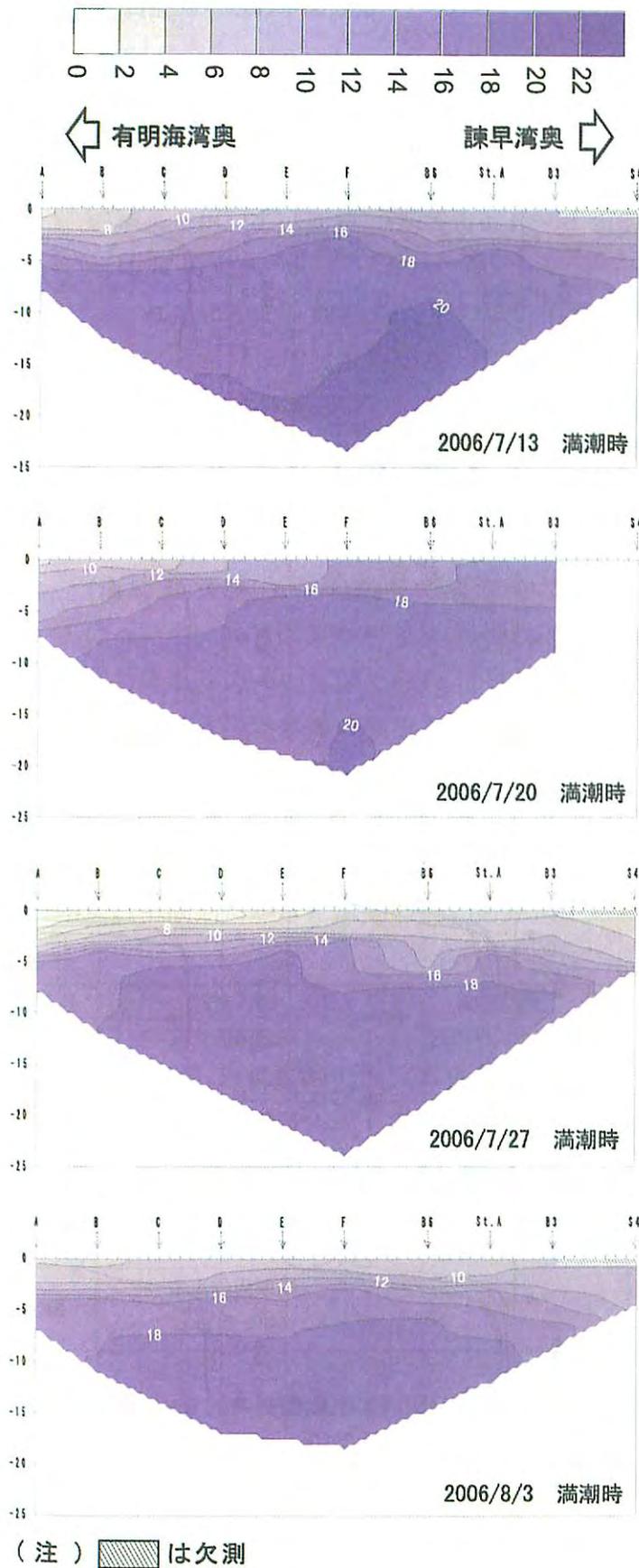
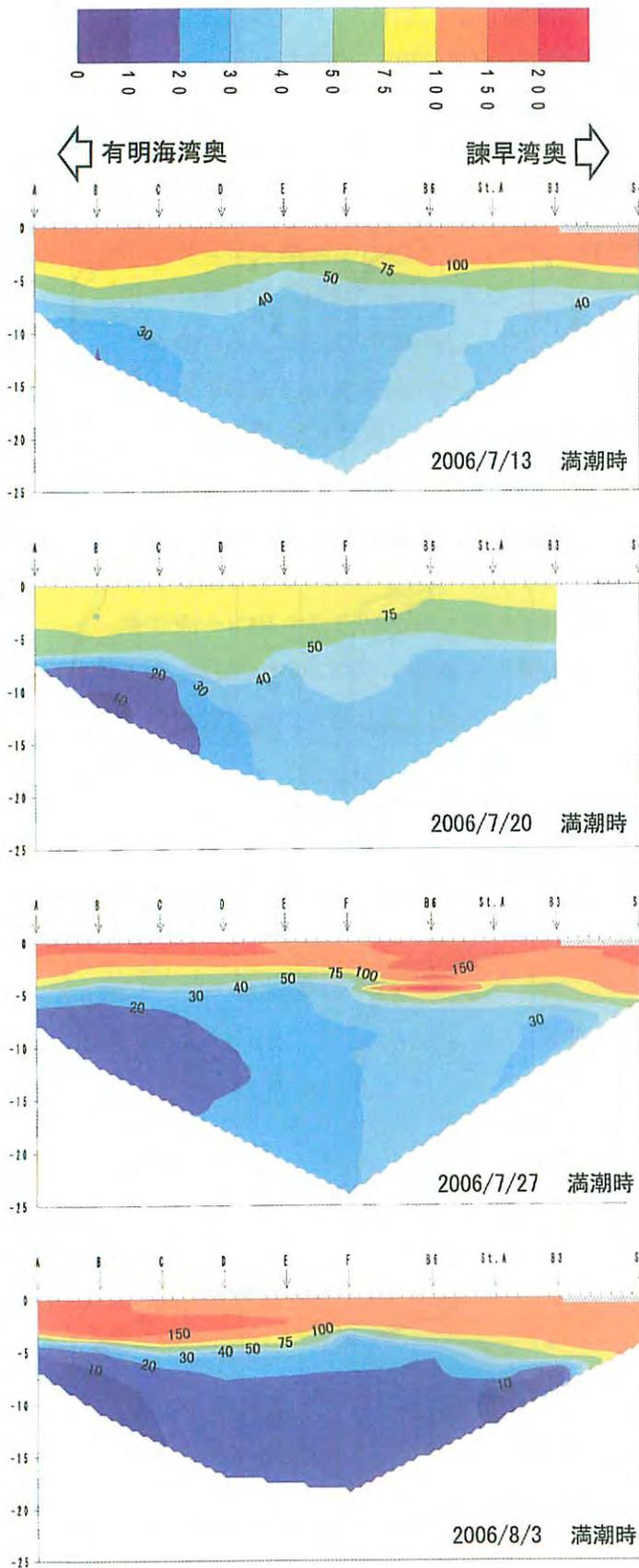


図1-7 密度の鉛直観測分布の推移 (2006年7月13日~8月3日)



(注)  は欠測

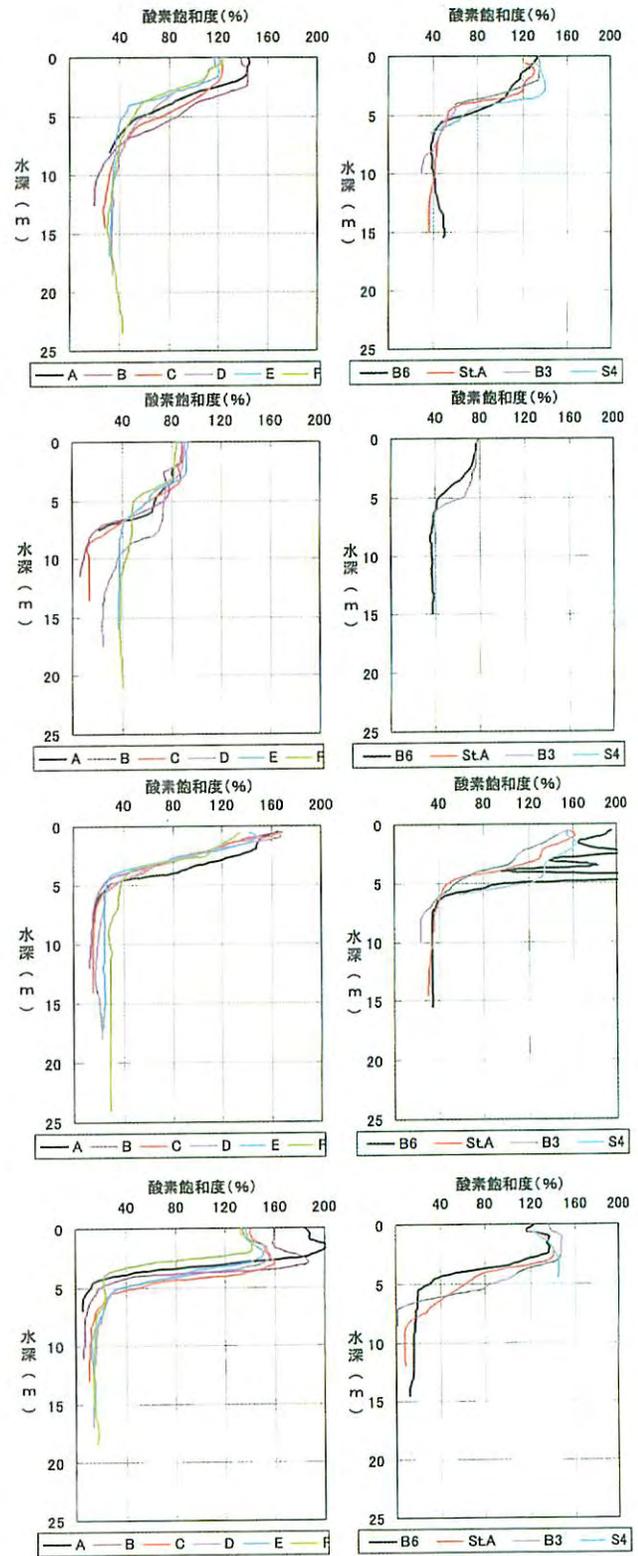


図1-8 酸素飽和度の鉛直分布の推移 (2006年7月13日~8月3日)

#### ④貧酸素水塊の平面分布

有明海と諫早湾における貧酸素水塊の平面分布を示すために、九州農政局の実施した定点連続観測（2地点）と定点鉛直観測（有明海12地点、諫早湾7地点）および自動昇降装置（6地点）に、環境省と水産庁の連続観測地点（図1-9に示した15地点：●印）の結果を用いて、底層（海底上0.1～0.2m）の酸素飽和度の平面分布図を作成し、図1-10に示す。

これによると、酸素飽和度の低い海域は各年とも概ね共通しており、貧酸素水塊は、各海域ともほぼ同時期に出現していた。有明海湾奥部では、有明海湾奥部西側水道部や、沿岸の干潟浅海域を中心に酸素飽和度の低い分布域が形成されていた。諫早湾では、湾中央のB3や湾口北部沿岸のB4、あるいは、潮受堤防前面の浅海域に酸素飽和度の低い分布域が形成されていた。

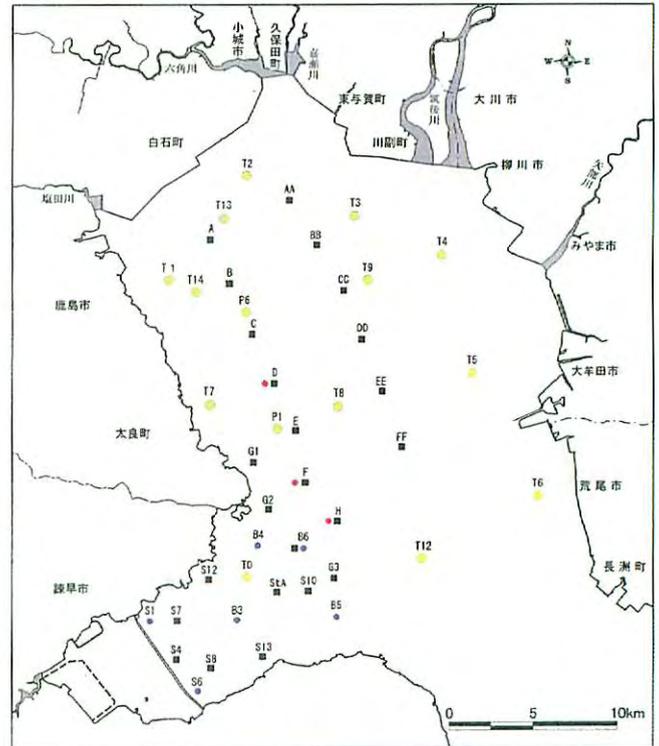
ここで、各地点の貧酸素水塊の形成頻度について把握するために、定点連続観測地点（海底上0.2m）と自動昇降観測地点（海底上0.1m）の酸素飽和度（毎時の観測値）について、40%以下の割合と20%以下の割合を潮期別に集計し、2004年から2007年までの4ヶ年について図1-11に整理した。

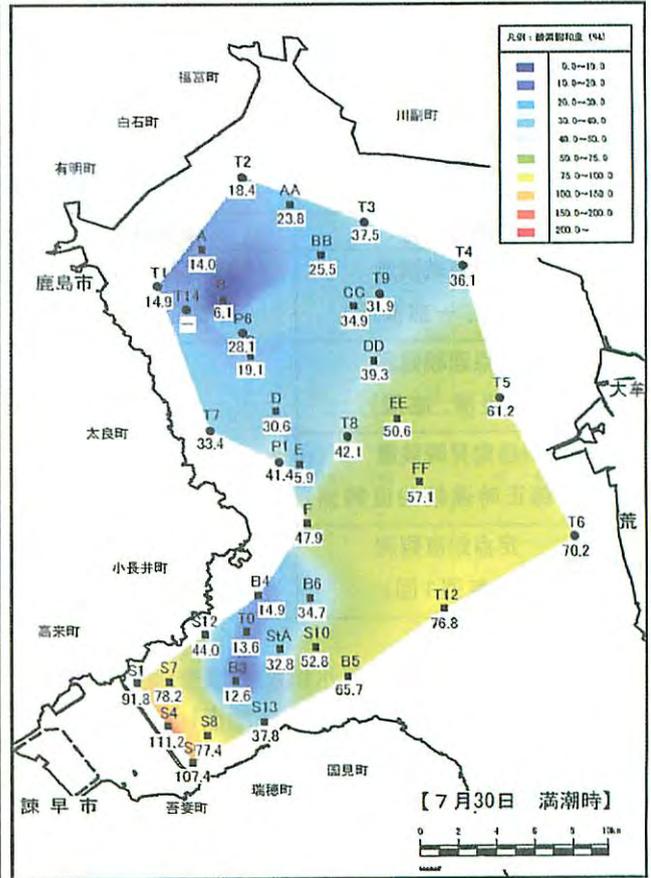
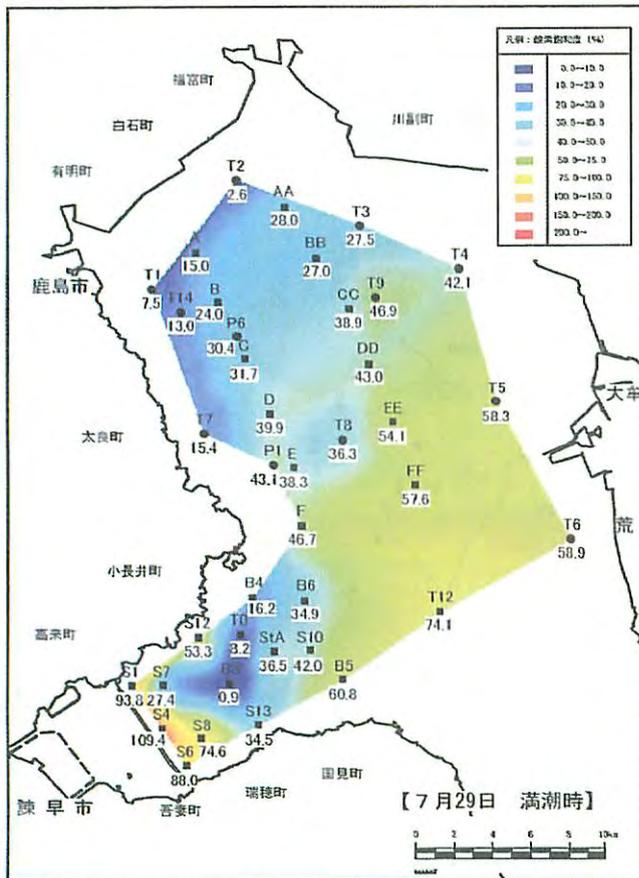
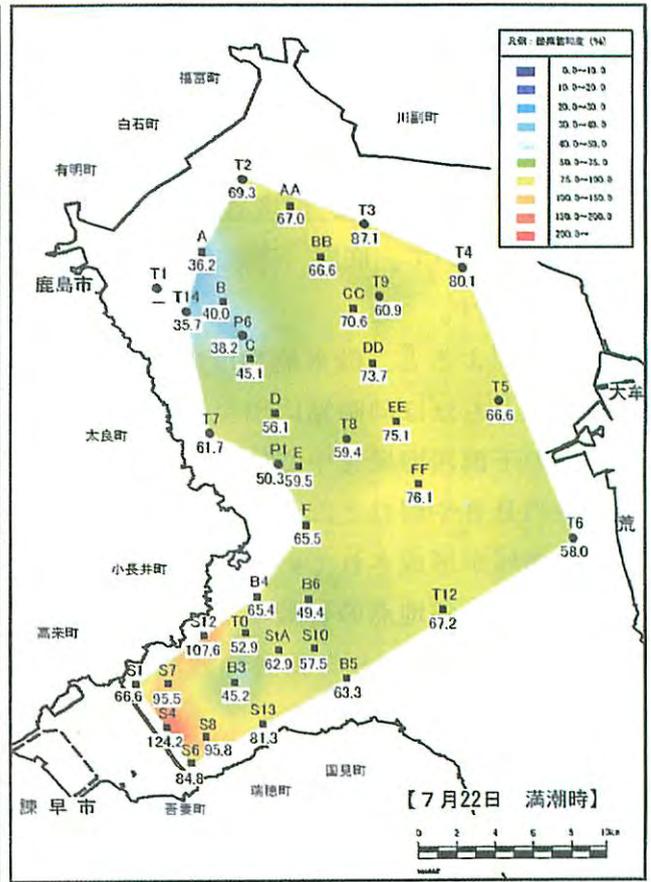
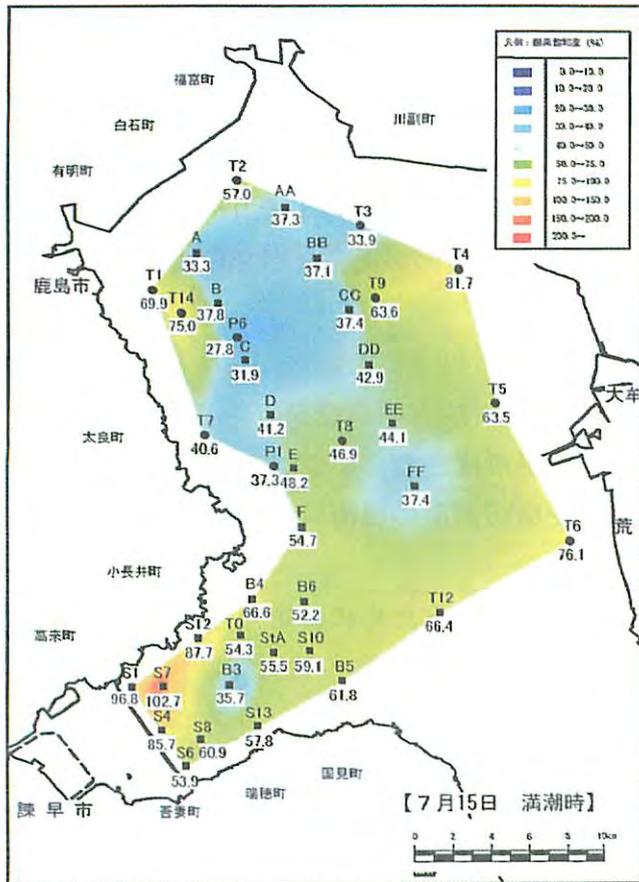
各年の貧酸素水塊の出現割合をみると、有明海西側沿岸部と西側水道部及び2006年以外の諫早湾湾口部を除く諫早湾内で貧酸素水塊の出現割合が高く、各地点の出現割合は、2006年、2007年、2004年、2005年の順に高かった。

また、潮期別の出現状況をみると、T1、T2のような浅海域では、小潮期と小潮期から中潮期にかけての流動の弱い時期に、飽和度の低い値が多く出現していた。

記号	調査内容	実施機関
●	定点連続観測 (底層、一部多層)	環境省, 水産庁 (西区水産研究所)
●	定点連続観測 (表層、底層)	九州農政局
●	自動昇降装置 (毎正時連続鉛直観測)	
■	定点鉛直観測 (毎週1回)	

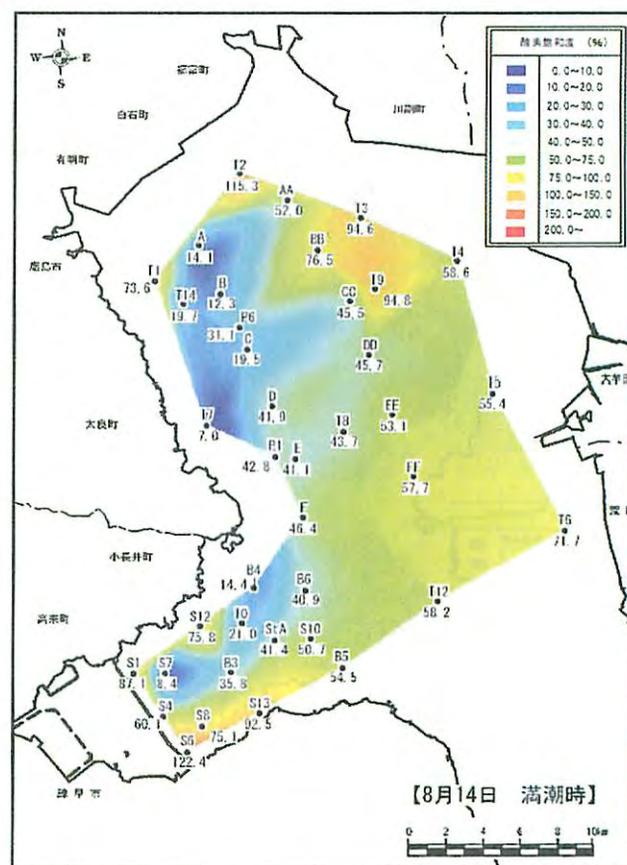
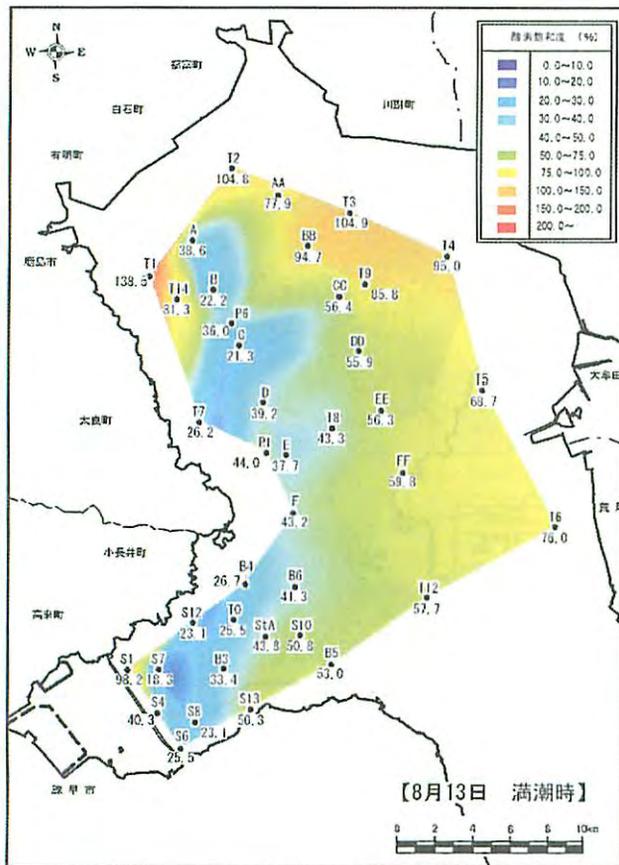
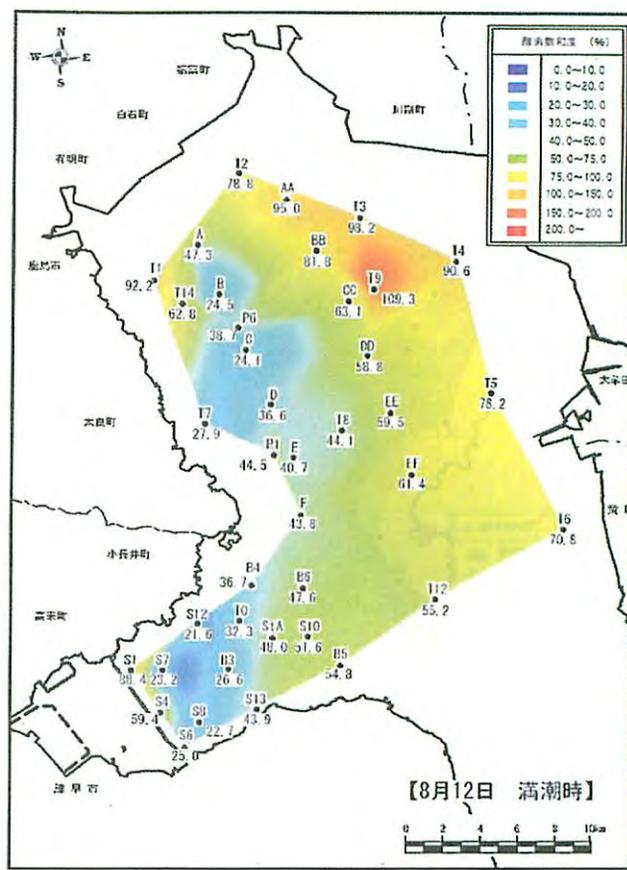
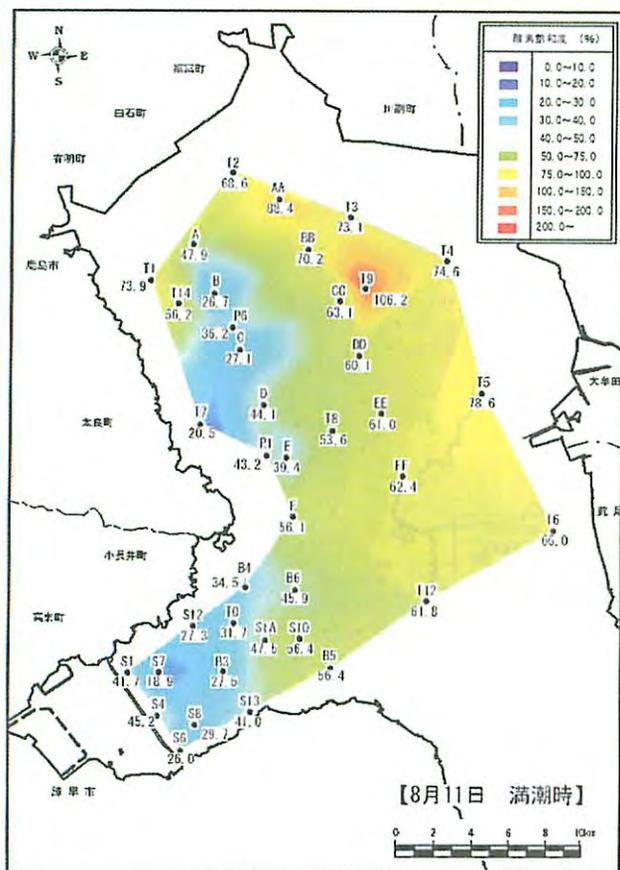
図1-9 貧酸素水塊関連調査地点  
(2004年～2007年実施地点)





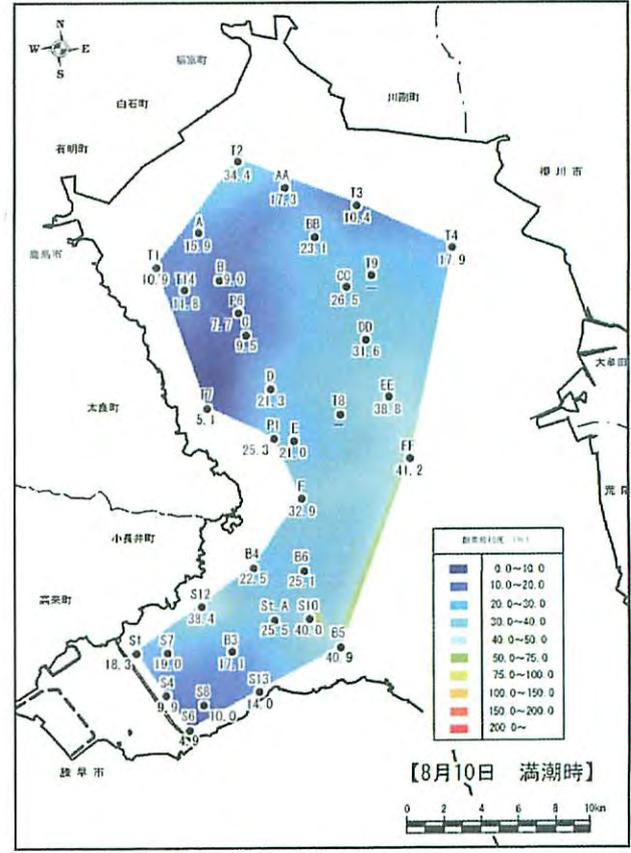
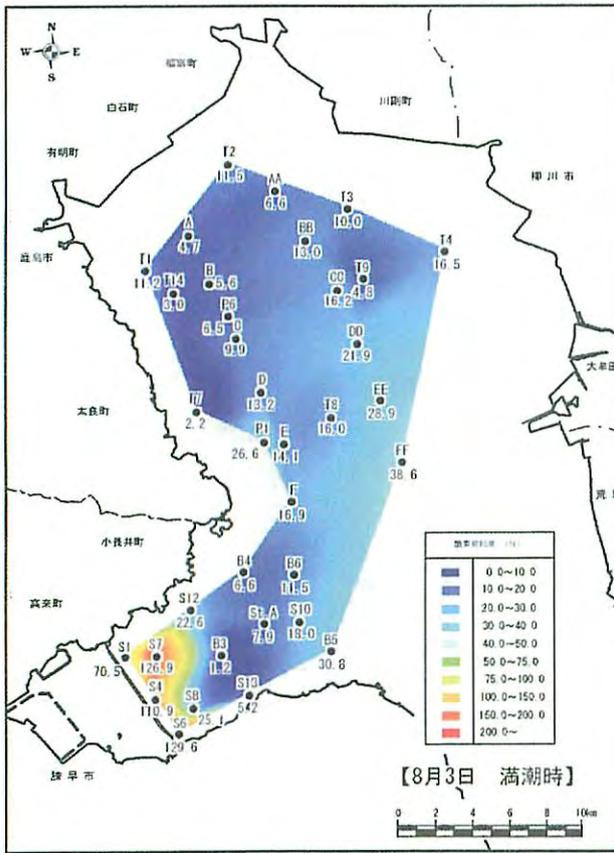
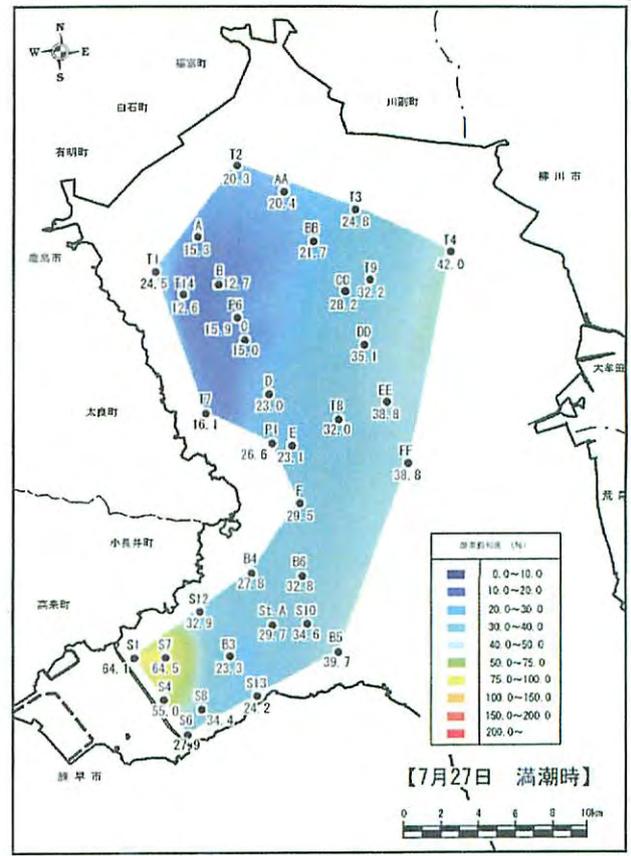
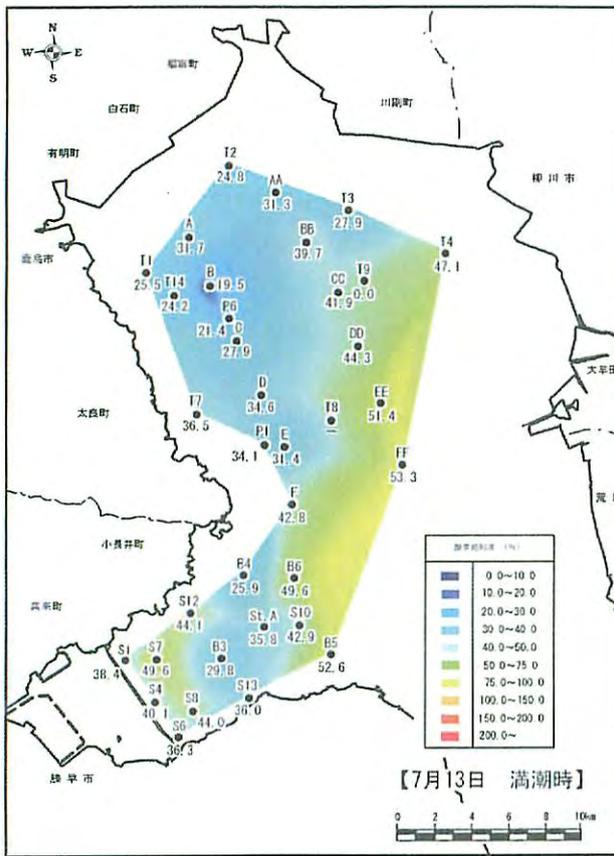
注) T0、T1～T9、T12、T14、P1、P6地点は環境省・水産庁〈西海区水産研究所〉調査結果による

図1-10(1) 貧酸素水塊出現時における底層酸素飽和度の平面分布(2004年)



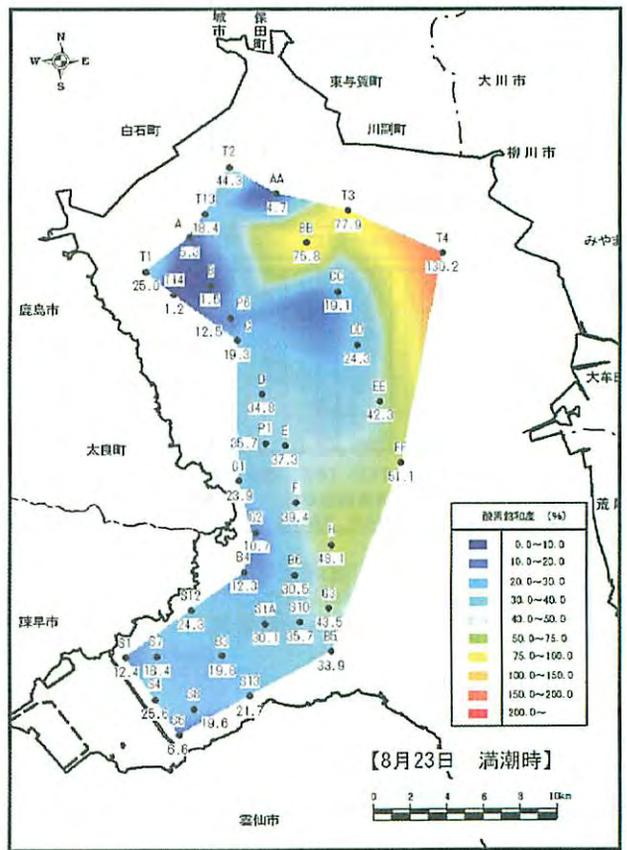
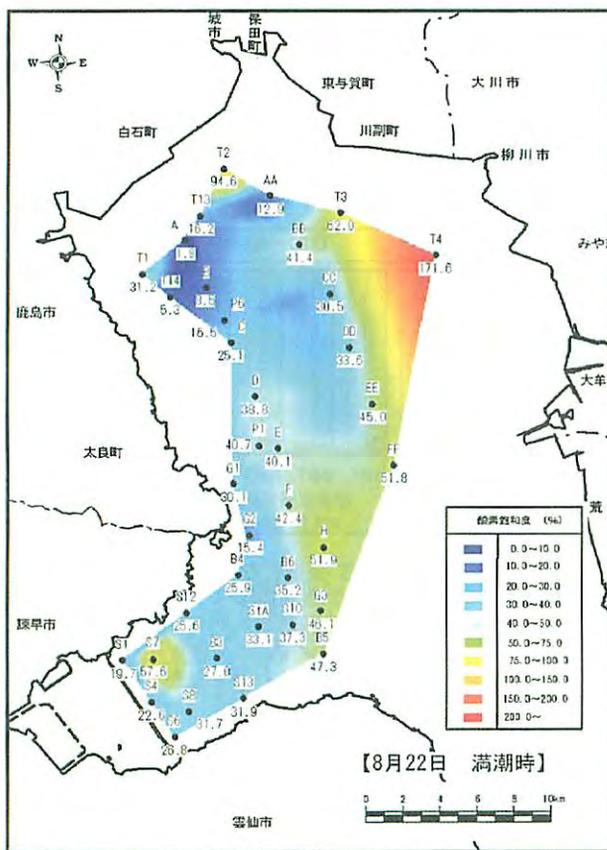
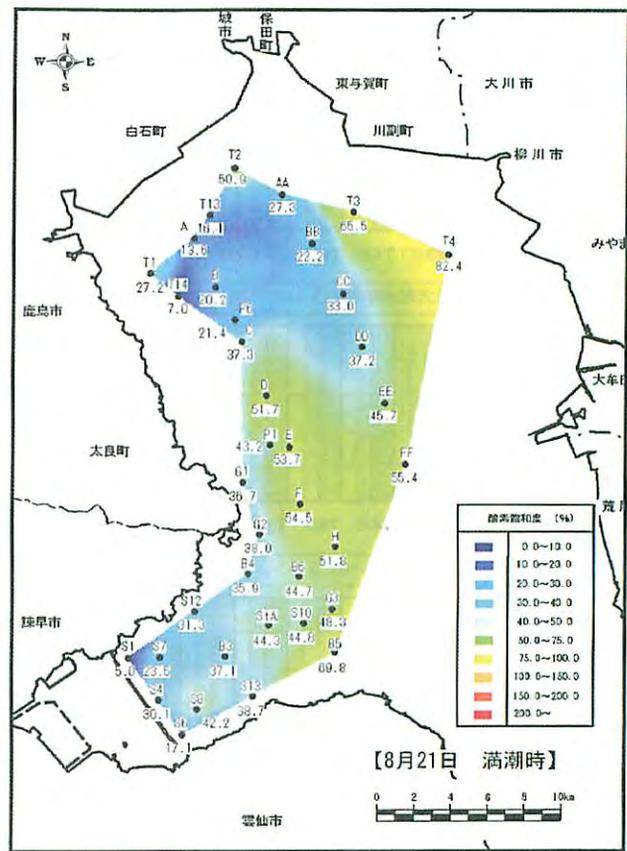
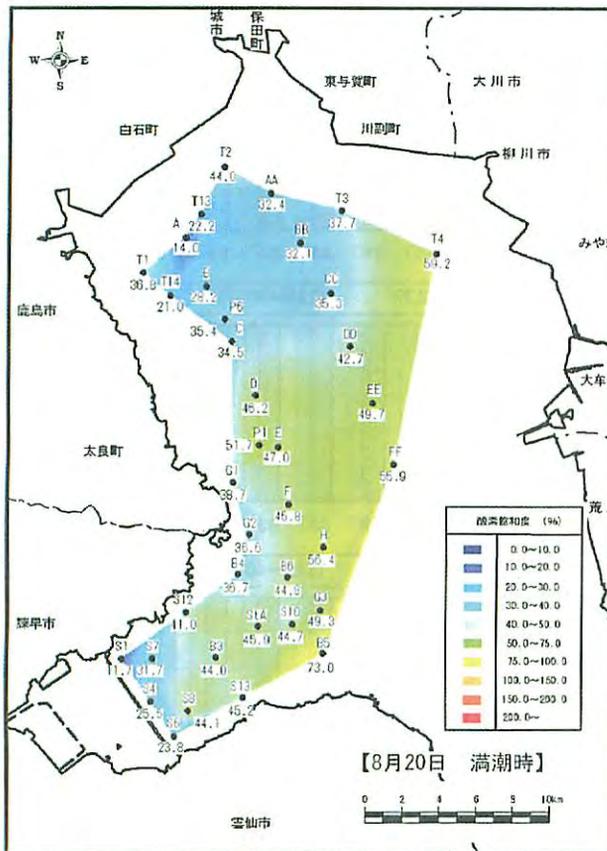
注) T0、T1～T9、T12、T14、P1、P6地点は環境省・水産庁〈西海区水産研究所〉調査結果による

図1-10(2) 貧酸素水塊出現時における底層酸素飽和度の平面分布(2005年)



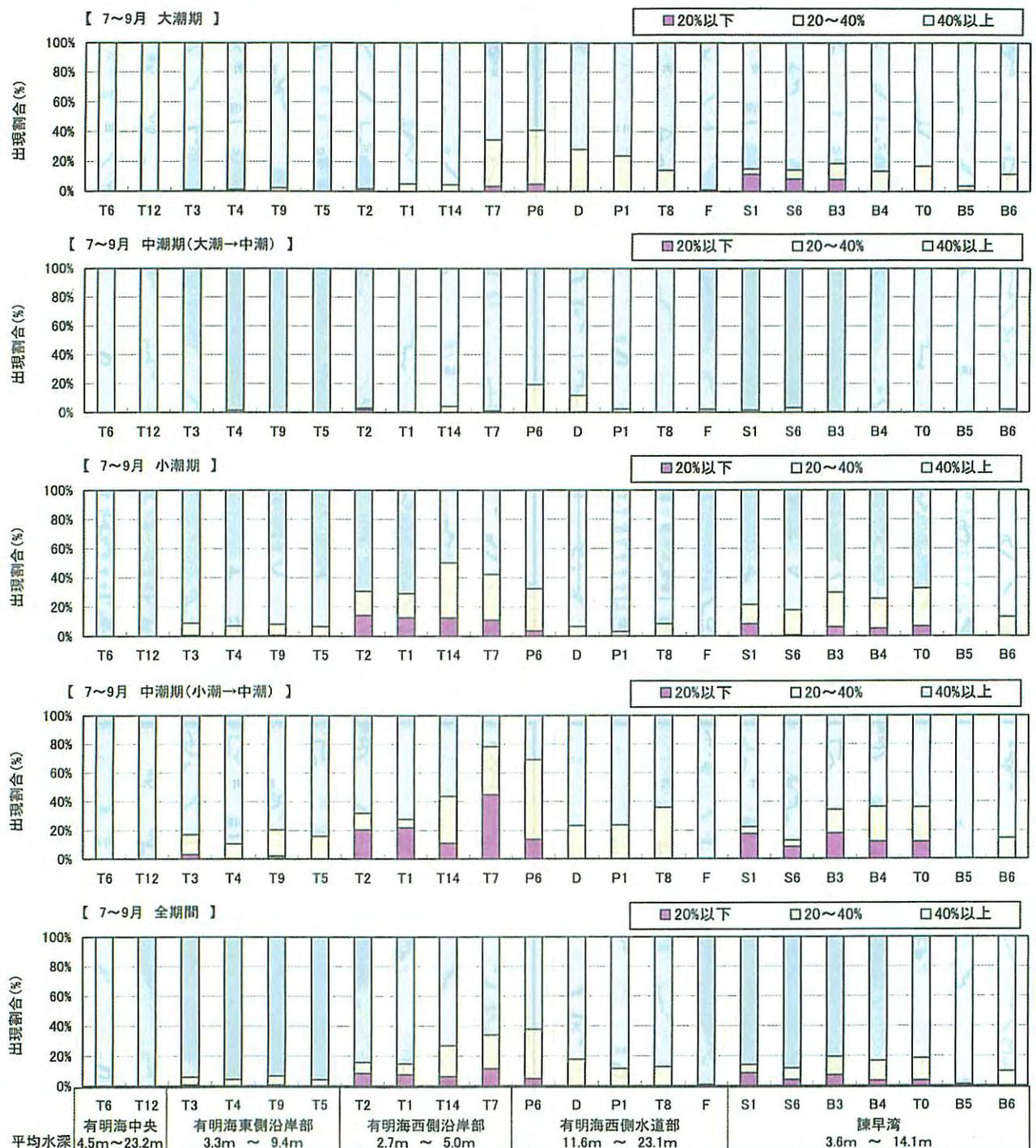
注) T1~T4、T7~T9、T14、P1、P6地点は環境省・水産庁(西海区水産研究所)調査結果による

図1-10(3) 貧酸素水塊出現時における底層酸素飽和度の平面分布(2006年)



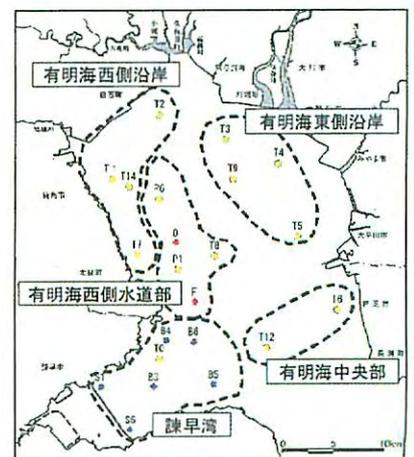
注) T1~T4、T13、T14、P1、P6地点は環境省・水産庁(西海区水産研究所)調査結果による

図1-10(4) 貧酸素水塊出現時における底層酸素飽和度の平面分布(2007年)



注) 諫早湾(S1~B6) : 海底上0.1m、諫早湾以外(T6~F) : 海底上1.0m  
 注) T0、T1~T9、T12、T14、P1、P6地点は、  
 環境省・水産庁(西海区水産研究所)調査結果による

図1-11(1) 地点別・潮期別貧酸素水塊の出現割合  
 (2004年7月1日~9月30日)

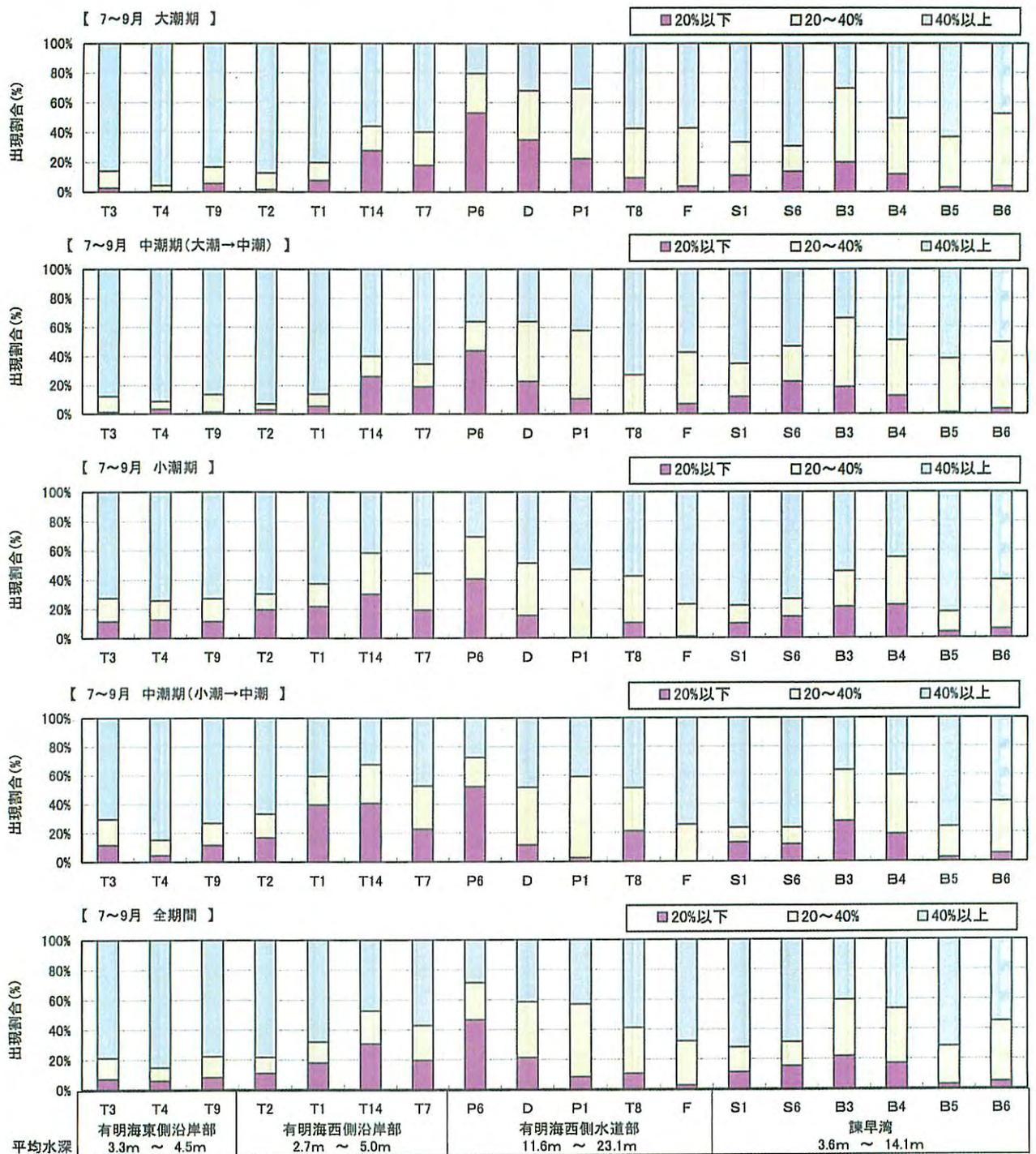




注) 諫早湾(S1~B6) : 海底上0.1m、諫早湾以外(T6~F) : 海底上0.2m  
 注) T0、T1~T9、T12、T14、P1、P6地点は、  
 環境省・水産庁<西海区水産研究所>調査結果による

図1-11(2) 地点別・潮期別貧酸素水塊の出現割合  
 (2005年7月1日~9月30日)





注) 諫早湾(S1~B6) : 海底上0.1m、諫早湾以外(T6~F) : 海底上0.2m  
 注) T1~T4、T7~T9、T14、P1、P6地点は、  
 環境省・水産庁〈西海区水産研究所〉調査結果による

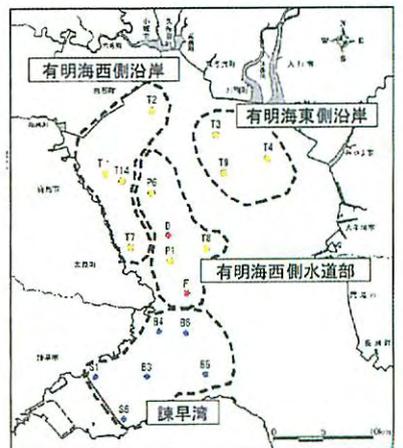
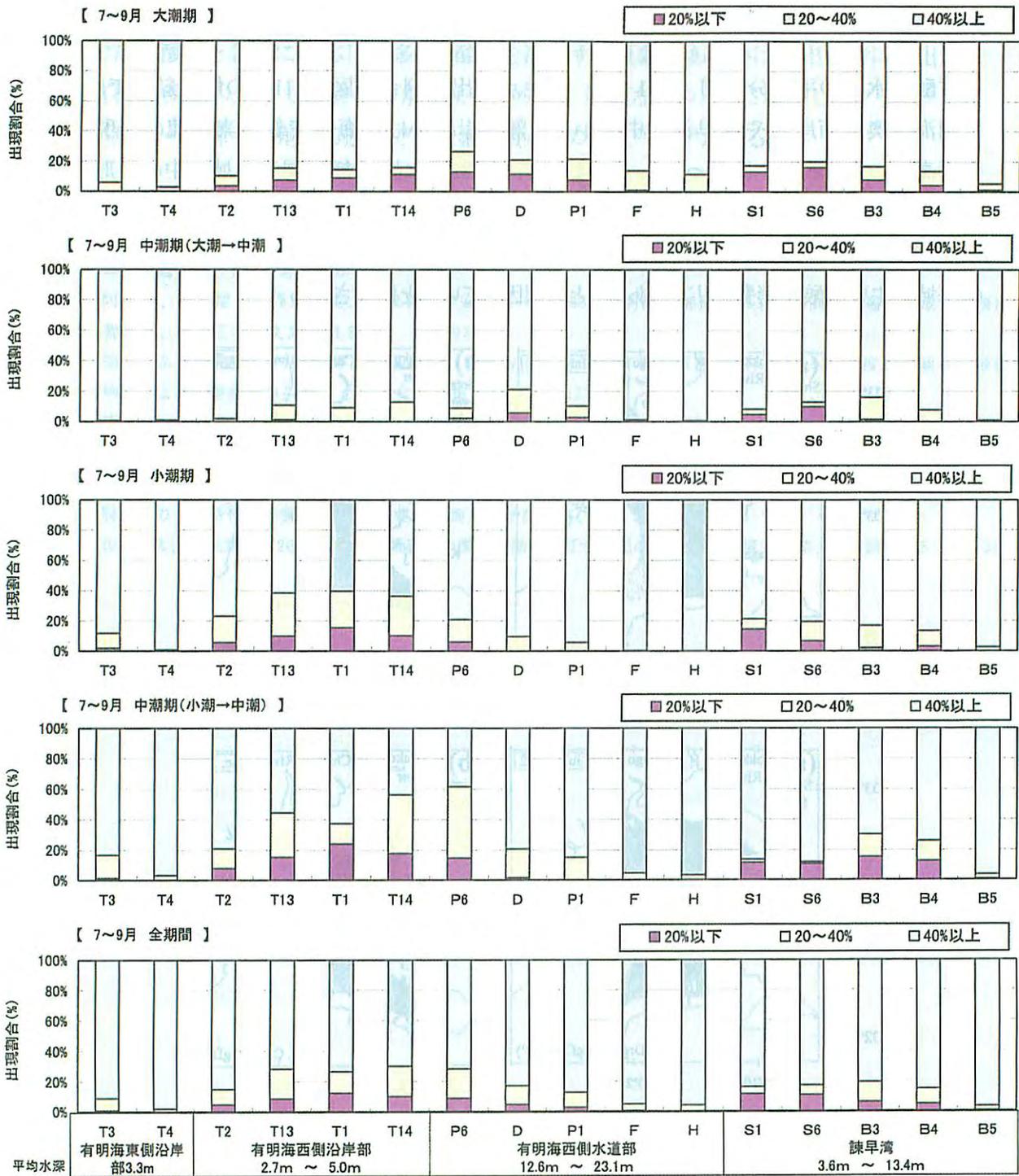


図1-11(3) 地点別・潮期別貧酸素水塊の出現割合  
 (2006年7月1日~9月30日)



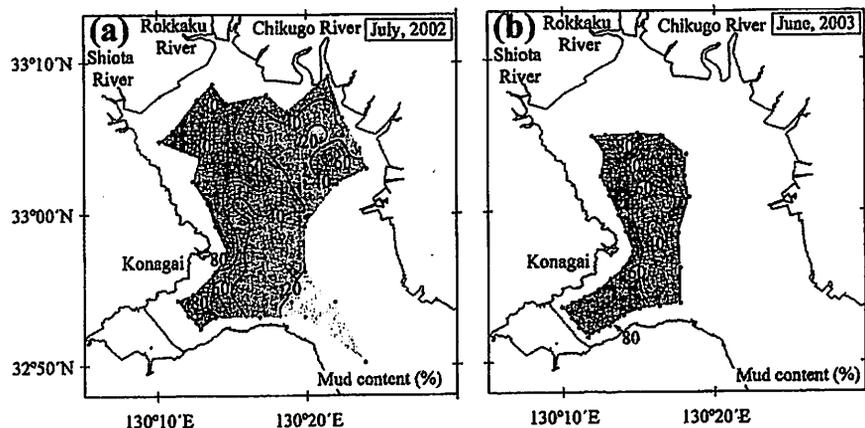
注) 諫早湾 (S1~B5) : 海底上0.1m、諫早湾以外 (T6~H) : 海底上0.2m  
 注) T1~T4、T13、T14、P1、P6地点は、  
 環境省・水産庁(西海区水産研究所)調査結果による

図1-11(4) 地点別・潮期別貧酸素水塊の出現割合  
 (2007年7月1日~9月30日)

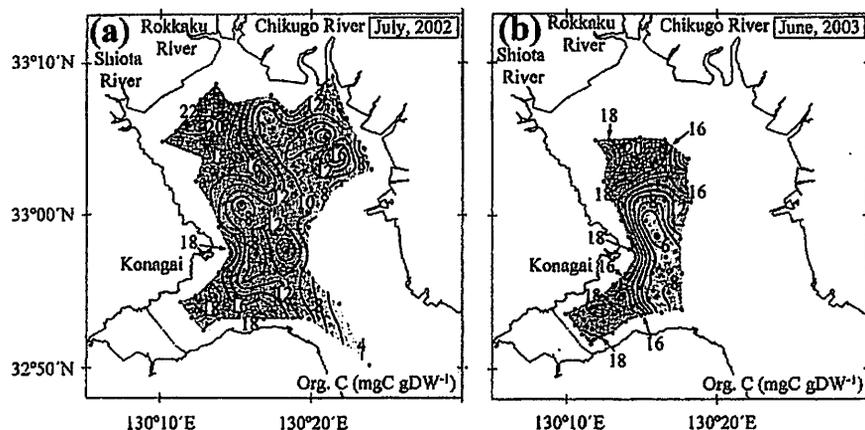


### ⑤貧酸素水塊の平面分布と底質の分布特性

貧酸素水塊の平面分布図（図1-10）や地点別出現割合（図1-11）の解析結果では、有明海湾奥部西岸域や諫早湾の中央から北部沿岸にかけての海域で貧酸素水塊の出現割合が高いことが明らかになった。このように、貧酸素水塊は毎年同じ海域を中心に形成されているが、これらの海域は、図1-12 にみられるように、含泥率や有機炭素量の多い海域に位置しており、両海域において貧酸素水塊の出現割合が高い背景には、これらの海域が主要な酸素消費エリアであることに起因していると推測される。



表層堆積物の含泥率



表層堆積物中の有機炭素量

出典：岡村和磨、田中勝久、木元克則、清本容子（2005）：有明海奥部と諫早湾における表層堆積物中の有機物の分布と有機炭素安定同位対比、海の研究、VOL.15、NO.2、PAGE.191-200

図1-12 有明海湾奥部と諫早湾の表層堆積物分布（a：2002年7月、b：2003年6月）

一般に、淡水と海水が混じり合う河口部では、懸濁物質の凝集・沈降作用が起こっており、出水時に河川から供給される粘土粒子などが、有機性の懸濁物とともに羽毛状のフロックを形成しながら沈降・堆積するほか、波浪による再浮上を繰り返している\*2。このような懸濁粒子の沈降・堆積過程とその挙動が、貧酸素水塊の頻発海域において高い酸素消費能力を有している要因と考えられる。

具体的な酸素消費メカニズムとしては、海底に堆積した有機物を微生物等が海底面で

酸化分解する働きによるものや、還元状態の底泥が巻き上げられることによって、水中の溶存酸素と急激に反応し、多くの酸素を消費する現象、あるいは、出水時に流出した有機懸濁物の水中での酸化分解によるものや、赤潮などのように増殖したプランクトンが死滅・沈降・分解する過程での酸素消費などの知見<sup>※2~※8</sup>がある。

- ※2) 西条八東、奥田節夫編：河川感潮域。第3章 感潮河川における堆積環境。名古屋大学出版会
- ※3) 中山哲蔵、佐伯信哉、時吉学、木元克則（2003）有明海北西部で発生する貧酸素水塊に着目した現地調査、海岸工学論文集、第50巻 976-980
- ※4) 阿部淳、松永信博、児玉真史、徳永貴久、安田秀一（2003）有明海西部海域における高濁度層の形成と酸素消費過程、海岸工学論文集、第50巻 966-970
- ※5) 徳永貴久、阿部淳、松永信博、児玉真史、安田秀一（2005）有明海西部海域における高濁度層の観測と懸濁物質による酸素消費の実験、土木学会論文集、No.782、117-129
- ※6) 速水祐一、山本浩一、濱田孝治、大串浩一郎、平川隆一、宮坂仁、大森浩二（2006）夏季の有明海奥部における懸濁物輸送とその水質への影響、海岸工学論文集、Vol.53 No.2、956-960
- ※7) 山本浩一、速水祐一、吉野健児、笠置尚史、宮坂仁、大串浩一郎、平川隆一（2006）有明海奥部における表層底質の分布特性と底質環境の形成要因、海岸工学論文集、Vol.53 No.2、961-965
- ※8) 田中勝久、児玉真史（2004）有明海湾奥部の環境変動に及ぼす浮泥の影響、水環境学会誌、Vol.27 No.5、307-311

### 3) 貧酸素水塊の挙動

#### ①有明海における挙動

図1-13は、2004年、2005年、2006年、2007年の24時間観測による酸素飽和度の経時変化を示したものである。各年とも、密度躍層が形成されていた水深5m以浅の表層で過飽和、これより下層ではおおむね80%以下の値を示した。

D地点では、2004年及び2005年とも干潮時前後に、水深6m以深で飽和度が低下する傾向を示し、下げ潮時の潮流によって、有明海湾奥部から低濃度な水塊が南下しているものと推測された。逆に、上げ潮時には、有明海湾央付近の飽和度の高い水塊が北上することにより酸素飽和度が上昇するものと推測された。

また、2006年及び2007年は、5～10m付近の中層に酸素飽和度の低い水塊が分布し、底層に比べて中層で飽和度が低くなる現象がみられた。これは、有明海湾奥部の底層の貧酸素水塊が、潮流によって移流（南下）されたことと、沖合の酸素飽和度の高い底層水が、上げ潮時に北上することによって、酸素飽和度の低い水塊が中層に分離されたものと考えられる。

F地点では、2004年と2006年に水深10～15m付近、2007年に5～10m付近の中層で40%以下の水塊が観測されていたが、上げ潮・下げ潮の潮流に伴う濃度変化は不明確であった。

2007年に新たに調査を行ったH地点では、D、F地点と同様に、中層（水深5～10m付近）に飽和度が最も低い水塊が分布していたが、上げ潮・下げ潮の潮流に伴う濃度変化はF地点と同様に不明確であった。これは、FやH地点付近では、下げ潮時に有明海湾奥部から南下する水塊と諫早湾から移動してくる水塊とがぶつかって、複雑な水塊構造を形成する環境にあることによるものと考えられる。

このように、有明海では、湾奥部の底層に分布する貧酸素水塊が、下げ潮時の南流によってD地点付近へと移流し、干潮時前後に濃度低下を示し、逆に、上げ潮時の北流では、沖合の酸素飽和度の高い水塊が底層を北上し、貧酸素水塊が押し上げられて中層に現れるものと考えられる。

図1-14は、大浦地先周辺において貧酸素水塊の形成状況を把握するために、2007年に新たに設けたG1、G2地点の観測結果を用いて、貧酸素水塊が発達した8月20日から23日について酸素飽和度の断面分布（G1～S1ライン）を経時的に並べたものである。

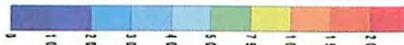
8月20日と21日の濃度分布をみると、干潮時にG1地点の底層でみられた酸素飽和度20%前後の貧酸素水塊が、満潮時には認められなくなっており、D地点と同様に、潮流によって貧酸素水塊が南下しているものと考えられる。

また、G1地点の中～底層から、低濃度な貧酸素水塊の分布域が、諫早湾内方向へ拡大する過程が認められた。

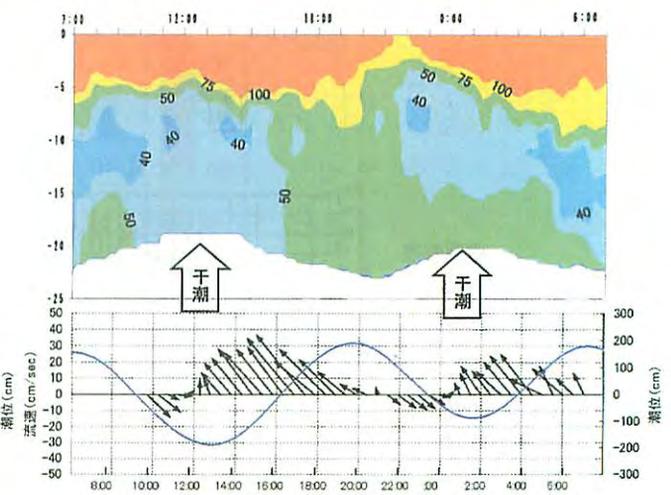
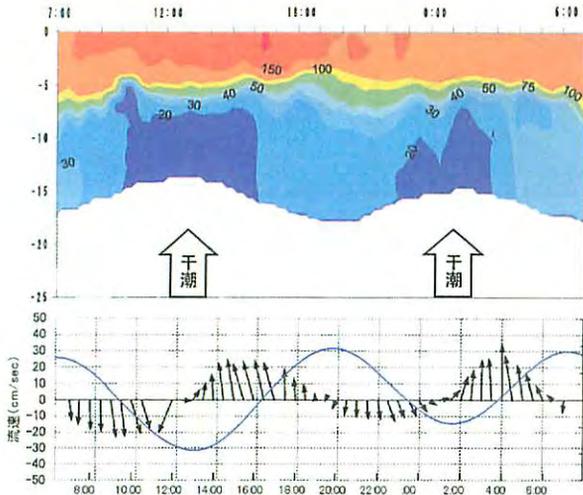
D 地点

F 地点

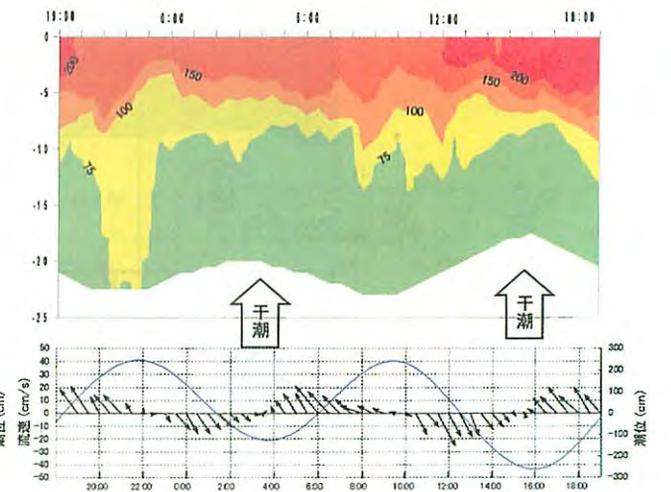
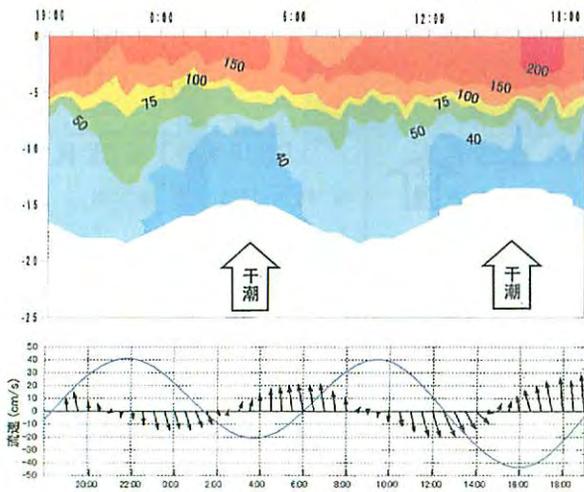
酸素飽和度 (%)



【2004年7月29~30日(中潮期)】



【2005年7月21~22日(大潮期)】



【2006年8月31日~9月1日(小潮期)】

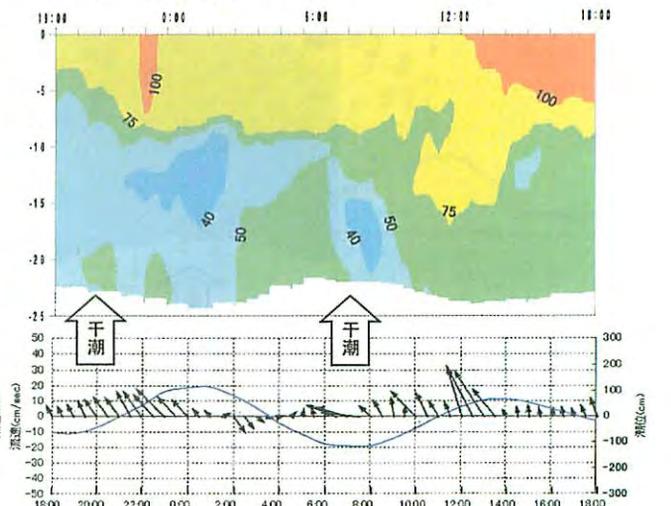
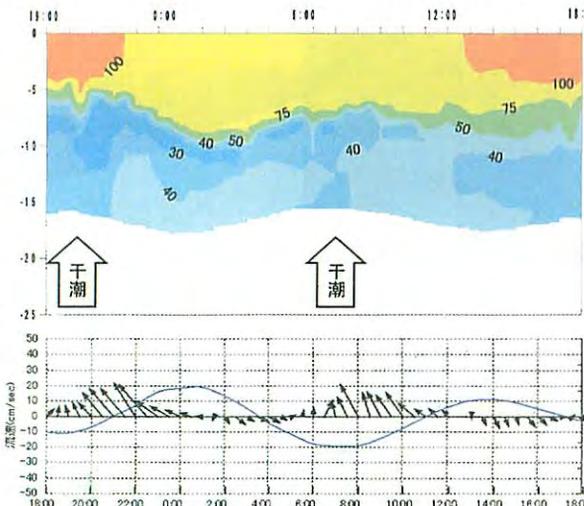
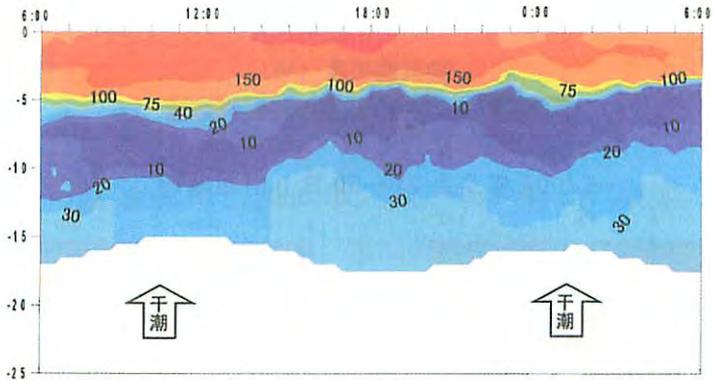
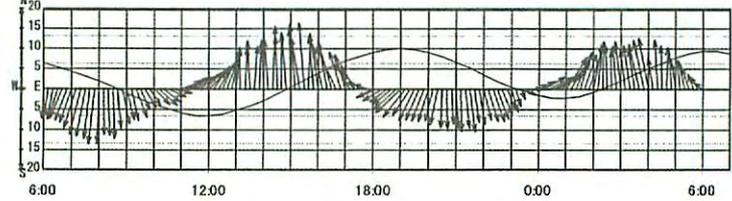


図1-13(1) 24時間鉛直観測による酸素飽和度の経時変化  
(上段:2004年、中段:2005年、下段:2006年)

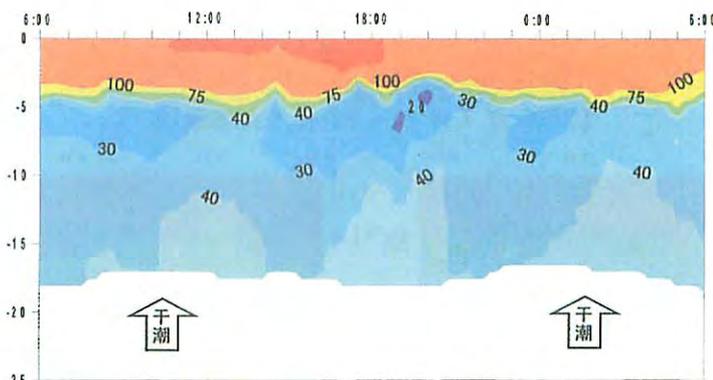
D 地点



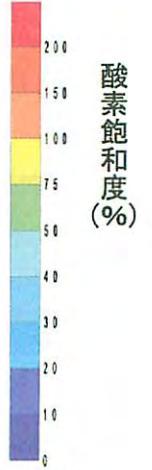
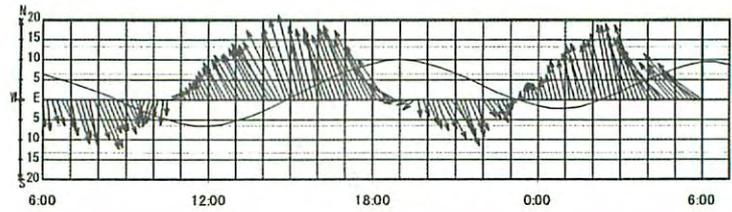
底層流速  
(cm/s)



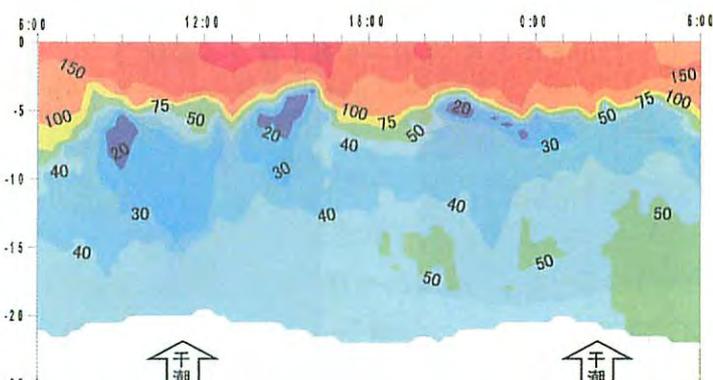
F 地点



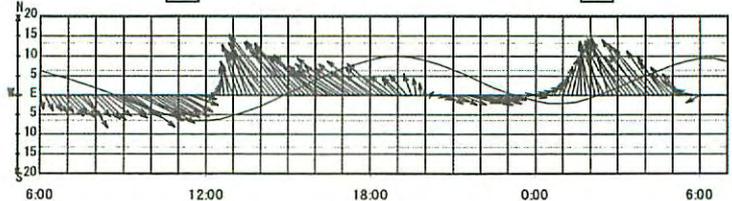
底層流速  
(cm/s)



H 地点

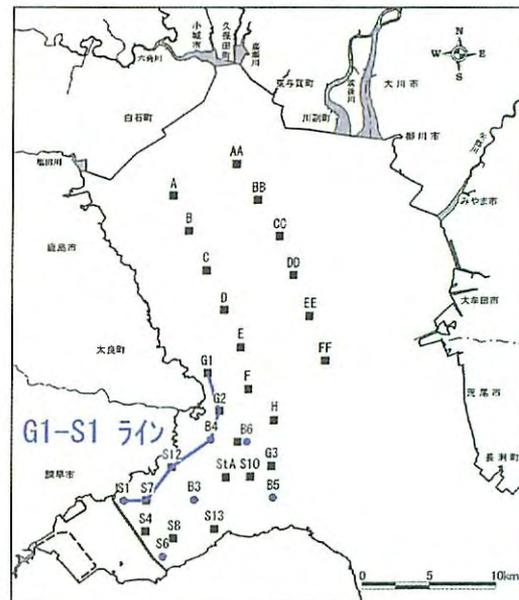
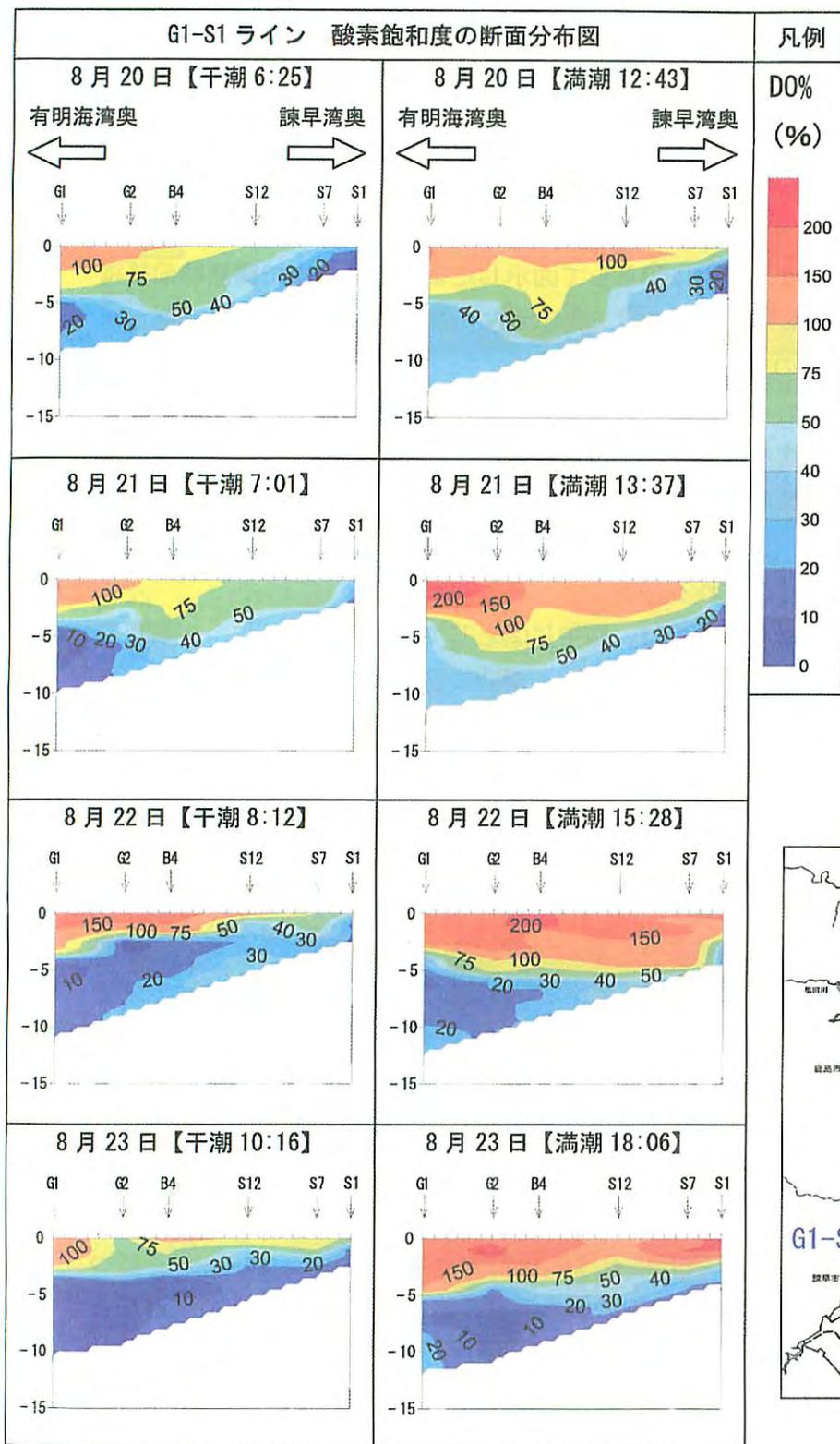


底層流速  
(cm/s)



【2007年8月24日～25日（中潮期）】

図1-13 (2) 24時間鉛直観測による酸素飽和度の経時変化 (2007年)



※干潮、満潮の時刻は、大浦における実測値。

図 1-14 定点鉛直観測による酸素飽和度の断面分布図 (平成19年8月20日~23日)

## ②諫早湾における挙動

諫早湾における貧酸素水塊の挙動については、諫早湾内6地点（図1-15参照）で観測されている自動昇降装置の測定結果をもとに確認した。図1-16は、貧酸素水塊が最も発達した2006年7月下旬から8月上旬にかけての期間の酸素飽和度の経時変化を示したものである。

諫早湾奥部のS1とS6では、図中に①として図示したように、底層で満潮時前後に酸素飽和度が低下する傾向にあり、特に7月31日から8月6日にかけては、底層から中層にかけて飽和度40%以下の貧酸素水塊が出現した。

諫早湾内の潮流は、地形に沿ったおおむね東西方向の往復流を形成し、湾口部ほど流速が大きい状況にある。諫早湾奥部の観測地点の経時変化をみると、上げ潮時に濃度低下が始まり、満潮時前後に貧酸素水塊が現れ、干潮時には再び見られなくなる規則的な変動を示しているが、これは、湾中央部で形成された貧酸素水塊が上げ潮・下げ潮流によって移流されているためと考えられる。

諫早湾中央のB3と北部沿岸のB4では、図中に②として図示したように、中層以深に貧酸素水塊が形成され、層厚は、満潮時に増し干潮時に薄くなる潮位変化と連動した動きを繰り返すものの、常に貧酸素水塊が形成されている状態にあった。

諫早湾湾口南部のB5では、図中に③として図示したように、下げ潮時から飽和度が低下し、干潮時前後に最も貧酸素化する周期的な変化を示し、湾奥と逆に、諫早湾中央の貧酸素水塊が、下げ潮により東方向へ移流することによって観測されたものと考えられる。

一方、諫早湾湾口北部の有明海側のB6では、図中に④として図示したように、中層から底層付近に濃度の低い水塊が分布するものの、上げ潮時と下げ潮時に明確な濃度変化はみられなかった。B6地点付近は、下げ潮時に有明海湾奥部から南下する水塊と、諫早湾からの東向きの流れがぶつかって、両海域の影響を受けた複雑な環境にあると考えられる。

このように、諫早湾内では、湾中央のB3や北部沿岸のB4付近を中心に貧酸素水塊が形成され、形成された貧酸素水塊は、上げ潮時の西流によって湾奥のS1やS6に移動し、逆に下げ潮時の東流によって湾口のB5に移動するものと考えられる。B6については、有明海湾奥部より南下してくる水塊の影響も受けるため、複雑な水塊構造になっていると考えられる。

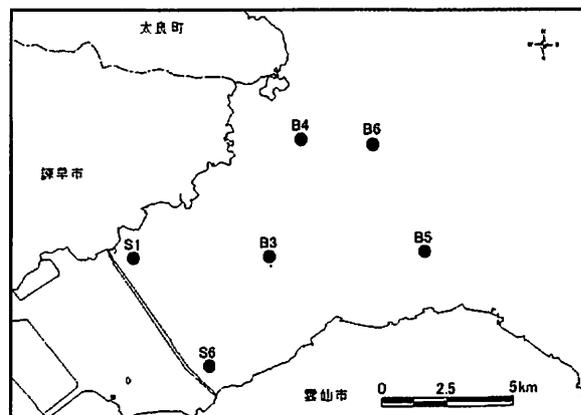


図1-15 自動昇降装置設置地点図

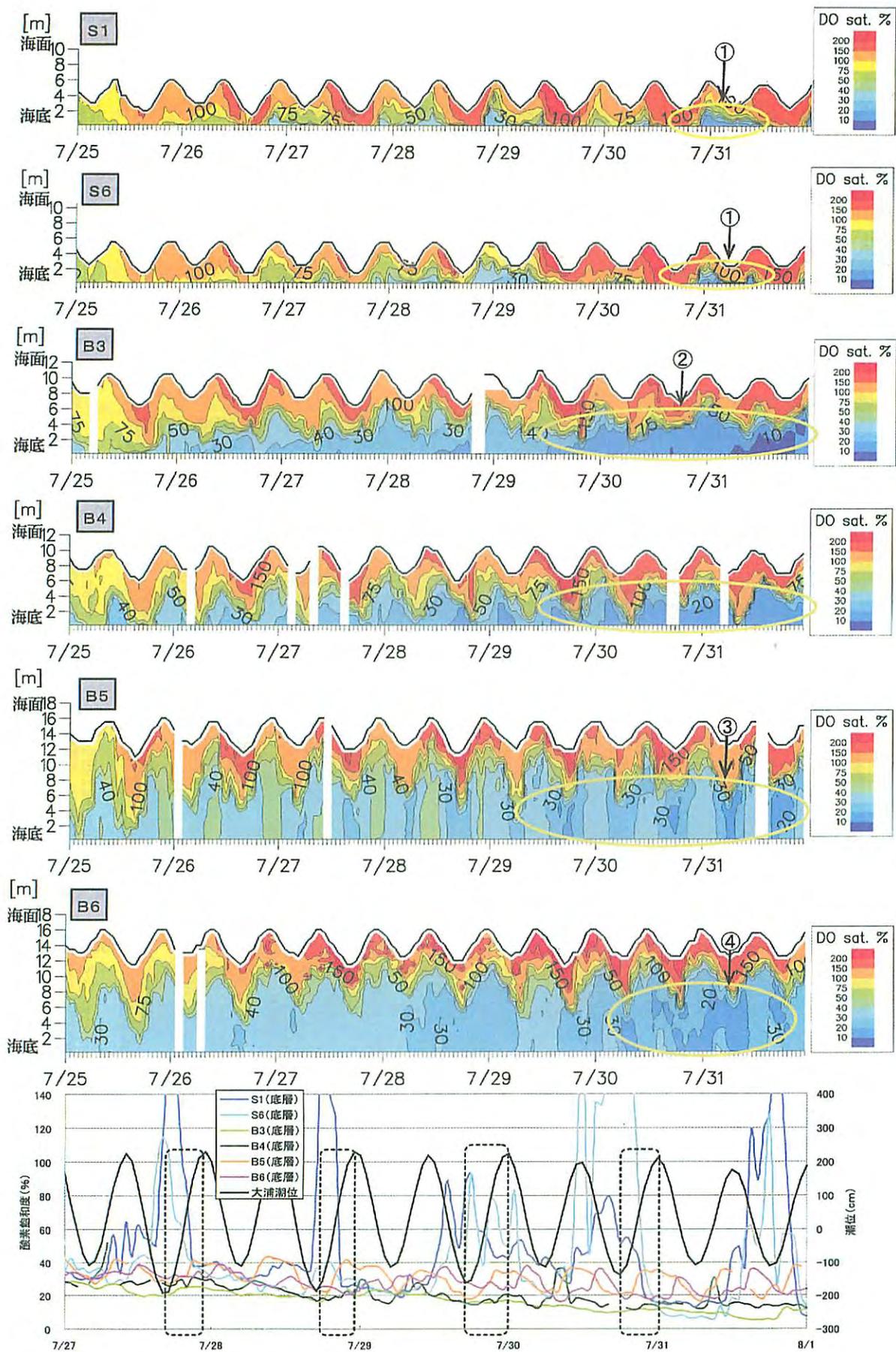


図 1-16 (1) 自動昇降装置による酸素飽和度の経時変化 (H18. 7/27~7/31)

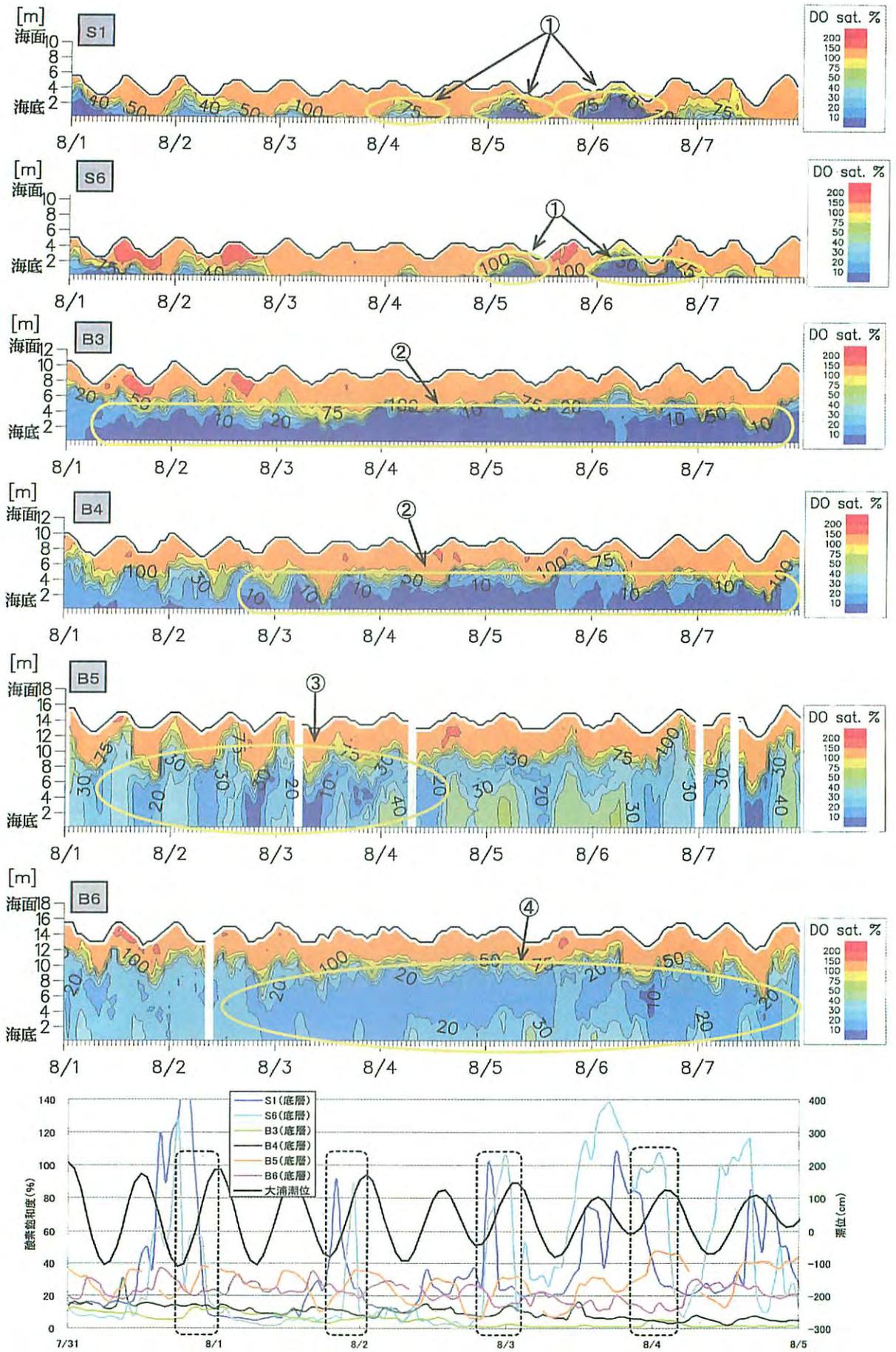
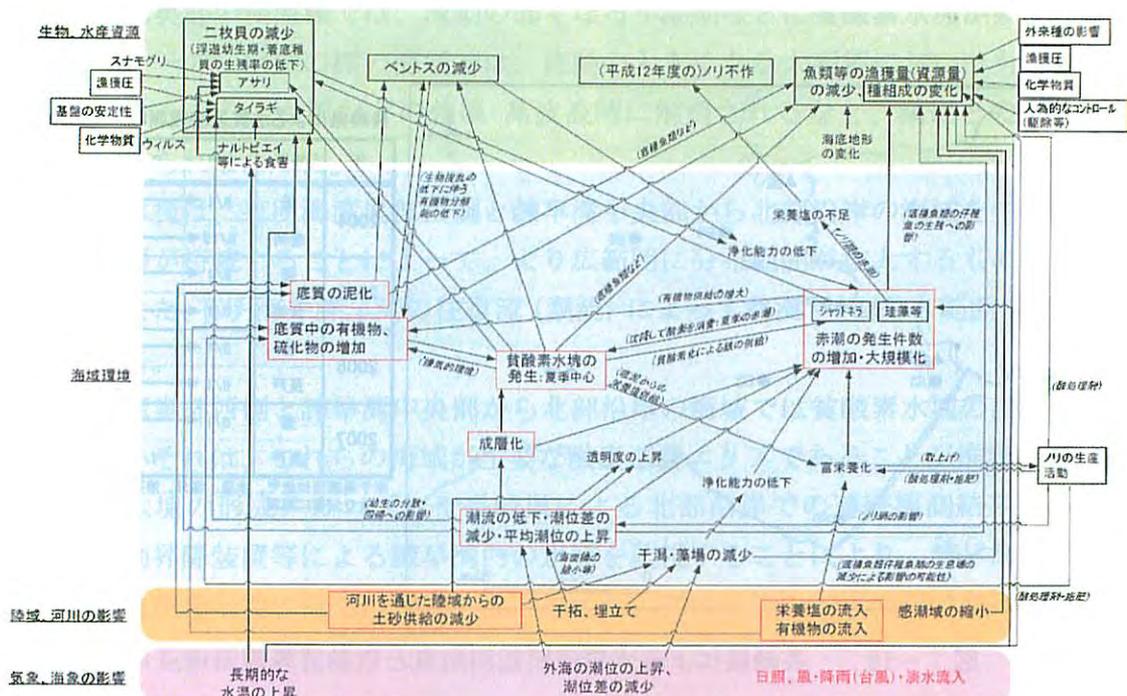


図 1-16 (2) 自動昇降装置による酸素飽和度の経時変化 (H18. 7/31~8/4)

#### (4) その他の調査結果

○有明海や諫早湾では、2000年のノリ不作問題以降、大学や行政機関など様々な関係者によって、有明海再生に向けた流動環境や底質環境、物質循環などに関する調査が行われている。その中には、二枚貝類などの底生生物の減少要因として考えられている貧酸素水塊の形成メカニズムに関する調査も数多く行われている。

この貧酸素水塊の形成メカニズムは、図1-17に示すように、栄養塩や有機物の供給、水温・塩分躍層の形成、赤潮の発生や消滅、底質の悪化などの海域環境に関わる様々な現象との関連があり、夏場の有明海における物質循環過程にとって重要な位置づけと考えられている。



注：陸域、河川の影響と海域環境のエリアに記載されている赤四角で囲まれた項目は、気象、海象の影響の「日照、風・降雨（台風）、淡水流入」の影響を受ける項目である  
出典）有明海・八代海総合調査評価委員会報告書（平成18年12月）環境省 有明海・八代海総合調査評価委員会

図1-17 有明海における問題点と原因・要因との関連の可能性

○諫早湾では、北部沿岸のアサリ漁場において、夏季にアサリが死滅する被害が発生する年があり、貧酸素水塊の形成に伴うアサリやサルボウなどの有用水産生物への悪影響が懸念されている。このため、長崎県総合水産試験場では、夏季のアサリ被害の要因を明らかにするために、2004年以降、貧酸素水塊形成時期の水質連続観測を、アサリ漁場近傍で実施している。（図1-18参照）

一方、九州農政局では、諫早湾内6地点に設置された自動昇降装置により、水温、塩分の鉛直分布（躍層の形成状況）や、クロロフィル蛍光強度の経時変化（植物プランクトンの増殖状況）、溶存酸素濃度の経時変化（貧酸素水塊の形成状況）を観測している。

ここで、2007年の長崎県の観測と自動昇降装置の連続観測結果から、酸素飽和度の日平均値を図1-19に示す。各地点の酸素飽和度の日平均値は、観測地点の水深の違いに

よると思われる濃度の差はあるものの、濃度の上昇や低下、あるいは横ばい等の経時変化の傾向は概ね類似しており、貧酸素水塊の形成も同じ時期に認められた。

したがって、自動昇降装置の水質測定結果から、北部沿岸部の漁場水質（躍層や貧酸素水塊の形成）を概ね予測可能と考えられる。

貧酸素水塊の形成については、九州農政局のこれまでの調査・解析結果より、降雨や日射による躍層形成と、躍層や貧酸素水塊の発達・持続・解消に作用する気象・海象の条件が、タイミング良く重なることが条件となることが明らかになってきている。

今後は、自動昇降装置による水質測定結果と、気象・海象の現況・予報を踏まえ、躍層の発達や消滅を予測することで、貧酸素水塊の発生を予測することが可能と思われ、アサリ等の沿岸漁場における被害防止策の効率的な実施に寄与できるものと考えられる。

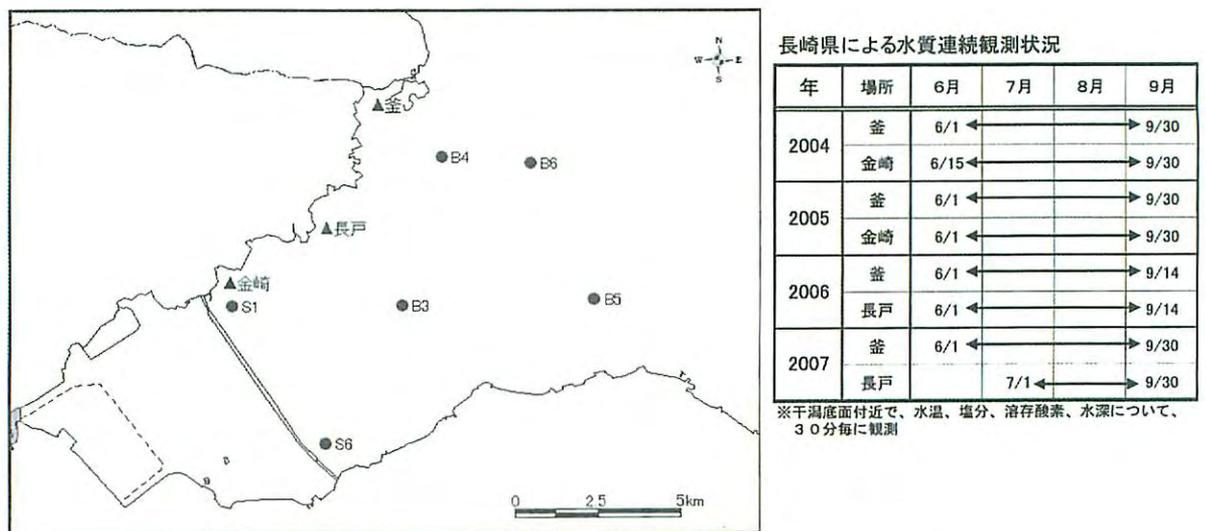


図 1-18 長崎県による水質連続観測地点と自動昇降観測地点

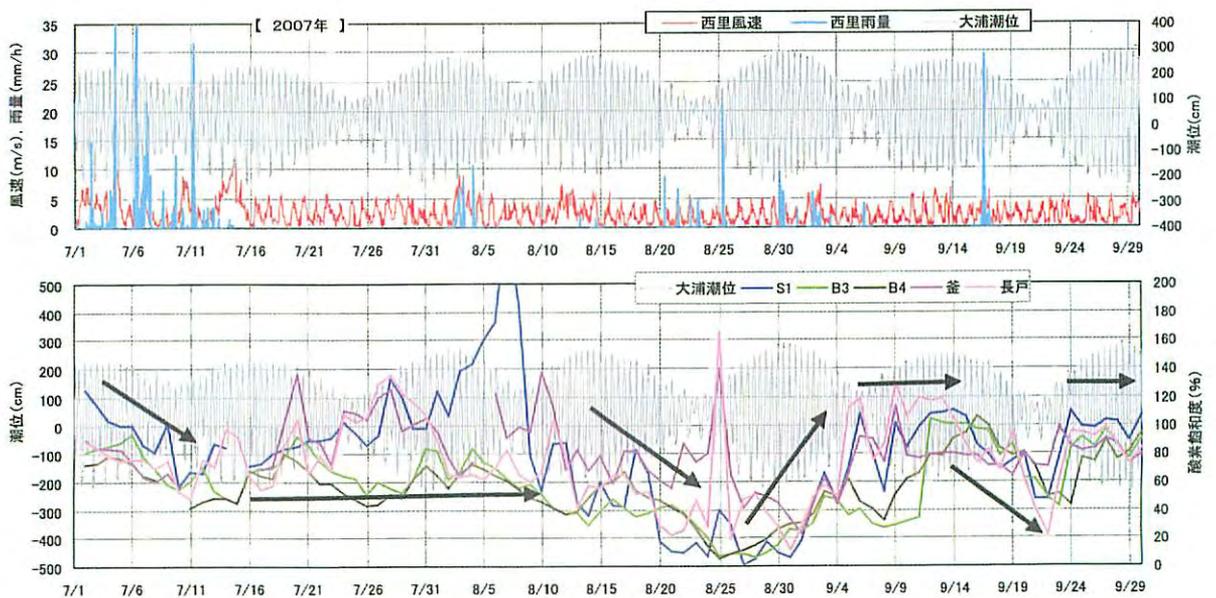


図 1-19 自動昇降装置と北部沿岸域における日平均酸素飽和度の経時変化 (2007年)

## (5) まとめ

現地観測結果と貧酸素現象に関する既存の研究結果を参考に、貧酸素化への直接的な自然現象の流れを整理すると以下のとおりであり、図1-20の模式図に示した。

- ① 水温躍層は、晴天時に表層水が暖められることによって、有明海湾奥部と諫早湾の浅海域でそれぞれ形成され、晴天が持続すると一体的な水温躍層へと発達する。
- ② 塩分躍層は、降雨に伴う河川水の増大によって有明海湾奥部より形成され、発達する。この時の塩分躍層は、おおむね水深5m前後に形成された。
- ③ 貧酸素水塊は、躍層の発達とともに出現するが、既往知見どおり、躍層の形成には水温よりも塩分の寄与が大きいと考えられる。
- ④ 有明海湾奥部の浅海域では、流動の弱くなる小潮期などに貧酸素水塊が多く発生している。一方、水深の深い海域では、流動の大きくなる大潮期においても解消されない場合もあり、台風などの強風・高波浪時に解消されるなど、潮期との明らかな関連はみられなかった。
- ⑤ 貧酸素水塊は、有明海湾奥部西側と諫早湾中央部から北部沿岸の海域を中心に発生し、躍層が持続することによって、より広範囲に分布範囲が拡大するものと考えられる。また、有明海や諫早湾の往復流（潮流）によって移流され、分布範囲が変化（消長）する。
- ⑥ 有明海湾奥部西側と諫早湾中央部から北部沿岸の海域では貧酸素水塊の出現割合が高いが、それは、これらの海域が主要な酸素消費エリアであることが推測された。
- ⑦ 貧酸素水塊の形成メカニズムや長崎県による北部沿岸での連続観測結果をふまえて、自動昇降装置等による諫早湾内の水質を監視することにより、諫早湾北部沿岸部等の貧酸素水塊の発生は予測可能と思われ、アサリ等の沿岸漁場における被害防止策の効率的な実施に寄与できるものと考えられる

以上のように、これまでの調査結果から、貧酸素水塊は、水温が上昇する7月末頃から8月末頃にかけて形成され、大きな降雨後に表層塩分の低下により塩分躍層が形成されている状態で発生しやすいことが明らかになった。また、貧酸素水塊は、有明海湾奥部の浅海域では、流動の弱くなる小潮期などに多く発生し、水深の深い海域では、流動の大きくなる大潮期においても解消されない場合もあり、台風などの強風・高波浪時に解消されるなど潮期との明らかな関係はみられなかった。

貧酸素水塊の発生頻度は、有明海湾奥部西側海域と諫早湾中央から北部沿岸域が高い。さらに、これらの海域で形成された貧酸素水塊は、往復流（潮流）によって、有明海湾奥部西側海域では南北方向に往復し、諫早湾では東西方向に往復していた。

溶存酸素濃度を低下させる酸素消費現象としては、河川等から供給された有機懸濁物質や、赤潮などのように河川水量の増大に伴って増殖した植物プランクトンの死骸等が、水中や海底面で好氣的分解を受ける現象や、海底に堆積した有機物が巻き上げられた際に、酸化還元反応により酸素を消費する現象が考えられる。

有明海湾奥部西側海域や諫早湾中央から北部沿岸域で貧酸素現象が頻発している要因には、前述のような酸素消費現象を引き起こす有機懸濁物質が多かったり、底泥に堆積している有機物が多かったりする海域特性を有しているためと考えられることから、これら海域の底質特性を把握することが重要である。

これらの貧酸素化への直接的な自然現象の流れをふまえて、海域水質の現状を把握することにより、躍層の形成や貧酸素水塊の発生が予測可能となり、水産被害を未然に防止する効果的な対策実施に寄与できるものと考えられる。

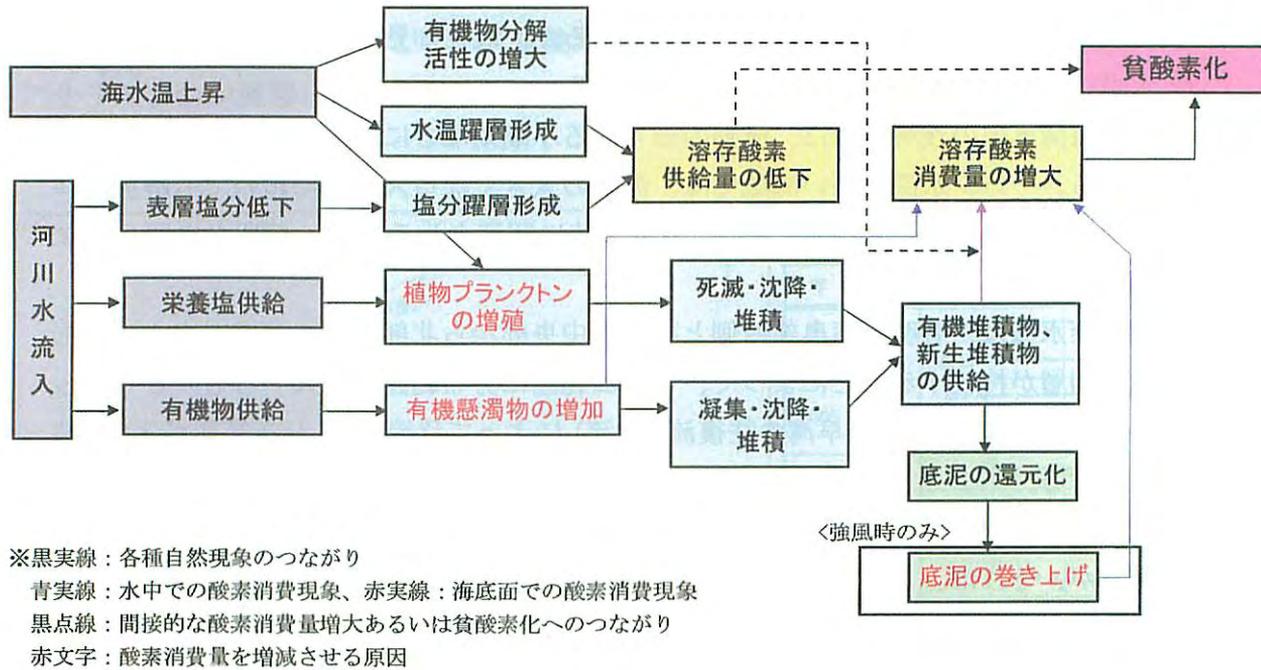


図 1-20 貧酸素化への直接的な自然現象の流れ

## 2. 赤潮調査

### (1) 調査の目的

赤潮の発生海域や拡大状況の実態を明らかにする。

### (2) 調査の実施状況

① 平成 16～19 年度における九州農政局の調査の実施状況は、以下のとおりである。

調査地点：X1、X2、X3、X4、X5、X6 の 6 地点 (図 2-1)

調査期間：平成 16 年 10 月 28 日～17 年 3 月 26 日 (20 回) [1 回/週]

平成 17 年 6 月 7 日～18 年 3 月 29 日 (39 回) [1 回/週]

平成 18 年 6 月 12 日～19 年 3 月 29 日 (38 回) [1 回/週]

平成 19 年 6 月 1 日～20 年 3 月 28 日 (41 回) [1 回/週]

調査方法：リゴ- B 号透明採水器により表層 (海面下 0.5m) を採水

調査項目：水温、DIN (NH<sub>4</sub>-N、NO<sub>2</sub>-N、NO<sub>3</sub>-N)、クロロフィル a、比重 ( $\sigma_{15}$ )、プランクトン沈殿量、塩化物イオン  
なお、プランクトンの構成種および細胞数 (上位 5 種) は②に示すプランクトン調査を使用する。

リゴ- B 号透明採水器



容量：2200ml  
寸法：直径 13.4 × 71cm  
重量：約 4.2kg

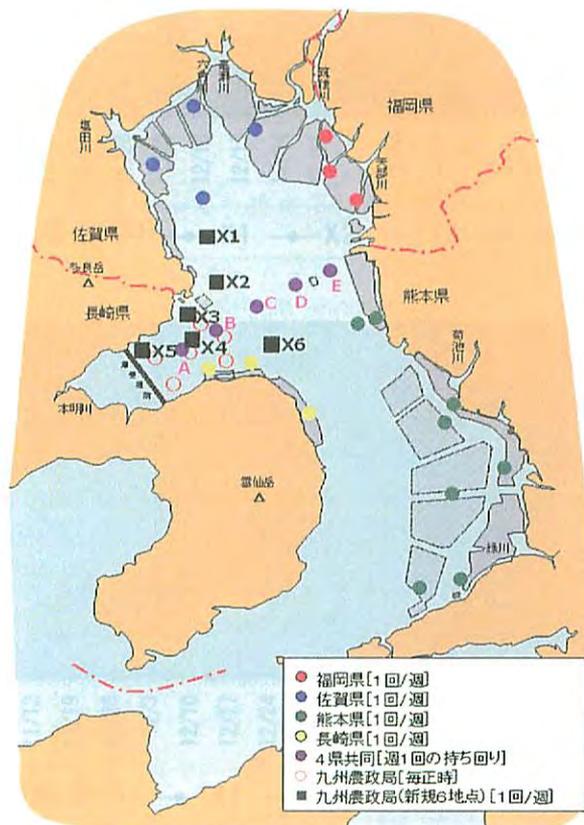


図 2-1 調査地点図

本調査結果は、西海区水産研究所および 4 県水産試験場等と連携を図り、(社) 日本水産資源保護協会の「有明海等環境情報・研究ネットワーク」のホームページにおいて情報提供 (水温、比重、DIN、プランクトン沈殿量) を行っている。

② プランクトン調査の九州農政局の実施状況は、以下のとおりである

調査地点：X4 (B3)、X5 (S1) の2地点 (図 2-1)

調査期間：平成 16 年 4 月 5 日 ～ 17 年 3 月 26 日 (56 回) [1 回/週]

平成 17 年 4 月 4 日 ～ 18 年 3 月 27 日 (57 回) [1 回/週]

平成 18 年 4 月 3 日 ～ 19 年 3 月 21 日 (27 回) [1 回/2 週]

平成 19 年 4 月 2 日 ～ 20 年 3 月 31 日 (27 回) [1 回/2 週]

調査方法：採水バケツにより表層 5L を採水

調査項目：プランクトンの構成種および細胞数 (上位 5 種)

③ クロロフィル a 衛星画像データによる解析の実施状況は、以下のとおりである。

調査範囲：有明海全域

調査期間：平成 15 年 1 月～平成 19 年 8 月

解析方法：MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) によるクロロフィル画像データおよびそのバイナリーデータを使用し、赤潮の拡大状況等を解析

### (3) 調査結果

#### ① 平成16年度調査結果

##### i) クロロフィル a 等の経時変化

クロロフィル a、プランクトン沈殿量、水温、塩化物イオンの観測結果を図 2-2 に示す。

10 月 28 日に諫早湾奥の X5 地点において高濃度のクロロフィル a ( $45 \mu\text{g/L}$ ) が観測された (図中①)。また、11 月 28 日には湾央の X4 地点で (図中②)、12 月 13 日には佐賀沖の X1 地点で (図中③)、それぞれやや高めめのクロロフィル a ( $20 \sim 30 \mu\text{g/L}$ ) が観測された。そのほかは、比較的低いレベルで推移していた。一方、プランクトン沈殿量では、X5 地点において冬季における変動が大きかったが、クロロフィル a 濃度の増加はみられなかった。高クロロフィル a が観測された 10 月 28 日の X5 地点については、調査日前に数十 mm の降雨がみられており、これに伴う塩分の低下も観測されている。

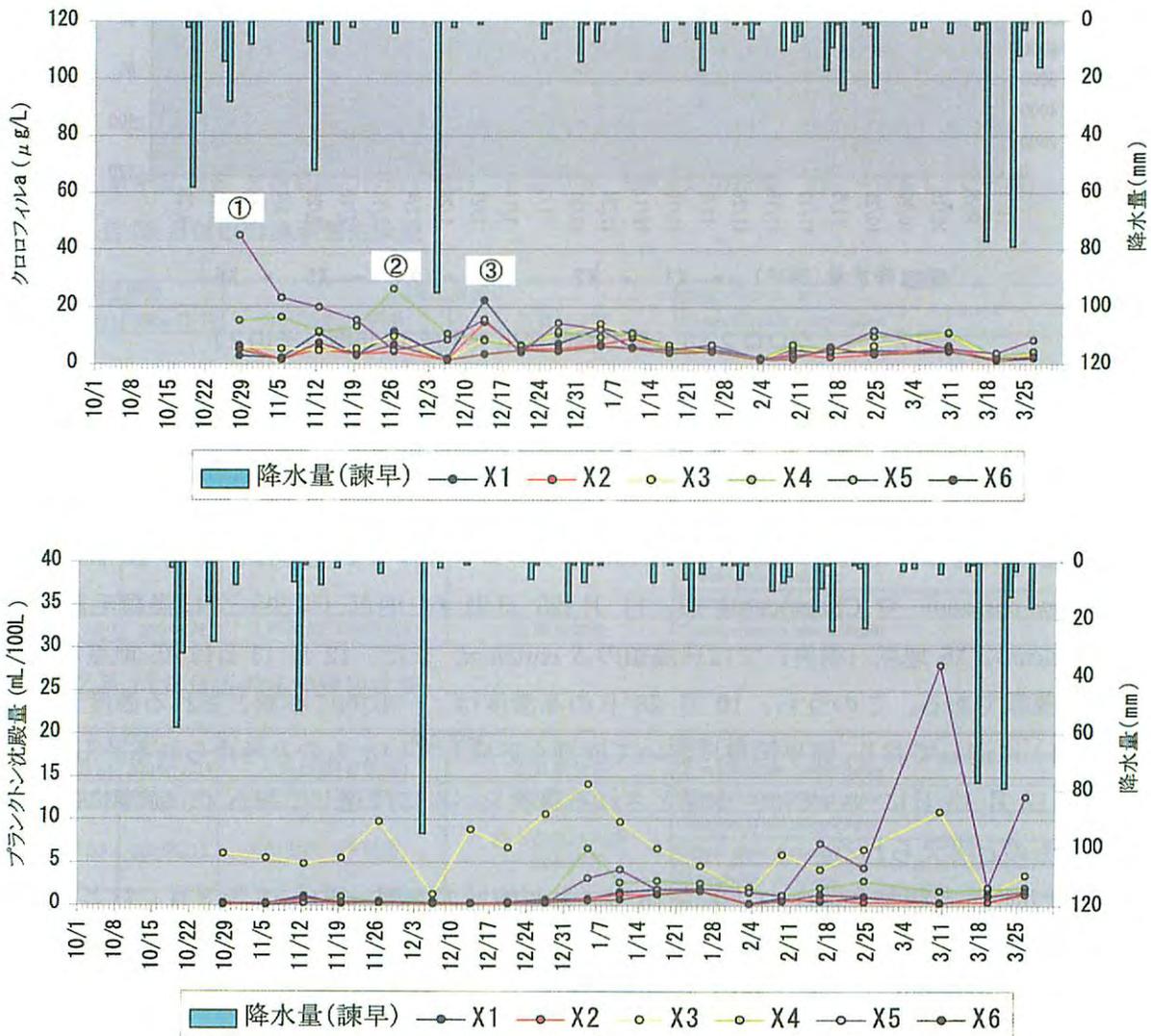


図 2-2 クロロフィル a 等の経時変化 (平成 16 年度、その 1)

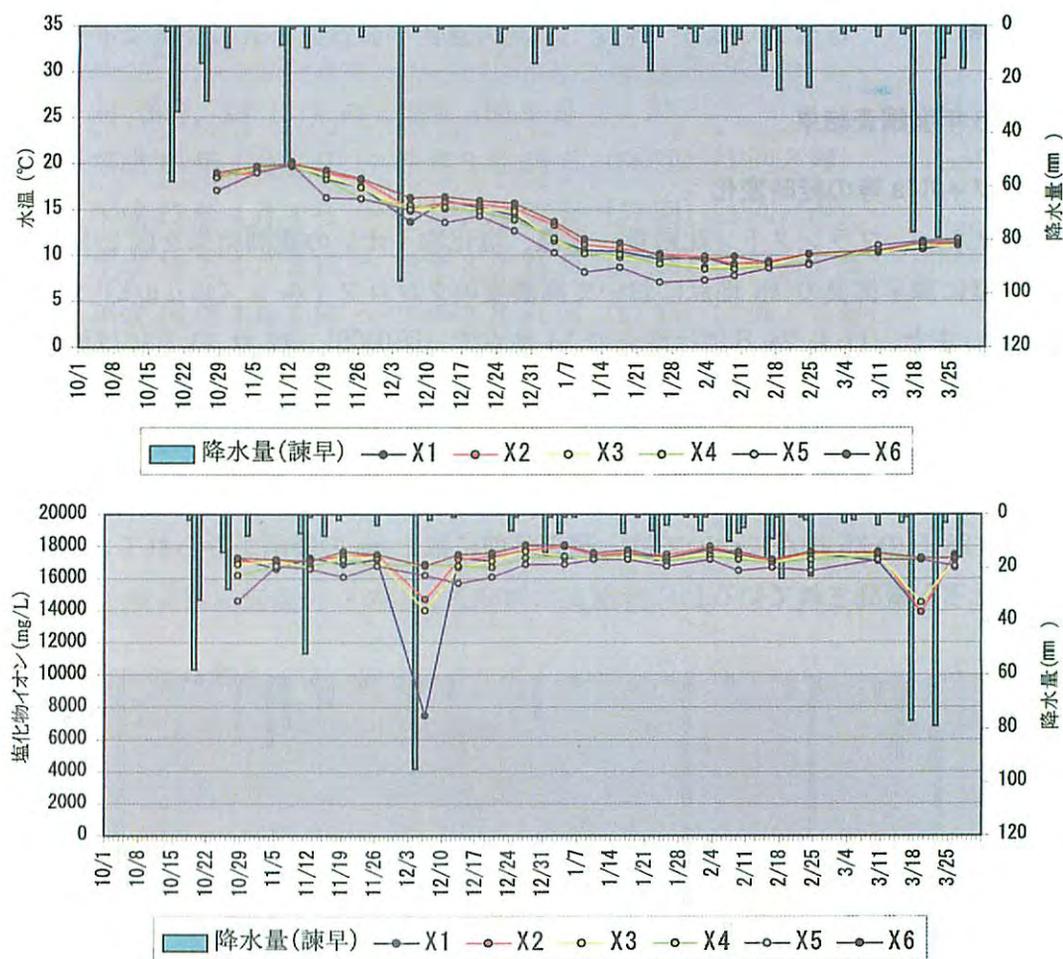


図 2-2 クロロフィル a 等の経時変化（平成 16 年度、その 2）

ii) 高クロロフィル a 観測日（高濃度日）付近における赤潮の発生状況

クロロフィル a 高濃度日付近における植物プランクトンの発生状況は、プランクトン調査結果によると、表 2-1 のとおりである。高濃度日におけるクロロフィル a の主体は、10 月 28 日では珪藻の *Skeletonem costatum* や *Chaetoceros* 類、11 月 28 日の X4 地点（湾央）では渦鞭毛藻類の *Prorocentrum micans*、X5 地点（湾奥）では珪藻類の *S. costatum*、また、12 月 13 日は X5 地点でみられたクリプト藻類である。このうち、10 月 28 日の高濃度は、一般的に赤潮とされる濃度レベル（ $40 \sim 50 \mu\text{g/L}$ ）に達しており、諫早湾奥において赤潮を形成していたものと考えられる。しかし、11 月 28 日や 12 月 13 日については、赤潮とされる濃度レベルには達しておらず、赤潮には至っていなかったものと考えられる。

一方、水産庁九州漁業調整事務所の「平成 16 年 九州海域の赤潮 平成 18 年 3 月」および「平成 17 年 九州海域の赤潮 平成 19 年 2 月」によれば、クロロフィル a 高濃度観測日周辺における赤潮の発生状況は、表 2-2、図 2-3 に示すとおりである。10 月 28 日には佐賀県全域で渦鞭毛藻類 *Gymnodium sanguineum* による赤潮が観測されている。11 月 28 日については、佐賀県全域で引き続き赤潮が観測され、荒尾市沖から宇土市沖にかけての海域および福岡県地先の海域でも赤潮が観測されている。前者の赤潮は、11 月上旬から 12 月上旬の約 1 ヶ月に及び、渦鞭毛藻の *G. sanguineum* や珪藻の *S. costatum* など複数種から構成されていた。後者は 11 月下旬から翌年 1 月

上旬の約1ヶ月に及び、渦鞭毛藻の *G. sanguineum* によるものであった。12月13日については、佐賀県全域、荒尾市沖～熊本市沖、島原市三会地先、瑞穂町～国見町地先、福岡県地先で赤潮がみられており、渦鞭毛藻の *G. sanguineum* や珪藻の *S. costatum* などで構成されていた。

表 2-1 クロロフィル a 高濃度日付近の植物プランクトンの発生状況（平成 16 年度）

高濃度日	X1	X2	X3(B4)	X4(B3)	X5(S1)	X6	プランクトン調査日
①2004/10/28				<i>S. costatum</i>	<i>S. costatum</i> <i>Chaetoceros spp.</i>		10/28
②11/28				<i>P. micans</i>	<i>S. costatum</i>		11/26
③12/13					クリプト藻綱		12/13

※ ■ はクロロフィルa濃度が比較的高い地点を示す。

表 2-2 クロロフィル a 高濃度日付近における赤潮の発生状況（平成 16 年度）

（「平成 16 年 九州海域の赤潮」及び「平成 17 年 九州海域の赤潮」のデータをもとに作成）

a. 平成 16 年 10 月 28 日付近の赤潮発生状況

通報番号	発生期間		発生海域		構成プランクトン
SA-10	2004/10/24	2004/12/29	九州西部(有明海)	佐賀県全域	<i>Gymnodinium sanguineum</i>

b. 平成 16 年 11 月 28 日付近の赤潮発生状況

通報番号	発生期間		発生海域		構成プランクトン
SA-10	2004/10/24	2004/12/29	九州西部(有明海)	佐賀県全域	<i>Gymnodinium sanguineum</i>
KM-17	2004/11/5	2004/12/3	九州西部(有明海)	荒尾市沖～宇土市沖	<i>Gymnodinium sanguineum</i>
					<i>Chaetoceros spp.</i>
					<i>Mesodinium rubrum</i>
					<i>Sketonea costatum</i>
FO-16-14	2004/11/29	2005/1/4	九州西部(有明海)	福岡県地先	<i>Katodinium glaucum</i>
					<i>Gymnodinium sanguineum</i>

c. 平成 16 年 12 月 13 日付近の赤潮発生状況

通報番号	発生期間		発生海域		構成プランクトン
SA-10	2004/10/24	2004/12/29	九州西部(有明海)	佐賀県全域	<i>Gymnodinium sanguineum</i>
FO-16-14	2004/11/29	2005/1/4	九州西部(有明海)	福岡県地先	<i>Gymnodinium sanguineum</i>
KM-16-21	2004/12/6	2005/1/11	九州西部(有明海)	熊本県荒尾市沖～熊本市沖	<i>Gymnodinium sanguineum</i>
					<i>Katodinium glaucum</i>
					<i>Sketonea costatum</i>
NS-47	2004/12/19	2004/12/24	九州西部(有明海)	島原市三会地先	<i>Mesodinium rubrum</i>
NS-48	2004/12/20	2004/12/24	九州西部(有明海)	瑞穂町～国見町地先	<i>Gymnodinium sanguineum</i>

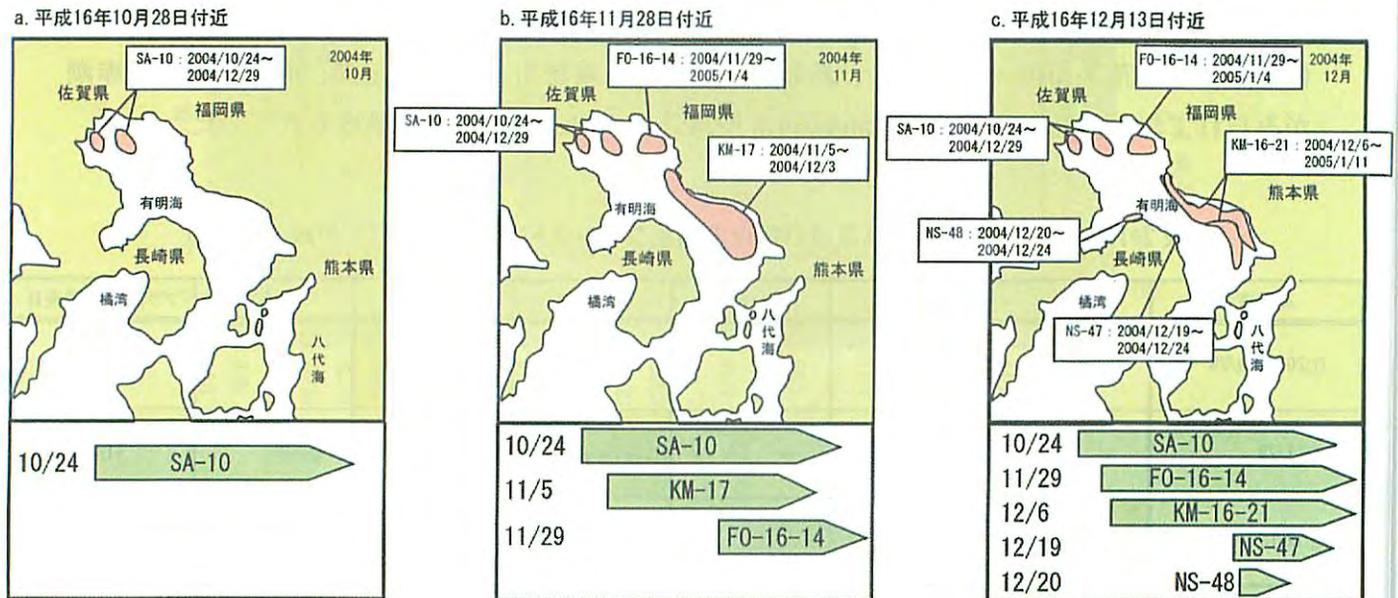


図 2-3 赤潮の分布状況（平成 16 年度）

（「平成 16 年 九州海域の赤潮」及び「平成 17 年 九州海域の赤潮」のデータをもとに作成）

### iii) 赤潮発生の要因

平成 16 年度においては、10 月 28 日に諫早湾奥の X5 地点で高いクロロフィル a が観測されており、珪藻の *Skeletonema costatum* による赤潮が形成されていたと考えられる。この発生要因としては、10 月 28 日の X5 で 14,600mg/L の塩化物イオンが観測されており、本種の成長好適条件（塩分 20 ~ 25 注）: 塩化物イオン 11,000 ~ 14,000mg/L に相当）に相当する塩分濃度であったことと 10 月 25 日、26 日にみられた降雨に伴う栄養塩供給が考えられる。

### iv) 周辺海域への拡大状況

10 月 28 日以降は、X5 地点でのクロロフィル a 濃度は減少しており、また、他の地点での濃度の増加はみられなかったことから、本赤潮は、当該地点から周辺海域へは広がっていないものと考えられる。

なお、佐賀県沖では、10 月 24 日以降赤潮が発生している。

注) 出典：「小島貞男ら編（1995）、環境微生物図鑑、講談社」

## ② 平成17年度調査結果

### i) クロロフィル a 等の経時変化

クロロフィル a、プランクトン沈殿量、水温、塩化物イオンの観測結果を図 2-4 に示す。

7月15日には、佐賀県沖から諫早湾にかけての海域および島原沖において、全地点で高濃度のクロロフィル a (26.2 ~ 59.5  $\mu\text{g/L}$ 、6 地点平均 : 41  $\mu\text{g/L}$ ) が観測された (図中①)。8月12日には佐賀沖の X1 地点で (図中②)、同 19 日には諫早の湾央 X4 地点、湾奥 X5 地点で (図中③)、また、9月9日には佐賀県沖の X2 地点、諫早湾内の X4、X5 地点で (図中④)、同 12 日には X2 地点、X3 地点で (図中⑤) 同 19 日には X5 地点 (図中⑥) で比較的高濃度が観測された。10月3日には、X3 地点で (図中⑦)、翌年 3月7日には X5 地点で比較的高濃度が観測された。(図中⑧)

一方、プランクトン沈殿量では、平成 16 年度と同様に X5 地点での冬季における変動が大きかったが、クロロフィル a 濃度の増加はみられなかった。7月中旬や 9月上旬の高濃度時は、調査日前に比較的大きな降雨がみられている。

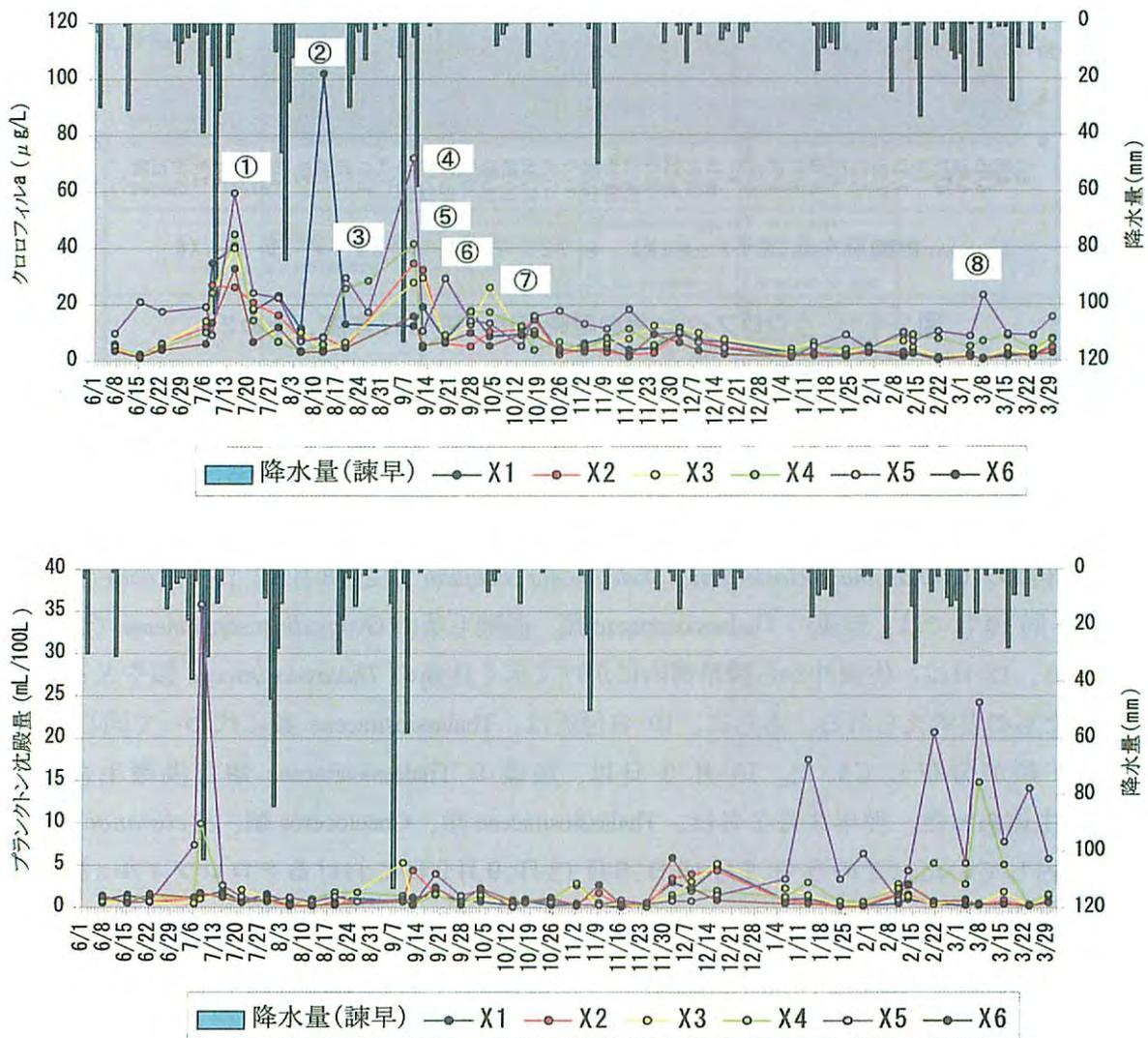


図 2-4 クロロフィル a 等の経時変化 (平成 17 年度、その 1)

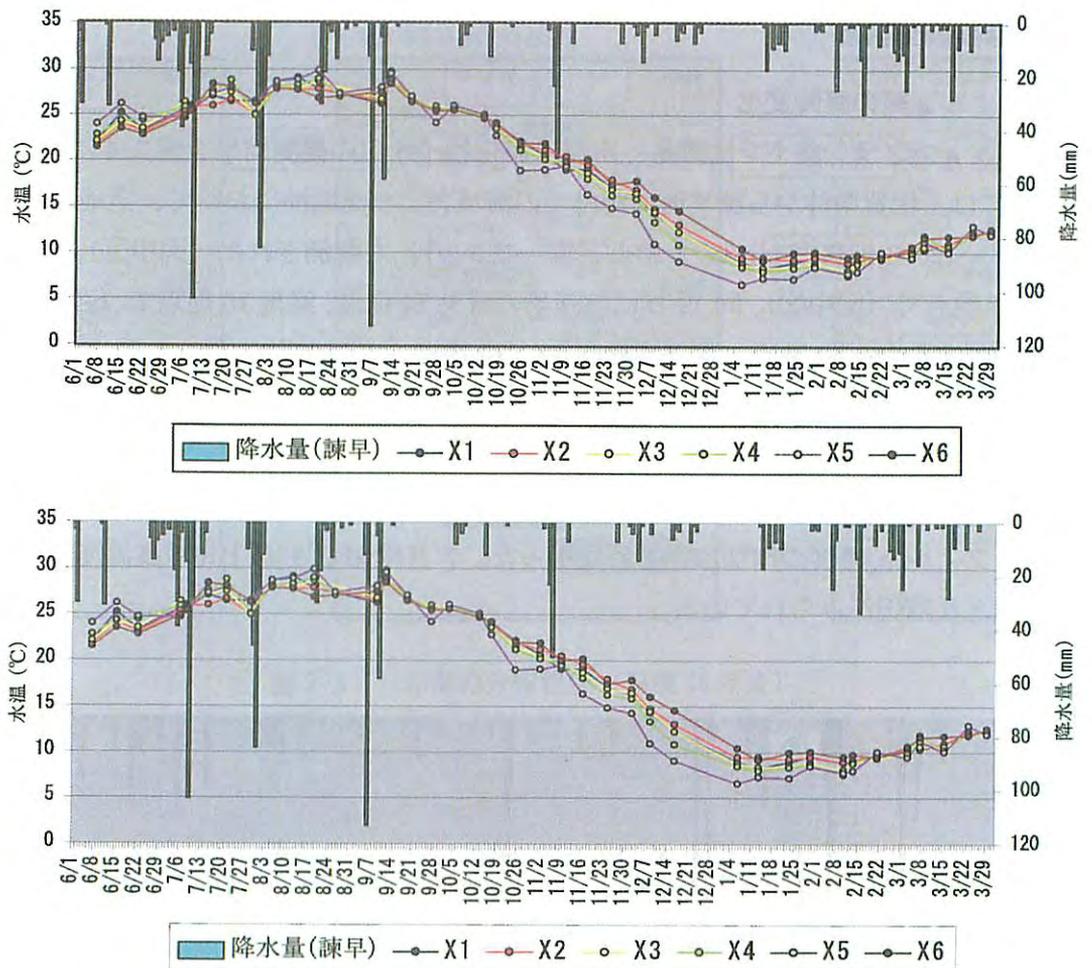


図 2-4 クロロフィル a 等の経時変化（平成 17 年度、その 2）

ii) 高クロロフィル a 観測日（高濃度日）付近における赤潮の発生状況

クロロフィル a 高濃度日付近における植物プランクトンの発生状況は、プランクトン調査結果によると、表 2-3 のとおりである。高濃度日におけるクロロフィル a の主体は、7 月 15 日ではクリプト藻類や珪藻の *Cylindrotheca closterium*、*Skeletonema costatum* など、8 月 12 日では渦鞭毛藻類の *Ceratium fruca*、同 19 日では、珪藻の *Thalassiosiraceae* 類、渦鞭毛藻の *Gymnodium sanguineum* であった。また、9 月 9 日、12 日は、佐賀沖から諫早湾内にかけて広く珪藻の *Thalassiosiraceae* 類や *S. costatum* が分布していたものと考えられる。さらに、19 日付近は、*Thalassiosiraceae* 類に代わって同じく珪藻の *Chaetoceros* 類が分布していた。10 月 3 日は、珪藻の *Thalassiosiraceae* 類と渦鞭毛藻の *G. sanguineum* が主体であった。翌年 3 月 7 日は、*Thalassiosiraceae* 類、*Chaetoceros* 類、*S. costatum* といった珪藻類が優占していた。このうち、7 月 15 日、8 月 12 日、9 月 9 日におけるクロロフィル a 濃度は、一般的に赤潮とされる濃度レベル（40～50  $\mu\text{g/L}$ ）に達しており、赤潮を形成していたものと考えられる。

一方、水産庁九州漁業調整事務所の「平成 17 年 九州海域の赤潮 平成 19 年 2 月」および「平成 18 年 九州海域の赤潮 平成 19 年 11 月」によれば、クロロフィル a 高濃度観測日周辺における赤潮の発生状況は、表 2-4、図 2-5 に示すとおりである。7 月は荒尾市沖～宇土市沖、佐賀県中西部海域、諫早湾～湯島沖、佐賀県全域、上天草市大矢野町沖、口之津地先で珪藻を中心とする

赤潮が発生していた。8月から9月にかけては、佐賀県中西部海域～南部海域、福岡県沖、諫早湾などで渦鞭毛藻、珪藻、ラフィド藻による赤潮が継続して発生していた。10月は、渦鞭毛藻やラフィド藻、珪藻による赤潮が発生していた。翌年2～3月には佐賀県西部海域でミドリムシ藻類の *Eutreptiella sp.* の赤潮が発生していた。

表 2-3 クロロフィル a 高濃度日付近の植物プランクトンの発生状況 (平成 17 年度)

高濃度日	X1	X2	X3(B4)	X4(B3)	X5(S1)	X6	プランクトン調査日
① 2005/7/15				クリプト藻綱 <i>S. costatum</i>	クリプト藻綱 <i>C. closterium</i> ほか珪藻類		2005/7/12
② 8/12				<i>C. furca</i> (渦鞭毛藻類)	<i>C. furca</i> (渦鞭毛藻類)		8/8
③ 8/19	<i>Thalassiosiraceae</i> <i>G. sanguineum</i>	<i>Thalassiosiraceae</i>	<i>Thalassiosiraceae</i>	<i>Thalassiosiraceae</i> <i>G. sanguineum</i>	<i>Thalassiosiraceae</i> <i>G. sanguineum</i>	<i>Thalassiosiraceae</i> <i>G. sanguineum</i>	8/19
④ 9/9	<i>S. costatum</i> <i>Thalassiosira spp.</i> <i>Chaetoceros spp.</i>	9/9					
⑤ 9/12	<i>S. costatum</i> <i>Thalassiosira spp.</i> <i>Chaetoceros spp.</i>	<i>S. costatum</i> <i>Thalassiosira spp.</i> <i>Chaetoceros spp.</i>	<i>S. costatum</i> <i>Thalassiosira spp.</i> <i>Chaetoceros spp.</i>	<i>S. costatum</i> <i>Thalassiosira spp.</i>	<i>S. costatum</i> <i>Thalassiosira spp.</i>	<i>S. costatum</i> <i>Thalassiosira spp.</i>	9/12
⑥ 9/19	<i>S. costatum</i> <i>Chaetoceros spp.</i>	<i>S. costatum</i>	<i>S. costatum</i>	<i>S. costatum</i> <i>Chaetoceros spp.</i>	<i>S. costatum</i> <i>Chaetoceros spp.</i>	<i>S. costatum</i>	9/19
⑦ 10/3		<i>Thalassiosira spp.</i> <i>C. curvisetum</i>	<i>Thalassiosira spp.</i> <i>G. sanguineum</i>	<i>Thalassiosira spp.</i> <i>G. sanguineum</i> <i>C. curvisetum</i>	<i>S. costatum</i> <i>Thalassiosira spp.</i> <i>Chaetoceros spp.</i>	<i>C. curvisetum</i>	10/3
⑧ 2006/3/7				<i>S. costatum</i> <i>Chaetoceros spp.</i>	<i>S. costatum</i> <i>Thalassiosira spp.</i> <i>Chaetoceros spp.</i>		2006/3/6

※ ■ はクロロフィル a 濃度が比較的高い地点を示す。

表 2-4 クロロフィル a 高濃度日付近における赤潮の発生状況 (平成 17 年度)

(「平成 17 年 九州海域の赤潮」及び「平成 18 年 九州海域の赤潮」のデータをもとに作成)

a. 平成 17 年 7 月 15 日付近の赤潮発生状況

通報番号	発生期間		発生海域		構成プランクトン
KM-05	2005/7/5	2005/7/27	九州西部 (有明海)	荒尾市沖～宇土市沖	<i>Chattonella antiqua</i>
					<i>Chattonella marina</i>
					<i>Prorocentrum dentatum</i>
SA-05	2005/7/7	2005/7/11	九州西部 (有明海)	佐賀県中西部海域	<i>Gymnodinium sanguineum</i>
NS-07	2005/7/14	2005/7/27	九州西部 (有明海)	諫早湾～湯島沖	微細藻類
					<i>Skeletonema sp.</i>
SA-06	2005/7/15	2005/7/29	九州西部 (有明海)	佐賀県全域	<i>Skeletonema costatum</i>
KM-09	2005/7/15	2005/7/18	九州西部 (有明海)	上天草市大矢野町沖	<i>Heterosigma akashiwo</i>
					<i>Prorocentrum dentatum</i>
					<i>Skeletonema costatum</i>
					<i>Thalassiosira spp.</i>
					<i>Chaetoceros spp.</i>
NS-09	2005/7/16	2005/7/29	九州西部 (有明海)	口之津町地先	<i>Chattonella antiqua</i>

b. 平成 17 年 8 月 12 日、19 日、9 月 9 日、12 日、19 日付近の赤潮発生状況

通報番号	発生期間		発生海域		構成プランクトン
SA-07	2005/8/3	2005/9/7	九州西部 (有明海)	佐賀県中西部海域～南部海域	<i>Gymnodinium sanguineum</i>
FO-06	2005/8/5	2005/8/21	九州西部 (有明海)	福岡県沖	<i>Ceratium furca</i>
					<i>Ceratium furca</i>
NS-13	2005/8/6	2005/8/23	九州西部 (有明海)	諫早湾	<i>Gymnodinium sanguineum</i>
					<i>Ceratium furca</i>
KM-11	2005/8/18	2005/9/14	九州西部 (有明海)	荒尾市沖～宇土市沖	<i>Chattonella antiqua</i>
					<i>Chattonella marina</i>
					<i>Gymnodinium sanguineum</i>
					<i>Prorocentrum dentatum</i>
NS-24	2005/8/25	2005/9/8	九州西部 (有明海)	諫早湾	<i>Gymnodinium sanguineum</i>
SA-08	2005/9/9	2005/9/22	九州西部 (有明海)	有明海佐賀県中西部海域	<i>Skeletonema costatum</i>
NS-26	2005/9/9	2005/9/27	九州西部 (有明海)	諫早湾	<i>Skeletonema sp.</i>
					微細藻類 (クリプト藻主体)
KM-14	2005/9/9	2005/9/28	九州西部 (有明海)	玉名郡長洲町沖～ 熊本市河内町沖	<i>Chaetoceros spp.</i>
					<i>Thalassiosira spp.</i>
					<i>Skeletonema costatum</i>
FO-08	2005/9/13	2005/9/19	九州西部 (有明海)	福岡県沖	<i>Skeletonema costatum</i>
					<i>Chaetoceros spp.</i>
					<i>Thalassiosira spp.</i>
SA-09	2005/9/22	2005/10/24	九州西部 (有明海)	有明海佐賀県中西部海域	<i>Gymnodinium sanguineum</i>

c. 平成 17 年 10 月 3 日付近の赤潮発生状況

通報番号	発生期間		発生海域		構成プランクトン
NS-26	2005/9/9	2005/9/27	九州西部 (有明海)	諫早湾	<i>Skeletonema sp.</i>
					微細藻類 (クリプト藻主体)
KM-14	2005/9/9	2005/9/28	九州西部 (有明海)	玉名郡長洲町沖～ 熊本市河内町沖	<i>Chaetoceros spp.</i>
					<i>Thalassiosira spp.</i>
					<i>Skeletonema costatum</i>
SA-09	2005/9/22	2005/10/24	九州西部 (有明海)	有明海佐賀県中西部海域	<i>Gymnodinium sanguineum</i>
NS-27	2005/9/28	2005/10/21	九州西部 (有明海)	諫早湾～深江町沖	<i>Gymnodinium sanguineum</i>
KM-16	2005/9/28	2005/10/3	九州西部 (有明海)	荒尾市沖	<i>Gymnodinium sanguineum</i>
					<i>Mesodinium rubrum</i>
KM-17	2005/10/6	2005/10/12	九州西部 (有明海)	荒尾市沖～宇土市沖	<i>Chattonella antiqua</i>
					<i>Chaetoceros spp.</i>
					<i>Skeletonema costatum</i>
					<i>Thalassiosira spp.</i>

d. 平成 18 年 3 月 7 日付近の赤潮発生状況

通報番号	発生期間		発生海域		構成プランクトン
SA-01	2006/2/23	2006/3/16	九州西部 (有明海)	有明海佐賀県中西部海域	<i>Eutreptia sp.</i>

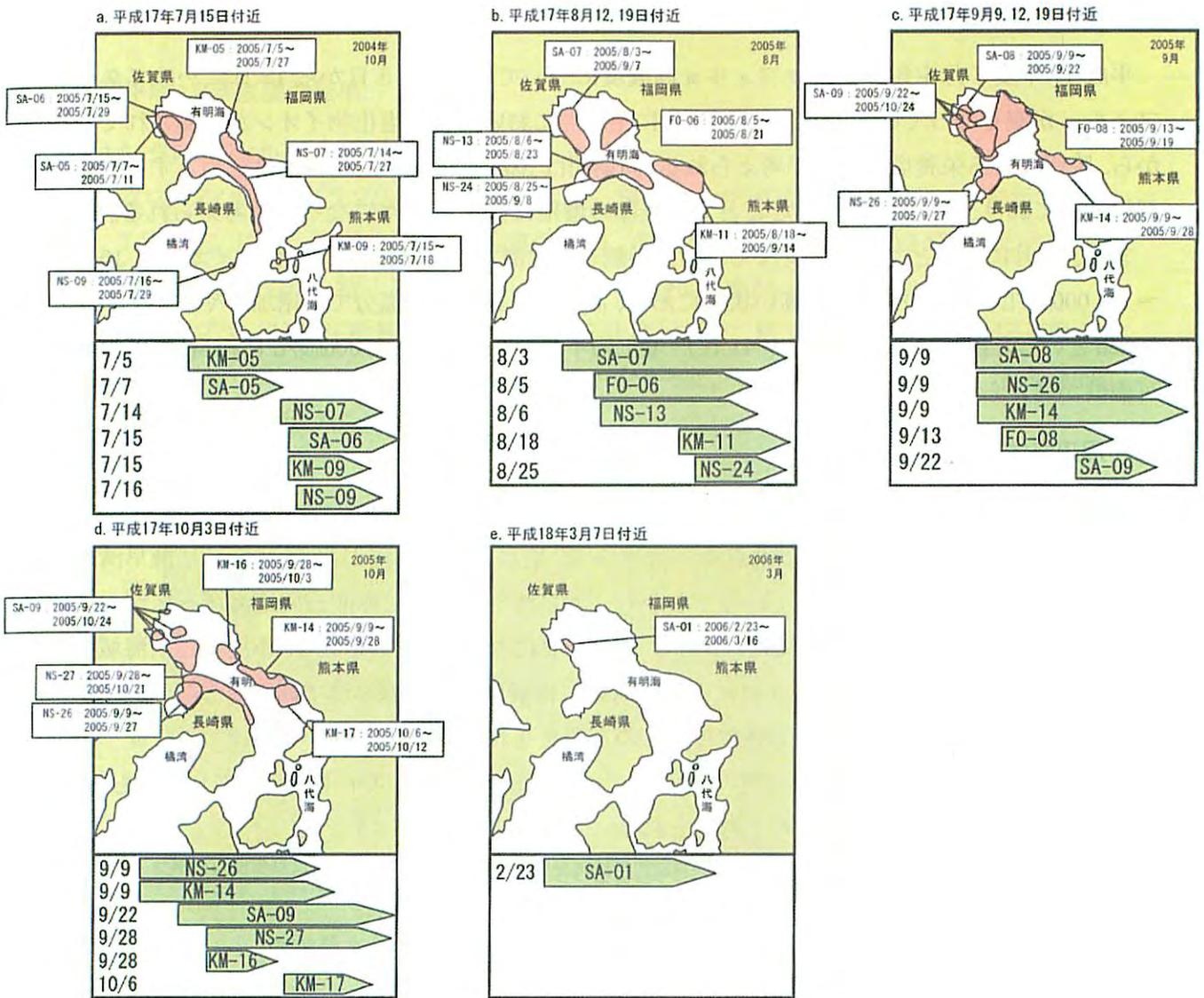


図 2-5 赤潮の分布状況 (平成 17 年度)

(「平成 17 年 九州海域の赤潮」及び「平成 18 年 九州海域の赤潮」のデータをもとに作成)

### iii) 赤潮発生の要因

平成 17 年度 7 月中旬のクロロフィル a 高濃度については、7 月 8 日から 15 日にかけてクロロフィル a が高くなっていること、7 月 15 日に全地点において低い塩化物イオンが観測されているから、降雨による栄養塩供給等が考えられる。同期間は *Skeletonema costatum* をはじめとする珪藻種が優占しており、塩分が低下したことで、珪藻の増殖に好適な条件になったと考えられる。

また、8 月に入ると、降雨が少なく、晴天が続き、水温が 28℃を超え、塩化物イオンも 16,000 ~ 18,000mg/L (塩分 30 前後) と高い状態にあり、高水温を好み、高塩分でも増加しやすい *Ceratium furuca* といった渦鞭毛藻 (塩分 25 ~ 41 注): 塩化物イオン 14,000 ~ 23,000mg/L に相当) が優占した可能性が考えられる。

### iv) 周辺海域への拡大状況

7 月 8 日と 15 日のクロロフィル a の観測結果によれば、8 日にすでに有明海湾奥の X1、X2 地点の方が諫早湾内の X3、X4、X5 地点や島原沖の X6 地点よりも濃度が高く、15 日に諫早湾内の地点や島原沖の地点が高くなっていることから、諫早湾で発生した赤潮が周辺海域へ広がっているものではないと考えられる。また、9 月 9 日、12 日については、「平成 17 年度 九州海域の赤潮 平成 19 年 2 月」によれば、9 日に有明海湾奥 (佐賀県沖) と諫早湾で同時に赤潮の発生が報告されており、それぞれ独立して発生したものと考えられる。

また、9 月 19 日、10 月 3 日、翌年 3 月 7 日については、クロロフィル a 濃度のレベルも低く、周辺への影響はほとんどないものと考えられる。

---

注) 培養実験による結果である。

出典: 「Nakamura, Y. and M. Watanabe (1983) Growth characteristics of *Chattonella antiqua* (raphidophyceae) Part 1. Effect of temperature, salinity, light intensity and pH on growth., *J. oceanogr. Soci. Japan*, 39, 110-114」

### ③平成18年度調査結果

#### i) クロロフィル a 等の経時変化

クロロフィル a、プランクトン沈殿量、水温、塩化物イオンの観測結果を図 2-6 に示す。

7月5日、11日、10月4日に有明海奥部の X1、X2 地点から諫早湾口の X3 地点にかけて高濃度が観測されており、特に7月5日、11日における濃度が高かった。(図中①、②、③)

一方、プランクトン沈殿量では、平成 16、17 年度と同様に X5 地点での冬季における変動が大きかったが、クロロフィル a 濃度の増加はみられなかった。7月上旬の高濃度時は、調査日前に比較的大きな降雨がみられている。

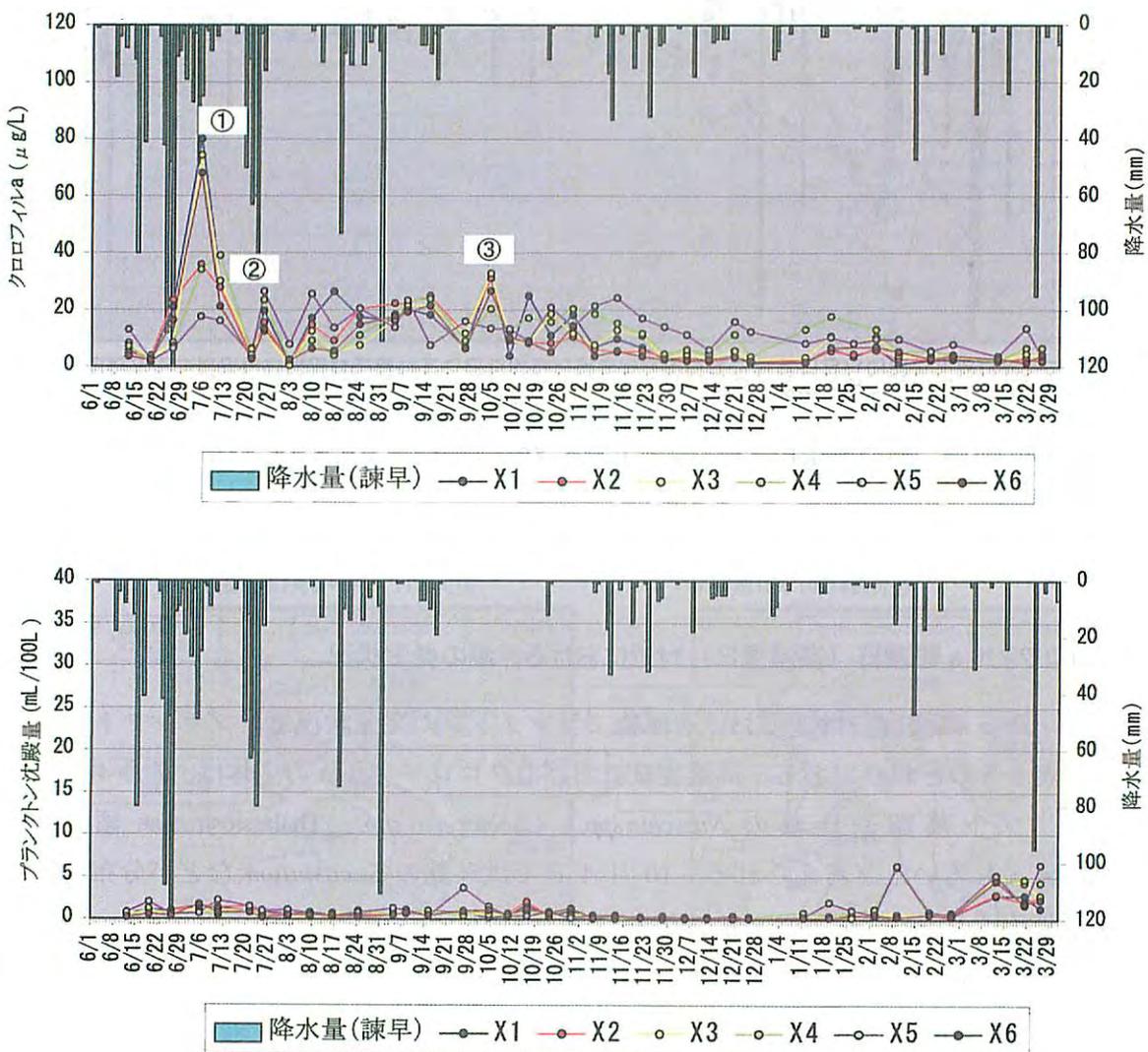


図 2-6 クロロフィル a 等の経時変化 (平成 18 年度、その1)

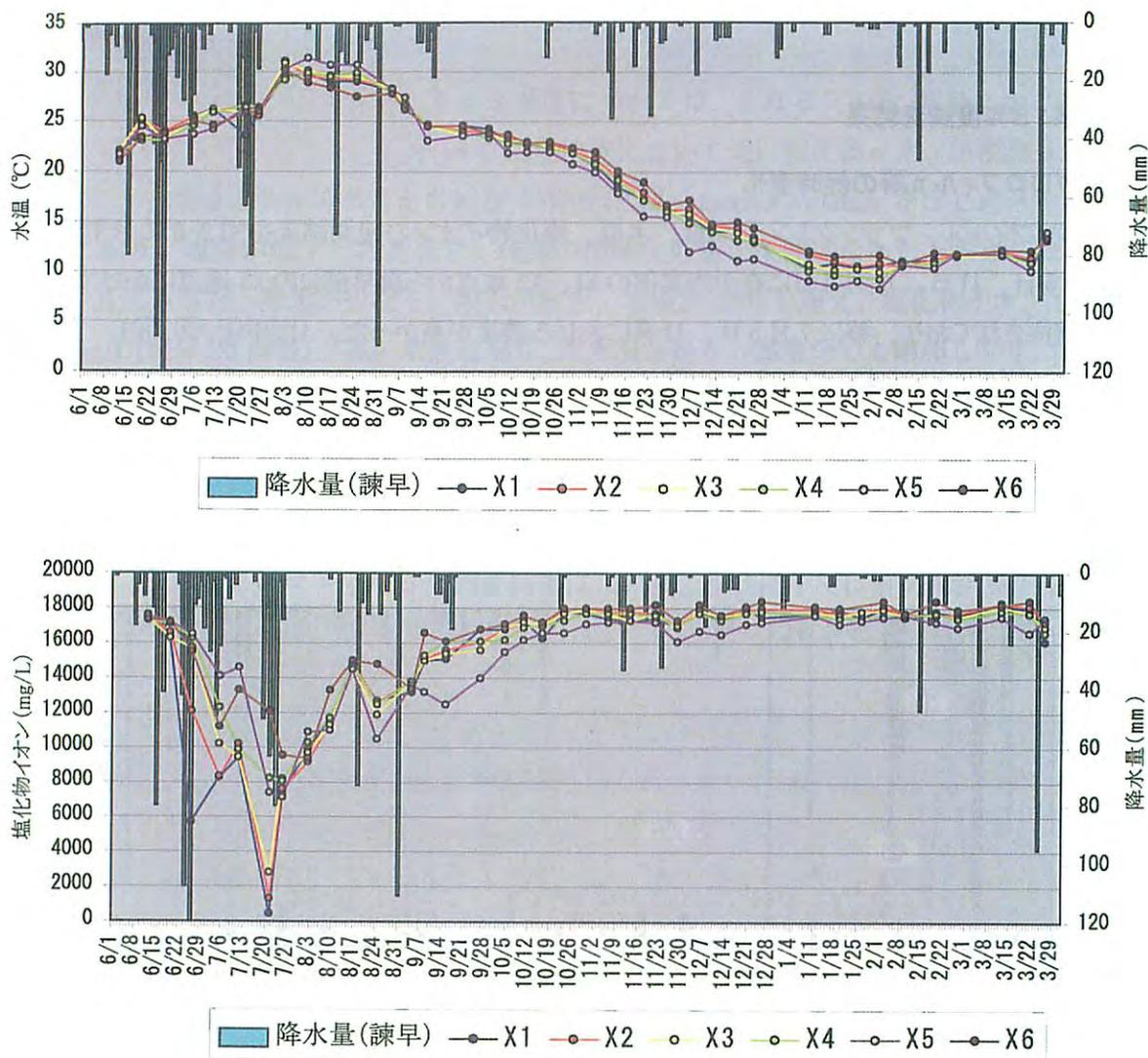


図 2-6 クロロフィルa等の経時変化（平成 18 年度、その2）

ii) 高クロロフィル a 観測日（高濃度日）付近における赤潮の発生状況

クロロフィル a 高濃度日付近における植物プランクトンの発生状況は、プランクトン調査結果によると、表 2-5 のとおりである。高濃度日におけるクロロフィル a の主体は、7 月 4～8 日、11 日ではクリプト藻類や珪藻の *Nitzschia spp.*、*Chaetoceros spp.*、*Thalassiosiraceae* 類、*Skeletonem costatum* が優占していたと考えられる。10 月 4 日では珪藻の *S. costatum* などが分布していたものと考えられる。

一方、水産庁九州漁業調整事務所の「平成 18 年 九州海域の赤潮 平成 19 年 11 月」によれば、クロロフィル a 高濃度観測日周辺における赤潮の発生状況は、表 2-6、図 2-6” に示すとおりである。7 月は佐賀県中部～西部海域、佐賀県沖全域、佐賀県西部海域沿岸、荒尾市沖～上天草市大矢野町沖、諫早湾で微細藻類や渦鞭毛藻類の *Prorocentrum spp.*、珪藻の *S. costatum*、*Thalassiosira spp.* などの赤潮が発生していた。10 月は、長洲町沖、宇城市三角町沖、佐賀県南部海域、同西部～南部海域、福岡県地先全域で渦鞭毛藻などによる赤潮が継続して発生していた。

表 2-5 クロロフィル a 高濃度日付近の植物プランクトンの発生状況 (平成 18 年度)

高濃度日	X1	X2	X3 (B4)	X4 (B3)	X5 (S1)	X6	プランクトン調査日
①2006/7/5				<i>Nitzschia</i> spp. <i>Chaetoceros</i> spp. <i>Cryptophyceae</i>	<i>Thalassiosiraceae</i> <i>S. costatum</i>		7/4~8
②7/11				<i>Thalassiosiraceae</i> クリプト藻綱 <i>S. costatum</i>	<i>Thalassiosiraceae</i> <i>S. costatum</i>		7/11
③10/4				<i>S. costatum</i>	<i>S. costatum</i> <i>C. pelagica</i>		10/2

※ 黄色はクロロフィルa濃度が比較的高い地点を示す。

表 2-6 クロロフィル a 高濃度日付近における赤潮の発生状況 (平成 18 年度)  
(「平成 18 年 九州海域の赤潮」のデータをもとに作成)

a. 平成 18 年 7 月 4~8 日、11 日付近の赤潮発生状況

通報番号	発生期間		発生海域		構成プランクトン
SA-04	2006/6/29	2006/7/2	九州西部(有明海)	佐賀県中部~西部海域	微細藻類 <i>Prorocentrum</i> spp.
KM-11	2006/6/29	2006/7/24	九州西部(有明海)	荒尾市沖~上天草市大矢野町沖	<i>Skeltonema costatum</i>
					<i>Thalassiosira</i> spp.
					<i>Nitzschia</i> spp.
SA-05	2006/7/4	2006/7/11	九州西部(有明海)	有明海佐賀県沖合域	微細藻類 <i>Chaetoceros</i> spp.
					<i>Skeltonema costatum</i> <i>Thalassiosira</i> spp.
SA-06	2006/7/13	2006/7/18	九州西部(有明海)	有明海佐賀県西部海域沿岸	微細藻類
NS-13	2006/7/14	2006/7/24	九州西部(有明海)	諫早湾	<i>Heterosigma akashiwo</i>

b. 平成 18 年 10 月 4 日付近の赤潮発生状況

通報番号	発生期間		発生海域		構成プランクトン
KM-19	2006/9/26	2006/9/28	九州西部(有明海)	長洲町沖及び宇城市三角町沖	<i>Noctiluca scintillans</i>
SA-14	2006/9/29	2006/10/7	九州西部(有明海)	有明海佐賀県南部海域	微細藻類 <i>Mesodinium rubrum</i>
					<i>Gyrodinium instriatum</i>
SA-15	2006/10/8	2006/10/16	九州西部(有明海)	有明海佐賀県西部~南部海域	<i>Gyrodinium instriatum</i>
FO-08	2006/10/10	2006/10/15	九州西部(有明海)	福岡県地先全域	<i>Gyrodinium instriatum</i>

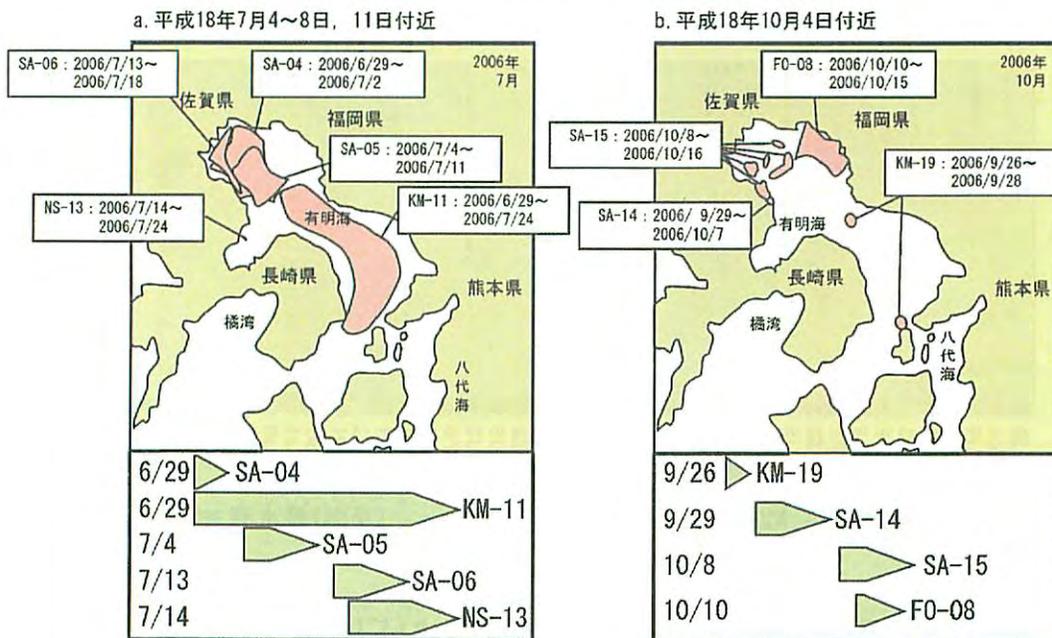


図 2-6” 赤潮の分布状況 (平成 18 年度)  
(「平成 18 年 九州海域の赤潮」のデータをもとに作成)

### iii) 赤潮発生の要因

平成 18 年 7 月上旬のクロロフィル a 高濃度については、6 月下旬から 7 月上旬にかけての梅雨による栄養塩供給のためと考えられる。同期間は *Skeletonema costatum* が優占しており、平成 16 年度と同様に、降雨に伴う塩化物イオンの低下により、同種の増殖に好適な条件になった可能性が考えられる。

10 月上旬については、降雨や塩化物イオンの低下もみられず、降雨に伴う栄養塩供給の影響は小さいと考えられる。

### iv) 周辺海域への拡大状況

諫早湾内において 7 月上旬の高クロロフィル a 出現時には、複数の珪藻類やクリプト藻類が競合している状況にあり、その中での優占種は Thalassiosiraceae 類であった。一方、同時期における佐賀県で発生した赤潮の構成プランクトンは微細藻類や珪藻の *Skeletonema costatum* であり、優占種は異なっていた。このことから、この時期の赤潮は佐賀県沖で発生したものであり、諫早湾内から発生したものではないと考えられる。

④平成19年度調査結果

i) クロロフィル a 等の経時変化

クロロフィル a、プランクトン沈殿量、水温、塩化物イオンの観測結果を図 2-7 に示す。

7月20日、8月6日、13日、21日、9月4日に有明海奥部の X1 地点から諫早湾奥の X5 地点にかけて高濃度が観測されており、特に8月6日、13日、21日における濃度が高かった(図中②、③、④)。

プランクトン沈殿量では、7月30日において、X5地点を除く全点で高い値が観測されているが、クロロフィル a は低かった。また、クロロフィル a が高かった7月20日、8月6日もプランクトン沈殿量はやや高めであった。

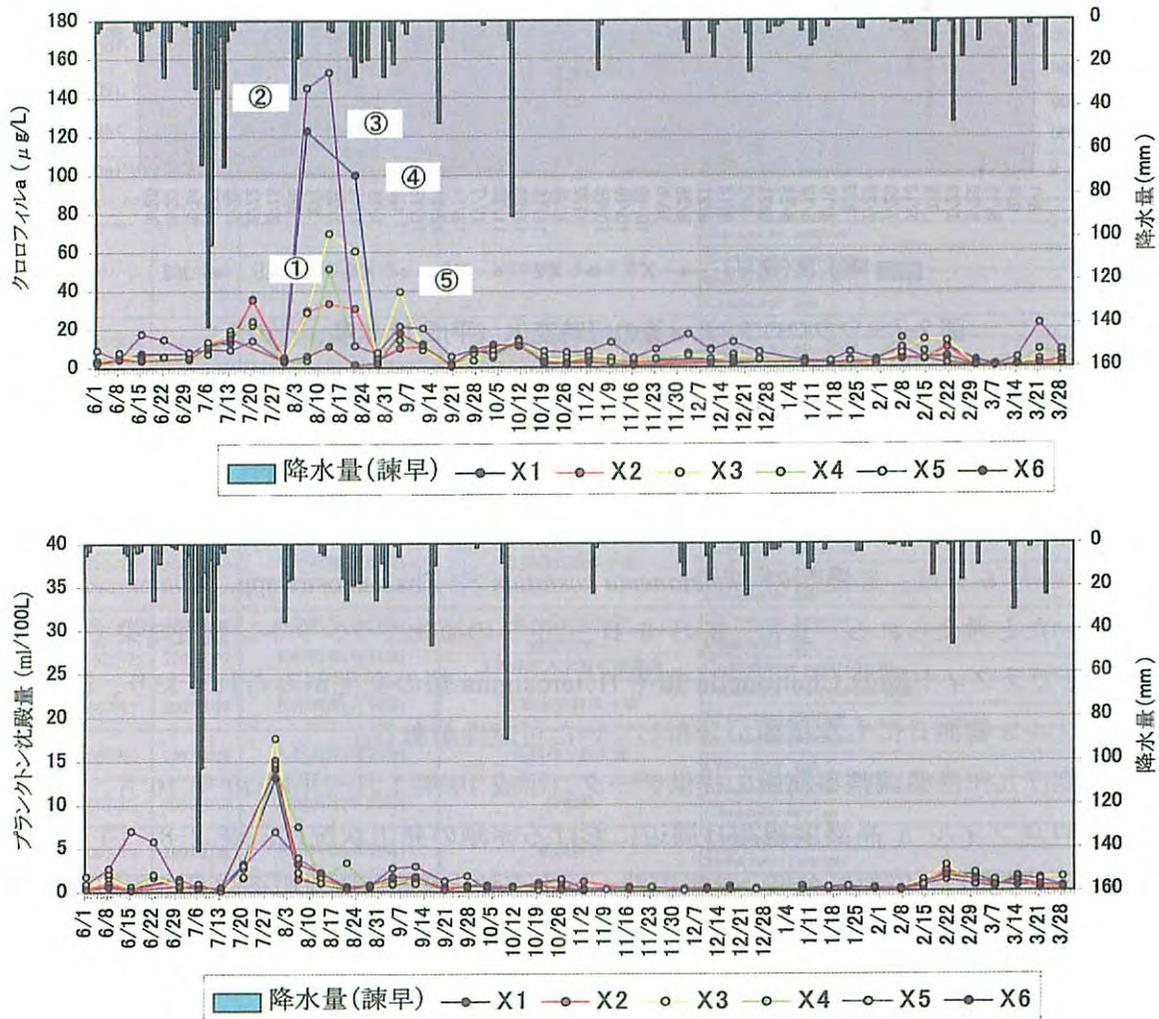


図 2-7 クロロフィル a 等の経時変化 (平成 19 年度、その 1)

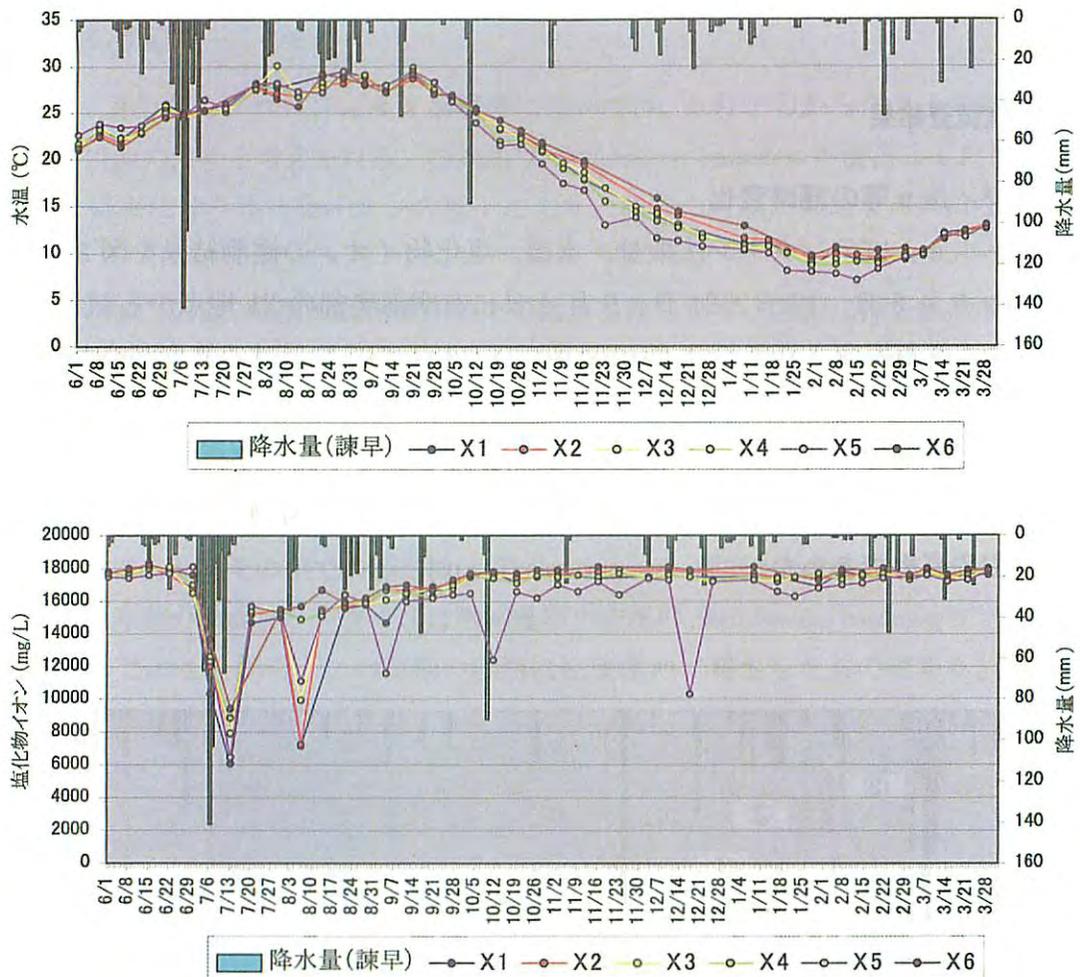


図 2-7 クロロフィル a 等の経時変化（平成 19 年度、その 2）

ii) 高クロロフィル a 観測日（高濃度日）付近における赤潮の発生状況

クロロフィル a 高濃度日付近における植物プランクトンの発生状況は、プランクトン調査結果によると、表 2-7 のとおりである。これより、高濃度日におけるクロロフィル a の主体は、7 月 20 日および 8 月 6 日は、珪藻類の *Skeletonema costatum* や *Thalassiosira* spp.、*Chaetoceros* sp. などが優占していたと考えられる。また、8 月 6 日、20 日の植物プランクトン調査結果では、諫早湾奥の X5 地点でラフィド藻の *Chattonella* 類や *Heterosigma* 類の発生がみられており、8 月 13 日の高クロロフィル a 観測日にも本種類が分布していた可能性がある。

一方、水産庁九州漁業調整事務所の提供データ（平成 19 年 1 月～平成 19 年 10 月、速報値）によれば、クロロフィル a 高濃度観測日周辺における赤潮の発生状況は、表 2-8、図 2-8 に示すとおりである。7 月は、佐賀県全域、荒尾市沖～宇土市沖、雲仙市国見町多以良港周辺、福岡県沖、荒尾市沖～上天草市大矢野町湯島沖で珪藻類や渦鞭毛藻類、ラフィド藻類の赤潮が発生していた。8 月は、月上旬に佐賀県全域や福岡県有明海沖、長洲沖～熊本港に *S. costatum* など珪藻類の赤潮が発生していた。その後、福岡県沖や佐賀県全域などでラフィド藻類の *Chattonella* spp. や *Ceratium furca* などの赤潮が発生しており、特に *Chattonella* 赤潮の発生は長期に渡っていた。9 月は、長崎県有明海、佐賀県全域、同県西部～南部海域、福岡県沖、荒尾市沖～上天草市大矢野町沖、島原市沖、大牟田沖で珪藻類や渦鞭毛藻類、ラフィド藻類の赤潮が発生していた。

表 2-7 クロロフィル a 高濃度日付近の植物プランクトンの発生状況 (平成 19 年度)

高濃度日	X1	X2	X3 (B4)	X4 (B3)	X5 (S1)	X6	プランクトン調査日
① 2007/7/20				<i>S. costatum</i>	<i>S. costatum</i>		7/23
② 2007/8/6				<i>S. costatum</i>	<i>S. costatum</i> <i>Thalassiosira spp.</i> <i>Chaetoceros sp.</i> <i>Chattonella antiqua</i>		8/6
③ 2007/8/13							
④ 2007/8/21					<i>Chattonella spp.</i> <i>H. akashiwo</i>		8/20
⑤ 2007/9/4				調査対象地点であるX4, X5地点では, 優占種は観測されなかった			9/3

※ 黄色はクロロフィルa濃度が比較的高い地点を示す。

表 2-8 クロロフィル a 高濃度日付近における赤潮の発生状況 (平成 19 年度)  
(平成 19 年 1 月～ 10 月末までの赤潮発生状況 (速報値) をもとに作成)

a. 平成 19 年 7 月 20 日付近の赤潮発生状況

通報番号	発生期間		発生海域		構成プランクトン
KM-13	2007/7/13	2007/7/17	九州西部(有明海)	荒尾市沖～宇土市沖	<i>Chattonella spp.</i> 微細藻類
SA-08	2007/7/18	2007/7/30	九州西部(有明海)	有明海佐賀県全域	<i>Sketionama costatum</i> <i>Heterosigma akashiwo</i> 微細藻類(クリプト藻) <i>Chaetoceros spp.</i>
NS-16	2007/7/18	2007/7/25	九州西部(有明海)	雲仙市国見町多以良港周辺	珪藻類(スケレトネマ主体) <i>Heterosigma akashiwo</i>
FO-07	2007/7/19	2007/7/30	九州西部(有明海)	福岡県有明海沖	<i>Sketionama costatum</i>
KM-15	2007/7/25	2007/8/31	九州西部(有明海)	荒尾市沖～ 上天草市大矢野町湯島沖	<i>Chattonella spp.</i> <i>Cochlodinium polykrikooides</i>

b. 平成 19 年 8 月 6、13、21 日付近の赤潮発生状況

通報番号	発生期間		発生海域		構成プランクトン
SA-08	2007/7/18	2007/7/30	九州西部(有明海)	有明海佐賀県全域	<i>Sketionama costatum</i> <i>Heterosigma akashiwo</i> 微細藻類(クリプト藻) <i>Chaetoceros spp.</i>
FO-07	2007/7/19	2007/7/30	九州西部(有明海)	福岡県有明海沖	<i>Sketionama costatum</i>
KM-15	2007/7/25	2007/8/31	九州西部(有明海)	荒尾市沖～ 上天草市大矢野町湯島沖	<i>Chattonella spp.</i> <i>Cochlodinium polykrikooides</i>
SA-09	2007/8/1	2007/8/16	九州西部(有明海)	有明海佐賀県全域	<i>Chattonella spp. (marina 主体)</i> <i>Sketionama costatum</i>
KM-16	2007/8/6	2007/8/14	九州西部(有明海)	長洲沖～熊本港	<i>Sketionama costatum</i> <i>Chaetoceros spp.</i>
NS-18	2007/8/6	2007/8/17	九州西部(有明海)	有明海	<i>Chattonella antiqua</i> <i>Chattonella marina</i>
FO-09	2007/8/6	2007/8/26	九州西部(有明海)	福岡県沖	<i>Chattonella spp.</i> <i>Sketionama costatum</i>
SA-11	2007/8/17	2007/8/19	九州西部(有明海)	有明海佐賀県中部海域と西部 ～南部海域	<i>Masodinium rubrum</i> <i>Akashiwo sanguinea</i> <i>Ceratium furca</i>
SA-12	2007/8/20	2007/8/26	九州西部(有明海)	有明海佐賀県全域	<i>Chattonella spp. (antiqua 主体)</i> <i>Akashiwo sanguinea</i>
NS-19	2007/8/20	2007/8/30	九州西部(有明海)	有明海	<i>Chattonella antiqua</i> <i>Chattonella marina</i> <i>Heterosigma akashiwo</i> <i>Gyrodinium sp.</i>
SA-13	2007/8/24	2007/8/26	九州西部(有明海)	有明海佐賀県西部海域	<i>Noctiluca scintillans</i>
SA-14	2007/8/27	2007/8/27	九州西部(有明海)	有明海佐賀県南部海域	<i>Akashiwo sanguinea</i>
SA-15	2007/8/27	2007/8/29	九州西部(有明海)	有明海佐賀県全域	<i>Gyrodinium dominans</i>
FO-11	2007/8/27	2007/8/29	九州西部(有明海)	福岡県沖	<i>Gyrodinium sp.</i>

c. 平成 19 年 9 月 4 日付近の赤潮発生状況

通報番号	発生期間		発生海域		構成プランクトン
KM-15	2007/7/25	2007/8/31	九州西部(有明海)	荒尾市沖～ 上天草市大矢野町湯島沖	<i>Chattonella</i> spp. <i>Cochlodinium polykrikoides</i>
NS-19	2007/8/20	2007/8/30	九州西部(有明海)	有明海	<i>Chattonella antiqua</i> <i>Chattonella marina</i> <i>Heterosigma akashiwo</i> <i>Gyrodinium</i> sp.
SA-15	2007/8/27	2007/8/29	九州西部(有明海)	有明海佐賀県全域	<i>Gyrodinium dominans</i>
FO-11	2007/8/27	2007/8/29	九州西部(有明海)	福岡県沖	<i>Gyrodinium</i> sp.
SA-16	2007/8/30	2007/9/10	九州西部(有明海)	有明海佐賀県西部～南部海域	<i>Akashiwo sanguinea</i>
KM-20	2007/8/31	2007/9/14	九州西部(有明海)	荒尾市沖～ 上天草市大矢野町沖	<i>Sketonema costatum</i> <i>Gyrodinium instriatum</i> <i>Akashiwo sanguinea</i> <i>Cochlodinium polykrikoides</i>
SA-17	2007/9/5	2007/9/13	九州西部(有明海)	有明海佐賀県西部海域	<i>Thalassiosira</i> spp. <i>Sketonema costatum</i>
NS-26	2007/9/7	2007/9/10	九州西部(有明海)	島原市沖	<i>Akashiwo sanguinea</i>
FO-12	2007/9/7	2007/9/24	九州西部(有明海)	大牟田沖	<i>Sketonema costatum</i> <i>Chaetoceros</i> spp. <i>Thalassiosira</i> spp.

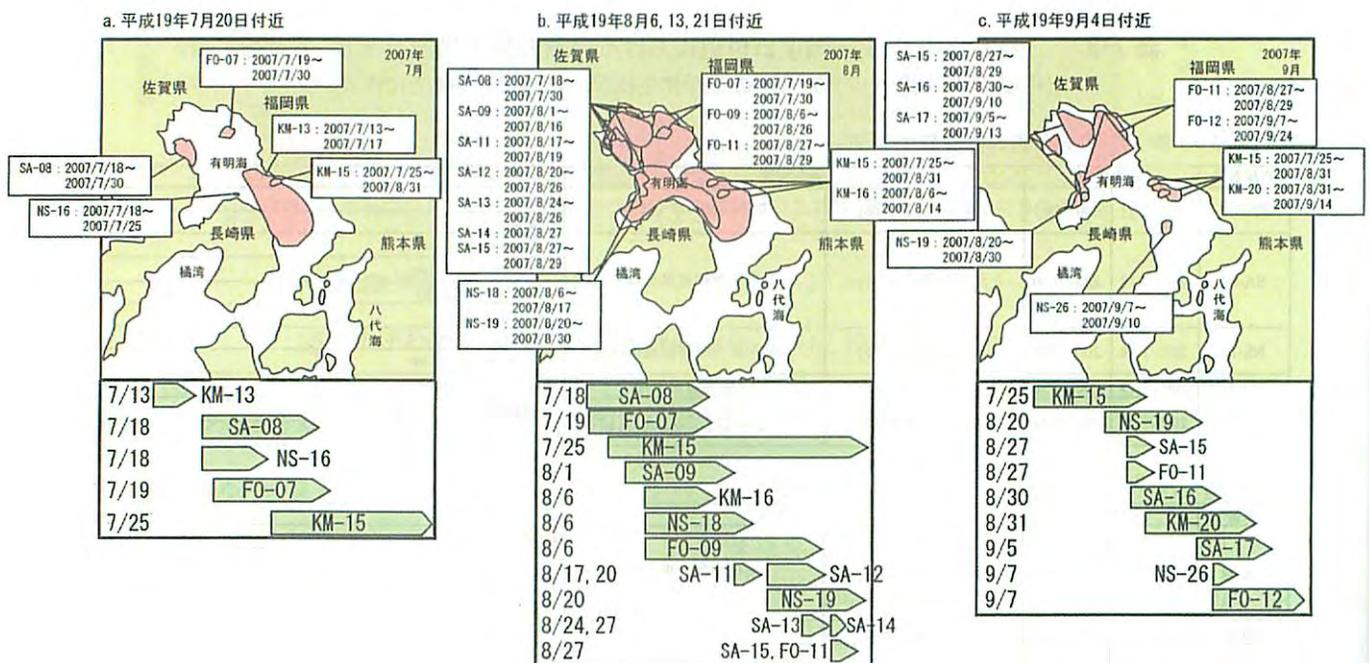


図 2-8 赤潮の分布状況 (平成 19 年度)

(平成 19 年 1 月～ 10 月末までの赤潮発生状況 (速報値) をもとに作成)

### iii) 赤潮発生の要因

平成 19 年度 7 月下旬のクロロフィル a 高濃度については、優占種が珪藻の *Skeletonema costatum* と考えられることから、6 月下旬から 7 月上旬にかけての梅雨による栄養塩供給のためと考えられる。8 月については、17 年度と同様に、3 日の台風接近に伴う降雨以降、8 月下旬まで雨はほとんど降っていないため塩化物イオンの低下はみられず、降雨に伴う栄養塩供給の影響は小さいと考えられるが、*Chattonella* sp. や *Heterosigma akashiwo* のラフィド藻類の発生がみられていることから、高水温が継続したことによると考えられる。

### iv) 周辺海域への拡大状況

諫早湾において 8 月上旬における高クロロフィル a 出現時には、有明海湾奥部の X1 地点でも同時に高クロロフィル a 濃度が観測されていることから、この時期における佐賀県沖で発生したものであり、諫早湾から発生したものではないと考えられる。

8 月中旬における高クロロフィル a 出現時には、ラフィド藻の *Chattonella* 類や *Heterosigma* 類が発生していたが、有明海湾奥部や熊本県沖においても、同種の赤潮がほぼ同時に発生している状況であった。

9 月における高クロロフィル a 出現時には、珪藻赤潮が発生しているが、有明海全域に点在して分布していることから周辺海域に拡大したものではないと考えられる。

⑤諫早湾および有明海における赤潮発生状況の推移

i) 赤潮発生件数

「九州海域の赤潮」に基づく、諫早湾および有明海における赤潮発生件数の推移を、非ノリ漁期の4～9月、ノリ漁期の10～3月に区分し、次に示す。

a. 非ノリ漁期（4～9月）

諫早湾の非ノリ漁期の赤潮発生件数は2003（平成15）年度までは増加傾向を示し、それ以降は減少傾向を示している。有明海においても同様の傾向を示している。

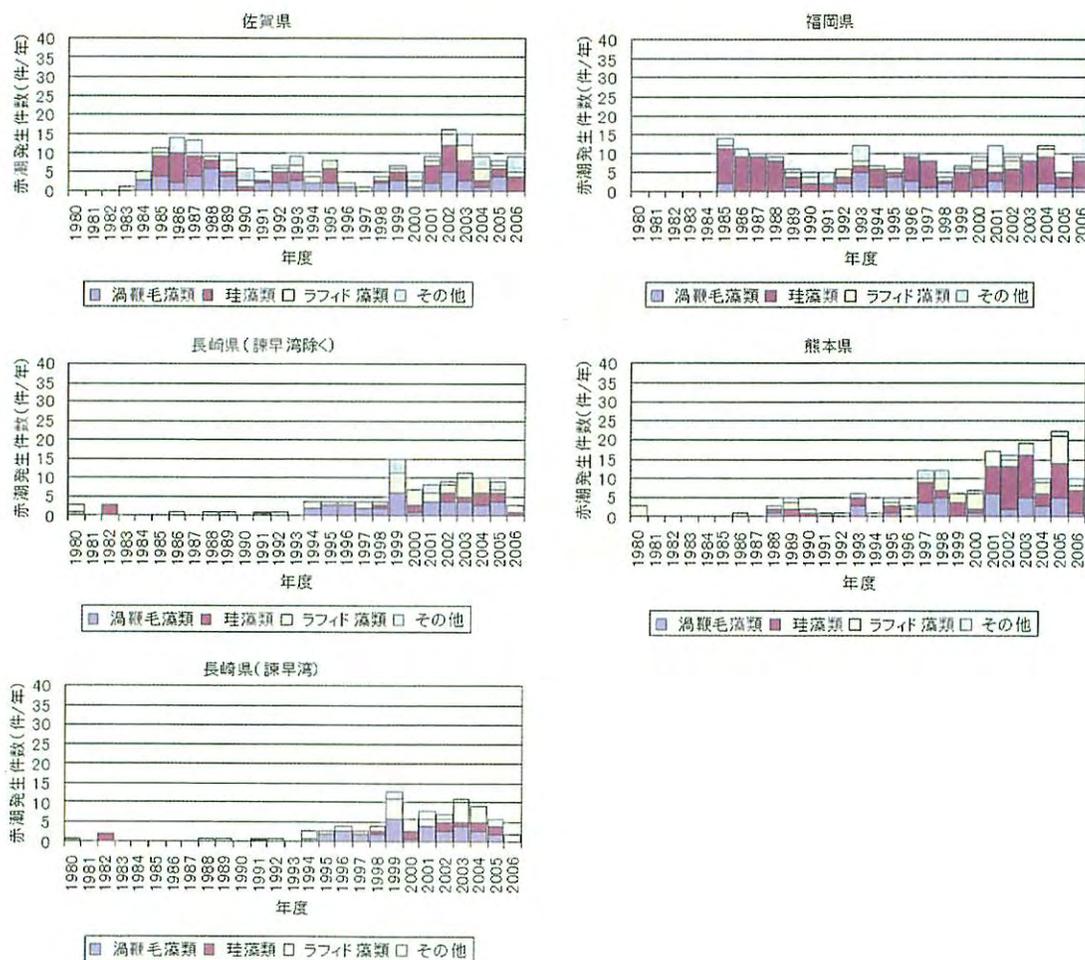


図 2-9 有明海および諫早湾における赤潮発生件数の推移（4～9月）  
 （「九州海域の赤潮」のデータをもとに作成）

b. ノリ漁期 (10～3月)

諫早湾のノリ漁期の赤潮発生件数は、1998 (平成 10) 年度に増加し、その後減少傾向を示している。一方、有明海においては、2000 (平成 12) 年度に増加し、その後減少または横ばい傾向を示している。

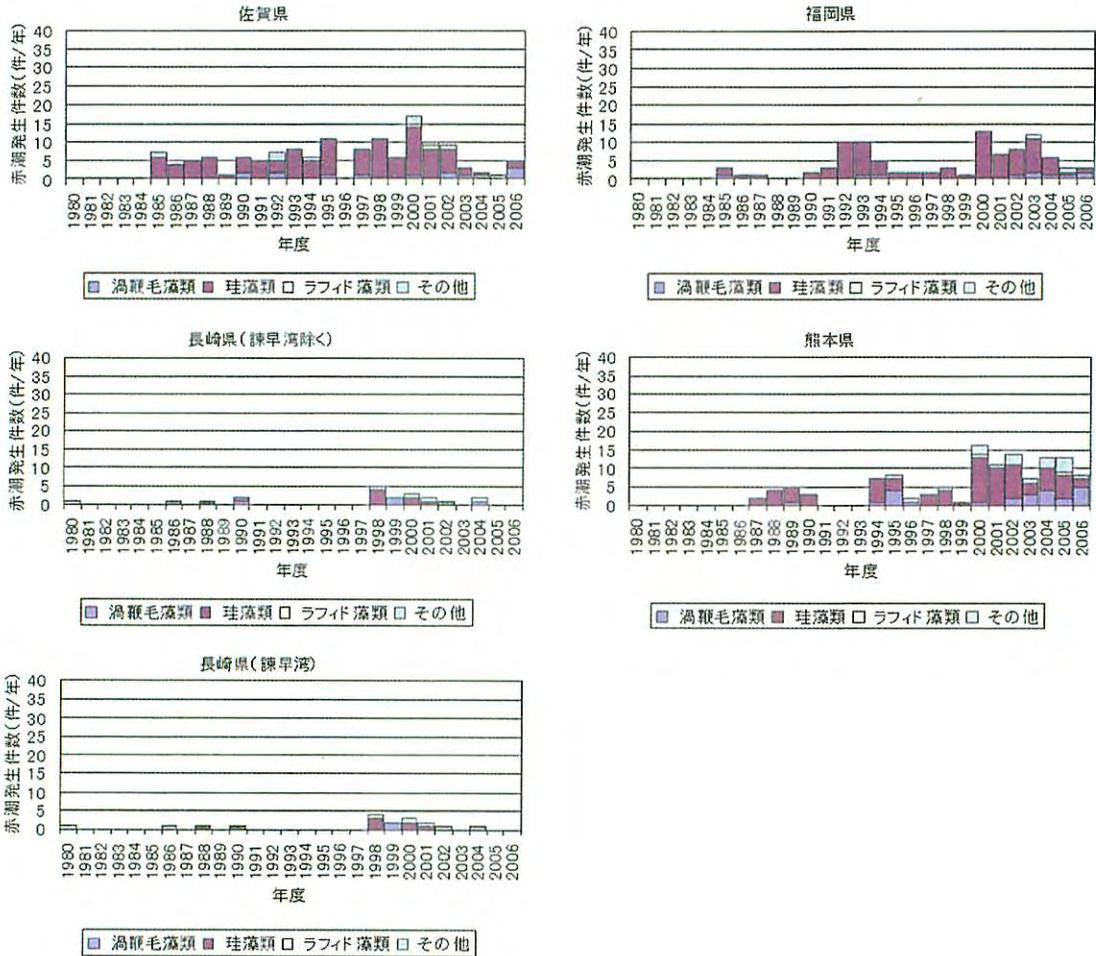


図 2-10 有明海および諫早湾における赤潮発生件数の推移 (10～3月)  
 (「九州海域の赤潮」のデータをもとに作成)

c. 年間

諫早湾の年間の赤潮発生件数は、非ノリ漁期にみられたように、2003（平成 15）年度頃までは増加傾向を示し、それ以降は減少傾向を示している。有明海においても同様の傾向を示している。

赤潮発生件数は、経年的に佐賀県、福岡県・熊本県、諫早湾、長崎県（諫早湾を除く）の順に多い。

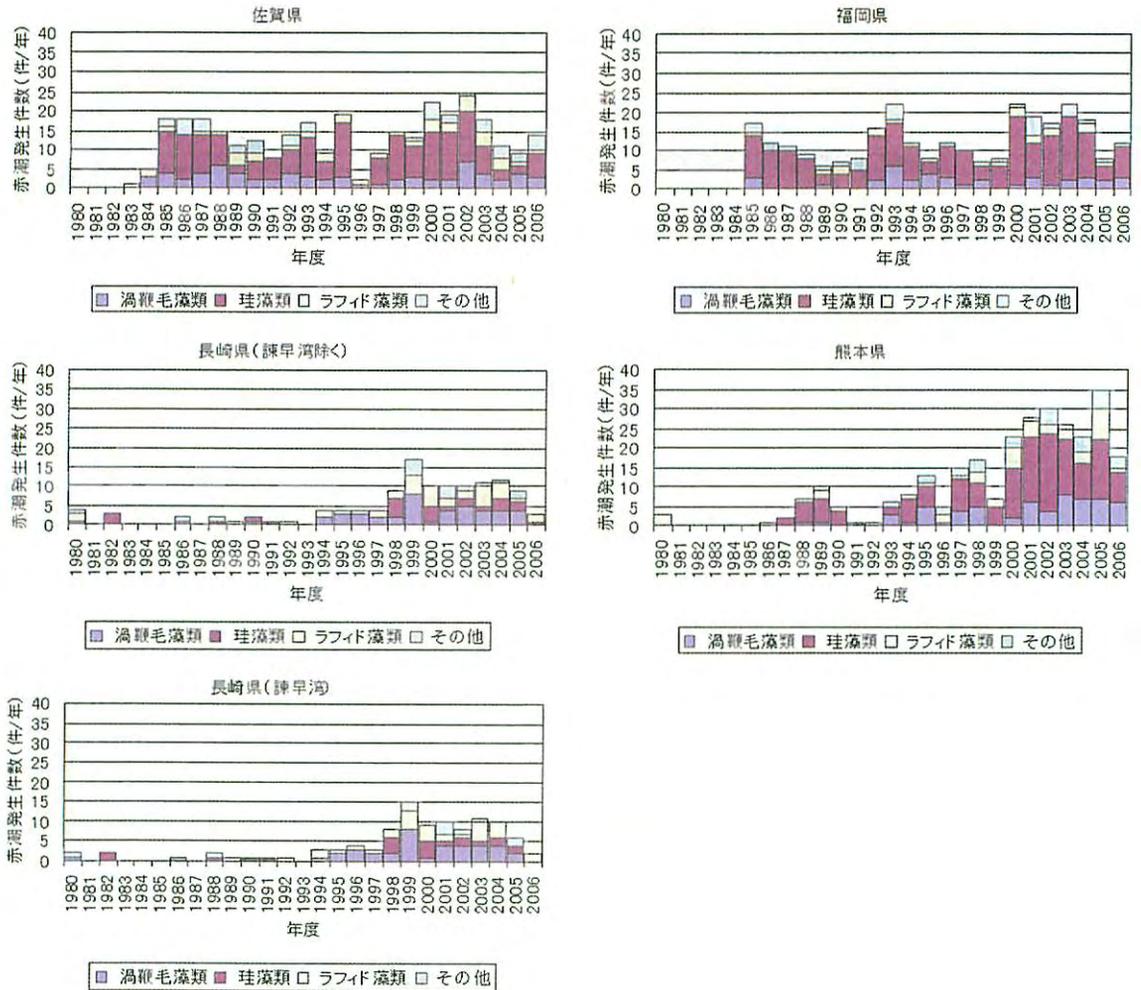


図 2-11 有明海および諫早湾における赤潮発生件数の推移（年間）  
 （「九州海域の赤潮」のデータをもとに作成）

ii) 赤潮発生日数

「九州海域の赤潮」に基づく、諫早湾および有明海における赤潮発生日数（延べ日数）の推移を非ノリ漁期の4～9月、ノリ漁期の10～3月に区分し、次に示す。

a. 非ノリ漁期（4～9月）

赤潮発生日数（延べ日数）についても発生件数と同様に、諫早湾の非ノリ漁期では2003（平成15）年度までは増加傾向を示し、それ以降は減少傾向を示している。佐賀県や福岡県の有明海域においても、同様に2003（平成15）年度以降減少傾向を示している。

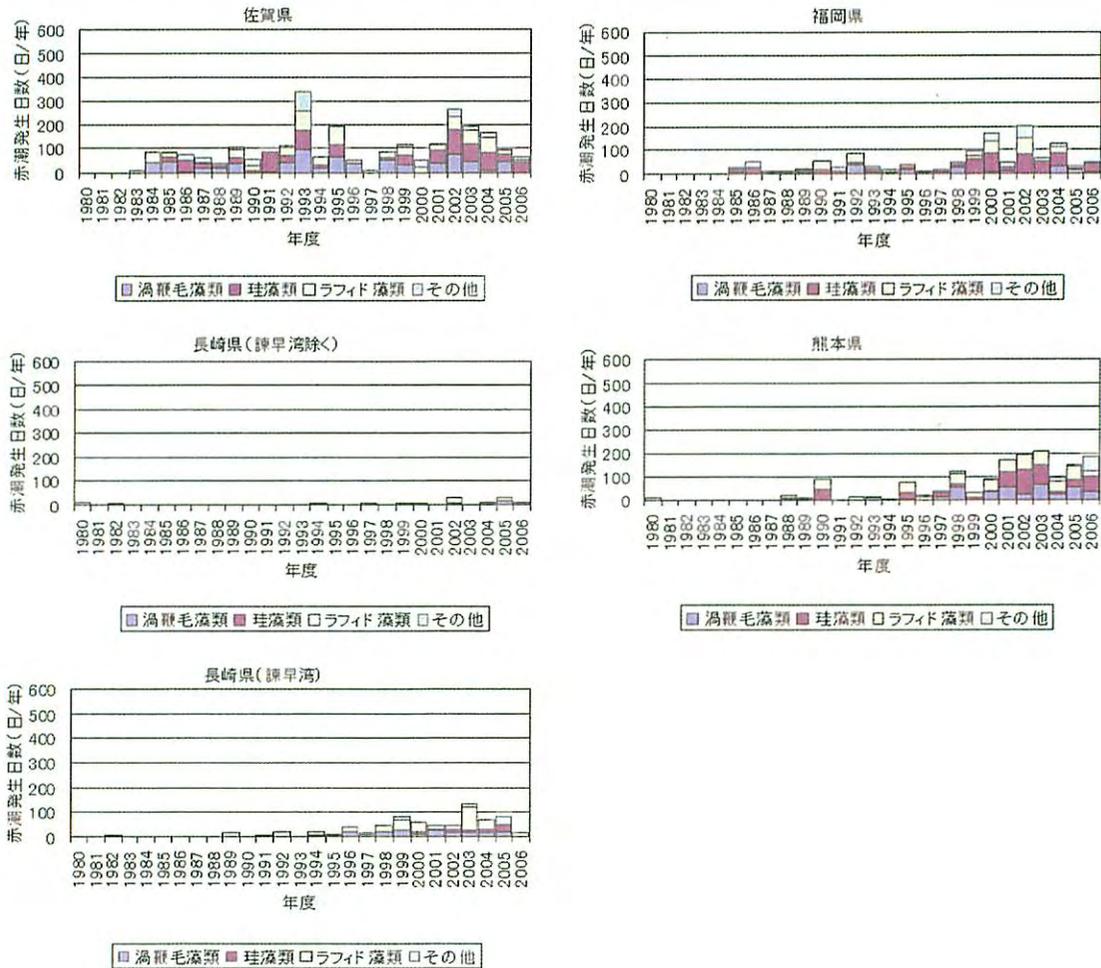


図 2-12 有明海および諫早湾における赤潮発生日数（延べ日数）の推移（4～9月）  
（「九州海域の赤潮」のデータをもとに作成）

b. ノリ漁期（10～3月）

赤潮発生日数（延べ日数）についても発生件数と同様に、諫早湾のノリ漁期では1998（平成10）年度に増加し、その後減少傾向を示している。有明海においては、2000（平成12）年度に増加しているが、佐賀県、福岡県の海域においては2003（平成15）年度以降減少傾向、熊本県の海域においてはほぼ横ばい傾向を示している。

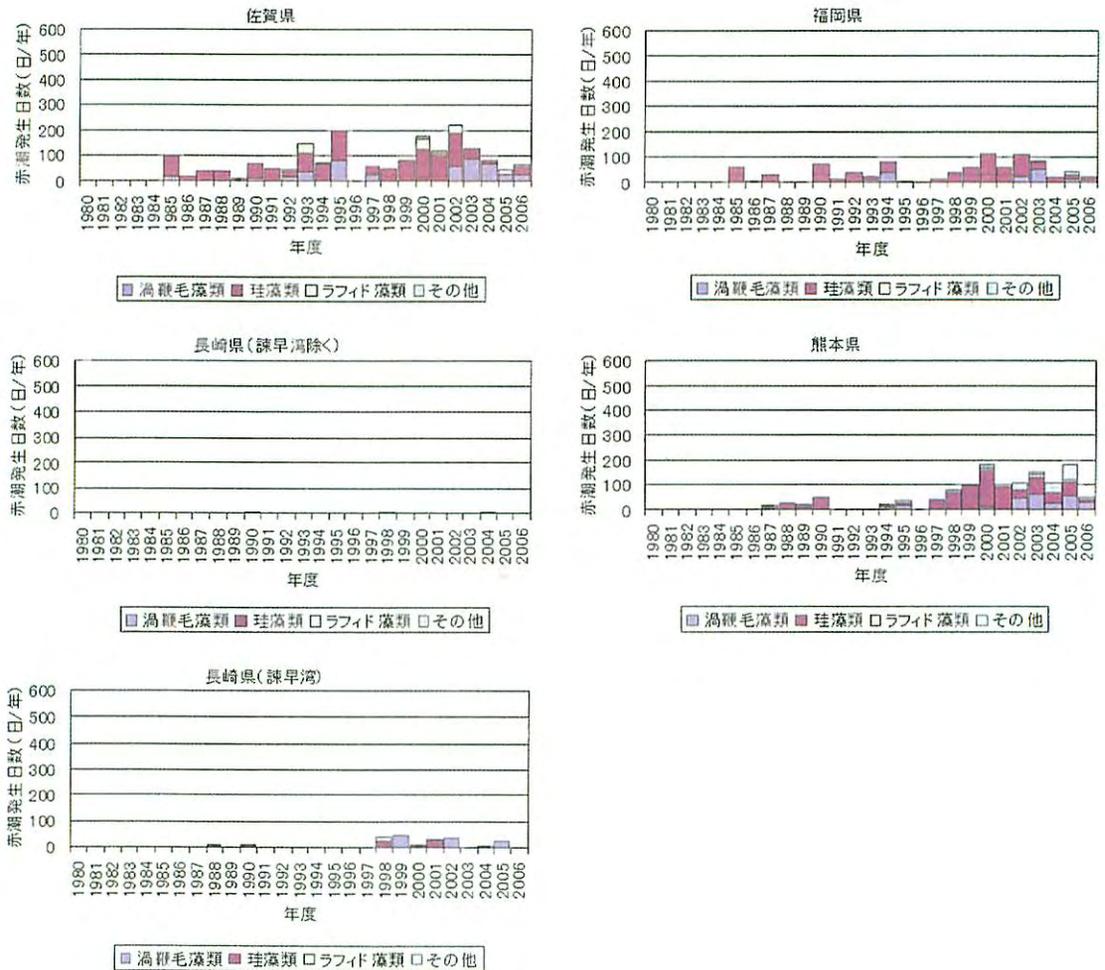


図 2-13 有明海および諫早湾における赤潮発生日数（延べ日数）の推移（10～3月）  
（「九州海域の赤潮」のデータをもとに作成）

c. 年間

非ノリ漁期にみられたように、赤潮発生日数（延べ日数）は発生件数と同様に、諫早湾の年間では 2003（平成 15）年度までは増加傾向を示し、それ以降は減少傾向を示している。有明海においても同様の傾向を示している。

赤潮発生日数は、経年的に佐賀県、福岡県・熊本県、諫早湾、長崎県（諫早湾を除く）の順に多い。

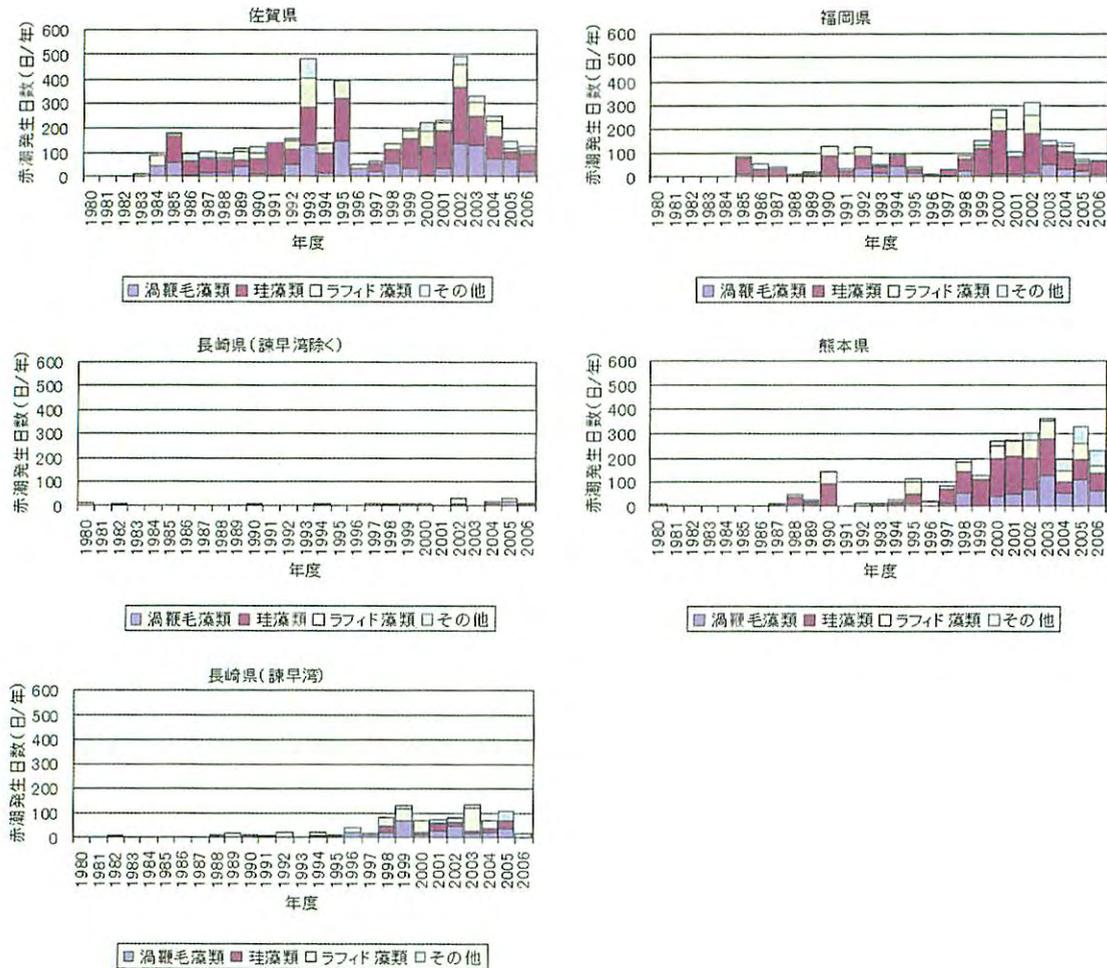
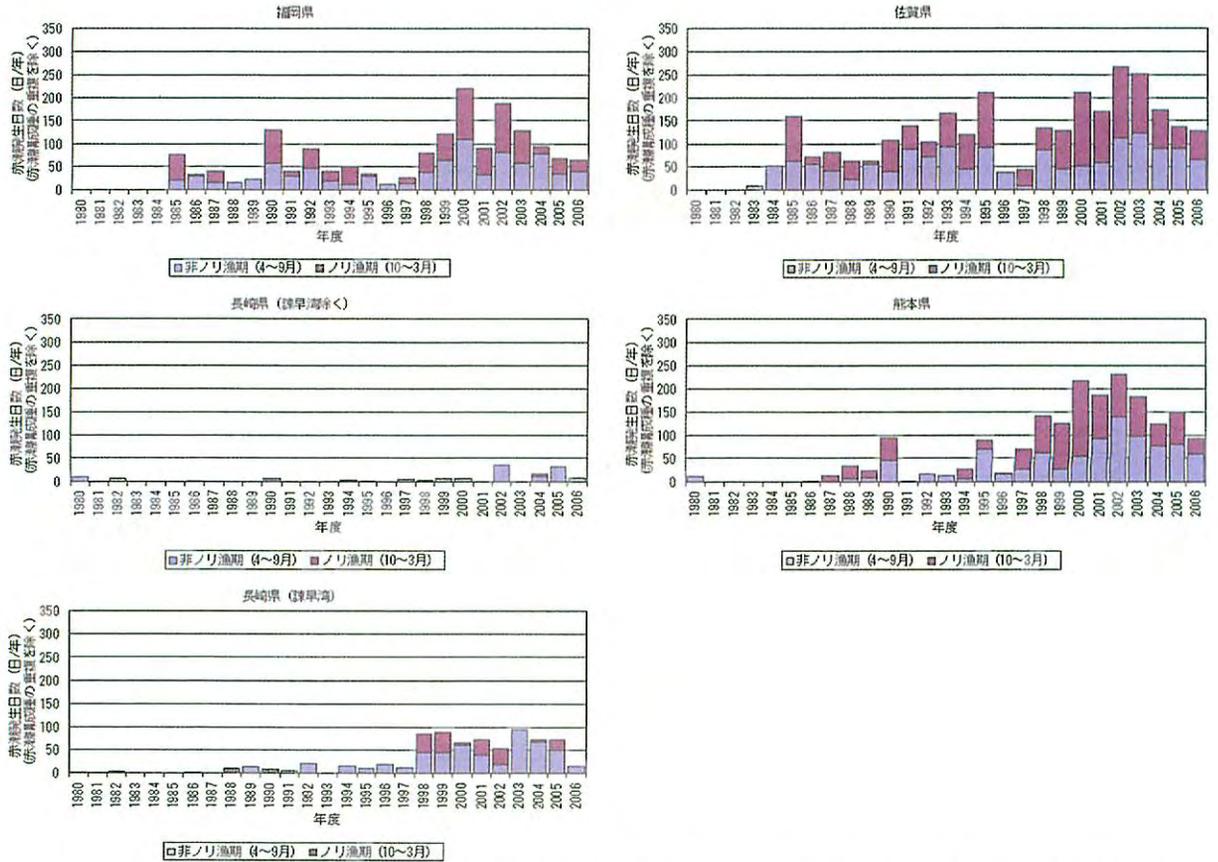


図 2-14 有明海および諫早湾における赤潮発生日数（延べ日数）の推移（年間）  
 （「九州海域の赤潮」のデータをもとに作成）

### iii) 近年における赤潮発生件数・発生日数の減少要因

近年、赤潮発生件数や赤潮発生日数（延べ日数）が減少したのは、図 2-15 に示すように、1 年間における赤潮発生日数のうち、主にノリ漁期における発生日数が減少したためと考えられる。このように、近年、ノリ漁期において赤潮が減少したのは、図 2-16 に示すように、ノリ漁期の降水量が例年に比べてやや低かったことも一因として考えられる。



注) 図 2-12 ~ 図 2-14 の赤潮発生日数（延べ日数）は、赤潮構成種毎に集計しており、発生件数が重複しているため、図 2-15 とは発生日数の値が異なる。

図 2-15 赤潮発生日数（赤潮構成種の重複を除く）の推移  
（「九州海域の赤潮」のデータをもとに作成）



図 2-16 ノリ漁期の月平均降水量と平均気温の推移

## ⑥クロロフィル a 衛星画像データによる赤潮の拡大状況等

### i) 検討方法

MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) によるクロロフィル a 画像データおよびそのバイナリーデータを使用し、濃度の経時変化から、赤潮の拡大状況や消長の要因について検討を行う。使用した衛星データは AQUA である。

なお、濃度変化は、1 日当りの濃度変化量とした。(次式、図 2-17 参照)

$$\text{濃度日変化量}[\text{mg}/\text{m}^3 \cdot \text{日}] = \frac{(\text{当時刻のクロロフィルa濃度}[\text{mg}/\text{m}^3]) - (\text{前時刻のクロロフィルa濃度}[\text{mg}/\text{m}^3])}{\text{前の時刻から当時刻までの経過時間}[\text{日}]}$$

上式で求めたメッシュ毎のクロロフィル a の濃度日変化量を、図 2-17 に示す 9 のブロック毎に集計(平均化)し、赤潮の拡大状況や消長過程を把握した。ブロック分割にあたっては、以下のことを考慮した。

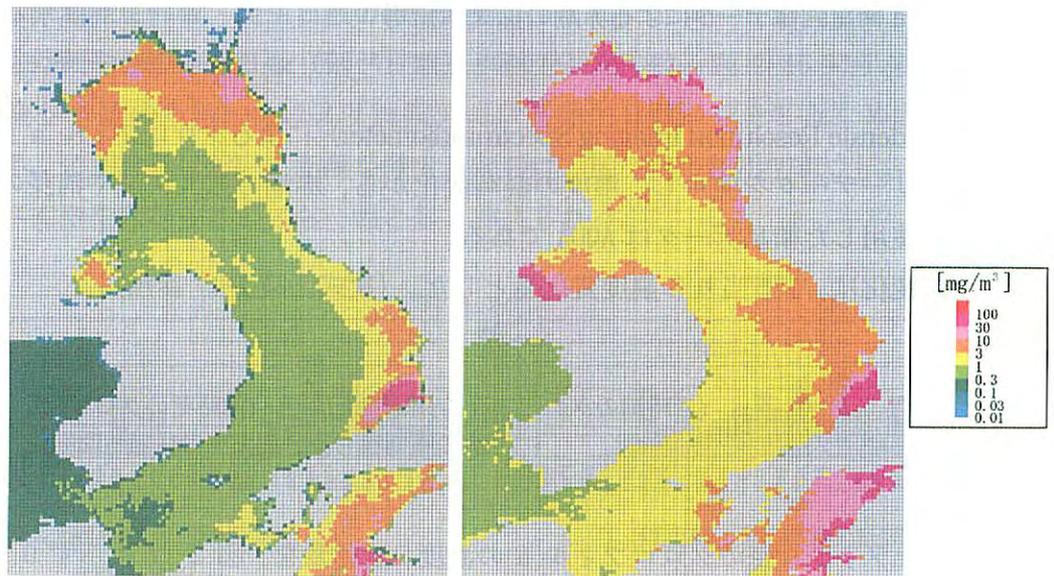
- ・ 潮汐に伴う往復移動の影響を除外するために、平均流による 1 潮汐当りの移動距離の 2 倍(「6. 潮流調査」の平均流の最大値約 10cm/s $\approx$ 8.6km/日)よりも広い範囲とした。
- ・ MODIS の衛星データによるクロロフィル a 濃度は、干潟などの浅海域において懸濁物質(濁り)により高くなる傾向があるため、水深の分布を参考に、基本水準面 0m 以浅のメッシュは除外した。
- ・ その他、ノリ漁場の分布を含むブロックとした。

### a. 赤潮の拡大状況

クロロフィル a 濃度の日変化量をメッシュ毎を求め、ブロック毎に集計し、1 日間の濃度移動状況(拡大範囲、縮小範囲、濃度の増減など)を定量的に追跡した。

### b. 赤潮の消長の要因

各ブロックにおける生産量(クロロフィル a の増加量または減少量)を求め、近傍気象観測所における降水量や気温との関係を整理し、消長の要因を検討した。

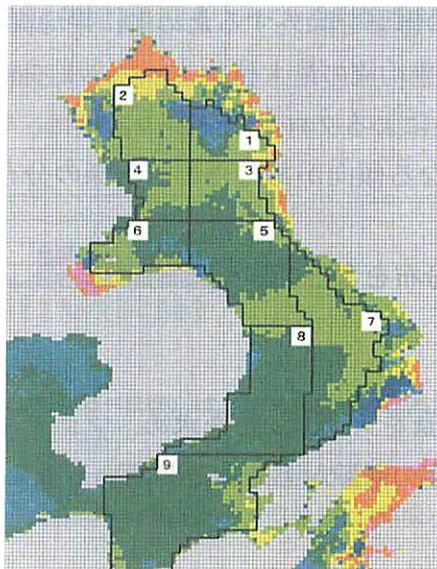


7月18日 04:24

7月23日 04:43

差濃度

濃度日変化量 (mg/m<sup>3</sup>・日) = 差濃度 / 経過時間 (日)



7月18日 04:24 から 7月23日 04:43 の濃度日変化量

図 2-17 クロロフィル a 濃度日変化量の算定方法

## ii) 検討結果

高クロロフィル a が観測された平成 16 年 10 月中旬の濃度日変化量の分布を図 2-18(1) に、平成 19 年 7 月下旬の濃度日変化量の分布を図 2-18(2) に、8 月中旬の濃度日変化量の分布を図 2-18(3) に示す。

図 2-18(1) によると、平成 16 年 10 月 16 日に湾奥部佐賀県沿岸域でクロロフィル a の増加が大きい傾向がみられた。赤潮の発生状況(図 2-3)をみると、赤潮が発生した 10 月 24 日前後の衛星データが雲に覆われていたため、赤潮発生箇所周辺(佐賀県全域)のクロロフィル a データがないものの、その約 1 週間前に同地域周辺でクロロフィル a が増加していることから、このクロロフィル a の増加した後、10 月 25～26 日の降雨に伴う栄養塩の流入によって、植物プランクトンが更に増大した可能性が考えられる。

図 2-18(2) によると、有明海湾奥部の佐賀県沖では、平成 19 年 7 月 26 日、31 日にクロロフィル a の増加が大きい傾向がみられた。赤潮の発生状況(図 2-8)をみると、8 月 1 日に佐賀県沖(SA-09)で赤潮が発生していることから、7 月 31 日に増加したクロロフィル a が翌日以降の赤潮に拡大した可能性が考えられる。

図 2-18(3) によると、有明海湾奥部の佐賀県沖や福岡県沖では、クロロフィル a の増加が大きい傾向がみられた(平成 19 年 8 月 24 日、27 日)。赤潮の発生状況(図 2-8)をみると、8 月 27 日に佐賀県沖(SA-09)や福岡県沖(FO-11)で赤潮が発生していることから、8 月 27 日にみられたクロロフィル a の増加が有明海湾奥部の赤潮に拡大した可能性が考えられる。

また、上記期間中のブロック毎の濃度日変化量の経時変化を図 2-19 に示す。

図 2-19(1) によると、10 月 14 日にブロック 1～4(有明海湾奥部)、6(諫早湾)で同時にクロロフィル a が増加していた。その後、10 月 16 日にブロック 2(佐賀県沖)のクロロフィル a の増加が大きい傾向がみられた。

図 2-19(2) によると、7 月 26 日、31 日に有明海湾奥部のブロック 1(福岡県沖)やブロック 2(佐賀県沖)、6(諫早湾)で同時にクロロフィル a が増加しており、特にブロック 1 や 2 で大きい傾向がみられた。また、8 月 10 日にはブロック 1～3(有明海湾奥部)でクロロフィル a の増加が大きい傾向がみられた。

図 2-19(3) によると、8 月 24 日に有明海湾奥部のブロック 1(福岡県沖)や 2(佐賀県沖)でクロロフィル a が増加し、翌日にブロック 6(諫早湾)でクロロフィル a が増加する傾向がみられた。

このように、諫早湾から有明海へクロロフィル a が拡大した状況はみられず、諫早湾や有明海湾奥部でそれぞれ独立して増加している傾向がみられた。

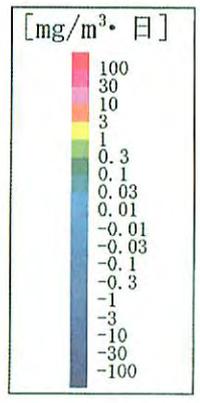
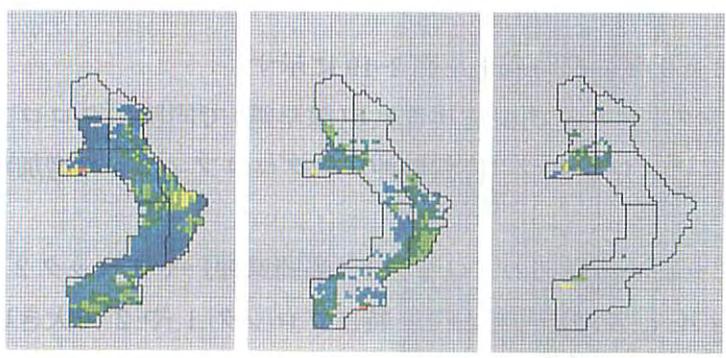
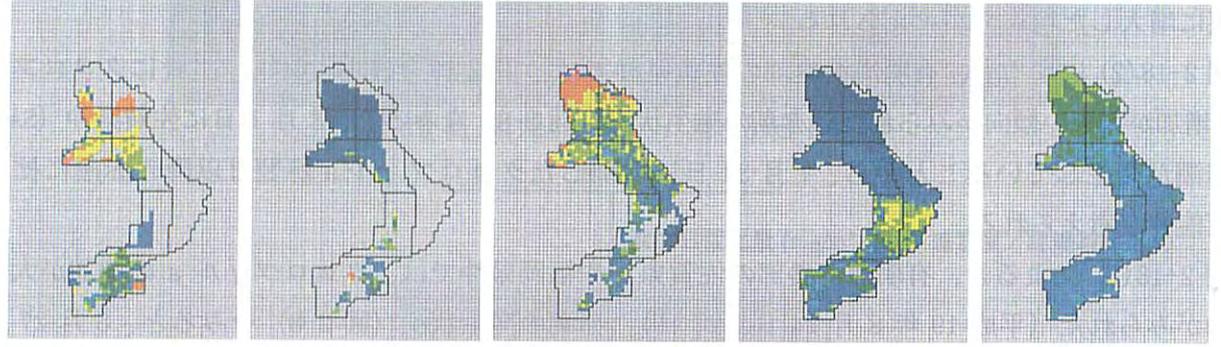
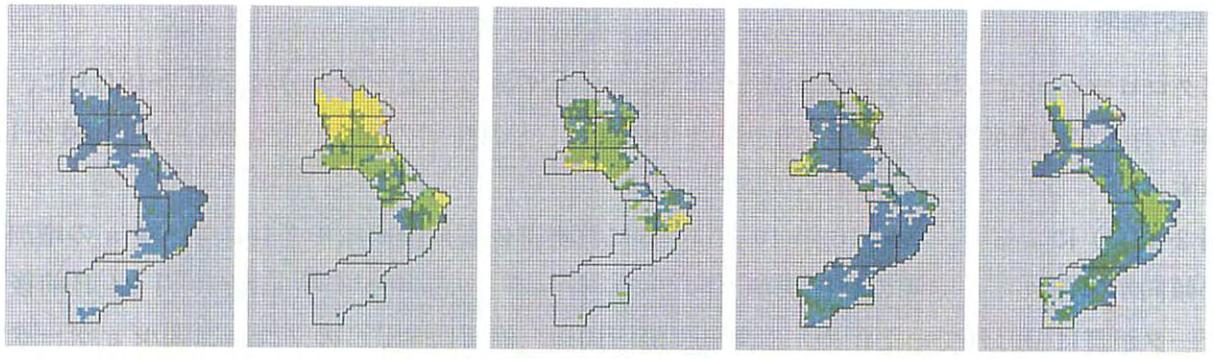


図 2-18(1) クロロフィル a の濃度日変化量の分布と経時変化 (平成 16 年 10 月 3 日～ 30 日)

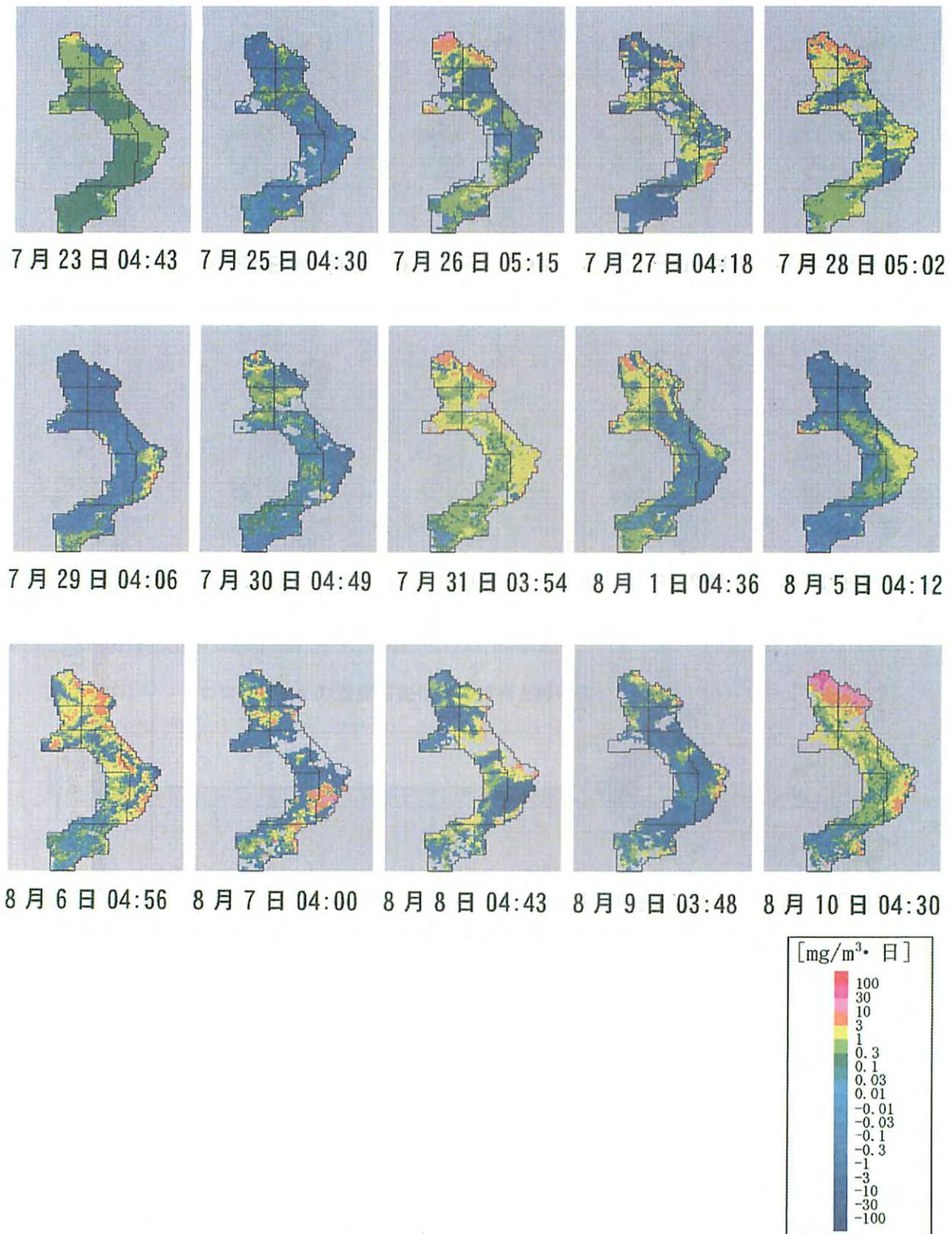


図 2-18(2) クロロフィル a の濃度日変化量の分布 (平成 19 年 7 月 23 日～ 8 月 10 日)

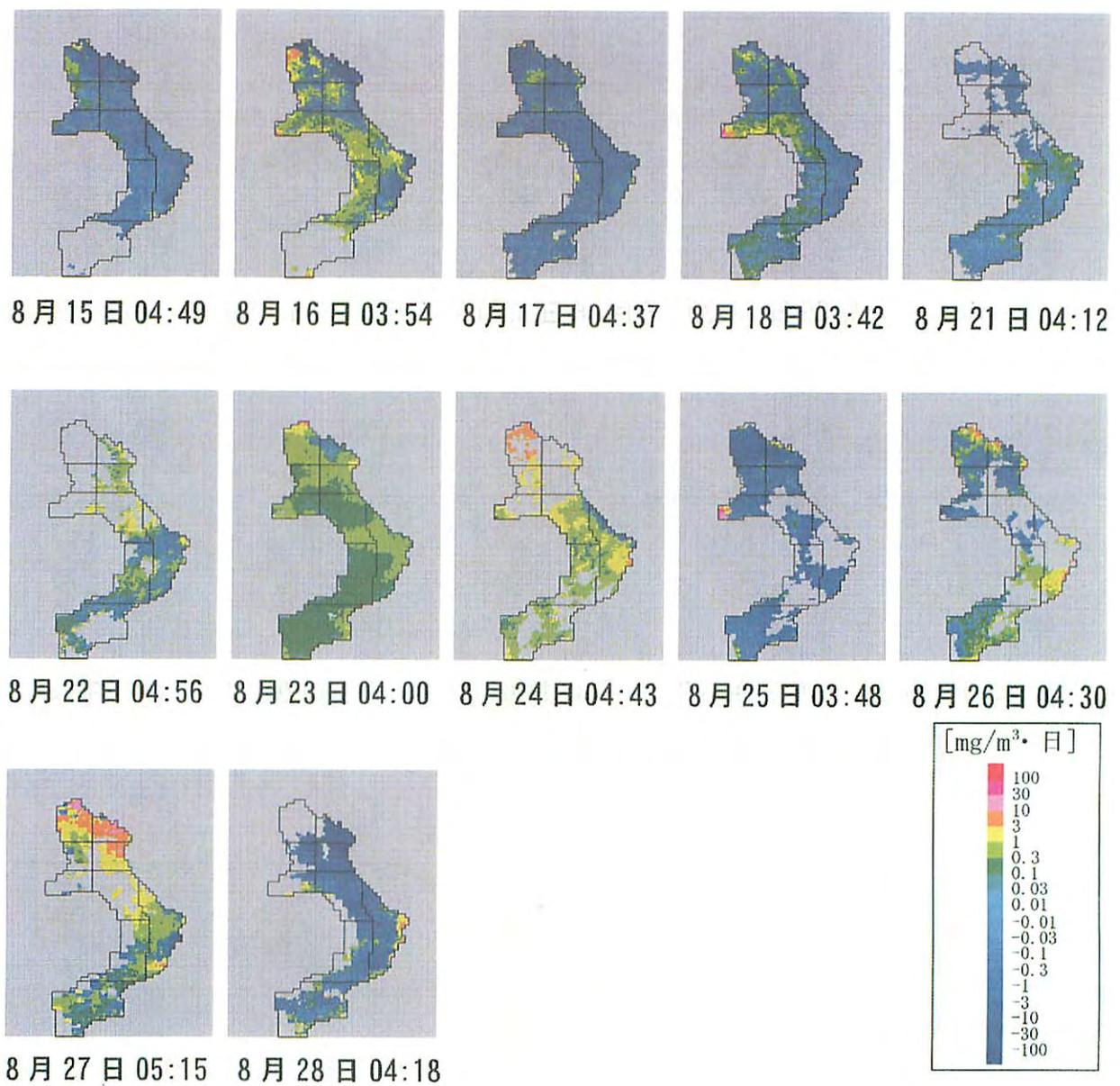


図 2-18(3) クロロフィル a の濃度日変化量の分布 (平成 19 年 8 月 15 日～ 28 日)

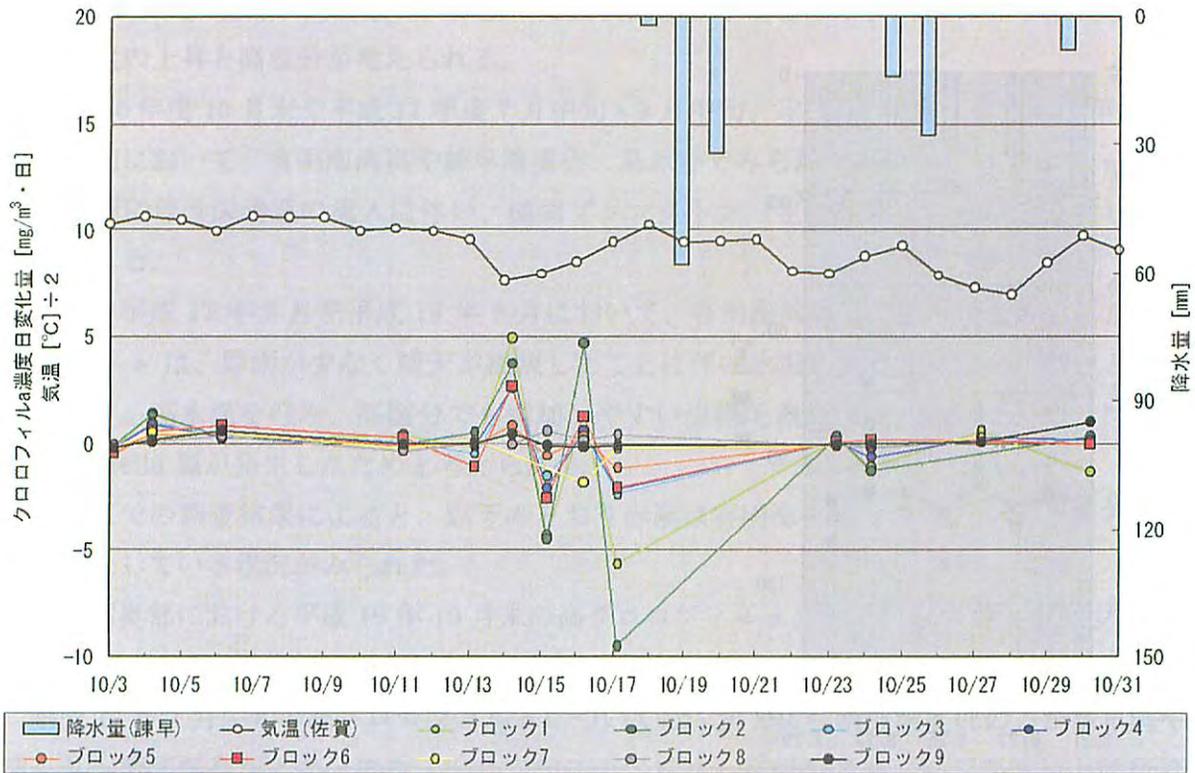


図 2-19(1) クロロフィル a の濃度日変化量の分布と経時変化 (平成 16 年 10 月 3 日～30 日)

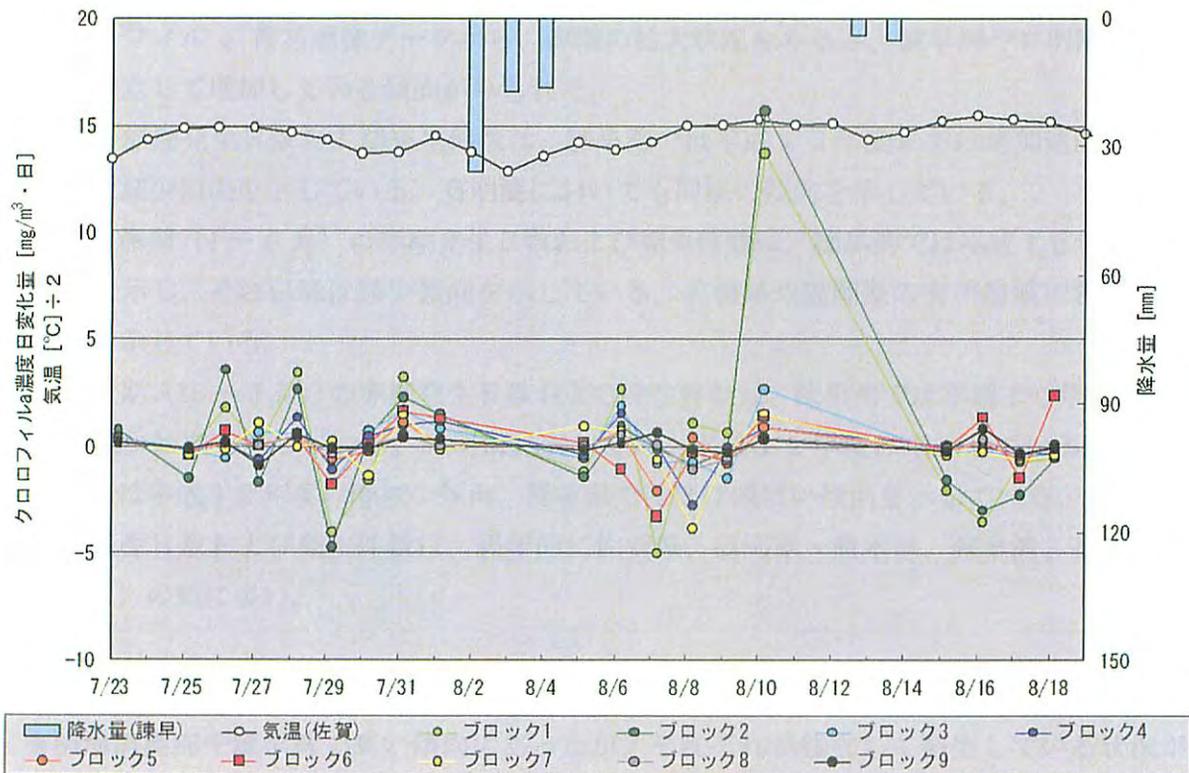


図 2-19(2) クロロフィル a の濃度日変化量の分布 (平成 19 年 7 月 23 日～8 月 10 日)

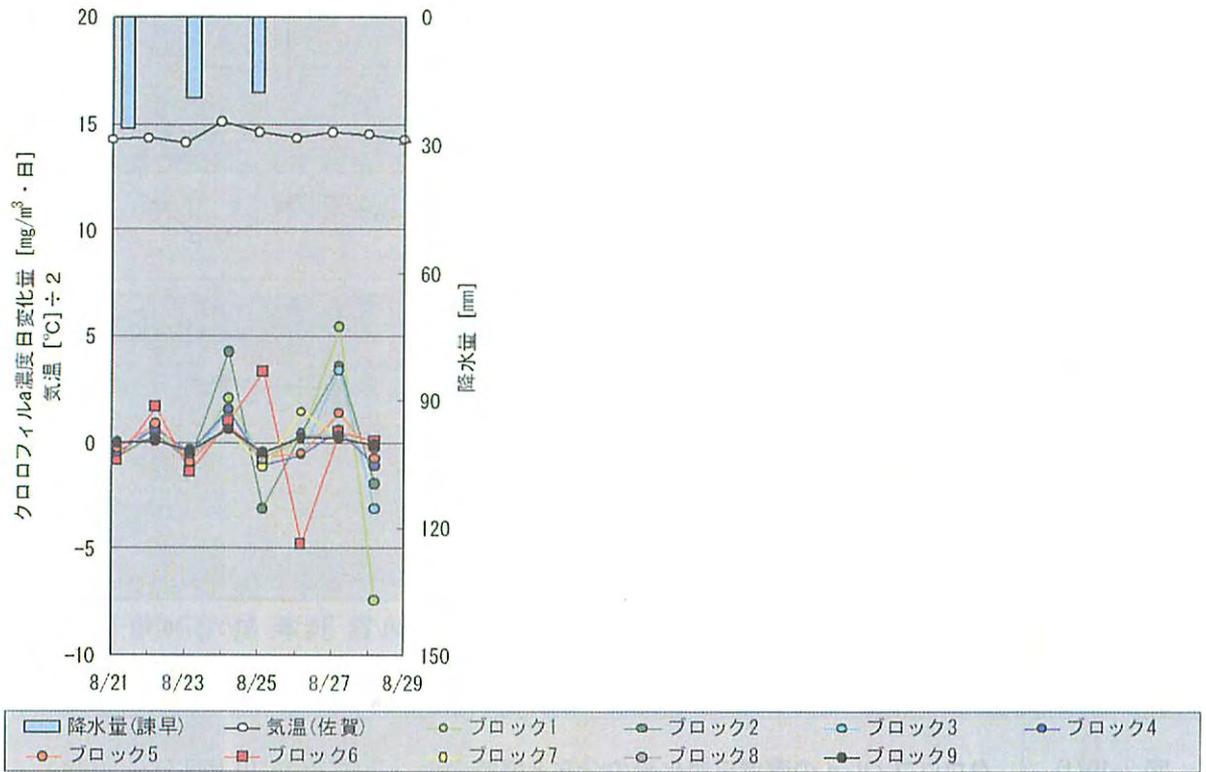


図 2-19(3) クロロフィル a の濃度日変化量の分布 (平成 19 年 8 月 15 日～ 28 日)

#### (4) まとめ

- これまでの調査結果によると、赤潮の発生要因は以下のとおり、降雨に伴う栄養塩の流入および水温の上昇と高塩分が考えられる。
  - ・ 平成16年度10月末や平成17年度7月中旬・9月中旬、平成18年度7月上旬、平成19年度7月下旬において、有明海湾奥や諫早湾奥部、島原沖でみられた高いクロロフィル a は、いずれも降雨に伴う栄養塩の流入に伴い、植物プランクトン（主に珪藻）が増加・優占したためと考えられる。
  - ・ 一方、平成17年8月や平成19年8月において、有明海湾奥部や諫早湾でみられた高いクロロフィル a は、降雨が少なく晴天が継続したことに伴い水温の上昇や高塩分の状況となったことにより、高水温を好み、高塩分でも増加しやすい渦鞭毛藻の *Ceratium fruca* やラフィド藻の *Chattonella* 属が発生したためと考えられる。
- これまでの調査結果によると、以下のとおり赤潮は有明海と諫早湾においてそれぞれが独立して発生している状況がみられた。
  - ・ 諫早湾奥部における平成16年10月末の高クロロフィル a は、それ以降濃度が減少しており、他の地点での濃度の増加はみられなかった。
  - ・ 平成17年7月中旬の高クロロフィル a については、すでに有明海湾奥部の方が諫早湾や島原沖よりも濃度が高かった。また、9月中旬については、有明海湾奥（佐賀県沖）と諫早湾で同時に赤潮の発生が報告されていた。
  - ・ 諫早湾内と有明海湾奥（佐賀県沖）における平成18年7月上旬の高クロロフィル a は、赤潮の優占種が異なっていた。
- クロロフィル a 衛星画像データから、赤潮の拡大状況をみると、諫早湾や有明海湾奥部でそれぞれ独立して増加している傾向がみられた。
- 年間の赤潮発生日数および発生件数は、諫早湾では平成15年度までは増加傾向を示し、それ以降は減少傾向を示している。有明海においても同様の傾向を示している。
- 非ノリ漁期（4～9月）の赤潮発生日数および発生件数は、諫早湾では平成15年度までは増加傾向を示し、それ以降は減少傾向を示している。佐賀県や福岡県の有明海域においても同様の傾向を示している。
- ノリ漁期（10～3月）の赤潮発生日数および発生件数は、諫早湾では平成10年度に増加し、その後減少傾向を示している。有明海においては、平成12年度に増加しているが、佐賀県、福岡県では平成15年度以降減少傾向、熊本県ではほぼ横ばい傾向を示している。
- 赤潮発生日数および発生件数は、経年的に佐賀県、福岡県・熊本県、諫早湾、長崎県（諫早湾を除く）の順に多い。

以上のとおり、降雨に伴う栄養塩の流入後などに高クロロフィル a（赤潮）が観測されており、特に有明海湾奥部や諫早湾で高い傾向にあったが、それぞれが独立して発生している状況がみられた。

### 3. 底質環境調査

#### (1) 調査の目的

底質環境調査は、海域別の底質特性及び底質攪拌による底質の変化状況のほか、底質と潮流、海底地形、水質、貧酸素発生区域、底生生物との関連性から、各海域の環境特性を把握し海域特性区分図を作成することにより、底質改善対策の検討に資することを目的とする。

なお、底質と潮流、貧酸素発生区域、底生生物との関連性については、各調査結果の整理状況等から今後検討することとし、今回のまとめの対象外とした。

#### (2) 調査の実施状況

平成16年度から平成19年度にかけて、硫化水素臭がする海域等を対象に底質攪拌を行い、攪拌前後の底質の変化を把握する調査を実施した。調査内容は、地形調査、水質および沈降調査、底質調査、底生生物調査であり、これらの調査の実施状況は表3-1～表3-3に示すとおりである。調査位置は図3-1～図3-5に示すとおりである。

表3-1 底質、底生生物、水質調査の実施状況

調査年度	調査海域		調査の実施時期(底質攪拌作業との前後関係)							調査地点	
			前	直後	1週間後	2週間後	1ヶ月後	3ヶ月後	半年後		1年後
2004年度 (平成16年度)	佐賀県	大浦沖	◎		◎				◎		図3-2
	長崎県	国見沖	◎		◎				◎		
2005年度 (平成17年度)	佐賀県	大浦沖	◎	◎		○	◎		◎	◎	図3-2
	長崎県	国見沖	◎	◎		○	◎		◎	◎	
		島原沖	◎	◎		○	◎		◎	◎	図3-3
	熊本県	熊本沖北部	◎	◎		○	◎		◎	◎	図3-4
		熊本沖南部	◎	◎		○	◎		◎	◎	
福岡県	大和町沖	◎	◎		○	◎		◎	◎	図3-5	
2006年度 (平成18年度)	佐賀県	大浦沖	◎	◎		○	◎		◎	◎	図3-2
	長崎県	国見沖	◎	◎		○	◎		◎	◎	
		島原沖	◎	◎		○	◎		◎	◎	図3-3
	熊本県	新港沖	◎	◎		○	◎		◎	◎	図3-4
		菊池川沖	◎	◎		○	◎		◎	◎	
福岡県	柳川沖	◎	◎		○	◎		◎	◎	図3-5	
2007年度 (平成19年度)	佐賀県	大浦沖	◇	◇				◇			図3-2
	長崎県	国見沖	◇	◇				◇			
		島原沖	◇	◇				◇			図3-3
	熊本県	熊本沖北部	◇	◇				◇			図3-4
		熊本沖南部	◇	◇				◇			
	福岡県	柳川沖北部	◇	◇				◇			図3-5
柳川沖南部	◇	◇				◇					

◎:底質調査、底生生物調査、水質調査を実施 ○:底質調査、水質調査を実施 ◇:底質調査、底生生物調査を実施

表 3-2 地形調査の実施状況

調査年度	調査海域		調査時期
2004年度 (平成16年度)	佐賀県	大浦沖	底質攪拌前後に実施
	長崎県	国見沖	"
2005年度 (平成17年度)	佐賀県	大浦沖	底質攪拌前に実施
	長崎県	国見沖	"
		島原沖	"
	熊本県	熊本沖北部	"
		熊本沖南部	"
福岡県	大和町沖	(実施していない)	
2006年度 (平成18年度)	佐賀県	大浦沖	底質攪拌前に実施
	長崎県	国見沖	"
		島原沖	(実施していない)
	熊本県	新港沖	底質攪拌前に実施
		菊池川沖	"
福岡県	柳川沖	"	
2007年度 (平成19年度)	佐賀県	大浦沖	底質攪拌前に実施
	長崎県	国見沖	底質攪拌前に実施
		島原沖	(実施していない)
	熊本県	熊本沖北部	"
		熊本沖南部	"
福岡県	柳川沖北部	"	
	柳川沖南部	"	

表 3-3 沈降調査の実施状況

調査年度	調査海域		調査時期	調査地点
2004年度 (平成16年度)	佐賀県	大浦沖	底質攪拌前後に実施	九州農政局諫早湾干拓事務所の観測樁(B4,S10)
	長崎県	国見沖		
2005年度 (平成17年度)	佐賀県	大浦沖	底質攪拌前後に実施	九州農政局諫早湾干拓事務所の観測樁(B4,B5,B6)
	長崎県	国見沖		
		島原沖	(実施していない)	
	熊本県	熊本沖北部	"	
		熊本沖南部	"	
福岡県	大和町沖	"		
2006年度 (平成18年度)	佐賀県	大浦沖	底質攪拌前後に実施	九州農政局諫早湾干拓事務所の観測樁(B4,B5,B6)
	長崎県	国見沖		
		島原沖	(実施していない)	
	熊本県	新港沖	底質攪拌前後に実施	熊本県水産センター観測ブイ(長洲沖,長浜沖)
		菊池川沖		
福岡県	柳川沖	(実施していない)		
2007年度 (平成19年度)	佐賀県	大浦沖	(実施していない)	
	長崎県	国見沖	"	
		島原沖	"	
	熊本県	熊本沖北部	"	
		熊本沖南部	"	
福岡県	柳川沖北部	"		
	柳川沖南部	"		

—調査方法—

底質攪拌 : 船舶によりカイケタを使用して海底の底質攪拌を行った。

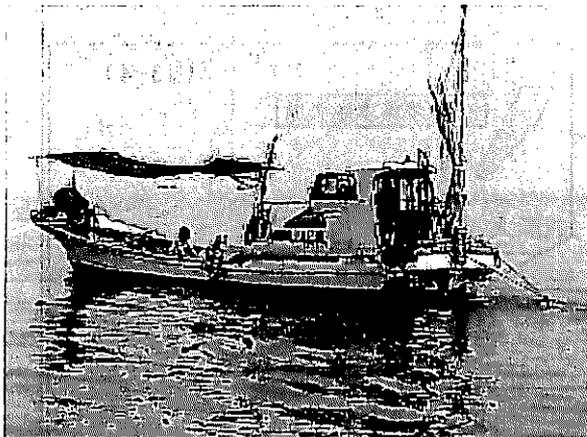
底質調査 : 小型グラブ式採泥器により、海底表層の底質を1回採取した。採泥試料は、粒度試験用と化学分析用に分取した後、化学分析用試料は保冷し試験室に持ち帰り、分析を行った。

底生生物調査 : 小型グラブ式採泥器により、海底表層の底質とともに底生生物を7回採取<sup>注)</sup>した。採泥試料は、1.0mm目のフルイでふるい、篩上に残った底生生物を採集して10%のホルマリンで固定した後保冷し試験室に持ち帰り、種の同定、個体数、湿重量の計測を行った。

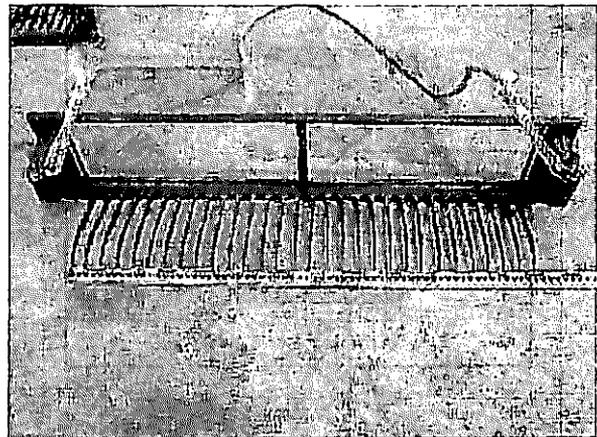
注) 採泥器採集面積(0.0225m<sup>2</sup>)より底生生物採集に望ましい採集面積0.15m<sup>2</sup>以上(沿岸海洋調査マニュアル)を確保する7回とした。

地形調査 : 小型船に音響測深機及び海上測位装置を搭載して行った。

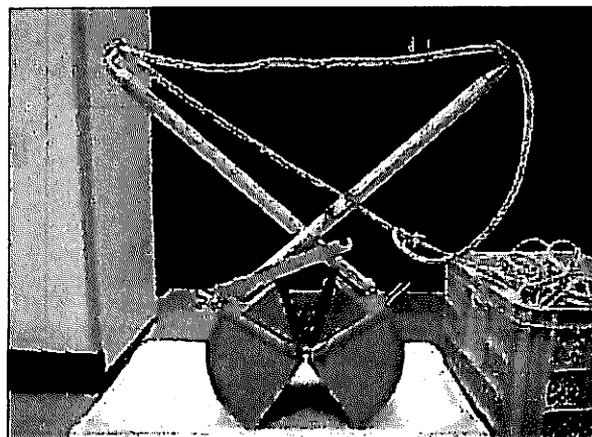
沈降調査 : 沈降瓶を1週間～10日間設置し、懸濁物質を採集した。採集試料は、不溶性懸濁物質質量および有機物質質量を測定した後、それぞれの沈降量を算出した。



カイケタによる底質攪拌状況



カイケタ



小型グラブ式採泥器

形 式	小型
採泥面積	0.15m×0.15m
重 量	10kg

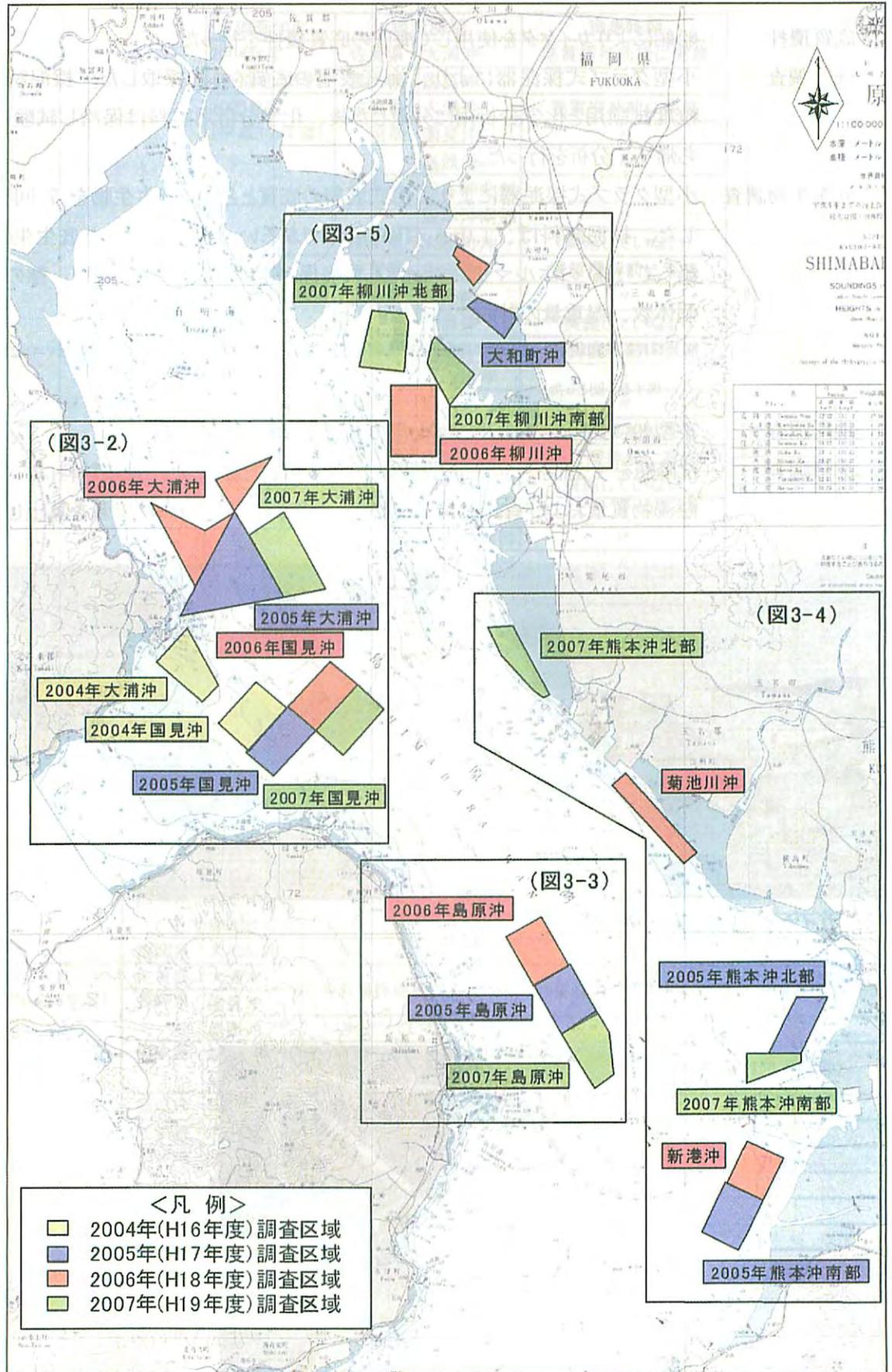


图 3-1 調査区域全体图

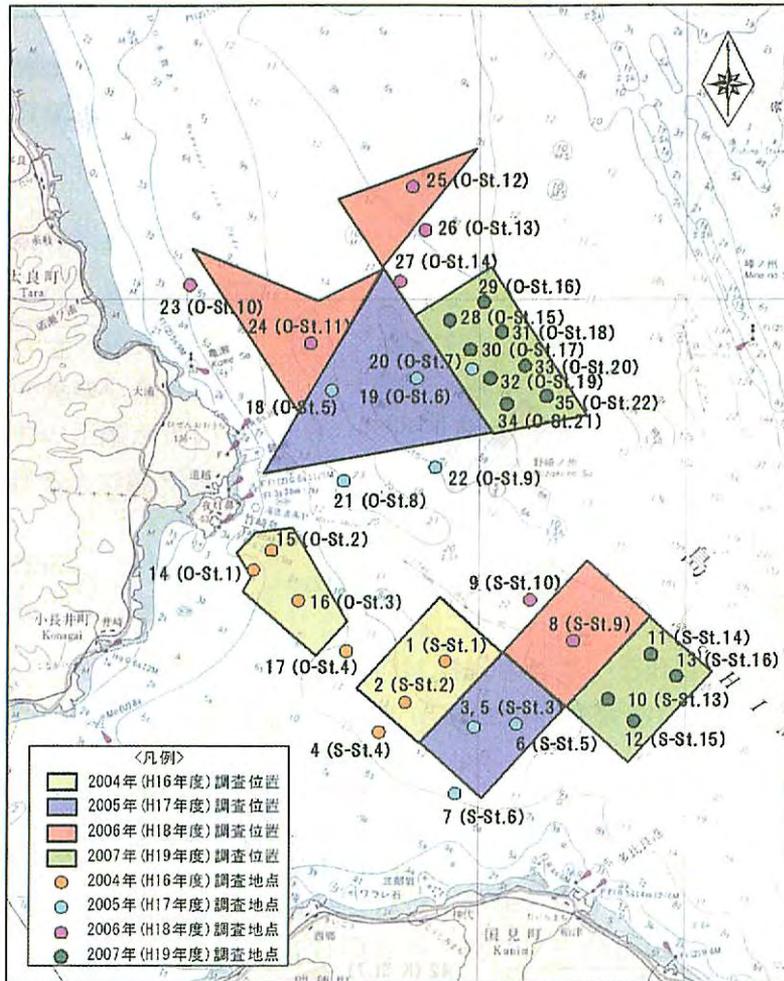


图 3-2 大浦沖、国見沖調査地点图

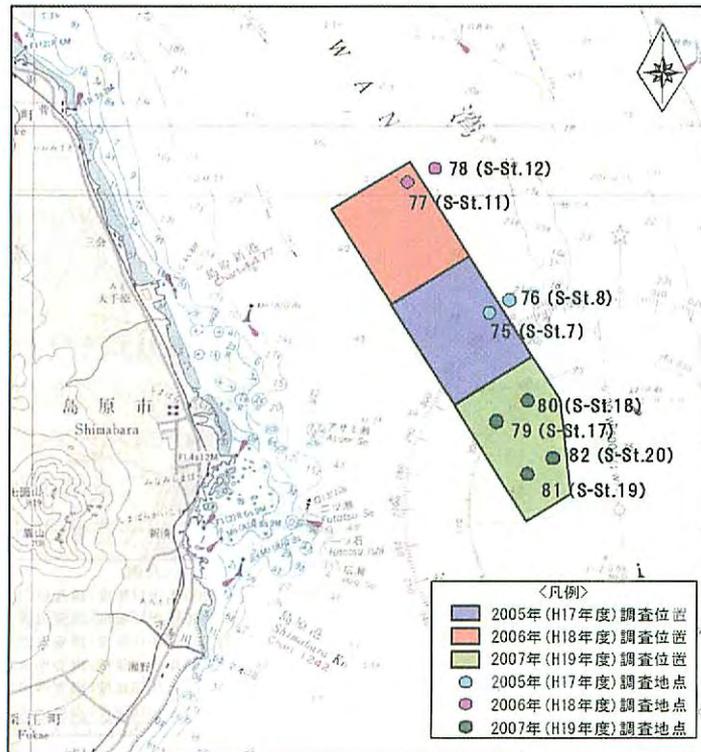


图 3-3 島原沖調査地点图

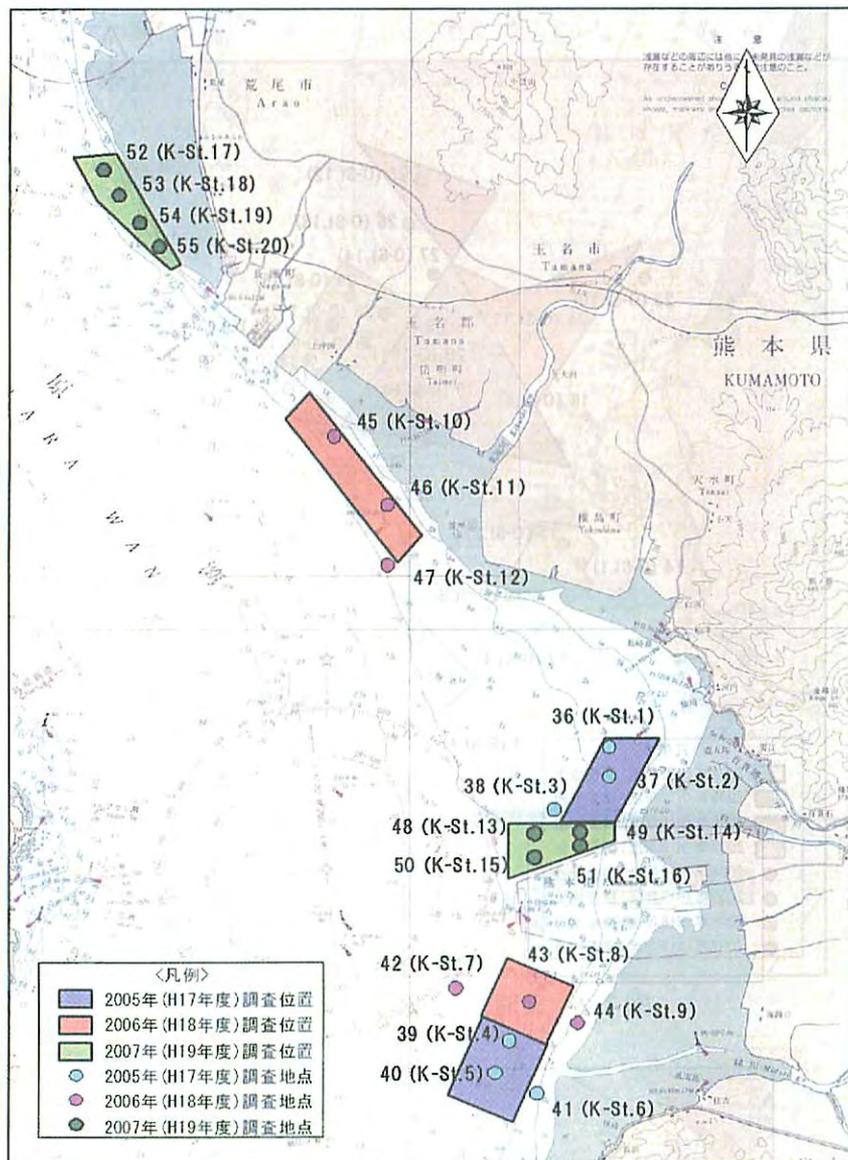


図 3-4 熊本沖調査地点図

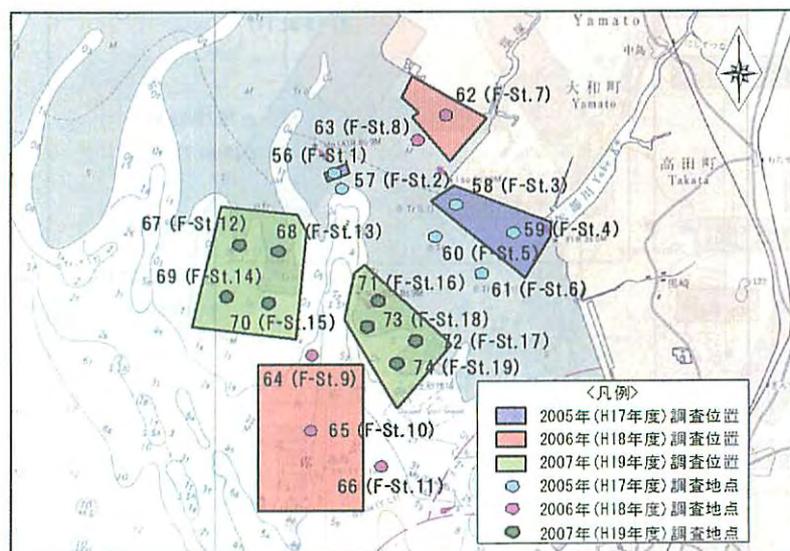


図 3-5 福岡沖調査地点図

### (3) 調査結果

2004年～2007年の底質攪拌調査による底質調査データ及び当該底質攪拌調査と調査時期に近い既往底質調査のデータをクラスター分析することにより海域区分図を作成し、底質環境の特性について検討を行った。

#### 1) クラスタ分析の概要

クラスター分析は、異質なもののまざり合っている対象を、互いに似たもの同士からなるいくつかのグループに分類することを目的とする。クラスター分析は、データは全て独立したクラスタと見なした初期状態をまず作り、その状態から始めて、クラスタ間の距離を計算し、最もこの距離が近いものから逐次クラスタを併合し、全てのデータが一つのクラスタに併合されるまで繰り返す階層型の手法とした。

#### 2) 海域区分図の作成

底質攪拌調査データは、攪拌地域とその周辺に限られていることから、海域区分を有明海全域に適用するために、底質攪拌と同時期に実施されている既往の底質調査データのクラスター分析を行い、両者のクラスター分析結果による底質環境の同質性と類似性から、海域区分図を作成した。

##### ①底質攪拌前調査データによる海域区分

以下の4ケースによりクラスター分析を行った結果、いずれのケースとも海域区分は類似し、特に、中央粒径値＋含泥率の底質項目がクラスター分析による海域区分の主要な支配要因であることが明らかになった。しかしながら、底質環境の特性は、物理・化学的特性のほか、生息する底生生物の特性など複雑であることから、総合的な視点での検討が重要なため、全8項目によるクラスター分析を行い、海域を区分した。

ケース1：中央粒径値＋含泥率＋含水率（物理特性を対象とした区分）

ケース2：含泥率＋全硫化物（嫌気的特性を対象とした区分）

ケース3：強熱減量＋COD（有機的特性を対象とした区分）

ケース4：中央粒径＋含泥率＋含水率＋全硫化物＋強熱減量＋COD＋全窒素＋全リン  
（全8項目）

##### ②底質攪拌前調査データ＋既往底質調査データによる海域区分

底質攪拌調査と同時期に実施されている、福岡県沖及び佐賀県沖での既往底質調査データを収集し、以下の2ケースについてクラスター分析を行い、海域を区分した。

②-1 底質攪拌前調査データ＋既往底質調査データ（福岡県沖）による海域区分

②-2 底質攪拌前調査データ＋既往底質調査データ（佐賀県沖）による海域区分

#### 3) 底質攪拌による底質環境変化の地域特性

2005、2006年度は攪拌前・後・1ヶ月後・半年後、また、2007年度は攪拌前・直後・3ヶ月後の底質調査データについて、全8項目（中央粒径＋含泥率＋含水率＋全硫化物＋強熱減量＋COD＋全窒素＋全リン）によるクラスター分析を行い、底質攪拌による底質環境変化の地域特性を把握した。

#### 4) 水質環境による海域区分と底質特性

浅海定線データのうち、水深 5m層データの有明海全域でのクラスター分析および底層（海底上 1m）データの湾奥部でのクラスター分析による各水塊区分の特性と底質環境特性による海域区分布特性の相互の関係を把握した。

#### 5) 海底地形と底質特性

有明海の湾奥部には、砂州状の地形及び海底水道が見られ、また、筑後川、矢部川、菊池川、白川、緑川等の河口部にはデルタ状の地形が形成されている。これらの海底地形分布と底質特性の関係を把握した。

## 6) 海域区分図の作成

### ① 底質攪拌前調査データによる海域区分

2004～2007年度の、底質攪拌前調査データ（攪拌地点）についてクラスター分析を行った結果、図3-6に示すようにA～Dの4海域に区分された。これらの海域区分の底質項目の平均値は、表3-4に示すとおりであり、中央粒径値及び含泥率から概ねA区分は砂、B区分は砂泥、C区分は泥砂、D区分は泥の分布域となっている。

表3-4 クラスター分析による各海域区分の底質項目平均値

調査名	区分	中央粒径	含泥率	含水率	全硫化物	強熱減量	COD	全窒素	全リン	クラスター分析項目数
		φ	%	%	mg/g	%	mg/g	mg/g	mg/g	
底質攪拌前底質調査データ（2004～2007）	A	1.73	17.5	26	0.06	4.1	4.3	0.42	0.47	8項目
	B	2.68	37.1	37	0.16	6.4	7.5	0.79	0.48	
	C	4.58	63.9	47	0.13	7.2	10.0	1.01	0.52	
	D	6.43	88.8	60	0.30	10.2	16.1	1.74	0.66	

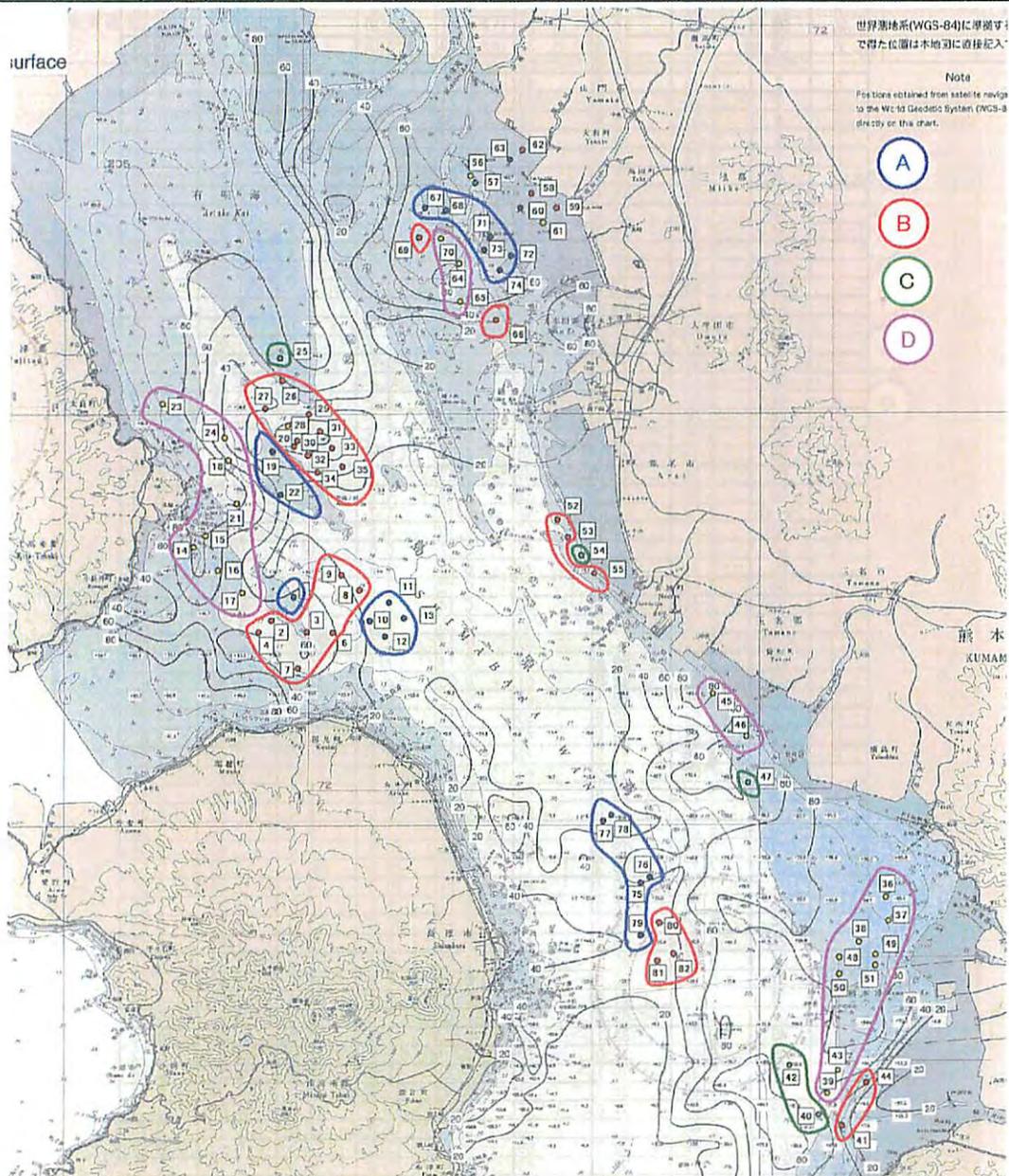


図3-6 中央粒径+含泥率+含水率+全硫化物+強熱減量+COD+全窒素+全リン（全8項目）  
クラスター分析結果は表3-5 参照

表 3-5 クラスター分析結果

(底質攪拌前 中央粒径 + 含泥率 + 含水率 + 硫化物 + 強熱減量 + COD + 全窒素 + 全リン)

区分	地点	中央粒径	含泥率	含水率	硫化物	強熱減量	COD	全窒素	全リン
		φ	%	%	mg/g	%	mg/g	mg/g	mg/g
A	1	1.40	21.3	28	0.01	5.9	6.8	0.62	0.98
A	10	2.32	25.0	29	0.09	5.7	5.1	0.59	0.60
A	11	1.60	19.5	24	0.01	4.3	5.0	0.38	0.55
A	12	1.69	16.6	26	0.01	4.1	4.1	0.33	0.49
A	13	1.40	19.5	26	0.01	4.8	5.1	0.44	0.61
A	19	2.25	19.7	32	0.07	4.2	5.0	0.45	0.53
A	22	1.47	18.6	27	0.03	4.0	4.2	0.35	0.33
A	60 *1	1.47	13.8	22	0.06	3.0	1.8	0.17	0.31
A	63 *1	2.94	22.4	31	0.04	3.5	4.3	0.51	0.48
A	67	2.12	14.8	27	0.09	4.2	5.0	0.33	0.42
A	68	2.56	15.3	27	0.06	3.5	4.4	0.31	0.46
A	71 *1	2.00	9.5	25	0.07	4.1	2.1	0.32	0.42
A	72 *1	1.64	15.4	25	0.10	2.1	6.0	0.44	0.46
A	73 *1	2.32	24.2	27	0.23	4.8	6.4	0.54	0.43
A	74 *1	2.12	21.6	26	0.17	4.8	6.0	0.49	0.50
A	75	1.64	11.7	25	0.06	3.8	2.6	0.26	0.50
A	76	2.00	16.1	28	0.02	4.0	2.8	0.26	0.33
A	77	-1.43	9.1	22	0.02	2.6	1.8	0.38	0.28
A	78	1.12	16.0	26	0.01	2.7	2.4	0.83	0.34
A	79	1.94	20.4	26	0.09	5.0	4.8	0.48	0.44
	平均	1.73	17.5	26	0.06	4.1	4.29	0.42	0.47
B	2	3.19	41.4	49	0.12	9.0	12.0	1.10	0.39
B	3	2.00	31.3	43	0.11	6.5	7.5	0.79	0.39
B	4	2.87	35.4	46	0.24	8.4	13.0	1.00	0.59
B	6	2.25	34.9	40	0.14	6.3	8.3	0.94	0.46
B	7	2.32	38.5	38	0.16	5.3	8.3	0.81	0.39
B	8	1.60	28.1	36	0.02	4.4	5.1	0.84	0.25
B	9	2.74	45.4	49	0.13	6.4	8.9	0.99	0.39
B	20	1.69	20.4	42	0.19	5.9	8.2	0.81	0.45
B	26	2.40	36.0	44	0.05	5.9	7.7	0.94	0.41
B	27	2.56	30.9	39	0.08	4.5	6.4	0.53	0.15
B	29	3.59	45.3	35	0.22	8.1	9.1	0.89	0.71
B	30	3.64	47.9	37	0.44	9.3	8.8	1.00	0.62
B	31	3.06	43.6	36	0.30	7.9	8.6	0.76	0.60
B	32	1.94	37.1	29	0.20	6.0	7.1	0.78	0.45
B	33	3.47	48.1	39	0.30	8.5	5.5	1.00	0.71
B	34	1.89	37.8	32	0.13	6.4	7.5	0.74	0.52
B	35	2.18	31.0	28	0.17	6.4	9.2	0.72	0.52
B	41	3.37	37.8	52	0.09	3.6	5.3	0.65	0.45
B	44	3.06	35.4	33	0.02	3.5	5.0	0.45	0.34
B	52	0.92	25.0	36	0.11	7.2	7.2	0.67	0.45
B	53	2.12	41.1	30	0.16	5.9	6.4	0.71	0.48
B	55	3.54	44.0	31	0.17	6.5	7.7	0.62	0.57
B	58	1.22	50.1	22	0.07	4.2	3.1	0.20	0.34
B	59 *1	4.54	17.2	41	0.15	5.7	6.6	1.00	0.60
B	62	3.47	42.0	37	0.10	4.5	5.7	0.68	0.57
B	66	3.59	47.5	45	0.12	6.5	6.7	0.52	0.58
B	69	2.64	29.2	24	0.20	4.9	6.2	0.51	0.41
B	80	2.64	32.1	32	0.12	7.2	8.1	0.96	0.59
B	81	2.64	33.6	30	0.14	7.4	7.2	0.97	0.56
B	82	3.32	45.9	36	0.25	9.6	10.0	1.10	0.60
	平均	2.68	37.1	37	0.16	6.4	7.55	0.79	0.48
C	25	4.57	59.6	49	0.14	7.1	10.0	1.30	0.54
C	40	4.61	62.0	51	0.05	6.4	11.0	0.98	0.43
G	42	4.38	66.1	43	0.12	5.7	6.9	0.88	0.42
C	47	4.64	62.8	53	0.14	7.6	12.0	0.49	0.48
C	54	5.51	65.5	45	0.12	10.0	10.0	1.40	0.61
C	57	3.76	67.5	42	0.20	6.2	10.0	0.98	0.64
	平均	4.58	63.9	47	0.13	7.2	9.98	1.01	0.52
D	14	6.84	81.9	66	0.10	10.0	16.0	1.40	0.47
D	15	7.70	81.5	66	0.16	10.0	15.0	1.20	0.39
D	16	6.86	81.7	70	0.17	11.0	19.0	2.10	0.28
D	17	7.24	78.2	63	0.05	10.0	15.0	1.40	0.44
D	18	7.12	99.7	71	0.53	13.0	28.0	1.00	0.64
D	21	7.59	92.4	66	0.21	10.0	23.0	2.40	0.60
D	23	6.75	76.8	62	0.16	9.5	15.0	1.30	0.57
D	24	6.66	97.0	70	0.32	10.0	21.0	2.10	0.68
D	28	6.64	90.2	47	0.91	10.0	12.0	1.60	0.69
D	36	6.51	95.3	60	0.20	9.1	17.0	1.70	0.78
D	37	6.51	93.9	59	0.33	9.4	18.0	1.90	0.81
D	38	6.64	91.8	57	0.28	9.8	15.0	1.60	0.68
D	39	6.27	88.6	58	0.10	7.9	13.0	1.60	0.52
D	43	5.72	86.1	58	0.22	8.3	13.0	1.70	0.55
D	45	5.64	72.0	60	0.10	8.6	14.0	1.50	0.62
D	46	5.32	79.1	61	0.29	11.0	16.0	2.20	0.86
D	48	5.80	89.3	51	0.30	11.0	14.0	1.70	0.63
D	49	5.97	91.9	47	0.44	11.0	14.0	1.60	0.73
D	50	5.64	91.1	52	0.36	12.0	13.0	1.90	0.75
D	51	5.88	92.0	50	0.34	12.0	14.0	1.90	0.69
D	56	5.97	99.9	63	0.44	10.0	19.0	2.40	0.98
D	61	6.27	95.3	63	0.44	11.0	18.0	1.80	0.80
D	64	6.27	89.5	65	0.27	9.4	13.0	2.10	0.82
D	65	6.38	88.3	64	0.31	10.0	12.0	2.00	0.72
D	70	6.51	95.5	44	0.51	11.0	16.0	1.50	0.72
	平均	6.43	88.8	60	0.30	10.2	16.12	1.74	0.66

②-1 底質攪拌前調査データ+既往底質調査データ（福岡県沖）による海域区分

福岡県沖底質調査データは、2005年1月に福岡県水産海洋技術センター有明海研究所により実施された底質調査のデータである。このデータと2004～2007年度の底質攪拌前調査データ（攪拌地点）についてクラスター分析を行った結果、図3-7に示すようにA～Dの4海域に区分された。これらの海域区分の底質項目の平均値は、表3-6に示すとおりであり、中央粒径値及び含泥率から概ねA区分は砂、B区分は砂泥、C区分は泥砂、D区分は泥の分布域となっている。

表3-6 クラスター分析による各海域区分の底質項目平均値（全データの平均値）

調査名	区分	中央粒径	含泥率	含水率	全硫化物	強熱減量	COD	全窒素	全リン	クラスター分析項目数
		φ	%	%	mg/g	%	mg/g	mg/g	mg/g	
底質攪拌前底質調査データ(2004～2007)+福岡県沖底質調査データ(2005)	A	1.70	15.7	29	0.06		3.7	0.43		6項目
	B	2.62	37.1	38	0.16		7.4	0.81		
	C	4.46	60.6	47	0.12		8.8	0.90		
	D	6.52	88.2	60	0.31		14.4	1.69		

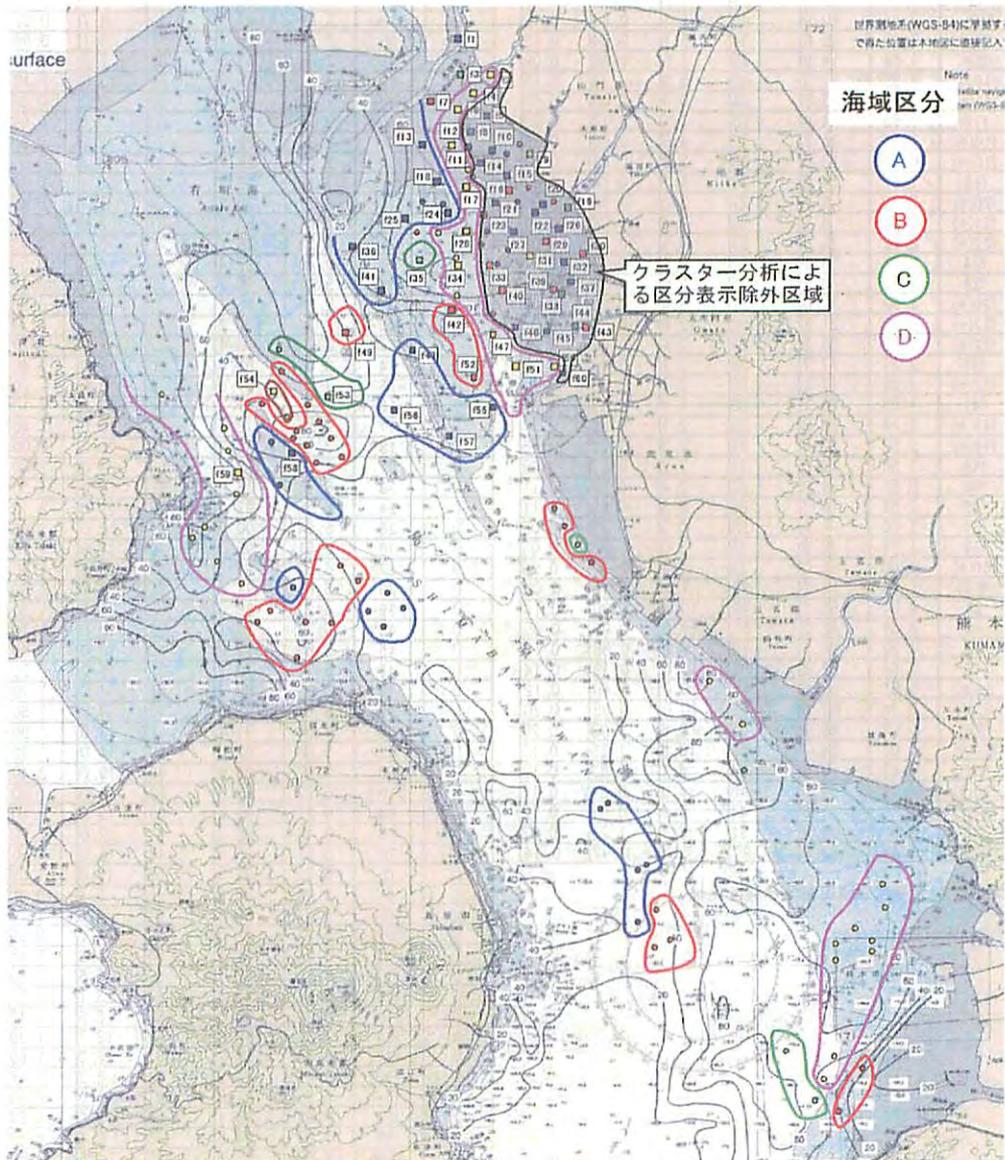


図3-7 中央粒径+含泥率+含水率+全硫化物+COD+全窒素（6項目）による海域区分  
クラスター分析結果は表3-7 参照

表 3-7 クラスタ分析結果  
(中央粒径+含泥率+含水率+全硫化物+COD+全窒素)

区分	地点	中央粒径	含泥率	含水率	COD	全窒素	全硫化物
		φ	%	%	mg/g	mg/g	mg/g
A	1	1.40	21.3	28	6.8	0.62	0.01
A	10	2.32	25.0	29	5.1	0.59	0.09
A	11	1.60	19.5	24	5.0	0.38	0.01
A	12	1.69	16.6	26	4.1	0.33	0.01
A	13	1.40	19.5	26	5.1	0.44	0.01
A	19	2.25	19.7	32	5.0	0.45	0.07
A	20	1.69	20.4	42	8.2	0.81	0.19
A	22	1.47	18.6	27	4.2	0.35	0.03
A	59(*)	4.54	17.2	41	6.6	1.00	0.15
A	60(*)	1.47	13.8	22	1.8	0.17	0.06
A	63(*)	2.94	22.4	31	4.3	0.51	0.04
A	67	2.12	14.8	27	5.0	0.33	0.09
A	68	2.56	15.3	27	4.4	0.31	0.06
A	69	2.64	29.2	24	6.2	0.51	0.20
A	71(*)	2.00	9.5	25	2.1	0.32	0.07
A	72(*)	1.64	15.4	25	6.0	0.44	0.10
A	73(*)	2.32	24.2	27	6.4	0.54	0.23
A	74(*)	2.12	21.6	26	6.0	0.49	0.17
A	75	1.64	11.7	25	2.6	0.26	0.06
A	76	2.00	16.1	28	2.8	0.26	0.02
A	77	-1.43	9.1	22	1.8	0.38	0.02
A	78	1.12	16.0	26	2.4	0.83	0.01
A	79	1.94	20.4	26	4.8	0.48	0.09
A	f1(*)	2.14	20.9	40	6.1	0.53	0.13
A	f5(*)	2.19	15.6	34	5.1	0.54	0.12
A	f8(*)	1.64	14.9	28	1.5	0.42	0.09
A	f10(*)	1.95	17.3	42	5.9	0.74	0.15
A	f11(*)	0.31	3.0	24	0.5	0.03	0.01
A	f13	1.53	4.4	25	1.1	0.18	0.03
A	f14(*)	1.69	16.7	32	4.5	0.65	0.25
A	f15(*)	0.88	13.0	28	2.8	0.43	0.07
A	f18	1.57	14.6	33	5.1	0.54	0.07
A	f20(*)	-2.10	8.7	27	3.2	0.71	0.06
A	f21(*)	0.01	8.7	22	0.4	0.04	0.01
A	f22(*)	2.22	26.8	27	3.5	0.48	0.08
A	f24	2.38	13.1	28	0.9	0.13	0.01
A	f25	1.83	0.7	26	2.6	0.13	0.01
A	f26(*)	1.92	11.0	27	5.4	0.40	0.06
A	f27(*)	2.22	21.1	32	12.8	0.49	0.08
A	f32(*)	2.78	28.2	27	2.4	0.42	0.08
A	f30	2.37	17.7	35	5.1	0.47	0.11
A	f37(*)	1.35	17.1	29	2.7	0.53	0.20
A	f41	1.83	25.1	30	1.9	0.39	0.07
A	f45(*)	2.14	18.3	35	2.1	0.58	0.07
A	f46(*)	2.53	22.0	34	2.2	0.53	0.06
A	f48	1.56	13.5	34	2.2	0.57	0.08
A	f55	0.58	9.0	22	2.4	0.57	0.11
A	f56	2.56	18.7	39	2.3	0.59	0.11
A	f57	1.80	1.9	26	0.5	0.27	0.02
A	f58	1.37	12.9	36	3.0	0.53	0.05
A	f60(*)	1.66	15.0	23	1.3	0.27	0.08
A	平均	1.73	16.2	29	3.8	0.45	0.08
C	25	4.57	59.6	49	10.0	1.30	0.14
C	40	4.61	62.0	51	11.0	0.98	0.05
C	42	4.38	66.1	43	6.9	0.88	0.12
C	47	4.64	62.8	53	12.0	0.49	0.14
C	54(*)	5.51	65.5	45	10.0	1.40	0.12
C	57(*)	3.76	67.5	42	10.0	0.98	0.20
C	f3(*)	5.09	62.7	53	9.6	1.03	0.25
C	f19(*)	4.03	54.7	53	10.8	1.35	0.13
C	f35	4.63	59.6	34	6.1	0.52	0.12
C	f38(*)	4.18	54.6	48	4.9	0.62	0.17
C	f44(*)	4.36	61.8	44	5.7	0.91	0.12
C	f53	3.95	53.3	51	6.7	1.23	0.17
C	平均	4.48	60.9	47	8.6	0.97	0.14

(\*) クラスタ分析による区分表示除外区域

区分	地点	中央粒径	含泥率	含水率	COD	全窒素	全硫化物
		φ	%	%	mg/g	mg/g	mg/g
B	2	3.19	41.4	49	12.0	1.10	0.12
B	3	2.00	31.3	43	7.5	0.79	0.11
B	4	2.87	35.4	46	13.0	1.00	0.24
B	6	2.25	34.9	40	8.3	0.94	0.14
B	7	2.32	38.5	38	8.3	0.81	0.16
B	8	1.60	28.1	36	5.1	0.84	0.02
B	9	2.74	45.4	49	8.9	0.99	0.13
B	26	2.40	36.0	44	7.7	0.94	0.05
B	27	2.56	30.9	39	6.4	0.53	0.08
B	29	3.59	45.3	35	9.1	0.89	0.22
B	30	3.64	47.9	37	8.8	1.00	0.44
B	31	3.06	43.6	36	8.6	0.76	0.30
B	32	1.94	37.1	29	7.1	0.78	0.20
B	33	3.47	48.1	39	5.5	1.00	0.30
B	34	1.89	37.8	32	7.5	0.74	0.13
B	35	2.18	31.0	28	9.2	0.72	0.17
B	41	3.37	37.8	52	5.3	0.65	0.09
B	44	3.06	35.4	33	5.0	0.45	0.02
B	52	0.92	25.0	36	7.2	0.67	0.11
B	53	2.12	41.1	30	6.4	0.71	0.16
B	55	3.54	44.0	31	7.7	0.62	0.17
B	58(*)	1.22	50.1	22	3.1	0.20	0.07
B	62(*)	3.47	42.0	37	5.7	0.68	0.10
B	66(*)	3.59	47.5	45	6.7	0.52	0.12
B	80	2.64	32.1	32	8.1	0.96	0.12
B	81	2.64	33.6	30	7.2	0.97	0.14
B	82	3.32	45.9	36	10.0	1.10	0.25
B	f7(*)	1.98	29.0	35	2.2	0.35	0.14
B	f16(*)	2.28	31.8	33	3.8	0.66	0.16
B	f23(*)	2.30	29.0	32	2.9	0.38	0.07
B	f29(*)	2.24	26.7	34	8.4	0.53	0.12
B	f30(*)	3.12	39.7	38	6.1	0.80	0.13
B	f33(*)	2.17	26.2	34	7.1	0.43	0.12
B	f39(*)	2.98	36.7	37	3.6	0.69	0.09
B	f40(*)	2.21	28.1	40	5.9	0.73	0.11
B	f42	2.40	27.4	40	4.5	0.59	0.14
B	f43(*)	3.04	36.7	39	5.7	0.69	0.09
B	f49	2.26	36.1	37	3.1	0.58	0.11
B	f52	2.74	31.7	44	3.5	0.74	0.13
B	平均	2.60	36.6	37	6.7	0.73	0.14
D	14	6.84	81.9	66	16.0	1.40	0.10
D	15	7.70	81.5	66	15.0	1.20	0.16
D	16	6.86	81.7	70	19.0	2.10	0.17
D	17	7.24	78.2	63	15.0	1.40	0.05
D	18	7.12	99.7	71	28.0	1.00	0.53
D	21	7.59	92.4	66	23.0	2.40	0.21
D	23	6.75	76.8	62	15.0	1.30	0.16
D	24	6.66	97.0	70	21.0	2.10	0.32
D	28	6.64	90.2	47	12.0	1.60	0.91
D	36	6.51	95.3	60	17.0	1.70	0.20
D	37	6.51	93.9	59	18.0	1.90	0.33
D	38	6.64	91.8	57	15.0	1.60	0.28
D	39	6.27	88.6	58	13.0	1.60	0.10
D	43	5.72	86.1	58	13.0	1.70	0.22
D	45	5.64	72.0	60	14.0	1.50	0.10
D	46	5.32	79.1	61	16.0	2.20	0.29
D	48	5.80	89.3	51	14.0	1.70	0.30
D	49	5.97	91.9	47	14.0	1.60	0.44
D	50	5.64	91.1	52	13.0	1.90	0.36
D	51	5.88	92.0	50	14.0	1.90	0.34
D	56	5.97	99.9	63	19.0	2.40	0.44
D	61(*)	6.27	95.3	63	18.0	1.80	0.44
D	64	6.27	89.5	65	13.0	2.10	0.27
D	65	6.38	88.3	64	12.0	2.00	0.31
D	70	6.51	95.5	44	16.0	1.50	0.51
D	f2	6.62	93.3	59	12.0	1.09	0.22
D	f4	6.44	88.6	45	6.1	0.90	0.23
D	f6	6.73	80.8	64	4.5	1.70	0.63
D	f9(*)	6.23	78.0	44	4.6	0.69	0.20
D	f12	6.24	97.1	64	11.3	1.65	0.30
D	f17	6.59	82.7	60	15.6	1.83	1.19
D	f28	7.24	94.4	64	23.1	1.71	0.16
D	f31(*)	6.62	83.0	55	16.5	1.47	0.11
D	f34	7.36	92.6	59	13.7	1.39	0.32
D	f47	5.33	67.2	61	8.2	1.69	0.16
D	f50	6.07	84.2	54	8.2	1.46	0.16
D	f51	6.80	91.8	61	11.0	1.78	0.25
D	f54	6.93	83.1	63	9.0	1.84	0.29
D	f59	7.80	94.5	73	9.4	1.87	0.30
D	平均	6.50	88.0	59	14.3	1.66	0.31

②-2 底質攪拌前調査データ+既往底質調査データ（佐賀県沖）による海域区分

佐賀県沖底質調査データは、2005年10月に佐賀県有明水産センターにより実施された調査データである。このデータと2004～2007年度の底質攪拌前調査データ（攪拌地点）についてクラスター分析を行った結果、図3-8に示すように、A～Dの4海域に区分された。これらの海域区分の底質項目の平均値は、表3-8に示すとおりであり、中央粒径値及び含泥率から概ねA区分は砂、B区分は砂泥、C区分は泥砂、D区分は泥の分布域となっている。

表3-8 クラスター分析による各海域区分の底質項目平均値（全データの平均値）

調査名	区分	中央粒径	含泥率	含水率	全硫化物	強熱減量	COD	全窒素	全リン	クラスター分析項目数
		φ	%	%	mg/g	%	mg/g	mg/g	mg/g	
底質攪拌前底質調査データ(2004～2007) + 佐賀県沖底質調査データ(2005)	A	1.95	19.9			4.6				3項目
	B	2.79	38.7			6.5				
	C	5.76	72.8			9.4				
	D	6.57	94.7			11.4				

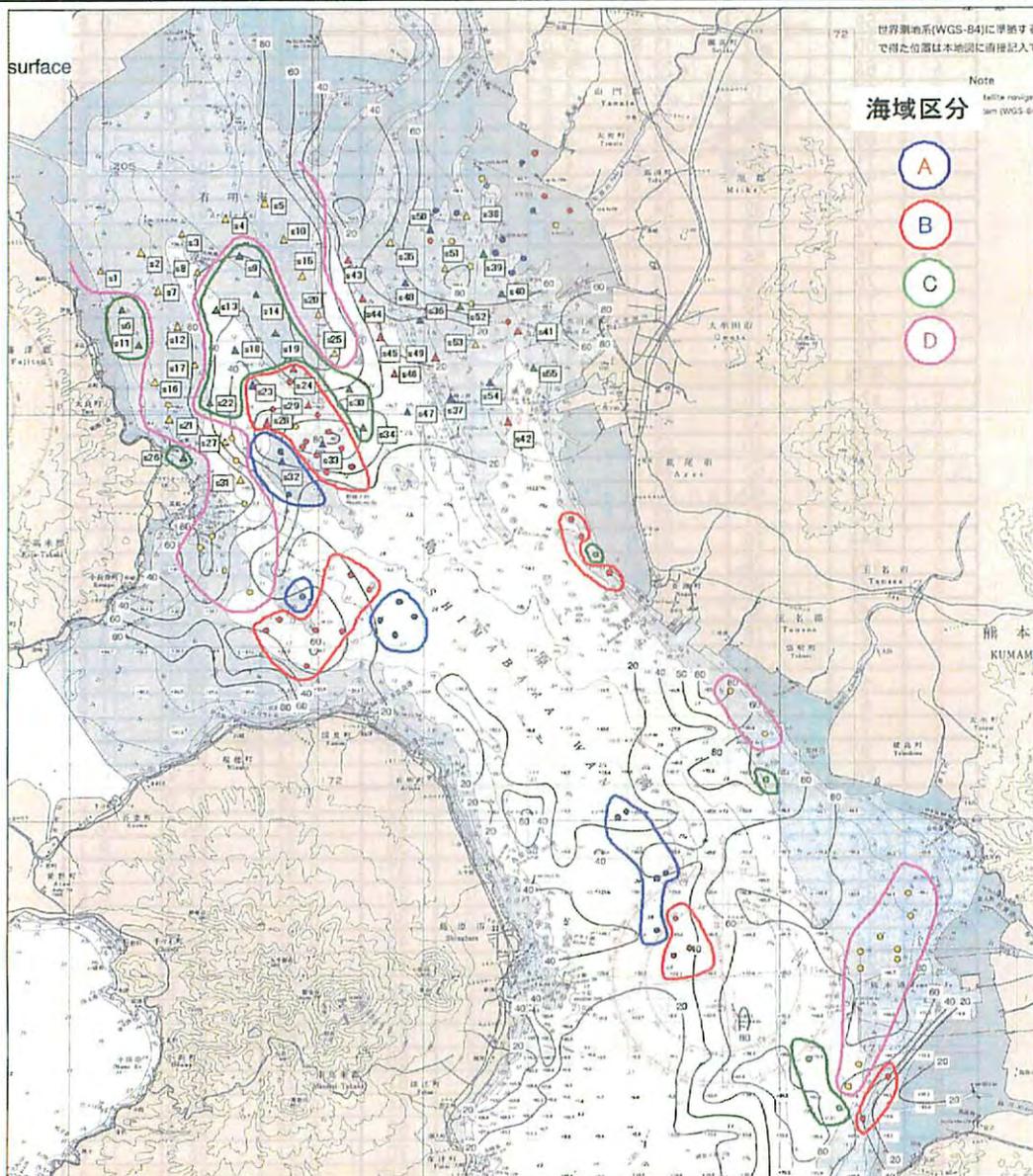


図3-8 中央粒径+含泥率+強熱減量による海域区分

クラスター分析結果は表3-9参照

表 3-9 クラスタ分析結果  
(中央粒径+含泥率+強熱減量)

区分	地点	中央粒径	含泥率	強熱減量	区分	地点	中央粒径	含泥率	強熱減量
		φ	%	%			φ	%	%
A	s23	1.78	28.4	5.4	C	s6	6.09	86.4	10.9
A	s32	1.89	11.4	3.7	C	s9	6.14	85.8	12.9
A	s33	2.25	28.0	6.5	C	s11	6.33	78.4	10.5
A	s36	2.64	29.4	5.4	C	s13	6.11	76.2	8.9
A	s37	2.08	23.9	5.8	C	s14	6.21	83.5	10.3
A	s47	2.34	21.5	6.1	C	s18	7.04	71.5	11.1
A	s48	2.68	27.6	5.8	C	s19	5.62	80.3	9.0
A	s50	1.98	10.1	2.3	C	s22	5.04	61.7	9.4
A	s54	2.78	25.3	6.4	C	s26	5.60	69.3	10.5
A	1	1.40	21.3	5.9	C	s30	5.85	84.3	10.3
A	8	1.60	28.1	4.4	C	s34	2.53	20.3	5.0
A	10	2.32	25.0	5.7	C	s39	6.63	78.5	11.9
A	11	1.60	19.5	4.3	C	s40	5.98	82.2	10.4
A	12	1.69	16.6	4.1	C	s52	5.56	76.2	9.5
A	13	1.40	19.5	4.8	C	s55	6.64	70.3	9.6
A	19	2.25	19.7	4.2	C	14	6.84	81.9	10.0
A	20	1.69	20.4	5.9	C	15	7.70	81.5	10.0
A	22	1.47	18.6	4.0	C	16	6.86	81.7	11.0
A	52	0.92	25.0	7.2	C	17	7.24	78.2	10.0
A	59	4.54	17.2	5.7	C	23	6.75	76.8	9.5
A	60	1.47	13.8	3.0	C	25	4.57	59.6	7.1
A	63	2.94	22.4	3.5	C	40	4.61	62.0	6.4
A	67	2.12	14.8	4.2	C	42	4.38	66.1	5.7
A	68	2.56	15.3	3.5	C	45	5.64	72.0	8.6
A	69	2.64	29.2	4.9	C	46	5.32	79.1	11.0
A	71	2.00	9.5	4.1	C	47	4.64	62.8	7.6
A	72	1.64	15.4	2.1	C	54	5.51	65.5	10.0
A	73	2.32	24.2	4.8	C	57	3.76	67.5	6.2
A	74	2.12	21.6	4.8		平均	5.76	72.8	9.4
A	75	1.64	11.7	3.8	D	s1	7.47	94.6	12.4
A	76	2.00	16.1	4.0	D	s2	6.93	96.7	12.0
A	77	-1.43	9.1	2.6	D	s3	7.72	97.7	13.7
A	78	1.12	16.0	2.7	D	s4	6.96	93.2	10.7
A	79	1.94	20.4	5.0	D	s5	6.94	99.8	13.5
	平均	1.95	19.9	4.6	D	s7	7.64	98.8	13.9
B	s24	2.16	33.7	6.6	D	s8	7.36	96.6	12.6
B	s28	2.93	36.3	6.4	D	s10	6.80	99.3	13.9
B	s29	4.10	52.9	7.3	D	s12	6.33	99.8	14.3
B	s41	3.63	38.8	7.3	D	s15	6.84	97.8	12.2
B	s42	2.60	30.2	6.2	D	s16	6.87	97.8	14.1
B	s43	3.51	33.7	5.9	D	s17	7.50	98.6	13.5
B	s44	2.29	33.7	6.0	D	s20	6.10	92.0	10.1
B	s45	2.26	31.9	6.6	D	s21	6.79	93.9	12.2
B	s46	2.65	30.5	4.0	D	s25	6.69	96.3	11.2
B	s49	2.52	36.2	6.4	D	s27	5.97	90.4	11.0
B	2	3.19	41.4	9.0	D	s31	6.71	99.9	13.3
B	3	2.01	32.8	6.8	D	s35	5.84	99.0	11.9
B	4	2.87	35.4	8.4	D	s38	5.89	98.1	13.3
B	6	2.25	34.9	6.3	D	s51	6.46	91.0	11.3
B	7	2.32	38.5	5.3	D	s53	6.05	93.6	10.6
B	9	2.74	45.4	6.4	D	18	7.12	99.7	13.0
B	26	2.40	36.0	5.9	D	21	7.59	92.4	10.0
B	27	2.56	30.9	4.5	D	24	6.66	97.0	10.0
B	29	3.59	45.3	8.1	D	28	6.64	90.2	10.0
B	30	3.64	47.9	9.3	D	36	6.51	95.3	9.1
B	31	3.06	43.6	7.9	D	37	6.51	93.9	9.4
B	32	1.94	37.1	6.0	D	38	6.64	91.8	8.8
B	33	3.47	48.1	8.5	D	39	6.27	88.6	7.9
B	34	1.89	37.8	6.4	D	43	5.72	86.1	8.3
B	35	2.18	31.0	6.4	D	48	5.80	89.3	11.0
B	41	3.37	37.8	3.6	D	49	5.97	91.9	11.0
B	44	3.06	35.4	3.5	D	50	5.64	91.1	12.0
B	53	2.12	41.1	5.9	D	51	5.88	92.0	12.0
B	55	3.54	44.0	6.5	D	56	5.97	99.9	10.0
B	58	1.22	50.1	4.2	D	61	6.27	95.3	11.0
B	62	3.47	42.0	4.5	D	64	6.27	89.5	9.4
B	66	3.59	47.5	6.5	D	65	6.38	88.3	10.0
B	80	2.64	32.1	7.2	D	70	6.51	95.5	11.0
B	81	2.64	33.6	7.4		平均	6.57	94.7	11.4
B	82	3.32	45.9	9.6					
	平均	2.79	38.7	6.5					

## ②含泥率と各項目の相関

図3-9(1)は、含泥率と中央粒径値の相関を示したものである。全体の粒度階についてみると、極めて強い相関がみられるが、砂・礫(中央粒径値4φ未満)とシルト・粘土(中央粒径値4φ以上)に分けて相関をみると、シルト・粘土はやや相関がみられる程度で、砂・礫に比べて相関が弱くなる傾向がみられる。このことは、特に、細粒堆積物では、中央粒径値(φ)が大きいものが、必ずしも、含泥率(シルトや粘土の含有率)が高くないことを示している。また、有明海においては、潮流の停滞しやすい湾奥部や、熊本市沖等の潮目の近傍では、有機物を吸着するシルトや粘土が堆積すると考えられている<sup>2)</sup>。以上のことから、底質の富栄養化等を検討するための物理的特性として含泥率を選び、これと各項目の相関を調べた。

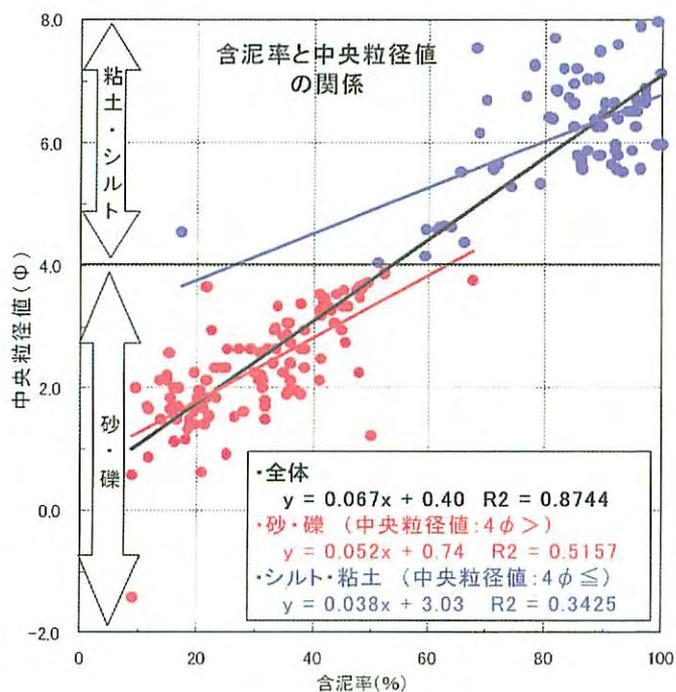
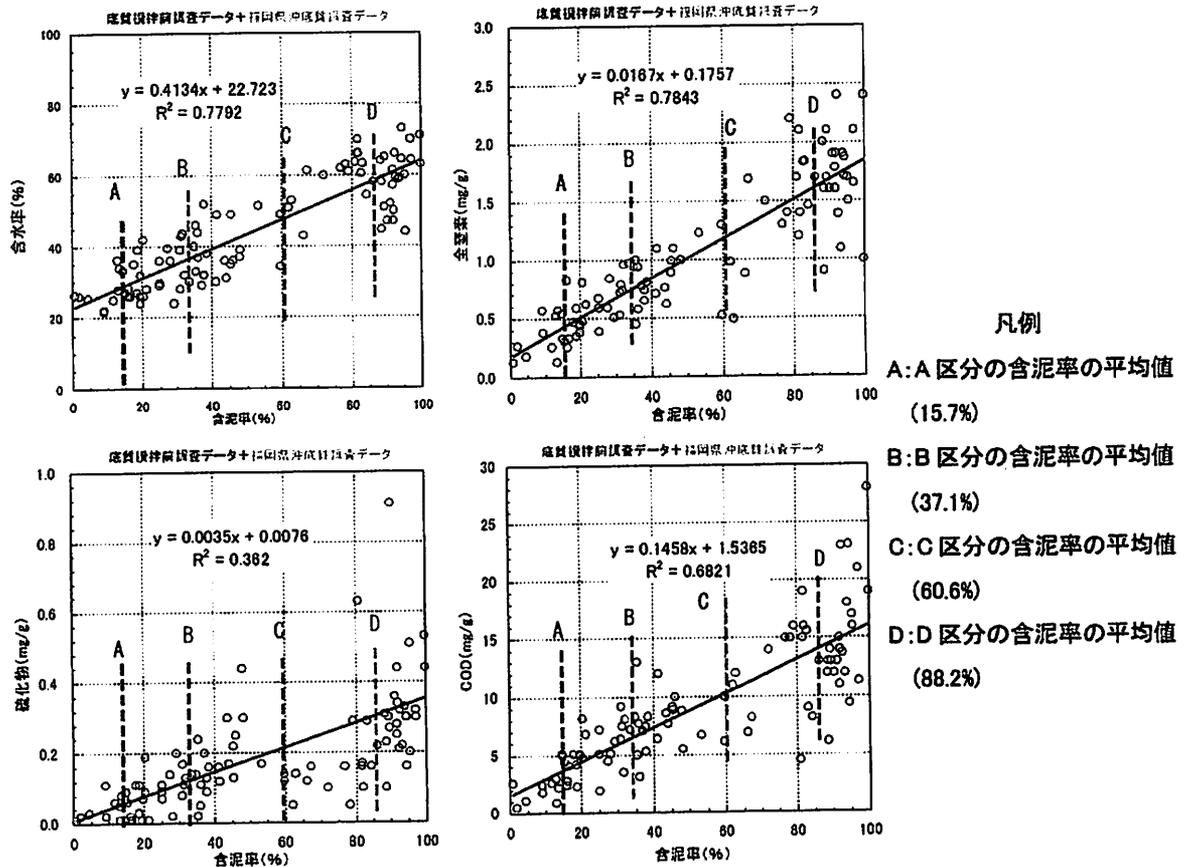
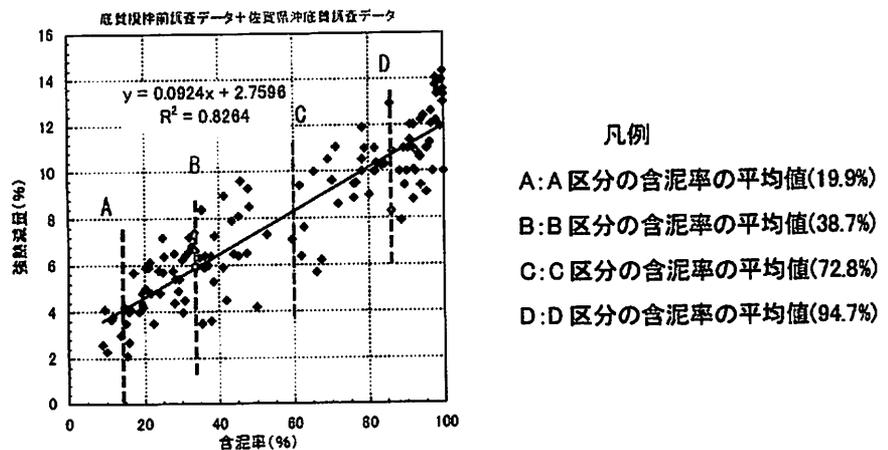


図3-9(1) 含泥率と各項目の相関 (その1)  
底質攪拌前調査データ

図 3-9(2) は、含泥率と各項目とのを示しものである。含泥率と含水率、COD、全窒素、強熱減量は強い相関があり、含泥率と硫化物はやや相関がある。以上のことから、含泥率の高い底質ほど、富栄養化と嫌気化が進行している傾向が示されている。



(a) 底質攪拌前調査データ+福岡県沖底質調査データ



(b) 底質攪拌前調査データ+佐賀県沖底質調査データ

図 3-9(2) 含泥率と各項目の相関 (その 2)

#### ④ 海域区分図

表 3-10 に示すとおり、各ケースとも 4 海域に区分され、各ケースの各海域区分別の分析項目の平均値は類似した値であったことから、図 3-10 に示すとおり、ケース①の底質攪拌前底質調査データの海域区分を基本にして海域区分図を編集した。また、各海域区分の底質環境の地域特性を明らかにするために、表 3-11 および図 3-11 のとおり地域別に細分して示した。

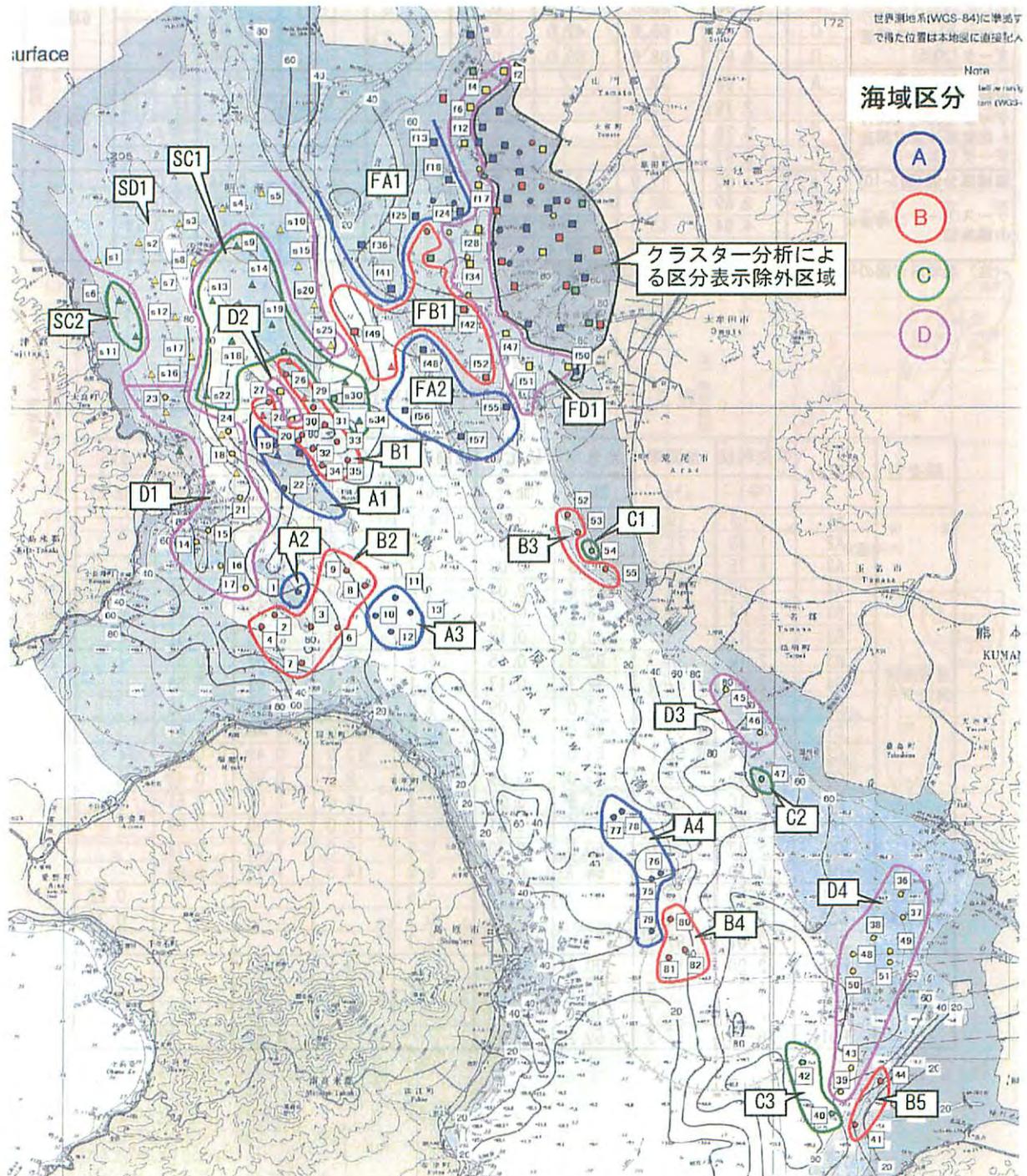


図 3-10 海域区分図

細区分別の底質項目平均値は表 3-11 参照

表 3-10 クラスタ分析ケース別・海域区分別の底質項目平均値（再掲）

クラスタ分析 のケース	区分	中央粒径	含泥率	含水率	硫化物	強熱減量	COD	全窒素	全リン	クラスタ 分析項目数
		φ	%	%	mg/g	%	mg/g	mg/g	mg/g	
ケース① 底質攪拌前底質調査 データ (2004~ 2007)	A	1.73	17.5	26.5	0.06	4.1	4.3	0.42	0.47	8項目
	B	2.68	37.1	37.0	0.16	6.4	7.5	0.79	0.48	
	C	4.58	63.9	47.2	0.13	7.2	10.0	1.01	0.52	
	D	6.43	88.8	59.7	0.30	10.2	16.1	1.74	0.66	
ケース② 底質攪拌前底質調査 データ (2004~2007) + 福岡県沖底質調査 データ (2005)	A	1.73	16.2	28.6	0.08		3.8	0.45		6項目
	B	2.60	36.6	37.0	0.14		6.7	0.73		
	C	4.48	60.9	47.0	0.14		8.6	0.97		
	D	6.50	88.0	59.0	0.31		14.3	1.66		
ケース③ 底質攪拌前底質調査 データ (2004~2007) + 佐賀県沖底質調査 データ (2005)	A	1.95	19.9			4.6				3項目
	B	2.79	38.7			6.5				
	C	5.76	72.8			9.4				
	D	6.57	94.7			11.4				
海域区分図(図3-10) ケース①~ケース③ の編集図	A	1.80	17.9	27.5	0.07	4.3	4.0	0.44	0.47	
	B	2.69	37.5	37.0	0.15	6.4	7.1	0.76	0.48	
	C	4.94	65.9	47.1	0.13	8.3	9.3	0.99	0.52	
	D	6.50	90.5	59.4	0.31	10.8	15.2	1.70	0.66	

(注) 海域区分図の平均値は、ケース①~ケース③の単純平均値

表 3-11 細区分別の底質項目平均値

調査別	細区分	中央粒径	含泥率	含水率	硫化物	強熱減量	COD	全窒素	全リン	AVS
		(φ)	(%)	(%)	(mg/g)	(%)	(mg/g)	(mg/g)	(mg/g)	(mg/g)
底質攪拌 調査デ ータ	A1	1.86	19.2	29.5	0.05	4.1	4.6	0.40	0.43	
	A2	1.40	21.3	28.0	0.01	5.9	6.8	0.62	0.98	
	A3	1.75	20.2	26.3	0.03	4.7	4.8	0.44	0.56	
	A4	1.05	14.7	25.4	0.04	3.6	2.9	0.44	0.38	
	B1	2.64	37.8	36.1	0.21	6.9	7.8	0.82	0.51	
	B2	2.42	36.4	43.0	0.13	6.6	9.0	0.92	0.41	
	B3	2.19	36.7	32.3	0.15	6.5	7.1	0.67	0.50	
	B4	2.87	37.2	32.7	0.17	8.1	8.4	1.01	0.58	
	B5	3.37	37.8	52.0	0.09	3.6	5.3	0.65	0.45	
	C1	5.51	65.5	45.0	0.12	10.0	10.0	1.40	0.61	
	C2	4.64	62.8	53.0	0.14	7.6	12.0	0.49	0.48	
	C3	4.49	64.1	47.0	0.09	6.1	9.0	0.93	0.43	
	D1	7.10	86.2	66.8	0.21	10.4	19.0	1.61	0.51	
	D2	6.64	90.2	47.0	0.91	10.0	12.0	1.60	0.69	
	D3	5.48	75.6	60.5	0.20	9.8	15.0	1.85	0.74	
	D4	6.10	91.1	54.7	0.29	9.9	14.6	1.73	0.68	
佐賀県沖 底質調査 データ	SC1	5.57	70.5			9.6				0.22
	SC2	6.21	82.4			10.7				0.34
	SD1	7.01	97.1			12.7				0.47
福岡県沖 底質調査 データ	FA1	2.00	14.2	30.4	0.05		3.1	0.33		
	FA2	1.63	10.8	30.2	0.08		1.9	0.50		
	FB1	2.47	31.7	40.0	0.13		3.7	0.64		
	FD1	6.54	87.3	59.2	0.36		11.4	1.52		

図 3-11 は、A～D の各海域区分における含泥率と他の項目との関係を表しており、この関係から、各海域区分の富栄養化、嫌気化の傾向が示されている。また、細区分は、各海域区分における含泥率と他の項目との関係の地域的特性を表している。

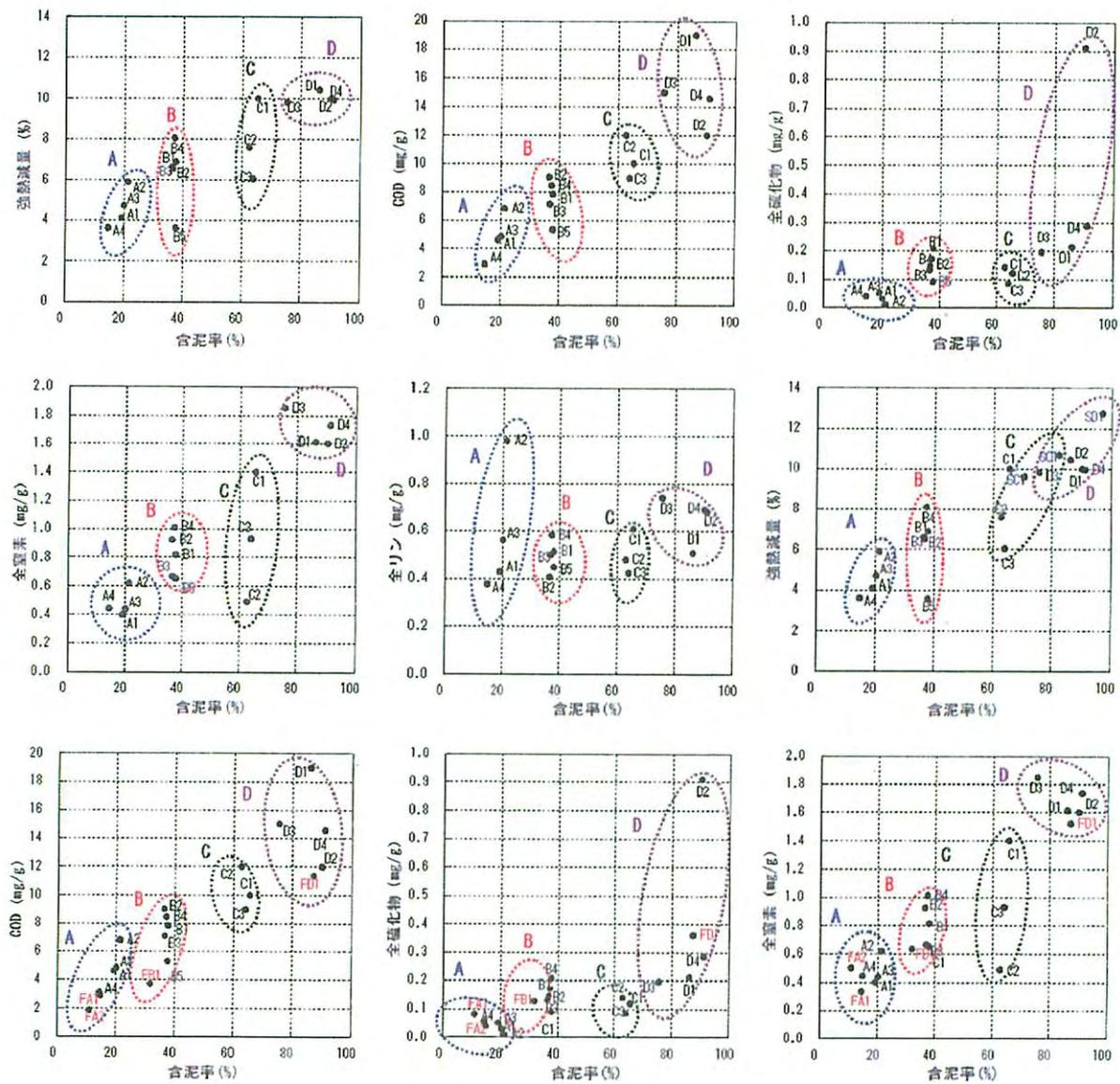


図 3-11 細区分別の底質特性

## 7) 底質攪拌による底質環境変化の地域特性

### ① 2005～2006年度の底質調査データによる海域区分

各攪拌区域では、潮流、水質、底質等の海域環境がそれぞれ異なることから、攪拌による底質環境変化の表れ方は、攪拌区域ごとに異なることが考えられる。まず、攪拌前後における底質環境変化の全体的な特徴を把握するために、攪拌地点における、攪拌前・後・1ヶ月後・半年後の底質調査データについて、全8項目によるクラスター分析を行った結果、表3-12及び図3-12に示すように、A～Dの4海域に区分された。次に、攪拌による底質環境の地域的な変化を把握するために、各海域区分を地域的に区分し、図3-12に示した。

有機物を含む浮泥層は、底質攪拌を行うことにより、表層部に酸素が供給されるとともに、その一部が水中に飛散して、強熱減量やCODが低下することが考えられることから、攪拌直後に強熱減量とCODがともに低下したものを、表3-13に赤色で表示するとともに、図3-12の細区分域を黄色で表示した。

表3-12 各海域区分のクラスター分析結果

区分	調査時期	含泥率 %	含水率 %	硫化物 mg/g	強熱減量 %	COD mg/g	全窒素 mg/g	全リン mg/g
A	(a) 攪拌前	13.5	26.3	0.05	3.5	3.1	0.36	0.44
	(b) 攪拌直後	15.3	23.7	0.03	3.2	2.5	0.30	0.34
	(c) 1ヶ月後	16.3	26.7	0.04	3.5	2.6	0.39	0.37
	(d) 半年後	15.1	27.3	0.04	3.3	2.9	0.20	0.43
B	(a) 攪拌前	35.5	41.0	0.10	5.9	6.9	0.77	0.42
	(b) 攪拌直後	39.4	44.8	0.12	6.5	7.7	0.89	0.45
	(c) 1ヶ月後	41.0	43.5	0.05	6.4	6.5	0.85	0.50
	(d) 半年後	43.6	46.5	0.11	7.0	7.7	0.81	0.56
C	(a) 攪拌前	68.2	55.3	0.15	8.3	12.8	1.50	0.61
	(b) 攪拌直後	54.1	44.0	0.11	5.4	6.0	0.91	0.50
	(c) 1ヶ月後	69.6	53.0	0.23	7.7	12.1	1.33	0.67
	(d) 半年後	65.4	52.8	0.20	8.1	11.8	1.25	0.62
D	(a) 攪拌前	92.7	62.9	0.29	9.7	17.4	1.71	0.67
	(b) 攪拌直後	91.5	63.3	0.32	9.1	15.0	1.84	0.68
	(c) 1ヶ月後	89.6	63.6	0.25	9.3	14.6	1.74	0.66
	(d) 半年後	89.7	61.9	0.24	9.0	20.0	1.72	0.58

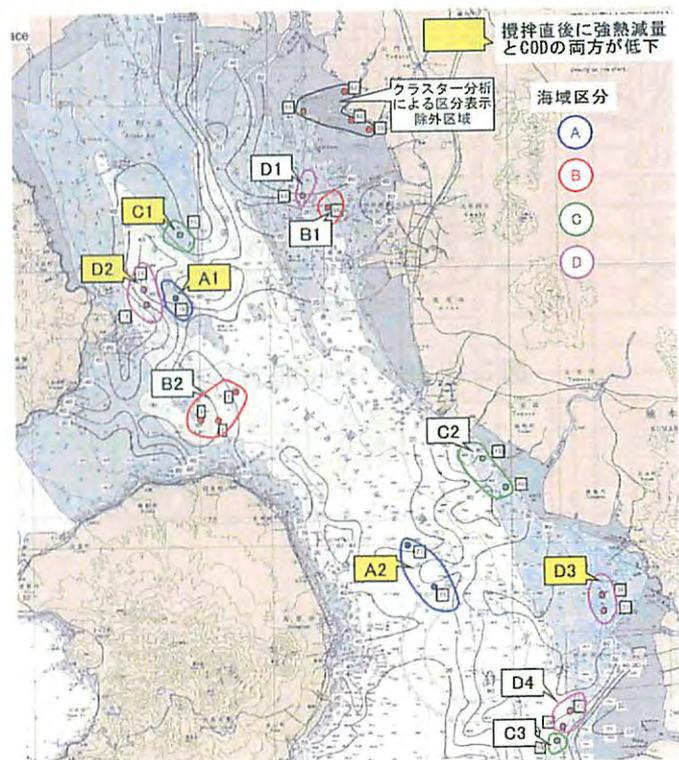


図3-12 底質攪拌前後の底質調査データによる海域区分（攪拌前・後・1ヶ月後・半年後）  
中央粒径+含泥率+含水率+全硫化物+強熱減量+COD+全窒素+全リン（全8項目） 2005～2006年調査

2005年度の底質攪拌前調査において、野崎の州の区域にあたるA1では、砂の表面が泥の薄層で覆われていることが観察され、また、島原市沖のA2では砂の表面が泥の薄層で覆われている<sup>1)</sup>。このことから、底質攪拌を行うことにより、海底表層を覆う泥の薄層が水中に飛散し、強熱減量とCODを低下させたことが考えられる。

また、D3周辺は、高塩分の外洋系水と周辺の白川、坪井川、緑川等の河川水に由来する低塩分の沿岸水との境界が認められる海域であり、この境界に形成される潮目の近傍では有機物を吸着する粘土やシルトが堆積する<sup>2)</sup>。このことから、底質攪拌を行うことにより、潮目周辺の海底に堆積した底泥の表層部が水中に飛散し、強熱減量とCODを低下させたことが考えられる。塩田川沖海底水道沿いのD2では、高い濃度の有機物を含む泥の表層部が水中に飛散し、強熱減量とCODを低下させたことが考えられる。

表 3-13 クラスタ分析結果 (2005、2006年度)

細区分	調査時期	含泥率	含水率	硫化物	強熱減量	COD	全窒素	全リン	変化量	含泥率	含水率	硫化物	強熱減量	COD	全窒素	全リン	
		%	%	mg/g	%	mg/g	mg/g	mg/g		%	%	mg/g	%	mg/g	mg/g	mg/g	
A1	(a) 攪拌前	19.7	32.0	0.07	4.2	5.0	0.45	0.53		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00
	(b) 攪拌直後	23.0	30.0	0.06	4.0	4.1	0.43	0.46	(b)-(a)	3.3	-2.0	0.0	-0.2	-0.9	-0.02	-0.07	
	(c) 1ヶ月後	23.6	34.0	0.09	4.3	3.5	0.36	0.51	(c)-(a)	3.9	2.0	0.0	0.1	-1.5	-0.09	-0.02	
	(d) 半年後	20.7	28.0	0.07	3.4	3.9	0.20	0.60	(d)-(a)	1.0	-4.0	0.0	-0.8	-1.1	-0.25	0.07	
A2	(a) 攪拌前	10.4	23.5	0.04	3.2	2.2	0.32	0.39		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00
	(b) 攪拌直後	11.5	20.5	0.02	2.9	1.7	0.24	0.29	(b)-(a)	1.1	-3.0	0.0	-0.4	-0.5	-0.09	-0.11	
	(c) 1ヶ月後	12.6	23.0	0.02	3.2	2.2	0.40	0.31	(c)-(a)	2.2	-0.5	0.0	-0.1	0.0	0.08	-0.09	
	(d) 半年後	12.3	27.0	0.03	3.2	2.4	0.20	0.34	(d)-(a)	1.9	3.5	0.0	0.0	0.2	-0.13	-0.05	
B1	(a) 攪拌前	47.5	45.0	0.12	6.5	6.7	0.52	0.58		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00
	(b) 攪拌直後	49.5	49.0	0.14	6.5	8.6	0.89	0.39	(b)-(a)	2.0	4.0	0.0	0.0	1.9	0.37	-0.19	
	(c) 1ヶ月後	50.6	48.0	0.07	7.1	5.5	0.81	0.39	(c)-(a)	3.1	3.0	-0.1	0.6	-1.2	0.29	-0.19	
	(d) 半年後	36.0	47.0	0.13	7.7	5.7	0.83	0.51	(d)-(a)	-11.5	2.0	0.0	1.2	-1.0	0.31	-0.07	
B2	(a) 攪拌前	31.4	39.7	0.09	5.7	7.0	0.86	0.37		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	
	(b) 攪拌直後	36.0	43.3	0.11	6.5	7.4	0.89	0.47	(b)-(a)	4.5	3.7	0.0	0.8	0.4	0.03	0.10	
	(c) 1ヶ月後	37.8	42.0	0.04	6.1	6.8	0.86	0.53	(c)-(a)	6.4	2.3	-0.1	0.4	-0.2	0.01	0.17	
	(d) 半年後	46.1	46.3	0.10	6.7	8.3	0.81	0.58	(d)-(a)	14.7	6.7	0.0	1.0	1.3	-0.05	0.21	
C1	(a) 攪拌前	59.6	49.0	0.14	7.1	10.0	1.30	0.54		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	
	(b) 攪拌直後	74.1	48.0	0.12	6.8	5.2	0.96	0.49	(b)-(a)	14.5	-1.0	0.0	-0.3	-4.8	-0.34	-0.05	
	(c) 1ヶ月後	65.0	53.0	0.08	8.5	9.3	1.20	0.58	(c)-(a)	5.4	4.0	-0.1	1.4	-0.7	-0.10	0.04	
	(d) 半年後	60.3	52.0	0.12	8.0	8.2	1.20	0.60	(d)-(a)	0.7	3.0	0.0	0.9	-1.8	-0.10	0.06	
C2	(a) 攪拌前	75.6	60.5	0.20	9.8	15.0	1.85	0.74		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	
	(b) 攪拌直後	35.6	37.5	0.04	4.2	4.5	0.63	0.48	(b)-(a)	-40.0	-23.0	-0.2	-5.7	-10.6	-1.22	-0.27	
	(c) 1ヶ月後	73.8	53.5	0.25	8.1	13.0	1.50	0.76	(c)-(a)	-1.8	-7.0	0.1	-1.8	-2.0	-0.35	0.02	
	(d) 半年後	70.8	52.5	0.27	9.0	11.5	1.30	0.70	(d)-(a)	-4.8	-8.0	0.1	-0.9	-3.5	-0.55	-0.05	
C3	(a) 攪拌前	62.0	51.0	0.05	6.4	11.0	0.98	0.43		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	
	(b) 攪拌直後	71.2	53.0	0.04	6.6	9.7	1.40	0.56	(b)-(a)	9.2	2.0	0.0	0.2	-1.3	0.42	0.13	
	(c) 1ヶ月後	65.7	52.0	0.25	6.2	13.0	1.10	0.56	(c)-(a)	3.7	1.0	0.2	-0.2	2.0	0.12	0.13	
	(d) 半年後	59.6	54.0	0.27	6.3	16.0	1.20	0.48	(d)-(a)	-2.4	3.0	0.2	-0.1	5.0	0.22	0.05	
D1	(a) 攪拌前	88.3	64.0	0.31	10.0	12.0	2.00	0.72		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	
	(b) 攪拌直後	92.4	64.0	0.32	8.8	14.0	1.90	0.50	(b)-(a)	4.1	0.0	0.0	-1.2	2.0	-0.10	-0.22	
	(c) 1ヶ月後	92.7	65.0	0.24	10.0	14.0	1.80	0.55	(c)-(a)	4.4	1.0	-0.1	0.0	2.0	-0.20	-0.17	
	(d) 半年後	88.0	62.0	0.25	9.5	15.0	1.40	0.64	(d)-(a)	-0.3	-2.0	-0.1	-0.5	3.0	-0.60	-0.08	
D2	(a) 攪拌前	98.4	70.5	0.43	11.5	24.5	1.55	0.66		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	
	(b) 攪拌直後	98.2	68.0	0.46	10.5	16.5	2.50	0.67	(b)-(a)	-0.2	-2.5	0.0	-1.0	-8.0	0.95	0.01	
	(c) 1ヶ月後	97.6	70.5	0.33	11.0	16.5	2.05	0.70	(c)-(a)	-0.8	0.0	-0.1	-0.5	-8.0	0.50	0.04	
	(d) 半年後	98.9	73.5	0.32	11.0	27.0	2.25	0.63	(d)-(a)	0.5	3.0	-0.1	-0.5	2.5	0.70	-0.03	
D3	(a) 攪拌前	94.6	59.5	0.27	9.3	17.5	1.80	0.80		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	
	(b) 攪拌直後	90.2	61.5	0.37	8.7	17.0	1.30	0.81	(b)-(a)	-4.4	2.0	0.1	-0.6	-0.5	-0.50	0.02	
	(c) 1ヶ月後	86.7	59.0	0.20	8.5	13.5	1.75	0.71	(c)-(a)	-7.9	-0.5	-0.1	-0.8	-4.0	-0.05	-0.09	
	(d) 半年後	87.0	60.0	0.23	8.1	22.5	1.65	0.61	(d)-(a)	-7.6	0.5	0.0	-1.2	5.0	-0.15	-0.19	
D4	(a) 攪拌前	87.4	58.0	0.16	8.1	13.0	1.65	0.54		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	
	(b) 攪拌直後	85.9	60.0	0.16	8.1	12.0	1.70	0.65	(b)-(a)	-1.5	2.0	0.0	0.0	-1.0	0.05	0.11	
	(c) 1ヶ月後	83.1	60.5	0.24	8.2	14.0	1.40	0.62	(c)-(a)	-4.3	2.5	0.1	0.1	1.0	-0.25	0.08	
	(d) 半年後	84.3	52.0	0.19	7.7	13.0	1.41	0.46	(d)-(a)	-3.1	-6.0	0.0	-0.4	0.0	-0.24	-0.08	

(注1) 色付き部分は、攪拌後に減少したものの

(注2) 赤字は、攪拌後に強熱減量とCODがともに低下したものの

② 2007年度の底質調査データによる海域区分

各攪拌区域は、潮流、水質、底質等の海域環境がそれぞれ異なることから、攪拌による底質環境変化の表れ方は、攪拌区域ごとに異なることが考えられる。まず、攪拌前後における底質環境変化の全体的な特徴を把握するために、攪拌地点における、攪拌前・後・3ヶ月後の底質調査データについて、全8項目によるクラスター分析を行った結果、表3-14及び図3-13に示すように、E～Hの4海域に区分された。次に、攪拌による底質環境の地域的变化を把握するために、各海域区分を地域的に区分し、図3-13に示した。

有機物を含む浮泥層は、底質攪拌を行うことにより、表層部に酸素が供給されるとともに、その一部が水中に飛散して、強熱減量やCODが低下することが考えられることから、攪拌直後に強熱減量やCODがともに低下したものを、表3-15に赤色で表示するとともに、図3-13の細区分域を黄色で表示した。

表3-14 各海域区分のクラスター分析結果

区分	調査時期	含泥率	含水率	硫化物	強熱減量	COD	全窒素	全リン
		%	%	mg/g	%	mg/g	mg/g	mg/g
E	(a) 攪拌前	90.9	49.4	0.47	11.2	13.40	1.74	0.70
	(b) 攪拌直後	93.6	52.6	0.59	9.6	12.56	1.76	0.78
	(c) 3ヶ月後	91.9	52.8	0.75	9.3	14.58	1.66	0.68
F	(a) 攪拌前	54.5	37.9	0.29	8.9	9.46	1.03	0.64
	(b) 攪拌直後	43.7	36.4	0.27	6.0	7.41	0.84	0.60
	(c) 3ヶ月後	41.5	38.4	0.32	6.4	9.20	0.95	0.60
G	(a) 攪拌前	25.2	28.4	0.11	5.4	5.92	0.58	0.50
	(b) 攪拌直後	24.3	29.9	0.15	5.6	5.96	0.59	0.51
	(c) 3ヶ月後	24.8	30.3	0.19	4.3	6.21	0.61	0.48
H	(a) 攪拌前	22.1	25.0	0.16	3.9	6.07	0.48	0.46
	(b) 攪拌直後	82.0	46.0	0.44	9.0	10.93	1.59	0.80
	(c) 3ヶ月後	67.9	28.7	0.13	5.3	5.53	0.50	0.41

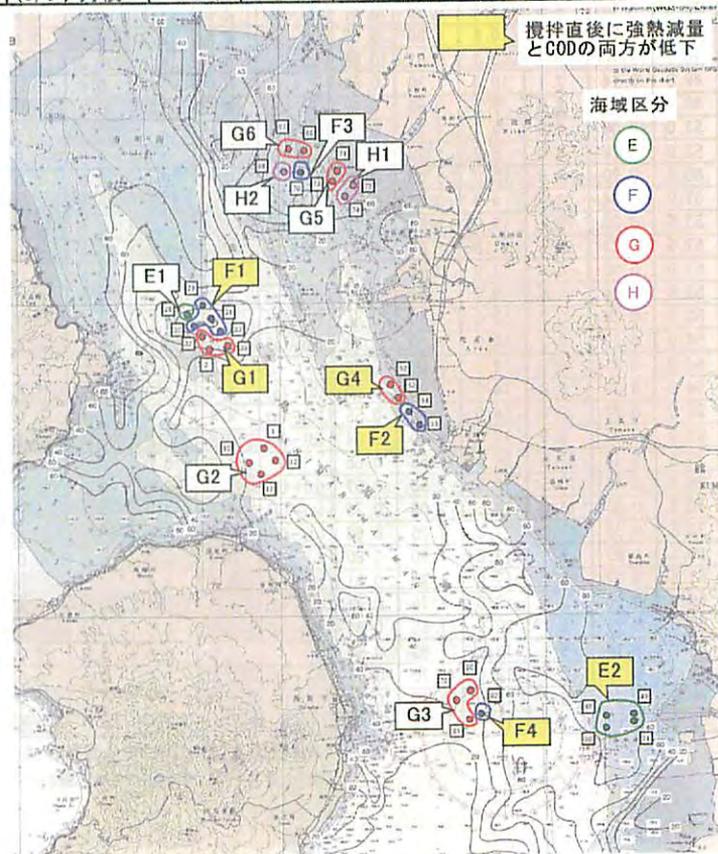


図3-13 底質攪拌前後の底質調査データによる海域区分（攪拌前・後・3ヶ月後）  
中央粒径+含泥率+含水率+全硫化物+強熱減量+COD+全窒素+全リン（全8項目）、2007年調査

E2 周辺は、前出の D3 と同様に高塩分の外洋系水と周辺の白川、坪井川、緑川等の河川水に由来する低塩分の沿岸水との境界が認められる海域であり、この境界に形成される潮目の近傍では有機物を吸着する粘土やシルトが堆積する<sup>2)</sup>。このことから、底質攪拌を行うことにより、潮目周辺の海底に堆積した底泥の表層部が水中に飛散し、強熱減量と COD を低下させたことが考えられる。島原市沖の F4 周辺は、前出の A2 と同様に、砂の表面が泥の薄層で覆われている<sup>1)</sup> ことから、底質攪拌を行うことにより、海底表層を覆う泥の薄層が水中に飛散し、強熱減量と COD を低下させたことが考えられる

表 3-15 クラスタ分析結果 (2007 年度)

相区分	調査時期	含泥率	含水率	全硫化合物	強熱減量	COD	全窒素	全リン	変化量	含泥率	含水率	硫化合物	強熱減量	COD	全窒素	全リン
		%	%	mg/g	%	mg/g	mg/g	mg/g		%	%	mg/g	%	mg/g	mg/g	mg/g
E1	(a) 攪拌前	90.2	47.0	0.91	10.0	12.00	1.60	0.69		0.0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
	(b) 攪拌直後	96.1	63.0	1.10	11.0	11.00	2.10	0.75	(b)-(a)	5.9	16.0	0.19	1.0	-1.00	0.50	0.06
	(c) 3ヶ月後	97.7	62.0	1.70	11.0	17.00	2.40	0.70	(c)-(a)	7.5	15.0	0.79	1.0	5.00	0.80	0.01
E2	(a) 攪拌前	91.1	50.0	0.36	11.5	13.75	1.78	0.70		0.0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
	(b) 攪拌直後	93.0	50.0	0.47	9.2	12.95	1.68	0.78	(b)-(a)	2.0	0.0	0.11	-2.5	-0.80	-0.10	0.08
	(c) 3ヶ月後	90.5	50.5	0.52	8.9	13.98	1.48	0.67	(c)-(a)	-0.6	0.5	0.16	-2.6	0.23	-0.30	-0.03
F1	(a) 攪拌前	46.2	36.8	0.32	8.5	8.00	0.91	0.66		0.0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
	(b) 攪拌直後	42.3	36.5	0.34	6.8	7.53	0.81	0.62	(b)-(a)	-4.0	-0.3	0.03	-1.7	-0.48	-0.11	-0.05
	(c) 3ヶ月後	48.3	37.0	0.37	6.3	8.23	0.95	0.64	(c)-(a)	2.1	0.3	0.06	-2.2	0.23	0.04	-0.02
F2	(a) 攪拌前	54.8	38.0	0.15	8.3	8.85	1.01	0.59		0.0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
	(b) 攪拌直後	55.3	39.5	0.23	6.6	7.05	1.02	0.65	(b)-(a)	0.5	1.5	0.09	-1.7	-1.80	0.01	0.06
	(c) 3ヶ月後	34.8	38.5	0.26	5.9	8.90	0.92	0.50	(c)-(a)	-20.0	0.5	0.11	-2.4	0.05	-0.10	-0.09
F3	(a) 攪拌前	95.5	44.0	0.51	11.0	16.00	1.50	0.72		0.0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
	(b) 攪拌直後	24.5	26.0	0.09	3.7	7.70	0.47	0.42	(b)-(a)	-71.0	-18.0	-0.42	-7.3	-8.30	-1.03	-0.30
	(c) 3ヶ月後	29.8	46.0	0.30	7.5	17.00	1.50	0.69	(c)-(a)	-65.7	2.0	-0.21	-3.5	1.00	0.00	-0.03
F4	(a) 攪拌前	45.9	36.0	0.25	9.6	10.00	1.10	0.60		0.0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
	(b) 攪拌直後	45.1	40.0	0.25	7.9	7.40	0.99	0.62	(b)-(a)	-0.8	4.0	0.00	-1.7	-2.60	-0.11	0.02
	(c) 3ヶ月後	39.5	36.0	0.23	6.6	5.90	0.49	0.57	(c)-(a)	-6.4	0.0	-0.02	-3.0	-4.10	-0.61	-0.03
G1	(a) 攪拌前	35.3	29.7	0.17	6.3	7.93	0.75	0.50		0.0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
	(b) 攪拌直後	32.6	32.7	0.22	4.5	6.40	0.76	0.47	(b)-(a)	-2.7	3.0	0.06	-1.8	-1.53	0.01	-0.02
	(c) 3ヶ月後	35.1	30.3	0.25	4.7	5.73	0.72	0.53	(c)-(a)	-0.2	0.7	0.09	-1.6	-2.20	-0.02	0.03
G2	(a) 攪拌前	20.2	26.3	0.03	4.7	4.83	0.44	0.56		0.0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
	(b) 攪拌直後	22.4	27.5	0.14	7.8	5.25	0.51	0.55	(b)-(a)	2.3	1.3	0.11	3.1	0.43	0.07	-0.01
	(c) 3ヶ月後	20.0	28.8	0.13	4.2	5.08	0.54	0.50	(c)-(a)	-0.1	2.5	0.10	-0.5	0.25	0.11	-0.07
G3	(a) 攪拌前	28.7	29.3	0.12	6.5	6.70	0.80	0.53		0.0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
	(b) 攪拌直後	25.1	30.0	0.18	5.5	7.17	0.63	0.49	(b)-(a)	-3.6	0.7	0.06	-1.1	0.47	-0.18	-0.04
	(c) 3ヶ月後	22.7	30.3	0.17	5.1	5.83	0.56	0.46	(c)-(a)	-6.0	1.0	0.06	-1.4	-0.87	-0.25	-0.07
G4	(a) 攪拌前	33.1	33.0	0.14	6.6	6.80	0.69	0.47		0.0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
	(b) 攪拌直後	26.3	34.0	0.12	5.6	6.10	0.69	0.55	(b)-(a)	-6.8	1.0	-0.02	-1.0	-0.70	0.00	0.09
	(c) 3ヶ月後	24.9	27.5	0.29	4.4	6.40	0.52	0.44	(c)-(a)	-8.2	-5.5	0.16	-2.2	-0.40	-0.17	-0.03
G5	(a) 攪拌前	16.9	26.0	0.15	4.5	4.25	0.43	0.43		0.0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
	(b) 攪拌直後	17.6	30.0	0.11	5.1	4.85	0.46	0.54	(b)-(a)	0.7	4.0	-0.05	0.6	0.60	0.03	0.11
	(c) 3ヶ月後	21.0	37.5	0.21	4.1	8.20	0.93	0.52	(c)-(a)	4.2	11.5	0.06	-0.4	3.95	0.50	0.09
G6	(a) 攪拌前	15.1	27.0	0.08	3.9	4.70	0.32	0.44		0.0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
	(b) 攪拌直後	19.5	26.5	0.10	3.6	5.90	0.47	0.44	(b)-(a)	4.5	-0.5	0.03	-0.3	1.20	0.15	-0.01
	(c) 3ヶ月後	25.9	28.5	0.11	3.2	7.55	0.44	0.44	(c)-(a)	10.9	1.5	0.03	-0.7	2.85	0.12	-0.01
H1	(a) 攪拌前	18.5	25.5	0.14	3.5	6.00	0.47	0.48		0.0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
	(b) 攪拌直後	75.2	44.0	0.48	8.7	12.40	1.59	0.79	(b)-(a)	56.7	18.5	0.34	5.2	6.40	1.13	0.31
	(c) 3ヶ月後	66.7	28.0	0.14	6.2	4.85	0.53	0.41	(c)-(a)	48.2	2.5	0.00	2.8	-1.15	0.07	-0.07
H2	(a) 攪拌前	29.2	24.0	0.20	4.9	6.20	0.51	0.41		0.0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
	(b) 攪拌直後	95.6	50.0	0.38	9.6	8.00	1.60	0.82	(b)-(a)	66.4	26.0	0.18	4.7	1.80	1.09	0.41
	(c) 3ヶ月後	70.4	30.0	0.13	3.4	6.90	0.45	0.42	(c)-(a)	41.2	6.0	-0.07	-1.5	0.70	-0.06	0.01

(注1) 〇部は、攪拌後に減少したもの

(注2) 赤字は、攪拌後に強熱減量とCODがともに低下したもの

## 8) 水質環境による海域区分と底質特性

### ① 浅海定線調査データ（水深5mデータ）による有明海全域の海域区分

1996年4月～2004年3月の、水温、塩分、透明度、DO、COD、DIN、PO4-Pの7項目の毎月観測値についてクラスター分析を行った結果、図3-14に示すようにA～Fの6海域に区分された。また、図3-15には、水質項目ごとに海域区分別月平均値の年変動を示した。

図3-15(b)の塩分は、湾奥側ほど低くなっており、特に7月の梅雨と4月の菜種梅雨の降水によるとみられる河川流入量の増加時に、著しい低下がみられる。この傾向は筑後川河口沖のB海域で顕著である。図3-15(e)のDINの濃度は、 $B > A > C$ 、 $D > E > F$ の順になっている。これは、筑後川から流入した高いDINが、筑後川河口沖のB海域から湾口側のF海域に向かって次第に希釈されていくことによるものと考えられる。以上から、湾奥のB、A、C、D海域の海底水道周辺など潮流の停滞域等においては、梅雨や菜種梅雨の時期を中心に、筑後川からの栄養塩や懸濁物質が蓄積しやすい海底環境になっていることが考えられる。また、図3-15(f)のPO4-Pは、湾奥北部A海域と湾奥西部D海域で高く、これらの海域では、表3-10に示すように、底質の泥化、富栄養化と嫌気化が進行している。

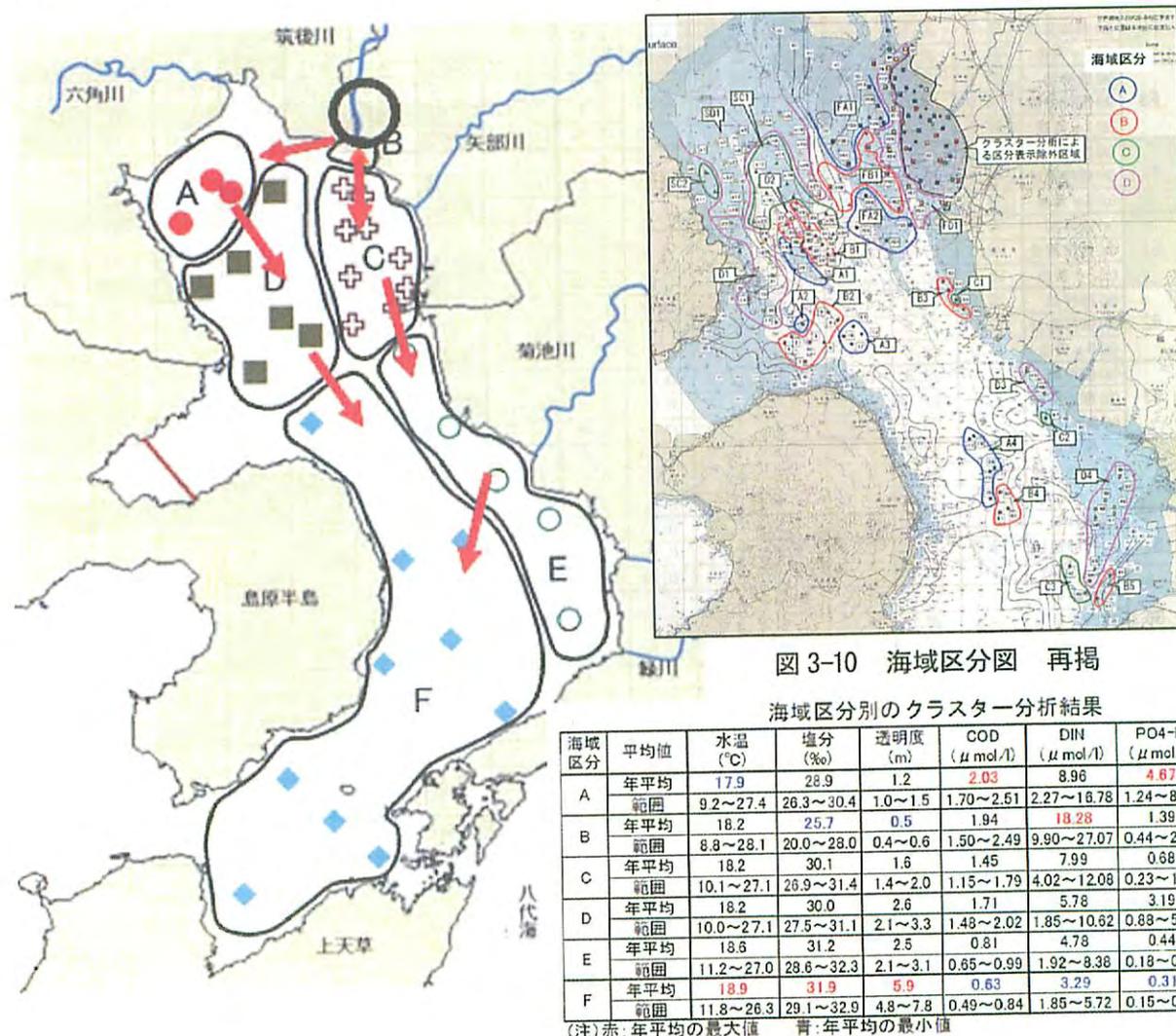


図3-14 水深5mデータによる有明海全域の海域区分（左）、クラスター分析結果（右下）及び底質調査データによる海域区分（右上）

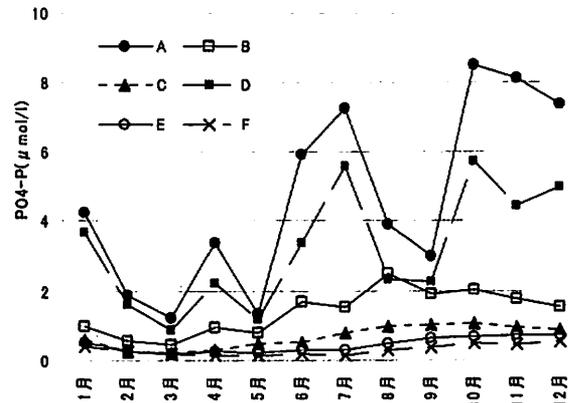
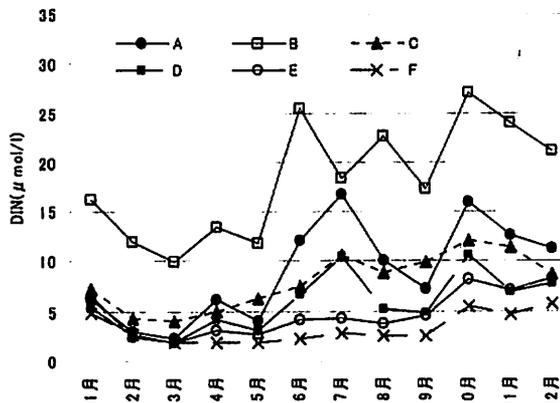
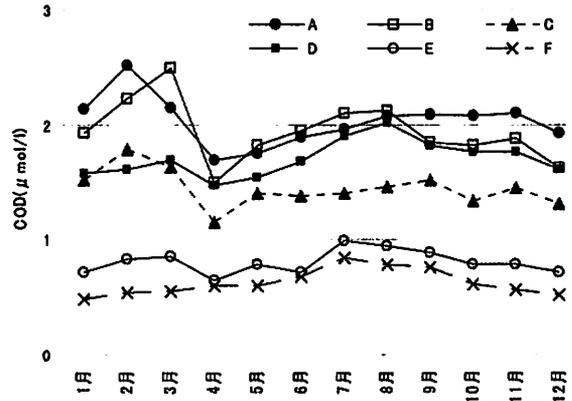
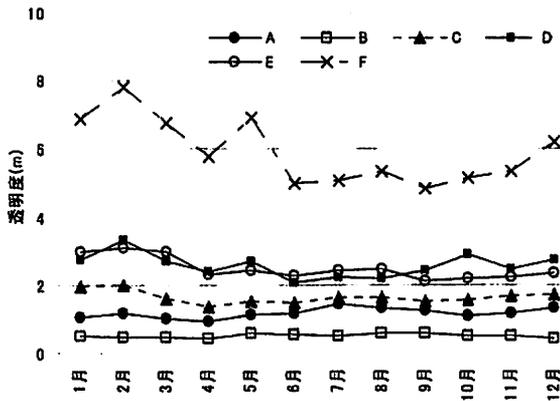
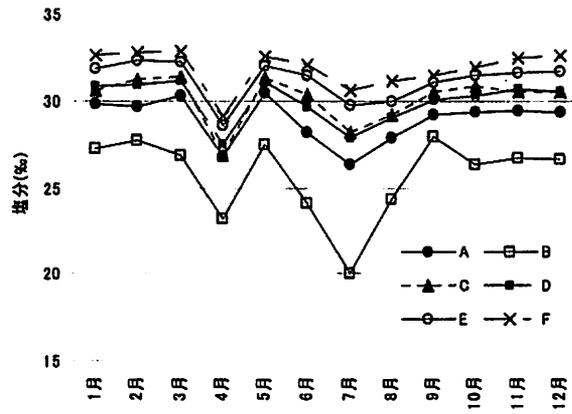
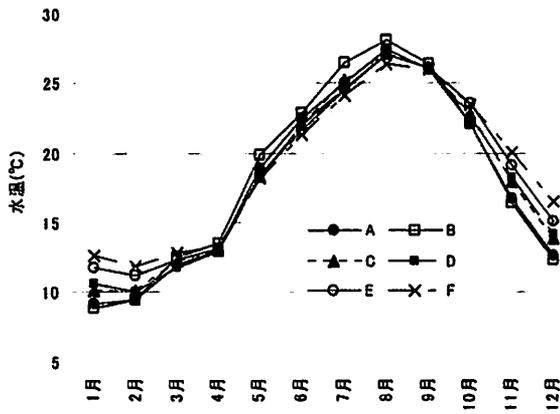


図3-15 月別平均値の年変動 (水深5m データ、有明海全域)

②浅海定線調査データ（海底上1m）による有明海湾奥部の海域区分

2005年1月～2007年12月の、水温、塩分、透明度、DO、COD、DIN、PO4-Pの7項目の毎月観測値についてクラスター分析を行った結果、図3-16に示すようにG～Kの5海域に区分された。また、図3-17には、水質項目ごとに海域区分別の月平均値の年変動を示した。

図3-17(a)の塩分は、7月の梅雨の降水によるとみられる河川流入量の増大時に著しい低下がみられる。図3-17(c)のDIN濃度は、7月の梅雨の降水によるとみられる筑後川からの河川流入量の増加に伴い著しく高くなる傾向がみられ、図3-17(a)の塩分の低下とよく対応している。図3-17(b)のDOについてみると、G、H海域の7、8月には、水産用水基準値6mg/l（底層においては4.3mg/lが目安）のレベルまで低下し、特に、H海域の8月には水産用水基準を下回る場合があることを示している。

また、図3-17(c)と図3-17(d)に示すように、筑後川河口沖のK海域の高いDINとPO4-Pは、筑後川からの流入が影響しているとみられるが、G、H、I、J海域の7月にDINとPO4-P濃度のピークがみられる。これらの海域における7月のDO濃度は、図3-17(b)に示すように6mg/l未満に低下していることから、海底および底層付近の酸素消費が進行し、底泥から窒素とリンが溶出しやすい環境になっていると考えられる。これは、図3-18に示すように、含泥率の高い底泥中には、高い濃度の窒素やリンが蓄積していることから、底泥から窒素とリンが溶出しやすい条件の海域であることがわかる。

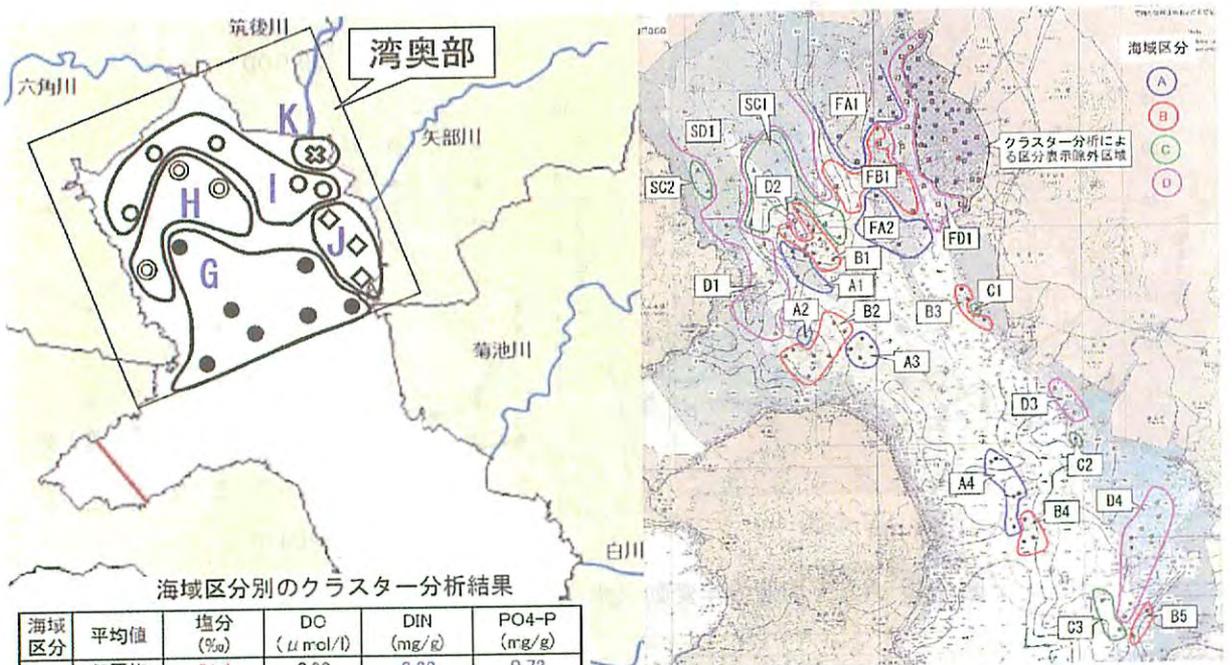
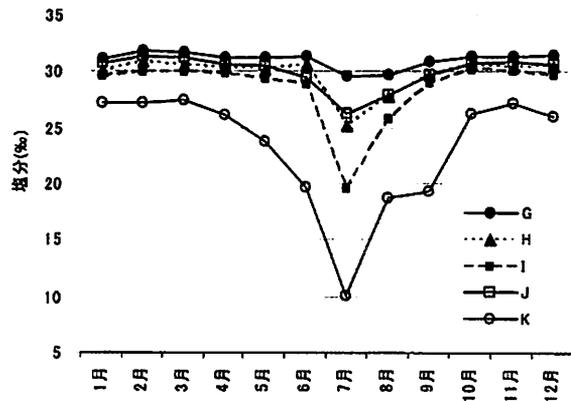
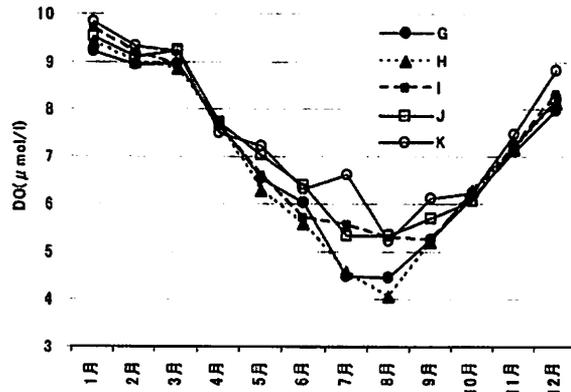


図3-16 海底上1mデータによる有明海湾奥部の海域区分（左上）、クラスター分析結果（左下）及び底質調査データによる海域区分（右）

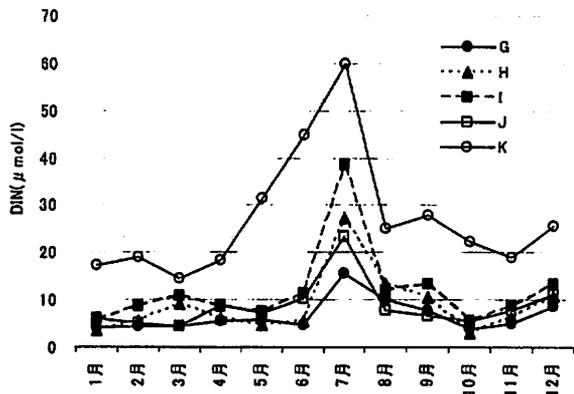
図3-10 海域区分図 再掲



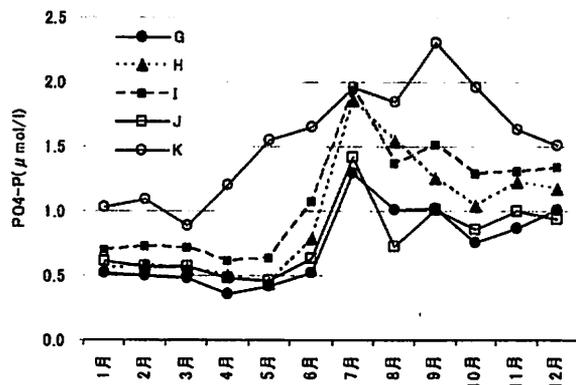
(a) 塩分



(b) DO



(c) DIN



(d) PO4-P

図3-17 月別平均値の年変動（海底上1mの底層データ、有明海灣奥部）

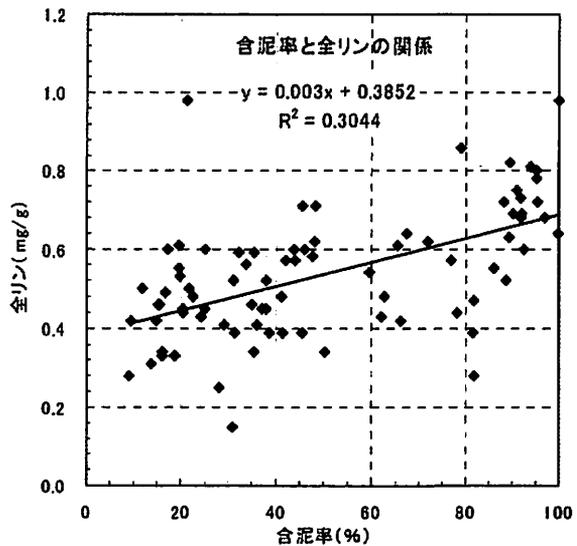
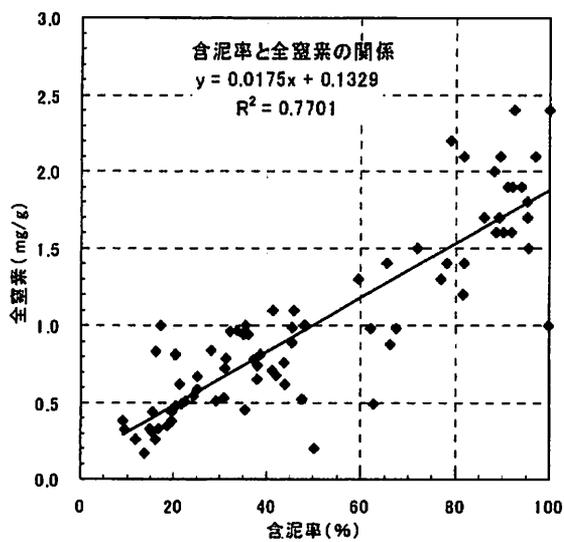


図3-18 含泥率と全窒素、全リンの相関（底質攪拌前調査データ）

### 9) 海底地形と底質分布

有明海の湾奥部には、図 3-19 (左) に示すように、⑤野崎の州、⑥蜂の州など岸から沖に延びる数列の砂州が発達している。図 3-19 (右) の海域区分図では、⑤野崎の州は A1、⑥蜂の州は FA2 にあたり、砂が分布する。一方、塩田川、筑後川等の河口沖には、海底水道が発達し、図 3-10 の海域区分図では、①塩田川沖海底水道に沿って SD1 および D1 の区域、④筑後川沖東海底水道に沿って FD1 の区域が広がり、泥が分布する。

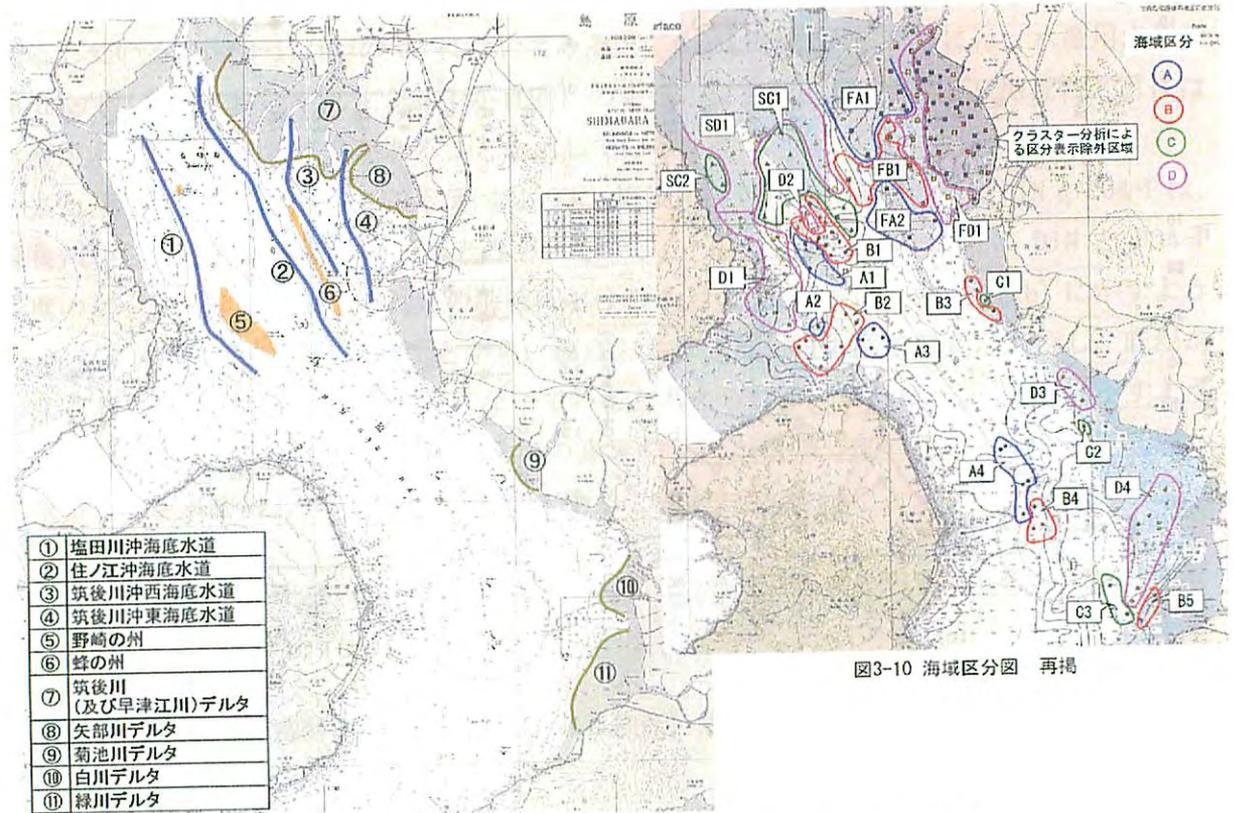


図3-10 海域区分図 再掲

図 3-19 海底地形 (左) と底質調査データによる海域区分 (右)

#### (4) まとめ

##### ① 底質特性別海域区分図

底質改善対策の検討に資することを目的として、底質攪拌前調査データ及び福岡県沖、佐賀県沖の既往底質調査データについてクラスター分析を行い、底質特性別の海域区分図を作成した。今後、空白部分を補完し、有明海全域を対象とした海域区分図を作成していく必要がある。また、底生生物の分布特性を把握し、底質特性との関連性を把握するとともに、貧酸素発生区域や潮流と底質特性との関連性についても把握していくことが重要である。

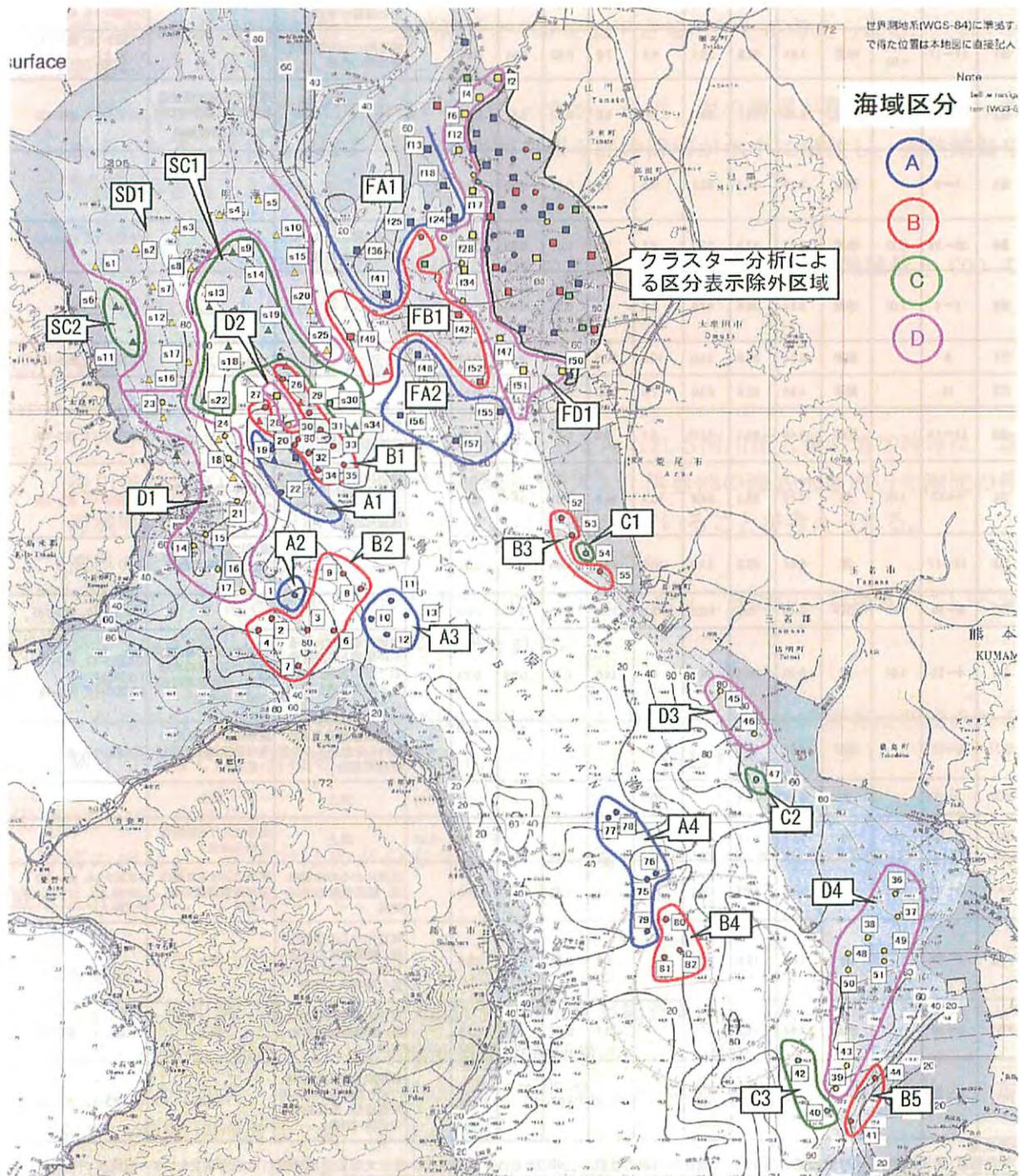


図 3-10 海域区分図再掲

表 3-16 海域区別の底質環境のまとめ

相区分	概略の水深(m) TP	概略の表層堆積物の層厚(m)	底質名	物理的特性(平均値)			化学的特性(平均値)						堆積環境	水質環境・流動環境	海底攪拌事例 (赤で表示:攪拌直後に 強熱減量とCODが低下)
				粒度組成		含水率 (%)	富栄養化の指標				嫌気化の指標				
				中央粒径(φ)	含泥率 (%)		強熱減 量(%)	COD (mg/g)	全窒素 (mg/g)	全リン (mg/g)	全硫化 物 (mg/g)	AVS (mg/g)			
A1	6~12	0.2>	砂	1.86	19.2	29.5	4.1	4.6	0.40	0.43	0.05		野崎/州の砂州、表面 に泥の薄層が堆積	筑後川からの栄養塩 および懸濁物の供給	A1(図3-17、表3-13)
A2	10	0.2>	砂	1.40	21.3	28.0	5.9	6.8	0.62	0.98	0.01			南下する潮汐差流 と大洞沖・諫早湾口に おける潮目の形成 <sup>1,3)</sup>	
A3	24~26	0.2>	砂	1.75	20.2	26.3	4.7	4.8	0.44	0.56	0.03				G2(図3-18、表3-15)
A4	25~39	0.2>	砂	1.05	14.7	25.4	3.6	2.9	0.44	0.38	0.04		表面に厚さ1~2cmの 泥の薄層が堆積 <sup>1)</sup>		A2(図3-17、表3-13) G3(図3-18、表3-15)
B1	11~17	0.2< 1.0>	砂泥	2.64	37.8	36.1	6.9	7.8	0.82	0.51	0.21		筑後川からの栄養塩、 懸濁物の供給		E1(図3-18、表3-15) F1(同上) G1(同上)
B2	12~24	0.2>	砂泥	2.42	36.4	43.0	6.6	9.0	0.92	0.41	0.13			南下する潮汐差流 と大洞沖・諫早湾口に おける潮目の形成 <sup>1,3)</sup>	B2(図3-17、表3-13)
B3	4~9		砂泥	2.19	36.7	32.3	6.5	7.1	0.67	0.50	0.15				F2(図3-18、表3-15) G4(同上)
B4	35~39	0.2>	砂泥	2.87	37.2	32.7	8.1	8.4	1.01	0.58	0.17		表面に厚さ1~2cmの 泥の薄層が堆積 <sup>1)</sup>		F4(図3-18、表3-15) G3(同上)
B5	3~4	1.0<	砂泥	3.21	36.6	42.5	3.6	5.2	0.55	0.40	0.06				
C1	6		泥砂	5.51	65.5	45.0	10.0	10.0	1.40	0.61	0.12				F2(図3-17、表3-15)
C2	10		泥砂	4.64	62.8	53.0	7.6	12.0	0.49	0.48	0.14				
C3	11~15		泥砂	4.49	64.1	47.0	6.1	9.0	0.93	0.43	0.09		貝殻を多く含む砂の表 面を泥が覆う <sup>2)</sup>		C3(図3-17、表3-13)
D1	5~23	1.0<	泥	7.10	86.2	66.8	10.4	19.0	1.61	0.51	0.21		塩田川沖海底水道に 沿って筑後川からの栄 養塩類と懸濁物質の 運搬・沈降	大洞沖・諫早湾口にお ける潮目の形成 <sup>2,4)</sup>	D2(図3-17、表3-13)
D2	12~17		泥	6.64	90.2	47.0	10.0	12.0	1.60	0.69	0.91			夏季における底層の 溶存酸素濃度の著し い低下	
D3	6~10		泥砂	5.48	75.6	60.5	9.8	15.0	1.85	0.74	0.20				C2(図3-17、表3-13)
D4	4~12	1.0<	泥	6.10	91.1	54.7	9.9	14.6	1.73	0.68	0.29		潮目の近傍における 泥の堆積と高濃度栄 養塩類の蓄積。強い硫 化水素臭を含む泥が 分布 <sup>2)</sup>	熊本沖における、外洋 系水と沿岸水の水境 境界と水境境界付近 の潮目の発生 <sup>2)</sup>	D4(図3-17、表3-13) D3(同上) E2(図3-18、表3-15)
SC1	6~20		泥砂	5.57	70.5		9.6				0.22		貧酸素水境発生期に おける底泥からの栄 養塩類の溶出	夏季における底層の 溶存酸素濃度の著し い低下	C1(図3-17、表3-13)
SC2	6~8		泥	6.21	82.4		10.7				0.34	同上	同上	同上	
SD1	2~23	1.0<	泥	7.01	97.1		12.7				0.47	同上	夏季における貧酸素 水境の発生		
FA1	2~10	1.0<	砂	2.00	14.2	30.4		3.1	0.33		0.05		筑後川からの栄養塩 類、懸濁物質の運搬・ 沈降	夏季における底層の 溶存酸素濃度の著し い低下	F3(図3-18、表3-15) G6(同上) H2(同上)
FA2	4~20		砂	1.63	10.8	30.2		1.9	0.50		0.08		筑後川からの栄養塩 類、懸濁物質の運搬・ 沈降。蜂の州の砂州を 含む尾根状の地形	同上	
FB1	3~15		砂泥	2.47	31.7	40.0		3.7	0.64		0.13		筑後川からの栄養塩 類、懸濁物質の運搬・ 沈降	同上	D1(図3-17、表3-13)
FD1	0~12	1.0<	泥	6.54	87.3	59.2		11.4	1.52		0.36		筑後川沖東海底水道 に沿って筑後川からの 栄養塩類、懸濁物質 の運搬・沈降	同上	B1(図3-17、表3-13)

参考文献

- 1) 秋元和實・滝川清・島崎英行他(2004) ガラカブが襲った有明海の風景24p.NPOみらい有明・不知火。熊本大学沿岸環境科学教育研究センター出版。
- 2) 滝川清、秋元和實、平城兼壽他(2005a): 有明海熊本沖の水境構造と表層堆積物の分布特性。第52回海学論文集, pp.956-960。
- 3) 滝川清、秋元和實、吉武弘之、渡辺権(2005b): 有明海大洞沖における海底攪拌の効果。第52回海学論文集, pp.1141-1145。

## ② 底質攪拌による底質環境変化の地域特性

底質攪拌の効果のメカニズムは、必ずしも解明されていないが、底質環境の悪化が著しい有明海において海底を強制的に攪拌することにより、浮泥層を水中に飛散させ、海底表層部の有機物の減少を促進させるとともに、浮泥層に酸素を供給して、還元的な底質環境を改善し、有機物の分解を促進させる等の効果が言われている。

このことから、攪拌直後に強熱減量と COD がともに低下することを、底質攪拌の直接的な効果として考えると、以下のような底質攪拌による底質環境変化の地域特性がみられる。

### ・塩田川沖海底水道部、熊本市沖

有機物を吸着した粘土やシルトが堆積する場所になっている。底質攪拌により、底泥の表層部が水中に飛散し、強熱減量と COD を低下させたことが考えられる。

### ・野崎の州、島原市沖

以前は、ほとんど泥を含まない砂であったが、最近、泥の薄層が覆うようになった場所である。底質攪拌により、海底表層を覆う泥の薄層が水中に飛散し、強熱減量や有機物等を低下させたことが考えられる。

### ・湾奥部

筑後川等からの懸濁物質や有機物の供給のため、底質攪拌による強熱減量と COD の低下が表れにくい傾向がみられる。

## ③ 水質環境による海域区分と底質特性

### ・湾奥全域

7月の梅雨と4月の菜種梅雨の降水によるとみられる河川流入量の増加時等に、筑後川等から高い濃度の栄養塩や懸濁物質が流入し、湾奥部の海底水道周辺や潮流の停滞域等において、これらが蓄積しやすい環境になっていることが考えられる。

### ・湾奥の北部・西部

海水中の DIN と P04-P 濃度が突出して高くなっており、底泥中に蓄積されている窒素やリンが溶出している可能性が示唆される。

### ・熊本市沖

外洋系水と周辺の沿岸水との境界が認められる海域であり、この境界に形成される潮目の近傍では、有機物を吸着した粘土やシルトが堆積している。

## ④ 海底地形と底質分布

野崎の州など、砂州では砂が分布する。一方、塩田川、筑後川等の河口沖には、海底水道が発達し、泥が分布する。

### <参考文献>

- 1) 秋元和實・滝川清・島崎英行他 (2004) : ガラカブが観た有明海の風景 . 24p、NPO みらい有明・不知火、熊本大学沿岸域環境科学教育研究センター出版。
- 2) 滝川清、秋元和實、平城兼寿他 (2005a) : 有明海熊本沖の水塊構造と表層堆積物の分布特性、第 52 回海講論文集、pp. 956-960.
- 3) 滝川清、秋元和實、吉武弘之、渡辺枢 (2005b) : 有明海大浦沖における海底攪拌の効果、第 52 回海岸工学論文集、pp. 1141-114

#### 4. 二枚貝類等生息環境調査

##### (1) 調査の目的

近年、有明海では、タイラギ、アサリ等の二枚貝類資源の減少が報告されており、その減少要因として、底質環境の変化、ナルトビエイによる食害、赤潮の発生等が推測されている<sup>a)</sup>。このうち、ナルトビエイの食害については、近年急激に増加し<sup>b)</sup>、アサリやタイラギ等の二枚貝類のみを大量に捕食する<sup>c)</sup>と報告されており、その実態の把握が求められているところである。

本調査は、有明海に分布する二枚貝類について、その生息状況を整理するとともに、ナルトビエイによる食害の実態等を把握し、ナルトビエイの適切な駆除量と効果的な駆除手法（場所と時期）について検討するものである。

##### (2) 調査の実施状況

二枚貝類等生息環境調査として実施した調査項目、調査方法、調査年度を表4-1(1)に示す。

なお、ナルトビエイの標識放流調査については、その手法及び効果的な実施等を検討し、ナルトビエイの生態解明に資することを目的とした「ナルトビエイ標識放流調査検討会」を平成19年6月26日に設置した。

この他、ナルトビエイの分布状況については、表4-1(2)に示すとおり、県や水産庁の駆除事業によっても把握されている。

表4-1(1) 調査実施状況

調査項目	調査方法	調査年度 (調査時期)	調査位置	
二枚貝類の生息状況	漁獲量調査	漁獲統計資料等による文献調査により有明海の二枚貝類漁獲量を調査した。	昭和48年～平成14年	有明海全域
ナルトビエイの分布状況	分布調査	熊本、福岡、佐賀、長崎4県の沖合において刺し網等を用いてエイを採捕し、採捕位置、個体数、湿重量を調査した。	平成16～19年度 (5月～11月)	有明海全域
ナルトビエイの行動状況	アルゴス送信機による調査	採捕したナルトビエイにアルゴス送信機を取り付け、受信位置の確認から行動状況を調査した。	平成17、18年度 (17年11月～18年11月)	図4-9
	定点調査	調査定点で定期的にエイを採取し、個体数、サイズ(体盤幅)を調査した。	平成18、19年度 (6月～11月)	図4-12
ナルトビエイの摂餌状況	胃内容物調査	採取したエイの胃内容物について、種類の同定と湿重量を測定した。	平成17年度 (17年8月～18年2月)	有明海全域
	標識放流調査	採捕したナルトビエイに標識を取り付け、標識エイの再捕個体数から有明海における来遊量を試算した。	平成19年度 (標識放流：7月～9月)	図4-15
	摂餌量調査	既存資料による文献調査によりナルトビエイの摂餌量を調査した。また、胃内容物・標識調査結果をふまえてエイによる二枚貝類捕食量を試算した。	平成18、19年度	有明海全域

表4-1 (2) 県・水産庁による分布状況調査の実施状況

調査(事業)項目		事業方法	事業年度 (事業時期)	事業位置
ナルトビエイの分布状況	駆除事業	熊本、福岡、佐賀、長崎4県の沖合において刺し網等を用いてエイを採捕し、採捕位置、個体数、湿重量を調査した。	平成17~19年度 (6月~11月)	有明海全域

[出典]

- a) 有明海・八代海総合調査評価委員会報告：環境省、有明海・八代海総合調査評価委員会、平成18年12月
- b) 有明海のタイラギ資源に及ぼすナルトビエイの影響：川原ほか、佐賀有明水研報、2004年
- c) 板鰓類の資源生物学的研究：山口敦子、日本水産学会誌、2005年

### (3) 調査結果

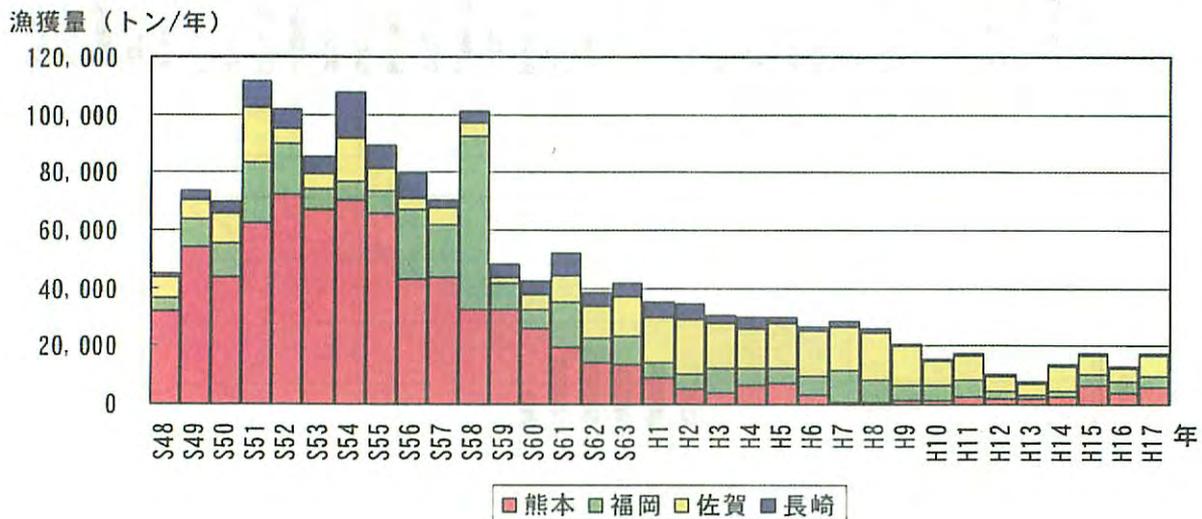
#### ①二枚貝類生息状況の変化

有明海に面する熊本、福岡、佐賀、長崎 4 県における有用二枚貝類（タイラギ、アサリ、サルボウガイ、アゲマキ）の漁獲量の経年変化を図4-1に示す。漁獲量は、昭和58年の約10万トンを境に減少傾向を示し、近年は1万トン程度まで減少している。

有用二枚貝類4種の有明海における漁獲量の経年変化を図4-2に示す。アサリは、昭和52年に約8万トンの漁獲を記録したが、その後減少し、昭和58年に一時的に増加するものの、平成元年以降は1万トン以下で推移している。タイラギは、数年おきに漁獲にピークを生じたが、平成元年頃からピークがなくなり、近年はほとんど漁獲がない。サルボウガイは、昭和48年以降少ない状況にあったが、昭和60年を境に増加に転じ、1.6万トン程度の漁獲量で推移したが、近年やや減少傾向にある。アゲマキは、昭和63年をピークに激減し、平成4年以降はほとんど漁獲がない。

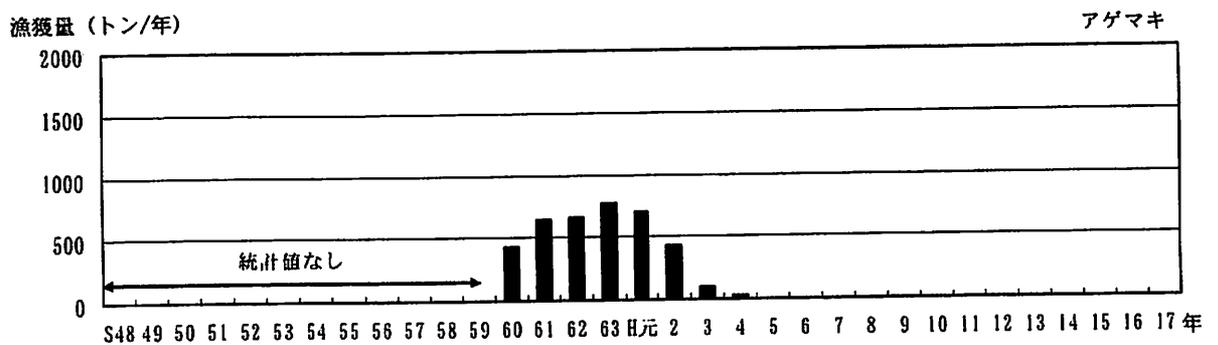
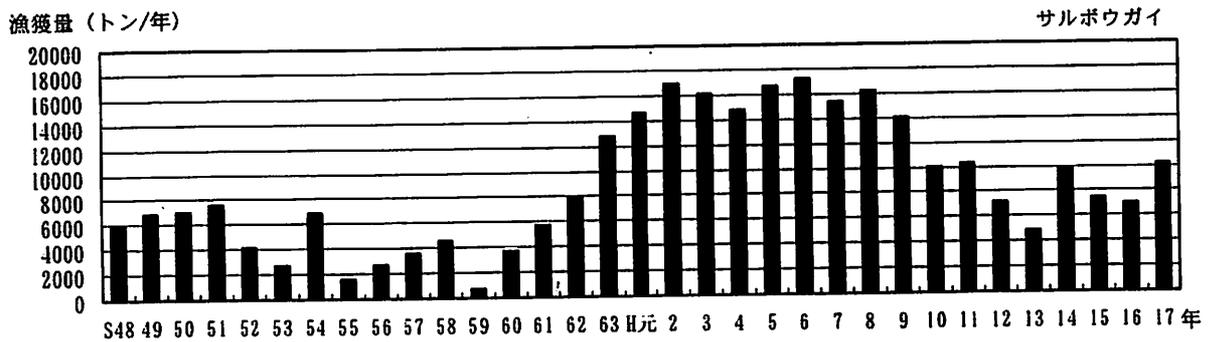
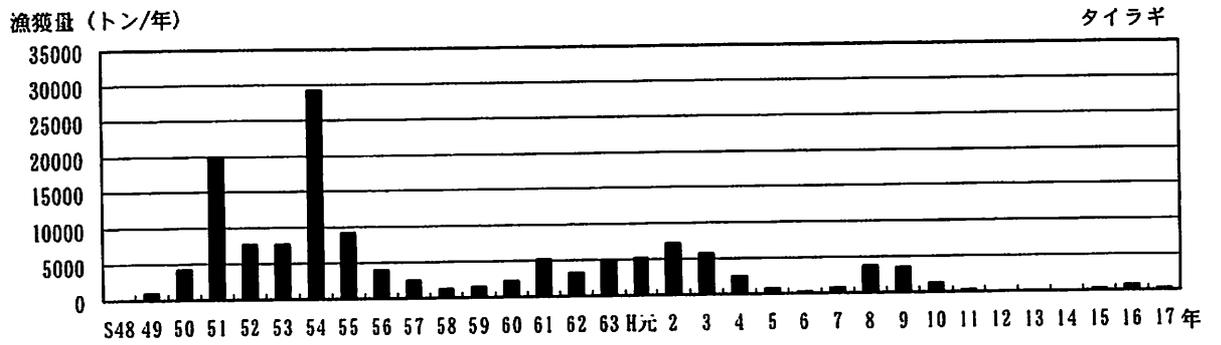
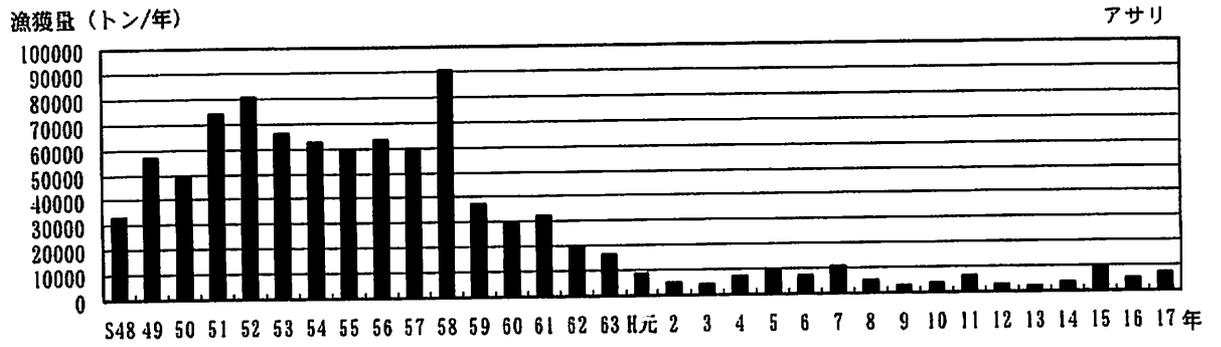
タイラギの分布状況の経年変化を図4-3に示す。有明海湾奥部における分布状況を見ると、昭和50年代は海域全体に広く分布しているが、昭和60年から平成4年にかけて徐々に分布のみられない地点が拡大し、近年の分布地点は海域の一部に限られている。

このように、有明海における有用二枚貝類の生息状況は、種類によって経年的な漁獲量の動向が異なるものの、いずれの種類も近年の漁獲量は落ち込んでおり、現在の生息量（資源量）は減少しているものと推察される。



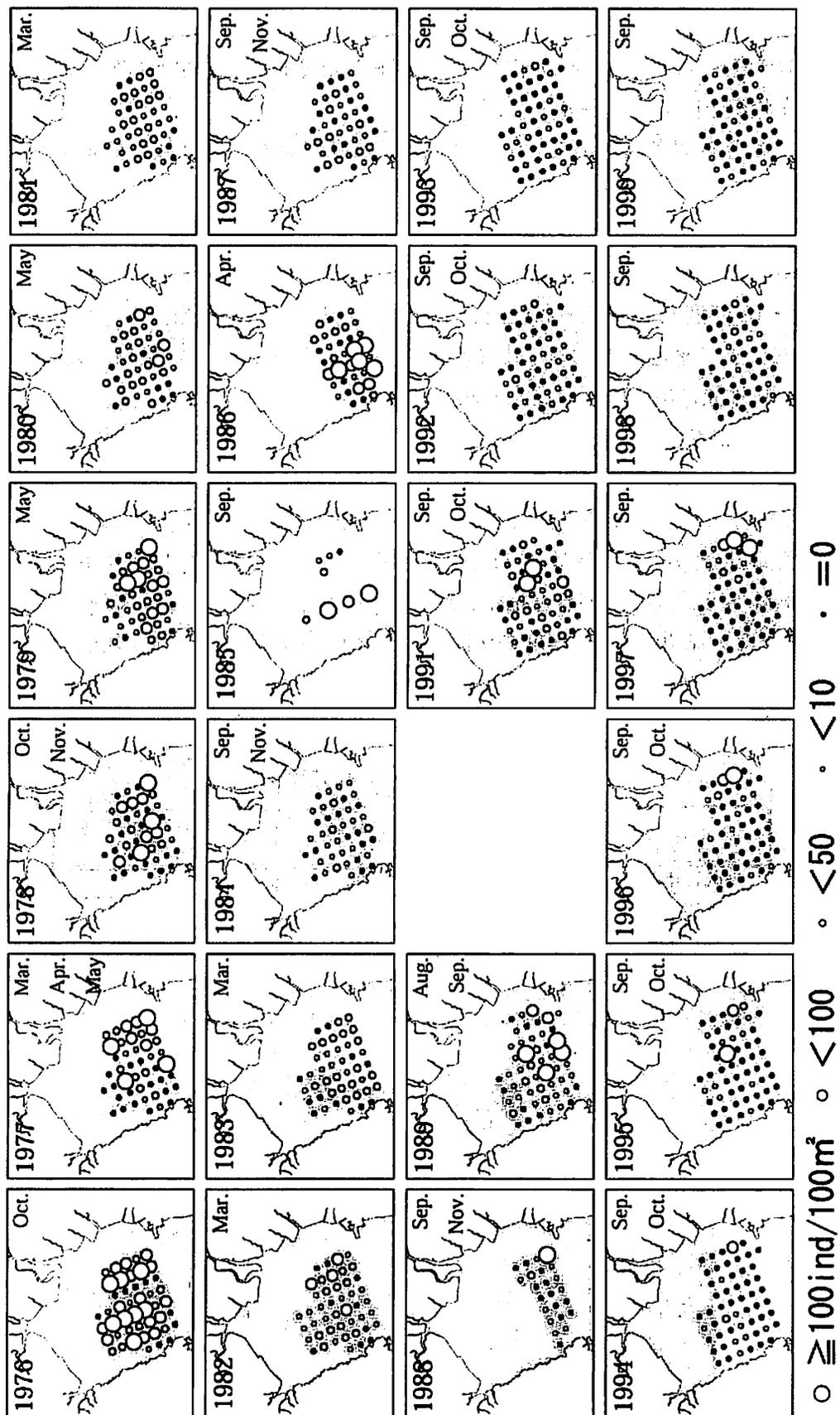
【資料：『九州及び東シナ海地域における漁業動向』（農林水産省）】

図4-1 二枚貝類漁獲量の経年変化



【資料：『九州及び東シナ海地域における漁業動向』、『海面漁業生産統計調査』（農林水産省）】

図4-2 アサリ、タイラギ、サルボウガイ、アゲマキの  
有明海における漁獲量の経年変化



【資料：『有明海における水産資源の現状と再生』（佐賀県有明水産振興センター研究報告書 第22号）】

図4-3 タイラギ（成員）分布状況の経年変化

## ②ナルトビエイの分布状況

平成 16 年度～ 19 年度の 4 カ年にかけて実施した分布調査結果及び県・水産庁駆除事業による分布状況を図 4-4～4-7 に示す。

これまでの分布調査結果から、ナルトビエイは有明海のほぼ全域に分布することが明らかとなっている。

ナルトビエイは、4 月頃に有明海に出現し始め、8 月頃に有明海で出産し、水温が 15～17℃になると有明海を南下し、湾外へと移動すると言われている。

17 年度・18 年度の 6 月の分布状況をみると、6 月には既に相当数のナルトビエイが有明海の湾奥部にまで来遊しており、出産時期の 8 月には塩田川、筑後川、矢部川、菊池川、緑川等の河口地先に集中して分布する傾向がみられる。

11 月の分布地点と水温分布の重ね合わせ結果を図 4-8 に示す。湾奥部で水温が 17～19℃程度を下回りはじめると、ナルトビエイが採捕されない地点が増えることから、このころにはナルトビエイは徐々に南下をはじめていると考えられる。12 月になると、有明海の水温は湾口部を除いてほとんど 17℃を下回るため、この時期にはナルトビエイは湾口部あるいは湾外へと移動していると推察される。

平成 17 年度、18 年度、19 年度のナルトビエイの採捕個体数・湿重量は、下表に示すとおり、県・水産庁駆除事業による採捕を含め、平成 17 年度が約 40,000 個体、約 490 トン、18 年度が約 43,000 個体、約 370 トン、19 年度が約 54,000 個体、約 430 トンである。

表 4-2 ナルトビエイの採捕状況

年度	個体数 (千個体)	湿重量 (t)	個体当り平均湿重量 (kg/個体)
平成17年度	40	490	9.0
平成18年度	43	370	8.7
平成19年度	54	430	8.0

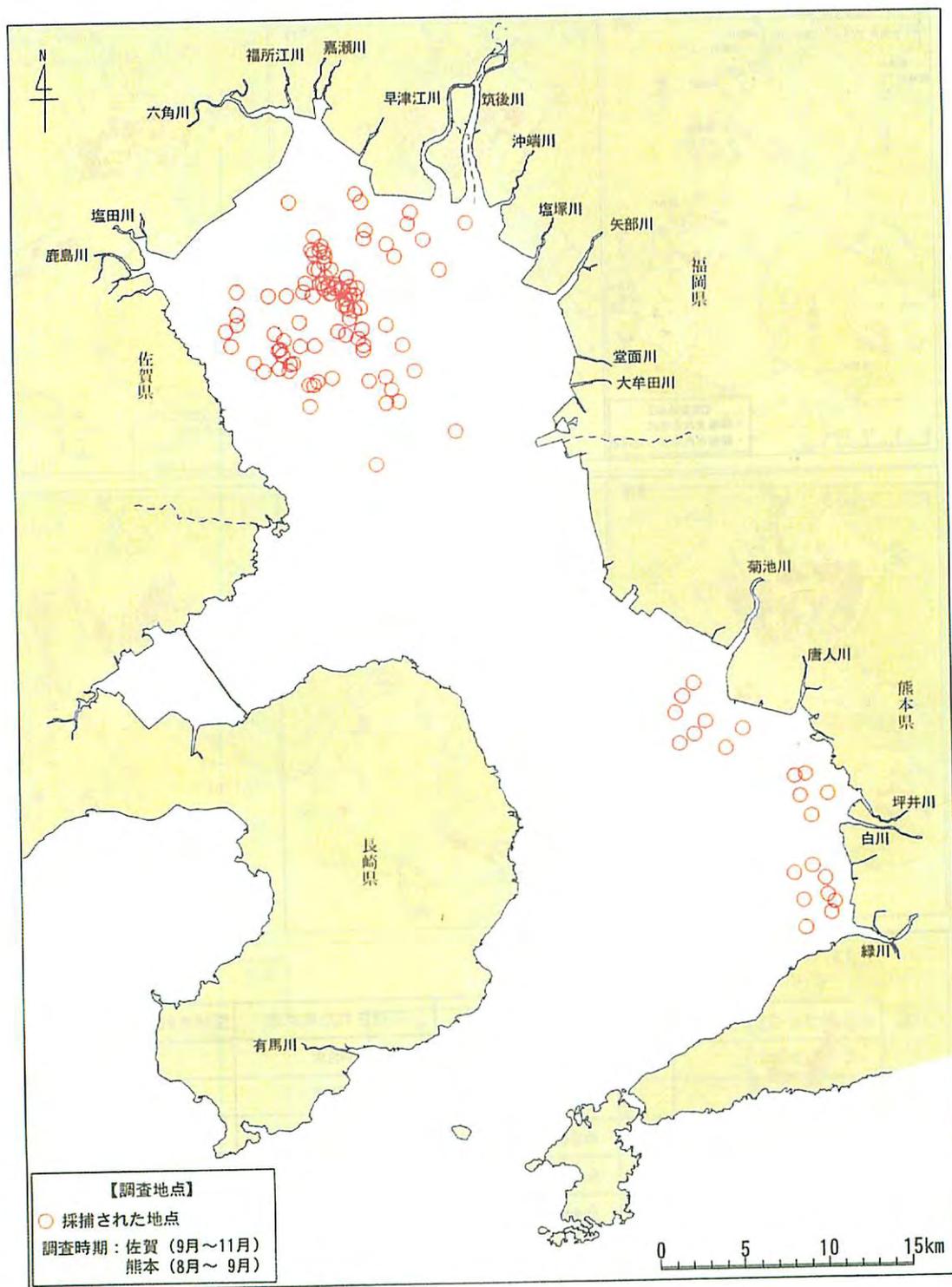
※平成17年、18年は、農政局調査+県単事業

※平成19年は、農政局調査+県単事業+水産庁事業(新規)

※平成17年度の個体当り平均湿重量は、個体数に未計数分を含む佐賀県を除く3県の平均



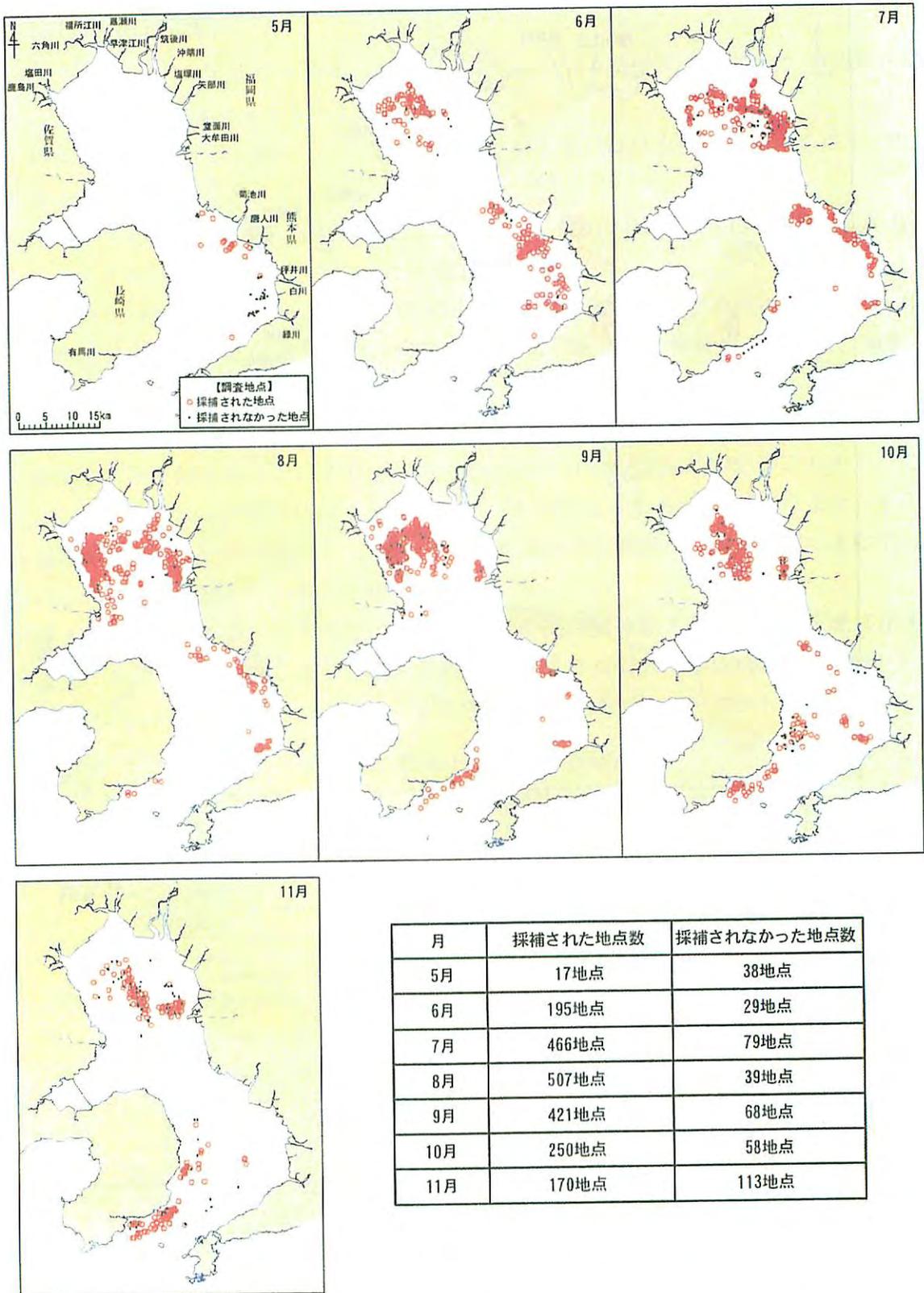
写真 4-1 エイの採捕状況



注) 採捕された地点を示したものであり、密度分布を表しているものではない。

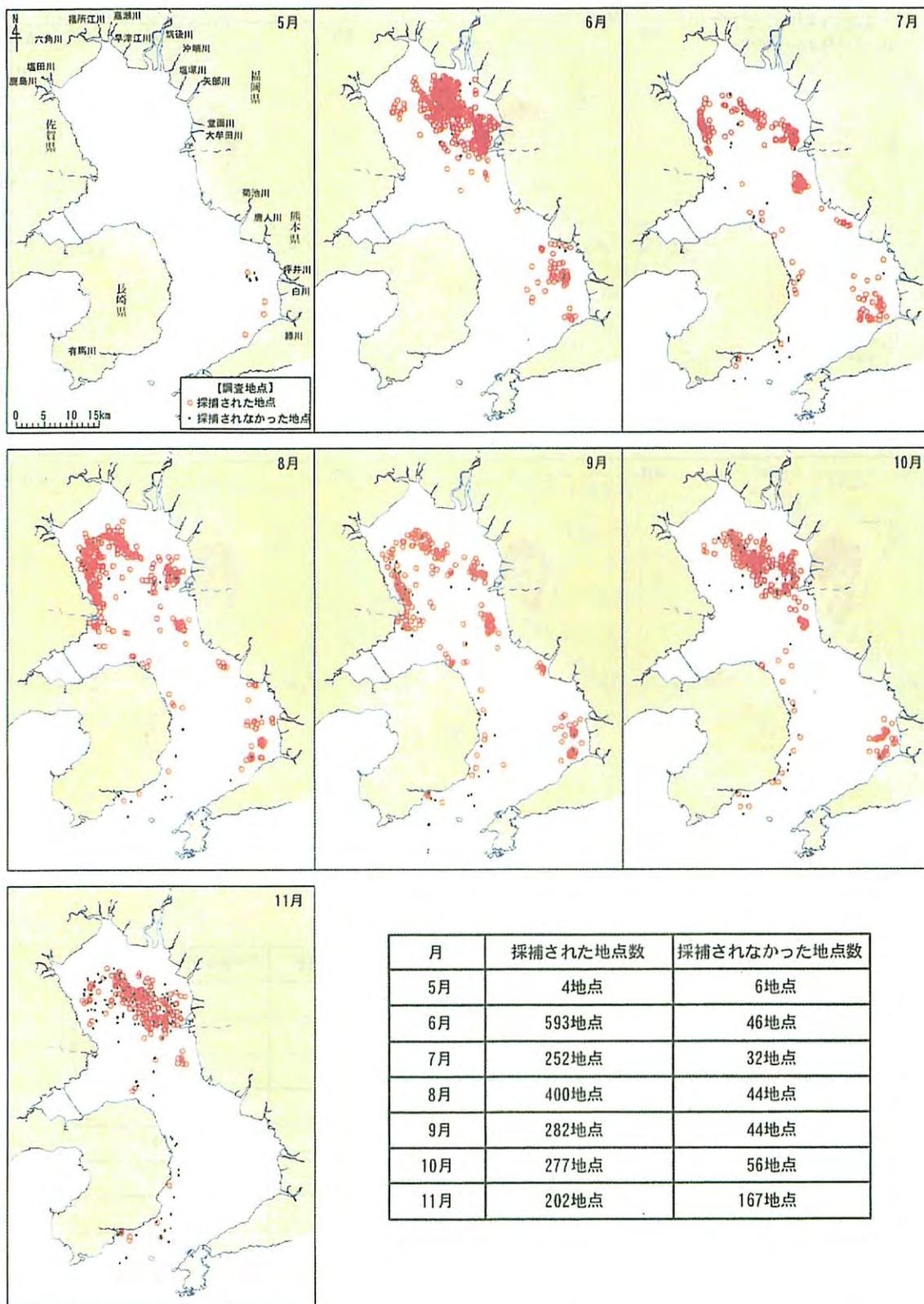
注) 九州農政局調査のみを示す。

図4-4 エイ採捕地点の分布状況（平成16年8月～11月）



注) 採捕された地点、採捕されなかった地点を示したものであり、密度分布を表しているものではない。  
 注) 福岡・佐賀・熊本県が実施した駆除事業調査を含む。長崎県が実施した駆除事業の調査地点は不詳である。

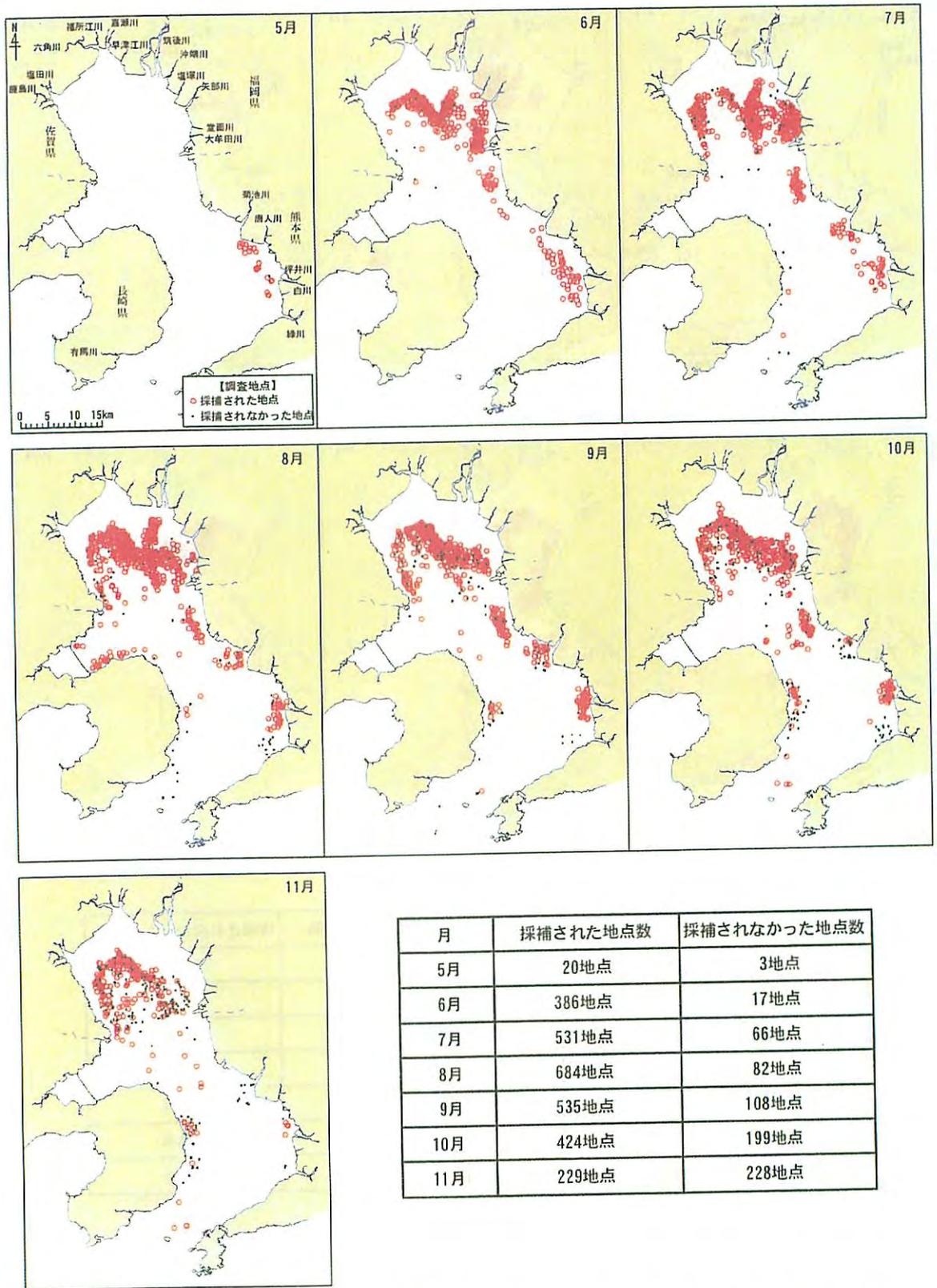
図4-5 エイ採捕地点の分布状況 (平成17年5月~11月)



注) 採捕された地点、採捕されなかった地点を示したものであり、密度分布を表しているものではない。

注) 福岡・佐賀・熊本県が実施した駆除事業調査を含む。長崎県が実施した駆除事業の調査地点は不詳である。

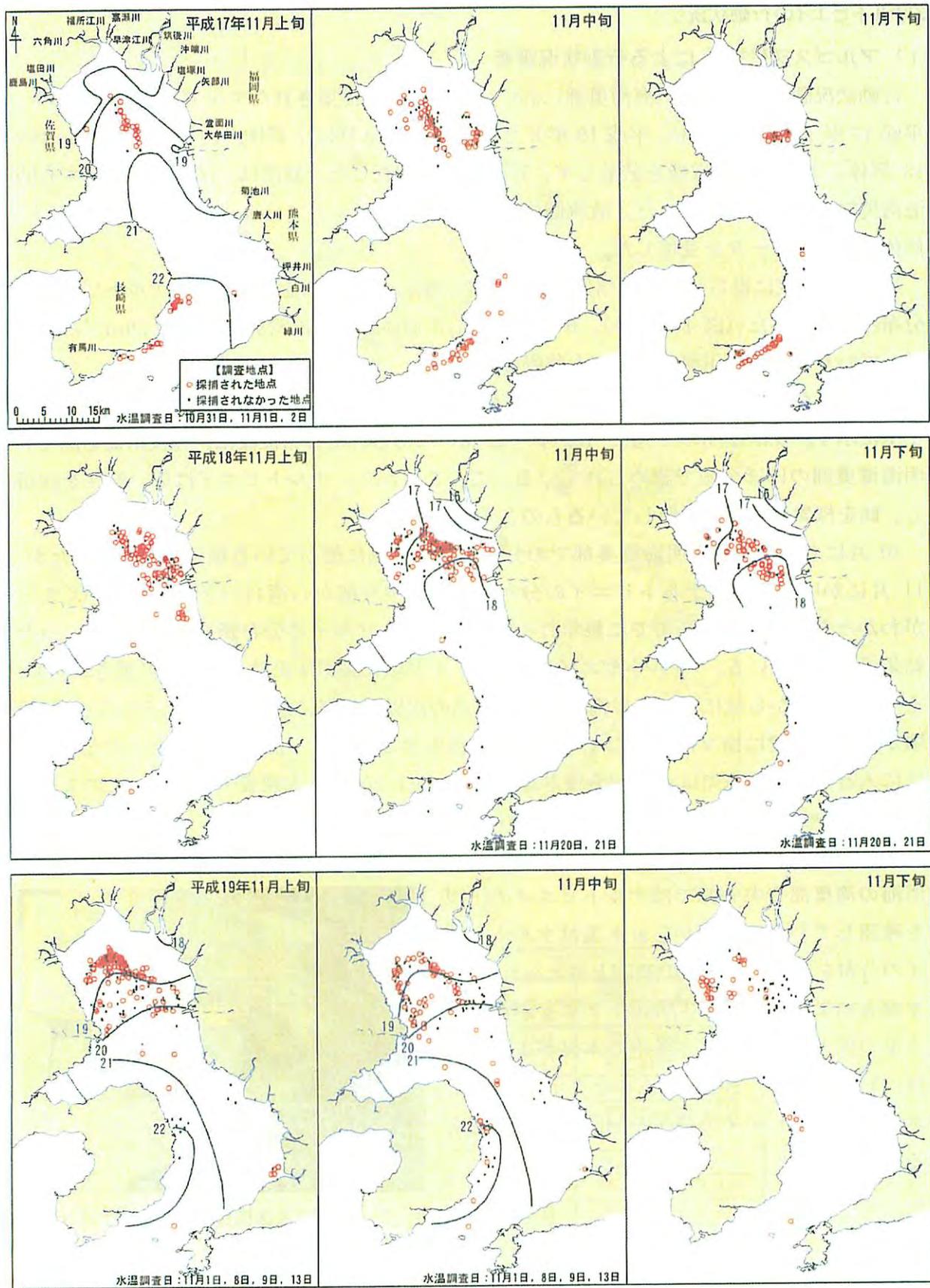
図4-6 エイ採捕地点の分布状況 (平成18年5月~11月)



注) 採捕された地点、採捕されなかった地点を示したものであり、密度分布を表しているものではない。

注) 水産庁・福岡・佐賀・熊本県が実施した駆除事業調査を含む。長崎県が実施した駆除事業の調査地点は不詳である。

図4-7 エイ採捕地点の分布状況 (平成19年5月~11月)



注) 採捕された地点、採捕されなかった地点を示したものであり、密度分布を表しているものではない。

図4-8 11月(平成17年、18年、19年)のエイ分布地点と水温分布

### ③ナルトビエイの行動状況

#### i) アルゴス送信機<sup>d)</sup>による行動状況調査

行動状況調査には、有明海湾奥部において刺網により採集されたナルトビエイを用いた。平成17年11月に3個体、平成18年6月に2個体、10月に7個体、11月に1個体の合計13個体にアルゴス送信機を装着して、行動を追跡調査した。放流は、図4-9に示す有明海湾奥部の福岡県側で行った。放流個体の体盤幅は約56cm～111cmであり、このうちの9個体から送信データを受信した。

平成18年度に得られた全受信位置データを月別にまとめ、各月におけるナルトビエイの分布特性を調べた(図4-10)。6月に放流した個体は有明海湾奥部の水深20m以浅を回遊しており、早津江川河口付近にも移動している。

6月に最も受信記録が多かった個体(体盤幅約56cmのメス)の受信位置データを図4-11に示す。受信期間の2週間(6/14～6/28)に得られた分布位置は、佐賀県側を除く有明海湾奥部のほぼ全域で認められている。このことから、ナルトビエイは広い範囲を回遊し、餌を探索しては、採餌しているものと考えられる。

10月にも同様に、有明海湾奥部での分布は福岡県側に偏っている様子が読み取れたが、11月にかけて徐々にナルトビエイの分布が有明海中央部から湾口へと南下していくことがわかった。一方、これまでに毎年行ってきたナルトビエイの分布調査では、次のような結果が得られている。「ナルトビエイは3月～4月頃に島原半島沖の深場で漁獲され始め、その後、初夏から秋にかけては湾奥部や熊本県の浅場で頻繁に漁獲される。そして、11月頃から湾奥部では徐々に獲れなくなり、再び島原半島沖でよく漁獲されるようになる。12月に入ると、有明海ではもはや漁獲されない」(山口2006)。本調査データは、このようなこれまでの分布調査の結果を実証するものとなっている。

また、これまでの分布調査の結果、水温が概ね17℃以下に低下する12月～3月頃まで有明海の湾奥部や中央部ではナルトビエイの出現を確認していないことから、水温はナルトビエイの分布を制限する一つの要因と考えられるが、本調査結果においても、ナルトビエイが湾内の水温の低下にあわせて、冬季の水温がより高い湾口および湾外へと移動することを示しており、水温がナルトビエイの分布を制限する要因であると考えられた。

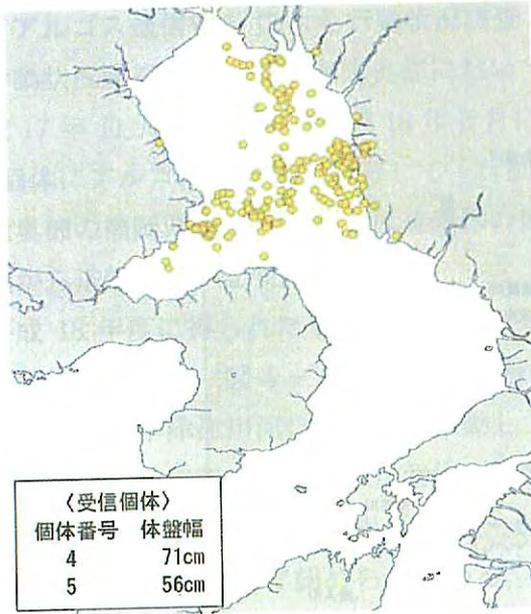


写真4-2 アルゴス送信機を装着したナルトビエイ

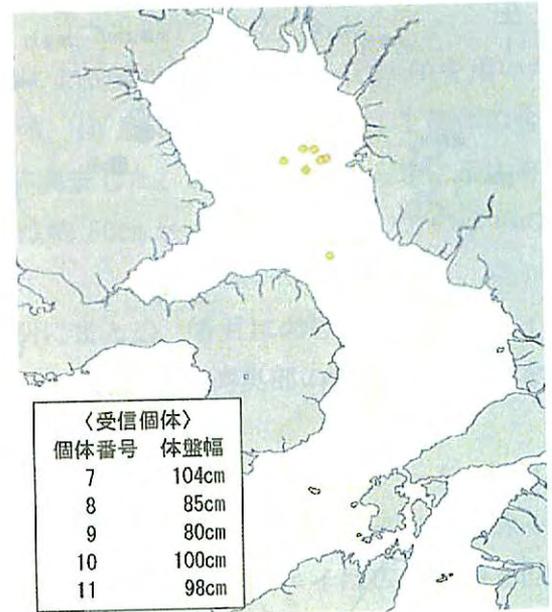
- d) アルゴス送信機：送信機から発信された電波を衛星受信して、その位置を特定するもの。  
ナルトビエイに装着した送信機では、ナルトビエイが水面に浮上した際に送信機から電波が発信され、ナルトビエイの分布位置を特定することができる。



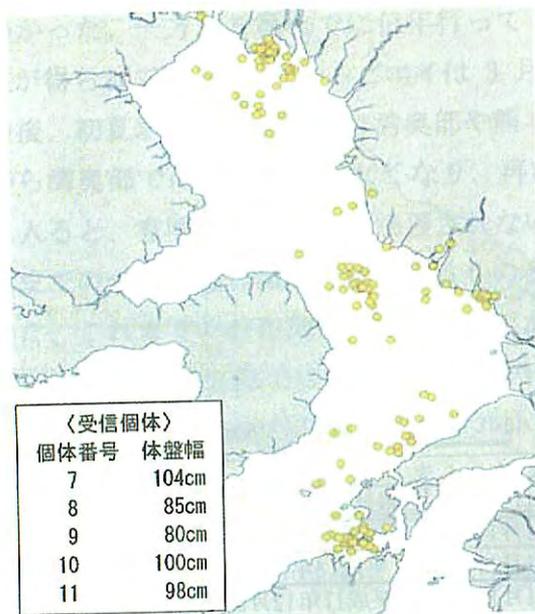
6月



10月



11月



12月



図4-10 受信位置の分布 (平成18年度)

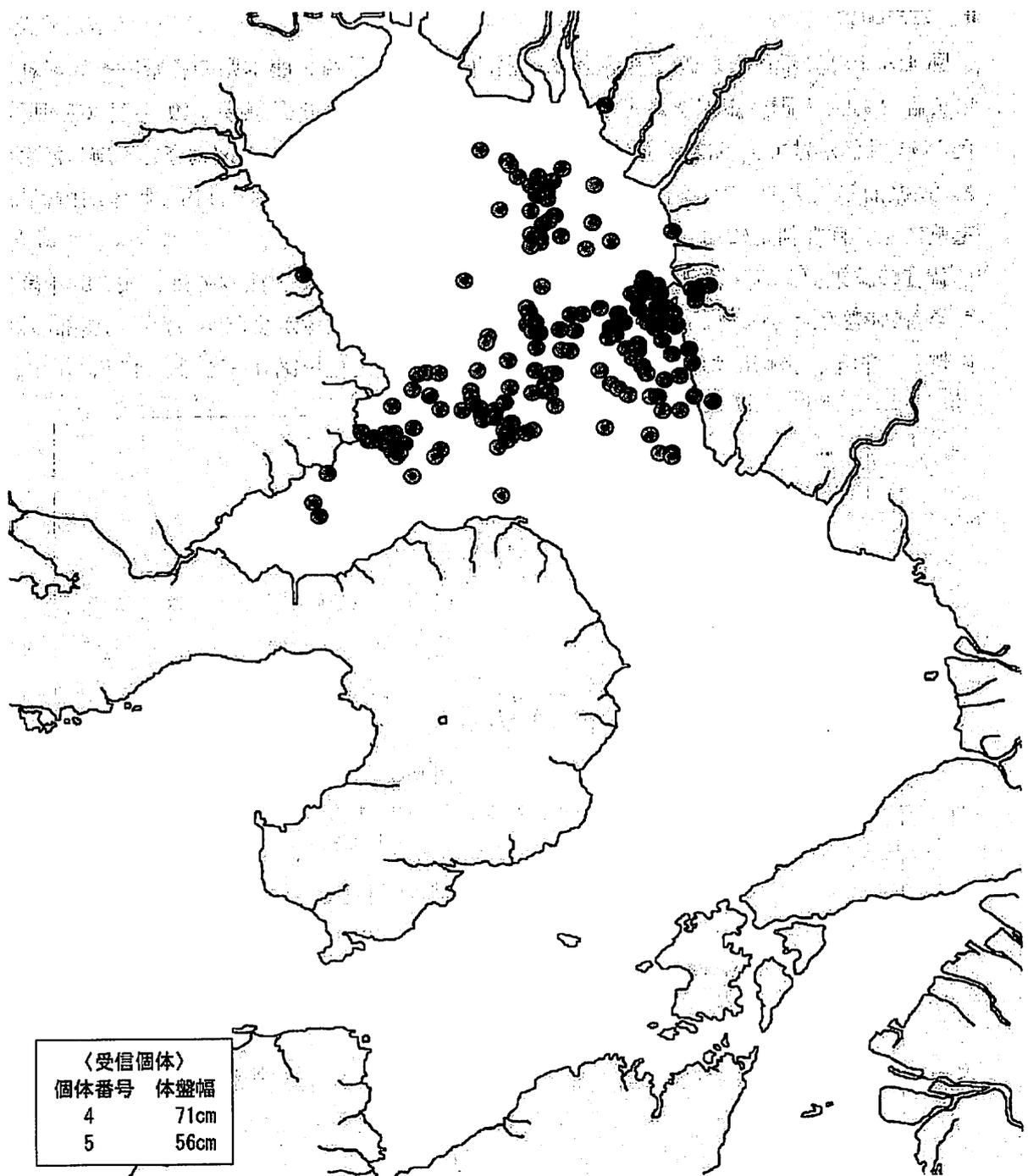


図4-11 平成18年6月14日～28日における受信状況

## ii) 定点調査

図4-12に示すとおり定点調査は、福岡、佐賀、長崎、熊本県の各県にそれぞれにおいて各2地点の調査定点を設定して、平成18、19年度の6月後半（19年度は7月後半）から11月にかけて、ほぼ2週間に1回の頻度でナルトビエイの採捕調査を実施したものである。採捕したナルトビエイは、個体数を計数するとともに、雌雄の判別、個体別体盤幅（測定値には、目視判読による推定値を含む）の把握を行っている。

調査の結果、福岡・佐賀では兩年ともに採捕個体数が多く、熊本では平成18年度に少なく、19年度は多かった。また、長崎では兩年ともに採捕個体が少なかった。湾奥部の福岡・佐賀と、熊本、長崎における採捕個体の体盤幅の経月変化を図4-13、14に示す。

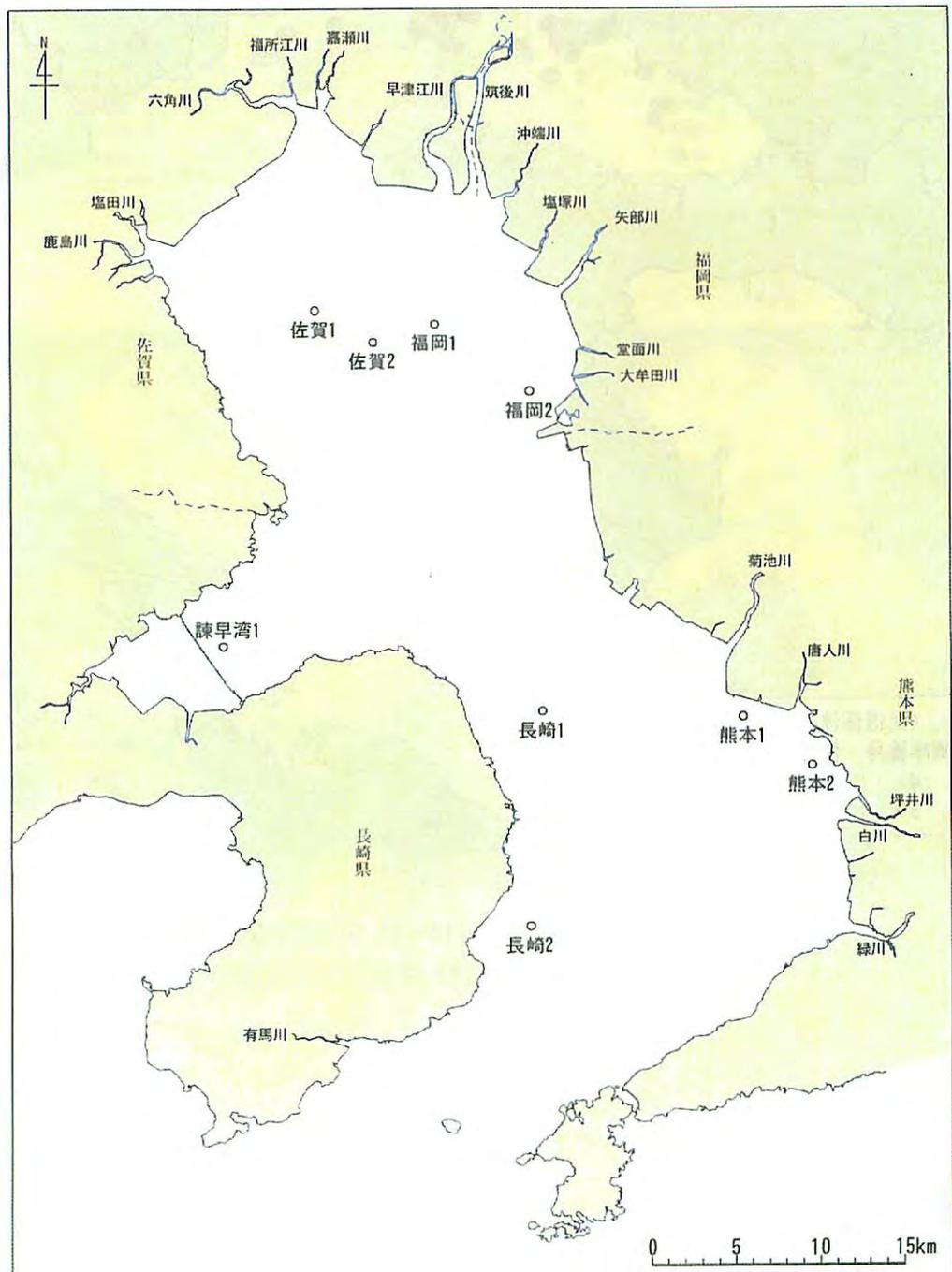


図4-12 定点調査位置

#### a) 湾奥部（福岡・佐賀）

平成 18 年度について、6 月後半に採捕されたエイは、体盤幅 60 ～ 90cm 程度の中型サイズが多いが、これより大型、小型のエイも採捕されている。7 月の体盤幅サイズは 6 月と大きく違わないが、7 月後半には体盤幅 40cm 以下の個体がやや多い。なお、長崎大学山口准教授によると、船上に取り上げられたメスのエイは、胎仔（メスの体内にいる仔エイ）を産み落とす習性があり、自然の有明海における仔エイの出現時期は 8 月とされることから、7 月までに確認された小型（体盤幅 40cm 以下）のエイは、船上で産まれた仔エイの可能性が高い。このことから、6 月から 7 月にかけて湾奥部の福岡・佐賀に分布するエイには、仔エイを産むメスの成魚が含まれていると考えられる。

8 月には、体盤幅 100cm を超える大型のエイがやや多くなり、体盤幅 50cm 以下の小型のエイも多くみられる。これらは仔エイを産んだメスの成魚と仔エイであると考えられる。9 月には、再び中型のエイが主体となり、10 月下旬には大型のエイがみられなくなり、11 月には小型のエイのみが湾奥部で分布するようになる。このように、水温が低下してエイが有明海からいなくなる 9 月から 11 月にかけては、大型個体ほど早い時期に湾奥部からいなくなる傾向がある。

平成 19 年度について、7 月から 9 月に採捕されたエイは、体盤幅 50 ～ 100cm 程度の中型サイズが多く、月によるサイズの変化は小さい。10 月には体盤幅 50cm 以下の小型のエイがみられるようになる。11 月にはさらに小型のエイが多くなり、11 月の後半は大型のエイが少なく、小型のエイが主体となっている。

両年を比較すると、7 月から 9 月にかけてのエイのサイズ（体盤幅）構成は両年でやや異なっているが、湾奥部では中型エイを中心として大型・小型エイがみられ、10 月から 11 月にかけて、大型エイが少なくなり、小型エイが多くなる傾向がある。

#### b) 長崎

平成 18、19 年度ともに、長崎の調査定点で採捕されたエイは、体盤幅 70cm 以下の小型のエイが主体であった。

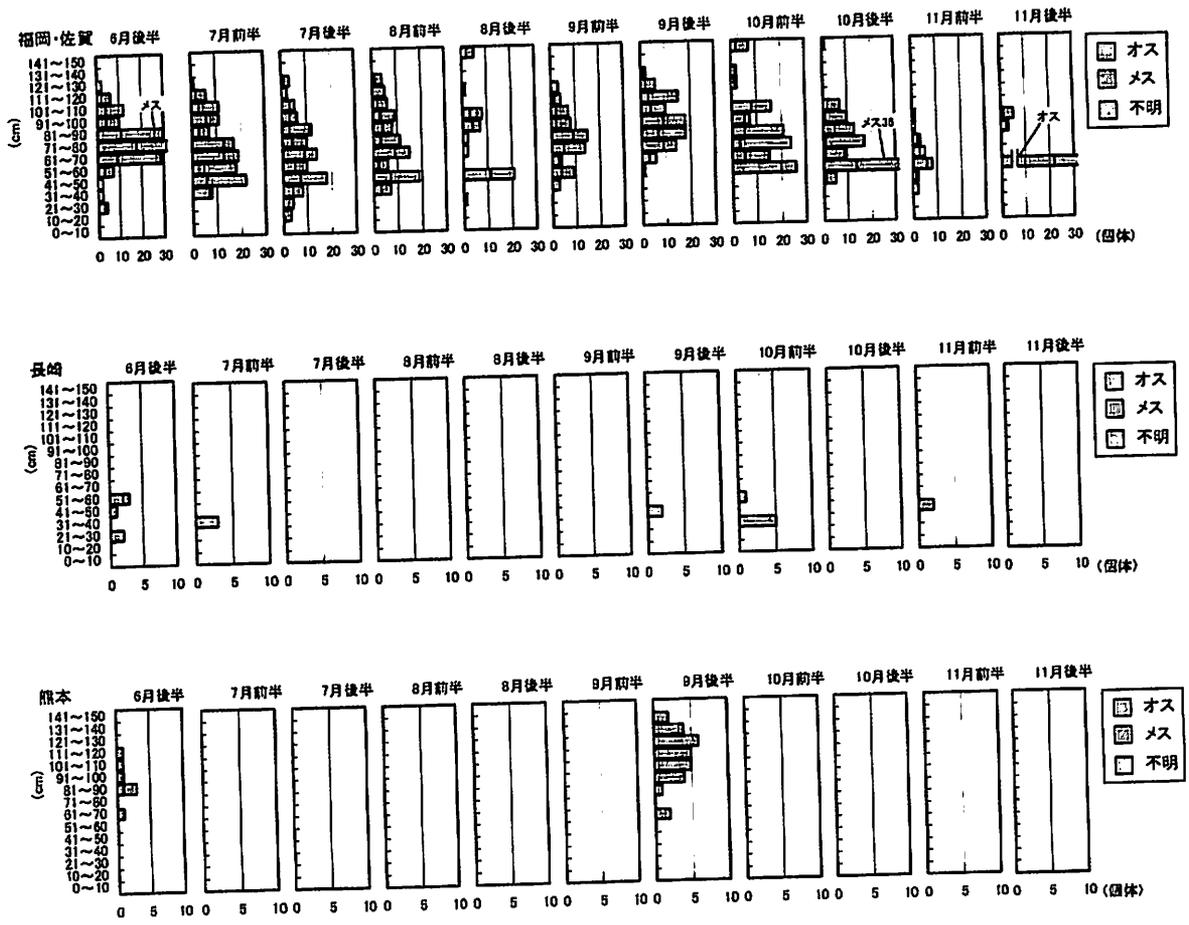
「②ナルトビエイの分布状況」においても長崎県地先では、エイの分布はまばらである。本県地先は、繁殖に参加しない小型のエイが分布する地域であると推察される。

#### c) 熊本

平成 18 年度は、エイの採捕個体数が少なかったが、採捕された個体は体盤幅 60cm 以上の中型・大型のエイであり、100cm を超える大型エイが多かった。エイは、オス・メス別、成魚・仔魚別に群れるとされており、9 月後半に採捕されたエイはメス成魚の群れを捕獲したものと考えられる。

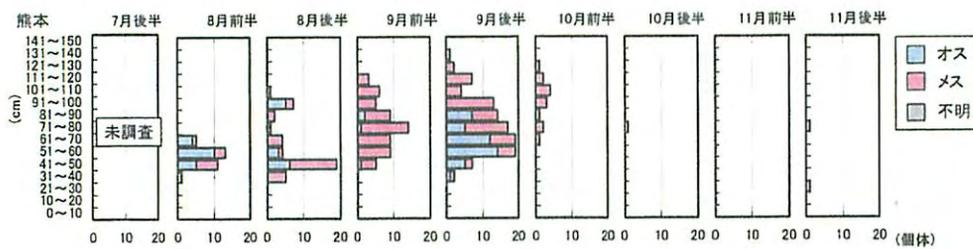
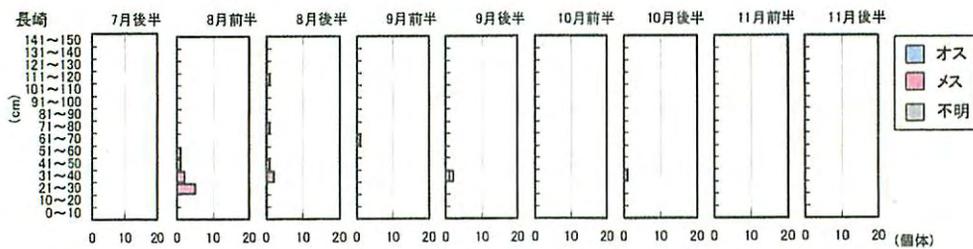
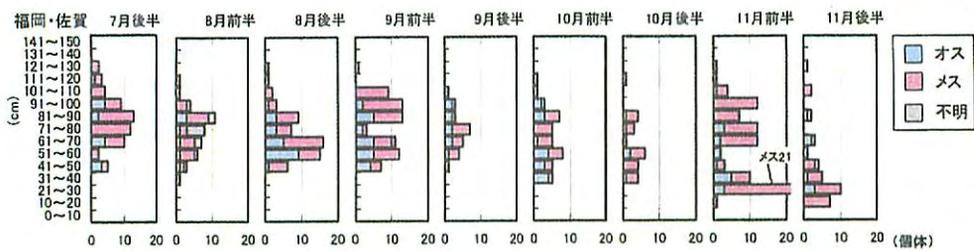
平成 19 年度について、8 月に採捕されたエイは体盤幅 40 ～ 100cm 程度となっており、40 ～ 60cm 程度の小型のエイが主体となっている。9 月には体盤幅 100cm を超える大型エイもみられ、10 月前半は大型エイが主体となっている。10 月後半から 11 月は採捕個体数が少なかった。

両年を比較すると、採捕個体数に年による違いがあるが、熊本県地先では 9 月から 10 月頃に大型エイが分布する傾向がある。



注) 体盤幅には、目視による推測値も含まれている。

図4-13 エイの体盤幅の経月変化 (平成18年度)



注) 体盤幅には、目視による推測値も含まれている。

図4-14 エイの体盤幅の経月変化 (平成19年度)

#### ④ナルトビエイの分布および行動特性

これまでの調査の結果から、有明海におけるナルトビエイの生活史、分布域、行動様式は以下のとおりであると推察される。

##### i) 生活史

ナルトビエイは、有明海を繁殖・産仔場、仔エイの成育場として利用している。繁殖時期は、8月頃とされ、河口域を中心に出産・交尾を行う。

これまでに得られた標本による最長年齢は、メスが19歳、オスが9歳であり、大型個体のサイズは、メスが体盤幅150cm・体重50kg、オスが体盤幅100cm・体重14.4kgである。1歳、2歳魚では、雌雄差は小さく、1歳魚の体盤幅は概ね30～40cm、2歳魚は概ね50cmである。

##### ii) 分布域

ナルトビエイによる食害被害は、平成12年にタイラギの減少要因として報告があり<sup>e)</sup>、本格的に駆除されるようになったのは平成13年からとされている<sup>f)</sup>。

有明海におけるナルトビエイの分布域は、その全域に及ぶが、特に福岡・佐賀の湾奥部が主な分布域となっている。これは、湾奥部に流れ込む塩田川、六角川、筑後川、矢部川などの河口域が繁殖場として適していること、湾奥部には餌となる二枚貝類が多いことなどが考えられる。

島原半島を囲む長崎県地先の海域は、小型・中型個体が主に分布しており、生息密度の低い場所である。

##### iii) 行動様式

ナルトビエイは、雌雄別、成熟・未成熟の個体別に群れを作る習性がある。水温15～17℃を境にして、4月頃に有明海に來遊し、11月頃に湾外へと移動する<sup>g)</sup>。有明海で12月から2月にナルトビエイが採捕されたことはないが、天草では採捕されたことがある<sup>g)</sup>。湾奥部では、水温が20℃を下回り始める10月頃から大型個体が少なくなり、このころは中型・小型個体を中心とした群れとなる。11月頃が湾奥から湾口、湾外へと移動する時期である。このように、エイの分布・行動と水温との関連性は高く、近年の海水温度の上昇がナルトビエイ増加の一因であると言われている。

6月頃の湾奥部を中心に分布するエイは、湾奥部全体を行動範囲としている。このことから、湾奥部を広く回遊して、二枚貝が高密度に分布している場所をみつけては、摂餌しているものと推察される。

e) 有明海のタイラギ資源に及ぼすナルトビエイの影響：川原ほか、佐賀有明水研報22、2004年

f) 有明海奥部が育むサメ・エイ類：山口敦子、海洋と生物168、2007年

g) Occurrence, growth and food of longheaded eagle ray, *Aetobatus flagellum*, in Ariake Sound, Kyushu, Japan：山口ほか、*Environmental Biology of Fishes* 74、2005年

## ⑤ナルトビエイの摂餌状況

### i) 胃内容物

平成17年8月から18年2月にかけて刺網(大浦、島原漁協)または底曳網(島原漁協)で漁獲したナルトビエイ173個体の計測(体盤幅)を行った後、52個体について胃内容物の調査を行った。月別の採捕個体数と胃内容物調査個体数を表4-3に示す。

胃内容物を調査した個体の体盤幅は雄で約37~97cm、雌で約36~130cmの範囲にあり体重は雄で0.8~13.1kg、雌で0.85~29.0kgの範囲であった。胃内容物調査に供した52個体中16個体は空胃であった。

空胃個体を除く36個体について胃内容物の分析を行った。胃内容物の同定結果は以下のとおりである(表4-4)。胃内容物からは、アサリ、シオフキ、タイラギ、サルボウの二枚貝が出現した。消化が進んでいたため種査定の不可能なものが多かったが、胃内容物は全て貝類であり、それ以外の生物は含まれていなかった。

体重あたりの胃内容物重量比は0.003~1.4%であった。胃内容物が多いものでは、合計415.0gの二枚貝が胃の中に含まれていた。このように、一度に大量の貝類を食べていることと、ナルトビエイが群れで行動する習性を持ち合わせている点を考慮すると、高密度で貝類が生育している場所はナルトビエイにとって格好の餌場であり、大量の二枚貝を捕食している可能性がある。



表4-3 胃内容物の取り出し状況

表4-3 月別採捕個体数(括弧内は、胃内容物調査対象個体数)

月	雄	雌
8月	15 (15)	12 (12)
9月	18 (2)	53 (12)
10月	31 (2)	37 (2)
11月	1 (1)	6 (6)
12月	0 (0)	0 (0)
1月	0 (0)	0 (0)
2月	0 (0)	0 (0)
合計	65 (20)	108 (32)

表4-4 胃内容物調査結果

種類	重量(%)	出現頻度(%)
アサリ	10.4	22.2
シオフキガイ	0.6	2.8
タイラギ	2.8	2.5
サルボウガイ	22.2	25.0
二枚貝類(種不明)	47.4	44.4
巻貝類	16.7	16.7

ii) 標識放流調査に基づく来遊量の推定

有明海に分布するナルトビエイの総個体数を推定するために、標識を装着したエイを放流し、その後の分布調査時等における再捕個体から来遊量を試算する。

標識の装着および標識エイの放流は、平成19年7月～9月にかけて行った。標識エイの放流地点は、図4-15に示すとおりであり、佐賀・福岡の湾奥部で計165個体、熊本地先の海域で計163個体の合計328個体を放流した。

標識エイ放流後の10月～11月における分布状況調査(県及び水産庁の駆除事業を含む)では、約7,000個体のナルトビエイを採捕したが、この中に標識エイは含まれていなかった。

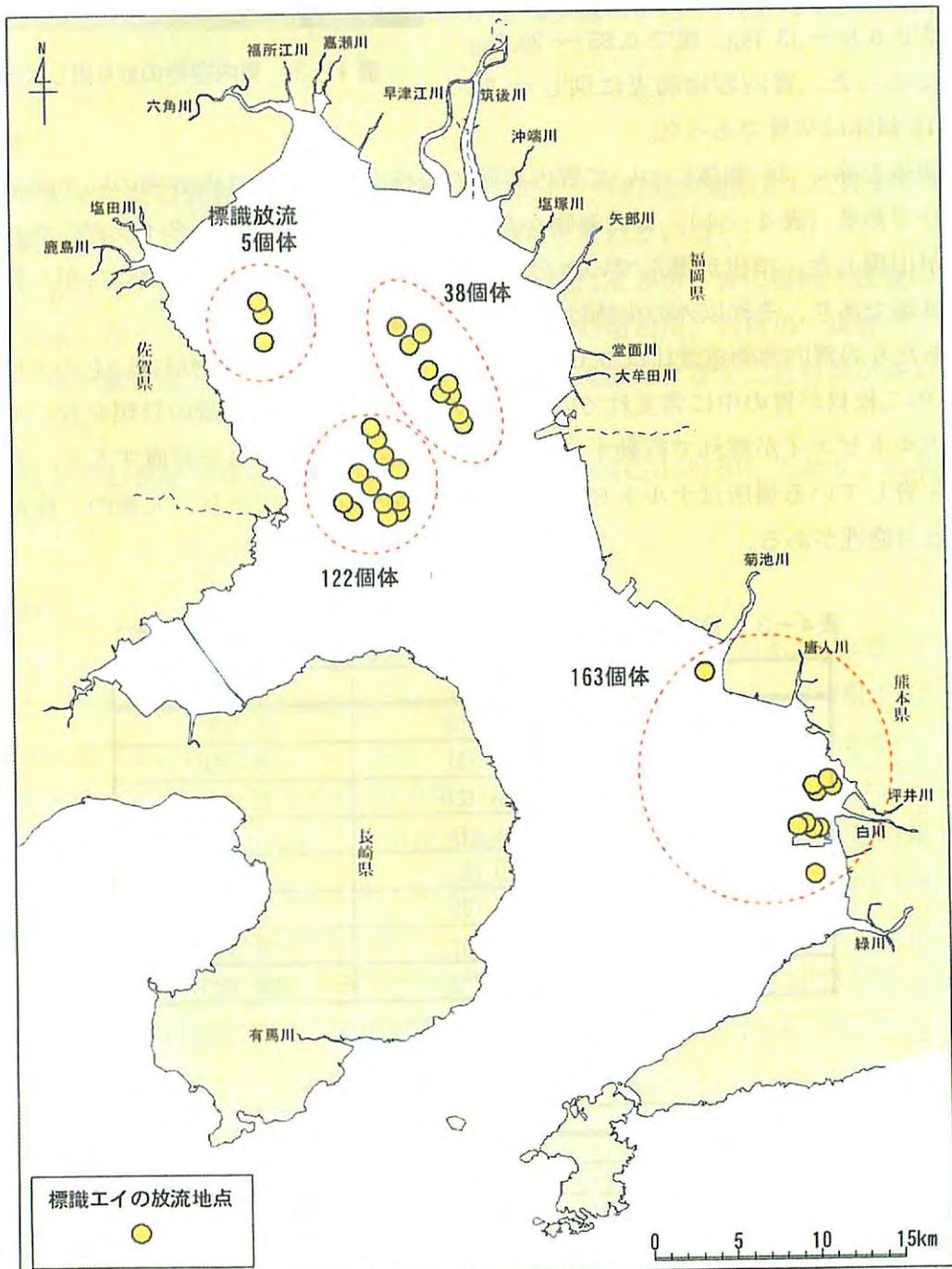


図4-15 標識エイの放流地点

### iii) ナルトビエイの摂餌生態

ナルトビエイの摂餌生態を把握するために、文献調査を実施した。表4-5に示す8つの文献等には、ナルトビエイの食性、胃内容物、摂餌量などの記述が含まれていた。また、ナルトビエイの飼育実績がある大分県農林水産研究センター水産試験場からの聞き取り調査を実施した。

文献調査の結果、ナルトビエイの餌生物は、「i) 胃内容物調査」の結果と同様に、二枚貝類が主体であり、アサリ、サルボウ、タイラギなどを捕食し、体の大きさに応じて餌の種類が異なることがわかった。

体重あたりの胃内容物重量比については、複数の報告があり、平均で0.7%、最大で1.3%との情報<sup>e)</sup>や、平均で1.0%、最大9.8%との情報<sup>g)</sup>が得られた。これらの情報と「i) 胃内容物調査」の結果(0.003~1.4%)を合わせて考えると、空胃ではないナルトビエイの胃内容物重量は、概ね体重の1%であると推察される。また、各個体の胃内容物が単純であることから、一度の摂餌で一つの種類を大量に摂取する食性であるとの報告<sup>e)</sup>もある。

摂餌量については、「体盤幅50cm、体重約2kgのナルトビエイを飼育したところ、夏場毎日1kg(身重量で0.3~0.4kg)のアサリを食べた」との報告<sup>h)</sup>、「体重約2kgのエイに毎日体重分のアサリ(殻付き:身重量で0.4~0.6kg)を与えたところ、全部を食べた」との聞き取り情報<sup>i)</sup>を得た。これら飼育下のエイは、毎日定量の餌を与えられ、飽食状態にあったと推定されるが、飼育下のエイは体重の約15~30%もの二枚貝を毎日摂食することがわかった。

#### [出典]

e) 有明海のタイラギ資源に及ぼすナルトビエイの影響: 川原ほか、佐賀有明水研報22、2004年(表4-4中の2)

g) Occurrence, growth and food of longheaded eagle ray, *Aetobatus flagellum*, in Ariake Sound, Kyushu, Japan: 山口ほか、*Environmental Biology of Fishes* 74、2005年(表4-4中の8)

h) 熊本県アサリ資源管理マニュアル: 熊本県、平成19年1月(表4-4中の5)

i) 大分県農林水産研究センター水産試験場への聞き取り情報: 平成18年度実施(表4-4中のその他)

表4-5 文献調査結果（その1）

番号	題目	著者・出典等	ナルトビエイに関する記述
1	有明海のエイ類について	山口敦子 月刊海洋 35 No. 4, 2003年	ナルトビエイは、貝類の食害で問題視される。一昔前までは被害は見られなかったといい、被害は有明海の全域に及び深刻な問題になっている。 アサリ、タイラギ、カキ、ウミタケ、サルボウなどの二枚貝が被害を受ける。 ナルトビエイは大型のエイで、最大個体は雄で体盤幅978mm、体重14kg、雌で体盤幅1500mm、体重50kgである。 春から秋にかけて有明海の湾奥部を中心とした沿岸域に出現し、夏には河口域を拠点に交尾、出産を行う。
2	有明海のタイラギ資源に及ぼすナルトビエイの影響	川原逸郎ほか 佐賀有明水研報 22, 2004年	ナルトビエイの摂餌痕は、直径約30cmのすり鉢状の窪みで、多数の砕かれた殻がある。 体重あたりの胃内容物重量比は平均で0.7%、最大で1.3%であった。 魚体の大きさによって餌生物は異なり、大型個体はタイラギを食べるが、小型のエイはサルボウやアサリを捕食している。 各個体の胃内容物が単純であることから、一度の摂餌で一つの種類を大量に摂取する食性である。
3	板鯰類の資源生物学的研究	山口敦子 水産学会誌 71 No. 4, 2005年	定期的な試験操業の結果、板鯰類（サメ・エイ類）が漁獲物に占める割合が多く、多いときには漁獲重量の80%を占めた（主にエイ類）。 ナルトビエイの成長は良く比較的長寿命で、交尾・産仔等の繁殖を有明海で行い、産仔数は少ない。
4	有明海奥部が育むサメ・エイ類	山口敦子 海洋と生物168 Vol. 29 No. 1 2007年	サメ・エイ類の胎仔は数カ月から1年、あるいはそれ以上の期間を母体や卵殻内で保護されたまま成長し、出生後にはすでにある程度の大きさに達し自ら餌を捕食することができる。 サメ・エイ類の幼魚時の死亡率は低いが、少産である上、成長と成熟に長い年月を要することから、乱獲は直接的にその個体数を大きく減少させる。 有明海奥部の河口域には、8月から9月にかけて体盤幅30～40cm前後のナルトビエイの幼魚が見られるようになる。 農林水産統計年報にあるエイ類の漁獲量は、有明海全ての県でおおむねアカエイのことを示しており、湾奥部にあたる佐賀と福岡県での漁獲が多くを占める。 ナルトビエイの出現が問題視される以前に貝類の漁獲量は激減しており、現在の二枚貝類漁業の危機的状況がナルトビエイの増加のみによって引き起こされたとは考えられない。 捕食者となるサメ類の減少が、エイ類の増加をもたらした可能性がある。
5	熊本県アサリ資源管理マニュアル	熊本県 平成19年1月	体盤幅50cm、体重約2kgのナルトビエイを飼育したところ、夏場毎日1kgのアサリを食べた。（※熊本県水産研究センター浅海干潟研究部の那須氏に問い合わせたところ身重量で0.3～0.4kg） 1日で数トンのアサリが被害にあったとの報告がある。

表4-5 文献調査結果（その2）

番号	題目	著者・出典等	ナルトビエイに関する記述
6	ナルトビエイvs. アサリ漁業	大分県農林水産研究センター水産試験場 AQUA NEWS No. 18 2004年1月	<ul style="list-style-type: none"> <li>ナルトビエイの「ナル」は最初の日本産標本の記述「長崎県五島奈留港を根拠地とする…」にある地名に由来、また「トビ」は水中を羽ばたくように泳ぐ様子が鳥の「とび」に似ていることによる。</li> <li>放流したアサリ稚貝が一晩のうちになくなる。</li> </ul>
7	ナルトビエイによる二枚貝の食害	大分県農林水産研究センター水産試験場 AQUA NEWS No. 22 2006年1月	<ul style="list-style-type: none"> <li>二枚貝が大好物で、あるエイからはアサリの水管が104本出てきた。</li> <li>アサリ以外の貝類も食べており、アサリより大型でより深いところに生息する貝が食べられている。あるエイからは47個分のバカガイの斧足、また、20個分のトリガイの斧足が確認されたエイもいた。</li> </ul>
8	Occurrence, growth and food of longheaded eagle ray, <i>Aetobatus flagellum</i> , in Ariake Sound, Kyushu, Japan	山口敦子ほか Environmental Biology of Fishes 74, 2005年	<ul style="list-style-type: none"> <li>ナルトビエイは水温が15～17℃を下回る12月～2月にかけて捕獲されたことはない。</li> <li>冬季に有明海や橘湾で捕られたことはないが、天草では捕られたことがある。</li> <li>未成熟の個体と、成熟した雄、成熟した雌が別々で捕獲される傾向にある。</li> <li>河口部は出産と生まれたエイの成育場である。</li> <li>207個体の消化管を調査したところ、145個体に食物が含まれていた。</li> <li>体重に対する胃内容物重量は、平均で1.0%、最大9.8%であった。</li> <li>主な餌は二枚貝であり、1個体の胃内容物に400～500個体分のアサリが含まれていたこともあった。</li> </ul>
その他	ナルトビエイの摂餌量	大分県農林水産研究センター水産試験場 (聞き取り)	<ul style="list-style-type: none"> <li>体重約2kgのエイに毎日体重分のアサリ（殻付き）を与えたところ、全部を食べた。（報告書等への記載はしていない）</li> </ul>

#### iv) ナルトビエイによる二枚貝類捕食量の推定

##### a) 個体あたりの摂餌量

1日の摂餌量について、飼育下のナルトビエイでは、体重の約15～30%の餌（二枚貝身重量）を食べるとの報告がある。一方、胃内容物調査の結果では約0.003～1.4%である。また、採捕した標本の胃内容物重量の体重に占める割合は、平均1%であり、最大10%弱との報告がある。

飼育下の飽食状態に置くと、ナルトビエイは相当量の二枚貝を捕食すると考えられるが、自然の海域では、餌の発見確率、群れで行動することによる1個体あたりの餌量の制限等が起因して、摂餌量は飼育下ほどは大きくないと推察される。また、自然の海域から得られたサンプルでは、空胃の個体もみられることから、摂餌後の消化は比較的すみやかに行われると推察される。

これらのことから、飼育下の摂餌量を加味しても、自然の海域における1日あたりの摂餌量は、体重の1～15%程度と見積もられ、多量の二枚貝が生息する餌場に遭遇した場合は、一度に相当量の二枚貝を捕食するものと推察される。

##### b) 二枚貝類の捕食量

平成17～19年度の分布調査結果から、採捕されたナルトビエイは概ね40,000～54,000個体、370～490トンである。

年平均で概ね400トンとし、有明海に來遊する4月から11月の期間（約240日）の二枚貝類捕食量を試算した。

<採捕個体数：40,000個体、400トンのナルトビエイによる捕食量>

1日あたりの摂餌量を体重の1%とした場合の期間中の総採餌量は、  
 $400 \text{ トン} \times 0.01 / \text{日} \times 240 \text{ 日} \times (5 \text{ 倍} \sim 10 \text{ 倍})^{\text{注)}} = \text{約} 5,000 \sim 10,000 \text{ トン}$

近年の有明海における二枚貝類の漁獲量（殻付き重量）は概ね10,000トンである。ナルトビエイの摂餌量は、採捕個体数による摂餌量でも約5,000（殻付き重量）トン以上と試算されたことから、有明海におけるナルトビエイの二枚貝類捕食量は、少なくとも漁獲量の約50%からほぼ等量、あるいは漁獲量の数倍から数十倍となる可能性がある。

注) 殻付き重量

ナルトビエイの捕食量は、二枚貝類の肉身重量として試算しているの、漁獲量（二枚貝類の殻付き重量）との比較のため、肉身重量の約5～10倍（福岡県調査結果による）を殻付き重量として示した。

#### (4) まとめ

平成 16 年度から 19 年度にかけて行った二枚貝類およびその食害種であるナルトビエイの調査結果から、以下のことが整理された。

##### <分布関係>

- ・ナルトビエイは、有明海のほぼ全域に分布し、その分布時期は、4月から11月頃までであり、水温が概ね17℃以下になると南下をはじめ、湾外へ移動するなど分布と水温との関連性が強い。
- ・繁殖・産仔する8月頃は、湾奥部の河口域を中心に分布している。湾奥部に分布する個体は、湾奥部の広い範囲を回遊し、餌場を見つけては二枚貝類を捕食していると考えられる。
- ・分布調査等の結果から、ナルトビエイは例年7月から9月にかけて湾奥部（福岡・佐賀県地先）では中型個体を中心に大型・小型個体が分布する傾向にあり、10月以降は小型個体が多くなる傾向がある。また、熊本県地先では9月から10月に大型個体が分布する傾向がみられた。

##### <摂餌量関係>

- ・ナルトビエイの餌は、二枚貝類が主体であり、胃内容物調査では、胃内容物の全てが二枚貝であり、採捕したエイの体重に占める胃内容物重量は0.003～0.14%であった。既往知見では、体重に占める胃内容物重量は平均1%、最大10%の報告があり、飼育下の1日あたり摂食量は体重の15～30%との報告がある。
- ・有明海に分布するナルトビエイが4月から11月（240日間）に、1日当たり体重の1%の二枚貝を摂餌したと仮定したときの二枚貝重量を試算すると、採捕個体数による摂餌量としても約5,000（殻付き重量）トン以上となった。これは、近年の有明海における二枚貝類漁獲量、約10,000（殻付き重量）トンの50%以上に相当する。

以上のように、ナルトビエイは、有明海において水温が比較的高い春から秋にかけて湾奥を中心に生息し、現存する二枚貝類の相当量を餌としていると推察されるなど、分布や行動、採餌の状況が明らかとなりつつある。

有明海の二枚貝類の保全に向け、ナルトビエイの食害影響を低減することが必要である。このため適切なナルトビエイの駆除量を求めるためには、更に来遊量推定値の精度向上を図ることが重要であることから、標識放流調査を継続する必要がある。

## 5. 水質調査

### 5-1 調整池排水拡散調査

#### (1) 調査の目的

調整池排水の拡散の状況を把握する。

#### (2) 調査の実施状況

##### ① 2005年7月5日調査

排水拡散調査は、2005年（平成17年）7月5日に約350万 $\text{m}^3$ の北部排水門排水に対して実施し、目視による外縁追跡調査（鉛直観測含む）と、多項目水質計による諫早湾全域での定点鉛直観測により、排水の拡散に伴う濃度分布と、排水の拡散範囲を把握した。

## ア. 外縁追跡調査の概要

外縁追跡調査は、図5-1-1に示したように、目視により排水（濁り）の外縁に沿って船を航行させ、GPSにて30秒間隔で船位を記録することによって、外縁の拡散過程を把握した。また、定点鉛直観測は、図5-1-3に示した9地点において、多項目水質計を用いた鉛直観測を概ね60分間隔で全7回（排水前、排水約10分後、約70分後、約120分後、約180分後、約240分後、約300分後）実施し、外縁の広がりに伴う塩分と濁度の濃度変化を把握した。

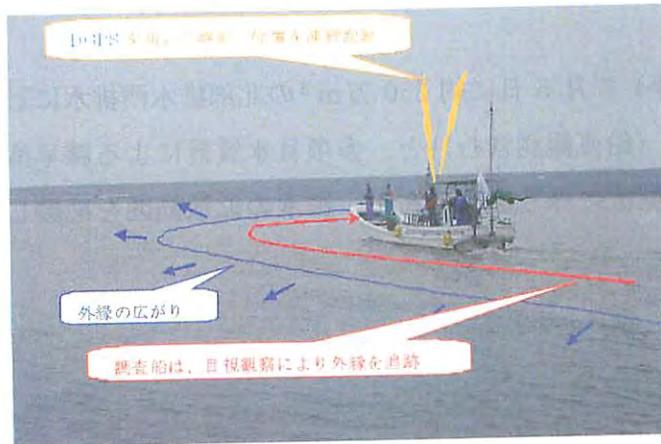


図5-1-1 外縁追跡調査の概念図

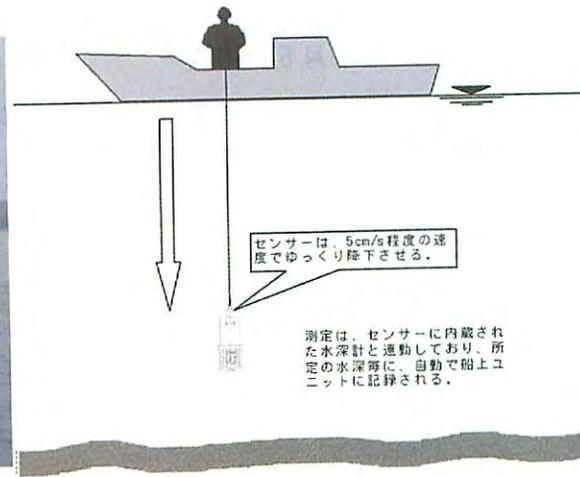


図5-1-2 鉛直観測の概念図

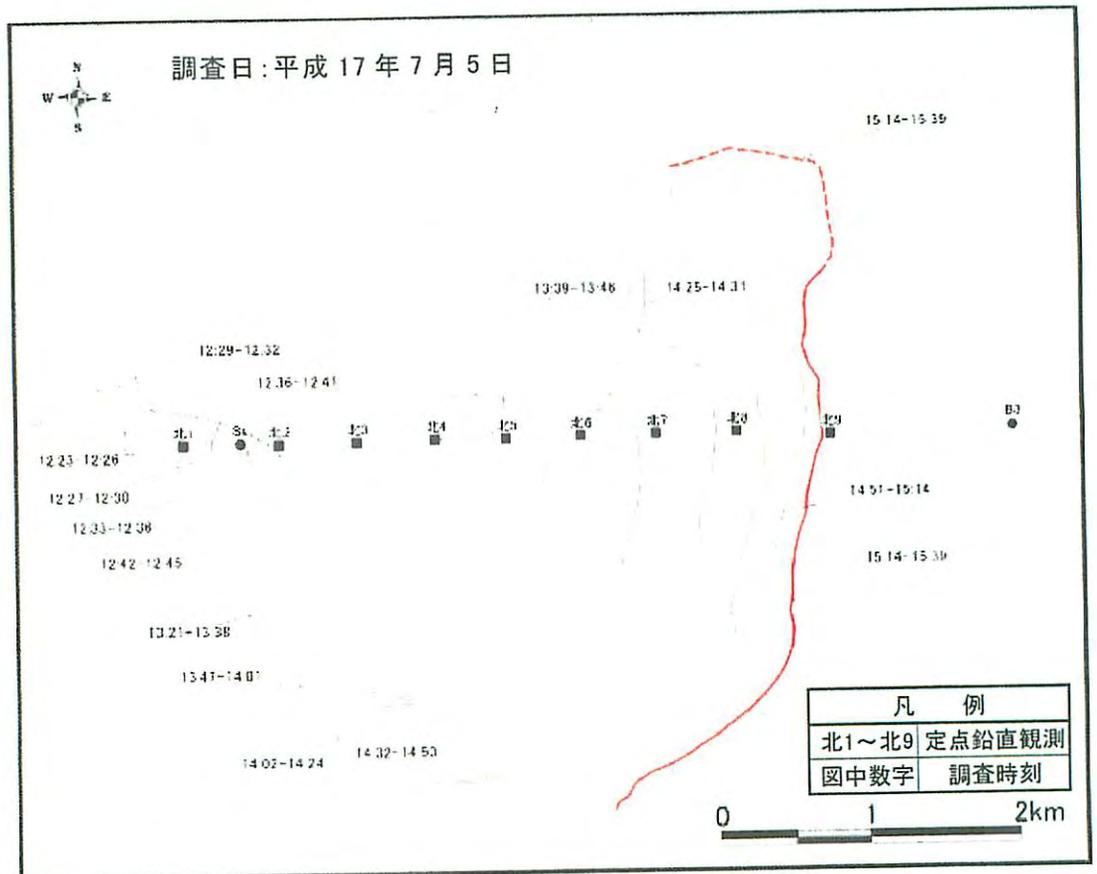


図5-1-3 外縁追跡調査結果と鉛直観測地点

## イ. 定点鉛直観測の概要

定点鉛直観測は、図5-1-4に示した20地点(St1～St20)において、●印の6地点では毎正時に、●印の地点では、3回の定時(排水前、干潮時、干潮2時間後)に、多項目水質計を用いた鉛直観測を実施し、図中の自動昇降装置の観測データ(毎正時)とともに排水の拡散範囲を整理した。なお、排水の拡散範囲把握を目的とした栄養塩類等(溶存態)の水質調査は実施していない。

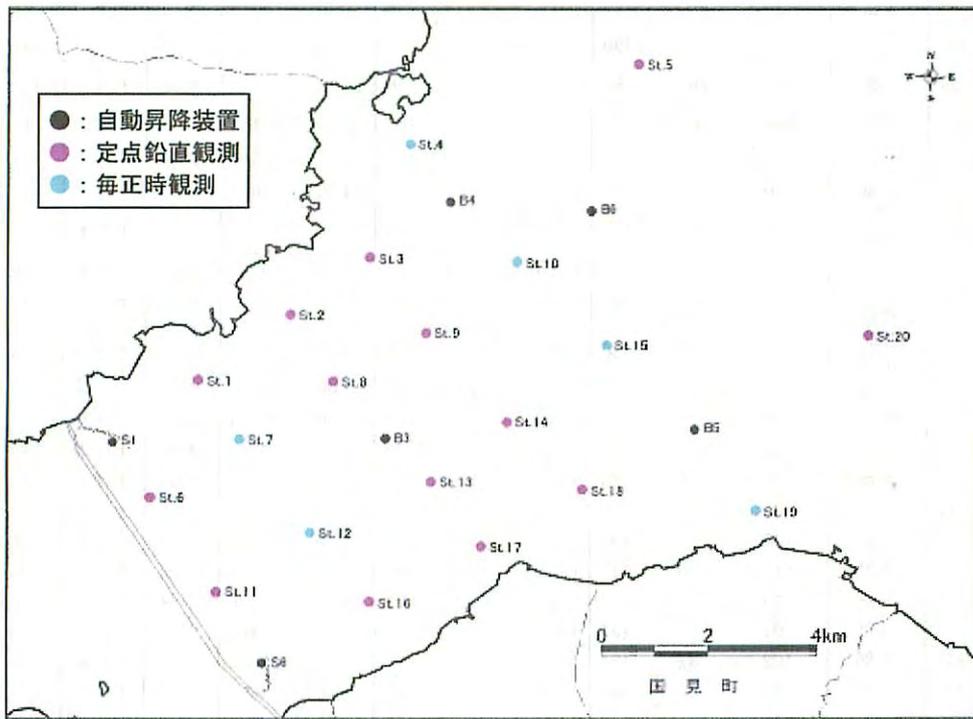


図5-1-4 定点鉛直観測地点

## ②排水外縁追跡調査

排水外縁追跡調査は、表5-1-1に示したように、1998年（平成10年）以降、ほぼ毎年実施されており、目視確認による排水（濁り）の外縁を調査船で追跡するのである。

表5-1-1 排水拡散調査の実施状況

回数	調査年月日	調査排水門	排水量(万m <sup>3</sup> )			排水時間		干潮 (B3正時)		調査日	排水時潮期	排水時潮時	風向・風速(B3)	
			北部	南部	合計	開始 ~ 終了	分	時刻	潮位				°	m/s
1	1998/10/31	北部	120	40	160	10:01 ~ 12:14	133	11:00	-142cm	中潮	下げ潮	93.8	2.2	
2	1999/6/25	北部	2170	620	2790	10:05 ~ 14:26	261	13:00	-132cm	中潮	下げ潮	101.3	1.8	
3	1999/12/21	北部	60	20	80	13:01 ~ 14:17	76	14:00	-190cm	大潮	下げ潮	338.5	5.7	
4	2000/7/12	北部	660	190	850	10:14 ~ 13:03	169	12:00	-141cm	小潮	下げ潮	213.2	7.9	
5	2000/11/24	北部	80	30	110	14:09 ~ 14:59	50	14:00	-169cm	大潮	上げ潮	81.0	1.9	
6	2001/3/22	北部	40	10	50	14:01 ~ 15:02	61	14:00	-146cm	中潮	上げ潮	216.5	11.0	
7	2001/7/16	北部、南部	330	120	450	9:21 ~ 10:45	84	11:00	-122cm	小潮	下げ潮	225.7	6.4	
8	2002/1/27	南部	0	70	70	13:05 ~ 15:22	137	14:00	-145cm	大潮	下げ潮	306.3	7.2	
9	2002/4/27	北部、南部	250	60	310	13:31 ~ 15:35	124	16:00	-276cm	大潮	下げ潮	99.0	2.3	
10	2002/5/9	北部、南部	260	70	330	12:02 ~ 14:32	150	14:00	-162cm	中潮	下げ潮	33.8	1.8	
11	2003/10/6	北部	220	0	220	10:57 ~ 12:37	100	12:00	-157cm	小潮	下げ潮	47.7	3.1	
12	2003/12/24	南部	0	70	70	15:15 ~ 16:32	77	16:00	-159cm	大潮	下げ潮	189.8	1.3	
13	2004/12/10	北部	30	100	130	13:51 ~ 14:34	43	14:00	-155cm	大潮	上げ潮	119.5	0.5	
14	2004/12/11	北部	30	0	30	14:45 ~ 15:25	40	15:00	-160cm	大潮	上げ潮	14.7	5.2	
15	2004/12/12	北部	30	0	30	15:38 ~ 16:23	45	15:00	-152cm	大潮	上げ潮	145.0	1.9	
16	2005/2/26	北部	146	0	146	14:47 ~ 16:37	110	17:00	-219cm	中潮	下げ潮	350.3	7.7	
17	2005/2/27	北部	115	0	115	15:16 ~ 16:46	90	17:00	-220cm	中潮	下げ潮	196.7	4.4	
18	2005/3/8	北部	123	0	123	12:52 ~ 14:21	89	14:00	-174cm	中潮	下げ潮	210.8	9.2	
19	2005/3/23	北部	101	181	281	14:19 ~ 15:34	75	14:00	-171cm	大潮	上げ潮	72.3	4.5	
20	2005/3/25	北部	102	82	184	13:14 ~ 14:58	104	15:00	-230cm	大潮	下げ潮	151.8	4.4	
21	2005/3/26	北部	97	82	180	13:43 ~ 15:44	121	16:00	-248cm	大潮	下げ潮	169.4	5.0	
22	2005/7/5	北部	350	0	350	12:16 ~ 14:26	130	14:00	-208cm	大潮	下げ潮	223.4	8.5	

注) 風向・風速は、調査時間中の平均値

※2004年12月10日から2005年7月5日の調査では、外縁追跡調査において塩分、濁度の経時変化を把握するために鉛直観測を実施している。

※排水の拡散範囲把握を目的とした栄養塩等の溶存態の水質調査は実施していない。

### (3) 調査結果

#### ①2005年7月5日調査

##### ア. 外縁追跡調査結果

排水(濁り)の外縁は、図5-1-5に示したように、排水門前の汚濁防止膜の影響で、当初は中央付近がくびれた形状で広がっていたが、後に扇状の広がりとなった。排水の濁りは、南東側に比べて北東方向が薄い状況にあった。

外縁追跡は、排水(濁り)の境界が不明瞭となった約200分後(15:40)に終了した。このとき、外縁の先端はB3方向へ約4.6km、小長井方向へ約5.0km、潮受堤防沿いに約3.9km広がっていた。

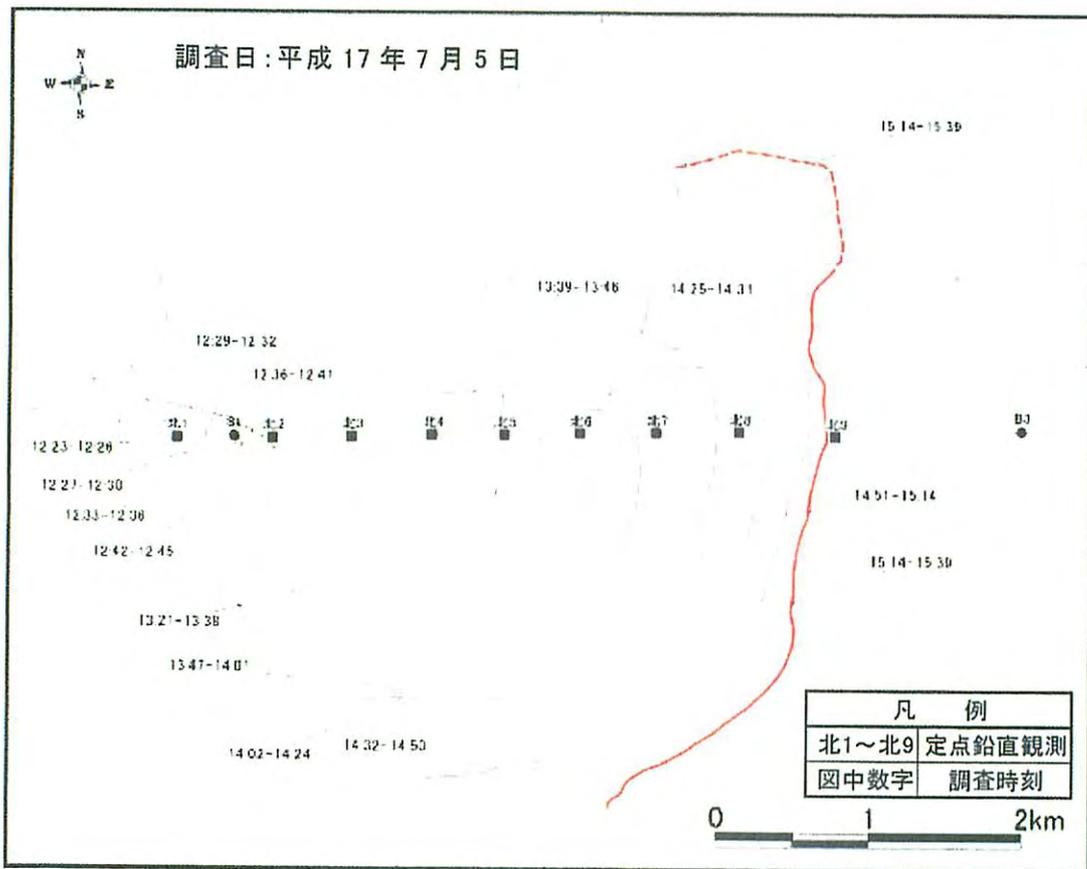


図5-1-5 外縁追跡調査結果と鉛直観測地点

## イ. 定点鉛直観測結果

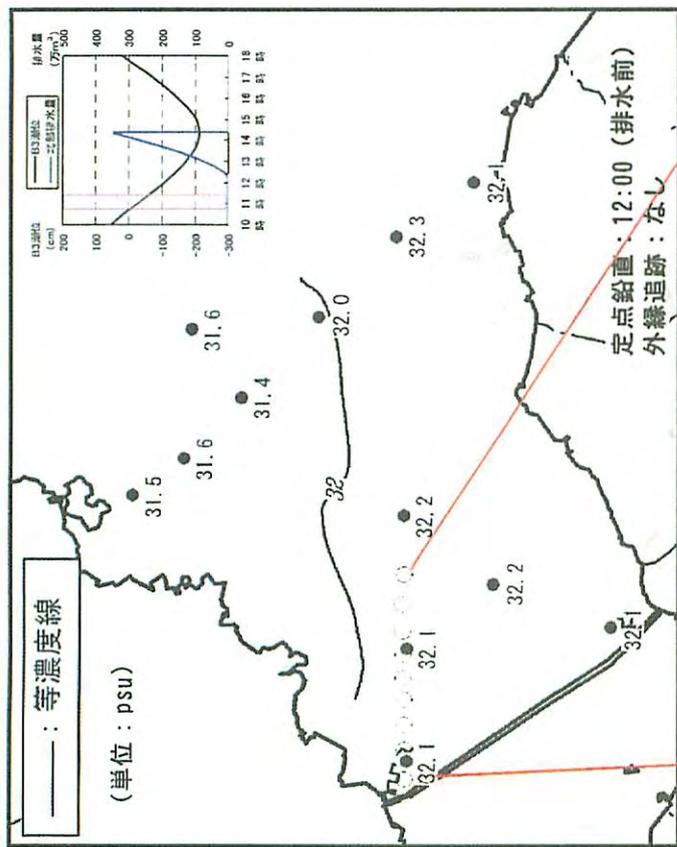
排水の拡散状況は、目視による外縁の軌跡に、概ね同じ時間帯で観測された表層の塩分の平面分布（等濃度線）を重ね合わせるとともに、北1～北9の鉛直観測による塩分の断面図を図5-1-6に示した。

排水による塩分の濃度変化は、排水開始前の観測値を基準に、これよりも塩分低下した場合に排水の到達に伴う濃度変化と判断した。7月5日の場合、排水前の鉛直観測では、塩分が32psu以上であったことから、この値を濃度変化の基準とした。

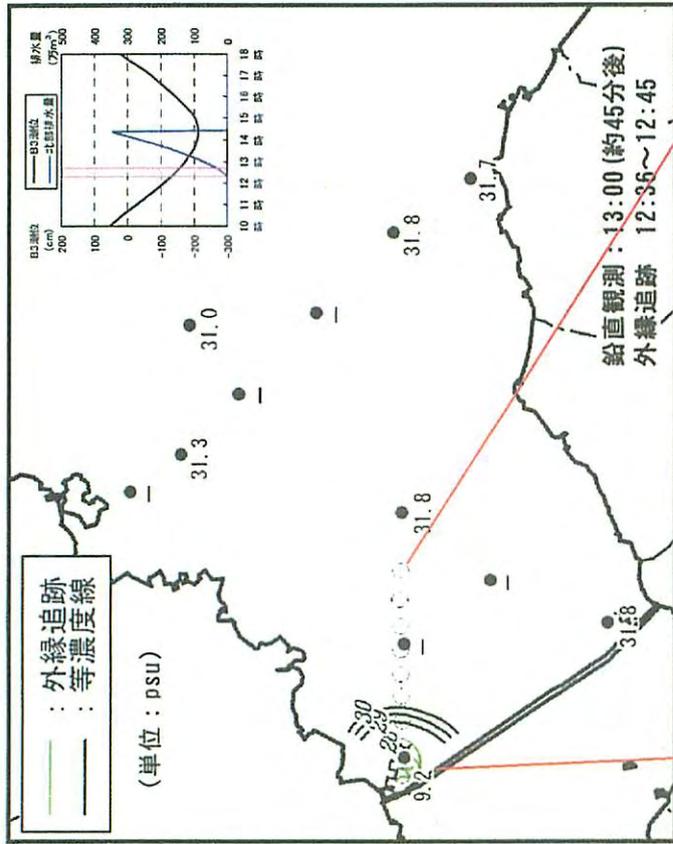
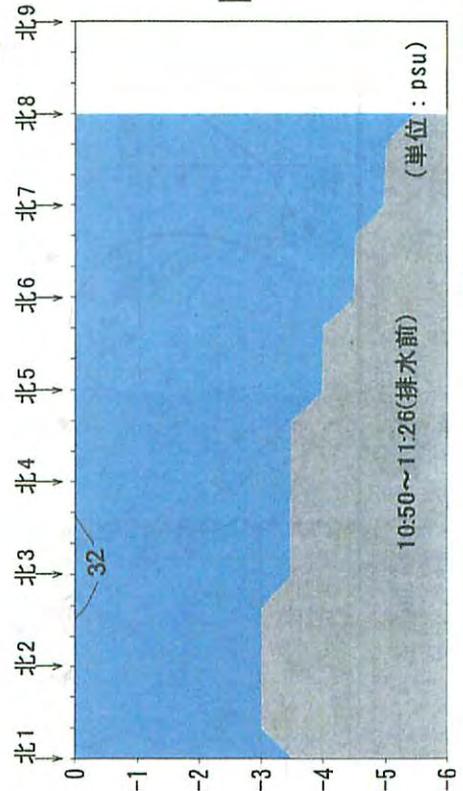
この調査結果によると、目視観測による外縁（境界線）の位置と、毎正時鉛直観測による塩分の分布は、その境界の位置が良く一致している。したがって、目視観測による外縁は、塩分の濃度で確認した場合の排水と海水の境界を概ね示しているといえる。

排水時の塩分分布の経時変化をみると、排水終了直前の排水165分後までは、排水門から約800mの北2付近までが、水深1mの底層まで全層で塩分低下を示した。北2より遠方では、表層1m前後で顕著な塩分低下を示し、中層から底層にかけてはあまり塩分低下がみられなかった。

また、塩分の低下範囲は、排水終了後に縮小する傾向を示した。



排水前



排水後約20分~45分

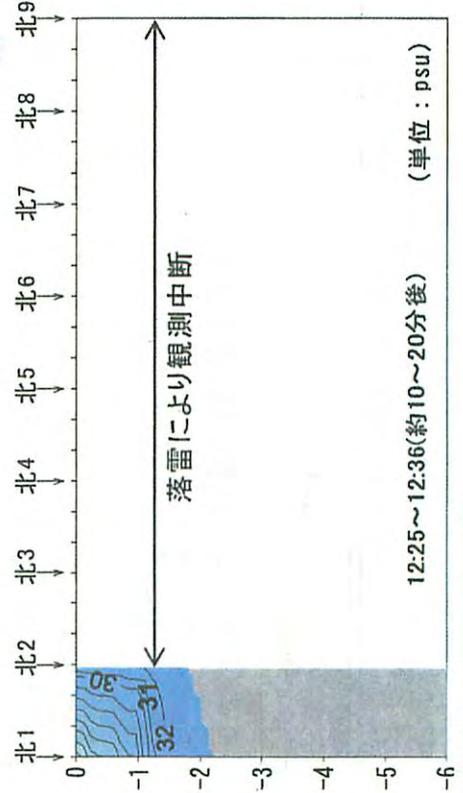
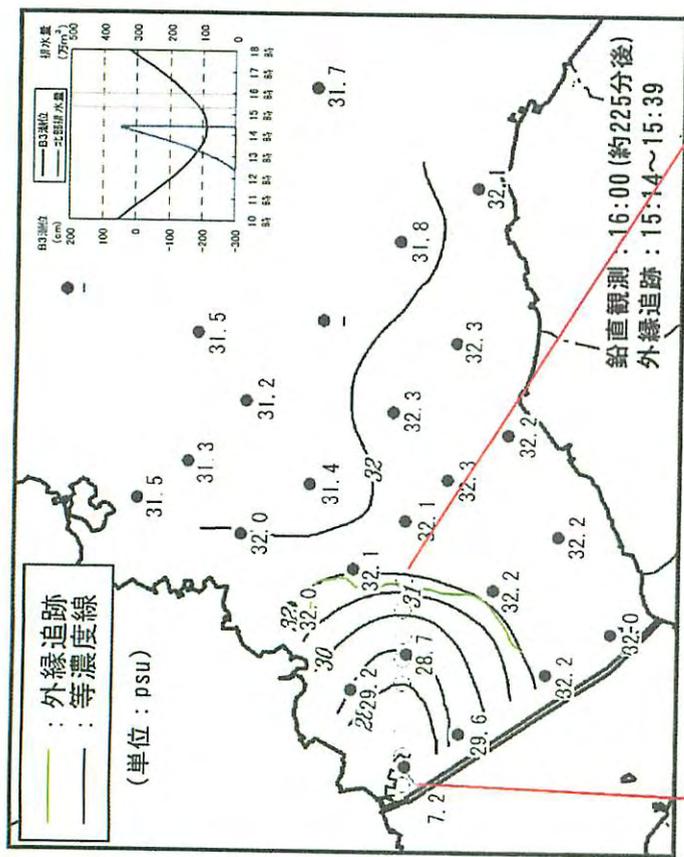
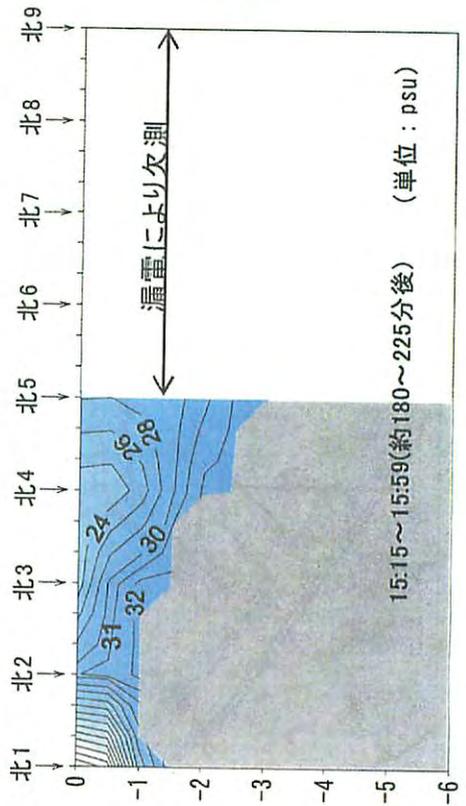


図5-1-6 (1) 目視観測による外縁分布と塩分分布の関係





排水後約225分



外縁追跡終了後

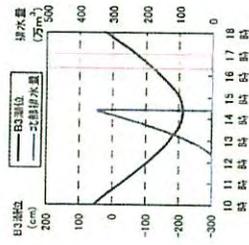
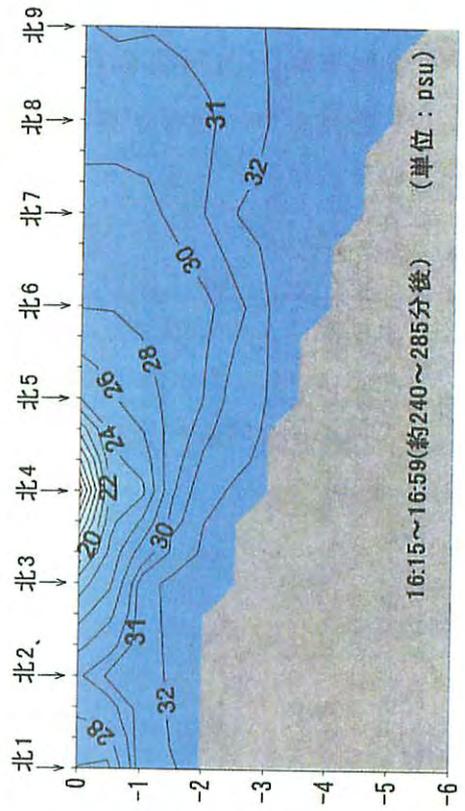


図5-1-6 (3) 目視観測による外縁分布と塩分布の関係

## ②排水外縁追跡結果

これまでの外縁追跡調査は、表5-1-1に示すとおり2005年7月5日までの間に22回実施している。これら調査の排水量と排水（濁り）外縁の到達範囲の関係を整理すると、図5-1-7および表5-1-2に示すとおりである。

これまでの調査結果によると、排水量が概ね300万 $m^3$ 未満の場合、排水（濁り）の外縁は約3～4kmの地点まで広がり、概ね300万 $m^3$ を超える大規模な排水の場合においても、排水（濁り）の外縁は約6kmの地点（B3付近）まで確認された。

排水は、通常干潮時前から干潮時までの間に行われるため、排水は、排水終了後の上げ潮によって湾奥方向へ押し戻される。2005年7月5日の鉛直観測の塩分から分かるように、排水終了時頃に外縁が最大到達位置まで広がると、その後は上げ潮によって湾奥側へ押し戻されながら混合されるものと考えられる。

表5-1-2 排水量と最大到達距離の整理

調査年月日	排水門	排水量 (万 $m^3$ )	最大到達 距離(km)	同左到達 時間(分)	拡散方向
1998/10/31	北部	120	3.1	150	東
1999/6/25	北部	2170	6.0	280	北東
1999/12/21	北部	60	3.2	120	南東
2000/7/12	北部	660	6.3	300	東北東
2000/11/24	北部	80	2.1	100	南東
2001/3/22	北部	40	1.9	70	東北東
2001/7/16	北部	330	5.8	240	東
2002/4/27	北部	250	3.9	220	東北東
2002/5/9	北部	260	3.6	220	南東
2003/10/6	北部	220	3.9	200	南東
2004/12/10	北部	30	2.1	140	東南東
2004/12/11	北部	30	2.4	120	南東
2004/12/12	北部	30	1.8	70	東
2005/2/26	北部	146	3.8	180	南東
2005/2/27	北部	115	3.5	160	東南東
2005/3/8	北部	123	3.0	250	東北東
2005/3/23	北部	101	2.4	170	北東
2005/3/25	北部	102	3.5	210	東南東
2005/3/26	北部	97	3.5	230	東北東
2005/7/5	北部	350	5.0	180	東北東

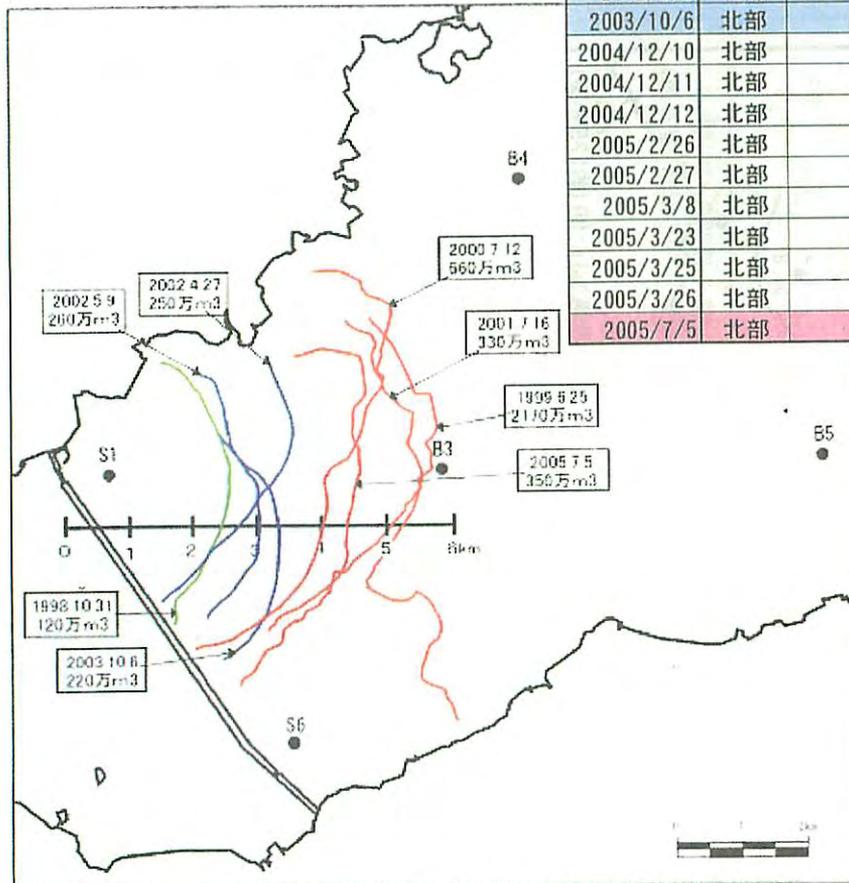


図5-1-7 排水量別外縁分布の比較

#### (4) その他の調査結果

##### ①自動昇降連続観測による観測結果

諫早湾では、図5-1-8に示した6地点において、自動昇降式観測装置（以後、自動昇降装置という）による毎正時の水質観測を、表層0.0mから海底上0.1mにかけて0.5m間隔で実施している。観測の概要は、表5-1-3に示すとおりであり、観測方法は図5-1-9に示すとおりである。

表5-1-3 自動昇降装置観測概要

観測地点	6地点 (S1, S6, B3, B4, B5, B6)
測定項目	水温, 塩分, DO, 濁度 (FTU), クロロフィル蛍光強度, pH
調査頻度	1時間毎 (毎正時)
使用機器	多項目水質計 (アレック電子社製) (型式: AAQ1183 センサーユニット)
観測層	海面 (0.0m) から海底 (海底上 0.1m) まで 0.5m間隔
設置観測方法	観測槽に取り付けた自動昇降装置により、センサーが鉛直方向に移動して自動的に測定。 測定データは、ポケット通信方式のデータ通信サービスを利用して、干拓事務所へ送信される。
保守点検	月1回、点検・清掃を実施。 年1回、工場整備と検定を実施。
備考	S1, B3, B4についてはH14年6月、S6, B5, B6についてはH15年10月より測定開始。



図5-1-8 自動昇降装置観測地点

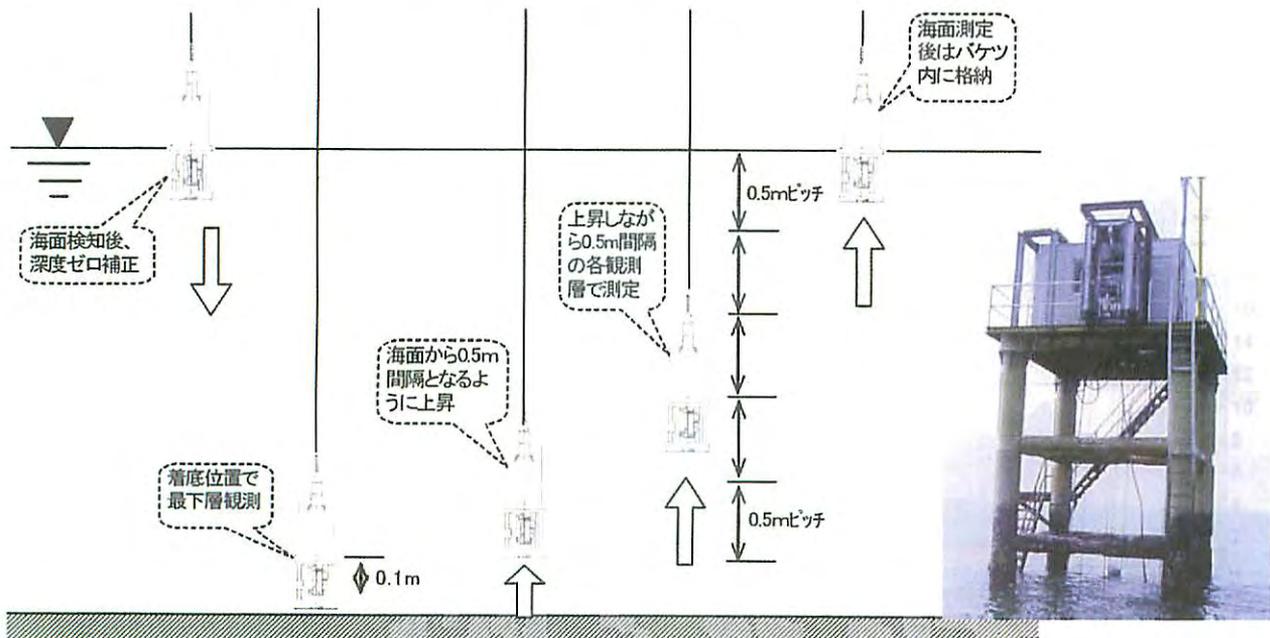


図5-1-9 自動昇降装置の観測概念図

南北排水門排水の拡散状況を把握するために、自動昇降装置の観測結果を用いて、排水前日から排水3日後にかけての塩分の経時変化を整理した。

排水拡散状況の整理にあたっては、排水到達によって表層の塩分が顕著に低下することから、各観測地点の塩分の鉛直分布を時系列的に表示したイソプレット図を作図することによって、排水の拡散範囲を把握した。

ただし、排水を行う状況というのは、通常降雨があつて、海域の表層塩分は、降雨により低下している場合が多い。その場合、沖合の地点ではごく表層の塩分低下が排水の到達によるものか、降雨やそれに伴う河川水等によるものなのか判断が難しくなる。したがって、排水日前後に降雨がなく、排水の影響のみを確認できる排水日を抽出して拡散範囲を把握した。

各地点の塩分と濁度の経時変化図を図5-1-10に示した。

各経時変化図をみると、排水による塩分の低下が排水門直前のS1地点では認められるが、湾中央のB3地点では、排水2日後においても塩分の低下はみられない。よって、排水門からの排水の大部分は、下げ潮と上げ潮によってほぼ湾中央(B3付近)までに海水と混合されるものと考えられる。

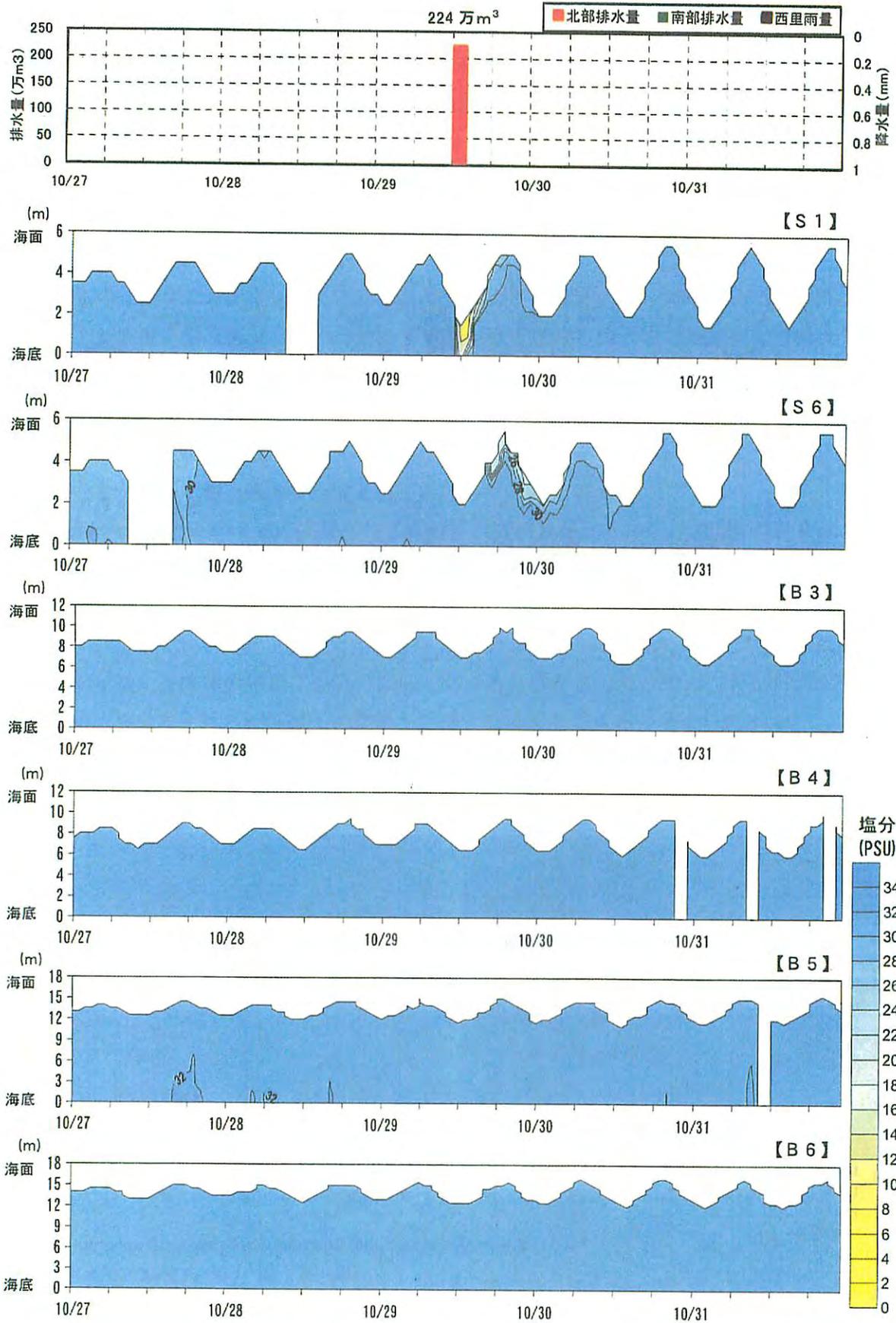


図5-1-10 (1) 自動昇降装置による塩分の経時変化 (2005年10月27日~31日)

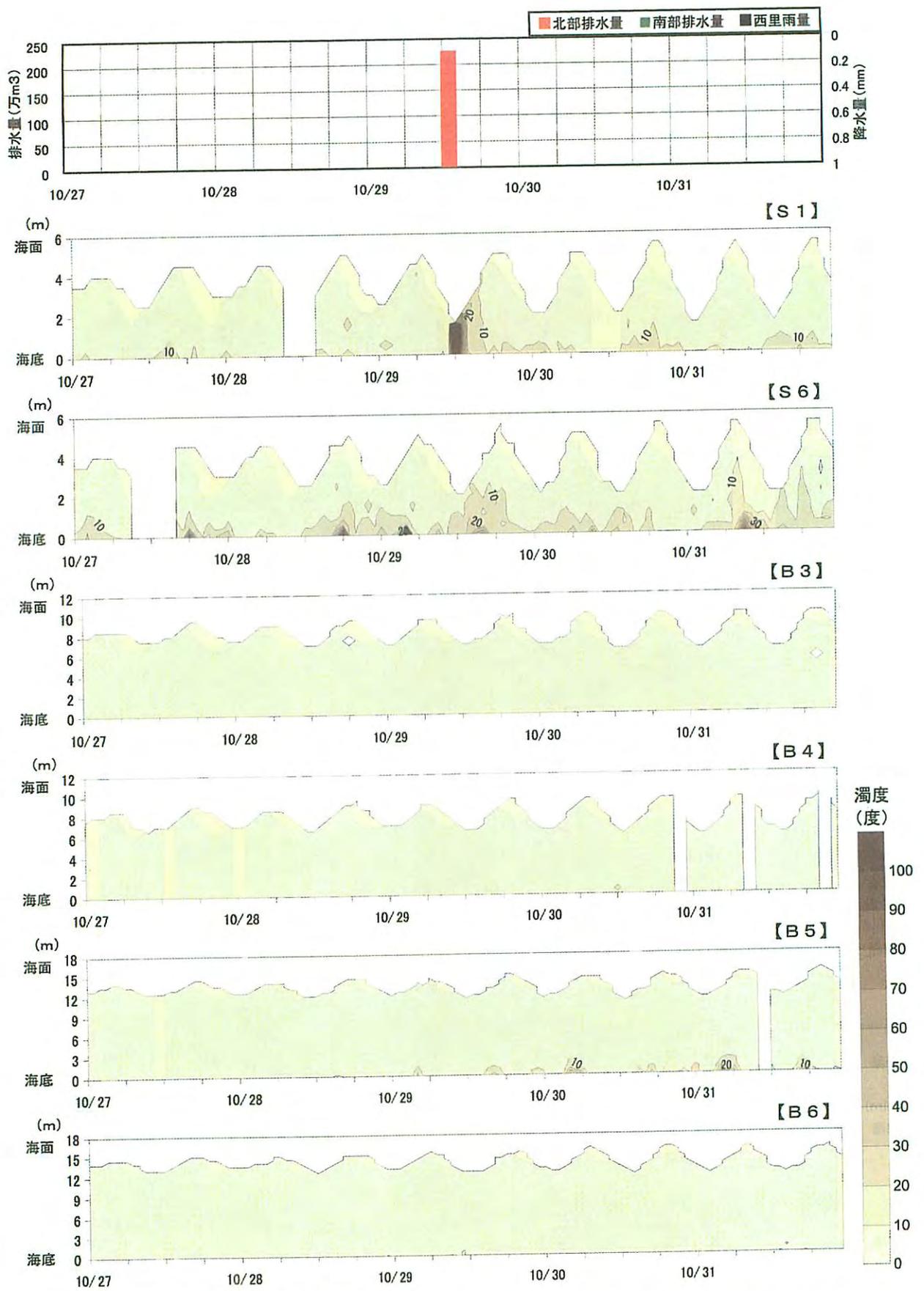


図5-1-10 (2) 自動昇降装置による濁度の経時変化 (2005年10月27日~31日)

## ②珪藻プランクトンの殻を用いた排水拡散調査結果

調整池からの排水による諫早湾および有明海への影響について、諫早湾および有明海（島原沖）において、調整池のみを発生起源とする植物プランクトンの底泥中の残存状況を調査することにより、その影響範囲、影響の程度を検討した。

環境モニタリング調査において、諫早調整池および諫早湾で観測された珪藻プランクトンのうち、調整池では、淡水性（正確には汽水性）珪藻プランクトンの *Skeletonema subsalsum* が、諫早湾では海水性珪藻プランクトンの *Skeletonema costatum* が優占種となっている。

これらの珪藻プランクトンは、細胞に珪酸質（ガラス質）の殻を有している。珪藻プランクトンの細胞は、枯死後、有機物分解を受け、無機化されるが、殻の珪酸質は有機物分解を受けずに底泥中や水相中に残存すると考えられる。また、ここで優占種となっている淡水性プランクトンと海水性プランクトンの2種については、前者が直径3-8  $\mu\text{m}$ <sup>1)</sup> 程度、後者が6-35  $\mu\text{m}$ <sup>2)</sup> 程度と細胞サイズが異なり、また、図5-1-11に示すように形状がやや異なることから、2種を区別することは可能である。

*Skeletonema subsalsum* は、文献<sup>1)</sup>によれば汽水域に分布しており、環境モニタリング調査結果によれば、湾内では潮受堤防近傍を除きほとんど分布がみられないことから、周辺海域には発生源が存在しないと考えられる。調整池の浮泥部の粒度分布をみると、10  $\mu\text{m}$ 前後の粒子が卓越しており、数  $\mu\text{m}$ の大きさを有する *Skeletonema subsalsum* と調整池に由来する粒子とが拡散・沈降等の挙動において類似していると推定される。このことから、本種は調整池の排水中に含まれる懸濁粒子の挙動を指標することができると考えられる。

そこで、底泥中に残存する淡水性珪藻プランクトンの殻（珪酸質）の分布状況により、調整池から排水される排水中に含まれる懸濁粒子の到達範囲を推定した。

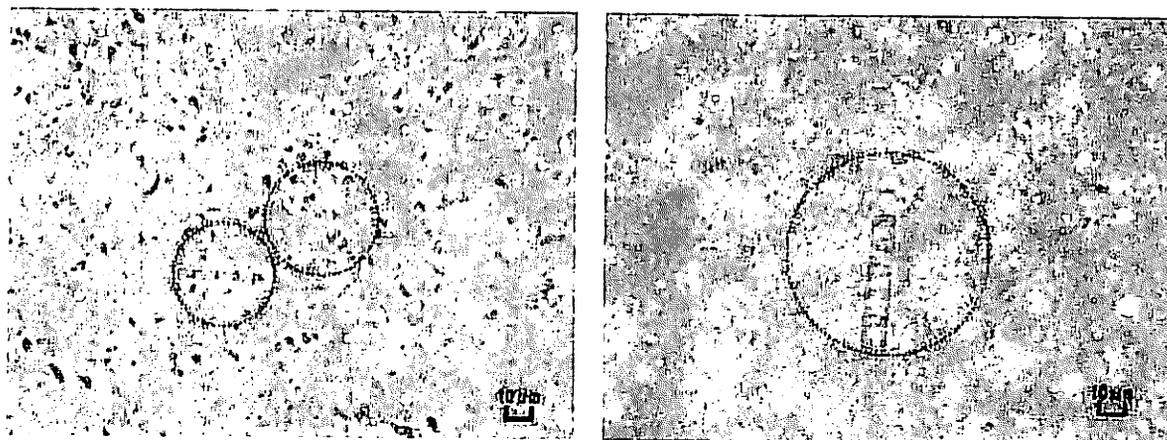


図5-1-11 *Skeletonema subsalsum* (写真左) と *Skeletonema costatum* (写真右)

1) Süßwasserflora von Mitteleuropa Bacillariophyceae 3

2) 日本海洋プランクトン図3-鑑 (第3版)

a. 試料の採取

平成16年11月5日、6日に、図5-1-12に示す諫早湾内のS1、S6、B3、B4、S10、B5、B6の7地点、並びに島原沖のP61、P62の2地点の計9地点において、1地点あたり3箇所、図5-1-13に示すように、潜水により柱状コア（アクリルパイプの長さ50cm、内径10cm）を採取した。海水中には一般に浮泥と呼ばれる綿毛状の懸濁物質が浮遊しており、柱状採泥により海底面より上部にあるこの懸濁物質もコア内に同時に僅かに採取されることから、試料を分析室へ持ち帰った後、海底面直上の浮泥部と海底面以深の堆積層に分け、堆積層はさらに海底面から10cm深さままでを2cm毎にスライスし、層毎に3箇所分を混合して分析試料とした。

また、調整池のB1、S11、B2の3地点では、平成16年11月22日に浮泥のみを採取し、分析試料とした。

分析項目は、顕微鏡観察による底泥中の淡水性プランクトンおよび海水性プランクトンの現存量（殻数）とした。

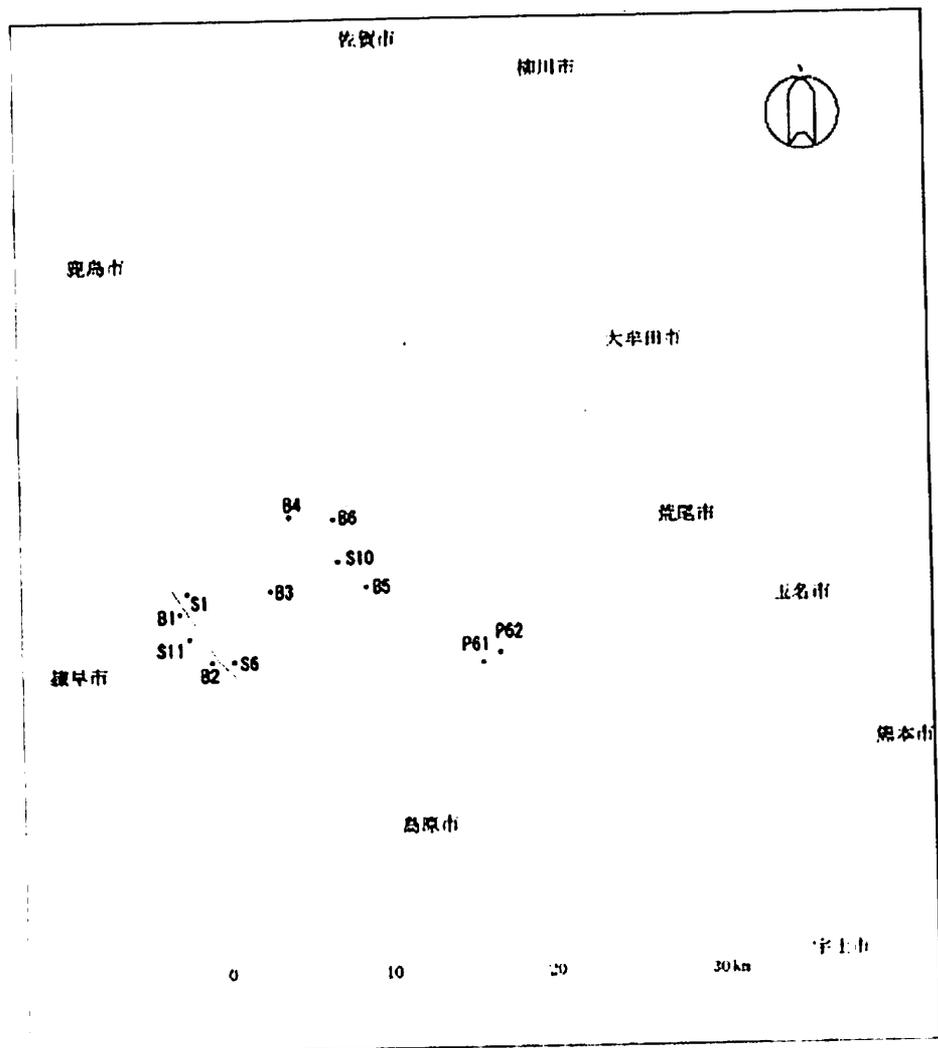


図5-1-12 調査地点

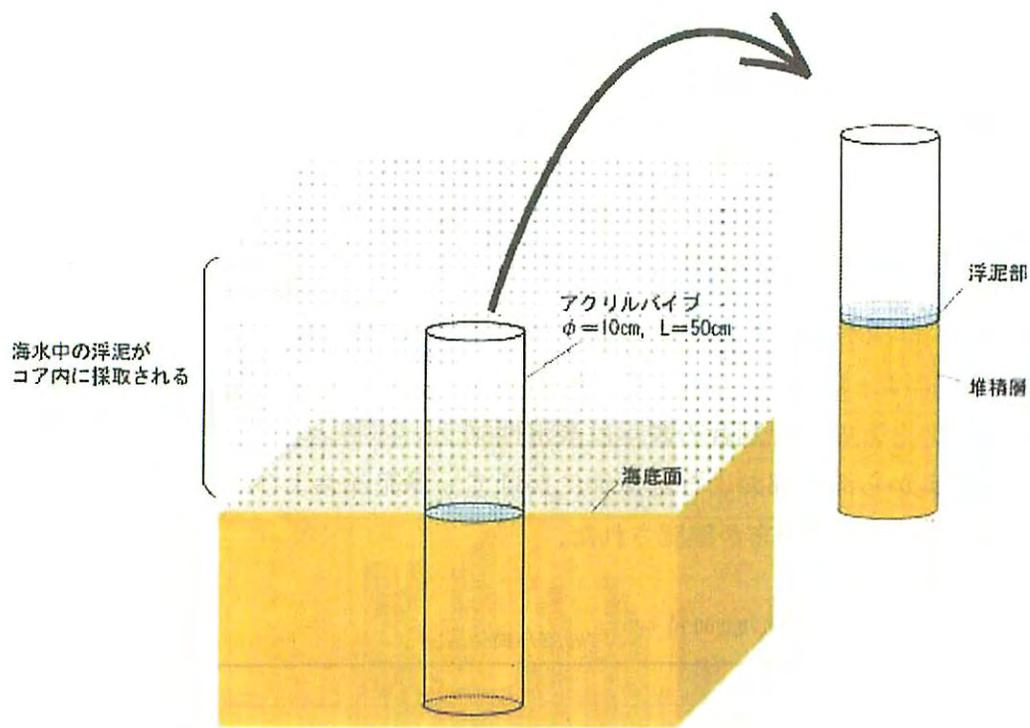


図 5 - 1 - 13 試料の採取

b. 分析方法

底泥試料 10 g を分取し、 $150 \mu\text{m}$  の篩にかけ、通過したものを水で 10,000 倍に希釈した後、光学顕微鏡 (Nikon OPTIPHOT-2、検鏡倍率: 接眼  $\times 15$ 、対物  $\times 20$ ) で観察した。なお、観察は各層あたり 5 回行い、最大値と最小値を除いた 3 回の平均値を分析結果とした。

c. 調査結果

図5-1-14に、底泥中に残存する *Skeletonema subsalsum* の細胞数（殻数）の層別分布を示す。なお、プランクトンの出現割合は、最大値を示したS6浮泥部における値に対する比率（%）で示した。これによると、潮受堤防近傍のS1、S6地点では浮泥部および0～10cmの堆積層において本種の存在が認められたものの、湾奥のB3地点、湾口のB4、S10、B5、B6地点および島原沖のP61地点、P62地点では、浮泥部および0～10cmの堆積層では淡水性プランクトンの存在はかなり少ない状況である。

図5-1-15には、底泥中に残存する *Skeletonema costatum* の細胞数（殻数）の層別分布を示す。プランクトンの出現割合の表示は淡水性プランクトンの場合と同様である。これによると、諫早湾奥から湾口部および島原沖にかけて、浮泥部および0～10cmの堆積層における本種の広い範囲での分布が確認された。

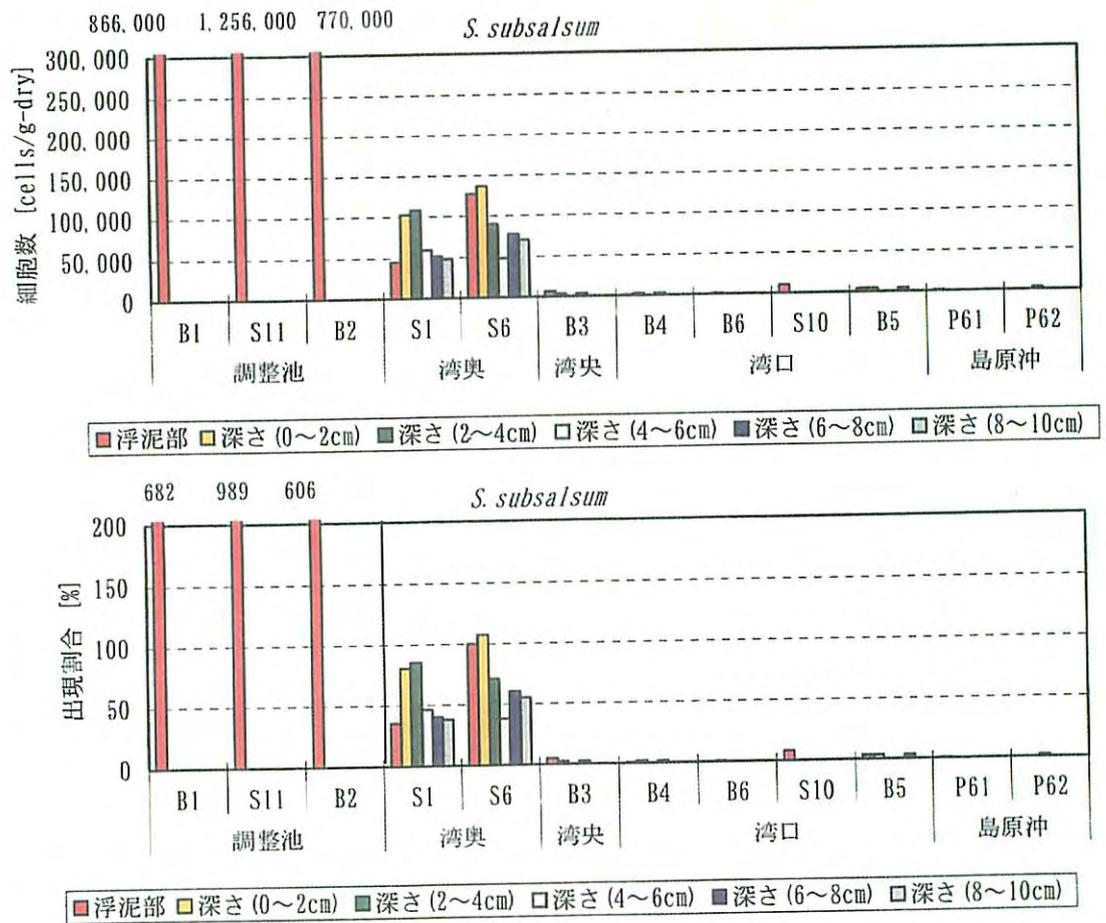
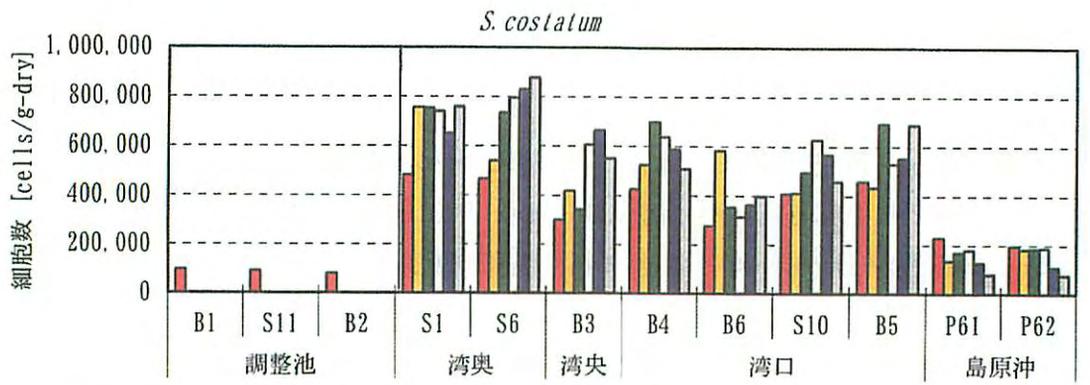
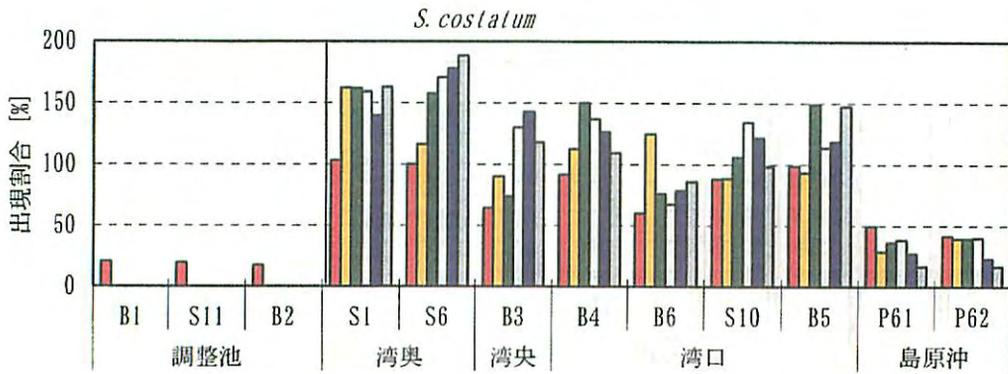


図5-1-14 底泥中の *Skeletonema subsalsum* の分布状況



■ 浮泥部 ■ 深さ (0~2cm) ■ 深さ (2~4cm) □ 深さ (4~6cm) ■ 深さ (6~8cm) □ 深さ (8~10cm)



■ 浮泥部 ■ 深さ (0~2cm) ■ 深さ (2~4cm) □ 深さ (4~6cm) ■ 深さ (6~8cm) □ 深さ (8~10cm)

図5-1-15 底泥中の *Skeletonema costatum* の分布状況

図5-1-16に、底泥中の珪藻プランクトン (*Skeletonema costatum*+*Skeletonema subsalsum*) に対する調整池由来の珪藻プランクトン (*Skeletonema subsalsum*) の細胞数(殻数)の比を示す。これによると、諫早湾内の浮泥及び底質(深さ0~10cm)において確認された珪藻プランクトンのうち、調整池由来の珪藻プランクトンの含有率は、潮受堤防近傍のS1、S6地点において1~2割程度と高いが、湾央B3地点以東の地点では非常に小さい。

したがって、調整池からの排水中に含まれる懸濁粒子のうち、10 $\mu$ m程度の粒径を有する粒子は、諫早湾においては潮受堤防近傍海域に沈降・堆積するが、湾央以東海域への拡散・沈降量は少なく、湾口、湾外海域へはほとんど輸送されていないものと考えられる。

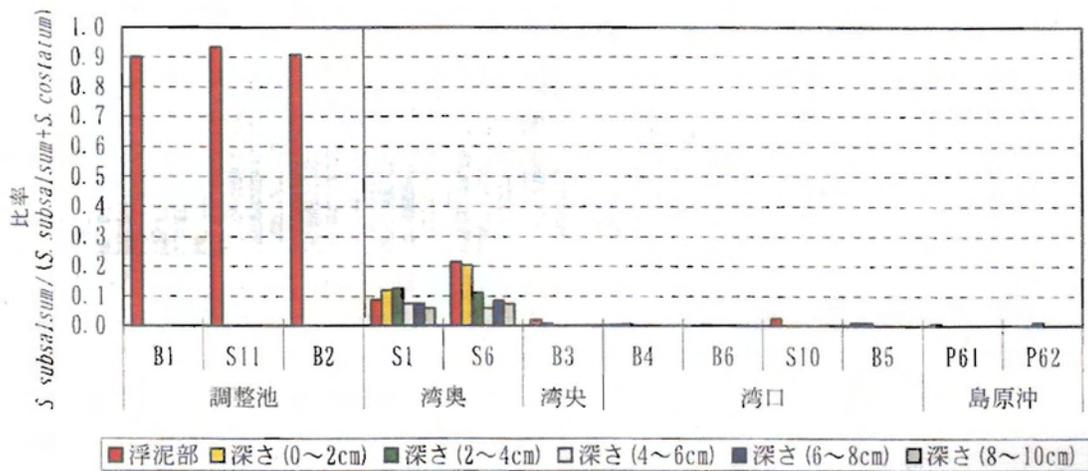


図5-1-16 底泥中における *Skeletonema subsalsum* の構成比

(5) まとめ

○これまで(1998年4月から2005年12月)の排水実績を排水量別に整理すると、表5-1-5と図5-1-17に示すとおりである。排水回数の最も多いのは、北部排水門が100~200万m<sup>3</sup>、南部排水門が20~40万m<sup>3</sup>、南北合計では100~200万m<sup>3</sup>の排水量の排水回数が最も多かった。

また、図5-1-18には、排水実績に基づき、排水量の非超過確率分布を作成した。

この結果によると、平均的な排水量と考えられる50%非超過確率値は、北部排水門が68万m<sup>3</sup>、南部排水門が47万m<sup>3</sup>となった。また、100回に1回の確率で発生する排水量としての99%値は、北部排水門が1560万m<sup>3</sup>、南部排水門が618万m<sup>3</sup>となっていた。

表5-1-5 排水量別排水回数一覧表

(1998/4/1~2005/12/31)

排水階級 (万m <sup>3</sup> )	排水量別出現頻度(回)		
	北 部	南 部	南北合計
0 ~ 10	157	204	98
10 ~ 20	85	163	68
20 ~ 40	141	261	156
40 ~ 60	126	202	191
60 ~ 80	102	136	158
80 ~ 100	89	108	164
100 ~ 200	167	181	343
200 ~ 400	143	92	212
400 ~ 600	29	25	63
600 ~ 800	22	5	23
800 ~ 1000	9	0	20
1000 ~ 2000	21	0	24
2000 ~ 3000	5	0	11
3000 ~ 4000	0	0	2
4000 ~ 5000	0	0	0
合 計	1096	1377	1533

注) 北部及び南部は、それぞれの排水門からの1回あたりの排水量(南北同時排水時を含む)を示す。  
南北合計は、南北を合わせた1回あたりの排水量(各排水門単独排水及び南北同時排水)を示す。

○2005年7月5日の外縁追跡結果と鉛直観測結果から、目視による濁りの外縁と、塩分や濁度で確認した排水と海水の境界はよく一致していることが分かった。したがって、目視による外縁は、排水と海水の境界を概ね示していると考えられる。

これまでの外縁追跡結果では、排水量が概ね300万m<sup>3</sup>未満の場合は、排水(濁り)の外縁が約3~4kmの地点まで広がり、排水量が概ね300万m<sup>3</sup>を超える大規模な排水の場合においても、約6kmの地点(B3付近)まで確認された。

また、自動昇降装置による約200万m<sup>3</sup>排水時の観測においては、排水後2日を経ても湾央(B3付近)での塩分低下はみられていない。これは、2005年7月5日の鉛直観測による塩分分布から分かるように、広がった排水が上げ潮によって湾奥側へ押し戻されながら混合されたことによるものと考えられる。

このように、これまでの排水実績ではほとんどの排水が300万m<sup>3</sup>以下(非超過確率86%)であることから、調整池排水の大部分は、下げ潮と上げ潮によってほぼ湾央(B3付近)までに海水と混合されるものと考えられる。

○さらに、平成16年度に実施した調整池特有の珪藻プランクトンの殻を用いた排水拡散調査結果によると、排水中の珪藻殻は湾奥部で大部分が沈降・堆積しており、調整池からの排水中の懸濁物の多くは、湾口部へはほとんど到達していないとの結果が得られた。

以上のとおり、調整池排水の大部分は、湾央よりも湾奥部にとどまり、湾口部へはほとんど到達していないことが明らかとなった。

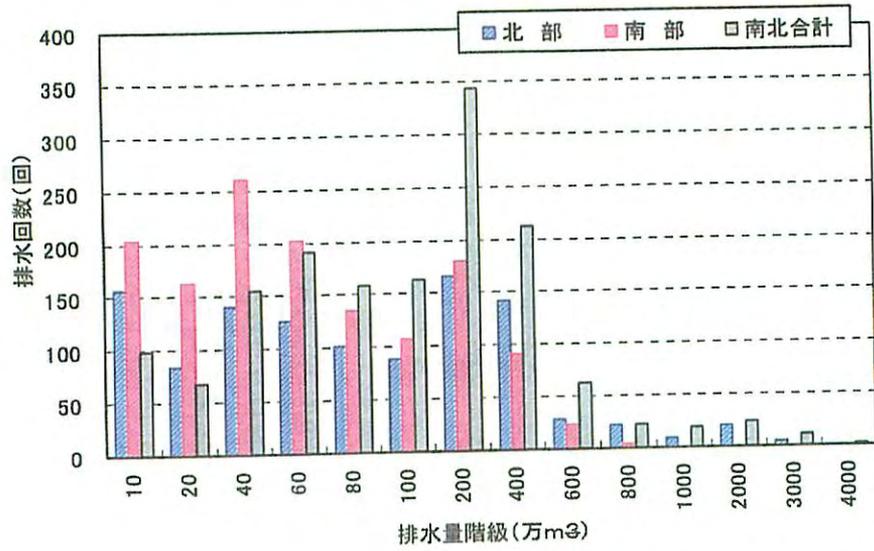


図5-1-17 排水量階級別排水回数

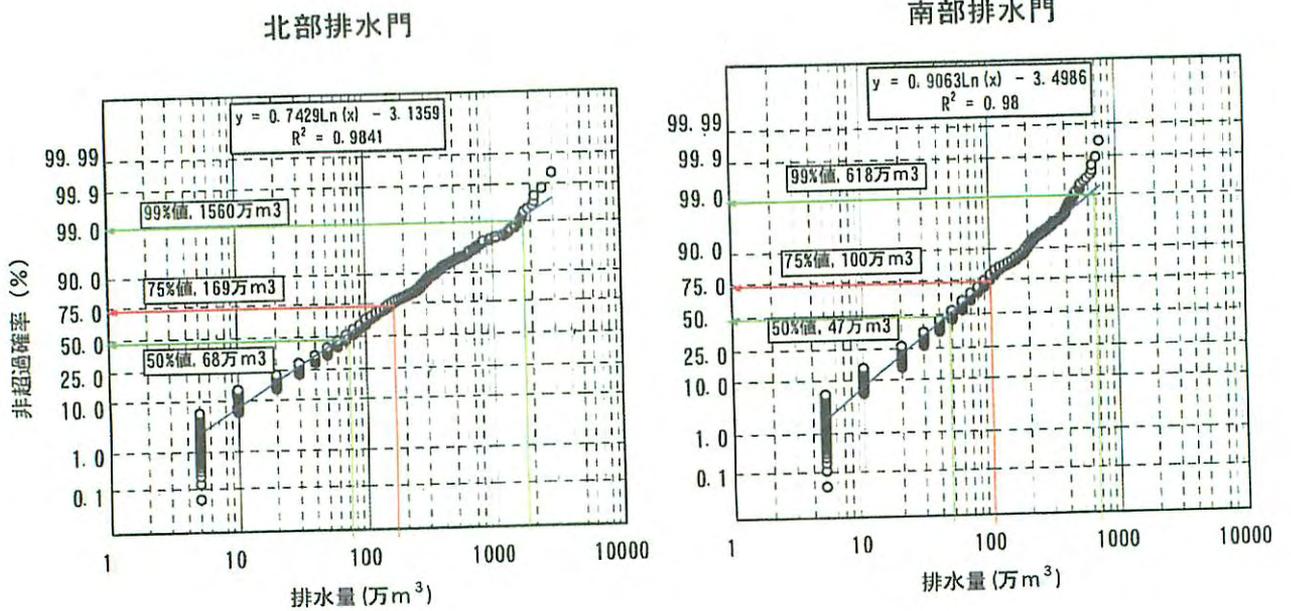


図5-1-18 排水量の非超過確立分布

## 5-2 干潟水質浄化機能調査

### (1) 調査の目的

干潟水質浄化機能調査は、佐賀県塩田川・鹿島川河口域を対象に2005年1～12月の年間を通じた現地調査を実施し、これらの結果を用いて、過年度に構築した泥質干潟生態系モデルの汎用性を高め、モデルの精緻化を行い、2002年4月～2003年3月の1年間（以下、「平成14年度」という）および2005年1～12月の1年間（以下、「平成17年」という）の異なる2か年の有明海における泥質干潟の水質浄化機能について把握する。

### (2) 調査の実施状況

本調査は、現地調査と干潟水質浄化機能解析からなり、2004（平成16）年度から2005（平成17）年度にかけて佐賀県塩田川・鹿島川河口の干潟・浅海域において表5-2-1に示す現地調査を実施し、これらの結果を基に、2005（平成17）年度から2006（平成18）年度にかけてパラメータの整理および類似干潟と諫早干潟の浄化機能の整理を行った。調査地点は、図5-2-1に示すとおりである。

表5-2-1 調査の実施状況

	項目	調査位置	平成16年度	平成17年度	平成18年度	内容
現地調査	測線調査(4季)	図5-2-1(1)	2月	5月,8月,11月		SI-1,SI-2,T-3の3調査測線での水質、底質、底生生物調査
	面的調査(冬・夏季)	図5-2-1(1)	2月	8月,		30調査点での水質、底質、底生生物調査
	鳥類生息数調査(4季)	図5-2-1(2)	2月	5月,8月,9月		鳥類の個体数調査と採餌量の算定
	塩田川流量・流入負荷量調査(4回)	図5-2-1(3)	2/20	7/7,8/25,9/8		塩田川(塩田橋上井堰)における流量・水質調査
	水質日周変動調査	図5-2-1(4)		8/4 12:00～ 8/5 12:00		水質(塩分,DO,栄養塩類等)、プランクトン、流速の24時間調査
	ノリ期の施肥量等調査	—		○		関連漁協等へのヒアリング等
	漁獲量調査	—		○		関連漁協等へのヒアリングおよび統計資料による検討
	現地補完調査	—			○	底質間隙水中の無機三態窒素分析
干潟水質浄化機能解析	パラメータ整理			○		浄化機能解析に必要なパラメータの整理
	類似干潟および諫早干潟の浄化機能の整理				○	類似干潟の浄化機能の推定 平成17年の計算 平成14年度の再計算 平成17年、14年度の浄化機能の評価 諫早干潟の浄化機能の推定 昭和63年度の再計算と浄化機能の推定

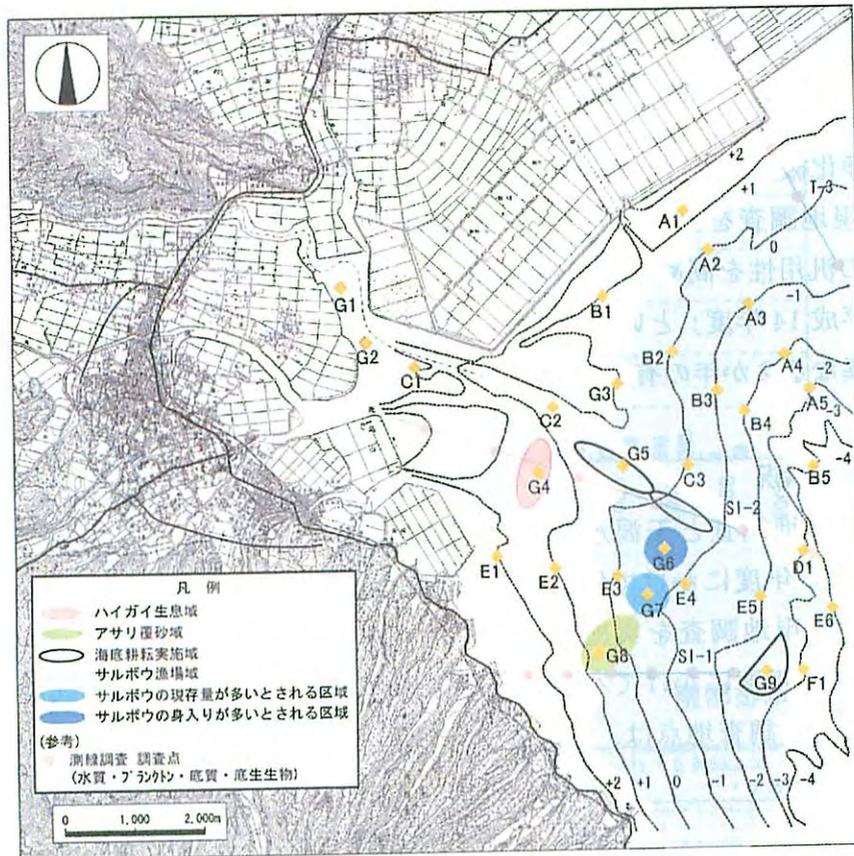


図5-2-1(1) 測線 (—●—) および面的調査点位置 (◆で示す地点)

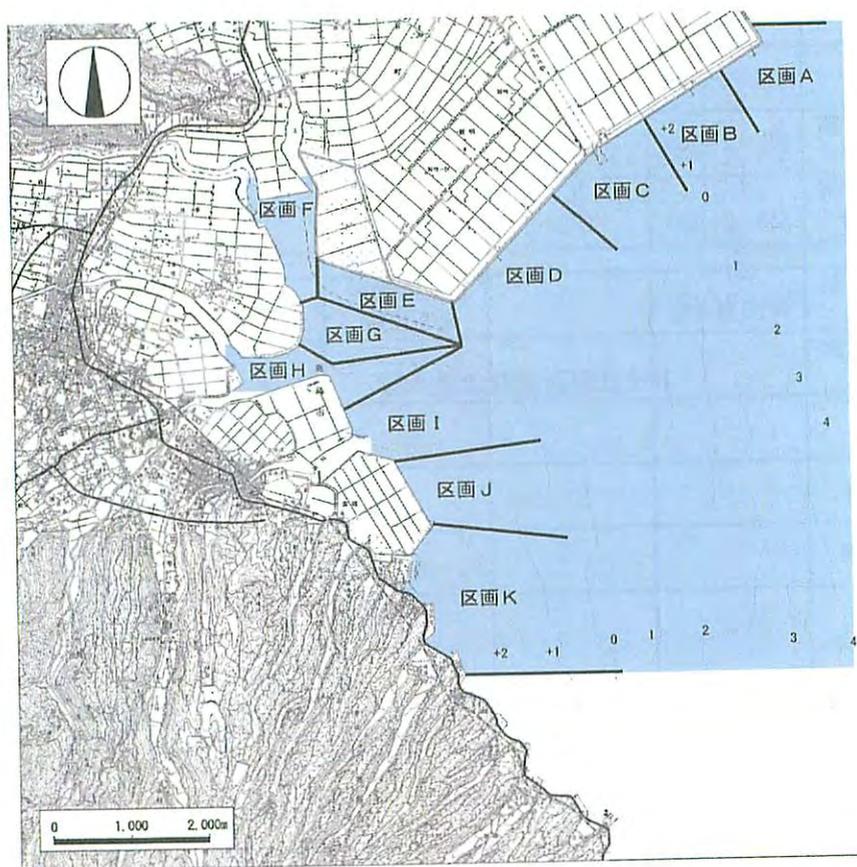


図5-2-1(2) 鳥類生息数調査範囲および調査区画

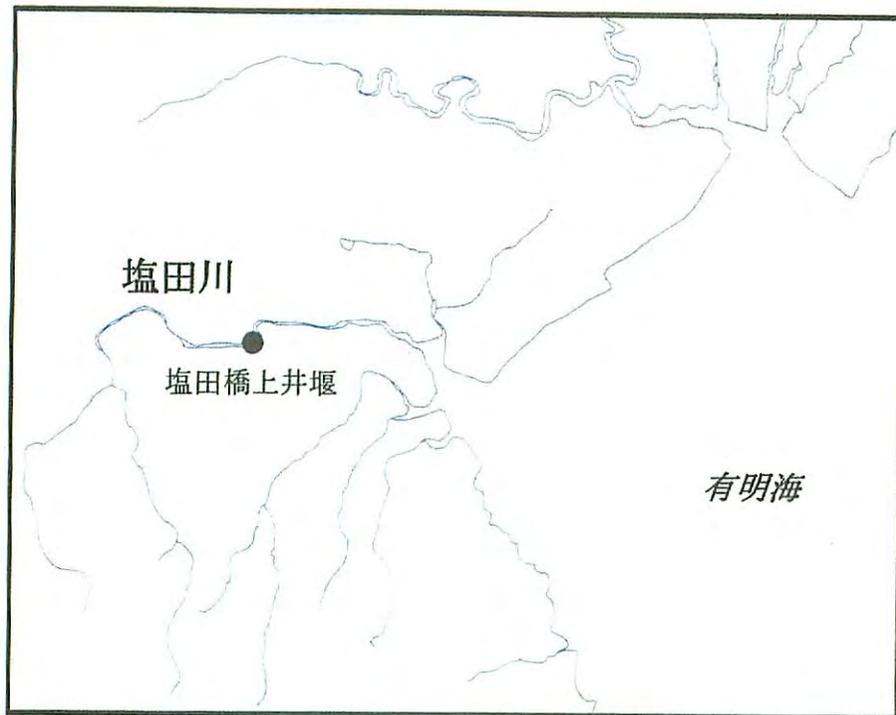


図5-2-1(3) 流入負荷量調査点位置

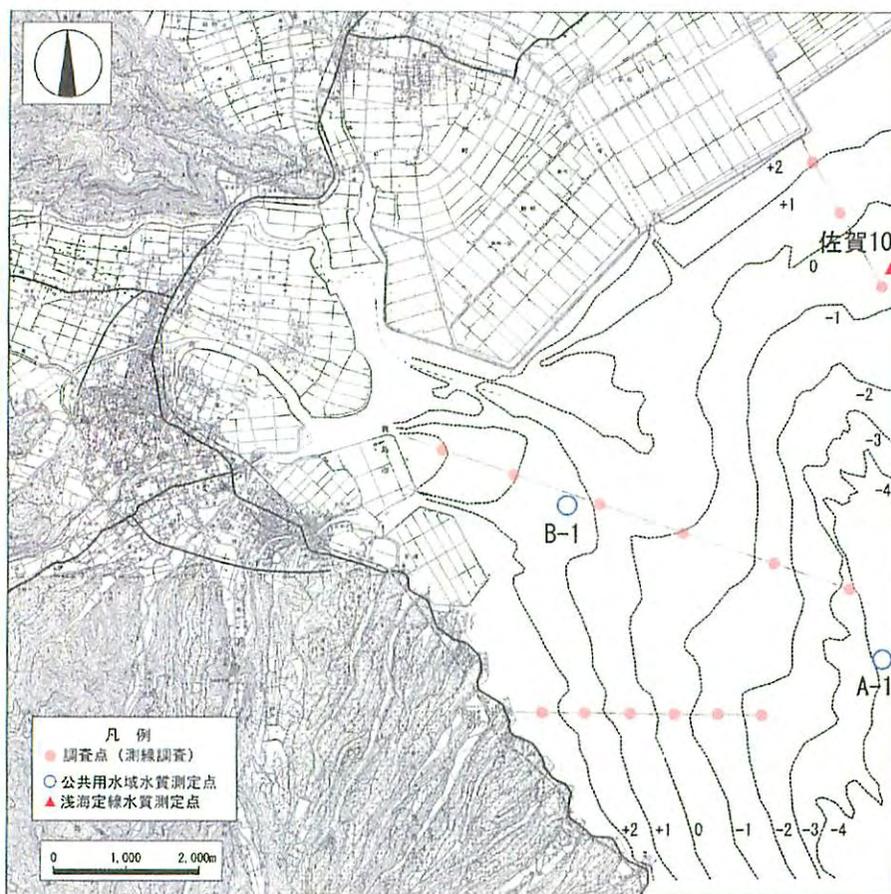


図5-2-1(4) 水質の日周変動調査点位置 (▲および○で示す地点)

### (3) 調査結果

#### ①泥質干潟生態系モデルの精緻化

##### ア. 流入負荷量算定の精度向上

過年度（平成 14 年度）調査においては、流入河川である塩田川からの流入負荷量の算定について、流量－負荷量の関係（L-Q）式は、有明海海域環境調査（農林水産省水産庁ら、2003）に準じ、流量について近傍河川である六角川水系牛津川の妙見橋の実測流量に基づく比流量を用いているとともに、洪水時の水質について六角川水系牛津川の羽佐間堰のデータに基づいていた。

本調査では、流入負荷量算定の精度を向上させるため、塩田川の流量、水質調査を行い、L-Q 式を作成して塩田川の順流末端における流出負荷量を算出した。

##### イ. 境界条件（水質）の精度向上

有明海は干満での潮位差がきわめて大きいため、境界における水質も潮汐の影響を受けて大きく変動していると考えられる。

このため、主に潮汐による水質の時間変化を把握するため、公共用水域水質測定が実施される夏季の大潮期に、計算領域内の公共用水域水質測定点および浅海定線調査点において 2 時間毎・24 時間の現地観測、採水分析を行い、潮位変化に対する水質の関係を求めた。これらの関係に基づいて、公共用水域水質測定調査や浅海定線調査等が行われる満潮時の水質を流動計算から得た境界の潮位変動にあわせて変化させた。

#### ②類似干潟の水質浄化機能の推定

過年度（平成 14 年度）に得られている年平均の物質収支と干潟生態系モデルの精度向上を行い得た物質収支について比較を行った（図 5-2-2）。

その結果、今回精度向上を行い得た値と過年度検討結果で得た値では、概ね同様の傾向が見られた。また平成 17 年の年平均の物質収支は、平成 14 年度と概ね同様の傾向が見られたが、沈降・巻上げ、二枚貝の摂餌、底生生物の排泄量等が平成 14 年度の値に比べ 60～70%と小さく、付着珪藻の生産量は平成 14 年度の値に比べ 10%程度大きい値となった。

また、水質浄化機能（窒素）の比較結果を図 5-2-3 に示す。

平成 14 年度の水質浄化機能は、今回精度向上モデルで得た値が約 30% 大きい値となった。また、平成 17 年の水質浄化機能は、過年度検討結果の値に比べ約 65%、精度向上モデルの値に比べ約 50%と小さい値となった。

平成 14 年度と平成 17 年での物質収支の違いは、主に表 5-2-2 に示す外力条件や生物等の現存量の違いによるものと考えられる。気温、風速、日射については両年での違いは小さいが、淡水流入量が平成 17 年は平成 14 年度より少なくなっており、この違いが、陸域からの流入負荷量の減少や流動環境の違いによる底泥の巻上げ・沈

降の低下等に影響を及ぼしている可能性が考えられる。

表5-2-2 年による外力条件の比較

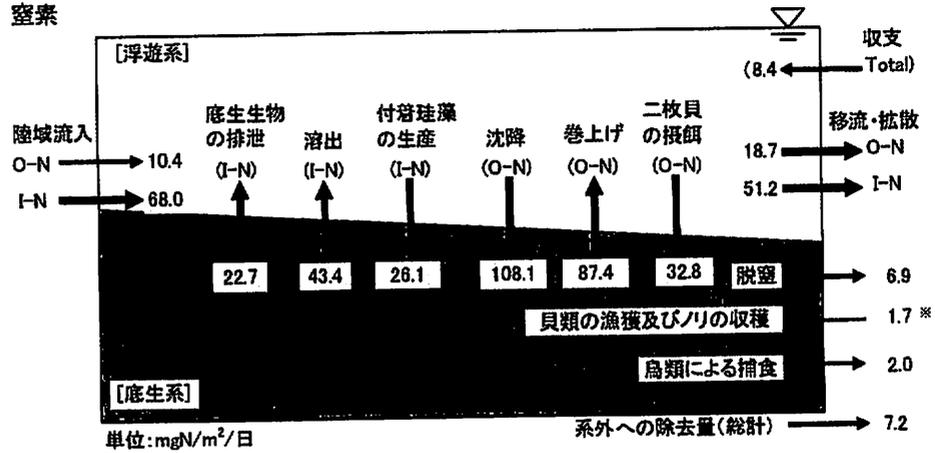
	年平均 気温 (°C)	年平均 風速 (m/s)	年間 日照時間 (hour)	年平均 全天日射量 (MJ/m <sup>2</sup> )	塩田川年間 淡水流入量 (千 m <sup>3</sup> /日)
平成 14 年度	17.4	2.4	2062.3	14.5	271,246
平成 17 年	17.1	2.3	2057.4	14.6	177,357

また、水質、底質、底生生物等について、平成 14 年度と平成 17 年を比較すると、平成 17 年は、水質についてはクロロフィル a が全般的に低い値であり、底質については底泥中のクロロフィル a が全般的に高い値であった。また、底生生物については平成 17 年は全般的に低い値となっており、特に平成 14 年度は一部の調査点においてサルボウガイが多く見られた。

この現存量の違いが対象領域における物質循環に影響を及ぼしている可能性が考えられる。

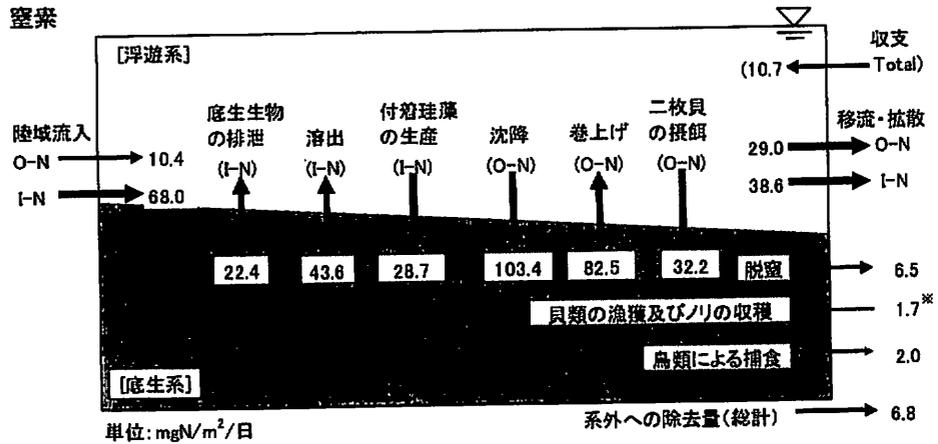
平成 14 年度(過年度検討結果)

窒素



平成 14 年度(精度向上モデルによる再計算結果)

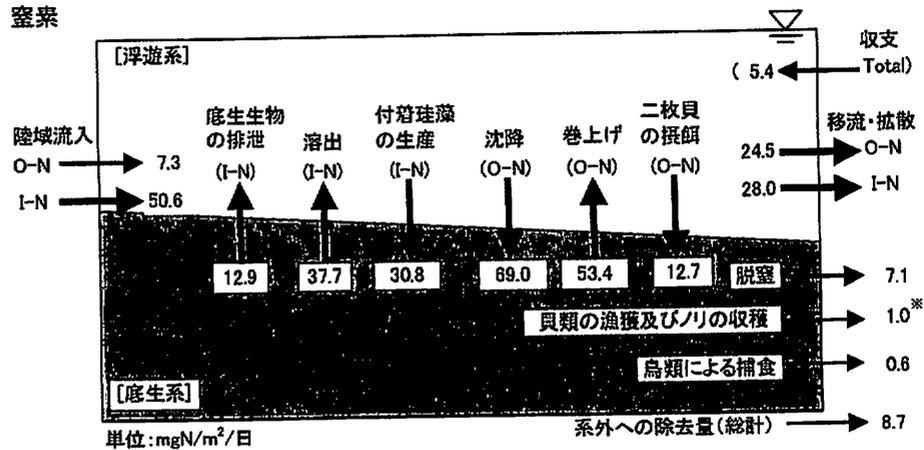
窒素



注) 流入負荷(陸域流入)は、平成 14 年度(過年度検討)と同一とした。

平成 17 年

窒素



※ ノリ養殖における施肥量を考慮に入れた結果  
 ※ O-N は有機態窒素を I-N は無機態窒素を示す。

図5-2-2 類似干潟における年平均の物質収支の評価結果の比較(窒素)



今回算定した類似干潟における水質浄化機能について、表5-2-3に示す既往の干潟生態系モデルを用いて物質収支から求めた水質浄化機能と比較を行った。これまで報告された既往の水質浄化機能は、0.3～137 mgN/m<sup>2</sup>/日とばらつきがみられたが、類似干潟の水質浄化機能は、いずれの検討結果も同程度であり、既往の浄化機能の範囲にあり、比較的低い水準であった。類似干潟の浄化機能が大きくない一因として、類似干潟は泥質であり、底泥内が還元的な環境であるため間隙水中の硝酸態窒素濃度が低く、そのため脱窒が抑えられたことが考えられるが、表5-2-3'に示すとおりモデルで計算された脱窒速度は現地未攪乱堆積物コアを用いた室内試験（アセチレン阻害法）から得た実測値と同程度の値であった。

表5-2-3 水質浄化機能の評価結果の比較（干潟生態系モデル、窒素）

【年間を通じた評価の例】

干潟域		水質浄化機能 (mgN/m <sup>2</sup> /日)	備考
類似干潟	塩田川・鹿島川河口 H14年度・対象域全体	8.4	過年度検討結果
	H14年度・干潟域 <sup>(注)</sup>	14.5	
	H14年度・対象域全体 H14年度・干潟域 <sup>(注)</sup>	10.7 8.6	精度向上モデル検討結果
	H17年・対象域全体 H17年・干潟域 <sup>(注)</sup>	5.4 0.2	
東京湾三番瀬		100.4	千葉県(1998)
宮城県蒲生干潟		54.9	林ら(1998)
東京湾盤州干潟		37.1 **	環境省(2001)
有明海白石町沖		0.3	環境省(2003)
伊勢湾常滑沖		2.0 *	Hata et al.(2004)
伊勢湾藤前干潟(四季平均)		44 *	名古屋市、名古屋港管理組合(1999)
伊勢湾新川河口干潟(四季平均)		137 *	

【限定された期間の評価の例】

三河湾一色干潟 (平成6年6月)	10.4 **	鈴木ら(1997)
福島県松川浦 (平成11年7月)	4.4	地球・人間環境フォーラム(2001)

(参考)

【水質水平分布による解析により限定された期間の評価の例】

伊勢湾小鈴谷干潟 (平成8年6月) (平成8年9月)	31.7 -672.2	青山ら(2000)
三河湾一色干潟 (平成6年6月) (平成6年10月)	-22.56 -1479.1	青山ら(1996)

\* 直上水と底泥の間の物質収支を基に水質浄化機能を推定したものの。

\*\* 盤州干潟や一色干潟では、アサリ等の二枚貝の漁獲が盛んに行われ、漁獲による系外除去量が大きな値を示す結果となっている。このような干潟を除くと、既存の評価結果はいずれも、脱窒が窒素の系外除去の大半を占め、脱窒が窒素の浄化機能の最も重要な過程となっていると考えられる。その他、干潟によっては、堆積や不活性化が物質収支に大きな影響を与えている。

注) 干潟域とは対象域全体のうち大潮平均低潮面(三池港基準面(C.D.L.)+0.52m)以浅の区域を指す。

表5-2-3' 脱窒速度の実測値と計算値の比較(3地点)

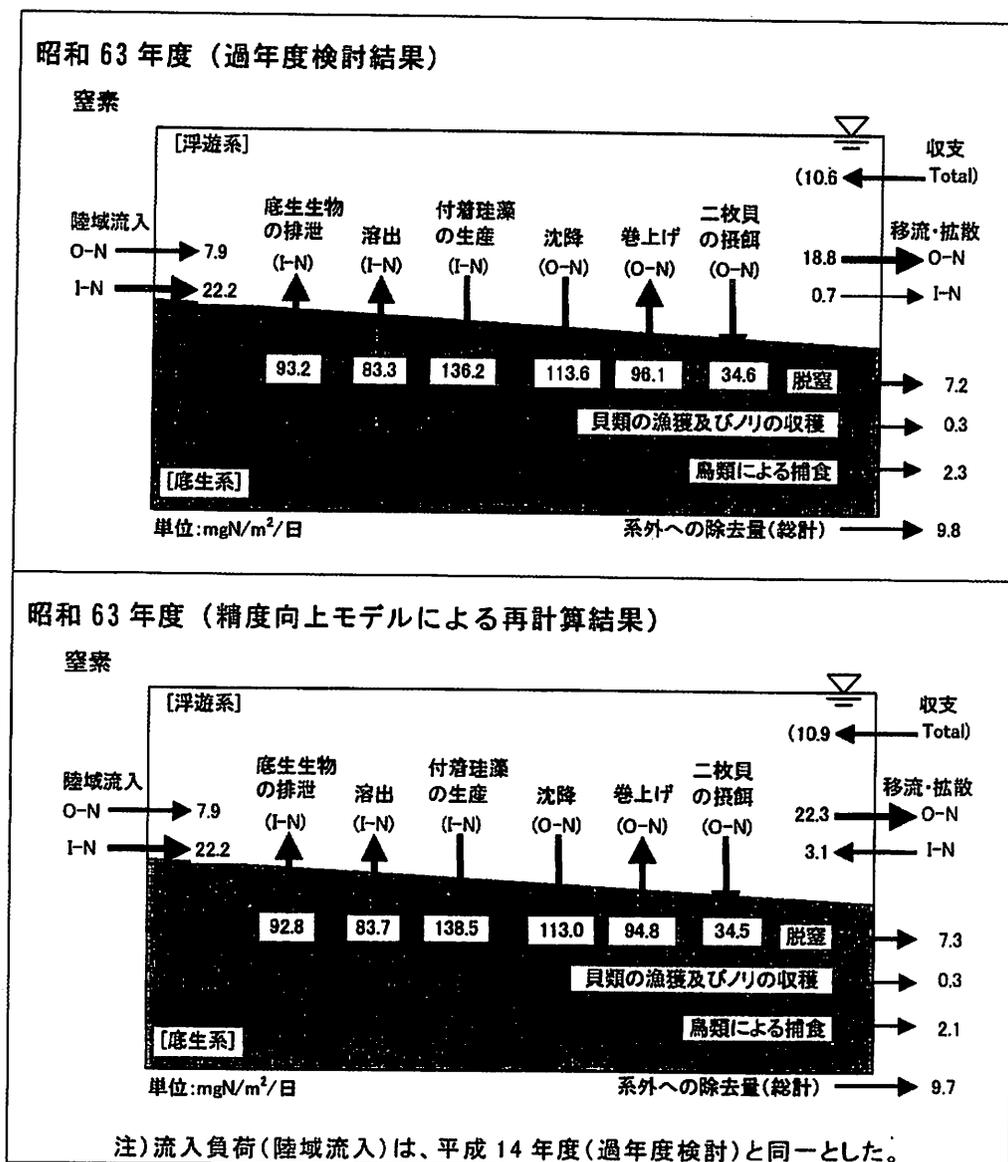
(単位 mgN/m<sup>2</sup>/日)

項目		実測値(H14)	計算値(H14過 年度検討結果)	計算値(H14今 回再検討結果)
脱窒速度	8月	2.3~14.1	3.9~15.1	3.5~15.2
	1月	2.0~4.3	2.3~4.8	1.2~4.6

### ③諫早干潟の浄化機能の推定

過年度（平成 14 年度）に得られている年平均の物質収支と干潟生態系モデルの精度向上を行い得た物質収支について比較を行った（図 5-2-4）。

その結果、今回精度向上を行い得た値と過年度検討結果で得た値では、概ね同様の傾向が見られた。

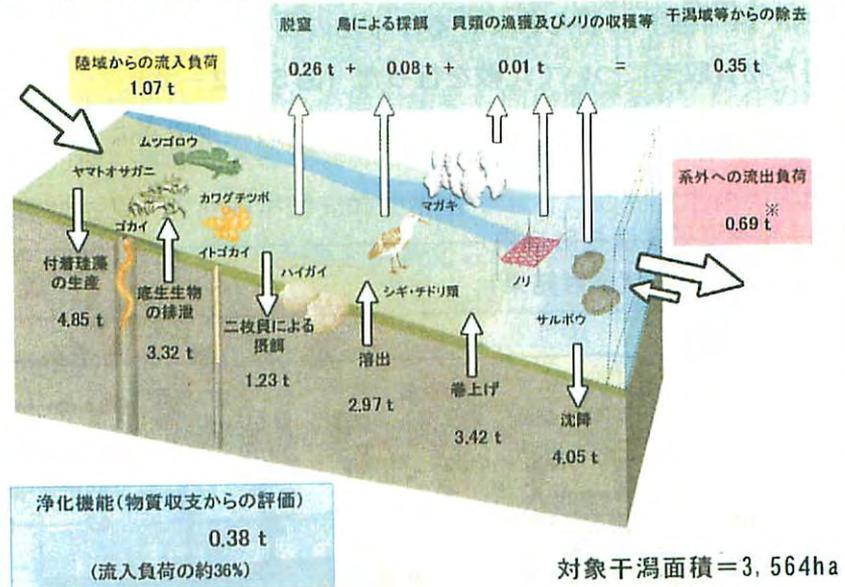


※ O-N は有機態窒素を I-N は無機態窒素を示す。

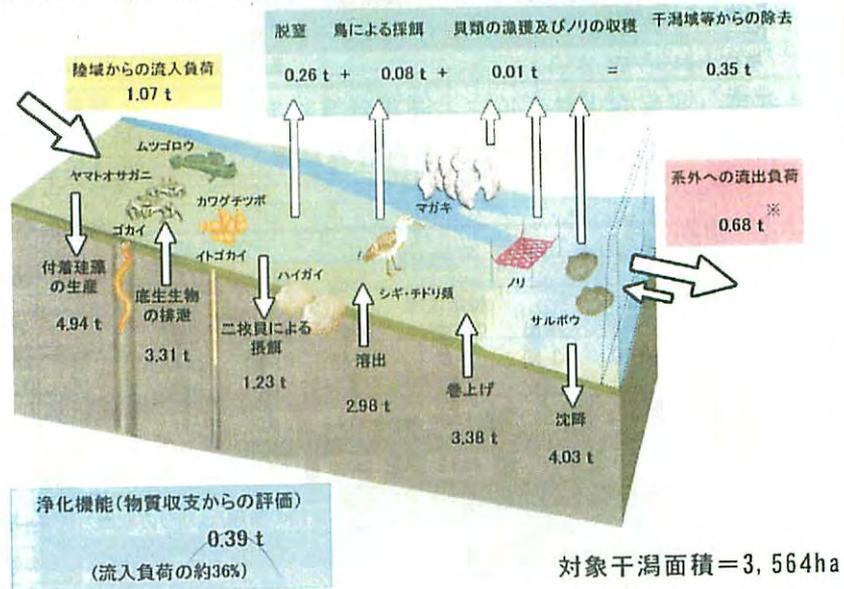
図 5-2-4 諫早干潟における年平均の物質収支の評価結果の比較（窒素）

また、水質浄化機能（窒素）の比較結果を図 5-2-5 に示す。計算対象領域の窒素の水質浄化機能は、精度向上モデルで得た値では 0.39 t/日であり、過年度検討結果で得た値では 0.38 t/日であり、いずれも本明川等の陸域からの平均流入負荷量の約 36%に、また、有明海海域環境調査で得られている有明海に陸域から流入する負荷の総量（農林水産省水産庁ら、2003）の約 0.5%に相当した。以上のように、今回モデルの精度向上を行い得た値と過年度検討結果で得た値はほぼ同程度となった。

昭和 63 年度（過年度検討結果）



昭和 63 年度（精度向上モデルによる再計算結果）



注) 流入負荷(陸域流入)は、平成 14 年度(過年度検討)と同一とした。

※ 境界における流動による収支

(単位: tonN/日)

図5-2-5 諫早干潟における窒素収支(年平均)

#### (4) まとめ

類似干潟の水質浄化機能は、平成 14 年度と平成 17 年で淡水流入量等の外力条件や生物等の現存量の違いによると考えられる差異があるものの、大きな差は認められなかった。今回算定した類似干潟における水質浄化機能は、平成 14 年度と平成 17 年のいずれの検討結果とも、既往の干潟生態系モデルを用いて物質収支を求めた水質浄化機能の範囲にあり、比較的低い水準であった。

また、諫早干潟の水質浄化機能についても、過年度（平成 14 年度）に得られている値と干潟生態系モデルの精度向上を行い得た値は大きな差はなく、いずれも本明川等の陸域からの平均流入負荷量の約 36%に、また、有明海海域環境調査で得られている有明海に陸域から流入する負荷の総量（農林水産省水産庁ら、2003）の約 0.5%に相当した。したがって、平成 15 年度 開門総合調査で示されているのと同様に、諫早干潟の消失による影響は諫早湾内に限られるものと考えられる。

#### 《引用文献》

- Hata, Kyoko, Kisaburo Nakaka, Teruaki Suzuki (2004) : The Nitrogen Cycle in Tidal Flats and Eelgrass Beds of Ise Bay.
- 青山裕晃・今尾和正・鈴木輝明 (1996) : 干潟域の水質浄化機能 ——一色干潟を例にして——. 月刊海洋, 28, 178-188.
- 青山裕晃・甲斐正信・鈴木輝明 (2000) : 伊勢湾小鈴谷干潟の水質浄化機能. 水産海洋研究, 64, 1-9.
- 環境省水環境部 (2001) : 平成 12 年度藻場・干潟等の環境保全機能定量評価基礎調査.
- 環境省水環境部 (2003) : 平成 14 年度有明海海域緊急環境調査報告書.
- 鈴木輝明・青山裕晃・畑 恭子 (1997) : 干潟生態系モデルによる窒素循環の定量化, ——三河湾一色干潟における事例——. 海洋理工学雑誌, 3, 63-80.
- (財)地球・人間環境フォーラム (2001) : 浅海域の水質浄化機構に関する調査研究報告書.
- 千葉県土木部、千葉県企業庁 (1999) : 環境の補足調査によって把握した「市川Ⅱ期地区・京葉Ⅱ期地区計画に係わる環境の現状について」要約版, 1-336.
- 名古屋市、名古屋港管理組合 (1999) : 庄内川、新川及び日光川河口に広がる干潟.
- 農林水産省水産庁、農林水産省農村振興局、経済産業省資源エネルギー庁、国土交通省河川局、国土交通省港湾局、環境省環境管理局 (2002) : 平成 13 年度国土総合開発事業調整費 有明海海域環境調査報告書.
- 林 恒一郎、花田邦幸、伊藤弘樹、大島 巖 (1998) : 潟湖干潟を対象とした干潟生態系モデルの構築、TECHNO-OCEAN' 98, International Symposium, Proceedings, 325-328.

## 6. 潮流調査

### (1) 調査の目的

本調査は、潮流観測結果等を基に、有明海の潮流の状況を把握するとともに、潮流モデルの精度を検証し、潮位および潮流の変動要因について検討する。

### (2) 調査の実施状況

#### ①調査概要

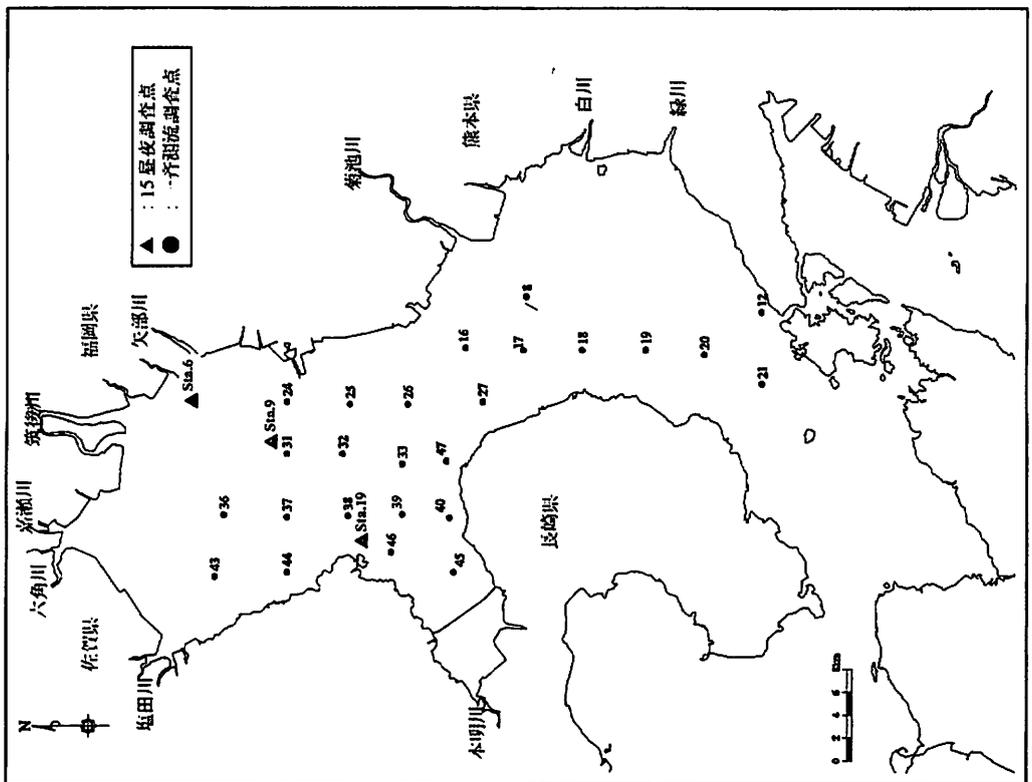
2004年度から2007年度にかけて、有明海を対象として、15昼夜および30昼夜潮流調査および一斉測流調査を実施し、有明海海域環境調査（国土総合開発事業調整費）により関係省庁が連携して構築した有明海海域環境モデル（以下、「国調費モデル」という。）を用いて、国調費モデルの精度向上および流動変動要因の検討を行った。

これらの実施状況は表6-1に示したとおりであり、潮流調査の観測点は図6-1に示すとおりである。なお調査は、河川水に伴う密度流の影響が卓越する夏季と、ノリ網等が設置されてかつ顕著な季節風が卓越する冬季について実施することとし、以降2004年度2月の潮流調査を「平成16年度冬季調査」、2005年度7月の潮流調査を「平成17年度夏季調査」、2007年8月の潮流調査を「平成19年度夏季調査」と呼ぶ。

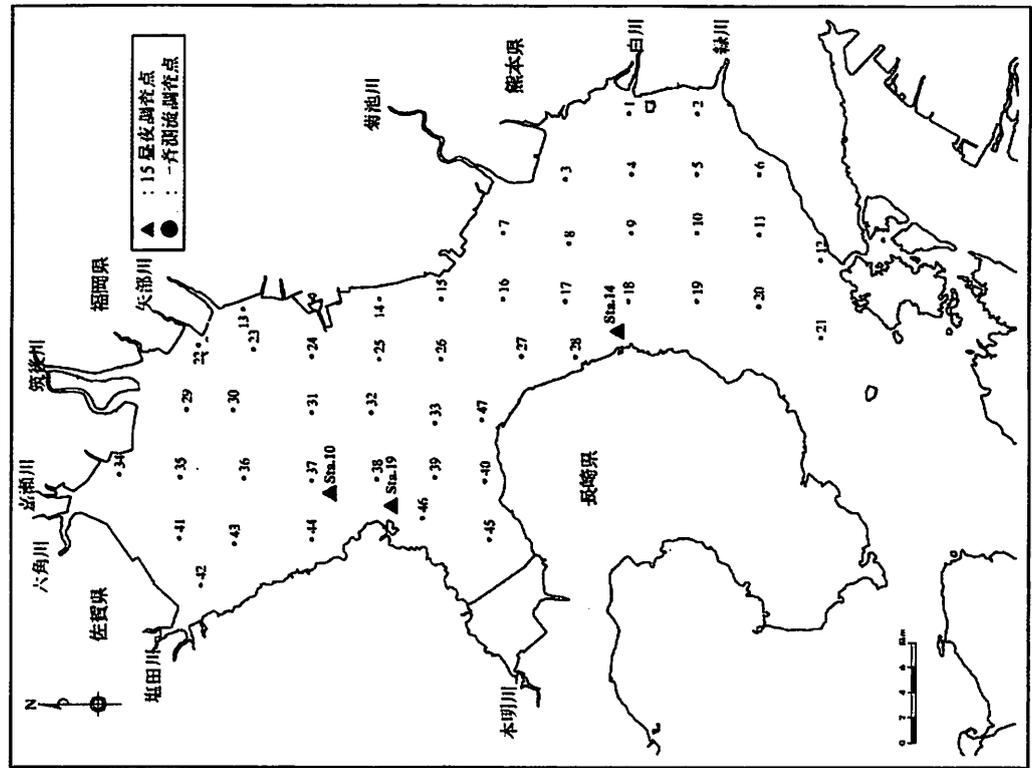
表 6-1 九州農政局による潮流調査の実施状況

項 目		2004年度 (平成16年度) 冬季調査	2005年度 (平成17年度) 夏季調査	2006年度 (平成18年度)	2007年度 (平成19年度) 夏季調査
15昼夜・ 30昼夜 潮流調査 (ADCP)	観測地点	3点 (Sta. 6, Sta. 9, Sta. 19)	3点 (Sta. 10, Sta. 14, Sta. 19)	—	7点 (Sta. 5, Sta. 6, Sta. 9, Sta. 10, Sta. 13, Sta. 14, Sta. 19)
	観測期間 ①15昼夜 ②30昼夜	① H17/2/19～3/5	① H17/7/15～7/31	—	①Sta. 5, 6, 10, 13 H19/8/25～9/8 ②Sta. 9, 14, 19 H19/8/25～9/23
	観測層	全層(0.5m間隔)	全層(0.5m間隔)	—	全層(0.5m間隔) 海底上20cm <sup>注)</sup>
	観測項目	流向、流速	流向、流速	—	流向、流速
一斉測流 調査 (浮流)	観測地点	湾内25点	湾内47点	—	—
	観測期間	H17/2/23 8:00～ 17:00(1時間間隔)	H17/7/21 7:00～ 19:00(1時間間隔)	—	—
	観測層	表層	表層	—	—
	観測項目	流向、流速	流向、流速	—	—
流動解析調査	—	国調費モデルの精 度向上 (再現性の確認)	国調費モデルに よる流動変動要 因の検討	国調費モデルの精 度向上 (再現性の確認)	

注) 平成19年度夏季調査のうち、海底上20cmは電磁流速計による観測。



【平成 16 年度（冬季調査）】



【平成 17 年度（夏季調査）】

図 6-1(1) 潮流調査地点



### (3) 調査結果

#### 1) 潮流データの取り扱い

一般に海域における流れは、月や太陽の引力によって周期的に変化する潮汐による周期性をもった潮流と、降雨による河川からの淡水流入量や風および気圧などの自然現象に支配される気象条件によって時々刻々と変化する不規則な流れが混在し、現地で観測される流れは非常に複雑なものとなっている。そこで潮流の特性を評価するためには、観測された流れのデータを周期的な部分とその他の部分に分けて検討する手法がとられている。

これは調和分解法といわれているもので、月又は太陽の引力に起因する  $M_2$  分潮（主太陰半日周潮）、 $S_2$  分潮（主太陽半日周潮）その他の主要分潮によって生じる潮流の大きさを算定し、不規則な流れの大きさとの比較を行うことができる。

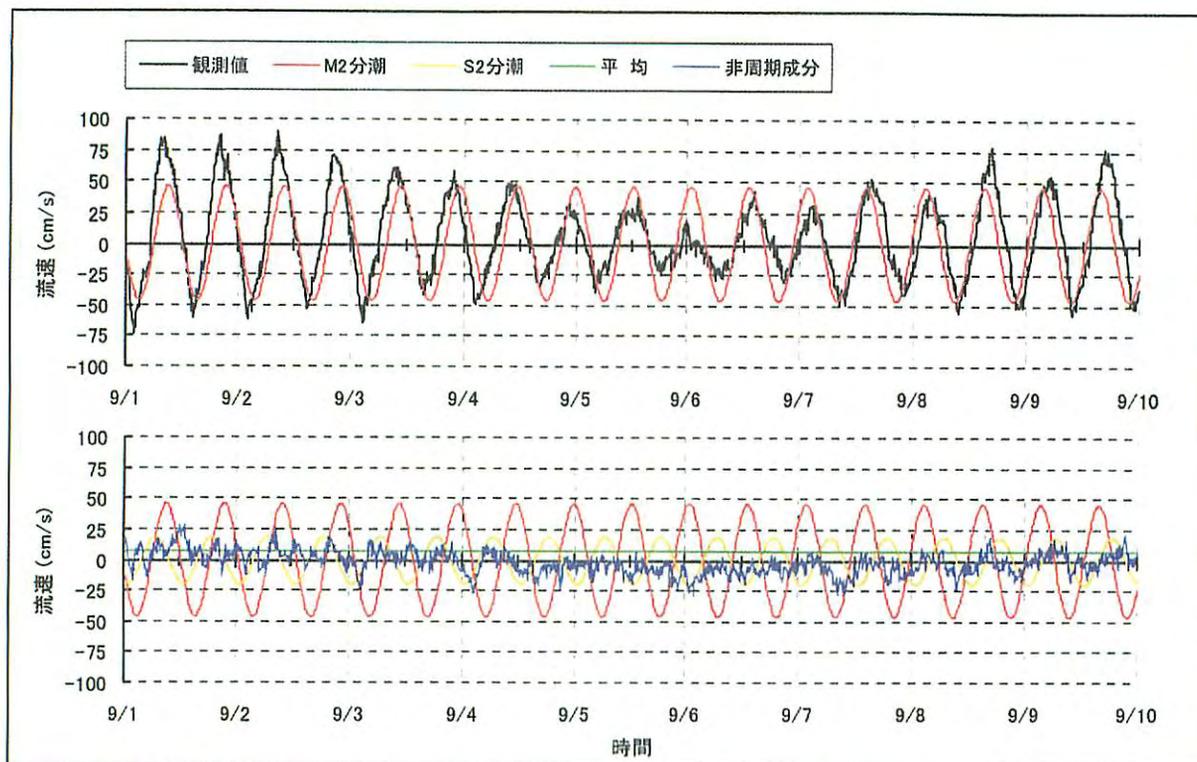
有明海における潮汐についてみると、大潮時の潮位差は湾口の早崎瀬戸で 3～4m、湾奥（住ノ江港）では 5m を超える干満差を有している。これらの干満差は周期的な潮汐によるものとその他の要因からなるが、有明海の地形的な特徴から、天文潮のうち半日周潮が卓越する特徴がある。住ノ江港の潮位を調和分解すると、 $M_2$  分潮および  $S_2$  分潮の振幅はそれぞれ 172.1cm、74.8cm であり（海上保安庁、1992）、両者合わせた干満差は約 5m となり、有明海における潮汐はその大部分が  $M_2$  分潮および  $S_2$  分潮からなり、特に  $M_2$  分潮は干満差の約 8 割を占めていることが分かる。

潮位変化によって引き起こされる潮流も  $M_2$  分潮や  $S_2$  分潮などの周期性がある流れの成分を持つ。前述の不規則な流れの大きさをみるために平成 19 年度夏季調査における湾奥の Sta.5 の観測結果を調和分解して、周期成分とその他に分けたものを下図に示す。図の上段から分かるように、観測結果には様々な現象に起因する不規則な変化が含まれており、このままでは、個別の要因による有明海における流れの変化を抽出しその程度を定量的に把握できない。一方、下段に示したように不規則な非周期成分よりも調和分解した結果から求めた  $M_2$  分潮と  $S_2$  分潮による周期的な潮流が大きく、その中でも  $M_2$  分潮が卓越していることが分かる。

非周期成分には、降雨による河川からの淡水流入量や風および気圧などの要因によるものが含まれており、図の例では  $-25 \sim +25\text{cm/s}$  の範囲でこれらの要因による流速の変化がみられている。この例では、大潮期では  $75\text{cm/s}$  程度の観測値に対して  $75 \pm 25\text{cm/s}$  ( $50 \sim 100\text{cm/s}$ ) の範囲で容易に変化する可能性があり、また、小潮期では  $25\text{cm/s}$  程度の観測値に対して  $25 \pm 25\text{cm/s}$  ( $0 \sim 50\text{cm/s}$ ) の範囲で変化する可能性があるように、非周期成分によって観測値は大きく変化する可能性があるといえる。

このように、観測されたデータの中に含まれる有明海に与えられた地形変化その他の影響要因による流れの変化の程度を定量的に把握するため、観測結果を調和分解して得られた  $M_2$  分潮を対象として解析することとした。

<sup>1</sup> 海上保安庁 (1992) : 日本沿岸 潮汐調和定数表 平成 4 年 2 月 pp.267.



注) 平均：観測値の平均（平均流）

$M_2$ 分潮： } 観測値から平均を除いたものを調和分解の対象とし、最小自乗法により求める  
 $S_2$ 分潮： }

非周期成分：観測値から  $M_2$  分潮や  $S_2$  分潮など 10 個の周期成分と平均値を除いたもので、淡水流入量や風、気圧等の要因による不規則な流れ

図 観測値の調和分解の例（平成 19 年度夏季調査、Stn.5 海面下 1.5m）

## 2) 気象、海象

16 年度冬季調査、17 年度夏季調査および 19 年度夏季調査時における、大浦の潮位を図 6-2 に、河川流量（筑後川、瀬の下）を図 6-3 に、白石観測点の気象を図 6-4 に示す。

観測期間は、小潮から大潮を経て再び小潮に至る 15 昼夜又はそれらを 2 度繰り返す 30 昼夜とした。

風の状況は、16 年度冬季調査時は北寄りの風、17 年度夏季調査および 19 年度夏季調査時は南西の風と北西の風が吹きかう状況であった。

筑後川の流量は、16 年度冬季調査では観測開始前 2 週間から期間中は概ね  $100\text{m}^3/\text{s}$  を下回る流量でほぼ安定していたが、17 年度夏季調査時は、観測開始前の 7 月 10～11 日に低気圧に伴う集中豪雨による影響で  $1,600\text{m}^3/\text{s}$  以上の流量がみられた。また、19 年度夏季調査では、観測期間中の流量が多く（平均流量  $230\text{m}^3/\text{s}$ ）、また観測開始前 1 週間に  $150\text{m}^3/\text{s}$ ～ $800\text{m}^3/\text{s}$  程度の流量があった。

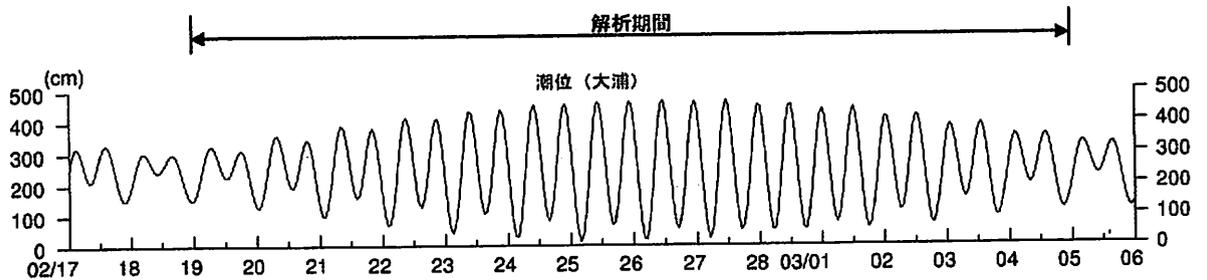


図 6-2(1) 16 年度冬季調査時の海象（潮位、大浦）

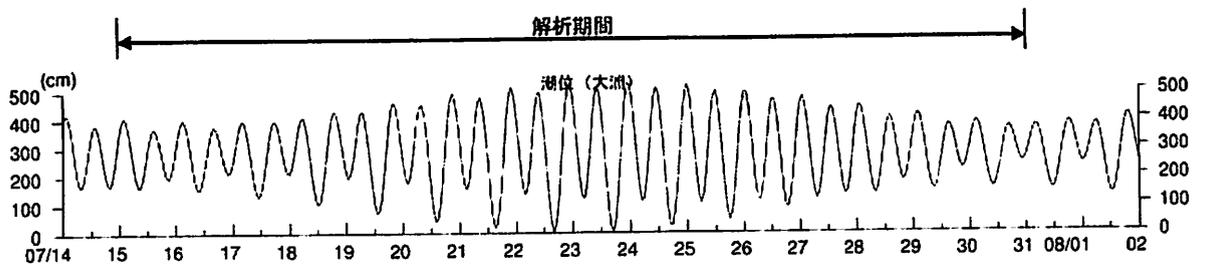


図 6-2(2) 17 年度夏季調査時の海象（潮位、大浦）

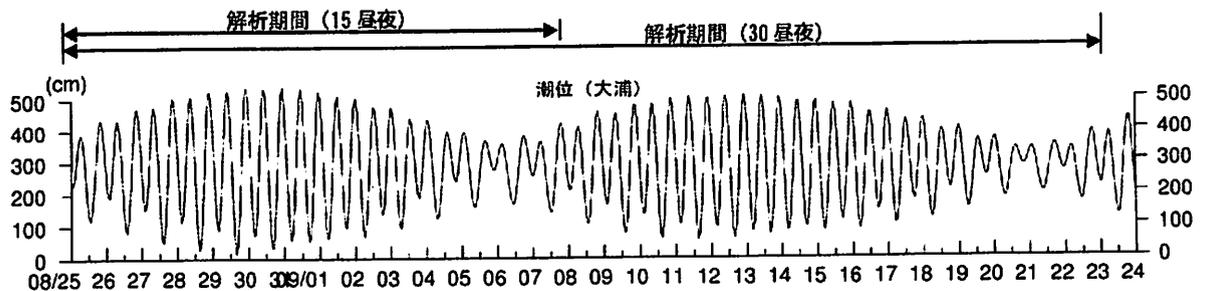


図 6-2(3) 19 年度夏季調査の海象（潮位、大浦）

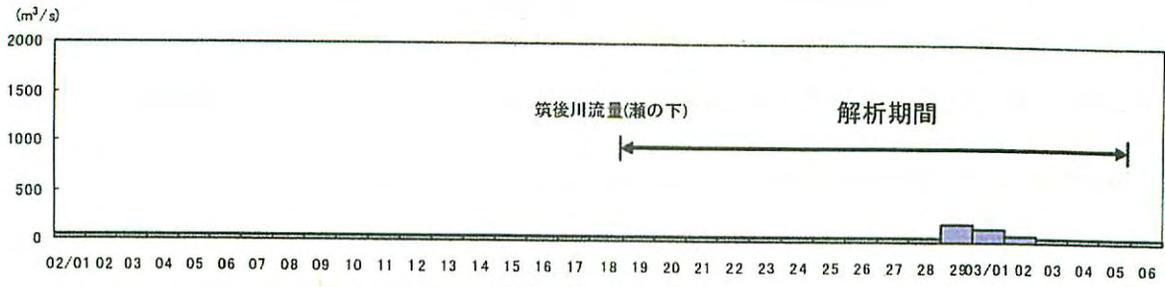


図 6-3(1) 16年度冬季調査時の河川流量 (筑後川、瀬の下)

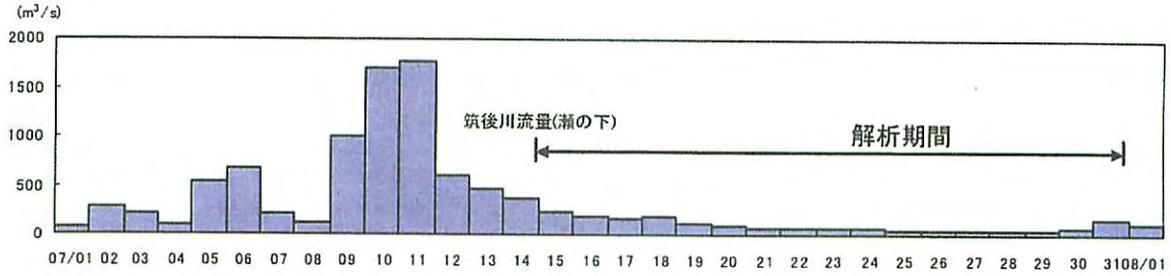


図 6-3(2) 17年度夏季調査時の河川流量 (筑後川、瀬の下)

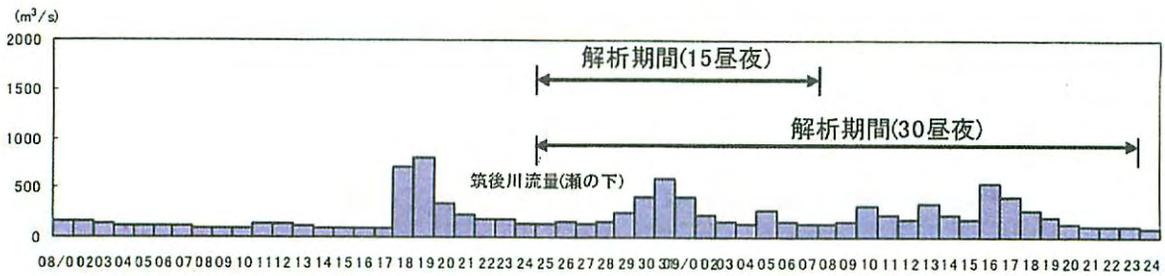


図 6-3(3) 19年度夏季調査時の河川流量 (筑後川、瀬の下)

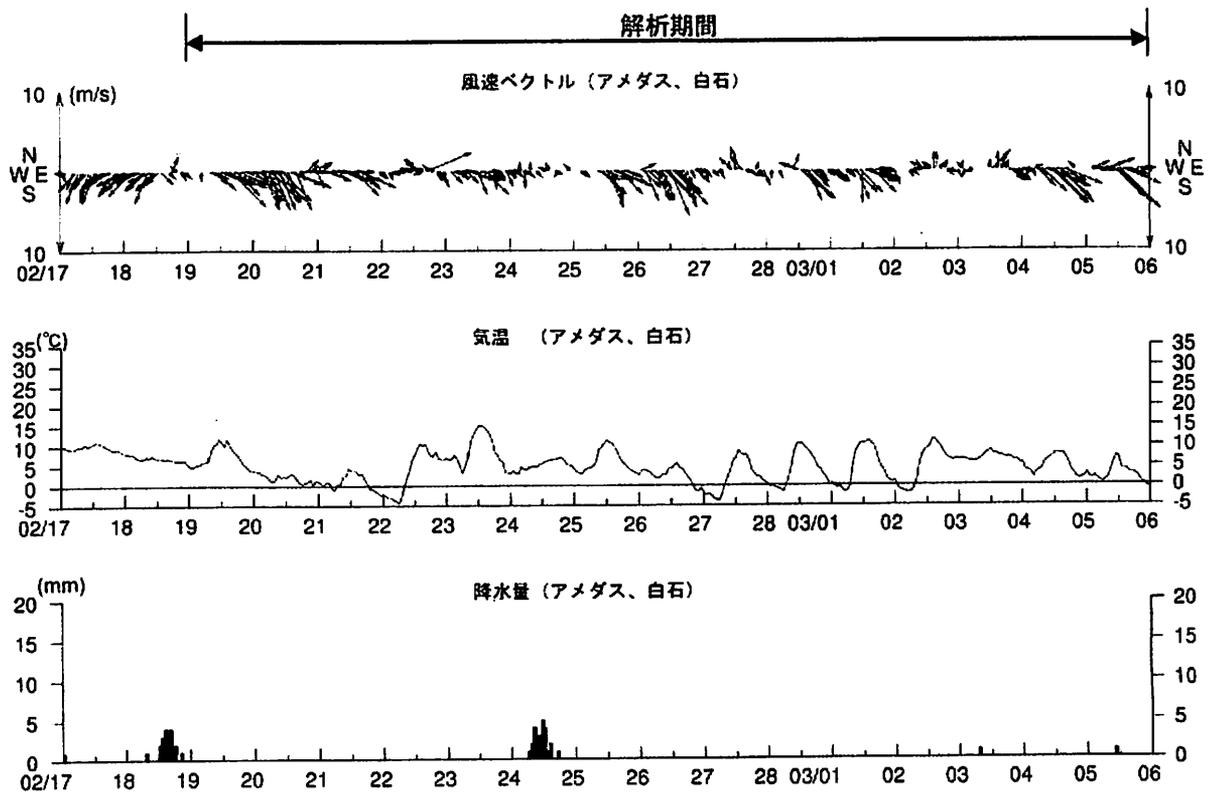


図 6-4(1) 16 年度冬季調査時の気象 (白石観測点)

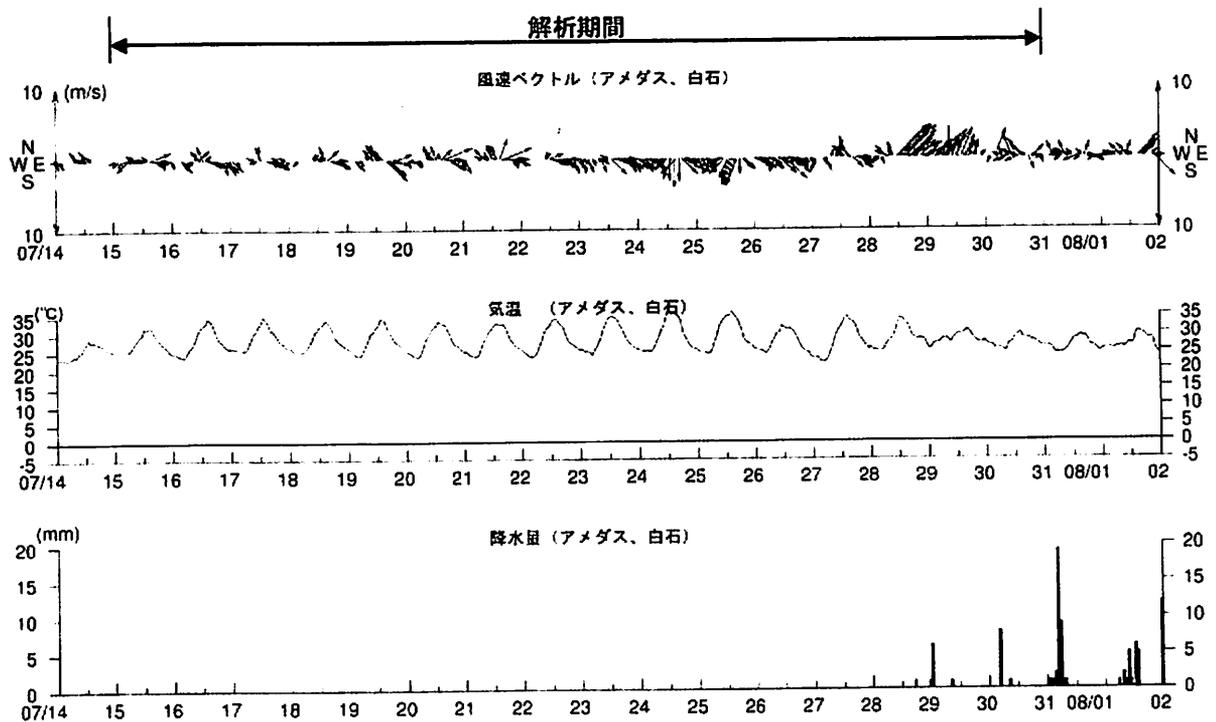


図 6-4(2) 17 年度夏季調査時の気象 (白石観測点)

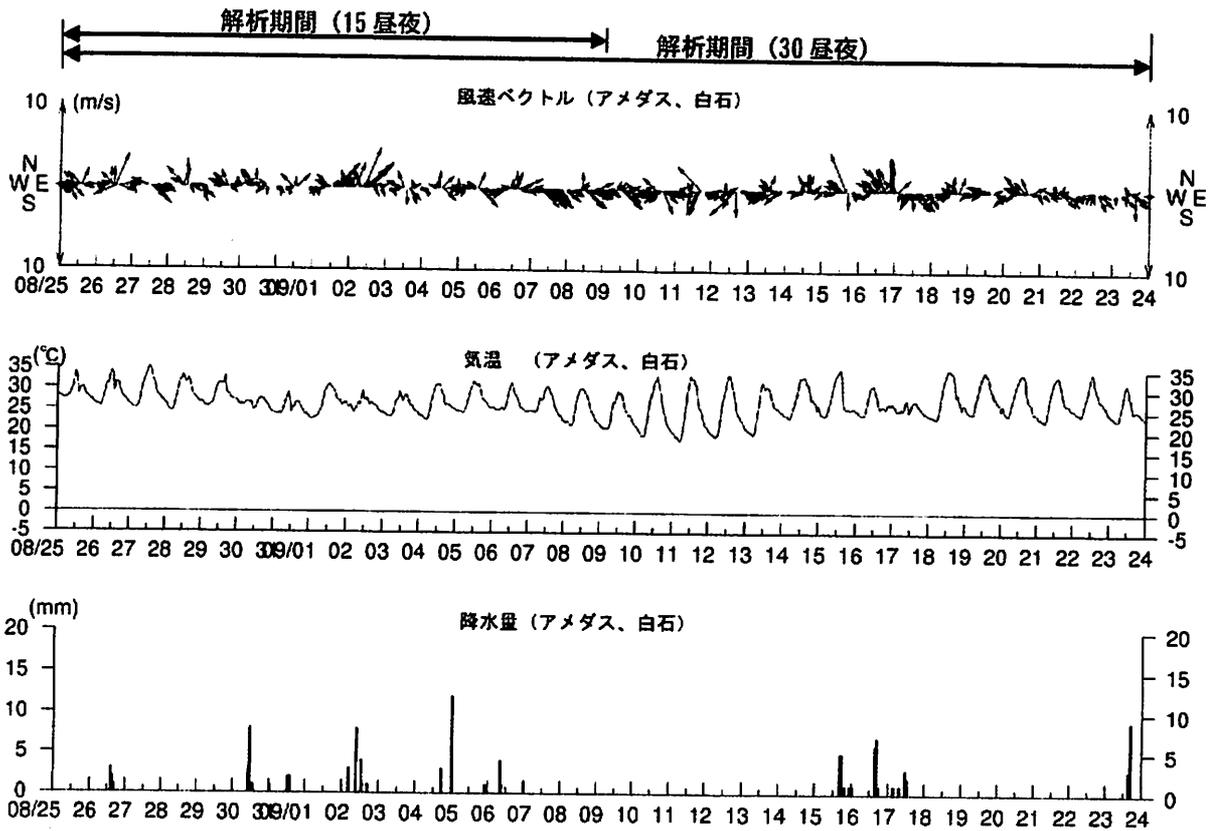


図 6-4(3) 19 年度夏季調査時の気象 (白石観測点)

### 3) 15 昼夜、30 昼夜潮流観測結果

潮流観測は図 6-5 に示すように海底に ADCP 流速計（超音波流速計）を設置して実施した。海底面上に設置された ADCP は海面に向けて超音波を発信し、その反射のドップラー効果で途中の層の流向・流速を計測する。ADCP 流速計は、鉛直多層に潮流を観測することが可能であり、多層のデータから観測地点の周辺海域の流れの鉛直構造を把握するために有効なデータを取得できる。また、海底に固定して観測を行うため、他の係留観測でみられる流速計の傾きによる観測値への影響を避けることが出来る。

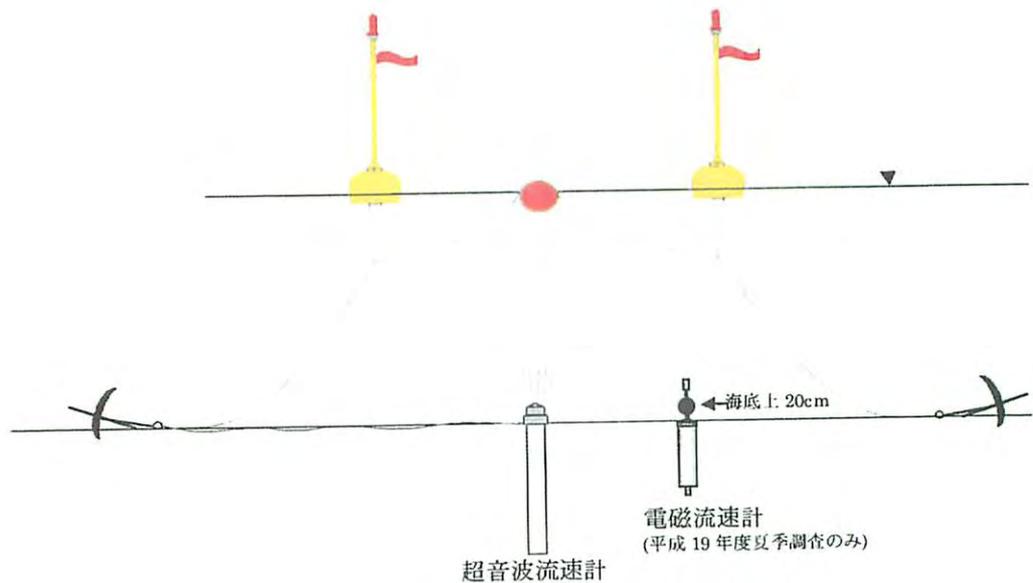


図 6-5 流速計設置概念

#### ① 流向・流速

本調査では ADCP 流速計により 0.5m 間隔のデータを取得しており、例として島原半島東側の Sta. 14 の観測結果の一部を図 6-6 に示す。また、海底付近の流れを把握するために電磁流速計を設置して海底上 20cm のデータも取得しており、その観測結果もあわせて示す。

潮流は、上層では南向きの流れが大半であるのに対し下層では北向きの流れもみられる。また、電磁流速計で得られた海底上 20cm における  $M_2$  分潮の長軸流速は、ADCP 流速計で得られた海底上 1.3m の  $M_2$  分潮の長軸流速に比べて約 70% 小さくなっており、これは海底による摩擦の影響が考えられる。

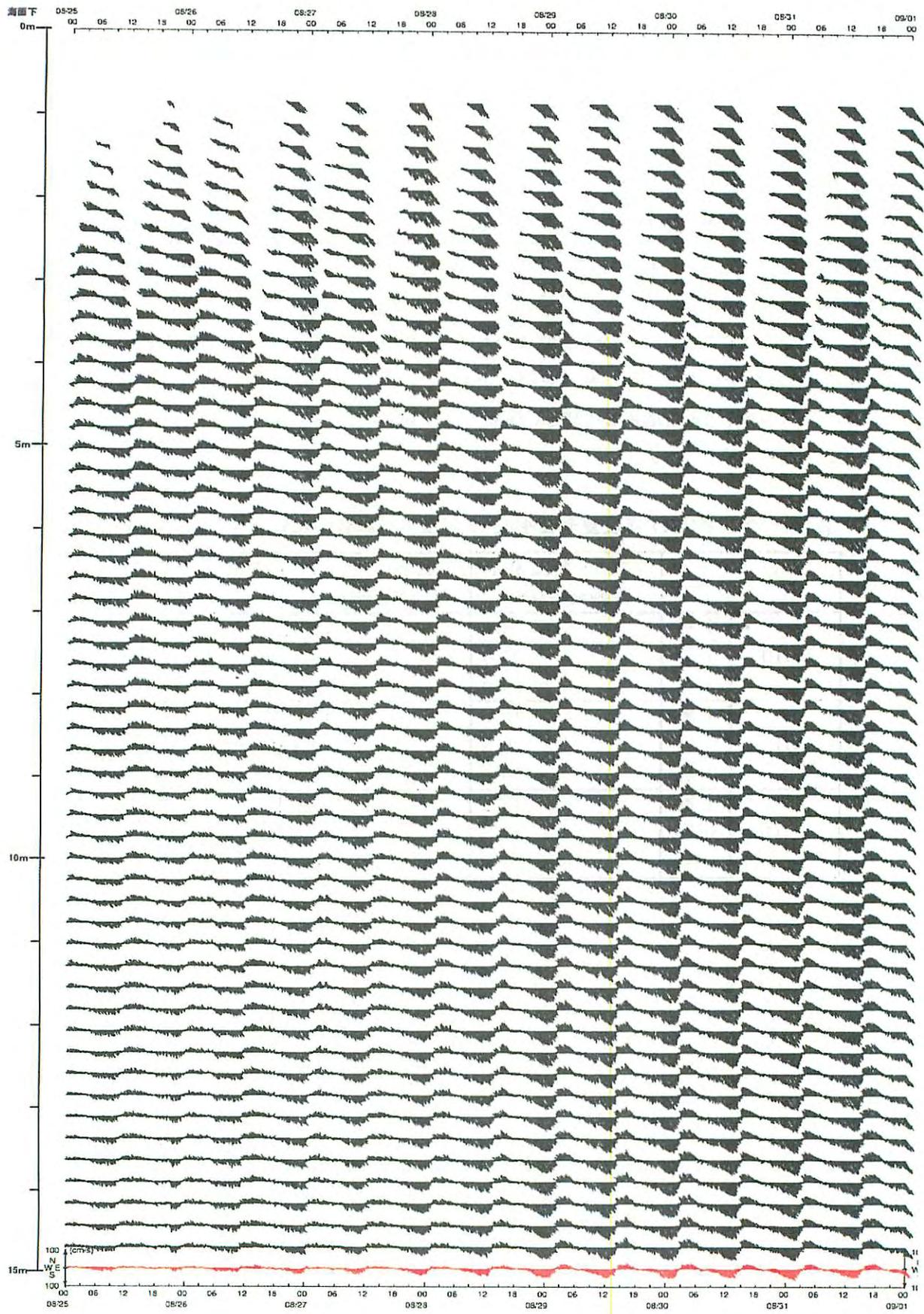


図 6-6 ADCPによる潮流観測結果の一部 (Sta.14 観測結果の生データ)  
 注) 赤で表したベクトルは海底上 20cm の位置における電磁流速計の観測結果を示す。

観測結果をもとに作成した M<sub>2</sub> 分潮の潮流楕円について、上層（海面下 1.5m）、中層（1/2 水深）、下層（海底上 1.0m）の結果を図 6-7 に示す。

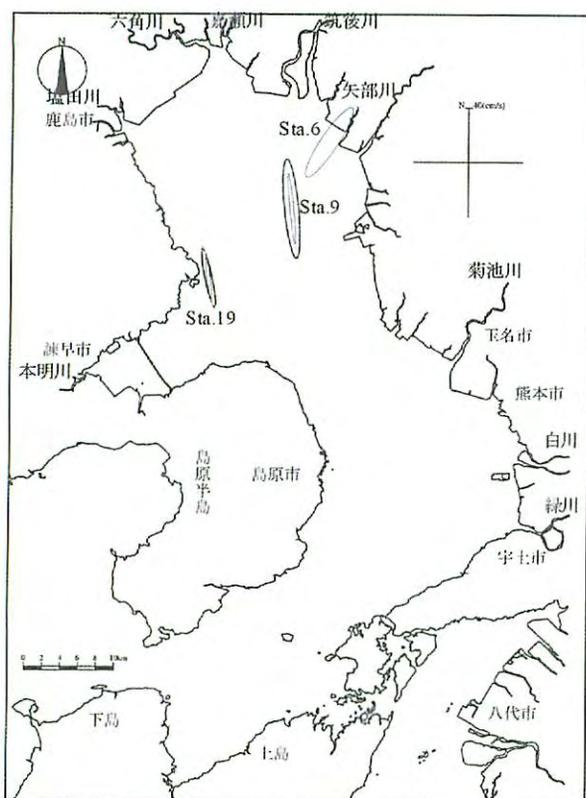
各観測とも潮流楕円の長軸方向は湾の形状に沿っておおむね南北方向を向いていた。またいずれの地点においても下層は上層より長軸長がやや短く、潮汐の最強時流速が小さい傾向がみられた。

諫早湾口北側の Sta. 19 についてみると、いずれの調査でも潮流楕円の長軸は湾口に平行であり、最強時流速は、上層より中層がやや速い傾向がみられた。

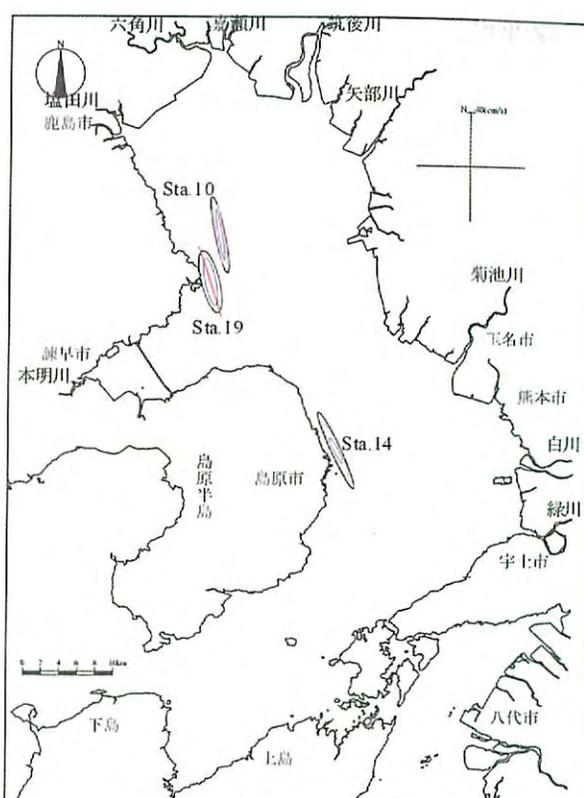
また、表 6-2 に示すように、平成 17 年度と平成 19 年度の夏期調査では、各層によって長軸長の変化に違いがみられ、観測結果に対する河川流入その他要因の影響が考えられる。さらに、島原半島東側の Sta. 14 では、平成 19 年度夏季調査結果は平成 17 年度夏季調査に対して上層、中層、下層でそれぞれ約 1.5 倍、2 倍、2.5 倍となっており、同海域は海底地形が急峻で複雑なため、潮流の時間的・空間的な変化が大きい海域であることが示唆された。

表 6-2 平成 17 年度夏季と平成 19 年度夏季調査の比較（長軸流速の比較）

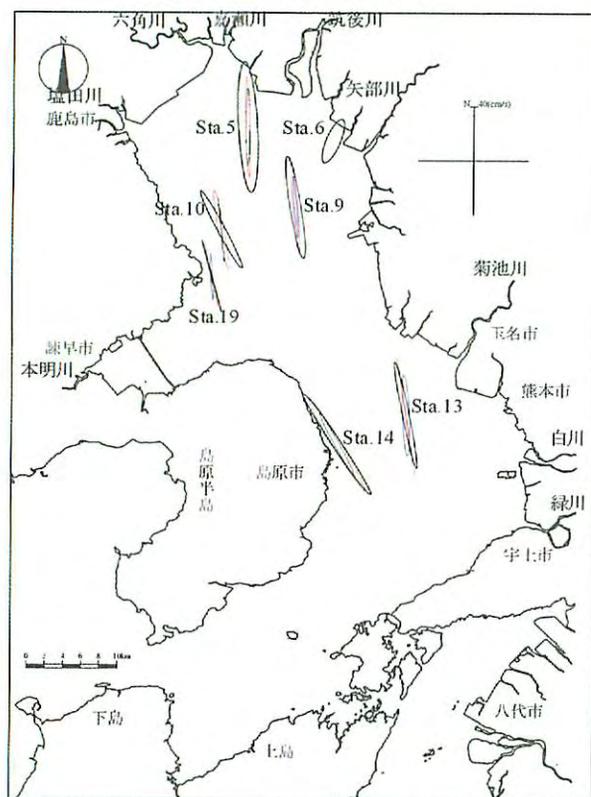
地点	層	平成 17 年度夏季 長軸流速(cm)	平成 19 年度夏季 長軸流速(cm)	長軸流速変化率 (H19/H17)
St.10	上層	28.4	32.4	1.14
	中層	27.8	29.7	1.07
	下層	18.9	23.5	1.24
St.14	上層	30.6	44.0	1.44
	中層	20.8	39.4	1.89
	下層	10.2	25.9	2.54
St.19	上層	23.2	27.0	1.16
	中層	27.5	23.6	0.86
	下層	17.6	16.9	0.96



【平成16年度冬季調査】



【平成17年度夏季調査】



【平成19年度夏季調査】

注) 平成19年度夏季調査のうち、Sta. 9、Sta. 14、Sta. 19は、30昼夜観測結果の調和解析結果であり、それ以外は15昼夜観測結果の調和解析結果である。

凡例) 黒線：上層(海面下1.5m)、赤線：中層(1/2水深)、青線：下層(海底上1.0m)

図 6-7 M<sub>2</sub>分潮潮流楕円

## ②平均流（恒流）

上層（海面下 1.5m）、中層（1/2 水深）、下層（海底上 1.0m）の平均流について図 6-8 に示す。

平成 16 年度冬季調査についてみると、湾奥部の上層の流況は全体的に湾口方向へ流出、中層及び下層では、湾奥に向かう流れの傾向があり、鉛直循環流の特徴がみられた。これは北寄りの季節風や密度流の影響によるものと考えられる。

平成 17 年度夏季調査についてみると諫早湾口外側の Sta. 10 では上中層、諫早湾口北側の Sta. 19 では全層とも筑後川河口に向かう流れがみられ、単純な密度流による鉛直循環流ではなくより複雑な流況を呈していた。

平成 19 年度夏季調査についてみると Sta. 10 や Sta. 19 では上層は湾口に向かい、中下層は湾奥に向かう鉛直循環流の特徴がみられた。

平均流は、観測する層により速度及び流向が異なり、それは観測年によっても違いがみられる。平成 17 年度と 19 年度では観測前から観測期間中の降雨及び河川流入並びに風向・風速に違いがみられ（図 6-3）、この影響を強く受け平均流の形成状況に違いが生じていることが考えられる。



#### 4) 一斉測流調査

一斉測流調査は、図 6-9 に示したように調査点において固定した船から紐の付いたペットボトルを流し、ペットボトルが 5 m 流れた時間と方向を測定した。

測定の間隔は 1 時間とし、1 時間ごとに 3 回の測定を行い、流向、流速ごとに平均した値を 1 時間値とした。なお、平均を行う際に流向が大きくかけ離れているデータは用いず、2 回のデータで平均を行った。

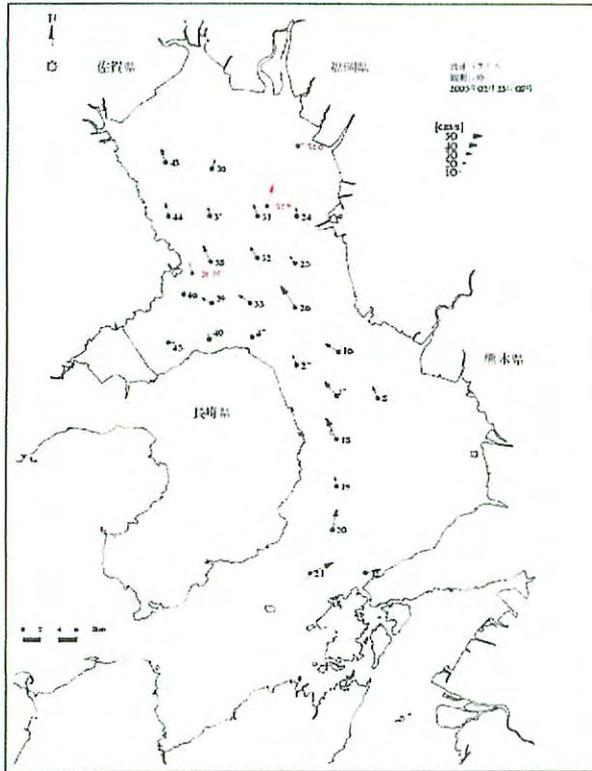


図 6-9 一斉測流調査の概要

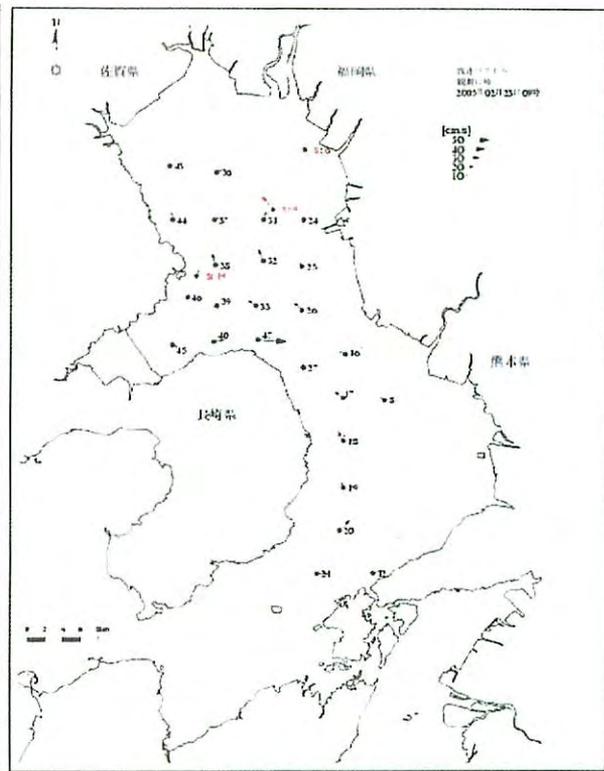
##### ①冬季調査

平成 16 年度冬季調査の一斉測流調査は、平成 17 年 2 月 23 日の 8 時～17 時の間に 1 時間間隔で行った。各調査点の各時刻における流速ベクトルの水平分布を図 6-10 に示す。

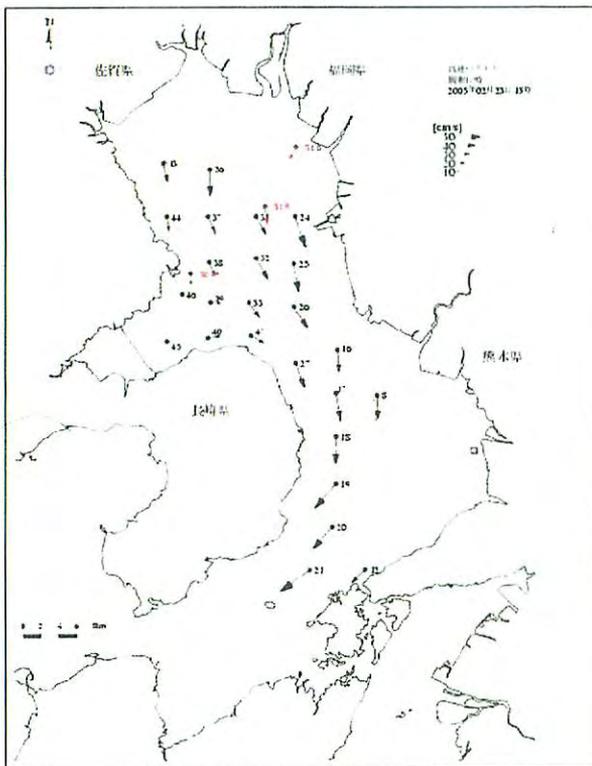
調査開始時は上げ潮時にあたり、湾奥、湾央部の調査地点は北流、湾口部付近の調査地点は北東流であった。下げ潮時にあたる 13 時では、湾奥、湾央部の調査地点は南流、湾口部付近の調査地点は南西流を示し、干潮時にあたる 15 時に湾全体で潮止まりを示した。全体として、上げ潮時、下げ潮時ともに地形に沿った流れの形成がみられた。



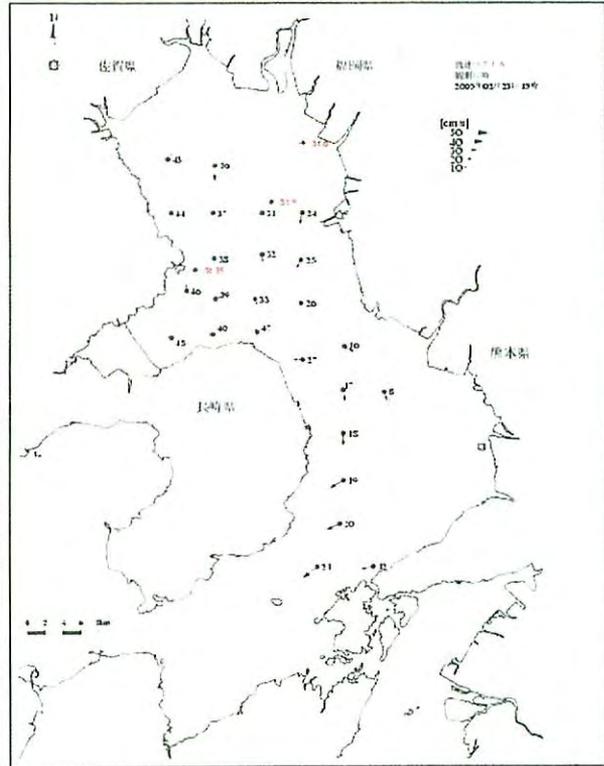
【平成 17 年 2 月 23 日 8 時（上げ潮時）】



【平成 17 年 2 月 23 日 9 時（満潮時）】



【平成 17 年 2 月 23 日 13 時（下げ潮時）】



【平成 17 年 2 月 23 日 15 時（干潮時）】

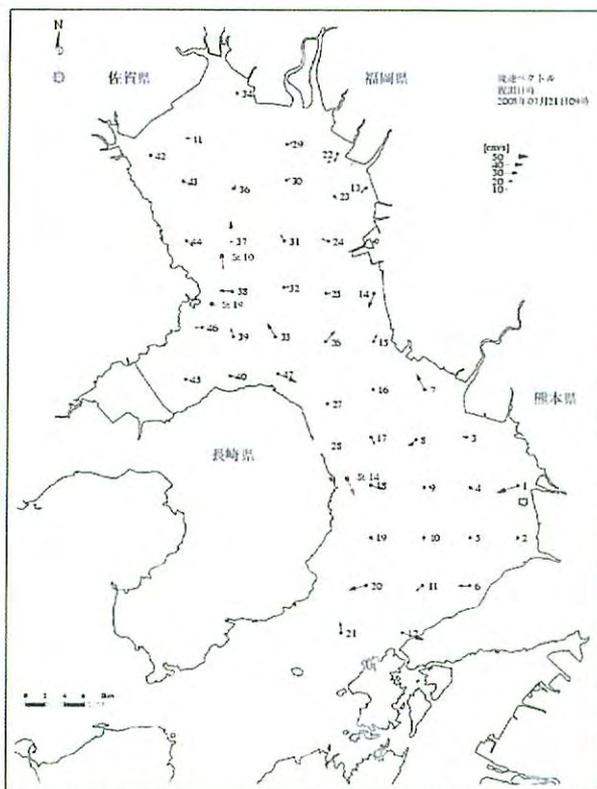
\*) 黒：一斉測流調査結果、赤：15 昼夜調査結果

図 6-10 流速ベクトルの水平分布（平成 16 年度冬季調査）

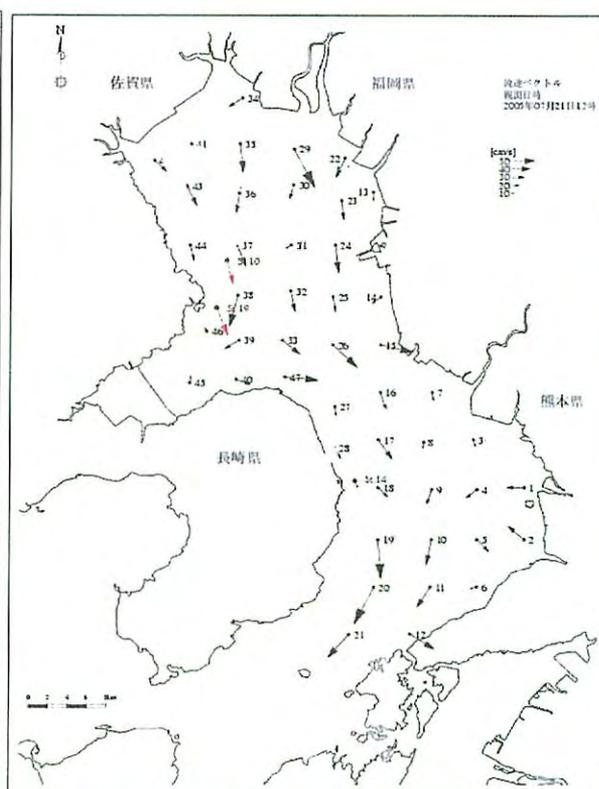
## ②夏季調査

平成17年度夏季調査の一斉測流調査は、平成17年7月21日の7時～19時の間に、1時間間隔で行った。各調査点の各時刻における流速ベクトルの水平分布を図6-11に示す。

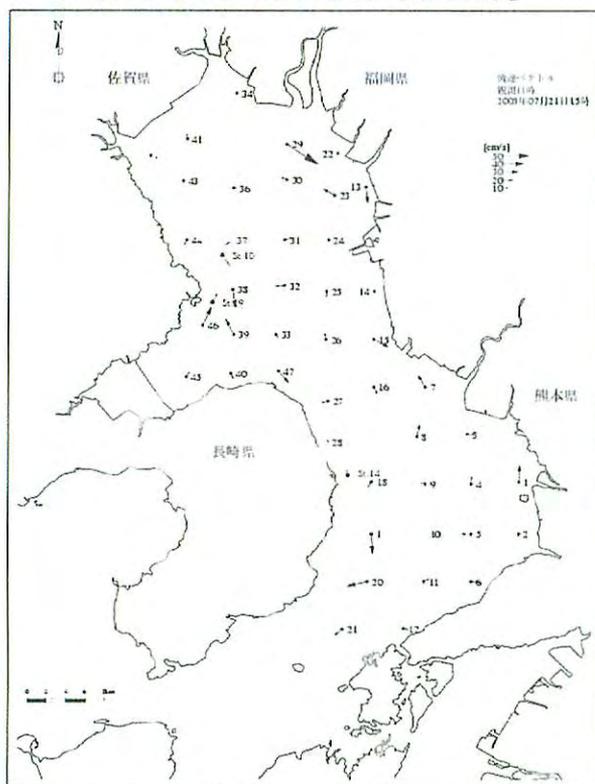
下げ潮時にあたる12時では、湾奥、湾中央部の調査地点は南流、湾口部付近の調査地点は南西流を示し、筑後川河口部のSta.29や地形が狭くなるSta.26（長洲－国見間）、Sta.20（三角－水路）では流速が大きかった。干潮時にあたる15時には湾全体で潮止まりで、18時の上げ潮時では、調査期間中最も速い流速が出現しており、Sta.26（長洲－国見間）で100cm/sを越えていた。全体として、上げ潮時、下げ潮時ともに地形に沿った流れの形成がみられた



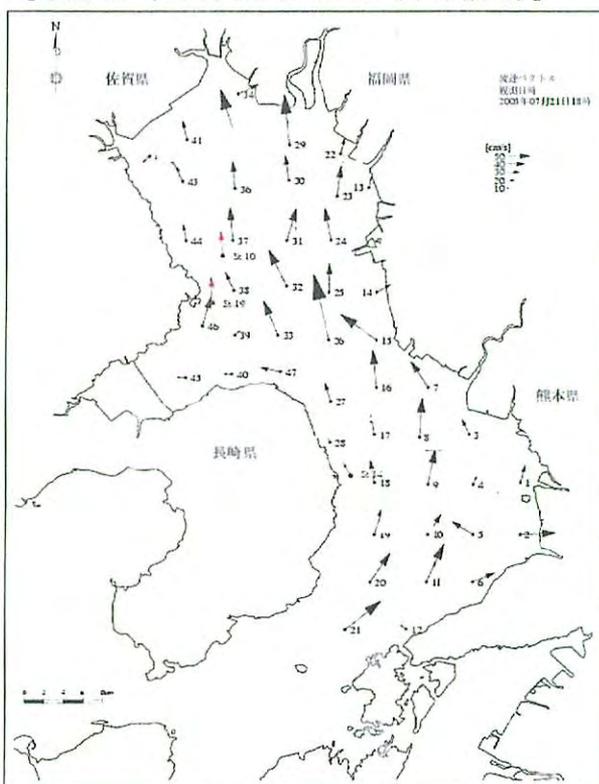
【平成 17 年 7 月 21 日 9 時 (満潮時)】



【平成 17 年 7 月 21 日 12 時 (下げ潮時)】



【平成 17 年 7 月 21 日 15 時 (干潮時)】



【平成 17 年 7 月 21 日 18 時 (上げ潮時)】

\*) 黒：一斉測流調査結果、赤：15 昼夜調査結果

図 6-11 流速ベクトルの水平分布 (平成 17 年度夏季調査)

## 5) 流動解析調査

### ①国調費モデルの精度の検証

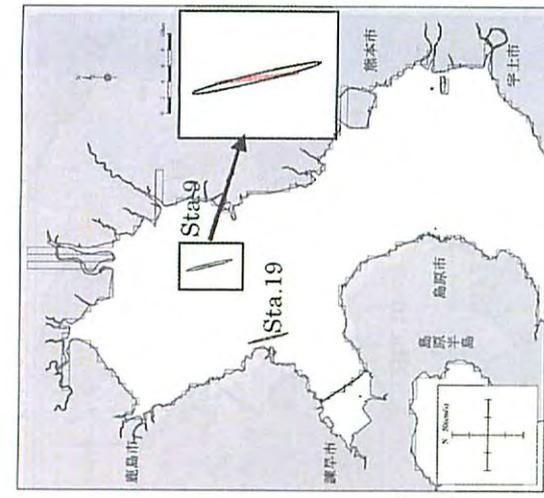
#### a. 潮流楕円比較

冬季潮流調査および夏季潮流調査で求めた ADCP 流速計による観測値の  $M_2$  分潮潮流楕円と、国調費モデルによる計算値の潮流楕円の比較を図 6-12～図 6-14 に示す。

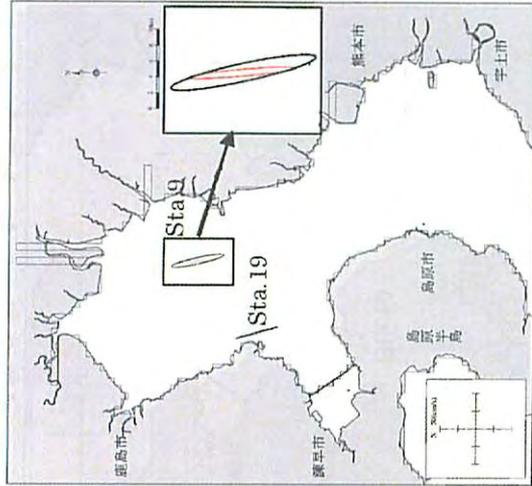
平成 16 年度冬季調査についてみると Sta. 6 の第 1 層、Sta. 19 の第 5～7 層は観測値と計算値の潮流楕円は長軸の方向、振幅ともよい一致を示している。一方、Sta. 19 の第 1 層、Sta. 9 の第 3～4 層は長軸の方向はほぼ一致しているが、振幅は計算値の方がやや大きい傾向がみられる。国調費モデルは有明海の大きな潮位振幅に対応するため第 1 層の厚さを 3.5m と設定しており、流動が複雑なところでは再現は比較的難しい傾向が見られる。Sta. 19 は諫早湾の湾口端に位置し、特に上層では有明海奥部方向への南北向きの流れと、諫早湾方向への東西向きの流れがぶつかり流動の挙動が複雑であるため再現が比較的難しいと考えられる。また Sta. 9 については滞筋にあたるため、水深変化による局所的な流動を表すことが国調費モデルでは難しいことによるものと考えられる。

平成 17 年度夏季調査についてみると、Sta. 14 の第 1 層および Sta. 10 の第 1～3 層は計算値が大きい傾向がみられるが、その他の層は観測値と計算値はよい一致を示している。Sta. 14 については海底地形が変化に富んでおり水深の勾配が急であること、Sta. 10 は滞筋にあたることから、前述したように再現が難しいものと考えられる。

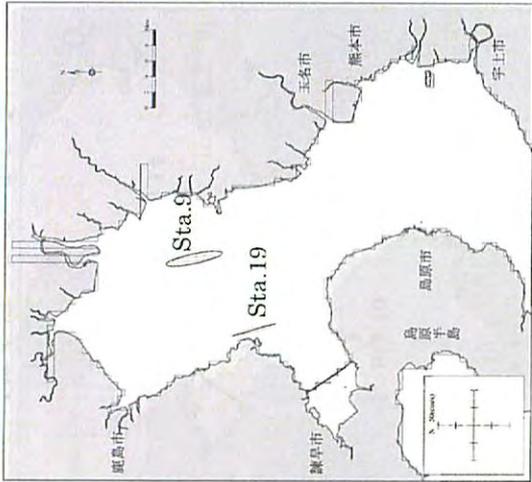
平成 19 年度夏季調査についてみると、Sta. 14 では第 1 層で計算値がやや大きい傾向があるものの、その他の測点では観測値と計算値はよい一致を示しており、国調費モデルは、水深の変化が大きな海域以外では有明海の潮流をおおむね再現できるものと考えられる。



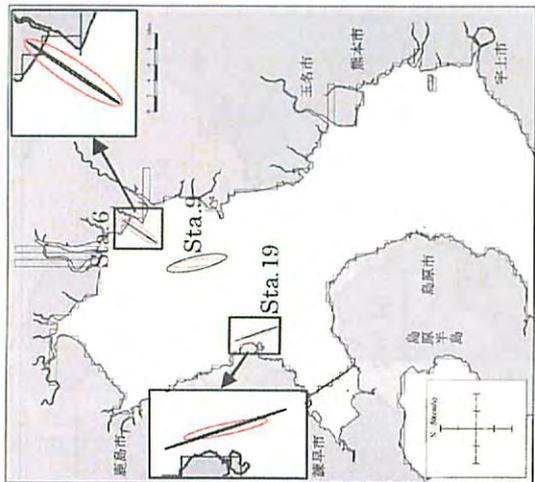
【第4層：5.5~6.5m】



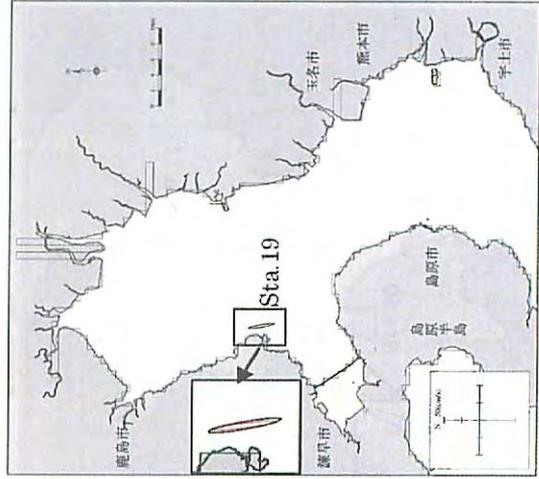
【第3層：4.5~5.5m】



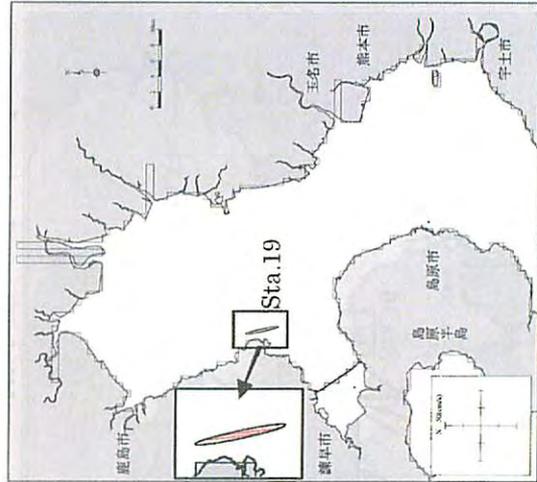
【第2層：3.5~4.5m】



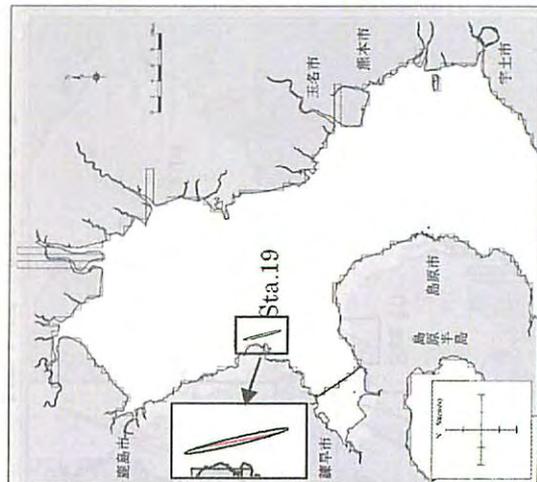
【第1層：0.0~3.5m】



【第7層：8.5~9.5m】



【第6層：7.5~8.5m】



【第5層：6.5~7.5m】

図 6-12 ADCP 流速計による観測値と計算値の  $M_2$  分潮の潮流楕円比較 (平成 16 年度冬季調査、赤：観測値、黒：計算値)

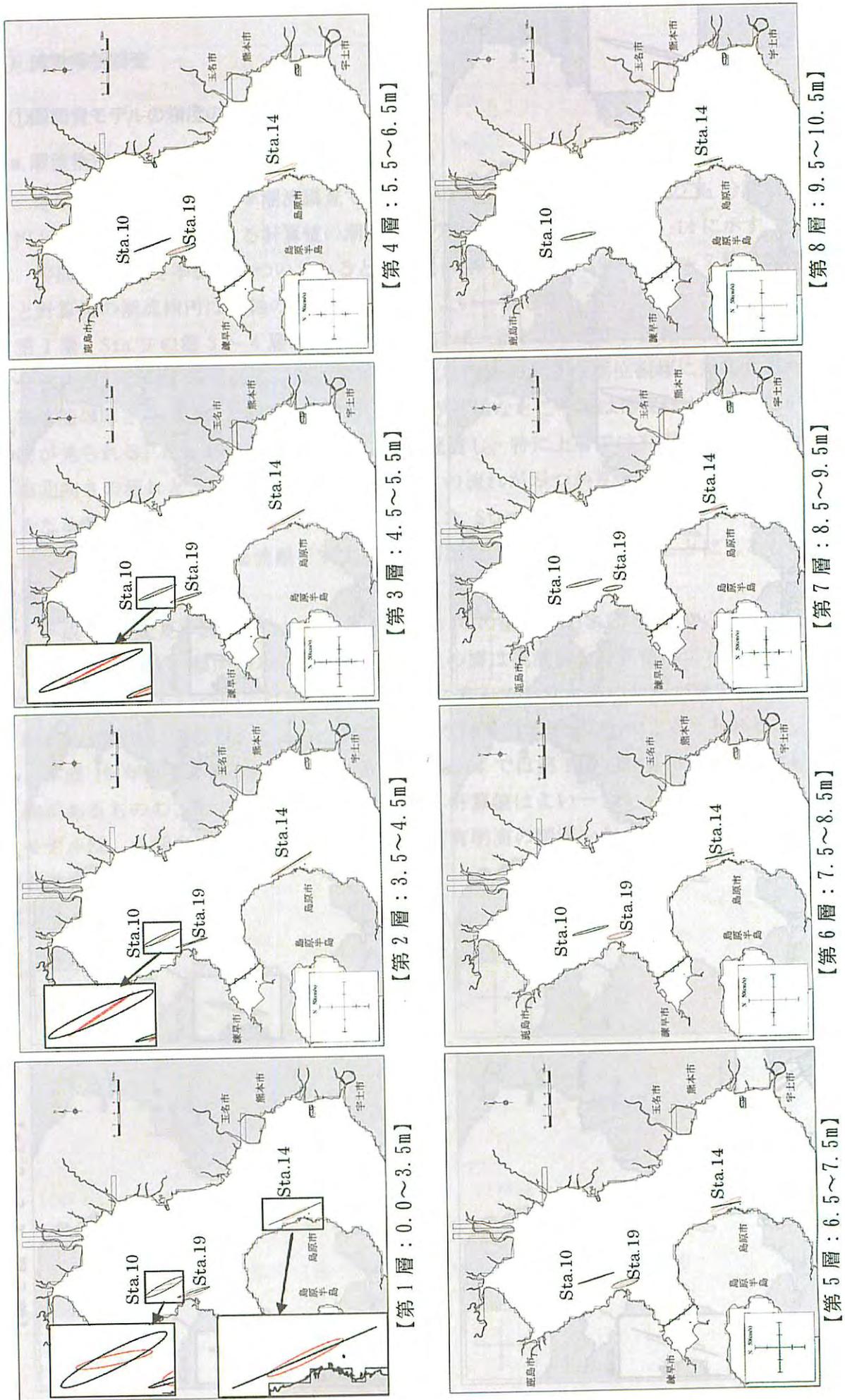
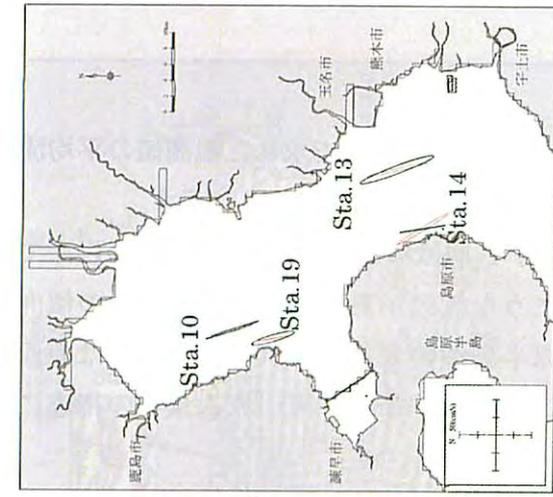
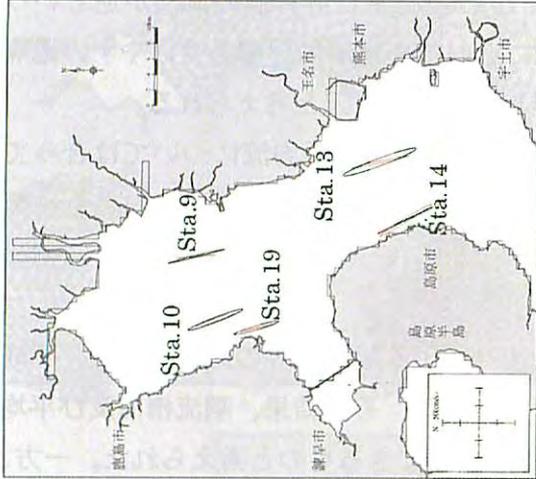


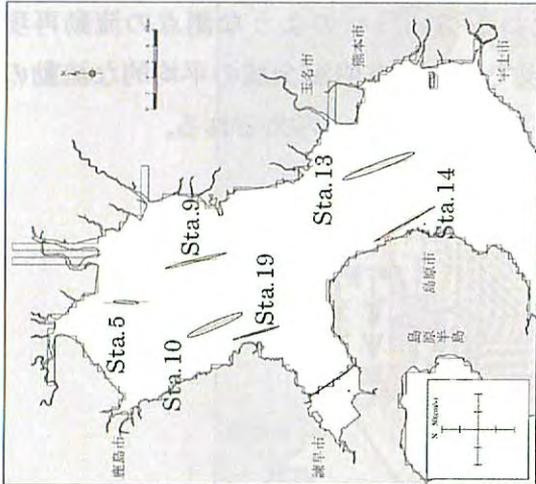
図 6-13 ADCP 流速計による観測値と計算値の  $M_2$  分潮の潮流楕円比較 (平成 17 年度夏季調査、赤：観測値、黒：計算値)



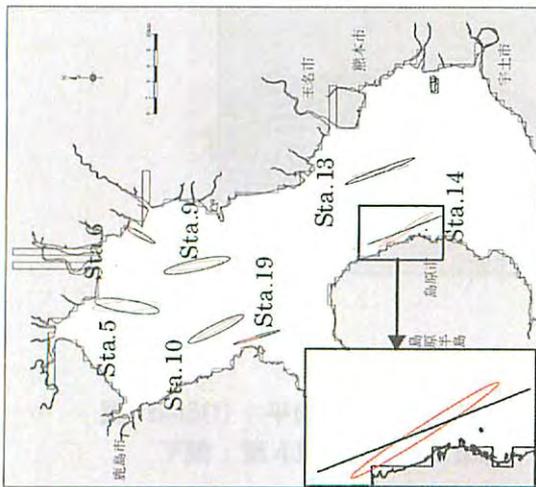
【第4層：5.5～6.5m】



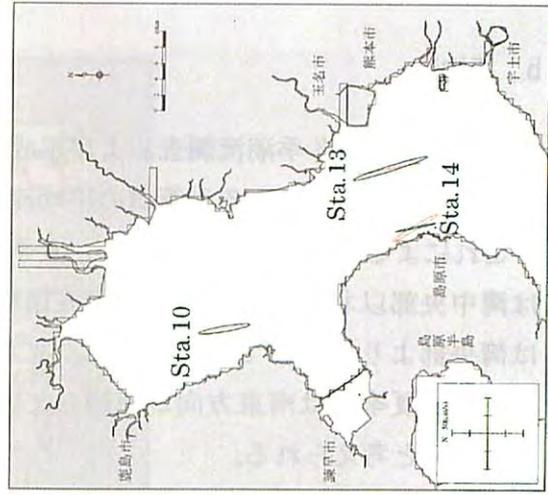
【第3層：4.5～5.5m】



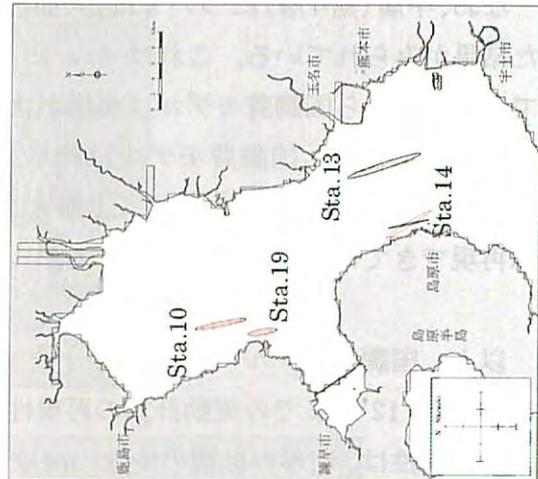
【第2層：3.5～4.5m】



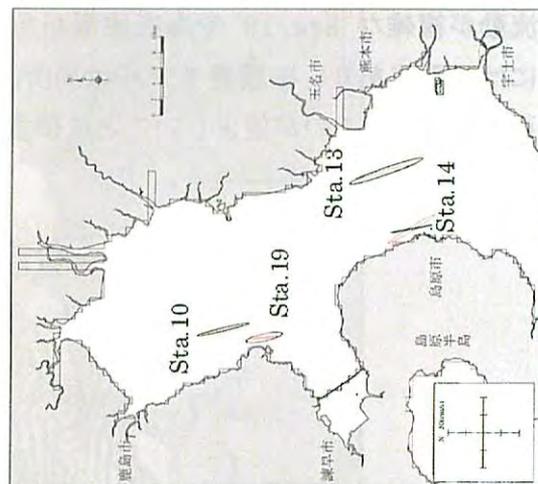
【第1層：0.0～3.5m】



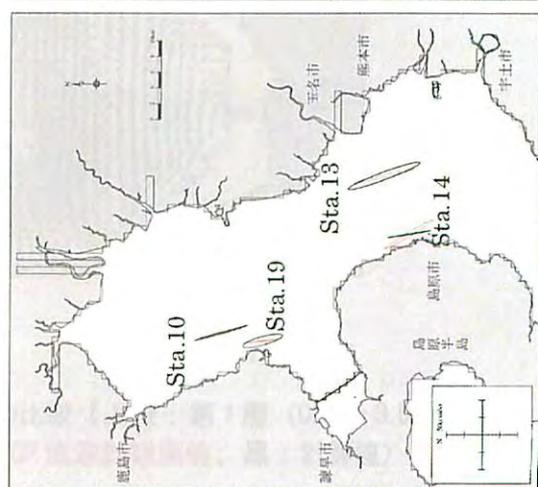
【第8層：9.5～10.5m】



【第7層：8.5～9.5m】



【第6層：7.5～8.5m】



【第5層：6.5～7.5m】

図 6-14 ADCP 流速計による観測値と計算値の  $M_2$  分潮の潮流精円比較（平成 19 年度夏季調査、赤：観測値、黒：計算値）

## b. 平均流

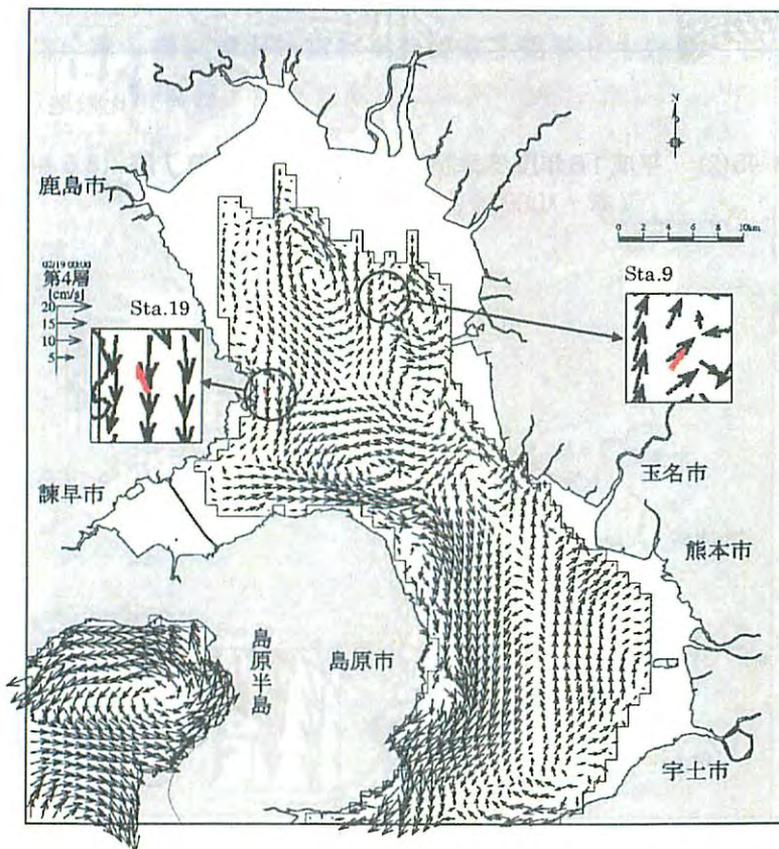
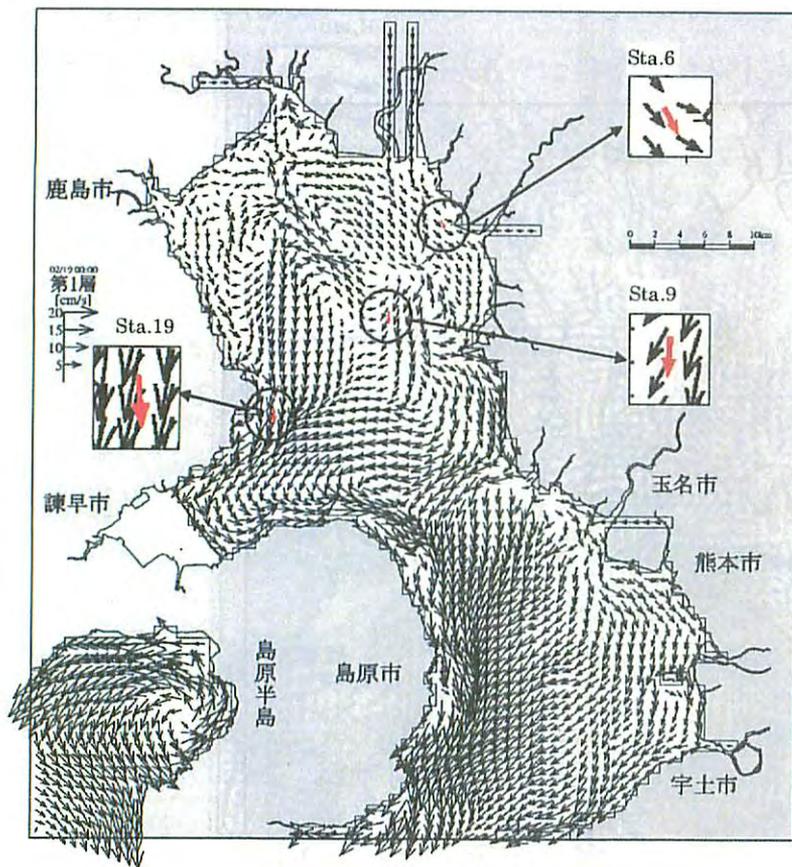
平成 16 年度冬季潮流調査および平成 17 年度夏季潮流調査で求めた観測値の平均流と、国調費モデルによる計算値の平均流の比較を図 6-15～図 6-16 に示す。

これによると、基本的に、冬季、夏季ともに第 1 層は湾口に向かい、第 7 層以深では湾中央部以北で湾奥へ向かう鉛直循環流のような流れが形成されている。この傾向は湾中央部より湾奥部で顕著である。また、島原半島沖の表層の流れは、冬季では南西方向が、夏季では南東方向が卓越している。これらは季節風、河川流入量等の相違によるものと考えられる。

なお、中層(第 4 層)については、大浦沖の Sta. 19 で観測値と計算値の流向が逆といった結果がみられている。これは Sta. 19 が陸域に近い地形の影響を受けやすい地点であることから国調費モデルは再現が比較的難しいことが原因と考えられる。

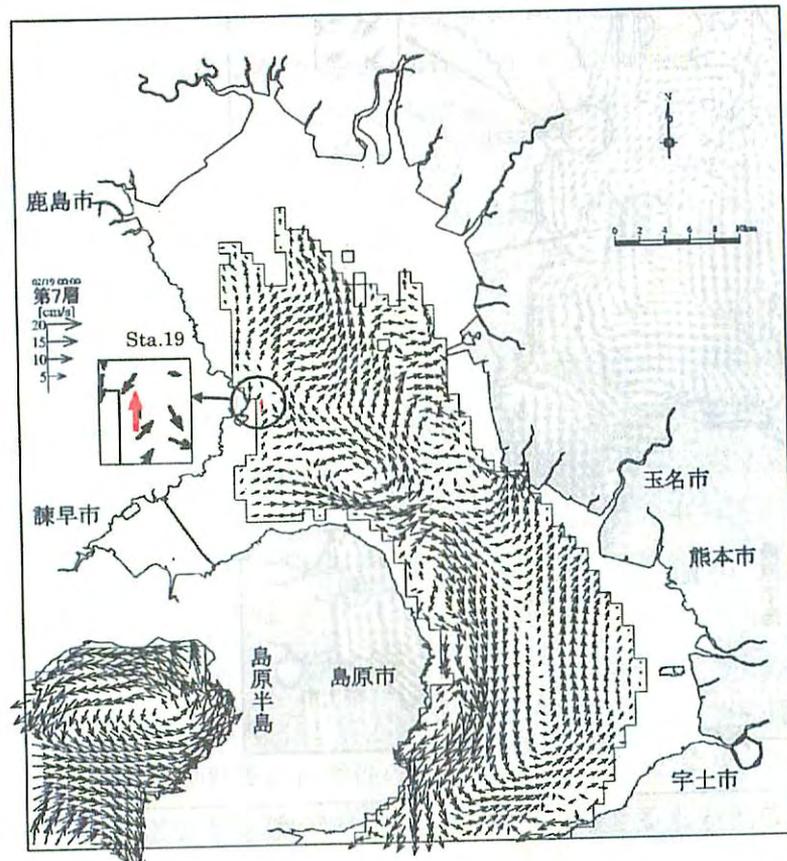
以上のように、国調費モデルは諫早湾口北側海域の中層の平均流については合っていないが、冬季、夏季ともに、上層と下層については、平均流速、平均流向ともに概ね再現できているものと考えられる。

以上、国調費モデル(900m 格子)と ADCP 流速計による観測値等の比較を行い、平成 17 年 1～12 月までの流動計算の再現性の確認を行った。その結果、潮流槽田及び平均流の再現性は、地形の影響の少ない海域では、概ね満足できるものと考えられた。一方、流動が複雑な Sta. 19 や海底地形が急激に変わる Sta. 14 のような測点の流動再現には限界があり、国調費モデルは局所的な再現ではなく有明海全域の平均的な流動の再現で評価するのが望ましいことに留意する必要があるものと考えられる。



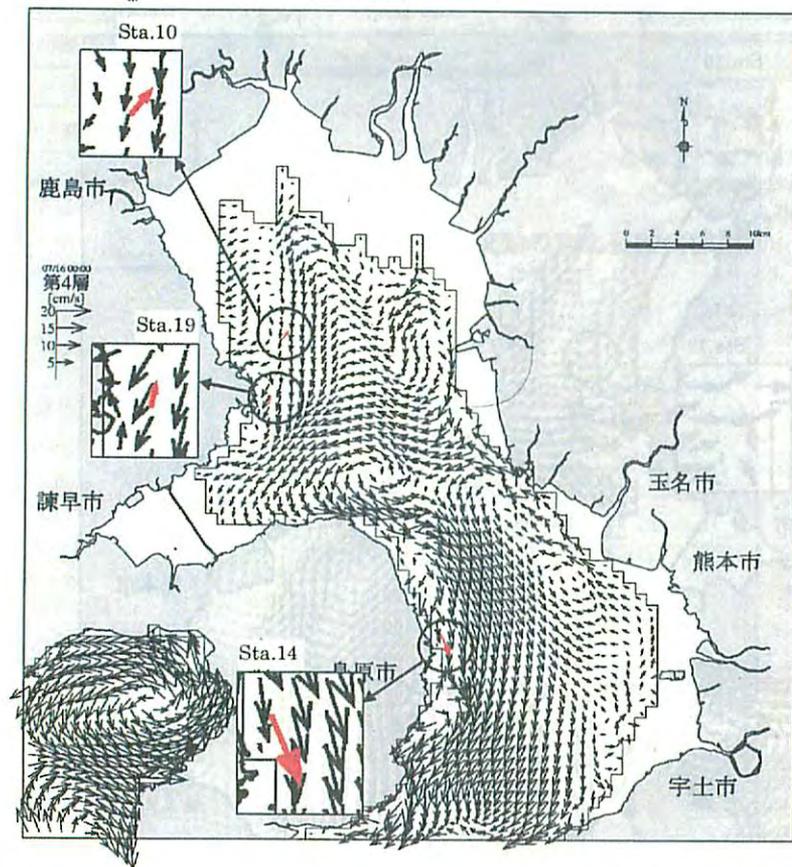
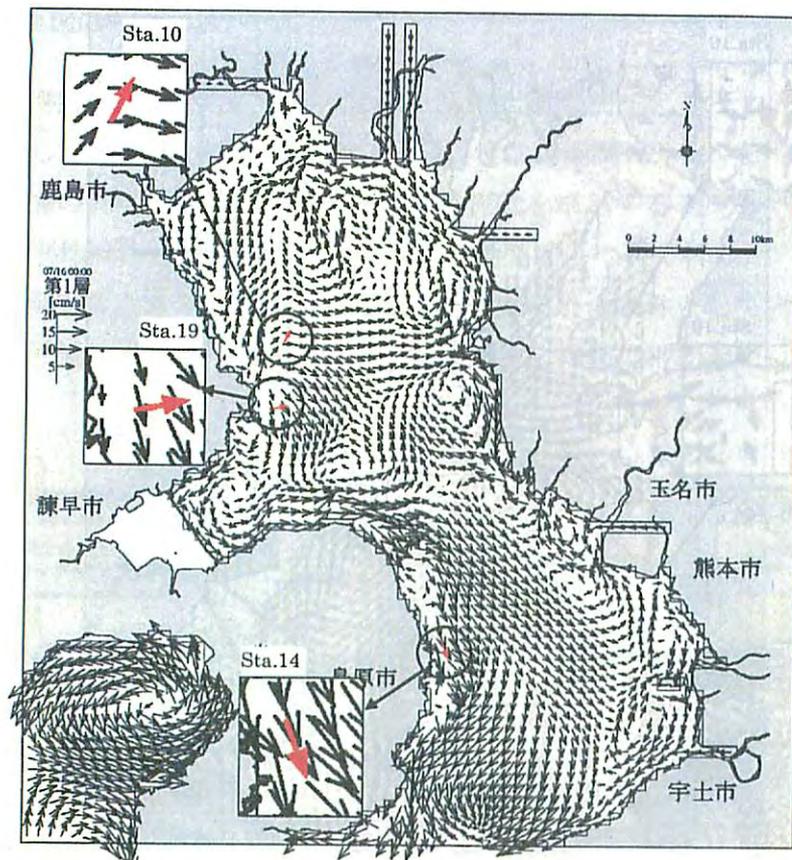
注)○: 比較地点

図 6-15(1) 平成16年度冬季調査平均流の比較【上段: 第1層 (0.0~3.5m)、  
下段: 第4層 (5.5~6.5m)】(赤: ADCP 流速計観測値、黒: 計算値)



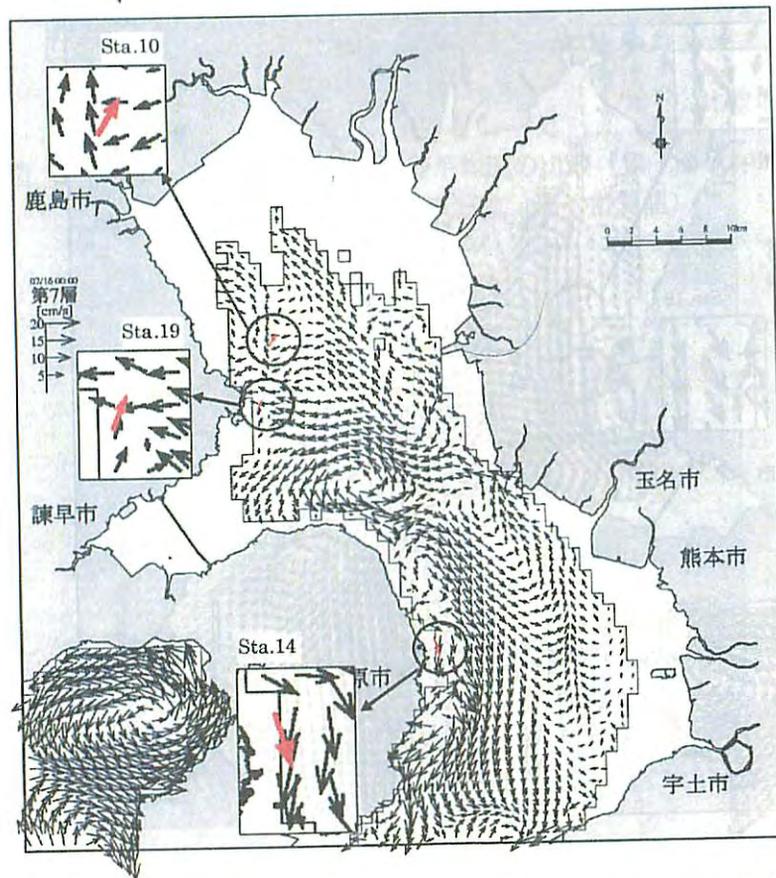
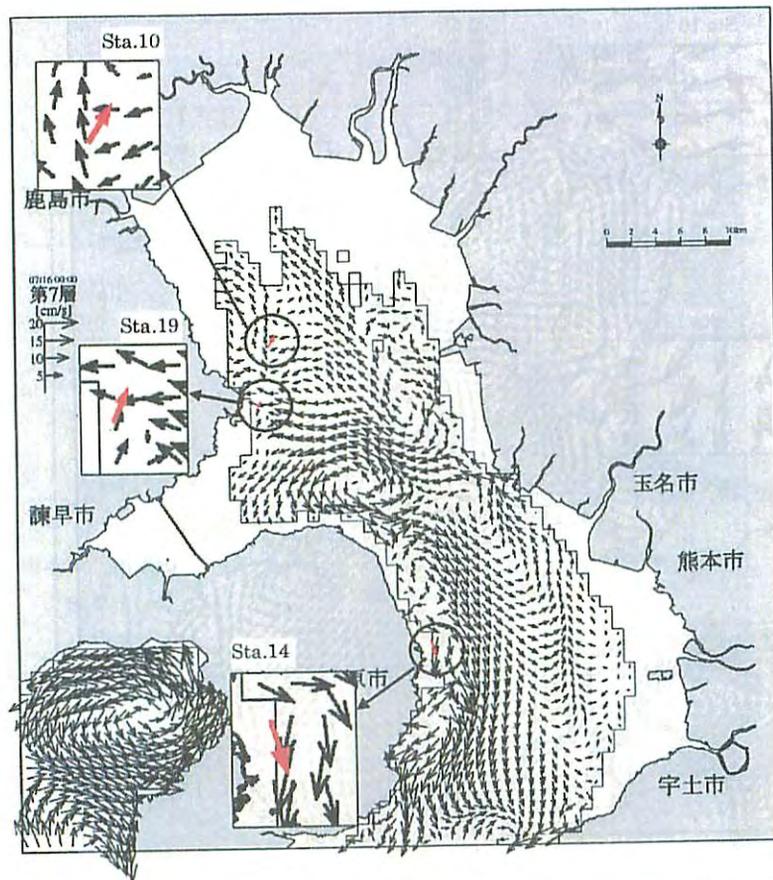
注) ○: 比較地点

図 6-15(2) 平成16年度冬季調査平均流の比較【第7層 (8.5 ~ 9.5m)】  
 (赤: ADCP 流速計観測値、黒: 計算値)



注)○: 比較地点

図 6-16(1) 平成17年度夏季調査平均流の比較【上段: 第1層 (0.0 ~ 3.5m)、  
下段: 第4層 (5.5 ~ 6.5m)】(赤: ADCP 流速計観測値、黒: 計算値)



注)○: 比較地点

図 6-16(2) 平成17年度夏季調査平均流の比較【上段: 第7層 (8.5 ~ 9.5m)、  
下段: 第10層 (12.5 ~ 15.0m)】(赤: ADCP 流速計による観測値、黒: 計算値)

## ②流動変動要因の検討

有明海の潮位振幅、潮流、平均流といった流動の変化にはそれぞれについて図 6-17 に示したような主な要因が考えられる。そこで国調費モデルを用いて、感度解析により有明海の流動変動を検討した。検討は流動を卓越する M<sub>2</sub> 分潮を対象とした潮位・潮流と平均流に分け、表 6-3 に示す変動要因について行った。

なお、台風や洪水等のイベントは感度解析の際に外力条件として考慮しているが、その影響は一過性で長期間持続しないものと考え、評価は平均流で行うこととした。

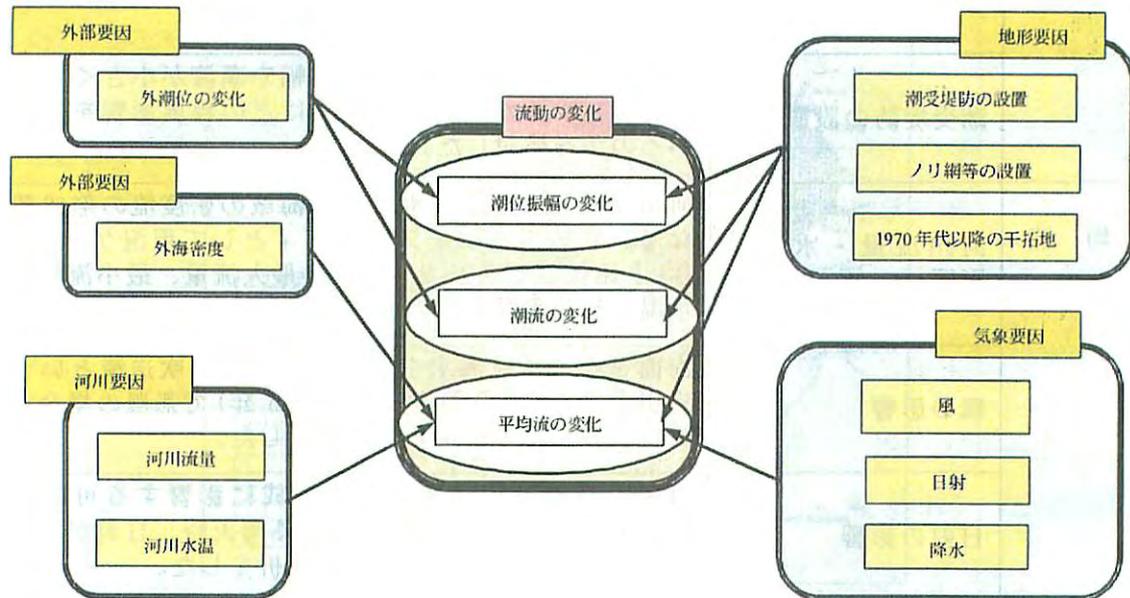


図 6-17 国調費モデルによる流動の変化要因の検討

表 6-3 国調費モデルを用いた流動変動要因の検討内容

対象流動	検討した変動要因	選 定 理 由 等
潮 位 潮 流	1970 年代以降の干拓地の地形の影響	有明海の地形は潮受堤防のみでなく湾奥には大規模な干拓地が 1970 年代に造成されている。そこで 1970 年代以降に造成された干拓地の地形の影響を検討した。
	外潮位の変化	1980 年代半ば以降外潮位が上昇していると言われており、また潮汐の振幅も太平洋レベルで変化（減少）している。外潮位の変化が有明海内部に及ぼす影響を検討した。
	ノリ網等の設置	冬季のノリ網および支柱の抵抗が潮流にどの程度影響しているかを検討した
	潮受堤防の設置	潮受堤防の設置により潮位振幅や潮流が小さくなったと言われているが、有明海全域にどの程度影響を及ぼしているのかを検討した。
平 均 流	河川流量・水温の影響	河川から流入する淡水が河口海域の密度流の形成要因となる。筑後川をケーススタディとして現況ケース(2005年)と比較して過去 20 年間の最大流量、最小流量、最高水温、最低水温条件の感度解析をした。
	風の影響	海面を吹く風は海水を引きずるために吹送流という流れを引き起こす。現況ケース(2005年)で無風の場合、1/2 風速の場合を設定し感度解析した。
	日射の影響	日射は海面を暖め密度流の形成に影響する可能性がある。海面への日射が 100%である晴天時、日射が 0 のときの曇天時の場合で日射の感度解析をした。
	降水の影響	海面に降る降水は、海水温を変化させ密度流の形成に影響する可能性がある。また、降水により海面が上昇し外潮位と海面勾配が生じ潮流に影響を及ぼす可能性がある。そこで海面の降水量(熊本、口之津、諫早、白石の平均として定義)を考慮した感度解析をした。
	外海密度の影響	外海の海水密度が有明海内部の密度流の形成に影響する。過去 20 年程度の熊本県沿岸定線実測値の変動範囲から最大、最小の場合について外海の海水密度の感度解析をした。
	その他の影響	潮位・潮流の変動要因で検討した、潮受堤防の設置、ノリ網等の設置、外潮位の変化、潮受堤防を含む 1970 年代以降の干拓地の地形が平均流に及ぼす影響について検討した。

a. 感度解析の条件の概要

国調費モデルを用いた感度解析における計算条件の概要を以下に示す。

—格子分割および鉛直層分割—

格子分割を図6-18に示す。また鉛直層分割を図6-19に示す。

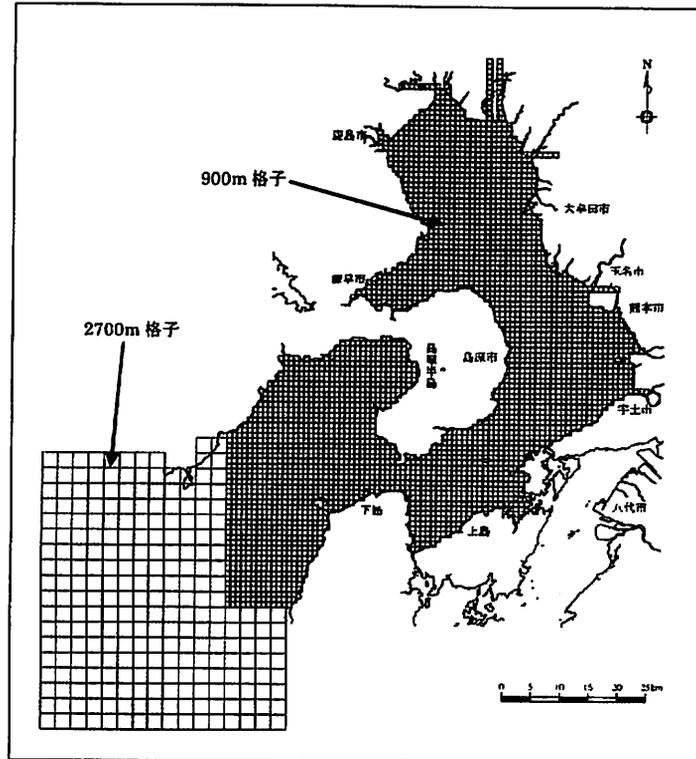


図 6-18 格子分割 (全体)

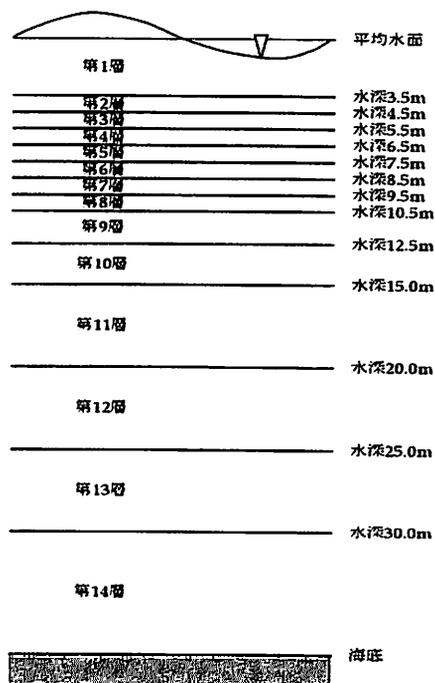


図 6-19 鉛直層分割

## b. 潮位・潮流の感度解析の条件の概要

### ア) 潮受堤防の設置

潮受堤防の有無については図6-20のとおりである。

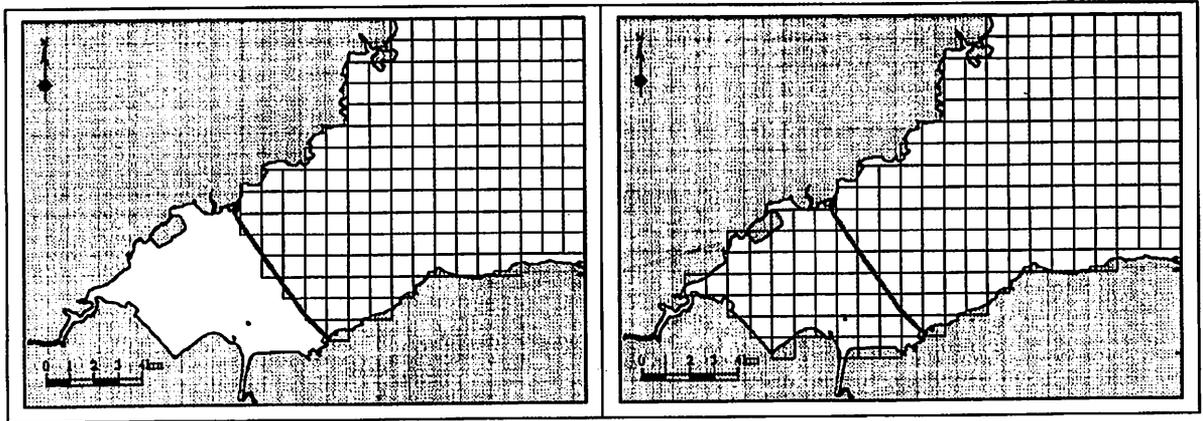


図 6-20 格子分割 (潮受堤防の有無)

### イ) ノリ網等の設置

ノリ網の抵抗については、水底摩擦と同様のせん断応力が表面の層に作用するとする。その時の摩擦係数は戸原ら(1974)<sup>2</sup>から0.05とした。また、支柱の抵抗については、流体抵抗として扱うこととする。水理公式集(平成11年度版)によると、支柱がある場合の等価摩擦損失係数  $f_w'$  は次式で表される。

$$f_w' = f_b' + C_d \cdot a_v \cdot h$$

ここで、

$f_b'$  : 底面の粗度についての摩擦損失係数

$C_d$  : 支柱についての抵抗係数 (1.2)

$a_v$  : 投影面積密生度であり、単位体積の流体塊中にある支柱の

総投影面積 (単位河床面積当たりの円柱の本数 × 円柱の直径)

$h$  : 水深

である。

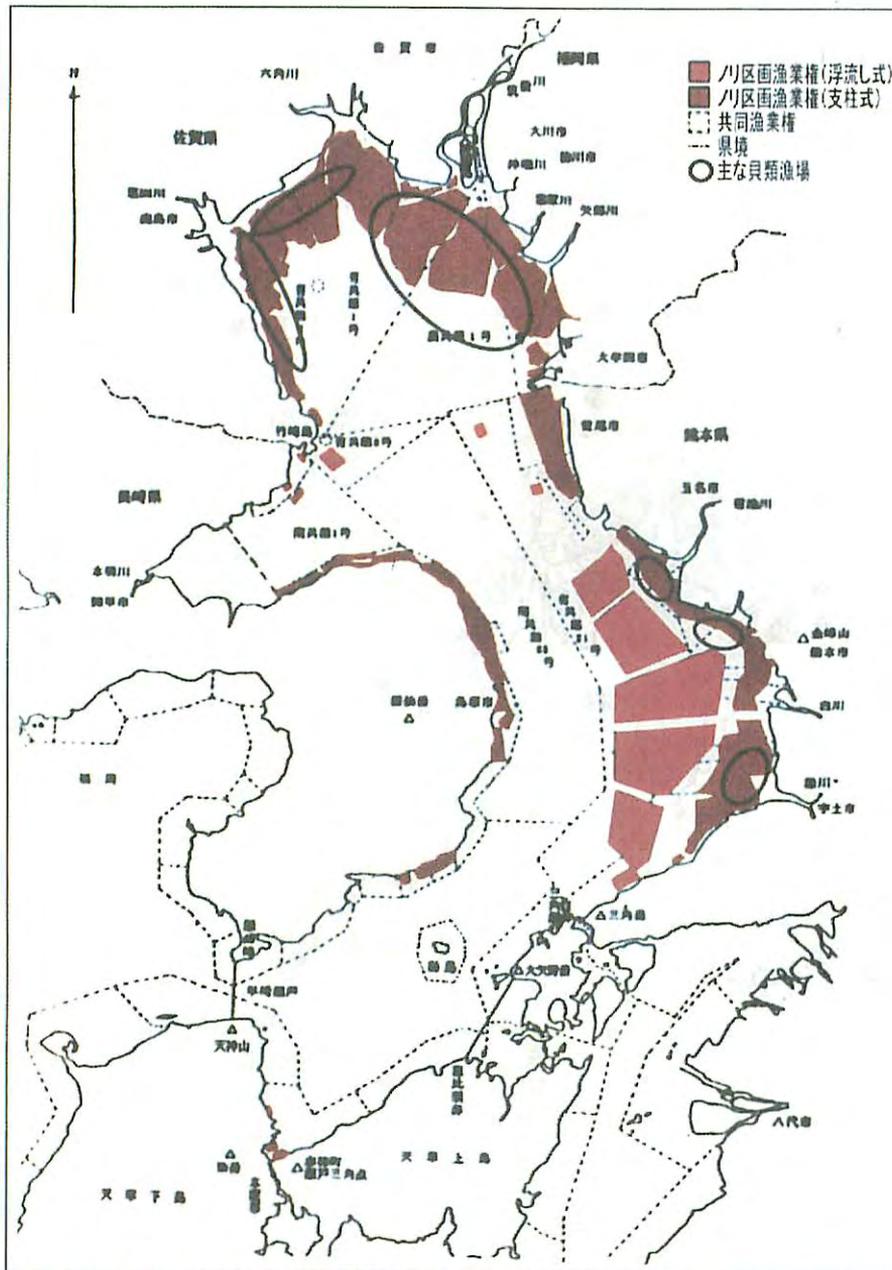
2005年の4県の施設面積は表6-4のとおりである。図6-21に主なノリ養殖漁場の位置を示した。計算ではこれらの漁場に対応する格子に2005年の施設面積から求める抵抗を与えた。

<sup>2</sup> 戸原義男・田中宏平・加藤治(1974): 有明海のり漁場を中心にした浅海域増養殖漁場の水理について、漁業研究室報告, 九州大学, No. 2.

表 6-4 施設面積 (2005 年)

県名	支柱式	浮流し式
熊本	735.9 ha	511.0 ha
福岡	689.6 ha	3.6 ha
佐賀	872.5 ha	5.0 ha
長崎	8200 さく (22.4 ha に相当)	400 さく (1.1 ha に相当)

出典) 第 53 次 熊本農林水産統計年報 平成 17~18 年 九州農政局統計部  
 第 53 次 福岡農林水産統計年報 平成 17~18 年 九州農政局福岡農政事務所  
 第 53 次 佐賀農林水産統計年報 平成 17~18 年 九州農政局佐賀農政事務所  
 第 53 次 長崎農林水産統計年報 平成 17~18 年 九州農政局長崎農政事務所  
 注) 長崎については () に引用文献に示された 1 さくの規模 (18.2m×1.5m) に基づく面積を示す



出典) 平成 12 年度有明海海域緊急環境調査報告書 環境省

図 6-21 主なノリ養殖漁場

### ウ) 外潮位

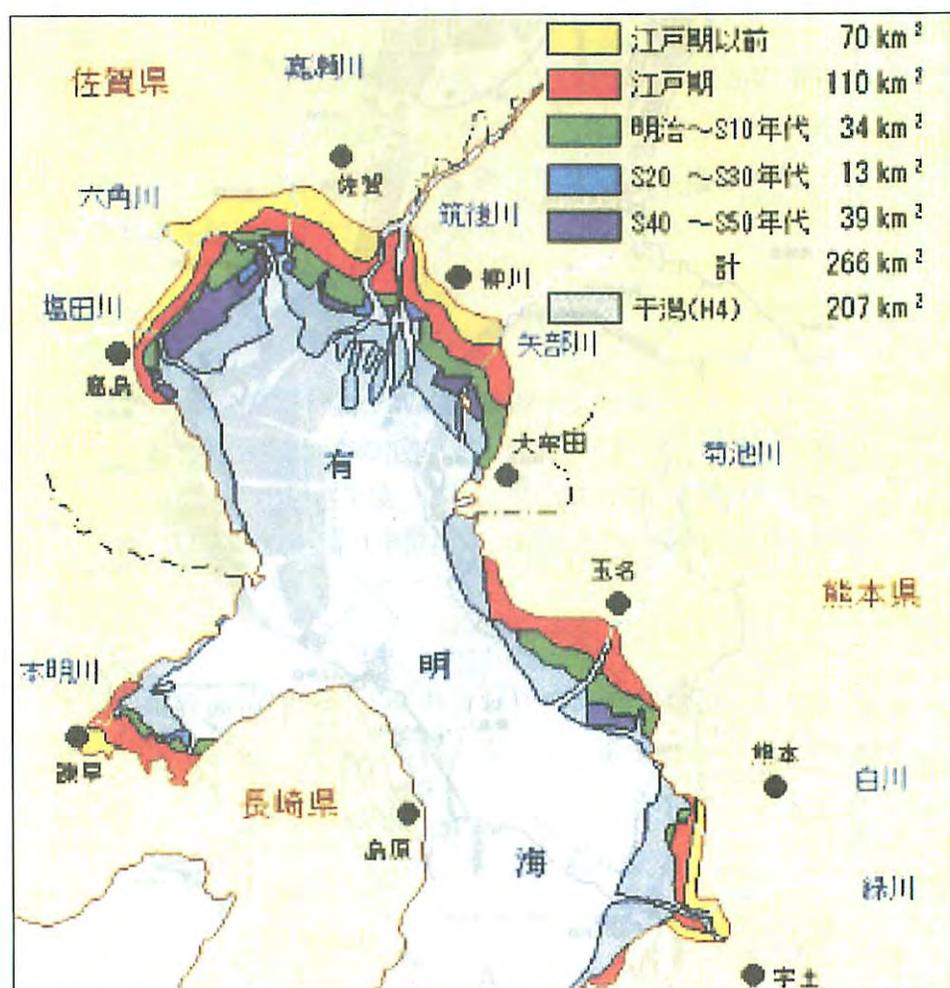
外海の潮位振幅の変化については、潮受堤防設置前の 1980 年の福江検潮所における実測潮位を調和分解し、境界条件として与えた。表 6-5 に現況 (2003 年) と 1980 年の福江の潮位振幅比を示す。これによると  $M_2$  分潮の振幅の減少が最も大きく、1980 年は現況と比較して 3% ほど大きかったことが分かる。

表 6-5 潮位振幅比 (福江)

分潮	振幅 (cm)		1980 年/2003 年比
	1980 年	2003 年	
$M_2$	78.79	76.60	1.03
$S_2$	35.12	34.65	1.01
$K_1$	24.37	24.53	0.99
$O_1$	18.76	18.91	0.99

### エ) 1970 年代以降の地形

1970 年代からの有明海湾奥の干拓の有無として考慮する海岸線については、図 6-22 に示す有明海・八代海総合調査評価委員会の資料をもとに、昭和 40～50 年代 (1965 年～1975 年代) に造成された干拓地 (3,900ha) を除外した地形とした。



出典) 有明海・八代海総合調査評価委員会報告 (2006)

図 6-22 有明海における干拓の歴史

### c. 潮位・潮流の検討結果

#### ア) 潮位の変動

図 6-23 に示した口之津、三角、大浦地点について、現況と要因別の  $M_2$  分潮潮位振幅を表 6-6 に示す。

図 6-24 に各変動要因による潮位振幅の変化値 (変化値=現況-各ケース) を示す。ただし、「1970 年地形」(1970 年代以降の干拓地の地形) については、湾奥の干拓地のみの影響を把握するために、潮受堤防無ケースとの変化値とした。

大浦地点のいずれの要因についてもその影響は同程度であり、潮位振幅の変化率は最大でももとの振幅の 5% 程度であった。

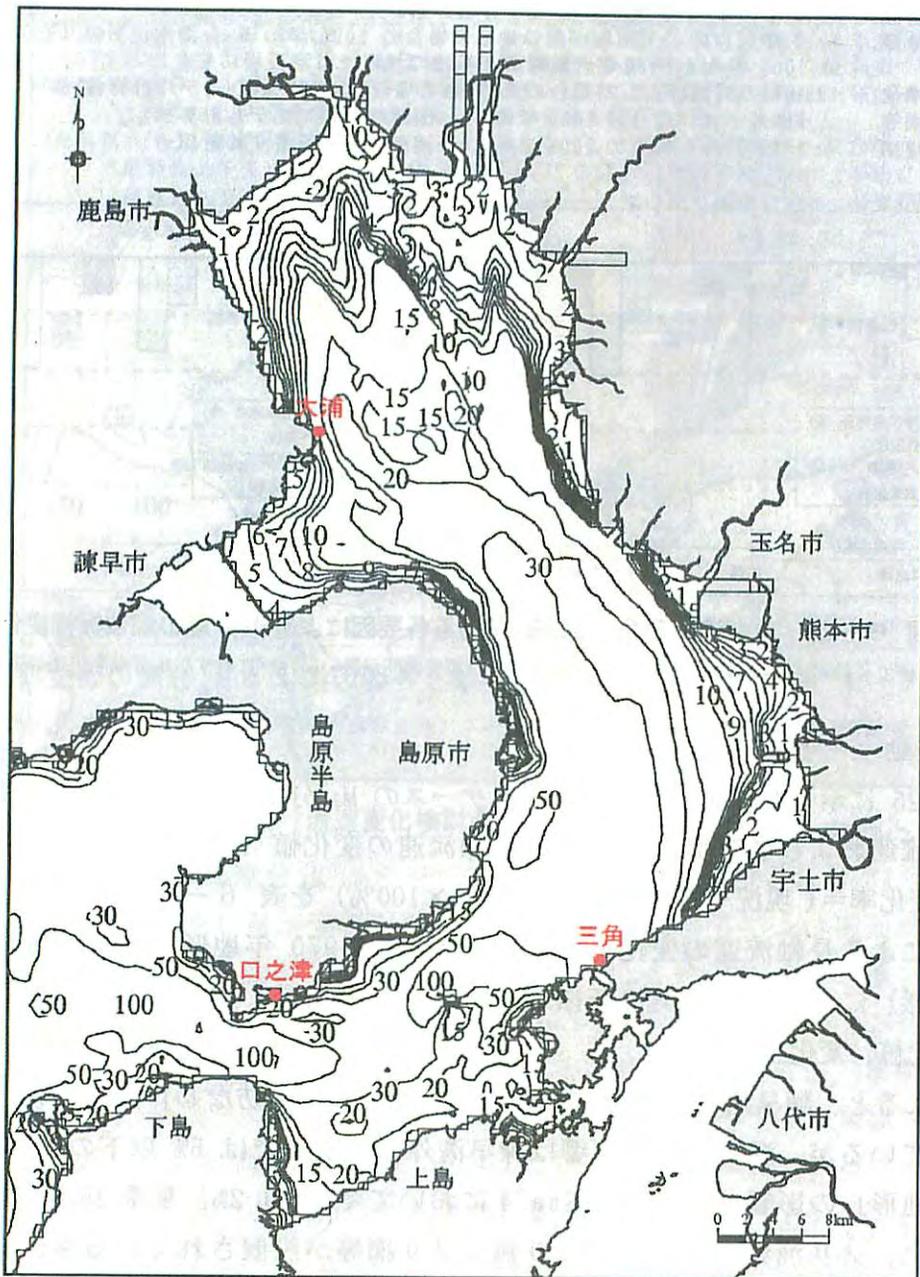


図 6-23 潮位観測点 (图中数字は水深 (m))

表 6-6 各ケースの M<sub>2</sub>分潮潮位振幅

M <sub>2</sub> 分潮(冬季)					単位: cm
地点	現況	1970年代以降の干拓地の地形	外潮位の変化	ノリ網等の設置	潮受堤防の設置
口之津	97.1	97.5	99.7	97.6	97.5
三角	122.0	123.8	125.2	122.9	123.1
大浦	153.5	158.3	157.5	155.1	156.1

M <sub>2</sub> 分潮(夏季)					
地点	現況	1970年代以降の干拓地の地形	外潮位の変化	ノリ網等の設置	潮受堤防の設置
口之津	96.5	97.3	99.1	-	96.9
三角	121.4	124.4	124.7	-	122.7
大浦	153.6	160.6	157.8	-	156.7

注) 冬季: 1月  
 夏季: 7月  
 現況: 2005年のM<sub>2</sub>分潮潮位振幅(モデル計算値)  
 1970年地形: 1970年代以降の干拓地が無い地形の場合の2005年のM<sub>2</sub>分潮潮位振幅(モデル計算値)。なお、1970年代以降の干拓地の地形には潮受堤防を含む。  
 外潮位: 1980年の外潮位とした場合の2005年のM<sub>2</sub>分潮潮位振幅(モデル計算値)  
 ノリ網等: ノリ網等が無い場合の2005年のM<sub>2</sub>分潮潮位振幅(モデル計算値)  
 潮受堤防: 潮受堤防が無い場合の2005年のM<sub>2</sub>分潮潮位振幅(モデル計算値)

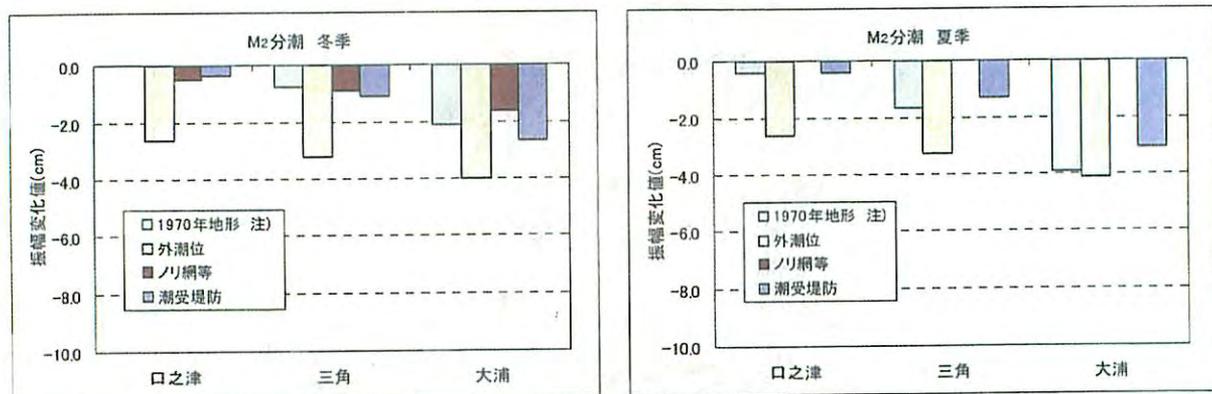


図 6-24 口之津、三角、大浦における各要因による M<sub>2</sub>分潮の潮位振幅変化  
 注) 1970年地形については、潮受堤防の設置ケース(潮受堤防が無い場合)に対する M<sub>2</sub>分潮潮位振幅変化。

### イ) 潮流の変動

図 6-25 に示した検討点における現況ケースの M<sub>2</sub> 分潮の潮流楕円の表層および最下層の長軸流速および各変動要因による長軸流速の変化値(変化値=現況-各ケース)、変化率(変化率=(現況-各ケース)÷現況×100%)を表 6-7 に、図 6-24 に表層の各要因による長軸流速の変化を示す。ただし、「1970年地形」(1970年代以降の干拓地の地形)については湾奥の干拓地のみの影響を把握するために、潮受堤防無ケースとの変化値、変化率とした。

これによると、諫早湾内の B-3 では現況に対し「潮受堤防なし」は 60% 以上流速が大きくなっているが、潮受堤防の影響は諫早湾外の検討点では 5% 以下の変化率である。「1970年地形」の影響は、湾奥の Sta. 4 において冬季 19.2%、夏季 25.2% の変化率である。また、ノリ漁場の全てに片寄り無くノリ網等が設置されている場合には、ノリ漁場の中に位置する Sta. 17 ではノリ網等の影響が 68.1% となっている。

なお、外潮位の影響はいずれの検討点も 3% 以下となっている。

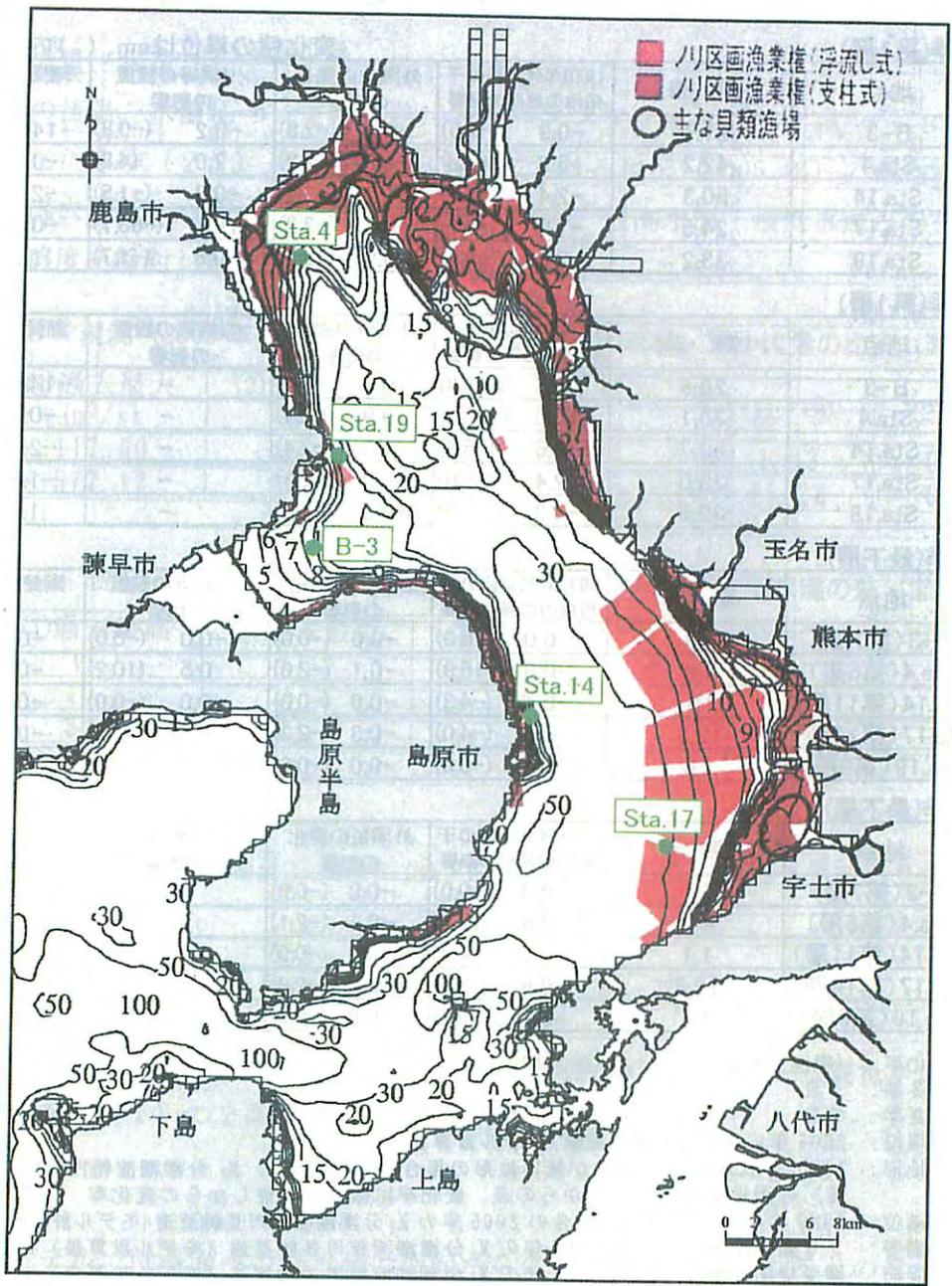


図 6-25 流速変化検討点 (图中数字は水深 (m))

表 6-7 現況からの M<sub>2</sub>分潮潮流楕円の長軸流速の変化値および変化率

冬季(第1層) 変化値の単位はcm、( )内は変化率%

地点	現況	1970年代以降の干拓地の地形の影響	外潮位の変化の影響	ノリ網等の設置の影響	潮受堤防の設置の影響
B-3	21.7	-0.9 (-2.5)	-0.6 (-2.8)	-0.2 (-0.8)	-14.3 (-65.9)
Sta.4	42.2	-8.2 (-19.2)	-1.0 (-2.3)	2.0 (4.8)	-0.6 (-1.4)
Sta.14	50.3	-2.4 (-4.6)	-1.2 (-2.4)	-0.8 (-1.5)	-2.2 (-4.3)
Sta.17	24.5	-1.0 (-4.1)	-0.5 (-2.2)	-16.7 (-68.1)	-0.8 (-3.1)
Sta.19	33.2	-3.0 (-9.4)	-0.9 (-2.6)	-0.6 (-1.7)	1.2 (3.5)

夏季(第1層)

地点	現況	1970年代以降の干拓地の地形の影響	外潮位の変化の影響	ノリ網等の設置の影響	潮受堤防の設置の影響
B-3	20.9	-1.3 (-3.8)	-0.6 (-2.6)	-	-14.2 (-67.7)
Sta.4	39.1	-10.0 (-25.2)	-0.9 (-2.4)	-	-0.6 (-1.5)
Sta.14	53.7	-3.6 (-6.4)	-1.3 (-2.4)	-	-2.4 (-4.5)
Sta.17	39.0	-2.4 (-6.0)	-0.9 (-2.3)	-	-1.4 (-3.6)
Sta.19	32.5	-4.3 (-14.0)	-0.9 (-2.8)	-	1.6 (4.8)

冬季(最下層)

地点	現況	1970年代以降の干拓地の地形の影響	外潮位の変化の影響	ノリ網等の設置の影響	潮受堤防の設置の影響
B-3(第7層)	1.3	0.0 (0.0)	-0.0 (-0.0)	-0.0 (-0.0)	-0.7 (-55.2)
Sta.4(第5層)	4.9	-0.8 (-15.9)	-0.1 (-2.0)	0.5 (10.2)	-0.0 (-0.0)
Sta.14(第11層)	1.1	-0.1 (-4.3)	-0.0 (-0.0)	-0.0 (-0.0)	-0.0 (-0.0)
Sta.17(第14層)	12.9	-0.5 (-4.0)	-0.3 (-2.2)	0.2 (1.2)	-0.4 (-3.2)
Sta.19(第9層)	1.8	-0.1 (-6.9)	-0.0 (-0.0)	-0.0 (-0.0)	0.0 (0.0)

夏季(最下層)

地点	現況	1970年代以降の干拓地の地形の影響	外潮位の変化の影響	ノリ網等の設置の影響	潮受堤防の設置の影響
B-3(第7層)	1.1	-0.0 (-0.0)	-0.0 (-0.0)	-	-0.7 (-68.6)
Sta.4(第5層)	4.2	-0.8 (-19.2)	-0.1 (-2.1)	-	-0.0 (-0.0)
Sta.14(第11層)	1.1	-0.1 (-6.9)	-0.0 (-0.0)	-	-0.0 (-0.0)
Sta.17(第14層)	12.8	-0.8 (-5.7)	-0.3 (-2.3)	-	-0.5 (-3.7)
Sta.19(第9層)	1.8	-0.2 (-9.8)	-0.0 (-0.0)	-	0.0 (0.0)

- 注1) 変化率: (現況 - 検討ケース) / 現況 × 100  
 注2) 冬季: 1月  
       夏季: 7月  
 注3) 現況: 2005年のM<sub>2</sub>分潮潮位振幅(モデル計算値)  
 1970年地形: 1970年代以降の干拓地が無い地形の場合の2005年のM<sub>2</sub>分潮潮流楕円長軸流速(モデル計算値)の潮受堤防無ケースからの差。変化率は潮受堤防無しからの変化率  
 外潮位: 1980年の外潮位とした場合の2005年のM<sub>2</sub>分潮潮流楕円長軸流速(モデル計算値)の現況からの差  
 ノリ網等: ノリ網等が無い場合の2005年のM<sub>2</sub>分潮潮流楕円長軸流速(モデル計算値)の現況からの差  
 潮受堤防: 潮受堤防が無い場合の2005年のM<sub>2</sub>分潮潮流楕円長軸流速(モデル計算値)の現況からの差

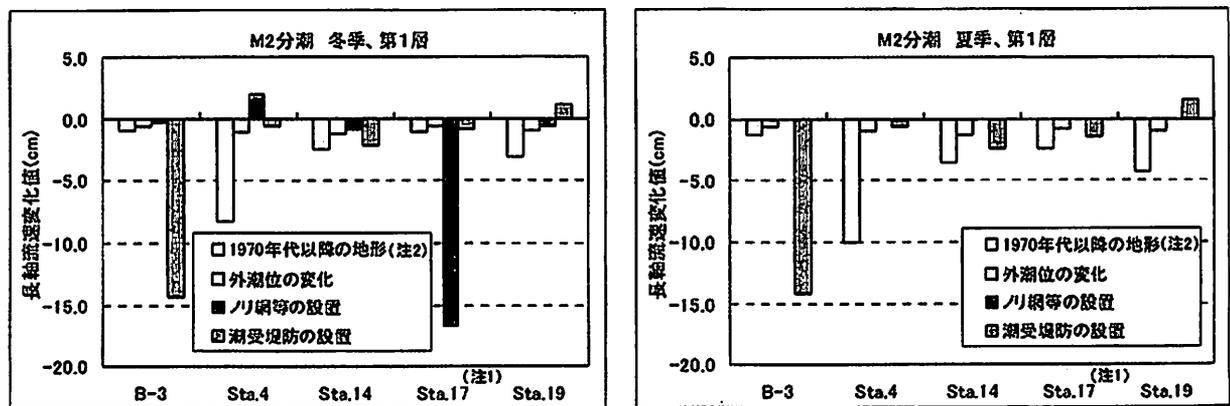


図 6-26 各地点における各要因の M<sub>2</sub>分潮潮流楕円の長軸流速の変化

- 注1) Sta.17は、ノリ漁場の中の地点。  
 注2) 1970年地形については、潮受堤防の設置ケース(潮受堤防が無い場合)に対するM<sub>2</sub>分潮潮流楕円長軸流速変化。

#### d. 平均流の感度解析の条件の概要

##### ア) 河川流量、水温

河川水の流量、水温については筑後川をケーススタディとして、表 6-8～表 6-9 に示した冬季（2月）及び夏季（8月）における現況（2005年）の平均流量、平均水温と過去20年の最大流量・最小流量との比率、最高水温・最低水温との差により現況との感度を検討した。

表 6-8 現況（2005年）平均流量と過去20年の最大流量・最小流量の比率（瀬の下）

月	①過去最大 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	②過去最小 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	③2005年(H17) ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	①/③	②/③
2月	117.60	35.53	76.72	1.53	0.46
8月	577.12	24.18	51.16	11.28	0.47

表 6-9 現況（2005年）平均水温と過去20年の最高水温・最低水温の差（瀬の下）

月	①過去最高 ( $^{\circ}\text{C}$ )	②過去最低 ( $^{\circ}\text{C}$ )	③2005年(H17) ( $^{\circ}\text{C}$ )	①-③ ( $^{\circ}\text{C}$ )	②-③ ( $^{\circ}\text{C}$ )
2月	10.5	6.2	10.0	+0.5	-3.8
8月	30.7	23.4	28.9	+1.8	-5.5

##### イ) 風

現況ケース（2005年）の計算条件において風条件のみ無風、1/2風速の2条件を設定し感度解析した。

##### ウ) 日射

現況ケース（2005年）の計算条件において日射条件のみ完全晴天（雲量が常時0）、曇天（雲量が常時1）の2条件を設定し感度解析した。

##### エ) 降水

国調費モデルでは海面への降水量は海面からの蒸発量と相殺されるとの考えで、海面に降水量を与えていないが、ここでは降水量に相当する塩分低下、降水の水温による海水温変化および海面水位上昇効果を考慮したケースを検討した。なお、降水水温は熊本の気温を用いた。

##### オ) 外海密度

外海の境界水温、塩分の検討については過去20年の沿岸定線調査結果の年平均値の最大値・最小値と現況（2005年）の年平均値との差を整理し、現況ケース（2005年）にその差値を加えることにより感度解析した。

##### カ) その他

潮位・潮流の「1970年代以降の地形」、「外潮位の変化」、「ノリ網等の設置」、「潮受堤防の設置」の計算条件と同じ。

## e. 平均流の検討結果

河川水や風の変化による平均流の流速変化は第1層が最も大きいため、各要因による第1層の平均流の流速変化値分布を図6-27に示す。平均流（冬季は2月、夏季は8月に1ヵ月平均）の変動要因に関するまとめは以下のとおりである。

### ア) 河川流量・水温の影響

筑後川の河川流量の変動は、夏季の河川流量最大ケースで現況ケースより湾央で5cm/s以上流速が速くなるなどの影響が有明海の広範囲にみられた。夏季における河川流量の増加は平均流の大きな変動要因となっていることが示された。しかしながら流量の少ない冬季や河川流量が少ないケースでは影響がみられなかった。

また、河川水温は平均流に影響を及ぼしていなかった。

(図6-27(1)、(2)参照)

### イ) 風の影響

風の変動が冬季の平均流に及ぼす影響は比較的大きく、季節風により5cm/s以上の吹送流がみられ、風が平均流の変動の大きな要因となっていることが示された。

(図6-27(3)参照)

### ウ) 日射の影響

雲量の条件を変え海面を一樣に加熱、冷却する日射に変動を与えたが、平均流はほとんど変わらず、日射は平均流に大きな影響を与えていないことが示された。

(図6-27(4)参照)

### エ) 降水の影響

海面に直接降る降水量が平均流に与える影響は、降水が海面一樣に与えられ、また少量のため、小さなものと考えられた。

(図6-27(5)上段参照)

### オ) 外海密度の影響

有明海の湾外の海水密度が変動することによる平均流への影響は、口之津から湾央にかけて3cm/s程度平均流が変動する要因となっているが、湾奥までは影響は及ばないものと考えられた。

(図6-27(5)下段、図6-27(6)上段参照)

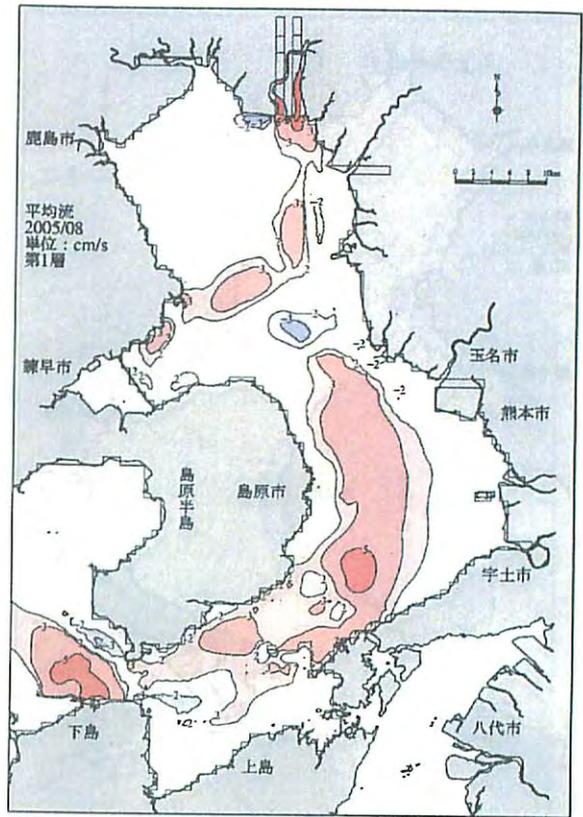
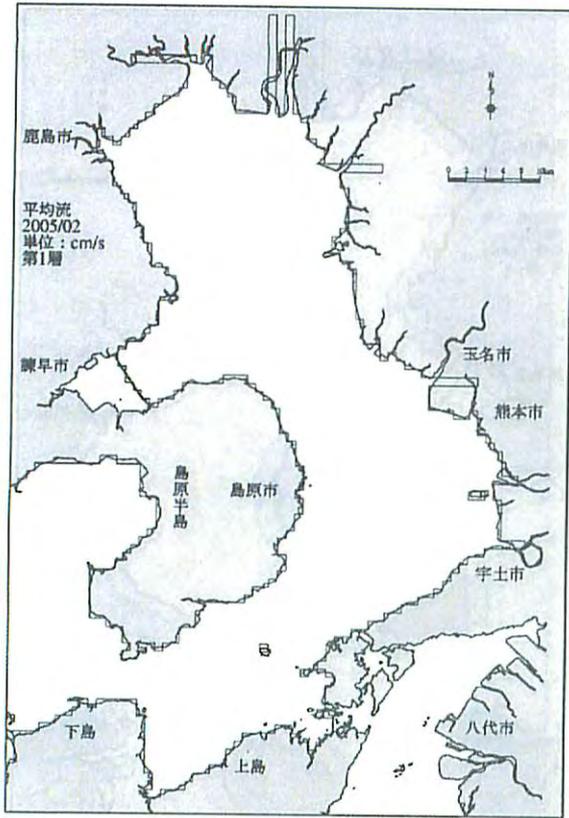
### カ) その他の影響

ノリ網等の設置が無い場合は、湾奥及び湾央の一部で平均流の減少がみられる。一方、湾奥部及び湾央の東岸域で平均流が速くなっており、これはノリ網等の設置が季節風による吹送流の発達に影響を及ぼしている可能性が考えられる。

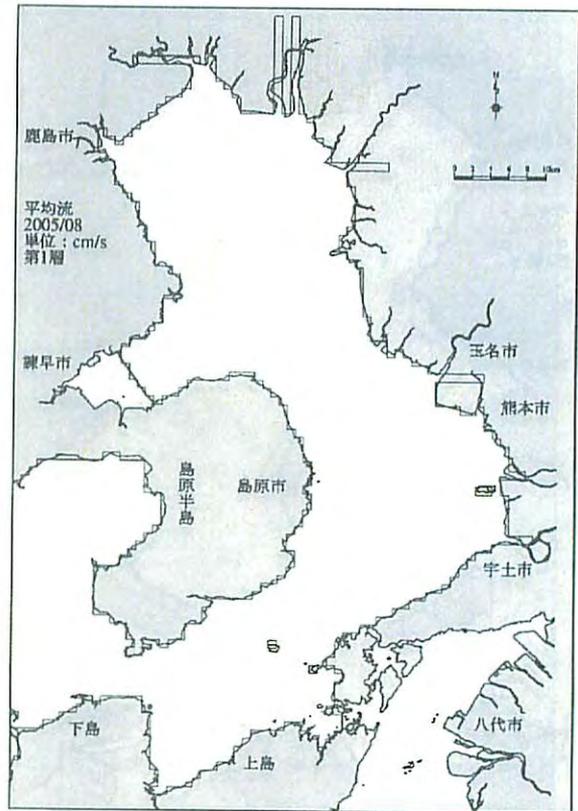
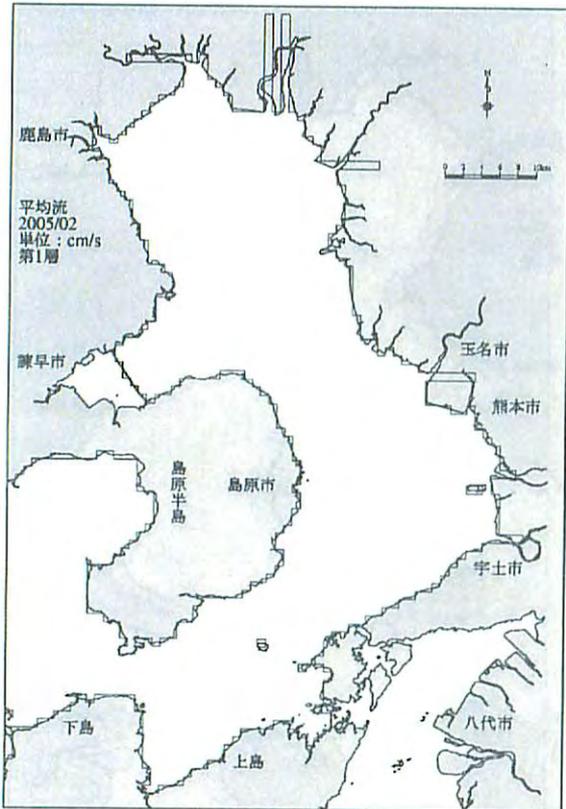
潮受堤防設置の影響は、諫早湾内に止まっており、潮受堤防が無い場合は、潮受堤防の前面～南岸に平均流の減少する海域、諫早湾内の北岸の一部に平均流が増加する海域がみられた。

なお、外潮位の変動による平均流への影響はみられなかった。

(図6-27(6)下段、図6-27(7)、図6-27(8)参照)



河川流量最大ケース、左：冬季、右：夏季、第1層



河川流量最小ケース、左：冬季、右：夏季、第1層

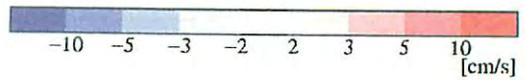
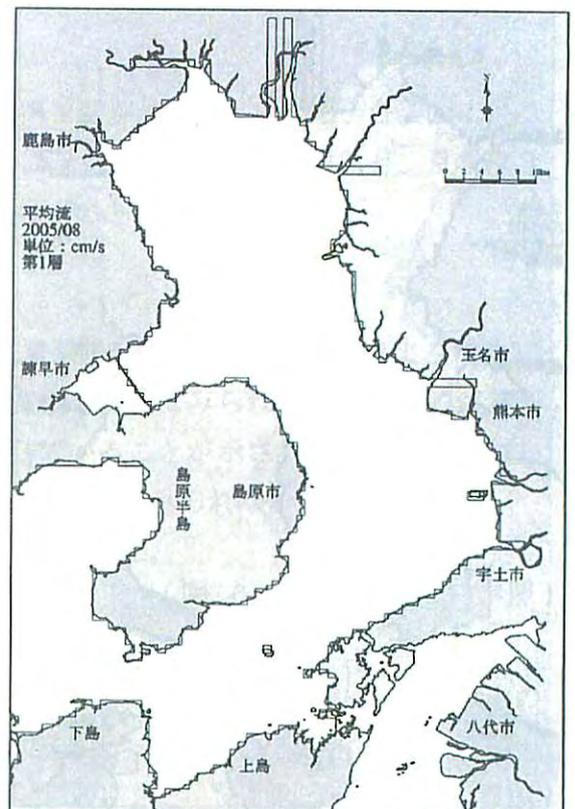
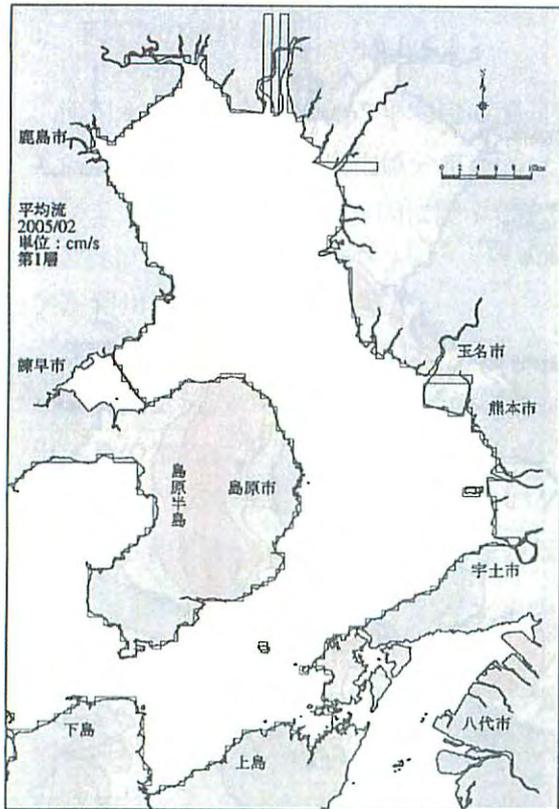
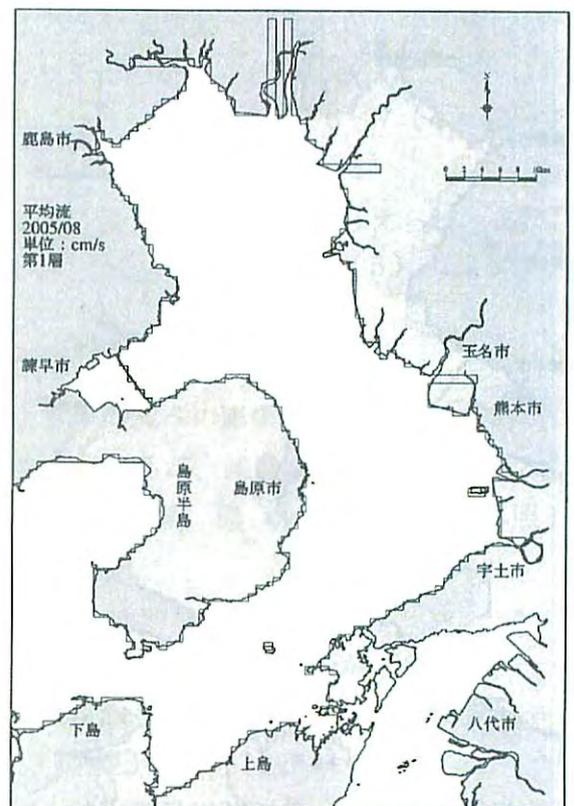
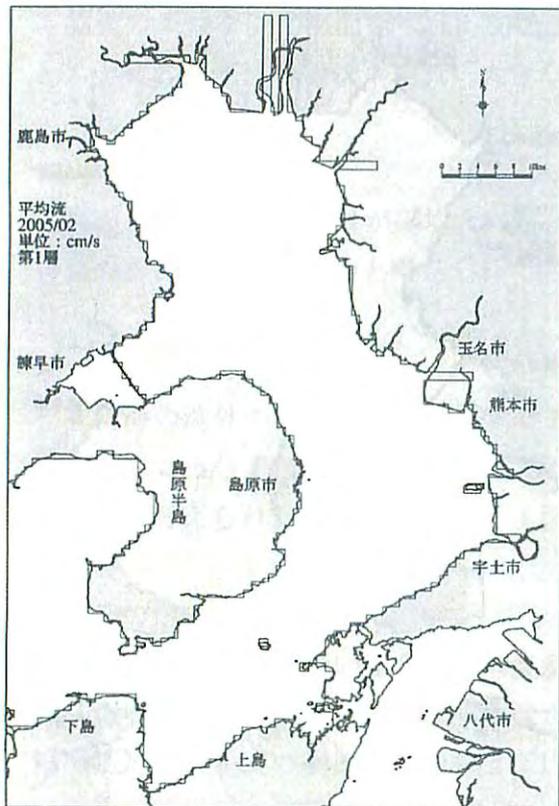


図 6-27 (1) 平均流流速変化値 (河川流量)



河川水温最高ケース、左：冬季、右：夏季、第1層



河川水温最低ケース、左：冬季、右：夏季、第1層

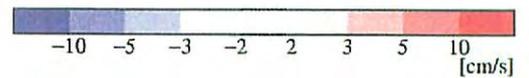
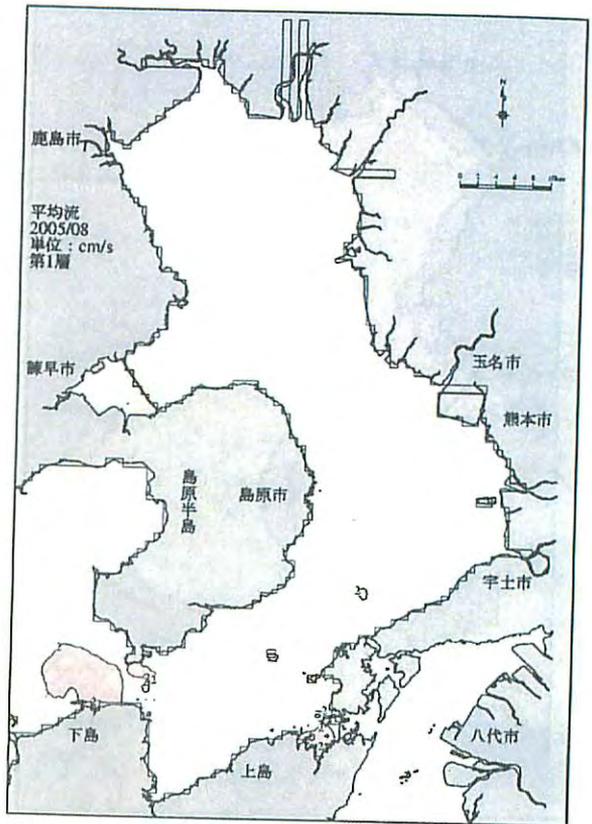
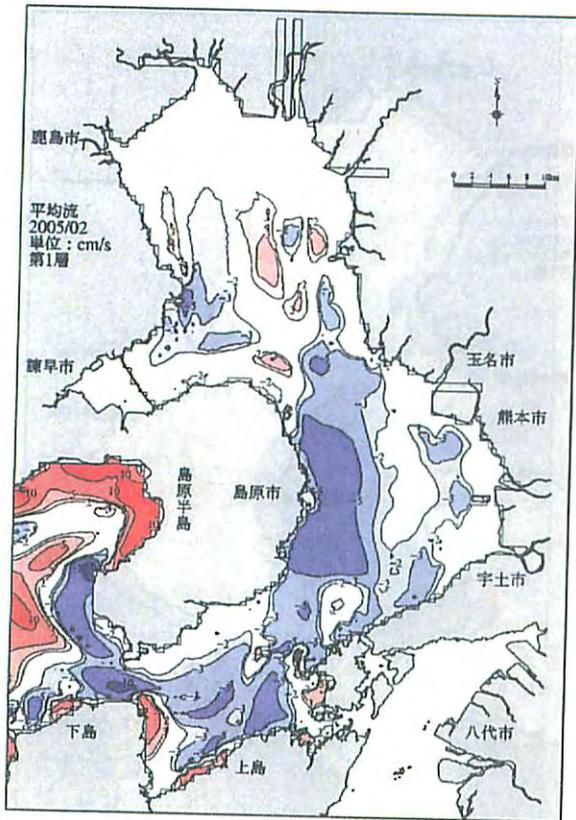
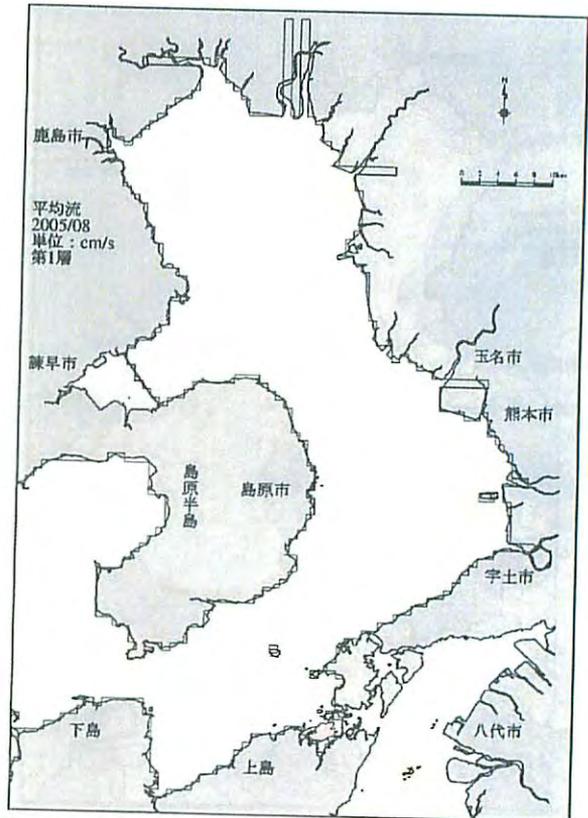
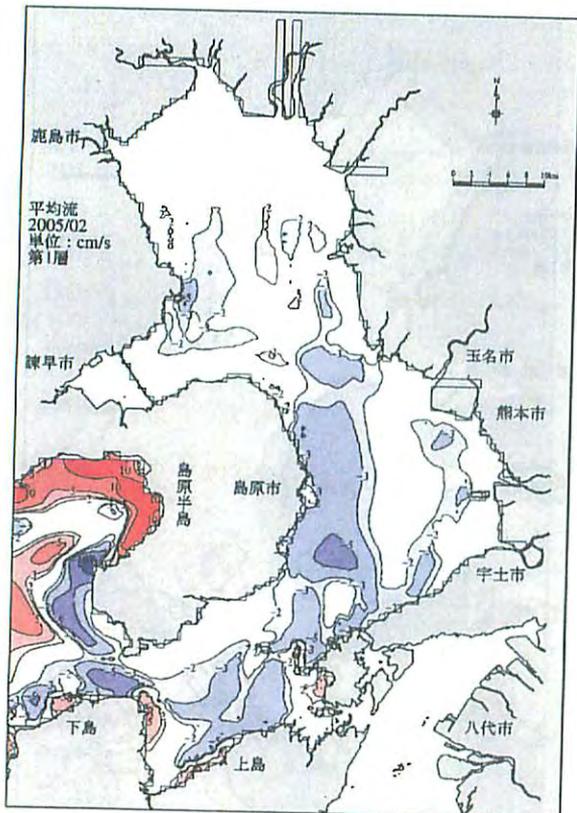


図 6-27 (2) 平均流流速変化値 (河川水温)



無風ケース、左：冬季、右：夏季、第1層



風速 1/2 ケース、左：冬季、右：夏季、第1層

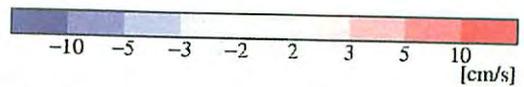
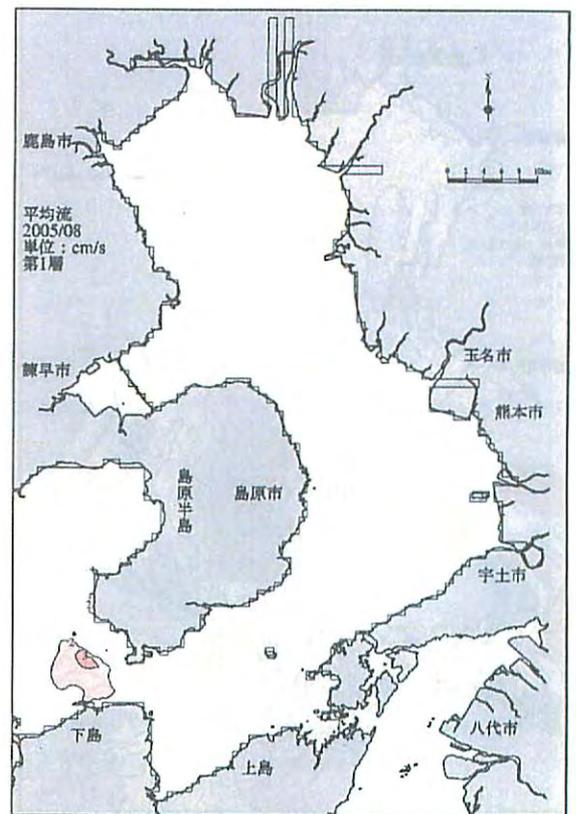
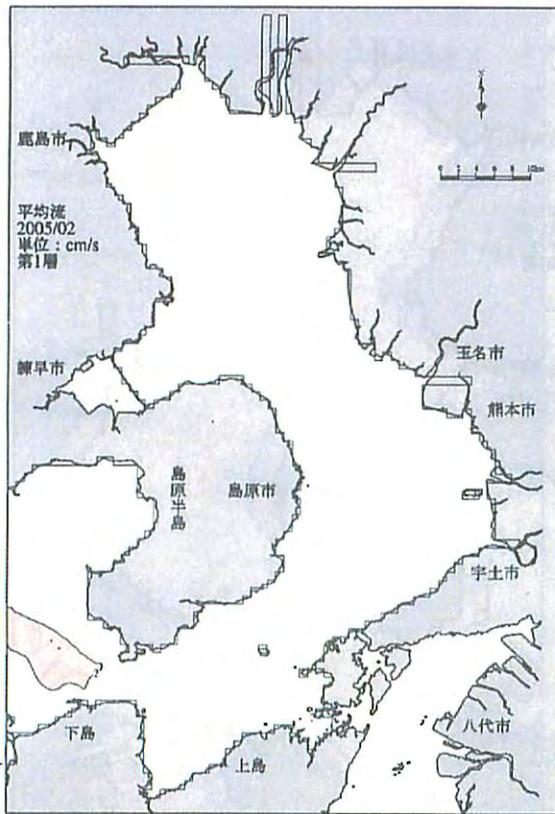
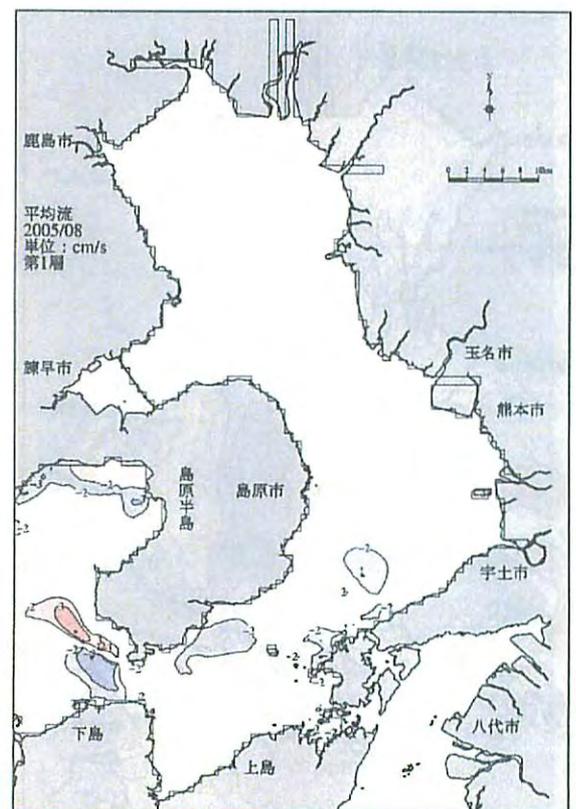
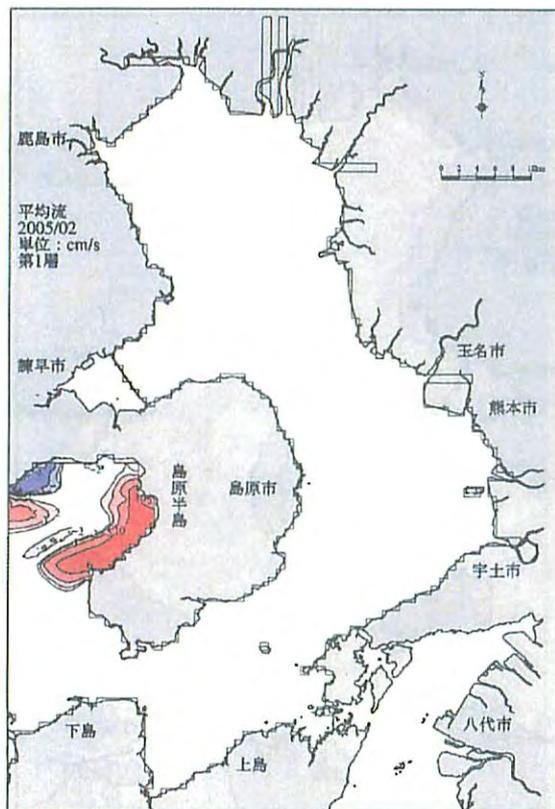


図 6-27 (3) 平均流流速変化値 (風)



完全晴天ケース、左：冬季、右：夏季、第1層



曇天ケース、左：冬季、右：夏季、第1層

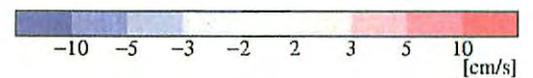
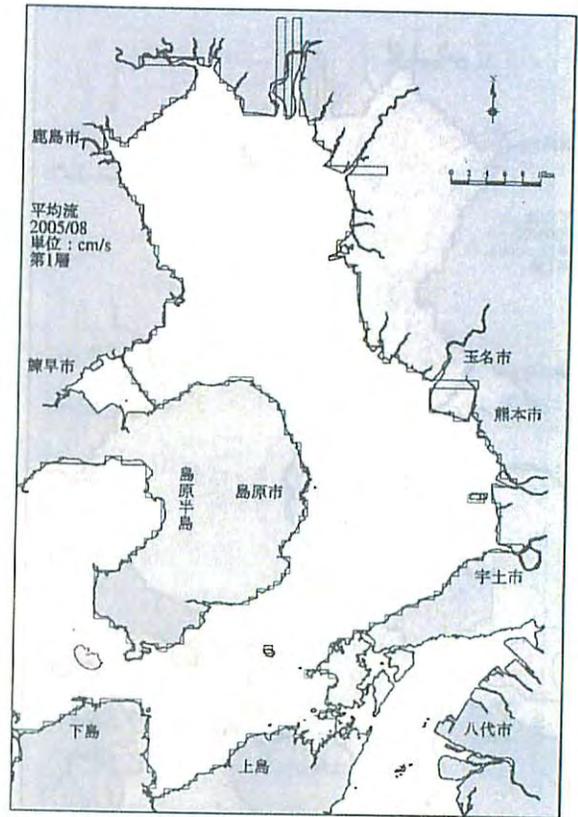
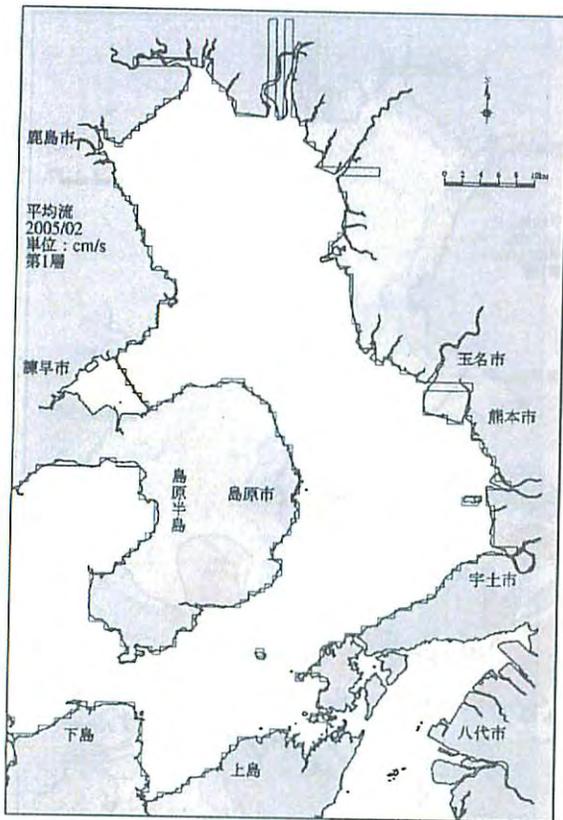
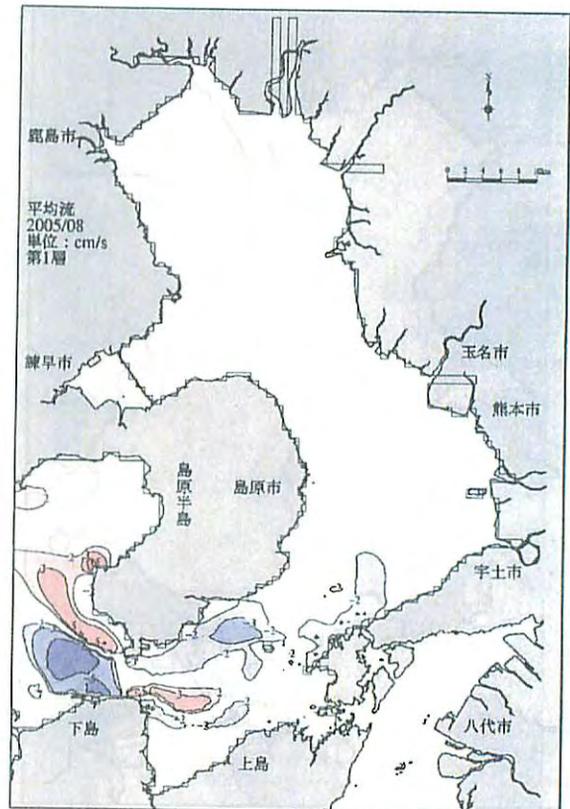
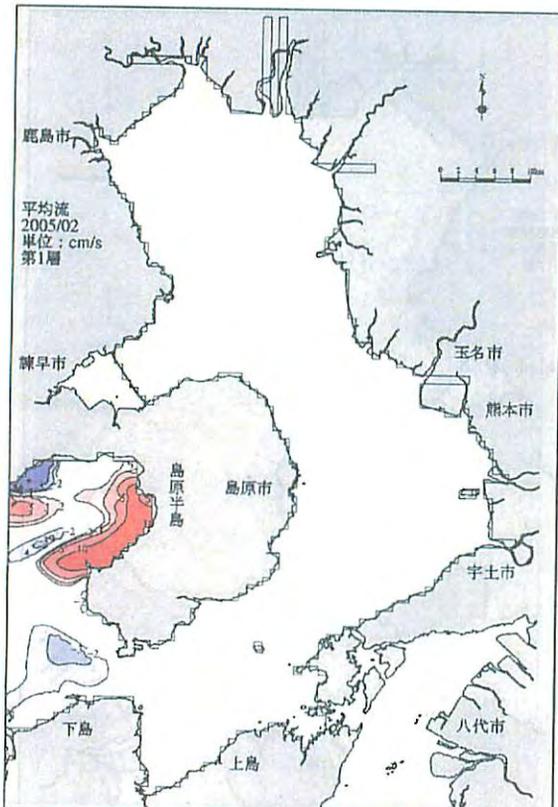


図 6-27 (4) 平均流流速変化値 (日射)



海面降水考慮ケース、左：冬季、右：夏季、第1層



境界低密度ケース、左：冬季、右：夏季、第1層

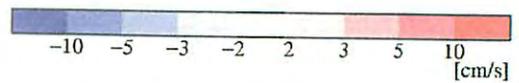
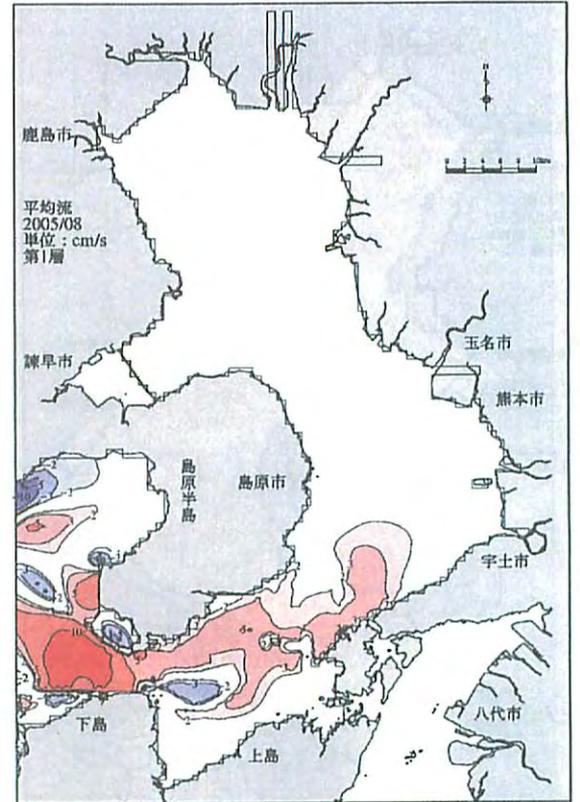
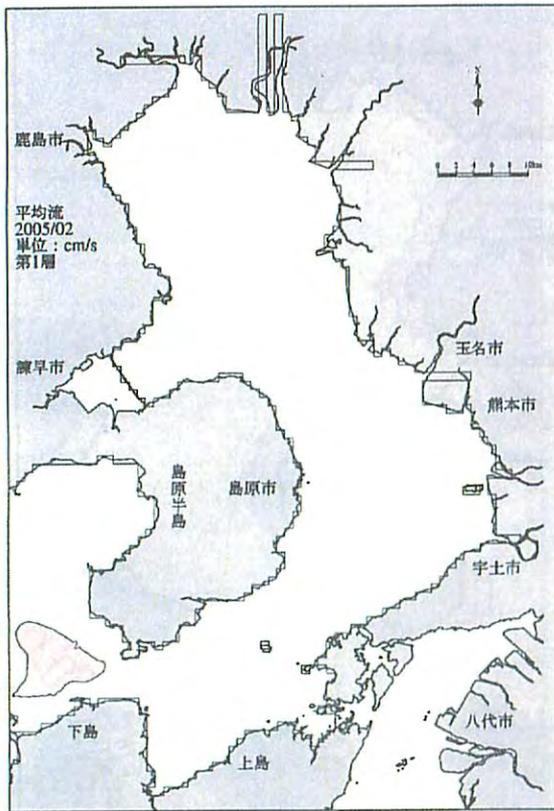
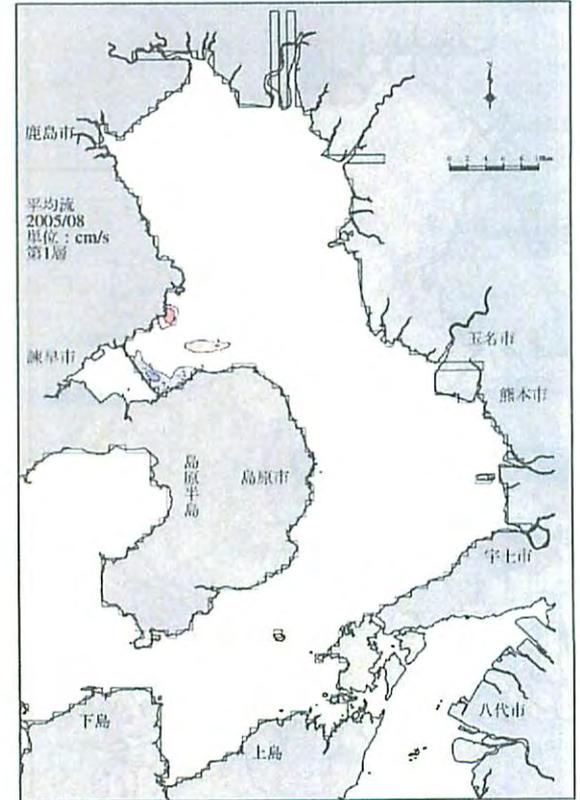
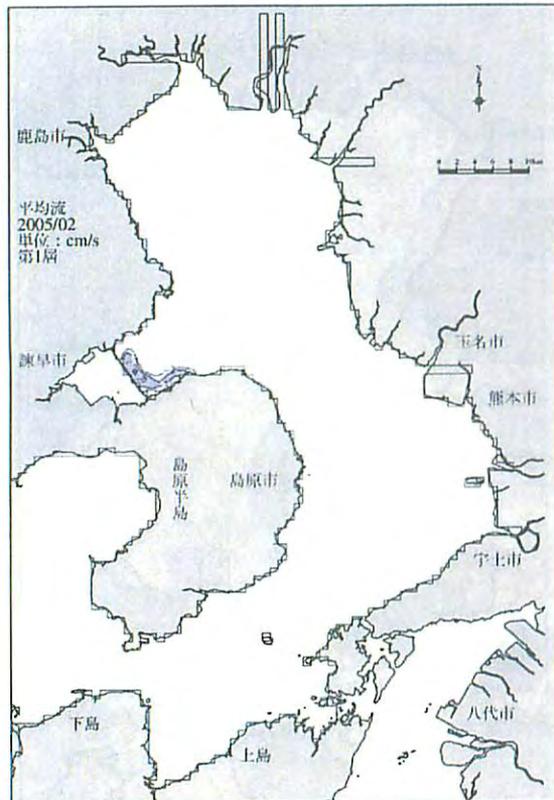


図 6-27 (5) 平均流流速変化値 (上段: 降水、下段: 外海密度)



境界高密度ケース、左：冬季、右：夏季、第1層



潮受堤防設置ケース（潮受堤防が無い場合）、左：冬季、右：夏季、第1層

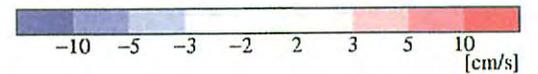
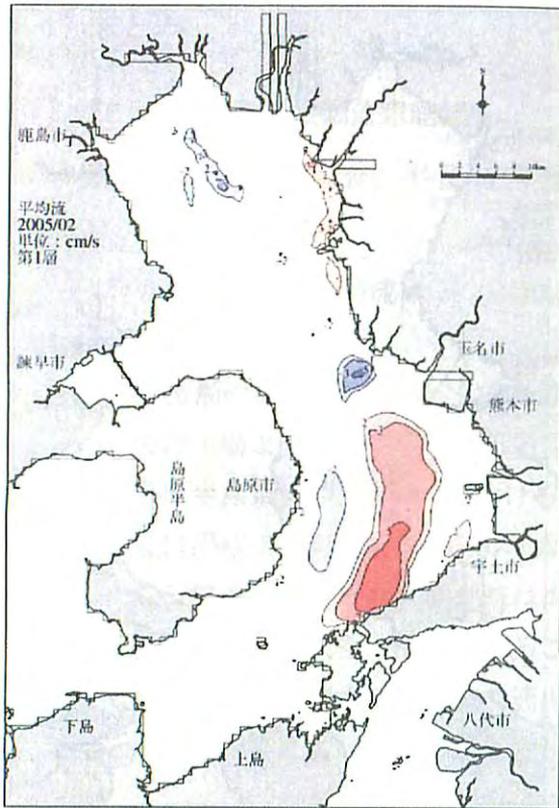
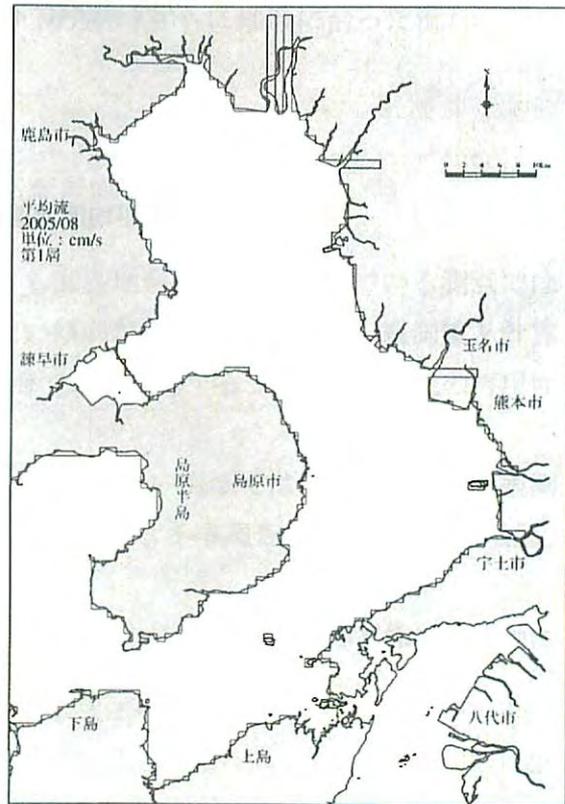
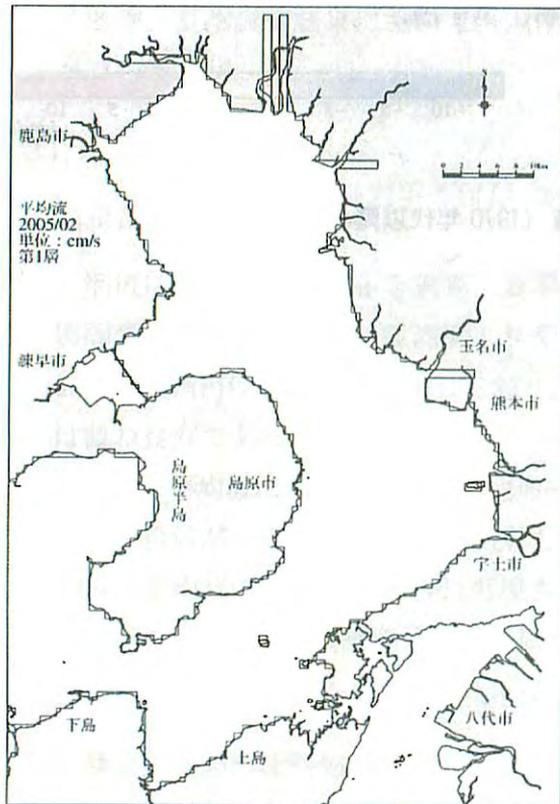


図 6-27 (6) 平均流流速変化値（上段：外海密度、下段：潮受堤防）



ノリ網等設置ケース（ノリ網等の設置が無い場合）、冬季



外潮位変化ケース、左：冬季、右：夏季、第1層

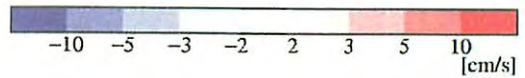
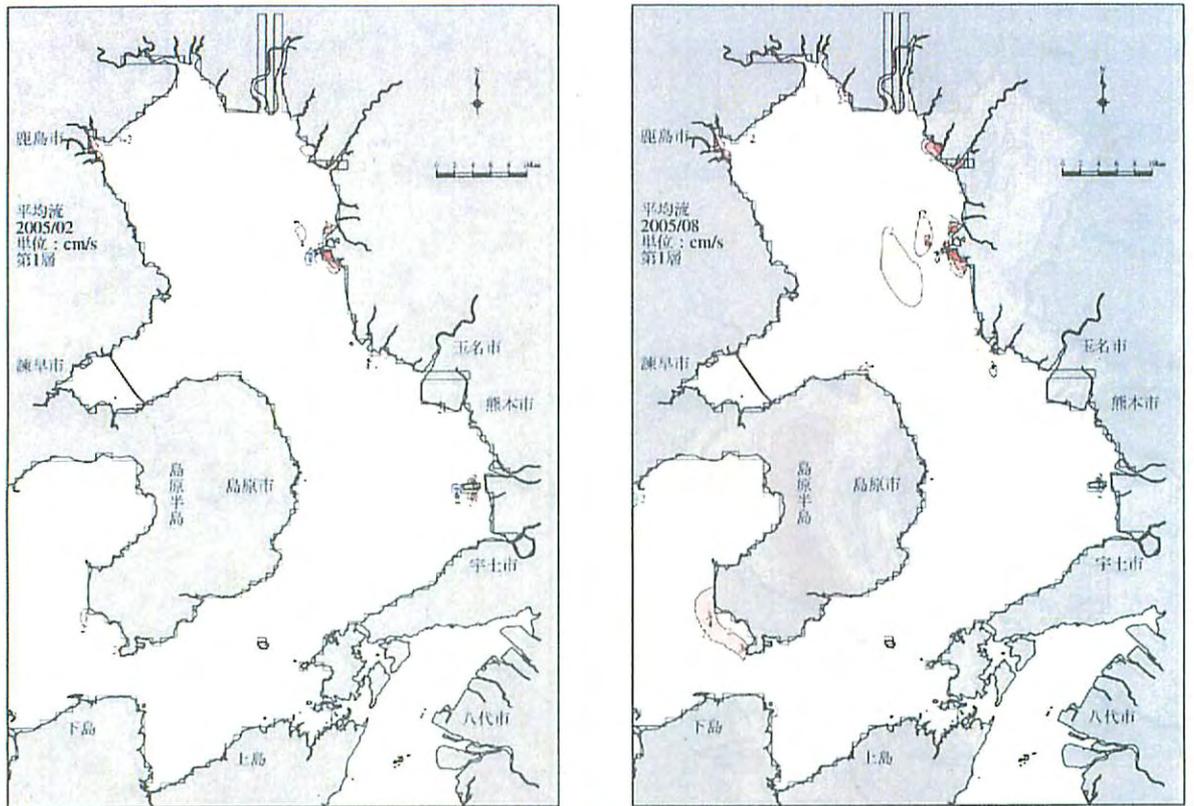


図 6-27 (7) 平均流流速変化値（上段：ノリ網等、下段：外潮位）



1970年代地形ケース（1970年代以降の干拓地が無い場合）

左：冬季、右：夏季、第1層

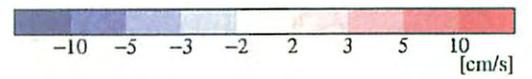


図 6-27 (8) 平均流流速変化値（1970年代以降の干拓地）

## (4) まとめ

### 1) 15昼夜、30昼夜潮流観測結果

平成 16 年度冬季調査、平成 17 年度及び平成 19 年度夏季調査をまとめると以下のとおりである。

- ・ 各観測期間とも潮流は  $M_2$  分潮が卓越しており、流向はおおむね有明海の湾軸に沿った方向である。
- ・  $M_2$  分潮の最強時流速は全般に上層より下層はやや遅い傾向がみられたが、大浦沖では上層より中層に速くなるような複雑な流れの傾向がみられた。
- ・ 島原半島東側の Sta. 14 における  $M_2$  分潮の最強時流速は、平成 19 年度夏季調査では平成 17 年度夏季調査より大きく、上層、中層、下層でそれぞれ 1.5 倍、2 倍、2.5 倍となっており、同地点は海底地形が急峻で複雑なため、潮流の時間的・空間的な変化が大きい海域であることが示唆された。
- ・ 平均流は、観測する層により速度及び流向が異なり、複雑な気象要因の影響を受け、観測年によって違いがみられる。

### 2) 一斉測流調査結果

冬季、夏季調査結果において、上げ潮時、下げ潮時ともに地形に沿った流れの形成がみられた。

### 3) 流動解析調査結果

#### ①国調費モデルの精度の検証

潮流についてみると冬季調査、夏季調査とも海底地形が変化に富んでいる測点では国調費モデルの計算値が観測値よりやや大きい傾向がみられるものの、観測値と計算値の潮流楕円はおおむね一致しており、有明海で最も卓越する  $M_2$  分潮の潮流の再現性は概ね良好であった。

また、平均流についてみると、地形の影響を受けやすい海域ではモデルの構造上観測値と計算値が一部合っていない測点もみられるものの、冬季調査、夏季調査とも上層、下層の平均流の特徴がおおむね再現されていた。

以上のことから、国調費モデルは局所的な現象ではなく有明海全域の平均的な流動についての評価に用いるのが望ましいと考えられる。

#### ②流動変動要因の検討結果

国調費モデルを用いて流動の周期性に着目し、有明海で最も卓越する  $M_2$  分潮を対象に、潮位および流動の変動要因を検討したところ、以下のような結果であった。

##### ア) 潮位の変動

- ・ 潮受堤防、ノリ網等、外潮位、1970 年地形の変動要因について検討したところ、

いずれの要因についてもその影響は同程度であり、潮位振幅の変化率は最大でも5%程度であった。

#### イ) 潮流の変動

- ・潮受堤防設置による諫早湾外への潮流の影響は、5%以下の変化率であった。
- ・ノリ網等設置による潮流への影響はノリ網施設内では流速減少は比較的大きいが、施設外の海域では0～2%程度の流速減少であった。
- ・外潮位の潮位振幅は年々小さくなっているが、この変化が湾内の潮流を一様に減少させることが示唆されたが、その大きさは1980年当時のケースと比較して2～3%程度の減少であった。
- ・潮受堤防設置前の過去の干拓地も含めた影響について検討したところ、1970年代以降に干拓された湾奥の干拓地により、有明海湾中央海域では4～14%程度の流速減少であった。

#### ウ) 平均流の変動

- ・夏季の河川流量の増加は平均流の流況パターンおよび流速に影響を与えており、平均流の変動要因の大きな一因となっているものと考えられた。
- ・河川水温の変動は平均流の流況パターンおよび流速にほとんど影響を与えておらず、平均流の変動要因の一因とはなっていないものと考えられた。
- ・風が平均流に及ぼす影響は大きく、特に冬季の季節風により速い吹送流が出現しており、風は平均流の変動要因の大きな一因となっているものと考えられた。
- ・雲量の変化による日射の変動は海面一様に変化するため、平均流の変動要因に対する寄与は小さなものと考えられた。
- ・降水量の影響は海面一様でありその量も小さなため、平均流の変動要因に対する寄与は小さなものと考えられた。
- ・境界の密度条件は有明海内部と外海の密度勾配を変動させるため、密度流の発達に影響を及ぼし、口之津から湾中央にかけての平均流の変動要因となっているが、湾奥までは影響は及ばないものと考えられた。
- ・その他の影響としてノリ網等の設置について検討したが、影響は比較的大きいもののノリ網設置場所の正確な把握が必要である。また、潮受堤防設置の影響は諫早湾内に止まっていた。なお、外潮位の変動による平均流への影響はみられなかった。

以上のように有明海の流動の変動要因は外海の潮位変化や密度変化などの外部要因の他に、有明海内部の地形変化や、河川流入量の変化などの内部要因および風などの気象要因などさまざまな要因が考えられたが、潮位振幅に対する影響はいずれも同程度であった。一方、潮流に対する影響は1970年代以降に干拓された干拓地形などの地形要因が他の要因と比べると大きい傾向がみられた。また、平均流に対する影響は風や出水時の河川流量の影響が大きかった。