

(1) A1海域 (有明海灣奥奥部)

ア) この海域の特性

A1海域 (有明海灣奥奥部) は図 4.4.2 に示すように、有明海の湾奥部に位置しており、水深が浅く広大な干潟域が広がっている。

本海域は、筑後川をはじめとした大小多数の河川が流入している。園田ら (2008) は、塩分の年間変動からみて出水時には表層及び底層に河川水が流入することを報告しており、河川からの影響を大きく受けていると考えられる¹⁾。

有明海・八代海総合調査評価委員会 (2006) によると、平均流は反時計回りであり²⁾、横山ら (2008) によるとエスチュアリー循環流が形成されている³⁾。

水質については、園田ら (2008) は、筑後川からの影響が大きく、筑後川から流入した溶存態窒素 (DIN) が有明海湾口に向かって移流・拡散していくことや、DIN は河川流量の増加に伴い高くなること、 PO_4-P も高く富栄養化が顕著な海域であること、塩分が有明海では最も低く、梅雨時期の河川からの淡水流入により低下しており、1996年から2004年の7月には底層も著しい低下がみられたことを報告している¹⁾。

底質について、西側では泥質干潟、東側は砂泥質干潟が形成されており、浅海域で調査した結果によると、2001年以降は粘土・シルト分に増加傾向はみられなかった^{4)、5)}。横山ら (2008) は出水時に筑後川、早津江川から流入した粘土・シルト分は一部が感潮河道に戻り、残りがA2、A3海域に流出すること、A2、A3海域からはエスチュアリー循環によって本海域に移流されることを報告している³⁾。有明海の中では有機物、硫化物が多い海域である。

貧酸素水塊は東部及び西部干潟域では問題とならないが、西部干潟沖合域 (A3海域との境界域) では出水期後の小潮時を中心に成層が形成されて貧酸素水塊が発生し、魚介類のへい死を引き起こしている^{6)、7)、8)} (岡村ら, 2010; 中牟田ら, 2013; 徳永ら, 2016)。

赤潮について、本海域は2011~2015年の赤潮発生件数が94件であり、有明海の中で最も多い (図 4.4.150)。本海域では、低塩分と河口から供給される粘土・シルト分による高濁度水が発生するため、光合成が阻害される⁹⁾ (代田・近藤, 1985)。このため、赤潮は河口より離れた西側海域で頻発する傾向がみられる。この海域では珪藻類は周年、夏期は出水後にラフィド藻が卓越する。冬期に塩田川河口域で珪藻の *Asteroplanus* 属が優占する^{10)、11)} (片野ら, 2013; 松原ら, 2014)。

本海域ではノリ養殖が盛んに行われている。

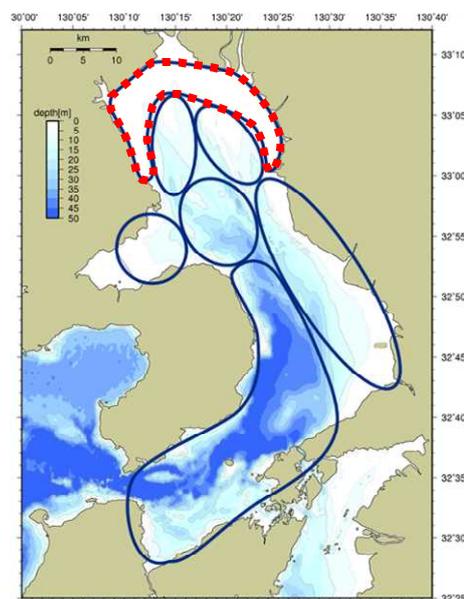


図 4.4.2 A1海域位置

イ) ベントスの変化

① 現状と問題点の特定

A1海域では、2004年以前の海域毎のベントスのモニタリング結果がなく、1970年頃と現在の変化は不明である。2005～2015年のデータしか得られなかったため、問題点を特定することは困難であるが、図4.4.3に示す3地点について以下のとおり傾向の整理を行った。

図4.4.4に示すように、2005年以降は全3調査地点のうちAsg-2及びAfk-1では種類数に一定の変化傾向はみられず、Asg-3では節足動物門の種類数は減少傾向であった。全体の主要出現種に大きな変化はみられなかった。個体数については、3地点とも調査毎に大きく変動しており、約10年間の継続した一定方向の変化を見いだすことは難しいが、Asg-3では環形動物門の個体数に増加傾向がみられた。これ以外の分類群では個体数に単調な増加・減少傾向はみられなかった。調査毎に大きく変動する要因は、特定の優占種（ドロクダムシ類やシズクガイ等の日和見的で短命な有機汚濁耐性種）の増減であると考えられ、総個体数が前年の10倍以上になる年がみられた^{4), 5)} (表4.4.1(1)から(3)に具体的に示す)。

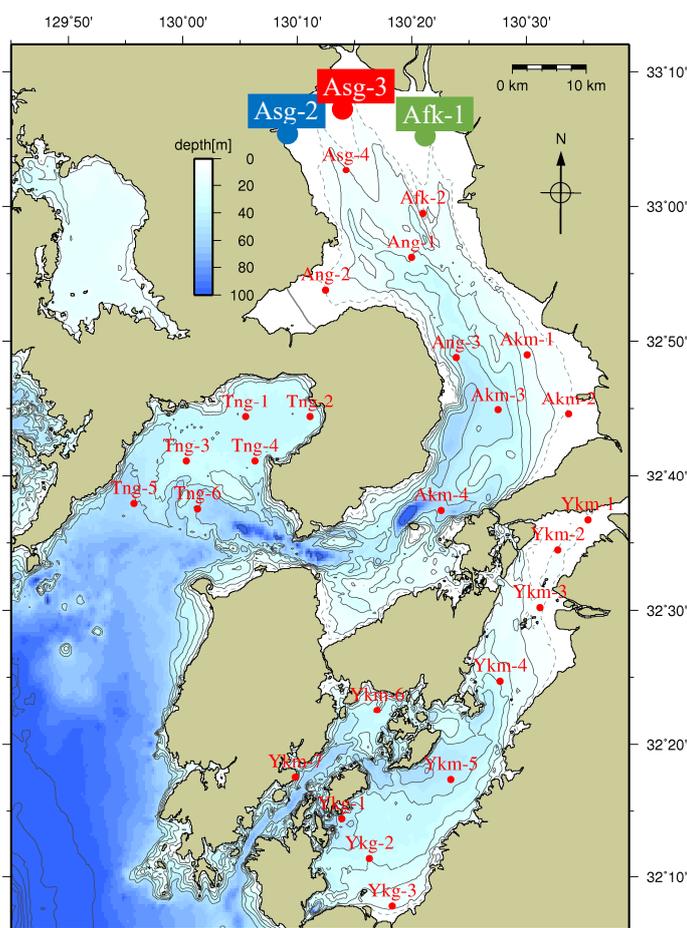


図 4.4.3 A1海域におけるベントス調査地点

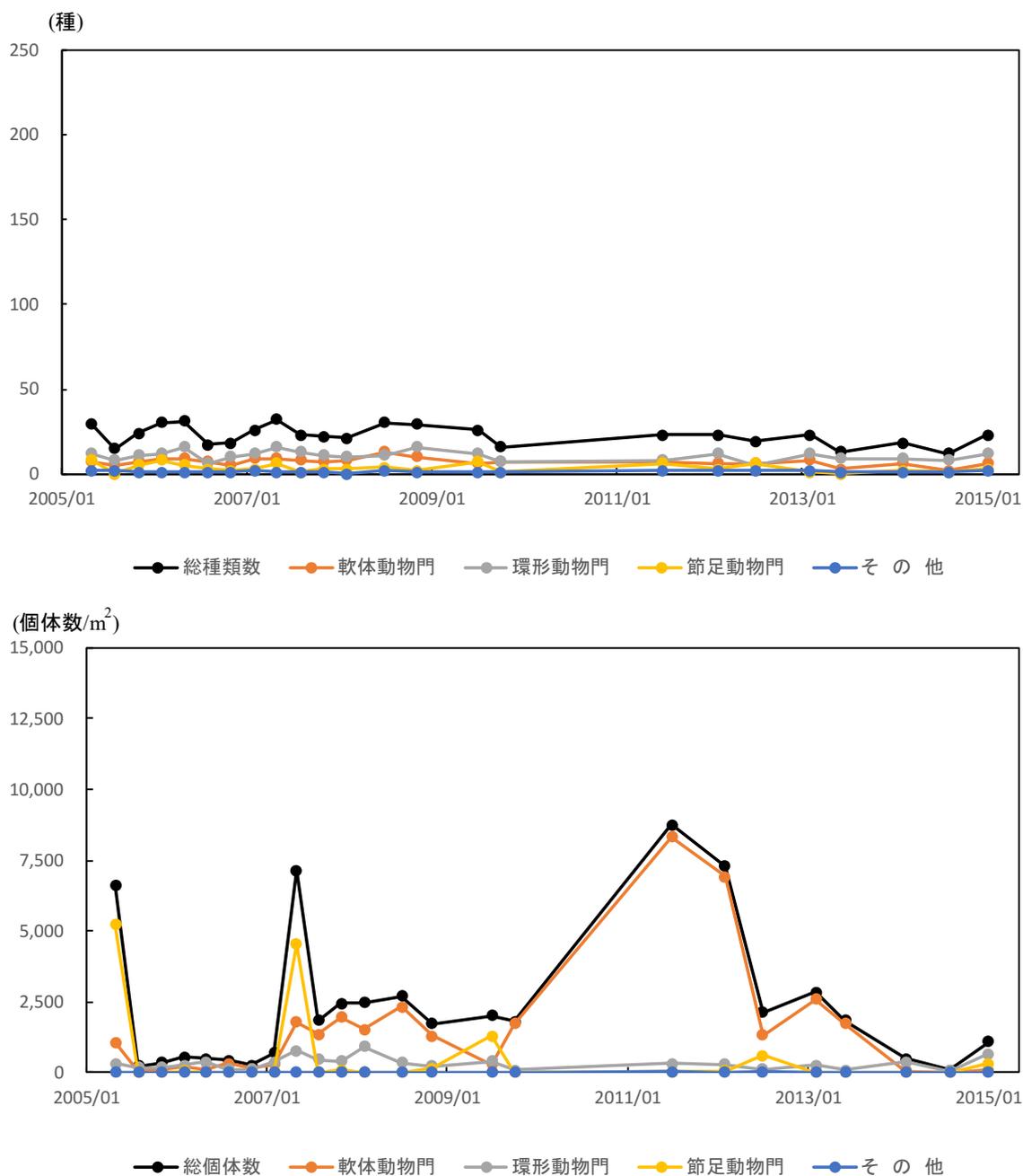


図 4.4.4 (1) A1海域におけるベントスの推移 (Asg-2)

出典：環境省「有明海・八代海再生フォローアップ調査結果」
 環境省「有明海・八代海再生重点課題対策調査結果」等をもとに
 環境省が作成した。

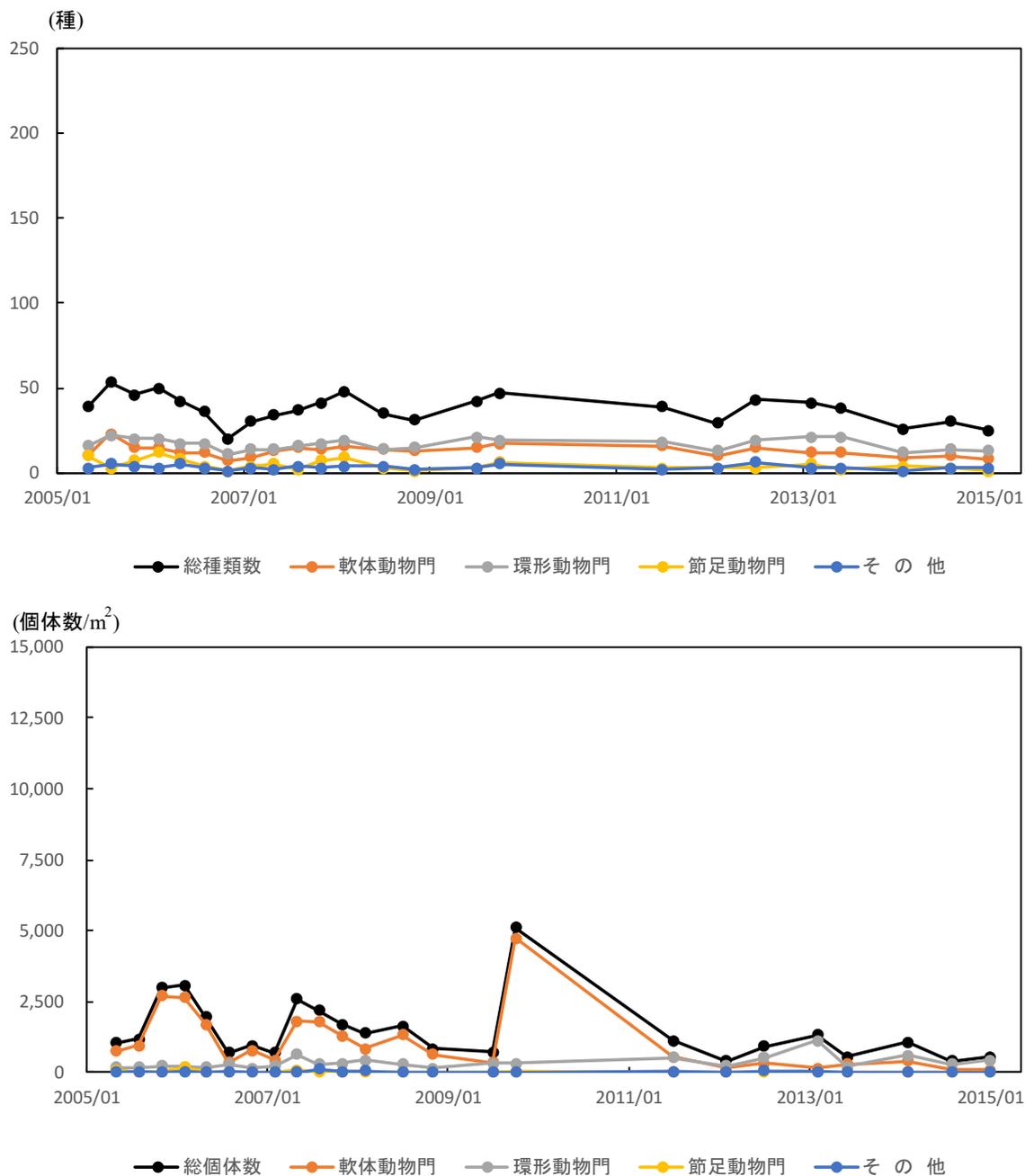


図 4.4.4 (2) A1海域におけるベントスの推移 (Asg-3)

出典：環境省「有明海・八代海再生フォローアップ調査結果」
 環境省「有明海・八代海再生重点課題対策調査結果」等をもとに
 環境省が作成した。

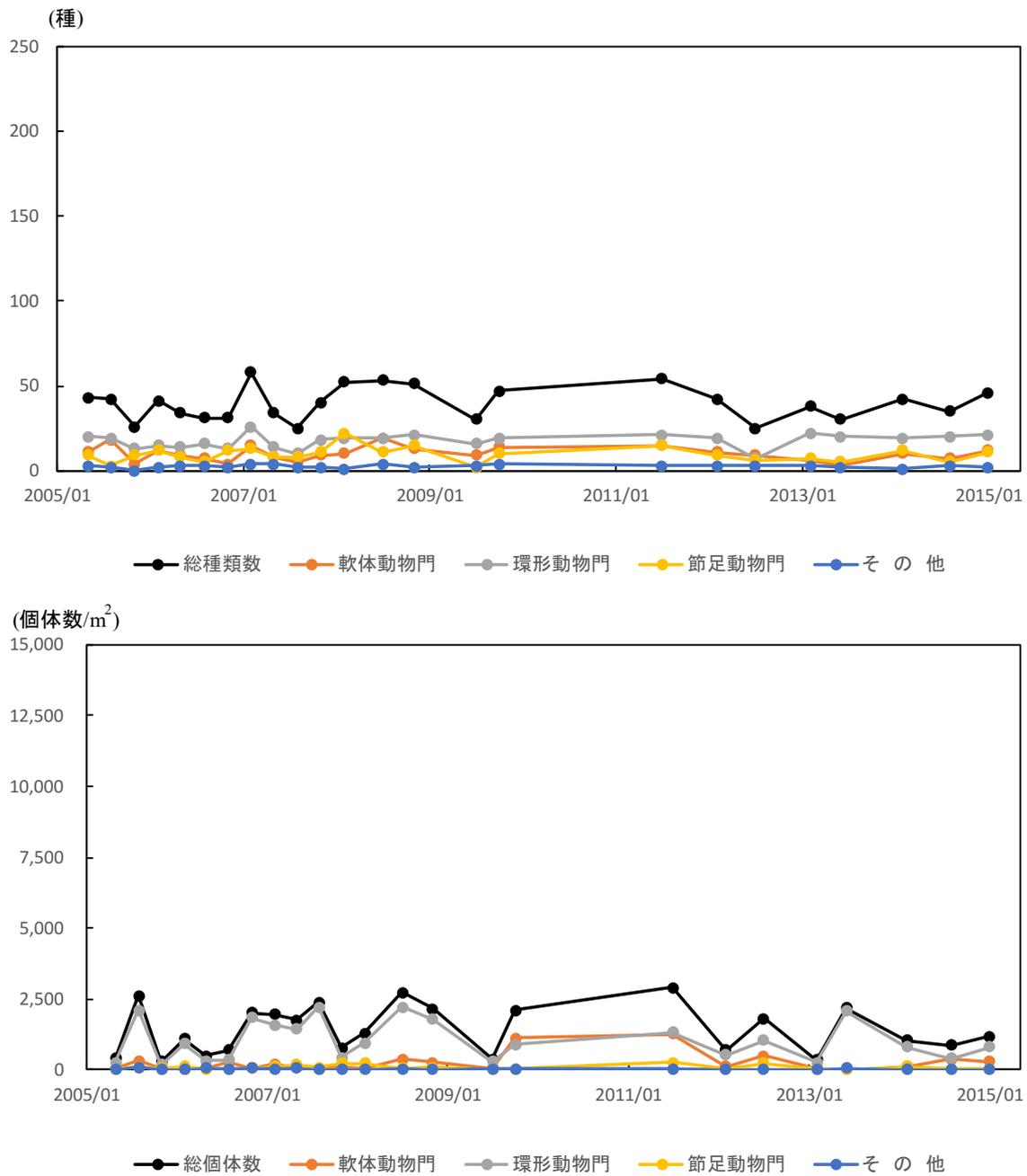


図 4.4.4 (3) A1海域におけるベントスの推移 (Afk-1)

出典：環境省「有明海・八代海再生フォローアップ調査結果」
 環境省「有明海・八代海再生重点課題対策調査結果」等をもとに
 環境省が作成した。

A1海域における主要出現種の変遷を詳細にみると、Asg-2では、主要出現種のなかでは軟体動物が多くみられ、2009年以降は二枚貝類があまりみられなくなっている。総個体数が多かった2005年5月及び2007年5月には *Corphiidae* spp. (ドロクダムシ類)、同じく2011年7月及び2012年2月にはカワグチツボが多くみられた。

なお、有機汚濁耐性種で強内湾性の海域に生息できるとされているシズクガイが2008年までは主要出現種となっていた。

表 4.4.1 (1) A1海域におけるベントスの主要出現種の推移 (Asg-2)

年月	A-1			
	Asg-2			
	門等	種名	個体数割合	
2005/05	節足動物門	<i>Corphiidae</i> spp.	77.8%	
	軟体動物門	ヒラタヌモダキガイ	14.1%	
	軟体動物門	シズクガイ	1.7%	
2005/08	環形動物門	<i>Sigambra hanaokai</i>	69.7%	
	軟体動物門	シズクガイ	9.2%	
	環形動物門	<i>Glycinde</i> sp.	4.2%	
2005/11	軟体動物門	カワグチツボ	22.7%	
	環形動物門	<i>Mediomastus</i> sp.	18.2%	
	環形動物門	<i>Sigambra hanaokai</i>	11.9%	
2006/02	節足動物門	ウミイソコムシ	20.1%	
	軟体動物門	シズクガイ	16.1%	
	軟体動物門	トライミスコマツボ	13.5%	
2006/05	環形動物門	<i>Mediomastus</i> sp.	26.4%	
	環形動物門	<i>Sigambra hanaokai</i>	22.0%	
	軟体動物門	二枚貝類	シズクガイ	11.8%
2006/08	軟体動物門	カワグチツボ	33.0%	
	環形動物門	<i>Sigambra hanaokai</i>	15.4%	
	軟体動物門	二枚貝類	シズクガイ	15.0%
2006/11	軟体動物門	トライミスコマツボ	40.1%	
	環形動物門	<i>Prionospio</i> sp.	11.7%	
	環形動物門	<i>Sigambra hanaokai</i>	10.2%	
2007/02	環形動物門	<i>Mediomastus</i> sp.	17.5%	
	軟体動物門	二枚貝類	シズクガイ	16.4%
	環形動物門	イトコガイ科	15.8%	
2007/05	節足動物門	<i>Corphiidae</i> spp.	63.1%	
	軟体動物門	二枚貝類	ヒラタヌモダキガイ	14.2%
	軟体動物門	二枚貝類	シズクガイ	9.2%
2007/08	軟体動物門	カワグチツボ	40.4%	
	軟体動物門	トライミスコマツボ	24.6%	
	環形動物門	<i>Glycinde</i> sp.	11.7%	
2007/11	軟体動物門	カワグチツボ	51.0%	
	軟体動物門	トライミスコマツボ	25.9%	
	環形動物門	<i>Mediomastus</i> sp.	3.9%	
2008/02	軟体動物門	トライミスコマツボ	28.9%	
	軟体動物門	カワグチツボ	27.5%	
	環形動物門	<i>Mediomastus</i> sp.	14.8%	
2008/07	軟体動物門	カワグチツボ	61.1%	
	軟体動物門	トライミスコマツボ	20.6%	
	環形動物門	ウチワコガイ	5.9%	
2008/11	軟体動物門	カワグチツボ	30.7%	
	軟体動物門	二枚貝類	ヒメカノサリ	26.1%
	軟体動物門	二枚貝類	シズクガイ	14.0%
2009/07	節足動物門	<i>Corphiidae</i> spp.	63.4%	
	環形動物門	<i>Sigambra hanaokai</i>	10.9%	
	軟体動物門	カワグチツボ	6.1%	
2009/10	軟体動物門	カワグチツボ	80.1%	
	軟体動物門	トライミスコマツボ	12.7%	
	環形動物門	<i>Sigambra hanaokai</i>	2.2%	
2011/07	軟体動物門	カワグチツボ	80.2%	
	軟体動物門	ミスコマツボ科	11.3%	
	環形動物門	<i>Sigambra hanaokai</i>	3.2%	
2012/02	軟体動物門	カワグチツボ	86.5%	
	軟体動物門	トライミスコマツボ	7.9%	
	環形動物門	<i>Mediomastus</i> sp.	1.6%	
2012/07	節足動物門	<i>Corphiidae</i> spp.	26.1%	
	軟体動物門	ミスコマツボ科	21.1%	
	軟体動物門	カワグチツボ	18.9%	
2013/02	軟体動物門	二枚貝類	ヒラタヌモダキガイ	48.7%
	軟体動物門	カワグチツボ	19.4%	
	軟体動物門	トライミスコマツボ	11.0%	
2013/08	軟体動物門	二枚貝類	ヒラタヌモダキガイ	93.2%
	環形動物門	ウチワコガイ	4.0%	
	軟体動物門	トライミスコマツボ	0.8%	
2014/02	環形動物門	<i>Sigambra hanaokai</i>	0.8%	
	環形動物門	<i>Mediomastus</i> sp.	63.1%	
	環形動物門	<i>Sigambra hanaokai</i>	6.1%	
2014/08	環形動物門	<i>Pseudopolydora</i> sp.	4.5%	
	環形動物門	<i>Sigambra hanaokai</i>	69.0%	
	軟体動物門	二枚貝類	シズクガイ	4.8%
2015/01	環形動物門	<i>Glycinde</i> sp.	4.8%	
	環形動物門	<i>Mediomastus</i> sp.	39.7%	
	節足動物門	レウコン科	28.7%	
	環形動物門	<i>Sigambra hanaokai</i>	6.1%	

【採取方法】
船上からスミス・マッキンタイヤ型採泥器 (採泥面積 0.05m²) を用いて表層泥を採取した。採泥回数は10回とした。

【主要出現種の選定方法】
年ごとに、Asg-2において個体数が多い順に3種抽出した。同数の場合は併記した。なお、種まで特定できなかった生物については、「種名」の欄に同定可能なレベルまで記載している。

【出典】
環境省「有明海・八代海再生フォローアップ調査結果」等より取りまとめ

表 4.4.1 (2) A1 海域におけるベントスの主要出現種の推移 (Asg-3)

Asg-3 では、主要出現種のなかでは二枚貝類が多くみられ、2006 年からは環形動物も多くみられるようになってきている。主要出現種第 1 位であることが多かったサルボウガイは、2012 年 2 月以降は主要出現 3 種には含まれない。総個体数が多かった 2009 年 10 月にはヒメカノコアサリ及びサルボウガイが多くみられた。

なお、有機汚濁耐性種で強内湾性の海域に生息できるとされているシズクガイが 2005 年から継続して主要出現種となっている。

年月	A-1 Asg-3		
	門等	種名	個体数割合
2005/05	軟体動物門	二枚貝類	サルボウガイ 41.7%
	軟体動物門	二枚貝類	シズクガイ 23.9%
	環形動物門		Sigambra hanaokai 4.2%
2005/08	軟体動物門	二枚貝類	サルボウガイ 22.1%
	軟体動物門	二枚貝類	ヒバリガイ属 18.1%
	軟体動物門	二枚貝類	フネガイ科 12.6%
2005/11	軟体動物門	二枚貝類	サルボウガイ 55.5%
	軟体動物門	二枚貝類	シズクガイ 22.0%
	軟体動物門	二枚貝類	ヒメカノコアサリ 3.5%
2006/02	軟体動物門	二枚貝類	サルボウガイ 64.2%
	軟体動物門	二枚貝類	ヒメカノコアサリ 4.7%
	節足動物門		Corphiidae spp. 4.2%
2006/05	軟体動物門	二枚貝類	サルボウガイ 52.6%
	軟体動物門	二枚貝類	シズクガイ 20.3%
	軟体動物門	二枚貝類	ヒメカノコアサリ 6.2%
2006/08	軟体動物門	二枚貝類	サルボウガイ 40.0%
	環形動物門		Sigambra hanaokai 23.8%
	環形動物門		Glycinde sp. 7.2%
2006/11	軟体動物門	二枚貝類	サルボウガイ 81.0%
	環形動物門		Sigambra hanaokai 9.1%
	環形動物門		Mediomastus sp. 3.8%
2007/02	軟体動物門	二枚貝類	サルボウガイ 58.2%
	環形動物門		Sigambra hanaokai 15.1%
	環形動物門		イトコガイ科 11.1%
2007/05	軟体動物門	二枚貝類	サルボウガイ 57.8%
	軟体動物門	二枚貝類	シズクガイ 9.5%
	環形動物門		タドルマコガイ 9.0%
2007/08	軟体動物門	二枚貝類	サルボウガイ 54.6%
	軟体動物門	二枚貝類	トウカクガイ科 18.7%
	環形動物門		タドルマコガイ 4.4%
2007/11	軟体動物門	二枚貝類	サルボウガイ 59.4%
	環形動物門		Sigambra hanaokai 4.8%
	軟体動物門	二枚貝類	Scapharca sp. 4.5%
2008/02	軟体動物門	二枚貝類	サルボウガイ 38.2%
	環形動物門		Prionospio sp. 9.6%
	軟体動物門	二枚貝類	ヒメカノコアサリ 6.7%
2008/07	軟体動物門	二枚貝類	サルボウガイ 76.6%
	環形動物門		タドルマコガイ 7.8%
	環形動物門		Sigambra hanaokai 4.5%
2008/11	軟体動物門	二枚貝類	サルボウガイ 45.7%
	軟体動物門	二枚貝類	ヒメカノコアサリ 15.6%
	環形動物門		Sigambra hanaokai 7.5%
2009/07	軟体動物門	二枚貝類	サルボウガイ 27.1%
	軟体動物門	二枚貝類	シズクガイ 13.3%
	環形動物門		タドルマコガイ 11.3%
2009/10	軟体動物門	二枚貝類	ヒメカノコアサリ 43.6%
	軟体動物門	二枚貝類	サルボウガイ 28.8%
	軟体動物門	二枚貝類	シズクガイ 13.8%
2011/07	軟体動物門	二枚貝類	サルボウガイ 32.9%
	環形動物門		タドルマコガイ 22.1%
	環形動物門		Sigambra hanaokai 9.4%
2012/02	環形動物門		Sigambra hanaokai 38.8%
	軟体動物門	二枚貝類	トウカクガイ科 9.6%
	軟体動物門	二枚貝類	サルボウガイ 9.1%
2012/07	環形動物門		Sigambra hanaokai 32.0%
	軟体動物門	二枚貝類	シズクガイ 19.0%
	環形動物門		Glycinde sp. 5.0%
2013/02	環形動物門		Mediomastus sp. 66.9%
	環形動物門		Sigambra hanaokai 7.5%
	軟体動物門	二枚貝類	シズクガイ 4.0%
2013/08	軟体動物門	二枚貝類	Veremolpa sp. 36.7%
	軟体動物門	二枚貝類	シズクガイ 12.4%
	環形動物門		Glycinde sp. 10.2%
2014/02	軟体動物門	二枚貝類	シロハトガイ 35.5%
	環形動物門		ナリコイソメ科 24.0%
	環形動物門		Naineris sp. 16.0%
2014/08	環形動物門		Phyllococe sp. 35.8%
	環形動物門		Malacoceros sp. 8.5%
	軟体動物門	二枚貝類	ハツヒサクラガイ 7.1%
2015/01	環形動物門		Naineris sp. 24.9%
	環形動物門		Schistomeringos sp. 16.8%
	環形動物門		Pocillochaetus sp. 15.8%

【採取方法】
船上からスミス・マッキンタイヤ型採泥器 (採泥面積 0.05m²) を用いて表層泥を採取した。採泥回数は 10 回とした。

【主要出現種の選定方法】
年ごとに、Asg-3 において個体数が多い順に 3 種抽出した。同数の場合は併記した。なお、種まで特定できなかった生物については、「種名」の欄に同定可能なレベルまで記載している。

【出典】
環境省「有明海・八代海再生フォローアップ調査結果」等より取りまとめ

Afk-1 では、主要出現種として環形動物が多くみられ、2009 年以降は二枚貝類が多くみられるようになってきている。総個体数が多かった 2005 年 8 月、2006 年 11 月、2007 年 8 月には *Heteromastus* sp. が多くみられた。

なお、有機汚濁耐性種で強内湾性の海域に生息できるとされているシズクガイが 2005 年から断続的に主要出現種となっている。

表 4.4.1 (3) A1 海域におけるベントスの主要出現種の推移 (Afk-1)

		A-1		
		Afk-1		
年月	門等	種名	個体数割合	
2005/05	環形動物門	<i>Sigambra hanaokai</i>	12.7%	
	環形動物門	<i>Glycinde</i> sp.	10.3%	
	環形動物門	<i>Paraprionospio</i> sp.(B型)	9.3%	
2005/08	環形動物門	<i>Heteromastus</i> sp.	51.0%	
	環形動物門	イトコガイ科	16.6%	
	軟体動物門	コハクノツユガイ	5.7%	
2005/11	環形動物門	<i>Paraprionospio</i> sp.(B型)	17.2%	
	軟体動物門	ムシロガイ科	13.2%	
	節足動物門	テッポウウエビ属	8.6%	
2006/02	環形動物門	<i>Heteromastus</i> sp.	50.1%	
	環形動物門	<i>Sigambra hanaokai</i>	11.4%	
	環形動物門	<i>Glycinde</i> sp.	7.6%	
2006/05	環形動物門	<i>Mediomastus</i> sp.	19.0%	
	環形動物門	<i>Sigambra hanaokai</i>	11.7%	
	環形動物門	<i>Heteromastus</i> sp.	11.3%	
2006/08	軟体動物門	二枚貝類	シズクガイ	34.4%
	環形動物門	<i>Heteromastus</i> sp.	17.2%	
	環形動物門	<i>Glycinde</i> sp.	13.8%	
2006/11	環形動物門	<i>Heteromastus</i> sp.	65.1%	
	環形動物門	イトコガイ科	19.9%	
	棘皮動物門	トゲイカリナコ	2.9%	
2007/02	環形動物門	<i>Heteromastus</i> sp.	53.6%	
	環形動物門	<i>Sigambra hanaokai</i>	8.3%	
	軟体動物門	二枚貝類	サルボウガイ	6.7%
2007/05	環形動物門	<i>Heteromastus</i> sp.	53.9%	
	環形動物門	<i>Sigambra hanaokai</i>	15.4%	
	節足動物門	<i>Melita</i> sp.	3.9%	
2007/08	環形動物門	<i>Heteromastus</i> sp.	73.3%	
	環形動物門	<i>Sigambra hanaokai</i>	12.7%	
	環形動物門	<i>Glycinde</i> sp.	5.8%	
2007/11	節足動物門	モヨウツノエビ	22.2%	
	環形動物門	タルマコガイ	13.4%	
	環形動物門	<i>Prionospio</i> sp.	8.6%	
2008/02	環形動物門	タルマコガイ	30.9%	
	環形動物門	<i>Prionospio</i> sp.	7.5%	
	環形動物門	<i>Heteromastus</i> sp.	6.3%	
2008/07	環形動物門	<i>Glycinde</i> sp.	22.6%	
	環形動物門	タルマコガイ	19.7%	
	環形動物門	<i>Heteromastus</i> sp.	16.0%	
2008/11	環形動物門	<i>Heteromastus</i> sp.	33.3%	
	環形動物門	<i>Sigambra hanaokai</i>	15.2%	
	環形動物門	<i>Paraprionospio</i> sp.(B型)	8.6%	
2009/07	環形動物門	タルマコガイ	26.8%	
	環形動物門	<i>Sigambra hanaokai</i>	12.1%	
	環形動物門	アシヒキツバサコガイ	10.6%	
2009/10	軟体動物門	二枚貝類	シズクガイ	30.2%
	環形動物門	<i>Heteromastus</i> sp.	19.8%	
	軟体動物門	二枚貝類	ヒメカノアサリ	18.8%
2011/07	軟体動物門	二枚貝類	ニマイガイ綱	38.0%
	環形動物門	<i>Sigambra hanaokai</i>	10.3%	
	環形動物門	<i>Glycinde</i> sp.	9.1%	
2012/02	環形動物門	<i>Heteromastus</i> sp.	41.2%	
	環形動物門	<i>Sigambra hanaokai</i>	10.2%	
	環形動物門	<i>Glycinde</i> sp.	7.1%	
2012/07	環形動物門	<i>Heteromastus</i> sp.	32.4%	
	軟体動物門	二枚貝類	シズクガイ	15.7%
	環形動物門	<i>Pseudopolydora</i> sp.	13.0%	
2013/02	環形動物門	<i>Heteromastus</i> sp.	23.4%	
	環形動物門	<i>Sigambra hanaokai</i>	10.5%	
	環形動物門	<i>Mediomastus</i> sp.	7.0%	
2013/08	環形動物門	<i>Tharyx</i> sp.	59.5%	
	環形動物門	<i>Brada</i> sp.	16.6%	
	環形動物門	<i>Ophiodromus</i> sp.	5.4%	
2014/02	環形動物門	ミスヒキコガイ	40.2%	
	環形動物門	<i>Phyllococe</i> sp.	8.1%	
	環形動物門	イソメ科	7.2%	
2014/08	軟体動物門	二枚貝類	<i>Cycladicama</i> sp.	20.0%
	軟体動物門	二枚貝類	ハナシガイ科	17.2%
	環形動物門	<i>Eteone</i> sp.	16.7%	
2015/01	環形動物門	パテオニス科	27.5%	
	軟体動物門	二枚貝類	<i>Cycladicama</i> sp.	15.6%
	環形動物門	<i>Gyptis</i> sp.	11.7%	

【採取方法】
船上からスミス・マッキンタイヤ型採泥器（採泥面積 0.05m²）を用いて表層泥を採取した。採泥回数は 10 回とした。

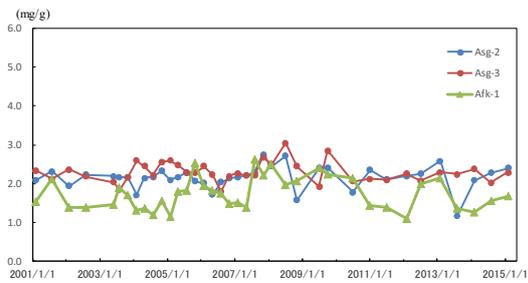
【主要出現種の選定方法】
年ごとに、Afk-1 において個体数が多い順に 3 種抽出した。同数の場合は併記した。なお、種まで特定できなかった生物については、「種名」の欄に同定可能なレベルまで記載している。

【出典】
環境省「有明海・八代海再生フォローアップ調査結果」等より取りまとめ

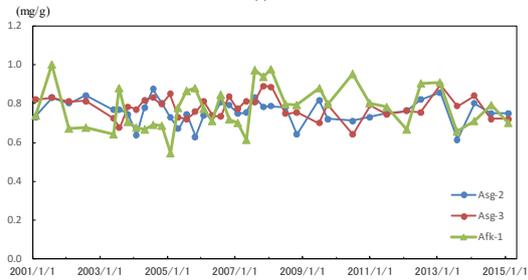
② 原因・要因の考察

ベントスの生息と密接な関係があるといわれる底質については、2000年以前の海域毎のモニタリング結果がなく、1970年頃と現在の変化は不明である。ここでは2001～2015年の調査結果から原因・要因の考察を行うこととした。

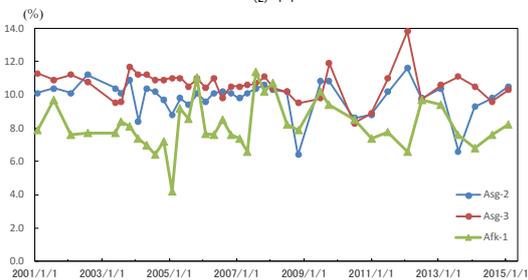
浅海域で調査した結果によると、底質の泥化については、全3調査地点のうち1地点(Asg-3)は粘土・シルト分が100%に近い値で推移し、他の2地点は80～100%程度であり、単調な変化傾向(細粒化・粗粒化傾向)はみられなかった。底質の硫化物については、全3地点で0.1～0.6mg/g程度であり、単調な増加・減少傾向はみられなかった。底質の有機物に関して、強熱減量は全3地点で7～11%程度であり、単調な増加・減少傾向はみられなかった。CODは全3地点で7～20mg/g程度であり、1地点(Asg-2)で増加傾向がみられたが、他の2地点では単調な増加・減少傾向はみられなかった⁴⁾(図4.4.5)。なお、この3地点は、底質の有機物含量が高いとの知見¹²⁾(岡村ら, 2006)があるA3海域との境界域には含まれない。



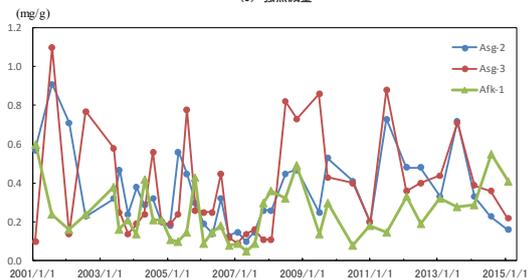
(1) T-N



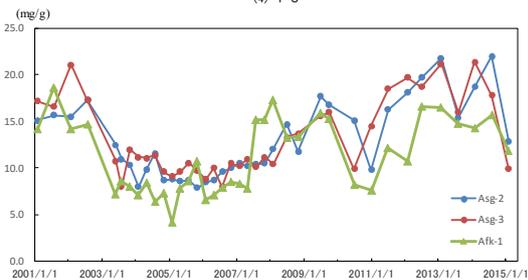
(2) T-P



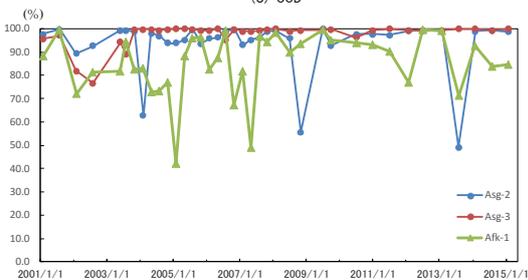
(3) 強熱減量



(4) T-S



(5) COD

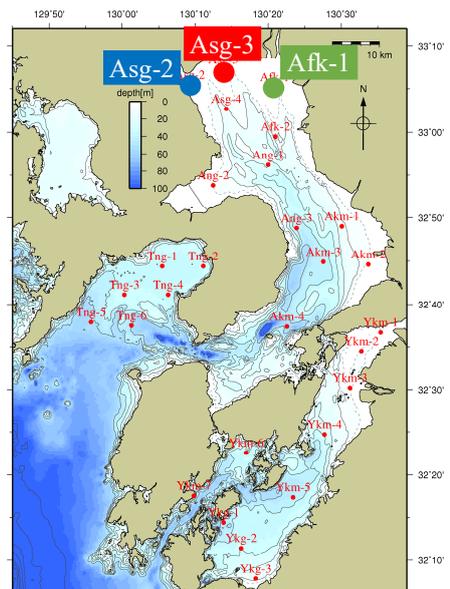


(6) 粘土シルト分

注) 図 4.4.3 A1海域におけるベントス調査地点と同一地点

図 4.4.5 A1海域における底質の推移

出典：環境省「有明海・八代海再生フォローアップ調査結果」等をもとに環境省が作成した。



有明海湾奥部の16調査地点に海底上の泥（浮泥¹を含む。）の堆積厚を測定するための50cm×50cm四方の板（以下、埋没測定板）が埋設されており（図4.4.6、図4.4.7）、年4回程度の堆積厚測定が行われている。これは音響探査による水深測定精度では捉えることのできない水深変化を把握することが可能である。

なお、この調査は2008年に5地点で開始され、2009年、2010年及び2013年に地点が追加されている。

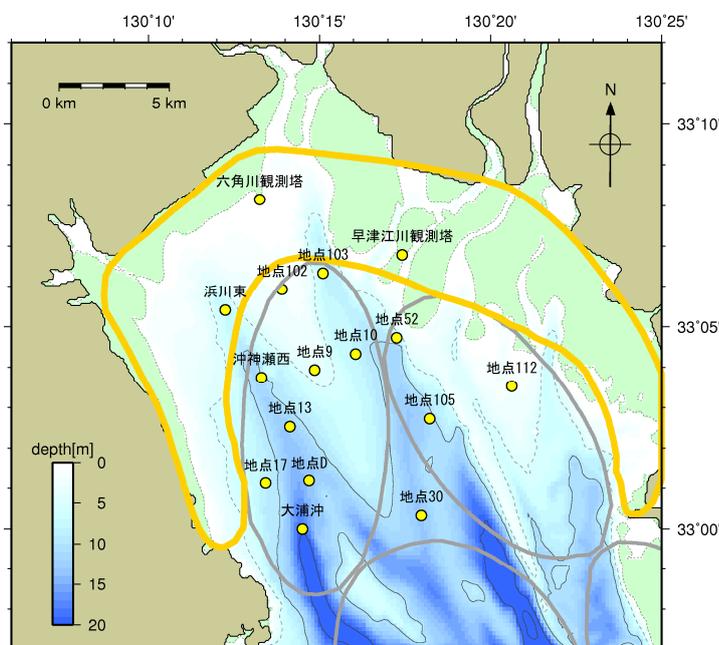


図 4.4.6 埋没測定板の設置地点

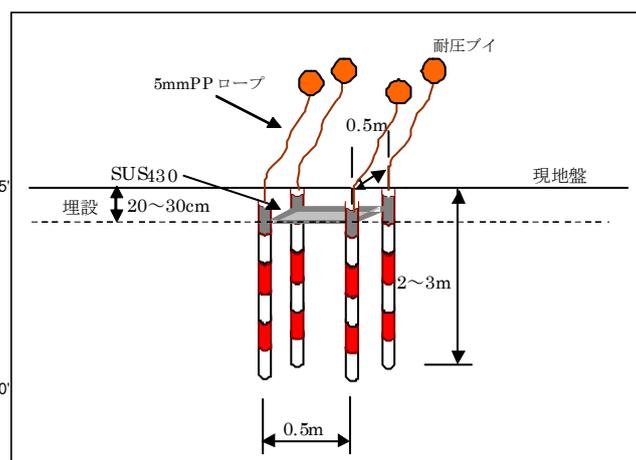


図 4.4.7 埋没測定板の装置の概要

調査開始年からの各調査地点の海底面高の経時変化を図4.4.8に示す。A1海域の地点は六角川観測塔、早津江川観測塔及び浜川東の全3地点である。

調査を行った2009～2015年においては、浮泥を含む堆積物に全3地点で顕著な増加・減少傾向はみられなかった⁴⁾。

i) 粘土・シルト分のうち、有機物と複合体を形成する等含水率が高く、かつ潮流・波浪等によって再懸濁・堆積を活発に繰り返している成分。密度法によって測定される浮泥層厚は、上記のうち、密度が約1.4 g/cm³未満の粒子によって構成される層厚である。

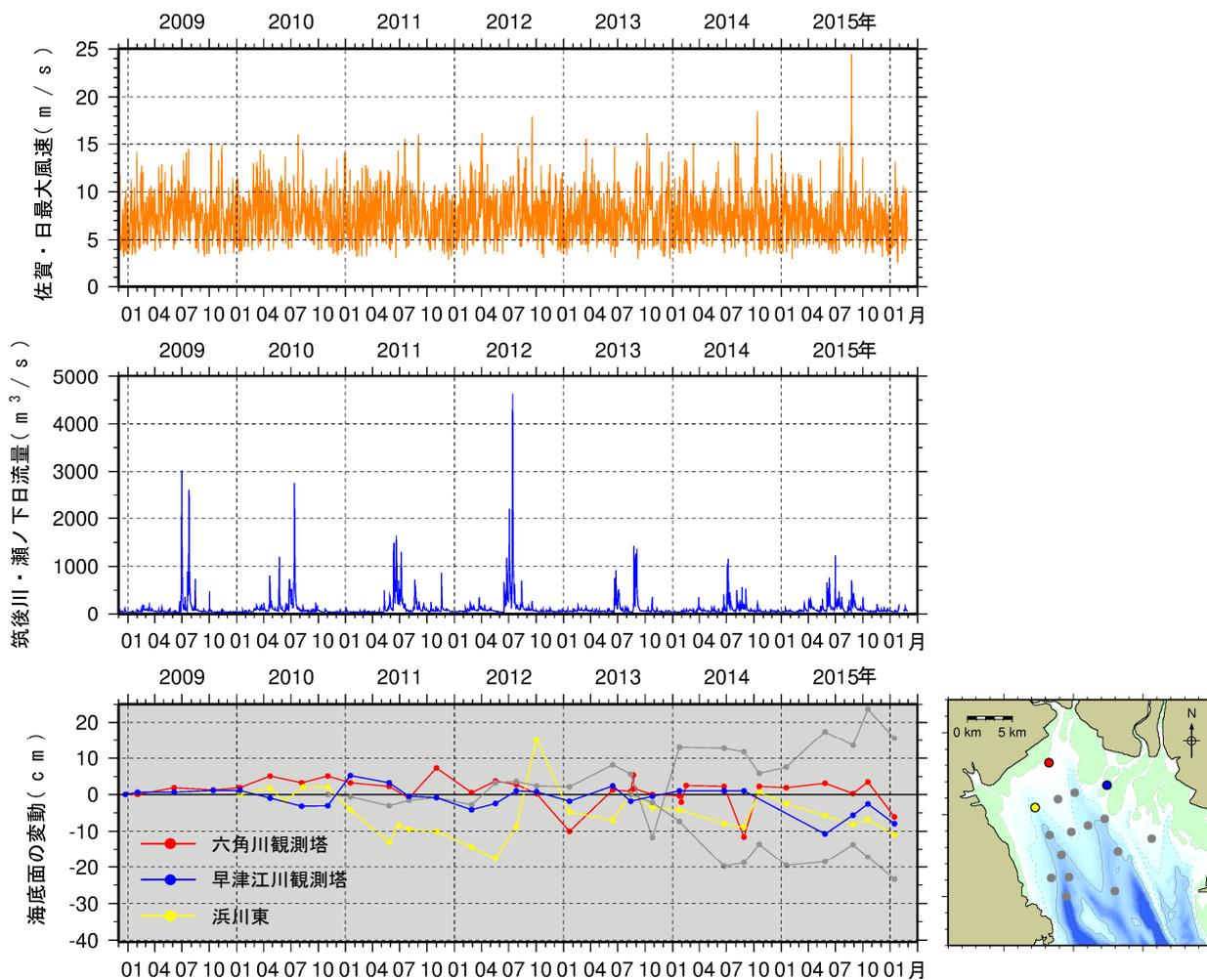


図 4.4.8 埋没測定板による海底面の変動の時系列

出典：環境省「有明海・八代海再生フォローアップ調査結果」等をもとに環境省が作成した。

2016年1月に採取された埋没測定板上の堆積物の中央粒径 ($Md\phi$) と粘土・シルト含有率の分布を図4.4.9に示す。

A1海域においては浜川東と六角川観測塔では $Md\phi$ 6以上、粘土・シルト含有率は90%程度であり、泥の堆積がみられる地点である。早津江川観測塔では細砂となっている¹³⁾。

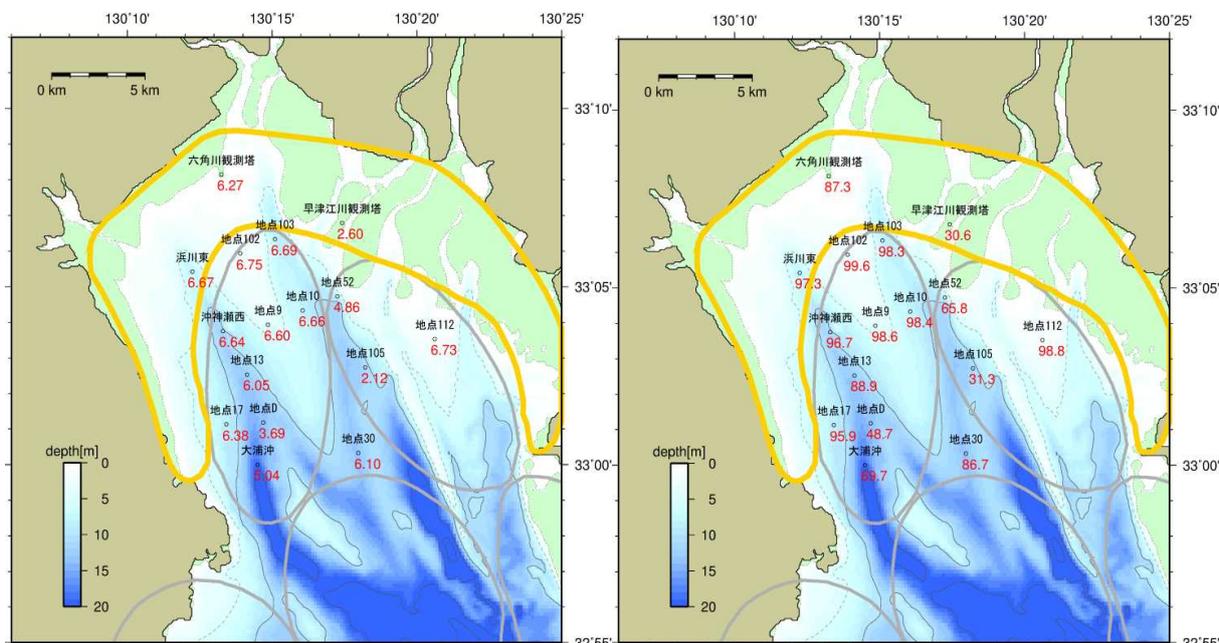


図 4.4.9 埋没測定板の粒度組成 (左図: $Md\phi$ 、右図: 粘土・シルト含有率 (%))

出典: 環境省「平成27年度有明海・八代海環境特性解明等調査」

これらの結果から、底質について、本海域では2001年以降におけるデータから単調な変化傾向はみられず、全域的に泥化傾向は進行していないと考えられた。底質の動向とベントスの生息に明確な関係は確認されなかった。

次に、ベントスの生息と密接な関係があるといわれる貧酸素水塊の出現状況について考察した。なお、3章6. 貧酸素水塊に記載したとおり、貧酸素水塊が有明海奥部で発生することが示されている。

貧酸素水塊は東部及び西部干潟域では問題とならないが、西部干潟沖合域 (A3海域との境界域) では出水後の小潮時を中心に成層が形成されて貧酸素水塊が発生している。月1回の調査による底層溶存酸素量の年間最低値は、1972年以降、全3調査地点で2~5mg/L程度であり、有意な変化はみられなかった。連続観測調査による底層溶存酸素量の日間平均値の年間最低値は、2004年以降におけるデータでは全2調査地点で毎年2.0mg/Lを下回っている。

ウ) 有用二枚貝の減少

本海域では、タイラギの「徒捕り」漁業が主に東側で営まれているものの、漁獲量や資源量の統計データがとられておらず、推定することも困難である¹⁴⁾ (古賀・荒巻, 2013)。西側の海域はサルボウの主漁場であり、粗放的な採苗と着底稚貝の移植技術を組み合わせた漁業が行われている¹⁵⁾ (真崎・小野原, 2003)。アサリの主要生息域は、本海域では東部 (早津江川右岸から福岡県大牟田地先まで) に限られている。本海域の干潟は覆砂を施すことによりアサリ、サルボウ、タイラギの着底促進が認められる¹⁶⁾ (内藤・筑紫, 2004)。また、本海域では 1992 年頃までアゲマキの漁獲がみられたが、現在ではほとんど生息していない。

a) タイラギ

① 現状と問題点の特定

A1 海域は沿岸域が水深の浅い干潟域であり、冬期はノリ漁場として利用されているため、潜水器漁業によるタイラギの漁獲はほとんど認められない。A1 海域の東部は砂質干潟で干潮時に広大な干潟が現われ、かつ人が歩けるため、採貝漁業者による「徒捕り」漁業が主に東側で営まれているが、長期的な統計的データが連続して収集されておらず、漁獲量や資源量を正確に推定することは困難である。

A1 海域の干潟域については 1970 年頃からの長期的なデータがなく、過去にも連続した資源調査がなされておらず、変動要因について整理することは困難である。ここでは 2014 年に図 4.4.10 に示した A1 海域東部で行われたタイラギ資源調査結果¹⁷⁾ を示す。

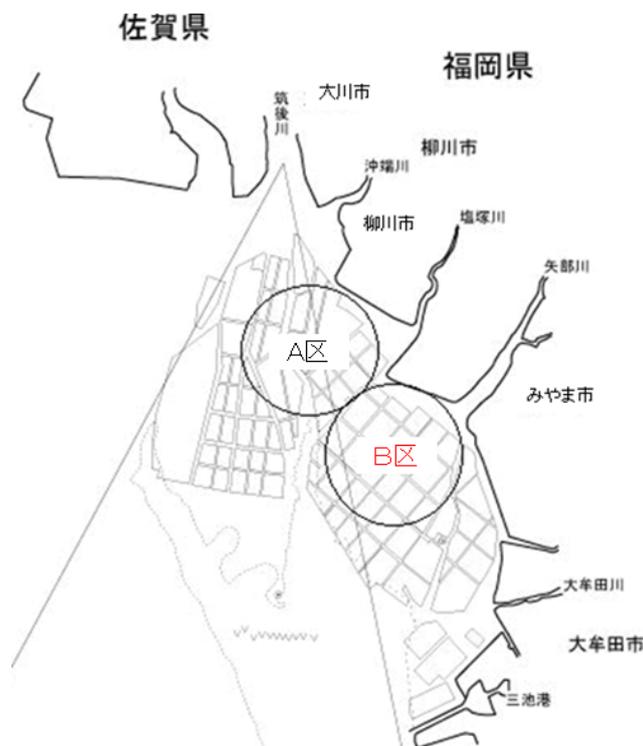


図 4.4.10 A1 海域東部におけるタイラギ資源調査地点

出典：福岡県、佐賀県、長崎県、水産総合研究センター (2014)「平成 26 年度二枚貝資源緊急増殖対策事業成果報告書」

まとまった調査データはないものの、この海域の干潟域はかつてより天然タイラギが比較的生息している海域として知られている。現在においても、徒捕り漁業が営まれている唯一の海域である。

2014年4～12月の間に実施した計6回の干潟調査の結果を図4.4.11に示した。なお、徒捕りでは漁獲サイズが殻長15cm以上のため、それ以下の稚貝サイズの分布については不明である。A区については、10～33個/30分の採捕数が得られた。B区では、30～57個/30分とA区より多くの親貝が採捕された¹⁷⁾。

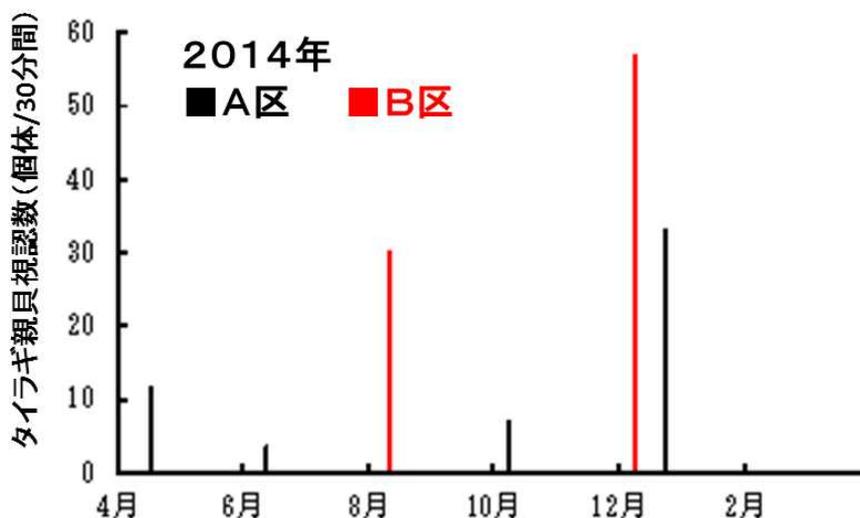


図 4.4.11 A1海域東部における徒捕り漁法によるタイラギ親貝採捕数（2014年調査）（殻長150mm以上）

出典：福岡県、佐賀県、長崎県、水産総合研究センター（2014）「平成26年度二枚貝資源緊急増殖対策事業成果報告書」

2014年12月8日にB区で採捕されたタイラギの殻長組成を図4.4.12に示した。平均殻長は 202 ± 16.5 mm、195 mm、220 mmにモードがみられ、1～3歳貝中心の組成であると推定された¹⁷⁾。後述するように、1990年代以降A2及びA3海域のタイラギはほとんどが1歳貝のみの分布である。A1海域のタイラギは、殻長が190 mmを超える2歳以上の個体が約80%含まれる等、A2及びA3海域と比べて、生息個体に占める大型個体の割合が高いことが分かる。

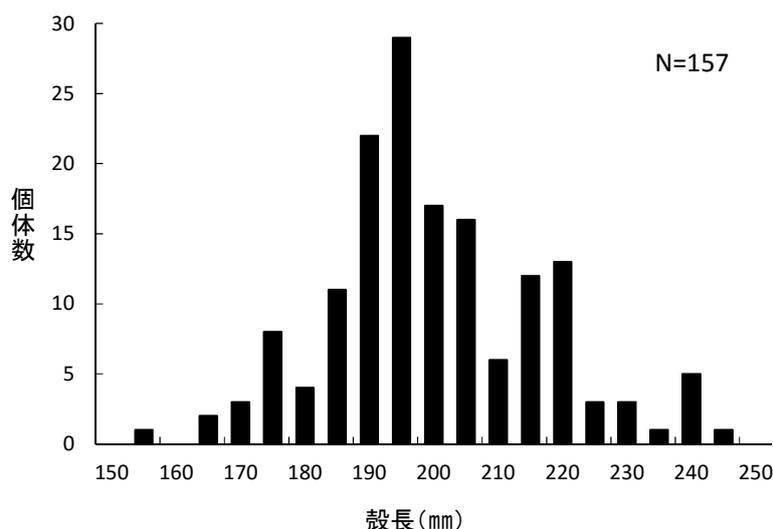


図 4.4.12 干潟で採捕されたタイラギの殻長組成 (2014 年調査)

出典：福岡県，佐賀県，長崎県，水産総合研究センター (2014)
「平成 26 年度二枚貝資源緊急増殖対策事業成果報告書」

② 原因・要因の考察

漁獲量や資源量の長期的な推移が不明であるため、問題の特定に至らなかった。

b) サルボウ

① 現状と問題点の特定

A1 海域はサルボウ資源の生息域であるとともに、粗放的な採苗（海底に採苗器を設置して稚貝の着生を促進）と着生稚貝の移植技術を組み合わせた漁業が行われている。A1 沿岸においては、1970 年代初頭に約 14,000 t の漁獲量があったが、その後、1981～1984 年にかけて夏期にへい死¹⁸⁾（原因は不明、岡山水試ほか，1988）が発生して漁獲量が激減した。へい死は 1985 年を境に収束し、佐賀県での生産量は 10,000 t 台に回復した。しかしながら、2006 年以降の生産量は減少傾向にあり、変動幅も 1,000～3,000 t と大きい。2001 年¹⁵⁾（真崎ら，2003）、2004 年⁶⁾（岡村ら，2010）、2006 年¹⁹⁾（吉田ら，2014）、2011 年⁷⁾（中牟田ら，2013）及び 2012 年¹⁹⁾（吉田ら，2014）には大量へい死がみられた。

② 原因・要因の考察

A1 海域西部はサルボウ漁場として利用されている。水深がやや深い干潟沖合域において大量死等による資源変動が大きいことから、ここでは、干潟沖合域におけるサルボウ資源量の変動要因について考察する。この海域の資源変動要因としては、貧酸素水塊、ナルトビエイの食害等が挙げられる。

A1 海域の西部干潟沖合域では、2001 年以降の毎年、夏期に貧酸素水塊が発生している。2012 年の本海域の浜川沖（定点 T14、図 4.4.13）では、貧酸素の継続（7 月 21 日から 8 月 3 日までの 2 週間の平均底層溶存酸素量は 0.8mg/L）と共にサルボウのへい死が生じている⁸⁾（図 4.4.13 及び徳永ら，2016）。サルボウは二枚貝の中でも比較的低酸素の環境下でも生残できる特性を有した二枚貝のひとつであり、貧酸素が頻発する海域にある程度適応した生物でもある。サルボウは無酸素水中で 7 日間生残するという知見²⁰⁾（中村ら，1997）がある。一方、実際の有明海では 1mg/L

未満の無酸素状態は小潮期の数日程度しか継続しないことから、へい死の要因として貧酸素に加えて他の要因も影響を与えていることが考えられ、夏期の底層溶存酸素量が1mg/L未満となる場合に底質中の硫化水素が増加してへい死を引き起こしている可能性があるとの報告がある^{6)、21)、8)}(岡村ら, 2010; 徳永ら, 2012; 徳永ら, 2016)。実際に、貧酸素化(底層溶存酸素飽和度10%以下、0.24~0.7mg/L相当)後の底質の間隙水中で硫化水素(>10 mgS/L)の存在を確認し、その後にサルボウの生残率が低下したとの報告がある²¹⁾(徳永ら, 2012)。さらに2008年の貧酸素発生とサルボウへい死時には、海底直上水に4.2mg/Lの硫化水素が直接検出されている²²⁾(木元・児玉, 2008)。貧酸素化に加えた硫化水素の発生がサルボウの生残をより低下させることは、室内実験によっても確認されており、貧酸素単独曝露の場合よりも死亡期間が35%程短縮している^{23)、20)、24)}(図4.4.14及び中村ら, 1997; de Zwaan et al., 2001)。こうしたことから、夏期の底層における著しい貧酸素化(溶存酸素量1mg/L未満)と貧酸素化に伴う底泥及び海底直上水中の硫化水素の増加により、へい死を引き起こしている可能性が高いと推測される。

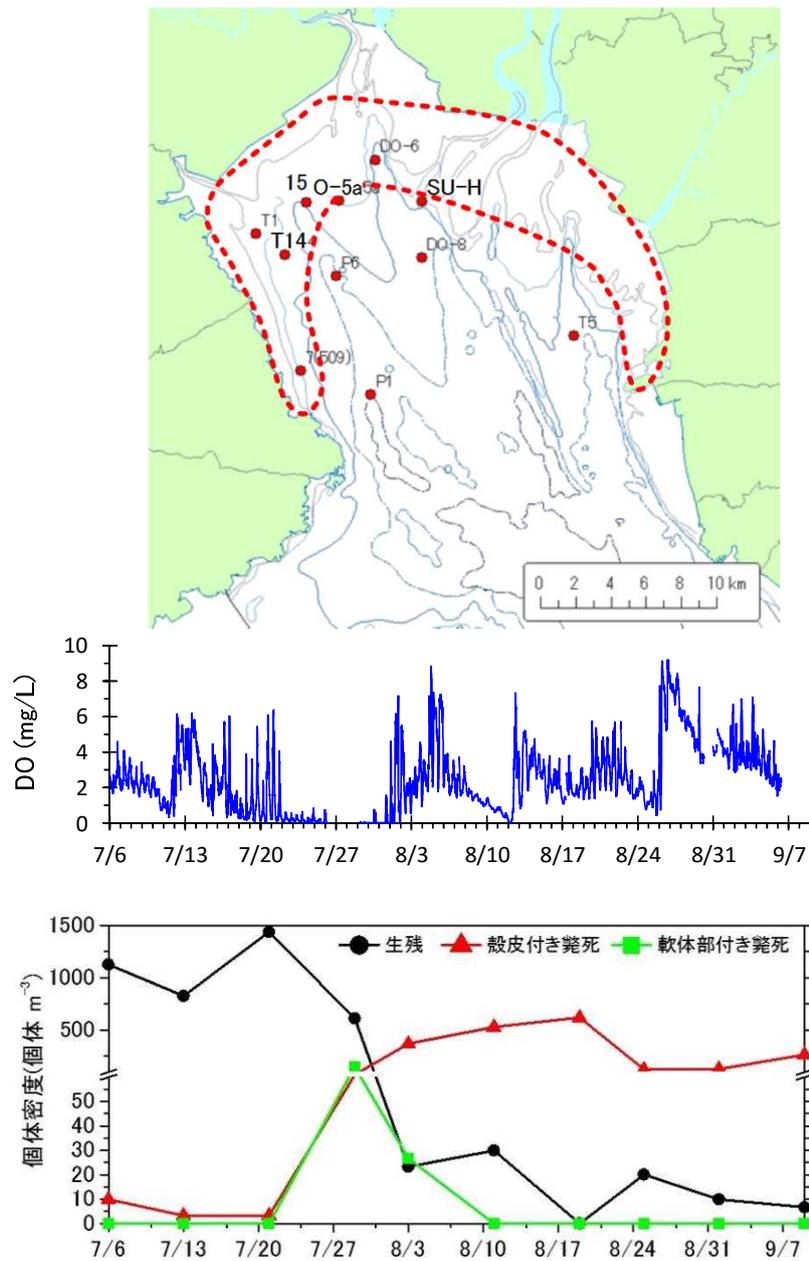
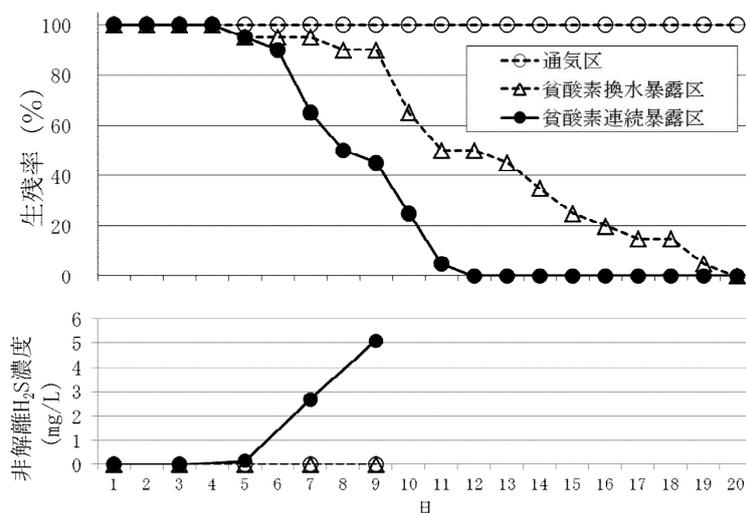


図 4.4.13 A1海域浜川沖 (T14) における海底直上 20cm の溶存酸素量とサルボウ生息状況の変動 (2012 年)

出典：徳永貴久，速水祐一，木元克則 (2016)：有明海奥部の 2 定点における底層水の生物学的酸素消費と化学的酸素消費，土木学会論文集 B2 (海岸工学)，第 72 巻，第 1 号，pp.12-21 の図をもとに環境省が作成した。



注) 通気区は溶存酸素量 5mg/L 以上、貧酸素水暴露区は毎日 1 回、溶存酸素量 1mg/L 未満の貧酸素海水で飼育水を全交換した。

図 4.4.14 サルボウの貧酸素曝露実験結果

出典：中牟田弘典，藤崎博，吉田賢二（2013）：2011 年秋季から冬季に発生したサルボウの異状斃死，佐賀県有明水産振興センター研究報告，第 26 号，pp. 33-48

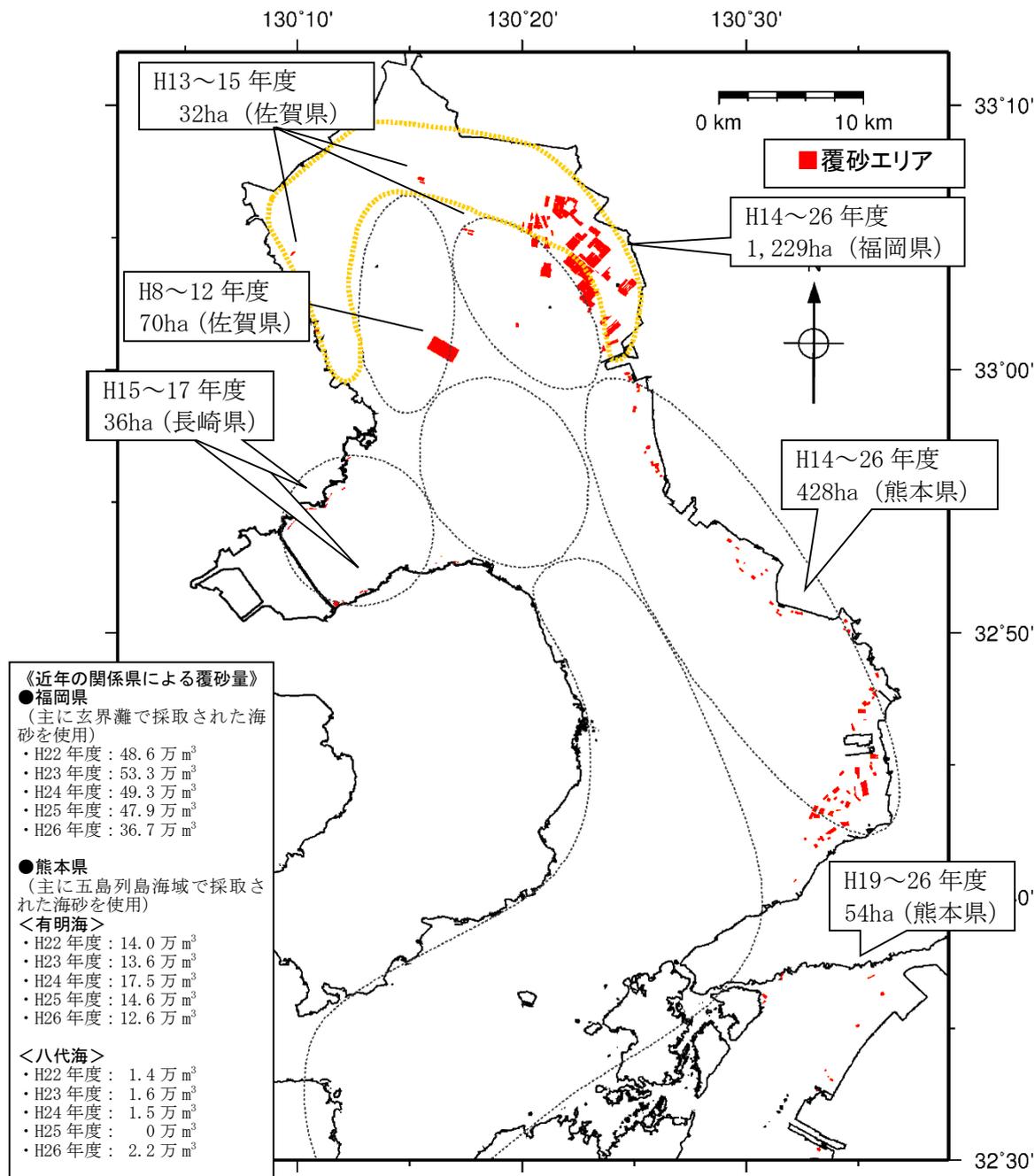
A1 海域のサルボウ資源に対しても、ナルトビエイによる食害が発生していると推定され（(8) 有明海全体—有用二枚貝の減少 参照）、資源減少の要因になっていると考えられる。ただし、ナルトビエイの胃内容物は海域毎に精査されていないため、その捕食圧を海域毎に推定することは困難である。

なお、2011 年 10 月中旬から 12 月中旬にかけて、サルボウの大量へい死が確認された。この大量死によって、資源量が一時的に 1/3 まで減少⁷⁾（中牟田ら，2013）したものの、その後大量死は発生しておらず、この海域における長期的な資源減少要因とは特定できなかった。

c) アサリ

A1 海域は東部と西部で底質が異なっており、六角川筋を境に西側が泥質干潟、東側が砂泥質干潟に区分される。アサリは泥質干潟にはほとんど生息できないため、A1 海域におけるアサリの主要生息域は、東部（六角川筋から福岡県大牟田地先まで）に限られている。西部の泥質干潟でも地盤高が高く底質が固い場所（鹿島市沖や糸岐川河口）にごく小規模なアサリ漁場が形成されているが、ここでは主に A1 海域東部のアサリ資源状態について詳述する。

なお、A1 海域では、覆砂が実施されて人為的に底質が変化していることに留意する必要がある（図 4.4.15）。



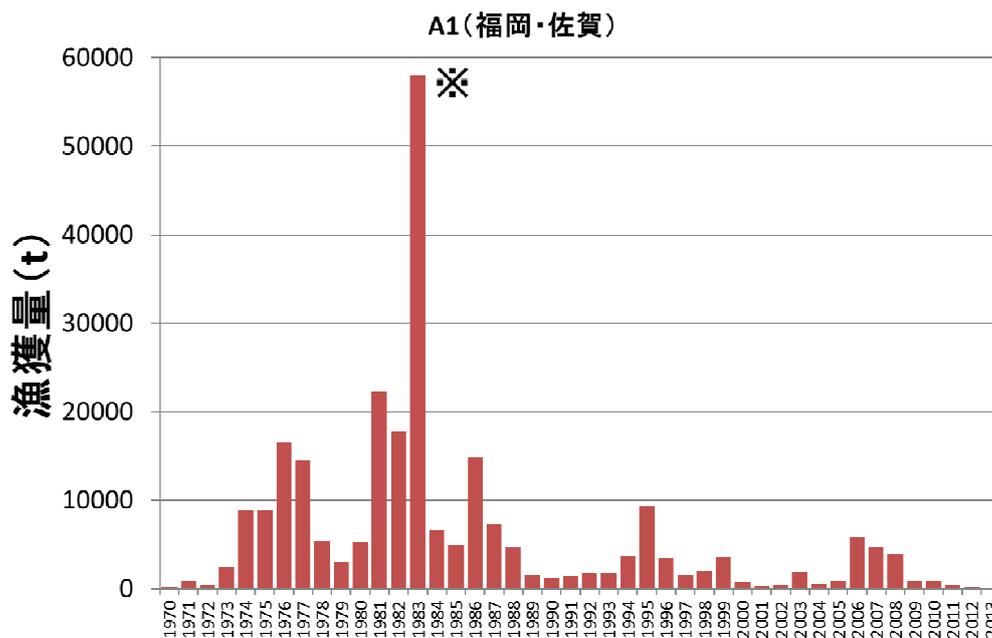
注) 関係県が実施した主な覆砂事業(水産庁補助事業)をプロットした。

図 4.4.15 A1 海域における覆砂実施エリア

出典：関係県の整備実績をもとに環境省が作成した。

① 現状と問題点の特定

アサリはA1海域で1970年代半ばから10年間ほど、年に10,000tを越える漁獲を記録した。特に1983年には58,000tもの漁獲がみられた。その後減少し、2000年から2005年までは数千t以下と低迷した。2006年から2008年にかけて資源が一時的に回復し、2006年の漁獲量は6,000tに達した²⁵⁾(図4.4.16)。しかしながら、2009年以降資源の減少傾向が明瞭となり、現在は過去最低レベルの漁獲量に留まっている。



注) 本データは属人統計であるため、A1海域以外の漁獲も一部計上されている。1982年から1984年にかけての漁獲量の大幅な増大については、例年では漁獲があまりみられない「峰の洲」(A2海域に該当)と呼ばれる非干出海域で漁獲がみられたためである。

図 4.4.16 A1海域のアサリ漁獲量の推移

出典：農林水産省「農林水産統計(昭和45～平成25年)」をもとに環境省が作成した。

② 原因・要因の考察

A1海域の漁獲圧に関しては、データは存在しない。2003年以降は資源が増加基調に入り、2006年には福岡県の漁獲量が5,836tと比較的高い生産状況に至った。実際に資源量を推定した結果によっても、2005年から2007年にかけてA1海域のアサリの推定資源量が3,634tから14,244tへと急速に増加していた²⁶⁾(図4.4.17)。この理由については不明であるが、資源の動向が後述するA4海域と類似の傾向を示している。

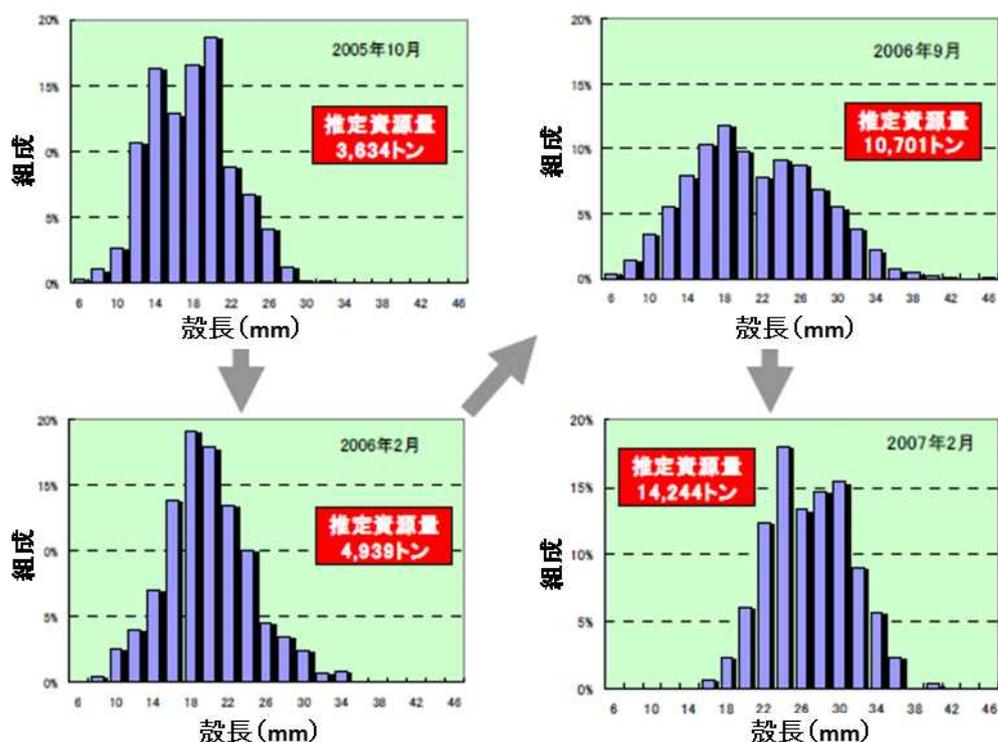


図 4.4.17 A1 海域のうち福岡県海域における 2005～2007 年にかけてのアサリ推定資源量の推移

出典：福岡県水産海洋技術センター有明海研究所（2007）「第 27 回有明海・八代海総合調査評価委員会 資料 4-3 福岡県有明海地先における覆砂事業の効果（福岡県水産海洋技術センター）」

本海域における浮遊幼生の発生量に関する経年変化データは存在しないものの、本海域と海水の交流があり、隣接する A4 海域での調査結果から、2006 年以降相当低位で推移していると類推される。

食害について、A1 海域においてもナルトビエイは度々出現していることから、これらによる食害は、アサリ資源の減少の一因と考えられる（（8）有明海全体—有用二枚貝の減少参照）。

アサリの浮遊幼生や着底稚貝の量が過去と比較して 2008 年以降低位で推移していると類推される（（4）A4 海域（有明海中央東部）参照）。このような状況の中で、資源の回復へ寄与する規模の浮遊幼生発生量を確保するために、資源の持続的な利用を進めるために確保すべき資源量等の知見が得られていないことが課題の一つとして挙げられる。

覆砂事業により、アサリ等の有用二枚貝が増大するとの報告がある²⁶⁾。有用二枚貝等の水生生物の保全・再生のため重要な地点について、底質改善が有効な場合があると考えられる。

有害赤潮 (*Chattonella* 属) によるアサリ死亡への影響の可能性が指摘されているが、*Chattonella* はアサリのろ水活動を顕著に阻害するものの、赤潮密度でのへい死等は室内試験によっても確認されていない。よって、*Chattonella* 赤潮の発生件数が有明海全体で増加しているが、これが直接アサリ資源に影響している可能性は考えにくい（（6）A6 海域（有明海諫早湾）参照）。

エ) まとめ

A1海域（有明海湾奥奥部）では、問題点として「有用二枚貝の減少」がみられ、その原因・要因の考察を行った。ベントス（底生生物）について2005～2015年のデータしか得られなかったため、問題点の明確な特定には至らなかった。

なお、「ノリ養殖の問題」及び「魚類等の変化」に関する原因・要因の考察や、「有用二枚貝の減少」の要因のうちエイ類による食害等に関する考察については、有明海全体でまとめて別に記載した（(8) 有明海全体－有用二枚貝の減少、(9) 有明海全体－ノリ養殖、魚類等参照）。

ベントスについては、2004年以前の海域毎のデータがなく、1970年頃と現在の変化は不明であるが、2005～2015年のデータから傾向の整理を行った。

具体的には、2005年以降の全3調査地点におけるデータから、全3地点のうち1地点（Asg-3）で節足動物門の種類数に減少傾向がみられた。全体の主要出現種に大きな変化はみられなかった。個体数については、全3地点とも調査毎に変動が大きく、約10年間の継続した一定方向の変化を見いだすことは難しいが、1地点（Asg-3）で環形動物門の個体数に増加傾向がみられた。他の2地点では、種類数、個体数ともに単調な増加・減少傾向はみられなかった。調査毎に大きく変動する要因は、特定の優占種（ドロクダムシ類やシズクガイ等の日和見的で短命な有機汚濁耐性種）の増減であると考えられ、総個体数が前年の10倍以上になる年がみられた。

ベントスの生息と密接な関係があるといわれる底質について、2000年以前の海域毎のデータがなく、1970年頃と現在の変化は不明であり、2001～2015年のデータから、単調な変化傾向はみられなかった。本海域では底質の動向とベントスの生息に明確な関係の有無は確認されなかった。

- ・ 底質の泥化（細粒化）については、全3調査地点のうち1地点（Asg-3）は粘土・シルト分が100%に近い値で推移し、他の2地点は80～100%程度であり、単調な泥化傾向はみられなかった。
- ・ 底質の硫化物については、全3地点で0.1～0.6mg/g程度であり、単調な増加・減少傾向はみられなかった。
- ・ 底質の有機物に関して、強熱減量は全3地点で7～11%程度であり、単調な増加・減少傾向はみられなかった。CODは全3地点で7～20mg/g程度であり、1地点（Asg-2）で増加傾向がみられたが、他の2地点では単調な増加・減少傾向はみられなかった。なお、この3地点は、底質の有機物含量が高いとの知見があるA3海域との境界域には含まれない。
- ・ 浮泥を含む堆積物については、埋没測定板を用いて堆積厚の調査を行った2009～2015年のデータから、全3調査地点で顕著な増加・減少傾向はみられなかった。

次に、ベントスの生息と密接な関係があるといわれる貧酸素水塊の出現状況について考察した。なお、3章6. 貧酸素水塊に記載したとおり、貧酸素水塊が有明海奥部で発生することが示されている。

貧酸素水塊は東部及び西部干潟域では問題とならないが、西部干潟沖合域（A3海域との境界域）では出水期後の小潮時を中心に成層が形成されて貧酸素水塊が発生している。月1回の調査による底層溶存酸素量の年間最低値は、1972年以降、全3調査地点で2～5mg/L程度であり、有意な変化はみられなかった。連続観測調査に

よる底層溶存酸素量の日間平均値の年間最低値は、2004年以降におけるデータでは全2調査地点で毎年2mg/Lを下回っている。

有用二枚貝のうちタイラギについて、本海域での2014年の調査では2歳以上の個体が約80%含まれる等、ほとんどが1歳貝のみの分布であるA2及びA3海域と比べて、生息個体に占める大型個体の割合が高いが、漁獲量や資源量の長期的な推移が不明である。

サルボウについては、問題点として夏期にへい死が生じている。2001年、2004年、2006年、2011年及び2012年には大量へい死がみられた。その要因として、夏期の底層における著しい貧酸素化（溶存酸素量1mg/L未満）と貧酸素化に伴う底泥及び海底直上水中の硫化水素の増加により、へい死を引き起こしている可能性が高いと推測される。

アサリについては、問題点として2009年以降資源の減少傾向が明瞭となる等、現在は過去最低レベルの漁獲量に留まっている。また、浮遊幼生や着底稚貝の量は、隣接するA4海域での調査結果から、過去と比較して2008年以降は相当低位で推移していると類推される。このような状況の中で、資源の持続的な利用を進めるために確保すべき資源量等の知見が得られていないことが課題の一つとして挙げられる。

覆砂によってアサリ等の有用二枚貝が増大するとの報告があることから、有用二枚貝等の水生生物の保全・再生のため重要な地点について、底質改善が有効な場合があると考えられる。

Chattonella 赤潮の発生件数が有明海全体で増加しているが、これが直接アサリ資源に影響している可能性は考えにくい。詳細は(6)A6海域(有明海諫早湾)に記載した。

その他、有用二枚貝の減少を引き起こすおそれがある共通の要因の一つとして、エイ類による食害がある。詳細は(8)有明海全体ー有用二枚貝の減少に記載した。

参考文献

- 1) 園田吉弘, 滝川清, 床次武富, 早田功, 齋藤孝 (2008) : 有明海における水質・底質の実測データに基づく海域環境の変動特性, 土木学会海岸工学論文集, 第55巻, pp.1021-1025
- 2) 有明海・八代海総合調査評価委員会 (2006) 「委員会報告」3章5 潮流・潮汐, 22pp
- 3) 横山勝英, 山本浩一, 河野史郎 (2008) : 有明海北東部及び筑後川感潮河道における地形・底質・形態別リンの季節変動と土砂移動経路に関する考察, 土木学会論文集B, Vol.64, No.2, pp.83-98
- 4) 環境省「有明海・八代海再生フォローアップ調査」
- 5) 環境省「有明海・八代海再生重点課題対策調査」
- 6) 岡村和磨, 田中勝久, 木元克則, 藤田孝康, 森勇一郎, 清本容子 (2010) : 有明海北西部における貧酸素水塊と底質がサルボウの大量斃死に与える影響, 水産海洋研究, 第74巻, 第4号, pp.197-207
- 7) 中牟田弘典, 藤崎博, 吉田賢二 (2013) : 2011年秋季から冬季に発生したサルボウの異状斃死, 佐賀県有明水産振興センター研究報告, 第26号, pp.33-48

- 8) 徳永貴久, 速水祐一, 木元克則 (2016): 有明海奥部の2定点における底層水の生物学的酸素消費と化学的酸素消費, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), 第72巻, 第1号, pp.12-21
- 9) 代田昭彦, 近藤正人 (1985): 日本全国沿岸海洋誌 (日本海洋学会沿岸海洋研究部会編), 東海大学出版会, 1106pp
- 10) 片野俊也, 吉野健児, 伊藤祐二, 速水祐一 (2013): 有明海奥部の植物プランクトンの季節変化: 特に夏季, 冬季の有害赤潮と環境要因の関連について, 沿岸海洋研究, 第51巻, 第1号, pp.53-64
- 11) 松原賢, 横尾一成, 川村嘉志 (2014): 有害珪藻 *Asteroplanus karianus* の有明海佐賀県海域における出現動態と各種環境要因との関係. 日本水産学会誌, 第80巻 第2号, pp.222-232
- 12) 岡村和麿, 田中勝久, 木元克則, 清本容子 (2006): 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体比, 海の研究, Vol.15, No.2, pp.191-200
- 13) 環境省「平成27年度有明海・八代海環境特性解明等調査」
- 14) 古賀秀昭, 荒巻裕 (2013): 佐賀県有明海におけるタイラギ漁業の歴史と漁場形成要因, 佐賀県有明水産振興センター研究報告, 第26号, pp.13-24
- 15) 真崎邦彦, 小野原隆幸 (2003): 有明海湾奥部におけるサルボウの漁業実態と分布状況, 佐賀県有明水産振興センター研究報告, 第21号, pp.29-36
- 16) 内藤剛, 筑紫康博 (2004): 有明海浅海域における覆砂効果, 福岡県水産海洋技術センター研究報告, 第14号, pp.125-130
- 17) 福岡県, 佐賀県, 長崎県, 水産総合研究センター (2014) 「平成26年度二枚貝資源緊急増殖対策事業成果報告書」, 41pp
- 18) 岡山県水産試験場, 山口県内海水産試験場, 佐賀県有明水産試験場, 南西海区水産研究所 (1988): サルボウの斃死要因解明のための養殖試験 (VI). 南西海区水産研究所, 82pp
- 19) 吉田賢二, 中牟田弘典 (2014): 標識放流サルボウの追跡調査, 佐賀県有明水産振興センター研究報告, 第27号, pp.19-25
- 20) 中村幹雄, 品川 明, 戸田顕史, 中尾 繁 (1997): 宍道湖および中海産二枚貝4種の環境耐性. 水産増殖, 第45号, pp.179-185
- 21) 徳永貴久, 岡村和麿, 木元克則, 柴原芳一 (2012): 有明海湾奥西部海域の底質変動特性. 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol.68, No.2, pp. I_1139-I_1144
- 22) 木元克則, 児玉真史 (2008): 有明海奥部における貧酸素水塊の動態と影響要因に関する検討. 九州沿岸域における漁場環境保全の現状と展望, 日本水産学会九州支部例会シンポジウム講演要旨, 2pp
- 23) 中牟田弘典, 吉田賢二 (2014): 貧酸素環境がサルボウの鰓・腎臓組織に及ぼす影響, 佐賀県有明水産振興センター研究報告, 第27号, pp.27-33
- 24) de Zwaan A, Cattani O, Vitali G, Cortesi P (2001): Influence of incubation conditions on the anoxic survival of marine bivalves. Static and semi-static incubations, Marine Ecology-Progress Series, Vol.211, pp.169-179
- 25) 農林水産省「農林水産統計 (昭和45~平成25年)」
- 26) 福岡県水産海洋技術センター (2007) 「第27回有明海・八代海総合調査評価委員会 資料4-3 福岡県有明海地先における覆砂事業の効果 (福岡県水産海洋技術センター)」