

5. 底質

(1) 有明海の底質

底質の分布状況は、複雑な様相を呈しているため一概には言えないが、湾奥西部及び湾中央側の底質は主に泥あるいは砂泥で含泥率が高く、大浦沖・諫早湾口では1～4 mにわたって泥が堆積している。湾中央側から湾口部にかけては砂質土もしくは礫が広がっている(図 3.5.1)。また、有明海では海底堆積物の移動・再分配が繰り返し生じており、水深0～5mと40m以深の面積が減る一方、10～30mの海域が増え、水深が平均化されている¹⁾。

クラスター分析結果(各区分の平均値:H26まで)

区分	底質名	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	砂	1.30	10.4	28.0	0.04	5.6	4.1	0.48	0.48
B	泥混じり砂	2.55	38.9	37.0	0.17	8.0	7.5	0.79	0.48
C	砂混じり泥	4.86	64.1	50.0	0.20	9.5	9.3	1.08	0.53
D	泥	6.56	89.2	67.0	0.68	10.7	12.9	1.75	0.66

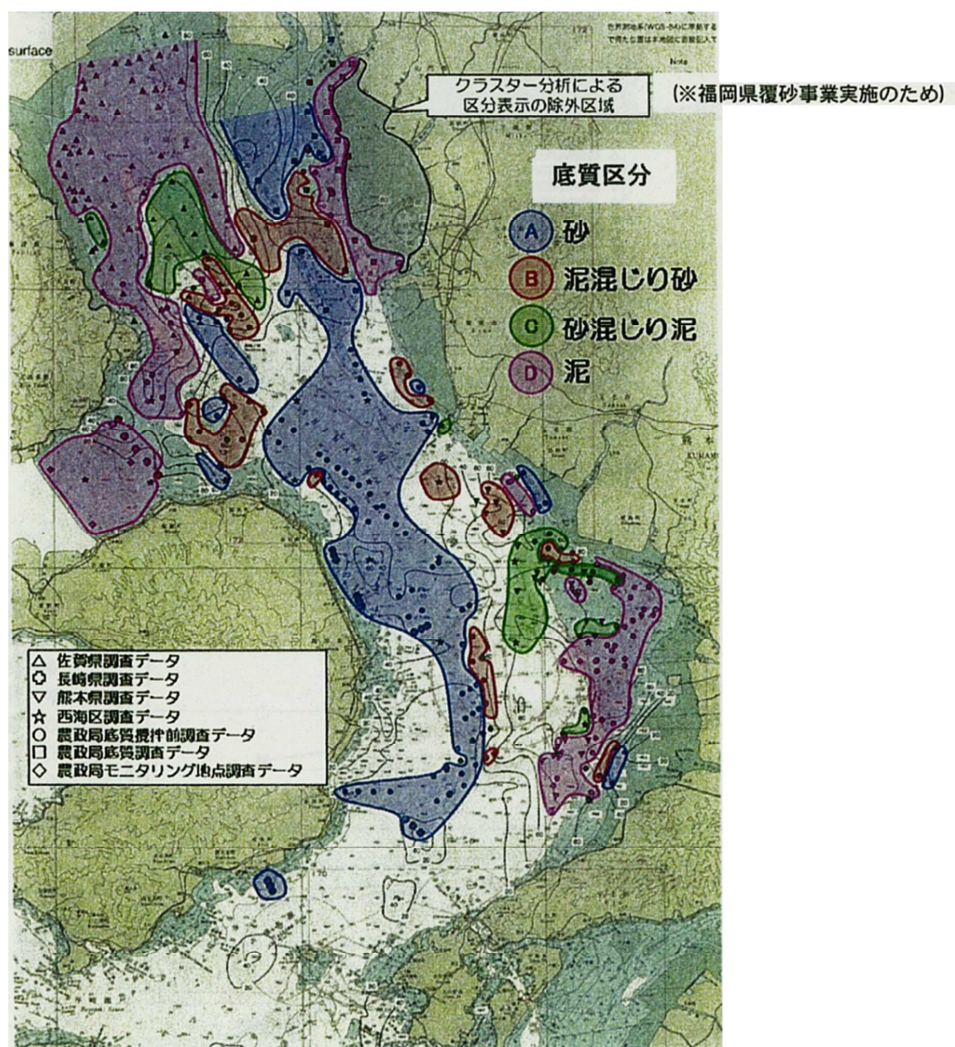


図 3.5.1 有明海の底質特性別海域区分図(2014年)

出典：九州農政局(平成28年3月)「有明海漁場環境改善連絡協議会(第22回)資料5 国営干拓環境対策調査について」

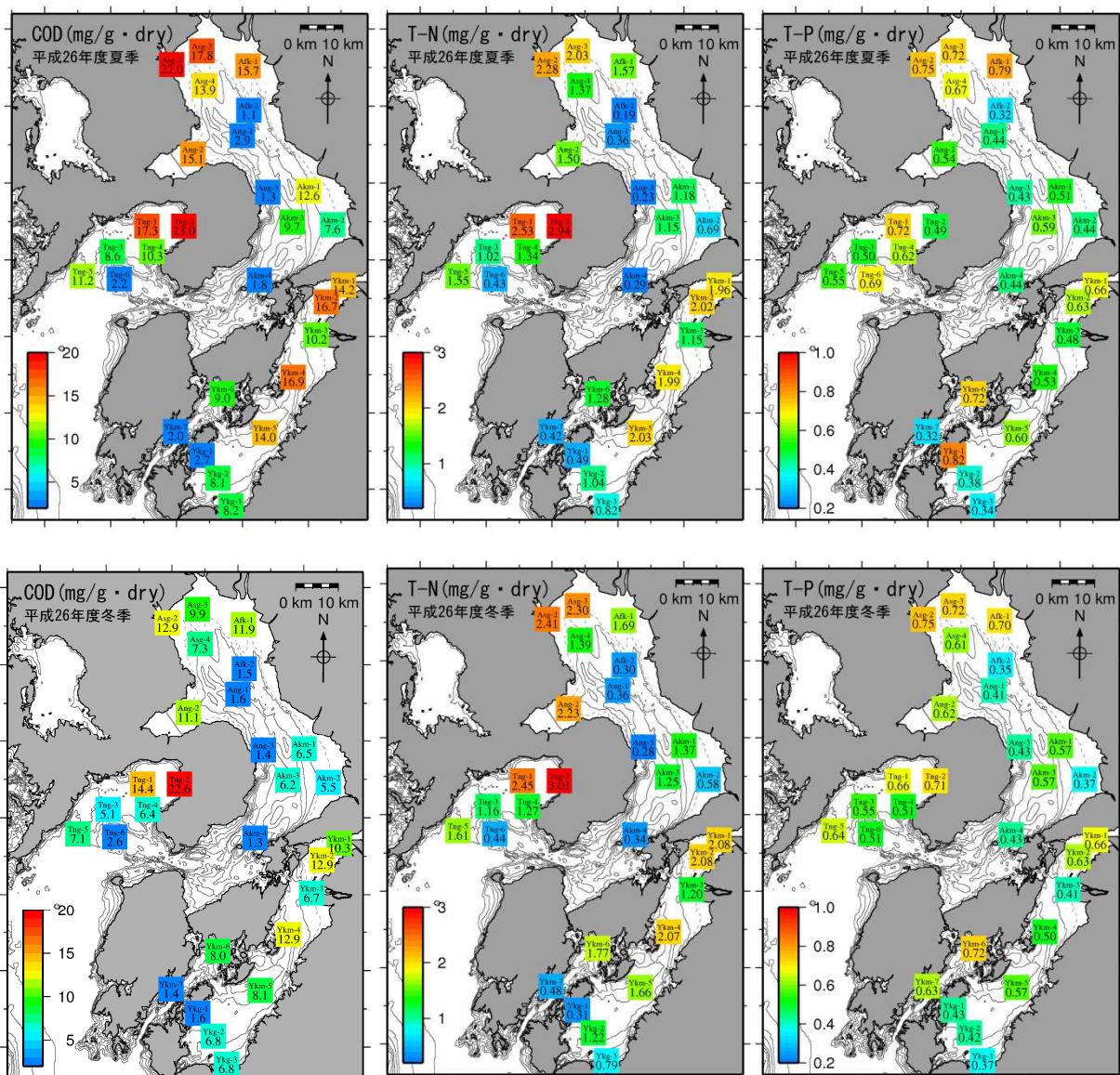


図 3.5.2 2014 年度の底質分析結果の水平分布（上段：夏季 下段：冬季）

2014年度に実施した底質 COD、T-N、T-P 観測の結果を図 3.5.2 に示す。いずれの項目も濃度の空間分布は同じ傾向であり、有明海では湾奥部で最も高く、湾中央北部と湾口部で低い。

海底堆積物中の珪藻類のシストの変化等（図 3.5.3）からも環境変化の開始時期が推定されており、有明海の富栄養化は 1950～1960 年頃から顕著に進行していると報告されている。底質の COD、T-N、T-P 濃度が比較的高い海域である熊本沖では、図 3.5.4 に示す潮目のところで硫化水素臭を伴う泥が 20～30mm 堆積している。堆積速度は年間約 1mm と推定されており、それに基づく、底質の変化は 1970～1980 年頃から始まったと推察される。

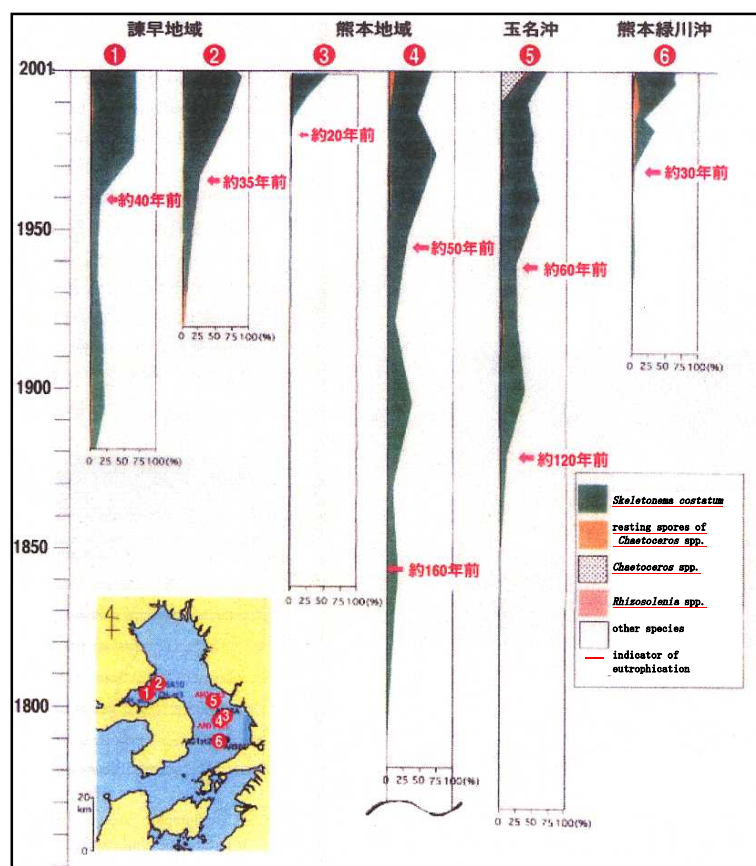


図 3.5.3 海底堆積物中に含まれる富栄養化を示唆する珪藻属
・種の出現頻度の変遷

出典：滝川清（2005）「第 14 回有明海・八代海総合調査評価委員会
資料-3 有明海・八代海の底質環境について」

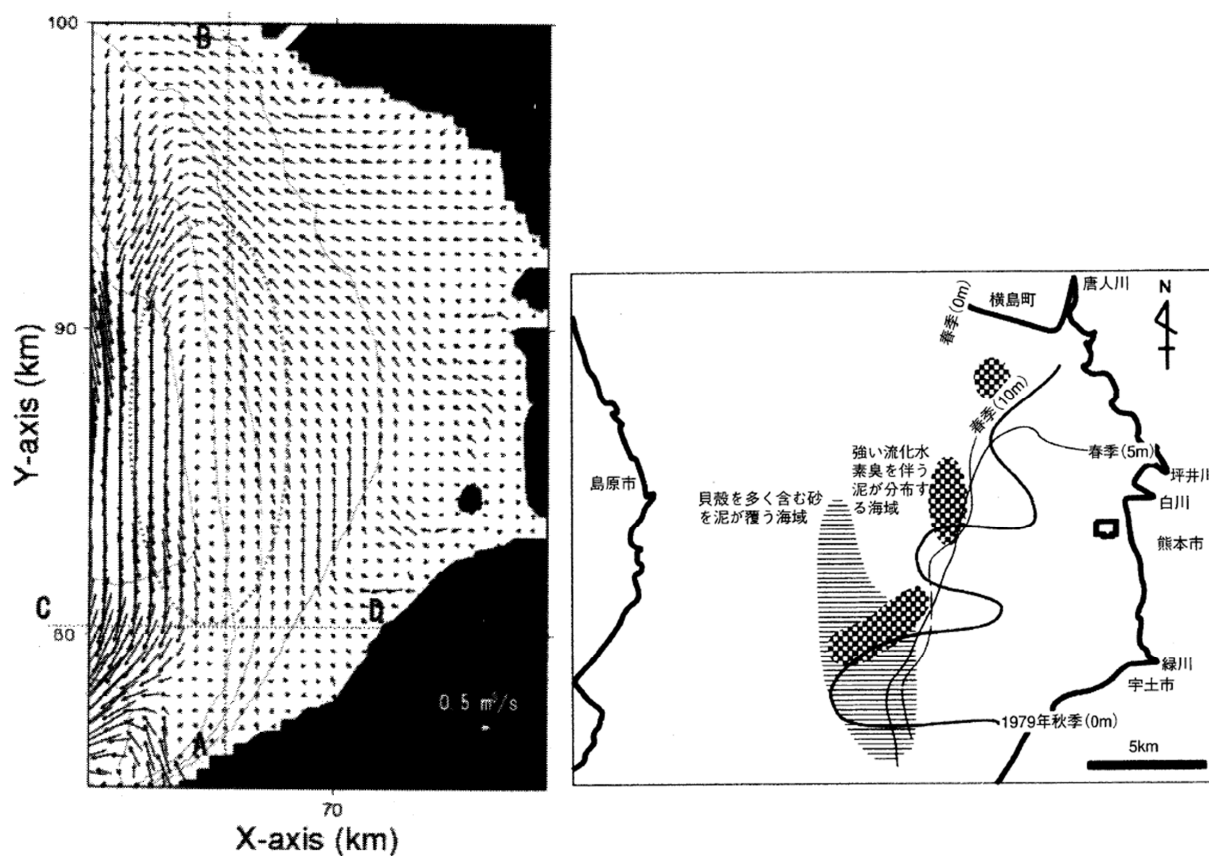


図 3.5.4 熊本港沖の残差流（線流量）と熊本沖の水塊境界と硫化水素臭泥の分布

出典：滝川清, 秋元和實, 平城兼寿, 田中正和, 西村啓介, 島崎英行, 渡辺枢 (2005) : 有明海熊本沖の水塊構造と表層堆積物分布特性, 海岸工学論文集, 第 52 巻, pp. 956-960

図 3.5.5 の有明海の 11 測点における底質の変動傾向を表 3.5.1 に示す。なお、1970 年頃からの底質の調査結果がないため、ここでは 2001 年頃以降の調査結果を整理した。T-N は 2 測点（有明海中央東部及び有明海湾口部の一部）で増加傾向・1 測点（有明海湾央部）で減少傾向、COD は 4 測点（有明海湾奥奥部の一部、有明海湾奥西部、有明海中央東部、有明海湾口部の一部）で増加傾向・1 測点（有明海湾央部）で減少傾向、強熱減量は 1 測点（有明海湾央部）で減少傾向、T-S は 3 測点（有明海中央東部及び有明海湾口部の一部）で増加傾向、粘土シルト含有率は 1 測点（有明海中央東部）で増加傾向・1 測点（有明海湾央部）で減少傾向を示し、T-P では増減傾向はみられない(表 3.5.1)。海域毎にみると、A4、A7 海域の測点で増加傾向を示す項目が多く、A5 海域では 4 項目で減少傾向にあった。詳細は 4 章において海域区分毎に記す。

表 3.5.1 有明海における底質の変動傾向

		T-N	T-P	COD	強熱減量	T-S	粘土シルト含有率
A1海域 (有明海湾奥奥部)	Afk-1	…	…	…	…	…	…
	Asg-2	…	…	++	…	…	…
	Asg-3	…	…	…	…	…	…
A2海域 (有明海湾奥東部)	Afk-2	…	…	…	…	…	…
A3海域 (有明海湾奥西部)	Asg-4	…	…	++	…	…	…
A4海域 (有明海中央東部)	Akm-2	++	…	++	…	++	++
A5海域 (有明海湾央部)	Ang-1	--	…	--	--	…	--
A6海域 (有明海諫早湾)	Ang-2	…	…	…	…	…	…
A7海域 (有明海湾口部)	Ang-3	…	…	…	…	++	…
	Akm-3	++	…	++	…	++	…
	Akm-4	…	…	…	…	…	…

注) ++、--は、近似一次回帰式の決定係数が 0.2 以上であり、かつ、回帰直線による 10 年間の変化予測量が全データの算術平均の 10%以上となる項目を示しており、++はその傾きが正、--はその傾きが負であることを示した。…は決定係数が 0.2 未満、又は回帰直線による 10 年間の変化予測量が全データの算術平均の 10%未満であることを示す。

資料：環境省 有明海・八代海再生フォローアップ調査、有明海・八代海再生重点課題対策調査 等

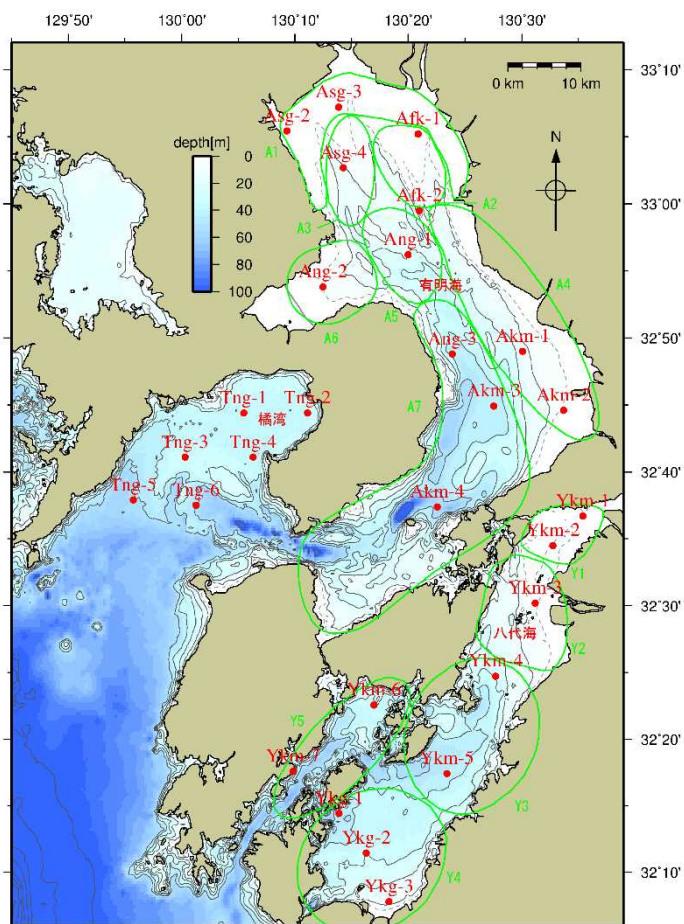


図 3.5.5 有明海・八代海・橘湾における底質の調査地点

注) 図中の有明海、八代海の緑色の範囲は海域区分を示す。なお、海域区分の考え方は「4章 2. 海域区分」に示す。

- | | | |
|----------------|----------------|----------------|
| A 1 海域…有明海湾奥奥部 | A 2 海域…有明海湾奥東部 | A 3 海域…有明海湾奥西部 |
| A 4 海域…有明海中央東部 | A 5 海域…有明海湾央部 | A 6 海域…有明海諫早湾 |
| A 7 海域…有明海湾口部 | Y 1 海域…八代海湾奥部 | Y 2 海域…球磨川河口部 |
| Y 3 海域…八代海湾央部 | Y 4 海域…八代海湾口東部 | Y 5 海域…八代海湾口西部 |

底泥中に含まれる有機物量や硫化物量の増減には、流動や水質及び生物が複雑に関与しているが、一般的には植物プランクトン由来の有機物の沈降・堆積が最たる支配要因と考えられている。有明海では、ノリ養殖が盛んであることから、陸域からの負荷のみならず、ノリ養殖で行われている酸処理や施肥による水質・底質への影響も懸念されている。

本章の「1.汚濁負荷」で述べられているように、有明海における直接負荷を含めた汚濁負荷量に占める酸処理及び施肥の割合は、近年、T-Nで1.2%以下、T-Pで5.9%以下である。また、酸処理及び施肥による負荷量とノリ養殖による取り上げ量とを比較すると、窒素については、ノリ養殖による取り上げ量が酸処理及び施肥による負荷量を上回っており、リンについては、両者がほぼ同じ水準にある。海水中に含まれる有機酸のモニタリング調査の結果、海水中から有機酸が検出された事例はない。底泥間隙水中に含まれる有機酸のモニタリング調査も実施されているが、ノリ漁場内の底泥中から、酸処理剤の主成分であるクエン酸、リンゴ酸、乳酸などの有機酸はほとんど検出されていない。

以上のことから、酸処理の使用や施肥が適正に行われれば、底泥中の有機物や硫化物の増加の主たる要因となる可能性は少ないと思われる。ただし、酸処理剤や施肥により負荷された有機酸や栄養塩の挙動については知見に乏しいことから、今後の調査・研究が必要である。また、環境中への負荷が増加すると有機物や硫化物の増加につながる可能性があることから、海域で使用される酸処理剤等に由来する栄養塩量や有機酸量等の継続的なチェックを適切に実施することも重要である。

<資料>ノリ酸処理剤に関する調査結果

- ①ノリ酸処理剤の希釈は、通常（2～5m水深の漁場）では20万～90万倍である。底質への移行については、5万倍希釈（20ppm）で6時間接触させた場合は検出不可、2万倍希釈（50ppm）より高い濃度の場合は微量のクエン酸が検出された²⁾。
- ②有機酸のモニタリング調査としてはクエン酸、リンゴ酸およびグルコン酸濃度を測定した事例がある。総数256検体の測定結果はすべて検出限界値（0.01ppm>または0.1ppm）を下回った³⁾。
- ③海域に負荷される酸処理剤の成分としては、水素イオン及び有機酸、さらに栄養効果とpHを下げるための補助剤として添加されているリン酸等があげられる。海域のpHをモニタリングしているが、pH7.4以下は酸処理剤使用前も使用後も検出されていない。クエン酸やリンゴ酸等の有機酸のモニタリング例をみても測定結果はすべて測定限界値以下であった。このように、酸処理剤の影響は海域のモニタリングでは検出されていないが、酸処理剤が海水で希釈された場合にはその有機成分は2～10日で分解されるという結果からも頷ける³⁾。

- ④佐賀県海域のノリ漁場内の地点を中心に、3カ年（2011～2013年度）にわたり、ノリ養殖期間中（12～3月）の海底泥間隙水中に含まれる有機酸（リンゴ酸、乳酸、クエン酸）濃度を測定。いずれの試料からも有機酸は検出されなかった⁴⁾。
- ⑤複数県のノリ漁場内に設けた地点において、ノリ養殖期間中に底泥間隙水中に含まれる有機酸（リンゴ酸、乳酸、クエン酸）濃度を測定。その結果、1地点の底泥間隙水から極めて微量の乳酸が確認されたが、酸処理実施中には全地点で有機酸は定量下限未満であった⁵⁾。

(2) 八代海の底質

八代海の底質 (図 3.5.6) は主に泥が北部、中部東側の日奈久から津奈木にかけての沿岸域、中部西側の天草上島・御所浦島沿岸域、及び水俣湾周辺に分布している。中部海域の北側では球磨川河口からの極細粒砂 (粒径 0.063~0.125mm) が広がっているのに対し、南部では細粒砂 (粒径 0.125~0.25mm) より粗い砂が分布する。

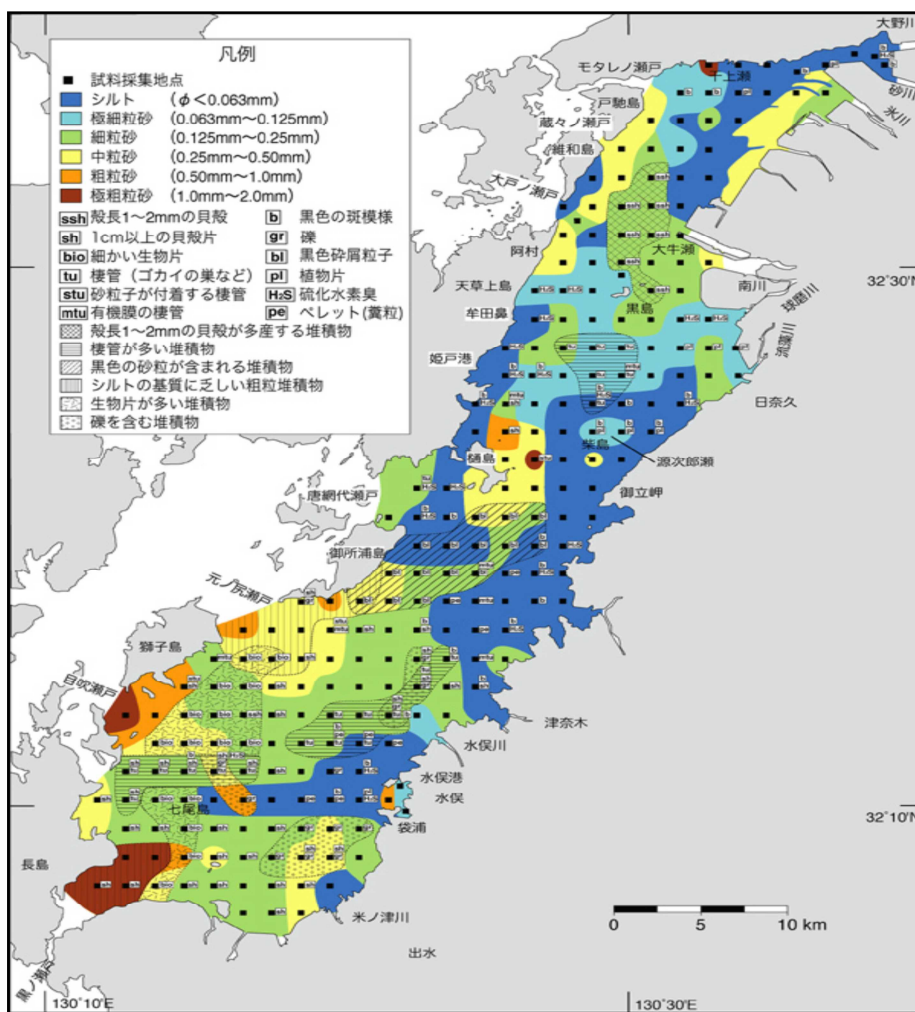


図 3.5.6 八代海の表層堆積物の分布 (2004~2005 年)

出典：NPO みらい有明・不知火 (2005) 「くちどころが観た八代海の風景」

図 3.5.5 の八代海の 10 測点における底質の変動傾向を表 3.5.2 に示す。なお、1970 年頃からの底質のモニタリング結果がないため、ここでは 2001 年頃以降の調査結果を整理した。T-N は 1 測点（八代海湾奥部）で増加傾向、T-P は 2 測点（八代海湾中央部）で減少傾向、COD は 7 測点（八代海湾奥部、球磨川河口部、八代海湾奥部の一部、八代海湾口東部の一部及び八代海湾口西部の一部）で増加傾向、強熱減量は 1 測点（八代海湾奥部の一部）で増加傾向、粘土シルト含有率は 1 測点（八代海湾奥部の一部）で増加傾向・1 測点（八代海湾口東部）で減少傾向を示し、他の測点及び T-S では増減傾向はみられない(表 3.5.2)。Y1 海域の Ykm-1 では多くの項目で増加傾向を示し、また、COD は多くの地点で増加傾向にあった。詳細は 4 章において海域区分毎に記す。

表 3.5.2 八代海における底質の変動傾向

		T-N	T-P	COD	強熱減量	T-S	粘土シルト含有率
Y1 海域 (八代海湾奥部)	Ykm-1	++	…	++	++	…	++
	Ykm-2	…	…	++	…	…	…
Y2 海域 (球磨川河口部)	Ykm-3	…	…	++	…	…	…
Y3 海域 (八代海湾中央部)	Ykm-4	…	--	++	…	…	…
	Ykm-5	…	--	…	…	…	…
Y4 海域 (八代海湾口東部)	Ykg-1	…	…	…	…	…	--
	Ykg-2	…	…	++	…	…	…
	Ykg-3	…	…	++	…	…	…
Y5 海域 (八代海湾口西部)	Ykm-6	…	…	++	…	…	…
	Ykm-7	…	…	…	…	…	…

注) ++、-- は、近似一次回帰式の決定係数が 0.2 以上であり、かつ、回帰直線による 10 年間の変化予測量が全データの算術平均の 10% 以上となる項目を示しており、++ はその傾きが正、-- はその傾きが負であることを示した。… は決定係数が 0.2 未満、又は回帰直線による 10 年間の変化予測量が全データの算術平均の 10% 未満であることを示す。

資料：環境省 有明海・八代海再生フォローアップ調査、有明海・八代海再生重点課題対策調査 等

(3) その他の海域の底質

橘湾では、湾奥部から湾西部にかけて泥分が多く、早崎瀬戸から湾東部にかけては砂分が多い海域が広がる。変動傾向を分析する期間における底質測定に係る一般項目のデータがなかった。

なお、牛深町周辺の海域については、底質のデータがなかった。

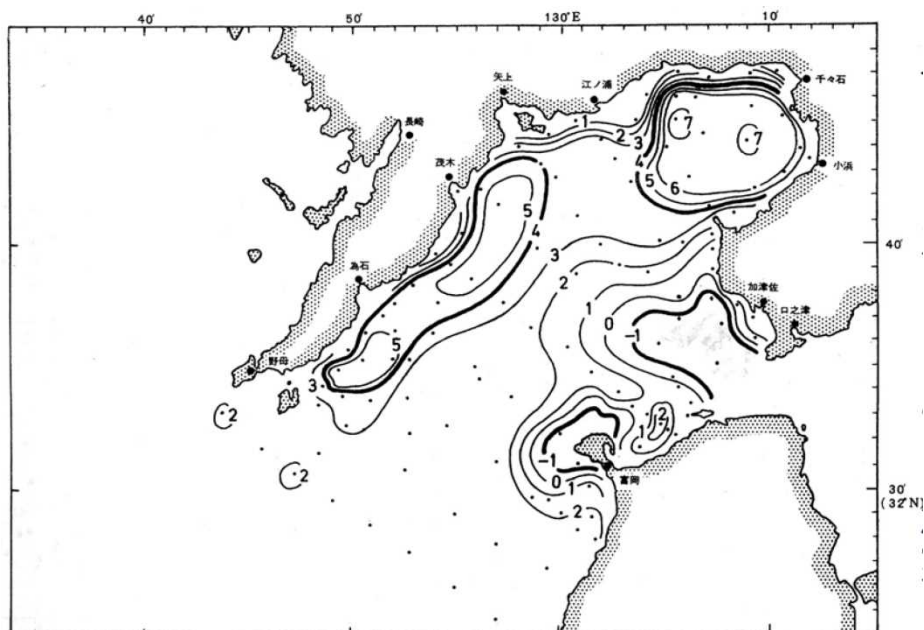


図 3.5.7 橘湾の中央粒径(Md φ)の分布

出典：中田（2012）「第30回有明海・八代海等総合調査評価委員会
資料-3 橘湾の海域特性について」

(4) 有明海、八代海における底質中の重金属・有害化学物質

有明海・八代海の底質中の重金属（総水銀、カドミウム、鉛、亜鉛、砒素）の測定値は、東京湾、大阪湾、三河湾及び伊勢湾の既往値と同等以下であった^{6)、7)}。また、有明海の底質中に含まれるトリブチルスズ化合物、トリフェニルスズ化合物、ノニルフェノール、4-*t*-オクチルフェノール、フタル酸ジ(2-エチルヘキシル)、PCB、17β-エストラジオール、農薬（ピリダフェンチオン、ブタクロール、1,2-ジクロロベンゼン）についても東京湾、大阪湾、三河湾及び伊勢湾の既往値と同等以下もしくは不検出であった⁶⁾。

(5) まとめ

有明海の底質は 2014 年までに行われた調査によると、湾奥西部及び湾中央東側の底質は主に泥あるいは砂泥で含泥率が高く、湾中央西側から湾口部にかけては砂質土もしくは礫が広がっている。また、大浦沖・諫早湾口では泥が、熊本沖では硫化水素臭を伴う泥が堆積している。

有明海について、経年データのある 2001 年頃以降の調査結果から底質の変動傾向（10 年間で 10%以上の変化）を整理したところ、11 測点のうち、T-N は 2 測点（有明海中央東部及び有明海湾口部の一部）で増加傾向・1 測点（有明海湾中央部）で減少傾向、COD は 4 測点（有明海湾奥奥部の一部、有明海湾奥西部、有明海中央東部及び有明海湾口部の一部）で増加傾向・1 測点（有明海湾中央部）で減少傾向、強熱減量は 1 測点（有明海湾中央部）で減少傾向、T-S は 3 測点（有明海中央東部及び有明海湾口部の一部）で増加傾向、粘土シルト含有率は 1 測点（有明海中央東部）で増加傾向・1 測点（有明海湾中央部）で減少傾向を示し、T-P では増減傾向はみられなかった。

ノリ酸処理・施肥の影響については、酸処理剤の底質中のモニタリング調査結果によれば、ノリ漁場における底質から有機酸は殆ど検出されなかった。酸処理剤の使用や施肥が適正に行われれば、底泥中の有機物や硫化物の増加の主たる要因となる可能性は少ないと思われる。ただし、酸処理や施肥により負荷された有機酸や栄養塩の挙動については知見に乏しいことから、今後の調査・研究が必要である。また、環境中への負荷が増加すると有機物や硫化物の増加につながる可能性があることから、海域で使用される酸処理剤等に由来する栄養塩量や有機酸量等の継続的なチェックを適切に実施することも重要である。

八代海の底質は、含泥率の高い層が湾奥部、日奈久以南の湾東部及び天草上島東部に分布し、南部では細粒砂、南端の瀬戸付近では中粒砂より粗い砂が分布する。

八代海について、経年データのある 2001 年頃以降の調査結果から底質の変動傾向を整理したところ、10 測点のうち、T-N は 1 測点（八代海湾奥部の一部）で増加傾向、T-P は 2 測点（八代海湾中央部）で減少傾向、COD は 7 測点（八代海湾奥部、球磨川河口部、八代海湾奥部の一部、八代海湾口東部の一部及び八代海湾口西部の一部）で増加傾向、強熱減量は 1 測点（八代海湾奥部の一部）で増加傾向、粘土シルト含有率は 1 測点（八代海湾奥部の一部）で増加傾向・1 測点（八代海湾口東部）で減少傾向を示し、T-S では増減傾向はみられなかった。

参考文献

-
- 1) 滝川清 (2005)「第14回有明海・八代海総合調査評価委員会 資料-3 有明海・八代海の底質環境について」
 - 2) 鬼頭釣 (2003)「第6回有明海・八代海総合調査評価委員会 資料-2 有明海におけるノリ養殖について」
 - 3) 農林水産省水産庁(1995)「のり酸処理試験研究成果の概要」
 - 4) 佐賀県有明水産振興センター (2015) 平成26年度水産研究成果情報, 有明海佐賀県海域における環境中の有機酸モニタリング
 - 5) 長崎慶三・虫明敬一・生田和正 (2015) : 有明海の海水・海底泥間隙水中の有機酸測定. 水産技術, 8, 37-41
 - 6) 環境省 (2002)「平成13年度 有明海水質等状況補足調査 報告書」
 - 7) 中田晴彦、島田英昭、安武章、秋元和實、滝川清 (2006) : 八代海における化学汚染の現状分析, 月刊海洋, Vol. 38, No. 2, pp. 131-136

6. 貧酸素水塊

(1) 有明海の底層溶存酸素量の状況

有明海における底層溶存酸素量の経年的傾向について、浅海定線調査（基本的に毎月1回大潮満潮前後に調査、測点は図 3.6.1）の結果を整理した。本調査データの年間最低値について整理したところ、データのある1972年度以降、6測点のうち、佐賀県の2測点（有明海湾奥西部及び有明海湾奥東部）で有意に減少する傾向がみられ、その他の4測点（有明海湾奥奥部及び有明海湾奥東部）では有意な変化はみられなかった（表 3.6.1、図 3.6.2）。ただし、有明海における底層溶存酸素量は、小潮期に低くなる傾向があるが、ここで評価に用いた浅海定線調査は大潮期のものであることに留意が必要である。2004年から有明海湾奥部で実施されている底層溶存酸素量の連続観測結果（後述する図 3.6.11）によると、濃度低下の程度や継続期間には年による違いがあるものの、2004年から2015年までの12年のうち、全ての年で最低値が3.0mg/Lを下回っており、うち11年については2.0mg/Lを下回る状況がみられた。また、諫早湾で実施されている底層溶存酸素量の連続観測結果（2006年～2014年）によると、全ての年で日平均値の年間最低値が2.0mg/Lを下回る状況がみられた。（図 3.6.3）。

また、底層溶存酸素量について、環境基準の基準値として示されている2.0mg/L以上及び3.0mg/L以上にに基づき整理したところ、長期間のデータがある浅海定線調査（大潮満潮時に観測）に基づいた底層溶存酸素量の年間最低値については、佐賀県の1測点（有明海湾奥西部）では、他の有明海奥部の測点と比べ、最近10年間（2005年～2014年）で2.0mg/L又は3.0mg/Lを下回る回数（各4回、9回）が多く、また、1972年～1984年と比べても、2.0mg/L又は3.0mg/Lを下回る回数が多くなっている（表 3.6.2）。

有明海水質連続観測調査等によると、底層溶存酸素量の日平均値が2.0mg/L未満又は3.0mg/L未満の日数は2006年で最も多く（各地点の平均で各37日、55日）、2009年で少なく（同じく各3日、16日）になっており、有意な変化傾向はみられなかった（図 3.6.4）。

底層溶存酸素量に関しては、水域の底層を生息域とする魚介類等の水生生物や、その餌生物が生存できることはもとより、それらの再生産が適切に行われることにより、底層を利用する水生生物の個体群が維持できる場を保全・再生することを目的に、2016年3月に生活環境項目環境基準に追加された。類型及び基準値（表 3.6.3）は、生物1類型の基準値は4.0mg/L以上、生物2類型の基準値は3.0mg/L以上、生物3類型の基準値は2.0mg/L以上であり、今後、海域毎に類型指定の検討が進められることになる。

なお、後述するように、有明海の貧酸素水塊は、小潮期に発達しやすく、大潮期に緩和あるいは解消するケースが多いという特徴がある。

表 3.6.1 回帰分析結果：有明海（左：浅海定線調査、右：有明海水質連続観測調査等）

		底層溶存 酸素量			底層溶存 酸素量
A1海域 (有明海湾奥奥部)	福岡S6	+	A1海域 (有明海湾奥奥部)	T13	
	佐賀1	-		T14	--**
	佐賀10	-	A3海域 (有明海湾奥西部)	P1	--**
A2海域 (有明海湾奥東部)	福岡L5	+		P6	--**
A3海域 (有明海湾奥西部)	佐賀5	--	A6海域 (有明海諫早湾)	B3	
A5海域 (有明海湾央部)	佐賀11	-			

- 注) 1. ■、■で網掛けしている項目は、有意水準 5%で有意な変化傾向が認められたことを示す。■はデータなし・不足等による評価対象外であることを示す。
2. 近似一次回帰式の傾きが 10 年間あたりで全データの算術平均の 10%以上の増加、減少がある場合は“++”、“--”とし、それに満たない場合は“+”、“-”とした。
3. *を付したものは 1990 年前後から現在までの期間の評価であり、**を付したものは 2000 年前後から現在までの期間の評価を示す。なお、2000 年以降から測定が開始された項目のうち、データ数が少ない T13、B3 については評価対象外とした。

資料：浅海定線調査結果（福岡県、佐賀県）、有明海水質連続観測調査結果（西海区水産研究所）
有明海貧酸素水塊広域連続観測結果[諫早湾]（九州農政局）

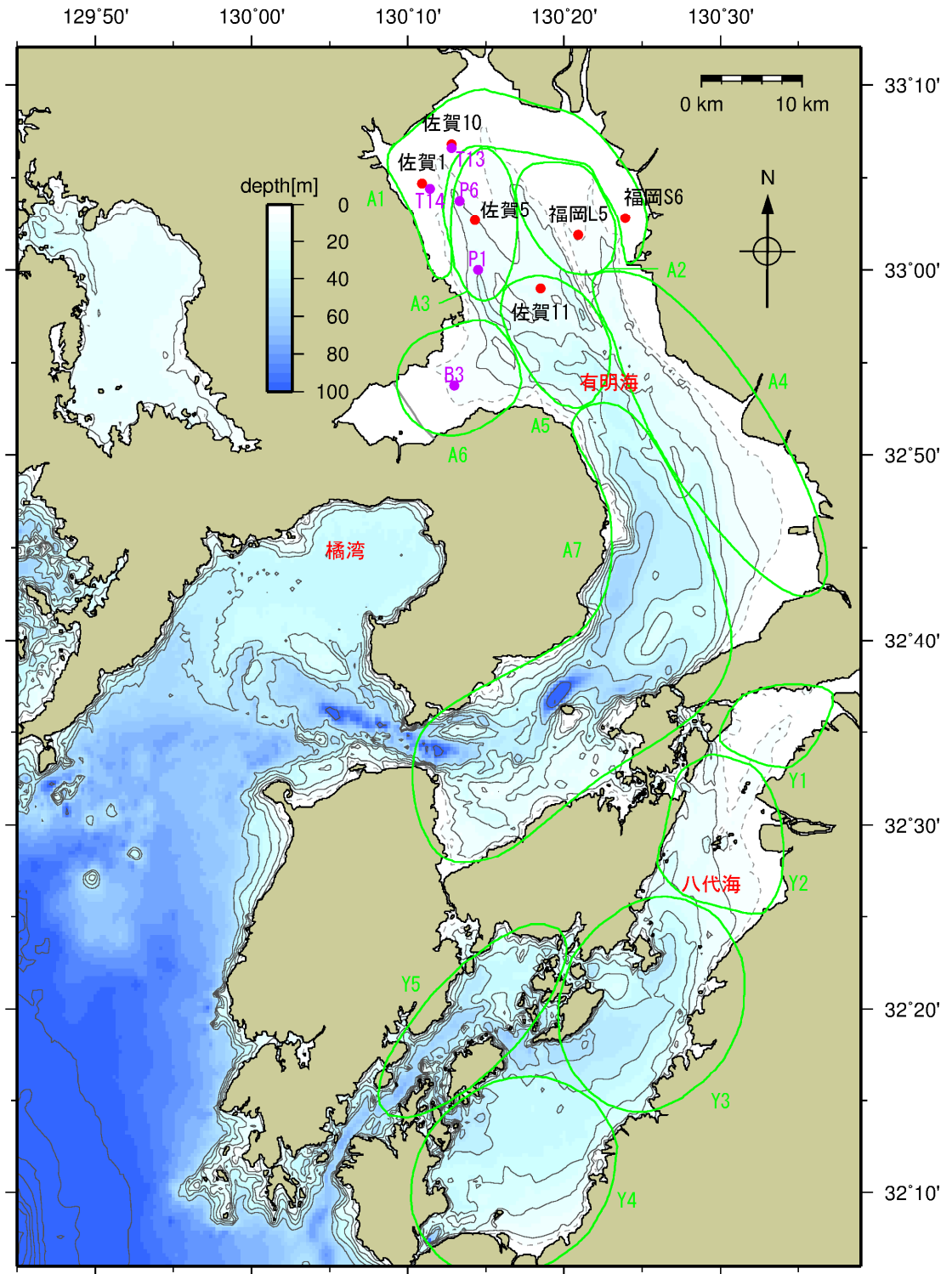


図 3.6.1 底層溶存酸素量の結果整理を行った測点

注) 図中の有明海、八代海の緑色の範囲は海域区分を示す。なお、海域区分の考え方は「4章 2. 海域区分」に示す。

- | | | |
|----------------|----------------|----------------|
| A 1 海域…有明海湾奥奥部 | A 2 海域…有明海湾奥東部 | A 3 海域…有明海湾奥西部 |
| A 4 海域…有明海中央東部 | A 5 海域…有明海湾中部 | A 6 海域…有明海諫早湾 |
| A 7 海域…有明海湾口部 | Y 1 海域…八代海湾奥部 | Y 2 海域…球磨川河口部 |
| Y 3 海域…八代海湾中部 | Y 4 海域…八代海湾口東部 | Y 5 海域…八代海湾口西部 |

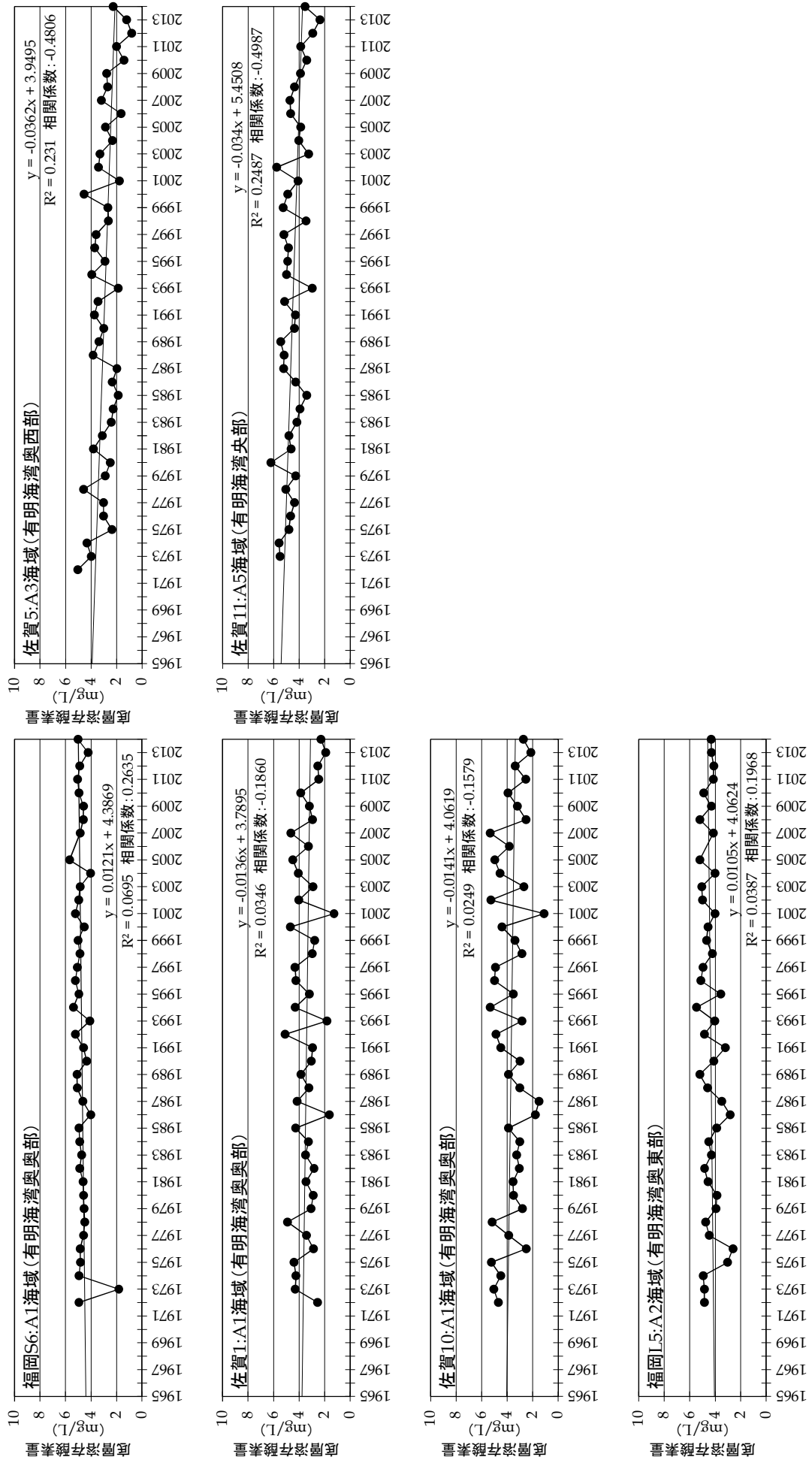


図 3.6.2 底層溶存酸素量の経年変化[有明海：浅海定線] (年間最低値)

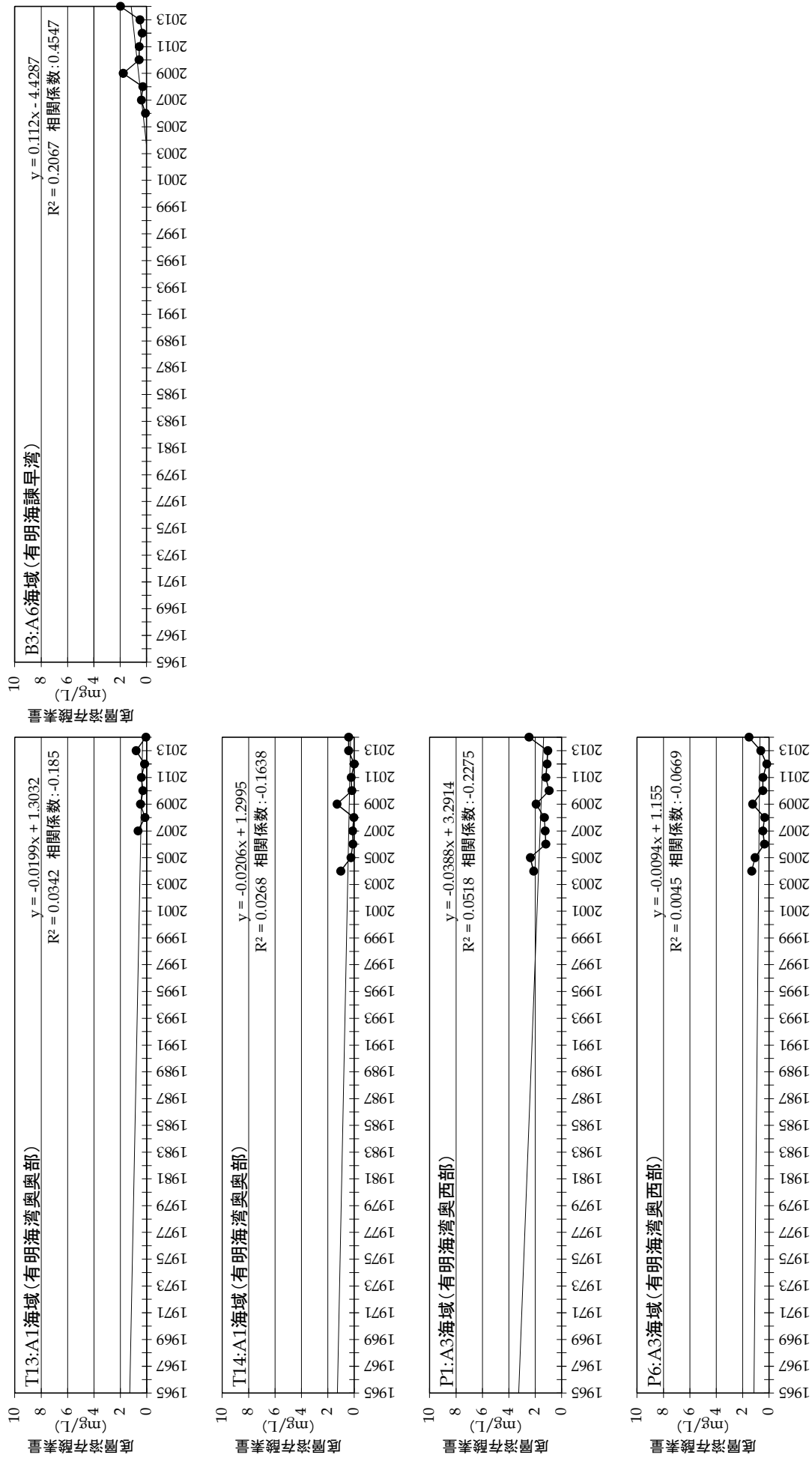


図 3.6.3 底層溶存酸素量の経年変化[有明海：連続観測] (日平均値の年間最低値)

表 3.6.2 各期間の底層溶存酸素量の評価値（年間最低値）の状況（浅海定線調査）

調査地点/期間		1972 ～1984	1985～ 1994	1995～ 2004	2005～ 2014
A1海域 (有明海湾奥東部)	福岡S6	1	0	0	0
	佐賀1	0	2	1	1
	佐賀10	0	2	1	0
A2海域 (有明海湾奥東部)	福岡L5	0	0	0	0
A3海域 (有明海湾奥西部)	佐賀5	0	3	1	4
A5海域 (有明海湾中部)	佐賀11	0	0	0	0

調査地点/期間		1972 ～1984	1985～ 1994	1995～ 2004	2005～ 2014
A1海域 (有明海湾奥東部)	福岡S6	1	0	0	0
	佐賀1	4	3	4	5
	佐賀10	2	3	3	4
A2海域 (有明海湾奥東部)	福岡L5	1	1	0	0
A3海域 (有明海湾奥西部)	佐賀5	5	4	5	9
A5海域 (有明海湾中部)	佐賀11	0	1	0	2

表 3.6.3 生活環境の保全に関する環境基準（底層溶存酸素量）

項目 類型	水生生物が生息・再生産する場の適応性	基準値
		底層溶存酸素量
生物 1	生息段階において貧酸素耐性の低い水生生物が生息できる場を保全・再生産する水域又は再生産段階において貧酸素耐性の低い水生生物が再生産できる場を保全・再生産する水域	4.0mg/L以上
生物 2	生息段階において貧酸素耐性の低い水生生物を除き、水生生物が生息できる場を保全・再生産する水域又は再生産段階において貧酸素耐性の低い水生生物を除き、水生生物が再生産できる場を保全・再生産する水域	3.0mg/L以上
生物 3	生息段階において貧酸素耐性の高い水生生物が生息できる場を保全・再生産する水域、再生産段階において貧酸素耐性の高い水生生物が再生産できる場を保全・再生産する水域又は無生物域を解消する水域	2.0mg/L以上

資料：水質汚濁に係る環境基準（昭和46年環境庁告示第59号）

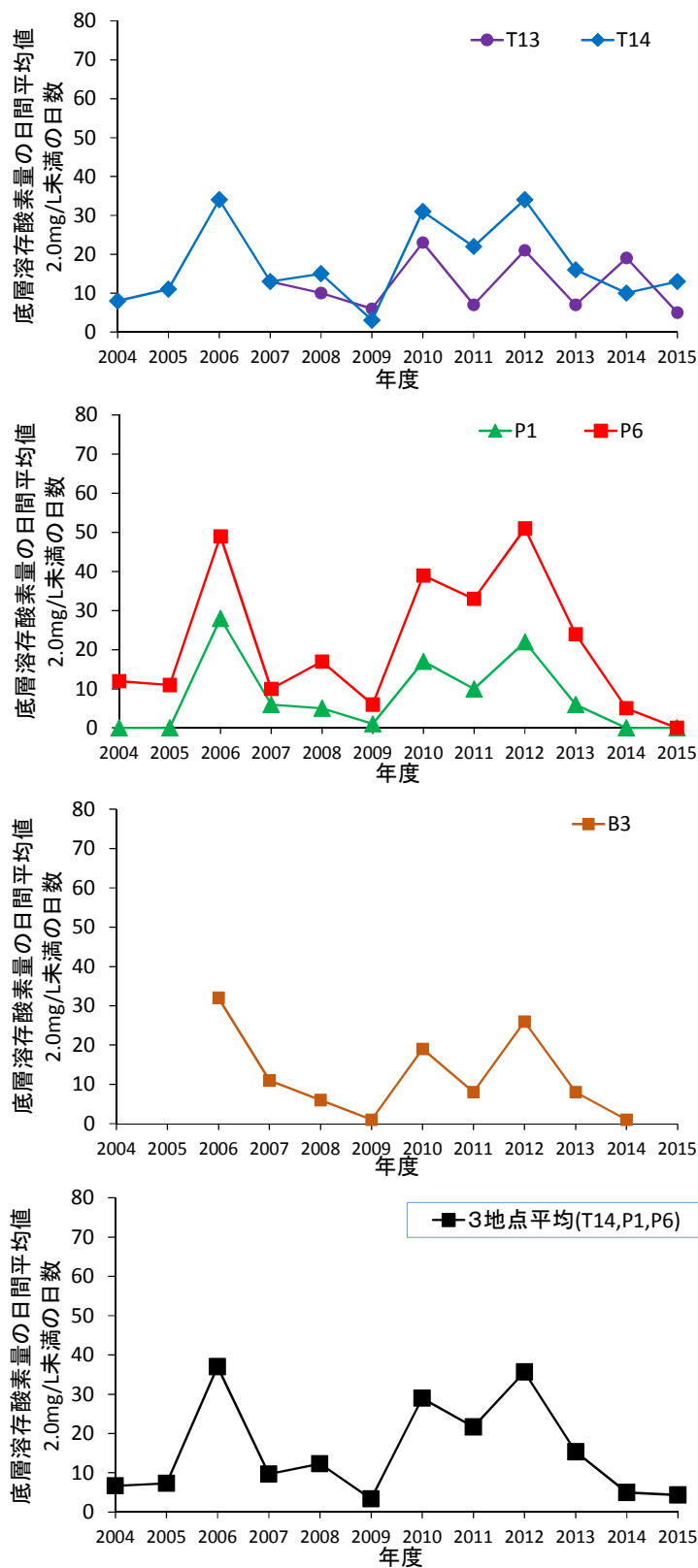


図 3.6.4(1) 各期間の底層溶存酸素量の日平均値(2.0mg/L未滿)の状況(連続観測調査)

資料：有明海水質連続観測調査結果(西海区水産研究所)、有明海貧酸素水塊広域連続観測結果[諫早湾](九州農政局)より整理

注)各年度、各地点の底層溶存酸素量の日平均値が2.0mg/L未滿となった日数を記載している。なお、観測期間は6~9月を中心に行われており、詳細な観測日数は各年度、各地点により異なる。

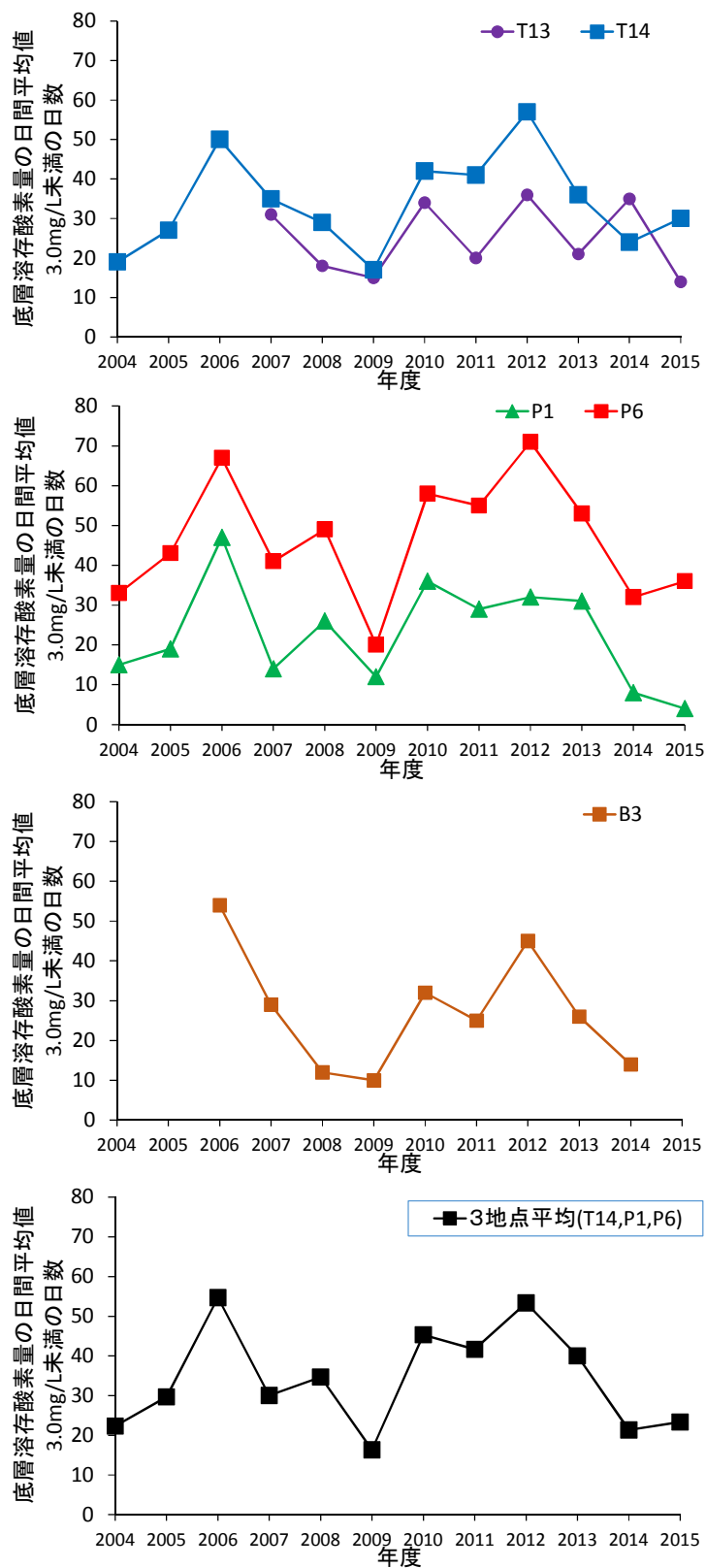


図 3.6.4(2) 各期間の底層溶存酸素量の日平均値(3.0mg/L 未満)の状況(連続観測調査)

資料：有明海水質連続観測調査結果(西海区水産研究所)、有明海貧酸素水塊広域連続観測結果[諫早湾](九州農政局)より整理

注) 各年度、各地点の底層溶存酸素量の日平均値が3.0mg/L未満となった日数を記載している。なお、観測期間は6~9月を中心に行われており、詳細な観測日数は各年度、各地点により異なる。

(2) 貧酸素水塊の発生状況

有明海における主要な貧酸素水塊は、夏季に有明海奥部と諫早湾の2カ所で別々に発生する(図 3.6.5)。各海域で発生した貧酸素水塊が他の海域の底層溶存酸素量に与える影響については、定量的な評価に至っていない。鉛直的には、貧酸素水塊は密度躍層よりも下層に形成され、有明海奥部では湾奥浅海域で特に溶存酸素量が低下する。このように浅い海域で貧酸素水塊が発達することは有明海の特徴である¹⁾(速水, 2007)。こうした密度成層は主として出水による淡水供給によってもたらされる¹⁾(速水, 2007)。さらに、有明海奥部及び諫早湾の貧酸素水塊は潮汐混合の影響を強く受けており、潮流が弱い小潮時に発達しやすく、潮流が強い大潮時には緩和あるいは解消することが多い^{1), 2)}(山口・経塚, 2006; 速水, 2007)。これは、潮流が弱まる小潮時に成層が発達するため貧酸素水塊が発達したものである。また、台風などによって強風が連吹した場合にも鉛直混合によって成層が弱まり、貧酸素は緩和あるいは解消する。ただし、成層が強い場合には、数週間にわたって

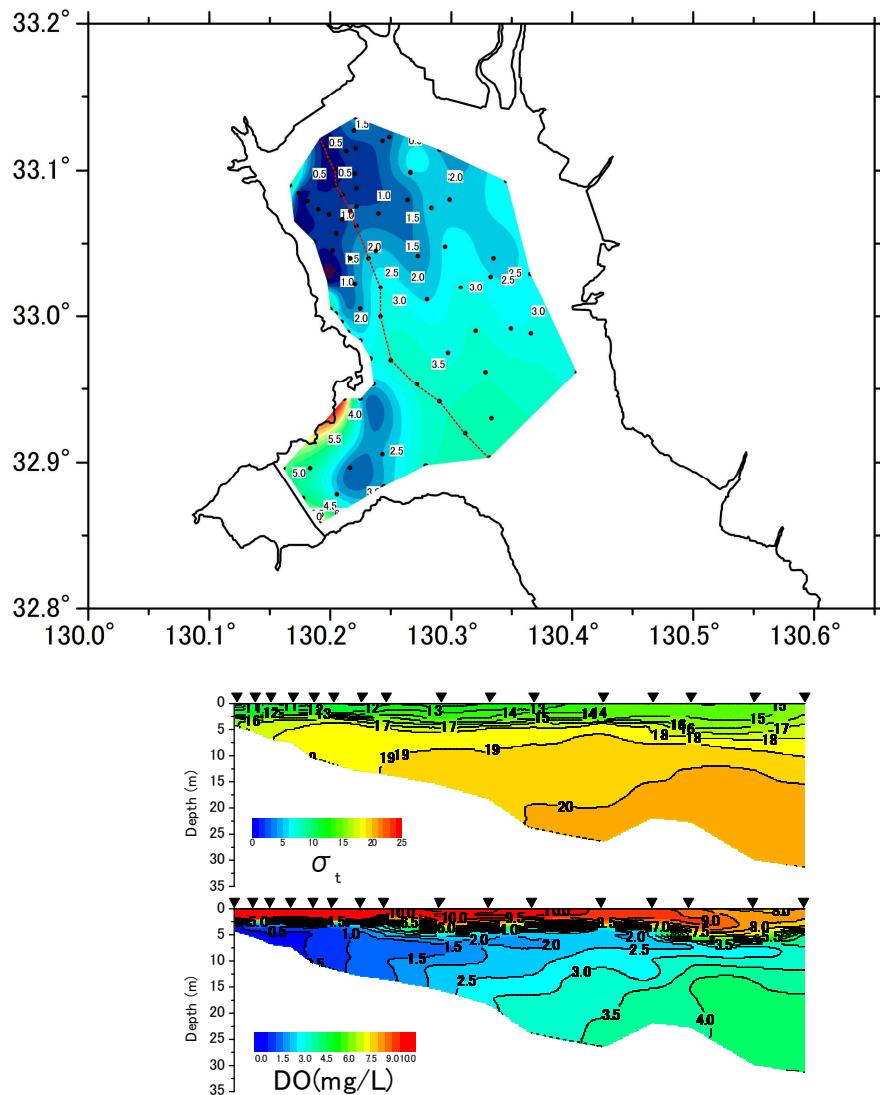


図 3.6.5 有明海奥部・諫早湾における底層溶存酸素量の分布と点線に沿った密度・溶存酸素量の断面分布(2010年8月4日:西海区水研、佐賀県有明水産振興センター、芙蓉海洋開発、日本ミクニヤ、東京久栄による共同一斉観測)

貧酸素化が継続することもある。

有明海奥部における貧酸素水塊発生の模式図を図 3.6.6 に示す。有明海奥部では、出水によって大量の淡水が供給されたり、小潮時に潮汐混合が弱まって沖合いから海底に沿って高密度水が進入すると、密度成層が発達する。密度躍層が発達すると、表層から躍層以深への酸素供給が減少する。また、躍層の上ではしばしば赤潮が発達し、赤潮が終息すると大量の有機物が底層に供給され、底泥・底層水の酸素消費が増大する。このようにして急速な貧酸素化が生じる。さらに、底生動物がへい死すると、底質悪化と貧酸素化が進行し、底層水は無酸素状態となる。沖合域（水深 10m 以深）においては、潮汐による鉛直混合の影響は浅海域と比べて弱くなり、成層が形成されると底泥・底層水の酸素消費により徐々に貧酸素化し、台風等の擾乱が起きるまで底層溶存酸素量が低い状態が持続する。沖合域では浅海域に遅れて貧酸素化が起こることが多い。

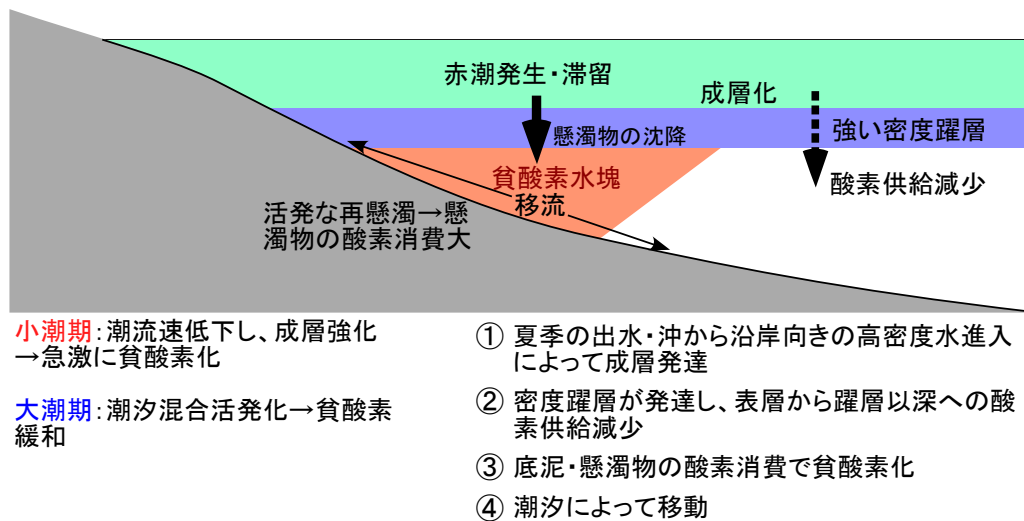


図 3.6.6 有明海奥部における貧酸素水塊発生の模式図

前述の有明海奥部及び諫早湾以外の観測事例として、有明海に流入する六角川の感潮域(図 3.6.7)や、福岡県大牟田沖(図 3.6.8)、有明海湾口外の橘湾(図 3.6.9)での底層溶存酸素量の観測事例を示す。

八代海においても、近年の調査データが蓄積されている(図 3.6.10)。鹿児島県水産技術開発センターの観測によると、八代海中部においても観測データがある1989年以降で3.0mg/L以下の溶存酸素量が4回観測、2.0mg/L以下の溶存酸素量が1回観測されている。有明海の河川感潮域や大牟田沖、八代海及び橘湾の底層溶存酸素量については、有明海奥部や諫早湾と異なって情報が少なく、不明な点が多い。これらのエリアの底層溶存酸素量に起因する漁業被害の報告はない。

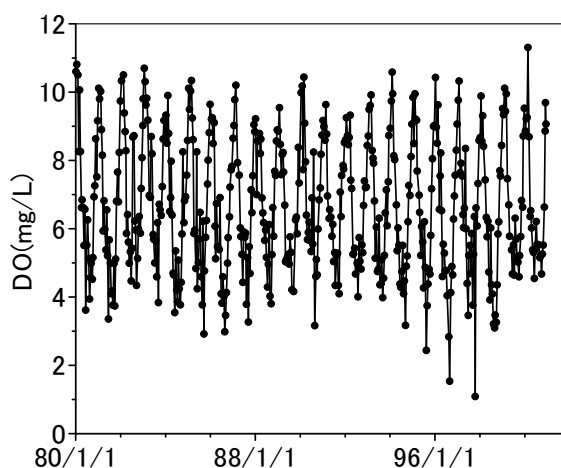


図 3.6.7 六角川感潮域における溶存酸素量の変動(吉田(2004)³を元に作図)

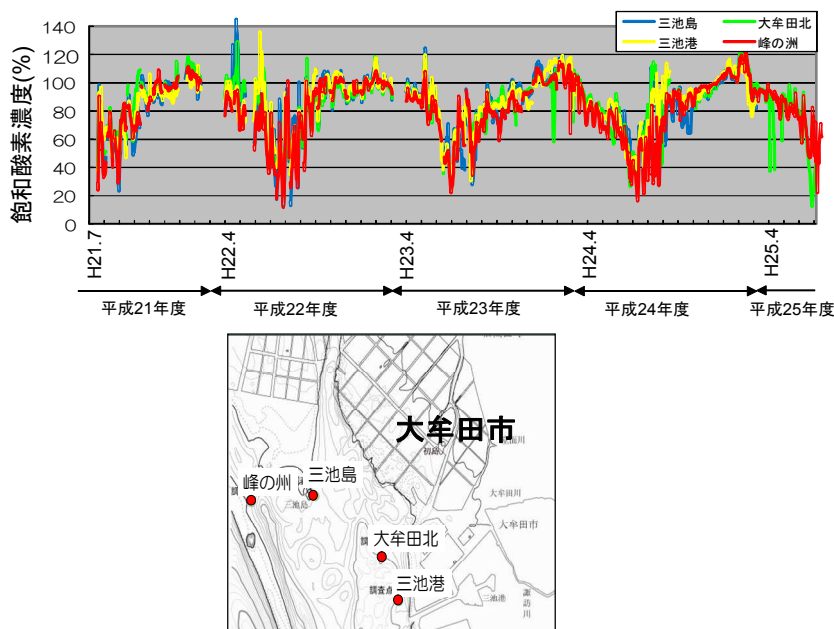


図 3.6.8 大牟田沖底上5cmにおける溶存酸素の変動(九州農政局委託調査による福岡県観測)

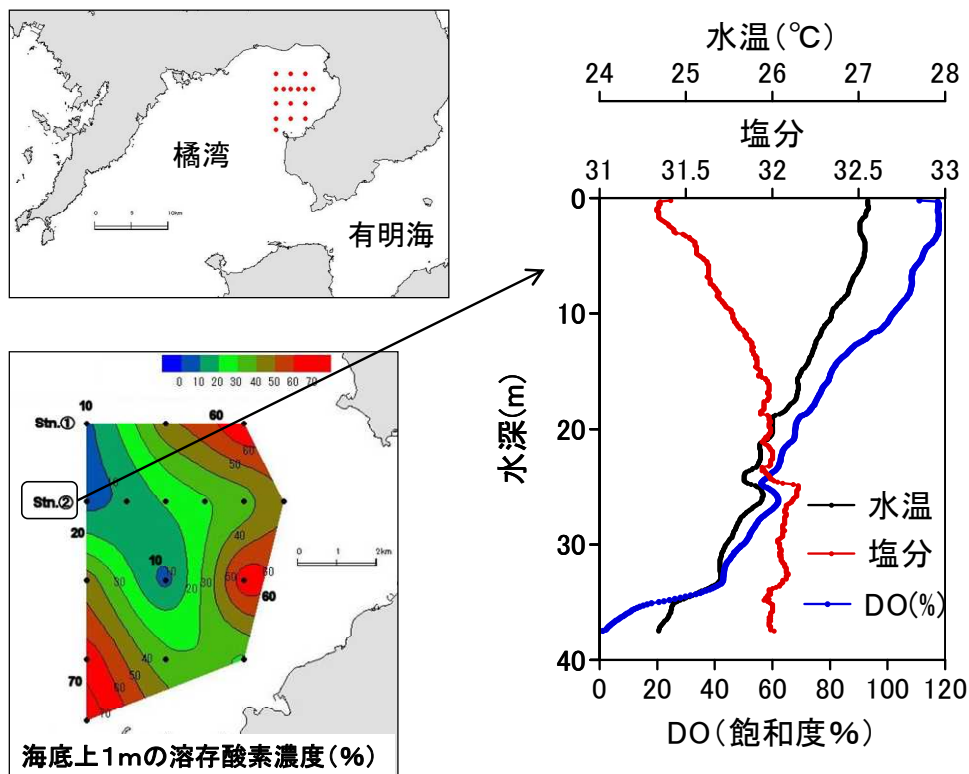


図 3.6.9 2012年9月13日に観測された橘湾の貧酸素水塊
(長崎県総合水産試験場提供)

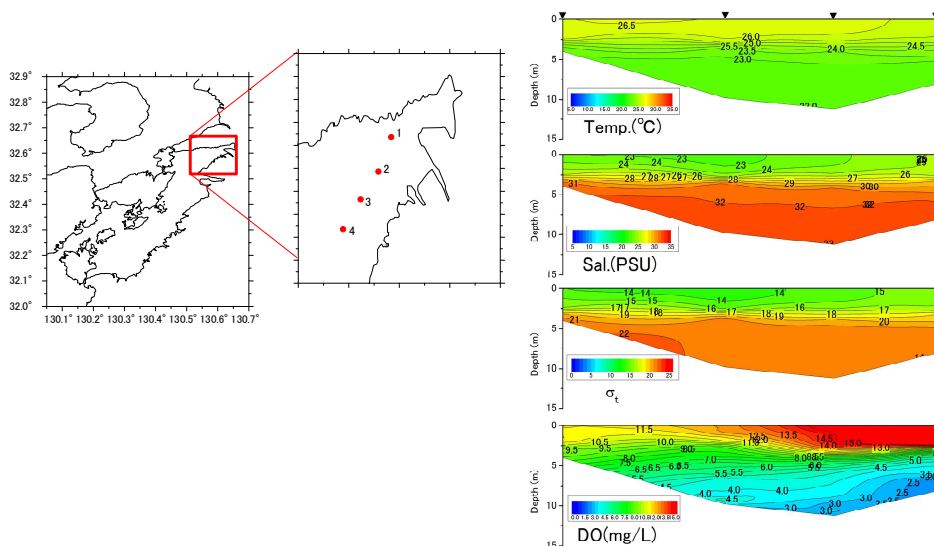


図 3.6.10 2013年7月2日に観測された八代海奥部の水温・塩分・密度、溶存酸素量の鉛直断面 (熊本県水産研究センター定期観測結果)

(3) 貧酸素化に関わる酸素消費特性

海域の酸素消費が大きく、酸素供給を上回るようになると貧酸素化が進行する。底層水中の酸素消費には底泥と海水それぞれによる酸素消費が影響するが、有明海奥部の場合、底泥に比べて海水による酸素消費の寄与が大きい。西海区水産研究所が有明海奥部で行った10回の実験では、全酸素消費速度は0.28~1.39mg/L/dayの範囲にあり、平均するとそのうち海水による寄与（海水中の懸濁物による酸素消費を含む）が70%、底泥による寄与が30%であった⁴⁾（西海区水産研究所，2009）。海水による酸素消費のうちでは、懸濁物による酸素消費が大きい。阿部ら（2003）は、酸素消費とSS濃度に良い相関があることを示しており⁵⁾、これを参考にすると、夏季の有明海奥部の海底上5mの層では海水自体（溶存態物質）の酸素消費速度1.32（g/m³/day）に対して、懸濁物による酸素消費速度が最大2.53（g/m³/day）になる。さらに、児玉ら（2009）は、懸濁物の有機炭素安定同位体比及び炭素窒素比と酸素消費速度を比較することにより、海域起源の有機物量が多いほど酸素消費速度が大きくなることを示した⁶⁾。これらの結果は、有明海の貧酸素水塊発達に対しては、植物プランクトンなど海域で生産された有機物分解の影響が大きいことを示している。また、有明海奥部西部・諫早湾では、浅い海域ほど表層堆積物中の有機物含量が多く⁷⁾（岡村ら，2005）、浅海域で貧酸素水塊が発達する原因の1つと考えられる。