

有明海・八代海等の環境等変化（貧酸素水塊） （3章関係）**（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結果（年間最低値。測点は図1）を整理したところ、データのある1972年度以降、6測点のうち、佐賀県の2測点で有意に減少する傾向がみられ、その他の4測点では有意な変化はみられない（表1、図2）。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3mg/Lを下回っており、うち11年については2mg/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、全ての年で日間平均値の年間最低値が2mg/Lを下回る状況がみられた。（図3）。

また、浅海定線調査における底層溶存酸素量の年間最低値については、佐賀県の有明海湾奥西部の1測点では、他の有明海奥部の測点と比べ、最近10年間（2005年～2014年）で2mg/L又は3mg/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、2mg/L又は3mg/Lを下回る回数が増えている（表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間平均値が2mg/L未滿又は3mg/L未滿の日数は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4）。

底層溶存酸素量に関しては、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。ここで評価に用いた浅海定線調査結果は大潮期のものであることに留意する必要がある。

表 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	福岡S6	+	A1海域	T13	
	佐賀1	-		T14	--**
	佐賀10	-	A3海域	P1	--**
A2海域	福岡L5	+		P6	--**
A3海域	佐賀5	--	A6海域	B3	
A5海域	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。■はデータなし又は評価対象外を示す。
2. 近似一次回帰式による 10 年間の変化予測結果が全データの算術平均の 10%以上の変化がある場合は“++”、“--”とし、算術平均の 10%未満の場合は“+”、“-”とした。
3. 各項目の欄中、*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。
4. 測点名の欄中の“A1 海域”～“A6 海域”については、資料 5 の図 1 の海域区分を示す。

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）

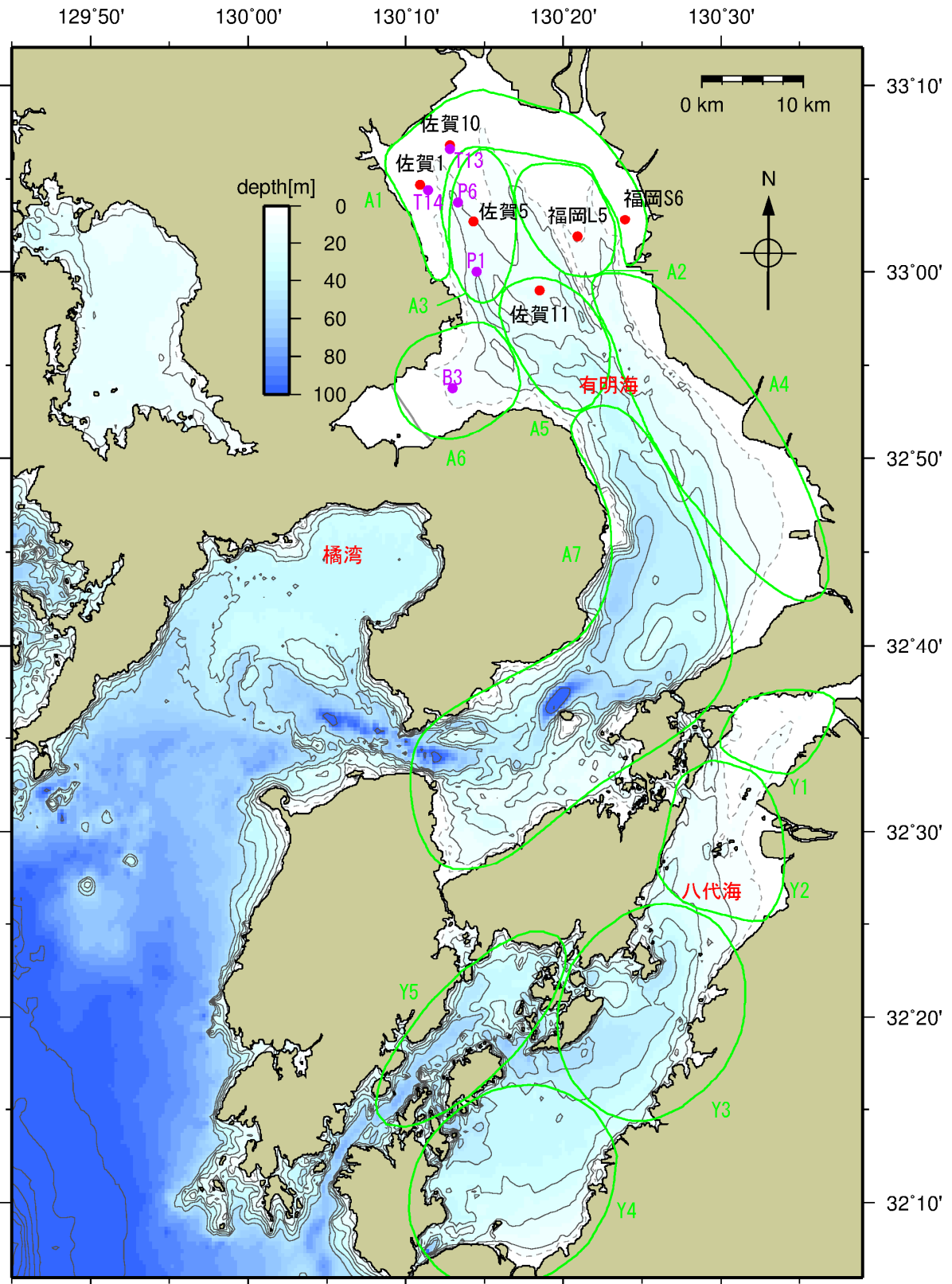


図1 底層溶存酸素量の結果整理を行った測点

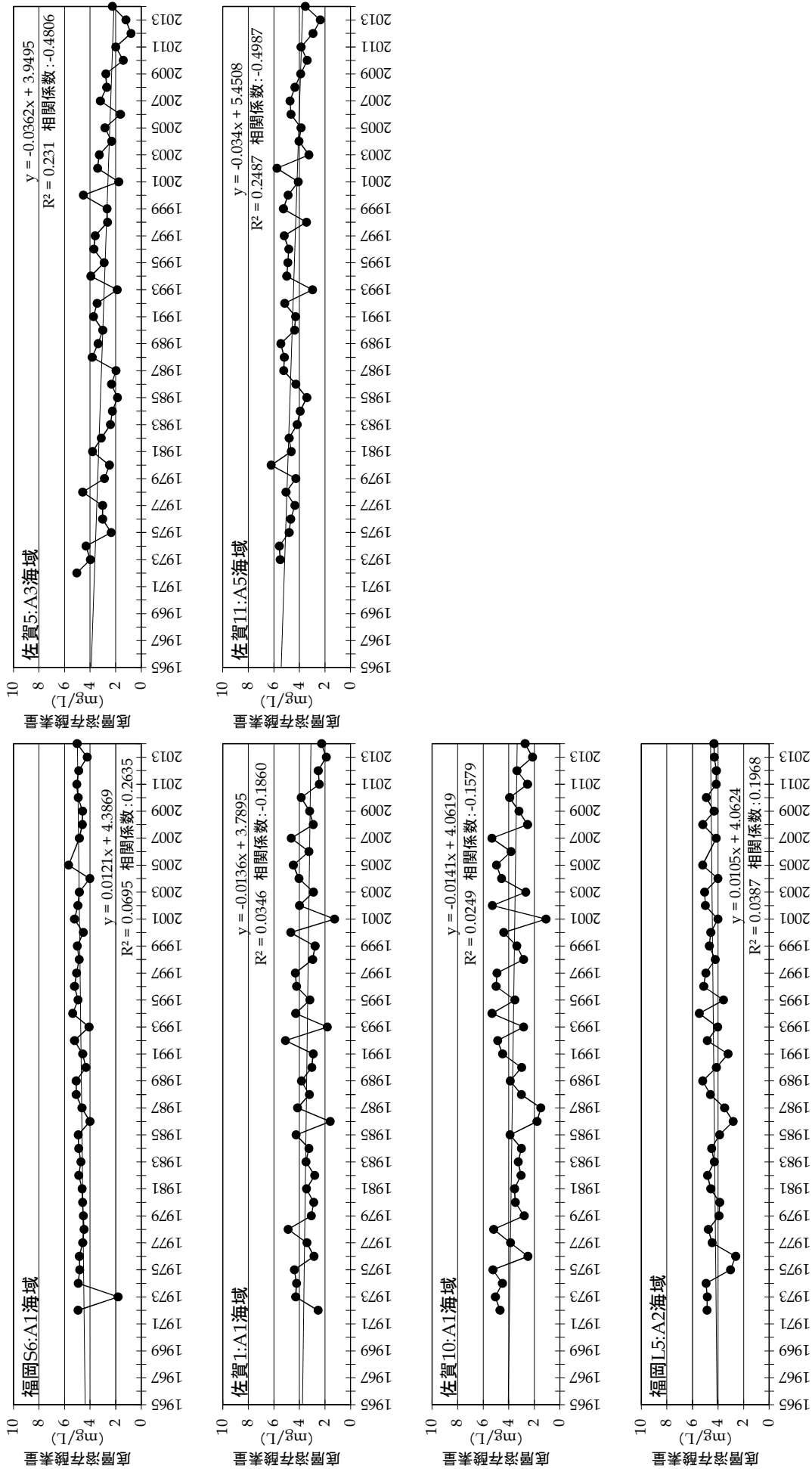


図2 底層溶存酸素量の経年変化[有明海：浅海定線] (年間最低値)

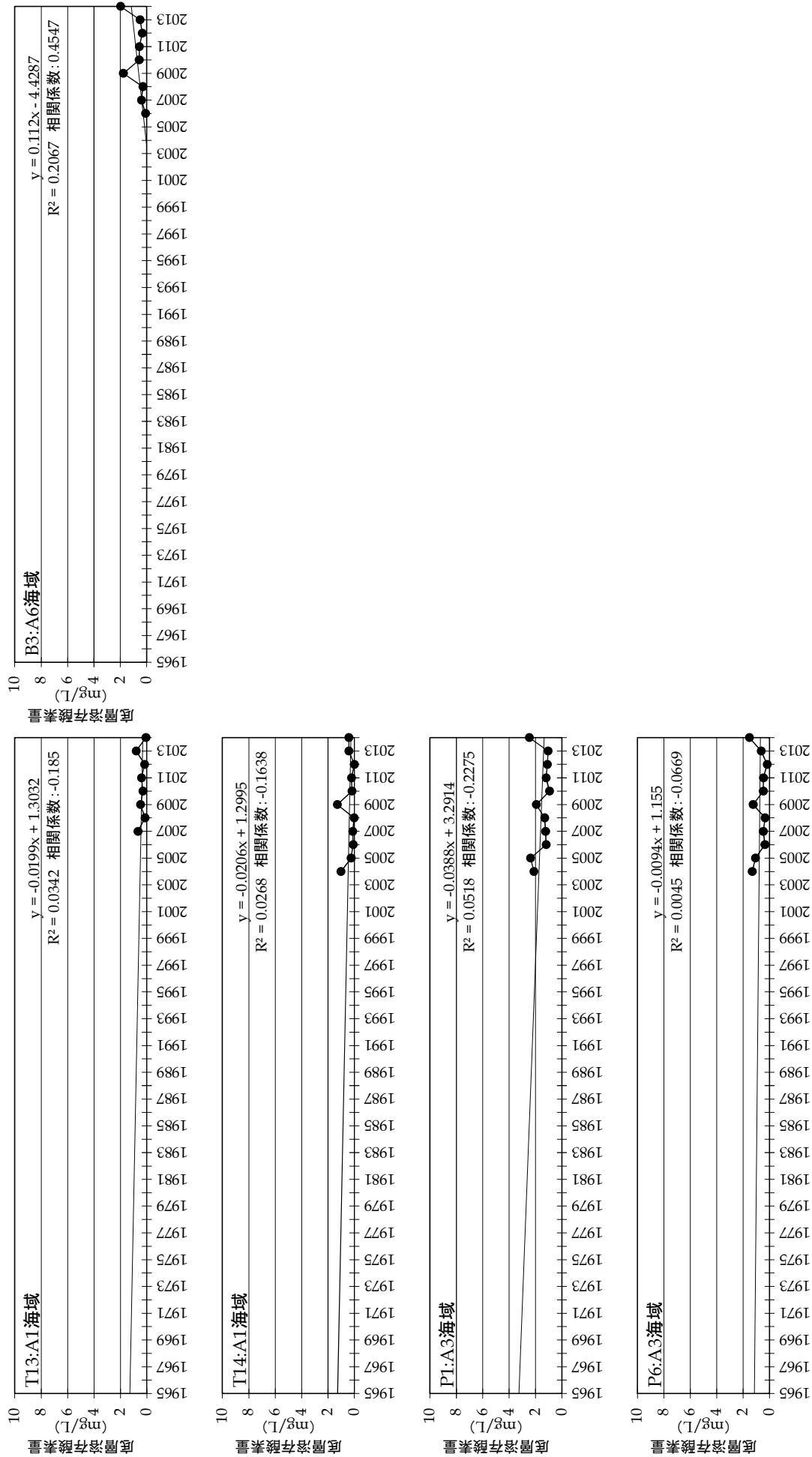


図 3 底層溶存酸素量の経年変化[有明海：連続観測] (日間平均値の年間最低値)

表 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）

【底層溶存酸素量の評価値 2mg/L 未満の回数】

【底層溶存酸素量の評価値 3mg/L 未満の回数】

調査地点/期間		1972 ～1984	1985～ 1994	1995～ 2004	2005～ 2014
A1海域	福岡S6	1	0	0	0
	佐賀1	0	2	1	1
	佐賀10	0	2	1	0
A2海域	福岡L5	0	0	0	0
A3海域	佐賀5	0	3	1	4
A5海域	佐賀11	0	0	0	0

調査地点/期間		1972 ～1984	1985～ 1994	1995～ 2004	2005～ 2014
A1海域	福岡S6	1	0	0	0
	佐賀1	4	3	4	5
	佐賀10	2	3	3	4
A2海域	福岡L5	1	1	0	0
A3海域	佐賀5	5	4	5	9
A5海域	佐賀11	0	1	0	2

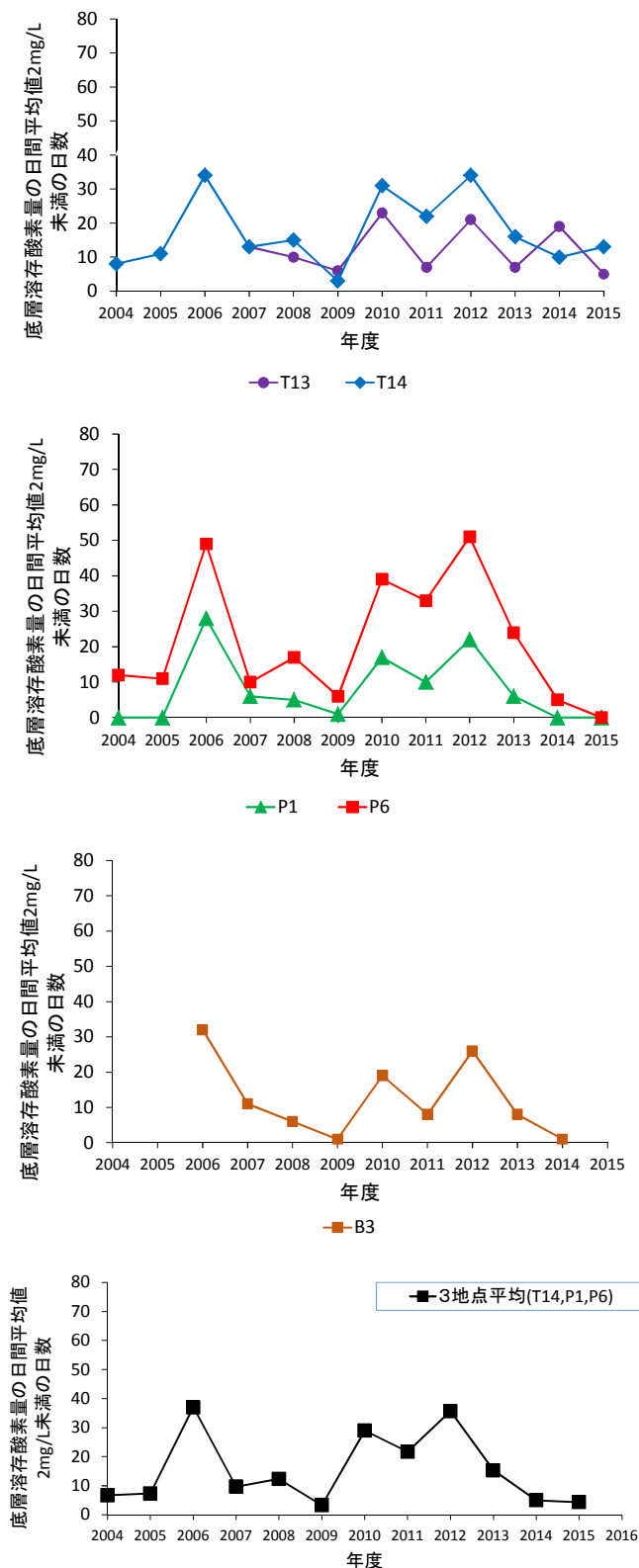


図4(1) 各期間の底層溶存酸素量の日間平均値(2mg/L未満)の状況(連続観測調査)

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間平均値が2mg/L未満となった日数を記載している。

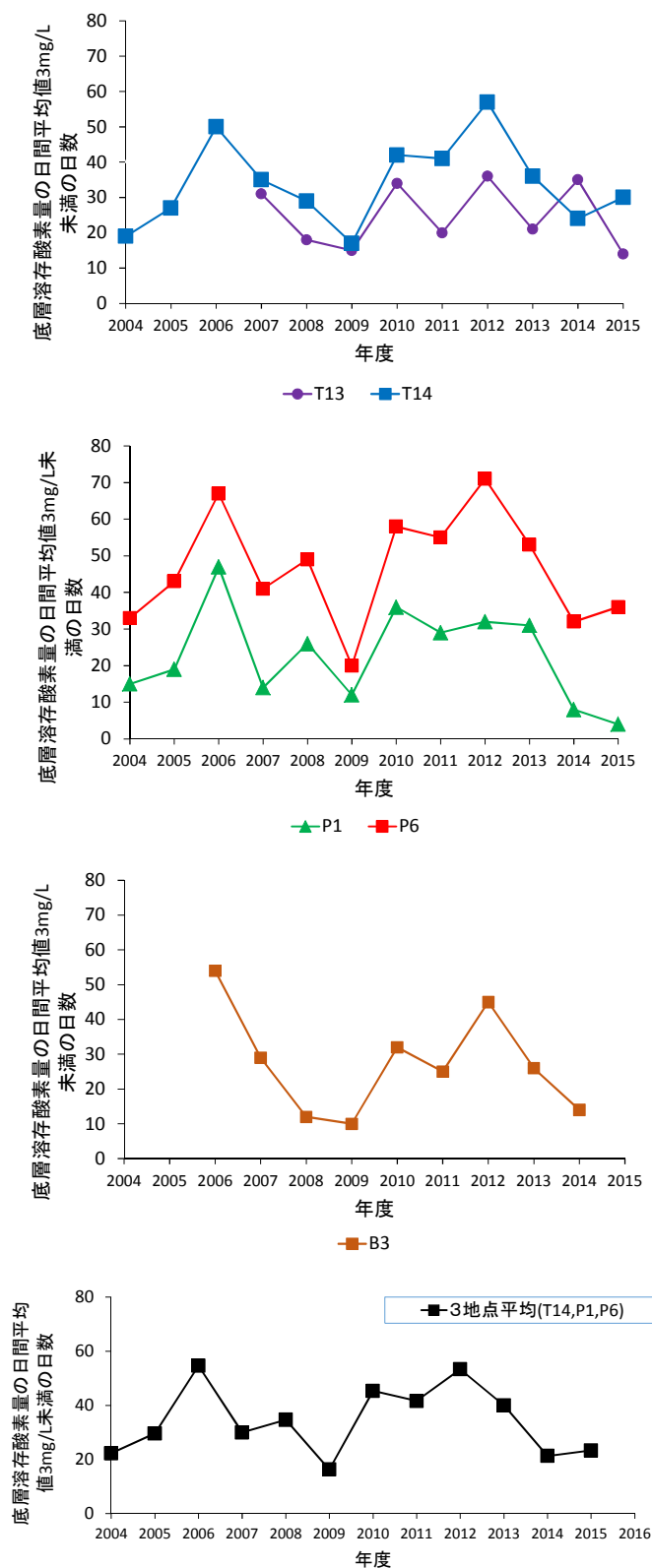


図4(2) 各期間の底層溶存酸素量の日間平均値(3mg/L未満)の状況(連続観測調査)

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間平均値が3mg/L未満となった日数を記載している。

（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5）。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（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（速水，2007）。さらに、有明海奥部・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（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、数週間にわたって貧酸素化が継続することもある。諫早湾の貧酸素水塊が諫早湾外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。

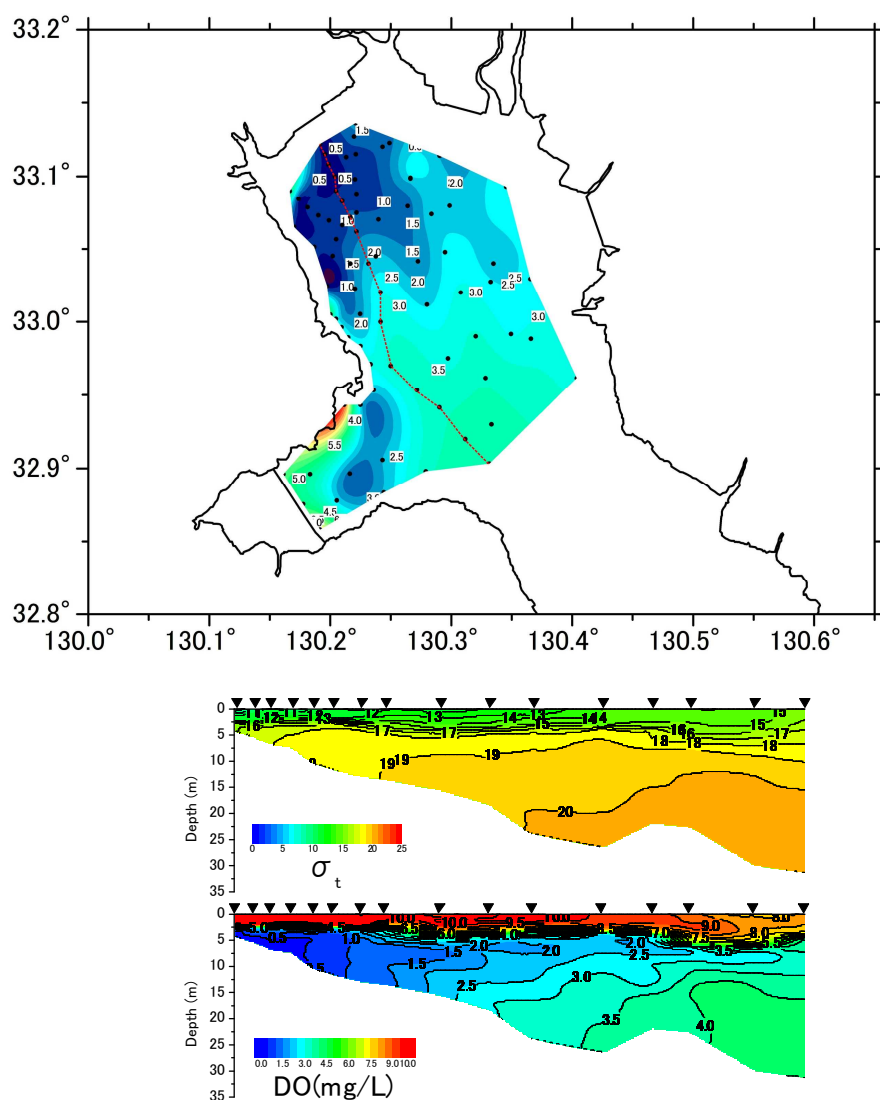


図5 有明海奥部・諫早湾における底層溶存酸素量の分布と点線に沿った密度・溶存酸素量の断面分布（2010年8月4日：西海区水研、佐賀県有明水産振興センター、芙蓉海洋開発、日本ミクニヤ、東京久栄による共同一斉観測）

有明海奥部における貧酸素水塊発生の様式図を図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。成層強化によって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、潮汐の影響は浅海域ほど大きくなく、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り、小潮時に浅海域で形成された貧酸素水塊が移流・拡散しているものと推測される。

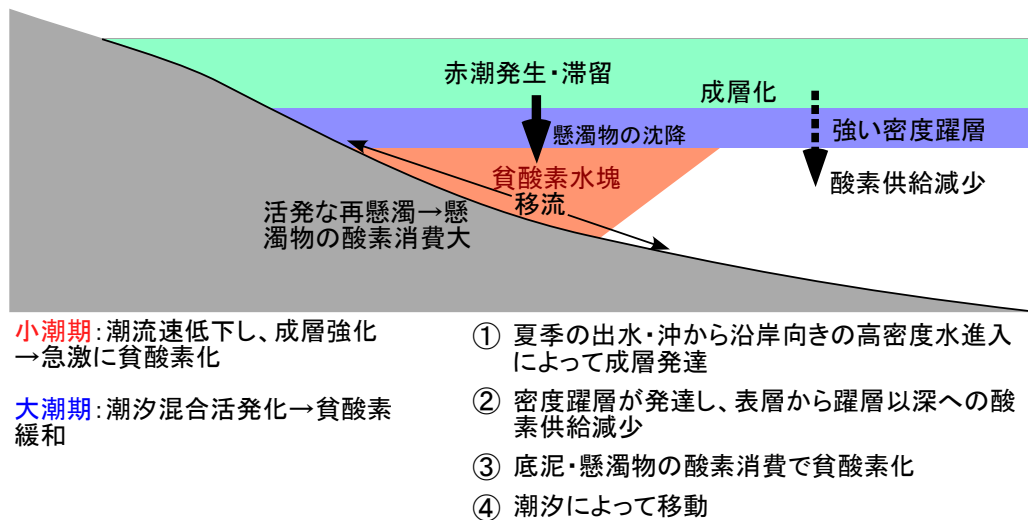


図6 有明海奥部における貧酸素水塊発生の様式図

上記以外として、有明海に流入する筑後川・六角川の感潮域（図7）や、福岡県大牟田沖（図8）、有明海湾口外の橘湾（図9）での底層溶存酸素量の観測事例を示す。

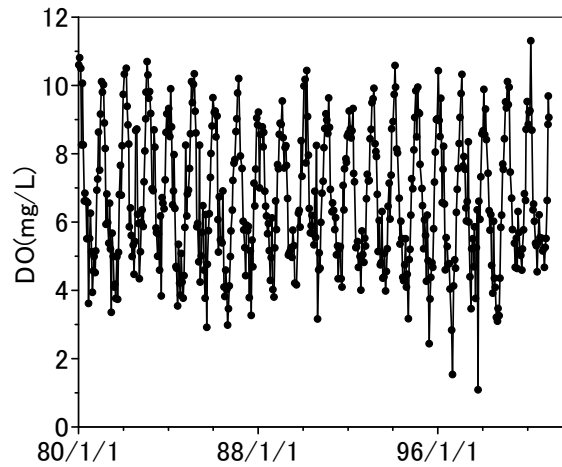


図7 六角川感潮域における溶存酸素量の変動（吉田（2004）を元に作図）

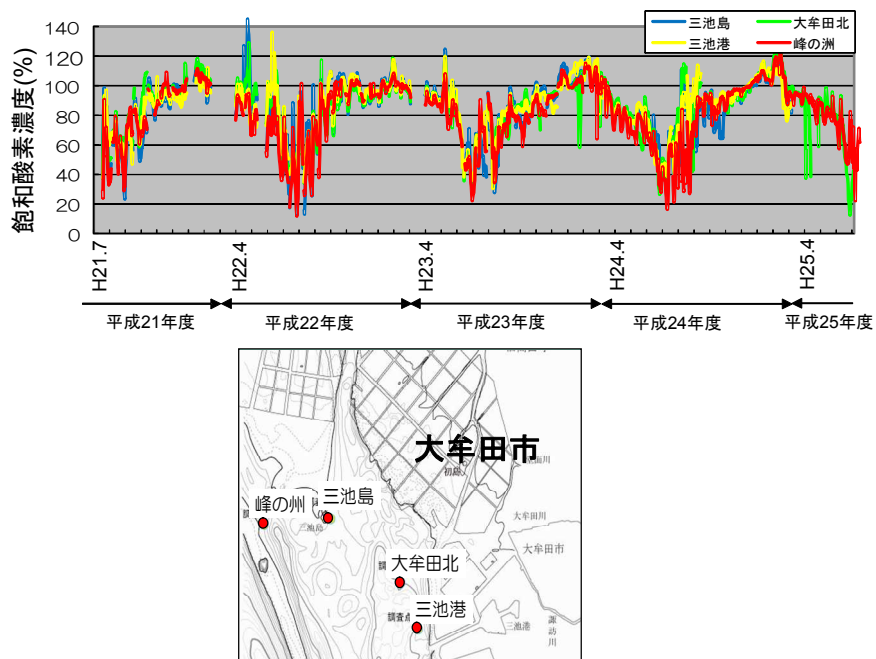


図8 大牟田沖底上5cmにおける溶存酸素の変動（九州農政局委託調査による福岡県観測）

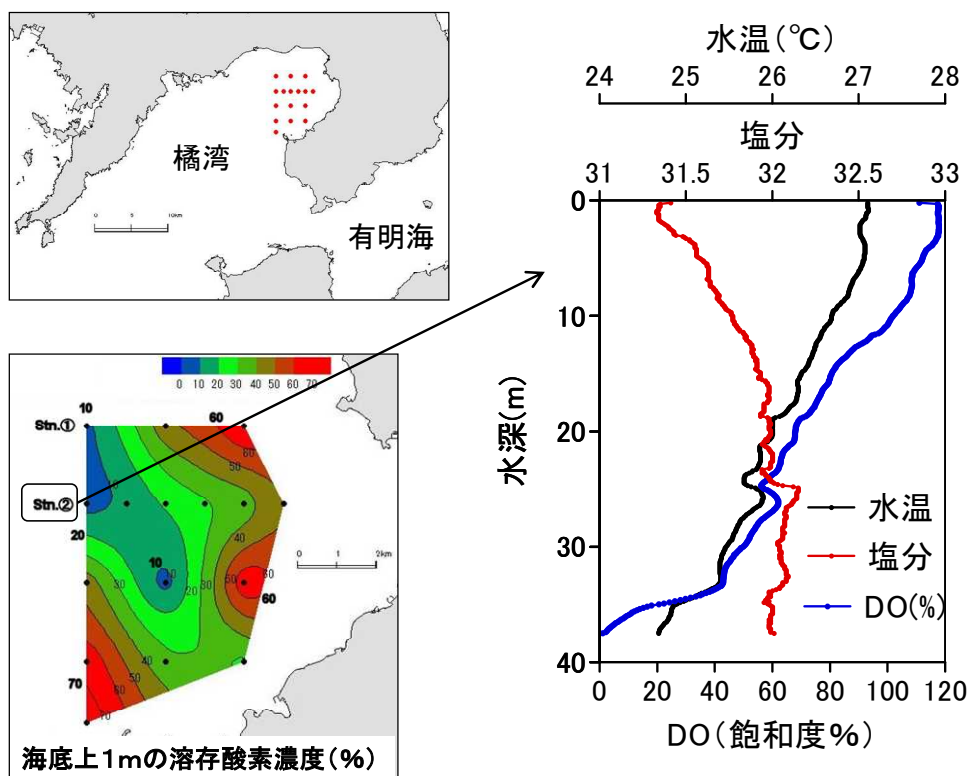


図9 2012年9月13日に観測された橘湾の貧酸素水塊(長崎県総合水産試験場提供)

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1989年以降で3mg/L以下の溶存酸素量が4回観測、2mg/L以下の溶存酸素量が1回観測されている。河川感潮域・大牟田沖・橘湾・八代海の底層溶存酸素量については、有明海奥部・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。

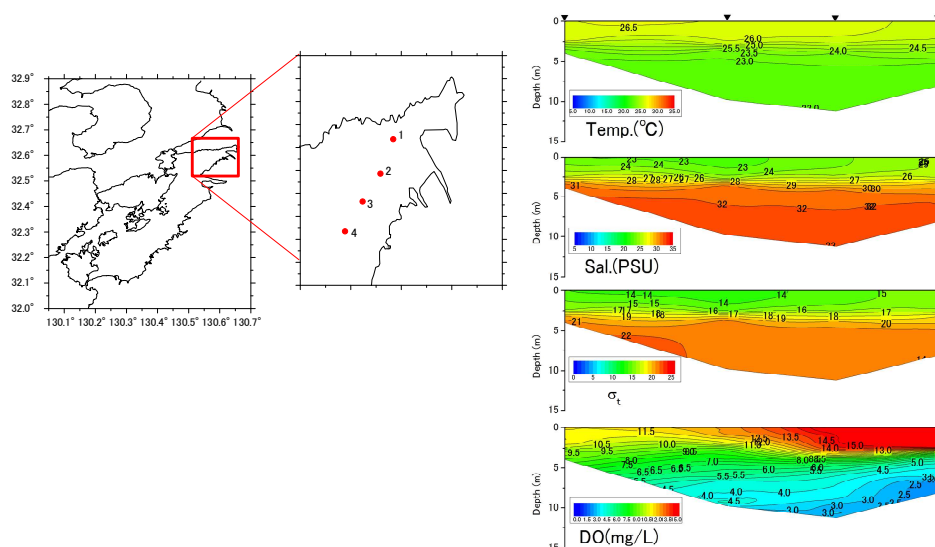


図 10 2013年7月2日に観測された八代海奥部の水温・塩分・密度、溶存酸素量の鉛直断面（熊本県水産研究センター定期観測結果）

（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が70%、底泥による寄与が30%であった（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、夏季の有明海奥部の海底上5mの層では海水自体の酸素消費速度1.32（g/m³/day）に対して、懸濁物による酸素消費速度が2.56（g/m³/day）になることを示している。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。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（岡村ら，2006）、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。

（4）貧酸素の経年変動特性

有明海奥部における貧酸素水塊は小潮時に発達する傾向があるが、2000年以前の有明海では小潮時の底層溶存酸素量調査はほとんど行われていなかった。有明海奥部で広域的に貧酸素水塊が発生していることが初めて発見・報告されたのは2001年である（村上ら，2001）。その後、木元ら（2003）は2002年に諫早湾で貧酸素水塊が発生したことを報告し、2003年には堤ら（2007）が有明海奥部で貧酸素水塊を観測した。2004年からは西海区水産研究所によって有明海奥部において底層溶存酸素量の連続観測が実施されているが、この結果によると、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3mg/Lを下回っており、うち11年については2mg/Lを下回っている（図11）。底層溶存酸素量の日間平均値が3mg/Lを下回る日数を経年的に比較すると、2004年から2015年までの12年間では2006年が最も長い年であった（3地点平均で55日間）。2012年がそれに次ぐ（同じく53日間）。一方で、2014～2015年には比較的短かった（同じく21日間、23日間）（図12）。

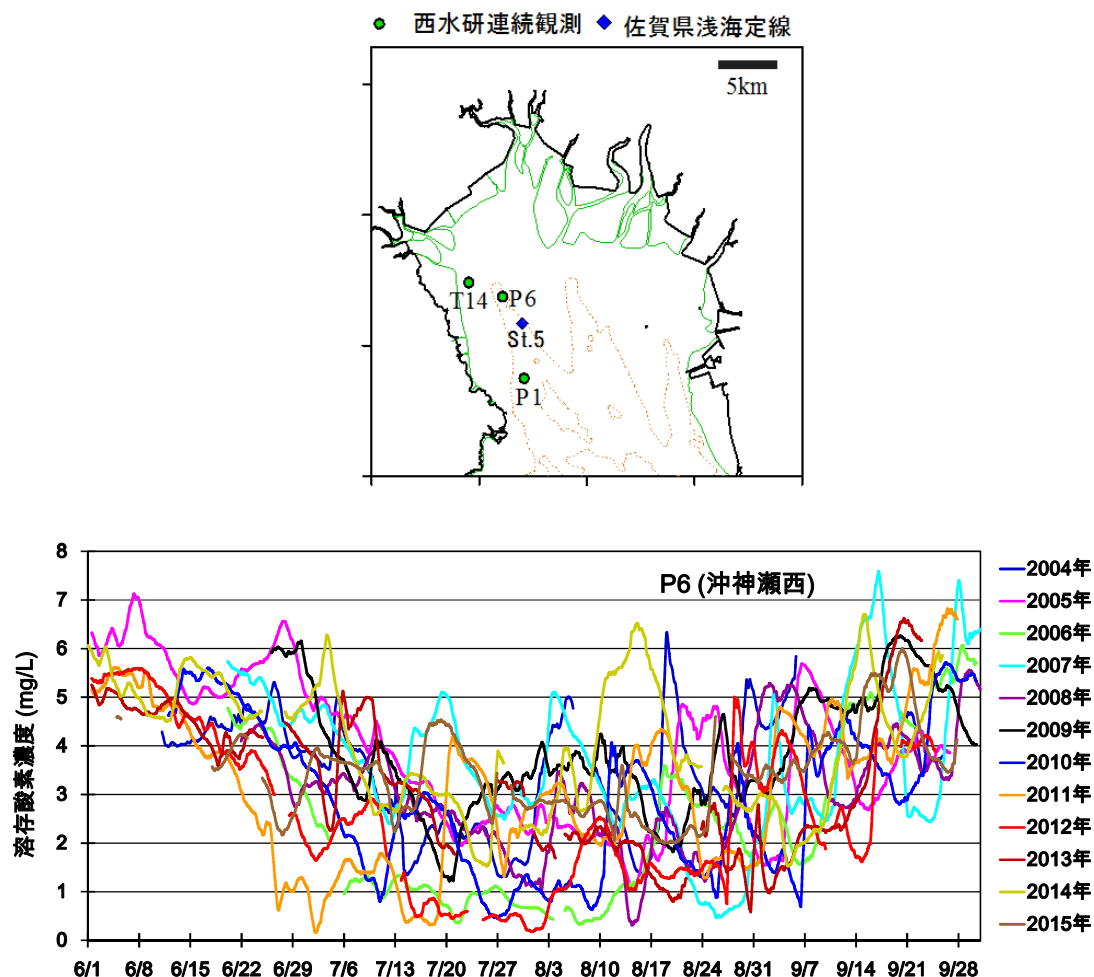


図 11 有明海奥部の定点 P6 の海底上 0.2m における溶存酸素量の変動の経年変化（西海区水産研究所提供）

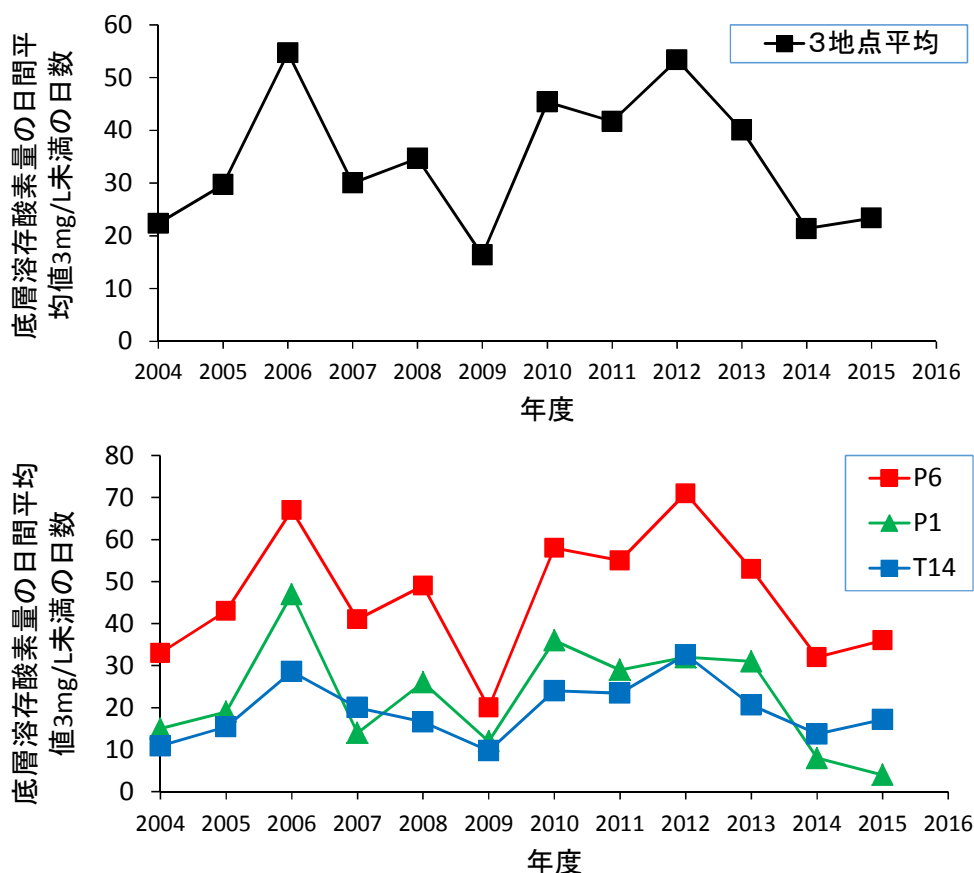


図 12 有明海奥部の定点 T14・P6・P1 における底層溶存酸素量の日間平均値(3mg/L 未満)の経年変化

資料：有明海水質連続観測調査結果（西海区水産研究所）より整理

注) 各年度、各地点の底層溶存酸素量の日間平均値が3mg/L 未満となった日数を記載している。

底層溶存酸素量の経年変動については、永尾ら（2010）は数値シミュレーションによって、1930年代、1977、1983、1990、2001年について、環境変化と貧酸素水塊の関係性を検討している。溶存酸素量が2 mg/L 以下を貧酸素としたところ、有明海湾奥西部及び諫早湾の両海域では、1983年から1990年の間に貧酸素水塊の容積が増加した（図13）。諫早湾では1990年から2001年にかけても増加した。本文献ではこうした変化の原因の1つは鉛直拡散係数の変化であるとしている。湾奥西部海域では、2001年に比べると1977年以前の方が鉛直拡散係数が大きく、1930年代には13%大きかった（図14）。また諫早湾では1990年から2001年の間に鉛直拡散係数が減少した。貧酸素水塊の経年変化に影響するもう1つの原因は酸素消費量である。水中の酸素消費量が増加すると、貧酸素化が促進される。湾奥西部海域では1930年代の酸素消費量は2001年の半分以下であった（図14）。

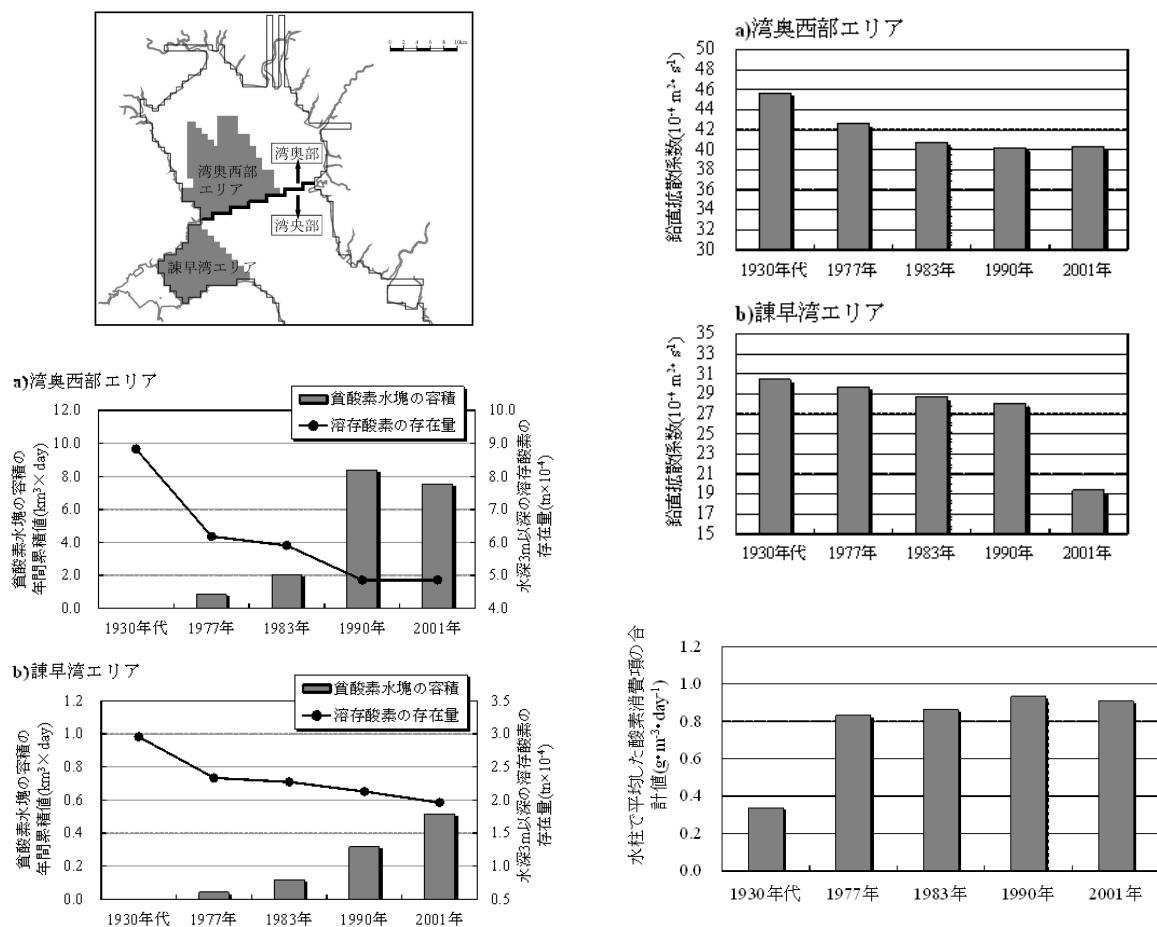


図 13 数値モデルで計算された貧酸素水塊の容積の年間累積値と溶存酸素の存在量（8月平均値）の変化（永尾ら、2010）

図 14 数値モデルで計算された水柱で平均した鉛直拡散係数の変化（8月平均）（上）と有明海湾奥西部海域における水柱での全酸素消費速度の比較（8月平均値）（下）（永尾ら、2010）

文献

- 徳永貴久ほか（2009）：有明海湾奥西部海域における貧酸素水塊の形成特性．土木学会論文集 B2（海岸工学），65，1011-1015.
- 速水祐一（2007）：有明海奥部の貧酸素水塊．海洋と生物，173，577-583.
- 山口創一・経塚雄策（2006）：諫早湾における貧酸素水塊形成機構．海の研究，15，37-51.
- 山口創一・速水祐一（2016）諫早湾低 DO 水塊の挙動-有明海奥部の底層 DO 濃度への影響-．日本海洋学会 2016 年度秋季大会講演要旨集．174.
- 吉田賢二（2004）：有明海佐賀県海域に流入する主要河川感潮域における水質環境の長期変動．佐賀県有明水産振興センター研報，22，81-89.
- 西海区水産研究所（2009）：平成 20 年度環境省請負業務「有明海貧酸素 水塊発生機構実証調査」報告書．
- 阿部淳ほか（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，50，966-970.
- 児玉真史ほか（2009）：夏季の有明海奥部における基礎生産速度と有機懸濁物質の分解特性．土木学会論文集 B2（海岸工学），65，1006-1010.
- 岡村和麿ほか（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．15，191-200.
- 柳哲雄（2004）：貧酸素水塊の生成・維持・変動・消滅機構と化学・生物的影響．海の研究，13，451-460.
- 村上哲生ほか（2001）：有明海奥部における底層の溶存酸素濃度（速報）．
http://www.nacsj.or.jp/old_database/isahaya/isahaya-010817-hokoku.html.
- 木元克則ほか（2003）：有明海における溶存酸素分布．月刊海洋，394，261-265.
- 堤裕昭ほか（2007）：有明海奥部における夏季の貧酸素水発生域の拡大とそのメカニズム．海の研究，16：183-202.

（5）まとめ

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。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。さらに、有明海奥部・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。

有明海・八代海での底層溶存酸素量の状況について示した。

（底層溶存酸素量については、2016年3月に生活環境項目環境基準に追加（基準値：2.0～4.0mg/L以上）されており、今後、海域毎の類型指定の検討が進められることになる）

有明海における底層溶存酸素量の年間最低値は、データのある1972年以降、福岡県・佐賀県の6測点のうち佐賀県の2測点で低下傾向がみられ、その他の測点は横ばい傾向であった。しかしながら、佐賀県の有明海湾奥西部（A3海域）の1測点では、他の有明海奥部の測点と比べ、最近10年間（2005年～2014年）で2mg/L又は3mg/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、2mg/L又は3mg/Lを下回る回数が増えている。

2004年から実施されている有明海奥部における底層溶存酸素量の連続観測の結果によると、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、データのある2004年から2015年までの12年のうち、全ての年で日間平均値の最低値が3mg/Lを下回っており、うち11年については2mg/Lを下回っている。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、全ての年で日間平均値の最低値が2mg/Lを下回っている。

底層溶存酸素量の日間平均値が2mg/L未滿又は3mg/L未滿の日数は、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。

八代海では、八代海中部において1989年以降で3mg/L以下の溶存酸素量が4回観測、2mg/L以下の溶存酸素量が1回観測されている。