

## 2.6 貧酸素水塊

### 2.6.1 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、地点は図 2.6.1-1、海底上1m高さ)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(昭和47)年度以降、6地点のうち、佐賀県の4地点(有明海湾奥奥部の2地点、有明海湾奥西部及び有明海湾央部)で有意に減少する傾向がみられ、その他の2地点(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 2.6.1-1)。

また、長崎県の1地点(有明海諫早湾)で2002(平成14)年以降に行われている毎月1回大潮期の底層溶存酸素量の調査(諫早湾干拓事業環境モニタリング調査、地点は図 2.6.1-1、海底上1m高さ)について、年間最低値を整理したところ、有意な変化はみられなかった(表 2.6.1-1)。

なお、各地点における底層溶存酸素量の経年変化は資料編(データ集 2.6.1)に記載した。

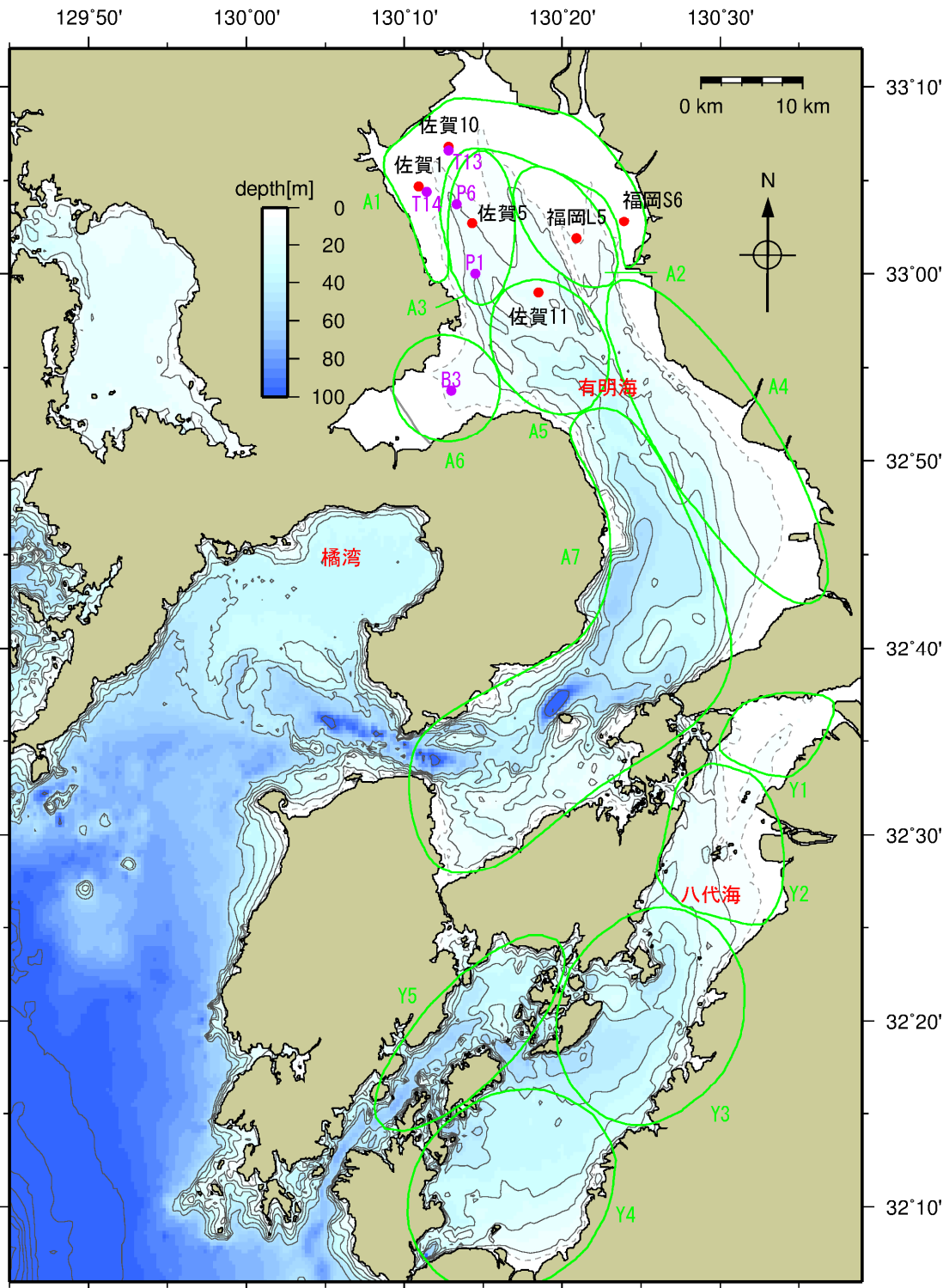
表 2.6.1-1 回帰分析結果:有明海(浅海定線調査等)

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

- 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。  
 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2002(平成14)年から2019(令和元)年までの期間の評価を示す。

出典:福岡県、佐賀県「浅海定線調査結果」

農林水産省九州農政局「諫早湾干拓事業環境モニタリング調査」をもとに環境省が作成した。

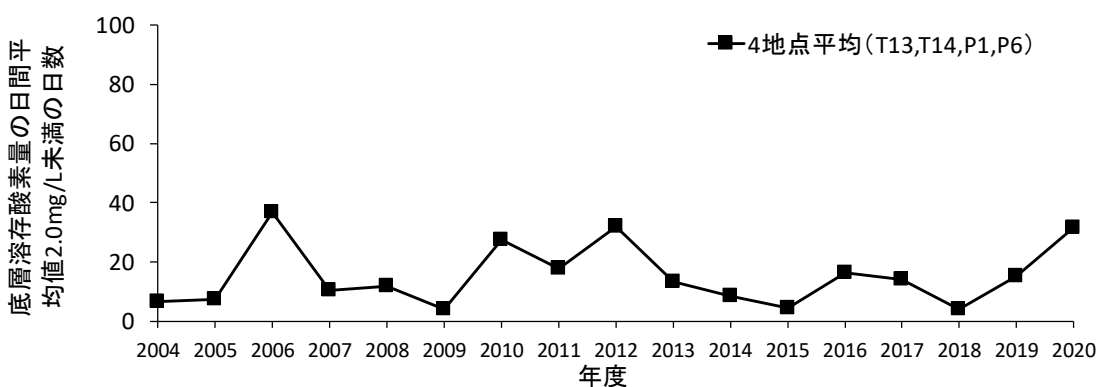
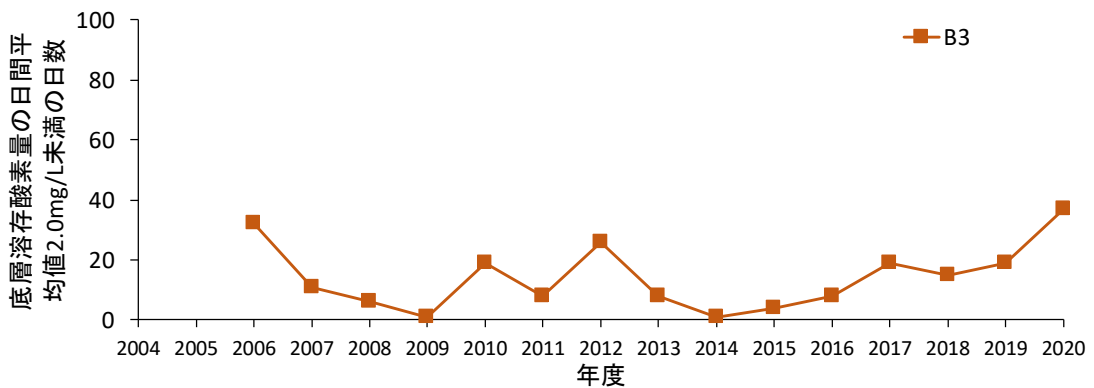
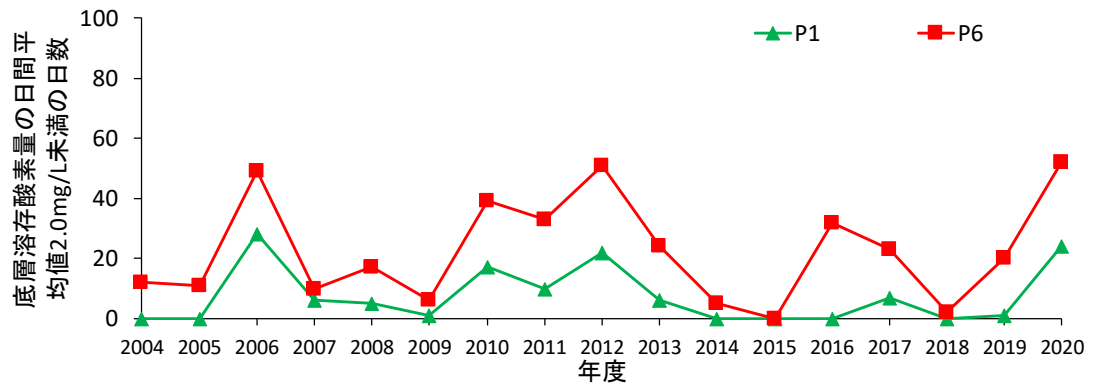
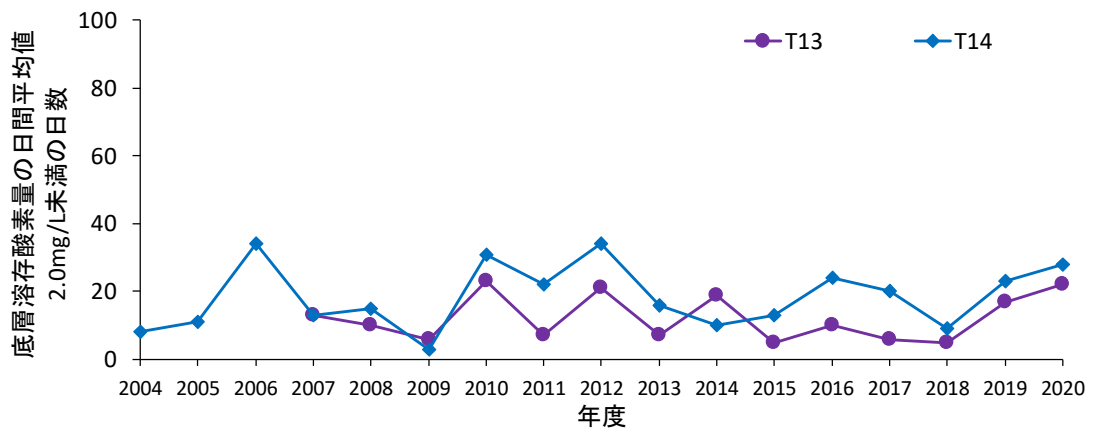


- 注) 1. 福岡 S6、佐賀 1、佐賀 10、福岡 L5、佐賀 5 及び佐賀 11 は福岡県、佐賀県「浅海定線調査」の地点、B3 は農林水産省九州農政局「諫早湾干拓事業環境モニタリング調査」及び「有明海貧酸素水塊広域連続観測[諫早湾]」の地点、T13、T14、P1 及び P6 は国立研究開発法人水産研究・教育機構水産技術研究所「有明海水質連続観測調査」の地点を示す。
2. 図中の有明海、八代海の緑色の範囲は海域区分を示す。
- |              |              |              |
|--------------|--------------|--------------|
| A1海域…有明海湾奥奥部 | A2海域…有明海湾奥東部 | A3海域…有明海湾奥西部 |
| A4海域…有明海中央東部 | A5海域…有明海湾中部  | A6海域…有明海諫早湾  |
| A7海域…有明海湾口部  | Y1海域…八代海湾奥部  | Y2海域…球磨川河口部  |
| Y3海域…八代海湾中部  | Y4海域…八代海湾口東部 | Y5海域…八代海湾口西部 |

図 2.6.1-1 底層溶存酸素量の結果整理を行った地点

2004(平成 16)年から有明海湾奥部で実施されている「有明海水質連続観測調査」及び 2006 年から諫早湾で実施されている「有明海貧酸素水塊広域連続観測」(地点は図 2.6.1-1、海底上 0.2m 高さ)の結果を基に、底層溶存酸素量の日平均値が 2.0mg/L 未満、3.0mg/L 未満、4.0mg/L 未満の日数を整理した(図 2.6.1-2)。

各地点(4 地点:T13,T14,P1,P6)の平均でみると、日平均値が 2.0mg/L 未満の日数は過去 17 年間の平均で 15 日(最少 4 日～最多 37 日)、3.0mg/L 未満は 32 日(16 日～55 日)、4.0mg/L 未満は 53 日(34 日～69 日)であった。経年的には年変動がみられるものの、概ね横ばい傾向にある。また、2.0mg/L 未満と 3.0mg/L 未満の日数の年変動は同様な傾向を示しているが、4.0mg/L 未満については年変動が小さい傾向がみられる。

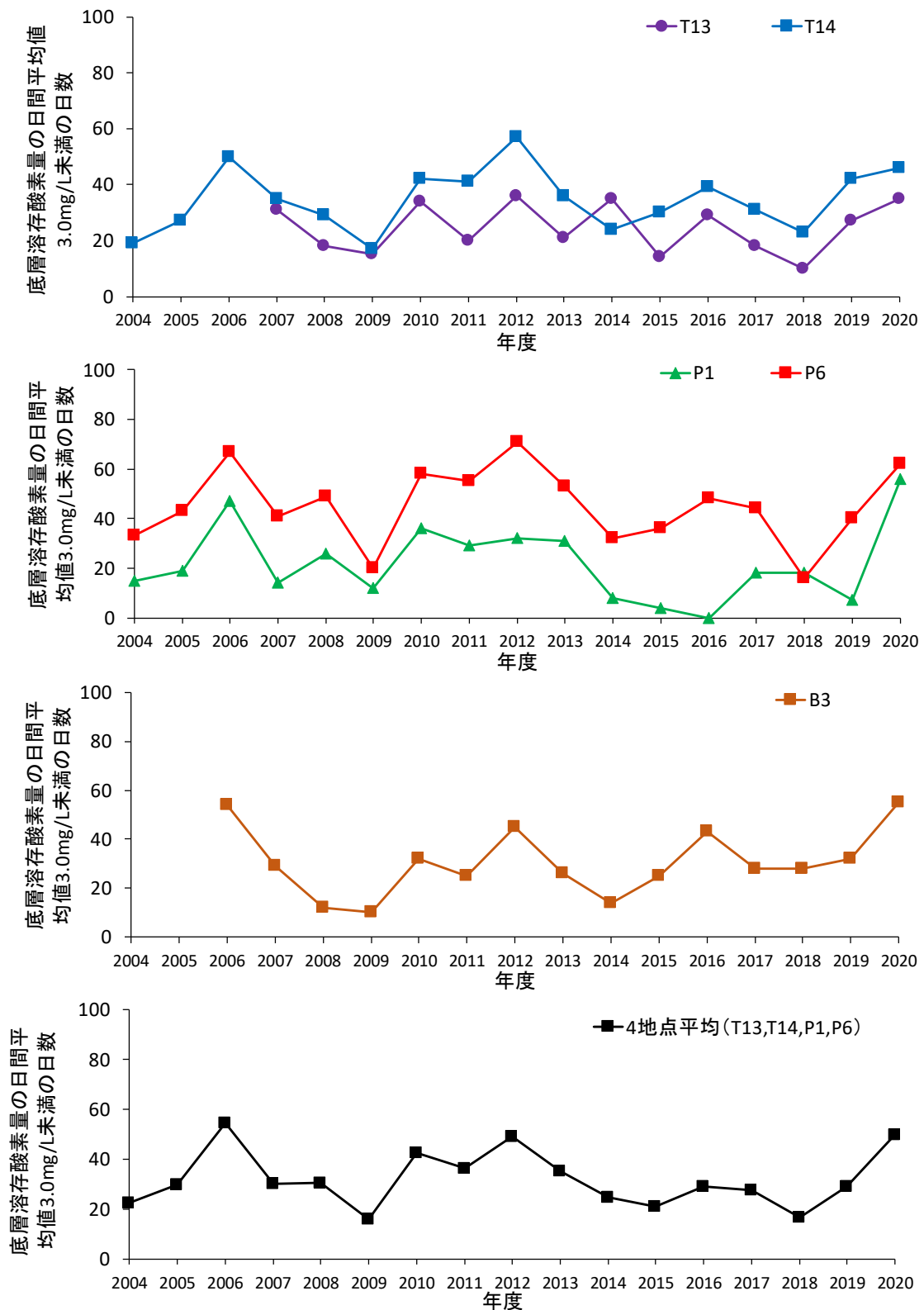


注) 1.各年度、各地点の底層溶存酸素量の日平均値が2.0mg/L未満となった日数を記載している。なお、観測期間は6～9月を中心に行われており、詳細な観測日数は各年度、各地点により異なる。

2.4地点平均(T13,T14,P1,P6)の2004(平成16)年～2006(平成18)年は3地点(T14,P1,P6)の平均である。

図 2.6.1-2(1) 各期間の底層溶存酸素量の日平均値(2.0mg/L未満)の状況(連続観測調査)

出典：国立研究開発法人 水産研究・教育機構 西海区水産研究所「有明海水質連続観測調査結果」及び農林水産省九州農政局「有明海貧酸素水塊広域連続観測結果[諫早湾]」をもとに環境省が作成した。

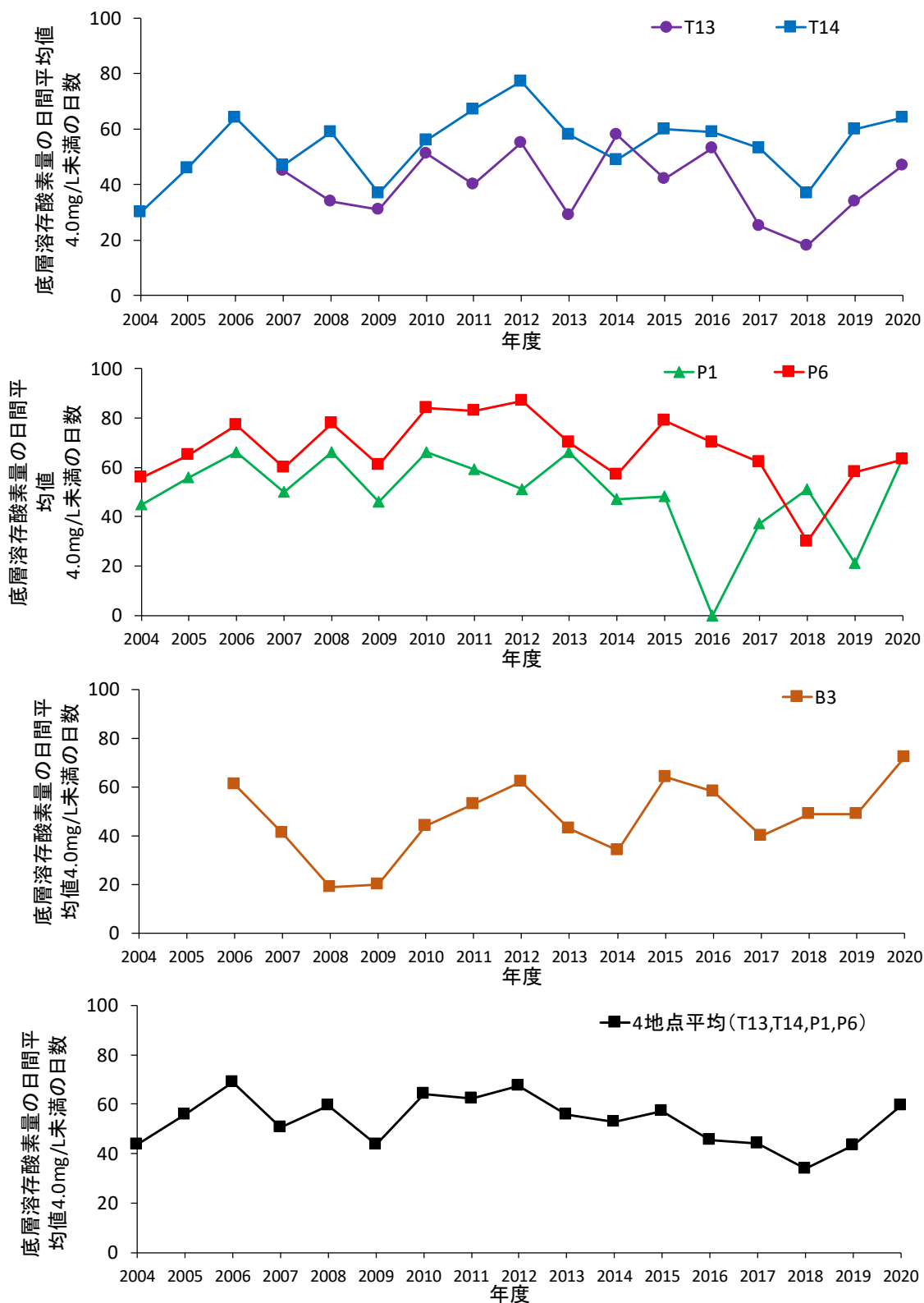


注) 1.各年度、各地点の底層溶存酸素量の日平均値が3.0mg/L未滿となった日数を記載している。なお、観測期間は6～9月を中心に行われており、詳細な観測日数は各年度、各地点により異なる。

2.4地点平均(T13,T14,P1,P6)の2004(平成16)年～2006(平成18)年は3地点(T14,P1,P6)の平均である。

図 2.6.1-2(2) 各期間の底層溶存酸素量の日平均値(3.0mg/L未滿)の状況(連続観測調査)

出典: 国立研究開発法人 水産研究・教育機構 西海区水産研究所「有明海水質連続観測調査結果」及び 農林水産省九州農政局「有明海貧酸素水塊広域連続観測結果[諫早湾]」をもとに環境省が作成した。



注) 1.各年度、各地点の底層溶存酸素量の日平均値が4.0mg/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。

2.4地点平均(T13,T14,P1,P6)の2004(平成16)年～2006(平成18)年は3地点(T14,P1,P6)の平均である。

図 2.6.1-2(3) 各期間の底層溶存酸素量の日平均値(4.0mg/L未満)の状況(連続観測調査)

出典: 国立研究開発法人 水産研究・教育機構 西海区水産研究所「有明海水質連続観測調査結果」及び 農林水産省九州農政局「有明海貧酸素水塊広域連続観測結果[諫早湾]」をもとに環境省が作成した。

## 2.6.2 貧酸素水塊の発生状況

平成 28 年度委員報告以降も、有明海においては、毎年夏期の小潮期を中心に有明海奥部と諫早湾の 2 箇所では貧酸素水塊が別々に発生している。特に、九州北部地方で豪雨が記録された 2020(令和 2)年には、1990(平成 2)年～2019(令和元)年の 30 年間にわたる 7 月の平均値の約 3 倍の降水量に伴い、7 月から 8 月にかけての 1 ヶ月程度の長期間にわたって表層塩分は低下し、大規模な貧酸素水塊が発生した。この期間中の 7 月 29 日と 31 日における表層塩分と底層溶存酸素濃度の分布を図 2.6.2-1 に示す。

河川からの大規模出水が底層溶存酸素量の動態に与える影響については、有明海における流体力学モデルと低次生態系モデルを用いた解析によって、大規模出水の総流量が多いと貧酸素状態の継続日数が長くなること等が示唆されている<sup>1)</sup>。「2.2 河川からの土砂流入」に記載のとおり、近年、九州北部地方では大雨に伴う大規模な出水が発生しており、貧酸素水塊の発生との関連についても、今後の調査研究が必要である。

平成 28 年度委員会報告において、有明海奥部における貧酸素水塊発生の様式図が示された(図 2.6.2-2)。その後、詳細な観測結果の解析の結果、半日スケールでの底層溶存酸素の変動幅(干潮と満潮の差)は干潟縁辺域が大きく、沖合域は小さいことから干潟縁辺域においては底層水の移流が大きく、沖合域は小さい<sup>2)</sup>と推察された。また、水深 5m 程度の干潟縁辺域(A1 海域)と水深 15m 程度の沖合域(A3 海域)では貧酸素状態の継続時間等は大きく異なること<sup>2)</sup>、底層酸素消費は干潟縁辺域が沖合域より大きいことから<sup>3)</sup>、有明海奥部の底層溶存酸素濃度の短期変動及び経年変動を明らかにするため、干潟縁辺域と沖合域とに区分して整理した。

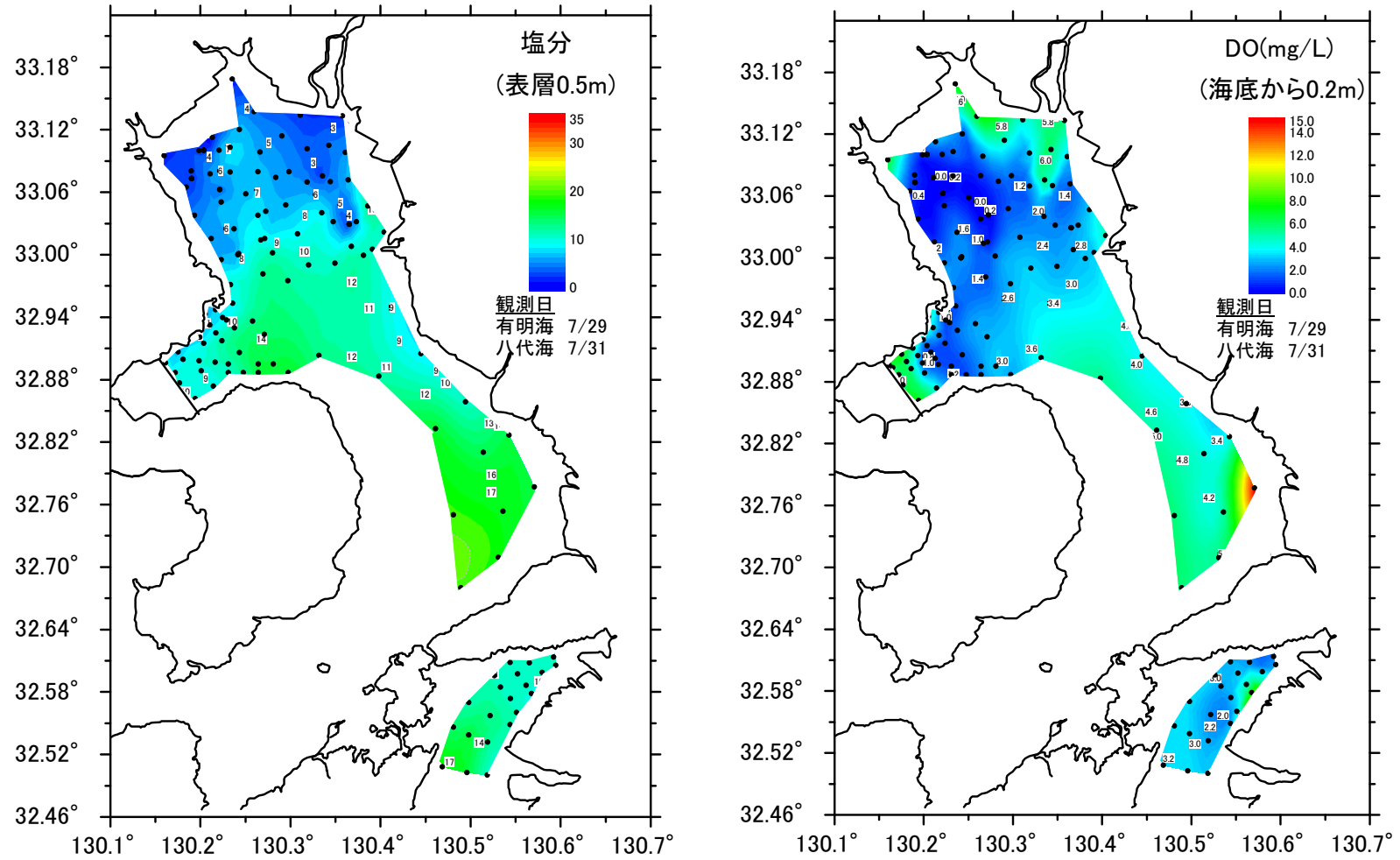
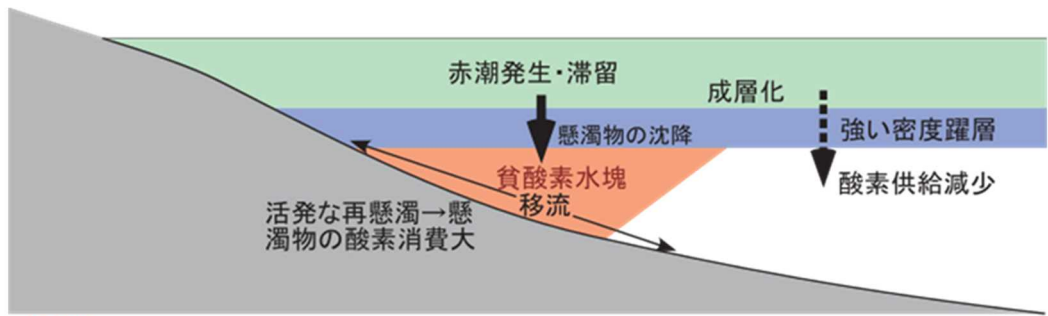


図 2.6.2-1 有明海及び八代海における表層塩分と底層溶存酸素濃度の分布(有明海:2020(令和2)年7月29日、八代海7月31日)

出典:水産技術研究所、農林水産省九州農政局、福岡県水産海洋技術センター有明海研究所、佐賀県有明水産振興センター、長崎県総合水産試験場、長崎県県南水産業普及指導センター、熊本県水産研究センター、九州大学、佐賀大学、日本ミクニヤ株式会社による共同一斉観測





小潮期: 潮流速低下し、成層強化  
→ 急激に貧酸素化

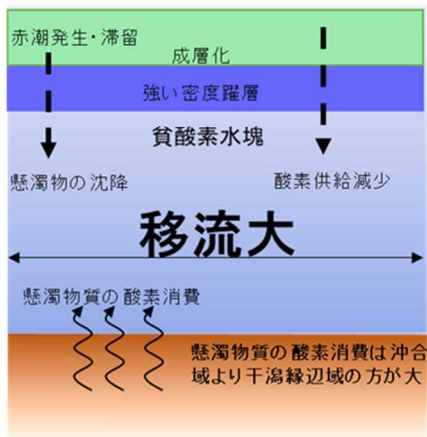
大潮期: 潮汐混合活発化 → 貧酸素  
緩和

- ① 夏季の出水・沖から沿岸向きの高密度水進入  
によって成層発達
- ② 密度躍層が発達し、表層から躍層以深への酸  
素供給減少
- ③ 底泥・懸濁物の酸素消費で貧酸素化
- ④ 潮汐によって移動

平成28年度委員会報告

干潟縁辺域(水深5m程度)

A1海域



沖合域(水深15m程度)

A3海域

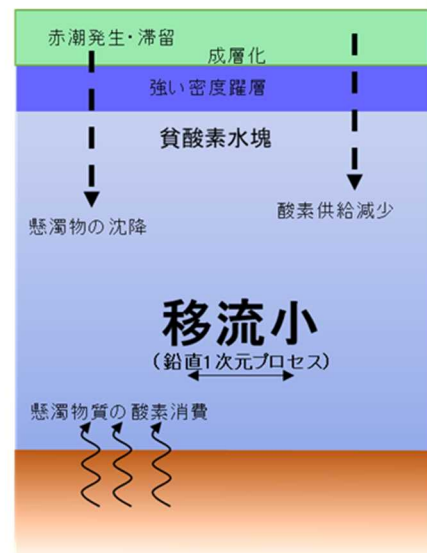


図 2.6.2-2 有明海灣奥部における貧酸素水塊発生の模式図

出典: (上図) 有明海・八代海等総合調査評価委員会(2017)「有明海・八代海等総合調査評価委員会報告」

(下図) 環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第5回水産資源再生方策検討作業小委員会資料」

### 2.6.3 貧酸素に関わる酸素消費特性

平成 28 年度委員会報告では、有明海奥部の場合、底泥に比べ海水による酸素消費の寄与が大きく、海水による酸素消費のうちでは、懸濁物質による酸素消費が大きいことが報告されている。その後、徳永ら(2016)は有明海奥部の 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の寄与率を現場実験により算出し、観測点によって酸素消費過程が大きく異なることを示した<sup>4)</sup>。また、内野ら(2019)は、貧酸素水塊形成時における全酸素消費に対する DOC(溶存態有機炭素)の分解の寄与は全体の約 2.1-4.4%を占めていたことを報告している<sup>5)</sup>。さらに、渦鞭毛藻 *Akashiwo sanguinea* の日周鉛直移動に伴う夜間の底層での呼吸は、有明海で観測される赤潮密度で推定すると、懸濁物及び堆積物に起因する酸素消費とともに貧酸素化へ寄与する可能性が高いことが示されるなど<sup>6)</sup>、貧酸素を引き起こす生物学的酸素消費と化学的酸素消費は多様であることが判明している。

### 2.6.4 貧酸素の経年変化特性

有明海奥部では、平成 28 年度委員会報告以降も毎年貧酸素水塊が発生してベントス群集に影響を及ぼしている。継続的な貧酸素モニタリング結果を用いて貧酸素の経年変化要因を物理的な観点から解析し、干潟縁辺域(T-13:A1 海域)と沖合域(P6:A3 海域)のそれぞれについて貧酸素と潮流との関係が検討されている。干潟縁辺域と沖合域における夏期(7月~9月)の底層溶存酸素濃度 3mg/L 未満(タイラギ稚貝の生残に影響する溶存酸素濃度<sup>7)</sup>)の累積時間と底層流速から評価した  $M_2$  潮の潮流振幅の 3 乗との関係を図 2.6.4-1 と図 2.6.4-2 に示す。ここで、海底摩擦による鉛直混合を表す指標として、海底から 0.2m 高さの  $M_2$  潮の潮流振幅の 3 乗を採用した。干潟縁辺域及び沖合域のいずれも相関関係が見られ、 $M_2$  潮の潮流振幅の 3 乗が大きければ、鉛直混合が大きく密度成層は形成しにくく<sup>8)</sup>、底層溶存酸素濃度 3mg/L 未満の累積時間は小さくなることが示唆された。逆に、 $M_2$  潮の潮流振幅の 3 乗が小さければ、鉛直混合が小さく密度成層は形成しやすく、底層溶存酸素濃度 3mg/L 未満の累積時間は大きくなることを示唆された。ただし、底層溶存酸素の変動は、河川からの淡水供給、干潟縁辺域における密度成層の形成、潮流振幅の変化<sup>8)</sup>等が影響しており、貧酸素化のプロセスは完全に説明できないため、今後定量的な評価に関する調査研究が必要である。

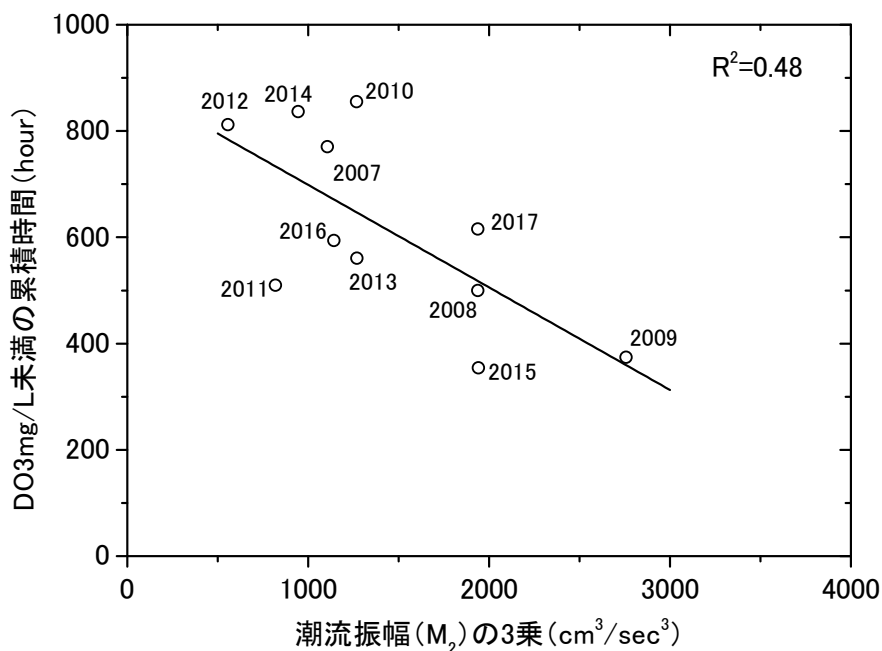


図 2.6.4-1 干潟縁辺域(T13)における底層潮流振幅の3乗と7月～9月におけるDO3mg/L未満の累積時間との関係

出典:平成29年度水産庁委託「赤潮・貧酸素水塊対策推進事業(九州海域での有害赤潮・貧酸素水塊発生機構解明と予察・被害防止等技術開発報告書)」をもとに環境省が作成した

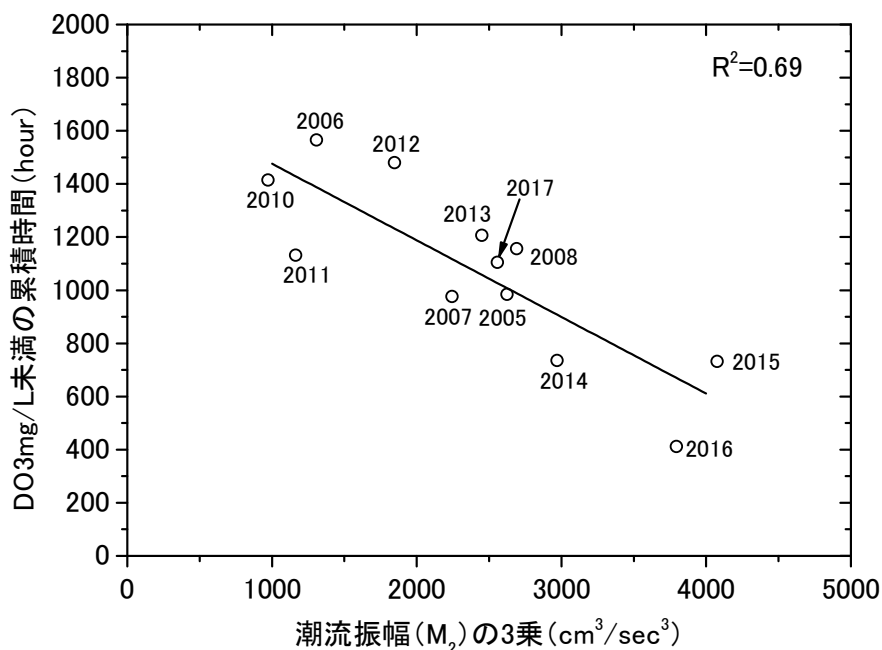
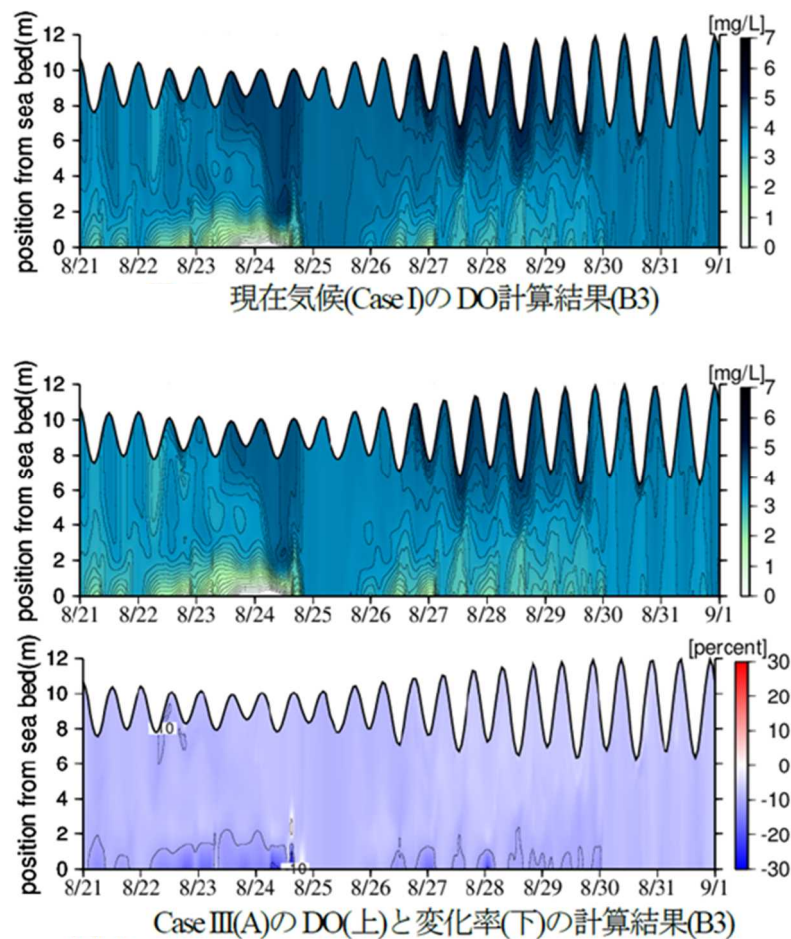


図 2.6.4-2 沖合域(P6)における底層潮流振幅の3乗と7月～9月におけるDO3mg/L未満の累積時間との関係

出典:平成29年度水産庁委託「赤潮・貧酸素水塊対策推進事業(九州海域での有害赤潮・貧酸素水塊発生機構解明と予察・被害防止等技術開発報告書)」をもとに環境省が作成した

## 2.6.5 気候変動が底層溶存酸素濃度に与える影響

田所・矢野(2019)は、有明海を対象として準3次元流動モデルと3次元低次生態系モデルにより疑似温暖化実験を行い、気候変動による溶存酸素濃度分布への影響評価を試みた<sup>9)</sup>。その結果、温暖化により気温上昇が進んだ場合、底層の貧酸素水塊の発達が助長されることが示唆されている(図 2.6.5-1)。ただし、本モデルでは底質の違いや巻き上げられた懸濁物による酸素消費は考慮されておらず、今後さらなる検討が必要と考えられる。



項目	Case I (現在気候)	Case III (A) (気温上昇が進んだ場合)
計算条件	諫早湾の B3 地点における 2015(平成 27)年 8 月 21 日から 9 月 1 日までを対象に DO 濃度の数値シミュレーションを実施	
気温	同時期の気温データを使用	Case I の気温に一律 4°Cを加えた
河川水温	同時期の河川水温データを使用	Case I で得られた気温と河川水温との相関式から、気温が 4°C上昇した場合の河川水温の上昇幅を求め、これを Case I の河川水温に加えた
外海水温	同時期の外海水温データを使用	上記で得られた河川水温の上昇幅の平均値を Case I の外海水温に加えた

図 2.6.5-1 疑似温暖化実験による DO とその変化率の計算結果

出典: 田所壮也, 矢野真一郎(2019): 気候変動による温度や河川流量の変化が与える有明海の貧酸素水塊の消長への影響の評価, 土木工学会論文集 B2(海岸工学), Vol.75, No. 2, pp. 1231-1236 をもとに環境省が作成した。

## 2.6.6 まとめ

有明海の浅海定線調査(基本的に毎月 1 回大潮満潮前後に調査)によると、データのある 1972(昭和 47)年度以降、6 地点のうち佐賀県の 4 地点(有明海湾奥奥部の 2 地点、有明海湾奥西部及び有明海湾中央部)において、底層溶存酸素量は経年的に有意に減少する傾向がみられた。

有明海では、毎年夏期の小潮期を中心に有明海奥部と諫早湾の 2 箇所で貧酸素水塊が別々に発生している。特に九州北部地方で豪雨が記録された 2020 年には、1 ヶ月程度の長期間にわたって表層塩分は低下し、大規模な貧酸素水塊が発生した。

河川からの大規模出水が底層溶存酸素量の動態に与える影響については、有明海における流体力学モデルと低次生態系モデルを用いた解析によって、大規模出水の総流量が多いと貧酸素状態の継続日数が長くなること等が示唆されている。近年、九州北部地方では大雨に伴う大規模な出水が発生しており、貧酸素水塊の発生との関連についても、今後の調査研究が必要である。

平成 28 年度委員会報告では、有明海奥部の場合、底泥に比べ海水による酸素消費の寄与が大きく、海水による酸素消費のうちでは、懸濁物質による酸素消費が大きいことが報告されている。その後、酸素消費には、DOC の分解や、渦鞭毛藻の呼吸も貧酸素化に一定の寄与がある可能性が示されており、貧酸素を引き起こす生物学的酸素消費と化学的酸素消費は多様であることが判明している。

有明海奥部の干潟縁辺域とその沖合域では、貧酸素の状況を示す夏期の底層溶存酸素濃度 3mg/L 未満(タイラギ稚貝の生残に影響する溶存酸素濃度)の累積時間と、潮流の状況を示す底層流速から評価した  $M_2$  潮の潮流振幅の 3 乗との間には有意な相関が見られ、潮流振幅と貧酸素水塊の累積時間に関係があることが示唆された。ただし、底層溶存酸素の変動は、河川からの淡水供給、干潟縁辺域における密度成層の形成、潮流振幅の変化等が影響しており、貧酸素化のプロセスは完全に説明できないため、今後定量的な評価に関する調査研究が必要である。

有明海を対象とした疑似温暖化実験では、温暖化により気温上昇が進んだ場合、底層の貧酸素水塊の発達が助長されることが示唆されている。ただし、本モデルでは底質の違いや巻き上げられた懸濁物による酸素消費は考慮されておらず、今後さらなる検討が必要と考えられる。

## 参考文献

- 1) Lin HAO, Yuya SATO, Shinichiro YANO, Bing XIONG, Baixin CHI (2021) : Effects of Large-Scale Effluent of the Chikugo River due to 2020 Kyushu Floods on the Development of Hypoxia in the Ariake Sea, 土木工学会論文集 B2(海岸工学), Vol.77, No.2, pp.865-870
- 2) 徳永貴久, 児玉真史, 木元克則, 柴原芳一 (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), Vol. B2-65, No.1, pp. 1011-1015
- 3) 児玉真史, 徳永貴久, 木元克則, 柴原芳一 (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), Vol. B2-65, pp.1006-1010
- 4) 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), Vol. 72, No.1, pp.12-21
- 5) 内野宏治, 猪股はるか, 田原沙紀, 高巢裕之 (2019) : 有明海奥部における酸素消費に対する水柱中の有機炭素分解の寄与, 水環境学会誌, 42 巻, 5 号, pp. 195-200
- 6) 徳永貴久, 松山幸彦, 長副 聡 (2021) : 渦鞭毛藻 *Akashiwo sanguinea* の日周鉛直移動に伴う底層の酸素消費, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.77, No. 1, pp. 55-64
- 7) Sou Nagasoe, Takahisa Tokunaga, Tatsuya Yurimoto, and Yukihiro Matsuyama (2020) : Survival and behavior patterns associated with hypoxia at different life stages of the pen shell *Atrina cf. japonica*, *Aquatic Toxicology*, Vol. 227, 105610
- 8) 徳永貴久, 田井 明, 木元克則 (2013) : 有明海湾奥西部の干潟縁辺域における DO 経年変動特性, 土木学会論文集 B3(海洋開発), 69 巻, 2 号, pp. L1018-L1023
- 9) 田所壮也, 矢野真一郎 (2019) : 気候変動による温度や河川流量の変化が与える有明海の貧酸素水塊の消長への影響の評価, 土木工学会論文集 B2(海岸工学), Vol.75, No. 2, pp. 1231-1236