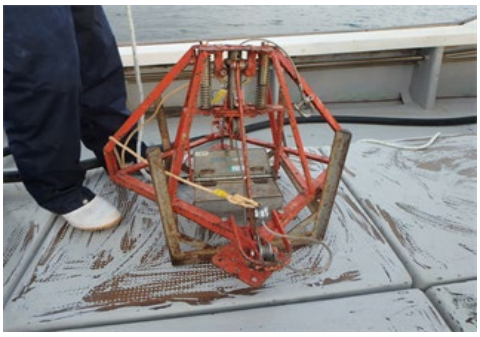
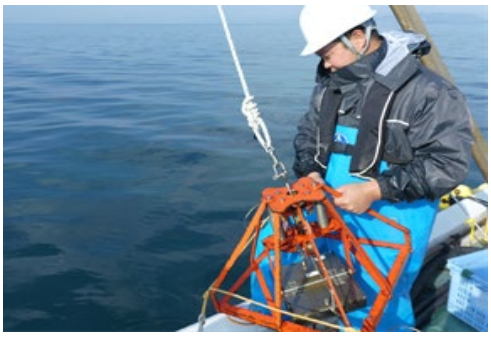
3.5 底質

3.5.1 底質の分布状況と経年変化

有明海・八代海・橘湾における底質について、スミスマッキンタイヤ型採泥器(採泥面積 0.05m^2)を用いて 3 回採取し、混合試料を分析した(付図 3.5.1-1)。調査項目及び分析方法は付表 3.5.1-1 に、調査地点を付図 3.5.1-3 に示す。





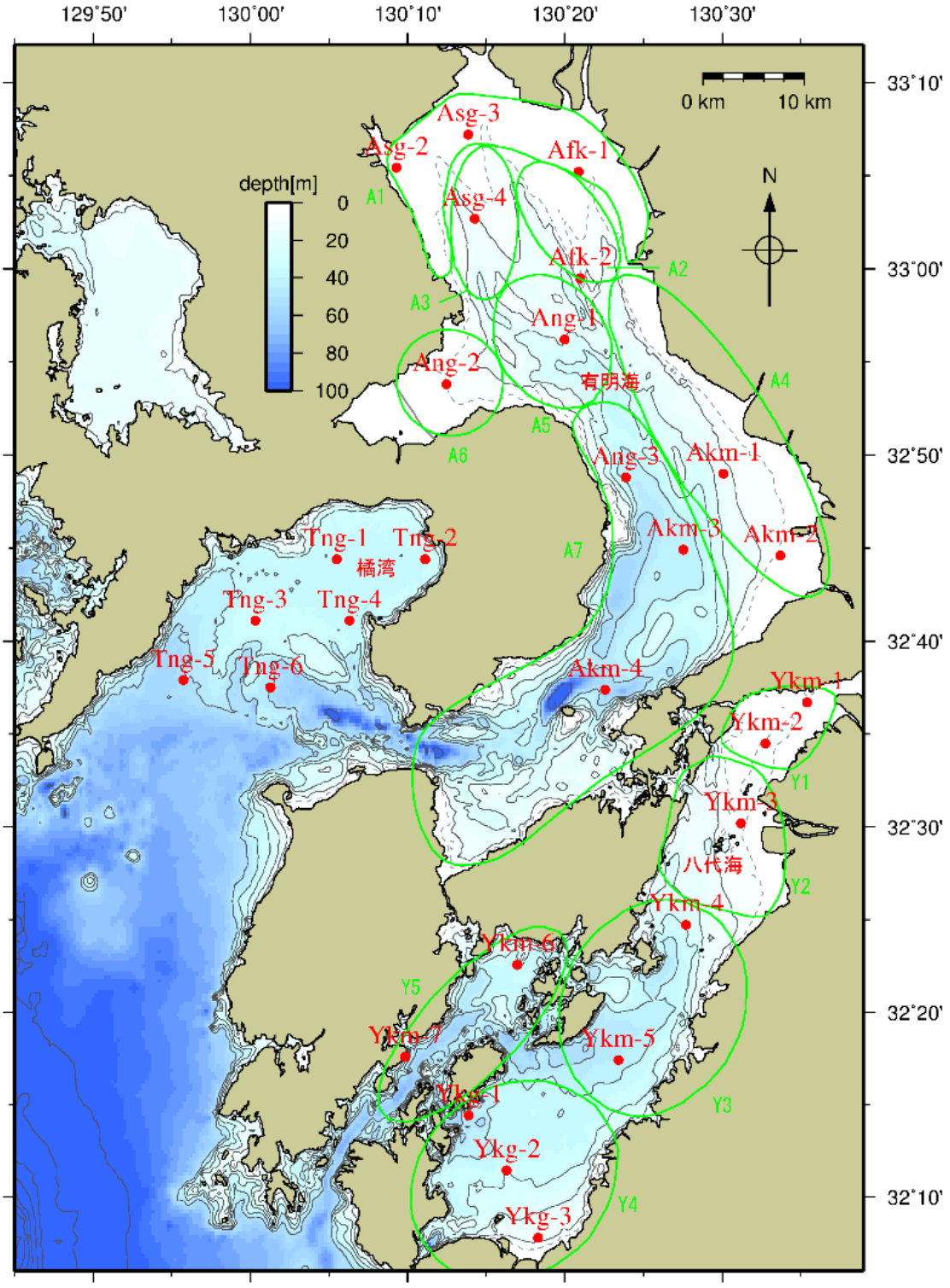
付図 3.5.1-1 底質採取状況等

出典:環境省「有明海・八代海等再生対策検討作業支援業務」

付表 3.5.1-1 底質の調査項目及び分析方法

調査項目	調査・分析方法
泥色	標準土色帳による目視観察
性状	現場における目視観察
泥温	棒状温度計又は電気温度計
粒度組成	JIS A 1204 (2020)
含水率	「底質調査方法」(平成 24 年 8 月 環境省) Ⅱ.3
pH	「底質調査方法」(平成 24 年 8 月 環境省) Ⅱ.4.4
酸化還元電位	「底質調査方法」(平成 24 年 8 月 環境省) Ⅱ.4.5
強熱減量	「底質調査方法」(平成 24 年 8 月 環境省) Ⅱ.4.2
化学的酸素要求量 (COD)	「底質調査方法」(平成 24 年 8 月 環境省) Ⅱ.4.7
全窒素 (T-N)	「底質調査方法」(平成 24 年 8 月 環境省) Ⅱ.4.8.1
全りん (T-P)	「底質調査方法」(平成 24 年 8 月 環境省) Ⅱ.4.9.1
硫化物 (T-S)	「底質調査方法」(平成 24 年 8 月 環境省) Ⅱ.4.6
全有機炭素 (TOC)	「底質調査方法」(平成 24 年 8 月 環境省) Ⅱ.4.10

出典:環境省「有明海・八代海等再生対策検討作業支援業務」



注）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…有明海湾央部	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…八代海湾央部	Y4海域…八代海湾口東部	Y5海域…八代海湾口西部

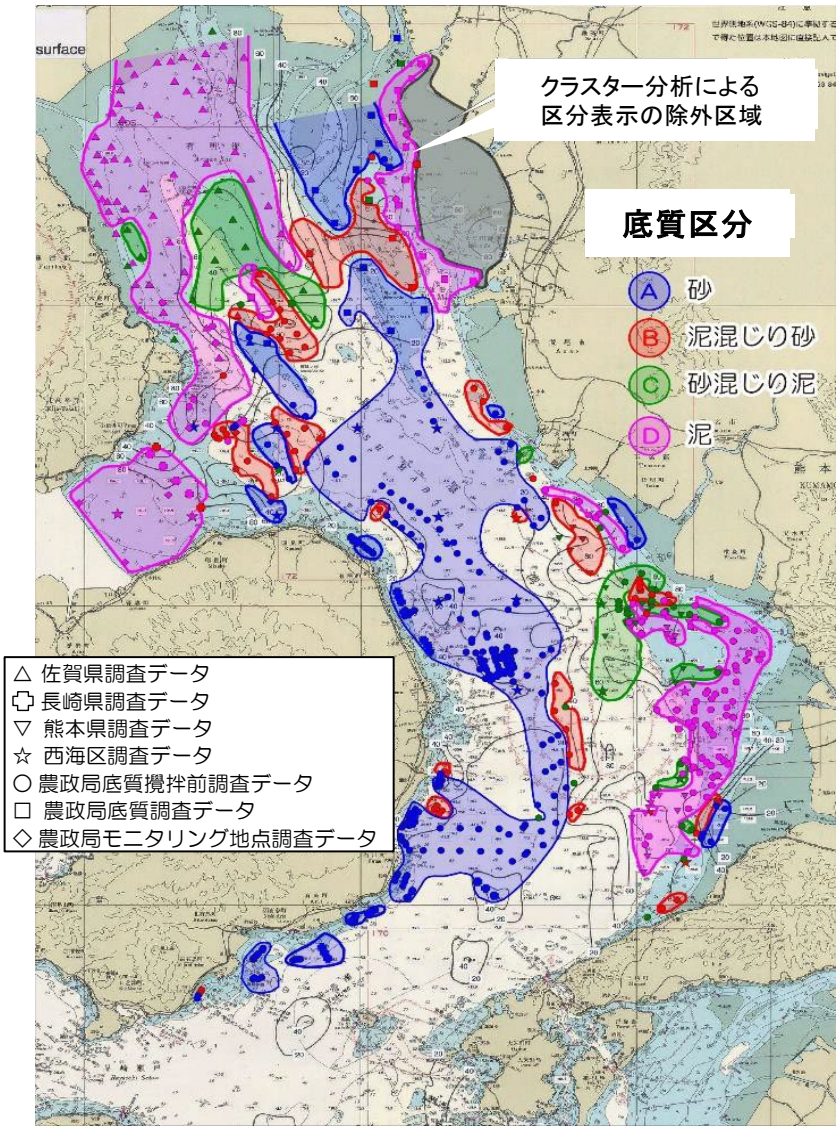
付図 3.5.1-2 有明海・八代海・橘湾における底質の調査地点

(1) 有明海の底質の分布状況と経年変化

ア) 底質の分布状況

有明海の底質の分布状況は、複雑な様相を呈しているため一概には言えないが、湾奥西部及び中央東部の底質は主に泥あるいは砂混じり泥で含泥率が高く、湾口部では砂あるいは泥混じり砂が広がっている[1)]（付図 3.5.1-3）。

平成 28 年度委員会報告及び中間取りまとめで報告された 2014 年及び 2019 年の調査結果と比較して、底質の分布状況に大きな変化はみられていない。



付図 3.5.1-3 有明海の底質特性別海底質区分図（2023 年）

出典：環境省(2024)「有明海・八代海等総合調査評価委員会第 14 回海域環境再生方策検討作業小委員会資料」

1）環境省(2024)「有明海・八代海等総合調査評価委員会第 14 回海域環境再生方策検討作業小委員会資料」

イ) 底質分布の経年変化

有明海の底質の粒度組成をみると、主に湾奥部、諫早湾、中央東部において粘土・シルト分が占める割合が高く、湾央部や湾口部では粒径の大きい底質が占めており、年ごとの変動はあるものの、大きな変動はみられていない（付図 3.5.1-4）。

底質の COD、T-N、T-P については、年ごとに変動はみられるものの、概ね湾奥部で高く、湾央部や湾口部で低い（付図 3.5.1-4～付図 3.5.1-7）。

底質に大きな変動がみられた時期として、2019 年度夏期が挙げられ、湾奥部 A1 海域（Afk-1、Asg-2、Asg-3）、湾奥西部 A3 海域（Asg-4）、諫早湾 A6 海域（Ang-2）で、COD が大きく増加し（付図 3.5.1-4）、以降、調査時期ごとに増減はあるものの、増加傾向は継続していた。なお、T-N、T-P が同時に高くなった地点もみられ、その後は概ね横ばい傾向で推移している。

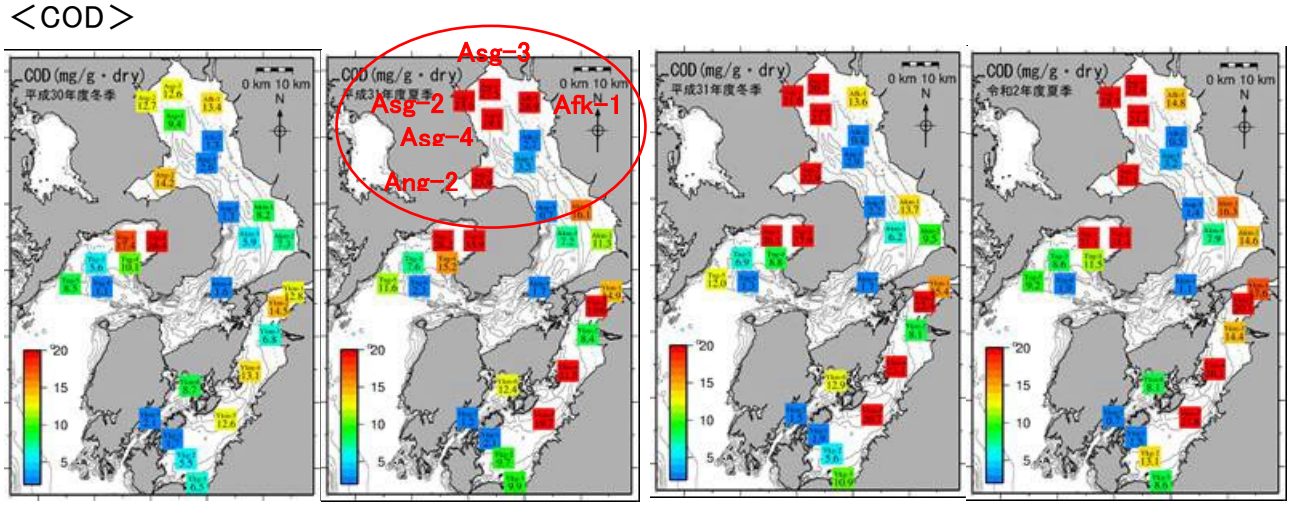
また、2023 年度夏期には、中央東部 A4 海域（Akm-2）において、COD、T-N、T-P が大きく増加し、同時に粒度組成の粘土・シルト分の割合も上昇しており、2024 年度冬期の段階でも高い値で推移している。

海底堆積物中の珪藻の休眠期細胞の変化等（平成 28 年度委員会報告 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 [2)]。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、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（平成 28 年度委員会報告 図 3.5.4）。堆積速度は年間約 1mm と推定されており [3)]、それに基づくと、底質の変化は 1970～1980 年頃から始まったと推察される。

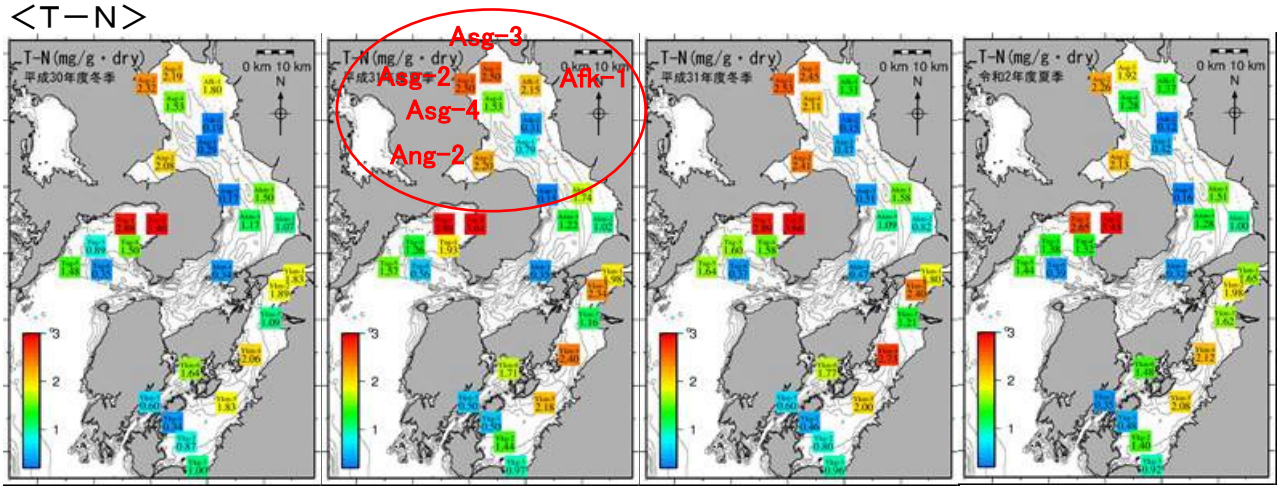
2) 滝川清（2005）「第14 回有明海・八代海総合調査評価委員会資料-3有明海・八代海の底質環境について」
3) 滝川ら（2005）「有明海熊本沖の水塊構造と表層堆積物分布特性」 海岸工学論文集，第 52 巻，pp.956-960

2018 年度冬期　2019 年度夏期　2019 年度冬期　2020 年度夏期

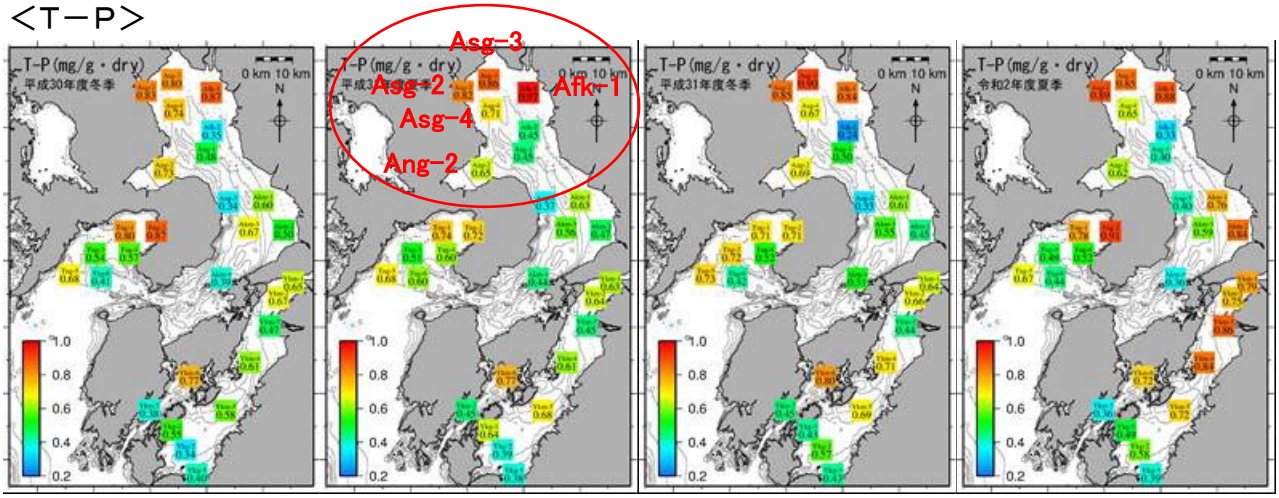
＜COD＞



＜T－N＞



＜T－P＞



付図 3.5.1-4　有明海で底質に大きな変動がみられた際（2019 年度夏期）の水平分布（2018 年度冬期～2020 年度夏期）

出典：環境省「有明海・八代海等再生対策検討作業支援業務」

(2) 八代海の底質の分布状況と経年変化

八代海の底質の粒度組成は、主に湾奥部や湾央部で粘土・シルト分が占める割合が高く、湾口部では粒径の大きい底質が占めており、年ごとの変動はみられるものの、大きな変動はみられていない（付図 3.5.1-4）。

底質の COD、T-N、T-P については、年ごとに変動はみられるものの、概ね湾奥部や湾央部で高く、湾口部で低い（付図 3.5.1-5～付図 3.5.1-7）。

八代海の球磨川河口部 Y2 海域(Ykm-3)では、2020 年度夏期以降、粒度組成の粘土・シルト分の割合、COD、T-P が高い値で推移しており、これは 2020 年 7 月の球磨川の大出水による影響と考えられる（付図 3.5.1-5）。COD は 2022 年度冬期には一旦減少したものの、翌 2023 年度夏期以降は高い値で推移している。粘土・シルト分と T-P は継続して高い値で推移しており、出水の影響との関連が示唆される。

また、2020 年度夏期には、Y2 海域周辺の Y1、Y3 海域の T-P も増加しており、2024 年度冬期の段階でもやや高い値で推移している。

なお、八代海湾奥部 Y1 海域（Ykm-1、Ykm-2）及び湾央部 Y3 海域（Ykm-4、Ykm-5）では、2012 年度頃から比較して COD が増加したが、2021 年度頃から大きな変動はみられていない。

(3) 橘湾の底質の分布状況と経年変化

橘湾の底質の粒度組成については、湾奥部から湾西部の沿岸部で粘土・シルト分が占める割合が高く、湾東部では粒径の大きい底質が占めており、大きな変動はみられていない（付図 3.5.1-4）。

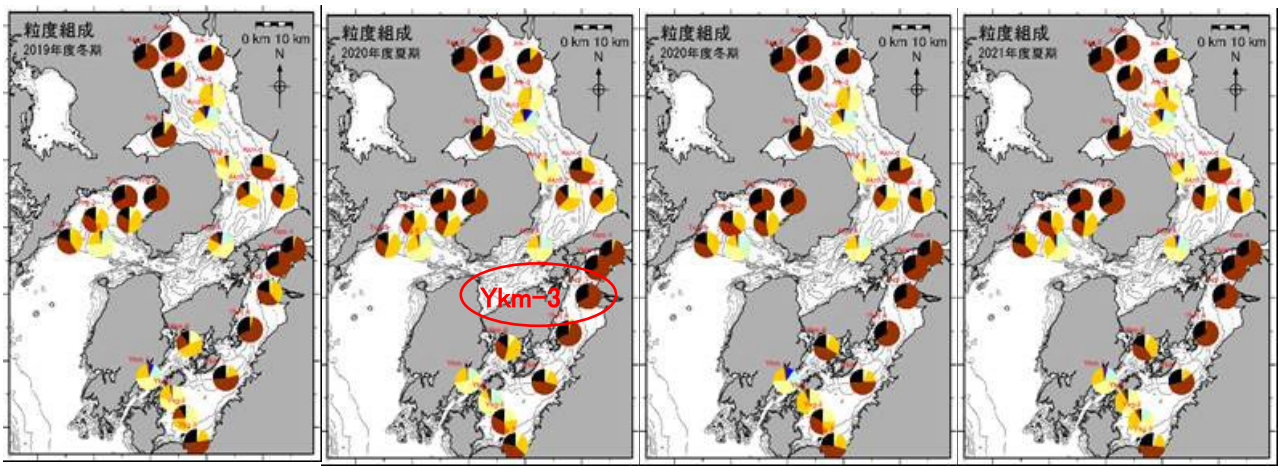
底質の COD、T-N、T-P については、概ね湾奥部で高く、湾西部や湾東部で低い。また、これらに大きな変動はみられていない（付図 3.5.1-5～付図 3.5.1-7）。

(4) その他の海域

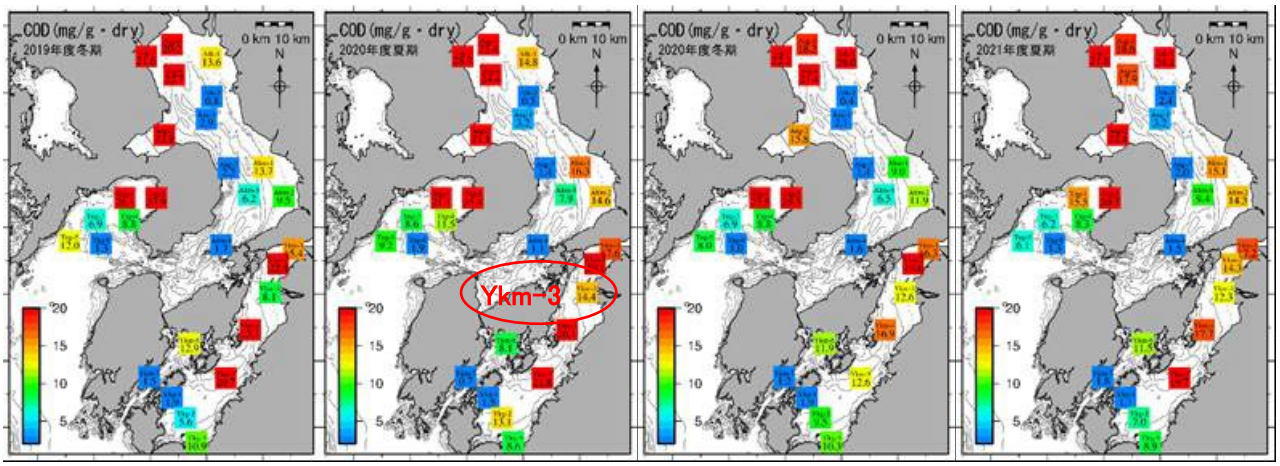
牛深町周辺の海面については、底質のデータがない。

2019 年度冬期　　2020 年度夏期　　2020 年度冬期　　2021 年度夏期

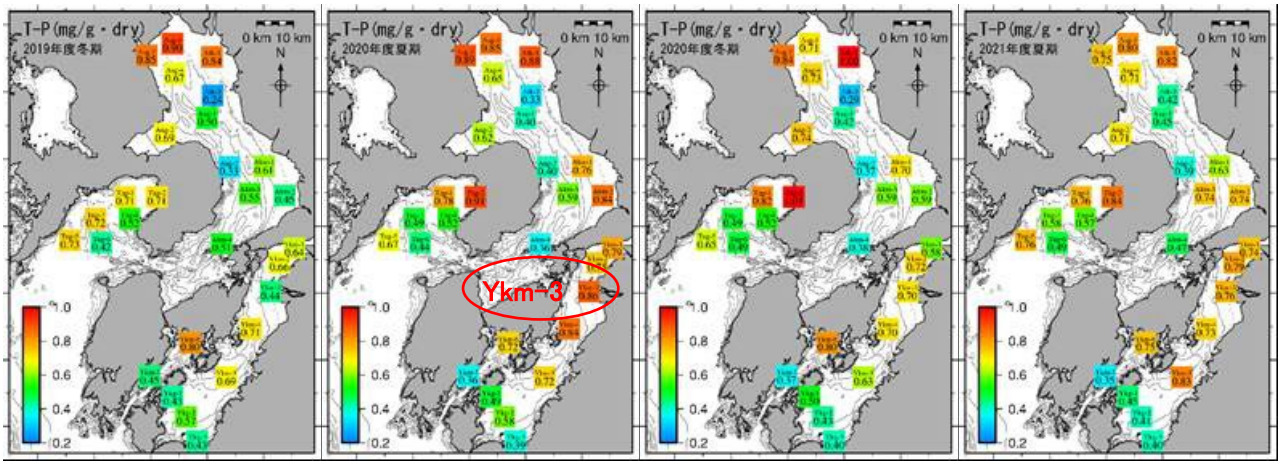
＜粘土・シルト分の割合＞



＜COD＞

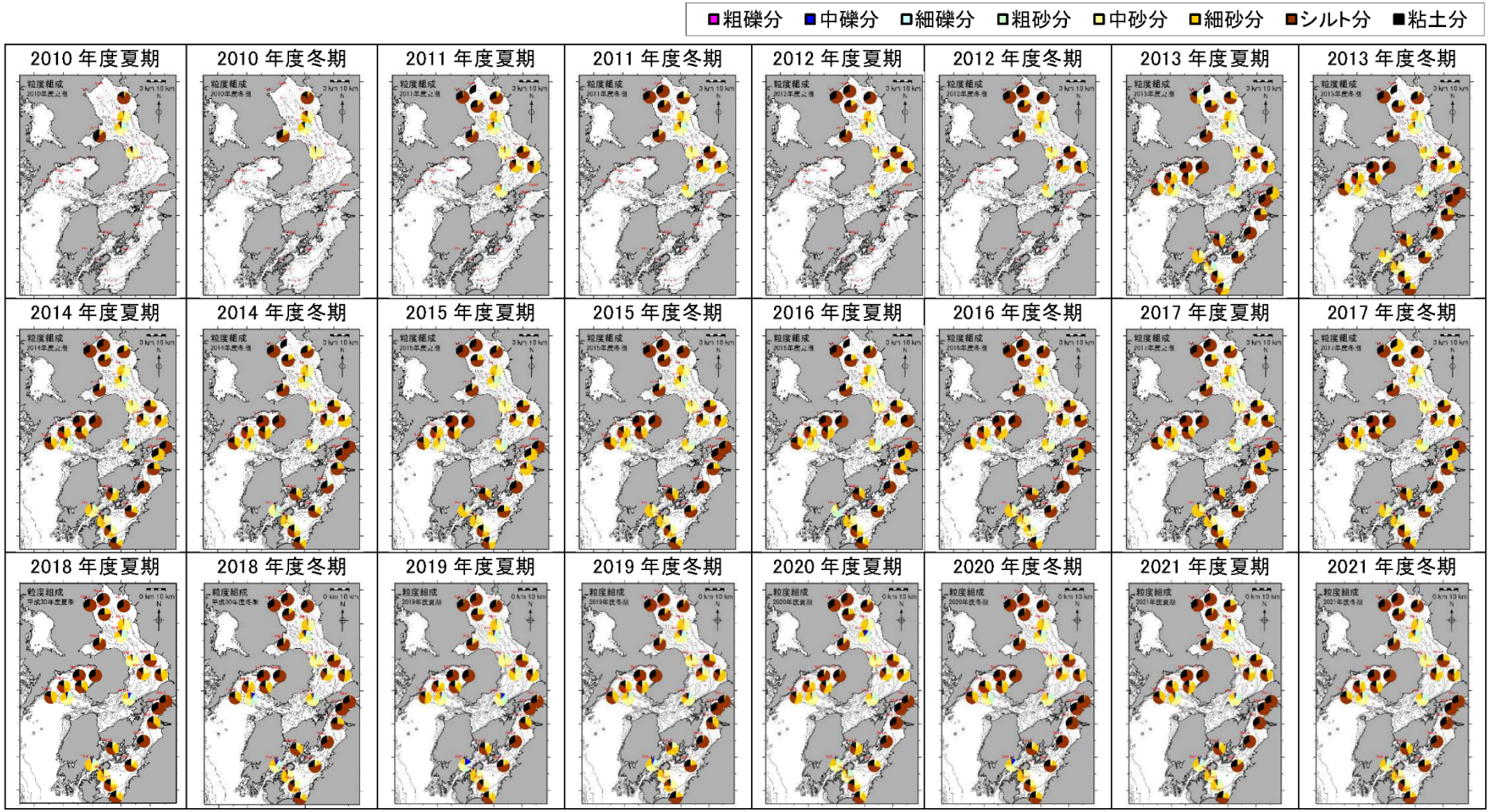


＜T－P＞



付図 3.5.1-5 八代海で底質に大きな変動がみられた際（2020 年度夏期）の水平分布（2019 年度冬期～2021 年度夏期）

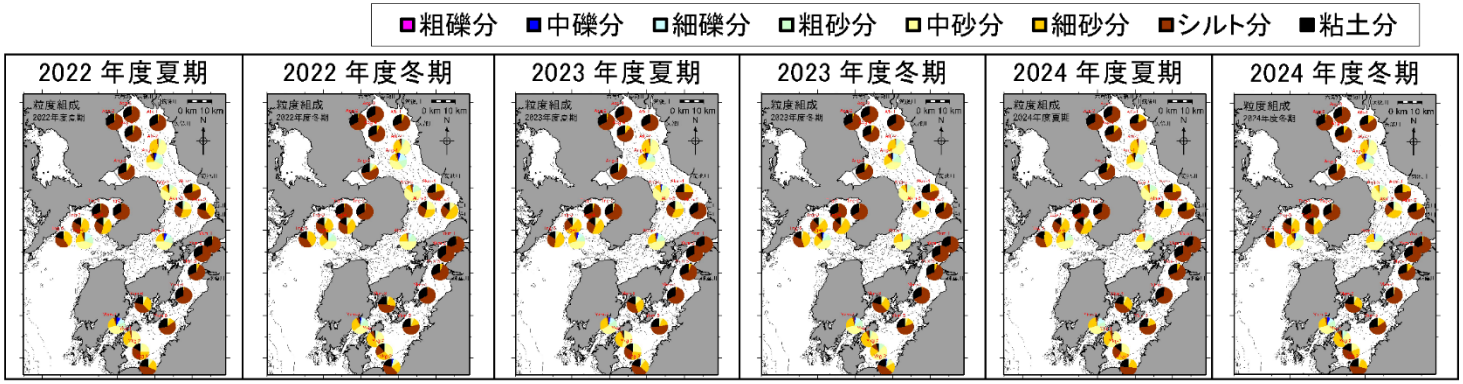
出典：環境省「有明海・八代海等再生対策検討作業支援業務」



注)粒度組成は 2010 年度以降の調査結果を表示。

付図 3.5.1-6(1) 底質の粒度組成の水平分布(2010 年度～2024 年度)

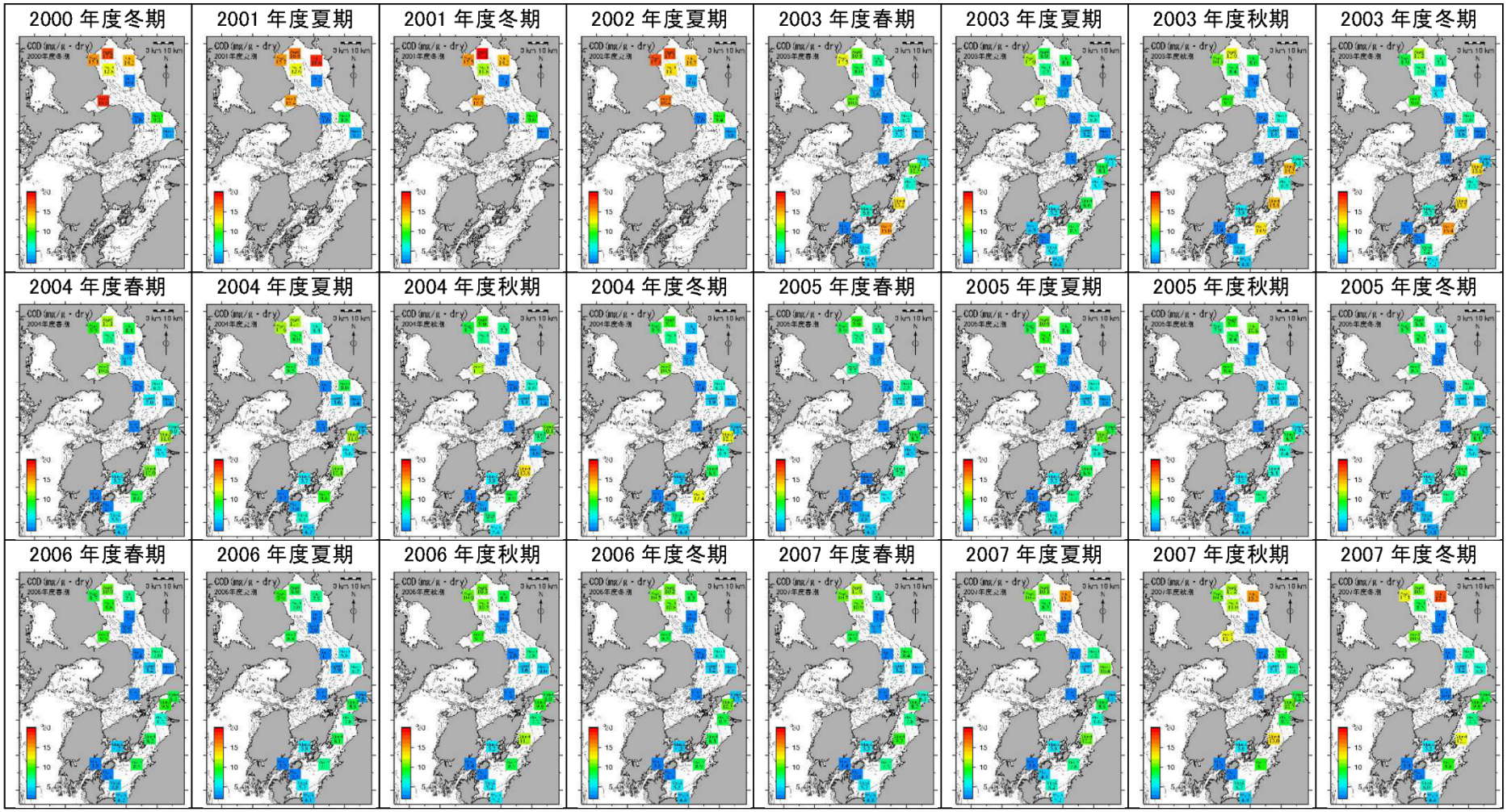
出典:環境省「有明海・八代海等再生対策検討作業支援業務」



注)粒度組成は 2010 年度以降の調査結果を表示。

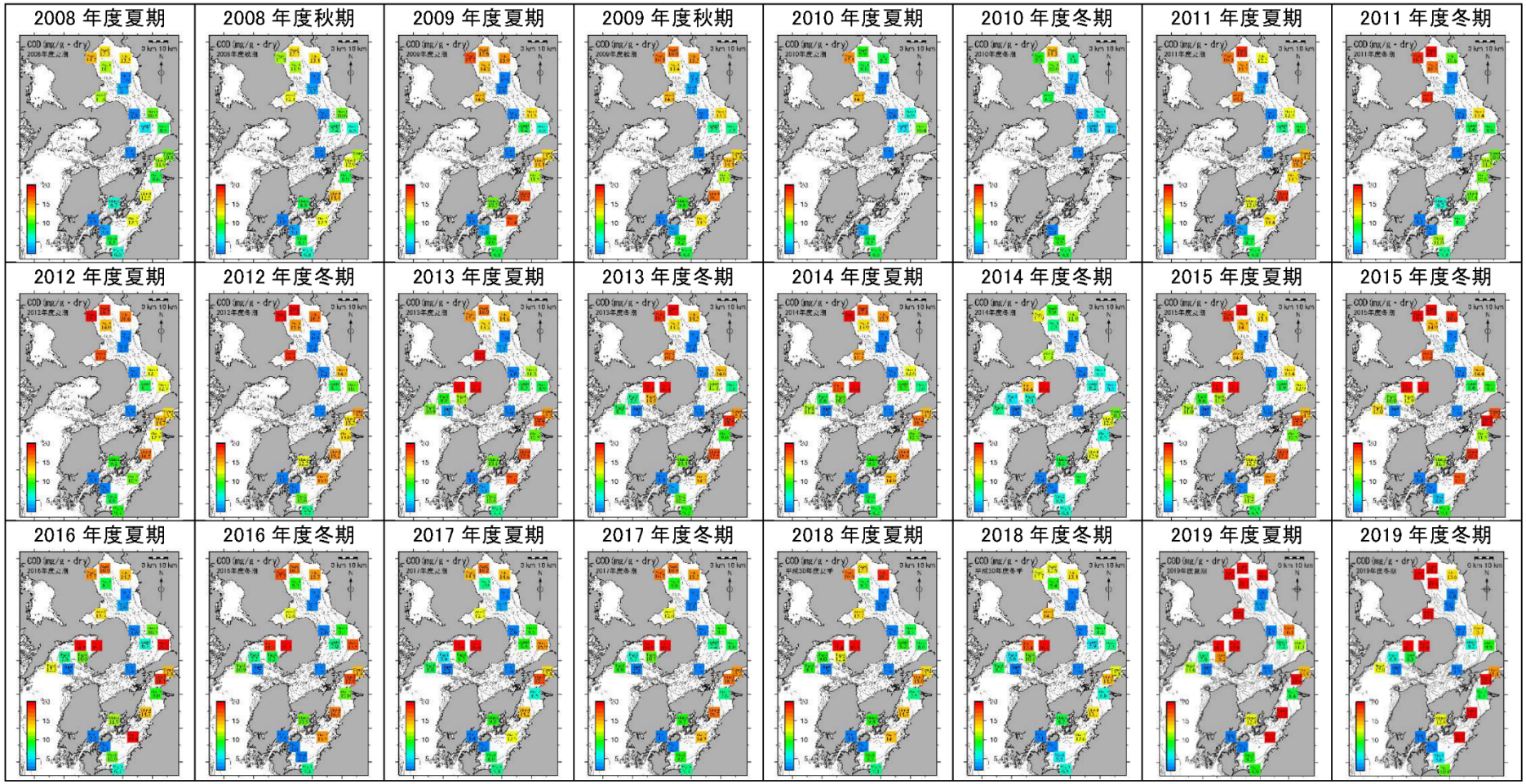
付図 3.5.1-4(2) 底質の粒度組成の水平分布(2010 年度～2024 年度)

出典:環境省「有明海・八代海等再生対策検討作業支援業務」



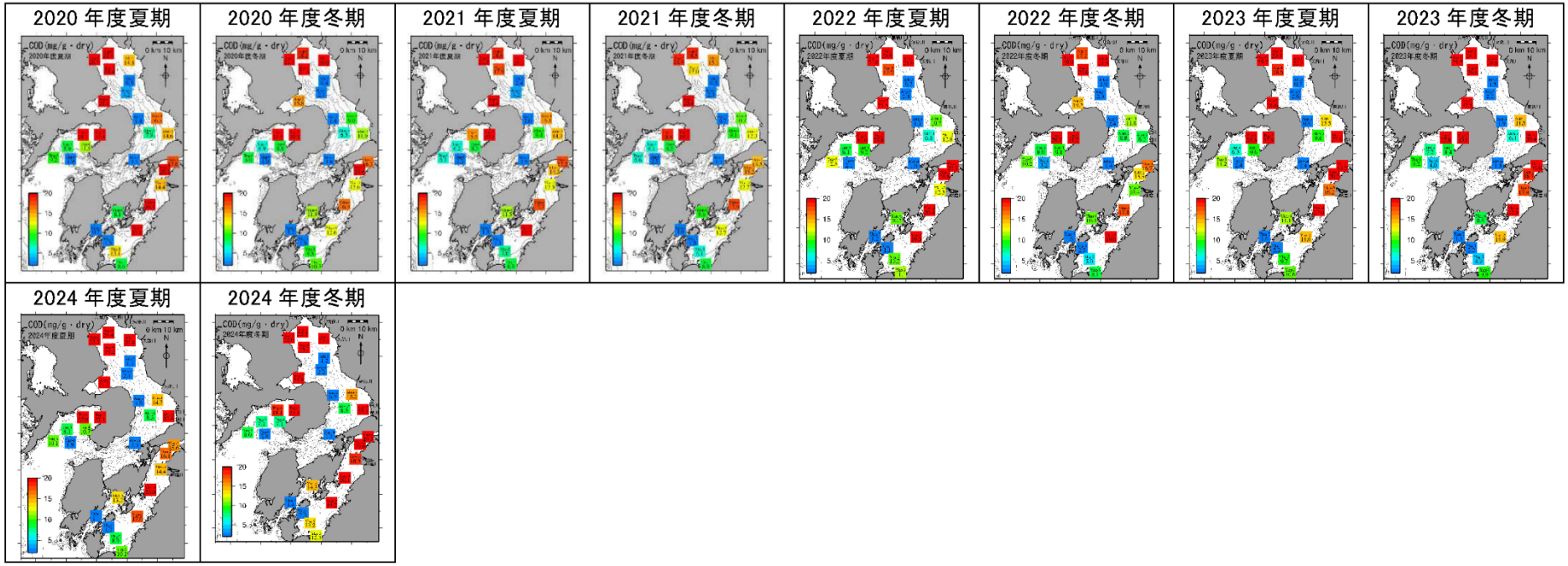
付図 3.5.1-7(1) 底質(COD)の水平分布(2000 年度～2024 年度)

出典:環境省「有明海・八代海等再生対策検討作業支援業務」



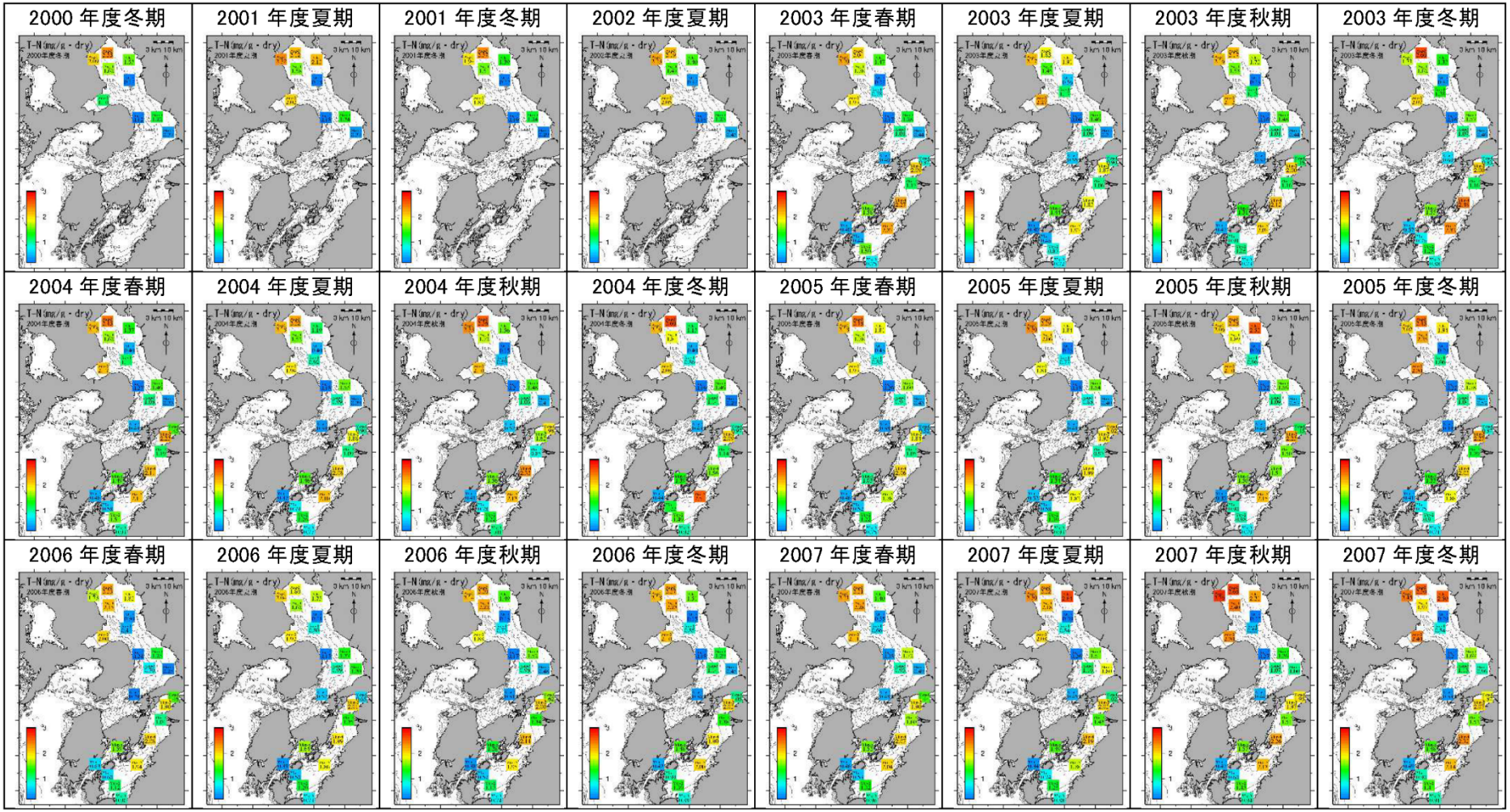
付図 3.5.1-5(2) 底質(COD)の水平分布(2000 年度～2024 年度)

出典:環境省「有明海・八代海等再生対策検討作業支援業務」



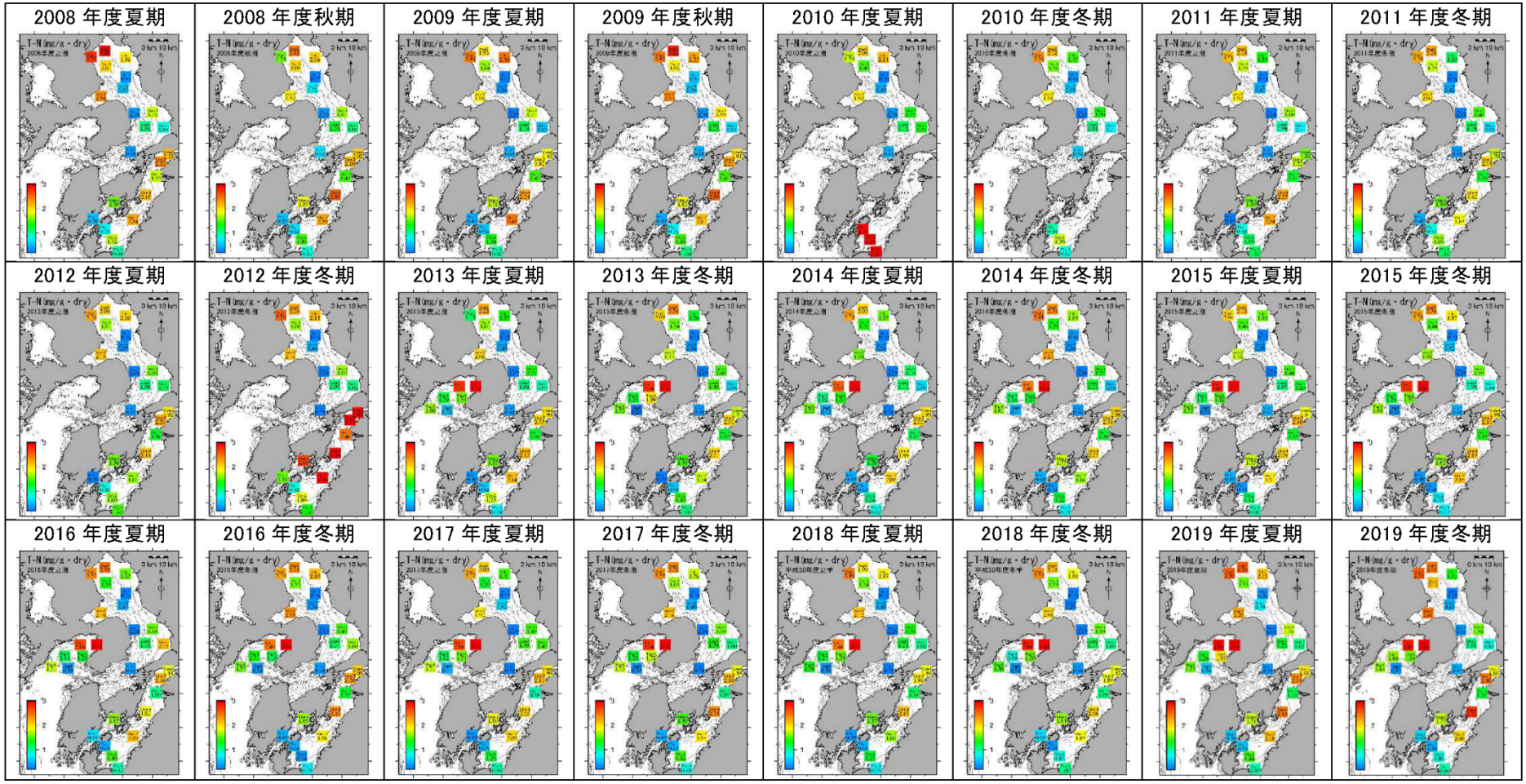
付図 3.5.1-5(3) 底質(COD)の水平分布(2000 年度～2024 年度)

出典:環境省「有明海・八代海等再生対策検討作業支援業務」



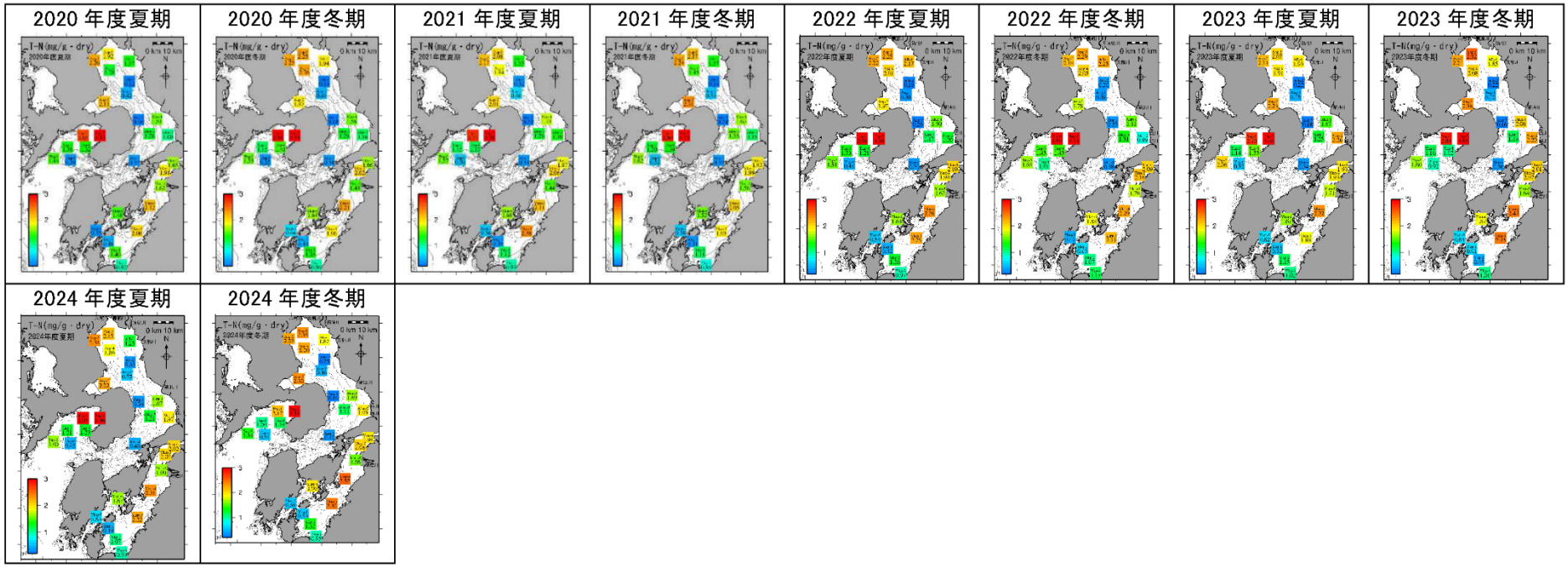
付図 3.5.1-8(1) 底質(T-N)の水平分布(2000 年度～2024 年度)

出典:環境省「有明海・八代海等再生対策検討作業支援業務」



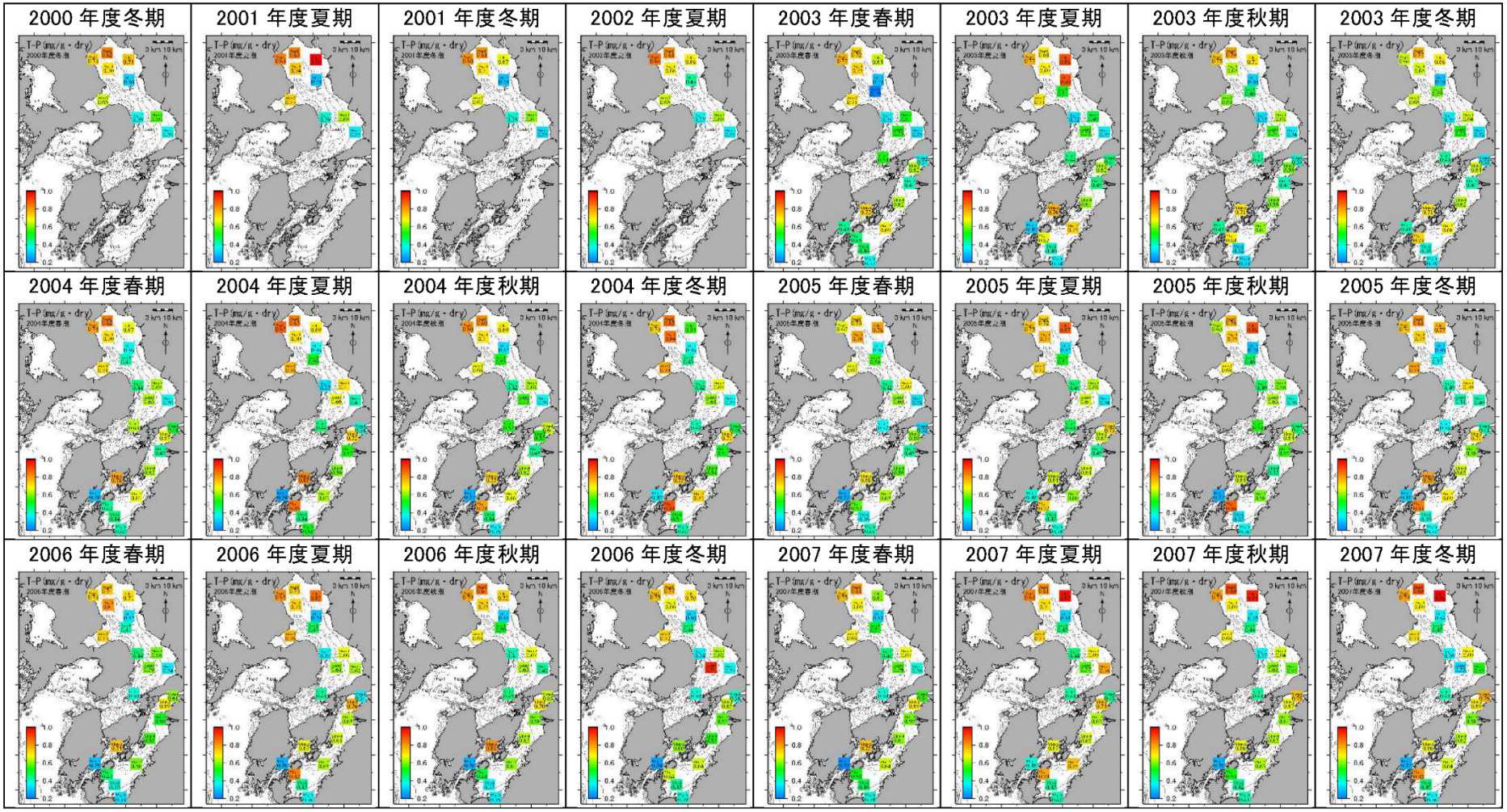
付図 3.5.1-6(2) 底質(T-N)の水平分布(2000 年度～2024 年度)

出典:環境省「有明海・八代海等再生対策検討作業支援業務」



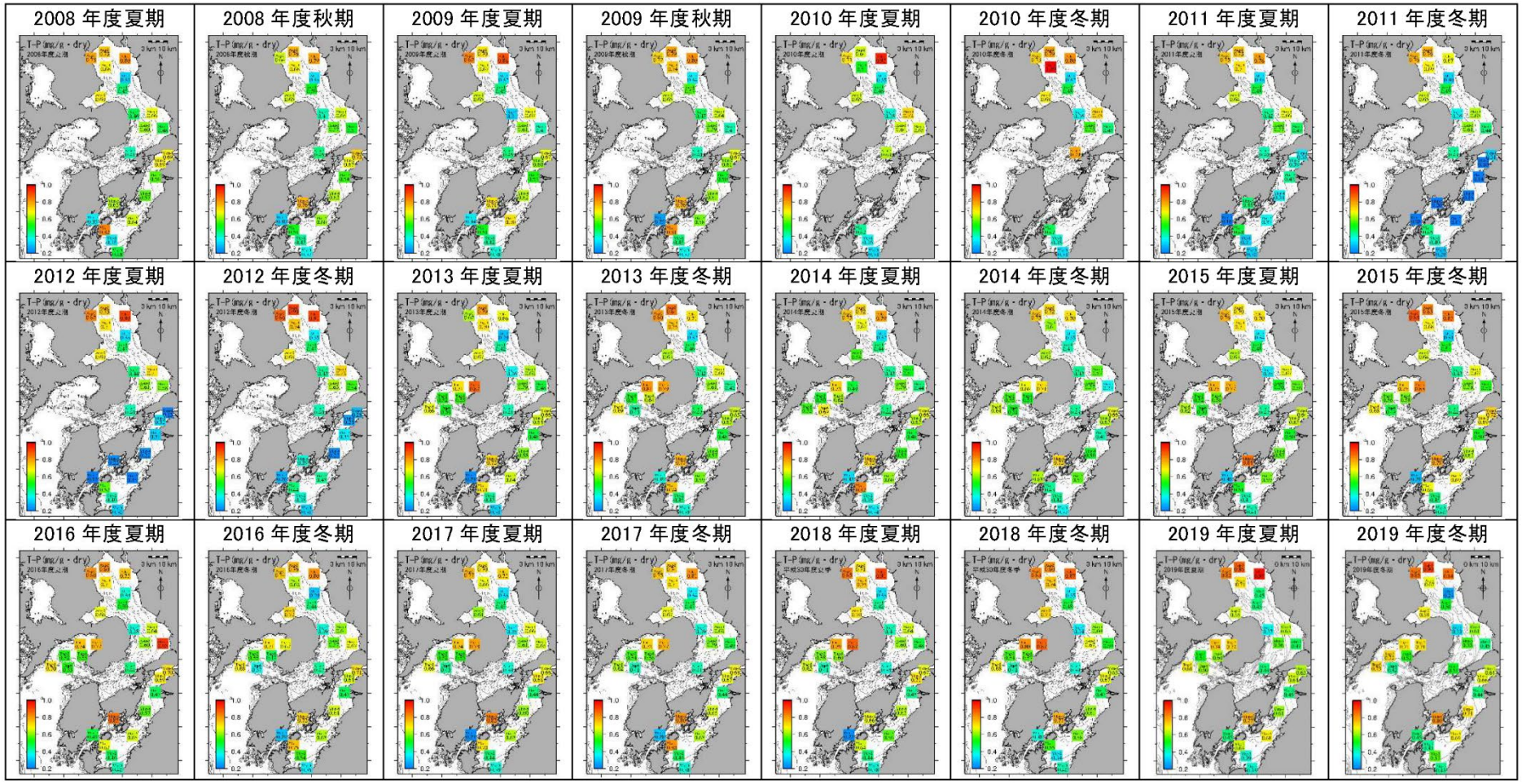
付図 3.5.1-6(3) 底質(T-N)の水平分布(2000 年度～2024 年度)

出典:環境省「有明海・八代海等再生対策検討作業支援業務」



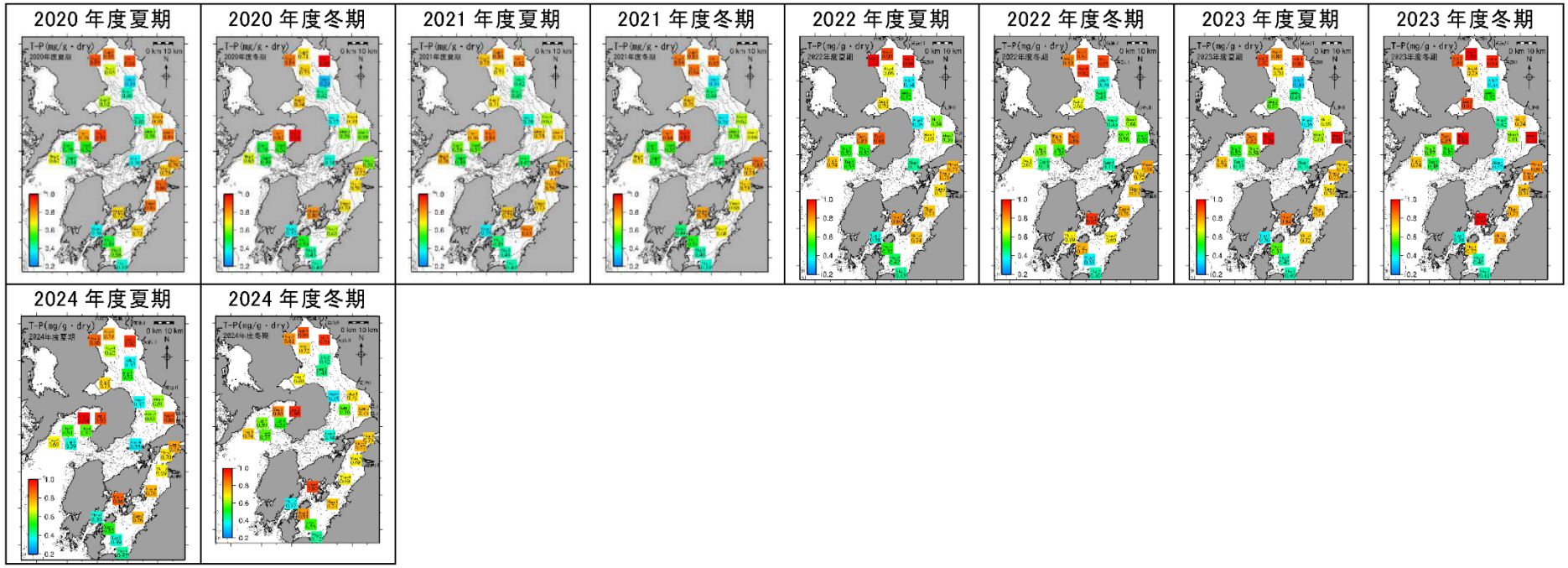
付図 3.5.1-9(1) 底質(T-P)の水平分布(2000 年度～2024 年度)

出典:環境省「有明海・八代海等再生対策検討作業支援業務」



付図 3.5.1-7(2) 底質(T-P)の水平分布(2000 年度～2024 年度)

出典:環境省「有明海・八代海等再生対策検討作業支援業務」



付図 3.5.1-7(3) 底質(T-P)の水平分布(2000 年度～2024 年度)

出典:環境省「有明海・八代海等再生対策検討作業支援業務」

(5) 大雨の影響

大雨による底質への影響が示唆されていることから、ここでは 2019 年 8 月及び 2023 年 7 月の大雨を例として、大雨による底質への影響について整理した。

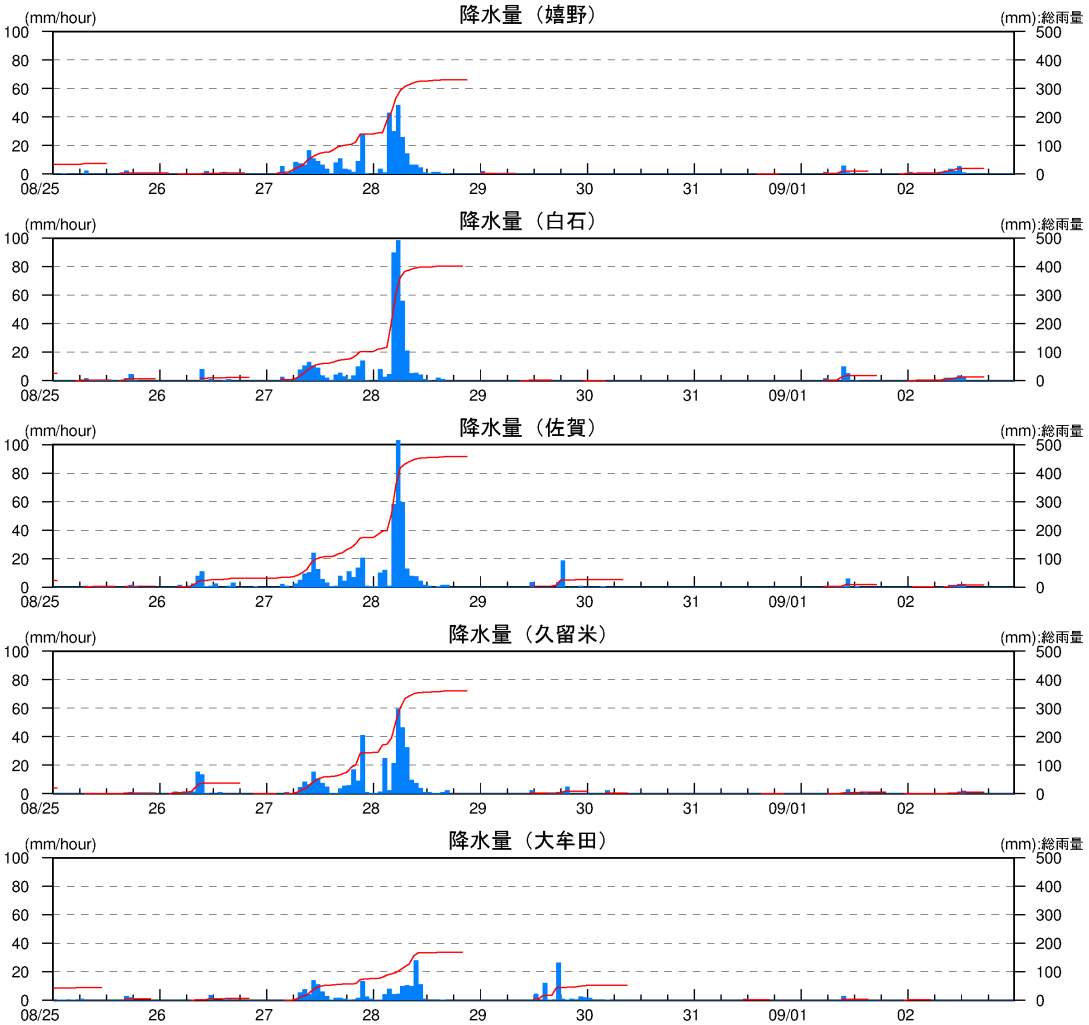
ア) 2019 年 8 月の前線による大雨の影響(筑後川)

2019 年 8 月 26 日から 29 日にかけて発生した前線による大雨の直後にあたる 8 月 29 日から 9 月 2 日において底質調査が実施されていることから、大雨と底質との関連性について整理した。

2019 年 8 月 25 日から 9 月 2 日までの気象庁の地域気象観測(アメダス)の降水量(観測地点:嬉野、白石、佐賀、久留米、大牟田)を付図 3.5.1-8 に、国土交通省の水文・水質調査における筑後川の流量(観測地点:瀬ノ下)を付図 3.5.1-9 に示す。これによると、佐賀及び白石の降水量が多く、2019 年 8 月 27 日から 28 日にかけて総雨量で 400mm を超え、8 月 28 日に時間雨量が 100mm を記録している。また、筑後川の瀬ノ下地点の日平均流量は 8 月 28 日に 3,210m^3/s を記録している。

2019 年度夏期の大雨直後には、湾奥部の測定地点(Afk-1、Asg-2、Asg-3、Asg-4 及び Ang-2)の COD が顕著に高い値を示した。一方、湾央部や湾口部の測定地点では大きな変動はみられなかった。COD が高い値を示している地点は、大雨直後の調査であること、水深が浅い地点であること、降水量は有明海の湾奥部に流入する六角川・嘉瀬川流域に集中していることから、COD の上昇は大雨の影響の可能性が考えられた。

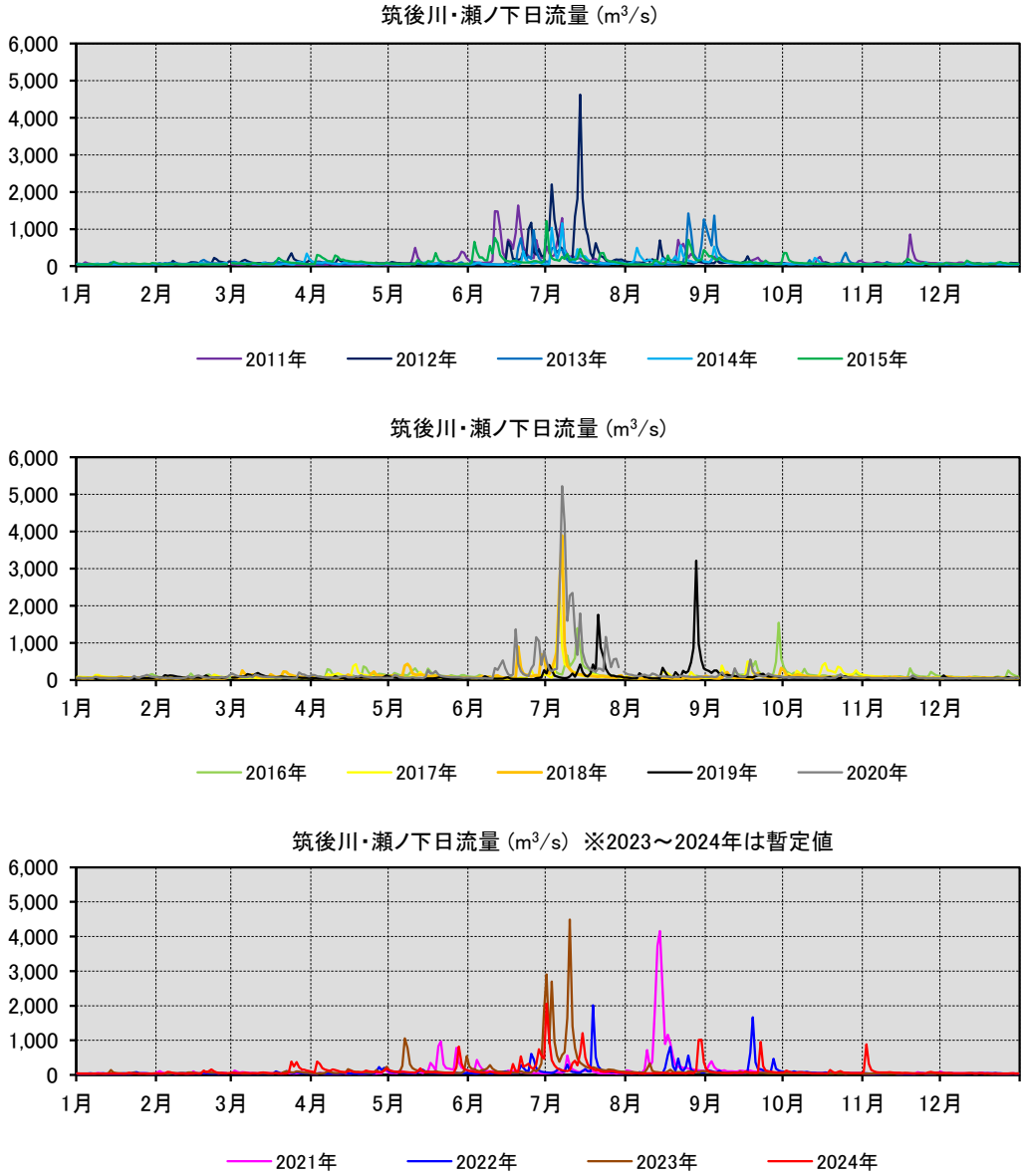
なお、その後 2024 年度までも引き続き COD が高い状況が継続しており、当該海域においては、2019 年度夏期の大雨による底質(COD)への影響との関連が示唆された。



注）降水量の青棒グラフは 1 時間ごとの降水量を示し(左縦軸)、赤折れ線グラフは一降雨ごとの累加雨量を示す(右縦軸)。一降雨は 0mm が 6 時間続くまでとした。

付図 3.5.1-10 降水量の経時変化

出典：気象庁「気象観測データ」をもとに環境省作成



付図 3.5.1-11 筑後川の瀬ノ下地点の日平均流量の比較（1 月～12 月）

出典：国土交通省「水文水質データベース」をもとに環境省作成

イ) 2023 年における大雨の影響(緑川)

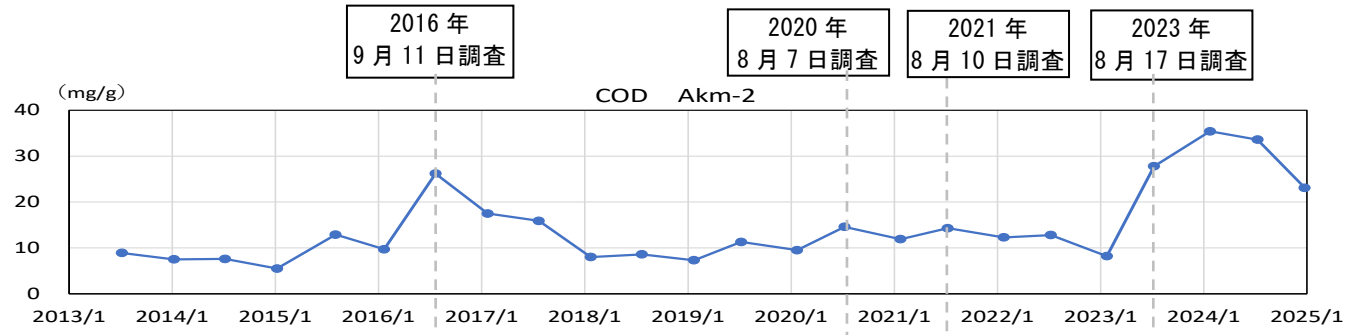
2023 年度夏期に Md φ[4]、含泥率(粘土・シルト含有率)が急上昇し、T-N、T-P、COD、TOC、強熱減量も急な増加をみせた有明海中央東部 A4 海域の Akm-2 地点に着目し、当該地点に流入する河川による出水影響等について検討を行った(付図 3.5.1-10)。

付図 3.5.1-12 Akm-2 と主要河川との位置関係

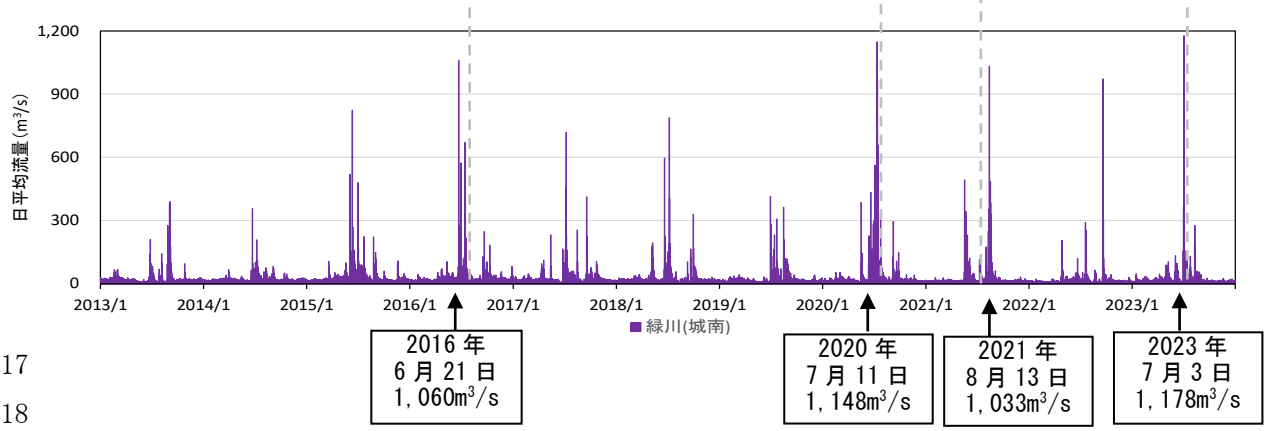
Akm-2 における底質(COD)の経年変化を付図 3.5.1-11 に、緑川の日平均流量の推移を付図 3.5.1-12 に示す。

Akm-2 の底質 COD が大きく増加したのは、2016 年 9 月調査時及び 2023 年 8 月調査時であり、その調査前において緑川では 1,000m^3/s を超える出水が発生しており、出水による底質 COD への影響の可能性が推察された。しかしながら、同じく 1,000m^3/s を超える出水があった 2020 年では、8 月の調査時には底質 COD はやや増加した程度であることから、出水による底質 COD への影響について、明確な関係性を得ることはできなかった。

4) 中央粒径をファイ(φ)スケールで表した単位。値が大きくなるほど粒径が細かくなり、値が小さくなるほど粒径は大きくなる。



付図 3.5.1-13　Akm-2 における底質（COD）の経年変化



注）2021 年については、8 月 10 日の調査実施後の 8 月 13 日に出水があったため、比較対象としなかった。

付図 3.5.1-14　緑川（城南）の日平均流量の推移

出典：国土交通省「水文水質データベース」をもとに環境省作成

一方で、出水時の水質状況によっても底質への影響は相違してくるものと想定されることから、九州地方整備局により実施されている洪水時の水質調査結果と比較した。2016 年と 2023 年の水質調査結果は付表 3.5.1-2 に示すとおりである。なお、2020 年 7 月の洪水時の水質調査結果のデータはなかった。

2016 年 6 月 21 日の洪水時の緑川の水質調査では、水質 COD は最大 290mg/L であり、COD 成分を多く含む濁水が流出したことが推察された。一方で 2023 年 7 月 3 日の水質 COD は最大 84mg/L であり、2016 年に比べて COD 成分の少ない濁りであったが、底質 COD は両年ともに大きく増加していることから、水質 COD と底質 COD の関係性について、一概に説明できない状況であった。

なお、2016 年 6 月 21 日の出水時の水質 COD に対して、その約 1 週間後の 6 月 29 日出水時には、水質 COD は大幅に低かったが、SS 濃度は最大 1,300mg/L と高い値を示していた。このことから、6 月 29 日の出水により、COD 成分は少ないが SS 濃度の高い濁水が流入し、Akm-2 の底質表面を覆った可能性が示唆された。その結果、2016 年の底質 COD が 2023 年と同様な濃度レベルとなった可能性も考えられる。

以上から、海域の底質の変動に影響を及ぼす一つの要素として、流入河川の出水が挙げられるが、その変動の傾向や程度は、出水（流量）規模のほか、出水によりもたらさ

れる濁り等を含む水質に影響を受けるものと考えられる。また、水質を規定するものとして、土砂流入の状況、流域からの負荷の発生形態や場所、先行降雨の状況、降雨の場所やパターン（強度や継続時間）等の要素が想定される。さらに海域側では、底質が通常状態に戻るまでの期間や潮汐・潮流等の関係など、多くの要素が関係している可能性が示唆される。

付表 3.5.1-2 緑川（城南）における洪水時の水質調査結果

＜2016 年＞

平成28年6月21日出水

項　目	単位	3:00	9:00	15:00
流量	m3/s	－	－	－
pH		6.9	7.3	7.4
DO	mg/L	8.8	8.8	9.3
T-P	mg/L	6.30	3.00	1.50
T-N	mg/L	8.20	3.00	2.00
無機三態窒素	mg/L	0.64	0.61	0.66
PO4-P	mg/L	3.60	1.80	1.20
COD	mg/L	290	88	23
SS	mg/L	8800	2500	1200
SiO2-Si	mg/L	430	430	140
粒度分布(レーザー法による)				
10%径	μm	4.177	4.403	0.360
50%径	μm	10.102	11.045	4.945
90%径	μm	26.229	34.932	12.289

平成28年6月29日出水

項　目	単位	14:00	20:00
流量	m3/s	－	－
pH		7.4	7.6
DO	mg/L	9.5	9.5
T-P	mg/L	0.87	0.45
T-N	mg/L	2.00	1.30
無機三態窒素	mg/L	0.57	0.61
PO4-P	mg/L	0.73	0.34
COD	mg/L	32	10
SS	mg/L	1300	530
SiO2-Si	mg/L	110	45
粒度分布(レーザー法による)			
10%径	μm	4.785	2.219
50%径	μm	11.423	7.396
90%径	μm	31.794	19.835

＜2023 年＞

令和5年7月3日出水

項　目	単位	13:55	14:20	16:20
流量	m3/s			
pH		7.0	7.0	7.0
DO	mg/L	9.1	8.5	8.7
T-P	mg/L	1.0	1.3	1.3
T-N	mg/L	1.7	2.4	2.6
無機三態窒素	mg/L	0.436	0.311	0.506
PO4-P	mg/L	0.06	0.08	0.10
COD	mg/L	74	84	78
SS	mg/L	1500	2000	2000
SiO2-Si	mg/L	61	67	63
粒度分布(レーザー法による)				
10%径	μm	6.20	6.21	4.82
50%径	μm	15.81	15.31	12.72
90%径	μm	62.81	55.60	46.52

出典：九州地方整備局河川部「水質調査結果」HP
https://www.qsr.mlit.go.jp/n-kawa/environment/suishitsu/data/q08.html

(6) 底質の変動傾向

有明海、八代海及び橘湾の底質の変動傾向を、Mann-kendall 検定により検定した。

ア) 有明海

有明海の 12 地点(付図 3.5.1-2)における 2000 年度～2024 年度の底質の変動傾向を付表 3.5.1-3 に示す。

底質項目別では、COD 及び強熱減量で増加傾向を示す地点が多くみられた。COD は、A1 海域、A3 海域、A4 海域、A6 海域、A7 海域(Akm-3)で増加傾向であり、(1)で述べたとおり、2019 年度夏期調査以降に A1 海域、A3 海域、A6 海域で COD が増加傾向にある状況とほぼ一致していた。強熱減量は A2 海域、A4 海域、A6 海域、A7 海域(Akm-3、Ang-3)で増加傾向であった。

T-N は増加傾向が 2 地点、減少傾向が 3 地点であった。T-P は増加傾向が 3 地点で、(1)で述べたとおり、A1 海域(Afk-1、Asg-2)、A4 海域(Akm-2)で 2019 年度以降に増加傾向を示した状況とほぼ一致していた。T-S と粘土シルト含有率はともに減少傾向の地点がみられ、A3 海域、A5 海域、A6 海域で減少傾向がみられた。

イ) 八代海

八代海の 10 地点(付図 3.5.1-2)における 2003 年度頃～2024 年度の底質の変動傾向を付表 3.5.1-4 に示す。

底質項目別では、T-N、T-P、COD で増加傾向を示す地点が多くみられ、T-S は減少傾向を示す地点がみられた。

T-N、T-P、COD はともに、Y1 海域(Ykm-2)、Y3 海域(Ykm-4)、Y4 海域(Ykg-3)、Y5 海域(Ykm-6)で増加傾向であり、(2)で述べたとおり、Y1 海域と Y3 海域で T-P が 2020 年度以降に高い値で推移していること、及び COD が 2012 年度頃から長期的に増加傾向をみせていることとほぼ一致していた。なお、T-N、T-P、COD、強熱減量がともに減少傾向を示していたのは、Y4 海域(Ykg-1)だけであった。

T-S は Y3 海域(Ykm-5)、Y4 海域(Ykg-2)、Y5 海域(Ykm-6)で減少傾向がみられ、粘土・シルト含有率は、A1 海域(Ykm-1)、Y5 海域(Ykm-6)で増加傾向、Y5 海域(Ykm-7)のみで減少傾向がみられた。

ウ) 橘湾

橘湾の 6 地点(付図 3.5.1-2)における 2013 年度頃～2024 年度の底質の変動傾向を付表 3.5.1-5 に示す。

底質項目別では、T-P で増加傾向を示す地点が多く、また、T-S と粘土・シルト含有率とも減少傾向を示す地点が多かった。

海域別では、(3)で述べたとおり、湾奥部(Tng-1、Tng-2)の T-N、T-P、COD は高い値で推移しており、Tng-2 ではすべての項目で増加傾向、Tng-1 では T-P が増加傾向を示していた。

付表 3.5.1-3 有明海における底質の変動傾向

海域	地点	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-1	＋	－	＋	＋	－	－
	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）	Akm-3	＋	＋	＋	＋	－	＋
	Akm-4	－	－	－	＋	＋	－
	Ang-3	＋	－	＋	＋	－	－

注）1. Mann-kendall 検定の結果、増加傾向（tau>0）の場合は”＋”、減少傾向（tau<0）の場合は″-″とした。青色は統計学的に有意であった場合（p<0.05）。
2. 2000 年度頃から 2024 年度までの底質データを対象とし、各年度の平均値により結果を求めた。なお、地点により測定開始年度や欠損の数は異なる。

出典：1.環境省「有明海・八代海等再生対策検討作業支援業務」
2.環境省「有明海・八代海再生フォローアップ調査」

付表 3.5.1-4 八代海における底質の変動傾向

海域	地点	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）1. Mann-kendall 検定の結果、増加傾向（tau>0）の場合は”＋”、減少傾向（tau<0）の場合は″-″とした。青色は統計学的に有意であった場合（p<0.05）。
2. 2003 年度頃から 2024 年度までの底質データを対象とし、各年度の平均値により結果を求めた。なお、地点により測定開始年度や欠損の数は異なる。

出典：1.環境省「有明海・八代海等再生対策検討作業支援業務」
2.環境省「有明海・八代海再生フォローアップ調査」

付表 3.5.1-5 橘湾における底質の変動傾向

海域	地点	T-N	T-P	COD	強熱減量	T-S	粘土・シルト含有率
橘湾	Tng-1	＋	＋	＋	＋	－	－
	Tng-2	＋	＋	＋	＋	－	－
	Tng-3	－	＋	－	－	－	－
	Tng-4	－	－	－	－	－	－
	Tng-5	＋	＋	－	－	－	－
	Tng-6	＋	－	＋	＋	－	－

注）1. Mann-kendall 検定の結果、増加傾向（tau>0）の場合は”＋”、減少傾向（tau<0）の場合は″-″とした。青色は統計学的に有意であった場合（p<0.05）。
2. 2013 年度から 2024 年度までの底質データを対象とし、各年度の平均値により結果を求めた。なお、地点により測定開始年度や欠損の数は異なる。

出典：1.環境省「有明海・八代海等再生対策検討作業支援業務」
2.環境省「有明海・八代海再生フォローアップ調査」

3.5.2 底質中の重金属・有害化学物質等

(1) 底質中の重金属・有害化学物質

有明海及び八代海の底質中の重金属（総水銀、カドミウム、鉛、亜鉛、砒素）については、平成 28 年度委員会報告以降においても測定値に大きな変動は見られず、東京湾、大阪湾、三河湾及び伊勢湾と概ね同程度の範囲内であった[5)6)7)]。

(2) ノリ養殖における酸処理や施肥による水質・底質への影響

3.1.汚濁負荷で示したとおり、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、T-N で 0.7%以下、T-P で 4.4%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。

以上のことから、酸処理剤や施肥剤の使用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繋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有機酸量や栄養塩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（平成 28 年度委員会報告）。

(3) 酸処理剤による水質・底質への影響[8)]

ノリ養殖では、アオノリなどの付着藻類等の駆除や、アカグサレ病やスミノリ病などの病気予防のため、有機酸による酸処理（小船等に酸処理液を入れてノリ網を浸漬）が行われている。アオノリ駆除に適正な浸透液 pH 及び浸透時間を守った使用が行われていれば、特に酸処理剤による生態系や生物への影響はないと報告されている（水産庁、1995）。水産庁のノリ養殖技術評価検討委員会においても、有機酸成分は微生物により 2～10 日で分解されることや、環境への負荷は陸域からの負荷やノリによる栄養塩の吸収などを考えれば大きなものとは考えられないと報告されている（水産庁、2003）。

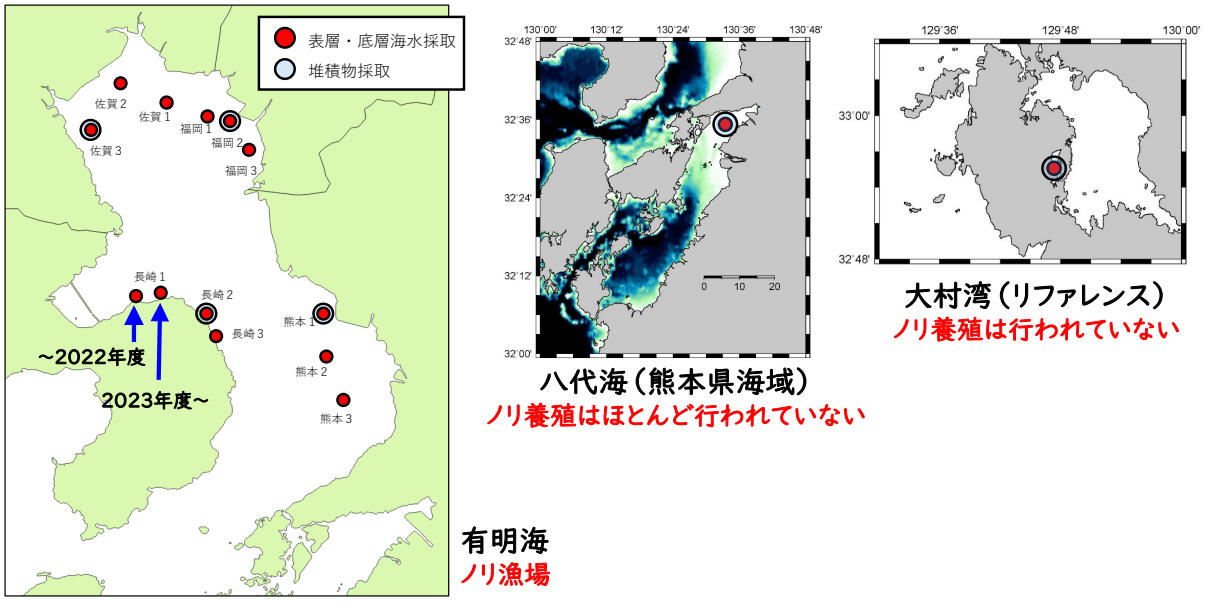
一部の海域で、有機酸の挙動を把握するための調査が行われていたが（福岡県有明海研究所（1992～1995）、佐賀県有明水産振興センター（2015））、有明海広域での調査は行われてこなかったことから、2014 年度（水産庁事業では 2015 年度）より有明海の広域でモニタリングが実施された。

（モニタリング調査方法）

---

5) 熊本県,「公共用水域等測定結果 報告書」（令和 5 年度ほか直近 10 年分）
6) 海上保安庁海洋情報部,「海洋汚染調査報告 第 46 号（平成 30 年調査結果）」, 2020 年
7) 環境省,「閉鎖性海域の底質モニタリング結果」, 2018 年
8) 環境省（2025）「有明海・八代海等総合調査評価委員会第 16 回水産資源再生方策検討作業小委員会資料」

・調査位置：有明海で各県 3 点（ノリ漁場）、八代海 1 点、大村湾 1 点(付図 3.5.2-1)
・調査対象：採水（表層、底層）、底泥採取
・調査時期：2014 年度～ 酸処理実施前（10 月）と実施期間中（1 月）
ただし、2015～2017 年度は夏季（8 月）も実施
・分　　析：酸処理剤の主成分であるクエン酸、リンゴ酸、乳酸を、液体クロマトグラフタンデム質量分析装置（LC-MS/MS）により分析（定量下限値 1.0mg/L）



付図 3.5.2-1 調査位置

出典：環境省（2025）「有明海・八代海等総合調査評価委員会第 16 回水産資源再生方策検討作業小委員会資料」

（モニタリング調査結果）

海水表層のリンゴ酸の分析結果を付表 3.5.2-1 に示す。

採水試料からは、リンゴ酸が定量下限値を超える値を記録することがあったが、多くは夏季（8 月）か酸処理実施前（10 月）だった。有機酸は、海水中の微生物により 2～10 日で分解されると報告されていることから（水産庁、1995）、酸処理剤の残留物が検出されたとは考えにくい。

底泥間隙水からは、乳酸が定量下限値を超える値を記録することがあり、酸処理実施中（1 月）にも記録されているが、その由来は特定できていない。

採水試料からのリンゴ酸の検出や、底泥間隙水からのリンゴ酸と乳酸の検出は、ノリ養殖がほとんど行われていない八代海の熊本県海域や、ノリ養殖が行われていない大村湾でもみられることがあり、有明海で特段に高い頻度や濃度で記録されることはなかった。

以上から、酸処理剤による生態系や生物への影響は検出されなかった。

付表 3.5.2-1 海水表層のリンゴ酸の分析結果

リンゴ酸（表層）		福岡県			佐賀県			長崎県			熊本県			八代海	大村湾
		福岡1	福岡2	福岡3	佐賀1	佐賀2	佐賀3	長崎1	長崎2	長崎3	熊本1	熊本2	熊本3		
2015年度	8-9月*	nd	nd	2.2	nd	nd	nd	1.1	nd	1.4	nd	nd	nd	nd	nd
	10月	nd	nd	nd	nd	1.6	1.7	nd	nd	nd	nd	2.1	nd	nd	nd
	1月	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
2016年度	8月*	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	10月	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	1月	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
2017年度	8月*	6.9	nd	1.9	nd	3.8	5.9	2.8	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	10月	nd	nd	nd	nd	nd	3.0	1.8	nd	nd	nd	1.9	nd	nd	1.4
	1月	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	3.5	nd	nd	nd	nd	nd	nd
2018年度	10-11月	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	1月	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
2019年度	11月	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	1月	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
2020年度	10月	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	1月（熊本は3月）	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
2021年度	10-11月	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	1月	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
2022年度	10-11月	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	1月	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
2023年度	11月	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	1-2月	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd

*2015年度～2017年度は夏季にも実施　　nd:定量下限値（1 mg/L）未満

出典：環境省（2025）「有明海・八代海等総合調査評価委員会第 16 回水産資源再生方策検討作業小委員会資料」

3.5.3 まとめ

（有明海）

有明海の底質の粒度組成をみると、主に湾奥部、諫早湾、中央東部において粘土・シルト分が占める割合が高く、湾央部や湾口部では粒径の大きい底質が占めており、年ごとの変動はあるものの、大きな変動傾向はみられていない。

底質の COD、T-N、T-P については、年ごとに変動はみられるものの、概ね湾奥部で高く、湾央部や湾口部で低い。

底質に大きな変動がみられた時期として、2019 年度夏期が挙げられ、湾奥部 A1 海域（Afk-1、Asg-2、Asg-3）、湾奥西部 A3 海域（Asg-4）、諫早湾 A6 海域（Ang-2）で COD が大きく増加し、以降、調査時期ごとに増減はあるものの、増加傾向は継続していた。なお、T-N、T-P も同時に高くなった地点もみられ、その後は概ね横ばい傾向で推移している。

2000 年度～2024 年度の変動傾向としては、上記で述べた 2019 年度・2023 年度に COD、T-N、T-P が増加した A1 海域、A3 海域、A4 海域、A6 海域では、COD や T-P が増加傾向にある。強熱減量は A2 海域、A4 海域、A6 海域、A7 海域（Akm-3、Ang-3）で増加傾向であった。T-N は増加傾向が 2 地点、減少傾向が 3 地点であった。T-S と粘土シルト含有率はともに A3 海域、A5 海域、A6 海域で減少傾向がみられた。

このような長期変動については、各海域で状況は異なるものの、大雨による出水の影響とその影響が継続していることが示唆されており、これらの変動を的確に把握するためには、底質調査に加えて、出水状況や海域環境の変化など、複数の要素を踏まえた統合的な調査・解析が重要である。

（八代海）

八代海の底質の粒度組成については、主に湾奥部や湾央部で粘土・シルト分が占める割合が高く、湾口部では粒径の大きい底質が占めており、年ごとの変動はみられるものの、大きな変動傾向はみられていない。

底質の COD、T-N、T-P については、年ごとに変動はみられるものの、概ね湾奥部や湾央部で高く、湾口部で低い。

八代海の球磨川河口部 Y2 海域(Ykm-3)では、2020 年度夏期以降、粒度組成の粘土・シルト分の割合、COD、T-P が継続して高い値で推移しており、2020 年 7 月の球磨川の大出水による影響と考えられる。また、Y1、Y3 海域の T-P、COD も増加傾向にあり、やや高い値で推移している。

2003 年度～2024 年度の変動傾向としては、T-N、T-P、COD で増加傾向を示す地点が多くみられた。特に Y1 海域（Ykm-2）、Y3 海域（Ykm-4）、Y4 海域（Ykg-3）、Y5 海域（Ykm-6）で増加傾向であり、Y1 海域と Y3 海域では T-P が 2020 年度以降に高い値で推移していた。なお、T-N、T-P、COD、強熱減量がともに減少傾向を示していたのは、Y4 海域（Ykg-1）だけであった。T-S は Y3 海域（Ykm-5）、Y4 海域（Ykg-2）、Y5 海域

(Ykm-6)で減少傾向がみられ、粘土・シルト含有率は、A1 海域(Ykm-1)、Y5 海域(Ykm-6)で増加傾向、Y5 海域(Ykm-7)のみで減少傾向がみられた。

このような長期変動については、各海域で状況は異なるものの、大雨による出水の影響とその影響が継続していることが示唆されており、これらの変動を的確に把握するためには、底質調査に加えて、出水状況や海域環境の変化など、複数の要素を踏まえた統合的な調査・解析が重要である。

(橘湾)

橘湾の底質の粒度組成については、湾奥部から湾西部の沿岸部で粘土・シルト分が占める割合が高く、湾東部では粒径の大きい底質が占めており、大きな変動傾向はみられていない。

底質の COD、T-N、T-P については、概ね湾奥部で高く、湾西部や湾東部で低い。

2013 年度～2024 年度の変動傾向としては、T-P で増加傾向を示す地点が多く、また、T-S と粘土・シルト含有率とも減少傾向を示す地点が多かった。海域別では、湾奥部(Tng-1、Tng-2)の T-N、T-P、COD は高い値で推移しており、Tng-2 ではすべての項目で増加傾向、Tng-1 では T-P が増加傾向を示していた。

(ノリ養殖における酸処理や施肥による水質・底質への影響)

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、T-N で 0.7%以下、T-P で 4.4%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ことから、酸処理や施肥が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。

また、ノリ養殖では、病気予防等の目的で有機酸による酸処理が行われているが、適正な pH や浸漬時間を守れば生態系や生物への影響はないとされている。2014 年度以降の有明海・八代海・大村湾におけるモニタリングの結果、酸処理剤による底質や水質への影響は検出されなかった。

3.6 貧酸素水塊

3.6.1 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、地点は付図 3.6.1-1、海底上 1m 高さ）のうち、底層溶存酸素量のデータが存在する地点を対象として結果を整理した。

底層溶存酸素量の年間最低値について、データのある 1972 年度以降、8 地点のうち、佐賀県の 4 地点（湾奥奥部、湾奥西部、湾央部）で減少する傾向がみられた。その他の 4 地点（湾奥奥部の一部、湾奥東部、諫早湾及び湾口部）では変化はみられなかった（付表 3.6.1-1）。なお、各地点における底層溶存酸素量の経年変化は付図 3.6.1-2 に示すとおりである。

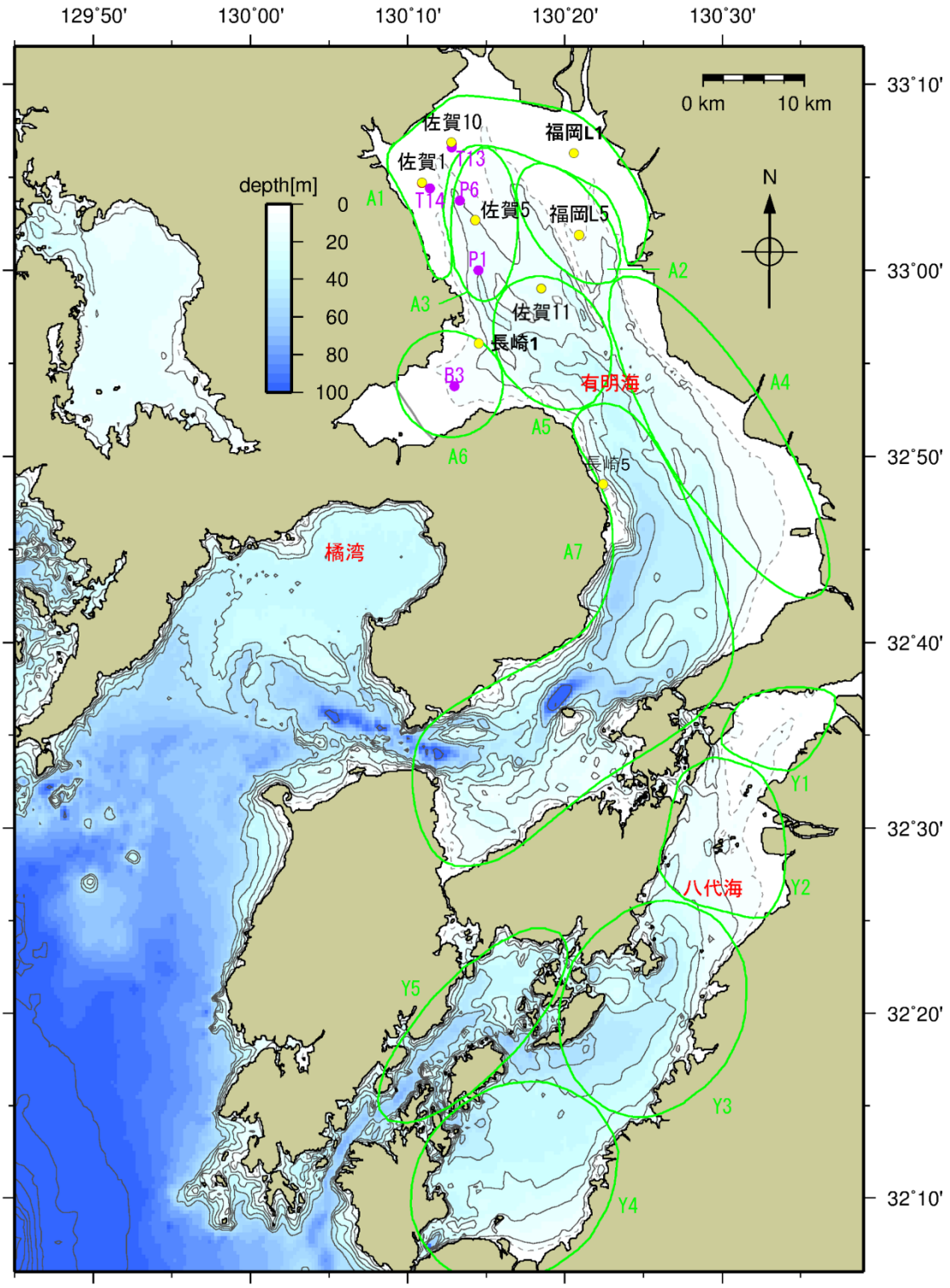
付表 3.6.1-1 有明海における底層溶存酸素（最低値）の変動傾向（浅海定線調査結果）

海域	地点	底層溶存酸素
A1海域 （有明海湾奥奥部）	佐賀1	－
	佐賀10	－
	福岡L1	－
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）	長崎1	＋
A7海域 （有明海湾口部）	長崎5	－

注）1. Mann-kendall 検定の結果、増加傾向（tau>0）の場合は”＋”、減少傾向（tau<0）の場合は″-″とした。着色は統計学的に有意であった場合（p<0.05）。データ数が 3 以下となり、検定を実施できなかった項目は斜線とした。

2. 1974 年度から 2023 年度までの浅海定線調査データを対象とし、各年度の平均値により結果を求めた。なお、地点により測定開始年度や欠損の数は異なる。

出典：福岡県、 佐賀県、 長崎県「浅海定線調査結果」をもとに環境省作成

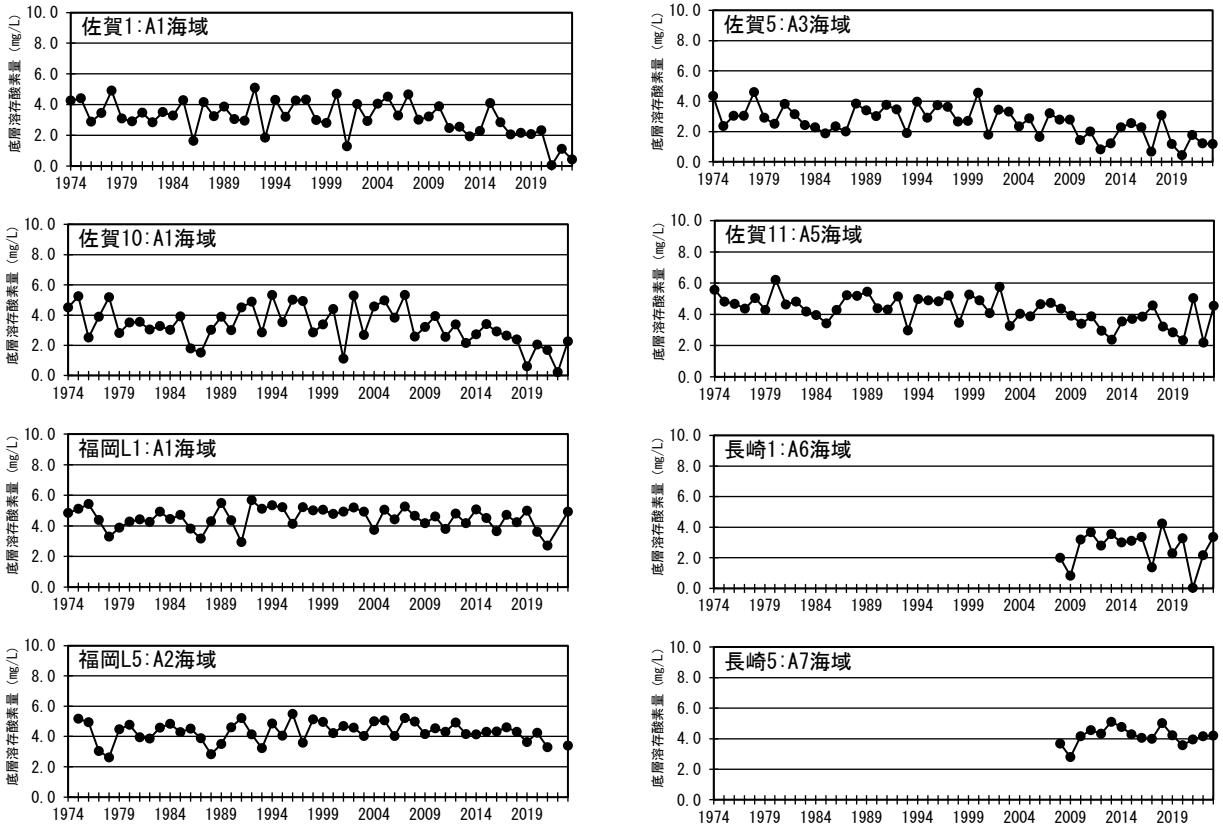


注)1. 福岡 L1、佐賀 1、佐賀 10、福岡 L7、福岡 L5、佐賀 5、佐賀 4、長崎 1 及び長崎 5 は福岡県、佐賀県、長崎県「浅海定線調査」の地点、B3 は農林水産省九州農政局「諫早湾干拓事業環境モニタリング調査」及び「有明海貧酸素水塊広域連続観測[諫早湾]」の地点、T13、T14、P1 及び P6 は国立研究開発法人水産研究・教育機構水産技術研究所「有明海水質連続観測調査」の地点を示す。

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…有明海湾央部	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…八代海湾央部	Y4海域…八代海湾口東部	Y5海域…八代海湾口西部

付図 3.6.1-1 底層溶存酸素量の調査地点



付図 3.6.1-2 底層溶存酸素量の経年変化[有明海](年間最低値)

出典:福岡県、佐賀県、長崎県「浅海定線調査結果」をもとに環境省作成

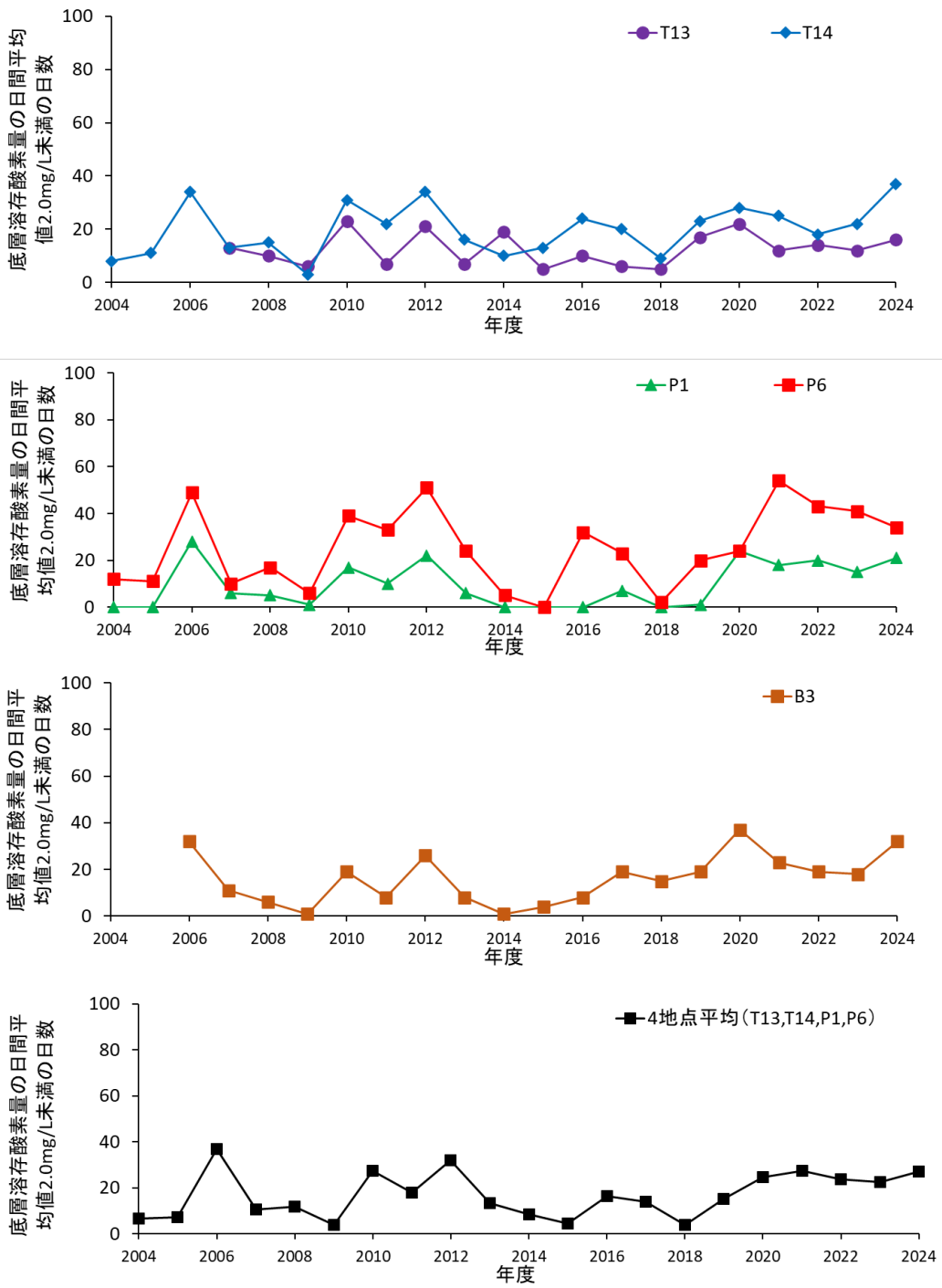
2004 年から有明海湾奥部で実施されている「有明海水質連続観測調査」及び 2006 年から諫早湾で実施されている「有明海貧酸素水塊広域連続観測」（地点は付図 3.6.1-1、海底上 0.2m 高さ）の結果を基に、底層溶存酸素量について、環境基準値（付表 3.6.1-1）を参考に、日平均値が 2.0mg/L 未満、3.0mg/L 未満、4.0mg/L 未満の日数を整理した（付図 3.6.1-3）。

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 21 年間の平均で 16 日（最少 4 日～最多 37 日）、3.0mg/L 未満は 34 日（16 日～55 日）、4.0mg/L 未満は 55 日（34 日～73 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。

付表 3.6.1-1　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・再生する水域又は無生物域を解消する水域	2.0mg/L以上

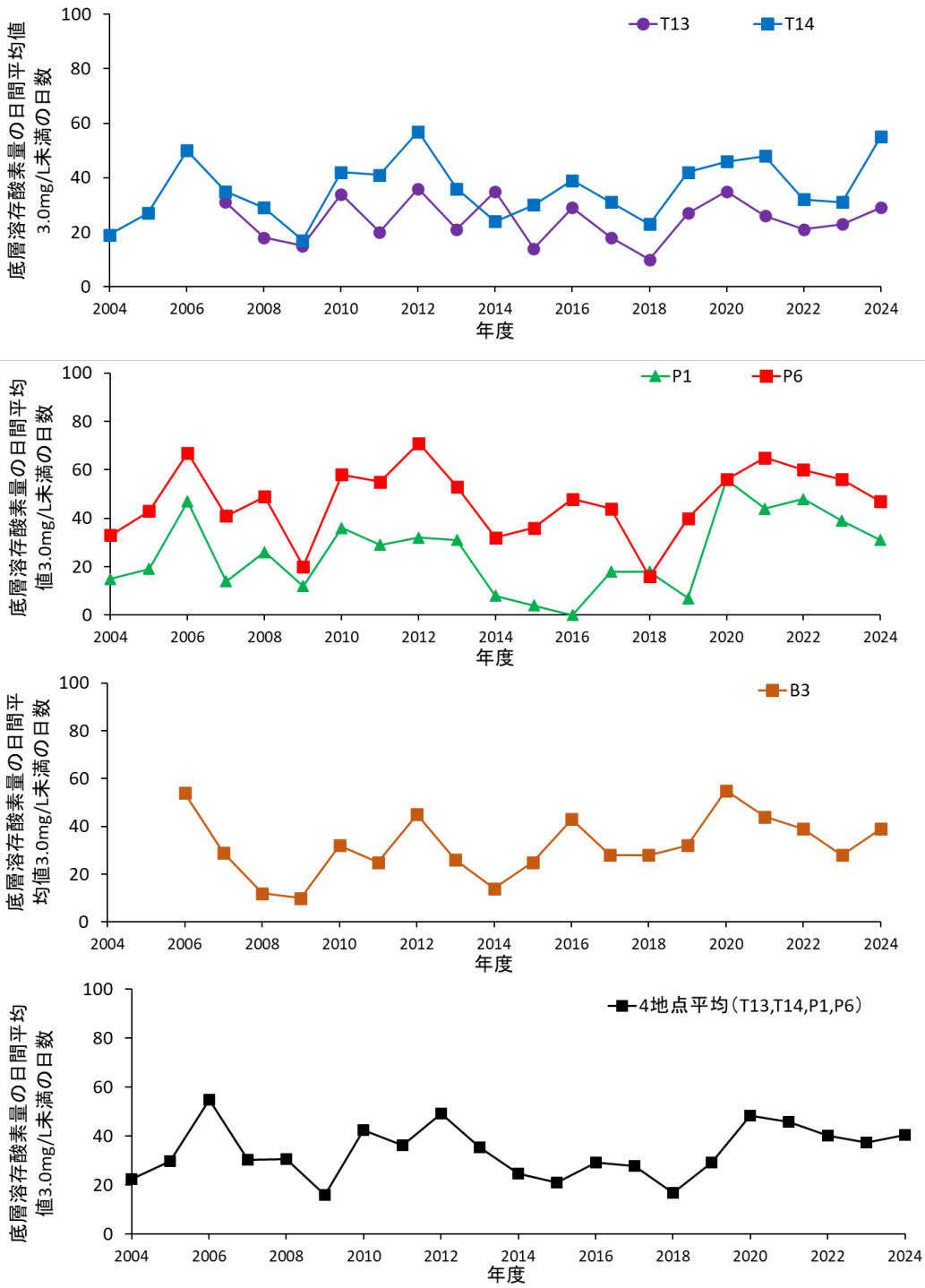
出典：水質汚濁に係る環境基準（昭和 46 年環境庁告示第 59 号）



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。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 地点平均の図中、2004 年～2006 年は 3 地点（T14,P1,P6）の平均である。

付図 3.6.1-3（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）

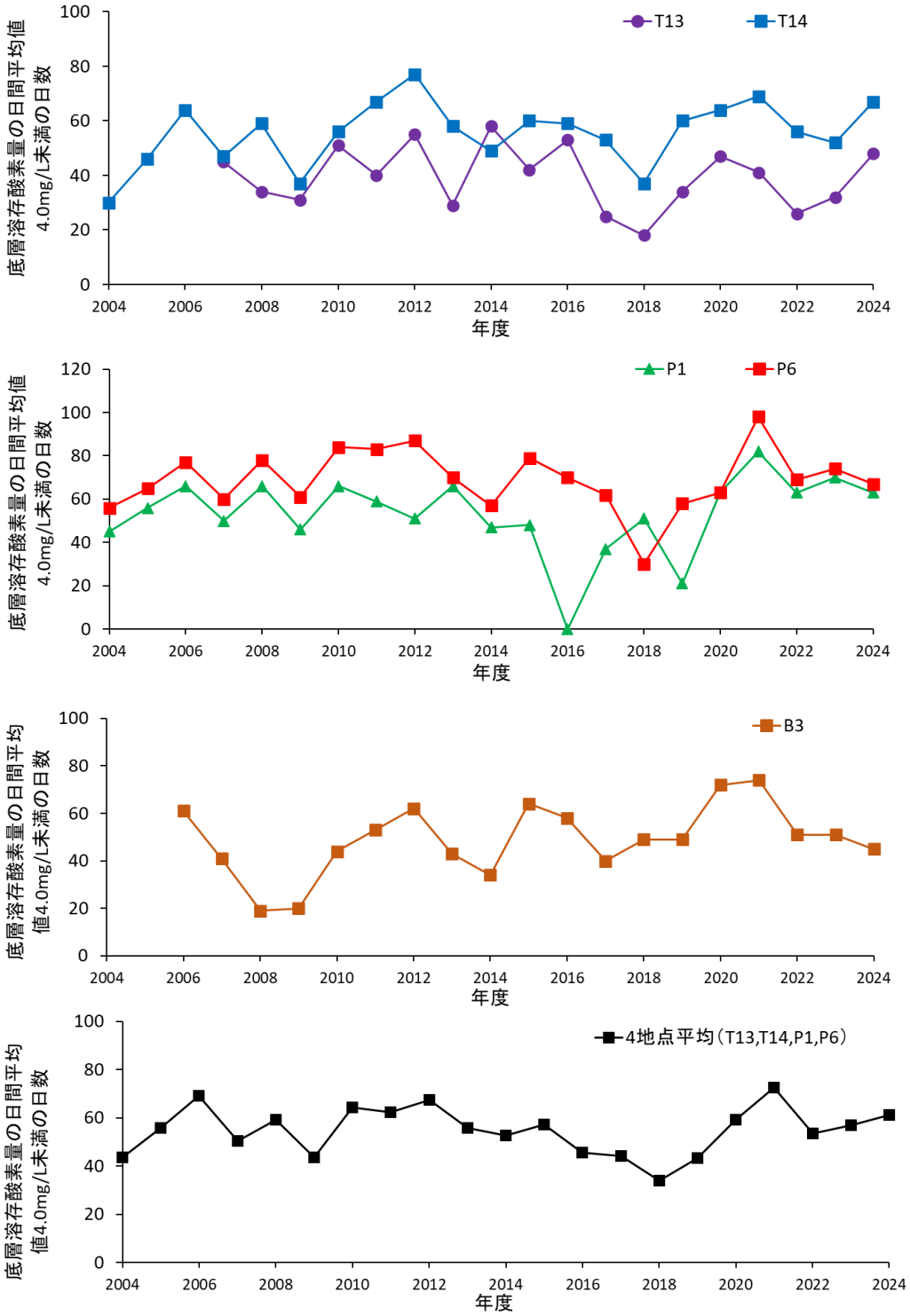
出典：国立研究開発法人水産研究・教育機構西海区水産研究所「有明海水質連続観測調査結果」及び農林水産省九州農政局「有明海貧酸素水塊広域連続観測結果[諫早湾]」をもとに環境省作成



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 未満となった日数を記載。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 地点平均の図中、2004 年～2006 年は 3 地点（T14,P1,P6）の平均である。

付図 3.6.1-3（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）

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]」をもとに環境省作成



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。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 地点平均の図中、2004 年～2006 年は 3 地点（T14,P1,P6）の平均である。

付図 3.6.1-3（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]」をもとに環境省作成

3.6.2 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、夏期に有明海湾奥部と諫早湾の 2 ヶ所で別々に発生する(平成 28 年度委員会報告 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、貧酸素水塊は主として出水による淡水供給によってもたらされる密度躍層よりも下層に形成され、有明海湾奥部では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)]。さらに、有明海湾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)]。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、台風等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(平成 28 年度委員会報告)。

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湾奥部と諫早湾の 2 ヶ所で貧酸素水塊が別々に発生している。九州北部地方で豪雨が記録された 2021 年には、大規模な貧酸素水塊が発生した。8 月 2 日と 31 日における底層溶存酸素濃度の分布を付図 3.6.2-1 に示す。大規模出水により貧酸素水塊の分布面積が増加したことが判明した。

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 [2)]。「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。

また、平成 28 年度委員会報告において、有明海湾奥部における貧酸素水塊発生の模式図(付図 3.6.2-2 の上段)が示された。有明海湾奥部では、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。密度成層が発達すると、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

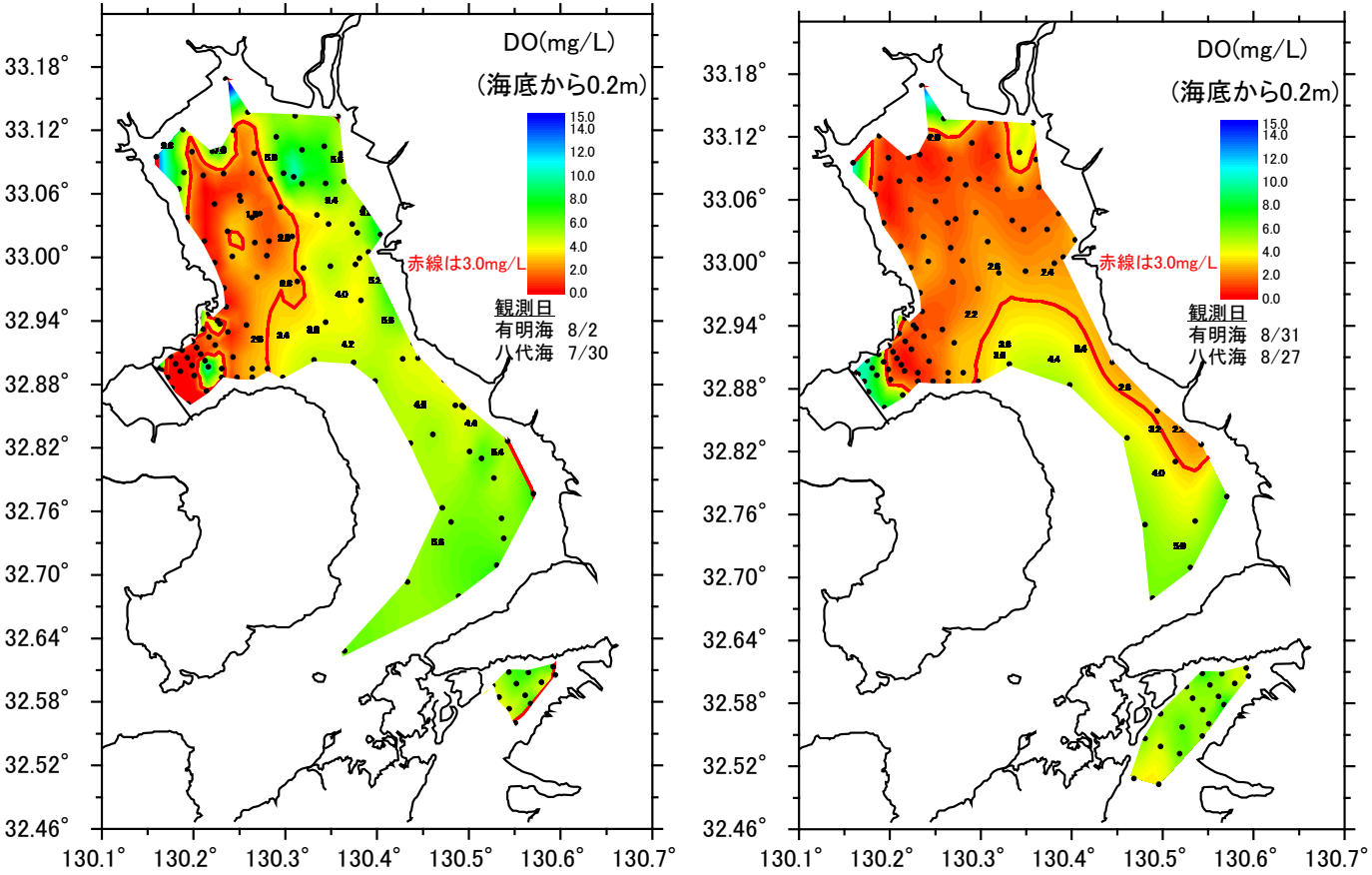
1)速水祐一(2007):有明海奥部の貧酸素水塊, 海洋と生物, 第 173 号, pp.577-583
2)Lin HAO,Yuya SATO,Shinichiro YANO,Bing XIONG,Baixin CHI(2021):Effects of Large-Scale Effluent of the Chikugo River due to 2020 Kyushu Floods on the Development of Hypoxia in the Ariake Sea, 土木工学会論文集 B2(海岸工学), Vol.77, No.2, pp.865-870

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。

その後、観測値の詳細な解析の結果、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[3)]と推察されている。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り[3)]、底層酸素消費は干潟縁辺域が沖合域より大きいことが判明している[4)]。以上のことから、A1 海域と A3 海域では溶存酸素変動特性が異なることが判明した（付図 3.6.2-2 の下段）。

3）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

4）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

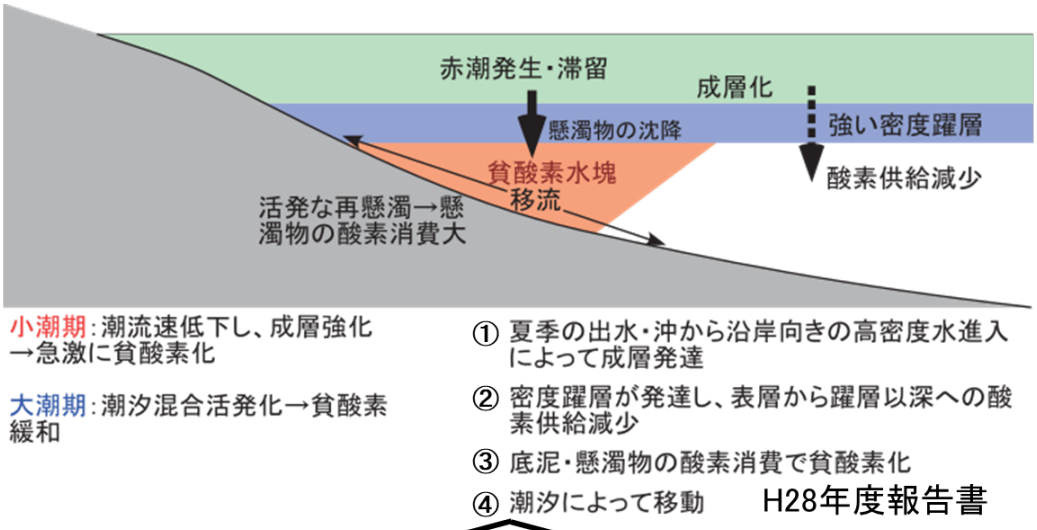


8 月 14 日に筑後川日平均流量(速報値)が 4000m^3/s を超える出水

付図 3.6.2-1 有明海及び八代海における底層溶存酸素濃度の分布

(左図:2021 年 8 月 2 日、右図:2021 年 8 月 31 日)

出典:水産研究・教育機構水産技術研究所、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

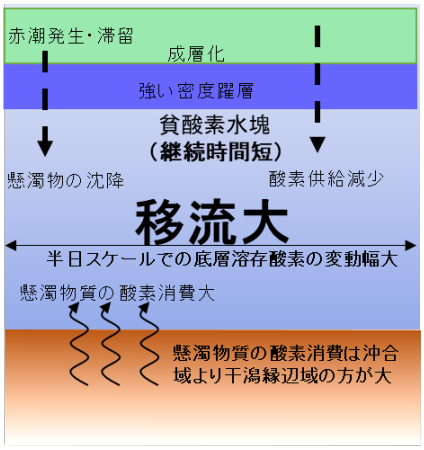
② 密度躍層が発達し、表層から躍層以深への酸素供給減少

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　　H28年度報告書

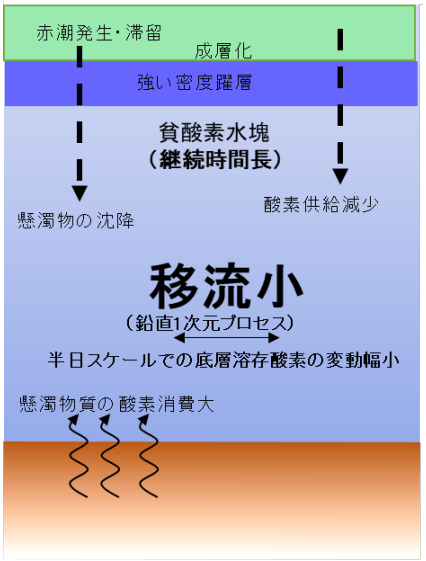
干潟縁辺域（水深5m程度）

A1海域



沖合域（水深15m程度）

A3海域



付図 3.6.2-2 有明海湾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」

3.6.3 貧酸素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、平成 28 年度委員会報告では、有明海湾奥部の場合、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%との実験結果があり、底泥に比べ海水による酸素消費の寄与が大きく、中でも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。また、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が示された[5)]。これらの結果は、有明海の貧酸素水塊発達に対しては、植物プランクトン等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。

その後の研究により、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が示された[6)]。また、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[7)]。さらに、渦鞭毛藻 *Akashiwo sanguinea* やラフィド藻 *Chattonella* sp.の夜間の底層での呼吸が、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[8) 9)]、貧酸素を引き起こす酸素消費過程は多様であることが判明している。

---

5)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.65， No.1,pp.1006-1010

6) 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

7) 内野宏治，猪股はるか，田原沙紀，高巣裕之（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

8) 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

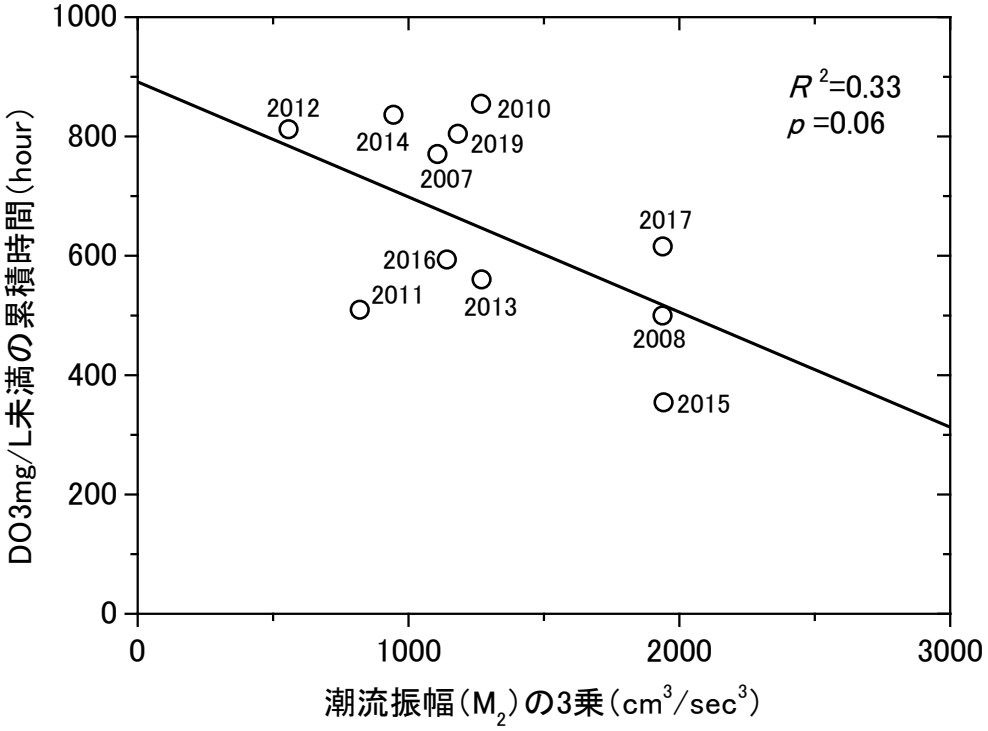
9) Sou Nagasoe，Takahisa Tokunaga，Tatsuya Yurimoto，and Yukihiko Matsuyama（2020）：Survival and behavior patterns associated with hypoxia at different life stages of the pen shell Atrina cf. japonica，Aquatic Toxicology，Vol. 227，105610

3.6.4 貧酸素の経年変化特性

2004 年以降水産技術研究所等によって、有明海湾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。継続的な貧酸素モニタリング結果を用いて、干潟縁辺域（T13：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を検討した。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 [10]）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 乗との関係を付図 3.6.4-1 と付図 3.6.4-2 に示す。なお、この M_2 潮の潮流振幅の 3 乗は、海底摩擦による鉛直混合を表す指標として用いた。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 [11]、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。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 [1115] 等が影響しており、貧酸素化のプロセスを完全には説明できないため、今後定量的な評価に関する調査研究が必要である。

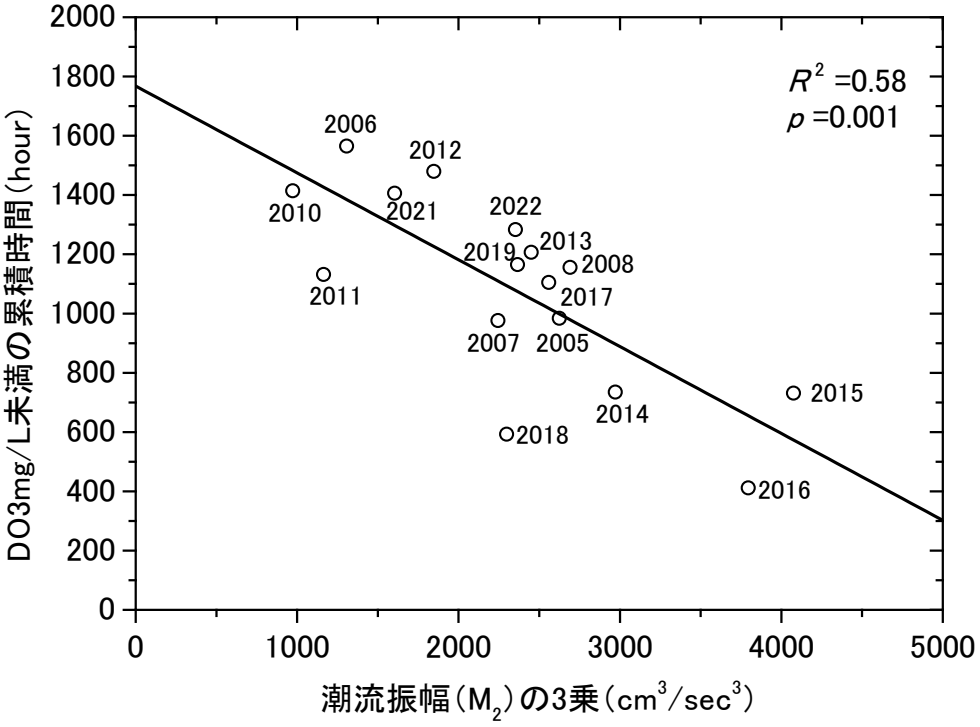
10）Yuichi Hayami, Naoki Fujii, Kazumaro Okamura, Hiroyuki Takasu, Yu Umezawae, Minoru Wada（2024）：Bottom water hypoxia enhanced by vertical migration of the raphidophyte Chattonella sp. in the Ariake Sea, Japan, Regional Studies in Marine Science, Vol. 80, 103919

11）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. I_1018-I_1023



付図 3.6.4-1 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:令和 4 年度水産庁委託「漁場環境改善推進事業(栄養塩、赤潮・貧酸素水塊に対する被害軽減技術等の開発)」をもとに環境省作成



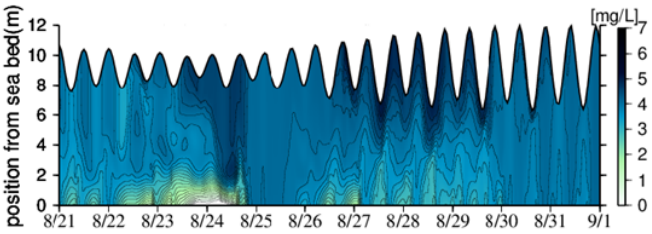
付図 3.6.4-2 沖合域(P6)における底層潮流振幅の 3 乗と
7 月～9 月における DO3mg/L 未満の累積時間との関係

出典:令和 4 年度水産庁委託「漁場環境改善推進事業(栄養塩、赤潮・貧酸素水塊に対する被害軽減技術等の開発)」をもとに環境省作成

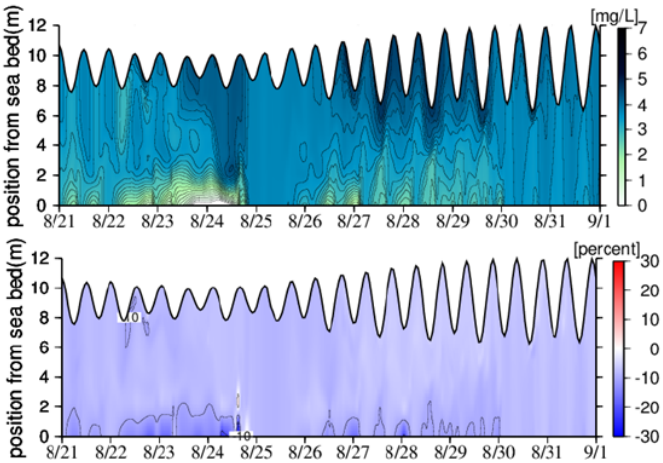
3.6.5 気候変動が底層溶存酸素濃度に与える影響

前述のとおり、河川からの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おり、気候変動に伴う大規模出水の影響が懸念される。

さらに、気候変動が底層溶存酸素濃度に与える影響を評価するため、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（シミュレーション）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[12)]。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（付図 3.6.5-1）。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。



現在気候(Case I)の DO計算結果(B3)



Case III(A)の DO(上)と変化率(下)の計算結果(B3)

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 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℃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℃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

付図 3.6.5-1 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」をもとに環境省作成

12) 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

3.6.6 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 年度以降、8 地点のうち佐賀県の 4 地点（湾奥奥部、湾奥西部、湾央部）において、底層溶存酸素量は経年的に減少する傾向がみられた。

有明海では、夏期に有明海湾奥部と諫早湾の 2 ヶ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、有明海湾奥部では浅海域で特に溶存酸素量が低下する。さらに、有明海湾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。

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が、平成 28 年度委員会報告では、有明海湾奥部の場合、底泥に比べ海水による酸素消費の寄与が大きく、中でも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、渦鞭毛藻やラフィド藻の呼吸も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酸素消費過程は多様であることが判明している。

令和 3 年度中間とりまとめにおいては、気候変動に伴う気温や水温の上昇、豪雨やそれに伴う大規模出水等による影響も顕在化している状況等を踏まえて有明海・八代海等の再生に係る評価を適切に実施することとされた。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、有明海におけるモデル解析によって、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た。実際に、九州北部地方で豪雨が記録された 2021 年には、大規模な貧酸素水塊が発生した。

有明海湾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、M_2 潮の潮流振幅の 3 乗との間に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を完全には説明できないため、今後定量的な評価に関する調査研究が必要である。

さらに、有明海を対象とした疑似温暖化実験では、温暖化により底層の貧酸素水塊の発達が助長されることが示唆された。今後、底質の違いや巻き上げられた懸濁物による酸素消費を考慮して、気候変動による影響を検討する必要があると考えられる。