

きれいで豊かな海を目指して  
地域が主体となる閉鎖性海域の環境改善の手引き

資料編①

博多湾を対象とした予測・評価について

1. シミュレーションの目的	1
2. 適用するシミュレーションモデルの概要	1
3. 計算条件	4
4. シミュレーションモデルの再現性	6
5. 数値シミュレーションモデルを用いた 環境改善効果の定量的な評価	15



# 博多湾を対象とした予測・評価について

## 1. シミュレーションの目的

博多湾において既に実施済みの環境改善施策について、以下の評価手法、指標を用いて、環境改善効果の定量的な把握を行った。

## 2. 適用するシミュレーションモデルの概要

構築するモデルは、流動場を計算する流動サブモデルと、水質・底質・底生生物のサブモデルを結合させた水質-底質結合生態系モデルから成る（図 1 参照）。流動場及び水底質環境を支配する外力は、現実的な境界条件を設定し、年間変動を考慮した計算とした。

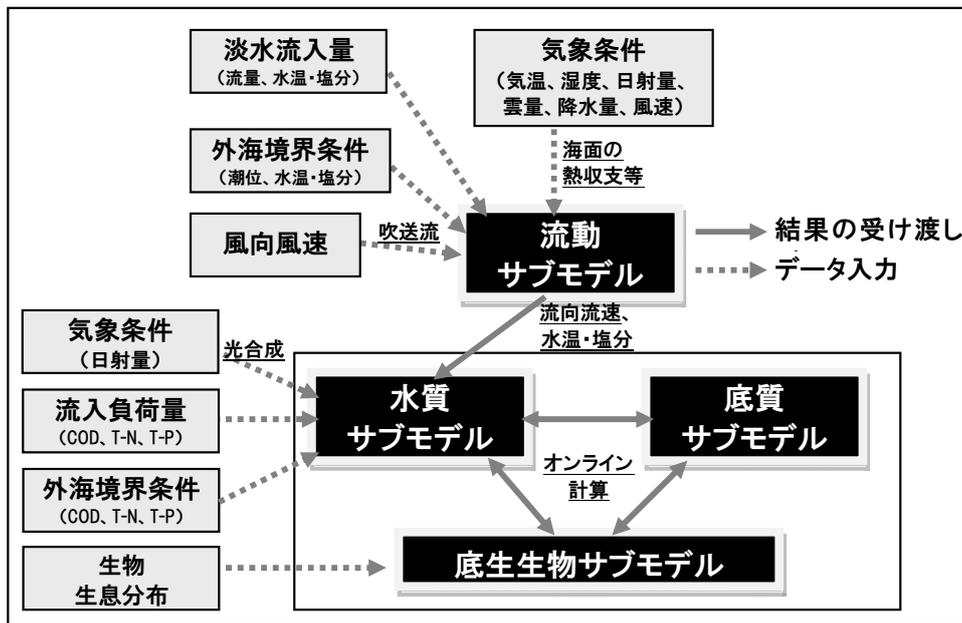


図 1 シミュレーションモデルの構成

### 2.1 流動モデルの概要

流動モデルは流体力学の基礎方程式を差分化することにより解く数値モデルで、基礎方程式は、回転系の非圧縮流体を仮定した運動方程式、連続の式及び水温・塩分の保存式であり、ブシネスク近似及び静水圧近似が施されている。密度変化、河川水の流入、風による吹送流、海面熱収支を考慮可能な、鉛直方向を多層に分割した多層レベルモデルを用いた。

### 2.2 水質-底質結合生態系モデル

構築するモデルは水質と底質のサブモデルを結合した水質-底質結合生態系モデルとした（図 2、図 3）。各構成要素間の物質輸送を炭素 (C)、窒素 (N)、リン (P)、酸素 (O) を指標元素として算定する物質循環モデルであり、水質と底質の相互作用を考慮したものである。表 1 に示す項目の出力が可能である。

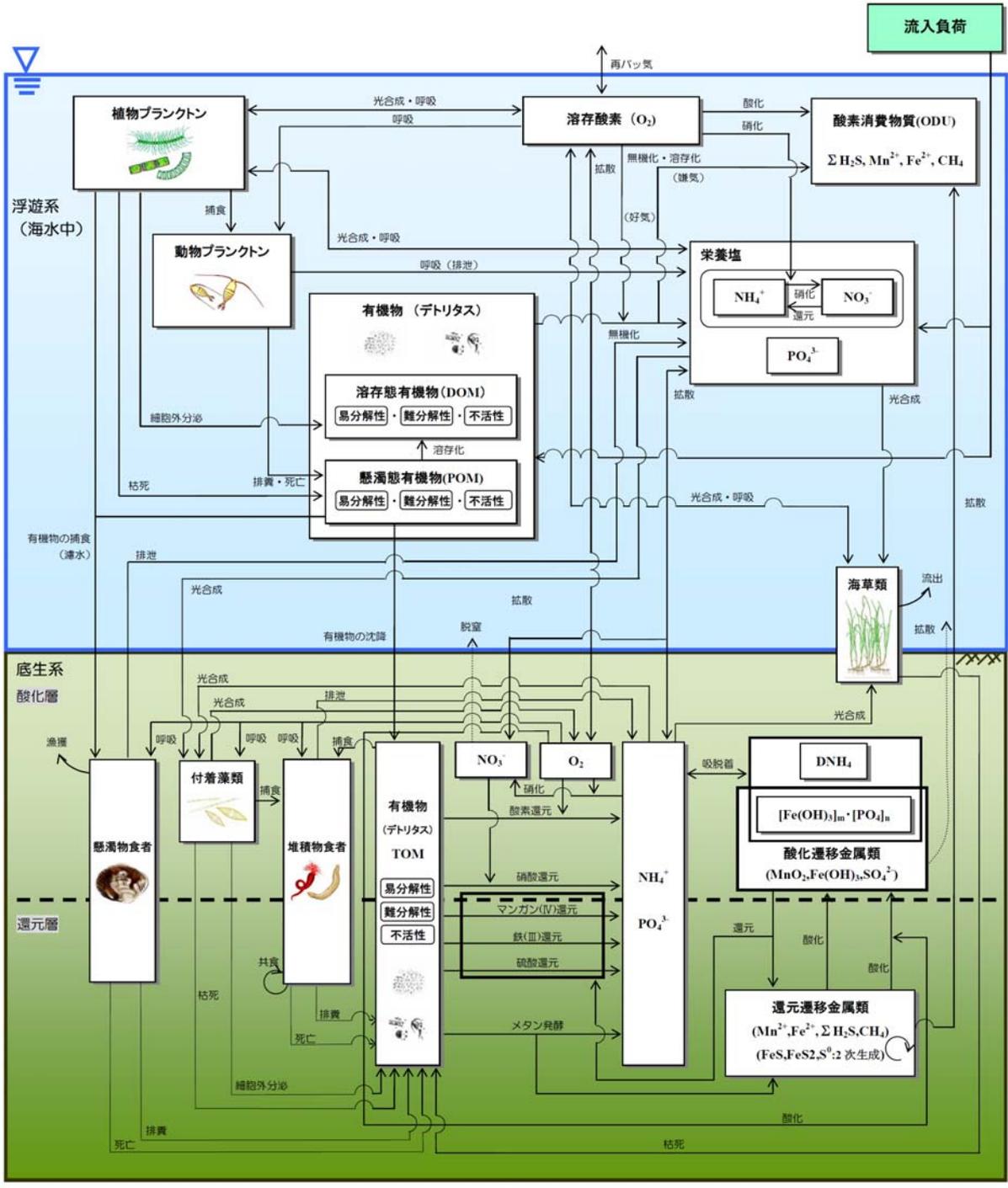


図 2 水質-底質結合生態系モデルの概念図

表 1 各サブモデルの解析内容と出力項目

サブモデル	解析内容・出力項目
水質予測サブモデル	解析内容： 低次生態系における物質循環を考慮した水質予測 出力項目： 植物プランクトン、動物プランクトン、 有機物（デトリタス）、栄養塩類、溶存酸素（DO）、 酸素消費物質（ODU） 底泥への懸濁態有機物の沈降水量（フラックス）
底質予測サブモデル	解析内容： 初期続成過程を考慮した底質予測 出力項目： 有機物、栄養塩類、 マンガン、鉄、硫黄、メタン、溶存酸素 直上水-底泥間の物質循環量（フラックス）
底生生物予測サブモデル	解析内容： 底生生物現存量と底生生物が及ぼす物質循環量の予測 出力項目： 付着藻類、懸濁物食者、堆積物食者、海草 底生生物による水質に対する物質循環量 底生生物による底質に対する物質循環量

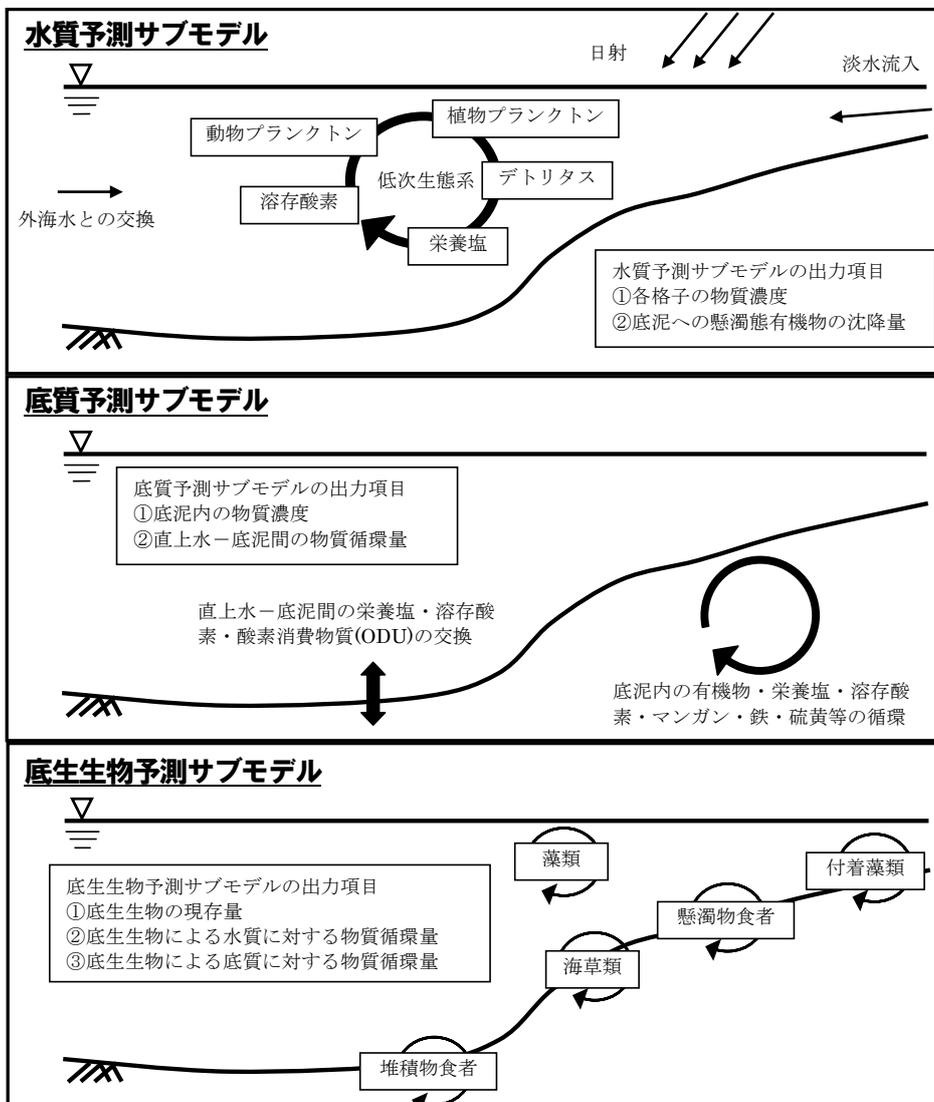


図 3 サブモデルが解析する主な現象と出力項目

### 3. 計算条件

#### 3.1 計算範囲・格子サイズと水深、鉛直層分割の設定およびその他の主な計算条件

鉛直方向の層分割は、実績のある多層レベルモデルとし、環境改善技術の海域への導入の空間スケールを考慮して、細格子化が可能なネスティング手法を導入した。

図4には流動モデルの計算範囲及び計算格子分割図を示す。博多湾奥部海域については、100m格子まで細格子化し、アイランドシティの水路部については33.3m格子まで細格子化した。博多湾の水深は航路部や浚渫地で15~20m程度となっており、これらの水深分布を表現するために14層の鉛直層分割を施した（湾内は各層の層厚を0.5~5.0m程度とした）。

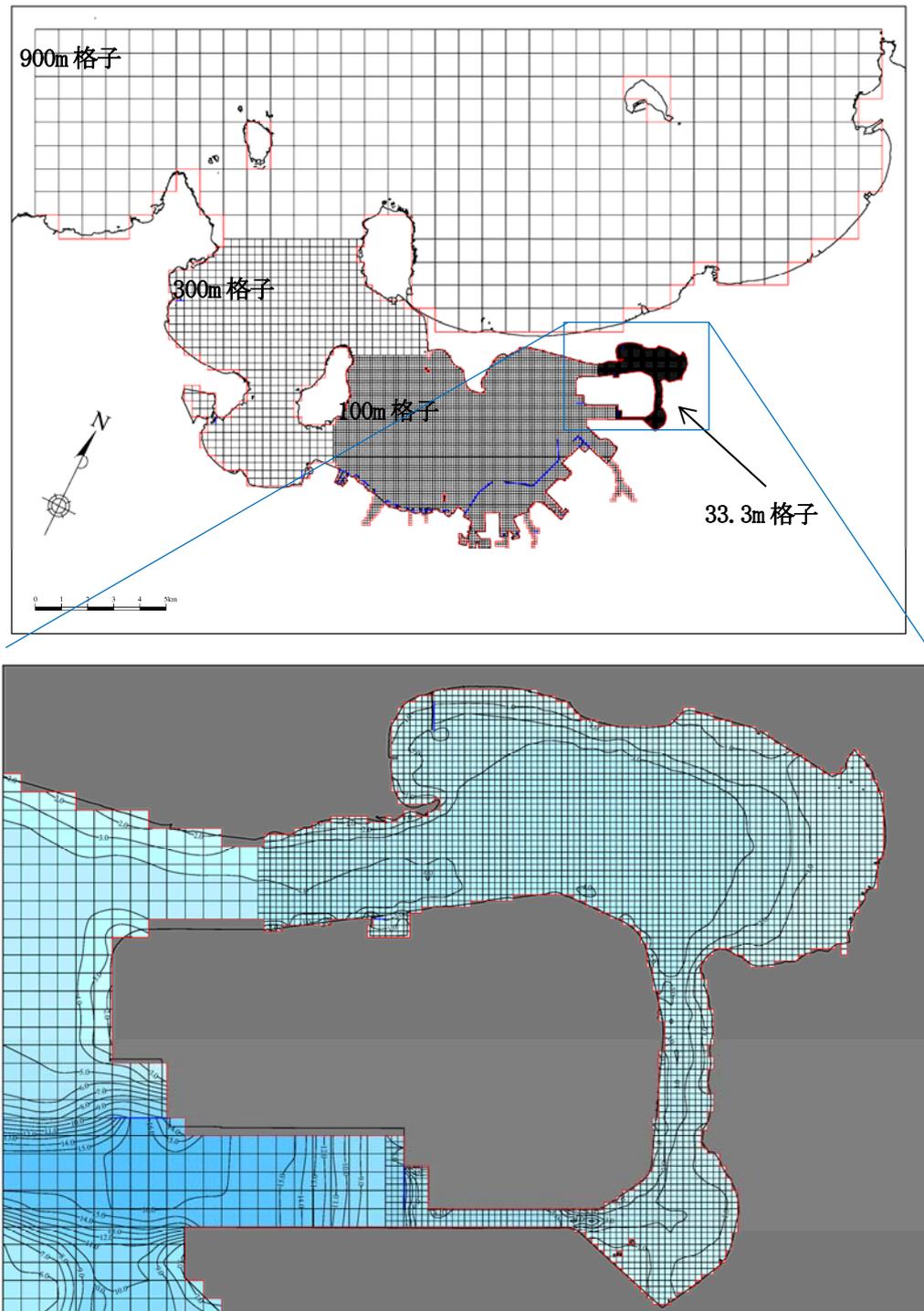


図4 計算範囲・格子サイズと水深

表 2 主な計算条件の概要 (流動モデル)

項目	計算条件の概要	
淡水流入量	唐の原川、多々良川、御笠川、那珂川、樋井川、室見川、名柄川、十郎川、七寺川、瑞梅寺川の 10 河川および水処理センターについては福岡市環境局提供の日別の淡水流入量 <sup>1</sup> を設定。その他は博多湾港湾計画資料 (その 2) の年平均値をもとに設定。	
気象条件	気象庁の観測データ (福岡) から、気温、全天日射量、雲量、相対湿度を、メソ客観解析 (GPV) データから、風向/風速を設定。	
湾口境界条件	10 分潮の潮汐による水位変動と浅海定線調査による水温・塩分観測結果を設定。	
パラメータ等	タイムステップ	900m 格子 : 20 秒、300m 格子 : 10 秒、100m 格子 : 5 秒、33.3m 格子 : 2.5 秒
	海面摩擦係数	風速の変動に応じた値を設定 (0.0016)
	海底摩擦係数	海底近傍での流速分布をカルマン定数と粗度高さを用いた対数分布則により仮定することにより得られる値を設定した。粗度高さは 0.1cm とした。
	水平渦動粘性係数 水平渦動拡散係数	Smagorinsky (1963) <sup>2</sup> の方法により設定した。また、この方法の中で用いられる比例係数 $C_{b, H}$ は 0.1 とし、設定値の最小値は $1.0 \times 10^4$ 、最大値は $1.0 \times 10^6$ (cm <sup>2</sup> /s) とした。
鉛直渦動粘性係数 鉛直渦動拡散係数	Munk and Anderson (1948) <sup>3</sup> によるリチャードソン数に依存する成層化関数を用いた。設定値の最小値は 0.01、最大値は 20.0 (cm <sup>2</sup> /s) とした。	

表 3 主な計算条件の概要 (生態系モデル)

項目	計算条件の概要
流入負荷量	河川から博多湾に流入する COD、全窒素 (T-N)、全リン (T-P) の負荷量については、唐の原川、多々良川、御笠川、那珂川、樋井川、室見川、名柄川、十郎川、七寺川、瑞梅寺川の 10 河川および水処理センターについては福岡市環境局提供の日別の流入負荷量 <sup>4</sup> を設定。その他は博多湾港湾計画資料 (その 2) の年平均値をもとに設定。
湾口境界条件	公共用水域水質調査結果の地点 W-6 および W-7 をもとに設定した。
消散係数	Rily, G. A. (1956) <sup>5</sup> による経験式
底泥からのリンの溶出プロセス	底泥直上水の DO が一定値以下になれば溶出し始めるものと考え、港湾空港技術研究所報告 (50 巻 2 号、2011 年) を元に、現地の DO とリンの関係から設定した。
タイムステップ	900m 格子、300m 格子 : 60 秒、100m 格子 : 30 秒、33.3m 格子 : 10 秒

### 3.2 計算期間

計算期間は平成 24 年度の 1 年間とした。

<sup>1</sup> 平成 26 年度博多湾生物生息環境保全対策検討業務委託 (福岡市環境局)

<sup>2</sup> Smagorinsky, J. (1963): General Circulation Experiments with the Primitive Equations I. The Basic Experiment, Monthly Weather Review, 91, 99-164

<sup>3</sup> Munk, W. H. and E. R. Anderson (1948): Notes on theory of the thermocline., J. Mar. Res., 7, 276-295

<sup>4</sup> 平成 26 年度博多湾生物生息環境保全対策検討業務委託 (福岡市環境局)

<sup>5</sup> Riley, G. A.: Physical Oceanography, Bull. Bingham Oceanogr. Collect., Vol. 15, pp. 15-46, 1956.

## 4. シミュレーションモデルの再現性

### 4.1 潮流楕円の再現性

夏季の潮流楕円について、図 5 に示す既往調査結果から得られる潮流楕円と計算値の比較を行った。比較結果を図 6 に示す。比較に用いた観測値は、福岡市資料による平成 28 年度の潮流調査結果である。

各地点の上下層の計算値の潮流楕円の長軸の方向と大きさは観測値と同様の結果が得られており、観測値の特徴を表現しており、潮流の再現性は良好な結果が得られていると考えられる。

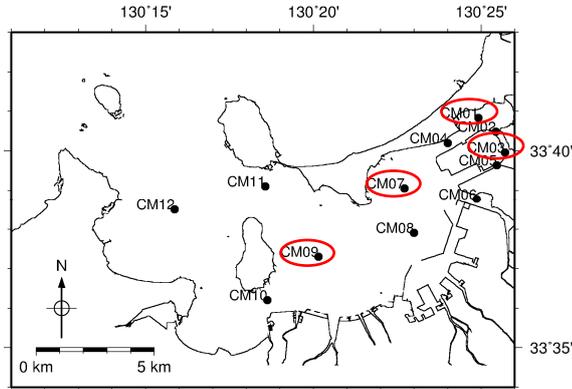


図 5 平成 28 年度博多湾潮流調査地点 (●)

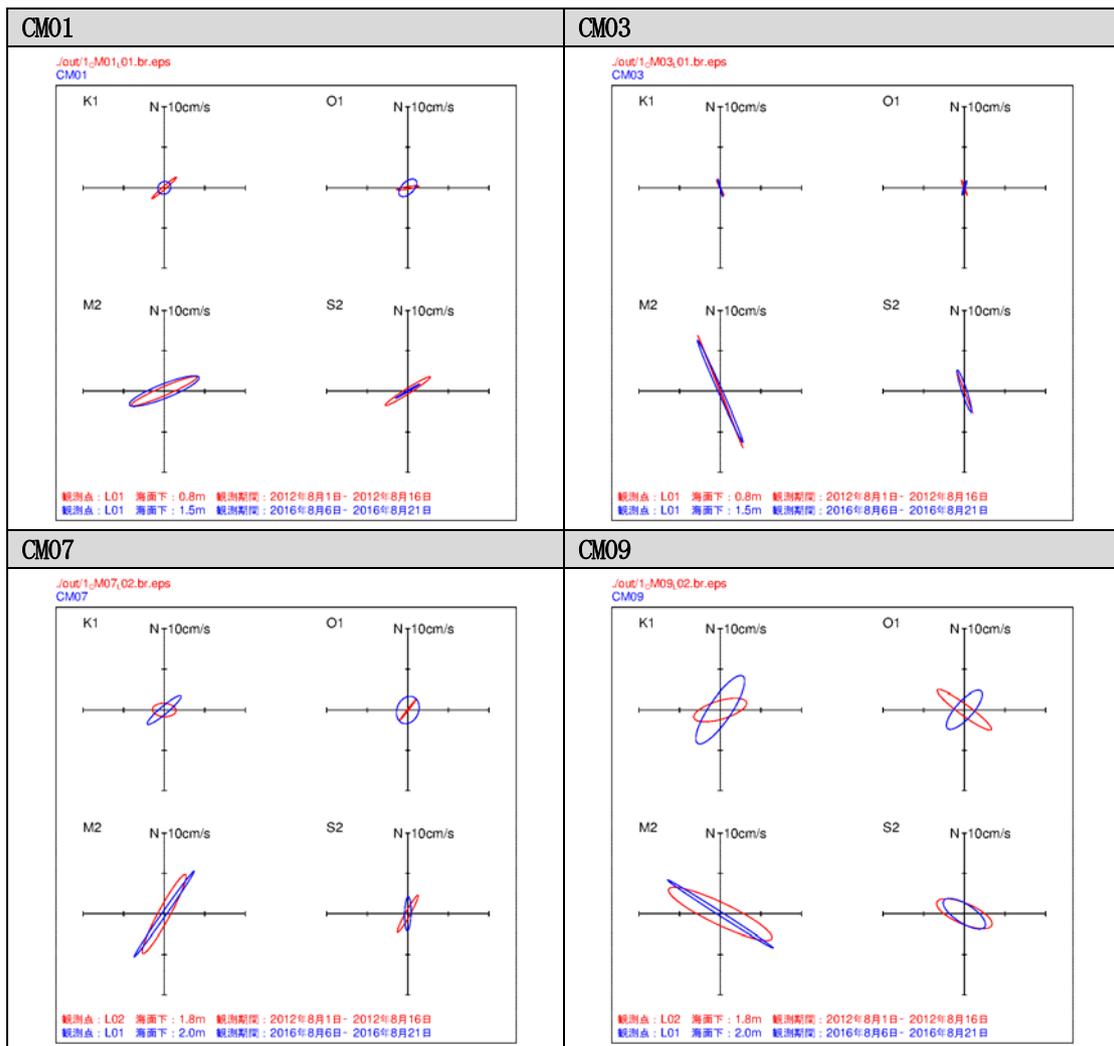
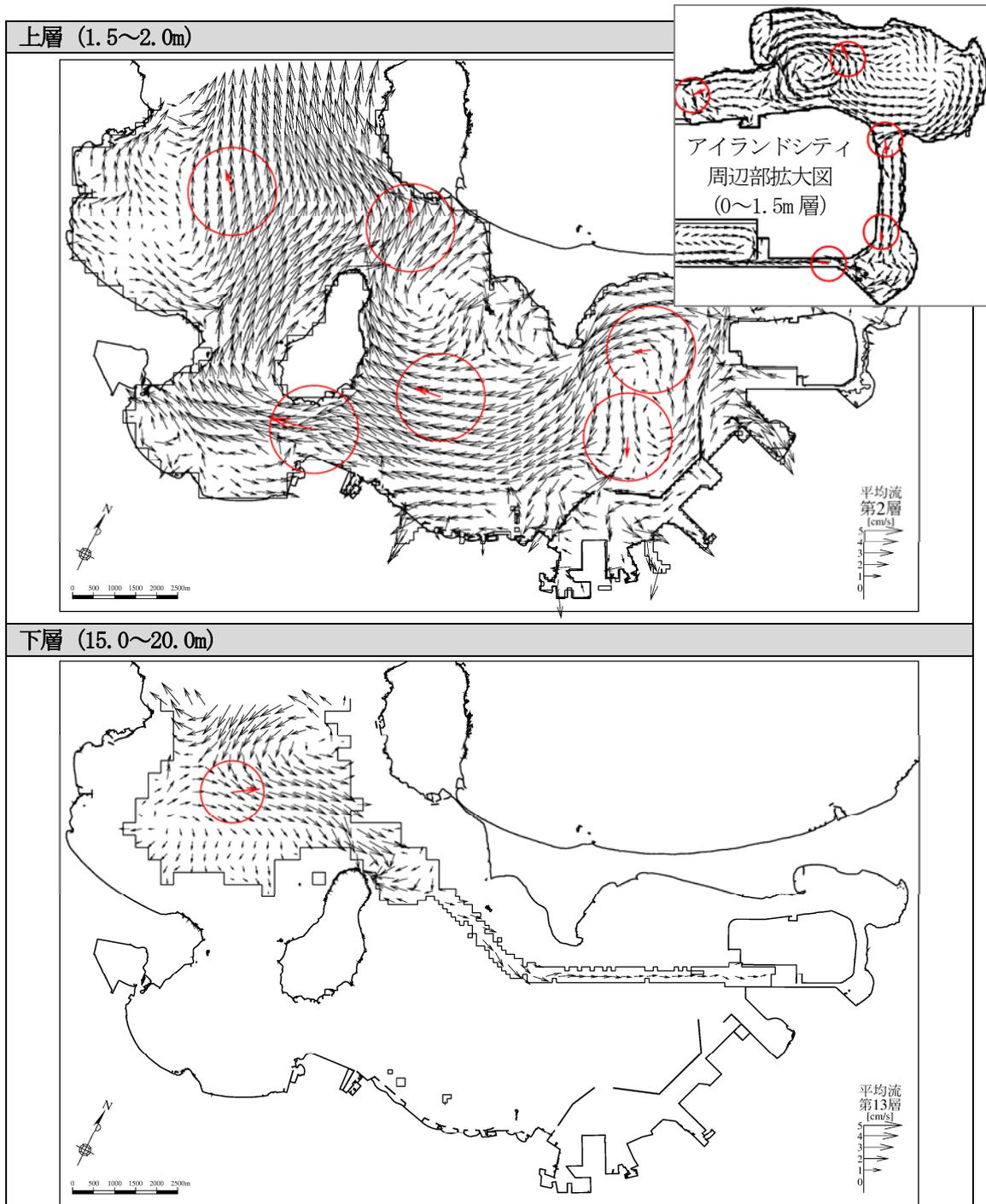


図 6 潮流楕円の比較結果

## 4.2 平均流の再現性

夏季の平均流について、既往調査結果から得られる平均流ベクトルと計算値の比較を行った。比較結果を図7に示す。比較に用いた観測値は、福岡市資料による平成28年度の潮流調査結果である。

博多湾全体の流れは、上層で湾奥から湾口へ流出する流れ、下層で湾口から湾奥に流入する流れの傾向が見られている。個別の地点で計算値と観測値とくらべると多少の差異が見られるが、全体的な流れの傾向（上層流出、下層流入の循環）は、計算結果で表現されていると考えられる。



(黒矢印：計算値、赤矢印：観測値)

図7 平均流の比較 (第2領域 (300m格子)、上：上層 (1.5~2.0m層)、下：下層 (15.0~20.0m層))

### 4.3 水温・塩分の再現性

水温・塩分について、図 8 に示す公共用水域の水質調査結果およびアイランドシティ監視調査（IM-03 のみ）と計算結果を比較した。年間の変動の妥当性を検証するため、観測値と計算値の経時変化の比較結果を図 9 に、和白干潟前面海域に位置する IM-03 における鉛直分布の比較図を図 10 に示す。

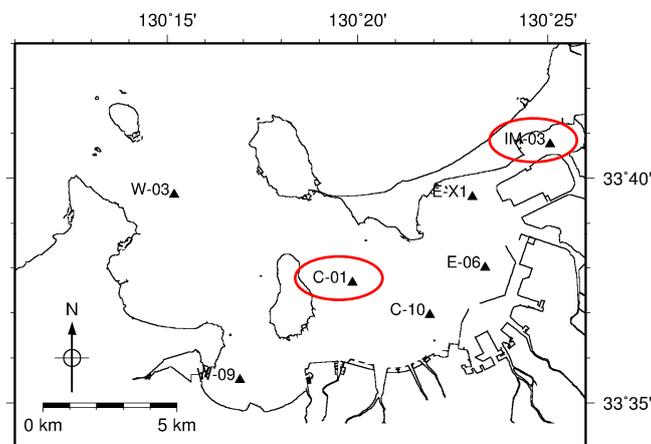


図 8 公共用水域水質調査地点 (▲)

#### ①. 経時変化の比較

- 計算値は、観測値で見られる季節変動や上下層の変動などを表現しており、水温・塩分の再現性は概ね良好な結果となっていた。
- IM-03 の9月上旬（9/10）の表層塩分では観測値が顕著に低塩分化しており、計算値と乖離が見られた。9/10は福岡気象台で12:00 ごろに雷雨が記録されており、レーダ雨量計の降雨分布からも博多湾の和白周辺で降雨域のピークが見られた。これらの短期間の局所的な降雨の影響が観測値に含まれている可能性があるが、計算値に設定している淡水流入条件は日別の流量データであり、乖離の要因の一つと考えられる。

#### ②. 鉛直分布の比較

- 水温については、5月から8月にかけて水温成層が形成されており、計算値による水温の方が全体にやや高い傾向であったが、同様に水温成層は計算値にも見られた。
- 9月以降は水温成層が弱くなり、10月に入ると表層で先に低水温化し、上下層一様となっており、これらの変化傾向は計算値でも再現されていた。
- 塩分については、5月は、観測では塩分成層が見られず高塩分が上下層ともに維持されていた。計算値は表層の低塩分化が顕著で、河川流量の設定値がやや多い可能性が考えられる。
- 6月下旬から7月にかけては、表層での低塩分化に伴う塩分成層の形成が顕著であり、計算値もその特徴を再現していた。
- 8月上旬には、台風10号の強風等の影響で、一旦塩分成層が弱くなるが、その後9月には再び塩分成層が形成された。台風後の成層の再形成過程と、10月での塩分成層の解消は再現されていた。

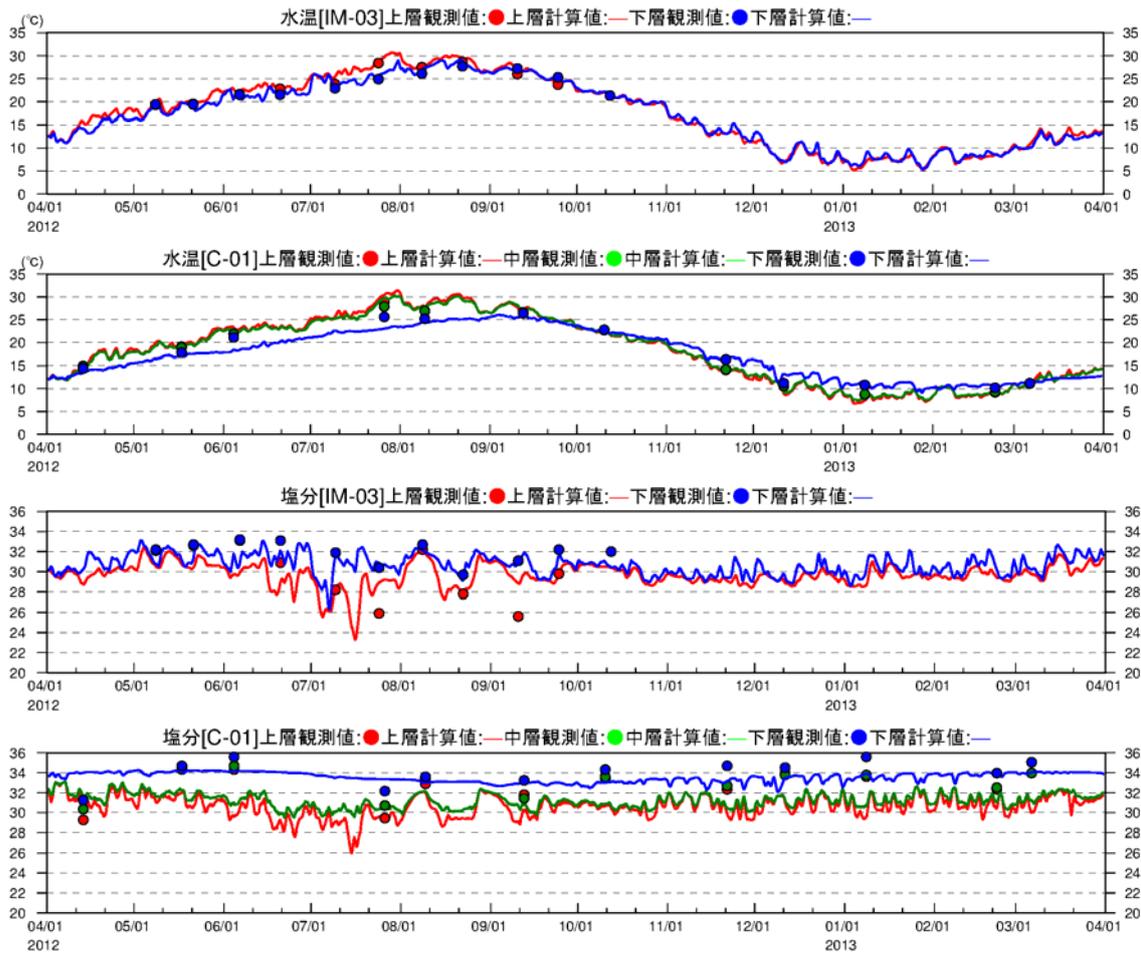


図 9 水温・塩分の経時変化の比較結果 (地点 IM-03、C-01)

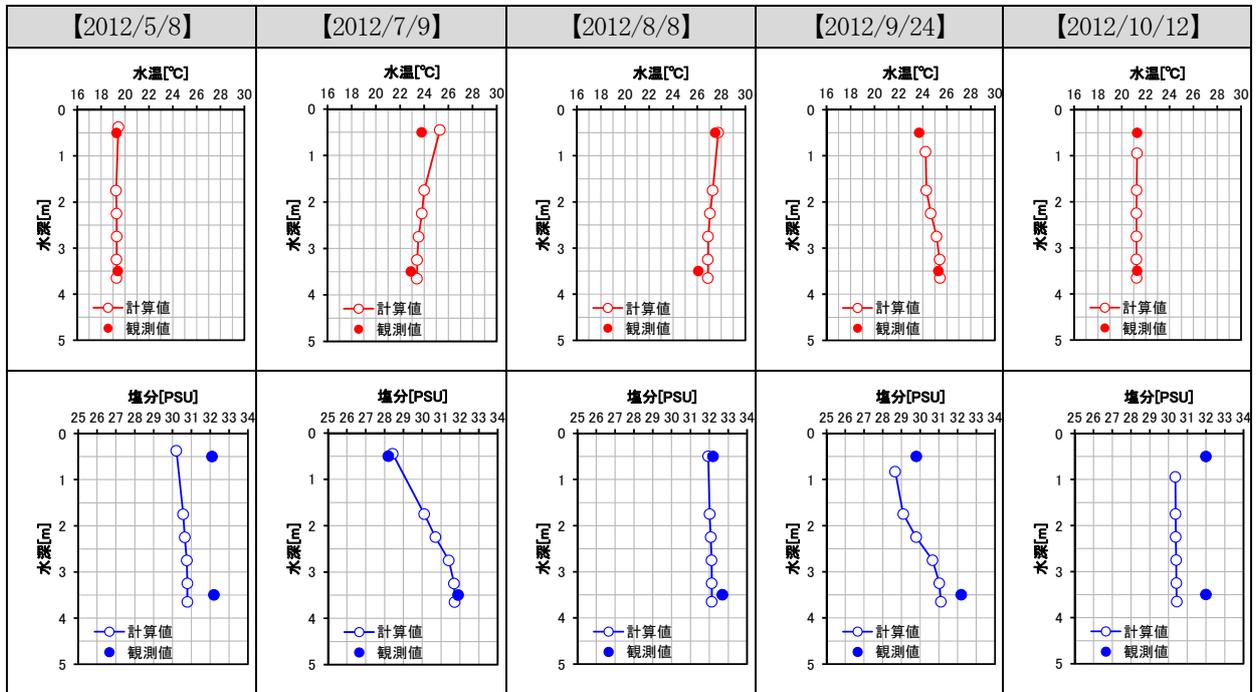


図 10 水温・塩分の鉛直分布の比較結果 (地点 IM-03)

#### 4.4 水質項目（T-N、T-P、各態栄養塩、Chl-a、DO）の再現性

水温・塩分と同様に、公共用水域の水質調査結果およびアイランドシティ監視調査（IM-03）と計算結果を比較した（図 11）。年間の変動の妥当性を検証するため、観測値と計算値の経時変化の比較結果を図 12 に示す。また、溶存酸素濃度の平面分布図を図 13 に示す。

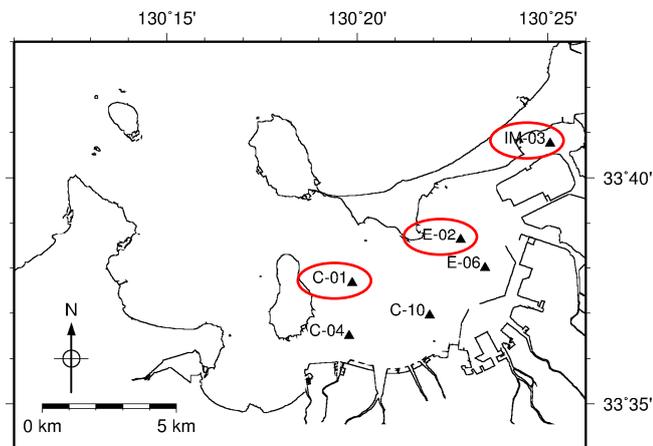


図 11 公共用水域水質調査およびアイランドシティ監視調査における調査地点（▲）

- T-N、T-P および COD でみると、全体の濃度レベルおよび季節変化傾向は概ね再現されており、湾奥に向けて濃度が高くなる空間分布の傾向も概ね再現されていた。
- COD および T-P は計算値が全体に高い傾向であり、これは内部生産（Chl-a）が過大となっているため、底泥からのリン溶出を抑えることで、リン自体の濃度とともに、Chl-a および COD の濃度が下がること が想定される。
- DO については、濃度変化や上層・下層との濃度差などが概ね再現されていた。
- 和白干潟前面海域の IM-03 では、夏季には 10 日～半月程度の間隔で、貧酸素化と回復が繰り返されており、気象擾乱等の鉛直混合に対応した DO 濃度の変動が表現されていた。航路部や深掘りでは夏季（7 月）の 1 ヶ月平均でも貧酸素化していた。

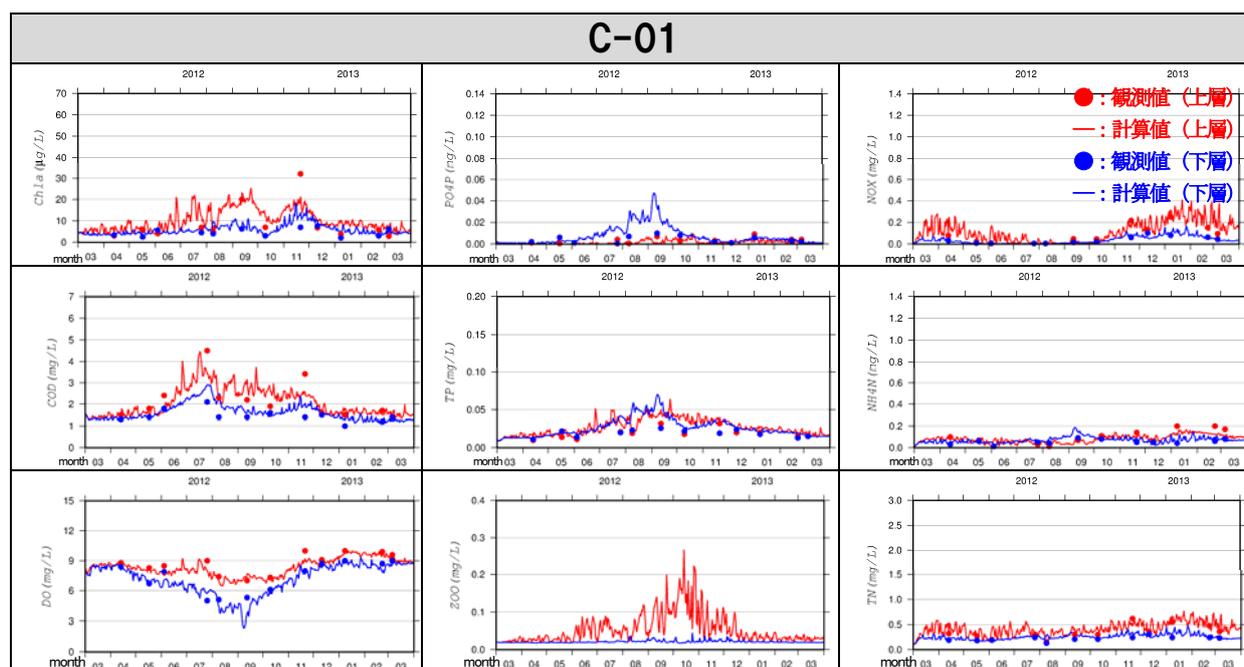


図 12(1) 水質項目の再現性の検証（地点 C-01）

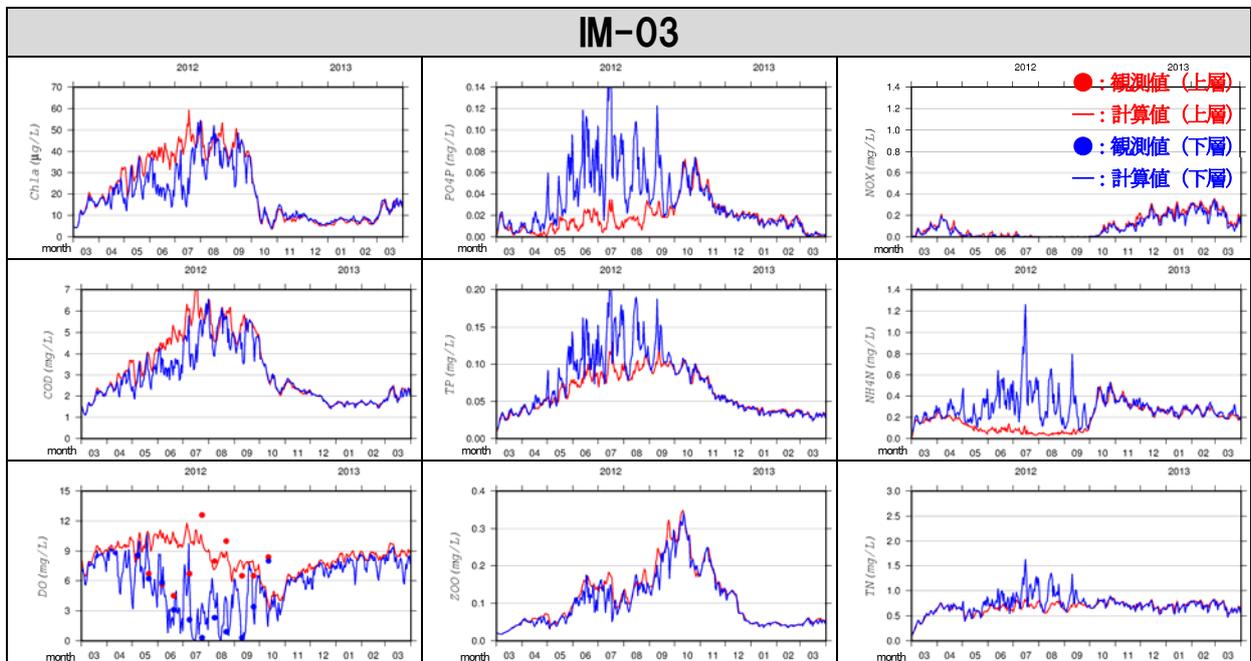
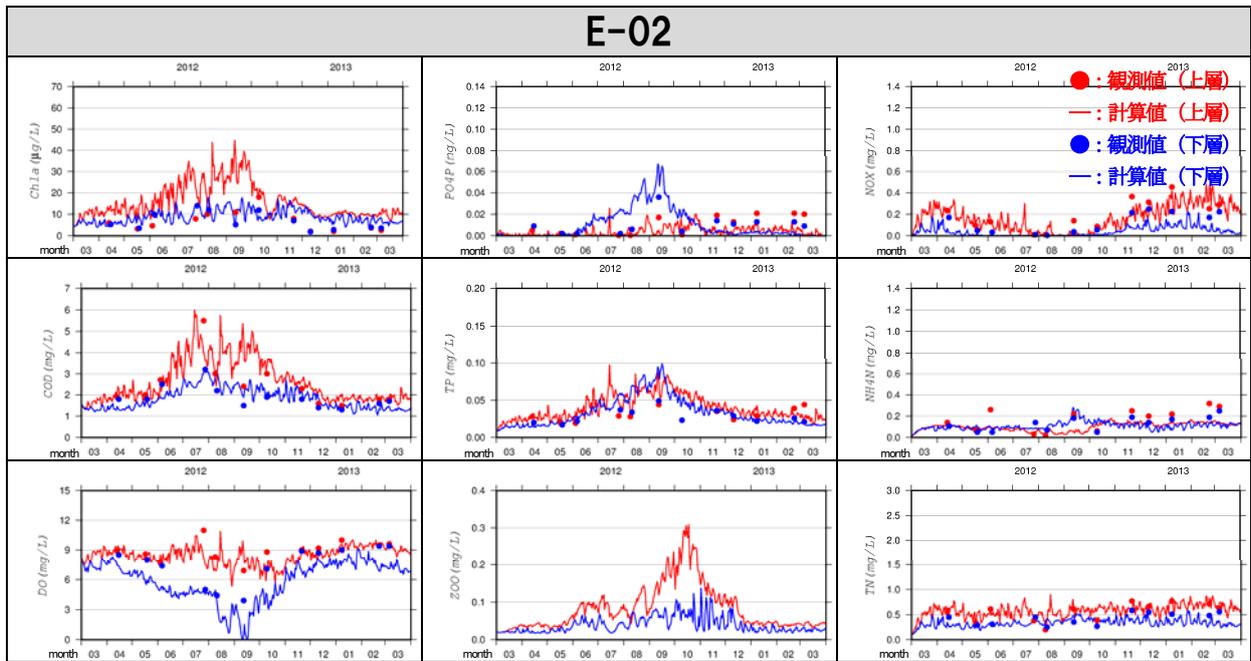


図 12(2) 水質項目の再現性の検証 (上：地点 E-02、下：地点 IM-03)

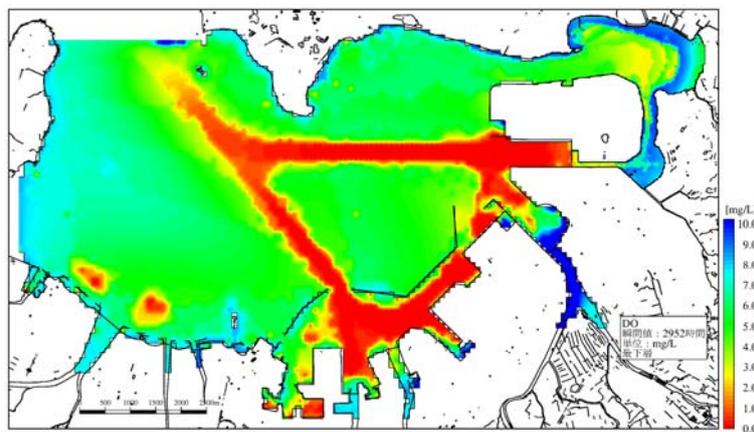


図 13 底層溶存酸素濃度の分布 (7月平均)

#### 4.5 浮遊系—底泥間のフラックスの再現性

和白干潟前面海域および御島地区（図 14）における浮遊系—底泥間の物質フラックスとして、無機態窒素および無機態リンの溶出速度と底泥での酸素消費速度の時間変化図を図 16 に示す。

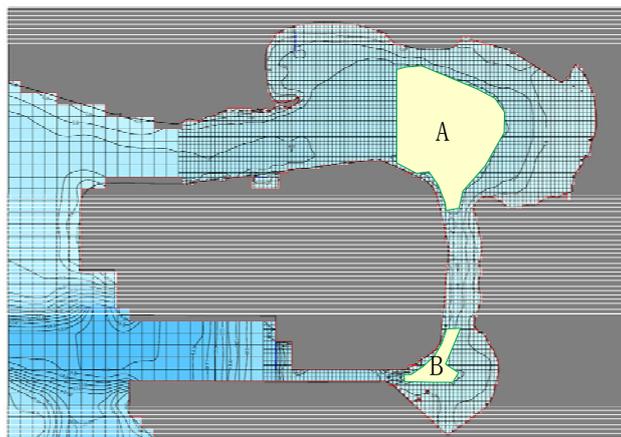


図 14 浮遊系—底泥間の物質フラックスの出力地点

#### <過去の溶出速度の計測例（御島地区におけるシーブルー事業：図 15）との比較>

- 覆砂事業による底質変化等の影響もあり溶出速度と酸素消費速度は大きく変動している。
- 地点により異なるが、F1 および F2 では溶出速度が高い傾向で、最大値は T-N で  $500\text{mg}/\text{m}^2/\text{day}$ 、T-P では  $50\text{mg}/\text{m}^2/\text{day}$  となっていた。一方、酸素消費速度も変化が大きく、最大値は  $4000\text{mg}/\text{m}^2/\text{day}$  に達するデータもあった。
- 計算結果における地点 B の御島地区では、窒素 ( $\text{NO}_3+\text{NH}_4$ ) ではやや計算値が低い傾向で、リンは概ね実測値と整合していた。酸素消費速度も同様に実測値の値の範疇にあった。
- 計算結果における地点 A の和白干潟前面海域では、酸素消費速度に関して、夏季で  $1000\sim 2000\text{mg}/\text{m}^2/\text{day}$  となっており、藤田ら(1998)<sup>6</sup>の実測値（8月で約  $800\text{mg}/\text{m}^2/\text{day}$ ）よりやや高い傾向であった。同様の 6 月の実測値では窒素溶出速度が  $120\text{mg}/\text{m}^2/\text{day}$ 、リンの溶出速度が  $25\sim 30\text{mg}/\text{m}^2/\text{day}$  となっており、計算値の方がやや高い傾向であった。

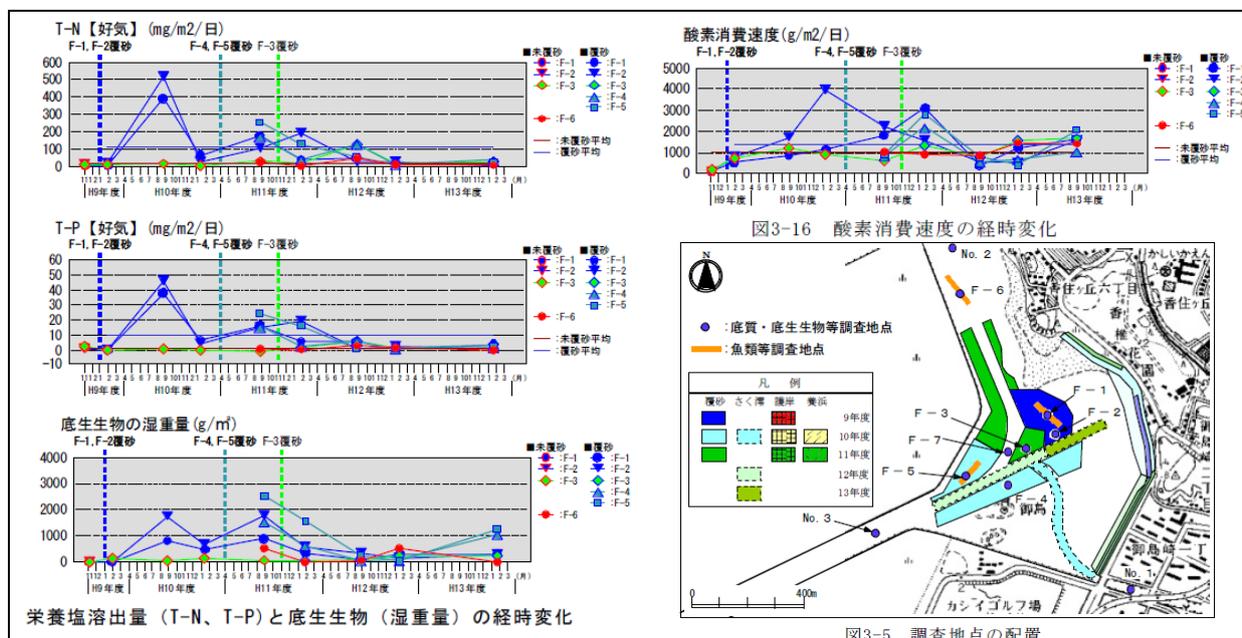


図 15 栄養塩溶出速度および酸素消費速度の実測例

<sup>6</sup> 藤田健一・田中憲一・李寅鐵・星加章・楠田哲也（1998）：博多湾の浅海域・干潟域における水質浄化能の評価、海洋開発論文集、Vol. 14、453-458

<sup>7</sup> （仮称）エコパークゾーン香椎地区（御島）シーブルー事業効果把握調査報告書（素案）：平成 16 年 福岡市港湾局

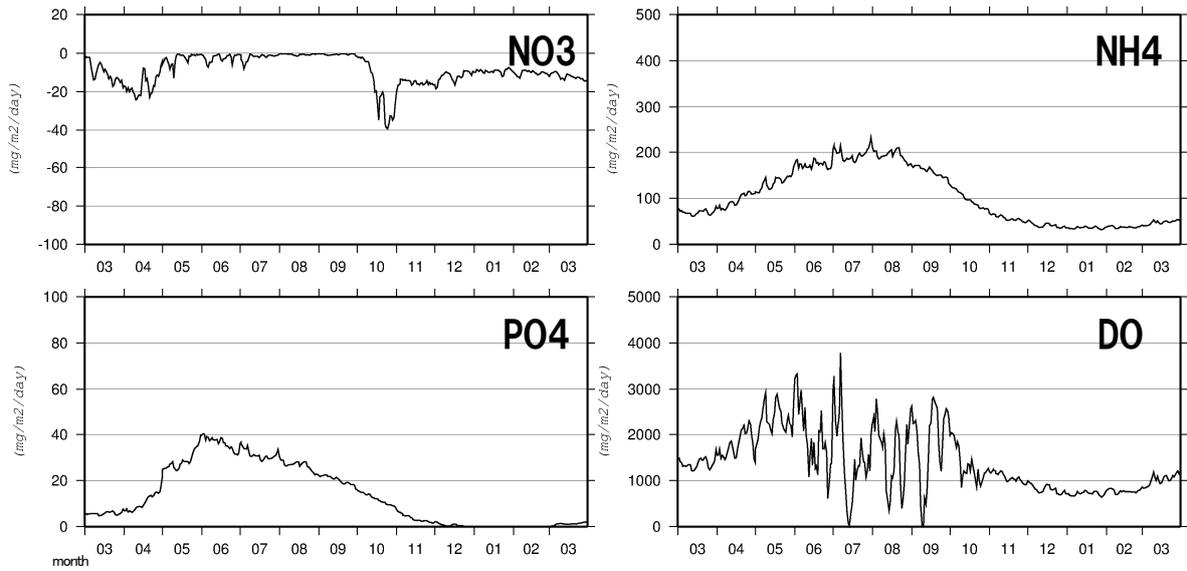


図 16(1) 浮遊系—底泥間の物質フラックス (地点A: 和白天潟前面海域)

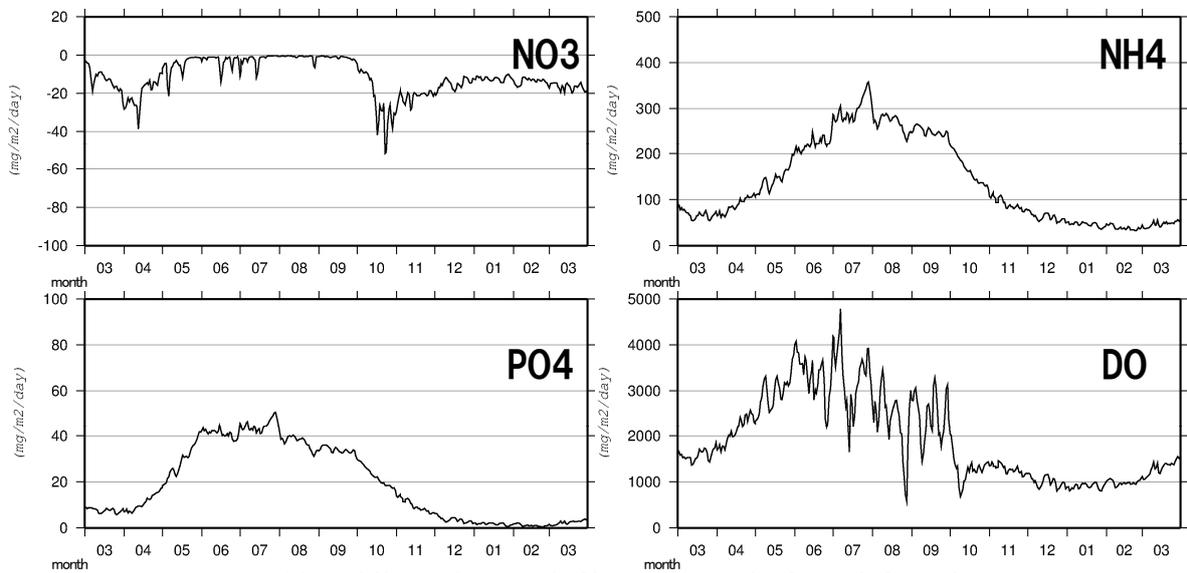


図 16(2) 浮遊系—底泥間の物質フラックス (地点B: 御島地区)

#### 4.6 底生生物の再現性の検証

図 17 に示す観測地点にて平成 24 年度に観測された底生生物の観測結果<sup>8</sup>について、食性別（堆積物食・懸濁物食）に区分し炭素量に換算した。この底生生物の炭素量（観測値）と計算値を比較し、図 18 に示す。ここで複数の観測地点が同一の計算格子内に位置する場合は、観測結果は地点間の平均値を計算値と比較した。

二枚貝類が代表種である懸濁物食者については地点別の大小関係は概ね再現できているが、全体的に計算値が過大であった。これは現状のモデルにアオサを考慮していないために、本来はアオサに利用される栄養塩が植物プランクトンの成長に利用されるようモデルでは再現され、結果として懸濁物食者の餌料が過大に計算されたためと推測される。

また堆積物食者は懸濁物食者とは反対に計算値が観測値より過小になる傾向にあった。これは堆積物食者に利用されるはずの餌料が、モデル上は懸濁物食者に過大に利用されているためと推測される。

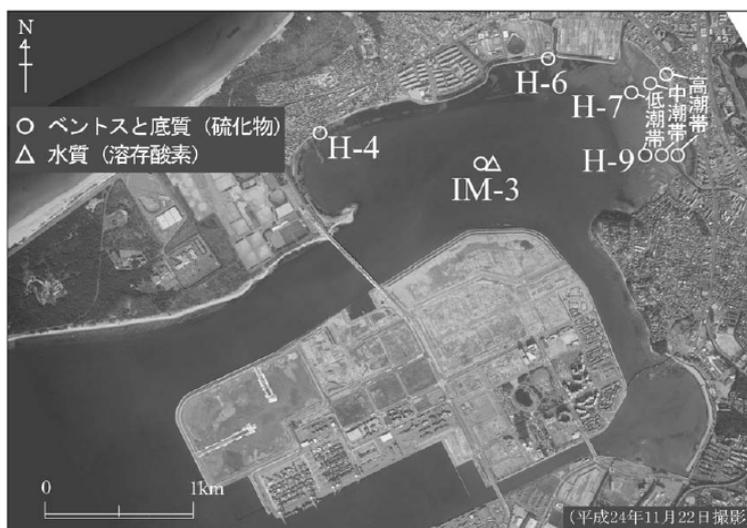


図 17 底生生物の観測地点

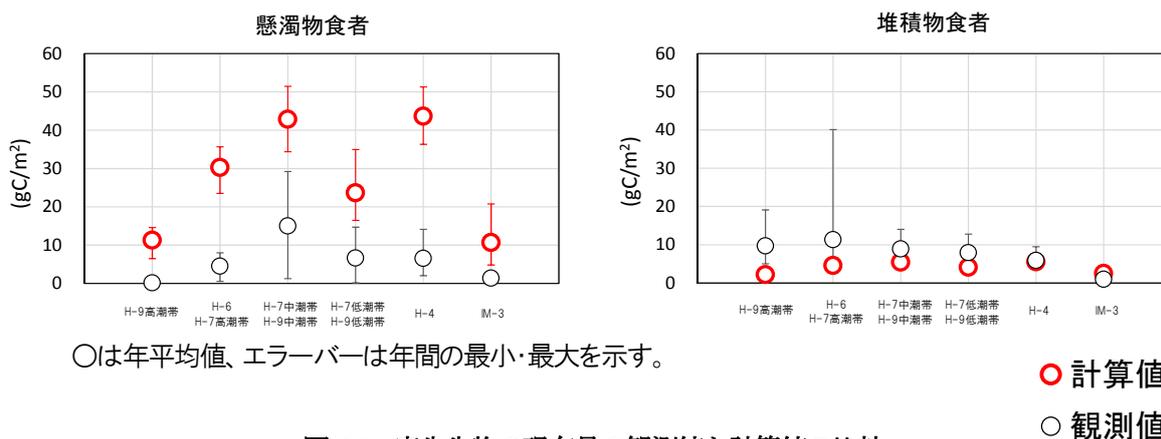


図 18 底生生物の現存量の観測値と計算値の比較

<sup>8</sup> 平成 24 年度 アイランドシティ整備事業 環境監視結果、平成 25 年 7 月、国土交通省九州地方整備局・福岡市港湾局・博多湾開発株式会社

## 5. 数値シミュレーションモデルを用いた環境改善効果の定量的な評価

現況再現性を確認した数値シミュレーションモデルを用いて、環境改善技術の適用前/適用後について、環境改善技術の規模（面積等）を複数替えたケースを実施し、生物生息環境に対する効果の変化の程度を示した。モデル海域での主な環境改善技術については、複数の組み合わせ効果を検討した。

表 4 シミュレーションで検討する施策（環境改善技術）と目的・効果とその評価方法

具体的な施策 (環境改善技術)	施策の目的及び想定される 効果	評価方法	
		評価項目	評価エリア等
作濤	海水交換の促進 ⇒水質改善	①海水交換量 ②水質濃度	作濤工周辺 閉鎖水域周辺
窪地の埋戻し	貧酸素水塊の影響の低減 ⇒底生生物等の保全	③貧酸素水塊の規模と期間 ④底生生物量	窪地周辺
藻場造成	栄養塩吸収 ⇒水質改善・有機物の抑制 ⇒生物生息場の改善 ⇒物質循環の健全化	②水質濃度 ③貧酸素水塊の規模と期間 ⑤物質循環のバランス	藻場造成エリア周辺 博多湾奥部（広域）
底質改善 (覆砂)	栄養塩溶出・酸素消費抑制 ⇒底生生物等の保全 ⇒物質循環の健全化	②水質濃度 ③貧酸素水塊の規模と期間 ④底生生物量 ⑤物質循環のバランス	底質改善エリア 博多湾奥部（広域） 効果期間の検討

### 5.1 計算ケースの設定

博多湾での環境改善技術の導入事例や博多湾環境保全計画における施策の項目の中から、以下の計算ケースを実施した。

表 5 計算ケース

ケース	ケース数等	備考	
1. 現況ケース 【Case1】	流動モデル：1 ケース 生態系モデル：1 ケース	平成 24 年を現況として計算	
2. 作濤ケース	(作濤なしケース) 【Case2-1】	流動モデル：1 ケース 生態系モデル：1 ケース 流動モデル：1 ケース 生態系モデル：1 ケース	現況での作濤条件は平成 19 年の測量成果をもとに設定した。別途作濤あり（作濤設計時）及び作濤なしのケースを実施する。
	(作濤ありケース) 【Case2-2】		
3. 深掘り埋戻しケース 【Case3-1、Case3-2】	流動モデル：2 ケース 生態系モデル：2 ケース	現況に対して埋め戻し実施、1 か所と 2 か所のケースを実施する。	
4. 藻場造成ケース 【Case4-1、Case4-2、Case4-3】 ※作濤は現況ケース（作濤あり）	生態系モデル：3 ケース	現況より藻場面積が多いケースを 2 ケースおよび少ないケースを 1 ケース実施する。	
5. 底質浄化ケース（覆砂想定） 【Case5-1、Case5-2】 ※作濤は現況ケース（作濤あり）	生態系モデル：2 ケース	底質浄化を実施した 2 ケースを実施	
6. 複合案組み合わせの効果をみるためのケース	底質浄化+藻場造成 【Case6】 ※作濤は現況ケース（作濤あり）	生態系モデル：1 ケース 底質浄化ケース+藻場造成ケース ※底質浄化および藻場造成の条件は、Case4-1~Case4-3 および Case5-1~Case5-2 の結果を見ながら設定	

### 5.1.1 作濤ケースの計算条件

作濤の有無による計算ケースは、御島地区の水深条件を変更することで実施した。各ケースにおける水深条件を図 19 に示す。現況ケースは平成 19 年度の測量成果を元に水深値を設定している。設計条件（現地盤から 1.5m 深）からはやや埋没しているが、作濤による水路部は確認できる。

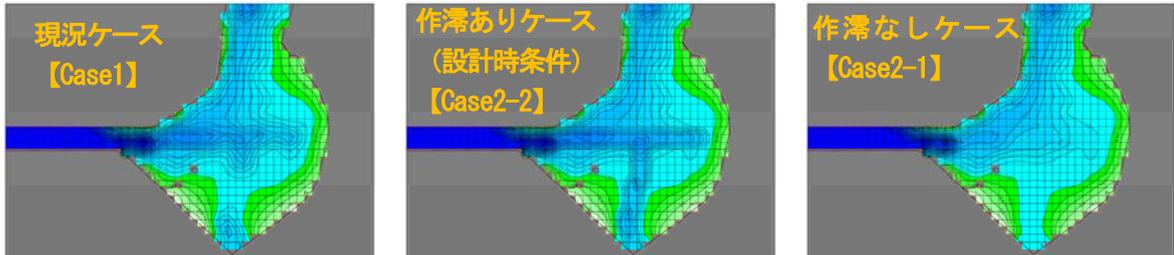


図 19 御島地区の水深条件

### 5.1.2 深掘り埋め戻しケースの計算条件

深掘りの有無による計算ケースでの水深条件を図 20 に示す。

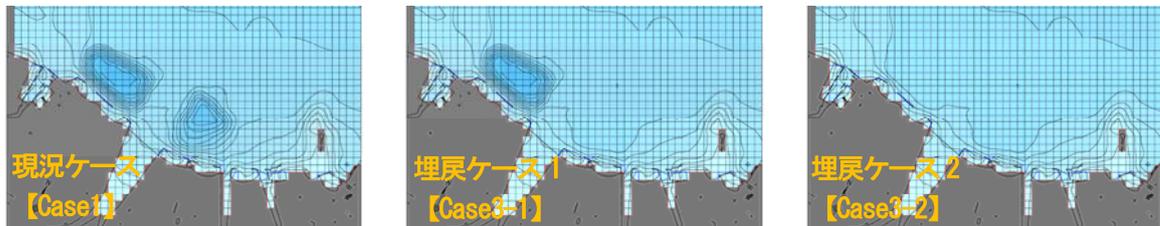


図 20 底質改善の設定範囲

### 5.1.3 藻場造成ケースの計算条件

藻場造成ケースは、現況より藻場面積が多い 2 ケースと少ない 1 ケース（現況の藻場が消失しているケース）を設定した。各ケースの藻場面積の設定条件を図 21 に示す。現況ケースでの藻場条件は、平成 24 年度夏季の調査結果に基づき御島地区の藻場条件を設定した。また、アイランドシティの緩傾斜護岸に沿っても藻場が確認されており、現況ケースについてはこれらも考慮した。



図 21 藻場の設定条件 (■：藻場の設定箇所)

### <アマモ生育のポテンシャルマップ>

計算結果及び既往の知見に基づき、アマモの生育に適すると考えられる場所を整理した。整理にあたっては光合成量（光量）、高水温、干出、流速の4つの制限要因<sup>9,10</sup>を考え、これらの制限を受けない場所がアマモの生育に適する場所と定義した。また光合成量による制限については、実測の透明度（公共用水域水質調査でのE-2、E-6、E-X1の平均値）、全天日射量（福岡地方気象台）と流動モデルにより計算された水温を基に月別に算定し、現場のアマモの生育分布と整合性の高かった4月の結果を代表値として用いた。

アマモの生育に適すると考えられる場所の整理結果を図22に示す。なお本整理結果は底質状況やアオサとの競合などによる制限は考慮していない点は留意が必要である。

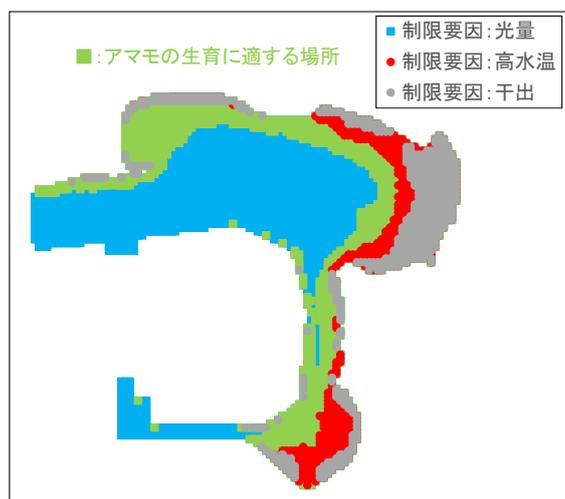


図22 アマモの生育に適すると考えられる場所

#### 5.1.4 底質浄化ケースの計算条件

底質浄化ケースについては、覆砂を実施するケースを想定し、現況ケースにおける底泥の初期条件（底泥中の有機物および間隙水濃度等）を浄化した（濃度=0とする）ケースを設定した。設定箇所については、藻場と同様の領域において（図21）、現況ケースにおいて底泥の生物量が少ない水深帯とし、図23に示す場所とした（和白干潟に関しては考慮しない）。

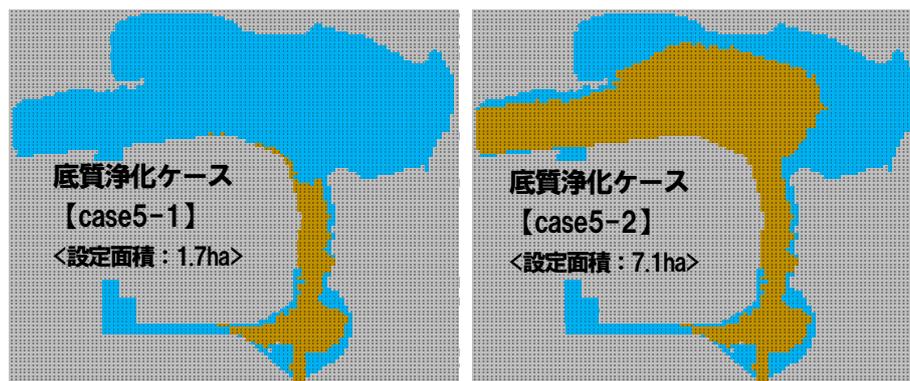


図23 覆砂の設定条件（■：覆砂の設定箇所）

<sup>9</sup> 森田健二・竹下彰(2003)：アマモ場分布限界水深の予測評価手法、土木学会論文集、No. 741/VII-28、39-48

<sup>10</sup> 森田晃央・国分秀樹・宮松亜美・藤井瑞穂・倉島彰・前川行幸(2010)：コアマモ移植株の生長と生残におよぼす底質中の水温と干出時間の影響、水産増殖、58(2)、261-267

## 5.2 予測計算結果

以下には予測計算結果を整理した。生物生息環境の改善状況を定量的に把握するため、水温・塩分に加え、水質項目においては生物生息環境に影響を及ぼすChl-aやDOにも着目して整理を行った。

### 5.2.1 作濤ケース

#### (1) 海水交換の変化

環境改善技術のうち作濤については、直接的に海水交換に変化を及ぼすものである。博多湾での事例の効果を定量的に把握するために、作濤による海水交換量の変化を評価した。図24には作濤が実施された御島地区の事例を示すが、湾奥の閉鎖性の高い水域において作濤の有無により、流況および海水交換量がどの程度変わるかを計算結果により評価した。

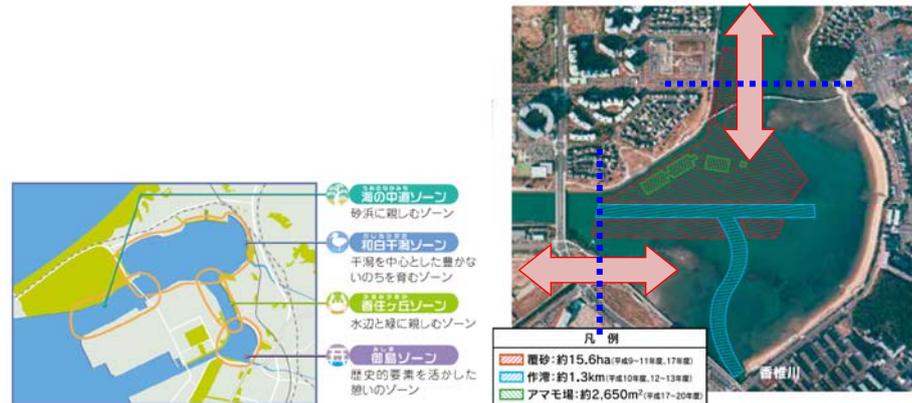


図24 御島地区の作濤工

#### 1) 潮流および入退潮量の変化

図25に示す断面において全層積分した断面通過流量を算定し、年間および各月において流入成分、流出成分(方角毎)に平均し各ケースで比較した。

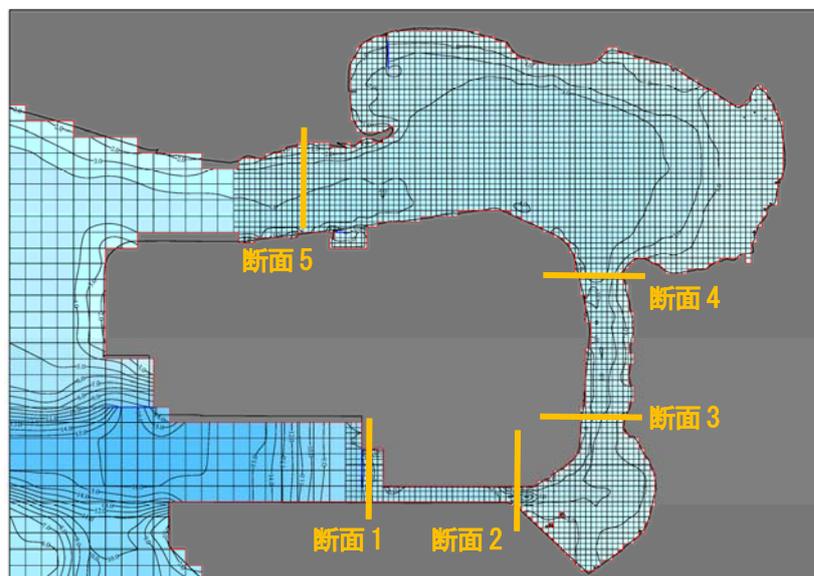


図25 断面通過流量を設定した断面

- 断面1～3においては、作濤ありのケースの流量が作濤なしのケースより多く、作濤の効果により海水交換(上げ潮、下げ潮ともに)が増加している傾向が確認できた。
- 断面1～3での年平均での作濤あり/作濤なしの流量の比率は、流入する方向において、それぞれ107%、108%および115%となっていた。
- 断面4および5においては、作濤ありのケースの方が、流量が減少する傾向であり、同様に断面4が88%、断面5が99%となっていた。

## 2) 潮流ベクトルの変化

作濤による潮流ベクトルの変化の模式図を図 26 に示す。

- 作濤なしのケースでは、博多湾から和白干潟への 2 つの経路の流れが、香住ヶ丘の水路において、上げ潮時には収束点を持ち、下げ潮時には発散点を持っている。一方、作濤ありのケースでは、その収束・発散点（分岐点）がいずれも和白干潟側へ移動している。
- 先に述べた断面 4 における、断面通過流量の減少傾向については、この流れの分岐点の移動により解釈できる。つまり、作濤工により、上げ潮時には、南側水路を介した流入量が大きくなり、流れの収束点が和白干潟側へ移動した。逆に、北側水路を介した流入量は減少する傾向になったものと考えられる。下げ潮時についても、変化は小さいものの、同様の機構で流速・流量の変化があったものと考えられる。

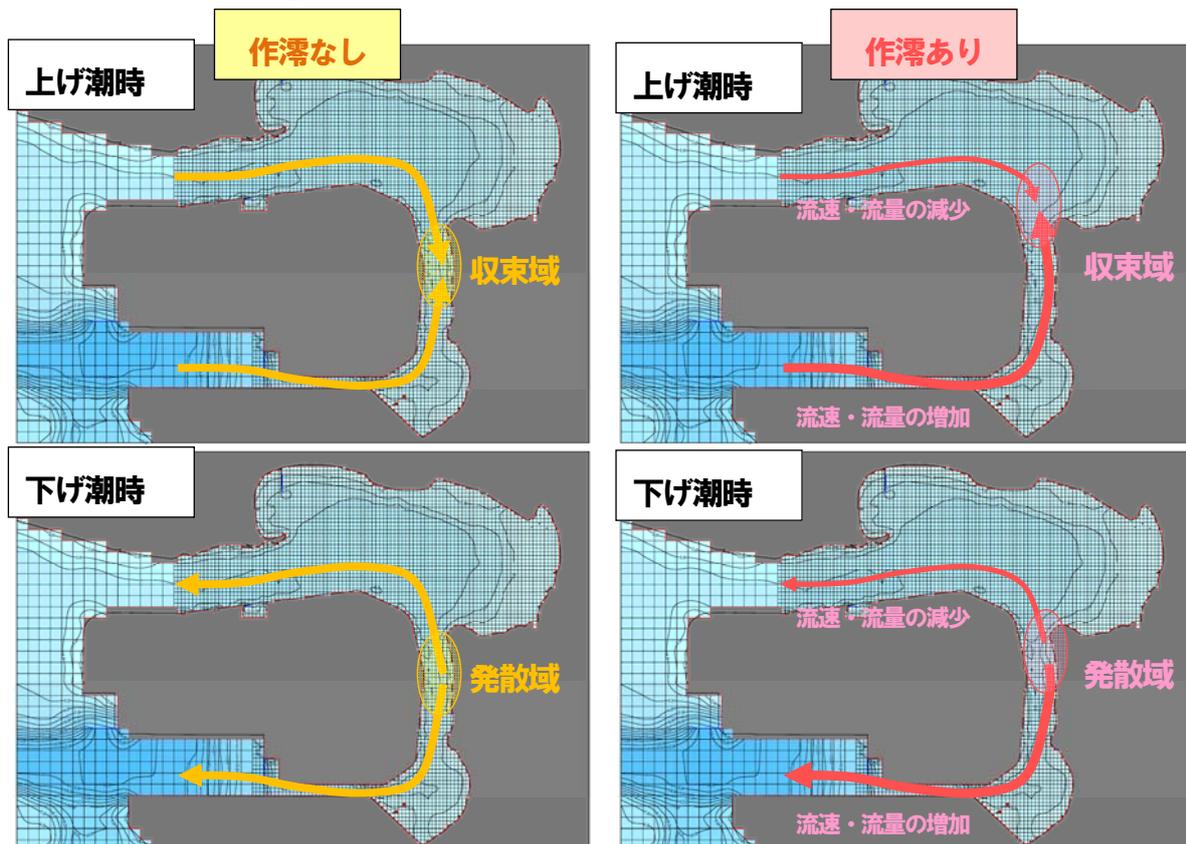


図 26 潮流ベクトルの変化の模式図

## 3) 潮流流速の変化

作濤による潮流流速の変化の模式図を図 27 に示す。

- 作濤なしの流況とくらべて、作濤後は特に上げ潮時に潮流流速の変化が大きく、上層と下層ともにアイランドシティの南側の水路部や東側の水路部で流速の増加域が見られ、一方で御島地区の南側で流速の減少域が見られた。
- 作濤により、御島地区の比較的広域に広がっていた流れが作濤部付近から湾奥に集中したためと考えられる。

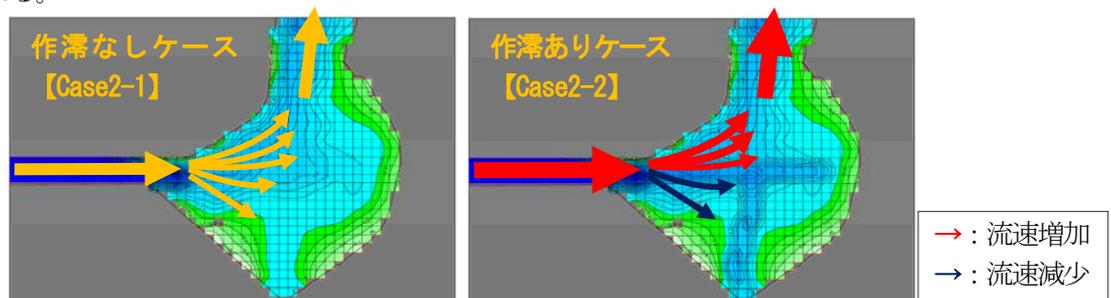


図 27 潮流の上げ潮時の流速変化の模式図

#### 4) 平均流成分の変化

断面1および断面5での断面通過量の月平均値を算定し、作濤なしと作濤ありについて平均流成分の変化を比較した(図28)。

- 年間を通して、断面5では東向き、断面1では西向きの流量が計算されており、アイランドシティに対して時計回りの循環流が形成されていた。
- 作濤なしと作濤ありのケースを比較すると、年間平均では、作濤により循環流が強化される傾向であったが、6~9月の成層期には循環量が減少する傾向が見られた。
- 断面1では、冬季は全層で流出傾向であったが、夏季には流入河川の影響と成層状況により、下層で流入、表層で流出の構造が見られた。そのため、作濤により断面1の下層での流出入がしやすくなると、冬季では平均流成分として流出が強化され、夏季では平均流成分としての流入が強化される。この結果、冬季には時計回りの循環が強化され、夏季には弱化された可能性が考えられる。

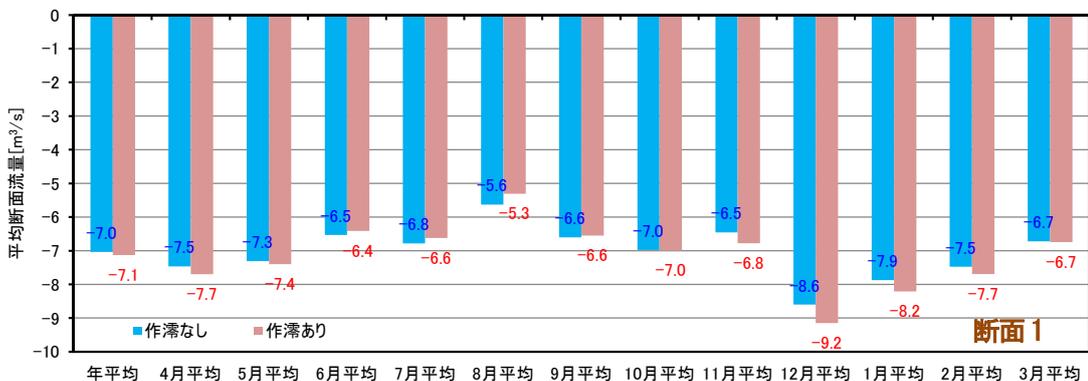
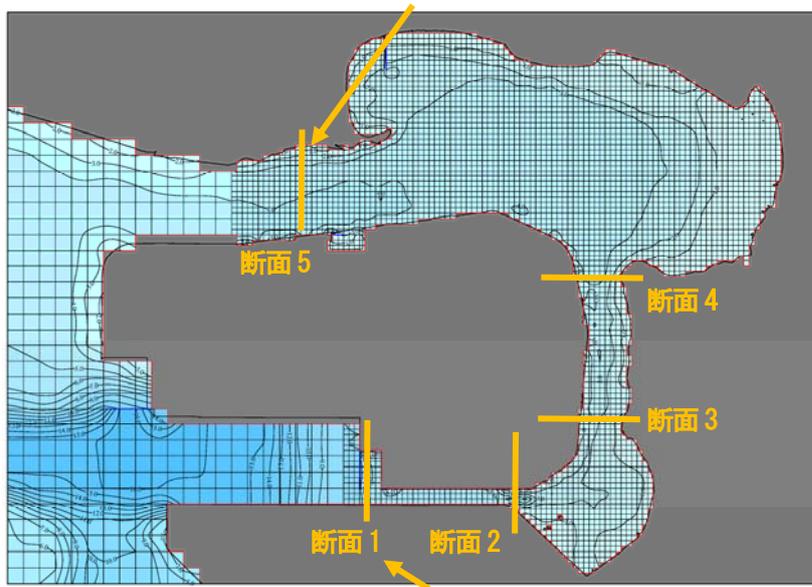
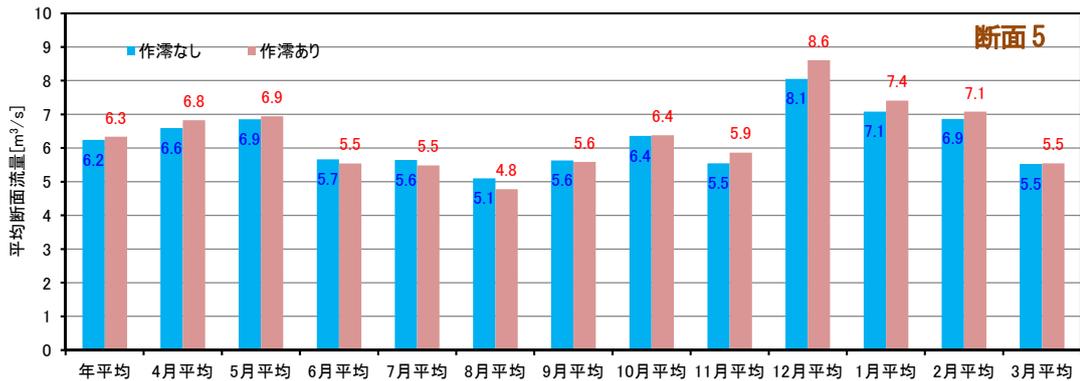


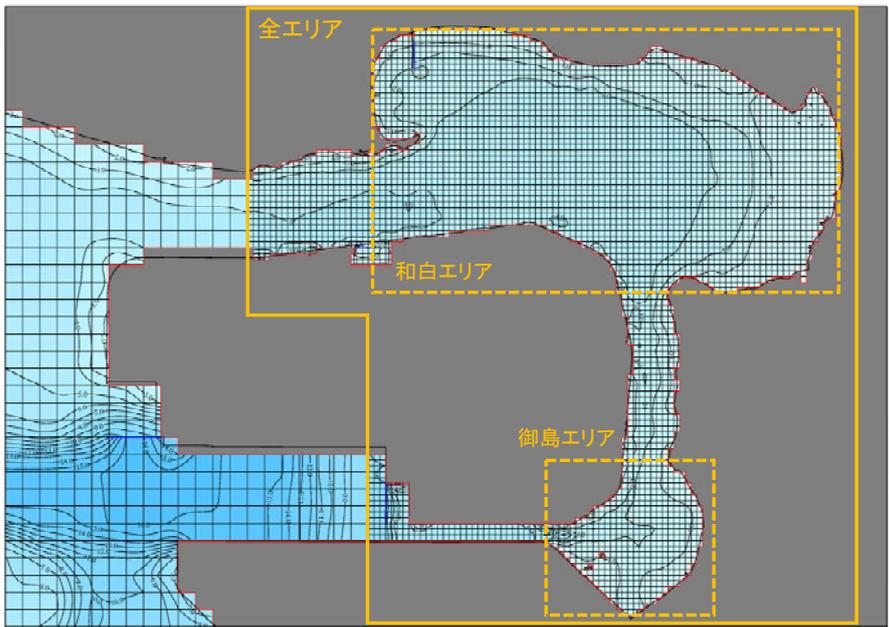
図28 断面通過流量の各月の平均値の比較

### 5) 滞留時間の変化

作濤による流動場の変化は、潮汐流（入退潮量）と平均流で傾向が異なっていることから、滞留時間で海水交換の変化を把握することとした。滞留時間の把握に際しては、保存系の拡散シミュレーションを実施した。計算条件を表 6 に示す。拡散シミュレーションでは、表 6 に示す各海域（御島エリア、和白エリア、全エリア）を全層一様に濃度 100 と設定し、設定した濃度が流れとともにどのように希釈されていくかを解析することで、各海域における海水の滞留時間を推定する。

参考として、御島エリアに濃度を設定した場合の計算結果の一例を図 29 に示す。

表 6 拡散シミュレーションの計算条件

計算ケース	作濤なし (Case2-1), 作濤あり (Case2-2)
計算期間	2012年8月1~31日 (夏季), 2012年12月1~31日 (冬季)
濃度を設定する海域	
※各エリアの全層を濃度 100 と設定	

#### 【御島エリア (夏季)】

※計算期間：2012年8月1日 0:00~2012年8月31日 23:00

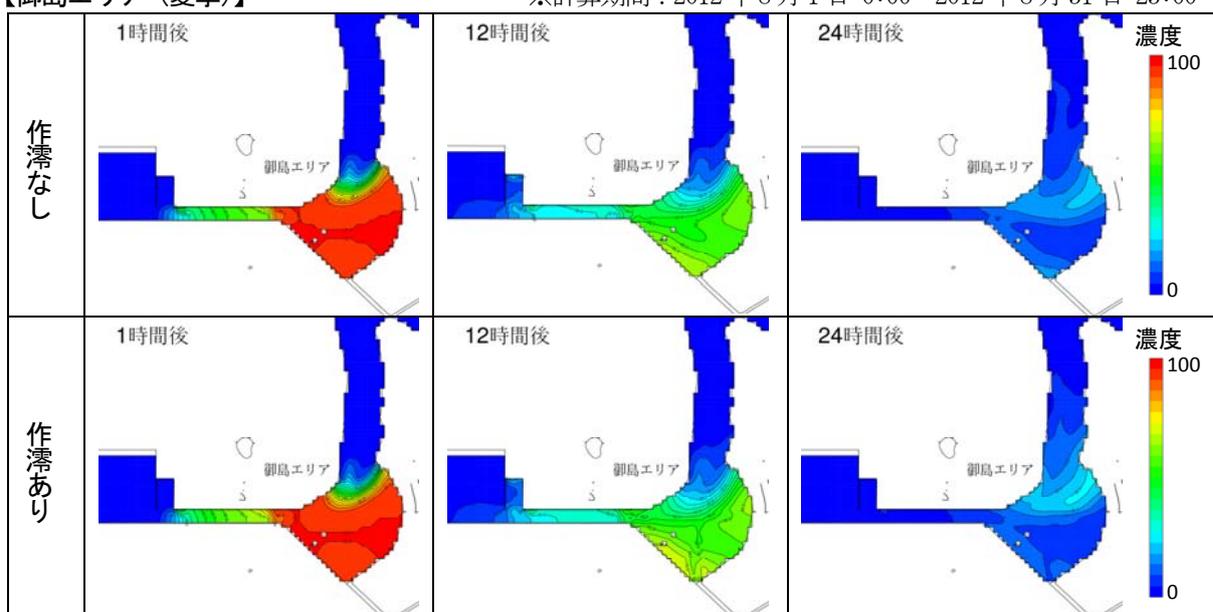


図 29 拡散シミュレーションの結果の例 (御島エリア[水柱での平均濃度])

各海域における滞留時間を算定するにあたり、本検討では滞留時間を、

$$\text{滞留時間} = \text{海域内での平均濃度が計算開始時刻の} 1/100 \text{ に低下するのに要する時間}$$

と定義した。なお滞留時間の算定にあたっては潮汐に伴う周期的な濃度変化の影響を除去するため、海域内での平均濃度をさらに 25 時間移動平均した値を使用した。各海域における平均濃度の時間変化を図 30 に、作濤の有無による滞留時間の変化を図 31 に示す。

図 31 から、夏季はどの海域においても、作濤ありの方が作濤なしにくらべて滞留時間が1~3時間程度長くなっており、作濤によって海水交換がやや弱化する傾向となっていた。反対に、冬季は御島エリアを除いて滞留時間が1~6時間程度減少する(海水交換が強化する)傾向であった。この結果は、図 28 に示した断面通過流量の変化傾向と整合している。

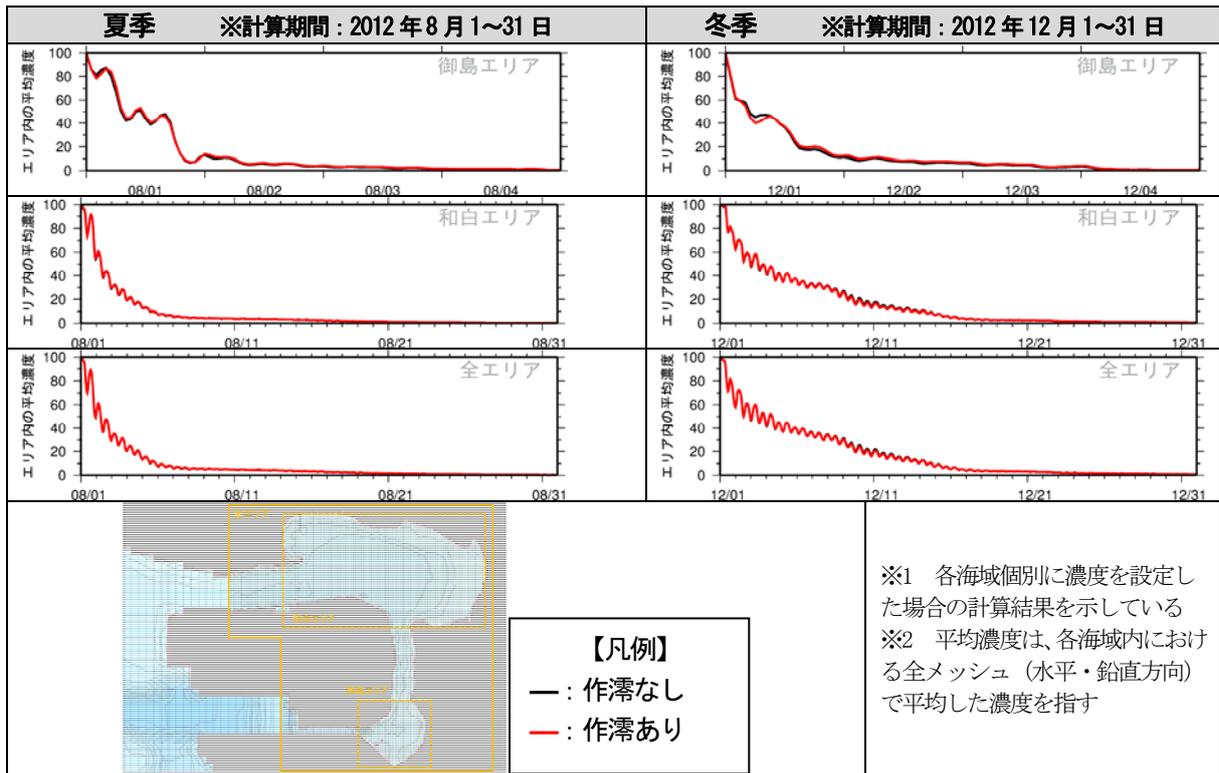
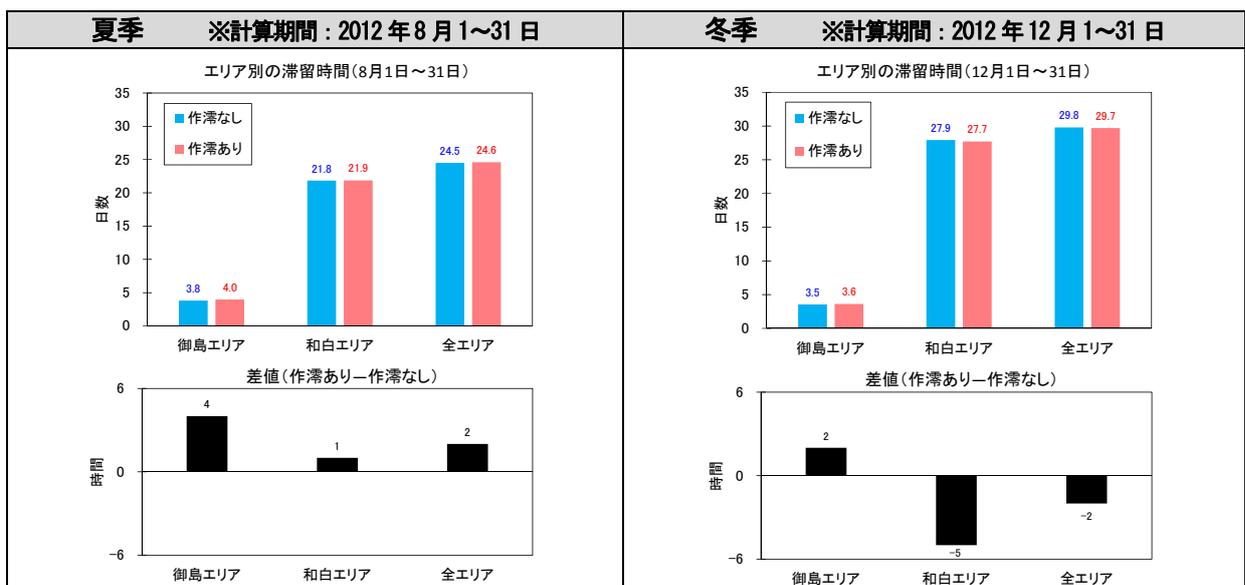


図 30 各海域における平均濃度の時間変化



※1 各海域個別に濃度を設定した場合の計算結果を示している

図 31 作濤による海域別の滞留時間(各海域での平均濃度が1/100に低下するのに要する時間)の変化

(2) 水温・塩分の変化

作濤の有無における水温、塩分の作濤部に沿った鉛直断面分布の比較図を図 32 に示す。

(水温)

- 上げ潮時では、作濤なしのケースでは、浅い海岸近くに高水温の水塊が見られたが、作濤ありのケースでは、水温が顕著に低下していた。作濤により低水温の水塊が、御島地区の浅場にまで到達することで、水温が低下したものと考えられる。
- 下げ潮時では、両ケースともに表層は昇温するが、作濤ありのケースでは底層が低水温に維持され、結果として水温成層が形成される傾向であった。

(塩分)

- 上げ潮時では、作濤なしのケースでは、浅い海岸近くに低塩分の水塊が見られたが、作濤ありのケースでは、塩分が顕著に高くなっていった。作濤により高塩分の水塊が、御島地区の浅場にまで到達することで、塩分が上昇したものと考えられる。
- 下げ潮時では、作濤ありのケースでは底層に高塩分水塊が維持され、作濤部に塩分成層が形成される傾向であった。

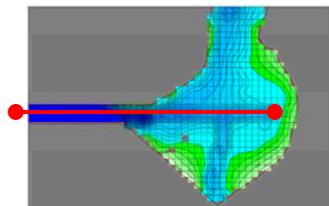
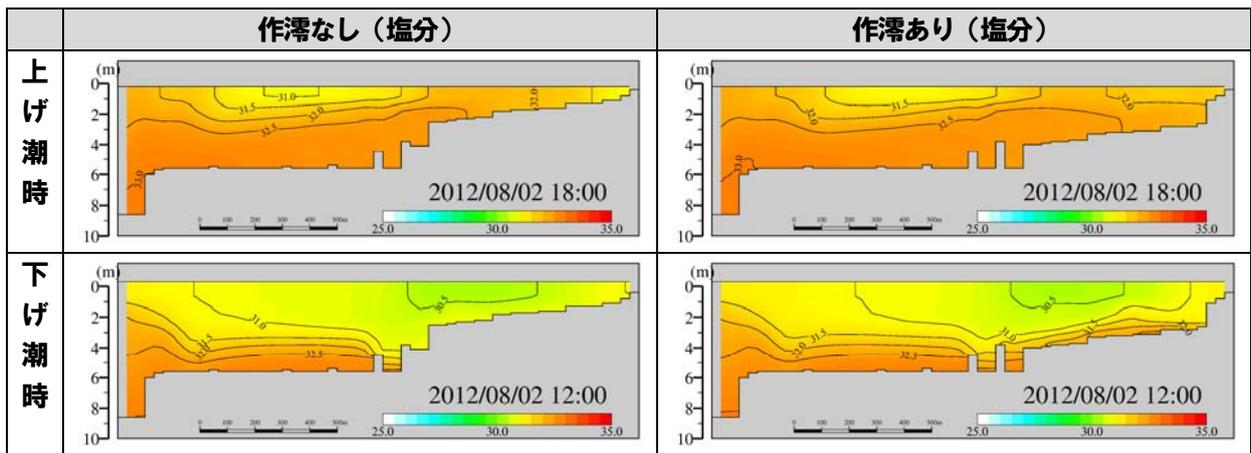
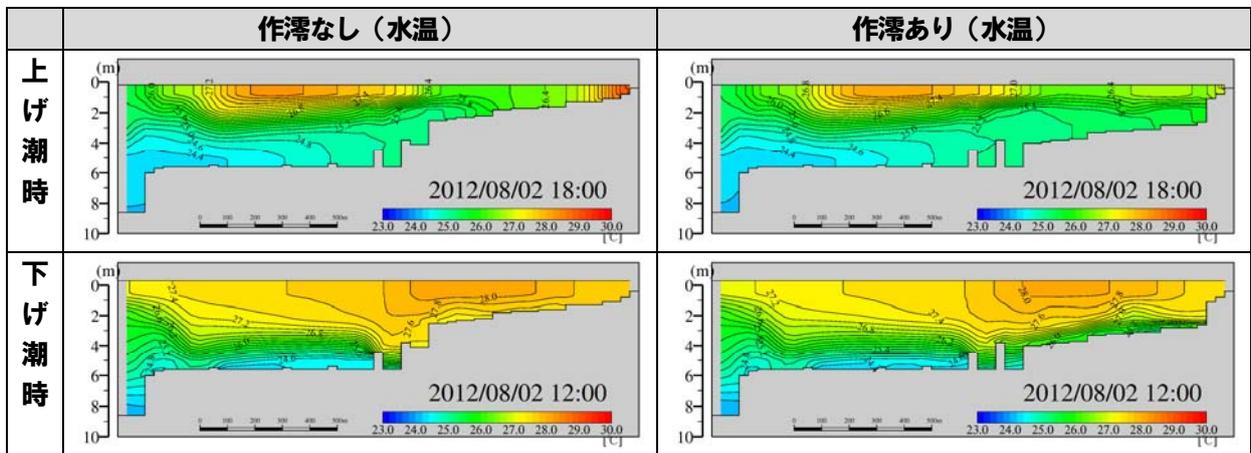


図 32 水温・塩分の鉛直断面分布の比較

### (3) 水質濃度の変化

水質項目の濃度変化について、ケース間の時系列として把握した。作霽の有無における Chl-a、T-N、T-P、DO の水質濃度の経時変化の比較を行った。比較結果を図 33 に示す。

- 御島地区の外側航路部の水質濃度の影響を受けて、作霽の地点 (MS-03) の下層では、水質濃度が大きく低下していた。
- 一方、作霽に伴って DO 濃度は低下しており、外側航路部の貧酸素水塊を御島地区に引き込んでいる状況であった。

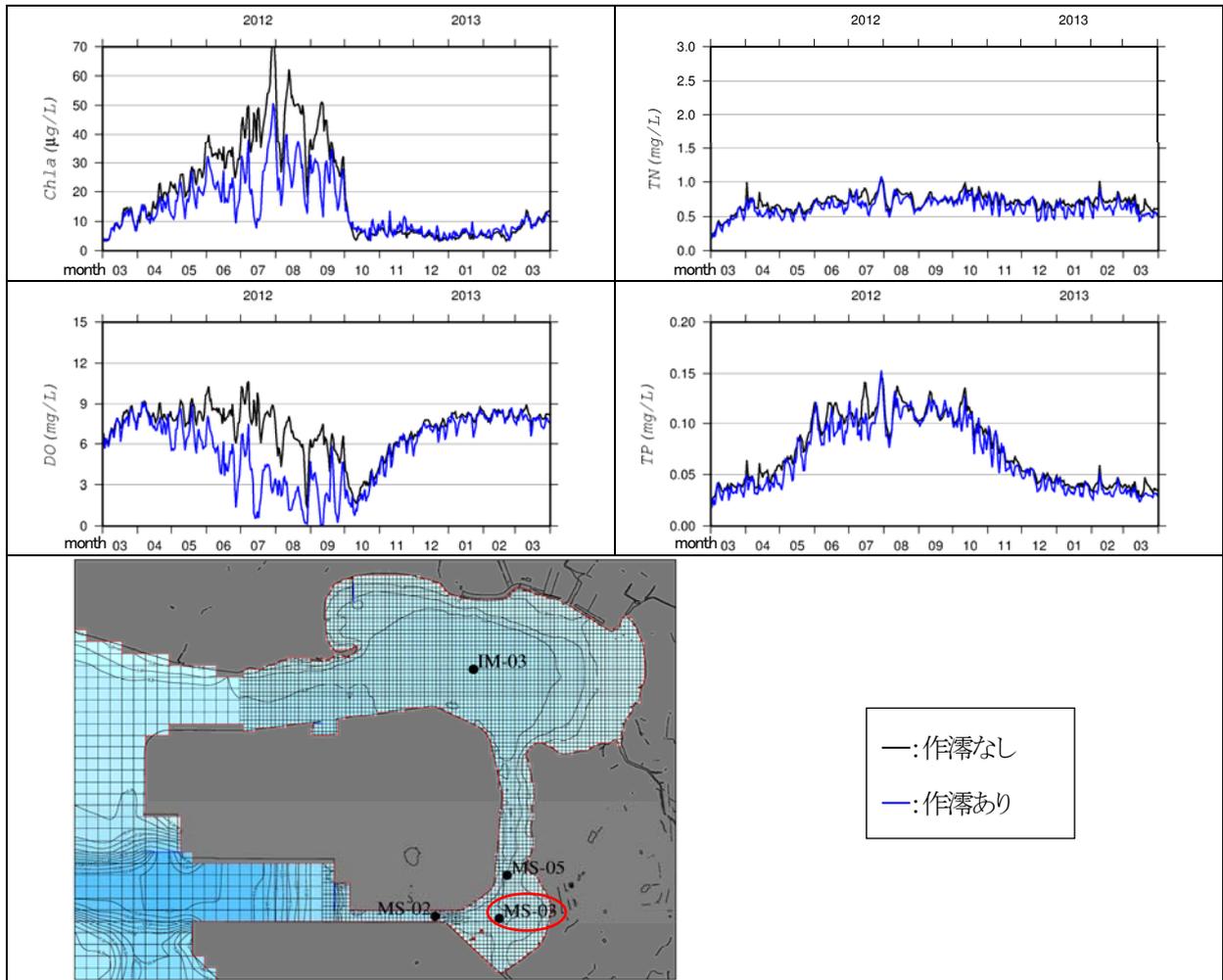


図 33 水質濃度のケース間の比較 (—: 作霽なし、—: 作霽あり) (地点 MS-03、下層)

#### (4) 貧酸素水塊の変化

作濤の有無における貧酸素面積の経時変化の比較を行った。比較結果を図 34 に示す。

- 作濤により、貧酸素面積が増加しており、外側航路部の貧酸素水塊を御島地区に引き込んでいる状況であった。

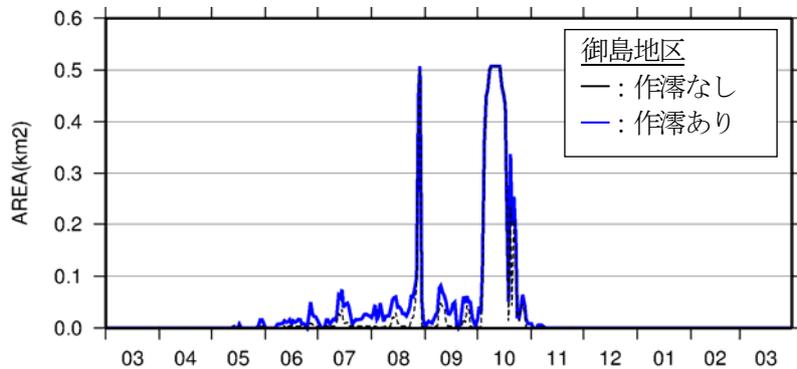


図 34 貧酸素面積のケース間の比較（作濤ケース、御島地区）

#### (5) 浮遊系—底泥間のフラックスの変化

作濤の有無における浮遊系—底泥間の物質フラックスの変化の比較を行った。比較結果は御島地区（図 14 の B）について整理した（図 35）。

- 浮遊系と底泥間での物質フラックスに関しても、外側航路部の貧酸素水塊の影響を受けて、御島地区では、夏季にリン溶出や有機物の沈降フラックスがわずかに低下するとともに、DO 濃度が低下することにより、酸素消費速度についても低下する結果となっていた。

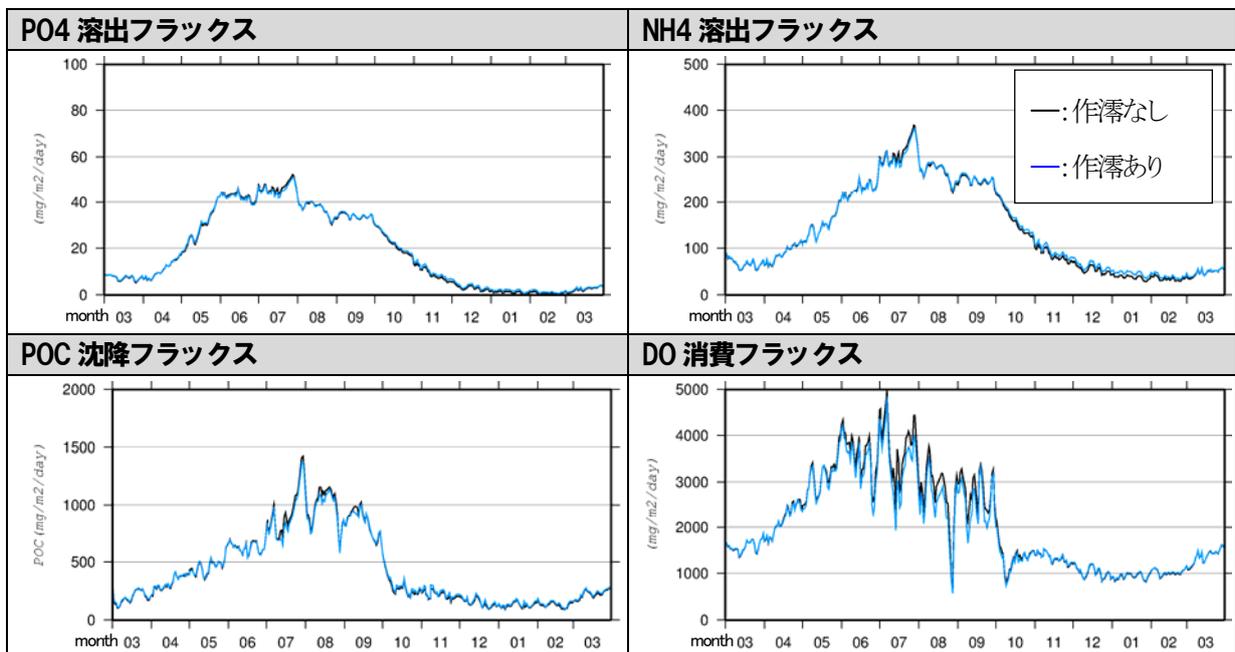


図 35 浮遊系—底泥間の物質フラックス

## 5.2.2 深掘り埋め戻しケース

### (1) 水質濃度の変化

水質項目の濃度変化について、ケース間の時系列として把握した。深掘り埋め戻し前後における Chl-a、T-N、T-P、DO の水質濃度の経時変化の比較を行った。比較結果を図 36 に示す。

- 深掘り埋め戻しにより、深掘り部の貧酸素は解消する結果であった。
- 同時に、底泥からの栄養塩の溶出量が減少し、窒素・リンの下層での水質濃度の低下が見られた。

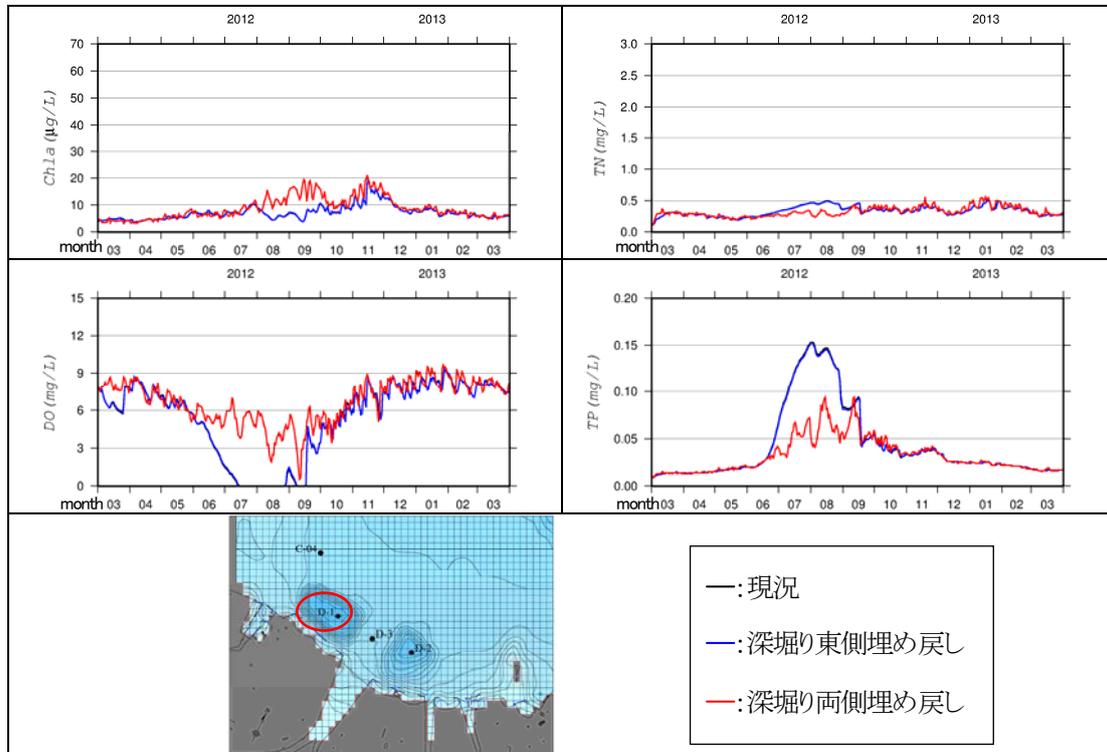


図 36 水質濃度のケース間の比較 (深掘り埋め戻しケース) (地点D-1、下層)

### (2) 貧酸素水塊の変化

生物生息環境に影響を及ぼす溶存酸素濃度 (DO) の変化について把握した。特に DO 濃度の変化に加えて、貧酸素水塊の規模と期間の変化について、生物生息に影響が生じる貧酸素濃度を設定し (3mg/L 程度)、その面積についてケース間で比較した。深掘り埋め戻し前後における底層溶存酸素濃度の差値の分布、および貧酸素面積の経時変化の比較を行った。比較結果を図 37 と図 38 に示す。

- 深掘りが存在しなくなったことで、周辺の水域では、深掘りへ輸送されていた有機物が残存することとなり、一部では有機物量の増加に伴い、DO 濃度が低下する傾向も見られた。なお、この傾向は DO 濃度が概ね 6.0mg/L 以上の高い水域で生じており、貧酸素化 (3.0mg/L 以下) となる懸念があるものではない。

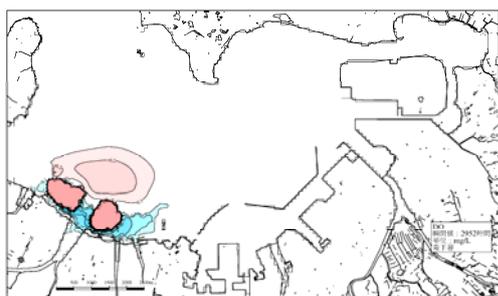


図 37 底層溶存酸素濃度の差値 (深掘り両側埋め戻し—現況) の分布 (7月平均、下層)

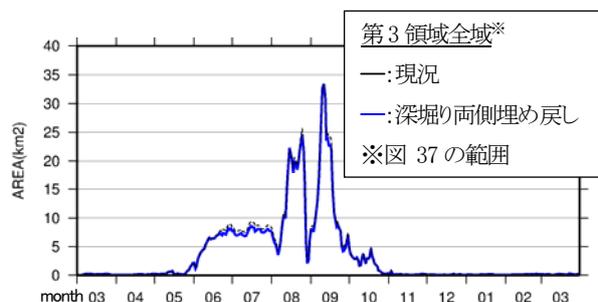


図 38 貧酸素面積のケース間の比較 (第3領域全域、深掘り両側埋め戻しケース)

### 5.2.3 藻場造成ケース

#### (1) 水質濃度の変化

水質項目の濃度変化について、ケース間の時系列として把握した。藻場造成前後における Chl-a、T-N、T-P、DO の水質濃度の経時変化の比較を行った。比較結果を図 39 に示す。

- 藻場を造成することで、御島地区および和白天潟前面の各水質項目において、春季から夏季にかけて上層および下層での水質濃度 (Chl-a、T-N および T-P) が低下し、DO は上昇する結果であった。
- 一方、現況で考慮している藻場を無くしたケースでは、水質濃度は増加する傾向であった。
- 藻場の造成による水質改善 (Chl-a、T-N、T-P の濃度低下) は上層で大きく、DO の上昇は下層で大きい傾向であった。上層で内部生産を抑え、下層での酸素供給に寄与したものと考えられる。

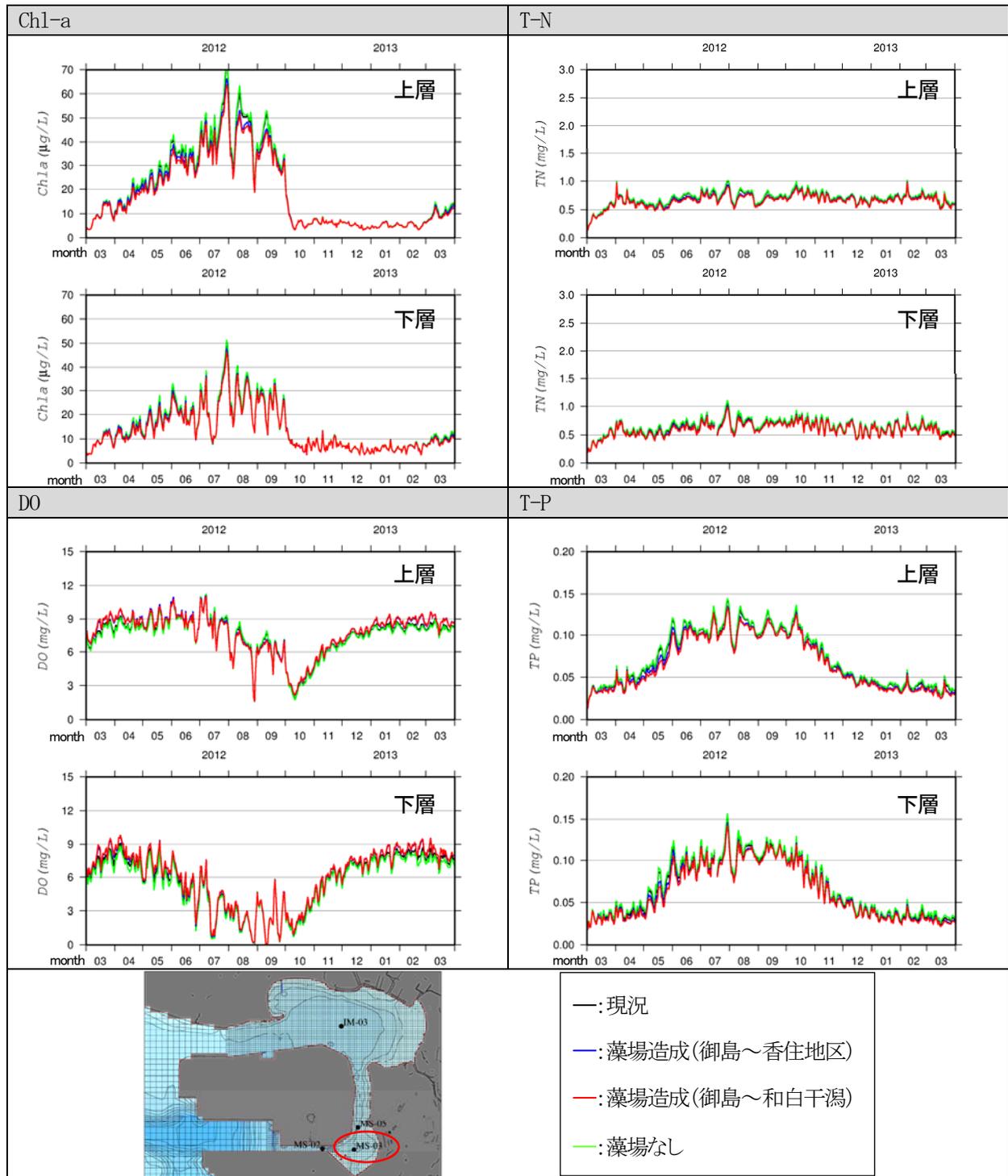


図 39(1) 水質濃度のケース間の比較 (藻場造成ケース) (地点: MS-03)

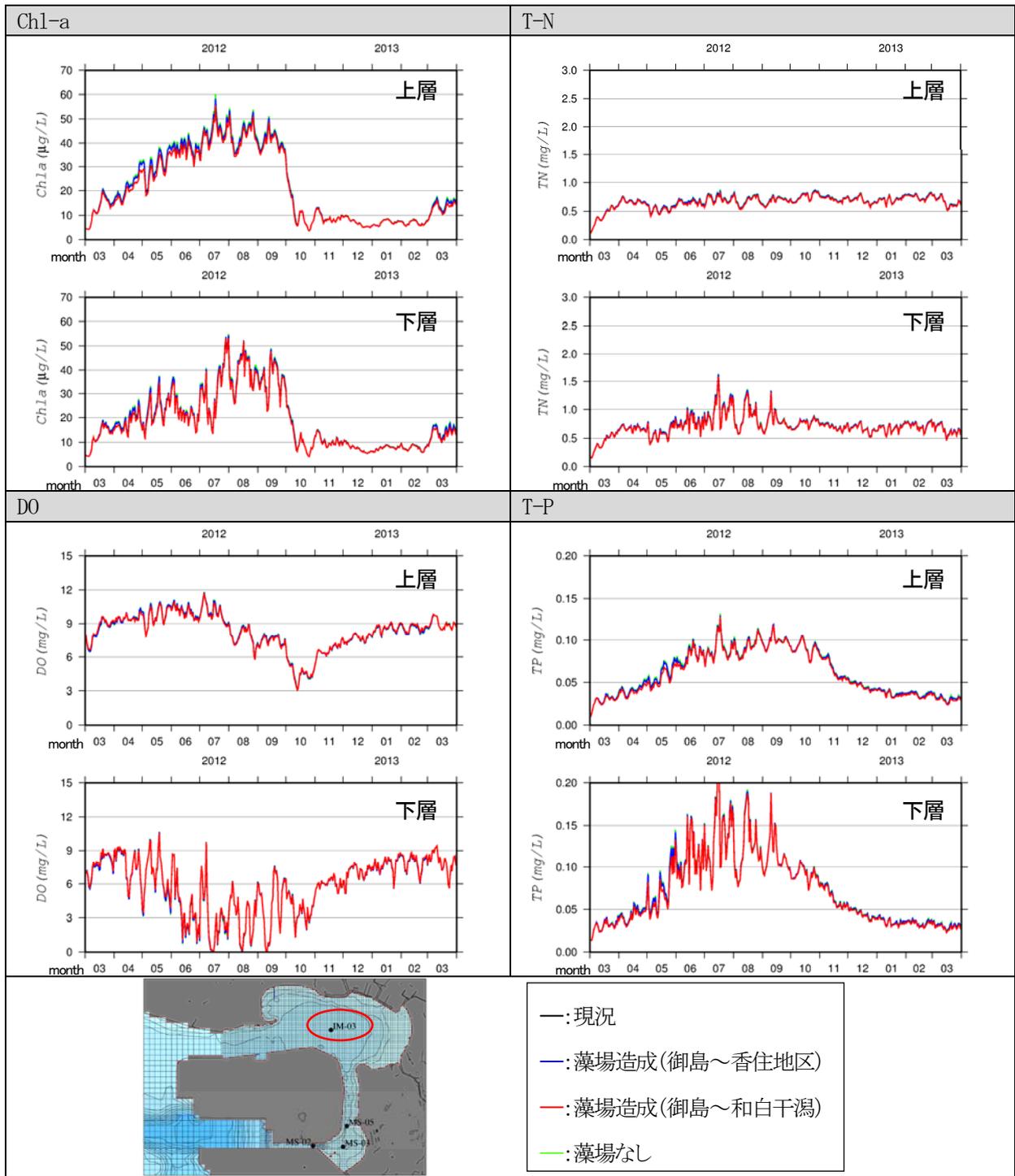


図 39(2) 水質濃度のケース間の比較 (藻場造成ケース) (地点: IM-03)

(2) 貧酸素水塊の変化

藻場造成前後における貧酸素面積の経時変化の比較を行った。比較結果を図 40 に示す。

- 藻場造成により、わずかに貧酸素面積の減少が見られた。

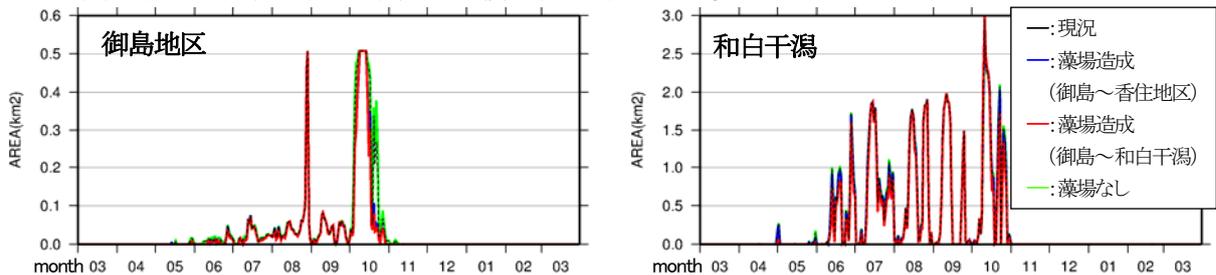


図 40 貧酸素面積のケース間の比較 (藻場造成ケース)

### (3) 浮遊系—底泥間のフラックスの変化

藻場造成における浮遊系—底泥間の物質フラックスの変化の比較を行った。比較結果は御島地区 (図 14 のB) について整理した (図 41)。

- 浮遊系と底泥間での物質フラックスに関しても一定の効果を有し、御島地区において、最も藻場を広く造成したケースで、夏季にリン溶出で 5%程度、有機物の沈降フラックスで 6%程度、低下する結果が得られた。
- 酸素消費速度に関してはほとんど変化しなかったが、藻場の成長により供給された酸素による酸化が寄与しているものと考えられる。

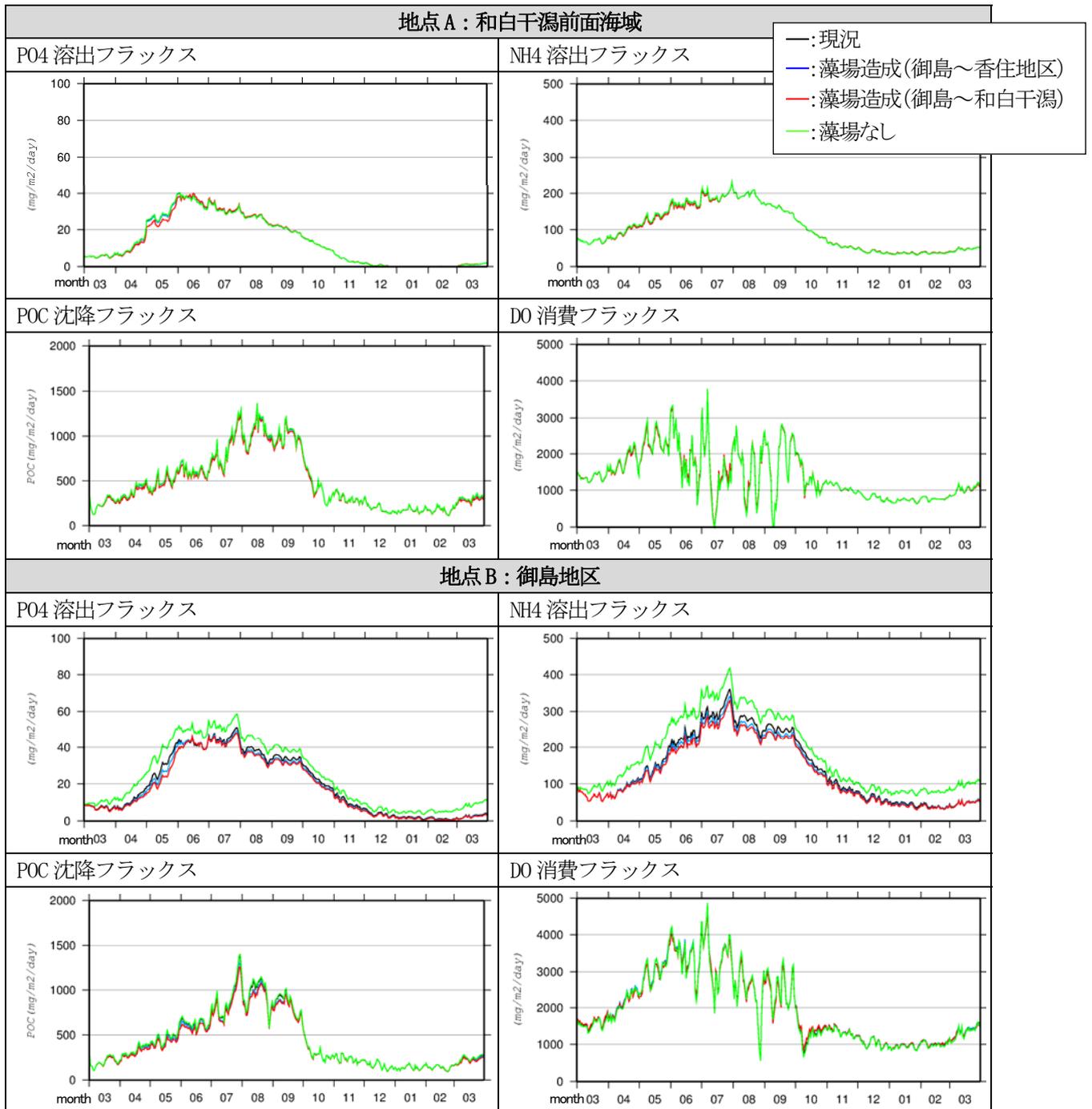


図 41 浮遊系—底泥間の物質フラックス

## 5.2.4 底質浄化ケース

### (1) 水質濃度の変化

水質項目の濃度変化について、ケース間の時系列として把握した。底質浄化（覆砂）前後における Chl-a、T-N、T-P、DO の水質濃度の経時変化の比較を行った。比較結果を図 42 に示す。

- 底質浄化を実施したケースでは、覆砂を想定して、計算初期の段階で底泥に含まれている有機物等を除去した計算を実施している。この効果により、3月の計算開始から秋季（9～10月）まで底質浄化を行ったケースで、各水質項目で濃度の低下が見られた。
- Chl-a は上層での濃度低下が顕著で、T-N および T-P は下層での濃度低下が顕著であった。T-N および T-P は直接的な溶出抑制の効果が見られ、栄養塩供給の抑制により上層で内部生産が抑えられたものと考えられる。
- 最も広範囲で底質浄化を行ったケース（図 42 の赤線）では、底層 DO 濃度の上昇も顕著であった。一方、表層では内部生産が抑えられたことで、逆に DO 濃度がやや低下する傾向が見られた。

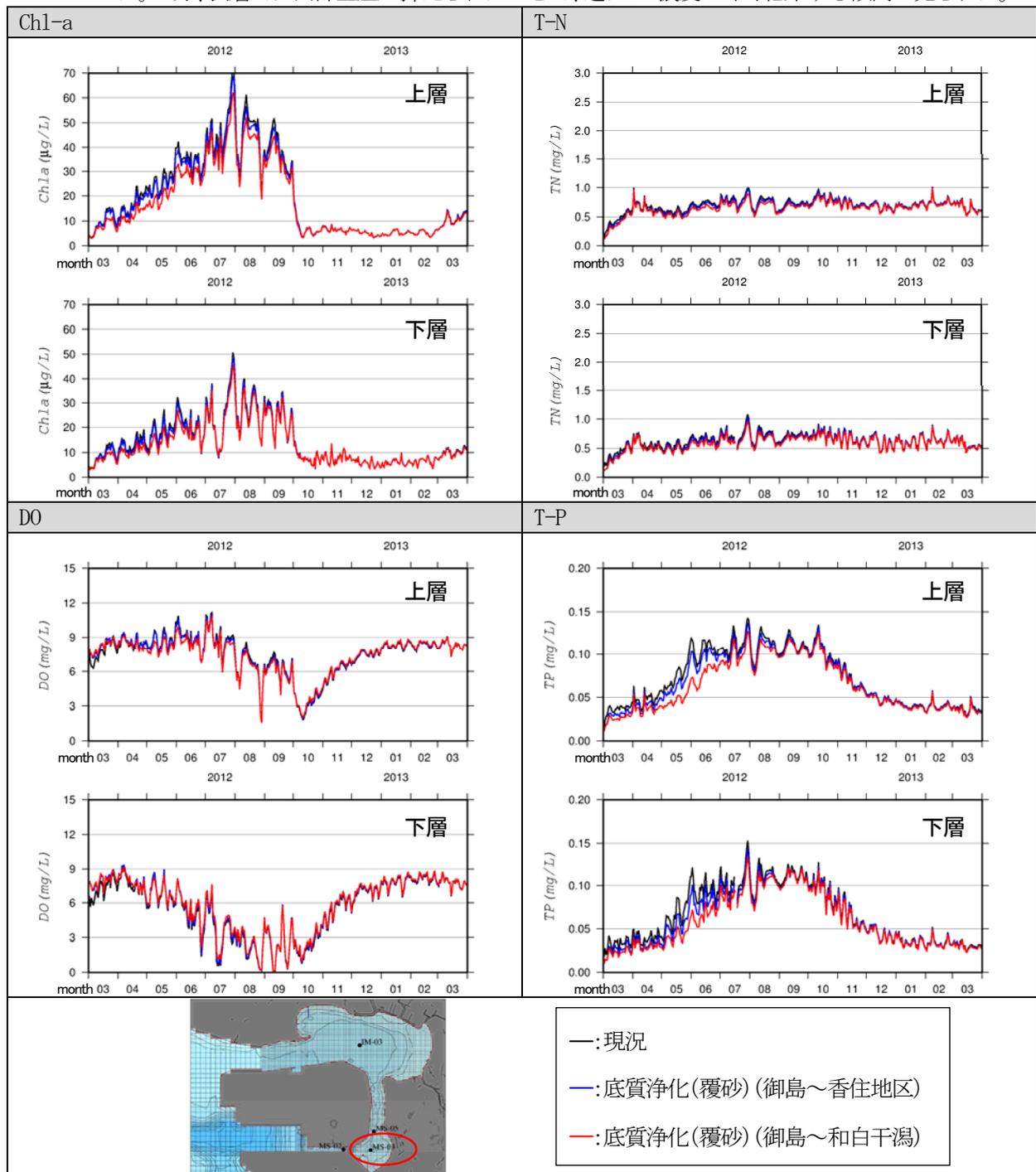


図 42(1) 水質濃度のケース間の比較（底質浄化（覆砂）ケース）（地点：MS-03）

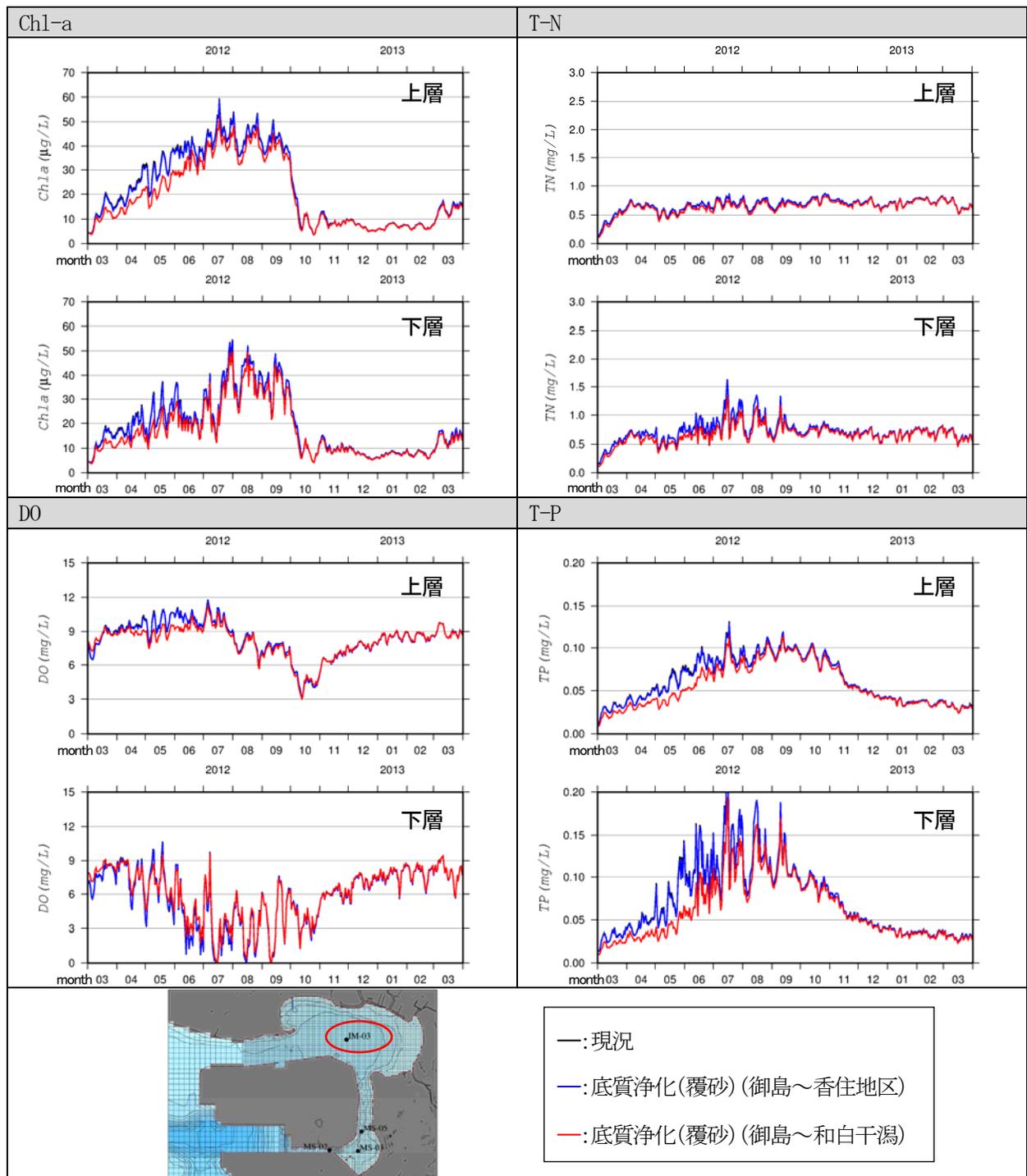


図 42(2) 水質濃度のケース間の比較 (底質浄化 (覆砂) ケース) (地点: IM-03)

## (2) 貧酸素水塊の変化

底質浄化 (覆砂) 前後における貧酸素面積の経時変化の比較を行った。比較結果を図 43 に示す。

- 底質浄化 (覆砂) により、わずかに貧酸素面積の減少が見られた。

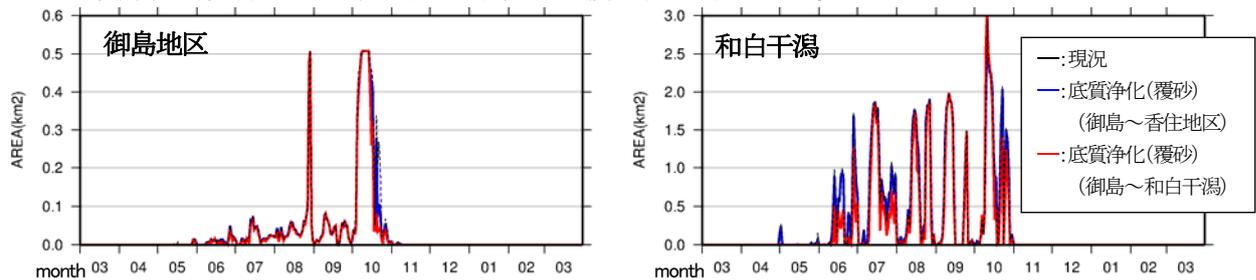


図 43 貧酸素面積のケース間の比較 (底質浄化 (覆砂) ケース)

### (3) 浮遊系—底泥間のフラックスの変化

底質浄化（覆砂）による浮遊系—底泥間の物質フラックスの変化の比較を行った。比較は図 14 に示す、和白干潟前面および御島地区について整理した（図 44）。

- 浮遊系と底泥間での物質フラックスは、概ね秋季（9～10月）には、現況との差が小さくなっており、夏季の大きな内部生産で底泥へ有機物が供給され、初期の底質浄化の効果が小さくなったものと考えられる。
- 検討に用いたモデルは、覆砂の効果を有機物の除去として取り扱っており、覆砂に伴う粒径の変化等による物理的な効果などを考慮していないため、評価にあたっては留意する必要がある。

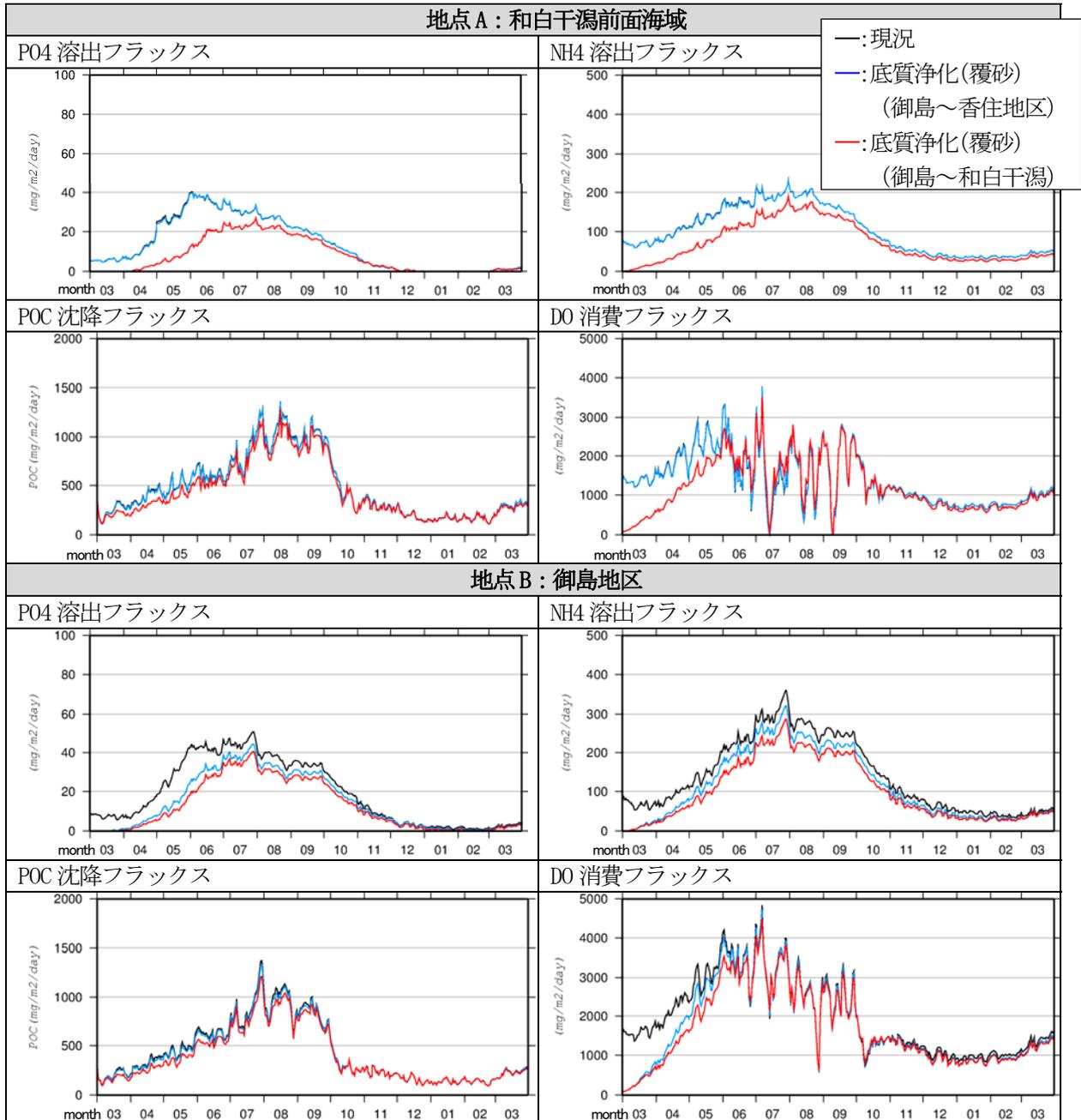


図 44 浮遊系—底泥間の物質フラックス

### 5.2.5 複合ケース（作濤、藻場造成および底質浄化（覆砂））

#### (1) 水質濃度の変化

水質項目の濃度変化について、ケース間の時系列として把握した。作濤・藻場造成・底質浄化（覆砂）前後における Chl-a、T-N、T-P、DO の水質濃度の経時変化の比較を行った。比較結果を図 45 に示す。

- 複合施策を実施したケースでは、Chl-a、T-N および T-P では、各地点で上層・下層ともに、水質濃度が明確に低下していた。
- 一方、DO 濃度は作濤部では低下する傾向であり、外側航路部から貧酸素水塊を引き込んでいる状況であった。ただし、香住地区から和白干潟前面の水域では、DO 濃度が上昇していた。
- 複数の施策が異なる場所、層で展開されることで、広範囲・上下層両層で、水質が改善される結果となっていた。

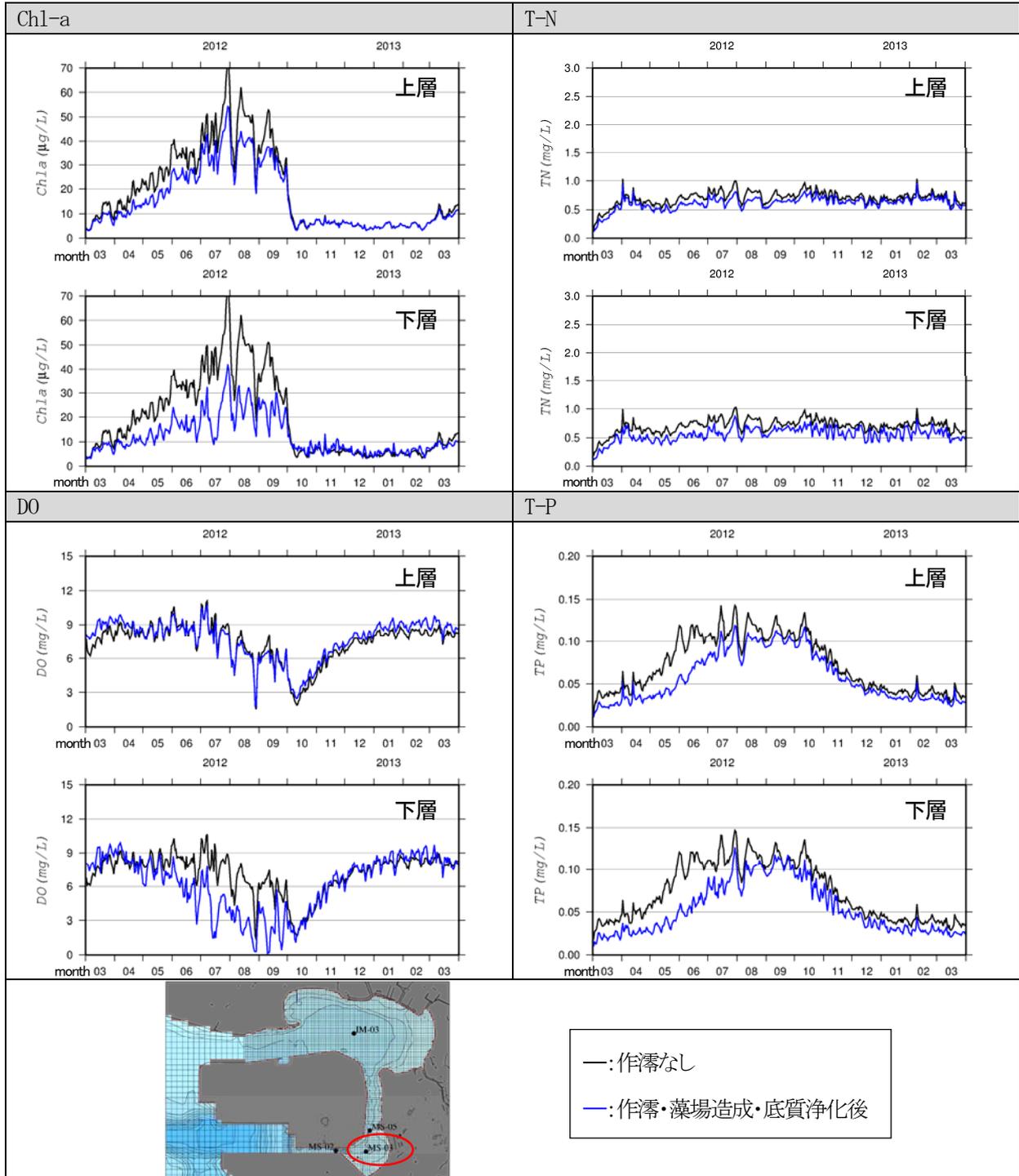


図 45(1) 水質濃度のケース間の比較（—：作濤なし、—：作濤・藻場造成・底質浄化後）（地点：MS-03）

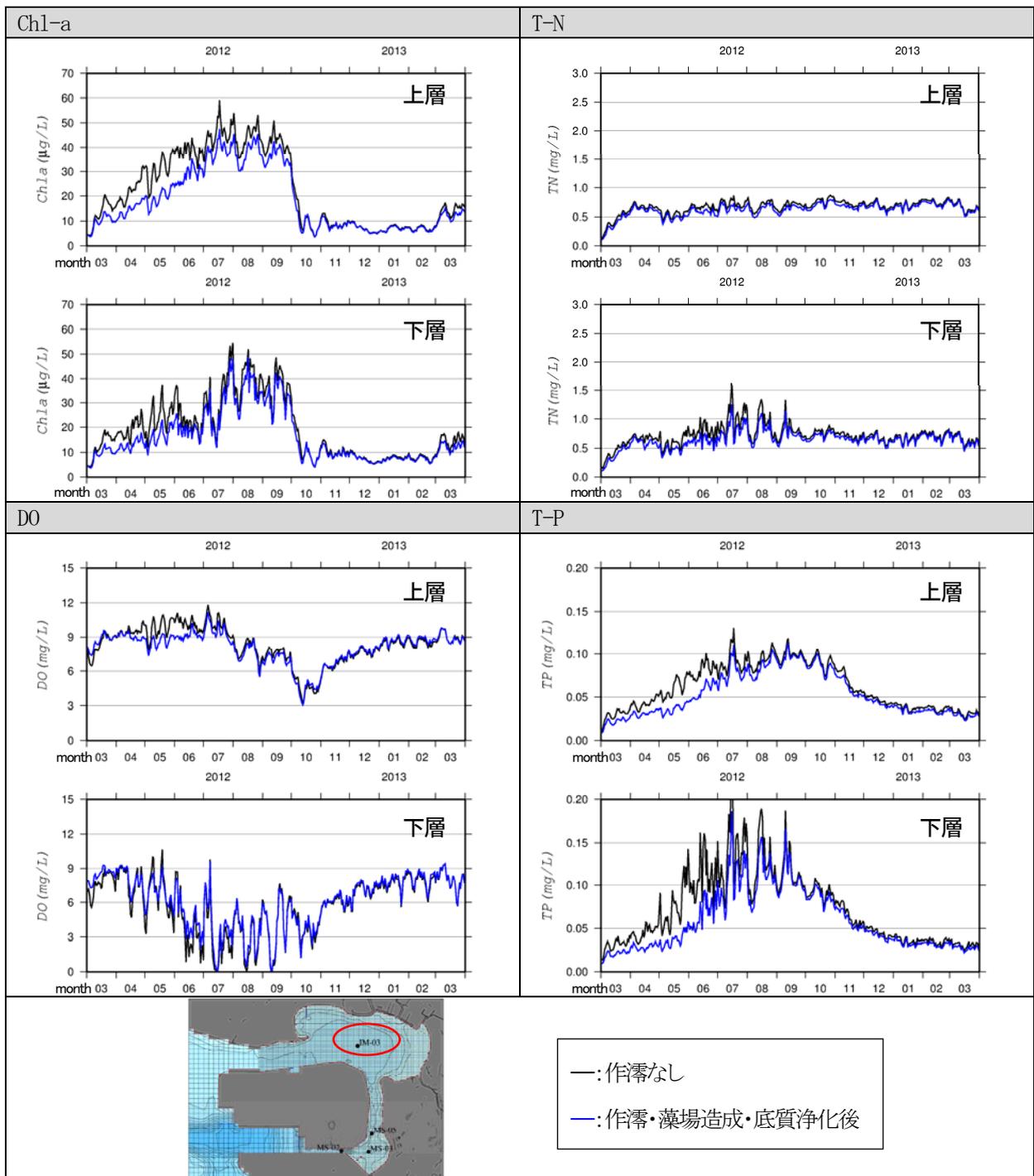


図 45(2) 水質濃度のケース間の比較 (—: 作零なし、—: 作零・藻場造成・底質浄化後) (地点: IM-03)

(2) 貧酸素水塊の変化

作零・藻場造成・底質浄化前後の貧酸素面積の経時変化の比較を行った。比較結果を図 46 に示す。

- 作零によって外側航路部の貧酸素水塊を引き込むことにより、夏季には貧酸素面積の増加が見られたが、秋季 (10 月) には藻場造成および底質浄化により、貧酸素面積の減少が見られた。

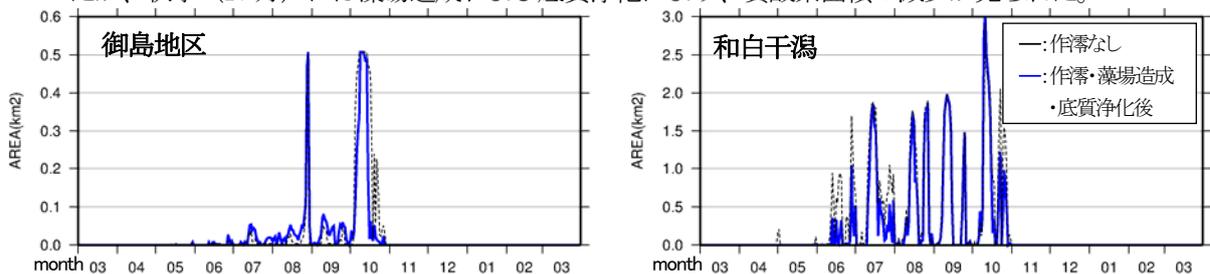


図 46 貧酸素面積のケース間の比較 (複合 (作零・藻場造成・底質浄化) ケース)

### (3) 浮遊系—底泥間のフラックスの変化

複合的な改善施策を実施した場合の浮遊系—底泥間の物質フラックスの変化の比較を行った。比較は図14に示す、和白干潟前面および御島地区について整理した（図47）。

- 浮遊系と底泥間での物質フラックスは、複合的な改善施策により、春季から夏季に明確に低下していた。
- また、概ね秋季（9～10月）には、現況との差が小さくなっており、夏季の大きな内部生産で底泥へ有機物が供給され、初期の底質浄化の効果が小さくなったものと考えられる。

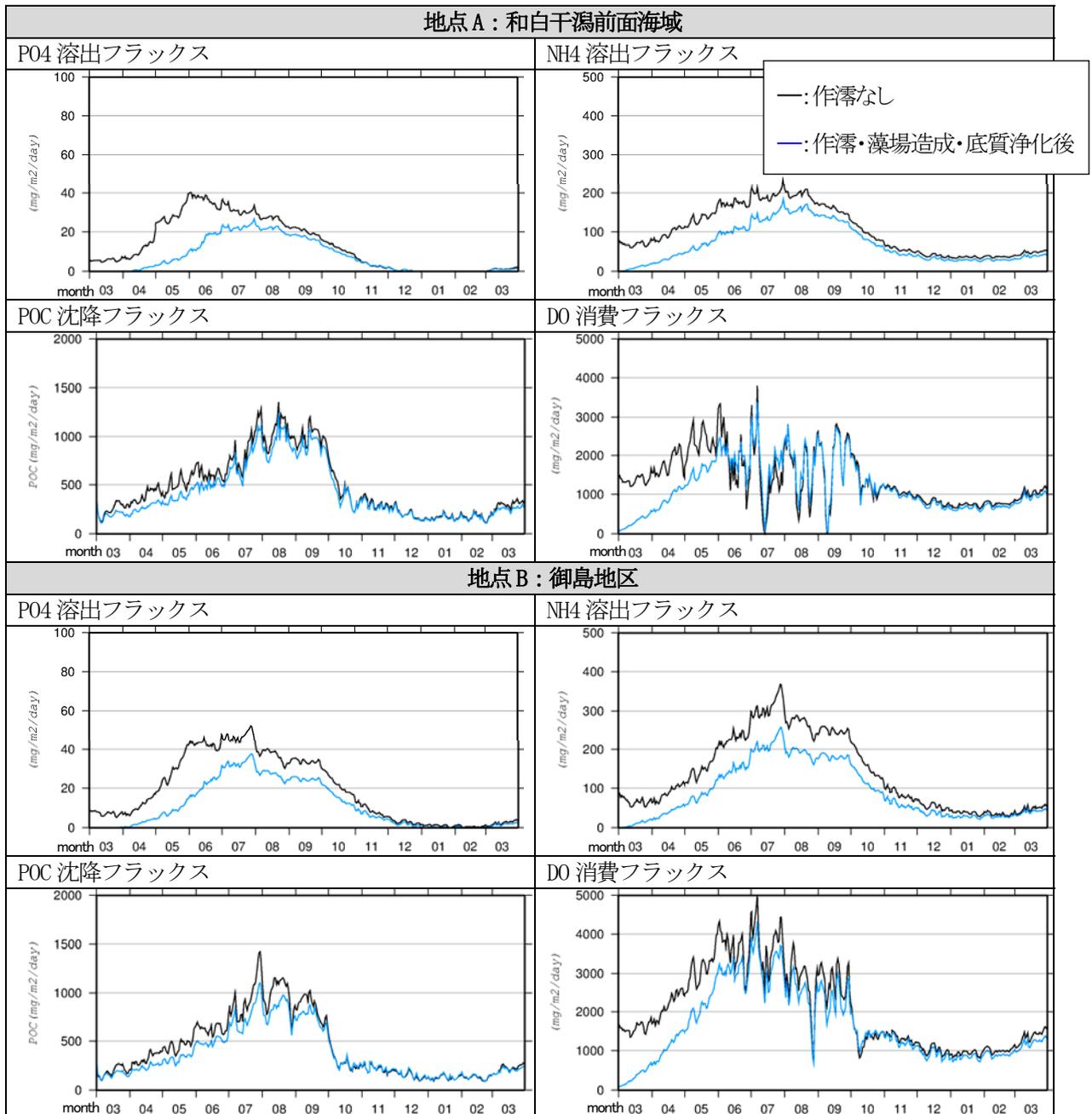


図47 浮遊系—底泥間の物質フラックス

## 5.3 各ケース間の定量的な比較

### 5.3.1 水質濃度の変化

エコパークゾーン周辺の海域に施策を施したケースについて、ケース間の比較を行った。夏季（7月の平均値）について、図48に示す4地点でのChl-a、COD、T-P、T-NおよびDOの上層と底層について平均濃度を図49に整理した。図中には環境改善施策による水質濃度の低下分を示した。それぞれ以下のケース間の差分として定義した（作零の効果：【case2-1】—【case2-2】、藻場の効果：【case2-2】—【case4-2】、底質浄化（覆砂）の効果：【case2-2】—【case5-2】、複合の効果：【case2-1】—【case6】）。

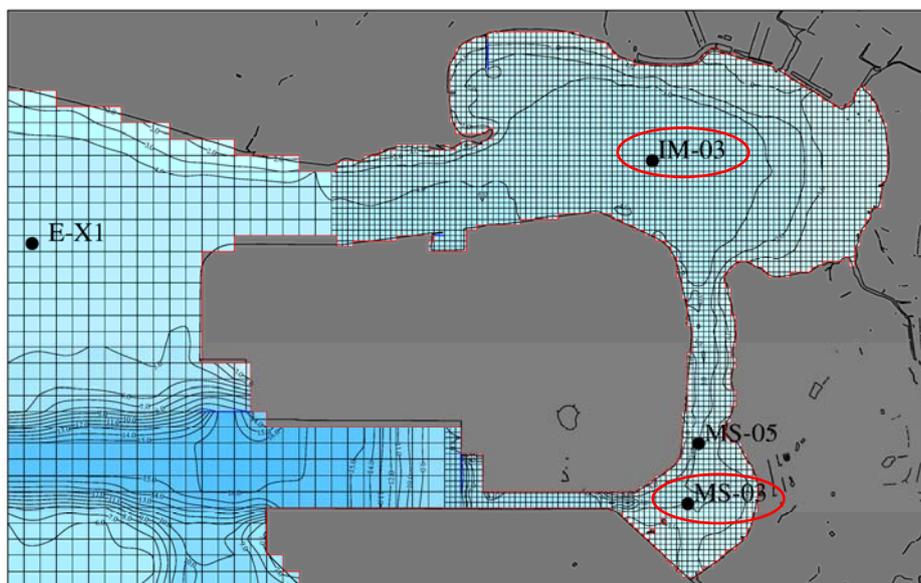


図48 比較地点

#### <MS-03>

- 御島地区の作零を施している地点であり、作零の効果により下層でのChl-aおよびCOD濃度が大きく低下している。T-P、T-Nについても下層での濃度低下が顕著であるが、相対的には覆砂の効果が大きくなっている。Chl-aやCODでは覆砂および藻場の効果は下層より上層に波及しているが、覆砂や藻場の効果により上層に供給される栄養塩が減り、内部生産が抑えられたものと考えられる。
- 一方、DOについては下層での低下が顕著であり、作零により航路部下層の貧酸素水塊を御島地区に引き込んでいる状況である。
- 複合の効果であるcase6をみると、覆砂や藻場の効果により、作零によるDO低下の一部が改善されていた。

#### <IM-03>

- 和白干潟の前面であり夏季には貧酸素水塊が形成されている海域である。この地点では、いずれの水質項目も覆砂の効果が最も大きく現れている。作零の効果は各水質項目ともにわずかに濃度上昇に寄与していた。

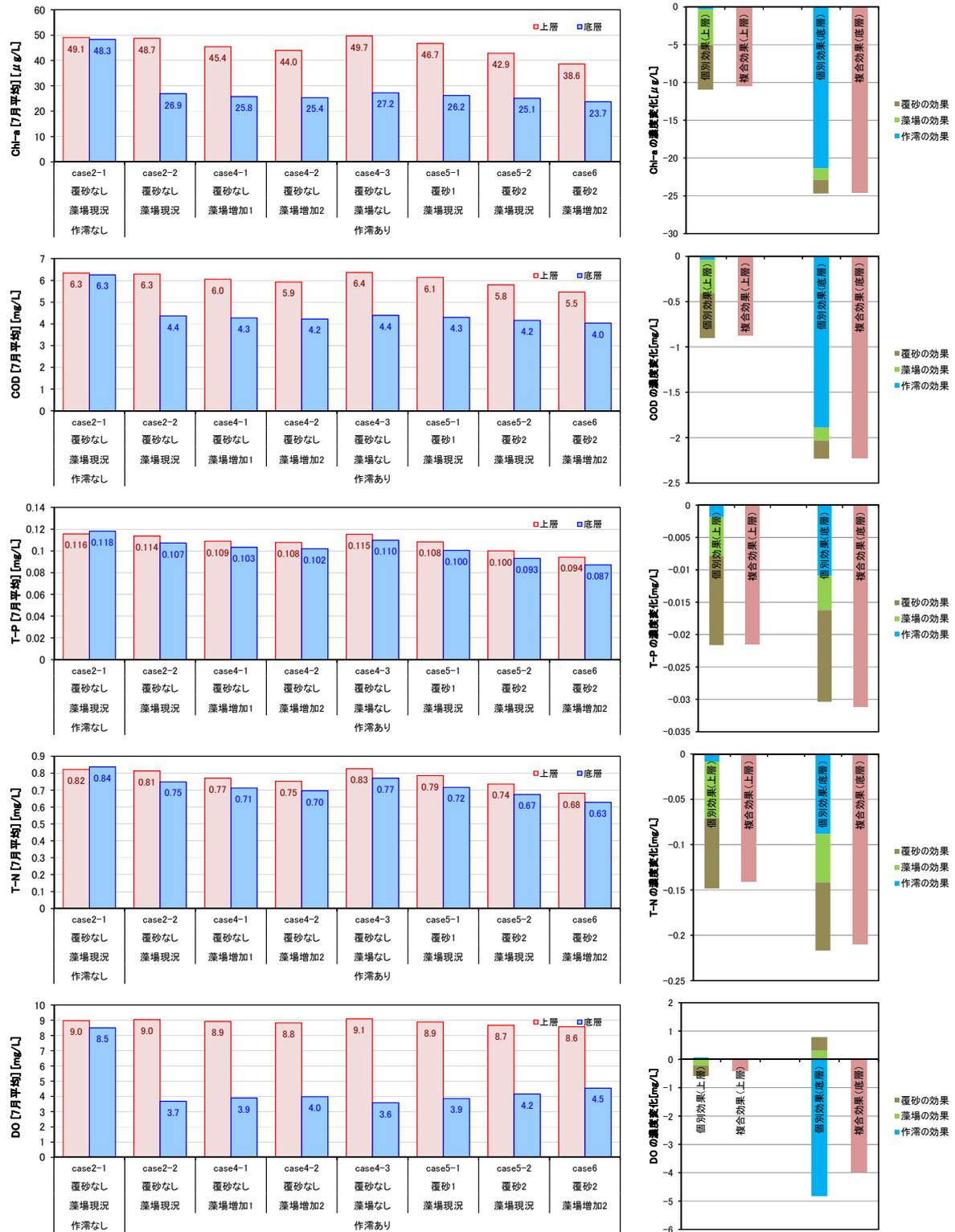


図 49(1) 各ケースにおける平均水質濃度の比較 (7月平均 MS-03)

右段の水質濃度変化は改善施策により水質の濃度低下を示している。それぞれ以下のケース間の差分として定義した。

- 作濤の効果：【case2-2】－【case2-1】
- 藻場の効果：【case4-2】－【case2-2】
- 覆砂の効果：【case5-2】－【case2-2】
- 複合の効果：【case6】－【case2-1】

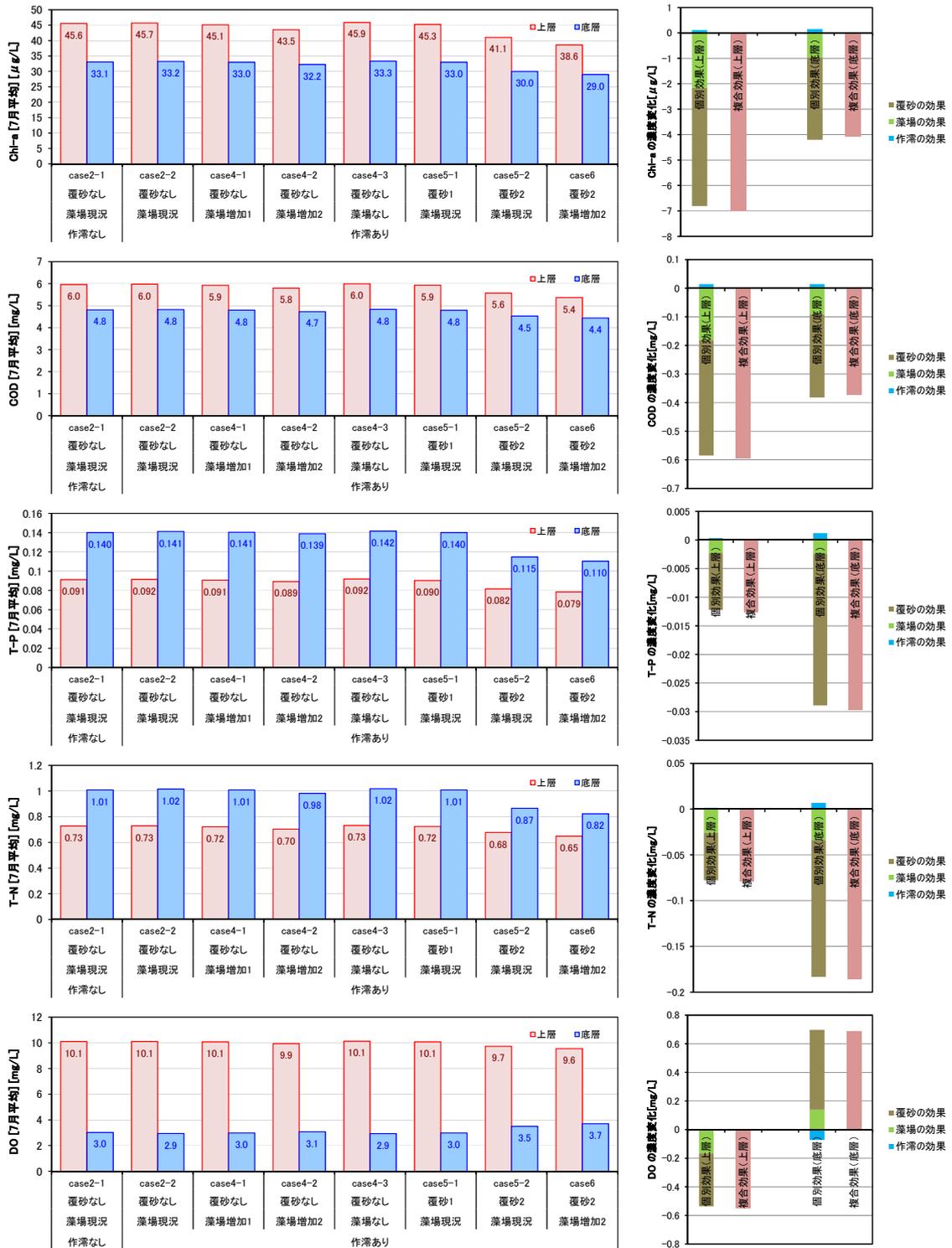


図 49(2) 各ケースにおける平均水質濃度の比較 (7月平均 IM-03)

右段の水質濃度変化は改善施策により水質の濃度低下を示している。それぞれ以下のケース間の差分として定義した。

- 作濤の効果：【case2-2】－【case2-1】
- 藻場の効果：【case4-2】－【case2-2】
- 覆砂の効果：【case5-2】－【case2-2】
- 複合の効果：【case6】－【case2-1】

### 5.3.2 貧酸素面積の変化

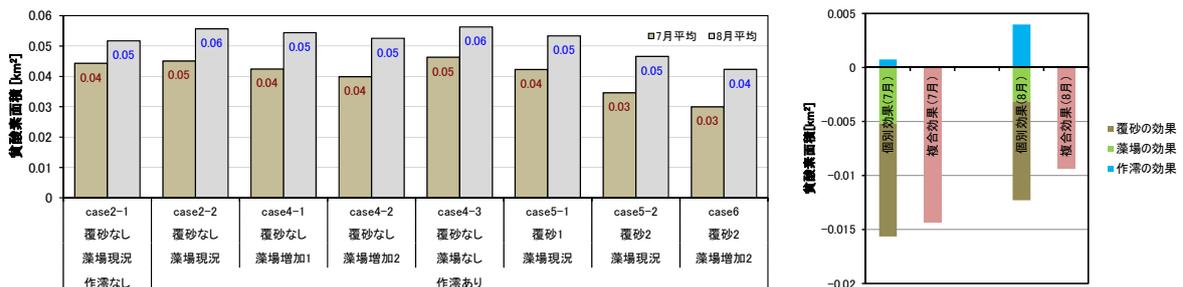
エコパークゾーン周辺の海域に施策を施したケースについて、ケース間の比較を行った。貧酸素水塊（3mg/L以下）の面積に関して7月平均値および8月平均値を、「御島エリア」、「香住ヶ丘エリア」、「和白干潟エリア」および「全エリア」について整理した。図中には環境改善施策による貧酸素面積の変化分を示した。それぞれ以下のケース間の差分として定義した（作濤の効果：【case2-1】—【case2-2】、藻場の効果：【case2-2】—【case4-2】、底質浄化（覆砂）の効果：【case2-2】—【case5-2】、複合の効果：【case2-1】—【case6】）。

- 各エリアともに作濤による貧酸素水塊の面積増加が見られた。
- 御島エリアでは、特に作濤による貧酸素面積の拡大が顕著で、藻場造成や覆砂による貧酸素水塊面積の減少の効果を上回る結果となっていた。なお、この面積には作濤部の面積も含まれる。
- その他エリアでみると、覆砂による貧酸素面積の減少効果が最も大きかった。なお、全エリアでは、全ての施策を考慮したケースでは、7月で32%、8月で15%の貧酸素面積の減少が見られた。

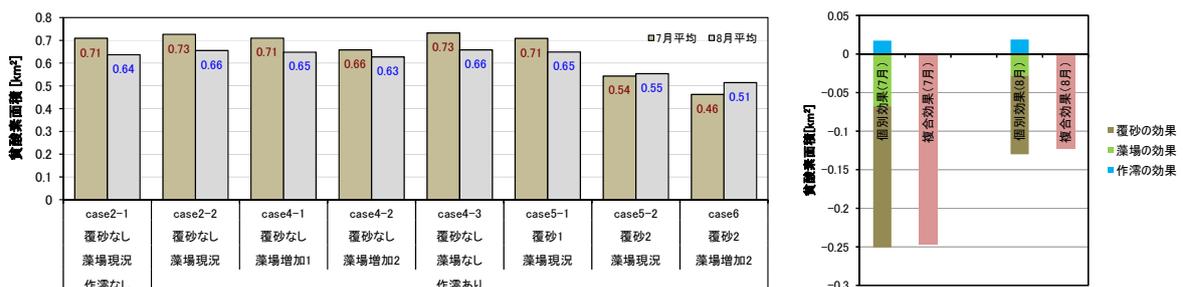
#### 【御島エリア】



#### 【香住ヶ丘エリア】



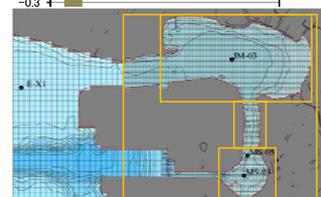
#### 【和白干潟エリア】



#### 【全エリア】



図 50 貧酸素面積の変化



### 5.3.3 浮遊系—底泥間のフラックスの変化

エコパークゾーン周辺の海域に施策を施したケースについて、ケース間の比較を行った。浮遊系—底泥間のフラックス（栄養塩の溶出速度、酸素消費速度および有機物（POC）の沈降フラックス）に関して夏季（7月の平均値）の値を、図 51 に示す 2 地点で図 52 および図 53 に整理した。図中には環境改善施策によるフラックス量の低下分を示した。それぞれ以下のケース間の差分として定義した（作濤の効果：【case2-1】—【case2-2】、藻場の効果：【case2-2】—【case4-2】、底質浄化（覆砂）の効果：【case2-2】—【case5-2】、複合の効果：【case2-1】—【case6】）。

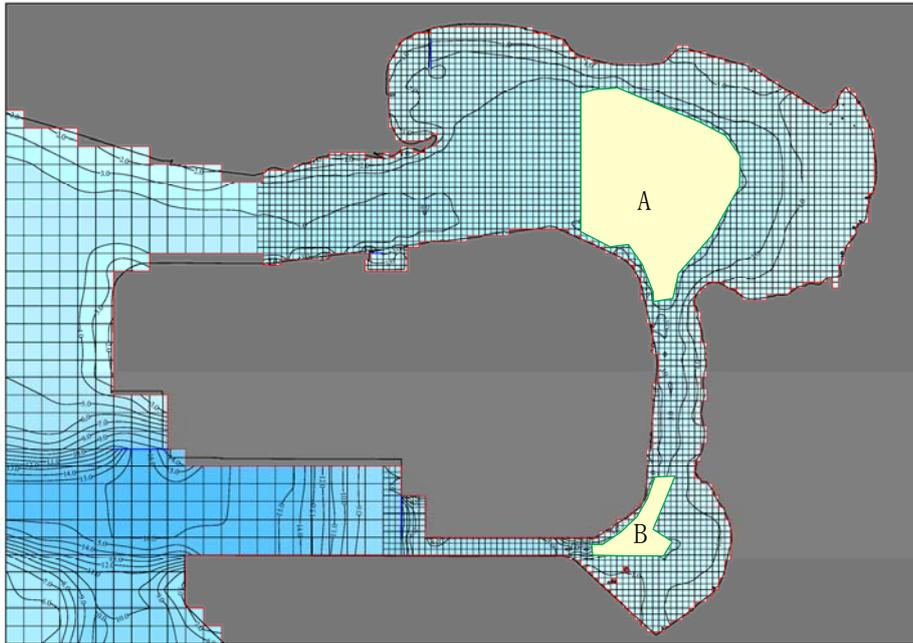


図 51 浮遊系—底泥間の物質フラックスの比較地点

#### <地点 A：和白干潟前面海域>

- 溶出・酸素消費フラックスは硝酸態窒素を除き、覆砂の効果が相対的に大きかった。
- 沈降フラックスは藻場の寄与も一定程度あり、藻場により植物プランクトン量の生産が抑えられ、有機物沈降のフラックスが減少したものと考えられる。

#### <地点 B：御島地区>

- 地点 A と同様に溶出・酸素消費フラックスは硝酸態窒素を除き、覆砂の効果が相対的に大きかった。
- 作濤によるフラックス減少の効果が一定程度見られた。
- 御島地区では、作濤により、底層 DO 濃度が低下しており、外側に位置する航路底層の貧酸素水塊を引き込む結果となっていた。そのため、底泥からのリンの溶出が懸念されたが、リンの溶出フラックスは低下傾向であった。

本検討で実施した各ケースの条件設定においては、両地点での 7 月の平均値では、覆砂の効果が最も大きい結果となっていた。ただし、覆砂を実施したケースでの溶出フラックスの時間変化を見ると（図 44）、溶出や DO 消費の大きな夏季を過ぎると、覆砂を実施したケースと実施しないケースでのフラックスの差は小さくなっていった。

これは、夏季の大きな内部生産に伴い、底泥へ有機物が供給されてしまうことで、秋季以降は覆砂の効果が持続しなくなっていることを示している。ただし、検討に用いた数値モデルでは、覆砂に伴う粒径の変化等の物理的な効果を考慮していないため、評価にあたっては留意する必要がある。

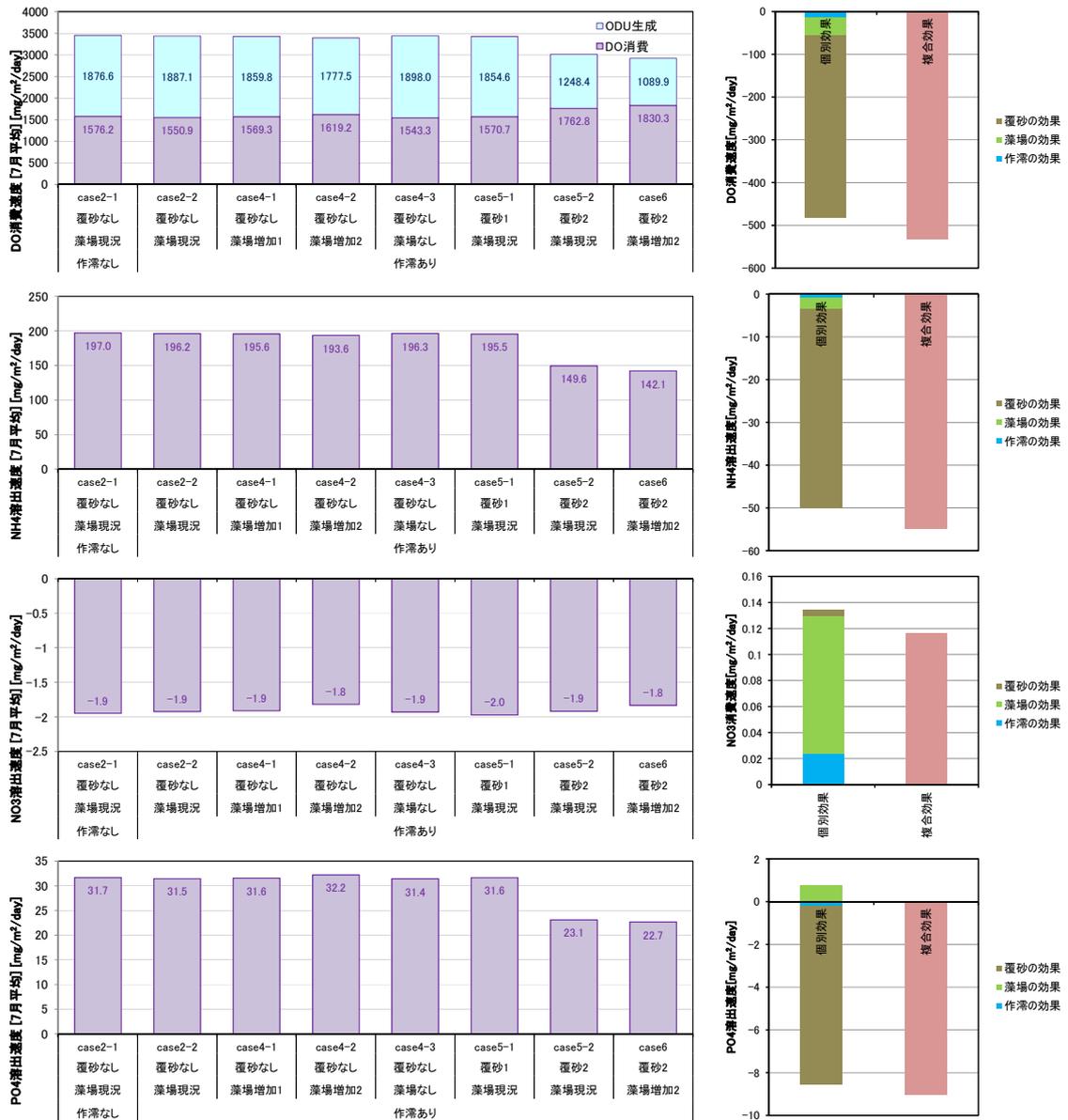


図 52(1) 浮遊系—底泥間の物質フラックス (地点 A : 和白干潟前面海域) (溶出・酸素消費フラックス)

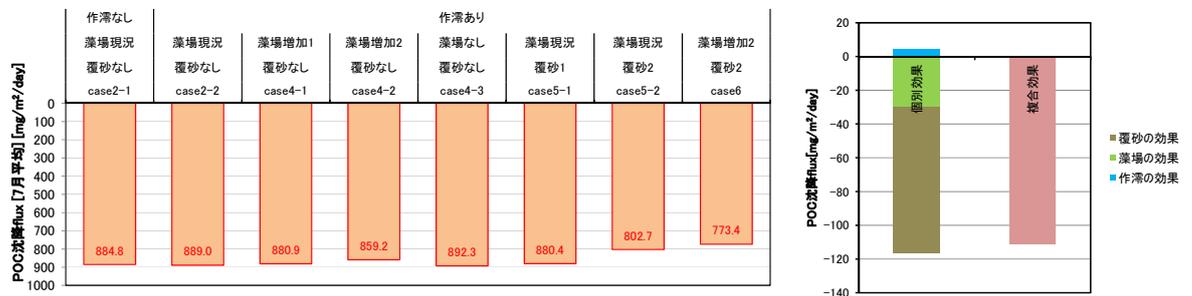


図 52(2) 浮遊系—底泥間の物質フラックス (地点 A : 和白干潟前面海域) (POC 沈降フラックス)

右段のフラックス変化は改善施策によりフラックス量の減少 (負の値) を示している。それぞれ以下のケース間の差分として定義した。

- 作濤の効果 : 【case2-2】 - 【case2-1】
- 藻場の効果 : 【case4-2】 - 【case2-2】
- 覆砂の効果 : 【case5-2】 - 【case2-2】
- 複合の効果 : 【case6】 - 【case2-1】

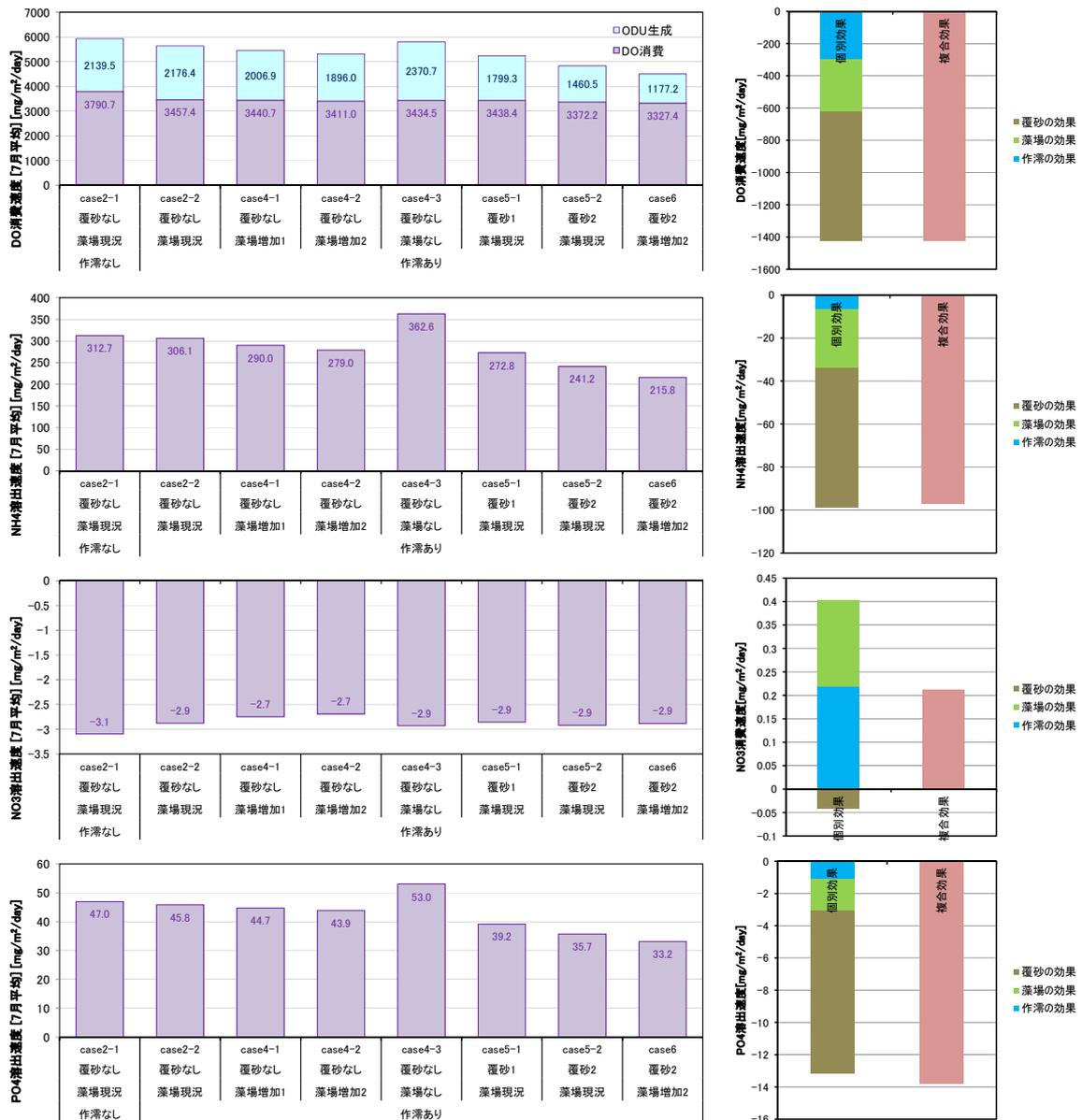


図 53(1) 浮遊系—底泥間の物質フラックス (地点 B: 御島地区) (溶出・酸素消費フラックス)

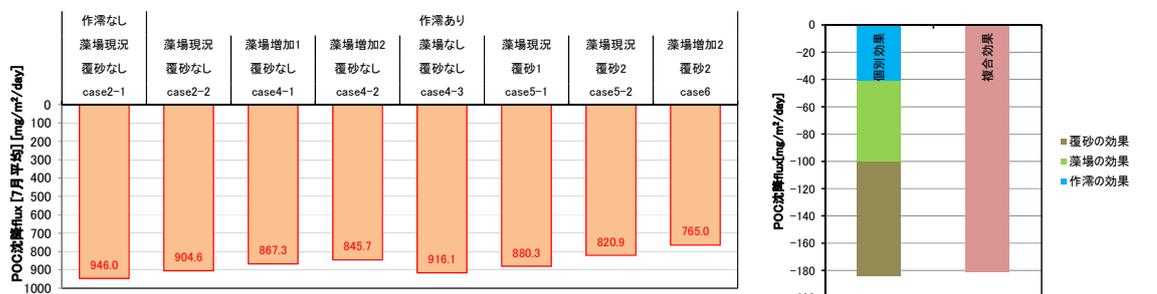


図 53(2) 浮遊系—底泥間の物質フラックス (地点 B: 御島地区) (POC 沈降フラックス)

右段のフラックス変化は改善施策によりフラックス量の減少 (負の値) を示している。それぞれ以下のケース間の差分として定義した。

- 作滞の効果 : 【case2-2】 - 【case2-1】
- 藻場の効果 : 【case4-2】 - 【case2-2】
- 覆砂の効果 : 【case5-2】 - 【case2-2】
- 複合の効果 : 【case6】 - 【case2-1】

### 5.3.4 生物現存量の変化

エコパークゾーン周辺の海域に施策を施したケースについて、ケース間の比較を行った。生物現存量（付着藻類、懸濁物食者、堆積物食者、海草）に関して夏季（7月の平均値）の値を、図54に示す3地点（A～C）で図55に整理した。図中には環境改善施策による生物現存量の変化を示した。それぞれ以下のケース間の差分として定義した（作濤の効果：【case2-1】－【case2-2】、藻場の効果：【case2-2】－【case4-2】、底質浄化（覆砂）の効果：【case2-2】－【case5-2】、複合の効果：【case2-1】－【case6】）。

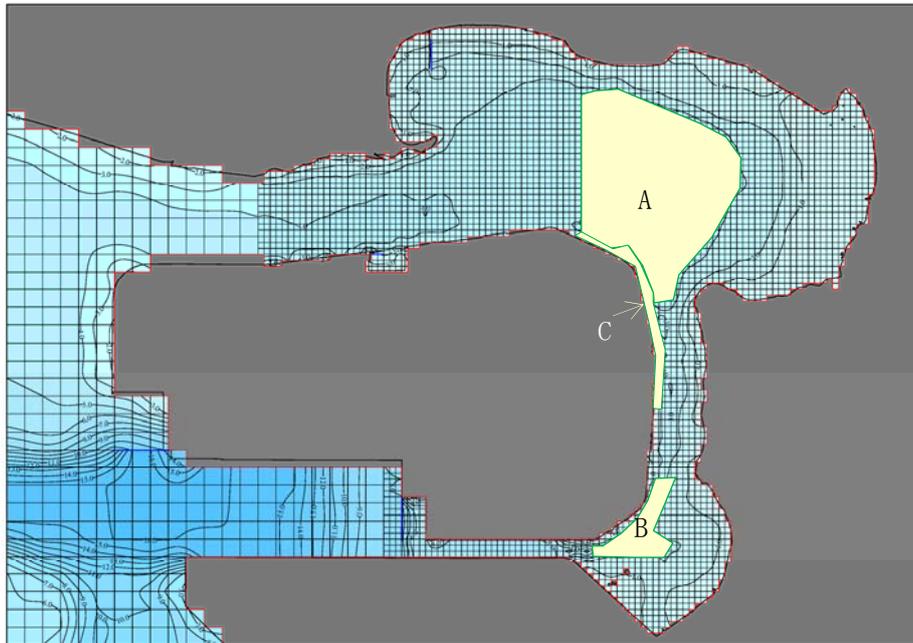


図54 浮遊系—底泥間の物質フラックスの比較地点

#### <地点A：和白干潟前面海域>

この海域では、藻場造成ケースでも直接的に藻場の生育は生じ無いように設定している。これは、藻場の生育ポテンシャルから、光制限により藻場を造成しても生育が困難と考えられるためである。従って、藻場造成ケースにおいても、底泥間隙水に含まれる栄養塩が海草と付着藻類で競合しない。そのため、藻場造成ケースで付着藻類が微増しているのは、植物プランクトンの内部生産が抑えられ光環境の改善によるものと考えられる。一方、底質改善のケース（case5-2）では、底泥間隙水を0と設定しており、栄養塩減少に伴い、付着藻類の生産も減少したものと考えられる。

一方、懸濁物食者は、作濤により現存量が減少し、藻場造成、覆砂の効果により現存量が増加する結果であった。これは、底層D0濃度の変化と対応しており、貧酸素水塊によるへい死の増減により、現存量が変化していたものと考えられる。

#### <地点B：御島地区>

この海域では、現況ケースにおいて藻場が生育する条件を設定している。藻場造成ケースでは、このB地点周辺にさらに藻場を造成する条件となるが、これらの周辺の藻場造成によって、B地点での海草の現存量も現況条件よりも増加している。これは、新規の藻場造成により内部生産が抑えられ、光環境が改善したためで、既存藻場と造成藻場の間での相乗効果とも考えられる。ただし、作濤によって既存藻場は減少する結果となっていた。これはこのB地点の水深が作濤によって深くなったためである。

付着藻類の海草は栄養塩に関して競合するが、内部生産が抑えられ光環境が改善すると双方とも生産量が増える。藻場造成のケースでは、この効果が発現していた。逆に既存藻場をなくすと、栄養塩の競合がなくなり、現存量が大きく増加する結果となっていた。

懸濁物食者は藻場造成、覆砂等の施策により、いずれも現存量が低下する結果となっていた。この海域では、和白干潟前面海域と異なり、貧酸素水塊によるへい死がほとんどないこ

とから、内部生産抑制に伴い捕食する有機物量が減少したため、結果として現存量が減少したと考えられる。堆積物食者も覆砂により現存量が減少するが、これも捕食する底泥内の有機物量が減少したためと考えられる。

### <地点C：アイランドシティ護岸部>

この海域でも、地点B（御島地区）と同様に、現況ケースにおいて藻場が生育する条件を設定している。地点Bでは作濤により直接的に水深が深くなり光環境が悪化するため、作濤ケースで海草が減少する結果であったが、この地点では作濤の影響はわずかであるが海草を増加させる傾向であった。作濤による光環境の改善などがその要因と考えられる。

なお、付着藻類、懸濁物食者、堆積物食者については、作濤ケースによる変化が小さい他は、地点B：御島地区の変化傾向と概ね同様であった。

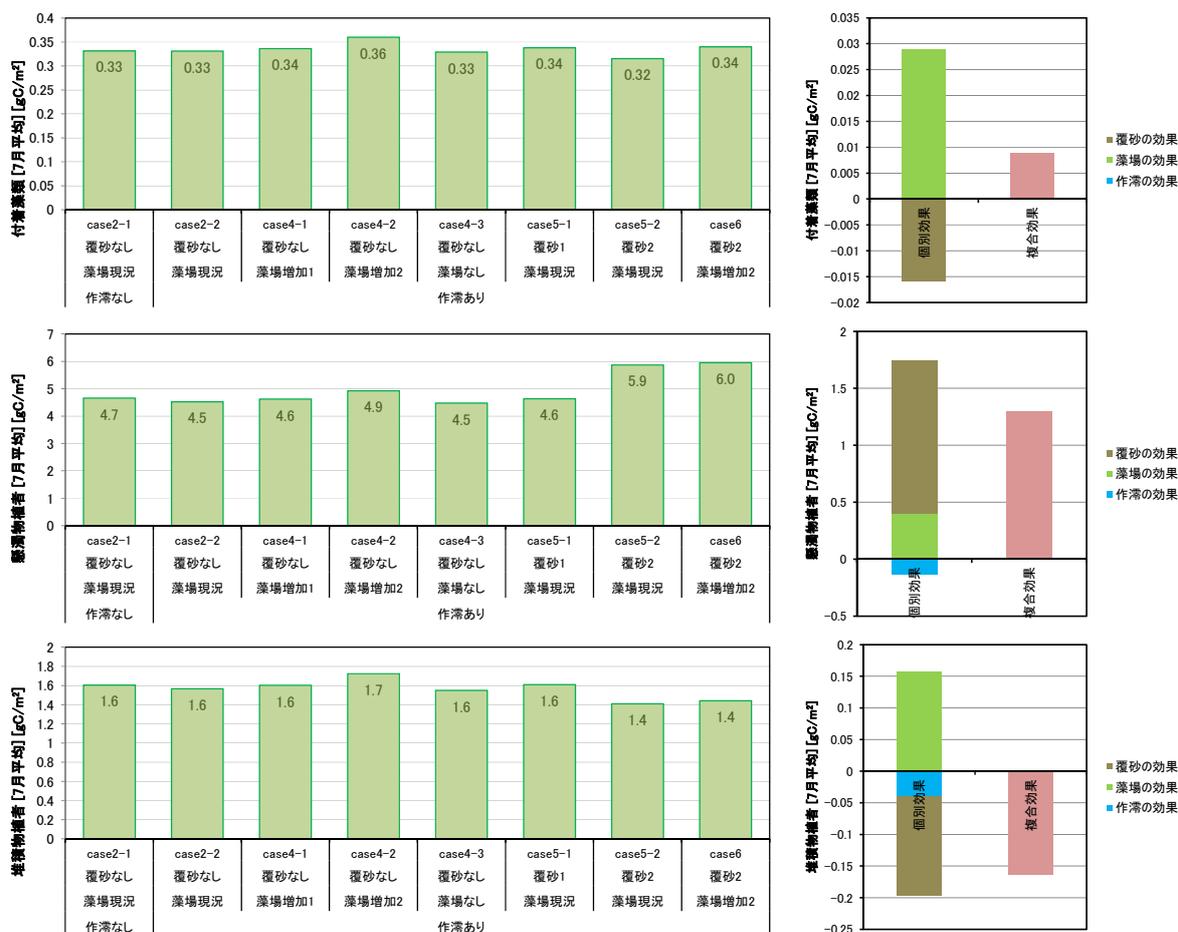


図 55(1) 生物現存量（地点A：和白前面全面※海草（藻場）は生育していない）

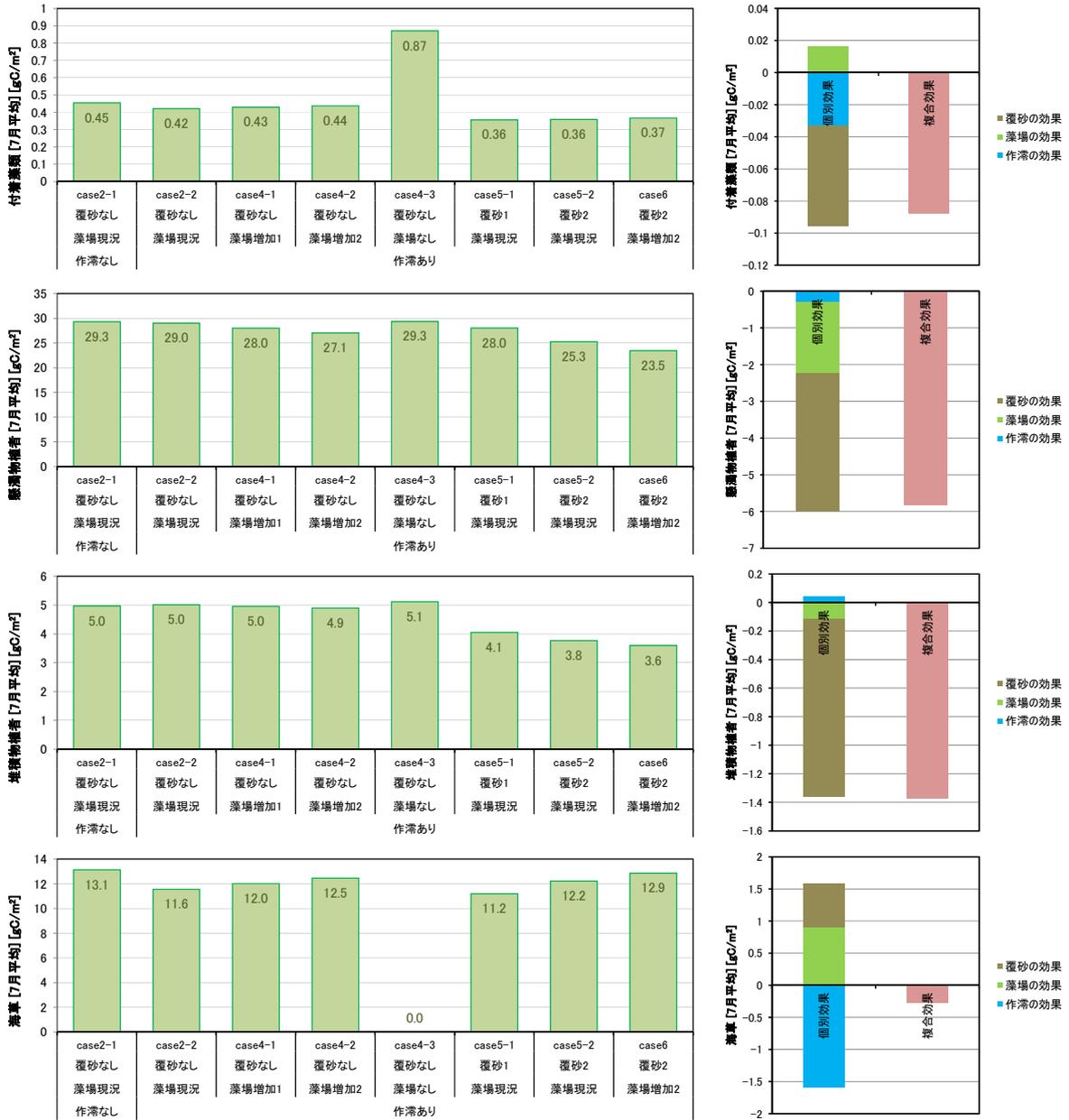


図 55(2) 生物現存量 (地点 B : 御島地区)

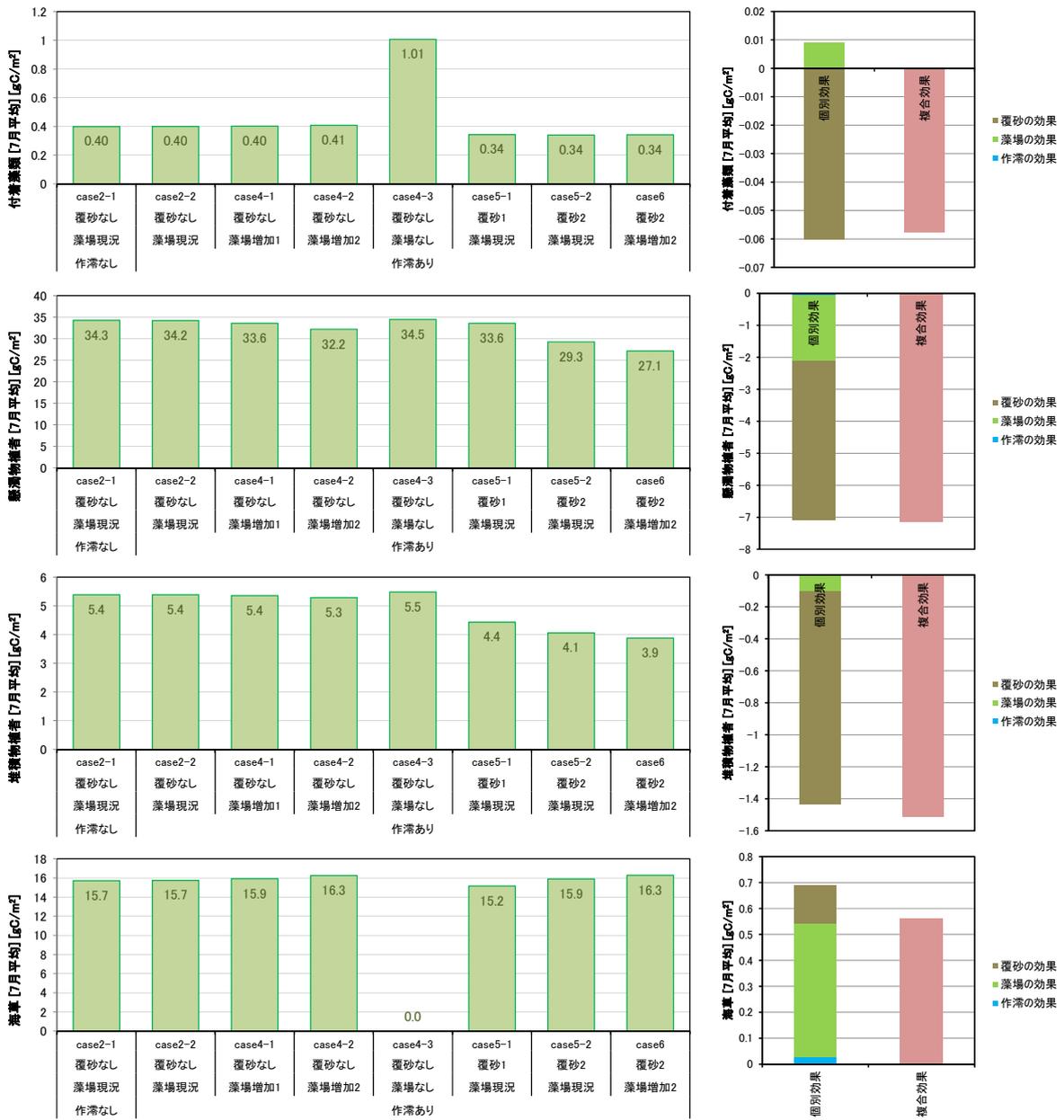


図 55(3) 生物現存量 (地点 C : 御島地区)