

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③

阿蘇海を対象とした予測・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	7
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	11

阿蘇海を対象とした予測・評価について

1. シミュレーションの目的

阿蘇海において既に実施済み及び実施を検討中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。

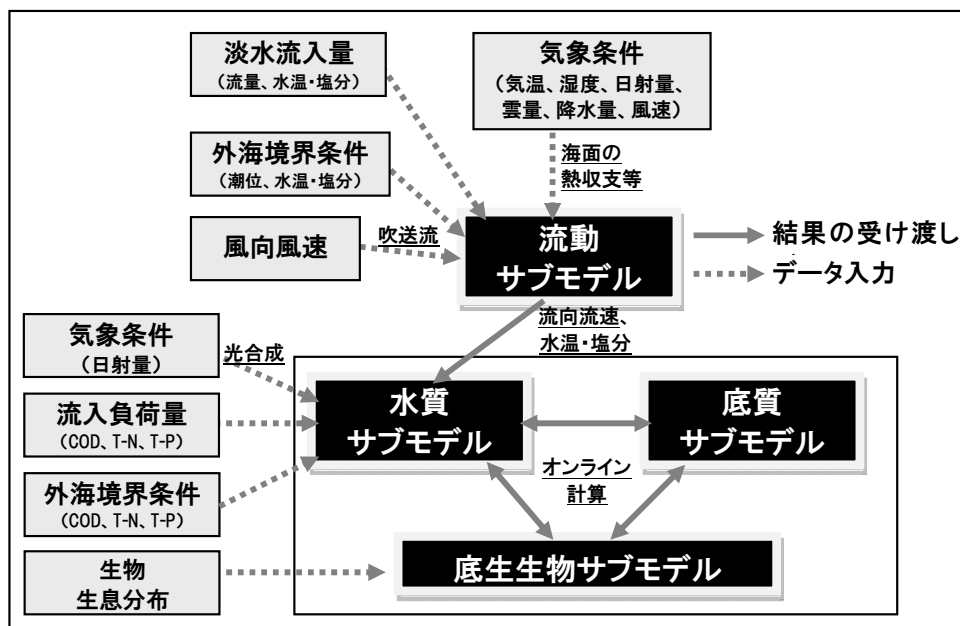


図 1 シミュレーションモデルの構成

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る。

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する（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。

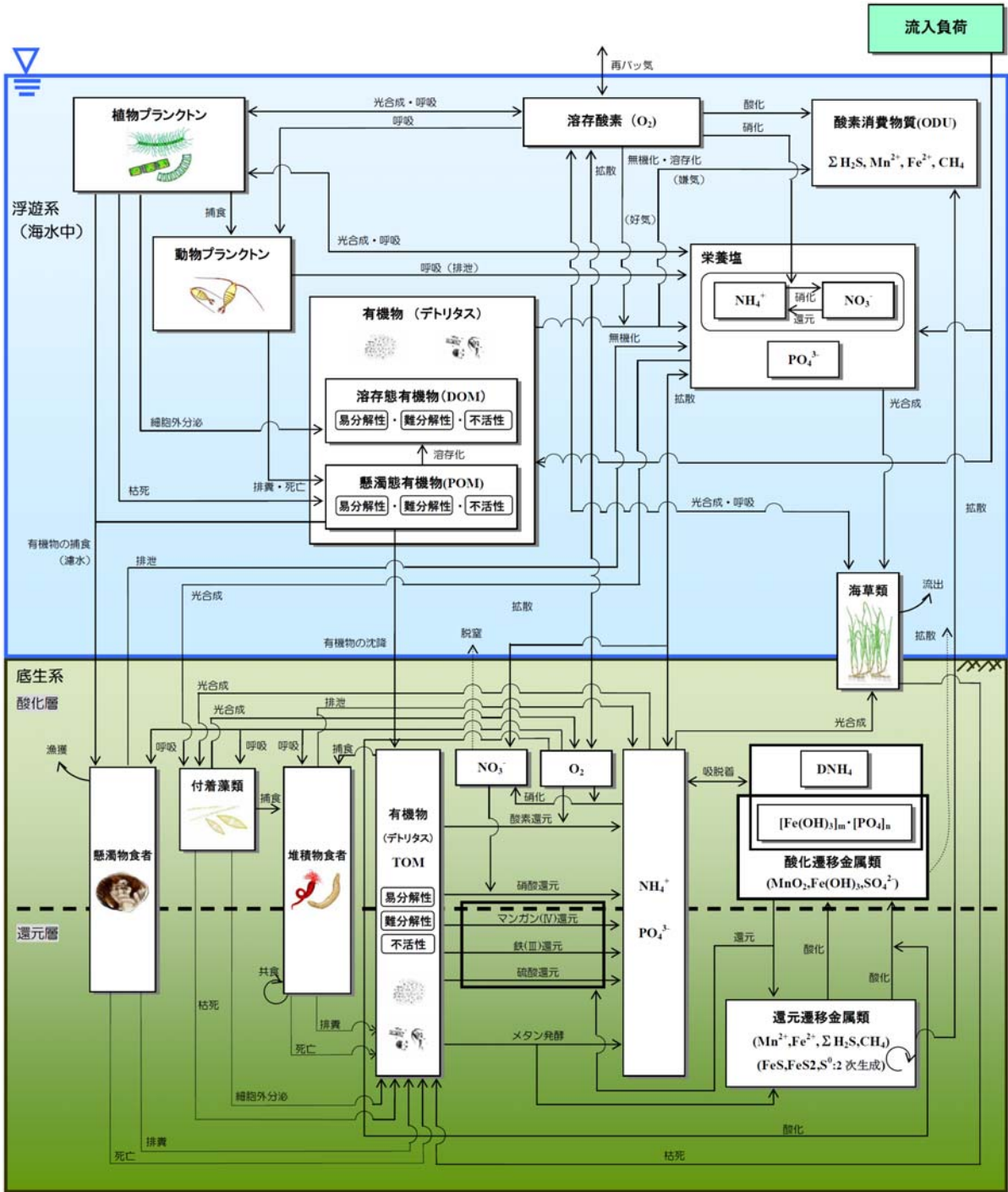


図 2 水質-底質結合生態系モデルの概念図

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

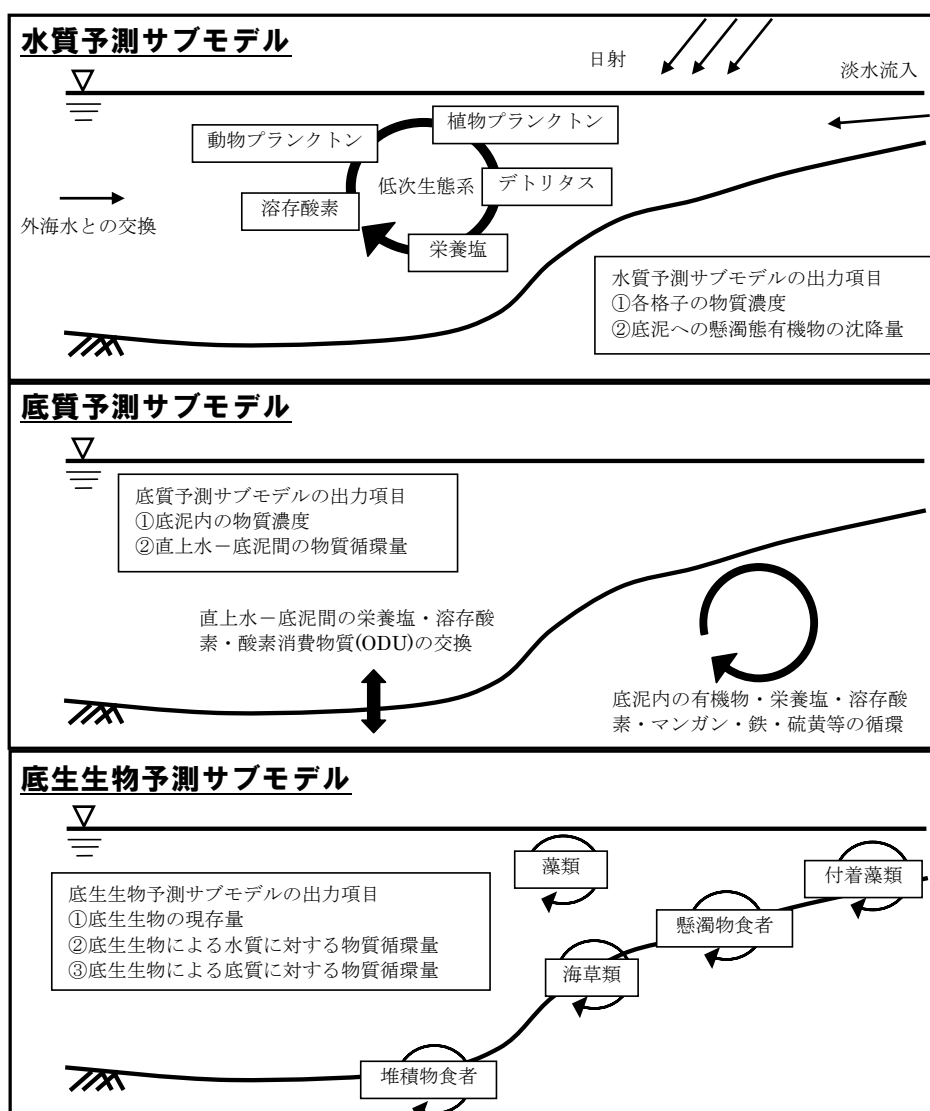


図 3 サブモデルが解析する主な現象と出力項目

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。阿蘇海周辺海域については、50m 格子まで細格子化した。阿蘇海及び宮津湾の水深は、阿蘇海で 13m 程度、宮津湾湾口部で 28m 程度となっている。これらの水深分布を表現するために、阿蘇海内は概ね 1m 間隔の層分割とし、最大で 16 層の鉛直層分割を施した。

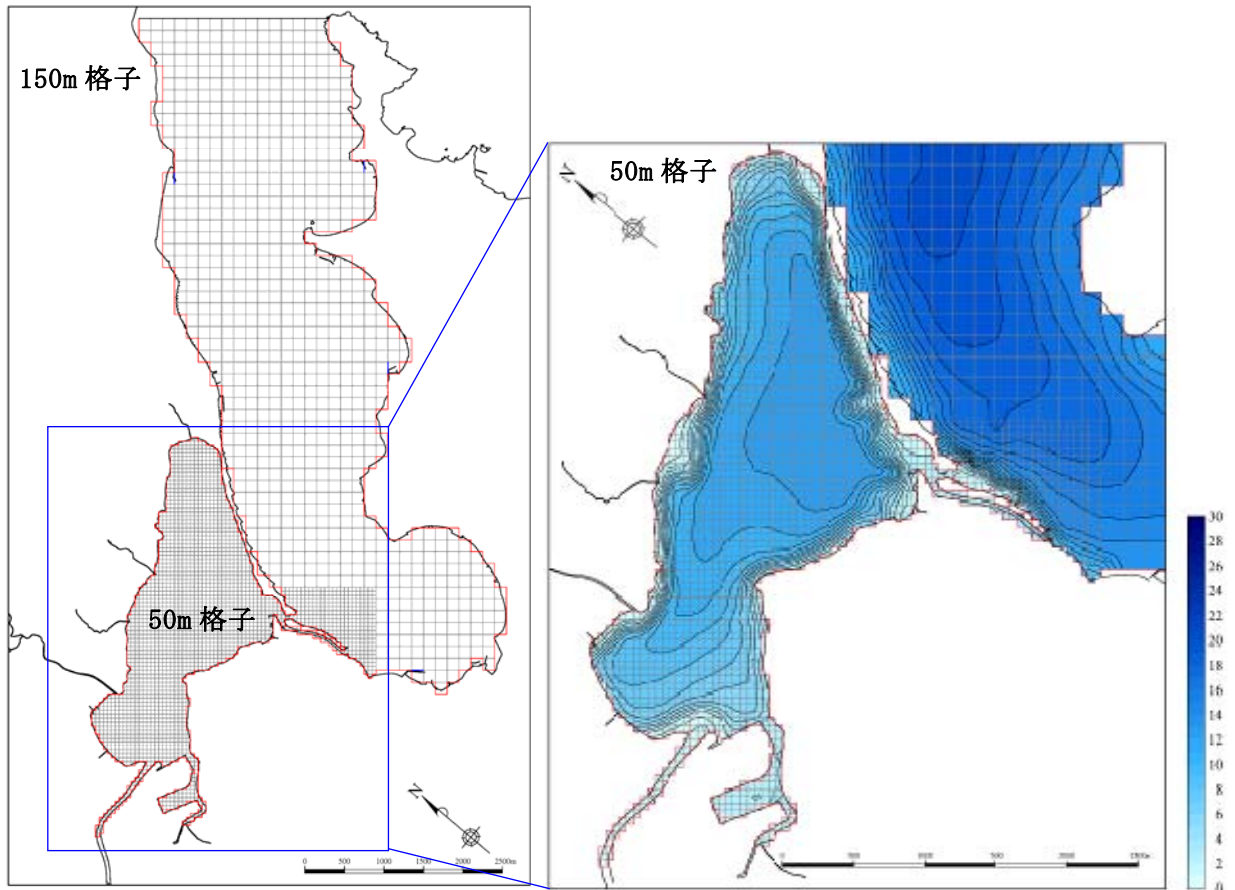


図 4 計算範囲・格子サイズと水深

< 深浅測量結果の水深データへの適用 >

平成 29 年 8 月 21 日～22 日の深浅測量結果の適用前後の水深図（水道部拡大）を図 5 に示す。水道部の宮津湾側で水深が浅くなっていることがわかる。

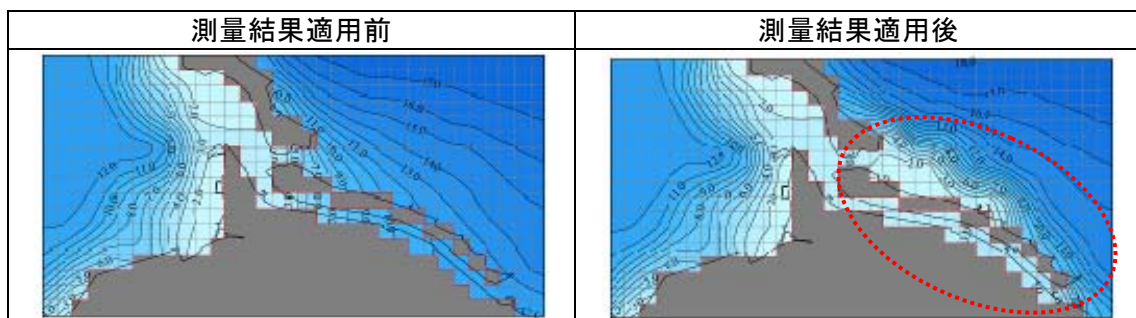


図 5 阿蘇海及び宮津湾の水深図（水道部拡大）

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	野田川は H-Q 式より算定。その他河川は比流量から設定。	
気象条件	気象庁データ (舞鶴・宮津) から、気温、風向/風速、全天日射量、相対湿度を設定。	
湾口境界条件	10 分潮の潮汐による水位変動と DREAMS (九州大学応用力学研究所の日本近海の家況予報) による水温・塩分計算結果を設定。	
パラメータ等	タイムステップ	150m 格子 : 5 秒、50m 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) ¹ 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 $C_{M, H}$ は 0.1 とし、設定値の最小値は 5.0×10^4 、最大値は 1.0×10^6 (cm ² /s) とした。
	鉛直渦動粘性係数 鉛直渦動拡散係数	Munk and Anderson (1948) ² 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 0.02、最大値は 20.0 (cm ² /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	河川から阿蘇海及び宮津湾に流入する COD、全窒素 (T-N)、全リン (T-P) の負荷量については、野田川で L-Q 式を作成し設定した。その他河川は、流域面積比で推定した後に設定した。
湾口境界条件	公共用水域水質調査結果の地点 M-1 を元に設定した。
消散係数	クロロフィル a 濃度から消散係数を推定する既往の文献値を阿蘇海向けに改良した。改良にあたっては、現地の透明度データから得られた消散係数と、既往文献値の消散係数を比較し、補正することとした。
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	150m 格子 : 30 秒、50m 格子 : 10 秒

¹ Smagorinsky, J. (1963): General Circulation Experiments with the Primitive Equations I. The Basic Experiment, Monthly Weather Review, 91, 99-164

² Munk, W. H. and E. R. Anderson (1948): Notes on theory of the thermocline., J. Mar. Res., 7, 276-295

3.2 計算期間

阿蘇海では、2008年10月～2009年11月に窒素(N)、リン(P)の各態を含む水質鉛直分布が京都大学により観測されており、モデルの構築及び検証に有用である。また2009年の平均気温及び年降水量は平年並みであり(図6)、この年は近年の湾内の水質特性を表していた(図7)。したがって計算期間は2009年(平成21年)の1年間とした。

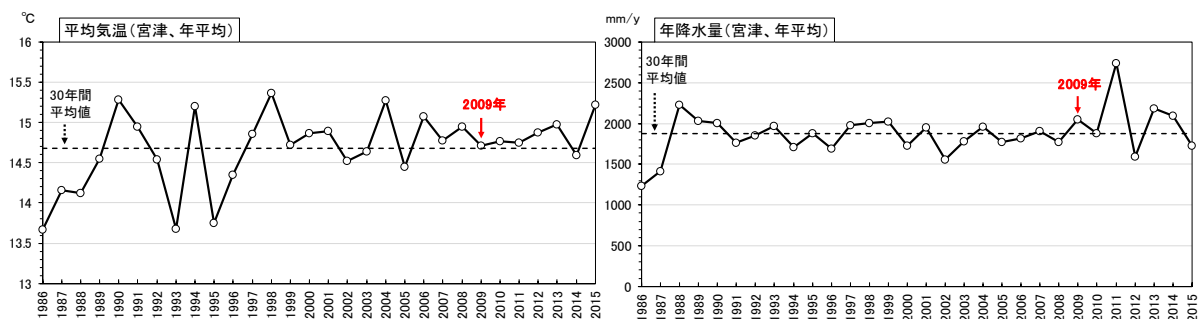


図6 宮津における年平均気温及び年降水量の経年変化

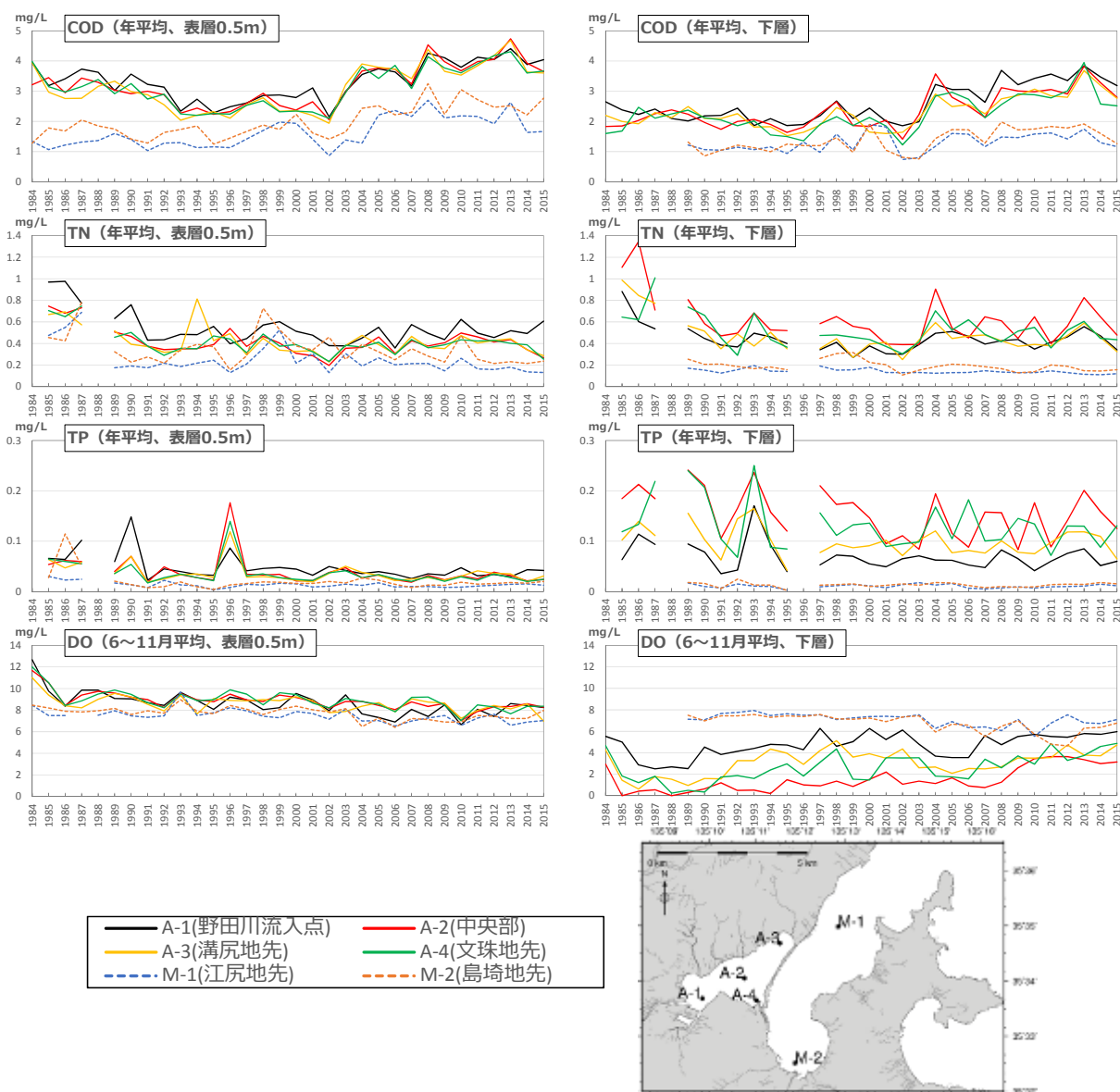


図7 阿蘇海・宮津湾における表層及び下層の水質濃度の経年変化

4. シミュレーションモデルの再現性

4.1 水位の再現性

- 計算値は、観測値でみられる大潮、小潮の変動や季節変動などを表現していた。
- 阿蘇海では、宮津湾と比べて潮位変動が1時間程度遅れる傾向がみられた。この傾向は、京都府衛生公害研究所による1980年10月の阿蘇海の内外の潮位観測の解析結果³と一致していた。

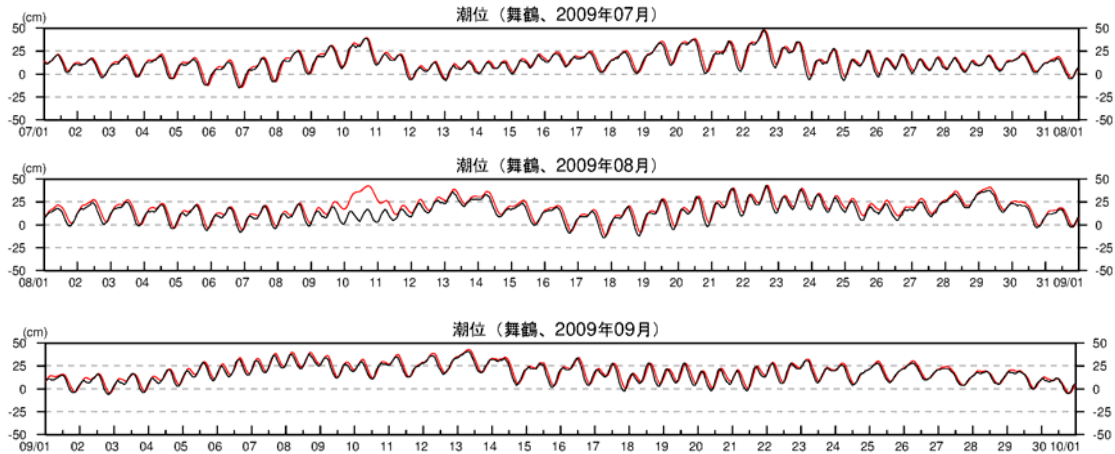


図 8 潮汐の経時変化（—：計算値（宮津湾湾口部 T-01）、-：計算値（阿蘇海中央部 T-02））

4.2 水温・塩分（時系列）の再現性

- 計算値は、観測値でみられる季節変動や上下層の変動などを表現していた。

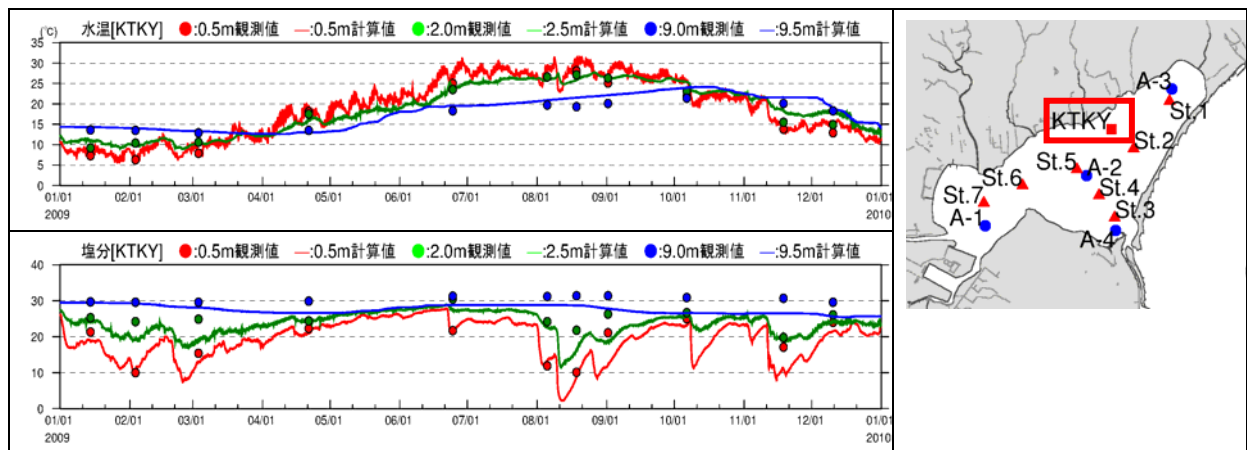


図 9 水温・塩分の経時変化（地点：KTKY、京都府海洋センター観測地点）

³ 上田ら（1989）：阿蘇海の水質汚濁機構における閉鎖性水域としての特性に関する研究—内海水と外海水との交換率—，水質汚濁研究，第12巻 第10号，635-645

4.3 水温・塩分（鉛直プロファイル）の再現性

- 水温の計算値は、観測値でみられる夏季の成層の発達などを表現していた。
- 塩分の計算値は、観測値でみられる出水時の上層の低塩分化などを表現していた。

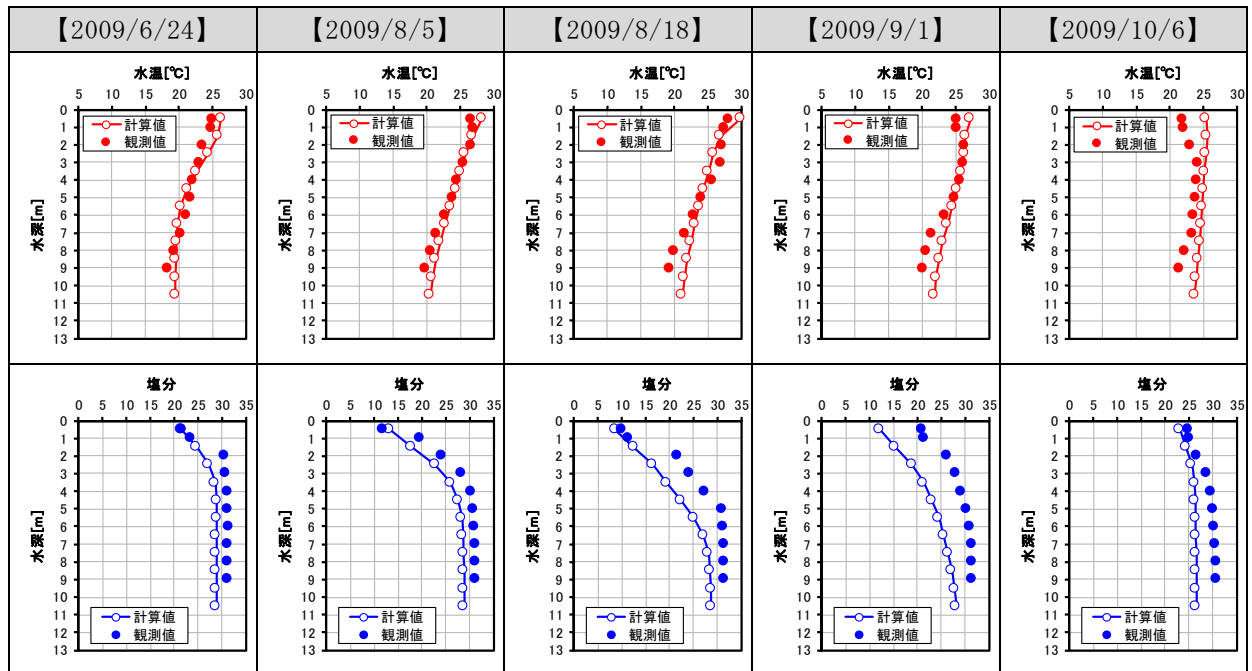


図 10 水温・塩分の鉛直分布（地点：KTKY）

4.4 阿蘇海内での流れ

- 水道部を通じた宮津湾からの流入水は、7 月には阿蘇海の中層へ流入したが、12 月には中層～底層へと流入していた。
- これらの違いは阿蘇海の密度構造を反映したものとなっている。

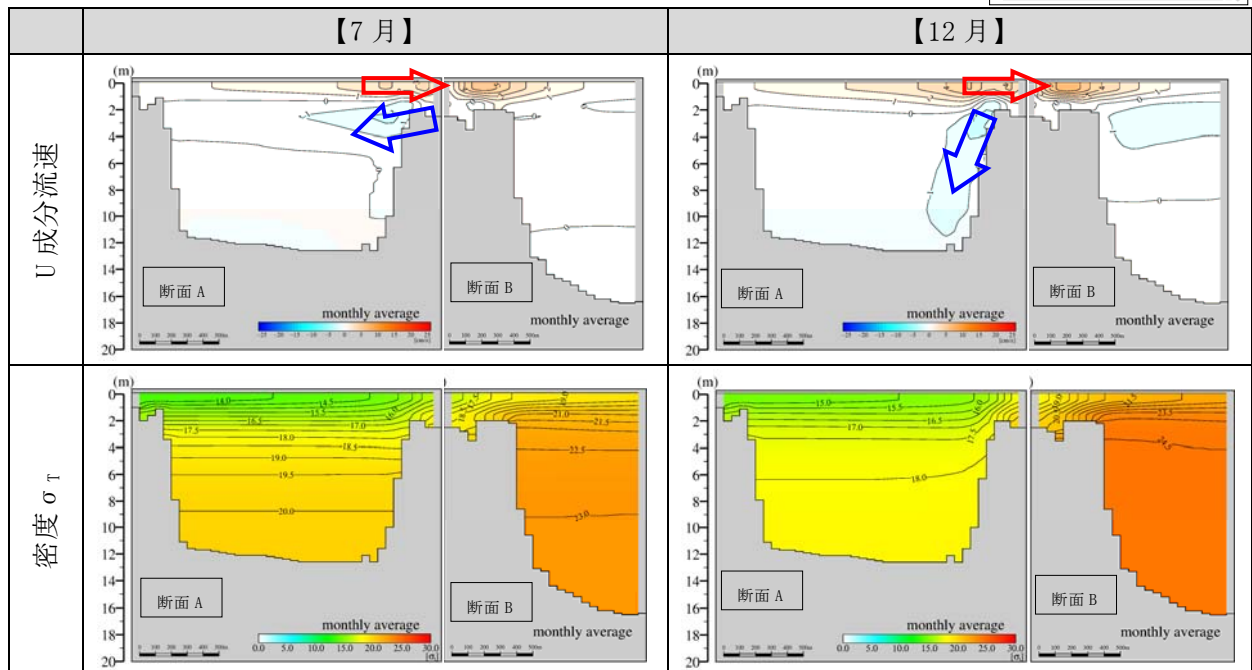
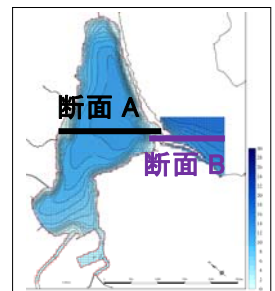


図 11 u 成分流速・密度の鉛直断面分布（月平均）

4.5 水質項目（T-N、T-P、各態栄養塩、Chl-a、DO）の再現性

- 計算値は、観測値でみられる9月頃の下層 T-P の濃度ピークや、6～11月頃に観測された下層の著しい貧酸素化などを表現していた。
- 観測値では下層 T-N が上層より高いが、計算値はこの特徴をあまり再現しなかった。

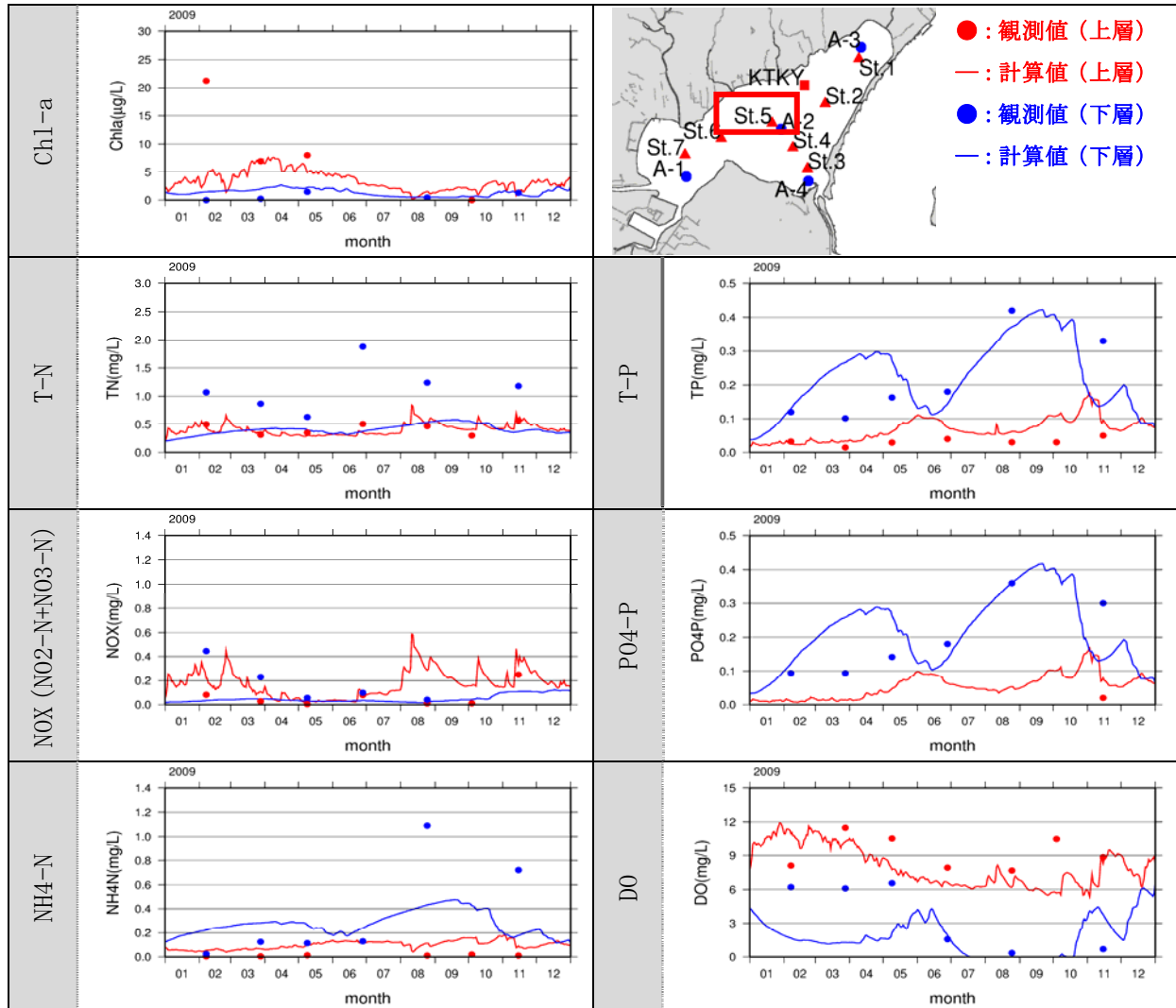


図 12 水質項目の変化（地点：St. 5、京都大学観測地点）

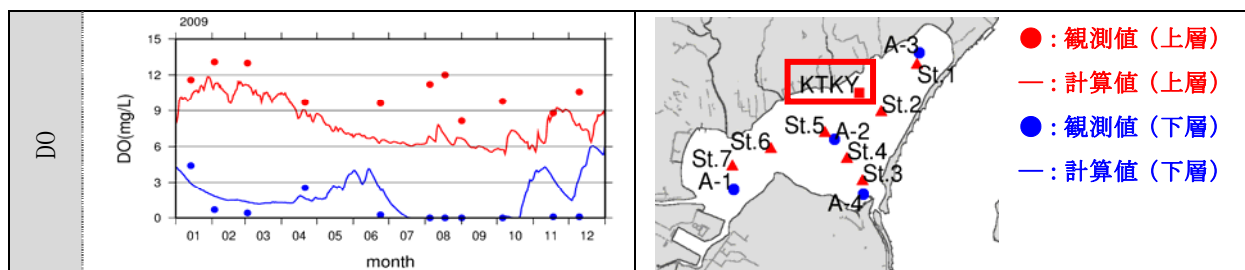


図 13 水質項目の変化（地点：KTKY、京都府海洋センター観測地点）

4.6 DOの鉛直分布の再現性

- 計算値は、観測値との間にややズレはあるが、鉛直分布の特徴を概ね再現していた。
- 夏季から秋季にかけて、厚さ数メートルに及ぶ貧酸素水塊が形成されていた。

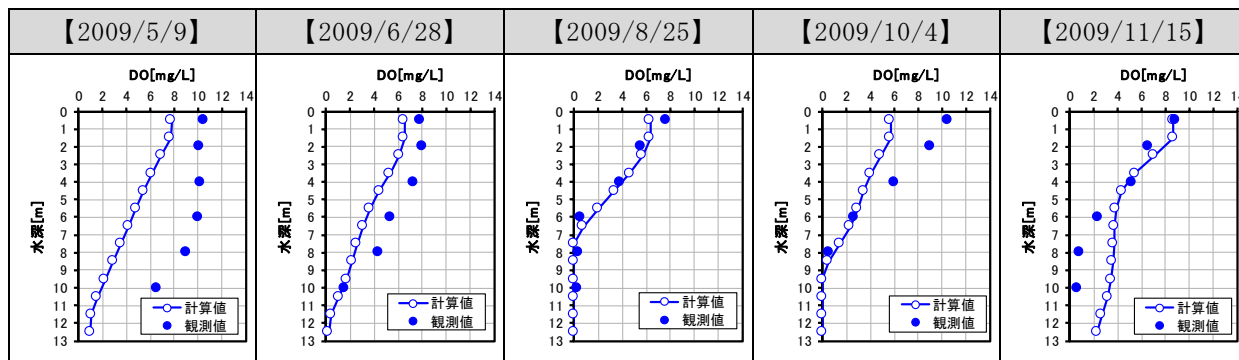


図 14 DOの鉛直分布（地点：St. 5、京都大学観測地点）

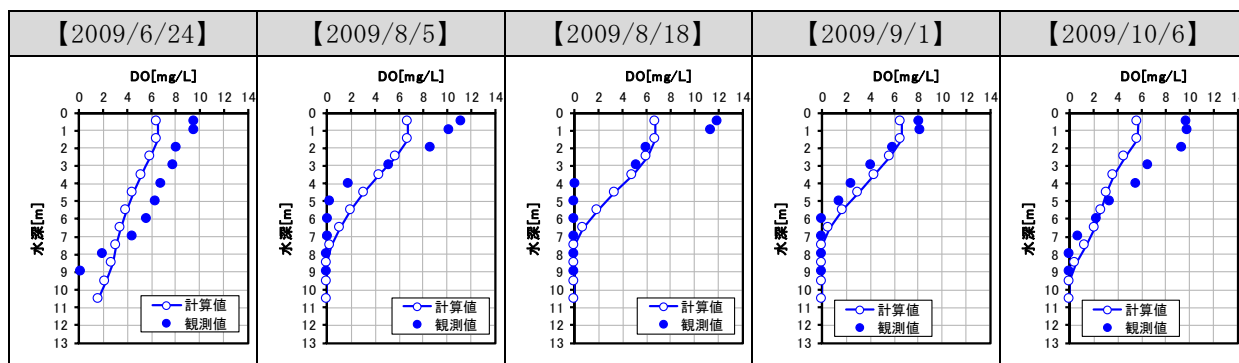


図 15 DOの鉛直分布（地点：KTKY、京都府海洋センター観測地点）

4.7 DOの水平分布

- 水深が比較的大きい湖心周辺や、水が滞留しやすい北東部において、最下層のDOは低くなっている。9月には、ほぼ全域で最下層のDOが1mg/Lを下回っていた。

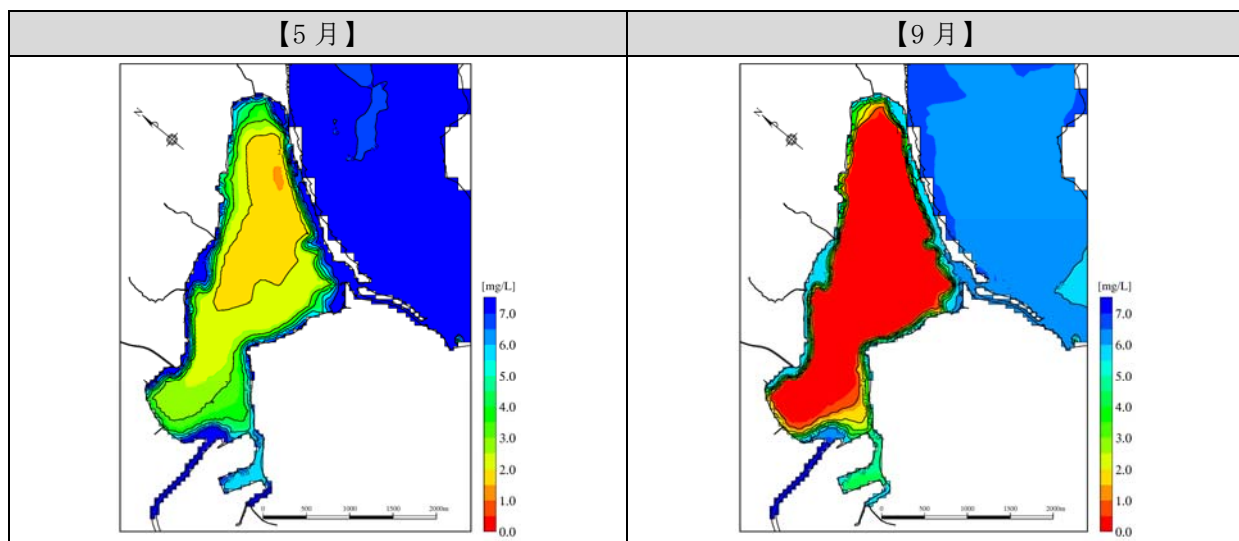


図 16 最下層のDOの水平分布（月平均値）

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

5.1 環境改善のシナリオ

阿蘇海において既に実施済み及び実施を検討中の施策の項目について、以下の計算ケースを設定し、数値シミュレーションによる予測を行った。

表 4 環境改善のシナリオ

改善技術（案）	数値シミュレーションモデルで評価できる改善効果	
カキ殻の除去	海水交換の促進	⇒ 水質改善
作濤・排水	海水交換の促進	⇒ 水質改善
底質改善	底泥有機物の減少 ⇒ 溶出・酸素消費の減少	⇒ 水質改善
アマモ場造成	酸素供給・栄養塩固定	⇒ 水質改善
アサリ養殖	有機物の取り上げ	⇒ 水質改善

5.2 計算ケースの設定

数値シミュレーションモデルで予測する改善技術は、図 17 に示すこれまで阿蘇海で実施されてきた環境改善施策や検討中の施策を踏まえ、表 5 のとおり設定した。

表 5 計算ケース

ケース	設定内容	備考
カキ殻の除去 及び 作濤・排水	①カキ殻周辺の地形を浚渫	浚渫水深の異なる2ケースを実施
	②現在の水道部を浚渫（作濤）	作濤水深の異なる3ケースを実施
	③東部海域に外海へ排水するポンプを設置	排水水深の異なる2ケースを実施
底質改善	底泥中の有機物・間隙水濃度を0と設定	覆砂事業での実績と同等範囲でのケースと浅海域全域に設定したケースを実施
アマモ場造成	浅海域に藻場造成	規模の異なる2ケースを実施
アサリ養殖	垂下型の養殖を想定し、浅海域以外にもアサリ現存量及び有機物の除去機能を設定	規模の異なる2ケースを実施
複合ケース	カキ殻除去、排水、アサリ養殖を組み合わせて設定	カキ殻除去と排水ケースをベースに、アサリ養殖の規模の異なる2ケースを実施

5.2.1 カキ殻除去及び作濇・排水ケースにおける計算条件

カキ殻除去及び作濇による計算ケースは、阿蘇海の水道部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 18 に示す。また、排水ケースの取排水位置を図 19 に示す。現況ケースは昭和 59 年度の測量成果（国土地理院の湖沼図）及び M7000（日本水路協会の水深データ）を元に水深値を設定している。

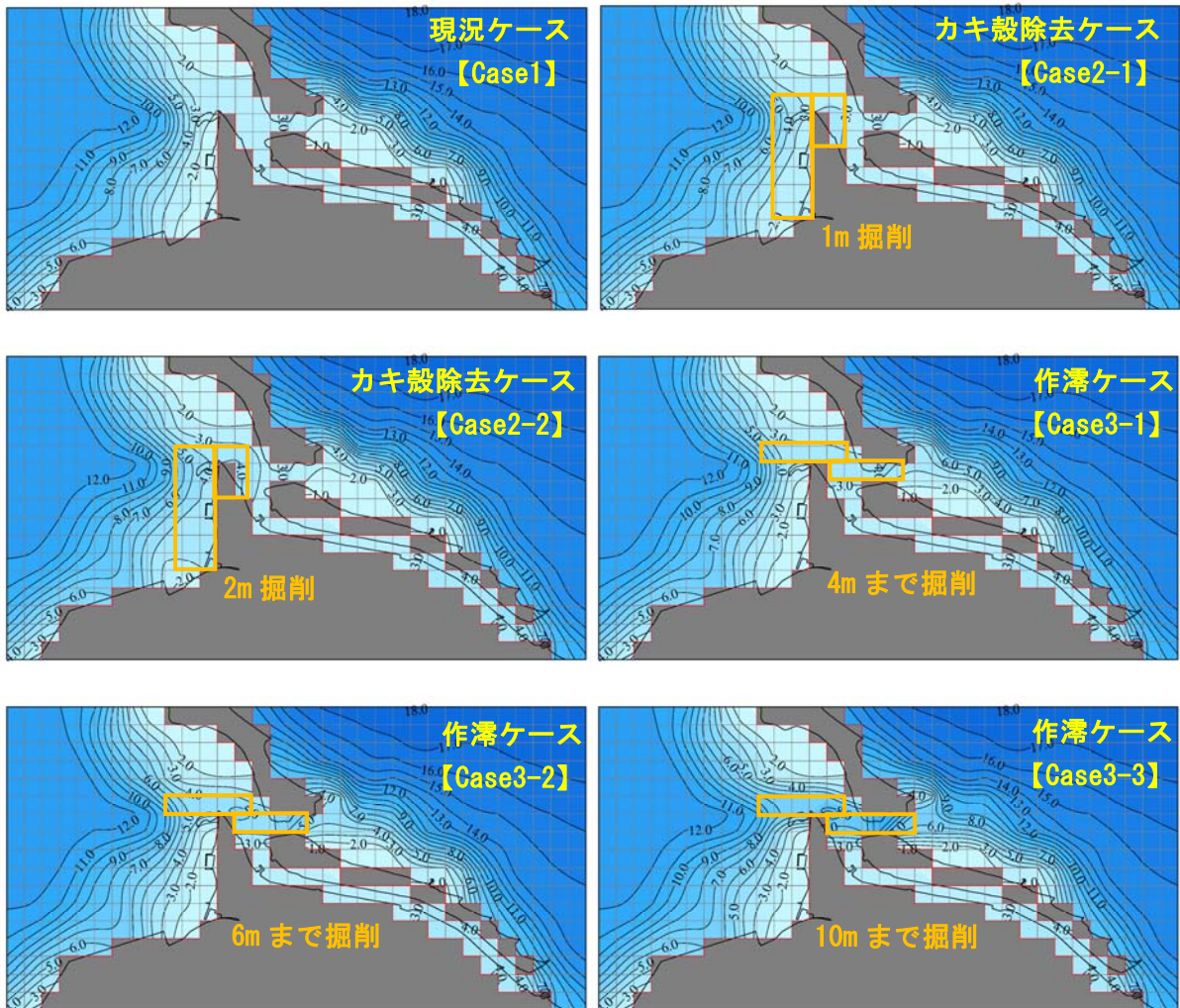


図 18 水道部の水深条件 (□：掘削箇所)

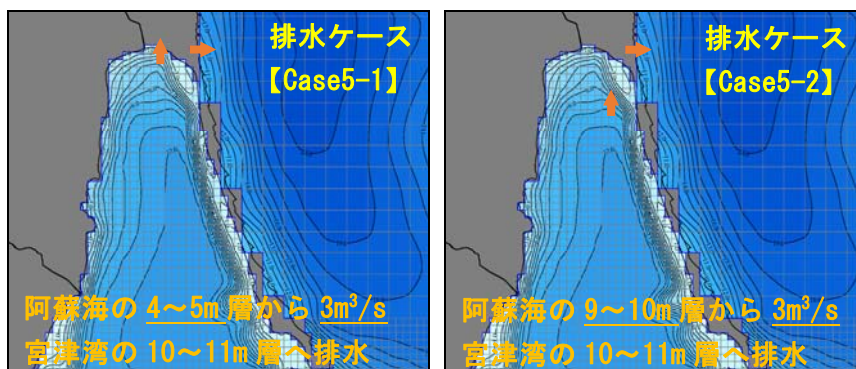


図 19 排水ケースの取排水位置 (➡：阿蘇海から外海へ排水)

5.2.2 底質改善ケースにおける計算条件

現況再現ケースの底泥計算において、底泥中の有機物・間隙水濃度を0と設定する。設定範囲は、以下の範囲を想定した。

- ① 覆砂事業での実績と同等範囲でのケース
- ② 浅海域全域（概ね水深3m程度）に設定したケース

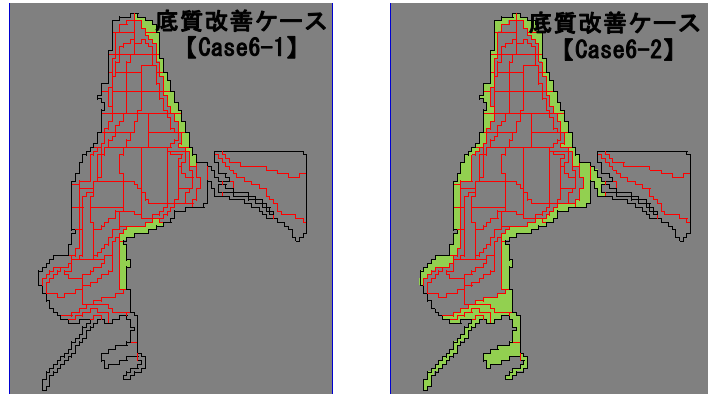


図 20 底質改善の設定範囲

5.2.3 アマモ場造成ケースにおける計算条件

- ① 覆砂事業での実績と同等範囲でのケース（10gC/m²）
- ② 浅海域全域（概ね水深3m程度）に設定したケース（10gC/m²）
- ③ 浅海域全域（概ね水深3m程度）に設定したケース（1gC/m²）

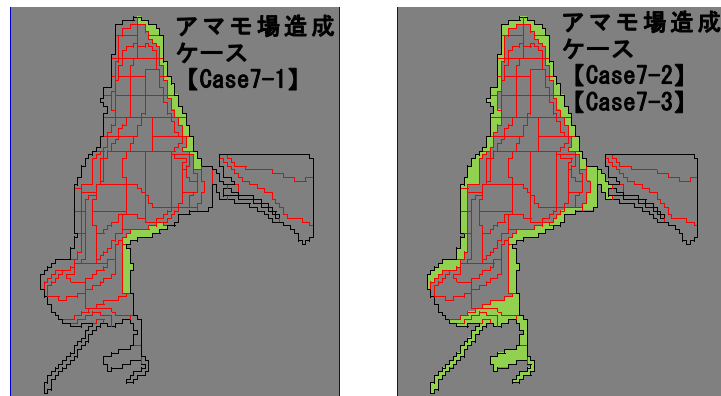


図 21 アマモ場造成の設定範囲

5.2.4 アサリ養殖ケースにおける計算条件

現況ケースでは、底生生物調査の結果を踏まえて初期値を設定し、北側の浅海域の方が南側浅海域（天橋立側）より現存量が多い（北側の浅海域～10gC/m²、南側の浅海域～1gC/m²）。

京都府が実施している実証試験⁴では、ポリエチレン製の飼育容器（40cm×40cm×20cm）を水深3m層に垂下して実験を実施している。個体数密度や時期を変更しながら複数の試験区で生残や殻長を記録している。それらの結果から、生残率についてはほとんどの試験区で8割

⁴ 谷本尚史・田中雅幸・藤原正夢(2014)：阿蘇海の二枚貝垂下飼育容器に混入したアサリ稚貝の垂下飼育試験。京都府農林水産技術センター海洋センター研究報告。第36号.p7-12

以上で、高密度（1000 個体／飼育容器）の試験区でも生残率は高いレベルを維持しており、収量が最適化される個体数は概ね 300～400 程度と考察されている。また、月ごとの平均殻長が得られていることから、殻長の成長式を得ることも可能である。これらの情報から、以下のようにアサリの垂下養殖の効果をモデルに考慮することとした。

- 水深 3m 層では貧酸素等による斃死がほとんど無いことから、養殖アサリの現存量は、個体密度と殻長から月ごとに設定する。
- 月ごとの殻長から湿重量を推定する。
- 湿重量と計算水温から、アサリ濾水量（個体あたり）を推定する。
- 個体数密度から単位面積あたりのアサリ濾水量を設定する。
- この濾水量により、アサリ養殖を設定した計算格子において、水中から懸濁態有機物及び植物プランクトンを除去する。

生息密度に関しては、飼育容器内での個体数を 250 個体／飼育容器と設定し、この飼育容器が水面の 1/50 を占める密度と設定した。これは、養殖アサリが最成長期に、二枚貝類の現存量が多い北側浅海域での 10gC/m² と同等となる密度である。

- ① 北東側浅海域からわずかに沖合に出た海域（実証試験を実施している海域を含む）
- ② 北東側水域の広い範囲
- ③ 北東側水域の広い範囲（ただし、生息密度を 1/10 とした）

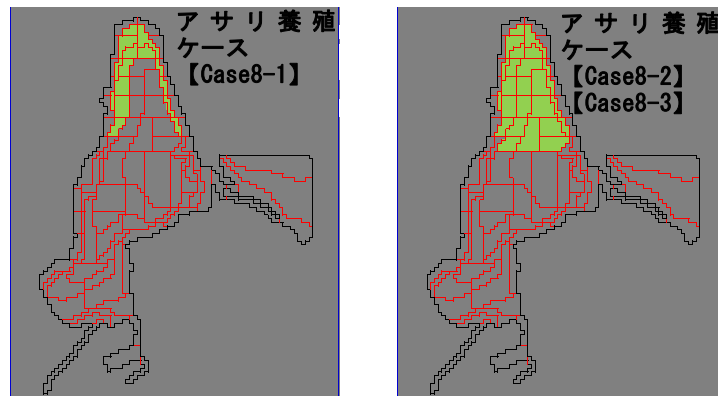


図 22 アサリ養殖の設定範囲

5.2.5 複合ケースにおける計算条件

表 6 に示す施策の組合せを設定した。

表 6 複合ケースにおける施策の組合せ

	カキ殻除去（2m）	排水（底層）	アサリ養殖
複合ケース【Case9-1】	○	○	—
複合ケース【Case9-2】	○	○	○（狭い範囲）
複合ケース【Case9-3】	○	○	○（広範囲、低密度）

5.3 予測計算結果

5.3.1 環境改善技術による改善効果予測

(1) 海水交換促進技術

1) 海水交換の変化

- カキ殻除去及び作濤ケースでは、水道部を通じた宮津湾との海水交換（流入量・流出量）が現況より増加し、特に作濤ケースで効果が大きかった。
- 排水ケースでは、水道部を通じた宮津湾への流出量が減少した。ただし、宮津湾からの流入量は増加している。この要因として、底層の高密度水が排水されたため阿蘇海内が低密度化し、宮津湾と阿蘇海の密度差の増大により流れが強まった可能性がある。

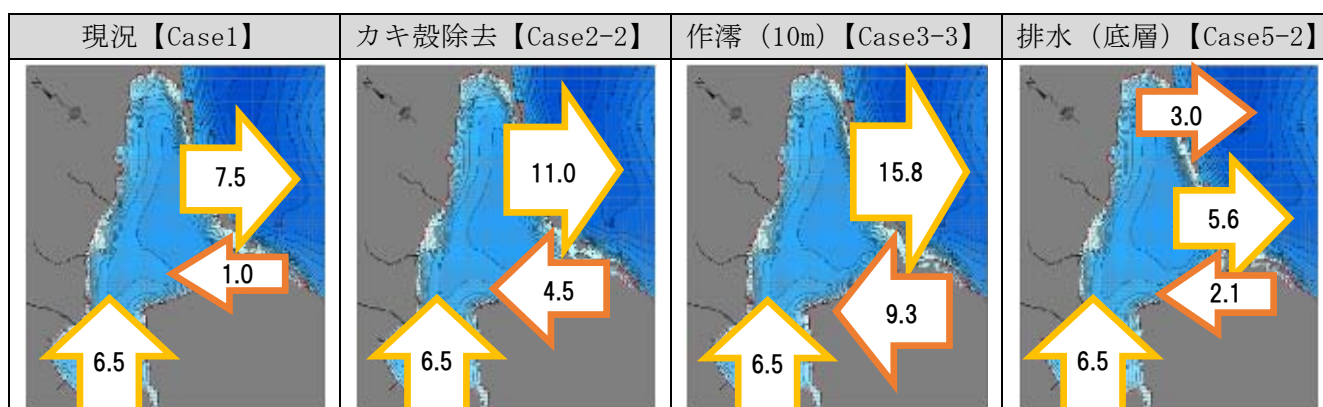


図 23 各ケースの流量収支（年平均）（⇨：上層、⇩：下層、単位：m³/s）

2) 阿蘇海内での流れの変化

- 作濤ケースでは、水道部を通じた宮津湾からの流入が強化され、高塩分水の流入により中層～下層の密度が増加した結果、強い密度成層の形成に至っている。
- 排水ケースでは、阿蘇海内でも比較的高密度の水が下層から排出されるため、下層が低密度化している。それにより、宮津湾からの流入水が下層へ沈み込みやすくなった。

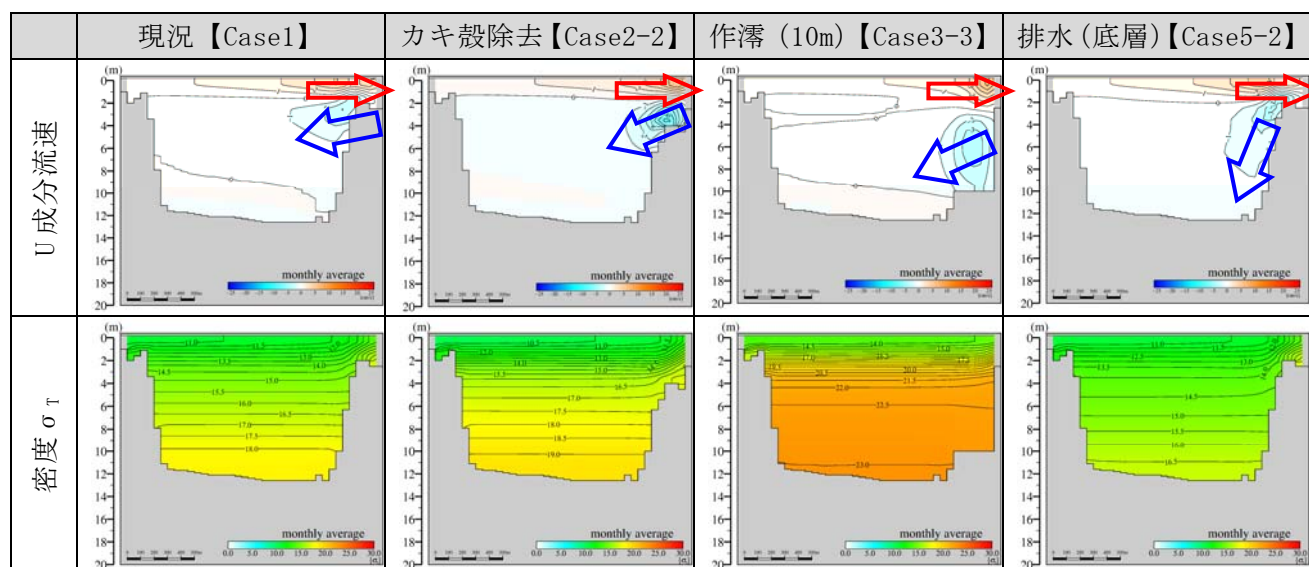
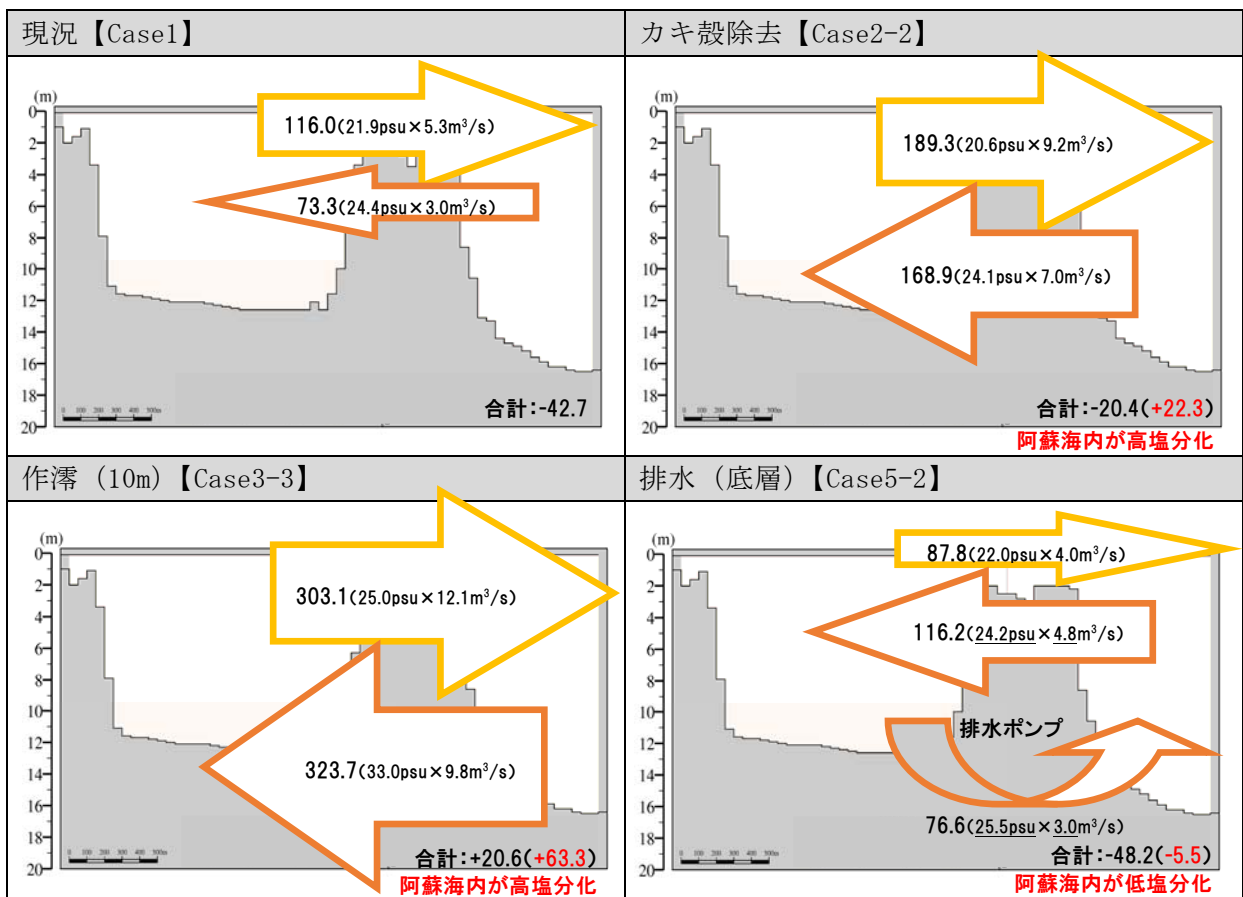


図 24 u 成分流速及び密度の鉛直分布（断面 A、9 月平均）

3) 塩分フラックスの変化

- カキ殻除去・作濤ケースでは、水道部の作濤により、現況と比べて上層での塩分フラックスの流出成分と下層での流入成分が増え、特に作濤ケースで変化が大きかった。
- 排水ケースでは、阿蘇海北東部の底層から高塩分水が排水され、塩分フラックスとしては流出成分が増加する。一方、水道部では、上下層を合せて、塩分フラックスとしては流入成分が増加している。それらが相殺した結果、阿蘇海全体では、塩分フラックスとして流出成分が増加する傾向であった。すなわち、排水ケースでは、河川からの淡水の影響が阿蘇海内に残りやすくなっているものと考えられる。
- 排水ケースでは、現況ケースと比べて水道部からの流入成分が $42.9 \text{ (psu} \cdot \text{m}^3/\text{s)}$ 増加しているが、阿蘇海下層の水道部と比べて高い塩分水が、水道部からの増量分以上排水されることにより、塩分フラックスの流出成分が増加する傾向となっていた。



注：単位は $\text{psu} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 、合計は阿蘇海への流入量から流出量を差し引いた値（正：流入、負：流出）、赤字は現況からの変化量を示す。

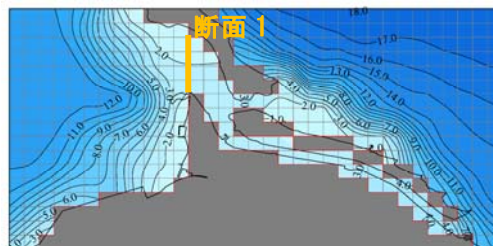


図 25 断面 1 における塩分フラックス (9 月平均) の変化 (⇨: 上層、⇨: 下層)

(2) 底質改善技術

1) 水質濃度変化

- 底質改善ケースでは、底層の T-N、T-P、ODU 濃度がわずかに減少し、底層の DO 濃度がわずかに増加したが、大きな変化ではなかった。

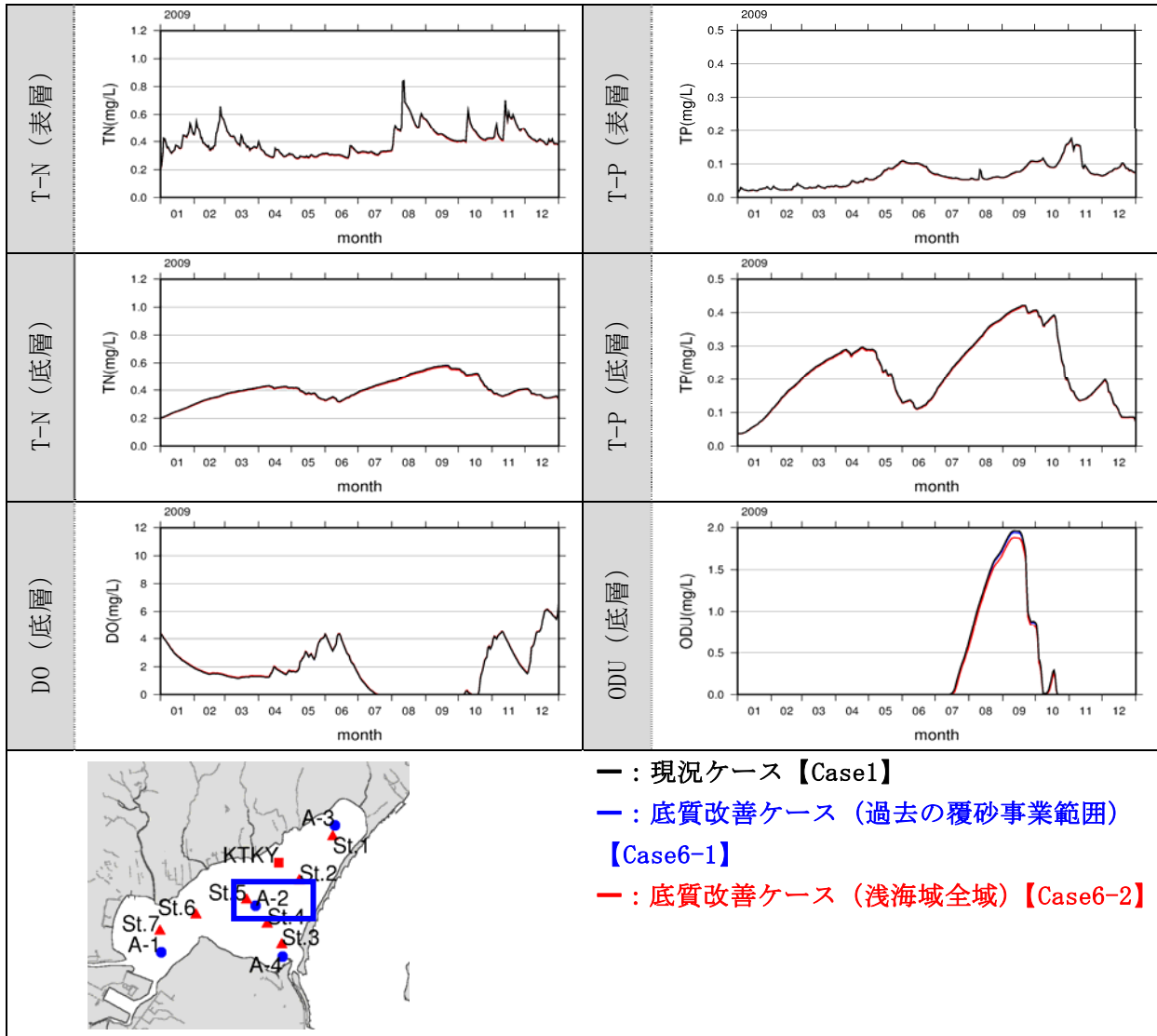


図 28 水質項目の変化 (底質改善ケース、地点 : A-02 (湖心))

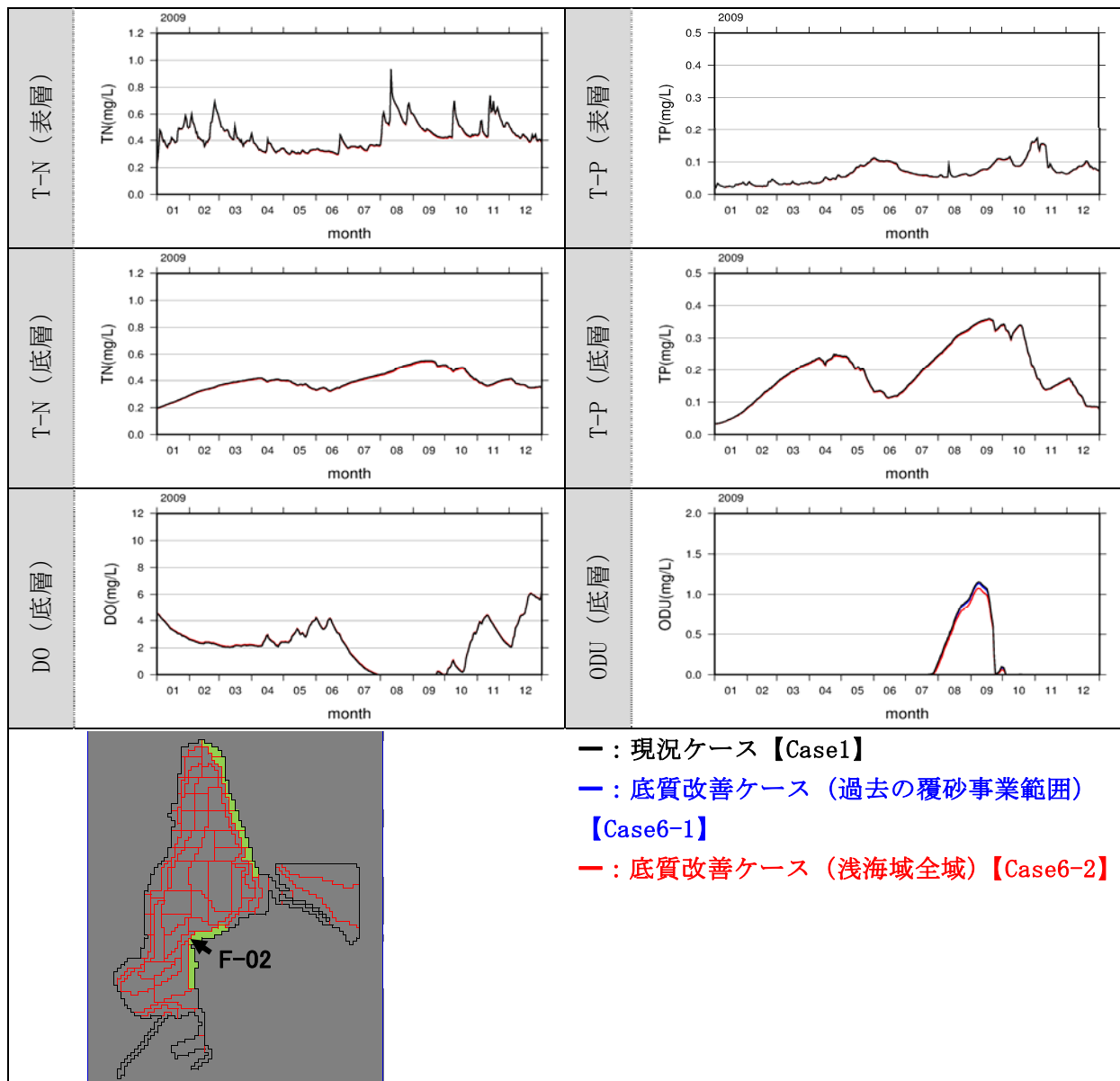


図 29 水質項目の変化（底質改善ケース、地点：F-02（覆砂地点））

2) 貧酸素水塊の変化

- 貧酸素水塊の面積・容積は、現況ケースからわずかに減少したが、大きな変化ではなかった。

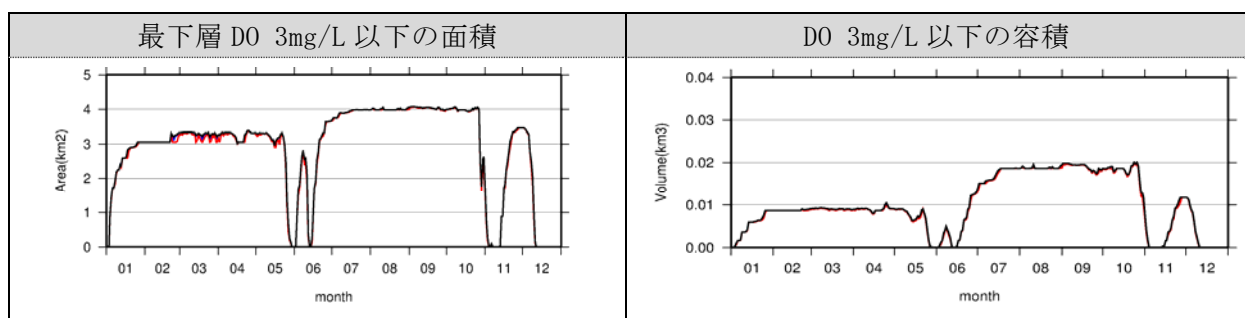


図 30 貧酸素水塊の面積・容積の変化（底質改善ケース、凡例は図 28 参照）

(3) アマモ場造成

1) 水質濃度変化

- T-N、T-P 濃度は現況ケースからわずかに低下し、底層 DO 濃度は現況ケースからわずかに上昇したが、大きな変化ではなかった。
- 夏季の底層 ODU 濃度は、現況ケースから低下していた。
- 最も広域かつ高密度のアマモ場を設定した Case7-2 において、水質濃度変化が最大であった。

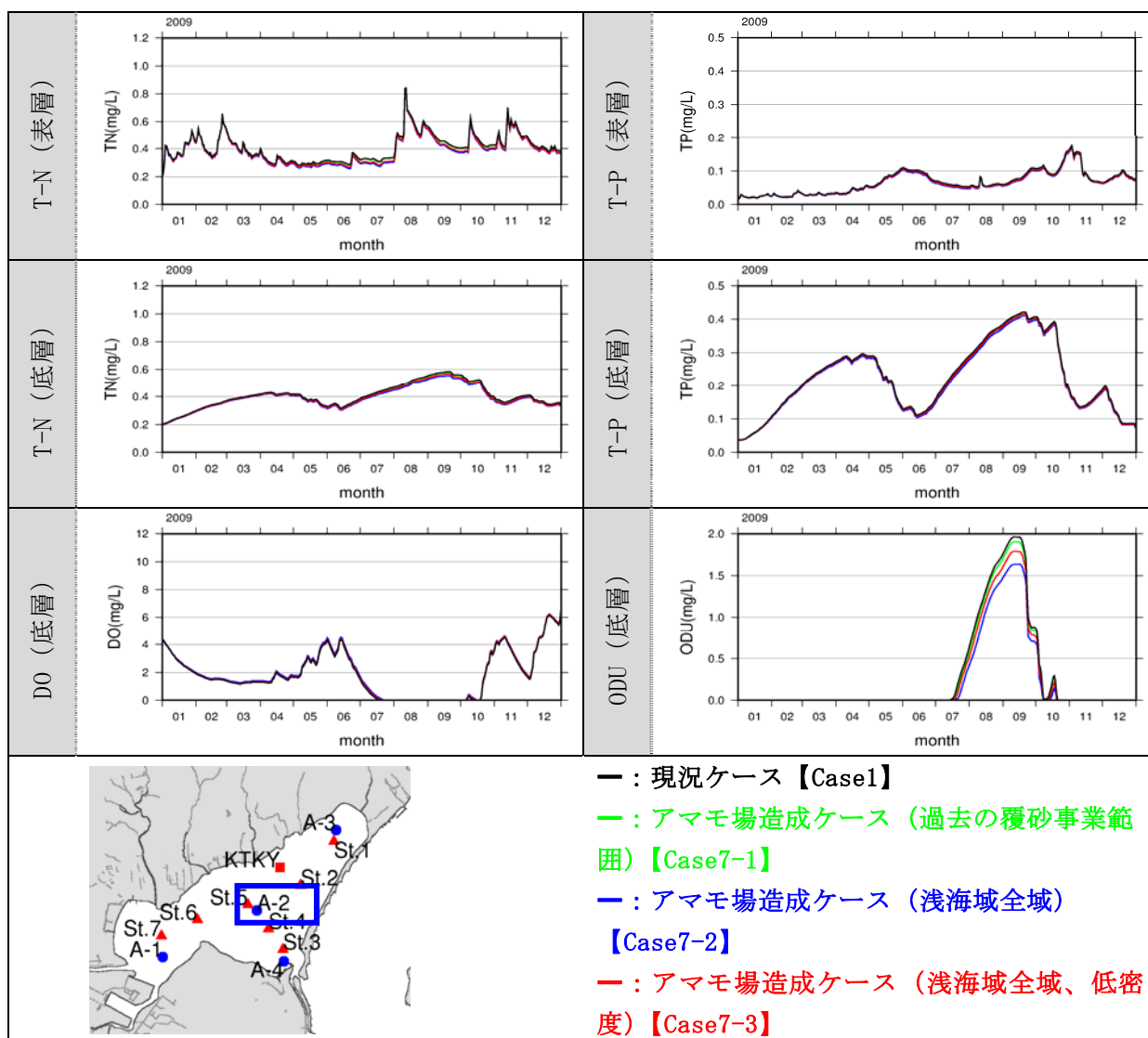


図 31 水質項目の変化 (アマモ場造成ケース、地点 : A-02 (湖心))

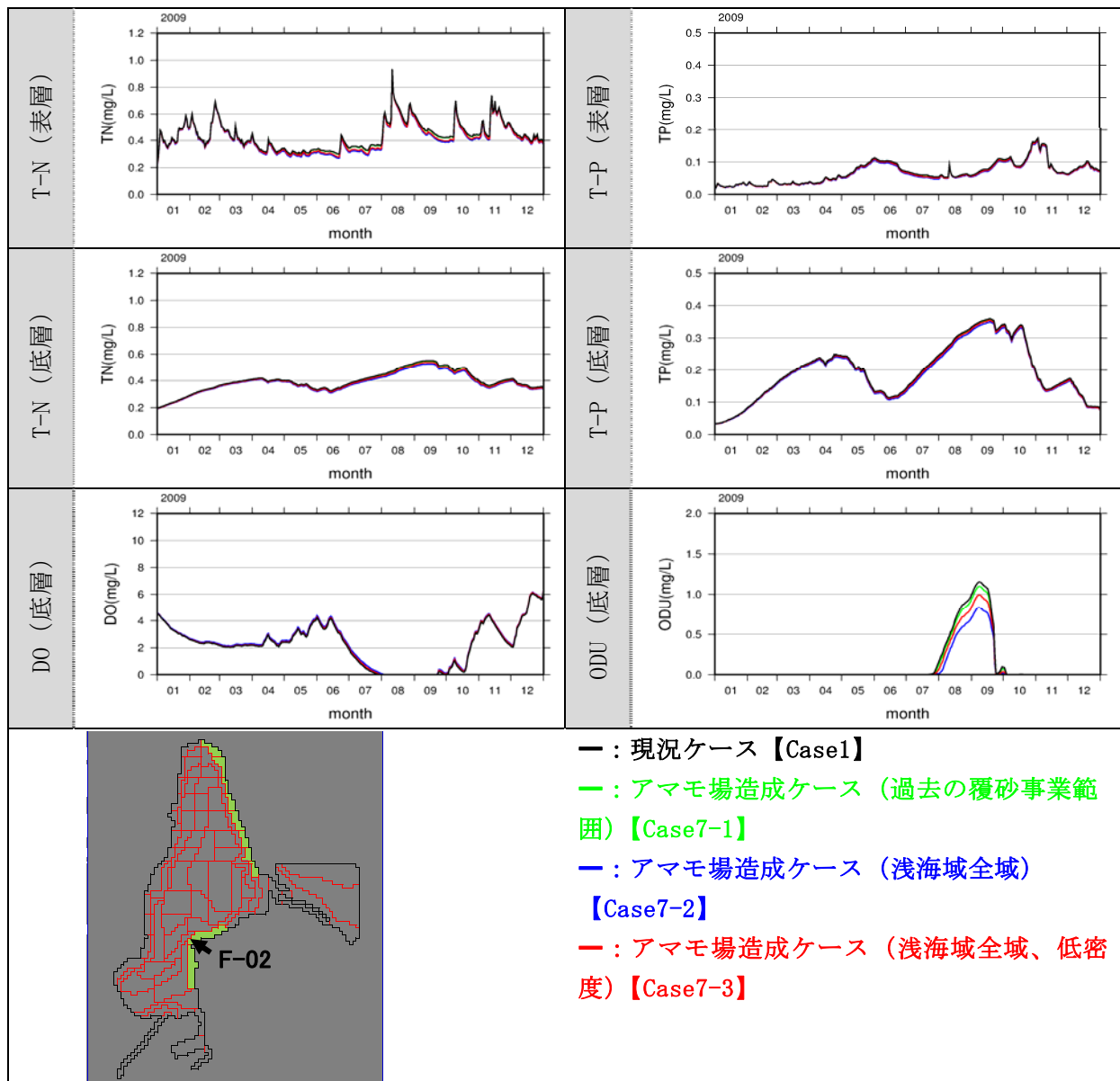


図 32 水質項目の変化 (アマモ場造成ケース、地点 : F-02 (アマモ場造成地点))

2) 貧酸素水塊の変化

- 貧酸素水塊の面積・容積は、現況ケースからわずかに減少したが、大きな変化ではなかった。

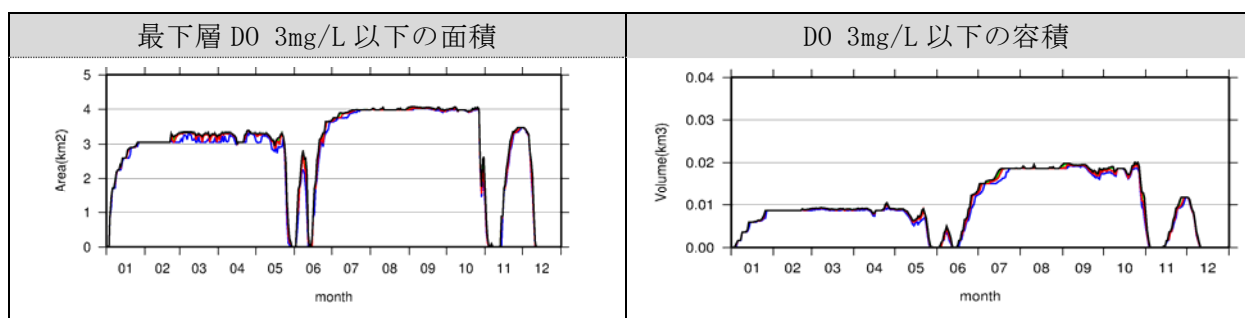


図 33 貧酸素水塊の面積・容積の変化 (アマモ場造成ケース、凡例は図 31 参照)

(4) アサリ垂下養殖

1) 水質濃度変化

- T-N、T-P 濃度は現況ケースから低下し、底層 DO 濃度は現況ケースから上昇した。
- 夏季の底層 ODU 濃度は、現況ケースから低下していた。
- 最も広域かつ高密度のアサリ養殖を設定した Case8-2 において、水質濃度変化が最大であった。

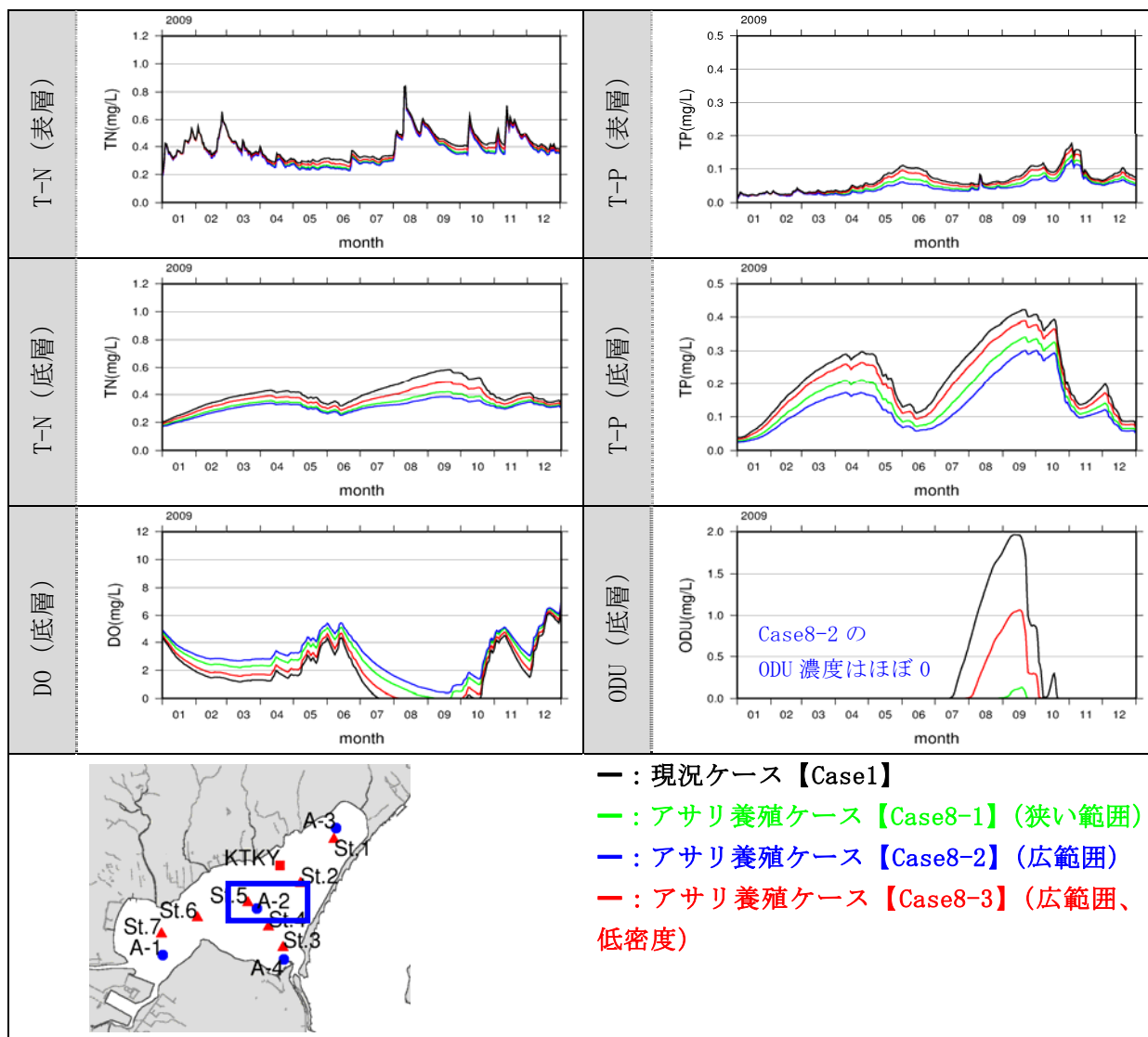


図 34 水質項目の変化 (アサリ養殖ケース、地点: A-02 (湖心))

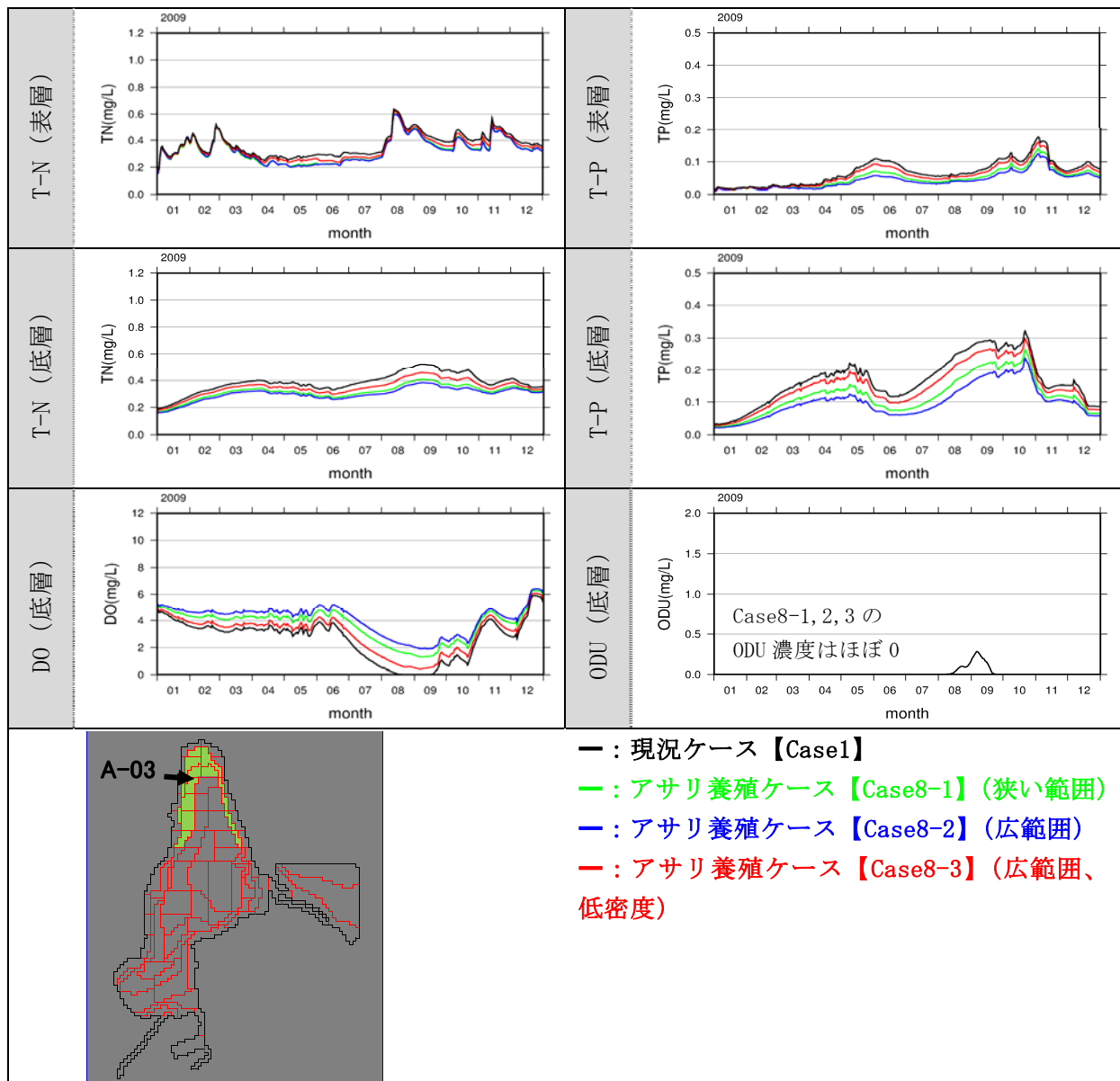


図 35 水質項目の変化 (アサリ養殖ケース、地点 : A-03 (アサリ養殖地点))

2) 貧酸素水塊の変化

- 貧酸素水塊の面積・容積は現況ケースから減少しており、アサリ養殖による改善効果がみられた (図 36)。

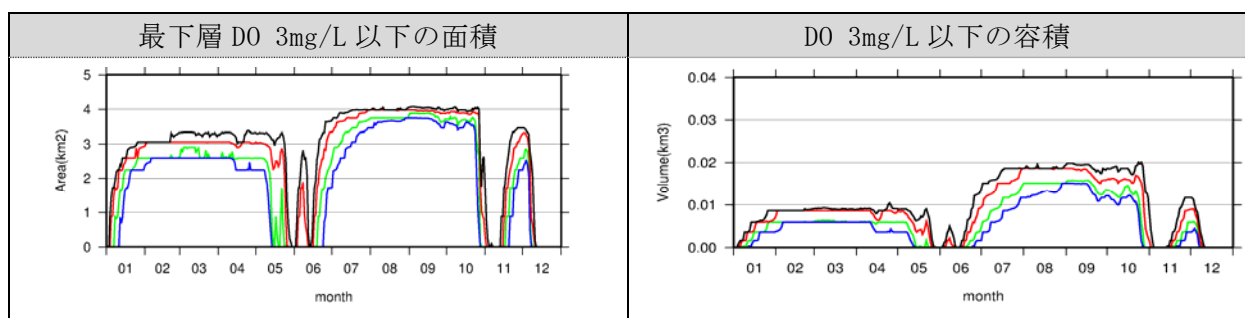


図 36 貧酸素水塊の面積・容積の変化 (アサリ養殖ケース、凡例は図 34 参照)

(5) 改善効果の組み合わせ

1) 海水交換の変化

- 複合ケース（カキ殻除去+底層からの排水）では、水道部を通じた宮津湾への流出量が現況から $2.2\text{m}^3/\text{s}$ 増加し、宮津湾からの流入量は現況から $5.2\text{m}^3/\text{s}$ 増加した。
- 複合ケースの流入増加量 ($5.2\text{m}^3/\text{s}$) は、カキ殻除去ケースの流入増加量 ($3.5\text{m}^3/\text{s}$) と排水(底層)ケースの流入増加量 ($1.1\text{m}^3/\text{s}$) の合計より大きく、改善技術の複合により効果的に海水交換を促進できる可能性が示唆された。

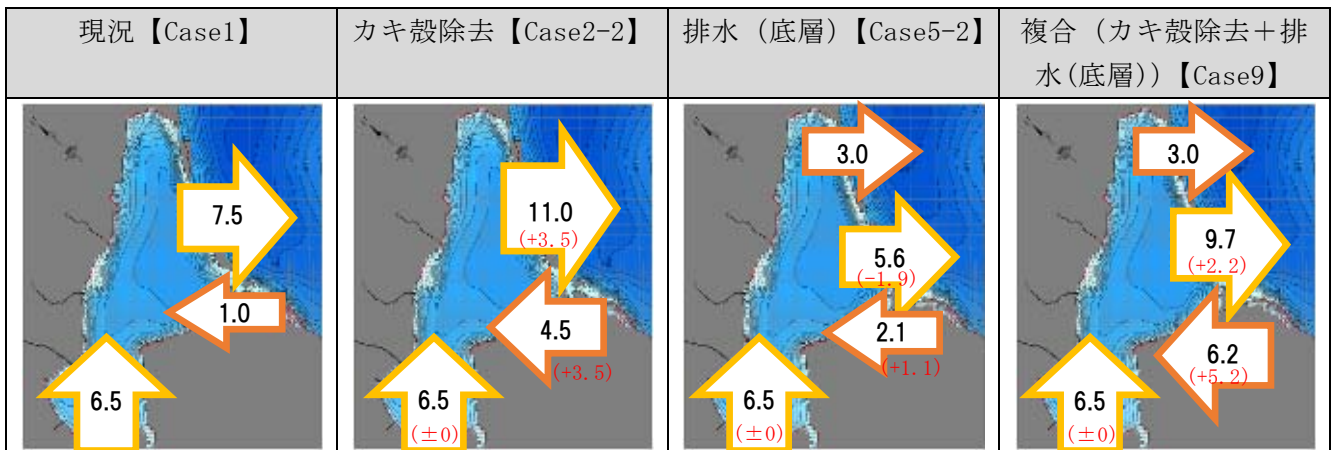


図 37 各ケースの流量収支（年平均）（◇：上層、◇：下層、単位： m^3/s 、赤字は現況からの変化量）

2) 阿蘇海内での流れの変化

- 複合ケース（カキ殻除去+底層からの排水）では、宮津湾からの流入が強化されたが、排水の効果により下層は若干低密度化している。そのため、カキ殻除去ケースでみられた強い密度成層の形成を、複合ケースでは避けることができた。

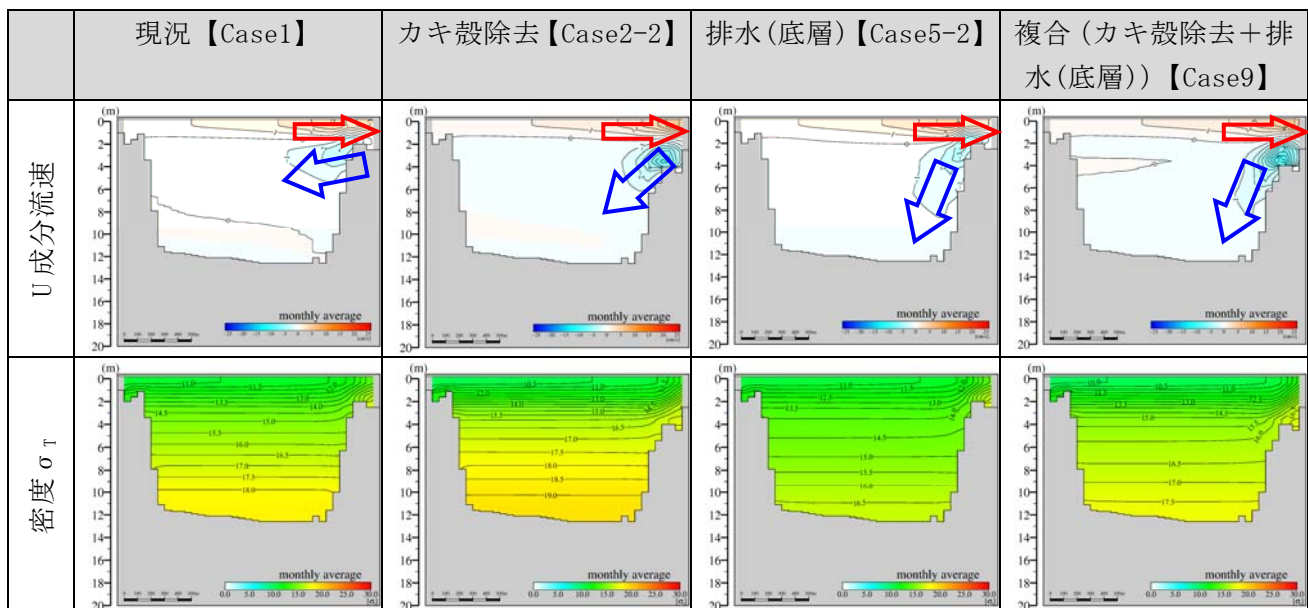


図 38 u 成分流速及び密度の鉛直分布（断面 A、9 月平均）

3) 水質濃度変化

- T-N、T-P は現況ケースから低下し、底層 DO 濃度は現況ケースから上昇した。
- 夏季の底層 ODU 濃度は、現況ケースから低下していた。
- 排水ケース及び複合ケース（カキ殻除去+排水）では、夏季の底層 DO 濃度が一時的にゼロ近くまで低下している。一方、複合ケース（カキ殻除去+排水+アサリ養殖）では、夏季においても底層 DO が 2mg/L 程度を維持していた。

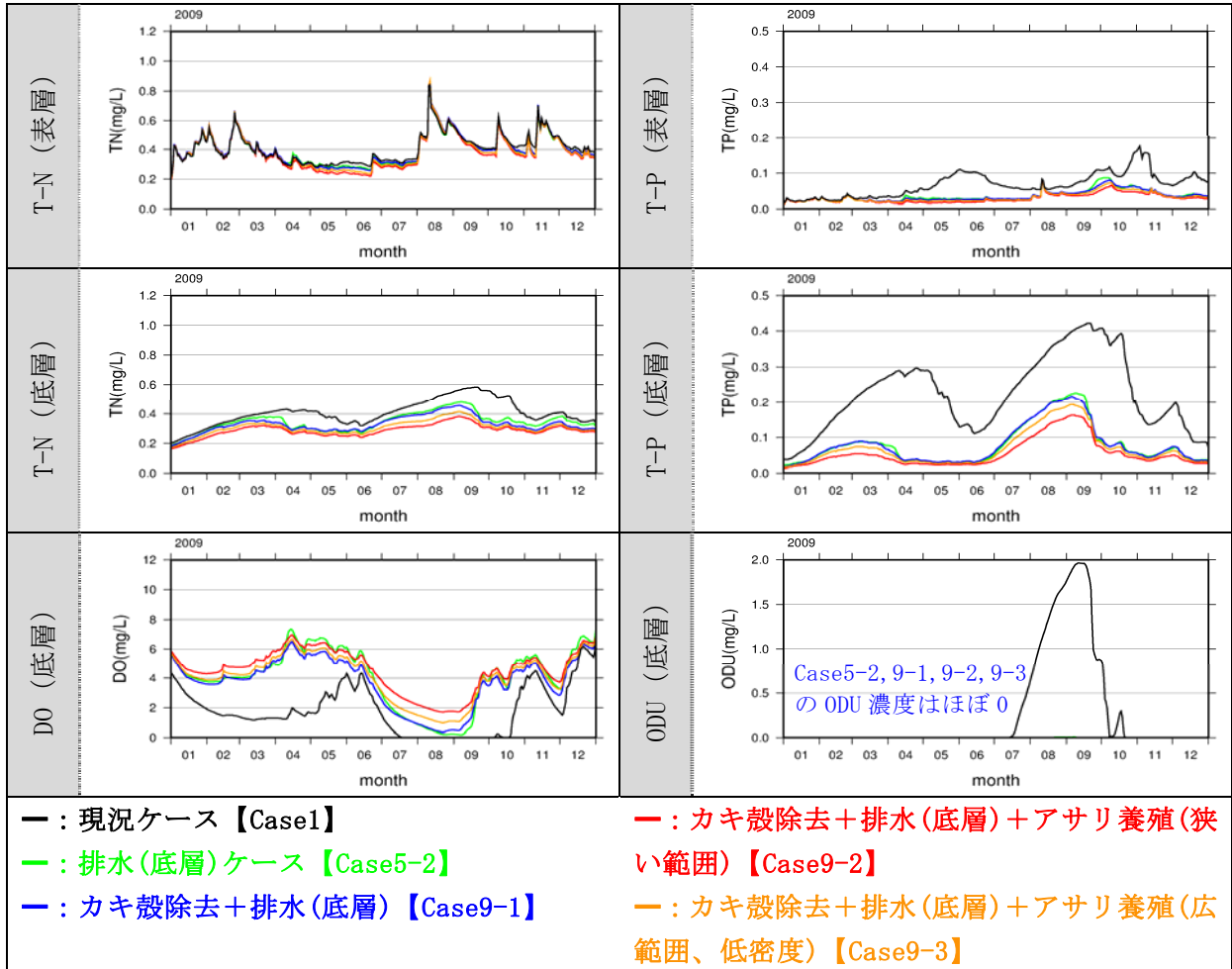


図 39 水質項目の変化（複合ケース、地点：A-02（湖心））

4) 貧酸素水塊の変化

- 複合ケース（カキ殻除去+排水+アサリ養殖）では、他のケースに比べて貧酸素水塊の面積・容積の現況ケースから減少が顕著であった（図 40）。

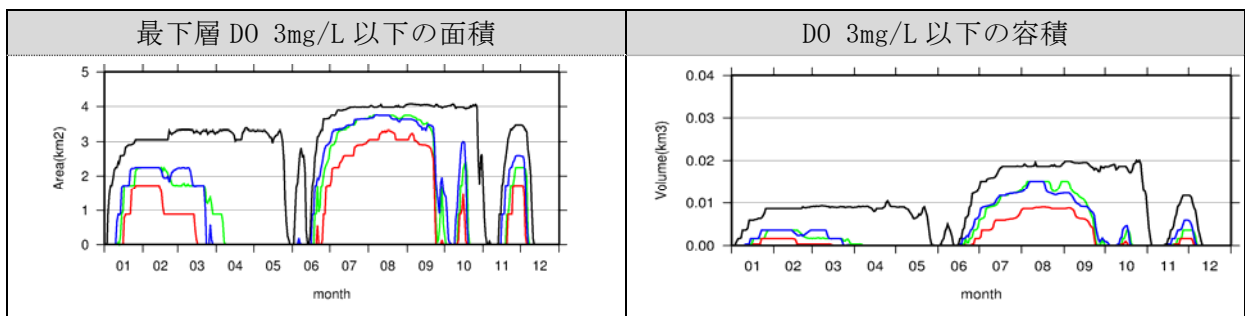


図 40 貧酸素水塊の面積・容積の変化（複合ケース、凡例は図 39 参照）

(6) ケース間の濃度・フラックス等の変化比較

- ケース間の水質濃度の変化を比較すると、作滞 (Case 3-3)、排水 (Case 5-2)、アサリ養殖 (Case 8-2) 及び複合ケースでは、底層 DO の上昇及び T-N、T-P 濃度の低下が比較的大きかった (図 41)。
- 作滞及び排水ケースにおける底層 DO の上昇は、高 DO の海水が宮津湾から流入しやすくなった結果と考えられる。これらのケースでは酸素消費フラックスが増加しており、供給された酸素の一部が有機物等の分解のため消費されていることがわかる。
- アサリ養殖ケースでは、有機物 (PON、POP) の沈降フラックスが現況ケースから低下しており、そのため酸素消費フラックスが低下し、底層 DO が上昇したと考えられる。
- ケース間の貧酸素水塊の面積・容積の変化を比較すると、作滞、排水、アサリ養殖、複合ケースでは、面積・容積の現況ケースからの低下が顕著であった (図 42)。

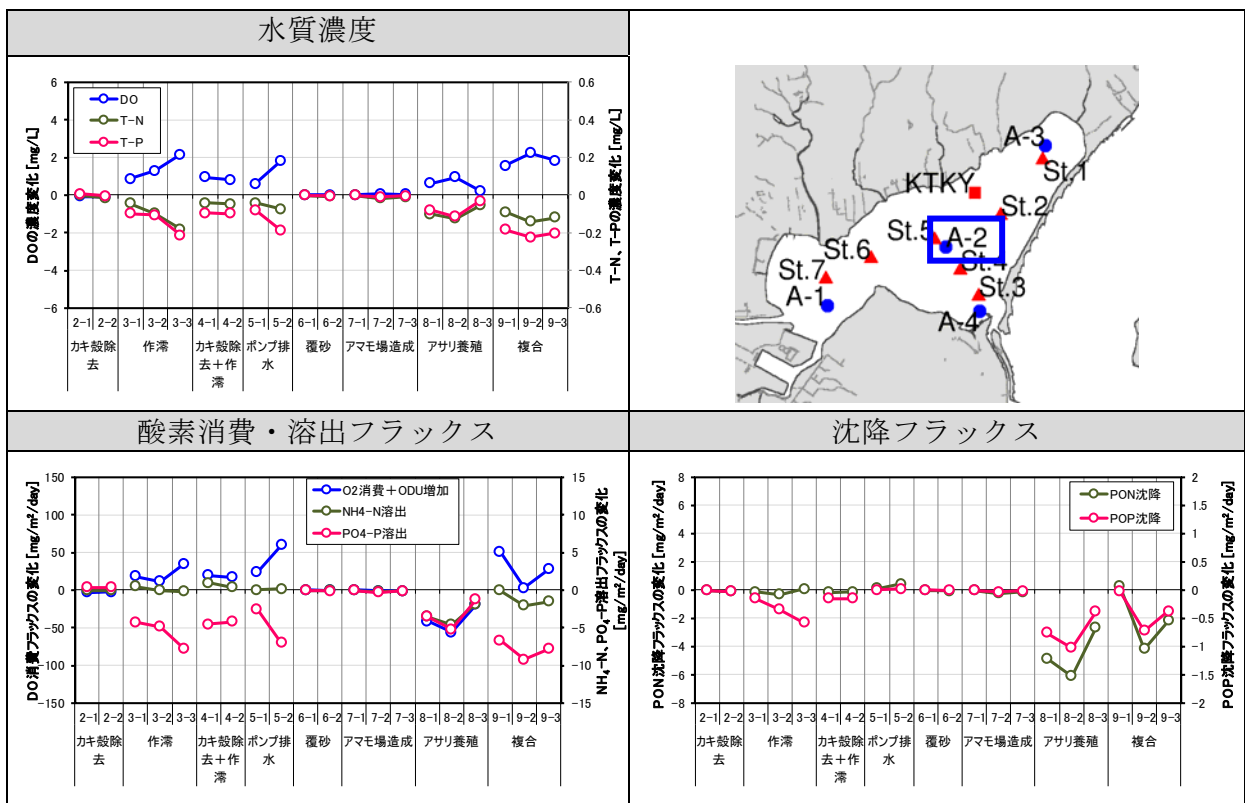


図 41 各ケースにおける水質フラックス (年平均値) の現況ケースからの変化 (地点: A-02)

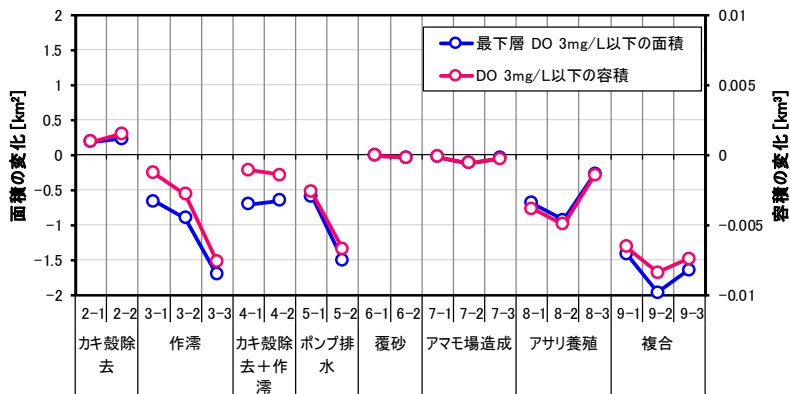


図 42 各ケースにおける貧酸素水塊の面積・容積 (年平均値) の現況ケースからの変化

(7) 改善効果の持続性の検討

1) 溶出速度・酸素消費速度の変化（阿蘇海全域平均）

- 施策実施後 1～3 年目にかけての溶出・酸素消費速度は、アサリ養殖及び複合ケースでは横ばいか減少傾向であり、現況ケースを含む他のケースでは増加傾向であった（図 43 左）。多くのケースでの増加は、現況ケースの傾向を反映したものと考えられる。
- 各種速度の現況ケースからの変化量の 1～3 年目の傾向をみると（図 43 右）、底質改善ケースのみ、3 年目にかけて効果が減少していた（現況からの差が小さくなる）。
- アサリ養殖及び複合ケースでは、改善効果（溶出速度の減少）が 3 年目に向けて増加する傾向が顕著で、窒素・りんともに見られ、堆積フラックスの減少による底泥からの溶出減少と DO 改善に伴う底泥からのりん溶出抑制の双方に効果があったものと考えられる。
- 作濤及び排水ケースは、りんにおいてのみ改善効果が見られ、海水交換改善による DO 改善によって、りん溶出抑制効果が発現したものと考えられる。

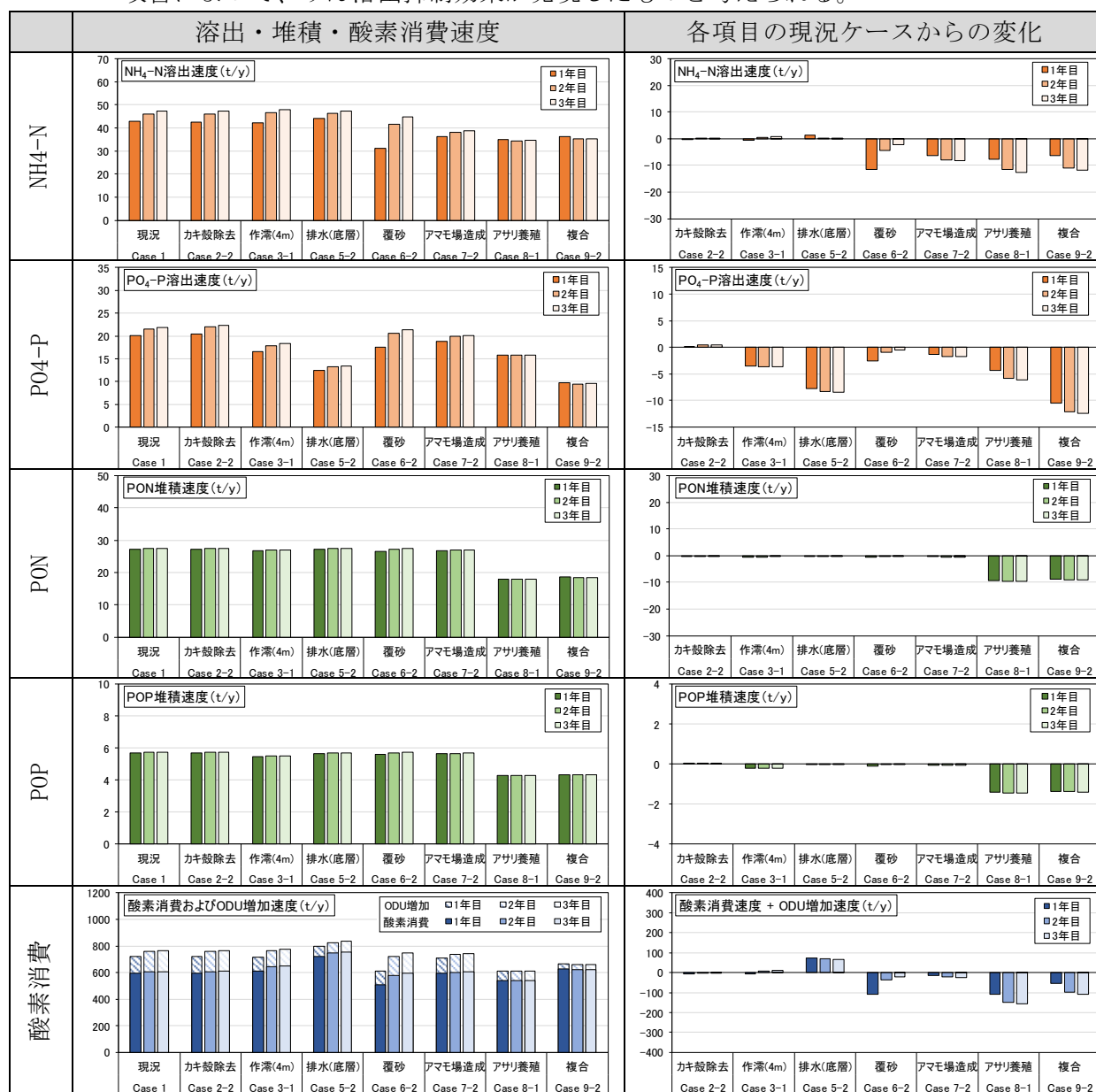


図 43 各ケース 1～3 年目の溶出・堆積・酸素消費速度及びそれらの現況ケースからの変化（年平均、阿蘇海全域平均）

2) 貧酸素水塊の変化

- 貧酸素水塊の面積・容積は、アサリ養殖（及びアサリ養殖と他の施策の複合ケース）では微減していたが、現況ケースを含む他のケースでは増加していた（図 44 左）。
- 作潻、排水、アサリ養殖及び複合ケースでは、貧酸素水塊の面積・容積が現況ケースから顕著に減少している。これらのケースの現況ケースからの変化量は、1～3 年目にかけて減少ないし横ばいであった（図 44 右）。したがって、これらのケースでは改善効果が持続すると考えられる。特にアサリ養殖ケース及び複合ケースでは、経年的な改善効果の増大が示唆された。

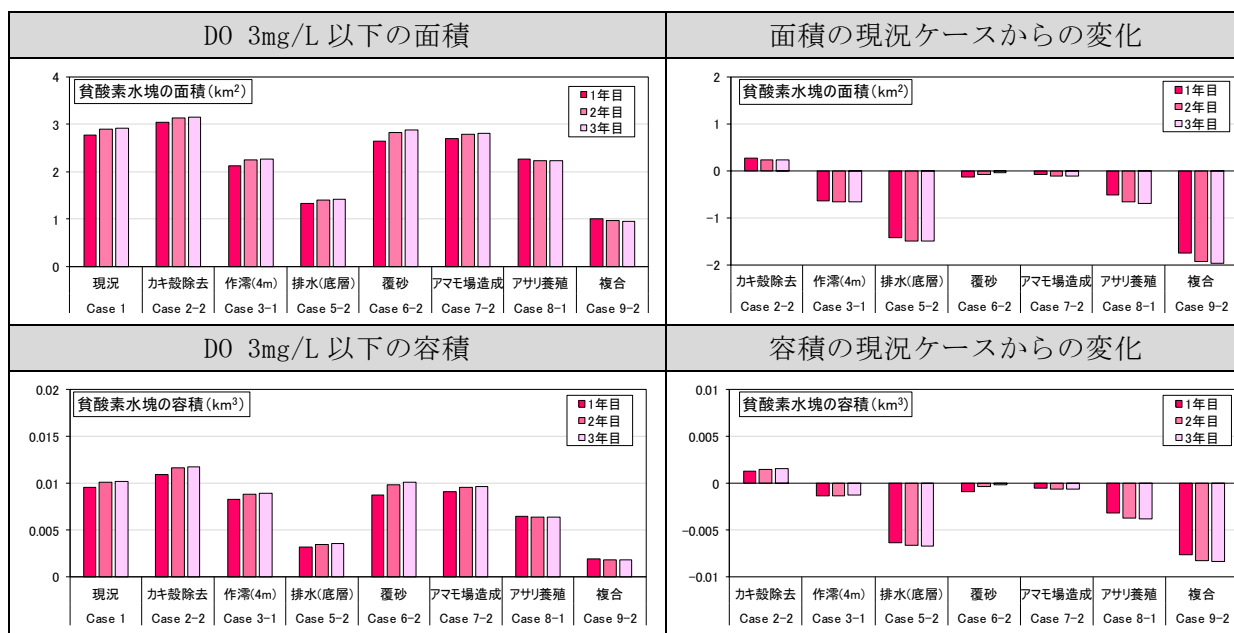


図 44 各ケース 1～3 年目の貧酸素水塊の面積・容積と現況ケースからの変化（年平均）