

## 栄養塩類の循環バランス向上対策の検討

播磨灘北東部海域における栄養塩類の循環バランス向上対策の検討については、第1回検討委員会において当地域の問題解決のための対策案をリストアップし、その内の「加古川下流浄化センターの窒素排出量増加運転」、「河川を利用した海水交換の促進対策」、それらの対策の組み合わせについてシミュレーションモデルによる計算により全窒素濃度の空間分布の時間変化を示した。しかし、シミュレーションモデルによる計算が可能と考えられた「海水交換防波堤」の計算や、既に計算を実施した各対策を含めた効果に関する詳細な解析は未実施であった。そこで、海水交換防波堤のシミュレーションモデルによる計算結果と各対策の効果検証結果を報告する。

### 1 これまでの検討結果

#### 1.1 概要

##### 1.1.1 対策案のリストアップ

平成22年度より実施してきた情報収集、現地調査、シミュレーションモデルによる現況再現計算の結果等から、播磨灘北東部地域においては「港湾奥部の滞留域における溶存無機態窒素(DIN)濃度の高止まり、夏季の底層の貧酸素化」や「沿岸～沖合域での溶存無機態窒素濃度の低下」が生じていることが明らかになり、DINの偏在化が問題として挙げられた。

そこで、それらの問題を解決するための方法として以下の対策案が考えられた。それらの対策の中で実現可能性やシミュレーションモデルによる計算の実施の可否等を考慮して、下線を引いた三つの対策についてシミュレーションモデルを使った計算を実施し、窒素濃度の分布の変化等を図化した。なお、海水交換防波堤の計算については第1回検討委員会以後に実施している。

- ・ 加古川下流浄化センターの窒素排出量増加運転
- ・ 民間事業場の排水の窒素・りん濃度の増加
- ・ 河川を利用した海水交換促進（導水対策）
- ・ 事業場排水の排水口位置の変更
- ・ 出水時の流出負荷の平準化
- ・ ため池の池干し・海底耕耘
- ・ 海水交換防波堤（遊水室型）の設置

##### 1.1.2 加古川下流浄化センターの窒素排出量増加運転

窒素排出量増加運転の効果を検証するため、加古川下流浄化センターの排水の全窒素濃度(TN)を通常運転時の約1.4倍に、溶存無機態窒素(DIN)濃度を約1.5倍にして、周辺海域における濃度変化について算出した。

窒素排出量増加運転時の窒素濃度から通常運転時の窒素濃度を差し引いた差値について見ると、泊川河口沖水路の南端から南東方向の沖合にかけて、潮汐変動に伴って硝酸・亜硝酸性窒素(NO<sub>x</sub>)濃度の増加範囲が広がっている様子が確認された。

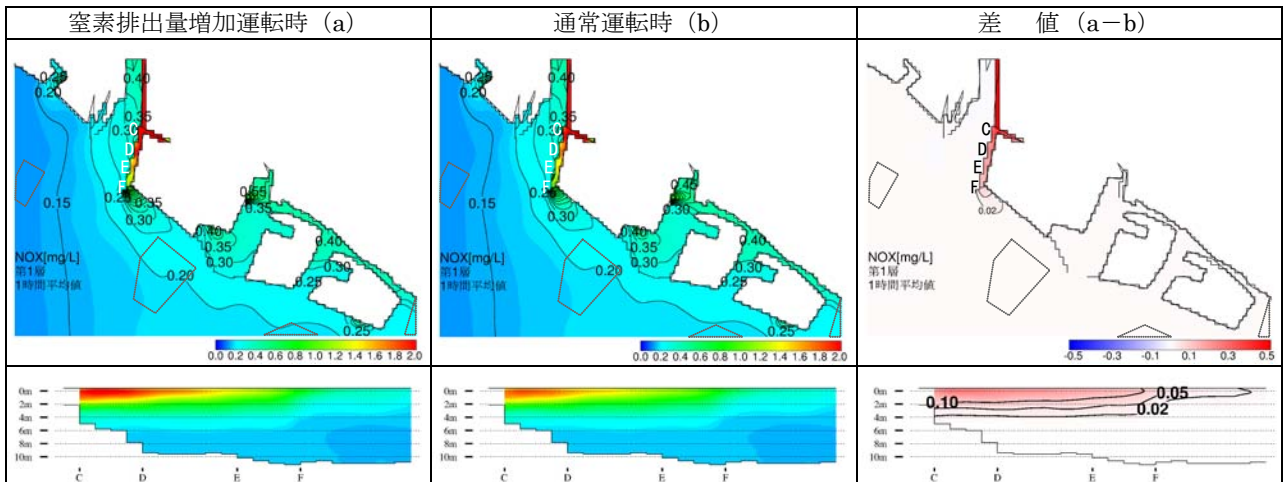


図 1 窒素排出量増加運転による NOx の影響 (平成 17 年 12 月 15 日の日平均)

### 1.1.3 河川を利用した海水交換の促進対策 (導水対策)

加古川の河川水を泊川河口沖水路奥部へ導水することにより、水路内のエスチュアリー循環流を促進させ、水路奥部の高い溶存無機態窒素 (DIN) 濃度の水塊と沿岸～沖合域の低い DIN 濃度の水塊の海水交換量を増加させることを目的とした対策について効果検証を実施した (図 2)。計算条件としては加古川の河川水を泊川河口沖水路の下層から  $1\text{m}^3/\text{s}$  で放水することとした。

計算の結果、導水なしと比較すると導水を実施することにより泊川河口沖水路内においてエスチュアリー循環流が促進され、下層と表層の水塊が混合されることにより水路内の DIN 濃度が減少することが明らかになった。一方で、水路内の流れが増加し表層水を押し出す力が増加したことで、時間帯によっては沿岸～沖合域において DIN 濃度が導水なしの場合と比較して増加している状況も確認された。なお、 $1\text{m}^3/\text{s}$  を底層に放水した場合、水路内で  $14\text{m}^3/\text{s}$  の流量の増加が確認されたが、表層に放水した場合は  $2\text{m}^3/\text{s}$  の増加に留まった。

これらのことから、導水実施の目的であった港湾奥部の DIN 濃度を下げ、一方で沿岸～沖合域の DIN 濃度を上昇させることにより、DIN の偏在化を解消させることについて、一定の効果があると考えられた。

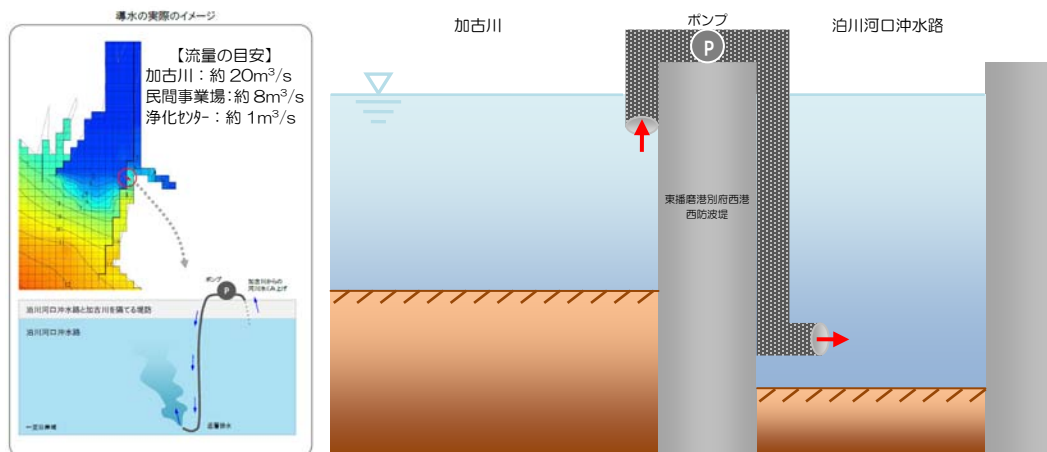


図 2 河川を利用した海水交換の促進対策のイメージ

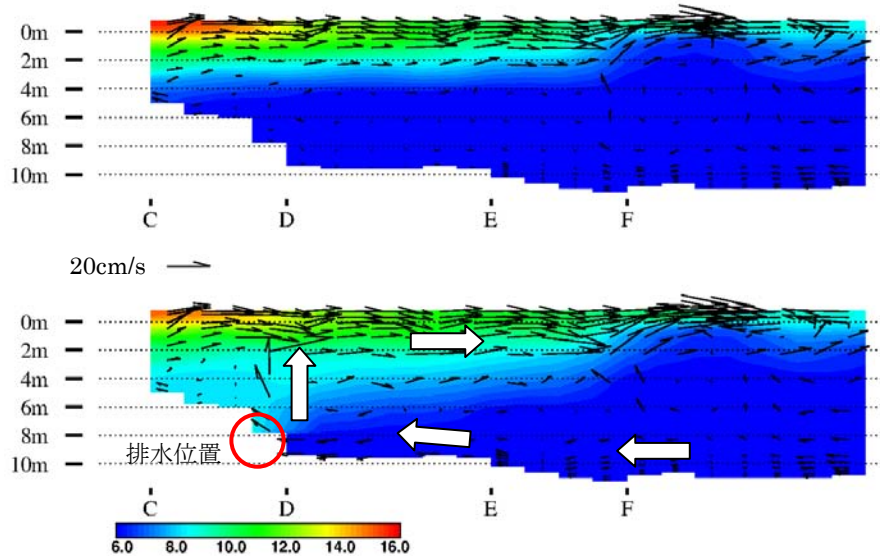


図 3 泊川河口沖水路へ排水した場合のエスチュアリー循環流の促進（流れ・水温の計算例）

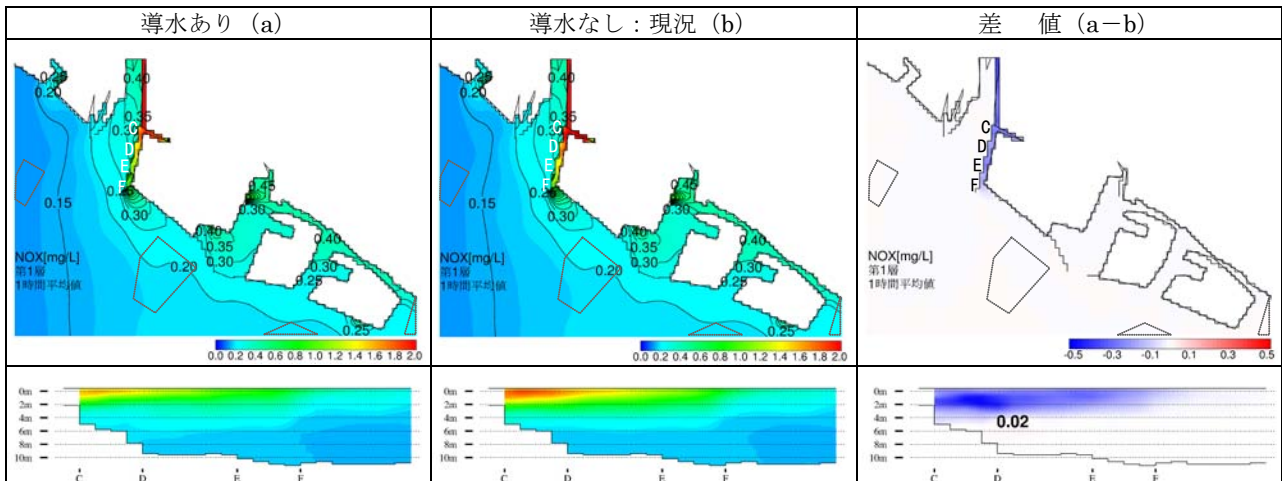


図 4 加古川から泊川河口沖水路に導水した際の NOx の影響（平成 17 年 12 月 15 日の日平均）

#### 1.1.4 対策の組み合わせ

1.1.2 で検討した加古川下流浄化センターの窒素排出量増加運転を実施すると、沖合域の DIN 濃度を増加させると同時に、泊川河口沖水路の奥部における DIN 濃度もさらに上昇することになるため、1.1.3 で示した導水対策を組み合わせることにより、水路奥部の濃度の上昇を抑え、沿岸～沖合域の濃度の上昇を期待した対策の効果検証を行った。

シミュレーションモデルによる計算の結果、導水対策の結果と同様に泊川河口沖水路奥部において DIN 濃度が低下し、一方で水路の外側の沿岸～沖合域において濃度が上昇していた。窒素排出量増加運転の効果が追加されることにより、沿岸～沖合域における DIN 濃度の上昇幅は導水対策の単独での実施結果より大きくなっていった。

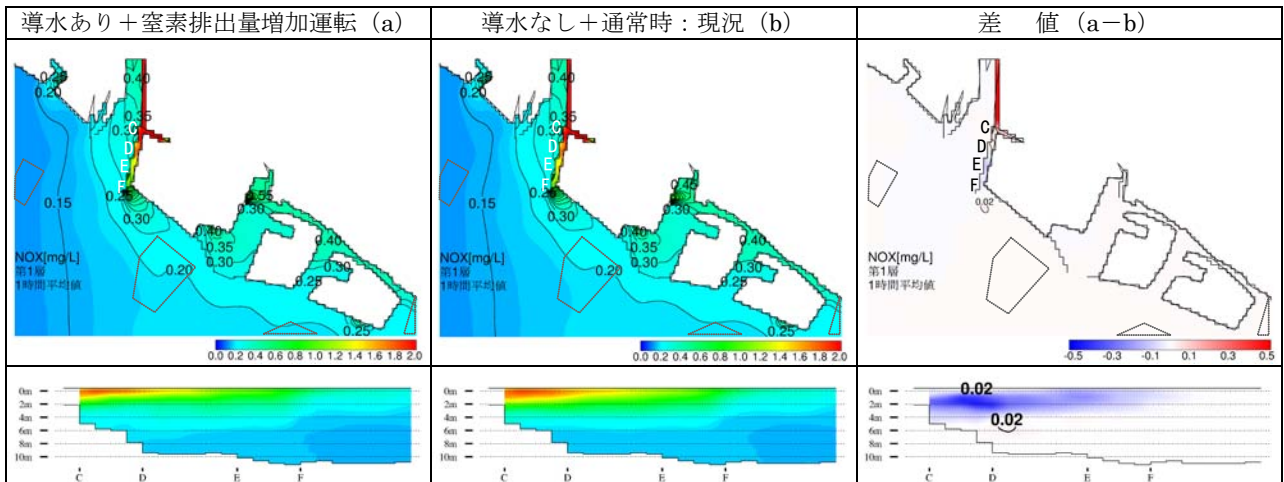


図 5 導水対策と窒素排出量増加運転を実施した際の NOX の影響(平成 17 年 12 月 15 日の日平均)

## 1.2 課題

窒素排出量増加運転と導水対策の効果について、シミュレーションモデルの計算により平面的な濃度変化の状況を図示したが、対策効果の検討は定性的なものに留まっていたことから、数値としてフラックス量や濃度の上昇頻度等を示すことにより定量的な評価を実施する必要がある。また、海水交換防波堤（遊水室型）の設置対策についても計算を行うとともに定量的な評価を行う必要があったため、以下に検討を行った結果を示す。

## 2 海水交換防波堤（遊水室型）の効果検討

### 2.1 検討概要

東播磨港（別府港）では港内が滞留域であることから富栄養化状態にあり、夏季には底層で貧酸素水塊が生じている。そのため、滞留域を解消し港内の溶存無機態窒素（DIN）濃度を低下させ、反対に貧栄養化した状態となっている沖合域に港内の富栄養水を供給する対策について検討を実施することとした。東播磨港の港口部に位置する二つの防波堤（東播磨港別府西防波堤、東播磨港別府東防波堤）を遊水室型海水交換防波堤（図 6）に変えて、港湾内外の海水交換を促進させることにより、窒素濃度が港湾内と港湾外でどの程度変化するかをシミュレーションモデルにより計算した。

対象とする防波堤を図 7 の赤丸に示す。防波堤の周辺の水深は約 9m である。波浪等の条件から、1 メッシュ(100m、底層)あたり 40m<sup>3</sup>/s 程度の海水交換を行った。

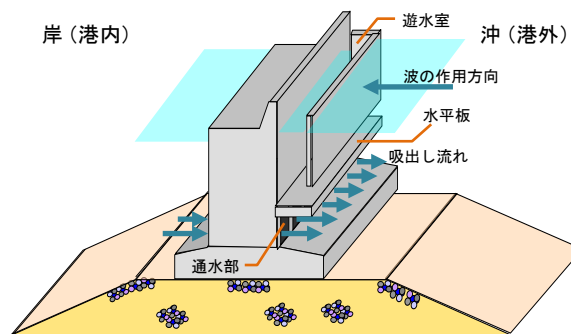


図 6 海水交換防波堤（遊水室型）のイメージ

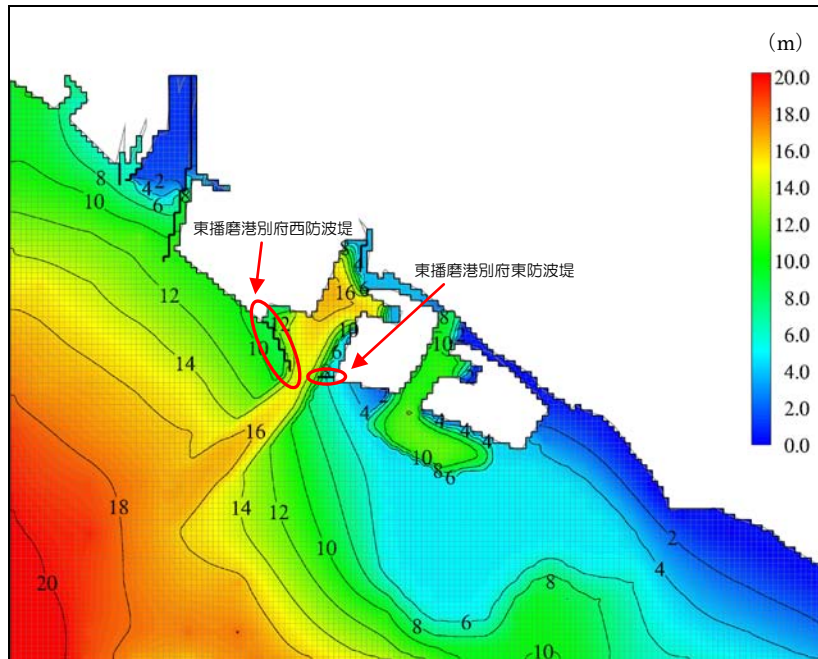
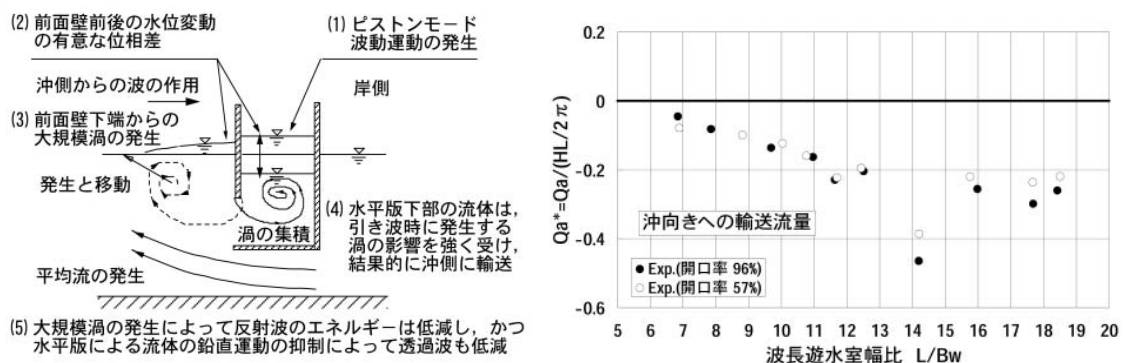


図 7 計算対象防波堤の位置

## 2.2 海水交換防波堤（遊水室型）の概要と海水交換量

滞留海域の水質・底質環境問題を克服する手段の一つとして、海水交換を積極的に促進する海水交流施設の整備が進められてきている。このうち、海水交換防波堤については、『波の流れに変換する機構』を有する各種構造体が提案され、実用化されている。ここでは、遊水室型海水交換防波堤を施工した場合を想定した検討を行う。

遊水室型海水交換防波堤による平均流の発生機構の概念図を図 8 に示す。遊水室のピストンモードの波動運動を原動力に、前面壁下部付近に強い渦流れを発生させることで、波から渦流れへとエネルギーを変換させる。同時に、没水平板による渦流れの制御によって、堤体下部に設けた通水部を介して有意な平均流が生成され、海水交換が図られる仕組みである。



出典：大村ら（2007）※

図 8 海水交換防波堤（遊水室型）の平均流の発生機構と断面平均輸送流量

※ 大村智宏・中村孝幸・大飯邦昭・中山哲巖・榎木亨：波による渦流れを利用する遊水室型海水交換防波堤の研究開発－波浪制御特性および海水交換特性について－，水工研技報 29，1-20，2007

なお、ここで挙げた海水交換防波堤（遊水室型）は低反射、低透過であるため、港湾の外郭施設である防波堤の一部を海水交換防波堤としても、港外の低反射化、また港内の静穏化効果などを十分に発揮できるため、防災機能も有している。

波により発生する平均流の流量（ $=Q$ ）は、波の状況の他に、海水交換防波堤の構造により変化する。第 5 回全国漁港漁場整備技術研究発表会講演集などの文献では、平均流の流量を「無次元輸送流量（ $=Q^*$ ）」と定義し、海水交換防波堤の構造を様々に変化させた実験を行うことにより、平均流の流量と海水交換防波堤の構造に関わるパラメータとの関係を一般化している（例えば、図 8 右図）。ただし、無次元輸送量は、1 波・単位長さあたりに通過する平均的な輸送流量（20 波程度の時間平均）を波の質量輸送量である峰の水塊量（ $=HL/2\pi$ ）で除したものであるとしている。

$$Q^* = Q / (HL / 2\pi)$$

図 8 右図より、最適な設計が実施できた場合、概ね無次元輸送流量が 0.4 程度（冲向き）になることが期待できる。平均流の流量は  $0.4 \times HL/2\pi$  として算定でき、概ね  $0.4 \text{ m}^3/\text{s}$  程度となった。1 メッシュが水平方向 100m 格子であるため、メッシュ毎に  $40 \text{ m}^3/\text{s}$  の平均流を設定することとした。

補足：【波高・波長の算定について】

播磨灘北東部地域における冬の平均的な波浪の波高（ $=H$ ）と波長（ $=L$ ）を求めるために、平成 17 年 12 月～平成 18 年 3 月にわたって、海象年表江井ヶ島の波浪データのエネルギー平均を行った。波高および波長は以下の式により求めた。

$$\bar{H} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (H_i^2 T_i)}{\sum_{i=1}^N T_i}}, \quad \bar{L} = \frac{\sum_{i=1}^N (L_i)}{N}$$

ただし、 $N$  はデータ数（1 時間データ）であり、 $T$  は周期である。ここでは、平均波高と平均周期の時間データを利用して整理を行った。 $h$  は検討海域を代表する水深であり、ここでは  $7.5 \text{ m}$  と設定した。水深と周期から波が短波であるか長波であるかを判定できるが、検討海域ではどちらにも該当しなかったため、波長の時間データは周期の時間データから以下の式を用いて近似解を算定して、平均的な波長の算定に用いている。

$$L_i = \frac{g}{2\pi} T^2 \tanh \frac{2\pi h}{L_i}$$

## 2.3 トレーサーを利用した効果検証

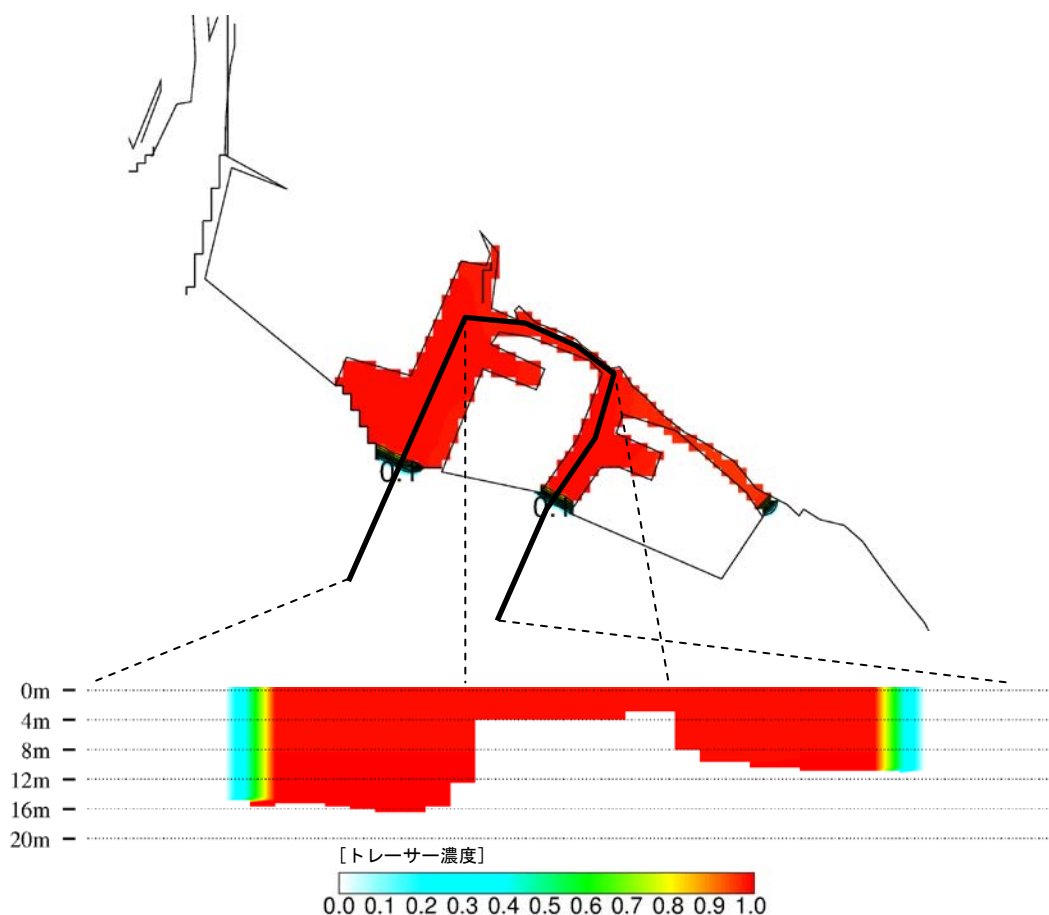
### 2.3.1 トレーサー濃度と流況

現況ケースと海水交換防波堤ケースについて、トレーサー濃度の分布と流況の時間経過を図10に示す。計算開始直後に図9に示す位置に濃度1の沈降しないトレーサーを投入し、流れによってどこに輸送されるかを確認する。

海水交換が行われる第8層の防波堤前面において、港外に向けたトレーサー濃度の上昇が発生するとともに、2つの防波堤間の開口部において、港外の水塊が港内に侵入することで港内のトレーサー濃度が大きく減少している様子が分かる。第1層においては事業場排水や河川水の影響を受けて濃度が減少しているとみられる。

また、現況ケースでは港湾内の奥部下層でトレーサーが比較的高い濃度を長期間維持しており、水塊が滞留しているとみられるが、海水交換防波堤ではこのような港湾内の奥部下層における滞留域の解消に貢献している。

さらに、海水交換防波堤の設置により港内の水塊が港外へ広く拡散しており、港外におけるトレーサー濃度が広い範囲で上昇している。



※ 平面図中黒線の位置において断面分布図を作成している

図9 トレーサーの初期設定

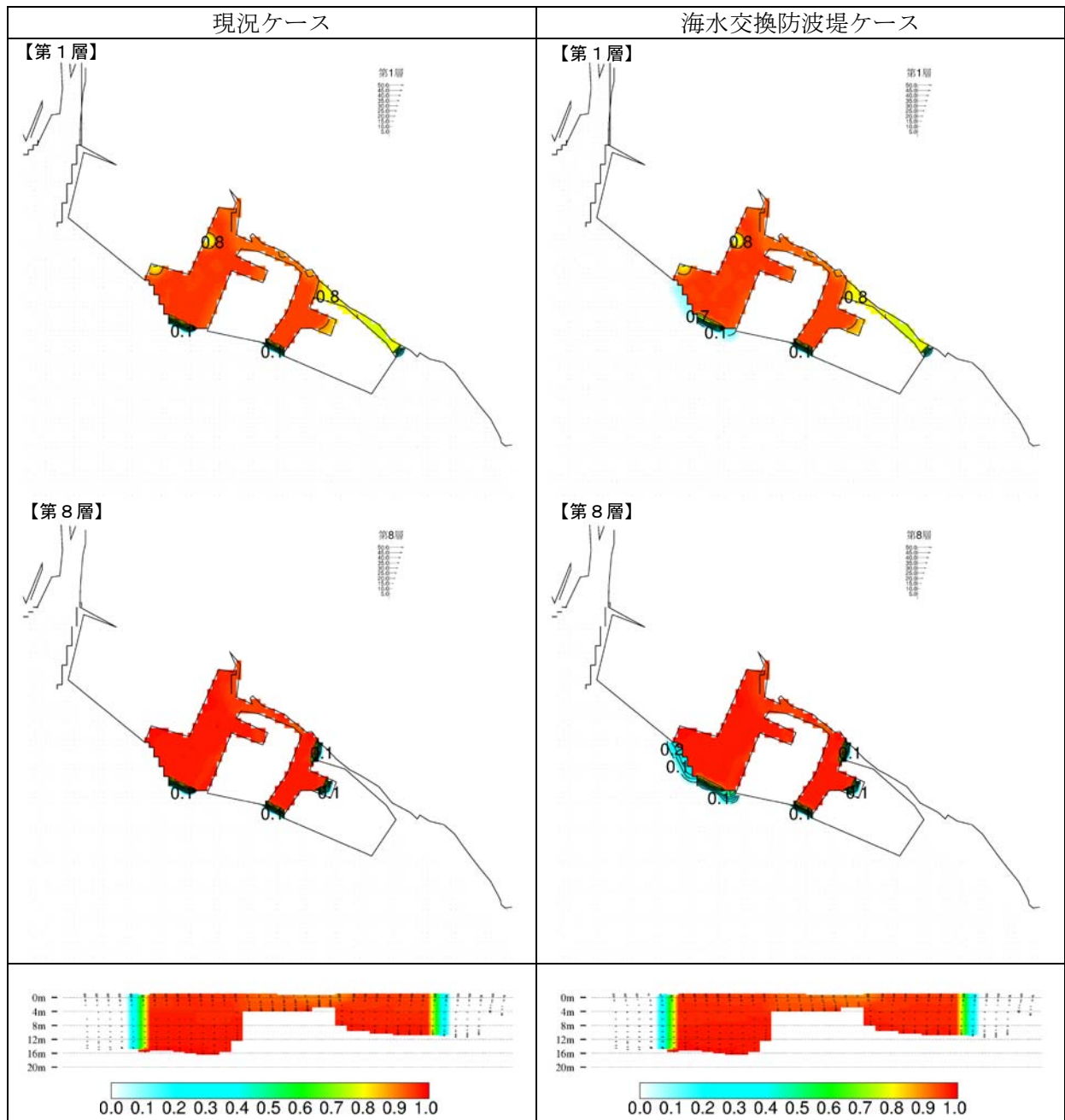


図 10 (1) トレーサー濃度の分布と流況の比較  
(計算開始から 0 日 6 時間後)



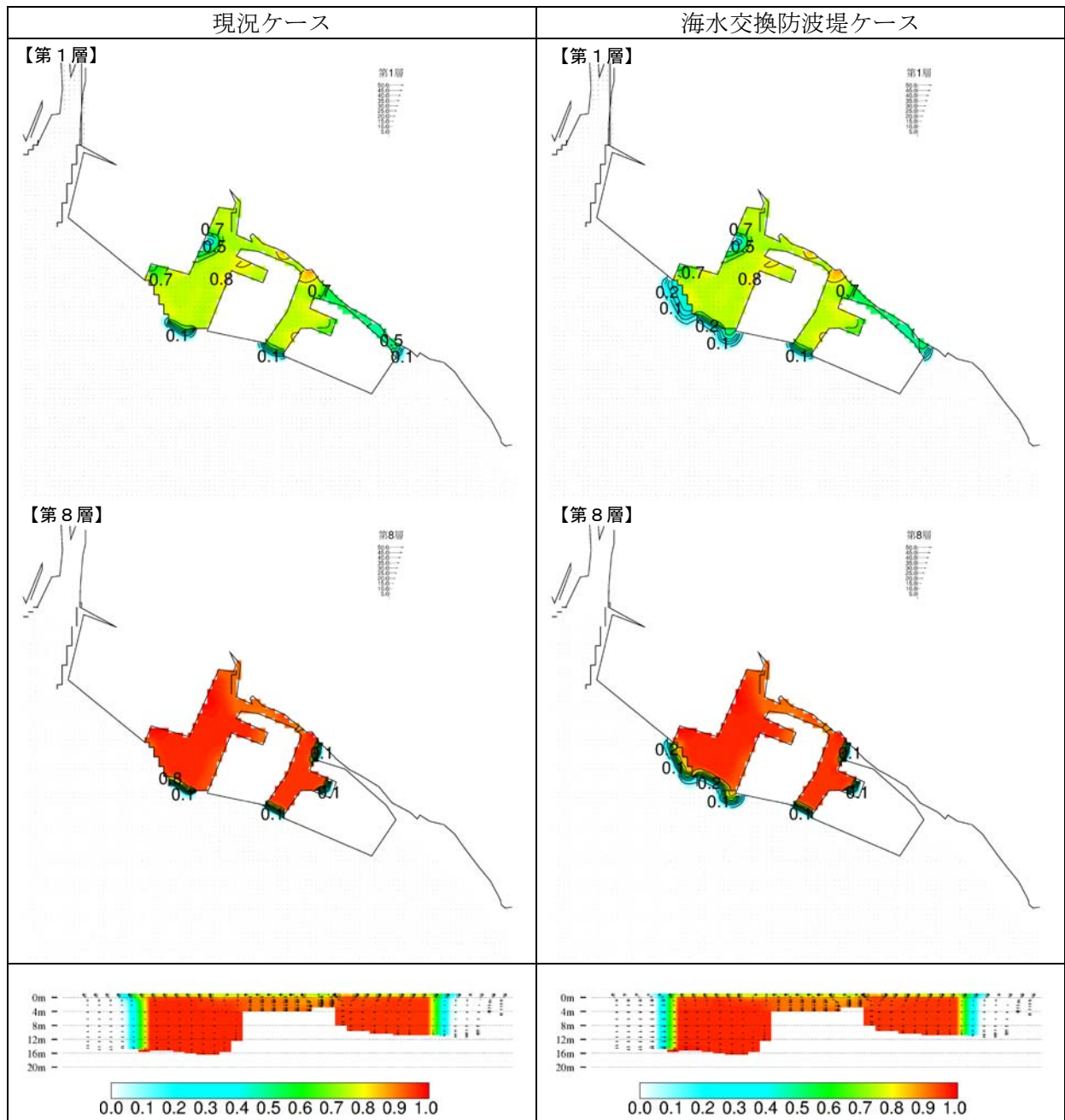


図 10 (2) トレーサー濃度の分布と流況の比較  
(計算開始から 0 日 12 時間後)

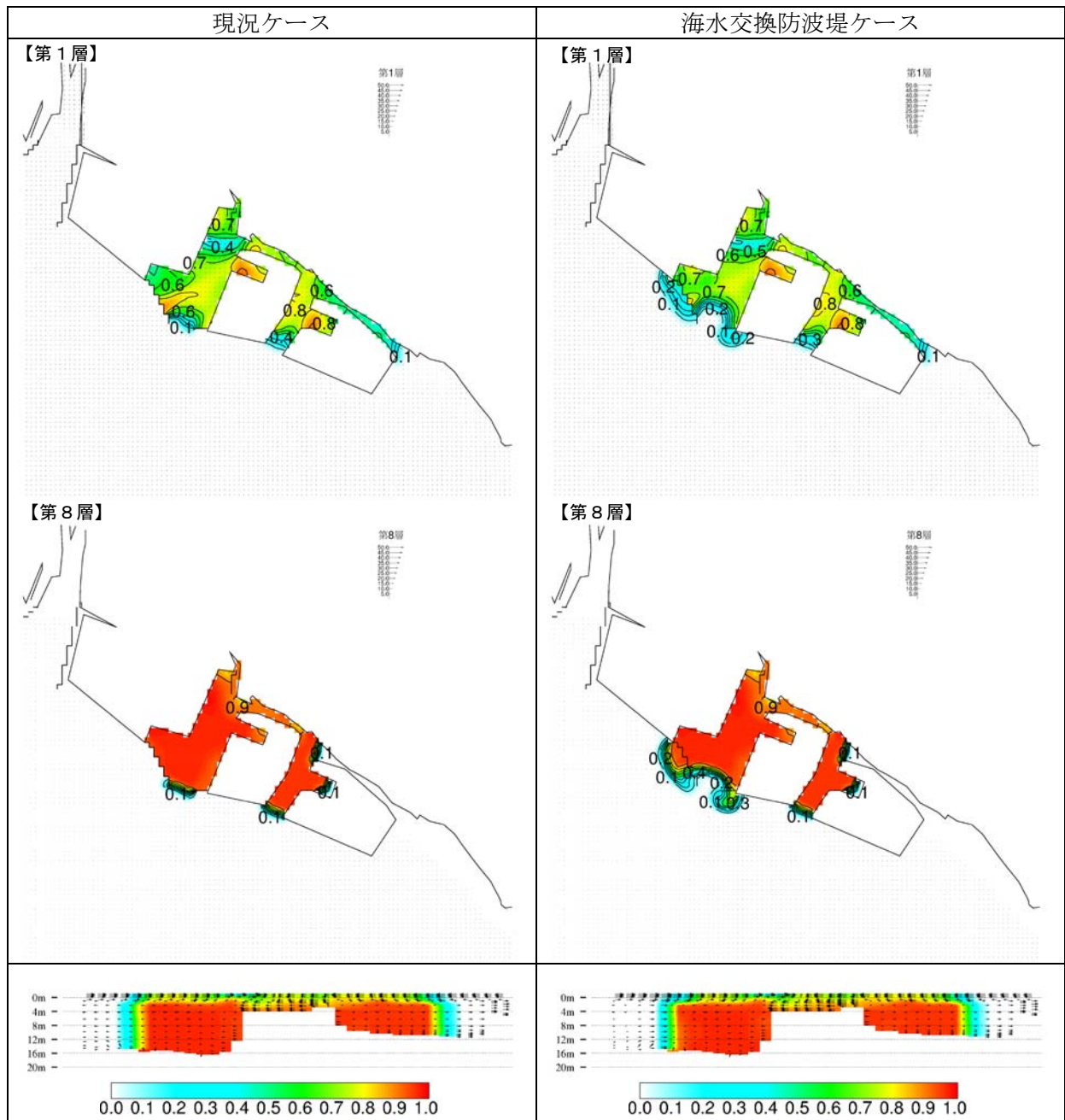


図 10 (3) トレーサー濃度の分布と流況の比較  
(計算開始から 0 日 18 時間後)

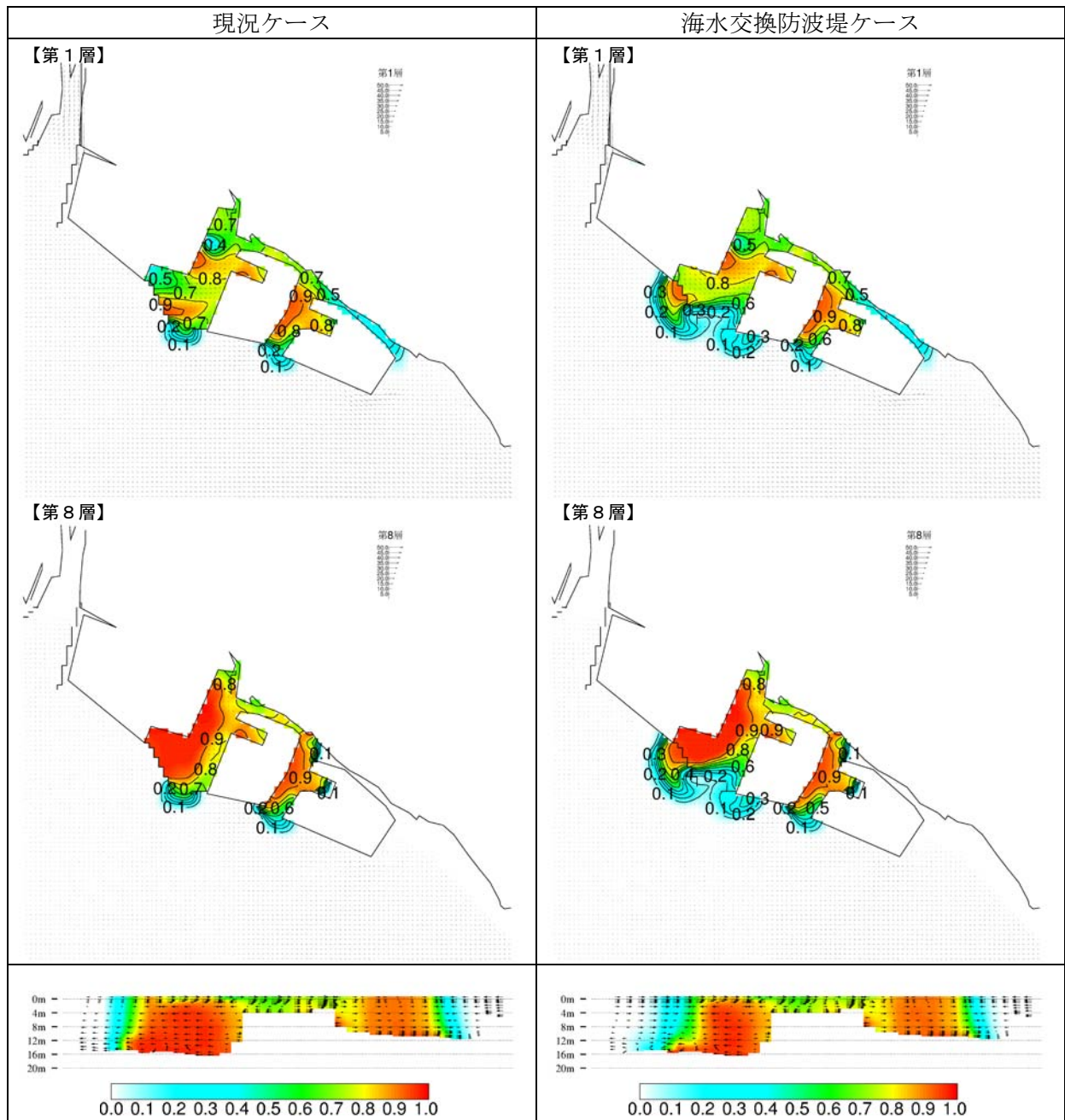


図 10 (4) トレーサー濃度の分布と流況の比較  
(計算開始から 1 日 0 時間後)

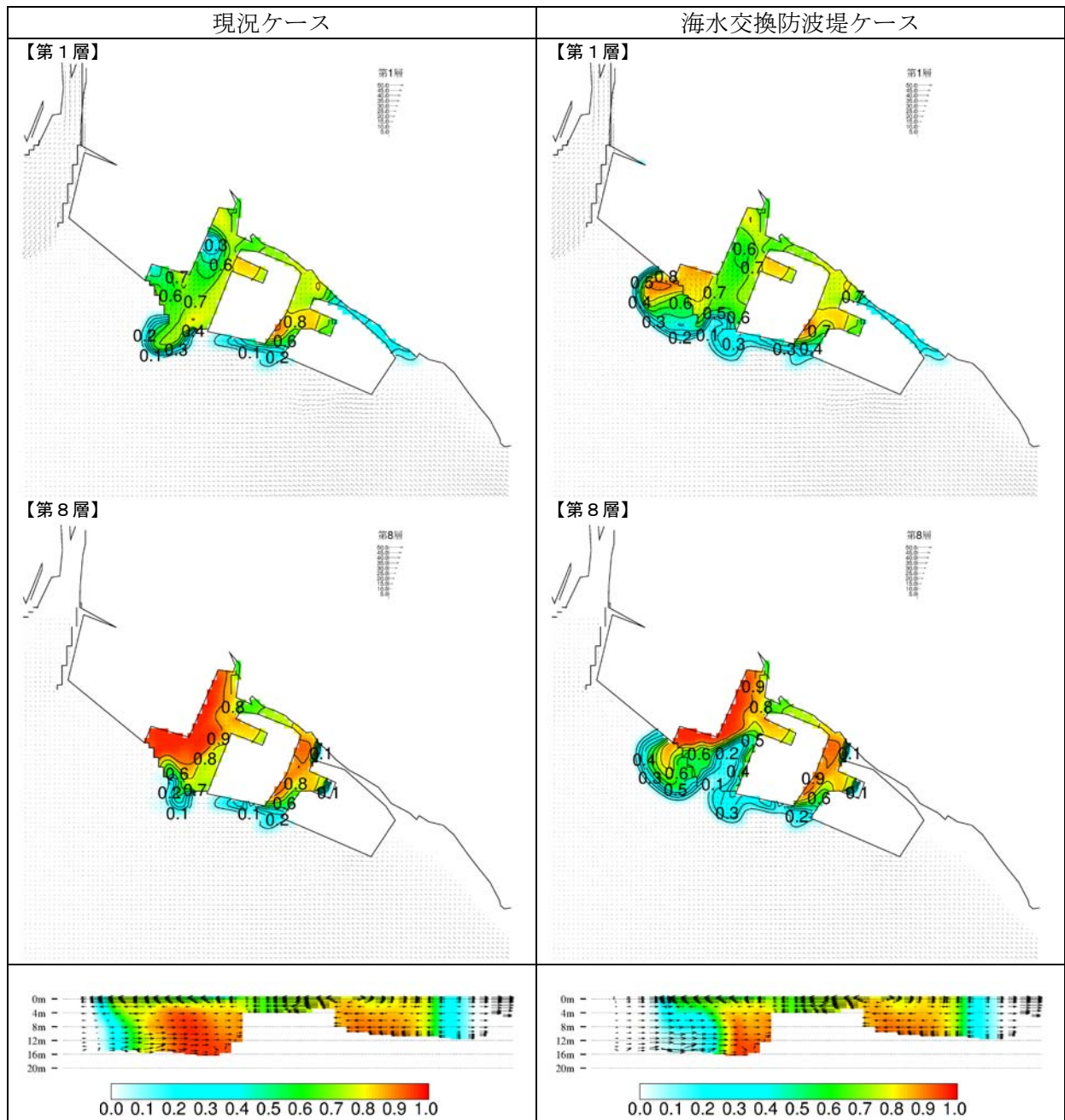


図 10 (5) トレーサー濃度の分布と流況の比較  
(計算開始から 1 日 6 時間後)

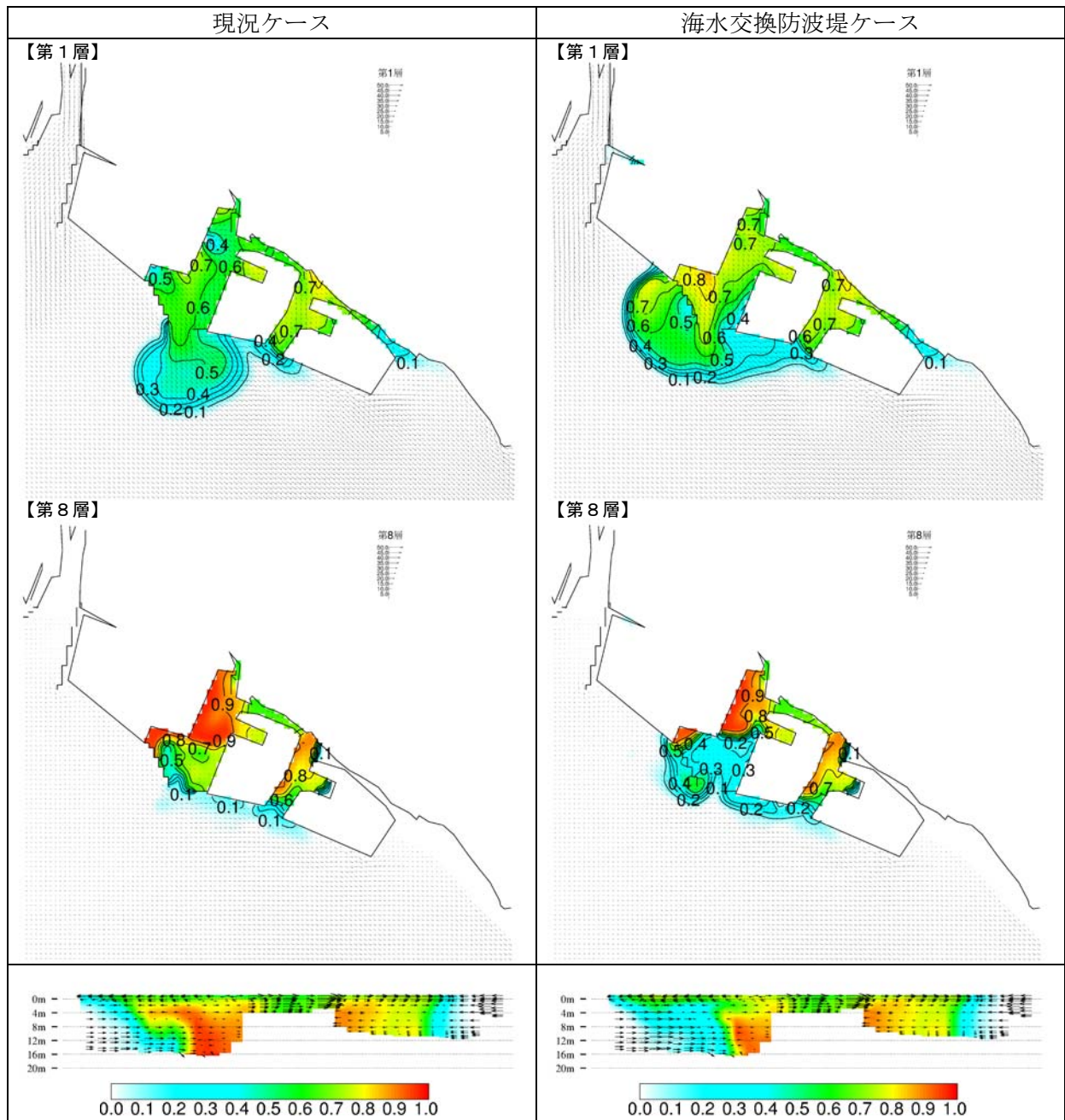


図 10 (6) トレーサー濃度の分布と流況の比較  
(計算開始から 1 日 12 時間後)

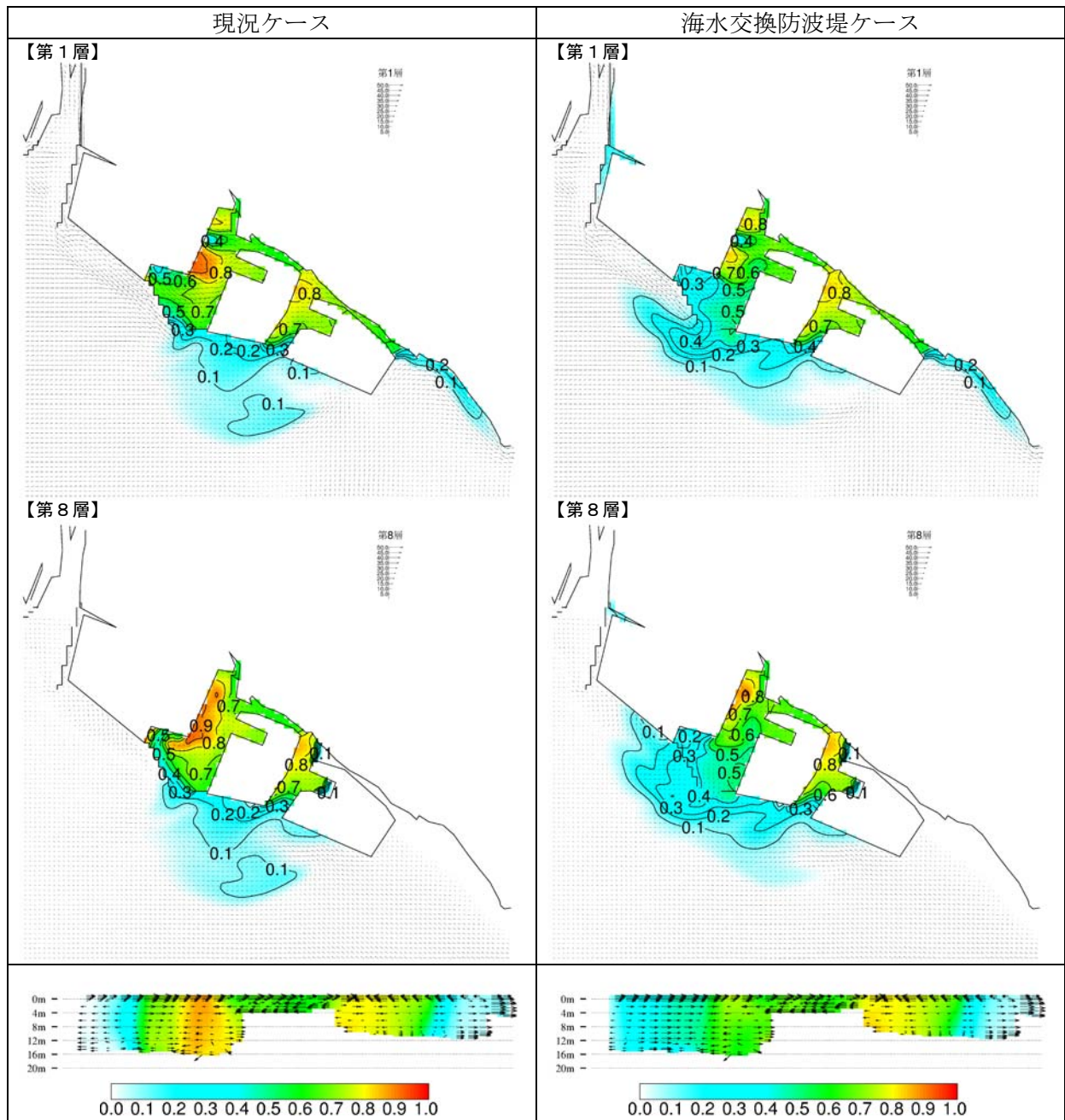


図 10 (7) トレーサー濃度の分布と流況の比較  
(計算開始から 1 日 18 時間後)

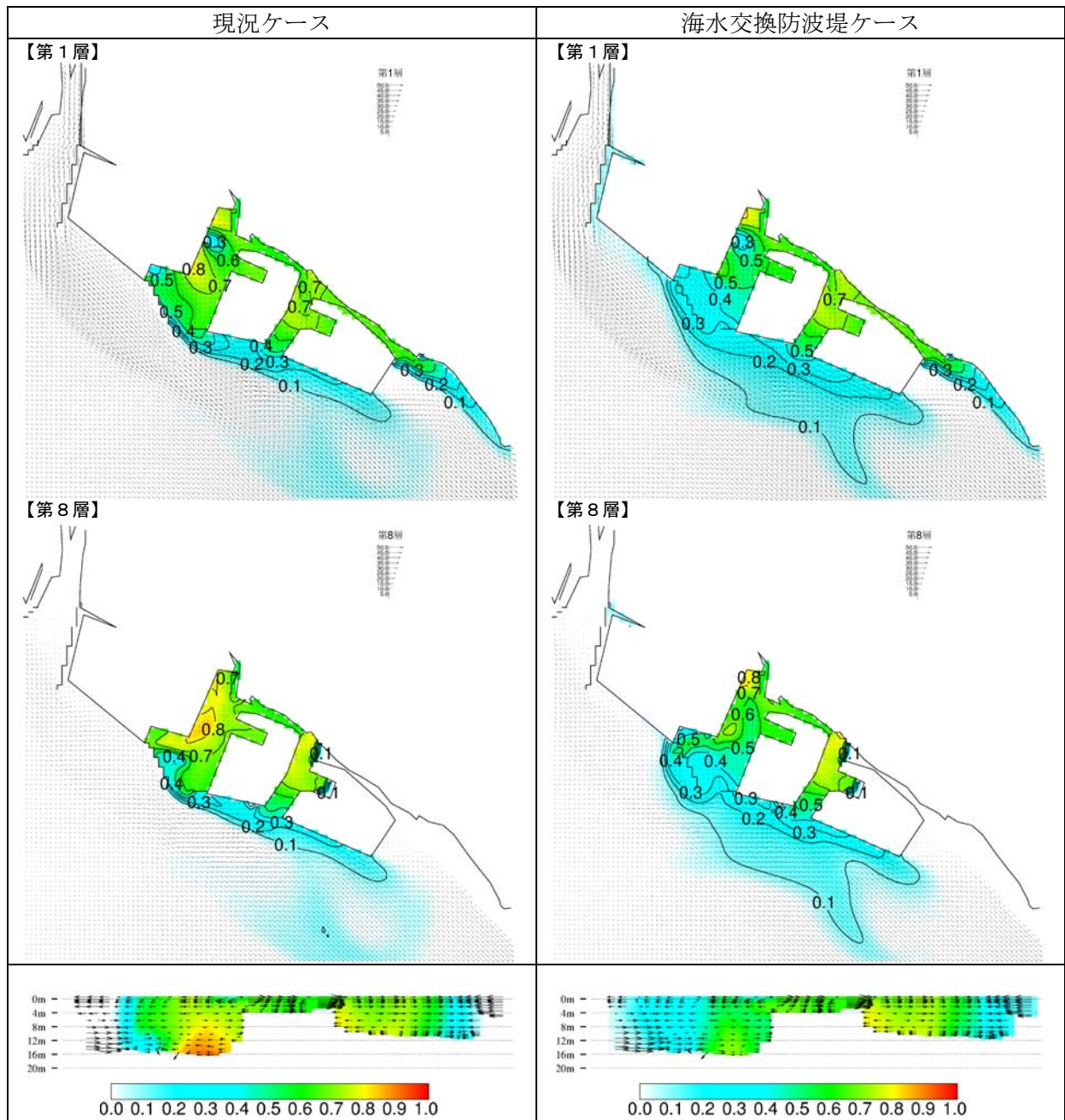


図 10 (8) トレーサー濃度の分布と流況の比較  
(計算開始から 2 日 0 時間後)

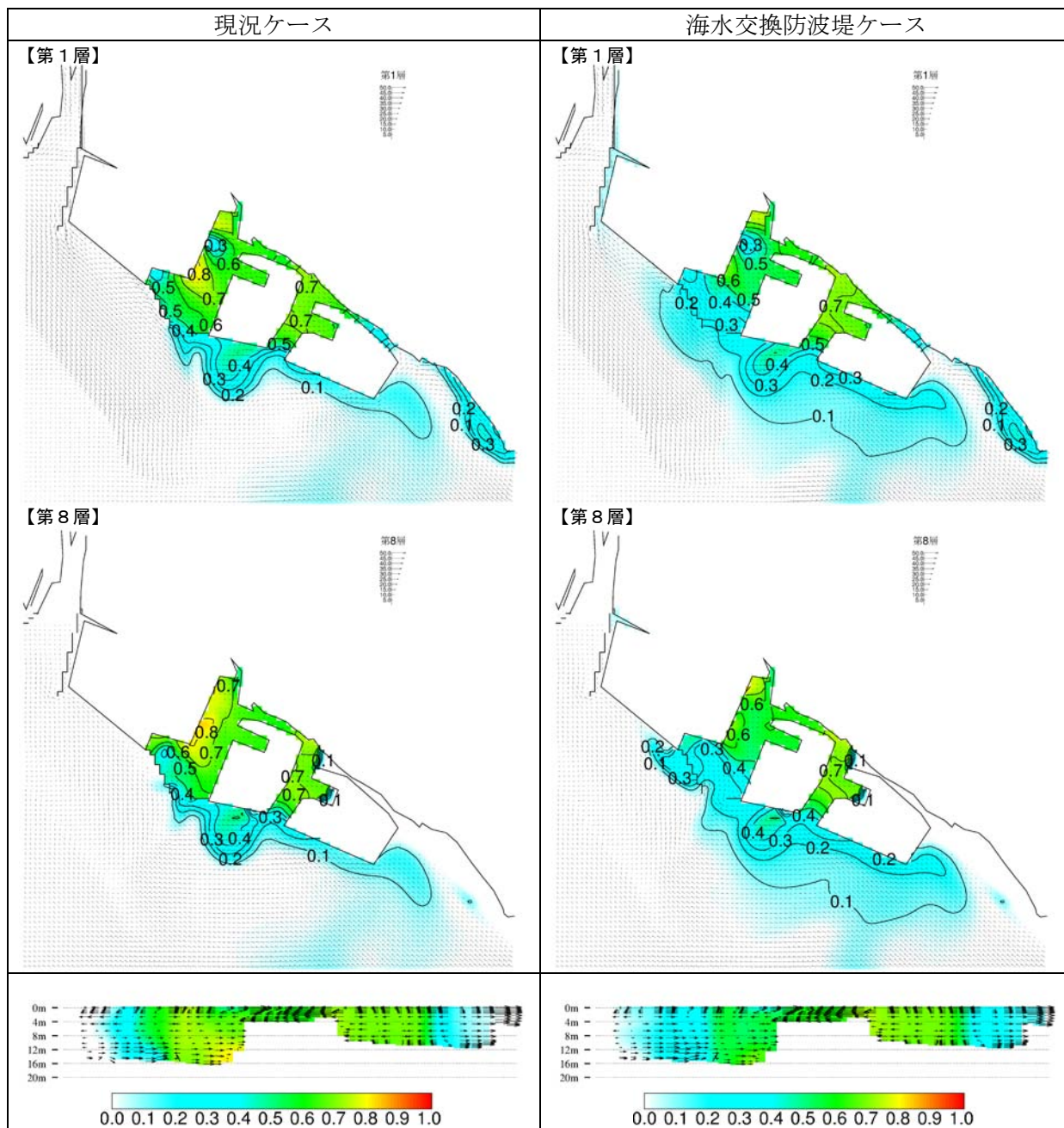


図 10 (9) トレーサー濃度の分布と流況の比較  
(計算開始から 2 日 6 時間後)



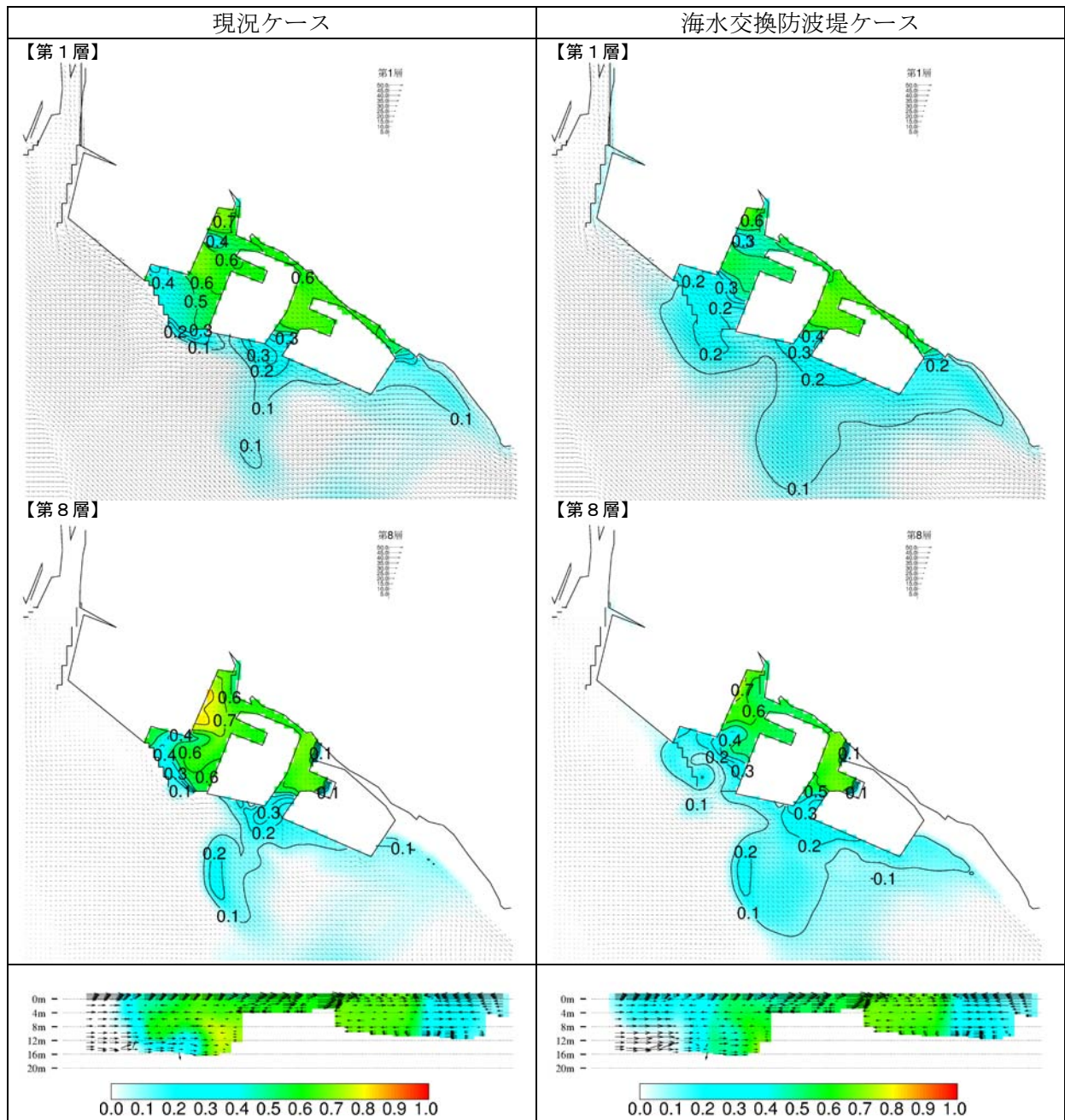


図 10 (10) トレーサー濃度の分布と流況の比較  
(計算開始から 2 日 12 時間後)

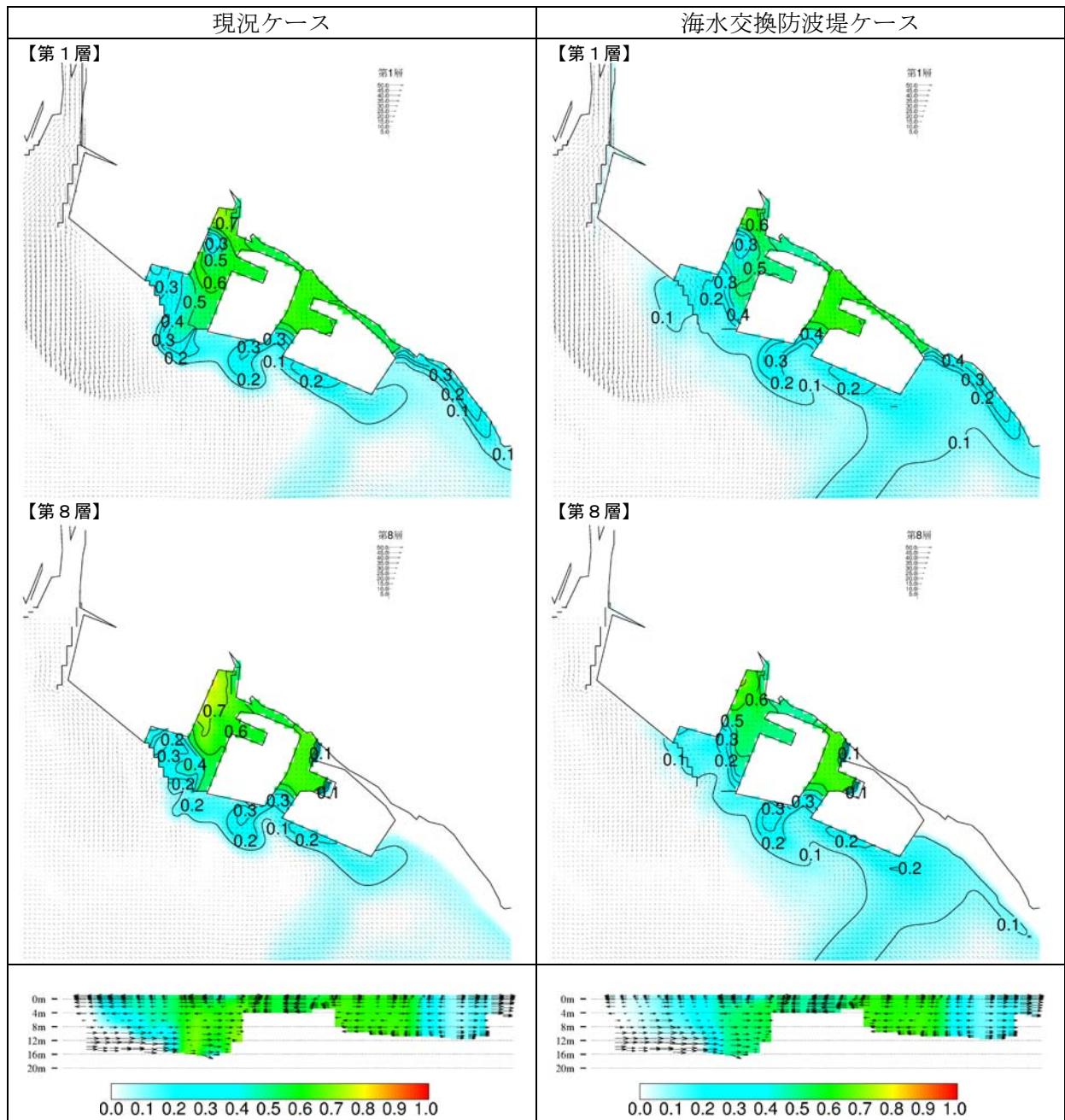


図 10 (11) トレーサー濃度の分布と流況の比較  
(計算開始から 2 日 18 時間後)

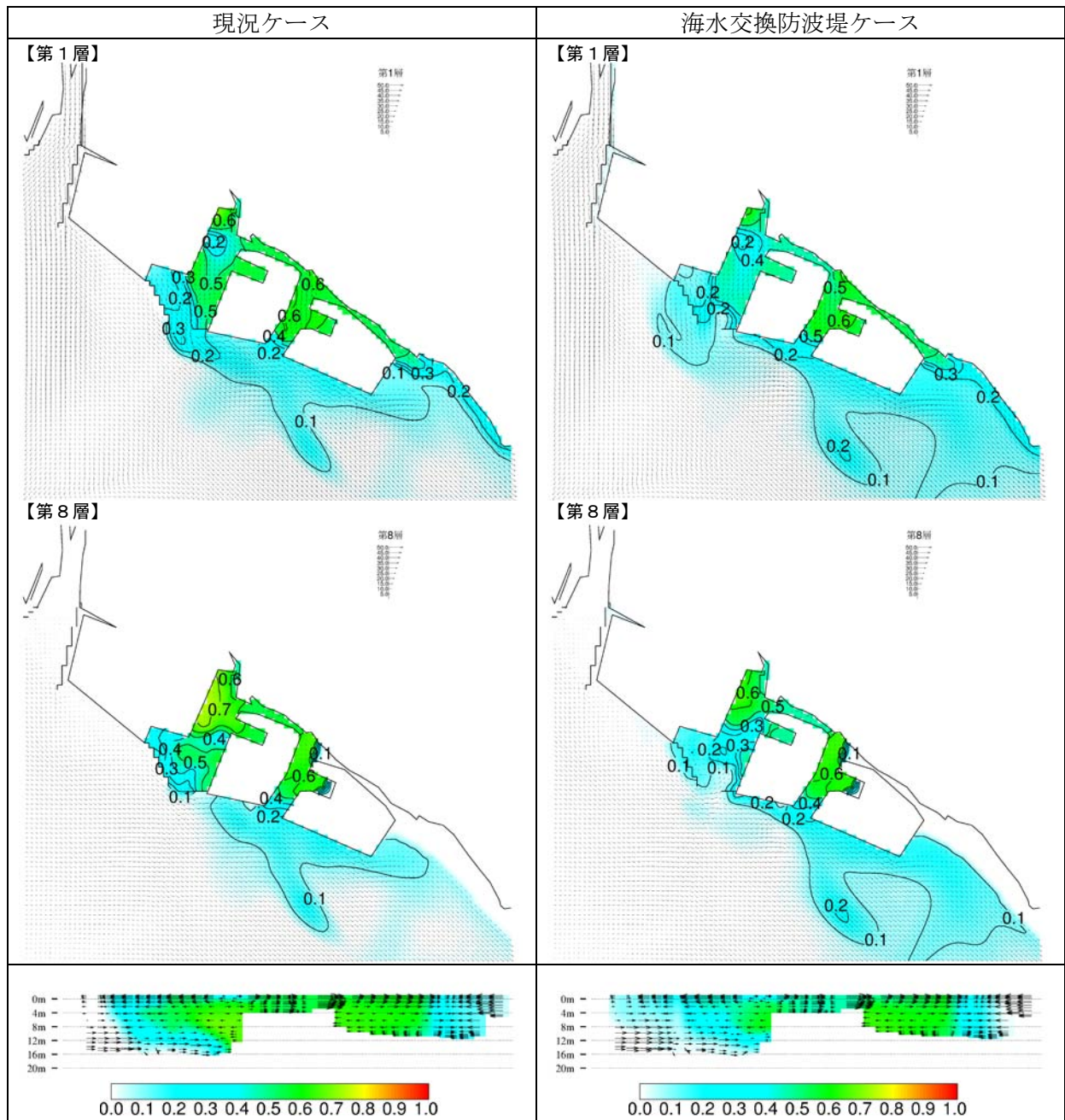
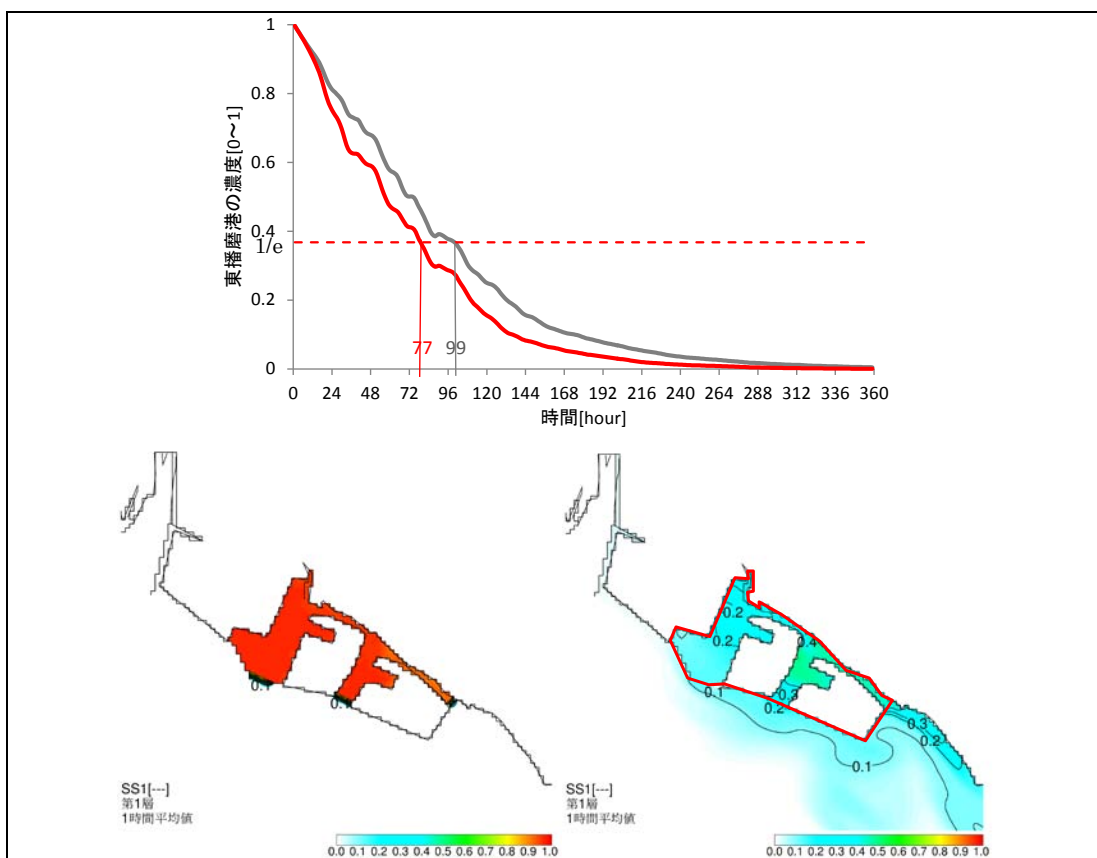


図 10 (12) トレーサー濃度の分布と流況の比較  
(計算開始から 3 日 0 時間後)

### 2.3.2 海水交換量の変化

海水交換防波堤（遊水室型）の設置による海水交換状況の変化を把握するため、滞留時間の算定を行った。検討の手順は、①東播磨港港内にトレーサー（沈降速度 0）を濃度 1 で投入する（図 11 下段左側）。②流れによるトレーサーの港外への流出や港内への新たな流入水（トレーサーを含まない）により、港内のトレーサーの平均濃度は低下していく（図 11 下段右側）。③この港内のトレーサー平均濃度の時系列変化を整理し、トレーサーの投入した時点から港内平均濃度が  $1/e$  に達するまでの時間を滞留時間として定義する（図 11 上段）。

滞留時間を算定した結果、現況ケースで東播磨港内の滞留時間は 4 日と 3 時間程度であったが、海水交換防波堤の設置により 3 日と 5 時間程度にまで短縮でき、海水交換防波堤設置による効果が東播磨港全体に波及することを確認できた。



現況ケース	海水交換防波堤ケース
4日3時間 (99時間)	3日5時間 (77時間)

図 11 滞留時間の比較

### 2.4 水質計算

図 12 と図 13 には、第 1 層・第 8 層（海水交換防波堤による海水交換が起こる水深）の全窒素（TN）の水平分布をそれぞれ示した。

第 1 層では港内の濃度が減少するとともに港外に広く濃度が上昇する領域が確認できる。また第 8 層においても港内の濃度が減少していることが確認できる。

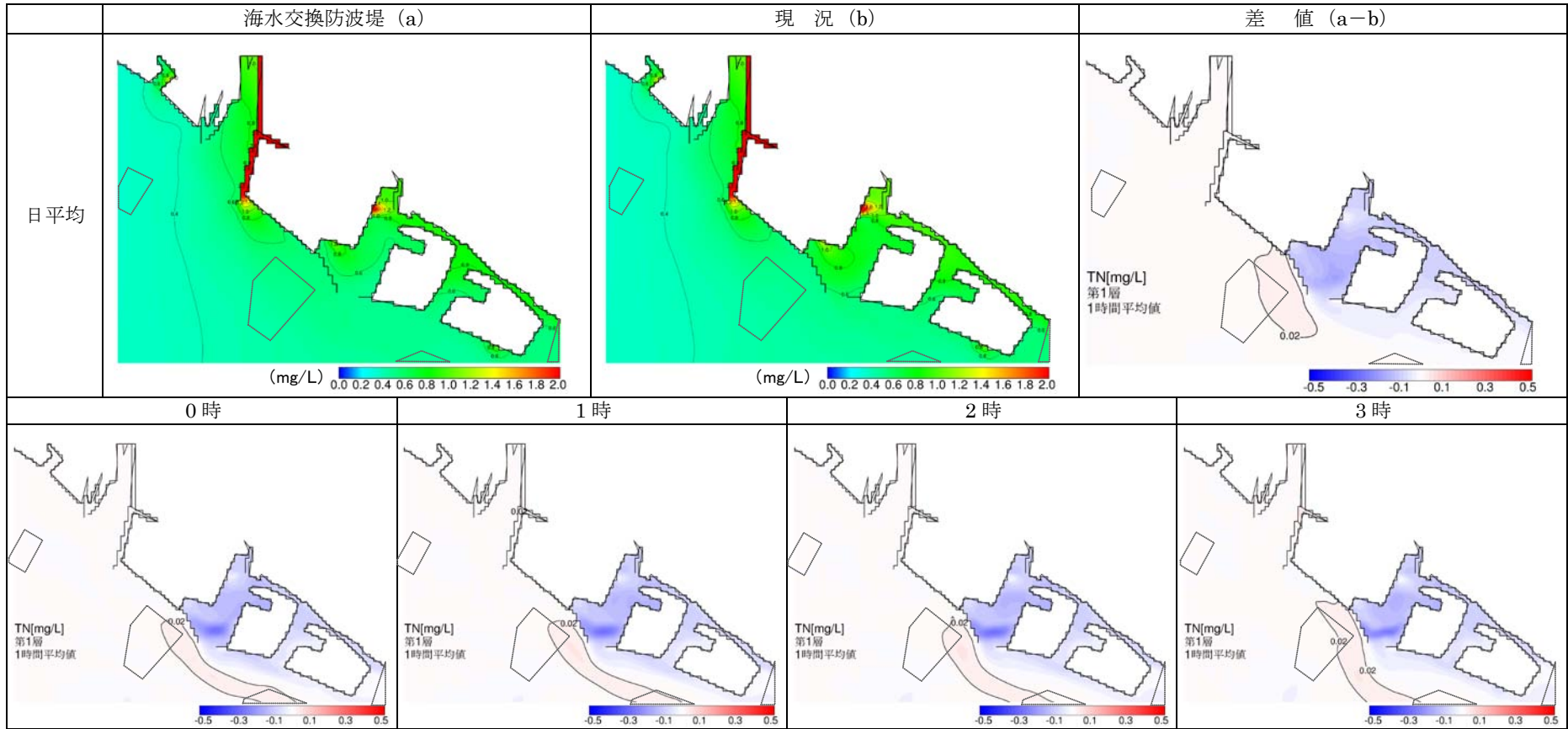


図 12 (1) 海水交換防波堤設置による全窒素の影響 (平成 17 年 12 月 15 日、第 1 層)

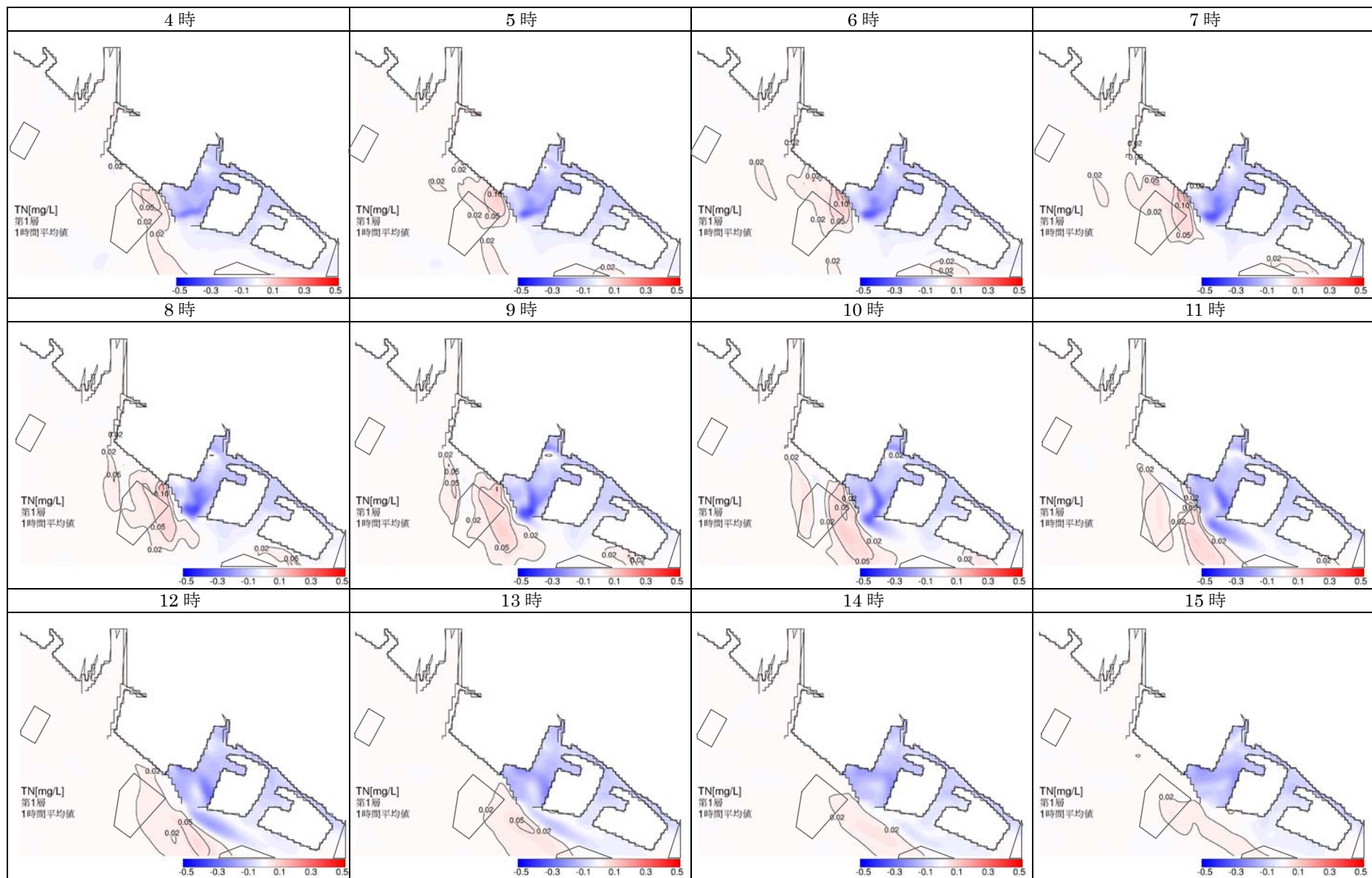


図 12 (2) 海水交換防波堤設置による全窒素の影響 (平成 17 年 12 月 15 日、第 1 層)

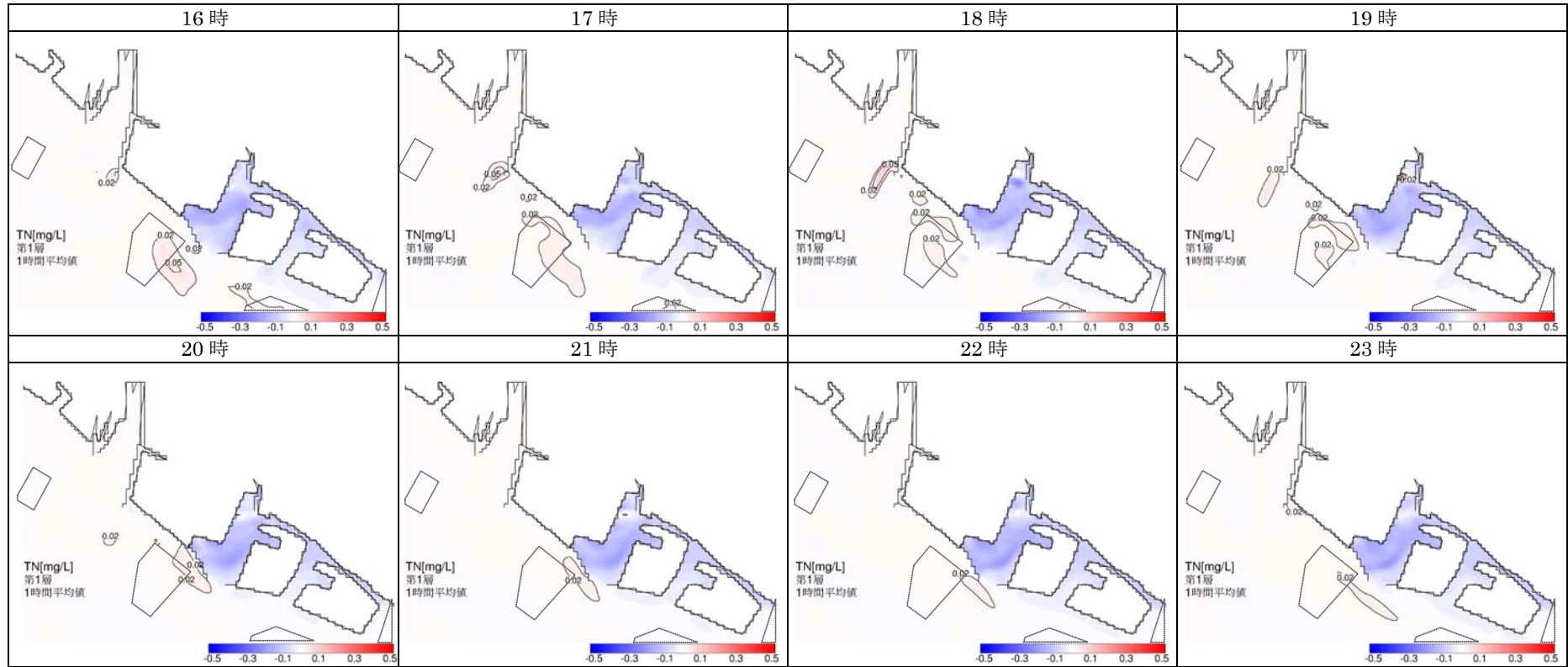


図 12 (3) 海水交換防波堤設置による全窒素の影響 (平成 17 年 12 月 15 日、第 1 層)

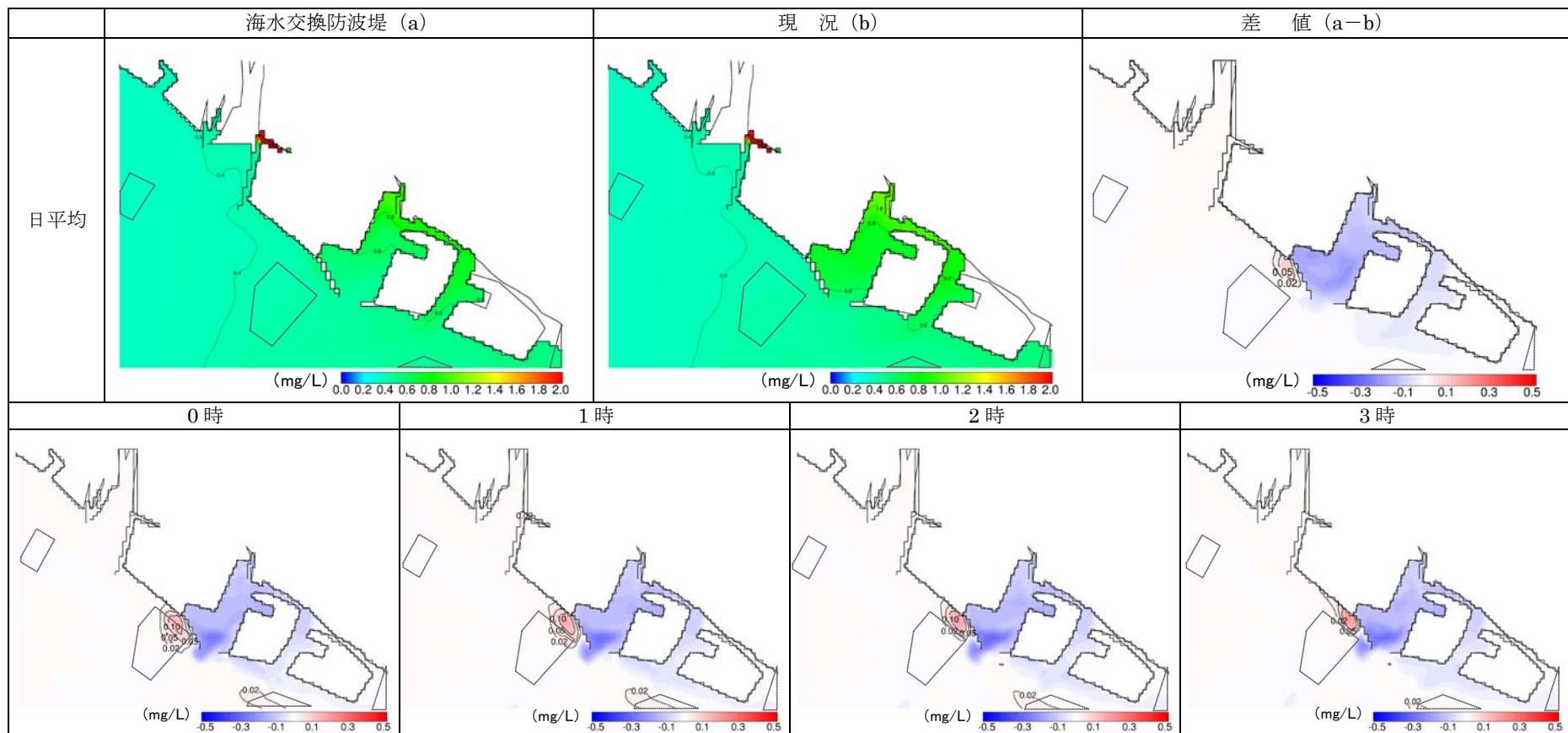


図 13 (1) 海水交換防波堤設置による全窒素の影響 (平成 17 年 12 月 15 日、第 8 層)



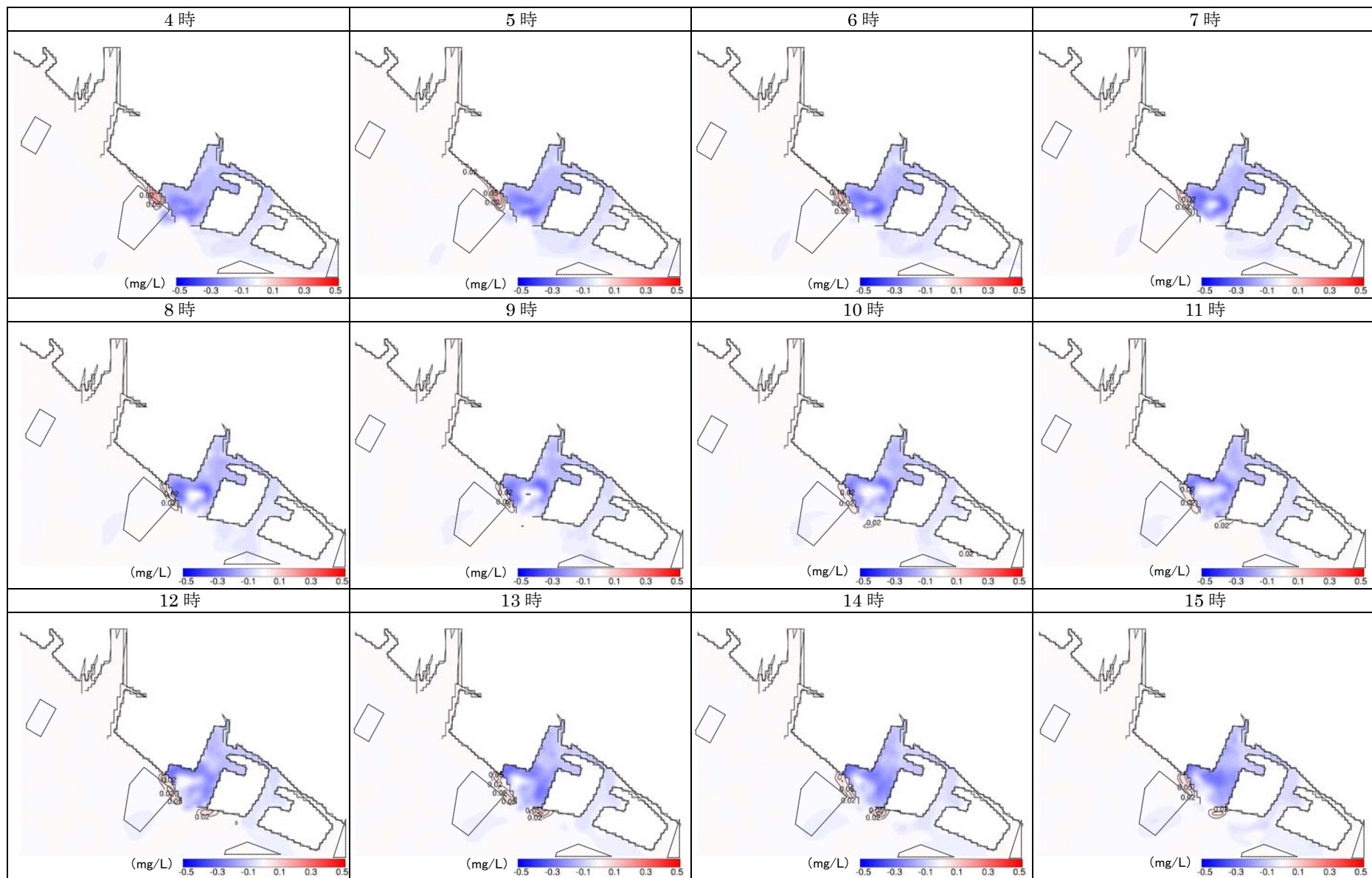


図 13 (2) 海水交換防波堤設置による全窒素の影響 (平成 17 年 12 月 15 日、第 8 層)

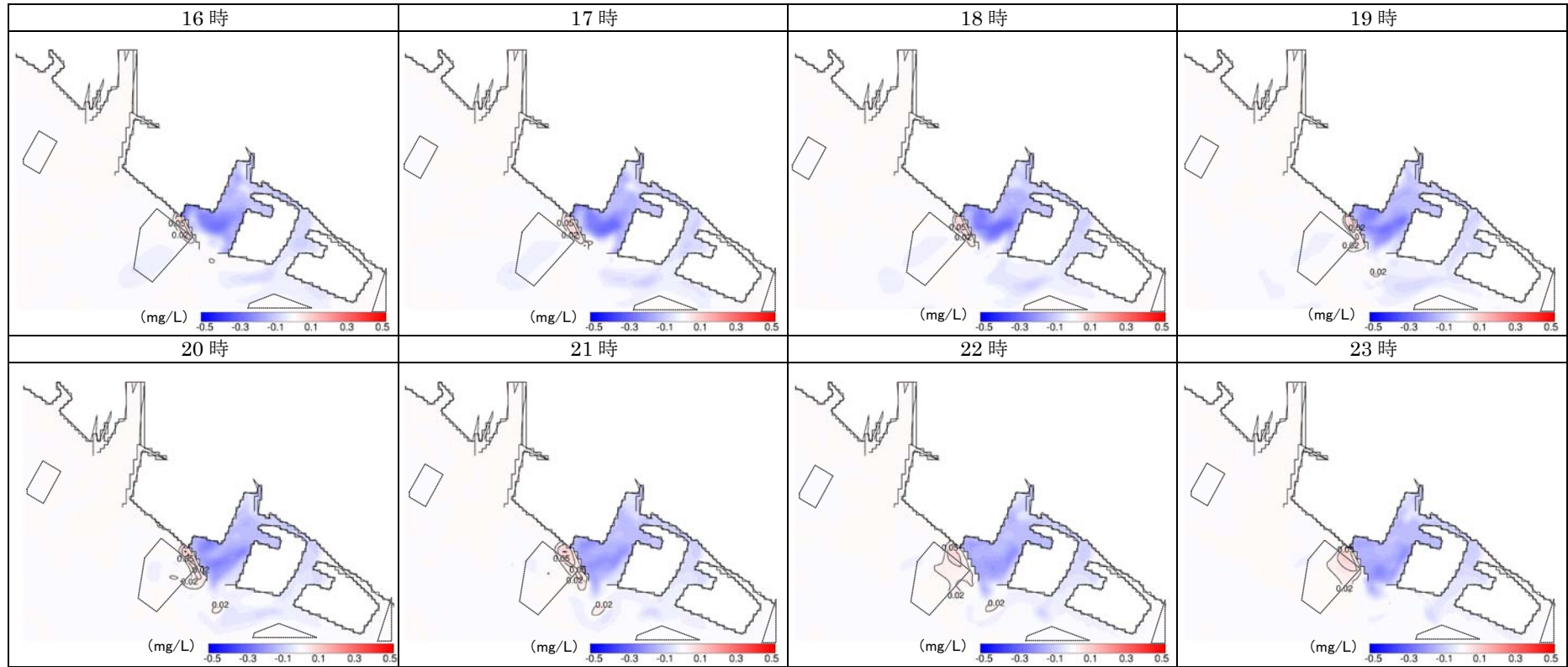


図 13 (3) 海水交換防波堤設置による全窒素の影響 (平成 17 年 12 月 15 日、第 8 層)

### 3 対策効果の解析

#### 3.1 溶存無機態窒素フラックス

溶存無機態窒素（DIN）フラックスを把握するため、対象海域を図 14 に示す「泊川河口沖水路」「東播磨港」「沿岸域①」「沿岸域②」の 4 つの領域に区分した。各領域の DIN フラックス（日平均値）を図 15～図 17 に示す。

- ・ 泊川河口沖水路から沿岸域①、東播磨港から沿岸域②には流出が上回っている。
- ・ 窒素排出量増加運転により、泊川河口沖水路から沿岸域①へ流出する DIN は、アンモニア性窒素（ $\text{NH}_4$ ）で 0.05ton/day、硝酸・亜硝酸性窒素（NOX）で 0.2ton/day 増加した。この結果は加古川下流浄化センターの排水中の NOX が占める割合が  $\text{NH}_4$  よりも大幅に高いためである。
- ・ 導水対策により、泊川河口沖水路から沿岸域①へ流出する DIN は  $\text{NH}_4$  で 15.0%、NOX で 14.6%増加した。導水対策については窒素分を添加していないにも関わらず沿岸域への供給量が増えている。よって、DIN の偏在化の解消に導水対策が役立つと期待される。
- ・ 窒素排出量増加運転と導水対策の組み合わせにより、NOX については泊川河口沖水路から沿岸域①への流出量が 0.48ton/day 増加しており、25.0%程度の増加の効果が得られている。これは、両対策の効果を単純に合計した効果と同程度である。
- ・ 海水交換防波堤の設置対策では  $\text{NH}_4$  のフラックス量が 140.0%増加し、NOX のフラックス量が 162.8%増加しており、海水交換防波堤の設置により港湾内外の海水交換が活発になっていた。なお、海水交換防波堤の底層にある通水部からの流出量が東西の防波堤の間からの流出量より多かった。

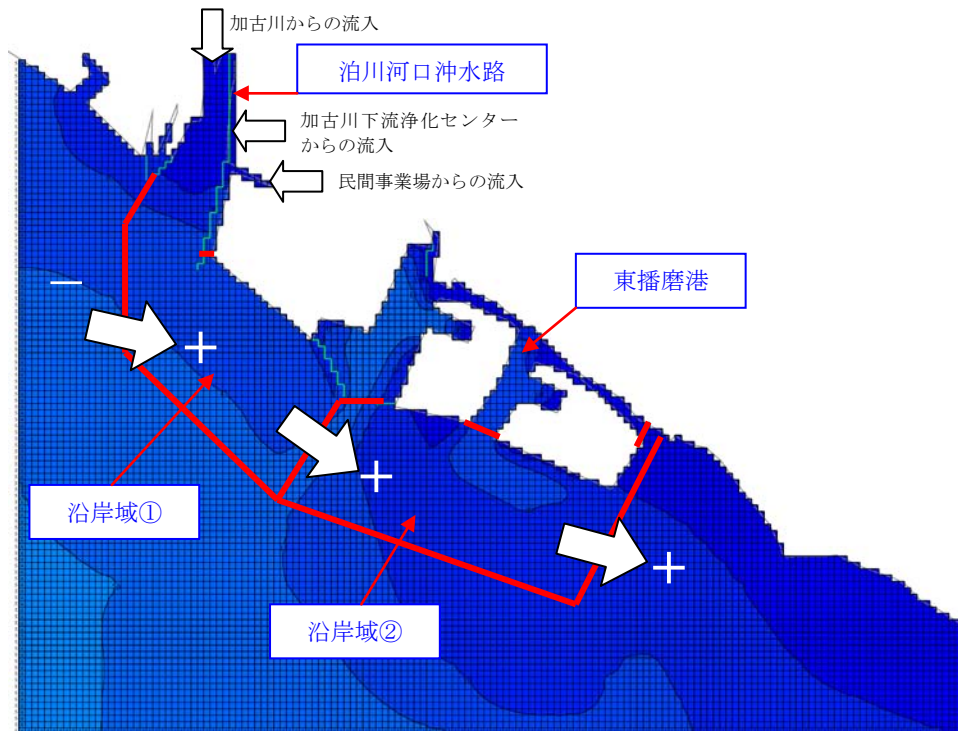


図 14 フラックスを出力する領域図

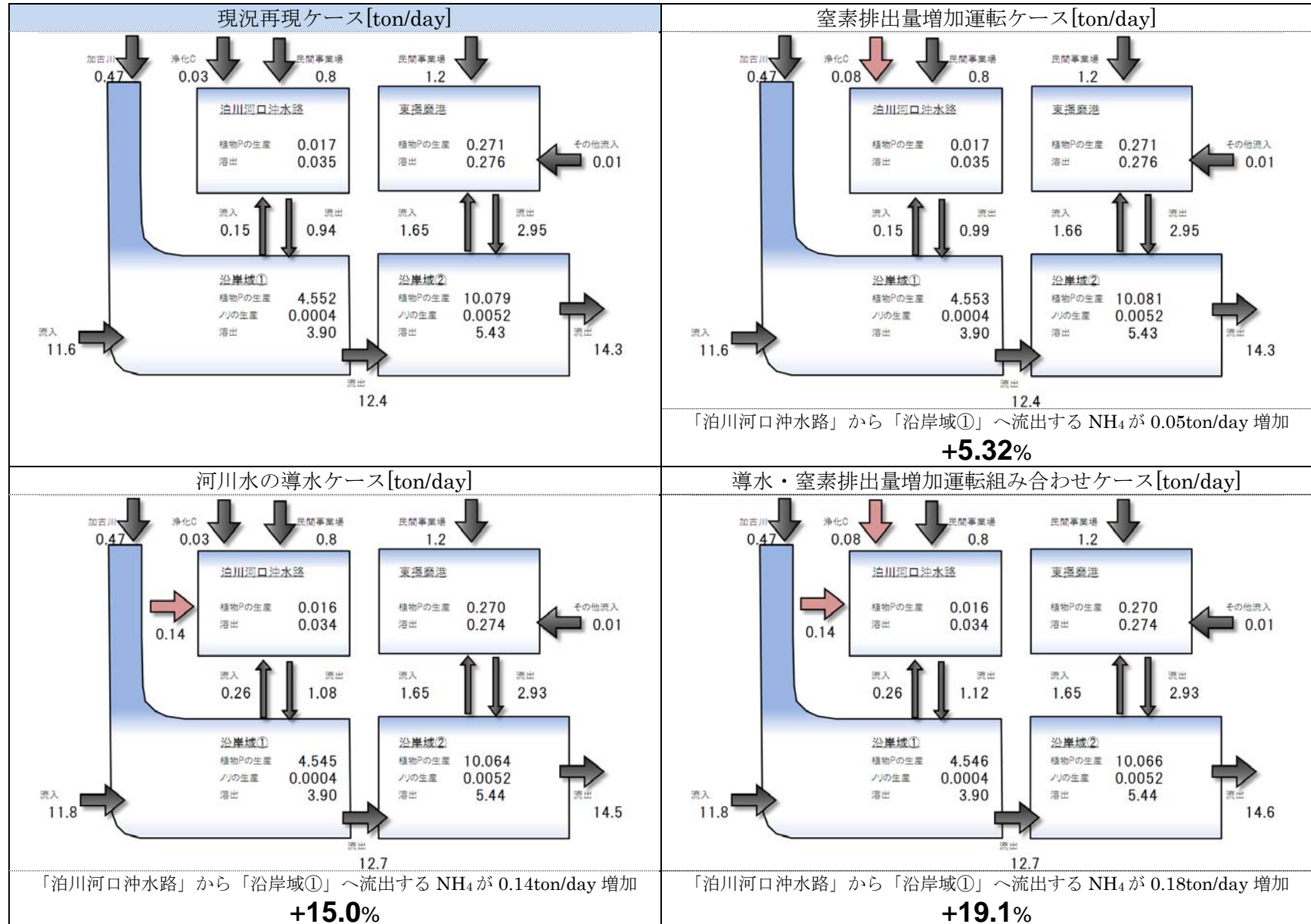


図 15 各ケースのアンモニア性窒素 (NH<sub>4</sub>) フラックス図 (平成 17 年 12 月 7 日の日平均)

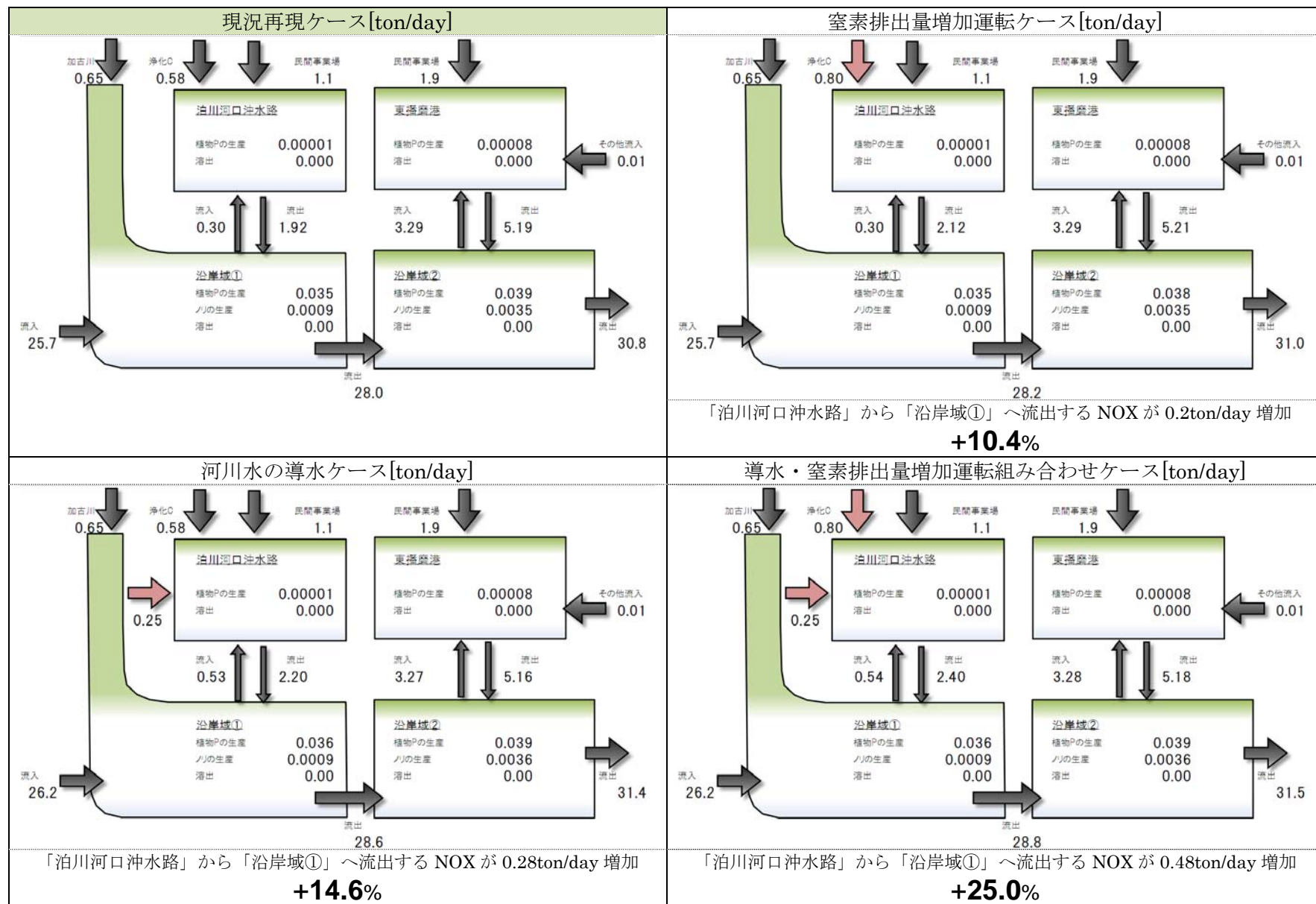


図 16 各ケースの硝酸・亜硝酸性窒素 (NOx) フラックス図 (平成 17 年 12 月 7 日の日平均)

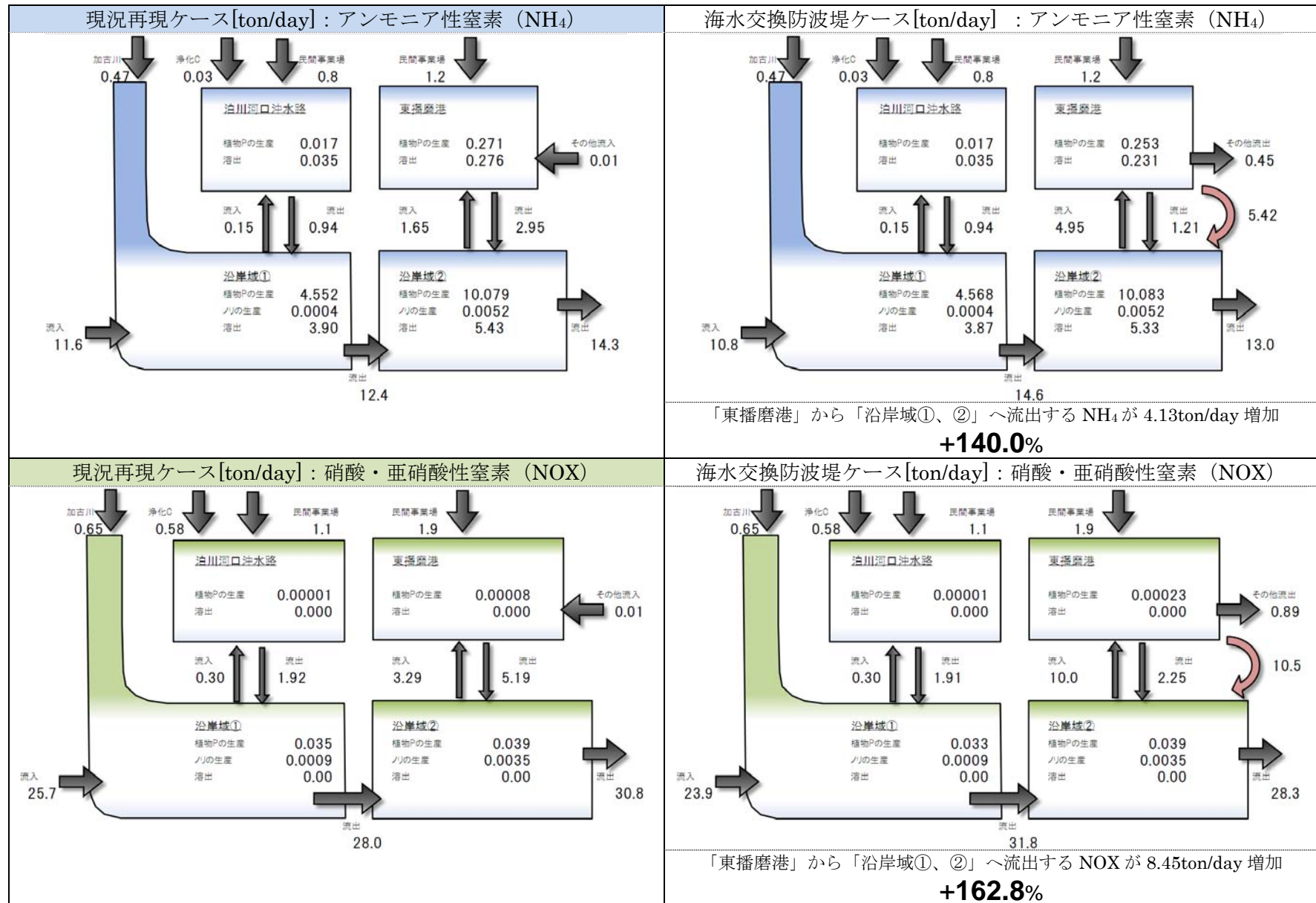


図 17 海水交換防波堤のフラックス図（平成 17 年 12 月 7 日の日平均）

### 3.2 沿岸域における窒素濃度の増加量

計算期間（平成 17 年 12 月 5 日～15 日）における対策ケース毎のアンモニア性窒素（ $\text{NH}_4$ ）濃度及び硝酸・亜硝酸性窒素（NOX）濃度の増加量の平均値および最大値の分布状況を図 19 と図 20 に示した。また、図 18 中の 3 地点における  $\text{NH}_4$  と NOX の経時変動を図 21～図 26 に示した。

- ・ 窒素排出量増加運転  
平均値・最大値ともに泊川河口沖水路内で高い結果となっているが、沿岸～沖合域においても若干の濃度上昇が確認できる。
- ・ 河川を利用した海水交換の促進対策（導水対策）  
沿岸域における窒素の増加量の平均値は全ての対策ケースの中で最も小さいが、導水対策により泊川河口沖水路からの流量が増加するため、最大値の範囲については窒素排出量増加運転よりも広範囲に影響が及んでいる。
- ・ 窒素排出量増加運転と導水対策の組み合わせ  
窒素排出量増加運転と導水対策を組み合わせることで、沿岸域において平均値と最大値ともに導水対策よりも濃度が上昇している。
- ・ 海水交換防波堤の設置  
沿岸域の広範囲で濃度が上昇しており、平均値・最大値ともに「窒素排出量増加運転と導水対策の組み合わせ」とほぼ同程度の高い効果が得られている。
- ・ 任意地点における  $\text{NH}_4$  と NOX の経時変化  
濃度の上昇幅は地点①が最大で、地点①では窒素排出量増加運転と導水対策の組み合わせの濃度が最も上昇していた。濃度変動は基本的に潮位変動に依存しているとみられた。

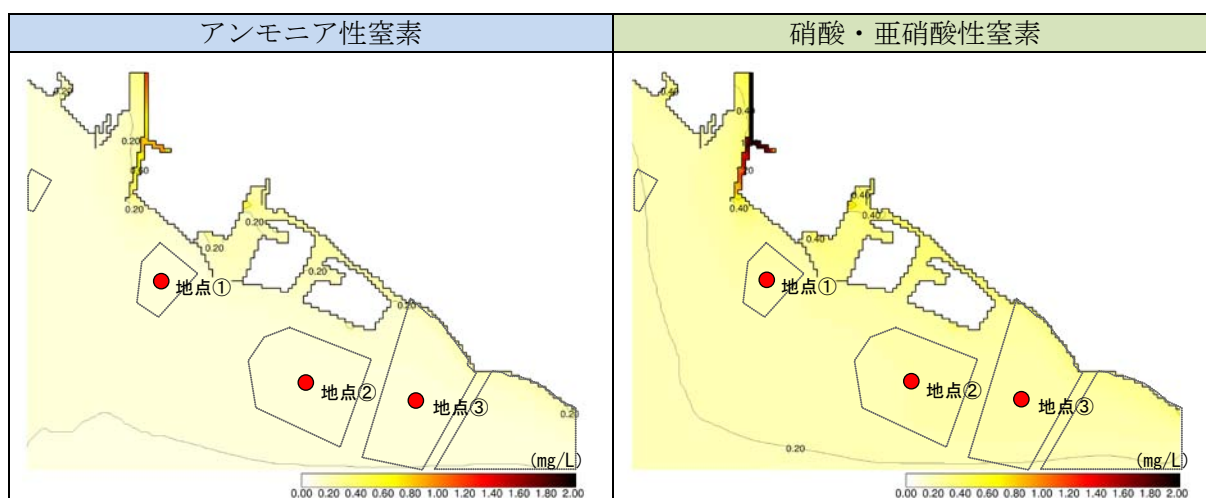
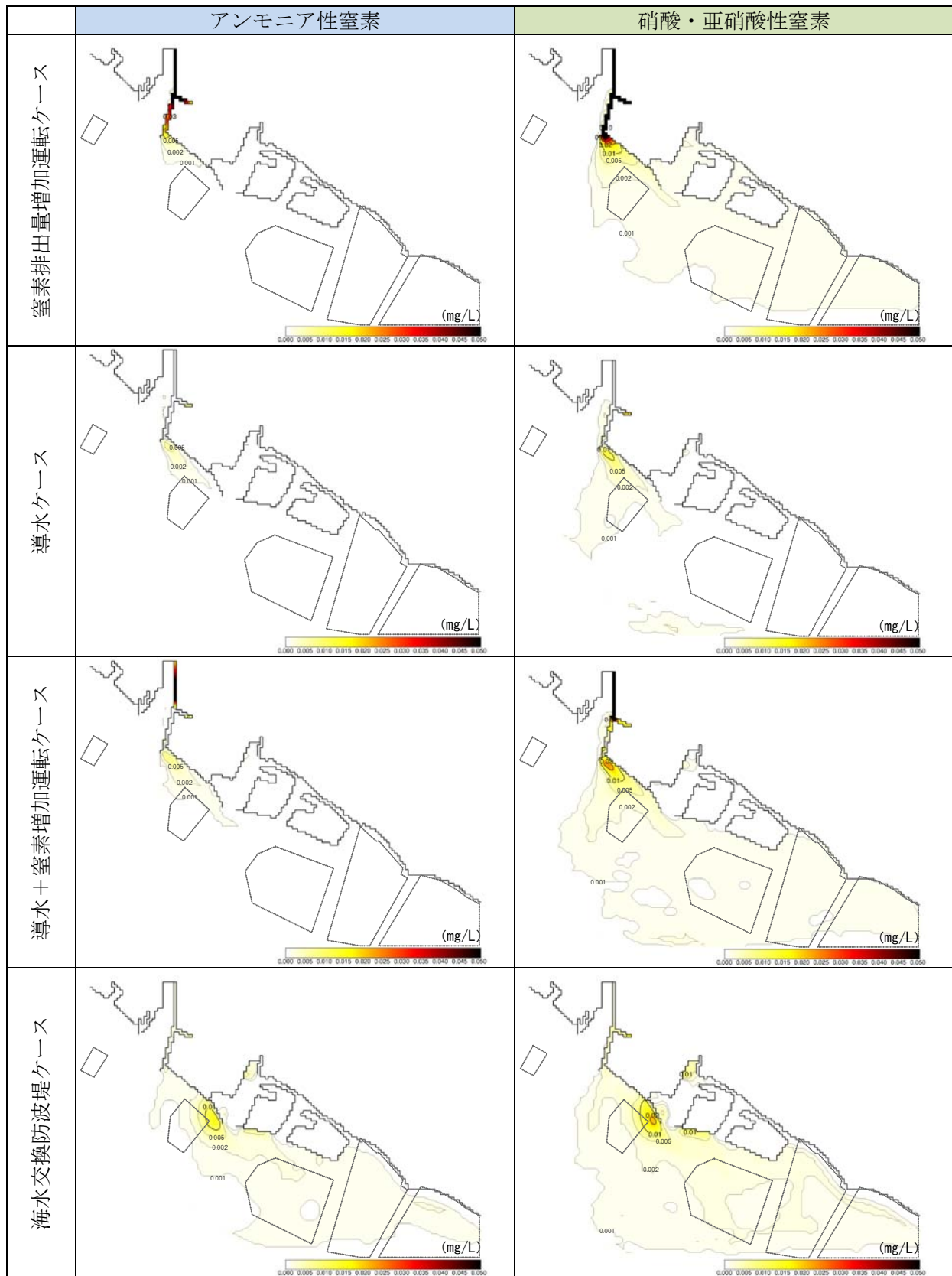


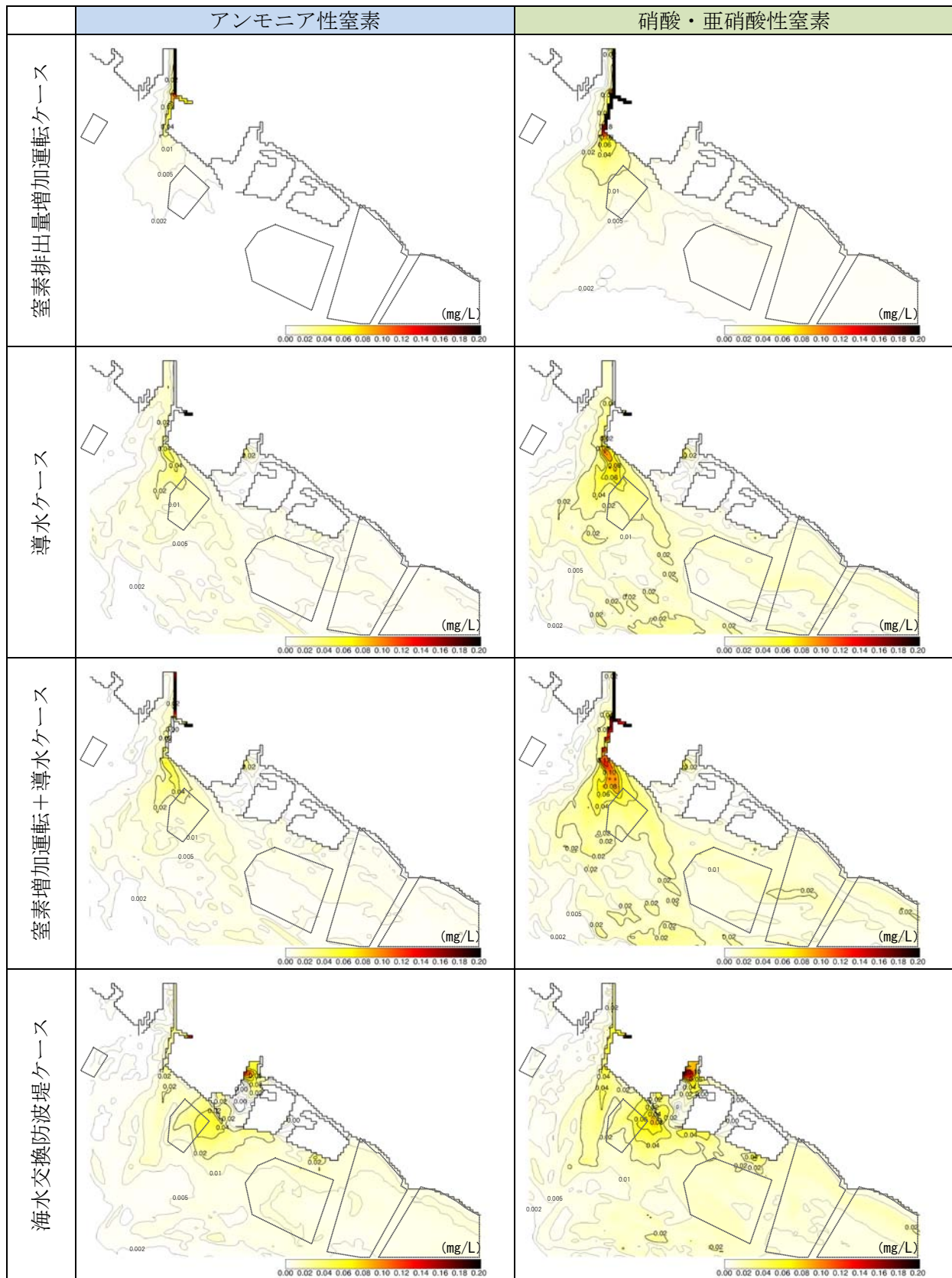
図 18 現況ケースの計算期間平均値（平成 17 年 12 月 5 日～12 月 15 日）



※ データ整理期間：平成 17 年 12 月 5 日～12 月 15 日

図 19 現況ケースからの濃度増加量（計算期間平均値）





※ データ整理期間：平成 17 年 12 月 5 日～12 月 15 日

図 20 現況ケースからの濃度増加量（計算期間最大値）

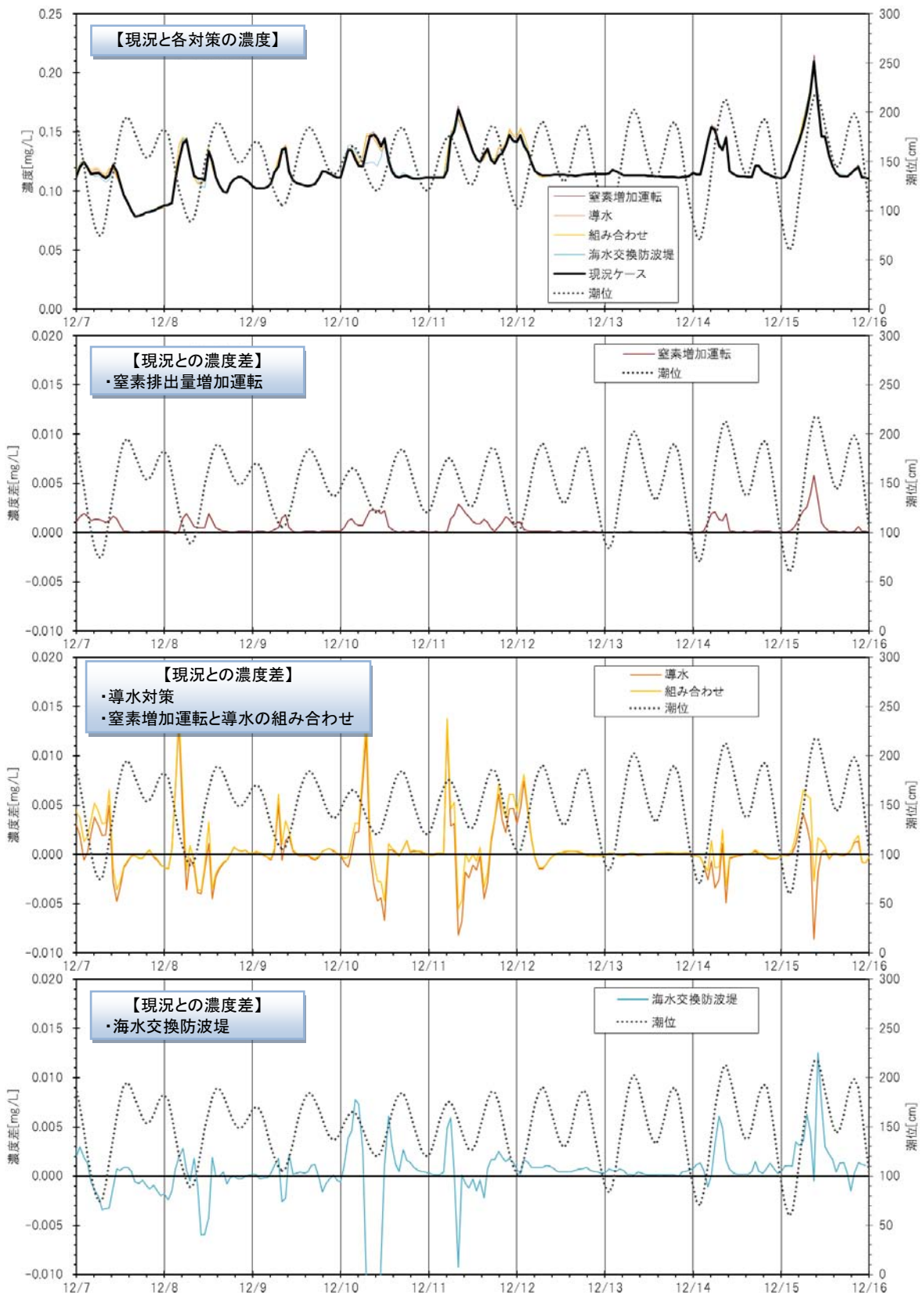


図 21 地点①におけるアンモニア性窒素の経時変動

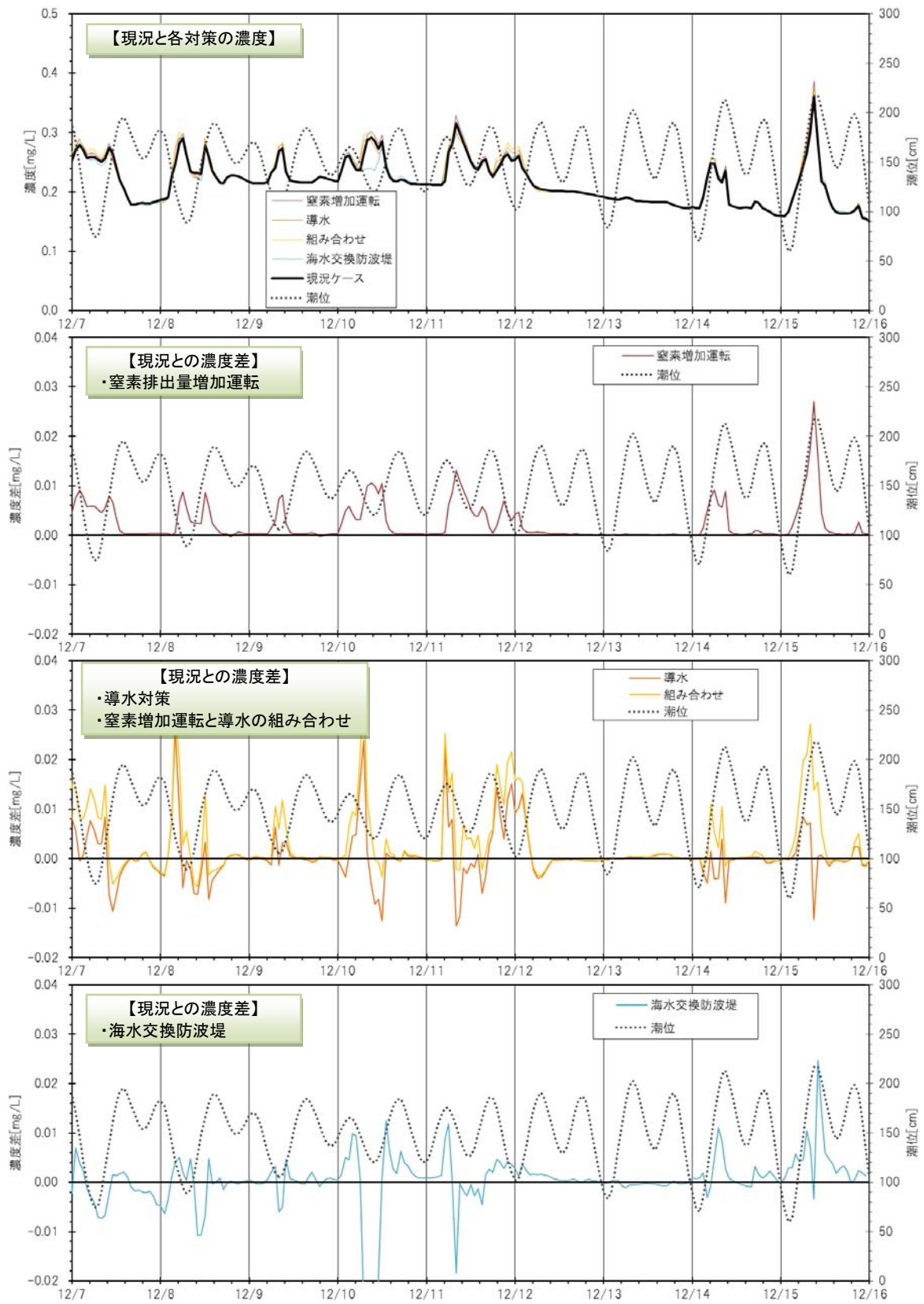


図 22 地点①における硝酸・亜硝酸性窒素の経時変動

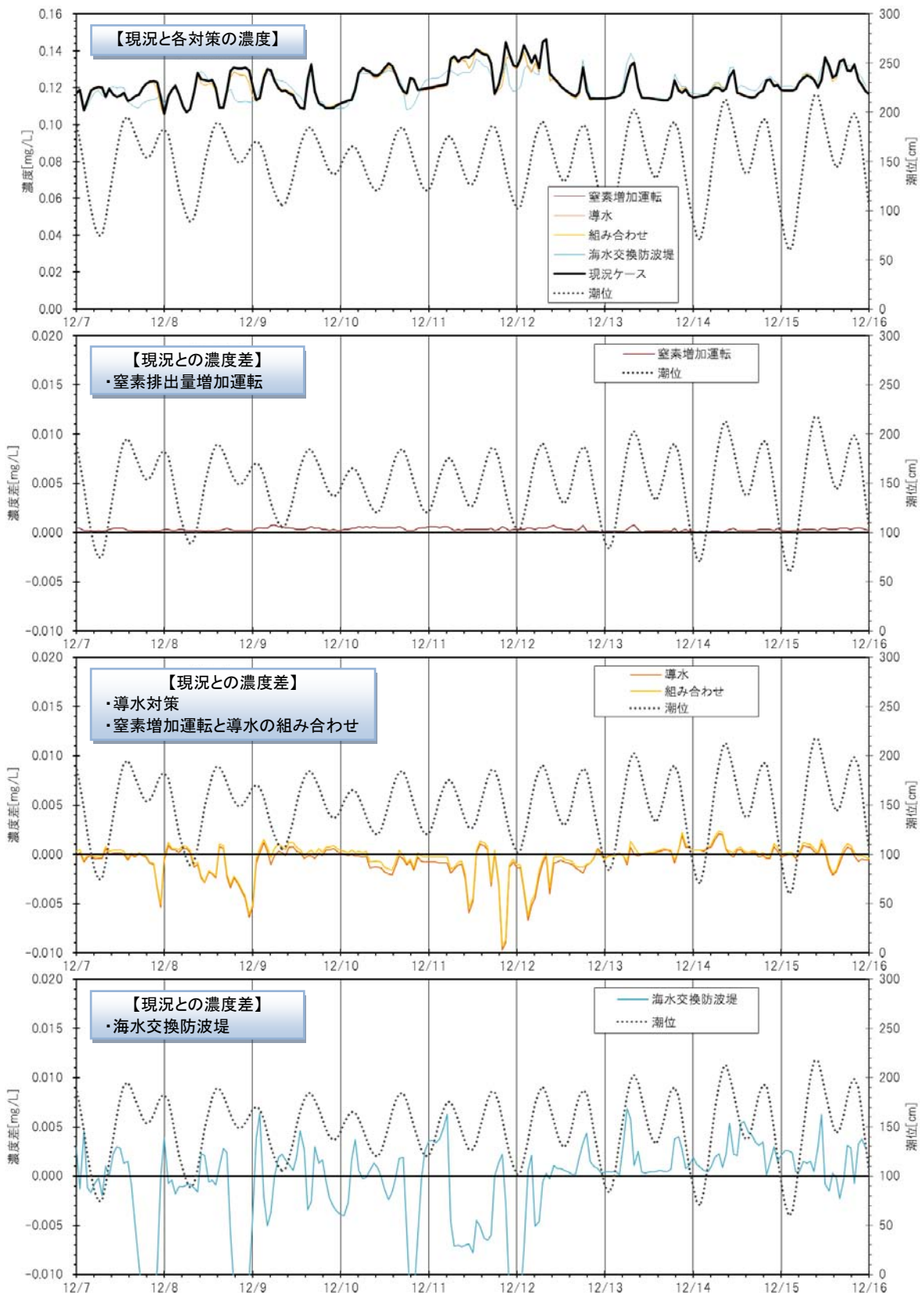


図 23 地点②におけるアンモニア性窒素の経時変動

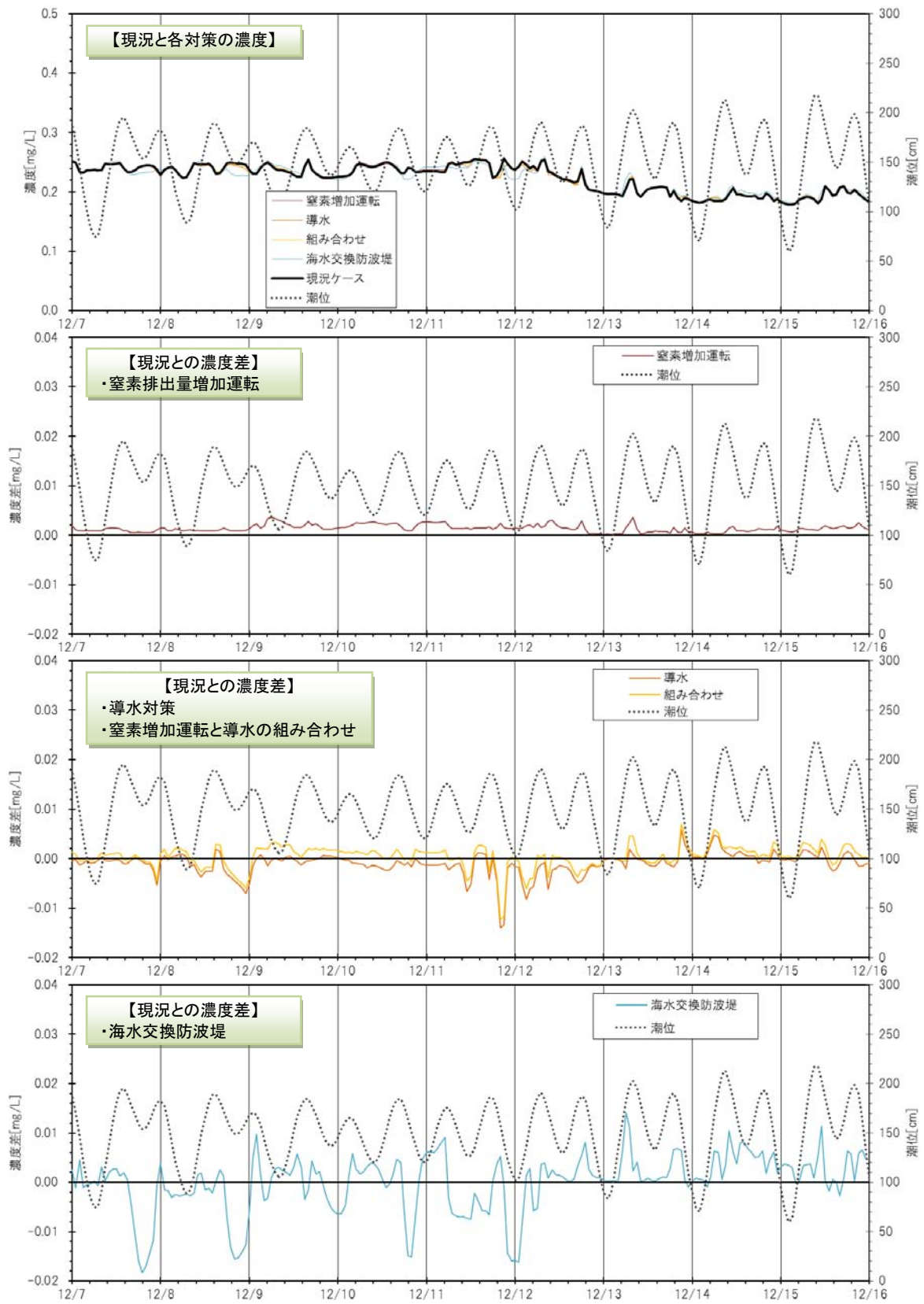


図 24 地点②における硝酸・亜硝酸性窒素の経時変動

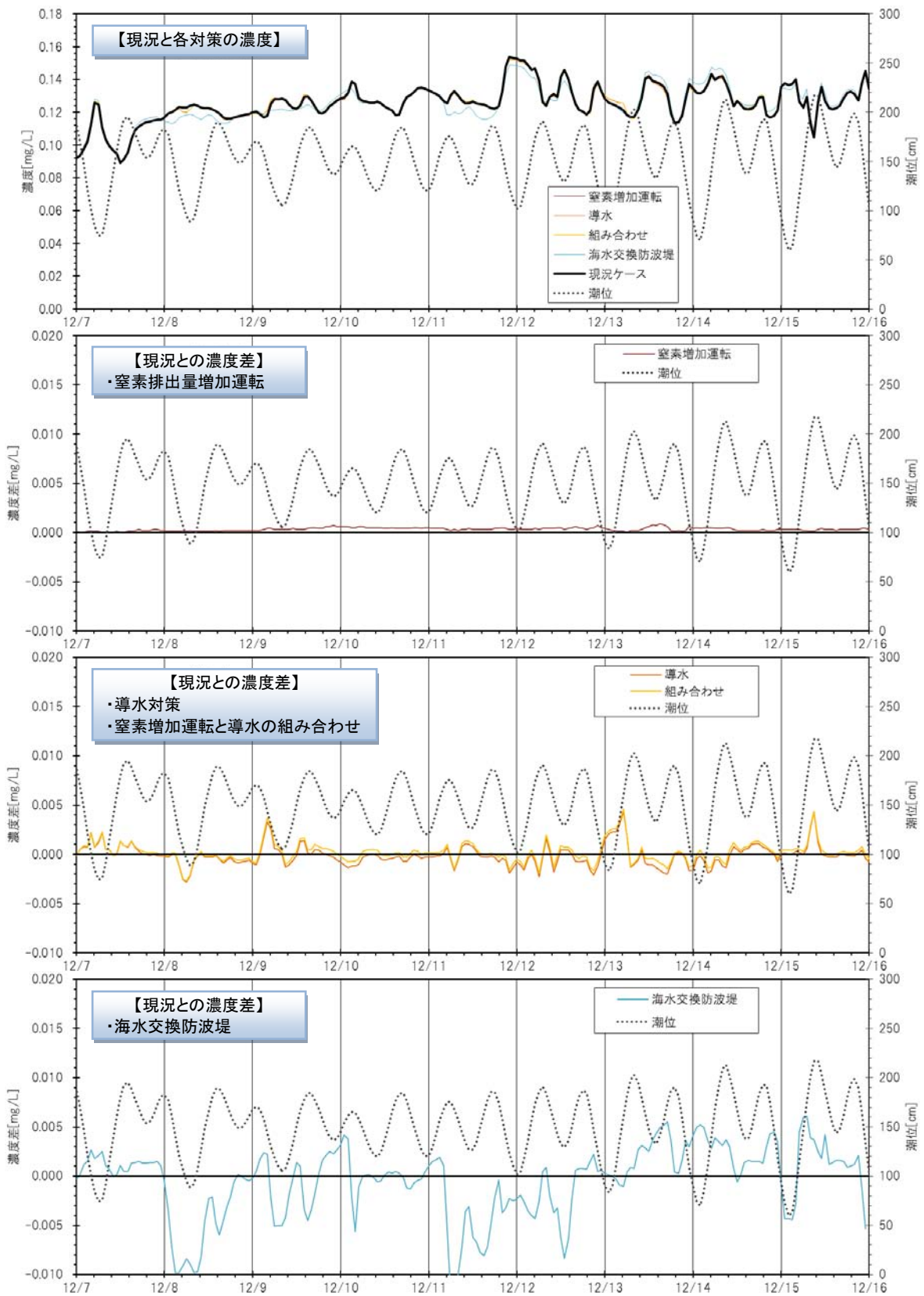


図 25 地点③におけるアンモニア性窒素の経時変動

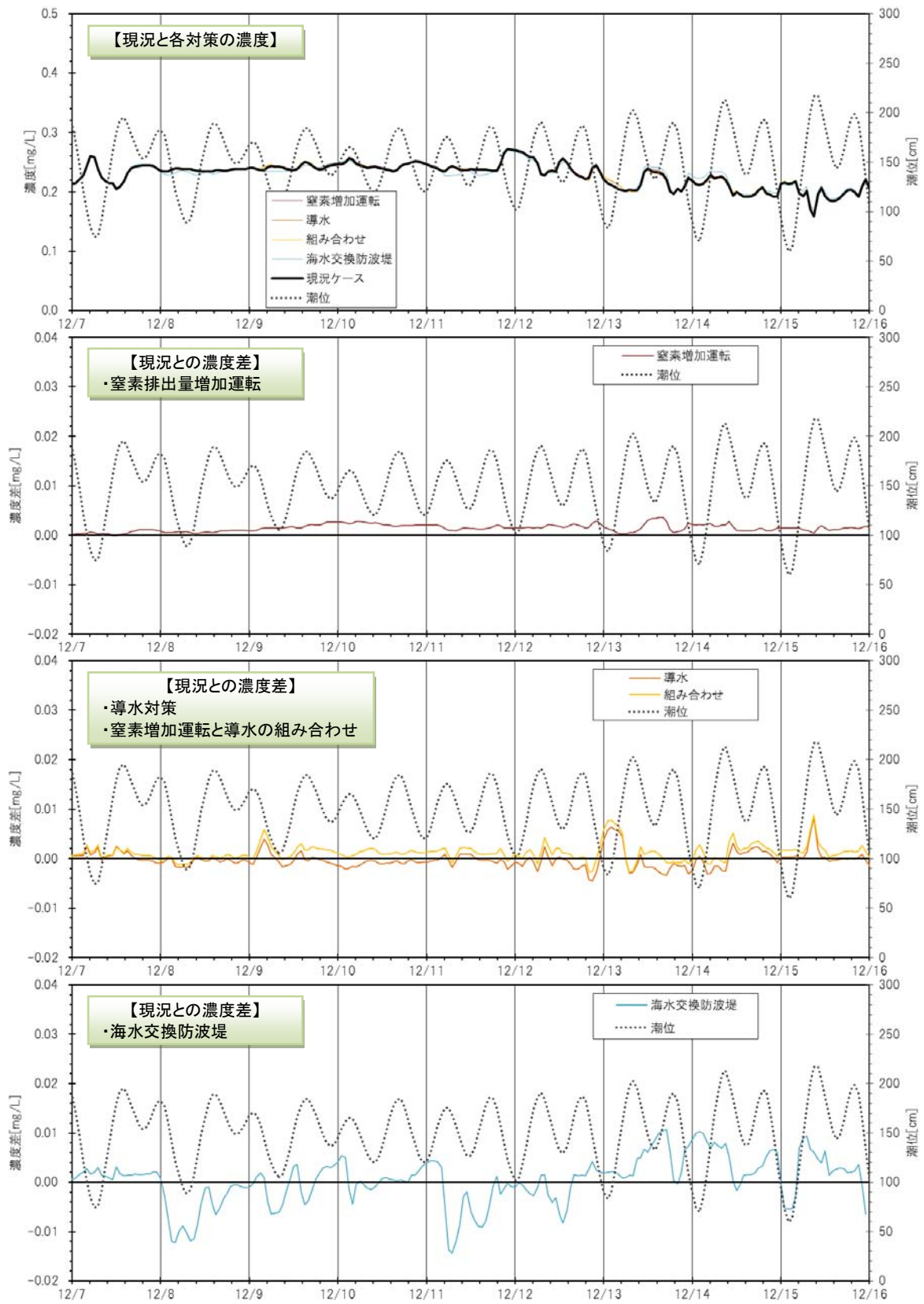


図 26 地点③における硝酸・亜硝酸性窒素の経時変動

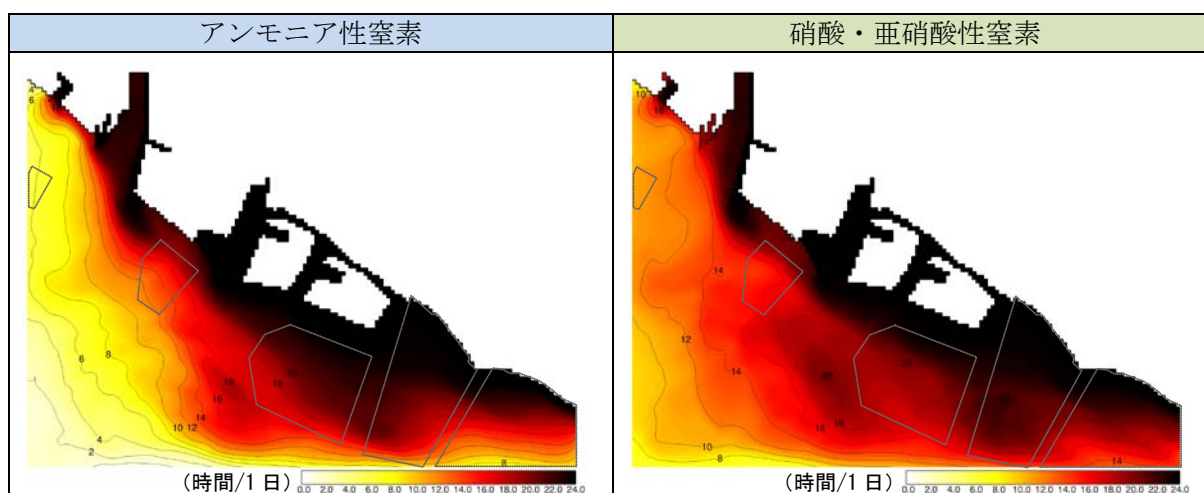
### 3.3 溶存無機態窒素の設定濃度超過時間

植物プランクトンやノリは日光と栄養塩の条件がそろった場合に生長すると考えられていたが、高栄養の水塊を体の周辺に貯蓄しておくことができる機能（セル・クウォーター）を有する種類がいることが明らかになってきている。ノリについても暗条件での高栄養水塊の暴露実験により生長するといった実験事例が報告されており、ノリの生長には瞬間的な窒素濃度の高い水塊が暴露されるだけで、ある程度有用な効果が得られることが期待できる。

溶存無機態窒素濃度（DIN）が  $3\mu\text{M}$  ( $0.042\text{mg/L}$ ) 程度を下回る場合にノリの色落ちが起こると言われており、「施策対策により沿岸～沖合域の DIN 濃度を  $3\mu\text{M}$  よりも高い値にする頻度が増加したかどうか」が施策効果の評価に対する一つの焦点となる。ここでは、 $0.1\text{mg/L}$  以上の DIN 濃度（アンモニア性窒素、硝酸・亜硝酸性窒素）を超える濃度の時間を図 27 に整理した。また、図 28 には対策ケース別に、対策を実施したことによる  $0.1\text{mg/L}$  以上になる時間の増加分を空間的に表した。

図 27 から港湾域付近では DIN 濃度（アンモニア性窒素、硝酸・亜硝酸性窒素）が  $0.1\text{mg/L}$  以上になる時間が長いが、沖合に向かうに従いその時間が低下している状況が分かる。

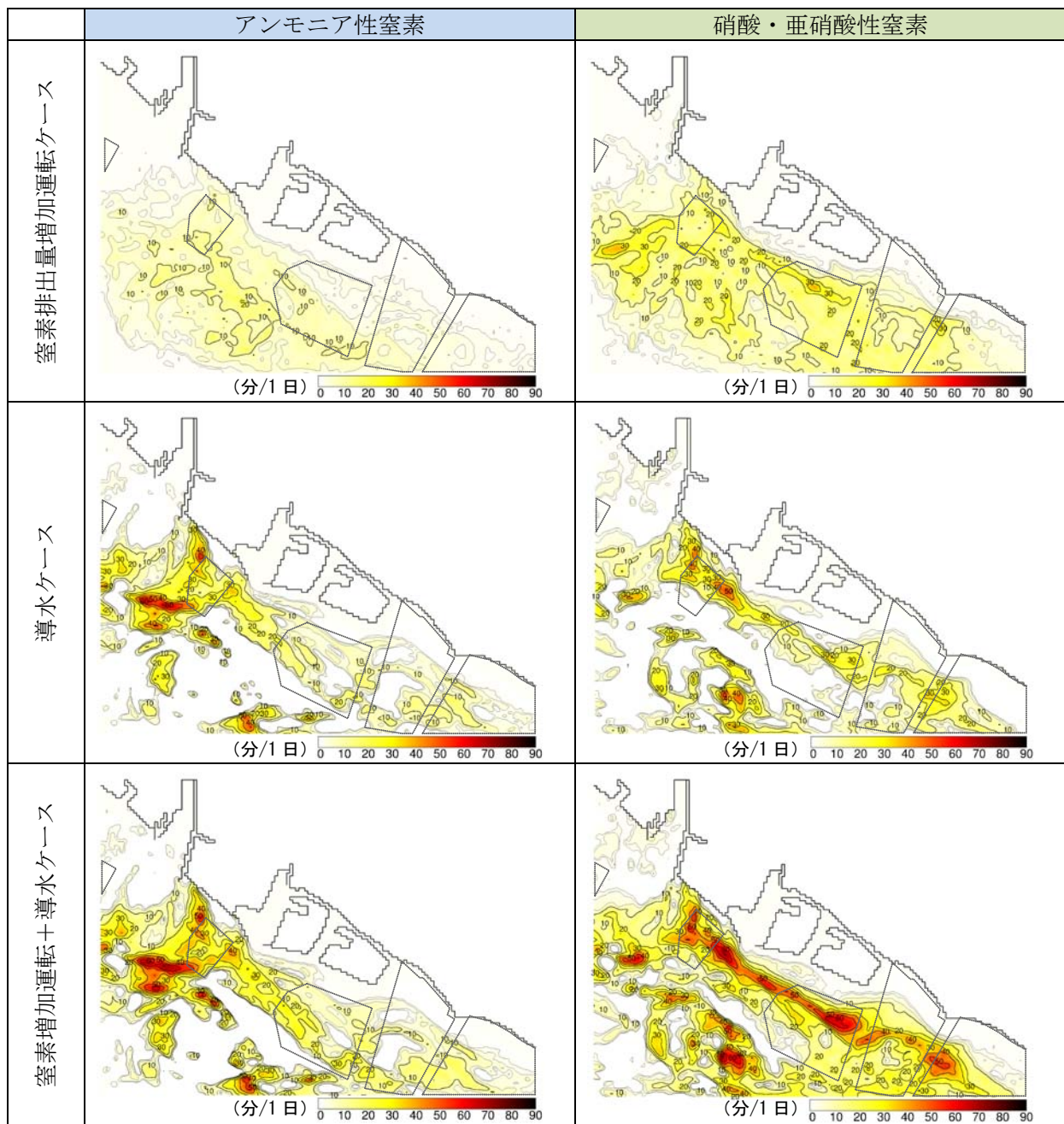
また、対策を実施したことによる  $0.1\text{mg/L}$  以上になる時間の増加については、各対策ともに沿岸～沖合域で時間の増加が確認できるが、特に窒素排出量増加運転と導水対策の組み合わせにおいては対象範囲の東端付近でも 50 分程度の増加が見られ、対策の効果が広範囲に及ぶことが確認された。



※ データ整理期間：平成 17 年 12 月 15 日～12 月 31 日 単位：時間/1 日

図 27 溶存無機態窒素濃度  $0.1\text{mg/L}$  を超える時間





※ データ整理期間：平成 17 年 12 月 15 日～12 月 31 日 単位：分/1 日

図 28 溶存無機態窒素濃度 0.1mg/L を超える時間の増加

### 3.4 まとめ

各対策の実施効果について以下にまとめた。また、泊川河口沖水路周辺での対策ケースの効果については図 29 に整理した。

- ・ 窒素排出量増加運転

沿岸域に 0.02~0.05mg/L 程度の全窒素濃度増加が見られ、ノリ養殖場付近においても瞬時的に 0.02mg/L 程度の濃度上昇が期待できる。泊川河口沖水路から流出する硝酸・亜硝酸性窒素の日平均フラックスは、0.2ton/day 程度表層からの流出が促進される。ただし、泊川河口沖水路内の全窒素濃度も 0.3 mg/L 程度上昇することが課題である。

- ・ 河川を利用した海水交換の促進対策（導水対策）

加古川河川水を底層に導水することにより、1m<sup>3</sup>/s 程度の導水であっても 14 m<sup>3</sup>/s 程度のエスチュアリー循環流の促進が見込まれた（表層に導水する場合は、1 m<sup>3</sup>/s 程度の導水で 2 m<sup>3</sup>/s 程度）。泊川河口沖水路から流出する硝酸・亜硝酸性窒素の日平均フラックスは、窒素排出量増加運転よりも大きい 0.28ton/day 程度が表層から流出しており、全窒素濃度の 0.02mg/L 程度の濃度上昇域は、窒素排出量増加運転の場合よりも広範囲に広がっている。さらに、泊川河口沖水路内において硝酸・亜硝酸性窒素濃度は減少しており、DIN 濃度の偏在化の解消に寄与していると考えられる。

- ・ 窒素排出量増加運転と導水対策の組み合わせ

泊川河口沖水路から流出する硝酸・亜硝酸性窒素の日平均フラックスは、窒素排出量増加運転ケースによる増加分と、導水ケースによる増加分の総和にほぼ等しい値であり、対策同士の効果の相殺は小さい。泊川河口沖水路から流出する硝酸・亜硝酸性窒素の日平均フラックスは、対策なしと比べて 25%もの増加が見込まれ、導水ケースと同様に沿岸域の広い範囲での窒素濃度の上昇が見られた。泊川河口沖水路内においても、奥部で硝酸・亜硝酸性窒素濃度の上昇が見られる他は、水路内での濃度低下が確認され、DIN 濃度の偏在化の解消に寄与していると考えられる。

- ・ 海水交換防波堤（遊水室型）の設置

トレーサーを使った解析やフラックス量の増加から、海水交換防波堤を設置することにより東播磨港内の滞留が緩和され、港湾内外の海水交換が促進されている状況が明らかになった。また、沿岸～沖合域への DIN の供給効果については、窒素排出量増加運転と導水対策の組み合わせと同等レベルの効果が期待でき、DIN の偏在化の解消にも資する対策であると考えられた。

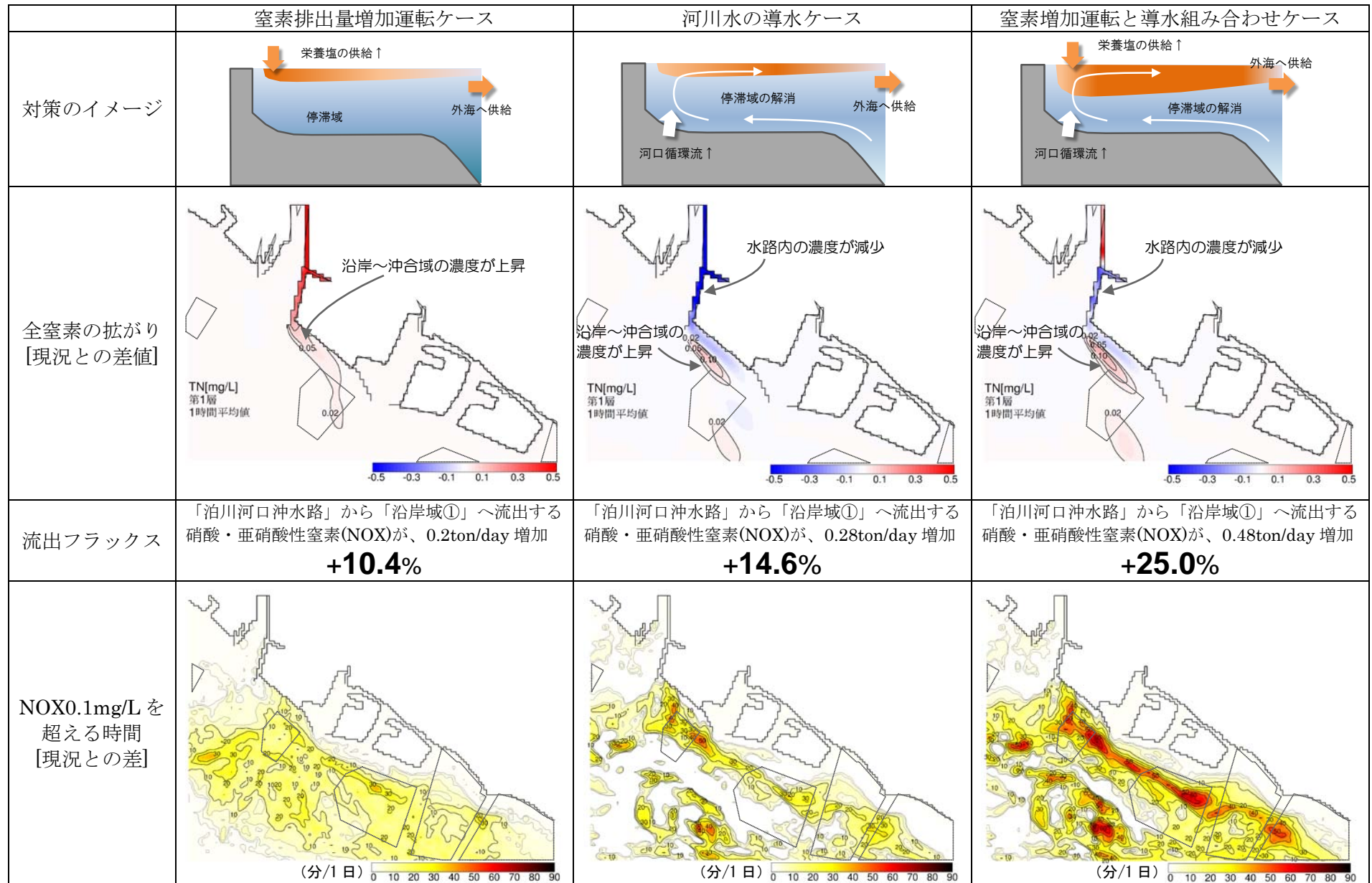


図 29 泊川河口沖水路周辺における実施対策についての効果