

図 5.2-8 (1) 窒素排出量増加運転による全窒素の影響 (毎時結果は差値) [平成 18 年 2 月 11 日]

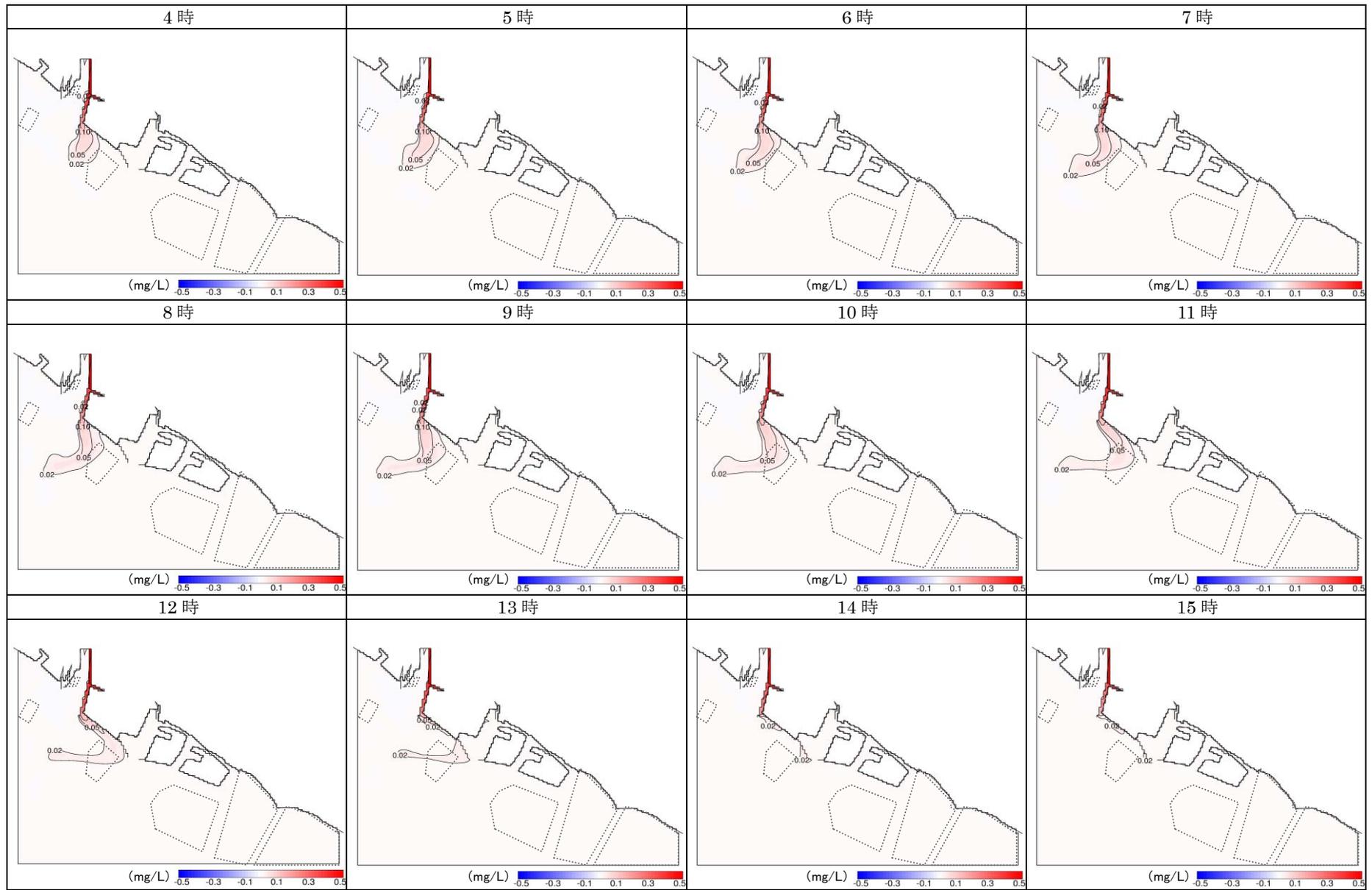


図 5.2-8 (2) 窒素排出量増加運転による全窒素の影響（毎時結果は差値）[平成 18 年 2 月 11 日]

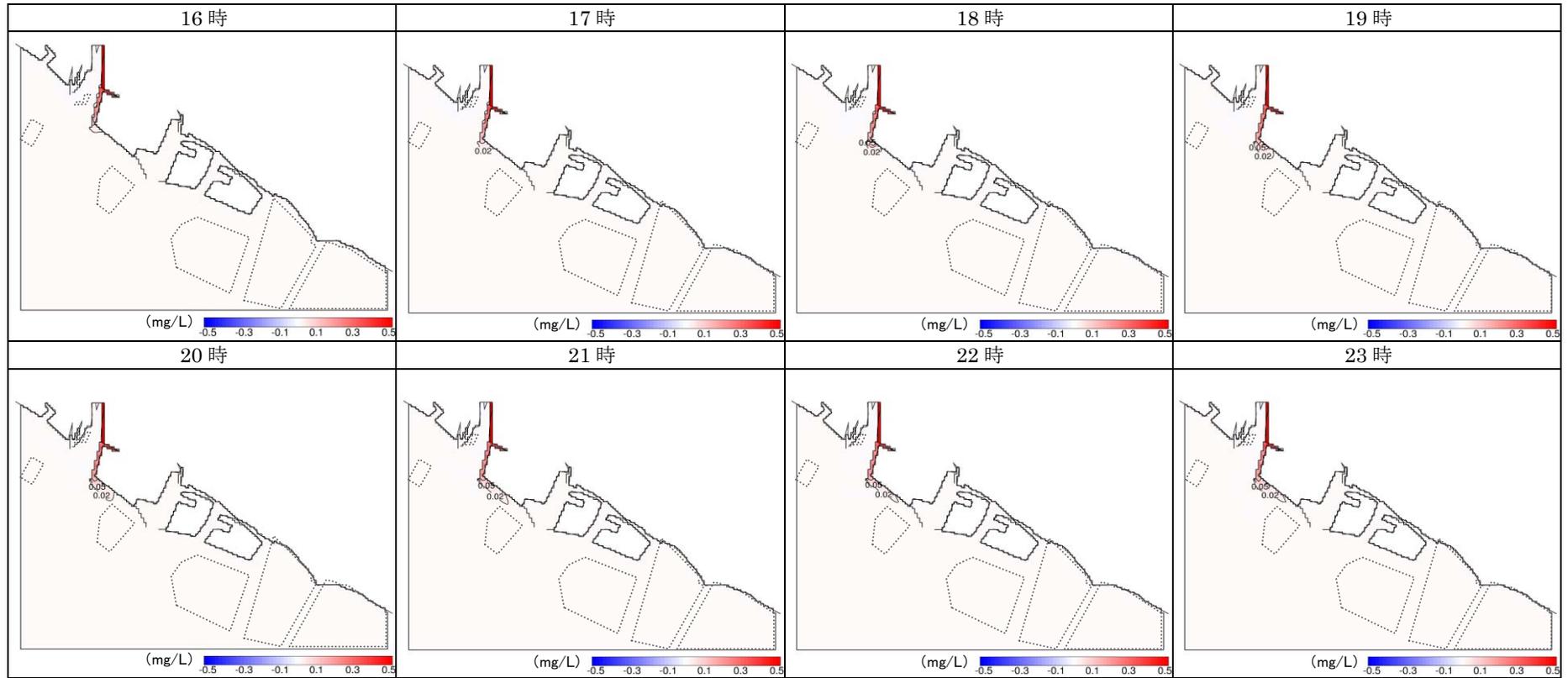


図 5.2-8 (3) 窒素排出量増加運転による全窒素の影響 (毎時結果は差値) [平成 18 年 2 月 11 日]

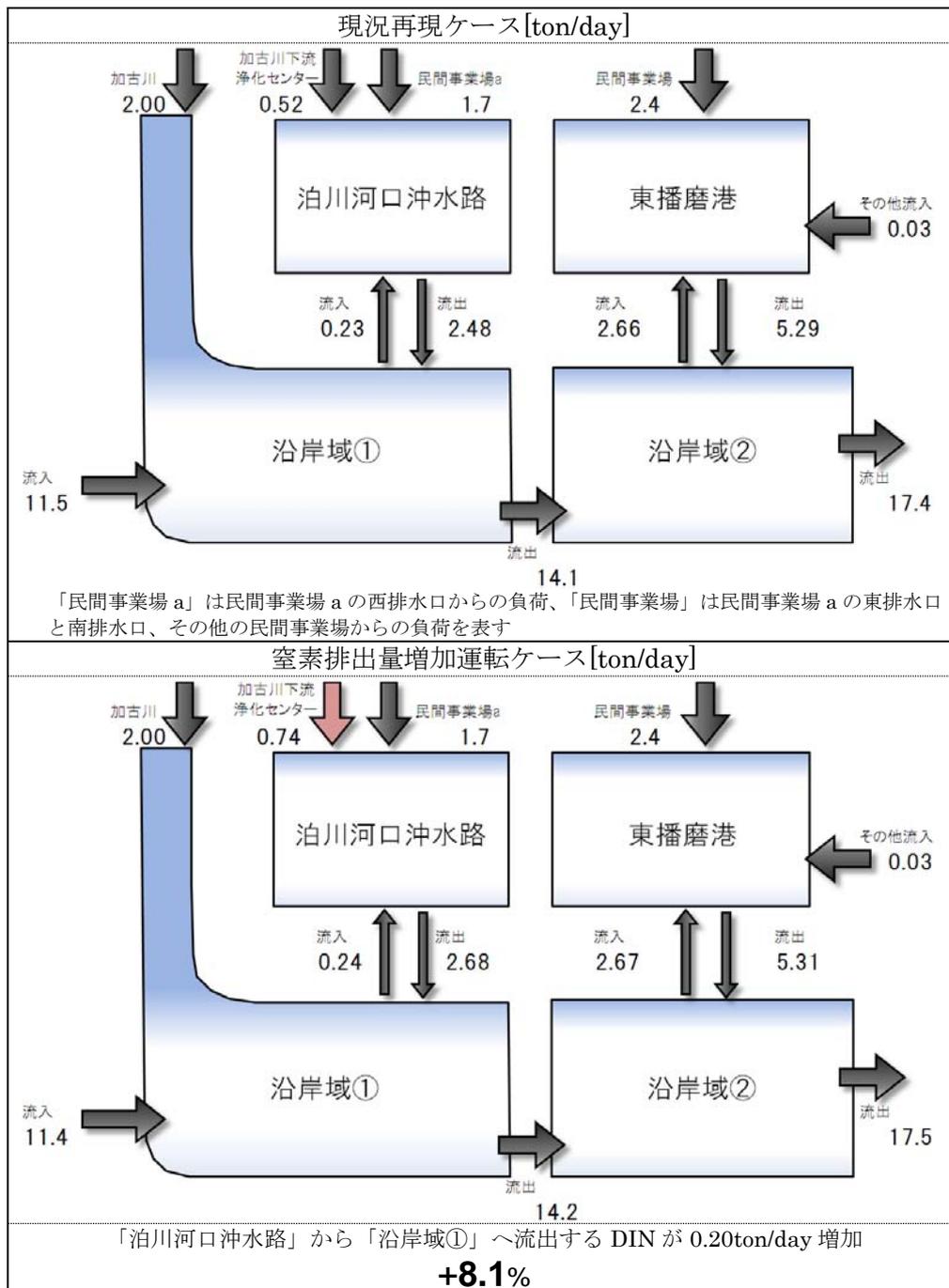


図 5.2-9 窒素排出量増加運転による DIN 輸送量の変化※ (平成 18 年 2 月 1 日～28 日の平均)

※ DIN は植物プランクトン等に取り込まれる等して有機態窒素等に形態が変化し、これら形態が変化した窒素は沈殿・収穫（ノリの場合）等により、領域の外へ持ち出される。DIN として整理された輸送量の図には、これらの異なる形態に変化した窒素の移動を表記できないため、必ずしも領域内での DIN の収支が取れることが補償された図の表記とはならない。

(2) 河川を利用した海水交換促進対策

◇ 対策の特徴

◆ エスチュアリー循環流とは

河川水が流入する河口域においては、塩分勾配による密度差によって駆動される密度流の一種であるエスチュアリー循環流が生じており、表層を塩分の低い河川水が沖向きに流れ、底層を塩分の高い沖合の海水が岸向きに流れている(図 5.2-10)。エスチュアリー循環流によって、沖合域の高い DO の水塊が岸側(港湾側)に流入し貧酸素水塊の解消に役立ったり、沖合域の貧栄養塩水塊が港湾内へ流入し富栄養化を緩和させたりする役割がある。

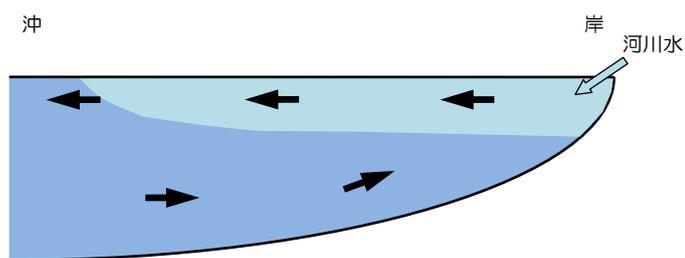


図 5.2-10 エスチュアリー循環流

◆ エスチュアリー循環流を利用した対策

このエスチュアリー循環流を利用し DIN の偏在化を解消させるために、加古川の表層の河川水(低密度水)を泊川河口沖水路内の下層(高密度水)に導水することにより、エスチュアリー循環流を促進させ、海水交換量を増加させる対策について検討を実施した(図 5.2-11)。

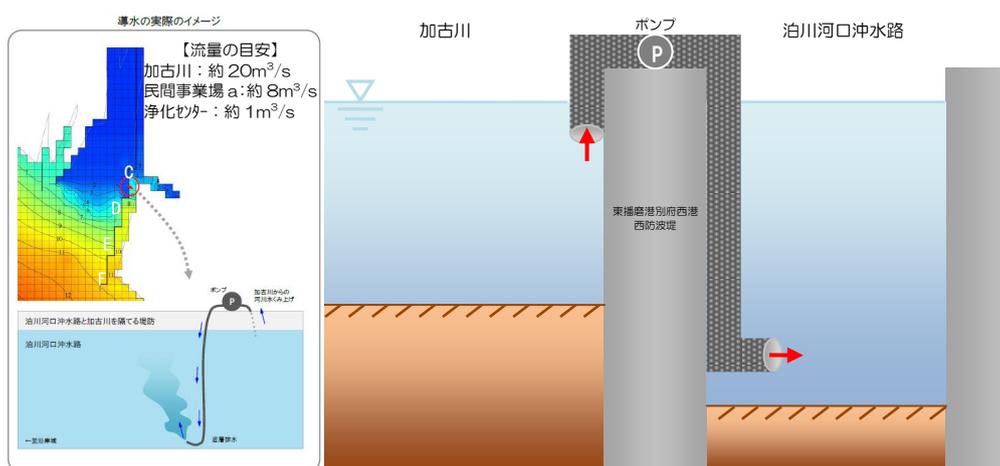


図 5.2-11 河川を利用した海水交換の促進対策のイメージ

◇ 期待される効果

◆ 概要

河川を利用した海水交換の促進対策については、対策実施に向けた手続きやポンプの設置等に多くの作業や費用が生じる可能性があるため、加古川下流浄化センターの窒素排出量増加運

転のように試験的に対策を実施して効果を確認することが難しい。そのため、シミュレーションモデルによる計算により効果を予測し、対策の詳細な計画や留意点の検討を行う必要がある。シミュレーションモデルについては現況再現性を確認し、計算精度が確保されたものを使用する。

◆ シミュレーションモデルによる計算結果

河川を利用した海水交換の促進対策の影響の範囲や時間的な影響の変動については、シミュレーションモデルによる計算により効果が確認されている。計算条件は加古川の河川水を取水し、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。対策の実施による泊川河口沖水路内の水温、塩分、流況の変化を図 5.2-12 と図 5.2-13 に、全窒素濃度の増減の変化を図 5.2-14 に、対象海域をに示す 4 つの海域 (図 5.2-7) に区分けし、各区分けの DIN 輸送量を図 5.2-15 に示す。

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表層の全窒素濃度が減少している。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、沿岸～沖合域において全窒素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。

輸送量については「泊川河口沖水路」から「沿岸域①」へ流出する DIN は 0.14ton/day 増加しており、 5.6% 程度の増加の効果が得られている。

今回の計算においては加古川の河川水を泊川河口沖水路の下層に排水させた。下層に排水することにより、表層に排水する場合よりもエスチュアリー循環流を強く促進することができると思われる。本計算では下層への排水により、 $1\text{m}^3/\text{s}$ の排水で $14\text{ m}^3/\text{s}$ のエスチュアリー循環流の流量の増加が確認された。なお、表層に排水した場合は $2\text{ m}^3/\text{s}$ 程度の増加に留まった。

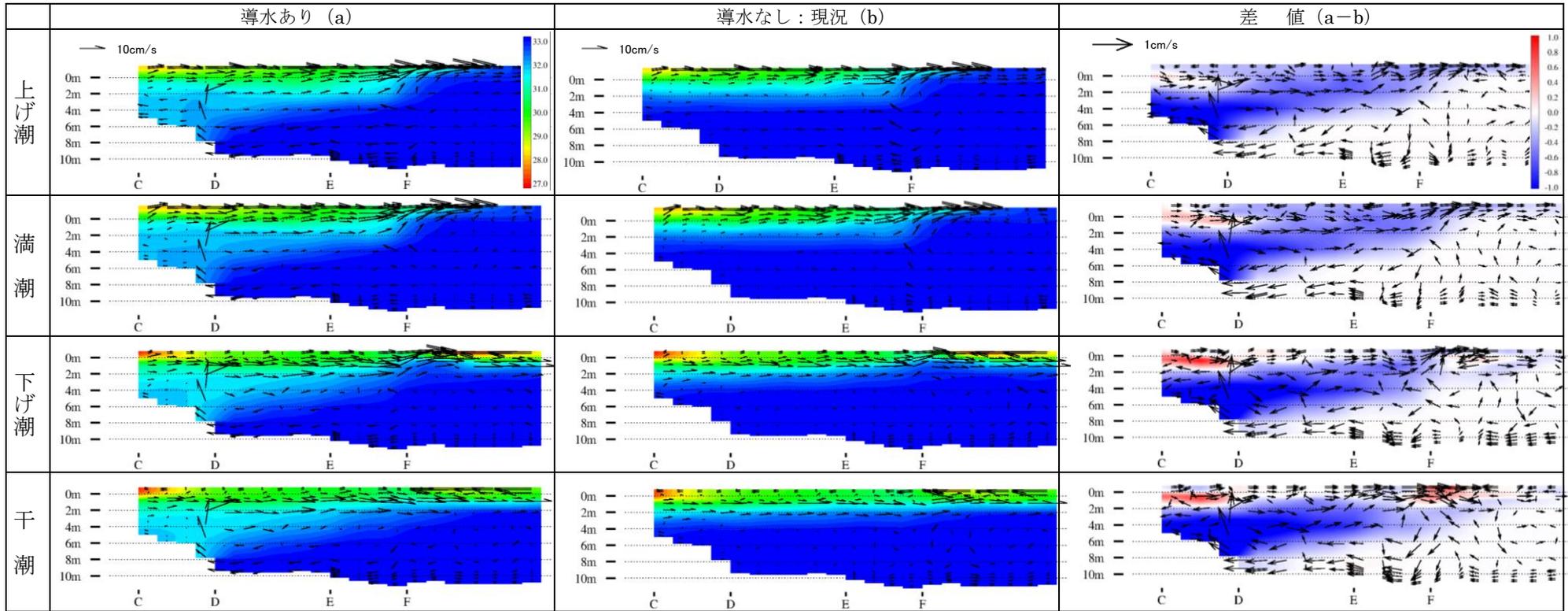


図 5.2-12 加古川から泊川河口沖水路に導水した際の流況と塩分の影響(平成 17 年 12 月 15 日)

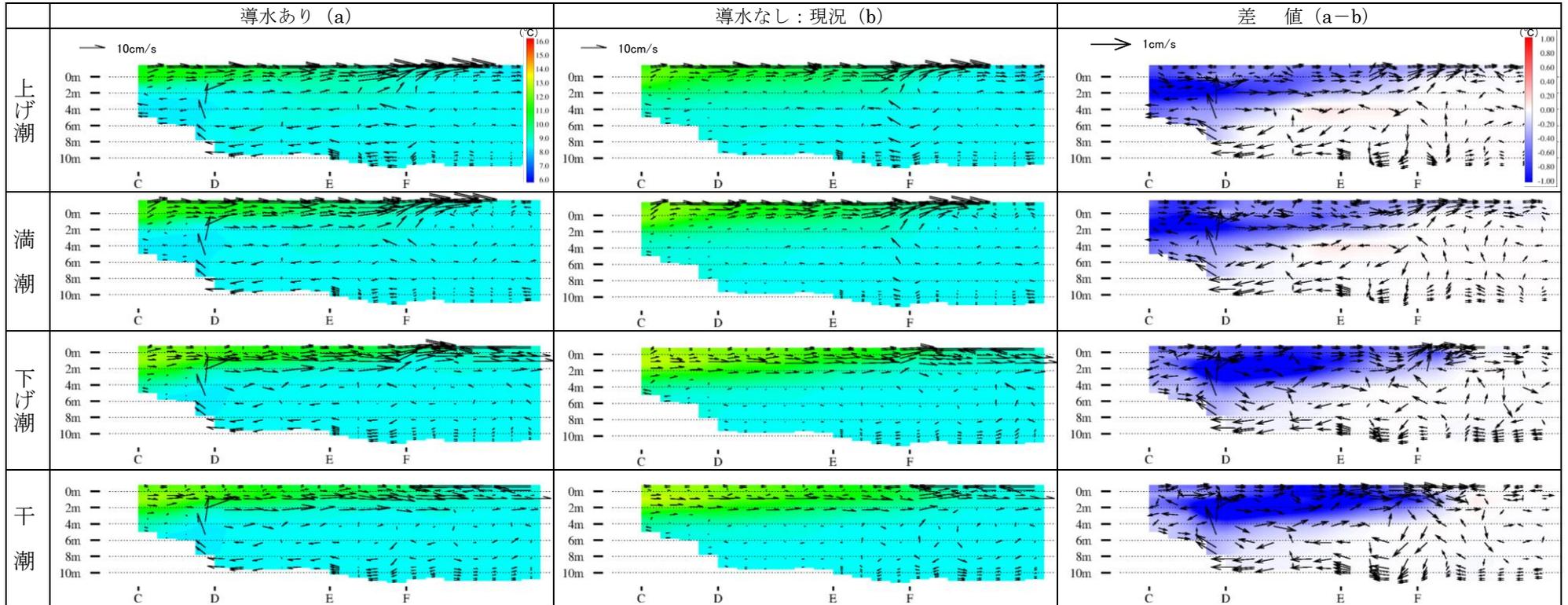


図 5.2-13 加古川から泊川河口沖水路に導水した際の流況と水温の影響(平成 17 年 12 月 15 日)

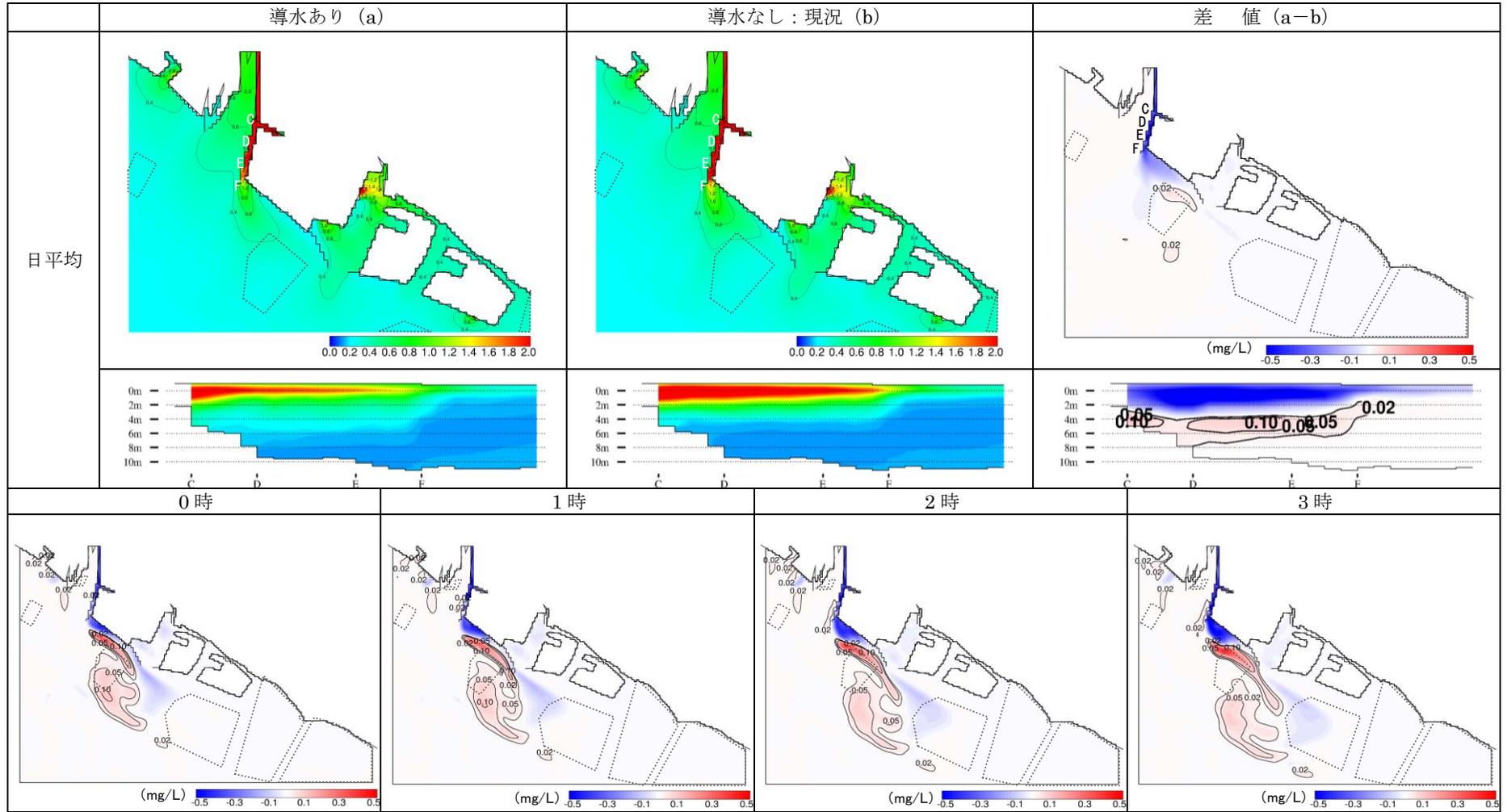


図 5.2-14 (1) 加古川から泊川河口沖水路に導水した際の全窒素の影響 (毎時結果は差値) [平成 18 年 2 月 15 日]

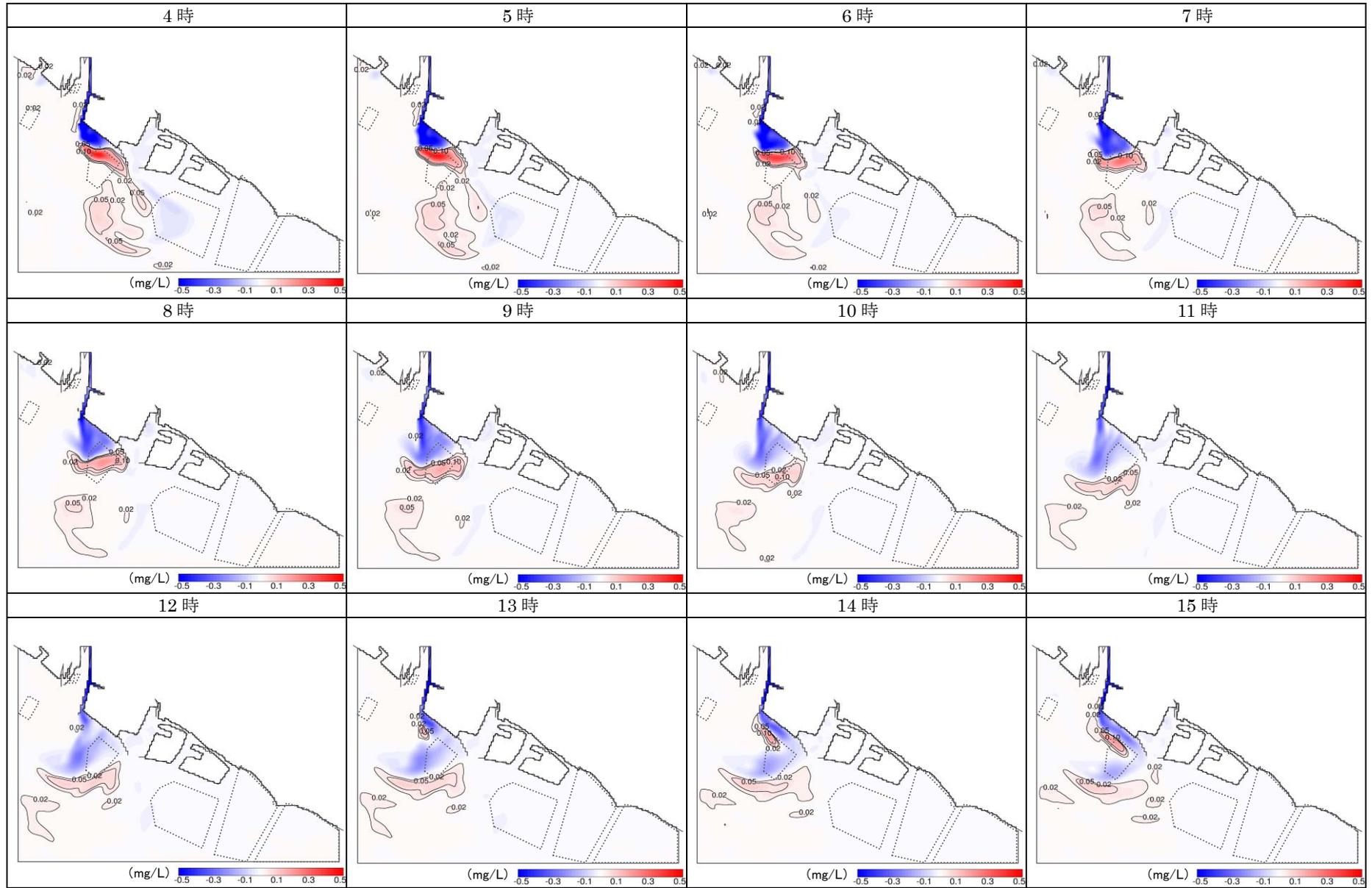


図 5.2-14 (2) 加古川から泊川河口沖水路に導水した際の全窒素の影響 (毎時結果は差値) [平成 18 年 2 月 15 日]

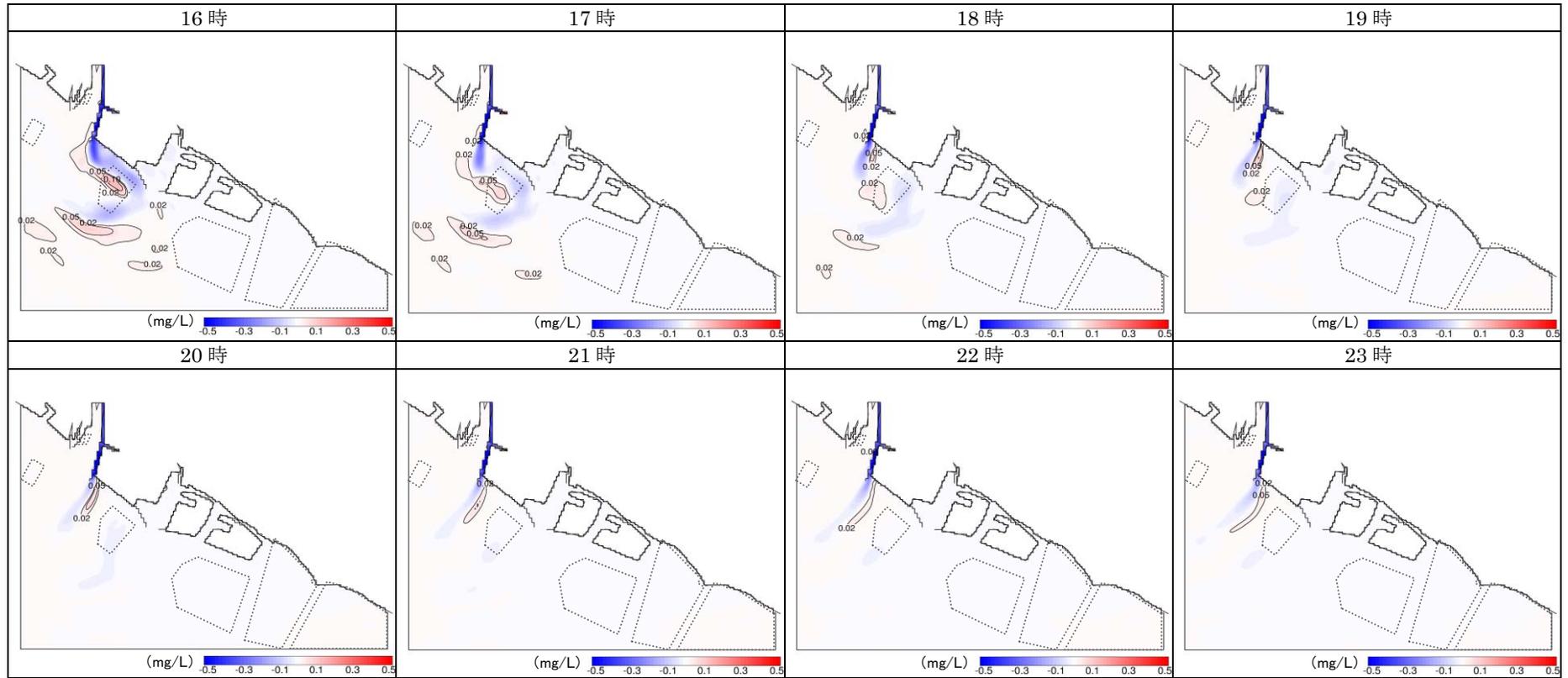


図 5.2-14 (3) 加古川から泊川河口沖水路に導水した際の全窒素の影響 (毎時結果は差値) [平成 18 年 2 月 15 日]

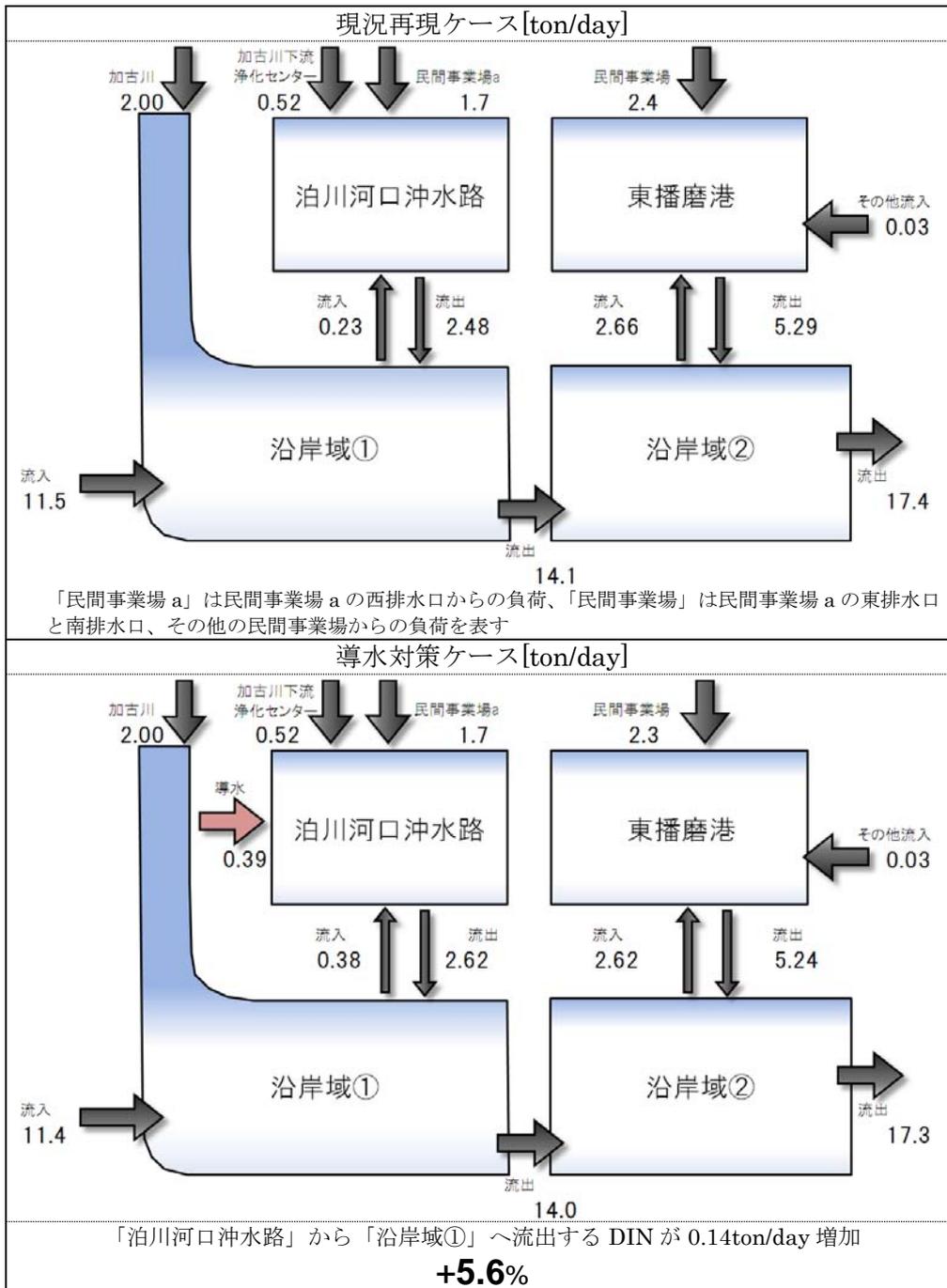


図 5.2-15 導水対策による DIN 輸送量の変化 (平成 18 年 2 月 1 日～28 日の平均)

(3) 海水交換防波堤（遊水室型）の設置

◇ 対策の特徴

◆ 港湾で生じている問題

港湾には一般的に静穏性の確保や水深の維持のために港口部に防波堤が造られ、港湾内に滞留域が生じ、港外と比較して富栄養化状態となっている。東播磨港においては民間事業場の排水が流入するとともに港湾内外の海水交換が低調であることから、港湾内の DIN 濃度が相対的に高くなっており、夏季には底層で貧酸素化が起こっている。一方で、港湾外では DIN 濃度が低下しており、ノリ養殖においては DIN の不足から色落ちが生じるまでになっている。陸域からの DIN の供給量は一定量が存在するものの、港湾外（沿岸～沖合域）に達していない理由として、港湾内外の海水交換量が少なく港湾内に窒素が溜まり、港湾内で窒素が循環してしまっていることが考えられる。

そこで、東播磨港における港湾内外の海水交換量を増加させるための対策として、波浪制御効果と海水交換機能を併せもつ防波堤について検討を実施した。



出典：兵庫のみなと（兵庫県港湾協会）より作成

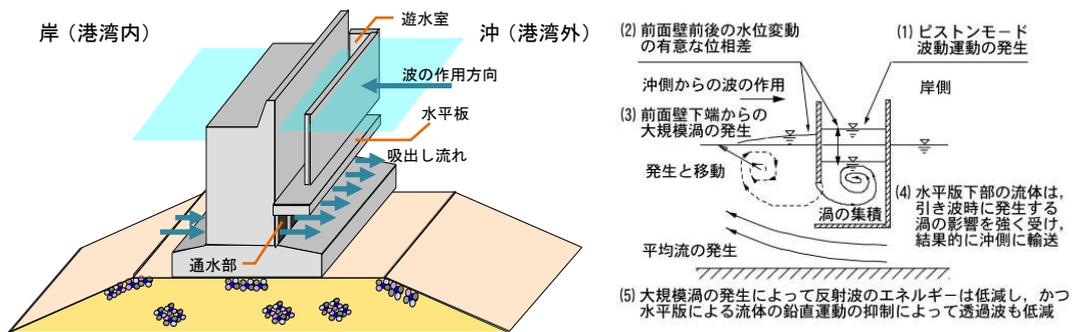
図 5.2-16 東播磨港の位置

◆ 海水交換防波堤（遊水室型）の概要

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、「波を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。本プランでは遊水室型の海水交換防波堤を施工した場合を想定した検討を行った。

海水交換防波堤（遊水室型）による平均流の発生機構の概念図を図 5.2-17 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。

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（遊水室型）としても、港湾外の低反射化、また港湾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。



出典 (右図) : 水工研技報 29 1~20, 平成 19 年

図 5.2-17 海水交換防波堤のイメージ

◇ 期待される効果

◆ 概要

海水交換防波堤（遊水室型）は港湾内の水塊を港湾外に排出し、港湾外の水塊でその不足分を補うことから港湾内外の海水交換が促進される。現在、東播磨港においては港湾内の DIN 濃度が高く、港湾外の DIN 濃度が低くなっており、DIN の偏在化が生じている。海水交換防波堤（遊水室型）の設置により DIN の偏在化の軽減が期待される。

東播磨港の沖合側の港口部には「東播磨港別府西防波堤」と「東播磨港別府東防波堤」の二つの防波堤が設置されている（図 5.2-18）。それら二つの防波堤を海水交換防波堤（遊水室型）に変えた場合の効果は次のとおりである。

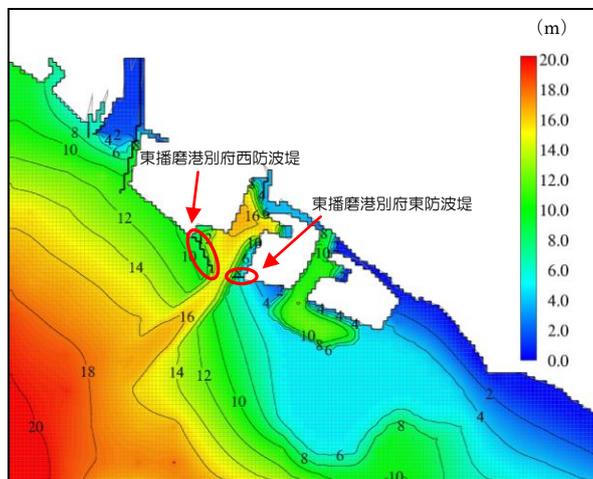


図 5.2-18 計算対象防波堤の位置

◆ シミュレーションモデルによる計算結果

防波堤の周辺水深は約 9m であり、波浪等の条件から 1 メッシュ (100m、底層)あたりの通水量を 40m³/s として計算を行った。波により発生する平均流の流量の算出方法は 5.3.3 に示す。

◆ トレーサーを利用した効果検証

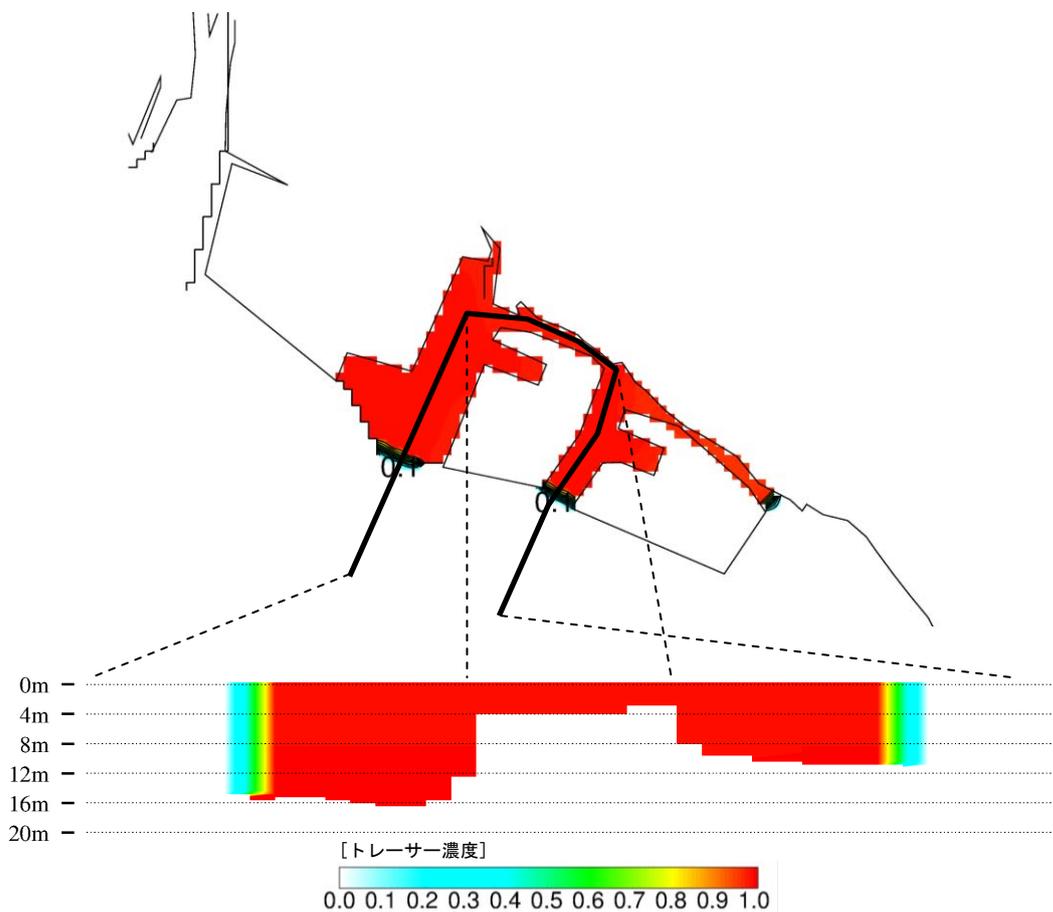
現況ケースと海水交換防波堤ケースについて、計算開始直後に図 5.2-19 に示す位置に濃度 1 の沈降しないトレーサーを投入した場合の第 1 層と第 8 層(海水交換防波堤の通水部がある層)

におけるトレーサー濃度の分布と流況の時間経過を図 5.2-20 に示す。

海水交換が行われる第 8 層の防波堤前面において、港湾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 つの防波堤を挟む航路部から港湾外の水塊が港湾内に侵入してくる様子が分かる。

また、現況ケースでは港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湾内の水塊が港湾外へ広く拡散しており、港湾外におけるトレーサー濃度が特に第 1 層において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 5.2-19 トレーサーの初期設定

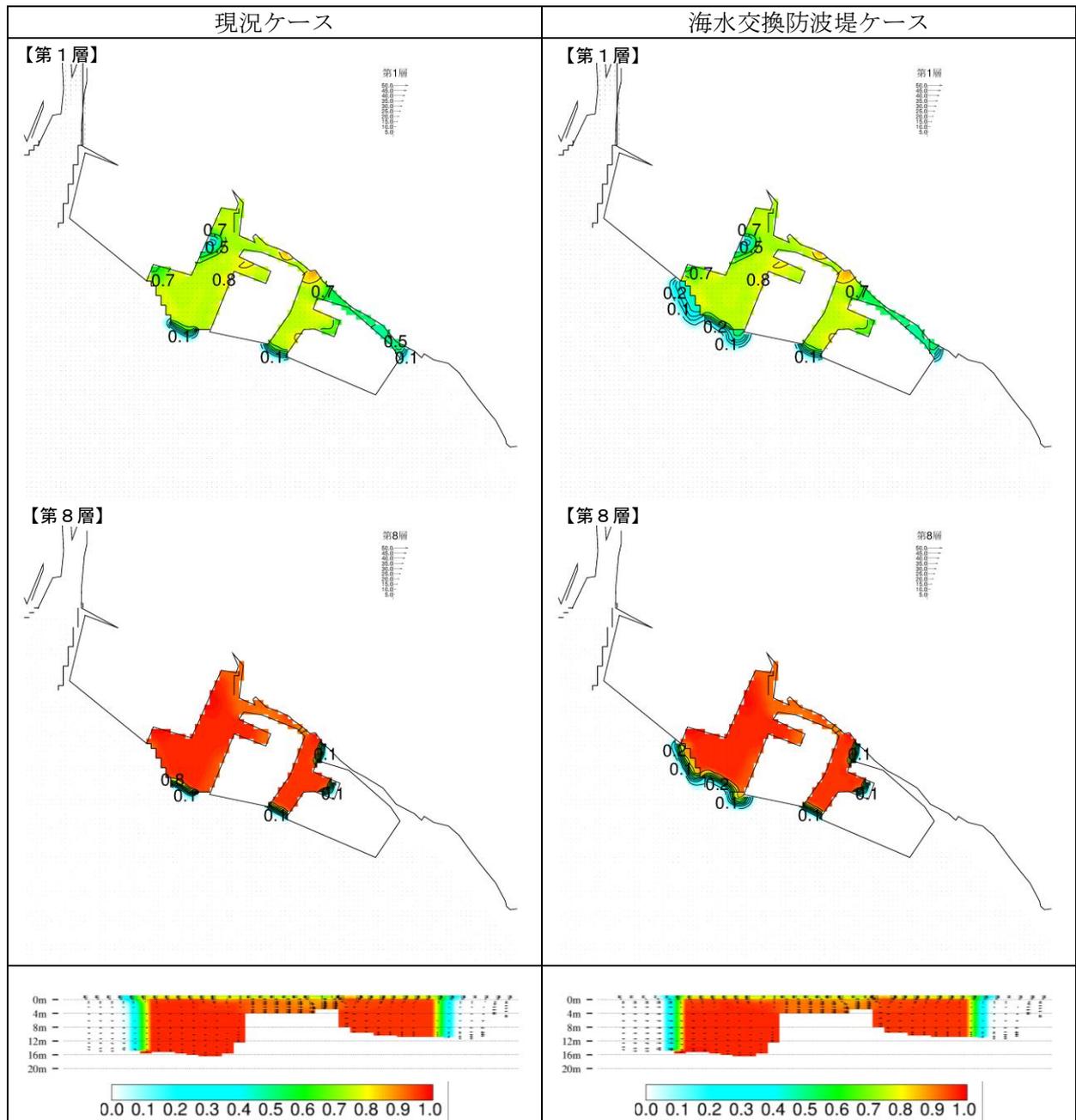


図 5.2-20 (1) トレーサー濃度の分布と流況の比較 (計算開始から0日12時間後)

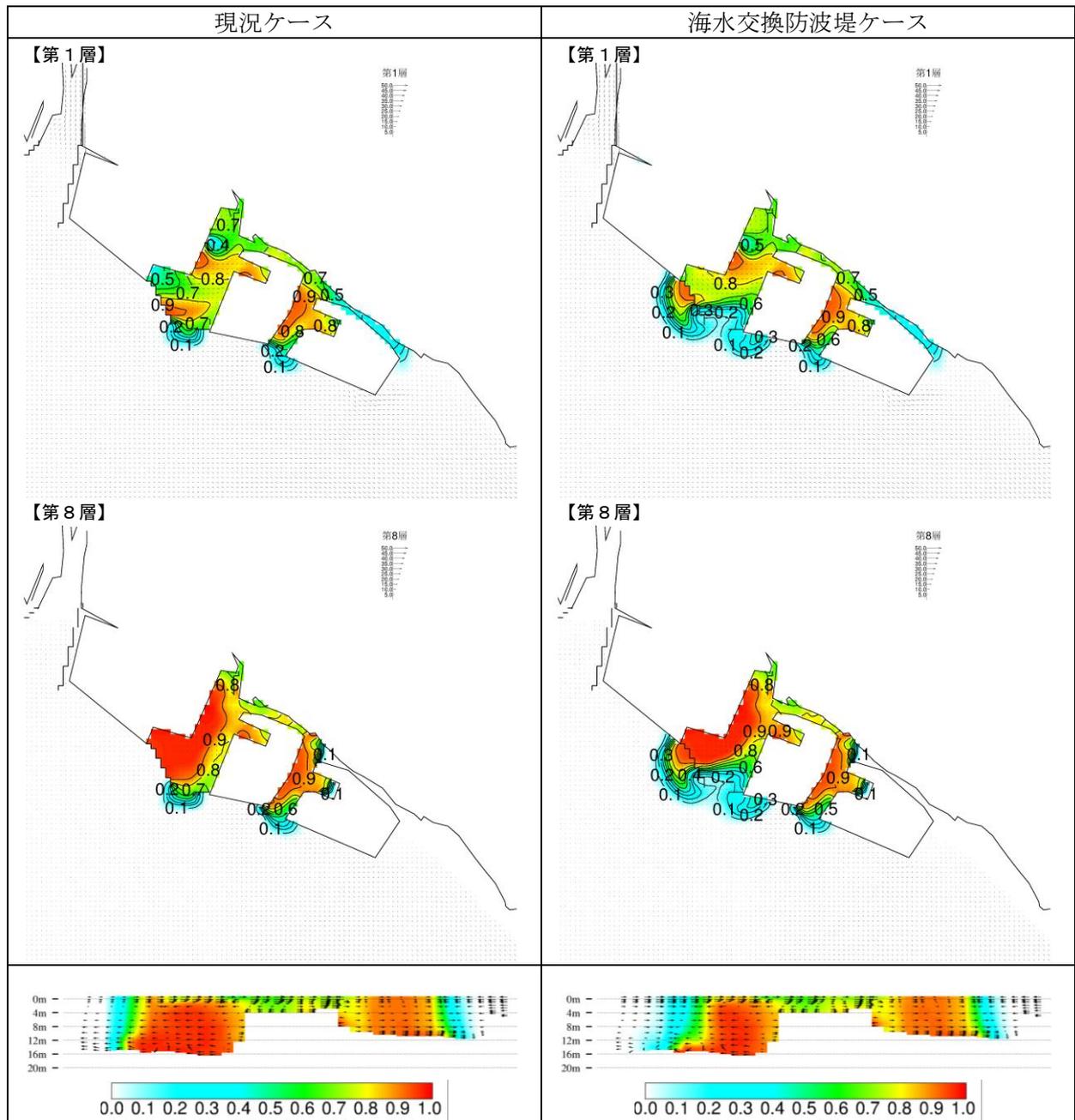


図 5.2-20 (2) トレーサー濃度の分布と流況の比較 (計算開始から1日0時間後)

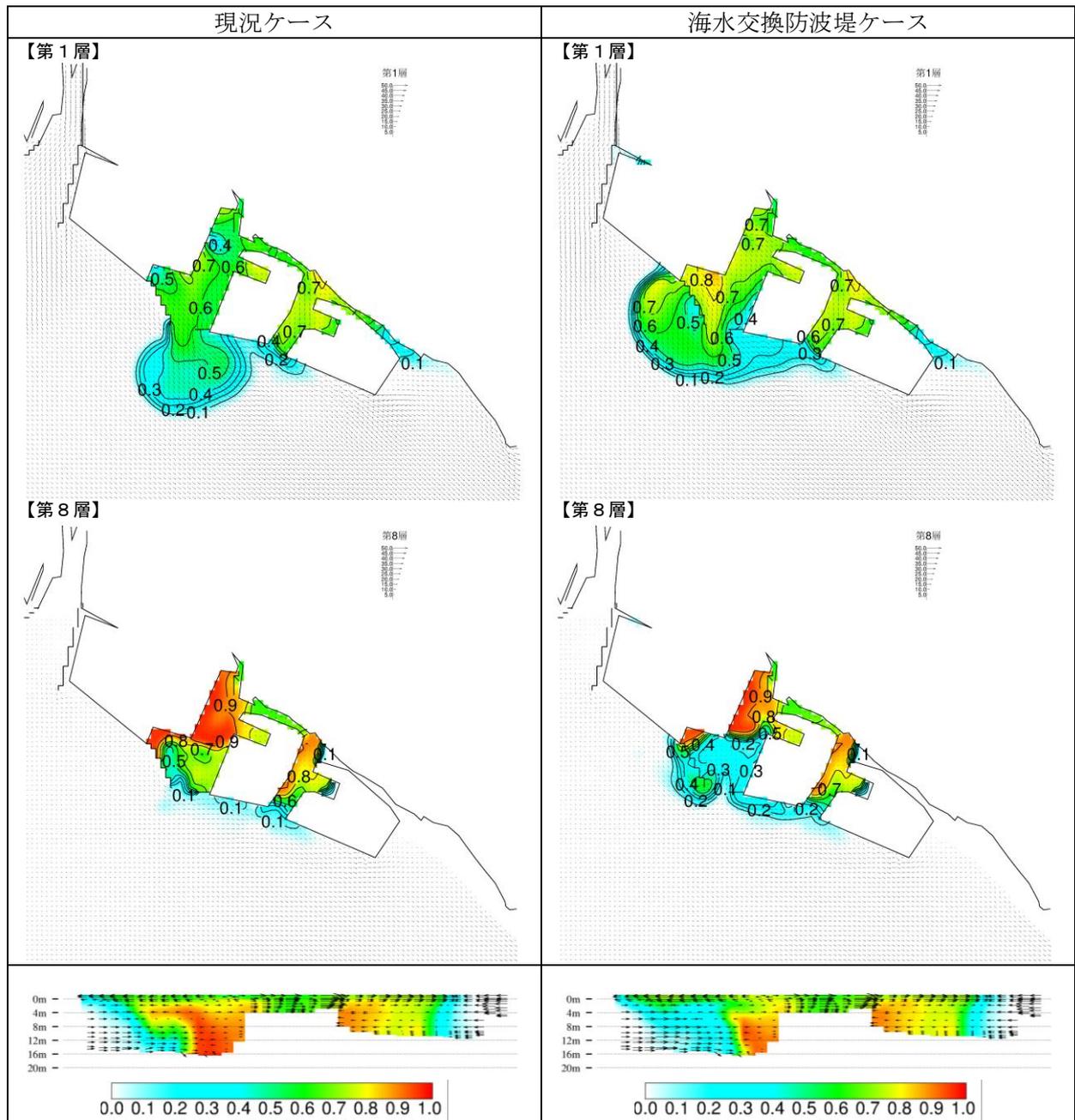


図 5.2-20 (3) トレーサー濃度の分布と流況の比較 (計算開始から1日12時間後)

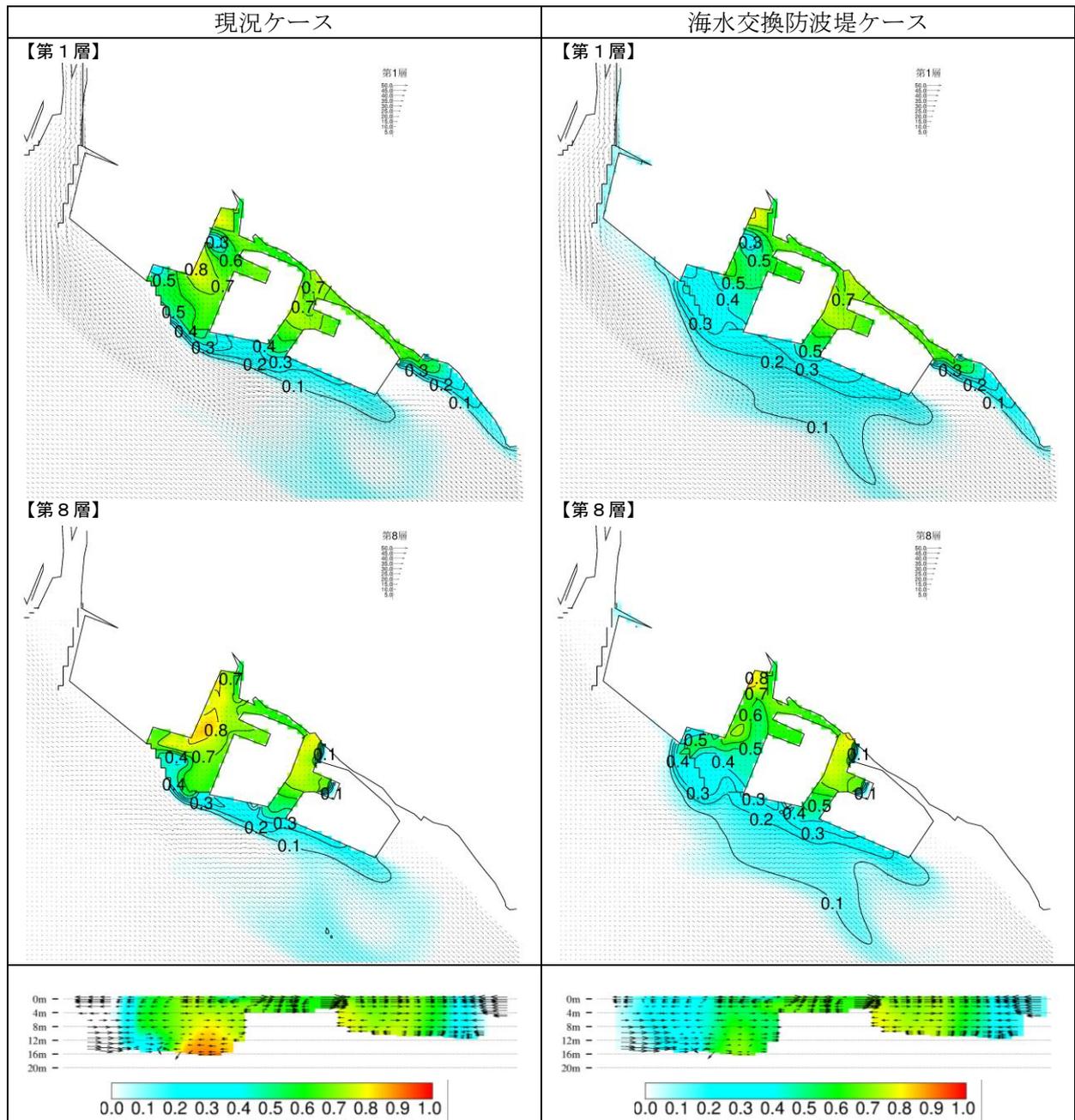


図 5.2-20 (4) トレーサー濃度の分布と流況の比較 (計算開始から2日0時間後)

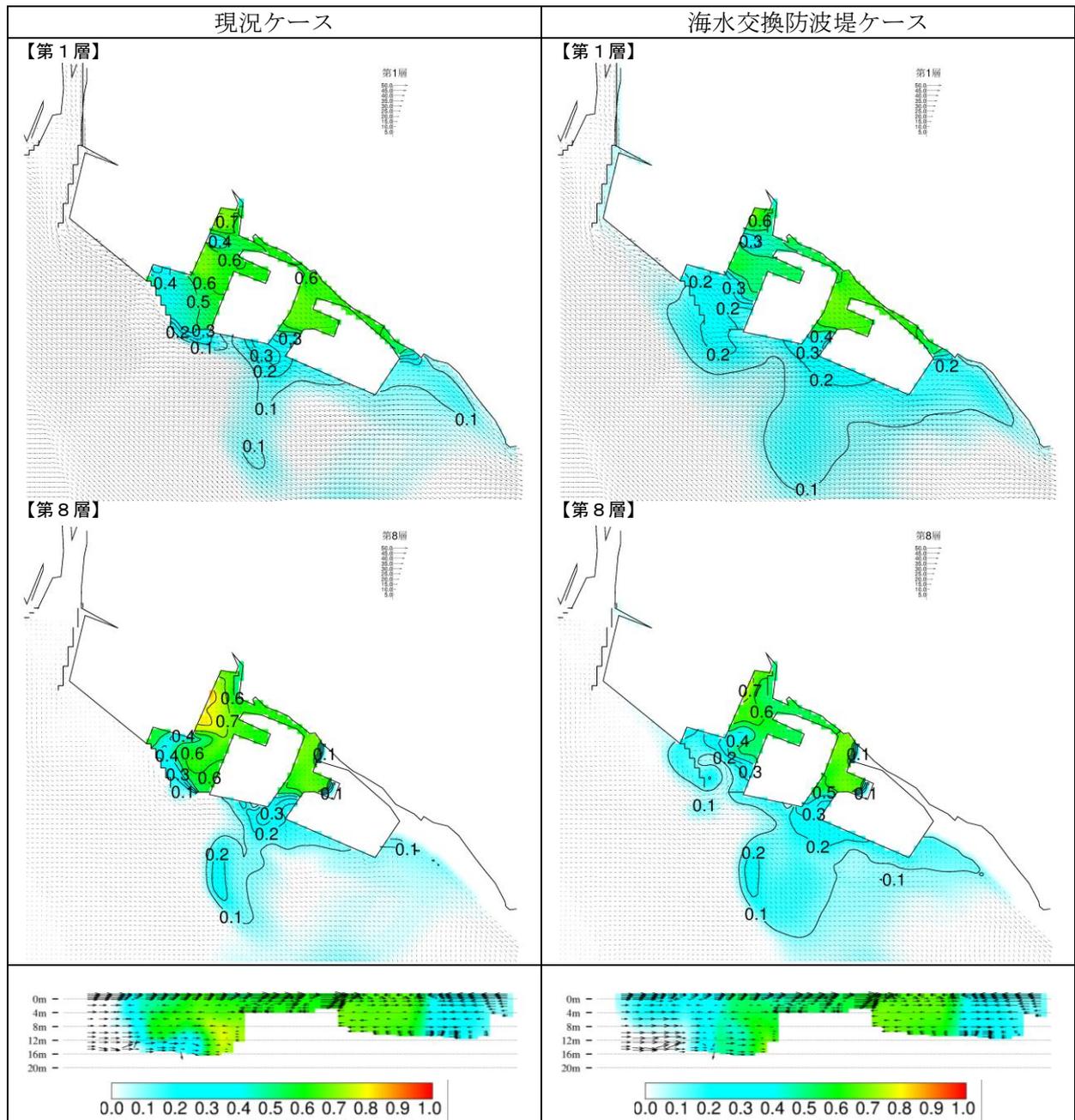


図 5.2-20 (5) トレーサー濃度の分布と流況の比較 (計算開始から2日12時間後)

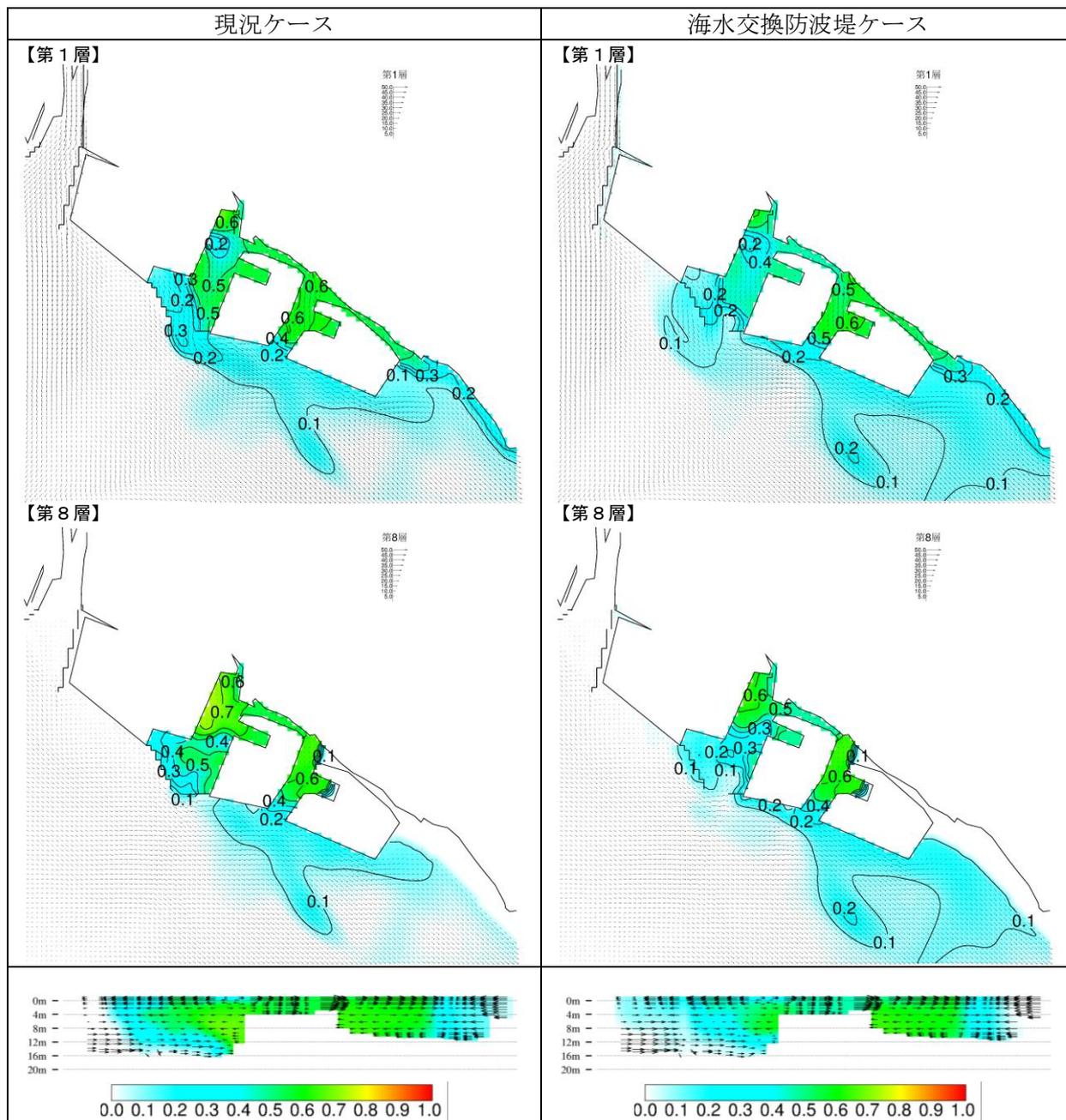


図 5.2-20 (6) トレーサー濃度の分布と流況の比較 (計算開始から3日0時間後)

海水交換防波堤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。検討の手順は次のとおり行った。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 5.2-21 左側）。②流れによるトレーサーの港湾外への流出や港湾内への新たな流入水（トレーサーを含まない）により、港湾内のトレーサーの平均濃度は低下していく（図 5.2-21 右側）。③この港湾内のトレーサー平均残留率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湾内平均残留率が $1/e$ に達するまでの時間を滞留時間として定義する。

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（遊水室型）の設置により 3 日と 5 時間程度にまで短縮でき、効果が東播磨港の別府地区から播磨地区、二見地区まで波及することを確認できた。

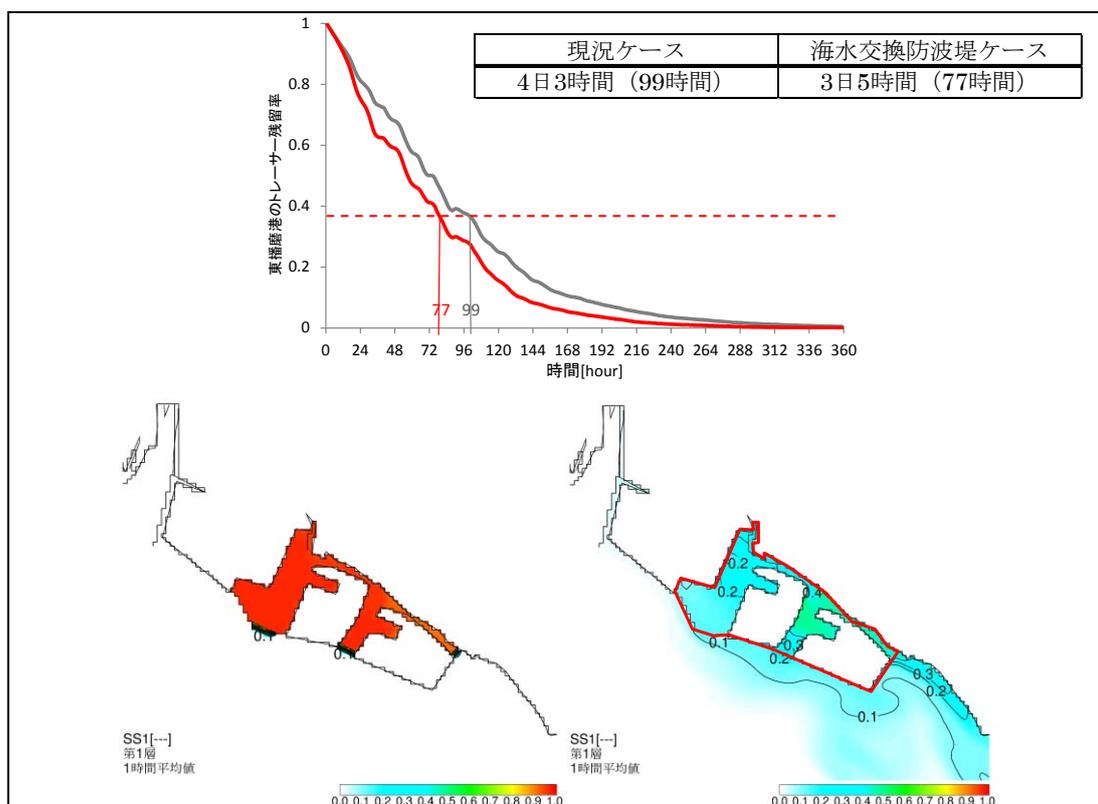


図 5.2-21 滞留時間の比較

◆ 窒素濃度分布と輸送量による効果検証

第 1 層の全窒素濃度の水平分布を図 5.2-22 に、対象海域を 4 つの海域（図 5.2-7）に区分けし、各区分けの DIN 輸送量を図 5.2-23 に示す。

港湾内の窒素濃度が減少するとともに港湾外に広く濃度が上昇する領域が確認できた。そのため、民間事業場 a が冷却水用に取水する海水の窒素濃度も上昇し、民間事業場 a の排水の影響範囲における窒素濃度も上昇していた。港湾外への DIN の供給効果については輸送量の増加からも明らかになっており、東播磨港から流出する DIN 輸送量が現況と比較して 286.5%増加していた。よって、当対策は DIN の偏在化の解消や沿岸～沖合域への DIN の供給に資すると考えられた。

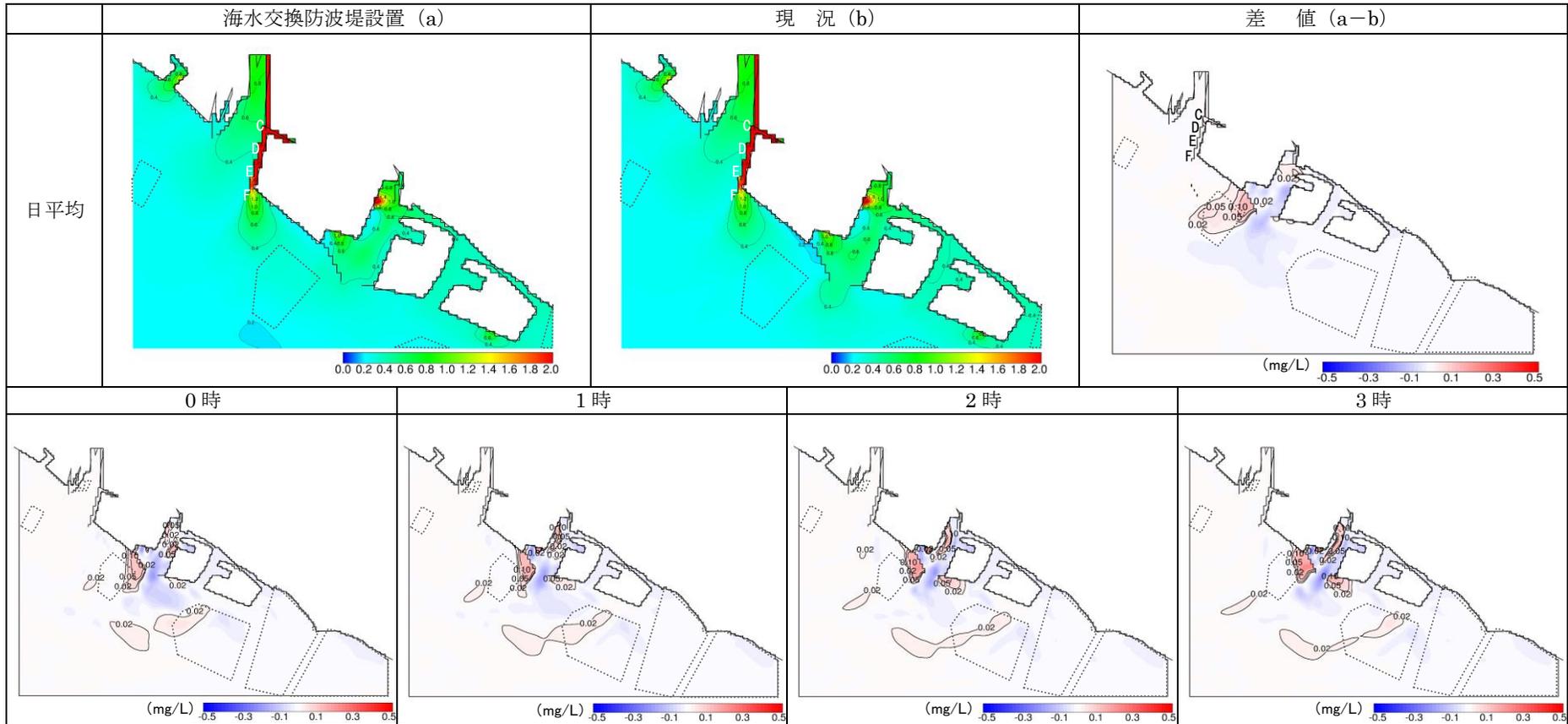


図 5.2-22 (1) 海水交換防波堤設置による全窒素の影響 (毎時結果は差値) [平成 18 年 2 月 14 日]

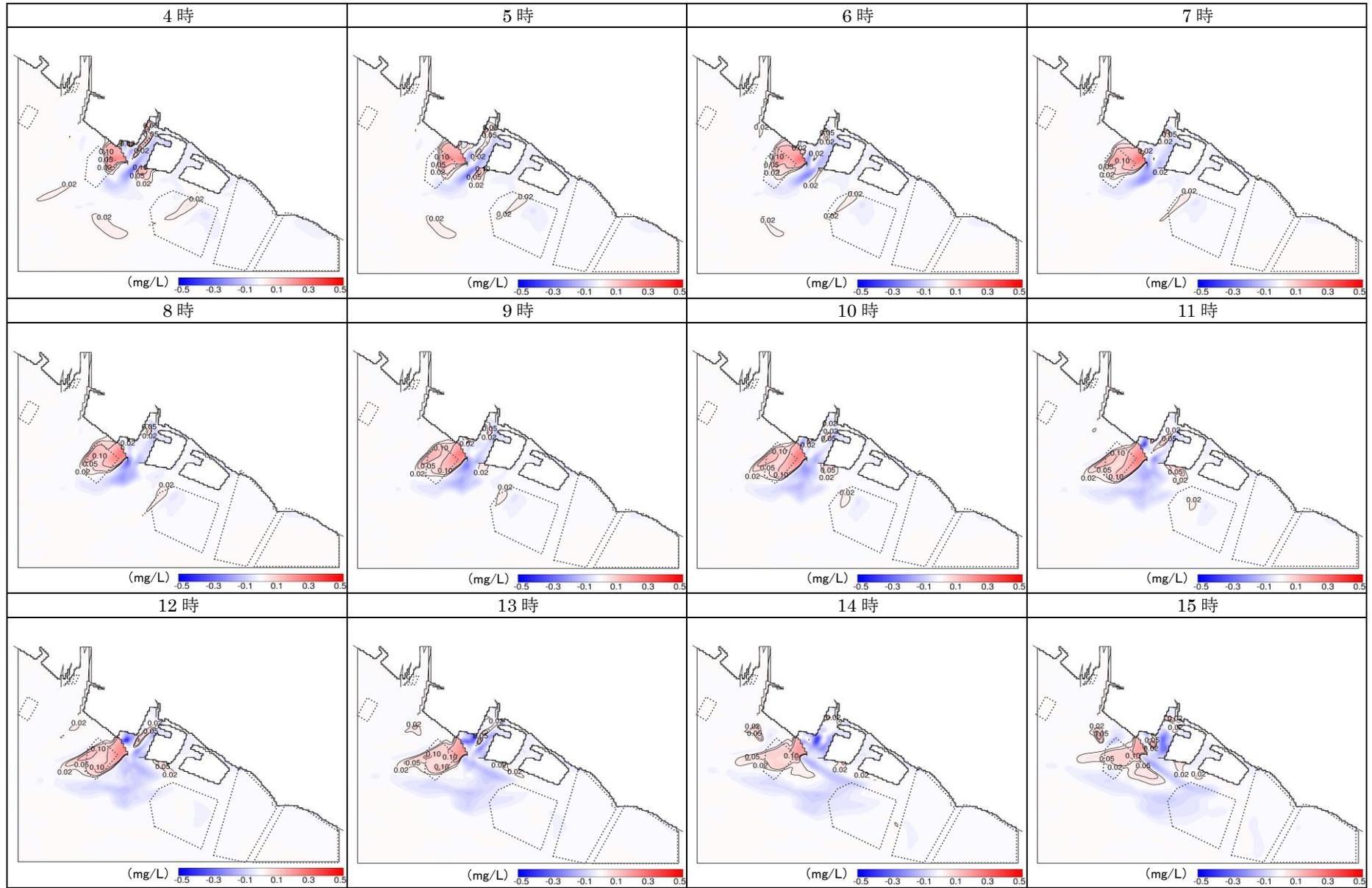


図 5.2-22 (2) 海水交換防波堤設置による全窒素の影響 (毎時結果は差値) [平成 18 年 2 月 14 日]

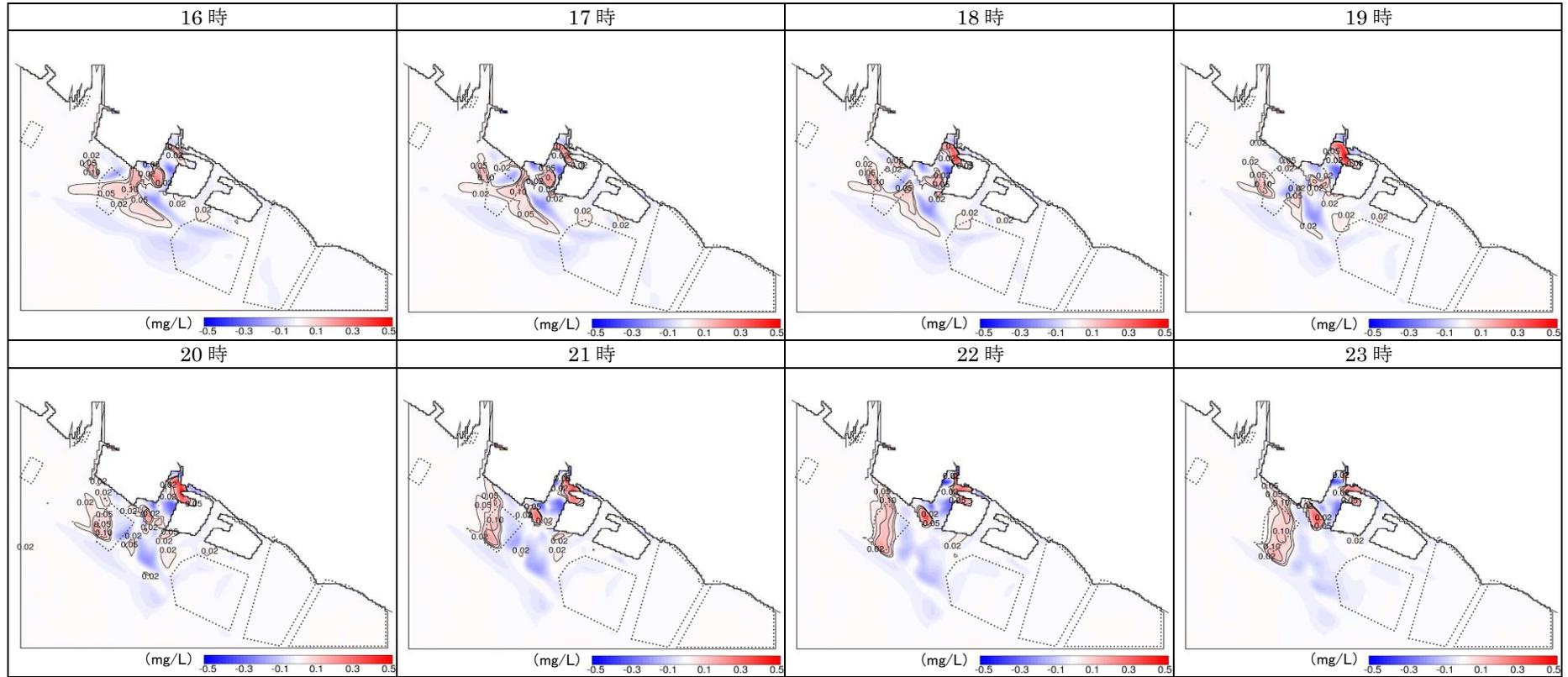


図 5.2-22 (3) 海水交換防波堤設置による全窒素の影響 (毎時結果は差値) [平成 18 年 2 月 14 日]

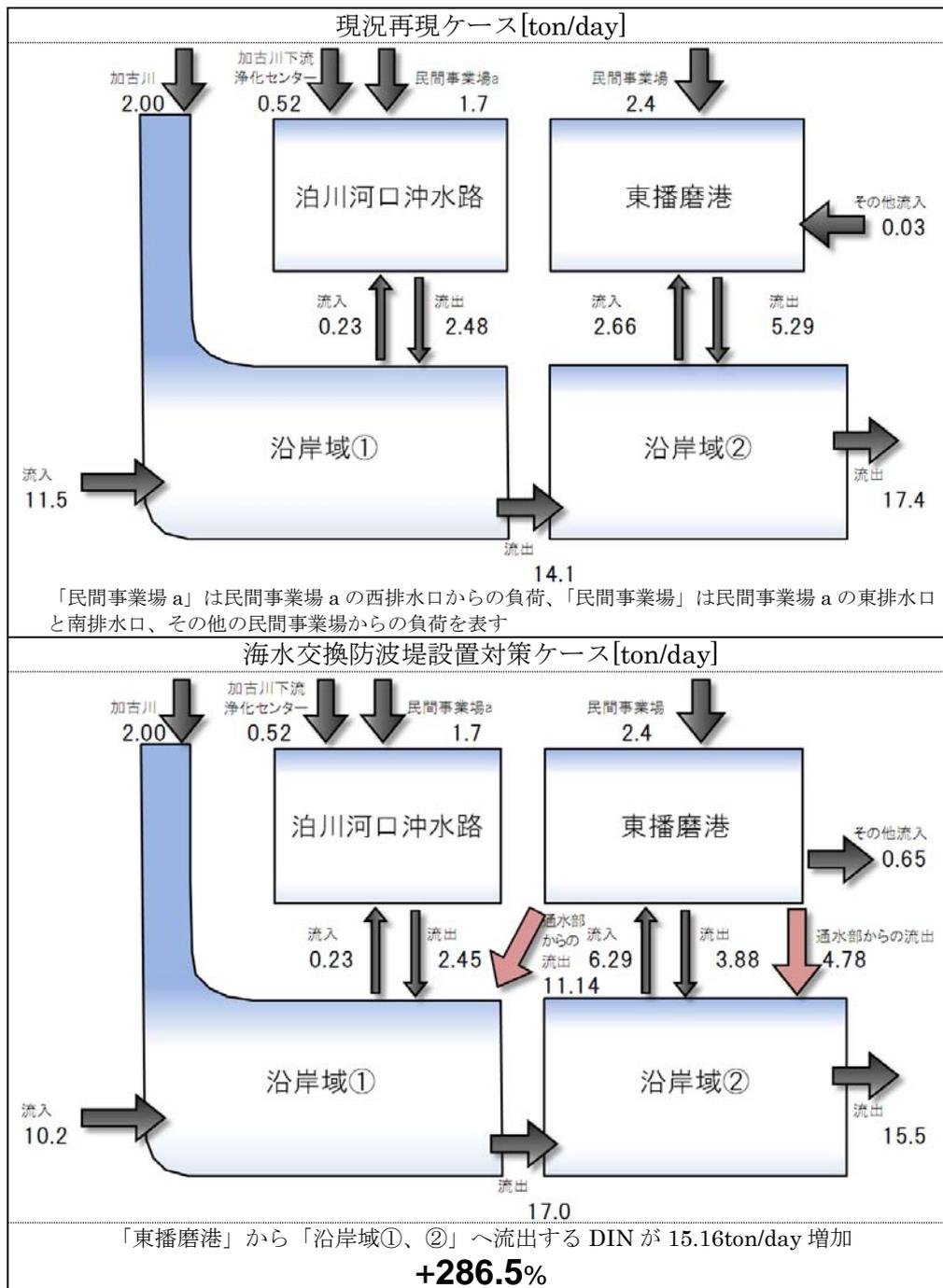


図 5.2-23 海水交換防波堤設置対策による DIN 輸送量の変化(平成 18 年 2 月 1 日～28 日の平均)

(4) 対策の組み合わせ効果

◇ 対策の特徴

加古川下流浄化センターでの窒素排出量増加運転は沿岸～沖合域の窒素濃度の上昇を目的としているが、現状で既に濃度が高止まりしている泊川河口沖水路内における濃度もさらに上昇することになる。そのため、泊川河口沖水路内の窒素濃度を下げる効果が期待できる「河川を利用した海水交換の促進対策」を同時に実施することにより、泊川河口沖水路内の濃度上昇を抑えながら、沿岸～沖合域の濃度の上昇を期待できると考えられた。

◇ 期待される効果

◆ 概要

河川を利用した海水交換の促進対策は効果確認のための試験的な対策の実施が難しいため、加古川下流浄化センターの窒素排出量増加運転との組み合わせ対策についてもシミュレーションモデルによる計算により対策効果を予測した。

◆ シミュレーションモデルによる計算結果

加古川下流浄化センターでの窒素排出量増加運転中の排水の設定条件は(1)と同様に DIN が通常時の 1.45 倍とし、河川を利用した海水交換の促進対策の設定条件は(2)と同様に加古川の表層水を取水して泊川河口沖水路の下層から 1m³/s で放水することとした。対策の実施による全窒素濃度の増減の変化を図 5.2-24 に示し、対象海域を 4 つの海域(図 5.2-7)に区分けした場合の各区分けの DIN 輸送量を図 5.2-25 に示す。

計算の結果、河川を利用した海水交換促進対策と同様に泊川河口沖水路内で濃度が減少し、沿岸～沖合域では窒素排出量増加運転の影響でさらに濃度が高く、影響範囲も拡大していた。

窒素排出量増加運転と導水の組み合わせ対策により、「泊川河口沖水路」から「沿岸域①」へ流出する DIN 輸送量が 0.38ton/day 増加しており、15.3%程度の増加の効果を得られている。窒素排出量増加運転の単独での実施した時の DIN 輸送量の増加は 8.1%、河川を利用した海水交換促進対策での増加は 5.6%であったことから、対策の組み合わせにより各対策の効果は相殺されず、合計した効果が期待できる。