

2 滞りの要因解析

2.1 播磨灘北東部地域における問題事象

「1 地域の栄養塩類循環状況」で示した情報収集結果や現地調査結果、シミュレーションモデルによる計算結果等から、播磨灘北東部地域におけるインパクトレスポンスフローは図16に示されるように想定できる。したがって、当地域で生じている問題としては次の2点が挙げられた。

- ・ 港湾奥部の滞留域における栄養塩類濃度の高止まり、夏季の底層の貧酸素化
- ・ 沿岸～沖合域での栄養塩類濃度の低下

栄養塩類の偏在化

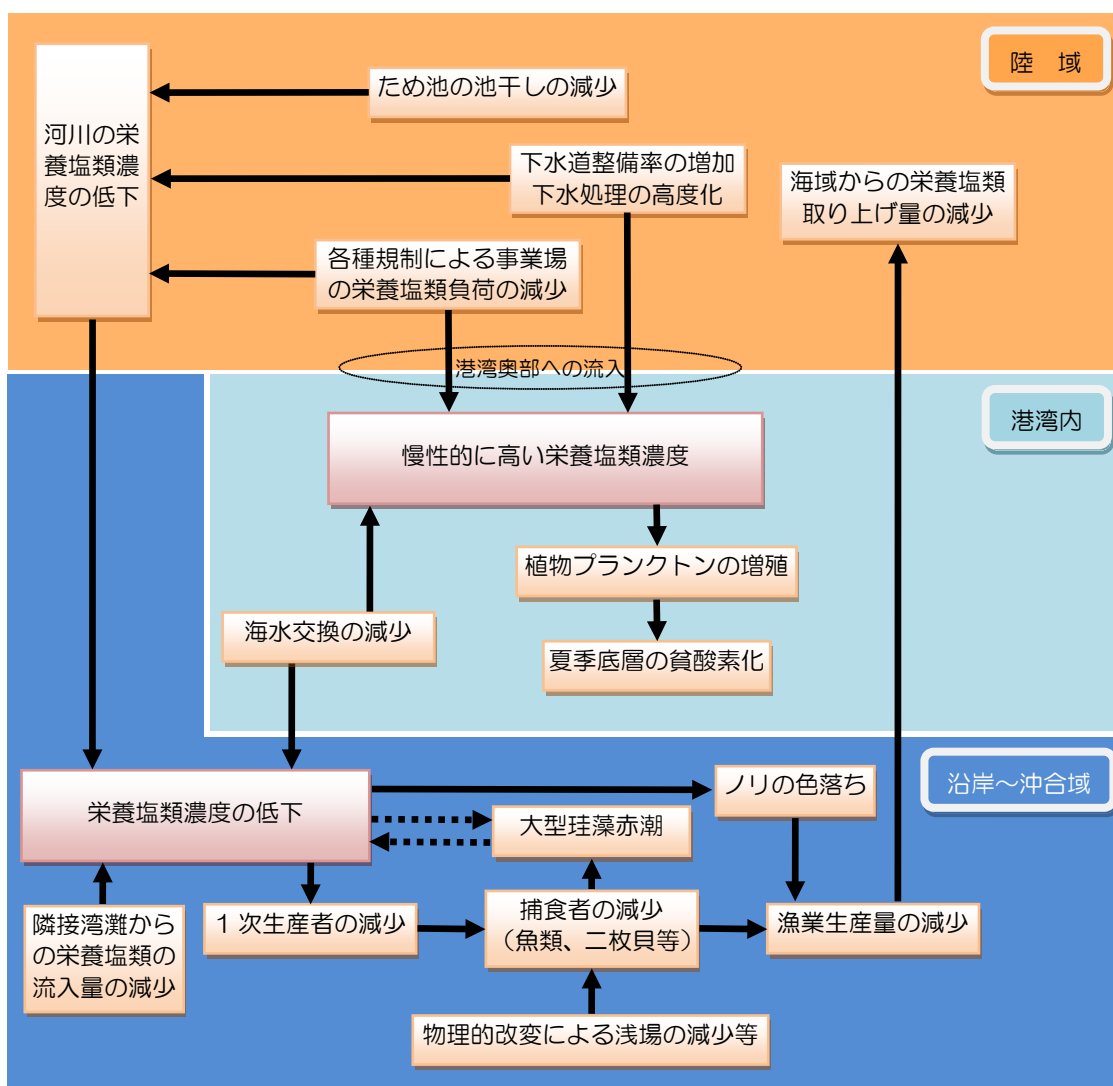


図 16 播磨灘北東部地域のインパクトレスポンスフロー

2.2 問題事象の要因

2.1 に挙げた播磨灘北東部海域において栄養塩類が偏在化している問題について、要因として考えられる事象は次のとおりである。

- ① 港湾奥部に事業場（下水処理場を含む）排水が流入
⇒臨海部に位置する大部分の事業場が排水を閉鎖的である港湾内に排出
- ② 港湾内の海水が滞留し、系外に栄養塩類が出にくい構造
⇒人工島や防波堤等の設置により閉鎖性海域が生じている
- ③ 陸域から沿岸～沖合域への栄養塩類の供給量の減少
⇒加古川の栄養塩類濃度の低下による海域への負荷量の減少、事業場の負荷量の減少
⇒港湾内外の低調な海水交換による港湾内から港湾外への栄養塩類の供給量の減少
- ④ 隣接する湾灘からの栄養塩類の供給量の減少
⇒播磨灘北東部地域と同様の現象が瀬戸内海各地で発生

2.3 シミュレーションによる要因の検証

2.3.1 検証方法

2.2 で挙げた①と③の要因について、問題事象との関連や影響の程度を確認するためにシミュレーションモデルにより計算を行う。それぞれの要因については下に示す3項目の個別の事象について解析を実施することにより、問題と要因の関係を予測することができると考えられる。なお、ここで挙げている個別の事象は要因を解析するために計算上で変化させているものであり、対策の検討ではない。

- I 加古川下流浄化センターの排水の影響
- II 加古川からの流入水の影響
- III 泊川河口に位置する民間事業場の排水の影響

表 5 問題発生の想定要因と検証する条件

問題発生の想定要因	検証する個別の事象
①港湾奥部に事業場（下水処理場を含む）排水が流入	I、III
③陸域から沿岸～沖合域への栄養塩類の供給量の減少	I、II、III

2.3.2 計算条件と計算結果

それぞれの要因に係る個別の事象について、計算結果等を以下に示す。

(1) 加古川下流浄化センターの排水の影響 (I)

泊川に排水している加古川下流浄化センターの排水量をゼロとして計算を行うことにより、加古川下流浄化センターの排水の影響の程度を調べた。

塩分：加古川下流浄化センターの排水は淡水であるため、それがなくなることにより泊川河口沖水路内の塩分が上昇している。

水温：泊川、泊川河口沖水路の水温が低下しているが、奥部の東西方向の水路では混合の減少や滞留化により水温が上昇している。

T-N、T-P：泊川河口沖水路内のT-Nの濃度が減少したが、事業場排水の影響で依然として濃度が高い。

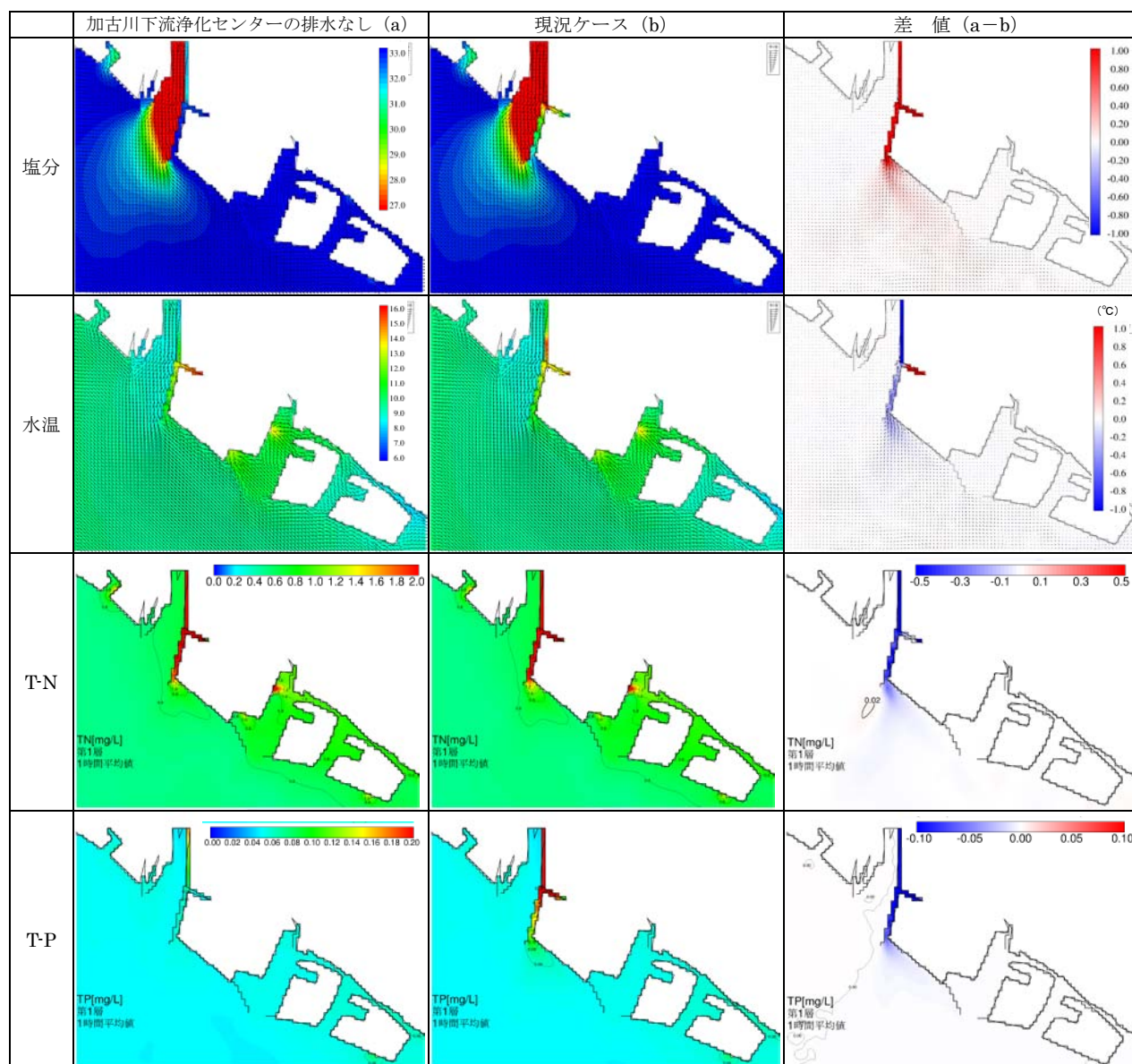


図 17 加古川下流浄化センターの排水の影響 (日平均)

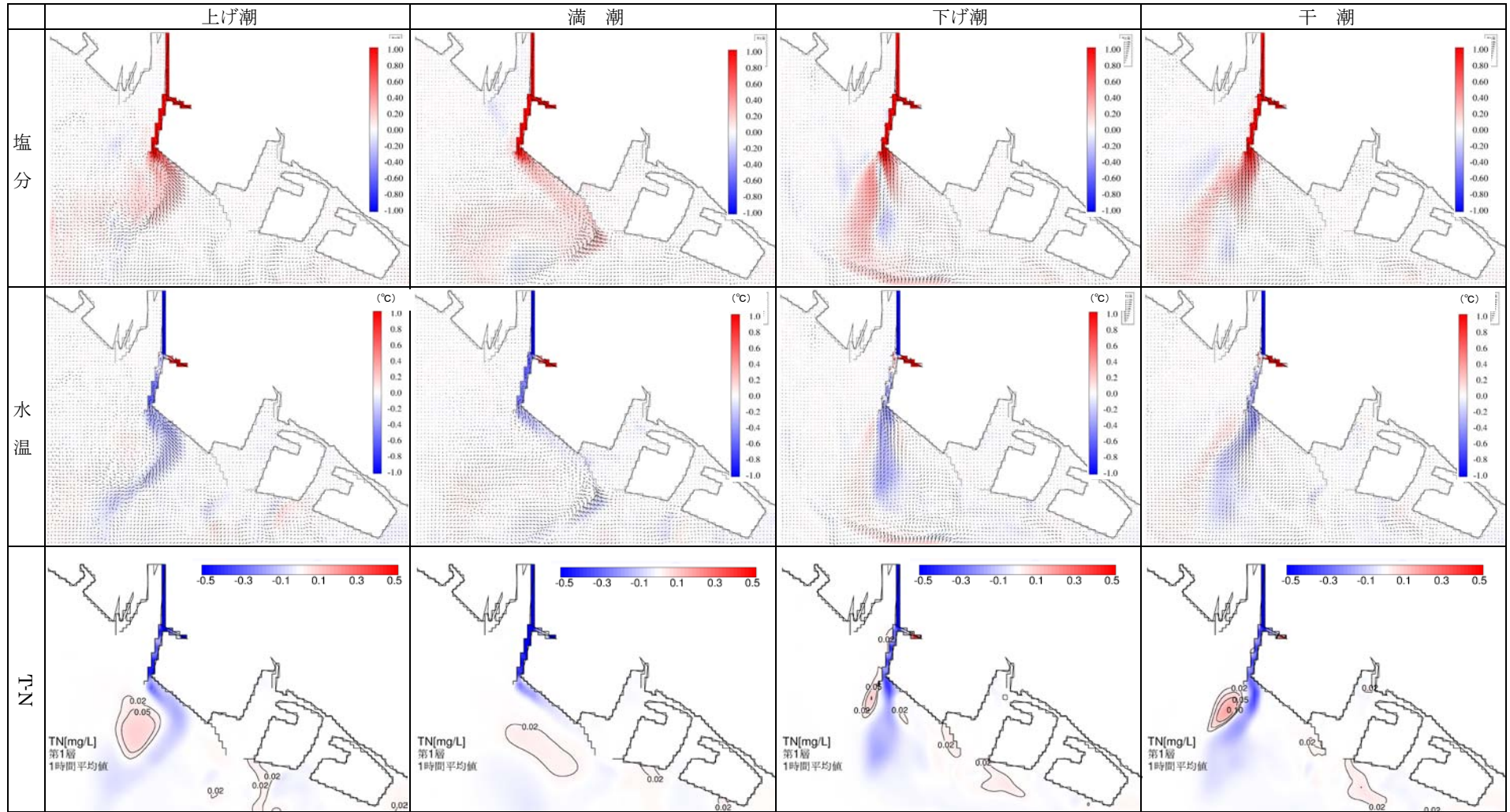


図 18 加古川下流浄化センターの排水の影響 (差値)

(2) 加古川からの流入水の影響 (II)

加古川からの流入量をゼロとして計算を実施することにより、加古川の流れや栄養塩類の影響を調べた。

塩分、水温：沿岸域の分布状況が変化し、流れ場自体も大きく変化している。

T-N：泊川河口沖水路や東播磨港とその港口前面で濃度が高くなっており、加古川河川水が泊川河口沖水路や東播磨港内外の水循環を助長していると考えられた。

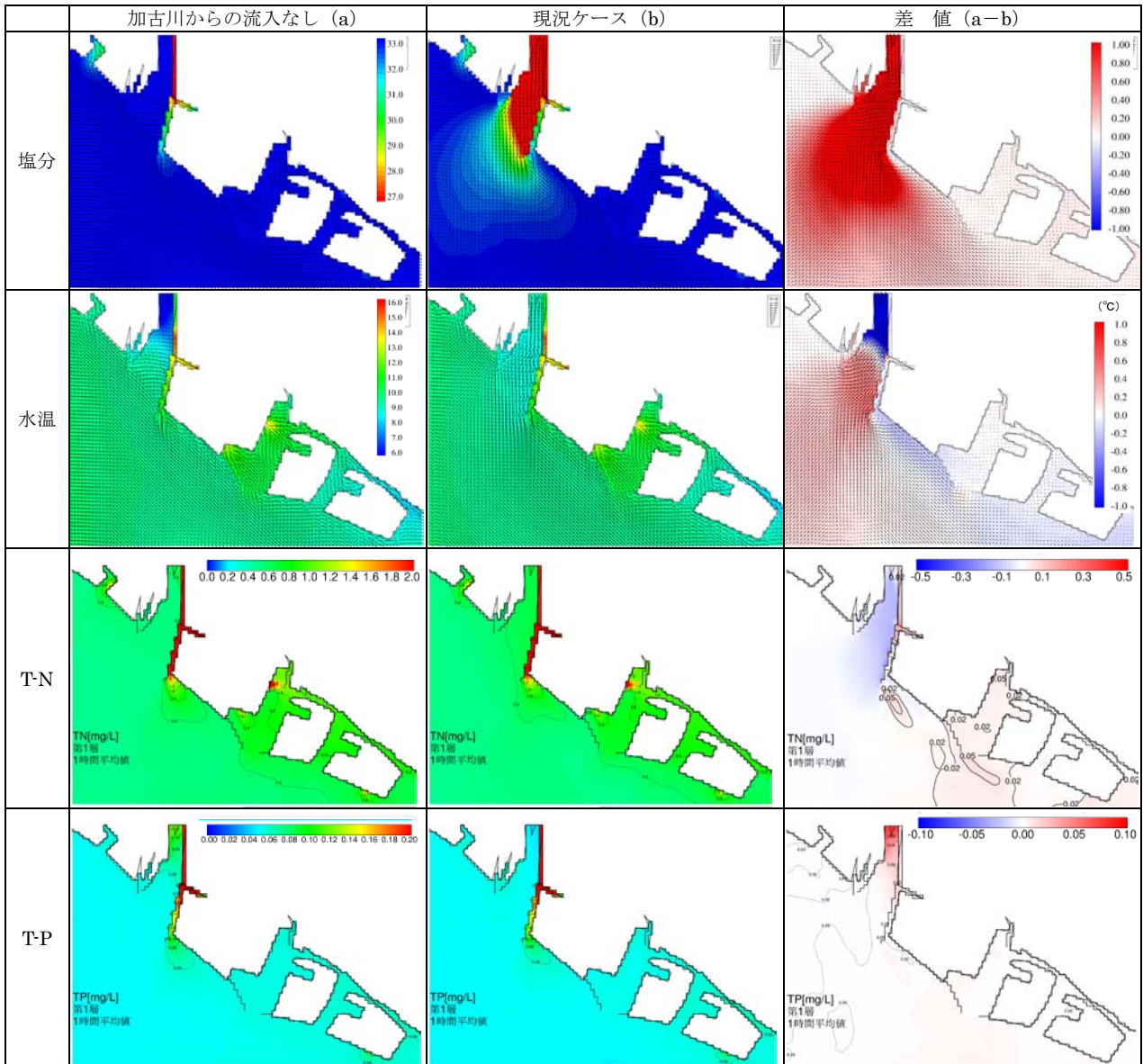


図 19 加古川からの流入水の影響 (日平均)

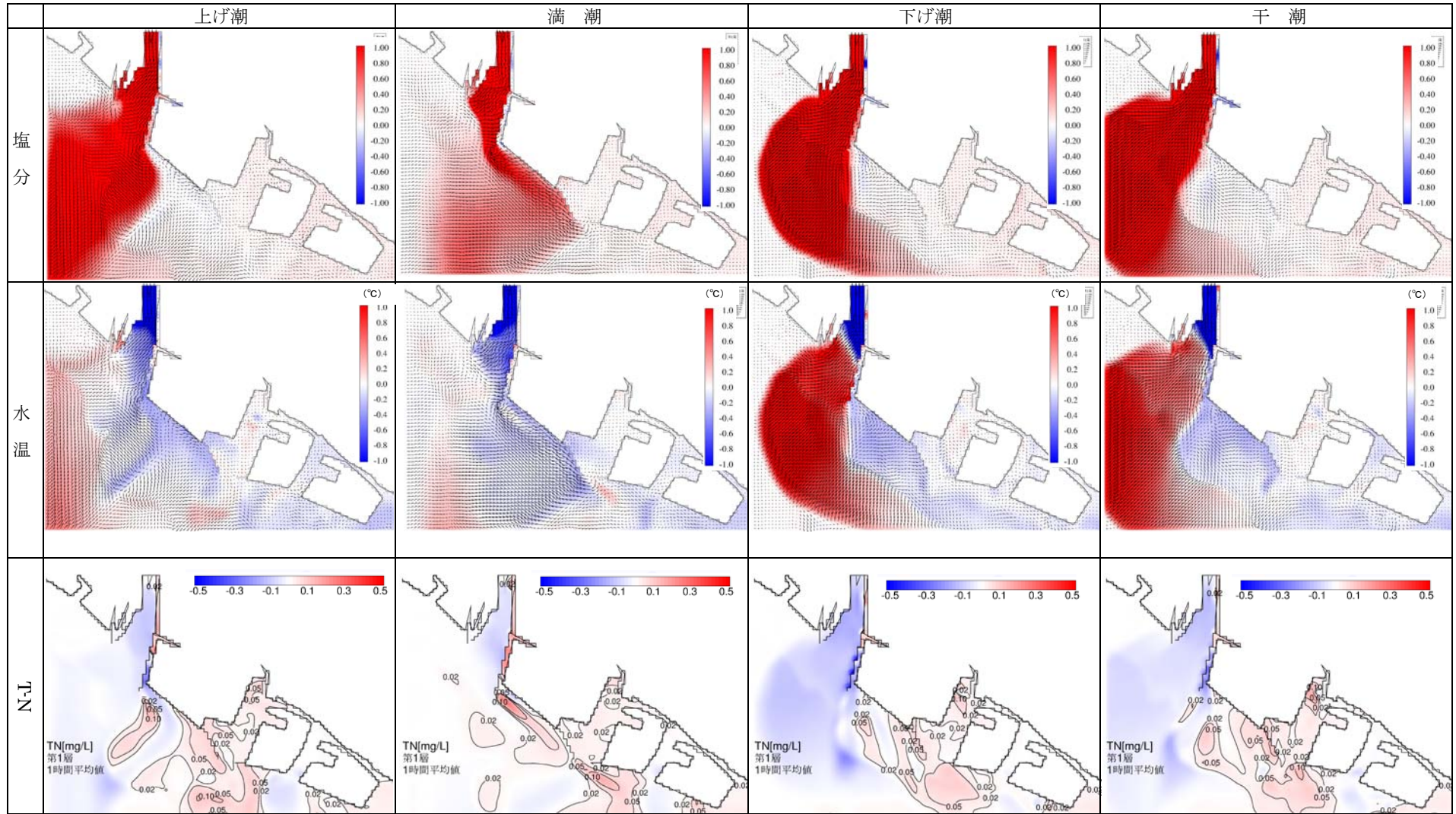


図 20 加古川からの流入水の影響 (差値)

(3) 泊川河口に位置する民間事業場の排水の影響 (Ⅲ)

泊川河口に位置する最も栄養塩類負荷量の大きい民間事業場の排水量をゼロとした場合を計算することにより、排水による流れや栄養塩類の影響を調べた。

塩分：泊川河口沖水路内が低塩分化している。民間事業場の海水に近い濃度の排水がなくなったことと、流れが抑制されて滞留化していることが要因とみられる。

水温：泊川河口沖水路内と東播磨港の水温が低下している。民間事業場の高温の排水がなくなったことと、流れが抑制されたことが要因とみられる。

T-N：水温と同様の傾向で、泊川河口沖水路内と東播磨港の濃度が低下している。

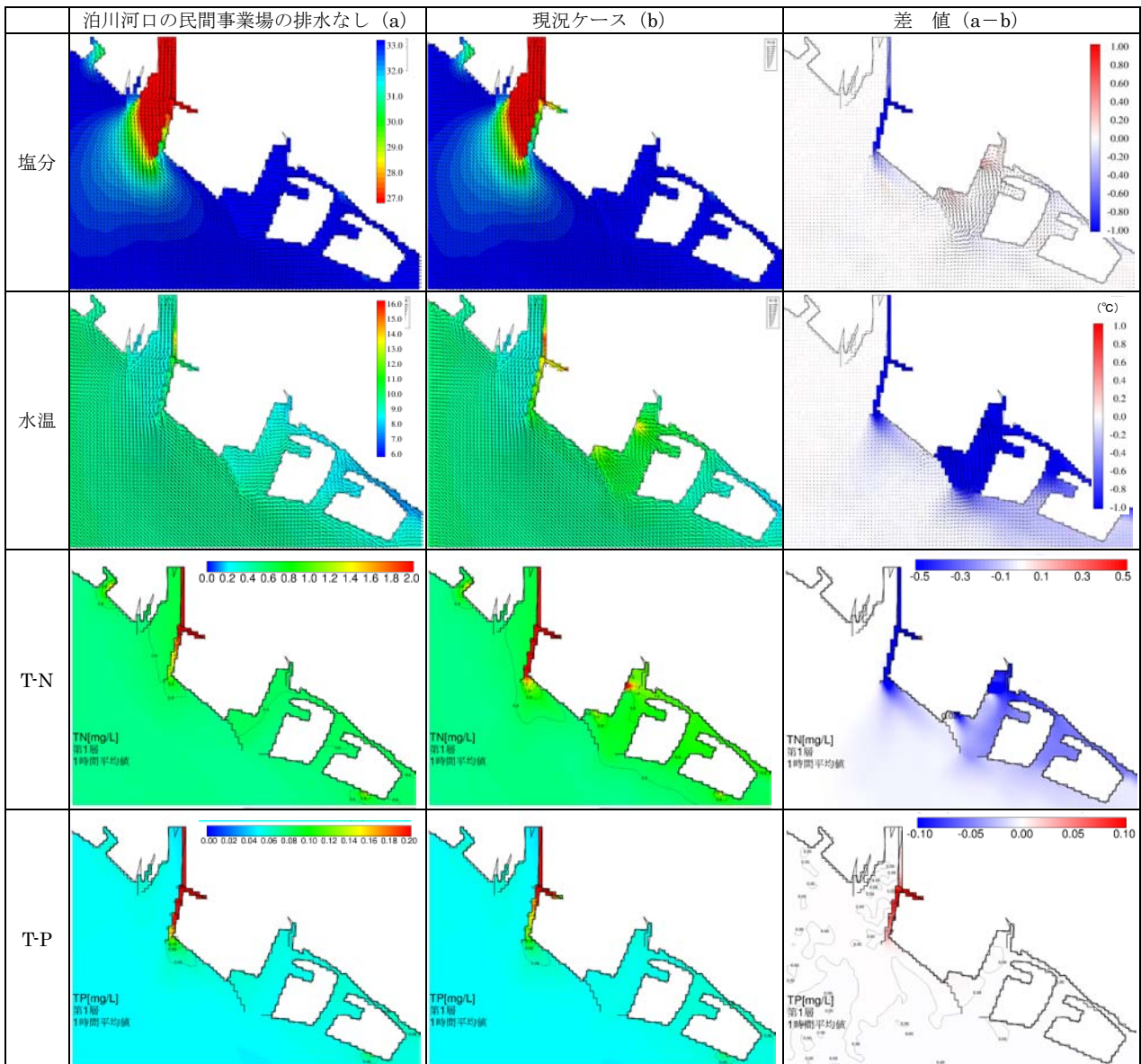


図 21 泊川河口に位置する事業場の排水の影響 (日平均)

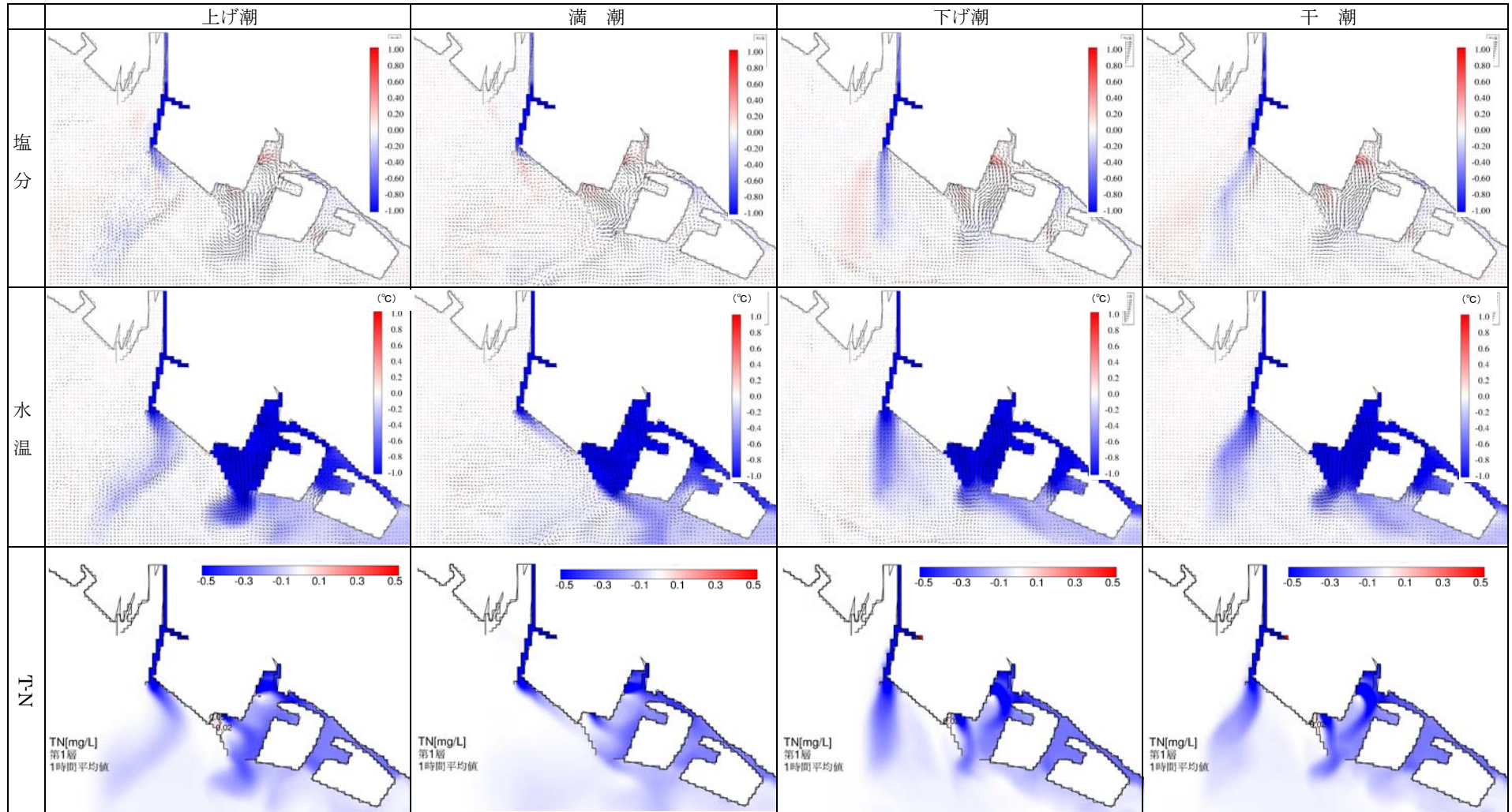


図 22 泊川河口に位置する事業場の排水の影響（差値）

2.3.3 まとめ

下水処理場を含む事業場の排水が港湾内の高い栄養塩類濃度に大きな影響を与えている状況や、加古川や事業場等の陸域からの栄養塩類の供給が沿岸域の濃度形成に関係していることが明らかになった。また、加古川から大量の淡水が海域に流入することにより、港湾内外の海水交換を助長する働きがあり、港湾内外の海水交換が適正な栄養塩類の状態を実現するうえで重要であることが分かった。よって、港湾内の滞留化が問題となっている海域においては、近傍の大きな河川の流入水を効果的に利用することも港内の環境改善の一つの方法となり得る可能性が示唆された。

これらの結果については対策の検討を行う際に参考とするとともに、任意地点での濃度変化量等の詳細な解析を今後実施することにより、定量的に要因を解析することとする。

3 循環バランス向上対策

3.1 概要

播磨灘北東部地域においては情報収集、現地調査、シミュレーションモデルによる現況再現の結果等から、「港湾奥部の滞留域における栄養塩類濃度の高止まり、夏季の底層の貧酸素化（①）」や「沿岸～沖合域での栄養塩類濃度の低下（②）」が生じており、栄養塩類の偏在化が問題として挙げられた。

また、滞りの要因解析の結果として、上記の問題の①と②の要因は下水処理場を含む事業場の排水や加古川からの流入水、港湾内外の海水交換の影響が示されたことから、当地域における循環バランスの向上対策としては表 6 に示す対策案が考えられた。対策案については特徴（利点）を示すとともに課題や問題点についても示した。

表 6 に示された対策のうち、加古川下流浄化センターの窒素排出量増加運転と河川を利用した海水交換の促進対策については、平成 23 年度にもシミュレーションモデルを用いた効果検証を実施したが、平成 24 年度にモデルの改良を実施したことから再度検証を実施することとした。なお、3.2 と 3.3 でシミュレーションモデルによる計算結果を示しているが、詳細な対策効果の検証、評価については科学的な知見等を参考に今後実施する予定である。

加古川下流浄化センターの窒素排出量増加運転と河川を利用した海水交換の促進対策を組み合わせた対策やその他の対策については、シミュレーションモデルによる計算が可能であるか、播磨灘北東部地域ヘルシープランの行動計画に採用するか等を検討したうえで、適切な対策を抽出し効果検証を実施していくこととする。

表 6 播磨灘北東部地域の問題解決のための対策案

対策名	特 徴	課題、問題点
加古川下流浄化得センターの窒素増加運転 【②】	<ul style="list-style-type: none"> ・ 通常は高度処理を実施しているが、冬季に硝化抑制・脱窒抑制運転を実施することにより排水中の窒素濃度を増加させる。 ・ 民間事業場に比べて排水の濃度管理が実施しやすい。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 播磨灘流総計画や排水基準、総量規制基準等の目標値や規制基準値を考慮する必要があり、濃度の増加分が限定的である。 ・ スカムの発生や DO の管理により現場作業量が増加する。 ・ 瀬戸内海環境基本計画や兵庫地域公害防止計画等の計画においては高度処理を進めるとされており、整合性に関しての説明が必要である。
民間事業場の排水の栄養塩類濃度の増加 【②】	<ul style="list-style-type: none"> ・ 臨海部に位置する民間事業場の排水の栄養塩類濃度を増やすことにより、海域の栄養塩濃度が増加することが期待される。 ・ 当海域における民間事業場の栄養塩類排出量が占める割合が高いため大きな効果が期待される。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 平成 23 年度に実施した民間事業場を対象としたヒアリングの結果から、大部分の事業場では排水の濃度を増加させることは困難であると予想される。
河川を利用した海水交換促進対策 【①、②】	<ul style="list-style-type: none"> ・ 加古川の河川水を泊川河口沖水路内の底層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。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 水路内の流量が増加し流れが変化するため、船舶への影響等について考慮する必要がある。 ・ 河川管理者あるいは港湾管理者の許可が必要となる。 ・ ポンプを使用する場合、設置費用や維持管理費用等について検討が必要である。
事業場排水の排水口位置の変更 【①、②】	<ul style="list-style-type: none"> ・ 加古川下流浄化センターの排水を加古川に直接流すことで、河川の流れを利用して沖合域まで栄養塩を拡散させる。 ・ 港湾奥部に排水している民間事業場の排水を港外に変えることにより、港湾内の富栄養化の防止と沿岸～沖合域の栄養塩類濃度の増加が期待される。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 排水口の位置を変えるには大規模な土木工事が必要となり費用的に難しい。 ・ 環境事故が発生した際に有害物質が広範囲に広がってしまう可能性がある。 ・ 港湾内への流入水量の減少により港湾内の停滞性が増加する可能性がある。 ・ ノリ区画によっては現状より栄養塩類濃度が減少する可能性がある。
出水時の流出負荷の平準化 【①、②】	<ul style="list-style-type: none"> ・ 下水処理に関する出水時の対応について、出水時に蓄えた栄養塩を出水後にコンスタントに供給されるような管理を実施する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 出水時のオーバーフローの状況等、現況の水質や流量の把握が必要となる。 ・ 施設の更新費用の確保や関係機関との調整が必要である。
ため池の池干し 【②】	<ul style="list-style-type: none"> ・ 冬季にため池の水を抜く池干しを実施し、池に溜まった栄養分を海域に供給する。 ・ 池干しの実施はため池の維持管理上において良い。 ・ 漁業者と農業者の協働による取組であり、社会的意義が大きい。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 池干しの実施による栄養塩類の供給量は河川や事業場からの供給量と比べると少量である。 ・ 池の管理主体の高齢化や権利等の問題で池干しを実施できる箇所が限られている。
海水交換防波堤の設置 【①、②】	<ul style="list-style-type: none"> ・ 港内の水質改善のために波浪制御効果と海水交換機能を併せもつ防波堤を設置する。港内から港外への高栄養塩水の供給も期待される。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 設置費用が大きいと予想されるため、防波堤の改修に合わせて導入する等の工夫が必要となる。 ・ 精度の高い効果予測と、設置後の効果の検証が実施される必要がある。

※ 対策名に書かれた数字は以下の問題のどちらへの対応であるかを示している。

- ① 港湾奥部の滞留域における栄養塩類濃度の高止まり、夏季の底層の貧酸素化
- ② 沿岸～沖合域での栄養塩類濃度の低下

3.2 加古川下流浄化センターの窒素排出量増加運転

加古川に隣接する泊川の河口に位置する加古川下流浄化センターについて、排出する窒素濃度を増加させる場合（窒素排出量増加運転の実施）の効果を検討した。

これまでに実施された通常運転時と窒素増加運転時の水質分析結果から、窒素排出量増加運転時の形態別の窒素濃度は通常時に比べて表 7 に示すような倍率になっていた。そこで表 7 の関係を満たすように、全窒素の流入負荷量を 1.39 倍にし、窒素の分画比を表 8 のように設定することで、物質収支モデル上での窒素排出量増加運転時を想定した計算を行った。計算結果を図 23 に示す。

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、窒素排出量増加運転によって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全窒素濃度が増加している様子が確認された。

表 7 窒素排出量増加運転時の各態の窒素濃度の倍率

項目	倍率
全窒素濃度	1.39 倍
NH ₄ 濃度	(4.09 倍)
NO _x 濃度	1.36 倍
DIN濃度	1.45 倍

表 8 窒素の分画比の設定

	通常運転	窒素増加運転
DIN/全窒素	0.73	0.76
NH ₄ -N/DIN	0.42	0.42

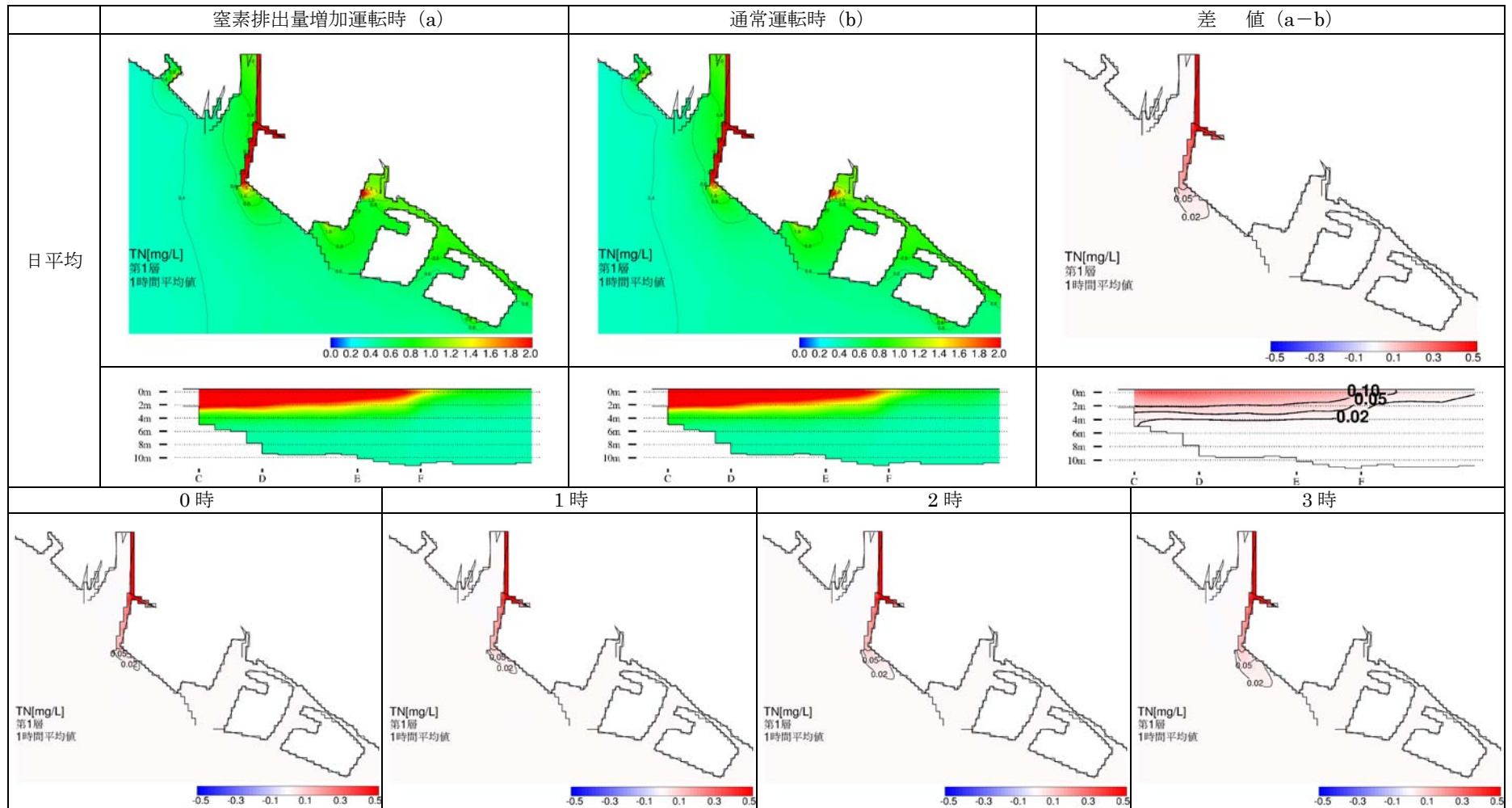


図 23 (1) 窒素排出量増加運転による T-N の影響(2005 年 12 月 15 日)

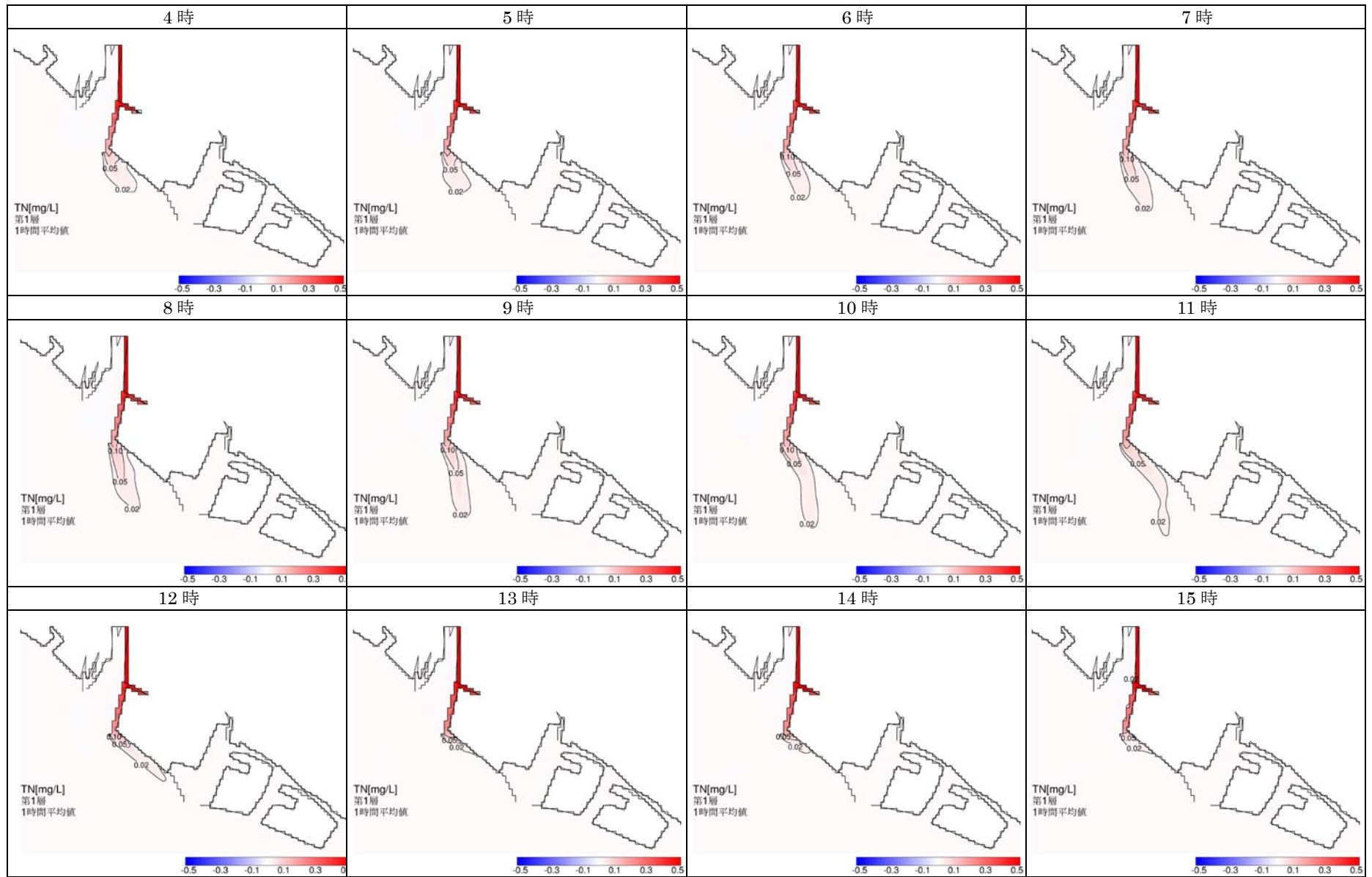


図 23 (2) 窒素排出量増加運転による T-N の影響(2005 年 12 月 15 日)

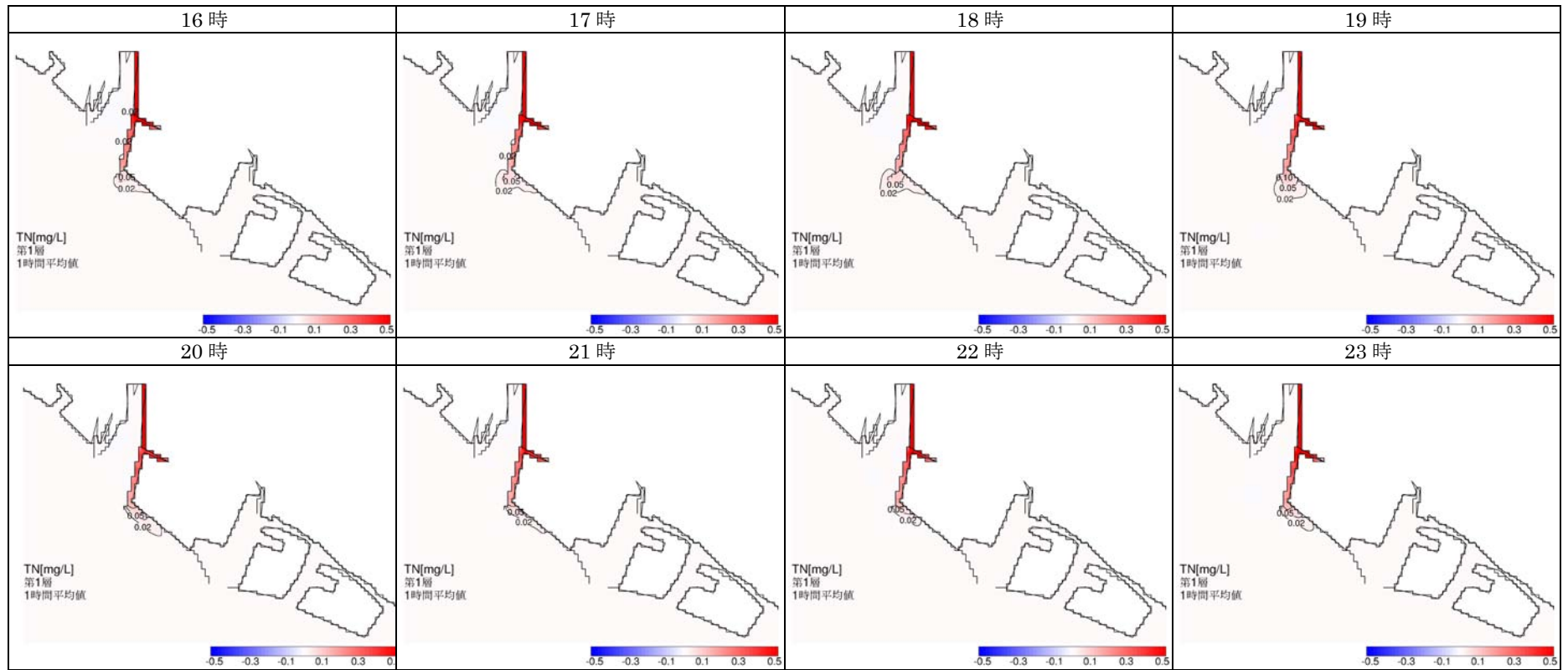


図 23 (3) 窒素排出量増加運転による T-N の影響(2005 年 12 月 15 日)

3.3 河川を利用した海水交換の促進対策

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、エスチュアリー循環流を促進させ、水路奥部の高栄養塩類濃度水塊と沿岸～沖合域の低栄養塩類濃度水塊の海水交換量を増加させることを目的とした計算を実施した。ここでは加古川の河川水を図に示す排水地点の下層から $1\text{m}^3/\text{s}$ で放水した結果を示す。

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。

これらのことから、導水実施の目的であった港湾奥部の栄養塩類濃度を下げ、一方で沿岸～沖合域の栄養塩類濃度を上昇させることにより、栄養塩類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。

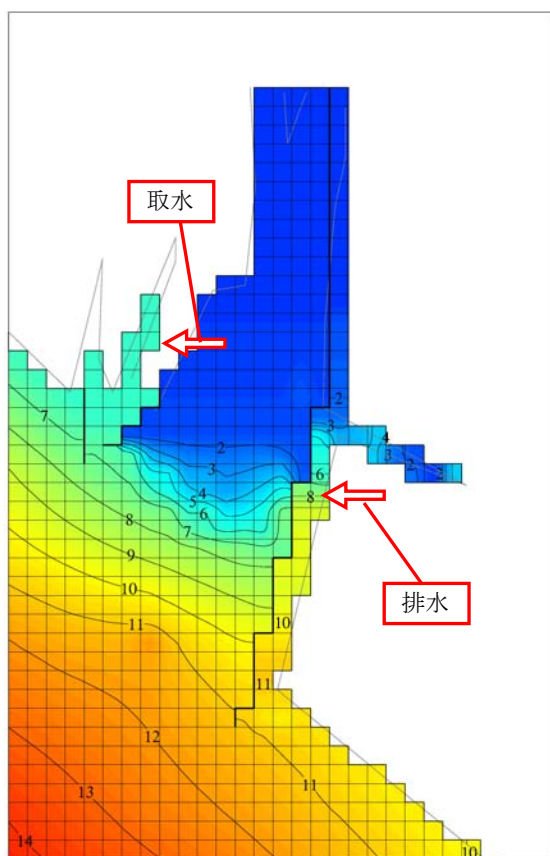


図 24 地点図

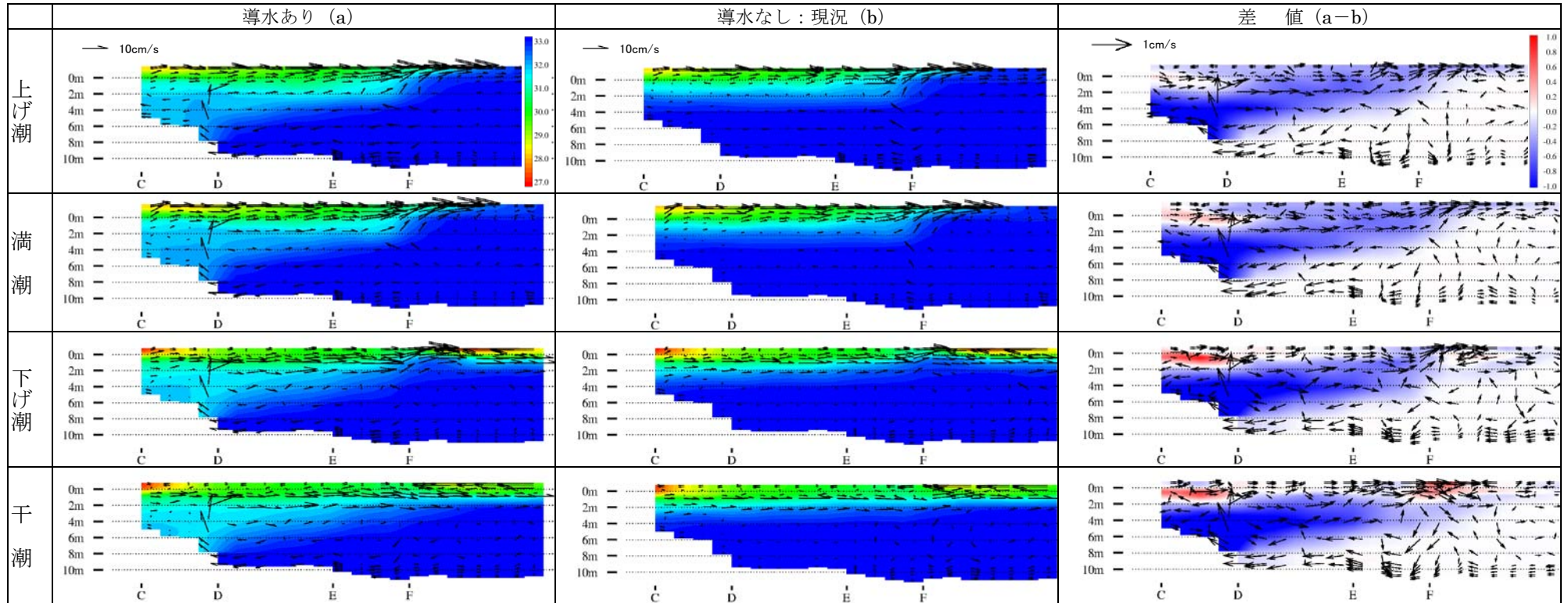


図 25 加古川から泊川河口沖水路に導水した際の流況と塩分の影響(2005年12月15日)

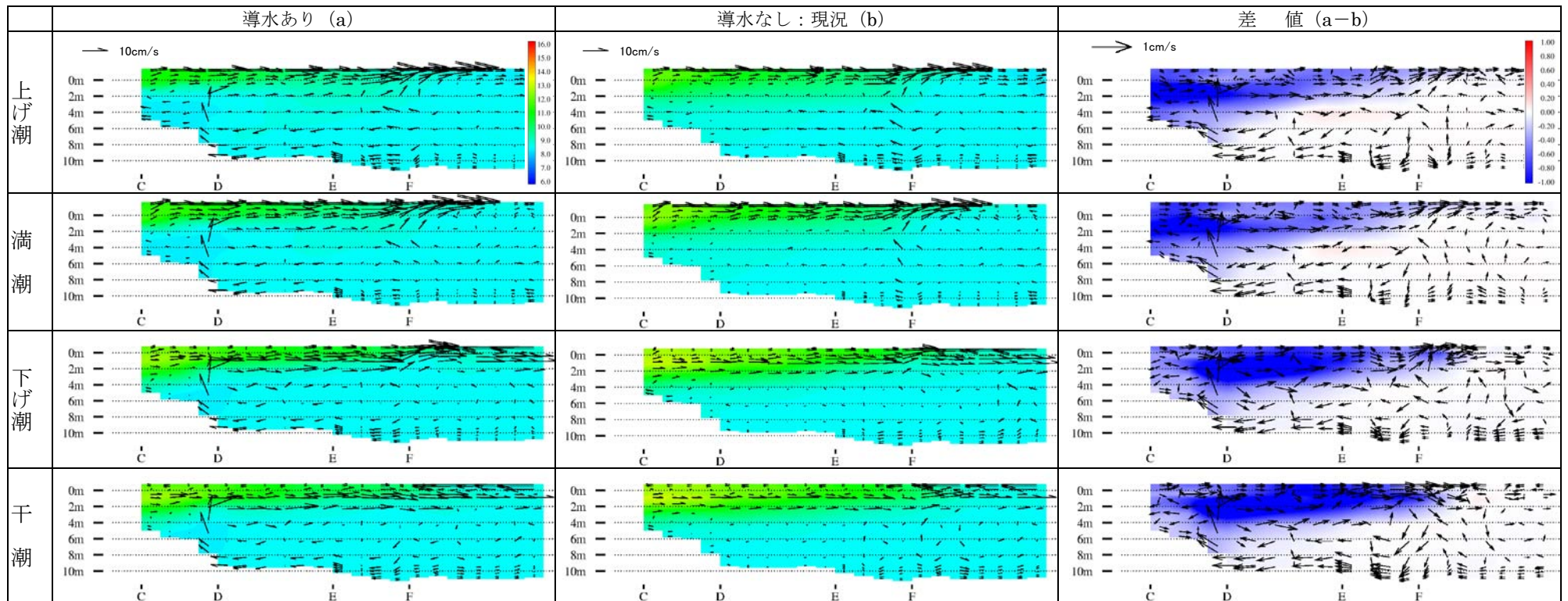


図 26 加古川から泊川河口沖水路に導水した際の流況と水温の影響(2005年12月15日)

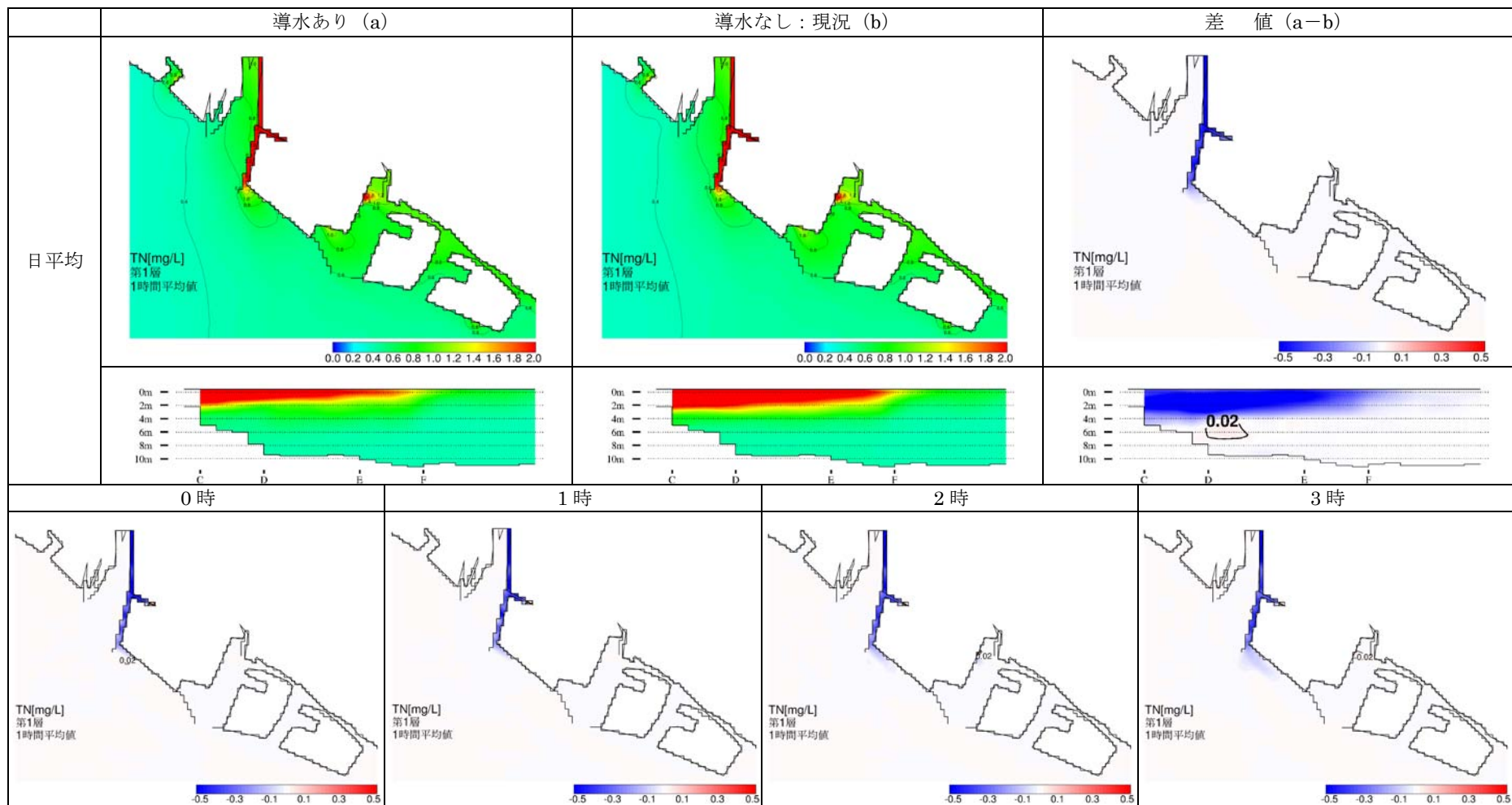


図 27 (1) 加古川から泊川河口沖水路に導水した際の T-N の影響(2005 年 12 月 15 日)

※毎時の図は導水ありと導水なしの差値を示している。

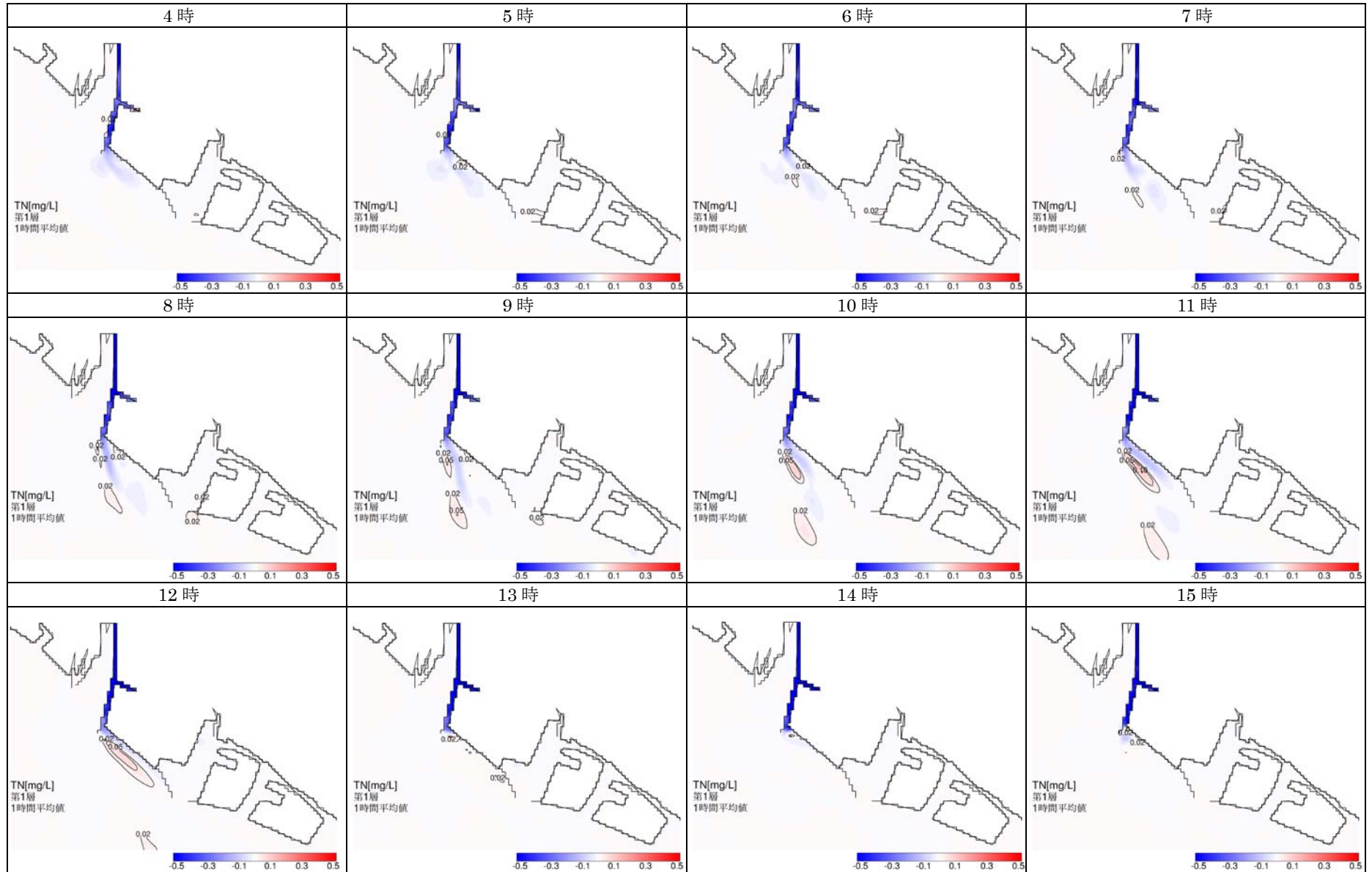


図 27 (2) 加古川から泊川河口沖水路に導水した際の T-N の影響(2005 年 12 月 15 日)

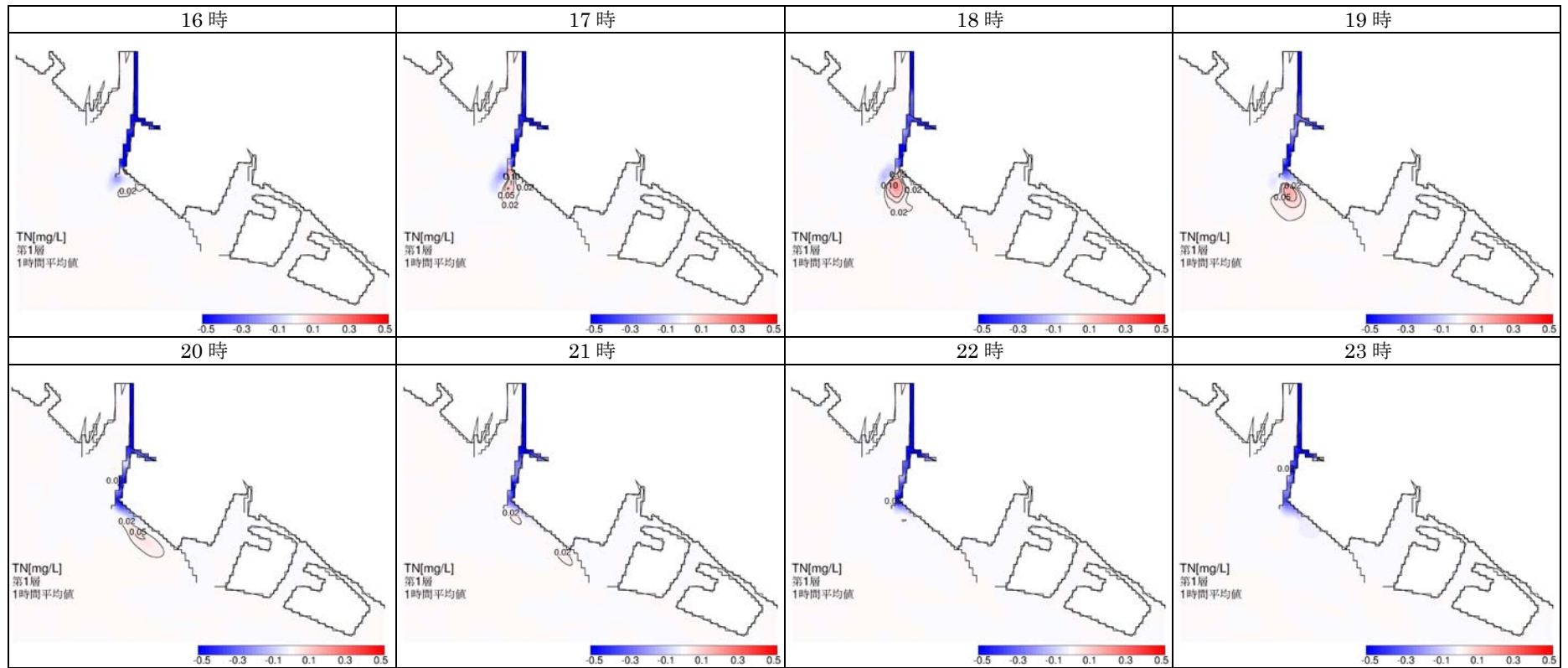


図 27 (3) 加古川から泊川河口沖水路に導水した際の T-N の影響(2005 年 12 月 15 日)

3.4 対策の組み合わせによる効果検討

3.2 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の実施に限ると、泊川河口沖水路の奥部における栄養塩類濃度がさらに上昇することになるため、3.3 で検討した加古川の河川水を利用した海水交換の促進対策を組み合わせることにより、水路奥部の濃度の減少と沿岸～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。計算条件としては3.2 と3.3 で示したものと同様とした。

シミュレーションモデルによる計算の結果、3.2 で示した加古川を利用した海水交換の促進対策と同様に泊川河口沖水路奥部において全窒素濃度が低下し、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。加古川下流浄化センターの窒素排出量増加運転の効果により、沿岸～沖合域における全窒素濃度の上昇幅は3.2の結果より大きくなっていた。

それぞれの対策を単独で実施した際の効果と組み合わせで実施した際の効果の定量的な差値等、地域に有効な対策の決定に資する詳細な検証については今後実施する予定である。

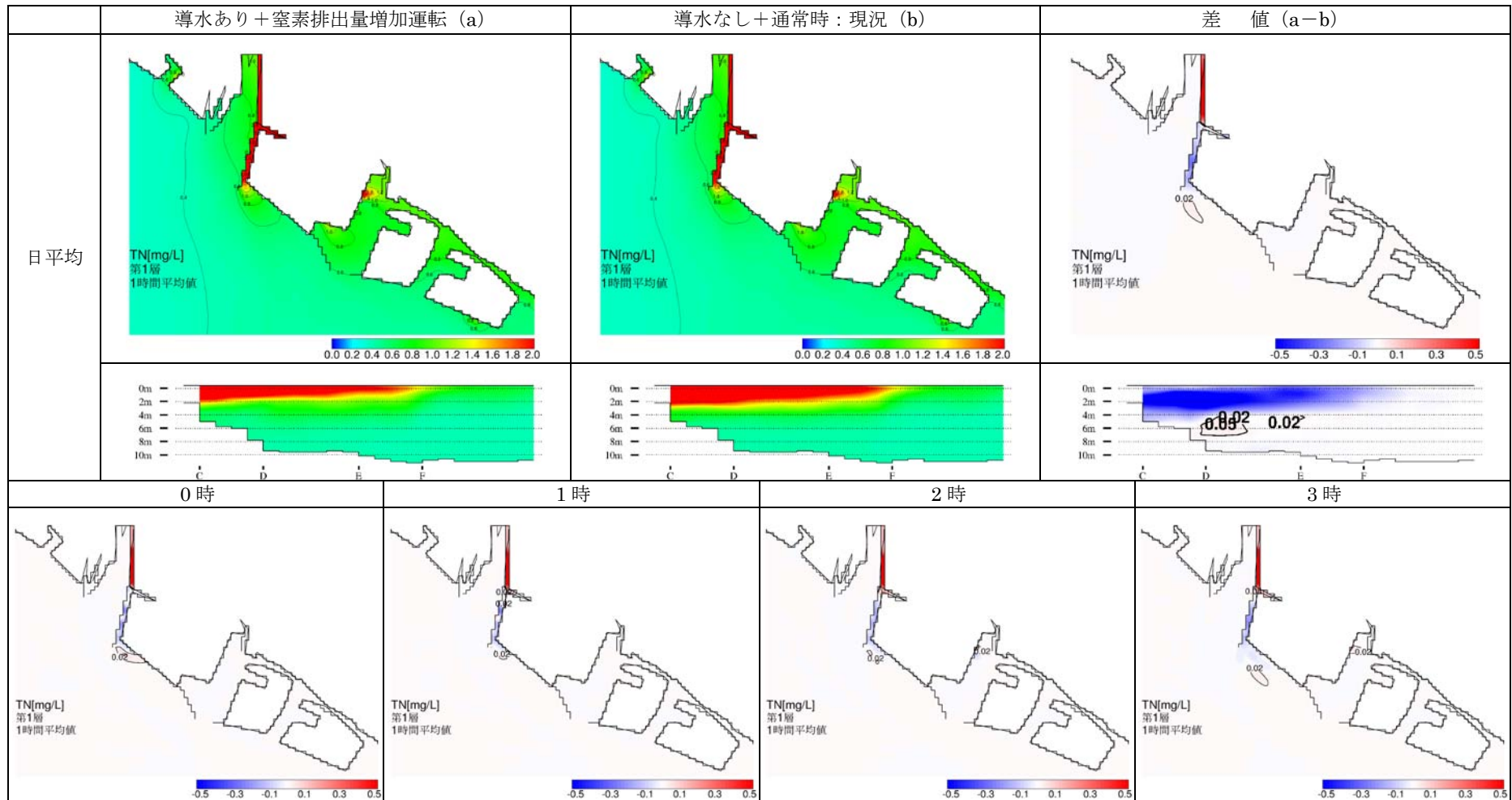


図 28 (1) 加古川から泊川河口沖水路への導水と窒素排出量増加運転を同時に実施した際の T-N の影響(2005 年 12 月 15 日)

※毎時の図は導水あり・窒素排出量増加運転と導水なし・通常運転の差値を示している。

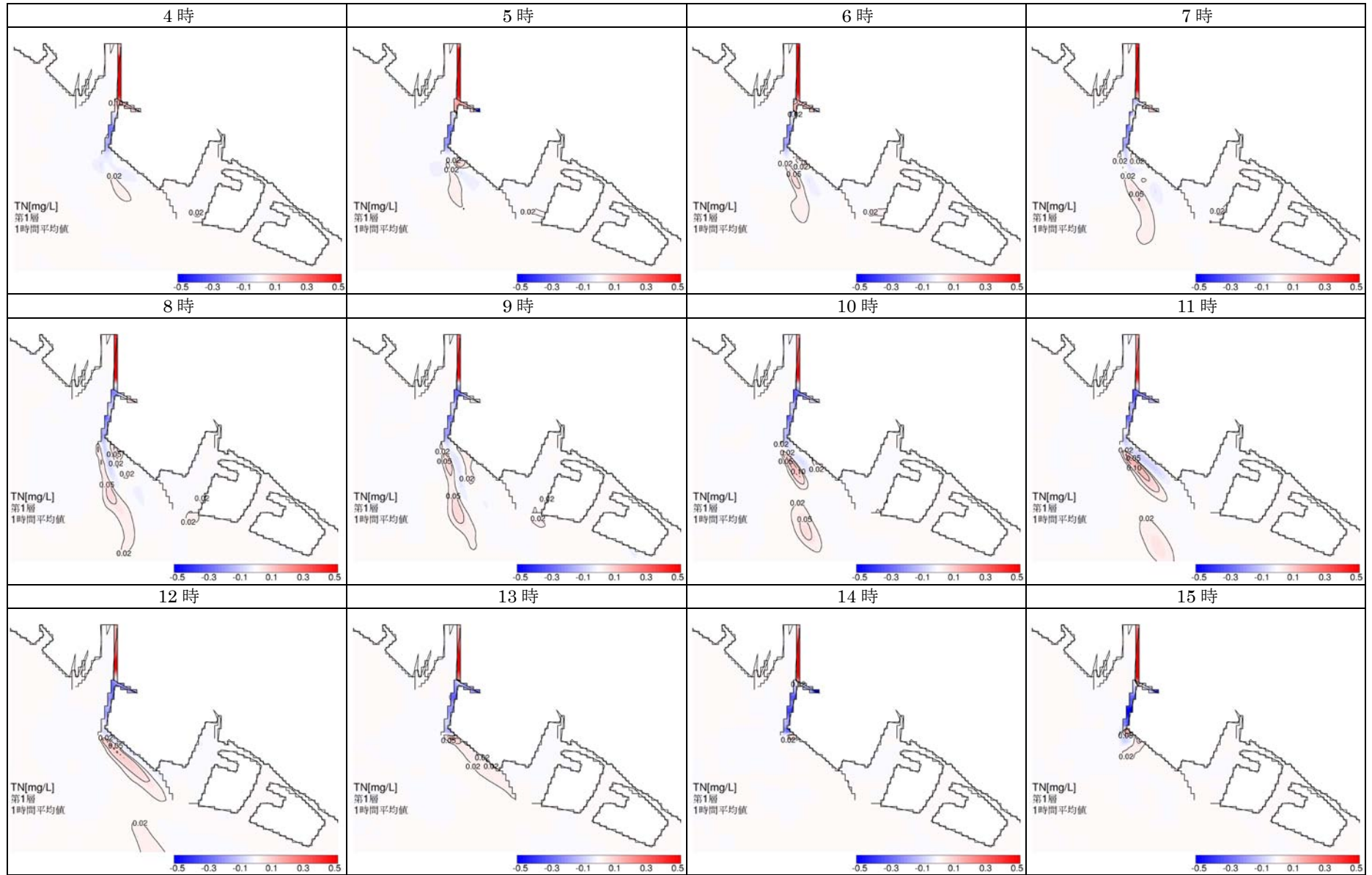


図 28 (2) 加古川から泊川河口沖水路への導水と窒素排出量増加運転を同時に実施した際の T-N の影響(2005 年 12 月 15 日)

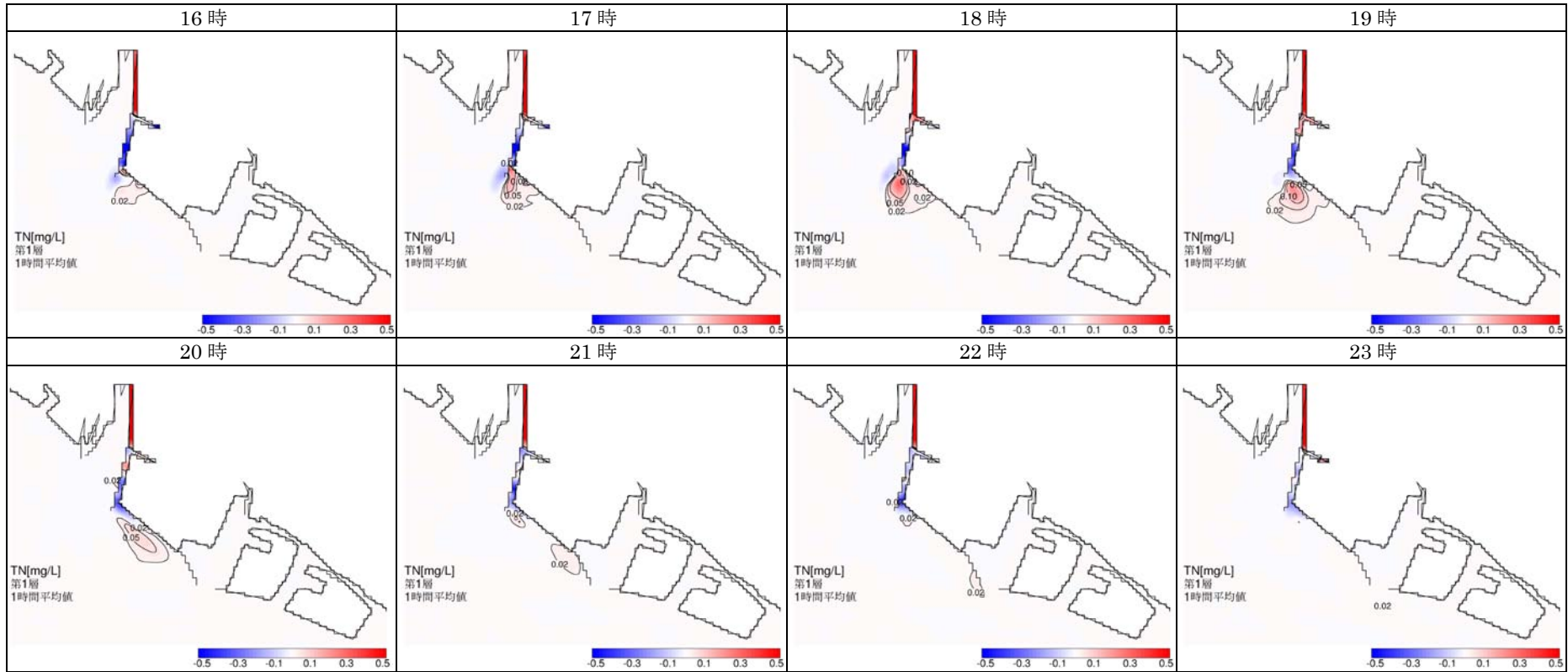


図 28 (3) 加古川から泊川河口沖水路への導水と窒素排出量増加運転を同時に実施した際の T-N の影響(2005 年 12 月 15 日)