

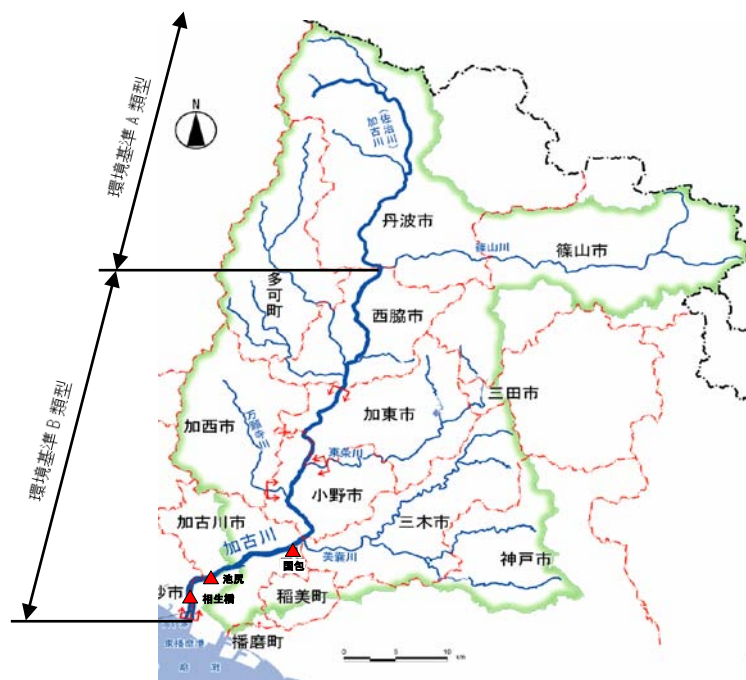
表 5.1-1 瀬戸内海の水質保全対策の進展状況

COD 対策		窒素・りんに係る富栄養化対策	
1971年12月 (昭46)	海域のCODの環境基準の設定		
73年10月 (昭48)	瀬戸内海環境保全臨時措置法に基づく汚濁負荷量の削減		
79年6月 (昭54)	第1次総量削減基本方針策定 (目標年度84)	1979年7月 (昭54)	第1次りん削減指導方針の策定指示 (目標年度84)
		85年12月 (昭60)	第2次りん削減指導方針の策定指示 (目標年度89)
87年1月 (昭62)	第2次総量削減基本方針策定 (目標年度89)	90年12月 (平2)	第3次りん削減指導方針の策定指示 (目標年度94)
91年1月 (平3)	第3次総量削減基本方針策定 (目標年度94)	93年8月 (平5)	海域の窒素・りんの環境基準の設定
		93年10月 (平5)	閉鎖性海域の窒素・りんの排水規制の開始
		96年3月 (平8)	第4次窒素・りん削減指導方針の策定指示 (目標年度99)
96年4月 (平8)	第4次総量削減基本方針策定 (目標年度99)		
2001年12月 (平13)	第5次総量削減基本方針策定 (目標年度04) (COD、窒素、りんが対象。以下も同様)		
06年11月 (平18)	第6次総量削減基本方針策定 (目標年度09)		
11年6月 (平23)	第7次総量削減基本方針策定 (目標年度14)		

出典：平成23年度瀬戸内海の環境保全 資料集 ((社) 瀬戸内海環境保全協会) より作成

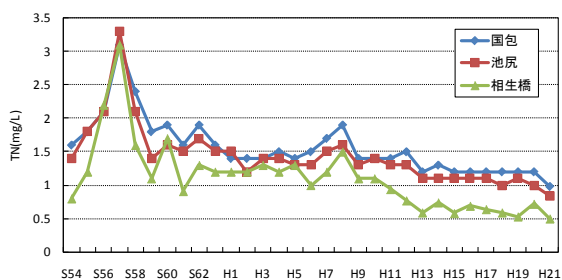
(5) 加古川の水質

加古川流域においては工場排水や生活排水の影響で水質が悪化していたが、排水基準値や総量規制基準値が設定され、その後水質改善が進んだ(図 5.1-8)。BOD については、近年いずれの地点においても環境基準を満足している。形態別窒素濃度については硝酸性窒素が占める割合が高い(図 5.1-9)。



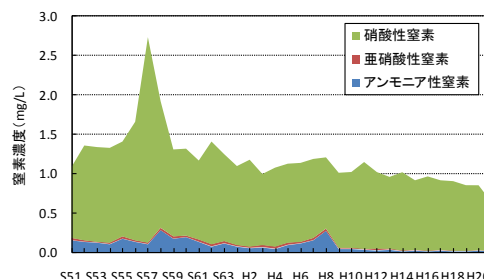
出典：国土交通省河川整備基本方針 HP

図 5.1-7 加古川水系の類型指定



出典：兵庫県 公共用水域水質測定結果より作成

図 5.1-8 加古川の全窒素濃度の推移



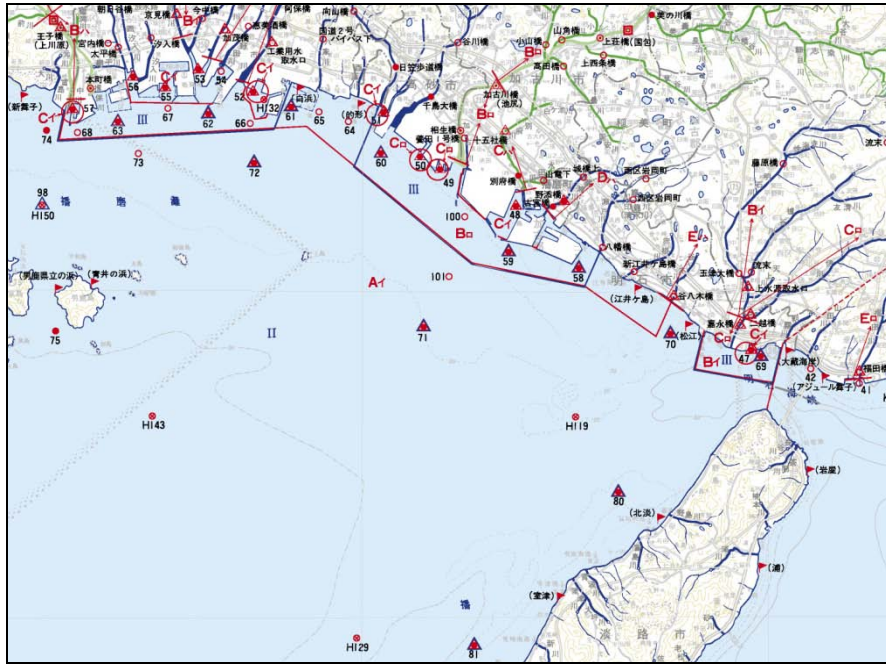
出典：兵庫県 公共用水域水質測定結果より作成

図 5.1-9 形態別窒素の推移 (国包)

(6) 海域の栄養塩類濃度

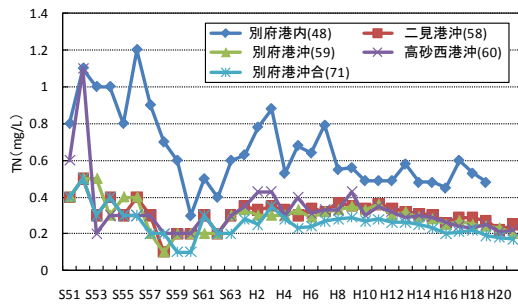
播磨灘の全窒素濃度は減少傾向にあり、昭和 50 年代の半分程度まで減少した (図 5.1-11)。全窒素濃度の減少はアンモニア性窒素濃度が大きく減少したことによるものである。季節変動について、溶存無機態窒素濃度 (DIN) は春季から夏季にかけて低く、冬季に高くなっている (図 5.1-12)。なお、養殖ノリの色落ちは冬季における DIN 濃度が以前より低くなっていることと、冬季から春季にかけての濃度減少の時期が早まっていることが問題であると言われている。

港湾内と沖合域を比較すると、港湾内で DIN 濃度が高く、沖合域で DIN 濃度が低くなっている。形態別窒素について、港湾内と沖合域を比較すると、港湾内でアンモニア性窒素濃度が高くなっており、そのため港湾内の全窒素濃度が沖合域より高くなっている (図 5.1-13、図 5.1-14)。港湾内でアンモニア性窒素濃度が高い理由としては民間事業場 a からの排水の影響が大きいとみられる。また、海域と河川の形態別窒素の比を比較すると、加古川では硝酸性窒素の割合が高いが、海域ではアンモニア性窒素の占める割合が高くなっている。



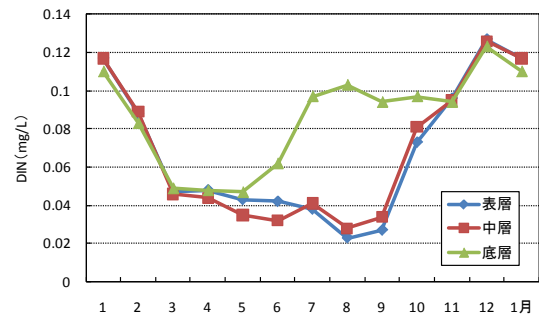
出典：平成 20 年度兵庫県水質測定地点図（兵庫県農政環境部環境管理局水質課）

図 5.1-10 公共用水域水質調査地点



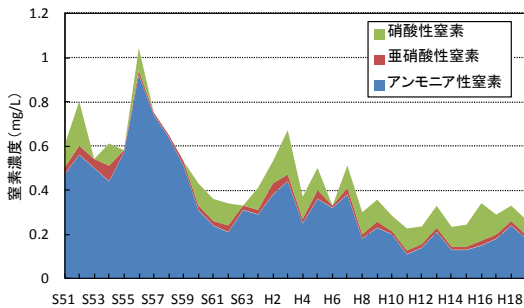
出典：兵庫県 公共用水域水質測定結果より作成

図 5.1-11 播磨灘海域の全窒素濃度



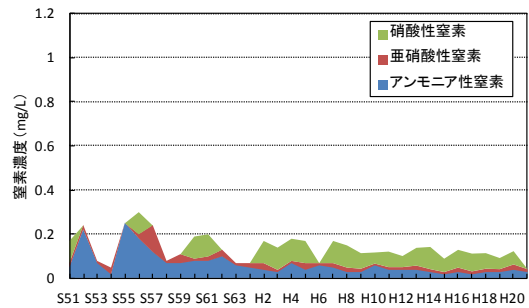
出典：播磨灘の栄養塩環境とノリ養殖 海洋と生物(特集：海の貧栄養化とノリ養殖), 31, P.147, 2009

図 5.1-12 溶存態無機窒素濃度の季節変動※



出典：兵庫県 公共用水域水質測定結果より作成

図 5.1-13 別府港内 (48) の形態別窒素濃度



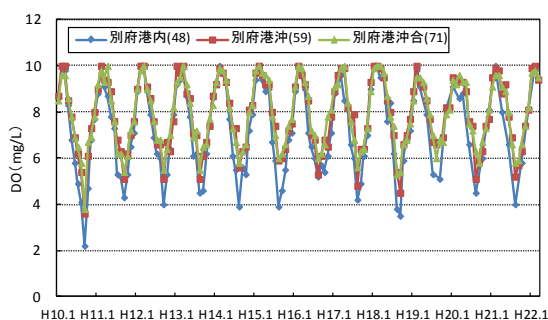
出典：兵庫県 公共用水域水質測定結果より作成

図 5.1-14 別府港沖 (59) の形態別窒素濃度

※ 表層・中層：昭和 49 年～平成 18 年平均、底層：昭和 53 年～平成 18 年平均
 注) 図 5.1-8、図 5.1-9、図 5.1-11、図 5.1-13、図 5.1-14 は年平均値

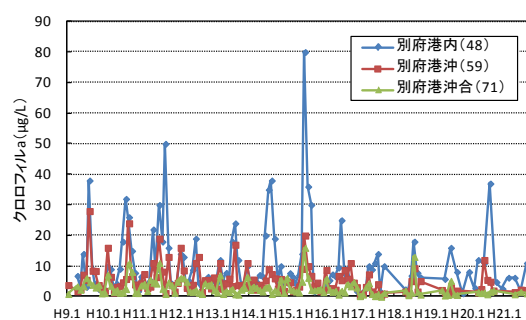
(7) 港湾内外の水質の特徴

別府港周辺の底層（底上1m）の溶存酸素量（DO）について、夏季にDOが低下する傾向が確認されている。別府港内（48）地点では4.0mg/Lを下回る貧酸素状態が観測されているが、港湾外の別府港沖（59）地点や別府港沖合（71）地点では極端な貧酸素化が確認されていない（図5.1-15）。港湾内で貧酸素化が生じている要因として、港湾内のDIN濃度と図5.1-16に示したクロロフィルa濃度の観測データから、別府港内では富栄養化により植物プランクトンが大量発生し、それらの死骸が底層に沈降し分解される際に酸素が使われるため酸素量が低下し、さらに港湾内の滞留化により上下層の混合が少ないことも関係していると考えられる。



出典：兵庫県 公共用水域水質測定結果より作成

図 5.1-15 別府港周辺の底層 DO



出典：兵庫県 公共用水域水質測定結果より作成

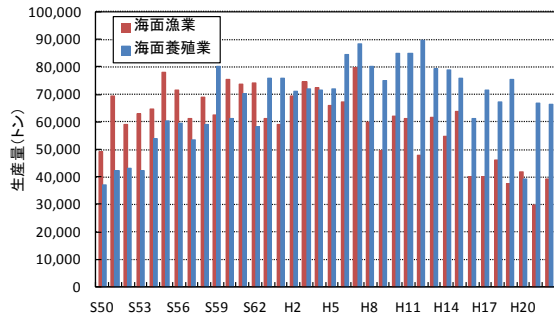
図 5.1-16 別府港周辺の表層 chl a 濃度

(8) 漁業生産の特徴

兵庫県の瀬戸内海区における海面漁業の生産量は、平成7年まで年間7万トンを超える年が頻繁に見られたが、それ以降は減少傾向にあり、平成21年の生産量は約3万トンであった（図5.1-17）。魚種別では、いかなご、しらすが多く、平成21年にはこの2種で海面漁業生産量の42%を占めた。

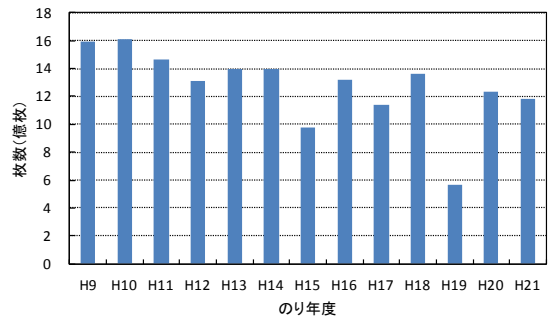
兵庫県の瀬戸内海区における海面養殖はノリ養殖が生産量の大部分を占めており、播磨灘は全国有数のノリの産地となっている。しかしながら、播磨灘のノリ養殖においては昭和50～60年代に散発的に生じていたノリの色落ちが、平成11年以降毎年発生するようになった。特に平成15年と平成19年は深刻な色落ちが生じて生産量が大きく落ち込んだ（図5.1-18）。ノリの色落ちが生じるとノリの単価も下落するため、地域の水産業に与える影響は非常に大きい。色落ちは栄養塩類が不足すると発生するため、海域の貧栄養化が色落ちの要因と言われている。なお、平成19年度のノリ生産枚数については貨物船沈没による油流出事故の影響も受けた数値である。

近年、全国的に漁業生産量が低下しているが播磨灘においても例外ではなく、漁業経営は厳しい状況にある。漁業生産量が減少した理由としては栄養塩類濃度の減少による海域の基礎生産力の低下や生物の生息・産卵場としての藻場、干潟、海砂の減少、過剰漁獲、地球温暖化に伴う有害生物の増加等が挙げられているが、現在のところ明確な原因は分かっていない。



出典：兵庫県農林水産統計年報より作成

図 5.1-17 兵庫県（瀬戸内海区）の漁業生産量

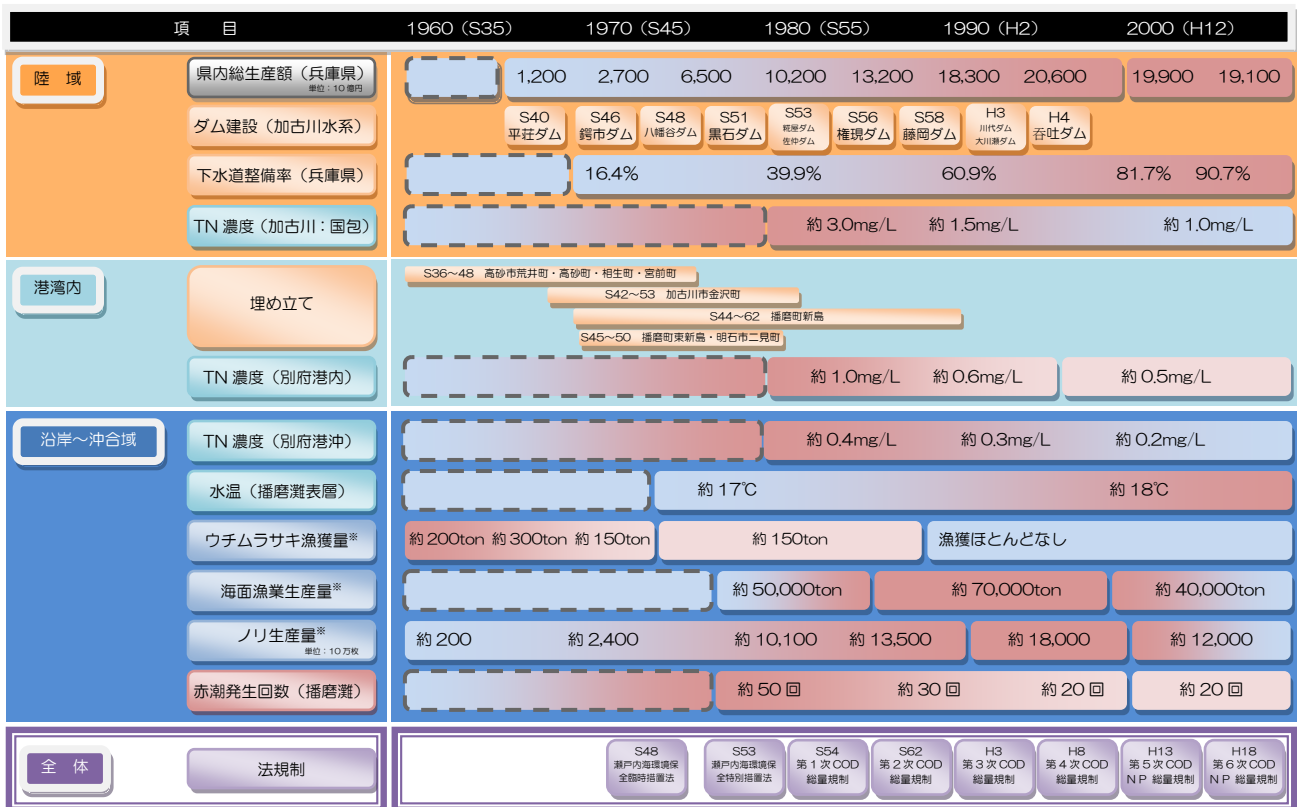


出典：兵庫県ノリ共販資料より作成

図 5.1-18 播磨灘のノリ生産枚数

（9） 自然的・社会的状況の変遷

播磨灘北東部地域における自然的、社会的状況についてデータに基づき検討を行い、窒素濃度や生じている問題等の特徴から、当地域を「陸域」、「港湾内」、「沿岸～沖合域」の三つの領域に分けて整理した（図 5.1-19）。各項目間の関連性の有無の判断は科学的な検証に基づき確認する必要があるが、地域の現状を理解するうえで下に示す変遷図が参考となる。



データなし（調査が実施されていない、未取得等）： []

*ウチムラサキ漁獲量：播磨地区
海面漁業生産量：兵庫県（瀬戸内海区）
ノリ生産量：兵庫県

注）赤潮発生回数（播磨灘）は、兵庫県、岡山県、徳島県、香川県を含む海域

出典：「瀬戸内海と赤潮」（瀬戸内海漁業調整事務所）

図 5.1-19 播磨灘北東部地域における自然的・社会的状況の変遷

5.1.2 播磨灘北東部地域の物質循環

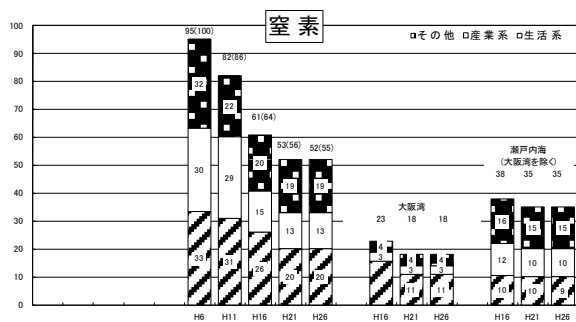
(1) 物質循環の概要

生態系における物質循環とは、生物体を構成する様々な物質が環境から生物に取り込まれ、食物連鎖や腐食連鎖を通じて生物間を移動し再び環境に戻されることであるが、本プランにおける物質循環とは地域の全ての事象を内包したのとして、森から川、海に至り、また森に戻る循環に生態系や人間活動を含めたものとして扱っている。これらは相互に作用する複雑な関係性の上に成り立っているため、循環が正常に作用しなくなった際に生じる事象も多岐にわたる複雑なものになるとともに、その要因を探ることは難しい。また、播磨灘北東部地域においては臨海部に人口が集中し産業も盛んであるため、人間活動が物質循環に及ぼす影響が大きいと推察され、人間活動の変動に伴い物質循環状況も変動しているとみられる。そのため、統計データ等の情報収集や現地調査、シミュレーションモデルによる計算等、科学的な検証で把握できる事象については、一つ一つ確実に定量的な把握を行うことが、循環状況の改善に向けた適切な対策を実施するうえで重要である。

物質循環の“物質”には土砂や水、栄養塩等様々なものが含まれているが、本プランにおいては栄養塩類、特に窒素に着目して検討を実施している。理由として、瀬戸内海は窒素制限の海域であると一般的に言われており、窒素の挙動を把握し対策を立てることが物質循環の円滑化や生態系の安定性の向上を実現するために効率的、効果的であると考えられたためである。なお、りんについては上記の理由から本プランでその詳細を取り上げていない。

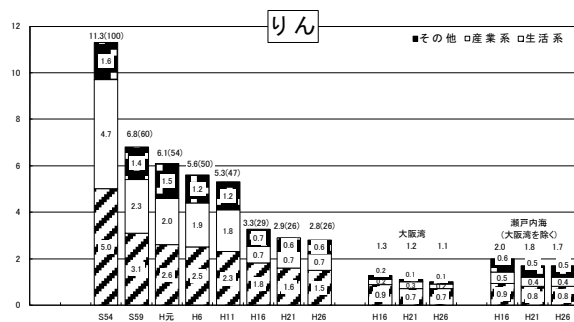
(2) 兵庫県の窒素・りんの発生負荷量

兵庫県における窒素とりんの発生負荷量は減少傾向にある（図 5.1-20、図 5.1-21）。大阪湾を除く瀬戸内海については、窒素及びりんの環境基準を概ね達成し、COD も他の対象水域に比較して良好な状態となっている。そのため、第 6 次総量削減以降の窒素及びりんについて、大阪湾においては引き続き削減が必要であるが、それ以外の瀬戸内海においては現在の水質が悪化しないよう必要な対策を講じることとされている。



出典：兵庫県環境審議会水環境部会（平成 23 年 8 月 5 日）資料

図 5.1-20 兵庫県における窒素発生負荷量



出典：兵庫県環境審議会水環境部会（平成 23 年 8 月 5 日）資料

図 5.1-21 兵庫県におけるりん発生負荷量

(3) 対象域の窒素・りん負荷量

本プランで対象海域としている播磨灘北東部海域においては、主に加古川からの流入と事業場（下水処理場を含む）から海域への直接排水による流入があり、それらの流入負荷が当海域への流入負荷の大部分を占めている。

負荷量調査が実施された平成4年における加古川から播磨灘への1日当たりの全窒素負荷量は6.1トン、平成23年は5.8トンであった。年間を通じての負荷量の測定は毎日の採水分析が必要となるため継続的な実施は困難であるが、窒素濃度が昭和50年代後半の半分程度まで減少していることから、流入負荷量も減少傾向にあるとみられる。

下水処理場の排水について、平成21年度における対象地域で窒素排出量の最も多い施設は中部析水苑（姫路市）で1日当たり2.5トンであった。加古川河口周辺においては、加古川下流浄化センターが0.7トン、二見浄化センターが0.6トンであった。また、海域に直接あるいはそれに近い状況で排水している民間事業場について、平成21年度全窒素排出量が最も多い事業場では1日当たり5.0トン排出しており、加古川と同程度の量であることから、地域の物質循環に大きな影響力を与えていると考えられた（表5.1-2）。

河川や事業場からの窒素流入の影響を確認するうえで、濃度での評価も重要である。例えば、養殖ノリの色落ちに関して高濃度の窒素供給があれば短時間であっても色調の維持や、色調の回復に効果があるとの研究報告がある。そのため、海域に供給される窒素の全量を始めに知ることによりポテンシャルの大きな供給源を把握し、その後、詳細な窒素の挙動を検討する段階で濃度についても検証項目に組み込んでいる。

なお、平成21年について表5.1-2に示す民間事業場aにおいては総量規制にかかる生産工程からの排水（生活排水を含む）の全窒素濃度が100～200mg/L程度であるが、冷却水に大量の海水が使用され、それと混合して排出しているため、排水口での全窒素濃度は約5mg/Lになっている。一方、加古川下流浄化センターの排水は約7mg/Lであり、民間事業場aの排水濃度より高くなっている。このように、全窒素の排出量と排出濃度の順位関係は逆転することがあるため、海域での窒素濃度について各負荷源の影響の程度を検証する際は注意が必要である。

表 5.1-2 主要な負荷源からの播磨灘北東部海域への全窒素、全りんの流入量

		全窒素 (トン/日)	全りん (トン/日)
加古川	平成23年	5.8	1.3
民間事業場 a	平成21年	5.0	0.004
加古川下流浄化センター	平成21年	0.7	0.061

出典：大阪工業大学提供データ、兵庫県農政環境部環境管理局水大気課資料より作成

(4) 対象域の流れ、窒素・りん濃度の状況

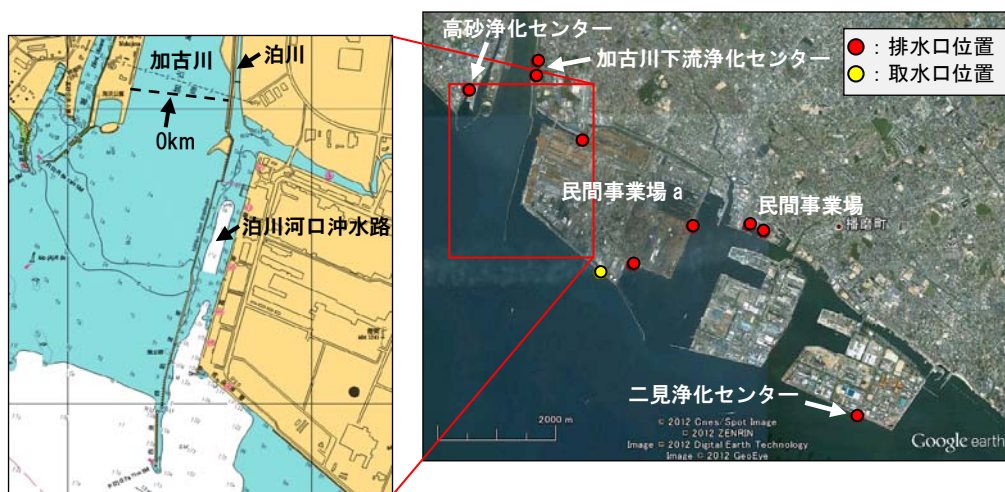
一級河川加古川は図5.1-22中に示す位置を河口（0km地点）としており、また、加古川河口付近の左岸に沿って二級河川泊川が流入している。泊川は加古川下流浄化センターの放流先になっており、泊川河口付近は加古川下流浄化センターの排水と表5.1-2に挙げた民間事業場aの西排水口からの排水の影響を受ける水域となっている。泊川河口から沖合方向（北北東-南南西）に向かっては東播磨港別府西港西防波堤が設置され、防波堤の東側の泊川河口沖水路（東

播磨港別府西港)には民間事業場 a の西岸壁があり、泊川からの流入水や民間事業場 a からの排水は泊川河口沖水路を通過して播磨灘に排出されている。このように、泊川河口沖水路周辺は陸域の影響を強く受け、人為的な制御が可能な対策の効果を検討するに当たっての対象海域として最も適していると考えられたため、本プランでは図 5.1-22 に示す領域に焦点を当てて検討を行っている。

対象海域の水温・塩分の分布状況や流れの状況は現地調査とシミュレーションモデルによる計算からも特徴が捉えられている(図 5.1-23、図 5.1-24)。加古川からの流入水の動態は、潮汐変動によって変化しており、下げ潮時に加古川河口から南東方向に流れ、上げ潮時に北西方向へ流れている。また、東播磨港内等の閉鎖性水域においては港湾外の沿岸～沖合域と比較して流れが緩やかであり、海水が停滞している状況にある。また、窒素濃度の分布については、加古川や泊川河口沖水路から流入した高い濃度の水塊が下げ潮時に南東方向に広がり、上げ潮時に北西方向に広がっている。泊川河口沖水路内や東播磨港内等の閉鎖性水域においては窒素濃度が港湾外より高くなっている(図 5.1-25)。

泊川河口沖水路内においては表層から約 2m までが陸域からの排水の影響を受けている。その内訳としては表層から 0.5m までが加古川下流浄化センターからの排水、0.5m から 2m までが民間事業場 a からの排水の影響が大きい。表層付近を密度の小さい水塊が沖合方向に恒常的に流れているため、泊川河口沖水路内では密度流の一種であるエスチュアリー循環流が生じている(図 5.1-24 の縦断図)。このエスチュアリー循環流は沖合域の DIN 濃度の低い水塊を泊川河口沖水路奥部(港湾奥部)に輸送し、逆に水路奥部の高い DIN 濃度の水塊を沖合域に輸送しているため、港湾内外の DIN の濃度差を縮小させる方向に寄与している(図 5.2-10)。

なお、本プランでは平常な状態での現象を科学的に解析し、その結果に応じた対策を検討することを最初の段階としているため、加古川が平水時の際の海域における流れや栄養塩類濃度の分布状況について検討を行っている。出水時の影響については新たに現地調査の実施等が必要となるため、本プランの中では言及していないが、海域に対するインパクトが大きく中長期的な物質循環の改善を目指すうえで無視できないと考えられるため今後の検討課題とする。



※対象とした事業場(下水処理場を含む)は窒素、りん、COD、許可申請排水量(通常)の各上位 20 事業場

図 5.1-22 検討対象領域と排水口位置等

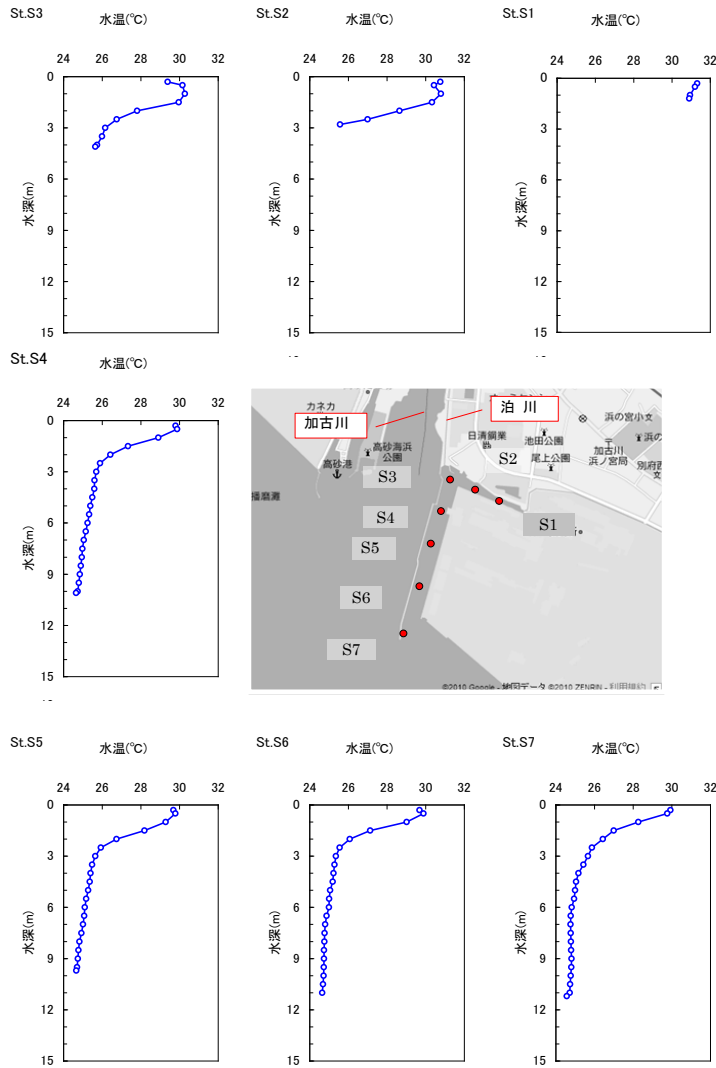


図 5.1-23 水温の鉛直分布の状況 (平成 24 年 7 月 30 日)

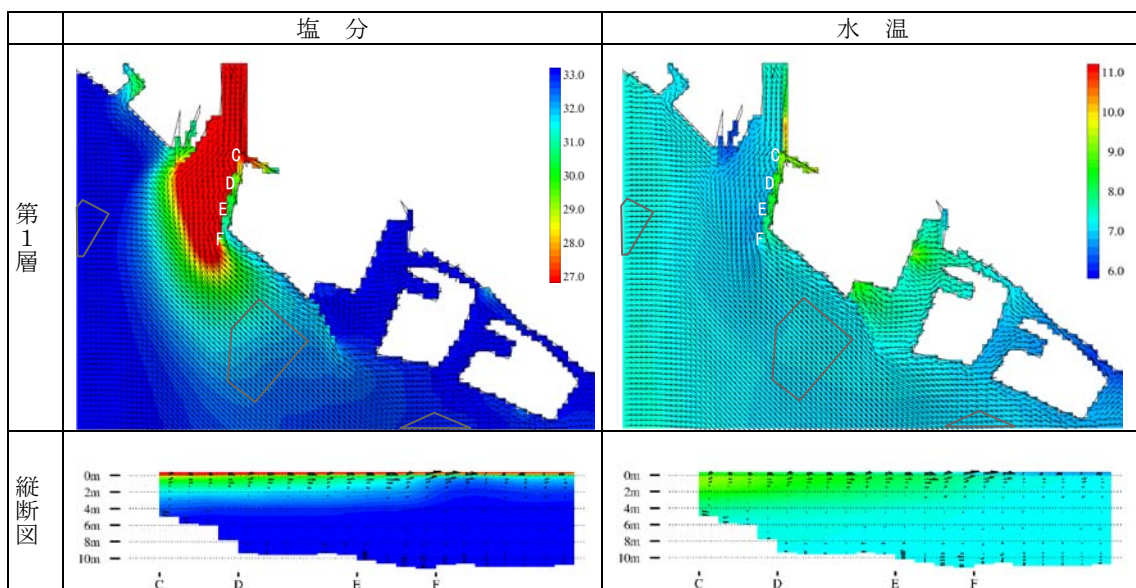


図 5.1-24 流況と塩分の水平分布と泊川河口沖水路内の縦断方向分布 (大潮期：日平均)

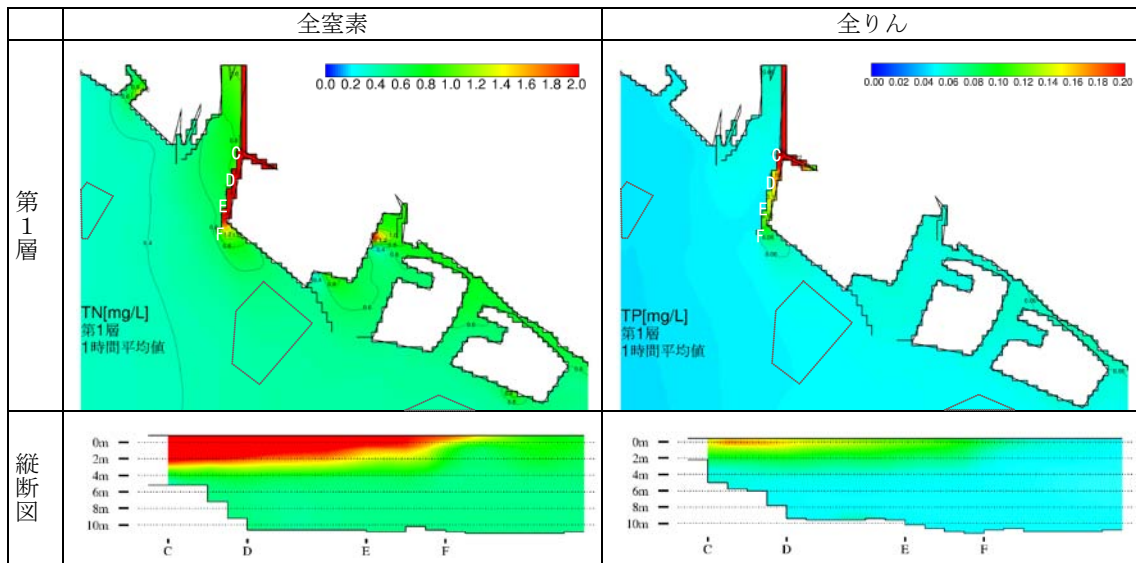
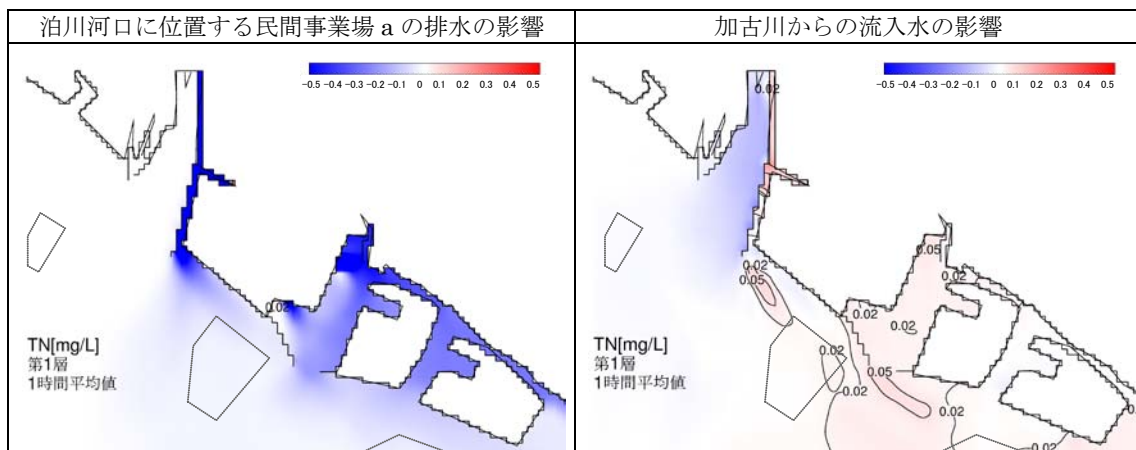


図 5.1-25 全窒素と全りんの水平的分布と泊川河口沖水路内の縦断方向分布（大潮期：日平均）

（5） 対象域の窒素濃度に影響を与える因子

泊川河口沖水路内や東播磨港の窒素濃度が高くなっている理由としては、シミュレーションによる要因解析により、事業場の排水の流入や港湾内の閉鎖性が高いことが要因の一つであると示されている。特に、対象地域で最も窒素負荷量の多い事業場からの排水の影響は港湾内に留まらず、沿岸～沖合域まで影響を与えている（図 5.1-26）。また、加古川の流入がない場合のシミュレーションによる計算を実施した結果、港湾内の窒素濃度が上昇していたことから、加古川の流れが港湾内外の海水交換を助長しているとみられ、加古川等の河川の流れを考慮した対策を実施することも港湾内の水質改善に役立つと考えられる（図 5.1-26）。



※左：民間事業場 a の排水量をゼロとした時と現況の差 右：加古川からの流入水量をゼロとした時と現況の差

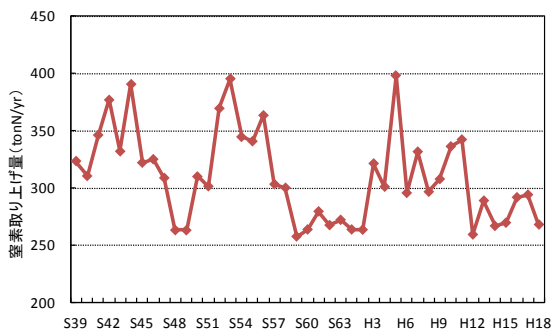
図 5.1-26 民間事業場 a の排水と加古川の河川水の影響

（6） 漁業生産による窒素取り上げ量

漁獲による窒素取り上げ量については、漁獲対象種が比較的狭い生活範囲であるとみられる小型底曳き網により 40%以上が漁獲されている 25 種について算出した（図 5.1-27）。漁獲量

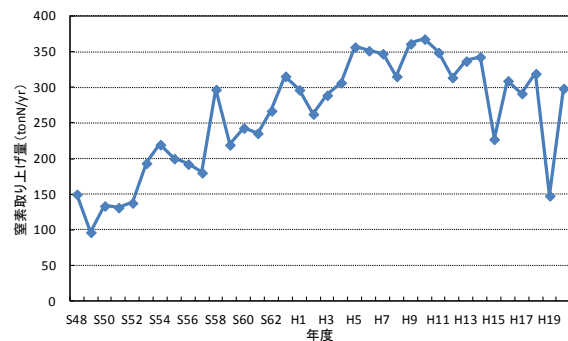
に変動があるため窒素取り上げ量についても変動しているが、近年は低い水準で推移している。なお、漁獲量と DIN 濃度の関係について、科学的に明確な因果関係はまだ明らかになっていないが、DIN 濃度の変動が時間差を置いて漁獲量に影響していると推察されるとの報告がある。

ノリ生産により海域から陸域に取り上げられる窒素量については図 5.1-28 に示す。ノリの窒素含有量を一定としてノリの生産量から計算を実施したが、ノリの色落ちが生じている際の窒素含有量は正常時と比べて減少しているとみられることから、ノリの色落ちが生じてノリの生産量が少ない年については取り上げ量の計算結果が過大になっている可能性がある。ノリ生産による窒素取り上げ量は海域の DIN 濃度と同様に減少傾向にある。一方で、兵庫県のノリ養殖においては海域の窒素不足への対応として、平成 21 年度から施肥（栄養塩添加）が実施されている。平成 21 年度には播磨灘海域において窒素換算で合計約 67 トンが投入されたが、施肥の実施要領は細かに決められており、添加材の種類や使用量、実施時期（海域の DIN 濃度）、実施方法等を遵守して、海域環境に配慮しながら行われている。



出典：兵庫県農林水産統計年報より作成^{*1}

図 5.1-27 漁獲による窒素取り上げ量



出典：兵庫県のり共販資料より作成^{*2}

図 5.1-28 ノリ生産による窒素取り上げ量

(7) 各領域の関係性

播磨灘北東部地域における自然的、社会的状況を、陸域、港湾内、沿岸～沖合域の三つの領域に分けて関係性を整理した結果を図 5.1-29 に示す。

播磨灘北東部海域においては陸域からの流入負荷量が減少したことで DIN 濃度が減少した一方で、下水処理場や民間事業場からの排水が閉鎖性水域である港湾内に流入しているため、港湾内では DIN 濃度が沿岸～沖合域と比べて相対的に高くなっている。沿岸～沖合域の DIN 濃度の減少はノリの生産量の減少にも繋がっていると考えられ、ノリの生産に伴い海域から陸域に取り上げられる窒素量もかつてより減少しているとみられる。

^{*1} 漁獲量から窒素への換算係数は愛知県水試研報, 14 1-6 (2008)「伊勢・三河湾における漁業生産による窒素, リンの回収」を用いた。

^{*2} ノリの重さを 3.3g dry/枚、窒素含有量を 6% (乾燥時) として算出した。

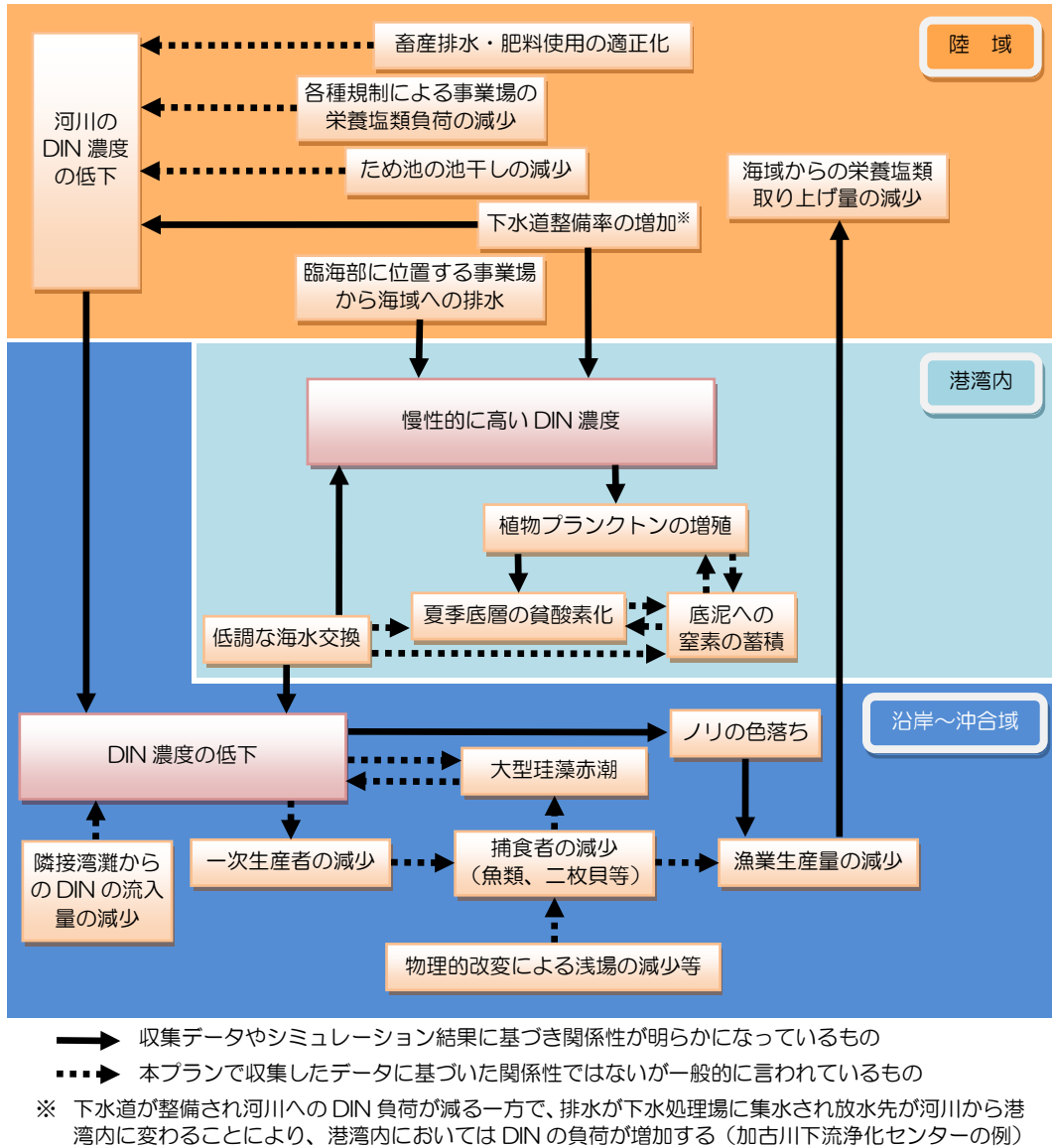


図 5.1-29 播磨灘北東部地域のインパクトレスポンスフロー

(8) 関係者意見(地域懇談会)

平成24年2月には加古川市内で地域の多様な主体(漁業関係者、民間事業者、環境活動団体、地域住民(表5.1-3))が考える「播磨灘北東部地域の望ましい将来像」等についての意見を収集するために地域懇談会が開催され、それぞれの立場からの地域の課題や問題点が示されている。

陸域を活動域とする団体(事業者、環境活動団体、地域住民)からは、海域が遠くになってしまったために海域で起こっていることが分からないとの問題が挙げられた。そのため、課題としては陸域と海域が一体となって環境改善を実施していくうえで、海のことを分かっている漁業者と協働して活動を進めていく必要があるとされた。

なお、陸域からの栄養分が加古川大堰で遮断されているとの認識は各主体で共通しており、今後播磨灘北東部地域として物質循環を健全化していくためには流域全体で考えていかなければならないとの意見があった。

近年、瀬戸内海においては漁業生産量の減少等の問題が生じていることから、水質を向上させ「きれいな海」の実現を目標とする施策から、生物多様性に富み生物生産量が大きい「豊かな海」を目指す施策に転換されつつある。しかし、地域懇談会において一般市民の立場からは透明度の高い綺麗な海が望ましいとの意見が出ていたため、栄養塩類の管理に関する対策を進めるに当たっては、住民や環境活動団体等の多くの主体に納得頂くための丁寧な説明と科学的な根拠の提示に加え、モニタリング結果の公表や住民の意見を聴取し対策に反映させる仕組みも必要である。

表 5.1-3 地域懇談会への参加団体

分類	参加団体名
漁業関係団体 (4 団体)	明石市漁業組合連合会 播磨町漁業協同組合 東播磨漁業協同組合 曾根町漁業協同組合
事業者（商工会議所） (4 団体)	明石商工会議所 播磨町商工会 加古川商工会議所 高砂商工会議所
環境活動団体 (4 団体)	加古川流域環境ネット 播磨ウェットランドリサーチ 水辺に学ぶプロジェクト リバークリーンエコ炭銀行
地域住民（自治会・町内会） (4 団体)	明石市連合自治協議会 播磨町自治会連合会 加古川市町内会連合会 高砂市連合自治会

5.2 播磨灘北東部地域における対策

5.2.1 対策の概要

(1) 加古川下流浄化センターの窒素排出量増加運転

播磨灘北東部の周辺海域においてはノリの色落ちが生じる等、DIN が足りないことにより海域の基礎生産力が低下してしまっているとみられている。そのため、豊かな海を取り戻す取り組みの一つとして、兵庫県管理の加古川下流浄化センターの他、明石市及び淡路市管理の下水処理場 5 か所の計 6 か所において、規制基準値の範囲内で排水の窒素濃度を増加させる運転（窒素排出量増加運転）を試験的に実施している。

対策実施の効果についてはシミュレーションモデルを使った計算や現地観測により明らかになっており、シミュレーションモデルによる計算においては通常運転時と比較して全窒素で 0.05mg/L の増加分がノリ区画に達している状況や、水路からの DIN 輸送量が通常時と比べて 8.1%増加していることが分かった。

今後の課題としては水路内の濃度上昇への対応や、継続的に事業を実施していくための検討、生産性の向上にどのように繋げていくかの検討等が挙げられる。

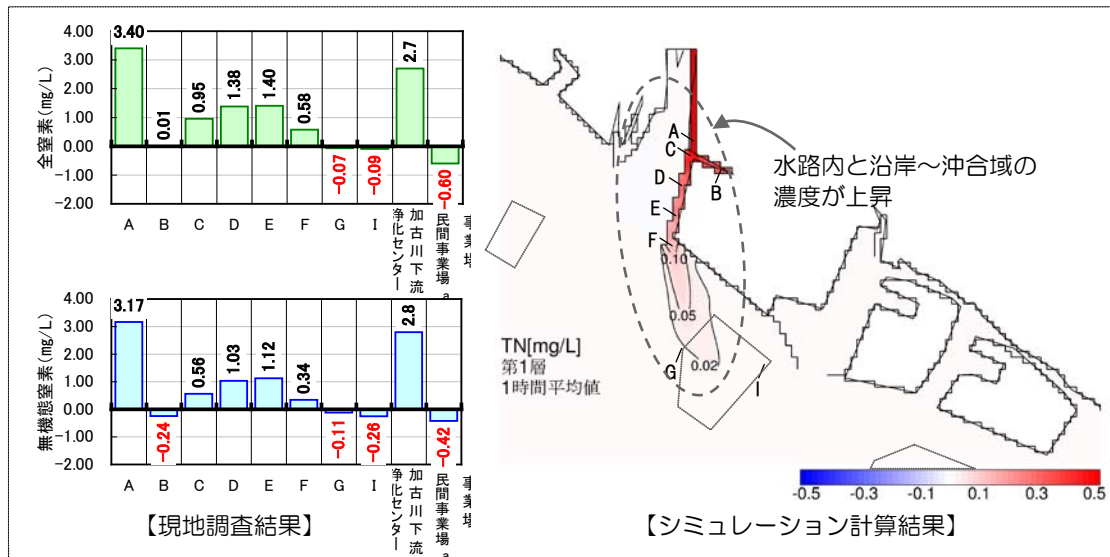


図 5.2-1 加古川下流浄化センターの窒素排出量増加運転の効果（通常運転時との差）

(2) 河川を利用した海水交換促進対策

播磨灘北東部海域に位置する泊川河口沖水路内においては、加古川下流浄化センターや民間事業場 a からの排水の影響で DIN 濃度が周辺よりも高い状態となっている。DIN が高いと貧酸素水塊の発生や底質の悪化等の問題が発生する恐れがある。そのため、水路内の DIN 濃度を下げするために、水路内で生じているエスチュアリー循環流を促進させる対策を実施することにより、沿岸～沖合域の DIN 濃度の低い水塊の流入量を増やし、水路内の DIN 濃度の高い水塊を沿岸～沖合域により多く排出する方法について検討を行った。対策は加古川の表層水を泊川河口沖水路の底層に放水し、密度流を増加させる方法を採用した。

シミュレーションモデルによる計算の結果、水路内で DIN 濃度が低下し沿岸～沖合域で濃度が増加することが確認され、DIN の輸送量で見た水路からの流出量は対策を実施しない場合に比べて 5.6%増加していた。

課題としては加古川から泊川に導水する場合の手続きの確認や設置・維持管理費の確保方法の検討、関係者の合意を得るための説明等が考えられる。

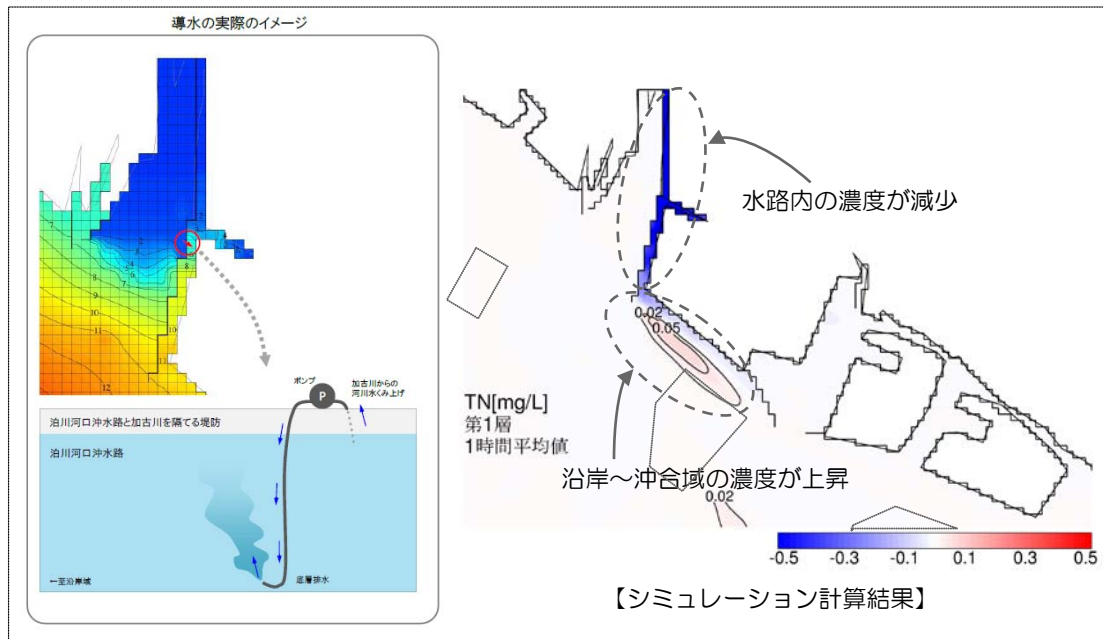


図 5.2-2 河川を利用した海水交換促進対策の効果（現況との差）

（3）海水交換防波堤（遊水室型）の設置

東播磨港においては港湾内外の海水交換が少なく、滞留化しているため沿岸～沖合域と比較して DIN 濃度が相対的に高くなっている。港湾内の公共用水域水質調査の調査地点（48）においては夏季に貧酸素化が確認されている。そのため、港湾内外の海水交換量を増やし、さらに上下層の混合も促進させることを期待した対策として、港口にある防波堤を波の作用で港湾内の海水を吸い出す流れを発生させる機能を有した防波堤（海水交換防波堤（遊水室型））に変更した場合の効果について検証した。なお、この防波堤は低反射、低透過であるため、港湾内の静穏化効果も十分に発揮するとされている。

シミュレーションモデルにより最適条件に設定をして計算を行った結果、海水交換防波堤（遊水室型）の設置により現況と比べて港湾内の滞留が減少し、DIN 濃度も低下していた。また、特に表層において東播磨港内から沿岸～沖合域への DIN の供給効果についても確認された。東播磨港から流出する DIN 輸送量は現況と比較して 154.7%増加していた。

課題としては実際の海水交換防波堤（遊水室型）の設計条件に沿った詳細な効果の検証や関係者との意見調整、海水交換防波堤（遊水室型）に変更するための方法の検討、設置費用の確保等が挙げられる。

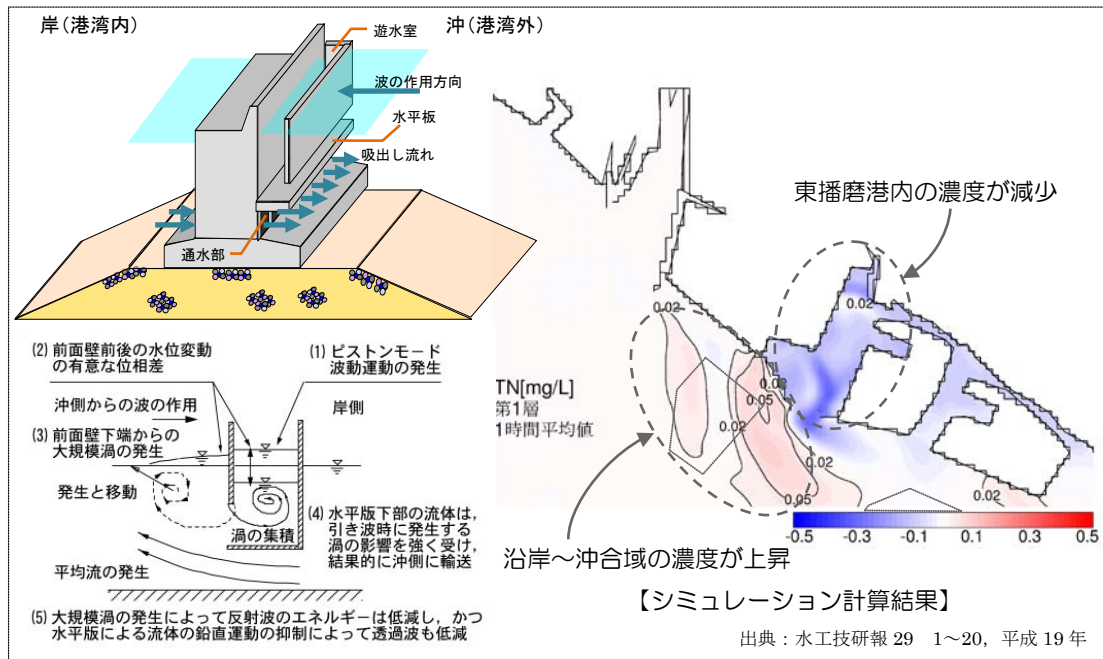


図 5.2-3 海水交換防波堤の設置対策の効果（現況との差）

（４） 事業場排水の排水口位置の変更

臨海部に位置する大規模事業場の排水は港湾内の閉鎖性水域に排出されていることが多く、そのため港湾内では富栄養化状態となり、赤潮や貧酸素水塊の発生、底質の悪化等の問題が発生している。一方、沿岸～沖合域においては総量規制や排水規制等の成果により窒素濃度が減少し、近年はノリ等の健全な生育に必要な DIN が足りない状況にもなっている。

そこで、民間の事業場を対象に、排水口の位置を現在の港湾内から港湾外に移動させる方法について検討を行った。検討は民間事業場に対して行ったヒアリングの回答の整理により行った。ヒアリングの結果、排水口の移動は排水管の延長や排水口の改造等で巨額の投資となり、費用的に不可能であると確認された。また、許可申請排水量や地元との協定等の制限があるため、排水量を変更することも難しい。

既存の施設において排水口位置を変更することは難しいが、施設を新設する場合は環境に配慮した排水口位置について検討する必要があると考えられる。

（５） 民間事業場の排水の窒素・りん濃度の増加

播磨灘北東部海域では沿岸～沖合域の DIN 濃度が低下しているため、下水処理場の窒素排出量増加運転と同様に民間事業場についても窒素排出量を増やすことができないか検討を行った。なお、加古川河口域に位置する民間事業場 a の 1 日あたりの全窒素負荷量は加古川からの負荷量に匹敵する量が排出されており、シミュレーションモデルによる現況再現結果からも民間事業場 a の排水の影響の大きさが確認されている。

民間事業場に対してのヒアリングの結果、民間事業場は各種規制に対応して窒素を回収・利用を実施している一方で、窒素・りんの除去を目的とした処理を特に行っていない場合も多く、窒素・りんの負荷量を増やすことは困難との回答を得た。また、負荷量を増やすための新たな設備投資の実施も厳しい状況にある。

対象海域における民間事業場からの窒素負荷量が大きいため、景気の変動による工場の稼働状況の変化に伴う負荷量の増減や、事業場の撤退による負荷量の減少等が海域の窒素濃度に及ぼす影響は大きい。課題として、そのような因子に左右されない海域の生物生産の在り方についても議論を進めておく必要がある。

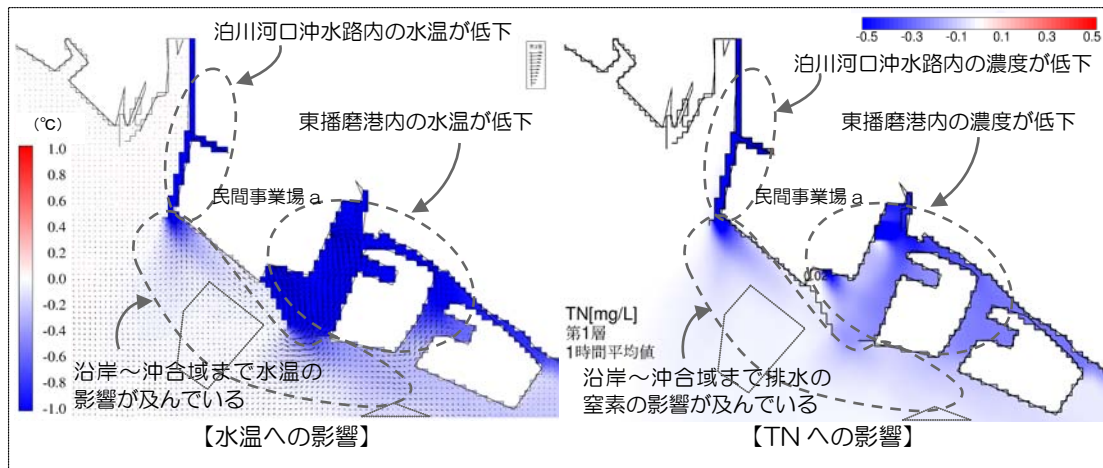


図 5.2-4 民間事業場 a の排水量をゼロとした際の現況との差

(6) 出水時の流出負荷の平準化

播磨灘北東部海域ではノリの養殖が盛んに行われており、海域の DIN 濃度の多少がノリの生産量に大きく影響を及ぼしている。播磨灘北東部海域の DIN 濃度は隣接する湾灘からの移流とともに、加古川等の河川からの流入水も影響している。そのため、降雨があり河川が出水した際には多量の DIN が流入するため、海域の DIN 濃度が上昇してノリの状態も良くなる。しかし、出水時の DIN は短期間に一気に流入するため、平水に戻った際には河川の DIN 濃度も減少して、海域の DIN 濃度も下がってしまう。そこで、出水時の高い濃度の DIN を含んだ水を下水処理場等で蓄え、出水の終了後に継続的に供給する管理方法について検討を実施した。

出水時とその後の DIN の供給量と海域の状況については、シミュレーションモデルによる計算で現況を再現した後に対策効果を検討する手順となるが、現状として出水時の下水に関するオーバーフローの状況や水質、流量等の情報が不足しているため、シミュレーションモデルによる計算が実施できない。そのため、課題としては出水時の下水の状況について、情報の収集や現地調査を実施し、基礎的なデータを充実させる必要がある。また、この対策を実施するためには施設の更新が必要であり、費用の確保等について調整がいる。

(7) ため池の池干し・海底耕耘

漁業者による地域の物質循環の健全化に向けた取り組みとして、当地域においてはため池の池干しと漁船を使った海底耕耘が行われている。

兵庫県は全国で最もため池の数が多く、播磨地域だけでも 1 万箇所以上のため池がある。ため池は農業用水の確保だけでなく、防火や生活用水としての利用、洪水防止機能、生物生息やレクリエーションの場としての機能等の多面的な価値を有している。しかし、近年になり農業従事者の減少やため池の老朽化等の理由で数が減少している。

かつてのため池では底に溜まったヘドロや土砂を除去し、堤防等の点検修理をすることを目的に、冬季にため池の水を抜く「池干し」が定期的に行われていたが、農業従事者の減少や高齢化等の理由により池干しが実施されなくなってきた。池干しは海域に栄養分を供給する機能も有していたため、海域において栄養不足が問題になり、ため池に溜まった栄養分が着目されるようになると、平成 20 年度より淡路島の東浦地区において、平成 22 年度より東播磨地域において漁業者と農業者が一緒になり池干しを行うようになった。東播磨地域においては平成 22 年度に 16 箇所、平成 23 年度に 27 箇所で行われた。

池干しの実施による栄養塩類の供給量は海域の海水量に比較して少量であるため、海域の生産力を上げる程の効果は確認されていない。しかし、池干しは池の適正な維持管理に資することや、漁業者と農業者の交流が生まれる等の利点があり、また、マスコミ報道等を通じて豊かな海を再生する取り組みを広く知らせる効果や啓発効果もあるため、社会的意義は大きいと言われている。なお、池干しを実施する際は河川の生物等への影響についても留意する必要がある。

海底耕耘については、海底を「桁」と呼ばれる道具を用いて耕すことによって、底泥に溜まった栄養塩類を海中へ湧出させようとするものである。

この取り組みは平成 17 年に兵庫県淡路市で行われたのがきっかけであり、その後、平成 18～19 年には「ノリ養殖業高度化促進モデル事業」（全漁連）によって淡路地区や明石地区の漁協において効果調査が行われ、栄養塩類の湧出や底質の悪化防止、底生生物への影響等の効果について報告されている。

この成果を踏まえ、漁業用燃油高騰対策として平成 20 年度より始まった水産庁による「省エネ推進協業体活動支援事業」（平成 21 年からは「資源回復・漁場生産力強化事業」に移行）を活用し、平成 22 年までの 3 ヶ年、兵庫県の瀬戸内海側の漁協に所属する多くの漁業者が本格的に海底耕耘に取り組んだ。当該事業はグループ化された漁業者が輪番で休漁し、その休漁の当番となった漁業者が休漁日に漁場生産力向上のための活動を行い、その活動経費が直接漁業者に支払われるというものである。この 3 カ年で、延べ 51 の漁業者グループが延べ約 48,600 隻の船によって海底耕耘を行った。耕耘との直接的な因果関係は定かではないものの、漁業者からはノリの色落ちの回復やイカナゴやアナゴ、エビなどの水揚げが増えたという声が挙げられている。

現在、海底耕耘は同じく水産庁による「環境・生態系保全活動支援事業」において引き継がれて実践されており、多くの漁業者が環境改善に取り組んでいる。

表 5.2-1 問題解決に向けた対策案

対策名	特徴	課題、問題点
加古川下流浄化センターの窒素排出量増加運転【②】	<ul style="list-style-type: none"> ・ 冬季に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。 ・ 平成 20 年度より既に実施されている。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。 ・ 瀬戸内海環境保全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。
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。
海水交換防波堤（遊水室型）の設置【①、②】	<ul style="list-style-type: none"> ・ 港湾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。港湾内から港湾外へ高い DIN 濃度の水塊の供給が期待される。 	<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。
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窒素を拡散させる。 ・ 港湾奥部に排水している民間事業場の排水を港湾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 DIN 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。 ・ 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 DIN 濃度が減少する可能性がある。
民間事業場の排水の窒素・りん濃度の増加【②】	<ul style="list-style-type: none"> ・ 臨海部に位置する民間事業場の排水の DIN 濃度を増やすことにより、海域の DIN 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 DIN 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。
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 DIN 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・海底耕耘【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。 ・ 海底耕耘により底泥中の栄養分の供給と底質の改善が期待される。 ・ 池干し、海底耕耘ともに社会的意義が大きいと言われている。 	<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。 ・ 海底耕耘の実施は底質環境を考慮して実施する必要がある。

① 港湾奥部の滞留域における DIN 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 DIN 濃度の低下

5.2.2 対策の選定に当たっての留意事項

表 5.2-1 に挙げた対策について、その中から実際に地域で実施していく対策を抽出する際には次のことを考慮する必要があると考えられる。

- ・ 科学的な検証に基づいた対策の効果が期待できる。
- ・ 実施が可能な主体が存在すると想定される。
- ・ 対策の現地への適用に当たり、現地での制約（許可、法律等）について問題がない。
- ・ 対策の実施により環境悪化や船舶の航行阻害等の悪影響が発生しない見込みである。
- ・ 費用負担者が現実的に負担可能な費用の範囲内で対策が実施できるとみられる。
- ・ 対策の効果について、モニタリングの実施により科学的に検証が可能である。
- ・ 地域で継続的に実施可能な対策である。
- ・ 社会的な同意を得られるだけの根拠等を持ち合わせている。
- ・ 対策の効果が短期的（5年以内）に得られると想定される。
- ・ 対策の実施やモニタリング等が多様な主体が参加して実施可能である。

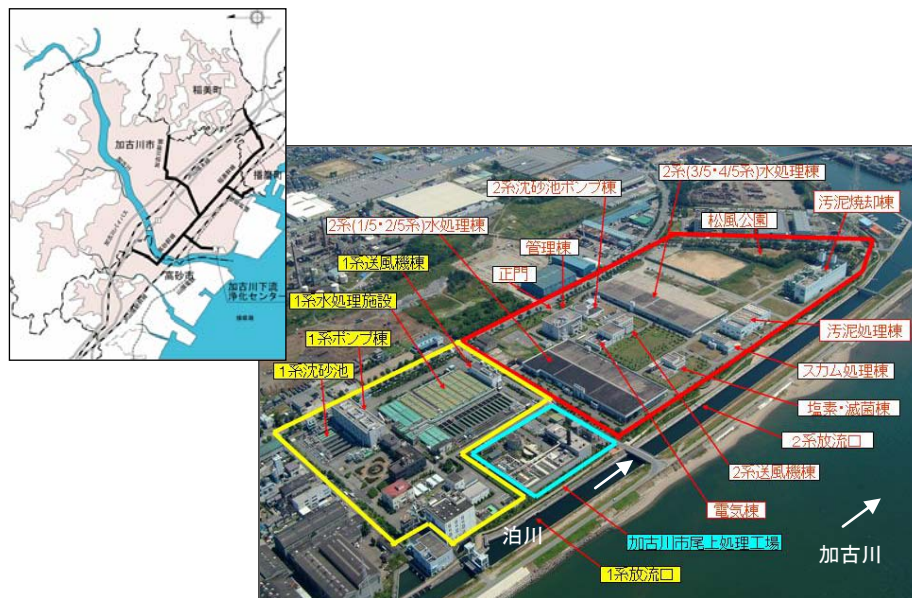
5.2.3 対策の特徴と期待される効果

(1) 加古川下流浄化センターの窒素排出量増加運転

◇ 対策の特徴

◆ 加古川下流浄化センターとは

加古川下流浄化センターは加古川河口左岸部に位置しており、昭和 42 年に供用開始された 1 系施設と平成 4 年に供用開始された 2 系施設がある（図 5.2-5）。平成 22 年度末現在、加古川市、高砂市、播磨町及び稲美町のうち 5,497.4ha を処理区域とし、処理人口は 332,000 人である。処理方式は標準活性汚泥法であるが通常ステップ流入式硝化脱窒法により運用されている。加古川下流浄化センターの処理水は 2 箇所の排水口から加古川の左岸を流れる泊川に排水されている。流入水質と放流水質は表 5.2-2 に示すとおりである。



出典：第 1 回水環境マネジメント検討会 資料 4「兵庫県県土整備部土木局下水道課提供資料」より作成

図 5.2-5 加古川下流浄化センターの主要施設

表 5.2-2 加古川下流浄化センターの流入水質・放流水質（平成 22 年度平均値）

項 目	1 系施設		2 系施設	
	流入水	放流水	流入水	放流水
BOD (mg/L)	84	2.1	190	3.3
COD (mg/L)	41	6.2	90	9.1
SS (mg/L)	57	2	160	3
TN (mg/L)	19	6.3	33	6.3
NH ₃ -N (mg/L)	12	<0.1	21	0.3
NO ₂ -N (mg/L)	<0.1	<0.1	<0.1	0.1
NO ₃ -N (mg/L)	<0.1	5.1	<0.1	4.6
TP (mg/L)	2.2	0.4	4.2	1.0
高級処理水量 (m ³ /日)	46,953		64,309	

出典：第 1 回水環境マネジメント検討会 資料 4「兵庫県県土整備部土木局下水道課提供資料」

◆ 窒素排出量増加運転とは

播磨灘はノリ養殖が盛んであり地域の主要産業の一つとなっている。しかし、播磨灘においては水中の窒素濃度が低下し、そのためノリが色落ちして生産量の減少や単価の下落が生じるようになっている。また、窒素濃度の低下は一次生産者である植物プランクトン等の藻類の生産量や構成種の変化の要因となっているとみられ、食物連鎖を通じて生態系全体へ影響している可能性もある。これらのことから、漁業者を中心に陸域からの栄養分の供給量を増やしてほしいとの声が次第に高まり、それを受けて播磨灘では本土側 2 箇所と淡路島の 4 箇所において窒素の管理運転が試験的に実施されるようになった。下水処理場における処理方式は複数あるため、処理方式に合わせて脱窒抑制運転や硝化抑制運転等を実施することにより、排水中の窒素濃度を増加させている（表 5.2-3）。

我が国においては上記の下水処理場以外に大牟田市の北部浄化センター、南部浄化センター、佐賀市下水浄化センター等において窒素排出量増加運転が実施されている。大牟田市の北部浄化センターと南部浄化センターの水処理方法は標準活性汚泥法であり、冬季に有明海のノリ養殖場への窒素供給を目的に脱窒抑制運転を行っている。北部浄化センターでは流入量が処理能力の約 1/2 と少ないことから、滞留時間が長くなって硝化が進んでしまい結果として 50%程度が除去され、硝酸性窒素で 20mg/L 程度（アンモニア性窒素は微量）の放流水となっている。一方、南部浄化センターでは硝化抑制が円滑に実施され、放流水のアンモニア性窒素濃度が 20～30mg/L となっている※。佐賀市下水浄化センターの水処理方法は標準活性汚泥法と担体投入標準活性汚泥法であり、平成 19 年からノリ養殖へ配慮した窒素とりんの期別調整運転が実施されている。冬季には硝化抑制運転、夏季には硝化促進運転が実施されており、放流域におけるノリの色落ち抑制効果も報告されている。また、佐賀市下水浄化センターでは平成 18 年からは漁業者を集めた勉強会を開催している。なお、佐賀市下水浄化センターの放流水の COD、全窒素、全りんについては有明海流域別下水道整備総合計画の目標値を達成していない。

窒素排出量増加運転はこれまでの規制を厳格化していく方向から 180 度転換した考えであり、社会的な理解を十分に得ていくことが必要である。

※ 古賀みな子（2008）：マニュアルにはない水質管理，環境新聞社，pp.127-133.

表 5.2-3 下水処理場の処理方式と窒素増加運転の方法

下水処理場名	処理方式	窒素増加運転の方法
加古川下流浄化センター	ステップ流入式多段硝化脱窒法	脱窒抑制
二見浄化センター	標準活性汚泥法	硝化抑制
北淡浄化センター	高度処理オキシデーションディッチ法	
一宮浄化センター	高度処理オキシデーションディッチ法	
淡路・東浦浄化センター	凝集剤併用型循環式硝化脱窒法	
津名浄化センター	標準活性汚泥法	

出典：豊かな海づくりに係る検討会資料より作成

◆ 加古川下流浄化センターの窒素排出量増加運転

加古川下流浄化センターでは平成 20 年度より冬季に窒素量を増加させるための脱窒抑制運転（嫌気条件の脱窒槽を好気条件に変更することにより、脱窒菌による窒素除去を抑制する運転）が試行されている。処理方式は通常ステップ流入式多段硝化脱窒法であるところを単段硝化脱窒法に変更している。窒素排出量増加運転は 12 月を準備期間として段階的に排水の窒素濃度を上げていき、12 月中旬から後半にかけて運転変更率が 100%となる。その後、水処理に問題が発生しなければ 2 月末まで運転変更率 100%期間を継続し、3 月を復旧期間として順次通常運転へ戻している。なお、窒素排出量増加運転は法定基準を遵守することを第一としているため、排水水質が悪化した場合は増加運転を中止することとしており、実際に平成 22 年度に排水基準の範囲内ではあるが放流水の大腸菌群数の増加が確認されたため、窒素排出量増加運転を平成 23 年 2 月 24 日に中止し通常運転に戻している。このように窒素等の特定の項目だけの排出濃度を増加させる運転は管理が難しいとされている。

◇ 期待される効果

◆ 加古川下流浄化センターの排水水質

加古川下流浄化センターの窒素排出量増加運転による排水水質の変化を表 5.2-4 に示す。平成 22 年度は窒素排出量増加運転前の DIN の平均値が 5.3 mg/L、窒素排出量増加運転中の DIN の平均値が 8.6 mg/L であり約 1.6 倍となっており、平成 22 年度は 5.5 mg/L から 8.6 mg/L に増加（約 1.6 倍）、平成 23 年度は 4.8mg/L から 8.3 mg/L に増加（約 1.7 倍）していた。窒素排出量増加運転による濃度の増加は硝酸性窒素の上昇率が大きく、平成 22 年度と平成 23 年度はアンモニア性窒素も若干上昇している。ノリの色調に関しては DIN の濃度が影響しているため、対策による増加分がノリの養殖区画まで達していれば一定の効果を期待できるとみられる。なお、平成 23 年度までに実施された窒素排出量増加運転について、窒素濃度増加後の排水中の各項目の濃度は全て各種規制値の範囲内であった。

表 5.2-4 加古川下流浄化センターの排水水質等の状況

	DIN 濃度 (mg/L)	内訳 (mg/L)			全窒素濃度 (mg/L)	雨量 (mm)	高級処理水量 (m ³ /日)
		NH ₄ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N			
H21d 11月	5.3	<0.1	<0.1	5.3	6.1	122.5	100,506
12月	7.0	<0.1	<0.1	7.0	9.5	39.0	93,884
1月	8.8	0.5	<0.1	8.3	12	13.0	87,218
2月	8.4	1.0	<0.1	7.3	10	88.0	95,326
3月	5.5	0.4	0.1	5.0	6.4	118.5	110,184
H22d 11月	5.5	0.2	<0.1	5.3	7.1	11.5	103,192
12月	5.7	0.2	<0.1	5.5	7.4	55.5	106,098
1月	8.5	0.4	<0.1	8.1	9.7	3.0	93,355
2月	8.5	1.1	0.4	7.0	8.8	62.0	97,822
3月	6.3	0.3	0.2	5.8	7.1	26.0	97,580
H23d 11月	4.8	<0.1	<0.1	4.8	5.7	61.0	114,277
12月	7.6	<0.1	<0.1	7.6	8.5	8.0	103,364
1月	8.8	<0.1	<0.1	8.8	9.1	20.0	98,697
2月	7.6	<0.1	<0.1	7.6	8.7	69.0	104,596
3月	5.3	<0.1	<0.1	5.3	6.6	119.5	114,799

※網かけ部が各年度の窒素排出量増加運転試行期間
 出典：豊かな海づくりに係る検討会資料より作成

◆ 海域への影響

◆ 概要

海域において窒素排出量増加運転の効果を確認するには増加運転実施前を含めて継続的に濃度の水平、鉛直分布の変化を観測しなければならない。しかし、現地観測を高頻度で実施するには予算が問題となることや、加古川下流浄化センターの排水が到達する泊川河口付近には民間事業場 a から大量の排水が流入しており、また泊川河口沖水路の沖合域においては流れが速く、加古川からの流入水の影響も受ける海域であるため、窒素排出量増加運転による濃度変化を確認することが難しいとみられる。そのため、現地調査とシミュレーションモデルを使った計算による予測を組み合わせることが有効であると考えられる。

◆ 現地調査結果

加古川下流浄化センターの窒素排出量増加運転について、現地調査による効果確認が実施されている。窒素排出量増加運転の開始前（通常運転時）と窒素排出量増加運転時の海域の窒素濃度の差値を求めることにより運転の効果が分かる。しかし、当該海域は民間事業場 a の排水の影響を強く受けることから、民間事業場 a の排水の窒素濃度が変化していないか（上昇していないか）確認を行うため、現地調査実施時の民間事業場 a の排水水質データを取得した。また、調査時期の違いによる海域の窒素濃度の変化の影響を取り除くため、窒素排出量増加運転の影響を受けない地点にバックグラウンド点を設定し、窒素排出量増加運転前と増加運転中の濃度の変化を把握した。

現地調査の結果、水路内の最も沖合側（F 地点）まで窒素濃度の上昇が確認される等、泊川河口沖水路で全体的に窒素濃度が上昇していた。民間事業場 a の排水やバックグラウンド点の

窒素濃度が上昇していなかったことから、泊川河口沖水路内の窒素濃度の上昇は加古川下流浄化センターの窒素排出量増加運転の影響であると考えられた。濃度の上昇幅は加古川下流浄化センターに近い A 地点で最も大きかったが、C 地点は民間事業場 a の排水の影響が見られた。加古川下流浄化センターでは窒素排出量増加運転により排水中の DIN 濃度を増加させているため、泊川河口沖水路内においても DIN 濃度が増加していた。

なお、調査地点の設置数や調査頻度には限界があるため、窒素排出量増加運転の影響範囲の正確な把握や、影響範囲の時間変動の把握等は現地調査だけでは困難であり、シミュレーションモデルの計算結果も組み合わせて検証する。そのため、現地調査はシミュレーションモデルによる計算の精度確認の材料にもなる。

本ヘルシープランの対象地域以外の地域において対策を検討する場合、シミュレーションモデルの現況再現を実施する初期の段階においては、地方自治体による公共用水域の水質調査結果データの解析の補足として、現地調査を実施する必要もあると考えられる。このように、現地調査の位置付けは目的によって変化するため注意しなければならない。

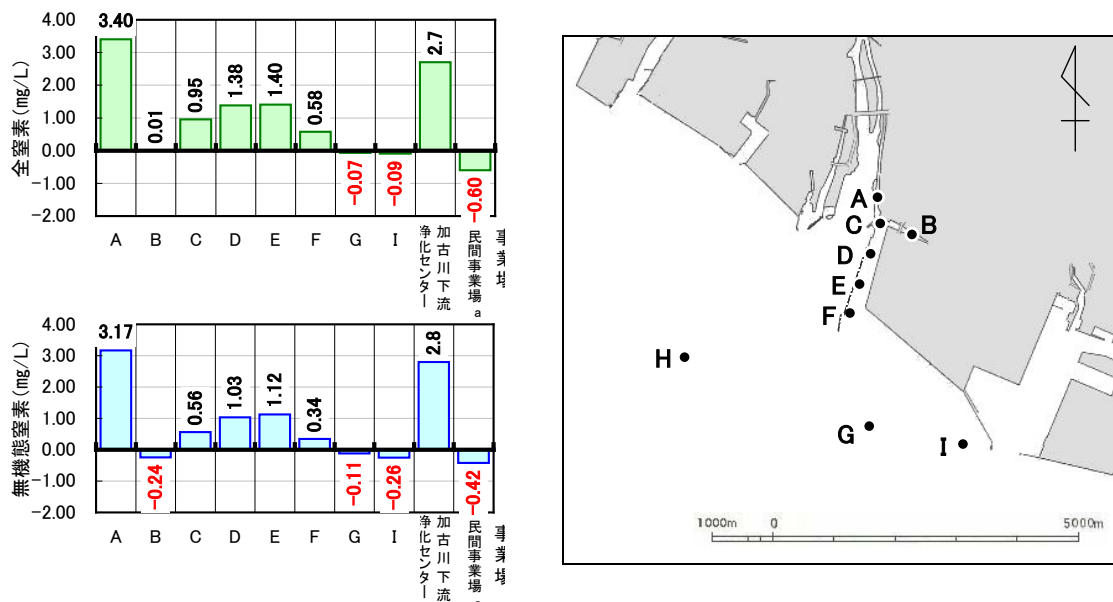


図 5.2-6 通常運転時と窒素排出量増加運転時の表層の濃度差

◆ シミュレーションモデルの計算結果

窒素排出量増加運転の影響の範囲や時間的な影響の変動については現地調査での把握が難しいと考えられることから、シミュレーションモデルを使った計算により効果を確認した。シミュレーションモデルの計算条件等は 5.3.1 に示した。

窒素排出量増加運転による海域での全窒素濃度の増加分の変化を図 5.2-8 に示す。また、対策実施による定量的な効果を把握するために、対象海域を図 5.2-7 に示すように「泊川河口沖水路」「東播磨港」「沿岸域①」「沿岸域②」の 4 つの領域に区分けし、各領域の輸送量を示した (図 5.2-9)。

加古川下流浄化センターの窒素排出量増加運転による窒素濃度の増加域は潮汐の変動に伴い拡大縮小しており、加古川下流浄化センターの窒素排出量増加運転による窒素増加分が

0.05mg/L（ノリの色落ちは $3\mu\text{M}$ （約0.042mg/L）が閾値と言われる）の水塊がノリの養殖区画に到達していた。0.02mg/Lの増加範囲については区画第13号の南東端辺りまで達している時間帯も確認された。

DIN 輸送量について、「泊川河口沖水路」から「沿岸域①」には通常運転時においても流出傾向にあるが、窒素排出量増加運転の実施により、「泊川河口沖水路」から「沿岸域①」へ流出する DIN が通常運転時と比較して 0.20ton/day 増加しており、増加率としては 8.1% 程度の効果であった。現地調査では泊川河口沖水路外への窒素排出量増加運転の効果を捉えることが出来なかったが、シミュレーションモデルの計算では沿岸～沖合域への効果が確認されていることから、窒素排出量増加運転の効果検証は現地観測とシミュレーションの併用が望ましい。

シミュレーションモデルによる計算結果ではノリ区画周辺で常時濃度が上昇した状態が維持されていないが、ノリについては間欠的な DIN の供給により色調の維持、回復が可能であるとの報告もあることから、「5.2.4 対策効果のまとめ」ではノリ区画内の任意地点における濃度増加量の経時変化を示している。

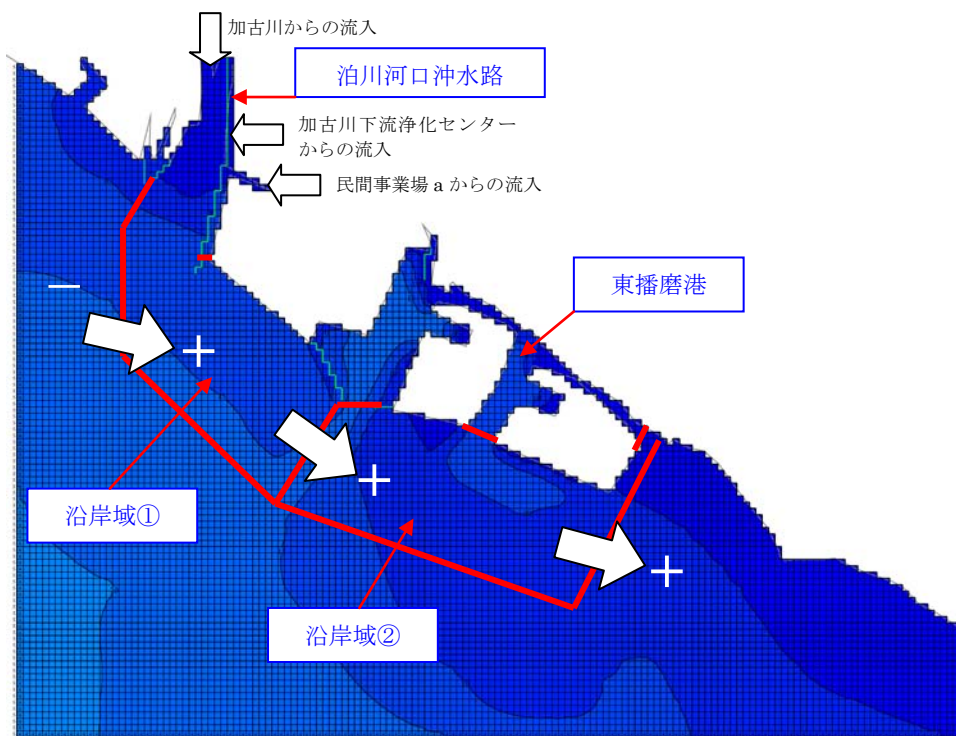


図 5.2-7 DIN 輸送量を出力する領域図

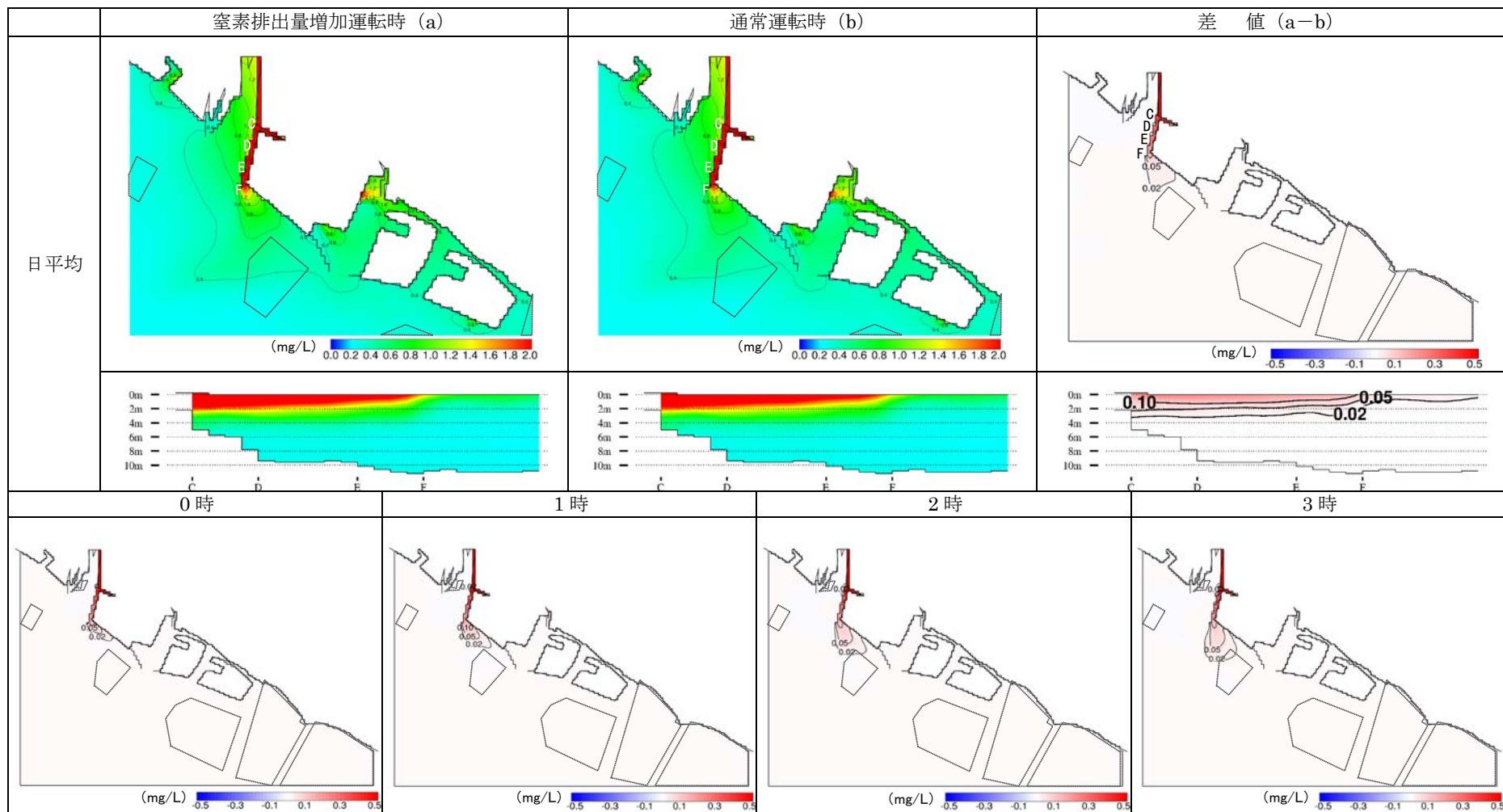


図 5.2-8 (1) 窒素排出量増加運転による全窒素の影響 (毎時結果は差値) [平成 18 年 2 月 11 日]

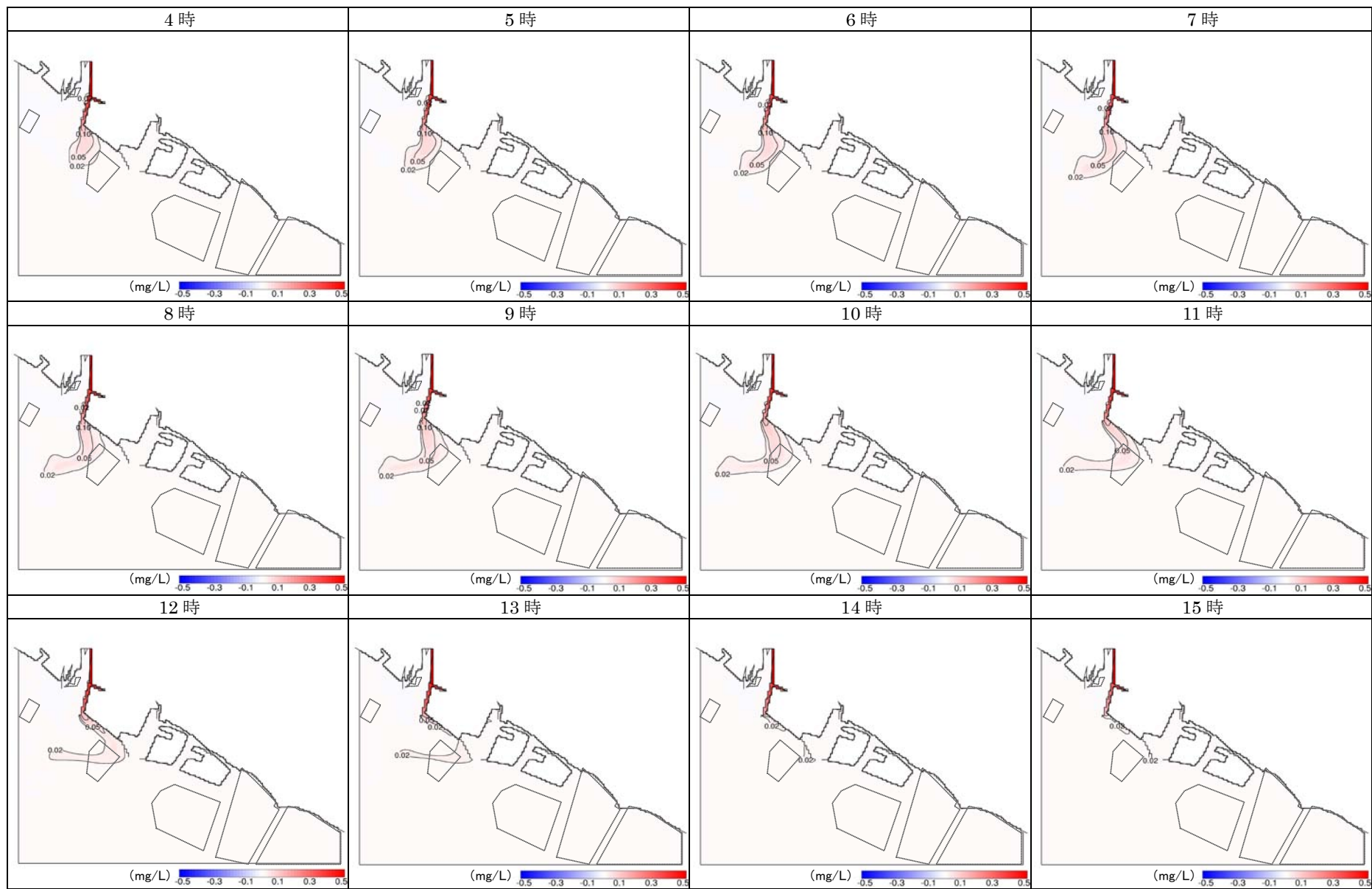


図 5.2-8 (2) 窒素排出量増加運転による全窒素の影響 (毎時結果は差値) [平成 18 年 2 月 11 日]

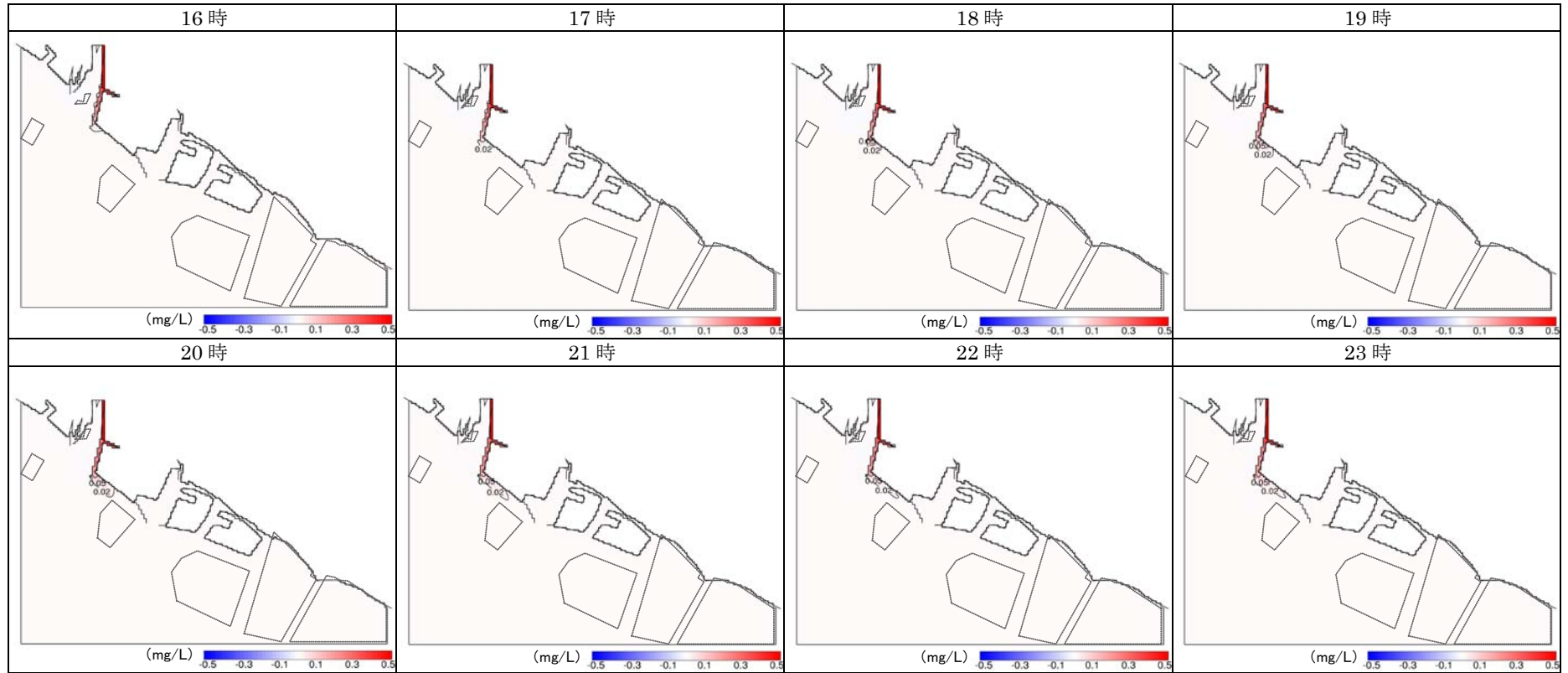


図 5.2-8 (3) 窒素排出量増加運転による全窒素の影響（毎時結果は差値）[平成 18 年 2 月 11 日]

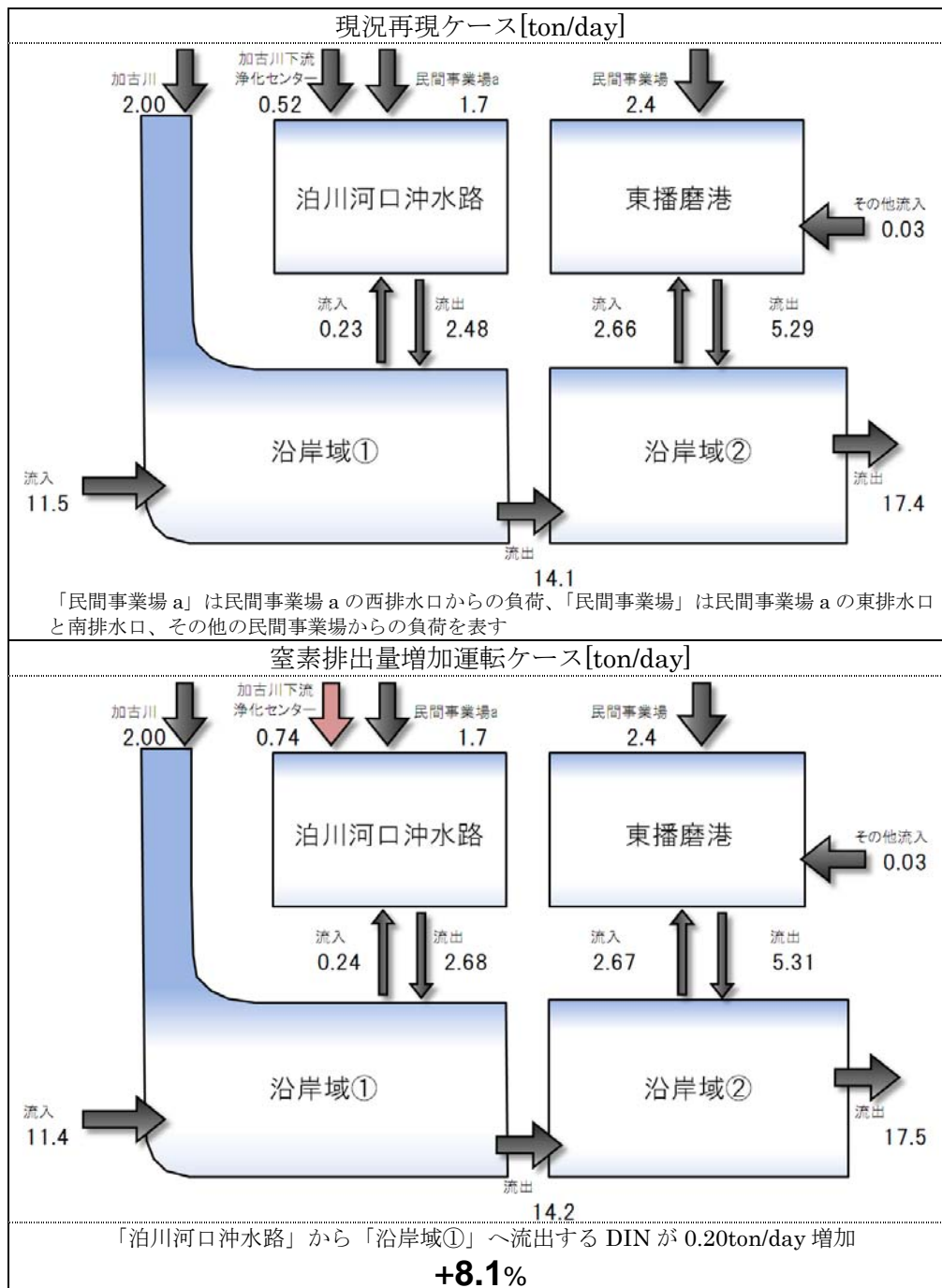


図 5.2-9 窒素排出量増加運転による DIN 輸送量の変化※ (平成 18 年 2 月 1 日～28 日の平均)

※ 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。

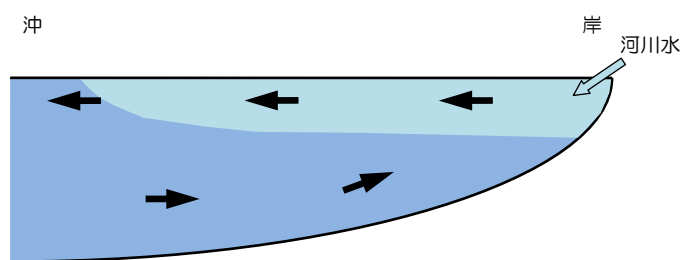


図 5.2-10 エスチュアリー循環流

◆ 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)。

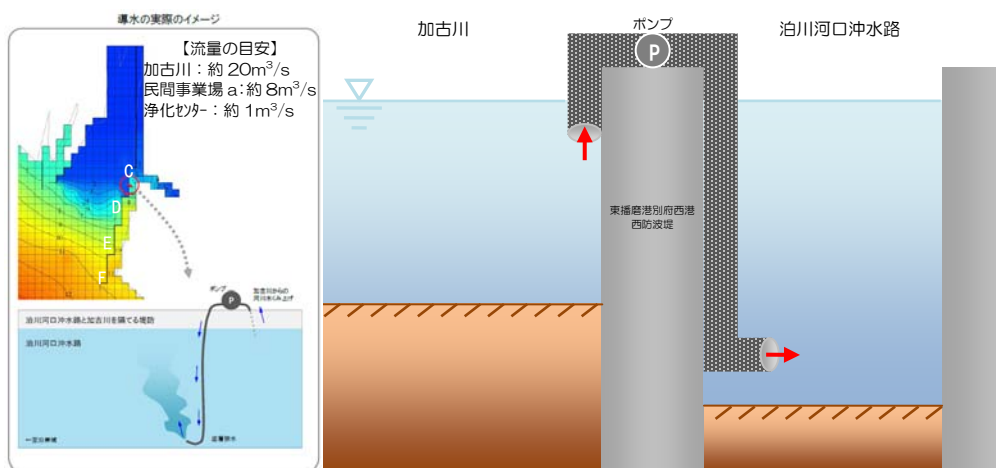


図 5.2-11 河川を利用した海水交換の促進対策のイメージ

◇ 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。

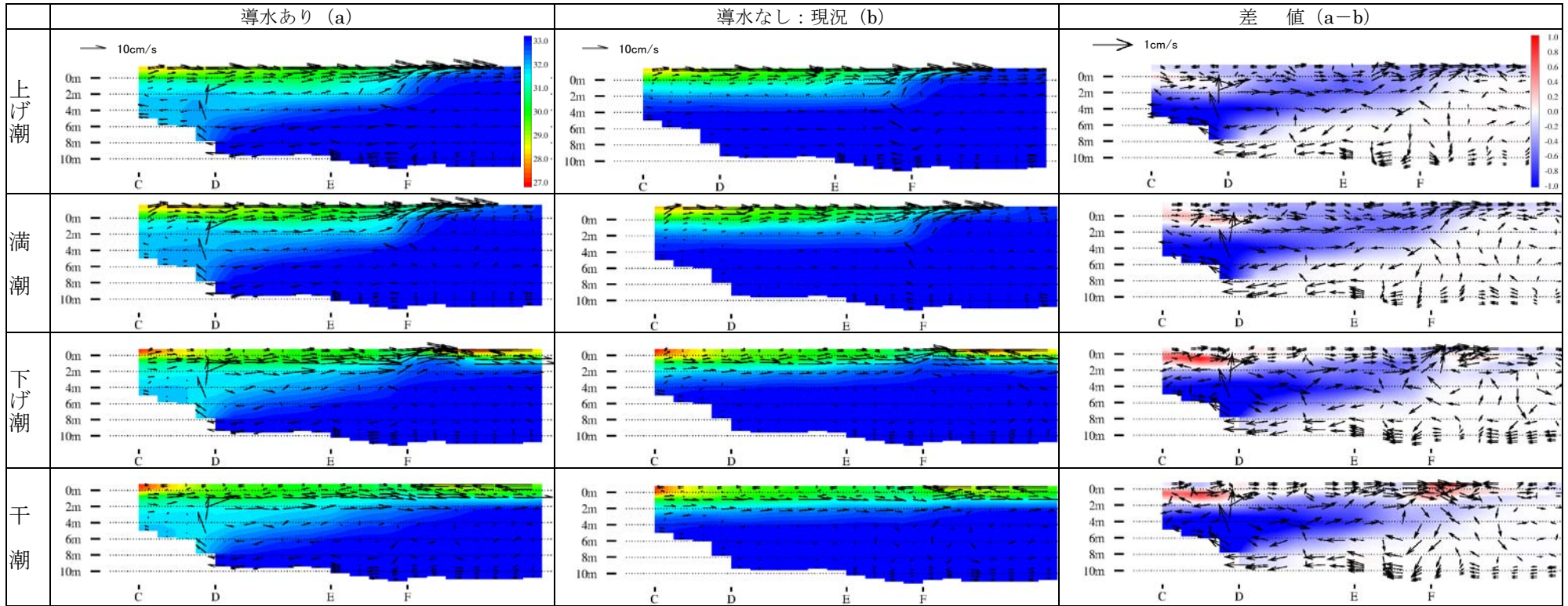


図 5.2-12 加古川から泊川河口沖水路に導水した際の流況と塩分の影響(平成 17 年 12 月 15 日)

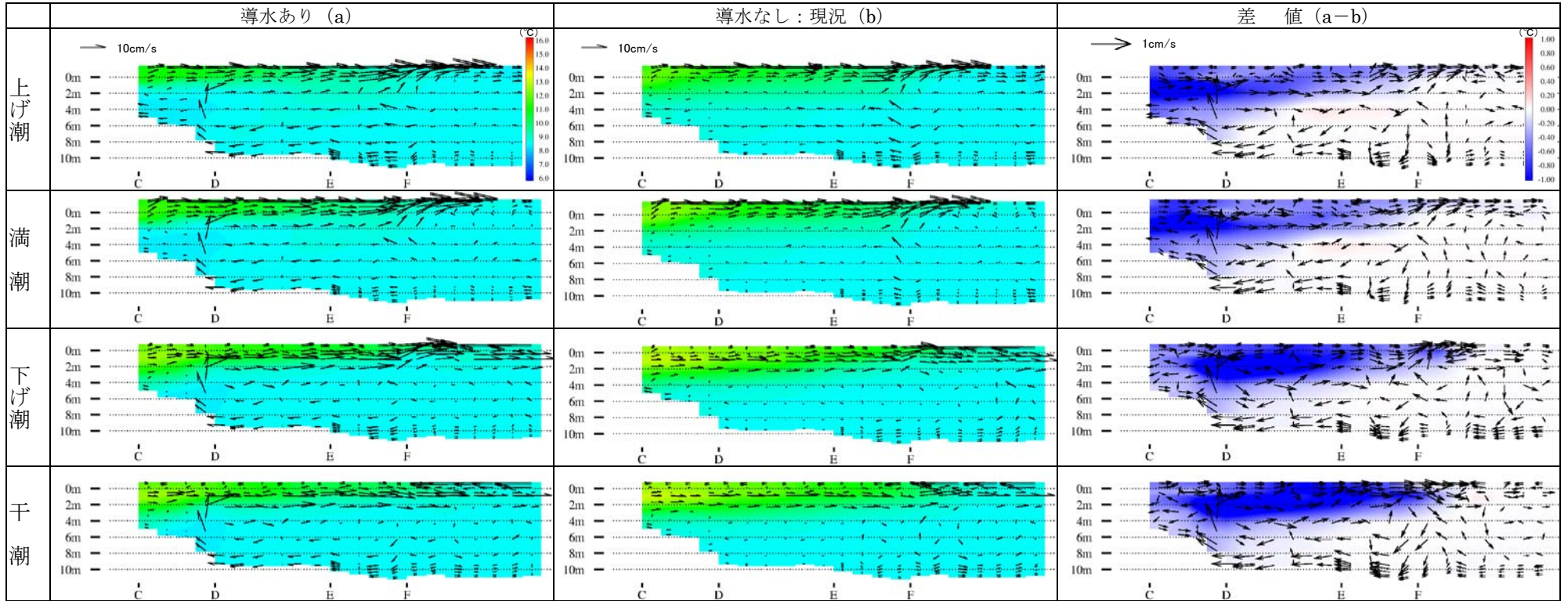


図 5.2-13 加古川から泊川河口沖水路に導水した際の流況と水温の影響(平成 17 年 12 月 15 日)

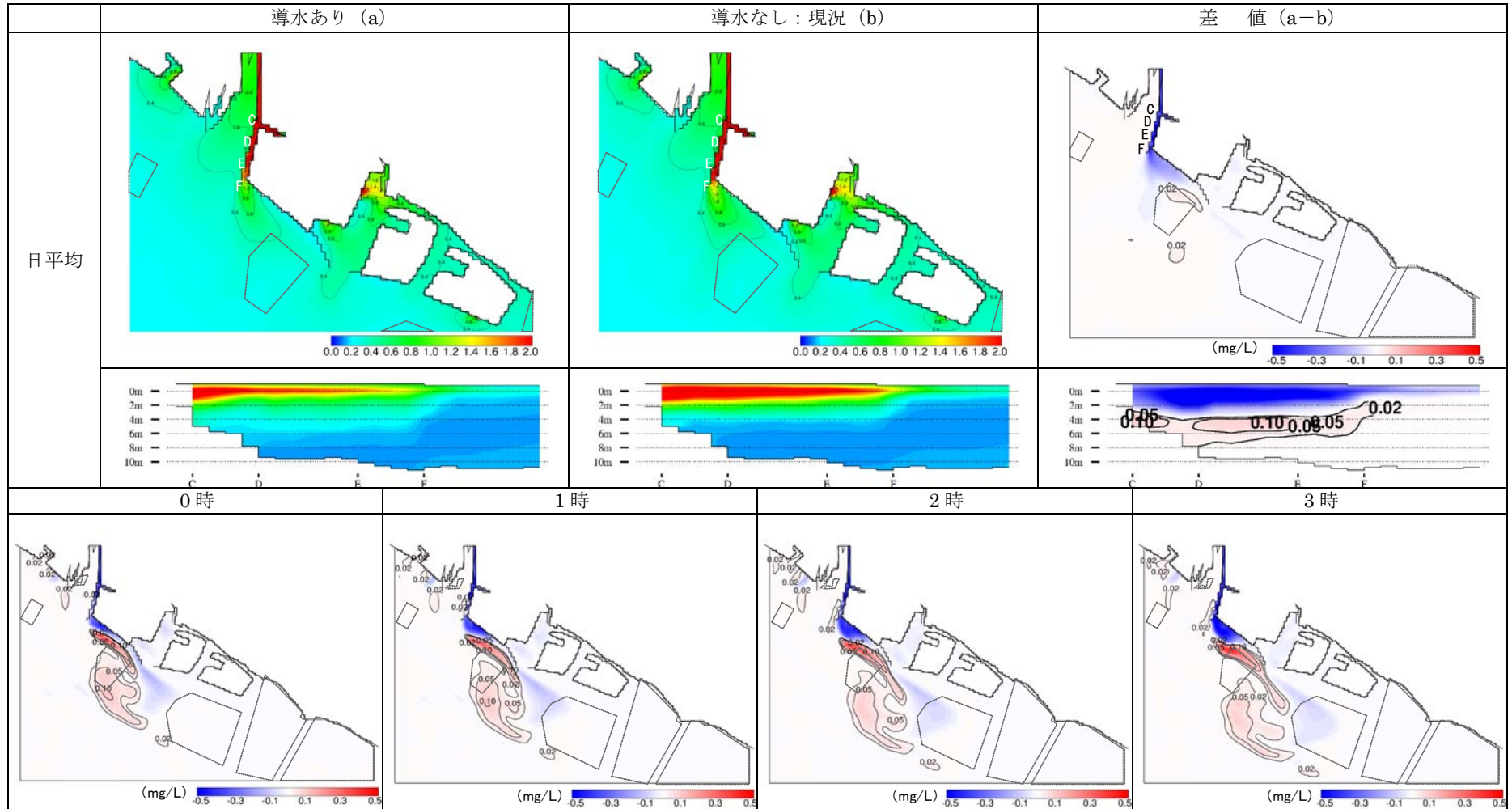


図 5.2-14 (1) 加古川から泊川河口沖水路に導水した際の全窒素の影響 (毎時結果は差値) [平成 18 年 2 月 15 日]