

# 播磨灘北東部地域ヘルシープラン (案)

平成24年12月版



# 目次

1	ヘルシープランについて	1
1.1	ヘルシープラン策定の背景	1
1.2	ヘルシープラン策定の目的	2
2	播磨灘北東部地域の現状と課題	3
2.1	播磨灘北東部地域の概要	3
2.1.1	地形的特徴	3
2.1.2	下水道整備	3
2.1.3	港湾整備と流況	4
2.1.4	水質に係る法律・規制	5
2.1.5	加古川の水質	6
2.1.6	海域の栄養塩類濃度	7
2.1.7	港湾内外の水質の特徴	9
2.1.8	漁業生産の特徴	9
2.1.9	自然的・社会的状況の変遷	10
2.2	播磨灘北東部地域の物質循環	11
2.2.1	物質循環の概要	11
2.2.2	兵庫県の窒素・りんが発生負荷量	11
2.2.3	対象域の窒素・りん負荷量	12
2.2.4	対象域の流れ、窒素・りん濃度の状況	12
2.2.5	対象域の窒素濃度に影響を与える因子	15
2.2.6	漁業生産による窒素取り上げ量	15
2.2.7	各領域の関係性	16
2.3	播磨灘北東部地域の課題と問題点	18
2.3.1	溶存無機態窒素（DIN）	18
2.3.2	関係者意見（地域懇談会）	18
3	播磨灘北東部地域ヘルシープラン	20
3.1	播磨灘北東部地域ヘルシープランの位置付け	20
3.2	播磨灘北東部地域ヘルシープランの目標	21
3.2.1	播磨灘北東部地域の目標像	21
3.2.2	目標期間	21
3.2.3	各対策の目標設定の考え方	22
3.3	播磨灘北東部地域ヘルシープランの基本方針	22
3.3.1	行動計画の実施手順	22
3.3.2	行動計画実施の基本方針	23
4	播磨灘北東部地域における行動計画	24
4.1	行動計画作成の背景	24
4.2	対策の概要	24

4.2.1	加古川下流浄化センターの窒素排出量増加運転 .....	24
4.2.2	河川を利用した海水交換促進対策 .....	25
4.2.3	海水交換防波堤（遊水室型）の設置 .....	26
4.2.4	事業場排水の排水口位置の変更 .....	27
4.2.5	民間事業場の排水の窒素・りん濃度の増加 .....	27
4.2.6	出水時の流出負荷の平準化 .....	28
4.2.7	ため池の池干し・海底耕耘 .....	28
4.3	対策の選定に当たっての留意事項 .....	31
4.4	各対策の実施内容 .....	31
4.4.1	加古川下流浄化センターの窒素排出量増加運転 .....	31
4.4.2	河川を利用した海水交換促進対策 .....	46
4.4.3	海水交換防波堤（遊水室型）の設置 .....	58
4.5	対策の組み合わせ効果 .....	78
4.6	行動計画のまとめ .....	85
4.6.1	対策効果 .....	85
4.6.2	行動計画の課題 .....	86
5	資料編 .....	90
5.1	シミュレーションモデルの計算条件 .....	90
5.2	シミュレーションモデルの再現性の確認 .....	94
5.3	海水交換防波堤（遊水室型）の計算 .....	96
5.4	播磨灘北東部地域ヘルシープランに関する計画の概要 .....	97

# 1 ヘルシープランについて

## 1.1 ヘルシープラン策定の背景

我が国の閉鎖性海域は社会経済情勢の変動に伴う陸域からの流入水質の変化や、海面埋立てによる藻場・干潟面積の減少、流れの変化等、様々な影響を受ける海域であり、赤潮や貧酸素水塊の発生、漁獲量の減少、ノリの色落ち等の水産被害等の問題が発生している。

健全な海域を回復、維持していくために必要な対策は、地理的、地形的条件、海域の利用状況、海域への流入河川の流域における社会状況等によって大きく異なるため、各海域の特性に応じて多様な主体の参加による海陸一体となった総合的な取組を推進する必要がある。

兵庫県の播磨灘北東部海域においては、COD、窒素、りんの総量削減等により水質の一定の改善が図られたが、冬季における養殖ノリの色落ちが問題となっている。このような問題を解決し、当該海域を豊かで美しい里海として再生させるための栄養塩類の効率的、効果的な管理方策を明らかにする必要があるため、兵庫県においては海域・陸域の各主体の参画と協働による取組を進めていかなければならないと考えられていた。

そこで、平成 21 年度に兵庫県は環境省による「海域の物質循環健全化計画検討のためのモデル地域」の募集に播磨灘北東部海域を検討対象海域として応募した。播磨灘北東部海域については、当該海域の生態系の安定性、物質循環の円滑さに基づき類型化がなされ、障害の程度、他の地域への波及効果、検討の有効性が検討された結果、気仙沼湾、三河湾とともにモデル地域に選定された（平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震の影響により平成 23 年度から気仙沼湾を三津湾に変更）。

播磨灘は東が淡路島、西が小豆島、南が四国で区切られた海域であり、北西部に家島諸島がある。播磨灘北東部の沿岸域においては高度経済成長期に人口と産業が集中し、陸域から海域に多量の栄養塩類が流入した結果、赤潮の発生等の環境問題が発生した。

その後、汚濁負荷量の総量を削減することにより水質環境基準を満足させることを目的とした COD、窒素、りんの総量削減等の各種規制が実施された結果、当海域の港湾内、沖合域における全窒素、全りん濃度についてはピーク時の半分程度にまで低下した。しかし、港湾内の栄養塩類濃度は依然として高く、逆に沿岸～沖合域の濃度は栄養塩類不足が一因とみられる養殖ノリの色落ちが生じる程にまでに低くなっている。また、兵庫県瀬戸内海区における海面漁業生産量については平成 7 年頃を境に急激に減少し、近年はピーク時の約半分程度にまで減少している。これらの事象は陸域、海域における物質循環が正常に作用していないことが要因と考えられている。

さらに臨海部の開発により陸域で生活する人々と海の接点が減少し、人々にとって海が遠い存在となっている状況も問題である。「海の水質」は良くなったが「海の豊さ」を実感しにくくなった現在の状況においては、これまでの対処療法的な個別の対策に留まらず、海陸一体として総合的に物質循環の健全化に向けた取り組みを実施し、豊かで美しい里海を目指していくことが求められている。

## 1.2 ヘルシープラン策定の目的

従来、水質環境基準の達成を目的とした富栄養化物質の排出規制や、生物生息環境の整備等を目的とした藻場・干潟の造成等の取組は、森・川・海の物質循環や生物の生活史等、長期的、広域的な視点での考え方が不足していた。生物生産性の低下等の問題を解決し、生物多様性に富みかつ豊かで健全な海を復元するためには、陸域、海域を含む地域全体を総合的に捉える視点が重要であり、多様な主体が横断的に参画して継続的な取組を推進していく必要がある。

播磨灘北東部地域については、地形的特徴、下水道整備率等の社会的状況、栄養塩類の負荷源の状況、河川・海域における栄養塩類濃度の状況、漁業生産の状況等について時系列的に整理がされており、これらを踏まえて適切な対策を実施していかなければならない。

「播磨灘北東部地域ヘルシープラン」は多様な実施主体が対策の具体的な計画を立てて、効率的、効果的に方策を実施していく際の参考となり、当地域の物質循環の円滑化と生態系の安定性の向上に資することを目的としている。

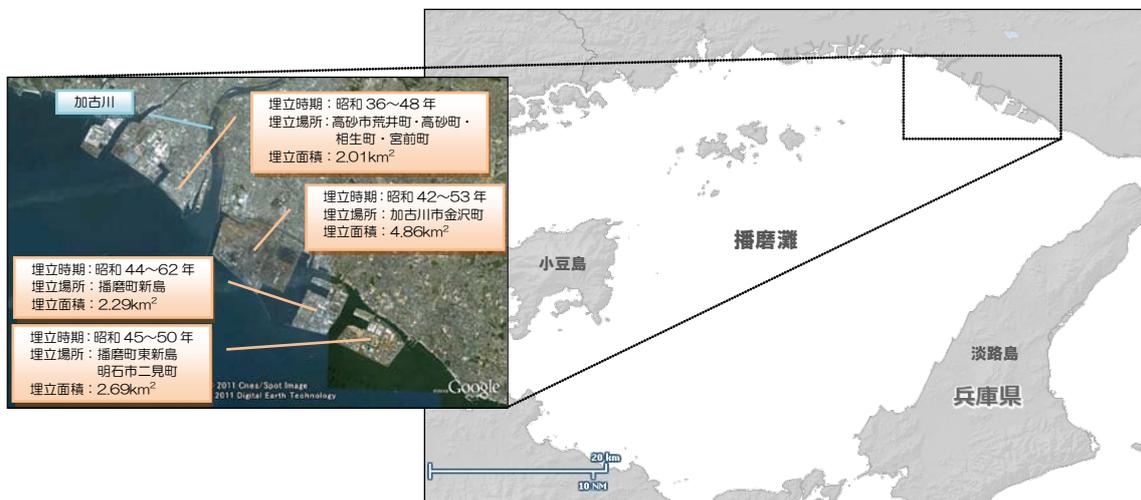
## 2 播磨灘北東部地域の現状と課題

### 2.1 播磨灘北東部地域の概要

#### 2.1.1 地形的特徴

播磨灘は瀬戸内海の東部に位置し、東が淡路島、西が小豆島、南が四国、北が本州で区切られた海域であり、小豆島付近を境に備讃瀬戸に隣接し、東は明石海峡と鳴門海峡を通じてそれぞれ大阪湾、紀伊水道に繋がっている。当プランで検討対象とする地域は、一級河川加古川の直接的な影響を受ける海域（明石市～高砂市）とその海域の栄養塩類の循環状況に直接影響を及ぼしているとみられる陸域を含む地域とした。

播磨灘に流入する河川の影響については、兵庫県内を流れる加古川や揖保川等からの流入水量が多く、四国側の河川流入水量は本州側と比べて少ない。加古川は幹線流路延長 96km、流域面積 1,730km<sup>2</sup> であり、兵庫県に河口を持つ河川水系の中では流路延長・流域面積ともに最大である。加古川の中・下流部は瀬戸内海型気候で年間の降水量が約 1,200mm と少ないため、農業用水の確保を目的に多くのため池が作られてきた。兵庫県は全国で最もため池の数が多く、播磨地域においては約 10,000 箇所が現存している。また、加古川河口から 12km の地点には治水と利水を目的とした加古川大堰が昭和 63 年度に設置された。加古川流域のダムに関しては、戦後の食糧増産を目的とした農地開発とかんがい用水確保のため、昭和 20 年代以降国営土地改良事業により鴨川ダム、糍屋ダム、川代ダム、大川瀬ダム、吞吐ダムが建設され、発展する播磨灘臨海工業地帯の工業用水を確保するため、兵庫県による加古川工業用水事業（平荘ダム、権現ダム）などの大規模利水事業が行われた。



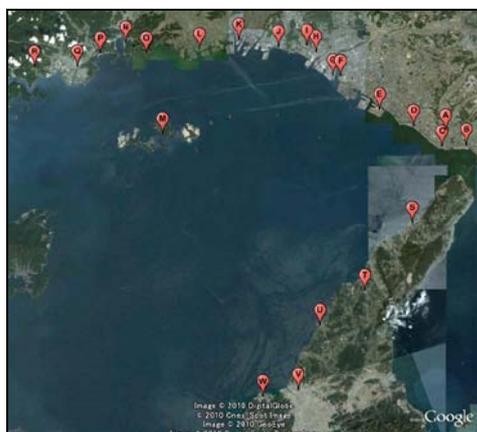
出典：兵庫県県土整備部土木局港湾課資料より作成

図 2.1-1 対象海域と埋立状況

#### 2.1.2 下水道整備

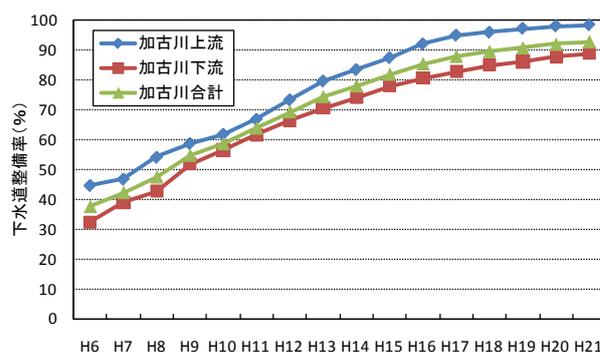
兵庫県における下水道事業は、明治 37 年に神戸市で着手されたのを始めとし、その後整備が進められてきた（図 2.1-2）。下水道は公衆衛生の確保と水質保全等を目的としており、播磨灘北東部海域の検討対象とした範囲には二見浄化センター（図 2.1-2：E）、加古川下流浄化センター（同図：F）、高砂浄化センター（同図：G）が位置している。また、加古川上流域（小

野市)には加古川上流浄化センターが稼働している。加古川流域では流域下水道が整備されており、平成22年3月時点での加古川上流と加古川下流を合わせた下水道整備率は92.9%である。加古川流域では分流式下水道で大部分が整備されている。図2.1-3に加古川流域の下水道整備率の推移を示す。なお、加古川下流浄化センターではステップ流入式多段硝化脱窒法により運用されている。



出典：兵庫県農政環境部環境管理局水大気課資料より作成

図 2.1-2 播磨灘北東部の下水処理場の位置



出典：兵庫県県土整備部土木局下水道課資料より作成

図 2.1-3 加古川流域の下水道整備率の推移

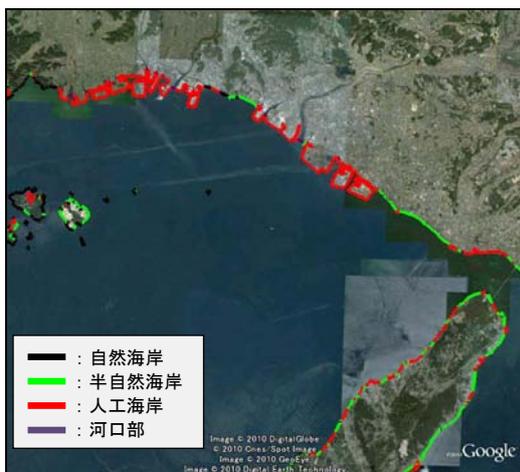
### 2.1.3 港湾整備と流況

播磨灘北東部の沿岸域は播磨工業地帯が形成されており、その中核をなす港湾として昭和39年2月に東播磨港が重要港湾に指定された。東播磨港は明石市、播磨町、加古川市、高砂市の地先水面、東西14kmを港湾区域としている(図2.1-4)。臨海部の工業用地は昭和40年頃から昭和60年頃にかけて埋立地造成により整備された。平成22年12月31日現在、兵庫県を10区域に分けた場合の東播磨地区の製造品出荷額は兵庫県下で第1位である。

播磨灘の藻場や干潟は沿岸域の埋立等によりかつてより減少し、加古川河口周辺においては港湾整備に伴い大部分が人工海岸となっている(図2.1-5)。播磨灘の潮の流れについては鳴門海峡から小豆島に向かいそこで四国側と播磨灘北部に分岐するものと、姫路沖から明石海峡に向かって流れて鹿ノ瀬を囲むように時計回りに回るものがみられる。対象海域近傍では、この姫路沖から明石海峡に向かう流れの影響を受け、加古川からの河川流入水は東または南東方向に移動する(図2.1-6)。なお、港湾においては静穏性を保つことを目的としているため、結果として港湾内は閉鎖性水域となっており、そのため港湾内の流れは沿岸～沖合域と比較して滞留した状態にある。

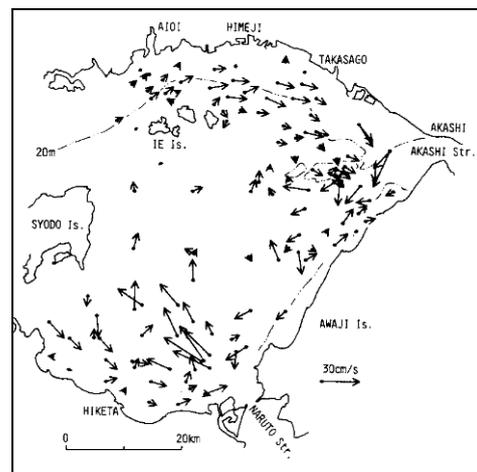


図 2.1-4 東播磨港



出典：自然環境情報 GIS 提供システム（環境省）

図 2.1-5 播磨灘北東部の海岸構成



出典：瀬戸内海 No.59 ((社)瀬戸内海環境保全協会)

図 2.1-6 播磨灘の恒流

#### 2.1.4 水質に係る法律・規制

瀬戸内海では高度経済成長期以降、重化学工業の集積や人口の集中により水質汚濁が進行し、昭和 40 年代には「瀕死の海」と呼ばれるまでになった。これに対し、昭和 48 年に瀬戸内海環境保全臨時措置法が制定され、昭和 53 年には水質汚濁防止法改正、瀬戸内海環境保全特別措置法への恒久法化を契機に COD に対する総量削減制度が導入された。平成 13 年の第 5 次総量削減基本方針からは窒素及びりんが対象項目に追加され、平成 23 年には第 7 次総量削減基本方針策定された（表 2.1-1）。なお、水質総量削減制度は排水基準（濃度規制）のみで水質環境基準を確保することが困難であったため、当該水域の集水域で発生する汚濁負荷量の総量を一定量以下に削減することで、当該水域に流入する汚濁物質量を抑制しようとする制度である。

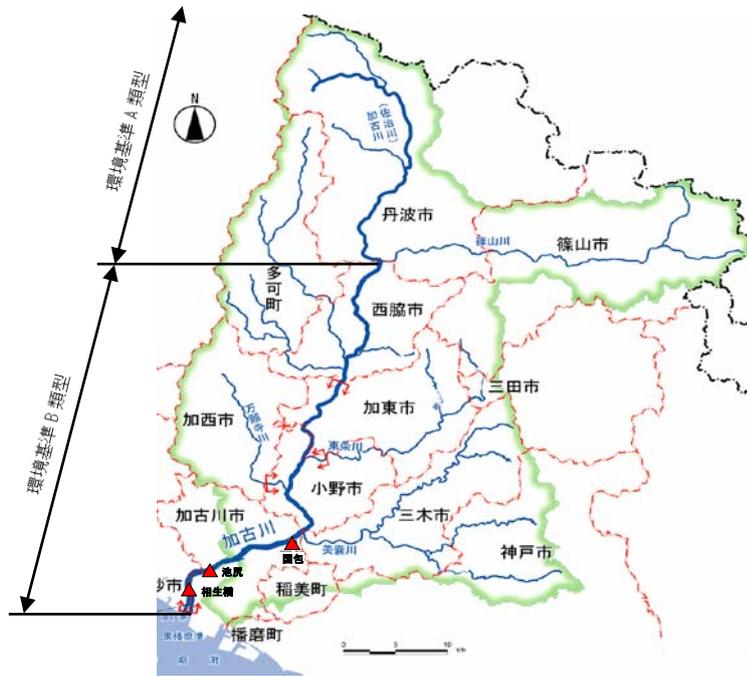
表 2.1-1 瀬戸内海の水質保全対策の進展状況

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

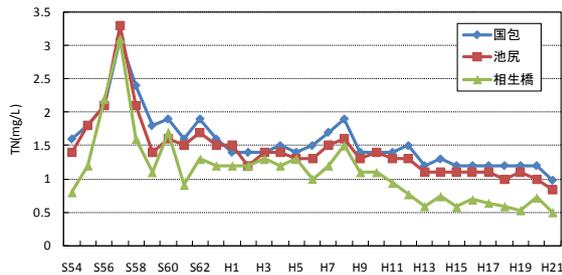
### 2.1.5 加古川の水質

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 2.1-8)。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 2.1-9)。



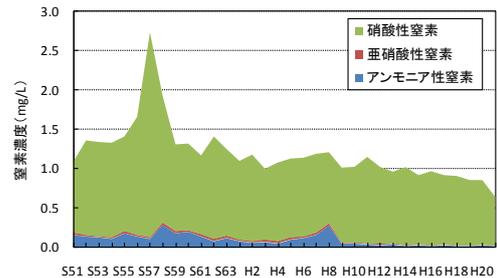
出典：国土交通省河川整備基本方針 HP

図 2.1-7 加古川水系の類型指定



出典：公共用水域水質測定結果より作成

図 2.1-8 加古川の全窒素濃度の推移



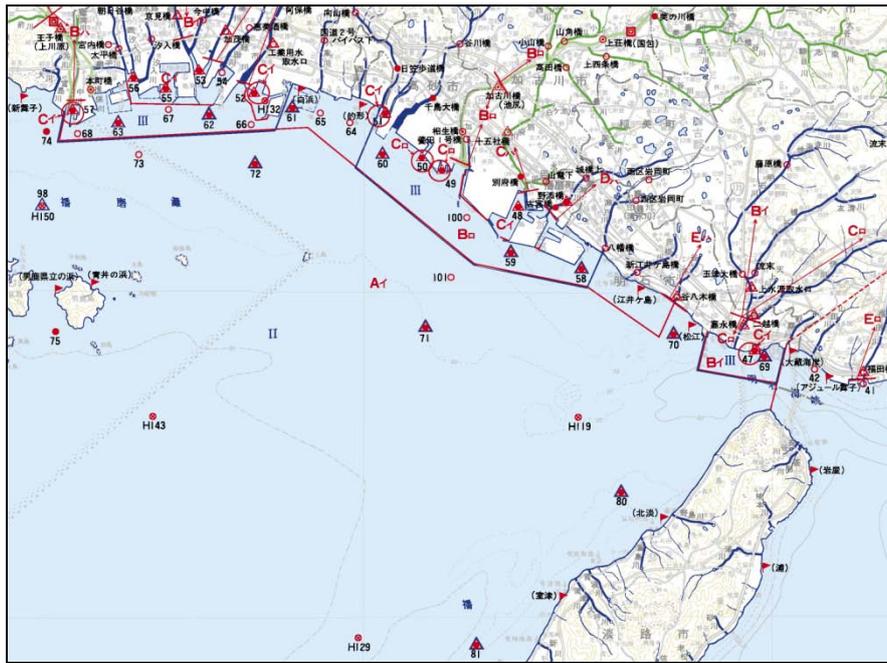
出典：公共用水域水質測定結果より作成

図 2.1-9 形態別窒素の推移 (国包)

### 2.1.6 海域の栄養塩類濃度

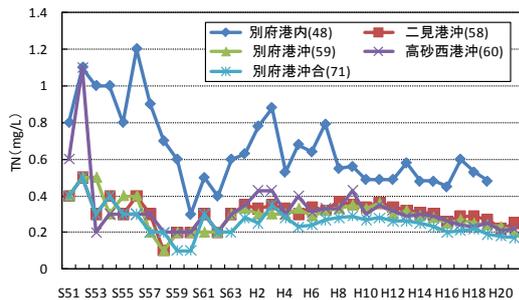
播磨灘の全窒素濃度は減少傾向にあり、昭和 50 年代の半分程度まで減少した (図 2.1-11)。全窒素濃度の減少はアンモニア性窒素濃度が大きく減少したことによるものである。季節変動について、溶存無機態窒素濃度 (DIN) は春季から夏季にかけて低く、冬季に高くなっている (図 2.1-12)。なお、養殖ノリの色落ちは冬季における DIN 濃度が以前より低くなっていることと、冬季から春季にかけての濃度減少の時期が早まっていることが問題であると言われている。

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 2.1-13、図 2.1-14)。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からの排水の影響が大きい。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。



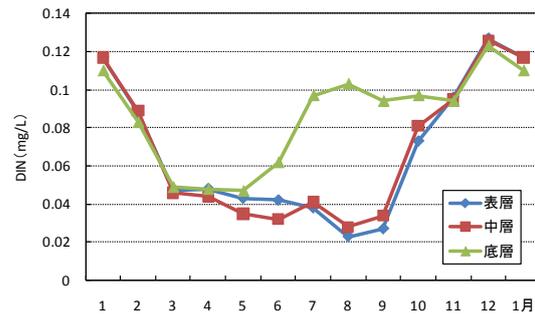
出典：平成 20 年度兵庫県水質測定地点図（兵庫県農政環境部環境管理局水質課）

図 2.1-10 公共用水域水質調査地点



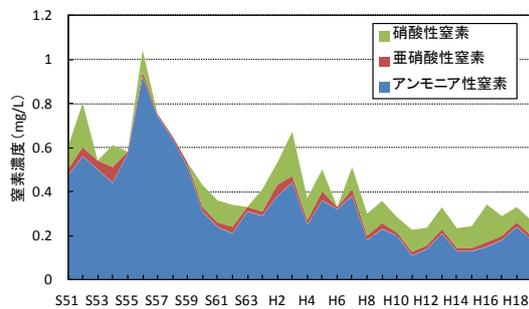
出典：公共用水域水質測定結果より作成

図 2.1-11 播磨灘海域の全窒素濃度



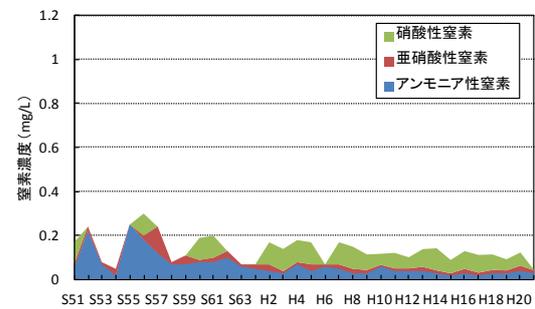
出典：播磨灘の栄養塩環境とノリ養殖 海洋と生物(特集：海の貧栄養化とノリ養殖), 31, P.147, 2009

図 2.1-12 溶存態無機窒素濃度の季節変動※



出典：公共用水域水質測定結果より作成

図 2.1-13 別府港内（48）の形態別窒素濃度



出典：公共用水域水質測定結果より作成

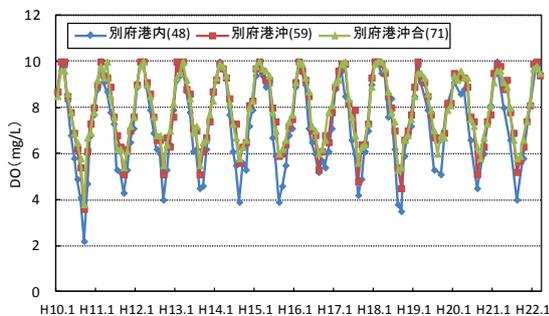
図 2.1-14 別府港沖（59）の形態別窒素濃度

※ 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

### 2.1.7 港湾内外の水質の特徴

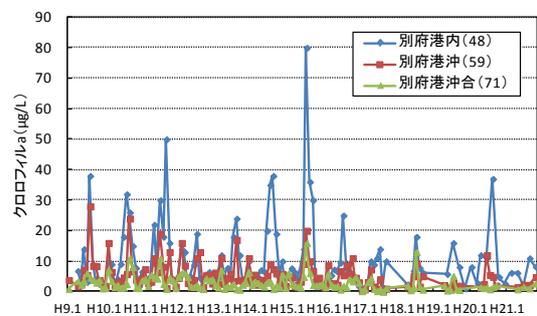
別府港周辺の底層（底上1m）の溶存酸素量（DO）について、夏季にDOが低下する傾向が確認されている。別府港内（48）地点では4.0mg/Lを下回る貧酸素状態が観測されているが、港湾外の別府港沖（59）地点や別府港沖合（71）地点では極端な貧酸素化が確認されていない（図2.1-15）。港内で貧酸素化が生じている要因として、港内の溶存無機態窒素（DIN）濃度と図2.1-16に示したクロロフィルa濃度の観測データから、別府港内では富栄養化により植物プランクトンが大量発生し、それらの死骸が底層に沈降し分解される際に酸素が使われるため酸素量が低下し、さらに港内の滞留化により上下層の混合が少ないことも関係していると考えられる。

港湾内においては富栄養化が常態化し、夏季に底層の貧酸素化が生じる等の問題が起こっていることから、港湾内外の海水交換量を増加させる等して港湾内の水質改善を図り、陸域から流入するDINが円滑に沖合域に供給される仕組みを作る必要があるとみられる。



出典：公共用水域水質測定結果より作成

図 2.1-15 別府港周辺の底層 DO



出典：公共用水域水質測定結果より作成

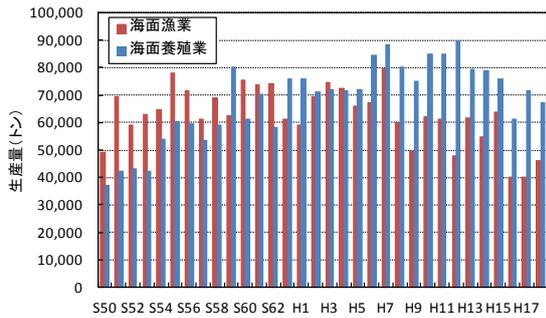
図 2.1-16 別府港周辺の表層 chl a 濃度

### 2.1.8 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2.1-17）。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。

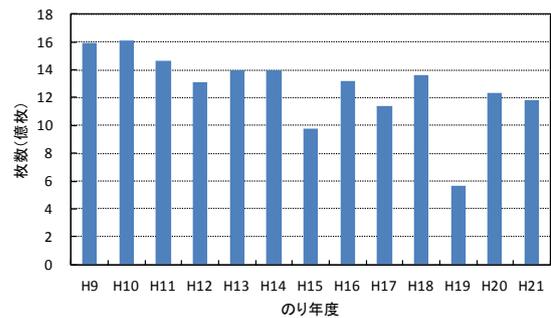
兵庫県の瀬戸内海区における海面養殖はノリ養殖が生産量の大部分を占めており、播磨灘は全国有数のノリの産地となっている。しかしながら、播磨灘のノリ養殖においては平成11年以降、毎年ノリの色落ちが発生している。特に平成15年と平成19年は深刻な色落ちが生じて生産量が大きく落ち込んだ（図2.1-18）。ノリの色落ちが生じるとノリの単価も下落するため、地域の水産業に与える影響は非常に大きい。色落ちは栄養塩が不足すると発生するため、海域の貧栄養化が色落ちの要因と言われている。なお、平成19年度のノリ生産枚数については貨物船沈没による油流出事故の影響も受けた数値である。

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、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 2.1-17 兵庫県（瀬戸内海）の漁業生産量

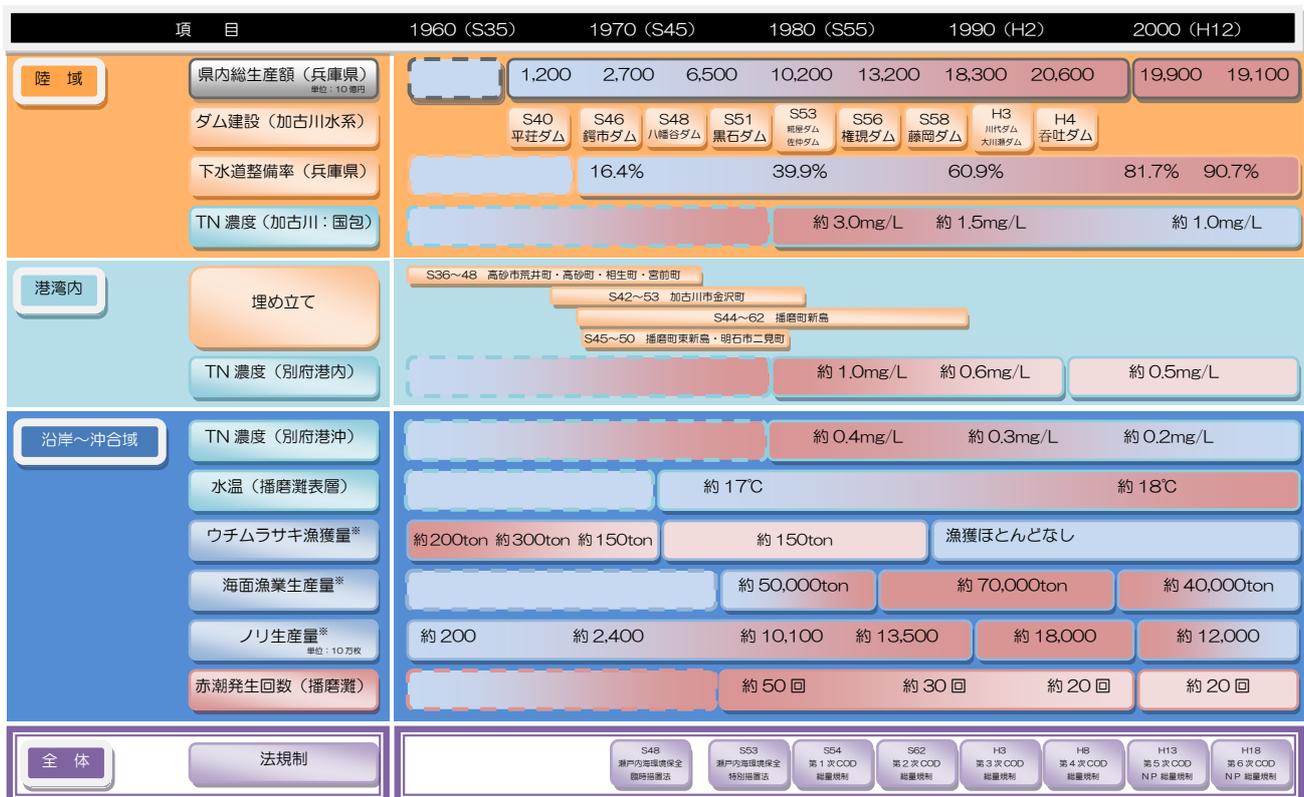


出典：兵庫県ノリ共販資料より作成

図 2.1-18 播磨灘のノリ生産枚数

### 2.1.9 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整理した結果、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ると地域の状況を理解し易いと考えられた（図 2.1-19）。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、地域の現状について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）

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

図 2.1-19 播磨灘北東部地域における自然的・社会的状況の変遷

## 2.2 播磨灘北東部地域の物質循環

### 2.2.1 物質循環の概要

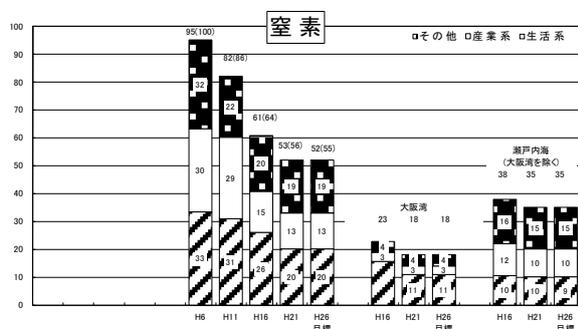
生態系における物質循環とは、生物体を構成する様々な物質が環境から生物に取り込まれ、食物連鎖や腐食連鎖を通じて生物間を移動し再び環境に戻されることであるが、本プランにおける物質循環とは地域の全ての事象を内包したのとして、森から川、海に至り、また森に戻る循環に生態系や人間活動を含めたものとして扱っている。これらは相互に作用する複雑な関係性の上に成り立っているため、循環が正常に作用しなくなった際に生じる事象も多岐にわたる複雑なものになるとともに、その要因を探ることは難しい。また、播磨灘北東部地域においては臨海部に人口が集中し産業も盛んであるため、人間活動が物質循環に及ぼす影響が大きいと推察され、人間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、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。

また、地域の望ましい物質循環の姿については、自治体や住民、漁業従事者等、主体の違いによってそれぞれ異なってくるため、主体間の意見調整が不可欠である。

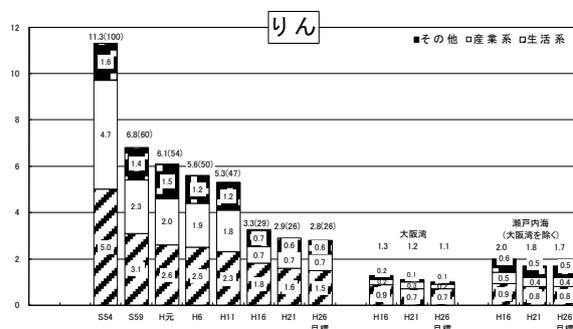
### 2.2.2 兵庫県の窒素・りんの発生負荷量

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 2.2-1、図 2.2-2）。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 2.2-1 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 2.2-2 兵庫県におけるりん発生負荷量

### 2.2.3 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。

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トンであり平成4年と比べて若干減少していた。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、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2.2-1）。

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2.2-1に示す民間事業場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 2.2-1 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	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

### 2.2.4 対象域の流れ、窒素・りん濃度の状況

一級河川加古川は図2.2-3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2.2-1に挙げた民間事業場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）に向かつ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（東播磨港別府西港）は民

間事業場の船着き場となっており（以降、泊川河口沖水路と呼ぶ）、泊川からの流入水や民間事業場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 2.2-3 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 2.2-4、図 2.2-5）。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外より高くなっている（図 2.2-6）。

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 2.2-5 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 4.4-8）。

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 2.2-3 検討対象領域と排水口位置等

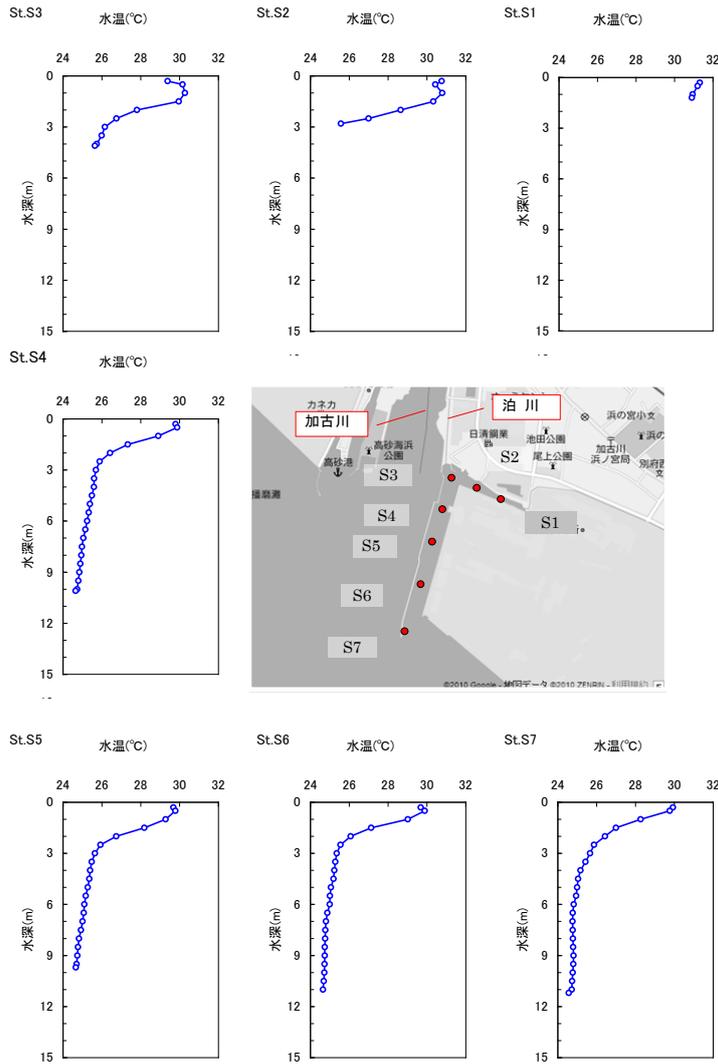


図 2.2-4 水温の鉛直分布の状況（平成 24 年 7 月 30 日）

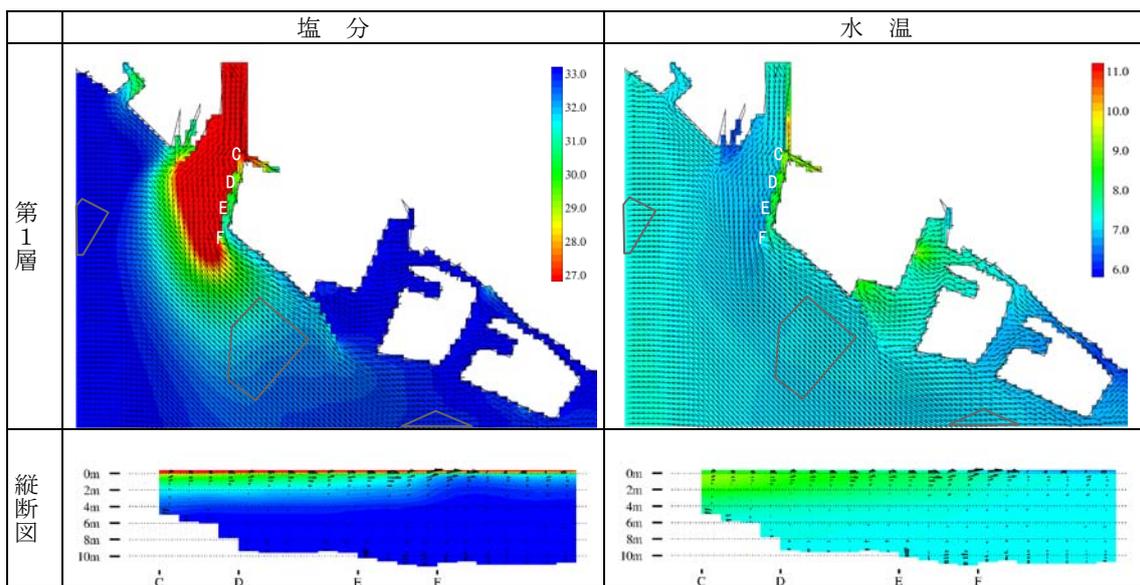


図 2.2-5 流況と塩分の水平分布と泊川河口沖水路内の縦断方向分布（大潮期：日平均）

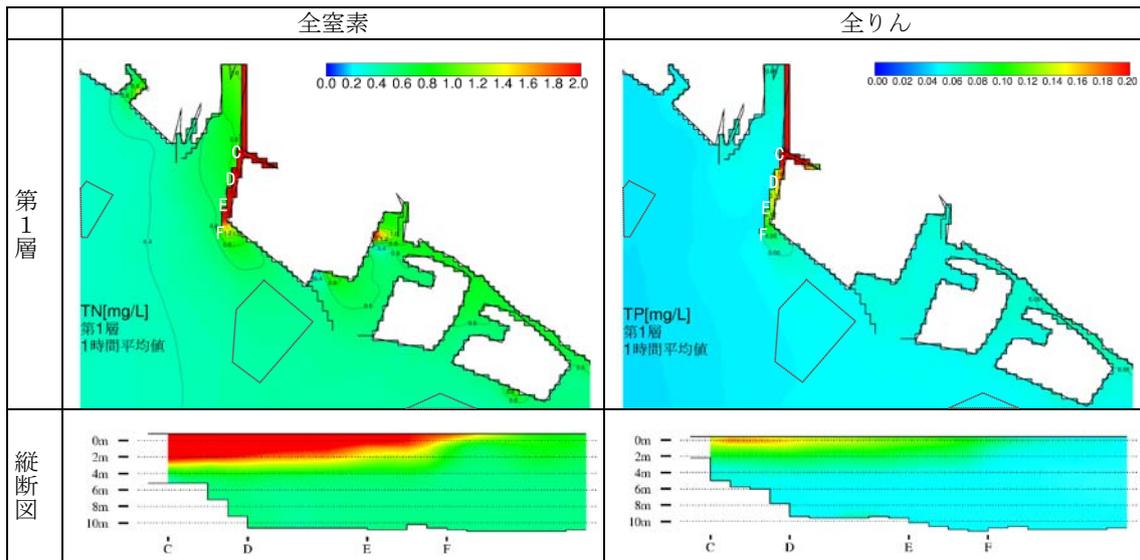
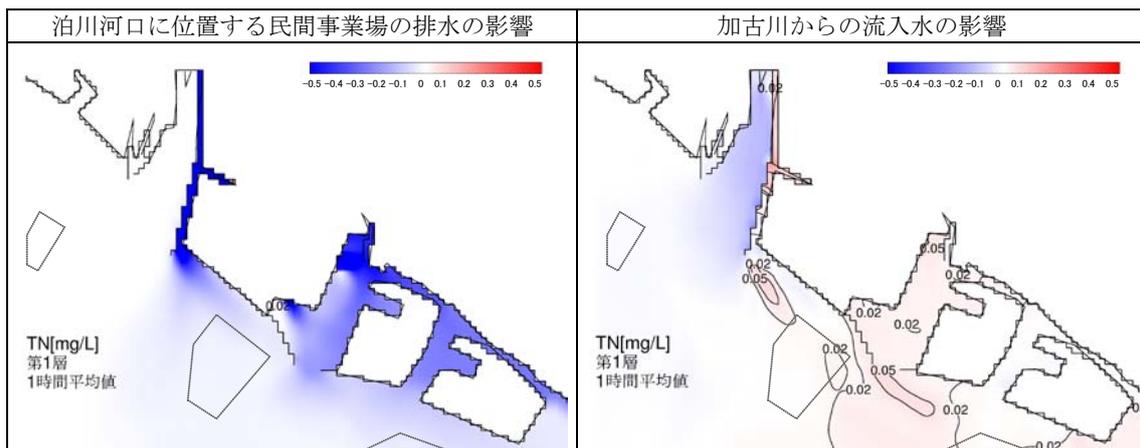


図 2.2-6 全窒素と全りんの水質分布と泊川河口沖水路内の縦断方向分布（大潮期：日平均）

### 2.2.5 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 2.2-7）。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 2.2-7）。



※左：民間事業場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

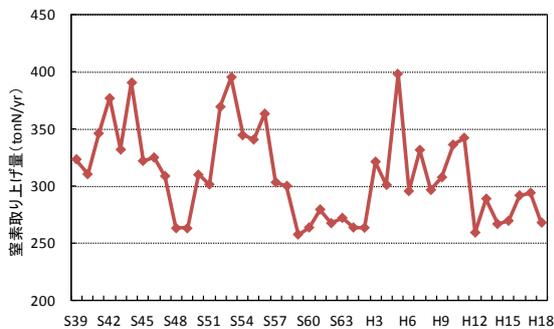
図 2.2-7 民間事業場の排水と加古川の河川水の影響

### 2.2.6 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びき網により 40%以上が漁獲されている 25 種について算出した（図 2.2-8）。漁獲量に

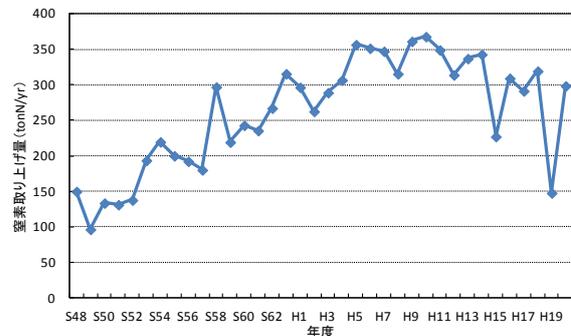
変動があるため窒素取り上げ量についても変動しているが、近年は低い水準で推移している。なお、漁獲量と溶存無機態窒素（DIN）濃度の関係について、科学的に明確な因果関係はまだ明らかになっていないが、DIN 濃度の変動が時間差を置いて漁獲量に影響していると推察されるとの報告がある。

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 2.2-9 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 2.2-8 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 2.2-9 ノリ生産による窒素取り上げ量

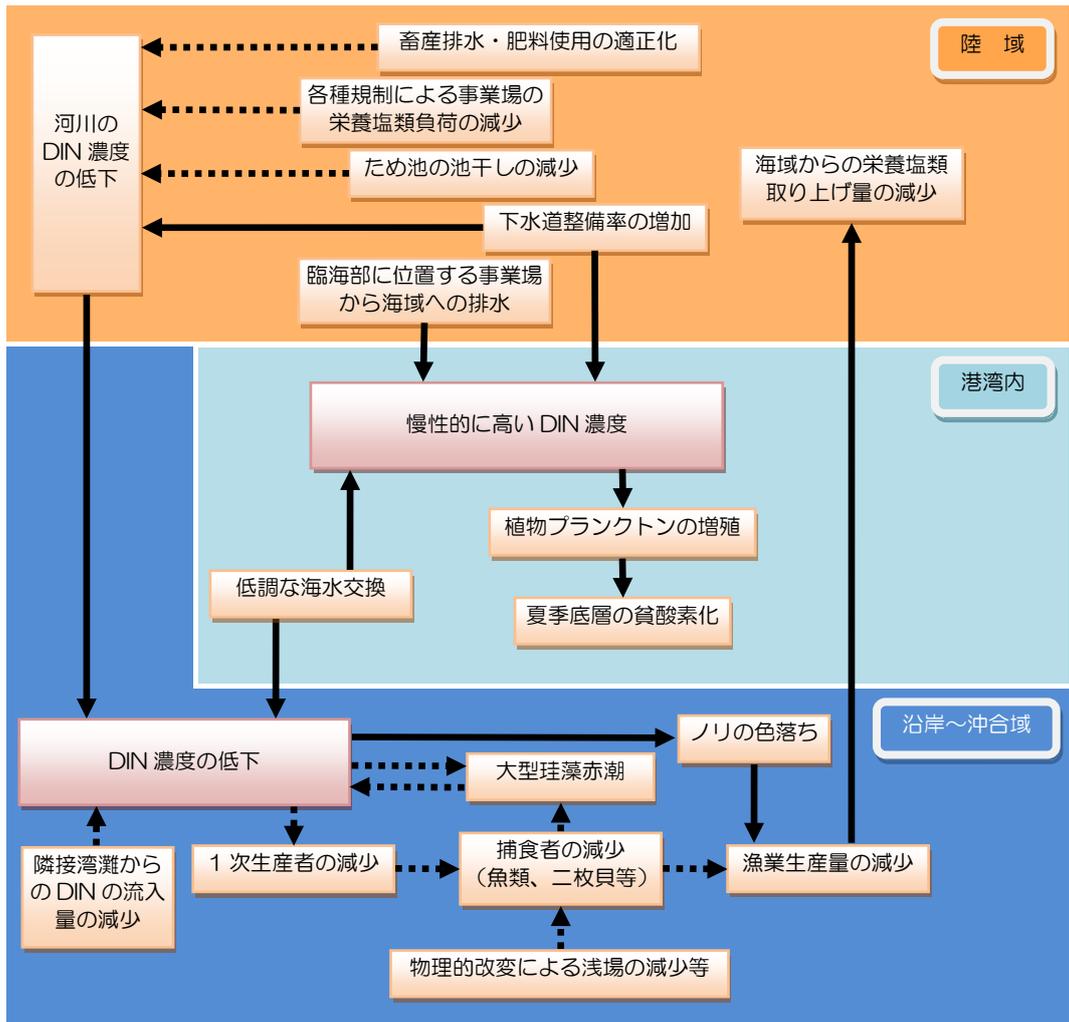
### 2.2.7 各領域の関係性

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 2.2-10 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、そのため海域と陸域の間を循環する窒素量も少なくなっているとみられる。

※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



→ 収集データやシミュレーション結果に基づき関係性が明らかになっているもの  
 ...→ 本プランで収集したデータに基づいた関係性ではないが一般的に言われているもの

図 2.2-10 播磨灘北東部地域のインパクトレスポンスフロー

## 2.3 播磨灘北東部地域の課題と問題点

### 2.3.1 溶存無機態窒素（DIN）

播磨灘北東部地域における栄養塩類について、沿岸～沖合域の溶存無機態窒素（DIN）濃度が低く、ノリの色落ちが生じる等、基礎生産力が落ちた状態にあるとみられる一方で、臨海部に位置する下水処理場や民間事業場の排水が港湾内に流入し、港湾内外の海水交換が低調であることから、港湾内においては沿岸～沖合域と比較して富栄養化状態にあり、夏季には底層の貧酸素化が生じている。このように、播磨灘北東部海域においては DIN の偏在化が生じており、問題点としては以下の 2 点に整理される。

#### 【播磨灘北東部海域における問題点】

- ・ 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
- ・ 沿岸～沖合域での DIN 濃度の低下

播磨灘北東部海域ではこれまでに示したように、陸域からの DIN の供給があるにもかかわらず、それらが港湾内に滞留し港湾内で循環している状況にあるとみられるため、DIN が沿岸～沖合域に円滑に流入していない。このように沿岸部に位置する港湾内に DIN がトラップされ、DIN の循環が不健全な状態となっている海域は他の海域にも当てはまる事象である。よって、播磨灘北東部海域における課題は、①DIN 負荷が管理可能な事業場等の排水を有効に利用することと、②港湾内と沿岸～沖合域の海水交換を促進させることであると考えられた。

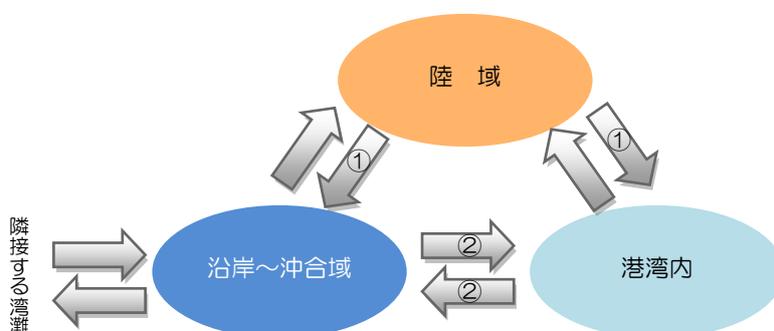


図 2.3-1 播磨灘北東部地域の物質循環のイメージと課題箇所

### 2.3.2 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 2.3-1））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 2.3-1 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

### 3 播磨灘北東部地域ヘルシープラン

#### 3.1 播磨灘北東部地域ヘルシープランの位置付け

播磨灘北東部海域においては栄養塩類が陸域から供給されても港湾域に流入し、港湾域から外に出にくい構造となっているため、円滑な物質循環が妨げられて沿岸～沖合域に栄養塩類が達していない状況にある。また、陸域からの負荷量も減少傾向にあり、沿岸～沖合域における貧栄養化が進んでいる。播磨灘北東部地域ヘルシープランはそのような状況に対する対応策を検討し、地域の物質循環の健全化を実現するために、陸域・海域一体として取り組むべき対策案を示したものである。

播磨灘北東部地域ヘルシープランの作成にあたっては、平成 22 年度から平成 24 年度までに実施された環境省発注の海域の物質循環健全化計画検討（播磨灘北東部地域検討）業務での検討内容や兵庫県等の地元自治体の要望、民間事業者の意見を反映させるとともに、上述の業務の中で実施された地域懇談会における地元関係者（漁業者、環境活動団体、地域住民等）の意見、意向等についても留意した。

播磨灘北東部地域ヘルシープランに基づいて、自治体等が当プランに挙げられた対策を実施していくにあたり、播磨灘北東部地域における栄養塩類等の物質循環に関連のある自治体の総合計画や環境基本計画、下水道基本計画、地域防災計画、都市計画マスタープラン等、各種計画との整合性が取れていることが、円滑に対策を進めて行くうえで重要である（表 3.1-1、表 5.4-1）。そのためには、今後、基本計画等、既存の計画の見直しが検討される際に、播磨灘北東部地域ヘルシープランの考え方や行動計画の内容を踏まえて計画が変更されることが望ましい。

また、自治体等が対策の実施計画を作成して対策とモニタリングを実施し、その後に成果の検証を行うが、検証の結果に合わせて実施計画を見直す管理（順応的管理）を実施する必要があると考えられる。さらに、基本計画や個別計画が変更された際にも、実施計画との整合性を確認する等の対応が求められる。

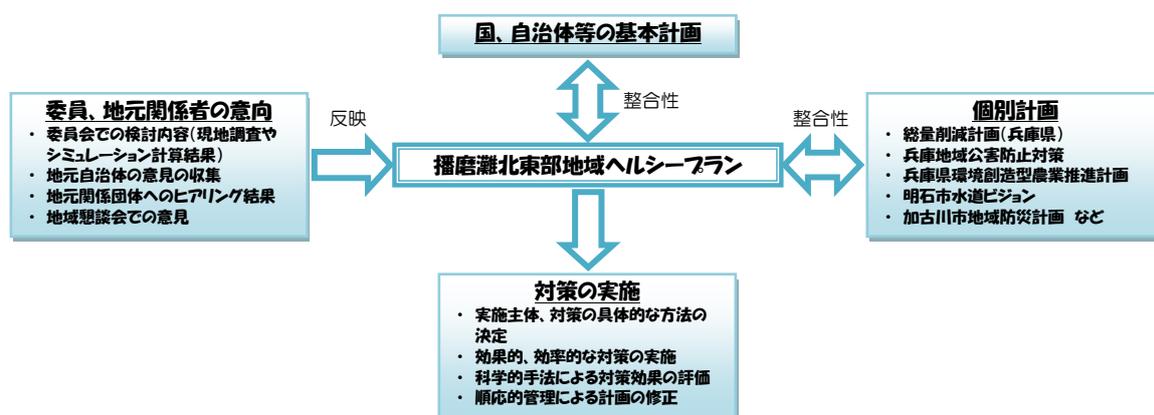


図 3.1-1 播磨灘北東部地域ヘルシープランの位置付け

表 3.1-1 播磨灘北東部地域の物質循環に関する計画

関係省庁、区市	計画名（策定年月）
国土交通省	加古川水系河川整備計画（H23.12）
環境省	環境基本計画（H24.4）
	瀬戸内海環境保全基本計画（H12.12）
水産庁	水産基本計画（H24.3）
兵庫県、岡山県、香川県	播磨灘地区水産環境整備マスタープラン（H23.8）
兵庫県	播磨灘流域別下水道整備総合計画（H17.5）
	化学的酸素要求量、窒素含有量及びりん含有量に係る総量削減計画（兵庫県）（H24.2）
	瀬戸内海の環境の保全に関する兵庫県計画（H20.5）
	第3次兵庫県環境基本計画（H20.12）
	兵庫地域公害防止計画（H24.3）
	播磨沿岸海岸保全基本計画（H14.8）
	都市計画区域マスタープラン 東播磨地域（H22.4）
	兵庫県環境創造型農業推進計画（H21.4）
明石市	明石市第5次長期総合計画（H23.3）
	明石市水道ビジョン（H23.3）
	明石市下水道基本計画（H22.3） 【あかし下水道計画ガイド（H22.3）】
	明石市地域防災計画（平成23年度修正）
	明石市総合浸水対策計画（H21.3）
	明石市都市計画マスタープラン（H23.6）
	第2次明石市環境基本計画（H24.4）
加古川市	加古川市総合計画（H23.4）
	加古川市水道ビジョン2018（H21.3）
	加古川市地域防災計画
	加古川市都市計画マスタープラン（H23.4）
	第2次加古川市環境基本計画（H23.3）

### 3.2 播磨灘北東部地域ヘルシープランの目標

#### 3.2.1 播磨灘北東部地域の目標像

播磨灘北東部地域が健全化することにより得られる利益は海域に関わる全ての関係者（漁業者、海浜利用者・遊漁者等の一般県民、事業者等）が等しく享受すべきである。そのため、海域の在るべき姿としては、漁業者が望むように沿岸～沖合域の生物生産性が向上するだけでなく、海浜利用者にとって有益となる滞留域の水質の改善も必要である。よって、それらの両方に配慮した対策を実施するように努め、目標についても海域全体の公益が確保されるように定めることとする。

#### 3.2.2 目標期間

播磨灘北東部地域における栄養塩類循環に関する2点の問題（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、沿岸～沖合域でのDIN濃度の低下）については、それらを解決しても即時に生態系の安定性が向上するものではなく、基礎生産力の回復から生態系の上位に位置する種の回復（生態系の安定化）までは一般的に時間を

有する。そのため、生態系の安定化は中長期的な目標であり、DIN の偏在化の解消は短期的な目標と言える。

陸域からの DIN を円滑に沿岸～沖合域に供給することにより、沿岸～沖合域の基礎生産力の向上が期待されるが、それを持続させることにより生態系が機能を発揮し、物質循環についても健全な状態が実現可能となるとみられる。よって、播磨灘北東部地域ヘルシープランの中長期的な（最終的な）目標は次のとおりとする。

『陸域・海域の DIN の偏在化の改善等によって、海域の基礎生産力をベースとした生態系の安定化によるたく滑らかな物質循環の健全化』

生態系の安定化に時間が掛かることを考慮すると、短期的な目標と中長期的な目標の期間は以下のとおり設定する。なお、計画の見直しは5年程度で行う。

短期・・・5年以内

中長期・・・10年

### 3.2.3 各対策の目標設定の考え方

対象海域において対策を実施した場合、予め設定した目標とモニタリング結果を比較検討することにより対策の効果を評価することになる。そのため、社会的に認められた対策として事業を継続していくためには適切な目標の設定が重要となる。目標の設定に際しては以下の点に留意する必要があると考えられる。

- ・ 専門家以外でも分かりやすい目標を設定する。
- ・ 科学的知見に基づいた目標値を設定する。
- ・ 水質の目標を設定する場合、環境基準を満足する範囲内に設定する。
- ・ 目標の達成確認のためのモニタリング調査の内容が比較的容易になるように目標を設定する。
- ・ 個別対策の目標期間は5年以内程度の短期目標とする。
- ・ 中長期の目標（陸域・海域の DIN の偏在化の改善等によって、海域の基礎生産力をベースとした生態系の安定化によるたく滑らかな物質循環の健全化）に繋がる短期的な目標を設定する。

## 3.3 播磨灘北東部地域ヘルシープランの基本方針

### 3.3.1 行動計画の実施手順

播磨灘北東部地域ヘルシープランでは地域の健全化に資する方法を行動計画で示している。自治体においては委員会や連絡会を設置し、行動計画に挙げられた対策の中から実際に実施すべき対策についての検討を行い、その時の状況に見合った最適な対策を抽出する。対策の抽出に際しては地元関係者の意見を収集し、地元関係者との相談を十分に実施する。その後、ヘルシープランを参考に対策実施計画を作成し対策を実施する。対策の効果についてはモニタリングにより確認を行い、モニタリング結果の検証と対策の評価を実施し、検証の結果に合わせて

実施計画を見直す（図 3.3-1）。なお、モニタリングで対策の実施による海域への悪影響等の不測の状態が確認された際には、早急に対策の実実施計画を見直す等の柔軟な対応も必要である。また、モニタリング結果は全て公表し、住民に対して情報を正確に伝えるように努めることとする。



図 3.3-1 行動計画の活用の流れ

### 3.3.2 行動計画実施の基本方針

#### ◇ 地域の関係者が一体となった取組の実施

対象海域である播磨灘北東部海域は陸域の影響を強く受ける海域であるため、陸域における対策の実施も海域の健全化を実現するうえで必要である。陸域における関係者としては行政団体、民間事業者、環境活動団体、地域住民等が挙げられるが、地域懇談会において漁業者も関係するべきであるとの意見があった。地域には様々な価値観を持った主体が存在するため、それらの意見を調整し一体となって取り組んでいくことで、対策を効率的、効果的に実施することが可能になると考えられる。また、継続的な取組とするためには相互協力の体制を整備することも重要である。

#### ◇ 順応的管理による柔軟な計画の見直し

地域の物質循環の状況は社会的状況の変化や自然のインパクト等によって変動し、また生態系は不確実で非定常な系であり、境界がはっきりしない開放系であるため、当初の計画については結果に合わせて見直しを行う順応的管理を実施することが望ましい。

順応的管理の実施に当たっては社会的状況等が変動する可能性があることを予め計画に組み込んで目標を設定し、計画がその目標を達成しているかをモニタリングにより検証する。また、対策の実施によるマイナスの影響の可能性（例えば底質の悪化等）についても懸念事項として整理しておき、問題が生じないように監視していく必要がある。

#### ◇ 他地域に先駆けた取組の実施

対象地域において生じている問題は貧栄養化や溶存無機態窒素（DIN）の偏在化等、これまでの対策で対象としていなかった事象であるため、新たな考え方で取組が必要となる。その

ため、対策については先進的なものになるとみられる。なお、対策の実施に当たっては地域の合意形成を図るとともに、委員会や連絡会を設置し有識者に助言を求める等して、対策の実施により悪影響が生じないように留意しなければならない。

#### ◇ 中長期的視点、広域的視点に立った取組の実施

生態系においては低位の生物の変動が上位の生物の変動に伝わるまでに時間差が生じる。それがどの程度の時間であるかは生物の種類や生物を取り巻く環境の状況によって変化するため、推測することが困難である。また、物質循環については負荷源や陸域から海域に至る経路が多岐にわたるとともに、海域での挙動も複雑である。これらのことから、取組の実施に際しては中長期的な視点を持ち、地域全体を俯瞰できる広域的視点が必要である。

## 4 播磨灘北東部地域における行動計画

### 4.1 行動計画作成の背景

COD、窒素、リンの総量削減制度等の各種規制や下水道整備率の上昇、下水の処理能力の向上等の成果で、播磨灘北東部海域や一級河川加古川においては、かつての水質汚濁が最も深刻化していた頃と比較して約半分程度まで窒素濃度が減少した。そのため、赤潮発生回数が減少し、透明度が上昇する等“きれいな海”が実現されてきたが、漁業生産量がピーク時の半分程度にまで落ち込み、また溶存無機態窒素（DIN）濃度が減少したことによるノリの色落ちが生じる等、“海の豊かさ”が乏しくなったとみられる事象が生じている。水質が良くなったがこのような問題が起こっている一因として、窒素等の栄養塩類の循環に問題が生じていることが挙げられている。栄養塩類は一次生産者の基礎生産に必要な物質であり、一次生産者の増減は生態系全体に影響を与えるため、栄養塩類の適正な管理は非常に重要である。

播磨灘北東部海域においては陸域から加古川や事業場排水等を通じて DIN が供給されているが、DIN は港湾内等の滞留域に偏って存在しており、沿岸～沖合域まで十分な量が供給されていない状況にある。そのため、当地域では DIN 負荷が管理可能な事業場等の排水を有効に利用することや、港湾内と沿岸～沖合域の海水交換を促進させることにより DIN の偏在化を解消し、中長期的には生態系の安定性を向上させることが課題である。

これまで実施されてきた対策は、対症療法的で個別の問題事象の解決を目的としたものが多く、陸域・海域を含む地域全体における物質循環の改善の視点がなかった。そこで、本ヘルシープランにおいては多様な主体が短期的、中長期的に効率的・効果的に取り組むべき対策について具体的な実施方法を交えながら示している。

### 4.2 対策の概要

#### 4.2.1 加古川下流浄化センターの窒素排出量増加運転

加古川流域においては水質保全等を目的に下水道整備が推進されており、平成 22 年 3 月現在で整備率が 92.9%となっている。しかし、播磨灘北東部の周辺海域においては水中の DIN 濃度が低下し、ノリの色落ちが生じる等の生物生産力の低下してきている。そのため、兵庫県は加古川下流浄化センターを含め計 6 か所の下水処理場において、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、通常運転時と比較して全窒素で  $0.05\text{mg/L}$  の増加分がノリ区画に達していた。また、水路からの硝酸・亜硝酸性窒素のフラックス量の増加率は通常時と比べて  $10.4\%$  であった。

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。

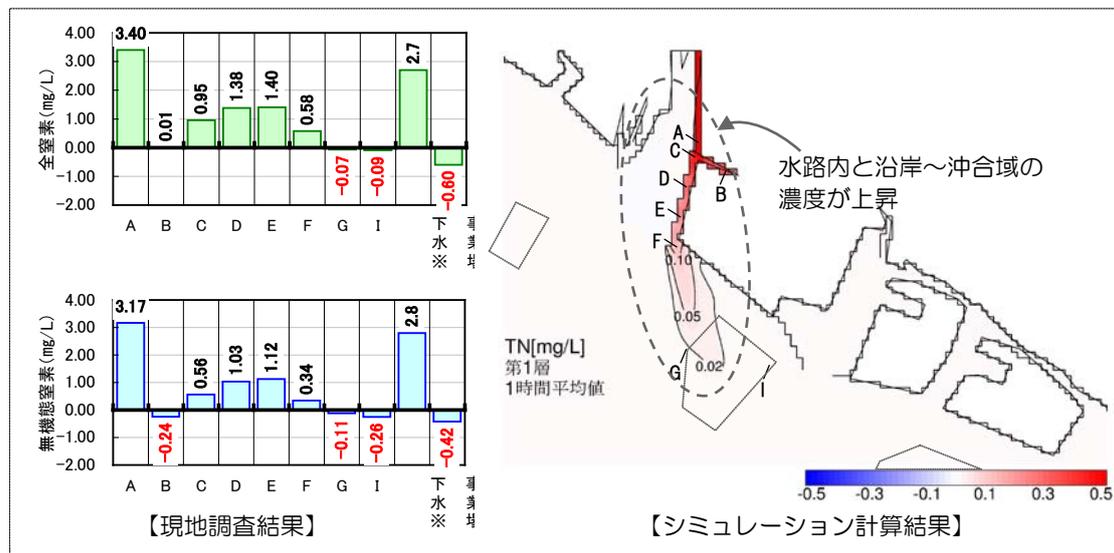


図 4.2-1 加古川下流浄化センターの窒素排出量増加運転の効果（通常運転時との差）

#### 4.2.2 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からの排水の影響で溶存無機態窒素（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、水路内の高いDIN濃度の水塊を沿岸～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、硝酸・亜硝酸性窒素のフラックス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  $14.6\%$  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。

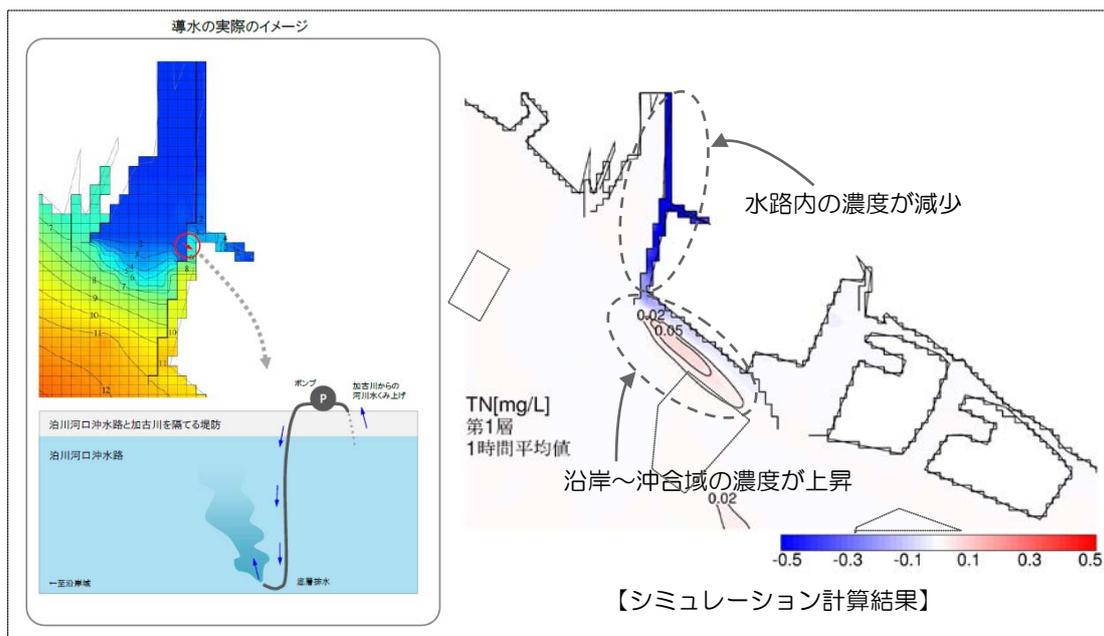


図 4.2-2 河川を利用した海水交換促進対策の効果（現況との差）

#### 4.2.3 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～沖合域と比較して溶存無機態窒素（DIN）濃度が相対的に高くなっている。港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。DINの供給効果についてはフラックス量の増加からも明らかになっており、NH<sub>4</sub>については現況と比較して東播磨港から流出するフラックス量が140.0%増加し、NO<sub>x</sub>では162.8%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。

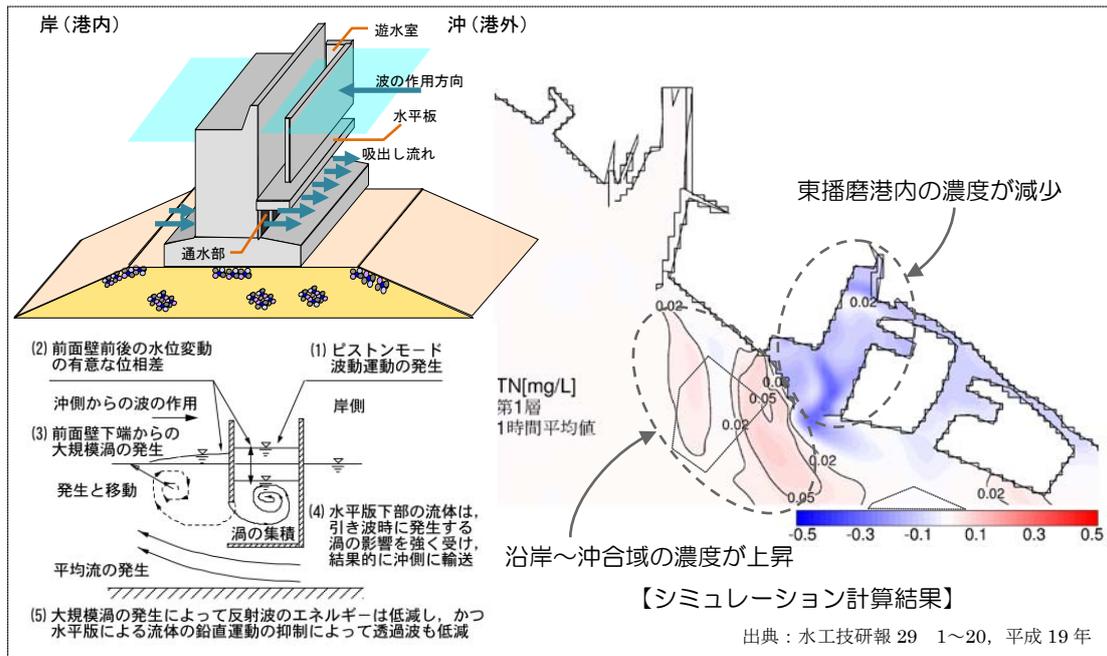


図 4.2-3 海水交換防波堤の設置対策の効果（現況との差）

#### 4.2.4 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、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溶存無機態窒素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。検討方法は民間事業場に対して行ったヒアリングの回答を整理することとした。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課題とする必要がある。

#### 4.2.5 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～沖合域の溶存無機態窒素（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が増やせ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。

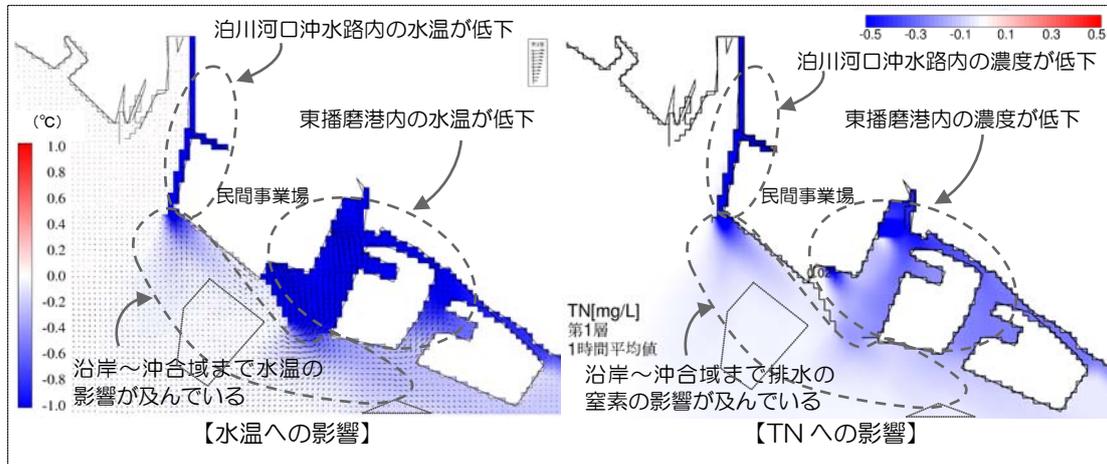


図 4.2-4 民間事業場の排水量をゼロとした際の現況との差

#### 4.2.6 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、海域の溶存無機態窒素（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、加古川や揖保川等の河川から流入する DIN にも依存している。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。

#### 4.2.7 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組として、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」が定期的実施されていたが、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 箇所を実施された。

池干しの実施による栄養塩類の供給量は海域に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、報道による宣伝や啓蒙効果もあるため社会的意義は大きいと言われている。

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を海中へ湧出させようとするものである。

この取組は平成 17 年に兵庫県淡路市で取り組ま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、以下のことが報告されている。

- ① 底泥に含まれる栄養塩の湧出を促進し、海水中へ栄養塩を供給する。
- ② 底泥中の有機物の好氣的分解を促し、底質の悪化を防ぐことができる。
- ③ 底質が悪化しやすい（潮流による影響が少ない。または滞留している）場所では、底質の改善により底生生物の現存量・多様性（出現種類数）が増加する。
- ④ 底質が悪化しにくい場所（潮流の影響が大きい）では、耕耘を行った時の攪乱により、底生生物の現存量・多様性が減少する可能性がある。

上記の調査結果から、海底耕耘の実施には底質環境を十分に考慮するとともに、実施後の長期的な検証が必要であるものの、栄養塩の海中への湧出はもとより、底生生物の生息環境の改善にも効果があるとされた。

以上を踏まえ、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がっている。

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 4.2-1 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"> <li>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。</li> <li>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。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>播磨灘流域総計画や排水基準、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。</li> <li>スカムの発生や DO の管理により現場作業量が増加する。</li> <li>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、整合性に関する説明が必要である。</li> </ul>
河川を利用した海水交換促進対策【①、②】	<ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> <li>河川管理者あるいは港湾管理者の許可が必要となる。</li> <li>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。</li> </ul>
海水交換防波堤（遊水室型）の設置【①、②】	<ul style="list-style-type: none"> <li>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。港内から港外へ高い DIN 濃度の水塊の供給が期待される。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> <li>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。</li> </ul>
事業場排水の排水口位置の変更【①、②】	<ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> <li>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 DIN 濃度の増加が期待される。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> <li>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。</li> <li>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。</li> <li>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。</li> </ul>
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"> <li>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。</li> <li>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。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> </ul>
出水時の流出負荷の平準化【①、②】	<ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> <li>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。</li> </ul>
ため池の池干し・海底耕耘【②】	<ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> <li>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。</li> <li>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。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> <li>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。</li> <li>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。</li> </ul>

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