

播磨灘北東部地域ヘルシープラン

平成25年3月

海域の物質循環健全化計画
播磨灘北東部地域検討委員会
環 境 省

はじめに

瀬戸内海は漁業資源の宝庫であり、世界的に見ても高い生産性を誇る豊穡の海である。しかし、近年になって磯焼けやノリの色落ち、漁業生産量の減少等、海の豊かさが衰えてきていると疑われる事象が生じている。かつて、瀬戸内海は「瀕死の海」と言われるまで水質が悪化したが、その後の各種規制の成果により、富栄養化物質の一つである窒素の濃度は減少してきている。このように水はきれいになったが、生物生産力は落ちてしまった状況を考察してみると、きれいな海と豊かな海がイコールの関係ではないことが分かってきた。

瀬戸内海は閉鎖的な海域であり、特に沿岸域においては陸域の影響を大きく受ける。そのため、海域の問題を解決するには、海域と陸域との関係性を科学的に把握し、陸域における適切な窒素の管理方法を検討することが不可欠である。また、海域からの恩恵は幅広く大勢の人々が受けているため、検討にあたっては専門家や行政団体、漁業者、住民、民間事業者等、多様な主体の意見を整理し、地域の同意を得た取り組みを推進していく必要がある。

そこで、兵庫県明石市～高砂市地先の播磨灘北東部海域とその海域に影響を及ぼしている陸域をモデル地域に設定し、平成 22 年度から平成 24 年度までの 3 年にわたって、環境省が設置した「海域の物質循環健全化計画 播磨灘北東部地域検討委員会」において、主に窒素の効率的、効果的な管理方策に関する検討を行い、最終成果として『播磨灘北東部地域ヘルシープラン』を策定した。

今後、豊かな瀬戸内海を取り戻すための対策を実施していくに際して、この『播磨灘北東部地域ヘルシープラン』が、取り組み推進の一助になれば幸いである。

平成 25 年 3 月 播磨灘北東部地域検討委員会

海域の物質循環健全化計画 播磨灘北東部地域検討委員会 委員名簿

氏名	職名
学識経験者	
阿保 勝之	(独)水産総合研究センター瀬戸内海区水産研究所 グループ長
駒井 幸雄	大阪工業大学工学部 教授
反田 實	兵庫県立農林水産技術総合センター水産技術センター 所長
出口 一郎	大阪大学 名誉教授
藤原 建紀(座長)	京都大学大学院農学研究科 教授
関係行政機関等委員	
山口 徹夫	兵庫県漁業協同組合連合会 専務理事
原田 和典	水産庁瀬戸内海漁業調整事務所指導課 課長
藤澤 崇夫	兵庫県農政環境部農林水産局水産課 課長
今里 卓	兵庫県農政環境部環境創造局自然環境課 課長
秋山 和裕	兵庫県農政環境部環境管理局水大気課 課長
林 修司	明石市環境部環境保全課 課長
竹内 清文	加古川市環境部環境政策課 課長
鷺見 健二	(財)ひょうご環境創造協会兵庫県環境研究センター センター長
オブザーバー	
兵庫県県土整備部土木局下水道課	
兵庫県県土整備部土木局港湾課	
兵庫県農政環境部農林水産局漁港課	

(学識経験者は氏名五十音順・敬称略)

目次

1	播磨灘北東部地域の現状	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	1
1.3	播磨灘北東部地域の不具合と問題点	2
2	播磨灘北東部地域の目指すべき姿と課題	6
2.1	望ましい海域像	6
2.2	課題	6
3	播磨灘北東部地域ヘルシープランの基本方針	8
3.1	播磨灘北東部地域ヘルシープランの位置付け	8
3.2	播磨灘北東部地域ヘルシープランの考え方	10
3.2.1	行動計画の目標	10
3.2.2	行動計画の目標期間	10
3.2.3	各対策の目標設定の考え方	10
3.2.4	行動計画の実施手順	10
3.2.5	行動計画の実施についての考え方	11
4	物質循環健全化に向けた対策（行動計画）	13
4.1	行動計画作成の背景	13
4.2	対策の実施方法とモニタリング方法	13
4.2.1	加古川下流浄化センターの窒素排出量増加運転	13
(1)	対策の概要	13
(2)	対策の実施方法	14
(3)	モニタリング方法	16
4.2.2	河川を利用した海水交換促進対策	19
(1)	対策の概要	19
(2)	対策の実施方法	20
(3)	モニタリング方法	22
4.2.3	海水交換防波堤（遊水室型）の設置	24
(1)	対策の概要	24
(2)	対策の実施方法	25
(3)	モニタリング方法	26
4.2.4	対策の組み合わせ	28
(1)	対策の概要	28
(2)	対策の実施方法	29
(3)	モニタリング方法	30
4.3	行動計画の課題	32

5 資料編	33
5.1 播磨灘北東部地域の現状と課題	33
5.1.1 播磨灘北東部地域の概要	33
(1) 地形的特徴	33
(2) 下水道整備	33
(3) 港湾整備と流況	34
(4) 水質に係る法律・規制	35
(5) 加古川の水質	36
(6) 海域の栄養塩類濃度	37
(7) 港湾内外の水質の特徴	39
(8) 漁業生産の特徴	39
(9) 自然的・社会的状況の変遷	40
5.1.2 播磨灘北東部地域の物質循環	41
(1) 物質循環の概要	41
(2) 兵庫県の窒素・りんが発生負荷量	41
(3) 対象域の窒素・りん負荷量	42
(4) 対象域の流れ、窒素・りん濃度の状況	42
(5) 対象域の窒素濃度に影響を与える因子	45
(6) 漁業生産による窒素取り上げ量	45
(7) 各領域の関係性	46
(8) 関係者意見（地域懇談会）	47
5.2 播磨灘北東部地域における対策	48
5.2.1 対策の概要	48
(1) 加古川下流浄化センターの窒素排出量増加運転	48
(2) 河川を利用した海水交換促進対策	49
(3) 海水交換防波堤（遊水室型）の設置	50
(4) 事業場排水の排水口位置の変更	51
(5) 民間事業場の排水の窒素・りん濃度の増加	51
(6) 出水時の流出負荷の平準化	52
(7) ため池の池干し・海底耕耘	52
5.2.2 対策の選定に当たっての留意事項	55
5.2.3 対策の特徴と期待される効果	55
(1) 加古川下流浄化センターの窒素排出量増加運転	55
(2) 河川を利用した海水交換促進対策	65
(3) 海水交換防波堤（遊水室型）の設置	73
(4) 対策の組み合わせ効果	87
5.2.4 対策効果のまとめ	92

5.3 計算方法・データ等	99
5.3.1 シミュレーションモデルの計算条件	99
5.3.2 シミュレーションモデルの再現性の確認	103
5.3.3 海水交換防波堤（遊水室型）の計算	105
5.3.4 播磨灘北東部地域ヘルシープランに関する計画の概要	106

1 播磨灘北東部地域の現状

1.1 ヘルシープラン策定の背景

瀬戸内海は多島海の自然景観を有する景勝地であり、また、漁業資源の宝庫として古くから利用されており、瀬戸内海の価値として「庭」・「畑」・「道」に例えられる機能が挙げられている。しかし、高度経済成長期以降に産業、人口の集積により沿岸域が埋め立てられ、さらに陸域から産業系、生活系の多量の汚濁負荷が流入するようになると、赤潮が大発生し養殖業を始めとする水産業に大きな被害をもたらし、「畑」という機能に障害が生じるようになった。

そのため、昭和 53 年に水質汚濁防止法と瀬戸内海環境保全臨時措置法の改正により水質総量削減制度が導入され、以降COD（化学的酸素要求量）¹の削減が図られてきたが、その後もCODの環境基準達成率は満足できる状況になく、赤潮や貧酸素水塊の発生といった富栄養化に伴う問題が依然として起こっていた。この要因はCODの内部生産が影響しているとみられたため、平成 13 年の第 5 次総量削減基本方針からは窒素とりんが追加された。

海域における窒素とりんの濃度については総量規制や排水規制等の種々の取り組みにより低下している。COD については COD 削減を目的とした下水道整備や排水処理の高度化が進められてきたが、海域の濃度の明確な減少傾向は確認されていない。

陸域や外洋からの窒素、りん等の栄養塩類の供給は海域の基礎生産²に影響を与えており、陸域からの窒素の流入量の減少が、我が国の主要なノリ生産海域である瀬戸内海におけるノリの色落ち³の一因となっているとも言われている。また、科学的に実証されていないが、海域の栄養塩類濃度の低下と海面漁業生産量の減少の関連が疑われるとの報告もある（反田ら、2012）。

このように、これまで水質の改善を目的に様々な取り組みが実施されてきたが、窒素の減少とノリの色落ちや海面漁業生産量の減少との関連を指摘する声があることから、豊かで美しい里海⁴としての瀬戸内海を取り戻すための取り組みを検討する必要がある。

兵庫県の播磨灘北東部海域においてはこれらの問題に加え、滞留域では貧酸素水塊の発生等の問題も生じている。当海域は陸域からの影響が大きいため、他の海域に先駆けて栄養塩類の効率的、効果的な管理方策を明らかにすることが、今後の瀬戸内海の健全性の向上に資すると考えられた。

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・干潟の造成等の取り組みは、陸域と海域を一体として捉える物質循環の視点が不足していた。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り組みを推進していく必要がある。

¹ 海水や湖沼水質の有機物による汚濁状況を測る代表的な指標。

² 光合成や化学合成によって無機物から有機物が生産されること。

³ 栄養塩類が不足すると、光合成で作られた糖類からクロロフィル等の光合成色素の生成に不可欠なアミノ酸への合成が十分に行われなくなる。そのため、光合成色素が十分に作られなくなり、色調が低下する。

⁴ 第 3 次兵庫県環境基本計画では里海を「適切に人の手が加えられ続けることによって高いレベルの生物多様性と生物生産性が維持された豊かで美しい海域」と定義している。

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、効果的に対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。なお、理想とする健全な海の姿は世代の違い、地域の違い、職種の違い等によって異なっており、本来であれば健全な海を実現するにはハード面やソフト面を含め様々な対策を実施する必要がある。しかし、現実的には全ての対策を実施することは不可能であることから、本プランにおいては地域の物質循環において人為的な管理が可能なものとして窒素を対象項目とし、窒素の循環に関わる現在実施可能な対策や将来的に実施される可能性がある対策に絞り込んで対策案を示している。

1.3 播磨灘北東部地域の不具合と問題点

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以降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、りん等の総量削減等の各種規制が実施された結果、播磨灘北東部海域における全窒素、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、沿岸～沖合域⁵では冬季に溶存無機態窒素(DIN)⁶不足が要因とみられる養殖ノリの色落ちが生じるまで濃度が低くなっており、一方で港湾内のDIN濃度は沿岸～沖合域と比較して依然として高い状態にあり、夏季には底層の貧酸素化が生じている⁷。これらの事象は陸域からのDIN供給量の減少と、物質循環が正常に作用していないことが一因と考えられている。また、海面漁業生産についても不具合が生じており、兵庫県瀬戸内海区においては平成7年頃を境に急激に生産量が減少し、近年の生産量はピーク時の約半分程度にまで減少している。

播磨灘北東部海域においては港湾内と沿岸～沖合域で起こっている問題が異なっているため、播磨灘北東部地域を「陸域」、「港湾内」、「沿岸～沖合域」の三つの領域に分けて整理すると理解がしやすい(図 1.3-1、図 1.3-2)。

⁵ 本プランでは防波堤の内側を「港湾内」、それ以外の海域を「沿岸～沖合域」と定義している(図 1.3-1)。

⁶ 硝酸性窒素、亜硝酸性窒素、アンモニア性窒素の合計。ノリの色落ちの要因として、播磨灘ではDINの不足、東京湾や博多湾ではDIP(溶存無機態りん)の不足が指摘されている。

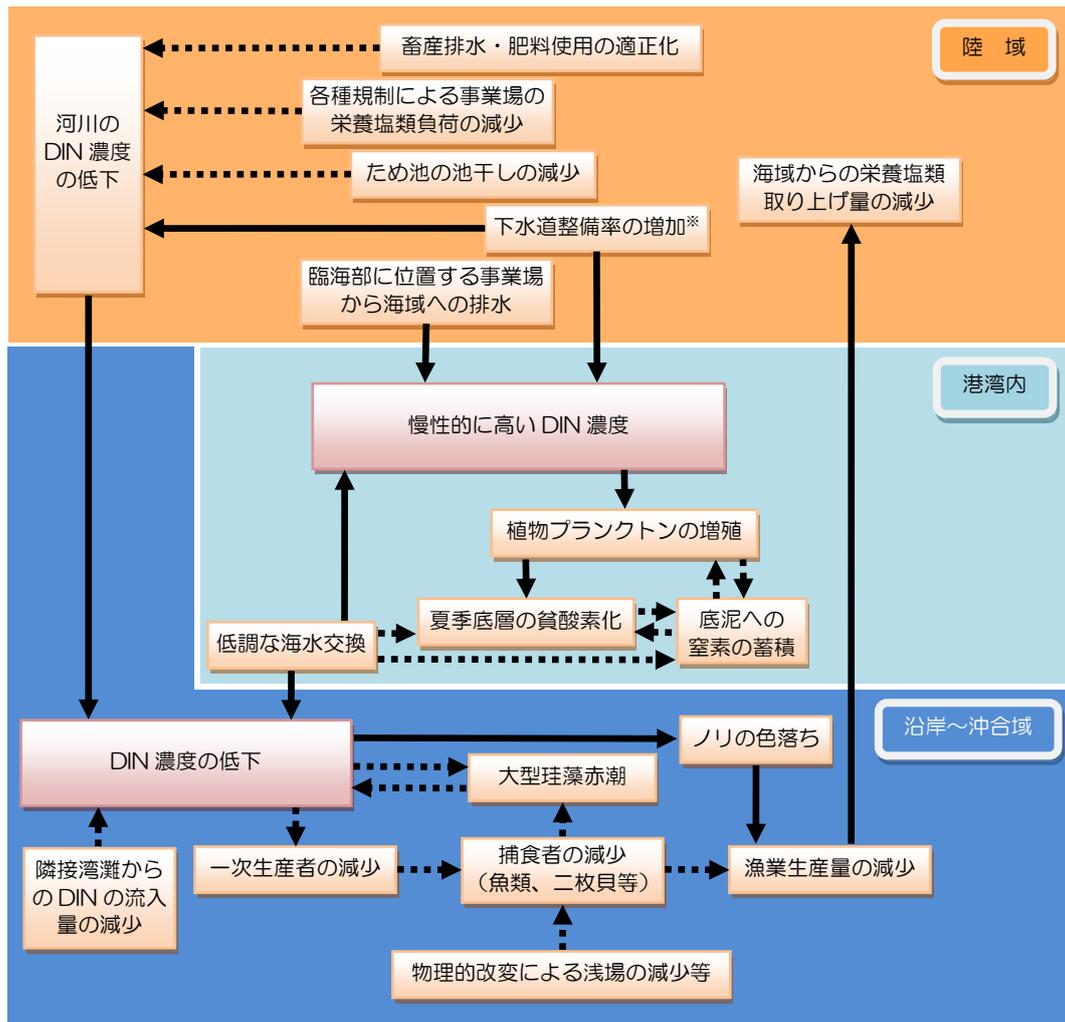
⁷ 東播磨港内においてはアンモニア性窒素濃度が高いため全窒素についても沿岸～沖合域より濃度が高くなっている。港湾内のクロロフィルa濃度も高いことから植物プランクトンが多く発生しているとみられ、それらの死骸が沈降し底層で分解されることにより酸素が消費され、貧酸素水塊が発生する(P.39のデータを参照)。

播磨灘北東部海域の物質循環は陸域、港湾内、沿岸～沖合域の三つの領域がそれぞれ関連している。陸域においては下水道の整備や各種規制の成果により河川の DIN 濃度が低下した。そのため、陸域から沿岸～沖合域への流入負荷量が減少したとみられるが、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、さらに港湾内は港湾内外の海水交換が少ない停滞域となっているため、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。

播磨灘北東部海域に隣接する海域においても DIN 濃度の低下が報告されていることから、隣接する湾灘からの移流による DIN 供給量も減少したと想定される。沿岸～沖合域においては DIN の供給量の低下や大型珪藻⁸の発生等で冬季に DIN 濃度が低下し（原田ら、2009）、そのため、ノリの色落ちが生じて生産量が減少している。また、海面漁業の生産量も減少していることから、漁業生産に伴い海域から陸域に取り上げられる窒素量も減少傾向にある。港湾内外の海水交換も低調であることから、播磨灘北東部地域を循環する窒素量が少なくなっているとみられる（図 1.3-3）。

なお、本プランで検討対象とした東播磨港周辺以外の海域においても同様の不具合や問題が生じている海域があるため、本プランを参考にすることができると考えられる。

⁸ 植物プランクトンの一種で細胞が珪酸質の被殻に入っている。播磨灘では冬季にユーカンピア等の大型珪藻が発生し栄養塩類を消費することにより貧栄養化が起こる。また、大型珪藻は貧栄養に強い。



→ 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
 ※ 下水道が整備され河川へのDIN負荷が減る一方で、排水が下水処理場に集水され放水先が河川から港湾内へ変わることにより、港湾内においてはDINの負荷が増加する(加古川下流浄化センターの例)

図 1.3-3 播磨灘北東部地域のインパクトレスポンスフロー

【不具合】

- ・ ノリの色落ちや海面漁業生産量の減少等

【問題】

- ・ 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

↓

DINの偏在化

参考文献

反田實, 原田和弘 (2012): 瀬戸内海東部(播磨灘)の栄養塩環境と漁業, 海洋と生物, 199, 132-141.
 原田和弘, 堀豊, 西川哲也, 藤原建紀 (2009): 播磨灘の栄養塩環境とノリ養殖, 海洋と生物, 181, 146-149.

2 播磨灘北東部地域の目指すべき姿と課題

2.1 望ましい海域像

播磨灘北東部海域で対策を実施して現在生じている不具合を解消していく際には、目指すべき海域像を各主体間で共有しておくことが重要である。中央環境審議会「瀬戸内海における今後の目指すべき将来像と環境保全・再生の在り方について」（答申）では、今後の目指すべき将来像を海域の状況や特性に応じた『豊かな海⁹』としているが、播磨灘北東部海域においては、高度経済成長期以前の臨海部に工場が立地していなかった頃の海を「望ましい海の姿」に設定することは現実的ではない。また、自然のままの姿が必ずしも海域の生物生産力が最大限に発揮される姿であるとは限らず、特に閉鎖性海域で人的行為による影響が大きい当海域において、人が手を加えることで生物生産性と生物多様性を高める「里海づくり」が有効とされている。播磨灘北東部地域においても現状のデータ等に基づいて整理し検討した結果、当海域の望ましい姿は「人と生態系の調和のとれた豊かで美しい里海」と定義した。なお、望ましい播磨灘北東部海域像については、社会情勢や自然環境の変動等により変化していくことが考えられるため、適宜、見直していく必要がある。

2.2 課題

播磨灘北東部地域においては、沿岸～沖合域の DIN 濃度が低いことにより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 の偏在化が生じていることが問題として挙げられた。

播磨灘北東部海域では陸域からの DIN の供給があるにも関わらず、それらが港湾内の狭い系の中に滞留している状況にあるとみられるため、DIN が沿岸～沖合域に円滑に供給されていない。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 2.2-1）。

これらのことから、播磨灘北東部地域における課題と問題点、不具合、望ましい海域像の関係性については図 2.2-2 に示すように表現できる。

⁹ 中央環境審議会「瀬戸内海における今後の目指すべき将来像と環境保全・再生の在り方について」（答申）においては「庭」・「畑」・「道」に例えられる多面的価値・機能が最大限に発揮された海を『豊かな瀬戸内海』と定義している。

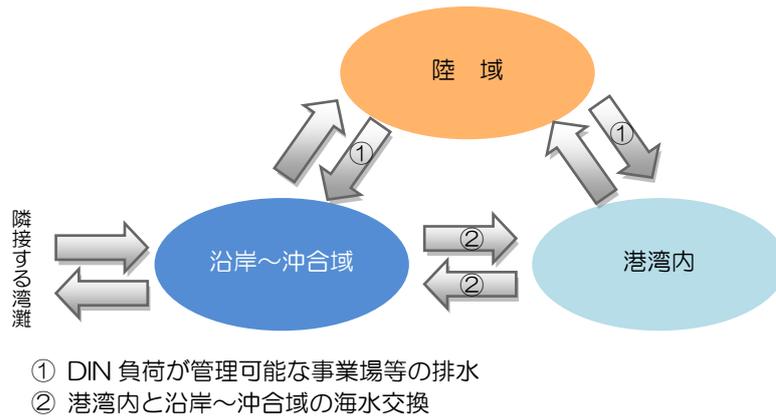


図 2.2-1 播磨灘北東部地域の物質循環のイメージと課題箇所

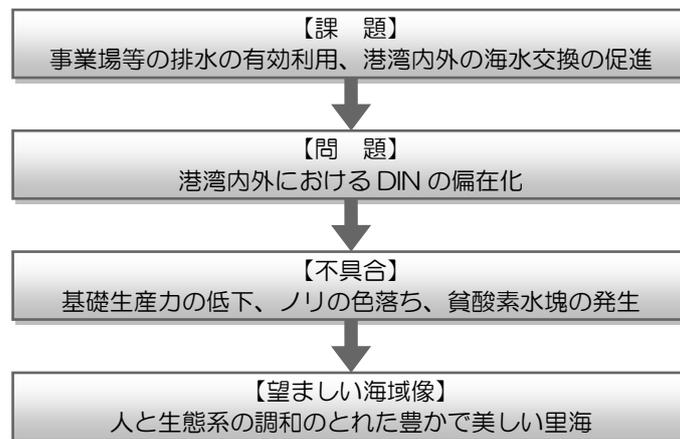


図 2.2-2 課題・問題点・不具合・望ましい海域像の関係性

【望ましい海域像】

- ・ 人と生態系の調和のとれた豊かで美しい里海

【課題】

- ・ 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
- ・ 港湾内と沿岸～沖合域の海水交換を促進させること

3 播磨灘北東部地域ヘルシープランの基本方針

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 DIN が陸域から供給されても港湾内に流入し、港湾内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 DIN が達しておらず、沿岸～沖合域における DIN 濃度は相対的に低い状況である。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自治体の総合計画や環境基本計画、下水道計画、港湾計画、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必要である（表 3.1-1、表 5.3-4）。また、今後、基本計画等、既存計画の見直しが検討される際には、播磨灘北東部地域ヘルシープランの考え方や内容が参考にされるべきである。

自治体等においては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、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、対策の実施計画との整合性を確認する等の対応が求められる。

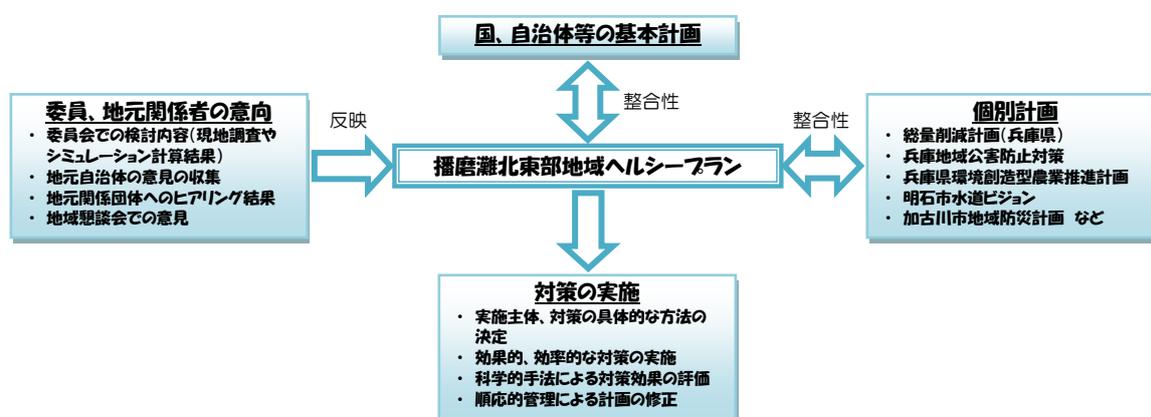


図 3.1-1 播磨灘北東部地域ヘルシープランの位置付け

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、県市	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）
	加古川流域下水道事業（下流処理区）計画
	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）
	東播磨港港湾計画（H10.3）
	兵庫県環境創造型農業推進計画（H21.4）
	明石市
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）】	
明石市公共下水道事業計画	
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）
	兵庫県加古川下流域関連加古川市公共下水道事業計画
	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考え方

3.2.1 行動計画の目標

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・遊漁者等の一般市民、事業者等）が等しく享受すべきである。そのため、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ことや、海浜利用者にとって有益となる滞留域の水質の改善にも繋がる対策を実施するように努め、目標についても地域全体の公益が確保されるように定めることとする。播磨灘北東部海域の目指すべき姿は、人と生態系の調和のとれた豊かで美しい里海であると考えられることから、行動計画の目標としては『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』とした。

3.2.2 行動計画の目標期間

播磨灘北東部地域における窒素の濃度に関する 2 つの問題（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）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 の偏在化の解消が短期的な目標と言える。

短期的な目標期間は 5 年以内、中長期的な目標期間は 10 年と設定し、計画の見直しは 5 年程度で行う。

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、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（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。

3.2.4 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物質循環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、地元関係者との調整を十分に実施する。また、対策の実施により周辺の自治体（兵庫県で実施する場合、大阪府、岡山県、香川県等）に影響が及ぶ可能性もあるため、対策の実施前に実施主体から各自治体に対して対策の内容を説明し、理解を得ておく必要がある。地元関係者や周辺自治体の合意が得られた後、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毎年の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 3.2-1）。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、地元関係者に対して情報を正確に伝える。



図 3.2-1 行動計画の活用の流れ

3.2.5 行動計画の実施についての考え方

◇ 地域の関係者が一体となった取り組みの実施

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、地域住民等に加えて海域で操業している漁業者も含むものとする。地域には様々な価値観を持った主体が存在し、豊かな海を望む人がいる一方で、綺麗な海を望む人も存在する（P.47 の関係者意見を参照）。そのため、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、継続的な取り組み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解放系であるため、当初の計画についてはモニタリング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り組みの実施

対象地域において生じている DIN の偏在化等の問題は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、新たな考え方で取り組みが必要となる。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り組みの実施

生態系においては低位の生物の変動が上位の生物に影響す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、取り組み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も必要である。

【行動計画の目標】

- ・ 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

【行動計画の目標期間】

- ・ 短期目標（DIN の偏在化の解消）・・・ 5 年以内
- ・ 中長期目標（生態系の安定化）・・・ 10 年

【行動計画の実施手順の要点】

- ・ 自治体が主体となり委員会、連絡会を設置
- ・ 地元関係者や周辺自治体に対する対策の説明と合意の取得
- ・ モニタリング結果の公表
- ・ 順応的管理による実施計画の見直し

4 物質循環健全化に向けた対策（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 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。このような問題が起こっている一因として、窒素の循環に問題が生じているためであるとの声がある。窒素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、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、播磨灘北東部地域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の考え方を示している。

4.2 対策の実施方法とモニタリング方法

4.2.1 加古川下流浄化センターの窒素排出量増加運転

（1）対策の概要

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¹⁰）を試験的に実施している。

対策実施の効果については現地調査による泊川河口沖水路内での窒素濃度の上昇や、シミュレーションによって、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する時間帯があること、また、泊川河口沖水路からの DIN の輸送量が通常時と比べて 8.1%増加していたことが確認された。

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、生物生産性の向上に効率的に繋げていく方法の検討等が挙げられる。

¹⁰ 通常は窒素除去を目的とした運転を行っているが、運転の管理方法の変更により、各種規制基準値よりも十分に低い濃度レベルにおいて、脱窒等による窒素除去を抑制した運転である。

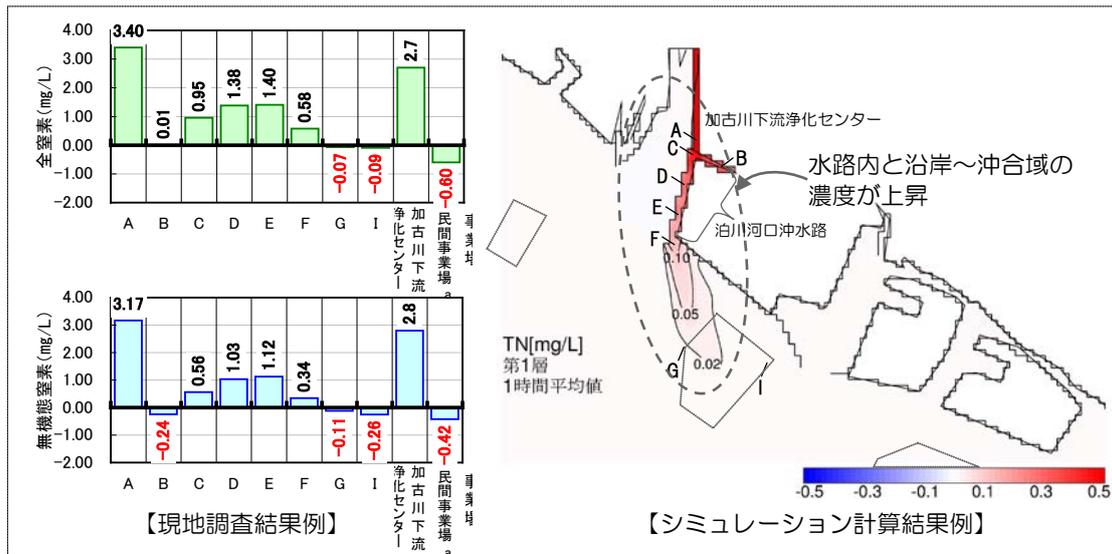


図 4.2-1 加古川下流浄化センターの窒素排出量増加運転の効果（通常運転時との差）

(2) 対策の実施方法

◇ 目標の設定

◆ 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における窒素排出量増加運転による排水の DIN 濃度の増加は通常時と比較して約 1.5 倍である。後述の全窒素の排水基準や総量規制基準値に対して、窒素排出量増加運転中の排水濃度でも十分に満足することができるが、窒素排出量増加運転の実施により窒素濃度に限定して濃度を増加させることは困難であり、その他の基準項目についても影響が及ぶことや、安定した運転を行うための作業量等の制約から、排水中の窒素濃度を現状の窒素排出量増加運転の濃度より高めることは難しい。しかし、現地調査やシミュレーションモデルによる計算の結果として、窒素排出量増加運転による海域での窒素濃度増加効果が確認されていることから、加古川下流浄化センターにおける窒素排出量増加運転の試行は有効であると考えられる。

◆ 海域での窒素濃度

対象としている播磨灘北東部海域は流れが速いことや、隣接する湾灘からの窒素流入の影響、加古川からの河川水の流入の影響も受けること等から、泊川河口沖水路外の沿岸～沖合域においては加古川下流浄化センターの窒素排出量増加運転の実施効果を捉えにくい。そのため、モニタリングでは泊川河口沖水路内における通常運転時からの濃度増加分に着目する。

なお、ノリに対する効果についてはシミュレーションモデルの計算により把握する。対策による窒素供給量増加効果は同じノリ区画内でも濃度増加の分布に濃淡があることから、対策の評価を行う際は評価地点を複数設定し平均値を算出する等の工夫が必要である。また、ノリの色調の維持・回復にはノリが高い DIN 濃度の水塊に曝される時間も関係していることから、対策効果を評価する方法として対策実施期間中のノリの区画域への DIN 供給の頻度や DIN 輸送量を求めてもよい。

◇ 実施主体

加古川下流浄化センター及び幹線管渠等の施設等の保守、点検、修繕等の維持管理や下水処理は公益財団法人兵庫県まちづくり技術センターが実施している。また、窒素排出量増加運転については兵庫県下水道課が水産課や水大気課等と調整し漁業者の要望も踏まえて実施の決定を行い、下水道課が公益財団法人兵庫県まちづくり技術センターに増加運転実施を依頼している。なお、近年になって下水処理場の維持管理における包括的民間委託が進んできているが、受託者が排水濃度を上げる決定をできるものではなく、窒素排出量増加運転の実施の有無の判断は地方自治体が行うことになる。

また、窒素排出量増加運転による海域の窒素濃度上昇の効果確認についても、海域での採水と化学分析が必要となることから、環境部局や水産部局等が主体となって実施することになる。一方、基礎生産力の向上を確認するためにはノリの色調や生産量の変化から把握できると考えられることから、中長期的な対策効果の確認については漁業者の役割が高まるとみられる。

◇ 実施に際しての留意事項

窒素排出量増加運転の実施に際しては排水の規制順守や海域での環境基準を満足することが前提となる。加古川下流浄化センターは水質汚濁防止法に基づく特定施設であり、日平均排水量が 50m³ 以上であるため総量規制が適用されている。また、総量規制基準と排水基準以外にも、播磨灘流域別下水道整備総合計画による目標値等も設定されている（表 4.2-1）。海域の環境基準との関係については窒素排出量増加運転の影響の程度が分かりにくいため、適宜シミュレーションモデルによる計算を組み合わせる必要がある。

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は、スカム（処理施設の槽の水面に浮上した固形物や油脂分の集まったもの）の増加や DO のコントロール回数の増加など現場作業量の増加、ブロー電力量の増加、薬品注入率の増加により運転費用が通常運転時より高くなるとの報告もある。平成 22 年度には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、増加運転を途中で中止している。このように窒素排出量増加運転は通常時と比較して不安定な状態になりやすいため、運転管理に注意を払い、異常時には通常運転に戻すなど柔軟な対応をとらなければならない。また、次亜塩素酸の存在下でノリの生育に影響を与える結合塩素（モノクロラミン等）が生成することがあるため留意する必要がある[※]。

窒素排出量増加運転については十分な社会的コンセンサスを得ていくことが必要であるため、排水水質や海域における窒素濃度の増加状況等のデータを積極的に公表していくとともに、対策の実施目的や生じている現象、対策効果等の分かりやすく丁寧な説明を付け加えることが望ましい。

※ 参考文献

Toshihiro Maruyama, Kazuo Ochiai, Akio Miura, and Tamao Yoshida(1988): Effects of Chloramine on the Growth of *Porphyra yezoensis* (Rhodophyta), *Nippon Suisan Gakkaishi*, 54(10), 1829-1834.

丸山俊朗, 鈴木祥広, 高見徹 (1995): モノクロラミンの海水中における減衰と酸化性物質の生成及びそのノリ（海苔）に対する毒性, 衛生工学シンポジウム論文集, 3, 126-131.

表 4.2-1 加古川下流浄化センターにおける排水の規制基準値と目標値

	全窒素	全りん	BOD	COD	備 考
播磨灘流域別下水道整備総合計画（平成 17 年 5 月）	28	3.0	20	20	【目標値】 計画放流水質設定値 （日間平均値）
水質汚濁防止法に基づく排水基準	120（60）	16（8）	25（20）	—	【規制値】 （）内の数字は日間平均値 BOD は上乘せ排水基準
総量規制基準	C 値 20 （一部 40）	C 値 2 （一部 4）	—	C 値 20 （一部 40）	【規制値】 L(総量規制基準値)= C(濃度)×Q(特定排出 水量) （日負荷量）
兵庫県環境影響評価（昭和 62 年）	—	—	7	20	【計画値】 （日間平均値）

出典：兵庫県農政環境部環境管理局水大気課調べ

(mg/L)

◇ 対策の実施

加古川下流浄化センターにおける窒素排出量増加運転は窒素濃度が低下する冬季にノリの色落ち対策を目的の一つとして始まったことや、試行の段階であること等から、これまでと同様に冬季の 12 月から 3 月にかけて実施することが望ましいと考えられる。窒素濃度の増加は、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¹¹を抑制することにより行う。また、排水濃度は現状のレベルでの運転が適当であるとみられる。

BOD 等の放流水質が規制基準値を超過する恐れが生じた場合は、曝気量を増加させて硝化反応を促進させる（通常運転に戻す）。スカムの発生抑制については、アンモニア性窒素の硝化反応が進み過ぎないように水量配分や送風量の調整を行う。

（3） モニタリング方法

◆ いつ？

- 窒素排出量増加運転前の通常運転時と窒素排出量増加運転時に現地調査を実施する。

【留意点】

- ・ 通常運転時と窒素排出量増加運転時の実施時期が開き過ぎないようにする（バックグラウンドの水温や DIN 濃度が変化すると、効果検証が複雑になるため）。
 - ・ 本来は継続的に現地調査を実施することが望ましいが、予算等が問題となるため、シミュレーションモデルによる計算を併用しデータを補足する。
- 窒素排出量増加運転前の通常運転時と窒素排出量増加運転時の調査日について、潮回り（大潮、小潮）や日潮不等の形を極力合わせ、下げ潮時に調査を実施する。また、調査の時間帯も合わせることを望ましい。

¹¹ 脱窒素細菌の作用により、水中の亜硝酸性窒素、硝酸性窒素を主として窒素ガスに還元して放出すること。

【留意点】

- ・ 加古川下流浄化センターの排水濃度の変化以外の変動要因を減らすようにする。
- ・ 降雨により加古川が出水している際の調査の実施は避け、出水の影響が無くなってから調査を実施する。出水の影響の有無については、兵庫県立農林水産総合研究センター水産技術センターが実施し毎日公表している明石市二見観測局における塩分の観測データから判断できる。また、国土交通省の川の防災情報において公表されている加古川の水位データも参考になる。

◆ どこで？

- 泊川河口沖水路内で 5 地点、水路外の沿岸～沖合域で 3 地点とする。調査時間の関係から 8 地点程度の地点数とする。

【留意点】

- ・ 水路内の 5 地点のうち地点 A、B の 2 地点は加古川下流浄化センターの排水を捉える地点と民間事業場 a の排水を捉える地点とする。沿岸～沖合域の地点 F はノリ養殖場への効果を確認する地点、地点 G、H は対策実施による影響を受けないバックグラウンド点とする。
- ・ 泊川河口沖水路内において濃度の変化が大きいと予想されることから、泊川河口沖水路内に調査地点を多く配置する。
- ・ バックグラウンド点は区画漁業権の範囲内に設定するとノリの漁期に入れなくなるため、区画漁業権の位置を考慮して設定する。
- ・ 地点 F、G 地点は区画漁業権（第 13 号）の境界、地点 H は区画漁業権（第 15 号）の境界である。

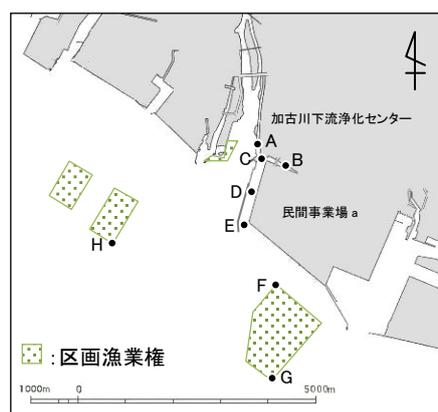


図 4.2-2 調査点位置のイメージ

◆ だれが？

- 現地調査の実施に向けた調整や調査時の海況の把握、採水、水質分析等は専門的な知識が必要となるため、これらの作業は地方自治体の研究機関や民間の専門コンサルタント会社等が実施することが望ましい。

【留意点】

- ・ モニタリングの実施主体による加古川下流浄化センターの排水データの取得や民間事業場 a の排水サンプルの取得については、兵庫県の環境部局が調整することにより作業が円滑に進む。
- ・ 現地調査の実施に際しては実施主体による地元漁協への調査内容の説明が必要である。

◆ 何をする？

- 水温・塩分の鉛直測定と窒素関連項目（全窒素、アンモニア性窒素、硝酸・亜硝酸性窒素、溶存有機態窒素）の採水分析を実施する。泊川河口沖水路内においては水温・塩分の鉛直測定が 50cm 間隔未満、窒素関連項目の採水が 2 層（表層、底層）以上であることが望ましい。

【留意点】

- ・ 泊川河口沖水路内においては表層から 0.5m までが加古川下流浄化センターの排水、0.5～2m に民間事業場 a の排水、2m 以深にエスチュアリー循環流¹²により沿岸～沖合域の海水が流入し、複雑な水塊構造を形成している。

- 加古川下流浄化センターと民間事業場 a の排水量、排水水質を把握する。

【留意点】

- ・ 両施設とも総量規制対象事業場であるため、全窒素の測定は常時実施されているが、各態窒素の濃度については加古川下流浄化センターが週に 2～3 回、民間事業場 a が週に 1 回（硝酸・亜硝酸性窒素はさらに低頻度）となっている。そのため、加古川下流浄化センターに対しては分析データの提供を受け、民間事業場 a に対しては排水の試料を頂き化学分析を実施する。
- ・ 民間事業場 a の排水は工場の稼働状況による排水水質の変動が大きい。
- ・ 基本的に加古川下流浄化センターの排水は硝酸・亜硝酸性窒素濃度が高く、民間事業場 a の排水はアンモニア性窒素濃度が高い。

- 現地調査での効果確認には限界があるため、シミュレーションモデルによる計算を実施してモニタリング結果を補完する。

【留意点】

- ・ 対象海域においては表層の薄い層を加古川下流浄化センターからの排水が流れているため、表層を細かく再現できるモデルを使用する。
- ・ 現況再現年は出来るだけ最近の年に設定する。
- ・ 流動場や物質循環系を表現するために必要なデータとして、淡水流入量（一級河川、二級河川、事業場（下水処理場を含む））、海域の水温・塩分、潮位、流況、流入負荷量（主要河川、主要事業場）、海域の水質、植物プランクトン、動物プランクトン、底生生物、底質、風向風速等が挙げられ、それらのデータは公共用水域水質調査、広域総合水質調

¹² 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（P.65 を参照）

査、浅海定線調査、環境情報基本調査等から入手する。なお、対象海域の窒素溶出量は一般的な値と考えられている。

- ・ 上記の環境データは基本的に公開されているが、入手が難しいものについては地方自治体の担当部局の協力を得ることで円滑に入手が可能になる。なお、データの使用についてはデータの提供依頼に示した範囲内とすることやデータの管理を確実に行う等の注意が必要である。
- ・ 計算メッシュは大領域と小領域で格子幅を変化させる。加古川下流浄化センターの窒素排出量増加運転の影響が及ぶと考えられる東播磨港周辺海域のメッシュ幅は 100m 程度とする。
- ・ 加古川下流浄化センターの窒素排出量増加運転は冬季のみの実施であり、効果検証の対象とする領域も限定的であるため、計算期間についても冬季のみとする。
- ・ シミュレーションモデルの現況再現性の確認については、水塊の構造が複雑である泊川河口沖水路の水温・塩分と窒素・りん濃度の鉛直分布を実際の観測結果と比較することにより行う。

■ 対策は順応的な方法により管理する。

【留意点】

- ・ モニタリングの実施結果を検証し、窒素排出量増加運転の実施方法や現地調査方法を見直す。
- ・ 見直しの結果を受けて、窒素排出量増加運転や現地調査の計画を再度作成する。

4.2.2 河川を利用した海水交換促進対策

(1) 対策の概要

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 濃度の低い水塊の水路内への流入量を増やし、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、エスチュアリー循環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。

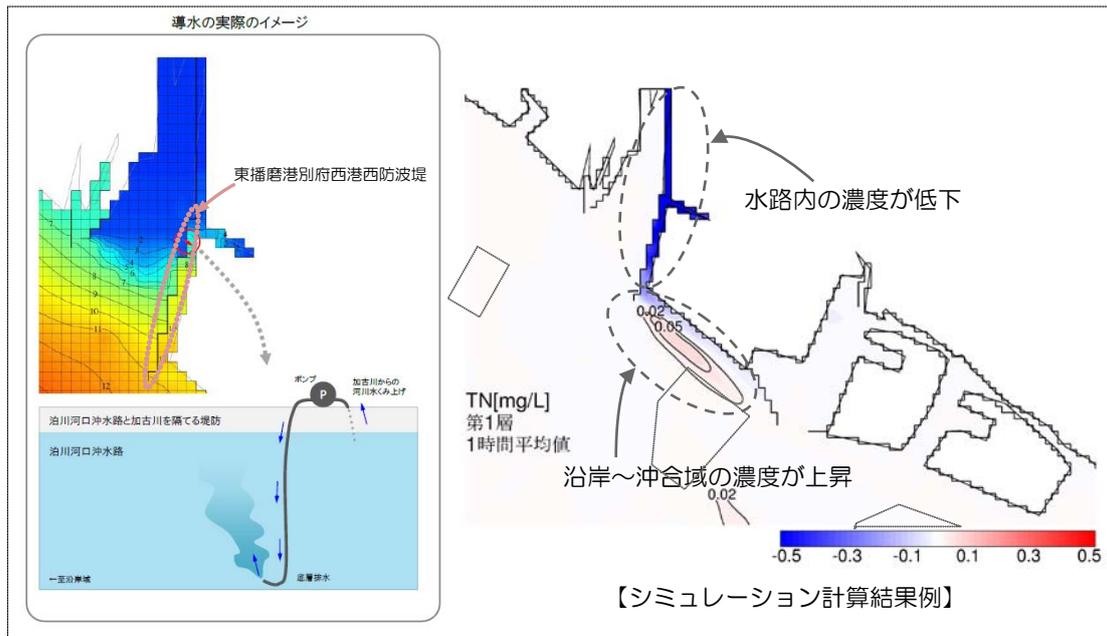


図 4.2-3 河川を利用した海水交換促進対策の効果（現況との差）

（２） 対策の実施方法

◇ 目標の設定

◆ 考え方と留意点

河川を利用した海水交換の促進対策を対象海域で実際に実施する対策として抽出する場合、導水量や放水の位置、運転方法（稼働時間）等の条件を検討するためにシミュレーションモデルによる計算を実施する必要がある。その場合、予算やポンプを設置するうえでの制約等を考慮して、現実的な設定条件において感度解析を実施し、最大の効果が出現する設定条件を探すことにより、実際の導水量等の仕様を決定する。そのため、目標についてもシミュレーションモデルによる計算結果を踏まえて設定する。

◆ 目標

河川を利用した海水交換の促進対策については、沿岸～沖合域の DIN 濃度の上昇だけではなく、泊川河口沖水路内の DIN 濃度の低下も期待した対策である。そのため、泊川河口沖水路内と沿岸～沖合域の濃度差に着目し目標を設定する。

対象範囲が狭いことから窒素を保存物質として捉えることができ、また、対策との関連を明らかにすることが難しいとみられるため、窒素以外の項目、例えばクロロフィル a や植物プランクトン量等については評価対象とせず、目標値を設定する必要がないと考えられる。

◇ 実施主体

加古川と泊川河口沖水路を隔てる防波堤（東播磨港別府西港西防波堤）の上にポンプを設置し、運転と機械の維持管理を実施していくには予算の確保が最大の懸案事項となる。そのため、実施が可能な主体としては地方自治体が想定される。

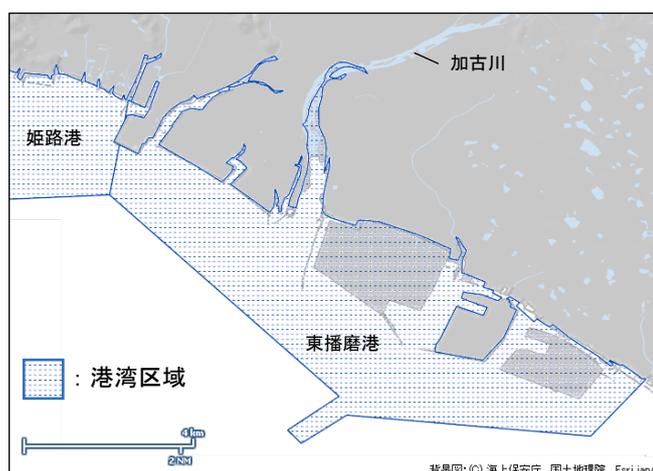
ポンプの運転条件の検討のためのシミュレーションモデルによる計算やポンプの維持管理、

採水分析等による対策効果の確認について、地方自治体が実施主体となった場合は地方自治体から専門の民間事業者に委託することにより効率的な対策の実施が可能になるとみられる。

◇ 実施に際しての留意事項

河川を利用した海水交換の促進対策を実施するにあたり、留意が必要となる事項は以下に示すとおりである。

- ・ 対策の実施による沿岸～沖合域への影響範囲について、全窒素がⅢ類型、CODがB類型の調査点に影響を及ぼす可能性がある¹³。対策の影響で全窒素濃度等が上昇し環境基準値を超過しないように、実際のポンプの設定条件でのシミュレーションモデルによる計算で確認しておく必要がある。
- ・ 加古川の河川水を取水する位置について、加古川の0km地点より上流で取水する場合、河川法第23条にある水利権¹⁴の適用を受けるため、ポンプの設置位置の設定は重要である。東播磨港別府西港西防波堤にポンプを設置し導水を実施する場合、港湾管理者（兵庫県）等の許可や調整等が必要となる（図4.2-4）。
- ・ 導水の位置を水路の奥に設定した方が沖側に設定するよりもDINの偏在化の解消効果が大きくなると予想されるが、最奥部は事業場排水の影響を大きく受けるため避ける。
- ・ 対策の実施により泊川河口沖水路内の流速が増加するが、仮に導水量を $1\text{m}^3/\text{s}$ で計算した場合でも、流速の増加分は $1\text{cm}/\text{s}$ 程度であったことから、船舶への影響はほとんどないものと考えられる。実際に導水対策を実施する場合はポンプの仕様合わせた流速の増加予測を予め実施し、港湾管理者や関連する民間事業者に予測結果を説明する必要があるとみられる。



出典：海洋政策支援情報ツールより作成

図 4.2-4 対象海域周辺の港湾区域の設定状況

¹³ 対象海域ではCOD、全窒素、全りんについて生活環境の保全に関する環境基準による類型指定がされている。

¹⁴ 特定の目的（水力発電、かんがい、水道等）のために、その目的を達成するのに必要な限度において、流水を排他的・継続的に使用する権利。流水を占有（具体的には取水など）しようとする者は、予め河川管理者（国土交通省）に対して流水占用の許可の申請を行わなければならない。

◇ 対策の実施

防波堤上に構造物を建設することは困難であることや、一般的に $1\text{m}^3/\text{s}$ ($60\text{ m}^3/\text{min}$) の排水をする設備の設置にはポンプ・建屋を含め約1億円かかると言われていることから、比較的安価である移動式のポンプを使用することが現実的である。しかし、対象地域における加古川の河川水は表層水であっても塩分が含まれており、ポンプに塩水への耐性が求められることから、淡水を取水する場合に比べて費用の増加が想定される。また、ポンプはディーゼルエンジンとなるため燃料費の変動リスクも考慮が必要となる。

河川を利用した海水交換の促進対策はノリ養殖のための沿岸沖合域への DIN の供給だけが目的ではなく、港湾奥部の水質の改善も目的としているため、冬季に限らず夏季においても対策実施の意味があると考えられる。

(3) モニタリング方法

◆ いつ？

- 対策の実施前と実施中に現地調査を実施する。

【留意点】

- ・ ポンプの運転をモニタリング調査に合わせて制御する等して、対策実施前と実施中の調査を近接した日に行えるようにする。
- ・ 流れの変化を捉えるためには実施前と実施中の調査タイミングは潮汐を合わせて、潮汐流が同じ条件となる時に実施する。
- ・ 加古川下流浄化センターの窒素排出量増加運転のモニタリング方法と同様に、シミュレーションモデルによる計算を併用し効果検討を行う。

- 対策の実施中のモニタリング調査は複数回実施する。

【留意点】

- ・ 対象海域沿岸～沖合域においては流れが速いことや加古川からの河川水の流入の影響を受けること等から、1回の調査では対策の効果を捉えられない可能性がある。そのため、対策実施中の調査は複数回実施することが望ましい。

◆ どこで？

- 泊川河口沖水路内に4地点、水路外に4地点を配置する。また、ポンプの取水についても採水分析を行う。

【留意点】

- ・ 泊川河口沖水路内の DIN 濃度の減少を捉えるための地点を地点 C、D とし、沿岸～沖合域での濃度の上昇を捉えるため地点を地点 E、F とする。また、加古川下流浄化センターの排水の排水を捉えるための地点 A、民間事業場 a の排水を捉えるための地点 B、バックグラウンド点を2地点 (G、H) 配置する。
- ・ 地点 C の位置は導水による放水の影響を直接受けない場所で放水位置より沖側とする。
- ・ 調査地点の配置はシミュレーションモデルによる計算結果を参考にする。よって、実際の条件で計算した結果を用いて図 4.2-5 に示す調査地点配置を修正する。

- ・ F 地点は区画漁業権（第 13 号）の境に設定し、DIN 濃度の増加分がノリ養殖場に達しているかの検討に用いる。なお、G 地点も同じく区画漁業権（第 13 号）の境界、地点 H は区画漁業権（第 15 号）の境界である。

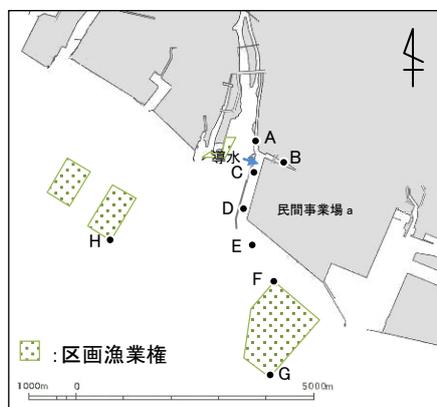


図 4.2-5 調査点位置のイメージ

◆ だれが？

- 現地調査の実施に向けた調整や調査時の海況の把握、採水、水質分析等は専門的な知識が必要となるため、これらの作業は地方自治体の研究機関や民間の専門コンサルタント会社等が実施することが望ましい。

【留意点】

- ・ モニタリングの実施主体による加古川下流浄化センターの排水データの取得や民間事業場 a の排水サンプルの取得については、地方自治体の環境部局が調整することにより作業が円滑に進む。
- ・ 現地調査の実施に際しては実施主体による地元漁協や関連する民間事業者への調査内容の説明が必要である。

◆ 何をする？

- 水温・塩分の鉛直測定と窒素関連項目（全窒素、アンモニア性窒素、硝酸・亜硝酸性窒素、溶存有機態窒素）の採水分析を実施する。泊川河口沖水路内においては水温・塩分の鉛直測定が 50cm 間隔未満、窒素関連項目の採水が 2 層（表層、底層）以上であることが望ましい。

【留意点】

- ・ 泊川河口沖水路内においては表層から 0.5m に加古川下流浄化センターの排水、0.5~2m に民間事業場 a の排水、2m 以深にはエスチュアリー循環流により沿岸~沖合域の海水が流入し、複雑な水塊構造を形成している。
- ・ シミュレーションモデルによる予測計算の結果、泊川河口沖水路奥部においては対策の実施により全層にわたって水温・塩分の値が変化していたため、鉛直方向の測定が必要である。

- 対策の実施前と実施中の流れの観測を実施する。

【留意点】

- ・ 泊川河口沖水路内は民間事業場 a に関わる大型船や漁船の航行が盛んであるため、水路内に流速計を設置することが出来ない。そのため、流況の測定を実施する際は他の船舶の動きに柔軟に対応できるように曳航式 ADCP（超音波ドップラー流速計）等を使用する。
- ・ 対策の実施による流速の変化量は 1cm 程度であると予測されるため、流速の変化だけでは対策効果を評価することが難しいとみられる。したがって、流況観測結果から評価を行う場合は輸送量（フラックス量）の変化を求めると分かりやすい。
- ・ 流況観測を実施できない場合は水温・塩分の鉛直測定の観測結果から密度流の状況を把握する。

- 加古川下流浄化センターと民間事業場 a の排水量、排水水質を把握する。

【留意点】

- ・ 排水量と排水の水温、塩分が泊川河口沖水路内のエスチュアリー循環流に影響を与える因子となるため、加古川下流浄化センターや民間事業場 a が実施している排水の分析や排水量等のデータを頂く。民間事業場 a は排水の塩分を測定していないため、排水の試料を頂いて測定する。

- 対策は順応的な方法により管理する。

【留意点】

- ・ モニタリングの実施結果を検証し、ポンプの運転方法（位置、導水量、稼働時間等）を見直すとともに、モニタリング方法（調査位置、調査項目、調査タイミング等）についても修正する。

4.2.3 海水交換防波堤（遊水室型）の設置

（1）対策の概要

一般的に港湾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。東播磨港も例外ではなく、港湾内の公共用水域水質調査の調査地点（48）においては夏季に底層の貧酸素化も確認されている。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。この対策の特徴としては前述の二つの対策と違って、一度設置すればあとは自然の力だけで効果が期待できる点である。

シミュレーションモデルで効果が最大となるような設計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（別府地区周辺海域）から沿岸～沖合域への

DIN の供給効果が大きいと予測された。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、東播磨港内（別府地区周辺海域）からの流出する DIN 輸送量が現況と比べて 286.5%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。

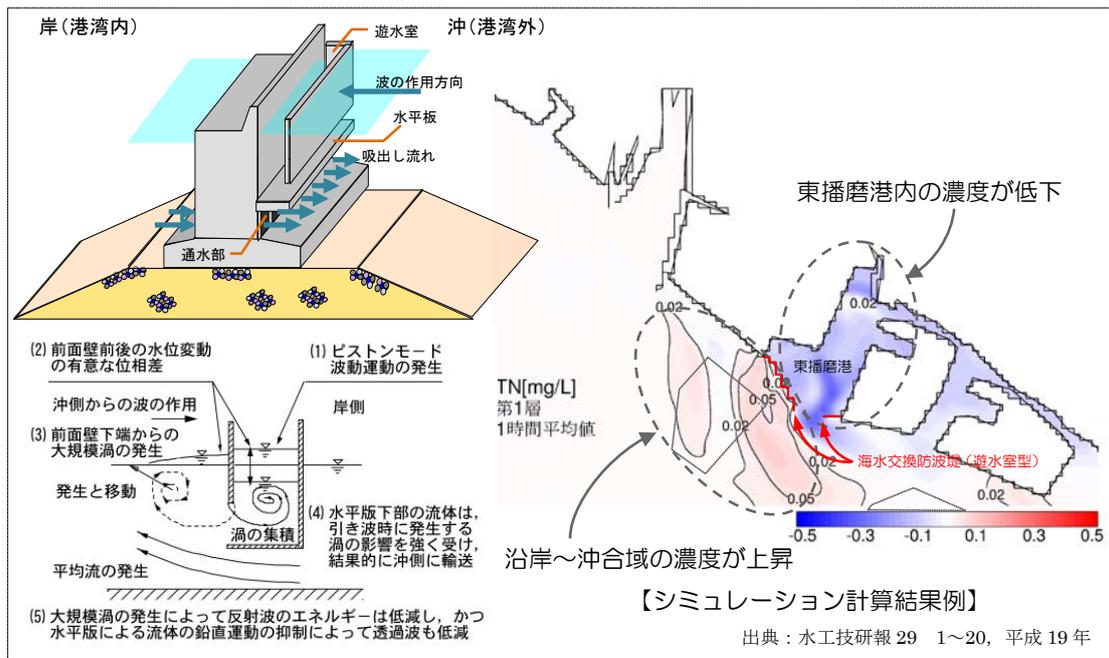


図 4.2-6 海水交換防波堤の設置対策の効果（現況との差）

（２） 対策の実施方法

◇ 目標の設定

海水交換防波堤（遊水室型）による DIN の偏在化の解消効果は、先に挙げた加古川下流浄化センターの窒素排出量増加運転や河川を利用した海水交換の促進対策と比較して、効果の出現が緩やかである。そのため、設置の前後の比較により効果を検討する場合、時間経過によるバックグラウンド濃度の変化の影響を受けるとともに、沿岸～沖合域においては港湾内から高い DIN 濃度の水塊が供給されるものの、潮汐流による移流・拡散の影響で濃度の上昇効果を捉える事が難しい。よって、目標については港湾内外の DIN 濃度の濃度差の変化（減少分）について設定することが望ましい。また、港湾内の波浪状況が現状と同程度の範囲内に収まっているか確認する。

◇ 実施主体

事業の実施主体については地方自治体等が想定される。

◇ 実施に際しての留意事項

海水交換防波堤（遊水室型）の必要性については東播磨港の港湾機能や水質データ等を整理

し、関係者と十分な議論をしたうえで判断しなければならない。

仮に海水交換防波堤（遊水室型）を設置する場合、港湾の機能が維持されることが前提であるため、これまでと同等の静穏度や水深が確保、維持できるように考慮しなければならない。そのうえで防波堤の諸元が決まり、その諸元に基づいてシミュレーションモデルによる水質予測が実施される手順となる。

港口部（船舶が出入りする部分）に近接する防波堤を海水交換防波堤にした場合、港湾外から底層を通して港湾内に流入した水塊が直ちに海水交換防波堤から港湾外に排出され、その水塊が再び港湾内に流入し再度港湾外に排出されるという循環に陥る可能性がある。そのため、港湾内の静穏度と同時に水質に関しても考慮した費用対効果の高い設計を行う。

◇ 対策の実施方法

防波堤の設置は他の対策と比較して費用のかかる事業であるため、海水交換防波堤（遊水室型）に変更するために既存の防波堤を撤去することは難しいとみられる。そのため、防波堤の老朽化等の理由で更新される際に海水交換防波堤（遊水室型）を採用するか、あるいは対象とした防波堤の設置場所以外で新たに防波堤が設置される計画があれば、防波堤を海水交換型にするという方法がある。

海水交換防波堤（遊水室型）の設計に際しては、事前に現地で波浪観測を実施して波浪データを取得するとともに、その他制約条件（流れ等）についても調査を行う。なお、海水交換防波堤（遊水室型）の通水部の通過流量については 5.3.3 に計算方法を示している。

（3） モニタリング方法

◆ いつ？

- 海水交換防波堤（遊水室型）の設置前と設置後に現地調査を実施する。

【留意点】

- ・ 海水交換防波堤（遊水室型）の対策については、他の対策と比較して設置工事に時間を要することから、時間経過によりバックグラウンドの DIN 濃度が変化し、設置前後の濃度変化を比較しても効果が分かりにくいとみられる。そのため、設置後の現地調査結果については過去の同時期における公共用水域水質調査の別府港内（48）地点、別港沖（59）と比較するとともに、長期のモニタリング調査を実施することにより、濃度傾向の違いが見えてくると考えられる。

- 沿岸～沖合域への窒素の円滑な供給や、港湾内の貧酸素水塊の解消を確認するため、調査は四季別実施する。

【留意点】

- ・ 海水交換防波堤（遊水室型）の設置により冬季にはノリ養殖区画に窒素の供給効果が期待されることや、港湾内では底層の流れが大きくなり、鉛直混合も盛んになると予想されることから、夏季における底層の貧酸素化の解消にも貢献するとみられる。そのため、貧酸素水塊の発生から解消までの期間も考慮すると、対策効果を検証するには四季調査が必要となる。

- 海水交換防波堤（遊水室型）設置後の調査は竣工から最低 4 日後に実施する。

【留意点】

- ・ シミュレーションによる計算結果から、海水交換防波堤（遊水室型）の設置時の東播磨港内（別府地区～二見地区：図 5.2-19 に示す領域）の滞留時間は 3 日 5 時間と予測された（上記の領域の平均濃度が $1/e$ に達するまでの時間）。

◆ どこで？

- 東播磨港内の 4 地点と港湾外の 4 地点とする。

【留意点】

- ・ 地点 A、B は港湾内の DIN 濃度の減少状況を把握する地点、地点 C・D、地点 E・F は海水交換防波堤による取水、排水の影響の状況を把握する地点、地点 G は沿岸～沖合域への広がり の程度を把握する地点、地点 H はバックグラウンド点としている。
- ・ 地点 A は公共用水域水質調査の別府港内（48）地点、地点 F は同調査の別府港沖（59）地点に対応している。地点 D はノリ養殖区画（第 13 号）の境界上である。また、地点 G、H もノリ養殖区画（第 12 号）の境界に位置しており、既に実施された現地調査等の結果から平水時には加古川河川水の影響が地点 H 付近まで及ばないことが確認されている。

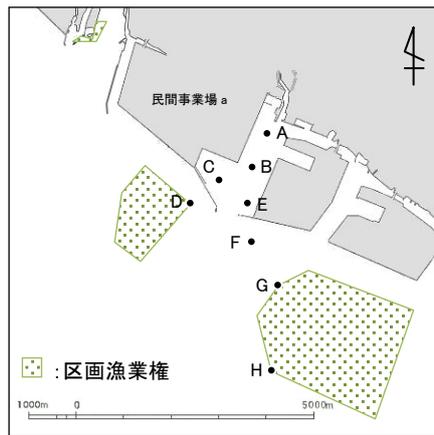


図 4.2-7 調査点位置のイメージ

◆ だれが？

- 現地調査の実施に向けた調整や調査時の海況の把握、採水、水質分析等は専門的な知識が必要となるため、これらの作業は地方自治体の研究機関や民間の専門コンサルタント会社等が実施することが望ましい。

【留意点】

- ・ 東播磨港内には民間事業場 a からの排水があるため、対策効果の解析に際しては排水のデータ（排水量、水質）を入手する必要がある。データの入手は地方自治体が調整を行うことにより円滑に進めることができる。

◆ 何をする？

- 窒素関連項目（全窒素、アンモニア性窒素、硝酸・亜硝酸性窒素、溶存有機態窒素）の採

水分析と水温・塩分、DO の測定を実施する。窒素関連項目と DO の観測層数は 2 層（表層、底層）以上であることが望ましい。

【留意点】

- ・ 港湾内の貧酸素化は表層付近で増殖した植物プランクトンの死骸が沈降し、底層において分解される際に酸素が消費されるため生じていることから、表層と底層の窒素濃度や DO を把握することが必要である。
- ・ 解析に際しては公共用水域水質調査の別府港内（48）地点の公表データも活用する。

■ 民間事業場 a の排水量、排水水質等を把握する。

【留意点】

- ・ 東播磨港には図 4.2-8 に示す東排水口と南排水口から多量の事業場排水が流入している。その排水は港湾内の水温、塩分、DIN 濃度への影響が無視できない量であるため、排水量、水温、窒素関連項目のデータを取得する。可能であれば排水を提供頂き、塩分についても測定する。

■ モニタリング調査の結果を踏まえ現地調査計画の見直しを行う。

【留意点】

- ・ 海水交換防波堤（遊水室型）は一度設置すると形状を変えることが難しいため、対策の見直しはほぼ不可能である。モニタリング調査については調査結果を踏まえて対策効果を効率的に把握できる地点配置、調査時期、調査項目等を検討し、調査計画を修正する。



図 4.2-8 東播磨港周辺の主要事業場の排水口位置

4.2.4 対策の組み合わせ

(1) 対策の概要

シミュレーションモデルによる計算結果から加古川下流浄化センターの窒素排出量増加運転においては沿岸～沖合域において DIN 濃度の上昇が確認されたが、現状で濃度が高止まりしている泊川河口沖水路内の濃度がさらに上昇するため、水路内の濃度の上昇への対応が課題として考えられた。そのため、前述の「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、水路内の濃度の上昇を抑えながら沿岸～沖合域の濃度が上昇するかを検証した。

シミュレーションモデルによる計算の結果、泊川河口沖水路内で DIN 濃度が低下し、一方で

沿岸～沖合域においては濃度が上昇しており、濃度の上昇幅や影響範囲も窒素排出量増加運転を単独で実施した場合と比較して大きくなっていった。なお、泊川河口沖水路から水路外に流出する DIN の輸送量は現況より 15.3%増加しており、これは窒素排出量増加運転の効果と河川を利用した海水交換促進対策の効果の合計と同程度であり、各対策の効果は相殺されないとみられる。

このように、対策を適切に組み合わせることにより水路内と沿岸～沖合域の両方において対策の効果が期待できる。

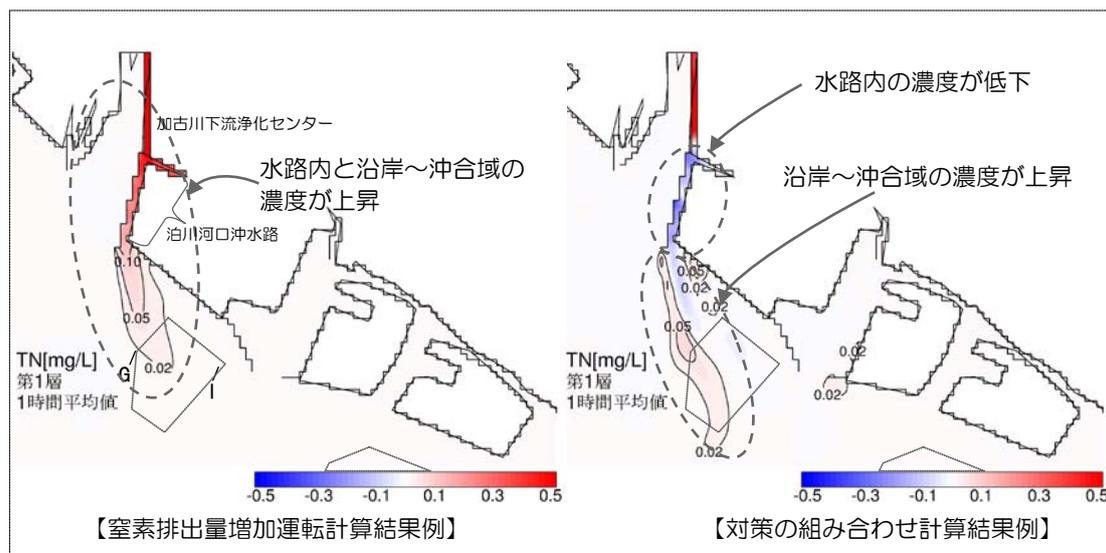


図 4.2-9 窒素排出量増加運転と海水交換促進対策の組み合わせ（現況との差）

(2) 対策の実施方法

◇ 目標の設定

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の組み合わせの場合、泊川河口沖水路内の窒素濃度の上昇が抑制されるとともに、沿岸～沖合域の窒素濃度が上昇しているかを確認する。沿岸～沖合域の濃度上昇を抑えることは難しいとみられるため、泊川河口沖水路内と水路外の濃度差に着目し目標を設定する。

◇ 実施主体

個別での対策実施内容で示したように兵庫県下水道課が実施主体となり、下水処理場の維持管理やモニタリング調査については民間会社等に委託する方法がある。

◇ 実施に際しての留意事項

沿岸～沖合域においては流れが速いことや加古川からの流入水の影響を受けること等から、現地調査による対策効果の確認が泊川河口沖水路内と比べて難しいとみられる。組み合わせ対策では泊川河口沖水路内での濃度上昇がないと想定されることから、そのため、加古川下流浄化センターの窒素排出量増加運転の実施効果（海域での DIN 濃度の上昇）を現地調査では確認できない可能性がある。よって、シミュレーションモデルを使って窒素排出量増加運転中の現

況再現を行う等、現地調査とシミュレーションモデルによる計算を適切に組み合わせて検証を実施する必要があると考えられる。

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の留意点は前述したとおりである。

◇ 対策の実施

組み合わせ対策の実施方法は各対策で示した方法と同様とする。なお、実施方法についてはモニタリングの結果を受けて見直しを行う。

(3) モニタリング方法

◆ いつ？

- 対策の実施前と実施中に現地調査を実施する。

【留意点】

- ・ 時間経過によるバックグラウンドの窒素濃度の変化を避けるため、対策実施前と実施中の調査間隔は短い方が望ましい。
- ・ 沿岸～沖合域での対策効果を確認するためには、対策実施中の調査を複数回実施することが望ましい。

◆ どこで？

- 泊川河口沖水路内に 4 地点、水路外に 4 地点を配置する。

【留意点】

- ・ 河川を利用した海水交換の促進対策の単独での実施の際と同様の調査地点の配置とし、泊川河口沖水路内の DIN 濃度の減少を捉えるための地点 C、D、沿岸～沖合域での DIN 濃度の上昇を捉えるための地点 E、F、加古川下流浄化センターの排水の排水を捉えるための地点 A、民間事業場 a の排水を捉えるための地点 B、バックグラウンド点として 2 地点 (G、H) を配置する。
- ・ 調査地点の配置はシミュレーションモデルによる計算結果を参考にする。河川を利用した海水交換の促進対策における実際のポンプの設計条件で計算した結果を用いて図 4.2-10 に示す調査地点配置を修正する。
- ・ F 地点は区画漁業権 (第 13 号) の境に設定し、DIN 濃度の増加分がノリ養殖場に達しているかの検討に用いる。なお、G 地点も同じく区画漁業権 (第 13 号) の境界である。

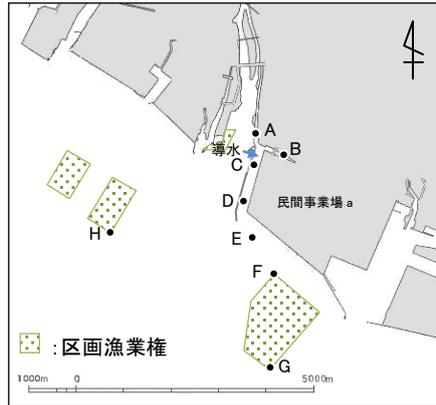


図 4.2-10 調査点位置のイメージ

◆ だれが？

- 現地調査の実施に向けた調整や調査時の海況の把握、採水、水質分析等は専門的な知識が必要となるため、これらの作業は地方自治体の研究機関や民間の専門コンサルタント会社等が実施することが望ましい。

【留意点】

- ・ モニタリングの実施主体による加古川下流浄化センターの排水データの取得や民間事業場 a の排水サンプルの取得については、地方自治体の環境部局が調整することにより作業が円滑に進む。
- ・ 現地調査の実施に際しては実施主体による地元漁協や関連する民間事業者への調査内容の説明が必要である。

◆ 何をする？

- 水温・塩分の鉛直測定と窒素関連項目（全窒素、アンモニア性窒素、硝酸・亜硝酸性窒素、溶存有機態窒素）の採水分析を実施する。泊川河口沖水路内においては水温・塩分の鉛直測定が 50cm 間隔未満、窒素関連項目の採水が 2 層（表層、底層）以上であることが望ましい。

【留意点】

- ・ 泊川河口沖水路内においては表層から 0.5m に加古川下流浄化センターの排水、0.5～2m に民間事業場 a の排水、2m 以深にはエスチュアリー循環流により沿岸～沖合域の海水が流入し、複雑な水塊構造を形成している。

- 加古川下流浄化センターと民間事業場 a の排水量、排水水質を把握する。

【留意点】

- ・ 排水量と排水の水温、塩分が泊川河口沖水路内のエスチュアリー循環流に影響を与える因子となるため、加古川下流浄化センターや民間事業場 a が実施している排水の分析データを頂く。民間事業場 a は排水の塩分を測定していないため、排水の試料を頂いて測定する。

- 対策は順応的な方法により管理する。

【留意点】

- ・ モニタリングの実施結果を検証し、窒素排出量増加運転やポンプの運転方法（位置、導水量、稼働時間等）を見直すとともに、モニタリング方法（調査位置、調査項目、調査タイミング等）についても修正する。

4.3 行動計画の課題

行動計画に取り上げた対策は播磨灘北東部地域の物質循環の健全化に資すると考えられたものであるが、これらの対策を実施することにより、播磨灘が直ちに「人と生態系の調和のとれた豊かで美しい里海」になる訳ではない。ここで示した行動計画は物質循環の健全化に向けた要素技術であり、望ましい海域を実現するためにはこれらの対策の実施だけでは十分でない。

播磨灘北東部地域の目指すべき姿については世代間や地域間、所属等の違いによって様々である。そのため、現状の問題認識もそれぞれ異なっており、問題解決の方法も千差万別である。播磨灘北東部地域ヘルシープランにおいては学識者や行政、漁業者、地域の関係団体等の意見を踏まえて、「窒素」に着目して物質循環の健全化に向けた検討を行った。行動計画においては窒素の偏在化の解消や沿岸～沖合域への窒素の供給のための対策を提示したが、前述のとおりここで取り上げた対策の実施が生態系の安定的な健全化に与える影響は未知数である。

よって、対策の実施にあたって、毎年適切にモニタリングを行い、効果及び影響の検証を行うことでその有効性を把握し、次の取り組みに結びつけていかなければならないと考えられる。

今後、陸と海の距離が近くなり、「海を意識した陸での施策」、「陸を意識した海での施策」が継続的に行われるようになるための最初のステップとして、このヘルシープランを利用してほしい。

5 資料編

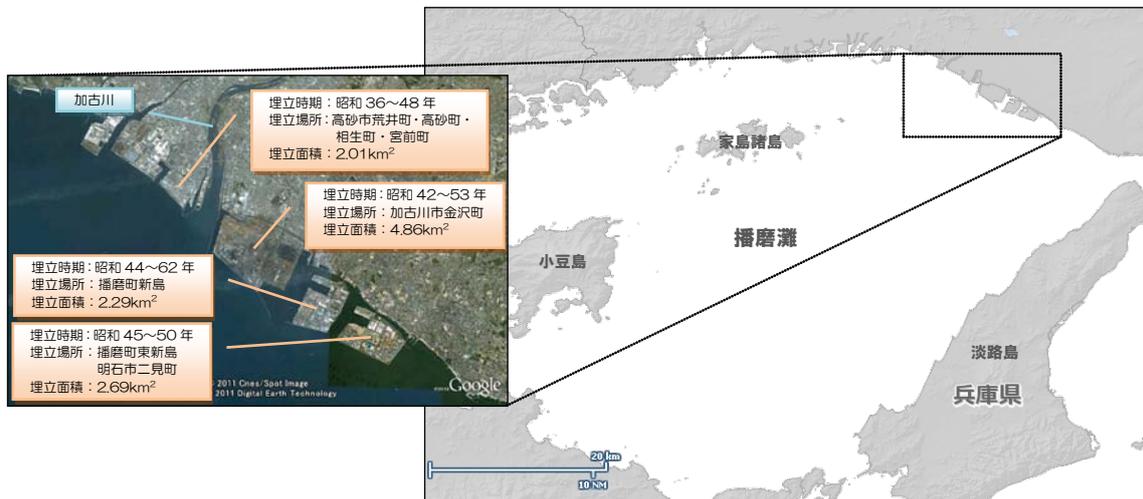
5.1 播磨灘北東部地域の現状と課題

5.1.1 播磨灘北東部地域の概要

(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。当プランの検討対象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思わ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 1,730km² 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鳴川ダム、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 5.1-1 対象海域と埋立状況

(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 5.1-2）。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 5.1-2：E）、加古川下流浄化セ