

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	7
2.1	望ましい海域像	7
2.2	課題	7
3	播磨灘北東部地域ヘルシープランの基本方針	9
3.1	播磨灘北東部地域ヘルシープランの位置付け	9
3.2	播磨灘北東部地域ヘルシープランの考え方	11
3.2.1	行動計画の目標	11
3.2.2	行動計画の目標期間	11
3.2.3	各対策の目標設定の考え方	11
3.2.4	行動計画の実施手順	11
3.2.5	行動計画の実施についての考え方	12
4	物質循環健全化に向けた対策（行動計画）	14
4.1	行動計画作成の背景	14
4.2	対策の実施方法とモニタリング方法	14
4.2.1	加古川下流浄化センターの窒素排出量増加運転	14
(1)	対策の概要	14
(2)	対策の実施方法	15
(3)	モニタリング方法	17
4.2.2	河川を利用した海水交換促進対策	20
(1)	対策の概要	20
(2)	対策の実施方法	21
(3)	モニタリング方法	23
4.2.3	海水交換防波堤（遊水室型）の設置	25
(1)	対策の概要	25
(2)	対策の実施方法	26
(3)	モニタリング方法	27
4.2.4	対策の組み合わせ	29
(1)	対策の概要	29
(2)	対策の実施方法	30
(3)	モニタリング方法	31
4.3	行動計画の課題	33

5 資料編	34
5.1 播磨灘北東部地域の現状と課題	34
5.1.1 播磨灘北東部地域の概要	34
(1) 地形的特徴	34
(2) 下水道整備	34
(3) 港湾整備と流況	35
(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考えられたため、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。

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

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。

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 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)。



図 1.3-1 本プランにおける対象領域の設定

項目	1960 (S35)	1970 (S45)	1980 (S55)	1990 (H2)	2000 (H12)					
陸域	県内総生産額 (兵庫県) 単位: 10億円	1,200	2,700	6,500	10,200	13,200	18,300	20,600	19,900	19,100
	ダム建設 (加古川水系)	S40 平荘ダム, S46 錦市ダム, S48 八幡谷ダム, S51 黒石ダム, S53 新巻ダム 佐仲ダム, S56 権現ダム, S58 藤岡ダム, H3 川代ダム, H4 呑吐ダム								
	下水道整備率 (兵庫県)	16.4% (1970), 39.9% (1980), 60.9% (1990), 81.7% (2000), 90.7% (2000)								
	TN 濃度 (加古川: 国包)	約 3.0mg/L (1980), 約 1.5mg/L (1990), 約 1.0mg/L (2000)								
港湾内	埋め立て	S36~48 高砂市荒井町・高砂町・相生町・宍戸町, S42~53 加古川市金沢町, S44~62 播磨町新島, S45~50 播磨町東新島・明石市二見町								
	TN 濃度 (別府港内)	約 1.0mg/L (1980), 約 0.6mg/L (1990), 約 0.5mg/L (2000)								
沿岸～沖合域	TN 濃度 (別府港沖)	約 0.4mg/L (1980), 約 0.3mg/L (1990), 約 0.2mg/L (2000)								
	水温 (播磨灘表層)	約 17°C (1970), 約 18°C (2000)								
	ウチムラサキ漁獲量*	約 200ton (1960), 約 300ton (1970), 約 150ton (1980), 約 150ton (1990), 漁獲ほとんどなし (2000)								
	海面漁業生産量**	約 50,000ton (1980), 約 70,000ton (1990), 約 40,000ton (2000)								
	ノリ生産量** 単位: 10万枚	約 200 (1960), 約 2,400 (1970), 約 10,100 (1980), 約 13,500 (1990), 約 18,000 (2000), 約 12,000 (2000)								
	赤潮発生回数 (播磨灘)	約 50回 (1980), 約 30回 (1990), 約 20回 (2000), 約 20回 (2000)								
全体	法規制	S48 瀬戸内海環境保全部特別措置法, S53 瀬戸内海環境保全部特別措置法, S54 第1次COD総量規制, S62 第2次COD総量規制, H3 第3次COD総量規制, H8 第4次COD総量規制, H13 第5次COD N P 総量規制, H18 第6次COD N P 総量規制								

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)

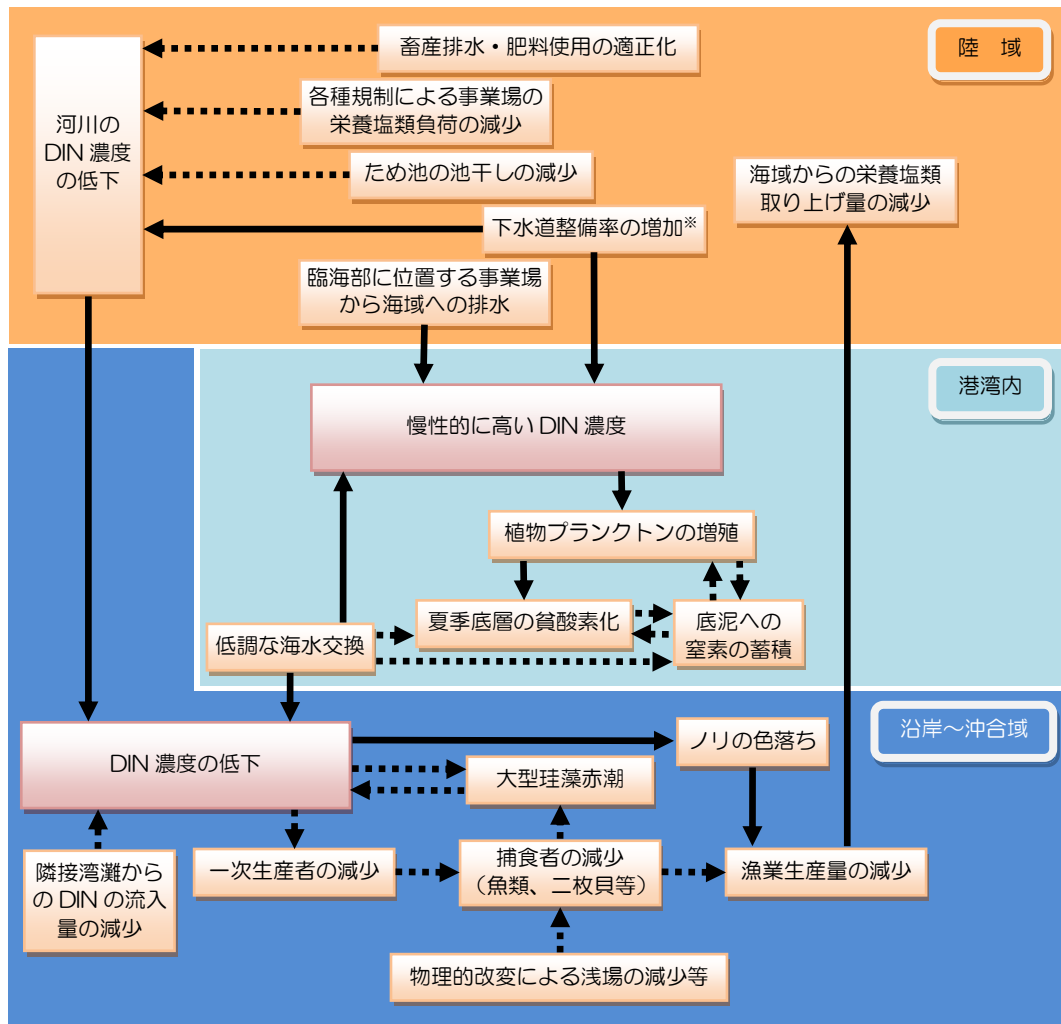
図 1.3-2 播磨灘北東部地域における自然的・社会的状況の変遷

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、当地域の望ましい姿は「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⁹ため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。

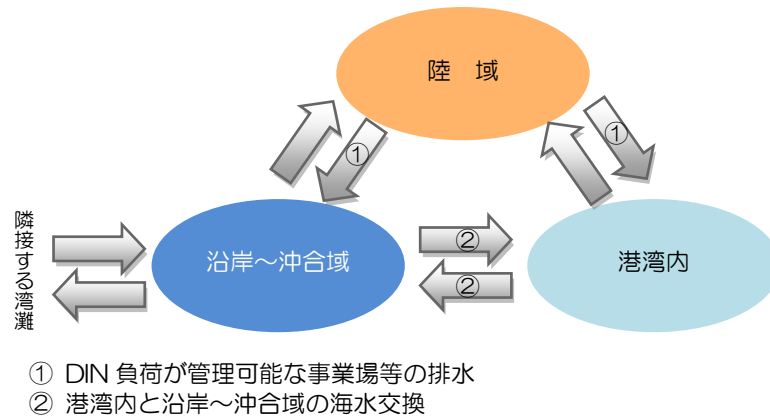


図 2.2-1 播磨灘北東部地域の物質循環のイメージと課題箇所

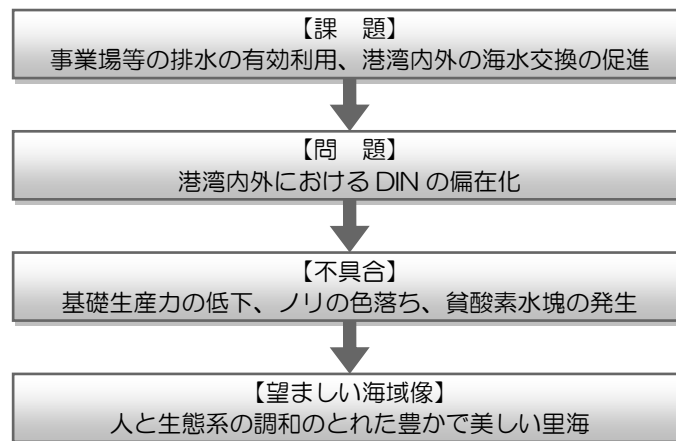


図 2.2-2 課題・問題点・不具合・望ましい海域像の関係性

【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。

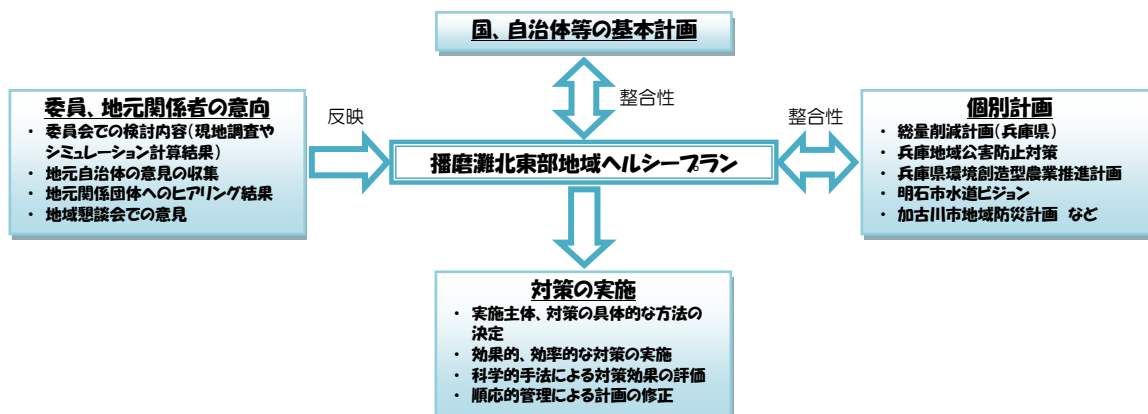


図 3.1-1 播磨灘北東部地域ヘルシープランの位置付け

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太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太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。

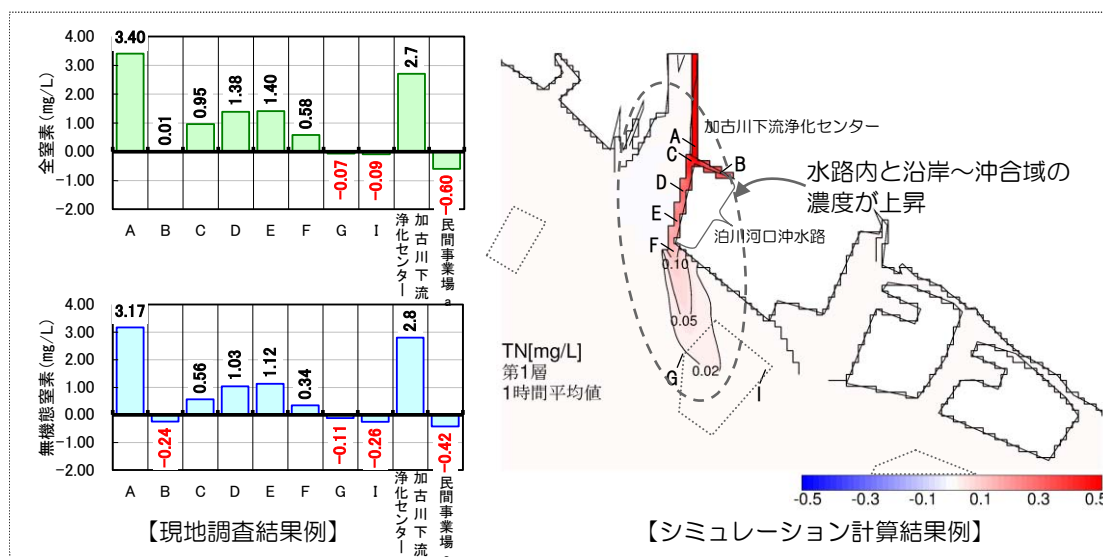


図 4.2-1 加古川下流浄化センターの窒素排出量増加運転の効果（通常運転時との差）

(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などの報告もある。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。

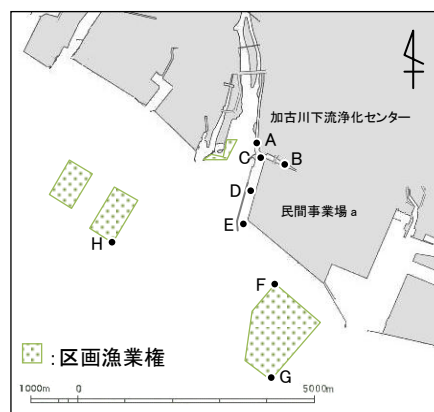


図 4.2-2 調査点位置のイメージ

◆ 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。

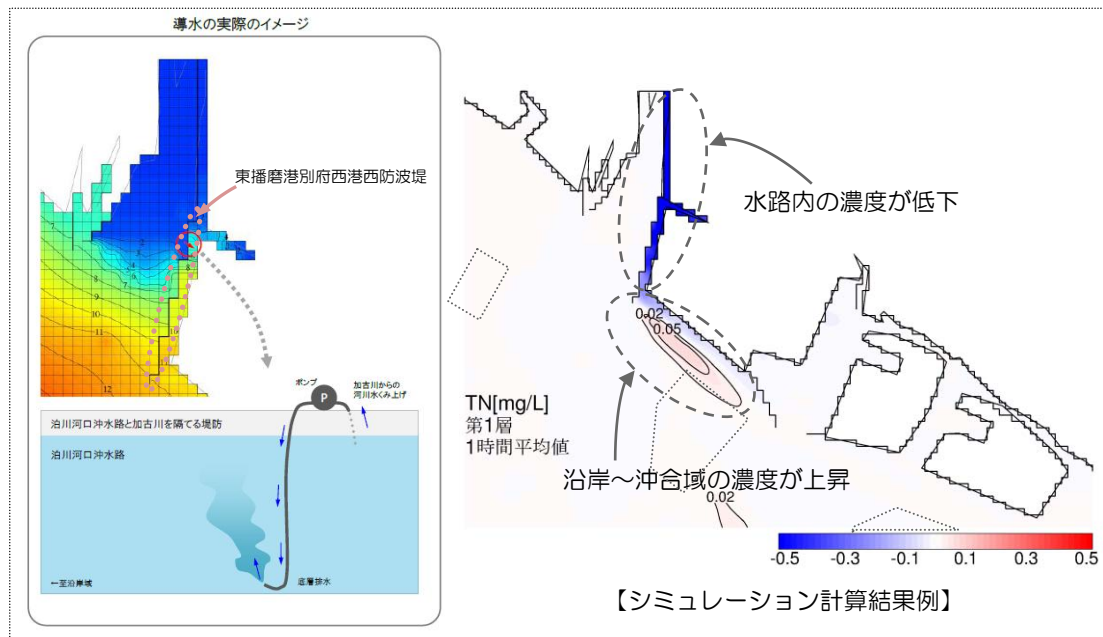


図 4.2-3 河川を利用した海水交換促進対策の効果（現況との差）

（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ることにより、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。

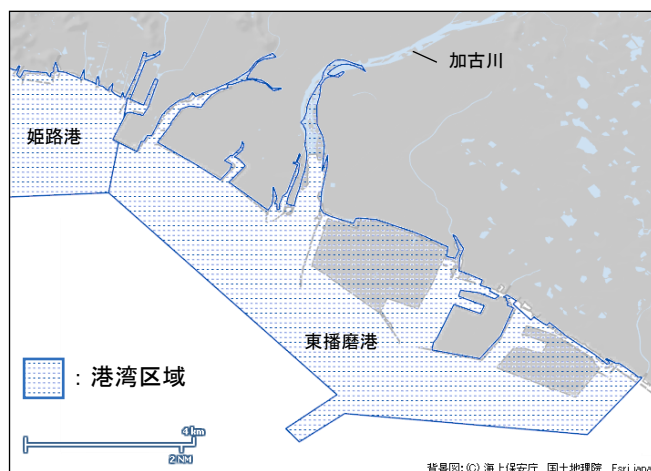
ポンプの運転条件の検討のためのシミュレーションモデルによる計算やポンプの維持管理、

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へ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1m³/sで計算した場合でも、流速の増加分は1cm/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。

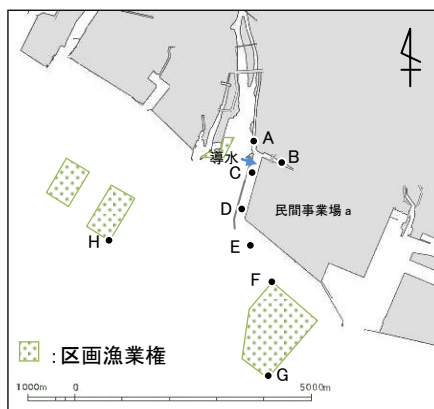


図 4.2-5 調査点位置のイメージ

◆ 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。

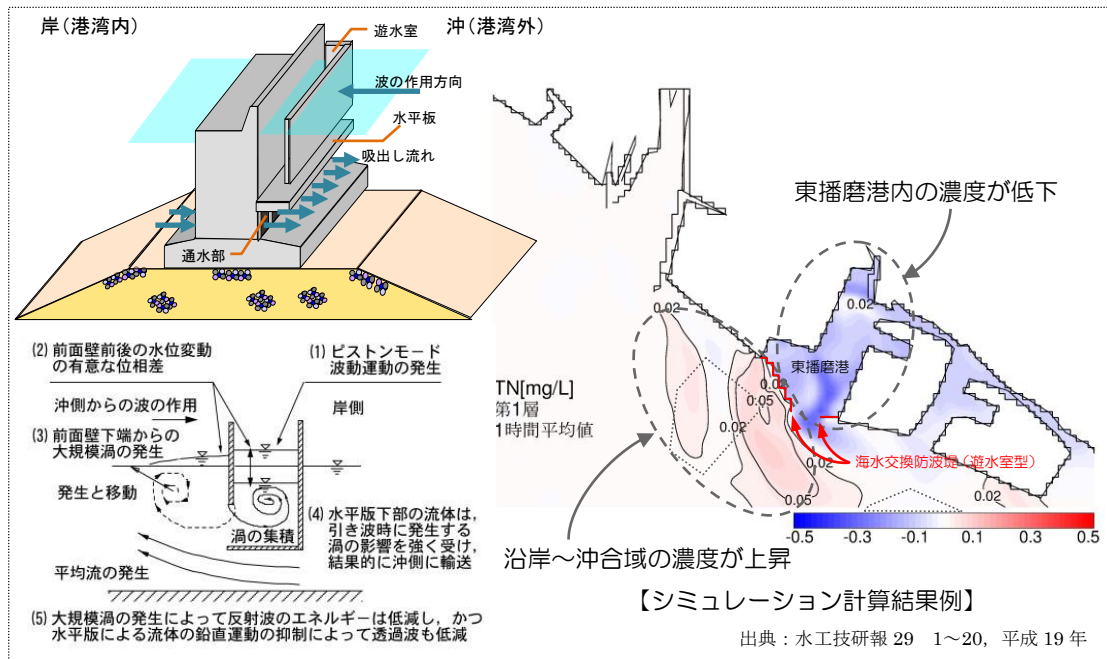


図 4.2-6 海水交換防波堤の設置対策の効果（現況との差）

（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。

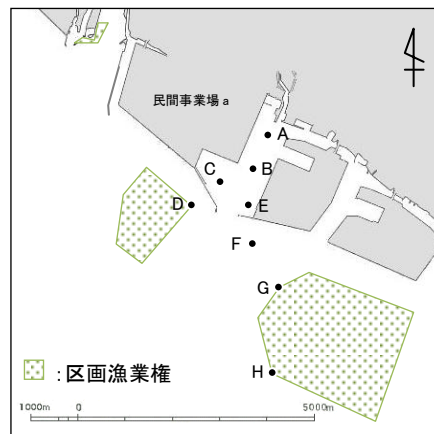


図 4.2-7 調査点位置のイメージ

◆ 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。

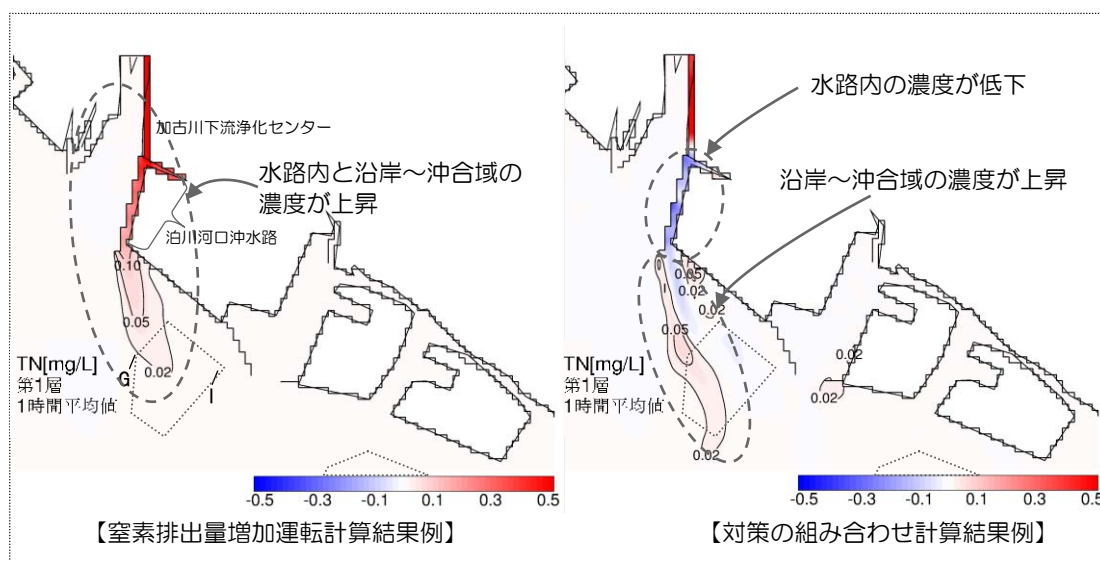


図 4.2-9 窒素排出量増加運転と海水交換促進対策の組み合わせ（現況との差）

(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捉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。

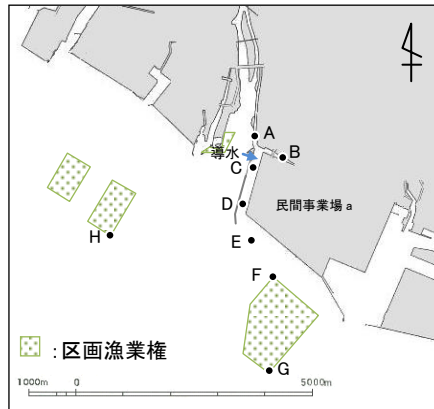


図 4.2-10 調査点位置のイメージ

◆ 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

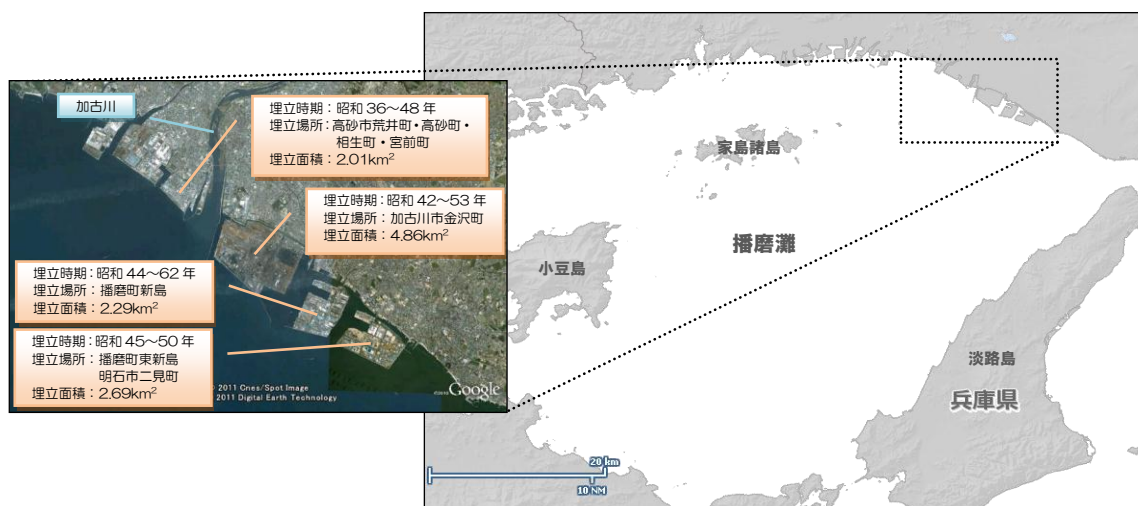
5.1 播磨灘北東部地域の現状と課題

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、糶屋ダム、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。



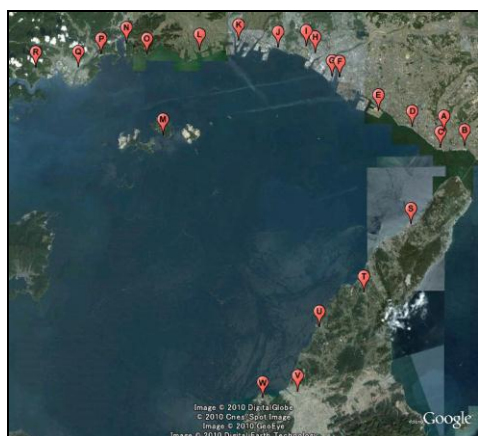
出典：兵庫県県土整備部土木局港湾課資料より作成

図 5.1-1 対象海域と埋立状況

(2) 下水道整備

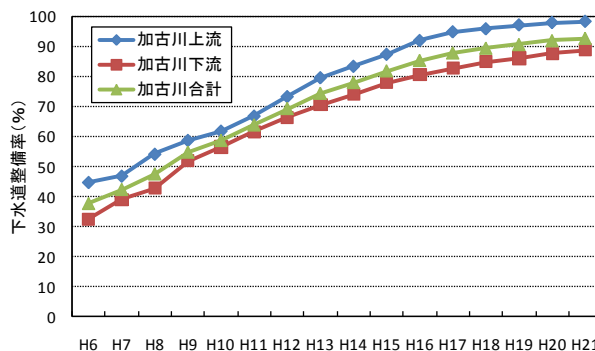
兵庫県における下水道事業は、明治 37 年に神戸市で着手されたのを始めとし、その後整備が進められてきた（図 5.1-2）。下水道は公衆衛生の確保と水質保全等を目的としており、播磨灘北東部海域の検討対象とした範囲には二見浄化センター（図 5.1-2：E）、加古川下流浄化セ

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 5.1-3 に加古川流域の下水道整備率の推移を示す。加古川下流浄化センターの水処理方法は標準活性汚泥法であるが、通常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 5.1-2 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 5.1-3 加古川流域の下水道整備率の推移

(3) 港湾整備と流況

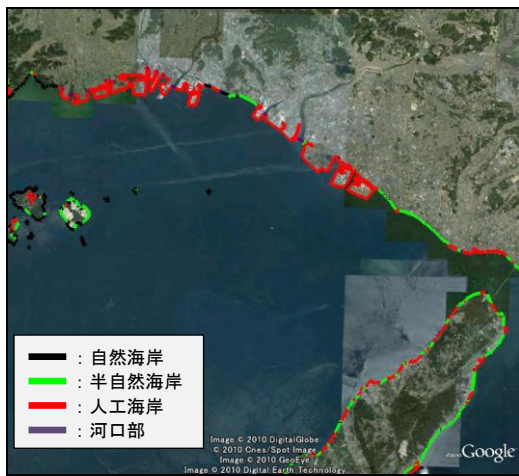
播磨灘北東部の沿岸域は播磨工業地帯が形成されており、その中核をなす港湾として昭和 39 年 2 月に東播磨港が重要港湾に指定された。東播磨港は明石市、播磨町、加古川市、高砂市の地先水面、東西 14km を港湾区域としている（図 5.1-4）。臨海部の工業用地は昭和 40 年頃から昭和 60 年頃にかけて埋立地造成により整備された。平成 22 年 12 月 31 日現在、兵庫県を 10 区域に分けた場合の東播磨地区の製造品出荷額は兵庫県下で第 1 位である。

播磨灘の藻場や干潟は沿岸域の埋め立て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 5.1-5）。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 5.1-6）。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。

* 区域内人口（流域下水道全体計画区域内現住人口）の内の処理人口（供用開始公示済み区域内人口）の割合。

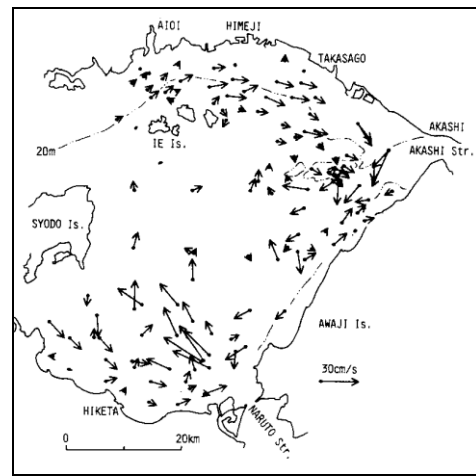


図 5.1-4 東播磨港



出典：自然環境情報 GIS 提供システム（環境省）

図 5.1-5 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 5.1-6 播磨灘の恒流

(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 5.1-1）。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。

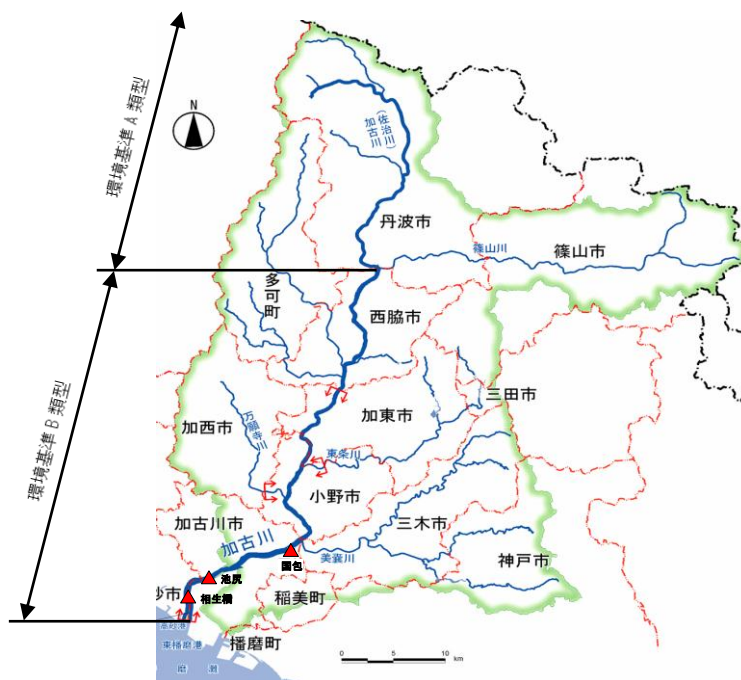
表 5.1-1 瀬戸内海の水質保全対策の進展状況

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

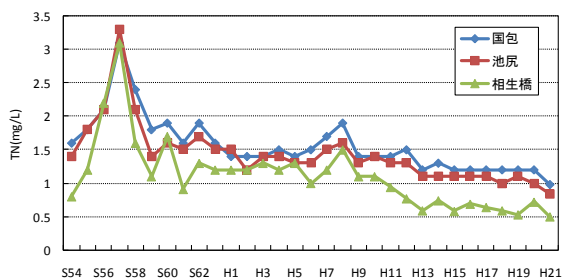
(5) 加古川の水質

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)。



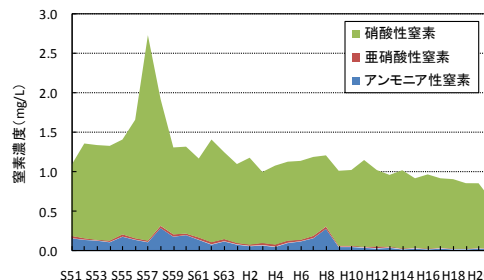
出典：国土交通省河川整備基本方針 HP

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



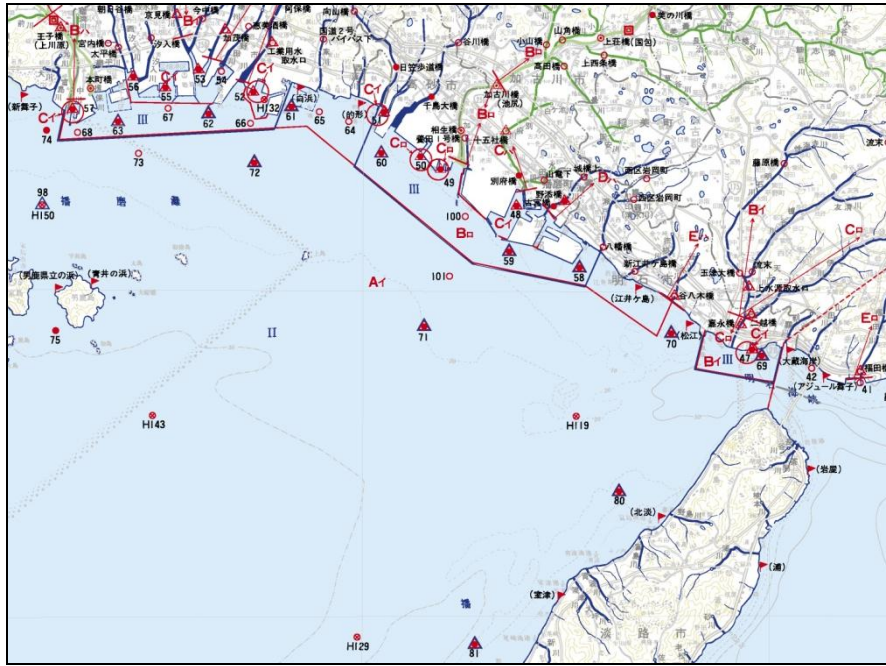
出典：兵庫県 公共用水域水質測定結果より作成

図 5.1-9 形態別窒素の推移 (国包)

(6) 海域の栄養塩類濃度

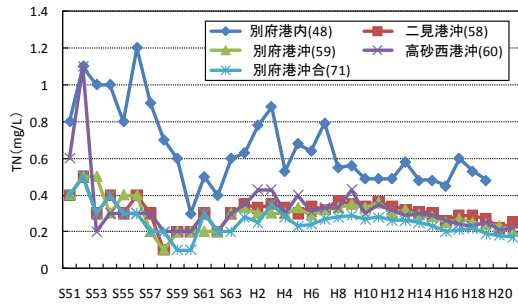
播磨灘の全窒素濃度は減少傾向にあり、昭和 50 年代の半分程度まで減少した (図 5.1-11)。全窒素濃度の減少はアンモニア性窒素濃度が大きく減少したことによるものである。季節変動について、溶存無機態窒素濃度 (DIN) は春季から夏季にかけて低く、冬季に高くなっている (図 5.1-12)。なお、養殖ノリの色落ちは冬季における DIN 濃度が以前より低くなっていることと、冬季から春季にかけての濃度減少の時期が早まっていることが問題であると言われている。

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。



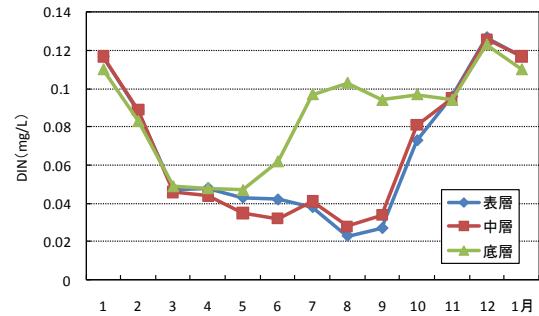
出典：平成 20 年度兵庫県水質測定地点図（兵庫県農政環境部環境管理局水質課）

図 5.1-10 公共用水域水質調査地点



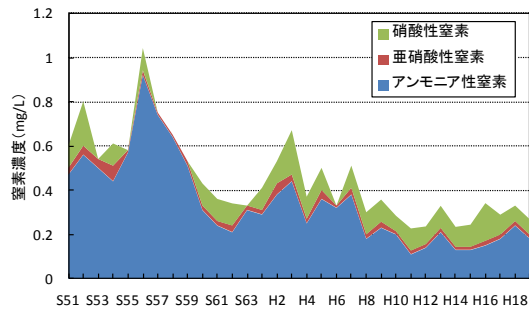
出典：兵庫県 公共用水域水質測定結果より作成

図 5.1-11 播磨灘海域の全窒素濃度



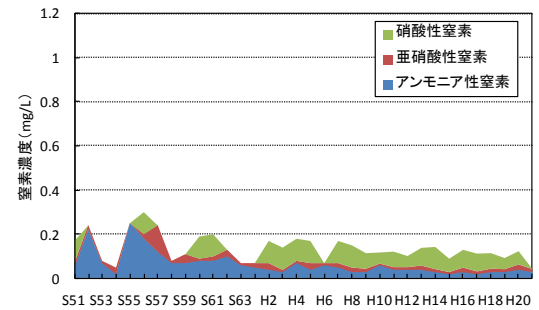
出典：播磨灘の栄養塩環境とノリ養殖 海洋と生物(特集：海の貧栄養化とノリ養殖), 31, P.147, 2009

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



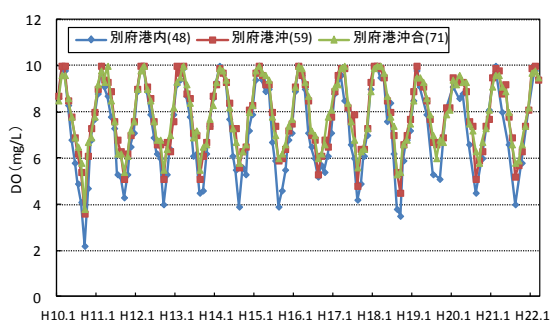
出典：兵庫県 公共用水域水質測定結果より作成

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

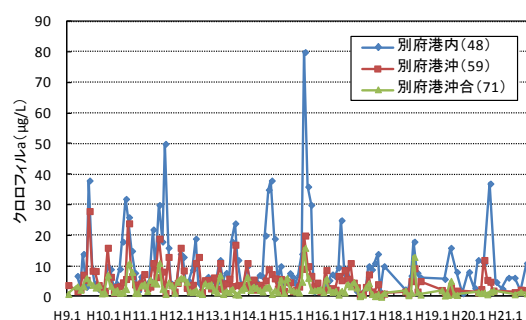
(7) 港湾内外の水質の特徴

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

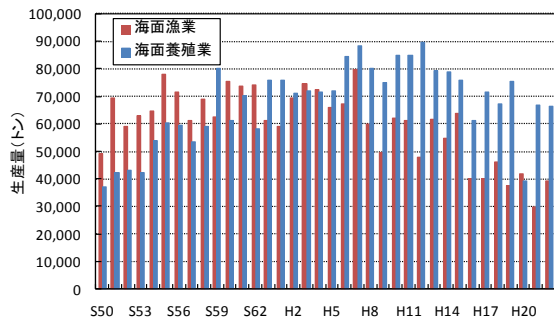
図 5.1-16 別府港周辺の表層 chl a 濃度

(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。

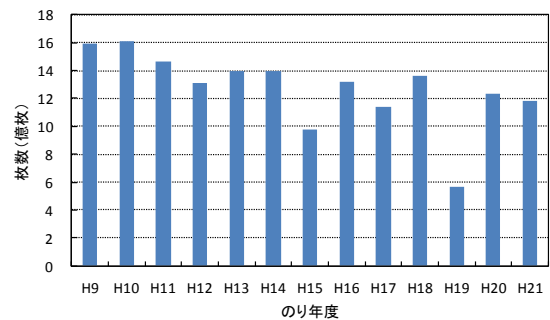
兵庫県の瀬戸内海区における海面養殖はノリ養殖が生産量の大部分を占めており、播磨灘は全国有数のノリの産地となっている。しかしながら、播磨灘のノリ養殖においては昭和50～60年代に散発的に生じていたノリの色落ちが、平成11年以降毎年発生するようになった。特に平成15年と平成19年は深刻な色落ちが生じて生産量が大きく落ち込んだ（図5.1-18）。ノリの色落ちが生じるとノリの単価も下落するため、地域の水産業に与える影響は非常に大きい。色落ちは栄養塩類が不足すると発生するため、海域の貧栄養化が色落ちの要因と言われている。なお、平成19年度のノリ生産枚数については貨物船沈没による油流出事故の影響も受けた数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

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

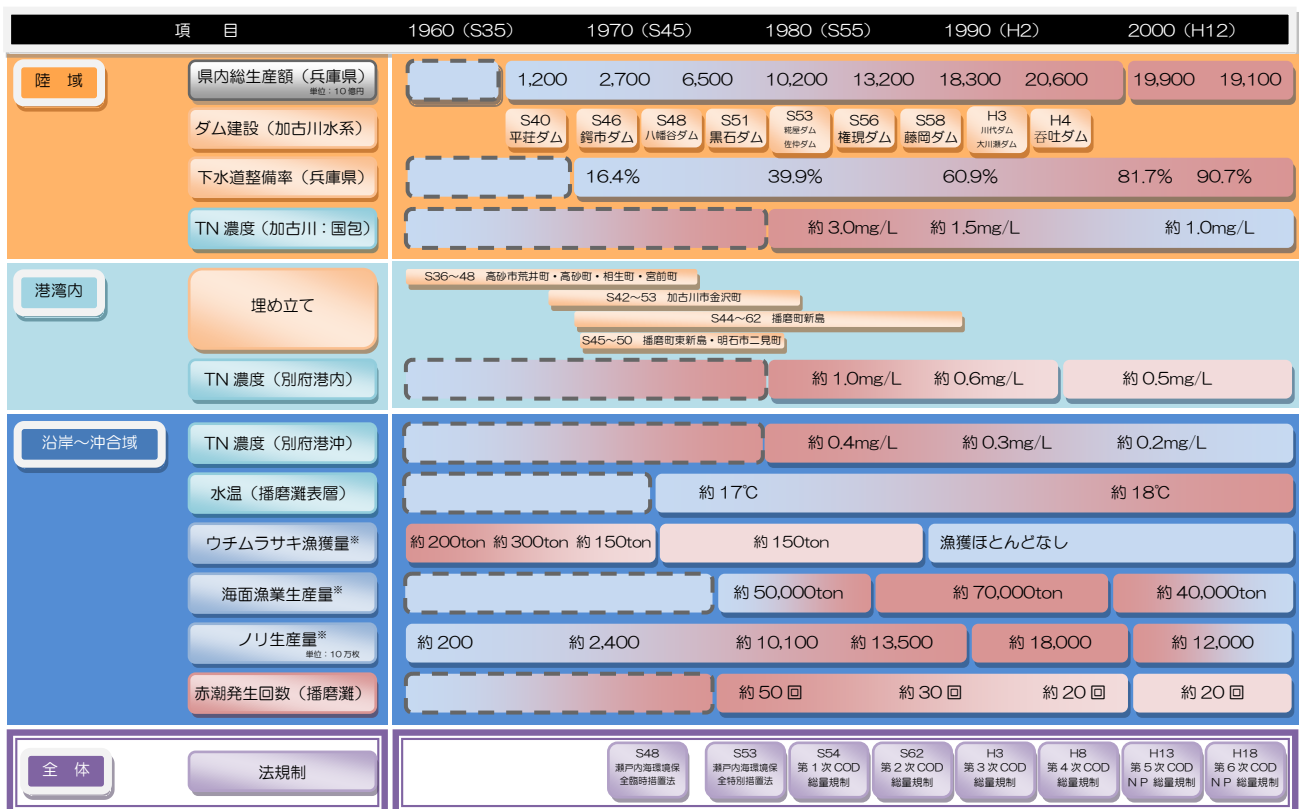


出典：兵庫県ノリ共販資料より作成

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

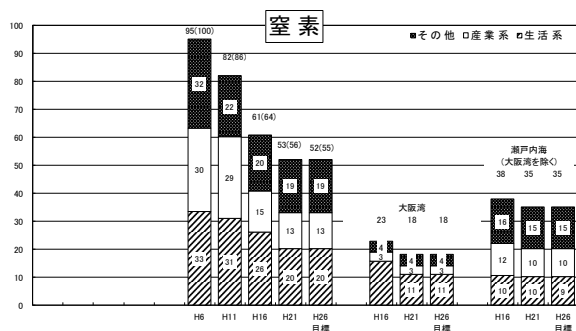
(1) 物質循環の概要

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。

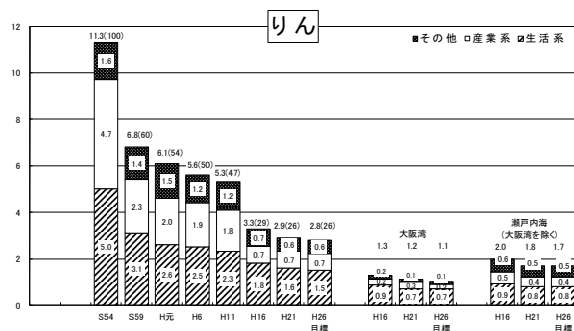
(2) 兵庫県の窒素・りんの発生負荷量

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年度の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

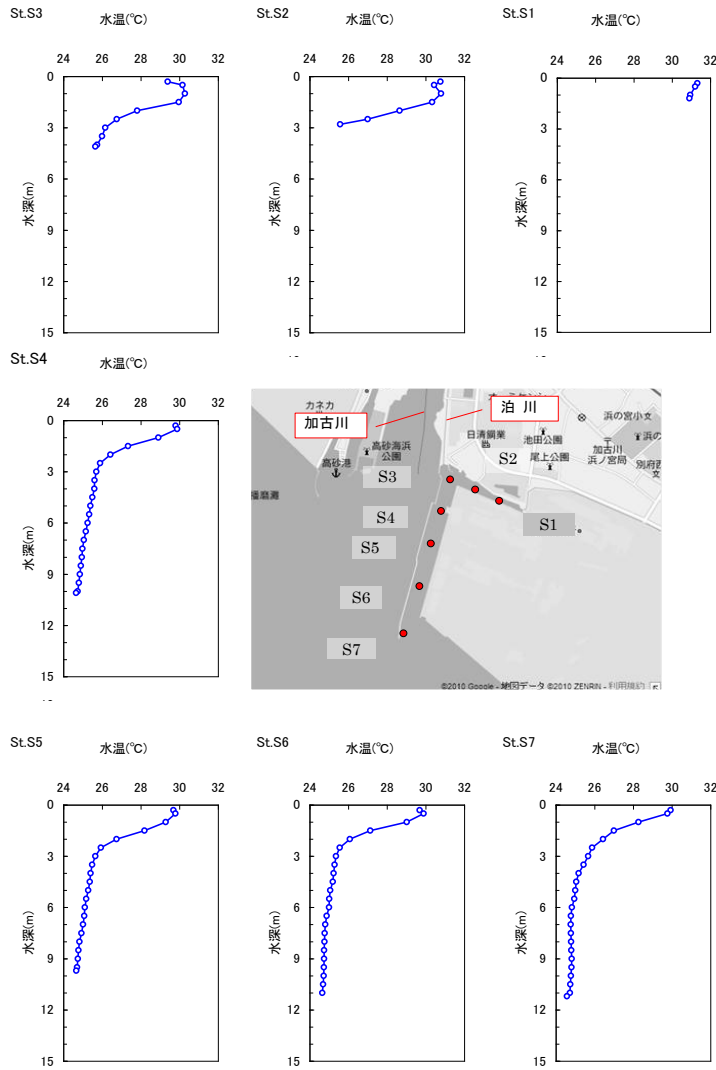


図 5.1-23 水温の鉛直分布の状況 (平成 24 年 7 月 30 日)

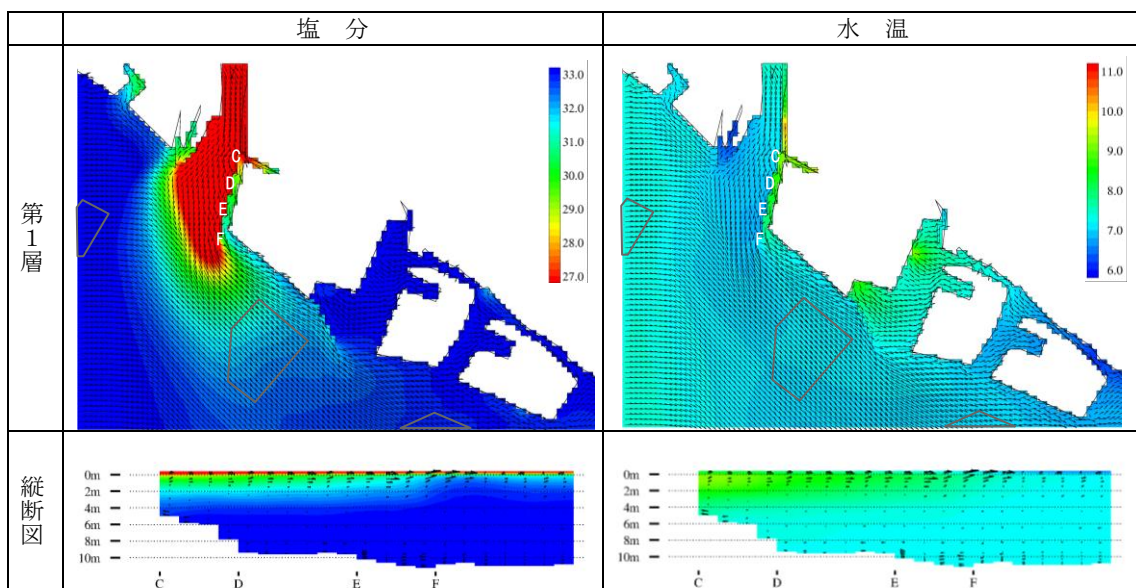


図 5.1-24 流況と塩分の水平分布と泊川河口沖水路内の縦断方向分布 (大潮期：日平均)

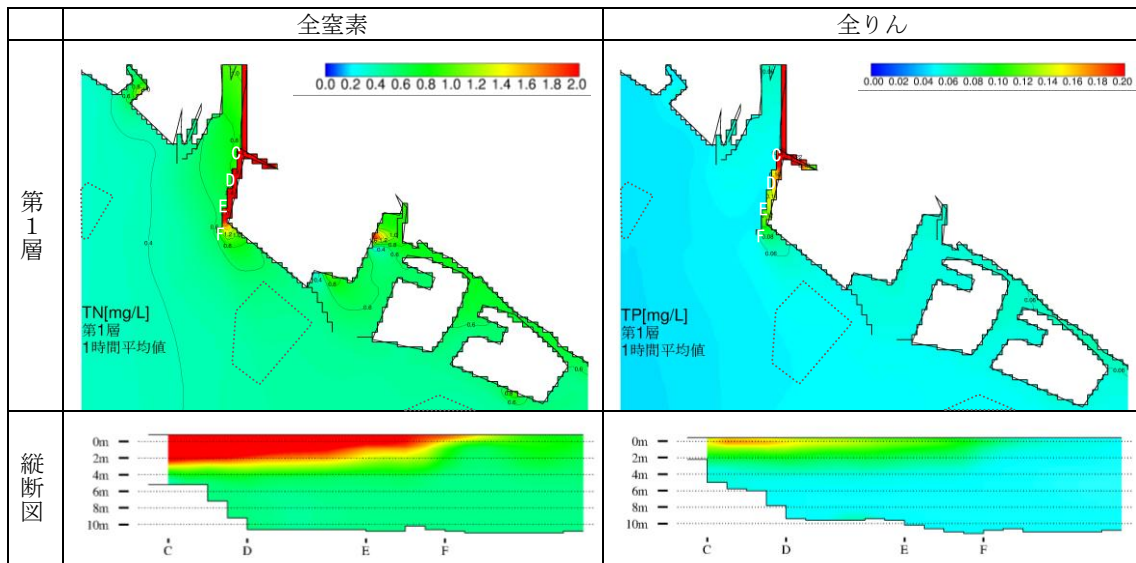
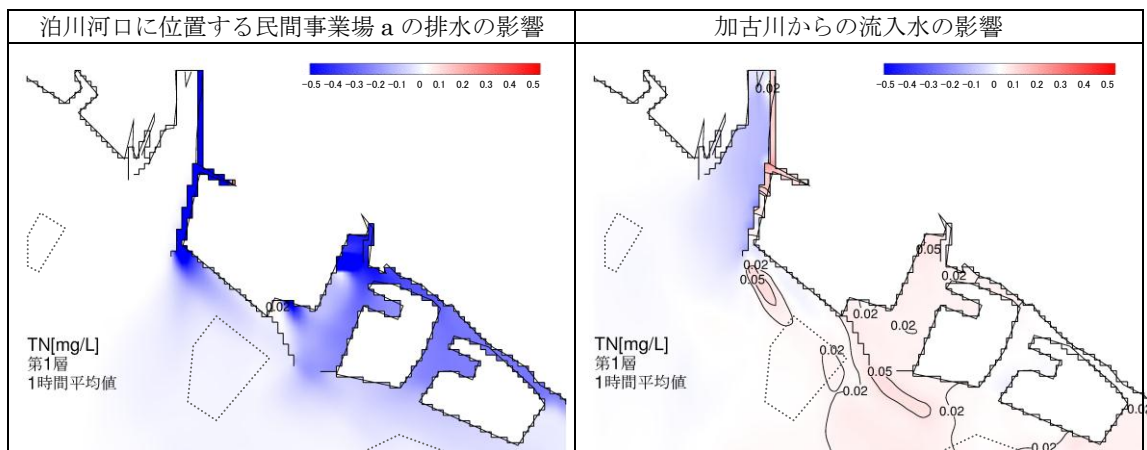


図 5.1-25 全窒素と全りんの水面的分布と泊川河口沖水路内の縦断方向分布（大潮期：日平均）

（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

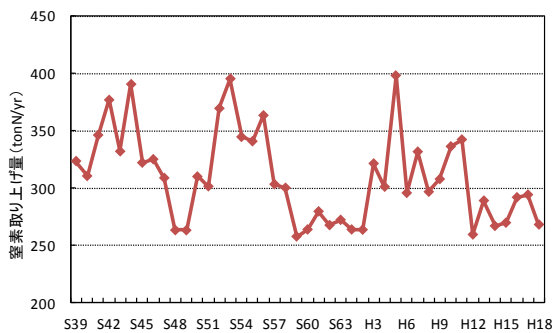
図 5.1-26 民間事業場 a の排水と加古川の河川水の影響

（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

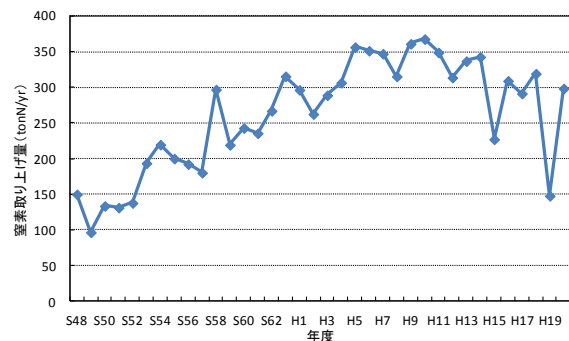
に変動があるため窒素取り上げ量についても変動しているが、近年は低い水準で推移している。なお、漁獲量と DIN 濃度の関係について、科学的に明確な因果関係はまだ明らかになっていないが、DIN 濃度の変動が時間差を置いて漁獲量に影響していると推察されるとの報告がある。

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

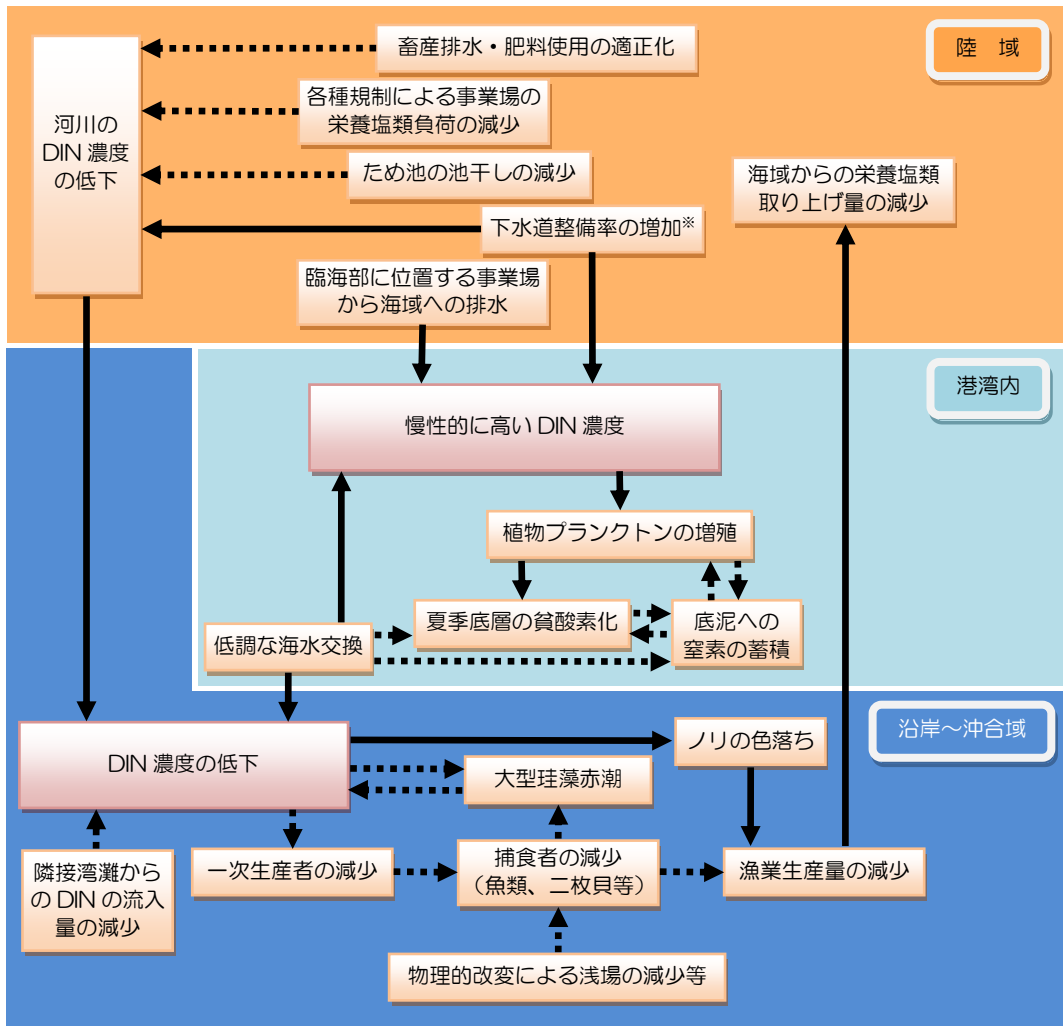
(7) 各領域の関係性

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。



——— 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 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。

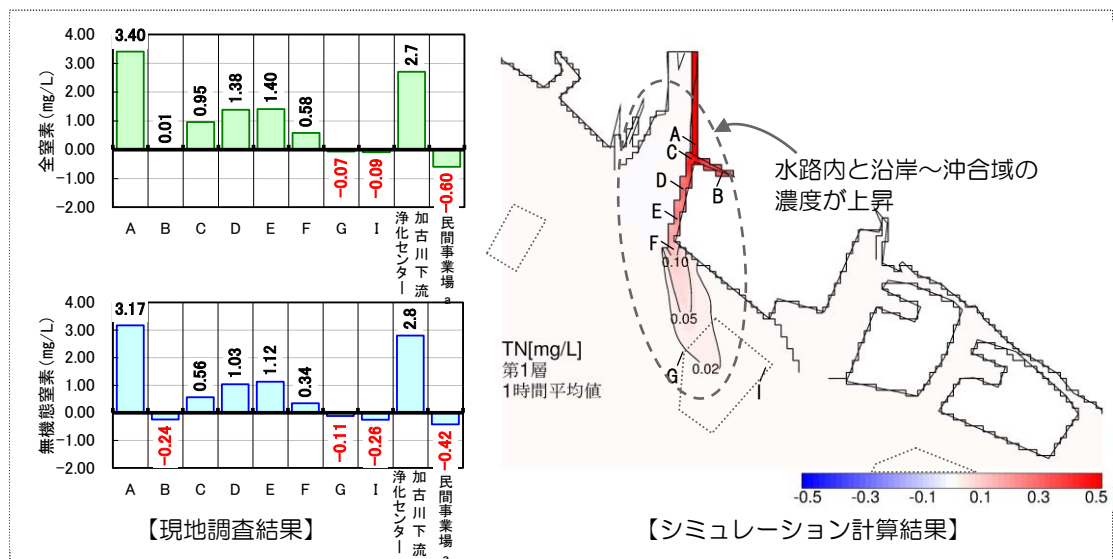


図 5.2-1 加古川下流浄化センターの窒素排出量増加運転の効果（通常運転時との差）

（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。

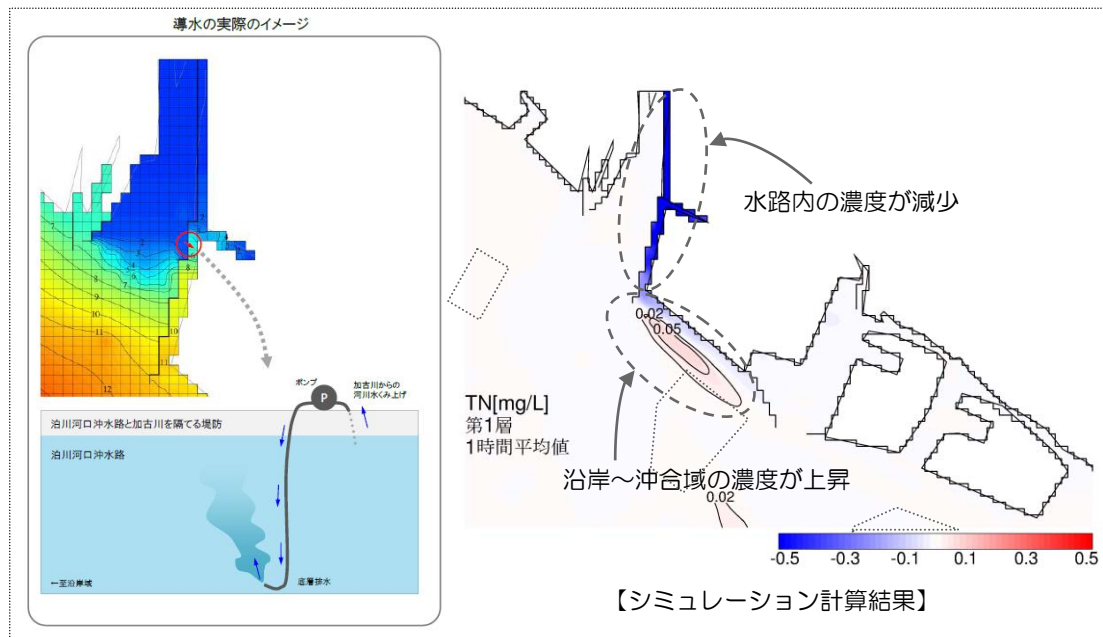


図 5.2-2 河川を利用した海水交換促進対策の効果（現況との差）

（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 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（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。

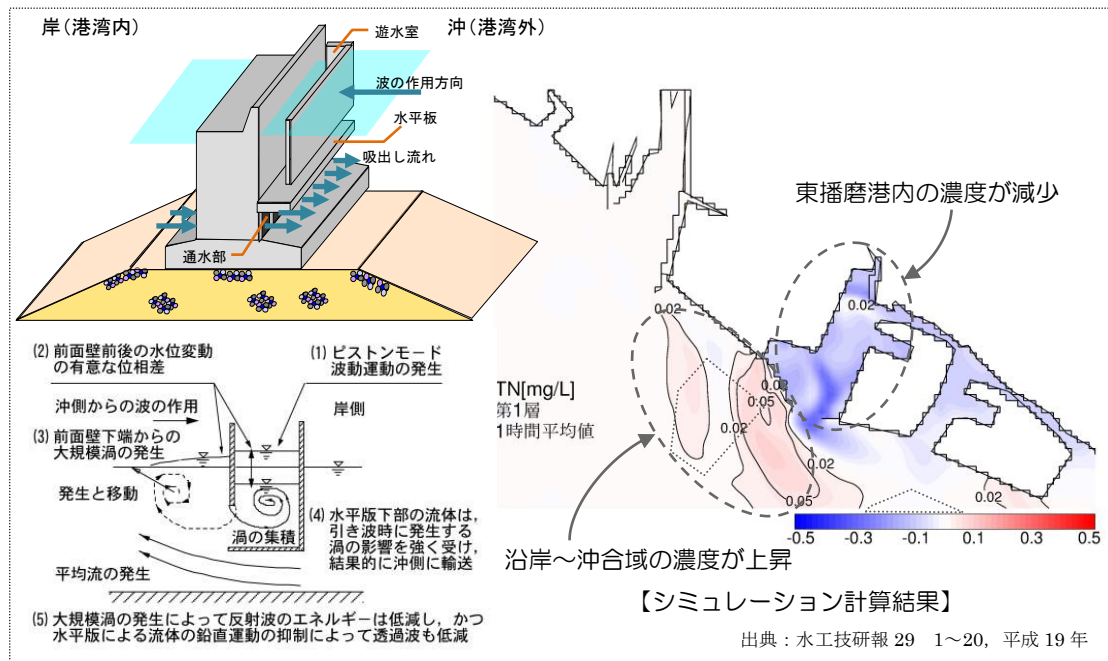


図 5.2-3 海水交換防波堤の設置対策の効果（現況との差）

（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。

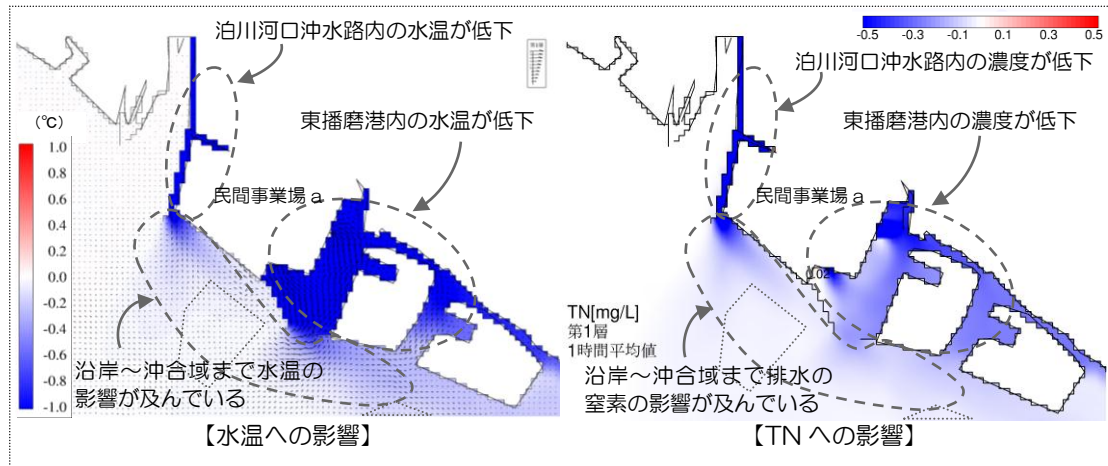


図 5.2-4 民間事業場 a の排水量をゼロとした際の現況との差

(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。

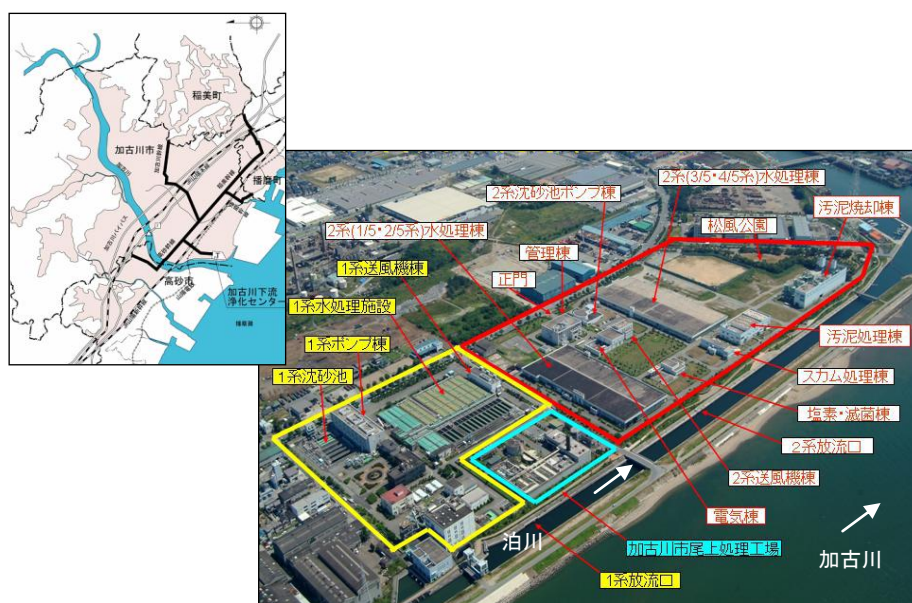
5.2.3 対策の特徴と期待される効果

（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。

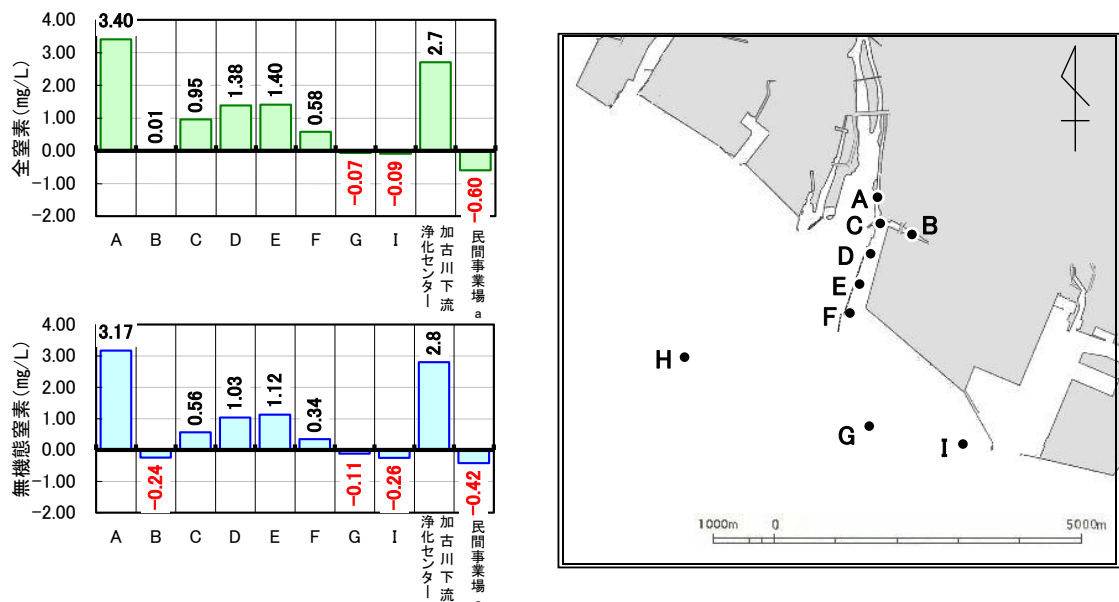


図 5.2-6 通常運転時と窒素排出量増加運転時の表層の濃度差

◆ 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 DIN 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。

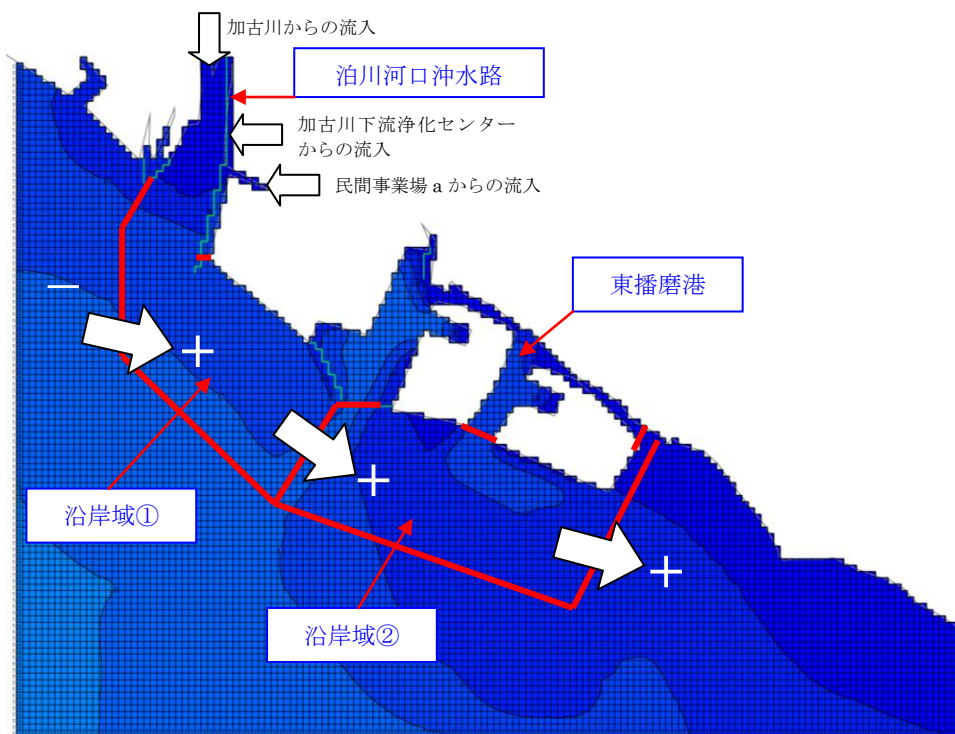


図 5.2-7 DIN 輸送量を出力する領域図