

海域のヘルシープラン
[海域の物質循環健全化計画]

策定の手引き
(改訂版)

平成 26 年 3 月

海域の物質循環健全化計画
統括検討委員会
環 境 省

～はじめに～

海は、人の生存に欠かせない食料、資源、エネルギーなど様々な恵沢を与えてくれている。特に沿岸海域は、陸域や外海から窒素・りん等の栄養塩類が豊富に供給され、多くの生物の生息場となっており、漁業等の産業が営まれる場である。

海の生物の生息にとって必要な元素のうち、全窒素、全りんは多量に必要とされる元素であるため、本手引きでは「栄養塩類^{*}」と表現する。窒素、りん以外のシリカ等も含めた場合は「栄養」と総称して表現する。

(※英語では nutrient に相当する。窒素・りん負荷量削減は、英語では nutrient reduction と言われる。日本語の「塩」は本来、無機態であることを意味するが、本手引きでは、全窒素・全りんを「栄養塩類」と表現した。)

栄養塩類は、陸域・海域の物理的・化学的・生物的な作用を受けながら循環している。しかし、栄養塩類はその流入・流出や海域をめぐる社会経済活動、自然条件の変化による生物相の変化等によって循環バランスが損なわれると、赤潮や貧酸素水塊の発生等の様々な影響が現れ、海の生物の生息に支障が見られる海域も存在している。

我が国では高度経済成長期には海域への流入負荷の増大や沿岸域の埋め立て等の開発により水質汚濁が社会問題となり、水質の環境基準が設けられた。その後、赤潮の発生に代表されるような内湾の富栄養化が深刻となり、全窒素や全りんの基準の追加や水質総量削減等の取組により、水質の改善に一定の効果を挙げてきた。しかし、未だ赤潮や貧酸素水塊の発生が収まらない海域もあるなど、陸域・海域を通じた栄養塩類の循環バランスが損なわれた海域が見られる。また、海域への栄養塩類の流入を削減することによる低次生産量の低下と、海域の開発による生物の生息・生育場の減少等があいまって、高次の生物へ栄養塩類が循環せず、水産資源の減少を招いているとの指摘もある。

このような現状に対し、環境省では下層 D0 等の環境基準の検討や瀬戸内海における湾・灘ごと、季節ごとの状況を把握した上での栄養塩類の濃度レベルの管理等の検討を進めているところである。

海域の栄養塩類の循環を適切に管理するための海域及び周辺地域（集水域）において実施すべき方策は、海域の地理的・地形的条件、海域の利用状況、周辺地域の経済・社会活動の状況等によって大きく異なる。そのため、それぞれの海域ごとに海域・陸域一体となった効率的かつ効果的な栄養塩類が円滑に循環するための管理方策を明らかにすることが有効であり、これに基づき、行政、地域住民、NGO・NPO、漁業者、事業者、研究者等が連携して生物多様性に富んだ豊かで健全な海域の構築に向けた総合的な取組を実施する必要がある。これら取組を計画的に実施するためには、関係者の理解が得られた海域において、栄養塩類の円滑な循環を維持・達成するためのプランを策定し、これに基づき関係者が共同で対策に取り組む必要がある。

この海域の栄養塩類循環のバランスを健全な状態にすることを目的として、環境省では「海域の物質循環健全化計画（通称：海域のヘルシープラン）」の検討を進めてきた。海域のヘルシープランは陸域・海域を通じた総合的な物質循環に係る取組を進めることにより、海域内の生態系の低次から高次へ滞り無く物質を循環させ、水質の改善のみならず、生物多様性の向上や生息・生育場の保全も含めて、海域を将来に向けてより豊かに、より健全にしていくためのものである。

本書は、平成 25 年 3 月に策定した「海域のヘルシープラン [海域の物質循環健全化計画] 策定の手引き」を改訂したものであり、「海域のヘルシープラン」を作成する際に参考となる「手引き」である。対象とする海域は、主に、全国津々浦々の閉鎖性の強い「地域の海」を想定している。“ヘルシー”な海の実現には、多様な主体の協力が必要であり、行政、地域住民、NGO・NPO、漁業者、事業者、研究者等が“ヘルシーな海とは何か”という共通認識を持ち、それぞれの立場で行えることを連携して進めることが重要であり、本手引きはその際に参考となるように作成したものである。なお、実際の「海域のヘルシープラン」の作成に際しては、地域の海を管理し利用している地方自治体や NGO、NPO が主体的な役割を果たすことを想定している。

手引きの内容は、栄養塩類の循環バランスの崩れが主な要因となって生じる様々な影響を改善するために、どのように検討を進め、対策を講じ、モニタリングを行っていけばよいか、その手順を示したものとなっている。

手引きの作成にあたっては、実際にモデル地域（気仙沼湾、播磨灘北東部、三河湾及び三津湾）において、平成 22 年度から 4 か年程度かけて、モデル地域ごとに海域のヘルシープランの作成を行い、作成に際し工夫した点、課題となった点等を取り入れた。

なお、気仙沼湾については、現地調査を実施し、栄養塩類循環バランスの崩れに関する検討へ進み始めたところで東日本大震災が発生したことから、その後の検討は中断されている。

本手引きを活用し、地域の海を“ヘルシー”にしていくためのプラン（海域のヘルシープラン）を策定することで、多様な主体が一体となり“ヘルシー”な海を実現していく際の一助となれば幸いである。

なお、手引きの作成にあたっては、「海域の物質循環健全化計画統括検討委員会」の委員の皆様にご指導を頂いた。検討委員会の座長である松田治広島大学名誉教授をはじめとする各委員の皆様、モデル地域でご検討頂いた関係者の皆様から賜った多大なご指導とご協力に対して心より感謝申し上げます。

海域の物質循環健全化計画統括検討委員会

委員名簿

氏名	所属
松田 治（座長）	広島大学名誉教授
鈴木 輝明	名城大学大学院総合学術研究科特任教授
寺島 紘士	海洋政策研究財団常務理事
中田 喜三郎	名城大学大学院総合学術研究科特任教授
中田 英昭	長崎大学大学院水産・環境科学総合研究科教授
西村 修	東北大学大学院工学研究科教授
藤原 建紀	京都大学名誉教授
山本 民次	広島大学大学院生物圏科学研究科教授

（委員については、五十音順・敬称略）

手引きの利用方法

1. 本手引きの構成

本手引きは、第Ⅰ章で海が自然の中でどのような役割を果たし、人々とどのように結びついているかを解説し、大切な海の役割を損なわないために、海の構造と機能（海のしくみ）をどのようにしていくべきか、海が「ヘルシー（健全な）」な状態であることの重要性を取りまとめた。合わせて、ヘルシーな海を目指すためには、地域の合意形成を経て、地域の海に応じた計画（海域のヘルシープラン）を作成すること、作成したヘルシープランは随時見直し、順応的管理の下に進めていくことの必要性もまとめている。

第Ⅱ章には、地域の海に応じたヘルシープランをどのように作成していけばよいか、その具体的な手順をまとめている。海のしくみとして重要な物質循環がどのような問題を抱えているのか、現状把握から健全化に向けた課題の抽出方法について具体例を示しながら解説し、物質循環の健全化に向けた方針、方策の検討方法、事後調査や見直しの方法までに道筋をステップごとに示した。本文中では、検討方法の具体的なイメージが得やすいように、モデル地域での検討過程を「ケーススタディ」として掲載している。

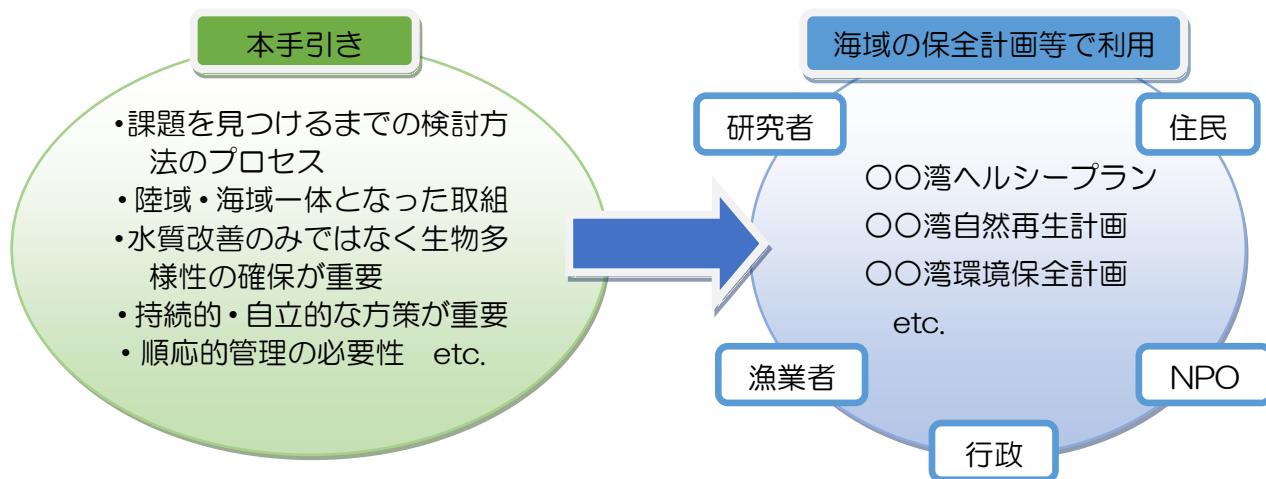
なお、参考として、関連する法令、既存の環境改善手法を添付した。

本手引きの構成

I. 海域の“ヘルシー”な状態の考え方	II. 海域のヘルシープラン策定の要領
1. 海の役割	STEP1 現状把握
2. 沿岸の海域の役割	STEP2 問題点の抽出
3. 沿岸の海域への人為的関わりと海の物質循環	STEP3 健全化に向けた課題の抽出
4. 沿岸の海域における“ヘルシー”な状態とは	STEP4 基本方針の決定
5. “ヘルシー”な海域を目指すための合意形成と 海域のヘルシープラン策定の必要性	STEP5 健全化に向けた方策の検討
6. 海域のヘルシープラン見直し（順応的管理）の 必要性	STEP6 方策の実施状況や効果等を確認 するためのモニタリング計画の検討
	STEP7 順応的管理の検討
	STEP8 「海域のヘルシープラン」の取り まとめ

2. 本手引きの利用方法

健全で豊かな海を目指すための計画づくりを行うためには、多様な主体の連携と科学的な共通認識に基づく合意形成が重要である。本手引きでは、海の「しくみ」を解説した上で、地域の海の状態を把握し、不健全となっている場合、原因を推定し、改善策を検討し、改善策を実施した後の見直しまでの一連の計画の立て方を取りまとめている。地域の海を健全で豊かにしていくために共有の理解を得るための画づくりの際に、本手引きを有効に活用頂きたい。



2-1. 豊かな海を再確認する参考資料として

我が国は四方を海に囲まれた海洋国家であり、その海から得られる様々な恩恵を利用しており、地域の海を健全で豊かな海にしていくことに賛同する人は多いはずである。しかし、海に関する国民の理解は十分とは言えず、学校や水族館等の社会教育施設等での教育や、水産業界等との連携を通じて、海に関する理解と関心を喚起する息の長い取組を行うことも重要である。

第I章には、海がどのような役割を担い、海では人々はどのような活動をしているのか、海からどのような恩恵を受けているのか、その基礎となる「海のしくみ」を解説しており、海に関心を持ってもらうためのきっかけの資料としても利用してもらいたい。

「海のしくみ」に関する共通の認識を持った上で、地域の海に何を望むのか、地域の人々の要求から一つを選び出すのではなく、海が本来持つ「海のしくみ」に支えられ、地域の要求を兼ね備えた「ヘルシーな海」を実現するための参考資料としても利用してもらいたい。

2-2. 地域に根差した活動を継続するために

本手引きを参考として策定された地域の海のヘルシープランは、作っただけで実行しなければ、「絵に描いた餅」になってしまう。策定したプランを実行し、地域の海を豊かにしていくためには、地域の海に関わりがある様々な主体の協力を得る必要がある。

計画を実行していくためには、海域の保全や利用に関わる人々や行政機関のみでなく、森・里・川・海を通じた取組が必要な場合があり、陸域の様々な職種に携わる人々、環境保全計

画、河川計画、土地利用計画、下水道計画等、各種計画に携わる行政機関との連携が重要になることもある。そのため、本手引きでは、地域の海を豊かにする計画を作成する際に、関連する様々な人・行政機関等の垣根を越えた合意形成と連携した取組の必要性を示している。

また、策定したヘルシープランを自治体の環境基本計画や海域の改善施策に位置付けて実行したり、海洋基本計画の「沿岸域の総合的管理」に基づく地域の沿岸域管理方策の策定や瀬戸内海環境保全特別措置法に基づく「府県計画」の策定の際等に本手引きの手法を参考として計画を作成し、地域の自治体主導の下、実行に移して行くことも考えられる。このような自治体の取組を進めるためには、一般市民の方々が海の恩恵を受けており、その恩恵は物質循環が健全であるからこそ得られるものであることを理解していただく必要があり、海の「しくみ」や恩恵についての普及啓発も合わせて行う必要がある。本手引きでは、第Ⅰ章に物質循環の仕組みや役割についても簡易な解説を試みており、地域の理解を得るうえでも参考となるよう記述した。

2-3. 海域の現状把握と、利用・開発の前に

様々な環境問題を抱えている海域を健全にするための計画を立てるために、本手引きが利用されることを前提として作成したが、特段の環境問題がない海域においても海の健全性がどのような状態にあるのか、検討してみることも大切である。

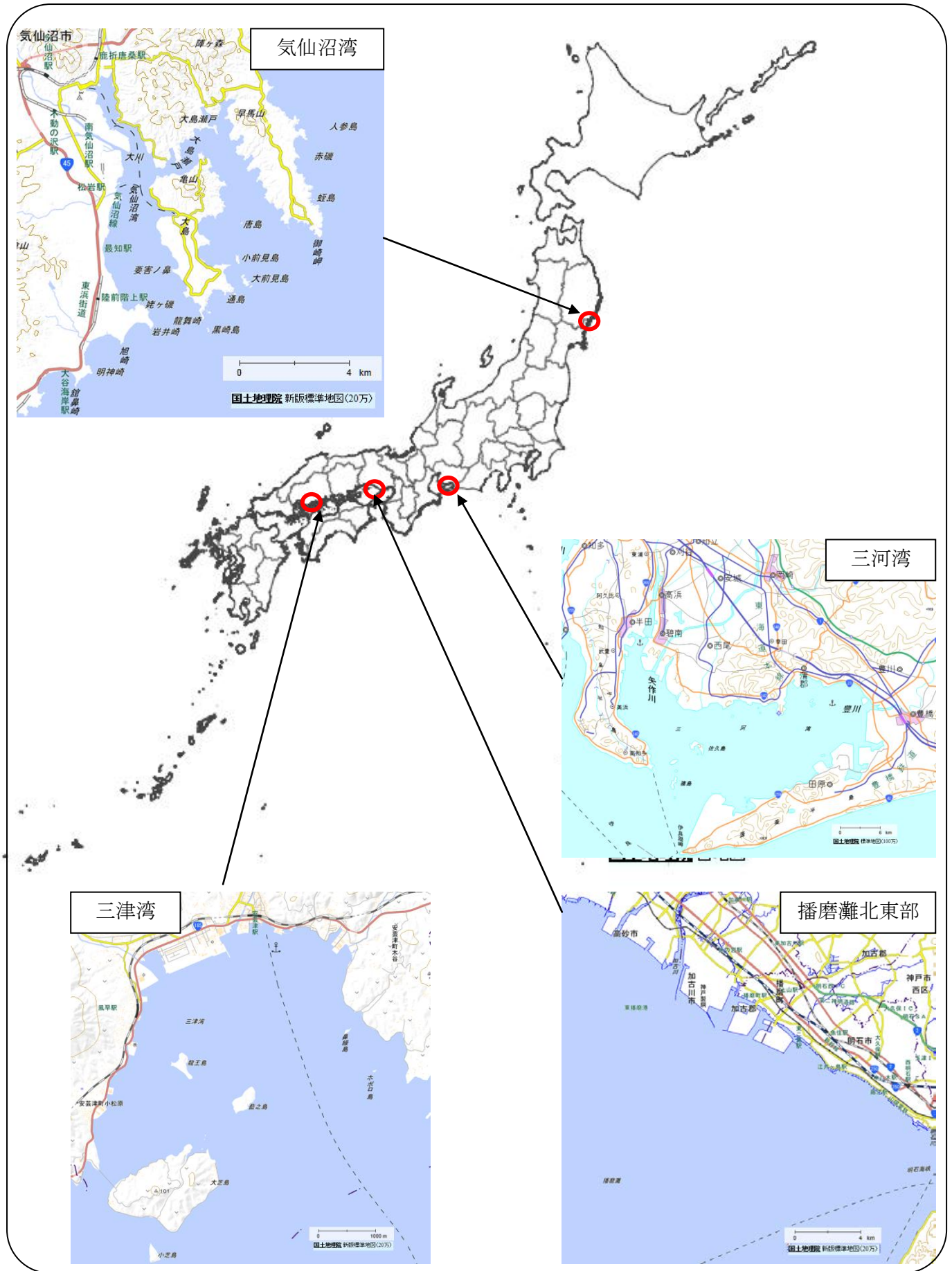
海域の環境問題は小規模な人為的な行為の積み重ねによって徐々に現れてくる場合もあり、年月を経て問題が顕在化してくることもある。問題が顕在化してからでは、その問題の改善に多くの労力、時間を有することから、定期的に海の状態を把握し、物質循環のバランスの崩れ（海域環境の悪化）の兆候をいち早く見つけ、未然に改善、悪化の防止をしていくことが重要である。本手引きでは、海の現状を把握するためには、最近の海の自然環境に係る調査のみを行うのではなく、陸域も含め、過去からの自然的・社会的条件の変化の過程も調査する必要性を示しており、本手引きにおける現状把握の方法、問題点の抽出方法等はその考え方の一つとなるものである。

海域において新たな利用・開発計画がある場合においても、海の現状を把握したうえで、環境保全措置や環境改善方策を検討することが必要であり、その検討方法の一つとしても、本手引きの考えを活用できる。

2-4. 海の保全計画を作成する際の参考として

海に係る保全計画は、例えば「自然再生推進法」による自然再生全体構想や「生物多様性地域連携促進法」による地域連携保全活動計画など、様々な場面で作成されることが想定される。このような法律では、自然の復元力を考慮したり、農林漁業にも配慮した計画の策定が求められている。

海に不具合が生じた場合、その都度、不具合の発生を抑える方策（対症療法）もあるが、本手引きでは、損なわれた物質循環のバランスを自然の回復力を手助けすることにより、海が本来持つ「しくみ」を利用して、持続的・自律的に物質循環のバランスを回復できるような方策（原因療法）の重要性を示している。本手引きにおける環境改善方策の考え方も海に係る保全計画を作成する際の一つの参考となる。



「国土地理院の地理院地図（電子国土web）」より作成

図 ヘルシープランの検討を行ったモデル地域

目次

はじめに.....	i
手引きの利用方法.....	iii
I. 海域の“ヘルシー”な状態の考え方.....	1
1. 海の役割.....	6
2. 沿岸の海域の役割.....	8
3. 沿岸の海域への人為的関わりと海の物質循環.....	10
4. 沿岸の海域における“ヘルシー”な状態とは.....	12
5. “ヘルシー”な海域を目指すための合意形成と海域のヘルシープラン策定の必要性.....	16
6. 海域のヘルシープラン見直し（順応的管理）の必要性.....	18
II. 海域のヘルシープラン策定の要領.....	19
STEP1 現状把握.....	23
1-1 基本情報の把握.....	23
1-2 調査項目.....	26
1-3 調査期間.....	28
1-4 調査方法.....	28
1-5 取りまとめ方法.....	31
STEP2 問題点の抽出.....	39
STEP3 健全化に向けた課題の抽出.....	49
STEP4 基本方針の決定.....	50
STEP5 健全化に向けた方策の検討.....	52
5-1 方策のリストアップ.....	52
5-2 方策の効果の評価.....	53
5-3 実現可能性の検討.....	54
5-4 健全化に向けた実施方策の決定.....	55
5-5 健全化に向けた方策を評価するための指標の設定.....	55
5-6 方策実施のロードマップの作成.....	64
STEP6 方策の実施状況や効果等を確認するためのモニタリング計画の検討.....	70
6-1 モニタリング項目.....	70
6-2 モニタリング期間.....	70
6-3 モニタリング方法.....	71
6-4 モニタリング結果の評価.....	71
STEP7 順応的管理の検討.....	74
STEP8 「海域のヘルシープラン」の取りまとめ.....	79
参考1. モデル地域のヘルシープラン例.....	80
参考2. ヘルシープラン策定に係る関連情報.....	80
1. 物質循環の健全化に係る主な関係法令.....	80
2. 環境改善手法の事例.....	81

I. 海域の“ヘルシー”な状態の考え方

1. 海からの恵沢と私達の生活との繋がり

私達は海から様々な恵沢を受けている。

目に見える身近な沿岸域では、食料として魚介類や海藻を得ていたり、潮干狩り、海水浴、ダイビング等のレジャーの場としても利用している。少し視野を広げると、港・空港等の物流としての利用や工業地帯等の産業・経済の場としても重要な役割を担っている。

このような沿岸域では陸域の山や里とを通じて流れてきた河川水と、外海から流入する外洋水が混ざりあい、外洋へと流れていく。沿岸域に流れ込む河川水には、山や里に降った雨水だけでなく、私達が排出した排水も混じっている。例えば、東京湾に注ぐ多摩川では河川水の約半分、隅田川では約7割が私達の下水を処理した水で占められている。このため、沿岸域に流入する水には、自然由来や人工由来も含めて様々な物質が含まれている。

海の中の生物は、このような陸域からの河川水や外洋水が混じった水の中で生活しており、その生息環境は、私達の生活と密接に繋がっている。

2. 海に流入した物質の動き・働き

沿岸海域に流入した物質は、流れによって運ばれ、混合され、希釈されるなどして移動していく。このような物理的な移動とは別に、生物が必要とする物質については、栄養を起源とし、植物プランクトンや海藻草類など植物に取り込まれ、そこを起点とした、食物連鎖を通じて、動物プランクトン→小魚→肉食魚と上位の生物へと移動していく。

このような時間的な変化や地理的な移動、要素間の移動を「フロー」と言い、蓄積された濃度や量を「ストック」と呼ぶ（図 I-1）。

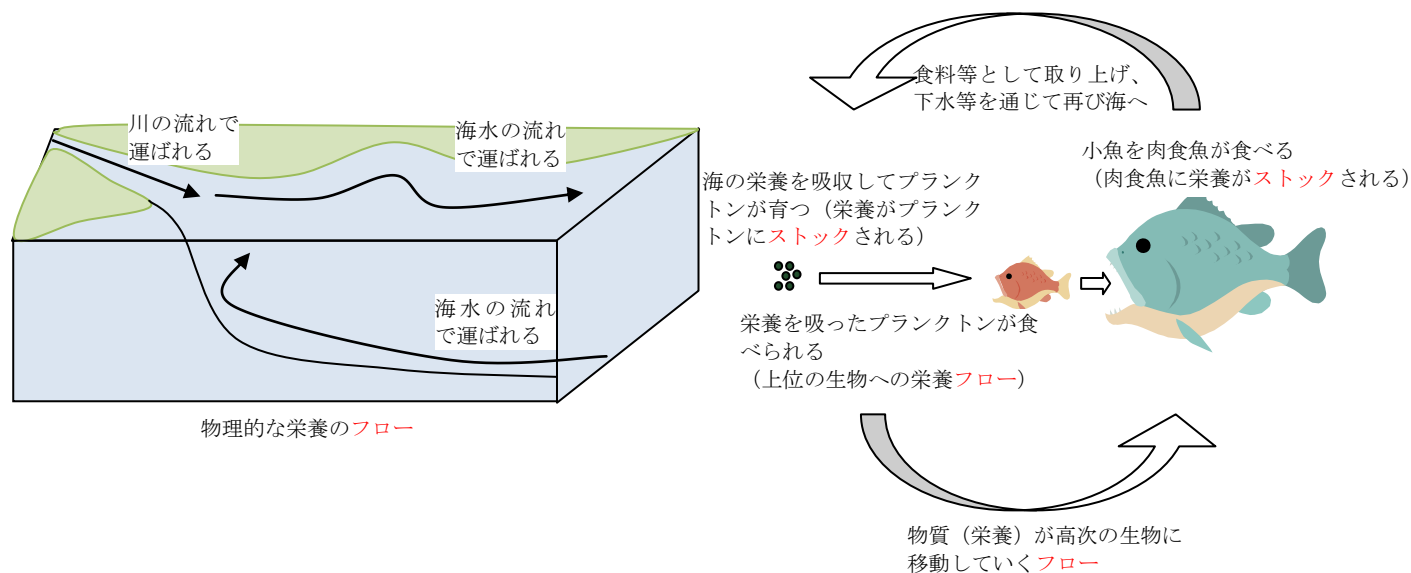


図 I-1 海の中の栄養のフローとストック

物理的な動きを見てみると、海の中の流れは、約6時間ごとに流向を変える潮汐流の影響が多いが、この流れは各沿岸海域に普遍的な流れといえる。これに加えて、沿岸の内湾域では、地形の影響や河川流などによって局所的な流れが生じる。この局所的な流れは、埋立地の造成や浚渫などの地形、水深変化や河川の治水、利水の管理によって変化することがあり、物質を移動させる沿岸域特有の物理的機能の変化に直結している。

生物を通じた動きをみてみると、地球規模の動きである海洋大循環によってもたらされる栄養の豊富な深層水の供給といった規模の大きな循環もあるが、沿岸海域においては、河川水や生活排水、産業排水によってもたらされる栄養が源となっている。海域に流入した栄養は、先に述べたとおり、光合成によって植物プランクトンや海藻草類に取り込まれ、より大型（高次）の生物の餌となって移動し、循環している。身近な循環としては、魚介類や海藻等が漁獲によって陸上に取り上げられ、食料や餌料、肥料などに利用され、再び河川や下水を通じて再び海に供給されるような循環がある。

このように、陸域と海域の間で、物理的な作用や生物を通して、物質が循環しており、私達は、陸域・海域を通じた物質循環の恩恵を受けて、食事やレジャーを楽しむことができる。ところが、何らかの影響により物質循環が滞ってしまったらどうなるか？栄養が少なくなれば、生物が少なくなってしまう可能性があるし、逆に多すぎれば植物プランクトンが大発生し、赤潮と呼ばれる状態となり、赤潮の発生に起因する様々な弊害が生じてしまう。これは、私達の生活とは一見遠いような話に思えるかもしれないが、決して無関係ではない。

3. 物質の循環バランス

栄養が一定のフローで循環していれば、海域の環境や生物の生息に大きな変化が生じることはない。ところが、過剰に漁獲を行ったり、逆に漁獲を行わず輸入（輸送）によって魚介類を運び込み、消費し、排出するような負荷の偏在化が起こるなど、栄養の供給量と、取り上げのバランスが大きく崩れると、海の栄養の状況は富栄養や貧栄養になる。人に例えるなら、メタボリックな状態や栄養失調の状態となる（図 I-2）。

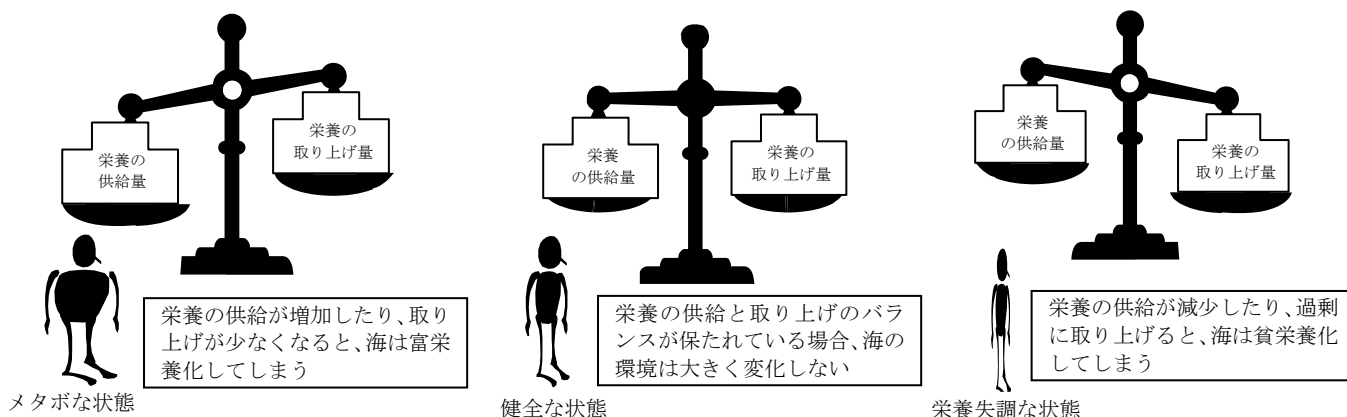


図 I-2 物質の循環バランスのイメージ

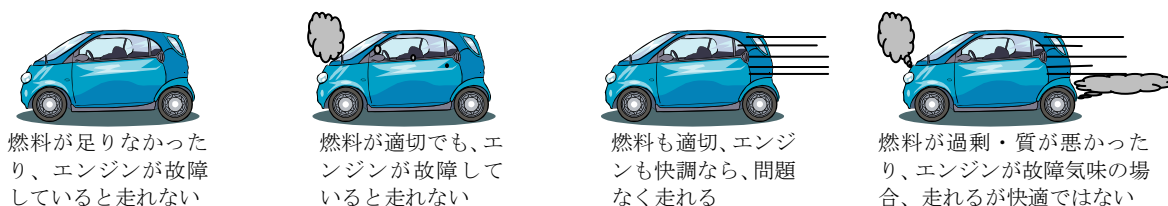
我が国において大都市圏が背後にひかえる海湾は一時期富栄養化現象が進行したが、現在は下水処理などの技術的進歩と様々な法規制等によって陸域から海域への栄養の供給量が削減され、かつての赤潮の頻発のような被害は押さえられてきており、海域環境は改善してきている。しかし、食物連鎖の主役である生物の生息場所が減少し、生息環境が貧弱になっていることで、物質循環が元に戻っていないのが現状である。

食物連鎖による物質循環は、車のエンジンと燃料の関係に例えることができる。車は燃料とエンジンの仕組み（様々な部品）で動力を得て走り、その際、排気ガスを排出する。燃料の供給が少なければ少ししか動かないし、過剰に燃料を供給するとエンジンが壊れたり、排

気ガスが過剰に排出されたりする。また、燃料の供給が適切であっても、エンジンそのものに欠陥があれば、うまく動くことはないし、排気ガスにも課題が残る（図 I-3）。

ここで、燃料とは栄養であり、エンジンの仕組み（様々な部品）とは生物組成であったり、生物組成を支える生物の再生産を含む生息・生育環境のことである。また、排気ガスとは、プランクトンの死骸等の沈降有機物や堆積有機物に例えることができる。場合によっては赤潮のようなプランクトンの異常発生やクラゲ等の単一生物種の異常発生のようなものと捉えることができる。

高度成長期は、燃料が過剰供給であったり、エンジンの一部の部品が壊れたりし、車がうまく走らなかった（メタボ気味で物質循環は健全な状態ではなかった）が、今はエンジンの欠陥が直っていなかったり、燃料が足りない状態になってしまっていると考えられる。



栄養の供給が過小だったり、海 の環境（物質循環の 仕組み）が悪い状態	栄養の供給は適切だが、海 の環境（物質循環の仕組 み）が悪い状態	栄養の供給も適切で海の 環境（物質循環の仕組 み）も健全な状態	栄養の供給が過剰だっ たり、海（物質循環の 仕組み）が悪い状態
--	--	---------------------------------------	---------------------------------------

図 I-3 食物連鎖による物質循環を、車のエンジンと燃料の関係に例えてみると

4. 物質循環の健全化に向けて

東日本大震災による津波は、三陸沿岸域の藻場や生物まで根こそぎ洗い流してしまい、盛んであったカキやホタテ、海藻類の養殖業は壊滅的な被害を受けた。しかし、時が経つに連れて多くの生物の生息が確認されるようになった。三陸沿岸域は、一部に過去の津波被害を教訓とした防潮堤や防波堤があったものの、その海岸線が自然のままに残された場所があり、生物の生息・生育、再生産に適した浅海域が保全されていることで、豊かな海の復活が期待されている。

自然海岸と物質循環との関係は、海洋政策研究財団が実施した「海の健康診断」でも検討されている（図 I-4）。「海の健康診断」では、「物質循環の円滑さ」と「生態系の安定性」から海の健全性の検討を行っている。この検討の中では、海岸部が海岸部や干潟や浅場などの自然海岸ではなく人工海岸となっている海域ほど、陸域からの負荷影響を受けて不健康な海になっているとの診断結果が出ており、生物の生息・生育、再生産に適した浅海域が多く保全されている海域は、物質循環、食物連鎖のエンジンが正常に稼働しているものと考えられる。

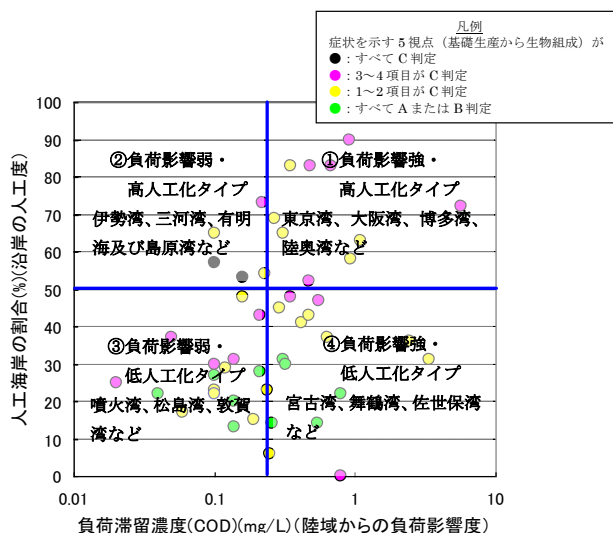


図 I-4 人工海岸の割合と負荷影響の関係
出典：「平成 20 年度全国閉鎖性海湾の海の健康診断調査報告書」（海洋政策研究財団、平成 21 年）
（A 判定は健全、C 判定は要精密検査を示している）

例えば、三河湾では埋立てにより人工海岸が多くなり、浅場も失われた。そのため、浅場造成を行っており、これまで39箇所(約620ha)において浅場の造成や覆砂の環境改善事業を実施し、壊れたエンジンを直すような取組が進められている。これにより、アサリなどの二枚貝類が増加する効果が見られている。

栄養の負荷削減等の対策(燃料の量も質も調整しても)をとっても、物質循環がうまく改善しない海においては、エンジンが壊れていることに着目すべきである。ただし、エンジンのどの部分がどのように壊れているのかは、きちんとした診断をしなければならぬ。

一方、燃料にあたる栄養の供給については、生活排水や事業場からの排水などは、ほとんどが廃水処理されて排水されているのが現状であり、過剰な供給は減少しつつある。しかし、海岸護岸や埋立て等によって、陸上から干潟・浅海域に至る連続性が失われてきている。干潟や浅海域はエンジンの重要部品にあたり、これが壊れてしまうと燃料の質や量を調整したり、他の部品を直しても車は走らない。

また、河川についても治水、利水の観点から流量が管理され、降雨の有無に関わらず安定し、ピーク流量が減少していることも多い。さらに、河川からの土砂供給の減少が海岸、浅海部の海底基質を変化させている現象も多く、物質循環に必要な燃料である栄養塩類だけでなく、エンジンの潤滑油とも言うべきその他のミネラルなどの成分の供給形態も変化してきていることが考えられる。

このような、燃料の量と質、エンジンが適切な状態にあれば、車は持続的に走ることができる。つまり、海の物質循環が健全な状態であればこそ、私達は海を持続的に利用することが可能であり、海の恵沢を得続けることができる。海域の物質循環を健全化するためには、燃料である栄養を陸域から海域へ円滑に運ぶ機能を維持し、その質と量を適切にする必要がある。

5. 物質循環の健全化を目指す理由

海の恵沢は魚介類等の食料の供給に限ったものではない。干潟や藻場、浅海域では、私達が排出する排水を浄化する仕組みがあり、重要な水質浄化機能を持つ。これは、例えるなら捨てられたゴミを資源として再利用できる自然のリサイクルシステムである。また、水質の浄化には、二枚貝をはじめとする多くの生き物を通じた物質循環を通して行われる。この生き物を通じた物質循環があるからこそ、私達は食料を得ることができ、さらに、植物プランクトンや海藻草類といった植物は生物が生きていく上で欠かせない酸素を供給し、温室効果の原因となる二酸化炭素を吸収してくれる。

このような海の重要な機能は、健全な物質循環があつてはじめて成り立つものであり、私達が今後も海から豊かな恵沢を受け続けるためには、損なわれてしまった海域の物質循環を健全にしていかなければならない。

6. まとめ

海域の物質循環とは、以下のような機能（仕組み）を言う。

- ・ 栄養塩類が海域に供給されている
- ・ 供給された栄養塩類が、運ばれ、混合され、希釈されている（過度に滞留し続けない）
- ・ 供給された栄養塩類が、食物連鎖を通じて高次の生物に移動されている
- ・ 栄養塩類を運ぶ生物が再生産（世代交代）されている
- ・ 再生産された生物が利用（取り上げ）されている

健全化とは、上記の機能（仕組み）が持続的・自立的に維持され、この状態が壊れにくく、壊れても自立的に再生（復元）できるようにすること。

これを一言で表すなら、物質循環が健全な状態とは、

「再生産可能な生物資源を生み出す海の仕組みが十分に機能していること」

と言える。

1. 海役割

Point

- 海は地球の生命支持システムに不可欠（「アジェンダ21」）
- 海は「生態系サービス」の源
- 国際的、国内的にも保全と適正な利用が求められている

1992年にリオデジャネイロで開催された国連環境開発会議で採択された、21世紀に向けて持続可能な開発を実現するための具体的な行動計画「アジェンダ21」の第17章は、「海洋、閉鎖性及び準閉鎖性海域を含むすべての海域及び沿岸域の保護及びこれらの生物資源の保護、合理的利用及び開発」であり、沿岸域を含むすべての海域とそこに生息する生物資源を保護し、合理的に利用、開発することが唱えられている。序17.1.には「海洋環境（外洋とすべての海域及び隣接する沿岸域を含む）は、地球の生命支持システムに不可欠な構成部分であり、持続可能な開発の機会を提供する積極的資源である。・・・」とあり、海の重要性を示している。

海は約40億年前に最初の生物が誕生した場であるとも言われており、その後現在に至るまで、様々な生物の生存を維持する源でもある。海の持つ規模、輸送力、生産力等が生命の維持に貢献していることは言うまでもなく、最近では、人が生存していくために必要な恵沢を自然界（生態系）が提供してくれるサービスを「生態系サービス」と称し、①供給サービス（食料、燃料等を人に与えてくれる）、②調整サービス（水質浄化や気候を調整してくれる）、③文化的サービス（レクリエーション、精神的充足を与えてくれる）、④基盤サービス（栄養循環、水循環など①～③を支えるサービス）などが提唱されている（Ecosystems and Human Well-being、2005年、Millennium Ecosystem Assessment）。

このような海からの恩恵は海の存在そのものから得られているだけではなく、海の様々な機能によって維持されている。このことから、海洋法に関する国際連合条約（国連海洋法条約）では、海洋環境の汚染を、「人間による海洋環境（三角江を含む。）への物質又はエネルギーの直接的又は間接的な導入であって、生物資源及び海洋生物に対する害、人の健康に対する危険、海洋活動（漁獲及びその他の適法な海洋の利用を含む。）に対する障害、海水の水質を利用に適さなくすること並びに快適性の減殺のような有害な結果をもたらす又はもたらすおそれのあるもの」と定義し、海洋環境の保全と利用を各国に求めている。

また、国内においては、環境基本法（環境基本計画）や海洋基本法（海洋基本計画）が策定され、海の継続的な開発と利用について、以下のように位置づけがされており、海の役割を保つための様々な取組が進められている。

【環境基本法から海の利用・保全に関する部分抜粋】

- 現在及び将来の世代の人間が健全で恵み豊かな環境の恵沢を享受するとともに人類の存続の基盤である環境が将来に渡って維持されるように適切に行われなければならない。
- 人の健康が保護され、及び生活環境が保全され、並びに自然環境が適正に保全されるよう、大気、水、土壌その他の環境の自然的構成要素が良好な状態に保持されること。
- 生態系の多様性の確保、野生生物の種の保存その他の生物の多様性の確保が図られるとともに、森林、農地、水辺地等における多様な自然環境が地域の自然的社会的条件に応

じて体系的に保全されること。

- ・人と自然との豊かな触れ合いが保たれること。

【海洋基本法から海の利用・保全に関する部分抜粋】

- ・海洋の開発及び利用と海洋環境の保全との調和
- ・科学的知見の充実
- ・海洋産業の健全な発展
- ・海洋の総合的管理

【海洋基本計画から沿岸の海域の利用・保全等に関する部分抜粋】

- ・海洋資源の開発及び利用の推進
- ・海洋環境の保全
- ・海上輸送の確保
- ・海洋調査の推進
- ・海洋科学技術に関する研究開発の推進
- ・海洋産業の振興及び国際競争力の強化
- ・沿岸域の総合的管理
- ・離島の保全・管理
- ・海洋に関する国民の理解の増進と人材育成

2. 沿岸の海域の役割

Point

- 沿岸の海域は陸地、大気、海底、外海を通じて物質が循環している
- 生物生産が活発であり、生物多様性の高い場である
- 多様な生物を通じた物質循環が沿岸域では重要である
- 多様な生物が生きられる生息場、水質（栄養塩類、酸素等）と底質（硫化水素等が発生しない）の保全が重要である

海の中でも沿岸の海域は、陸地と外海、大気と海底に囲まれており、これらの4つの境界面を通し、栄養塩類をはじめとして、淡水、土砂、生物、その他の物質が循環している（図 I-5）。また、沿岸の海域（特に閉鎖性の高い海域）は外洋に比べて容積が小さいために、各境界からの変化の影響を敏感に受けて、時間的にまた空間的に大きな変化を示す。

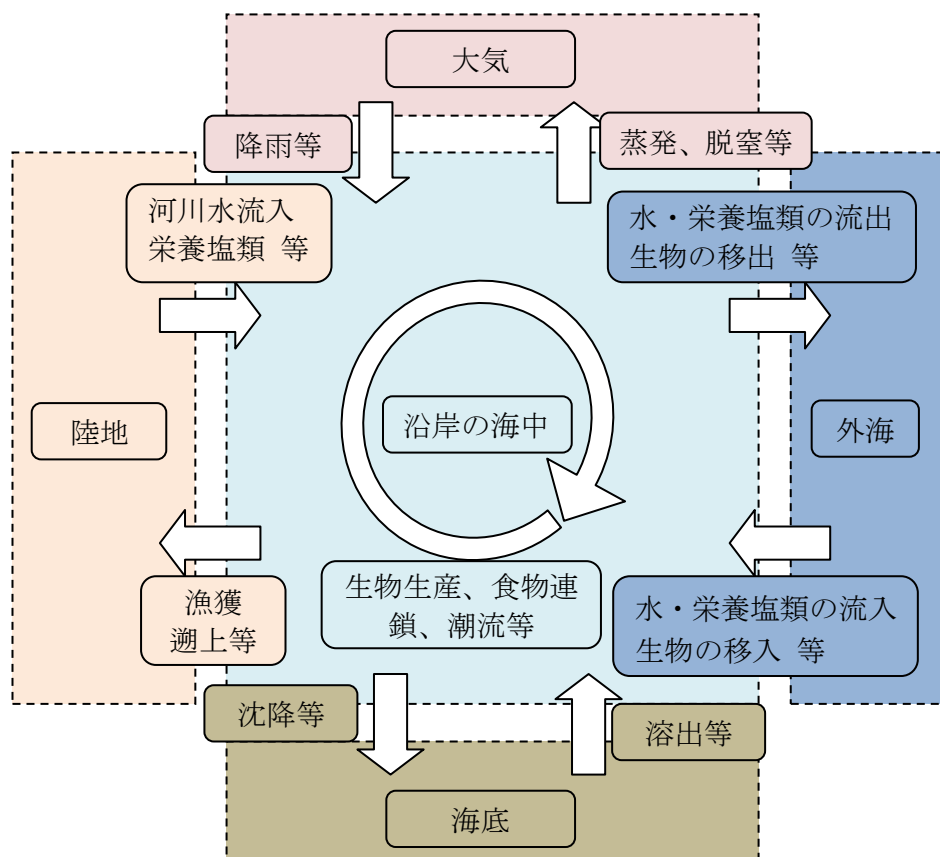


図 I-5 沿岸の海域とそれを取り囲む境界の領域

このような沿岸の海域の特徴の一つとして、陸域等から流入する栄養塩類の供給により、生物生産が極めて活発に行われており、生物の多様性が高いことが挙げられる。

図 I-6 は、沿岸の海域の栄養塩類、水及び生物等の循環のイメージを示したものである。陸域や外海から河川や潮流によって流入した栄養塩類は、一次生産者である植物プランクトンに取り込まれ、植物プランクトンは、上位の魚介類に捕食され、次第に栄養段階の高い方に循環していく。さらに漁業によって、魚介類を食料等とするため陸域に取り上げる（漁獲）ことにより、水中の栄養塩類は陸上へと循環し、下水道や畑地等を通じてまた海へと戻っていく。このように沿岸の海域での物質循環では、河川や潮流等の物理的な循環メカニズムに

加えて、多様な生物の生息が循環の重要な担い手となっており、生物にとって重要な藻場や干潟といった生息場や成長に必須な栄養塩類、酸素があり、毒性がある硫化水素の発生がないといった水質を健全に保つことが重要である。

また、沿岸域は豊富な水産資源の確保に利用されているだけでなく、港、空港等の運輸・交通の拠点、発電所・エネルギー備蓄基地等のエネルギー供給の場、農地・工業地帯・商業空間等の経済活動の場、レクリエーション活動の場、廃棄物の処分場等、様々な目的として高度な利用がなされており、人の生活にとって欠かせない重要な役割を担っている。

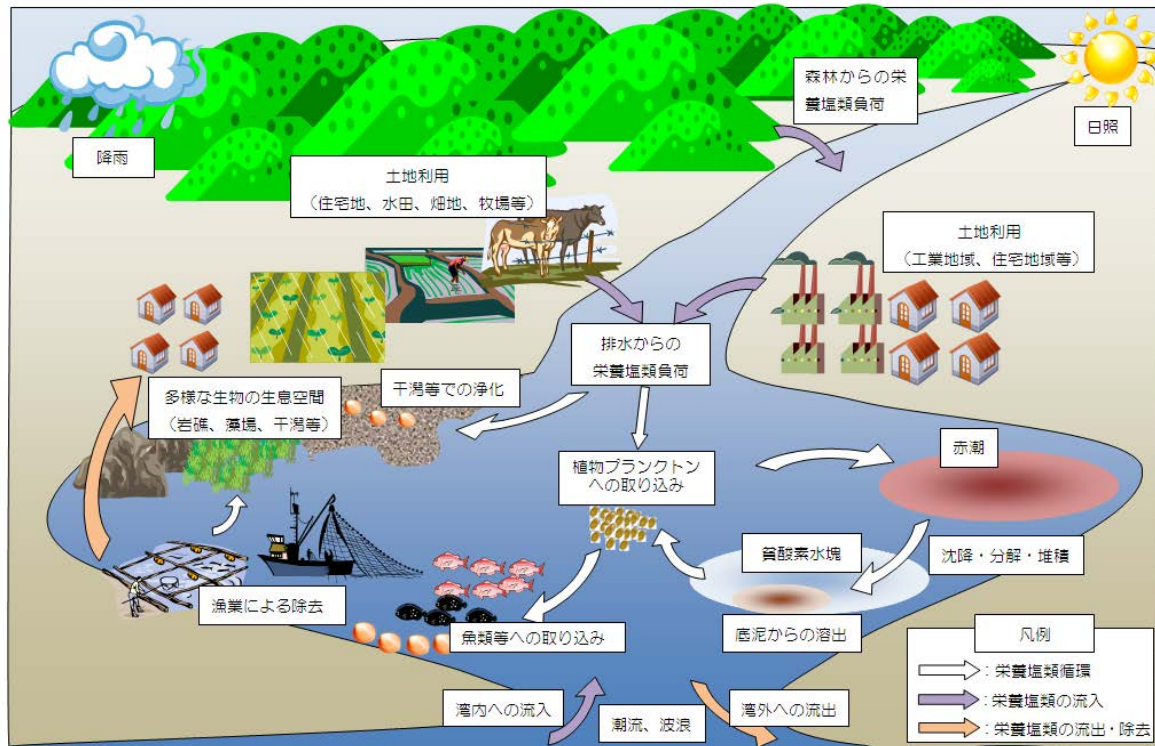


図 I-6 沿岸の海域の栄養塩類循環のイメージ

3. 沿岸の海域への人為的関わりと海の物質循環

①Point

- ・沿岸の海域は陸域も含め広い範囲から影響を受ける
- ・影響は徐々に現れるもの、短時間に現れるものがあり、人為的な環境改善効果も同様

沿岸の海域は人の生活環境に隣接しており、また河川を通じて流域圏を含む広い範囲から、様々な影響を受けている。影響は小規模な人為的な行為の積み重ねによって徐々に現れてくる場合や、大規模な行為によって短時間に現れる場合もある。これは、“ヘルシーな”海を目指す際の考えにとっても重要である。地域の海を人為的に改善する際に、大規模な改善方策の実施により短時間で効果を得るアプローチや、自然の力を補助するような方策により徐々に改善していくアプローチもあり、地域の海の物質循環の変化の要因に着目する必要がある。

また、海とは関係ないと思われるような場所や産業においても、河川等を通じて沿岸の海域の物質循環と関連する場合もあり、沿岸の海域への人為的関わりについては、陸域も含め広範に状況を把握しておく必要もある。例えば、沿岸の海域に対する人為的な関わりとしては、以下のようなものが挙げられる。

【河川の上流域との関わりの例】

- ・海域への土砂供給量の減少に伴う、海岸・干潟等の衰退
(静岡県安倍川などでは、砂防堰堤や河川砂利採取により静岡海岸、清水海岸の後退、深刻な海岸侵食をもたらすようになったと言われている。「安倍川総合土砂管理計画」(平成25年、中部地方整備局))
- ・取水による淡水供給量の減少によるエスチュアリー循環流^{*}の弱まりの懸念
^{*}淡水が海域の上層を沖へ向かって流れ、下層の海水が河口に向かって流れ、湾奥で上層に取り込まれるような鉛直循環流のこと)
- ・森林からの栄養塩類や鉄分等の供給によるカキ等の餌となるプランクトンの増殖に向けた取組 等

【河川の中・下流域との関わりの例】

- ・生活排水、工業排水等の流入による水質・底質の悪化
- ・排水の浄化による栄養塩類の除去
- ・市街地、山林等のノンポイント汚染源からの負荷の流入による水質・底質の悪化
- ・農業、畜産からの栄養塩類等の流入による富栄養化
- ・陸域での諸活動によるゴミの流入による海岸、海底環境の悪化
- ・多自然川づくり等による、川・海の連環 等

【臨海部・沿岸部との関わりの例】

- ・工業排水等の流入による水質・底質の悪化
- ・複雑な埋立地形による流れの滞留部の発生による水質・底質の悪化
- ・船舶のバラスト水による生物相の変化
- ・魚つき林の整備による魚類の増集
- ・湧水保全による海域の水質悪化の低減 等

【海域との関わりの例】

- ・埋立てによる干潟、藻場、サンゴ礁等の消失及び生物多様性、生息場の消失
- ・航路浚渫や土砂採取等による深掘部での貧酸素水塊の発生
- ・漁業による過剰な漁獲
- ・生物共生護岸、干潟・浅場創出等による新たな生息・生育場の創造、水質浄化
- ・MPA(海洋保護区)の設置による生物保全 等

①Point

- 海の中の物質循環には複雑な経路がある
- 沿岸域は、物質を上位に循環させる役割を担う生物の種と量が多い
- ある種が減少しても他の種が物質循環の役割を代替するような仕組みがあり、耐久力がある
- 生物種や量の減少など循環経路が少なくなり単純化すると、生態系の耐久力が小さくなる
- 耐久力を上回る人為的影響をさらに加えると、経路全体のバランスが崩れる

このような人為的な関わりを受けている沿岸の海域について、海の中に着目した物質循環のイメージを図 I-7 に示す。本来、海の中での物質循環には物理・化学的な複雑な経路があるとともに、沿岸域は外洋に比べて生物種・量が多く、魚類等の浮遊生態系と、二枚貝等の底生生態系が密接にリンクしているという特徴を有している。そのため、どこかの経路が多少損なわれても、減少した生物の代わりに他の生物が物質循環を代替したり、他の経路を通じて物質が循環することができる耐久力のある構造となっている。

しかし、物質循環を担う生物の種類・量が減少するなど、循環経路が少なくなったり、単一種が増加したり、生物の生息場である藻場等が減少し経路が単純化すると、耐久力が小さくなってしまう。この耐久力を上回るようなインパクトを人為的に与えた場合、その影響は、伝播しながら様々な部分にさらなる影響を与えてしまい、沿岸の海域全体の物質循環バランスが損なわれてしまう可能性が大きい。

例えば、物質が滞りなく循環していた豊かな海に、人為的な影響により流入負荷が過剰に増大した場合、水中の栄養塩類の量が過剰となり、それを利用する特定の植物プランクトンが異常繁殖することにより赤潮が発生する。枯死した大量の植物プランクトンはやがて海底に沈み、これを分解するバクテリア等によって底層の酸素が消費されることにより貧酸素水塊が発生し、海底付近に生息する生物が死滅する。また、貧酸素水塊が発生すると生物にとって有毒な硫化水素が発生するとともに、この硫化水素自体も酸素を消費するため、底生生態系が崩壊し、さらに海底の生物を餌とする浮遊生態系へ影響が及ぶなど、物質循環を構成する様々な要素に影響が生じる場合もある。

栄養塩類が不足する場合も同様で、ある一つの事象により、藻類の色落ち等の成長不良、磯焼け（藻場が大規模に消失する現象。高水温、海水の濁り、食害等に加え、貧栄養が原因の一つと考えられている。）の発生、植物プランクトンの減少等から、これを捕食する高次生物の減少や漁獲量の減少につながるような障害が発生する場合もある。

更に、ウニ等の植食生物やナルトビエイ等の貝類の捕食者が異常に増加した場合、藻場、二枚貝等の物質循環を担う重要な生物に影響を及ぼし、更なる物質循環バランスの崩れにつながるおそれもある。

こうした負の伝播を断つために、栄養塩類の過剰な流入の防止に係る取組や干潟の造成など生物の生息場の保全対策、山地の森林の保全や植林による海に対する栄養塩類の管理等、バランスの崩れを治すような種々の取組も既に行われているところであるが、現在においても、特に沿岸域でバランスの崩れが発生しており、「生物多様性国家戦略 2012-2020」（平成24年）においても「沿岸域における環境負荷の削減は進みましたが、栄養塩のバランスが損なわれ、赤潮や貧酸素水塊が発生している海域もあります。このほか、近年ではクラゲ類が

大量発生し、漁業や海洋生態系に影響を与えることが大きな問題となっています。」との記載があるなど問題視されている。

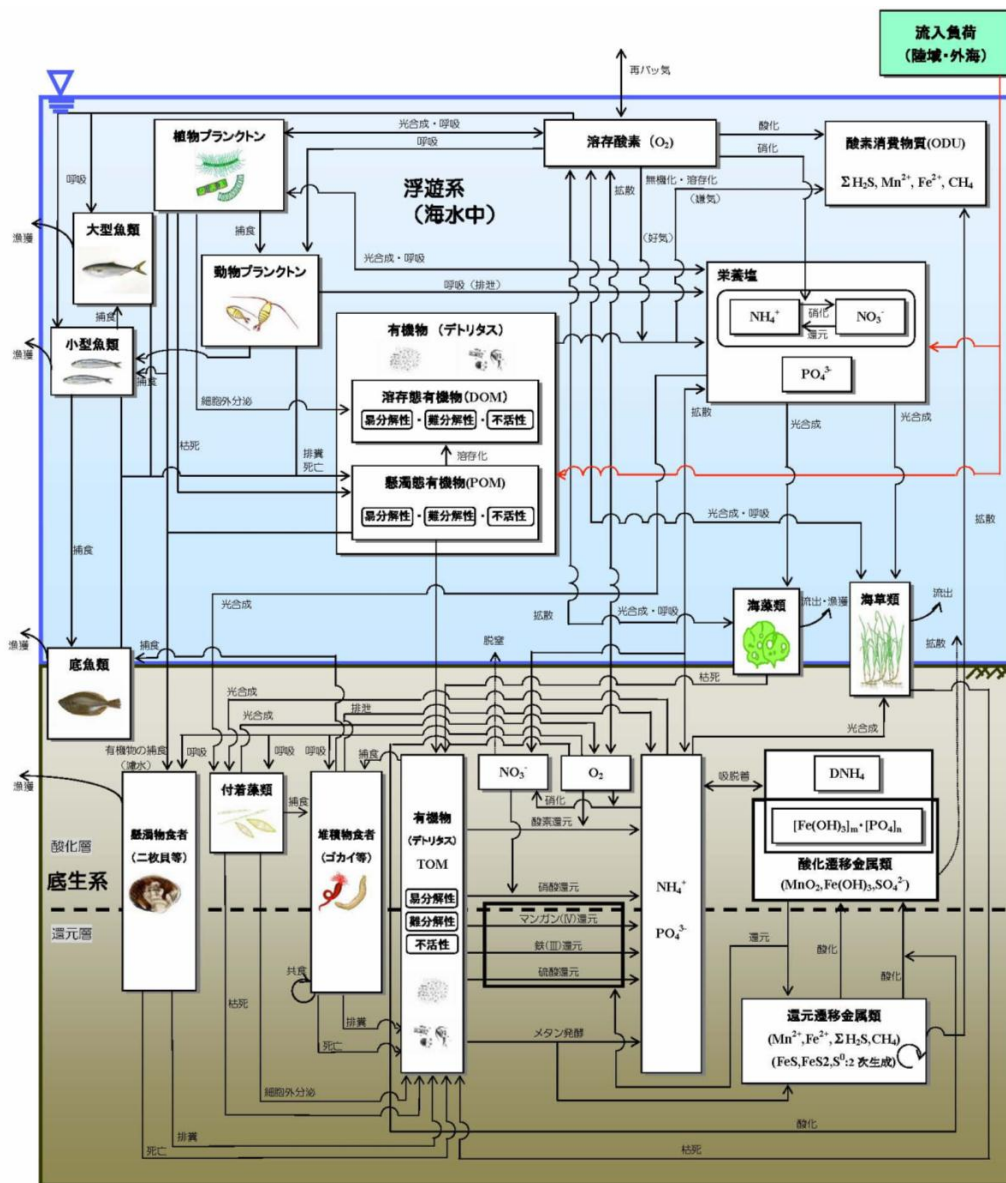


図 I-7 海中の栄養塩類循環のイメージ

4. 沿岸の海域における“ヘルシー”な状態とは

①Point

- 沿岸の海域では、浮遊系（水の中）の循環と底生系（底質）の循環が組み合わさっている
- この循環が機能するためには、多様な生物の食物網が必要であり、食物網の一部を食料として海から取り上げることができる
- 多様な生物が生きられるように、「再生産可能な生物資源を生み出す海の仕組みが十分に機能していること」が物質循環の状態が“ヘルシー”だと言える

先に述べたとおり、沿岸の海域では陸域・外海から流入した栄養塩類を一次生産者である植物プランクトンが利用し、それ捕食する高次の生物まで多様な経路（循環経路）を持つ食物網がある。この食物網は、一次生産者である植物プランクトンを起点とし、動物プランク

トンから魚類への浮遊系の循環や、アサリ等の二枚貝やゴカイ等の堆積物食者等への底生系の循環等もある。

我々はこの生物の食物網の中から一部を食料として利用しており、今後も海の生物の営みを持続的に利用していくためには、海の仕組みを理解し保全していく必要がある。

海の中の物質循環のフローは図 I-7 に示したとおりであるが、栄養塩類が生物の体内に取り込まれ運ばれることにより、物質の循環が行われている。つまり、栄養塩類が植物プランクトンという生物に取り込まれ、多様な経路を経てより高次の生物（浮遊系の浮魚類、底生系の二枚貝類やゴカイ類経由の底魚類）に滞りなく循環している状態が「健全な物質循環の状態」と言える。

この栄養塩類が過剰であったり不足したりする場合や、栄養塩類の質が変化した場合は、植物プランクトンの増殖量が変わり、高次の生物への物質の循環量やバランスが崩れたり、滞りが生じてしまうことになる。また、高次への循環経路が限られ、多様な経路が損なわれた状態、すなわち、生物の多様性が失われているような状態は物質循環が健全な状態であるとは言えない（図 I-8）。

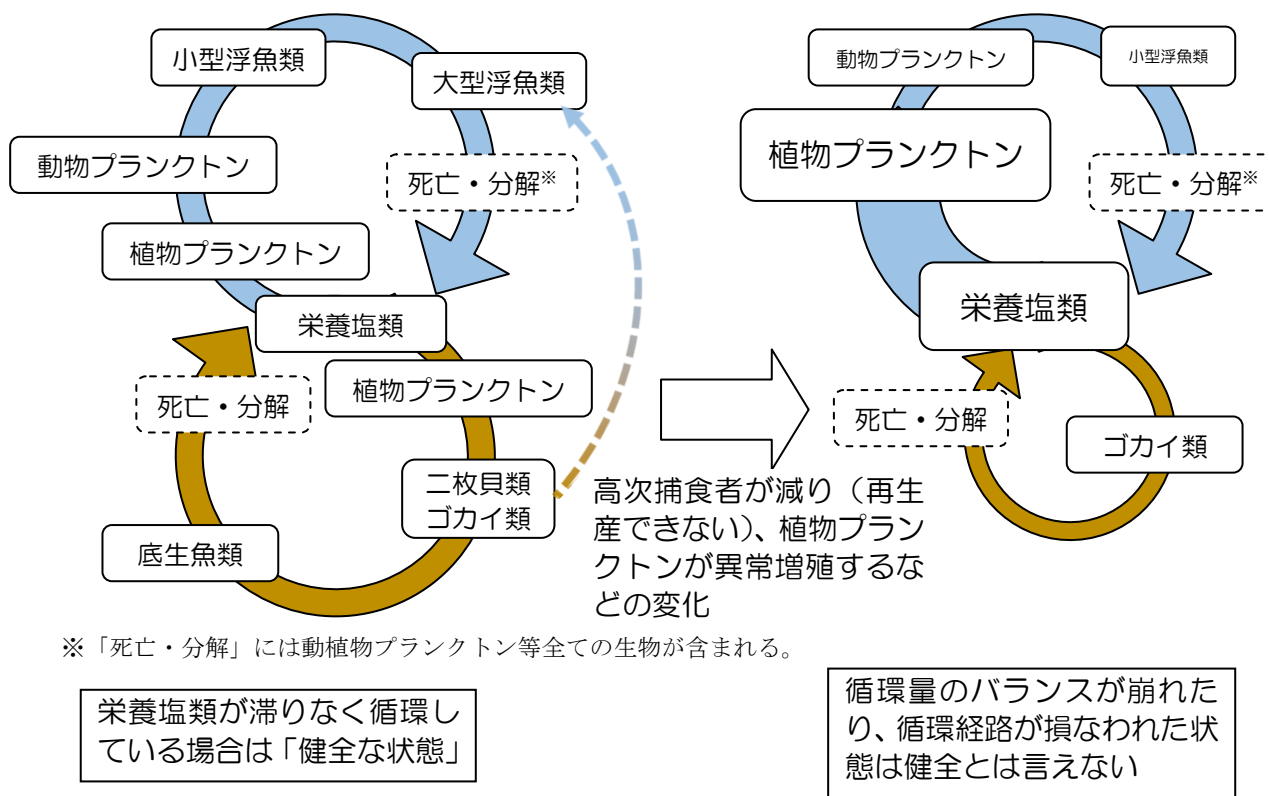


図 I-8 健全な物質循環とバランスが崩れた物質循環のイメージ

円滑に物質が循環するためには、物質の運搬者である多種多様な生物が持続的・安定的に生息し続けること（再生産できること）が重要であり、そのためには、生息に必要な十分な量・質の栄養塩類の循環と「生物の産卵・成長・採餌の場（干潟、藻場、浅場等）」といった生息空間・生息環境の保全と、円滑な物質移動の確保が重要となってくる。

つまり、沿岸の海域における“ヘルシー”な状態とは「再生産可能な生物資源を生み出す海の仕組みが十分に機能していること」と言える。

コラム

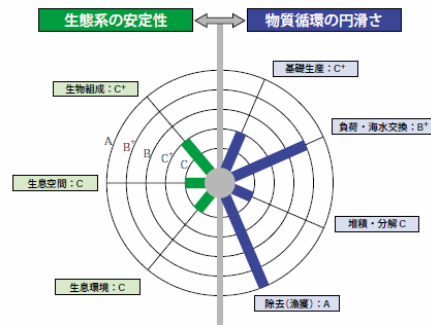
沿岸の海域の“ヘルシー”な状態については、これまでに、多様な主体によって研究が行われている。

その一例を示すと、海洋政策研究財団では、「海の健康診断」という海洋の様々な営みを簡便な手法で継続的に監視することが可能なモニタリング手法を研究している。

「海の健康診断」では、“海湾の健康な状態”つまり“ヘルシー”な状態とは「物質循環が円滑で、生態系の安定性が大きいこと」と定義され、海の健康を診断するため、「生態系の安定性」と「物質循環の円滑さ」についての検査の視点・項目が提案されている。

この方法によれば、既存資料から比較的簡易に、海の“ヘルシー”な状態を診断することができる。

検査の視点		検査項目
生態系の安定性	生物組成	漁獲生物の分類群別組成の変化
		海岸生物の出現状況
	生息空間	干潟・藻場面積の変化
		人工海岸の割合
生息環境	有害物質の測定値	
	貧酸素水の確認頻度	
物質循環の円滑さ	基礎生産	透明度の変化
		赤潮の発生頻度
	負荷・海水交換	負荷と滞留のバランス
		潮位振幅の変化
	堆積・分解	底質環境
		無酸素水の出現状況
除去（漁獲）	底生魚介類の漁獲量	



一次検査方法（生態系の安定性）

視点	検査項目	必要な資料及び調査	検査方法				
			前処理	スタンダード値	検査値	結果	
生態系の安定性	生物組成	漁獲生物の分類群別組成の変化	農林水産統計年報による漁獲量	最近20年間の最多漁獲量の分類群を抽出し、検査対象とする。	20年間の漁獲割合の平均をFRs、漁獲量の平均をFCsとする。	最近3年間の漁獲割合の平均をFRt、漁獲量の平均をFCtとする。	FR、FCを求める。 FR=FRt/FRs FC=FCt/FCs
		海岸生物の出現状況	海岸における生物出現確認調査	—	各海湾の代表生物種類数をLCsとする。	代表生物のうち出現が確認された種類数をLCtとする。	LCを求める。 LC=LCt/LCs
	生息空間	干潟・藻場面積の変化	日本の干潟、藻場、サンゴ礁の現況（環境庁）	—	—	1970年代以前と最新の干潟・藻場面積を比較する。	—
		人工海岸の割合	環境省自然環境保全基礎調査	—	—	最新の人工海岸の割合をAC(%)とする。	—
生息環境	有害物質の測定値	公共用水域水質調査（健康項目データ）	最近20年間のすべての健康項目測定値を検査対象とする。	各健康項目の環境基準値をPSsとする。	各健康項目の測定値をPStとする。	PSを求める。 PS=PSt/PSs	
	貧酸素水の確認頻度	底層の溶存酸素量データ（公共用水域水質調査など）	—	最新の底層の溶存酸素量の調査地点数をAWsとする。	貧酸素水（4.3mg/L未満）が確認された調査地点数をAWtとする。	AWを求める。 AW=AWt/AWs	

一次検査方法（物質循環の円滑さ）

視点	検査項目	必要な資料 及び調査	検査方法			結果
			前処理	スタンダード値	検査値	
物質循環の円滑さ	基礎生産	透明度の変化	公共用水域水質調査	最近20年間の透明度の平均値を 検査対象とする。	20年間の平均を TPs(cm)とする。	最近3年間の平均 をTPt(cm)とする。 TP=TPt/TPs TD= TPt-TPs
		赤潮の発生頻度	各地方自治体調査等による毎年 の赤潮発生状況	—	—	最近20年間の赤潮の発生の有無を見る。
	負荷・海水交換	負荷と滞留のバランス	負荷量、容積（海の基本図、海図、測量原図）、河川流量（流量年表、各県資料）、塩分（公共用水域水質調査、JODCデータ）	淡水滞留時間 τ (day) を求める。 $\tau = (S_o - S_i) / S_i Q$ S_o : 湾外基準塩分 S_i : 湾内平均塩分 Q : 河川流量 (m ³ /day) 単位体積当たり負荷量 Hx (mg/day/m ³) を求める。 $Hx = Px / V$ Px : 負荷量 (mg/day) (x : COD、T-N、T-P) V : 海湾の体積 (m ³)	水質項目(x)ごとに以下のとおりとする。 COD 0.2mg/L T-N 0.2mg/L T-P 0.02mg/L	水質項目(x)ごとに負荷滞留濃度(LR)を求める。 $LR(x) = \tau Hx$
		潮位振幅の変化	実測潮位データ	最近30年間の朔望平均満潮位と朔望平均干潮位の差を求め、その線形回帰より傾きを求める。	0.05(m)	30年間の変化量AT(m)を求める。 AT=30(年)×傾き
堆積・分解	底質環境	各地方自治体調査等による底質調査結果	—	—	—	最新の硫化物量の最大値をSD(mg/g)とする。
	無酸素水の出現状況	底層の溶存酸素量データ（公共用水域水質調査結果など）	—	—	—	最新の溶存酸素量の最低値をNW(mg/L)とする。
除去（漁獲）	底生魚介類の漁獲量	農林水産統計年報による魚種別漁獲量	最近20年間の底生魚介類（底魚及び底生生物）の漁獲量を検査対象とする。	20年間の漁獲量平均をFBsとする。	最近3年間の漁獲量平均をFBtとする。	FBを求める。 FB=FBt/FBs

視点	検査項目	検査基準			検査結果	診断	
		良好(A)	要注意(B)	要精査(C)			
生態系の安定性を示す項目	生物組成	漁獲生物の分類別組成の変化(最近3年間の平均/20年間の平均: 標本占分類群の漁獲割合(FP)、漁獲量(FC))	$0.8 \leq FR \leq 1.2$ かつ $0.7 \leq FC \leq 1.3$	$0.8 \leq FR \leq 1.2$ かつ $FC > 0.7$ または $1.3 < FC$	$FR > 0.8$ または $1.2 < FR$	$FR = (< 1.0)$ 、 $FC = (< 0.06)$	A B C
	生態空間	干潟・藻場面積の変化	干潟・藻場面積は減少していない	干潟・藻場面積がいずれも減少している	干潟・藻場面積がともに減少している	干潟・藻場面積がともに減少	A B C
		人工海岸の割合(AC)	$AC \leq 20$	$20 < AC \leq 50$	$50 \leq AC$	$AC = (< 83)$	A B C
	生態環境	有害物質の測定値(測定値/環境基準値: PS) 無酸素水の確認頻度(無酸素水確認調査点の割合: CW)	すべての健康項目でPS<0.8 CW<0.1	1つの健康項目でも0.8≤PS<1 0.1≤CW<0.5	1つの健康項目でも1≤PS 0.5≤CW	PS=<0.9 CW=<0.9	A B C
物質循環の円滑さを示す項目	基礎生産	透明度の変化(最近3年間の平均/20年間の平均: 透明度の割合(TP)、最近3年間の平均/20年間の平均(TD))	$0.8 \leq TP \leq 1.2$ かつ $TD < 20$	$0.8 \leq TP \leq 1.2$ かつ $20 \leq TD$	$TP > 0.8$ または $1.2 < TP$	$TP = (< 0.9)$ 、 $TD = (< 23)$	A B C
		赤潮の発生頻度	赤潮は発生していない	毎年ではないが赤潮は発生している	毎年赤潮は発生している	毎年赤潮が発生	A B C
	負荷・海水交換	負荷と滞留のバランス(負荷滞留濃度: LR)	COD、T-N、T-PともにLRx<スタンダード値の場合	COD、T-N、T-Pのいずれかでスタンダード値≤LRxの場合	COD、T-N、T-Pともにスタンダード値≤LRxの場合	LR(COD)=<0.4 LR(T-N)=<0.4 LR(T-P)=<0.04	A B C
		潮位振幅の変化(AT)	$AT < 0.05$ かつ最近3年間減少傾向にない	$AT < 0.05$ かつ最近3年間減少傾向	$0.05 \leq AT$	$AT = (< 0.05)$	A B C
堆積・分解	底質環境(全硫化物量の最大値: SD)	$SD < 0.2$	$0.2 \leq SD < 1$	$1 \leq SD$	$SD = (< 1)$ 以上	A B C	
	無酸素水の出現状況(最低溶存酸素濃度: AW)	$2.9 \leq AW$	$0.5 \leq AW < 2.9$	$AW < 0.5$	$AW = (< 0.5)$ 未満	A B C	
除去(漁獲)	底生魚介類の漁獲量(最近3年間の平均/20年間の平均: FB)	$0.7 < FB$ かつ最近3年間増加もしくは横ばい傾向	$0.7 < FB$ かつ最近3年間減少傾向	$FB \leq 0.7$	$FB = (< 0.6)$	A B C	

出典: 「海の健康診断」～考え方と方法(海洋政策研究財団、2006)より作成
図「海の健康診断」の調査概要

5. “ヘルシー”な海域を目指すための合意形成と海域のヘルシープラン策定の必要性

①Point

- “ヘルシー”な海へのアプローチ方法は様々
- “ヘルシー”な海にするためには、多様な主体の協力が不可欠
- そのために、自然的・社会的な調査を行い、“ヘルシーな状態”が損なわれた原因、現状を科学的な共通認識を持つことが重要
- 様々な施策で、ヘルシーな海の実現に向けた、物質循環の健全化が挙げられている
- ヘルシーな海を実現するためには、プラン（海域のヘルシープラン）を策定し、地域の合意形成を図り進めていくことが必要

「再生産可能な生物資源を生み出す海の仕組みが十分に機能していること」がヘルシーな海域であると言えるが、ヘルシーな海域にしていくアプローチ方法は様々である。例えば、栄養塩類が過剰にある場合には、流入負荷量を減らして、海域の生物量に見合った循環バランスに改善する方法も考えられるし、海域での栄養塩類の消費量（生物量）を増やして循環バランスを改善する方法も考えられる。栄養塩類を消費する生物量を増やし、循環バランスを改善する方法としては、藻場を増やして海藻草類に栄養塩類を消費させる方法や、二枚貝類を増やし、植物プランクトンを摂食させることにより栄養塩類を消費させる方法など、様々な方法がある。

このような改善方策を実施するためには、地域の海に関係する多様な主体の連携が必要であり、循環バランスの改善方策についての合意形成が重要となってくる。

改善方法や改善目標について、関係者それぞれの立場によって考え方は異なると想定されるため、すべての意見を集約し、関係者すべてが合意された方法によって“ヘルシー”な海を作り上げていくことが望ましい。また、目標や手法を決定するためには、地域の海を取り巻く状況を知っておくことが必須であり、自然的・社会的な調査を行い、“ヘルシーな状態”が損なわれた原因、もしくは現時点の“ヘルシーな状態”ほどの程度なのかを把握した上で、どのように“ヘルシー”な海を目指していくのか、具体的に取りまとめる必要がある（図 I-9）。

そのための参考として本手引きを活用し、地域の海を“ヘルシー”にしていくためのプラン（海域のヘルシープラン）を策定することで、地域の合意形成を図るとともに、同プランに基づき多様な主体が一体となり“ヘルシー”な海を実現していく際の一助となれば幸いである。

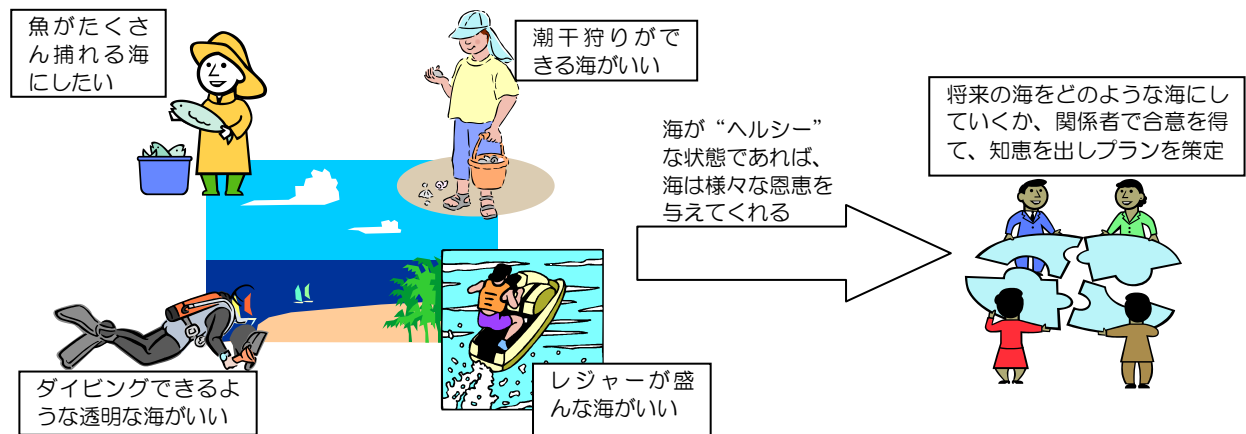


図 I-9 合意形成を得てプランを策定

なお、「生物多様性国家戦略 2012-2020」（平成 24 年）においては、沿岸域の「望ましい地域のイメージ」として、栄養塩類の循環バランスの改善について以下の記述がある。

「内湾などの閉鎖性海域においては、栄養塩バランスが適切に確保され、ヘドロのたい積や貧酸素水塊の発生、漂流・漂着ごみなど沿岸環境の悪化の問題が改善され、上流の森林は漁業者をはじめ関係者の協力を得て適切に維持され、豊かな漁場が保全されている。豊かな生命を育む沿岸域は、多様で豊富な魚介類を持続的に供給するとともに、北の海ではアザラシが、南の海ではジュゴンが泳ぐ姿が見られるなど、人間と自然の共生のもとに健全な生態系を保っている。」

また、我が国全体での沿岸域の管理については、「海洋基本法」に基づき計画が定められている。海洋基本法では、海洋に関する施策の総合的かつ計画的な推進を図るため、政府が海洋に関する基本的な計画を定めるものとして「海洋基本計画」を策定することとされており、海洋基本計画をもとに沿岸域に生じている様々な課題に対して、沿岸域の総合的な管理が始まっている。

海洋基本計画（平成 25 年）では沿岸域の総合的な管理に向け、「各地域の自主性の下、多様な主体の参画と連携、協働により、各地域の特性に応じて陸域と海域を一体的かつ総合的に管理する取組を推進することとし、地域の計画の構築に取り組む地方を支援する。」としており、沿岸域の安全の確保、多面的な利用、良好な環境の形成及び魅力ある自立的な地域の形成を図ることを目指している。

海洋基本計画では、以下のような「陸域と一体的に行う沿岸域管理」が挙げられており、栄養塩類及び汚濁負荷の適正管理と循環の回復・促進を行うための一つの考えとして、「生物多様性に富み豊かで健全な海域を構築する観点から、陸域と海域を含めた流域全体の栄養塩類循環状況を把握し、それぞれの海域の状況に応じた栄養塩類の円滑な循環を達成するための効率的かつ効果的な管理方策（海域ヘルシープラン）の策定に向けた検討を行う。」とされている。

- 陸域と一体的に行う沿岸域管理
 - ※総合的な土砂管理の取組の推進
 - ※栄養塩類及び汚濁負荷の適正管理と循環の回復・促進
 - ※生物及び生物の生息・生育の場の保全と生態系サービスの享受への取組
 - ※漂流・漂着ごみ対策の推進
 - ※自然に優しく利用しやすい海岸づくり 等
- 閉鎖性海域での沿岸域管理の推進
- 沿岸域における利用調整

また、瀬戸内海においては、「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）」（平成 24 年 10 月、中央環境審議会）が策定され、この答申においては「豊かな生態系サービスを将来に渡り享受し、生物が生息していけるよう瀬戸内海の多面的価値・機能を最大限に発揮し、湾・灘等の規模で海域の状況や特性に応じた『豊かな

海』を指すことが記されており、現在、「瀬戸内海環境保全特別措置法」に基づき策定されている「瀬戸内海環境保全基本計画」の変更に向けた検討が行われており、本手引きは基本計画に基づいて関係府県が「瀬戸内海の環境の保全に関する府県計画」を作成する上でも参考となる。

6. 海域のヘルシープラン見直し（順応的管理）の必要性

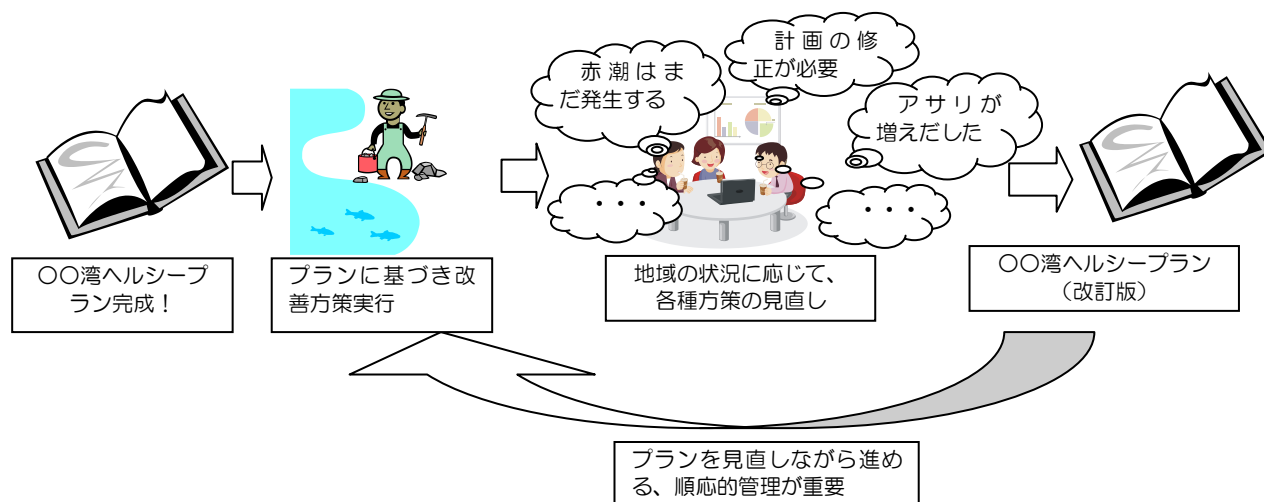
①Point

- “ヘルシー”な海への取組を始めても、想定したとおりの効果が現れないことも考えられ、状況に応じ見直すことが必要
- 見直すためには、海のモニタリングを行い、現状を把握することが必要
- 見直す点は、効果がでているか？副次的な影響（悪影響）が出てないか？等
- 海域のヘルシープランは現状を正しく認識し、社会的ニーズ等を踏まえて見直すような「順応的管理」の手法を取り入れることが必要

地域において、目指すべき“ヘルシー”な海域への改善方法について合意形成が進み、“ヘルシー”な海域づくりに向けた各種の方策を講じたにも関わらず、想定したとおりの効果が現れないことも考えられる。場合によっては、方策を講じたことにより、副次的な影響が生じる可能性も否定できない。さらに、方策が講じられ、想定したとおりの方策の効果が表れ、“ヘルシー”な海域が作り上げられているような場合においても、時代の変化や人々の要望等の変化により、当初目指した“ヘルシー”な海域が、必ずしも適切であり続けるとは限らない。

そのため、策定した“海域のヘルシープラン”は、方策の実施と並行してモニタリングを行い海域の状況を把握し、さらに社会的ニーズ等を踏まえ、状況に応じて各種の方策を見直すような“順応的管理”のもとにプランを実行する必要がある（図 I-10）。

以降の章に、実際に“海域のヘルシープラン”を策定し、方策を実行し、見直しを行うまでの具体的な手法について、実際に一連の検討を行ったモデル地域での具体的な例も合わせて説明する。



II. 海域のヘルシープラン策定の要領

①Point

- “ヘルシープラン”はPDCAサイクルによって、順応的管理を行うことが基本
- 多様な主体の合意形成を図って協力しながら進めることが重要
- 合意形成を得るために、連絡会や協議会等の設置も一つの方法
- 自治体、有識者、漁業者、NPO、関係機関、企業、住民等の参加により、合意形成のもと、ヘルシープランを策定

海域のヘルシープランの策定から方策実施までの全体のフロー（PDCA サイクル）を図 II-1 に示す。初めに海域のヘルシープランを策定し、このプランに基づき方策を実行し、方策を実施した後もモニタリングを行い、順応的管理によってプランの見直しを行っていくことが基本となる。

また、海域は多様な主体によって利用されていることから、海域に関わる多様な主体から意見を聞き、協力しながら進めることが重要である。そのためには、地域の海について知見を有する者で連絡会や協議会のような組織を立ち上げることも一つの方法である。組織のメンバーは、ヘルシープランの検討の段階に応じて適宜決定していけば良い（協議会の組織化については、次ページのコラムに参考として示した。）。

例えば、図 II-1 の STEP 1 の段階では、自治体の環境部局や有識者が中心となって現状を把握し、大まかな現状が把握できたところで、地域の海を良く知っている漁業者や NPO、関係機関、企業、住民等にメンバーとして加わってもらい、地域の海で生じている問題点や課題等の情報提供を受けることも考えられる。さらに、詳細な学術的な知見が必要となり現地調査やシミュレーション等を実施する場合には、研究機関や大学等の有識者にも加わってもらい、科学的な知見に基づきヘルシープランの作成や方策の検討を行うべきである。また、方策の実施に当たっては、管理者（港湾管理者、河川管理者等）等の協力が不可欠であることから、方策の検討の際にはメンバーとして加わってもらう必要がある。

さらに、対象海域に関連する地域全体に健全化に向けた取組についての理解増進を図るためにも、地域住民自身が川・海をモニタリングするような機会を設けたり、学校の授業等において、地域の海の役割や仕組みを教える機会を設けることも考えられる。企業にとっては排水等を行っている事業者の意識向上に加え、近年は CSR（企業の社会的責任）の取組が大きな潮流となっており、環境保全に対する CSR の一環として参画してもらうことも考えられる。このような住民や企業も巻き込むことによる、地域に根づいた持続的な取組を進めていくことも重要である。

なお、本手引きの作成に当たり、実際に「海域のヘルシープラン」を作成するために気仙沼湾（宮城県）、播磨灘北東部（兵庫県）、三河湾（愛知県）、三津湾（広島県）の 4 海域をモデル地域として検討を行った。本手引きでは、STEP ごとに上記のモデル地域での検討結果の例をケーススタディとして適宜示していくので、参考とされたい。気仙沼湾については、東日本大震災発生前までの調査結果を元にした検討途中の結果を示している。

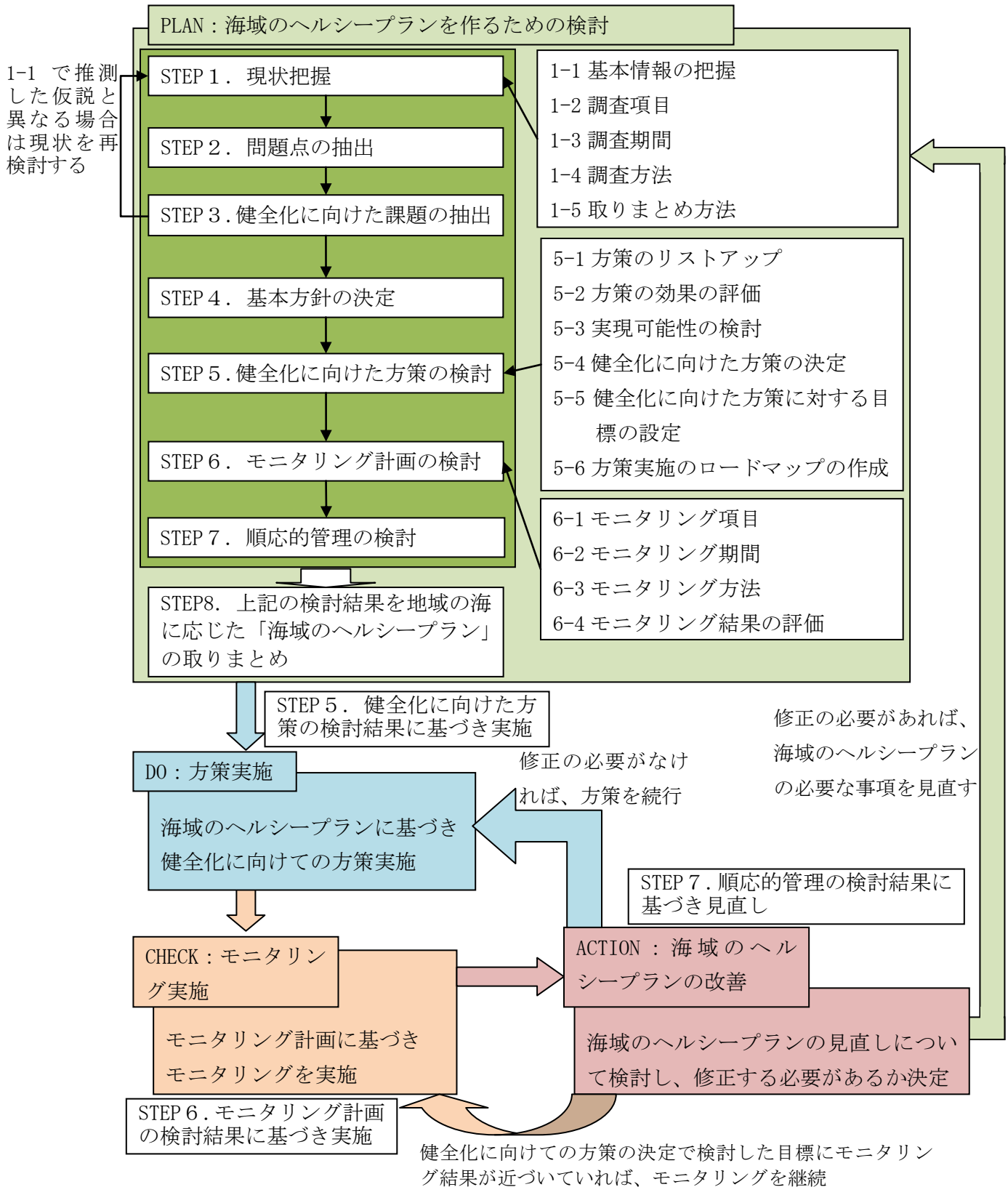


図 II-1 「海域のヘルシープラン」全体のフロー

なお、策定するヘルシープランの標準的な構成は以下に示すとおりであり、各章に対応した検討方法について、P23 以降で解説を行う。

海域のヘルシープランの標準的な記載内容例

はじめに

→ヘルシープラン策定の検討経緯・背景等を示す。

第1章. 地域の海の現状 (STEP1 P23～ を参考)

→既存資料調査、現地調査、ヒアリング等を通じて得た、地域の海の状況についての整理結果を示す。

第2章. 地域の海が抱える課題 (STEP2～3 P39～ を参考)

→地域の状況の整理等から、地域の海が抱える課題について示す。

第3章. 健全化に向けた基本方針 (STEP4 P50～ を参考)

→健全化を行う方向性について、多様な主体が共通認識を持つことが必要であり、地域の海をどのように健全化していくのか、基本方針を示す。

第4章. 健全化に向けた方策 (STEP5 P52～ を参考)

→基本方針に基づいて、改善方策をリストアップし、方策の改善効果等の評価結果を示すとともに、その実施体制（いつ、誰が、何を）と改善目標を示す。

第5章. モニタリング計画及び順応的管理計画 (STEP6～7 P70～ を参考)

→方策実施後のモニタリングの計画について、具体的な項目、期間、方法等について示すとともに、方策の実施の効果が現れているか評価するため、モニタリング結果の評価方法についても示す。

また、評価の結果によっては、基本方針や方策の見直しが必要となる。方策の効果に応じた改善方法（順応的管理）についても示す。

資料編

→必要に応じて、調査データ等の資料編を作成する。

※海域のヘルシープランは専門家のみでなく、多様な主体の参加が望まれることから、専門的な用語については、解説を付す等の配慮を行うことが望ましい。

～協議会の立ち上げの例～

協議会の立ち上げは、自然再生推進法やエコツーリズム推進法等に基づく事例がある。例えば、「エコツーリズム推進マニュアル（改訂版）」（平成20年3月、環境省）では、組織化に当たっての方法や留意点が示されており、概要を紹介する。

～ポイント～

- 地域特性に応じた多様な主体の参画を得る
- 既存の権益を有する主体の参画も重要になる
- 「一本釣り」手法が効果的
- 円滑な運営を確保するために事務局の設置が必要
- 地域コーディネーターを核とした推進体制を描き、役割分担を明確にする。

○推進組織における構成員の確保

推進組織の構成員には、是非協力を求めたい特別な相手や、自主的な参加を広く求めたい場合がある。前者については、分野ごとにキーパーソンや組織等の人材リストを作成し、それをにらみながら呼びかけていく「一本釣り」手法が効果的である。後者のケースは一般住民を巻き込むことを主目的としているが、研究会やモニターツアー等を利用して、呼びかけを行うことが多いようである。

一般的に、このような組織の人選は行政で関係団体をピックアップして声を掛け、委員を推薦してもらう形を取ることが多い。つまり、個人ではなく役職で参画することになるが、実質的な議論を行うためには、役職ではなく個人として参画を依頼すると議論が進む場合もある。

○推進組織の体制

組織づくりにおいては、幅広い主体が参画することが求められる一方で、効率的に運営することも必要であるため、関係団体の代表等から構成すると良い。あらゆる関係者により構成された場合、大規模な会議となることもあり、双方向に意思疎通をすることが難しくなるため、20名前後の適した人数とすると良い。

円滑な運営を確保するためにも、運営事務を取り仕切る事務局を設置することが必要である。事務局の運営を支えていくために、協議会の構成員だけでなく外部の専門家等をアドバイザーとして設置し、必要に応じて助言を求めると良い。

※以下のHPにある「エコツーリズム推進マニュアル（改訂版）」（平成20年3月、環境省）を一部編集
<http://www.env.go.jp/nature/ecotourism/try-ecotourism/env/5policy/manual/index.html>

STEP1 現状把握

1-1 基本情報の把握

1-1
基本情報の把握

1-2
調査項目

1-3
調査期間

1-4
調査方法

1-5
取りまとめ方法

物質循環の健全化を目指すためには、まず、対象となる海域の基本情報を把握しておくことが重要である。

効率的に現状を把握するためには、対象となる海域で生じている不具合について、おおよその原因（問題点）を推測し、不具合を引き起こしている問題の仮説を立て、その問題点に関連する情報から収集整理する。

【解説】

①基本情報の把握

我が国は南北に長く、沿岸域の地形も様々である。また、沿岸域は陸域から河川等の流入し、海域（外洋）から黒潮、親潮等の海流の貫入がある等、様々な影響を受けている。

そのため、物質循環の検討を行う海域について、どのような特徴を有する海域であるか、基本的な情報を把握しておくことが第一歩となる。

同程度の規模の湾でも、直接外海域に面し黒潮や親潮のような外海の影響を受けやすい湾と、瀬戸内海のように幾つもの湾が隣あい、互いに影響を受けている湾とでは物質循環の健全化に向けた方策も異なり、また、背後の土地利用状況等によっても取りうる方策が異なることから、各湾の基本情報をまず把握することが重要である。

各湾の基本的な情報は、下記のような資料に整理されており、基本情報を把握する上で参考となる。

- ・「日本全国沿岸海洋誌」（日本海洋学会編、東海大学出版会、1985）
- ・「続・日本全国沿岸海洋誌〈総説編・増補編〉」
(日本海洋学会編、東海大学出版会、1990)
- ・「平成20年度 全国閉鎖性海湾の海健康診断[®]調査報告書
全国71閉鎖性海湾の海健康診断[®]一時診断カルテ」（海洋政策研究財団、2009）
URL: http://www.sof.or.jp/jp/report/pdf/200903_ISBN978-4-88404-221-9.pdf
- ・「日本の閉鎖性海域（88海域）環境ガイドブック」
(（財）国際エメックスセンター、2001)
URL: <http://www.emecs.or.jp/japanese/encsea.html>

②不具合の原因（問題点）の推定、作業の方向性の検討

検討対象とする海域の基本的な特徴を把握したところで、海域で生じている不具合について、その問題点・課題点の仮説を立て、調査・検討する事項の方向性を大まかに決定する。海域での不具合は見当たらないが、地域の海の物質循環の現況を把握したい場合には、次項以降を参考に作業を行う。

本手引きでは不具合、問題点、課題という用語を使用しているが、表 II-1 のように定義している。ただし、図 II-2 に示したように不具合の整理の段階で問題点の抽出も行えることもあるため、不具合と問題点の境界は必ずしも明確でない場合もある。なお、参考として、我が国で生じている閉鎖性海域の物質循環に係る大まかな不具合について、検討を進める際の手がかりとして表 II-2 に例を示す。

表 II-1 不具合、問題点、課題の例

分類	説明	例
不具合	生じている被害（実感しているもの）	漁獲量の減少、磯焼けの発生、潮干狩場の閉鎖 赤潮による魚類の斃死、景観阻害、悪臭 青潮による魚類の斃死、景観阻害、硫化水素臭 アオサの大発生による悪臭 等
問題点	不具合の原因、もしくは、不具合は生じていないものの、地域が望まない方向に海の状況が変化しつつある事象	赤潮の発生 青潮の発生 透明度の低下 等
課題	問題点を改善するために必要な事象（改善方策を実施すべき事項につながるもの）	（赤潮の発生原因となっている） 過剰な流入負荷、有機物蓄積 等 （青潮の発生原因となっている） 過剰な流入負荷、有機物蓄積、深掘存在 等 （貧栄養化の原因となっている） 流入負荷の減少 等

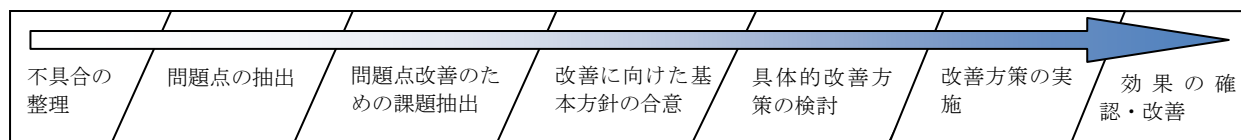


図 II-2 作業の進め方のイメージ

表 II-2 問題点や不具合の検討を始める事項

1. 貧酸素水塊・青潮の発生 (問題点)	
想定される課題	検討を始める事項
<ul style="list-style-type: none"> ・海底に有機物が堆積し、有機物の分解に酸素が使われている ・深掘跡等の存在により、貧酸素化しやすい場所がある ・海水が滞留し、上下層の混合が弱く、下層に酸素が届きにくい 	<p>貧酸素水塊が発生し始めた時期、場所、頻度、規模などを中心に検討を進める</p> <p>底質変化の時期、有機物の堆積量、有機物が堆積しやすい場所、酸素消費物質(硫化水素等)、などを中心に検討を進める</p>
2. 赤潮の発生 (問題点)	
想定される課題	検討を始める事項
<ul style="list-style-type: none"> ・陸域から過剰な栄養塩類が流入している 	<p>陸域(河川、事業場等)から流入する栄養塩類の濃度の変遷、海域の栄養塩類の濃度の変遷などを中心に検討を進める</p>
<ul style="list-style-type: none"> ・底質から栄養塩類が過剰に溶出している ・赤潮プランクトンを摂食する生物が減少 ・栄養塩類を吸収する植物の減少 	<p>底質変化の時期、有機物の堆積量、有機物が堆積しやすい場所などを中心に検討を進める</p>
3. 魚類等の動物の減少 (不具合)	
想定される課題	検討を始める事項
<ul style="list-style-type: none"> ・特に底魚・貝類が減少している場合は、底層が貧酸素化し、硫化水素が発生している可能性が高い ・過剰な漁獲による減少 ・産卵、成長、生息場の減少 ・底質の悪化 ・餌生物の減少 	<p>貧酸素水塊が発生し始めた時期、場所、頻度、規模及び底質の変化などを中心に検討を進める</p>
<ul style="list-style-type: none"> ・特に浮魚が減少している場合は、栄養塩類が低次の生物から高次の生物へ循環していない(浮遊生態系(食物連鎖)の弱体化や餌となる底生生物の減少)可能性がある 	<p>生物組成(特に、上位の生物を支える、浮遊系の植物プランクトン、動物プランクトンと底生系の底生生物)の変化を中心に検討を進める</p>
4. 海藻草類等の植物の減少 (不具合)	
想定される課題	検討を始める事項
<ul style="list-style-type: none"> ・陸域・外海からの栄養塩類の供給が少なくなっている 	<p>陸域(河川、事業場等)や外海から流入する栄養塩類の濃度の変遷、海域の栄養塩類の濃度の変遷などを中心に検討を進める</p>
<ul style="list-style-type: none"> ・底質が改善され、底質からの栄養塩類の溶出が少なくなっている 	<p>底質変化の時期、有機物の堆積量、堆積している場所などを中心に検討を進める</p>
<ul style="list-style-type: none"> ・生育基盤の減少 ・移入する種子の減少 ・透明度の低下 	<p>埋立て等による生育基盤の変遷、構造物の設置等による流況の変化時期・場所などを中心に検討を進める</p>

1-2 調査項目



1-1 では、海域の基本的な情報を把握したところであるが、続いて、栄養塩類の物質循環に係る各種情報の調査を行う。

栄養塩類は河川や湾口を通じて海域に流入し、海域での物理化学的な作用や生物と関係しながら、様々な影響を受けて循環している。そのため、調査を行う項目は海域のみならず陸域を含めて収集する必要がある。

調査項目は、海域の自然的な情報に加えて、利用に係る社会的な情報についても収集する必要がある。

【解説】

栄養塩類の循環の状況は、対象とする海域の形状や、外力、生物等によって変わってくる。栄養塩類は、陸域のみならず外海からも流入するため、流入する栄養塩類の発生源及び負荷量を把握することは栄養塩類の循環の状況を検討する上で基本となる。

流入する栄養塩類の量や質は様々な事象（自然的、社会的）が複雑に関連しており、栄養塩類の循環の現状を把握するためには、循環に係る自然的・社会的状況を把握しておく必要がある。

また、流入した栄養塩類がどのように海域外に流出（取り出し）するのかを把握することにより、海域への栄養塩類の流入・流出の収支を検討する材料となる。特に沿岸域は多種多様な主体により、事業場や漁業等に高度に利用されており、海域の栄養塩類の流入・流出に係る状況を把握する上で、利用状況の変遷を調査することは重要である。

図 II-3 に「沿岸の海域の栄養塩類循環のイメージ」を再掲したが、この図を参考として、沿岸の海域への栄養塩類の「流入」－「海中での循環」－「流出・取り上げ」に係る表 II-3 に示した項目について情報を収集する。このような、栄養塩類の循環に係るすべての項目を収集整理することは、労力を要するため、不具合や問題点が分かっている場合には、これらに関連する事象を中心として資料を収集する。

海域での不具合は見当たらないが、地域の海の栄養塩類の循環の現況を把握したい場合には、表 II-3 に示した項目全般について情報を収集する必要がある。

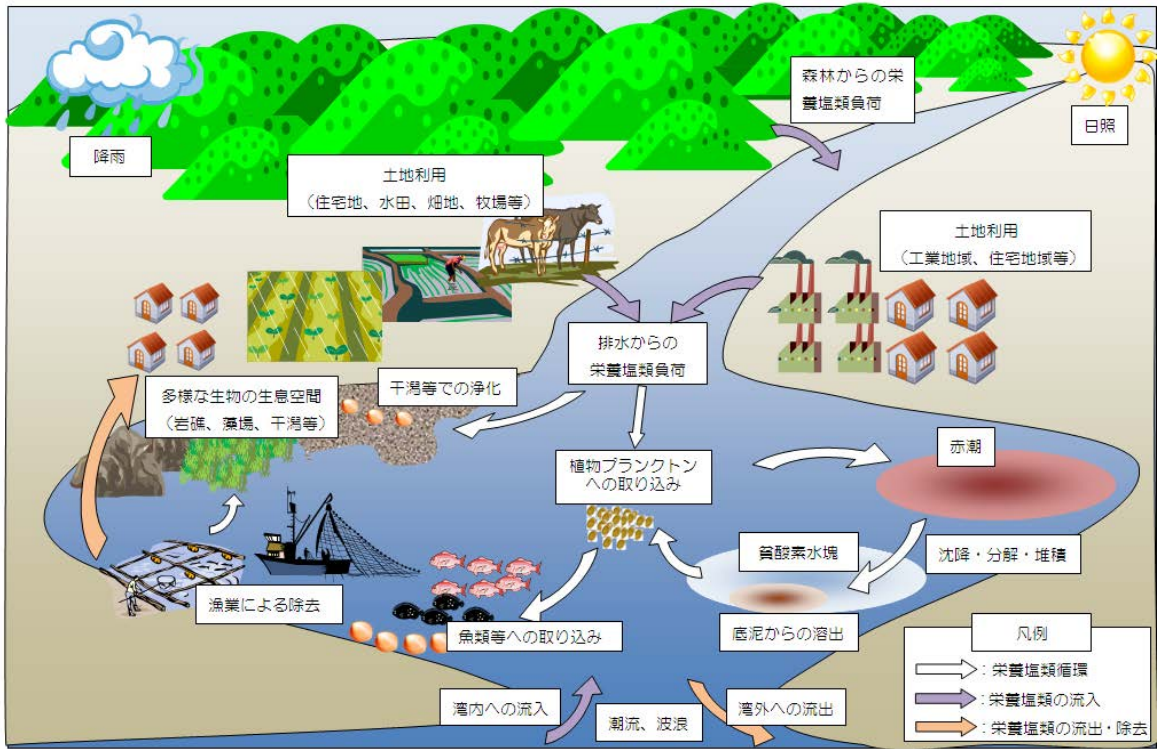
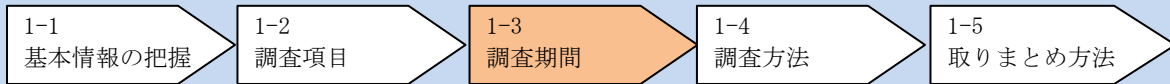


図 II-3 沿岸の海域の栄養塩類循環のイメージ (図 I-6 の再掲)

表 II-3 調査項目の例

流入に係る項目	湾内での循環に係る項目	流出・取り上げに係る項目
湾内に流入する水質 (生物が利用する栄養塩類を中心とする。T-N、T-P、NO ₃ -N、NO ₂ -N、NH ₄ -N、PO ₄ -P 等)	湾内の水質・底質 (生物の生産・生息環境に係る物質を中心とする。T-N、T-P、NO ₃ -N、NO ₂ -N、NH ₄ -N、PO ₄ -P、クロロフィル a、フェオフィチン、DO、硫化物等)	湾外へ流出する水質 (生物が利用する栄養塩類を中心とする。T-N、T-P、NO ₃ -N、NO ₂ -N、NH ₄ -N、PO ₄ -P 等)
河川からの流入量・水質・地点	生物の生息空間の状況 (藻場、干潟、サンゴ礁等の分布状況)	漁獲量・種 (魚介類、海藻草類等)
工場、事業場等からの流入量・水質・地点	動植物の生息・生育状況	
湾外からの流入量・水質	赤潮の発生状況	
	貧酸素の発生状況	
	流況	
	養殖場の分布・利用状況	
他に収集する自然的な状況や社会的な状況については、表 II-4 を参照		

1-3 調査期間



最新の知見を収集することが基本となるが、栄養塩類の循環の状況の把握においては、これまでの変遷を把握することが重要である。

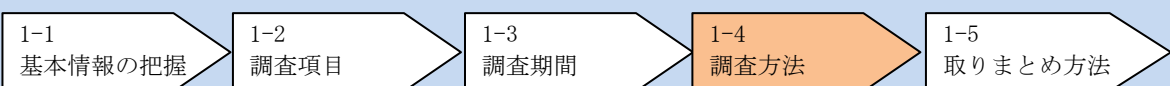
【解説】

海域で発生する問題点や不具合は、自然的・社会的状況の変化の積み重ねが原因の一つとなって生じる。そのため、地域の海において、これまでどのような変化が生じてきたのか、その変遷を把握することは、栄養塩類の循環の変化の原因を検討する手がかりとなる。

海域の状況が変化し始めた時期は、最新の知見（地域の環境白書、公共用水域水質測定結果、論文等）を収集し推定する。地域の環境白書には、環境上の問題や講じた施策、環境の変化に係る人為的改変等が年表形式で巻末に記されている場合もあり、過去からの変遷を調べる際にも参考となる。なお、1950年代以降の高度経済成長期にかけては、海域の埋立て等の開発も進んでおり、海域の変化の状況を把握するためには、開発が進む以前の状況から把握する必要があり、過去数年程度の調査期間では、変化の時期を見誤る可能性があることに留意する必要がある。

海域の状況が変化し始めた時期が推定できた段階で、変化が起こる以前から（基本的には過去のデータが存在する時点から）現在までの既存資料を収集し、対象海域で生じた、自然的・社会的変遷を把握する。

1-4 調査方法



調査方法は、既存資料から情報の収集を行うことを基本とする。また、必要に応じて、関係機関や地域の有識者等にヒアリングを行うことが望ましい。ヒアリングを行っても、なお必要な情報が得られない場合には、現地調査により確認する。

【解説】

物質循環の状況を把握するためには、自然的・社会的に多岐に渡る情報収集が必要であるが、実際に現地調査を行うには時間も費用も要する。

そのため、既存資料により情報収集を行い、情報が収集できない項目等が出てきた段階で、関係機関や地域の海の情報を有している有識者等からヒアリングにより情報を収集すると効率的である。情報を収集する際には、地域の海に生じたトピック的な事項を押さえた調査が重要である。例えば、ダム建設、下水道整備等陸域からの栄養塩類の流入変化に関連する情報や、埋立て等による生息場の変化や漁業形態の変化などは調査を行っておく必要がある。

物質循環状況の検討に必要な資料は、様々な機関から公表されており、表 II-4 に主な調査項目とデータの公表元を参考として示す。

また、既存資料調査やヒアリングを行っても、必要な情報が得られない場合には、現地調査により確認する。

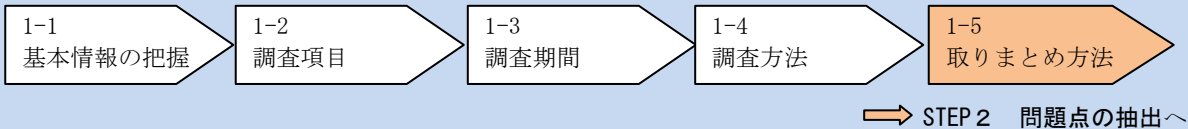
表 II-4(1) 主な調査項目とデータの公表元

項 目		詳細項目	データの公表元
流動・物質循環に共通の情報			
地形	基本的な情報	水深・海岸線	海図（海上保安庁） 深淺調査（港湾部局等） 海洋台帳（海上保安庁： http://www5.kaiho.mlit.go.jp/kaiyo/ ） JODC 統合水深データセット（日本海洋データセンター： http://www.jodc.go.jp/index_j.html ）等
流動場を把握するための情報			
淡水流入量	河川	流量	河川整備基本方針、河川整備計画、流量年表、水文水質データベース（国土交通省： http://www1.river.go.jp/ ）等
	工場、事業場、下水処理場からの流入、海水の取排水		発生負荷量等算定調査（環境省）、下水道統計年報（下水道部局）、環境部局資料 等
流況、水温・塩分、潮位	流況	流向、流速、潮流調和定数	港湾部局資料、海上保安庁資料 海洋台帳（海上保安庁： http://www.kaiyoudaichou.go.jp/ ） 等
	水温、塩分	水温、塩分（塩化物イオン）	水環境総合情報サイト（環境省： https://www2.env.go.jp/water-pub/mizu-site/mizu/download/download.asp ） 浅海定線調査（水産庁） 公共用水域水質測定結果（環境部局） 海洋台帳（海上保安庁： http://www.kaiyoudaichou.go.jp/ ） 等
	潮位	潮位、基準面高さ	気象庁データ (http://www.data.kishou.go.jp/kaiyou/db/tide/dbindex.html) 等
物質循環系を把握するための情報			
流入負荷量	河川	生物が利用する栄養塩類を中心とする。T-N、T-P、NO ₃ -N、NO ₂ -N、NH ₄ -N、PO ₄ -P等)	河川部局資料
	工場、事業場、下水処理場からの負荷		下水道統計年報（自治体） （工場、事業場へのヒアリング実施）等
水質、底質、生物量等の存在量に関する情報	水質	各項目（特に生物の生産・生息環境に寄与する物質を中心とする。T-N、T-P、NO ₃ -N、NO ₂ -N、NH ₄ -N、PO ₄ -P、フェオフィチン、DO、等）	公共用水域水質測定結果（環境部局） 広域総合水質調査（環境省） 浅海定線調査（水産庁） 等
	生物	生物（水産資源含む）	水産試験場・水産部局資料、浅海定線調査 農林水産統計年報（農林水産省・水産部局： http://www.maff.go.jp/j/tokei/index.html ） 等
		植物プランクトン、クロロフィル a	公共用水域水質測定結果（環境部局） 広域総合水質調査（環境省） 浅海定線調査（水産庁） 等
		動物プランクトン	水産試験場、水産部局資料
	藻場、干潟、サンゴ礁等の面積	自然環境保全基礎調査（環境省： http://www.biodic.go.jp/kiso/fnd_list_h.html ） 航空写真（国土地理院） 海洋台帳（海上保安庁： http://www5.kaiho.mlit.go.jp/kaiyo/ ） 等	
底質	各項目（硫化物等）	公共用水域水質測定結果（環境部局） 等	

表 II-4(2) 主な調査項目とデータの公表元

項目	詳細項目	データの公表元
社会的状況を把握するための情報		
人口	流域の人口密度、人口の変遷	自治体統計書、国勢調査結果
産業	産業別就業者数、出荷額	政府統計の総合窓口 (e-Stat) (独立行政法人統計センター : http://www.e-stat.go.jp/) 等
土地・ 海域利用状況	宅地、農用地、森林、その他	自治体統計書 政府統計の総合窓口 (e-Stat) (独立行政法人統計センター : http://www.e-stat.go.jp/) 等
	漁場	漁業権区域図 (自治体)、海図、 海洋台帳 (海上保安庁 : http://www.kaiyoudaichou.go.jp/)
	埋立ての状況	自治体港湾計画、地形図、航空写真 (国土地理院) 等
	自然公園、海域公園	自治体資料、自治体環境白書 海洋台帳 (海上保安庁 : http://www.kaiyoudaichou.go.jp/) 等
	海域のレジャーの状況 (潮干狩り、海水浴場 等)	自治体観光部局資料、地域の観光ガイド 海洋台帳 (海上保安庁 : http://www.kaiyoudaichou.go.jp/) 等
下水道	し尿処理人口、 下水道普及率・接続率	下水道統計年報 (下水道部局) 等
施策	既往の環境改善等各種施策	国資料、自治体環境白書・環境基本計画 環境技術実証事業 (環境省 : http://www.env.go.jp/policy/etv/) 新技術情報提供システム (国土交通省 : http://www.netis.mlit.go.jp/) 等
活動	NGO・NPO 等の活動内容	内閣府 NPO ホームページ (https://www.npo-homepage.go.jp/) 環境 NGO 総覧 ((独) 環境再生保全機構 : http://www.erca.go.jp/jfge/ngo/html/main.php) 地球環境パートナーシッププラザ : (http://www.geoc.jp/) 等

1-5 取りまとめ方法



収集した資料を時系列的に比較し、沿岸の海域で生じたイベントと自然的条件、社会的条件等の比較を行うことが基本である。その際、「再生産可能な生物資源を生み出す海の仕組みが十分に機能しているか」という視点から整理する。

【解説】

先に述べたとおり、海域の不具合は様々な問題点が重なりあって生じている。

どのような問題点が重なりあい不具合が生じたのか把握するためには、収集した情報を横並びで見て時系列的に比較検討し、それぞれの問題点の因果関係が視覚的に表現されるとよい。

その際、社会的な情報、自然的な情報の両方の情報を並べて比較することにより、どのような社会的な状況の変化が自然環境の変化と関係がありそうか、大まかに把握することが可能になる（ケーススタディ（STEP1 1-5 取りまとめ方法）が参考となる）。

コラム

●三河湾における環境改善方策の先進的な取組の例

三河湾では、赤潮や苦潮（三河湾では無酸素水塊による青潮のことを「苦潮」と呼ぶ。）により漁業被害等の不具合が生じており、赤潮や苦潮といった問題点を改善するため、過去から様々な調査が大規模に行われてきた。苦潮が発生する原因は、植物プランクトンが海底に沈み、これが分解されるときに酸素を消費し貧酸素状態となることにある。

このような問題を改善するために、干潟や浅場造成等を行い、二枚貝類の生息場を確保することにより、植物プランクトンが増殖しても二枚貝類に摂食され、貧酸素水塊の発生を抑える取組が行われており、生物の生産性が向上してきている。

しかしながら、未だ苦潮が発生しており、近年では、二枚貝類等の生物に摂食・捕食されにくい微小なプランクトン（通称ピコ・ナノプランクトン[※]）が増えている可能性が指摘されている。ピコ・ナノプランクトンが増殖すると、二枚貝類等に摂食・捕食されず上位の生態系に取り込まれることなく枯死してしまい、貧酸素化につながるのではないかと推測され検討が進められている。

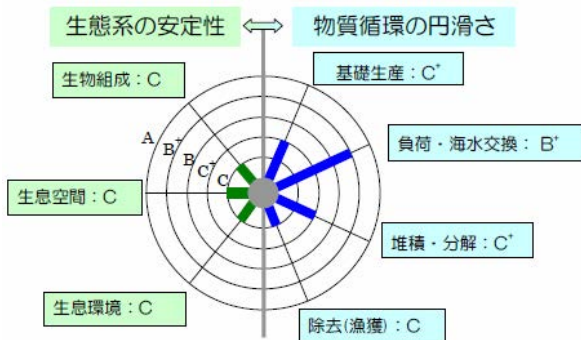
三河湾のヘルシープランでは、この点についても、資料収集や現地調査、増殖実験等を行い、検討が進められた。

[※]大きさが0.2μm～2μmのプランクトンを「ピコプランクトン」、2μm～20μmのプランクトンを「ナノプランクトン」という。通常のプランクトンネットでは採取できず、特殊な顕微鏡等による観察が必要となる。

ケーススタディ (STEP1 1-1 基本情報の把握)

地域の海がどのような特徴を有しているのか、既存資料をもとに大まかに把握することが、海域の物質循環健全化に向けた第一歩となる。

モデル地域である三河湾では、「1-1 基本情報の把握」で参考資料として示した、「平成20年度 全国閉鎖性海湾の海健康診断[®]調査報告書 全国71閉鎖性海湾の海健康診断[®]一時診断カルテ」(海洋政策研究財団、2009)を用いて、大まかな状況を把握している。



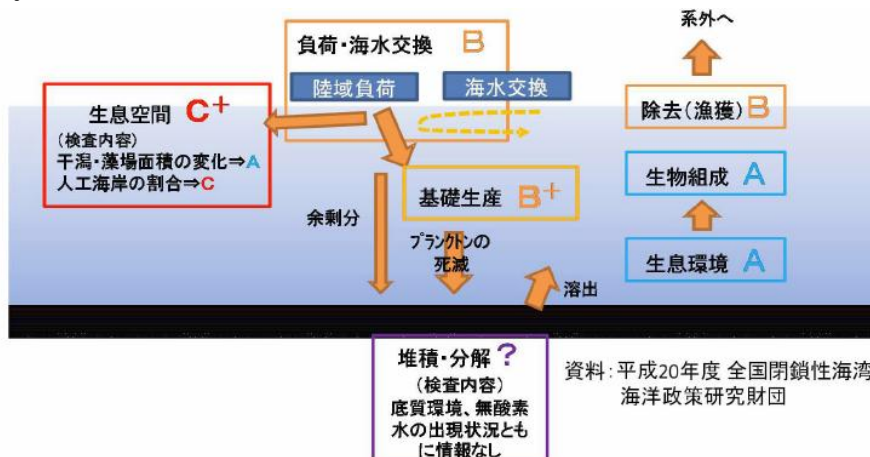
三河湾は、海水交換は比較的良いが、その他の項目については、良い結果とはなっておらず、生物の生産の状況(生態系の安定性)が不健全であることを示している(左図)。

【三河湾】

視点		一次検査項目	評価	
生態系の安定性	生物組成	漁獲生物の分類群別組成の変化	C	C
		海岸生物の出現状況	C	
	生息空間	干潟・藻場面積の変化	C	C
		人工海岸の割合	C	
生息環境	有害物質の測定値	C	C	
	無酸素水の確認頻度	C		
物質循環の円滑さ	基礎生産	透明度の変化	B	C+
		赤潮の発生頻度	C	
	負荷・海水交換	負荷と滞留のバランス	B	B+
		潮位振幅の変化	A	
	堆積・分解	底質環境	B	C+
		無酸素水の出現状況	C	
除去(漁獲)	底生魚介類の漁獲量	C	C	

注) 平成20年度全国閉鎖性海湾の海健康診断 調査報告書(平成21年3月、海洋政策研究財団)及び三河湾応基資料より評価した結果を示す。

三津湾においても、三河湾と同じ資料を用いて、基本情報の把握を行っている。三津湾では、上図の円グラフの情報を、物質循環のフロー図として表現する工夫が行われている(下図)。



資料: 平成20年度 全国閉鎖性海湾の海健康診断、海洋政策研究財団

調査項目は栄養塩類の動きに着目し、陸域から海域に至る循環過程を把握する必要がある。また、自然的な情報に加えて、社会的な情報についても収集する必要がある。モデル地域である三河湾では、以下のように、陸域・海域を含めて物理的な流動に関する湾の地形や海岸線の状況を整理し、流動に影響を与える気象や河川の状況、水質そのものの情報や水質に影響を与える社会条件、生物の生息状況や漁獲の状況等について把握している。

1. 湾の成り立ち
 - 1.1 地盤 (地形・地質)
 - 1.2 地形 (海底地形、水深の変遷、現在の汀線形式)
 - 1.3 人工的な改変 (埋立及び海岸線、港湾・漁港)
2. 湾への外力 (気象・海象等)
 - 2.1 気候
 - 2.2 気象 (気温、降水量、風向・風速)
 - 2.3 流入河川 (流入河川位置、流量)
 - 2.4 流況
 - 2.5 外海水の状況
3. 水塊構造
 - 3.1 水温・塩分の分布
 - 3.2 水質分布
4. 底質分布
5. 負荷
 - 5.1 流域範囲
 - 5.2 社会条件 (人口、就業者数、出荷額等、土地利用状況、自然公園等)
 - 5.3 沿岸域の利用状況の変遷
 - 5.4 発生負荷量
 - 5.5 負荷の処理状況
 - 5.6 主要河川の負荷 (水質、人工構造物、土砂供給と土砂採取)
6. 生物生産 (藻場、干潟・浅場、生物)
7. 生じている障害 (発生状況、発生メカニズム、被害状況)
8. 漁業 (漁業経営体数、漁獲量、漁業による窒素・リンの回収)
9. 攪乱 (主要な風水害、地震及び津波、台風及び高潮、洪水等)
10. 流域における施策の実施状況 (海域を含む)

物質循環の問題点や不具合の原因を検討する手がかりとして、地域の海にこれまでどのような変化が生じてきたのか、その変遷を把握することが重要である。モデル地域では、調査項目により収集できる年代は異なるが、1950年代頃から情報を収集することにより、変遷を把握している。

●気仙沼湾（不具合の問題点がある程度見当が付いている例（湾奥の底質悪化））

1950年代から現在に至るまでの情報を収集

- ・湾奥では1950年代から底質の悪化が進み、1970年代初頭には湾奥～湾央で水産用水基準を超過していた。
- ・1976年から1987年にかけて、湾奥において大規模な浚渫が実施されていた。延べ浚渫面積は32万m²、総浚渫土量は19万m³にのぼる。
- ・湾奥には1960年代以前には、約39haの干潟が存在したが、現在では消失している。

●播磨灘北東部（改善したい項目がある程度絞り込んでいる例（栄養塩類の濃度低下））

1960年代から現在に至るまでの情報を収集

- ・かつては下水道整備率が低く（1980年代で40%程度）、加古川の栄養塩類濃度は高かった（T-N：約3.0mg/L）。近年の下水道整備率の上昇（90%程度）や総量規制等の成果により、河川（加古川）のT-Nは、最も高かった頃（1982年 約3mg/L）の3分の1程度（2009年 約1mg/L）まで減少した。
- ・栄養塩類濃度が高かった1980年代は赤潮の発生回数も50回/年と多く、近年は20回/年程度に減少した。

●三河湾（多様な変化が生じており、問題点が複雑な例）

1960年代から現在に至るまでの情報を収集

- ・1960～1970年代に、干潟・浅場の減少、陸域からの流入栄養塩類の増加、河川における人工構造物の設置といった三河湾の環境を変化させる可能性があるインパクトがあった。
- ・1970年代に基礎生産（植物プランクトン）の増加、貧酸素水の発生範囲の拡大が起きた。同時期に干潟・浅場の減少が起こっていた。

●三津湾（生物の成長が鈍化しているが、問題点が不明である例）

1950年代から現在に至るまでの情報を収集

- ・流域の状況について見ると、1950年代からゆるやかに流域の人口が減少し、下水道が2007年から稼働を始める。
- ・海域環境の変化としては、1950年代から1970年代にかけて、沿岸整備の推進や干拓事業が実施されてきた。カキ養殖は1950年代から1960年代にかけて急速に展開したが、以後、収穫量は概ね横ばいとなっている。
- ・生物に着目すると、1980年代からアサリが急激に減少し、底魚を含めた漁獲量も1960年代から1990年代まで減少傾向を示し、その後ゆるやかに回復している。特にアマモの繁茂が2000年代後半から急増している特徴がある。

調査方法は既存資料の収集を初めに行い、収集できない項目等が生じた場合には、関係機関や有識者からヒアリングを行う必要がある。

モデル地域では、行政の各種調査結果や論文、水産試験場等の関係機関へのデータ提依頼、漁業者等へのヒアリング等を行い、資料の収集を行っている。

以下に各地域の特徴的な調査方法について例を示す。

●気仙沼湾

・水産試験場から情報収集

→養殖が盛んであり、水産試験場に情報が集められていた。水質に加え、底質、ベントス、プランクトンなど情報を入手している。

・論文検索による情報収集

→公的な資料の他に、赤潮発生の変遷と水質との関係や、養殖種の漁獲高の変遷などの情報を入手している。

・漁業者へのヒアリング

→船舶から排出される排水（保冷に使った氷が魚の血と共に排水されている）の影響等が収集出来た。

●播磨灘北東部

・大学より入手

→モデル地区付近で水質調査を行っている大学より水質の情報を収集している。

・事業者へのヒアリング

→地域の事業場から排出される排水の水質・量など、公的に集まらない情報を収集している。

●三河湾

・環境データベースの検索

→三河湾は、これまで多くの研究がなされており、「Mikawa データベース」や「伊勢湾環境データベース」といった地域の海の情報を集約した HP があり、ここからも多くの情報を入手している。

●三津湾

・漁業者へのヒアリング

→三津湾は公的な資料も少なく、調査研究も多くないため情報が乏しい。漁業者へのヒアリングにより、藻場の分布状況や過去からの海の変化について情報を入手しており、情報が少ない場合に有効な方法である。

ケーススタディ (STEP1 1-5 取りまとめ方法)

地域の海でどのような問題点が重なりあい不具合が生じたのか把握するためには、収集した情報を横並びで見て時系列的に比較検討し、それぞれの問題点の因果関係を視覚的に表現するとよい。モデル地域では、環境の悪化時期と社会的条件と比較を行ったり、時間的な変化と量の関係が分かるような工夫を行い、視覚的に把握しやすい取りまとめが行われている。

●気仙沼湾の取りまとめ例 (ある程度問題点が把握できている例)

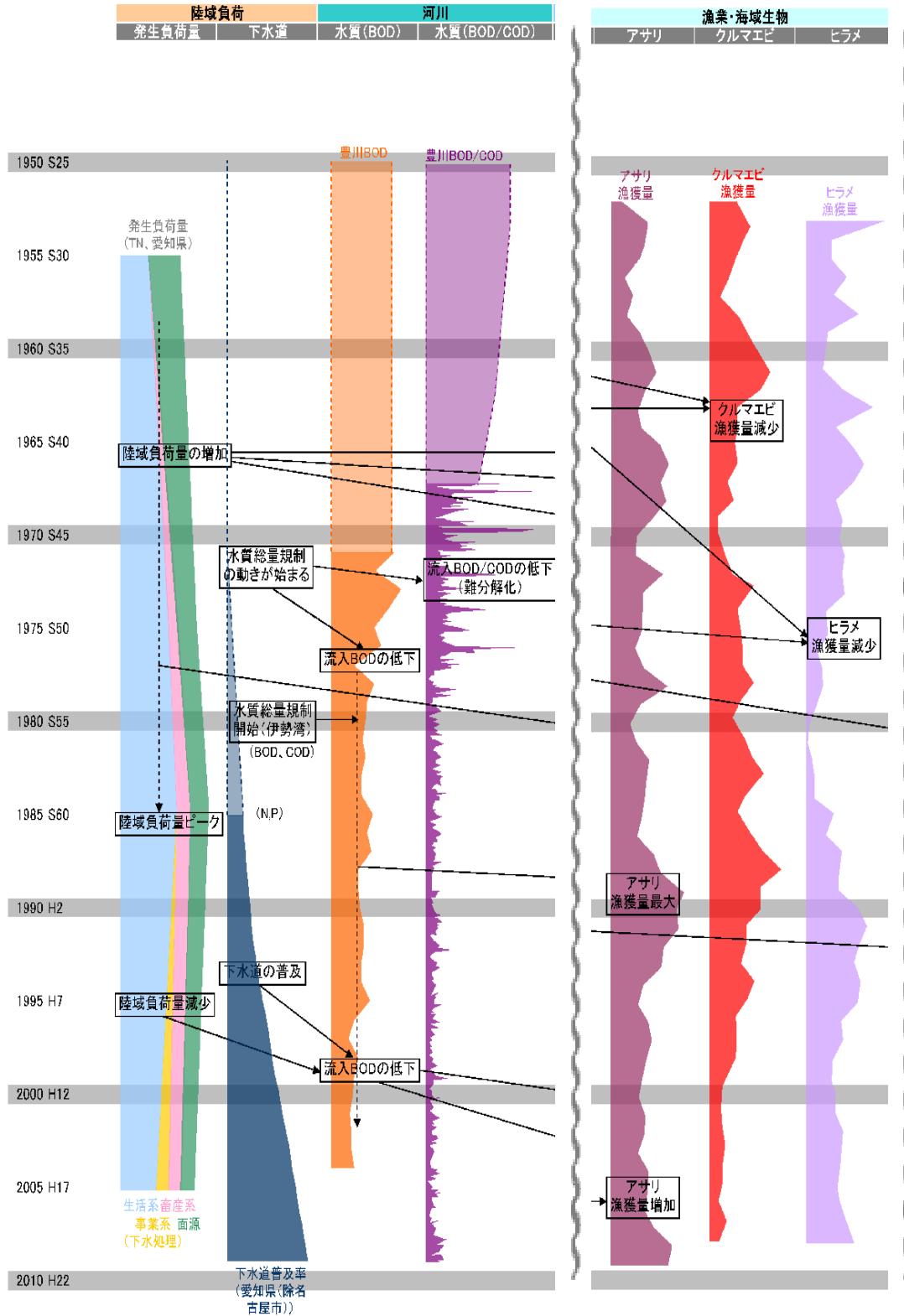
気仙沼湾では、過去に水質悪化による大規模浚渫が行われたことが分かっており、この以前から環境が悪化していたと想定されたことから、「悪化期」、「対策期」、「改善期」に分けて、どのような社会状況の変化と環境が変化したかを時系列的に取りまとめている。

		悪化期		対策期		改善期	
項目		1950年代	1960年代	1970年代	1980年代	1990年代	2000年代
インパクト		流入水質の悪化(ペド等) ※ペド：油分と蛋白質を含む粘着性の物質 ●干潟(約39ha)の消失					
湾内の環境	水質	CODピーク		やや低下		低下し、安定	
		水質悪化(ペドの流入)		T-Nピーク	やや低下	減少傾向	
				T-Pピーク		低下し、安定	
	底質	緩やかに悪化	著しく悪化	湾全体では横ばいに推移			(湾奥～湾奥では悪化傾向)
貧酸素の発生 (DO4.3mg/L以下)		1970年代以前の発生状況不明		湾奥～湾奥で発生		1990年代以降減少 (現在でもほぼ毎年発生)	
	赤潮の発生	赤潮発生開始 (毎年発生)		湾奥を中心に発生		1990年代以降減少 (現在でもほぼ毎年発生)	
養殖業	湾奥でカキのへい死、ノリの枯死 湾奥(鼎浦湾)の漁場環境の悪化		ノリ・カキ生産量の減少	養殖種を変えつつ、生産量増加傾向 ●赤変力キ発生 (底生魚介類の漁獲量は低下傾向)			
対策			下水道整備(1984年供用開始) 大規模浚渫(湾奥)1978年～1987年 排水規制(1971年一律排水基準、1972年県特別排水基準)				

(平成22年12月時点での整理結果)

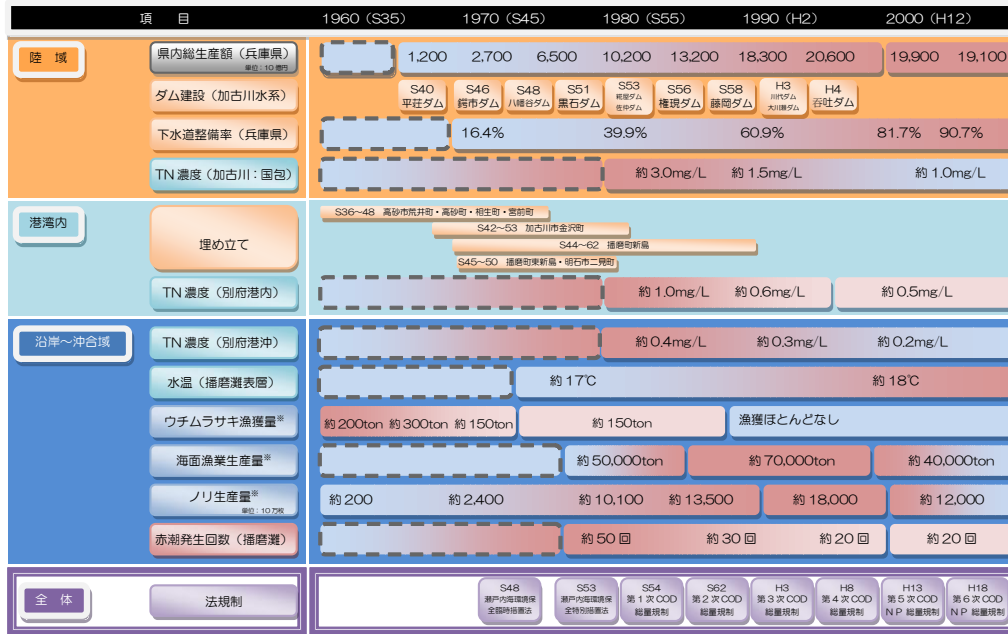
●三河湾の取りまとめ（問題点の把握が困難で、多くの事象が関連している例）

三河湾では、各項目の時間的な変化と量の関係が分かるように、変化の程度を相対的にグラフ化している（下図はグラフの一部を抜粋）。



●播磨灘北東部の取りまとめ（想定された課題を中心にまとめた例）

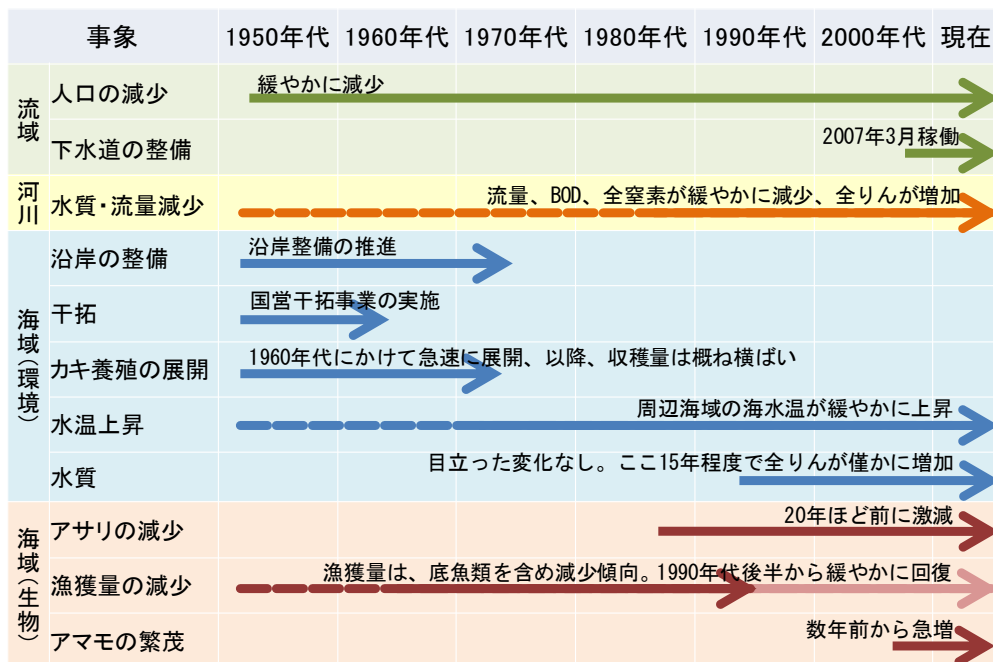
播磨灘では、貧栄養（T-Nの濃度減少）の改善が課題の一つとなっていることから、T-Nの濃度と関わりのある要素について、時系列的に示している。また、陸～沖合のT-Nの濃度変化にも着目している。



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）

●三津湾での取りまとめ（生物の成長（魚介類）との関係に着目して整理した例）

三津湾では、数年前から底層付近におけるカキの斃死やアサリの減少など生物の成長が鈍化しているとされてきた。既存文献に加えて、漁業者へのヒアリング等も行い、アサリの減少やアマモの繁茂状況についても整理がされている。



※破線は情報不足のため状況が不明な事象

STEP2 問題点の抽出

「STEP1 現状把握」⇒ 問題点の抽出 ⇒ 「STEP3 健全化に向けた課題の抽出」へ

既存資料や、ヒアリングの取りまとめ結果から地域で生じている不具合を引き起こしている問題点の抽出を行う。

なお、不具合を引き起こしている問題点と考えた自然的条件や社会的条件と不具合の関係性が不透明な場合には、必要に応じて現地調査や数値シミュレーションによる解析を行う。

【解説】

ここまで、説明した情報の収集・整理を行うと、対象とする海域で生じてきた自然的・社会的変化と海域で生じている不具合の概要が把握できてくる。そこで、「1-1 基本情報の把握」において想定した不具合の原因となっている物質循環上の問題点の抽出を行う。

なお、「1-1 基本情報の把握」において、不具合の原因となっている問題点が既に分かっている場合には、STEP3に進む。

「1-5 取りまとめ方法」において、時系列的に情報を整理し、どのような自然的・社会的変化が積み重なって、海域に不具合が生じてきたかを整理した。この整理結果を基に物質循環に係る「関連図」を作成することにより、不具合の原因となる問題点の抽出を行う。

なお、数値シミュレーションを実施した場合、物質循環の状況が定量的に時系列で把握できるため、可能であれば実施することが望ましい。

「関連図」の作成や数値シミュレーションを実施し問題点の抽出を行う際には、生じている不具合の空間スケールにも留意する必要がある。湾内の局所的な不具合である場合、陸域・海域を通じた栄養塩類の循環バランスの崩れというよりも、構造物や養殖施設等の局所的な要因によって不具合が生じている可能性もある。このような場合には、沿岸の海域における“ヘルシー”な状態（「再生産可能な生物資源を生み出す海の仕組みが十分に機能していること」）が損なわれているとの結論は得にくい。そのため、局所的な不具合のみ生じている場合には、「STEP3 健全化に向けた課題の抽出」で解決すべき課題の抽出を行う際に、「対症療法」の選択のみで、不具合の改善が見込まれる可能性もある。ただし、局所的な不具合が原因となり、他の場所に影響を及ぼしているような場合には、問題点として抽出できる。

また、瀬戸内海に位置する湾では、隣接する湾・灘の影響を受けて湾全体に不具合が生じる可能性もある。このような場合には、その湾に注ぐ河川流域や湾自体の問題点ではなくなるため、隣接する湾・灘も含めた問題点を抽出し、問題点を共有する関係者を含めた検討が必要となる。その際には、「STEP1 現状把握」で行った調査範囲を広げて、STEP1から再度検討を行う必要がある。

なお、STEP1である程度問題点を想定して現状を整理し取りまとめた場合、想定した問題点とは異なる結果となる場合もある。例えば、当初生物の成長が悪いのは、下層の貧酸素水塊の影響だと想定し調査を進めたところ、貧酸素水塊はあまり発生していなかったような場合などが考えられる。そのような場合にも、「STEP1 現状把握」に立ち戻り、想定していた問題点以外のについても情報収集を行い、検討を行う必要がある。

【関連図の作成】

①インパクト・レスポンスフロー図（モデル地域の事例（気仙沼湾、三津湾参照））

インパクト・レスポンスフローは、ある原因（インパクト）が引き起こす結果（レスポンス）を検討し、その因果関係を図としてつなげていくものである。そのため、不具合が把握できている場合、不具合を中心に置き、関連する事象をつなげていくと、関連する事象が可視化され、問題点を抽出しやすい。

②構造図（モデル地域の事例（三河湾参照））

不具合は生じているが、その原因となる問題点が見えづらく、どこに問題があるのか不明確な場合には、まず、物質循環がどのような状態であるのか、物質循環に係る要素同士のつながりを考えた物質の流れの構造図を作成し、過去と現在の比較により、構造のどこに違いが生じてきたかを把握することにより、問題点が浮き彫りとなってくる。

③インパクト・レスポンスフローの定量的な把握方法

図 II-4 に全国の閉鎖性海域で一般的に見られるような基本的な物質循環のフローを示した。①に示したインパクト・レスポンスフロー図は、定性的に関連を見るのに適しているが、図 II-4 に示すような物質循環のフローを作成し、各要素（図中の□囲みや○囲み）の栄養塩類のストック量と、「→」で示した流れの移行量を記載していくと、定量的に物質循環の状況を把握でき、どこで物質が過剰・不足しており、どこで滞っているのかを視覚的に認識することができる。

ただし、物質循環フローを作成するためには、既存の情報が少ない場合には、詳細な現地調査を行う必要があるため、必要に応じて、フロー図の簡略化等を行い定量的に把握するとよい。

図 II-4 は一般的なフローであるため、地域によっては図 II-4 の各要素の中をさらに細かく分類する必要も生じるものと考えられるので、地域の実情に応じて各要素をクローズアップしたフロー図の作成も行うとよい。

例えば、モデル地域である三河湾では、微小プランクトン（ピコ・ナノプランクトン）が基礎生産としても重要であると分かってきており、これに着目すると図 II-5 のようなフローが考えられる。

底質環境の悪化が問題となっている海域では、有機物の沈降と、底質からの栄養塩類の溶出を要素として取り入れた図 II-6 のようなフローが考えられる。

播磨灘北東部では、陸域から流入する栄養塩類について、生物に利用しにくい形態（難分解性）が増えているとの指摘もあり、栄養塩類の形態も要素として取り入れると図 II-7 のようなフローが考えられる。

このような図を作成し、それぞれの矢印や要素に栄養塩類のフロー量やストック量を当てはめていくと、定量的に物質循環の状況を把握できる。

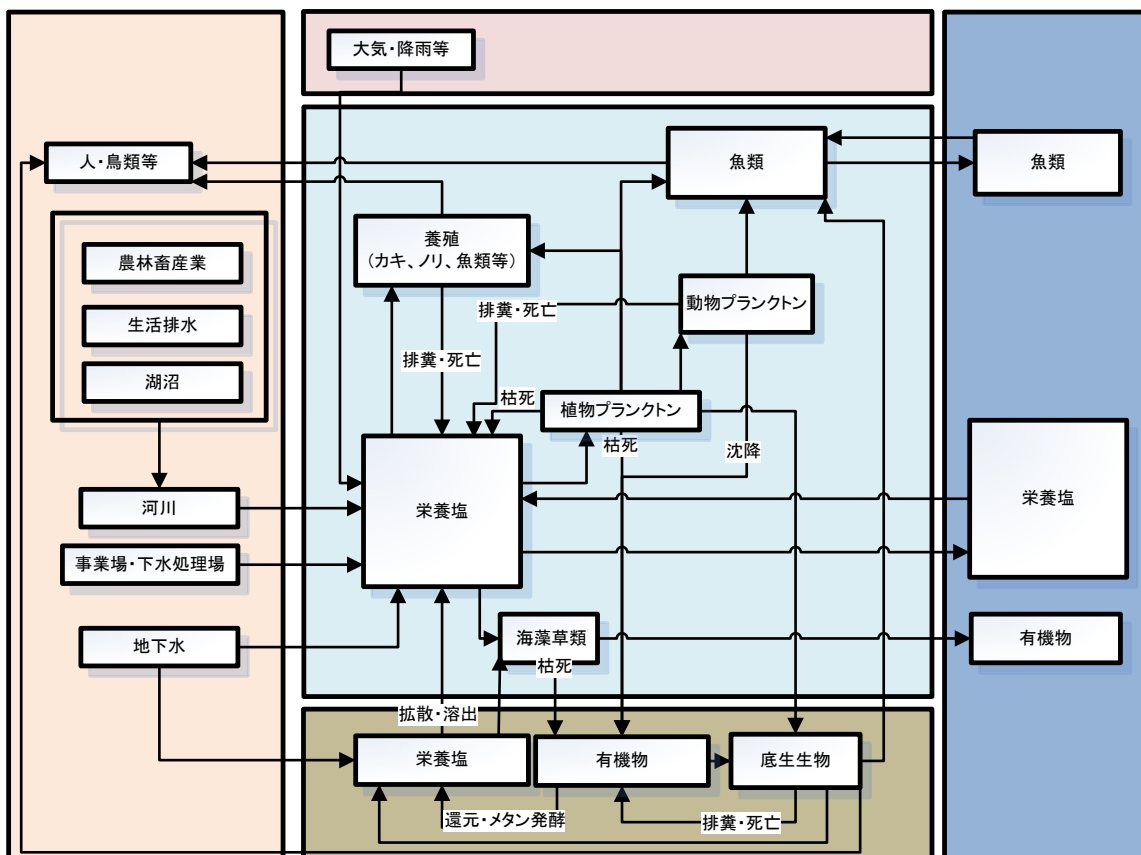


図 II-4 閉鎖性海域の物質循環の大枠

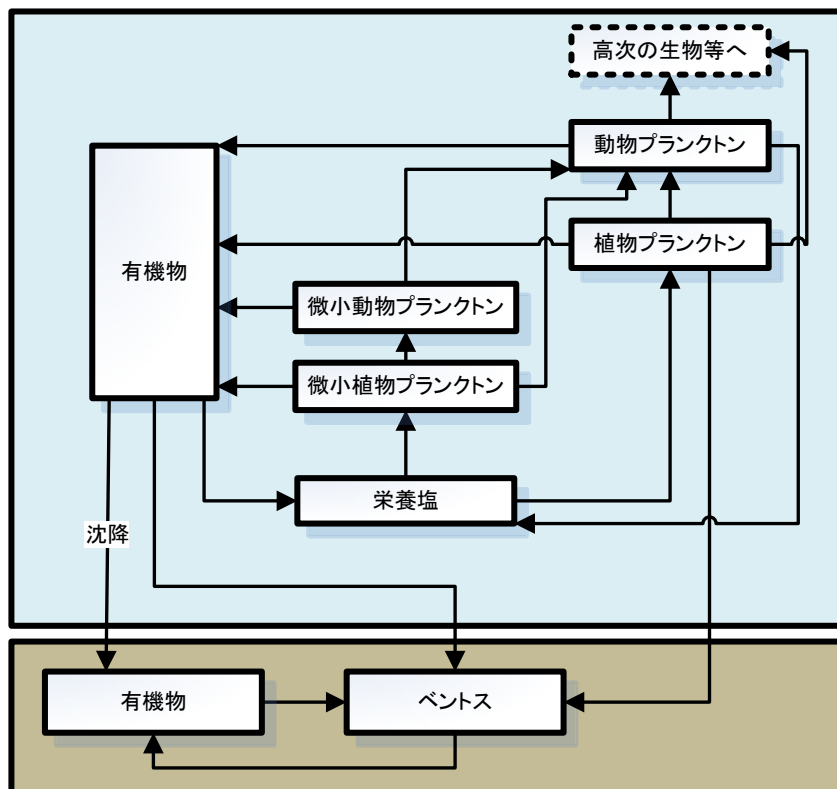


図 II-5 物質循環に関連する要素 (微小プランクトンに着目したパーツ)

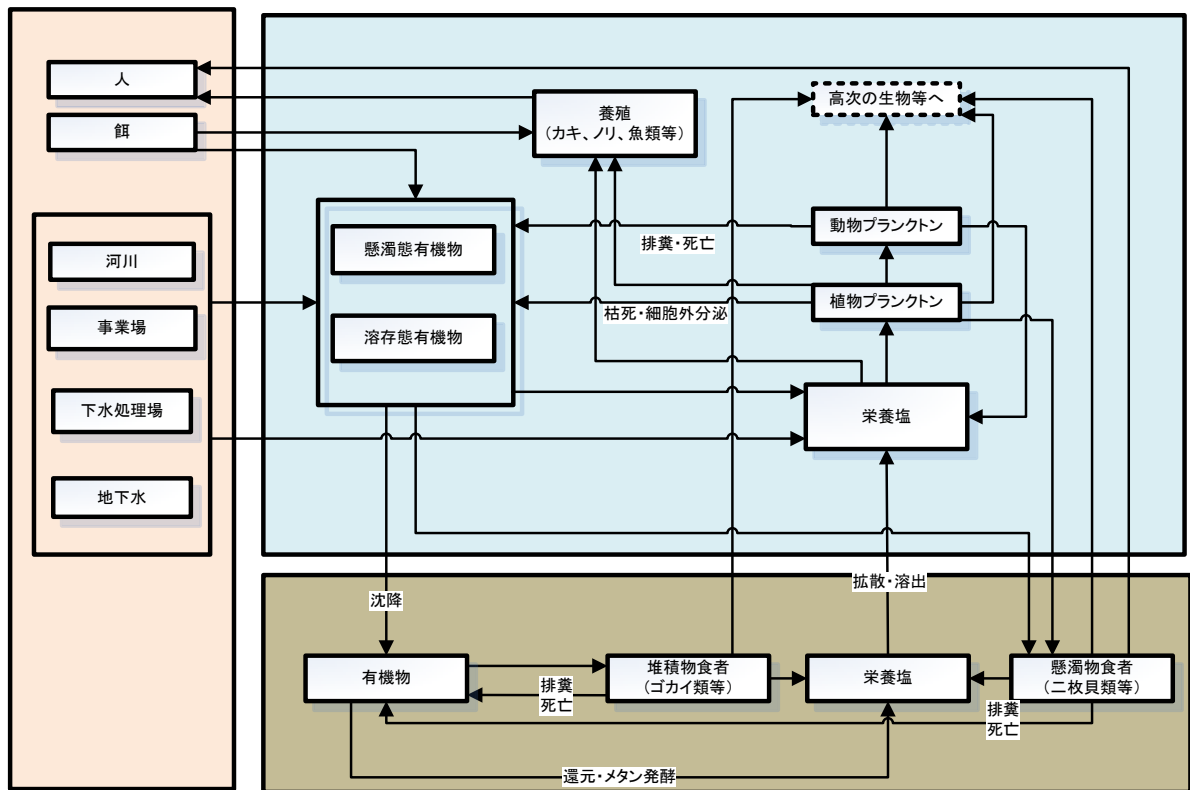


図 II-6 物質循環に関連する要素（底質の悪化に着目したパーツ）

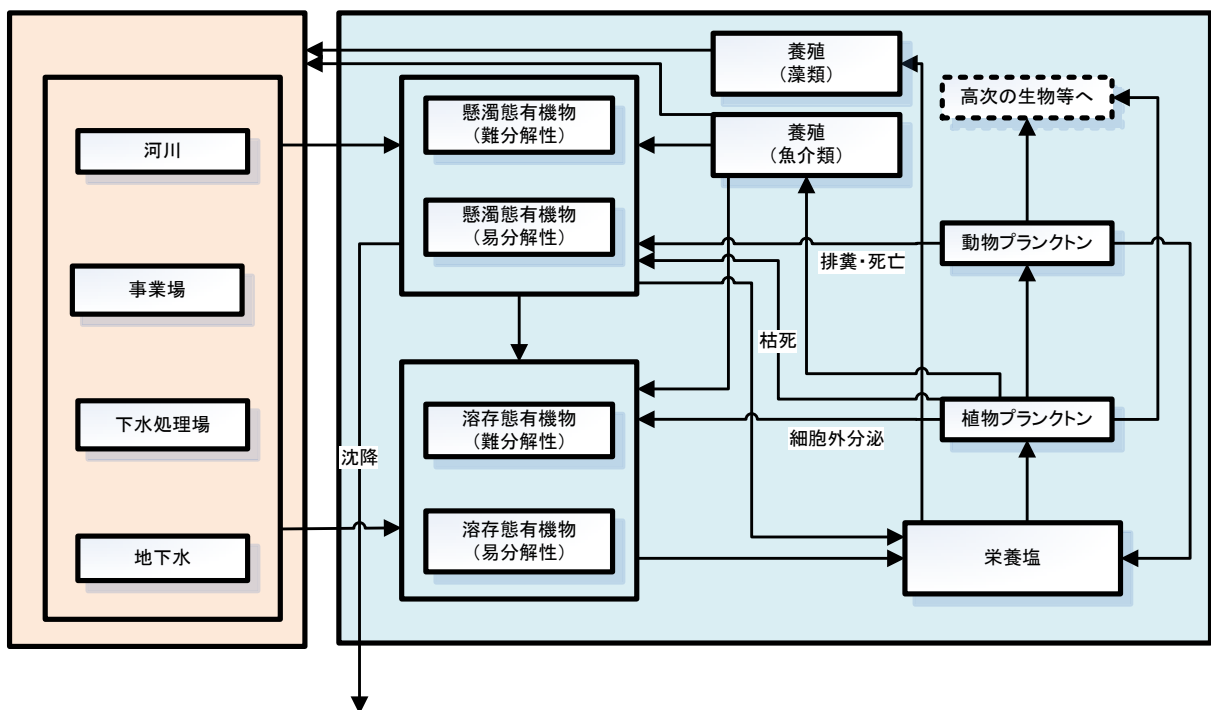


図 II-7 物質循環に関連する要素（栄養塩類の形態に着目したパーツ）

【数値シミュレーションの実施】

物質循環の状況を定量的に把握するには数値シミュレーションの実施が適している。数値シミュレーションは海域に関わる主要な物質の循環過程と構成要素を踏まえて構築するものであり、数値シミュレーションモデルを構築して計算を実施することにより、対象とする海域における主要な物質循環状況を定量的に時系列で明らかにすることができる。これらの結果は海域の物質循環の理解や不健全な状況のメカニズムの理解に有益な情報となるものである。

物質循環を把握するための数値シミュレーションは、①流動モデル、②生態系モデルの大きく2つのパーツからなり、沿岸域の特徴を考慮したモデルとする必要がある。

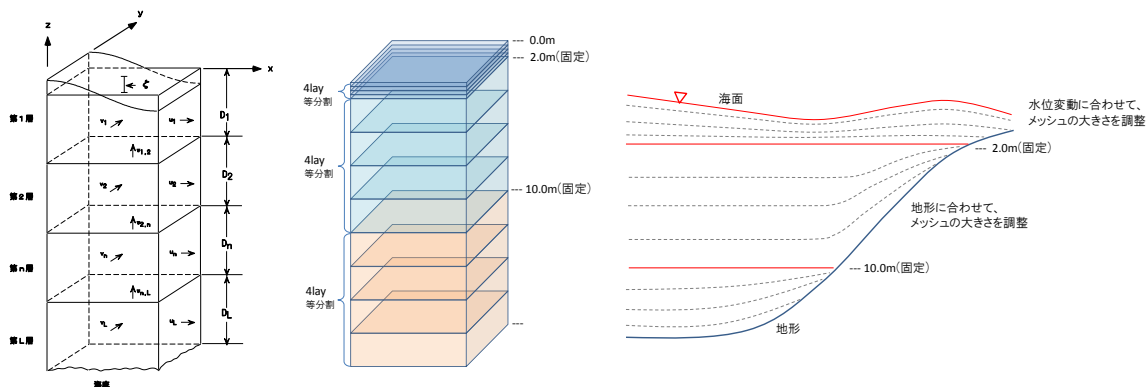
①流動モデルの構築に関する留意点

河川等からの淡水流入がある場合、淡水は海水に比べて密度が小さいため、海水の表層を薄く広がる性質がある。そのため、表層で生じる現象に着目する必要がある場合には、モデルにおいても表層の計算を詳細に行う必要がある。

また、潮汐によって水位が変化することから、潮汐による変化も考慮できるモデルとする必要がある。

例えば、一般的に用いられる多層レベルモデルに比べ、表層の変化をより詳細に計算できる一般座標系による層の構築なども考えられる（図 II-8）。

上下方向の詳細化に加えて、水平方向についても把握したい情報に応じて、計算格子の細分化を行う必要があり、入れ子構造の格子配置なども考えられる。



多層レベルモデルの例 一般座標系の例（水位変動に合わせて計算格子の厚さも変化するのが特徴）

図 II-8 表層に着目した計算格子の例

②生態系モデルの構築に関する留意点

栄養塩類の循環状況を把握するためには、栄養塩等の濃度の変化に応答する動植物の増殖、底質浄化機能や底生生物相の回復、これらの相互作用が及ぼすさらなる水質変化といった相乗効果についても考慮できることが必要である。

そのため、構築するモデルは、動植物、底生生物、有機物、栄養塩類、溶存酸素など閉鎖性海域における物質循環を考える上で主要な役割を担っている要素で構成し、海域における水質や底質、海棲生物の相互作用を窒素、りん及び炭素の生体元素で表現可能なものとし、浮遊生態系（水質）と底生生態系（底質および底生生物）を同時に解析できるモデ

ル構造を有する水質-底質結合生態系モデルであることが望ましい (図 II-9)。ただし、現時点の生態系モデルでは、魚類等の高次の生態系も含めた計算には限界があり、海域のすべての現象がモデルにより解析できるわけではないことに留意する必要がある。

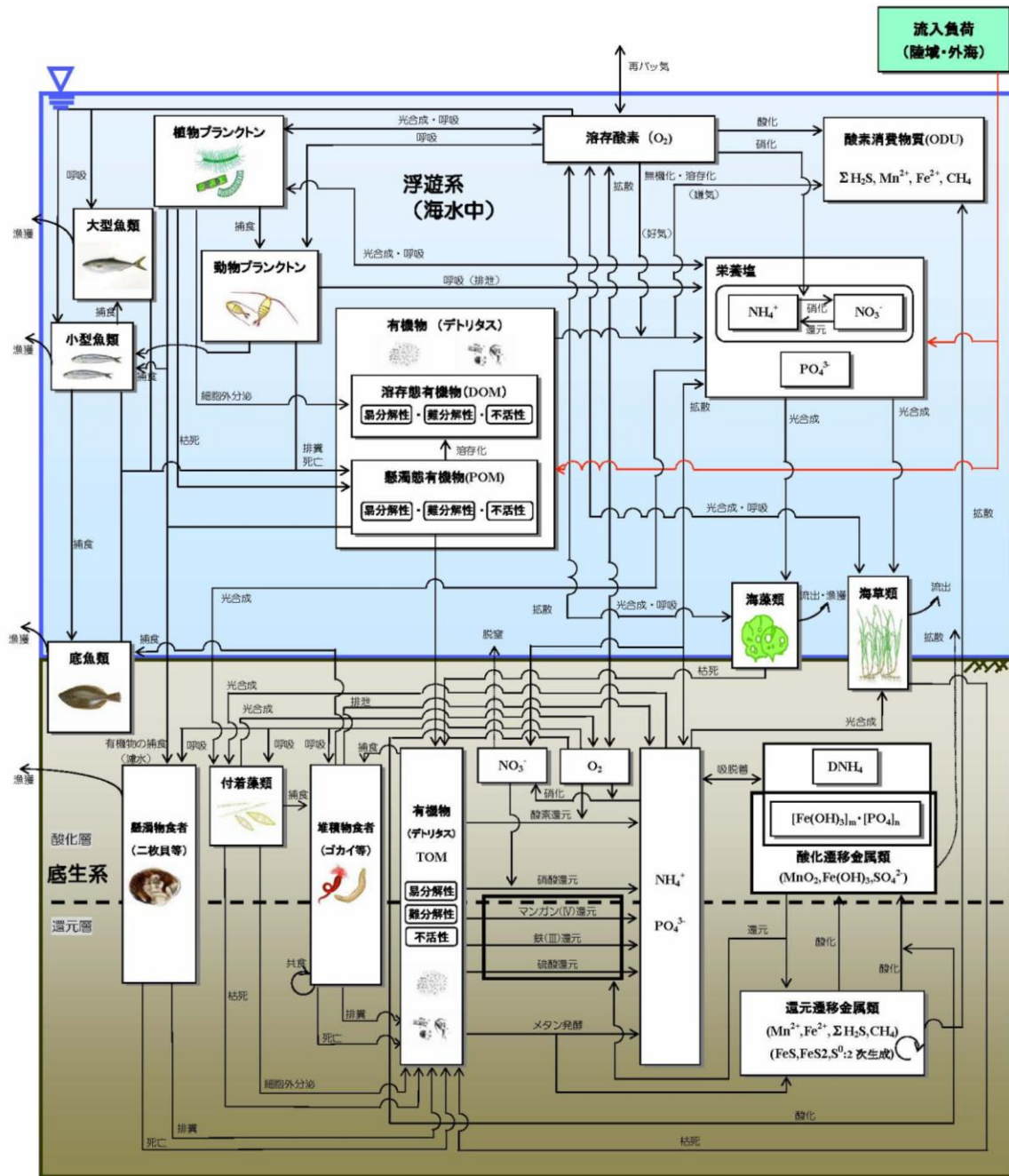


図 II-9 水質-底質結合生態系モデルの例

ケーススタディ (STEP2 問題点の抽出)

既存資料や、ヒアリングの取りまとめ結果から地域で生じている不具合の原因となっている問題点の抽出を行う。問題点が把握しやすいモデル地域では、インパクト・レスポンスフローの作成等により不具合の原因を推定することができたが、検討当初に不具合と原因と考えた自然的条件や社会的条件との関係性が不透明な場合でも、現地調査や数値シミュレーションにより問題点が見えてきたモデル地域もある。

●気仙沼湾での例 (ヒアリングを通じて新たな問題点が見えてきた例)

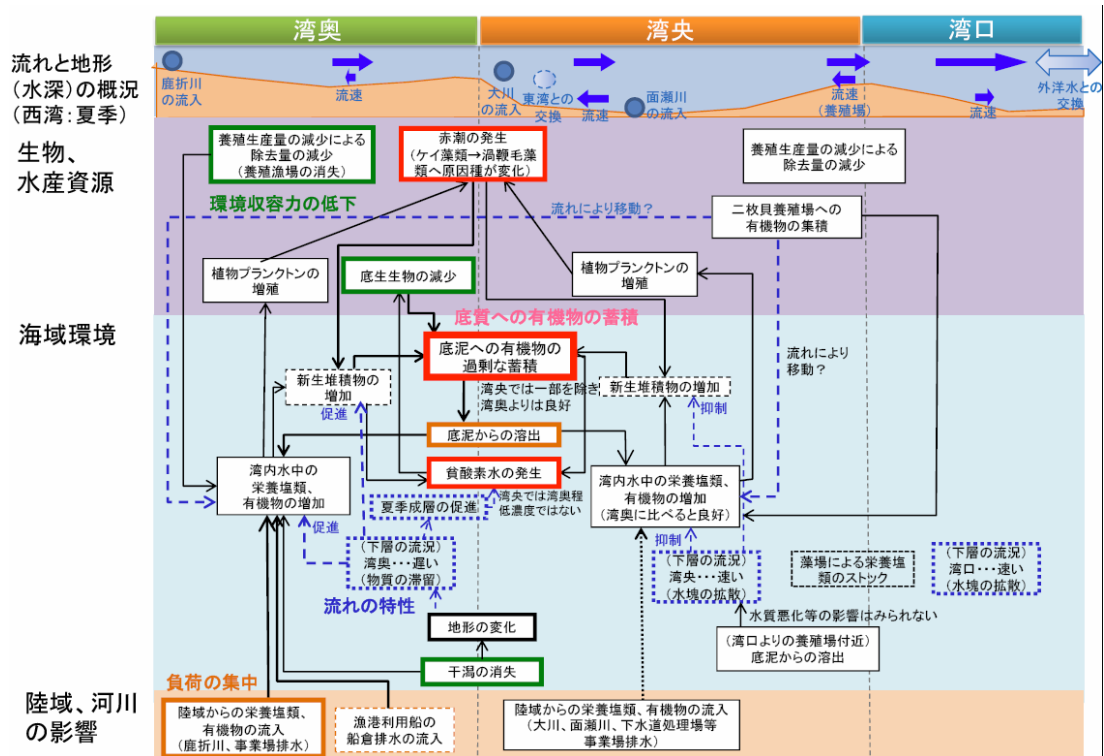
気仙沼湾での問題点として、湾奥部の水質や底質の悪化が挙げられていた。当初、湾奥部の水質や底質の悪化の課題の1つとして、河川や事業場等の陸域からの流入負荷を想定していた。

既存資料調査や関係機関へのヒアリングを通じて、水質悪化の課題として、漁船の船倉排水 (漁獲物の血液等が混じった排水) からの負荷も考慮する必要があることが浮かび上がった。

●気仙沼湾のインパクト・レスポンスフロー

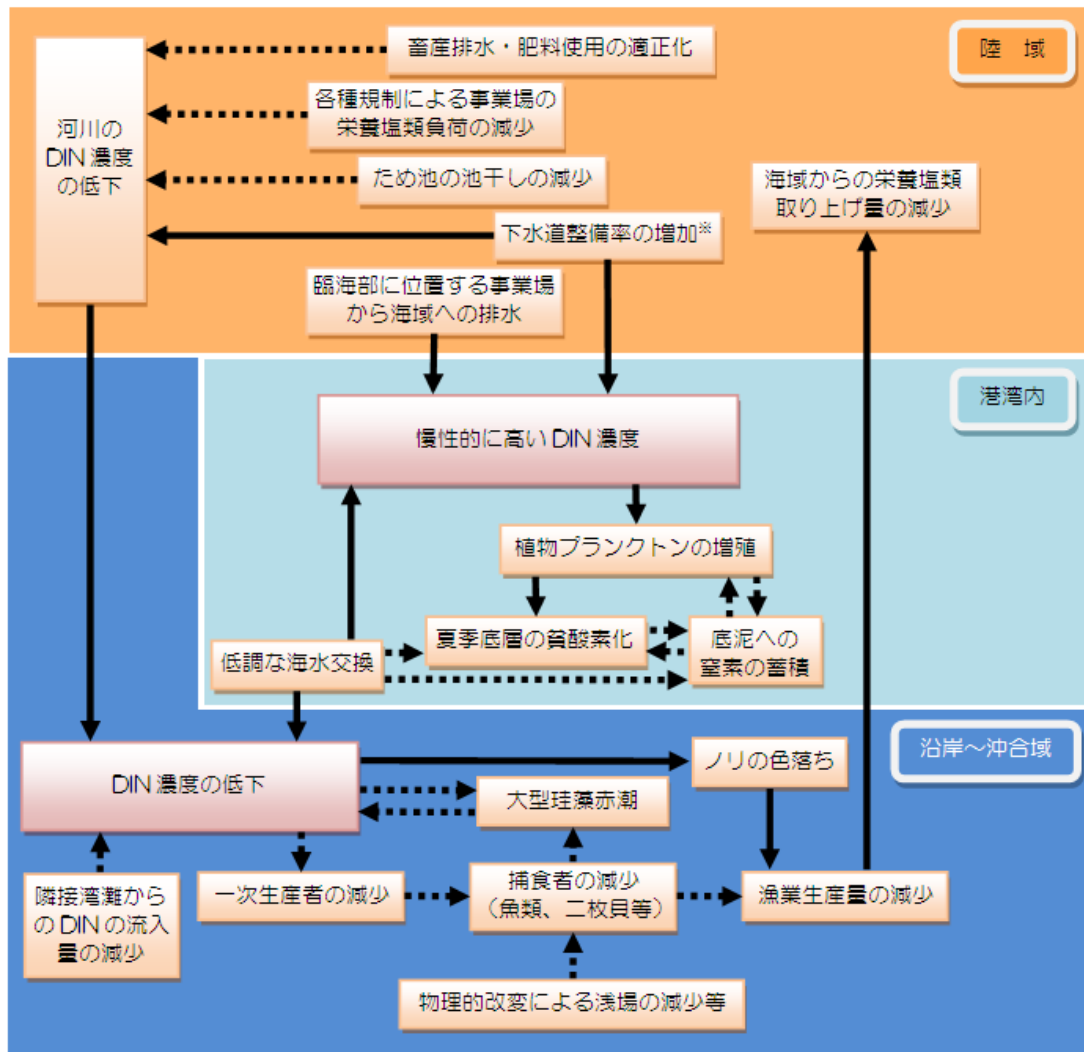
気仙沼湾では、「底泥への有機物の過剰な蓄積」や「貧酸素水塊の発生」を問題点の中心に置き、この問題に関連する事象を定性的に関連付けている。

さらに湾奥、湾央、湾口という地形的な特徴も考慮し、物質がどのように循環しているのかを模式化している。



●播磨灘北東部のインパクト・レスポンスフロー

播磨灘北東部では、海域の貧栄養状態の原因として陸域からの栄養塩類の流入の減少を想定していた。現地調査により海域を細かく見ると、港湾内に高濃度の栄養塩類が存在していることが分かり、港湾内～沖合域の栄養塩の偏りに着目して模式化している。



→ 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で、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)

●三津湾での例（ヒアリングや現地調査を通じて不具合が見えてきた例）

三津湾では、不具合として底層付近のカキの斃死が挙げられ、底層付近の貧酸素化が問題として想定された。

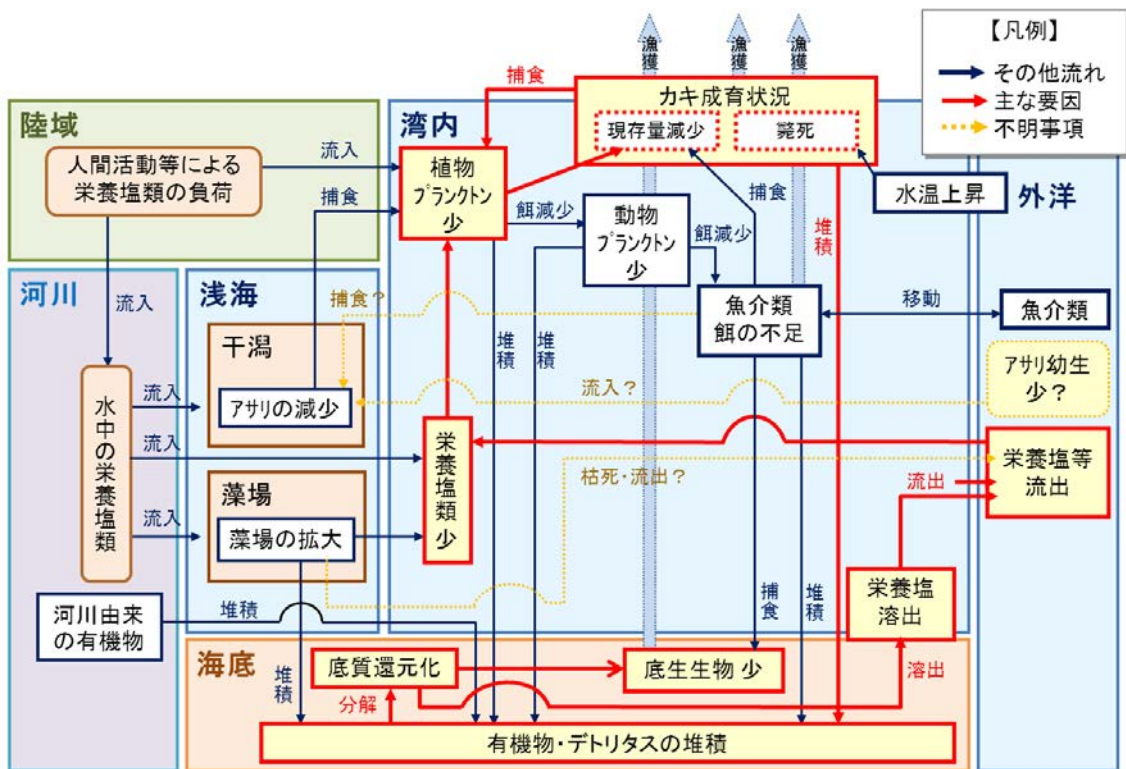
漁業者へのヒアリングを行ったところ、カキについては食害の影響も大きいとの不具合や、カキ以外にアサリについても 20 年前ほどから激減していることなどの不具合が浮かび上がった。現場調査を行った結果、貧酸素水塊の形成はほとんど認められなかったが、カキ養殖場直下の底泥中の硫化物濃度が高いことが分かった。

また、湾内の栄養塩類の循環の状況に関する知見が不足していたことから、シミュレーションにより循環状況を検討したところ、三津湾は海水交換率が高く、湾内の水質は瀬戸内海の水質に大きく左右されることが分かった。

●三津湾のインパクト・レスポンスフロー

三津湾では、漁獲による取り上げに関連する事象を定性的に関連付けている。

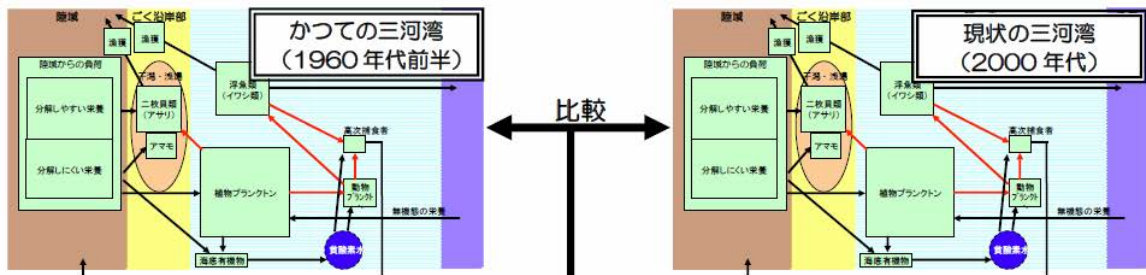
また、瀬戸内海の一部の湾であることから、外洋（瀬戸内海）との関係にも着目して問題点を抽出している。



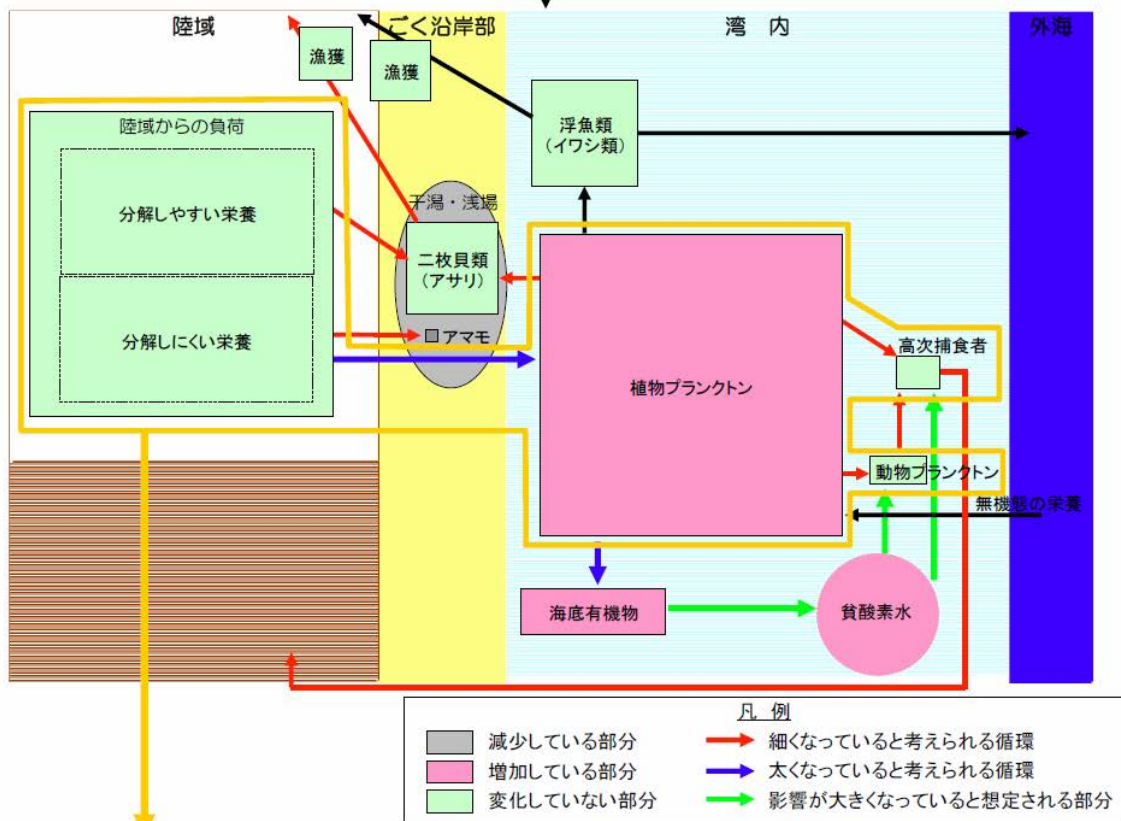
●三河湾の構造図の比較図

三河湾では陸域から海域にかけての物質循環の構造図の作成を健全であったと設定した過去（1960年代）と現在について作成している。

構造図の比較を行うことにより、過去と現在で物質循環のどこに変化が出てきたのか検討を行い、問題点の抽出を行っている。



1. 各年代の図を比較し、変化箇所を解明する



2. 比較結果（変化図）から滞りが生じていると考えられる箇所を見極め、滞りの有無を検討する

【例】黄色枠内の抜粋



滞り箇所 a 滞り箇所 b

→滞り箇所 a, b のどちらか、または両方で滞りが生じていると考えられる。
 その他の循環についても同様に検討を進め、物質循環全体の中で滞りの生じている箇所を明らかにする。

STEP3 健全化に向けた課題の抽出

「STEP2 問題点の抽出」 → STEP3 健全化に向けた課題の抽出 → 「STEP4 基本方針の決定」へ

抽出した問題点について、物質循環の健全化の観点から有効な対策を検討することを目的として、問題点に係る自然的条件や社会的条件との関係性を整理し、物質循環の健全性を損ねており、改善すべき課題を抽出する。

【解説】

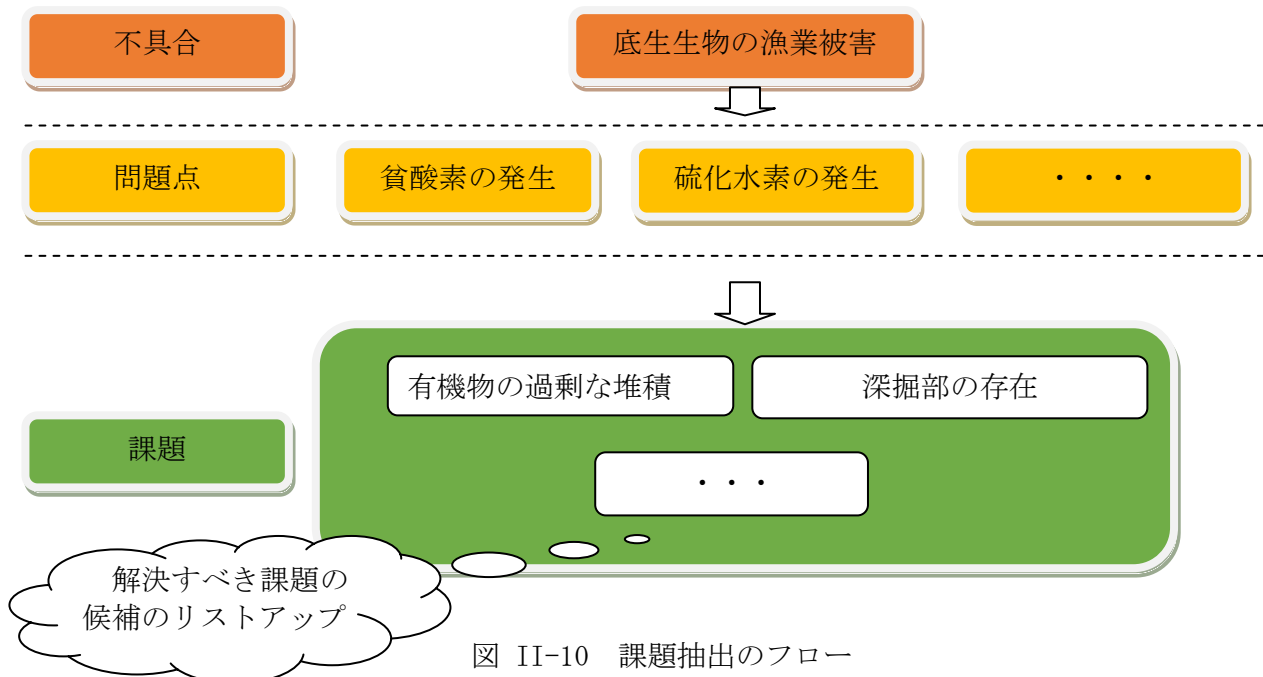
不具合の原因となっている問題点が抽出できたところで、この問題点を改善するための課題の抽出を行う。

例えば、底生生物の漁業被害という不具合を例にとりて考えると、貧酸素や硫化水素の発生という問題点があった場合、これを改善するための課題は、「有機物の過剰な堆積」、「深掘部の存在」等が挙げられる（図 II-10）。

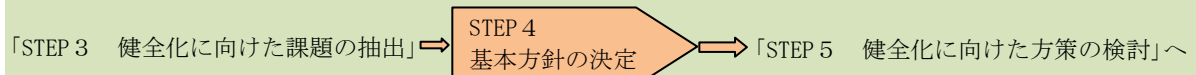
改善の考え方は、あくまで、物質循環自体を健全化することにより、結果的に不具合が持続的・自律的に解決できるような課題を抽出することが重要である。不具合が発生するたびに対応する対症療法的に個別の課題を改善することも必要ではあるが、例えば、貧酸素が発生している海域で、一時的に「酸素を外部から供給する」ことだけで、「物質循環が健全になった」とは一概には言えないため、貧酸素を引き起こしている原因となっている課題を抽出することが重要である。

しかし、既に深刻な問題点や局所的な問題点がある場合には、対症療法的に個別の問題点に対する対策を講じることも必要であり、このような場合には短期的な課題として抽出することもあり得る。また、課題が一つだけで、この課題さえ解決すれば物質循環が改善される場合には、対症療法が原因療法と同じ効果をもたらすことも考えられる。

これらの課題の具体的な解決方針については、「STEP4 基本方針の決定」で検討することになるが、この段階では、解決すべき課題の候補をリストアップし、次のステップである基本方針を決定する際の基礎資料とする。



STEP4 基本方針の決定



課題を踏まえ、海を“ヘルシー”（再生産可能な生物資源を生み出す海の仕組みが十分に機能していること）にするために必要な方向性を基本方針として決定する。

なお、個々の問題点の解決のみではなく、陸域・海域一体となった、海域の物質循環を健全化するという視点が重要である。

【解説】

基本方針は、今後、地域の海をどのように維持・改善していくかの、その骨格となるものであり、地域の海を利用している多様な主体が共通認識を持ち、合意形成を図る必要がある。基本方針の考え方は、課題抽出の考え方と同様であり、あくまで、物質循環自体を健全化することにより、結果的に個々の問題点が持続的・自律的に解決できるような基本方針を決定することが重要である。

しかし、既に深刻な問題や局所的な問題が生じている場合には、短期的な方針として、決定することもあり得る。

持続的・自律的な解決に向けた方針としては、方策の実施後、人が大きく手を加えることなく、自然の営みの中で問題点が解決できるような（例えば、過剰な栄養塩類の流入があっても、生物の生息場の確保により、生物を通じて栄養塩類が高次の生物に取り込まれ循環するような）ことであり、短期的な方針としては、浚渫や覆砂など、方策を講じることにより対症的な効果を発揮するが、時間とともに効果が薄れやすいので、合わせて原因療法的な方策を施す必要が生じるような方策が考えられる。

なお、上記のように例えば、現状の科学的な取りまとめを行い、地域の海の課題を積み重ねて練りあげながら基本方針を定める方法もあるし、多様な主体が認識しやすい、「キャッチフレーズ」のような基本方針を定めても良い。また、これらの基本方針を組み合わせ、科学的で分かりやすい基本方針を定めても良い。

ケーススタディ（STEP4 基本方針の決定）

地域の海を“ヘルシー”な状態にするためには、地域の海を利用している多様な主体が共通認識を持ち、合意形成を図る必要がある。そのために、改善の方向性について基本方針を定めることが重要である。

各モデル地域では、検討の初期段階で、物質循環の健全化について既存資料等の情報から想定される基本方針を策定した。検討を進めていくうちに、新たな知見が加わり、基本方針の再検討が行われた。

このような基本方針の決定方法は、課題を積み重ね練りあげていく方法である。

以下に、当初の基本方針と再検討後の基本方針を示す。

●気仙沼湾の基本方針

当初：「湾奥部の底質悪化機構の解明と湾奥部の底質環境の改善等による物質循環健全化」



検討後：「湾奥部等の底質に由来する過剰な負荷の抑制及び底質に蓄積する栄養塩類の利用促進による物質循環健全化」

底質からの溶出試験や栄養塩類の含有量調査を行ったところ、当初の想定通り、底質から栄養塩類が溶出していることが分かってきた。そのため、底質に蓄積している栄養塩類を生物等に有効に利用させ、結果として底質の改善を図ることを基本方針とした。

●播磨灘北東部の基本方針

当初：「冬季の物質循環の滞りを改善することなどして、年間を通し安定した生態系バランスを実現することによる物質循環健全化」



検討後：「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物質循環の健全化」

沖合は貧栄養状態であるということは知られていたが、調査を進めていく過程で、港湾内（埋立地背後の水路部等）には DIN が豊富にあることがわかってきた。そのため、陸側、港湾内の豊富な DIN を沖合に供給することにより、沖合の貧栄養で生態系が細くなっている状況を太く滑らかにすることを基本方針における目標とした。

●三河湾の基本方針

当初：「貧酸素水による影響の抑制などによって、豊かな生物生産が起きる健全な生態系ネットワークを取り戻すことによる物質循環健全化」



検討後：「河川などから流入する栄養を背景に広い浅海域を利用して多様な生物が再生産され、その活発な食物連鎖によって栄養が滑らかに循環する豊かな海」

当初、高次の生態系に利用されにくい微小なプランクトンの増加が起因となり貧酸素の発生や上位の生物生産の低下することを想定していた。既存資料の調査等を通じて、過去から現在までの三河湾の環境要素の変遷について整理したところ、干潟・浅場・アマモ場が発達し食物連鎖の上位生物がそのような場で生まれ、活発な食物連鎖が物質循環の円滑さを保っていたものと考えられたことから、基本方針の再検討がなされた。

●三津湾の基本方針

当初：「底質環境の改善と基礎生産力の向上による物質循環健全化」



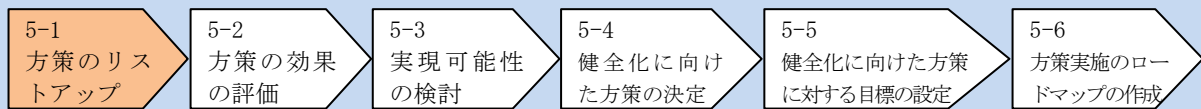
検討後：「三津湾の海域利用と連携した底質環境の改善と基礎生産力の向上による物質循環健全化」

当初、三津湾における障害として、①カキの生育不良（小粒化）、②カキの斃死、③アサリの減少の3点が報告され、底質の悪化による貧酸素化や栄養塩類の不足による基礎生産力の低下が想定された。調査の結果、①現在のところ、比較的良好であるが、一部の海域で不健全さが表れ始めていると考えられ、局所的であるが、一部にみられた底質悪化が、今後の水質悪化の原因となる可能性は否定できないこと、②三津湾固有の発展を遂げてきた海域利用の現状を肯定的にとらえて、それらと可能な限り共存する持続的な系を「望ましい海域像」とすることが、重要な課題と考えられたことから、基本方針である「底質環境の改善」と「基礎生産力の向上」に、海域利用の視点が追加された。

STEP5 健全化に向けた方策の検討

5-1 方策のリストアップ

「STEP 4 基本方針の決定」 →



→ 「STEP 6 モニタリング計画の検討」へ

「STEP 3. 健全化に向けての課題の抽出」の整理結果から、課題の改善策について、基本方針を踏まえた検討を行う。

【解説】

課題に対する改善策については、将来に渡った長期的な循環の仕組みとして改善を目指す方策（原因療法）と、短期的に行う対症療法的な方策に分け、実施のタイムスケールを勘案しリストアップする。

例えば、物質循環を担う生物が減少しており、生物を増やすことにより物質循環を向上させたい場合、その生物の生活史や増殖速度等によって、効果が現れるまで時間を要する場合もある。干潟の造成により水質浄化機能を向上させる場合には、干潟の造成後に二枚貝やゴカイなどの生物が安定的に棲み付き、増殖するまでの時間が必要となる。一方で、貧酸素水塊が発生していたり、有毒な硫化水素が発生している場合には、そもそも生物が生息できない。このような場合には、原因療法と合わせて対症療法を実施し、貧酸素等の発生を抑える必要もある（図 II-11）。

対症療法的な方策としては、貧酸素対策の浚渫・覆砂などが挙げられ、方策を実施した周辺では、比較的早く効果を発揮するものと考えられる。

また、浚渫等のハード的な方策を実施するためには、地域の理解と多様な主体の協力が必要である。そのため、地域の海の現況に関する環境教育や物質循環の健全化を目指すための取組の普及啓発活動等のソフト的な方策も改善策として重要である。

なお、短期的な（対症療法的な）環境改善の方策については、「参考 2.2. 環境改善手法の概要」に参考として記す。

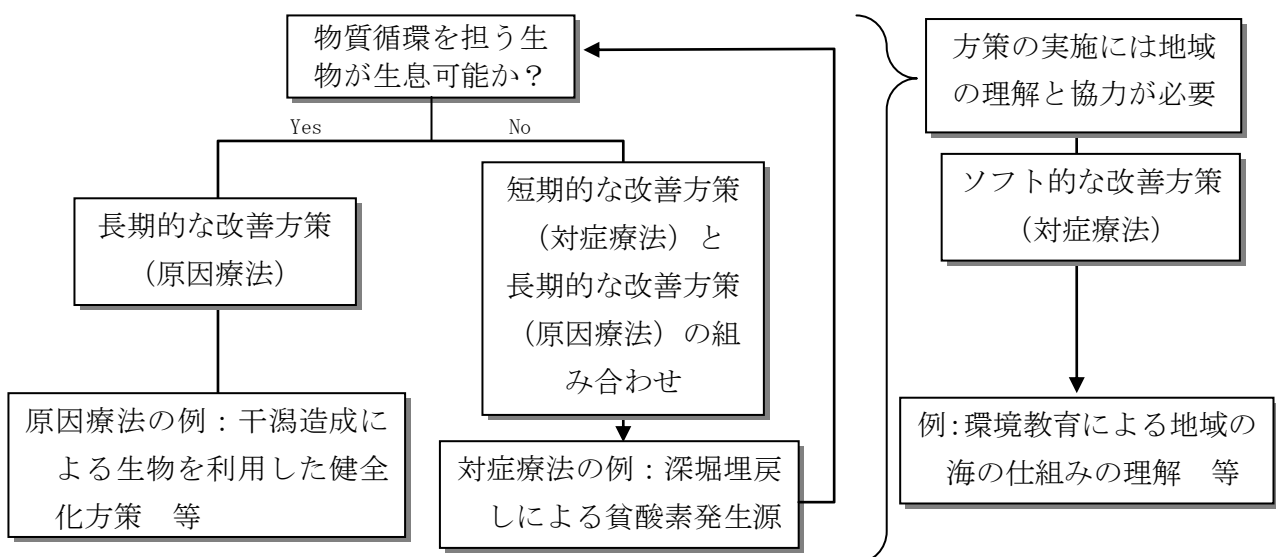
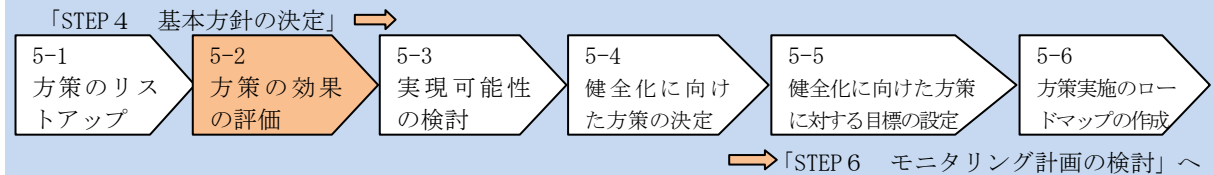


図 II-11 方策リストアップのフロー

5-2 方策の効果の評価



リストアップした方策について、可能な限り定量的に効果（効果の程度、効果が現れるまでの期間、効果の持続期間）を整理する。

効果についての知見が不透明な場合は、実証試験や数値シミュレーションにより可能な限り効果の程度を把握する。

【解説】

方策の効果については、検討された課題が長期的に持続的・自律的に将来に渡って解決できるような方策を基本として評価することが望ましい。短期的に効果を求めなければならない必要がある場合は、既往の実施事例を参考として、短期的な方策の効果の程度等について把握を行う。

ただし、長期的な効果の予測については、定量的な予測は難しいことから、可能な限り、講じようとする方策の実証試験や数値シミュレーションにより、効果の程度について把握・予測すべきである。なお、数値シミュレーションを実施しても予測の不確実性があることに留意する必要がある。

①実証試験について

これまで実施例がない新たな方策や、効果や副次的な作用について知見が少ない方策を実施する場合には、現地にて講じようとする方策の実証試験を行い、効果や副次的な作用について知見を得ることにより、本格的な方策を実施するための基礎資料を得ることができる。

また、シミュレーションでは表現しきれない実際の海の状況を把握することが可能となる。

現地で実証試験を行う際には、各種法令等を遵守する必要がある。また、地域の関係者（漁業団体等）の同意を得ておくことも重要である。

試験結果には、実証試験内容による海域の変化（効果）に加えて、自然条件の変動による変化も加わっている。実証試験による効果を検証する際には、事前の自然変動の範囲や変化の傾向をよく把握しておくとともに、実証試験の影響が及ばない場所に対照区を設け、統計的に比較できるようにする必要がある。

また、これまで用いたことがない材料等を使用する場合には海域にマイナスの影響を与えることも想定されるため、環境省の環境技術実証事業（ETV 事業）で実証された材料等を用いることが望ましい。ETV 事業の詳細については、以下の URL を参照されたい。

「環境省環境技術実証事業ホームページ：<http://www.env.go.jp/policy/etv/>」

②数値シミュレーションを実施する場合の主な留意点

数値シミュレーションを実施する利点は、大規模な施策を講じた定量的な効果をコンピュータ上で簡便に把握できる点にある。また、現地観測では得ることが難しい長期に渡る時系列な変化や面的な変化を任意の時間・断面で可視化できることも、方策の効果を検討する上で有用となる。

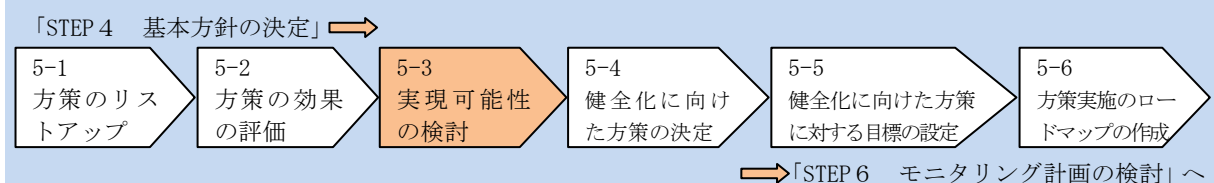
このような数値シミュレーションを行う際には、着目すべき現象を考慮し、モデルの簡略化や精緻化を行い、地域の海域の特徴に応じたモデルを作る必要がある。

例えば、三河湾では、高次の生態系に栄養塩類が循環しない原因として、微小プランクトンが物質循環に与えている影響を把握する必要がある。これに着目するため、図 II-5 のように微小な動植物プランクトンについてもモデルに組み込み精緻化を行っている。

また、底質環境の悪化が問題となっている海域では、有機物の沈降と、底質からの溶出を要素として把握する必要がある。このような場合には、図 II-6 のような底質と水質間の物質循環部分について精緻化を検討するとよい。

ただし、現状の数値シミュレーションでは、不確実性が大きいいため高次の生物も含めた物質循環のストックとフローをすべて再現できるわけではないことに留意する必要があり、着目した物質循環の要素（プランクトンの量等）について、パラメータを複数変えて計算を行うなど、感度解析的な手法により、予測の幅も考慮した検討も必要である。

5-3 実現可能性の検討



リストアップされた方策について、実現可能性の検討を行う。実現可能性の検討に際しては、経済面（初期費用、維持管理費用）、環境面、法制面に加えて地域の関係者の合意の見込みも考慮した検討を行う必要がある。

【解説】

リストアップした方策について、実際に実行可能であるか、多面的に検討を行う必要がある。

経済面については、例えば環境省の環境技術実証事業 (<http://www.env.go.jp/policy/etv/>) や国土交通省の新技术情報提供システム (<http://www.netis.mlit.go.jp/NetisRev/NewIndex.asp>) では、対策に係る費用について記載されており、費用の概算を見積る際に参考とできる。

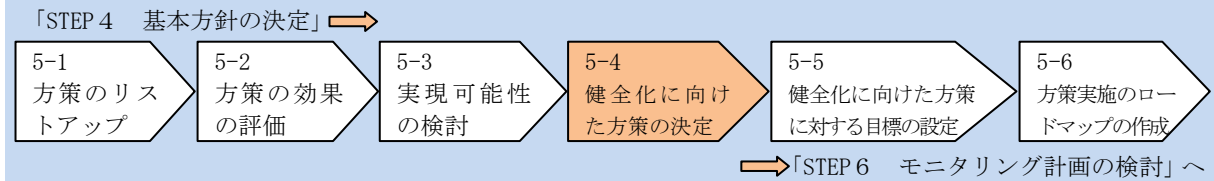
環境面については、目的とする物質循環の健全化に係る効果のみでなく、対策を講じた場合に副次的な影響が生じないか検討を行う必要がある。

法制面については、方策を講じる際に遵守すべき各種規制や必要な許可・届出がどのようなものがあるか把握しておく必要がある。主な法令等については、「参考 2. ヘルシープラン策定に係る関連情報」に参考として記した。

実際の合意形成にあたっては、特に海を直接的に利用している漁業者等にとっては、直接生活に関わる問題でもあることから、ヒアリングの実施、地域懇談会や勉強会等を通じて意見を収集する必要がある。ただし、特定の事業者にのみ有益となる方策ではなく、地域の海にとって有益となる方策が実現できるように合意形成を図ることが望ましい。

なお、他の地域で同様な方策を実施している場合には、それらの取りまとめ成果が参考となり得る。また、方策を実施する際の関係者（漁業者、NPO 等）への留意点などをヒアリングし検討をしておくといよい。

5-4 健全化に向けた実施方針の決定



5-1～5-3の検討結果から、効果的な方策や組み合わせを総合的に判断し、採用する実施方針を決定する。

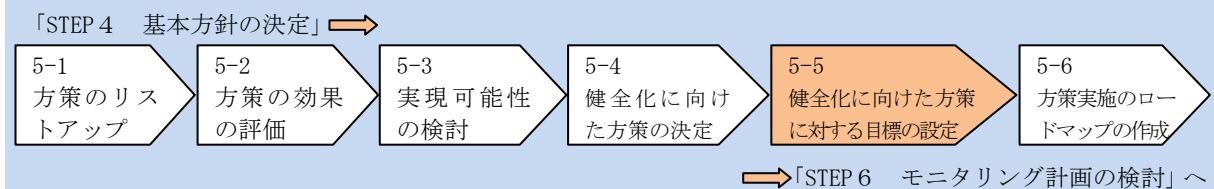
【解説】

実施方針については、短期的な対症療法的に実行可能なものもあれば、長期的に実行していくものもあるため、どの実施方針から実行していくか検討を行う。

検討した実施方針において同程度の実施可能性が示され、同時には実行できない場合には、実施順位をつけておく必要がある。

この時の実施順位は効果の発現見込み（即効性が必要か、持続性が必要か、副次的効果にも考慮）や施工の行いやすさ、合意形成のしやすさ等も考慮し総合的に判断し選定する。

5-5 健全化に向けた方策を評価するための指標の設定



5-1～5-4の検討結果から、健全化に向けた方策を評価するための指標を設定する。

【解説】

健全化に向けた実施方針が決定したところで、実施方針の効果を確認するための指標を設定する。

設定する指標は、方策実施後にモニタリングを行い、その結果を踏まえ方策の効果の程度を評価できるものとする。そのため、できる限り数値目標を設定すべきである。もし、数値目標が設定できない場合には、「現状より増加させる」、「現状より減少させる」といった定性的な比較によってでもよいが、その場合には、追加的に時間的な目標（〇年後まで等）を加える等工夫すべきである。

健全性の指標は、海域によって、また生じている不具合によって様々なものが考えられ、ここまでの検討で解明してきた物質循環の状況に応じた指標を選定する。

以下に、指標の考え方や例を参考として示す。

① 健全性を評価するための指標の考え方

海域で生物の再生産が行われるためには、産卵場、採餌場、生息・生育場といった生物が生きていくために必要な「場」や、栄養塩類、餌生物といった生物が成長するために必要な「要素」が適切に存在し、生物が生息可能な水質（貧酸素水塊や硫化水素等生物にとって有害な物質が発生しないなど）であることが必要である。

このような「場」や「要素」の繋がり（循環）のイメージを図 II-12 に示した（再掲）。

海の生物の成長の元となる栄養塩類は、河川や潮流によって流入し海藻草類や植物プランクトンに取り込まれる。これらは高次の動物（動物プランクトンや魚介類）に摂食・捕食され、魚介類や海藻類は我々の食料等として、陸域に取り上げられる。陸域に取り上げられたこれら生物は、有機物や栄養塩類に形を変え、河川や下水を通じて海域に戻っていく。

このような陸域・海域を通じた物質循環の中で、「再生産可能な生物資源を生み出す海の仕組み」が十分に機能する必要がある。

また、陸域・海域を通じた物理的な輸送による物質循環に加え、干潟内で植物プランクトンを二枚貝が摂食し、栄養塩類として再び海水に戻したり、植物プランクトンの死骸が沈降し、ベントスやバクテリア等により分解されたりといった海域の場に応じた生物・化学的な物質循環についても循環が健全に機能する必要がある。

このような、一連の物質循環の過程の中から、健全性の指標を選定する。

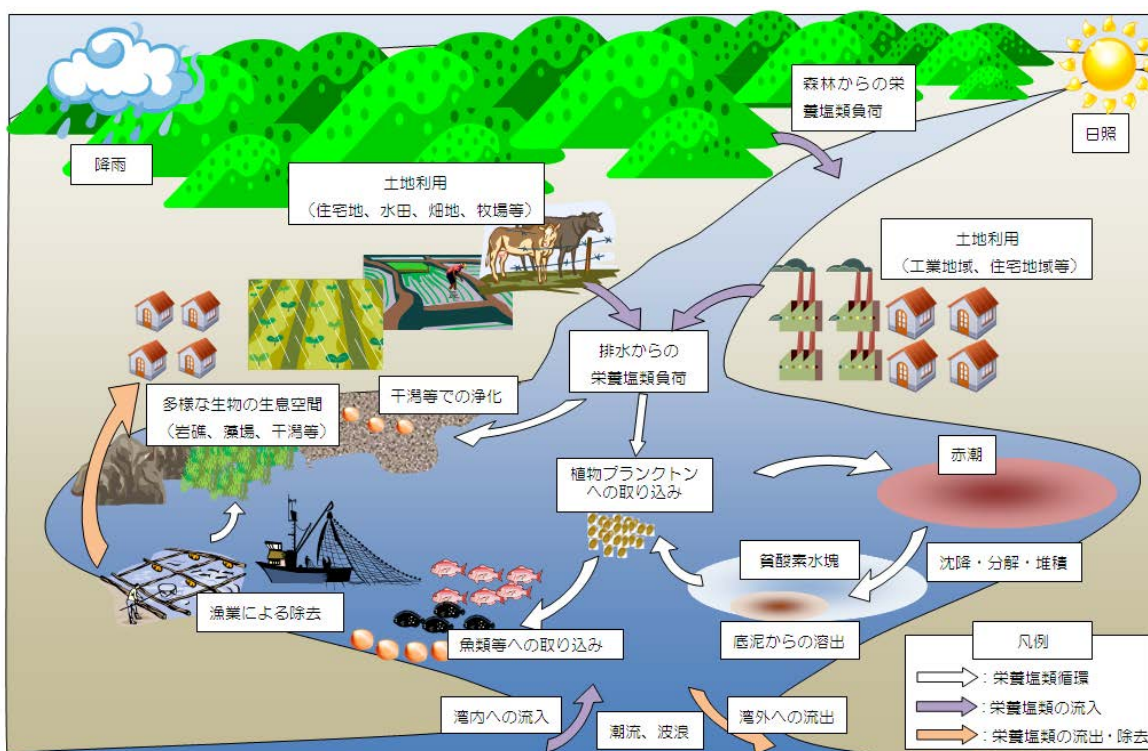


図 II-12 沿岸の海域の栄養塩類循環のイメージ (図 I-6 の再掲)

② 健全性を評価するための指標について

陸域・海域を通じた物質循環と海域の場に応じた物質循環が滞りなく、持続的である場合は、循環バランスが取れており、海の仕組みが健全に機能していると考えられる。

これとは逆に、陸域や外海から流入する栄養塩類が不足し、動植物の成長が鈍化（生態系が細くなったり）したり、富栄養化により貧酸素水塊や硫化水素の発生による動物の死亡や藻場・干潟といった生物の生息・生育場の喪失により、繋がり（循環）が細く途切れてしまうような状態であれば、栄養塩類の循環バランスが崩れ、生物の再生産に影響を及ぼすおそれがあり、海の仕組みが不健全になっていると考えられる。

このような循環を説明するために必要な「要素」には、時間的な変化や要素間の移動等の「フロー」的な要素と、濃度や量といった「ストック」的な要素があり、このような要素が

健全性を表すための「指標」となると考えられる。

そこで、このような流域を含む閉鎖性海域における循環を科学的な観点から捉え、①物質を運ぶ視点、②質を変える視点、③生物が利用する視点の3つの視点に分けて、どのような指標が考えられるかを図 II-13 に示す。

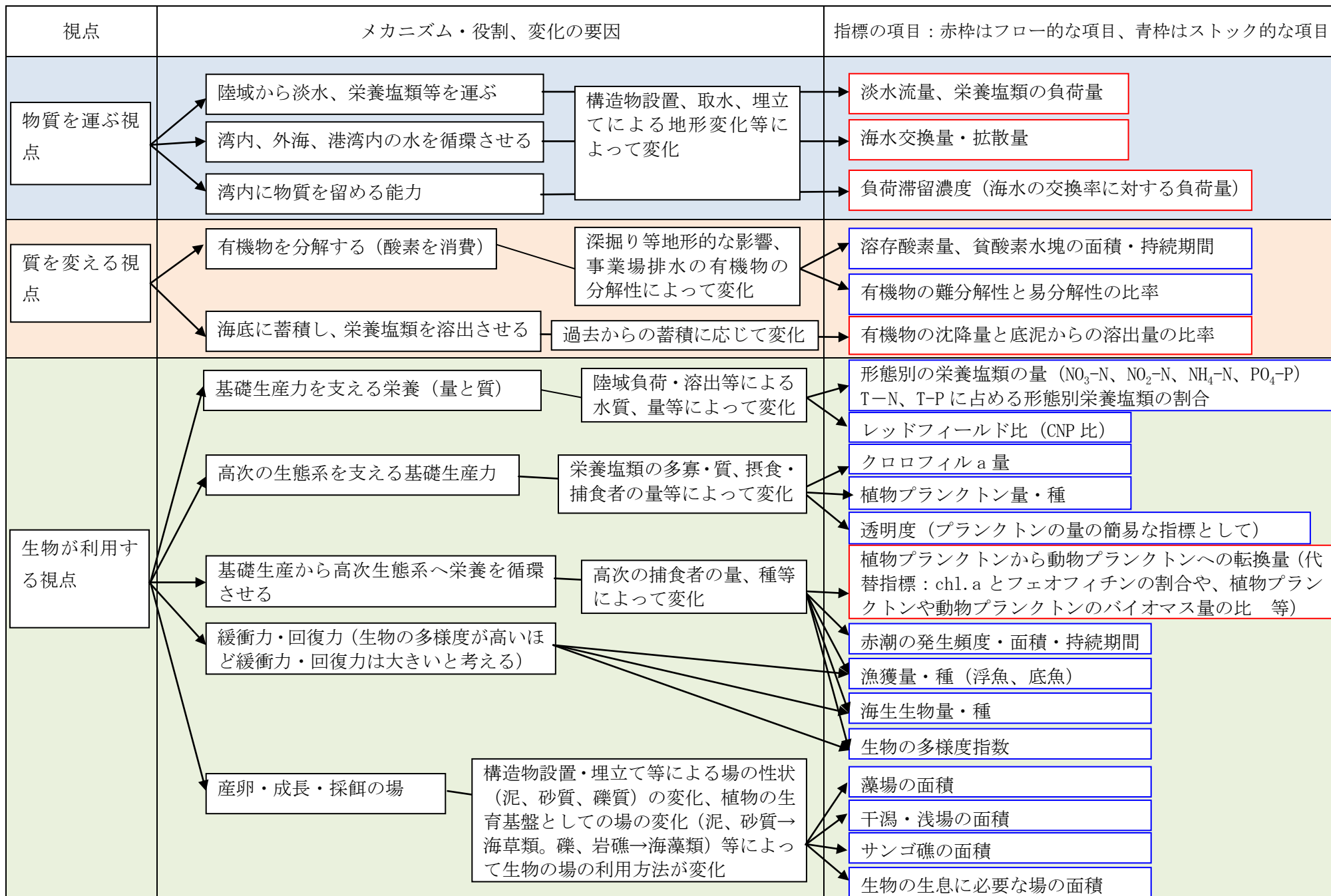


図 II-13 3つの視点と指標の項目