

平成19年度

全国閉鎖性海湾の「海の健康診断[®]」
調査報告書

平成20年3月

海洋政策研究財団
(財団法人 シップ・アンド・オーシャン財団)

ご 挨拶

本報告書は、競艇交付金による日本財団の平成 19 年度助成事業として実施した全国閉鎖性海湾の「海の健康診断」調査の成果をとりまとめたものです。

海は、人体が行う食物の摂取から排出に至る一連の営みにも似て、河川から流入する栄養塩を流れによって各部へ輸送し、食物網を通じて分解、生産・浄化を行い、更に一部を漁獲により系外へ排出することにより環境のバランスを保っています。しかし、これまで同海域の環境評価は、水質など特定の項目を指標にした富栄養化の防止、有害物質の流入防止といった視点で行われてきたため、必ずしも生態系や物質循環といった「海の営み」を捉えたものではありませんでした。

そこで、海洋政策研究財団では、平成 12 年度より閉鎖性海湾の環境を構成しているさまざまな「海の営み」を検査・評価する「海の健康診断」の手法開発を全国に先駆けて実施してきました。同診断は、既存のモニタリングデータを活用し、人と言うところの定期検診にあたる「一次検査」と精密検査にあたる「二次検査」とで構成しております。湾の体格や体質も踏まえて検査・診断することで、環境悪化の兆候を早期に発見し、必要な処置を講じる予防医学的なセンスを取り入れたところに特徴を有しています。

これまでに「海の健康診断」事業では、「海の健康診断マスタープラン・ガイドライン」で基本構想をまとめたのをはじめに、全国 88 閉鎖性海湾を対象にして一次検査を実施し、その結果を踏まえて一次検査マニュアルを作成しました。更に平成 18 年度には、一次検査マニュアルを用いて全国 71 閉鎖性海湾の「海の健康診断」調査を実施するとともに、三河湾の二次検査のフィジビリティースタディーを実施いたしました。

本報告書では、これら一連の内容を踏まえるとともに、本年度実施した仙台湾における貧酸素水塊発生機構調査で得た知見を加え、不健康の兆候から発症までの流れと原因を究明する二次検査の手法等について解説しています。同検査は、海湾の規模や背後圏の活動、地理的特性など各湾の特徴に応じて類型化した情報をもとに行う一次診断結果を確定させるための「再検査」と対象海湾の不健康の原因を究明する「精密検査」で構成されています。また、今回、二次検査の手法の解説に加え、同検査で確定した環境悪化の原因別に治療方法や期待される効能、懸念される副作用、治療時の注意点などをまとめた処方箋についても併せて記述いたしました。本報告書が閉鎖性海湾の環境保全、改善に日夜尽力されている自治体の担当者や同海域に関心を持つ方々などの活動に少しでもお役に立てれば幸いです。

最後に、本事業の実施及び本報告書の取りまとめにあたりましては、平野敏行東京大学名誉教授を委員長とする「全国閉鎖性海湾の『海の健康診断』判定会議」の委員の皆様のご熱心なご議論・ご指導を賜り、この紙上をお借りして厚く御礼申し上げます。

平成 20 年 3 月

海洋政策研究財団
会長 秋山昌廣

全国閉鎖性海湾の「海の健康診断」判定会議

(順不同、敬称略)

委員長	平野敏行	東京大学	名誉教授
委員	中田英昭	長崎大学水産学部	教授
〃	松田治	広島大学	名誉教授
〃	中田喜三郎	東海大学海洋学部	教授
〃	南卓志	東北大学大学院農学研究科	教授
研究担当	寺島紘士	海洋政策研究財団	常務理事
〃	菅原善則	〃	政策研究グループ グループ長
〃	大川光	〃	政策研究グループ海洋研究チーム チーム長
〃	眞岩一幸	〃	政策研究グループ 研究員

目 次

ご挨拶

委員名簿

1. はじめに	1
2. 二次検査ガイドライン	2
2.1 海の健康診断の考え方と全体構成	2
1) 「海の健康診断」の必要性	2
2) 「海の健康診断」のしくみとその考え方	4
2.2 二次検査の具体的な方法	13
1) 再検査	14
2) 精密検査	19
3) 二次診断	26
4) 処方箋（メニュー）	29
5) 調査・研究	31
3. 二次検査の実践例（三河湾）	33
3.1 再検査	33
3.2 精密検査	42
3.3 二次診断	45
4. 参考資料	49
4.1 一次検査結果の分析結果	49
4.2 仙台湾における貧酸素水発生への解析	55

1. はじめに

我が国の沿岸では、高度経済成長期を境に、埋立てや工業排水、生活雑排水の急増による水質汚染が進み、また、河川においても利水、治水を目的としたダムや堰の建設、河岸の整備が進められ、その姿も大きく変化した。

その後、経済発展を優先させたツケとして「公害問題」が起こったが、環境に関する法令の整備が進んだ結果、下水道の普及とともに工業排水も一定の処理がなされ、流域からの負荷は大幅に減少した。これによって、沿岸の水質悪化は止まり、環境が改善する兆しが見えてきたが、その歩みは遅く、閉鎖性海湾と言われる内湾沿岸域では、赤潮や貧酸素水塊の発生など改善しなければならない環境上の課題が依然として積み残されている。

このような課題に対して、法令などによって定められた水質の基準と照らすモニタリングが、「公害問題」が表面化した時代から今日まで続けられてきているが、沿岸海域が備えている様々な構造や機能を理解し、海域の環境がどのような状況にあるのかを日常的にしかも客観的に判断できる評価の仕組みも必要となってきた。

本書では、海域の環境状態について、生物生産機能が正常に営まれていることで、“きれいな豊饒の海”すなわち「健康な海」が持続すると考えている。生物生産機能とは、陸域から供給される栄養物質を輸送・拡散する過程で光合成から始まる一連の食物連鎖で利用し、継続的に多様な生物群集を育み、漁獲資源を我々に供給する大きな循環のことであるが、この循環が成立するためには、生物群集を構成する個々の生物に適応した生息環境や生息空間を海が備えていなければならない。つまり「生物を生産する」という「海の営み」が正常に機能しているかの視点で海洋環境を評価していくことが重要である。我々が提唱する「海の健康診断」では、この「海の営み」は「生態系の安定性」と「物質循環の円滑さ」によって成立しているとの考えに立ち、これらを構成する要素を総合的に検査することで「海の健康状態」を診ていく環境評価手法である。

「海の健康診断」は平成 13 年度に発刊した「海の健康診断マスタープラン・ガイドライン」で基本構想をまとめ、その後、一次検査と呼ぶ「定期健診」の仕組みを具体的に構築し、平成 16 年度には全国 88 閉鎖性海湾を対象にして一次検査を実施した。平成 17 年度にはその結果を踏まえて、一次検査マニュアルを作成した。さらに、平成 18 年度には、作成した一次検査マニュアルを用いて、全国 71 閉鎖性海域における一次検査を実施した。

本書はその一次検査に続く二次検査の内容についてガイドラインとして説明したものであり、一次検査によって不健康の兆候がみられた海湾に対して、発症までの流れとその原因を究明する手法について解説している。

2. 二次検査ガイドライン

2.1 海健康診断の考え方と全体構成

1) 「海健康診断」の必要性

海は、陸域から供給される栄養物質を食物連鎖によって生物資源として生まれ変わらせ、“きれいな海”を維持している。すなわち、生物生産が円滑に営まれている海が「健康な海」である。しかし、沿岸、内湾域では、沿岸浅海域の高度利用によって多様な地形が失われ、過剰な負荷によって貧酸素化が長期化するなどして豊かな生物生産が阻害されており、これは、陸域からの負荷を制限し、水質を一定レベルに保つことだけで解決することではない。

生物生産を原点とした「海健康」は、「多様な生物群集に生息場を与える様々な環境（構造）」と「食物連鎖をも含めた栄養物質の物理化学的な循環（機能）」とをしっかりと見ていかなければならない。

また、「健康状態」が悪化してから診断するのではなく、悪化の兆しをいち早く見つけ、事前に対策を打つことが環境をまもるためにも重要であるとの考えから「予防医学」の考えも取り入れ、「海健康診断」を提案するものである。

沿岸、内湾域は、限られた空間のなかで、水深の変化に併せて基質も変化に富み、干潟や藻場などの多様な地形が存在するとともに、陸水の影響や潮汐によって水温、塩分のみならず水質もダイナミックに変化し、陸域から河川を通じて供給される栄養物質は、光合成から始まる食物連鎖によって、海域環境に適応した豊かな生態系を形成する。沿岸、内湾域における生態系は、海洋における生物資源の大部分を支える大変重要な「海の営み」である。

沿岸、内湾域は、干潟や藻場などの多様な地形を有する特徴的な“場”である構造をもち、陸域から河川を通じて豊かな栄養物質を受け取り、豊かな生物生産を産み出す場所である。沿岸、内湾域の豊かな生物生産は海洋における生物資源の大部分を支え、食物網を通じて行われる分解、生産、浄化などの「機能」によって海環境を維持している（図 2.1）。すなわち、生物生産が円滑に営まれている海が「健康な海」である。海洋環境を議論するには、沿岸、内湾域の生物生産に関わる環境がきわめて重要である。

しかし、閉鎖性海湾と言われる内湾域では、沿岸浅海域の高度利用によって多様な地形が失われ、過剰な負荷による長期間の貧酸素化や分解しきれずに有機物が海底に堆積するなどして豊かな生物生産が阻害されている。生物生産を産み出す“場”の減少や栄養物質を生物生産につなげる物質循環の過程に様々な課題を抱えてしまった結果であると推察する。これは、陸域からの負荷を制限し、水質を一定レベルに保つことだけで解決することではない。「多様な地形的特徴をもつ構造」と「栄養物質とそれを利用する生物により維持されている生物生産機能」は「海の営み」そのものであり、「海の営み」を維持している構成要素をしっかりと見ていくことが海環境を「診る」ことにつながるはずである。

また、自然に作られた海の営みは、一度失われてしまうと人の手ではなかなか元に戻らない。したがって、これまでのように海の「健康状態」が悪化してから検査するのではなく、悪化の兆しをいち早く見つけ、事前に対策を打つことも非常に大切である。

この必要性に応えるために作った仕組みが「海の健康診断」である。

「海の健康診断」は、海の「営み」の仕組みを支える「構造」と「機能」に着目した検査項目を抽出し、予防医学的なセンスを取り入れ、継続的にチェックしていくことが可能な手法として提案したものである。

検査項目は、海の「営み」の基本が、陸域から供給される栄養を適正に輸送し、生物生産に転化させることによって豊饒の海を持続的に形成していることにあるとの観点から、「生態系の安定性」と「物質循環の円滑さ」に着目して構成されている。

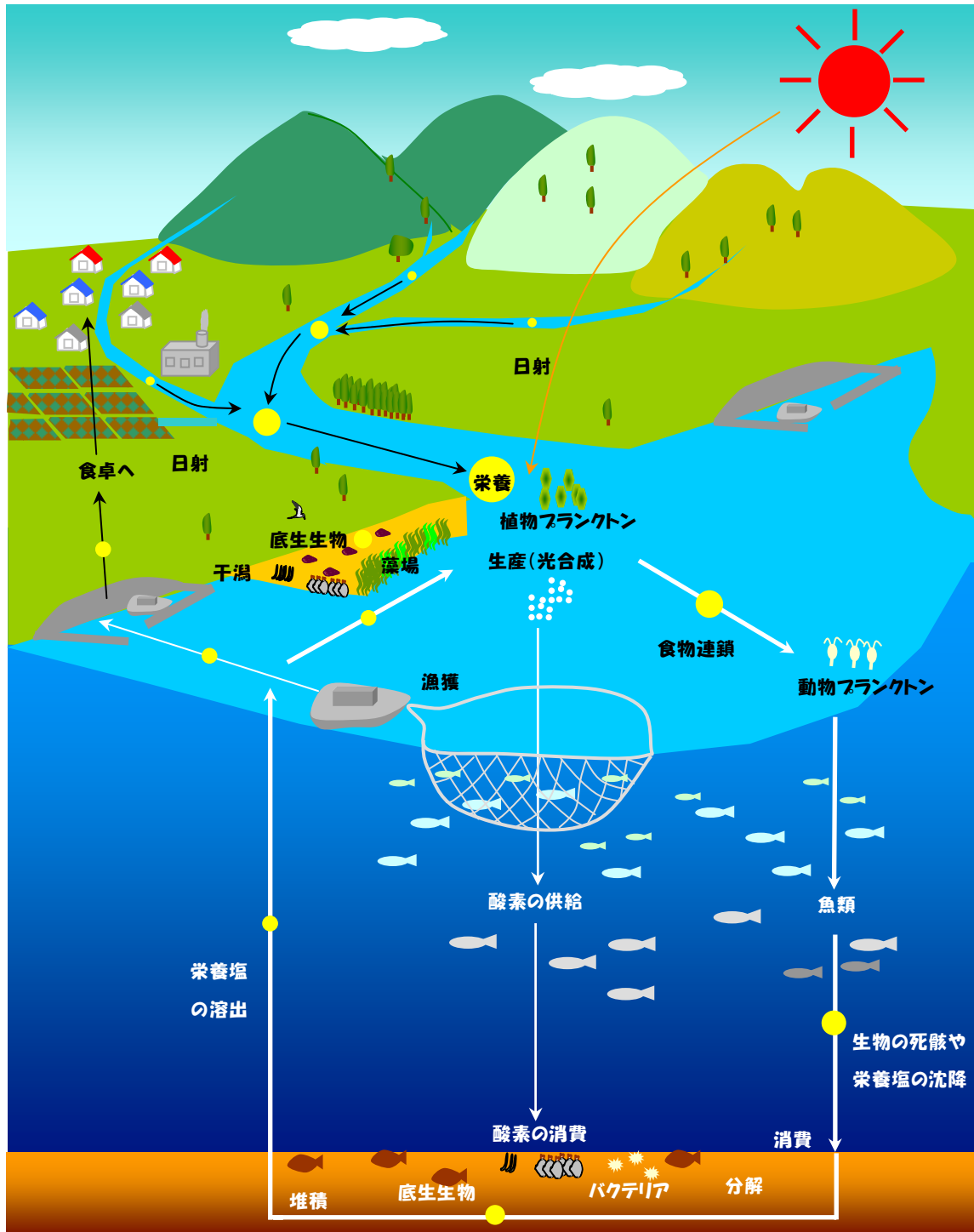


図 2.1 海の環境のしくみ

2) 「海健康診断」のしくみとその考え方

A) 全体のしくみ

「海健康診断」の手順は、私達が職場等で受けている定期健診と同じように、年1回の定期健診にあたる「一次検査」と一次検査で不健康の疑いが出た場合に実施する「二次検査」から構成している。

「一次検査」は、公共性の高い誰でもが入手可能な情報を用いて、簡便に評価できる手法を採用している。

「二次検査」は、地元で取得しているデータを材料にして、海の環境に精通している人が実施できる“専門性が求められる検査”である。一次診断の結果を検証し健康・不健康の診断を確定させるための「再検査」と不健康な海湾を対象に不健康の原因を究明する「精密検査」の二段階の検査を経て、不健康の程度（病状）とその原因を特定する。

また、病状とその原因が特定されれば、その対策を見出せるように「処方箋（メニュー）」を用意するとともに、病状やその原因が特定できないものについては、より高度な専門性が求められることから「調査・研究」の必要性も追加した。

「海健康診断」の手順は、私達が職場等で受けている定期健診と同じように、年1回の定期健診にあたる「一次検査」と一次検査で不健康の疑いが出た場合に実施する精密検査にあたる「二次検査」から構成している（図 2.2）。

「一次検査」は、公共用水域水質調査など全国一律で行われている調査を中心にして、公共性の高い誰でもが入手可能な情報を用いて、簡便に評価できる手法を採用している。一次検査において不健康の疑いがある海湾は二次検査に進む。また、健康と判断できた海湾については検査を終了するが、その後の継続的な定期診断をお勧めしたい。

「二次検査」は、地元の行政・研究機関等が取得しているデータを材料にして、水産試験場など海の環境に精通している人が実施できる“専門性が求められる検査”である。二次検査は、一次診断の結果を検証し健康・不健康の診断を確定させるための「再検査」と「再検査」で不健康な海湾と判断された場合、その海湾を対象に不健康の原因を究明する「精密検査」の二段階の検査を行い、これによって「二次診断」として不健康の程度（病状）とその原因を特定する。なお、再検査において健康と判断できた海湾については、一次検査において健康と判断できた海湾と同様に検査を終了し、その後の継続的な定期健診をお勧めする。

また、二次診断後、病状とその原因が特定されれば、その対策を見出せるように「処方箋（メニュー）」を用意した。さらに、二次診断において病状やその原因が特定できないものについては、より高度な専門性を活かした手法が求められることから「調査・研究」の必要性を追加した。

なお、本ガイドラインは、二次検査を構成する再検査、精密検査、二次診断の実施方法、さらにオプションとして、処方箋（メニュー）、調査・研究について詳述したものである。

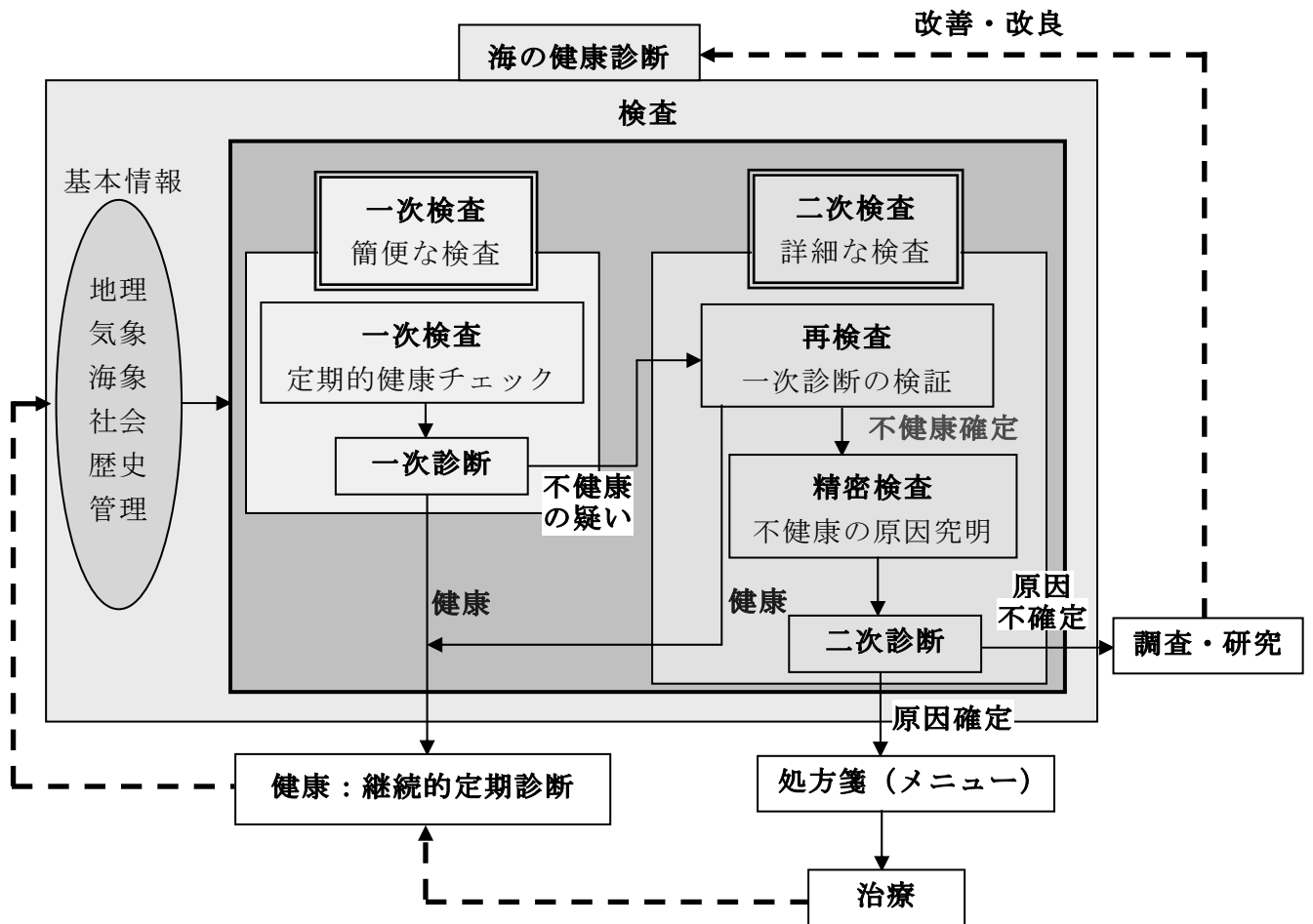


図 2.2 「海の健康診断」の構成

B) 一次検査方法の概要

一次検査は、海の「営み」の基本として『生態系の安定性』と『物質循環の円滑さ』の2つのカテゴリーに分類し、「生態系の安定性」は「生物組成」「生息空間」「生息環境」の3つを検査の視点として、「物質循環の円滑さ」は、「基礎生産」「負荷・海水交換」「堆積・分解」「除去（漁獲）」の4つを検査の視点として構成している。

検査は、公共性の高い誰でもが入手可能な情報を活用することとし、視点毎にわかりやすい指標を選定して検査項目としている。検査の結果は「A良好」、「B要注意」、「C要精検」の三段階評価で、不健康な状態を見落とさないように検査基準はやや厳しく設定している。

一次検査にあたっては、基本情報として、診断の対象となる海湾が有する「体質」や「体格」を把握するため、地理的情報、気象的情報、社会的情報として湾の形状や降水量、背後圏の人口や産業などを調査する。

一次検査は、海の「営み」の基本である『生態系の安定性』と『物質循環の円滑さ』の2つのカテゴリーに分類し、「生態系の安定性」は「生物組成」「生息空間」「生息環境」の3つを検査の視点として、「物質循環の円滑さ」は、「基礎生産」「負荷・海水交換」「堆積・分解」「除去（漁獲）」の4つを検査の視点として構成している（表 2.1）。

表 2.1 一次検査項目一覧

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	

検査は公共性の高い誰でもが入手可能な情報を活用することとし、視点毎にわかりやすい指標を選定して検査項目としている。

「生態系の安定性」のカテゴリーの「生物組成」の視点は、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」の視点は、干潟・藻場面積の変化、人工海岸の割合、「生息環境」の視点は、有害物質の測定値、貧酸素水の確認頻度を検査する。

「物質循環の円滑さ」のカテゴリーの「基礎生産」の視点は、透明度の変化、赤潮の発生頻度、「負荷・海水交換」の視点は、負荷と滞留のバランス、潮位振幅の変化、「堆積・分解」の視点は、底質環境、無酸素水の出現状況、「除去（漁獲）」の視点は、底生魚介類の漁獲量を検査する。

農林水産統計や公共用水域調査結果、現地調査結果等のデータを使って、過去 20 年程度のトレンド等を整理し、各データの過去 20 年程度と最近 3 年程度の平均値の比や差等によって検査値を算出する。

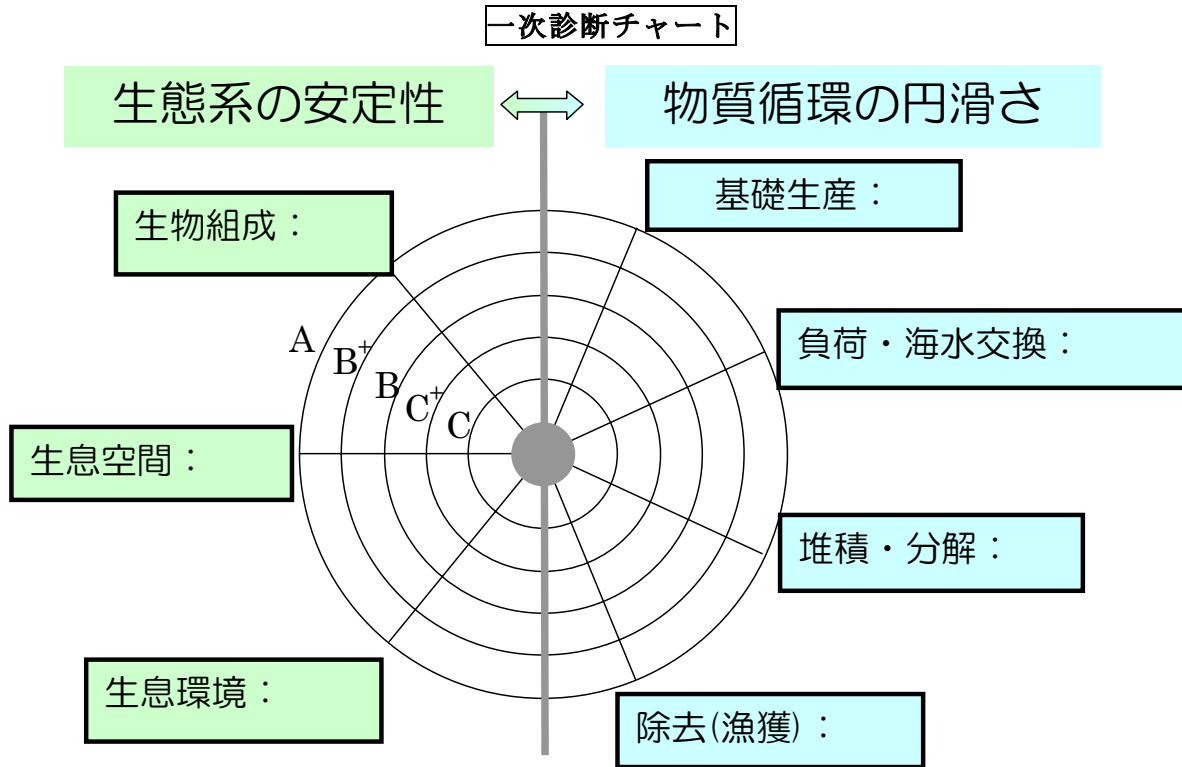
これらの検査結果から、「A 良好」、「B 要注意」、「C 要精検」までの検査基準を設けて診断する。なお、検査基準は不健康な状態を見落とさないようにやや厳しく設定している。

一つの視点を二つの検査項目によって診断する場合は安全側に立つて行うことから、検査結果が異なった場合、悪い方の診断結果を採用するが、この場合、診断結果に+を付けて表記する。

一次検査の診断結果にあたる一次診断のチャート及びカルテの様式は表 2.2 に示すとおりである。

詳しい一次検査の方法については、別冊の「海の健康診断 考え方と方法」（平成 18 年 3 月、海洋政策研究財団）を参照頂きたい。

表 2.2 一次診断チャート・カルテの様式



一次診断カルテ

視 点	検査項目	検査基準			検査結果	診断	
		良好(A)	要注意(B)	要精検(C)			
【生態系の安定性】を示す項目	生物組成	遊動生物の分類群別組成の変化(最近3年間の平均/20年間の平均:最優占分類群の遊動割合(FR)、遊動量(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=(),FC=()	A B C
		海岸生物の出現状況(代表種の確認割合:LC)	LC=1	$0.8 \leq LC < 1$	$LC < 0.8$	LC=()	A B C
	生息空間	干潟・葦原面積の変化	干潟・葦原面積は減少していない	干潟・葦原面積のいずれかが減少している	干潟・葦原面積がともに減少している		A B C
		人工海岸の割合(AC)	$AC \leq 20$	$20 < AC \leq 50$	$50 \leq AC$	AC=()	A B C
	生息環境	有害物質の測定値(測定値/環境基準値:PS)	すべての健康項目で $PS < 0.8$	1つの健康項目でも $0.8 \leq PS < 1$	1つの健康項目でも $1 \leq PS$	PS=()	A B C
	貧酸素水の確認頻度(貧酸素水確認調査点の割合:CW)	$CW < 0.1$	$0.1 \leq CW < 0.5$	$0.5 \leq CW$	CW=()	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=(),TD=()	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		A B C
	負荷・海水交換	負荷と滞留のバランス(負荷滞留指標:LR)	COD、T-N、T-Pともに $LR < \text{スタンダード値}$ の場合	COD、T-N、T-Pのいずれかで $\text{スタンダード値} \leq LR < \text{スタンダード値}$ の場合	COD、T-N、T-Pともに $\text{スタンダード値} \leq LR < \text{スタンダード値}$ の場合	LR(COD)=() LR(T-N)=() LR(T-P)=()	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=() 最近=()傾向	A B C
	堆積・分解	底質環境(全磷化物量の最大値:SD)	$SD < 0.2$	$0.2 \leq SD < 1$	$1 \leq SD$	SD=()	A B C
	無酸素水の出現状況(最終溶解酸素濃度:AW)	$2.9 \leq AW$	$0.5 \leq AW < 2.9$	$AW < 0.5$	AW=()	A B C	
除去(漁獲)	底生魚介類の遊動量(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=() 最近=()傾向	A B C	

C) 二次検査の考え方と構成

(a) 二次検査の考え方

「海健康診断」の二次検査は、個々の海湾の地元研究者が経験と専門的な知識により病状を診断し、その原因を突き止めるために活用するツールである。

これまでに全国の主要閉鎖性海湾の一次検査分析結果から、海湾の不健康の主な原因が、栄養負荷の摂取量とその代謝機能との不釣り合いにあることが推定できたことから、二次検査では負荷と代謝のバランスを検査している「負荷・海水交換」と生物生産の基盤を検査している「生息空間」という大きな2つの視点を軸に、「生態系の安定性」と「物質循環の円滑さ」を現す視点との連関構造をたどりながら、病状とその進行度合いを判定し、原因を究明する方法で手順を組み立てている。

現状で海の不健康の原因を究明する検査を想定すると、第一に、海の「営み」を構成するそれぞれの「構造」や「機能」を丹念にチェックする検査がイメージとして浮かぶ。しかし、そのためには多大な労力とコストが必要である。これは多くの海湾がなかなか治療するまでに至らない原因の1つと考えられる。この状況を打破し、現実的に不健康な海湾を治療していくためには、個々の海湾の特性をよく知る地元の研究者による知識や経験を活かした治療が必要不可欠である。地元の研究者の活躍により、すでに具体的な治療に行き着いている海湾も全国にいくつか存在するが、ほとんどはそうではない。

「海健康診断」の二次検査は、個々の海湾の地元研究者が経験と専門的な知識により病状を診断し、その原因を突き止めるために活用してもらえるツールである。

「海健康診断」の二次検査の内容を検討するにあたり、平成18年に実施した全国71の閉鎖性海湾の一次検査結果を用いて、日本の閉鎖性海湾における不健康の原因から症状までの流れの傾向を分析した。分析の詳細な過程については「4.1 一次検査の分析結果」を参照頂きたいが、ここでは、その結果の要点について紹介する。

一次検査は、「生態系の安定性」に関わる3視点（生物組成、生息空間、生息環境）、「物質循環の円滑さ」に関わる4視点（基礎生産、負荷・海水交換、堆積・分解、除去（漁獲））について実施した。この7視点は、海の営みに関わる事象を網羅的に捉えたものであるが、閉鎖性海湾において起こる一般的な不健康の流れを考えると、「原因としての要素が強い視点」と「症状としての要素が強い視点」に区分される。

「原因としての要素が強い視点」としては、陸域から流入する負荷の程度を表す「負荷・海水交換」とその負荷を受け取り生産に結びつける部分の構造を示す「生息空間」の2つが挙げられる。「負荷・海水交換」は、生物生産の源となる負荷（栄養と言い換えても良い）が湾内において適度に滞留しているかを量る指標であり、海湾の栄養条件を決める最も基本的なことである。しかし、それだけでは海の営みは起こらない。その負荷を受け取り、生物を生産する仕組みが必要であり、その最も基本的な構造を表す「生息空間」の質が生産の善し悪しを決める。すなわち、この両者のバランスは海健康を左右する非常に重要なものであり、高度成長期以降の沿岸における過剰な負荷流入と沿岸の埋立という過去を振り返ると、海健康に与えた影響は計り知れないことが伺える。

上記の「負荷・海水交換」によって表現される“陸域からの流入負荷”を受け取った「生息空間」（沿岸の干潟・藻場などの緩衝帯）はそこで生物を生産し、そこで使い切れなかった負荷が海域へと流れ込んでいく。干潟・藻場などの緩衝帯が減少すると、過剰

な量の負荷が直接海域に流れ込んでいくこととなる。

その結果決まるのが、「基礎生産」から「除去・漁獲」までの5つの「症状としての要素が強い視点」である。過剰な負荷が海域に流入すれば、まず海域の表層部分に変化が生じる。爆発的に植物プランクトンが増加する赤潮のような現象は、まさにこの変化を表すものであり、これを表す視点が「基礎生産」である。

赤潮を形成した植物プランクトンが死滅すると、それは海底に沈降する。海底に沈降した有機物は適量であれば、その場の環境収容力に応じた適切な量の生物を生産する源となるが、過剰な場合には一次的な生物増加など不均衡な状態を産み出す。これを表す視点が「堆積・分解」である。

一次的に増えた生物は、呼吸によって海底の酸素を著しく消費し、貧酸素化を招く。これを表すのが「生息環境」であり、この健全度によって、海域に生息している生物の種類（生物組成）や量（除去（漁獲））が変化していくこととなる。

以上の流れは図 2.3 のように整理され、閉鎖性海湾における基本的な不健康の流れと考えられる。

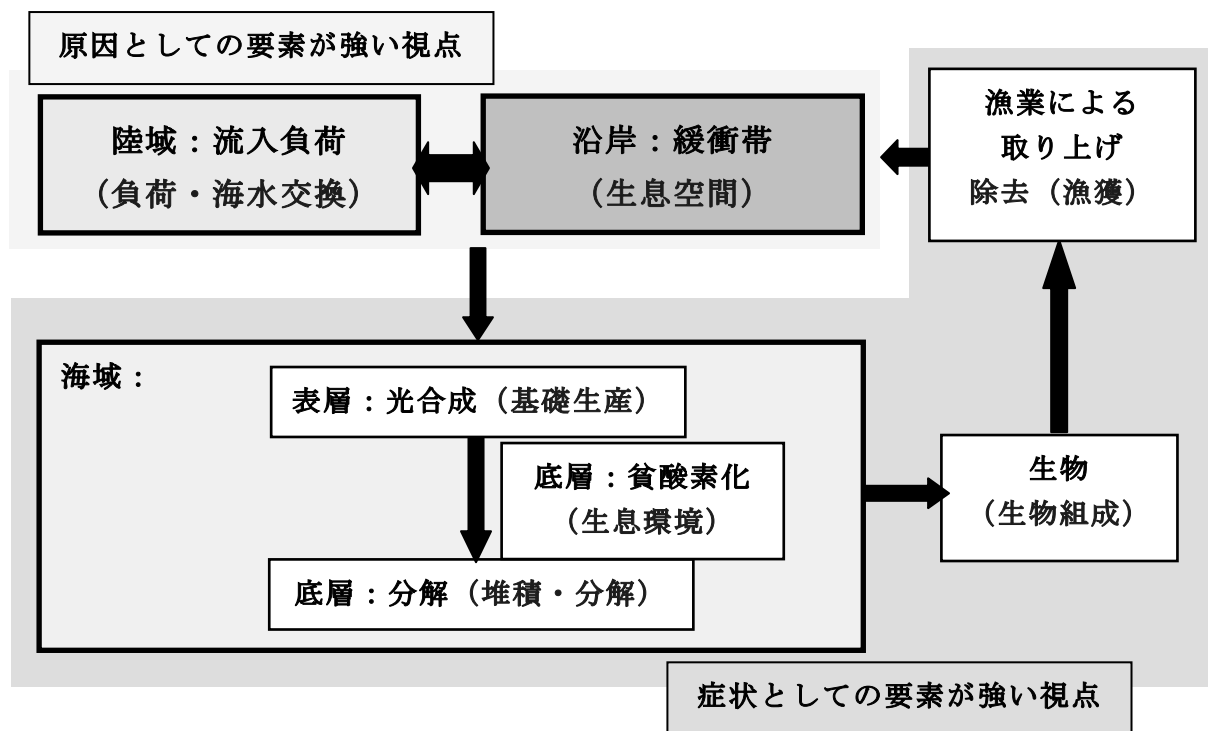


図 2.3 閉鎖性海湾における不健康の流れと検査の視点の対応関係

図 2.3 に整理した関係を踏まえて、全国の閉鎖性海湾における原因と症状の関係を分析するために、「原因としての要素が強い」次の 2 つの指標を両軸にとった分布上に、「症状としての要素が強い」その他の項目の C 判定がどの程度出ているかを重ね合わせた(図 2.4)。なお、図上にプロットできたのは、両指標のデータが存在する 47 湾(全体の約 70%) である。

- ① 「物質循環の円滑さ」を構成する「負荷・海水交換」の視点から、物質循環の基礎となる負荷と海水交換のバランスを検査した「負荷滞留濃度」¹
- ② 「生態系の安定性」を構成する「生息空間」の視点から、①を受け生物を生産する構造の自然度を検査した「人工海岸の割合」

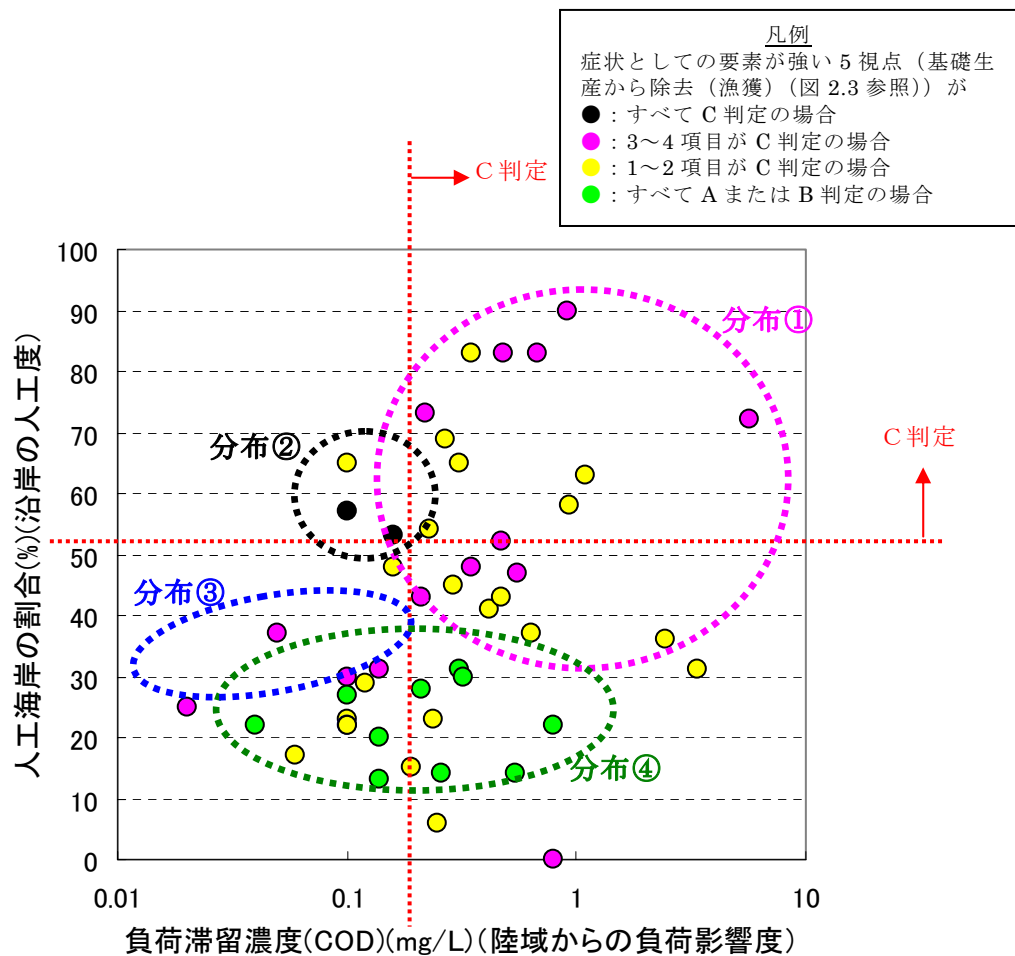


図 2.4 一次検査結果の分布が示す閉鎖性海湾の不健康の傾向

¹ 負荷滞留濃度とは負荷と海水交換のバランスを示す指標(「海の健康診断 考え方と方法」(平成 18 年 3 月、海洋政策研究財団)参照)。値が高いほど、高負荷が湾内に滞留していることを表す。

その結果、図 2.4 の分布では、特徴的な 4 つの分布が見出された。その原因や症状の傾向、また、そこから推定される健康状態について表 2.3 にまとめた。

表 2.3 一次検査結果分析結果における特徴的な分布とその傾向

分布	原因の傾向	症状の傾向	左記からの推定される健康状態
①	陸域からの負荷影響度が高く、沿岸の人工度が高い（自然度が低い）	「基礎生産」や「堆積・分解」など「物質循環の円滑さ」に関わる症状に多く C 判定がみられる	陸域からの過剰な負荷が沿岸の緩衝帯において取り込まれないまま海域へ流入し、不健康になっている
②	陸域からの負荷影響度は低いが、沿岸の人工度が高い（自然度が低い）	該当例は少ないが、「生態系の安定性」「物質循環の円滑さ」に関わる症状すべてで C 判定がみられる場合が多い	陸域からの負荷は現在抑制されているが、蓄積した負荷が沿岸の緩衝帯において取り込まれないため、不健康状態が続いている
③	陸域からの負荷影響度、沿岸の人工度ともに低い（自然度が高い）	原因となる視点に C 判定がみられないが、「生態系の安定性」に関わる視点に C 判定が多くみられる。	自然に近い状態の海湾であるにも関わらず陸域からの負荷を抑制したため、生態系に不健康がみられる
④	陸域からの負荷影響度は高いが、沿岸の人工度は低い（自然度が高い）	上記の 3 グループに比べて、比較的 C 判定が少ない。	自然に近い状態の海湾と生態系にとって適度な負荷があり、比較的健全である

この分布には、明瞭な境界はみられないものの、一次検査の C 判定基準によって区分したグラフ上の四つの象限と概ね対応しており、この四つの象限は、海湾における不健康の原因から症状までの流れを示すにあたって、有効な区分と考えられた。

以上より、二次検査の進め方は、全国の主要閉鎖性海湾の「海の健康診断」一次検査分析結果から、海湾の不健康の主な原因が、栄養負荷の摂取量とその代謝機能との不釣り合いにあることが推定できたことから、負荷と海水交換のバランスを検査している「負荷・海水交換」と生物生産の基盤を支えている「生息空間」という大きな 2 つの視点を軸にして、「生態系の安定性」と「物質循環の円滑さ」を現す視点との連関構造をたどりながら、病状とその進行度合いを判定し、原因を究明する方法が良いと考え、その手順を組み立てた。

(b) 二次検査の構成とオプション

二次検査は、不健康な視点（病状）を特定する「再検査」と不健康な視点（病状）の原因を特定する「精密検査」とから構成し、「二次診断」では、病状と進行度合い（重篤度）及びその原因を明らかにする。

さらに、診断の結果は、治療につなげる必要があることから、「海の健康診断」の直接的な範疇ではないが、病状、原因から推定できる治療手段を「処方箋（メニュー）」として示した。また、一定の専門的見地からでは病状やその原因が特定できない場合には、より高度な専門性をもって解析を必要とすることから、「調査・研究」の必要性にも言及した。この、「処方箋（メニュー）」と「調査・研究」はオプションとして位置づけている。

二次検査は、「再検査」と「精密検査」とから構成し、それらの検査結果を用いて「二次診断」では、病状と進行度合い（重篤度）及びその原因を明らかにする。また、その他のオプションとして、処方箋（メニュー）、調査・研究を位置づけている（表 2.4）。

表 2.4 二次検査・オプション一覧

項 目		内 容
二次検査	再検査	一次検査は誰でも実施できることをコンセプトにできる限り簡便なデータを用いて実施しているため、その診断結果は不確実性を伴う。 そこで、再検査は、各海湾がもつ特有の構造や機能を背景におきながら、地元の研究機関等が持っているデータなどを活用して、一次検査の結果を精査し、不健康な視点（病状）を特定する。
	精密検査	再検査の結果まででは、不健康の原因を究明できていないため、その後の“治療”につながらない。 そこで、精密検査では、再検査までの検査結果から原因と症状の進行度を想定し、不健康な視点（病状）の原因を特定する。
	二次診断	以上の検査結果をとりまとめ、病状と進行度合い（重篤度）及びその原因を明らかにする。原因が特定できない場合は、調査・研究の必要性について判断する。
オプション	処方箋（メニュー）	二次診断において確定した原因タイプに応じて、適切な処方箋を考える。処方による副作用や処方上の注意に十分留意して、海湾を治療する。
	調査・研究	二次診断では、複合的な条件によって不健康になっている海の場合、原因を確定できない事例もあるものと考えられる。 そこで、一定の専門的見地からでは病状やその原因が特定できない場合には、より高度な専門性をもって解析を必要とすることから、モデル解析等の手法を用いた調査・研究を実施する。

2.2 二次検査の具体的な方法

二次検査からオプションまでの流れは図 2.5 に示すとおりである。

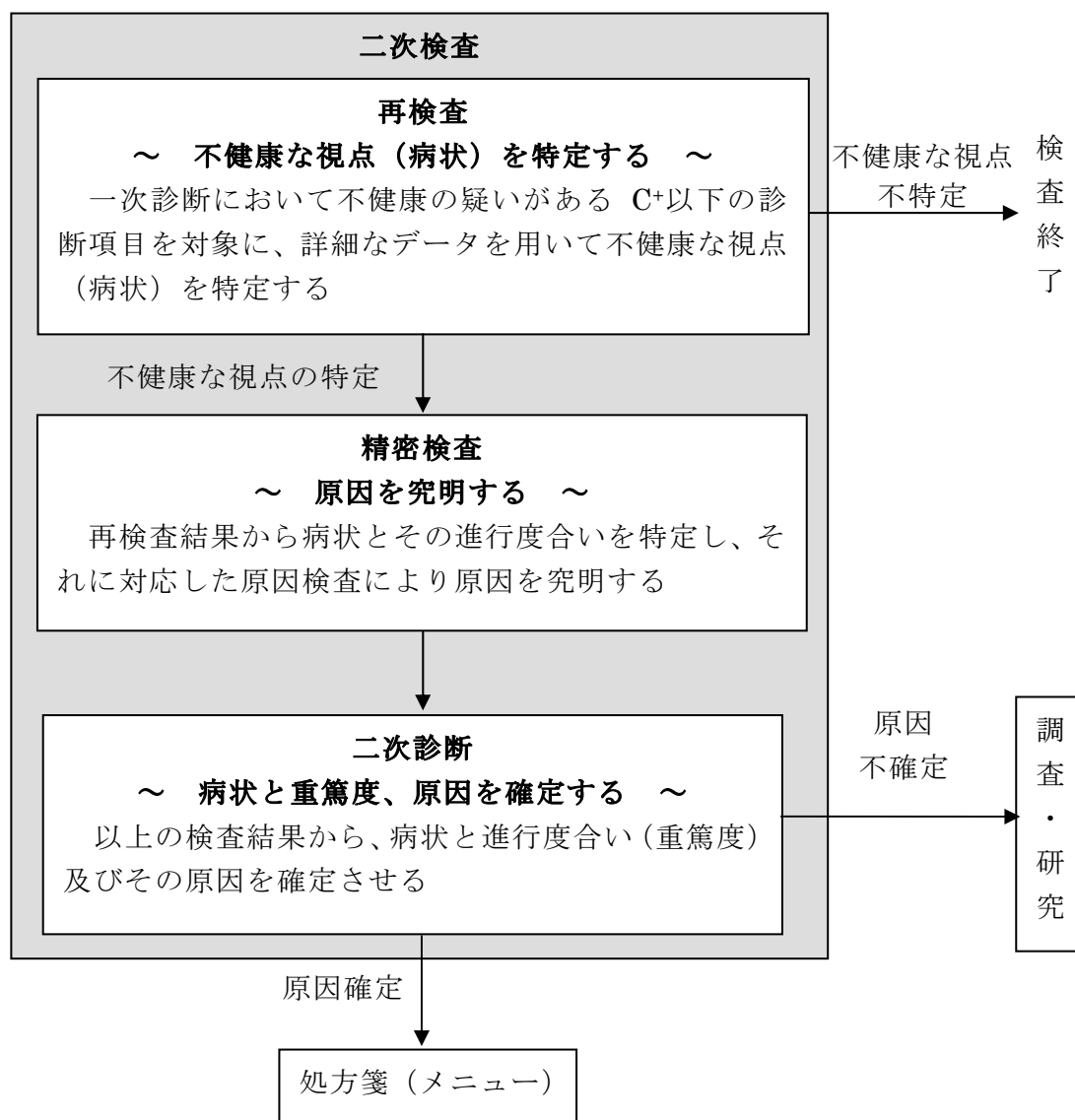


図 2.5 二次検査から処方箋あるいは調査・研究までの流れ

以降、検査・オプション毎に具体的な実施手順について解説する。

1) 再検査

再検査は、一次検査の結果を精査するため、検査の視点をより明確に指標する具体的なデータを用いた「一次検査の精査」と個々の海湾が本来備えている海の「営み」の仕組み（構造や機能）によって判定された不健康判定（C要請検）を排除する「“海湾らしさ”の確認検査」の2つのプロセスで実施する。

各プロセスにおいて「精密検査」が不要と判断できた海湾はそこで検査を終了する。

再検査は「一次検査の精査」と「“海湾らしさ”の確認検査」の2つのプロセスから実施する。再検査の手順は図 2.6 に示すとおりである。

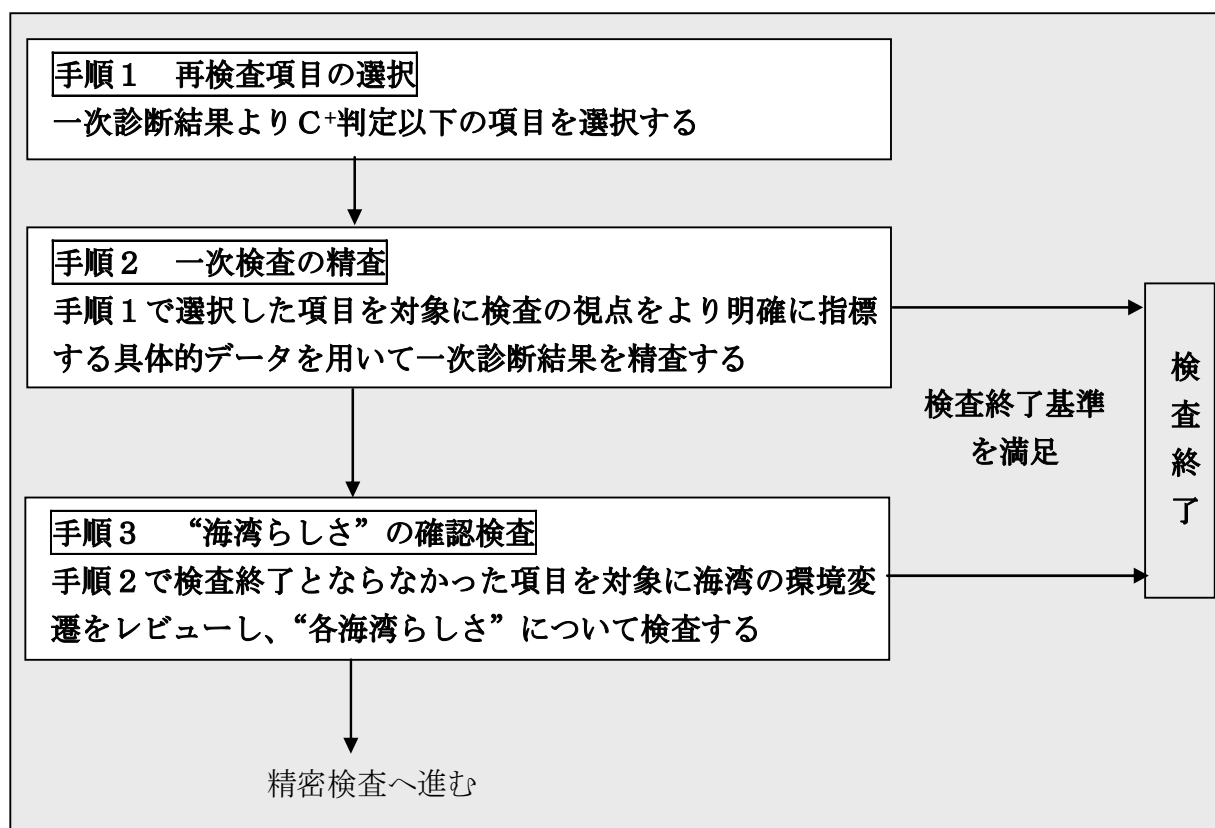


図 2.6 再検査の手順

再検査方法の詳細については、以下のとおりである。

A) 手順1 再検査項目の選択

一次診断結果から、C+以下の判定（少なくとも複数の検査内容の場合は片方だけでもC判定の場合）の項目を再検査項目として選定する。

B) 手順2 一次検査の精査

一次検査では、全国的に一律に実施されている公表データを基本的に用いたが、検査の視点をより明確に指標する具体的データが存在している場合がある。

そこで、手順1で選択した再検査項目を対象に、検査視点をより明確に指標する具体

的データを用いて一次検査と同様な検査を実施し、不健康な結果が出るかについて検証する。

具体的な内容は表 2.5 に示すとおりである。

精密検査が不必要（精検不要）と判断されたものについては、そこで検査を終了する。それ以外は次の手順 3 「“海湾らしさ” の確認検査」に進む。なお、「生息空間」、「負荷・海水交換」については、一次検査内容以上に必要なデータが想定されないことから、本検査は省略し、次の手順 3 「“海湾らしさ” の確認検査」に進むこととする。

検査基準については一次検査のように全国一律の基準設定が難しい。ここでは目安としての基準を示すが、詳細については各海湾の状況をよく知っている地域の研究者等に判断して頂きたい。

表 2.5 具体的な再検査の内容（一次検査の精査）

視点		一次検査内容	再検査項目	検査のねらいと方法	検査終了基準
生態系の安定性	生物組成	<ul style="list-style-type: none"> ・漁獲生物の分類群別組成の変化 ・海岸生物の出現状況 	近年 20 年程度の底生生物相の変化	<p>一次検査では全国一律で統計的に集計されている漁獲量や簡易な海岸観察データによる検査を行った。</p> <p>再検査では、沿岸の定着性生物の代表の 1 つである海底の底生生物の生物相の過去 20 年程度の間の変化を検査する。</p>	現在確認されている底生生物の出現種類の 8 割以上は 20 年前にも確認されていた種類である
	生息環境	<ul style="list-style-type: none"> ・貧酸素水の確認頻度 	貧酸素水の発生面積	<p>一次検査では全国一律で実施されている公共用水域水質調査結果等を用いて貧酸素水の発生頻度を確認したが、海湾の面積に対して確認地点数が少ない、または地点の配置に偏りがあるなど貧酸素水の発生規模を十分に評価できていない場合が考えられる。</p> <p>再検査では地元研究機関等が作成した貧酸素水の発生海域図などを用いて、貧酸素水の発生面積について検査する。</p>	貧酸素水の発生面積は海湾全体の 50% 未満である
物質循環の円滑さ	基礎生産	<ul style="list-style-type: none"> ・透明度の変化 ・赤潮の発生頻度 	栄養塩類、植物プランクトン、クロロフィルの変化	一次検査で扱った「赤潮の発生頻度」の基礎情報となる海域の栄養塩類、植物プランクトン、クロロフィルの過去 20 年程度の変化から富栄養化の傾向がみられるかを検査する。	栄養塩類、植物プランクトン、クロロフィルは減少傾向にある
	堆積・分解	底質環境（硫化物）	底質中の有機物量（COD, T-N, T-P など）の変化	一次検査で扱った硫化物量の基礎情報となる底質中の有機物量の過去 20 年程度の変化から、海底に負荷が蓄積する傾向がみられるかを検証する。	有機物量は減少傾向にある
	除去（漁獲）	底生魚介類の分類群別漁獲量	底生魚介類の魚種別漁獲量	<p>一次検査では全国一律で統計的に集計されている漁獲量を大まかに分類群別にみて検査したが、同じ分類群の中にも生活史の違いによって各海湾への依存性が異なる種類がいることが考えられる。</p> <p>再検査では、魚種別漁獲量を用いて湾内への定着性が高い魚種に絞ってみた場合にも一次検査結果と同様の結果が出るかを検査する。</p>	海湾に定着性の強い魚種の漁獲量は減少していない

C) 手順3 “海灣らしさ”の確認検査

人間でも同じインパクトを受けても病気になる人とならない人がいるように、個々の海灣もその特性に応じてインパクトに対する耐性は異なると考えられる。一次検査で全国一律に設けた基準を逸脱していても、その現象が海灣の物質循環や生態系の維持をするために重要な役割を担っている可能性について考慮する必要がある。

そこで、「手順2 一次検査の精査」において検査終了にならなかった項目について、高度成長期前など人為的インパクトが少ない時期から現在に至る環境の変遷をレビューし、特定の“海灣らしさ”を確認する。

具体的な検査内容は表 2.6 に示すとおりである。

選択したすべての項目で検査終了基準を満たした場合は検査を終了する。そうでなければ、次の「精密検査」に進む。なお、資料の不足によって再検査が実施できない項目については、「疑しきものは検査する」という姿勢から精密検査へ進むこととする。

なお、検査基準については一次検査で示したような全国一律の基準設定が難しい。ここでは目安として示すが、詳細については各海灣の状況をよく知っている地域の研究者等に判断して頂きたい。

表 2.6 具体的な再検査の内容（“海灣らしさ”の確認検査）

視 点	再検査内容	検査のねらいと方法	検査終了基準	
生態系の安定性	生物組成	人為的な負荷やインパクトが少ない頃（概ね高度成長期(1970年)以前と考えられる)にも同じような生物の生息が確認されていれば、本来もつ構造的な閉鎖性等によって生息している生物が制限されている可能性がある。高度成長期前と現在の底生生物相を比較する。	現在確認されている底生生物の出現種類の8割以上は20年前にも確認されていた種類である	
	生息空間	海灣の起源	人工的に作られた海灣において、干潟・藻場の面積や自然海岸の延長などの健全度を評価すること自体無理がある。海灣の起源について確認する。	人工海灣である
		埋立が少ない頃と現在の干潟・藻場面積の比較	埋立が少ない頃（概ね高度成長期（1970年）以前と考えられる）にも干潟・藻場面積が同程度であれば、本来もつ構造的な閉鎖性等によって干潟や藻場が形成されにくいという可能性がある。高度成長期前と現在の干潟・藻場面積を比較する。	高度成長期以前に比べて、干潟・藻場面積は減少していない
生息環境	外部からのインパクト（負荷や埋立）が少ない頃と現在の貧酸素水の比較	人為的な負荷やインパクトが少ない頃（概ね高度成長期（1970年以前と考えられる）にも同程度の貧酸素水が確認されていれば、運命的に貧酸素水が発生する海灣と考えられ、そのような海灣では貧酸素水が発生することを問題にできない。高度成長期前と現在の貧酸素水発生面積を比較する。	高度成長期以前にも現在と同程度（面積）の貧酸素水が確認されている	
物質循環の円滑さ	基礎生産	外部からのインパクト（負荷や埋立）が少ない頃と現在の赤潮発生状況の比較	人為的な負荷やインパクトが少ない頃（概ね高度成長期(1970年)以前と考えられる)にも赤潮が確認されているということは、本来もつ構造的な閉鎖性等によって自然に赤潮が発生する海灣と想定される。高度成長期前と現在の赤潮発生状況（日数等）を比較する。	高度成長期以前にも現在と同程度（発生日数など）の赤潮が確認されている
	負荷・海水交換	外部からのインパクト（負荷や埋立）が少ない頃と現在の負荷滞留濃度の比較	人為的な負荷やインパクトが少ない頃（概ね高度成長期(1970年)以前と考えられる)にも現在と同程度の負荷滞留濃度が確認されれば、負荷滞留濃度が高いことは運命的なものだと判断できる。高度成長期前と現在の負荷滞留濃度を比較する。	高度成長期以前と現在の負荷滞留濃度は同程度である
	堆積・分解	外部からのインパクト（負荷や埋立）が少ない頃と現在の有機物量や硫化物量の比較	人為的な負荷やインパクトが少ない頃（概ね高度成長期(1970年)以前と考えられる)にも同様の底質環境（粒度組成、有機物量、硫化物量など）が確認されているということは、本来もつ構造的な閉鎖性等によって自然に底質環境が決まる海灣と想定される。高度成長期前と現在の有機物量や硫化物量を比較する。	高度成長期以前に比べて現在の底質の有機物量や硫化物量は同程度か減少している
	除去（漁獲）	漁業の歴史の確認	対象海灣において歴史的にどのような漁業が行われてきたか、また、現在どのような漁業が行われているかを既存資料やヒアリングにより確認し、漁獲量データの有効性を検証する。	漁業が行われていた履歴がない

2) 精密検査

精密検査は、「再検査」の結果から「病状とその進行度合い（重篤度）」を特定し、必要な検査を選択し、不健康の原因を究明する「原因検査」を実施する。「生態系の安定性」と「物質循環の円滑さ」とを構成する各視点の連関構造を検証することで、主たる不健康の原因を特定する仕組みにしている。

A) 病状とその進行度合いの特定

「二次検査の考え方」で示したように、全国の主要閉鎖性海湾の一次検査分析結果から、海湾の不健康の主な原因が、栄養負荷の摂取量とその代謝機能との不釣り合いにあることが推定できた。この結果を踏まえて、精密検査では、この2つの原因の組み合わせ（原因タイプと呼ぶ）とそれ以外の視点の検査結果から不健康の重篤度を診ることとした。

原因タイプについては次の①～④に分類した（表 2.7 参照）。

- ① 「負荷影響強・高人工化タイプ」（人為的影響増加型）は「負荷・海水交換」がC判定、「生息空間」がC判定の組み合わせの場合である。このタイプは、沿岸の緩衝帯が人為的な埋立等で減少し、負荷を生物生産に転換する機能が弱っているにも関わらず、さらに陸域から人為的な過剰負荷の流入が続いて健康が損なわれているタイプと考えられる。最も海湾の健康が失われている例が多いタイプである。
- ② 「負荷影響弱・高人工化タイプ」（自然海岸減少型）は、「生息空間」がC判定の場合である。このタイプは流入負荷の量は適度だが、沿岸の緩衝帯が人為的な埋立等で減少し負荷を生物生産に転換する力が弱って健康が損なわれているタイプと考えられる。
- ③ 「負荷影響強・低人工化タイプ」（過剰負荷影響型）とは、「負荷・海水交換」がC判定の場合である。このタイプは、負荷を生物生産に転換する沿岸の緩衝帯が健全であるが、陸域から人為的な過剰負荷の流入が続いて健康が損なわれているタイプと考えられる。
- ④ 「負荷影響弱・低人工化タイプ」（過去後遺症型）とは、負荷・海水交換、生息空間がともにC判定ではない場合である。このタイプは現状では不健康になる原因がないにも関わらず、過去の人為的影響により健康が損なわれているタイプである。

進行度合い（重篤度）については、海域の表層部分まで症状がみられているⅠ（軽度）、表層だけでなく底層部分まで症状がみられているⅡ（中度）、また、Ⅱの影響が生物にまで及んでいるⅢ（重度）の三段階とした。

なお、④のタイプについては、生物にのみC判定がみられる場合はⅠ、底層部分まで症状がみられているⅡ、Ⅱの影響が生物にまで及んでいるⅢの三段階とした。生物まで症状が出ている場合をⅠとしているのはこのタイプのみであるが、栄養不足による生物減少のような特殊な事例が考えられるためである。また、④のタイプは過去の過剰な流入負荷の蓄積など負の遺産を引きずっている恐れがあることから、流入負荷の履歴などの原因をしっかりと確認する必要がある。なお、わからない場合は「調査・研究」が必要となる。

表 2.7 原因と重篤度のタイプ

原因タイプ	重篤度	検査結果						
		負荷・海水交換	生息空間	基礎生産	堆積・分解	生息環境	除去(漁獲)	生物組成
① 負荷影響強・高人工化タイプ	I(軽度)							
	II(中度)				※			
	III(重度)				※		※	
② 負荷影響弱・高人工化タイプ	I(軽度)							
	II(中度)				※			
	III(重度)				※		※	
③ 負荷影響強・低人工化タイプ	I(軽度)							
	II(中度)				※			
	III(重度)				※		※	
④ 負荷影響弱・低人工化タイプ	I(軽度)							※
	II(中度)							
	III(重度)				※		※	

注) ■は再検査におけるC判定。なお※は両方もしくはいずれがC判定の場合。

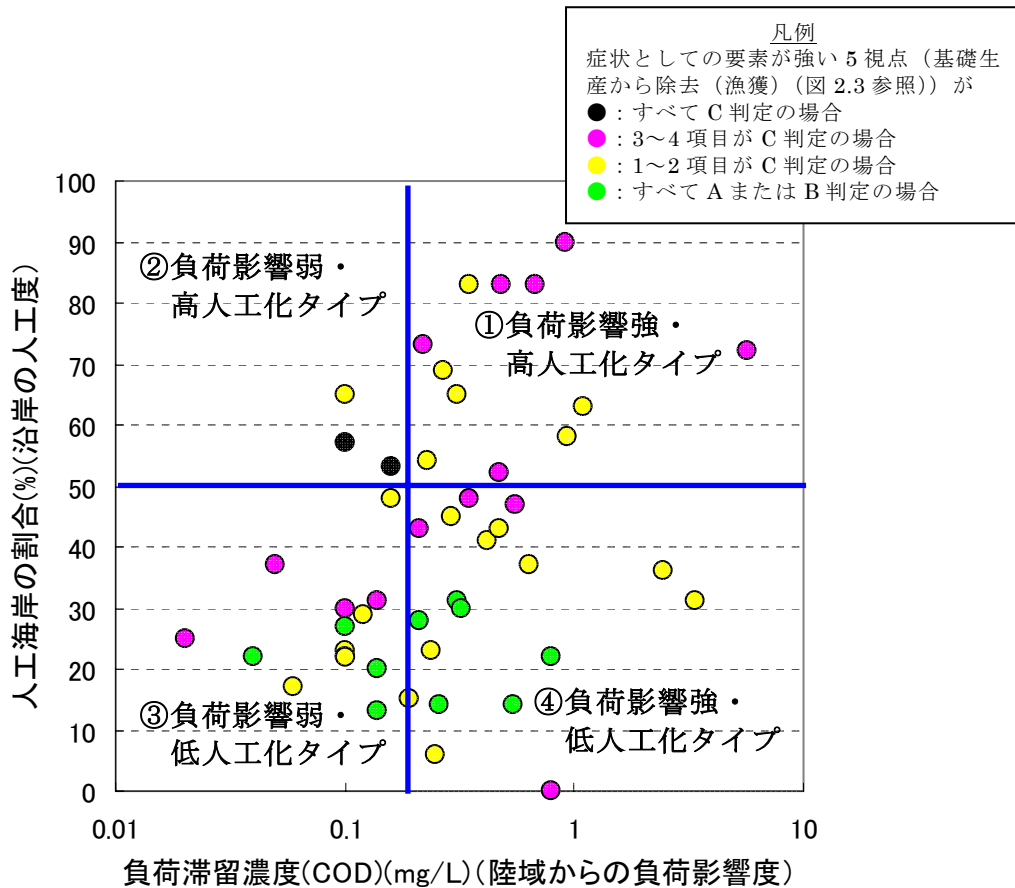


図 2.7 原因タイプ・ステージ想定シート

B) 原因検査

A)で特定した病状とその進行度合い（重篤度）に応じて設定した検査を実施する（図 2.8～図 2.11）。

①「負荷影響強・高人工化タイプ」は「負荷・海水交換」、「生息空間」がともに C 判定のタイプで、重篤度Ⅰでは「負荷・海水交換」「生息空間」と「基礎生産」との関係を探る検査として、陸域からの負荷量の変遷と赤潮発生日数の変遷との関係、干潟・藻場面積の変遷と赤潮発生日数の変遷との関係などを検査する。重篤度Ⅱ～Ⅲでは、「基礎生産」から「堆積・分解」、「生息環境」までの関係を探る検査として、赤潮発生日数の変遷と底質中の有機物量の変遷との関係、底質中の有機物量・硫化物の変遷と貧酸素水発生面積の変遷との関係などを検査する。また、重篤度Ⅲでは、「生息環境」と「生物組成」、「除去（漁獲）」との関係を探る検査として、斃死魚類の外見・解剖による死因確認や底生魚介類の努力量あたりの漁獲量と貧酸素水発生面積の変遷との関係などを検査する。

②「負荷影響弱・高人工化タイプ」は「生息空間」が C 判定の場合、③「負荷影響強・低人工化タイプ」は、「負荷・海水交換」が C 判定の場合であることから、いずれも①での精密検査を基本にそれぞれ原因と考えられる視点のみを検査する。

④「負荷影響弱・低人工化タイプ」は、負荷・海水交換、生息空間がともに C 判定ではない特別なタイプであることから、重篤度Ⅱ～Ⅲの検査は他のタイプと同様に行うが、重篤度Ⅰの場合は、流入負荷の過去の履歴などを検査する。

検査の結果、原因から病状、進行度合い（重篤度）までの流れが確定できれば、原因が明らかとなる。

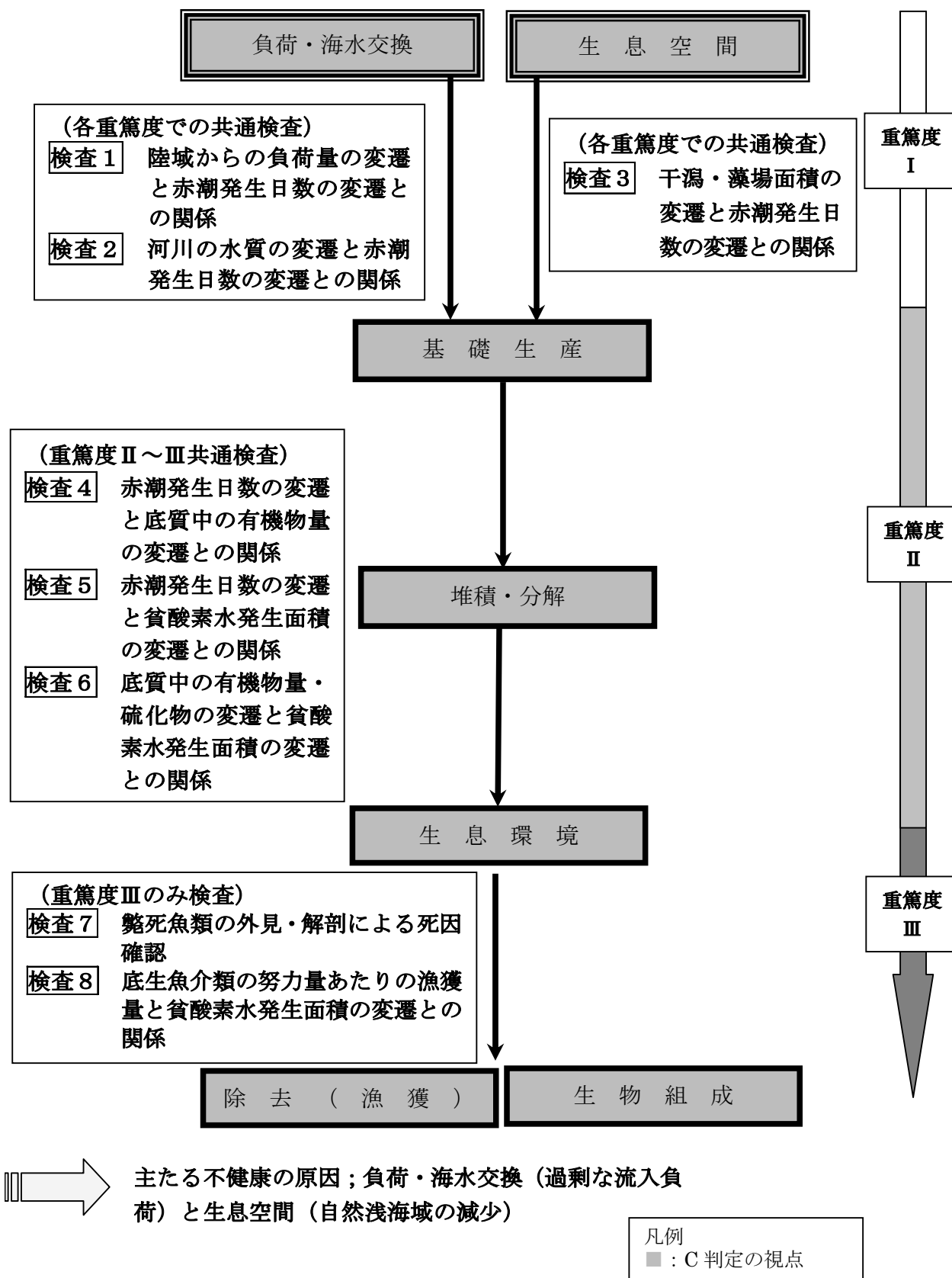
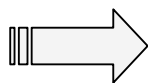
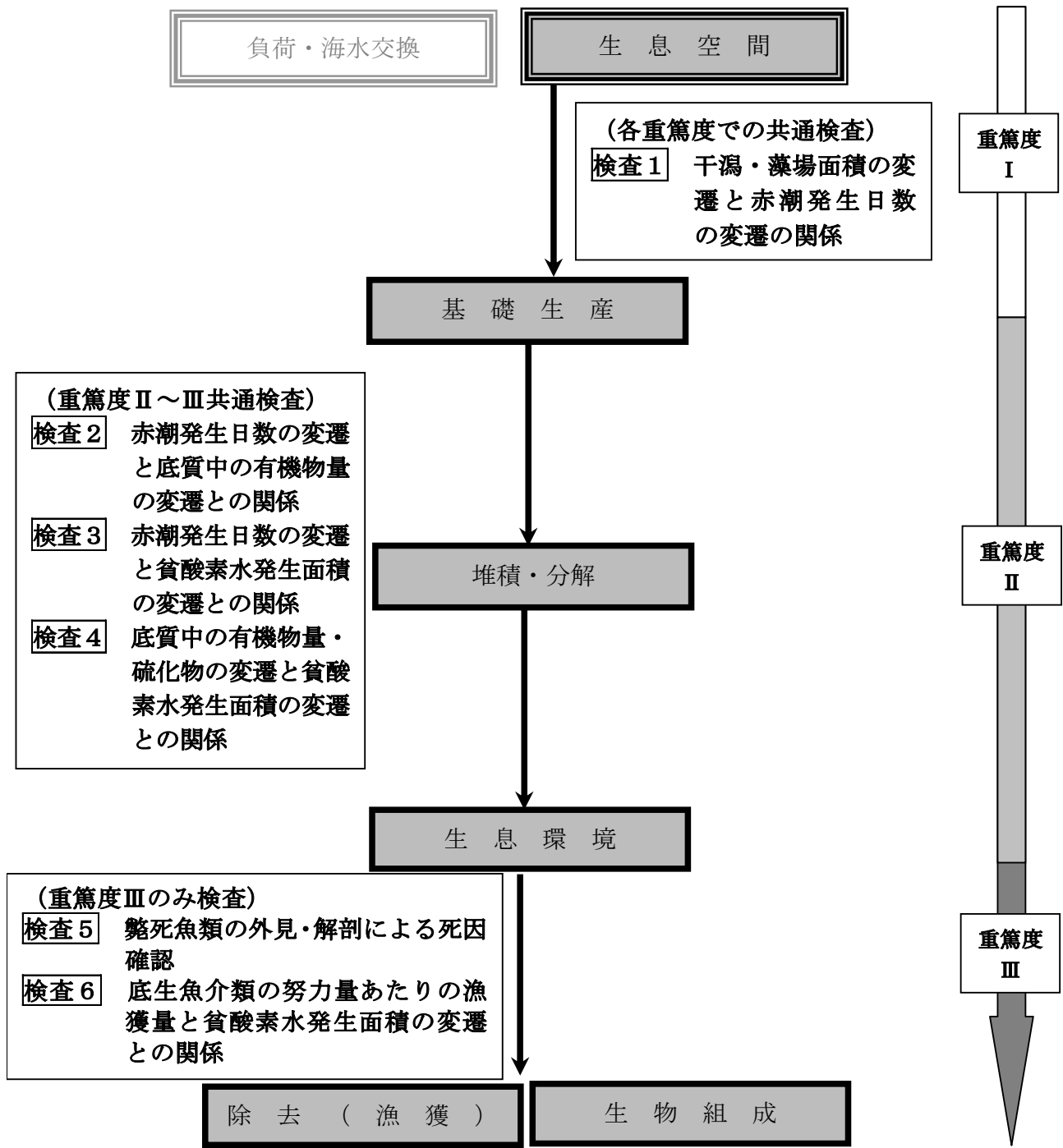
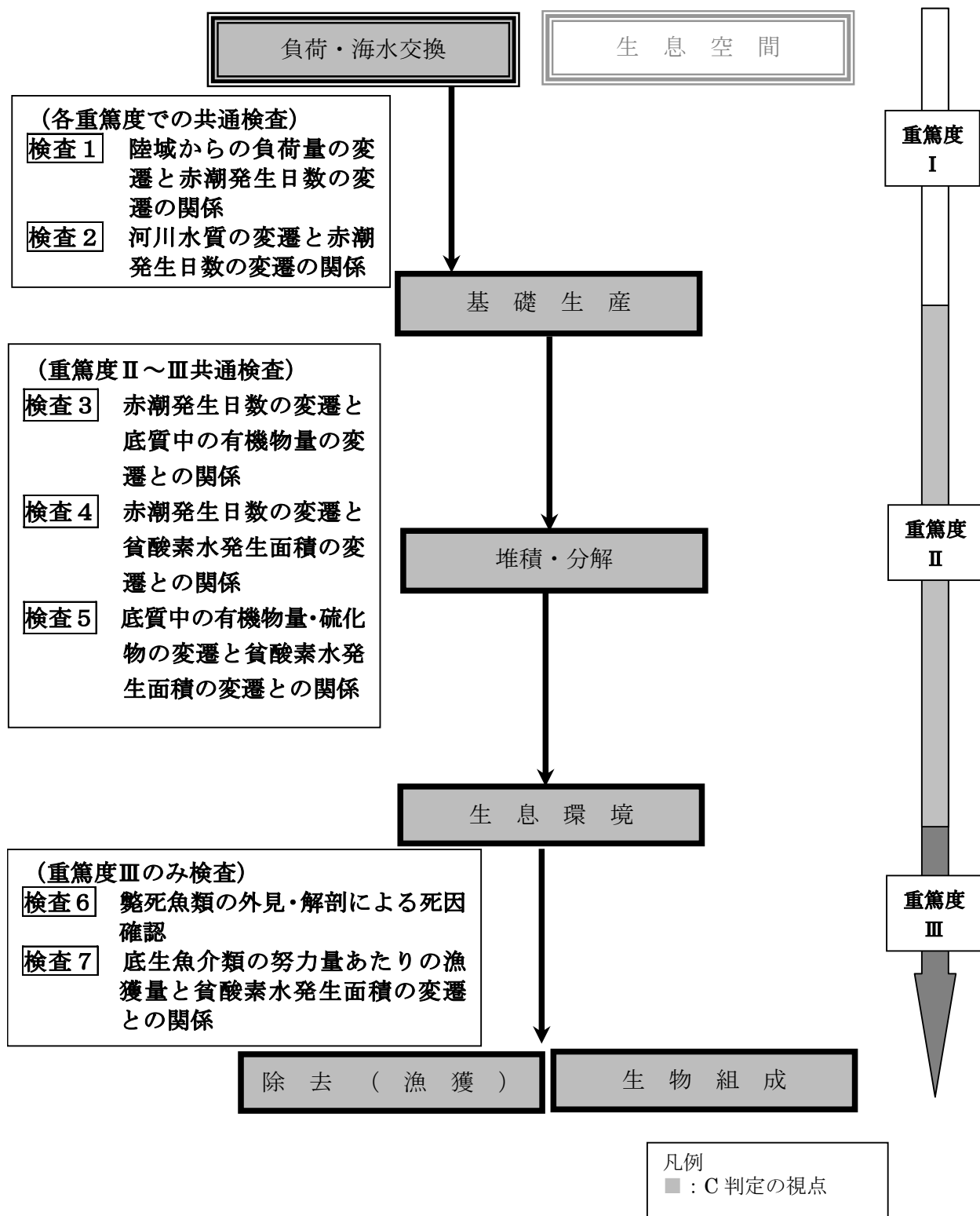


図 2.8 「①負荷影響強・高人工化タイプ」の精密検査内容



主たる不健康の原因；生息空間（自然浅海域の減少）

図 2.9 「②負荷影響弱・高人工化タイプ」の精密検査内容



主たる不健康の原因；負荷・海水交換（過剰な流入負荷）

図 2.10 「③負荷影響強・低人工化タイプ」の精密検査内容

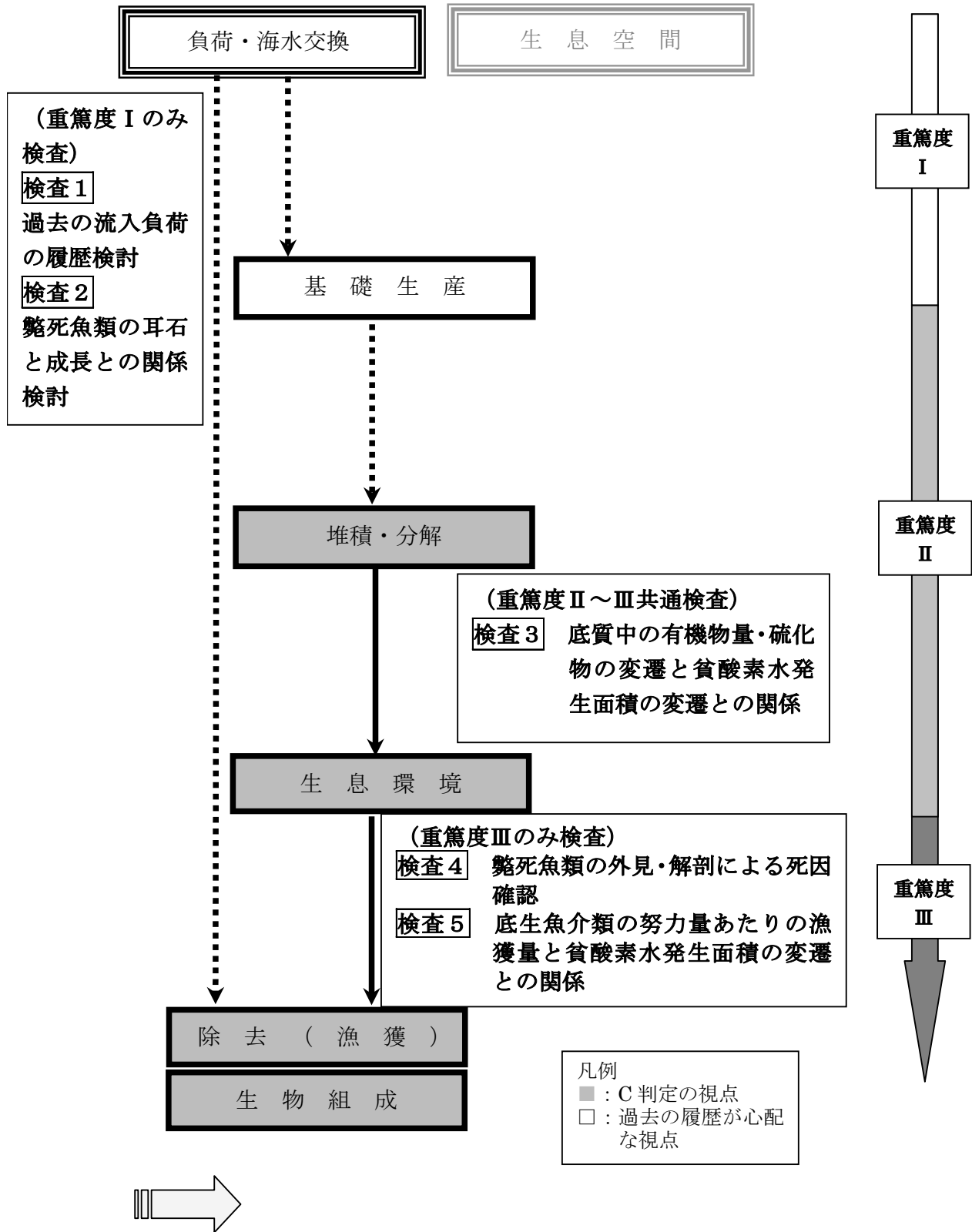


図 2.11 「④負荷影響弱・低人工化タイプ」の精密検査内容

3) 二次診断

以上の検査結果を総合的にとりまとめ、二次診断シートを作成する。
原因から症状までの流れが検証できた海灣については、主たる不健康の原因を記述する。

以上の検査結果を総合的にとりまとめ、二次診断シート（表 2.8）を作成する。

精密検査において原因から症状までの流れが検証できた海灣については、主たる不健康の原因を記述する。また、この場合には、「調査・研究の必要性」を「低い」を○で囲み、次の「処方箋（メニュー）」を参考にする。

一方、流れが検証できない場合には、特異な例であることが想定されることから、「調査・研究」が必要である。この場合には、「調査・研究の必要性」を「高い」を○で囲み、「調査・研究」に進む。

表 2.8 二次診断シート

患者名:

検査名称	視点	一次検査	再検査		二次検査				二次診断	調査・研究の必要性																																																																																																														
			内容	結果	診断	精密検査																																																																																																																		
						病状とその進行度合いの特定																																																																																																																		
検査結果(カルテ)	生態系の安定性	生物組成	二次検査の精査 底生生物相の変化		要 精 査	原因と重篤度のタイプ <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">原因タイプ</th> <th rowspan="2">重篤度</th> <th colspan="6">検査結果</th> </tr> <tr> <th>負荷・海水交換</th> <th>生息空間</th> <th>基礎生産</th> <th>堆積・分解</th> <th>生息環境</th> <th>除去(漁獲)</th> <th>生物組成</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">① 負荷影響強・高人工化タイプ</td> <td>I(軽度)</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>※</td> <td></td> </tr> <tr> <td>II(中度)</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>※</td> <td>※</td> </tr> <tr> <td>III(重度)</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>※</td> <td>※</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">② 負荷影響弱・高人工化タイプ</td> <td>I(軽度)</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>※</td> <td></td> </tr> <tr> <td>II(中度)</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>※</td> <td>※</td> </tr> <tr> <td>III(重度)</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>※</td> <td>※</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">③ 負荷影響強・低人工化タイプ</td> <td>I(軽度)</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>※</td> <td></td> </tr> <tr> <td>II(中度)</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>※</td> <td>※</td> </tr> <tr> <td>III(重度)</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>※</td> <td>※</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">④ 負荷影響弱・低人工化タイプ</td> <td>I(軽度)</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>※</td> <td>※</td> </tr> <tr> <td>II(中度)</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>※</td> <td>※</td> </tr> <tr> <td>III(重度)</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>※</td> <td>※</td> </tr> </tbody> </table> <p>注) ■は再検査におけるC判定。なお※は両方もしくはいずれがC判定の場合。</p>				原因タイプ	重篤度	検査結果						負荷・海水交換	生息空間	基礎生産	堆積・分解	生息環境	除去(漁獲)	生物組成	① 負荷影響強・高人工化タイプ	I(軽度)					※		II(中度)					※	※	III(重度)					※	※	② 負荷影響弱・高人工化タイプ	I(軽度)					※		II(中度)					※	※	III(重度)					※	※	③ 負荷影響強・低人工化タイプ	I(軽度)					※		II(中度)					※	※	III(重度)					※	※	④ 負荷影響弱・低人工化タイプ	I(軽度)					※	※	II(中度)					※	※	III(重度)					※	※								
			原因タイプ	重篤度								検査結果																																																																																																												
		負荷・海水交換								生息空間	基礎生産	堆積・分解	生息環境	除去(漁獲)	生物組成																																																																																																									
	① 負荷影響強・高人工化タイプ	I(軽度)										※																																																																																																												
		II(中度)										※	※																																																																																																											
		III(重度)										※	※																																																																																																											
	② 負荷影響弱・高人工化タイプ	I(軽度)										※																																																																																																												
		II(中度)										※	※																																																																																																											
		III(重度)										※	※																																																																																																											
	③ 負荷影響強・低人工化タイプ	I(軽度)										※																																																																																																												
		II(中度)										※	※																																																																																																											
		III(重度)										※	※																																																																																																											
④ 負荷影響弱・低人工化タイプ	I(軽度)					※	※																																																																																																																	
	II(中度)					※	※																																																																																																																	
	III(重度)					※	※																																																																																																																	
物質循環の円滑さ	生息環境	一次検査の精査 貧酸素水の発生面積																																																																																																																						
		“海湾らしさ”の確認検査 高度成長期前と現在の貧酸素水発生状況の比較																																																																																																																						
	基礎生産	一次検査の精査 栄養塩類(またはクロロフィル、植物プランクトン)の変化																																																																																																																						
		“海湾らしさ”の確認検査 高度成長期前と現在の赤潮発生状況の比較																																																																																																																						
	負荷・海水交換	“海湾らしさ”の確認検査 高度成長期前と現在の負荷滞留濃度の比較																																																																																																																						
		一次検査の精査 底質の有機物量の変化																																																																																																																						
除去(漁獲)	堆積・分解	“海湾らしさ”の確認検査 高度成長期前と現在の底質環境の比較																																																																																																																						
		一次検査の精査 ・定着性魚介類漁獲量の変化																																																																																																																						
	除去(漁獲)	“海湾らしさ”の確認検査 ・漁業の定着性																																																																																																																						
		一次検査の精査 底生生物相の変化																																																																																																																						

各再検査結果を記入する。
 ・検査は各視点ともに「一次検査の精査」→「海湾らしさ」の確認検査の順で実施する。
 ・検査終了基準を満たす場合は「検査終了」、満たさない場合は「C」と記入する。「一次検査の精査」において検査終了と記載した場合は「海湾らしさ」の確認検査は必要ない。
 ・すべて「検査終了」の場合は、そこで検査を終了。それ以外の場合は「精密検査」に進む。

すべての検査結果から
 ・すべて「検査終了」→「精査不要」
 ・それ以外→「要精査」

再検査結果を原因と重篤度のタイプに照らし合わせて、病状やその進行度合いを想定する。
 想定したタイプ名と重篤度に色をつける。

想定したタイプ名とステージ名に応じて精密検査内容を選択し、色をつけておく。

精密検査結果を記載する。
 関係がみられたものに○を記入する。

精密検査結果により関係が確認された間の矢印を塗りつぶす。
 その結果から主たる原因を記述する。主たる原因は流れ(矢印)の始まりのものである。

二次診断においてタイプや進行度合いが確定できた場合は「低い」、確定できない場合は「高い」を○で囲む。

主たる原因: 過剰負荷の継続 生息空間減少 蓄積負荷 負荷不足

4) 処方箋（メニュー）

二次診断において明らかとなった原因に対して、適切な処方箋を想定する。
ここでは、各原因に対して推奨する処方箋メニューを提示している。

二次診断において明らかとなった原因に対しては、適切な処方箋を想定する必要がある。処方箋として考えられるメニューは多くあるが、その主なものを表 2.9 に示した。

想定した処方箋から治療方針を策定する際には、心配される「副作用」や「処方時の注意」にも十分配慮する必要がある。

処方箋は原因に応じて異なるが、浅海部の再生のような「自然再生」を前提とした対策が、比較的効果が期待できる汎用性の広い治療方法と考えられる。

表 2.9 原因に応じた主な処方箋メニュー

人の治療法で言えば……		効能 (現実的な効果の期待度)	対策の内容	心配される副作用	処方時の注意	原因に対する処方の適(○)不適(×)			
						過剰流入負荷	生息空間	負荷蓄積	流入負荷不足
食事療法	食事量を減らす	陸域からの過剰な負荷を減少させる(期待大)	下水道の整備等	生物の減少	生態系に必要な栄養塩量を保つように注意	○	×		×
	食事量を増やす	陸域からの負荷を増加させる(期待大)	下水道施設の順応的運用	富栄養化の進行		×	×	×	○
運動療法	血液の流れの促進	エスチュアリー循環を促進する(期待大)	淡水の導入	生物相の変化	流入河川の多い海域に適用	○		○	
		流れを促進する(期待小)	流動発生装置の設置	局所的な生物相の変化	流動の強さや向きについては検討が必要	○	○	○	
		底質中に酸素を送り込む(期待小)	底質の耕耘	濁りの増加	耕耘時の濁りが周辺環境に広がらないように注意	○	○	○	
投薬療法	脂肪を分解する薬の投入	生物投入による堆積物の分解促進(期待小)	生物(ゴカイ類、カキなど)の投入	生物相の変化	・外来種の投入など生態系の攪乱を避ける ・貧酸素水の発生時期を避けるなど投入生物の生息維持に配慮	○	○	○	
		酸素の直接供給(期待小)	エアレーション	底生生物生息地盤の物理的攪乱	貧酸素水発生域を特定した効果的な実施	○	○	○	
			外海水の導入	海湾内の水質環境・生物相の変化	外海水を導入することによって海水交換を阻害しないように注意	○	○	○	
外科手術	脂肪の除去	蓄積した過剰負荷の除去(期待小)	浚渫	貧酸素水発生場所の増加	生物の生息に必要な最低限の栄養塩を保持するように注意		×	○	×
	血管の拡張	閉鎖的な地形を開放的にする(期待大)	湾口部の拡張	閉鎖性海湾としての特性変化	・漁業者等との調整を図る ・外海水の影響を予測する		×		×
		流れを促進する(期待小)	作渇	貧酸素水発生場所の増加	作渇時の濁りが周辺環境に広がらないように注意	○		○	
	血栓化部位の改善	貧酸素水発生源の改善(期待大)	人為的深掘跡の埋め戻し	生物生息場所の多様性の減少	深掘跡の形成履歴を確認し、人為的にできたものを対象にすること		○	○	
	脂肪の凝固	蓄積した過剰負荷の再溶出防止(期待小)	覆砂	生物相の変化	覆砂工事時の濁りが周辺環境に広がらないように注意			○	
	臓器の移植・再生	浅海部の再生(期待大)	干潟・藻場の造成	造成場所によっては河川流入水の阻害	かつて干潟・藻場が多くあった海湾に適している	○	○	○	

5) 調査・研究

二次診断において、「病状と進行度合い」が想定したタイプに当てはまらない場合や不健康な視点の連関構造が検証できない場合は、「調査・研究」に進む。

「調査・研究」では、「海健康診断」の枠組みからはみ出している「視点」がないのか、漏れている「視点」はないのか、「検査基準」は適正なものか、等々を意識して進め、改善・改良点があれば常にフィードバックできるようにしておくことが大切である。

また、現在の調査・観測技術では把握することができない様々な現象をバーチャルな空間で再現し、各視点の連関構造を検証することが可能なモデル解析の応用も重要である。

「海健康診断」が形骸化しないためにも必要なステップであると考えている。

二次診断で原因が明らかになった海湾は、著しい人為的原因があつて不健康になった海湾と考えられる。しかし、人為的原因が小さくてもそれを助長するように気象条件や海象条件が働く海湾やそもそも人為的ではなく自然による原因などで不健康になっている海湾もある。そのような海湾の「病状と進行度合い」は想定したタイプに当てはまらない場合も考えられる。

二次診断において、「病状と進行度合い」が想定したタイプに当てはまらない場合や不健康な視点の連関構造が検証できない場合は、「調査・研究」に進む。

「調査・研究」では、「海健康診断」の枠組みからはみ出している「視点」がないのか、漏れている「視点」はないのか、「検査基準」は適正なものか、等々を意識して進め、改善・改良点があれば常にフィードバックできるようにしておくことが大切であり、さらに「海健康診断」をどのような病状にも対応できるように進化させていくことが必要である。「海健康診断」が形骸化しないためにも必要なステップであると考えている。

調査・研究では、海健康診断の中では扱わなかった「時間的にも空間的にも連続的な変化」を追跡できる調査・解析手法を用いて、些細な環境変化や複合的な原因による環境変化を捉える必要がある。調査・解析手法としては次のような方法が考えられる。

A) モデル解析

複合的な原因による環境変化を捉えるためには、実際の海域環境をバーチャルに再現したモデルを用いて、物質のやり取りを解析することが必要となる。

例えば、干潟などの生態系における物質のやり取りを計算する「生態系モデル」（概念図イメージ：図 2.12）などが具体的な手法として考えられる。

また、具体的な実践例として、仙台湾における貧酸素水発生過程の研究例を参考資料に掲載した。仙台湾では、時間や場所が限られた非常に小さい規模で貧酸素水が発生し、それが魚類の斃死をもたらしている。現状の海健康診断では扱いきれていない局所的で短時間の水質変化もモデル解析のような方法を用いれば原因が見えてくるという事例である。

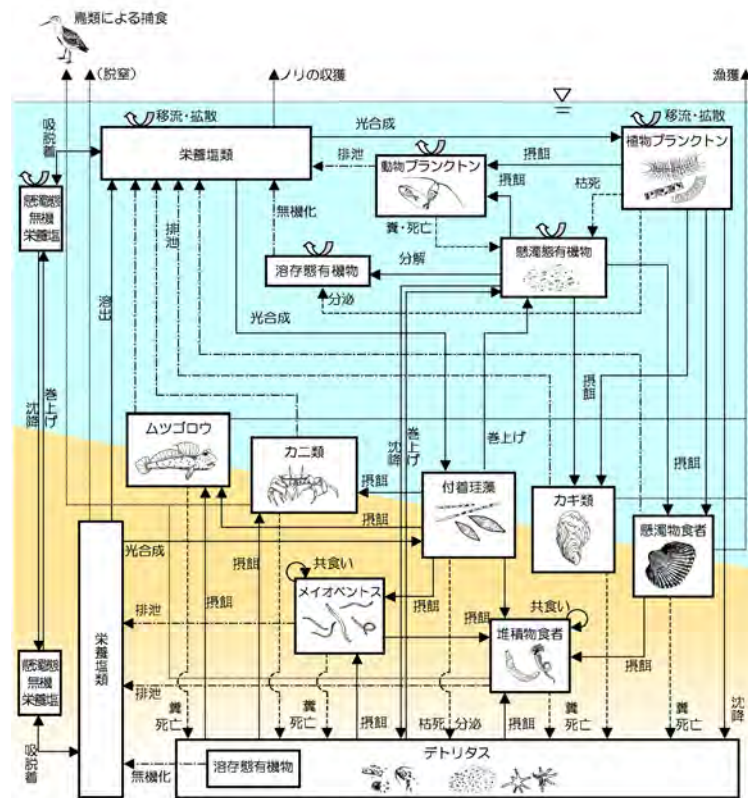


図 2.12 生態系モデルの概念図イメージ

B) 今後取り入れることが期待される観測データ

(a) リモートセンシング

ヘリコプターや人工衛星などを使って情報を遠隔から取得する手段であり、面的に連続した大量のデータを短時間で取得できるという利点がある。特に環境情報のように時々刻々と変化する可能性の高いものを解析するときには、このような連続したデータは重宝である。

面的にも時間的にも連続した様々なデータの重ね合わせから、二次診断より詳細な変化傾向の把握ができる。

(b) 観測ブイデータ

愛知県の三河湾や三重県の英虞湾など全国のいくつかの海湾では、観測ブイを入れ時間的に連続した水質データを取得している。時間的に連続したデータは、特に貧酸素水の挙動などの時々刻々と変化する状況を詳細に捉えることができるため、原因の解明にあたって切り札になることも少なくないと考えられる。

(c) 定期航路船舶データ

観測ブイのように、敢えて調査のためだけに観測施設を設置しなくても、既存の仕組みを活用することも考えられる。特に、定期航路を周遊するフェリーなどの船舶に観測機器を取り付け、連続的にデータを取得する方法はコスト削減の観点からも現実的な方法と考えられる。

3. 二次検査の実践例（三河湾）

1 章に示したガイドラインを用いて、実際に三河湾を対象として二次検査を実施した事例を示す。

3.1 再検査

1) 生息空間

“海湾らしさ”の確認検査

過去 20 年程度の三河湾の水深には大きな変化はない（図 3.1）が、徐々に自然海岸が減少し、人工海岸が増加する傾向にあることがわかる（表 3.1）。

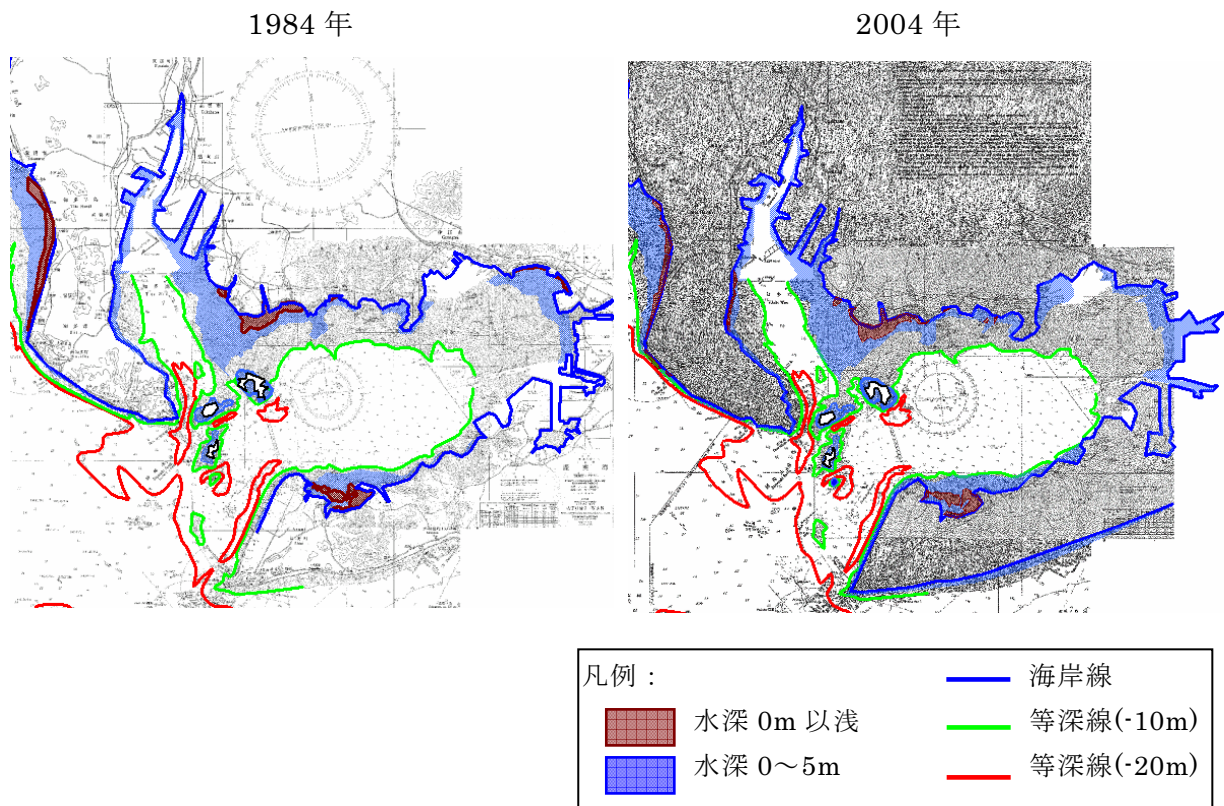


図 3.1 1984 年と 2004 年の海図の比較

表 3.1 海岸線の種類の変遷

(単位：km)

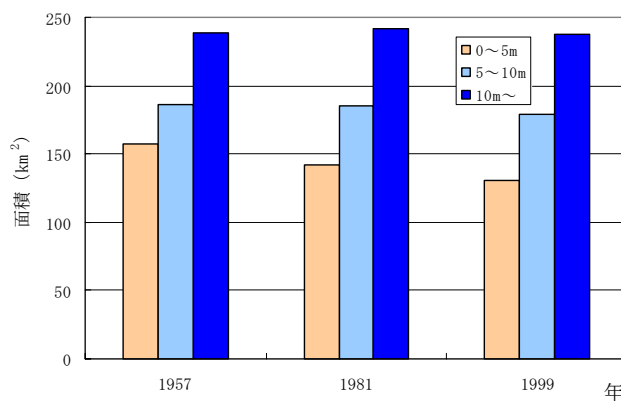
		1978 年度(%)	1985 年度(%)	1994 年度(%)
三河湾	自然海岸	34.8 (10.4)	32.5 (9.2)	29.9 (8.3)
	半自然海岸	60.4 (18.1)	61.6 (17.6)	63.6 (17.7)
	人工海岸	231.7 (69.6)	249.6 (71.4)	258.6 (72.2)
	河口部	5.8 (1.7)	5.8 (1.6)	5.8 (1.6)
	合計	332.6 (100.0)	349.5 (100.0)	357.9 (100.0)

資料：環境省 自然環境保全基礎調査のデータをもとに作成

過去 50 年程度の三河湾の水深別面積や埋立面積をみると、生産性の高い干潟等の浅海域が著しく減少している（図 3.2）。さらに、浅海域の減少は沿岸の埋立面積の変化と対応している（図 3.3）。干潟やその周辺の浅場を水深 0～5m 程度と定義すると、近年 50 年程度の間はその約 17% が失われた。

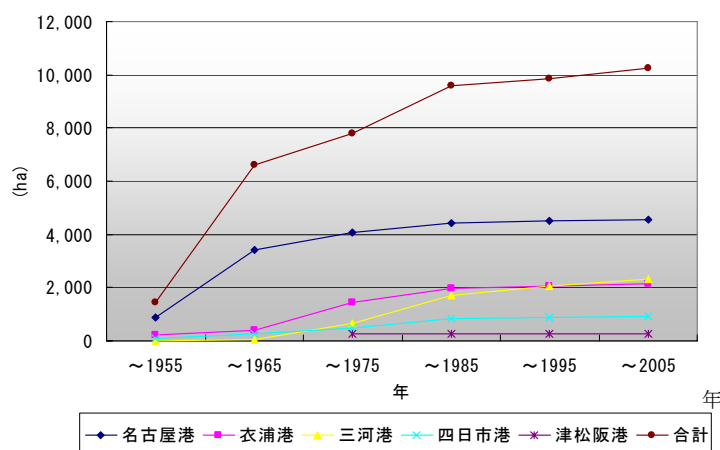
また、三河湾は、愛知県の渥美半島と知多半島に挟まれている湾であり、古くから漁業も盛んな自然海湾である。

これらから精密検査は必要であると考えられる。



出典) 国土交通省中部地方整備局三河港湾工事事務所「取り戻そう豊かな海」

図 3.2 三河湾の水深別面積の変遷



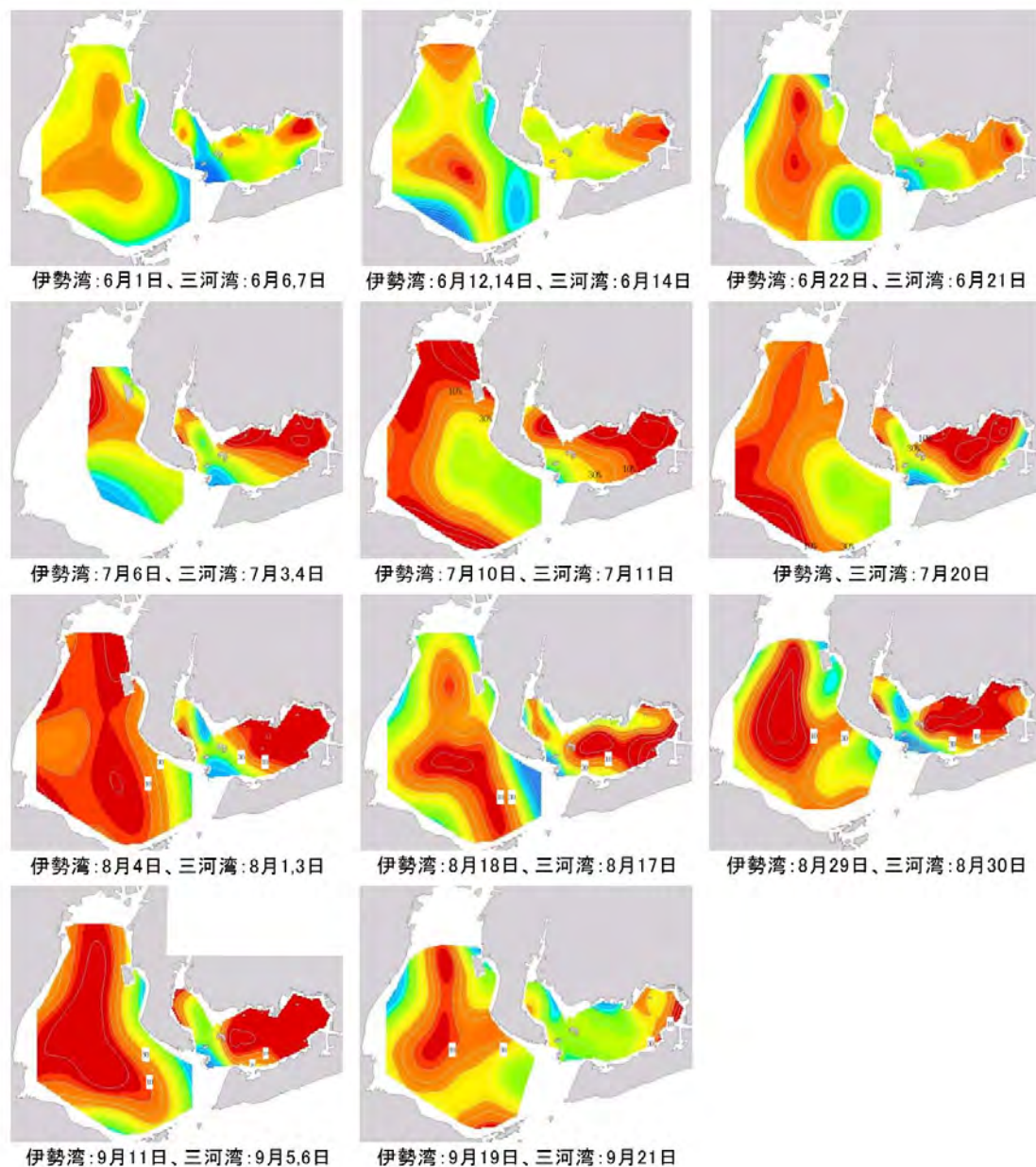
出典) 伊勢湾データコーナーHP (<http://www.pref.mie.jp/kouiki/hp/isewan/home/data/index.htm>)

図 3.3 各港湾における埋立面積の変遷

2) 生息環境

一次検査の精査

2006年の6月から9月上旬における底層の貧酸素水塊の状況(図3.4)をみると、溶存酸素飽和度10%未満(約0.8mg/l)の出現状況は、三河湾では湾奥部から湾中央部を中心に全体に広がっており、一次検査結果のC判定は妥当と考えられる。



凡例：溶存酸素飽和度(%)

※観測水深：底層

120-200	66-70	31-35
111-120	61-65	26-30
101-110	56-60	21-25
91-100	51-55	16-20
81-90	46-50	11-15
76-80	41-45	6-10
71-75	36-40	0-5

溶存酸素飽和度	溶存酸素濃度	魚介類への影響
50%	約4mg/l	魚類・甲殻類に悪影響
30%	約2mg/l	貝類・底生魚類の生存困難
10%	約0.8mg/l	全ての底生生物の生存困難

※愛知県水産試験場では、溶存酸素飽和度50%以下を低酸素、30%以下を貧酸素としている

出典) 愛知県水産試験場：伊勢・三河湾貧酸素情報，H18-1号～12号，2006.

図3.4 貧酸素水塊の分布(2006年)

“海湾らしさ”の確認検査

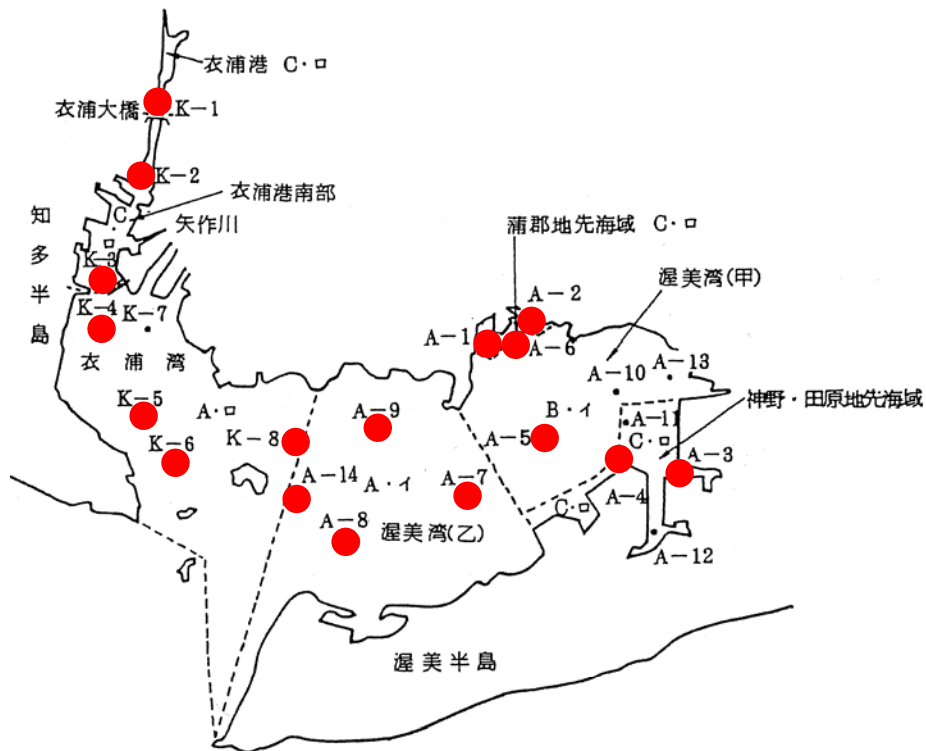
高度成長期前の貧酸素水の存在についてはわからないことから、精密検査は必要であると考えられる。

3) 基礎生産

一次検査の精査

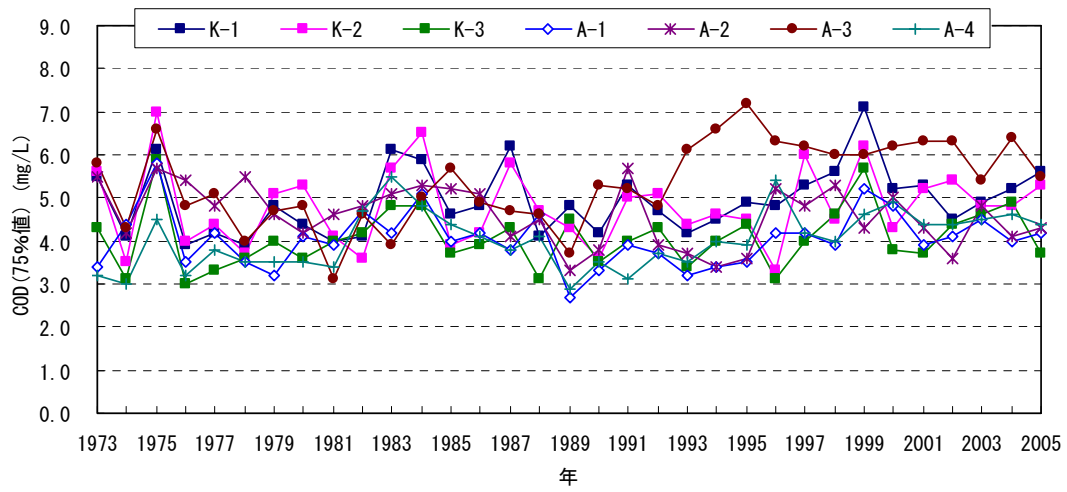
1970年代～現在までの公共用水域水質調査結果から、栄養塩類（COD、T-N、T-P）の経年変化を整理し、図 3.5 に示す。なお、公共用水域水質調査の調査点は下図に示すとおりである。

過去 30 年程度の変化をみると、T-N、T-P は湾全体でほとんど変化がないが、COD は増加しており、C 判定は妥当であると考えられる。

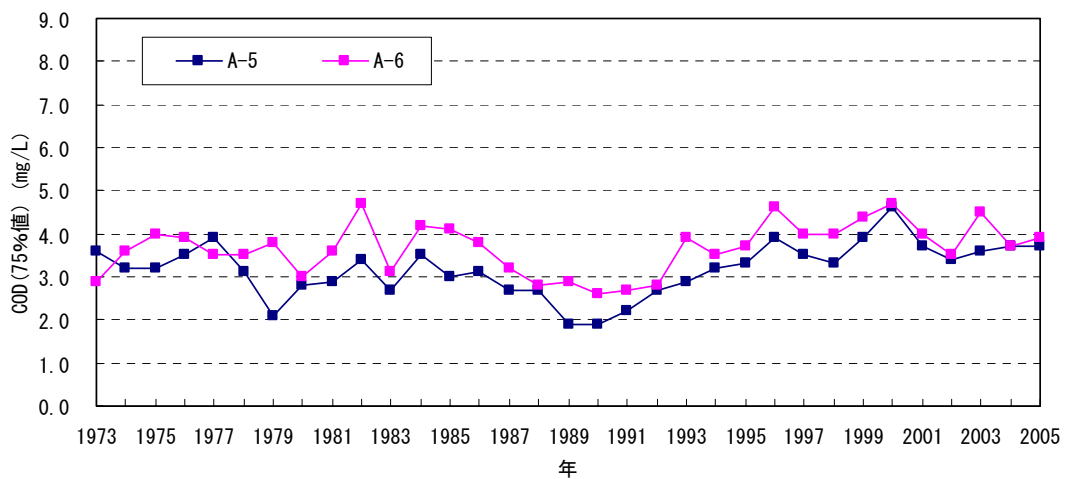


COD

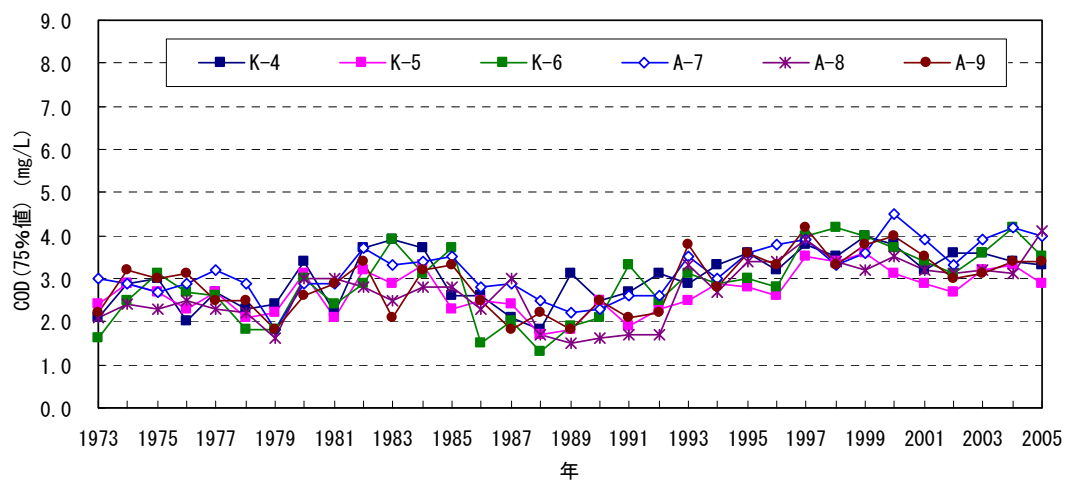
公共用水域－C類型海域



公共用水域－B類型海域



公共用水域－A類型海域

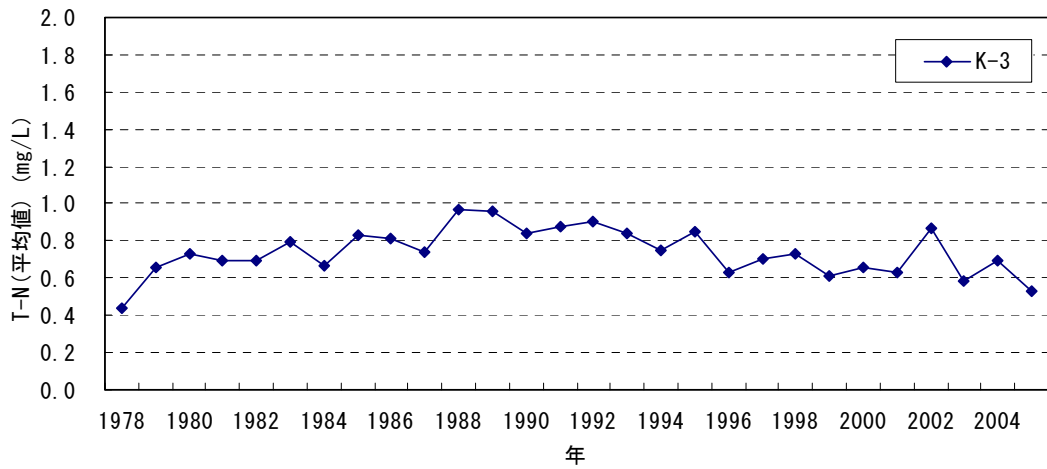


出典) 伊勢湾環境データベース HP (<http://www.isewan-db.go.jp/top.html>) より作成

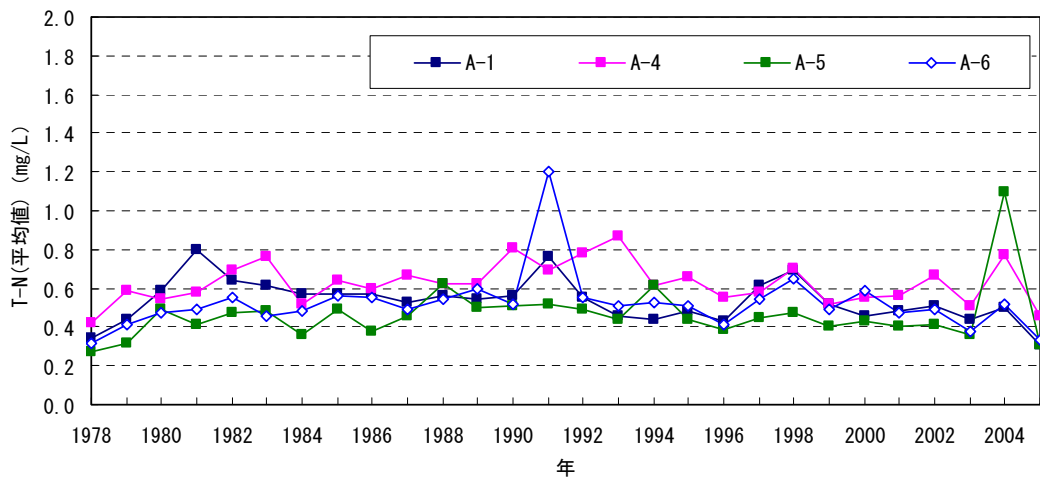
図 3.5(1) 栄養塩類 (COD) の経年変化

T-N

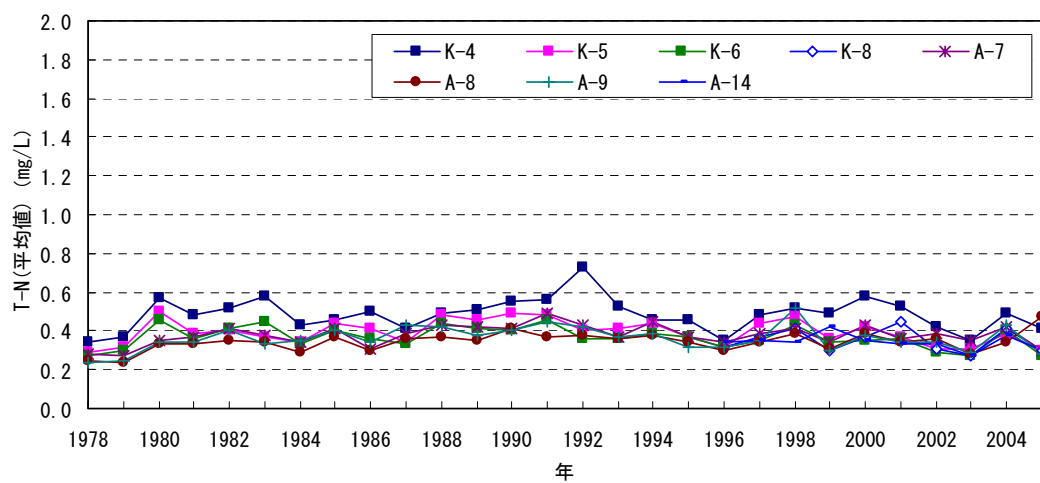
公共用水域－Ⅳ類型海域



公共用水域－Ⅲ類型海域



公共用水域－Ⅱ類型海域

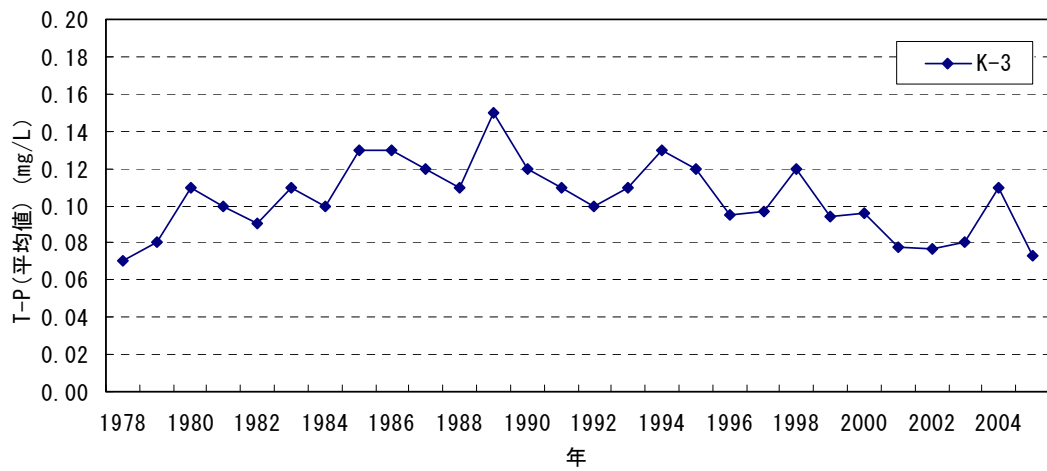


出典) 伊勢湾環境データベース HP (<http://www.isewan-db.go.jp/top.html>) より作成

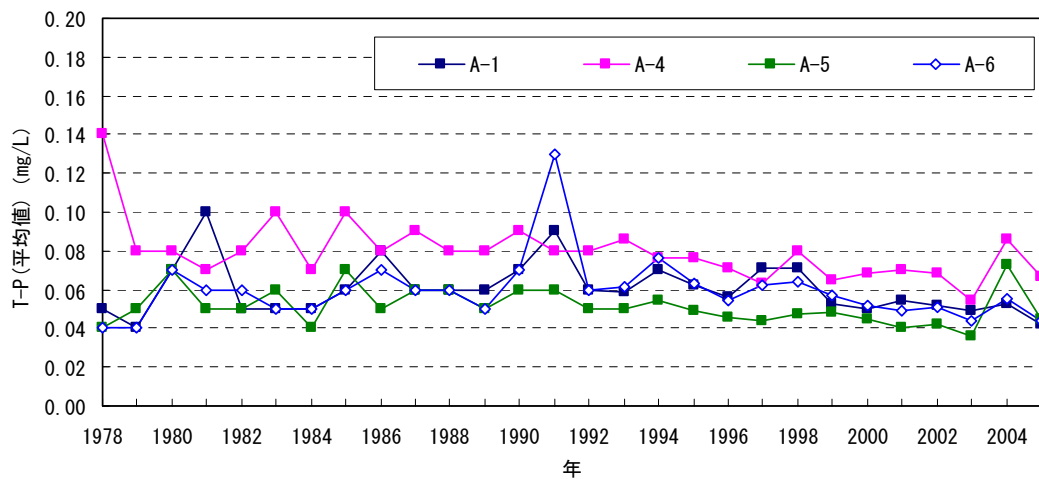
図 3.5(2) 栄養塩類 (T-N) の経年変化

T-P

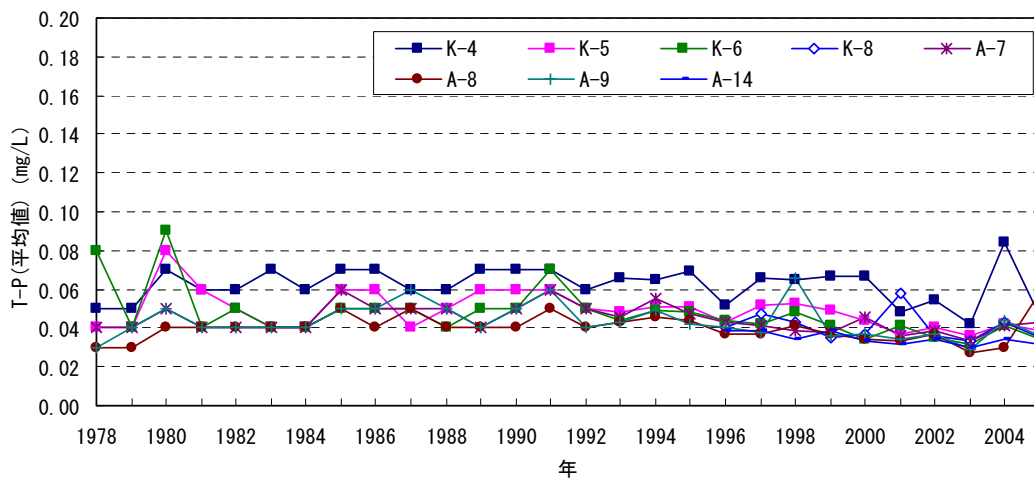
公共用水域－Ⅳ類型海域



公共用水域－Ⅲ類型海域



公共用水域－Ⅱ類型海域



出典) 伊勢湾環境データベース HP (<http://www.isewan-db.go.jp/top.html>) より作成

図 3.5(3) 栄養塩類 (T-P) の経年変化

“海湾らしさ”の確認検査

高度成長期前の赤潮の存在についてはわからないことから、精密検査は必要であると考えられる。

4) 堆積・分解

一次検査の精査

三河湾の底質 COD の変化を図 3.6 に示す。

1985 年の底質の COD は三河湾湾奥では 60mg/g 乾泥以上と非常に高くなっており、湾奥から湾口に向けて徐々に低くなっている。2001 年には 50mg/g 乾泥以上はほとんどみられなくなり改善しているが、依然として 30mg/g 乾泥以上の底質が湾の大部分を占めている。このように三河湾の海底には 10 年以上有機物が多い状態が続いており、恒常的に有機汚濁の状態にあると言えることから、C 判定は妥当であると考えられる。

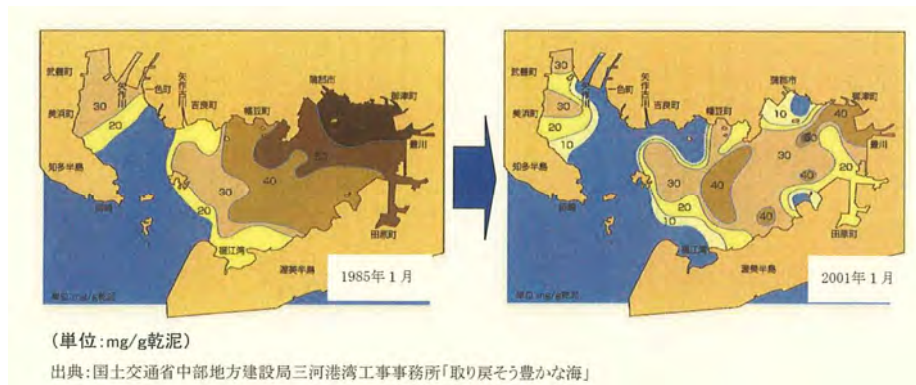


図 3.6 三河湾の底質 COD の変化

“海湾らしさ”の確認検査

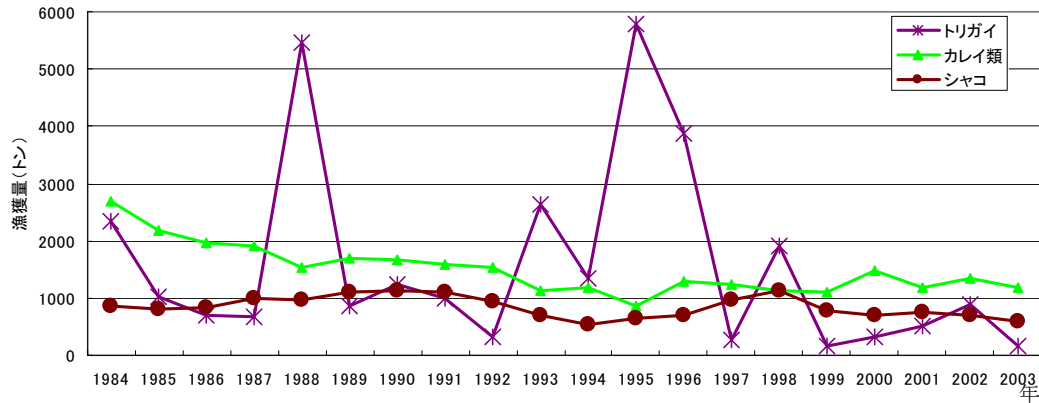
高度成長期前の底質環境についてはわからないことから、精密検査は必要であると考えられる。

5) 漁獲（除去）

一次検査の精査

代表的底生魚介類の漁獲量変動を図 3.7 に示す。

近年 20 年程度でみるとトリガイ、カレイ類の漁獲量が減少している。トリガイは豊漁の年と不漁の年の差が大きくなっており減少傾向は読みづらいが、カレイ類は徐々に減少する傾向にある。いずれも一生を湾内で生活し環境悪化の影響を最も受けやすい種類であり、これら湾内に定在性の高い種類の漁獲量が減少していることから、C 判定は妥当であると考えられる。



出典) 愛知県農林水産統計年報より作成

図 3.7 代表的底生魚介類の漁獲量変動

“海湾らしさ”の確認検査

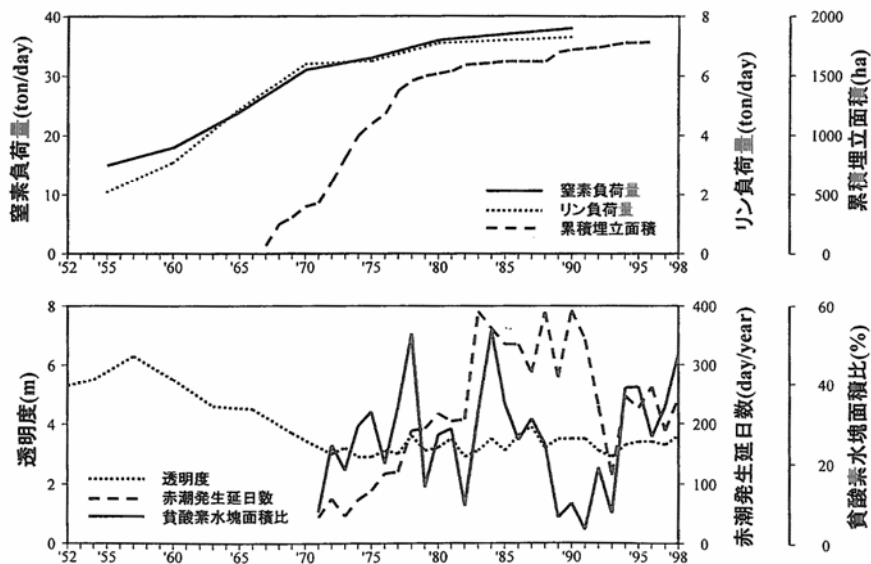
高度成長期前の 1960 年代前半には、ノリやクルマエビの漁獲量が全国一位であり、昔から漁業が盛んに行われた履歴が確認できる。したがって、C 判定は妥当であると考えられる。

3.2 精密検査

1) 重篤度Ⅰ→Ⅱの検査（累計埋立面積と赤潮発生延日数、底質中の有機物量の貧酸素水塊の関係）

青山は「三河湾における海岸線の変遷と漁場環境 愛知県水産試験場報告⑦」で、三河湾の海岸線の変遷と漁場環境との関連について以下のように考察している。

- 三河湾の透明度は 1950 年代後半から 60 年代後半にかけて大きく減少し、総窒素、総リンの負荷量が急増していることから、透明度の低下は流入負荷の拡大による基礎生産の拡大が原因と考えられるが、赤潮多発・貧酸素水塊が拡大するようになったのは 70 年代に入ってからである。
- 70 年代は三河湾奥部の東三河区で埋立が急速に行われた時期であり、1957 年から 1981 年までの 5m 以浅の減少面積(15.9km²)のうち、その大部分が 70 年代(約 12km²)の埋立によって消失したと考えられ、この急速な埋立進行時期と環境悪化の時期とはよく一致している（検査 No.②）。



出典：「三河湾における海岸線の変遷と漁場環境 愛知県水産試験場報告⑦」（平成 12 年 3 月 愛知県）

図 3.8 三河湾における栄養負荷、累計埋立面積と透明度、赤潮発生延日数、貧酸素水塊（酸素飽和度 30%以下）面積比（貧酸素水塊面積が三河湾に占める割合）の経年変化

三河湾の底質 COD の変化を図 3.9 に示す。

1985 年の底質の COD は三河湾湾奥では 60mg/g 乾泥以上と非常に高くなっており、湾奥から湾口に向けて徐々に低くなっている。2001 年には 50mg/g 乾泥以上はほとんどみられなくなり改善しているが、依然として 30mg/g 乾泥以上の底質が湾の大部分を占めている。このように三河湾の海底には 10 年以上有機物が多い状態が続いており、恒常的に有機汚濁の状態にあると言える。

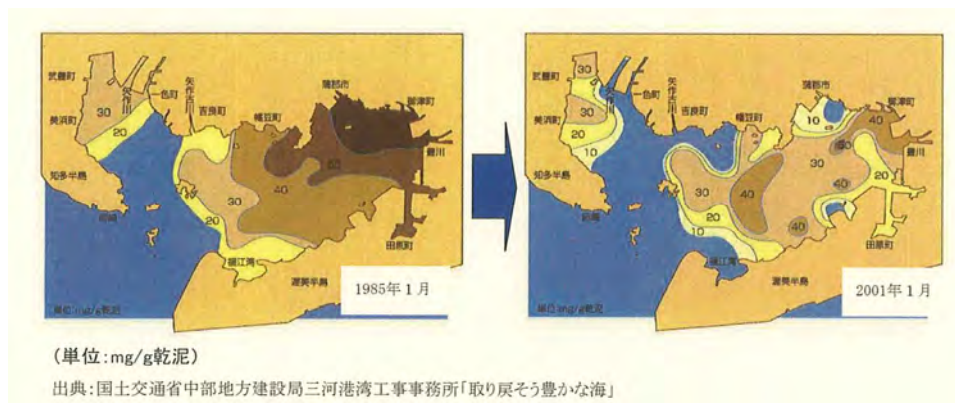


図 3.9 三河湾の底質 COD の変化

以上のように累計埋立面積の増加と赤潮発生日数の増加、底質の有機物堆積の増加、貧酸素水の発生はすべて同調傾向にあり、「生息空間→基礎生産→堆積・分解→生息環境」の流れがあることがわかる。

2) 重篤度Ⅱ→Ⅲの流れの検査（貧酸素水の発生と底生魚介類の資源量との関係）

代表的な底生魚介類の資源量と貧酸素水の影響度との関係を図 3.10 に示す。なお、漁獲量は努力量によって変化することから、資源量としては次のように漁獲量を努力量あたりに換算した。

●代表的な底生魚介類の資源量＝

漁獲量×((該当年の漁業経営体数×操業日数) / (1989年の漁業経営体数×操業日数))

また、湾全域での貧酸素水による影響を評価するため、貧酸素水影響度とする次の値を求めて検討に用いた。

●貧酸素水影響度＝貧酸素水の強度※×貧酸素水の確認地点率

(グラフ中では、最近20年の中では最も影響度が高かった1987年を1とした場合の比を用いた)

※貧酸素水の強度

DO: 0.5mg/L未満(無酸素): 3点、0.5mg/L以上2.9mg/L未満: 2点、2.9mg/L以上4.3mg/L未満: 1点のように、貧酸素の強さの3レベルそれぞれに得点を与える。3レベルが確認された日数にそれぞれの得点を掛け合わせ、それらの合計を貧酸素水の強度とした。

すべての魚介類にみられるわけではないが、アサリやシャコは貧酸素水の強度が強い年にやや資源量が少ない傾向がみられており、「生息環境→除去(漁獲)」の流れが想定される。

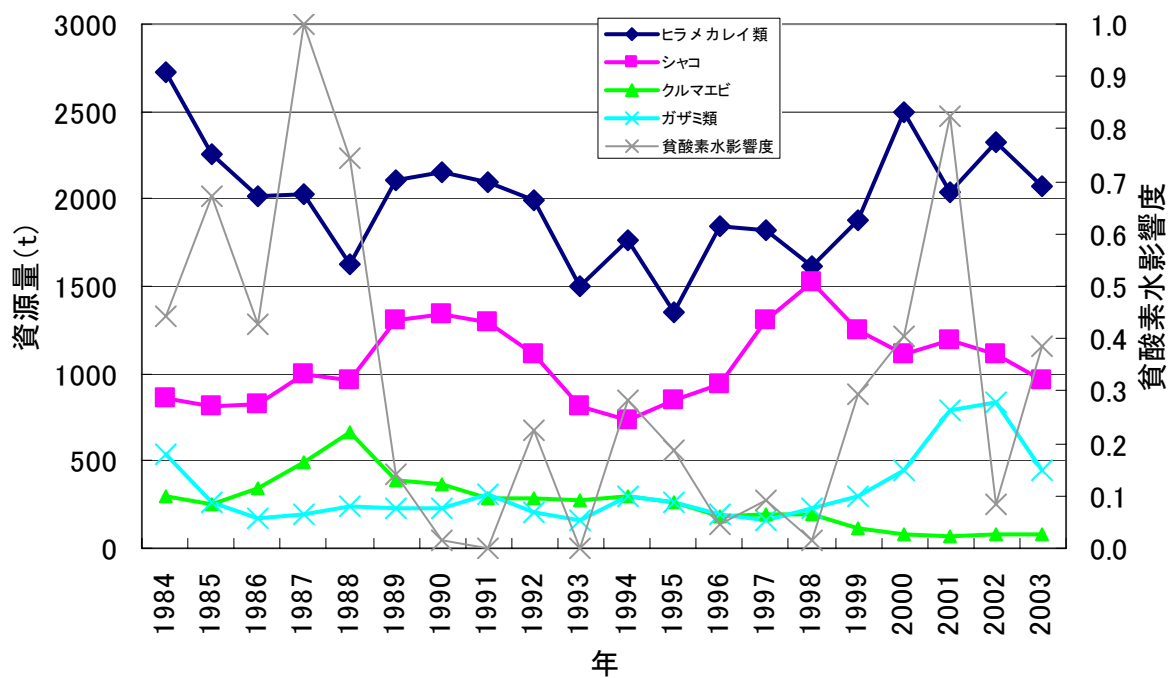
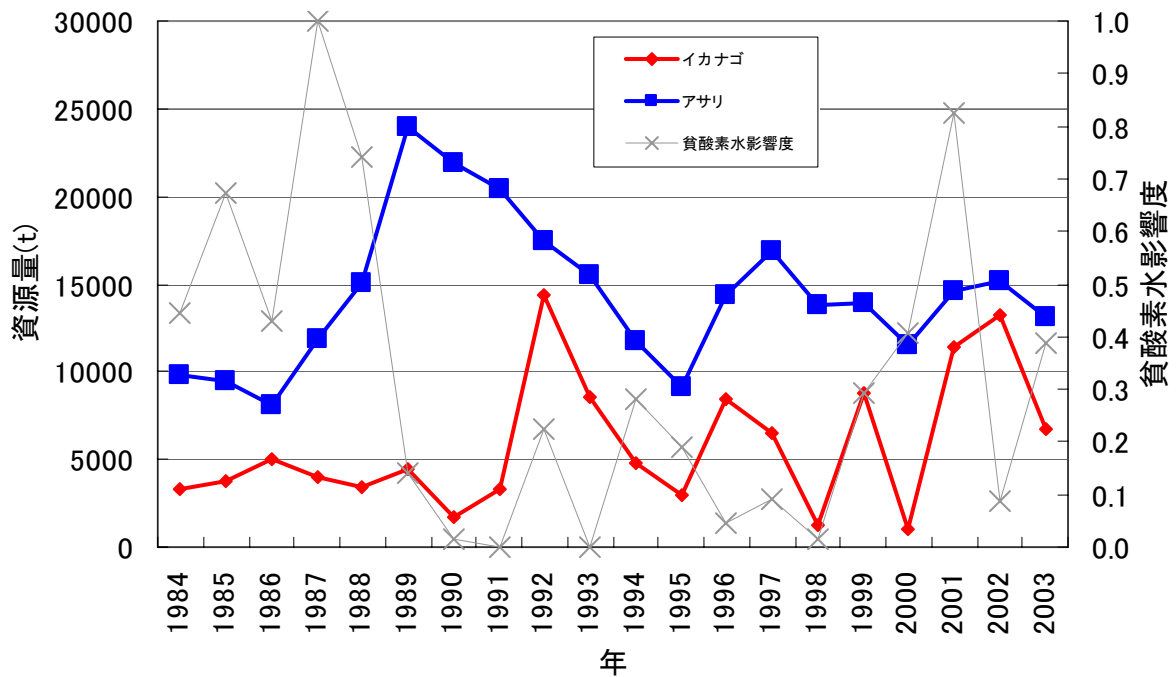


図 3.10 代表的な底生魚介類の資源量と貧酸素水の影響度との関係

3.3 二次診断

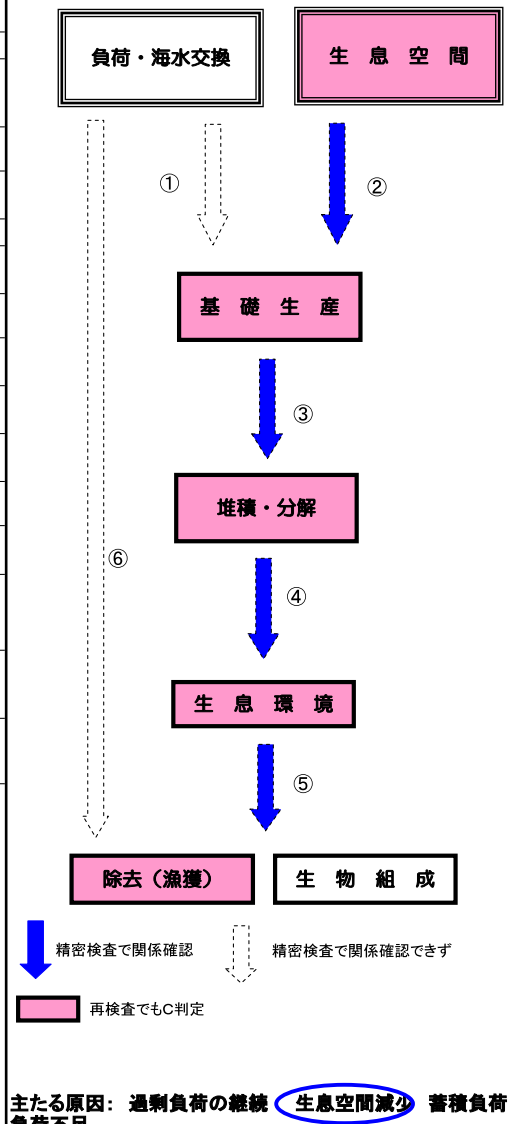
以上の結果より、二次診断結果をとりまとめ、二次診断シートとして表 3.2 に示した。

三河湾の不健康の主たる原因は、生息空間の減少と考えられ、その重篤度は生物にも症状が出ているⅢと考えられる。

表 3.2 二次診断シート（青字部分は三河湾を対象とした既述）

患者名：三河湾

検査名称	視点	一次検査	再検査		二次検査 精密検査							二次診断	調査・研究の必要性																																																																																																																														
			内容	結果	診断	病状とその進行度合いの特定		検査																																																																																																																																			
						原因タイプ	ステージ	検査内容	結果	右図該当矢印																																																																																																																																	
検査結果 (カルテ)	生態系の安定性	生物組成	A	二次検査の精査 底生生物相の変化 “海湾らしさ”の確認検査 高度成長期前と現在の底生生物相の比較		要 精 査	原因と重篤度のタイプ <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">原因タイプ</th> <th rowspan="2">重篤度</th> <th colspan="6">検査結果</th> <th rowspan="2">生物組成</th> </tr> <tr> <th>負荷・海水交換</th> <th>生息空間</th> <th>基礎生産</th> <th>堆積・分解</th> <th>生息環境</th> <th>除去(漁獲)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">① 負荷影響強・高人工化タイプ</td> <td>I(軽度)</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>II(中度)</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td>※</td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>III(重度)</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td>※</td><td></td><td>※</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">② 負荷影響弱・高人工化タイプ</td> <td>I(軽度)</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>※</td><td></td> </tr> <tr> <td>II(中度)</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>※</td><td></td> </tr> <tr> <td>III(重度)</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>※</td><td>※</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">③ 負荷影響強・低人工化タイプ</td> <td>I(軽度)</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>※</td><td></td> </tr> <tr> <td>II(中度)</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>※</td><td>※</td> </tr> <tr> <td>III(重度)</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>※</td><td>※</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">④ 負荷影響弱・低人工化タイプ</td> <td>I(軽度)</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>※</td> </tr> <tr> <td>II(中度)</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>※</td> </tr> <tr> <td>III(重度)</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>※</td> </tr> </tbody> </table>							原因タイプ	重篤度	検査結果						生物組成	負荷・海水交換	生息空間	基礎生産	堆積・分解	生息環境	除去(漁獲)	① 負荷影響強・高人工化タイプ	I(軽度)								II(中度)					※			III(重度)					※		※	② 負荷影響弱・高人工化タイプ	I(軽度)						※		II(中度)						※		III(重度)						※	※	③ 負荷影響強・低人工化タイプ	I(軽度)						※		II(中度)						※	※	III(重度)						※	※	④ 負荷影響弱・低人工化タイプ	I(軽度)							※	II(中度)							※	III(重度)							※											
			原因タイプ	重篤度	検査結果											生物組成																																																																																																																											
		負荷・海水交換			生息空間									基礎生産	堆積・分解		生息環境	除去(漁獲)																																																																																																																									
	① 負荷影響強・高人工化タイプ	I(軽度)																																																																																																																																									
		II(中度)													※																																																																																																																												
		III(重度)													※		※																																																																																																																										
	② 負荷影響弱・高人工化タイプ	I(軽度)														※																																																																																																																											
		II(中度)														※																																																																																																																											
		III(重度)														※	※																																																																																																																										
	③ 負荷影響強・低人工化タイプ	I(軽度)														※																																																																																																																											
		II(中度)														※	※																																																																																																																										
		III(重度)														※	※																																																																																																																										
④ 負荷影響弱・低人工化タイプ	I(軽度)							※																																																																																																																																			
	II(中度)							※																																																																																																																																			
	III(重度)							※																																																																																																																																			
生態系の安定性	生息空間	C	“海湾らしさ”の確認検査 ・海湾の起源 ・高度成長期前と現在の干潟・藻場面積の比較	C																																																																																																																																							
		C	二次検査の精査 貧酸素水の発生面積 “海湾らしさ”の確認検査 高度成長期前と現在の貧酸素水発生状況の比較	C																																																																																																																																							
	基礎生産	C+	二次検査の精査 栄養塩類(またはクロロフィル、植物プランクトン)の変化 “海湾らしさ”の確認検査 高度成長期前と現在の赤潮発生状況の比較	C																																																																																																																																							
物質循環の円滑さ	負荷・海水交換	B	“海湾らしさ”の確認検査 高度成長期前と現在の負荷滞留濃度の比較																																																																																																																																								
		C+	二次検査の精査 底質の有機物量の変化 “海湾らしさ”の確認検査 高度成長期前と現在の底質環境の比較	C																																																																																																																																							
	堆積・分解	C	二次検査の精査 ・定着性魚介類漁獲量の変化	C																																																																																																																																							
		C	“海湾らしさ”の確認検査 ・漁業の定着性	C																																																																																																																																							
	除去(漁獲)	C	“海湾らしさ”の確認検査	C																																																																																																																																							



4. 参考資料

4.1 一次検査結果の分析結果

1) 一次検査結果の分類

一次検査は、生態系の安定性に関わる 3 視点（生物組成、生息空間、生息環境）、物質循環の円滑さに関わる 4 視点（基礎生産、負荷・海水交換、堆積・分解、除去（漁獲））について実施している。

これら 7 視点は、それぞれ海域の不健康の症状を表すものであるが、その発症の流れを考慮すると、「原因としての要素が強い視点」と「症状としての要素が強い視点」に大別され、その関係は図 4.1 に示すとおりである。

分 類		内 容
原因としての要素が強い項目	負荷・海水交換	海域における栄養塩類の滞留時間や海水交換の健全度が表現されており、陸域からの負荷等といった原因的要素が強い。
	生息空間	海域における沿岸の自然海岸の残存度が表現されており、沿岸部の開発・埋立等による原因的要素が強い。
症状としての要素が強い項目	基礎生産	表層における一次生産を担う部分の健全度を表現
	堆積・分解	底層における物質循環の健全度を表現
	除去（漁獲）	漁業による栄養塩類の系外排出の健全度を表現
	生息環境	海域における生物の生息環境としての健全度を表現（基礎生産や堆積・分解、除去（漁獲）の健全度と概ね連動するものと想定される）
	生物組成	海域における生物の生息環境の健全度を表現（上記の各項目による影響を受けた結果と考えられる。）

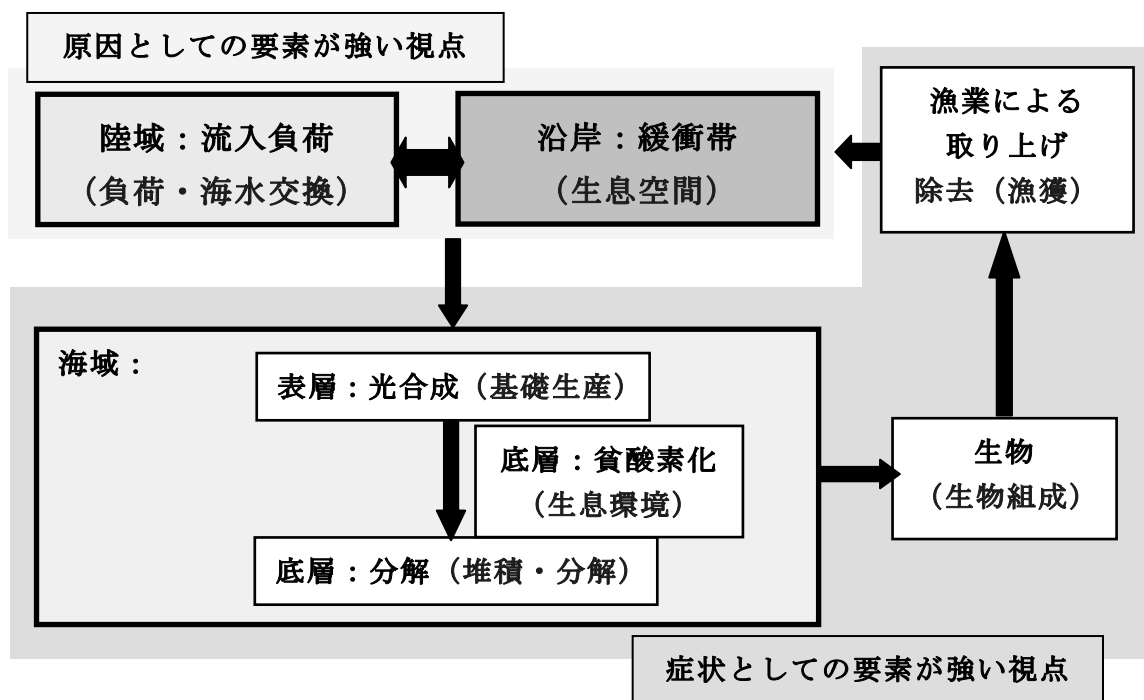


図 4.1 検査項目の関係

2) 一次検査結果のパターン化

「1)一次検査結果の分類」を踏まえて、原因的要素が強い2つの視点で表現する「人為的インパクトのかかり方」で各海湾を分類し、その分類に対して「症状としての要素が強い視点」の判定を重ねることによって、日本の閉鎖性海湾にかかるインパクトのパターンとそのパターンごとの症状について考察した。

まず、負荷・海水交換を表す指標値として負荷滞留濃度、生息空間を表す指標値として人工海岸の割合を二軸にとった場合の各海湾の分布について図 4.2 に示した。その分布より次の7つのグループにパターン化した。検査に用いた海湾は、負荷滞留濃度及び人工海岸の割合のデータが揃っている 47 海湾（全体の約 70%程度）である。

①低負荷・低人工化海湾、②中負荷・低人工化海湾、③高負荷・低人工化海湾、④中負荷・中人工化海湾、⑤高負荷・中人工化海湾、⑥中負荷・高人工化海湾、⑦高負荷・高人工化海湾

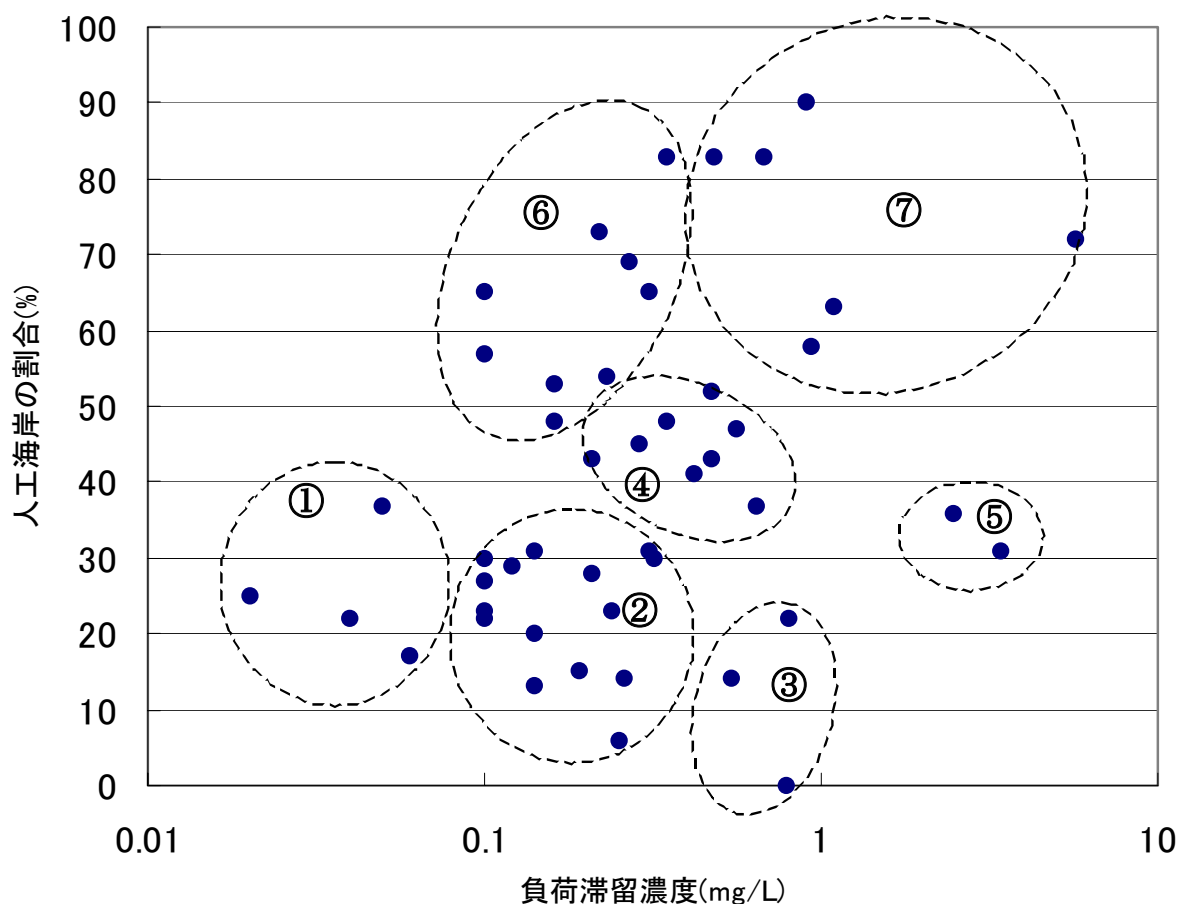


図 4.2 負荷滞留濃度、人工海岸の割合を二軸にとった場合の各海湾の分布

次に7つの各パターン別に「症状としての要素が強い視点」の判定の出現傾向について整理した（次ページ図 4.3）に示す。各項目ごとに7つのグループからみられる傾向を整理すると、下記のようなことがうかがえた。

- ・ 同じ低人工化海湾の中では、生物組成は中負荷の海湾で A 判定が多い傾向がみられる。負荷は生物の体を支える栄養でもあり、多すぎても少なすぎても生物組成の維持のためには良くないことが推測される。また、高人工化の海湾では、中負荷でも C 判定の割合が高く、陸域からの負荷を円滑に生物生産に転換する生息空間の健全性が生物組成に大きな影響をもたらしていることが考えられる。
- ・ 生息環境は生物組成と概ね同様の傾向がみられ、中～高人工化の海湾において C 判定の割合が高い。ただし、生息環境が生物組成と異なる部分は、低負荷・低人工化海湾に C 判定が出ていないことである。低負荷・低人工化海湾は生息環境としては良好であるが、生物組成がやや不安定になることが表現されているものと考えられる。
- ・ 基礎生産は低～中人工化海湾では B 判定の割合が高いのに対し、高人工化海湾では C 判定の割合が高い。生息空間の健全性が海湾の健康に大きな影響をもたらすことが考えられる。
- ・ 堆積・分解は各パターンにかかわらず、C 判定が多い結果となっている。堆積・分解は長期間の流入負荷の蓄積が現れる項目であり、現況を示している人工海岸の割合や負荷滞留濃度という指標とは対応しづらい面があると考えられる。
- ・ 除去（漁獲）は生物組成と同様の傾向がみられる。

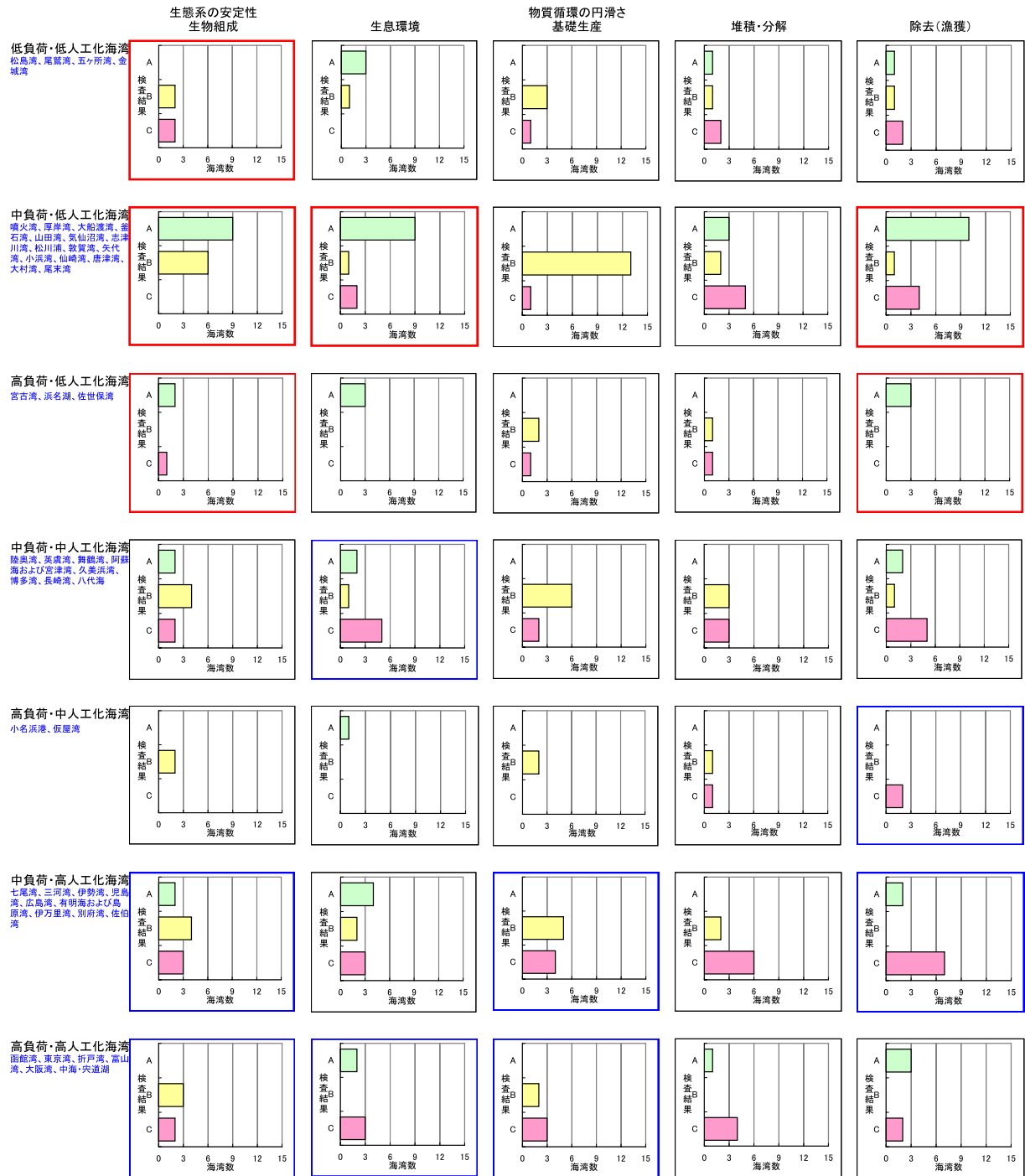


図 4.3 「症状としての要素が強い視点」の判定の出現傾向

以上の傾向を模式図にまとめ、図 4.4 として示した。

日本の閉鎖性海湾は高度成長期等の陸域からの過剰な負荷により、全体的に堆積・分解が不健全である傾向がみられる。これは、現状において負荷が過剰な海湾もあるが、かつての過剰な負荷が海底に堆積し続けていることによる結果と考えられる。しかし、同じように堆積・分解に問題をもつ海湾の中でも、負荷（負荷滞留濃度）と海岸の自然度（人工海岸の割合）という人為的な現状でのインパクトにより分類すると、その分類グループごとに他の検査結果が異なってくる。

中負荷・低人工化海湾（図 4.4 の緑の点線で囲まれるグループ）は高度成長期前に日本の海に存在した「栄養も多いが自然や生物も多い」、いわゆる豊かな海であると考えられる。この豊かな海は高度成長期の過剰な負荷や沿岸の埋立によって基礎生産等の物質循環の円滑さが損なわれることによることによって、中～高負荷・中～高人工化海湾（図 4.4 の赤の点線で囲まれるグループ）に変化し、生物が減少した海に変わってしまった。一方で、中～高負荷・中～高人工化海湾において行われた総量規制のような陸域からの単純な負荷削減対策は、生物の生息環境を高度成長期より健全なものに改善する役割は果たしたが、生物の体を作る栄養塩の減少を招き、低負荷・中人工化海湾（図 4.4 の青の点線で囲まれるグループ）のような海湾を産み出し、負荷を減らしても豊かな海には戻りきれない海になったものと考えられる。

豊かな海とは、生産力の高い自然豊かな生息空間をもち、そこで生物を育むために必要な豊富な栄養塩が河川等より供給されている海と考えられる。

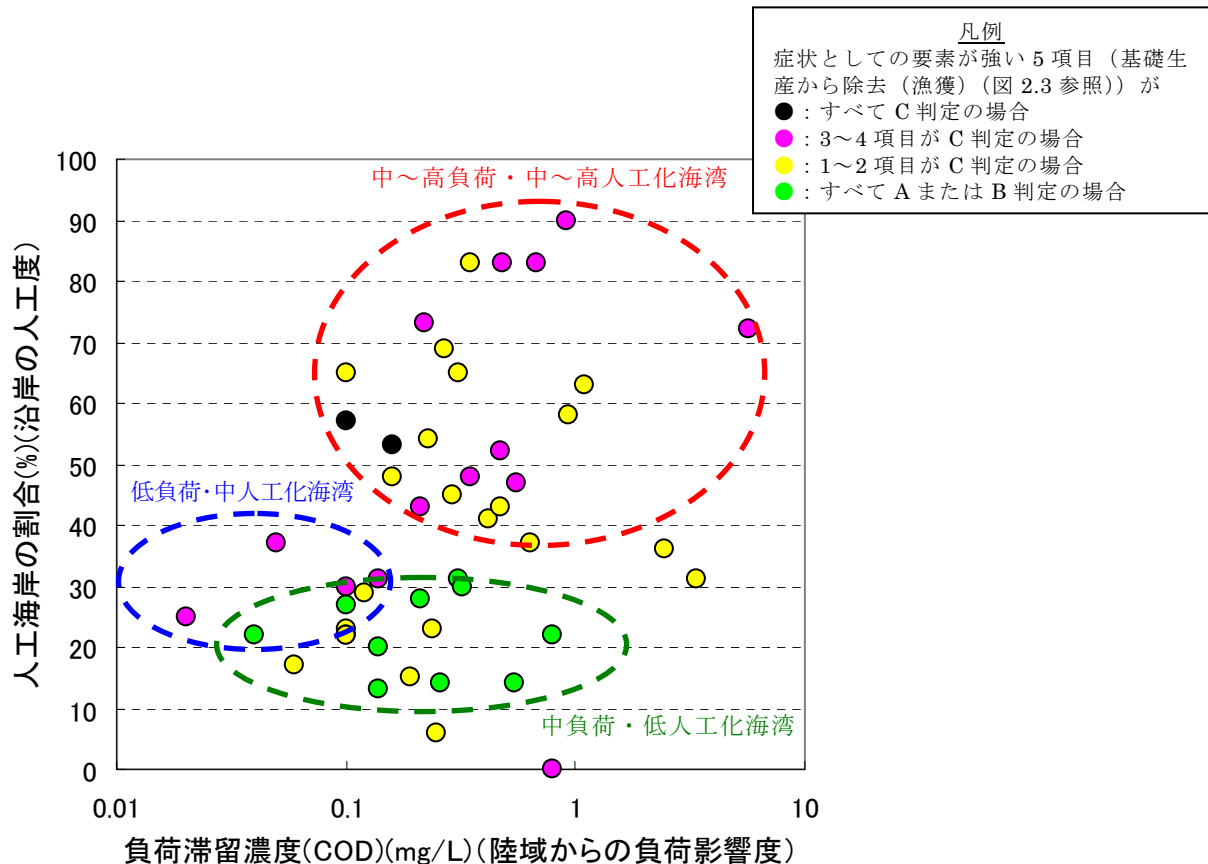


図 4.4 一次検査分析結果まとめの模式図

3) 体格・体質による症状の違い

海湾の健康には、負荷や人工海岸など外部からのインパクト以外に地形的な閉鎖性や水深など湾の体格や体質も関連していることが考えられる。湾の体格や体質がどのように健康に影響するかを検討するためには、外部からのインパクトが同様な海湾の中で、特性の違いによってどのように症状が異なるかを検討する必要がある。

体格・体質による症状分析結果を図 4.5 に示す。体格・体質としては、湾の地形的な閉鎖度を示す閉鎖度指標と平均水深を用いた。

外部からのインパクトの程度が同様な中負荷・中～高人工化海湾の中で、同じ平均水深 20m 以浅の海湾において閉鎖度指標が異なる海湾を比較した。その結果、閉鎖度指標が高い海湾の方がやや生息環境に C 判定が出やすい。このような傾向は同じ中負荷の海湾でも低人工化の海湾ではみられないことから、人工化が進み沿岸の浄化力を失った海湾では地形的な閉鎖性が健康に影響しやすくなることが考えられる。なお、水深の違いでは健康状態に大きな違いはない。外部からのインパクトが湾の健康度を大きく左右しているものと推測される。

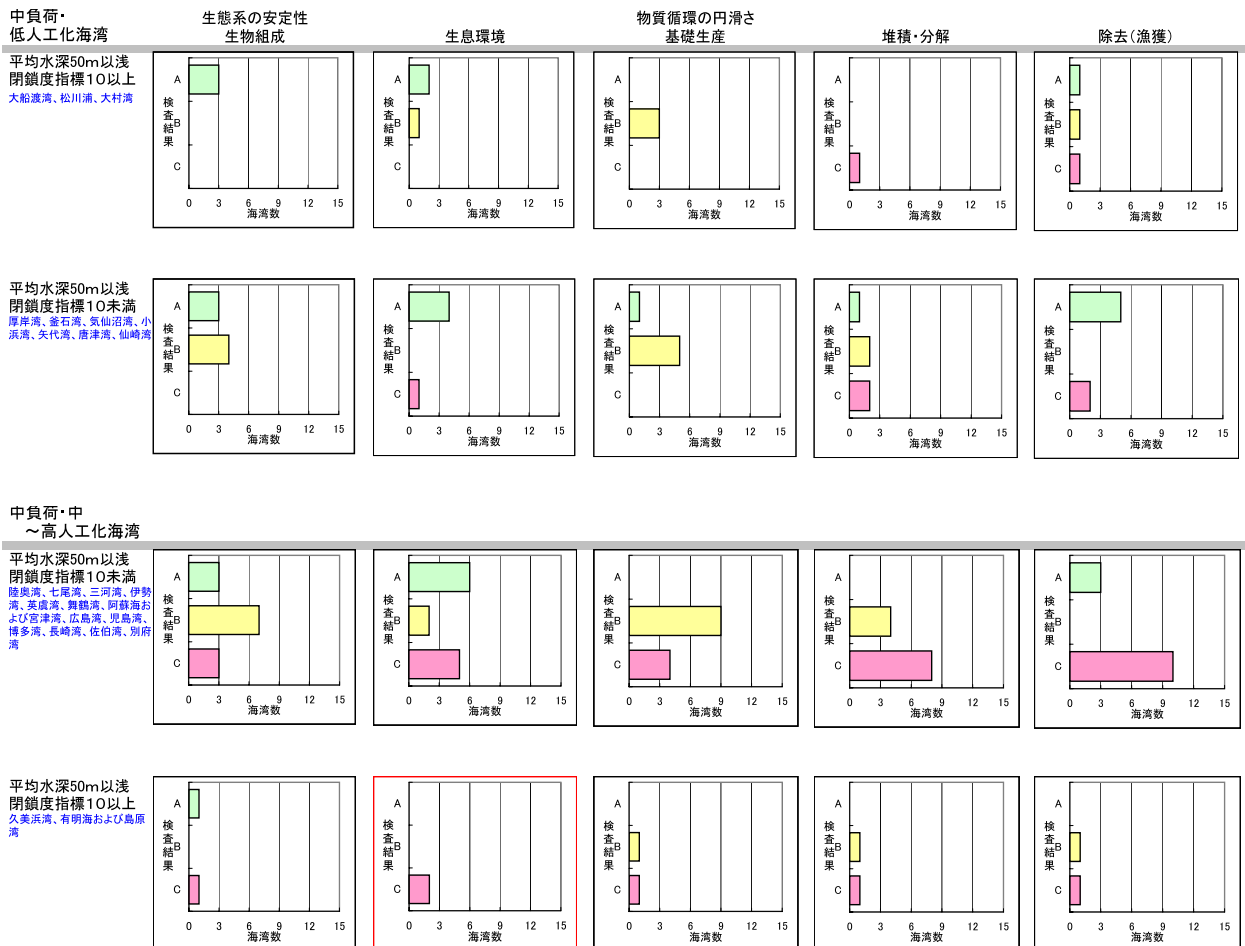


図 4.5 体格・体質による症状分析結果

4.2 仙台湾における貧酸素水発生の解析

1) 序論

開口性の内湾である〈閉鎖度が小さい〉仙台湾でも貧酸素水塊の発生があることが明らかとなった。昭和63年8月~9月に中南部海域の水深20~30m付近の底層で酸素飽和度10%以下の貧酸素水塊の発生が観測され、漁業被害が認められた。以後の調査からも、毎年ではないが、貧酸素水塊の発生が認められてきた。これらの詳細は岩井(2004)によって整理されている。岩井によれば、仙台湾における貧酸素水塊発生の特徴は次のようにまとめられている。

まず、発生場所は仙台南港沖~亶理町沖の比較的浅い海域で起こり、9月、10月に顕著である。その発生要因として観測結果の整理から、水温鉛直分布の変動(成層の強化)、暖流系水の波及効果で、高水温・高塩分の水塊が下層に流入し、かつ流動が弱まった時、成層時に多量の流入負荷があった場合の三つの要因があることを指摘している。

平成14年7月の調査結果を見ると、貧酸素水が見られたのは、底質のCODが11~18mg/g乾泥の範囲であり、必ずしも有機物が非常に多く堆積しているところではない。おそらく一時的に懸濁態有機物の沈降が多くなり、沈積した後、すぐにこれらが分解された結果貧酸素に向かったものと推定される。参考のために同時期に衛星SeaWiFsで撮られた海色データをクロロフィル濃度で示したものを図4.6に示す。解像度が粗く分布がスムーズではないが、2002年7月のクロロフィル濃度が示されている。これによると、ちょうど貧酸素水塊の発生している海域で相対的に高いクロロフィル濃度が見られる(10~30 $\mu\text{g/l}$)。これは岩井の示した3番目の要因、多量の流入負荷による植物プランクトンの表層での増殖を示しているものと考えられる。この植物プランクトンが沈降することで、底層での酸素消費が促進され、貧酸素化したものと推定できる。一般に底質のCODが20mg/g乾泥以上のところで貧酸素化が起こればと考えられがちであるが、ここでは沈降フラックスが大きく影響しているものと考えられる。ただしこれはあくまで2002年7月の場合である。

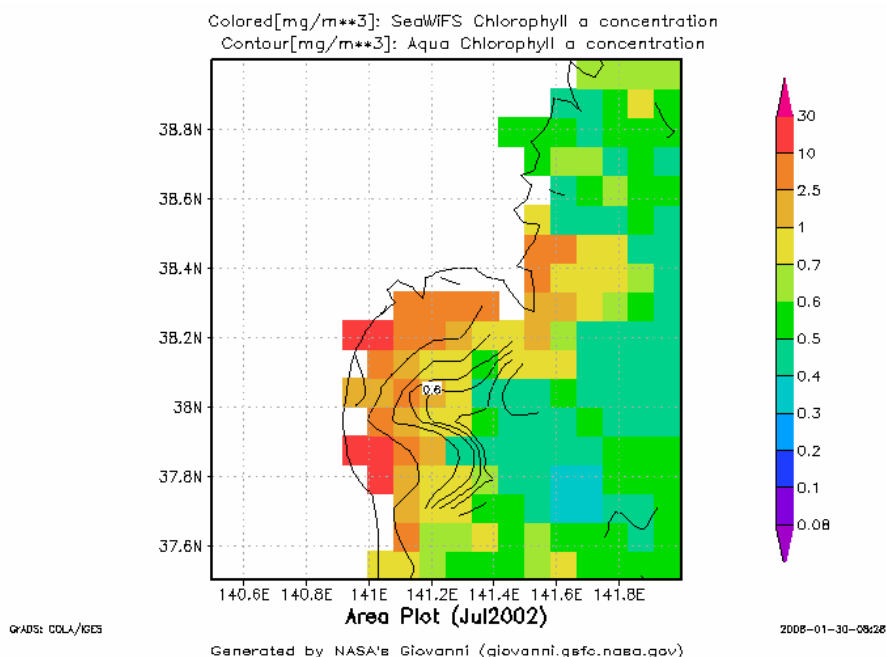


図 4.6 SeaWiFs データによるクロロフィル分布(2002年7月)

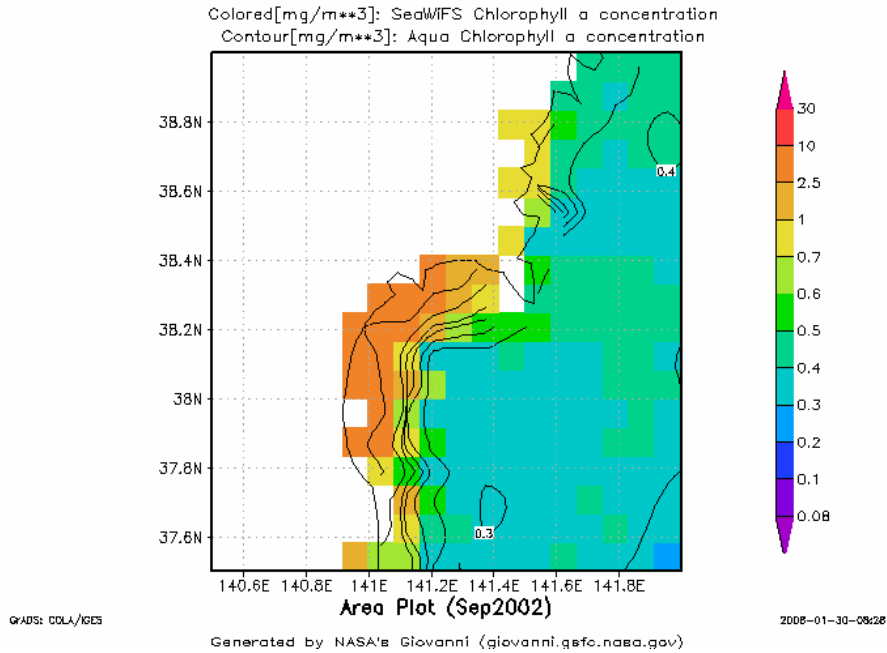


図 4.7 図 3.6 SeaWiFs データによるクロロフィル分布(2002 年 9 月)

参考のために同年 9～10 月の間のクロロフィル分布も示した。沿岸域は $10 \mu\text{g/l}$ 以下ではあるが、沿岸沿いに相対的に高い色素量の存在がみられる。

仙台湾における貧酸素水塊発生のメカニズムとして、次のようなシナリオを考えた。まず沿岸からの負荷による植物プランクトン生産の増加、それに続いて、植物プランクトンの死亡による有機物の海底への沈積、フレッシュな有機物の供給によって海底でバクテリアによる分解が素早く行なわれ、酸素が消費される。

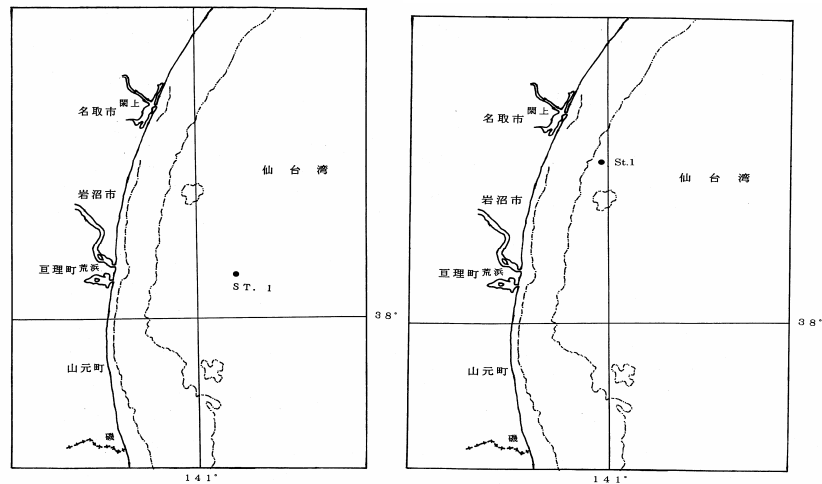
ここで必要とされる物理過程は流動による移流・拡散が小さいことである。詳しくは対象海域への流入による酸素の供給と酸素消費の収支を計算する必要があるが、調査すべき過程は底層で流動がどのような変化をするかということである。対象域で平成 12～15 年の 4 年間、8 月末から 9 月中旬にかけて流速計を用いた連続観測が行われた。

本報告は主として仙台湾の特に底層の流動の変動特性に着目し、日本沿岸における長周期波の伝搬、流動データの解析を行い、その結果から得られた知見から、仙台湾のモデルとして具備すべき性能について考察した。

2) 仙台湾における流動観測結果の解析

ここでは宮城県水産研究開発センターで実施された流動観測データを使用して解析を行った。観測点の位置図は図 4.8 に示されている。

計測水深は表層下 2m と底上 (3～4 m) である。測定間隔は 10 分で、電磁流速計を用いて測定された。測定バースト期間は 30 秒である。まず、測定された結果から **Progressive vector diagram** を作成した。この図から、対象海域の平均的な流れの方向を理解することができる。



左：平成 12,13,14 年（2000,2001,2002） 右：平成 15 年（2003）

図 4.8 流動観測点

(1) Progressive Vector Diagram

4 年間にわたって計測された流動観測データからそれぞれの年次について **Progressive Vector Diagram** を作成した。これはオイラー的な観測手段で得られたデータをラグランジュ的に表現することで、初期に観測地点にあった水塊がどのように移動していくかを見るために使う。沿岸近くであるから、一見陸に上がってしまうように見える場合もあるが、平均的な流れの場をみるには適している。結果を図 4.9~図 4.12 にそれぞれの年次の表層と底層について示した。

平成 12 年度の結果：表層は前半の 9 月上旬までは東向きの流れを示しているが、9 月 3 日ごろから西向きに転じ、また 9 月 12 日ごろから南東向きの流れとなっている。一方、底層では多少の変動は見られるが基本的には西南西への流れが卓越している。注目するところは例えば 8 月 26~29 日にかけて停滞する時期が見られることである。

平成 13 年度の結果：表層は基本的には北西に向き、底層は北北西向きであった。平成 12 年度とは全く違った流況を示していた。底層では 8 月 29 日~9 月 2 日の期間に停滞する時期が見られた。

平成 14 年度の結果：表層は南西向き、底層も同様であった。底層は特に 9 月 5 日以降は停滞の期間であった。

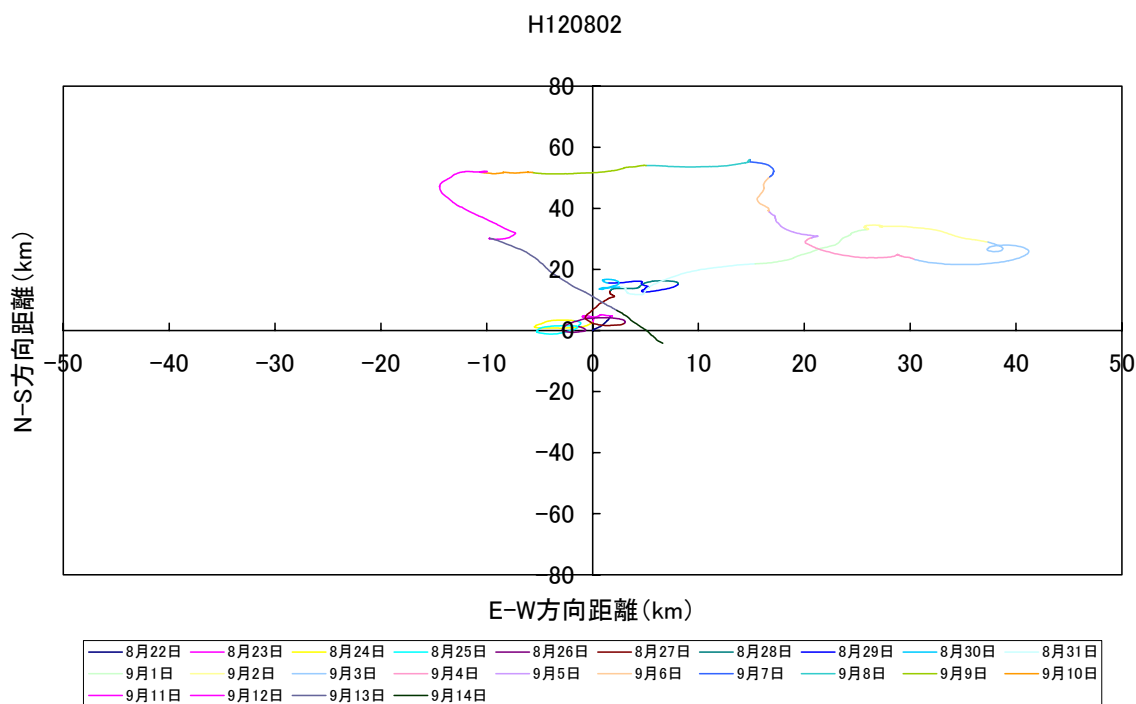


図 4.9 (a) 進行ベクトル図 (H120802)

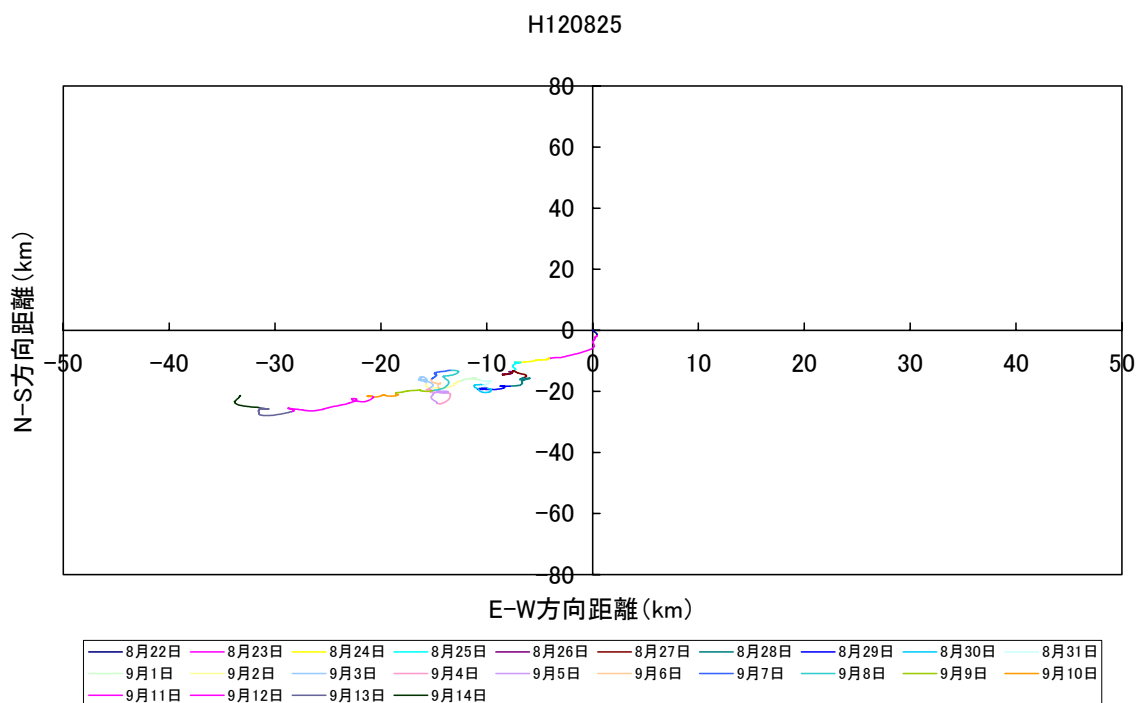


図 4.9 (b) 進行ベクトル図 (H120825)

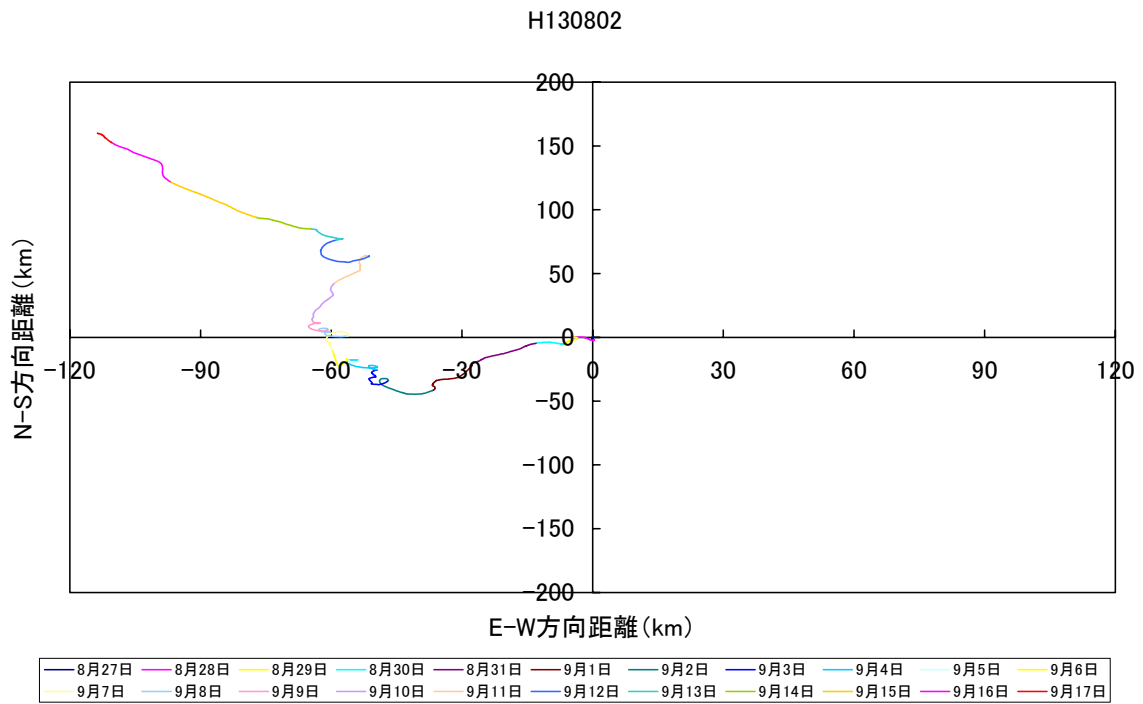


図 4.10 (a) 進行ベクトル図 (H130802)

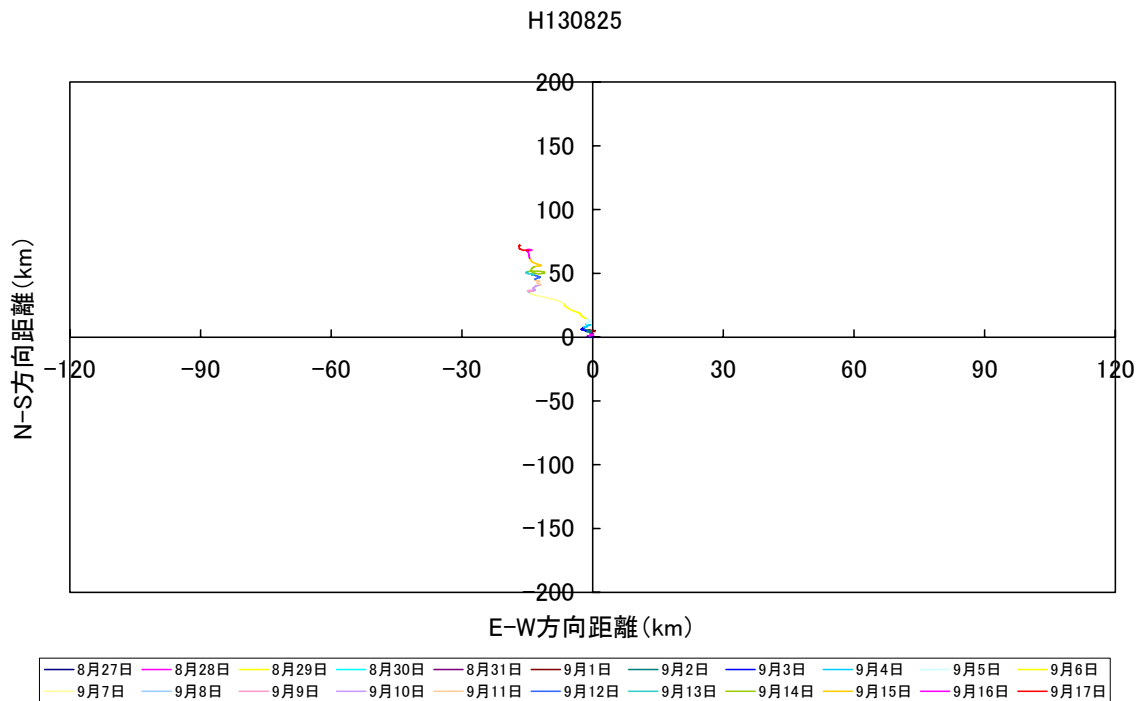


図 4.10 (b) 進行ベクトル図 (H130825)

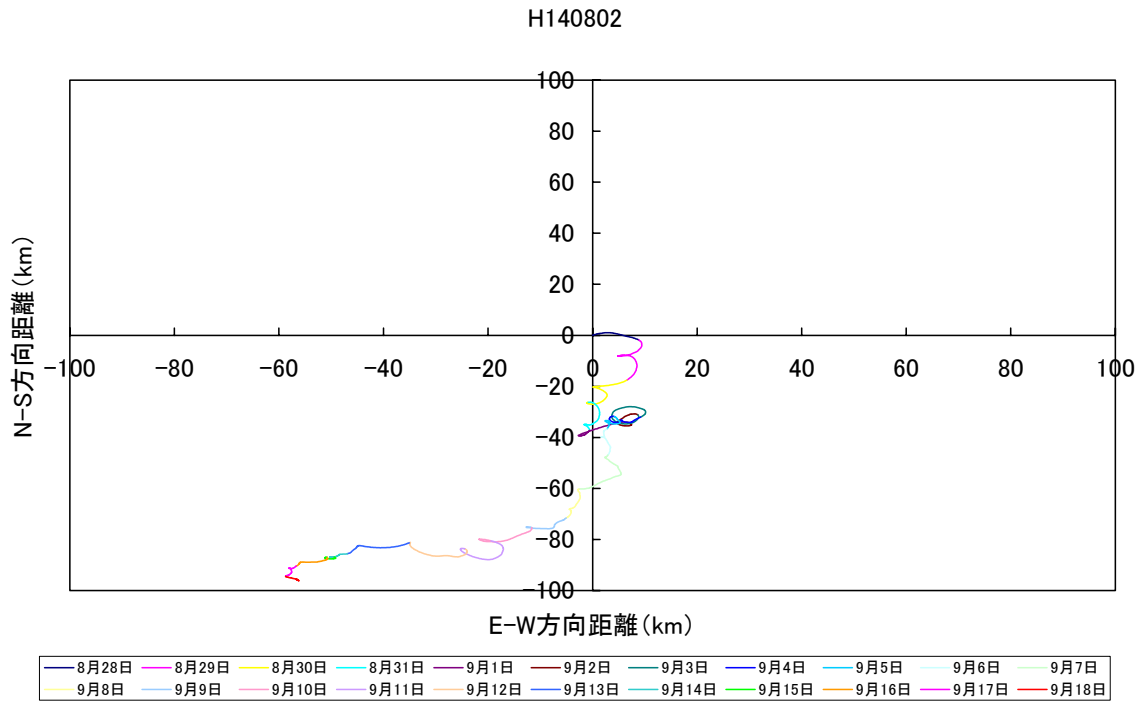


図 4.11 (a) 進行ベクトル図 (H140802)

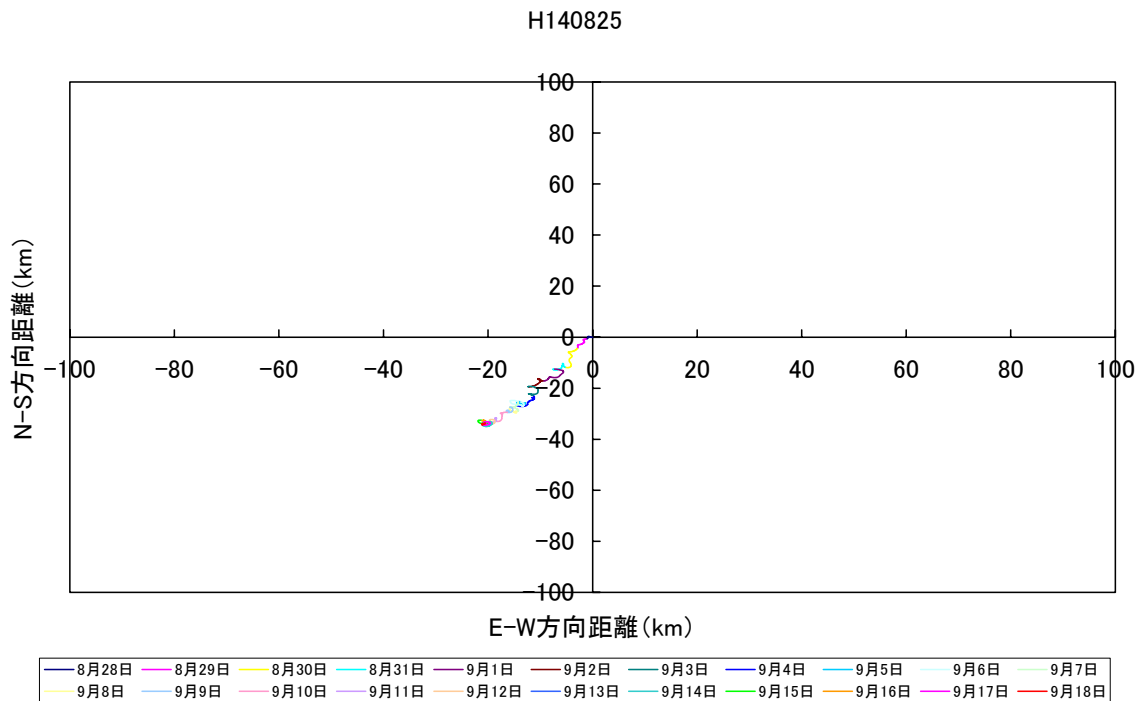


図 4.11 (b) 進行ベクトル図 (H140825)

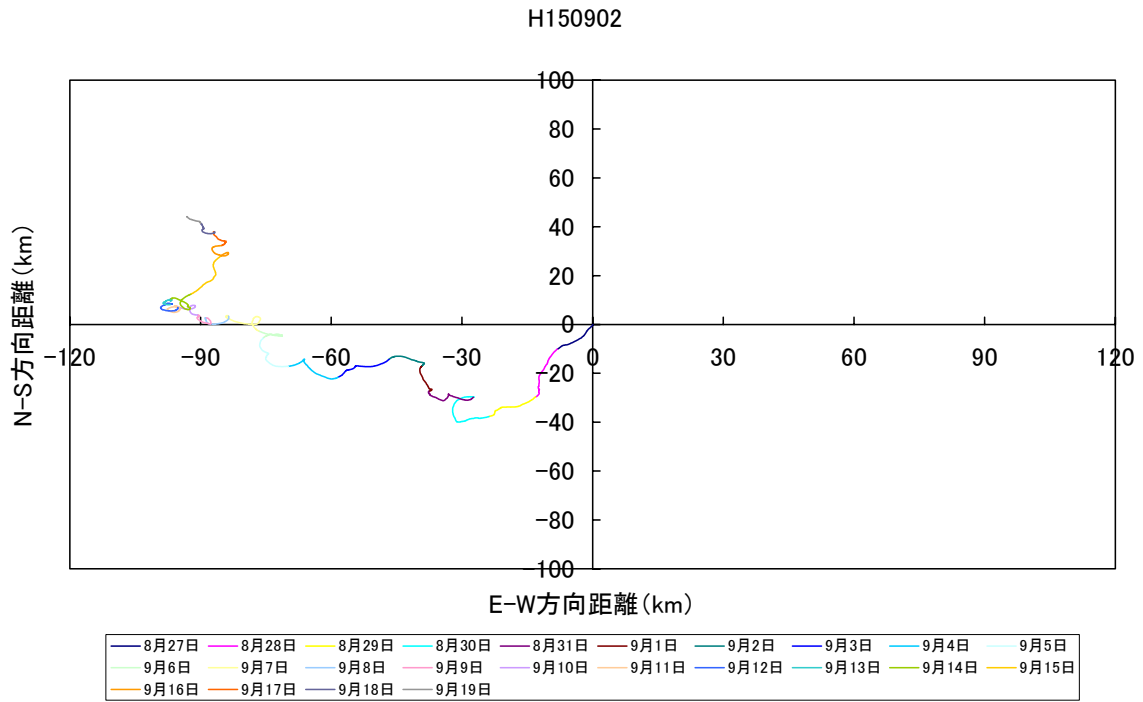


図 4.12 (a) 進行ベクトル図 (H150902)

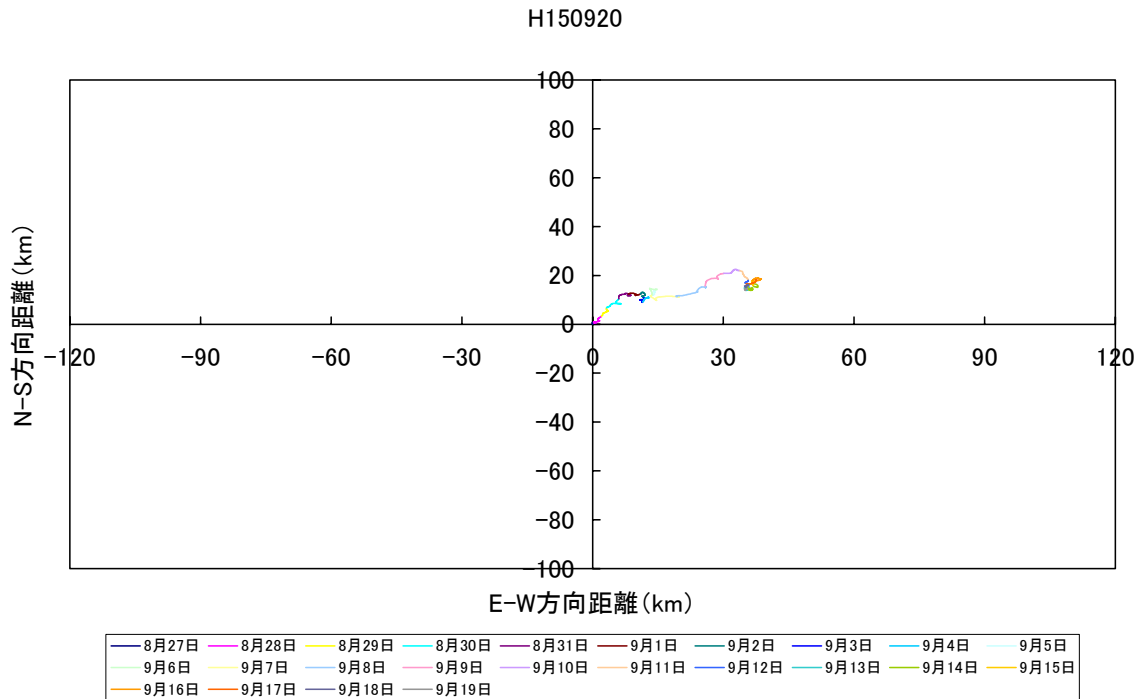


図 4.12 (b) 進行ベクトル図 (H150925)

平成15年度：表層は西北西向き、底層は逆の東北東向きの流れであった。底層は9月8日~10日にやや早い流速が見られた他は全般的に停滞していた。

以上観測された各年次の流動を見てきたが、毎年異なる結果が得られており、貧酸素水塊発生域の流動を把握するのは非常に難しいことがわかる。平成12~14年度の底層流は岸向きの流れが見られたことが共通点である。15年度は測定点がやや北になっており、地形も違うので、過年度と異なることも考えられる。何故なのかは今後の課題である。

(2) 変動のスペクトル解析

対象海域での流速変動を引き起こす要因は何であるかを調べるために、観測された流速変動のスペクトル無しで解析を行ってみた。一般に太平洋沿岸は潮汐周期を持つ変動が卓越すると考えられてきた。仙台湾についての結果を図4.13~図4.14に示した。

図4.13は平成12~13年度の結果である。共通して見られるのは約19時間の周期を持つ変動が卓越していることである。潮汐周期の変動はピークとしては見られなかった。19時間の周期はおそらく慣性振動の周期に対応している。この傾向は平成14年度でも同様であった。場所が異なる平成15年度では表層では卓越周期はみられなかったが、底層では慣性振動の他に半日周期（おそらくは潮汐に対応）でピークが見られた。

場所の違いで潮流成分が出たりでなかったりすることがわかる。かつ底層の流動では慣性振動が卓越していることもわかった。

では何故慣性振動が現れるのか？ 最近の沿岸海洋学の知識から推定すると、2つの原因が考えられる。一つは風の効果である。これはCsanady(1982)によるもので、急に風が吹くと慣性振動が励起されるという理論である。もう一つはSimpson(1997)理論で、河川水の流入に伴って、河口付近に時計回りのバルジ（渦）が形成されると共に沿岸流が発生する(図4.15)。それと同時にバルジ内で慣性不安定が起こる。そして慣性振動が増幅されるという機構である。当該海域がどちらのメカニズムかは今後の研究を待たなければならない。

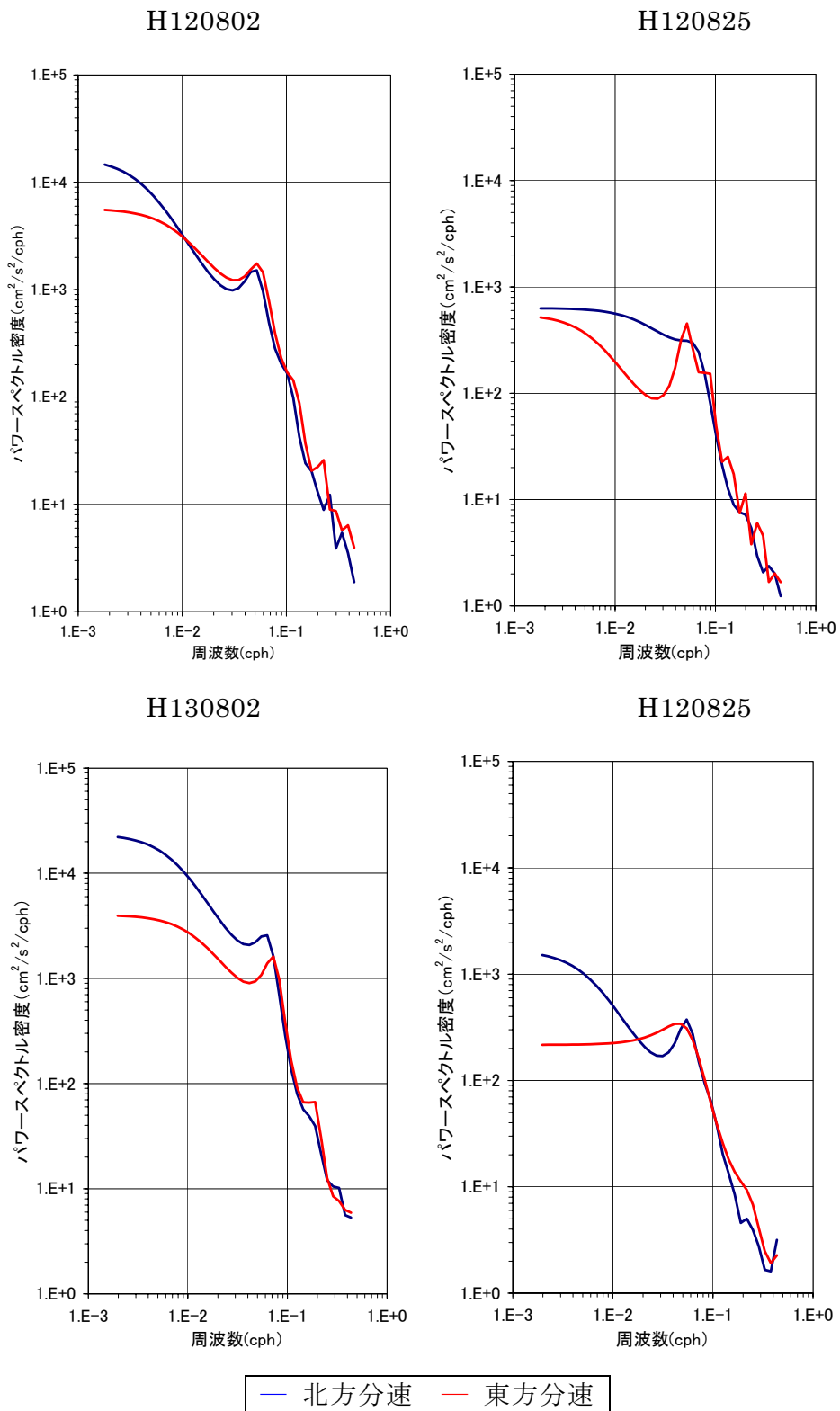
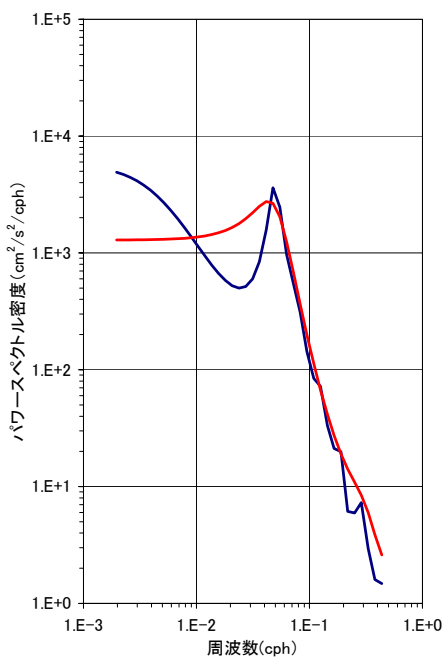
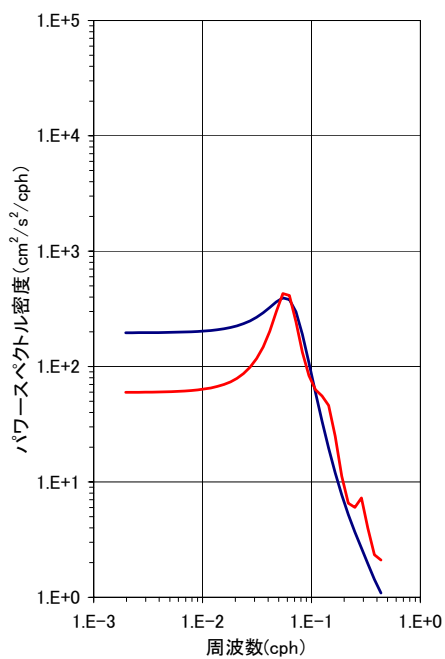


図 4.13 H12,H13 年度におけるパワースペクトル

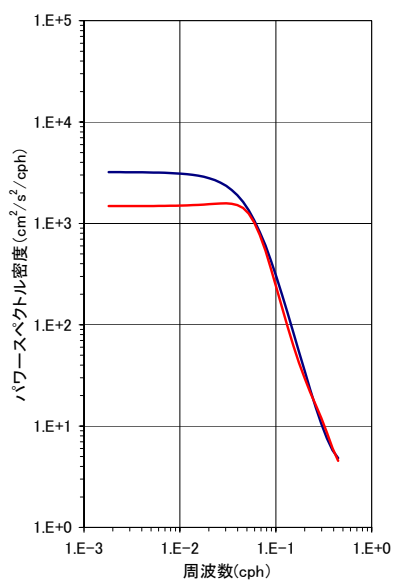
H140802



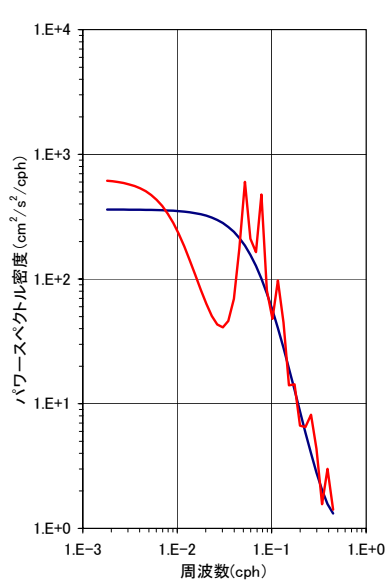
H140825



H150902



H150920



— 北方分速 — 東方分速

図 4.14 H14,H15 年度におけるパワースペクトル

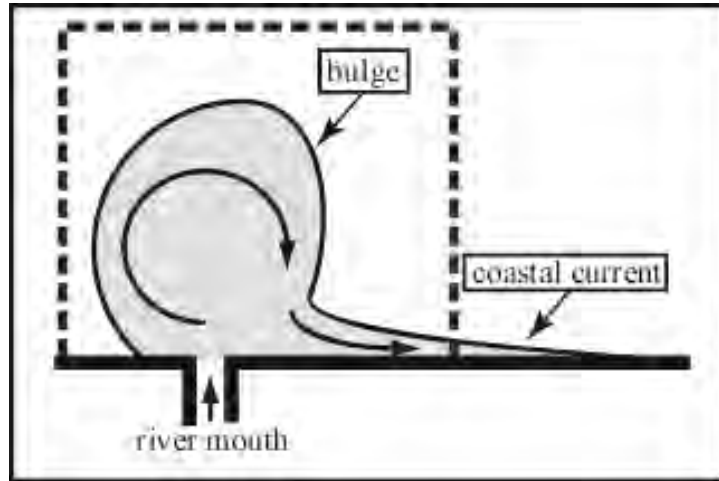


図 4.15 河川水の広がり。沿岸流とバルジの模式図

観測結果から、少なくとも湾口に潮汐を与えて、仙台湾の潮流を再現して行くという方法はここでは使えないということが明らかとなった。またスペクトル密度では明確なピークとしては現れていないが、約5~6日の変動が存在することもスペクトル解析から見る事ができた。ではこの周期は何によって起こるのが次の問題となる。

(3) 地形性ロスビー波〈陸棚波〉の可能性

福島沖での流速変動の観測から久保田等(1983)は3日周期の第二モードの陸棚波の存在を示した。仙台湾は場所が隣接しているので、陸棚波の影響が考えられる。陸棚波は水深の変化によって生ずる渦モードの波動で、太平洋側では北から南へ伝搬する。この渦が仙台湾に侵入し、対象域で平均流と逆の方向の流れの成分が伝搬してくると、その時に流れは停滞することになる。これが数日継続すると、そこでたまたま大量の沈降フラックスがあると、局地的に貧酸素化する可能性が考えられる。もし陸棚波が原因であるなら、モデルでは仙台湾に限ってしまうと、境界条件で渦を模擬した流動を与えていくしかない。この場合、どのような条件で貧酸素になりうるかについての解析は可能であるが、予測は難しい。太平洋側での陸棚波発生の実態をまず解明しなければならない。

まず日本の太平洋岸の北で花咲から南は鹿島までの潮位観測所で測定された2003年の水位データを収集し、解析を行った。図4.16がその結果の一部である。これはデータに25時間移動平均を2回かけ、そののち241時間でさらに移動平均をかけたものである。これは10日以上の変動を取り出したものである。これからは伝搬性の波動は見出せなかった。図4.17は1日以上10日以内の変動を取り出したもので、宮古と鮎川で見たものであるが、これからも伝搬性の波動は見出せなかった。本来渦モードの波動なので、水位変化でその存在を見出すのはむずかしいと思われる。久保田の研究では第二モードの陸棚波であったが、この場合特に水位変化でとらえるのは難しい。

そこで、陸棚波の発生と伝搬について数値モデルを用いて検討を始めた。図4.18には対象とする海域の水深図、図4.19には格子で表現したモデル海域の例を示した。このモデルに外力として北海道において西風 10 m/s の定常風を与えた場合の計算を行った。まずは全海域を単純な 10 km 格子で表現した場合について計算を行ったが、陸棚

の表現が粗くなり、陸棚波の発生がうまく見えていない。格子幅を細かくして順次計算を行っていく予定である。陸棚波が長距離伝搬してくるか、局所的な場で生成されているかについても検討が必要であるので、今後検討する。

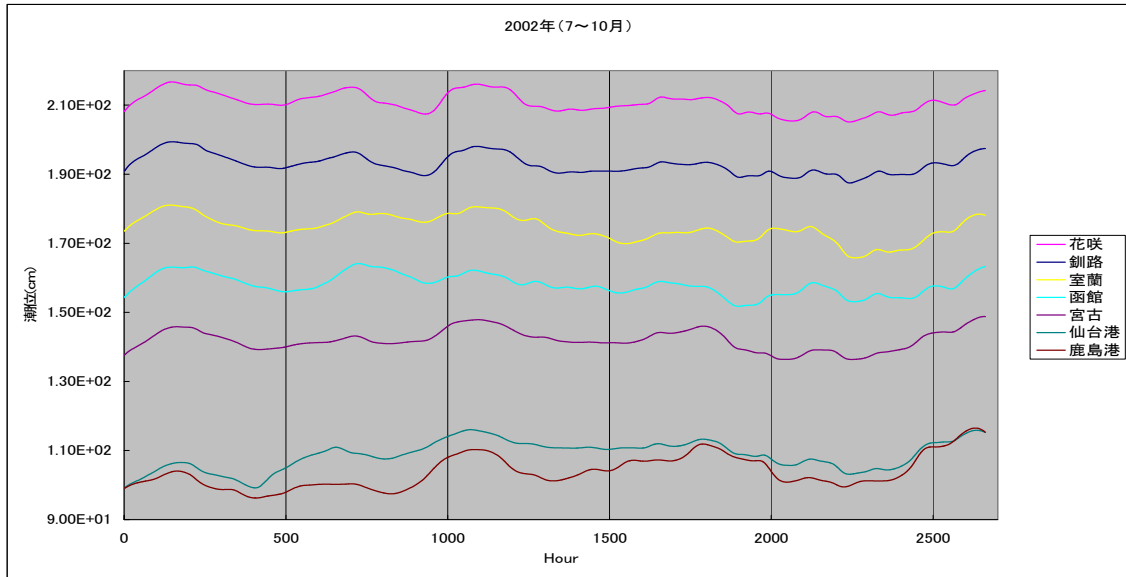


図 4.16 花咲から鹿島までの水位変化のうち 10 日以上の周期の変動

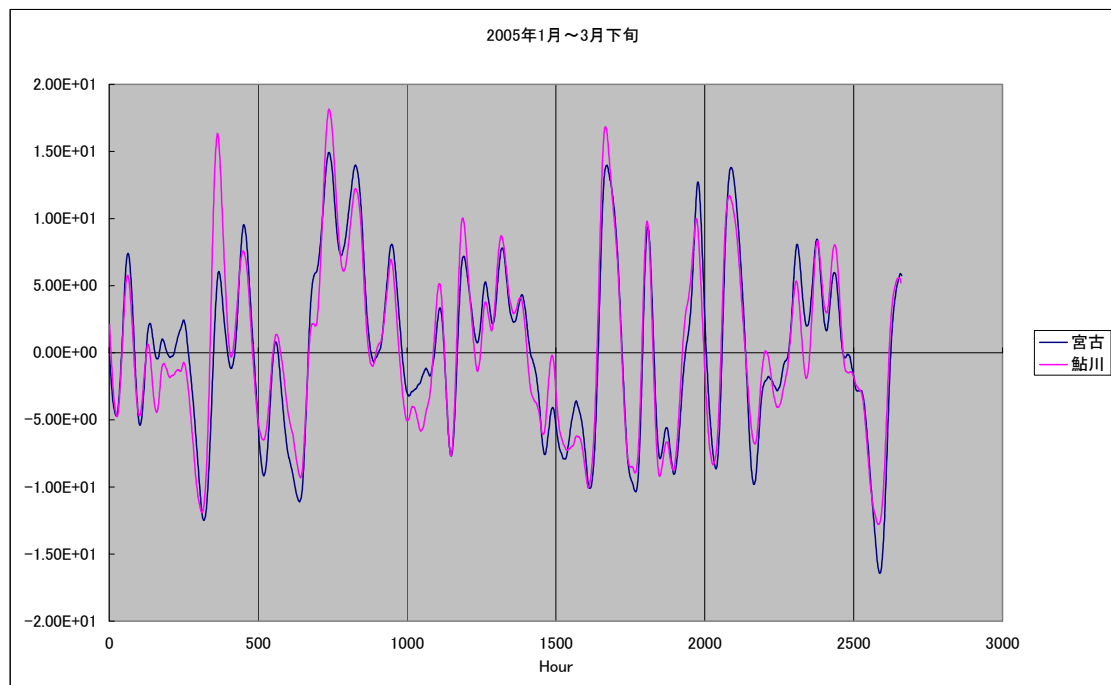


図 4.17 1 日~10 日の間の周期を持つ変動の変化〈宮古と鮎川の例〉

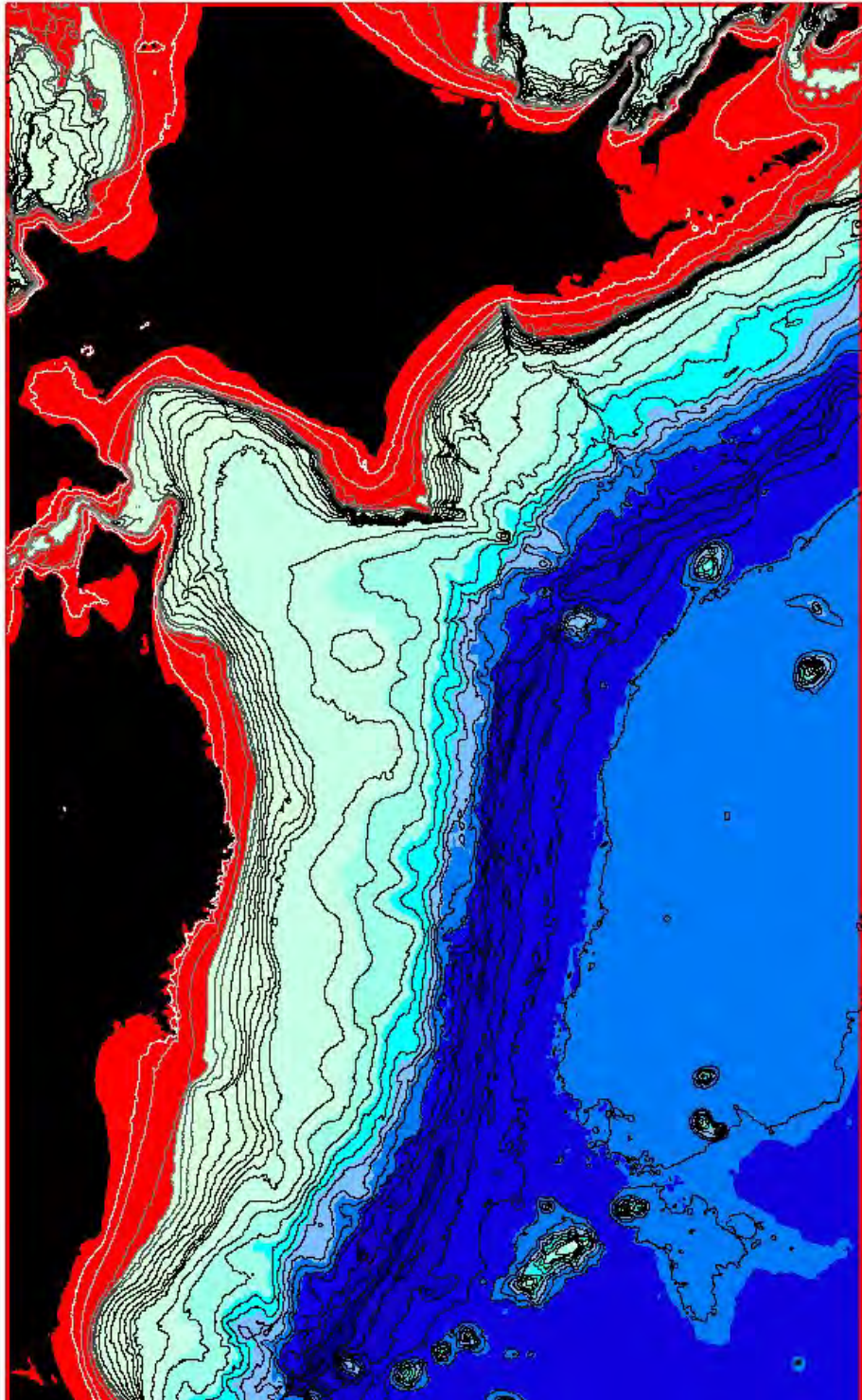


図 4.18 モデル海域水深図赤い領域は 300m 以浅、コンターは 50m ピッチ

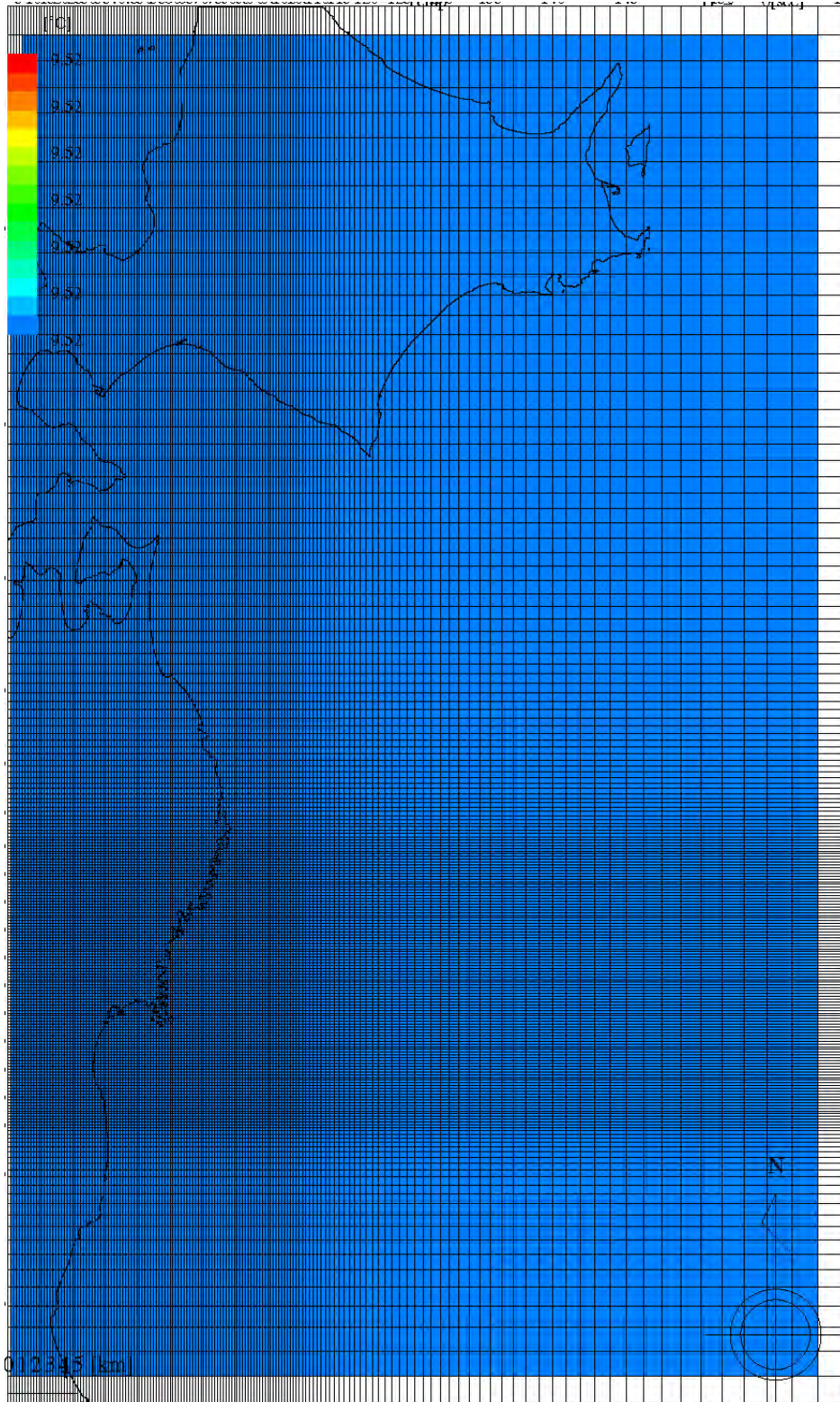


図 4.19 格子分割の例 最小 2km ~最大 20 km メッシュ

3) 仙台湾におけるモデル解析

図 4.19 に示した格子を使って、仙台湾に着目し、河川の流入があった場合に仙台湾の特に貧酸素が発生する水深付近の流動に与える影響を調べた。

計算は阿武隈川から毎秒 300m^3 の淡水を流入させた場合について行ってみた。結果から、河川水の流入に伴って、河口付近に時計回りのバルジ〈渦〉が形成される(図 4.20)と共に沿岸流が発生することが示された。また同時にバルジ内で慣性不安定が起こり、慣性振動が励起されることも明らかとなった(図 4.21)。また河口付近の底層では観測で見られたような陸向きの流動が励起されることもわかった(図 4.22)。

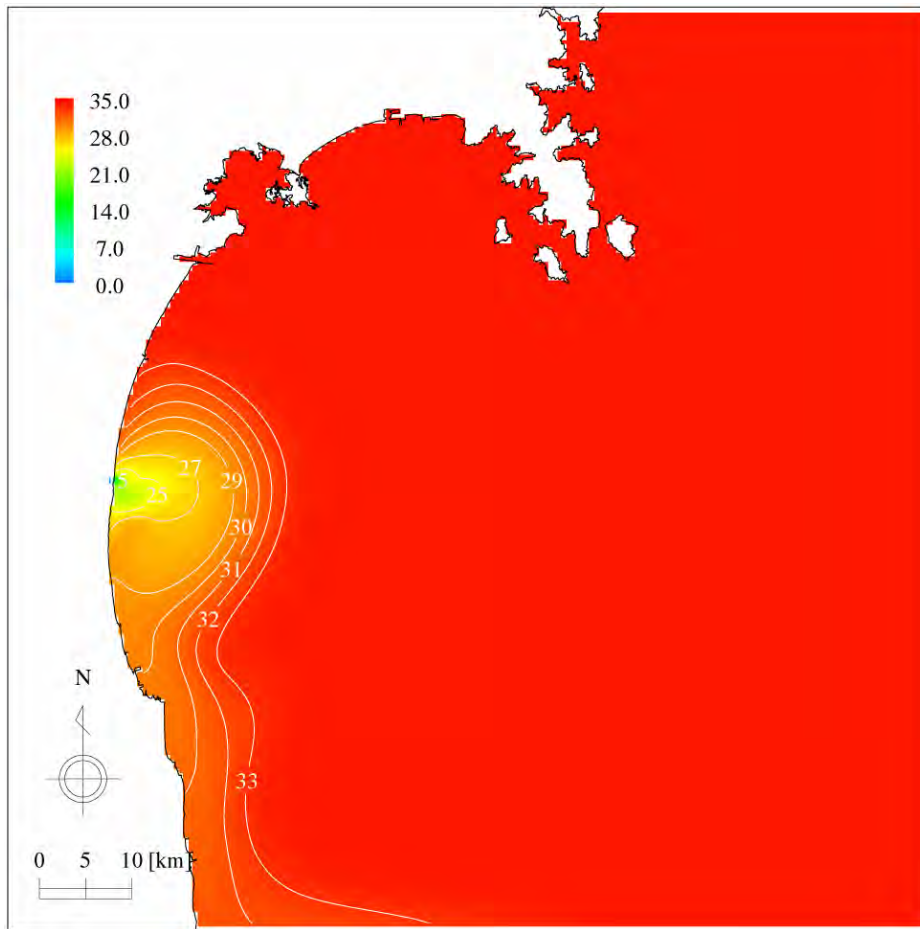


図 4.20 阿武隈川から毎秒 300m^3 の流入があった場合に形成される河川水の仙台湾での拡散。塩分分布で示した。

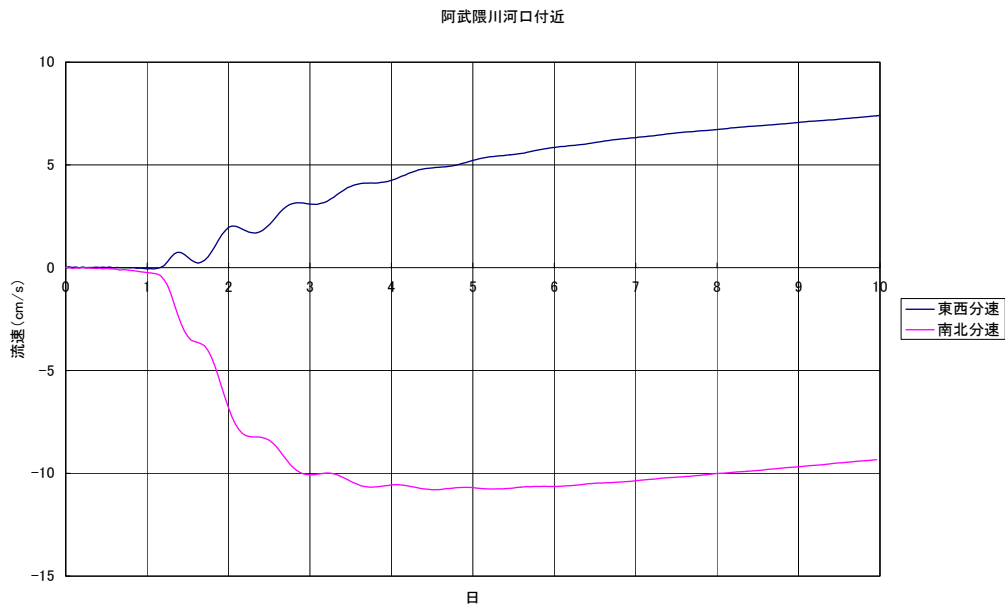


図 4.21 河口近くの海域で計算された流速の時間変化。振動は慣性周期に対応。

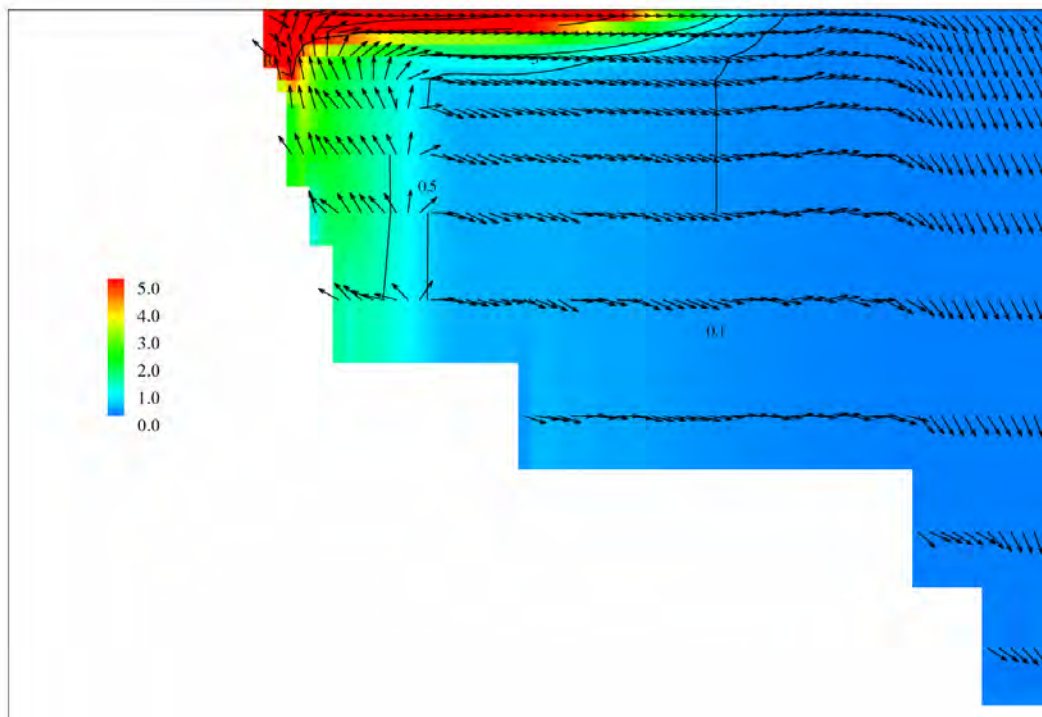


図 4.22 阿武隈川河口からの東西断面での流速分布。

仙台湾で起こる貧酸素水塊形成のメカニズムといくつかの要因を示してきた。流速変動解析やモデル計算から考えられるシナリオは、河川水や下水道からの排水によって、図 4.22 に見られる流動場が作られると、水深 20m 付近の海底近傍は陸向きの流れになるが、水深が急激に浅くなるために、エスチャリーにおける濁度極大層が形成されるの

と同じような場が作られる。表層では栄養塩の供給によって植物プランクトン生産が増大し、それらが海底に沈降して、上述した場に集積されると、そこで急速に酸素が消費されていくことになる。流動場が変化すれば、その貧酸素水塊は消えていくか、移流によって別な場所に移っていくことになる。貧酸素水塊の継続期間は陸からの流入流量の多い期間の長さに依存するものと思われる。

今後は流速計を用いた観測を岸沖方向に行い、流入流量との関係を調べていくことも一つの方法である。

またいろいろなケースの数値実験を行うことも、調査の焦点や重み付けを行う場合に必要であろう。



この報告書は、競艇交付金による日本財団の助成金を受けて作成しました。

平成19年度全国閉鎖性海湾の「海健康診断[®]」調査報告書

平成20年3月発行

発行 海洋政策研究財団(財団法人 シップ・アント・オーシャン財団)

〒105-0001 東京都港区虎ノ門1-15-16 海洋船舶ビル
TEL 03-3502-1828 FAX 03-3502-2033
<http://www.sof.or.jp>

本書の無断転載、複写、複製を禁じます。

ISBN978-4-88404-203-5