

平成21年度

「海の健康診断」を活用した
英虞湾の環境評価に関する調査研究

中間報告書

平成22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)

志 摩 市

ごあいさつ

本報告書は、競艇交付金による日本財団の平成21年度助成事業「海の健康診断」を活用した海域環境評価に関する調査研究の一環として実施した「海の健康診断」を活用した英虞湾の環境評価に関する調査研究の成果をとりまとめたものです。

我が国は、経済的な豊かさと引き替えに多くの海洋の自然を失い、そこから生産される多くの恵みを失いました。高度経済成長期に公害問題が表面化して以降、「公害対策基本法」や「水質汚濁防止法」等の法令が整備され、沿岸海域への排水を量的、質的に規制し、水質を「きれい」に維持するための基準を設けるとともに、関係自治体による「公共用水域水質測定」や「浅海定線調査」等の水質モニタリングが開始されました。これにより水質悪化を食い止め、一部の湾では改善が見られるなど一定の効果は見られましたが、今日でも豊かな海を取り戻すまでには至っていません。

その原因の一つには、環境評価や改善のポイントが公害の防止や監視といった水質改善にあり、沿岸域の“海の恵み”を生み出している「海の営み」を総合的に評価するという視点が欠落していたことがあげられると思います。昨今、第3次生物多様性国家戦略や海洋基本計画などで生物多様性の確保の必要性が唱われているが、生物の多様性が確保されるためには、対象海域の生態系や物質循環が健全であること、すなわち「海の営み」健全であることが不可欠です。

海洋政策研究財団では、この「海の営み」を検査し、定量的に評価する「海の健康診断」の手法研究を平成12年より全国に先駆けて実施して参りました。これまでに「海の健康診断マスタープラン・ガイドライン」をまとめたのをはじめ、平成16年度、18年度、20年度には全国の個々の閉鎖性海湾を対象にして「海の健康診断」一次検査・診断を実施し、個々の閉鎖性海域の環境の現状を診断カルテとしてとりまとめ、日本の沿岸海域で起きている環境変化の傾向や課題を社会に周知するとともに、「豊かな海」を取り戻すために必要な沿岸域の環境管理について、「海の健康診断」の活用を視野に入れた提言書を関係政府機関の大臣宛提出いたしました。

このたび、これまでの全国の閉鎖性海湾を対象とした全国一律の「海の健康診断」の実施に向けた研究とは視点を变えて、対象海湾を絞り、その環境特性や管理の実情に合わせて「海の健康診断」をより精緻に適用する研究を行うこととし、対象海湾を公募したところ、志摩市から英虞湾で実施したい旨ご応募頂き、2ヶ年計画で「海の健康診断」英虞湾モデルの研究並びに同湾の環境改善に向けた処方箋の作成を行うことといたしました。本書の内容は、その1年目の研究内容をとりまとめた中間報告書です。

本書が英虞湾の環境保全、改善に日夜尽力されている志摩市や同海域に関心を持つ方々などの活動に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、松田治広島大学名誉教授を委員長とする「海の健康診断」を活用した英虞湾の環境評価に関する調査研究委員会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22年3月

海洋政策研究財団
会長 秋山昌廣

「海健康診断」を活用した英虞湾の環境評価に関する調査研究委員会 委員名簿

(順不同、敬称略)

委員長	松田 治	広島大学名誉教授
委員	中田喜三郎	東海大学海洋学部 教授
委員	前川行幸	三重大学大学院生物資源学研究科 教授
委員	千葉 賢	四日市大学環境情報学部 教授
委員	原条誠也	志摩の海を守る会
委員	国分秀樹	三重県水産研究所 水圏環境研究課 研究員

海洋政策研究財団担当

常務理事 寺島紘士
企画グループ グループ長代理 大川 光
政策研究グループ 研究員 眞岩一幸

志摩市担当

生活環境部環境課 課長補佐 濱野由人
生活環境部環境課環境保全係 坂井 陽
産業振興部水産課水産資源係 係長 浦中秀人

目 次

ごあいさつ

委員名簿

1. 本調査研究の概要	1
1.1 研究のねらい	1
1.2 目的と検討ポイント	1
1.3 調査研究の実施主体	2
1.4 検討の流れ	2
2. 英虞湾の「海の健康診断」再検査の実施	3
2.1 再検査の実施	3
1) 生息環境（貧酸素水の連続調査結果）	4
2) 生息空間（干潟・藻場面積の変化）	4
3) 堆積・分解（硫化物の変遷）	5
4) 除去（漁獲）（過去）	5
2.2 再検査結果	7
3. 英虞湾の「海の健康診断」精密検査の実施	8
3.1 精密検査の流れ	8
3.2 健康な姿の想定	9
3.3 精密検査の方針	10
3.4 精密検査の実施	10
1) 基本諸元	10
2) 健康状態のキーポイント（海底の有機物の変遷や分布状況）	12
3) 有機物が蓄積する流れの整理	21
4) 有機物の蓄積に関わる要因の変遷	23
3.5 精密検査のまとめ（案）	51
1) 現在とかつての物質循環フロー	51
2) かつてと現在の物質循環フローの比較	51
4. 英虞湾の環境改善に向けた処方箋（案）の作成	54
5. 今後の課題等	54

1. 本調査研究の概要

1.1 研究のねらい

海は河川等から流入した栄養塩類が流れによって輸送され、栄養塩類を受け取った生物が食物網を通じて分解、生産、浄化などの様々な営みを行っている場所である。「海健康診断」は、この営みを支える海の構造や機能を「生態系の安定性」と「物質循環の円滑さ」に着目し診断する手法である。

本調査研究は、これまでの全国の閉鎖性海湾を対象とした全国一律の「海健康診断」の実施に向けた研究とは視点を変え、対象海湾を絞り、その環境特性や管理の実情に合わせて「海健康診断」をより精緻に適合したものとなるようにその具体化を図るとともに、診断結果に基づく適切かつ効果的な処方箋を提示することを目標としている。

また、「海健康診断」の各地域における有効活用事例を多く作ることによって、全国各地域の沿岸環境再生に向けて海健康診断を普及させていくことを目指している（図 1.1）。

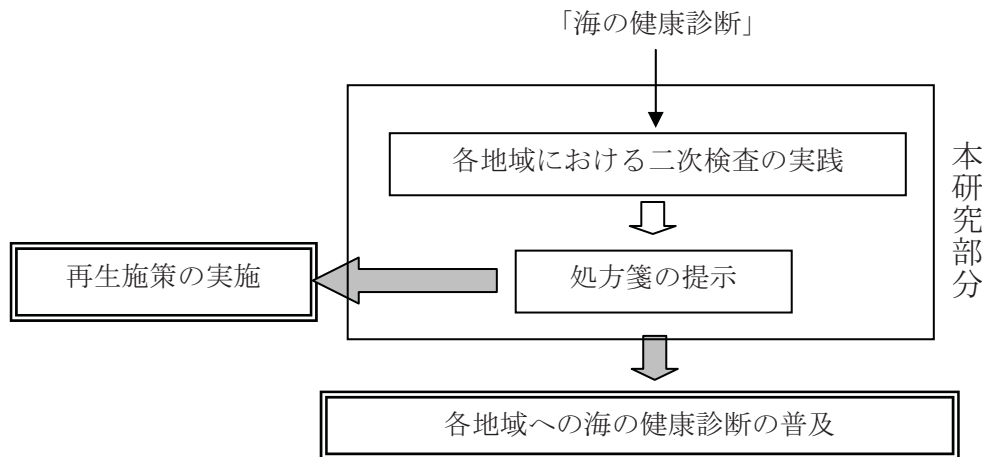


図 1.1 調査研究のねらい

1.2 目的と検討ポイント

本調査研究の目的と検討のポイントは以下のとおりである。

目的

英虞湾の詳細な情報を利用することによって、海健康診断の精度を向上させ、その診断結果に基づいて英虞湾の環境回復に向けた具体的な方策（処方箋）を提示する。

検討のポイント

- ① 英虞湾の環境に関する多種多様な情報を十分に集約し、英虞湾の健康状態をより具体的に捉える検査を実施する
- ② 検査結果にもとづいて、英虞湾の悪化メカニズムを解明する
- ③ 英虞湾の地域特性を考慮しつつ、効果的で実現可能な処方箋を提示する

1.3 調査研究の実施主体

本調査研究は、志摩市と海洋政策研究財団による共同研究により実施したものであり、その内容については、有識者から構成される委員会（表 1.1 参照）を通じて審議した。

表 1.1 委員会メンバー

	氏名	所属
委員長	松田 治	広島大学 名誉教授
委員	中田 喜三郎	東海大学海洋学部 教授
	前川 行幸	三重大学大学院生物資源学研究科 教授
	千葉 賢	四日市大学環境情報学部 教授
	原条 誠也	志摩の海を守る会
	国分 秀樹	三重県水産研究所 研究員

1.4 検討の流れ

検討の流れを図 1.2 に示す。

平成 21 年度は、英虞湾の環境レビュー、再検査を実施した上で、精密検査の試行、処方箋候補のリストアップについて検討した。

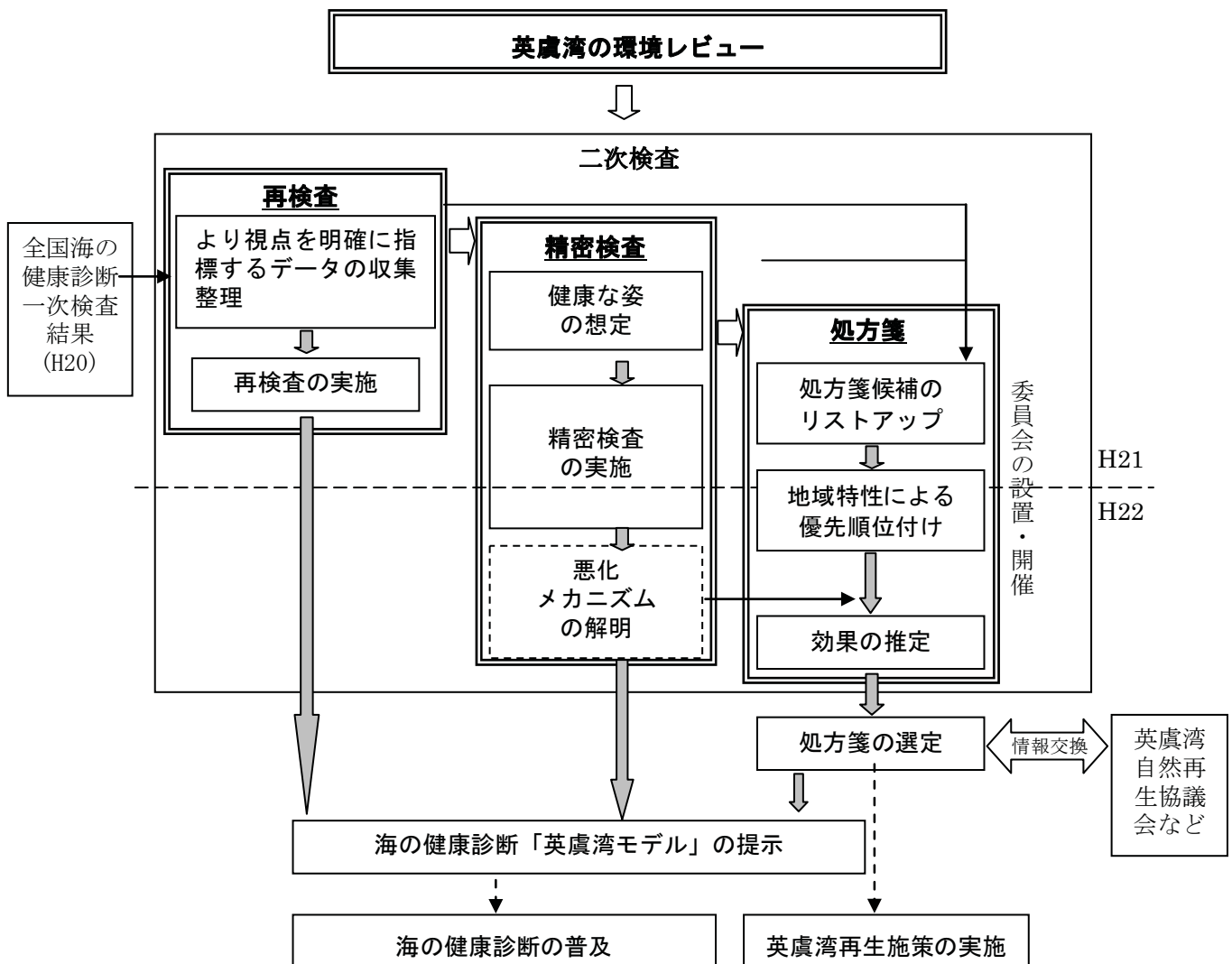


図 1.2 検討の流れ

2. 英虞湾の「海の健康診断」再検査の実施

2.1 再検査の実施

平成 20 年度全国海の健康診断における英虞湾の一次診断チャートは図 2.1 に示すとおりである。再検査では、一次検査において C 判定（要再検査）となっている視点（生息環境）を中心に検査を実施することとした。



1) 生息環境（貧酸素水の連続調査結果）

英虞湾における底層 DO の連続測定結果を図 2.2 に示す。

英虞湾における近年の底層 DO の連続測定結果から、湾奥の立神を中心に毎年貧酸素水の発生が起こっていることがわかる。このように、詳細な連続調査結果においても長期間にわたる貧酸素水の存在が確認されていることから、一次検査の C 判定は妥当な結果と考えられる。

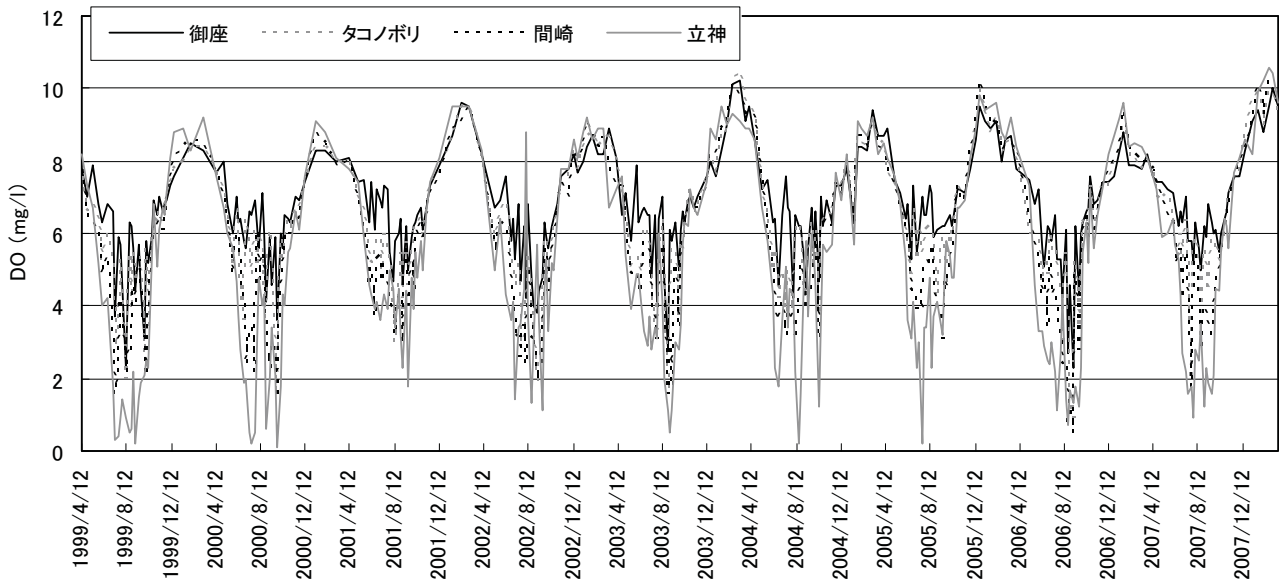


図 2.2 英虞湾の底層DOの連続測定結果

2) 生息空間（干潟・藻場面積の変化）

英虞湾における干潟面積の変遷イメージを図 2.3 に示す。

英虞湾の干潟の面積は、直近 20 年程度でみると大きな変化はないが、1600 年代まで遡ると、かつて約 270ha 程度の干潟が存在していたが、江戸時代に大きな干潟面積の減少があったことがうかがえる。

検討期間を英虞湾の変化があった 100 年単位でみれば、干潟面積の変化については、C 判定が妥当と考えられる。

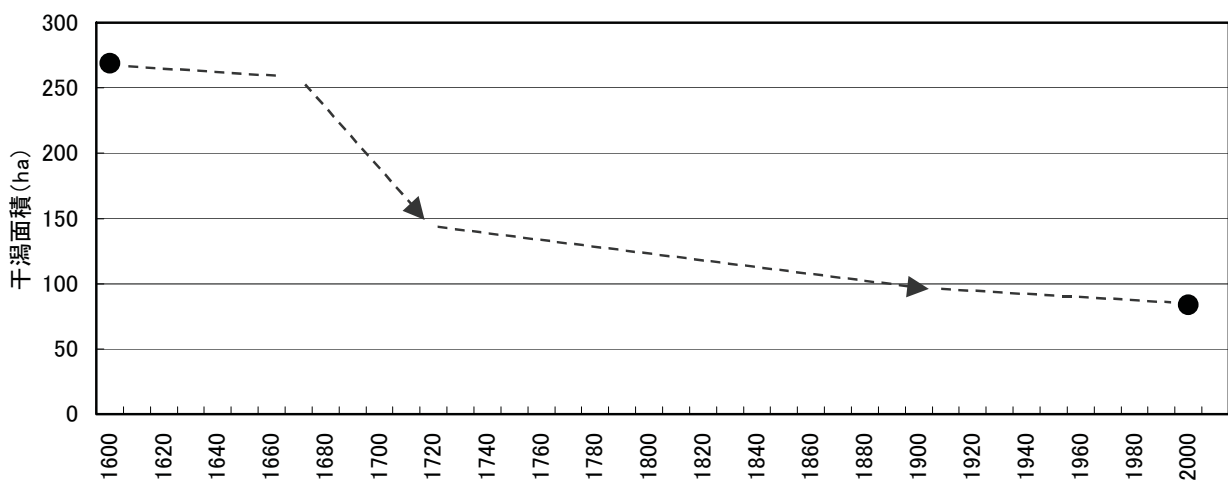


図 2.3 干潟面積の変遷イメージ

3) 堆積・分解（硫化物の変遷）

英虞湾の底泥の硫化物量の変化を図 2.4 に示す。

英虞湾では 1970 年代以降、湾奥を中心に底泥の硫化物量は 1mg/g を超える高い値となっていることから、再検査では、C 判定が妥当な結果と考えられる。

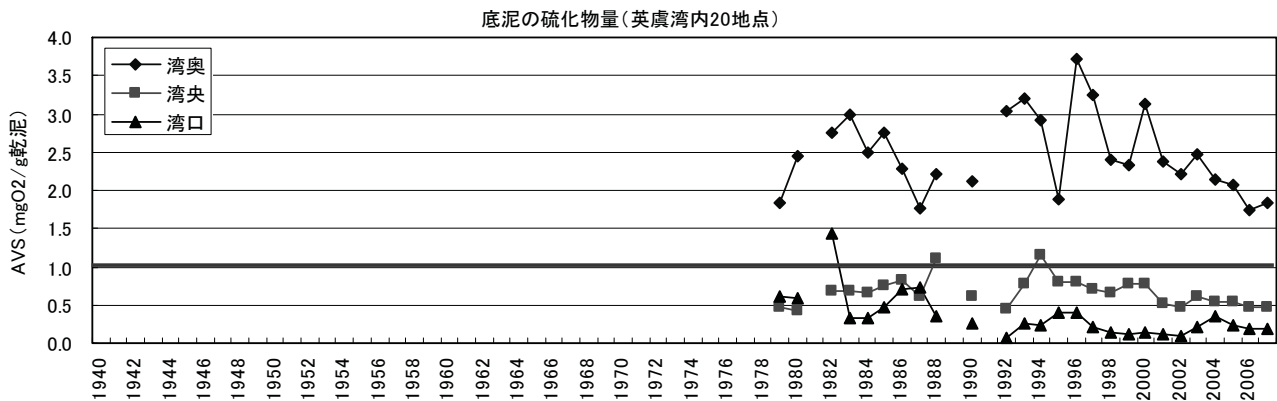


図 2.4 英虞湾の底泥の硫化物量の変化

4) 除去（漁獲）（沿岸漁業による漁獲量の変遷）

英虞湾における沿岸漁業の漁獲量の変遷を図 2.5 に示す。

英虞湾の漁獲量は、直近 20 年程度でみると大きな変化はないが、1950 年代まで遡ると、1960 年代に激減している状況がうかがえる。検討期間を英虞湾の変化があった 50 年単位で見れば、除去（漁獲）については、再検査では C 判定が妥当と考えられる。

なお、1980 年代以降アオサの養殖量が増加しており、アオサ養殖によって物質を取り上げている可能性も考えられるため、精密検査においては特に留意すべきである。

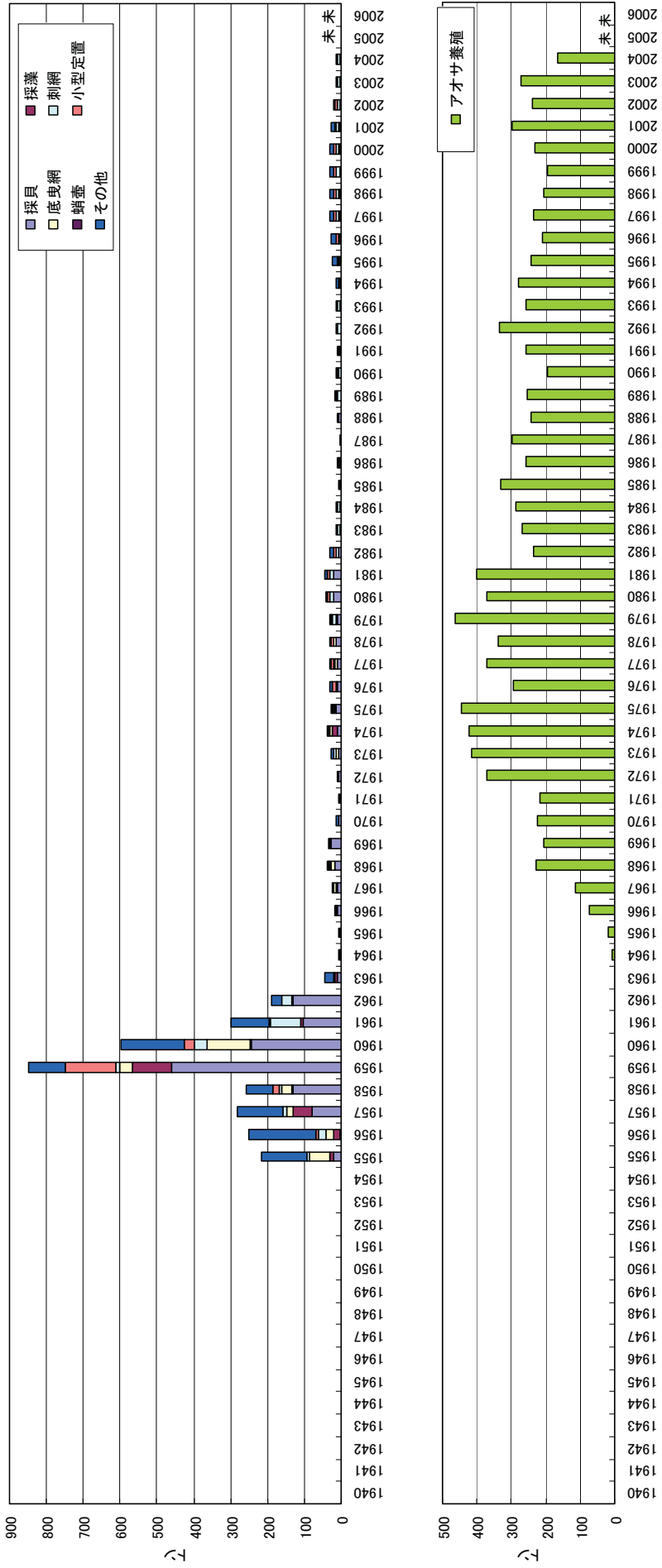


図 2.5 英虞湾の漁獲量の変遷

2.2 再検査結果

一次検査において C 判定（要再検査）となっている視点を中心に再検査を実施した結果の診断チャートを図 2.6 に示す。再検査で各視点において C 判定が検証できたことから、原因を究明する精密検査に進むこととした。

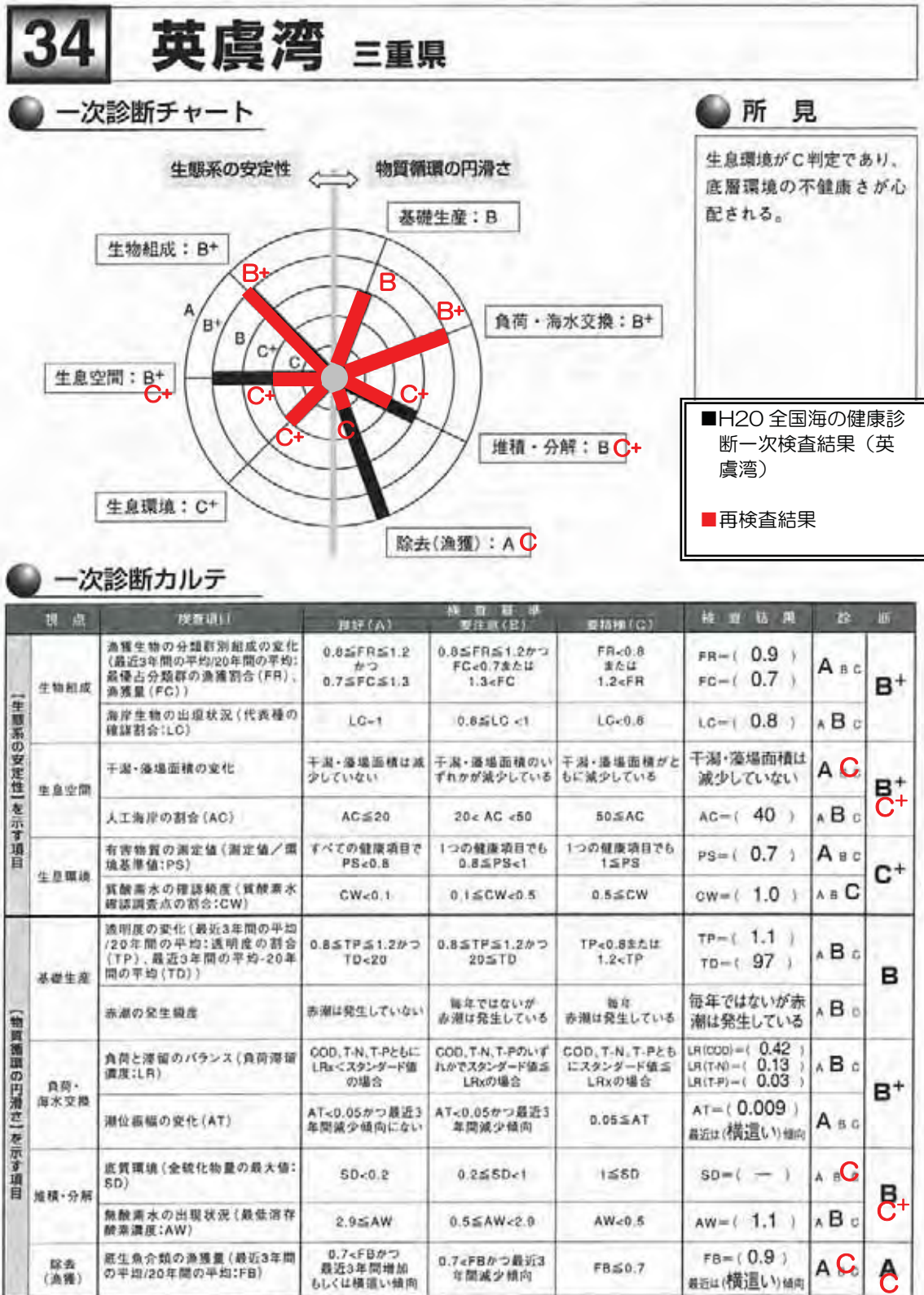


図 2.6 再検査結果

3. 英虞湾の「海健康診断」精密検査の実施

3.1 精密検査の流れ

再検査結果では、生態系の安定性及び物質循環の円滑さの両視点に関わる多くの検査項目で C（要精検）判定となった。この検査結果を受けて、不健康の原因を究明するための精密検査を実施する。精密検査は、次の4段階から構成することを考えている（図 3.1）。

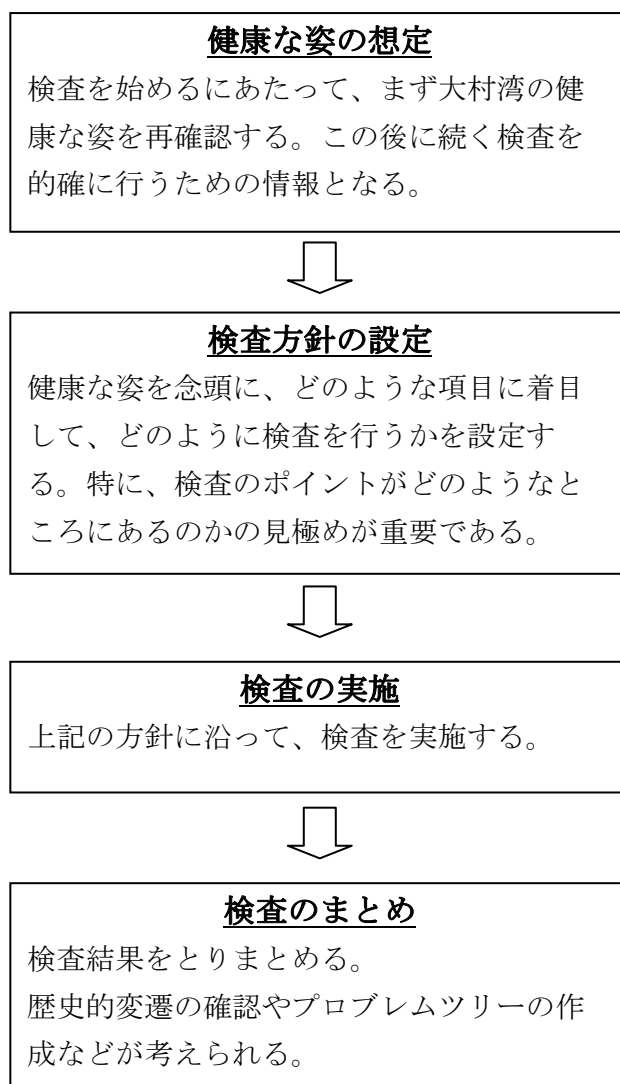


図 3.1 精密検査の流れ（案）

3.2 健康な姿の想定

海健康診断では、「安定した生態系をもち、円滑な物質循環が行われる海」を健康な海としている。しかし、各海湾を取り巻く社会状況等によっては、この定義を構成する生態系や物質循環のどちらかに強弱をつけたり、新たな視点を追加する必要も出てくる。そのため、各海湾の健康の定義は、「安定した生態系をもち、円滑な物質循環が行われる海」を基本にしつつも、各海湾で精査することが必要であり、海健康についてはそれぞれの海で微修正していく必要があると考えられる。

健康な英虞湾とはどう定義すればよいのだろうか。英虞湾の環境レビューや委員会での議論を通して、健康な英虞湾を以下のように設定したいと考えている。

英虞湾はかつて漁業やレクリエーションを通じた人々との関わりの強い“里海”であったが、その姿は変化し、赤潮の頻発、有機物の蓄積、貧酸素水の発生などの現象が定常化し、また、それに伴う漁業や養殖業の衰退といった地場産業の問題も起きている。

健康な英虞湾と目指すべき姿、そのための治療方針は以下のように考えられる。

■健康な英虞湾

健康な英虞湾とは、「海底に過剰に有機物が蓄積しないより円滑な物質循環をもつ海」である。

■目指すべき姿

英虞湾が健康になった暁に目指すべき姿は、「真珠養殖など主要な地場産業が活発な状態を維持しつつ、沿岸漁業やレクリエーションといった環境や生物と人々との関わりを取り戻した状態」である。

■治療方針

英虞湾を健康にするために、「物質循環の円滑さ」を特に向上させて、海底に過剰に有機物が蓄積しないより円滑な物質循環をもつ海に治療していく。

3.3 精密検査の方針

精密検査は、再検査において確認された不健康の原因を究明するための検査である。海域の健康状態（症状）とそれを左右する様々な要因（原因）に関するデータを歴史的にも遡りつつ収集し、それらを重ね合わせて診ることが必要である。

英虞湾の精密検査の実施にあたっては、英虞湾の健康状態のキーポイントとなる「海底の有機物の変遷や分布状況」について詳しく振り返ることとする。

3.4 精密検査の実施

1) 基本諸元

英虞湾における精密検査の実施にあたり、英虞湾の基本諸言を把握しておく必要がある。英虞湾の緒元を表 3.1 に、英虞湾の水深と沿岸土地利用を図 3.2 に示す。

表 3.1 英虞湾の諸元

項 目		諸 元	備考
地 勢	沿岸線長	140 km	
	面積	26 km ²	志摩市 180 km ² 三河湾 604 km ²
	最大水深	40 m	タコノボリ付近
	平均水深	10.5 m	三河湾 9.2 m
	湾内潮位差（浜島港）	大潮時 1.3 m、平均 0.9 m	
	容積	0.247 km ³	三河湾 5.54 km ³
	島嶼数	約 50	
	閉鎖度指標*	1.45	三河湾 1.91
	流域面積	68,351,245 m ² (68 km ²)	三河湾 3,624 km ²
	主要流入河川	前川、西川、迫子川、清水川、桧山路川	
湾 口	湾口水深	12 m	
	湾口幅	1.7 km	
そ の 他	平均水温	18.6 (9.5~29.5) °C	
	平均塩分	32.4 (5.7~34.8) ‰	

※閉鎖度指標：閉鎖度指標が高いと、海水交換が悪く富栄養化のおそれがあることを示す。

$$\text{閉鎖度指標} = (\sqrt{\text{面積}} \times \text{湾内最大水深}) / (\text{湾口幅} \times \text{湾口最大水深})$$

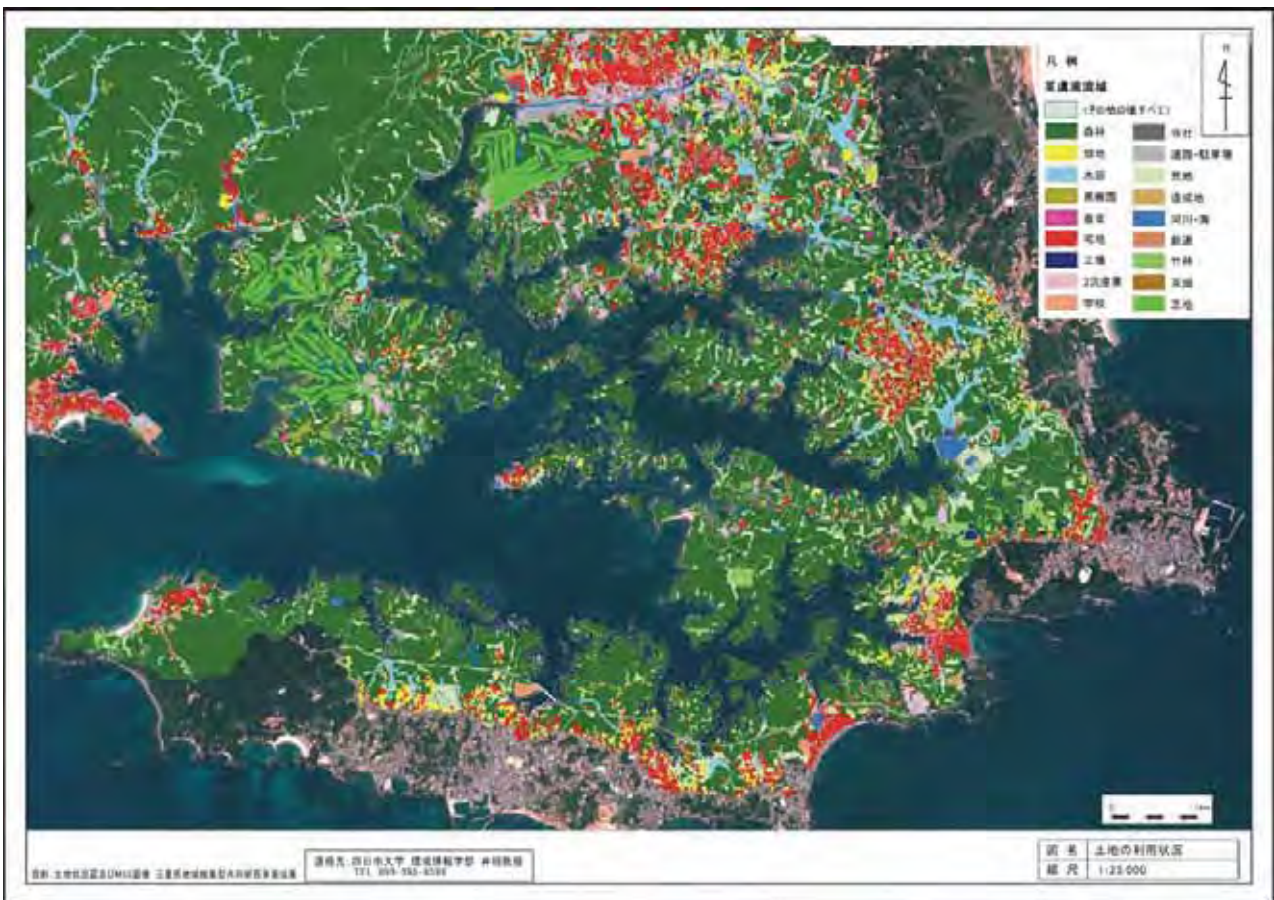
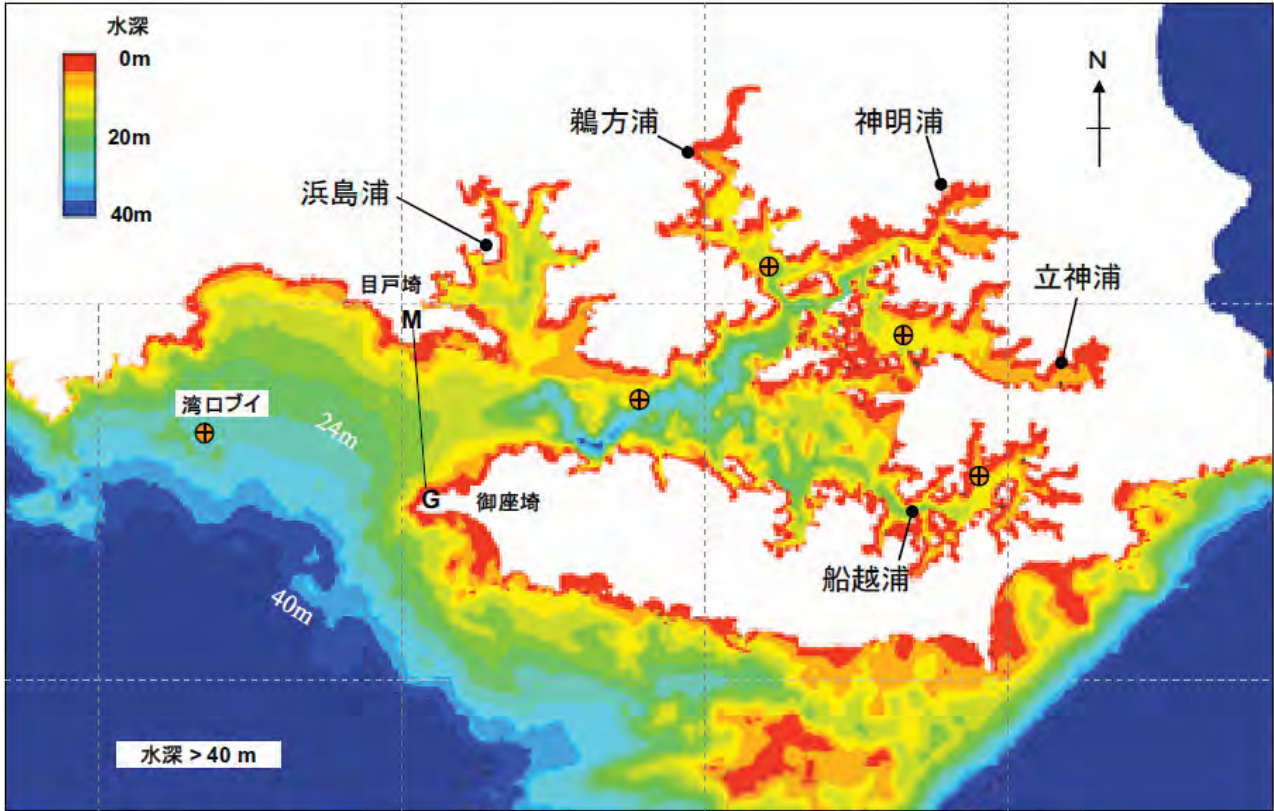


図 3.2 英虞湾の水深と沿岸土地利用

2) 健康状態のキーポイント（海底の有機物の変遷や分布状況）

ア) 1977（昭和52）年の底質分布状況

英虞湾では1977年の英虞湾全体の底質状況がまとめられているため、当時の湾全体の底質の分布状況を確認した。底質の分布状況を図3.3に示す。

英虞湾内の底質は全体的に「混」（泥質土）が多いが、湾口周辺では岩が多くなっていた。底質のCODは湾奥で高くなっており、特に浜島から迫子周辺の枝湾は全体的に高くなっている。また、立神や鵜方周辺は、船越や深谷周辺に比べて悪化している。底質の硫化物量は浜島で最も多く、塩谷や迫子、立神などでも高くなっている。

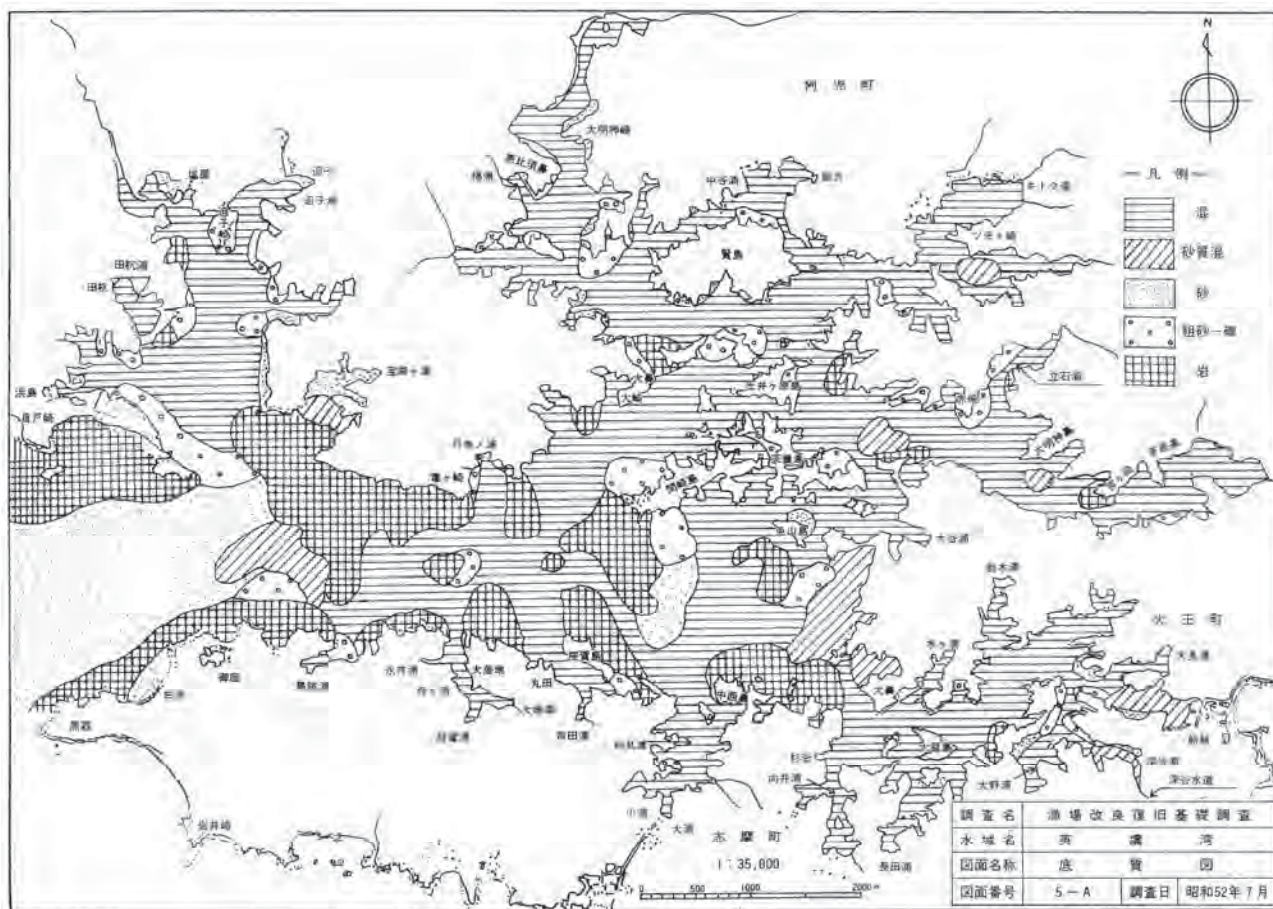


図 3.3(1) 英虞湾の底質分布状況（1977（昭和52）年）

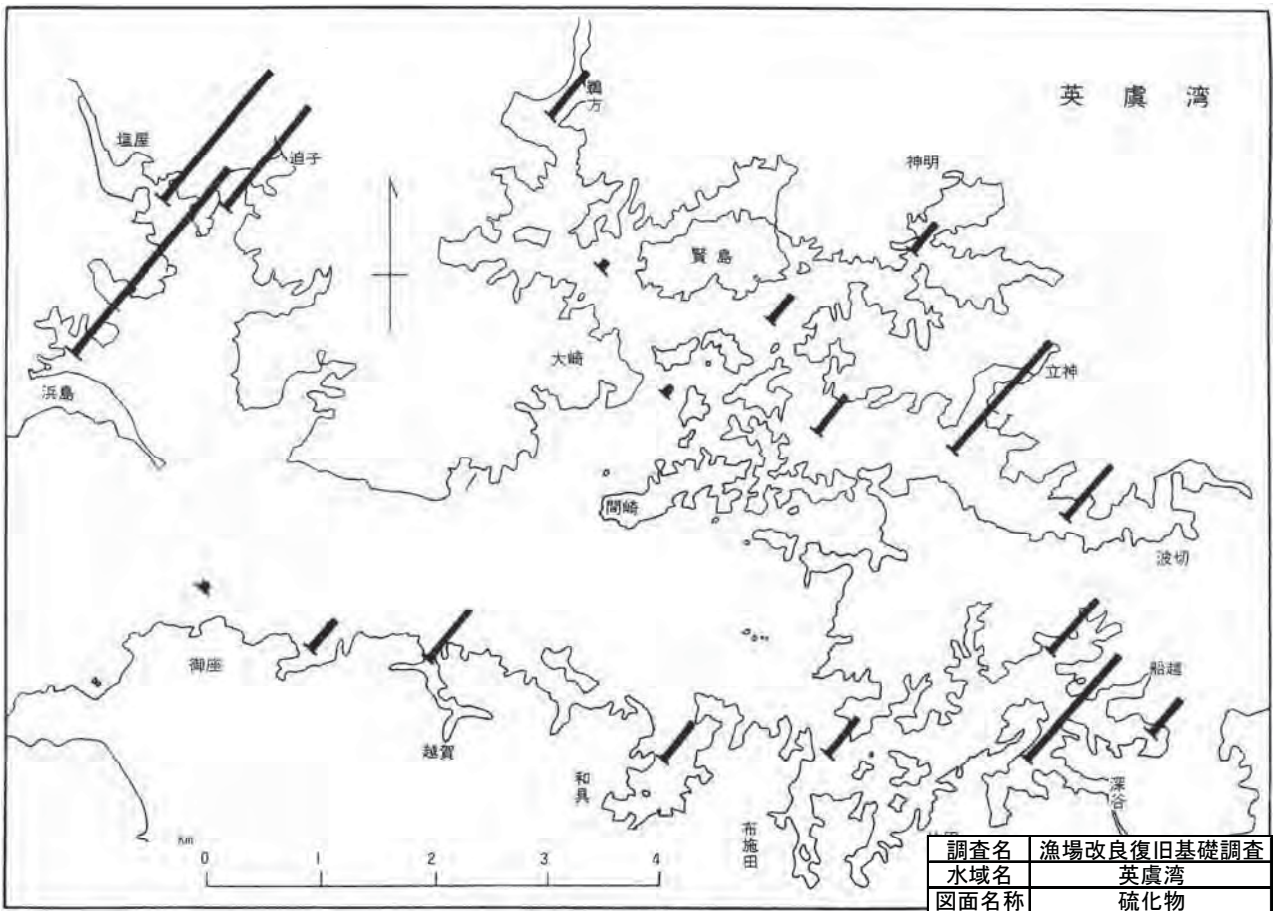
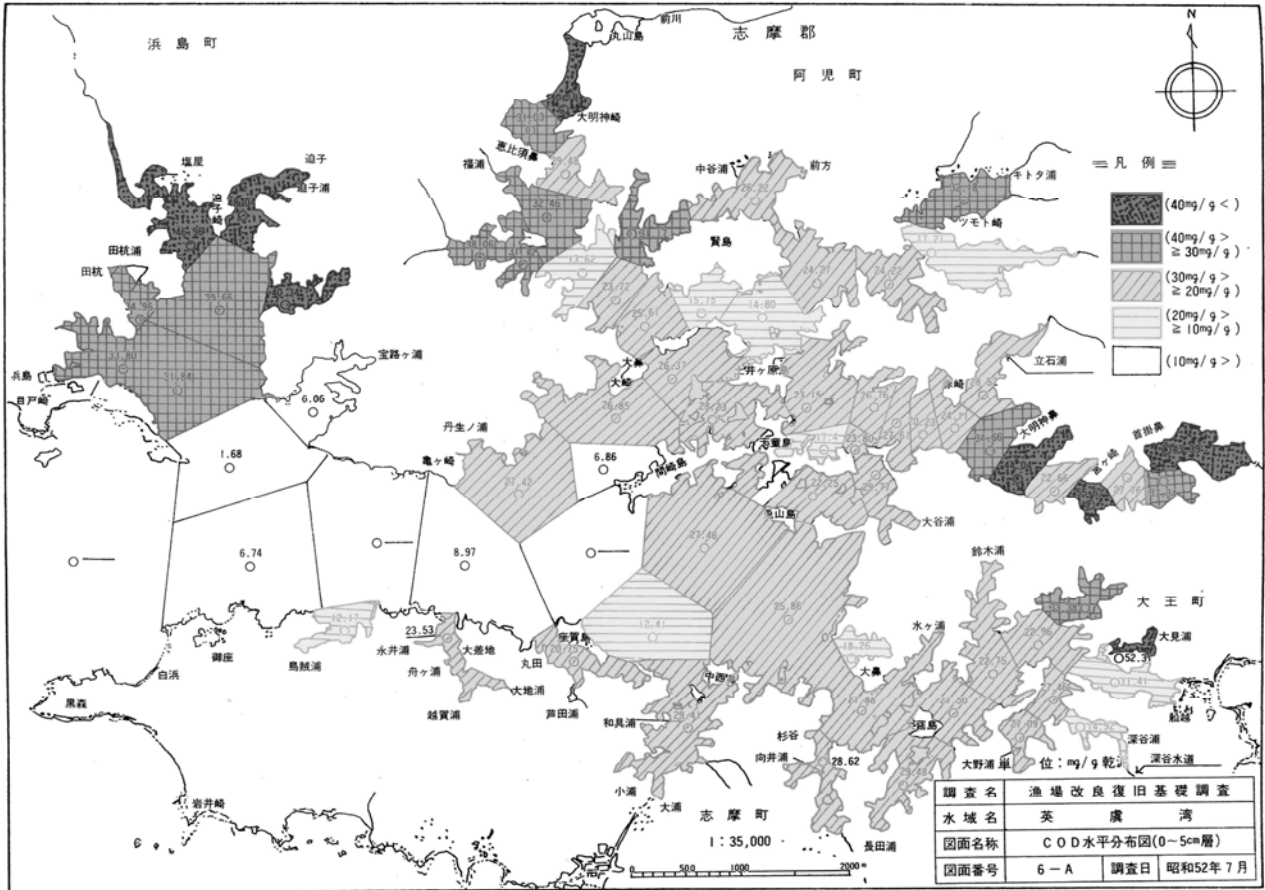


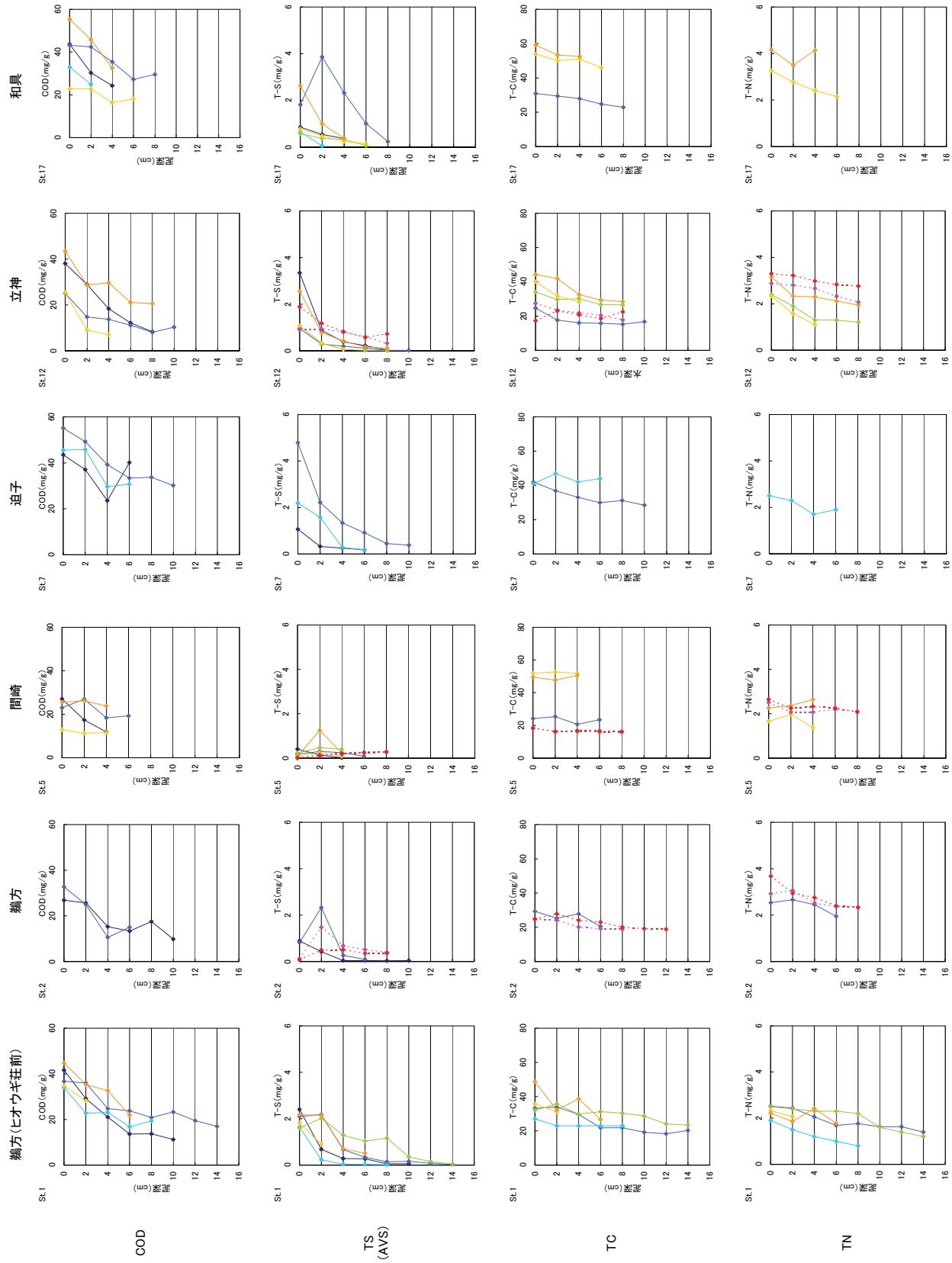
図 3.3(2) 英虞湾の底質分布状況 (1977 (昭和 52) 年)

イ) 底質の鉛直分布状況 (1982～1987年と 2005～2006年)

英虞湾では、1980年代と近年(2005～2006年)において底質の柱状採泥による鉛直的な分布が測定されている。主な調査地点における底質の鉛直分布状況を図 3.4 に示す。

底質の鉛直分布をみると、COD、TS は表層ほど多くなっているが、TC、TN は表層でわずかに多いか、鉛直的に一様となっている。また、1980年代の TC をみると、有機物が徐々に増加している様子が見えてくる。

また、1980年代と近年の分布を比較すると、近年の有機物量は 1980年代と同程度か 1980年代より多い程度であった。



※間崎のH17,H18はタコノホリの量を示す。

図 3.4 英虞湾の底質の鉛直分布状況

ウ) 底質の経年変化

英虞湾内 20 地点で調査している底質の調査結果から、底質の経年変化を確認した。英虞湾の底質の経年変化を図 3.5 に示す。

COD は湾奥と湾央で 1993 年頃から増加傾向にあり、1990 年代後半以降は概ね横這いとなっている。AVS は湾奥では 1996 年以降減少傾向となっているが、湾央・湾口では概ね横這い傾向である。また、TC は湾奥、湾央、湾口全ての区分で僅かに増加傾向となっている。TN は湾奥で 1994 年～1998 年頃まで増加傾向にある。また、TOC は 2002 年をピークに僅かに減少傾向にある。

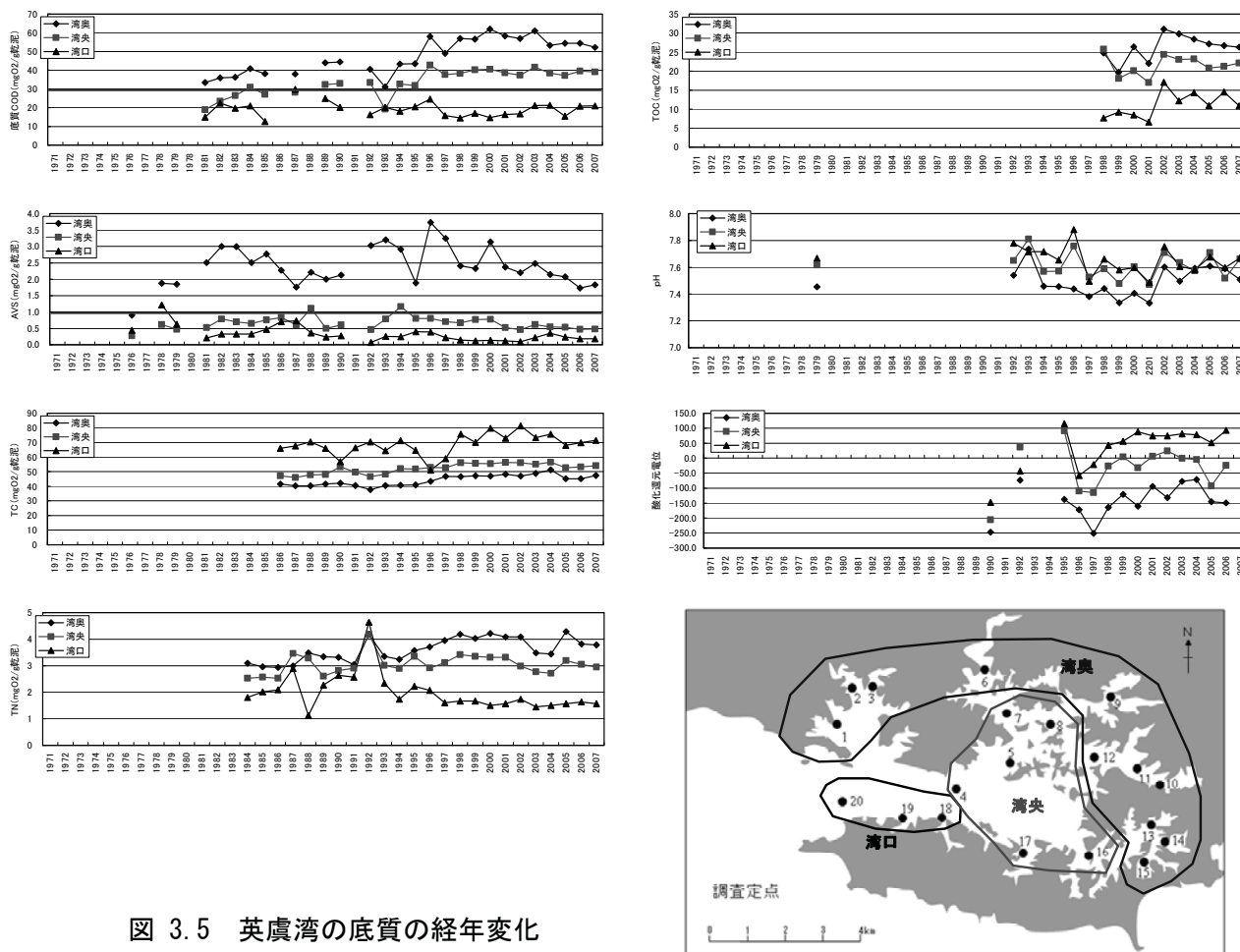


図 3.5 英虞湾の底質の経年変化

また、地点毎に各項目の変遷（図 3.6）をみると、大まかに 5 タイプに分類された。概ね、湾奥部では COD、AVS は減少傾向にあり、場所（湾奥、湾央等）によって似たような変遷傾向を示していることがわかる。

- 全項目は概ね横這い傾向にある。（水色）
- COD は増加傾向、AVS は減少傾向、TN,TC は横這い傾向にある。（黄色）
- COD は増加傾向、AVS, TN, TC は横這い傾向にある。（黄緑色）
- COD, AVS はごく近年に増加傾向から減少傾向に変化する。TN, TC は増加傾向にある。（ピンク）
- COD, AVS, TN は 1990 年代後半頃に増加傾向から減少傾向に変化する。（オレンジ）

グラフの並び
 底質COD
 AVS
 TN
 TC
 OC
 1971 ~ 2007

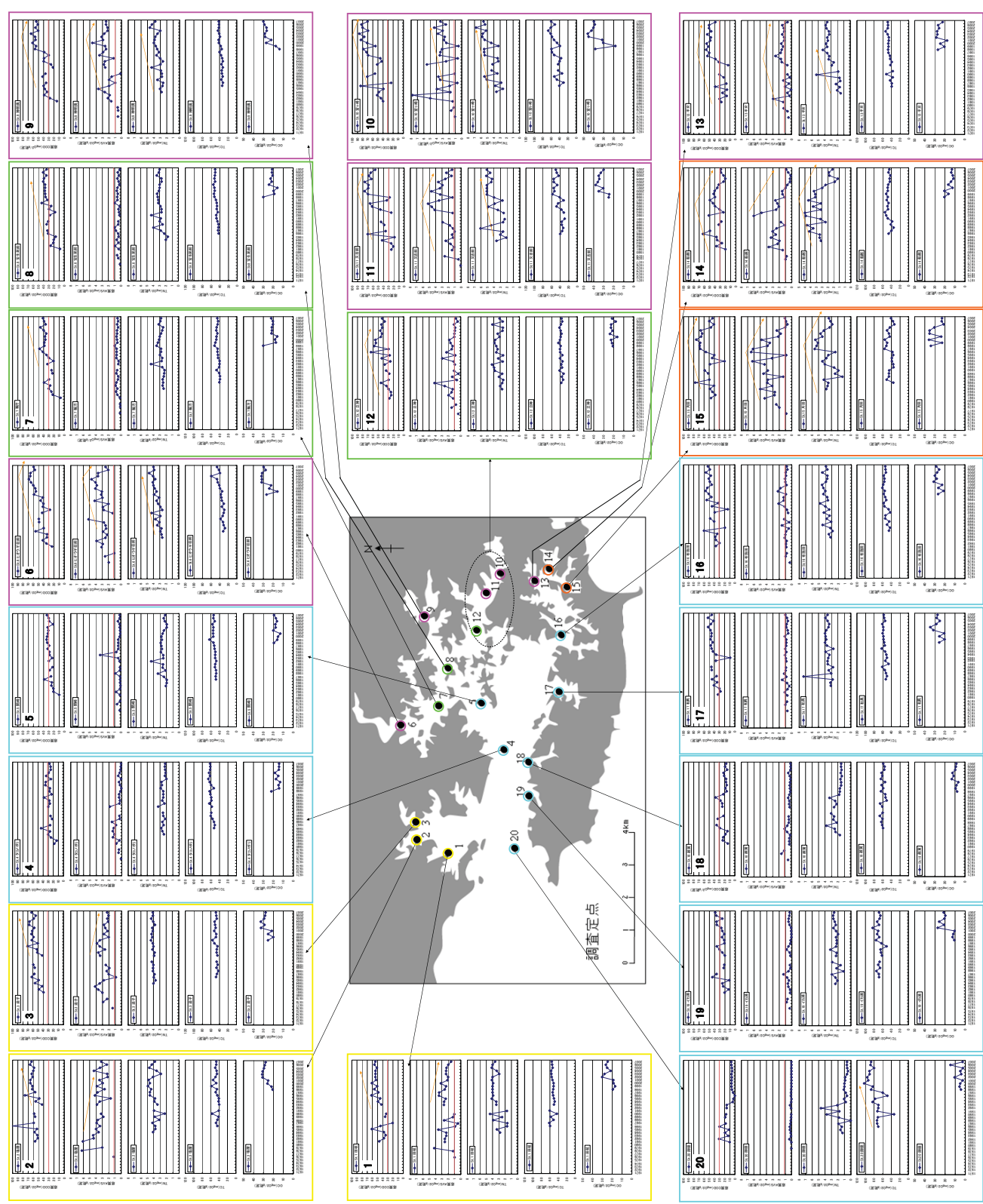


図 3.6 英虞湾の底質の経年変化 (地点毎)

また、地点毎に 10 年間平均での変化を比較した。COD、AVS、T-N の 10 年間平均での底質の変化を図 3.7 に示す。

湾全体で見ると、各項目とも 1990 年代に最も悪化しており、特に湾奥周辺で 1980 年代に比べて悪化している。また、各項目とも湾央付近と深谷 (St.14) では 2000 年代に改善傾向にあることがうかがえる。

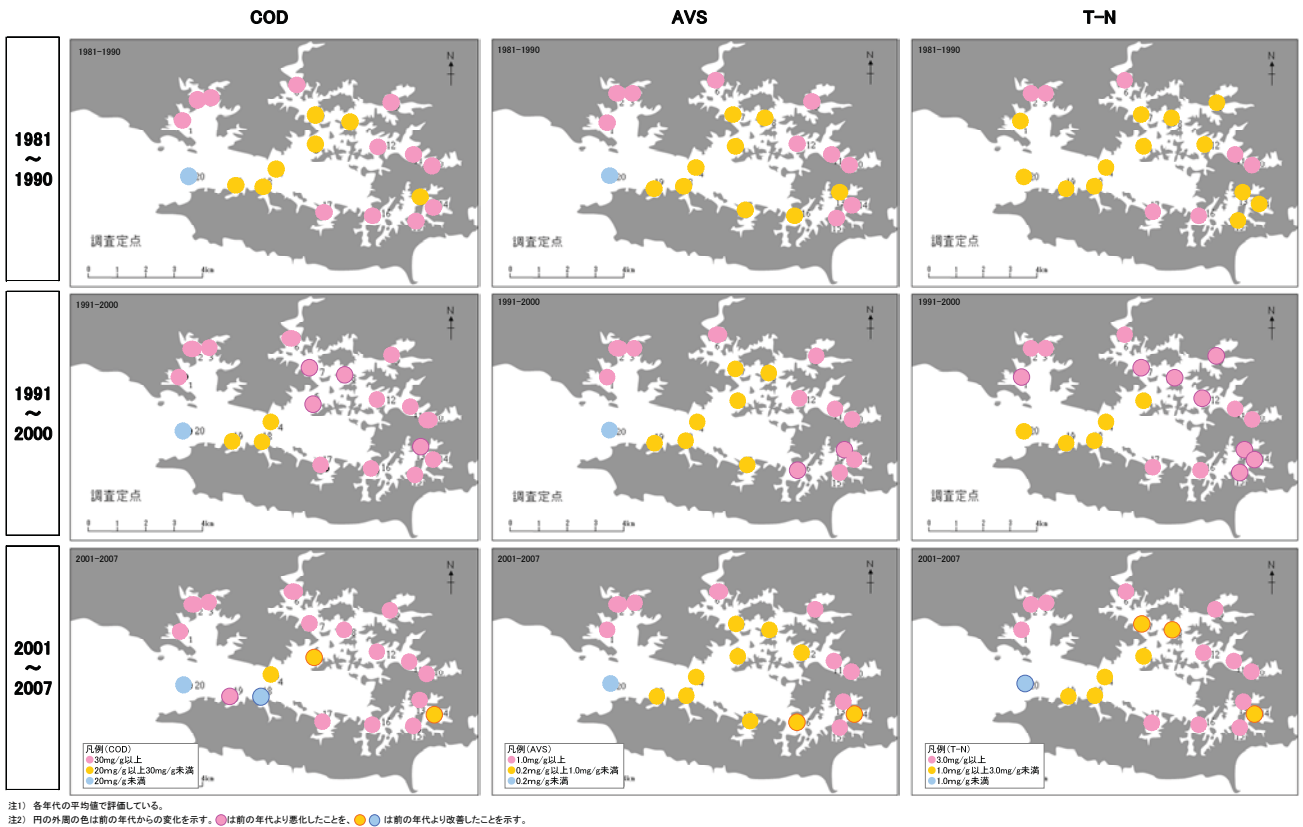
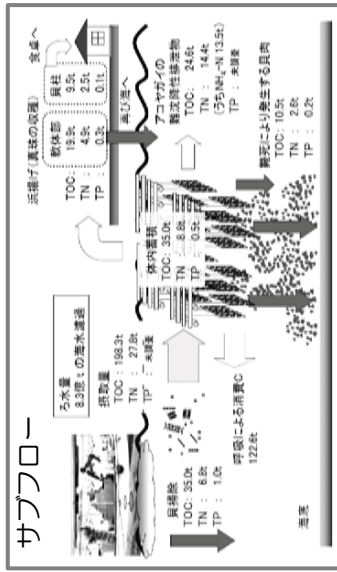


図 3.7 英虞湾の底質の経年変化 (地点毎、各年代)

3) 有機物が蓄積する流れの整理

2) で整理した英虞湾における有機物の蓄積は、どのようなことが原因となって起こるのだろうか。その原因を導き出すために、「英虞湾において有機物が堆積する流れ」を想定することとした。英虞湾における底質悪化までの流れの模式図を図 3.8 に示す。次項以降ではこの流れに沿って、有機物の蓄積に関連する各事象の歴史的な変遷等について整理していく。



真珠養殖に関連する物質の流れ(年間量)
 出典：英虞湾物質循環調査研究報告書

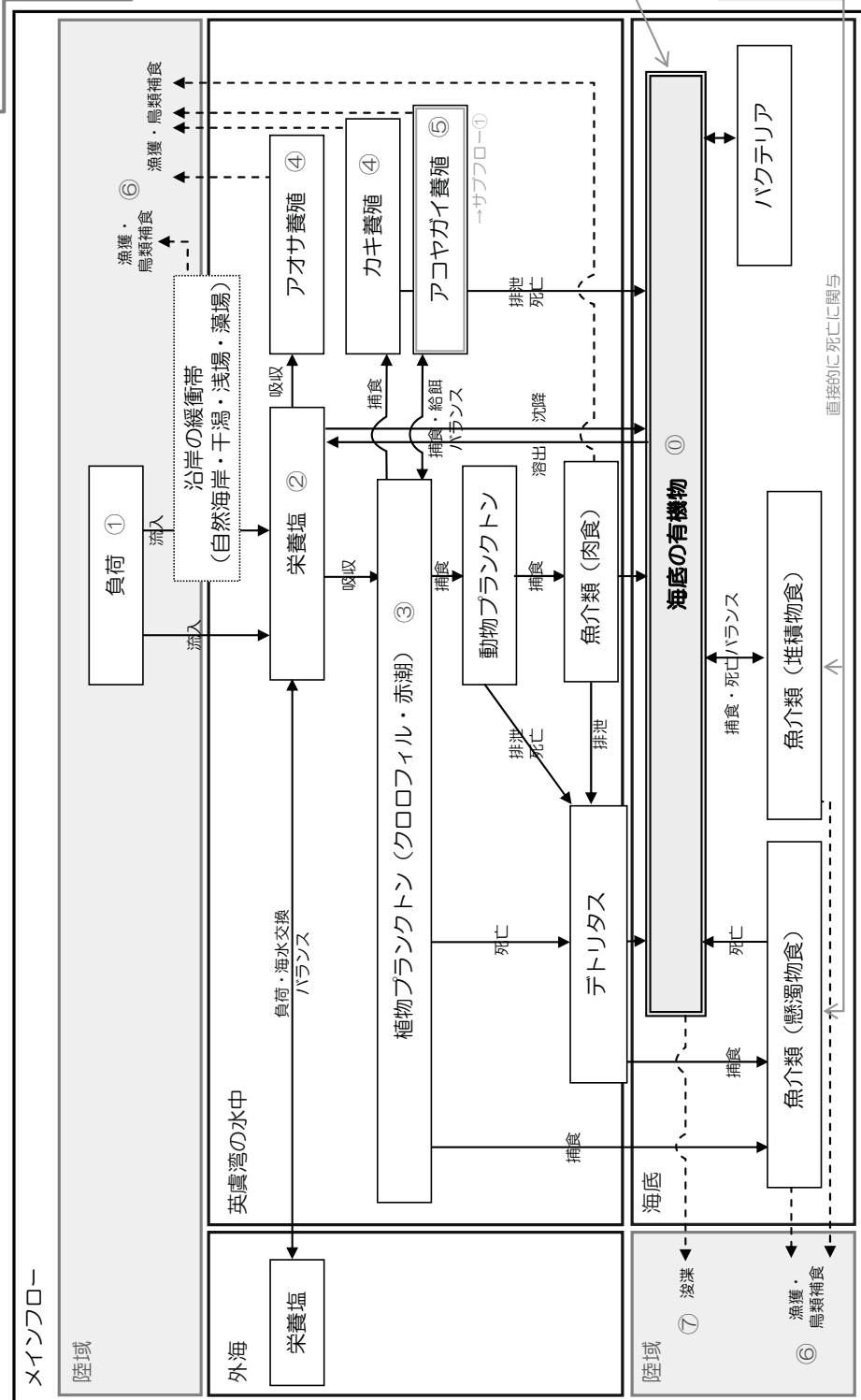


図 3.8 英虞湾における底質悪化までの流れ (想定)
 ※丸番号は次項に示す要因の変遷に対応する。なお、①は2)健康状態のキーポイント(海底の有機物の変遷や分布状況)で示したことを表す。

4) 有機物の蓄積に関わる要因の変遷

3) で整理した海底の有機物の蓄積が蓄積する要因として、どのような環境の変化があったのだろうか。ここでは、有機物の蓄積に関わる要因の変遷を項目毎に整理した(図 3.9)。

①負荷

英虞湾への負荷として、英虞湾に流入する前川の水質の変遷をみると、BOD や COD は近年減少傾向にあるが、T-N や T-P は横這い傾向となっている。

英虞湾流域の人口は概ね横這いであるが、観光客数は 1994 年まで増加しており、近年も 1960 年代の 2 倍程度の観光客が訪れている。また、流域の排水処理人口のうち、浄化槽処理人口と下水道処理人口は徐々に増加している。

②栄養塩

表層の COD は 1970 年代後半から 1990 年頃まで増加し続け、その後減少に転じている。また、NH₄-N や NO₂-N、NO₃-N、PO₄-P、DIN といった栄養素は経年的にみると概ね横這い傾向である。

③植物プランクトン

表層のクロロフィルの変遷をみると、年による変動が大きいですが、近年は 1980 年代前半のようにクロロフィル量が極端に多くなる状態は確認されていない。また、赤潮の発生件数は 1980 年代後半から 1990 年代前半に少なくなっている。

④アオサ養殖・カキ養殖

海域の栄養塩を利用するアオサの養殖量と、植物プランクトンを餌とするカキの養殖量をみると、アオサの養殖量が 1960 年代後半から急増している。近年はアオサ、カキともに横這い傾向である。

⑤アコヤガイ養殖

英虞湾の主要産業でもあるアコヤガイの養殖量は、1950 年代から増加しており、1960 年代中旬をピークに減少している。

⑥漁獲

沿岸漁業による漁獲量は、1959 年をピークに急激に減少しており、近年 10 年位でもさらに減少している様子が見える。

⑦浚渫

直接的な底泥の有機物の取り出しである浚渫では 1981 年から 2003 年までにのべ 30 万 m³近い量の土砂が浚渫されている。

⑧溶存酸素量

英虞湾内の底層の DO は、夏季の平均値でみると、湾口、湾央、湾奥ともに概ね横這い傾向となっている。

⑨台風

湾内の水質を攪乱する作用のある台風は、1980年代前半までは毎年から3年毎の頻度で英虞湾周辺に上陸していたが、近年はその頻度が減少している。

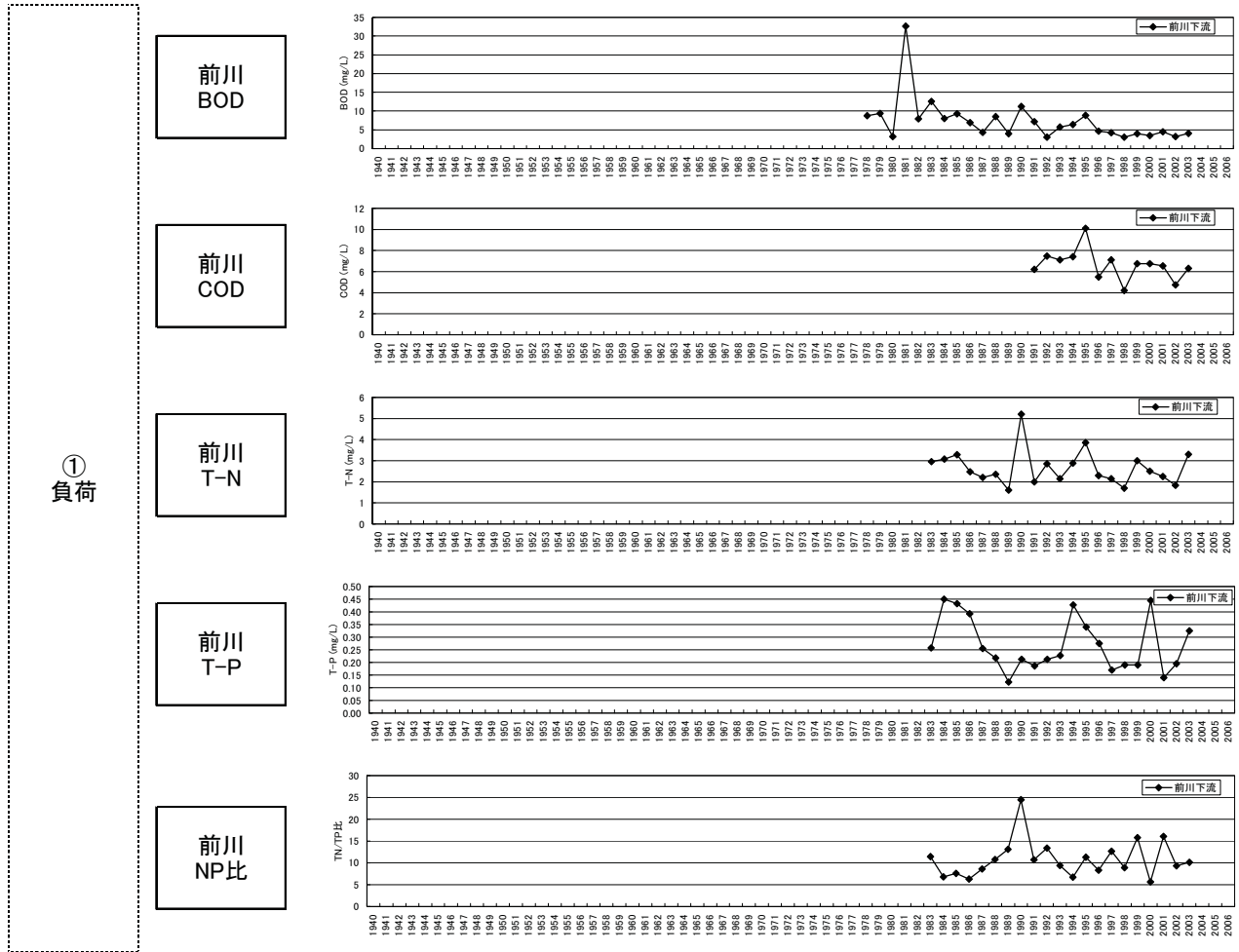


図 3.9(1) 有機物の蓄積に関わる要因の変遷

① 負荷

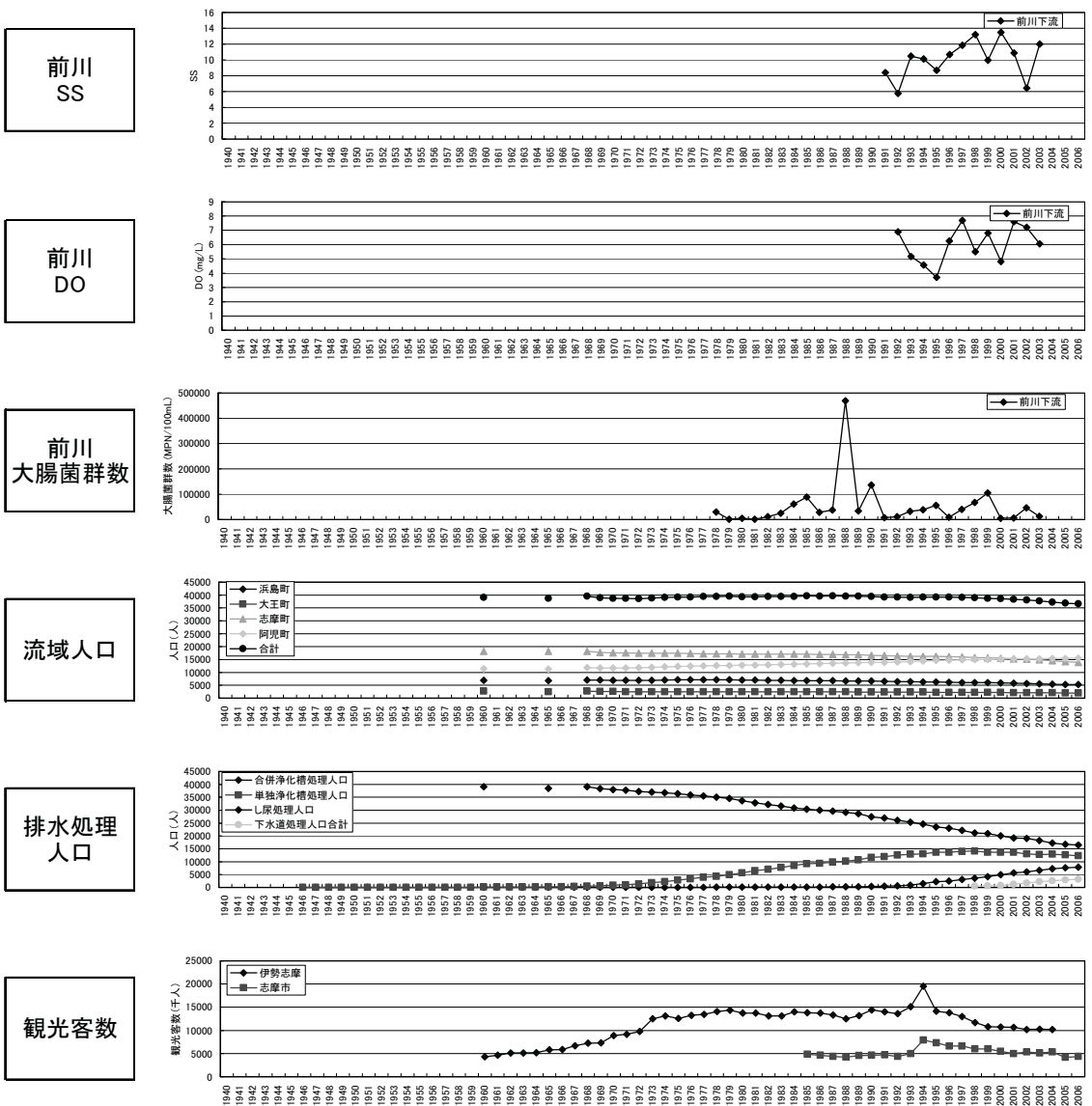
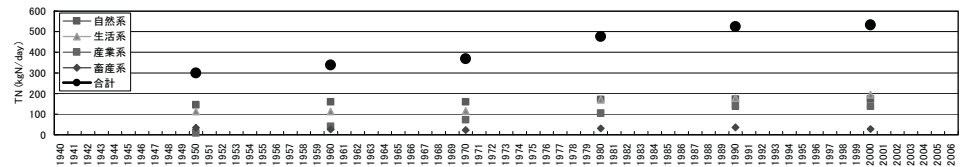


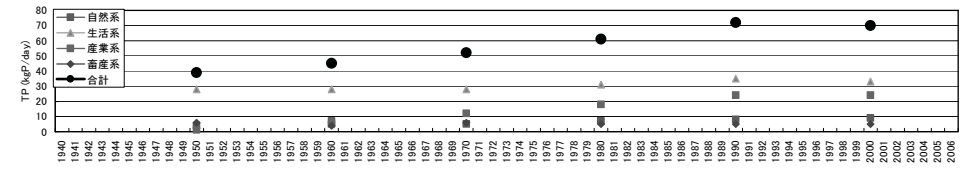
図 3.9(2) 有機物の蓄積に関わる要因の変遷

① 負荷

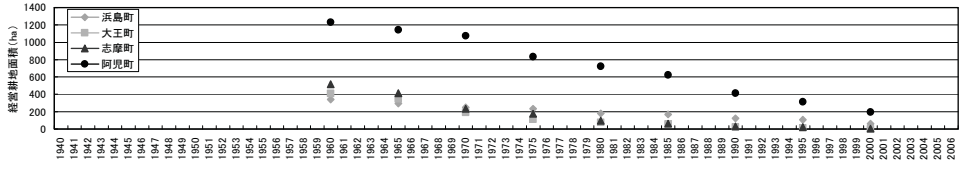
全窒素発生
負荷量
(推定)



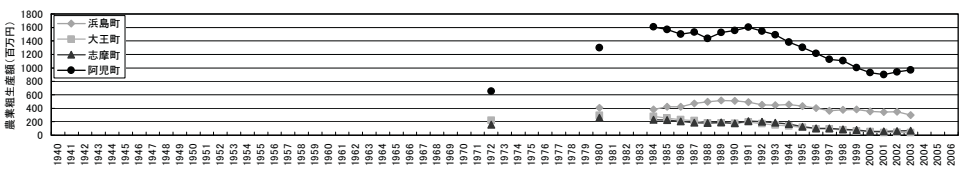
全リン発生
負荷量
(推定)



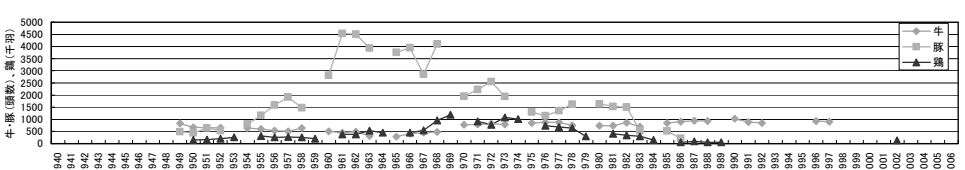
経営耕地
面積



農業粗
生産額



畜産・養鶏
(4町合計)



主な土地
利用割合
(4町合計)

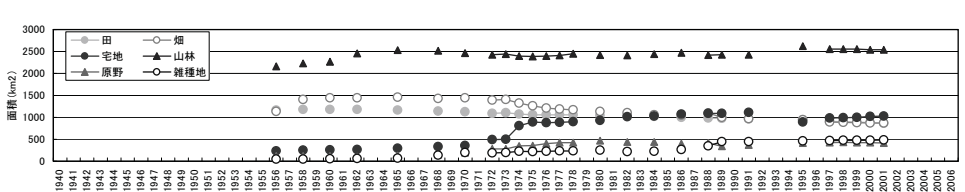
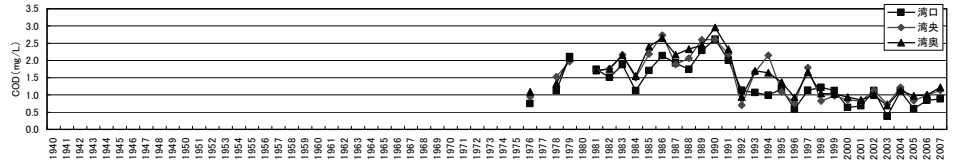


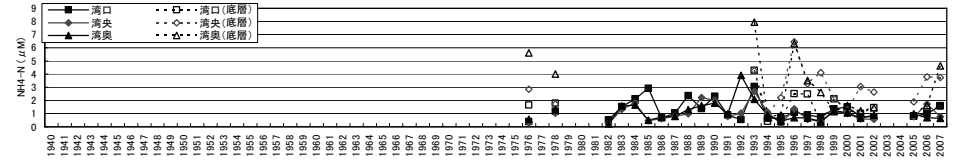
図 3.9(3) 有機物の蓄積に関わる要因の変遷

② 栄養塩

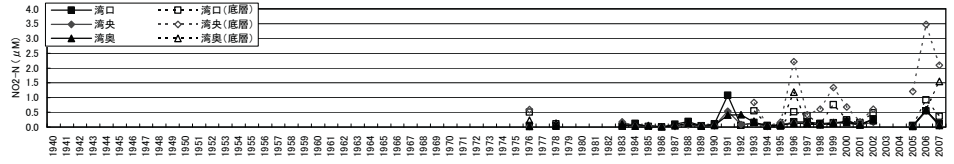
表層COD
(夏季20地
点平均)



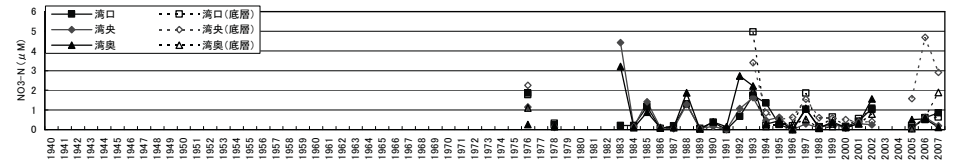
NH4-N
(夏季20地
点平均)



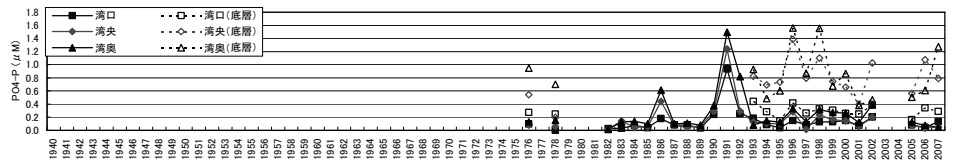
NO2-N
(夏季20地
点平均)



NO3-N
(夏季20地
点平均)



PO4-P
(夏季20地
点平均)



DIN
(夏季20地
点平均)

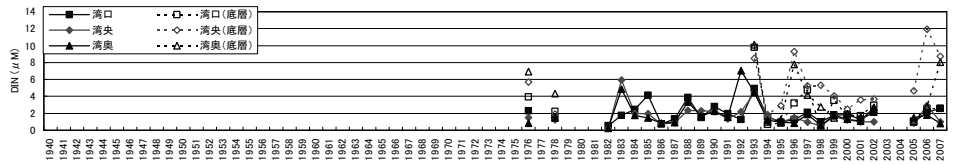
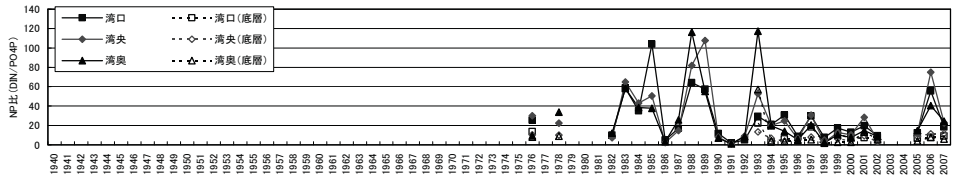


図 3.9(4) 有機物の蓄積に関わる要因の変遷

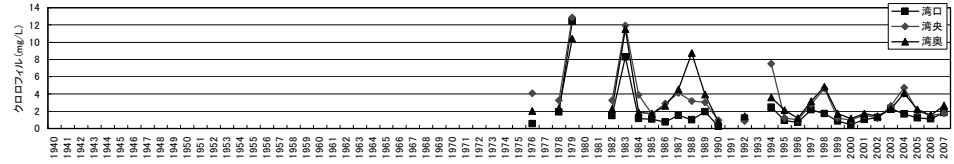
②
栄養塩

NP比
(夏季20地点平均)

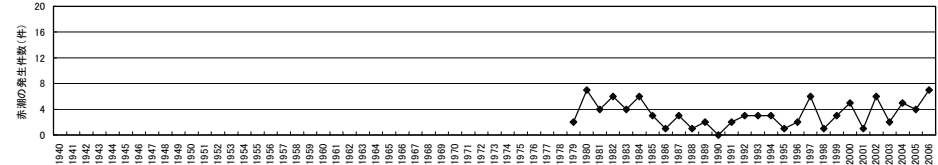


③
植物プランクトン
(クロロフィル・赤潮)

表層クロロフィルa
(夏季20地点平均)



赤潮の発生
件数



④
アオサ養殖・カキ養殖

アオサ・カキ
養殖量
(英虞湾)

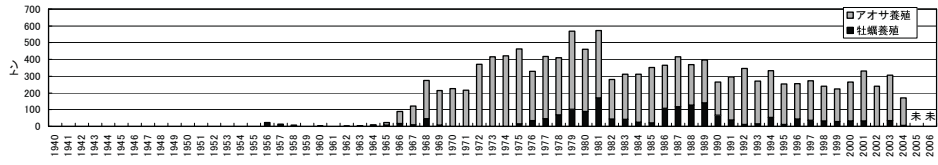
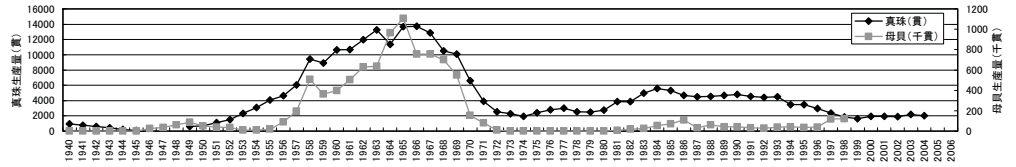


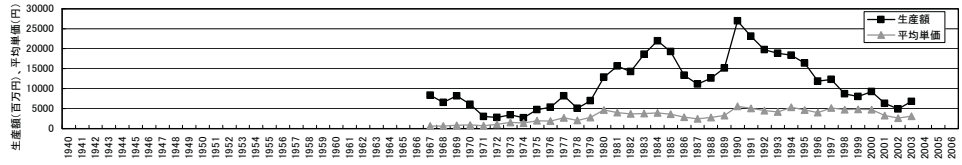
図 3.9(5) 有機物の蓄積に関わる要因の変遷

⑤
アコヤガイ
(真珠)養殖

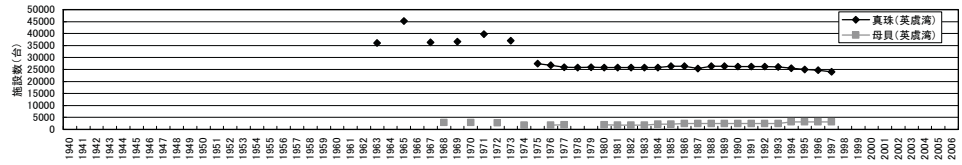
真珠生産
量・母貝生
産量(三重
県)



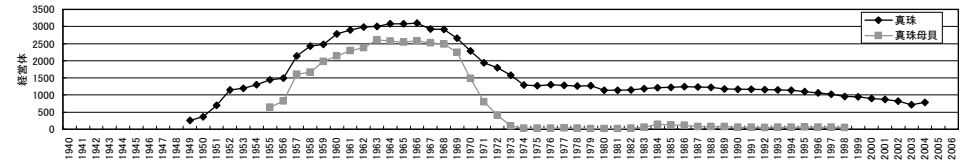
真珠生産額
(三重県)



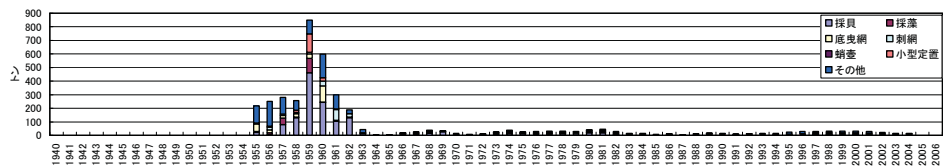
真珠生産施
設数
(英虞湾)



真珠養殖経
営体数
(三重県)

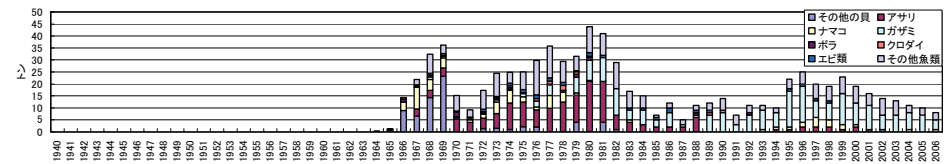


英虞湾内の
漁獲量
(沿岸漁業)



⑥
漁獲

魚種別
漁獲量



魚種別
漁獲量
(底生生物)

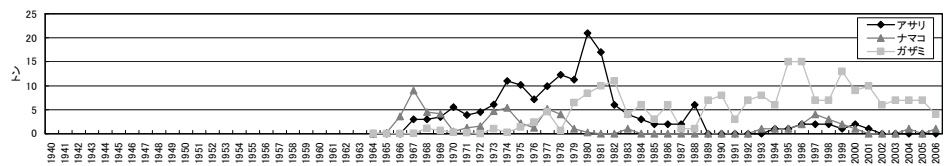
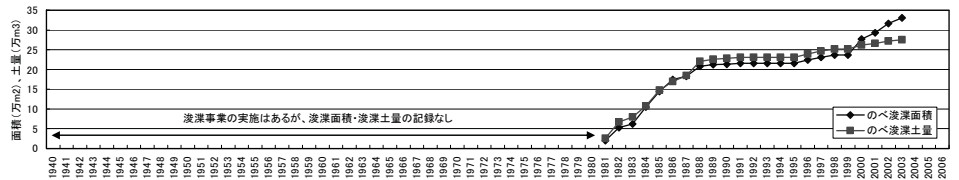


図 3.9(6) 有機物の蓄積に関わる要因の変遷

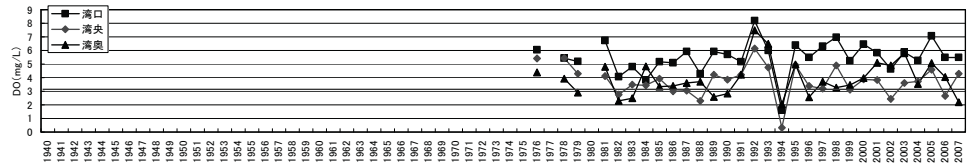
⑦
浚渫

浚渫事業
実施状況



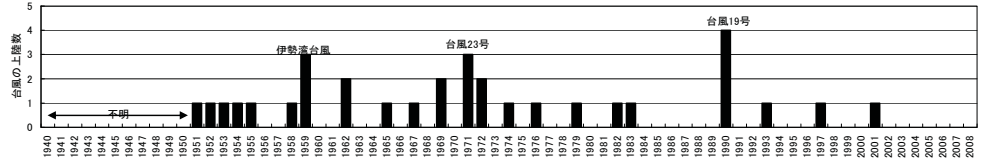
⑧
溶存酸素量

底層DO
(夏季20地点平均)



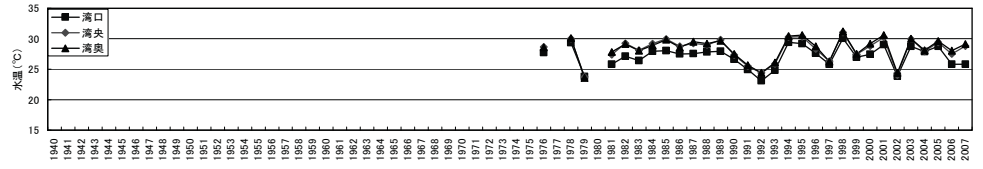
⑨
台風

英虞湾周辺
への台風の
上陸数



⑩
水温・塩分

表層水温
(夏季20地点平均)



表層塩分
(夏季20地点平均)

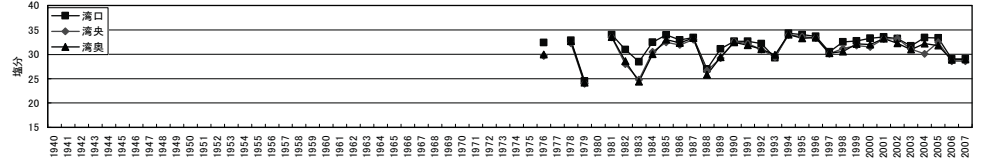


図 3.9(7) 有機物の蓄積に関わる要因の変遷

各項目の詳細について図 3.10 から図 3.17 に示す。

①負荷 (図 3.10)

英虞湾流域の発生負荷量は 1975 年には鶴方で最も多くなっていた。また、1975 年と 2000 年の流域全体の負荷量を比較すると、TN では増加している一方、TP は減少している。TN と TP の発生由来も変化しており、自然収支（非特定汚染源）による負荷は TN、TP とともに減少している。

④アオサ養殖・カキ養殖 (図 3.11)

藻類の養殖は湾奥部の様々な場所に漁業権が設定されているが、貝類の養殖は湾の最奥部に数箇所設定されている程度である。

⑤アコヤガイ養殖 (図 3.12)

真珠の養成及び母貝養殖は英虞湾内の広い範囲で漁業権が設定されている。

⑧溶存酸素量 (図 3.13～図 3.17)

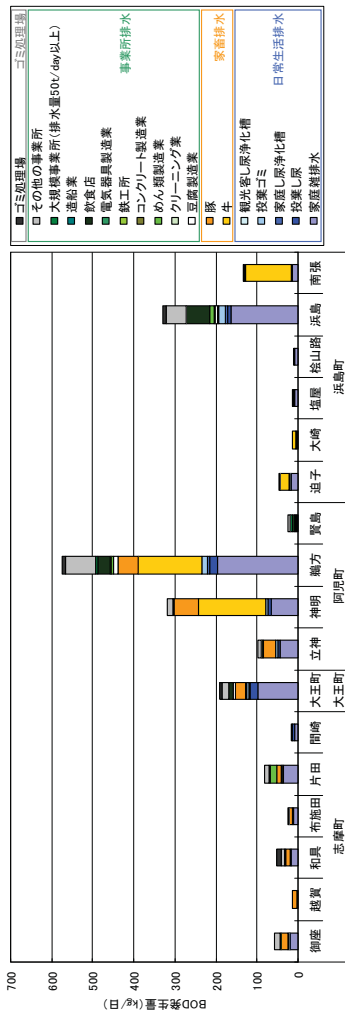
英虞湾で観測されている溶存酸素量の地点毎の経年変化を図 3.13 に示す。地点毎にみると、多くの地点では横這い傾向であるものの、湾奥では迫子、船越、半女等 DO が増加傾向を示す地点も見られる。

また、地点毎の底層 DO の概ね 10 年単位での貧酸素の発生割合の変遷を図 3.14 に示す。貧酸素水は 1980 年代に湾奥を中心とした 8 地点で 50%以上の発生割合であったが、1990 年代には 4 地点で発生割合が減少し、貧酸素の発生割合 50%以上の地点数は 5 であった。また、2000 年代には 5 地点で貧酸素の発生割合が減少しており、立神と布施田の 2 地点でのみ 50%以上となっている。

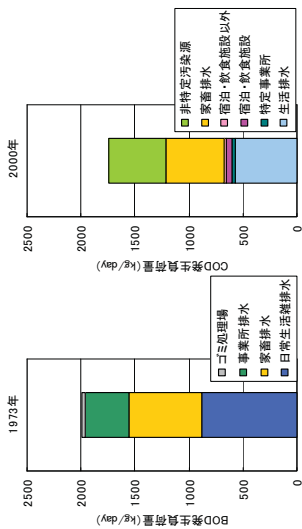
参考として、1950 年代の英虞湾内の溶存酸素量と貧酸素の状況を図 3.15 及び図 3.16 に示す。英虞湾では 1950 年代から貧酸素は確認されており、浜島、立神、布施田、片田で貧酸素が発生している。しかし、近年貧酸素が確認されている神明では 1950 年代には貧酸素は確認されていない。また、貧酸素の発生時期をみると、浜島から迫子周辺では 6～8 月にかけて、布施田、片田周辺では 9～10 月にかけて貧酸素が確認されることが多く、場所によって貧酸素が発生する時期が異なっている。

近年の貧酸素水塊の出現状況については、鉛直的な DO の連続観測結果から、貧酸素水塊の鉛直的分布及び継続期間を確認した (図 3.17)。御座、タコノボリ、間崎、立神の 4 地点を比較すると、御座では数年に一度貧酸素水が確認されることがあるが、ほとんど貧酸素化していない。また、タコノボリでは貧酸素化する回数は御座よりも多くなっているが、毎年は発生していない。しかし、水産用水基準で底生生物の生息状況に変化を引き起こす臨海濃度とされている 4.3mg/L 以下の低酸素水は毎年確認されており、8～9 月にかけて溶存酸素量の減少が多くみられる。一方、湾奥に近い間崎及び立神ではほぼ毎年貧酸素水が発生している。特に立神では貧酸素水が 7～10 月まで継続している年もあり、長期的に貧酸素が発生している。また、間崎及び立神では底層から底上 5～10m 程度まで貧酸素水が分布しており、鉛直的にも広く分布している様子がうかがえる。

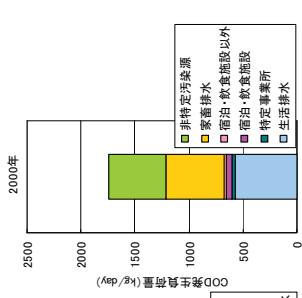
1975年の負荷内訳



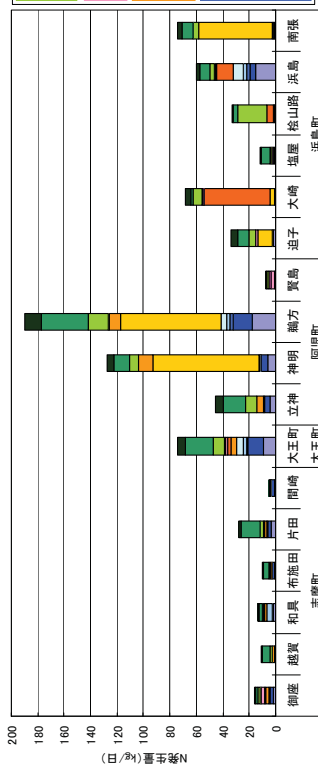
1975年負荷量



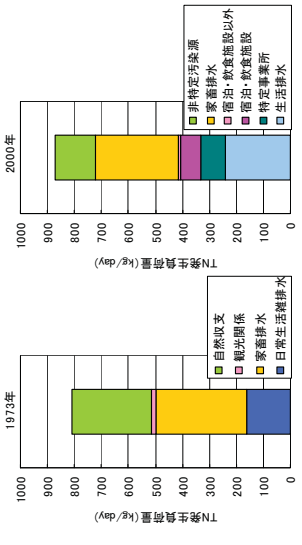
2000年負荷量



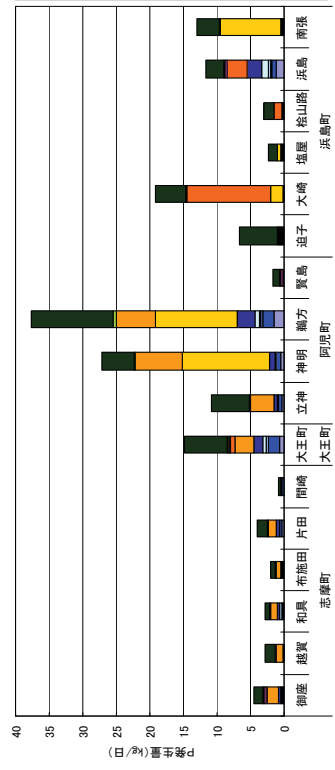
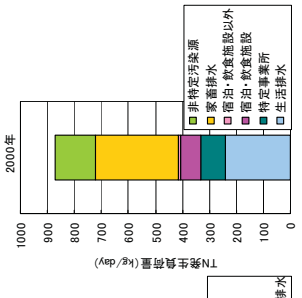
①負荷



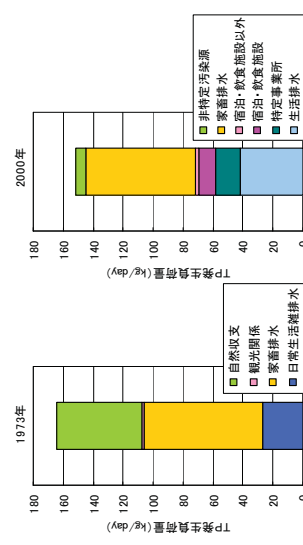
1973年



2000年



1973年



2000年

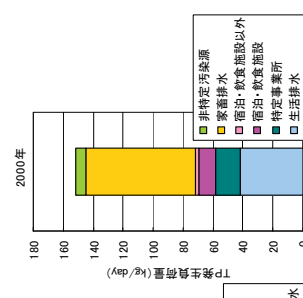


図 3.10(1) 英虞湾流域の発生負荷量 (簡易原単位法)

陸上環境図

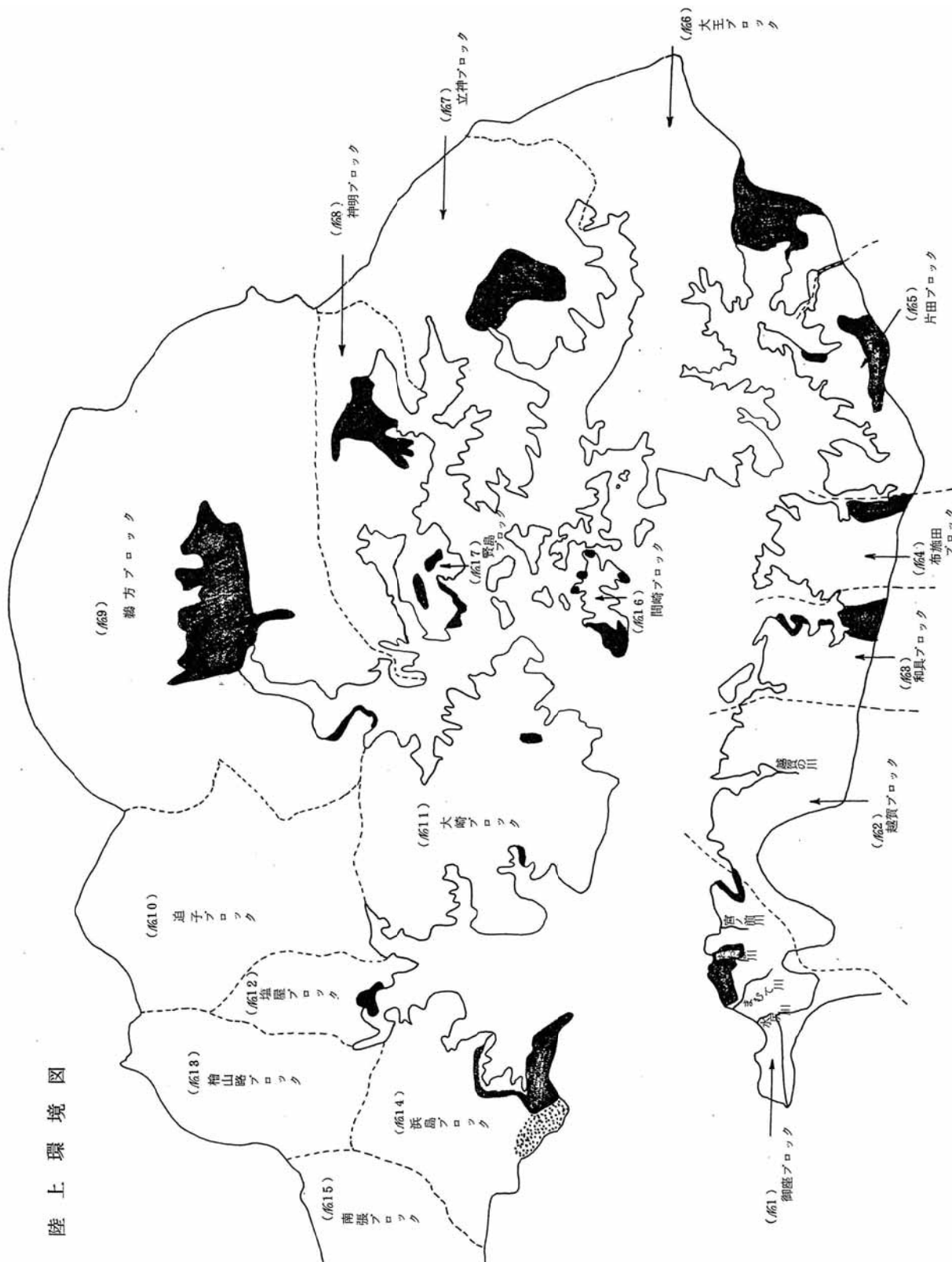


図 3.10(2) 英虞湾流域の発生負荷量 (簡易原単位法) (地域区分)

④アオサ養殖・カキ養殖

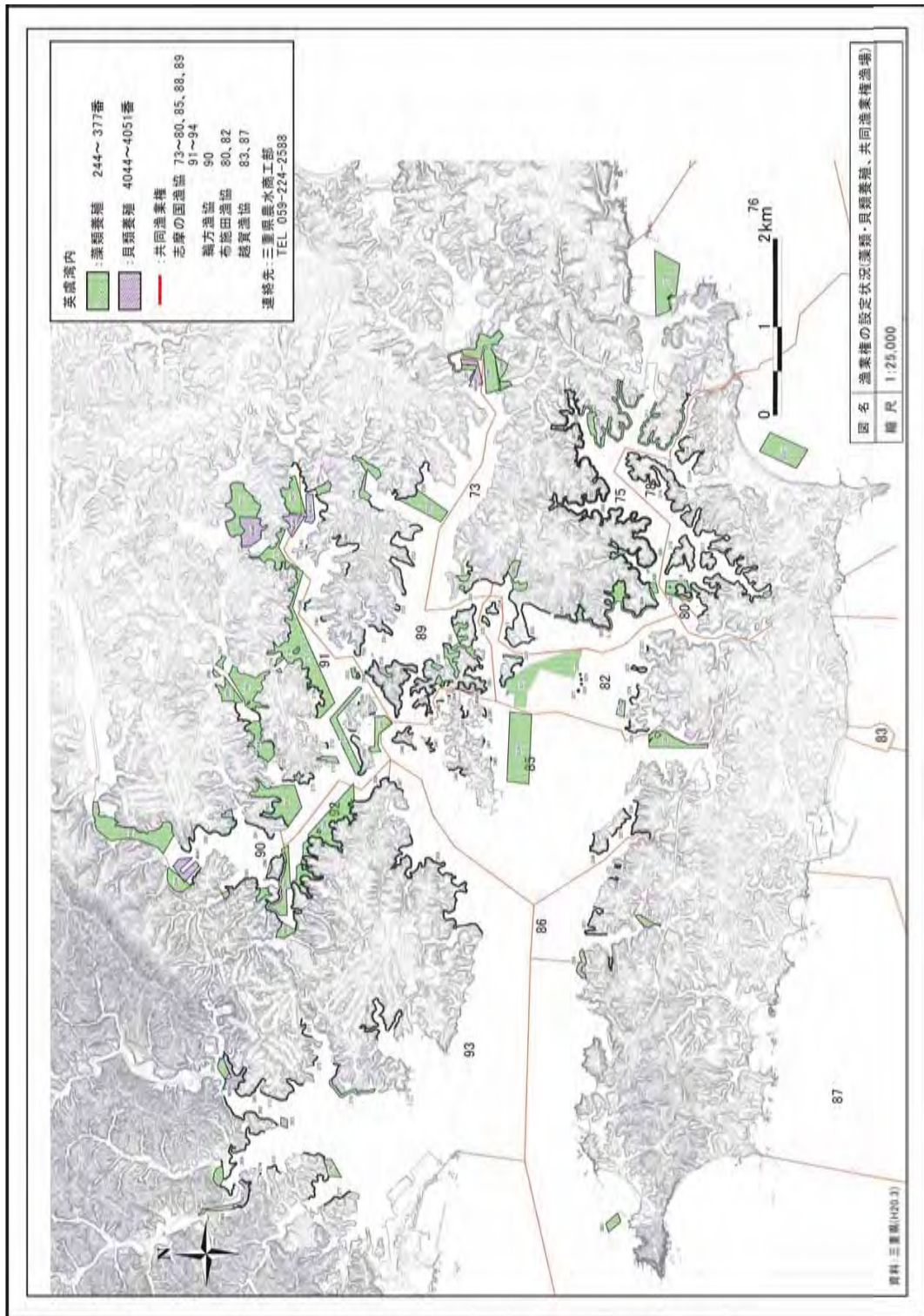


図 3.11 漁業権の設定状況（藻類・貝類養殖、共同漁業権過場、H20）

◎R〇ヤカゝ養殖

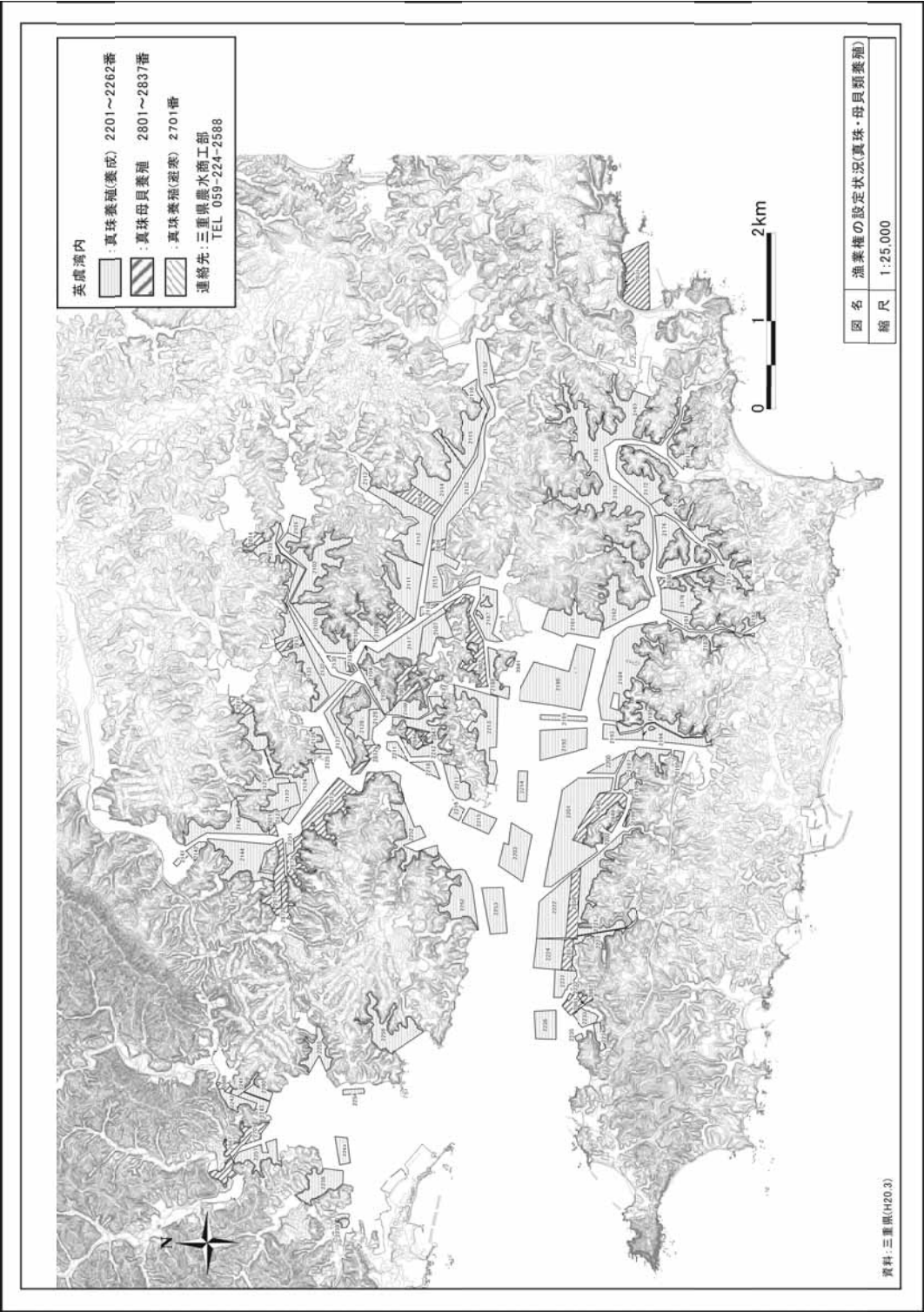


図 3.12 漁業権の設定状況（真珠・母貝類養殖、H20）

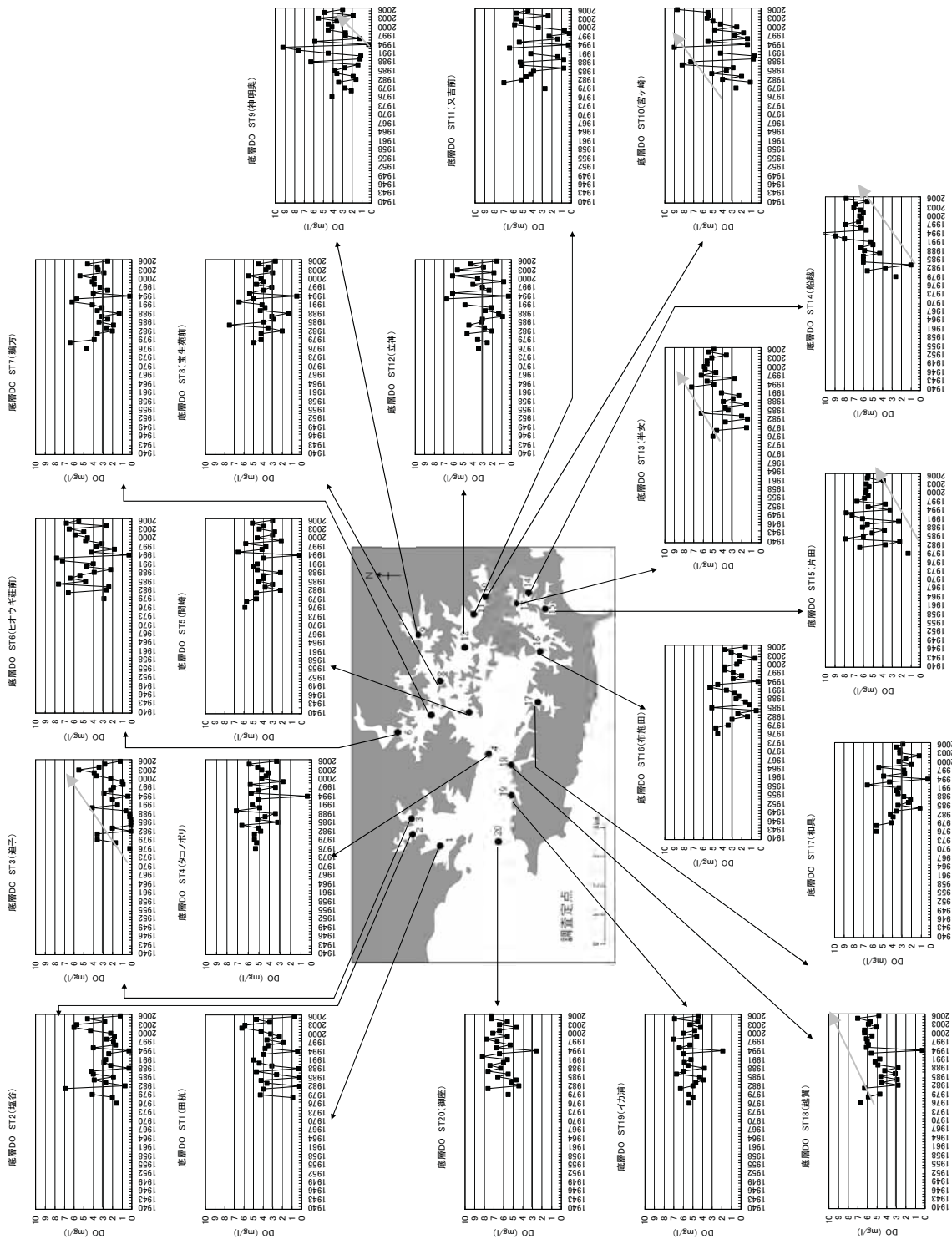


図 3.13 各調査地点の溶解酸素量の変遷

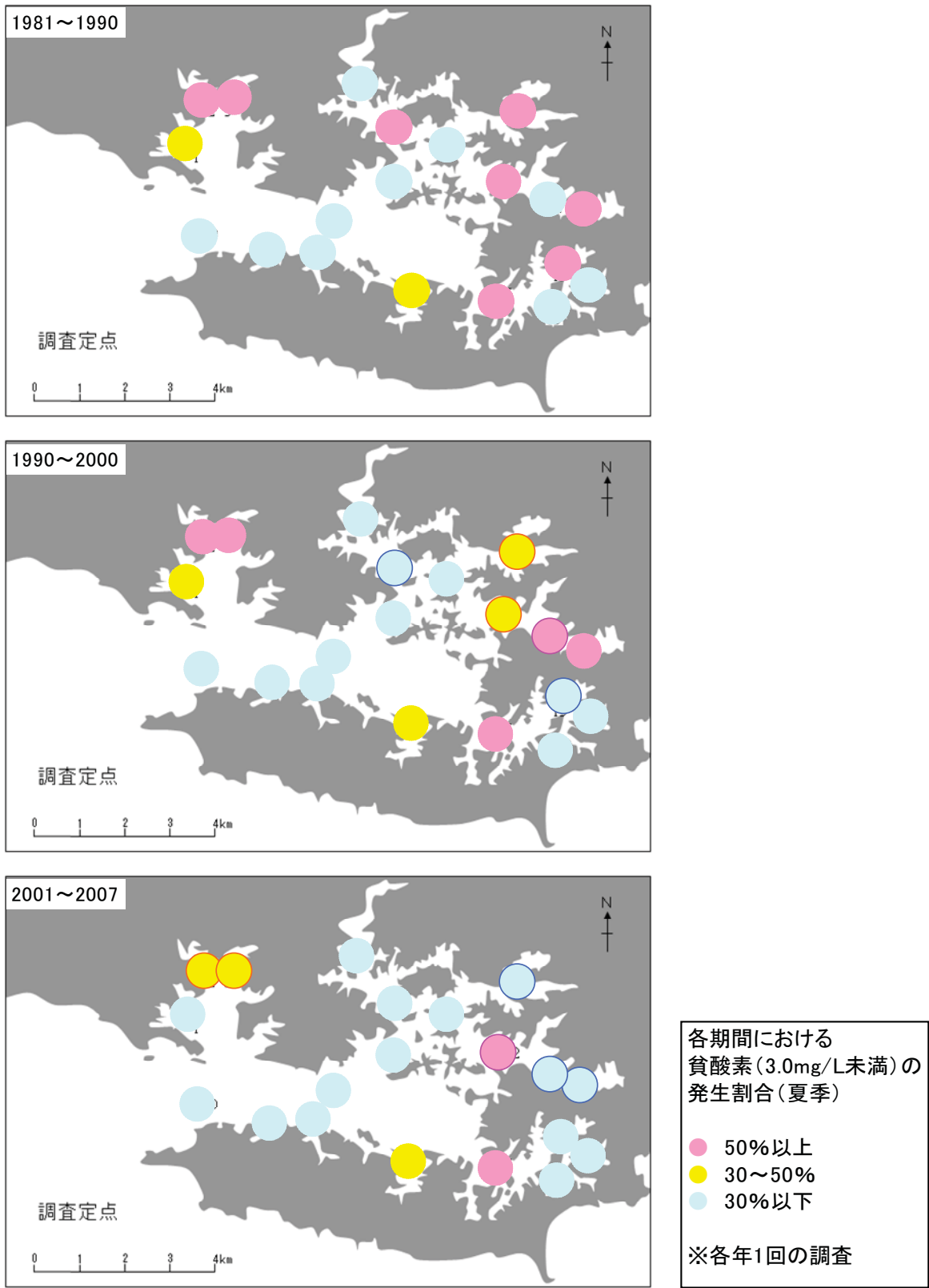
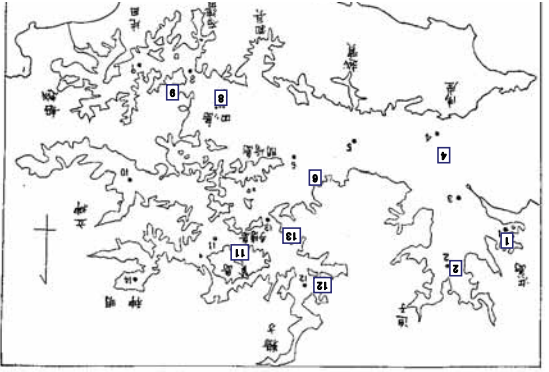


図 3.14 各調査地点の貧酸素水発生割合の変遷

【凡例】
 DO 3.0mg/L未満 (貧酸素水)
 DO 4.3mg/L未満
 DO 4.3mg/L以上

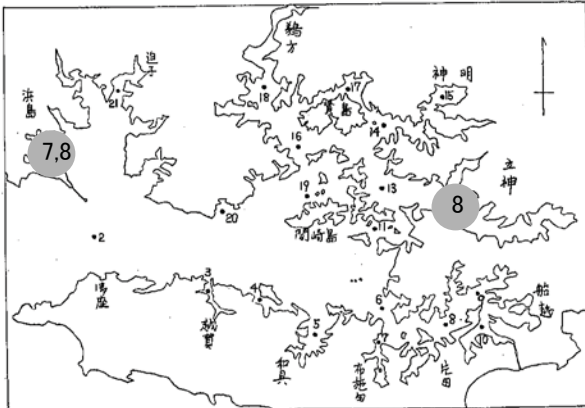
図 3.15 1950年代の溶存酸素量の状況



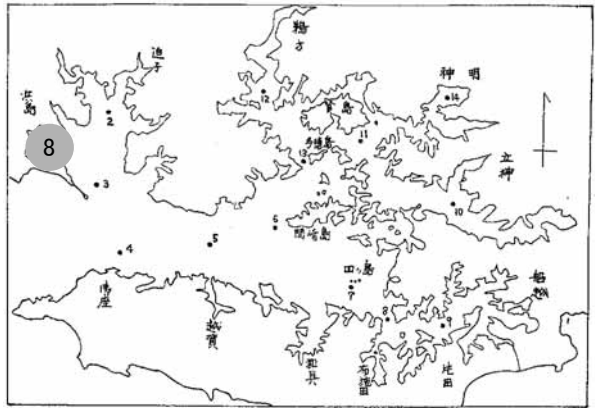
年次	測位	DO (mg/L)		備考
		観測値	算出値	
1952	1	5.10	5.10	
	2	5.10	5.10	
1953	1	5.10	5.10	
	2	5.10	5.10	
1954	1	5.10	5.10	
	2	5.10	5.10	
1955	1	5.10	5.10	
	2	5.10	5.10	
1956	1	5.10	5.10	
	2	5.10	5.10	
1957	1	5.10	5.10	
	2	5.10	5.10	
1958	1	5.10	5.10	
	2	5.10	5.10	
1959	1	5.10	5.10	
	2	5.10	5.10	
1960	1	5.10	5.10	
	2	5.10	5.10	
1961	1	5.10	5.10	
	2	5.10	5.10	
1962	1	5.10	5.10	
	2	5.10	5.10	
1963	1	5.10	5.10	
	2	5.10	5.10	
1964	1	5.10	5.10	
	2	5.10	5.10	
1965	1	5.10	5.10	
	2	5.10	5.10	
1966	1	5.10	5.10	
	2	5.10	5.10	
1967	1	5.10	5.10	
	2	5.10	5.10	
1968	1	5.10	5.10	
	2	5.10	5.10	
1969	1	5.10	5.10	
	2	5.10	5.10	
1970	1	5.10	5.10	
	2	5.10	5.10	

年次	測位	DO (mg/L)		備考
		観測値	算出値	
1952	3	5.10	5.10	
	4	5.10	5.10	
1953	3	5.10	5.10	
	4	5.10	5.10	
1954	3	5.10	5.10	
	4	5.10	5.10	
1955	3	5.10	5.10	
	4	5.10	5.10	
1956	3	5.10	5.10	
	4	5.10	5.10	
1957	3	5.10	5.10	
	4	5.10	5.10	
1958	3	5.10	5.10	
	4	5.10	5.10	
1959	3	5.10	5.10	
	4	5.10	5.10	
1960	3	5.10	5.10	
	4	5.10	5.10	
1961	3	5.10	5.10	
	4	5.10	5.10	
1962	3	5.10	5.10	
	4	5.10	5.10	
1963	3	5.10	5.10	
	4	5.10	5.10	
1964	3	5.10	5.10	
	4	5.10	5.10	
1965	3	5.10	5.10	
	4	5.10	5.10	
1966	3	5.10	5.10	
	4	5.10	5.10	
1967	3	5.10	5.10	
	4	5.10	5.10	
1968	3	5.10	5.10	
	4	5.10	5.10	
1969	3	5.10	5.10	
	4	5.10	5.10	
1970	3	5.10	5.10	
	4	5.10	5.10	

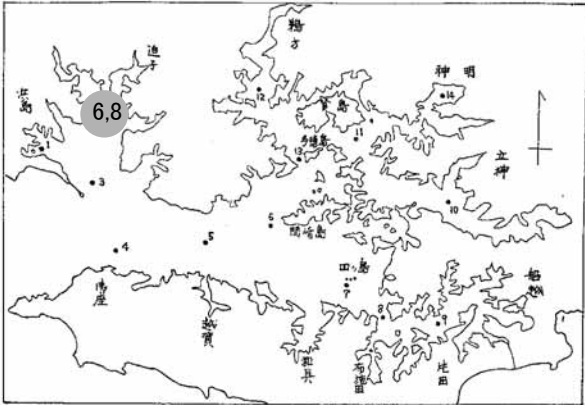
1952(S27)



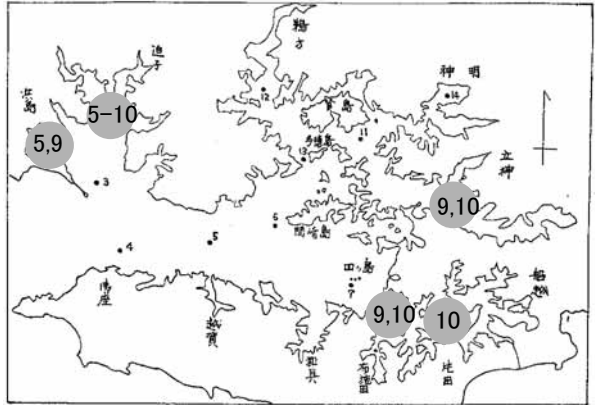
1955(S30)



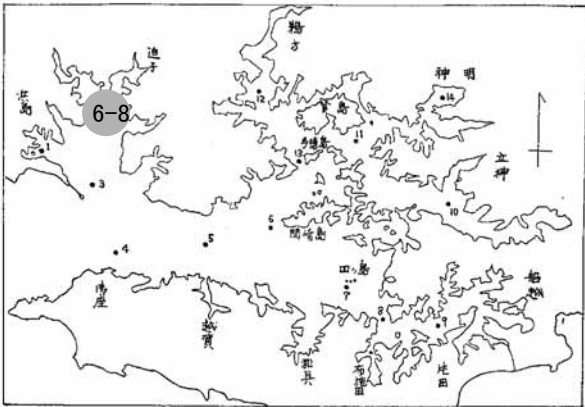
1953(S28)



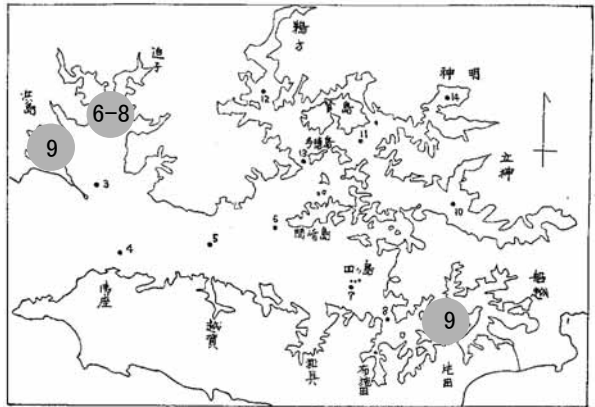
1956(S31)



1954(S29)



1957(S32)



● 貧酸素(DO:3.0mg/l未満)化した地点

※○の中の数字は、貧酸素化した月を示す。(例、6:6月、6-8:6月~8月)

図 3.16 1950年代の貧酸素化地点と貧酸素発生時期

Table with columns for years (1999-2008) and months (5月-3月). Rows represent different locations (e.g., 高瀬川, 米原川, 高瀬川, etc.). Each cell contains a numerical value representing DO concentration. Some cells are highlighted in yellow or red.



【凡例】
■ DO 3.0mg/L未滿 (黄酸酸素水)
■ DO 4.3mg/L未滿
■ DO 4.3mg/L以上

図 3.17(1) 近年の溶存酸素量の変遷 (御座)

年度	月	日	DO (mg/L) 未満 (質要素)		備考																		
			DO 3.0mg/L 未満	DO 4.5mg/L 未満																			
2008	4月	1	0.0	0.0																			
		2	0.0	0.0																			
		3	0.0	0.0																			
		2009	4月	1	0.0	0.0																	
				2	0.0	0.0																	
				3	0.0	0.0																	
				2010	4月	1	0.0	0.0															
						2	0.0	0.0															
						3	0.0	0.0															
						2011	4月	1	0.0	0.0													
								2	0.0	0.0													
								3	0.0	0.0													
								2012	4月	1	0.0	0.0											
										2	0.0	0.0											
										3	0.0	0.0											
										2013	4月	1	0.0	0.0									
												2	0.0	0.0									
												3	0.0	0.0									
												2014	4月	1	0.0	0.0							
														2	0.0	0.0							
														3	0.0	0.0							
														2015	4月	1	0.0	0.0					
																2	0.0	0.0					
																3	0.0	0.0					
																2016	4月	1	0.0	0.0			
																		2	0.0	0.0			
																		3	0.0	0.0			
																		2017	4月	1	0.0	0.0	
																				2	0.0	0.0	
																				3	0.0	0.0	
																				2018	4月	1	0.0
2	0.0																					0.0	
3	0.0																					0.0	
2019	4月																					1	0.0
		2	0.0																			0.0	
		3	0.0																			0.0	
		2020	4月																			1	0.0
				2	0.0																	0.0	
				3	0.0																	0.0	
				2021	4月																	1	0.0
						2	0.0															0.0	
						3	0.0															0.0	
						2022	4月															1	0.0
								2	0.0													0.0	
								3	0.0													0.0	

図 3.17(2) 近年の溶存酸素量の推移 (タコノホリ)

凡例

- DO 3.0mg/L 未満 (質要素)
- DO 4.5mg/L 未満

Table with columns for months (4月 to 3月) and rows for years (1999 to 2008). Each cell contains DO concentration values in mg/L. The table is organized into sections for each year, with a '高濃度' (High Concentration) section at the top and a '低濃度' (Low Concentration) section at the bottom of each year's data.

【凡例】
■ DO 3.0mg/L未満 (鈍酸養水)
■ DO 4.3mg/L未満
■ DO 4.3mg/L以上

図 3.17(3) 近年の溶存酸素量の変遷 (間崎)

立神 DO(mg/L) 4月

水質(水)	5月				6月				7月				8月				9月				10月				11月				12月				1月				2月				3月																			
	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
02	8.1	8.0	8.0	8.0	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1				

【凡例】
■ DO 3.0mg/L未満 (貧酸素水)
■ DO 4.3mg/L未満
■ DO 4.3mg/L以上

図 3.17(4) 近年の溶存酸素量の変遷 (立神)

3.5 精密検査のまとめ（案）

1) 現在とかつての物質循環フロー

精密検査のまとめにあたって、現在の英虞湾における栄養塩のフローとかつての英虞湾における栄養塩のフローを描き、各フローを比較することで、英虞湾の物質循環のどこが、どのように変化したのかを見つけることが可能となる。

まずは、現在の栄養塩の流れを図 3.18 に示す。ここでは、栄養塩の収支を把握するための第一段階として、英虞湾物質循環調査研究報告書で報告されている、各ストック及びフローに該当する全窒素または各態の窒素量を図中に記した。

2) かつてと現在の物質循環フローの比較

物質循環フローの変化を検討するにあたり、暫定的に 4) 有機物の蓄積に関わる要因の変遷でみた経年変化から、概ねの変化を図示した（図 3.19）。

英虞湾における物質循環フローの比較（イメージ）から、陸域からの負荷、海域の栄養塩類、クロロフィルは減少傾向にあり、海底の有機物を直接減少させる浚渫を継続的に行っているが、海底の有機物は減少していない状態がうかがえる。また、カキやアコヤガイの養殖は減少しており、それらの排泄による有機物は減少している。一方、それらの取り出しによる栄養塩の系外除去も弱まっていると考えられる。溶存酸素量は部分的ではあるが増加傾向にあり、硫化物も減少傾向にあるため、生物の生息環境としてはやや改善方向に向かっていると考えられる。

次年度は、現在の物質循環フローと同様に、英虞湾の底質環境が悪化してきた時期等変化のポイントとなる期間のフローを描き、それらを比較することによって、英虞湾の物質循環フローの変化をより詳細にとらえる予定である。また、各ストック及びフローの概ねの値を得ることで、定量的な変化の把握が可能となる。さらに、現在はデータの不足している湾内の流れ等の知見を加えて検討していく必要がある。

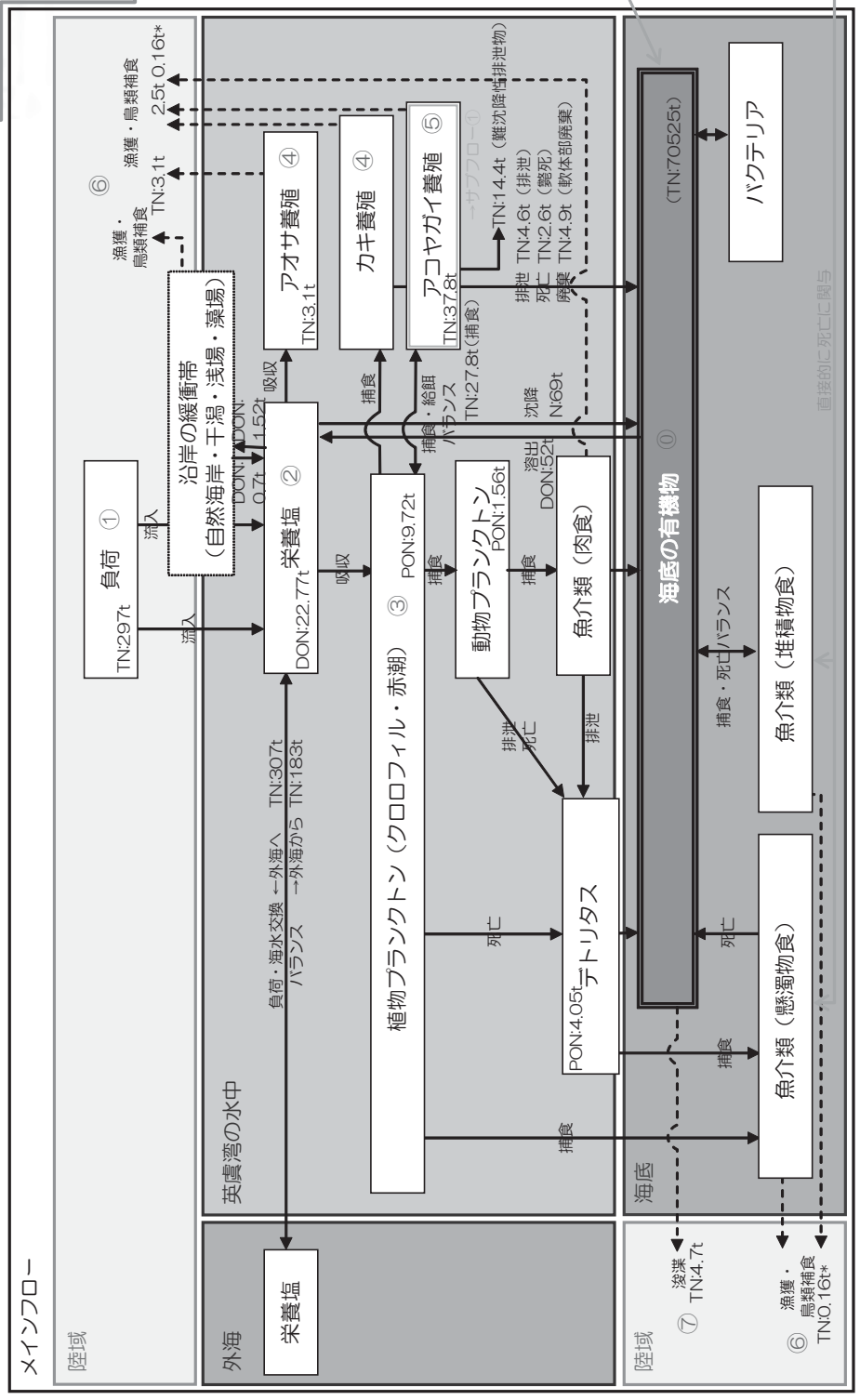
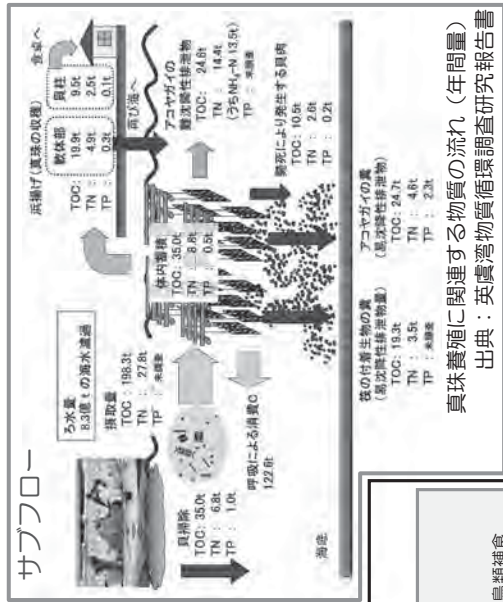
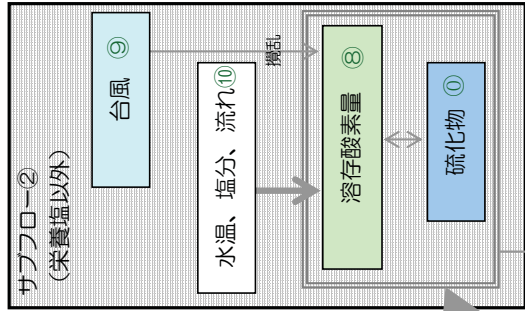
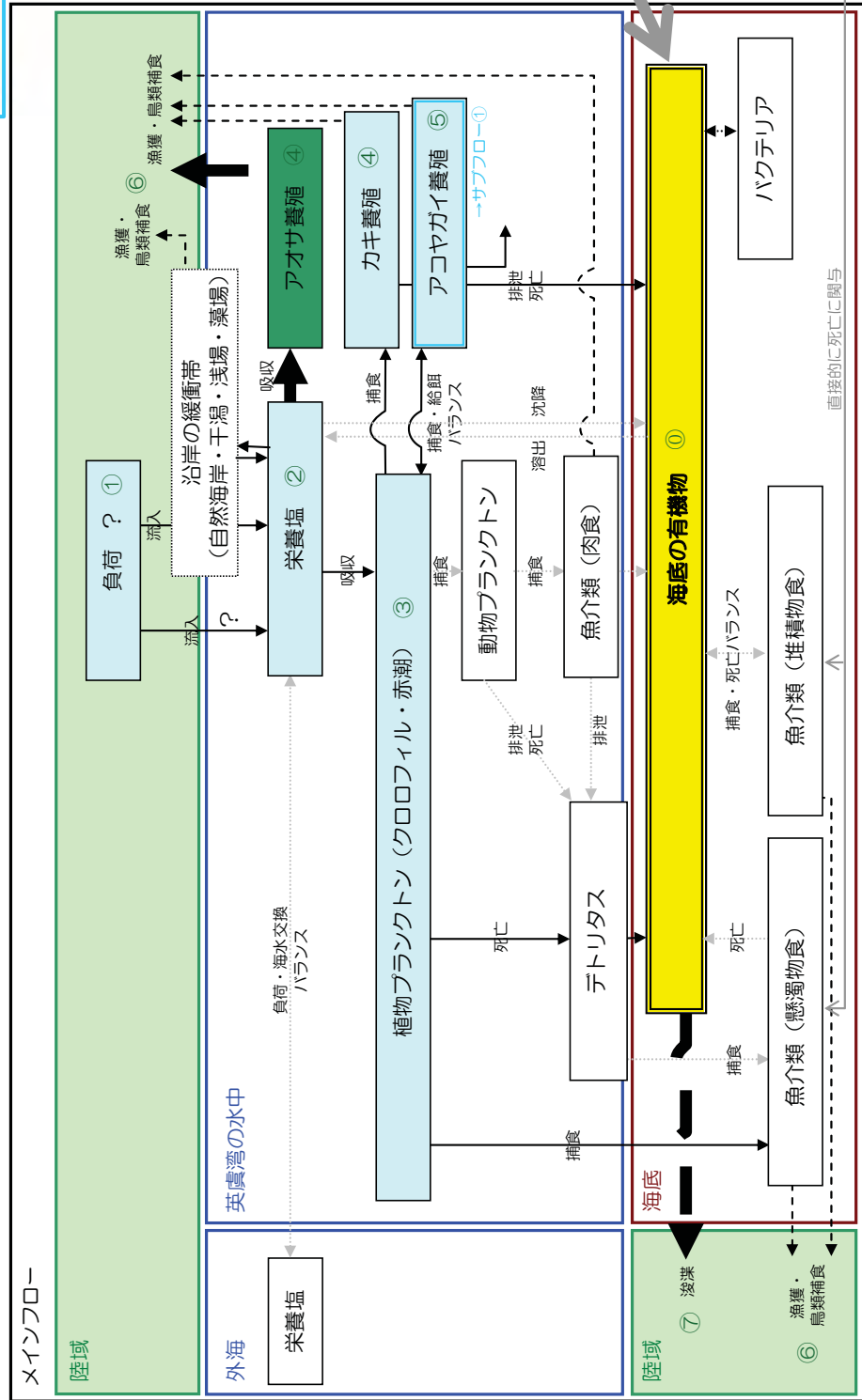
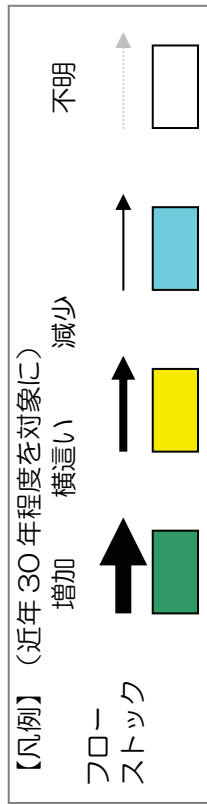


図 3.18 英虞湾における底質悪化までの流れ (現在の物質循環イメージ (年間量))



真珠養殖に関連する物質の流れ（年間量）
 出典：英虞湾物質循環調査研究報告書



→ 自然的な栄養塩の流れ・作用
 → 人為的な栄養塩の流れ・作用
 → 栄養塩以外の流れ・作用

図 3.19 かつてと現在の物質循環フローの比較 (イメージ)

4. 英虞湾の環境改善に向けた処方箋（案）の作成

英虞湾の環境改善に向けた処方箋（案）の作成のため、3.5 精密検査のまとめ（案）で示したかつてと現在の物質循環フローの比較（イメージ）図上に処方箋として考えられる部分を追加した（図 4.1 青色部）。

5. 今後の課題等

今後は、精密検査を引き続き実施し、悪化メカニズムの解明を行うために、今年度検討してきた英虞湾の底質環境悪化までの流れを表す物質循環フローの作成及び比較といった内容をより定量的にしていく必要がある。また、環境の悪化に伴う物質循環フローの変化を把握することは、処方箋による効果推定にもつながる。

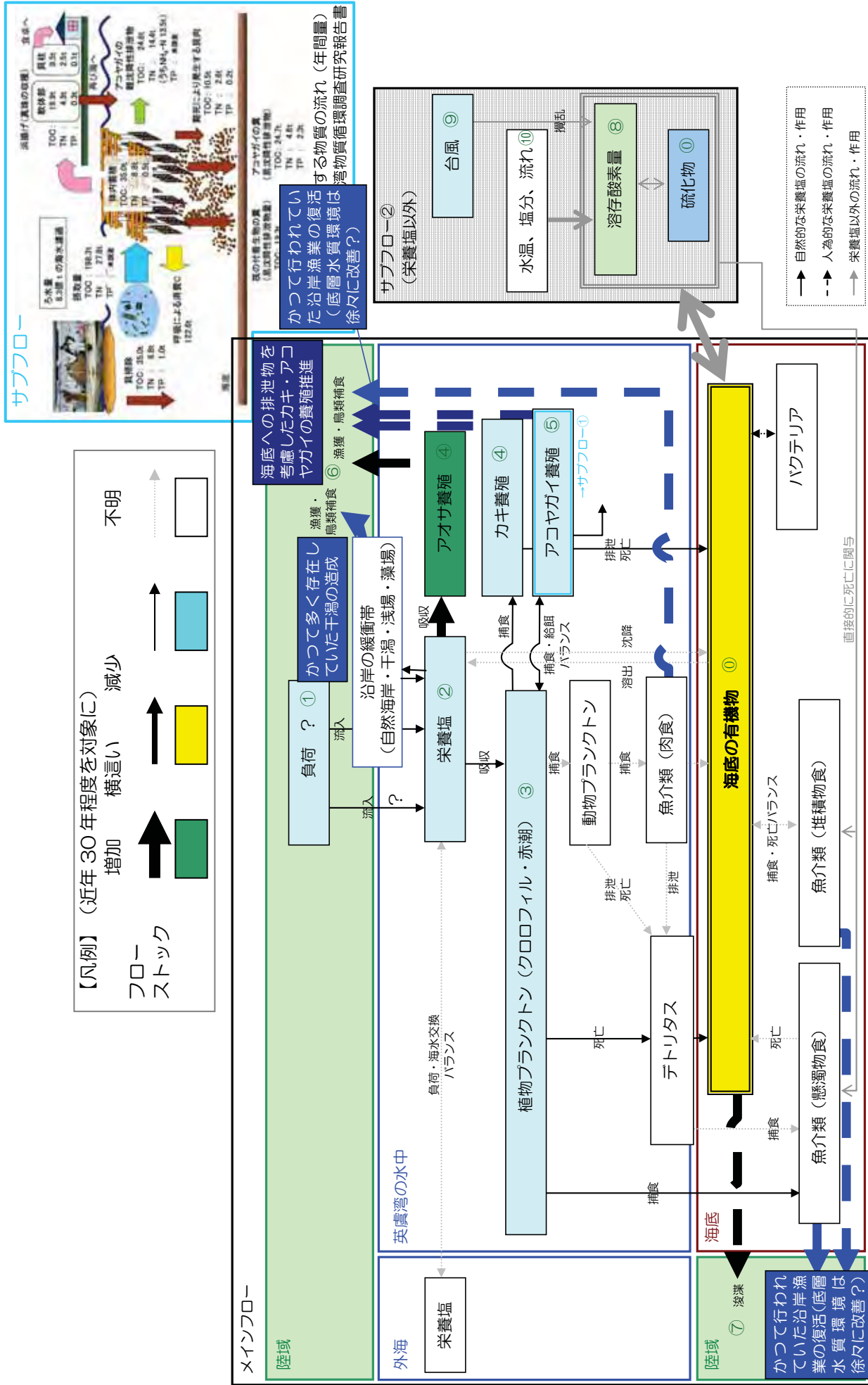


図 4.1 かつてと現在の物質循環フローの比較（イメージ）と処方箋



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21年度 「海健康診断」を活用した
英虞湾の環境評価に関する調査研究中間報告書

平成22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> E-mail: info@sof.or.jp

本書の無断転載、複写、複製を禁じます。

ISBN978-4-88404-244-8