

諫早湾干拓事業開門総合調査報告書

平成15年11月

九州農政局

F

D



A

B

## はじめに

有明海においては、多年にわたる諸要因により、取り巻く環境が大きく変化してきており、その再生に向けた取り組みが急務となっている。特に、平成12年度のノリ不作を契機として、有明海の環境変化の原因究明が強く求められ、農林水産省においては、平成13年3月にノリ不作等対策関係調査検討委員会（以下、「ノリ不作等第三者委員会」）を設置し、関係各省、関係県と連携して各種の調査を進めてきたところである。

開門総合調査は、ノリ不作等第三者委員会（平成15年3月27日に「最終報告書」をとりまとめるうえ検討を終了）が平成13年12月に取りまとめた見解の趣旨等を踏まえ、有明海全体としての環境改善の方策を講ずるための総合的な調査の一環として、有明海の環境変化への影響が指摘されている要因の一つである諫早湾干拓事業が有明海の環境に及ぼしていると思われる影響をできる限り量的に推定することを目的として実施したものである。

この短期開門を含む開門総合調査は、

- ① 諫早湾干拓調整池に海水を平成14年4月から1ヶ月程度導入するとともに、その後の淡水への回復過程を含め、調整池、海域等の環境の変化を観測する「短期開門調査」
- ② 諫早干潟に類似した現存干潟において、1年間の四季（平成14年春季～平成15年冬季）を通じた現地調査等を行うとともに、泥質干潟の干潟生態系モデルを構築し、諫早干潟の水質浄化機能を推定する「干潟浄化機能調査」
- ③ 短期開門調査及び干潟浄化機能調査により得られる情報も活用し、数値シミュレーション等により、諫早湾干拓事業による有明海の流動、水質、底質等への影響を検討する「流動解析等調査」

の3つの調査を総合的に組み合わせたものであり、その成果は、有明海における他の各種調査の結果と合わせて、有明海の環境改善の方策を総合的に検討する場に提供するものである。

本報告書は、開門総合調査運営会議の指導・助言を得ながら、調整池に海水を導入することにより、調整池や海域の環境にどのような変化が生じるのかを現地で観測し、開門総合調査の一環である現存干潟での現地調査を踏まえた干潟浄化機能調査やコンピュータ解析による流動解析調査等の結果と合わせて、諫早湾干拓事業と有明海の海域環境との関係についてとりまとめたものである。

なお、開門総合調査運営会議の委員は、下表のとおりである。

| 氏名    | 所属・役職等                 | 備考    |
|-------|------------------------|-------|
| 塚原 博  | 九州大学 名誉教授              | 座長    |
| 野口 正人 | 長崎大学工学部 教授             | 座長代理  |
| 戸原 義男 | 九州大学 名誉教授              |       |
| 豊貞 雅宏 | 九州大学大学院工学研究院 教授        |       |
| 真木 太一 | 九州大学大学院農学研究院 教授        |       |
| 菊池 泰二 | 九州ルーテル学院大学人文学部 教授      | 第6回以降 |
| 滝川 清  | 熊本大学沿岸域環境科学教育研究センター 教授 | 〃     |
| 中田喜三郎 | 東海大学海洋学部 教授            | 〃     |
| 本田清一郎 | 福岡県水産海洋技術センター有明海研究所 所長 | 第5回まで |
| 白島 勲  | 佐賀県有明水産振興センター 所長       | 〃     |
| 小坂 安廣 | 長崎県総合水産試験場 場長          | 〃     |
| 伊勢田弘志 | 熊本県水産研究センター 所長         | 〃     |

※所属等は委員当時

# 目 次

梓黄末巻

はじめに

要 約

|                        |      |
|------------------------|------|
| 1. 調査の経緯と目的            | 1. 2 |
| 2. 調査の構成と内容            | 7. 7 |
| 3. 有明海及び諫早湾の概要         | 12   |
| 4. 短期開門調査の結果           | 23   |
| (1) 実施状況               | 23   |
| (2) 気象                 | 24   |
| (3) 調整池水位と潮位・潮流        | 25   |
| (4) 水質                 | 26   |
| (5) 底質                 | 29   |
| (6) 生物                 | 29   |
| 5. 干潟浄化機能調査の結果         | 31   |
| (1) 調査の実施方法            | 31   |
| (2) 類似干潟の選定            | 32   |
| (3) 類似干潟の現地調査・室内試験     | 33   |
| (4) 類似干潟での干潟生態系モデルの構築  | 38   |
| (5) 類似干潟の浄化機能          | 40   |
| (6) 諫早干潟の浄化機能          | 43   |
| 6. 流動解析等調査の結果          | 45   |
| (1) 調査の実施方法            | 45   |
| (2) 短期開門調査期間の流動等の再現    | 46   |
| (3) 潮受堤防と有明海海域環境の関係    | 47   |
| 1) 流動                  | 47   |
| 2) 水質                  | 50   |
| 3) 底質                  | 56   |
| (4) 諫早湾及び周辺海域における貧酸素現象 | 57   |
| 7. 総合まとめ               | 62   |
| おわりに                   | 65   |

---

## 巻末資料

1. 開門総合調査運営会議関係資料（設置要領、委員名簿、開催状況） 付-1
2. ノリ不作等第三者委員会「諫早湾干拓地排水門の開門調査に関する見解」 付-5
3. ノリ不作等第三者委員会「最終報告書－有明海の漁業と環境の再生を願って－」  
付-15
4. 環境影響評価の結果の概要（開門総合調査との共通項目） 付-29
5. 短期開門調査報告書（目次） 付-30
6. 干潟浄化機能調査報告書（目次） 付-32
7. 流動解析等調査報告書（目次） 付-34

# 要 約

## 1 調査の目的

有明海においては、多年にわたる諸要因により、取り巻く環境が大きく変化し、その再生に向けた取り組みが急務となっており、農林水産省においては、平成13年度から関係各省、関係県と連携して各種の調査を進めることとした。

有明海の再生に向けて、その環境変化の原因を早急に究明し、有明海全体としての環境改善の方策を講ずるための総合的な調査の一環として、有明海ノリ不作等対策関係調査検討委員会の見解の趣旨等を踏まえ、短期開門調査、干潟浄化機能調査及び流動解析等調査の3つの調査からなる開門総合調査を実施した。

この開門総合調査により、諫早湾干拓事業が引き起こしたと指摘されている有明海の環境変化の諸事象について、その適否をできる限り量的に検討した。

## 2 調査結果の概要

### (1) 短期開門調査

短期開門調査は、平成14年4月24日から5月20日までの約1ヶ月間、調整池に海水約6,600万 $m^3$ を導入したうえで、その後の淡水への回復過程も含めて、調整池と海域の水質、潮位・潮流、底質、生物について調査を行ったもので、以下のような事象が観測された。

#### ○ 調整池

- ① 海水導入直後から、塩分躍層等が形成され、潮受堤防排水門付近の底層では、酸素飽和度が40%以下まで低下する貧酸素現象が一時的に観測された。
- ② 化学的酸素要求量(COD)、栄養塩類の濃度は海水導入による希釈効果等によって低下したが、日平均排水量が増加したため、潮受堤防排水門から海域への負荷の総量は、海水導入前と比べて増加した。
- ③ 海水導入中における調整池の内部生産量は、負荷収支によれば、海水導入前に比べ、若干大きな値であった。
- ④ 海水導入による塩化物イオン濃度の増加に伴って、海水性のプランクトン、魚卵・稚仔魚、底生生物、魚類等がみられた。

#### ○ 海 域

- ① 潮位への影響はみられなかった。また、潮流への影響は、潮受堤防排水門近傍で、主に排水時に観測され、諫早湾湾奥に限られていた。
- ② 海水導入期間中、諫早湾では2回にわたり表層の塩化物イオン濃度の低下が観測されたが、排水門から排水を行っていない時期にも低下しており、湾口北部で湾奥より塩化物イオン濃度が低かったことから、湾外北側からの低塩分水の供給が考えられた。
- ③ 海水導入期間中の化学的酸素要求量(COD)、栄養塩類は、海水導入前後と比較して同じかやや高い水準で推移した。
- ④ 調整池からの排水による濁りの拡散は、排水門を中心として、海域表層を広がっており、その範囲は湾奥に限られ、湾央までは及ばなかった。

## (2) 干潟浄化機能調査

有明海に現存する干潟から、諫早干潟に最も類似した泥質干潟として佐賀県塩田川・鹿島川河口域の干潟を選定し、1年間の四季にわたる現地調査と現地で採取した生物等のサンプルを用いた室内試験を行った。これらの結果等に基づき泥質干潟の物質循環を再現する干潟生態系モデル（コンピュータによる数値シミュレーションモデル）を構築して、類似干潟の水質浄化機能を推定するとともに、諫早干潟での調査結果を踏まえ、同モデルを用いて諫早干潟の物質収支から水質浄化機能を推定したところ、以下のような結果が得られた。

### ○ 類似干潟

- ① 干潟・浅海域の単位面積当たりの年間平均浄化量を推定したところ、窒素で  $8.4\text{mgN/m}^2/\text{日}$  の浄化となった。
- ② この結果をこれまでに報告された干潟域（砂質干潟を含む）の浄化機能の評価結果と比較すると、既存の評価結果の範囲内にあるものの、比較的低い水準であった。

### ○ 諫早干潟

- ① 諫早干潟（現在の潮受堤防の内側に相当する浅海域を含む。以下同じ）の単位面積当たりの年間平均浄化量を推定したところ、窒素で  $10.6\text{mgN/m}^2/\text{日}$  の浄化となった。
- ② 今回推定された諫早干潟の窒素浄化量は、本明川等の陸域からの平均流入負荷量の窒素で約 36% に相当した。また、有明海に陸域から流入する負荷量の約 0.5% に相当した。

## (3) 流動解析等調査

数値シミュレーションと現地観測データ等の分析により、諫早湾干拓事業が有明海の海域環境に及ぼしたとされる影響について検討を行ったところ、以下のような結果が得られた。

### ○ 短期開門調査期間の流動等の再現

有明海海域環境調査（以下、「国調費調査」）において構築した流動モデル（以下、「国調費流動モデル」）により、平成 14 年 4 月から 6 月までの短期開門調査結果を再現したところ、おおむね良好な再現結果が得られた。

### ○ 潮受堤防と有明海海域環境の関係

#### < 流 動 >

国調費流動モデルにより、潮受堤防が無い場合の有明海の流動を計算し、国調費調査で実施した現況再現結果（潮受堤防が有る場合）と比較するとともに、潮位観測データの分析を行ったところ、以下のような結果が得られた。

- ① 数値シミュレーションにより、潮位への影響を大潮差（大潮時の潮位差）の年平均値と比較したところ、有明海湾央の三角地点で約 0.8%、有明海湾奥の佐賀県大浦地点で約 1.5% 程度の差がみられた。
- ② 数値シミュレーションにより、潮流への影響を潮流ベクトル（大潮時）と平均流ベクトルで比較したところ、その影響は、諫早湾周辺海域にとどまっていた。
- ③ 有明海の気象庁検潮所の潮位観測データから得られた年平均潮差、大潮差、 $M_2$  分潮（月の引力による 12.4 時間周期の潮位変動）振幅の経時変化からは、潮受堤防の工事期間（平成 6～9 年）や最終締切時（平成 9 年 4 月）の前後で明らかな変化はみられなかった。



## <水 質>

国調費流動モデル及び諫早干潟の浄化機能を考慮した国調費水質モデルを用いて、潮受堤防が無い場合の有明海の水質を計算し、国調費調査で実施した現況再現結果(潮受堤防が有る場合)と比較するとともに、水質観測データの分析を行ったところ、以下のような結果が得られた。

- ① 塩分、水温は、諫早湾内で若干の差がみられたものの、諫早湾外の有明海では明らかな差はみられなかった。
- ② 化学的酸素量(COD)、全窒素(T-N)、全リン(T-P)及び溶存酸素(DO)は、諫早湾外の有明海では有意な差はみられなかった。
- ③ クロロフィル a は、諫早湾外の有明海では明らかな差はみられなかった。また、赤潮によりノリが不作となった平成 12 年 12 月から翌年 3 月について、有明海湾奥及び諫早湾のクロロフィル a が 0.03mg/L(国調費調査での赤潮の発生指標)以上の面積を比較したところ、差はほとんどみられなかった。
- ④ 有明海における浅海定線調査や公共用水域水質測定等の観測データから、潮受堤防の締切前後で、これに起因すると考えられるような水質の変化は確認されなかった。

## <底 質>

諫早湾及び周辺海域について、底質の浸食・堆積傾向を検討する底質モデルを構築して、潮受堤防の有無による底質の粒度への影響を検討したところ、潮受堤防が有る場合に諫早湾湾口の一部において底質の細粒化傾向がみられたが、環境モニタリングの結果からは諫早湾湾口付近の底質の粒度に一定の変化傾向はみられなかった。

### ○ 諫早湾及び周辺海域における貧酸素現象

平成 14 年の夏季に諫早湾及び佐賀県沖において現地調査を行うとともに、数値シミュレーションや観測データの分析等を行ったところ、以下のような結果が得られた。

- ① 諫早湾では7月初旬と8月初旬の2回、いずれも小潮期に貧酸素現象(酸素飽和度 40%以下)が観測され、ほぼ同時期に佐賀県沖でも貧酸素現象が観測された。なお、諫早湾と佐賀県沖の底質の酸素消費速度は類似した値であった。
- ② 潮受堤防排水門から間歇的に排水される淡水は、諫早湾湾奥で排水直後の急激な塩分低下として観測されたが、短時間で元の塩分に回復しており、湾口では排水に対応した塩分低下は観測されなかった。
- ③ 諫早湾で数日間にわたり塩分躍層が観測された時期の表層塩分の平面分布は、湾奥から湾口北部へ低くなっており、数値シミュレーションからも、有明海湾奥の低塩分水が諫早湾湾口に達する状況が再現された。
- ④ 佐賀県沖の浅海定線調査から、酸素飽和度の経年的な変化傾向は認められなかった。

## 3 総合まとめ

諫早湾干拓事業による有明海の流動、水質、貧酸素現象、底質等への影響について、総合的な考察を行って、以下のとおりまとめた。

### 1) 流動(潮位・潮流)

- ・潮位については、数値シミュレーションから諫早湾外の有明海の大潮差に 0.8~1.5%の差が現れたものの、観測データからは大潮差等の経時変化において、潮受堤防の影

響によると考えられるような明らかな変化はみられなかった。

- ・潮流については、数値シミュレーションから潮受堤防による影響は諫早湾周辺海域にとどまっていた。
- ・このことから、潮受堤防の締切は、諫早湾外の有明海の流動（潮位、潮流）に対する主要な影響要因とはなっていないものと考えられる。

## 2) 水質（水質と負荷）

- ・化学的酸素要求量(COD)、全窒素(T-N)、全リン(T-P)については、数値シミュレーションからは、諫早湾外の有明海に有意な差はみられなかった。
- ・浅海定線調査や公共用水域水質測定の見測データからも、潮受堤防の締切前後で、これに起因すると考えられるような水質の変化は確認されなかった。
- ・このことから、潮受堤防の締切は、諫早湾外の有明海の水質に対する主要な影響要因とはなっていないものと考えられる。

## 3) 貧酸素現象

- ・現地観測と数値シミュレーションから、調整池からの排水が、諫早湾外の有明海の塩分躍層の形成について、主要な影響要因とはなっていないものと考えられる。
- ・諫早湾と佐賀県沖における現地観測、数値シミュレーション、浅海定線調査等の観測データの分析等から、潮受堤防の締切は、佐賀県沖における貧酸素現象の影響要因とはなっていないものと考えられる。

## 4) 底質

- ・数値シミュレーションからは、諫早湾湾口の一部で潮受堤防の有無により底質の細粒化がみられたものの、環境モニタリングからは、潮受堤防の締切前後で諫早湾湾口付近の底質の粒度に一定の変化傾向はみられなかった。

## 5) その他

- ・数値シミュレーションにより、平成12年度ノリ期の有明海湾奥と諫早湾におけるクロロフィルa濃度0.03mg/L以上（国調費調査における赤潮の発生指標）の発生面積を潮受堤防の有無により比較したところ、差はほとんどみられなかった。

## 6) まとめ

- ・開門総合調査によって、諫早湾干拓事業による有明海の流動、水質、貧酸素現象、底質等への影響については、かなり明らかにできたと考えられる。
- ・数値シミュレーションと観測データの分析等により総合的な考察を行ったところ、検討項目により違いはあるものの、潮受堤防の締切による影響は、ほぼ諫早湾内に止まっており、諫早湾外の有明海全体にはほとんど影響を与えていないという結果が得られた。
- ・以上の結果として、諫早湾干拓事業への着手に先だて行われた環境影響評価と共通する項目については、その予測の範囲にほぼ収まっていた。
- ・赤潮と底生生物（タイラギ、アサリ等）については、間接的には一部明らかにできたものの、関係する試験研究機関等による今後の新たな知見に期待したい。
- ・開門総合調査において以上のような成果が得られた一方、調査の一環として実施した短期開門調査では、海水が導入された調整池でギンブナ等の淡水性の魚類や二枚貝が多量に斃死し、また、調整池の再淡水化が当初想定した2ヵ月から6ヵ月に長期化したため背後地への塩水被害の不安が出るなど、被害回避対策を実施したにもかかわらず、海水導入に伴っていくつかの課題も生じた。

# 1. 調査の経緯と目的

## (1) 諫早湾干拓事業の概要

諫早湾干拓事業は、諫早湾の湾奥を締切り（図 1-1）、調整池及び調整池を水源とするかんがい用水が確保された大規模な優良農地を造成し、生産性の高い農業を実現するとともに、背後の低平地において高潮、洪水、常時排水不良等に対する防災機能の強化を目的として、昭和 61 年度に着工された。

本事業の主要構造物である潮受堤防は、平成 4 年 10 月に工事着手され、平成 9 年 4 月に締切を行った後、平成 11 年 3 月に完成した。それ以降、調整池の水位が標高マイナス 1 m で管理されることにより、背後の低平地に対して、事業による防災機能が発揮されている。

さらに、潮受堤防の完成等により、標高マイナス 1 m 以上の土地は既に干陸し、干拓予定地の一部では試験圃場が設けられ、作物栽培試験も実施されている。

また、平成 14 年 6 月には、防災機能の十分な発揮、概成しつつある土地の早期利用、環境への配慮の一層の推進、予定されている事業期間の厳守の観点から事業計画の変更を行い、干陸面積 816ha、調整池面積 2,600ha とし、平成 18 年度の事業完了をめざし、現在、中央干拓地の前面堤防の工事等が進められているところである（図 1-2）。



図 1-1 諫早湾干拓事業の位置

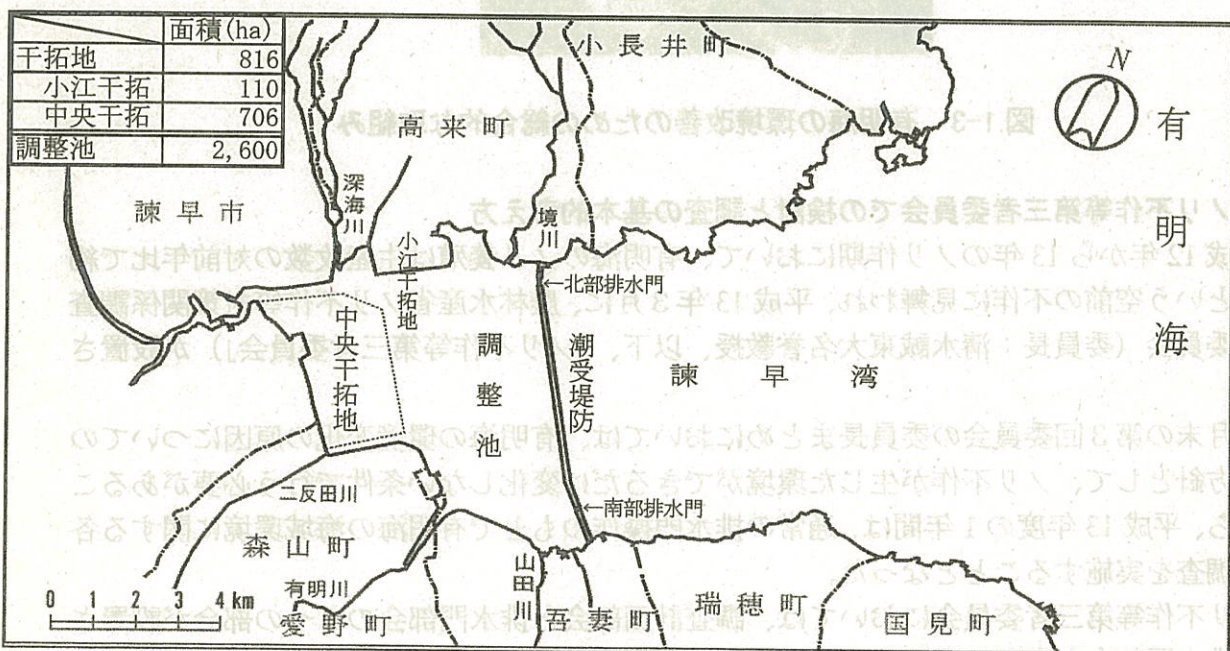


図 1-2 諫早湾干拓事業の概要

## (2) 有明海の環境改善のための総合的な取組み

有明海においては、多年にわたる諸要因により、取り巻く環境が大きく変化してきており、その再生に向けた取組みが急務となっている。

一方、この有明海の環境改善のための有効な方策を検討・実施していくためには、様々な開発行為等の推移や地形変化、気象・海象等の変化、海域への流入負荷の変化、ノリ養殖業等経済活動のあり方などの環境変化の原因について、総合的に検討することが必要となってきた。特に、平成12年度のノリ不作を契機として、有明海の環境変化の原因究明が強く求められたところであり、農林水産省においては、平成13年度から関係各省、関係県と連携して各種の調査を進めてきているところである(図1-3)。

また、平成14年11月には、有明海を豊かな海として再生するための特別措置法(有明海及び八代海を再生するための特別措置に関する法律)が成立したところである。

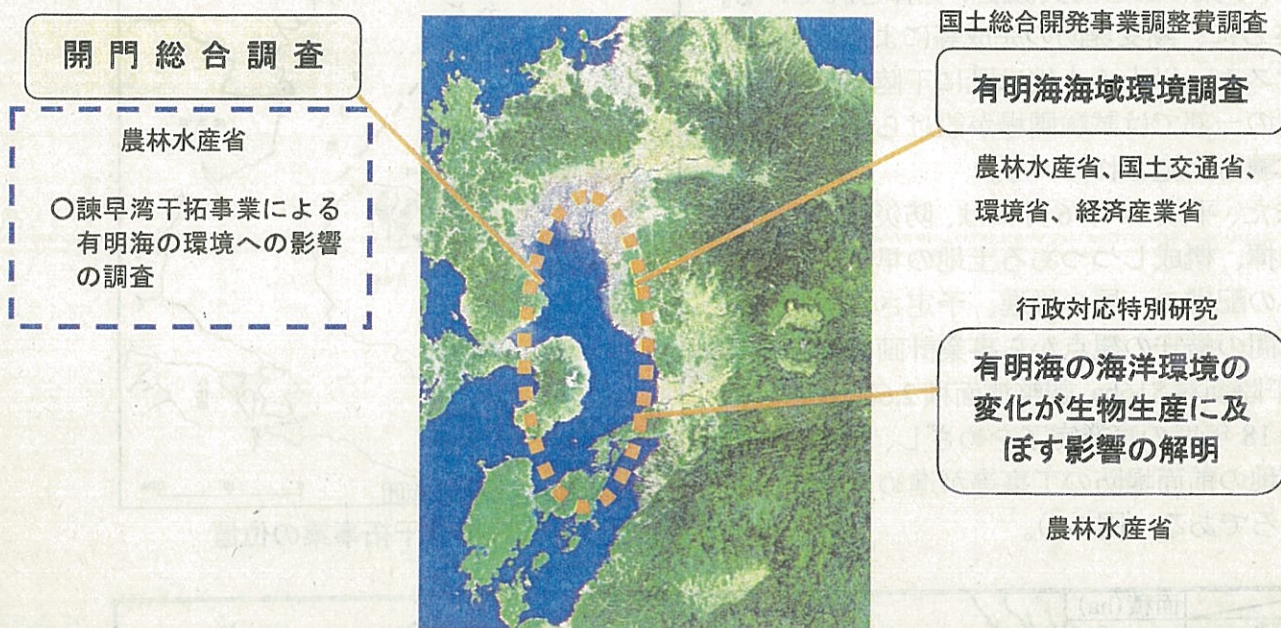


図1-3 有明海の環境改善のための総合的な取組み

## (3) ノリ不作等第三者委員会での検討と調査の基本的考え方

平成12年から13年のノリ作期において、有明海のノリ養殖は生産枚数の対前年比で約60%という空前の不作に見舞われ、平成13年3月に、農林水産省ノリ不作等対策関係調査検討委員会(委員長:清水誠東大名誉教授、以下、「ノリ不作等第三者委員会」)が設置された。

3月末の第3回委員会の委員長まとめにおいては、有明海の環境変化の原因についての調査方針として、ノリ不作が生じた環境ができるだけ変化しない条件で行う必要があることから、平成13年度の1年間は、通常の排水門操作のもとで有明海の海域環境に関する各種の調査を実施することとなった。

ノリ不作等第三者委員会においては、調査計画部会と排水門部会の2つの部会が設置され、排水門部会を中心に開門調査の必要性、調査項目、前提条件等について検討が重ねられた。平成13年9月20日にまとめられたノリ不作等第三者委員会の中間取りまとめの中

では、開門調査について以下のとおり記述されている。

- ・ 有明海の環境及びノリ不作等についての現状把握と原因究明、対策検討のための調査研究が進められているが、その一環として現状との比較のため、また、干拓地の機能を知るために排水門を開けて調査する必要がある。
- ・ 具体的には、調整池内の干潟・浅海域の水質浄化能力の評価、調整池内の水質や浮泥の周辺環境及び赤潮発生等への影響解明が重要である。

また、この中間取りまとめにおいては、開門調査に当たっての前提条件として、次の9項目が提示されている。

- ① 排水門を開けた調査結果を現状と比較するため、排水門の開門前の状況を把握するための調査を行う。
- ② 底泥の巻き上げによる海水中のSS、有機物(COD)、栄養塩類(N、P)の増加や、調整池内の水域が密度成層を形成することによる底層の貧酸素化のおそれがあるので、排水門の開門による環境影響評価を実施する。
- ③ 開門操作の方法によっては、排水門付近に早い流速が生じることとなり、底泥層の巻き上げや洗掘防止のための対策が必要となる。しかし、対策には相当の期間を要するため、開門により護床工の外側に生じる流速を1.6m/秒以下に制限する。
- ④ 排水門が振動して、疲労破壊することがないように、ゲートの振動を監視するため、ゲートに振動計を設置する。調査期間が中期となる場合にはゲート構造を変更する。
- ⑤ 排水門付近の速い流れに対する漁船などの安全性を確保するため、必要な対策を講ずる。
- ⑥ 塩水浸入が予測される排水樋門は点検を行い、樋門の改修等の措置を講ずる。また、排水不良が予測される樋門については常時排水のためのポンプを設置する。
- ⑦ 出水時の浸水に対する安全性を現状の水準に維持するため、調整池の水位の上限値を標高マイナス1.0mとする。また、調整池水位の下限値は、潮受堤防及び排水門の構造上の安全性から許容される最大限の値とする。
- ⑧ 洗掘された底泥の堆積で河口閉塞や樋門の機能が喪失しないよう、底泥の洗掘が生じない流速で排水門の開門操作の方法を行う。
- ⑨ 洪水期・かんがい期の海水導入については、調整池への塩水浸入により、背後の農地で排水不良・塩水浸入や飛塩による塩害が発生しないよう代替水源の確保等の措置を講じる。

さらに、平成13年12月19日には、「諫早湾干拓地排水門の開門調査に関する見解」(以下、「見解」)がまとめられ、この見解の中で、「諫早湾干拓事業は重要な環境要因である流動および負荷を変化させ、諫早湾のみならず有明海全体の環境に影響を与えていると想定され、また、開門調査はその影響の検証に役立つと考えられる。」とされ、諫早湾干拓事業が及ぼしたと指摘される有明海の環境変化の事象として次の6つが示され、それぞれについて開門調査による検証の可能性等が以下のとおり述べられている。

#### ① 水質浄化機能の喪失と負荷の増大

開門しても短期調査では、できる干潟の面積が限られ、また直ぐに海産の生物相が回復するわけではないので、得られる情報はきわめて限られたものとなるであろう。しかし、海水環境になり

水位変動が始まった時点から、底泥中の間隙水や生物相が、また浄化能も、どのように変化するかを現場で観測することは大きな意味があると考えられる。また同時に堤防内外の水質分布の変化を詳細に調査することはシミュレーションの検証など、いろいろ役立つ情報が得られよう。当然ながら調査は長いほど、水位変動は大きいほど望ましい。さらに究極的には3月に想定したような水位変動の実現が望まれる。

## ② 流動の変化（潮位、流速、流向）

常時全面開放すれば流動がもどるという試算結果もある（経塚ほか、2000）ので、可能性はないとは言えない。しかし、水位管理下の流速を制限しての開門では知見は得られないであろう。まず、種々の条件でのシミュレーションを行う必要がある。なお、諫早湾内については流動の低下が著しく、このことがいろいろな環境影響を引き起こしている可能性が高いが、これらについては現象によっては制限条件付きの開門でも知見が得られる可能性がある。

## ③ 赤潮の増加

開門調査で赤潮発生件数の増減を直接観測することは困難であろう。しかし、開門は諫早湾の流動の変化を引き起こし、成層を形成しにくくする可能性もあり、この意味で開門調査の意義はあろう。できるだけ大きく、長い開放が望ましい。

## ④ 貧酸素水塊の発生

開門調査で流動の変化、底質の変化が観測されれば、締切の影響に関する知見が得られる可能性がある。この場合も大きく、長い開放が望ましい。

## ⑤ タイラギ、アサリ等の減少、成育不良および稚貝の斃死

影響要因を減らす観点からは有害プランクトン赤潮の発生を防ぎ、貧酸素水塊が生じないようにすることが基本的に重要で、先にも述べたように開門はこの方向の措置であり、望ましい効果をもたらす可能性がある。

## ⑥ 諫早湾の底質の変化（細粒化、浮泥堆積など）と底生生物の減少

有明海全体の流動の変化の開門調査による検証は困難であろうと先に述べた。ただ、排水門の幅が堤防7kmに対して250mに過ぎず、原状回復は望めないが、諫早湾内の流動低下、これに伴うと考えられる底質の変化、底層の貧酸素化などについては開門調査で知見が得られるであろう。流動に関して得られる知見はシミュレーションの検証にも重要である。この場合も開門はできるだけ大きく長いことが望まれる。

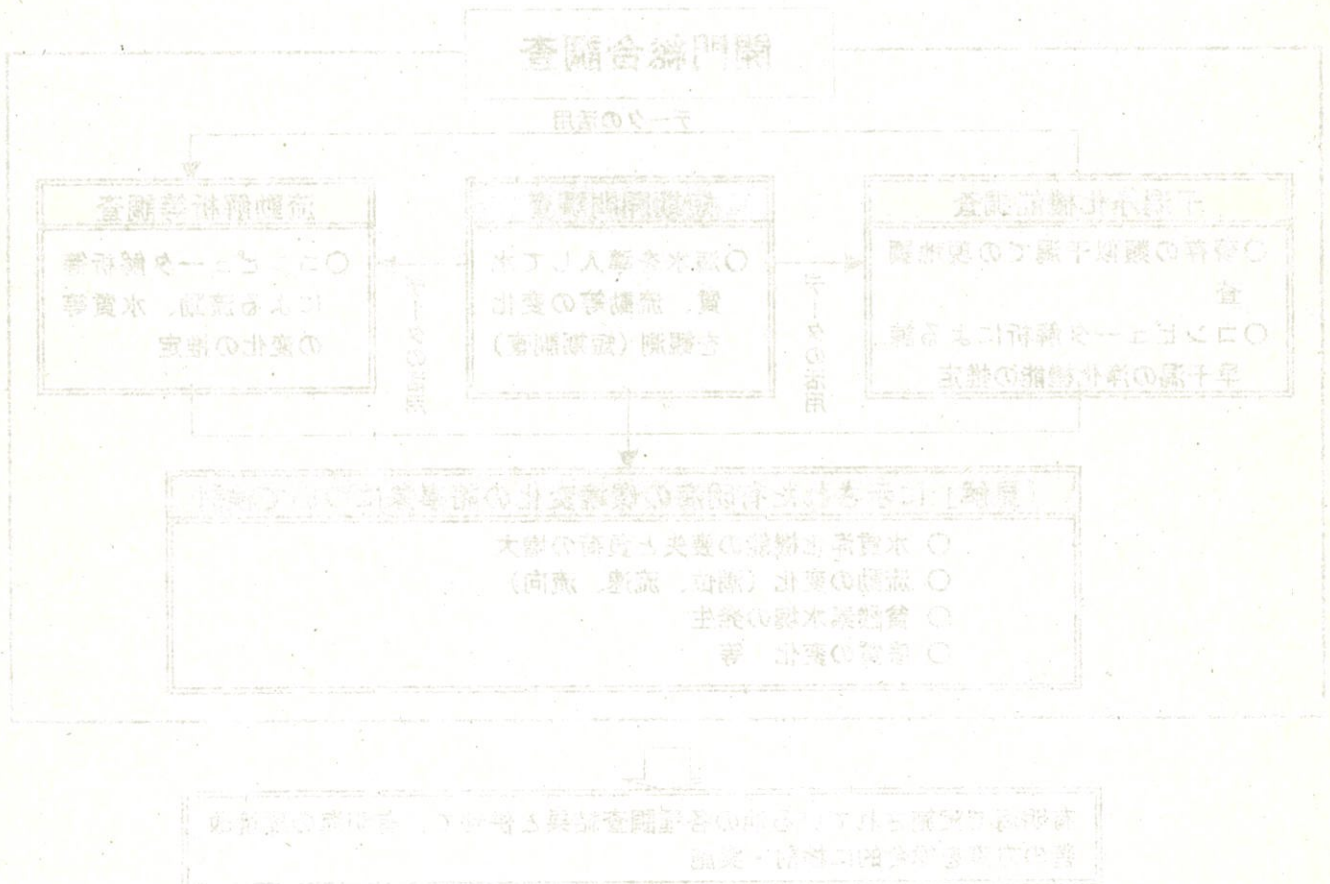
また、開門調査の方法については、被害を及ぼさないことを前提として、「現実的な第一段階として2ヶ月程度、次の段階として半年程度、さらにそれらの結果の検討をふまえての数年の、開門調査が望まれる。調査に当たって、開門はできるだけ長く、大きいことが望ましい。」とされたが、その実施の判断は行政に委ねられることになり、平成15年3月27日の第10回ノリ不作等第三者委員会において「最終報告書」をとりまとめて検討を終了した。

なお、見解及び最終報告書については、本報告書の巻末に全文を掲載した。

開門調査は、以上のような経緯等を受けて、潮受堤防によって周辺地域で期待された防災機能が十分発揮されていること、その地域で多くの住民が現に生活し、農業、漁業を営んでいること、諫早湾干拓事業についても早期完了を強く求められていること等を踏まえ、実施について表 1-1 に示す基本的な観点に立って検討した。

表 1-1 調査実施に当たっての観点

| 観 点                        | 考 え 方  |
|----------------------------|--|
| ①被害を防止するための有効な対策を講ずることができる | 1. 防災機能の確保<br>2. 排水門等施設の安全性の確保<br>3. 周辺農業・漁業への影響の考慮                          |
| ②原因の究明及び対策の検討のため、早期に成果を得る  | 1. 開門に伴う影響緩和のための短期間での対策工の実施<br>2. 調査成果の早期取りまとめ<br>3. 適切な経費で必要とされる成果が得られる調査手法 |
| ③様々な要因の調査と総合的な連携が保てる       | 1. 有明海の他の調査結果と有機的な連携のもとでの調査の実施<br>2. 調査結果の総合的な検討                             |



#### (4) 調査の目的

開門総合調査は、ノリ不作等第三者委員会が平成13年12月に取りまとめた見解の趣旨等を踏まえ、有明海全体としての環境改善の方策を講ずるための総合的な調査の一環として、短期の開門調査を含む開門総合調査を実施し、有明海の環境変化への影響が指摘されている要因の一つである諫早湾干拓事業が有明海の環境に及ぼしていると思われる影響の度合いの解明を行うこととした。

この開門総合調査は、

- ① 諫早湾干拓調整池に海水を1ヶ月程度導入し、調整池、海域等の環境の変化を観測する「**短期開門調査**」
- ② 諫早干潟に類似した現存干潟において、1年間の四季（平成14年春季～平成15年冬季）を通じた現地調査等を行うとともに、泥質干潟の干潟生態系モデルを構築し、諫早干潟の水質浄化機能を推定する「**干潟浄化機能調査**」
- ③ 短期開門調査及び干潟浄化機能調査により得られる情報も活用し、数値シミュレーション等により、諫早湾干拓事業による有明海の流動、水質、底質等への影響を検討する「**流動解析等調査**」

の3つの調査を総合的に組み合わせて実施することとした。

なお、その成果は、有明海における他の各種調査の結果と合わせて、有明海の環境改善の方策を総合的に検討する場に提供するものである（図1-4）。

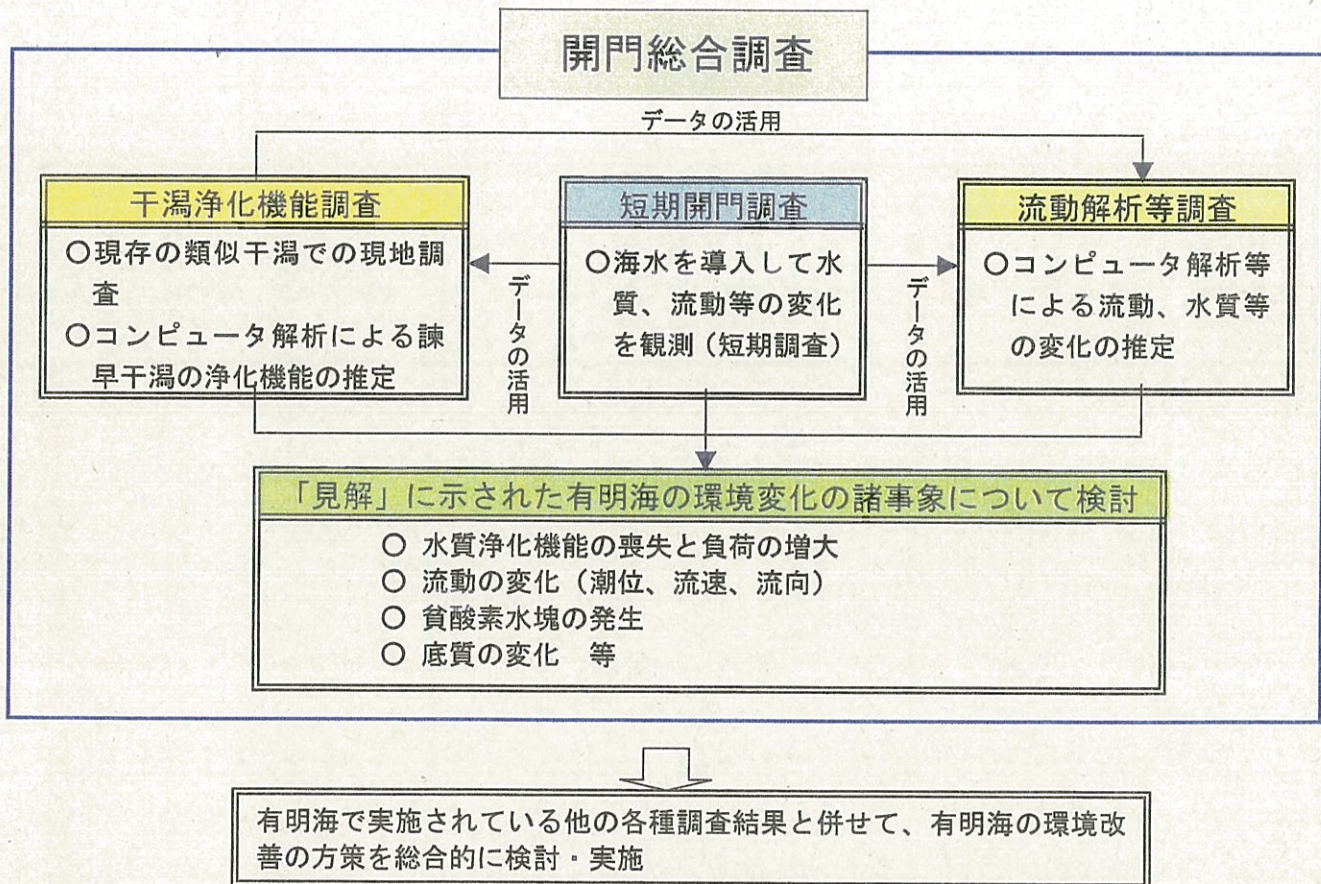


図1-4 開門総合調査の構成と実施フロー



## 2. 調査の構成と内容

### (1) 調査の構成

開門総合調査は、短期の開門調査に加えて現存干潟での調査やコンピュータ解析の3つの手法を総合的に組み合わせたものであり、調査に当たっては、専門家からなる開門総合調査運営会議（座長：塚原博九州大学名誉教授）を設置し、その指導・助言を得ながら実施した（図2-1）。

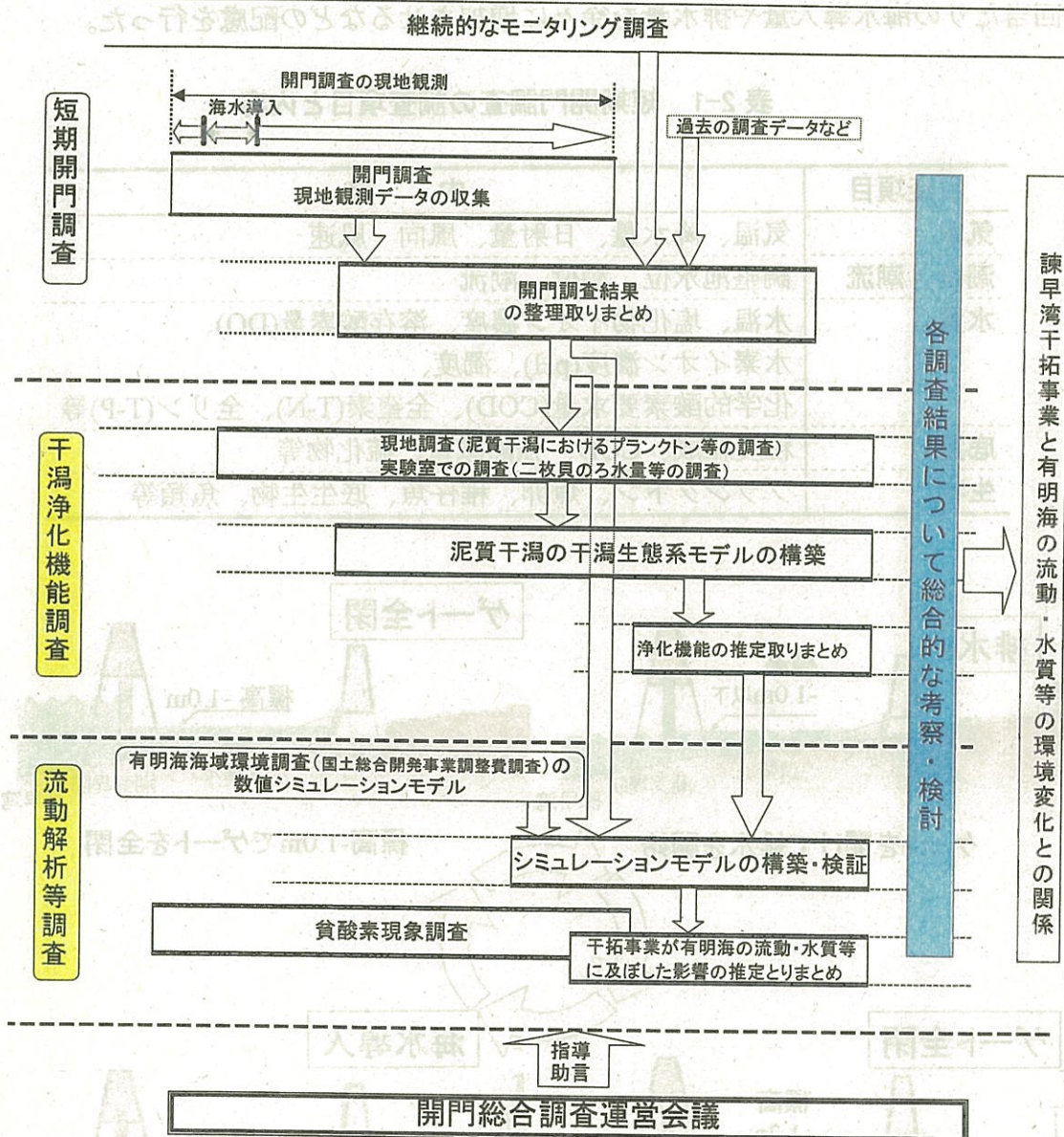


図2-1 開門総合調査の構成と内容

## (2) 短期開門調査

短期開門調査は、調整池に海水を導入することによって生じた調整池、海域等の環境変化を観測したものであり、現地調査は海水導入前から開始し、海水導入終了後に調整池の水質が調査前の淡水に回復する過程までを含めて行い、表 2-1 に示す気象、潮位・潮流、水質、底質、生物などの項目について調査を実施した。

なお、海水導入に当たっては、調整池の水位を標高-1.2m から-1.0m の範囲で海水を導入するとともに、潮位が調整池の水位より低い時に調整池から排水した（図 2-2）。また、底泥（ガタ土）の洗掘を抑えるため、ゲートの開度を調整し、護床工の外側に生じる流速を1.6m/s以下に抑えるとともに、海水導入直後の濁りの拡散を抑えるため、1回当たりの海水導入量や排水量を徐々に増加させるなどの配慮を行った。

表 2-1 短期開門調査の調査項目と内容

| 調査項目  | 内 容   |
|-------|---|
| 気象    | 気温、降水量、日射量、風向・風速  |
| 潮位・潮流 | 調整池水位、潮位、潮流   |
| 水質    | 水温、塩化物イオン濃度、溶存酸素量(DO)、水素イオン濃度(pH)、濁度、化学的酸素要求量(COD)、全窒素(T-N)、全リン(T-P)等 |
| 底質    | 粒度組成、COD、強熱減量、硫化物等  |
| 生物    | プランクトン、魚卵、稚仔魚、底生生物、魚類等  |

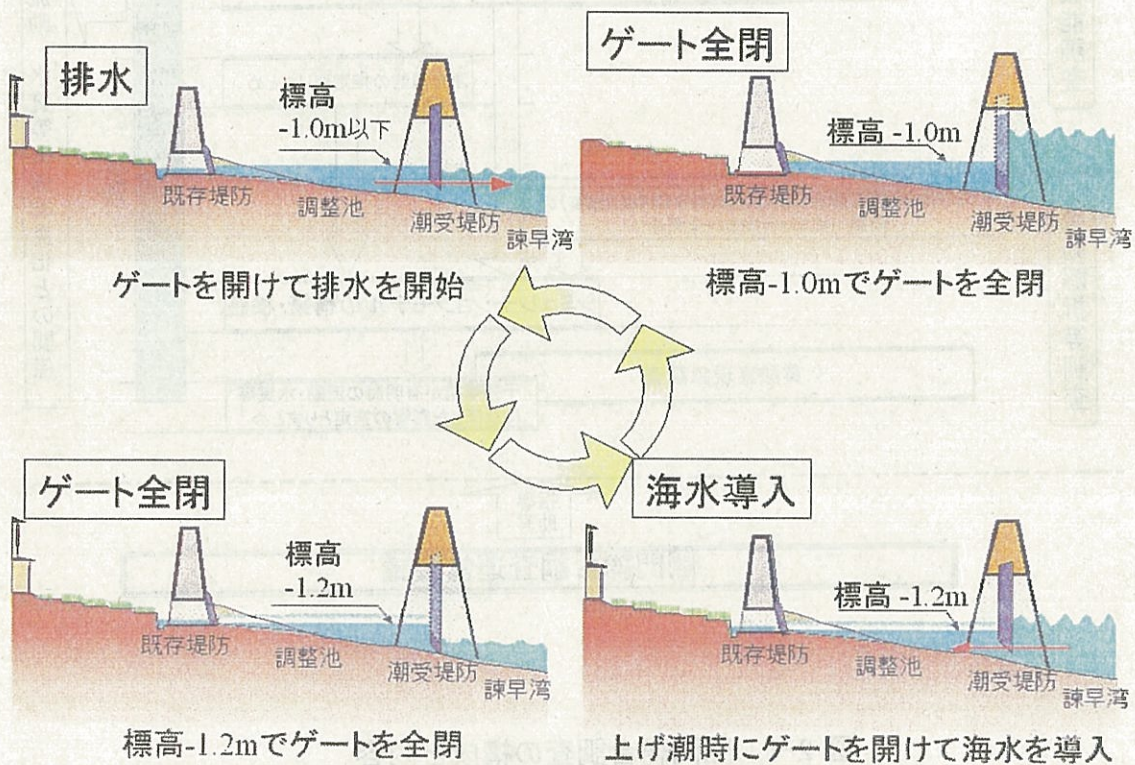


図 2-2 海水導入の方法

### (3) 干潟浄化機能調査

干潟浄化機能調査は、有明海に現存する干潟の中から諫早干潟に類似の泥質干潟を選定し、この干潟域を対象に現地調査と室内試験等を行い、泥質干潟の物質循環等を再現・評価できる干潟生態系モデルを構築したうえで、類似干潟の水質浄化機能の検討を行うとともに、諫早干潟の過去の調査結果等を踏まえて、諫早干潟の水質浄化機能を推定したものである。

なお、本調査により得られた泥質干潟の干潟生態系モデルを、流動解析等調査において国調費水質モデルに組み込むことにより、諫早干潟の有無による有明海の水質への影響について検討した。具体的な調査内容は、表 2-2 に示すとおりである。

表 2-2 干潟浄化機能調査の調査項目と内容

| 調査項目                                    | 内 容  |
|---|--|
| ① 諫早干潟に類似した干潟の選定                        | 有明海に現存する干潟のうち、かつての諫早干潟に類似の干潟として塩田川・鹿島川の河口域の干潟を調査対象の類似干潟として選定                                       |
| ② 類似干潟での四季にわたる現地調査等の実施                  | 塩田川・鹿島川の河口域の干潟において、四季にわたる現地調査や、現地で採取したサンプルの室内試験等を実施  |
| ③ 泥質干潟の干潟生態系モデルの構築                      | 類似干潟での現地調査等の結果を活用して、現地の物質循環等を再現する泥質干潟の特性を踏まえた干潟生態系モデルを構築   |
| ④ 類似干潟における水質浄化機能の検討                     | 構築された泥質干潟の干潟生態系モデルを用いて、対象干潟域である塩田川・鹿島川の河口域の干潟での1年間の物質循環の再現を図り、干潟域の物質収支等を評価し、諫早干潟の類似干潟における水質浄化機能を検討 |
| ⑤ 諫早干潟における水質浄化機能の検討                     | 構築された泥質干潟の干潟生態系モデルを用いて、諫早干潟での底生生物等に係る調査結果等を基に、諫早干潟の物質循環の再現を図り、諫早干潟の水質浄化機能を検討                       |
| ⑥ 諫早干潟の喪失による海域水質への影響の検討<br>(流動解析等調査で実施) | 流動解析等調査において、泥質干潟の干潟生態系モデルを、有明海の水質モデルに組み込み、干潟の有無等による周辺海域の水質への影響を検討                                  |

#### (4) 流動解析等調査

流動解析等調査は、潮受堤防の締め切り前後における有明海の潮汐、水質、底質の変化及び貧酸素水塊の形成等について、有明海海域環境調査（国土総合開発事業調整費調査、以下、「国調費調査」という。）で構築した海域環境予測モデルのうち、流動モデル（以下、「国調費流動モデル」という。）及び水質モデル（以下、「国調費水質モデル」という。）を用いるなどにより解析を行い、諫早湾干拓事業と有明海の潮汐、水質及び底質との関係を検討したものである（表2-3）。

表 2-3 流動解析等調査の内容

| 項目      | 内 容   |
|---------|---|
| 流動解析    | ○短期開門調査結果を国調費流動モデルにより再現し、短期開門調査から得られたデータを活用してモデルを検証<br>○国調費流動モデルを使って、潮受堤防の有無による有明海の潮位・潮流等の変化を含めた影響を数値シミュレーション等により検討 |
| 水質解析    | ○泥質干潟の干潟生態系モデルを組み込んだ国調費水質モデルを用いて、潮受堤防の有無による有明海の水質の変化を含めた影響を数値シミュレーション等により検討   |
| 底質解析    | ○潮受堤防の有無等による諫早湾及びその周辺海域の底質粒度への影響を数値シミュレーション等により検討   |
| 貧酸素現象調査 | ○諫早湾及び周辺海域において、溶存酸素濃度、水温、塩分等の観測を行い、密度成層や貧酸素水塊の形成と諫早湾干拓事業との関係について検討  |

流動解析等調査における調査・解析内容は次のとおりである。

##### 1) 流動解析

###### ①検討範囲

有明海全域

###### ②検討項目

潮位、潮流、塩分、水温

###### ③検討条件

###### (7) 国調費流動モデルによる短期開門調査の再現

海水導入期間中を含む平成14年4月～6月における、諫早湾を含む有明海の潮位、潮流、塩分等について、数値シミュレーションを通じて、解析モデルの適用性を考察するとともに、調整池への海水導入と海域の流動との関係を検討

###### (4) 潮受堤防と有明海海域環境の関係

諫早湾を含む有明海の潮位、潮流、塩分等について、数値シミュレーションを行い、潮受堤防と有明海の流動との関係を検討

###### ④使用したモデル

国調費流動モデル

## 2) 水質解析

### ①検討範囲

有明海全域

### ②検討項目

植物プランクトン、動物プランクトン、無機態栄養塩 ( $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ )、懸濁態有機物 (POC、PON、POP、ただし、動・植物プランクトンに由来する懸濁態有機物は含まない)、溶存態有機物 (DOC、DON、DOP)、溶存酸素 (DO) 等

### ③検討条件

諫早湾を含む有明海の無機態栄養塩、懸濁態有機物、溶存態有機物、溶存酸素等について、数値シミュレーションを行い、潮受堤防と有明海の水質との関係を検討

### ④使用したモデル

国調費水質モデル

なお、潮受堤防が無い場合の検討に当たっては、干潟浄化機能調査の結果を踏まえて、国調費水質モデルに泥質干潟の干潟生態系モデルを組み込んで使用

## 3) 底質解析

### ①検討範囲

諫早湾及び周辺海域

### ②検討項目

底質粒度の変化傾向

### ③検討条件

冬季及び夏季の1ヶ月間における諫早湾の底質について数値シミュレーションを行い、潮受堤防と諫早湾の底質との関係を検討。ただし、流入河川からのSS負荷を拡散させるため、1ヶ月間の事前計算期間を事前に設定

### ④使用したモデル

底質の巻き上げ・沈降を考慮した濁り拡散モデル (移流項の流速には国調費流動モデルの値を使用)

## 4) 貧酸素現象調査

### ①観測範囲

諫早湾及び周辺海域 (有明海湾奥部の佐賀県太良町から鹿島市の沿岸)

### ②観測項目

水温、塩分、溶存酸素(DO)、水素イオン濃度(pH)、濁度、クロロフィルa

### ③観測期日

平成14年度夏季

### ④観測方法

|            |                   |
|------------|-------------------|
| 諫早湾：定期鉛直観測 | 12地点 (2回/週)       |
| 鉛直連続観測     | 3地点 (毎正時、水深0.5m毎) |
| 佐賀沖：定期鉛直観測 | 8地点 (1回/週)        |
| 底層連続観測     | 3地点               |

### 3. 有明海及び諫早湾の概要

#### (1) 地 形

有明海は、九州の西岸に南から深く入り込んだ内湾で、福岡、佐賀、長崎、熊本の4県に囲まれている。流域面積は約 8,300 km<sup>2</sup> で、流域の大部分は有明海の東側に偏っており、主要な河川は東側から流入している。このうち、最も流域面積の広い河川は筑後川で、2,860km<sup>2</sup> と有明海全流域の約 3分の1 を占めている。

有明海の形状は胃袋型に湾曲しており、湾軸の延長 96km、平均幅 18km で、面積 1,700km<sup>2</sup> の水面を有し、容積は約 340 億 m<sup>3</sup>、平均水深は約 20m である。周辺海域とは、天草諸島間にある三角、柳、本渡の3瀬戸を通じて八代海に、早崎瀬戸を経て東シナ海に通じている (図 3-1)。



※ 有明海の範囲を熊本県長洲町から長崎県有明町を結ぶ線より北側に限定し、この線より南側を島原湾と区別して呼ぶ場合もあるが、ここでは早崎瀬戸までの全体を有明海と呼ぶ。

図 3-1 有明海の全体位置

有明海は、水域面積が1,700km<sup>2</sup>であるのに対し、湾口の幅は狭く、表3-1に示すように東京湾、伊勢湾などの面積1,000km<sup>2</sup>以上の我が国の主な内湾の中でも、南側に接する八代海と並んで閉鎖性が極めて高いことが地形的な特徴となっている。

表3-1 我が国の主要な内湾の閉鎖度指標

| 内湾の名称 | 閉鎖度指標 <sup>注)</sup> | 海域面積(km <sup>2</sup> ) | 備 考  |
|-------|---------------------|------------------------|--|
| 八代海   | 32.49               | 1,200                  | 閉鎖度指標 <sup>注)</sup> = $(S^{1/2} \times D_1) / (W \times D_2)$<br>ここで、S ; 湾内の水面面積<br>D <sub>1</sub> ; 湾内の最深部の深さ<br>W ; 湾口の幅<br>D <sub>2</sub> ; 湾口の最深部の深さ |
| 有明海   | 12.89               | 1,700                  |  |
| 鹿児島湾  | 6.26                | 1,040                  |  |
| 陸奥湾   | 2.92                | 1,668                  |  |
| 噴火湾   | 1.90                | 2,485                  |  |
| 東京湾   | 1.78                | 1,380                  |  |
| 伊勢湾   | 1.52                | 2,130                  |  |
| 瀬戸内海  | 1.13                | 21,827                 |  |

[出典]平成5年8月27日付環境庁告示第67号

注) 閉鎖度指標：この数値が高いと、海水交換が悪く富栄養化のおそれがあることを示す。水質汚濁防止法では、この指標が1以上である海域等を排水規制対象とした。

また、諫早湾は、有明海の湾奥の西側にある支湾で、その面積は約75km<sup>2</sup>、流域面積は約328km<sup>2</sup>、容積は約5億m<sup>3</sup>とそれぞれ有明海の4.4%、4.0%、1.5%を占めている(表3-2)。なお、調整池についても参考として面積、容量等に係る諸元を表3-2に示した。

表3-2 有明海・諫早湾・調整池に関する面積、容量等の諸元

| 項 目                                     | 有明海 <sup>注1)</sup> | 諫早湾 <sup>注2~4)</sup><br>(有明海に対するパーセント) | 調整池<br>(有明海に対するパーセント)     |
|---|--------------------|--|---------------------------|
| 面 積(km <sup>2</sup> )                   | 約1,700             | 約75(4.4%)                              | 約20(1.2%)<br>(管理水位標高-1m時) |
| 流域面積(km <sup>2</sup> )                  | 約8,300             | 約328(4.0%)                             | 約249(3.0%)                |
| 容 量(億m <sup>3</sup> )                   | 約340               | 約5(1.5%)                               | 約0.29(0.08%)              |
| 年間流入量(億m <sup>3</sup> )<br>(昭和53~62年平均) | 約145               | 約6.6(4.6%)                             | 約4.3(3.0%)                |
| 潮 位 朔望平均満潮位 <sup>注5)</sup>              | 標高 +2.563m         |  | 管理水位<br>標高-1.0~-1.2m      |
| 調整池水位 朔望平均干潮位 <sup>注5)</sup>            | 標高 -2.358m         |  |                           |

[出典：日本海洋学会 日本全国沿岸海洋誌[1985]；九州農政局 諫早湾干拓事業計画(一部変更)に係る環境影響評価書；九州農政局 国営諫早湾土地改良事業変更計画書；気象庁 平成15年潮位表]

注1) 有明海のデータには、潮受堤防内に係るものを含む。

注2) 諫早湾の面積、容量には、潮受堤防内に係るものは含まない。

注3) 諫早湾の流域面積は、地形図を用いて求めた。

注4) 諫早湾の容量は深浅測量結果から概略的に算定した。

注5) 朔望平均満潮位、朔望平均干潮位は湾奥の気象庁大浦検潮所のデータによる。

## (2) 流入水量・負荷量

有明海の流域は、東側の福岡県、熊本県側に偏っていることから、東側の沿岸に河口を有する河川からの流入水量が多く、それに対応して有明海に流入する負荷量も東側の河川で多くなっている。図 3-2 には、平成 13 年（2001 年）における有明海への流入水量、流入負荷量の流域別の割合を示している。この図からわかるように、有明海に最も多くの水量と負荷量を注いでいる河川は筑後川であり、流入量で 32%、COD 負荷量で 29% を占めている。また、これに有明海湾奥に東側から流入する矢部川と湾中央に東側から流入する菊池川、白川、緑川からのものも含めると、有明海の東側沿岸河川からの流入量は水量で全体の 66%、COD 負荷量で全体の 64% を占める結果となっている。さらに、直接流域についてもその半分が福岡県、熊本県の流域であることから、これらを含めれば、有明海に流入する水量と負荷量の約 7~8 割は有明海東側の流域から流入していることになる。

なお、本明川を含む諫早湾干拓調整池の流域からの流入水量及び負荷量は、有明海全体の 1~2 % となっている。

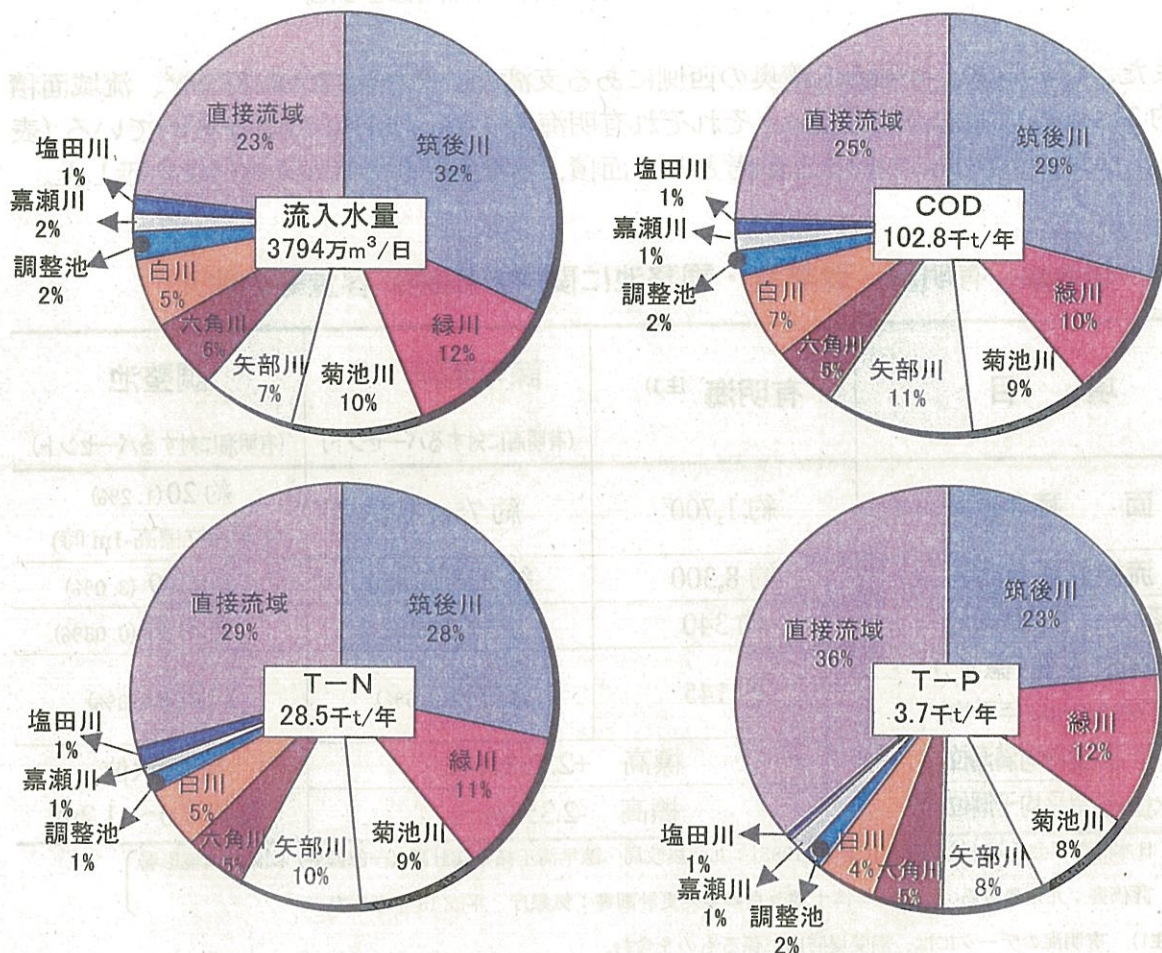


図 3-2 有明海における最近の流域別の流入水量及び流入負荷量（平成 13 年）

（出典：有明海海域環境調査報告書(2003),表 3.2.7 及び参表 3.2.2 から作成）



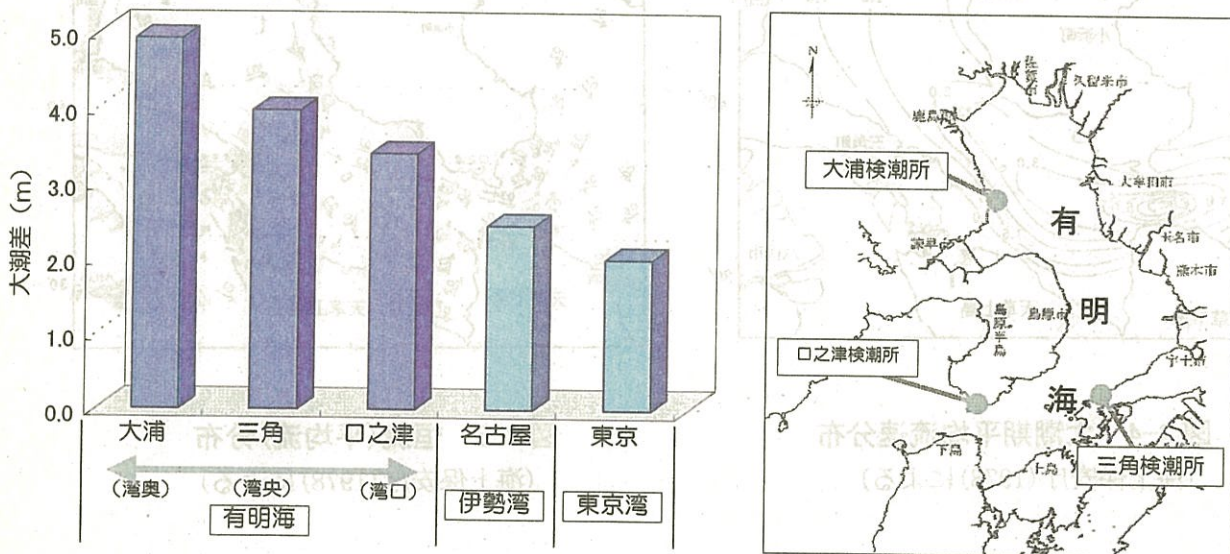
### (3) 潮位・潮流

#### ①潮位

有明海は、このような地形条件を反映して、図 3-3 に示すように我が国で最も潮差の大きい海域であり、潮差が湾口部から湾奥部に向かって大きくなっていくという特徴を有する。大潮差(大潮時の潮差の年平均値)で比較すると、有明海湾口部の口之津で 3.4m、湾央の熊本県三角で 4.0m、湾奥の佐賀県大浦で 4.9m となっている。

このような有明海内部での潮差の増幅は、外海の潮汐波が有明海に入ると、有明海の地形条件から決まる固有振動周期が潮汐波の半日周期に近いために、湾内で共振現象を起こすことにより生じている。

なお、我が国各地の大潮差と比較すると、太平洋に面した東京湾、伊勢湾の大潮差は、それぞれ 2.0m、2.5m であり、有明海では湾口において既に大きい大潮差がさらに湾内で増幅されることにより、有明海の特徴である我が国最大級の干満差を形成している。



注) 大潮差は、気象庁の潮位実況の最近5カ年間(平成9~13年)の朔望満潮位と朔望干潮位の差を表示。

図 3-3 有明海、伊勢湾及び東京湾の大潮差

#### ②潮流

一方、有明海の潮流は、平均大潮時の最強流速で湾口部の早崎瀬戸で 6.6 ノット(3.3m/s)、湾央で 1.5~2 ノット(0.8~1 m/s)、さらに、湾奥で 1~1.5 ノット(0.5~0.8m/s)を示すとともに(図 3-4)、流向は、湾軸方向に半日周期で変化し、上げ潮時と下げ潮時で概ね逆向きとなっている。

さらに、潮流の恒流(平均流)分布からは、図 3-5 に示すように、有明海の湾奥部と湾央部で反時計回りの傾向が、これより南では湾口に向かう傾向がみられる。

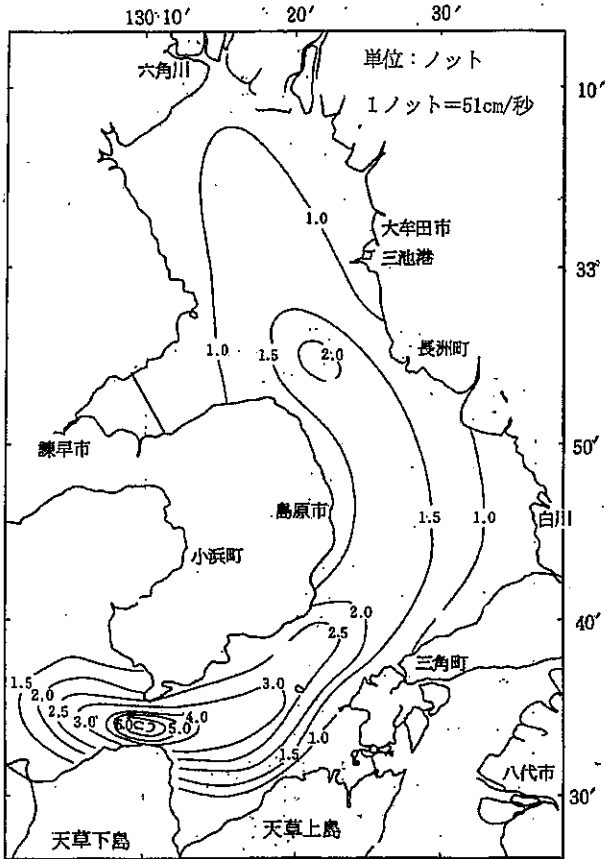


図 3-4 大潮期平均流速分布  
(海上保安庁(1978)による)

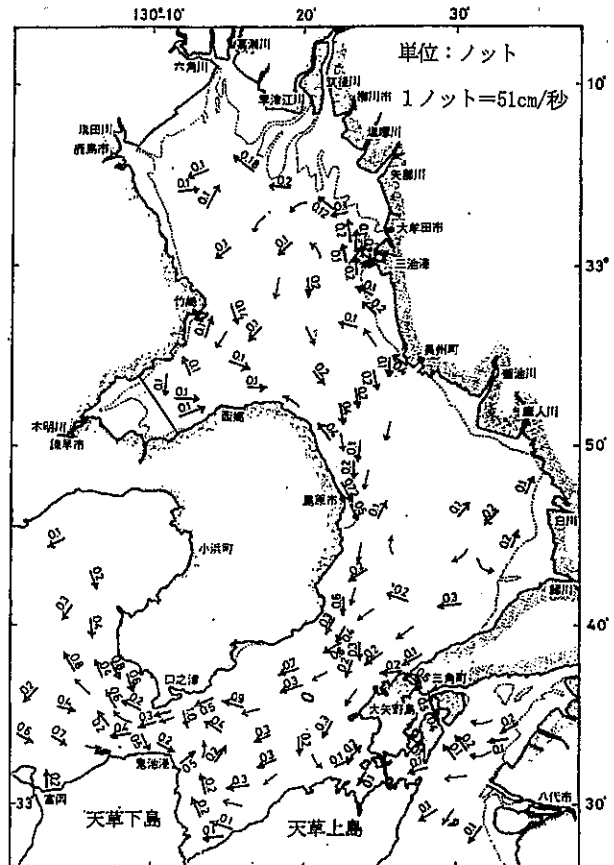


図 3-5 恒流(平均流)分布  
(海上保安庁(1978)による)

#### (4) 水質

有明海においては、昭和46年に海域全体を16の水域に区分した上で、化学的酸素要求量(COD)等の生活環境項目について環境基準の類型指定が行われ、有明海の大部分はA類型(COD:2mg/L以下)に指定されている。また、栄養塩(全窒素(T-N)、全リン(T-P))に関しては平成12年に5水域に区分して環境基準の類型指定が行われ、福岡県・佐賀県地先と熊本県地先が類型Ⅲ(T-N:0.6mg/L以下、T-P:0.05mg/L以下)、諫早湾を含むそれ以外の水域が類型Ⅱ(T-N:0.3mg/L以下、T-P:0.03mg/L以下)に指定されている。

有明海における水質の観測体制として、水質汚濁防止法に基づき、関係各県の環境部局により、諫早湾内の4地点を含む51地点の公共用水域環境基準点で水質の常時監視が実施されている。また、水産庁の漁場モニタリング事業による浅海定線調査や、独立行政法人水産総合研究センター西海区水産研究所、九州農政局、関係大学等により、それぞれの目的に従った調査が行われている。

##### ①塩分、水温

有明海における塩分と水温は、浅海定線調査のデータを、図3-6の右上に示す有明海(イ)から有明海(ホ)の5つの海域区分毎に整理した上で、年平均値の経年変化を図3-6に示す(ただし、有明海(ハ)については該当する測定地点がなく未表示)。この図から有明海の塩分と水温の経年変化をみると、塩分についてはほぼ横ばい傾向にあるものの、水温については近年僅かながら上昇傾向にある。

諫早湾内の塩分と水温については、諫早湾干拓事業の環境モニタリングによる観測データに基づき、3地点の年平均値の経年変化を図3-7に示す。有明海全域の傾向と同様に、塩分についてはほぼ横ばい傾向、水温については近年僅かながら上昇傾向にある。

##### ②化学的酸素要求量、全窒素、全リン

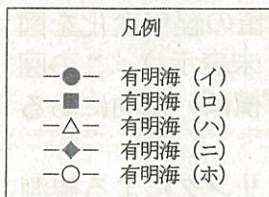
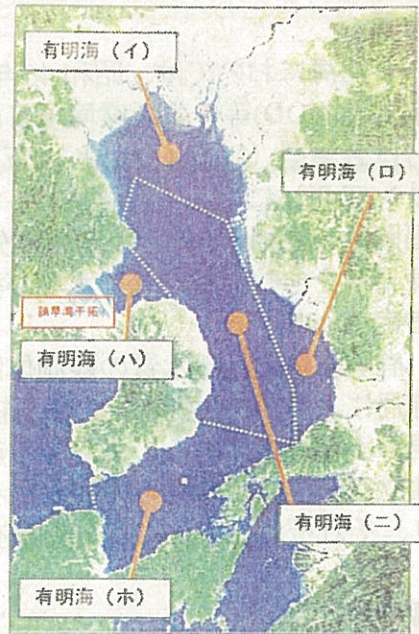
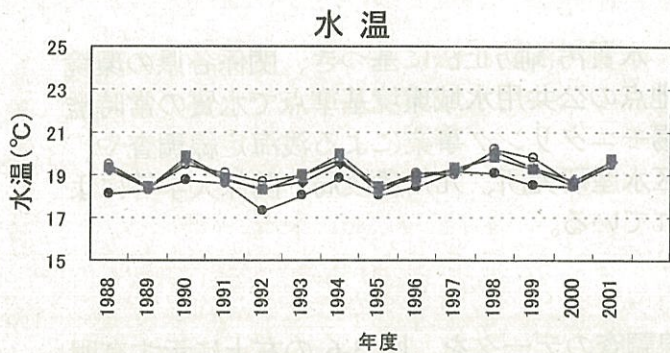
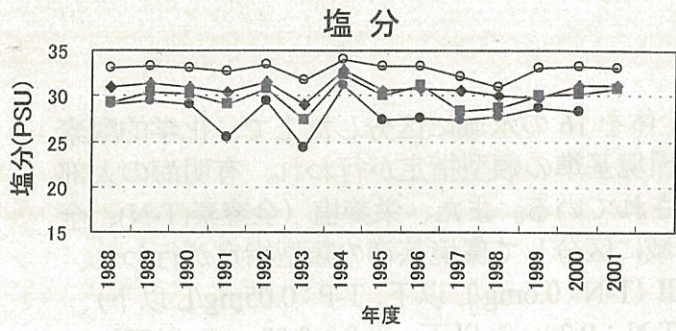
有明海の化学的酸素要求量(COD)、全窒素(T-N)、全リン(T-P)については、公共用水域水質測定の実測地点のデータを、塩分・水温と同じ5つの海域区分毎に整理した上で、年平均値の経年変化を図3-8に示す。

COD(酸性法)は、有明海(イ)の福岡県・佐賀県沿岸域では近年上昇傾向にあるものの、その他の海域では横ばい又は減少傾向となっている。なお、COD(アルカリ性法)は、検討できる海域に限られるものの、経年的にはほぼ横ばい傾向で推移しており、COD(酸性法)より低い値となっている。

T-Nについては、1990年代前半(平成2～7年)はほぼ横ばい傾向にあるものの、後半は微減傾向で推移している。(図3-8)、図3-9に示す無機態窒素の経年変化からは、有明海(イ)で硝酸態及び亜硝酸態窒素、アンモニア態窒素ともに高い傾向がみられ、近年アンモニア態窒素が微増する傾向がみられる。また、T-Pについては、1990年代以降(平成2年～)、ほぼ横ばい傾向にある(図3-8)。

図3-10には、諫早湾のCOD(酸性法)、T-N、T-Pについて、環境モニタリングの実測データから整理した経年変化を示す。

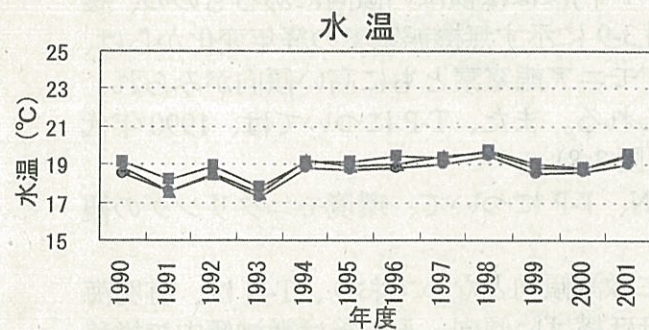
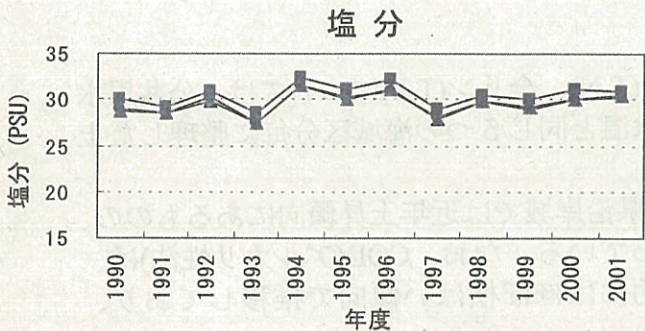
諫早湾においてはCOD(酸性法)は経年的に微減傾向となっており、T-Nは、有明海全域と同様に1995年(平成7年)頃まではほぼ横ばい傾向、その後は微減傾向で推移している。T-Pについても有明海と同様に経年的にはほぼ横ばい傾向にある。



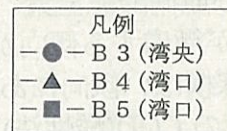
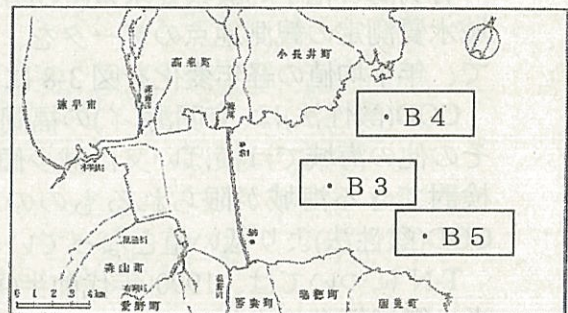
注1) 有明海海域区分毎の浅海定線調査測定地点  
 有明海(イ)：佐賀 9, 佐賀 10  
 有明海(ロ)：熊本 12, 熊本 15, 熊本 16  
 有明海(ハ)：該当する測定地点がなく未表示  
 有明海(ニ)：佐賀 11, 熊本 8, 熊本 14, 熊本 20  
 有明海(ホ)：熊本 A, 熊本 2, 熊本 6

注2) 佐賀県・熊本県の浅海定線調査結果を基に作成

図 3-6 有明海における塩分、水温の経年変化(浅海定線調査)

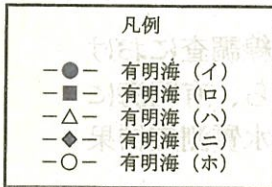
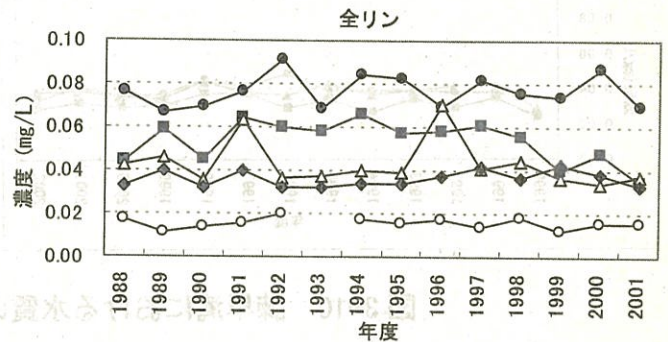
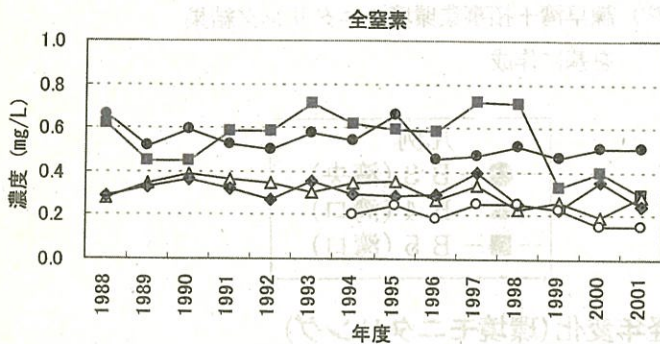
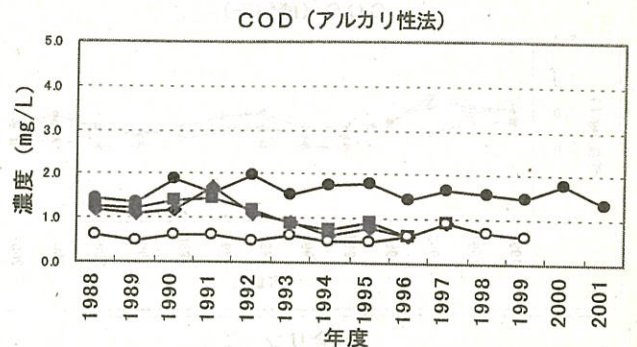
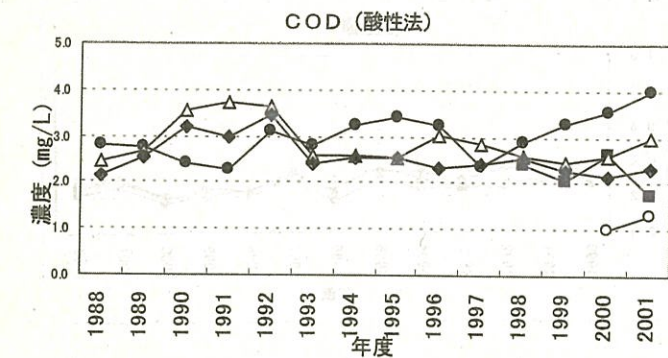


諫早湾干拓事業環境モニタリング地点



注) 諫早湾干拓事業環境モニタリング結果を基に作成

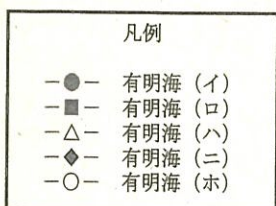
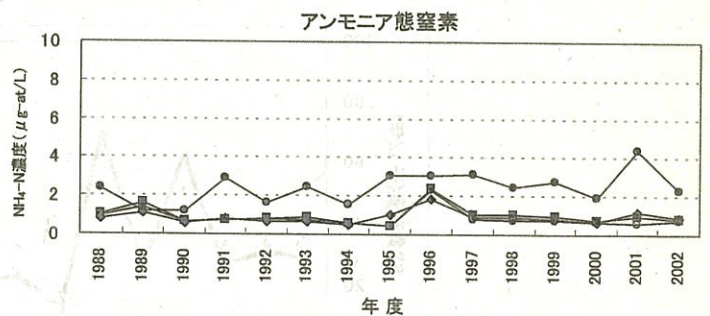
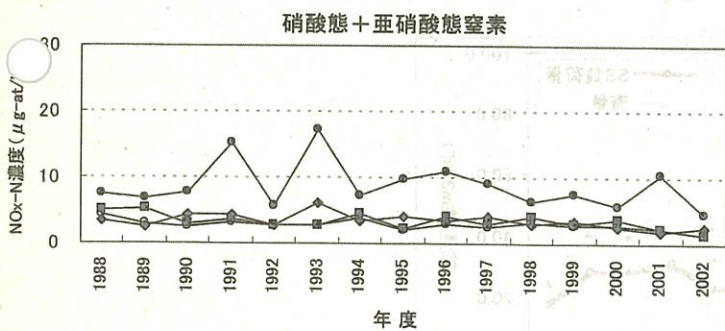
図 3-7 諫早湾における塩分、水温の経年変化(環境モニタリング)



注1) 測定地点：  
 有明海 (イ)：(福岡県) St-6、St-8、St-9、  
                   (佐賀県) B-3、B-4、B-5、A-1、A-2  
 有明海 (ロ)：(熊本県) St-2、St-5、St-7、St-9  
 有明海 (ハ)：(長崎県) B-1、B-4、B-5  
 有明海 (ニ)：(長崎県) B-2、(熊本県) St-1  
 有明海 (ホ)：(長崎県) 瀬詰崎沖

注2) CODは、海域毎の酸性法、アルカリ性法の測定点における平均値  
 注3) 経年変化は、海域区分毎の各測定地点の年平均値  
 注4) 公共用水域水質測定結果を基に作成

図3-8 有明海における水質の経年変化 (公共用水域水質測定)



注1) 測定地点：  
 有明海 (イ)：(佐賀県) St-9、St-10  
 有明海 (ロ)：(熊本県) St-12、St-15、St-16  
 有明海 (ニ)：(佐賀県) St-11、(熊本県) St-10、St-14  
 有明海 (ハ)：該当する測定地点がなく未表示  
 有明海 (ホ)：(熊本県) St-1、St-3、St-4、St-5

注3) 佐賀県・熊本県の浅海定線調査結果を基に作成

注2) 経年変化は、海域区分毎の各測定地点の年平均値

図3-9 有明海における無機態窒素の経年変化 (浅海定線調査)

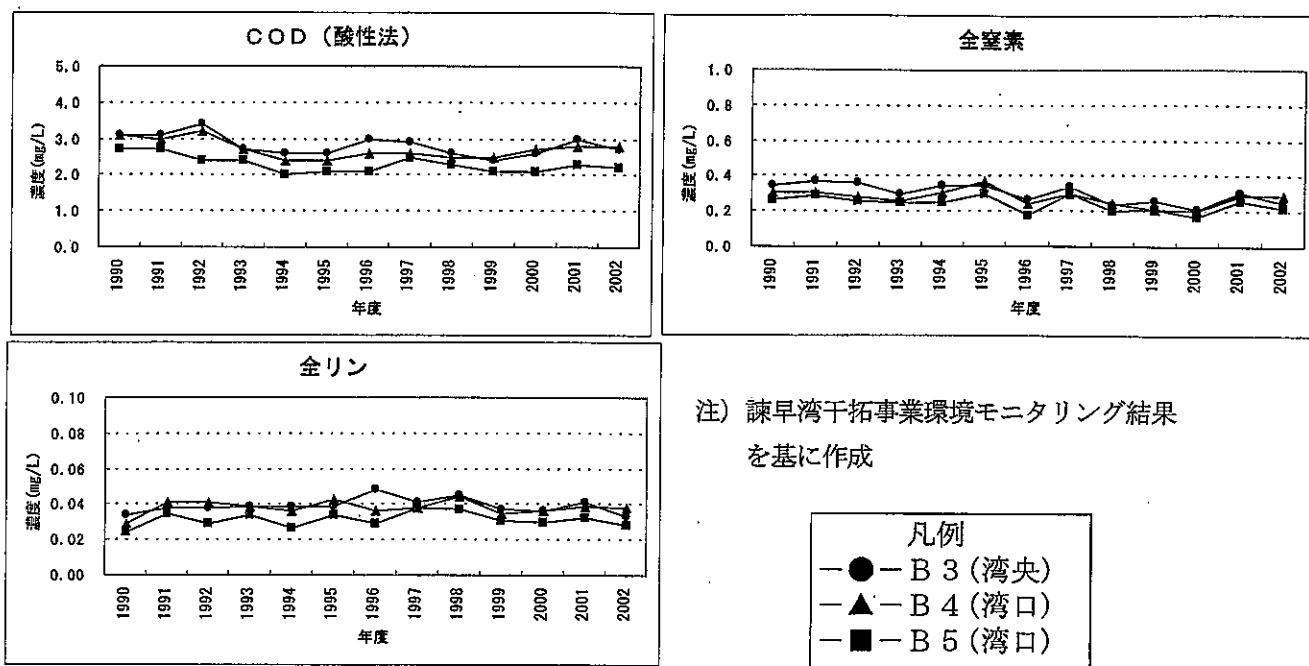
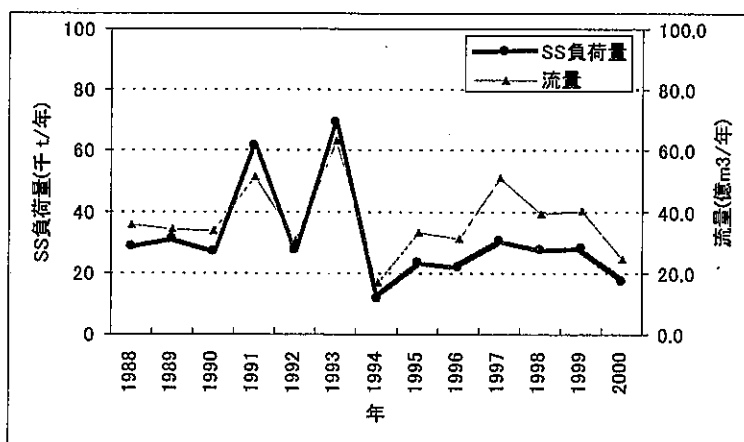


図 3-10 諫早湾における水質の経年変化(環境モニタリング)

### ③浮遊物質質量

有明海における浮遊物質質量(SS)については、公共水域水質測定及び浅海定線調査における有明海湾奥部の福岡・佐賀県沖を除き、長期間の観測データがないことから、有明海に流入する主要 8 河川のうち最大流入量を占める筑後川の流入量と公共用水域水質測定結果から推定した SS 負荷量の経年変化を図 3-11 に示す。

筑後川から有明海に流入する SS の推定負荷量は、流入量に大きく左右され、1991 年(平成 3 年)と 1993 年(平成 5 年)が高くなっているが、1994 年(平成 6 年)以降は多量の流入量がなく、推定負荷量はほぼ横ばい傾向で推移している。



注 1) SS 負荷量は、筑後川瀬ノ下観測所の年間流量と同地点の公共用水質測定結果を基に推定

注 2) 流量は、流量年表((社)日本河川協会)の筑後川瀬ノ下観測所の流量

図 3-11 有明海へ流入する筑後川の流量と推定 SS 負荷量

### (5) 底質

底質 (6)

有明海は東京湾や伊勢湾などに匹敵する大きな内湾であるが、湾口部が狭いことや潮差が著しいことで、独特の堆積環境をもっている。その底質の水平分布には、湾口部の早崎瀬戸付近における岩盤が露出して無堆積の所から、湾奥の軟弱なガタ（潟土）が堆積する広大な泥質干潟に至るまでの幅広い変化がある。また、湾口より湾奥にのびる細長い砂質堆積物の分布域をはさんで、東西両側に泥質堆積物が分かれて分布するという特性をもつことが指摘されているが、顕著な泥質堆積物は、湾奥西部と湾中央部の東側（熊本沿岸部沖合）にかたより、湾奥東部は筑後川のデルタ性頂置層堆積物により特徴づけられている（日本海洋学会「日本全国沿岸海洋誌」（1985））。

図 3-12 には国調費調査で浮泥の巻き上げを考慮した泥質（Md  $\phi$  4 以上）の底質の分布範囲を示した。諫早湾の底質は、有明海湾奥西部の佐賀県沖の泥質の底質域から連続して、湾内の大部分が泥を主体としており、湾口南側で砂質となっている。

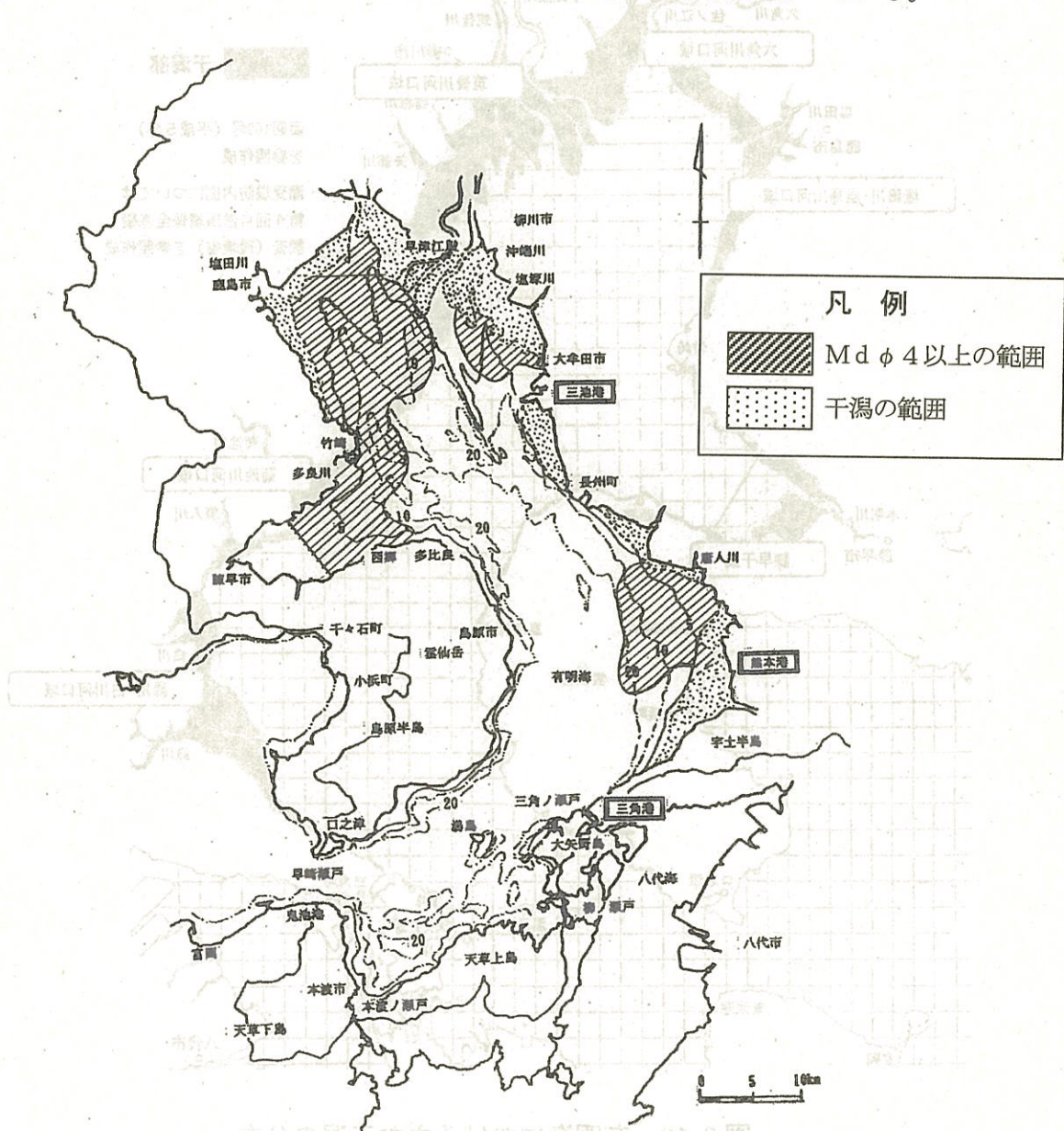


図 3-12 有明海における泥質の底質の分布状況

(出典：有明海海域環境調査報告書(2003))

## (6) 干潟

有明海は、全体に浅く湾口部が狭い内湾で、大きな潮汐の干満差や筑後川等からの大量の土砂流入、さらに流入した土砂を湾外に流出させない強い閉鎖性により、湾奥を中心として沿岸に広大な干潟が発達している。筑後川、矢部川、菊池川、白川、緑川などによって海域に搬入された土砂のうち粒径の大きな砂などは河口域やその近辺の湾内の東側に堆積し、砂質や砂泥質の干潟を形成している。一方、粒径の細かい粘土、シルトなどは沈降、堆積と巻き上げによる再懸濁を繰り返しながら反時計回りの循環流などによって輸送され、流れの弱い六角川河口域から南側に堆積し、泥質干潟を形成している。

有明海における主な干潟としては、塩田川・鹿島川河口域、六角川（及び嘉瀬川）河口域、筑後川河口域、菊池川河口域、緑川・白川河口域等の干潟が挙げられる(図3-13)。

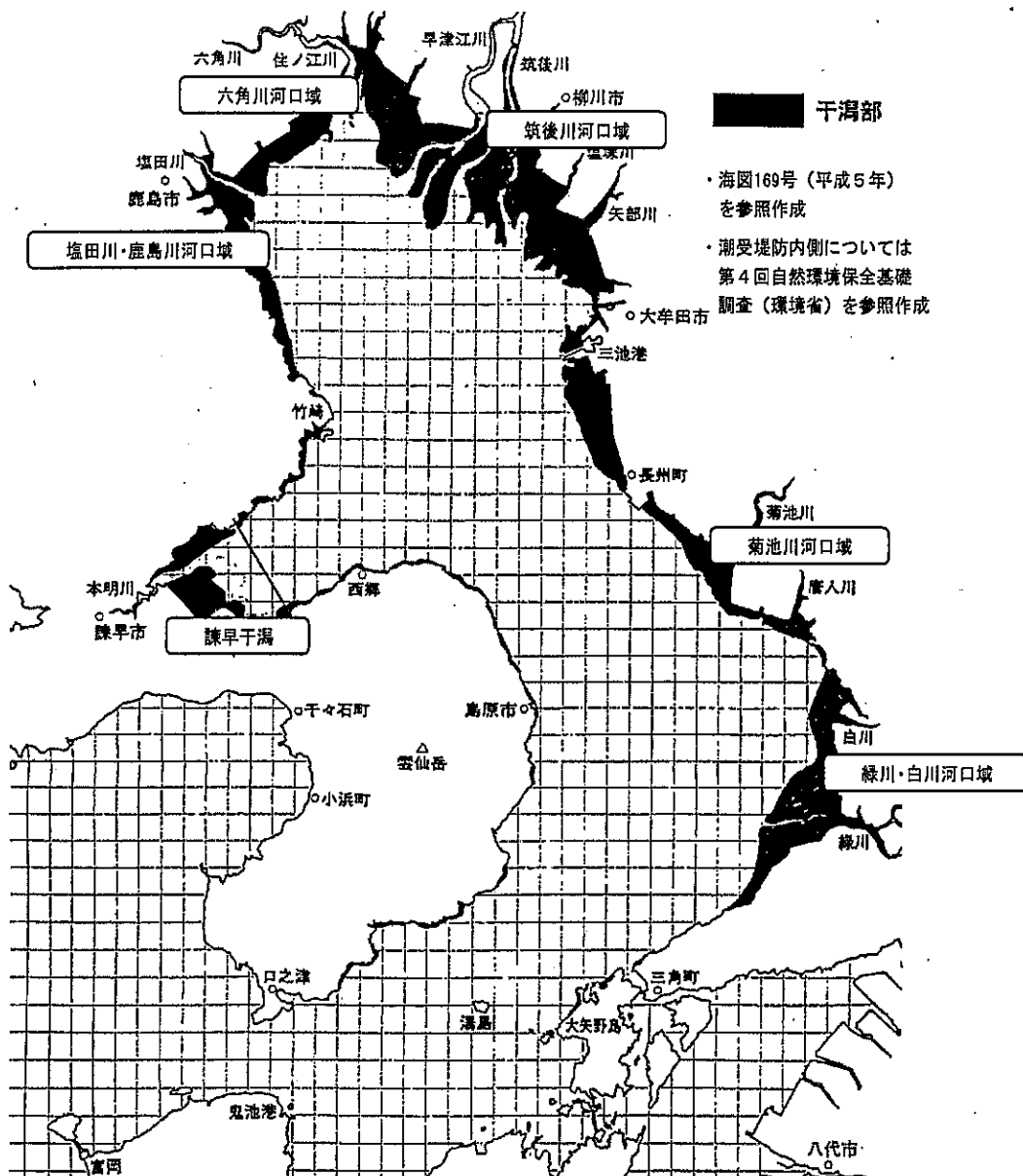


図3-13 有明海における主な干潟の分布



## 4. 短期開門調査の結果

### (1) 実施状況

#### ① 海水導入の状況

短期開門調査は、平成14年4月1日から4月23日までの間、通常の排水門の管理を行った状態での観測（事前）を行った後、調整池の水位を標高-1.0m から-1.2mの範囲で管理して、4月24日から5月20日までの間、調整池に海水約6,600万 $m^3$ を導入し、その後、淡水への回復過程を調査（事後）し、12月10日に現地観測を終了した（図4-1）。

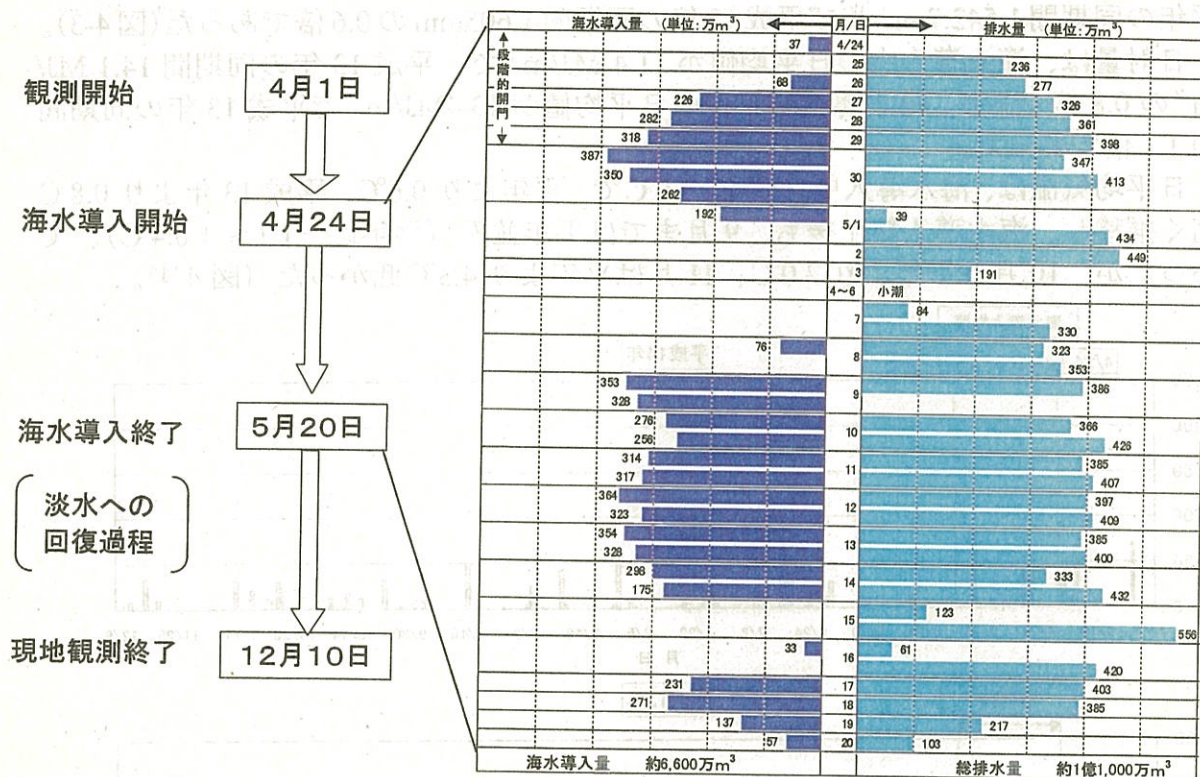


図4-1 調査期間、海水導入量、排水量

#### ② 被害回避対策の状況

海水導入に当たっては、背後地の塩害などの被害を防ぐため、土のうや仮設排水ポンプの設置などの対策工を講じ（図4-2）、昼夜を問わず潮遊池水位や排水状況等を監視し、潮遊池への塩水浸入の防止に努めたが、一部の潮遊池で塩化物イオン濃度が上昇した。

また、森山町の一部の地域では、田植えが1週間程度遅れるなどの支障が生じた。

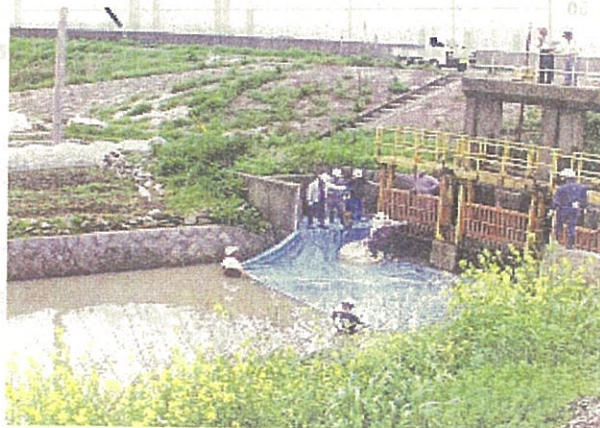


図4-2 背後地対策(土のうの設置)

一方、海水導入による調整池内の水生生物への影響軽減を図るため、魚類の採捕と避難放流を行ったが、海水導入によって調整池では、ギンブナ等の淡水性の魚類や二枚貝のドブガイが多量に斃死した。

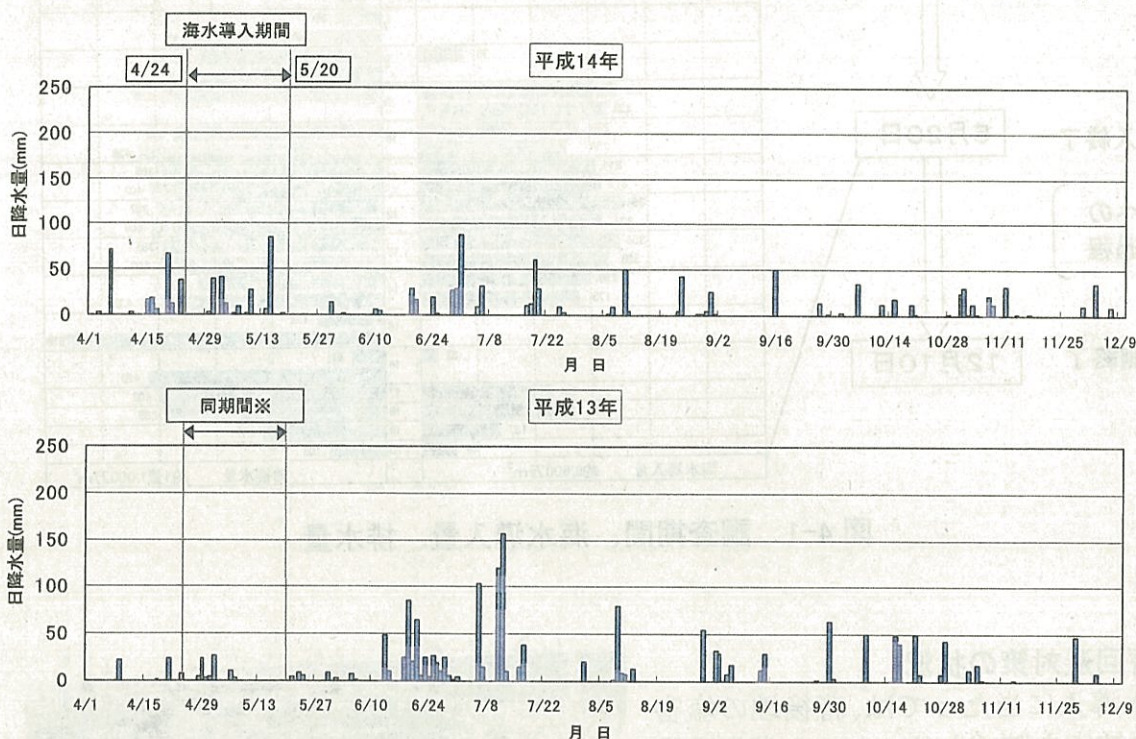
海水導入終了後については、例年に比べ降雨が少なく、調整池の再淡水化が当初想定した2ヵ月から6ヵ月に長期化し、背後地への塩水被害の不安が生じた。

## (2) 気象

降水量は、海水導入中の総量が230.0mmで、平年の同期間201.4mmの1.1倍、平成13年の同期間82.8mmの2.8倍であり、海水導入終了後の総量が904.3mmで、平年の同期間1,542.7mm及び平成13年の同期間1,605mmの0.6倍であった(図4-3)。

日射量は、海水導入中の日平均値が11.4 MJ/m<sup>2</sup>で、平成13年の同期間14.1 MJ/m<sup>2</sup>の0.8倍であり、海水導入終了後の日平均値が13.4 MJ/m<sup>2</sup>で平成13年の同期間の1.1倍であった。

日平均気温は、海水導入中、平均19.0℃で、平年より0.6℃、平成13年より0.8℃高く推移し、海水導入終了後も、9月までは平年並み(平年比-1.1~+0.4℃)、であったが、10月は平年より2.0℃、11月は平年より4.3℃低かった(図4-4)。



注) 同期間は、平成13年4月24日~5月20日である。

図4-3 日降水量の経時変化

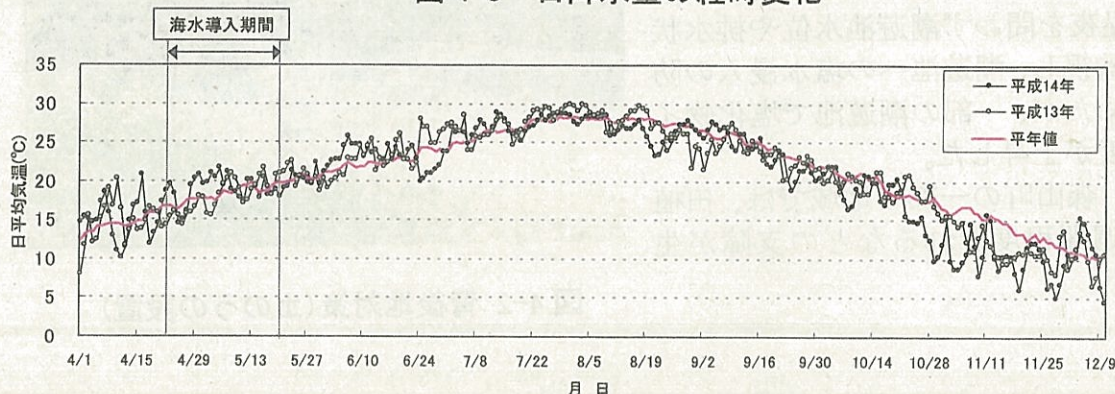


図4-4 気温の経時変化

### (3) 調整池水位と潮位・潮流

調整池の水位は、標高-1.0m から-1.2m の範囲で管理されたが、降雨後の小潮期には一時的に標高-0.73m まで上昇した。

海水導入によって潮受堤防排水門の通過水量が増加したが、そのことによる潮位への影響は、潮受堤防近傍の観測地点においてもほとんど認められなかった。

海水導入及び排水の潮流への影響は、潮受堤防排水門近傍の観測地点で主に排水時に観測され、諫早湾湾奥に限られた (図 4-5)。

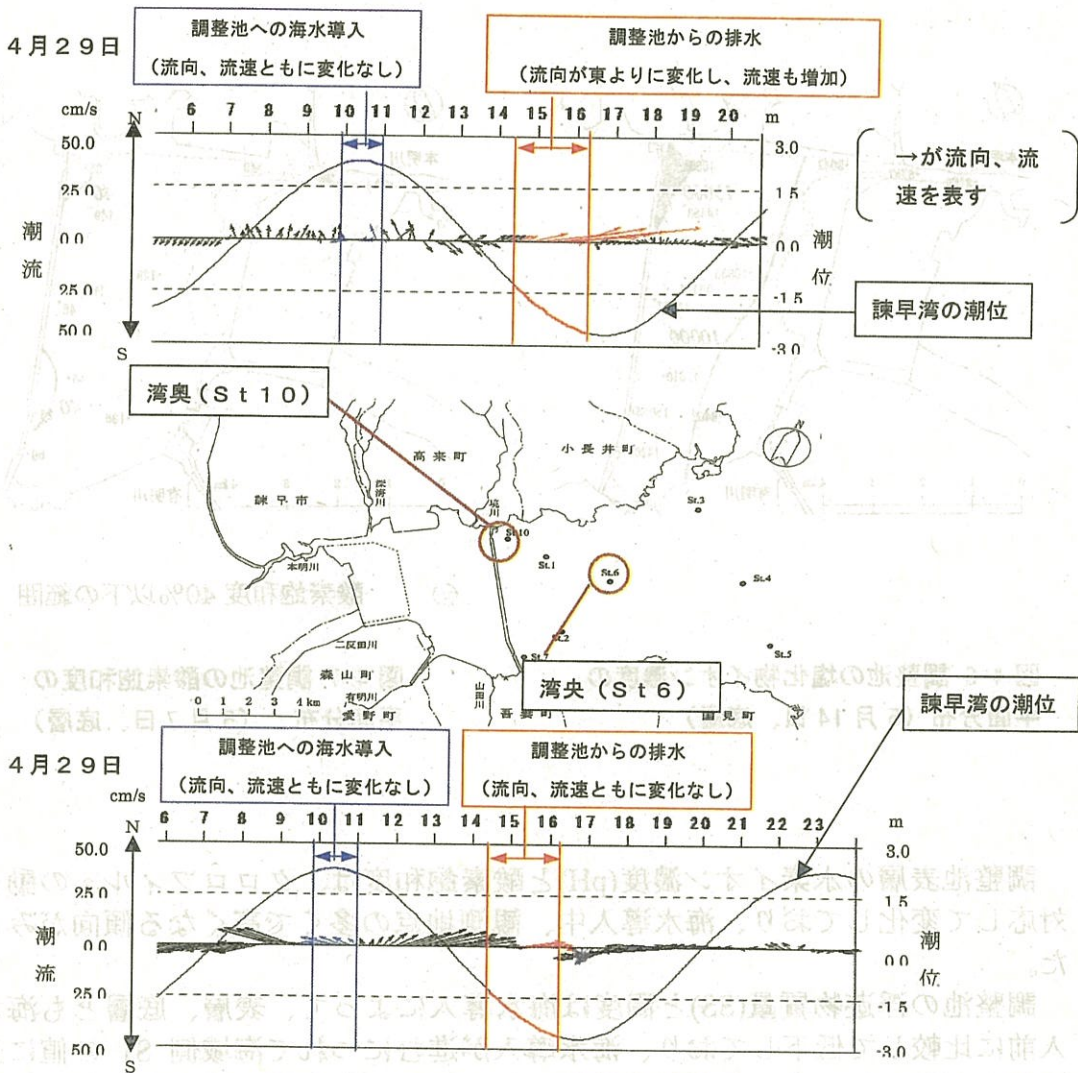


図 4-5 4月29日の潮流ベクトル (水深 2m)

#### (4) 水質

##### ①調整池

調整池の塩化物イオンは、海水導入に伴って約 96 万トンの塩化物イオン量が調整池に導入され、海水導入期間の後半には本明川や有明川河口付近等を除いたほぼ全域において、底層で 10,000mg/L、表層でも 5,000mg/L を上回った(図 4-6)。

海水導入直後から調整池内には塩分躍層が形成され、潮受堤防排水門付近の底層では一時的に貧酸素現象が観測された(図 4-7)。

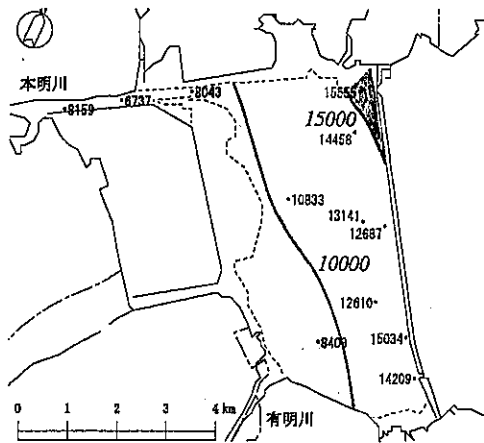
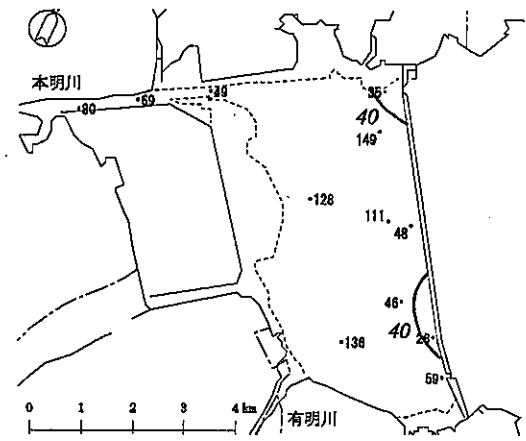


図 4-6 調整池の塩化物イオン濃度の平面分布(5月14日、底層)



○ 酸素飽和度 40%以下の範囲

図 4-7 調整池の酸素飽和度の平面分布(5月7日、底層)

調整池表層の水素イオン濃度(pH)と酸素飽和度は、クロロフィル a の動きに対応して変化しており、海水導入中、観測地点の多くで高くなる傾向がみられた。

調整池の浮遊物質(SS)と濁度は海水導入によって、表層、底層とも海水導入前に比較して低下しており、海水導入が進むにつれて海域側 S1 の値に近づく傾向がみられたが、負荷収支等から、これは、海水導入による希釈効果等に伴う現象と考えられる。なお、調整池の SS や濁度には、海水導入による希釈に加え、風による底泥からの巻き上げ等が影響を与えているものと考えられる。

調整池の化学的酸素要求量(COD)、栄養塩類(T-N、T-P)についても海水導入によって、表層、底層とも低下しており、海水導入が進むにつれて海域側 S1 の値に近づく傾向がみられ、これについても、海水導入による希釈効果等に伴う現象と考えられる。

海水導入によって、淡水と海水の混合域が調整池内に移動したが、海水導入期間の調整池から海域への排水中の COD 等の濃度は海水導入前と比較して低下した一方、水収支計算によると海域への日平均排水量が増加した。このため、潮受堤防排水門から海域への負荷の総量は海水導入前に比べてむしろ増加しており、潮受堤防近傍の海域水質に若干の影響を与えたものと考えられる。また、海水導入中における調整池の内部生産量は、負荷収支によれば、海水導入前に比べ若干大きな値であった（図 4-8）。

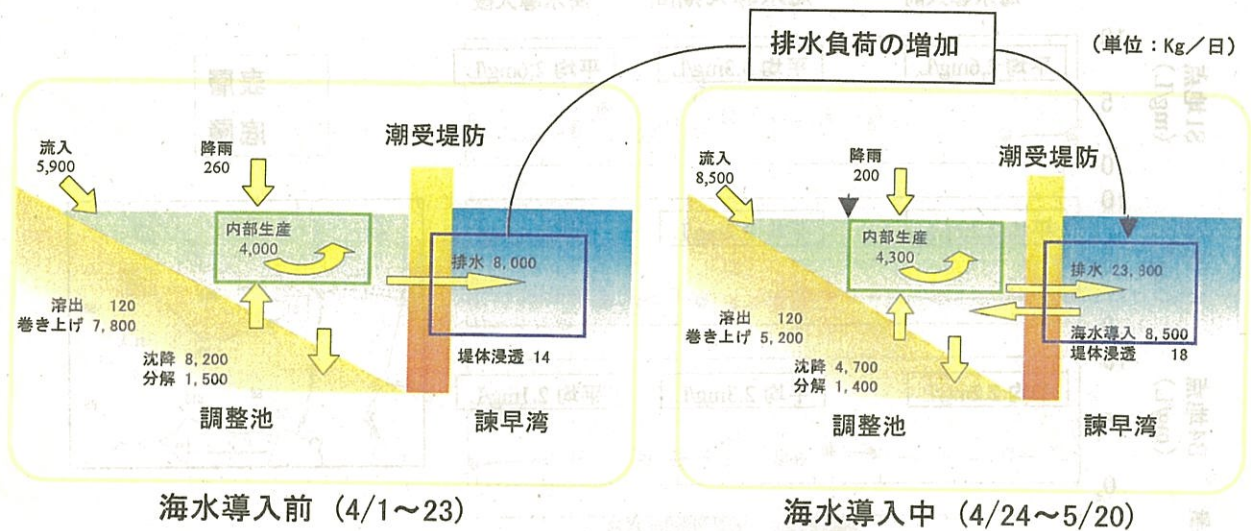


図 4-8 調整池内の負荷収支 (COD)

## ②海域

調整池への海水導入中、100mm 近い降雨の後、5月5日と5月18日の2回にわたり、諫早湾の塩化物イオン濃度が、平均濃度の3分の2程度まで低下した。

潮受堤防排水門から排水を行っていない5月5日には、表層では湾口北部の塩化物イオン濃度が湾奥より低かったことから、湾外北側から低塩分水が供給されたものと考えられる（図 4-9）。

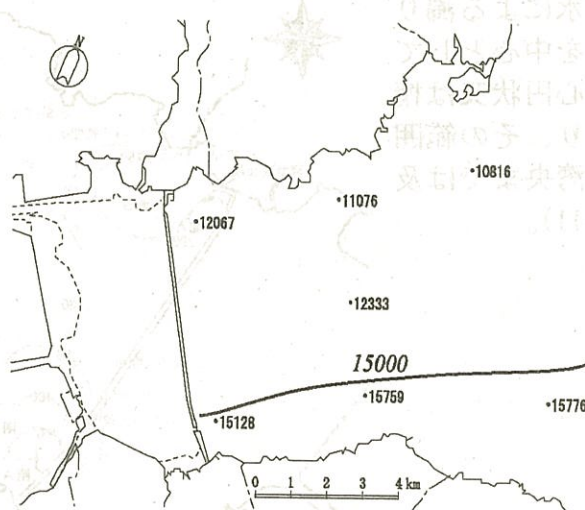


図 4-9 海域の塩化物イオン濃度の分布 (5月5日、表層)

調整池からの排水及び海水導入によって、海域への日平均排水量が増加したため、排水門から海域への負荷の総量は、海水導入を行わない場合に比較して増加し、海域のCOD等は、海水導入前後と比較して同じかやや高い水準で推移した(図4-10)。

諫早湾表層の塩化物イオン濃度の低下とほぼ同時期に、水温、酸素飽和度、水素イオン濃度(pH)、クロロフィルa等の上昇がみられた。

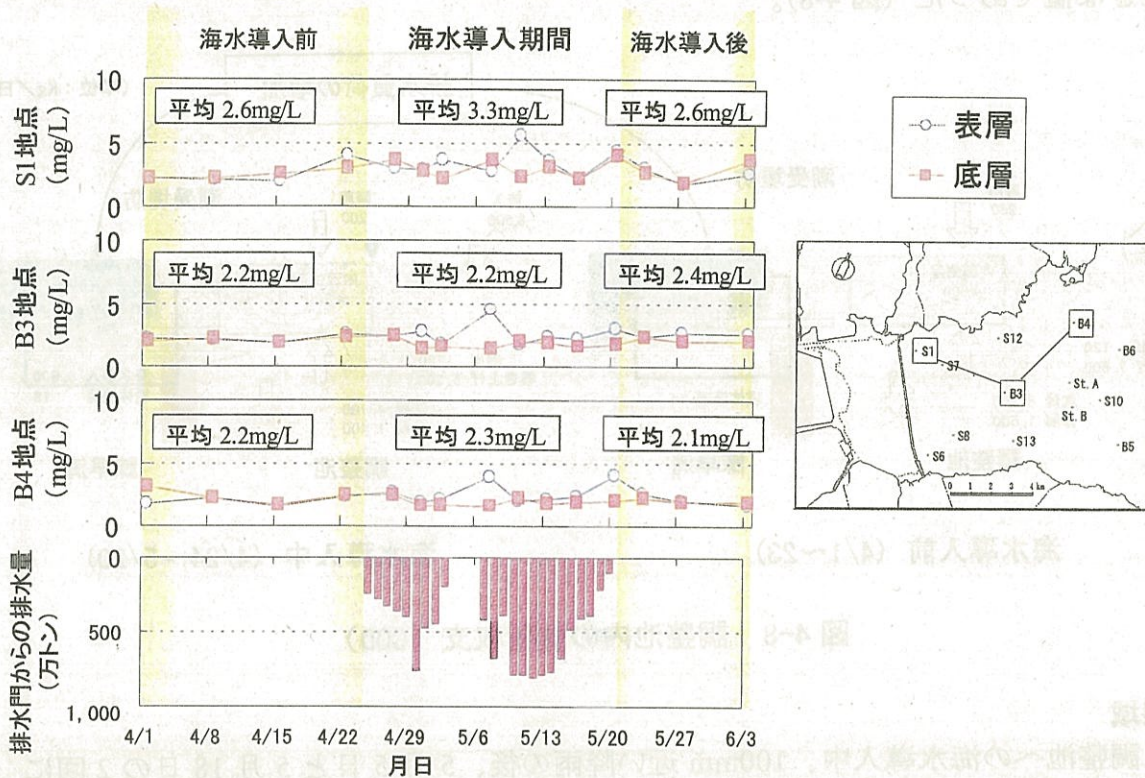


図4-10 海域におけるCODの経時変化

調整池からの排水による濁りの拡散は、排水門を中心として海域表層を薄く同心円状又は楕円状に広がっており、その範囲は湾奥に限られ、湾中央までは及ばなかった(図4-11)。

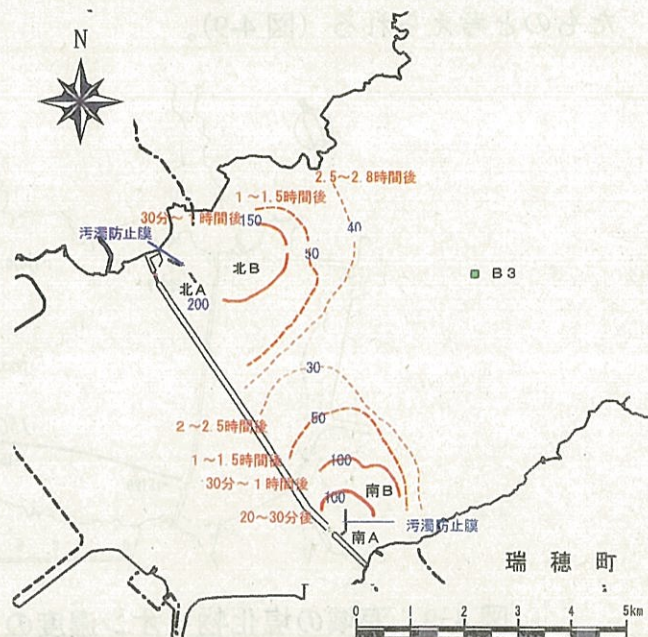


図4-11 排水の拡散範囲(4月27日:平面分布)

### (5) 底質

調整池の底質は、海水導入前後で、一部において、硫化物、酸化還元電位(ORP)、全窒素(T-N)、全リン(T-P)、フェオフィチンは変化した。その他の底質項目は、海水導入前後で変化はほとんどみられなかった。

海域の底質は、海水導入の前後で、一部において、硫化物、ORP 等が多少変化した。その範囲は潮受堤防排水門前面から湾中央に限られ、変化した地点も海水導入終了後の10月には海水導入前と同程度になっており、粒度組成、含水比、強熱減量等に著しい変化はみられなかった(図4-12)。

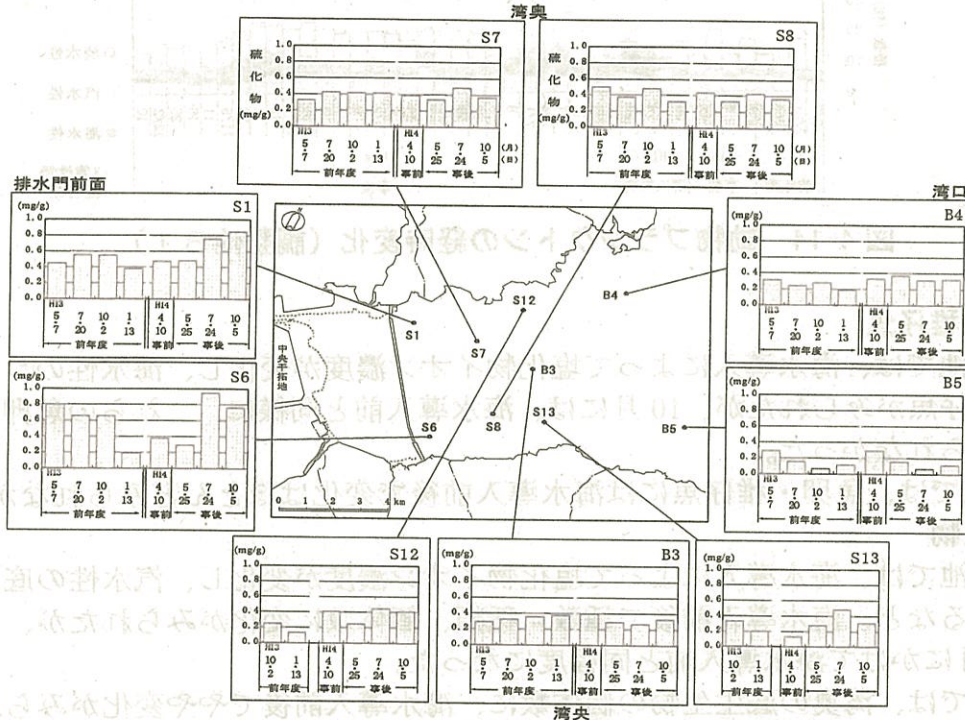


図 4-12 海域底質の硫化物の変化

### (6) 生物

#### ①植物プランクトン

調整池では、海水導入によって海水性の植物プランクトンが多くなるなど、その種類、細胞数に変化がみられたが、11月以降は海水導入前と同じ程度になった(図4-13)。

海域では、植物プランクトンの種数は海水導入終了後にやや多い傾向にあり、細胞数は調査日ごとの変動が大きかったが、海水導入前後の変化はほとんどみられなかった。

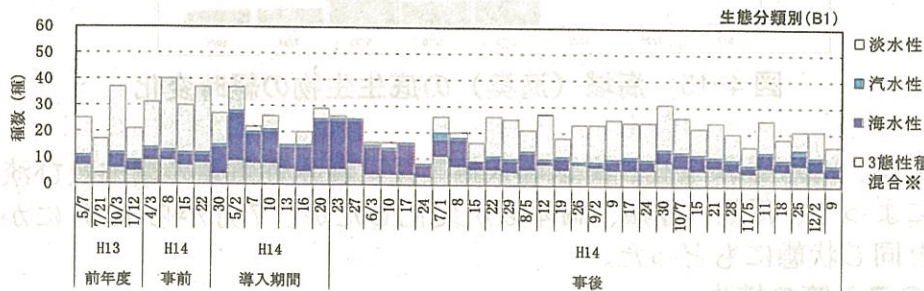


図 4-13 調整池の植物プランクトンの経時変化 (B1)

## ②動物プランクトン

調整池では、海水導入によって海水性の動物プランクトンが増えるなど、種類に変化がみられたが、8月以降は海水導入前と同様になった(図4-14)。また、個体数、沈澱量は海水導入前後で変化はみられなかった。

海域では、動物プランクトンの種数、種類、個体数ともに海水導入前後の変化はほとんどみられなかった。

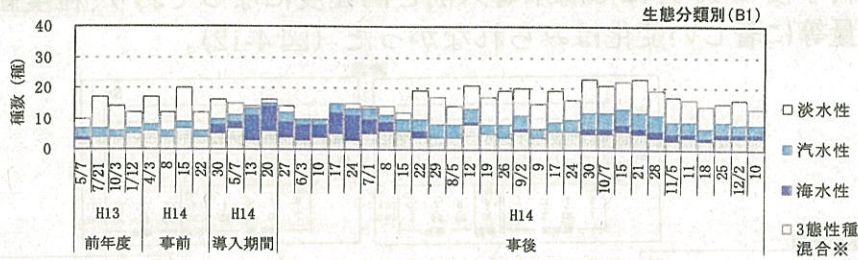


図4-14 動物プランクトンの経時変化(調整池B1)

## ③魚卵・稚仔魚

調整池では、海水導入によって塩化物イオン濃度が変化し、海水性のコノシロ卵、稚仔魚がみられたが、10月には、海水導入前と同様に、これらの魚卵や稚仔魚はみられなかった。

海域では、魚卵・稚仔魚には海水導入前後で変化はほとんどみられなかった。

## ④底生生物

調整池では、海水導入によって塩化物イオン濃度が変化し、汽水性の底生生物が増えるなど、海水導入前後で種数、種類、個体数に変化がみられたが、7月から10月にかけて海水導入前と同程度になった。

海域では、湾奥の底生生物の個体数に、海水導入前後でやや変化がみられたが(図4-15)、種数・種類には海水導入前後で変化はほとんどみられなかった。

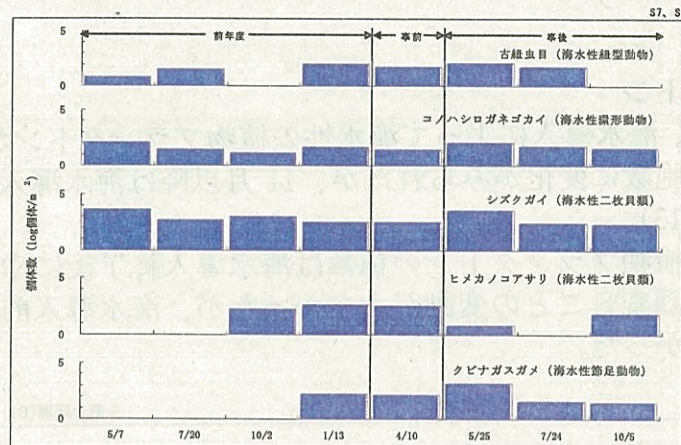


図4-15 海域(湾奥)の底生生物の経時変化

## ⑤魚類

調整池では、海水導入中及び海水導入終了後に海水性魚類の増加及び淡水性魚類の斃死によって、種数、種類、個体数が変化した。7月から10月にかけて海水導入前と同じ状態にもどった。

## ⑥調整池畔のヨシ等の植生

調整池畔の植生は、海水導入に伴う変化はほとんどみられなかった。



## 5. 干潟浄化機能調査の結果

干潟の泥質干潟 (S)

### (1) 調査の実施方法

干潟の水質浄化機能に関しては、これまで各種の調査手法と浄化機能の評価手法が提案されているが、これらの手法や考え方は未だ汎用化されたものがなく、得られた干潟の浄化機能の定量値も干潟の状況や調査時期により大きなばらつきがみられるのに加え、既存の調査結果はほとんどが砂質干潟に関するもので、有明海の泥質干潟の浄化能として一般に認知されたものはないのが現状である。

このようなことから、本調査においては、既存の調査手法や浄化機能の評価方法を調べ、各手法の長所・短所等を総合的に検討した結果、近年様々な干潟で調査がなされ、知見の集積が進んでいること等を踏まえ、干潟生態系モデルを有明海の泥質干潟において構築し、浄化機能の評価を行うこととした。

本調査では、有明海の現存の干潟の中から、諫早干潟に類似の干潟を選定し、この干潟域において水質、底質、底生生物等について詳細な現地調査等を行い、この結果に基づき泥質干潟の物質循環等を再現・評価できる干潟生態系モデルを構築した。さらに、このモデルを活用して、類似干潟の水質浄化機能の評価を行うとともに、諫早干潟の水質浄化機能を推定した。なお、調査実施手順の概要は次のとおりである (図 5-1)。

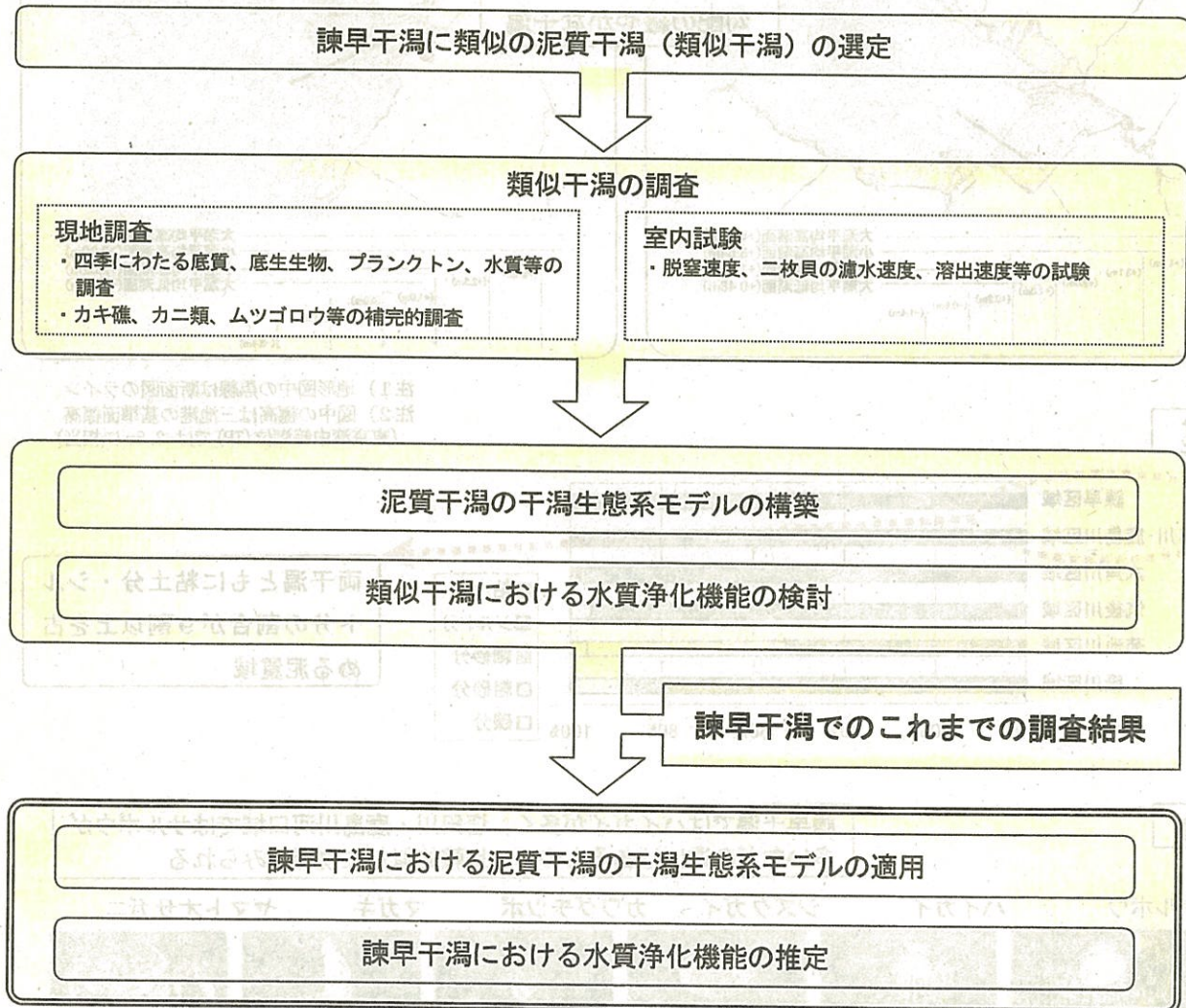
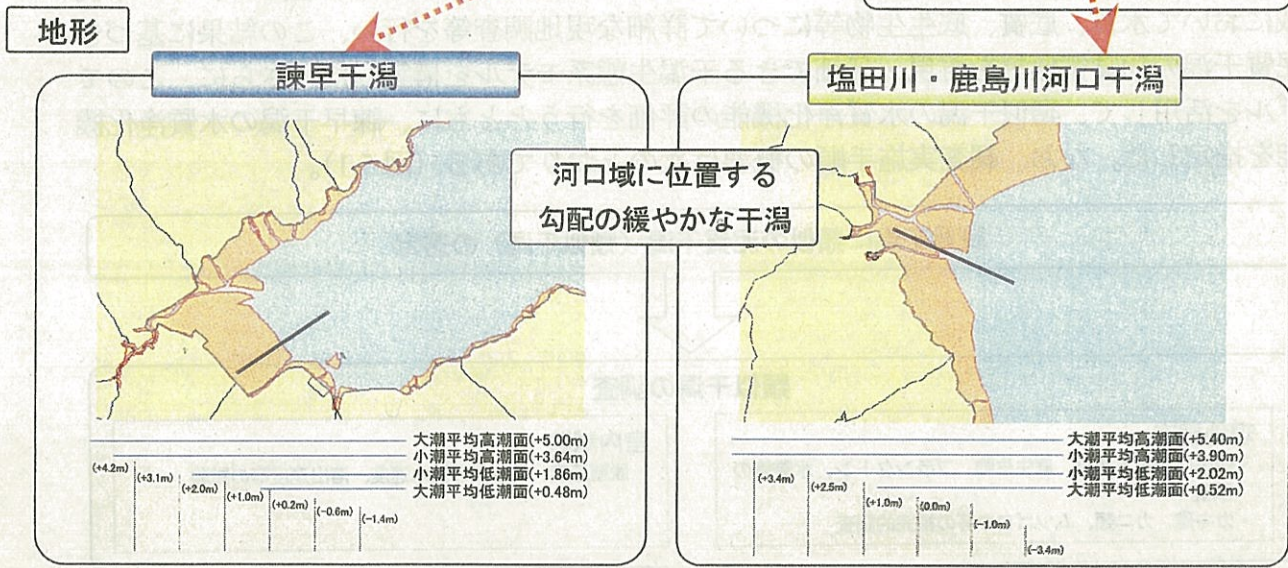
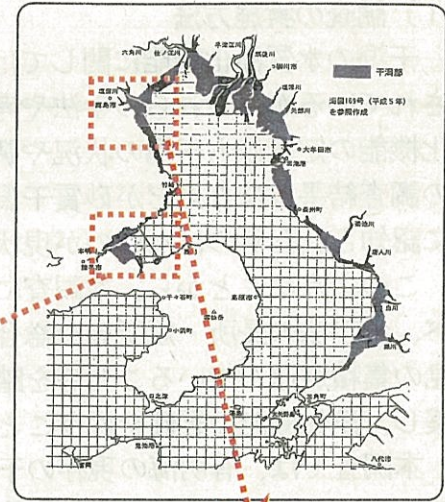


図 5-1 干潟浄化機能調査の実施手順

## (2) 類似干潟の選定

有明海に現存する干潟について、地形、底質、生物等の観点から比較・検討した結果、次のようなことを踏まえ、佐賀県の塩田川・鹿島川河口域を、諫早干潟に最も類似した干潟として選定した(図5-2)。

- ① 河川の河口域に位置する広大な干潟域
- ② 全域ほぼ均質の泥質の底質性状
- ③ 底生生物等の生物相が類似
- ④ 河川などの陸域からの流量、流入負荷量が近似



注1) 地形図中の黒線は断面図のライン  
注2) 図中の標高は三池港の基準面標高(東京湾中等潮位(TP)では-2.8mに相当)

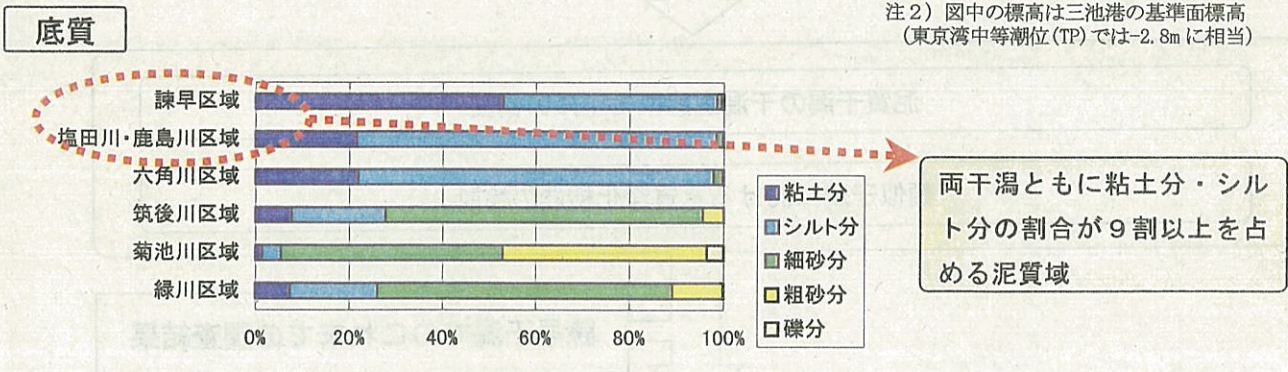


図5-2 諫早干潟と類似干潟(塩田川・鹿島川河口域)の比較

### (3) 類似干潟の現地調査・室内試験

泥質干潟の物質循環の特性を把握し、干潟生態系モデルの基礎データを取得するため、類似干潟で現地調査のほか、現地で採取したサンプルを用いて室内試験を行った(図5-3)。

#### ① 現地調査

底質は、粘土・シルト分が9割前後を占める泥質で、覆砂がなされている場所を除けば、ほぼ均質な底質性状がみられた(図5-4)。



図5-3 底質のサンプリング状況

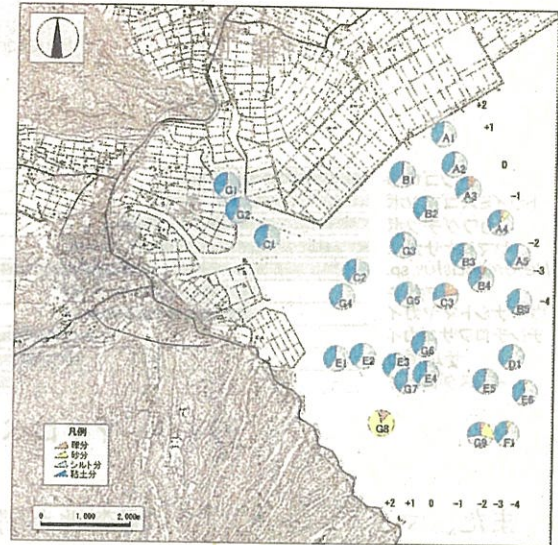


図5-4 粒度組成の水平分布

また、底質は表層近くから還元的な環境となっているとともに、表層では冬季に比べて夏季に還元的な環境となる傾向がみられた(図5-5)。さらに、底質の間隙水は、アンモニア態窒素やリン酸態リンが直上水と比較して高く、特に上層より下層が高くなる傾向がみられる一方、硝酸態窒素は夏季に0.01mg/L以下となるなど低い水準に止まった(図5-6)。

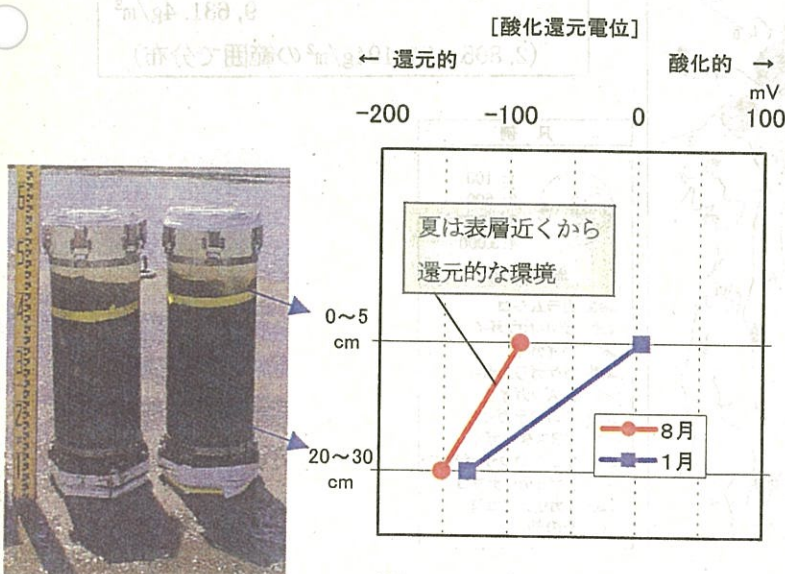


図5-5 底質の酸化還元電位

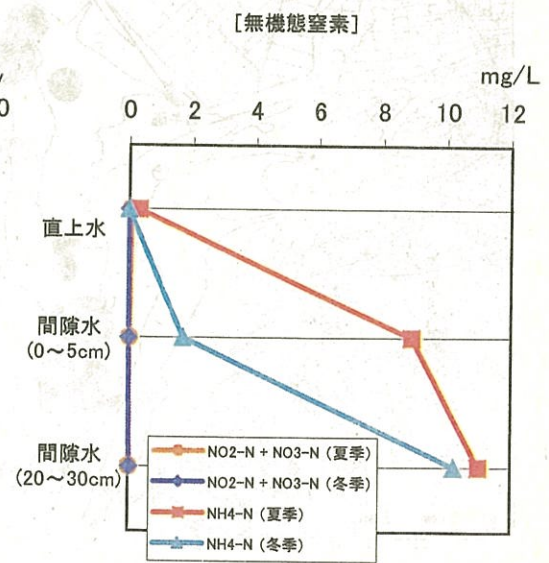


図5-6 間隙水等の無機態窒素

マクロベントス (1mm 以上の底生生物) は、岸寄りでカワグチツボなどの小型の巻貝類やイトゴカイ科の生物、沖寄りではイヨスダレガイが多くみられるとともに、サルボウについては+0.5~-1.5m の範囲に分布していた (図 5-7)。

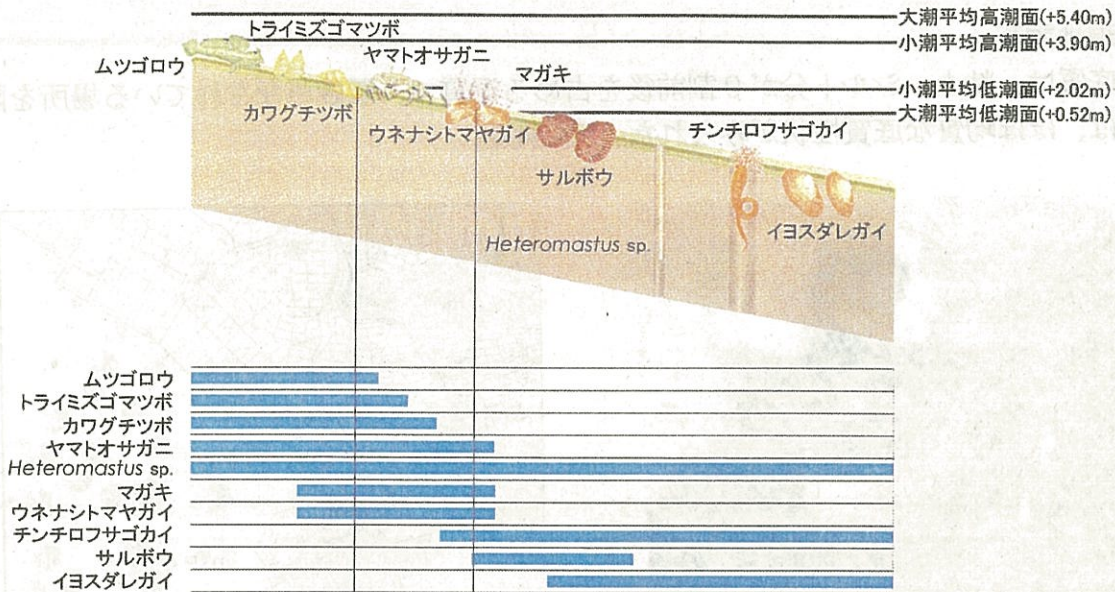


図 5-7 マクロベントスの岸沖方向の分布

また、マクロベントスは、調査地点間で現存量の差が大きく、サルボウ漁場において  $5\text{kg}/\text{m}^2$  を超える場所やカキ礁で  $20\text{kg}/\text{m}^2$  を超えるような地点が存在するなど人為的な関与条件にある環境を中心に大きな現存量がみられた。こうした場所を除くと、マクロベントスの湿重量が  $0.1\text{kg}/\text{m}^2$  以下の地点が多くみられた (図 5-8)。

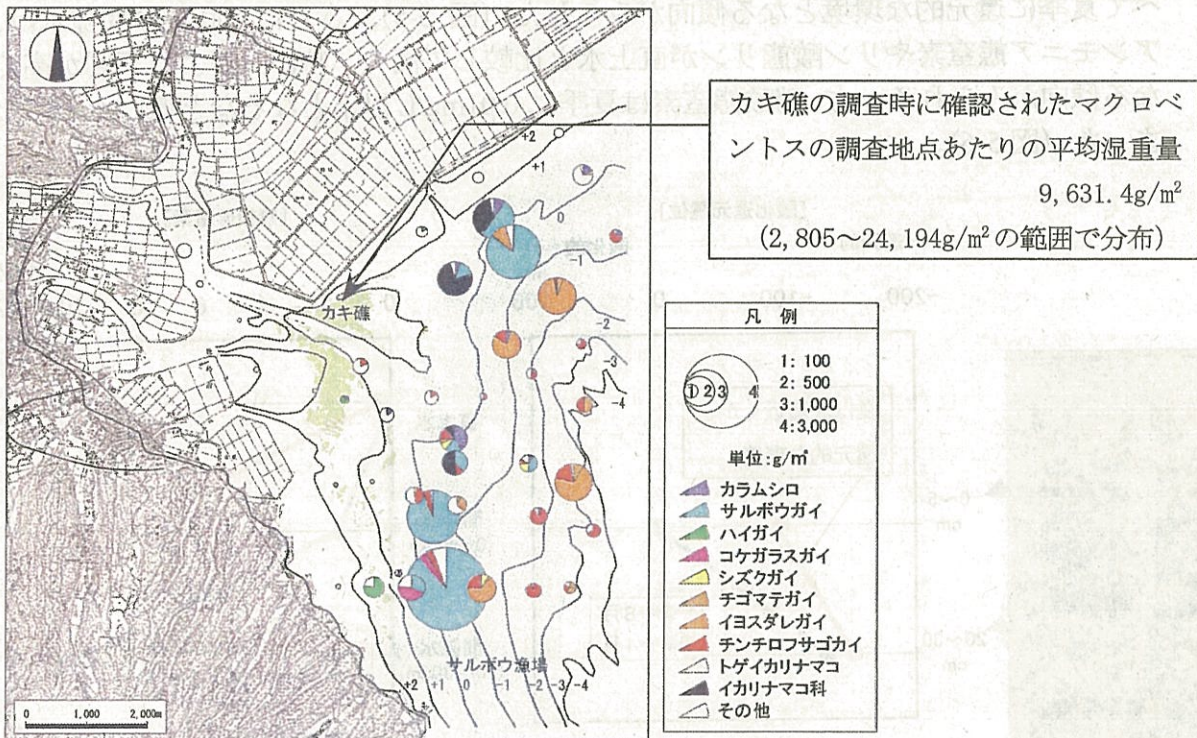


図 5-8 マクロベントス湿重量の水平分布

メイオベントス（1~0.1mmの底生生物）は、線虫綱が高い割合を占めていたほか、底質表層には付着性の珪藻とともに、プランクトン性の珪藻がみられた（図5-9）。このほか、ムツゴロウやヤマトオサガニについても、現存量とその分布範囲を調査した（図5-10）。

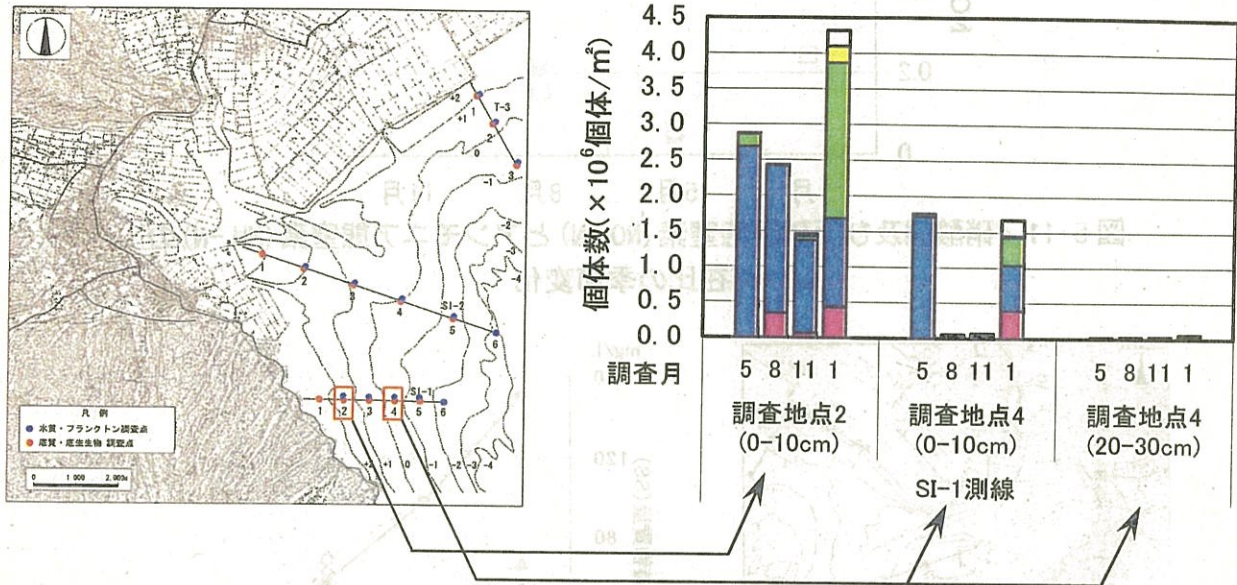


図5-9 メイオベントスの調査結果の例（SI-1 測線）

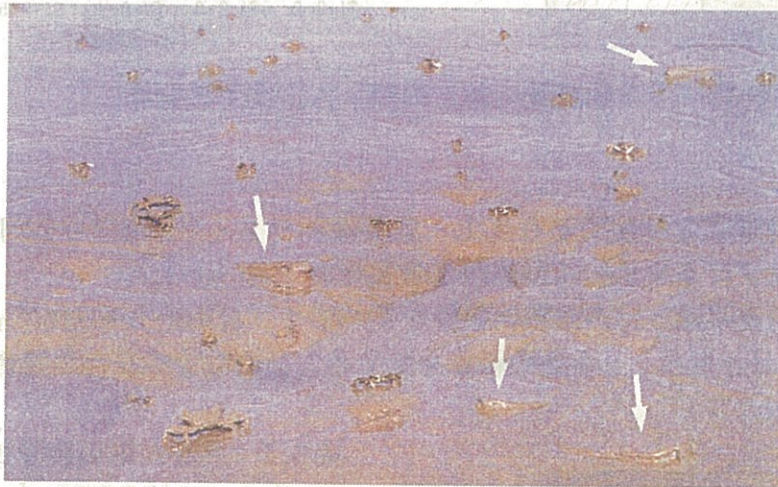


図5-10 ムツゴロウの現地状況

植物プランクトンは、5月と8月に微細鞭毛藻類等の小型の種が多く、1月には珪藻類 (*Skeletonema costatum*) が多くみられた。動物プランクトンは年間を通じて小型の種が多く確認された。

水質に関しては、水温、塩分、栄養塩類、溶存酸素等について季節変化を観測した。硝酸態及び亜硝酸態窒素とアンモニア態窒素の存在比率をみると、5月、8月にアンモニア態窒素の割合が高くなる傾向がみられた（図5-11）。また、浮遊物質量（SS）は岸寄りの地点で高くなる傾向等が確認された（図5-12）。

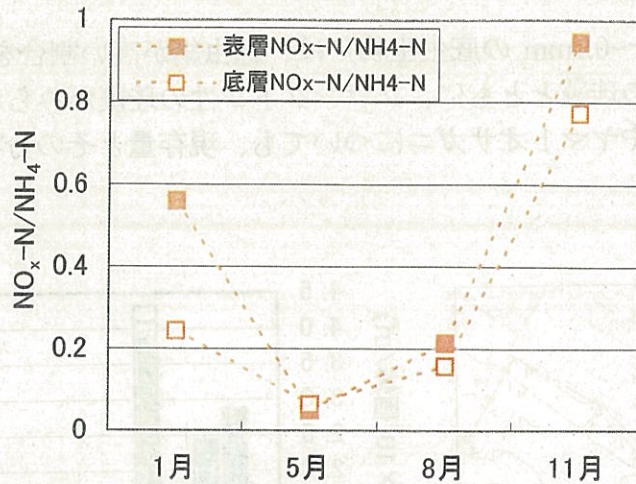


図 5-11 硝酸態及び亜硝酸態窒素 (NO<sub>x</sub>-N) とアンモニア態窒素 (NH<sub>4</sub>-N) の存在比の季節変化

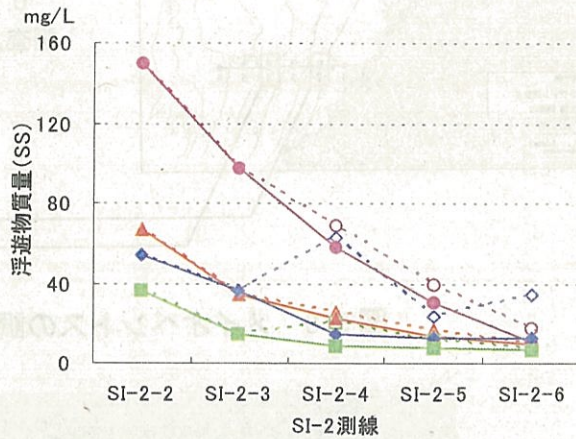
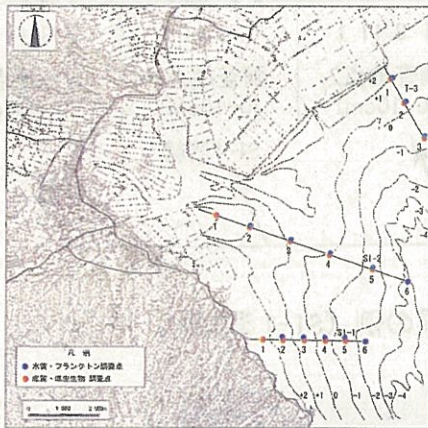


図 5-12 浮遊物質 (SS) の岸・沖方向での分布

## ②室内試験

干潟の物質循環過程を検討するうえで、重要なパラメーター等を把握するため、現地で採取したサンプルを用いて室内試験を実施した (図 5-13)。

底質からの脱窒速度は、室内試験結果を平均すると、夏季は  $8.5 \text{ mgN/m}^2/\text{日}$ 、冬季は  $2.8 \text{ mgN/m}^2/\text{日}$  となり、三番瀬の結果を除くと、干潟域での既存の調査結果と近い水準であった (表 5-1)。



図 5-13 脱窒速度の実験状況

表 5-1 底質からの脱窒速度

| 調査域                         | 調査時期  | 脱窒速度 (mg N/m <sup>2</sup> /日) | 備考               |
|-----------------------------|-------|-------------------------------|------------------|
| 塩田川・鹿島川<br>河口域              | 夏季    | 2.3~14.1                      | 本調査              |
|                             | 冬季    | 2.0~4.3                       |                  |
| 東京湾盤州干潟                     | 夏季・冬季 | 0~3                           | 日本水産資源保護協会(1996) |
| 東京湾三番瀬<br>(水深5m以浅<br>及び砂質域) | 夏季    | 36.2~232.8                    | 千葉県(1999)        |
|                             | 冬季    | 14.0~101.2                    |                  |
| 伊勢湾<br>藤前干潟                 | 夏季    | 0.0                           | 名古屋市(1999)       |
|                             | 冬季    | 0.7~19.4                      |                  |
| 新川・庄内川<br>河口域               | 夏季    | 2.4~13.4                      | 名古屋市(1999)       |
|                             | 冬季    | 2.1~91.9                      |                  |
| 有明海六角川河口域                   | 夏季    | 14.02                         | 原田、滝川(2002)      |

類似干潟や諫早干潟の代表的な二枚貝であるサルボウとハイガイの濾水速度（水中の有機物や植物プランクトンを取り込み濾過する速度）は、温度や水中の餌濃度によって影響されるとともに、個体の大きさに応じて値が異なることが確認された（図5-14）。

また、砂質干潟の代表種のアサリとサルボウやハイガイについて、同一の個体サイズにおける濾水速度を比較すると、両者の間に著しい差がみられなかった（図5-15）。

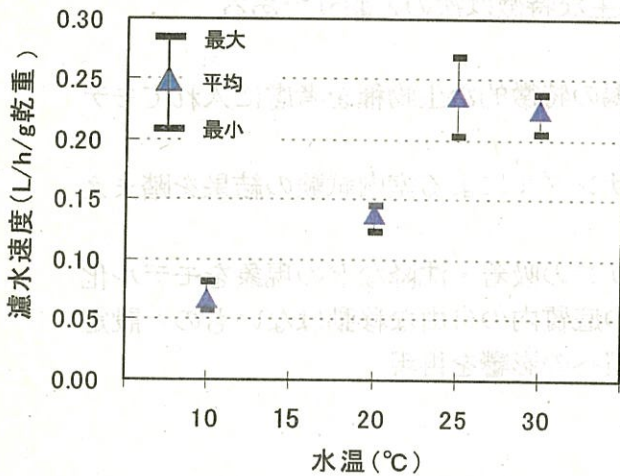


図5-14 二枚貝の（サルボウ）濾水速度（水温との関係）

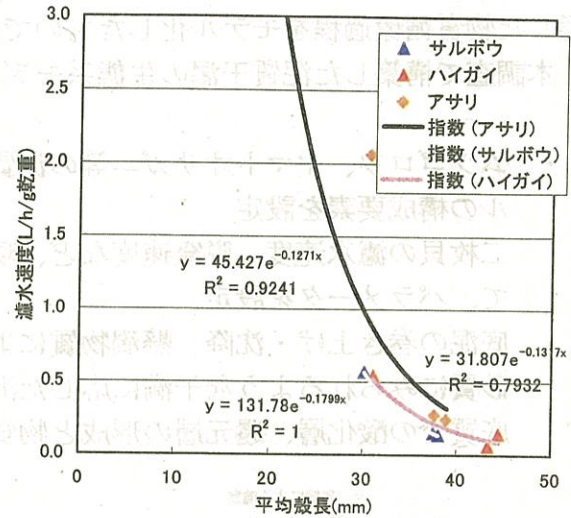


図5-15 二枚貝の濾水速度（個体サイズとの関係）

さらに、泥質干潟の物質循環特性を把握するため、底質の付着珪藻などによる生産速度（光合成速度）、バクテリアなどによる底質の酸素消費速度、底質からの栄養塩の溶出速度などを求めた。底質からの溶出速度は、夏季に比べて、冬季の値が著しく低いことや窒素に関する溶出のほとんどはアンモニア態窒素によるものである他は、いずれも既存の干潟域で得られた調査結果の概ね範囲内であった。

#### (4) 類似干潟での干潟生態系モデルの構築

諫早干潟の類似干潟として選定した塩田川・鹿島川河口域において、現地調査結果や室内試験結果等に基づき、泥質干潟の物質循環を再現する干潟生態系モデルの構築を行った。

##### ①干潟生態系モデルの概要

干潟生態系モデルは、干潟の生態系を構成する様々な生物を生物以外の物質を機能等により大別したうえで、炭素、窒素、リンを指標元素として、構成要素の食物連鎖等を通じた物質循環過程をモデル化したものである(図5-16)。

本調査で構築した泥質干潟の生態系モデルの主な特徴は次のとおりである。

- ・ ムツゴロウ、ヤマトオサガニ等の泥質干潟の特徴的な生物種を考慮に入れてモデルの構成要素を設定
- ・ 二枚貝の濾水速度、脱窒速度など、現場サンプルによる室内試験の結果を踏まえて、パラメータを設定
- ・ 底泥の巻き上げ・沈降、懸濁物質によるリンの吸着・沈降などの現象をモデル化
- ・ 砂質にみられるような干潟に応じた海水の底質内の自由な移動はないものと設定
- ・ 底質での酸化層、還元層の形成と物質循環への影響を再現

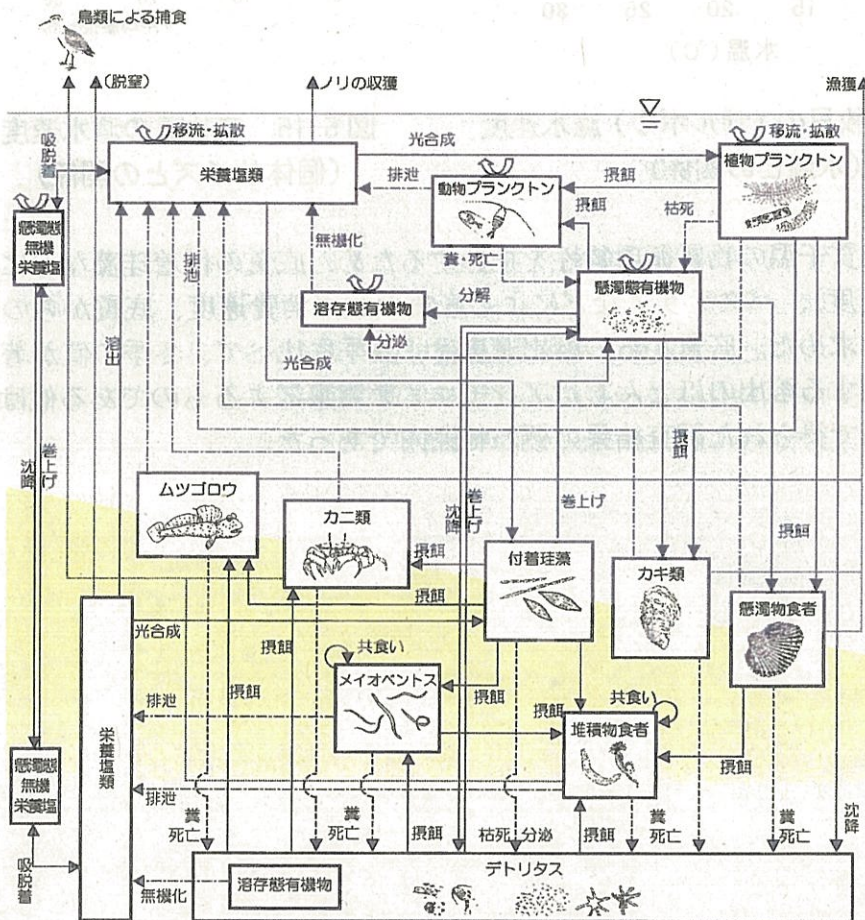


図 5-16 泥質干潟の干潟生態系モデル



モデルは、図 5-17 に示すとおり塩田川・鹿島川の河口域・浅海域を対象として、300 mメッシュに分割して、現地調査や室内試験の結果を基に、平成 14 年 4 月からの 1 年間の通年計算を行った。

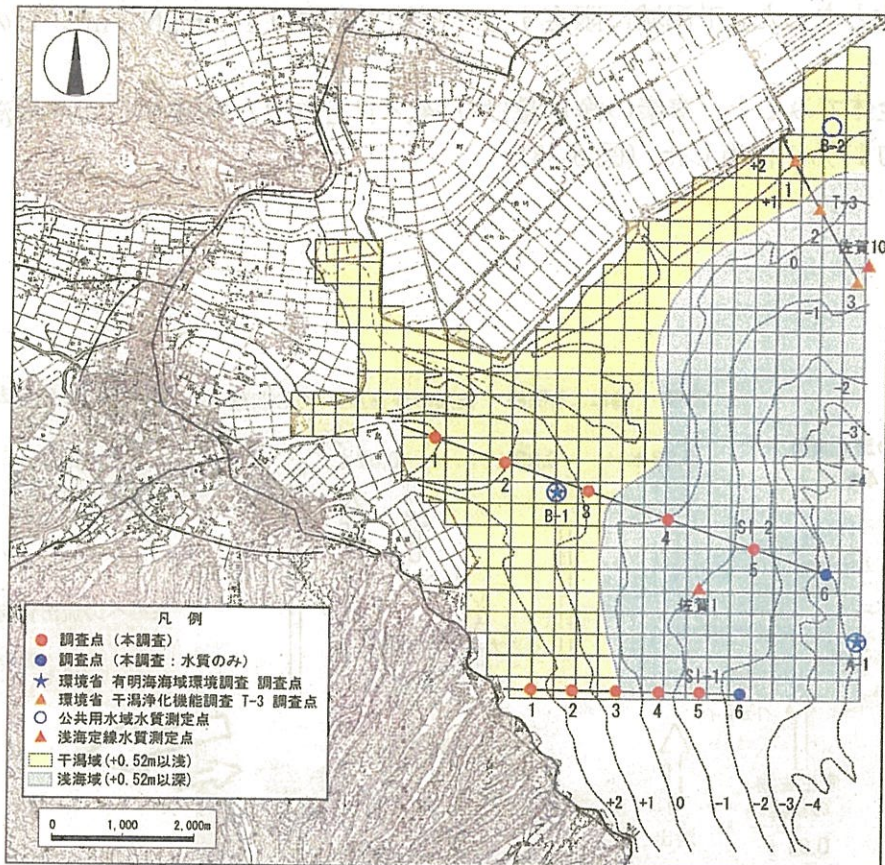


図 5-17 類似干潟での計算領域

## ②計算条件とモデルの検証

現地調査での観測値と計算値の比較を通して、構成されたモデルの再現性を検討したところ、底泥中においてアンモニア態窒素やリン酸態リンが高くなる一方で、硝酸態窒素が低くなるなど栄養塩類の濃度分布等をよく再現しているといえる。また、水質、プランクトンや底生生物についても、年間を通じた濃度や現存量、岸沖方向の変化傾向等が概ね再現され、泥質干潟における特徴がよく表されているものと考えられた。

さらに、物質循環量の再現性を検証するため、脱窒速度や底質からの溶出速度等の室内試験結果と比較したところ、一定の再現性が確保されていることが確認された。

(5) 類似干潟の浄化機能

干潟生態系モデルの通年計算から物質収支を求め、塩田川・鹿島川河口の干潟域及び浅海域での単位面積当たりの年間平均浄化量を推定したところ、窒素は  $8.4\text{mgN}/\text{m}^2/\text{日}$  の浄化となった。干潟域に限定すると平均で窒素は  $14.5\text{mgN}/\text{m}^2/\text{日}$  の浄化となった。

対象領域全体でみると、窒素の浄化量は  $0.34\text{t}/\text{日}$  となり、陸域からの平均流入負荷量の窒素で約 11% に相当した (図 5-18)。

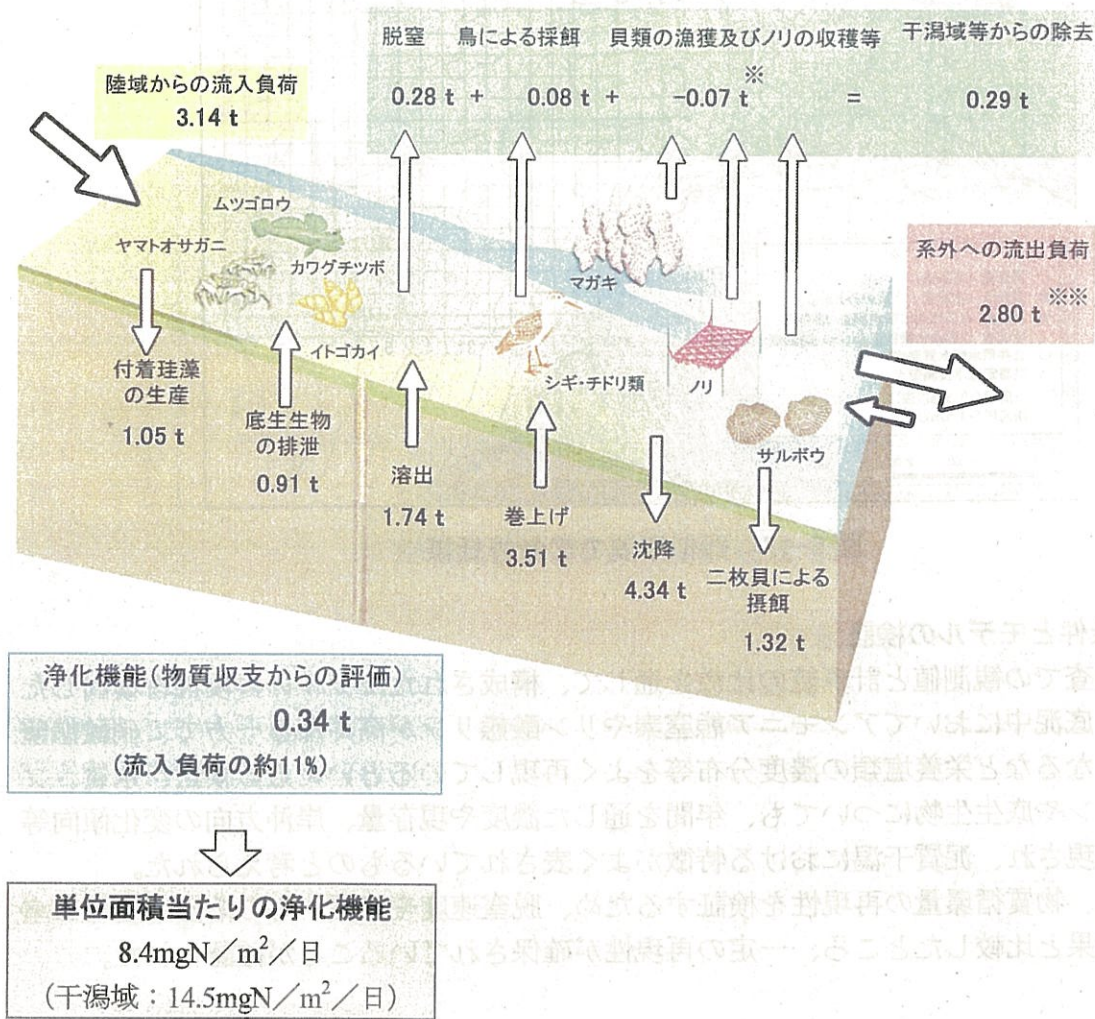


図 5-18 類似干潟 (塩田川・鹿島川河口域) における物質収支

※ ノリ養殖における施肥を考慮に入れた結果

※※ 境界における流動による収支

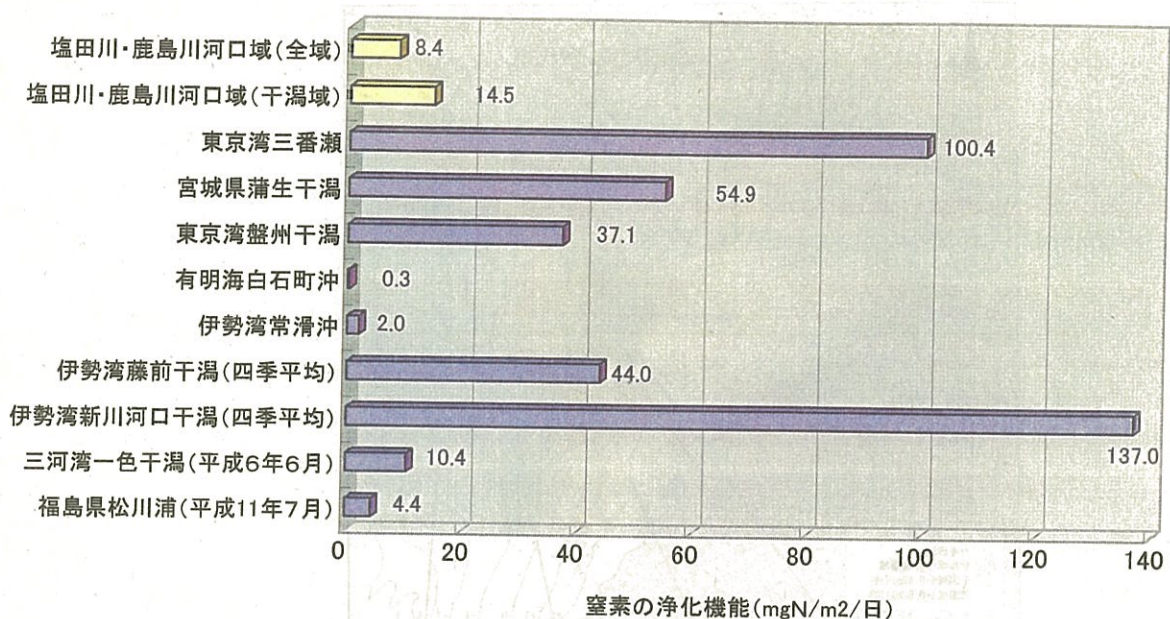


図 5-19 干潟生態系モデルを活用した水質浄化機能の評価結果の比較

この結果を、これまでに報告された干潟生態系モデルを用いて干潟域等の浄化機能を評価した結果と比較したところ、既存の評価結果の範囲内にあるものの、比較的低い水準であった(図 5-19)。

干潟域等での物質収支を各月単位で計算し、年間変動をみると、季節に応じて変化しており、水質浄化機能は年間を通じて安定しているとは限らないことが示された(図 5-20)。また、生物現存量の違いや漁業の実施状況等の影響で場所による差がみられた(図 5-21)。

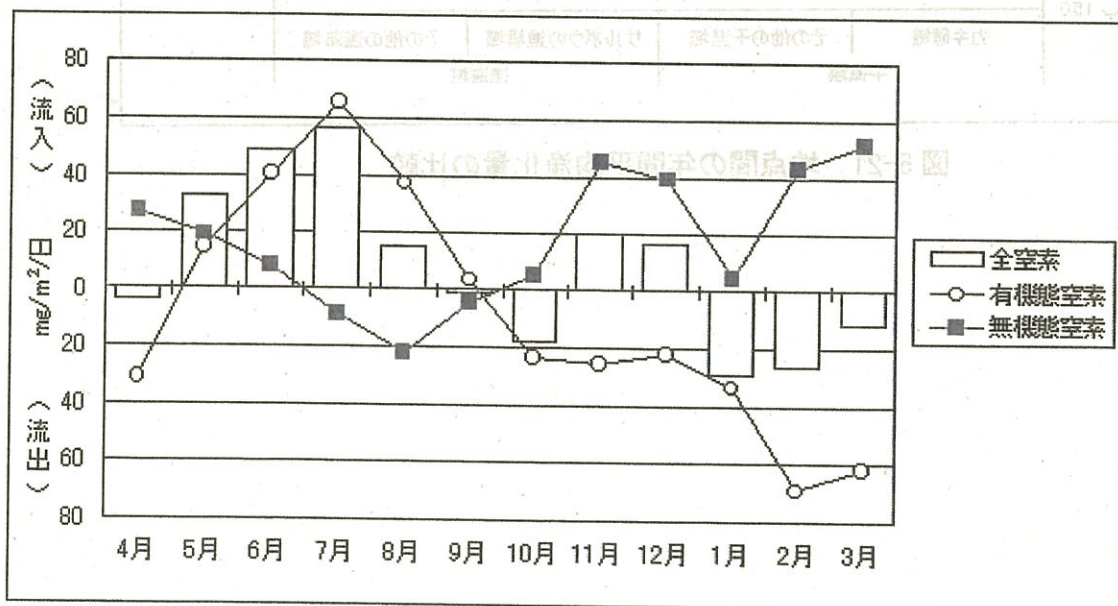


図 5-20 類似干潟における物質収支(浄化量)の年間変動(窒素)

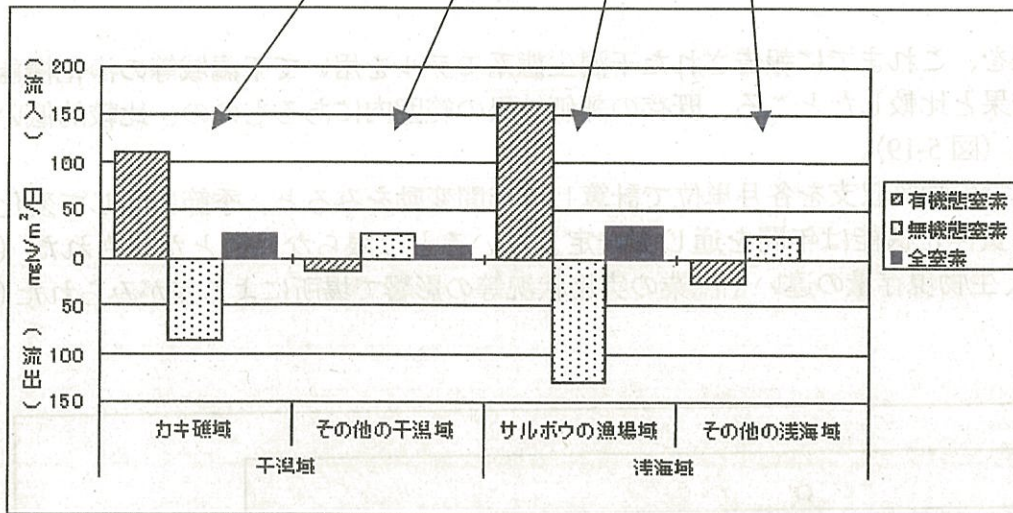
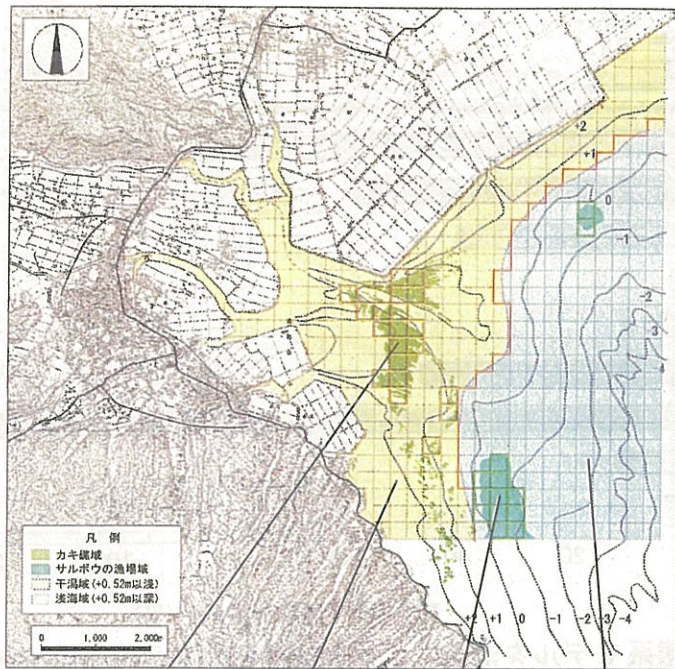


図 5-21 地点間の年間平均浄化量の比較

## (6) 諫早干潟の浄化機能

### ① 諫早干潟の特性

諫早干潟には、高来町、吾妻町地先の岸近くに砂やれきがみられるものの、全体からみるとわずかな面積に止まり、シルト・粘土分が90%以上占めるほぼ全域泥質の干潟域である(図5-22)。

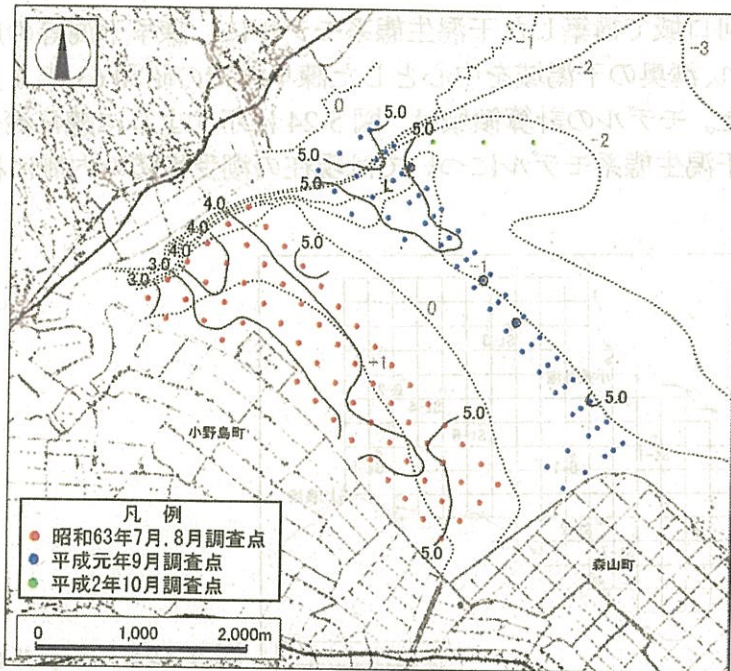
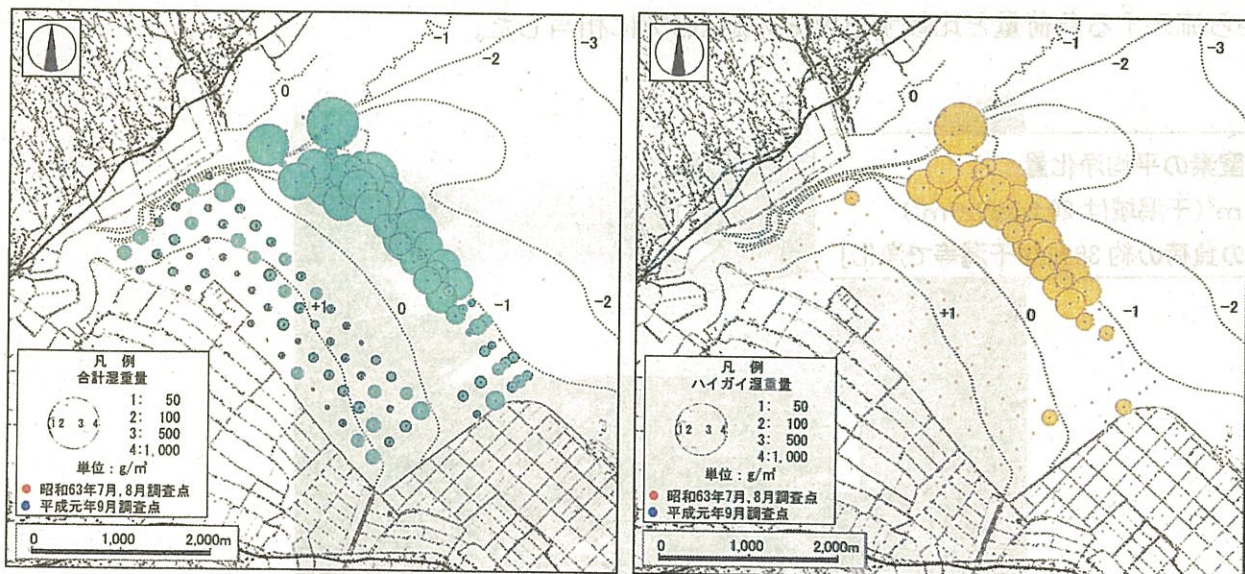


図5-22 平均粒径の水平分布

マクロベントスについては、湿重量で見ると、ハイガイの占める割合が高いのが特徴であり、ハイガイ等の大型種がみられる地点を除くと、湿重量は100g/m<sup>2</sup>未満の地点が多くみられた(図5-23)。また、類似干潟同様、カキ礁が比較的広い範囲に存在しており、カニについては類似干潟より高い現存量を示す地点がみられていた。



[マクロベントス全体]

[ハイガイ]

図5-23 マクロベントスの水平分布(昭和63年度、平成元年度調査)

動物・植物プランクトンともに、類似干潟で見られる水準に近い値を示しており、栄養塩については、全窒素、全リンともに、有明海の湾奥部の類似干潟とくらべると、概して低い水準であった。

## ②諫早干潟の浄化機能の推定

塩田川・鹿島川河口域で構築した干潟生態系モデルに、諫早干潟等の底生生物等の調査結果等を組み入れ、湾奥の干潟域を中心とした諫早湾での昭和63年4月から1年間の物質循環を計算した。モデルの計算領域は、図5-24に示すように諫早湾全域とし、底生系、浮遊系一体の干潟生態系モデルについては現在の潮受堤防の内側に相当する部分に設定した。

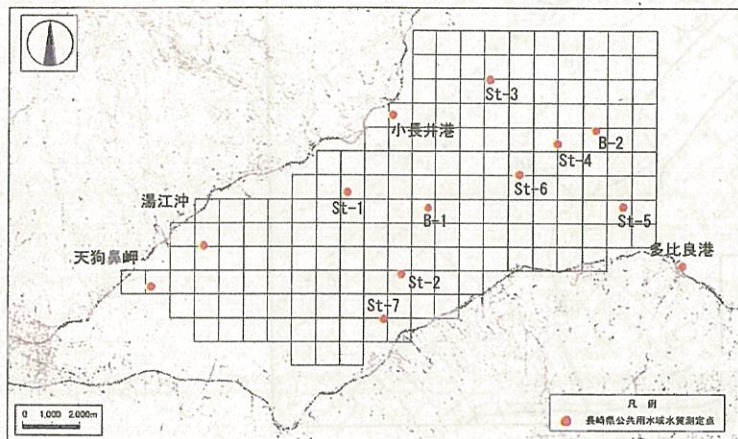


図5-24 モデルの計算領域

昭和63年度の通年計算から物質収支を求め、現在の潮受堤防の内側に相当する諫早干潟及び浅海域での単位面積当たりの年間平均浄化量を推定したところ、窒素は  $10.6\text{mgN}/\text{m}^2/\text{日}$  の浄化となった。干潟域に限定すると平均で窒素は  $20.2\text{mgN}/\text{m}^2/\text{日}$  の浄化となった (図5-25)。

諫早干潟及び現在の堤防内側の浅海域全体でみると、浄化量は窒素は  $0.38\text{t}/\text{日}$  となり、本明川等の陸域からの平均流入負荷量の窒素で約36%に相当した。また、有明海に陸域から流入する負荷量と比較するとその約0.5%に相当した。

1日当たりの窒素の平均浄化量  
 $10.6\text{mgN}/\text{m}^2$  (干潟域は  $20.2\text{mgN}/\text{m}^2$ )  
 [陸域からの負荷の約36%が干潟等で浄化]

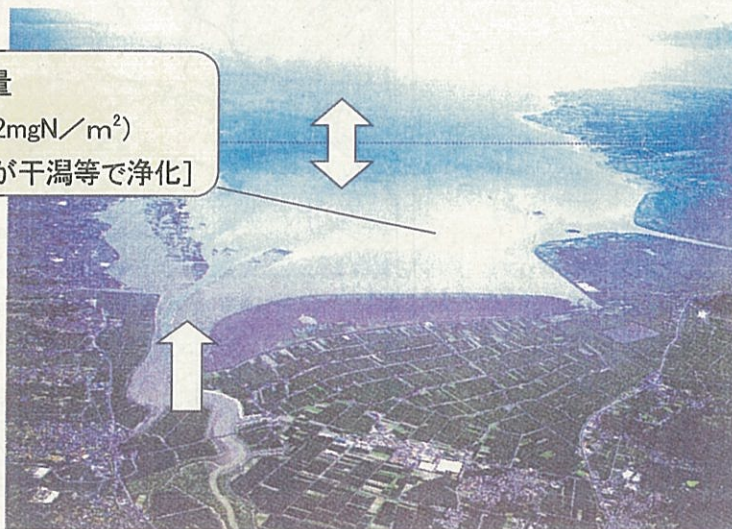


図5-25 諫早干潟の水質浄化機能の推定結果

## 6. 流動解析等調査の結果

### (1) 調査の実施方法

流動解析等調査は、①流動解析、②水質解析及び③底質解析の3つの数値シミュレーションを組み合わせた解析、並びに諫早湾及び周辺海域における④貧酸素現象調査により、諫早湾干拓事業が有明海の海域環境に及ぼしたとされる影響について検討するものである。

なお、数値シミュレーションに使用するモデルとしては、国土総合開発事業調整費(国調費)により平成13年度から平成14年度に実施した有明海海域環境調査において構築した流動モデル(以下、「国調費流動モデル」という。)及び水質モデル(以下、「国調費水質モデル」という。)並びに本調査で構築する底質モデルを使用する(図6-1)。

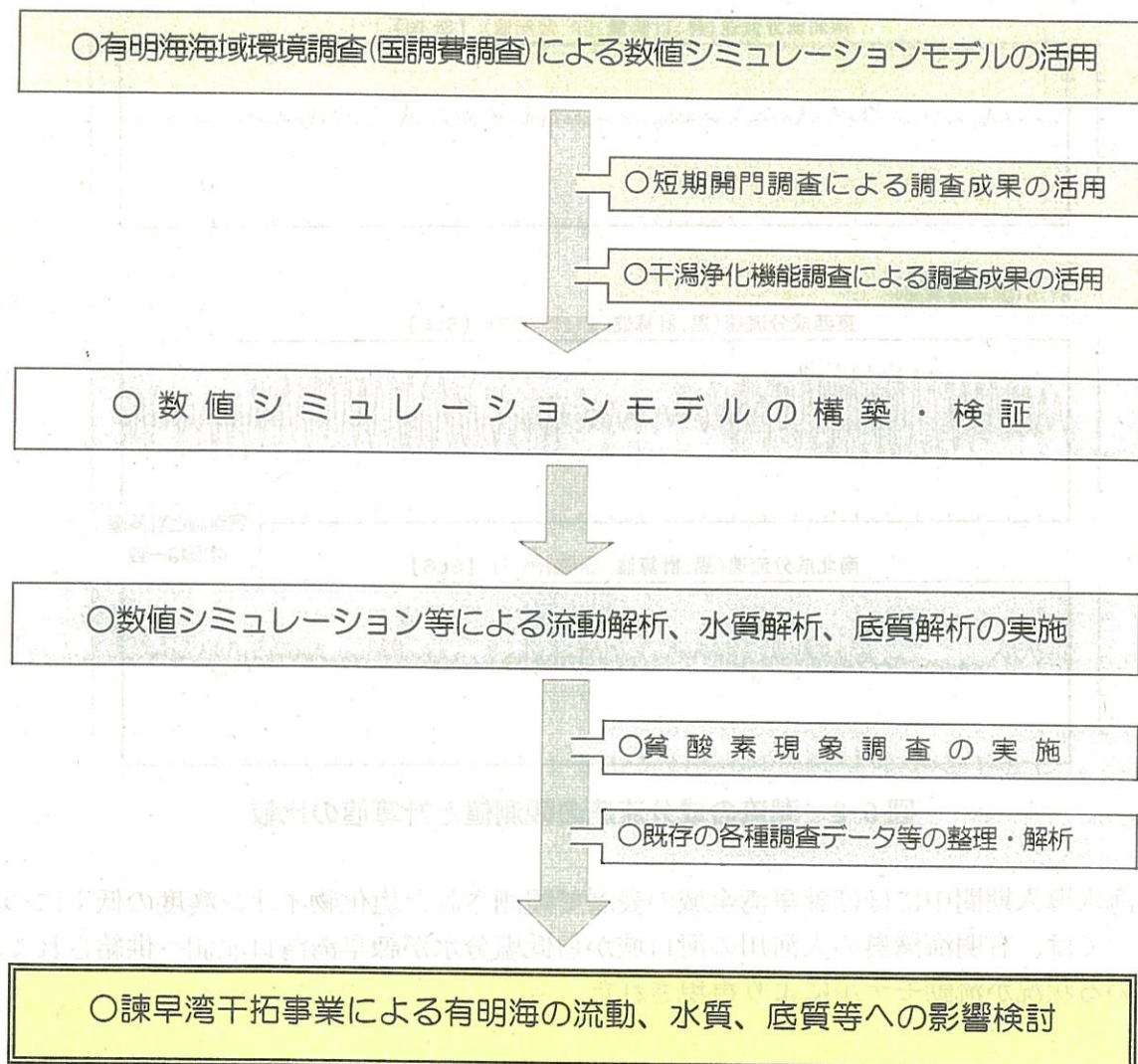


図 6-1 流動解析等調査の実施手順

## (2) 短期開門調査期間の流動等の再現

国調費流動モデルを使用して、海水導入期間(4月24日～5月20日)を含む平成14年4月から6月までの短期開門調査の再現計算を行い、観測値との比較を行ったところ、以下のような結果が得られた。

- 諫早湾湾奥の排水門付近の潮流については違いがみられたものの、諫早湾の湾央、湾口及び湾外については、観測値と計算値は概ね一致した(図6-2)。

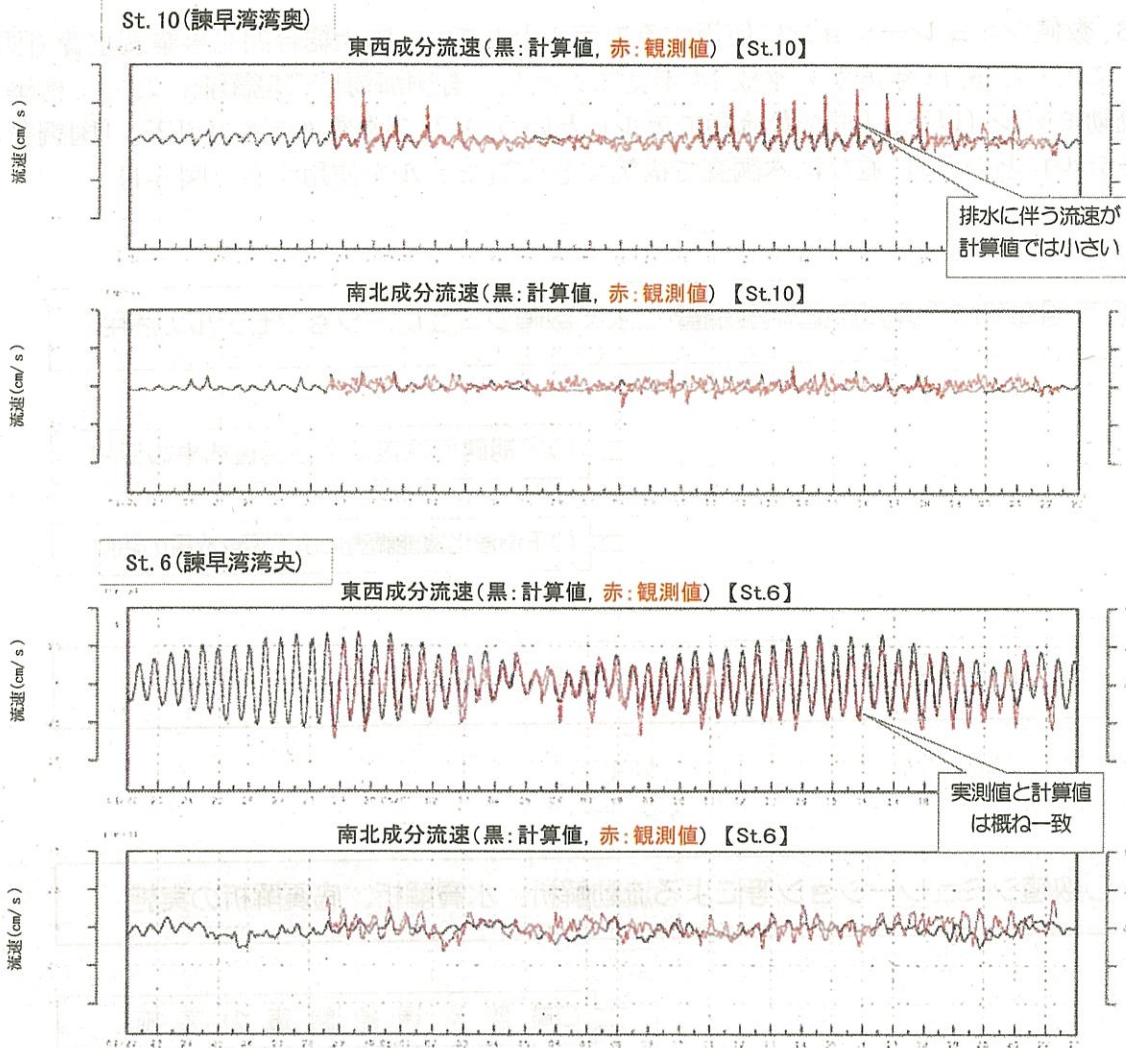


図6-2 潮流の成分流速の観測値と計算値の比較

- 海水導入期間中にほぼ諫早湾全域の表層で観測された塩化物イオン濃度の低下については、有明海湾奥の大河川の河口域から低塩分水が諫早湾湾口北側へ供給されている状況が流動モデルにより再現された。



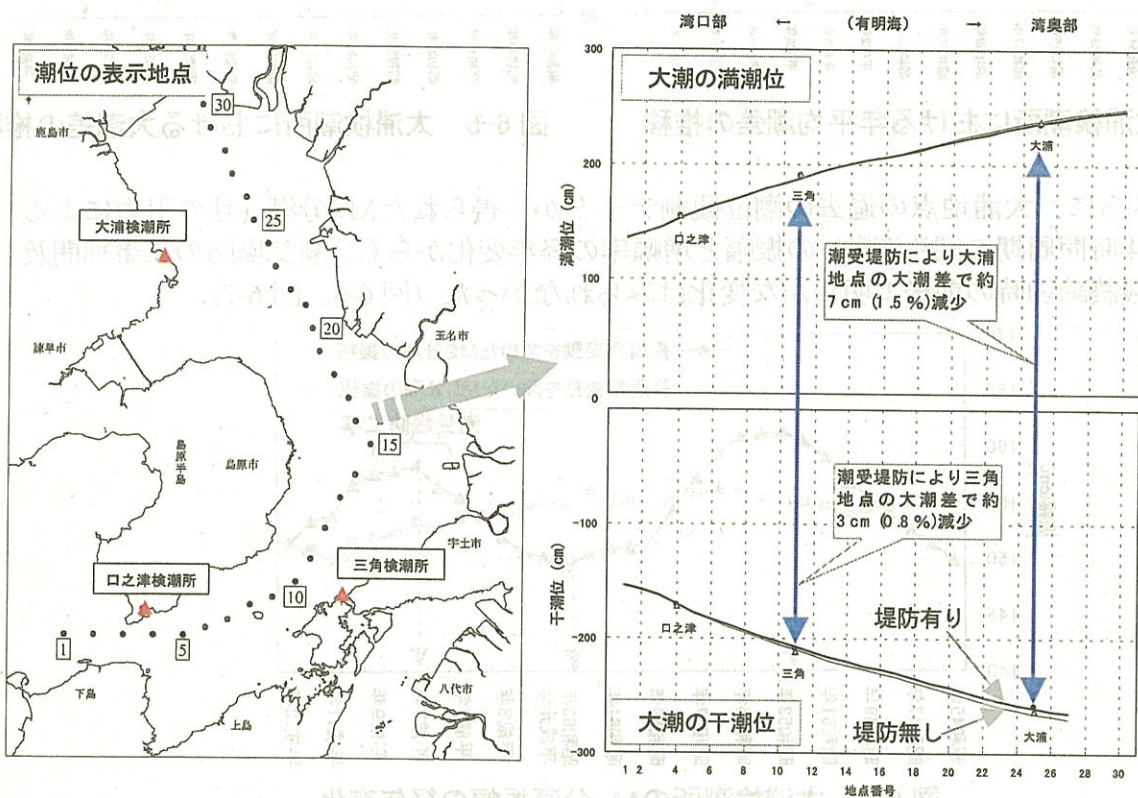
### (3) 潮受堤防と有明海海域環境の関係

#### 1) 流動

国調費流動モデルを用いて平成12年、13年を対象に潮受堤防が無い場合の数値シミュレーションを行い、潮位・潮流について国調費調査で実施した現況再現結果と比較し、観測データ等も踏まえて、潮受堤防と有明海の流動との関係について検討したところ、以下のような結果が得られた。

#### ① 潮位

数値シミュレーション結果から、潮受堤防の有無による潮位の差については、有明海湾奥の大浦地点の大潮差を比較すると1.5%程度の差がみられた(図6-3)。



注1) 地点番号28~30では、大潮時に干出することがあるため干潮位は未掲載

注2) 口之津、三角及び大浦検潮所は湾軸上に位置しないため、最も近い地点番号上に表示

図6-3 潮受堤防の有無による潮位のシミュレーション結果(平成12年平均)

また、大浦地点の過去の潮位観測データから得られた年平均潮差、大潮差の経時変化からは、潮受堤防の工事期間及び最終締切時の前後で明らかな変化はみられなかった（図6-4、図6-5）。

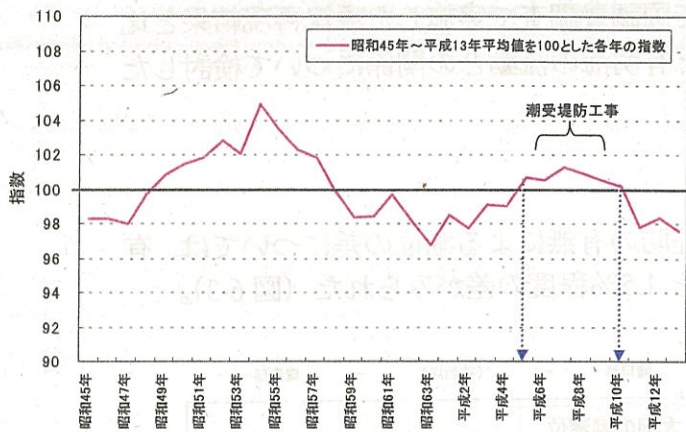


図6-4 大浦検潮所における年平均潮差の推移

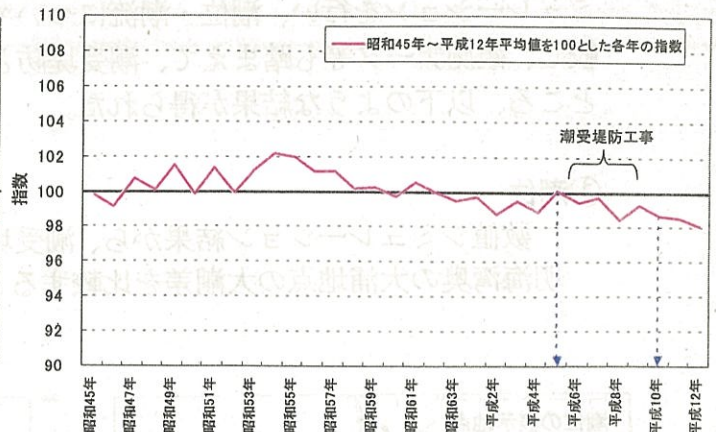


図6-5 大浦検潮所における大潮差の推移

さらに、大浦地点の過去の潮位観測データから得られたM<sub>2</sub>分潮（月の引力による12.4時間周期の潮汐変動）の振幅と増幅率の経年変化からも、潮受堤防の工事期間及び最終締切時の前後で明らかな変化はみられなかった（図6-6、図6-7）。

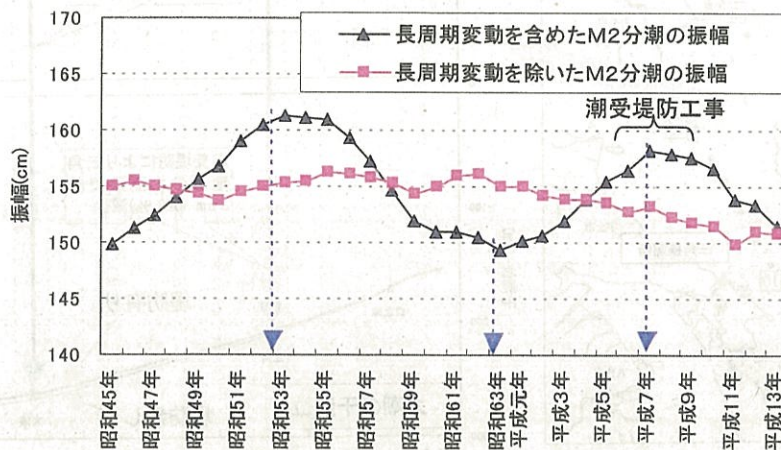


図6-6 大浦検潮所のM<sub>2</sub>分潮振幅の経年変化

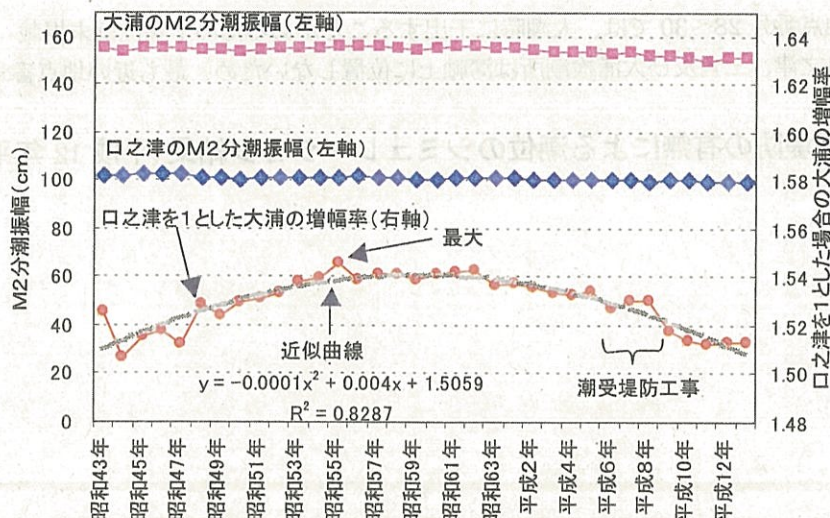


図6-7 口之津検潮所と大浦検潮所のM<sub>2</sub>分潮振幅と増幅率の経年変化

## ②潮流

潮受堤防の有無による潮流ベクトル（大潮時）と平均流ベクトルで比較したところ、その差がみられる範囲は諫早湾周辺海域にとどまっており、それ以外の海域ではこれらのベクトルには明らかな差はみられなかった（図6-8）。

また、有明海湾奥の潮流調査地点で、潮受堤防の有無による平成12年1月と13年1月の成分流速を比較したところ明らかな差はみられなかった。

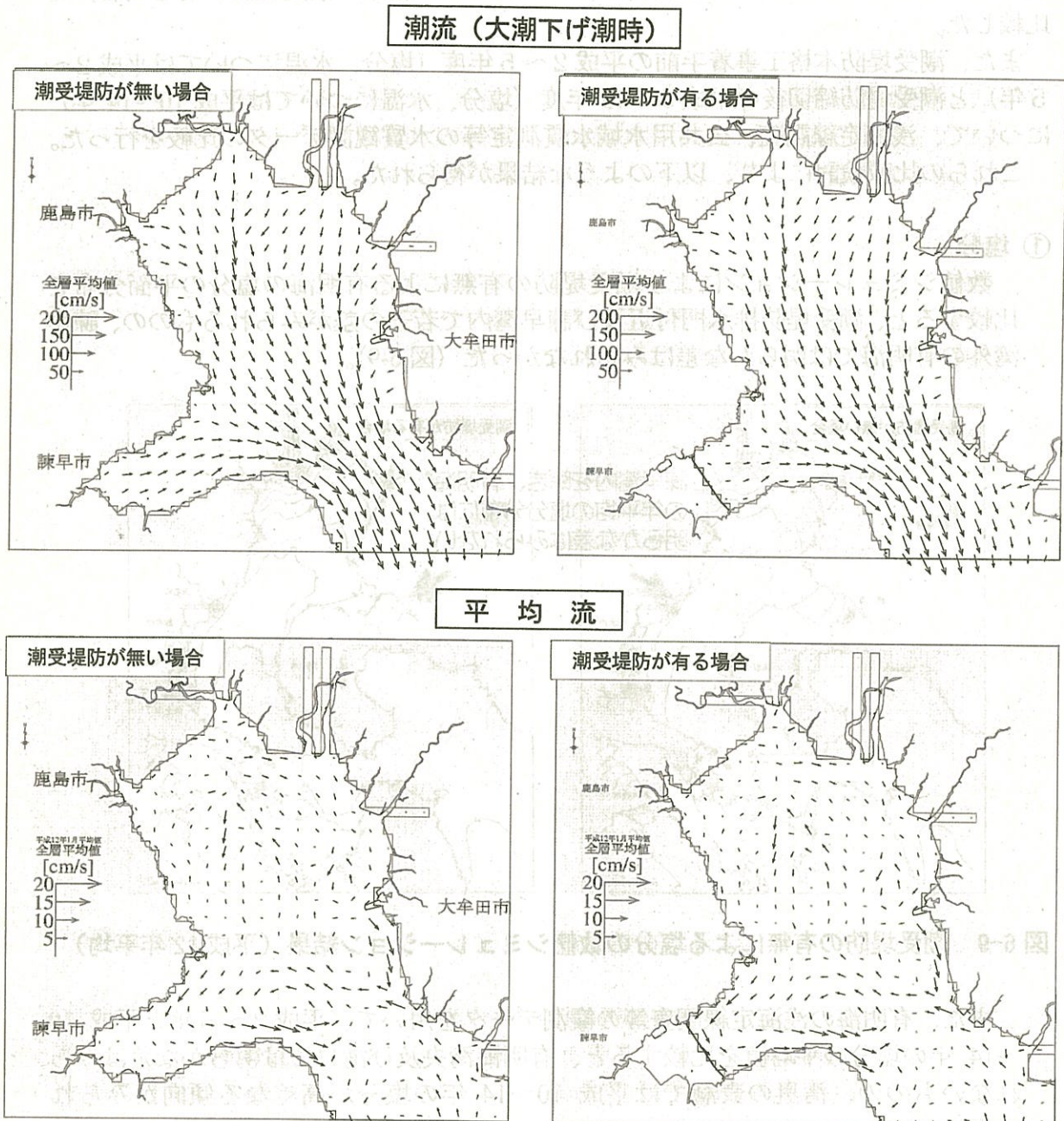


図6-8 有明海湾奥における潮流及び平均流のベクトル分布  
(全層平均、平成12年1月)

## 2) 水質

塩分及び水温については国調費流動モデルを用い、また、化学的酸素要求量(COD)、全窒素(T-N)、全リン(T-P)、溶存酸素(DO)及びクロロフィルaについては、国調費水質モデルに泥質干潟の干潟生態系モデルを組み込んで構築したモデルを用いて、平成12年と13年を対象に、潮受堤防が無い場合の数値シミュレーションを行って、国調費調査で実施した同期間の現況再現シミュレーション結果(潮受堤防が有る場合)と比較した。

また、潮受堤防本格工事着手前の平成2～5年度(塩分、水温については平成2～5年)と潮受堤防締切後の平成9～13年度(塩分、水温については平成10～14年)について、浅海定線調査、公共用水域水質測定等の水質観測データの比較を行った。これらの比較検討により、以下のような結果が得られた。

### ① 塩分

数値シミュレーションにより潮受堤防の有無による有明海の塩分の平面分布を比較すると、潮受堤防排水門付近及び諫早湾内で若干の差がみられるものの、諫早湾外の有明海では明らかな差はみられなかった(図6-9)。



図6-9 潮受堤防の有無による塩分の数値シミュレーション結果(平成12年平均)

また、有明海の浅海定線調査等の観測データを用いて、平成2～5年と平成10～14年の塩分の平均値を比較すると、有明海湾央及び湾口では明らかな差はみられないものの、湾奥の表層では平成10～14年の塩分が高くなる傾向がみられた(図6-10)。

同様の傾向は諫早湾の表層でもみられることから、湾奥の塩分に大きな影響を及ぼすと考えられる降水量及び主要河川からの流入量について両期間を比較したところ、平成10～14年の年平均降水量は平成2～5年の約85%と少なく、平成10～12年の主要河川の日平均流量も平成2～5年の約80%と少なくなっており、このことが塩分上昇の要因の一つであると考えられる。

(浅海定線測定地点と検討測線)

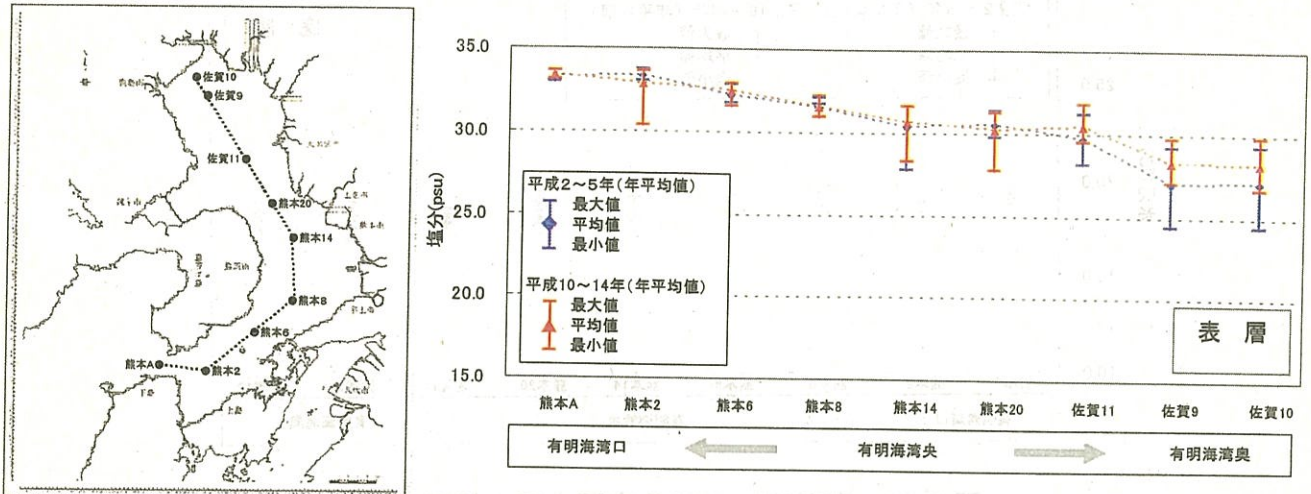


図 6-10 有明海における表層塩分の推移 (浅海定線調査)

② 水温

塩分と同様に数値シミュレーションにより潮受堤防の有無による有明海の水温の平面分布を比較したところ、潮受堤防排水門付近及び諫早湾湾奥で若干の差がみられたものの、諫早湾外の有明海では明らかな差はみられなかった (図 6-11)。

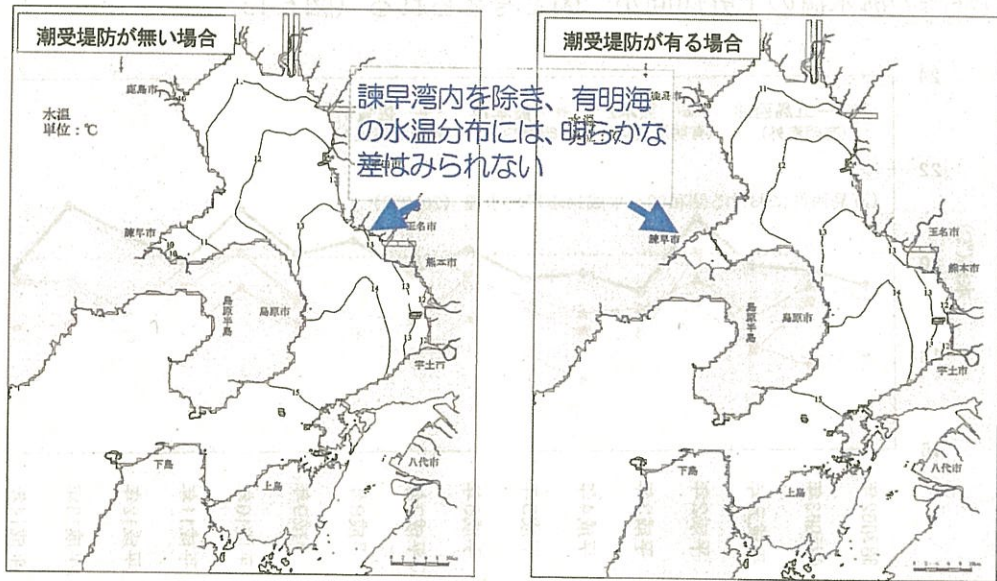


図 6-11 潮受堤防の有無による水温の数値シミュレーション結果 (平成 12 年 1 月)

また、塩分と同様に浅海定線調査等の観測データを用いて、平成 2~5 年と平成 10~14 年の水温の平均値を比較すると、有明海全体で平成 10~14 年の水温が若干高くなっており、特に底層で上昇量が大きくなる傾向がみられた(図 6-12)。

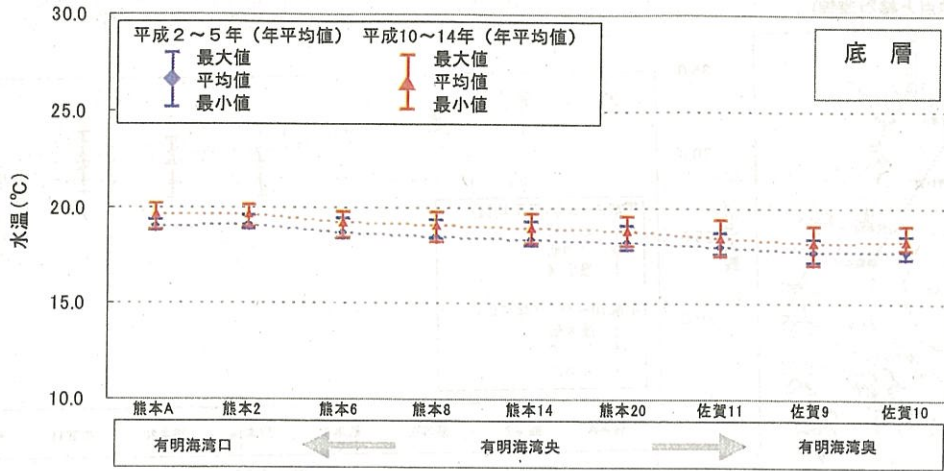


図 6-12 有明海における底層水温の推移（浅海定線調査）

有明海の水温については、湾口の底層から流入して表層から流出するという有明海の循環流の特徴（国調費調査結果）からみて、外海から有明海へ流入する海水の影響を受けている可能性があり、外海（東シナ海）の海水温の観測データを検討したところ、近年における上昇傾向がみられるとともに、その変動傾向は有明海の水温の変動傾向ともよく一致しており、有明海全体での水温の上昇傾向は、近年における外海の海水温の上昇傾向が一因と考えられる（図 6-13）。

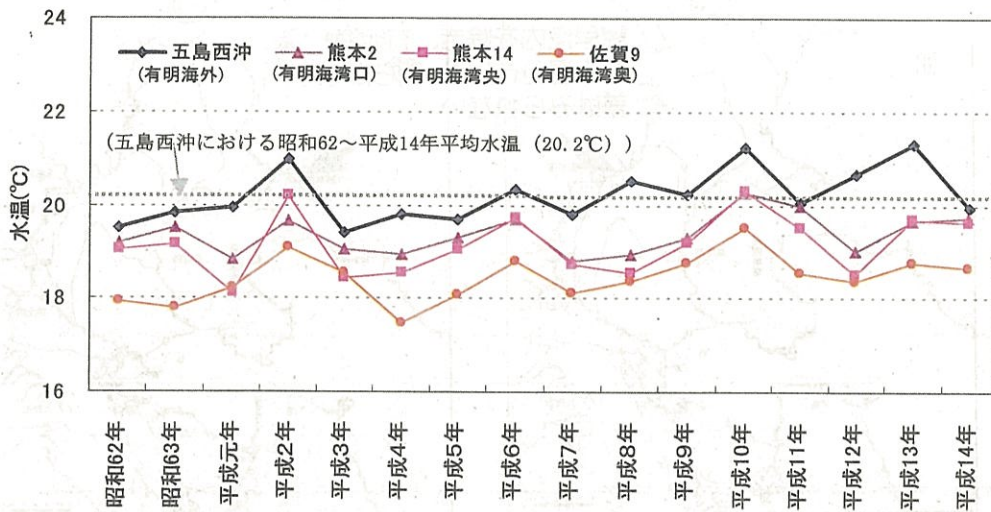


図 6-13 長崎県五島西沖及び有明海における年平均水温の経年変化

### ③化学的酸素要求量 (COD)

数値シミュレーションにより、潮受堤防の有無による COD の平面分布を比較したところ、諫早湾外の有明海の COD には有意な差はみられなかった (図 6-14)。

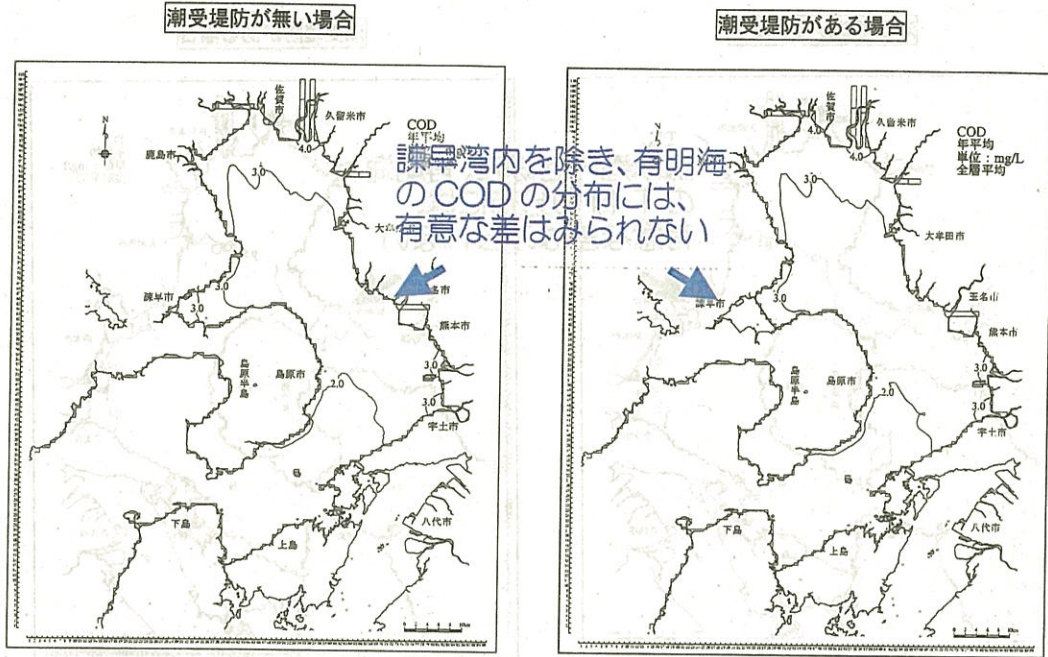


図 6-14 潮受堤防の有無による COD の数値シミュレーション結果 (平成 12 年平均)

また、公共用水域水質測定等の観測データにより、平成 2～5 年度と平成 9～13 年度の COD の年度平均値を比較すると、有明海の湾口を除いて、平成 9～13 年度が低い傾向を示した (図 6-15)。

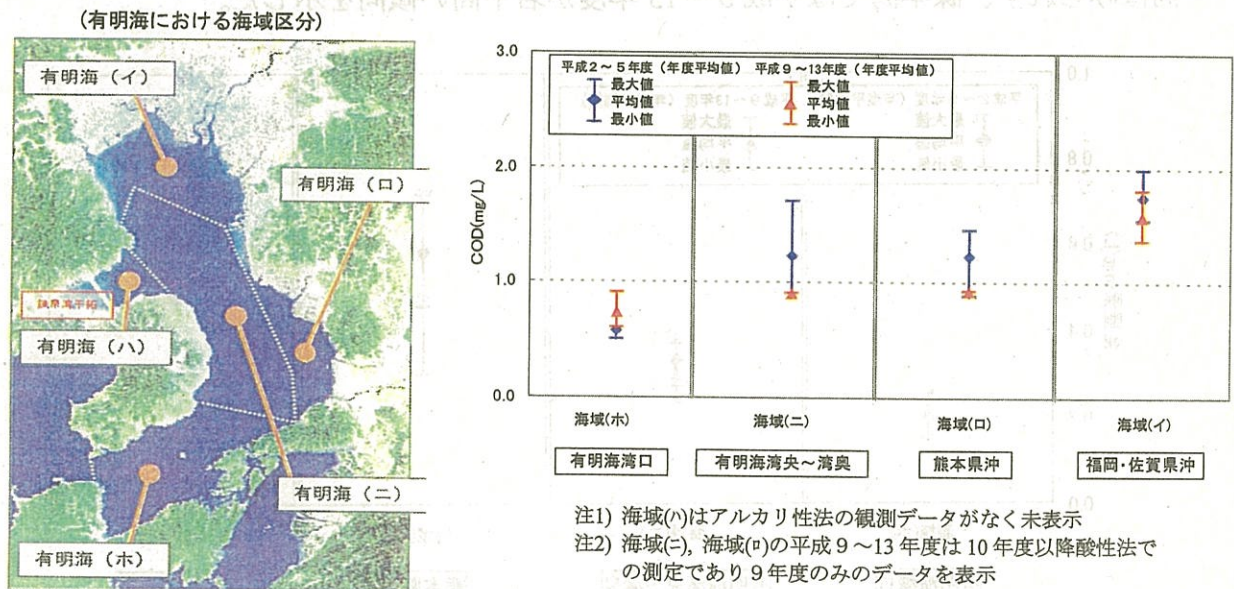


図 6-15 有明海における表層の COD (アルカリ性法) の推移 (公共用水域水質測定)

④全窒素 (T-N)、全リン (T-P)

数値シミュレーションにより、潮受堤防の有無による T-N、T-P の平面分布を比較したところ、諫早湾外の有明海の T-N、T-P には有意な差はみられなかった (図 6-16)。

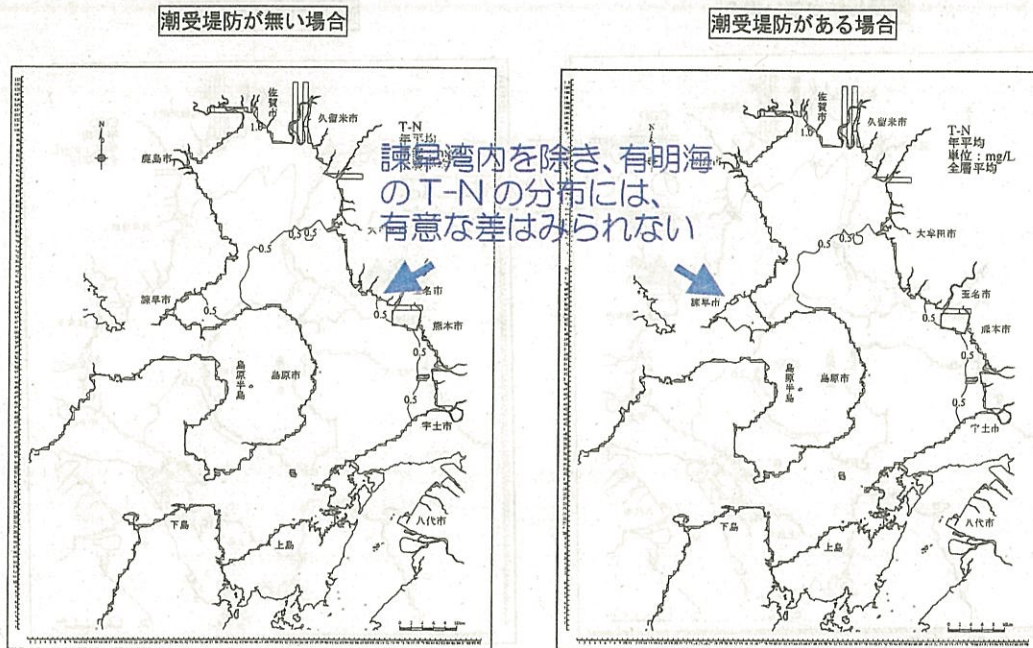
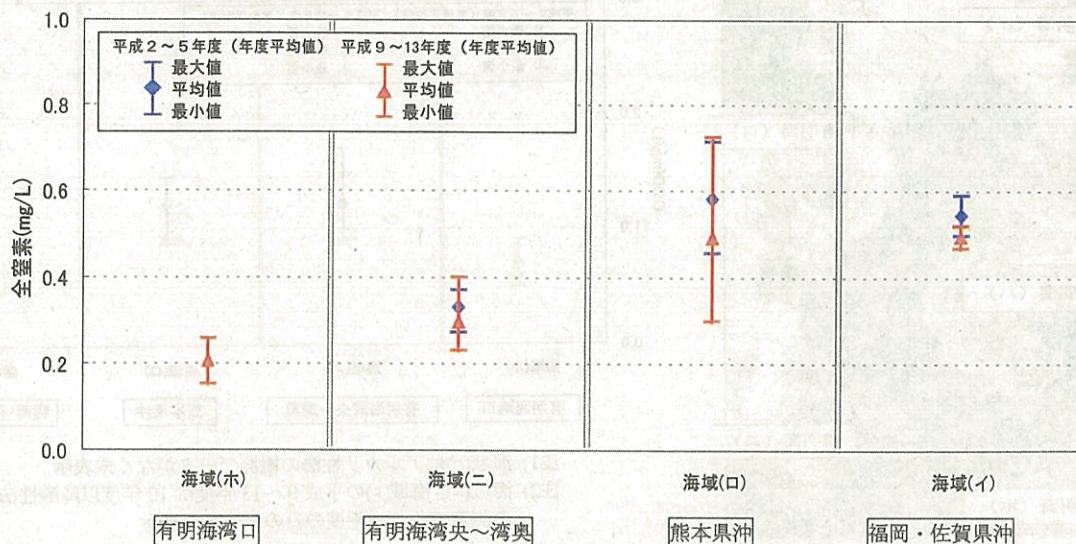


図 6-16 潮受堤防の有無による T-N の数値シミュレーション結果 (平成 12 年平均)

また、公共用水域水質測定等の観測データにより、COD と同様に平成 2～5 年度と平成 9～13 年度の T-N の年度平均値を比較すると、平成 9～13 年度が低くなる傾向がみられた (図 6-17)。一方、T-P については、両期間で有明海全体として一定の傾向はみられず、諫早湾では平成 9～13 年度が若干高い傾向を示した。



注1) 海域(h)は観測データがなく未表示

注2) 海域(ホ)の平成 2～5 年度は観測データがなく未表示

図 6-17 有明海における表層の T-N の推移 (公共用水域水質測定)



### ⑤溶存酸素 (DO)

数値シミュレーションにより潮受堤防の有無によるDOの夏季(8月)の平面分布(最下層)を比較したところ、諫早湾外の有明海で有意な差はみられなかった(図6-18)。また、浅海定線調査の観測データにより、平成2~5年度と平成9~13年度の有明海湾奥の佐賀県沖における底層のDOの経月変化を比較すると、明らかな差はみられなかった。

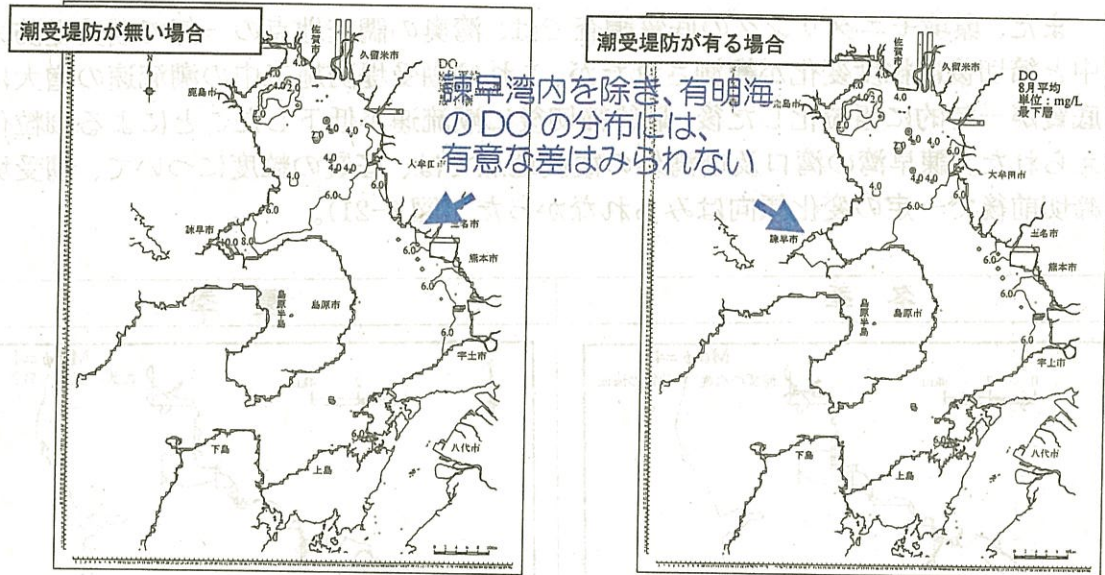


図6-18 潮受堤防の有無による最下層DOの数値シミュレーション結果(平成12年8月)

### ⑥クロロフィルa

数値シミュレーションにより潮受堤防の有無によるクロロフィルaの平面分布(第1層)を比較したところ、諫早湾外の有明海で明らかな差はみられなかった(図6-19)。また、赤潮によりノリが不作となった平成12年12月から13年3月について、有明海湾奥と諫早湾におけるクロロフィルaが $30\mu\text{g/L}$ (国調費調査での赤潮の指標値)を超える面積を比較したところ、潮受堤防の有無による差はほとんどみられなかった。

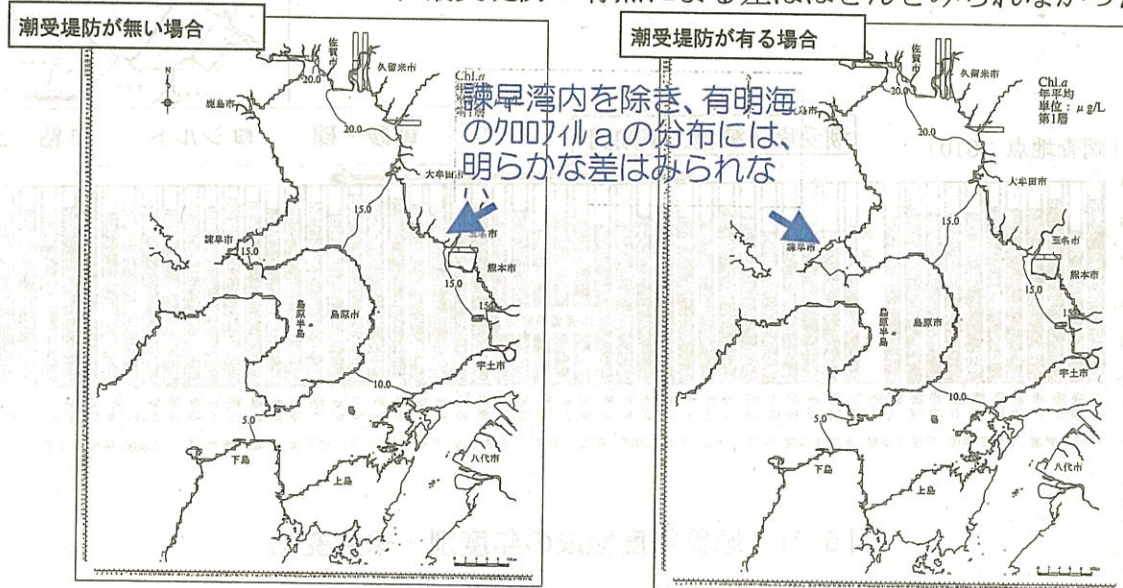


図6-19 潮受堤防の有無による第1層のクロロフィルaの数値シミュレーション結果(平成12年平均)

### 3) 底質

諫早湾及び周辺海域について、底質の浸食・堆積傾向を検討する底質モデルを構築して、潮受堤防の有無による底質の粒度への影響を検討したところ、潮受堤防が有る場合には諫早湾湾口中央付近の一部において底質が細粒化する傾向がみられたが、諫早湾内における粗粒化や湾外における細粒化や粗粒化の傾向はみられなかった(図6-20)。

また、環境モニタリングの底質調査では、湾奥の調査地点の一部で潮受堤防の施工中と締切後に粒度変化が観測されたが、これは潮受堤防施工中の潮流速の増大により底質が一時的に粗粒化した後、最終締切後に潮流速が低下したことによる細粒化と考えられた。諫早湾の湾口及び湾外の観測地点では、底質の粒度について、潮受堤防の締切前後で一定の変化傾向はみられなかった(図6-21)。

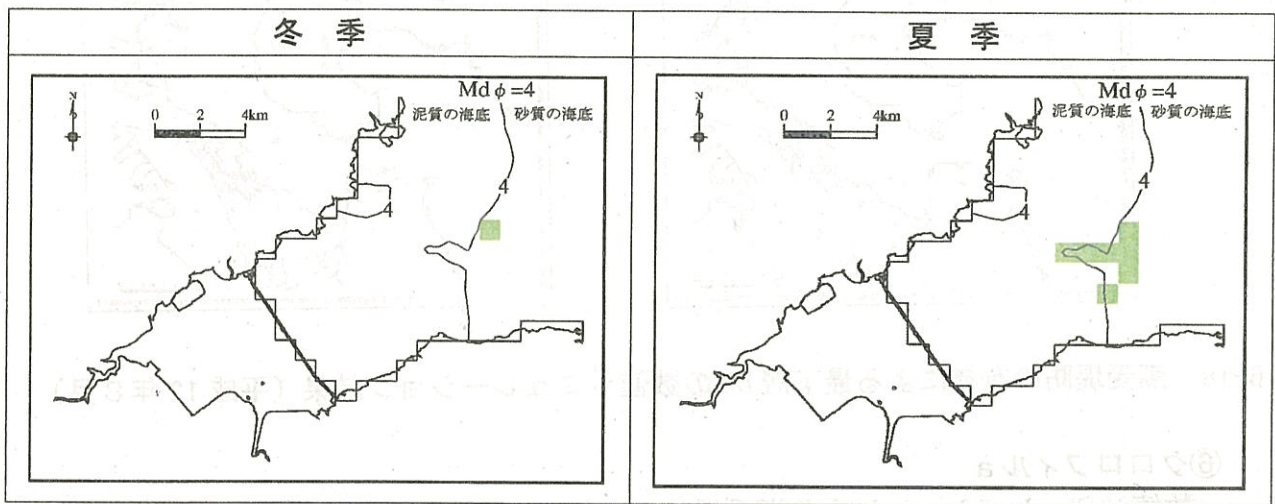


図6-20 1ヵ月間における底質の粒度変化傾向の分布  
(緑：細粒化傾向)

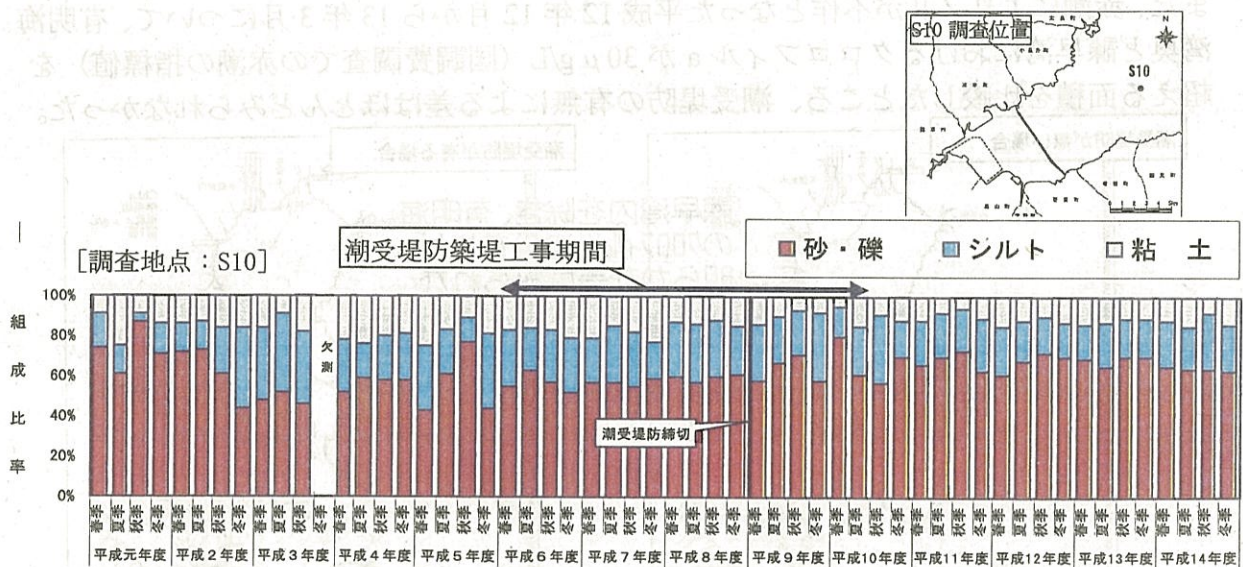


図6-21 底質粒度組成の年度別・季別変化

(4) 諫早湾及び周辺海域における貧酸素現象

平成 14 年夏季に諫早湾及び佐賀県沖で溶存酸素量等の水質の連続観測、一斉観測を行うとともに、気象・海象状況の把握や底質の酸素消費速度試験等を実施して、潮受堤防の締切が貧酸素水塊の発生に及ぼす影響を検討したところ、以下のような結果が得られた。

① 諫早湾における平成 14 年夏季の貧酸素現象

諫早湾では、平成 14 年の 7 月初旬と 8 月初旬の 2 回、いずれも小潮期に底層の貧酸素現象が観測され、この 2 回の貧酸素現象が観測された時期には、同時に密度成層が形成されており、7 月初旬の密度成層には主として塩分が関与し、8 月初旬の密度成層には水温と塩分が同程度で関与していた。

また、潮受堤防からの間歇的に排水される淡水は、諫早湾湾奥で、排水直後に急激な塩分低下として観測されたが、短時間で回復しており、諫早湾湾奥では低下量は小さくなり、諫早湾湾口では排水に対応した塩分低下は観測されなかった。

諫早湾で数日間継続して塩分躍層が観測された時期の表層の塩化物イオン濃度の平面分布は、湾口北部で最も低く、湾奥へ向かって高くなっており、湾内 3 地点の連続観測でもこの時期の塩分低下は湾口から始まっていることから、塩分躍層の形成に関与する低塩分水の供給源は諫早湾外にあるものと考えられる (図 6-22,6-23)。

(日 25 月 7 - 日 7 月 7) 観測の塩分 量水村 量水村 22-6 図

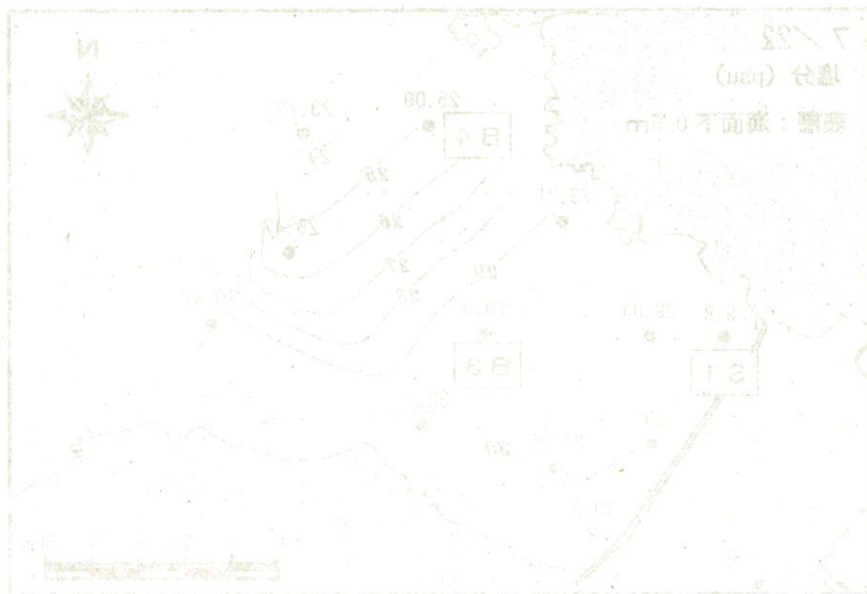


図 6-23 観測塩分 (psu) の平面図 (観測の日 22 月 7 22-6 図)

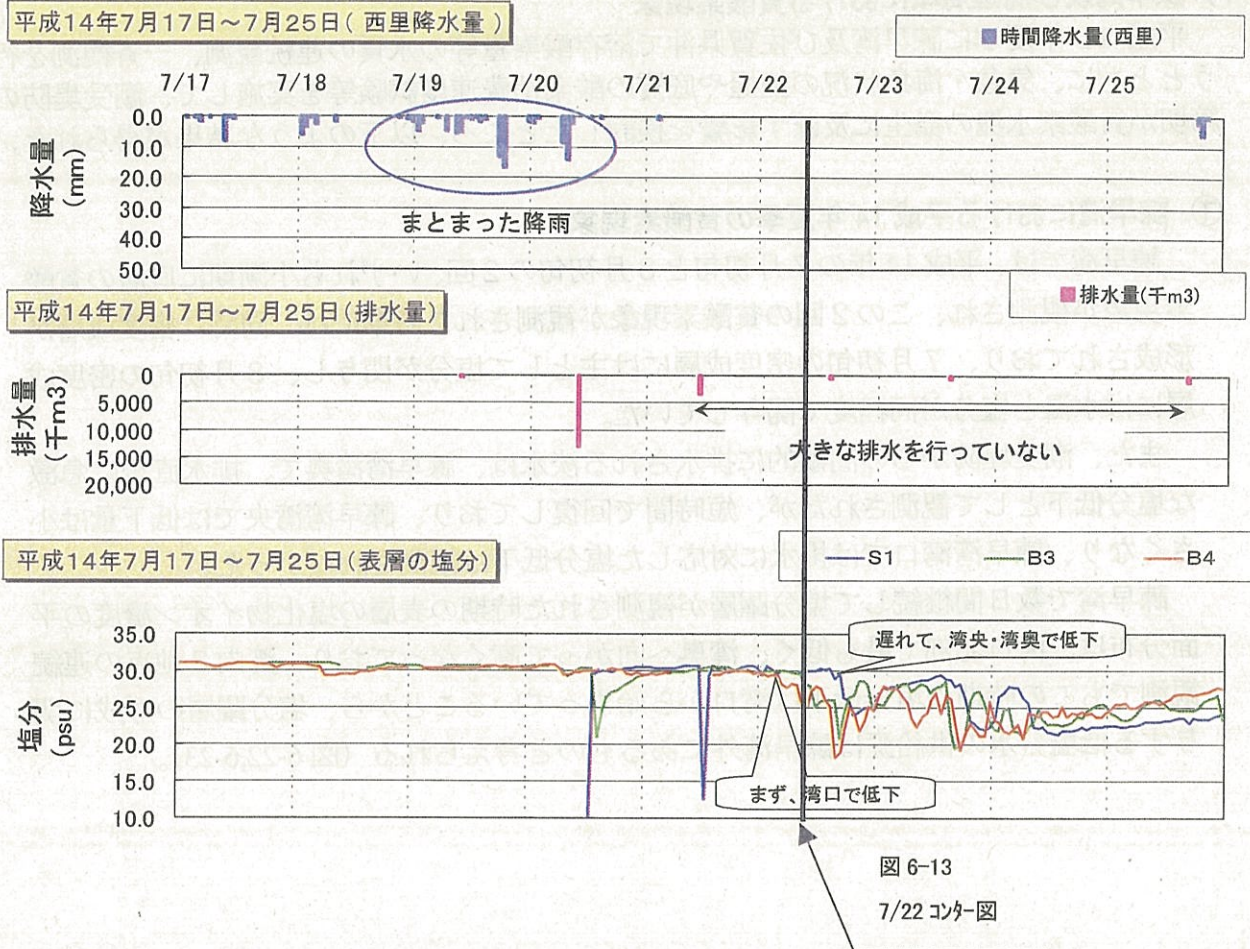


図 6-22 降水量、排水量、塩分の推移 (7月17日～7月25日)

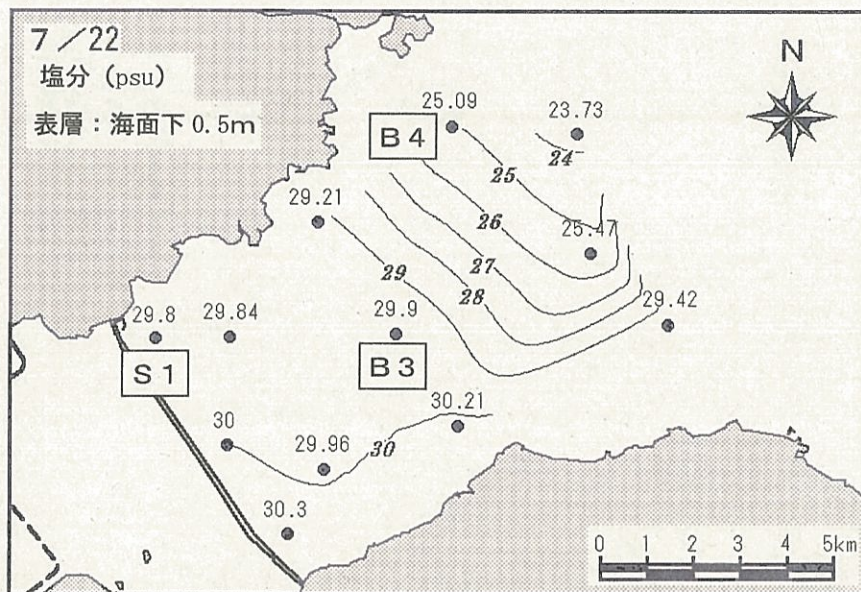


図 6-23 7月22日の表層(海面下0.5m)の塩分濃度コンター図

## ② 佐賀県沖における平成 14 年夏季の貧酸素現象

諫早湾と類似する底質の佐賀県沖において南北方向の側線で水質観測を行ったところ、諫早湾とほぼ同時期に底層で貧酸素現象が認められ、酸素飽和度は北部海域で低くなる傾向がみられた (図 6-24)。

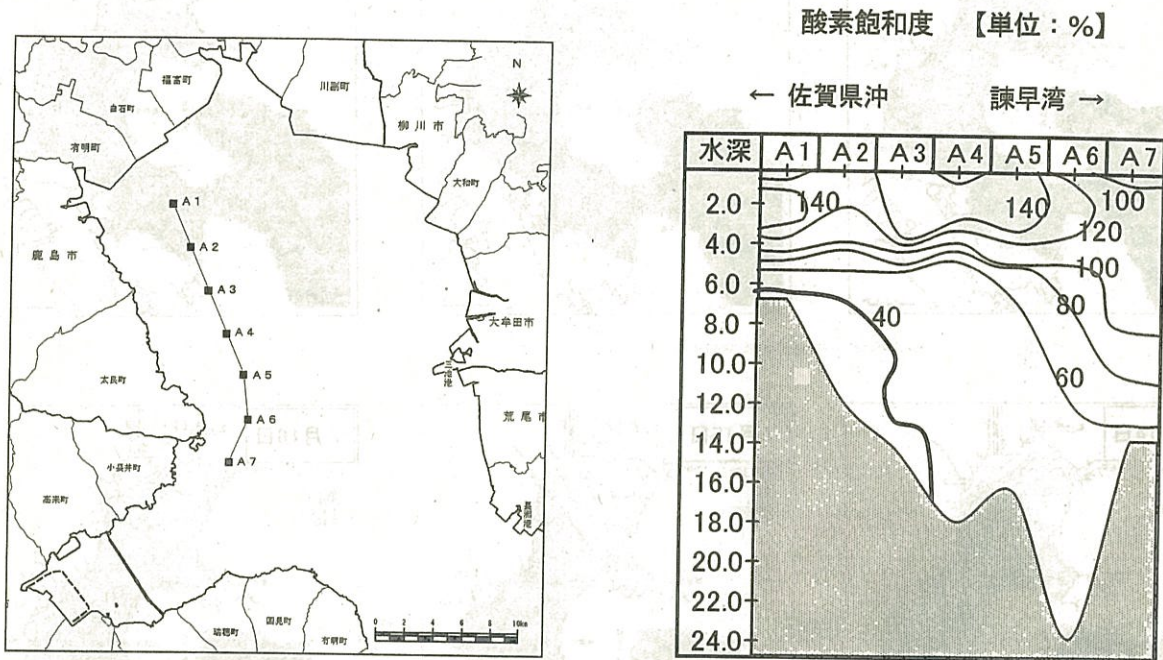


図 6-24 佐賀県沖から諫早湾にかけての酸素飽和度の断面分布 (平成 14 年 8 月 1 日)

## ③ 諫早湾における底質の酸素消費速度

諫早湾において、海域の貧酸素現象に関係が深いといわれる底質の酸素消費速度を測定したところ、環境省が行った佐賀県沖での測定値と類似した値であった。

## ④ 数値シミュレーションと浅海定線調査

数値シミュレーションによる出水時の塩分分布は、有明海の湾奥の筑後川等の大河川の河口前面で最も低く、有明海湾口に向かうにつれて高くなるとともに、有明海湾奥の低塩分水が諫早湾湾口へ達する状況が再現された (図 6-25)。

また、浅海定線調査による佐賀県沖での酸素飽和度の観測値の経時変化に加え、統計的手法を用いた正規確率分布によるあてはめを行った結果では、酸素飽和度の値に経年的に明らかな変化傾向は認められなかった (図 6-26)。

以上のような結果をまとめると、平成 14 年夏季の貧酸素現象に関係するような諫早湾全域にわたる塩分躍層の形成には、諫早湾外からの低塩分水の供給が関与しているものと考えられ、調整池からの排水は、有明海の広範囲かつ継続的な塩分躍層の形成について、主要な影響要因とはなっていないものと考えられる。また、諫早湾と佐賀県沖における現地観測、数値シミュレーション、観測データの分析等から、潮受堤防の締切は、佐賀県沖における貧酸素現象の影響要因とはなっていないものと考えられる。

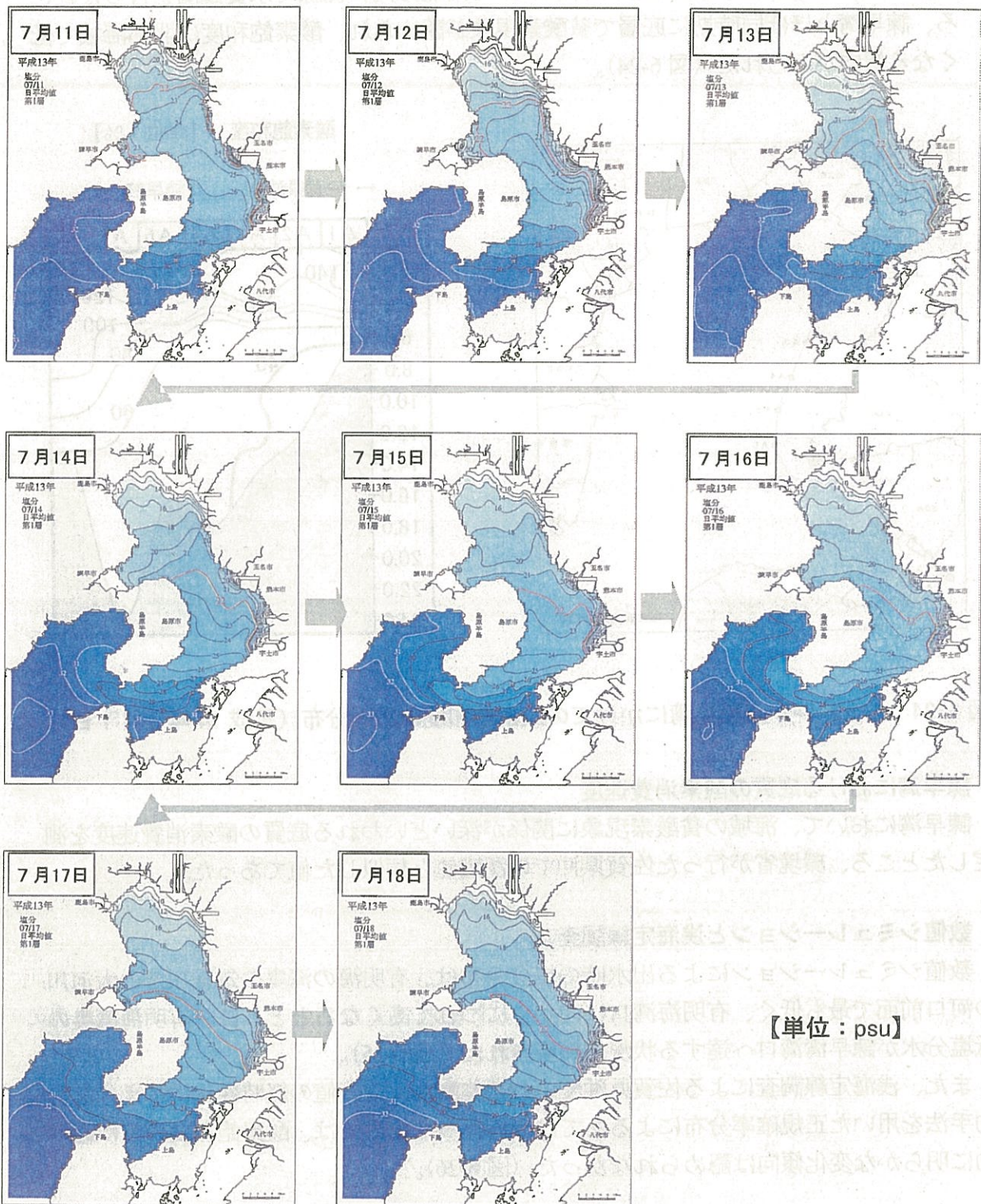
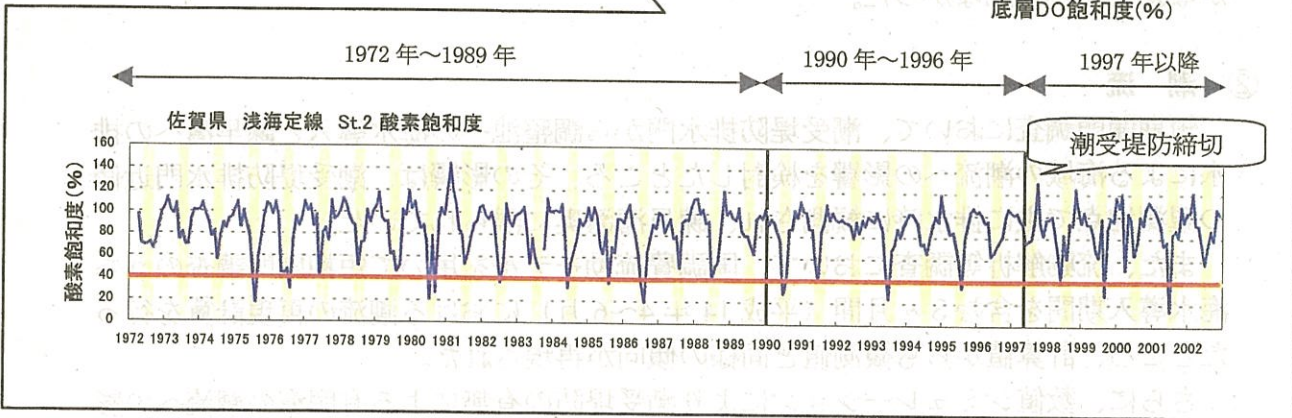
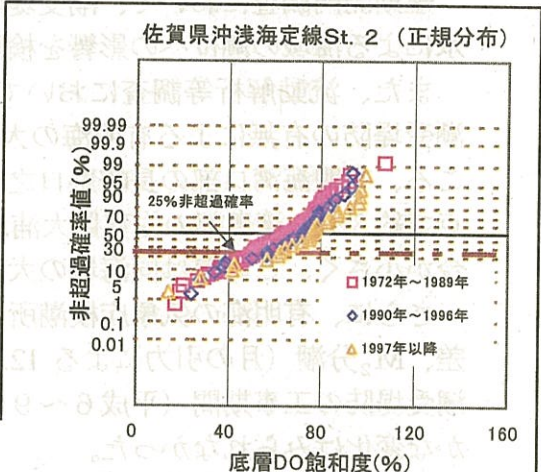
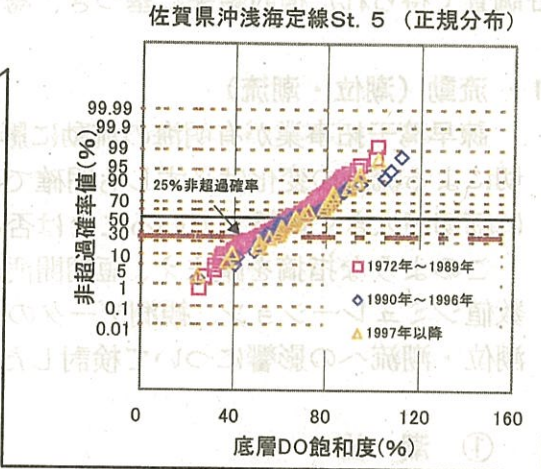
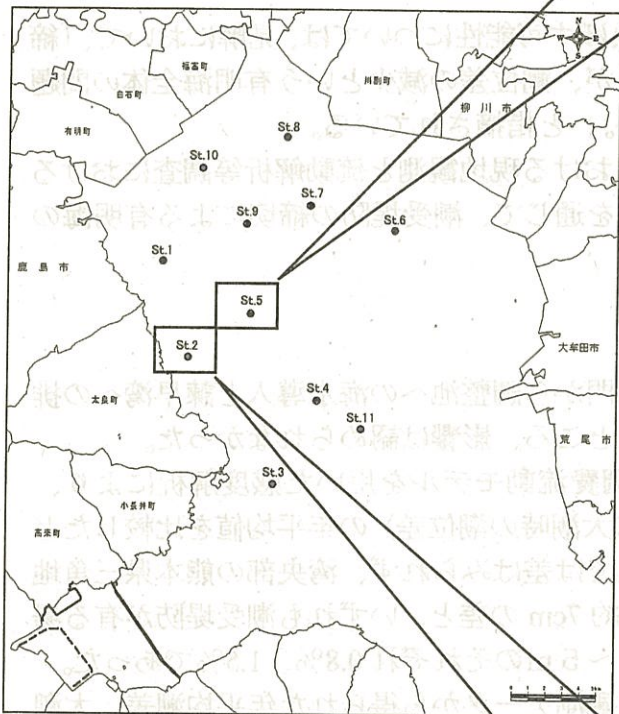
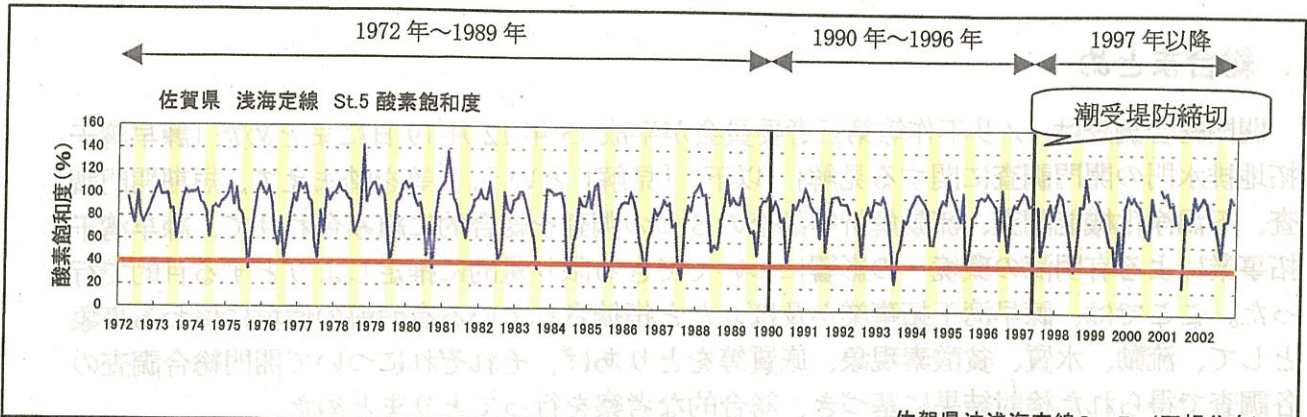


図 6-25 有明海における潮受堤防が有る場合の出水時の塩分分布 (第1層、日平均)  
 (表示期間：平成13年7月11日～7月18日)



注1) 佐賀県の浅海定線調査結果を基に作成  
 注2) 黄色の網掛け部分は6月から9月の期間  
 注3) 確率分布は6月から9月の観測値を用いて作成

図 6-26 佐賀県沖浅海定線調査での酸素飽和度の経時変化と確率分布のあてはめ

## 7. 総合まとめ

開門総合調査は、ノリ不作等第三者委員会が平成13年12月19日にまとめた「諫早湾干拓地排水門の開門調査に関する見解」（以下、「見解」という。）等を踏まえて、短期開門調査、干潟浄化機能調査、流動解析等調査の3つの調査を総合的に組み合わせて、諫早湾干拓事業による有明海の環境への影響についてできる限り量的に推定しようとする目的で行った。ここでは、諫早湾干拓事業が及ぼしたと指摘されている有明海の環境に係わる事象として、流動、水質、貧酸素現象、底質等を取りあげ、それぞれについて開門総合調査の各調査で得られた検討結果に基づき、総合的な考察を行ってとりまとめた。

### (1) 流動（潮位・潮流）

諫早湾干拓事業が有明海の流動に影響を及ぼす可能性については、見解において、「締切による流速の変化は必ずしも明確ではないが、潮位差の減少という有明海全体の問題に締切が大きく影響していることは否めない。」と指摘されている。

このような指摘を踏まえ、短期開門調査における現地観測と流動解析等調査における数値シミュレーション、観測データの分析等を通じて、潮受堤防の締切による有明海の潮位・潮流への影響について検討した。

#### ① 潮位

短期開門調査において、潮受堤防排水門から調整池への海水導入と諫早湾への排水による海域の潮位への影響を検討したところ、影響は認められなかった。

また、流動解析等調査において、国調費流動モデルを用いた感度解析により、潮受堤防の有無による有明海の大潮差（大潮時の潮位差）の年平均値を比較したところ、有明海湾口部の長崎県口之津地点では差はみられず、湾奥部の熊本県三角地点で約3cm、湾奥部の佐賀県大浦地点で約7cmの差と、いずれも潮受堤防が有る場合が小さく、この差は同海域の大潮差4～5mのそれぞれ0.8%、1.5%であった。

さらに、有明海の気象庁検潮所の潮位観測データから得られた年平均潮差、大潮差、 $M_2$ 分潮（月の引力による12.4時間周期の潮位変動）振幅の経時変化からは、潮受堤防の工事期間（平成6～9年）や最終締切時（平成9年4月）の前後で明らかな変化はみられなかった。

#### ② 潮流

短期開門調査において、潮受堤防排水門から調整池への海水導入と諫早湾への排水による海域の潮流への影響を検討したところ、その影響は、潮受堤防排水門近傍の観測地点で主に排水時に観測され、諫早湾湾奥に限られていた。

また、流動解析等調査において、国調費流動モデルを用いて短期開門調査のうち海水導入期間を含む3ヶ月間（平成14年4～6月）における潮流の再現計算を行ったところ、計算値からも観測値と同様の傾向が再現された。

さらに、数値シミュレーションにより潮受堤防の有無による有明海の潮流への影響を、潮流ベクトル（大潮時）と平均流ベクトルで比較したところ、その影響は、諫早湾周辺海域にとどまっていた。



以上のように、数値シミュレーションからは、潮受堤防の影響は、諫早湾外の有明海の大潮差に0.8~1.5%の差として現れるとともに、潮流については諫早湾周辺海域までに止まった。一方、潮位の観測データから大潮差等の経時変化を検討したところ、潮受堤防の影響によると考えられるような明らかな変化はみられなかった。このことから、潮受堤防の締切は諫早湾外の有明海の流動（潮位、潮流）に対する主要な影響要因とはなっていないものと考えられる。

## (2) 水質（水質と負荷）

諫早湾干拓事業が有明海の水質に影響を及ぼす可能性については、見解において、「現在も調整池に浄化機能がないわけではないと思われるが、やや大雑把な推定でも失われた浄化機能はかなり大きいものと考えられる。」とされ、さらに、「浄化機能が失われれば当然河川からの流入負荷が海域に達する割合は増え、したがって海域への負荷は増大したことになる。」と指摘されている。

このような指摘を踏まえ、短期開門調査における現地観測、干潟浄化機能調査における泥質干潟の干潟生態系モデルの構築と諫早干潟の水質浄化機能の推定、さらに流動解析等調査における数値シミュレーションと観測データの分析等を通じて、諫早湾干拓事業により失われた諫早干潟の水質浄化機能とそのことによる有明海の水質への影響について検討した。

### ① 水質

短期開門調査において、水質等の観測データから調整池の負荷収支を計算したところ、海水導入中の調整池の内部生産量は、海水導入前に比べ、若干大きな値が得られるとともに、海域への日平均排水量が増加したために、海水導入中の海域への総負荷量は海水導入前と比較して増加する結果となった。さらに、短期開門調査において調整池からの排水に伴う濁りの拡散を調査したところ、濁りは両排水門を中心として同心円状又は楕円状に海域表層を薄く広がっており、その拡散範囲は湾奥に限られ、湾央までは及んでいなかった。

また、流動解析等調査において、国調費水質モデルに泥質干潟の干潟生態系モデル（後述）を組み込んで、数値シミュレーションにより潮受堤防の有無による平成12年と13年の有明海の化学的酸素要求量（COD）、全窒素（T-N）及び全リン（T-P）への影響について検討を行ったところ、諫早湾外の有明海ではこれらの水質に有意な差はみられなかった。

一方、有明海における公共用水域水質測定等の水質観測データを、潮受堤防の工事前の平成2~5年度と締切後の平成9~13年度で比較すると、T-Pについては、締切後の平成9~13年度が若干高くなる傾向を示す一方、COD及びT-Nについては、締切後の平成9~13年度が低くなる傾向がみられた。また、諫早湾干拓事業に係る環境モニタリング（以下、「環境モニタリング」という。）からは、潮受堤防の締切前後で諫早湾内の水質（COD、T-N、T-P）は経年的にほぼ横這い傾向を示しており、全体として諫早湾内の水質の富栄養化の傾向はみられなかった。

### ② 干潟の水質浄化機能

諫早干潟の水質浄化機能を明らかにするために、まず、有明海に現存する干潟か

ら、同干潟に類似した泥質干潟として、有明海湾奥西部の佐賀県塩田川・鹿島川河口域の干潟を選定し、現地調査と室内試験を行って、泥質干潟の干潟生態系モデルを構築した。このモデルを用いて物質収支計算を行うことにより、類似干潟の水質浄化機能を計算したところ、窒素で  $8.4\text{mgN}/\text{m}^2/\text{日}$  となり、この結果を干潟生態系モデルで求めた既存の水質浄化機能の評価結果( $0.3\sim 137\text{mgN}/\text{m}^2/\text{日}$ )と比較すると、その範囲内にあるものの、比較的低い水準であった。

泥質干潟の干潟生態系モデルを用いて、過去の諫早干潟の現地調査結果等を踏まえて、諫早干潟の水質浄化機能を検討したところ、潮受堤防内の干潟域と浅海域を合わせた単位面積当たりの年間平均浄化量は、窒素で  $10.6\text{mgN}/\text{m}^2/\text{日}$  の浄化、干潟域に限定すると窒素で  $20.2\text{mgN}/\text{m}^2/\text{日}$  の浄化となり、陸域からの流入負荷量に対して窒素ベースで約 36% に相当する浄化量となった。

以上のように、数値シミュレーションからは、潮受堤防の有無あるいは諫早干潟の有無によって諫早湾外の有明海の水質には有意な差はみられず、浅海定線調査、公共用水域水質測定、環境モニタリング等の観測データからも、潮受堤防の締切前後で、これに起因すると考えられるような水質の変化は確認されなかったことなどから、潮受堤防の締切は、諫早湾外の有明海の水質に対する主要な影響要因とはなっていないものと考えられる。

なお、ノリ不作等第三者委員会が平成 15 年 3 月 27 日にまとめた「最終報告書—有明海の漁業と環境の再生を願って」においては、有明海の水質について、化学的酸素要求量 (COD) は「1990 年代は横ばいないし微減」、全窒素 (T-N)、全リン (T-P) は「どちらもほぼ横ばいの傾向」とされている。

### (3) 貧酸素現象

有明海における貧酸素水塊の発生と諫早湾干拓事業の関係については、見解において、「締切で流動が低下し成層が起きやすくなり、負荷の増大が底質の酸素要求量の増大につながり、これらがあいまって水温の上昇時期に底層に貧酸素状態を現出させた可能性が考えられる。排水門から局所的にかつ間歇的に放出される淡水が密度差をつくり、成層形成を助けている、また、工事に用いられた海砂の採取跡も貧酸素の発生を助長している、などの可能性の指摘もある。」と指摘されている。

このような指摘を踏まえ、短期開門調査における現地観測と流動解析等調査における貧酸素現象の現地観測や数値シミュレーション等を通じて、諫早湾干拓事業による有明海の貧酸素現象への影響について検討した。なお、ここでは酸素飽和度 40% 以下を「貧酸素」とした。

#### ① 短期開門調査における貧酸素現象等

短期開門調査においては、海水導入によって調整池に塩分躍層が形成され、5 月上旬と下旬には潮受堤防排水門近傍の調整池底層で一時的に貧酸素現象が観測された。一方、海域においては、排水門から排水が行われていない 5 月上旬には諫早湾全体の表層で塩分が低下したが、この時の表層の塩分は湾奥・湾央よりも湾口の方が低くなっており、諫早湾外からの低塩分水の供給が考えられた。

## ② 調整池排水と底質の関係

諫早湾における底質の酸素消費速度は、佐賀県沖の泥質の底質が分布する海域での酸素消費速度と類似した値を示している。また、調整池からの負荷については、環境モニタリングでは潮受堤防の締切前後で諫早湾の水質（COD、T-N、T-P）は経年的にほぼ横ばいで、富栄養化の傾向はみられないとともに、数値シミュレーションでも、潮受堤防の有無による諫早湾内のCOD、T-N、T-Pについて、有意な差はほとんどみられていないことから、負荷の増大に伴って底質の酸素要求量が増大した可能性は考え難い。

## ③ 調整池排水と塩分躍層の関係

平成14年夏季における諫早湾と佐賀県沖での水質連続観測結果から、調整池からの間歇排水の影響は、諫早湾湾奥と一部湾央で観測されるものの、塩分低下の継続時間は短く、影響は湾口までは及んでいなかった。また、短期開門調査中の5月上旬の小潮期には排水門から排水が行われていない時期においても諫早湾内に広く塩分躍層が形成されているとともに、国調費流動モデルを用いた短期開門調査の再現結果として、5月上旬の降雨後に、有明海湾奥の低塩分水が諫早湾湾口へ達する状況が再現された。

一方、国調費調査報告書（p.3-103）では、平成12年（2000年）の有明海の塩分の再現計算結果について、「塩分の平面分布は2000年7月、10月をはじめ、有明海の湾奥もしくは筑後川等の大河川の河口前面領域で濃度が低く、有明海湾口に向かうにつれて濃度が高くなる傾向を示している」とされており、このような有明海湾奥の大河川河口域から供給された低塩分水が諫早湾内の塩分躍層の形成に関与しているものと考えられる。

以上のように、現地観測と数値シミュレーションから、調整池からの排水は諫早湾湾奥の表層の塩分低下現象として観測されるものの、平成14年夏季の貧酸素現象に関係するような諫早湾全域にわたる塩分躍層の形成には、諫早湾外からの低塩分水の供給が関与しているものと考えられる。このようなことから、調整池からの排水は、有明海の広範囲かつ継続的な塩分躍層の形成について、主要な影響要因とはなっていないものと考えられる。また、諫早湾と佐賀県沖で底質の酸素消費速度は類似した値を示すとともに、佐賀県沖では1970年代から貧酸素現象が観測されており、平成14年夏季には、諫早湾内で貧酸素水塊が形成されたのとはほぼ同時期に佐賀県沖でも貧酸素現象が観測され、酸素飽和度は北部海域で低くなる傾向がみられたことから、潮受堤防の締切は、佐賀県沖における貧酸素現象の影響要因とはなっていないものと考えられる。

## （4）底質

諫早湾干拓事業が諫早湾の底質に影響を及ぼす可能性については、見解において、「潮受け堤防前面海域に浮泥が溜まり、底質が細粒子化していると言われる。これは干拓事業の事前の環境影響評価で、流速の低下に伴って起こると予測されていたことでもある。」と指摘されている。

このような指摘を踏まえ、短期開門調査における現地観測と流動解析等調査における数値シミュレーション、観測データの分析等を通じて、諫早湾干拓事業と諫早湾の底質

の粒度との関係について検討した。

短期開門調査においては、諫早湾の底質の粒度組成等は、海水導入前後で変化は小さかった。

また、流動解析等調査において、諫早湾及び周辺海域について、底質の浸食・堆積傾向を検討する底質モデルを構築して、潮受堤防の有無による底質の粒度への影響を検討したところ、潮受堤防が有る場合には諫早湾湾口中央付近の一部において底質が細粒化する傾向がみられたが、諫早湾内における粗粒化や湾外における細粒化や粗粒化の傾向はみられなかった。

なお、環境モニタリングの底質調査では、湾奥の調査地点の一部で潮受堤防の施工中と締切後に底質の粒度変化が観測されたが、これは潮受堤防施工中の潮流速の増大により底質が一時的に粗粒化した後、最終締切後に潮流速が減少したことによる細粒化と考えられた。諫早湾の湾口及び湾外の観測地点では、底質の粒度について、潮受堤防の締切前後で一定の変化傾向はみられなかった。

以上のように、数値シミュレーションからは、諫早湾湾口の一部で潮受堤防の有無により底質が細粒化する傾向がみられたものの、環境モニタリングからは、湾口付近の底質の粒度について一定の変化傾向はみられなかった。

## (5) その他

諫早湾干拓事業と有明海の海生生物との関係については、見解において赤潮と底生生物に関して指摘されており、赤潮については、「1997年の締切以降、長崎、熊本両県では発生件数が増えており、その増加は西海区水研の解析によれば統計的に有意である。福岡、佐賀両県では締切前後の発生件数に有意差はなく変化は認められない。長崎、熊本両県の発生件数の増加が締切後のどんな環境要因の変化によるものかは今後の検討を要しよう。」とされている。

国調費水質モデルにおいては植物プランクトンが扱われており、国調費調査の報告書では赤潮の発生指標としてクロロフィルa濃度(0.03mg/L以上)が用いられている。流動解析等調査において同モデルを用いて数値シミュレーションを行い、潮受堤防の有無によるクロロフィルaの平面分布(第1層)を比較したところ、諫早湾外の有明海においては明らかな差はみられなかった。また、ノリ不作があった平成12年度ノリ期の内4ヶ月間(平成12年12月～平成13年3月)について、有明海湾奥及び諫早湾におけるクロロフィルa濃度0.03mg/L以上の発生面積を潮受堤防の有無により比較したところ、差はほとんどみられなかった。

なお、有明海の海域環境がノリ、二枚貝等の生物生産に及ぼす影響については、平成13年度～15年度の3ヶ年間で、行政対応特別研究として(独)水産総合研究センターを中心に解明が進められている。

## (6) まとめ

今回の開門総合調査によって、諫早湾干拓事業による有明海の流動、水質、貧酸素現象、底質への影響については、かなり明らかにできたものと考えられる。

諫早湾干拓事業による有明海の環境への影響について、数値シミュレーションと観測データの分析等により、総合的な考察を行ったところ、検討項目により影響の程度に違いがみられるものの、潮受堤防の締切による影響は、ほぼ諫早湾内に止まっており、諫

早湾外の有明海全体にはほとんど影響を与えていないという結果が得られた。

以上の結果として、諫早湾干拓事業への着手に先だって行われた環境影響評価と共通する項目については、その予測の範囲※にほぼ収まっていた。

なお、赤潮については、水質、流動及び底層の貧酸素化が、底生生物（タイラギ、アサリ等）については、流動、赤潮、底層の貧酸素化及び底質の変化が関係しているという可能性が指摘されており、間接的ではあるが、以上の検討の中で諫早湾干拓事業との関係を一部明らかにできたと考えている。しかしながら、有明海における赤潮の発生メカニズムや底生生物の減少要因等の生物関係の課題については、行政対応特別研究等による調査研究が進められている段階にあることから、これらも含めて、本分野に係る試験研究機関等による新たな知見に期待したい。

開門総合調査において、以上のような成果が得られた一方で、調査の一環として実施した短期開門調査では、調整池への海水導入による淡水性生物への影響軽減を図るため、魚類の採捕と避難放流を行ったが、海水導入によって調整池では、ギンブナ等の淡水性の魚類や二枚貝のドブガイが多量に斃死した。また、短期開門調査期間中に、一部の潮遊池で塩化物イオン濃度が上昇するとともに、平成14年の6～9月は例年に比べて降水量<sup>1</sup>が少なく、調整池の再淡水化が当初想定した2ヵ月から6ヵ月に長期化し、背後地への塩水被害の不安が出るなど、被害回避対策を実施したにもかかわらず、調整池への海水導入に伴っていくつかの課題も生じた。

※) 巻末資料4. 環境影響評価の結果の概要（開門総合調査との共通項目）を参照

## おわりに

開門総合調査は、有明海全体としての環境改善の方策を講ずるための総合的な調査の一環として、有明海の環境変化への影響が指摘されている要因の一つである諫早湾干拓事業が有明海の環境に及ぼしているとされる影響について検討を行った。

この開門総合調査で得られた知見や成果を諫早湾干拓事業の円滑な事業実施に生かすとともに、有明海の再生に向けた取組みにこれらの成果を活用していきたい。

最後に、開門総合調査の実施に際して、指導・助言を頂いた開門総合調査運営会議の委員各位、調査にご協力を頂いた関係者の皆様に深甚の感謝の意を表して、むすびの言葉としたい。

=====  
巻末資料 1. 開門総合調査運営会議関係資料  
=====

1. 1 設置要領

諫早湾干拓事業開門総合調査運営会議設置要領

(趣旨)

第1条 諫早湾干拓事業の開門総合調査を実施するに当たり、調査方法、調査の管理運営及び調査の取りまとめに対する指導・助言を得るために、諫早湾干拓事業開門総合調査運営会議（以下「運営会議」という。）を九州農政局に設置する。

(組織)

第2条 1. 運営会議は、別紙に掲げる委員をもって組織する。  
2. 運営会議には座長を置き、委員の互選によって選任する。  
3. 座長は、運営会議を代表し、会務を総括する。  
4. 座長に事故があるときは、あらかじめその指名する者がその職務を代理する。

(定義)

第3条 開門総合調査は、開門調査（海水導入調査）、干潟浄化機能調査及び流動解析等調査により構成される。

(所掌)

第4条 運営会議は次に掲げる事項について指導・助言を行う。  
1. 開門調査（海水導入調査）による影響予測の評価及び対策  
2. 開門総合調査の具体的手法  
3. 開門調査（海水導入調査）の実施に当たっての不測の事態等への対応  
4. 開門総合調査の取りまとめ

(運営)

第5条 運営会議は、以下のとおり運営するものとする。  
1. 運営会議は、座長が召集し、これを進行する。  
2. また、運営会議は、九州農政局長から要請があった場合には、緊急に開催する。  
3. 座長は、必要に応じて第2条第1項に掲げる者以外の者を会議に出席させることができる。  
4. 運営会議は、必要に応じ部会を設置することができる。

(事務局)

第6条 運営会議の庶務を処理するため、事務局を九州農政局整備部設計課に置く。

(その他)

第7条 この要領に定めるもののほか、運営会議の運営に関して必要な事項は、運営会議に諮って定める。

附則

- 1 この要領は、平成14年4月 5日から施行する。
- 2 この要領は、平成14年4月22日から施行する。
- 3 この要領は、平成14年5月10日から施行する。



1. 2 委員名簿

諫早湾干拓事業開門総合調査運営会議委員名簿

平成14年度（第5回まで）

| 役 職  | 氏 名   | 所 属 等                | 備 考 |
|------|-------|----------------------|-----|
| 座 長  | 塚原 博  | 九州大学名誉教授             |     |
| 座長代理 | 野口 正人 | 長崎大学工学部教授            |     |
|      | 伊勢田弘志 | 熊本県水産研究センター所長        |     |
|      | 小坂 安廣 | 長崎県総合水産試験場長          |     |
|      | 戸原 義男 | 九州大学名誉教授             |     |
|      | 豊貞 雅宏 | 九州大学大学院工学研究院教授       |     |
|      | 白島 勲  | 佐賀県有明水産振興センター所長      |     |
|      | 本田清一郎 | 福岡県水産海洋技術センター有明海研究所長 |     |
|      | 真木 太一 | 九州大学大学院農学研究院教授       |     |

※座長、座長代理以外の委員は50音順、所属等は委員当時

平成15年度（第6回以降）

| 役 職  | 氏 名   | 所 属 等                 | 備 考 |
|------|-------|-----------------------|-----|
| 座 長  | 塚原 博  | 九州大学名誉教授              |     |
| 座長代理 | 野口 正人 | 長崎大学工学部教授             |     |
|      | 菊池 泰二 | 九州ルーテル学院大学人文学部教授      |     |
|      | 滝川 清  | 熊本大学沿岸域環境科学教育研究センター教授 |     |
|      | 戸原 義男 | 九州大学名誉教授              |     |
|      | 豊貞 雅宏 | 九州大学大学院工学研究院教授        |     |
|      | 中田喜三郎 | 東海大学海洋学部教授            |     |
|      | 真木 太一 | 九州大学大学院農学研究院教授        |     |

※座長、座長代理以外の委員は50音順、所属等は委員当時

### 1. 3 開催状況

| 年度     | 回 | 開催日            | 主な議題   | 備考   |
|--------|---|----------------|--|--|
| 平成14年度 | 1 | 平成14年<br>4月6日  | ○諫早湾干拓事業の概要と短期開門調査を含む開門総合調査の説明   |  |
|        | 2 | 平成14年<br>4月23日 | ○短期開門調査の進め方についての検討<br>・短期開門調査による影響とその対応<br>・短期開門調査に係る水質等観測計画<br>・不測の事態における対応 |  |
|        |   |                |  | ・調整池への海水導入の開始(4月24日)<br>・運営会議委員による短期開門調査の現地調査(5月12日)<br>・調整池への海水導入の終了(5月20日) |
|        | 3 | 平成14年<br>5月26日 | ○短期開門調査の実施状況の検討<br>○干潟浄化機能調査及び流動解析等調査の基本的考え方の検討                              |  |
|        | 4 | 平成14年<br>10月3日 | ○短期開門調査、干潟浄化機能調査、流動解析等調査の中間報告の検討   |  |
|        |   |                |  | ・短期開門調査の現地観測の終了(12月10日)  |
|        | 5 | 平成15年<br>2月15日 | ○短期開門調査報告書案の検討<br>○干潟浄化機能調査、流動解析等調査の中間報告の検討                                  |  |
|        |   |                |  | ・短期開門調査報告書の公表(5月8日)  |
|        |   |                |  |  |
| 平成15年度 | 6 | 平成15年<br>5月27日 | ○干潟浄化機能調査、流動解析等調査の中間報告の検討  |  |
|        | 7 | 平成15年<br>7月3日  | ○干潟浄化機能調査、流動解析等調査の中間報告の検討<br>○全体報告書骨子案の検討                                    |  |
|        | 8 | 平成15年<br>8月9日  | ○干潟浄化機能調査の報告書案の検討<br>○流動解析等調査の報告書案の検討<br>○開門総合調査の全体報告書案(第1～4章)の検討            |  |
|        | 9 | 平成15年<br>9月27日 | ○干潟浄化機能調査の報告書案の検討<br>○流動解析等調査の報告書案の検討<br>○開門総合調査の全体報告書案の検討                   |  |
|        |   |                |  |  |

=====  
巻末資料2. ノリ不作等第三者委員会「諫早湾干拓地排水門の開門調査に関する見解」  
=====

諫早湾干拓地排水門の開門調査に関する見解（以下、見解）を  
まとめるに当たって

昨2000年12月初め、有明海の全域にほぼ同時に始まったリゾソレニア赤潮はこの時期には例を見ない長期にわたって続き、海水中の栄養塩を奪ってノリの色落ちを広範囲に引き起こし、嘗て経験したことのないノリの不作をもたらした。

有明海ではすでに1970年代後半からアサリ、タイラギ等重要な漁獲対象二枚貝資源の衰退が続き環境の悪化が懸念されていた。ノリの大不作はこの懸念を一挙に高め、特に諫早湾干拓事業との関連を指摘する漁業者の環境回復の強い要望を背景として、農林水産省は本「有明海ノリ不作等対策関係調査検討委員会」（以下、委員会）を発足させた。

委員会では3月に3回の会合を持ち、また委員会に設置した排水門グループと調査計画グループでの検討も行った。3回目の会合でその間の論議をまとめ、その時点でのノリ不作の原因ならびに有明海の現状についての認識、4月以降の調査のあり方等を示した。

ノリ不作については11月には珍しい大量の降雨、それに続く異例の長い日照時間等、異常な気象条件が重なったことを直接の原因としたが、その素因としては有明海の富栄養化があること、また、赤潮抑制に働くはずの二枚貝の減少等の関連の可能性を指摘した。福岡、佐賀、熊本3県の漁業協同組合連合会からは諫早湾干拓地の排水門の即時開放の強い要望が出されたが、委員会としてはまずノリ不作が生じた環境をできるだけ変えずに1年間調査し、それ以後に、比較のため、また、干拓地の機能を知るために開門の必要が生じるであろうと考え、閉門調査を優先させることとした。

4月以降、ノリ不作対策等の検討と平行して、開門調査について具体的な排水門の開け方、調査のあり方について先に触れた2つのグループそれぞれで、また、合同で検討会を持ち、議論を重ねてきた。3月時点ですでに述べたことだが、調査のためとはいえ、排水門を開けることによって、被害を生ずるようなことがあってはならないので、この点にも留意しながら検討が行われた。

検討は、3回目にとりまとめた開門調査に関わる見解に基づいて排水門の開門の際に考えるべき条件が農村振興局から示され、これについての排水門グループでの吟味、これらの条件下での調査のあり方についての調査計画グループでの議論を繰り返す形で行われた。この結果、10月の両グループでの検討において、当初に考えていたような開門は直ぐには実現の可能性が低く、開門の意義を再考すべきであろうとの結論に達した。そして、諫早湾干拓事業が有明海の環境に影響を及ぼしていると指摘されている事項に関して、その適否とそれらに関して開門調査で得られる知見についての各委員の見解を委員長からのアンケートという形で問い、その回答を踏まえて委員会としての開門調査に関する見解をまとめることとした。見解の原案を11月21日の合同

検討会に示し、その席で改めて項目ごとに討議を重ね、その時の討議ならびにその後の修正に関する委員からの指摘を受けて、ここに示すような見解を作成するにいたった。見解は有明海の環境悪化の原因についての情報を得る一環としての開門調査の進め方についての考え方を示したもので、開門調査のできるだけ早い実現を期待する。

なお、今期のノリ作は順調に始まったと見られたが、11月末から熊本沖の漁場で珪藻赤潮による色落ちの被害が発生、他県の漁場にも被害を生じた。幸い昨年のような全域での大被害にはいたらなかった。今後のノリ生産が順調に推移することを期待するが、赤潮は毎年発生し、色落ちも規模はともかく毎年生じている。有明海の環境はそう容易には回復しないことを銘記し、用心を怠ることはできない。委員会としても今後有明海の環境回復の方策を探ることに全力を傾けたい。

平成13年12月19日  
農林水産省有明海ノリ不作等対策関係調査検討委員会  
委員長 清水 誠

=====

平成13年12月19日

諫早湾干拓地潮受け堤防排水門の開門調査について

農林水産省有明海ノリ不作等対策関係調査検討委員会

### 要 約

本年3月のまとめで、1年間まず閉門調査を行い、その後に開門調査を考えるとしていたが、当時期待していた水位変動下での調査は現在潮受け堤防が果たしているとされる防災機能の維持などから、にわかには実現が困難と見られる。そこで、諫早湾干拓事業が原因と指摘されている有明海の環境変化の諸事象について、開門調査でその指摘の適否が検証可能か、との観点からその意義を捉え直すこととした。

環境変化として指摘されているのは、①水質浄化機能の喪失と負荷の増大、②流動の変化（潮位、流速、流向）、③赤潮の増加、④貧酸素水塊の発生、⑤タイラギ、アサリ等の減少、生育不良および稚貝の斃死、⑥諫早湾の底質の変化（細粒子化、浮泥の堆積）と底生生物の減少の6項目で、これらについてその適否を判断し、開門でそれらに対する潮受け堤防締切の影響が合理的に推測されるかどうかを検討した。検討の結果は以下の通り。

①については干拓地が締切前に果たしていた水質浄化機能が失われ、海域への負荷が増大し、開門調査で影響検証の可能性はある。開門はできるだけ長く大きいことが望ましい。②については、最近観測されている大潮期の潮位差の減少は潮受け堤防締切が主な要因であると推測されたが、これを開門調査で検証することは困難で、まず種々の条件でのシミュレーションが必要であろう。③については締切以後長崎、熊本両県での赤潮発生件数が統計的に有意に増加しているが、開門調査での原因解明は困

難であろう。④については、締切で流動が低下し、成層が起きやすくなり、負荷の増大が底質の酸素要求量の増大につながり、水温上昇期に底層の貧酸素状態を現出させた可能性があり、⑥とも関連しよう。すなわち、潮受け堤防締切によって諫早湾の流動が低下し、他海域および調整池から供給される浮泥が溜まった可能性は否定できない。また、観察されている底生生物の生息密度の減少傾向には底質の変化および底層の貧酸素の影響が大きいと考えられる。⑤に関して、長崎県のタイラギ資源の減少には生息域の底質の変化や、底層の貧酸素化が、また、アサリの夏季の斃死には有害赤潮と貧酸素の影響が指摘されている。このように諫早湾の流動の低下は種々の問題に関係しており、開門調査で諫早湾の流動や底質の変化が観測されれば締切の影響に関する知見が得られ、環境悪化の緩和にも役立つ、と考えられる。

以上見たように、諫早湾干拓事業は重要な環境要因である流動および負荷を変化させ、諫早湾のみならず有明海全体の環境に影響を与えていると想定され、また、開門調査はその影響の検証に役立つと考えられる。現実的な第一段階として2ヶ月程度、次の段階として半年程度、さらにそれらの結果の検討をふまえての数年の、開門調査が望まれる。調査に当たって、開門はできるだけ長く、大きいことが望ましい。最終的には3月に想定したような水位変動の実現が期待されるが、その条件が整うまでの間も洪水・灌漑期以外は水位管理の条件をゆるめ、できるだけ毎日の水位変動を大きくし、できる干潟面積を増やすことが望ましい。

今後は諫早湾干拓事業以外の過去の主な開発行為や周辺の社会経済的な経年変化等についても、これらが有明海の環境に及ぼしたと想定される影響について検討を進めたい。

=====

### 諫早湾干拓地潮受け堤防排水門の開門調査について

3月におけるまとめで、まずノリ不作の生じた環境をできるだけ変えずに十分に調査し、その後開門して調査し、比較を行うことを予定していた。この時点では、開門調査により得られると期待した成果は潮受け堤防締切により失われた干潟を含む干拓地の水質浄化機能の評価およびその回復の速さ、ならびに潮受け堤防外ならびに有明海全体の環境への影響を推測することであった。その前提としては排水門を常時開放して達成可能な最大限の水位変動（締切前の水位変動の50-60%程度であると予想されていた）を実現することを考えていた。

しかし、その後の検討により、常時全面開放を行い最大限の水位変動を実現するとすれば、防災機能の維持、排水門の安全性に多大な困難が生じ、これらを克服するためには多くの経費と年月を要すると見られる。

一方現状をあまり変えず、被害を生じさせないための最小限の簡易な対策で早期に開門を実現させることを考えると、調整池の水位を-1.0mから-1.2mの範囲で変動させることが可能となるに過ぎず、調整池内に回復が期待される干潟面積は100ha程度に止まる。さらに灌漑期・洪水期(6-10月)を避ける必要から常時開放は実現できず、

開門調査の期間は11-5月に限られ、したがって、最長開門継続期間は7ヶ月となるが、このうち5月および11月の降雨には注意を要する。このように、開門調査によって失われた干潟を含む干拓地の機能とその回復の速さを知るという当初の期待はにかには実現不可能であると考えられる。

開門調査は有明海の環境変化の原因を探求し、その回復の方策を探る総合的な調査の一環であって、排水門を開けること自体が目的ではない。早期に当初に期待した調査が実現困難と考えられる現時点で改めて開門調査の意義を捉えなおす必要がある。その意義は諫早湾干拓事業が引き起こしたと指摘されている有明海の環境変化の諸事象について、その指摘の適否を検証することであろう。なお、ここで検証と述べたが、このことは過去の事象ないし原状の再現を期待しているわけではない。それは潮受け堤防を撤去し、干拓地を元の状態に戻さなければ実現しないことは明らかである。ここでの検証は、過去に起こったことの再現ではなく、諫早湾でいろいろの環境要因が変化するとそれに伴ってどんな現象が起きるか、それは過去に起きたのではないかと指摘されていることと矛盾しないか否かを知ることである。要するに、推測についての学術的に厳密な証拠というよりは、合理的根拠を得ることである。指摘されている環境悪化が開門調査で回復の方向に向かうことが確認されるのであればさらに望ましいといえよう。以下、これまで指摘されている事象について検討した結果を述べる。

#### 水質浄化機能の喪失と負荷の増大

潮受け堤防の完成とともに諫早湾の干潟 1,550ha (環境庁 1994) が失われ、二枚貝類などのベントスをはじめ海産の動植物相が壊滅した。このことは干潟の浄化機能が失われたことを意味する。現在諫早湾干拓地の調整池は淡水化が進み、生物相は淡水ないし汽水のものとなっている。現在も調整池に浄化機能がないわけではないと思われるが、やや大雑把な推定でも失われた浄化機能はかなり大きいものと考えられる。(付1参照)

浄化機能が失われれば当然河川からの流入負荷が海域に達する割合は増え、したがって海域への負荷は増大したことになる。また、それほど長くはないが調整池に滞留する間に生ずる内部生産が負荷をさらに増大させている可能性もある。

なお、ここでは干潟の浄化機能のみを取り上げたが、干潟には豊かな生物の営みがあり、近傍の水域のみならず広い範囲の生態系維持に大きな機能を発揮している。こうした多面的な機能も損なわれたことを認識しておく必要がある。(付2参照)

それでは開門調査でこれらの影響について何か知見が得られるであろうか？開門しても短期調査では、できる干潟の面積が限られ、また直ぐに海産の生物相が回復するわけではないので、得られる情報はきわめて限られたものとなるであろう。しかし、海水環境になり水位変動が始まった時点から、底泥中の間隙水や生物相が、また浄化能も、どのように変化するかを現場で観測することは大きな意味があると考えられる。また同時に堤防内外の水質分布の変化を詳細に調査することはシミュレーションの検証など、いろいろ役立つ情報が得られよう。当然ながら調査は長いほど、水位変動は大きいほど望ましい。さらに究極的には3月に想定したような水位変動の実現が望まれる。

## 流動の変化(潮位、流速、流向)

最近観測されている潮位の上昇、大潮期の潮位差の減少などは有明海の外の海域を含めた広域に見られる現象である。しかし、潮位に関して口之津と大浦の大潮期の潮位差の変化を数値シミュレーションも用いて分析すると、締切に伴って相対的に大浦の減少が大きくなっており、湾奥の潮位差の低下に対する締切の影響が認められる。近年の平均水位の上昇にともなう水深の増大や、外海の潮位差の低下も有明海全体の潮位差の低下に影響するが、これまでの研究によれば湾奥への影響の主要な原因の1つは潮受け堤防による諫早湾締切とされている。(付3参照) なお、潮位差の減少は有明海全域での干潟面積の減少につながることに留意する必要がある。

潮位差の減少は流速にも影響すると考えられるが、今年2月の西海区水産研究所の調査では1978年の海上保安庁水路部による調査の時より平均して12%流速が低下しているとした。しかし、海上保安庁水路部の今年5月の調査では変化したとは言えないとされた。

有明海で流速は近傍でも地点によってかなり違うと言われる。したがって異なる時点での観測の比較は容易ではなく、締切による流速の変化は必ずしも明確ではないが、潮位差の減少という有明海全体の問題に締切が大きく影響していることは否めない。

それでは開門調査によって流動への影響の検証が可能であろうか? 常時全面開放すれば流動がもどるといふ試算結果もある(経塚ほか、2000)ので、可能性はないとは言えない。しかし、水位管理下の流速を制限しての開門では知見は得られないであろう。まず、種々の条件でのシミュレーションを行う必要がある。

なお、諫早湾内については流動の低下が著しく、このことがいろいろな環境影響を引き起こしている可能性が高いが、これらについては現象によっては制限条件付きの開門でも知見が得られる可能性がある。このことに関してはそれぞれの項で触れたい。

## 赤潮の増加

1997年の締切以後、長崎、熊本両県では発生件数が増えており、その増加は西海区水産研究所の解析によれば統計的に有意である。福岡、佐賀両県では締切前後の発生件数に有意差はなく変化は認められない。長崎、熊本両県の発生件数の増加が締切後のどんな環境要因の変化によるものかは今後の検討を要しよう。

佐賀県での例を見ると水質の変化と発生件数の変化がかなりよく対応しているように見られる。締切によって浄化能が失われ海域への負荷が増大した可能性があるかと先に述べたが、これが長崎、熊本両県地先水域の水質にどのような影響を与えたかは現時点では不明である。浅海定線データなどを用いて長期にわたる期間の解析が必要である。

赤潮の発生には水質とともに流動、日射量なども大きく影響する。また、底層水が貧酸素化すると底質からの栄養塩や増殖促進物質の溶出が増え、赤潮発生を容易にすると言われる。(付4参照)

開門調査で赤潮発生件数の増減を直接観測することは困難であろう。しかし、開門は諫早湾の流動の変化を引き起こし、成層を形成しにくくする可能性もあり、この意味で開門調査の意義はあろう。できるだけ大きく、長い開放が望ましい。

### 貧酸素水塊の発生

有明海は大潮時の潮位差が湾奥で6m 近くになり、潮汐による海水の上下混合がさかんで貧酸素水塊は生じにくいと考えられてきた。しかし、その発生が指摘されるようになり、本年もその発生が確認され、その範囲も諫早湾から佐賀県へとかなり広いことが明らかになった。本年は6月頃から底層の貧酸素状態が観測され、8月中旬に台風の影響で解消したようである。

貧酸素水塊の発生については、締切で流動が低下し成層が起きやすくなり、負荷の増大が底質の酸素要求量の増大につながり、これらがあいまって水温の上昇時期に底層に貧酸素状態を現出させた可能性が考えられる。排水門から局所的にかつ間歇的に放出される淡水が密度差をつくり、成層形成を助けている、また、工事に用いられた海砂の採取跡も貧酸素の発生を助長している、などの可能性の指摘もある。

開門調査で流動の変化、底質の変化が観測されれば、締切の影響に関する知見が得られる可能性がある。この場合も大きく、長い開放が望ましい。

なお、佐賀県地先で1980年代から時に低酸素が観測されているが、これには有明干拓が影響している可能性が示唆されており、今後、詳細な検討を必要としよう。

### タイラギ、アサリ等の減少、成育不良および稚貝の斃死

二枚貝は1970年代後半から漁獲が減少し始め、近年は極めて少なくなってしまった。ただ、地域、種類によって減少傾向は異なるので、その原因を探るには地域・種類別のきめ細かい検討を要する。いずれにしても70年代後半からの減少に80年代末からの諫早湾干拓事業が影響を及ぼす可能性はないので、二枚貝の減少と干拓事業の関係を検討するとすれば、工事開始ないし締切以後のこととなる。

長崎県のタイラギは工事開始後、嘗ての漁場は壊滅状態で、資源回復の試みも成功していないようである。この資源の変化には生息域の底質の変化、さらには底層の貧酸素化が影響している可能性が大きい。特に、発生した稚貝の夏季の斃死は貧酸素が関係していると考えらるべきとの指摘が多い。

底質の泥質化、細粒子化は工事の影響、締切による流動の低下などが考えられるが、何がどの程度影響したのかは今後さらに検討を要しよう。

アサリについては、諫早湾湾口での夏季の斃死には有害プランクトン赤潮の影響と、貧酸素の影響が指摘されている。また、底質の変化も影響している可能性があるが、アサリより軟泥質の底質を好むサルボウの増加がこのことを示唆していると思われる。ただ、覆砂の効果が長続きしないこともあり、有害化学物質やその他の要因についても検討を要する。

影響要因を減らす観点からは有害プランクトン赤潮の発生を防ぎ、貧酸素水塊が生



じないようにすることが基本的に重要で、先にも述べたように開門はこの方向の措置であり、望ましい効果をもたらす可能性がある。

#### 諫早湾の底質の変化(細粒子化、浮泥堆積など)と底生生物の減少

潮受け堤防前面海域に浮泥が溜まり、底質が細粒子化していると言われる。これは干拓事業の事前の環境影響評価で、流速の低下に伴って起こると予測されていたことでもある。モニタリング結果によれば、いくつかの測点では明らかに砂分が減りシルト・粘土分が増えたと見られる。そのほかにもそれほど明らかではないが同じような傾向を示す測点も複数ある。雲仙普賢岳の噴火による火山灰の堆積も指摘され、今後さらに検討を要しようが、モニタリングでシルト・粘土分が増えている地点、範囲を考えると、他地域からもたらされた浮泥とともに調整池から供給されたものが流動の低下で近傍に溜まった可能性を否定できないと考えられる。

東らの調査では締切後底生生物が大きく減少しており、環境省や西海区水産研究所の調査でも生息密度は低い。底生生物の分布はかなり偏りが大きく、地点が少し異なると生息密度に大きな違いが見られるので、結果の解釈には慎重である必要があるが、減少傾向は否めず、これもすでに指摘されている底質の変化および底層の貧酸素の影響が大きいと考えられる。

有明海全体の流動の変化の開門調査による検証は困難であろうと先に述べた。ただ、排水門の幅が堤防 7km に対して 250m に過ぎず、原状回復は望めないが、諫早湾内の流動低下、これに伴うと考えられる底質の変化、底層の貧酸素化などについては開門調査で知見が得られるであろう。流動に関して得られる知見はシミュレーションの検証にも重要である。この場合も開門はできるだけ大きく長いことが望まれる。

#### おわりに

以上、諫早湾干拓事業が有明海の環境に及ぼしていると思われる影響について検討し、それが開門調査で検証できるかを考えてきた。その結果すでに述べたように諫早湾干拓事業は重要な環境要因である流動および負荷を変化させ、諫早湾のみならず有明海全体の環境に影響を与えていることが想定される。したがって、その検証を当面シミュレーションや現存の干潟での調査等で行うとしても、やはり開門調査が必要で、最終的には3月に想定していたような水位変動下での調査が望まれる。現実的な第一段階としては2ヶ月程度の開門調査をまず考えたい。短期の開門調査では得られる知見はきわめて限られたものとなろうが、潮受け堤防内外の詳細な水質分布や浅海域を含めた干潟の浄化能力の現地での測定データは貴重なものとなろう。

次の段階として半年程度の開門調査を行い、さらにそれらの結果の検討を踏まえて数年の開門調査へと進むことが望まれる。自然環境にしても生物の働きにしても季節による変動があり、干潟の浄化機能なども夏季と冬季で大きく異なることが知られている。こうしたことを考えればある一時期だけの短期間の調査では不十分であろう。なお3月に想定していたような水位変動を実現できるよう、できるだけ速やかにそのための条件が整えられることを期待するが、完全にそれが整うまでの間も洪水・灌漑

期以外はできれば水位管理の制約条件をゆるめ、できるだけ毎日の水位変動を大きくし、できる干潟面積を増やすことが望ましい。もちろんその間に得られるシミュレーション結果等も勘案することが必要で、調査を段階を追って進めることが重要である。

有明海の環境変化には過去のさまざまな開発行為が影響しているはずである。影響の一つは地形変化でそれが流動変化を引き起こす。他方にはいろいろの負荷の変化があり、栄養塩であれば富栄養化ひいては赤潮の増加につながり、有害物質であれば汚染の進行、生物への影響を考えねばならない。土砂等は浮泥量、透明度の変化を引き起こし、それは栄養塩等水中の物質の挙動に関係する。

過去の有明海でこれらがいつ、どんな形で起こったのか、それが現在にどんな影響を与えているかについては、有明海海域環境調査（国土総合開発事業調整費調査）と行政対応特別研究「有明海の海洋環境変化が生物生産に及ぼす影響」の両調査などで詳細が明らかにされると思われる。最終的な有明海の環境回復の方策についてはこれらの調査結果が出て、有明海の環境変化に関する診断が確定するのを待たなくてはならない。しかし、最終的な調査結果をただ待つのではなく、委員会としてもこれまでの主な開発行為や周辺の社会経済的な経年変化等について検討し、これらが有明海の環境変化に及ぼしたと想定される影響を考察する必要がある。その手始めに開門調査と関連してまず諫早湾干拓事業の影響を検討したが、今後、筑後大堰による河川流量等の変化、三池炭鉱跡の海底陥没、熊本新港建設などによる地形変化等についても、周辺の人口および漁業・養殖業を含む各種産業のあり方の変化とともに、その有明海の環境変化への影響について検討していきたい。

#### 付 1 失われた浄化機能およびそれが水質に与える影響

干潟の浄化能の推定は本来は現地で各種の測定を行い、また、生態系モデルなどを用いて推定する必要がある。しかし、ここではかなり大雑把にこれまでに測られた値を用いて推定を試みる。

最近かなり詳細な調査が行われた海域として東京湾の三番瀬があり、ここで得られている値（千葉県 1998）を用いてみる。三番瀬で得られている値は平均値を示せば COD 392.6 mg/m<sup>2</sup>/day、TN 100.4 mg/m<sup>2</sup>/day である。諫早湾干拓事業の環境影響評価レビュー報告書（九州農政局、2001）によれば平成 10 年の調整池への流入負荷は COD 5668.1 kg/day、TN 1526.8 kg/day と推定されている。この流入負荷量を浄化するのに必要な干潟の面積は COD 1453 ha、TN 1527 ha と計算される。これは失われたとされる 1550 ha とほぼ同じである。

もちろん、干潟の浄化能にはかなりの幅があり、三番瀬だけでも水域によって COD 62-775 mg/m<sup>2</sup>/day、TN 20-164 mg/m<sup>2</sup>/day といった違いがある。また、藤前干潟では平均 50TNmg/m<sup>2</sup>/day、新川河口干潟ではこの 2 倍となっている（環境庁、2000）。瀬戸内海 5ヶ所の干潟についての調査（環境省、2001）によれば、やはり TN について 10-356 mg/m<sup>2</sup>/day といった値が得られている。こうした違いはいろいろな要因によって生ずるが、一般に生物相が豊かなほど浄化能は高い。かつての諫早湾には豊かな生物相が見られたことを考えれば、三番瀬の平均値を使った推定は過大なものとは言えないのではなかろうか。

このようにかなりの浄化能が締切により失われたと想定される。仮に流入負荷が浄化を受けずに調整池に入り全体に拡散すると調整池の水質と流入水の水質がどの

ような関係になるかを推定してみる。ここでは諫早湾干拓事業の環境影響評価レビュー報告書（九州農政局、2001）記載の平成10年度の流入負荷量および調整池の水質を用いる。1日に加わる負荷はCOD、TN、TPいずれも、調整池に存在する量の3-4%に当たる。平成10年の水質濃度は特に顕著な増加あるいは減少傾向を示さず、平均的にCOD 6 mg/L、TN 1.2 mg/L、TP 0.21 mg/Lである。流入水の水質はCOD 5.4 mg/L、TN 1.75 mg/L、TP 0.27 mg/Lとされているので、調整池の水質はこれらよりCODは10%以上大きく、TN・TPはそれぞれ70ないし80%ほどで、調整池の方が低い。調整池のモニタリング結果を見るとCODは流入水より高めで時にかなり高くなり、TN、TPは逆に低めで時にはほぼ同じ程度となっている。このことは負荷が浄化を受けずに調整池に入ったと仮定したときの推定結果と一致し、時には内部生産などで負荷が付加されている可能性も示唆する。もちろん、ここでの試算はかなり粗いものなので今後詳しく検討する必要がある。

## 付2 干潟、特に有明海の干潟

有明海には広大な干潟が発達している。その面積は約200km<sup>2</sup>で、わが国の干潟総面積の40%ほどを占める。このような広大な干潟の発達には、有明海の大きな潮汐の干満差や面積約8,100km<sup>2</sup>の集水域からの年間44万tにも及ぶ多量の土砂流入、さらには流入した土砂を湾外に流出させない強い閉鎖性が大きく寄与している。また、有明海の干潟の底質組成は、沿岸域によって大きく異なる。特に筑後川河口域から緑川河口域に至る東岸域には、砂質や砂泥質の干潟が、また六角川河口域から諫早湾に至る奥部北岸域及び西岸域には、泥質の干潟が広く分布する。このような組成の異なる干潟の分布には、主な流入河川が東岸域に集中していることや奥部に時空間的スケールの大きな残差流からなる循環流が存在することなどが大きく影響している。すなわち、阿蘇火山地帯を源とする筑後川、矢部川、菊池川、白川、緑川などによって海域に搬入された土砂のうち、まず粒径の大きな砂などは河口域やその近辺に堆積する。一方、粒径の細かい粘土、シルトなどは沈降、堆積と巻き上げによる再懸濁を繰り返しながら循環流などによって輸送され、最終的には流れの弱い奥部北岸域や西岸域に堆積する。

このような干潟には、多様で、豊かな生態系によって支えられた生物生産、生物生育、水質浄化、レクリエーションなどの多面的機能が具備されている。これらの機能のうち、水質浄化機能は、植物プランクトンを起点とする生食連鎖、デトリタスを起点とする腐食連鎖さらには底質中に生息する膨大な数のバクテリアによる好氣的及び嫌氣的分解などによって汚濁物質が系外に除去されることにより、成り立っている。したがって、東岸域の砂質及び砂泥質干潟では、アサリ、ハマグリといった二枚貝類などのろ過食者による植物プランクトンなどのろ過が、一方北岸域及び西岸域の泥質干潟では、ハゼ、カニ、ゴカイといった堆積物食者によるデトリタスなどの摂食が盛んである。また、泥質干潟では、砂質や砂泥質干潟に比して有機物含有量が高く、さらに硝化菌や脱窒菌などにとって生息環境が適しているため、これらの細菌による硝化、脱窒作用が活発である。すなわち、有明海では、東岸域の砂質や砂泥質干潟と北岸域及び西岸域の泥質干潟が共存することにより、水質浄化機能が総合的かつ機能的に作用してきた。しかし、1976年の二枚貝類などの貝類漁獲量約11万tは、1999年には約2万tに急落している。このことは、二枚貝類などの生息数の急減を意味する

ものであり、本来の有明海の水質浄化機能を大きく損なうものとして懸念される。

### 付3 近年の有明海における潮位差の減少の原因

有明海は固有周期が比較的近い関係で半日周期の潮位変動が増幅されるために、特に湾奥の潮位差が大きくなるという特徴を有するが、近年の観測結果を見ると、有明海における潮位差が減少している。湾奥に位置する大浦での観測結果では、1980年から2000年にかけて、大潮差にして21cm、約4%の減少である。ただし、潮位差の減少は有明海内部だけでなく外部の長崎や湾口の口之津においても起こっている。これは、近年の東シナ海の水温が高く、平均水位が上昇していることに対応した広域的な現象である。湾外の潮位差の減少は当然湾内の潮位差の減少をもたらすが、観測結果によれば湾内の潮位差の減少はそれを大きく上回るものである。すなわち、有明海における潮汐の増幅率が低下したことを示している。年変動の影響等により厳密な定量的評価にはさらに検討が必要であるが、湾外の潮位差の減少と増幅率の減少の影響の割合は4：6程度と評価される。増幅率の減少の原因として、諫早湾の締切および近年の平均水位の上昇にともなう水深増加によって有明海の固有周期が短くなったことが挙げられるが、数値シミュレーション等によって前者が支配的な原因であると理解される。したがって、諫早湾の締切は、有明海湾奥の潮位差の減少に対して主要な寄与をしていると判断される。

### 付4 赤潮、特に有明海の最近の赤潮について

有明海において夏季に赤潮を形成する有害生物はラフィド藻のシャットネラ属であり、シャットネラ・アンティカとマリーナの2種が混合して発生する。主要発生海域は北西部域であり、貧酸素水塊が頻繁に形成される特徴を有している。本属の赤潮研究は瀬戸内海で最も進んでおり、冬季にシスト（陸上植物のタネと同じ）で底泥に潜み、初夏に発芽して海水に現われる。赤潮は日照時間が長くて降水量の少ない年に発生する傾向にあり、強風が引き金と考えられている。活発に増殖するためには窒素やリンの他に特に鉄を必要とすることが室内実験で判っているので、強い攪拌が底泥からこれらの物質を供給するための役割を果たしていることは間違いない。もし、貧酸素水塊が底層に形成されていたら、水塊の中には底泥から溶出した上記物質が豊富に含まれているので、強い攪拌がなくても発生の機会は高くなるであろう。このように攪拌は発生に必要な条件ではあるが、攪拌後に珪藻類が繁茂すると栄養競争や増殖競争に負けて赤潮は形成されないことが多い。珪藻類の発生を決める要因は今のところ不明である。

2003年3月27日

## 最終報告書—有明海の漁業と環境の再生を願って

農林水産省ノリ不作等対策関係調査検討委員会

### はじめに

本委員会は2000年度のノリの大不作を契機として、有明海の漁業生産の不振の原因を究明し、今後の対策を提言することを目的として2001年3月に発足した。その後ほぼ2年の間に10回の委員会を開催、そのほか部会や検討会を合わせれば20回以上の会合を開いて検討を重ねてきた。その間、「委員長まとめ(2001年3月)」、「中間とりまとめ(2001年9月)」、「開門調査に関する見解(2001年12月)」を文書として公表し、その時々での委員会の課題についての考え方を示してきた。2002年8月には「有明海の現状について」の委員会の認識をまとめた。

2001年度は幸いノリは豊作であったが、2002年度は秋芽網は好調であったが、漁期初めからの栄養塩不足が災いし、最近5年間(大不作の2000年は除く)の平均を下回る作柄である。このように依然としてノリ生産は不安定であり、漁業の近年の主対象である二枚貝資源は衰退が続いている。

この間行政対応特別研究(以下、行政特研)や国土総合開発調整費調査(以下、国調費)、さらには有明4県の水産研究機関などの研究が進み、水質や底質の変化とその原因もかなり明らかになった。もちろん、まだ解明されていないことも多いが、本委員会として、これまで明らかになったこと、未解明のこと、今後の課題等を整理し、最終報告書をまとめることとした。委員会発足時に農林水産大臣から本委員会の論議の結果はできるだけ尊重するとされたが、ぜひ、ここに示した提言の趣旨が活かされることを期待する。

なお、行政特研の平成14年度成果と国調費のモデルによる有明海の変化の解明と底質改善の効果に関するシミュレーション結果などを参考資料として付す。

## I 有明海の漁業生産

### 1. 特徴

有明海の漁業生産は、河川水の影響が大きい湾奥から外海の影響を受ける湾口まで水質・底質など環境が異なり、本来それぞれの水域で漁法や対象生物が異なっていた。有明海の漁業環境を特徴付けるのは干潟だが、特に「潟」と呼ばれる泥質干潟にはムツゴロウ、ワラスボ、ミドリシャミセンガイ、アゲマキ等の有明海特産種が多い。また、砂質干潟にはアサリ、ハマグリが多く、クルマエビ等の生息場でもある。福岡県・佐賀県などの湾奥では広大な干潟に生息する二枚貝類と内湾性の魚類が漁業の主対象であったが、1953年に大水害があつて

二枚貝漁場が被害を受け、これを契機にノリ養殖の比重が高まり、最近ではノリが生産額のほとんどを占めるまでになった。熊本県でも干潟が広がる緑川、白川や菊池川の河口域などは二枚貝の生産が高く、特にアサリの生産が非常に大きかったが、次第にアサリの生産が落ち込み、対照的にノリの生産が増えて、湾奥同様ノリへの依存度が高くなっている。一方長崎県や熊本県の中でも水深が大きくなる湾口に近い外海の影響が大きい地域では、魚類や頭足類・甲殻類などその他の水産動物が多く、貝類の割合は少ない。長崎県はノリ養殖が湾奥の福岡・佐賀同様諫早湾で急速に伸びたが、干拓計画に伴う漁業権放棄の影響で80年代後半から減り始め、最近ではノリの生産量は少ない。現在ではこのように、有明海全体として二枚貝の漁獲量が多く、それにノリ養殖が加わり、ノリの比重がやや低い長崎県以外は二枚貝とノリが生産の二本柱と言える(平成13年度まとめ、図14、以下13年14のように略す)。ただ、1980年代からタイラギ、アサリ、アゲマキなどの二枚貝の生産が次第に落ち込み(13年15)、今日ではノリ養殖の比重がきわめて高くなっている。こうした現状を見れば、ノリの生産を安定させるとともに、二枚貝の生産を回復させる必要がある。

なお、魚類の漁獲量は貝類ほど大きな経年変化は見られないが、福岡・佐賀などの湾奥では1970年代に増加、80年代は横ばい、90年代は漸減傾向が認められる。頭足類・甲殻類などのその他の水産動物は魚類と同じような傾向だが、変動幅は魚類より大きい。長崎・熊本でも傾向は同じだが、変動は福岡・佐賀より緩やかである。(図1)

## 2. 二枚貝漁業

全体的には二枚貝の漁獲は1980年代に減少が始まっているが、種により地域によってその減少傾向は異なる。したがって、その減少の原因を探るには個別に検討する必要がある。

タイラギは諫早湾口付近とその対岸の大牟田から荒尾にかけての地先に主な漁場があり、さらにそこから奥に多くの漁場が点在していた。そして周期的変動はあるが、最高3万トン近い漁獲が記録されたが、1980年代以降多くても5,000トンで、最近では1,000トンに満たず、漁場も奥に限られ、熊本県では1980年代半ばから、長崎県では1990年代半ばから漁獲が見られない。

こういった漁場の変化には底質の変化が関係しているようである。タイラギは砂泥底に生息し、泥分の多い漁場にはあまり分布しない。佐賀県の調査によれば、中央粒径値(Md $\phi$ )が7以上のこういった底質の海域は佐賀県地先を中心として湾奥部西側に限られていたが、最近では湾中央部まで広がっている(13年16)。こうした底質の変化がタイラギの分布域を制限し、漁獲の減少をもたらした一つの要因であろう。このほか、稚貝の着底域が限られ、浮遊幼生の移動・集積、これに関与する流況の変化も示唆されている。

有明4県の調査を通じて、近年は稚貝の発生、着底は認められるものの沖合域の個体は初夏から秋までの間に多くは斃死してしまうことが明らかになった(13年17)。この場合、海底に立ったままの状態で斃死してしまう、いわゆる立ち枯れ斃死が起きている。この原因については、タイラギの活力が低下しており、成熟に伴う生理的なストレスや躍層形成期の貧酸素の環境ストレスに耐えられず、斃死にいたると考えられる。この活力低下の原因は明らかでない。また、ナルトビエイなどによる食害も確認されている。今後詳細な検討が必要であるが、底質・水質のほか餌料等の環境が生息に適さないものになってきており、活力のある健全な個体が育たず、環境の悪化に耐性の低い個体が多くなっている可能性がある。なお、干潟域では着底した稚貝に大量斃死は見られず、成長して漁獲されている。

アサリは熊本県の生産が中心で1970年代後半のピーク時には6万トンを超えたが、その後

減少を続け、最近では最盛期の1/10以下になっている。盛期には漁場は干潟全域に及び広い範囲に分布していたが、今では河口域干潟のごく一部に分布するに過ぎない。福岡県でも漁場面積の縮小が認められる。こういった長期的なアサリ資源の減少の原因は未だ特定されていない。熊本県緑川河口干潟の場合、アサリ稚貝の発生が見られないのではなく、着底は見られるが5mm以上には成長せず、生き残るものがない。覆砂をするとアサリ稚貝の定着と生残がよくなる効果が認められているが、6mm以上の稚貝では覆砂漁場、天然漁場いずれの底泥を使用しても同じように生残することが室内実験で確認されている。福岡県水域でも、覆砂をするとアサリの定着と成長がみられる。このことは現在の底質がアサリの生息、とくに稚貝の初期の生残と成長に適さないものになっていることを示している。このほかスナモグリ類の増加の影響も指摘されている。1970年代、80年代にスナモグリ類の個体群が爆発的に増加したが、スナモグリ類が増えたところでは底質の生物攪乱が引き起こされ、着底したアサリ稚貝がスナモグリ類の巣穴に落ちたり、巣穴から排出された泥の下敷きになって斃死した可能性が示唆されている。ただ、スナモグリ類の分布が見られるのは湾中央部までで、湾奥のアサリ類などの消長にスナモグリ類が関係している可能性は考えられない。

現在二枚貝で生産量の最も大きいのはサルボウである。これも1970年代に激減したが、80年代後半のアサリの減少と対照的に増加し、15,000トンの水準を保つようになった。ここ数年はやや減って10,000トン程度である。

有明海の特産とされるアゲマキも二枚貝の仲間、諫早湾から佐賀・福岡・熊本の河口域干潟に広く見られたが、1990年前後に激減し、以後資源は壊滅状態であったが、2002年7月佐賀県の干潟域で高密度の生息が確認された。

これら二枚貝の資源の回復には生息環境特に底質の改善が急務と考えられる。覆砂をするとアサリ稚貝の生残が改善されるなどの効果が認められ、また、その効果が10年以上継続する例も知られている。しかし、その効果が継続しない場合もあり、今後さらに改善事業を行った水域でモニタリングを行い、覆砂や耕耘の効果や持続性を定量的に把握して、効果的な事業実施が図られるよう調査・研究を進める必要がある。一方、後に述べるように貧酸素水塊の発生について、その時期、範囲、発生から解消までの経過等がかなり明らかになったが、これによる被害を防止する方策を検討する必要がある。また、二枚貝の減少原因と回復方策を考えるにあたっては、斃死が起こっている場所や時期だけではなく、生活史全体に注目した検討が重要であろう。

### 3. ノリ養殖

#### 3.1 有明海のノリ養殖

有明海のノリ養殖は、すでに幕末から明治初期に試験的に試みられ、1910年代からは熊本県で、1920年代からは福岡県で産業的生産が広がった。しかし有明海全域でノリ養殖が盛んになったのは1953年、この年の大水害で採貝漁業に大きな被害を生じ、ノリ養殖への転換が盛んになってからである。この1950年代、ノリの人工採苗技術が開発され、種苗確保が確実になったこともあり、その後、豊凶を繰り返しながらも順調に発展してきた。この間、1960年代には冷凍網、60年代後半から1970年代に多収性品種の導入、1980年代には酸処理が実用化され、安定生産に大きく貢献した。特に酸処理を取り入れてからは病害が軽減され、海域全体としての生産量は比較的順調に推移している。1990年代の有明海全域での生産を見ると、40億枚前後とかなり安定している。しかし、例えば佐賀有明漁連の最近10年間の生産枚数を見ると、不作であった平成8年度は約11億枚、12年度は約10億枚、一方平成7、9、

10年度は約17億枚、13年度も約18億枚と豊作で、年度間で大きな変動が見られる(13年18)。このようにそれぞれの県あるいは地域の、さらには異なる時期での生産量の変動は依然として大きく、全域で同時に豊作ないし凶作という年は少ない(13年表1)。

### 3.2 ノリと環境要因

日本全体のノリ養殖を見ると1990年代に入って90億枚台の生産が続き、一見安定した産業と思われ勝ちであるが、前項で述べたように局所的には非常に不安定な要素を持っている。このような年変動は全国各地で見られるもので、ノリ養殖というのはいかに厳しい条件下で行われているものと理解すべきであろう。したがってノリ養殖を成功させるには、時とともに変化する環境条件に応じた適切な養殖管理が重要である。

ノリにとって重要な環境条件としてまず水温が挙げられる。採苗の開始は23℃を目処に設定されるが、同時に潮回りも重要であって、大潮から小潮に向かうところが適期とされ、潮汐表と水温の上がり方を見比べながら開始日が決められる。ノリ生産には多くの生産者が関わりを持つことから、かなり前の時点で採苗適期を予測することが必要である。

海藻の生長は流れと栄養塩濃度の積で示されるという研究結果がある。ノリ漁場においては流れを確保することが重要で、小潮時で流れの遅いときでも平均流速20cm/s程度を確保する必要があるとされている。2001年度あるいは2002年度に、1コマ(ノリ網を張り込むときの単位面積の呼称、通常2枚×5列=10枚を1セットとして設置する)当たりのノリ網を10枚から8枚に減らす、即ち、2割減柵を行い、漁場の流れを確保するように努めた地域がある。このように2割減柵すると、コマの中央部で約1.4倍の流れが確保されるという佐賀県有明海水産試験場の報告もあり、流れと減柵は密接な関係がある。

ノリ生産を大きく左右する要素として病害がある。有明海でもっとも顕著な被害を与え、そして毎年必ずと言っていいほど頻繁に出現するのはアカグサレ病である。この病原菌を発見すると生産者はできるだけ早くノリを摘み取ると同時にノリ網を高吊りし、多めの干出を与える。生産者が非常に神経を使う病害だが、特に2001年度は前年度のノリ不作の経験から、生産者はこの病気に対してもきわめて慎重に対処し、育苗段階から常にノリ網を高めに吊り、健苗育成につとめた。このことが2001年度、アカグサレ病を防いだ主な要因であったと考えられる。

最近ではノリの作況に栄養塩に関して競合関係にある植物プランクトンの消長が深く関係する。出現する種によって増殖状態の持続性が異なると言われ、ChaetocerosあるいはSkeletonemaなどの比較的小型のものは短期に消えやすく、大型の、2000年度ノリ漁期のRhizosoleniaあるいはEucampiaなどは長く増殖が続くということである。養殖現場では出現種の観察に力を注いでいる。今後さらに種ごとの出現や増殖・持続の条件等詳細な研究を行う必要がある。

栄養塩は植物であるノリの生長に欠かせないが、有明海では特に窒素が不足しがちで、溶解態無機窒素濃度(DIN)  $7 \mu\text{g-at/l}$  が良質なノリが採れる濃度の下限値のめやすとされている。赤潮が起こると植物プランクトンが栄養塩を消費してしまうので栄養塩レベルが下がり(13年12)、これによってノリの生育が妨げられる。2000年度は12月に赤潮が発生してそのまま続き大不作をもたらし、2001年度は11月末に赤潮が発生したが、12月初めには終息に向かい、ノリが順調に生長した。2002年度は漁期初めから栄養塩濃度が低かった。その後の降雨で若干栄養塩が増加し、秋芽網の生産は各県とも順調だった。冷凍網の時期になっ



て特に1月中旬から栄養塩の低濃度がノリの色落ちを生じさせ、地域によって異なるが、豊作だった前年よりも、2000年度を除く最近5年間の平均をもかなり下回る作柄となっている。2002年度は1月中旬までは目だった赤潮は発生しておらず、栄養塩不足は梅雨期も含む夏以来の降雨が少なく、河川からの栄養塩供給が少なかったためであり、1月中旬からのノリの色落ちは乏しい栄養塩をノリが消費したことが原因と考えられている。このように漁期はじめから栄養塩が少なく、降雨の状況から供給も少ないと考えられる際、減柵などの手段も含めて、いかにして自然の許す範囲内で生産を上げるかが課題である。

### 3. 3. 管理方策

ノリの生育にはいくつかの重要な環境要因が関係する。毎年の気象条件の中で、これらの状況を踏まえた適切な管理を行うことが生産の向上につながる。2001年度は特に前年の不作を考慮し、管理を徹底した。それは今後も参考となると思われる。

まず、減柵であるが、流れを確保しノリの生理活性を高めるという観点から重要である。さらに病原菌を防ぐ意味もある。佐賀県有明海水産試験場の報告によると約20cm/s以上の流速があると壺状菌の遊走子の侵入が減り、病気の蔓延が妨げられるとされている。また、減柵により網数が少なくなると、網の上げ下げ、張り方のチェック等健苗確保につながる丁寧な管理が可能となる。摘採期に入ってから、網数が減ったことにより、早め早めの摘採が可能となり、病害の防除および製品品質の向上が得られ、減柵は有効であったといえる。ただ、色落ち対策としての減柵の効果については評価が定まっていない。

次に、網の高吊り、即ち、干出を多く与える網管理が挙げられる。これはノリ葉体を健全に育成する効果があることは良く知られているが、伸びは悪くなるので生産性に影響する。また、製品が赤みをおびたいわゆる「赤芽」になり、味は良いが、見た目が悪く、値段が抑えられる傾向にある。そのため、従来あまり極端な干出を与えることは行われていなかった。2001年度は、広い範囲にわたって高吊りを励行し、気象条件も幸いし、適切な養殖管理が行われたものとする。

いろいろな形で取り上げられた技術として、酸処理の問題がある。これについては2002年度に水産庁にノリ養殖技術評価検討委員会が設置され、ここで新たな実験も行うなどして、検討が行われた。この委員会で得られた結論は①植物プランクトン(珪藻類)の増殖促進効果については、その使用量などから考えて赤潮発生の原因となっているとは考えられない、②環境への負荷という点では、陸域からの負荷と比べ、また、ノリによる栄養塩の吸収などを考えれば大きなものとは考えられない、とされたが、今後も海域への負荷をできるだけ削減するという方向で取り組み、また、フィールドでの観察・観測、海域の実態により近い形での実験等の知見を集積していくことが重要との指摘もなされている。なお、基本的な問題として有明海全体、また、水域ごとの栄養塩の収支や季節的な動態を把握し、そういった全体像の中で個々の負荷や系外への除去が評価されるべきであろう。

酸処理は重要な技術であり、生産の質的および量的安定に貢献している。特に浮き流し養殖において、欠かせない技術であろう。ただ、有明海及び八代海を再生するための特別措置に関する法律第19条にも規定されているように、できるだけ環境に負荷を与えないで生産をあげることが養殖にも求められており、ノリ養殖においてもこの点に留意すべきである。具体的には2001年度以降使用液の繰り返し利用、残液の徹底回収が従前より一層厳しく指導されている。それと共に干出を多めに与えるなどきめ細かな養殖管理により、できるだけ酸処理剤に頼らない技術体系に変える努力も各県で行われている。

## II 有明海の環境

以上、有明海の漁業生産の経年変化と現状について見た。干潟という豊かな生物生産の場と河川からの栄養塩に支えられてきた漁業生産は、水質の悪化、赤潮や貧酸素水塊の発生、また、底質の変化などによって影響を受けて変化してきたと考えられる。次に、有明海の環境変化の実態を見ることとする。

### 1. 潮汐・流動

有明海は東シナ海につながっており、外海の影響を強く受けている。東シナ海は近年水温が平年より高い状況で、同時にその影響で比重が低く水位が上昇しており、長崎市で 10cm 近く水位が上がっている (13 年 1)。こういう外海の影響により、有明海の中でも高水温で水位が高い状況にある。さらに外海で潮差が減少傾向だが、これは有明海全体の潮差の減少につながっている (13 年 1')。ただ、有明海の内部では外海での減少以上に潮差が減少している。湾口の口之津と湾奥の大浦を見ると、96 年まではどちらも M2 分潮の振幅が同じように小さくなっていったのに、諫早湾干拓地の潮受け堤防が締め切られた 97 年では、湾口と湾奥の振幅比がわずかではあるが減少している (13 年 2)。1979 年と 2001 年の地形で比較した国調費のシミュレーション結果でも M2 分潮の振幅が 2001 年にはわずかに減少し、その程度は大浦、三角、口之津の順であった。また、大潮の潮差についても湾口と湾奥の比の長期的な減少傾向が見られる。潮位と同時に潮時の早まり、満潮干潮の時間にも変化が見られる。水位の上昇、潮差の減少は干潮時の干出面積の減少につながり、有明海の干潟浄化機能の減少の可能性を意味する。

このような潮差の減少については①外海の潮汐振幅の減少、②東シナ海全体の平均水位の上昇に伴う湾内の平均水位の上昇、③諫早湾干拓地潮受け堤防締め切りなどによる海面の減少、がその原因として指摘されている。これらの寄与率について、潮汐の数値シミュレーション結果による M2 分潮の振幅比較によると、②は微小とされるが、①と③についてはいろいろの研究者による計算にはかなりの幅があり、さらに検討の余地があろう。いずれにしても数値シミュレーションにより推定された潮差の減少は数%である。今後、潮位の観測結果等も踏まえて減少の実態を明らかにするとともに、この減少が水質や生態系にどの程度の影響をもたらしたかについて今後詳細な検討が必要である。

流動に関しては、表層付近の流速の観測で以前より減った、変化は見られない、あるいは若干速くなった、などさまざまな報告がある。国調費によるシミュレーションでも 1979 年と 2001 年との流速の変化は明瞭でない。流速はかなり地形などの局所的な影響を受けるし、恒流成分などは河川流量や風、さらには内部潮汐なども影響するので、断定的な結論を下すのは現段階では難しい。ただ、局所的には変化が明瞭に認められるところもある。諫早湾奥では堤防で止められたので流速が減少したのは当然だが、諫早湾口南側で潮受け堤防完成後に上げ潮時の流速が若干落ち、また、諫早湾に入り込む流れが減少して北に向かう流れが主要なものになり、諫早湾口外側の北側では以前より流速が速くなったところもある (13 年 3)。そして、下げ潮時にはこれを逆向きにした結果が見られる。このような諫早干拓地前面での局地的ではあるがかなり大きな流動の変化とこれに伴う水質、底質、生物の変化は有明海全体に影響を及ぼしたことが想定されるが、それがどの程度のものかは未解明の部分が多く、今後一層の調査・研究が必要である。

## 2. 水質と底質

浅海定線調査による佐賀県海域の化学的酸素要求量(COD)の長期的変化を巨視的に見ると、増加傾向が認められるので、水質は30年前に比べ悪化していると見られる。ただ、1970年代は漸増、1980年代に著増、1990年代は横ばいないし微減という年代ごとに傾向が異なることに留意が必要である(13年4)。また、変化の傾向は水域によって異なることも考えられる。なお、全窒素濃度(T-N)、全リン濃度(T-P)の経年変化については1980年以後しか連続的なデータがないが、どちらもほぼ横ばいの傾向である。また、各県のDINやリン酸態リン濃度(P04-P)についても1960年代から最近まで経年的な変化より季節変動が大きく年代による特別な増減傾向は明瞭でない。最近の水質分布を見ると(13年5)、アンモニア態窒素を始め栄養塩全般に湾奥で高い傾向だが、これは筑後川を中心とする河川からの流入負荷の影響が大きいことを示している。1970年代のDINとP04-Pも湾奥で高く湾口で低く、季節的にはDINは夏から秋に、P04-Pは秋に高いという変動を示す。

透明度も長期的に上昇しているが、上昇傾向は一様でなく、1970年代、80年代、90年代と段階的に変化している(13年9)。なお、湾奥部では西寄りで(最大1.1m)、湾口に近い方では東寄りで(最大2.8m)上昇が大きく、傾向は時期・水域によって違いがある。透明度上昇の原因は明らかでないが、透明度は水中の懸濁物質の濃度に大きく影響される。有明海は浮泥と呼ばれる懸濁物質の濃度がきわめて高い海として知られている。浮泥の主成分はモンモリロナイト系などの粘土粒子で、水中の物質の吸着・凝集力大きい。栄養塩を吸着し、また凝集して海底に堆積すると肥沃な底質を作り、底生生物の餌にもなる。透明度の変化は懸濁物質の消長と関係し、海域の流動の変化に伴う底質の巻き上げの変化、プランクトンの長期的変動等を検討する必要がある。なお、観測が平常時に限られているが、筑後川をはじめ流入諸河川で水中の懸濁物質量(SS)は長期的に減少の傾向を示している(13年10)。

有明海では貧酸素水塊の形成は起こりにくいとされていたが、かなり広範囲の存在が確認されたことは重要である。一般に夏季に水温が高く底質の有機物の分解が盛んになり酸素が消費されるとき、成層が発達していると表層からの酸素の供給が妨げられ、底層に貧酸素水塊が形成される。有明海は大潮の潮差が5mを超え、上下層の混合がよいので貧酸素水塊は形成されにくいとされていたのである。ただ、佐賀県の浅海定線調査の結果を見ると1980年代から水域によっては夏季にかなり溶存酸素濃度(DO)が低く、2mg/lを下回る値も見られる(13年8)。しかし最近では諫早湾口および有明海湾奥北西部を中心としてかなり広範囲に形成され、潮汐により大きく移動すると考えられている。中心となる水域は底質の有機物含量が多く、その分解が成層時に貧酸素水塊の形成につながる。貧酸素水塊の持続には風の影響が大きく、強い風が少なかった2001年には広範囲に貧酸素水塊が継続して見られ、台風をはじめ強い風がたびたび吹いた2002年には永続するような貧酸素水塊は見られなかった。なお、2002年は夏季の降水が少なく、2001年と密度成層のでき易さに違いがあったことも影響していよう。

貧酸素水塊の形成・継続・消滅の機構については行政特研や各県の調査などでかなり明確になった。調査結果の一例を示すが、上に水温が高く塩分の低い軽い水が乗り、下に重い水が溜まって、成層化の状況が認められる(13年6)。これは2001年8月5日、夏の観測だが、夏に底層の有機物が分解される時酸素を消費し、溶存酸素量(DO)の低い貧酸素水ができる。その経緯が観測でつかまえられた。小潮の時に貧酸素水塊が形成され、大潮になると少し回復し、小潮になるとまた下がる。潮汐変動と貧酸素水塊の形成が繋がっている例である(13年7)。しかし、水深がこれよりも大きな観測点(B6)での磯部らの観測ではやはりDOが上

下するがこれには潮汐の影響は明確でなく、水深が深いところでは貧酸素水塊の形成・消滅に対する潮汐の影響が相対的に少ない。水温の鉛直分布を見ると、表層に暖かい水、底層に冷たい水があるが、中間は潮位によって表面と同じ温かい水になったり、底層と同じ冷たい水になったり大きく変動している。したがって、成層化といっても同じ状態がずっと続いているのではなく、このように動いていることがわかってきた。そして貧酸素水塊の消長や底層の低温水の移動には、特に風の影響が大きいことが示唆された。

また、同じ連続観測でクロロフィル a、すなわち植物プランクトンの状況を見ると、好天時、日射量が多いとクロロフィル a 濃度が上がる、つまり赤潮が発生する。赤潮発生後、プランクトンが死ぬとこれが底層に沈んで分解され、酸素が使われ、貧酸素水が生ずるといふ機構が有明海でも明らかになってきた。

このように連続的な観測によって赤潮の発生から貧酸素水塊の形成まで理解されたが、こういった観測がさらに多数の測点で行われることを期待したい。このような観測を積み重ね、有明海の状態がよくわかれば、改善についてもより適切な方策が考えられよう。

底質については湾奥佐賀県側で細粒部が拡大している傾向が見られた。諫早湾の潮受け堤防前面付近では、締切後に底質が細粒化したところもあることがすでに明らかにされている。表層堆積物の分析から、泥分の大きいところでは有機炭素量が多いことが明らかになったが、こうした場所では表層堆積物の酸化還元電位が低く、先に述べた最近貧酸素水塊が頻発する水域とも一致している。さらに炭素の同位体分析から、これら表層堆積物の起源が湾奥では陸の寄与が大きく、湾口に向かうにつれて海洋生物由来（植物プランクトン分解物）の寄与が大きくなることなどが明らかにされた。

底質の細粒化が進行している原因としては流入と底泥の動きの2つの変化が考えられる。前者についてはすでに流入河川の懸濁物濃度の減少の可能性を述べたが、粒度組成の変化については明らかでない。なんらかの原因で粗粒の流入が特に減少したとすれば底質の細粒化の一因となろう。また、後者については近年台風の来襲が減少し、年最大有義波高の低下傾向が認められる。海の静穏化は細粒の堆積を促進すると考えられる。ただ、いずれも確証がなく、今後詳細な調査検討が必要であろう。

### 3. 赤潮

近年、赤潮の観測体制が強化されていることに留意が必要だが、有明海で記録された赤潮の発生件数あるいは延べ日数が増加している（13年11）。赤潮の発生にはプランクトンの集積が必要で、浮泥による植物プランクトンの凝集・沈澱効果もあり、潮差が大きく上下層がよく混合する有明海では起こりにくいとされていた。1970年代にはすでに富栄養度はかなり高かったが、珪藻が原因のノリの色落ちは知られているが赤潮の発生は報告されていない。1980年代特に後半から主に福岡・佐賀の水域などで発生が見られるようになり、1997年以降は長崎・熊本の水域で赤潮の発生確認件数が増加した。季節的に見ると、夏と冬、特に11・12月の発生件数が増加傾向にある（13年19）。また、有明海では珪藻赤潮が多かったし、現在でもそうである。しかし、近年渦鞭毛藻やラフィド藻などの赤潮も増加傾向にある。赤潮の発生と終息の機構の解明は重要であり、先述のごとく最近の連続観測でかなり明らかになってきた。

有明海の珪藻赤潮は降雨型と言われ、降雨によって栄養塩の供給が増えた後に好天が続いて日射が増すと赤潮が発生する傾向にある。この終息には集積したプランクトンを散らす風

と塩分の低下の効果が大きい。なお、赤潮のノリへの影響については先に述べたが、ノリの大不作をもたらした 2000 年と豊作であった 2001 年の両年とも降雨の後に日射が続いて 12 月に赤潮が発生した。ただ、赤潮の終息が 2000 年度と 2001 年度で異なった。2000 年度は 11 月の初めに大量の降雨があって栄養塩が供給され、中旬は日射が非常に低かったが、下旬に高い日射が続き、これで赤潮が発生したのだが、発生後も 12 月から 1 月までその時期にしては高日射が続き、赤潮を終息させるような荒天もなく、赤潮が 3 月まで続いた。(なお、その後の実験で *Rhizosolenia imbricata* 赤潮は、高塩分時に発生し、高塩分条件が崩れると衰退することが明らかにされている。) 2001 年度は 10 月あたりに相当栄養塩の供給があり、11 月に高い日射が続いて赤潮が発生したが、12 月に入って大雨が降って赤潮はいったん終息した。その後、高い日射が安定して続くことがなく、赤潮が起きず、ノリがよく採れた。1 月、2 月になって赤潮が発生したが、これは日が長くなって日射量が増えるので、栄養塩さえあれば赤潮が起きるのは当然とも言える。しかし、1991 年から 11 年間の 10 月から 3 月までの降雨と日射量を見ると (13 年 13)、ノリ作に関係する 11 月、12 月は 96 年以前には日射量が相対的に低いのに対し、近年はこの時期の日射量が高く赤潮が起きやすい状況にあり、ノリ作には十分注意を払うべき時期であると言えよう。なお、経年的変化の傾向はエルニーニョ現象のような地球規模の現象との相関を有する可能性が示されている。

このように珪藻赤潮と気象には密接な関係があるが、赤潮発生のきっかけは気象だけでは説明できない。2000 年の赤潮原因生物である *Rhizosolenia imbricata* の栄養細胞は夏季に有明海の外海に生息し、シストを形成しないことが報告されている。本種が暖海性種であるとするならばなぜ冬季に有明海奥部で増殖するのか、なぜ栄養塩濃度がきわめて低いノリ養殖場で終息しなかったか、ということも今後十分に解明する必要がある。

一方、ラフィド藻 *Chattonella* 属の赤潮が夏季に有明海各地で発生している。2000 年 8 月に発生した本属の赤潮は有明海のアサリ漁業等に大きな被害を与えた。過去の研究から *Chattonella* 属は底泥の含有する物質により増殖が促進されることが明らかにされている。嫌気条件下で可溶化したこれらの栄養物質が本属の赤潮の発生に関係していると推測されるが、その機構の詳細に関してはさらに研究が必要である。そのほか、八代海で漁業被害を与えている *Cochlodinium polykrikoides* の赤潮が有明海南部で発生し、諫早湾や熊本沖でも生息が確認されるようになった。

#### 4. 干潟

以上、有明海では潮位、潮差、潮時の経年的な変化が見られ、また、長期的な COD の増加や透明度の上昇が起きている。近年は赤潮も増え、広範囲に継続する貧酸素水塊の形成も見られるようになった。これらを生じた原因は複合的なもので単一の要因で説明できるものではないであろうが、浄化能の変化という点で干潟の変化は重要であろう。埋立・干拓等によって海岸線が前進すると、干潟が減少することになる。また、防潮堤の建設も干潟面積を減らす。さらに近年の潮位の上昇、潮差の減少に伴って、湾奥部を中心としてさらに干潟が減少している可能性がある。

環境省の調査では、1945 年に 26,600ha ほどあった干潟が 1978 年には 22,200ha ほどと 4,400ha 減少しているが、この半分ほどは 50 年代後半、4 割ほどは 70 年代に喪失している。また、喪失した面積の 7 割は福岡県と佐賀県である。1990 年前後の調査ではさらに 1,400ha 弱が失われたが、この 86% は福岡県である。1997 年には諫早湾の潮受け堤防の締切りにより 1,550ha の干潟が失われた。

このような干潟の喪失は特に湾奥での環境悪化の進展と無関係ではないであろう。後にさらに詳しく論ずるが、有明海の環境の回復を考えると、こうした現状をふまえて検討する必要がある。

### Ⅲ 今後の検討課題と提言

#### 1. 漁業生産

有明海の漁業生産の構造は戦後を概括すれば魚類から貝類、貝類からノリ養殖と変化し、近年は二枚貝の不振もあり、ノリへの依存度が高い状態が続いている。この傾向は湾奥でまず始まり、湾中央部へと及んだ。水域によって多少事情は変わるが、先にも述べたように、全体として二枚貝の生産の回復とノリ生産の安定が課題である。

この課題を考える基礎として、詳細な漁獲の経年変化を知る必要がある。できるだけ細かい地域ごとの種別漁獲量を努力量とともに整備し、長期的に何が起きたのかを把握する必要がある。これまでも地域ごとに、また、年代ごとに解析はされていたはずであるが、あらためて戦後50年ほどの変化を総体として理解することが重要である。

二枚貝について80年代から漁獲の減少が目立つが、種ごとに、また水域によって傾向は異なるので、減少要因と回復方策についてはそれぞれ別個の検討が必要である。なお、この場合も減少以後のことだけを見るのではなく、それ以前からのできるだけ長い期間の地域ごとの推移を把握することが望ましい。

二枚貝減少の共通の要因として底質の変化があるようである。ただ、その詳細については必ずしも明らかではなく、特に、汚染の推移については不明な点が多い。できれば、底質の変化を多くの水域でコア試料を採って、物理、化学的な分析により明らかにすることが望まれる。

タイラギは底質の細粒化、泥分の増加が長期的な漁場の減少ひいては漁獲の減少につながったと考えられる。こういった長期的な傾向とは別に、近年、稚貝の発生、着底が見られても初夏から秋までの間に斃死してしまう現象が見られる。この原因として最近増えているナルトビエイなどによる食害のほか、貝自体の活力が低下し、生理的なストレスや貧酸素のストレスに耐えられずに斃死すると考えられている。タイラギの生息している漁場で具体的に斃死の起こる過程を明らかにし、その対策を考える必要があり、すでにその努力は始められているが、さらに多くの漁場での水質・底質とともに餌料環境も含めた調査が期待される。

アサリについては、やはり1970年代後半に漁獲のピークを迎えた後減少が続いており、こうした長期的な減少の原因はまだ特定されていない。アサリの場合も稚貝の生残に問題があるようで、アサリの初期生活史段階での生理・生化学的变化を知るとともに、稚貝の生残に底質の何が影響しているのかを明らかにする必要がある。

二枚貝資源の回復には底質環境の改善が必須と考えられる。すでに事業として覆砂、耕耘など底質改善の方策が実施されているが、その効果の定量的解析は必ずしも十分ではないと考えられるので、長期的なモニタリングを含め、事業のさらに効率的な実施に役立つ知見を現場で集めるべきであろう。

ノリについては安定生産が期待されるが、自然の状況に左右される部分が多いので、与えられた条件下で、いかに適切に養殖管理を行うかが問題となる。また、基本的な問題として生産目標をどう考えるかが重要な課題であろう。近年ノリは過剰生産気味で単価が下がっている。枚数は抑えて品質のよい製品を作ることに努めることも考えたい。また、水温が長

期的に上昇傾向にあることなどを考えれば、管理だけでは対応できなくなることも考えられ、品種改良も必要であろう。

環境条件の中では栄養塩が最も重要で、有明海の場合、特に DIN の動向に注意する必要がある。長期的に DIN が増加あるいは減少といった特定の傾向は見られず、年々の変動がかなり大きい。供給源は河川と考えられるが、降雨の状況等を勘案し、年間、特に夏以降の水中の存在量を観測しながら、生産計画を立てる必要がある。濃度だけでなく、流速も関係するので、減柵などの対策も早期に考える必要があろう。栄養塩を奪う赤潮の発生はノリの豊凶に関係する。その発生予測技術の開発と同時に発生した場合の対策の検討も必要であろう。種により持続性が異なるので、何が発生するかも気になるところで、難しいとされているが、種ごとの発生ならびに大増殖の条件を明らかにしたい。

## 2. 環境

潮位・潮差の長期的また最近の変化について明らかにされ、原因の指摘もあるが、複数の原因の寄与率については議論が分かれている。的確な対策を考えるためにも、詳細な検討を行い、できるだけ早く結論が得られることを望みたい。

流動については有明海全体については長期的に変化したか否か、明らかでない。漁業者などの現場での実感として流れが遅くなったとも言われている。今後、さらにシミュレーション等も利用して変化の有無を流速の鉛直プロファイルも含めて検討する必要がある。その際、できるだけ詳しく経年的に地形の変化を追って、年代ごとの変化を明らかにすることが望ましい。

水質については湾奥西部で COD が長期的に増加し、透明度も割合は異なるが全域で長期的に上昇したことが認められている。N と P については季節変動が大きく経年変化は明瞭ではない。COD あるいは N、P の流入負荷の経年変化についてはまったく知見がなく、これを明らかにすることが急務と考えられる。透明度の上昇の原因もいろいろ示唆されているが明らかでなく、原因と考えられる事項について一つ一つ詳しく吟味すべきであろう。

生物に影響の大きい貧酸素水塊の発生・持続・消滅の機構についてはかなり明らかになった。この解明には水質等の連続観測が有効であり、多くの測点で継続されることを期待したい。

底質が長期的に変化し、細粒部が拡大している傾向が認められる。底質の供給源としては陸からの無機質なものが主体の粒子と、海洋で生産されるプランクトン等の遺骸の沈降がある。細粒部の拡大についても原因が示唆されているが、この場合も吟味が必要で、河川から運び込まれる粒子についても現時点では総量の変化の可能性が示唆されているが、組成の変化については知見がない。流域の環境変化と併せて検討する必要がある。

湾奥の福岡・佐賀では 80 年代半ばから赤潮が目立つようになり、近年は長崎・熊本でも赤潮の発生が増えていると見られる。有明海の珪藻赤潮の特徴はかなり明らかになってきた。降雨型と言えるもので、降雨の後日照があると発生し、風、時には雨で終息する。一般的にはこのように言えるが、具体的な発生の引き金が何かは明らかでない。近年、ラフィド藻や渦鞭毛藻赤潮の発生も目立つ。これらの発生・増殖の条件については不明な点が多い。赤潮についてはいろいろな面からの調査・研究が必要である。

干潟は生物生産の面からも浄化能の面からもその変化は重要である。その面積の変化とともに泥干潟と砂干潟の浄化能の異同についても詳細に調査することが必要である。

### 3. 組織間の連携およびデータベースなど

2000年度のノリ不作を契機として多くの調査・研究が組織され、その成果によって有明海の漁業・環境への理解が大きく進んだ。上に述べたようにまだまだ課題は残されており、さらに調査・研究が進むことを期待したい。その際重要なのは、調査・研究機関あるいは研究者間に構築された連携・ネットワークの維持・発展であろう。率直に言って、この問題が起きるまで、国と県、あるいは県と県、また、研究者間の連携は限られたものであった。この2年間で作られた連携・ネットワークは国・県あるいは研究機関と大学等の垣根を超え、大きなものになっている。さらには有明4県以外にも広がりを持ち始めている。この貴重なネットワークを大事にしてほしい。また、すでに始まっているが情報の共有、データベース化は組織間の連携とともに重要なもので一層の進展を期待する。

### おわりに—有明海の漁業と環境の再生を願って

有明海は豊かな海で大きな漁業生産をあげてきた。その生産が最高であったのは1970年代の終わりから1980年代の初めで、総生産量(海面漁獲量と養殖ノリ生産量の合計)は20万トンを超えていた。また、この頃は漁獲と養殖の釣り合いが取れており、貝類の漁獲量とノリの生産量がほぼ同じで、9万トン前後、これに魚類とその他の水産動物の漁獲量がそれぞれ1万トン以上あった。最近では総生産量は18万トンぐらいでそれほど減ってはいないが、この80%以上がノリの生産で、海面漁獲量は大きく落ち込んでしまった。(図1)

漁業と環境の再生を考えると、まずは目標として最高の生産をあげていた1980年前後が浮かんでくる。水質を見ても、佐賀県のCODの上昇も70年代はゆるやかで、顕著な増加が見られるのは80年代に入ってからである。富栄養度も70年代から高かったが、有明海の特徴である大きな干潟による混合と浮泥の効果によって赤潮の発生が妨げられていた。透明度の上昇や流入河川の懸濁物質濃度の減少も80年代から目立ってくる。福岡県の調査によるプランクトンの沈殿量も1980年前後までは10ml/100Lを超すことが珍しくなかったが、その後はほとんど10mlを超すことがない。

有機汚濁について流入負荷の経年変化の情報がないので、明確に示すことが難しいが、80年代に入っているいろいろな意味で環境への負荷が増し、それが積み重なって80年代半ばからの貝類を初めとする漁業資源の衰退が目立つようになったのであろう。では、80年ごろの状態にもどすことができるのだろうか。

有明海の生産を支える重要な要素として干潟と浮泥がある。有明海は現在でも全国一の干潟面積を誇るが、1945年ごろの面積は約26,600haであった。これが1978年の調査では4,400ha減って約22,200haとなったが、この半分は50年代後半、4割は70年代に失われた。その後、諫早湾干拓地の潮受け堤防の締切によって失われた1,550haを含めて3,000ha弱が失われ、現在では約19,000haと45年ごろの3/4以下になってしまっている。その上、近年の水位上昇はさらに干潟面積を減らしていると考えられる。干潟は浄化の面でも生物生産の面でもきわめて重要な水域で、この水域の大きな減少は水産資源の衰退に大きく関わっていると考えられる。とすれば、このような環境の基礎的な条件に変化がある中で、漁業生産を80年ごろの状態に戻すことが容易だとは考えられない。

国調費では流入負荷の削減と底質改善の効果についてモデルを用いてシミュレーションを



行った。まず負荷については現状の 5、10、40%削減の 3 ケースを検討したが、40%削減しないと、COD、T-N、T-P の水中濃度も赤潮発生もその抑制効果は顕著でない。底質改善については 5m 以浅の海域を対象として底生生物量を増加させ、同時に栄養塩類の溶出を 50%抑制する対策を 4,000ha、12,000ha、37,000ha (5m 以浅の海域全体に相当) について行う 3 ケースを検討した。いずれのケースでも COD、T-N、T-P すべて現況より低くなる傾向で、また、赤潮発生抑制効果も認められた。このように負荷削減、底質改善とも効果があると考えられるが、効果が認められたかなり大きな負荷削減やここで仮定されている底質改善を実現させる方策については今後の課題である。

浮泥は一般的に他の海域では濁りとして生物の生息にマイナス要素と考えられることが多い。しかし有明海では生物生産を支える重要な要素である。河川から供給された栄養塩は浮泥に取り込まれた形で存在し、浮泥が凝集して沈殿すると栄養塩は干潟域に保存される。また、デトリタスを多く含みいろいろな生物の餌ともなる。透明度の上昇はこの浮泥の減少を意味しており、この面でも有明海は本来の豊かさを失いつつある。

こうしたことを考えれば、目標は 1980 年ごろの漁業生産や生物相の状況におくとしても、当面、まず緊急に必要なことは干潟などの自然条件を現状より悪くしないことであり、できるだけ本来の自然の形を取り戻す方向の措置を考えることである。

もちろん、近年見られる赤潮の増加や貧酸素水塊の形成などに対する対策も考える必要があり、その原因も必ずしも完全には解明されていないので、その究明を進めることも重要である。この一環として潮受け堤防締め切りの影響についても委員会での議論を踏まえて、開門調査などにより、詳しい検討が行われることを期待したい。

すでに、この海域の再生の重要性から、有明海と八代海を対象とした特別措置法が制定され、今後の調査やその評価を考える委員会も発足している。これからはこの法律に基づく委員会で、引き続き、未解明の問題が検討されることと思われるが、農林水産省ノリ不作等対策関係調査検討のための本委員会の 2 年間の活動、これを支えていただいた行政特研および国調費さらには有明 4 県の研究などの成果が充分活かされることを望むものである。

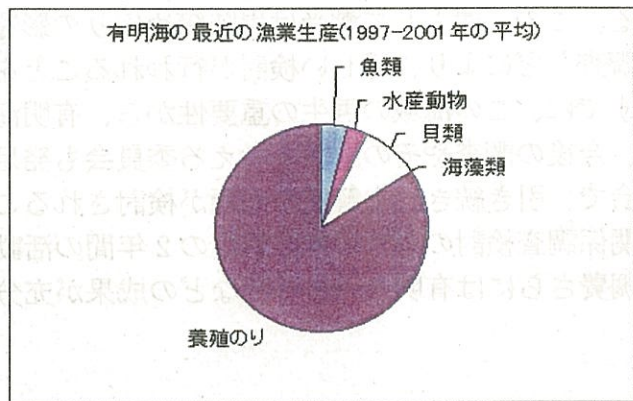
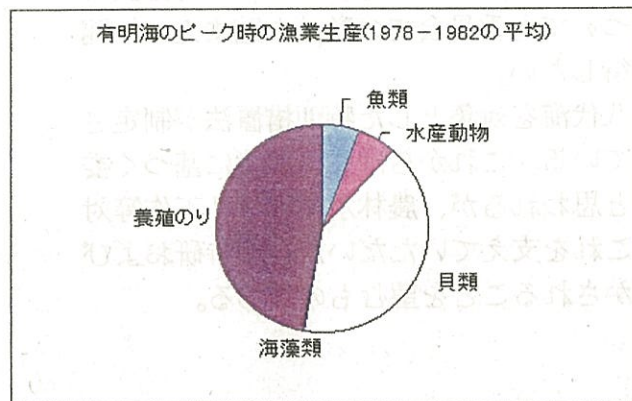
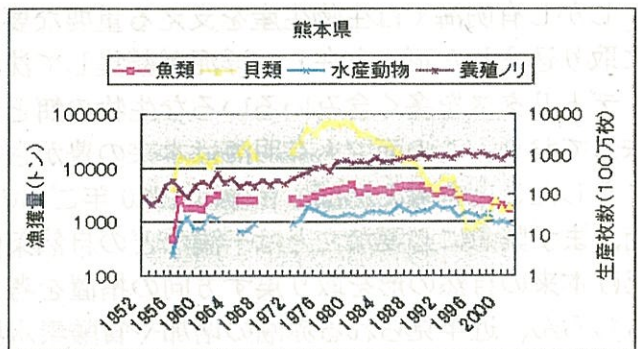
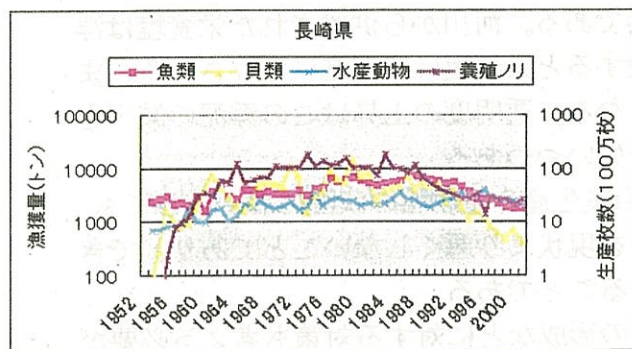
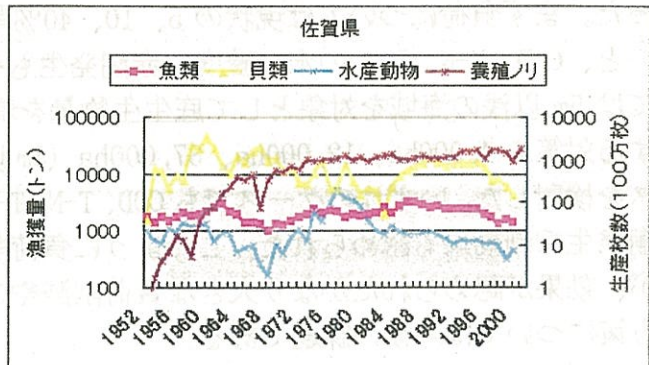
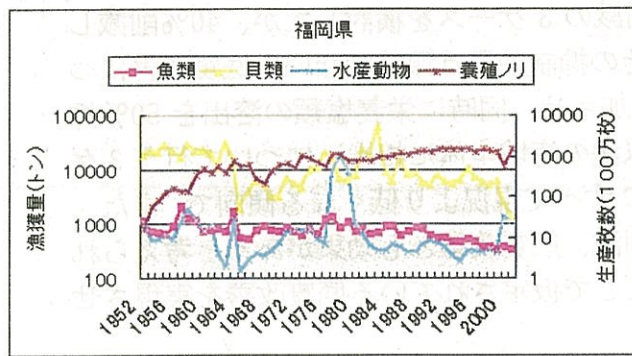


図1. 有明海における県別漁業生産量の経年変化並びにピーク時(1978~1982)および最近(1997~2001)における生産割合の比較。県別漁業生産量のうち養殖ノリ生産枚数のみ養殖年度による集計。他は暦年。

=====  
 卷末資料 4. 環境影響評価の結果の概要（開門総合調査との共通項目）  
 =====

| 対象項目 |      | 評価結果   |
|------|------|--|
| 流動   | 潮位   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 締切後の潮位の予測結果は、諫早湾から有明海の湾中央部にかけて 1～2cm 程度締切前より上昇することが予測されるが、この変化量は有明海の潮位差約 3～5m に比べると、1%にもみまないものであり締切りによる影響はほとんどないものと考えられる。</li> </ul>  |
|      | 潮流   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 最強流速時の締切前後の流速の差は、諫早湾々口部で約 10cm/s、潮受堤防前面海域で約 30～40cm/s の減少がみられる。しかし、諫早湾を除くその他の海域では流動変化は小さく、諫早湾々口部から島原沖にかけて 3cm/s 程度の減少にとどまる。</li> <li>・ 従って、諫早湾々奥部の締切りによる潮流の変化は、諫早湾内に限られ、諫早湾々口部及び周辺海域の潮流に著しい影響を及ぼすことはないものと考えられる。</li> </ul>  |
| 水質   | 塩素量  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 予測結果によれば、潮受堤防の排水門付近で約 0.1～0.3‰の低下、諫早湾中央部で約 0.1‰の低下がみられる程度であり、変化の範囲は諫早湾内に限られる。従って、潮受堤防の設置及び供用は、排水門付近を除いて塩素量の分布を変えるものではなく、諫早湾々口部及びその周辺海域の水質にほとんど影響を及ぼすことはないものと考えられる。<br/>                     (洪水時) 潮受堤防付近で大潮時で 9‰程度、小潮時で 10‰程度の塩素量が低下するが、大潮時で約 10km、小潮時で約 7km 離れば濃度変化はみられない。</li> </ul>                    |
|      | 水温   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 冬季における締切前後の水温の差を予測した結果は、潮受堤防の近傍で約 0.1℃の上昇がみられる程度であり、潮受堤防の設置及び調整池の供用が、諫早湾周辺海域の水質に著しい変化を及ぼすことはないものと考えられる。</li> </ul>  |
|      | COD  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 潮受堤防付近で約 0.15～0.2mg/L、諫早湾々中央部で約 0.1mg/L の減少がみられるが、変化の範囲及び濃度はともにわずかである。</li> <li>・ 従って、潮受堤防の設置及び供用は、排水門付近の一部の水質に多少の影響は及ぼすものの、諫早湾及びその周辺海域の水質には、ほとんど影響を及ぼすことはないものと考えられる。</li> </ul>  |
| 底質   | 粒度組成 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 諫早湾内の大部分を占めるシルト質～粘土質の海底では、底層流速が現況の 30～40cm/秒から締切後 10～20cm/秒減少して、20cm/秒程度になる。</li> <li>・ Sundborg の実験値を用いて底泥の状態をみると、締切後も諫早湾の中央部では運搬状態にあると考えられる。しかし、潮受堤防に近づくに連れて底層流速が 10cm/秒以下に減少し、土粒子が沈殿する傾向へ移行することから、潮受堤防前面では土粒子が徐々に堆積するものと考えられる。</li> <li>・ なお、採砂地の底質は、バージ船からの溢流するシルト・粘土の堆積により、細粒化することが考えられる。</li> </ul> |

=====  
卷末資料5. 短期開門調査報告書  
=====

短期開門調査報告書の目次

はじめに

要 約

1. 調査目的と内容

|         |          |       |    |
|---------|----------|-------|----|
| 1. 1    | 調査の背景と目的 | ----- | 1  |
| 1. 2    | 調査期間     | ----- | 5  |
| 1. 3    | 海水導入     | ----- | 6  |
| 1. 4    | 調査内容     | ----- | 13 |
| 1. 4. 1 | 調査項目     | ----- | 13 |
| 1. 4. 2 | 調査位置     | ----- | 15 |
| 1. 4. 3 | 調査方法     | ----- | 16 |

2. 有明海・諫早湾と調整池に関する面積、容量等のデータ

|      |         |       |    |
|------|---------|-------|----|
| 2. 1 | 有明海・諫早湾 | ----- | 22 |
| 2. 2 | 調整池     | ----- | 23 |

3. 調査結果

|            |             |       |     |
|------------|-------------|-------|-----|
| 3. 1       | 気象          | ----- | 25  |
| 3. 2       | 調整池水位と潮位・潮流 | ----- | 39  |
| 3. 2. 1    | 調整池         | ----- | 41  |
| 3. 2. 2    | 海域          | ----- | 47  |
| 3. 3       | 水質          | ----- | 57  |
| 3. 3. 1    | 調整池         | ----- | 57  |
| 3. 3. 2    | 海域          | ----- | 152 |
| 3. 4       | 底質          | ----- | 229 |
| 3. 4. 1    | 調整池         | ----- | 229 |
| 3. 4. 2    | 海域          | ----- | 241 |
| 3. 5       | 生物          | ----- | 253 |
| 3. 5. 1    | 植物プランクトン    | ----- | 253 |
| 3. 5. 1. 1 | 調整池         | ----- | 253 |
| 3. 5. 1. 2 | 海域          | ----- | 260 |
| 3. 5. 2    | 動物プランクトン    | ----- | 276 |
| 3. 5. 2. 1 | 調整池         | ----- | 276 |
| 3. 5. 2. 2 | 海域          | ----- | 283 |

|            |        |       |     |
|------------|--------|-------|-----|
| 3. 5. 3    | 魚卵・稚仔魚 | ----- | 302 |
| 3. 5. 3. 1 | 調整池    | ----- | 302 |
| 3. 5. 3. 2 | 海域     | ----- | 308 |
| 3. 5. 4    | 底生生物   | ----- | 325 |
| 3. 5. 4. 1 | 調整池    | ----- | 325 |
| 3. 5. 4. 2 | 海域     | ----- | 332 |
| 3. 5. 5    | 魚類     | ----- | 346 |
| 3. 5. 6    | 植生     | ----- | 352 |

4. 海水導入による被害回避対策とその結果

|      |                |       |     |
|------|----------------|-------|-----|
| 4. 1 | 潮受堤防排水門への対策と影響 | ----- | 357 |
| 4. 2 | 水生生物への対策と影響    | ----- | 362 |
| 4. 3 | 調整池背後地への対策と影響  | ----- | 370 |

5. とりまとめ

|      |     |       |     |
|------|-----|-------|-----|
| 5. 1 | 調整池 | ----- | 389 |
| 5. 2 | 海域  | ----- | 395 |

=====  
 卷末資料6. 干潟浄化機能調査報告書  
 =====

干潟浄化機能調査報告書の目次

はじめに

要 約

|                     |       |       |
|---------------------|-------|-------|
| 1. 調査の目的と内容         | ----- | 1- 1  |
| 1. 1 調査の背景と目的       | ----- | 1- 1  |
| 1. 2 調査の概要          | ----- | 1- 5  |
| 1. 3 諫早干潟の概要        | ----- | 1-11  |
| 2. 類似干潟の選定          | ----- | 2- 1  |
| 3. 類似干潟の調査          | ----- | 3- 1  |
| 3. 1 現地調査           | ----- | 3- 1  |
| 3. 1. 1 調査方法        | ----- | 3- 1  |
| 3. 1. 2 調査結果        | ----- | 3-15  |
| 3. 1. 2. 1 気象等      | ----- | 3-15  |
| 3. 1. 2. 2 底質       | ----- | 3-22  |
| 3. 1. 2. 3 底生生物     | ----- | 3-29  |
| 3. 1. 2. 4 プランクトン   | ----- | 3-62  |
| 3. 1. 2. 5 水質       | ----- | 3-68  |
| 3. 2 室内試験           | ----- | 3-83  |
| 3. 2. 1 試験方法        | ----- | 3-83  |
| 3. 2. 2 試験結果        | ----- | 3-95  |
| 3. 2. 2. 1 底質試験     | ----- | 3-95  |
| 3. 2. 2. 2 二枚貝試験    | ----- | 3-104 |
| 3. 3 まとめ            | ----- | 3-119 |
| 4. 泥質干潟の生態系モデルの構築   | ----- | 4- 1  |
| 4. 1 泥質干潟の生態系モデルの概要 | ----- | 4- 1  |
| 4. 1. 1 構成要素と基本式    | ----- | 4- 1  |
| 4. 1. 2 モデルの定式化の考え方 | ----- | 4-11  |
| 4. 1. 3 モデルの特徴      | ----- | 4-31  |
| 4. 2 計算条件           | ----- | 4-32  |
| 4. 3 モデルの検証         | ----- | 4-55  |
| 4. 4 まとめ            | ----- | 4-65  |

|                 |       |       |
|-----------------|-------|-------|
| 5. 類似干潟の水質浄化機能  | ----- | 5- 1  |
| 5. 1 物質循環量の計算結果 | ----- | 5- 1  |
| 5. 2 物質循環過程の検証  | ----- | 5- 6  |
| 5. 3 物質循環の特徴    | ----- | 5- 8  |
| 5. 4 水質浄化機能の推定  | ----- | 5- 12 |
| 5. 5 まとめ        | ----- | 5- 21 |

|                    |       |       |
|--------------------|-------|-------|
| 6. 諫早干潟の水質浄化機能     | ----- | 6- 1  |
| 6. 1 諫早干潟の調査結果     | ----- | 6- 1  |
| 6. 1. 1 地形         | ----- | 6- 1  |
| 6. 1. 2 底質         | ----- | 6- 3  |
| 6. 1. 3 底生生物       | ----- | 6- 8  |
| 6. 1. 4 プラクトン      | ----- | 6- 21 |
| 6. 1. 5 水質         | ----- | 6- 26 |
| 6. 1. 6 まとめ        | ----- | 6- 30 |
| 6. 2 泥質干潟生態系モデルの適用 | ----- | 6- 33 |
| 6. 2. 1 モデルの適用の考え方 | ----- | 6- 33 |
| 6. 2. 2 計算条件       | ----- | 6- 33 |
| 6. 2. 3 モデルの検証     | ----- | 6- 49 |
| 6. 2. 4 まとめ        | ----- | 6- 54 |
| 6. 3 水質浄化機能の推定     | ----- | 6- 54 |
| 6. 4 まとめ           | ----- | 6- 60 |

|          |       |      |
|----------|-------|------|
| 7. とりまとめ | ----- | 7- 1 |
|----------|-------|------|

おわりに

引用文献

|       |       |  |
|-------|-------|--|
| 1-1   | ----- |  |
| 1-2   | ----- |  |
| 13-2  | ----- |  |
| 22-2  | ----- |  |
|       | ----- |  |
|       | ----- |  |
| 21-4  | ----- |  |
| 22-4  | ----- |  |
|       | ----- |  |
| 99-1  | ----- |  |
| 28-3  | ----- |  |
|       | ----- |  |
| 13-5  | ----- |  |
| 19-10 | ----- |  |
| 13-1  | ----- |  |

=====  
 卷末資料 7. 流動解析等調査報告書  
 =====

流動解析等調査報告書の目次

はじめに

要 約

|                       |            |
|-----------------------|------------|
| 1. 調査の目的と内容           |            |
| 1. 1 調査の背景と目的         | ----- 1- 1 |
| 1. 2 調査の概要            | ----- 1- 4 |
| 1. 3 有明海及び諫早湾の概要      | ----- 1- 6 |
| 2. 調査内容・方法            |            |
| 2. 1 調査内容             | ----- 2- 1 |
| 2. 2 調査方法             | ----- 2- 5 |
| 2. 2. 1 流動解析          | ----- 2- 5 |
| 2. 2. 2 水質解析          | ----- 2-27 |
| 2. 2. 3 底質解析          | ----- 2-59 |
| 2. 2. 4 貧酸素現象調査       | ----- 2-81 |
| 3. 短期開門調査期間の流動等の再現    |            |
| 3. 1 潮 位              | ----- 3- 1 |
| 3. 2 潮 流              | ----- 3- 7 |
| 3. 3 塩 分              | ----- 3-21 |
| 3. 4 まとめ              | ----- 3-29 |
| 4. 潮受堤防と有明海海域環境との関係   |            |
| 4. 1 流 動              | ----- 4- 1 |
| 4. 1. 1 潮 位           | ----- 4- 1 |
| 4. 1. 2 潮 流           | ----- 4-12 |
| 4. 1. 3 まとめ           | ----- 4-25 |
| 4. 2 水 質              | ----- 4-27 |
| 4. 2. 1 塩 分           | ----- 4-29 |
| 4. 2. 2 水 温           | ----- 4-38 |
| 4. 2. 3 化学的酸素要求量      | ----- 4-45 |
| 4. 2. 4 栄養塩 (全窒素、全リン) | ----- 4-51 |
| 4. 2. 5 溶存酸素          | ----- 4-61 |
| 4. 2. 6 クロロフィル a      | ----- 4-67 |



|         |                    |       |      |
|---------|--------------------|-------|------|
| 4. 2. 7 | まとめ                | ----- | 4-71 |
| 4. 3    | 底質                 | ----- | 4-75 |
| 4. 3. 1 | 底質                 | ----- | 4-75 |
| 4. 3. 2 | まとめ                | ----- | 4-82 |
| 5.      | 諫早湾及び周辺海域における貧酸素現象 |       |      |
| 5. 1    | 観測結果               | ----- | 5- 1 |
| 5. 2    | 貧酸素現象とその要因         | ----- | 5-20 |
| 5. 3    | まとめ                | ----- | 5-42 |
| 6.      | とりまとめ              | ----- | 6- 1 |

おわりに

用文献

