

有明海海域環境調査  
報告書

【調査概要、要約編】

平成 15 年 3 月

農	林	水	産	省	水	産	庁
農	林	水	産	省	農	村	振
経	済	産	業	省	資	源	エ
国	土	交	通	省	河	川	局
国	土	交	通	省	港	湾	局
環	境	省	環	境	管	理	局

1  
2  
3  
4  
5



6  
7  
8  
9  
10

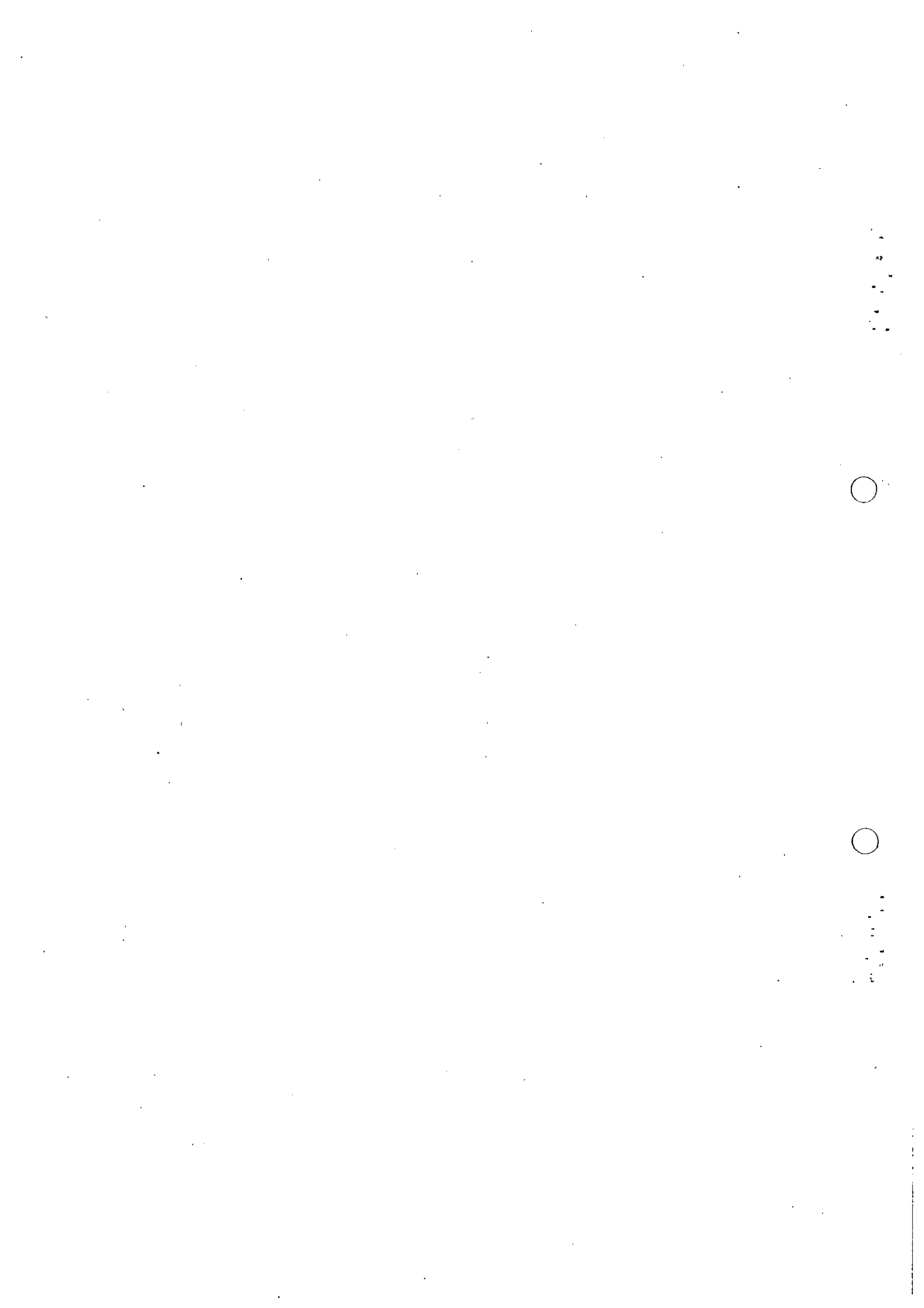
----- 目 次 -----

【調査概要】

1. 調査目的	1
2. 調査内容	1
3. 調査の進め方	2
4. 検討委員会及びモデル専門部会名簿	5

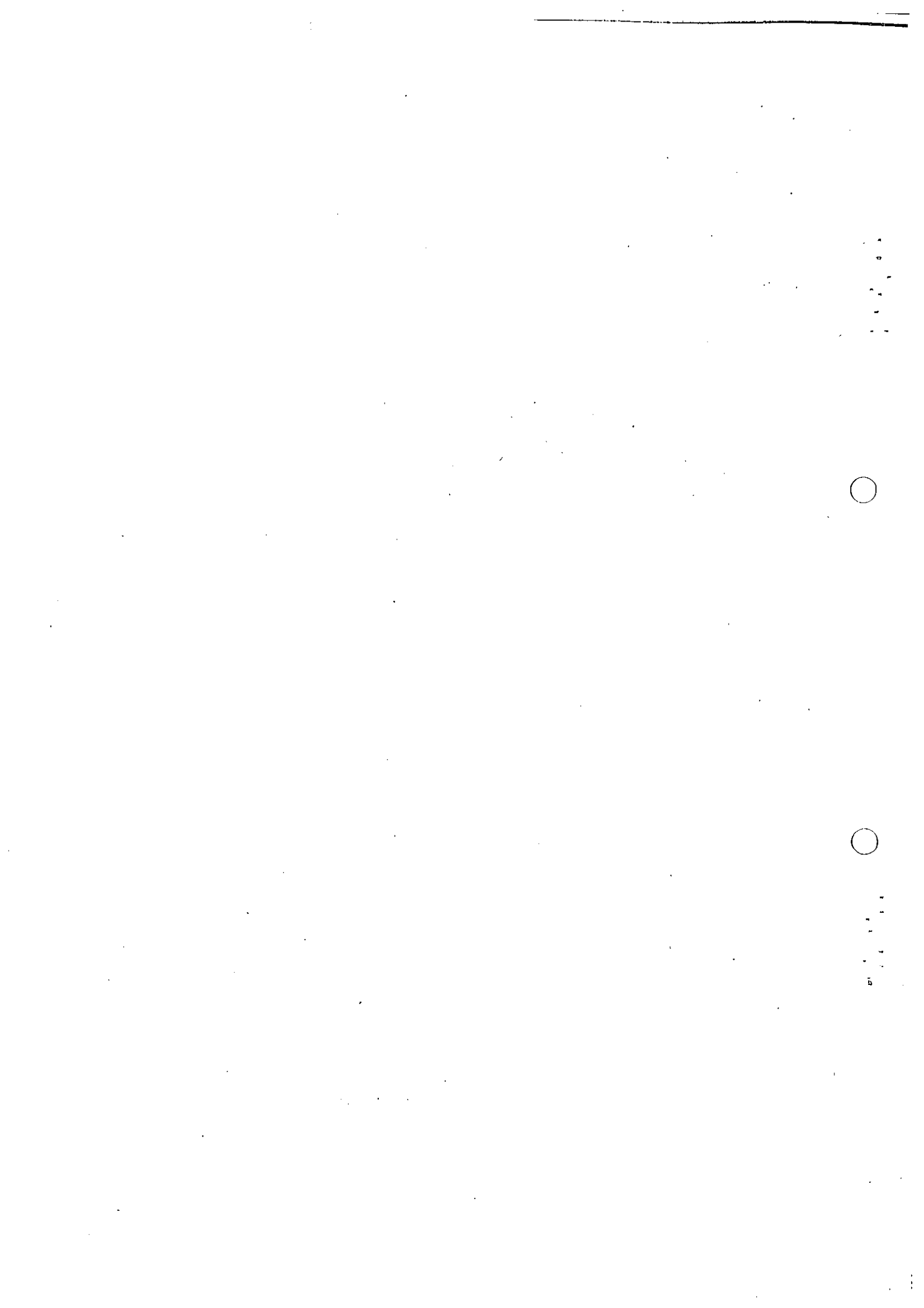
【要約編】

1. 調査目的	1
2. 現地調査	2
3. 海域環境予測モデルの構築	3
3. 1 調査の趣旨	3
3. 2 各モデルの概要	3
3. 3 モデルの検証結果	9
4. 環境改善方策に関する検討	33
4. 1 検討方針	33
4. 2 負荷削減ケース	34
4. 3 底質改善ケース	37
4. 4 底泥輸送からみた底泥改善の効果	40
4. 5 環境改善効果のまとめ	41
5. 総合考察	42
5. 1 有明海の30年の推移のとりまとめ	42
5. 2 有明海海域環境改善方策の基本的な方向性	46





## 【調査概要】





### 1. 調査目的

日本一広大な干潟・河口域といった海域環境を有する有明海は、福岡・佐賀・長崎・熊本の4県に囲まれた内湾性の海域であり、ノリをはじめとした養殖漁業やアサリを主体とした採貝漁業等我が国有数の内湾漁場を形成する重要な海域であるとともに、沿岸には約 180 万人の住民が生活し、様々な社会経済活動が営まれている。

近年、有明海においては、アサリ・タイラギの不漁が続いており、また平成 12 年度(2000 年度)には、ノリの不作が生じるなど、漁場・海域環境の悪化が懸念される一方、沿岸域においては、有明海特有の大きな潮の干満や干潟の発達等により、低平地における排水口の閉塞や河川・漁港における浮泥の堆積等、社会経済活動に支障が生じている地域も存在する。

このため、本調査を緊急に実施することにより、このような有明海の漁場環境を含む海域環境の現況及びこれまでの推移を把握するとともに、海域環境の変動要因の分析を行い、中長期的な有明海海域環境の改善方策及び沿岸域における各種整備の方策に関する検討に資することを目的とした。

### 2. 調査内容

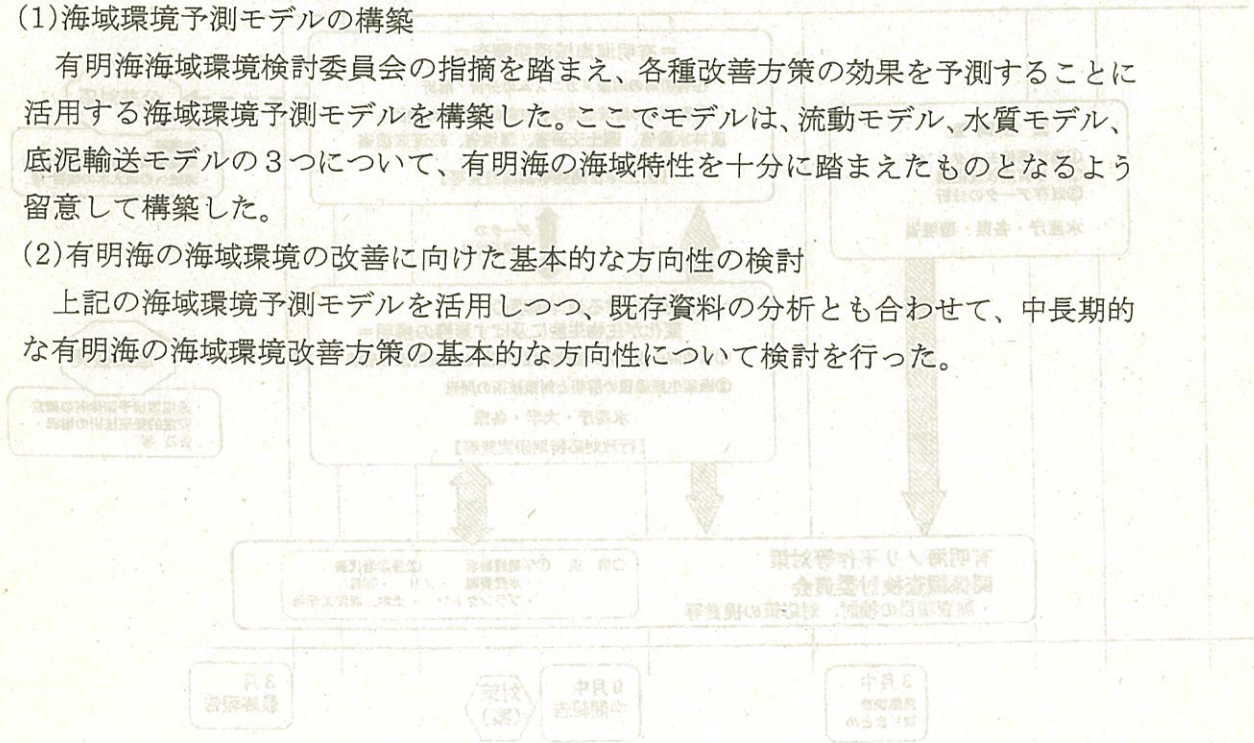
本調査実施にあたっては、水産庁による行政対応特別研究関連調査と連携を図りつつ、以下の項目についての調査を行った。

#### (1) 海域環境予測モデルの構築

有明海海域環境検討委員会の指摘を踏まえ、各種改善方策の効果を予測することに活用する海域環境予測モデルを構築した。ここでモデルは、流動モデル、水質モデル、底泥輸送モデルの3つについて、有明海の海域特性を十分に踏まえたものとなるよう留意して構築した。

#### (2) 有明海の海域環境の改善に向けた基本的な方向性の検討

上記の海域環境予測モデルを活用しつつ、既存資料の分析とも合わせて、中長期的な有明海の海域環境改善方策の基本的な方向性について検討を行った。



### 3. 調査の進め方

#### (1) 調査方法

この調査は、

- 農林水産省（水産庁、農村振興局）
- 国土交通省（河川局、港湾局、海上保安庁\*）
- 経済産業省（資源エネルギー庁）
- 環境省（環境管理局）

注：国土交通省海上保安庁は、平成13年度(2001年度)調査のみ参加

の4省が共同して実施した。

調査にあたり必要な既存データの収集及びモデル構築に必要な現地調査等は、各省庁が分担して実施した。さらに、有明海沿岸4県及び行政対応特別研究担当部門とのデータ共有化についても行った。

また、各調査内容の進め方については、検討委員会（モデルの構築についてはさらにモデル専門部会を設置）を設置して、指導・助言を受けた。

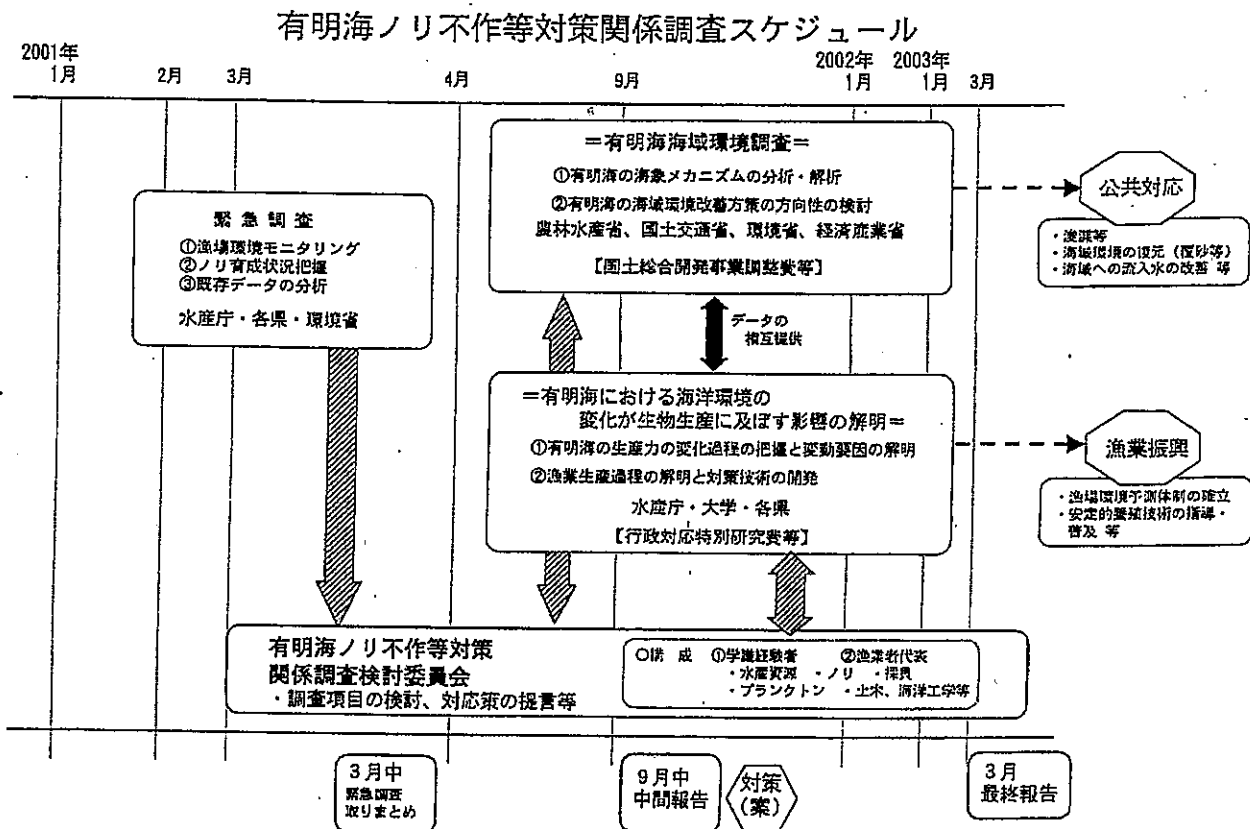


図 3.1 行政対応特別研究との関連



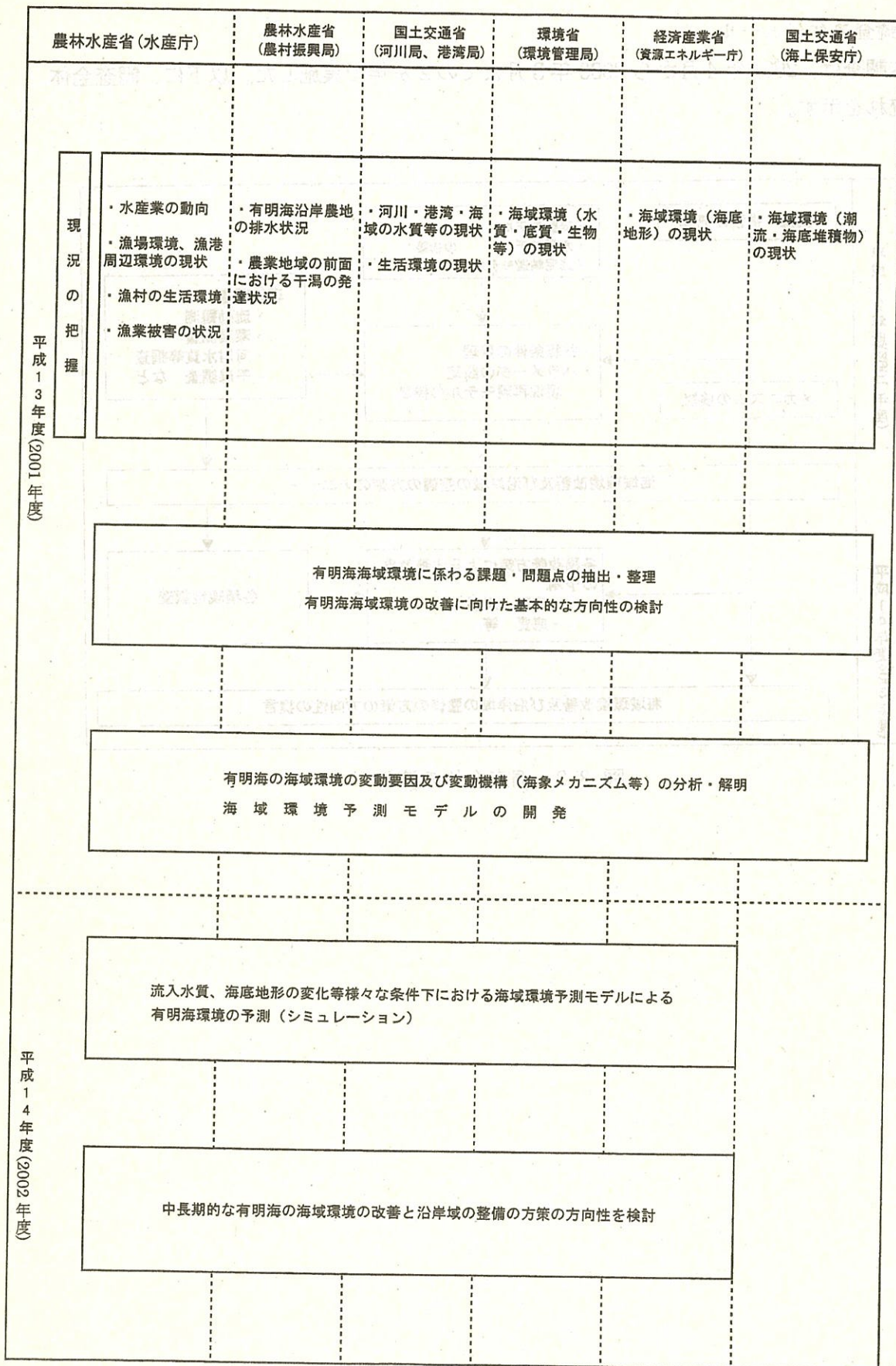


図 3.2 調査全体のフローチャート

(2) 調査スケジュール

本調査は、2001年4月から2003年3月までの2ヶ年で実施した。以下に、調査全体の流れを示す。

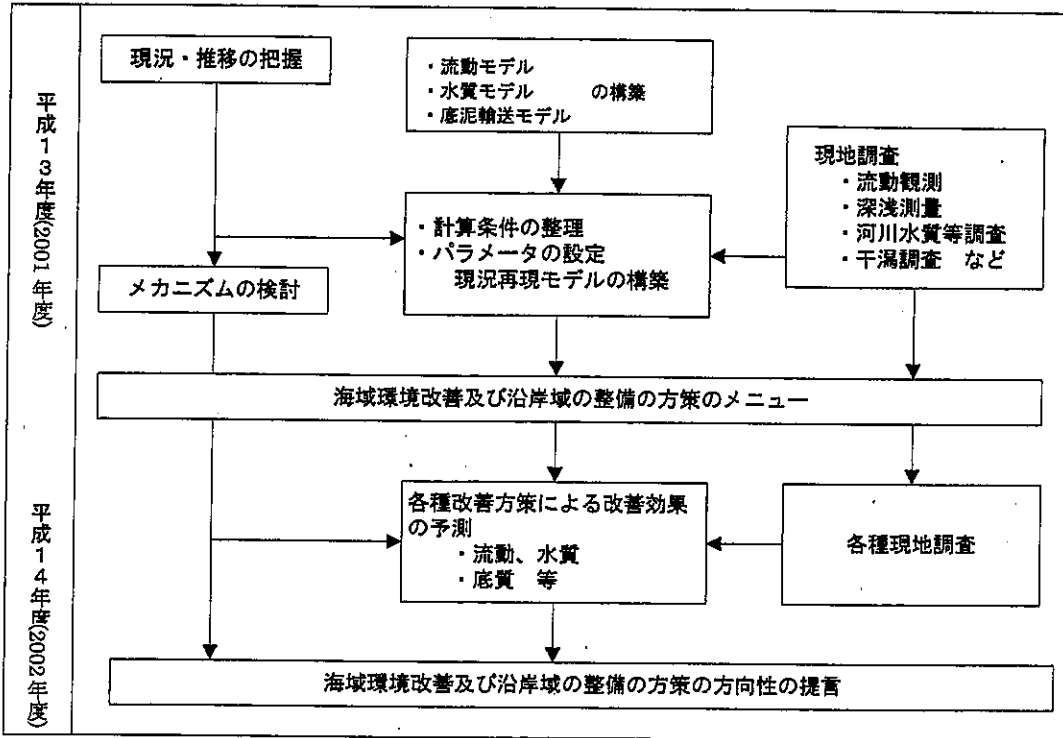


図 3.3 調査全体の流れ



#### 4. 検討委員会及びモデル専門部会名簿

表 4.1 検討委員会名簿

氏名	所 属	役 職
磯部 雅彦	東京大学大学院 新領域創成科学研究科 環境学専攻	教 授
加藤 治	佐賀大学 農学部 生物生産学科 利水情報工学	教 授
菊池 泰二	九州ルーテル学院大学 人文学部 人文学科	教 授
楠田 哲也	九州大学大学院 工学研究院 都市環境システム工学部門	教 授
古賀 憲一	佐賀大学 理工学部 都市工学科	教 授
◎酒井 哲郎	京都大学大学院 工学研究科 土木工学専攻	教 授
須藤 隆一	生態工学研究所	代 表
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	戸原地域環境研究所（九州大学名誉教授）	所 長
中田喜三郎	東海大学 海洋学部 地球環境工学科	教 授
中田 英昭	長崎大学 水産学部 海洋資源動態科学講座	教 授
三村 信男	茨城大学 工学部 都市システム工学科	教 授
柳 哲雄	九州大学 総合理工学部 大気海洋環境システム学 海洋沿岸計測学研究室	教 授

※◎は委員長

表 4.2 モデル専門部会

氏名	所 属	役 職
青木 一男	独立行政法人 産業技術総合研究所 地圏資源環境研究部門 開発安全工学研究グループ	グループ長
磯部 雅彦	東京大学大学院 新領域創成科学研究科 環境学専攻	教 授
宇多 高明	財団法人 土木研究センター	審 議 役
大西 亮一	独立行政法人 農業工学研究所 地域資源部	部 長
◎滝川 清	熊本大学 沿岸域環境科学教育研究センター	教 授
武内 智行	独立行政法人 水産総合研究センター 水産工学研究所 漁業生産工学部	部 長
中田喜三郎	東海大学 海洋学部 地球環境工学科	教 授
細川 恭史	国土技術政策総合研究所 沿岸海洋研究部	部 長
渡辺 正孝	独立行政法人 国立環境研究所 水圏環境研究領域	領 域 長
小田巻 実	海上保安庁 海洋情報部 技術・国際課 海洋研究室	室 長

※◎は座長



【要約編】

1  
2  
3  
4  
5



6  
7  
8  
9  
10

# 1 調査目的

日本一広大な干潟・河口域といった海域環境を有する有明海は、福岡・佐賀・長崎・熊本の4県に囲まれた内湾性の海域であり、ノリをはじめとした養殖漁業やアサリを主体とした採貝漁業等我が国数々の内湾漁場を形成する重要な海域であるとともに、沿岸には約180万人の住民が生活し、様々な社会経済活動が営まれている。

近年、有明海においては、アサリ・タイラギの不漁が続いており、また平成12年度(2000年度)には、ノリの不作が生じるなど、漁場・海域環境の悪化が懸念される一方、沿岸域においては、有明海特有の大きな潮の干満や干潟の発達等により、低平地における排水口の閉塞や河川・漁港における浮泥の堆積等、社会経済活動に支障が生じている地域も存在する。

このため、本調査を緊急に実施することにより、このような有明海の漁場環境を含む海域環境の現況及びこれまでの推移を把握するとともに、海域環境の変動要因の分析を行い、中長期的な有明海の世界環境の改善方策及び沿岸域における各種整備の方策に関する検討に資することを目的とした。

## 2 現地調査

表 2.1 に現地調査の概要を示す。

表 2.1 現地調査の概要と調査結果の活用方法

担当省庁	調査名	調査時期	調査概要	活用方法
国土交通省 海上保安庁 (国調費調査の枠外)	潮流観測調査	2001年5月	・有明海全域での潮流観測	・「流動モデル」と「底泥輸送モデル」の検証データ
経済産業省 資源エネルギー庁	海底地形調査	2001年8月 2002年8月	・湾奥部での深淺測量及び溶存酸素(DO)の分布	・「流動モデル」と「底泥輸送モデル」の水深データ ・「水質モデル」の検証データ
国土交通省 河川局	河川水質等調査	2001年6月～ 2002年7月 2001年1月～ 2003年3月	・一級河川での洪水時の水位・水質観測 ・一級河川での水質観測	・「水質モデル」の負荷量の算定 ・「水質モデル」の負荷量の分画
国土交通省 港湾局	浮泥関連調査	2001年9月 2002年9月	・浮泥の分布調査 ・流動・水質・底質調査	・「底泥輸送モデル」の検証データ
環境省 環境管理局	泥質干潟の浄化機能調査	2001年11月 2002年2月,5月,8月	・泥質干潟の水質・底質・底生生物調査及び脱窒速度実験	・泥質干潟の浄化機能の評価
農林水産省 農村振興局	砂質干潟の浄化機能調査	2002年3月 2002年8月	・砂質干潟の水質・底質・底生生物調査	・砂質干潟の浄化機能の評価
農林水産省 農村振興局	干潟底質・生物調査	2002年3月	・有明海全域の干潟の底質・底生生物調査	・「水質モデル」の干潟域の浄化機能の設定条件
環境省 (国調費調査の枠外)	水質等状況補足調査	2001年2月,8月 2002年2月,5月,8月, 11月, 2003年1月	・有明海全域の水質・底質・プランクトン・底生生物・化学汚染物質 ・底質からの栄養塩類の溶出速度, 底質の溶存酸素(DO)消費速度	・現況の把握 ・「流動モデル」「水質モデル」の検証データ、計算条件

注)調査時期の太字は平成14年度(2002年度)の調査であることを示す。



### 3 海域環境予測モデルの構築

#### 3.1 調査の趣旨

本調査は、有明海の漁場環境を含む海域環境の現況及びこれまでの推移を把握するとともに、海域環境の変動要因の分析を行い、有明海海域環境の改善方策及び沿岸域における各種整備の方策に関する検討に資することを目的に実施するものである。

このため、各種改善方策の効果の予測に活用する海域環境予測モデルを構築した。ここでモデルは、流動モデル、水質モデル、底泥輸送モデルの3つを構築した。

#### 3.2 各モデルの概要

各モデルの概要を以下に示す。

##### 3.2.1 流動モデル・水質モデル

###### (1) モデルで表現する現象

有明海の特徴を反映したモデルを構築するためには、流動場の再現性をもとに①植物プランクトンによる赤潮の発生、②夏季の貧酸素現象、③ノリ漁期の植物プランクトンと栄養塩の推移、といった現象を表現できることが重要である。このために、流動モデルと水質モデルの構築にあたっては、風・気温・日射量などの気象要因や河川流量・負荷量などを時々刻々と変化させた1年間の通年計算を前提に計算を行った。なお、2000年と2001年のそれぞれ1年間の現象を取り扱った。

###### (2) 流動モデル

###### 1) モデルの構造

- ① 流動モデルは、水温・塩分の拡散過程を考慮した鉛直14層のレベルモデルとした。
- ② 層分割は、以下のとおりである。  
第1層(0~3.5m)、第2層(3.5~4.5m)、第3層(4.5~5.5m)、第4層(5.5~6.5m)、  
第5層(6.5~7.5m)、第6層(7.5~8.5m)、第7層(8.5~9.5m)、第8層(9.5~10.5m)、  
第9層(10.5~12.5m)、第10層(12.5~15m)、第11層(15~20m)、第12層(20~25m)、  
第13層(25~30m)、第14層(30m以深)
- ③ 計算項目は、水温、塩分、潮位、潮流(流向、流速)
- ④ 格子間隔は有明海を900m、湾外を2,700mとした(図3-1)。900mでは滞筋などの表現が十分ではないとの指摘も受けている。これに関しては、鉛直多層で通年計算を実施していることから計算時間が膨大となるので、基本モデルを900m格子で構築することとした。
- ⑤ 鉛直方向の成層を再現する上での重要なパラメータの鉛直渦動粘性係数、鉛直拡散係数はMunk and Anderson(1948)の方法で、鉛直差分法はRoe's superbeeの方法で精度向上を図った。
- ⑥ ノリひびによる流動への影響を抵抗係数として組み込んだ。

## 2) 計算条件

- ① 水深データに関しては、各機関の最新の情報を収集するとともに、現地調査結果も合わせて活用し、干潟部の水深も含めて設定した(図 3-2)。この場合に、平均水深を標準偏差分深くして、モデル水深とした。また、海底地形は時間的に変化すると考えられているので、観測時期がわかるように、資料の出展を示した。
- ② 湾口部での潮位条件は、13 分潮( $K_1$ 、 $O_1$ 、 $P_1$ 、 $Q_1$ 、 $M_2$ 、 $S_2$ 、 $N_2$ 、 $K_2$ 、 $Sa$ 、 $Ssa$ 、 $Mm$ 、 $MSf$ 、 $Mf$ )の調和定数から各時刻の水位変化を水位境界として設定した。なお、湾内の大浦、三角観測点の分潮の振幅に合うように潮位の境界条件を修正している。
- ③ 水温・塩分の初期値は浅海定線のデータを全格子に補完して設定した。
- ④ 湾口部での水温・塩分の境界条件は、実測値を内挿して季節変化を与えた。
- ⑤ 海面の風データは、熊本港の1時間毎の観測データを用いた。
- ⑥ 雲量、日射量、海上気温、相対湿度は、熊本地方气象台でのデータを用いた。
- ⑦ 河川順流域については、各河川の流量観測点における毎時実測値により、河川感潮域および直接流入域については、人為系排水量(原単位法)と有明海流域のアメダス降水量により、毎日流入水量を算定した。また、諫早湾流域からの流入水量については、潮受け堤防排水門からの排水実績から算定した。

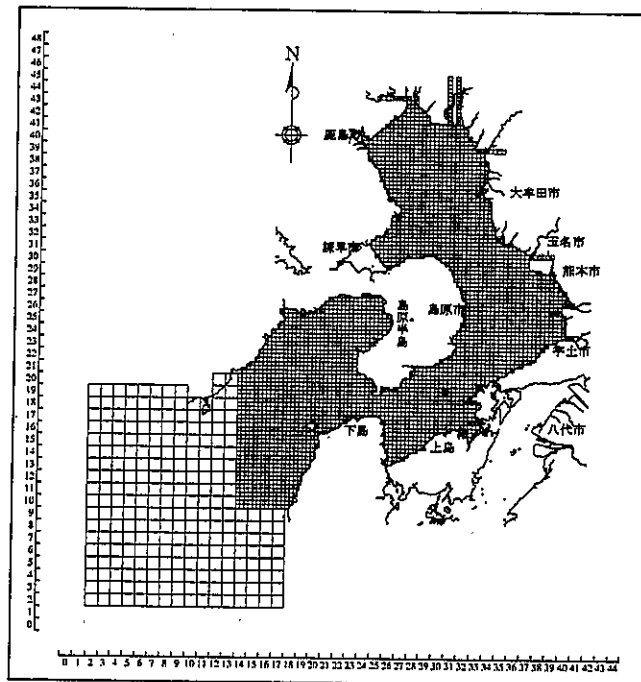


図 3-1 流動計算の格子分割



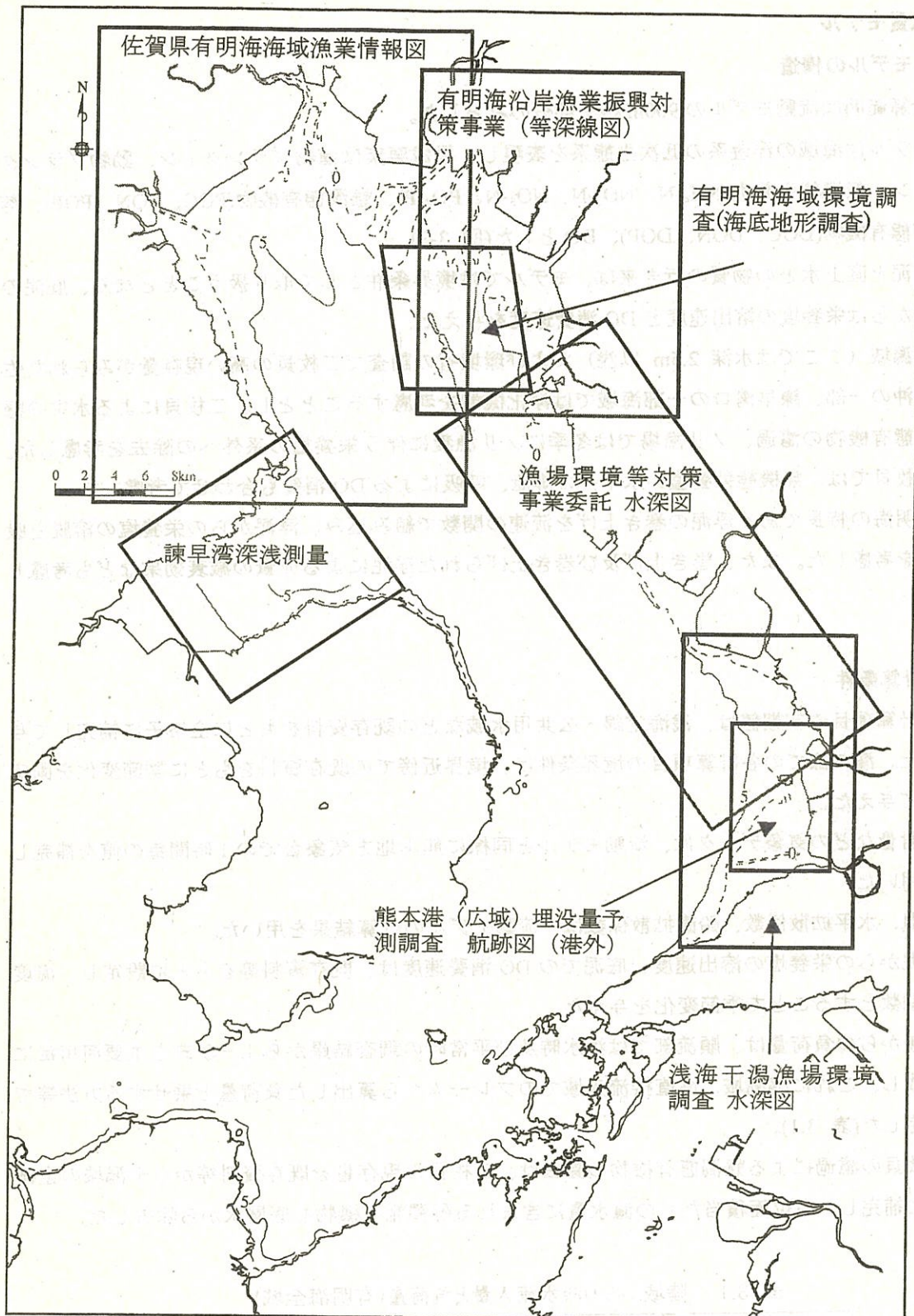


図 3-2 深淺測量図の位置

### (3) 水質モデル

#### 1) モデルの構造

- ① 計算範囲は流動モデルの 900m 格子部分のみとした。
- ② モデルは海域の浮遊系の低次生態系を表現し、構成要素は植物プランクトン、動物プランクトン、無機態栄養塩(NH<sub>4</sub>-N、NO<sub>2</sub>-N、NO<sub>3</sub>-N、PO<sub>4</sub>-P)、懸濁態有機物(POC、PON、POP)、溶解態有機物(DOC、DON、DOP)、DO とした(図 3-3)。
- ③ 底泥と直上水との物質の行き来は、モデルでは境界条件として取り扱うこととなり、底泥の側からは栄養塩の溶出速度と DO 消費速度を与えた。
- ④ 干潟域(ここでは水深 2.5m 以浅)および環境省の調査で二枚貝の高い現存量がみられた佐賀沖の一部、諫早湾口の一部海域では浄化機能を考慮することとし、二枚貝による水中の懸濁態有機物の濾過、ノリ漁場では冬季にノリ漁獲に伴う栄養塩の系外への除去を考慮した。二枚貝では、無機態栄養塩の水中への排泄、呼吸による DO 消費も合わせて考慮した。
- ⑤ 有明海の特長である浮泥の巻き上げを流速の関数で組み込み、浮泥からの栄養塩の溶脱と吸着を考慮した。また、巻き上げ及び巻き上げられた浮泥による光量の減衰効果なども考慮した。

#### 2) 計算条件

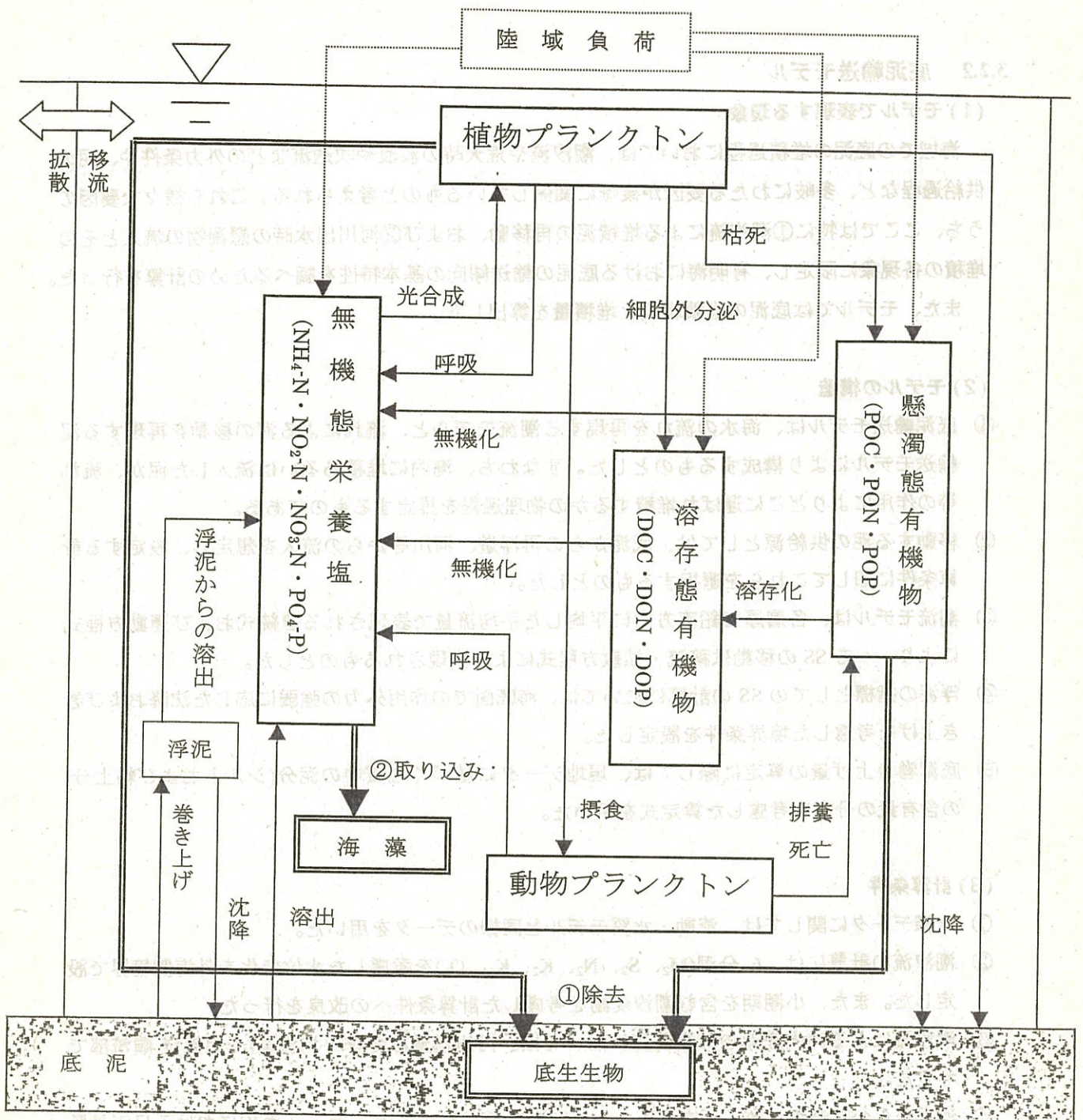
- ① 各計算項目の初期値は、浅海定線・公共用水域などの既存資料をもとに全格子に補完して与えた。湾口部での各計算項目の境界条件は、境界近傍での既存資料をもとに季節変化を固定して与えた。
- ② 日射量などの気象データは、流動モデルと同様に熊本地方気象台での 1 時間毎の値を補完して用いた。
- ③ 水温、水平拡散係数、鉛直拡散係数は、流動モデルの計算結果を用いた。
- ④ 底泥からの栄養塩の溶出速度、底泥での DO 消費速度は、既存資料等をもとに設定し、温度の関数とすることで季節変化を与えた。
- ⑤ 陸域からの負荷量は、順流部では洪水時及び平常時の調査結果から L-Q 式を主要河川毎に作成し、これに感潮域、湾直接流入域でのフレームから算出した負荷量上乘せする方法等で設定した(表 3.1)。
- ⑥ 二枚貝の濾過による懸濁態有機物の除去は、二枚貝の現存量を既存資料等から干潟域の全格子に補完し、単位面積当たりの濾水量に含まれる懸濁態有機物を底層水から除去した。

表 3.1 陸域からの淡水流入量と負荷量(有明海全域)

年	淡水流入量 m <sup>3</sup> /年	COD ton/年	T-N ton/年	T-P ton/年
2000	1.160×10 <sup>10</sup>	80,732	25,652	3,142
2001	1.345×10 <sup>10</sup>	102,782	28,497	3,685

注)2001 年の淡水流入量及び河川からの負荷量については、河川流量の速報値を用いて算定した。





- 凡例) □ : 計算項目  
 → : 炭素、窒素およびリンの移動経路  
 ①除去 : 底生生物による水中懸濁物の除去量  
 ②取りこみ : 養殖藻類による栄養塩の取りこみ量

図 3-3 水質予測モデルの構造

### 3.2.2 底泥輸送モデル

#### (1) モデルで表現する現象

海域での底泥の堆積過程においては、潮汐流や荒天時の波浪や吹送流などの外力条件や、泥の供給過程など、多岐にわたる要因が複雑に関係しているものと考えられる。これら様々な要因のうち、ここでは特に①潮汐流による堆積泥の再移動、および②河川出水時の懸濁物の流入とその堆積の各現象に限定し、有明海における底泥の輸送傾向の基本特性を調べるための計算を行った。また、モデルでは底泥の堆積範囲と堆積量を算出した。

#### (2) モデルの構造

- ① 底泥輸送モデルは、海水の流れを再現する潮流モデルと、流れによる泥の移動を再現する泥輸送モデルにより構成するものとした。すなわち、湾内に堆積あるいは流入した泥が、流れ等の作用によりどこに運ばれ堆積するかの物理過程を推定するものである。
- ② 移動する泥の供給源としては、底泥からの再浮遊、河川等からの流入を想定し、設定する計算条件に即してこれらを選択するものとした。
- ③ 潮流モデルは、各層厚で鉛直方向に平均した平均流量で表現される連続式および運動方程式により、一方SSの移動は移流・拡散方程式により表現されるものとした。
- ④ 浮泥の指標としてのSSの計算においては、海底面での作用外力の強弱に応じた沈降および巻き上げを考慮した境界条件を設定した。
- ⑤ 底泥巻き上げ量の算定に際しては、現地データに基づく底質中の泥分(シルトおよび粘土分)の含有量の分布を考慮した算定式を用いた。

#### (3) 計算条件

- ① 水深データに関しては、流動・水質モデルと同様のデータを用いた。
- ② 潮汐流の計算には、6分潮( $M_2$ 、 $S_2$ 、 $N_2$ 、 $K_2$ 、 $K_1$ 、 $O_1$ )を考慮した水位変化を外海側境界で設定した。また、小潮期を含む潮汐変動を考慮した計算条件への改良を行った。
- ③ 潮汐流による湾内底泥の移動計算においては、河川流量は冬季平均流量(一定値)を順流部で与えた。
- ④ 河川からの懸濁物の流入を考慮した出水期の計算においては、過去3カ年における日流量最大値を与え、また順流部における測定結果を基にしたL-Q式により、設定流量に対するSS負荷量を与え、湾内での堆積傾向について検討した。



### 3.3 モデルの検証結果

#### 3.3.1 流動モデル

##### (1) 検証結果

流動モデルの検証は、潮位、水温・塩分、潮流、平均流に分けて実施した。各検証地点を図 3-4 に示す。

##### 1) 潮位

口之津、三角、大浦での潮位振幅( $M_2$ 分潮)の計算値と観測値とを比較した(図 3-5)。湾央・湾奥部では平均的に計算値の方が1~2%高く、遅角も計算値の方が1~2度大きい程度であり、再現性はかなり高いといえた。

##### 2) 水温・塩分

浅海定線の測点から、湾奥、湾央、湾口の代表点として、それぞれ測定地点番号佐賀7、熊本20、熊本11、熊本6の4地点を選定し、計算値と観測値を比較した(図 3-6)。湾奥部の塩分の計算値がわずかに低い傾向が認められるものの、水温・塩分ともに年間の変動パターンは観測値と良い一致を示していた。

塩分の平面分布は2000年7月、11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おり、筑後川等の有明海湾奥大河川からの出水の影響を受けた塩分低下現象を再現できたものと考えられる。

##### 3) 潮流

海上保安庁などが実施した15昼夜連続観測が実施されている期間と同期間について、観測値と計算値の主要4分潮の潮流楕円を比較した。ノリ網近傍や滞筋など900m格子では地形・水深条件が十分に表現できない地点を除けば、概ね長軸の流向・流速は再現されていた。図 3-7 には海上保安庁の島原半島南西沖地点での比較を示した。

##### 4) 平均流<sup>1</sup>

潮流と同じ地点で平均流の観測値と計算値を比較した。図 3-8 には海上保安庁が実施した地点での比較結果を示した。潮流と同様に900m格子では地形・水深条件が十分に表現できていない地点を除けば平均流のパターンは概ね再現されていた。

<sup>1</sup> 平均流とは測流結果をある期間についてベクトル平均したもので、ここで示す平均流は15日間の調査期間における平均流である。



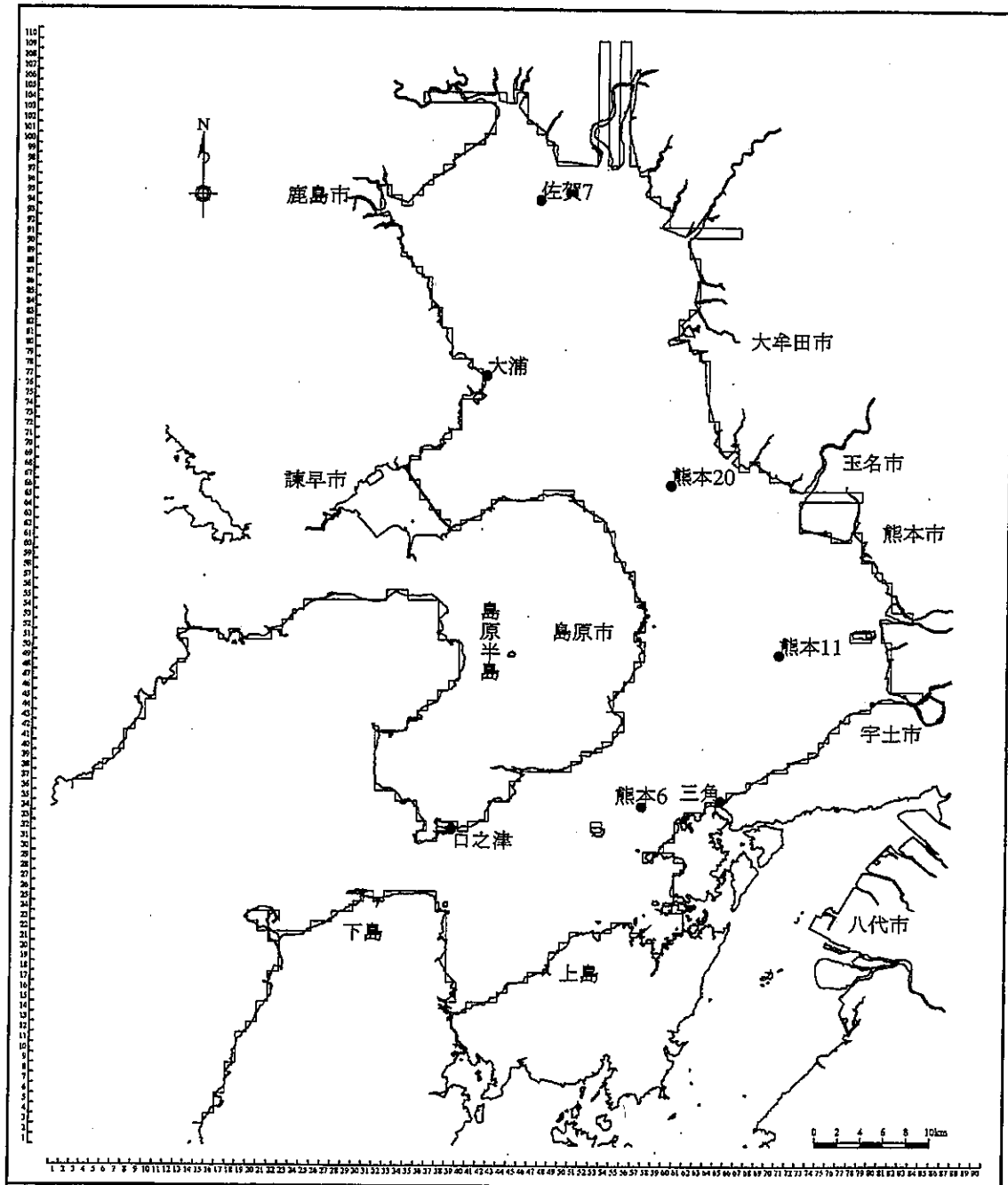


図 3-4 流動モデルの検証地点

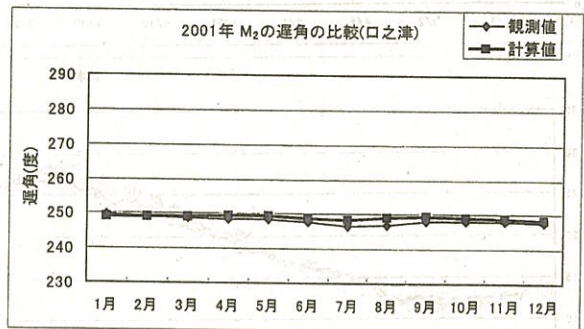
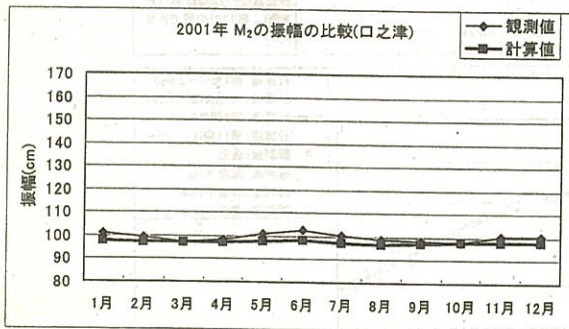
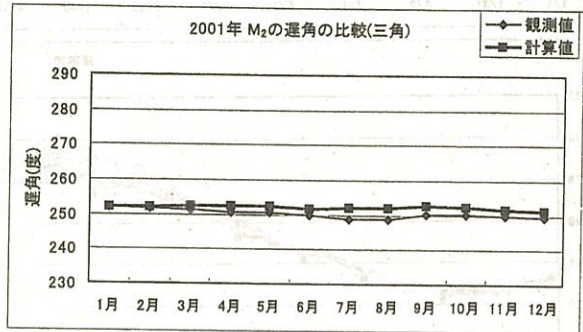
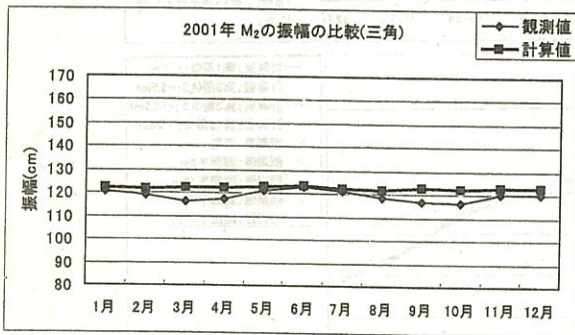
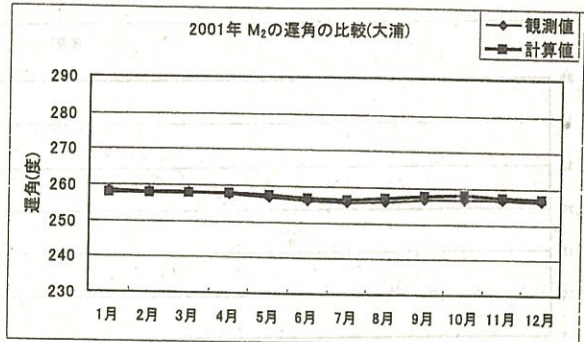
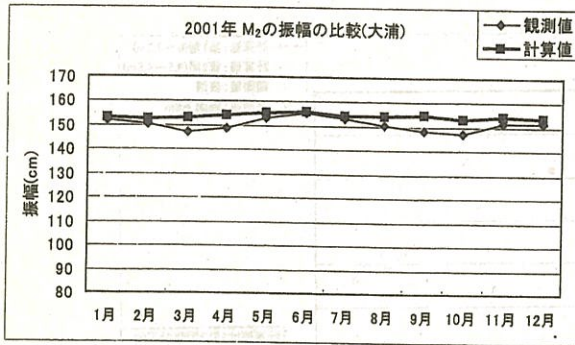
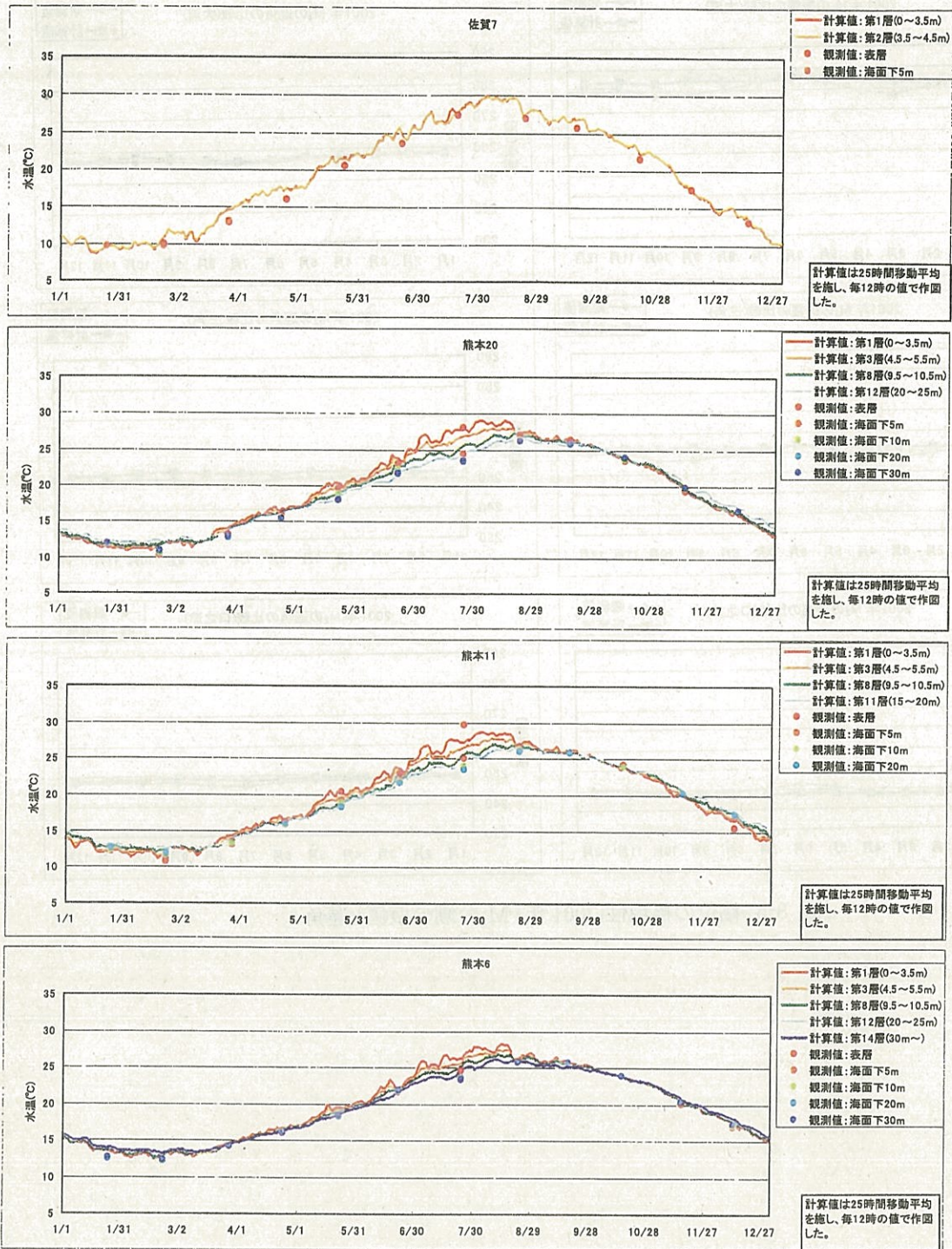


図 3-5 潮位の再現性(2001年) M<sub>2</sub>分潮の振幅と遅角

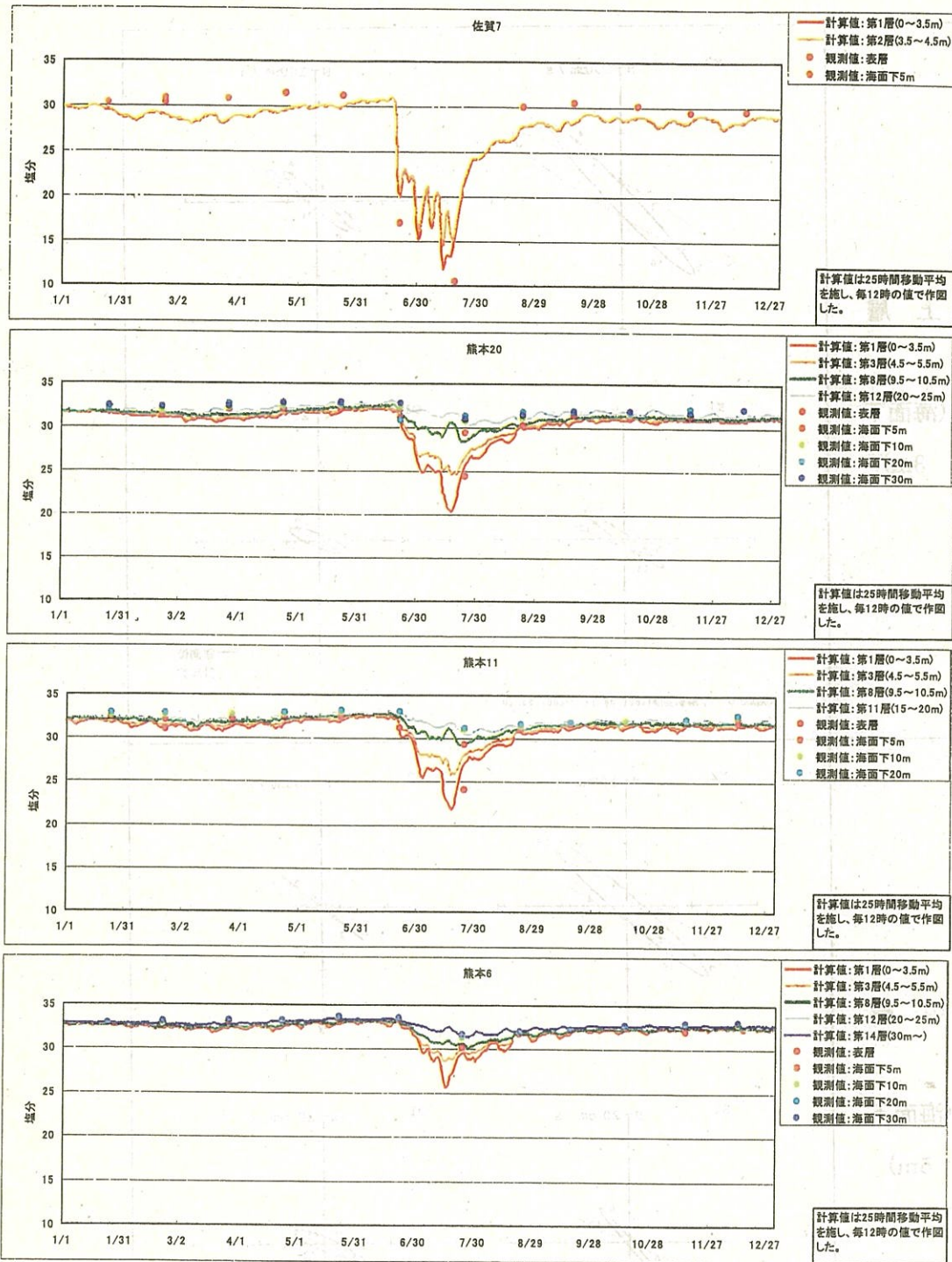




注1) 浅海定線データは有明4県からの提供データ  
 注2) 調査地点名は県名と各県の地点番号で表示した。

図 3-6 (1)水温・塩分の再現性(2001年の浅海定線データ)





注1) 浅海定線データは有明4県からの提供データ  
 注2) 調査地点名は県名と各県の地点番号で表示した。

図 3-6(2)水温・塩分の再現性(2001年の浅海定線データ)



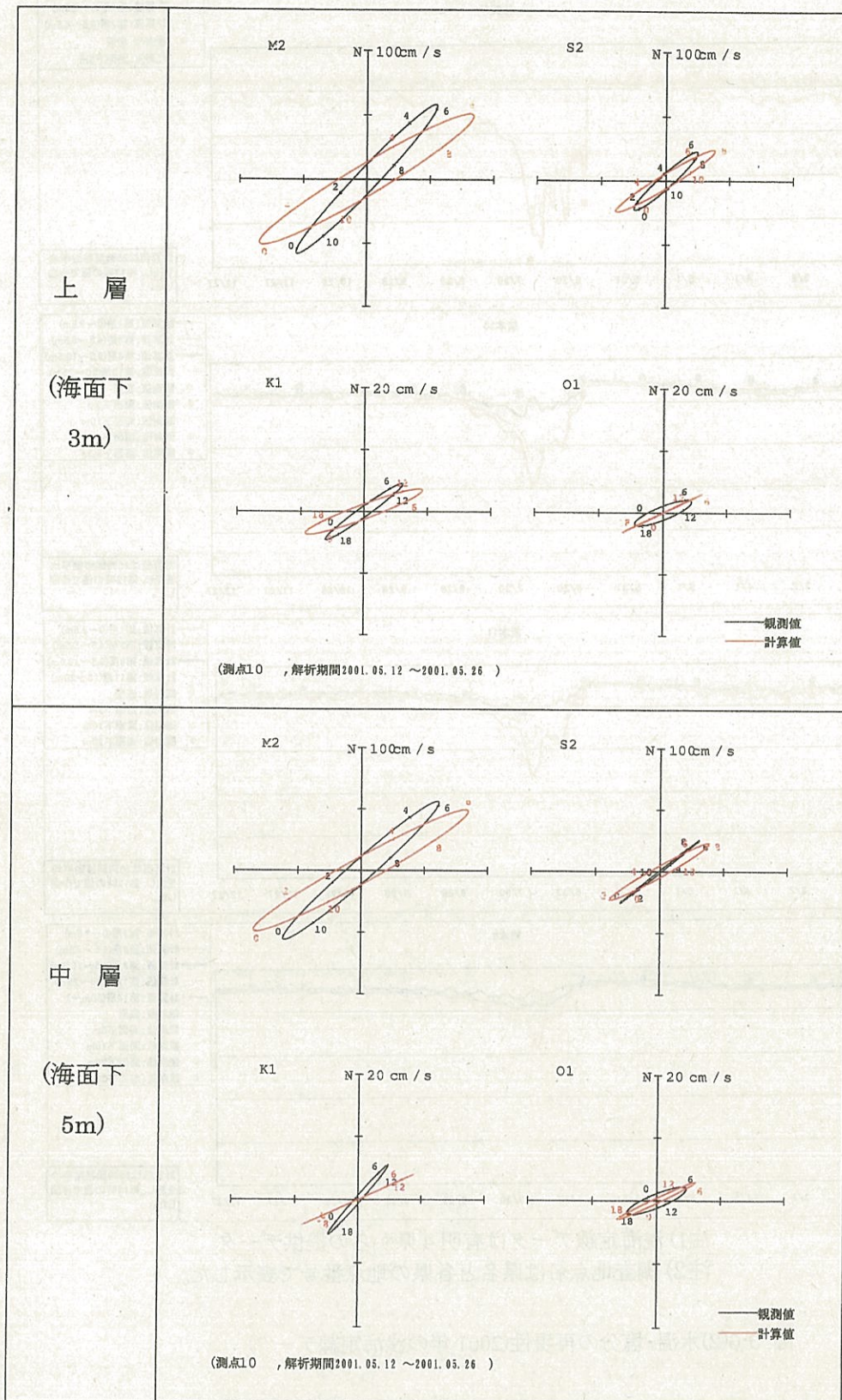


図 3-7 潮流楕円の再現性(2001年5月)島原半島南西沖地点での比較



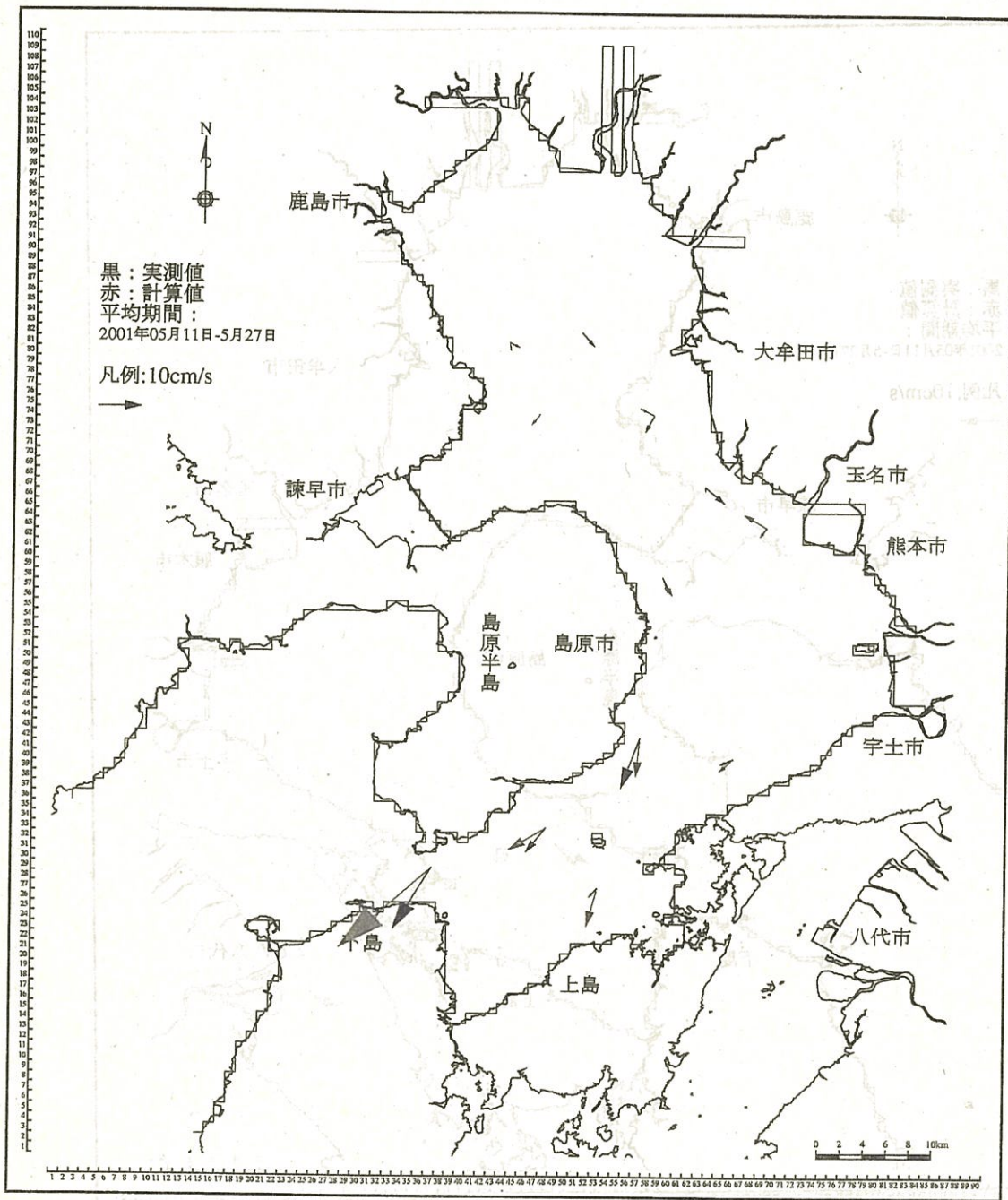


図 3-8 (1) 平均流の比較(2001年5月) 上層 [海面下 3m]



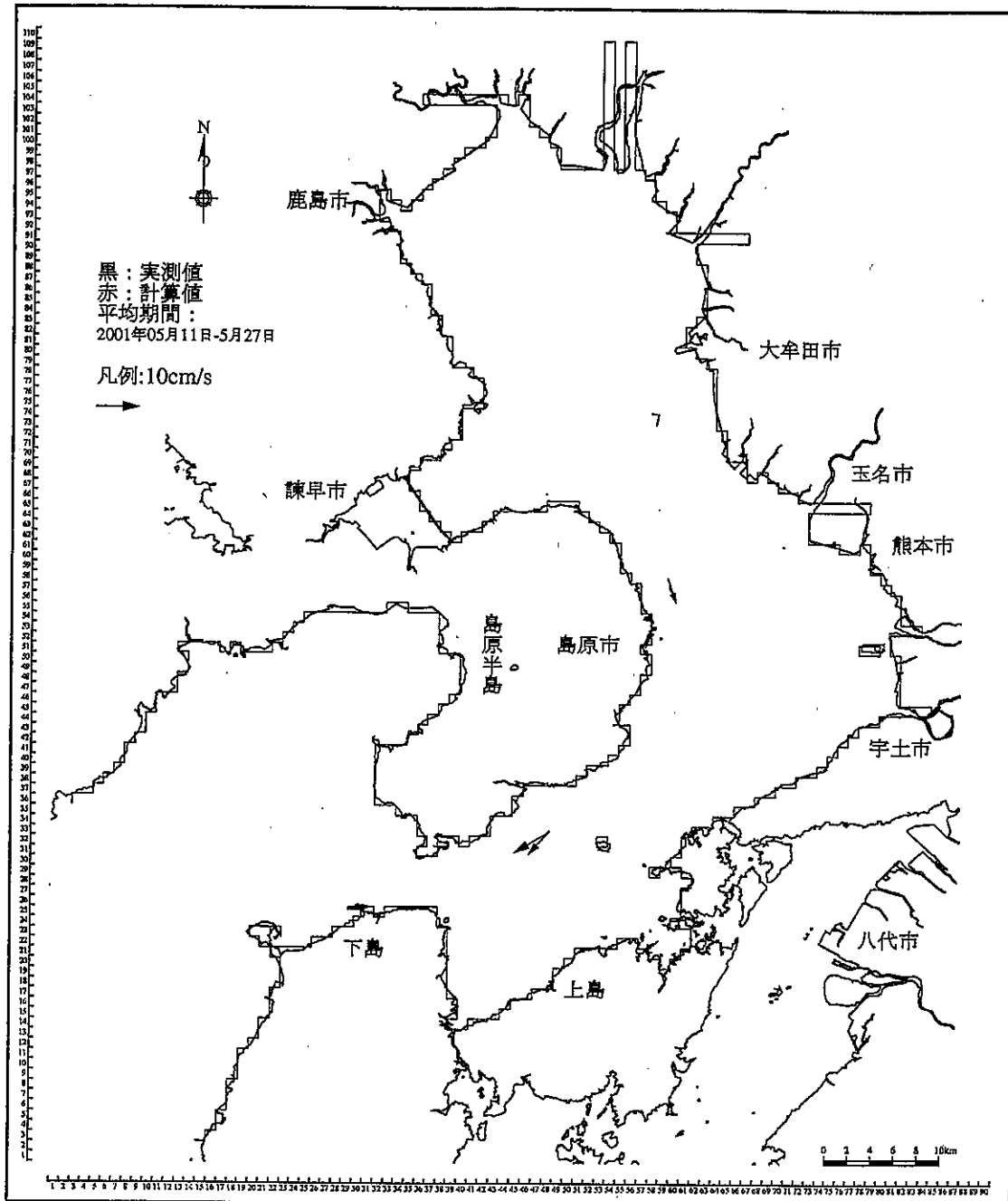


図 3-8(2) 平均流の比較(2001年5月) 中層[海面下5m]

## (2) 流動特性のまとめ

流動モデルから得られる有明海の流動特性を以下に整理した。

### 1) 海水交換状況

流動モデルの計算結果をもとに、瀬詰崎沖の湾口部での海水交換量を算出して表 3.2 に示した。ただし、ここでいう海水交換量は、単に海水通過流量を意味しており、水塊の交換を含む海水交換を指しているものではない。

湾口部から流出している層は、年間を通して見た場合には 20m 深までであり、湾外水はそれ以深からの流入となっている。この深度は冬季にはわずかに浅くなる傾向にある。ここでは、有明海から外海に流出している層を上層、外海から有明海に流入している層を下層とした。

上層での流出量は、年間を通して見た場合には河川流量の 18~19 倍となっている。有明海の海水容量は  $31.2 \times 10^9 \text{ m}^3$  であり、これを下層からの湾外水の流入量で割ることで有明海の海水交換の 1 つの目安が得られる。年間平均滞留時間でみると約 50 日となるが、季節でみると降水量の多い夏季には 40 日程度となる。柳・阿部(2002)が河川流量と塩分データから求めた年間平均滞留時間は、1990~2000 年では約 2~3.5 ヶ月となっており、流動モデルの結果よりも少し大きめの値が得られている。

表 3.2 (1) 湾口部での海水交換状況(2000 年)

時 期	淡水流入量 ( $\text{m}^3$ )	流出層	上層からの流出量 ( $\text{m}^3$ )	下層からの流入量 ( $\text{m}^3$ )	海水容量/流入量 $\times 365$ or $90$ (日)
年間(1~12 月)	$12.14 \times 10^9$	0~20m	$230.54 \times 10^9$	$221.07 \times 10^9$	52
冬季(1~3 月)	$1.83 \times 10^9$	0~15m	$37.24 \times 10^9$	$35.46 \times 10^9$	79
夏季(6~8 月)	$5.25 \times 10^9$	0~20m	$73.05 \times 10^9$	$70.53 \times 10^9$	40

注) 流量の単位は、年間の場合、 $\text{m}^3/\text{年}$ 、冬季および夏季の場合  $\text{m}^3/3$  ヶ月である。

注) 夏季と冬季で流量収支がとれていないのは、流量を積分する期間で潮位が異なること、海面への降水と海面からの蒸発量が異なるためと考えられる。1 年間でみれば、後者はほぼバランスしている。

表 3.2 (2) 湾口部での海水交換状況(2001年)

時 期	淡水流入量 ( $m^3$ )	流出層	上層からの流出量 ( $m^3$ )	下層からの流入量 ( $m^3$ )	海水容量/流入量 ×365 or 90(日)
年間(1~12月)	$14.00 \times 10^9$	0~20m	$250.38 \times 10^9$	$237.01 \times 10^9$	48
冬季(1~3月)	$2.28 \times 10^9$	0~15m	$43.40 \times 10^9$	$39.91 \times 10^9$	70
夏季(6~8月)	$7.38 \times 10^9$	0~20m	$75.69 \times 10^9$	$70.25 \times 10^9$	40

注)流量の単位は、年間の場合、 $m^3$ /年、冬季および夏季の場合  $m^3$ /3 ヶ月である。

注)夏季と冬季で流量収支がとれていないのは、流量を積分する期間で潮位が異なること、海面への降水と海面からの蒸発量が異なるためと考えられる。1年間でみれば、後者はほぼバランスしている。

## 2) 平均輸送速度<sup>2</sup>

夏季と冬季の第2層(3.5~4.5m)における平均輸送速度の分布を図3-9に示した。これによると、大牟田市より以北の湾奥部では冬季、夏季ともに反時計回り循環流の傾向がみられ、既往の知見とも符合した計算結果が得られている。また、諫早湾より以南の有明海の湾央から湾口にかけては南下流の傾向があり、特に島原半島に沿う南下流が優勢な傾向が確認された。

<sup>2</sup> 計算では計算格子間の流量を求めており、任意の期間における流量を平均し、その流量と平均水深から求めた流速を平均輸送速度と呼ぶこととした。



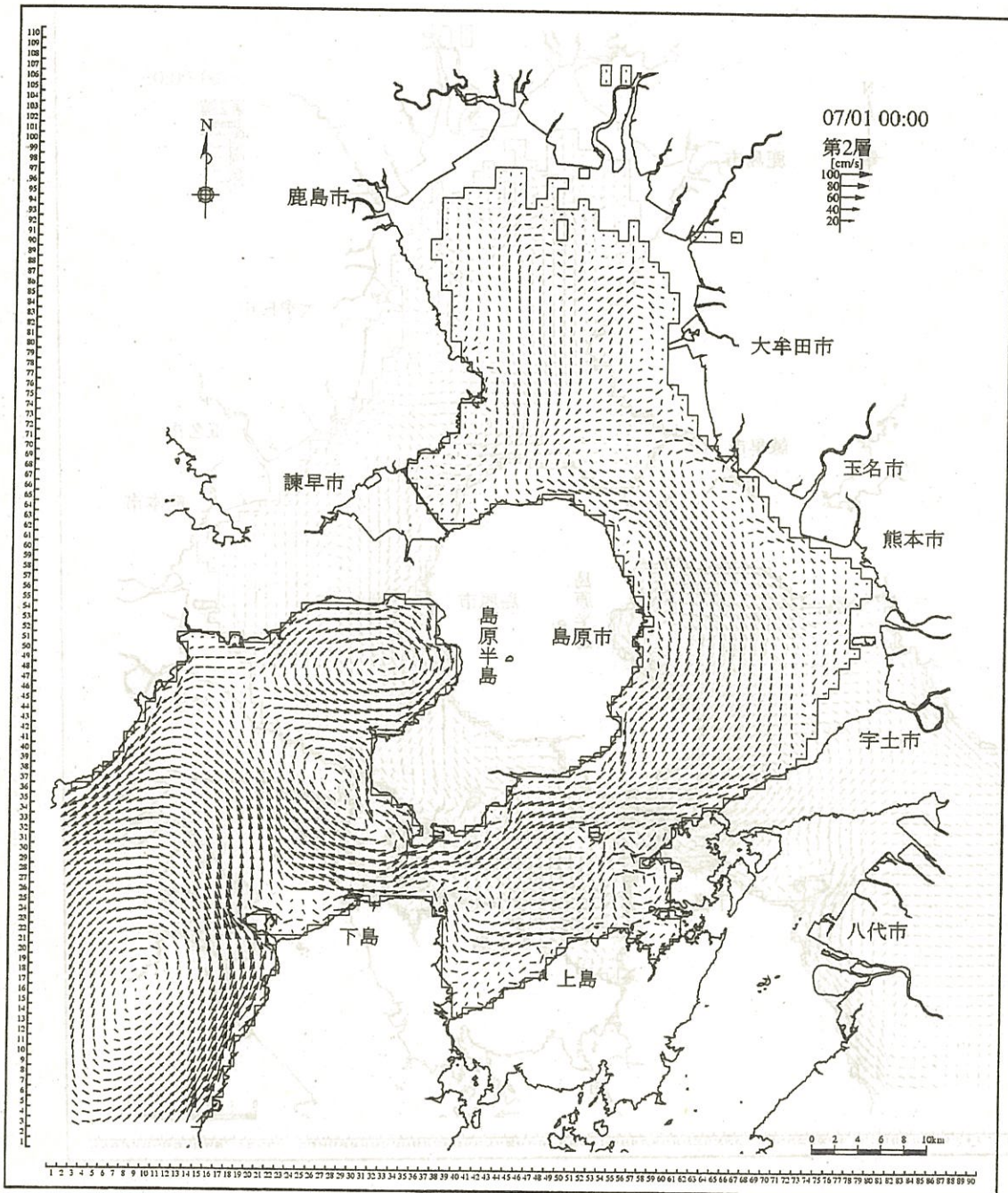


図 3-9 (1) 2001年7月(夏季)の平均輸送速度 第2層[3.5~4.5m]

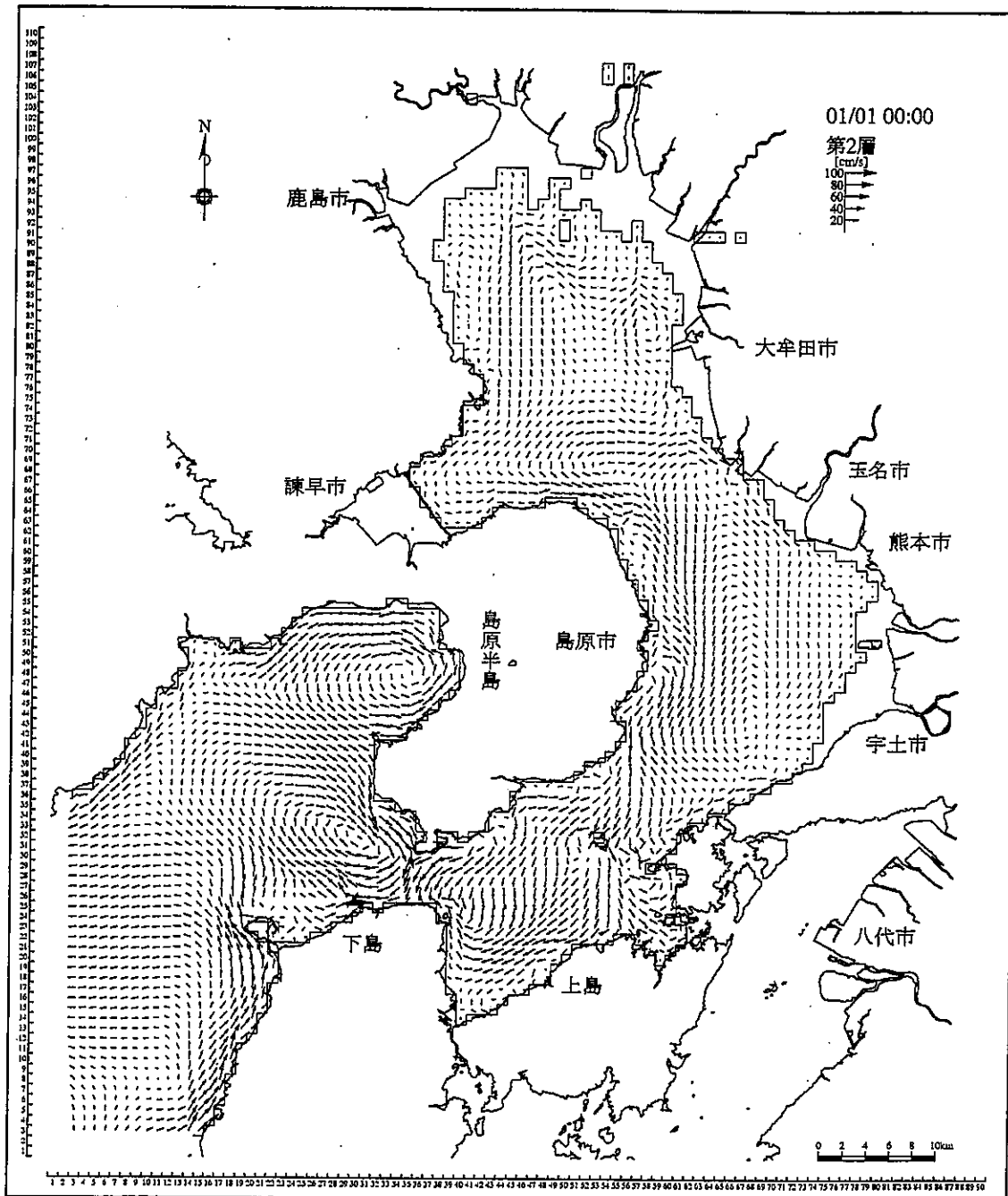


図 3-9(2) 2001年1月(冬季)の平均輸送速度 第2層[3.5~4.5m]



### 3.3.2 水質モデル

#### (1) 検証結果

水質モデルの検証は、代表点（浅海定線調査測点および公共用水域水質測定点）における  $\text{PO}_4\text{-P}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、DO、COD（以上浅海定線調査測点）、DO、SS、T-P、T-N、COD（以上公共用水域水質測定点）について計算値と観測値を比較して行った。各検証地点を図 3-10 に、2000 年の計算結果を図 3-11 と図 3-12 に、2001 年の計算結果を図 3-13 と図 3-14 にそれぞれ示す。

##### 1) $\text{PO}_4\text{-P}$

$\text{PO}_4\text{-P}$  は、夏季の計算結果が観測値よりやや高いが、年間を通して概ね再現されていた（図 3-11、図 3-13）。

##### 2) $\text{NH}_4\text{-N}$

$\text{NH}_4\text{-N}$  は、年間を通して概ね再現されていた（図 3-11、図 3-13）。

##### 3) $\text{NO}_3\text{-N}$

$\text{NO}_3\text{-N}$  は、2001 年については年間を通して概ね再現されていたが、2000 年については 1~3 月にかけて計算結果が観測値より高くなっていた（図 3-11、図 3-13）。また、夏季にスパイク状の高い濃度がみられる。これは、有明海湾奥の筑後川等の大河川の近傍に位置する測点において洪水時の影響を受けているものと考えられる。

##### 4) DO

DO は、年間変動パターンは概ね再現されていたが、夏季の上下層差に関する再現性は十分ではなかった（図 3-11~図 3-14）。2000 年も 2001 年も有明海湾奥部で大河川からの出水が原因と考えられる貧酸素水塊が発生している。これらは、湾中央部から湾口部にかけてはみられず、大牟田と竹崎を結んだ以北において生じており、諫早湾以南では生じていない。特に 2001 年の夏場には湾奥部でそうした現象が確認できた。

##### 5) COD

COD は、年間変動パターンは概ね再現されていたが、冬季にみられる高濃度に関する再現性は十分ではなかった（図 3-11~図 3-14）。

#### 6) SS

SS は、2000 年の春季から夏季にかけて計算結果が観測値より高くなっていたが、その他の時期は概ね再現されていた (図 3-12、図 3-14)。また夏季に濃度が高く、冬季に低い傾向がみられる。これは、流動計算においてノリ網の抵抗を考慮した結果を受けたものと考えられる。

#### 7) T-P、T-N

T-P と T-N の観測値には明瞭な季節変動傾向が認められないが、夏季から秋季にかけてやや高くなる傾向にあり、計算値は観測値の変動を概ねとらえていた。(図 3-12、図 3-14)。

#### 8) その他

T-N、T-P、COD の再現性がやや劣っているが、これは、T-N、T-P、COD という項目をモデルの中で直接解いておらず、T-N、T-P については無機物と有機物の和であること、COD については炭素量から換算しており、その係数を年間一定値として計算していることによるものであると考えられる。

### (2) まとめ

今回構築した水質モデルは、有明海全域において年間を通して栄養塩類等の濃度を再現できることを目的としたものであり、環境改善方策のマクロ的な検討に必要な精度は得られたと考えられた。今後の課題として、底層の DO の再現性、各水質項目の関係づけ等について検討する必要がある。



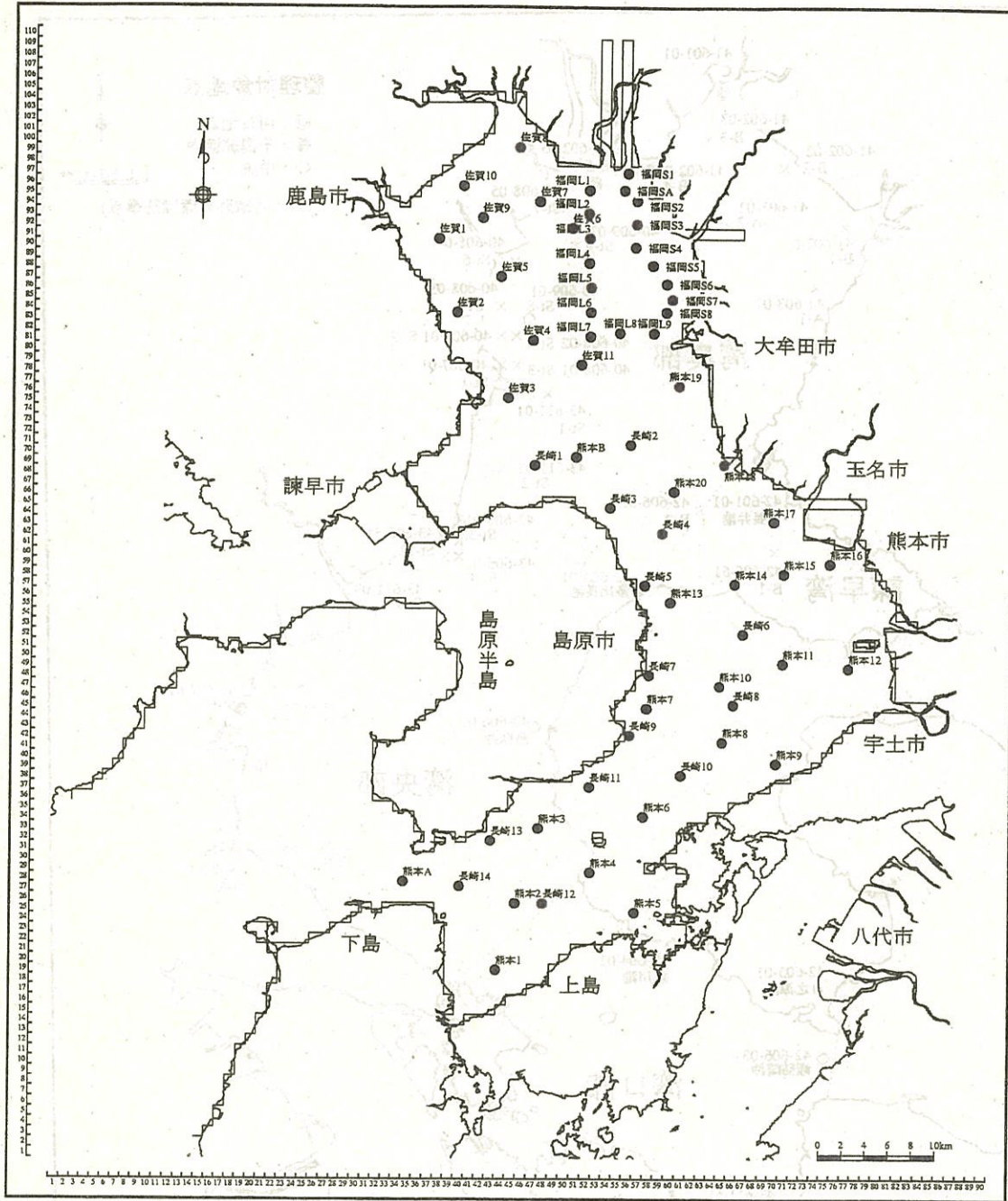


図 3-10(1) 水質モデルの検証地点

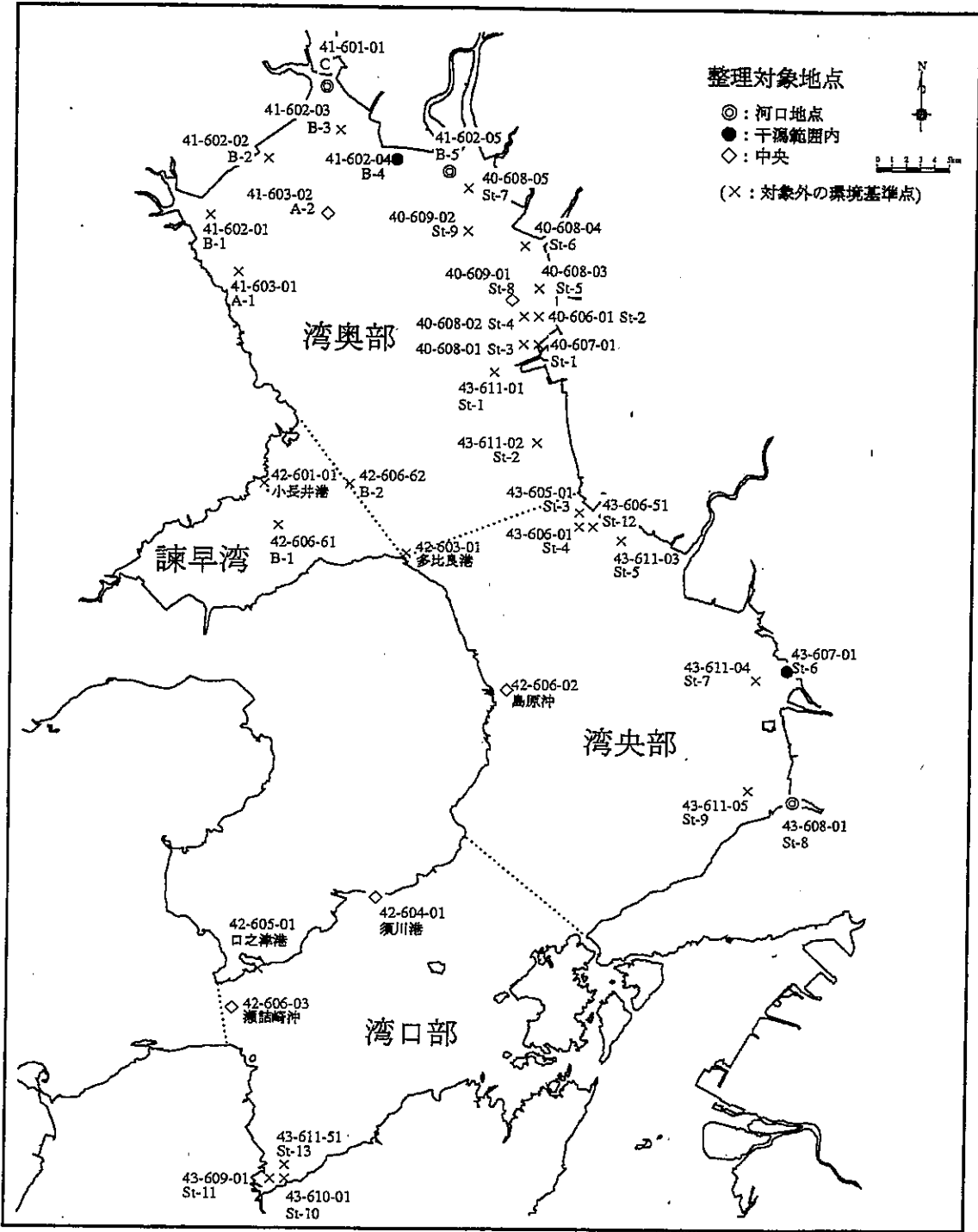


図 3-10(2) 水質モデルの検証地点



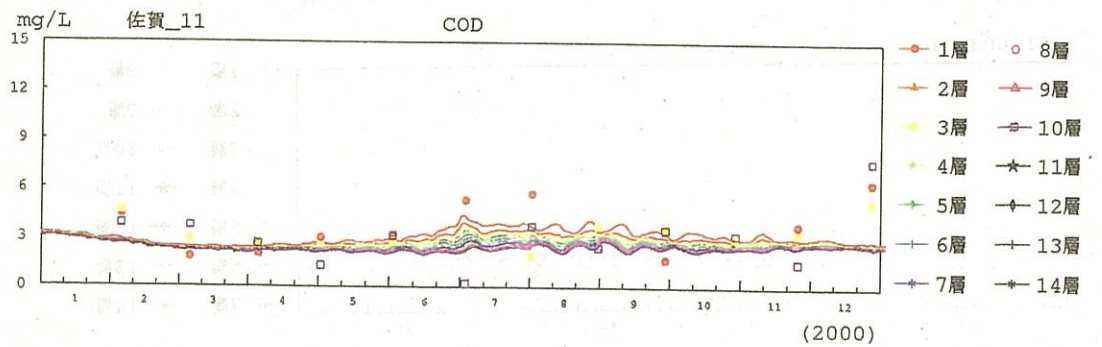
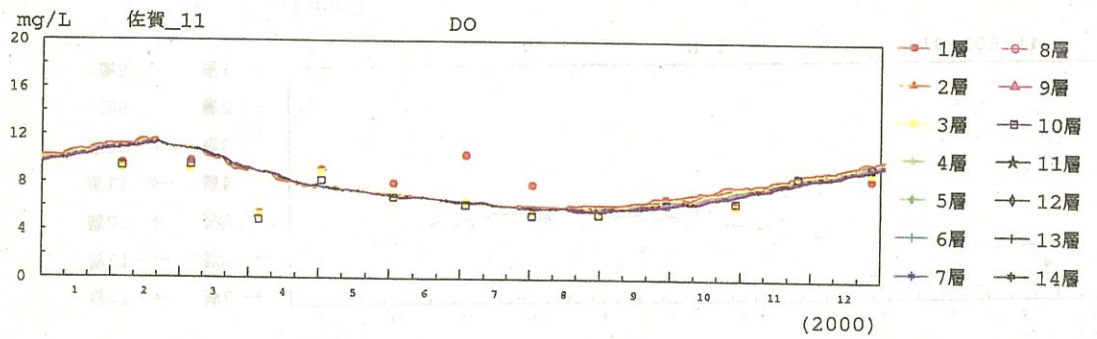
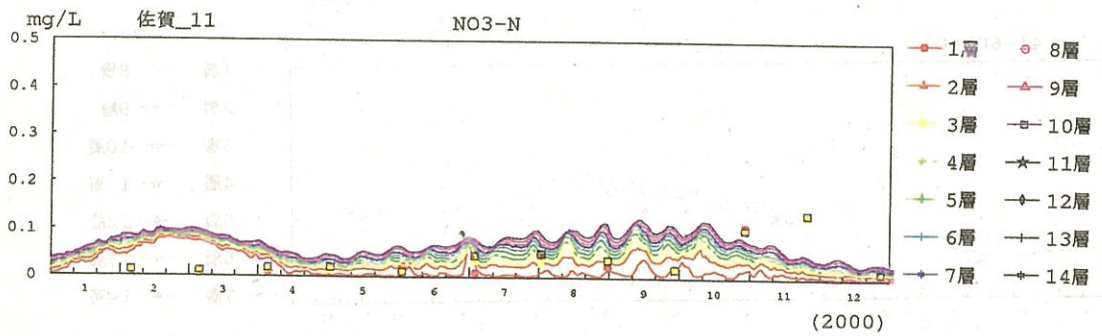
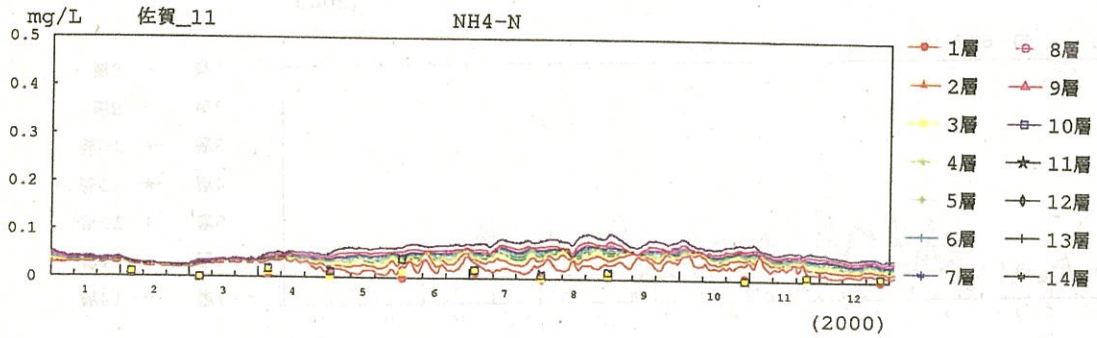
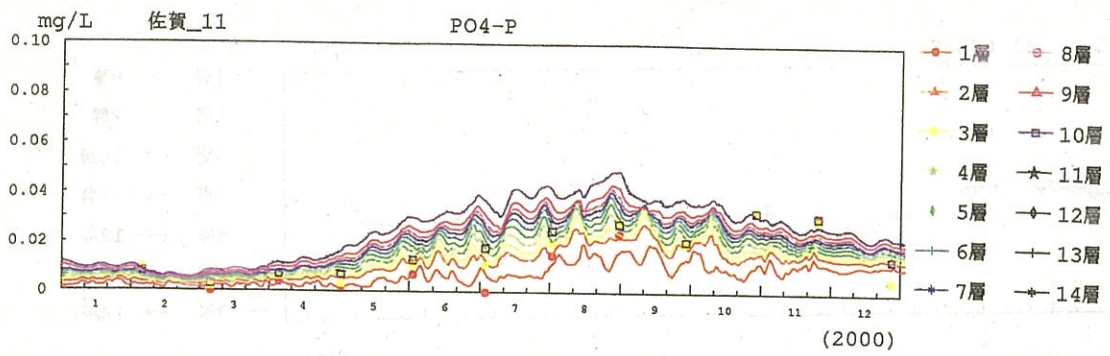


図 3-11 水質の時系列変動の比較(2000年、佐賀県浅海定線水質測定点)



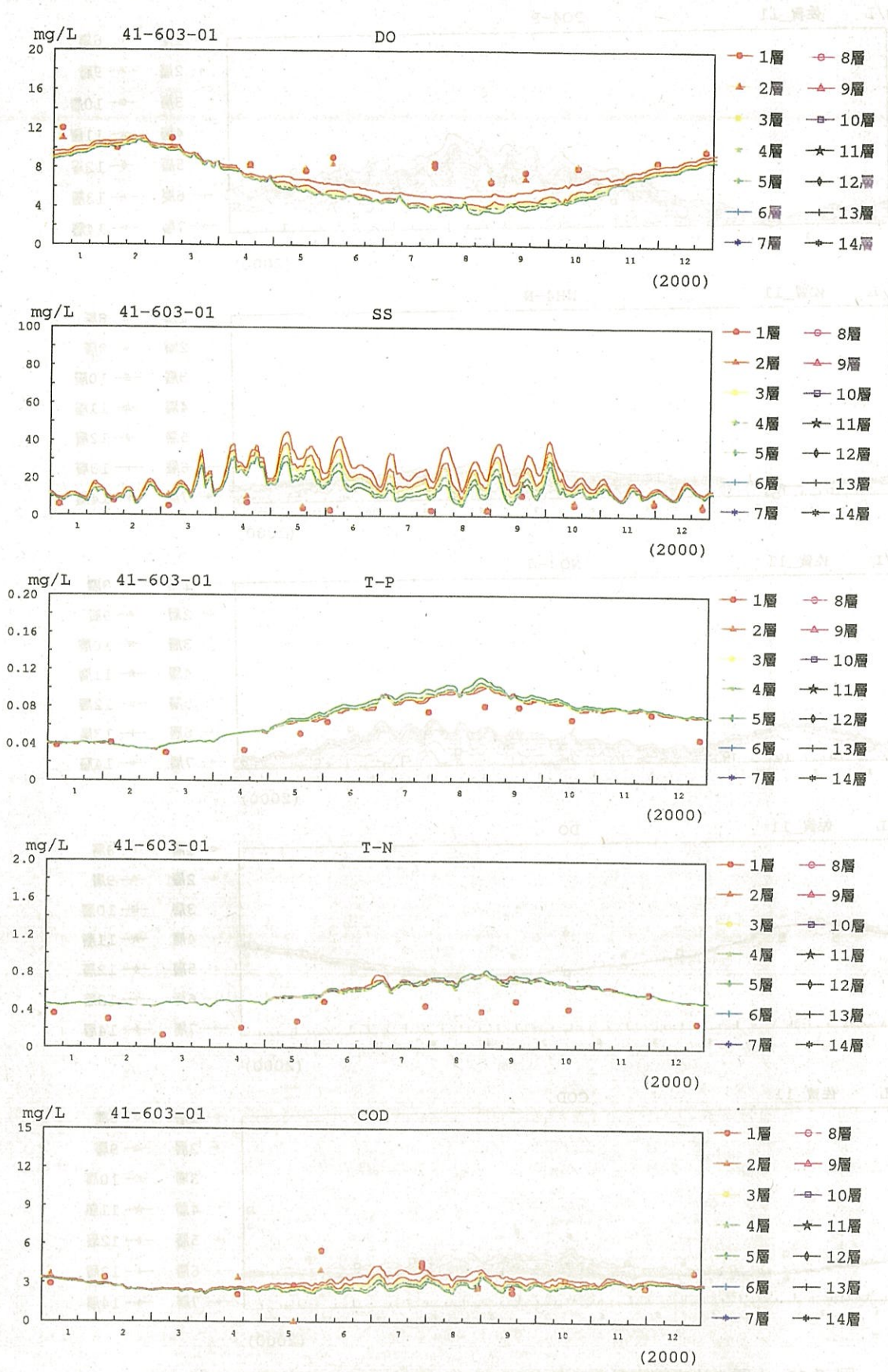


図 3-12 水質の時系列変動の比較(2000年、佐賀県公共用水域水質測定点)



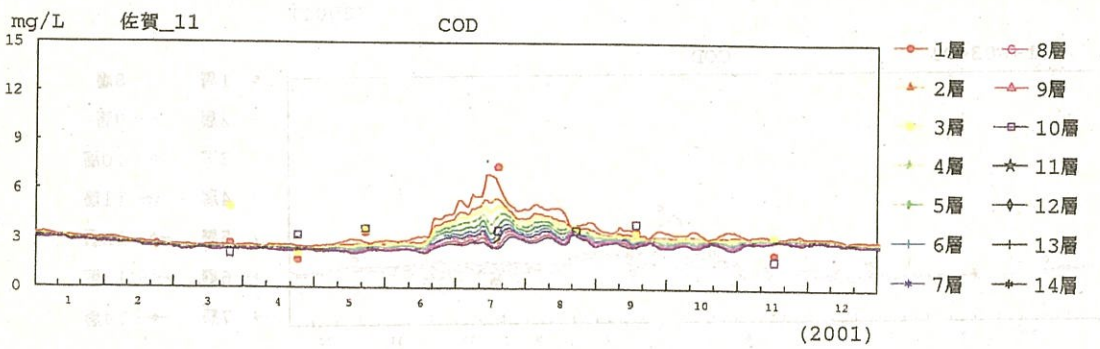
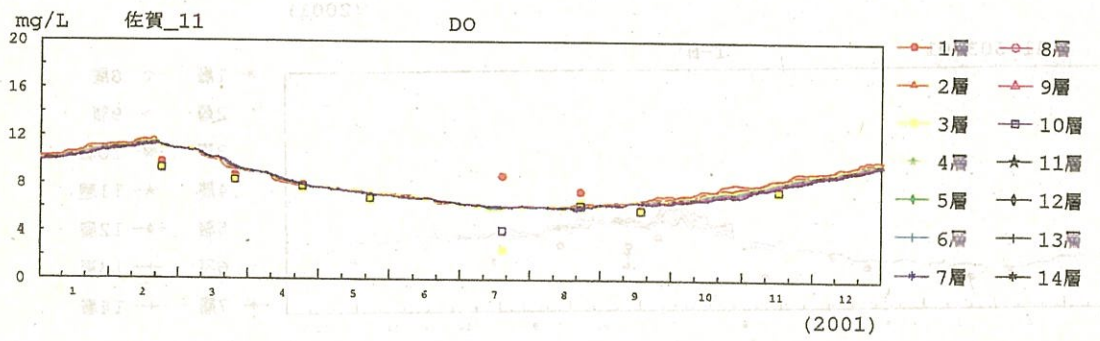
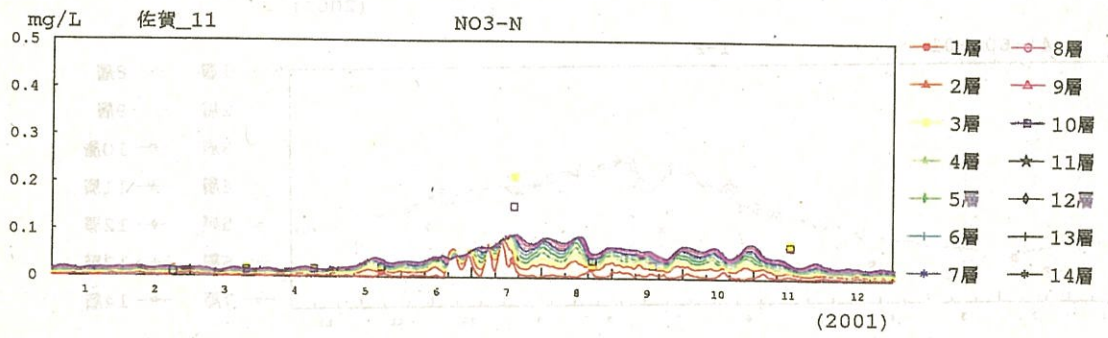
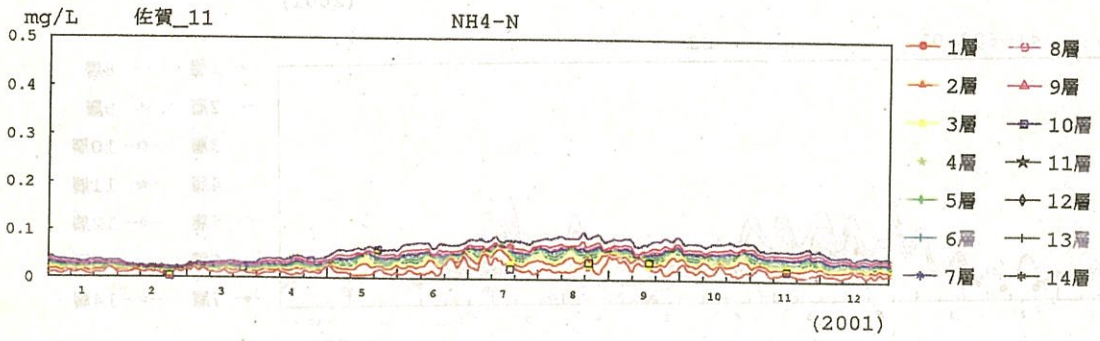
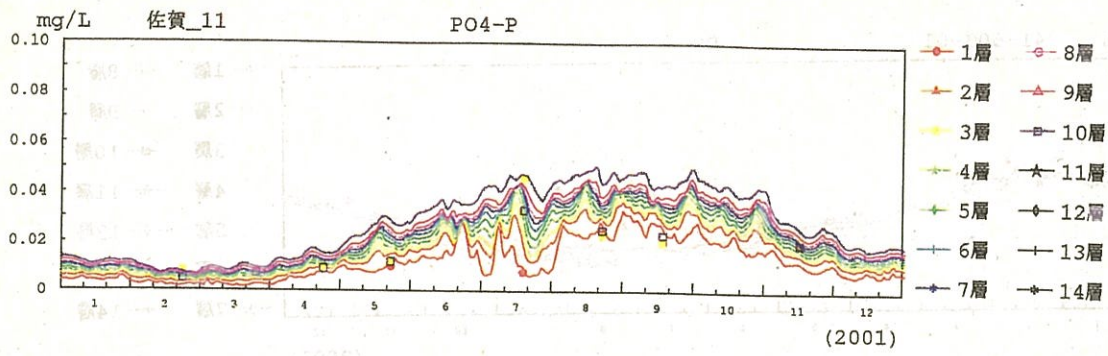


図 3-13 水質の時系列変動の比較(2001年、佐賀県浅海定線水質測定点)



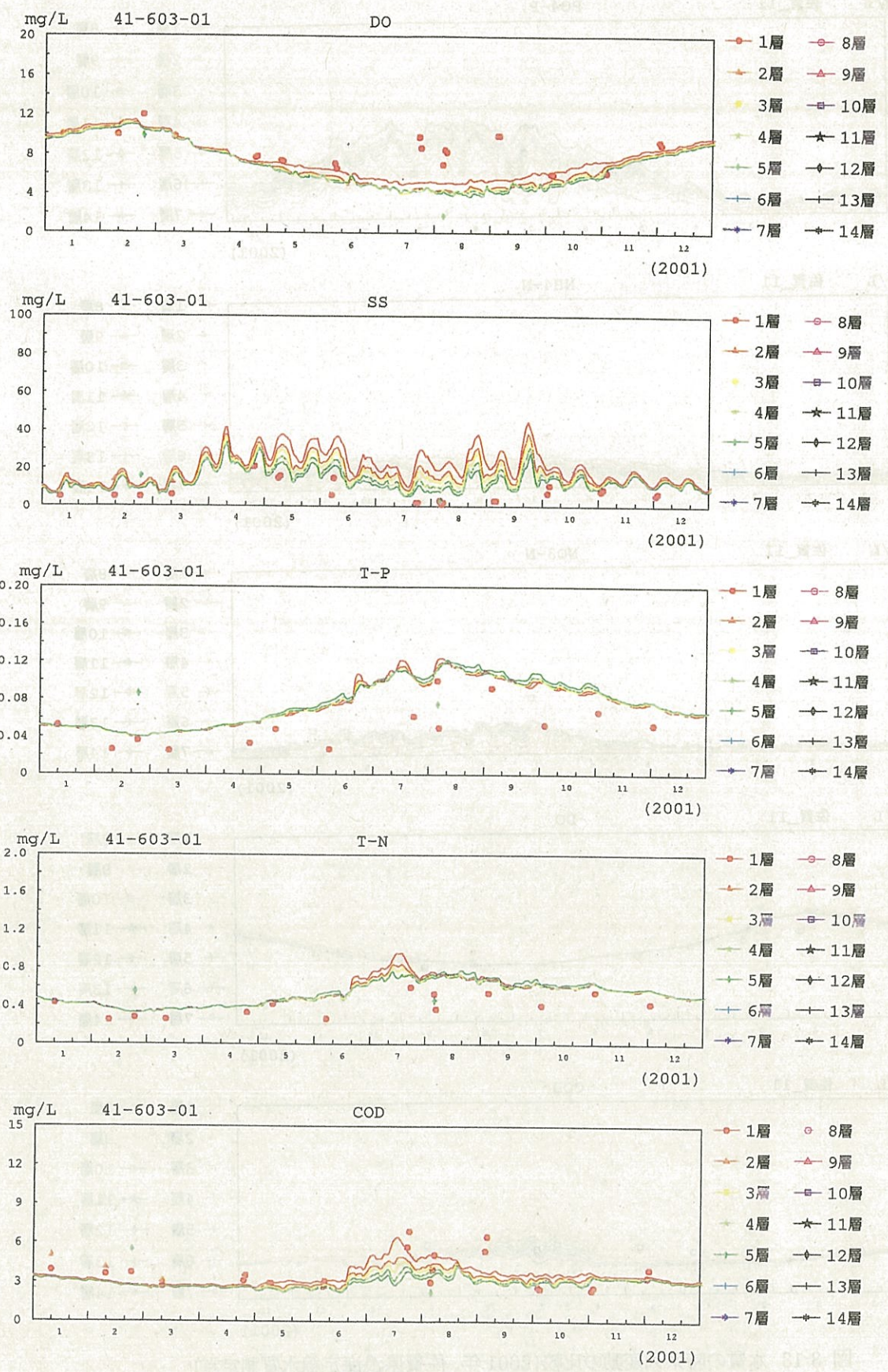


図 3-14 水質の時系列変動の比較(2001年、佐賀県公共用水域水質測定点)



### 3.3.3 底泥輸送モデル

#### (1) 検証結果

底泥輸送モデルの検証は、図 3-15 に示す地点において港湾局が行った観測結果（SS、流向・流速）について、計算結果と観測結果を比較して行った。

##### 1) SS 濃度の再現性について

図 3-16 は計算結果と観測値とを比較したものである。St.1 および St.2 のいずれにおいても、小潮期から大潮期に向けて変動する SS 濃度変動の傾向を精度良く再現できていた。

##### 2) SS フラックス(平均量)の再現性について

さらに、浮遊泥の実質的な輸送特性の再現性について検討するため、潮汐流により輸送される浮遊泥量(SS フラックス)の平均量について観測値と比較した。図 3-17 は、計算により求められた St.1 での水位と、St.1 から St.4 の各地点での底面付近での SS フラックスの 25 時間移動平均値について、それぞれ観測結果と比較したものである。観測結果によると、有明海内での SS フラックスの特徴として、特に湾奥部において大潮期の SS フラックスが顕著となり、その輸送方向は湾奥東部(St.2)では西向き、湾奥西部(St.1)では南東方向となっていた。計算結果においても、平均流の影響と思われるこれら湾奥部での SS フラックスパターン(図 3-18)が再現されていた。

##### 3) 潮汐流の影響による底泥の侵食・堆積傾向の推定

上記の検証をふまえ、小潮—大潮—小潮にいたる 15 日間における底泥の侵食・堆積パターンを示したものが図 3-19 である。同図の結果によると、奥の干潟部と西部海域で泥質物の堆積傾向がみられ、特に湾奥部の底質分布観測結果においては、西側海域でより粒径の細かい泥質物が堆積していることと計算結果は一致していた。

##### 4) 出水時の河川流入および懸濁物供給を考慮した底泥輸送に関する検討

主要河川からの出水に伴う懸濁物の湾内での堆積傾向について、その基本特性を把握するための数値実験を行った。過去 3 年における日流量最大値を参考に設定した出水条件(潮汐流も同時に考慮)により、湾内の底泥の侵食・堆積の分布を示したものが図 3-20 である。河口部を中心に出水による侵食・堆積量の変化は生じるものの、その傾向に大きな差はみられなかった。これは出水により堆積した泥質物も、潮汐流の作用により湾内を移動するため、湾内の底泥輸送傾向は基本的には潮汐流により支配されるためと考えられた。

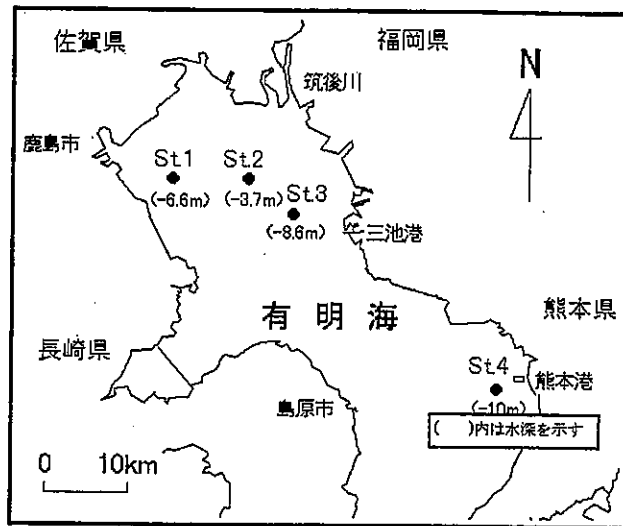
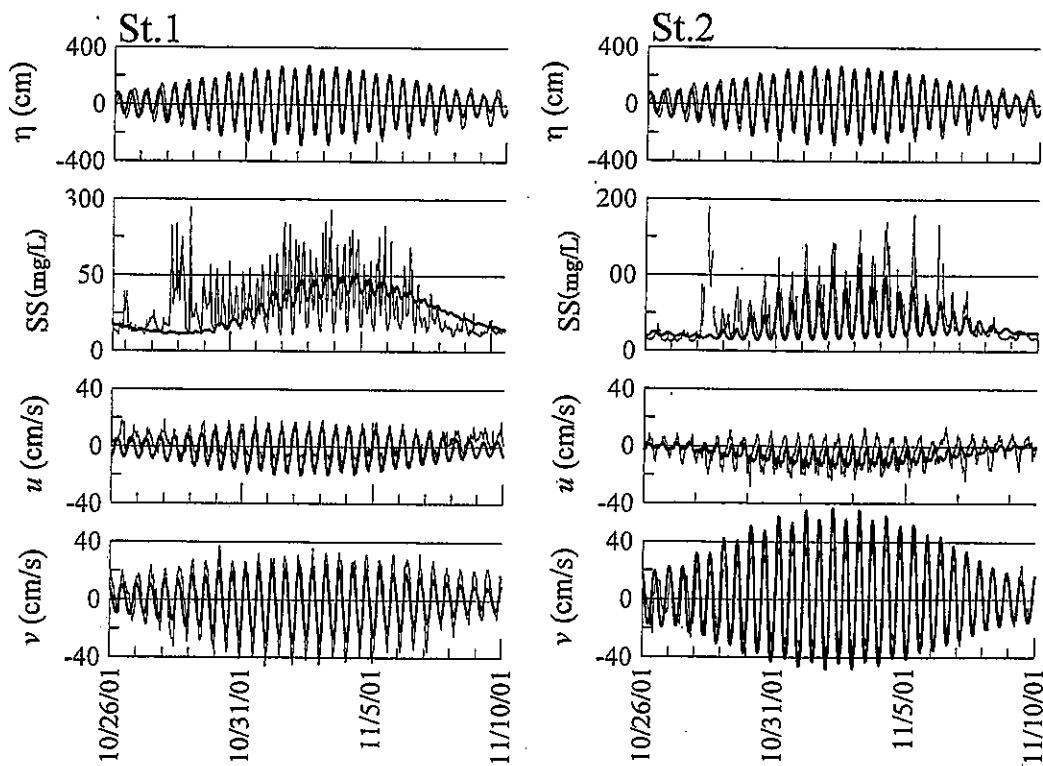


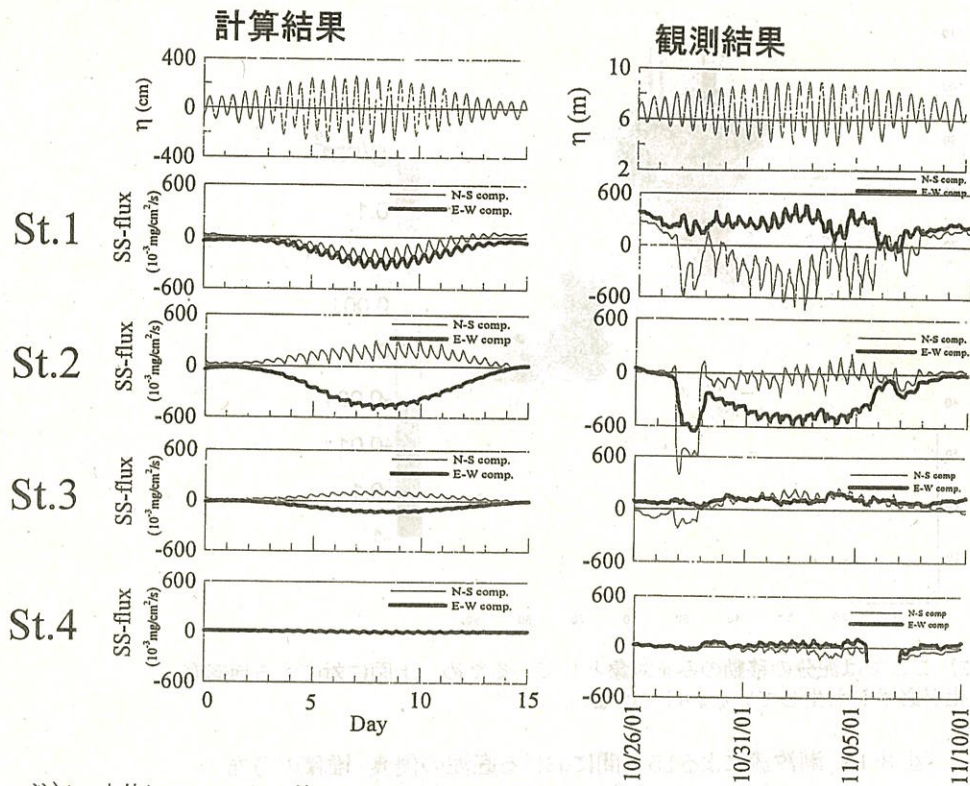
図 3-15 観測地点(港湾局)



注)1. SS と流速については、観測値は底面上 50cm の値、計算値は最下層の平均値を示す。  
 2.  $\eta$  : 水面波形、 $u$  : 水粒子の速さ、 $v$  : 流速

図 3-16 水位, SS, 流速各成分の観測値(細線)と計算値(太線)の比較





注)1. 水位についてはいずれも St.1 の結果を示す。  
 2.  $\eta$  : 水面波形、

図 3-17 SS フラックス(25 時間移動平均値)の計算値(左)と観測値(右)の比較

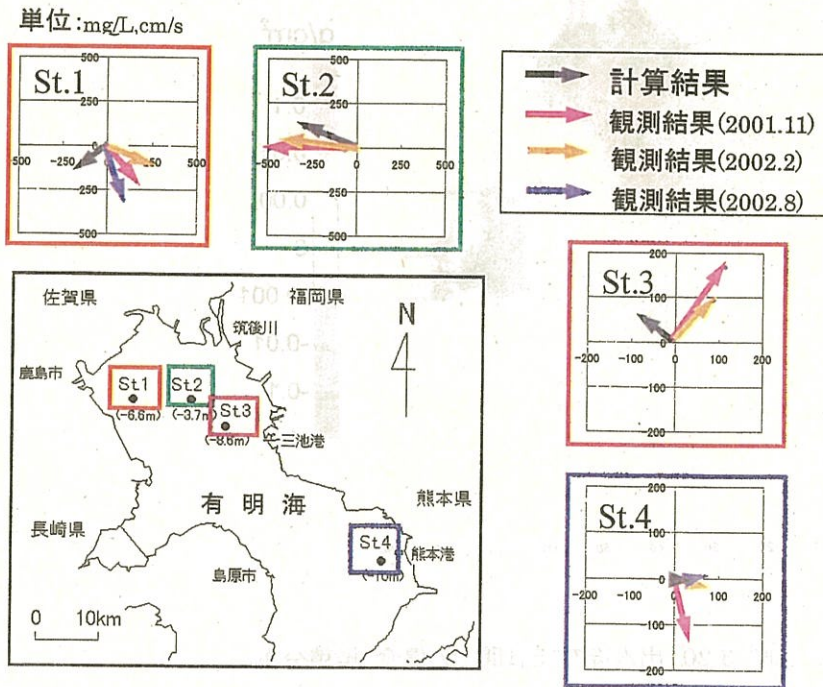
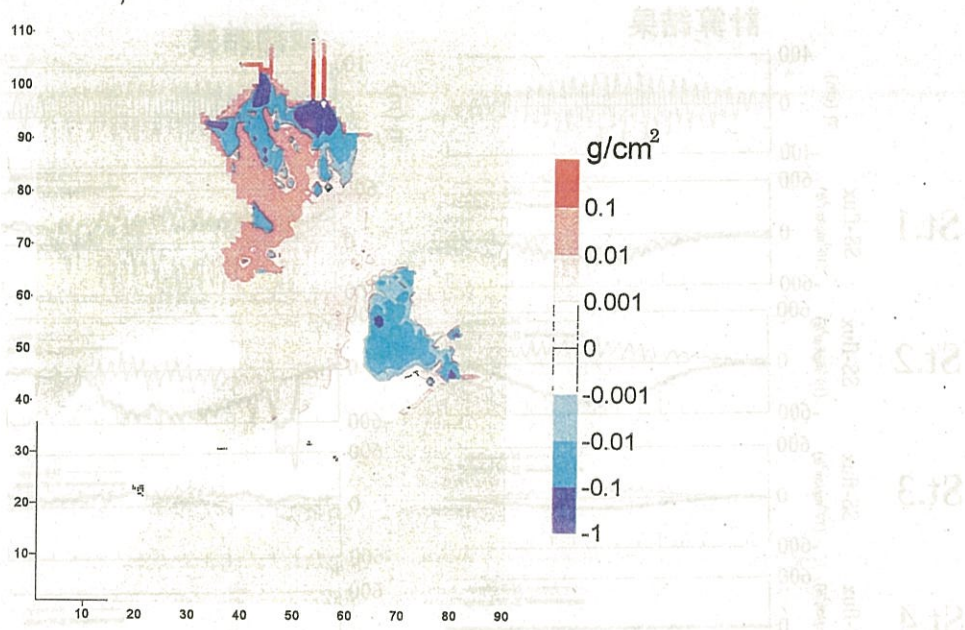


図 3-18 大潮期のSSフラックス(25時間平均値)ベクトル





注) ここでは泥分の移動のみを対象としているため、上図に対応する地形変化が必ずしも生じているわけではない。

図 3-19 潮汐流による15日間における底泥の侵食・堆積の分布

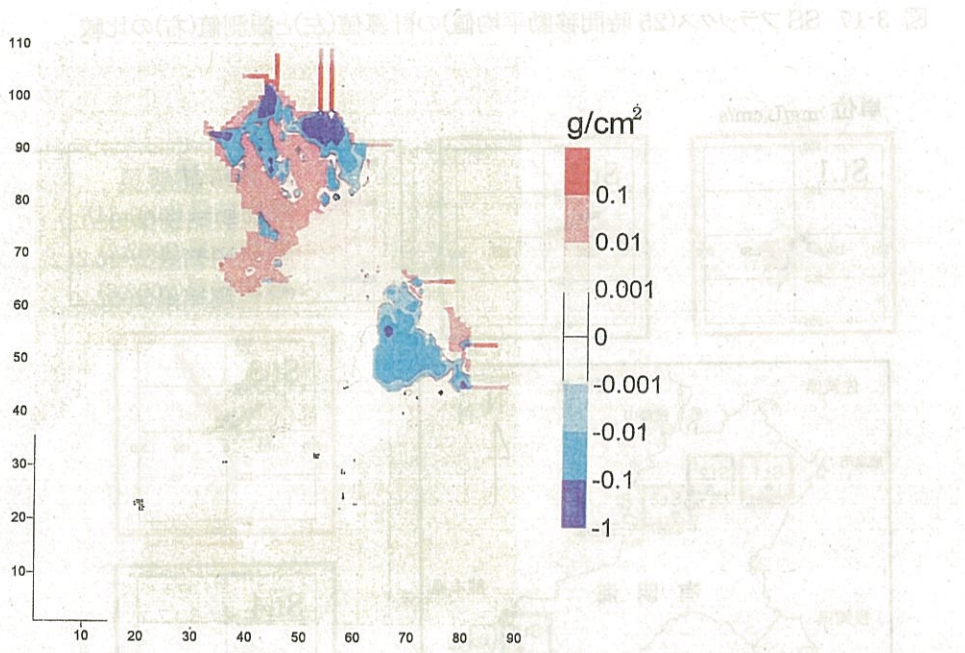


図 3-20 出水後の15日間での侵食・堆積分布



## (2) まとめ

潮汐流を主な外力とする底泥輸送シミュレーションを行った。現地観測結果との比較を通じて、特に湾奥部での平均流に起因する、浮遊泥の基本的な輸送パターンが再現できていることを確認し、さらに底泥の侵食・堆積傾向を示した。堆積傾向に関する計算結果の評価については、今後、現地データの蓄積により精度検証を充実させていくことが必要である。また、潮汐以外の要因による底泥堆積特性への影響把握と、それらのモデル化も今後の課題である。

## 4 環境改善方策に関する検討

### 4.1 検討方針

有明海においては、周辺の経済社会や自然環境の変化に伴い、水質の富栄養化、底質の泥化や有機物の堆積等海域の環境が悪化し、赤潮の増加や貧酸素水塊の発生等がみられる中で、二枚貝をはじめとする漁業資源の悪化が進み、海面漁業生産は減少を続けている。これらの状況にかんがみ、有明海を豊かな海として再生するためには、水質等の保全、干潟等の浄化機能の維持及び向上等の対策が必要である。

本調査では、水質、底質の環境に直接的に作用する、

- ① 流入負荷対策、
- ② 底質改善対策

を取り上げ、構築したシミュレーションモデルの感度解析を通じ、その具体的効果についての検討を行うこととした。

感度解析は、水質予測モデルを用いて以下の観点から環境改善効果を検討することとした。

- ・ 水質の改善(COD、T-N、T-P)
- ・ 水中の溶存態無機栄養塩類の検討 ( $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ )
- ・ 赤潮の発生抑制(Chl.a、POC)

また、②底質改善効果については、水質予測モデルによる感度解析を合わせ、この底泥輸送モデルを活用し、底泥輸送からみた底質改善の効果について確認を行った。



## 4.2 負荷削減ケース

流入負荷対策としては、一般に、発生源別に産業系、生活系およびその他系から発生する負荷の発生源対策が行われている。産業系では、特定事業場等の特定汚染源からの負荷対策として、水質汚濁防止法及び各自治体の条例によって排水基準が定められており、生活系については下水道の整備や合併処理浄化槽の設置、その他系では畑地における環境保全型農業の推進等が行われている。ここでは、これらの対策による有明海の環境改善への効果を検討するために、次に示すようなケースについて感度解析を行った。

負荷削減ケースについては、全流入負荷量を以下の3段階まで削減した場合の有明海の環境改善効果を検討した。計算条件は、有明海における各流入点における流入負荷量を等分に削減した。

- 負荷削減ケース1：全流入負荷量を5%削減
- 負荷削減ケース2：全流入負荷量を10%削減
- 負荷削減ケース3：全流入負荷量を40%削減

### 4.2.1 水質改善

現況再現(2001年)と各負荷削減ケースにおけるCOD(75%値：ここでは全層の日平均値の75%値とした)、T-NおよびT-P(年平均値：ここでは表層(0~3.5m)の日平均の年平均とした)の比較を行ったところ、CODでは、負荷削減ケース1、2は現況とほぼ同程度でありケース3は、現況より低くなり、改善される傾向がみられた(図4-1参照)。また、T-NおよびT-Pについても同様の傾向であった。

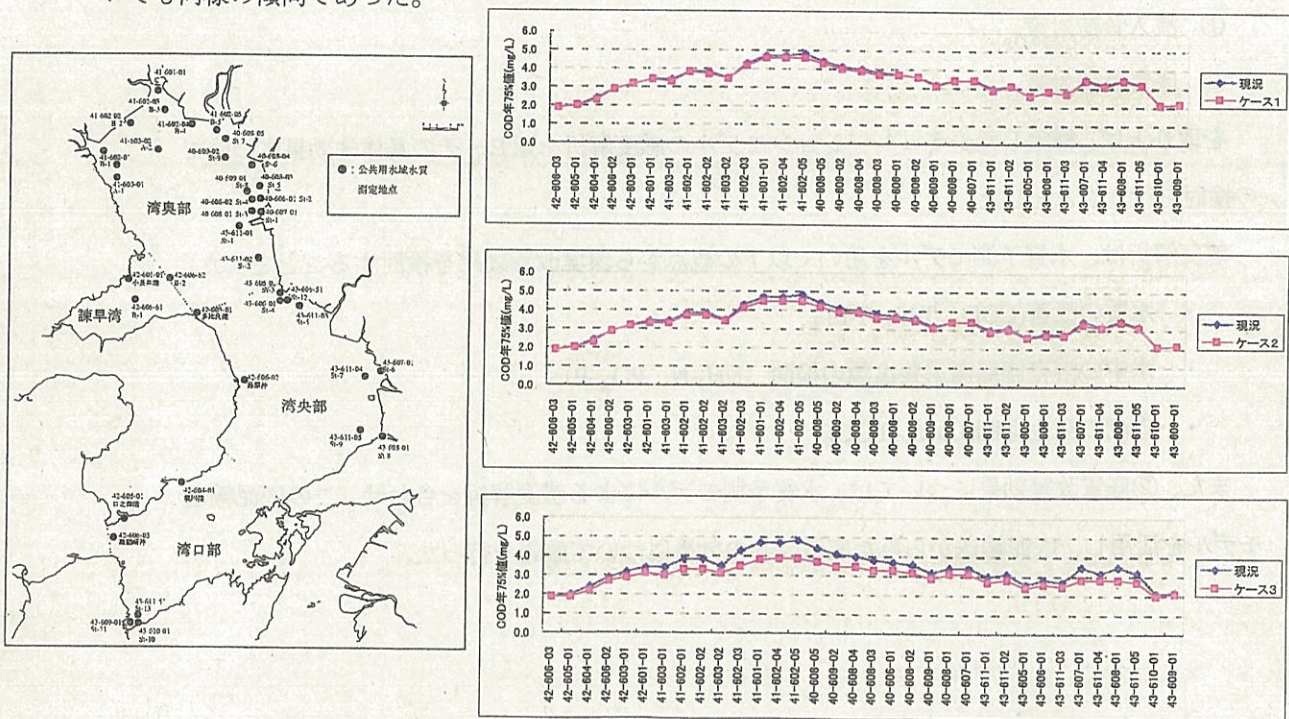


図 4-1 負荷削減を行った場合の水質改善効果(COD: 現況と負荷削減ケースの比較)



#### 4.2.2 水中の溶存態無機栄養塩類の検討

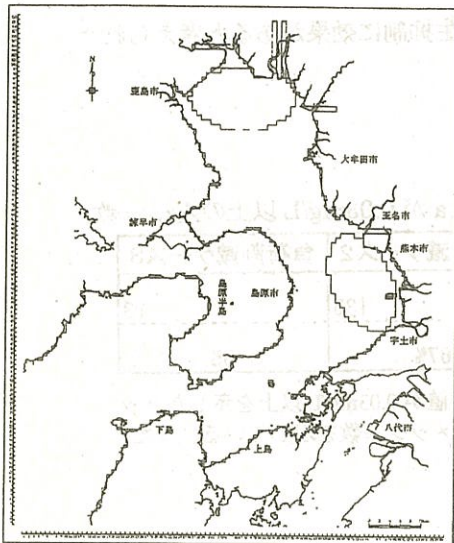


図 4-2 検討対象海域

ここでは、ノリ養殖最盛期にノリに必要な栄養塩類が水中に確保されていることを確認するために、図 4-2 に示す検討対象海域(図中赤で囲った海域)における現況再現結果、各負荷削減ケースの表層(0~3.5m)の2001年12月5日の日平均  $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$  を比較し、表 4.1 に示す。 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$  ともに現況と負荷削減ケースはほぼ同様の値となっており、検討対象海域における冬季の無機栄養塩類の濃度は、流入負荷の削減を行っても、現況の濃度から大きく変化はしないと考えられた。

表 4.1 検討対象海域における現況と各負荷削減ケースの表層(0~3.5m)の  $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$

計算ケース	現況	負荷削減ケース1	負荷削減ケース2	負荷削減ケース3
$\text{NH}_4\text{-N}$ の平均濃度(mg/L)	0.02 100%	0.02 100%	0.02 100%	0.02 100%
$\text{PO}_4\text{-P}$ の平均濃度(mg/L)	0.007 100%	0.007 100%	0.007 100%	0.009 129%

※表の値は、現況は2001年12月5日の日平均値を示し、各負荷削減ケースも対策を行った場合の同日の日平均値を示している。また、各濃度の下欄は現況に対する割合を示す。

#### 4.2.3 赤潮発生抑制

負荷削減ケース3と現況再現結果の表層(0~3.5m)の2001年12月5日の日平均 Chl.a と POC の差を図 4-3 に示す。

ここでは、ノリ養殖期最盛期にノリに必要な栄養塩類が植物プランクトンに利用されていないことを確認することとしたが、赤潮の定量的な指標がないことから、ここでは、表層(0~3.5m)の日平均 Chl.a=0.03mg/L 以上を指標として検討を行った。結果を表 4.2 に示す。表層(0~3.5m)の日平均 Chl.a、POC ともにケース3では全域で現況より低くなる傾向がみられた。

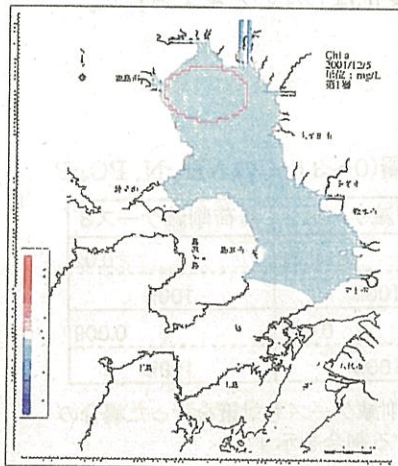


また、検討対象海域(図 4-3 中の円で示した範囲)の 2001 年 12 月の一ヶ月間において Chl.a の日平均値が 0.03mg/L 以上のメッシュ数をみると、現況では 202 メッシュに対して、各負荷削減ケースでは 170~13 メッシュであり、負荷削減は赤潮の発生抑制に効果があると考えられた(表 4.2 参照)。

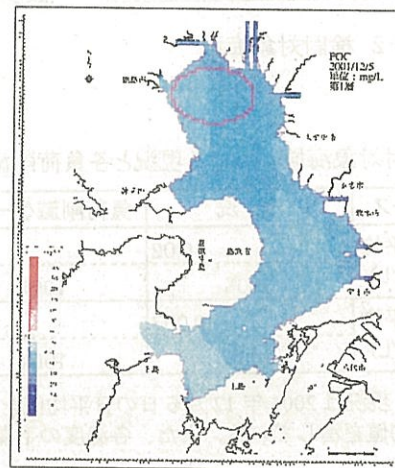
表 4.2 現況と各負荷削減ケースにおける検討海域の日平均 Chl.a が 0.03mg/L 以上のメッシュ数

計算ケース	現況	負荷削減ケース1	負荷削減ケース2	負荷削減ケース3
Chl.aが 0.03mg/L以上 のメッシュ数	202	170	135	13
	100%	84%	67%	6%

※表の値は、現況は 2001 年 12 月一ヶ月間において Chl.a の日平均値が 0.03mg/L 以上を示したメッシュ数を示し、各負荷削減ケースも対策を行った場合の同期間のメッシュ数を示している。また、メッシュ数の下欄は現況に対する割合を示す。



(1) 負荷削減ケース 3(Chl.a)



(2) 負荷削減ケース 3(POC)

図 4-3 負荷削減ケース計算結果と現況再現結果の差



### 4.3 底質改善ケース

底質改善ケースについては、以下の3段階の設定で感度解析を行った(図 4-4 参照)。

- ・ ケース1：約 3,500ha の底質改善
- ・ ケース2：約 12,000ha の底質改善
- ・ ケース3：約 39,000ha の底質改善

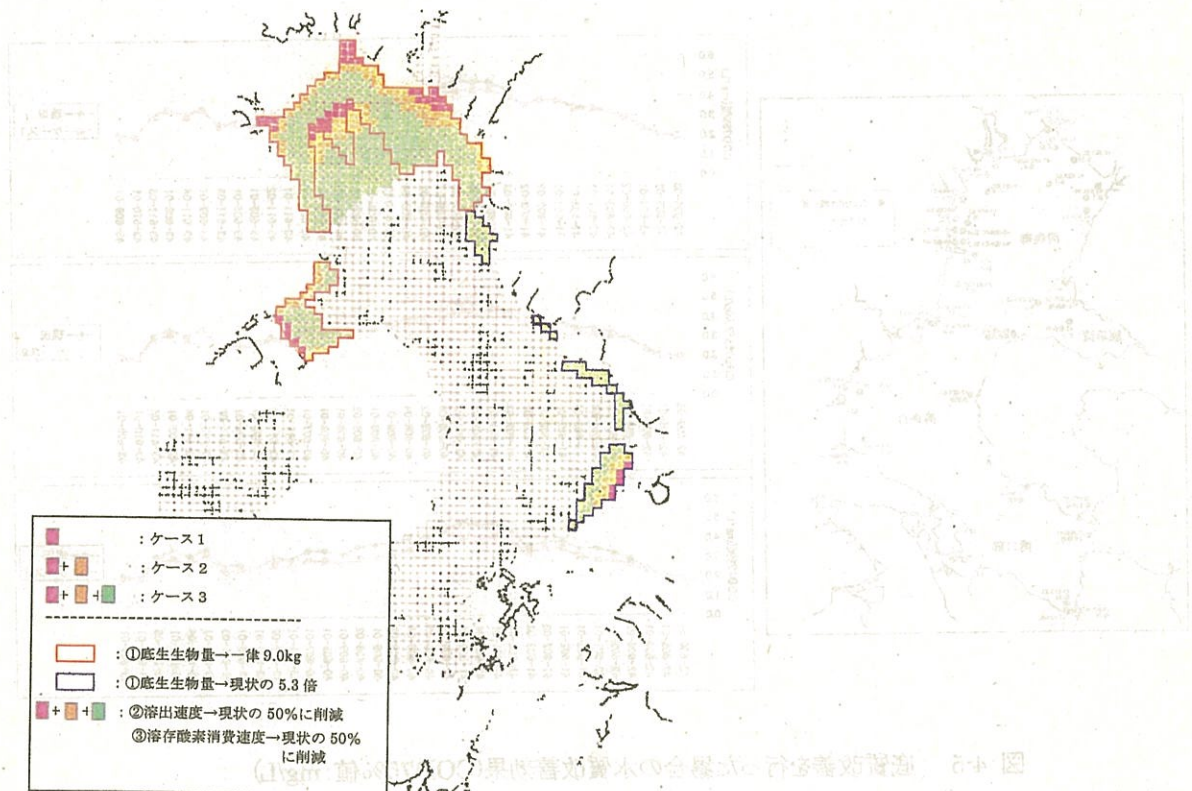


図 4-4 底質改善検討ケース

なお、計算条件としては、実験の結果、既往文献の結果等から以下のような効果を設定することとした。

- ① 底生生物の増加効果(水深が 5 m 以浅の海域を対象)
  - ・ 湾奥干出域の対象海域：底生生物量を一律 9.0kg/m<sup>2</sup>
  - ・ その他の干出域の対象海域：底生生物量を一律現状の 5.3 倍
- ② 栄養塩類の溶出抑制効果
  - ・ 現状の溶出速度の一律 50%に削減



### 4.3.1 水質改善

現況再現(2001年)と各底質改善ケースにおけるCOD(75%値：ここでは全層の日平均値の75%値とした)、T-NおよびT-P(年平均値：ここでは表層(0~3.5m)の日平均の年平均とした)の比較を行ったところ、CODでは、いずれの底質改善ケースにおいても現況より低くなり、改善される傾向がみられた(図4-5参照)。また、T-NおよびT-Pについても同様の傾向であった。

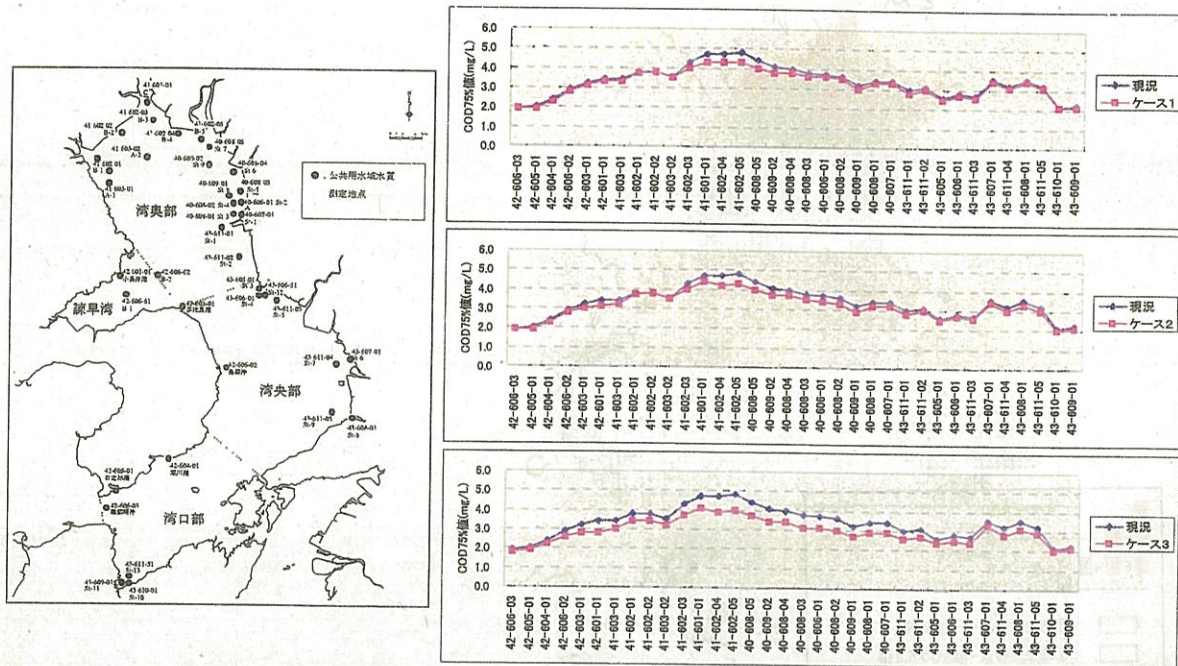


図 4-5 底質改善を行った場合の水質改善効果(COD75%値:mg/L)

### 4.3.2 水中の溶存態無機栄養塩類の検討

図4-2に示した検討対象海域における現況再現結果、各底質改善ケースの表層(0~3.5m)の2001年12月5日の日平均NH<sub>4</sub>-N、PO<sub>4</sub>-Pを表4.3に示す。底質改善ケースのNH<sub>4</sub>-N、PO<sub>4</sub>-Pともに現況よりも高くなる傾向がみられた。ただし、T-N、T-Pでは、4.3.1で述べたとおり、現況より低くなる傾向がみられている。



表 4.3 検討対象海域における現況

と各底質改善ケースの表層(0~3.5m)NH<sub>4</sub>-N、PO<sub>4</sub>-Pの平均濃度

計算ケース	現況	底質改善ケース1	底質改善ケース2	底質改善ケース3
NH <sub>4</sub> -Nの平均濃度(mg/L)	0.02	0.03	0.03	0.04
	100%	150%	150%	200%
PO <sub>4</sub> -Pの平均濃度(mg/L)	0.007	0.008	0.011	0.013
	100%	114%	157%	186%

※表の値は、現況は2001年12月5日の日平均値を示し、各底質改善ケースも対策を行った場合の同日の日平均値を示している。また、各濃度の下欄は現況に対する割合を示す。

### 4.3.3 赤潮発生抑制

底質改善ケース3と現況再現結果の表層(0~3.5m)の2001年12月5日の日平均Chl.aとPOCの差を図4-6に示す。

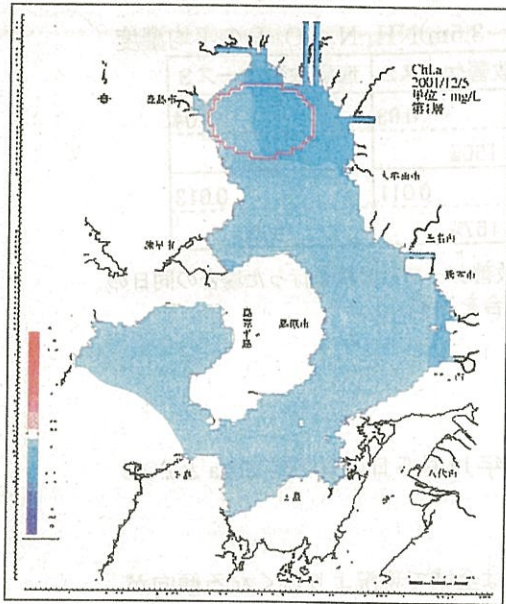
表層(0~3.5m)の日平均Chl.a、POCともにケース2、3では全域で現況より低くなる傾向がみられた。また、検討対象海域(図4-3中の円で示した範囲)の2001年12月の一ヶ月間においてChl.aの日平均値が0.03mg/L以上のメッシュ数をみると、現況では202メッシュに対して、各底質改善ケースでは0メッシュであり、底質改善は赤潮の発生抑制に効果があると考えられた(表4.4参照)。

表 4.4 現況と各底質改善ケースにおける検討海域の日平均Chl.aが0.03mg/L以上のメッシュ数

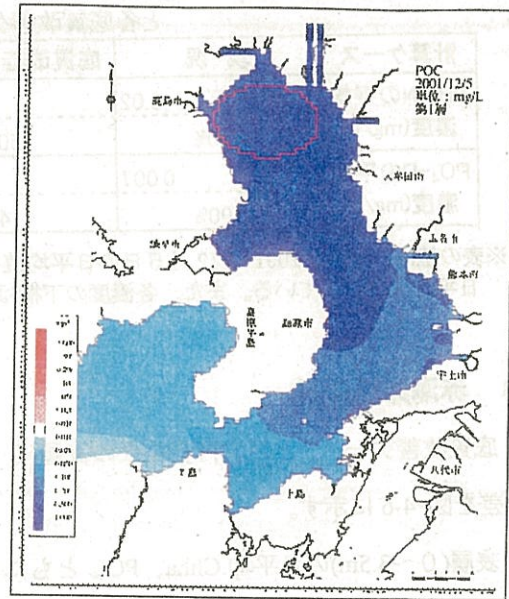
計算ケース	現況	底質改善ケース1	底質改善ケース2	底質改善ケース3
Chl.aが0.03mg/L以上のメッシュ数	202	0	0	0
	100%	0%	0%	0%

※表の値は、現況は2001年12月一ヶ月間においてChl.aの日平均値が0.03mg/L以上を示したメッシュ数を示し、各底質改善ケースも対策を行った場合の同期間のメッシュ数を示している。また、メッシュ数の下欄は現況に対する割合を示す。





(1) 底質改善ケース3 (Chl.a)



(2) 底質改善ケース3 (POC)

図 4-6 底質改善ケース計算結果と現況再現結果の差

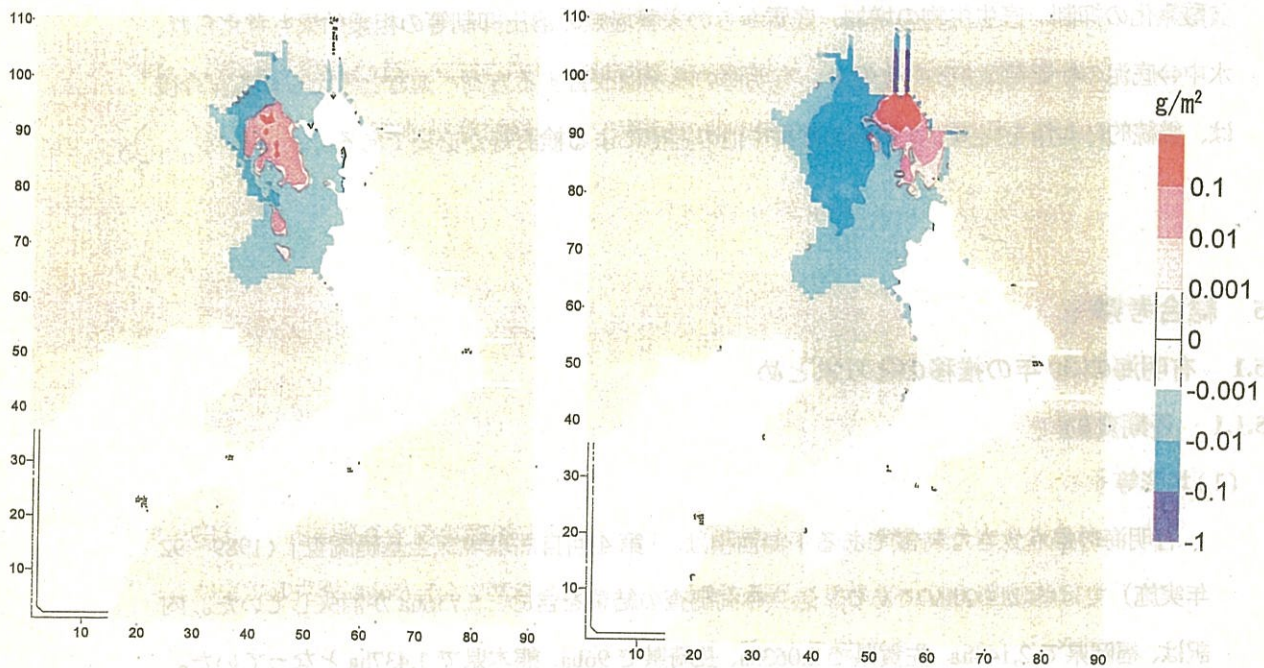
#### 4.4 底泥輸送からみた底泥改善の効果

前節では、水質予測モデルを用いて主に水質における対策効果の発現について感度解析を行った。本節では、底質改善ケースを取り上げ、底質における対策効果の発現について感度解析を行った。

まず、湾奥部の底質改善を行った場合の計算を行った。計算条件として初期値を現況の含泥率(粘土・シルト分の重量%)の1/2とした。計算結果を図 4-7 に示す。計算の結果をみると、対策後の湾奥部の一部に堆積傾向が認められた。

次に、筑後川河口・柳川地先において対策を行ったケースについて計算した。計算条件の設定は、湾奥部の設定と同様にした。計算結果を図 4-7 に示す。筑後川河口・柳川地先において対策を行うと、その浮泥堆積を抑制する範囲が、湾奥部の広い範囲までおよんだ。このことから湾奥部における対策とあわせて筑後川河口・柳川地先の対策も必要と考えられた。





(1)湾奥部の対策を行った結果

(2)筑後川河口・柳川地先の対策を行った結果

図 4-7 底質改善を行った結果(現況との差)

以上の計算結果をもとに、各対策ケースの浮泥の堆積量を推測した。推測に当たっては、堆積または浸食重量を密度  $1.28\text{g/cm}^3$  を仮定(含水比 200%の底泥に相当)し、かつ1年間あたりの各地区の平均的な厚さとして換算した。その結果、湾奥部のみの改善で懸念される堆積量の増加は、現況の約 3.5 倍の  $0.42\text{cm/年}$ (5 ミリ以内)と推測され、さらに、複合的な改善(筑後川河口・柳川地先を追加)を施した場合、湾奥部の堆積量は  $0.2\text{cm/年}$ (2 ミリ)まで削減でき、底質改善の効果がより期待できると推測された。

#### 4.5 環境改善効果のまとめ

有明海の環境改善方策としての流入負荷対策、底質改善対策については、水質改善、赤潮の発生抑制に効果があるという結果が得られたことから、環境改善方策として有効であると考えられる。また、冬季における無機態の栄養塩類の濃度については、流入負荷削減ではあまり変化せず、底質改善については現況よりも高くなる傾向がみられた。しかし、COD、T-N 及び T-P には改善効果がみられた。

また、現在のモデルでは十分に表現できないものの、流入負荷削減、底質改善を総合的に実

施した場合、赤潮の発生が抑制されることで、底泥への過剰な有機物の供給が減少し、底層の貧酸素化の抑制、底生生物の増加、底質からの栄養塩類の溶出抑制等の相乗効果も考えられ、水中⇄底泥の物質循環が良好となり、有明海の環境は改善する方向へ進むと考えられる。今後は、継続的に対策を実施した場合の効果や他の指標による検討等が必要である。

## 5 総合考察

### 5.1 有明海の30年の推移のとりまとめ

#### 5.1.1 長期変動

##### (1) 地形等

有明海の最も大きな特徴である干潟面積は、「第4回自然環境保全基礎調査」(1989~92年実施)では約21,000haであり、過去の同調査の結果を含め、5,756haが消失していた。内訳は、福岡県で2,144ha、佐賀県で2,063ha、長崎県で96ha、熊本県で1,437haとなっていた。また、沿岸地形をみると、埋立・干拓等による海岸線の前進とともに湾奥部から湾東側の干潟が減少しており、有明海奥部、湾東部、諫早湾奥部に干潟が分布していたことがうかがえた。

有明海へ注ぐ一級河川8河川の年間総流量は約3,000~14,000百万m<sup>3</sup>で筑後川がその半分程度を占めていた。また、流量は年降雨量の推移と対応していた。

##### (2) 物理的環境

湾口部(口之津)の潮位差(大潮期の干満差)は、年による変動はあるものの顕著な増減の傾向はみられないが、湾中部(三角)及び湾奥部(大浦)では潮位差が年々減少しており、この傾向は湾奥部(大浦)のほうが顕著である。また、平均潮位は、有明海および外洋の長崎や枕崎でも近年上昇していた。

湾内の夏季と冬季の水温差は、水深の浅い水域が広がる湾奥部で大きく、湾口部に向かって小さくなっている。塩分は、流入河川の集中する湾奥部で低く、この低塩分水は湾西側に広がる傾向がみられ、湾奥部で反時計回りを示す恒流と対応する分布を示していた。このように、有明海においては、湾奥部の筑後川などの大きな流域を持つ河川の流入に、水温や塩分などが左右されており、また、潮流についても、湾口からの流れは反時計回りを示している。なお、CODや栄養塩についても、湾奥もしくは大河川の河口前面海域で濃度が高く、湾口に向かうにつれて、低くなる傾向を示している。



### (3) 生物環境

プランクトンの沈殿量からみると、有明海では冬季にプランクトン量が増加するものと考えられ、赤潮発生件数は年によって変動するが、おおよそ年間 10~35 件程度で過去 10 年程度は増加する傾向がみられた。有明海の赤潮は、珪藻類が原因種となることが多いことが特徴であり、発生件数の半分程度を占めていた。また、珪藻類は冬季（1・2・3 月）と夏季（7・8・9 月）に最も出現回数が多く、鞭毛藻類は夏季に多かった。

底生生物は、種類数・個体数は湾奥部と湾東側の熊本県沿岸が少なく、多毛類の占める割合が高くなっている。湾中央部から湾口部は種類数・個体数とも多くなっており、湾中央部では小型甲殻類の割合が高く、湾口部ではカニ類やヒトデなどが多くなっている。環境省が 2001 年 2 月（冬季）および 8 月（夏季）に行った底生生物調査によると、マクロベントスの種類数・個体数は冬季と夏季で大差なく、冬季・夏季ともに環形動物の占める割合が高い調査点が多かった。

### (4) 漁業生産

漁業経営体数は海面養殖と採貝の割合が高く、海面養殖では 1970 年代前半、採貝では 1980 年代後半をピークにともに減少していた。

ノリ収穫量は、福岡有明、佐賀有明及び熊本有明の収穫量が多く、長崎有明と天草有明の収穫量が少ない傾向にあった。貝類の漁獲量は、特に熊本有明の減少が顕著であった。漁獲量のピーク時の対象は主にアサリとハマグリ類であり、大半は熊本有明で漁獲されていたが、1980 年代以降激減すると、それまで漁獲量の少なかったサルボウ類が漁獲の主体となり現在に至っている。タイラギ及びアゲマキは年による変動が大きい、タイラギは 80 年代前半以降激減し、アゲマキは 90 年代前半以降ほとんど漁獲されていなかった。

#### 5.1.2 短期変動

有明海での赤潮発生状況と毎日の気象データ（佐賀地方気象台：1990~2000 年）を整理してみると、有明海の赤潮は概ね降雨型であり、降雨後に継続する好天によって赤潮が発生していることがわかった。赤潮発生の頻度は夏季に高い傾向にあり、冬季は夏季に比べて幾分低い傾向にある。ノリ不作となった 2000 年をみると、秋季に細胞数の最も高い赤潮が確認されていた。このように、2000 年 11 月からの長雨と、それに続く晴天の持続に高水温が加わって、赤潮が発生したと考えられる。

次に、浅海定線のデータ（福岡県、佐賀県のデータ：約 20 年分）を整理してみると、福岡県で

は全観測点について、20年間を通じて底層(B-1 m)のDOが2mg/Lを下回ることはなく、4mg/Lを下回ることも比較的少なかった。一方、佐賀県では多くの地点で4mg/Lを下回る時期がみられ、福岡の結果と比較すると全体的に底層のDOは低めの値を示していた。特に、ST 2およびST 5ではほぼ毎年夏季に底層のDOが4mg/Lを下回っており、2mg/Lを下回る年もみられた。このように、有明海の湾奥などではDOが低く、貧酸素化がみられる。これに対して、湾中央から湾口部ではみられない。

また、ノリ漁期(9月～翌年3月)の気象、栄養塩、プランクトン沈殿量(福岡・熊本県のデータ)を整理してみると、熊本県では、総じて岸側の測点(支柱)の方が高い値を示しており、河川起源の栄養塩の影響によるものと考えられた。水温は岸と沖で大きな差はみられないが、比重は岸と沖で異なっており、陸域から供給される淡水の影響が出ているものと考えられた。福岡県では、ノリ漁期にプランクトン沈殿量がピークとなるのは概ね2～3月であり、それまでは栄養塩は高いレベルで推移しているが、それ以降は低いレベルとなる。したがって、ノリ漁場内における栄養塩濃度の急激な増減には、植物プランクトンの増減が大きく影響していると考えられた。

### 5.1.3 有明海と有明海を取り巻く環境の変化

有明海を取り巻く環境の30年間の推移のうち、経年の変化がみられるものと変化がみられないものの双方をとりあげ、まとめて表 5.1.1 に示した。



表 5.1.1 有明海に関連する主な環境の変化の有無

変化がみられるもの	変化がみられないもの
<b>陸域環境</b>	
<b>気象</b>	
日最大風速の風向の頻度 北寄りの風の中で、1970年から1990年までは北北東の風が卓越していたが、1991年以降は北北西の風が卓越している。	
<b>河川感潮域水質</b>	
CODの年間平均値 1970年代に比べ、1980年以降は減少している。	T-Nの年間平均値 1980年代から1990年代にかけて横ばいである。 T-Pの年間平均値 1980年代から1990年代にかけて横ばいである。
<b>有明海環境</b>	
<b>海水の動態</b>	
湾奥部の平均潮位（大浦） 1984年から上昇している。	潮流（単年データの比較） 1973年と2001年の流向、流速値を比較して、ほぼ同等。
湾奥部の大潮期の平均潮位差（大浦） 1980年から減少している。	
<b>湾内の濁り</b>	
SSの年間平均値 1970年代から減少している。	
プランクトン沈殿量の年間平均値 1983年までは高い数値を示していたが、1984年以降は減少している。	
<b>湾内の水質</b>	
湾奥部（佐賀県A-1）のCOD年間平均値 増減を繰り返しながら増加している。	湾口部（長崎県瀬詰崎沖）のCOD年間平均値 1975年からほぼ横ばいである。
湾奥部（佐賀県A-1）のT-N年間平均値 1970年代から減少している。	湾口部（長崎県瀬詰崎沖）のT-P年間平均値 1980年代からほぼ横ばいである。
湾奥部（佐賀県A-1）のT-P年間平均値 1980年代から1990年代にかけて増加している。	水温 湾奥、湾央、湾口とも、1970年代から横ばいである。
<b>漁獲による取り上げ</b>	
総漁獲量（貝類・のりを除く） 1979年から減少している。	
貝類の総漁獲量 1979年から減少している。	
のりの総漁獲量 1973年から増加している。	
<b>底層環境</b>	
	底層の溶存酸素 湾奥、湾口ともに、1980年から横ばいである。
<b>海水交換</b>	
湾口部の平均潮位（口之津） 1980年代から1990年代にかけて上昇している。	
湾口部の朔望の潮位差（口之津） 1970年代から1990年代にかけて減少している。	
<b>外海環境</b>	
<b>潮位振幅</b>	
外海の平均潮位（長崎） 1980年代から1990年代にかけて最大幅で10cm上昇している。	
外海の大潮期の平均潮位差（長崎） 1980年代から1990年代にかけて減少している。	

## 5.2 有明海海域環境改善方策の基本的な方向性

### 5.2.1 基本方針

「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」に基づく「有明海及び八代海の再生に関する基本方針」においては、有明海の海域環境の保全及び改善について、次の目標が定められているところである。

現在、有明海及び八代海においては、一部の水域において水質環境基準が達成されていないため、その達成・維持を目標とする。さらに、赤潮の発生及び貧酸素水塊の発生を抑制し、底生生物を含めた多様な生態系の回復を図るとともに、水質浄化機能を有し、生物の生息・生息地として重要な干潟等が現状よりできるだけ減少することがないように保全され、また必要に応じその修復・造成を図ることを目標とする。

今回の調査では、流入負荷の削減及び底質の改善について、水質の改善や赤潮の発生抑制等の効果が確認されたことから、今後これらの対策を推進していく必要がある。

また、負荷削減対策と底質改善対策を、長期的に行っていくことで、さらなる効果の持続や相乗効果が期待できることから、これらの対策を総合的に推進していく必要がある。

### 5.2.2 今後の課題

負荷削減については、流入負荷の発生源対策として自然系等を対象とした非特定汚染源負荷対策いわゆる面源対策を進めていく上で、面源に起因する流入負荷が降水量の影響を受けることを踏まえた原単位に関する知見が不足しており、そのため、排出負荷量の算出、効果の確認が困難な場合が少なくない。したがって、有明海の集水域において、今後、効果的な面源対策を進めていくためには、まず、各流域の降水量等を踏まえた流入負荷量の算定方法に係る検討、試験的な対策の実施等が課題となると考えられる。

底質改善については、覆砂、耕うん、浚渫、干潟造成等の方法が考えられるが、現地の状況に最も適した工法を選定し、実施していく必要がある。また、海域環境改善のための手法やそれらの事業効果の持続性をさらに高めるための技術開発を進める必要がある。さらに、モニタリングの充実を図るとともに、必要に応じた実海域での試験施工の実施やアダプティブ・マネジメントの導入について検討する。

底生生物の増加が水質改善に大きく影響すると考えられることから、種苗の放流、資源管理の取り組みとの一層の連携強化を図る必要がある。