NPO 法人　有明海再生機構

数 値 シュミレーションモデルによる
有明海再生策のあり方に関する
ミニシンポジウム

－文部科学省科学技術振興調整費「有明海生物生息モデル」の現状と課題－

開催日　平成 20 年 6 月 9 日（月）
於　佐賀県農協会館

開催趣旨

有明海再生に向けてのモデルとしては、潮汐・潮流、貧酸素水塊、物質収支、物理現象などのモデル、流動・水質・生態系等の総合的な評価モデルなどが開発されている。今回のミニシンポジウムでは、この中の生態系モデルについて講演していただき、そのモデルが実際の有明海再生に向けてどのように活用できるのか等についての議論を深める。

開催の趣旨説明

【　佐賀大学 理工学部 准教授　大串浩一郎　】

今日のシンポジウムの進行と、それから後半は討論、総合討論のコーディネーターを授かりました。宜しくお願いします。最初にこのシンポジウムの開催の趣旨、それから有明海の数値シミュレーションモデルのレビューという事で御説明差し上げたいと思います。

有明海の異変と再生に向けた取り組みという事で、平成１２年度のノリ不作、これに端を発して有明海問題というのが起こりまして、赤潮とか貧酸素水塊が頻発したり、それからアサリとかタイラギ等が大量に斃死するとか、そういう問題がクローズアップされてきたという事で、それ以前にもいろんな研究機関で研究されておりましたけれども、それを契機として各研究機関で個別の調査が為されております。それと同時にいくつかの大型の研究プロジェクトが進展しておりまして、例えば長崎大学の科学研究費の基盤技術ですが、中田先生を中心として調査研究されたり、それから九大の楠田先生中心として、科学振興調整費で現在も進行中ですけれども、今日お見えの堀家さんからもその事について後でモデルを発表してもらいますけども、そういうふうなモデルのプロジェクトであるとか、先程、荒牧先生からもご紹介に有りましたように佐賀大学の有明海総研プロジェクト、そういうふうな色んな大型プロジェクトが進んできているという事です。

有明海異変と再生に向けた取り組み

① 平成12年のノリ不作に端を発した有明海問題（環境悪化，貝類の斃死など）
② その後の各研究機関による個別の調査
③ いくつかの大型プロジェクトの進展
④ 平成18年の環境省有明海・八代海総合調査評価委員会報告における指摘
⑤ 平成19年～21年度の環境省有明海・八代海総合調査推進業務

環境省では平成１８年１２月に総合調査評価委員会の報告が為されていまして、これは後でちょっと触れますけれども、再生の目標であるとか、今後の調査研究の具体的な方策とかそういうふうなものについて、報告が為されています。それを受けまして平成１９年から３年間ですけれども、環境省が有明海・八代海総合調査推進業務、俗に言いますけれども調査研究マスタープランというものを報告されまして昨年度これに有明海再生機構と、西海区水産研究所と、いでぁ株式会社３者で業務をしまして、昨年の１年間業務を行っております。先程の評価委員会の報告ですけれども、第５章には再生目標としてここに挙げてありますような２つが挙げられております。希有な生態系・生物多様性及び生物浄化機能の保全、回復が１つで、もう１つは二枚貝等の持続的な生息環境の保全・回復とバランスの取れた水産資源の回復です。今後の調査

環境省有明海・八代海総合調査評価委員会報告（第5章）

再生目標
（1）希有な生態系、生物多様性及び生物浄化機能の保全、回復
（2）二枚貝等の持続的な生息環境の保全・回復とバランスの取れた水産資源の回復

今後の調査研究の基本的な考え方
解明すべき重点事項，マスタープランの作成，総合的なモデルの構築，総合的な評価の仕組み，海域環境モニタリングの継続・強化

具体的な再生方策
（1）底層環境の改善
（2）沿岸域の環境保全、回復
（3）貧酸素水塊等への対策
（4）貝類、魚類等の資源管理及び増養殖
（5）持続的なノリ養殖のための施策の推進
（6）八代海における持続的な養殖のための施策の推進

解明すべき課題（重点化を図るべき研究課題）
（1）二枚貝
（2）魚類等の資源生態
（3）潮流・潮汐

有明海・八代海総合調査推進業務（平成19年度～21年度）

業務の2つの柱
（1）マスタープラン（総合調査推進計画）の策定
①調査計画や成果等に関する情報収集，データベース化
②連携協力が効果的な調査，補完すべき調査等の特定
③関係機関間の連絡調整（必要に応じて現地調整会議を開催）
④総合調査推進計画（案）の策定と評価委員会への報告
（2）情報共有や連携強化に資するその他の措置
⑤情報共有の促進（データベースのリスト化，データベースの利用及び運営に関する指針の作成）
⑥調査観測指針等の策定（共同調査の実施促進，データの有効活用）

業務実施のための事務局体制
総合調査推進計画（案）作成チーム、計画DB 作成チーム、成果・情報等DB 作成チーム
調査観測指針等検討チーム、DB 検討チーム

3つのワーキング・グループ
(1) 漁業・生物WG（主担当者：小谷）
(2) 河川・海域環境WG（主担当者：速水）
(3) 物理・モデルWG（主担当者：大串）

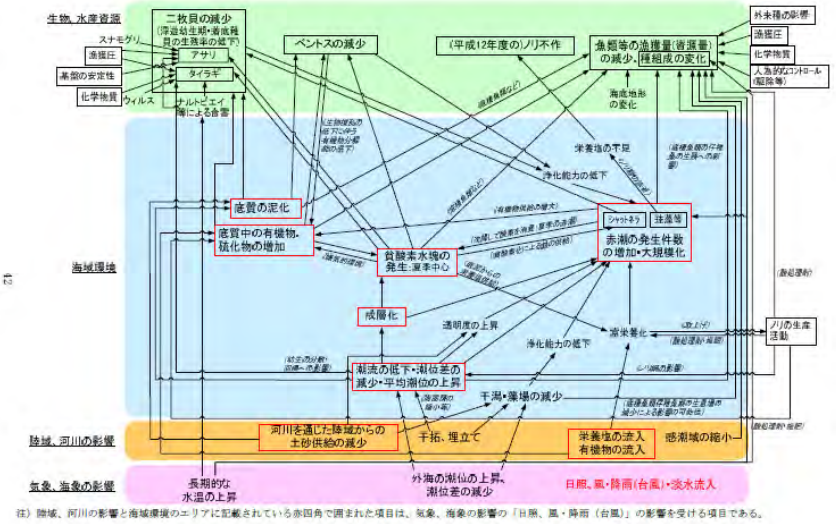
研究の基本的な考え方としては、解明すべき重点事項やマスタープランの作成、総合的なモデルの構築、総合的な評価の仕組み、海域環境モニタリングの継続・強化等が挙げられます。更に具体的な再生方策として、ここに挙げられているような６つの、そして解明すべき課題としてここに５つ挙げられています。これを受けまして総合調査推進業務というのが昨年度からスタートしまして、業務の柱としてはまずマスタープランの策定、そしてここに挙げられているような調査、どういうふうな調査研究をしていけばいいかという事を総合的にまとめています。もう１つは、情報の共有とか連携強化、色んな所で調査研究が為されていまして、それを情報共有とか連携強化というものが必要ではないかと、そういう事をやっております。その業務の為の事務局体制として、チームを構成しまして、更に３つのワーキンググループ、漁業・生物ワーキンググループは西水研の小谷さんが主担当で、河川・海域環境ワーキンググループは佐賀大学の速水先生、物理・モデルワーキンググループは私が主担当者でやっております。

このシンポジウムの目的としましては、まず最初に現在開発中の有明海に関する個別モデル或いは総合的なモデルのレビューを行います。これは先程の調査研究のマスタープランの作業を通じて色んな情報が集まりましたので、それを元にしましてレビューを行いたいと思います。次に、いであの堀家さんの方から総合的なモデルの１つとして、科学技術振興調整費の有明海生物生息モデルの詳しい紹介をして頂きます。それから、ちょっと休みを５分位取りまして、最後に有明海再生の為のモデルの活用に関する意見交換として、あと３名の方をコメンテーターとしてお招きしまして、一緒に議論したいと思います。

このシンポジウムの目的

1. 現在開発中の有明海に関する個別モデル（潮汐・潮流，貧酸素水塊，赤潮，懸濁物輸送，物質収支など）や総合的なモデル（流動・水質・生態系などを網羅したもの）のレビュー
2. 総合的なモデルの1つとしての科学技術振興調整費による有明海生物生息モデル（JCTモデル）の詳しい紹介
3. 有明海再生のためのモデルの活用に関する意見交換

まず、有明海数値シミュレーションモデルのレビューなのですけれども、ここに挙げております絵は、これは環境省の総合評価委員会の報告の中に挙げられている有明海と八代海なのですけれど、これは有明海に関する色んな問題点が、ちょっと小さくて見にくいと思いますけれど挙げられています。上の方から生物、水産資源に関するもの、それから海域環境に関するもの、陸域、河川の影響、それから気象、海象等の影響、其々挙げられていまして、例えば二枚貝が減少していくとか、１２年のノリの不作であるとか、魚類が減ってきているとか、それから海

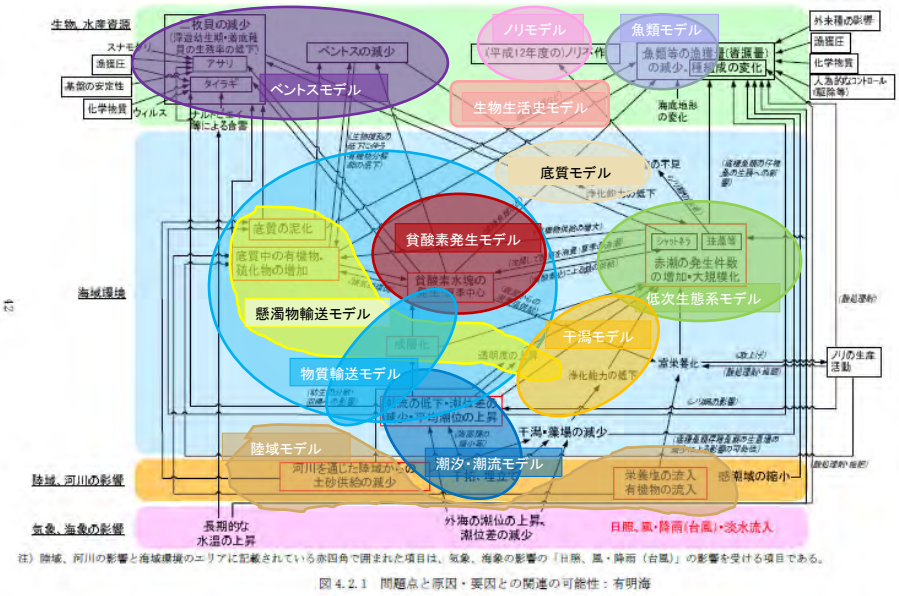


問題点と原因・要因との関連の可能性（有明海）

環境省有明海・八代海総合調査評価委員会報告（H18.12）より

域環境では、貧酸素水塊、底質の泥化、細粒化、それから有機物、硫化物の増加、それからシャットネラ等の赤潮の大量発生、成層化が進んできている、潮流が低下しているとか、それから陸域からは、河川を通じた土砂の供給が減ってきているとか、栄養塩の流入、有機物の流入が関係しています。そういうふうな色んな問題に対して、矢印というのはその間の関係があるのではないかという事で、矢印が書いてありますけれども、この矢印はすべて解明されているわけではなくて、可能性があるという事でここに指摘されております。

数値モデルに関しては、これに関係している物はどういうふうなモデルがあるかというのをちょっと図示してやるとこういう形で、まず一番基本となる潮汐・潮流、流れを把握するモデルというのが目標にありまして、これによって色んな物質が運ばれますけれども、物質輸送モデルですね、その中には狭義の水温とか塩分とかの輸送モデルだけではなくて、色んな懸濁物の輸送モデルとか、それから貧酸素の発生モデル、そういう物を全部含めて物質輸送モデルと考えているのですけれども、そういうふうなモデルが上げられます。それから、有明海では非常に特徴的なのは干潟があるのですけれども、干潟のモデルが当然必要になってきます。それから、プランクトンのような生産物、低次生態系のモデルというのがあります。それから、海底の底質が悪化しているという状況がありますけれども、そのモデル、そこに住んでいますベントス、それから色んな他の生物としてはノリの養殖をしていますので、ノリの問題であるとか、魚類、それらの生物がどういうふうに生活しているのかという生物生活史モデルというのもあると思います。それから、この海域に影響を与えると思われる他の大きな要素として陸域のモデルというのが考えられます。という事でこれらをちょっとかいつまんでやっていきたいと思います。



委員会報告における有明海再生の問題点と開発すべきモデルとの関係

まず、潮汐・潮流モデルですけれども、これは現在の所、平面の２次元のモデル、或いは３次元のモデルというのがございまして、ここにあるような研究者が主に研究を続けています。

潮汐・潮流モデル

●平面2次元モデル

空間解像度を高めることで地形の再現性を高められることから、潮汐の再現計算には有効。パロトロピックな潮流のみについての定性的評価は可能。諫早湾干拓事業による有明海の流れと潮汐への影響評価が主な検討対象［千葉・武本（2003）、田井ら（2006）など］

●3次元モデル

密度流と吹送流の影響を評価できるため、実際の海域で起こる3次元的な流動構造による海水交換や物質輸送を解析可能。これまで他の海域で利用されてきた汎用的な計算コードを適用し、さらに改良を加えて有明海の潮流計算が実施されてきている［藤原ら（2004）、田中ら（2002）、灘岡・花田（2002）、滝川・田渕（2002）、農林水産省ら（2003）など］。また、有明海特有の大きな潮差と広大な干潟の存在が、計算を困難なものにしているが、σ座標系と干潟モデルを組み合わせたモデルにより、ある程度は克服されている［田中ら（2002）、西田ら（2006）など］

主に諫早湾干拓事業による影響評価等を検討されております。但しこれは２次元ですので密度効果とかそういうものが再現されないのですけれども、それについては３次元モデルとして密度流とか風による流れの影響、そういう事を評価する為にこういうふうな３次元モデルというのが作られております。近年は３次元モデルでも、更に干潟の影響等を考慮して、尚且つσ座標と言って鉛直座標を水平ではないような座標にして、より浅い所でも沢山の格子点で計算できるモデルというのが作られています。これは農業農村工学会の論文集に白谷さんが書いていた論文から記入した資料ですけれども、有明海の数値シミュレーション、潮流とか潮位に関する数値シミュレーションの一覧、この中で２次元のモデルはかなり昔から行われています。近年も２次元モデルでしばらく研究しておりますけれども、それと並行して２０００年位から３次元のレベルモデルと言いまして、鉛直方向が水平になっている要素モデルが使われています。それと同時に今度はσ座標モデルというのも灘岡、田中らによって作られています。今日、後で堀家さんの方から紹介されるＰＳＴモデルの方もσ座標で行われています。潮汐・潮流モデルの問題点としては、中々研究者によって、例えば諫早湾干拓の影響が潮汐にどれ位あるかと言った時に、研究者によって値が違うのです。割合が。何で違うのかと言うとモデルが違うからではなくて、境界条件とか正確な地形データというのが研究者の間で同じ物を使ってないというのがあるのと、境界条件そのものが、境界条件と言うのは外海、海の色んな条件であるとか、陸域からの条件とか、海面の条件、色々な物が、そういうものが非常に少ないので、中々表現できないでいるという事が上げられます。更にそういうふうな基礎データとして、既存のデータの収集とか多点・長期モニタリングというのが、こういうふうなデータが少ないという事で今後必要になってくるのではないかという事を、マスタープランの中では上げられています。

次に、物質輸送モデルと貧酸素発生モデルですけれども、これについては、今日、後で　発表されます九州環境管理協会の中嶋さん達等に代表されるようなボックスモデルと言われるモデル、それから３次元の生態系までやっているモデルなんかが色々ありまして、かなり水

潮汐・潮流モデルの問題点

●境界条件として本来必要なデータセット（開境界の潮汐、流速、水温、塩分、や海上風分布など）、正確な地形データ（過去のものも含めて）、流れや海洋構造（塩分・水温分布）のデータセットを完全に揃えることは難しく、再現性の検討が不十分

●数値モデルによる正確な計算のためには正しい地形データの設定が必要であるが、現実的にはそれらはある程度の仮定や誤差を含んだものが利用されている。そのような状況を打開するために、先ずは正確な地形データ（水深、海岸線、干潟微地形）の取得と研究者のデータへの容易なアクセスが必要

●潮汐・潮流変化の基礎データとして、既存の潮汐・潮流データの収集・データベース化ならびにモデル精度評価に必要な多点・同時・長期モニタリング定点の増設と関係機関との協議が必要

物質輸送モデル（水質モデル）

●物質収支に着目したボックスモデル（荒木ら（2002）、中嶋ら（2005,2006））から三次元生態系モデル（鯉渕ら（2002）、Rajarら（2004）、小池ら（2005）等）まで、パラメータ調整がなされた各種モデルによる有明海の環境動態の解析がなされている。

●その結果、当該水域の巨視的な栄養塩収支が明らかになるとともに、三次元モデルにより栄養塩の時空間変動についても比較的良好な再現結果が得られ、植物プランクトンの増殖過程や貧酸素水塊の消長に関しても、ある程度の再現が可能になった。

貧酸素水塊発生モデル

●3次元流動モデルと水質・生態系モデルによるシミュレーションにより有明海奥部浅海域における貧酸素水塊発生が再現されつつある。

●鯉渕ら（2003）は、数値シミュレーションにより風に対応した貧酸素水塊の動態を再現した。磯部・鯉渕（2004）は、貧酸素水塊が赤潮の数日後に発生することから、鉛直混合の弱まりや有機物分解による酸素消費が原因とし、σ座標の3次元流動モデルと水質モデルの数値シミュレーションにより再現した。

●水産総合研究センター（2007）は、DELFT3D・鹿島モデルによる三次元流動シミュレーション及び水質モデルにより、有明海奥部浅海域における密度成層形成と混合、懸濁物の集積湾奥浅海域の貧酸素水塊発生を再現した。

質モデルとしては上をいっているという事で、貧酸素水塊モデルについては３次元の流動モデルそれから水質・生態系モデルのシミュレーションにより、貧酸素水塊の解明がされつつあります。東大の鯉渕さん達によりまして風によってどういうふうに貧酸素水塊が動いていくかというシミュレーションであったりとか、赤潮の発生後に貧酸素水塊が発生するという事を３次元でシミュレーションで再現しています。更に水産総合研究センターで『DELFT３Ｄ・鹿島モデル』というモデルによりまして、如何に貧酸素水塊の発生を、懸濁物の集積する湾奥の浅海域の所で発生を回避しています。発生を回避する事ができました。かなりこの辺はモデルとしては進んできているという事です。

次に懸濁物輸送モデルですけれども、有明海は泥化、細粒化という問題、それから透明度の上昇、そういう問題があって、それを何故そうなって来たかという事を明らかにする為に懸濁物輸送モデルが必要となってくるのですが、最近研究で明らかになった事は干潮域と海域との間で相当量の懸濁物量のやり取りがあるという事です。それをモデルによって再現する必要があるのですけれども、その場合には３次元の懸濁物輸送モデルが必要になります。これについてはＪＳＴの研究費の中では九州大学で微細懸濁物質輸送モデルを構築中であるという事と、佐賀大学の有明海総合研究プロジェクトの中で、ＦＶＣＯＭというプログラムをベースにしまして、数値モデルを開発中であるという事です。

懸濁物輸送モデル

●海域底質の細粒化を明らかにするためには、3次元流動モデルをベースにした懸濁物輸送モデルによって、海域ごとに底質変化の原因を検討する事が望ましい。

●最近の研究により明らかになってきたことは、感潮域と海域の間で相当量の懸濁物質量（数十万tオーダー）のやりとりがあることであり、有明海の底質の細粒化や透明度に関連して表層懸濁物質の動態をモデルによって再現する場合には実地形に基づいて感潮域と海域を同時に計算する3次元懸濁物質輸送モデルが必要

●九州大学では微細懸濁物質輸送モデルを構築中。

●佐賀大学有明海総合研究プロジェクトではFVCOMをベースとした数値モデルを開発中であり、陸域から有明海奥部に流入した懸濁粒子の挙動をシミュレートし、実測に基づき懸濁物モデル式を改良し、格子の解像度や境界条件等の与え方などを見直し、流動モデルのさらなる高精度化を行う予定

次に低次生態系モデルですけれども、赤潮が増加して色んな悪さをしたりとかする為、それを定量的に検討する必要が有りますけれども、更に赤潮を減らして尚且つ漁業生産をうまく続けていく為にはどうしたらいいかという色んな対策立案が必要になってきますけれども、それを可能にする為には、低次生態系の数値シミュレーションモデルという物が必要になってきます。この低次生態系については、底質とか生態系に関する調査という物が水産試験場を中心としまして色んな所で調査されて、有明海特有の底質特性等が明らかにされてきている。只、有明海においては浮遊珪藻について、その増殖特性であるとか、捕食などそういうふうな基本的な特性に関する情報が非常に不足していまして、それは現在色んな現場で観測を行っている方がかなり多いのですけれども、それと同時に実験室レベルでそれを研究してパラメータ

低次生態系モデル

●赤潮増加要因の定量的検討および赤潮を減らすための対策立案のためには、低次生態系の数値シミュレーションモデルによる検討が有効。

●底質や生態系(プランクトンや底生生物)に関する調査は、熊本県水産研究センター（2002）、西海区水産研究所（2002）、嶋村（2003）、金（2005）、北園ら（2001）、堤ら（2006）、岡村（2006）、徳永ら（2005）等によって近年精力的に実施され、有明海特有の底質特性等が明らかにされ、生態系モデルの構築やその検証のためのデータ蓄積もなされてきた。

●しかし、有明海における浮遊珪藻については、その増殖特性、捕食など基本的な生理生態特性に関する情報が不足している。そのためには、海洋調査だけではなく、実験的研究が必要とされる。こうした情報は、精度のよい生態系数値シミュレーションモデルの構築にとって不可欠である。

干潟モデル

●滝川（熊本大）らの研究グループは、熊本港に造成した人工干潟「野鳥の池」において、精力的に研究をおこなっているが、その中で森本ら（2006）は、生態系モデルによる計算結果を用いて窒素・リン収支の見積もりをおこなっている。

●瀬口ら（2006）は、湾奥部泥干潟から長洲沿岸の砂質干潟まで様々な底質の干潟において底泥の泥質および脱窒量の季節変動を測定している。

●干潟上の重要な基礎生産者である底棲微細藻類（山西ら、2003）の生産量評価や、標高や干出時間と干潟での有機物分解速度の関係、泥干潟における昼夜の違いなど、研究がまだ不十分な点は多く、サイトごとの基礎的研究をさらに積み重ねる必要がある。

●干潟の水質浄化機能(脱窒や生物作用)に関する研究（瀬口ら（2002）、山西ら（2003, 2005）、鯉渕ら（2005）、原田・滝川（2002）、屋良ら（2006）、安岡ら（2005）等）もなされているが、当該水域特有の底質特性を反映させた十分なモデル化は未だなされていない。

を取得するという所が、低次生態系モデルの方針であります。不可欠になってきていると思われます。

次に干潟モデルですけれどもこれは熊本大学の滝川先生らのグループによりまして、熊本港の人工干潟「野鳥の池」において、干潟モデルを構築するための色んな研究が行われています。それから、佐賀大学の瀬口先生は、干潟における底泥から泥質および脱窒量、窒素が抜けてその季節変動を測定して、干潟での物質循環というのを窒素レベルで考えておられます。しかし、干潟上では重要な基礎生産者である底棲微細藻類というのが生産量の評価でまだ十分ではなくて、佐賀大学山西先生らのグループで調査の成果が有りますけれども、まだ、ここに挙げておりますような中々十分でないという事で、サイトごとに基礎的な研究をさらに積み重ね続けて干潟モデルというのを作っていかないといけないと思います。

次にベントスモデルですけれども、これは有明海の底質環境とそれからベントスの関係を定量化するという非常に研究として少ないというのが挙げられています。バイオマスの変動解析とか生産力の評価のためにも現地データの蓄積と解析というのが必要です。中々このベントスの調査結果を、水質とか底質との相互作用として取り入れた解析というのは、中々出来ていないのが現状です。それから更に二枚貝の急激に減ってきた事に対する成長モデルとか個体数変動モデルとか水質底質モデルを連動させた解析というものは、まだ有明海では進んでいなくて、先行しているのは伊勢湾、三河湾、そういう所で解析が進められているという事です。

ベントスモデル

●物理化学的底質環境とベントスの関係の定量化に資する研究が少ない。バイオマスの変動解析や生産力の評価のためにも現地データの蓄積と解析が必要である。水質・底質と生物との相互作用(例えば二枚貝の浄化機能)を取り入れた解析が十分なされていない。
●また、二枚貝の激減等、資源量の変動解析に向けて、成長モデルや個体数変動モデルと水質底質モデルを連動させた解析や、浮遊幼生の挙動解析も今後必要である。伊勢湾三河湾等ではこのような解析が進められている。

陸域についてはまず河川から有明海に流入する土砂量、土砂の動態解析については首都大学の横山先生らのグループによって、かなり詳しく調査が進められています。更に有明海で問題になっている赤潮とか貧酸素水塊の発生については、海域、陸域からの負荷量、色んな汚濁物、それの流入が問題になってきますけれども、それについては国交省或いは環境省による算定が為されています。これは先程の評価委員会の報告、或いは下水道整備の策定にかかる調査報告書というのが国土交通省の方から出されまして、その両者が基本的なベースの研究成果になります。それから我が国の三大湾、東京湾とか伊勢湾とか大阪湾につきましては、陸域と海域をダイナミックに考える為に、流域圏モデルという事で、陸域と海域の水と物質の流入量を一緒に考えるという事があります。有明海においても陸域については恐らく海域の物質循環モデルの開発者によって陸域モデルの開発が進められていると思いますけれど、まだこういうふうな陸域海域一緒のモデルというのが作られていないというのが現状だと思います。

陸域モデル

●河川から有明海に流入する土砂動態の長期変動および土砂の輸送機構については、横山（首都大学東京）らによって、筑後川に関して活発に研究（資料解析・現地観測が中心）が進められてきた。
●有明海で問題になっている赤潮の増加、貧酸素水塊の発生などは、海域の富栄養化によって生じる典型的な問題である。有明海における陸域起源負荷量については、国土交通省九州地方整備局（2005）、環境省（2006）による算定がされている。
●我が国の三大湾（東京湾・伊勢湾・大阪湾）については、陸域から海域への水および物質の流入量をダイナミックに表現するために、流域圏モデルの開発が進められている（西田ら（2007）など）。
●有明海においても海域物質循環モデル開発者によって陸域モデル開発が進められている（中嶋ら（九環協）、国調費モデル（いであ）、JSTモデル（いであ）など）。

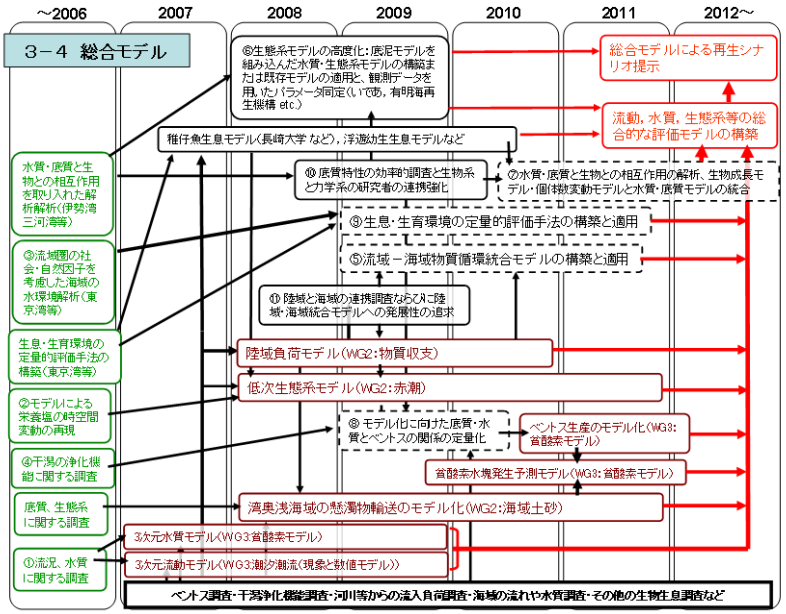
最後になりますけれど総合的なモデルの現状としては、これは統計的な解析を行っている柳ら、川口ら等の解析であるとか、それから、物質収支に着目したボックスモデルの研究、或いは３次元生態系まで考えた物があって、有明海の環境動態の解析が為されています。その結果、巨視的な栄養塩収支が明らかになって、それから３次元モデルについては栄養塩の時空間変動がある程度再現されつつあります。それから貧酸素水塊、プランクトンの増殖過程等もある程度の再現が可能になってきている。それから科学技術振興調整費のモデル等も生物生息モデルまで含めた総合的なモデルの開発が進められています。但し、総合的なモデルの問題点としては先程言いましたように、陸域海域を一体とした統合モデルの開発が遅れていっている。それから懸濁態の動態については十分なモデル化がまだ為されていないという事です。それは有明海で一番重要なモデルの１つだと思われますけれど、それの早急な開発が求められていると思います。それから色んな種類のプランクトンの生態系モデルへの組み込みのためのパラメータ、これも同時に必要になってくると思われます。それから底質環境とベントスの関係の定量化に関する研究も少ない。これは先程個別モデルで説明した通りです。これは当然総合的なモデルの話であっても入ってきます。水質・底質と生物との相互作用、これも例えば二枚貝の浄化機能を取り入れた解析も十分為されていない。それから生息・生育環境の定量的評価手法、それを東京湾などでは為されておりますけれど、そういうふうな取り組みがまだ有明海では殆んどなされていない。ここに挙げておりますのは、昨年度、有明海・八代海の総合調査推進業務のマスタープランの中で、物理モデルワーキンググループの中で、総合モデルという物のロードマップとして作ったものです。これは横軸が時間でして、緑で示しているのはこれまでに調査研究が進められていたものです。有明海ではなくてよその所では、色んな所が、伊勢湾、三河湾での解析であるとか東京湾での解析などが先程ベースになってきている。それから横の方に黒い四角でシステム四角で書いてあるのは、これは調査研究で可

総合的なモデルの現状

●観測データを用いた水質の統計解析（柳ら（2006）、川口ら（2005）、山気ら（2005）、橋本ら（2005）等）や、物質収支に着目したボックスモデル（荒木ら（2002）、中嶋ら（2005）等）から三次元生態系モデル（鯉渕ら（2002）、Rajarら（2004）、小池ら（2005）、佐藤ら（2007）等）まで、パラメータ調整がなされた各種モデルによる有明海の環境動態の解析がなされている。
●その結果、当該水域の巨視的な栄養塩収支が明らかになるとともに、三次元モデルにより栄養塩の時空間変動についても比較的良好な再現結果が得られ、植物プランクトンの増殖過程や貧酸素水塊の消長に関しても、ある程度の再現が可能になった。
●科学技術振興調整費モデル（いであ）により生物生息モデルまで含めた総合的なモデルの開発が進められている。

総合的なモデルの問題点

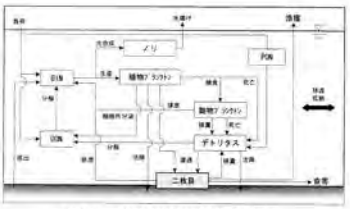
●陸域―海域を一体とした統合モデルの開発が遅れている。
●水質・生態系モデルについては当該水域の特徴である懸濁態の動態について十分なモデル化がなされていないために再現性の低下を招いている。
●多種プランクトンの生態系モデルへの組み込みのために精度の高いパラメータの同定も必要である。
●物理化学的底質環境とベントスの関係の定量化に資する研究が少ない。バイオマスの変動解析や生産力の評価のためにも現地データの蓄積と解析が必要である。
●水質・底質と生物との相互作用(例えば二枚貝の浄化機能)を取り入れた解析も十分なされていない。
●生息・生育環境の定量的評価手法(例えばHSIモデル)の構築や既存モデルへの適用に関する研究もほとんどない。



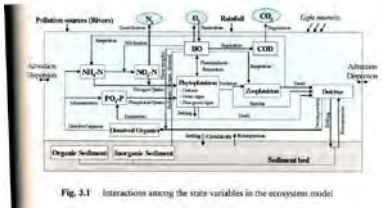
環境省有明海・八代海総合調査推進業務報告書(2007)（総合モデルのロードマップ）より

能性として高い、実施される事が分かっているというのは実線で示しまして、実施がまだ不確かな物は破線で示しています。それから茶色で示しているのはこれはこの総合モデルというのが、総合モデルだけで閉じるのではなくて色んなモデルがかなりリンクしていまして、其々の関係を示しています。最終的に目標としては、総合モデルによる再生シナリオの提示、だから、流動、水質、生態系の総合的な評価モデルの構築、こういう物を目標に今進められていまして、今日これからワークをされるいであの堀家さん達のグループも、今２００８年ですけれど２００９年までに恐らくモデルを完成させてこちらに行かれると思っております。

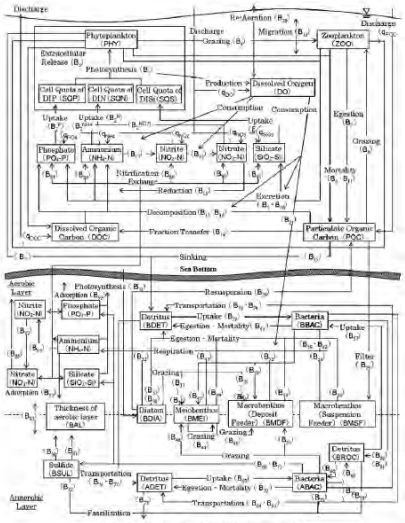
最後にこれはちょっと色んな生態系のモデルの例として、今日後で説明される中嶋さんらのグループで頂いているノリとか二枚貝をモデル化したようなボックスモデルの生態系モデルです。それから下は佐賀大学の低平地研究センターで使われている生態系モデルです。これもやっぱり、水質、底質の間のインターアクションをモデルにしています。それからこちらは、東京大学の北沢とか佐藤らによって使われている水質と底質の其々の中での色んな反応を考慮に入れたもので、より複雑なモデルになっていますけれど、こういうふうなものがあるという事です。



中嶋ら(2005,2006)



Atanasova et al.(2005)



北沢ら(2002)、佐藤ら(2008)

有明海生態系モデルの一例

大体以上で私の方からは、有明海のモデルの絵という事で終わりたいと思います。

続きまして、底質モデルの御説明を堀家さんにお願いしたいと思います。

堀家健司さんは三重大学卒業後、いであ株式会社大阪支社、現在副支社長をなされております。環境科学の総合コンサルタントとして、生物の調査、分析、解析、環境アセスメント、自然環境保全、生態解析等の業務に従事されておられます。

それでは、有明海生物生息モデルにつきまして、ワークをしてもらいたいと思います。

講　演
○有明海生物生息モデルについて

いであ(株)大阪支社　副支社長　堀家 健司

いであ株式会社の堀家です。どうぞ宜しくお願い致します。今日ご紹介するモデルは、ＪＳＴの中でいであ株式会社として携わっております。説明の方は私１人でさせて頂きますけれど、質問については私と、畑、それから竹内、３人１人前でお答えしたいと思います。それ以外にも、いであ株式会社の全社的にこの業務には取り組んでおります。今日お話させて頂く内容ですけれど、文部科学省の科学技術振興調整費「有明海生物生息環境の俯瞰型再生と実証試験」という、今日ここにおられますけれど、研究代表者が九州大学の楠田先生です。その中での数値モデルの役割について簡単に説明させて頂いて、実際に作っています生物生息モデルの紹介をさせて頂きます。それでこのモデルを使って有明海の再生シナリオをどこまで踏み込めるかというのは、ちょっと少し段々と尻つぼみになっている所もあるのですけれど、再生に当たっての基本的な事項の考え方等について説明させて頂いて、最後にそのモデルの限界と課題についてお話させて頂きます。研究代表者がおられるので、余り私が説明するのは適切ではないのですけれど、大きな目標としては有明海を再生するという事を目標に挙げていて、その中で３つの柱があります。１つは、再生するためにはまずやはり分かっていない事を解明していこうという事象の検討と、それからもう１つは実際にどういう現場での再生技術が考えられるかという事で再生技術の現地実証、それから今回１番最初のテーマとしては再生方法の検討という事でその中でシミュレーションという事がありまして、我々のところはこのシミュレーションの部分の作業をお手伝いしているという事になります。モデルというのは、ここにおられる方、先程大串先生も紹介されましたけれど、どういうふうなツールかという事ですけれど、所謂仮説として立てるその理論的なアプローチと、それから観測に基づく実践的なアプローチのその両輪の軸をなすものとして、模型のようなものを作って、これを色々動かす事によって理論とそれから実践もフォローアップしていこうというような物になるかと思います。

それで生物生息モデルですけれど、まず今最初に紹介しました３つの色んなテーマを、一応この生物生息モデルの中で統合的に取り込んで、それで有明海の再生シナリオを定量化する部分でお手伝いしようと、要は道具作りをしているという事になります。それから再生の最終目標という事ですけれど、これは有明海を豊穣で人々に安らぎを与える事の出来る海として再生すると、こういう最終目標を掲げて全研究者が携わっているという事になります。その再生シナリオの時に再生の目標とか指標として生物指標を導入すると多分分かりやすいのではないかという事で、有明海再生のその指標種を選んでいます。この指標種のモデルとそれからその指標種のその生息環境を評価するモデル、更には海だけではなくて陸域までも含めたそのモデル、更に有明海の中で重要な位置を占めるその干潟のモデル、こういった物全体を通して、その生物生息モデルと称しています。指標種ですけれど、アサリとサルボウとスズキを選定しています。これらの指標種の色んな生息環境を評価する為に、まず流れのモデルを作って、それから水質と底質を統合した低次生態系モデルを作って、更に陸からの負荷量等についてはその流域のモデルを作ってやっていくというような事です。最終的な目標としましては、こういう有明海再生の支援ツールとして

社会に提供して、それから有明海だけではなくて他海域にも汎用化できるような陸域と海域を統合したようなモデルを開発していくという事が最終目標です。今挙げましたモデルはこういうふうなモデルで今日全部紹介できませんけれども主要なものを紹介させて頂きます。

まず再生の指標種ですけれど、有明海を見渡した時にまず砂質干潟、これは東部沿岸ですけれど、砂質干潟のその典型性を代表するようなアサリと、それから湾奥部の泥質浅海域を代表するようなサルボウ、更にやっぱりこの生態系の上位性という事で色々候補はありましたけれどスズキを選んでおります。この他にもタイラギとかアゲマキとか色々候補は挙げましたけれど、最終的にはこの３種について評価していきます。これはもう皆さん御承知かと思いますけれど有明海の総漁獲量で、有明海の特徴としましてはその赤い部分の貝類の漁獲量が非常に多いという事、それから貝類の中でも赤いのがアサリで、それからブルーがモガイ、サルボウですけれど、アサリとかサルボウが多い、所謂貝類を代表するアサリ、サルボウを指標種に選んでいるという事です。それとその指標種ならびに指標種候補の漁獲量を示したものですけれど、いずれも共通して言える事は１９９０年代以降要するに最近漁獲量はグッと減少している、或いは低迷しているという事が共通して見られるので、やはりこの辺りの生息環境としてあまり宜しくない事が起こっているのだろうというふうな推定がされます。アサリですけれども、これを各県、有明４県別に見ますと、アサリは１９７０年代、８０年代と、上が７０年代、８０年代、それから下が９０年代、２０００年代の各県の漁獲量の割合ですけれどもアサリは熊本県が非常に多くて、９０年代以降は福岡県も結構獲れているという事、それからサルボウはやはりここの佐賀県が非常に多い、スズキは各県平均的に万遍なく獲れているので、アサリは東部沿岸の指標種、それから湾奥はサルボウを指標種、そしてスズキは有明海全体の生態系において、或いは更にはもう一歩踏み込んで生物多様性の指標種として設定したというような経緯であります。これは貝類漁場の過去と現在の変遷ですけれど、黄色い部分がアサリでして、以前はアサリ漁場が大きくありましたのですけれど９０年以降に少なくなっていると。更にサルボウも熊本県側もサルボウ漁場がありましたけれど、今は湾奥部の所に限られているという、漁獲量も勿論減っているし漁場も小さくなっているという事が分かります。スズキの産卵場は湾央から湾口の深いところですけれど、ここで稚魚が奥の方に、湾奥の方に北上して行きまして河口部付近でその稚魚の生息場がなされて、それで成長して比較的有明海全体で色んな漁場で漁獲されているというような事があります。

それからまず指標種を作ったので今度は目標値を設定しようという事で、目標達成する為にどういうふうな方策を考えられるかという事を検討致しました。アサリにつきましては今特に多い熊本県が７,０００ｔを安定して漁獲するというような事を掲げられていますので有明海全体でかなり大雑把な勘定ですけれども、２倍してアサリの漁獲量を１４,０００ｔ、サルボウは佐賀県側が１０,０００ｔを安定して漁獲したいという事で、有明海全体で１６,０００ｔ、スズキは特に各県が目標を設けてはいないのですけれど、過去の最大漁獲量の半分位はやっぱりこれも安定して漁獲するようにしたらどうかという事で４００ｔを設定して、種類によって達成の難しい、易しいというのがあるかと思いますので、達成年次はアサリは６年後、更にスズキは１０年後位のこの目標値に達成していこうという事を挙げています。

これは各指標種のアサリ、サルボウ、スズキの過去の最大値を１とした時の相対的な漁獲量の変動を示したものですけれど、赤がアサリで、それからブルーがサルボウ、それからスズキが緑です。破線が魚類全体ですけれど、先程も言いましたように９０年以降サルボウ、スズキは減少

しているしアサリは低迷したままであるというような事が分かります。更に先程の達成目標をそれぞれの達成年次でこの漁獲量をここまでアップしていこうと、これは再生目標を１とした場合の相対的な状況ですけれど、ここに持っていこうというような事を１つのシナリオとして描いています。

まずその内の１つのその指標種の生活史のモデルを簡単に説明させて頂きます。生活史モデルというのは、コホート単位、コホートというのは発生群毎ですけれど、同一発生群毎の個体の成長と、それから生き残り、生残をモデル化した物です。従って各発育段階毎に稚魚の時と成魚の時で当然環境の適応性が異なりますので、発育段階毎のその環境の適応性を評価出来るようなモデルにしています。即ち、時間、年齢とか季節とか、空間の解像力を高めるようなモデルになっているという事、それから色んな水温、塩分含めて外部環境の影響を受けて資源が変動し更に密度効果も入れて、所謂内部効果の応答についても評価出来るようなモデルを作っております。もう１つは基本的にはコホート単位の固体レベルのモデルですので、成長によって代謝特性が異なりますので、例えば水質浄化量等を評価する時にバイオマス、１つのバイオマスとして計算するのではなくて、ある程度代謝特性を考慮した計算が為されるという事が特徴です。更に漁獲量を出力出来ますので、金額に直したその水産経済的な評価が出来ると、こういうふうな特徴です。余りなるべく式は出さないようにしているのですけれど、ちょっと簡単に説明しますと、成長というのは成長係数によって計算されて、それから生残は自然死亡係数と、それから漁獲係数によって評価されています。漁獲は更に漁獲係数を使って各個体の体長を体重に直して、体重とそれからその数を掛けた物が資源量ですので、その漁獲量を出す。更に再生産もこのモデルの中で組み込んでいる。ここで成長係数とか或いは自然死亡係数をいくつかの複数の環境因子によって関数化する事によって、環境変化が資源変動に及ぼす影響を評価しようという、そういうふうなモデルになっています。

それからアサリ、サルボウ、スズキにつきまして、各種類ごとの発育段階を適切に評価するために生活史を区分致しまして、後、主な産卵期とか或いは産卵回数、浮遊期間等をベースにしています。これはアサリの生活史の模式図ですけれど、アサリの産卵期は春と秋２回ありまして産卵して大体２週間、３週間位流れに乗って浮遊して、着底致します。着底して段々成長して、それから自然に加入して又産卵するという、こういう生活史を繰り返しています。この生活史其々の１つはアサリの場合浮遊幼生の時代、それから着底して間がない初期稚貝、ここが一番初期減耗の大きい所で、今一番ここの生残率が低いのでアサリ資源が回復しないのではないかというような事が言われていますので、初期稚貝のステージと、それからもう少し成長した稚貝のステージ、それから未成貝になって３段階の成貝の５つのステージを区分しています。これは現代のアサリの産卵場でして、荒尾とそれから菊池川河口、白川、それから緑川河口、緑川河口は２つありますけれども、こういった主産卵場であり、且つそこが生息場、漁場ですので、こういったボックスでの先程言いました低次生態系モデルから出力されるような環境要因と、季節毎の変化、資源変動との関係を計算していこうという形になっています。それと、ここから産卵された浮遊幼生は湾内或いは湾外に出てどこかに着底するのですけれど、アサリの着底場として水深と底質から考えて、こういった所に多分着底しても生存は可能だろうと、只、ここは漁場になるかどうかは別として一応こういう所は着底場になるというふうな事で、後でどこか産卵してこの着底場にたどり着くまでどれ位の確率でたどり着くかという計算をした例を後で紹介致します。それか

ら成長Ｇとそれから死亡係数Ｍのモデルだと言いましたけれど、成長係数とか死亡係数は出来るだけその観測データに基づきまして、アサリの場合は熊本県大の堤先生よりデータを提供頂きまして、緑川河口で緻密に観測されたデータから、きれいな成長曲線が見えますので、ここから成長係数を求めています。更に稚貝或いは成貝も含めてですけれど、同時発生分の個体数の減少をきれいにプロットされますので、ここから自然死亡係数を推定していると、こういうふうな観測データがある場合はこういうふうになってくるのですけれど、こういうふうなものでパラメータを決めているという事。それからアサリの漁獲量も大体５月、６月が操業者数が多くてそれから冬場は少ないという事なので、その漁獲努力量、それも季節変化を与えて計算しているという例です。それから再生産ですけれど、殻長２ｃｍ以上で恐らく産卵して、２．５ｃｍ、２５ｍｍです、殻長で、それ位なると殆んど産卵するというような知見がありますので、殻長がこのように成長すると産卵させて、更にその殻長の大きさに応じてどれ位の卵を産み出すべきかというような事、ここでは雌と雄の割合は２分の１、半分半分、それから多回産卵するのですけれど、モデル上は年に５回産卵するという仮定をおいて計算させています。それからアサリはどういう時期にでは産卵するのかという事ですけれど、水温が２０℃を適値として、こういうふうな温度に対してたくさん産卵して、低温、高温の時には産卵しないというふうに仮定をしております。すると各色んな年を示しますけれど、大体春とそれから秋に年２回の産卵期が有るというのが再現されますので、大体こんなものであろうと、これが波打っているのはこれも諸説あるのですけれど、大潮の時に沢山産んで小潮の時は少し少なめにというような事を少し評価しています。それで今の様なパラメータを設定しまして、こちらの方はこれが殻長の年齢に応じたこの殻長の変化です。少し波打っているのは水温と関数化させていますので、高温期に急成長して低温期に成長がストップしているというような事がここで分かります。それを殻長を体重に変換したのが赤です。それから最初ある初期値です、最初の卵の数を決めてそこから自然死亡係数に応じて段々減っていくと、更に漁獲が加わると更に漁獲係数を受けてより減っていくというような個体数の変化を示したものです。この体重とそれから個体数を掛け算したのが資源量になるという、これは漁獲量を示していましてブルーが漁獲量ですけれども季節変化がありますので、こういうふうな漁獲量が与えられているのと、それをＣＰＵＥ、これを単位操業者数当たりの漁獲量で変換するとこういうふうな波形が描かれるという事になります。各年齢或いは殻長ごとの産卵数をこういうふうにプロットしていまして、このトータルの同一コホート、　　ここから発生した親が産み出した卵の数がこことここがイコールにしてやると、環境が一定であればこの資源は安定していると、後は環境が変化する事によってこの資源が変化すると、そういうふうなモデルを作っています。これは各個体毎に計算した濾水量等の計算結果です。アサリについては今のようなモデルを作って、それからアサリのこれは漁獲量、有明海全体の漁獲量と、それから青いブルーが緑川河口での漁獲量です。このパラメータを設定している漁獲量、緑川河口での漁獲量の変化を示していますけれど、要はこういうふうなものを再現しようという事ですけれど、大きくこの変動が最初７０年代後半にグッとピークに達しますけれど、それまでは恐らく余り以前はその貝を獲っていなかったので、その未利用資源が開発されて上昇したのだと、だけれど、恐らく限界があるのでその限界を達してかなり漁獲をそのまま漁獲からそこへ行くごとに減少してきたのだという事、それからこの時期はちょっとよく分からないのですが最近非常にアサリは以前より増えてきていますけれど、これは今特に熊本県が精力的に資源管理をしている、要するに網目の目合をできるだ

け大きくするようなそういう指導をしている事によって、多分増えたのではないかというふうに想像されます。後この中で関連するものとして干潟でよく覆砂をされますけれど、覆砂された所にはアサリの稚貝が非常によく付くけれど、されていない所には恐らく着底はするのだろうけれどその生存率が悪い、即ちフレッシュな砂が常に供給されているかどうかという事がその覆砂の調査結果が物語っているのではないかというふうに考えられます。これは緑川河口ですけれどこれも国交省がデータを提供されていまして、河川からのその土砂の持ち出し量なのですけれど、だからこれが少なくなると恐らくフレッシュな砂が寄って来るので、これが覆砂と関連して１つの考え方のキーになるのではないかというふうな事を考えています。それからもう１つはそのアサリの資源管理ですけれど、アサリのユリメというものを使っていまして、３分貝から５分貝まで色々網目サイズが有るのですけれど、網目の細かな所で獲ると獲った物が３分目の目合で獲る時のその殻長に対する利用度合はこういうふうに獲られる。更に５分目合の時は目合が荒いので、当然殻長の大きいものが獲られていくという事です。これを今現在４分、４．５分、５分位を使っているようなのですけれど、それ以前は７０年代、８０年代は特に種苗供給をしていたので、かなり細かな目合を使っていたという事です。現在、大体この目合を使っている割合がこれ位なのですけれど、これを出来るだけ網目の大きい物にするとどうなるか、良いのではないか、つまりこれが殻長に対して其々のその産卵量をこの殻長サイズだったらこれ位の産卵量を産みますというものを示した物ですけれど、細かな網目の目合のもので獲っていくと、産卵しても産まない物が後獲られてしまうと、或いは逆に大きな目合のもので獲るとアサリ年２回産卵されるわけですけれど、２回産卵してから獲る事になるので、やっぱりしっかりとある程度再生産させてから、漁獲してあげると資源としては段々と回復してくるのではないかと、今そういういい兆候に向かっているのではないかというふうに考えられています。

次に、サルボウですけれど、サルボウも基本的な生活史はアサリと同様ですけれども、サルボウの場合夏に産卵しまして、これも２週間、３週間ほど浮遊して、貝殻とかカキ殻なんかによく付くのですけれど、付着してそれから着底して成長してまた産卵するというこういうふうな生活史を送っています。ここでも浮遊幼生の実態とそれから付着稚貝、それから底生稚貝と、未成貝、成貝合わせた４つの生活を見て計算をしています。これはサルボウの産卵場ですけれど、佐賀県有明水産振興センター等にヒアリングさせて頂きまして、こういった所で今よく獲れているという事なので、ここは恐らく今主要な漁場で、更に産卵場でもあるだろうという事で、このモデルではこういうふうな所の海域を評価の対象としているという事と、それからここから産卵された卵が浮遊して、サルボウの着底可能な所、こちらに書いていますのは今は漁場になっていないけれど、過去かつて漁場になっていた所ですけれど、こういった所に着底するという、それではどれ位着底するかという事を、これも先程のアサリと同じで後で紹介致します。アサリと同様なパラメータを設定致しましてその部分は省略致しますけれど、結果として殻長と体重の変化とそれから、個体数或いは資源量の変化や漁獲量ＣＰＵＥの変化等をまとめております。

それからスズキですけれどもスズキは産卵場が湾口付近の深い所で１１月から３月の冬の間産卵致します。それで浮遊期間もアサリやサルボウと違って１ヶ月近くかなり長い浮遊期間を通じて、河川河口域の方に接岸して着底すると、着底した稚貝は河川の方に加入する分とそれから所謂沿岸域潟の方に加入する分の２つあるというふうにされています。それで成長して徐々にまた深い所に行くのですけれど、成魚の間は季節移動致しまして沿岸と深い所、夏場、春、夏の時に

沿岸に行って、それから秋、冬にまた深場に行くという、こういう季節移動をしているという事、スズキはアサリ、サルボウと比べて非常に生活史も複雑なのですけれど、スズキの場合特にこの稚魚の生活、稚魚の環境を重視したようなモデルを今作ろうとしている所です。これが、スズキの産卵場でして、特に筑後川の河口とか或いは六角川河口、特に調査がよくされているのは筑後川なのでこういった所の環境を評価してあげようというふうにしている所です。これも先程と同様にスズキのケースでして、アサリ、サルボウよりもスズキは寿命が長いので９年位の寿命を考えて計算をしています。

次に、今説明しました指標種のモデルが最終的なアウトプットになるモデルという事になるわけですけれど、今度は指標種のモデル、生息環境、海の低次生態系モデルの話をする前に流域のモデルについてこれも簡単ですけれど説明させて頂きます。下の方は理解に苦しむノイズが入っていますけれども、流域モデルは流域全体の産地から河口まで流域全体を１つの水循環系として解析をするモデルです。ここでは実際には水の流出だけを計算して、これは京都大学立川先生のＣＥＬＬ分布型流出解析モデルというものを採用して、これを少し改良しながらモデルを作っています。この目的ですけれども流域での色々な水利用のそのシミュレーションが出来ると、特にダムとかそういった所がそうですけれど、どこでどのように水が使われているか或いはその現状の水循環、蒸発散から始まって、この水循環がどのような移動形態をとって、最終的に海に流れてくるかという事を目的としてモデルを作っている事と、逆にそれを使って将来的には効率的な水利用とか、そういったものを提言出来るようなモデルになっています。例えば流域全体の水利用計画ですとか、正常流量の測定、或いはダムの利用計画、或いは森林、或いは農業等のその管理計画等に役立てるモデルです。こういった陸の方のモデルも一緒に作ってここから出力される流出量と、それから更にそこにＬ−Ｑ式、負荷量をかけて海の方に入って来て、そこで海の生物生産が為されるというふうな基点になるモデルです。その基点になる部分のその基点というのは降雨という事になるのですけれど、その前に有明海、このモデルは有明海流域全域を５００ｍメッシュに区切ってモデルを作っています。これは流域面積でして、例えば筑後川が一番大きいですけれど約３５％、有明海流域全体の３５％、これは２０００年から２００５年、６年間の総流出量ですけれど、ここで筑後川が多いので河川流入を考える時に、筑後川が非常に重要だという事が分かります。年々こういうふうな変動をしているというものです。それからこのモデルの概略ですけれど、雨が降って、色んなその格子状の所で雨が降って、各格子状のその落水線を作って、水は必ず上から下に流れ落ちますので、落水線に沿って水が下の方に流れ落ちるという事と、それから土壌中を浸透しますので、その前に有明海流域全体ですけれど、この内の筑後川流域の落水線の紹介だけです。これは絵を見て頂くだけですけれど、このように筑後川流域全体の落水線を作って降った雨から段々下の方に落ちるというようなモデルです。これは観測データをティーセン分割して、それぞれの流域にどの雨量が降らすかというようなものを計算したものと、それからここではダムを筑後川大堰から全部７つのダムを一応評価していますので、このダムの水流出が自然の流れにはならないので、そのダムの流入流出量を基にして計算をしているという例です。それから蒸発散のモデルは土地利用の一番ベースになる森林と、それから農地と都市域、市街地とそれから水域の４つに区分しているのと、蒸発散の計算をする時は水田と畑地を分けて計算をしています。土壌中ですけれど、降った雨ですけれど、土壌中の総分割で酸素を用意していまして、一番上の層はかなり粗い空隙のある層と、それから中間がそのマトリックスといって

細かな空隙のある部分、それから水が浸透しない土粒子、ただし水収支を合わせるためにある一定の地下水が浸透するというような事も考慮しています。それで降った雨が最初勿論下に落ちてきて、土粒子部には浸透しないので、このマトリックス部で段々と満タンになっていって、更に大空隙部とマトリックス部と、それから大空隙部の低い方のメッシュの方に流れ落ちていくと、更に大空隙部も満タンになると、表面流出、河川の方に流れていくと、表面流出するというようなモデルです。このモデルのいい所は非常にパラメータが少なくて、単純だと、結構沢山の計算をしているのですけれど、４つの土地利用区分に対して有効な土層厚とそれから等価粗度、それから間隙率、それから透水係数、それから地下水の浸透係数、これは少し感度解析、チューニングしてこういうふうなパラメータを設定していますけれど、パラメータとしてはこれだけで計算出来ているという事と、それからこの計算結果も２００１年を例に筑後川の瀬ノ下地点の降水量と、それから黒が実績流量です。それに対して赤が計算流量ですけれど、流量の波形も比較的よく一致しているという事、それから豊平低渇で見ますと課題としては放水流量が少し過大になって、逆に渇水流量が少し過小になっているというような面はありますけれど、これは放水も渇水流量もピタッと合わせるモデルというのは中々非常に難しくて、これ位の再現性がなされたらいいのではないかというように判断しています。次にここで海への水、流出水量が出ますので、後はこれはもう既存のＬ−Ｑ式なのですけれど､既存のＬ−Ｑ式を使って負荷量に換算していると、その既存のＬ−Ｑ式もこれは筑後川の例ですけれど、ちょっと見づらくて申し訳ないですけれど、洪水時の式とそれから所謂平常時の式と、それからその中間時の式とそれぞれ用意されていますので、こういう計算をしているという事です。

次に、一番重要な部分の低次生態系モデルについてご説明致します。低次生態系モデルのまず基盤は流動のモデルでして、潮汐、潮流のモデルになっています。今日ご紹介するのは、勿論このモデルの説明とそれから特に後半の有明海再生に向けて、有明海の劣化仮説として色々ありますけれど、その中のやっぱり大きな要因の１つであるこの流動に着目して、過去と現在の流量がどういうふうに変わっているのか、或いはその要因は何なのかというふうな事を少し考察しましたのでご紹介致します。

まずこの流動モデルですけれど、基本は先程大串先生が言われたσ座標系のモデルなのですけれど、これをそのまま使ったのではなくて、一般鉛直座標、所謂ＧＣＳをモデルに改造したという所が１つの特徴です。後で詳しく説明致しますけれど、それともう１つ、これも大串先生が詳しくご紹介されましたけれど、有明海のようなその大きな潮位差がありますので、陸とそれから海の境界線が水平移動するというそういうモデルにしていると、具体的には干潟の判別水質が１０ｃｍより浅かったら陸、深くなったら海というふうな事をやっております。それから一般鉛直座標、ＧＣＳの中で所謂鉛直層分割のまず考え方として干潟を含む浅海域、浅海域というのは湾奥、有明海の湾奥部が大体１５ｍ、深い所で１５ｍですので、１５ｍ緯線の流れの再現を重視して、水深を０から５ｍ、それから５ｍから１５ｍ、それから１５ｍから以深、海底まで其々を５層にして分割していると、だから深い所で最大１５層のモデルであるという事、ここの組み合わせは非常に無限に考えられるのですけれど、有明海の今意図したい目的とそれから海洋構造を考えて、こういう組み合わせがベストだというふうに考えてこれで計算した所、後でご紹介致しますけれど、特に重要な成層構造の解像力に優れて、２００１年と２００５年を現況再現致しましたけれど比較的いいというふうに判断致しました。それで後、次にこれはモデルなので、模型と

一緒なので、色々変えてどんな計算が出来るかという事で、過去と何が違うかと言うと、地形とそれから潮汐、外海の潮位振幅とそれから平均水面、それから更には温度、こういったものを変化させて感度解析を行って、どういうふうな要因が流れの変化に効いているのかという事を考察しています。この感度解析のポイントとしまして、時代を３つ、１つは今現在です、所謂有明海異変とされている現在、現況再現されている２００１年の通年計算をやっています。それから、もう１つ３０年ほど前の所謂富栄養化の兆候が見え始めた時代として１９７０年代後半、まだ漁獲量も比較的多かったのですけれど、こういう時代と更にずっと昔の恐らくこういう状態があったのではないかという人為的負荷が小さかった時代として１９３０年代を想定して、この３つの時代の地形と、それから潮汐、温度を、この時代の地形と潮汐、温度を想定して、計算を行っております。このモデルの特徴ですけれど、従来所謂このレベルモデルと、それから先程紹介したσ座標系のモデルですけれど、ベースはシグマ座標系のモデルですけれど、一般座標系のモデルに改善した事によって、１つは海底付近についてはこれは基本的にσ座標系と同じように海底付近の流れは良好に再現出来るのですけれど、σ座標系の場合海面近くは中々水平に層分割が出来ないので、σ座標系のモデルというのは、全ての方式で層数が一定で、だから深い所浅い所の層数が一定なので、非常にこういびつな構造になると、それに対してその切り方を工夫する事によって、海面近くも水平に近い層分割が可能になるという事で、こちらのモデルの方が恐らくその切り方によって優れているというふうに判断しております。それともう１点は、非常に海底地形の変化の大きい所、こういった所では所謂σ座標系モデルの場合、シグマエラーというような根本的な欠陥があるのですけれど、これも層の切り方によって、パーフェクトにはなっていないかもしれないですけれど、層の切り方によってかなり改善されるというような特徴があります。こういうふうなモデルを使って実際に有明海の中は９００ｍメッシュで、外郭の方は可変格子で最大２,７００ｍにしていますけれど、有明海の中は９００ｍのメッシュにしています。それから境界条件ですけれど、この４点で境界条件を与えて計算をしています。それから後でよく出て来ますので湾内の代表する大浦、ここに験潮所がありますけれど、この大浦の場所と、それから湾口の験潮所口之津、もう１つ三角にもあるのですけれど、大浦と口之津を使っているのと、それから有明海の所謂入退潮量です、それを見るために有明海を輪切りにしたような所で、ここのラインでのその断面通過流量とを計算していますので、ちょっとこの場所を覚えておいて下さい。先程ＧＣＳモデルでこの層分割が特徴だというふうに言いましたけれど、さっき５ｍと書きましたけれど３ｍの間違いです。第１段目は３ｍです。所謂干潟の部分に相当しますけれど水深３ｍとそれから３ｍから１５ｍ、それから１５ｍから海底、其々の３つの区分の所を等間隔に５層に切っている、だから深い所で最大１５層、こういうモデルで満潮時、干潮時でこのようにジャバラのように変化していると、こういうふうなモデルになります。

現況再現の結果を少しご紹介します。まずは潮汐ですけれど、これは２００１年の先程、湾内の湾奥部の大浦とそれから湾口部の口之津ですけれど、各月のＭ２分潮の潮位振幅をプロットしています。黒が観測地で、赤がそのモデルの計算値になっています。大体比較的いい季節変化を再現しているという事と、月によっては多少離れた所もあるかもしれないですけれど、年間平均するとかなり観測地と計算値が一致しているという事、それから有明海のような非常に内湾の所での潮汐を考える時に、所謂この振幅の湾口と湾奥の振幅比です、この場合大浦とそれから口之津の比率、所謂振幅の増幅率と呼んでいますけれど、これが非常に重要なのですけれど、これに

つきましても比較的良い再現が得られているのではないかと、これは２００１年の結果ですけれど、もう１年、２００５年につきましても同様に計算しまして、年間を通じて比較的いい、だから潮汐に関しては良い再現が得られているというふうに判断しています。次、潮流ですけれども、湾奥部の中央の地点の、これは２００１年の５月の例ですけれど、５月１１日から２７日までこの観測データがありますので、上が東西成分流速、下が南北成分流速です。黒が観測値で、赤が計算値、比較的重なっていたらいいという事になるのですけれど。それから上が各時間値ですけれど、それを２５時間の移動平均をかけた結果が下の方の図です。これもこちらの結論としては、比較的いい再現が得られるというふうに考えています。これはもう１つ７月の例ですけれど、上が時間値下が２５時間の移動平均値です。比較的よく一致しているという事が分かります。それから同じくこの地点の潮流楕円ですけれど、５月とそれから７月について潮流楕円、７月は河川流量の大きい時だったので、５月と特にＭ２潮が卓越しますけれど、５月と７月でＭ２潮の形が変わっていますけれど、黒の観測値と赤の計算値もこの潮流楕円の形状を見ても比較的よく一致しているというふうに考えています。今度は成層構造が大事だというお話をしましたけれど、水分と塩分の鉛直プロファイルについて、同じく２００１年と２００５年のこの地点について、まずオーダー的には比較的よく一致しているのと、特に夏場の躍層が形成されているような時期につきましても、観測値のデータは余り数が多くないので少し表現には限界があるのですけれど、でも、少ない点にしても上と下の層の違いは比較的よく再現されているというふうに思います。ちょっと図が小さくてあれですけれど、今度では時間的に水温の連続観測のデータがここでありますので、これは２００１年の例ですけれど、それにつきましても、これは水温です。１月から１２月までの計算値をプロットしてありますけれど、これもオーダー的にも比較的よく乗っているのと、それから変動についてもよく再現出来ていると。これは塩分ですけれど、ただ塩分の方は強いて言うと、計算値の方は満潮、干潮の差が観測値よりも大きく出ている月がありますけれど、オーダー的には比較的よく乗っているというふうに判断しています。それからこれも現況再現という事ではないのですけれど、筑後川の河口からこの有明海の縦断方向に例としまして、２００１年の７月１５日、小潮の時です、それから２３日の大潮の時のこの縦断鉛直プロファイルを作りましたのでご紹介致します。これが水温でして、こちらが筑後川です。筑後川から沖の方に縦断、有明海の湾口に向かって出て行っているというその縦断ですけれど、小潮の時７月１５日、小潮の時は雨が降っていたという事と、大潮の時は雨というか流量が多かったと、大潮の時は流量はそれほど大きくなかったというような特徴があります。それを少し頭に置いて頂いて流量の大きかった時、雨の時は特にこの浅い層での鉛直プロファイルが非常に勾配がきれいに出ていると、この図自体の観測値がないのですけれど、先程見て頂きました塩分、水温の鉛直プロファイルで見ましてもこの辺がよく再現されているのではないかというふうに判断しています。それからこちらの方は流量の少なかった時ですけれど、流量が少ないとそんなに沖の方に高水温の水は拡散していない事、これはもうちょっと塩分で見た方が分かり易いですけれど、こちらが小潮の干潮時、それから満潮時、非常に塩分勾配が密に出ているというようで、それから大潮の時の干潮時、満潮時です。こちらは、流量が少ないので、沖の方に低塩分の張り出しはないと、こういうふうな事から、この流量モデルである程度現況再現は確認されましたので、いくつかの色んな感度解析的に検討を行っています。色んな計算ケースがあるのですけれど、冒頭に言いましたように地形を色々変化させた場合、要は７０年代、３０年代にした場合、それからノリ網を一

度なしにしたらどういう結果になるか、それから外海の潮位振幅を現在の潮位振幅よりもプラス３％増し、それからマイナス３％、これはちょっと後で何故３％かというのは紹介致しますけれど、同様に平均水面も現在の平均水面より１０ｃｍ下げたり或いは逆に上げたり、それから温度、気温ですけれど、これを１℃、２℃下げたり上げたりというような計算をしまして、こういったものがどういう根拠でやったかという事ですけれど、まず地形の方は２０００年代の地形に対して、１９７０年代後半、７０年代ですけれど、この時の地形は諫早干拓によって大きく変わった、それから熊本新港によって大きく変わったと、後、水深が変化しているような所もありますけれど、大きくはこういった事業によって海が陸になったという事と、それから３０年代は特に湾奥部で非常にたくさん、ほぼ湾奥部の海岸線、干拓されたというような状況と、更に矢部川沖とか或いは横島干拓のように至る所で干拓されていると、３０年代から７０年代にかけて干拓されているという事ですけれど、こういうふうな地形があります。これはもうモデル、模型なので、好き勝手に海を変えてみた計算なのですけれど、１つは流れを阻害している物として多分直立護岸のような物があって、その直立護岸を開削してしまったら、そこのその直行する流れが増すので流量が出ないかというような事なのですけれど、実際にはそういう計算指標はないので、ここではこういう事が現実的にはあり得ないと思っていますけれど、有明海全体のその海岸線の半分以上、５５％が人工海岸で占有されていますので、この人工海岸の部分の陸側の格子を海にしてしまうと、そういうふうな計算をやります。だから非常に当然海の面積は広くなるという計算です。それから諫早湾を全部埋め立ててしまったら、有明海自体非常に単調な形状の湾になるのですけれど、そういうふうにしたらどうなるかというふうな計算を行います。それともう１つ見て頂けたら分かるように、ノリ網が有明海を覆っていますので、ノリ網によって流れがある程度抵抗が加わって弱まりますので、ノリ網を全部撤去したらどういうふうな変化が起こるかという事を計算しています。それから潮汐ですけれど、先にマイナス３％と言いましたけれど、まずこれは平均水面ですけれど、８１年とそれから２００１年の平均水面の差をここから大体１０ｃｍ位、大浦と三角、口之津ここが有明海の観測地点ですけれど、大体１０ｃｍ、８１年より２００１年の方が上がっているというふうな事なので、平均水面は１０ｃｍ過去は低下させたという計算をしたのと、それからこれも、三角、大浦、口之津のＭ２分潮の振幅の経年変化を示したものですけれど、これも過去、８１年位と現在に比べて大体３％位増加しているという事なので、では７０年代、３０年代は３％位増大していたと、大きかったというような計算をしたものです。それともう１つ温度ですけれど、これは佐賀の気温とそれから熊本の気温ですけれど、これも９０年代に入ってグッと気温が上昇しているのは、これは地球規模で起こっている事ですけれど、上昇していますので、温度も当然海水を膨張させたりする事によって流れに変化を与えているので、温度も変化させてそれから過去はマイナス１℃位、更に温暖化が進んで、極端な話、今よりも更に１℃上がったら、どういうふうになるかとかそういうふうな計算を行っています。その結果ですけれども、まずこれは１つは大浦のＭ２分潮のその振幅を示したものでして、こちらの方は地形を変えた場合です。これがクロスしている線が観測値です。観測値と１番と書いているこの点が計算値です。こちらは海域面積の過去７０年代、要するに海域面積が２８平方キロほど、まだ今よりも大きかったという事です。それから３０年代、５５平方キロ位大きかったという事、海域の面積とプロットさせて大浦のＭ２分潮をプロットさせる事、これは諫早湾を全部埋め立てた場合の計算結果です。更にこのちょっと三角にしているのが、ノリ網をなしにしたらどうなるかと

いうような事です。それからこちらの方は外海の潮位振幅をこのケース６というのは潮位振幅を３％増しにした場合、この５というのは今よりも１０ｃｍ下げた場合、平均水面を過去より下げた場合、この７番は潮位振幅と平均水面を複合させた計算を行っています。これが現在で更に潮位振幅を逆方向にマイナス３％に下げた場合、それから平均水面も１０ｃｍ変化させた場合をプロットしています。それから、これは温度ですけれど、温度は殆んど見た目は変化がないのですけれど、この変化を３０倍に増幅してみると、こういうふうな波形が描かれます。温度の場合、そのリニアな関係ではないので中々これを説明するのは難しいのですけれど、ここから１つ言える事は今よりも１℃上がるとかなり過去から現在１℃上がったよりも何か大きな変化があるのではないかなというような事が少し示唆されます。これが地形とそれから潮汐、温度を複合させた場合でこれが現在で、２０００年代です、それから７０年代、８０年代、これは外海の振幅を変えた物なので当然大浦の湾内の振幅も大体それに同じ様に変化してきますけれど、それと合わせてこれ程は大きくないですけれど、地形を変えただけでもやっぱり変化している。この線に相当するのはこの部分になります。それからこれが大浦と口之津の増幅率ですけれど、地形を変えた場合こういうふうな変化をする。それから潮汐を変えた場合は、この増幅率を見るとそれ程は変化しない。温度を変えた時もそうです。従って地形の変化が大きいという事がこれで分かります。所謂増幅です。それからこれは断面通過流量、有明海の横断の通過流量ですけれど、要するにこれは入退潮量を示したような物ですけれど、これにつきましても地形を変えるとこういう変化に対して潮汐とか温度を変えたり、温度は殆んど影響しないですけれど、こういう変化です。こういうふうな事から過去と今と、地形とか或いは外海潮位とか潮汐とかそれから平均水面の上昇とか或いは温度の上昇とかがあるけれど、こういう１つ１つ感度解析する事によって、特に指標としている増幅率とかこの入退潮量を示す断面通過流量、こういった物は地形の影響が大きいという事が１つ分かります。更にこれは残渣流、年平均残渣流を示したものですけれど、ベクトルで示したのは現在２０００年のベクトルでして、色を付けているのが、こちらの方は１９７０年代の変化した所、より変化した所を示している。これが第１層、５層、１０層、それから一番最下層、低層の所です。１層、５層目で変化が大きい。当然地形を変えた所なので、赤い所がこれは大と書いてあるけれど、過去と現在を比べると過去よりも流速が減少した所というふうに見て頂きたいと思います。これは熊本新港、とこういった所の変化が大きい。それから３０年代は特に湾奥部の所での流速が減少しているというふうな事が分かります。有明海の色んな異変で、底泥の撒き上げとかそういった事が非常に大事なので、底層の流速について、ここでは最下層の潮流楕円、調和解析を各格子での調和解析を行いまして、１月と７月について示してきました。上がＭ２潮で、下がＭ２＋Ｓ２潮です。これはそれぞれ最下層ですけれど、現況に対する変化率として赤く示されている所が７０年代より現代の方が長軸内での振幅が減少した所というふうに見て下さい。要は諫干の所が変化していると、それから熊本新港の所が大きく変化していると、１月と７月を比べると７月の方がその変化率は大きいという事がもう１つ分かります。それから３０年代を想定した場合この湾奥部の所での変化率が非常に大きく出ていると、この３０年代も同様に季節的には７月の方が大きいという事が分かります。今言った所です、変化の大きい所です。それからこの諫早湾を除いて湾奥部とそれから諫早湾の前面のこの部分の大体の海域での変化量が、大きいわけですけれど、大雑把に５ないし１０％、３０年代は１０ないし２０％程の変化率が示されています。ここではあくまでも最下層の潮流楕円の長軸振幅なのですけれど、これを所

謂巻き上げ力に相当する底面せん断応力を考えようとした場合、底面せん断応力は底面流速の二乗に比例しますので変化率が１よりも非常に小さかったら、流速の変化率は底面せん断応力の変化率、大体２倍位に相当するというふうに大体概算出来ますので、これを底面せん断応力というふうに置き換えると、この大体倍のこういう変化率が与えられる。但し、撒き上げ量というのは、底面せん断応力自体が底面流速で計算されるのだけれど、ここでやっているのはその最下層の平均的な流速を扱っているという事と、それからもう１つは撒き上げ量という事であれば、底泥の粒径とも関係してきますので、これはあくまでも指標的な物として目安として見て頂いたら良いと思いますけれど、でもやはり底面せん断応力で見ても２０％とか或いは３０、４０％というのは、かなり小さな値ではないのではないかというふうに思います。そういった事から今度は地形だけを変化させて同じように大浦のＭ２分潮振幅と、それから増幅率、それから断面通過流量について見たものですけれど、これは海域面積を示していますけれど、大体時代と同じように合わせていまして海域面積はこちらが大きくとって、小さくとってあります。現在に対して７０年代、３０年代、更に先程見て頂いた人口海岸、開削したようなそういうちょっと乱暴なやり方ですけれど、そういうふうな事をしたらどうなるか、それから諫早湾を全部埋め立てた場合、これが増幅率、大体同じ様な波形をしているのと、それからこれは断面通過流量、入退潮量です。ここでこの図で１つ見えてくるのは７０年代と現在と諫早湾全部埋め立てた場合、ここは比較的直線状に乗っているのだけれど、ここで１つの変曲点のようなものがありますという事が見えてきます。それについて後で説明します。それともう１つ、流れを考えた時大事なその赤潮とか、そういう鉛直的な混合を考える時に成層度を同じ様に計算致しました。成層度というのはこういう密度の鉛直勾配がある時の、要するに鉛直勾配の大きさ、鉛直勾配をならすエネルギーを示す物なのですけれど、この値が大きければ、上と下の水とが、物質とが交わりにくいという事になります。そういう指標とそれから今ここで観測値のあるこういう佐賀の地点と長崎と熊本、この４地点を少し代表させて、これの観測値の成層度を計算しますと、こういう季節変化があるのですけれど、７月に非常に、高水温の時ですけれど、成層度が大きいので７月を代表させて先程と同じようにプロットしたのがこれです。即ち成層度が大きくなっていると、要するに過去よりも現在の方が成層度が大きくなっているという事が、非常に上と下の水が交わりにくい状態になっているという１つの証ですけれど、これにつきましても定量的に計算されたという事になります。先程のでは何故あそこで変曲点があったのかという事ですけれど、内湾の潮流というのは形状を非常に単純にして考えれば、こういうふうな１つの周期で表す事が出来るのですけれど、要は湾の長さの４倍に比例しているのと、それからＤが水深ですけれど、水深の平方根に反比例していると、通常１つの有明海をこのラージＬで考えた場合、３０年代と現在の変化というのはこの湾奥部の所で少し変化があるだけなのですけれど、７０年代というのはこれ以外にこのスモールＬのこちらの部分の変化が多分大きく出たのでこの部分があるかないかで、７０年代の変化とそれから諫早湾全部干拓したこの影響が同じ様な直線状に乗っかって、こちらの変化が少し緩くなったのではないかというふうな事が考えられます。先程、水深、これが海域面積を示して、面積が段々と干拓とかされていくと結果的に浅い所が埋め立てられていくので、平均水深は段々と深くなっていくという事、だから先程の式のそのＬとＤの関係から見ても、恐らくこういうものが影響して先程のような形状になったのではないかというふうに思われます。しかしこれは最後にノリ網を撤去した場合どの程度変化があるかという事ですけれど、ノリ網は１０月から３月まで入っている

わけですけれども年間の計算でいきますと、増幅率で０．４％ほど大きくなっていると、それから入退潮量、断面通過流量で約１％程大きくなっていると、ノリの期間の入っている１０月から３月だけで計算すると、その大体倍位の変化率になっているという事になります。従って流れに関して７０年代、３０年代、こういう感度解析した結果、特に成層の流速に着目して見た場合、７０年代に比べて１０ないし２０とか、３０年代に比べて２０ないし４０％減少しているので、こういうのは結構、有明海の物質循環に大きな影響を及ぼしているのではないかと、成層度に関しても成層度が大きくなっているという事です。従って有明海再生の基本的事項の１つとして流速を速めるような、ただし速めると言っても干拓した所をまた海に戻すというのは現実的に不可能ですので、その流速を速めるような工学的な何か手法を開発して、やはり流速を速めるような事を考えるのが基本的には大事ではないかというふうに考えます。

次に.生態系モデルの方の説明をさせて頂きます。生態系モデルの方の留意点としてはこれは先程流れの方と同じで、流況とか成層構造をよくするという事、これは先程の流れの所で説明させて頂いて、これはある程度クリアされる。それから有明海全体が大きな干潟を持った所、１２、３％が全体の干潟域になりますので、しかもその干潟というのは、砂質干潟もあれば、泥質干潟もあるので、砂質から泥質までのその干潟生態系の機能を評価出来るようなモデルにしないといけない。特に再現性の重要事項として、これから有明海のやはり今重要な事項としてその貧酸素水塊についてのその再現性をよくする事、これがサルボウのその指標種の環境変化に関わってくる。それからもう１つは、これも先程大串先生の方でご説明ありましたけれど、懸濁物質の輸送等に関連して、泥化していると、細粒化しているというような事について、このモデルできちんと評価しないといけない。これはアサリの環境とも関係してきているだろうと、先程示しましたように流れに関しては、ある程度ああいう指標が出たので、後はそういう撒き上げ量が減少した事によって透明度が上昇してプランクトンが増殖して、更に貧酸素が起こってというような事を、この生態系モデルの中でそのメカニズムを技術的に評価していかないといけないという事と、それから養殖ノリが非常に有明海の場合大きいので、植物プランクトンとの栄養塩のその分配関係とかそれから養殖ノリによる栄養塩の除去、こういったものを考えていかないといけない。それからベントス、特に二枚貝のバイオマスが非常に大きいですので、これが水質に与えている機能についても評価しないといけない。更には干潟に関連しては底生微細藻類の生産力が非常に高いですので、これが生産されて更に剥離されたものがアサリと二枚貝の餌資源となっているのでこういった事を評価しないといけない。当然の事ながらこういうふうな事をする事によって物質循環を評価して、最終的にはその生態系の上位性としてのスズキを評価していくと、こういうふうな事を狙いに生態系モデルを作っています。それからその具体的な定式化のポイントという事ですけれど、植物プランクトンとノリとの栄養塩のその競合関係、それからノリ網による流動の影響、これは先程お示ししたようなものですけれど、更には流れだけではなくてノリ網が設置してある事によって当然下層の光が少し暗くなりますので、それが植物プランクトンの光合成とも関係しているというような事、それから微細粒子につきましてはこのモデルではかなり細かなシルトから砂まで３分画をして、河川からこのＳＳが供給されてそれが輸送されて沈降して、更に再浮上してというふうな事をモデルの中で計算するようにしています。その時に撒き上げ量というのは、先程の底層の流速、底面流速、最下層の流速に支配されるのですけれど、それだけではなくて特に干潟のように浅い所では波浪の影響も大きいので、その波浪の影響もこの撒き上げに影

響しているようなそういうふうな定式化をしていると、こういった事によって底質形成について評価出来るようなモデルです。それから特に底生系の泥から砂にまでかけての底生系のパラメータを製造するという事と、それからこれは先程説明した事です。それとベントスの量、ベントスが多い少ないという事がそのバイオターベーションを通して、また環境との関わりが出来ますので、そういった物を評価するという事です。

これが低次生態系モデルの基本的な設計ですけれど、内湾のような所で水質とその底質との関係が非常に重要なので、従来のモデルのようにここで分離するのは、やっぱりここでは考えなくて、浮遊系とそれから底生系を連結したモデルを作っています。浮遊系の方はこれは従来よく作られているモデルですけれど、特徴としてはノリを計算に入れているという事と泥の中はベントスを入れているのと、それから付着珪藻、それからベントスは懸濁物食者とそれから堆積物食者等とを入れているというような事です。これは植物プランクトンのパラメータですけれど、植物プランクトンの方は所謂スケレトを代表する小型の珪藻とそれから大型の珪藻、渦鞭毛藻とそれからラフィド藻の４種類を想定して一応計算しています。それと勿論ノリが入っているという事と、これらの４種類の光条件とかそれから水温、塩分条件等によって、パラメータを少し変えて表現しているという事、これは水温のパラメータです。これは日射量、それから塩分、それからノリの方はノリ網がある事によって水中の光量が下がっていくという式を入れております。それから底質は先程説明しましたけれど、中央粒径をＭｄφにして、所謂０から４の砂と、４から８のシルト、８以下の粘土、これに区分して撒き上げ量を計算していく。その撒き上げ量は単に流速だけではなくて、波浪場を算定致しまして、波と流れの共存場で摩擦係数を決めて計算していくというような事をしています。これが底質のモデルですけれど堆積有機物の分解の所で、分解はお示ししますけれど、この部分については非常に重要な部分だと認識していまして、特にこのモデルでさきに言いましたように貧酸素、底層 DO の再現をよくするという観点から、ここを更にバージョンアップして今現在検討中ですのでそれは後で紹介させて頂きます。これは付着珪藻の関数化された物。それから付着珪藻の剥離につきましては、これは撒き上がるＳＳ量からどれ位撒き上がったという厚みを算定して、この厚みに相当する付着藻類のバイオマスを剥離させるというふうな計算をしています。それから、懸濁物食者、アサリ等のバイオマスの変化はその温度とそれから餌密度、それからその自身のそのバイオマス、密度光です、これによって関数化しているという事です。

少し現況再現の結果をお示し致します。これは底層のＤＯの、佐賀県側のこの赤い印の計算結果ですけれども、赤が表層で、それから青が海底面上１ｍの所で、プロットされているのが観測値で、実線になっているのが計算値です。オーダー的には比較的いい線を行っているのと、季節変化もある程度、少し離れた所もあるかもしれないですけれど、ある程度再現されていると、これは１月から１２月までの季節変化を示しております。これは福岡県側です。福岡県側も佐賀県側と同じように比較的いい精度を保っているのではないかと思います。これは先程は２００１年で、これは２００５年の計算結果で、佐賀県側と福岡県側です。但しこれは現下再現。これだけ見ていいと言ってもこれはバッチのデータなので、果たしてこのＤＯの再現が連続的に、先に水温とか塩分で連続データでお示ししたようなああいう観測値も２００５年はもう整っているので、そういったものと、いい再現が取れているかという事と、それから水平分布としても、ある程度再現が取れているかという事を課題としては残っていますので、更にこの低次生態系モデルにつ

いては精度アップをやっている所です。１つはこの諫早湾の周辺での連続データが入手出来ていますので、ここでの連続データの再現結果を、これは２００５年ですけれどお示ししたものです。更に湾奥部含めてこういった部分での観測値もありますので、これからこういった観測値を入手して再現性をチェックして、精度を高めていきたいというふうに思っています。それからこれがクロロフィルａの結果です。これはトータルのクロロフィルａですけれど、季節的な変化を示してオーダー的には大体合っている所にきていると、それから２００５年の結果です。

それでそこまではモデルの説明でして、ではこういった所からその有明海の再生のシナリオをこれから楠田先生中心になって作っていくのですけれど、再生の最終目標は最初に言いましたように、この有明海をとにかく良くする事、これが最終目標なのですけれど、その理念としては所謂その生物多様性を保全する、或いは健全な生態系を維持するという事と、更にその漁業資源を持続的に利用していくという事、この２つが保全と利用というのが大事だろうという事と、更にこういった研究を通じて生態系の科学的な理解とそれから再生技術の開発、こういった事が非常に重要だと、とにかく人とそれから自然とが共生するような社会を作って、環境と経済・社会が好循環するような仕組みを作らないと、根本的なその再生にはならないのではないかなというような事を考えています。これがこのＪＳＴのプロジェクトで実際やっています色々再生技術の開発ですけれども、物理的な要素からその化学的なもの、生物学的なものにこういう座標に乗せると、其々のこういうふうな再生技術を今、各先生方が開発中だと、或いは現地実習をされているという事です。この中で特に今日は、先程流れの所のお話をしましたので、流況改善したらどういうふうな事になるかという事で、ここから少し尻すぼみな所になるのですけれど、ちょっとだけ紹介させて頂きます。１つは流れを今よりも昔に近づける、要するに流れをよくする事によって底層 DO をある程度回復すると、底層 DO が回復すれば、サルボウを含めてそういうサルボウ等の生息環境が良くなるというような事と、これは DO と関係ないですけれど、浮遊幼生の生残も実はいいというのは確かめていますので、そういった事、サルボウとかこういう二枚貝が非常に増えれば彼ら自身のその水質浄化機能の増強によって、更に生物生息環境は回復していくという、そういうふうなメカニズムで、流れをどういうふうに改善したら底層 DO はどの程度回復するかという事をちょっと試算的に計算しました。それからもう１つは漁業の適正管理で、漁業と言っても色々ありますけれど、ここでは佐賀県が特にノリの養殖量がかなり多い、先程ノリの養殖場の絵も見て頂いたと思いますけれど、非常に多いですのでノリ養殖を少し削減するような事、但し今言っているのは生産量を削減するという事で、品質のいいノリを作っていけば生産額は今のまま維持出来るし、更に量を少なくいいものを作れば生産額は維持ないしは更にアップするというふうに考えているのですけれど、ノリの養殖をどういうふうに削減したら、ノリに行っていた栄養塩が余るのでそれが植物プランクトンに回って、更に動物プランクトンに回って好餌の魚に回ってというこういうふうな、恐らく物質循環系が成り立つので、恐らくノリ養殖がなければそれ自体が多分有明海の本来の食物連鎖構造だったと思いますので、こういった事を評価しようという事、更にはそのスズキが良くなっていけば、スズキは生態系の頂点として、生物多様性の保全の１つのシンボルとして科学的な仮説として、生物多様性の保全も図られるのではないかというような事を考えています。それで流況改善した場合ですけれど、これは先程の流れの所で説明させて頂きました、これは現況の２００１年の７月１６日、一番底層の DO の下がっていた時の分布図です。これ現況に対して地形だけ７０年代の地形に変えたら底層 DO がどう変化するか、

或いは３０年代にするとどう変化するかという事を示したもので、濃い所が底層 DO が低いという事なのですけれど、こういう低い所は７０年代は若干、特にこの諫早湾の干拓前面ですけれど、こういった所は当然解消されるのと、更に３０年代になるとより高濃度な所が少なくなるという様な計算結果が出ています。それとこういう海域区分をして各海域区分でのその最低値、底層 DO での最低値を同じようにこう抽出した物が、ちょっと小さい図で分かりにくいですけれど、これが現状に対して７０年代、３０年代の最低 DO です。今日は右下がりに全部なっていて変化の大きい所は、ここはＢ点諫早湾ですけれど、湾奥部の方が変化としては大きいですけれど、でもこういう東部沿岸とか比較的外海に近い所でも、多少なりともその影響が出ているというような計算結果になっています。更にその底層 DO の生物に影響を与えるというふうに、ミリリットル／リットルです。それ以下の格子数がこの計算した期間、年間を通じていくつあるかというものをお示ししたものですけれど、白が現状です。Ａ１の部分、Ａ１というのはこの海域ですけれど、ここの海域では大きかったものが、７０年代、３０年代の地形に戻した場合少し下がっているというような事がこういうふうに示されています。今度はノリの話ですけれど、これは表層のクロロフィルａをお示ししたものです。ノリの期間の７月の中旬の結果ですけれど、その計算値の現況に対してこれは非常に大胆な計算ですけれど、ノリを２分の１、あるノリ養殖の所を２分の１の量にしたらどういうふうになるか、３分の１にしたらどうなるか、更にノリを全部止めてしまったらどうなるかというような計算をしたものでして、クロロフィルａがノリの生産が無くなる事によって、余って来ますので、例えば０の場合この湾奥部の所で濃くなっているとかこういうふうな変化が出て来ています。それと今のは全体で２分の１とかという事ですけれど、場所的に今度はどうかという事で福岡県の所だけノリを０にした場合、佐賀だけ０にした場合、熊本県の所だけを０にした、こういうふうな計算をしています。福岡県の場合は特にこの湾奥部付近、この辺のこの部分のクロロフィルａが更に高くなっていると、要は余剰してきた、余ってきたという事です。ただ佐賀県の場合は逆にこういった所は栄養塩が低くなって、黄色よりも緑の方が低くなって、ちょっとこの関係とは違うような結果が出ていると、湾奥についても少しそういうふうな面積が減っているという事があるのですけれど、これは何故こんな事になっているかと言うと、ノリ養殖の生産を０にしただけだけれど、佐賀県は施肥をノリ養殖に合わせてしているので当然施肥量も減らしていますので、施肥量の減った結果、何かこういう所で見えてきたというふうな事がこの計算結果から示唆されています。熊本県側につきましてはやはりこういうふうな所で現状よりもクロロフィルが高くなっていると、佐賀県の所だけ施肥をしているので、他の福岡、熊本の所とは少し違うような動きをしているという事になります。それで計算結果がそれなのですけれど、このＪＳＴのプロジェクトで１番最初は物理的、化学的、生物的な色んな候補がありますけれど、今日ご説明したのはその流況の改善とかノリの適正配置の所は先程計算結果を見て頂きましたけれど、そのような色んな中から全てという事にはならないのですけれど、粗朶搦をして、要するに特に湾奥部の海岸線付近に粗朶搦をして粒子をトラップするような事とか、それから佐賀県側で囲繞堤を作って、覆砂して底質改善しているというようなこういうふうな事業、それからこれは熊本県、熊本大学の渚線を回復していったらどうなるかと、それからカキ水産生物の系外取り出しという事で、カキをもっと昔のように復活させてそれを上手く取り出して水質を浄化したらどういうふうになるのだろうか、こういった事についてはこの低次生態系モデルの中で計算をしてお答えを示していきたいというふうに思っています。更に低次生態系モデルで変

化した色んな指標種への環境要因が、指標種の所の計算結果になって、それでどういうふうな再生をすると、一番冒頭に言いました再生目標に達するかというような所、逆に再生目標に達するような再生技術がこういうふうにしたらなるのではないかというような事を提言出来るようにしたいというふうに思っています。更には再生目標が達成するだけではなくて、逆にその再生目標が達成したらその時の環境はどのように変わるのか、或いはその再生目標に達成だけで本当に良かったかというふうな事についてもフィードバックしながら色んなこの切り口として、今よく生態系サービスとかいう言い方されますけれど、生物のその水質浄化機能ですとか或いは生物多様性とか、漁業生産性とか、先程のノリとスズキの関係のようなその食物連鎖系とか、こういった色んな環境管理のメニューを提示して最終的に有明海を再生しようというのが私達の最終的な責任だというふうに思っています。

今後の課題ですけれど、常に色々新たな知見に基づいてモデルを持続的に精度アップして行かないといけないのですけれど、もちろんプロジェクトには期限があるので、その期限内でやれる範囲でやって行くという事ですけれど、特に低次生態系モデルの部分で、今新たにバージョンアップする事を考えています。それと流れのモデルの時に地形情報というのは結構かなり流れに影響するので、今与えている地形情報で本当にいいのか、もう少し色んな詳しい情報があれば地形情報をより高精度化して、流れ、更には生態系モデルの再現性を良くしたい。それともう１つはその地形と合わせて海上風についても非常に流れと関係しているのではないかと、今は熊本新港の一点の風を使って計算しているのですけれど、当然海上風なのでかなり色んな分布をしますので、そういった物をモデル化すれば気象モデルのような物を導入して海上風の分布を流れに与えたらどうなるか、これはやるという事ではなくてこういう事が課題だという事なのですけれど、こういうふうな事が課題として挙げられています。それともう１つは流域モデルの方で説明しましたけれど、流入負荷量というのが非常に重要で、今ここの説明では２０００年代の計算しかしていないですけれど、今年１９７０年代とか要は過去の時代についての計算をしていきますので、その時に今与えている L−Q 式で過去も本当にいいのかというような事がありますので、流入負荷量の精度アップをするために観測精度を向上するという事も勿論大事ですけれど、それと合わせてこれも非常に難しいので実際にはやらないのですけれど、所謂モデルとしてのその流域の土壌内の、先程水の流出だけのモデルを作ったけれど、その中のその物質、土砂を含めて、土砂とかその栄養塩との土壌内の物質循環モデルというものも将来的には考えられると、それから指標種のモデルでは個体成長と生残を与えているのですけれど、今説明しました低次生態系モデルでは、アサリとかサルボウというのはバイオマスとして計算して、その中では相互作用があるのですけれど更により色んな情報を得るために、今指標種の生活史モデルとそれから低次生態系モデル、特にアサリ、サルボウのようなモデルとドッキングして所謂高次生態系モデルへもし発展するようなニーズがあれば、こういう個体成長、生残という事と、それから生態系への環境との相互作用が評価出来るという事になります。最後にやはりモデルを作るものとしての一番基礎的な事で、中々合ってなさそうで合ってないその初期条件とか、境界条件とか、或いは再現データがきちんと充実している事が非常に大事だというふうに思っています。

最後に先程低次生態系モデルのバージョンアップの所で、今のモデルでは酸素は計算されてその低酸素が生物にどういうふうに影響するかという事で、生物との関係を取りいれているわけなのですけれど、更にその底泥の、所謂底質のモデルの中を充実させて、基本的には同じなのです

けれど、違う所は特に酸素を消費する所謂遷移金属元素です、マンガン、鉄、硫黄、メタン、こういったものを具体的に計算していくというような事で今プログラムを作成中です。更にその浮遊系の方にもこの４つの元素、これは総合して酸素消費物質として１つの変数として計算して、水と泥との間のその酸素の変換、こういった事を解く事によって貧酸素の再現をより良く出来ないかという事、当然この泥の中には付着藻類、それから懸濁物食者としてアサリとサルボウとカキと、更にはタイラギとかアゲマキも計算しているという事です。堆積物食者はムツゴロウとかゴカイを想定して計算しているという事です。何故これが必要かという事で底生系のサブモデルの構造として、まず有機物を分解性の難易に分けているのと、それから不活性物質に区分して計算するというのが１つの特徴と、もう１つは有機物の無機化に対して段階的なこういう酸素還元からメタン発酵までの段階的な酸化分解をこのモデルで考慮しているという、こういうモデルを作る事によって硫化水素の発生量が推定可能となりますので、貧酸素化の再現性及び向上するのとまた生物との応答関係も少し新たな情報として出て来るのではないかというふうに考えています。ただ計算が膨大になりますのでそれとまたベースのデータも限られていますので、基本的には流動の９００メートルメッシュと総合的に連結しているのですけれど、その中のパラメータとしてはこういうふうな少しボックス的なメッシュに分けて計算しようと、これは等深線とか或いは底質それから生物の生息範囲を考慮してこういう部分を仮定しています。それから底泥内の層分割ですけれど、アゲマキが１メートル位深い所まで生息をしておりますので、一応泥深１メートルまでを計算対象とすると、特に浅い所は０．何ミリ単位ですけれど、非常に細かくして、こういうふうなモデルを作っています。これにつきましては他の海湾でも当社は実績がありますので、ある程度いけるのではないかと、仮に有明海のデータがなくても既存のパラメータである程度作っていけるというふうに思っています。最後にこのプロジェクトの最終目標はこの通りです。

【質疑応答】

【　コーディネーター　：　佐賀大学 理工学部 准教授　大串 浩一郎　】

長い時間詳しいご説明を有難うございました。私も今まで堀家さんのご説明を部分部分では聞いた事はあったのですけれど、これだけまとめて聞くのは初めてだったので今日来て良かったなあと思っています。ここでぜひご質問したい方いらっしゃいましたどうぞ。

【　質問者：元熊本県水産試験場　石田　】

元熊本県水産試験場の石田という者であります。ノリ網削除と、それから諫早湾を埋め立てたらどうなるかというシミュレーションですか、それをやっておられましたけれど、これは目的は今の世代の漁業者が生活できるためにと、それと次の世代も生活できるための有明海を取り戻すという事が目的であると、そうしますと今のそういうテーマの取り上げ方というのは漁業者は余り喜ばないだろうと思うのです。余り適切ではないという印象を受けました。それから汚染負荷の話が出ましたが、この汚染負荷というのは河川からの汚染負荷の他に、もう１つ調整池のヘドロがあるわけです。調整池のヘドロというのは、こういうような状態なのですけれど、調整池の中ではこの状態と今の諫早湾内の泥というのは同じなのです。この泥というのは下の泥なのですが、これは北排水門の近くのヘドロなのです。これは硫化物含量が４２０ｐｐｍ、去年の値ですが４２０ｐｐｍもあるのです。これが排水の度ごとに３００万トンから出ますから、これが有明

海に流れ出ているわけです。これが陸水からの汚染というテーマであるならば、調整池からの汚染負荷というものを必ずこれは計算に入れなければならないのであります。佐賀大学の関係者の、佐賀大学の研究者のこの研究発表の中にも、調整池からの汚染とか流量とかＳＳとか、そういうものが殆んど入ってきていないのですけれど、これは佐賀大学さんと相談されて必ずこれを汚染負荷というもの、これは膨大です。ヘドロであり、それから COD も非常に高いようです。それから粒度が小さいですから、１０ミクロン以下が６０％しかない、これは調整池内も外も同じです。私は４年位前から調べておりますので、これは分析データを、自分でやったのではない、分析機関でやっていますから、この値は正しいわけです。ですからこういう調整池のヘドロの汚染負荷というものを佐賀大学さんときちんと相談されて、入れていく事が必要であると考えます。

【 いであ(株)大阪支社　副支社長　堀家 健司 】

はい、どうも有難うございます。

最初のご指摘ですけれど、私は専門は水産学部を出身していますので、このプロジェクトもやりながら常に漁業者のいい様になるような事を考えてやっています。例えば諫早湾を埋め立てというお話を例に取られましたけれど、言いましたようにこれはモデルですので、模型ですので自由に使えるのだけれども、その目的というかその心が何かと言うと、諫早湾を埋め立てしたらどうなるかという事ではなくて、諫早湾がいかに大事かという事を言いたいがためにこういう計算をしたので、そこはちょっとご指摘と実際の私の思いとは違っていると、出来たらそう理解をして頂きたいと思います。

それから、もう１つ最後の方の干拓地の調整池の負荷のお話ですけれど、ちょっと私も情報が余り持ち合わせていませんので、そういう情報があれば、それから今お話あったように佐賀大学の先生方とも相談させてもらいながら、出来るだけ現実に近いような形で、勿論計算するのは当然の事ですので、少し検討したいと思います。

【　質問者　：　佐賀大学　古賀　】

佐賀大学の古賀です。今日は、非常に興味あるお話を有難うございました。幾つか教えて頂きたいのですけれど、成層度、シミュレーションによって過去に比べて成層度が大きくなっているというご発表だったのですが、諫早湾内の成層度はどうだったかという事が１つ、それからこういう成層度、または底層における DO の変化等を計算するという、所謂鉛直混合能力が非常に重要なのですけれど、シミュレーションの中でその評価がどうされていたのか、というのは所謂鉛直護岸の影響があるのではないかという事で、格子を１つ陸域に取って海にしてというのをやられていましたね、その結果が私見落としたのですけれどそれがどうだったかというのと、そういう事をやった時にある程度干潟が計算上再現された事がなかったとは思うのですが、干潟の所謂物理効果をそういうふうにやっても過小評価する結果になるのではないかという気がするのです。というのはどういう事かというと干潟というのは水深が非常に小さいですから結構潮流速大きいのです。それからもう１つは波が来ますけれどやっぱり水深が段々小さくなるから、沖で非常に波が小さくても、その辺に来ると結構波高が大きくなって混合能力が結構大きい、そうすると干潟があると所謂鉛直混合能力が非常に大きい。だから河川水がその辺を通過しながら流れていくと結構混ざった形で出てきたので、その辺がシミュレーションで本当にきちんと評価されていれ

ばいいのですけれど、そうでないと過小評価、干潟の混合能力、物理効果の過小評価につながるのではないかという気がするのですけれど、その辺いかがでしょうか。

【 いであ(株)大阪支社　副支社長　堀家 健司 】

最初の成層度ですけれど諫早湾の中の成層度はまだというか今、計算してませんでして、先程お示しした４点の所抽出してやっただけですので、先生ご指摘のようにちょっと諫早湾内についても代表点を設定しまして計算をしてみたいと思います。それから鉛直混合の話ですけれど、あくまでも人工海岸だというメッシュの所の陸側に、要するに干潟にしたというか同じ水深の物を作ったという事ですので、そうすると人工海岸の所は恐らく直行護岸だろうと、だから直行護岸でそこに流れがぶつかっているけれど、そこをフラットにする事によって要するに直行護岸に、要は直行する流れが増幅されて、全体としていい効果を生むのではないかというような気持ちで計算したのだけれど、そこのメカニズムについてまだ見ていないのと、それから単にそのメッシュを増やしただけではなくて、先程の湾の長さとかそれから平均水深にしてもそうですけれど、それだけではなくて、やっぱり湾の形状の複雑さとかそういったものによっても、かなり流れも当然変わって来ると思いますので、やはりより海になると言うか、そういうふうな事になる事によって海岸性状も変わって少し地形も複雑になって、それで増幅されるのではないかなというような思いがあったのですけれど、只それがどういうふうに表れるのか或いはそれを検証出来るのかという事については、ちょっと今後の課題とさせて頂きたいのですけれど、先程、１番最初に言いましたように流れの専門家の武内とそれから生態系モデルの専門家の畑を一緒に３人でお答えしたいと思うのですけれども。

【 いであ(株)大阪支社　担当者 】

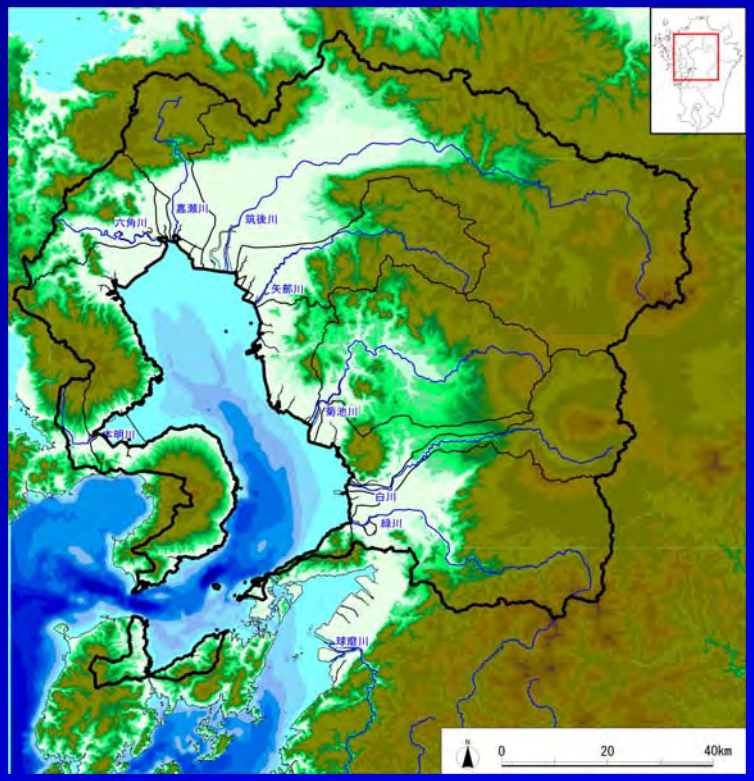
すみません、ちょっと誤解となっているかどうか分からないですけれど、一応今後流れのモデルにつきましては一般的なモデルというのは一応入れていますので、そういった意味でマクロな意味での混合の過程というのは一応入っているとは思うのですけれど、残念ながらその９００メートル格子というような解像度の問題と、後、今回のモデルの大きな取り組みの大きな課題として俯瞰的に有明海を捉えようという図がございましたので、そこで非常に細かな所までは、まだちょっとモデルの中に入り込めていないという事がございますので、それは今堀家が申し上げましたように今後の課題という事にして、今後もその現地計測で、データと付き合わせをしながら適切にどのような効果を入れ込んでいくのがいいのかというのを検討していければというふうには思っております。

【　コーディネーター　：　佐賀大学 理工学部 准教授　大串 浩一郎　】

この後の総合討論で色々ご意見等を承りたいと思います。有難うございました。

Jun.9,2008

有明海生物生息モデルについて



いであ株式会社

堀家健司・畑　恭子・竹内一浩　ほか

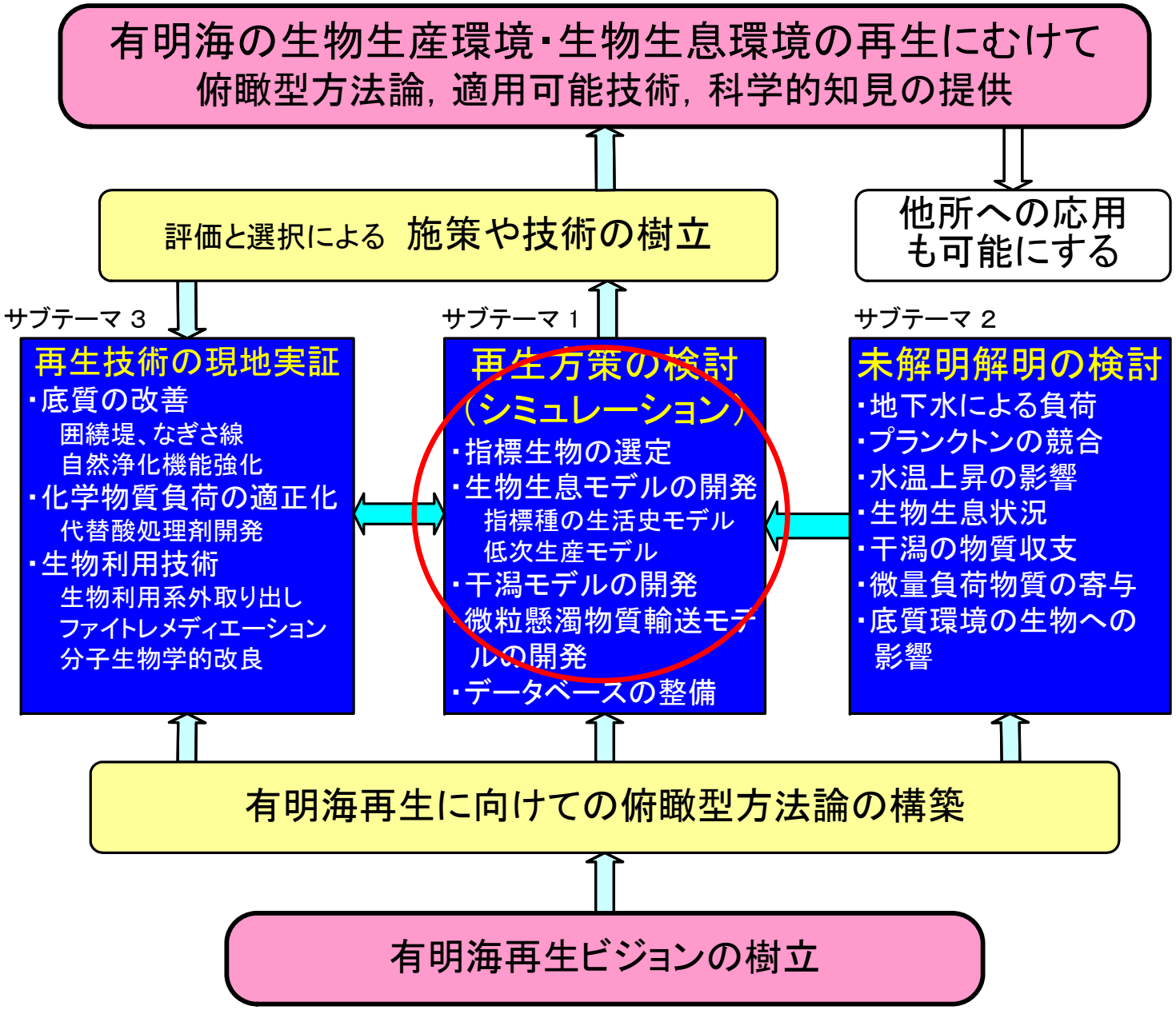
Contents

1. 文科省科学技術振興調整費「有明海生物生息環境の俯瞰型再生と実証試験」での数値モデルの役割
2. 生物生息モデル
   1) 有明海再生の指標種と再生目標
   2) 指標種の生活史モデル
   3) 流域モデル（分布型水流出サブモデル）
   4) 低次生態系モデル（流動，水質，底質サブモデル）
   5) 干潟モデル（熱収支サブモデル）
3. 有明海再生シナリオ
4. モデルの限界と今後の課題

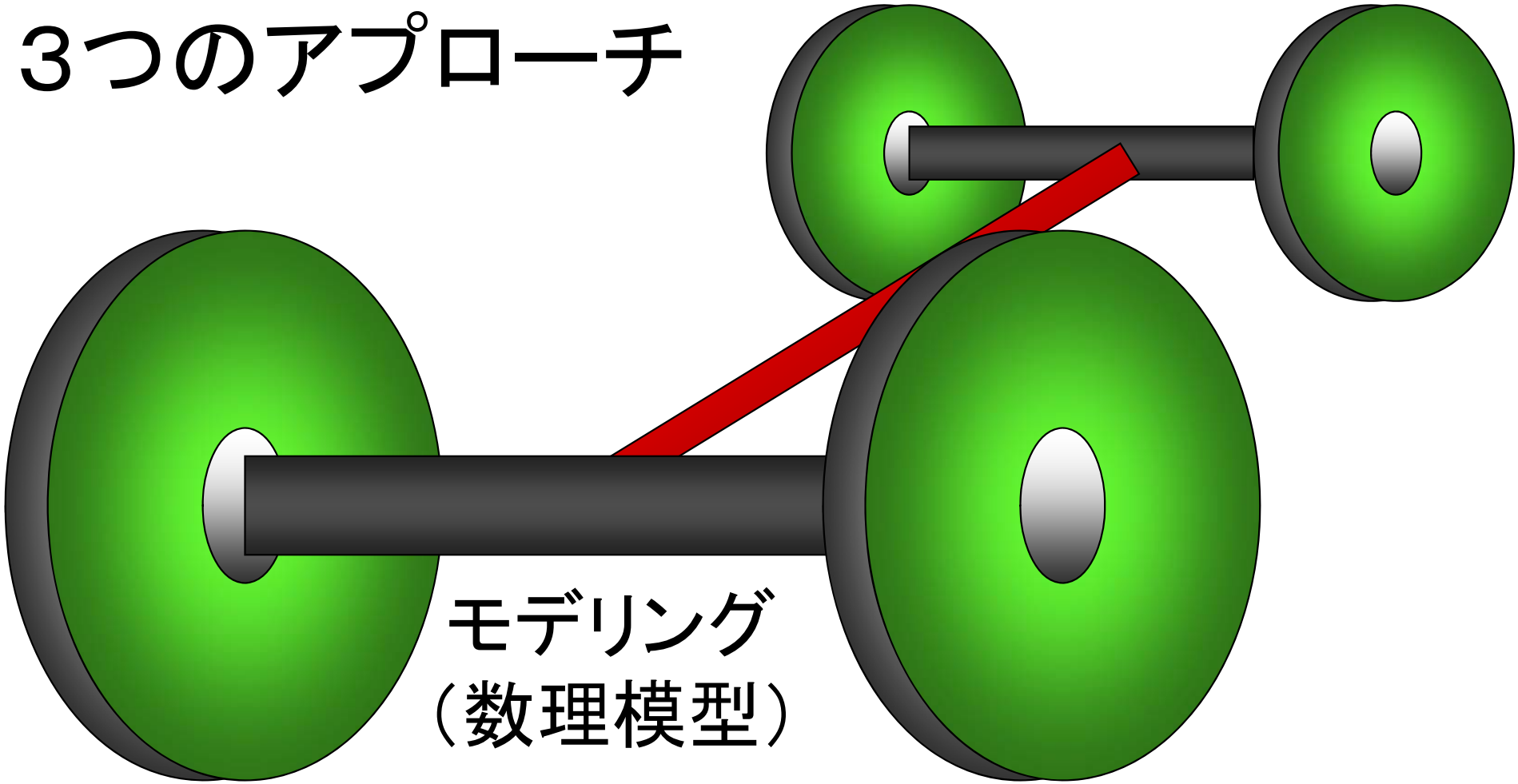
文部科学省科学技術振興調整費

有明海生物生息環境の俯瞰型再生と実証試験

研究代表者　楠田哲也（九州大学）



生態系管理のための
3つのアプローチ

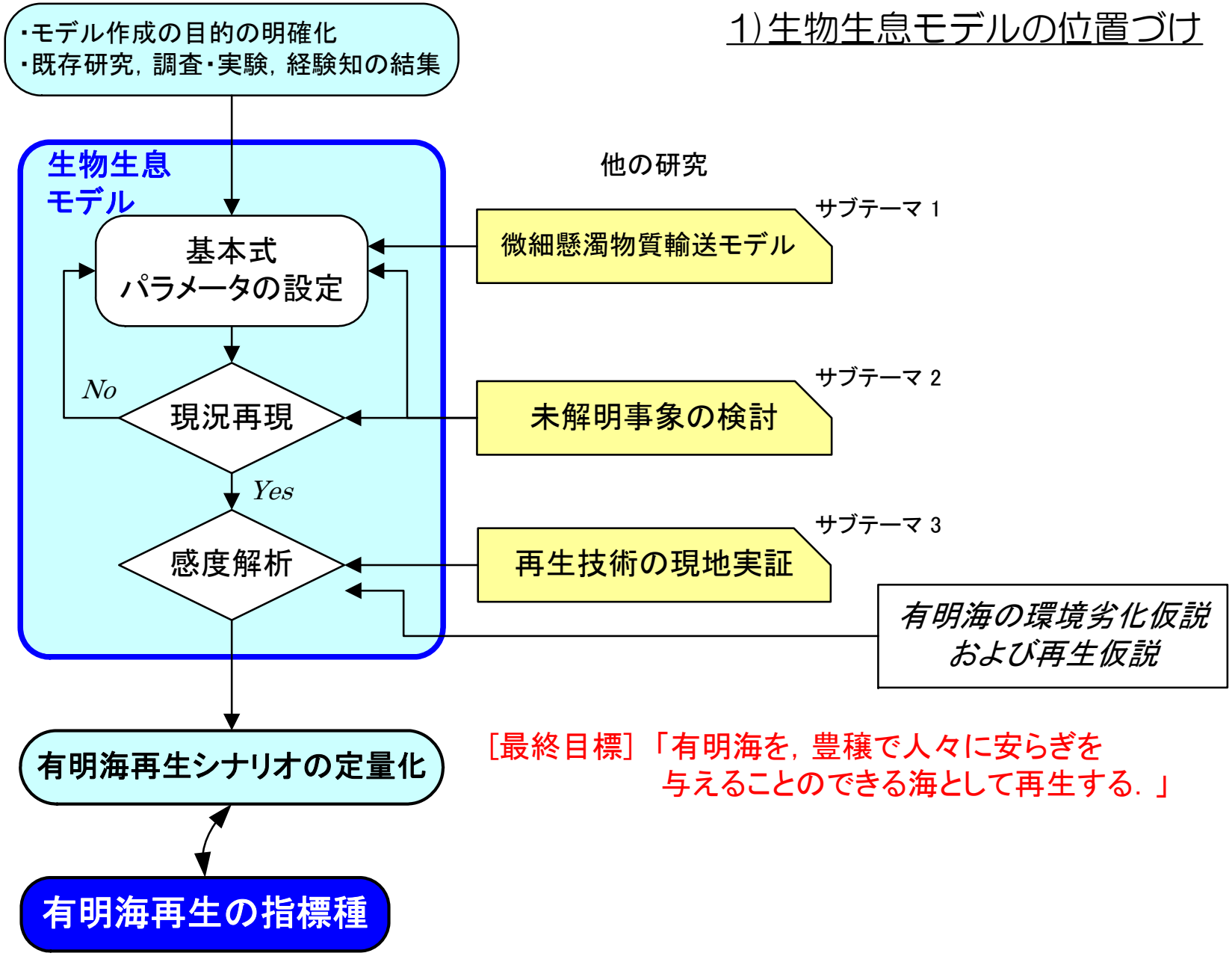


理論的アプローチ
（仮説）

実践的アプローチ
（観測）

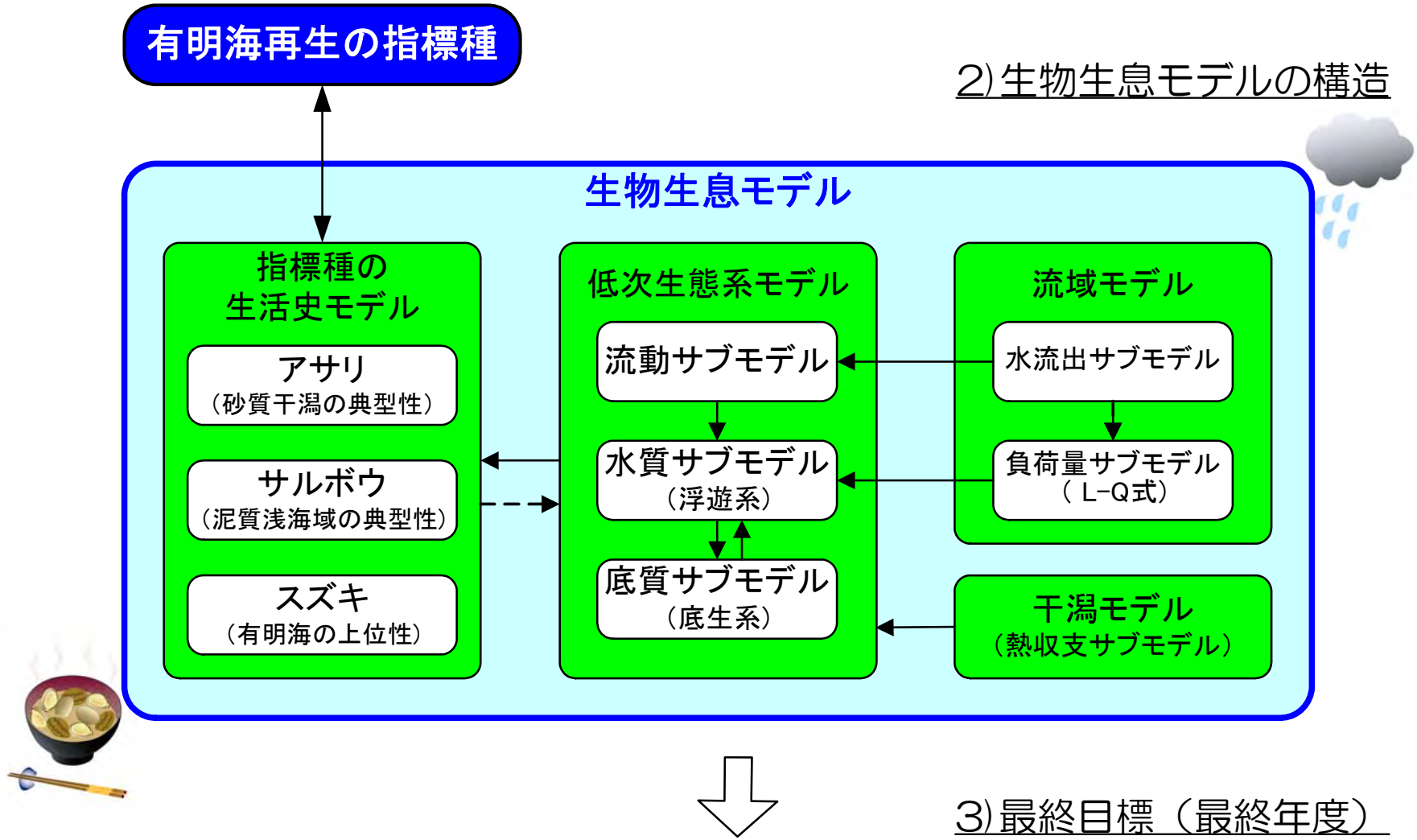
生物生息モデル

1)生物生息モデルの位置づけ



［最終目標］「有明海を，豊穣で人々に安らぎを
与えることのできる海として再生する．」

2)生物生息モデルの構造



3)最終目標（最終年度）

有明海再生支援ツールの提供
他海域に汎用できる陸域海域統合型生物生息モデル（**有明海モデル**）の開発
俯瞰型環境再生方法論（定量的アプローチ）のまとめ

生物生息モデルの基本設計

モデル	サブモデル	計算領域，水平格子，層分割	計算タイムステップ	主な変数
指標種の生活史モデル	アサリ サルボウ スズキ	主漁場5ボックス程度 浮遊幼生期は有明海全域	1日．浮遊幼生の輸送・着底は流動サブモデルによる	CPUE，漁獲量
低次生態系モデル	流動	有明海～外海を900～2,700mの可変格子，有明海は900m格子．水深0～3m，3～15m，15m～海底を各5層（最大15層）	平面二次元モード：2秒，鉛直三次元モード：60秒	流向・流速，水温，塩分
	水質（浮遊系）	同上	１時間	SS，DO，栄養塩，懸濁有機物，Chl.a
	底質（底生系）	浮泥層，泥深100cmを15層（吸脱着層，撹乱層，固層）	１時間	堆積有機物，間隙水栄養塩，Chl.a
干潟モデル	熱収支	熊本港野鳥池6ボックス 水中1層，底泥（1m深）10層	30秒	水温，泥温
	泥質干潟生態系	熊本港野鳥池3ボックス 水中1層，底泥は好気層・嫌気層の2層	30秒	栄養塩，懸濁有機物，堆積有機物
流域モデル	水流出	有明海流域を500m格子	1時間	河川流量
	負荷量	流入河川ごとのL-Q式	1時間	流入負荷量

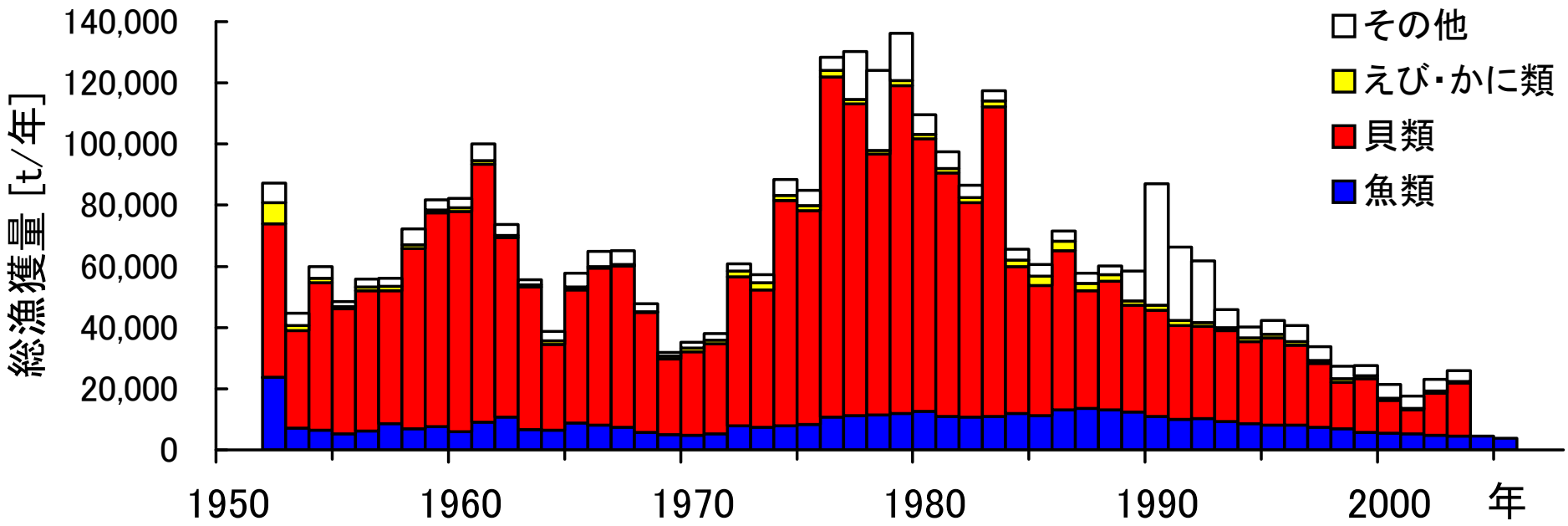
有明海再生の指標種

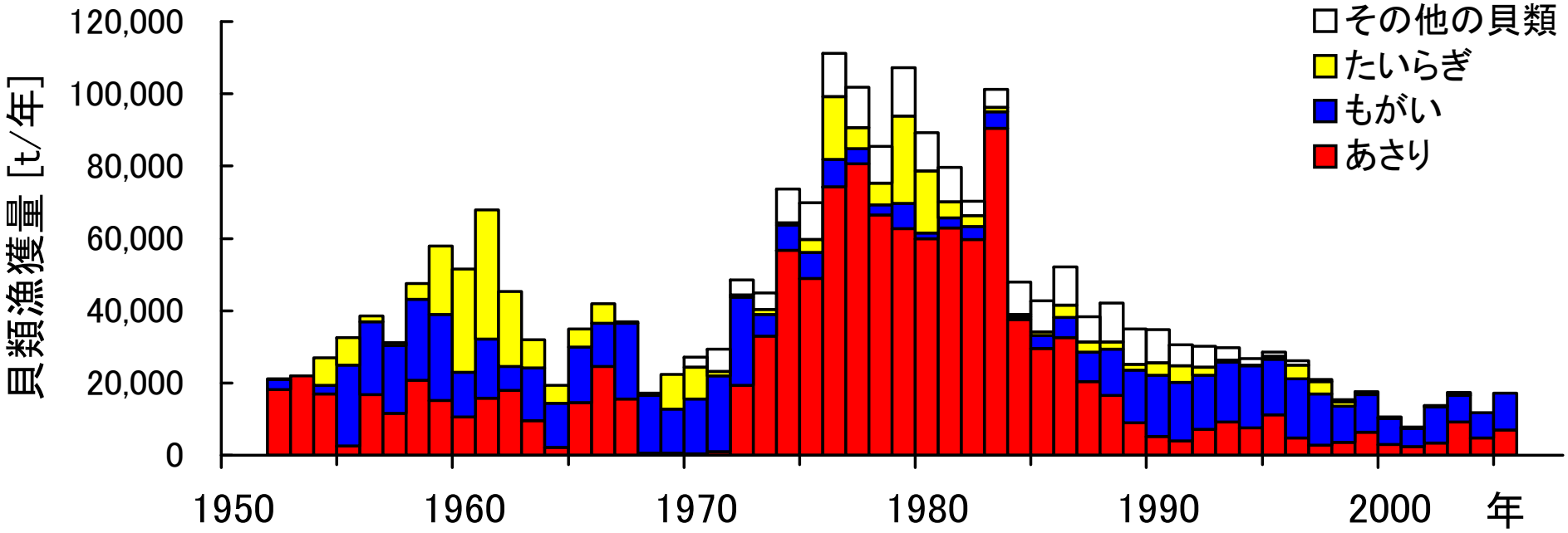
有明海の
上位性：**スズキ**

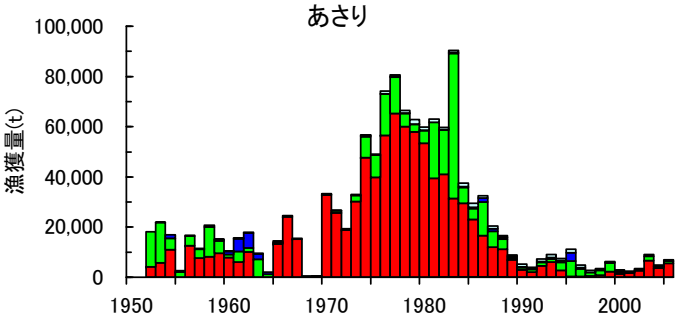
砂質干潟の
典型性：**アサリ**

泥質浅海域の
典型性：**サルボウ**

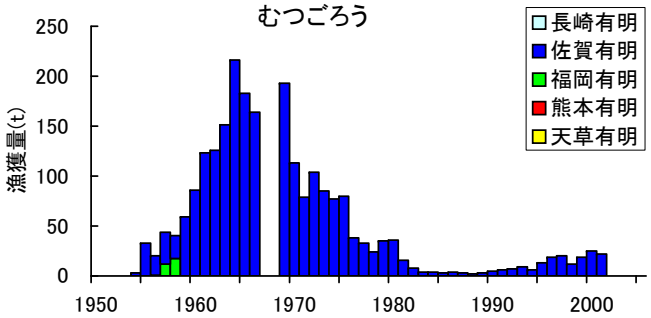
＜指標種候補＞
上位性：
　スナメリ
典型性：
　タイラギ
　アゲマキ（過去）
　ムツゴロウ
　シログチ
　コウライシタビラメ

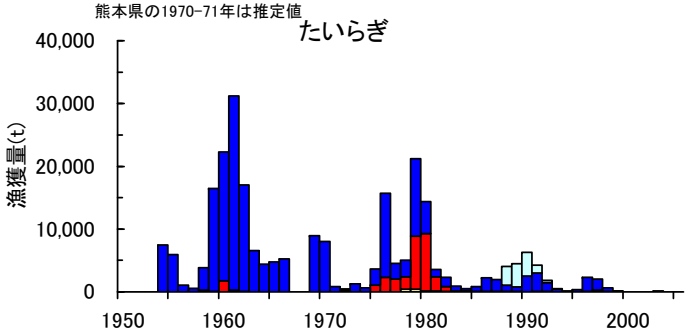

総漁獲量 [t/年]
140,000
120,000
100,000
80,000
60,000
40,000
20,000
0
1950
1960
1970
1980
1990
2000
年
その他
えび・かに類
貝類
魚類

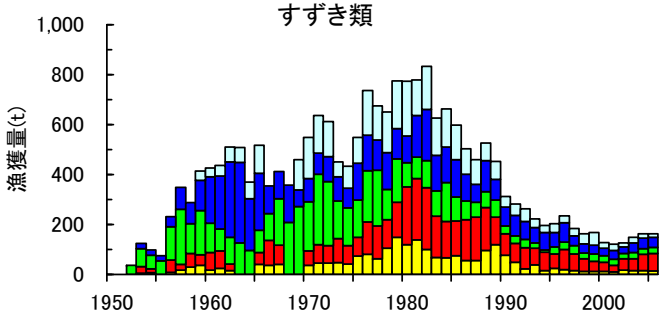

貝類漁獲量 [t/年]
120,000
100,000
80,000
60,000
40,000
20,000
0
1950
1960
1970
1980
1990
2000
年
その他の貝類
たいらぎ
もがい
あさり



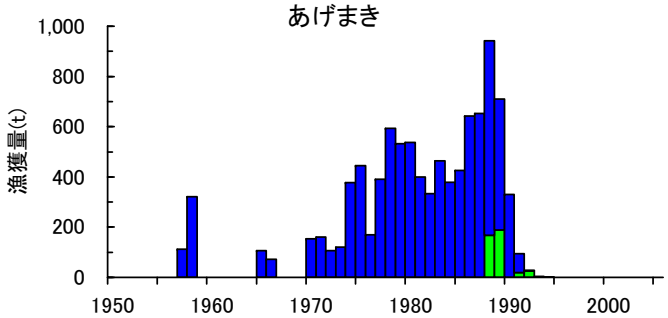
注）1955、1963、1964、1968、1969年の熊本県の海区別・魚種別漁獲量は入手できていない
熊本県の1970-71年は推定値



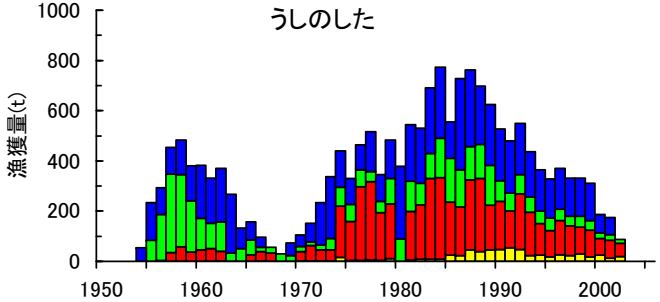




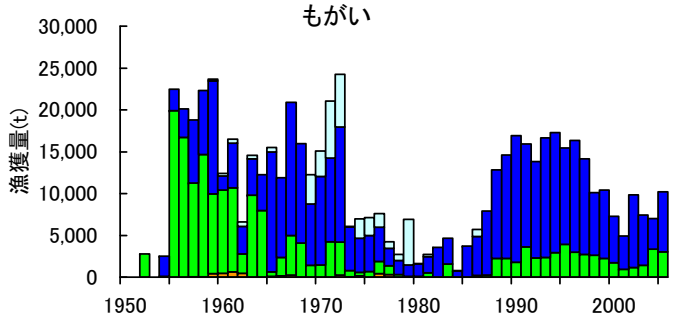
注）1955、1963、1964、1968、1969年の熊本県の海区別・魚種別漁獲量は入手できていない
熊本県の1970-71年は推定値

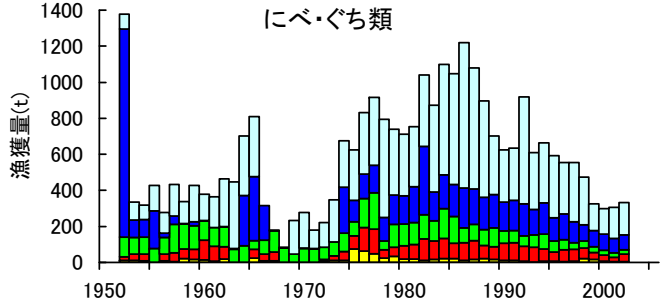


注）1955、1963、1964、1968-1972年の熊本県の海区別・魚種別漁獲量は入手できていない



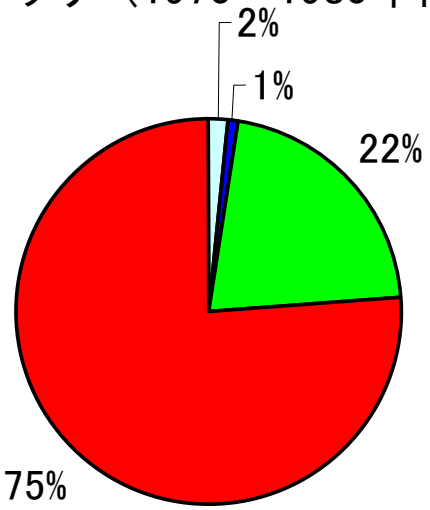
注）長崎県は「かれい類」のみの統計値なので、入れていない
熊本県の1965-67年、1970-71年の5年間は推定値、1963-64年、1968-69年は未入手



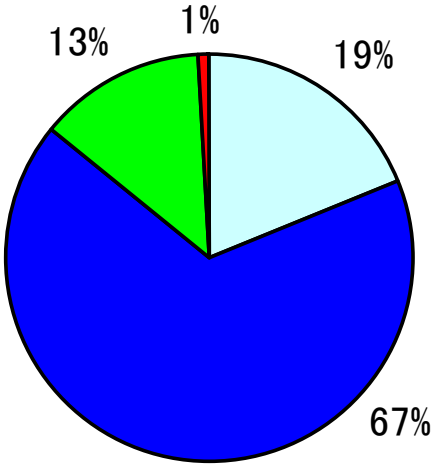


注）1955、1963、1964、1968-1972年の熊本県の海区別・魚種別漁獲量は入手できていない

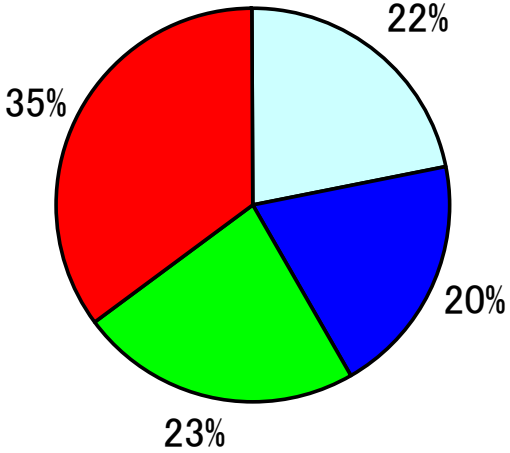
アサリ（1970～1980年代）



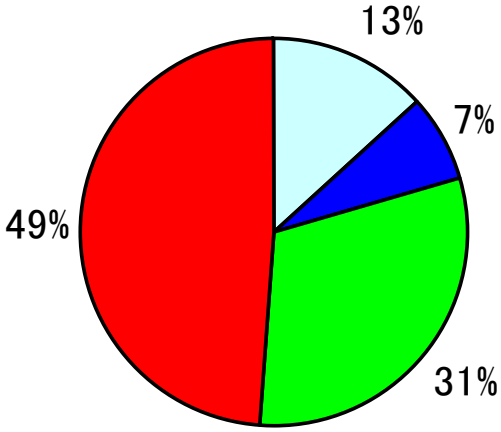
サルボウ（1970～1980年代）



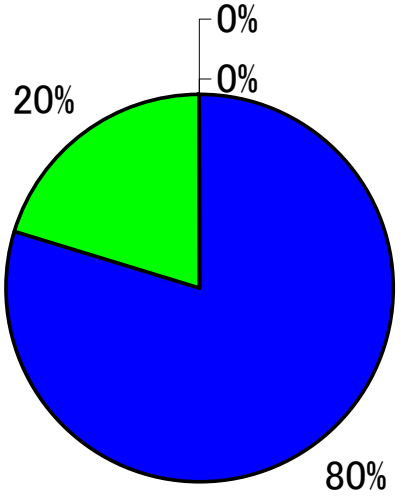
スズキ（1970～1980年代）



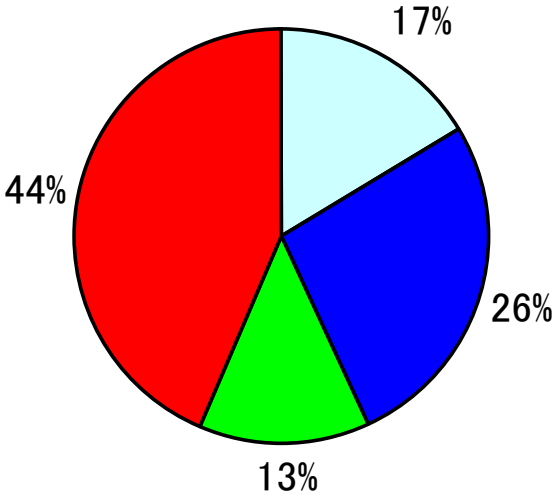
アサリ（1990～2000年代）



サルボウ（1990～2000年代）



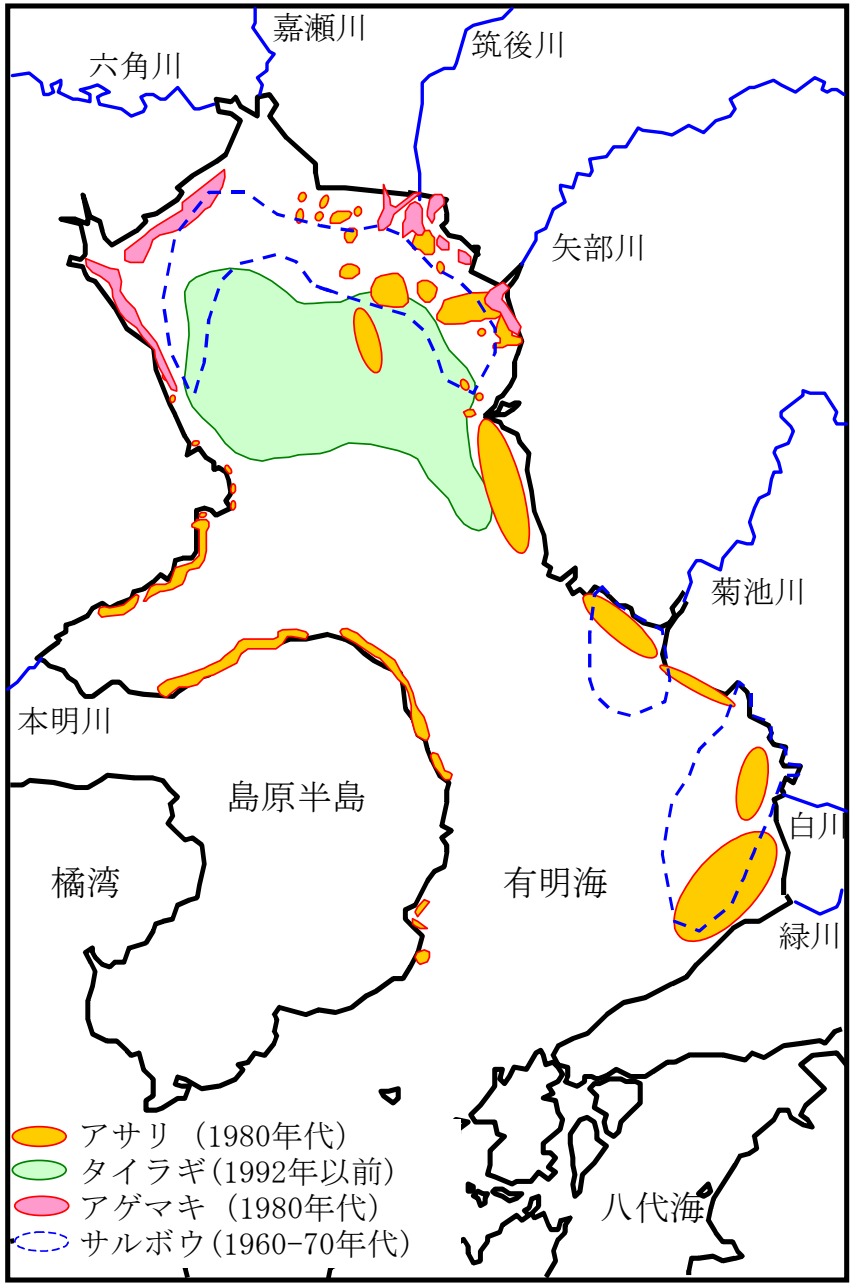
スズキ（1990～2000年代）



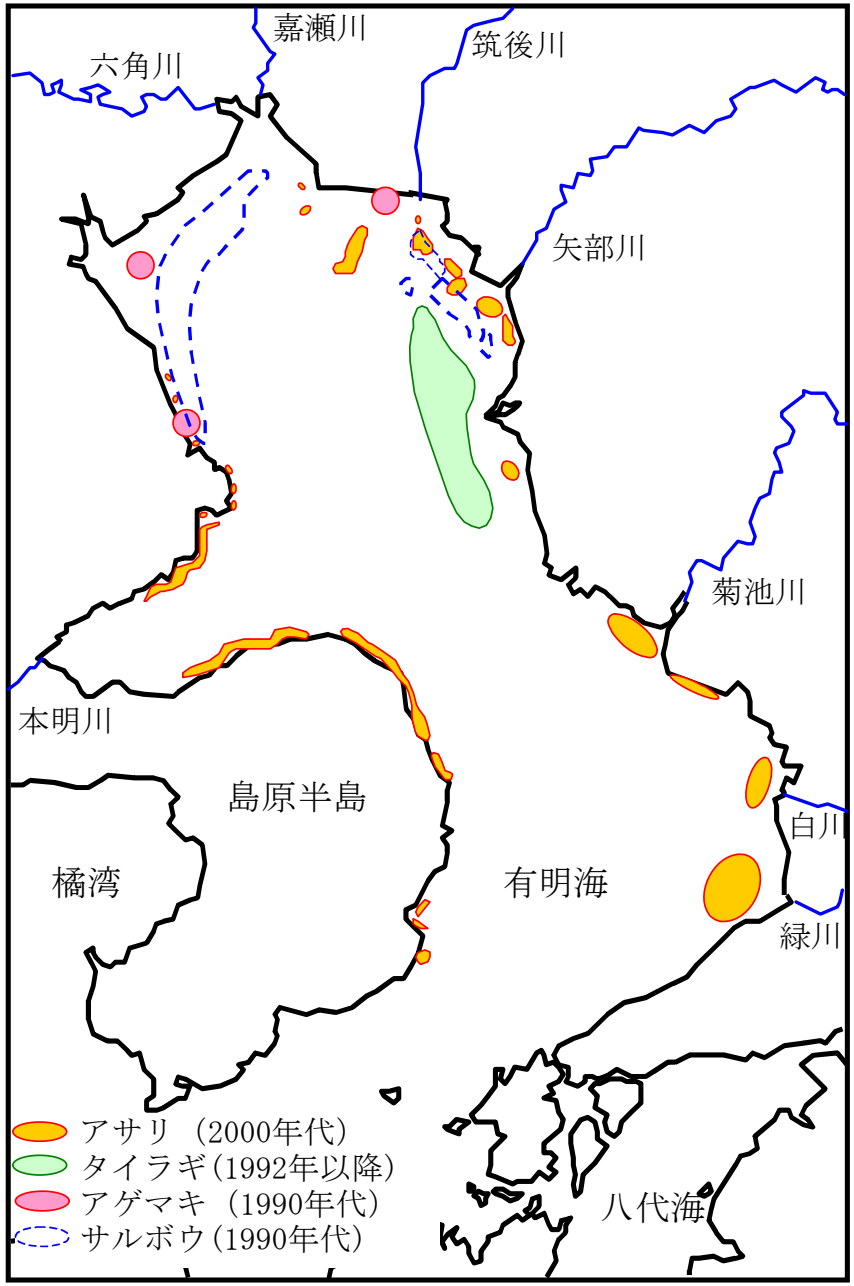
□長崎県 ■佐賀県 ■福岡県 ■熊本県

貝類漁場の変遷

a） 1960～1980年代

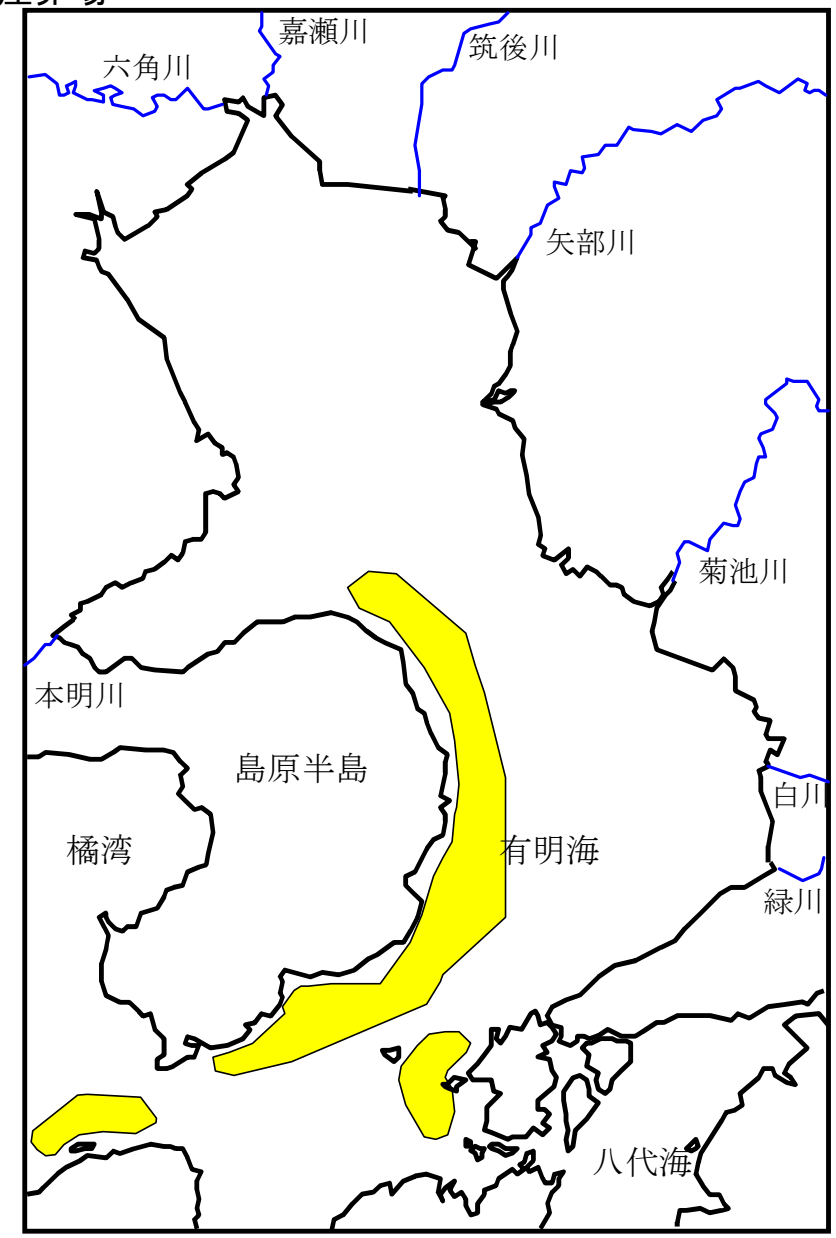


b） 1990～2000年代

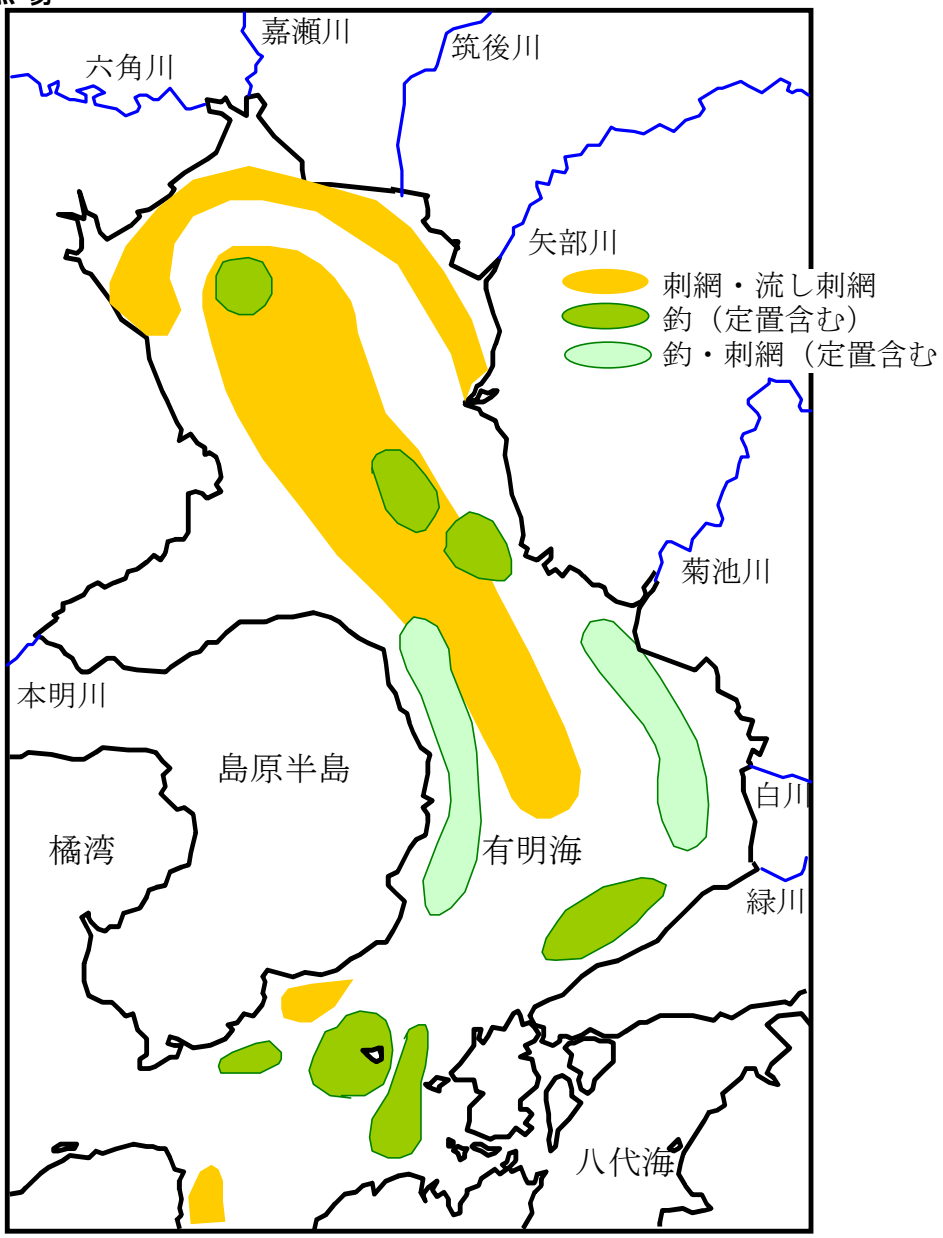


スズキの産卵場，漁場

a) 産卵場



b) 漁場



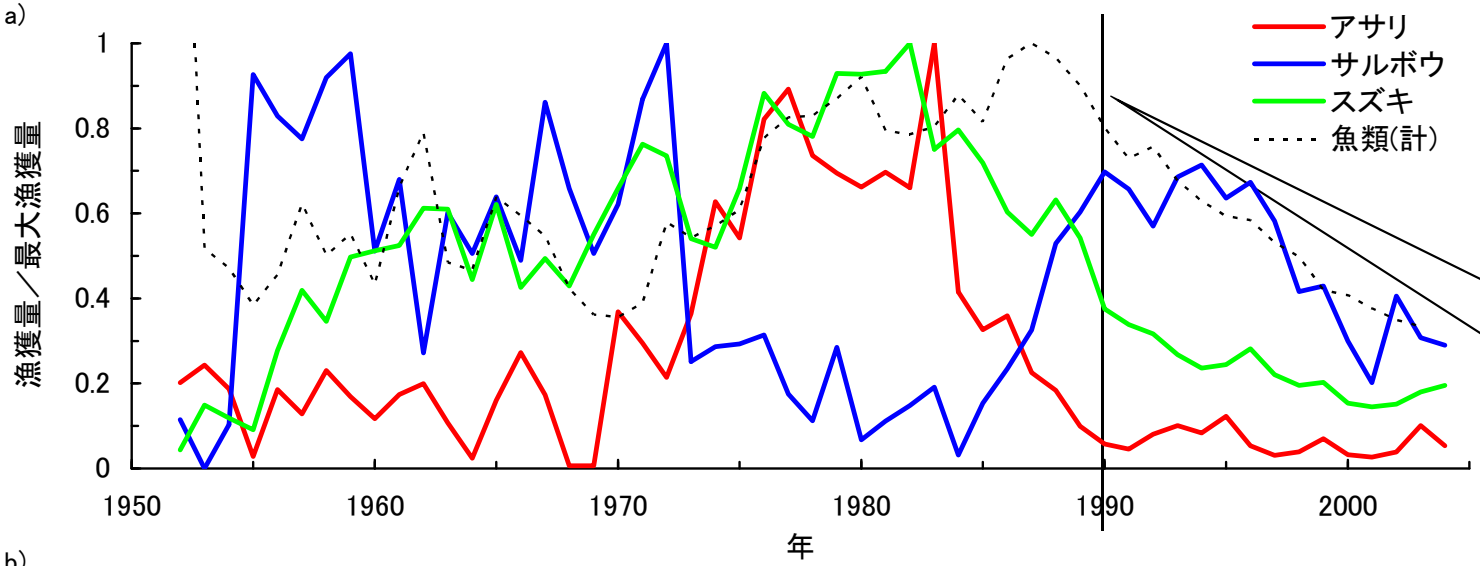
再生目標値と達成年次

再生指標３種が10年後に目標を達成する.

	年間漁獲量	達成年次
• アサリ	14,000t	6年後（2013年）
･･･7,000tを安定して漁獲（熊本県）		
• サルボウ	16,000t	8年後（2015年）
･･･10,000tを安定して漁獲量（佐賀県）		
• スズキ	400t	10年後（2017年）
･･･過去最大漁獲量の1/2を安定して漁獲		

指標種の漁獲量の推移と再生目標値

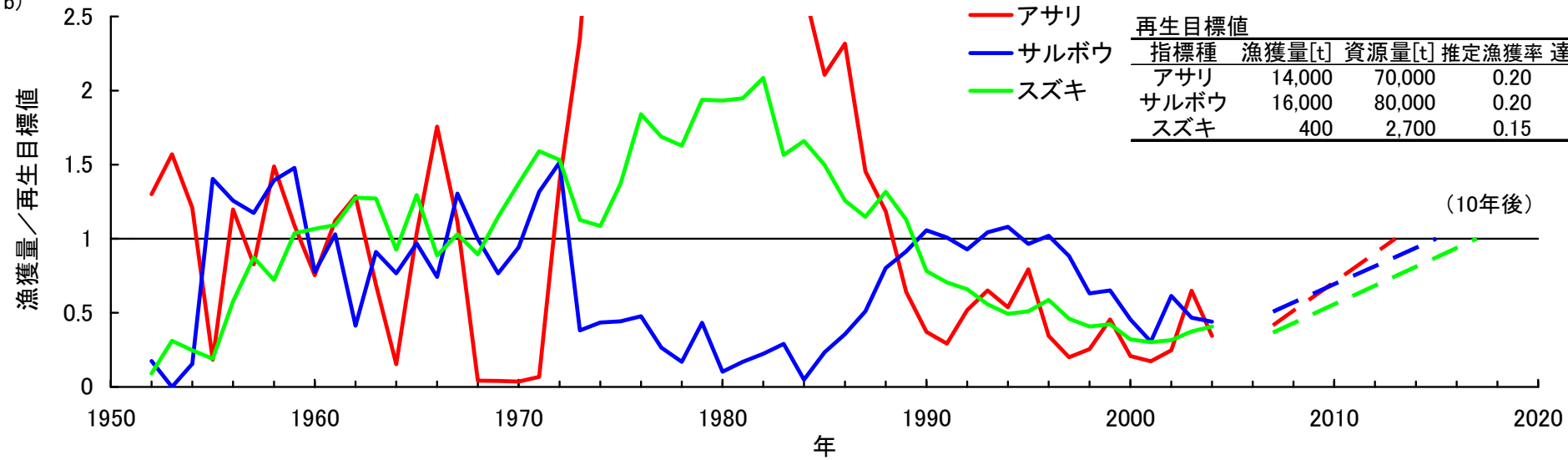
a)



指標種	最大漁獲量[t]
アサリ	90,386 (1983年)
サルボウ	24,252 (1972年)
スズキ	834 (1982年)
(参考)魚類(計)	13,657 (1987年)

1990年以降，
アサリは低迷し，
サルボウ，スズキは
減少している．

b)



再生目標値

指標種	漁獲量[t]	資源量[t]	推定漁獲率	達成年次
アサリ	14,000	70,000	0.20	2013
サルボウ	16,000	80,000	0.20	2015
スズキ	400	2,700	0.15	2017

指標種の生活史モデル

1. コホート単位の成長・生残モデル
2. 発育段階ごとの環境適応性を評価→時間（年齢，季節）と空間の解像力を高める
3. 環境変化（外部環境）による資源変動（内部環境）の応答を評価
4. 成長によって異なる代謝特性を持つ→水質浄化等の環境エンジンとしての生物機能を評価
5. 水産経済評価

生活史モデルの基本式

成長： $dL/dt = \boldsymbol{G}(L_\infty - L),\ W = aL^b$

生残： $dN/dt = -(\boldsymbol{M}+F)N + R$

漁獲： $dY/dt = FNW$

再生産： $H = n\sum_i s_i r_i h_i N_i$

環境影響： $\boldsymbol{G},\boldsymbol{M} = g\{f_1(x_1), f_2(x_2), \cdots, f_n(x_n)\}$

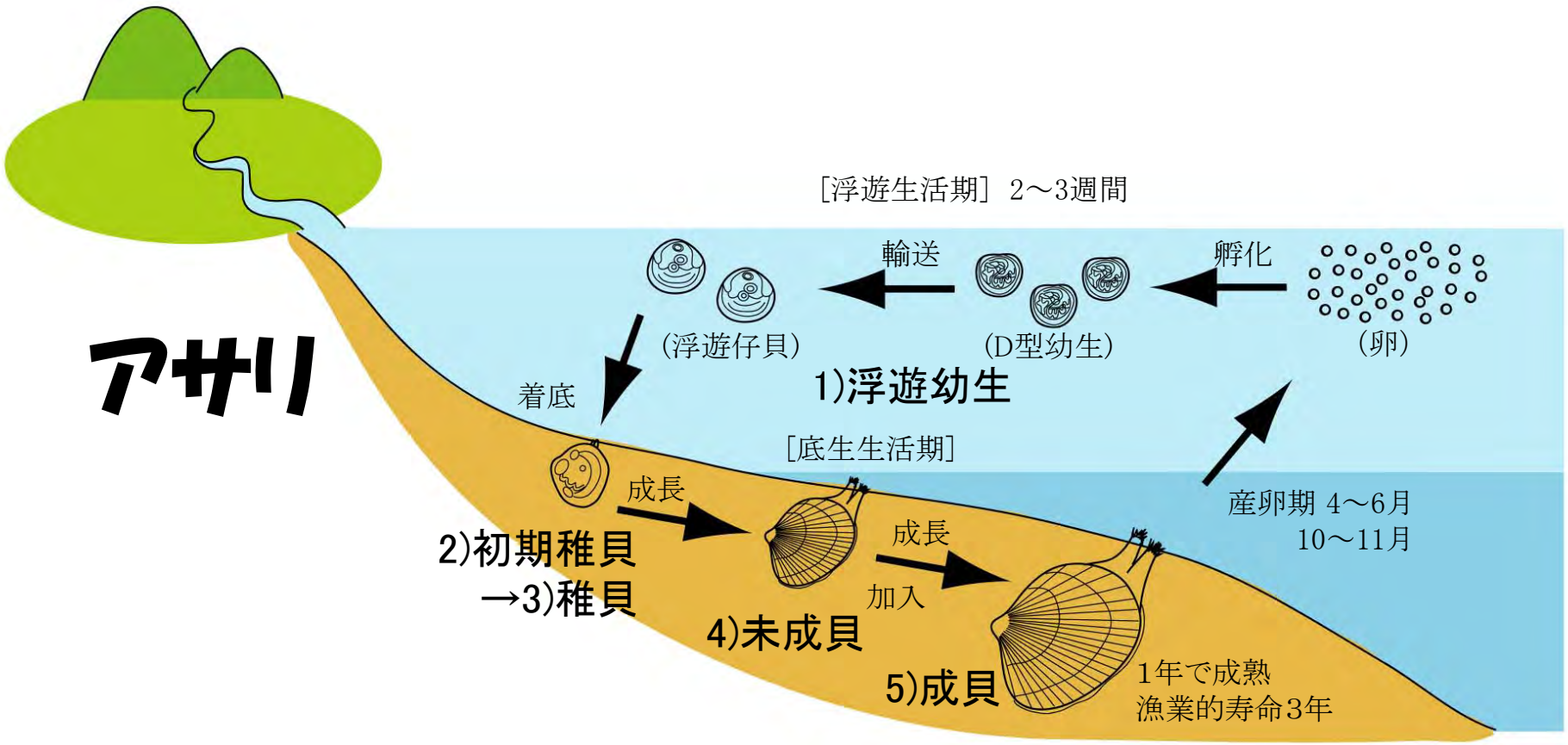
L	体長	$\boldsymbol{G}$	成長係数
L_∞	極限体長	$\boldsymbol{M}$	自然死亡係数
W	体重	F	漁獲係数
N	資源尾数	n	産卵回数
Y	漁獲量	s	♀の割合
H	総産卵量	r	群成熟度
R	種苗放流量	h	産卵数
a,b	定数	x	環境因子 ←（低次生態系モデル）

$\boldsymbol{G}$, $\boldsymbol{M}$は環境(x)の従属関数

指標種の生活史モデルでの条件設定

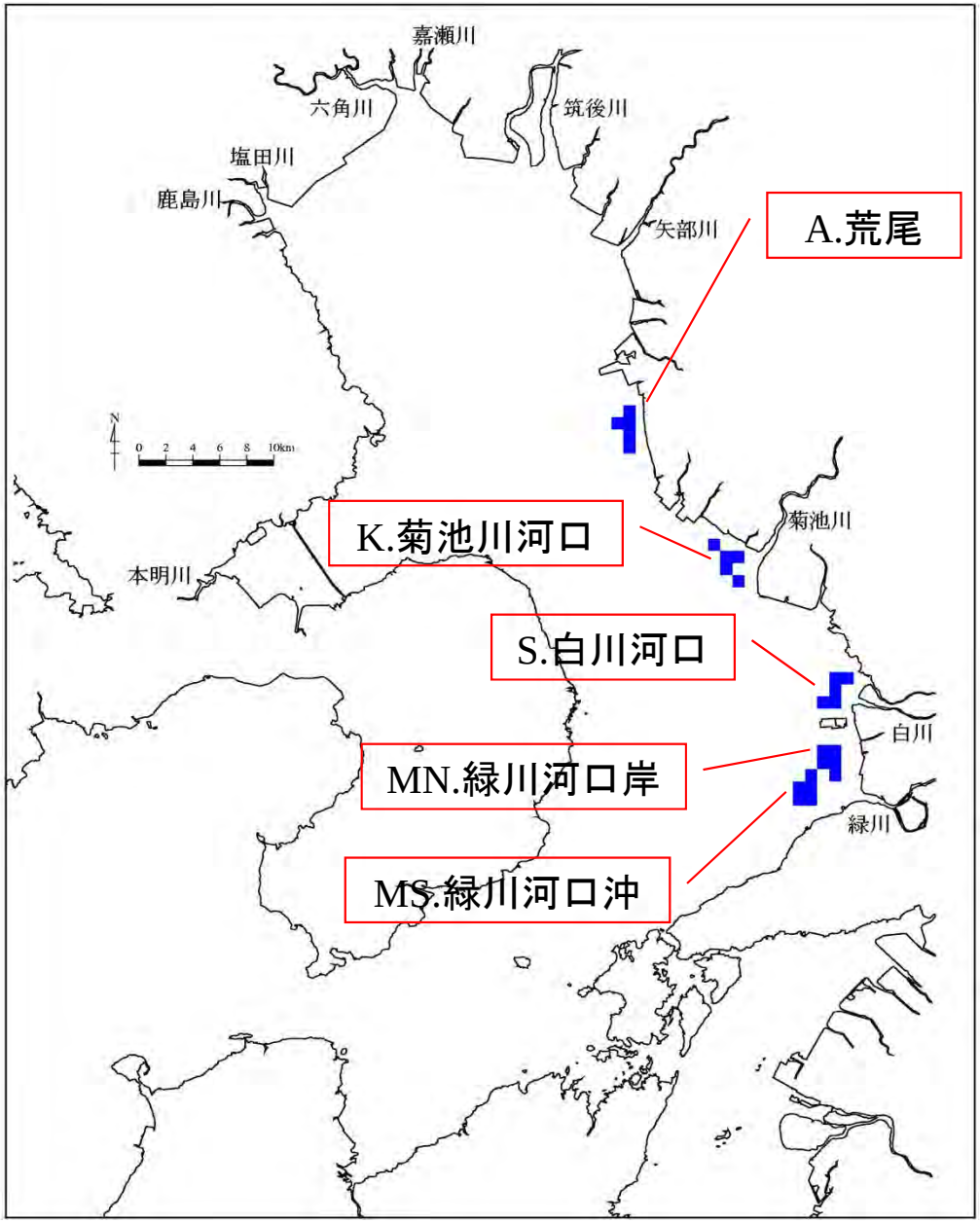
項目	アサリ	サルボウ	スズキ(案)
生活史区分	1)浮遊幼生 2)初期稚貝 3)稚貝 4)未成貝，5)成貝	1)浮遊幼生 2)付着稚貝 3)底生稚貝 4)未成貝・成貝	1)卵・仔魚 2)稚魚（河川加入群，干潟加入群） 3)未成魚 4)成魚
主な産卵期	4月～6月， 10月～11月	7月～8月	11月～3月
産卵回数	多回産卵 （年5回とした）	多回産卵 （年4回とした）	年２回
浮遊期間	2～3週間	10日～3週間	3～4ヵ月
生物学的最少形	殻長20mm（1年）	殻長15mm（1年）	体長340mm(2年)
性比	１：１	１：１	１：１
漁獲開始体長	殻長20mm	殻長30mm	体長240mm
寿命（生物学的寿命）	3年（9年）	5年（10年余）	９年（11年）
季節移動	なし	なし	春～夏：湾奥・沿岸域 秋～冬：湾口・沖合域

アサリ（*Ruditapes philippinarum*）の生活史

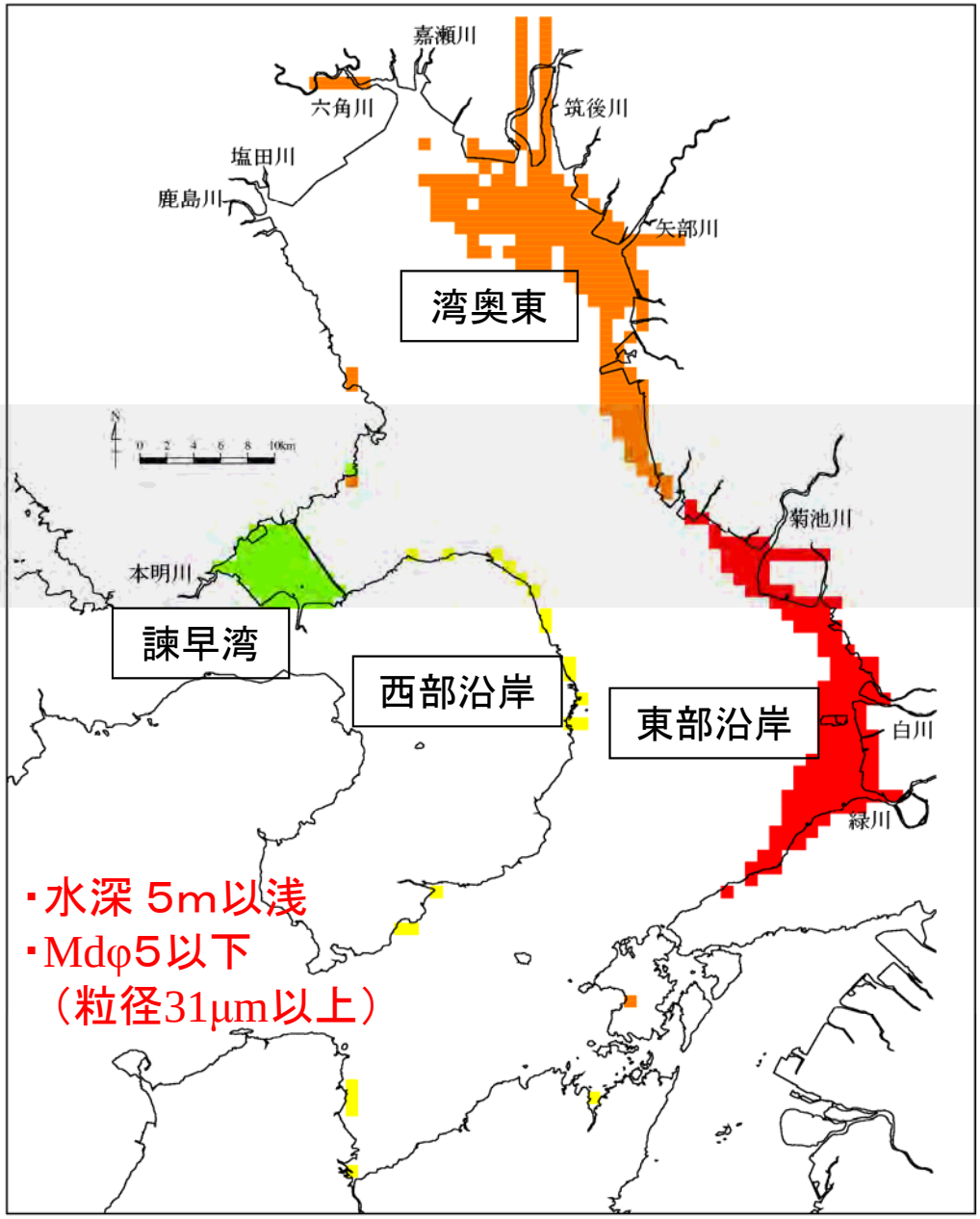


砂質干潟の典型性（東部沿岸域）

アサリ産卵場

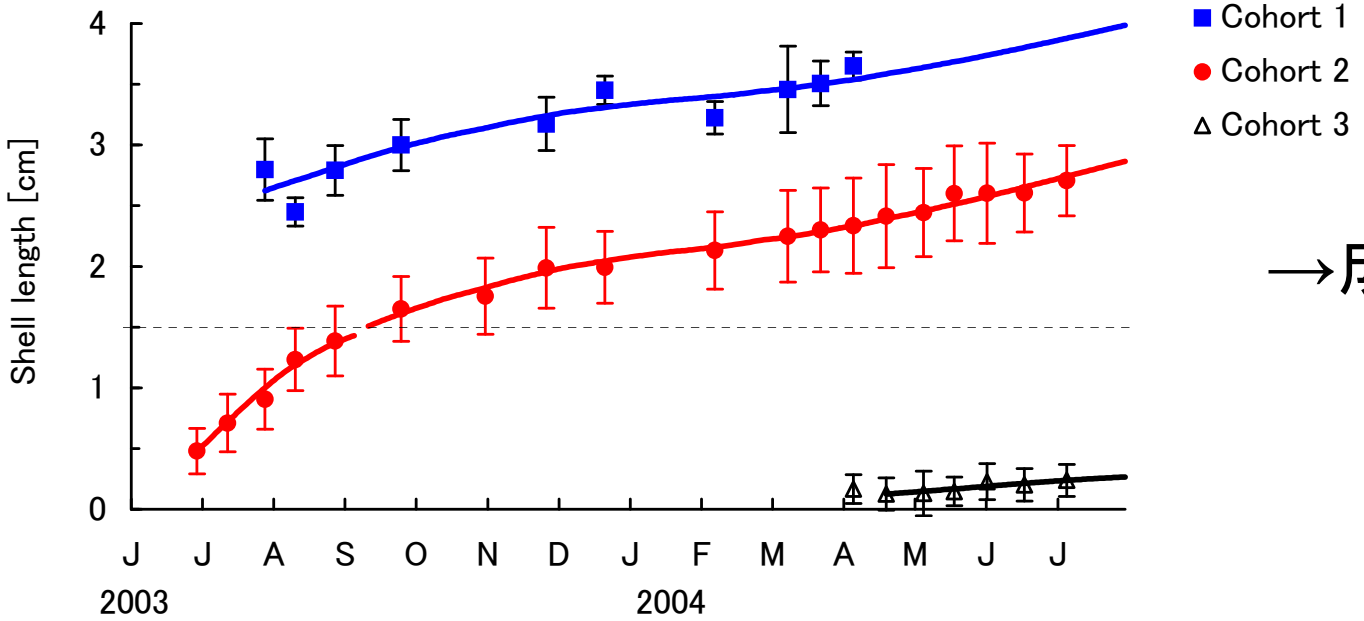


アサリ着底場



熊本県大　堤研究室，
山口（2005）のデータより

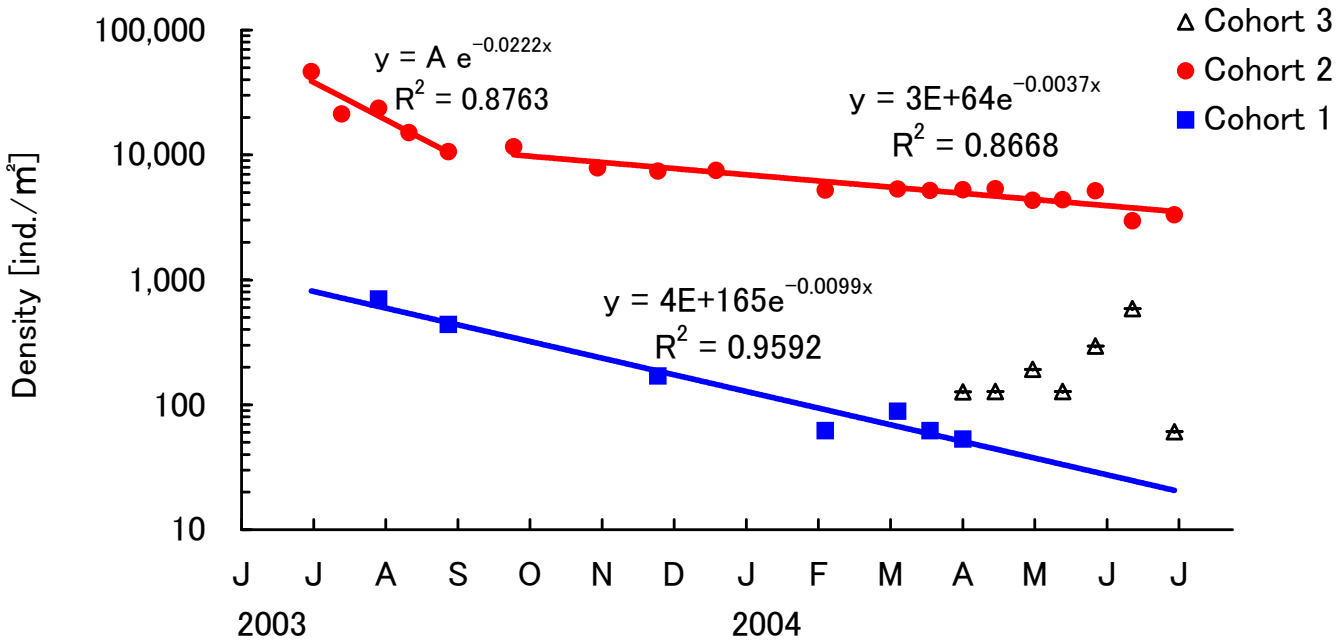
a)



→成長係数

(G)

b)



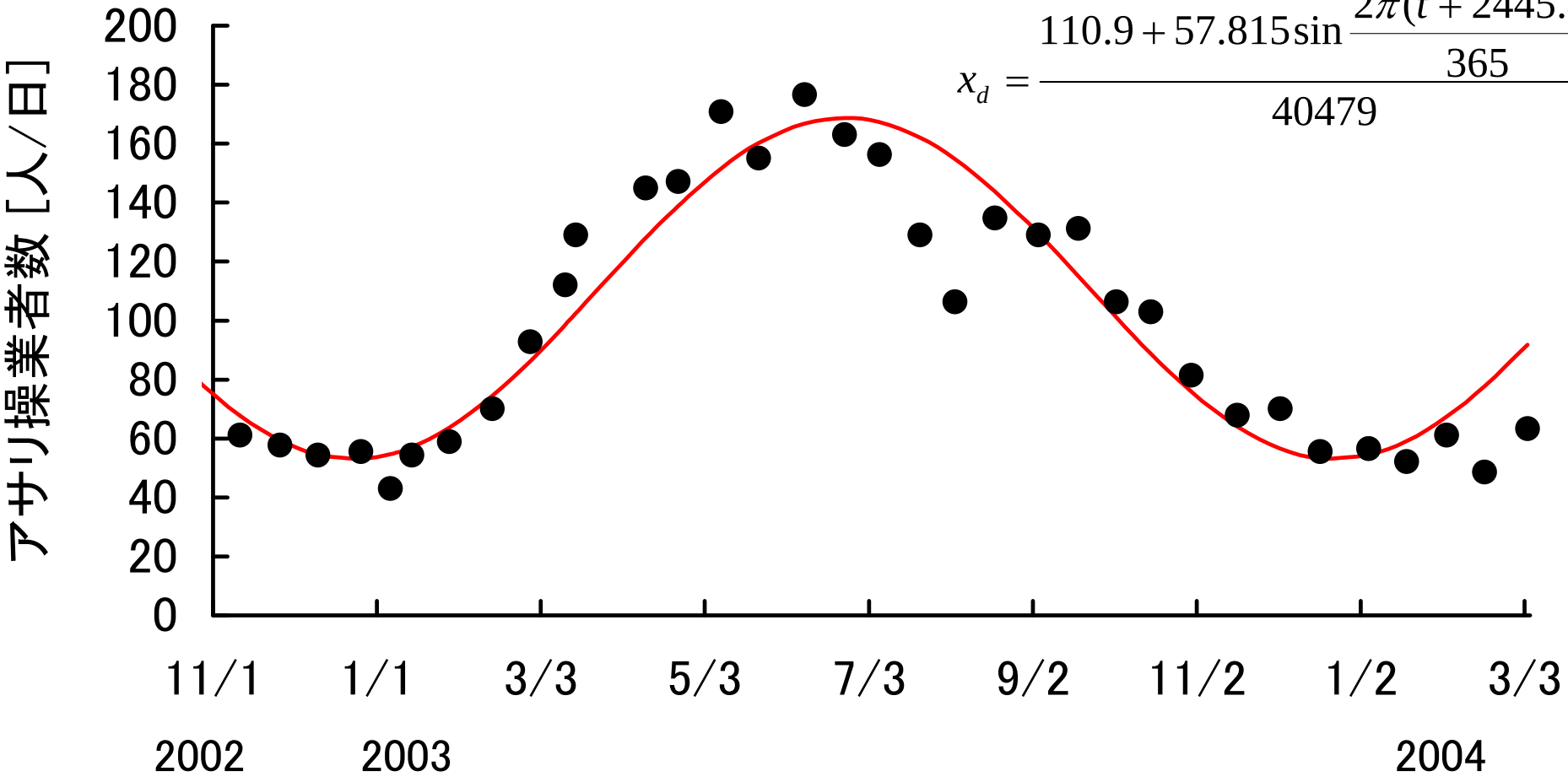
→自然死亡係数

(M)

アサリ漁獲努力量の季節変化

$$X = x_d X_y$$

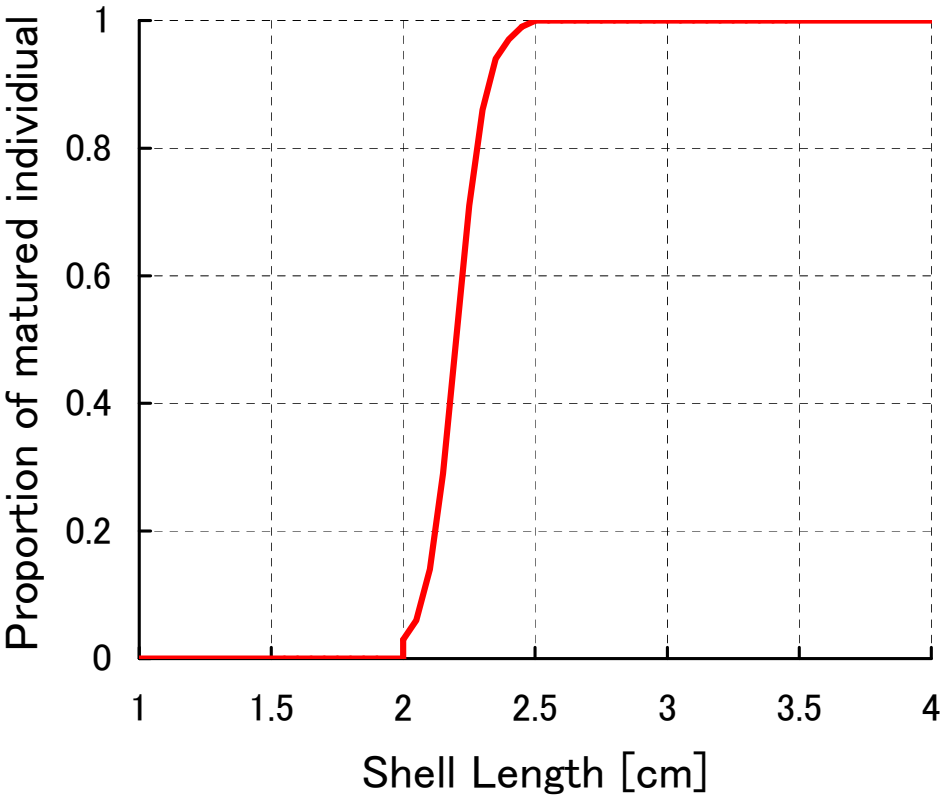
$$x_d = \frac{110.9 + 57.815 \sin \frac{2\pi(t + 2445.4)}{365}}{40479}$$



熊本県資料（緑川河口干潟）

アサリの再生産

群成熟度，r

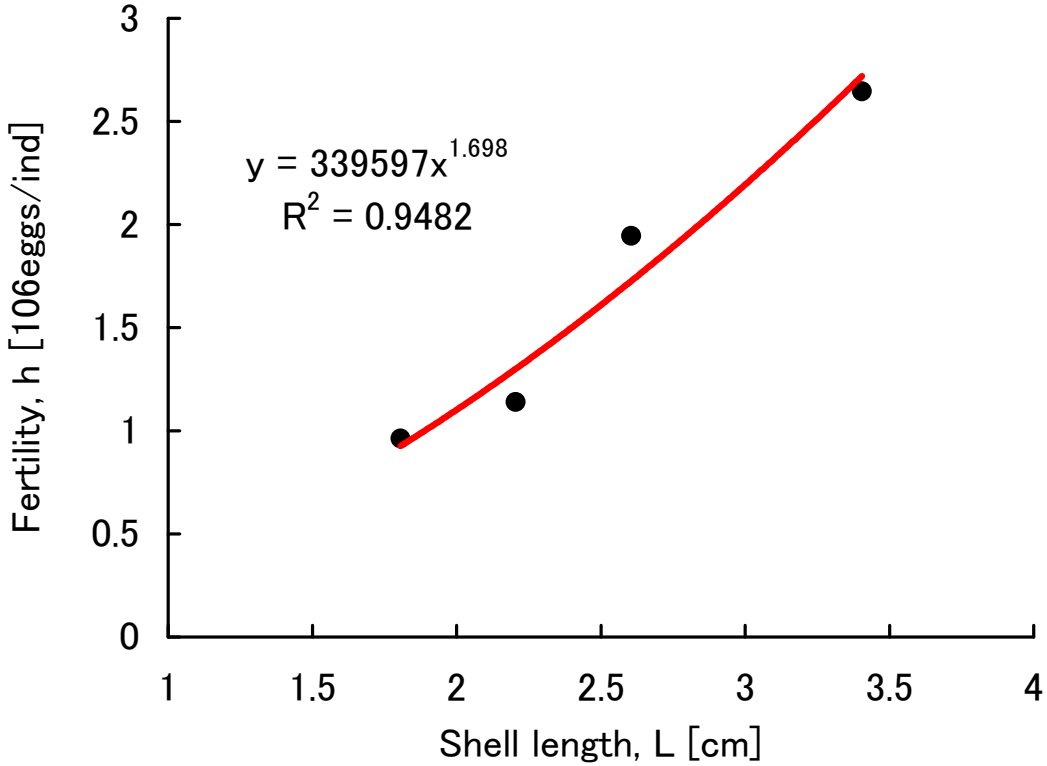


生物学的最小形　殻長 20mm

$$r = \begin{cases} 0 & (L < 2) \\ \dfrac{1}{1 + e^{40(1 - \frac{L}{2.2})}} & (L \geq 2) \end{cases}$$

産卵数，h

鳥羽・深山（1994）



♀の割合，s＝0.5

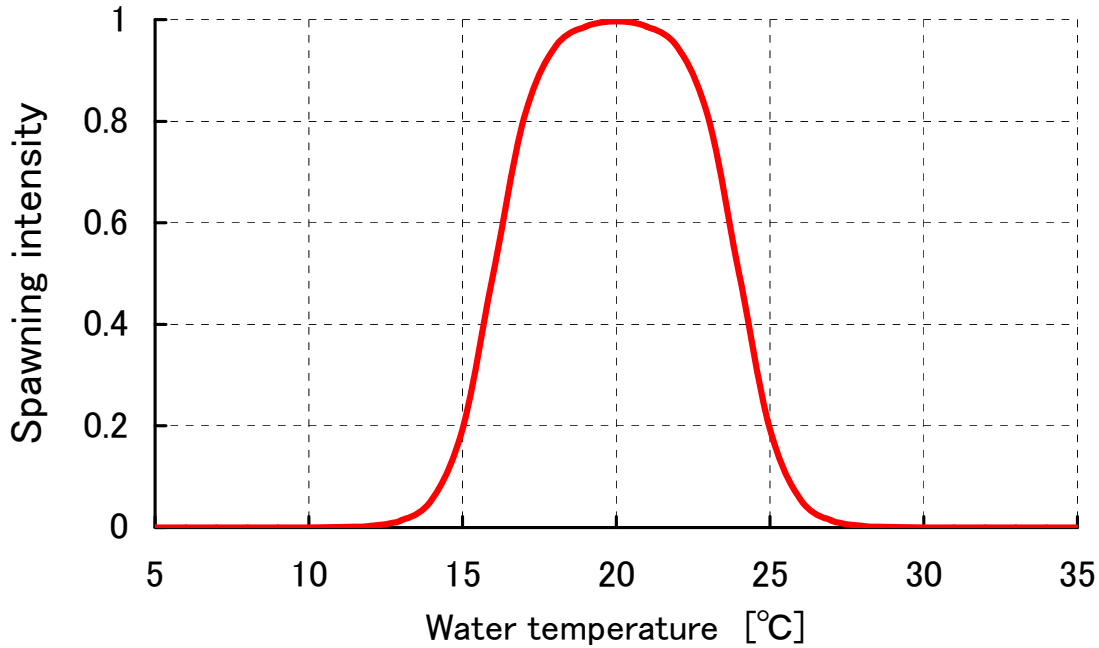
産卵回数，n＝5/year

アサリの産卵強度

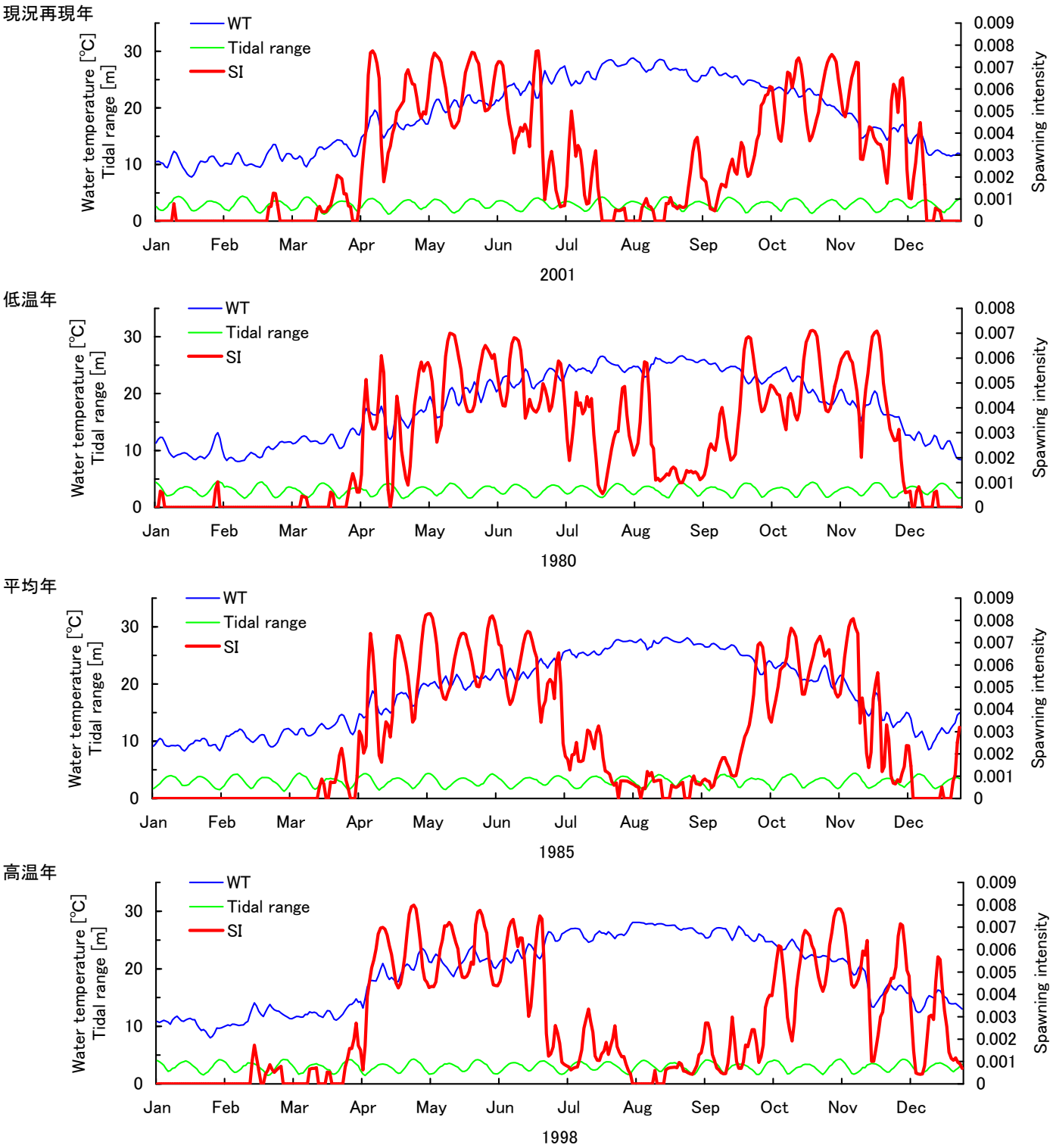
$$SI = SI_T \cdot TR_{SND}$$

$$SI_T = \begin{cases} \dfrac{1}{1+e^{-\frac{T-16}{0.7}}} & for \quad T < 20 \\ \dfrac{1}{1+e^{\frac{T-24}{0.7}}} & for \quad T \geq 20 \end{cases}$$

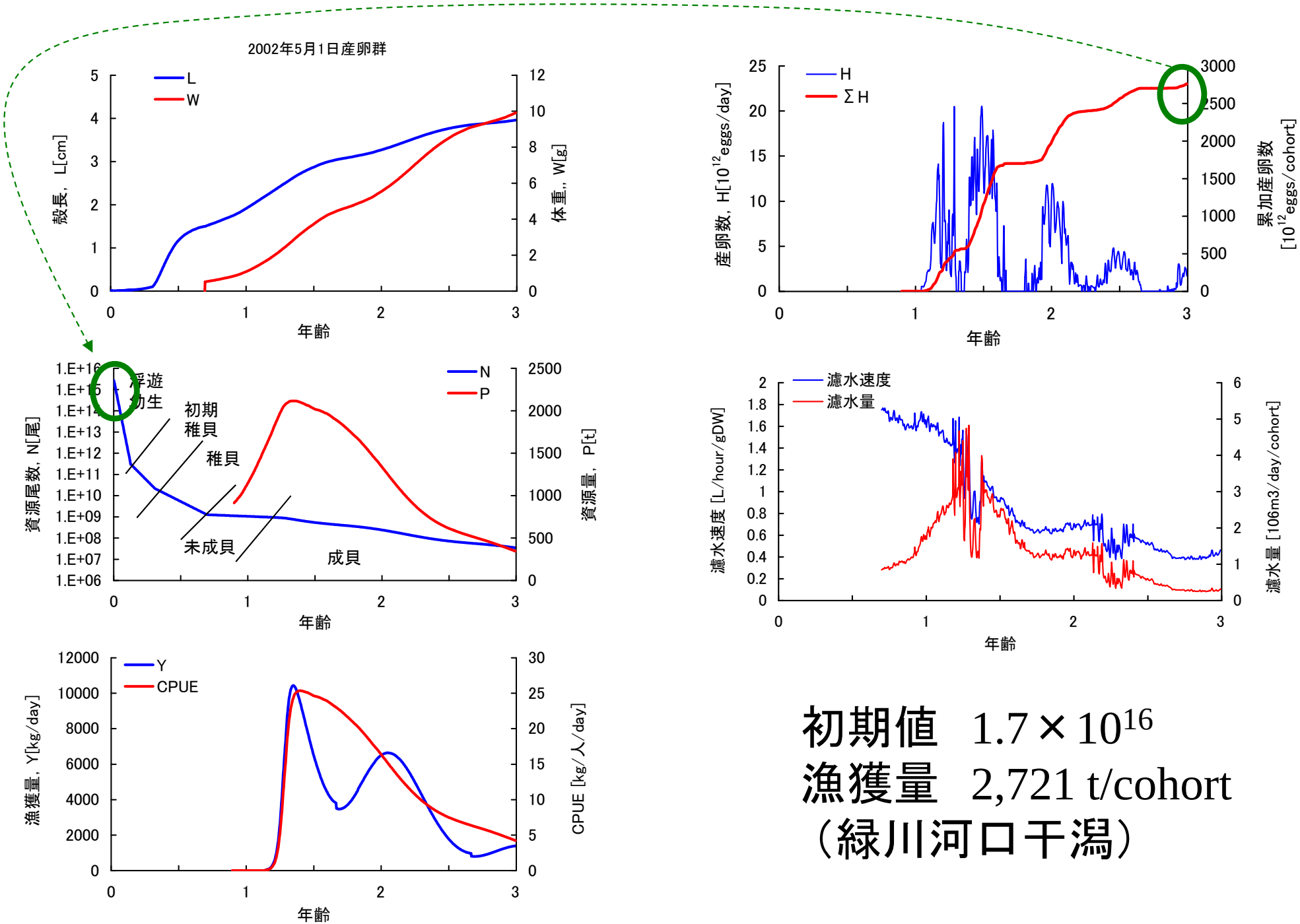
$$\sum_{t=1}^{365} SI_t = 1$$



アサリ産卵強度の変動(例)



アサリの基本ケース

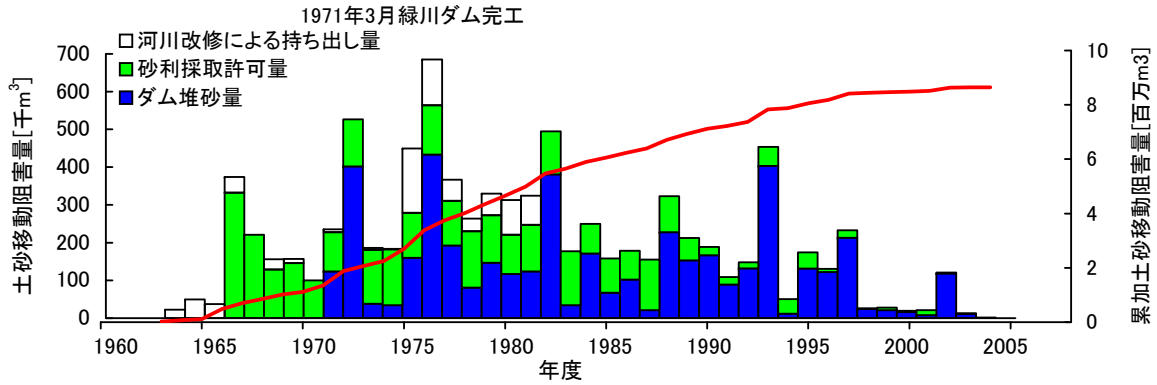


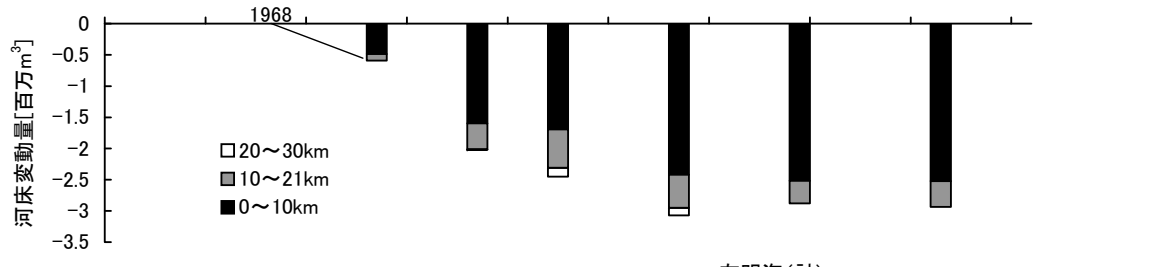
初期値　1.7×10^{16}

漁獲量　2,721 t/cohort

（緑川河口干潟）

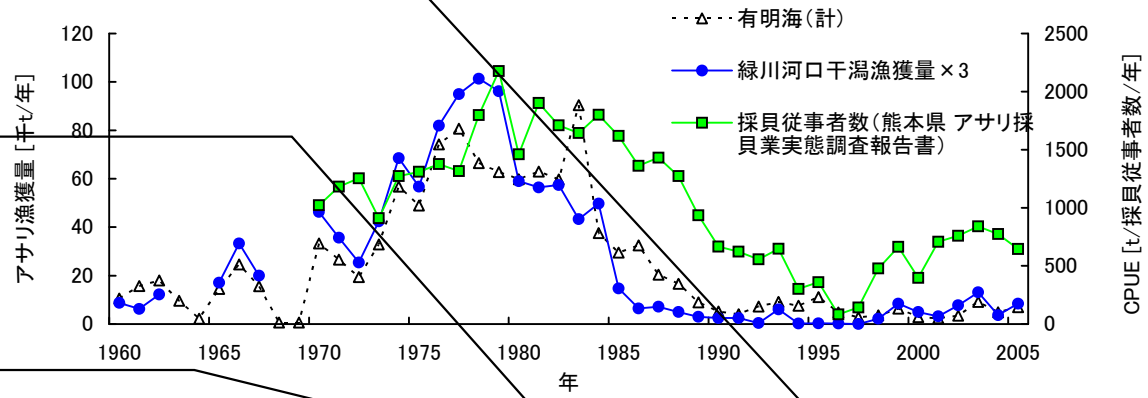
アサリ回復のために，資源管理と流砂系の保全





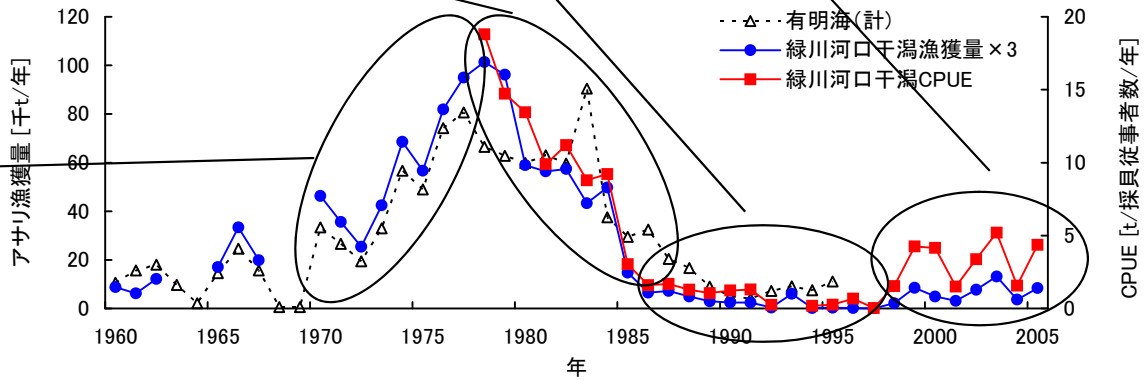
資源管理

底質変化(?)



漁獲圧の増大

未利用資源の開発
（採貝者数の増加）



アサリの資源管理

ユリメ目合

1970～1980年代

（全国に種苗供給）

3分貝

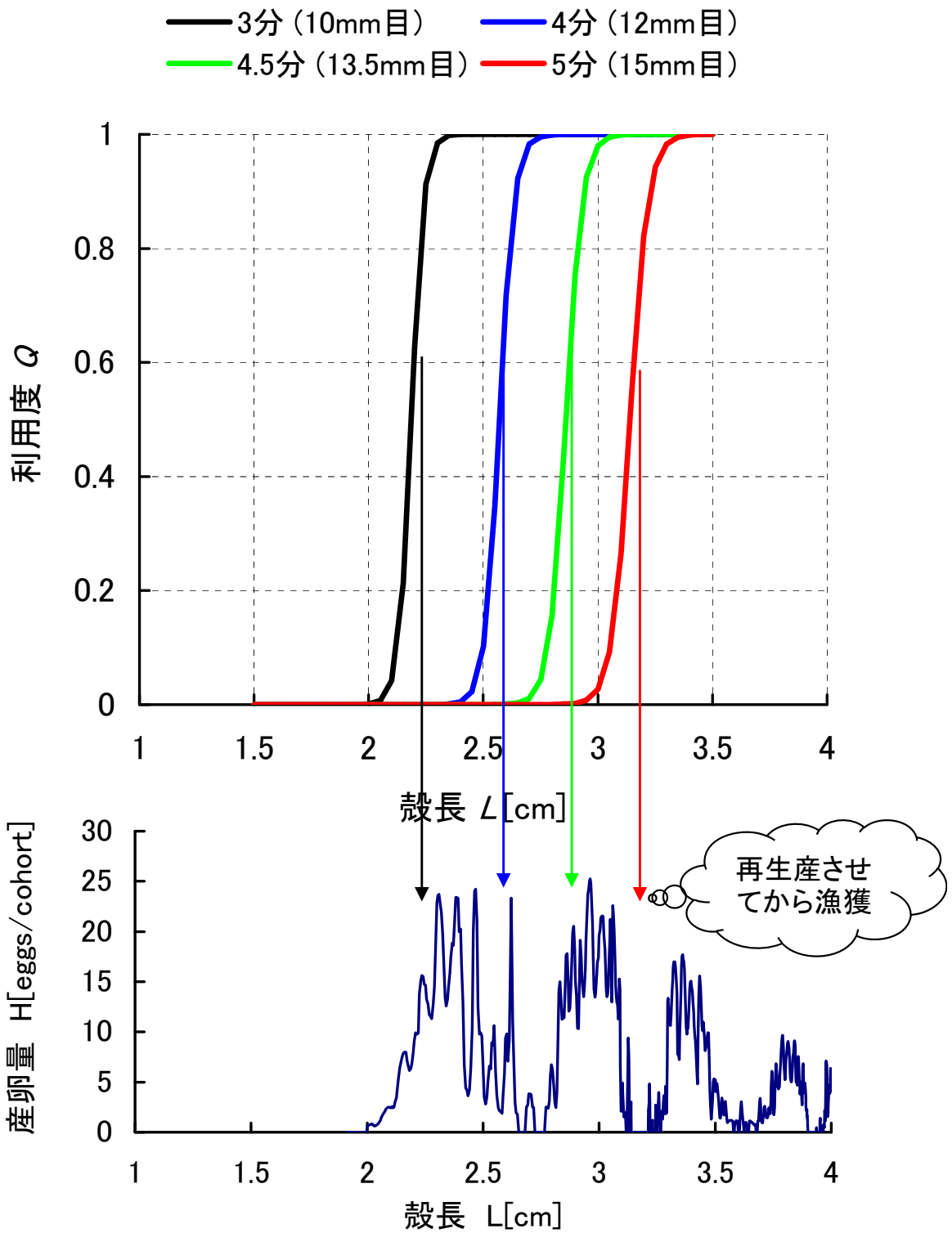
現在	緑川河口干潟
4分貝	36%
4．5分貝	43%
5分貝	21%

↓

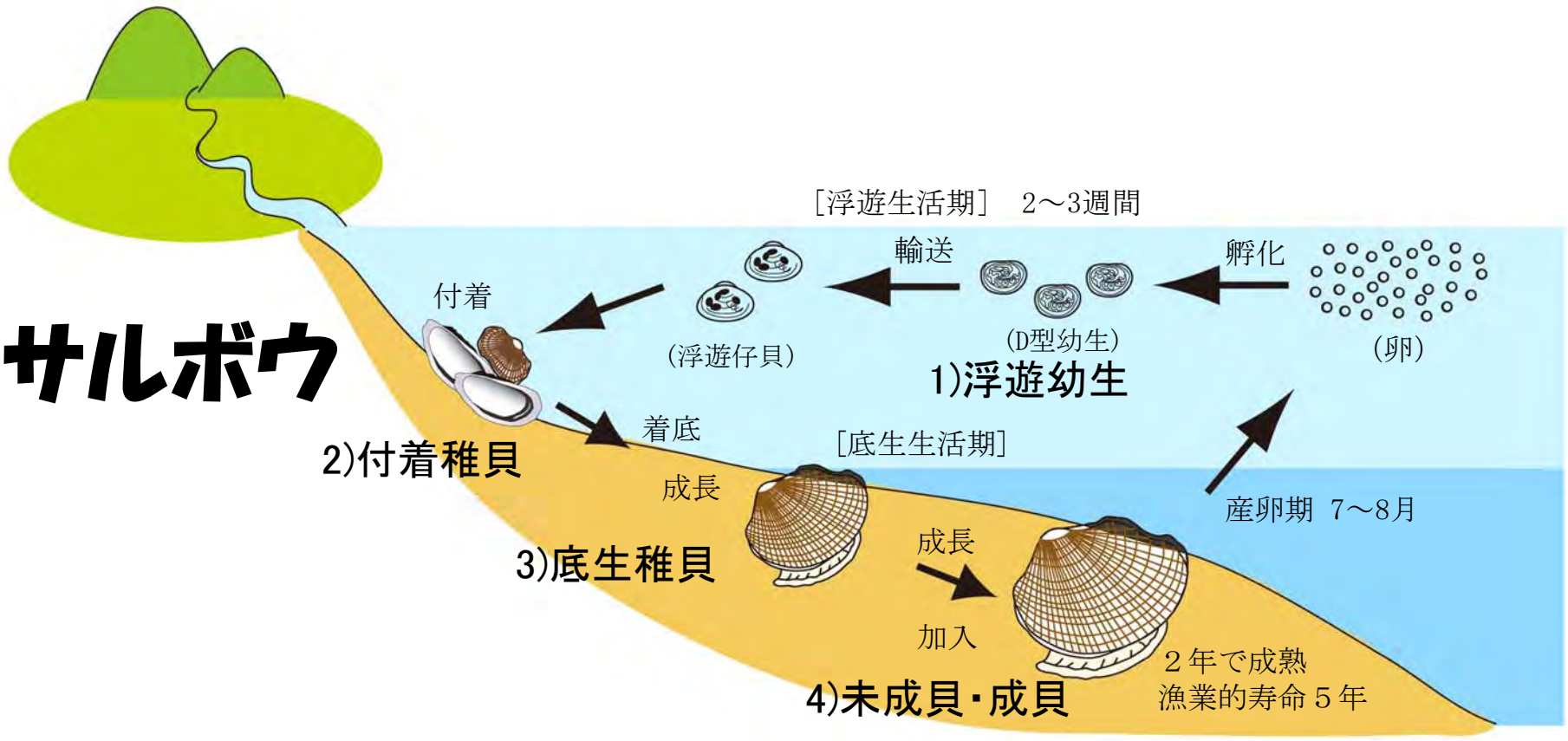
将来

5分貝

→資源，経済ともに有利

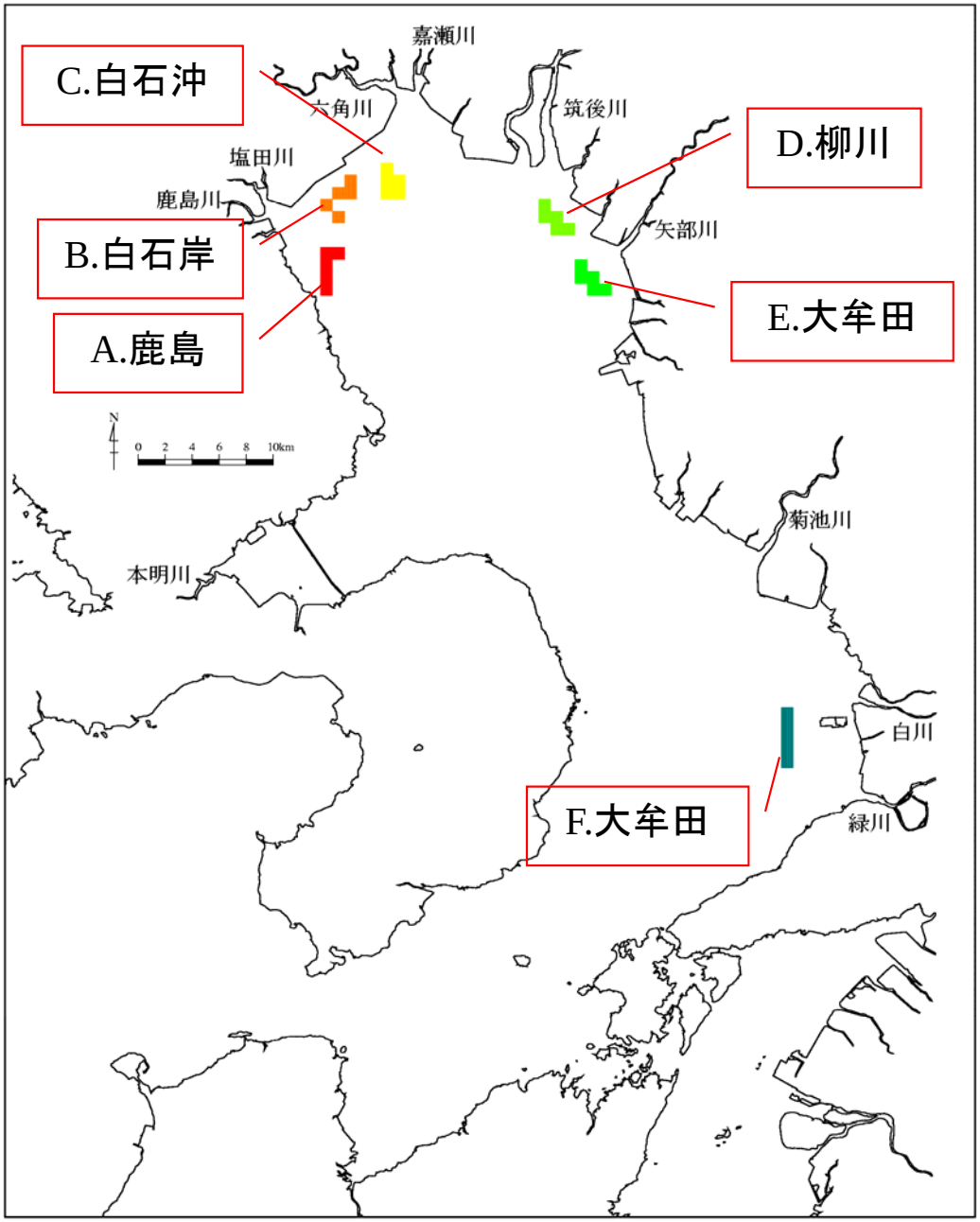


サルボウ（*Scapharca kagosimensis*）の生活史

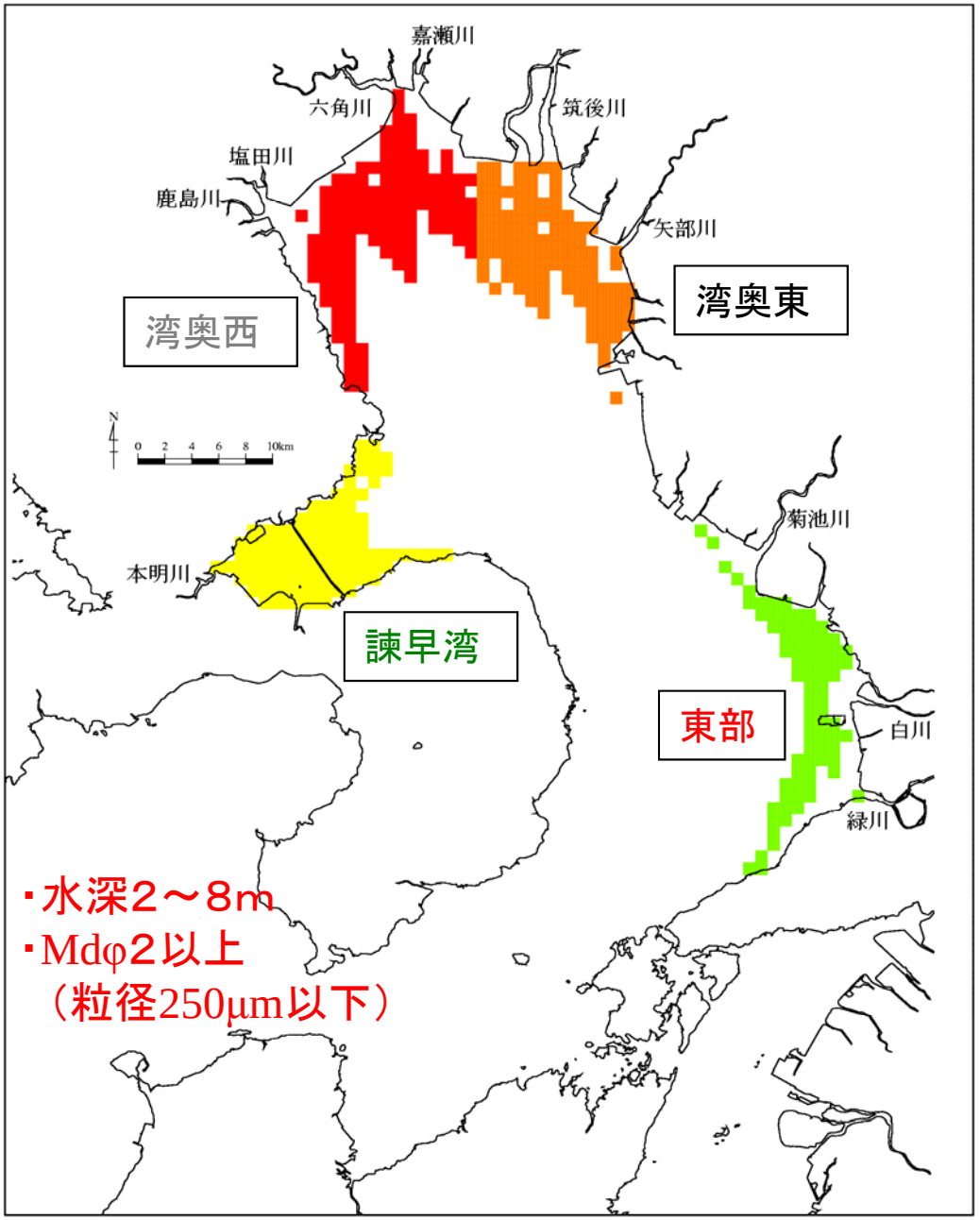


泥質浅海域の典型性（湾奥部）

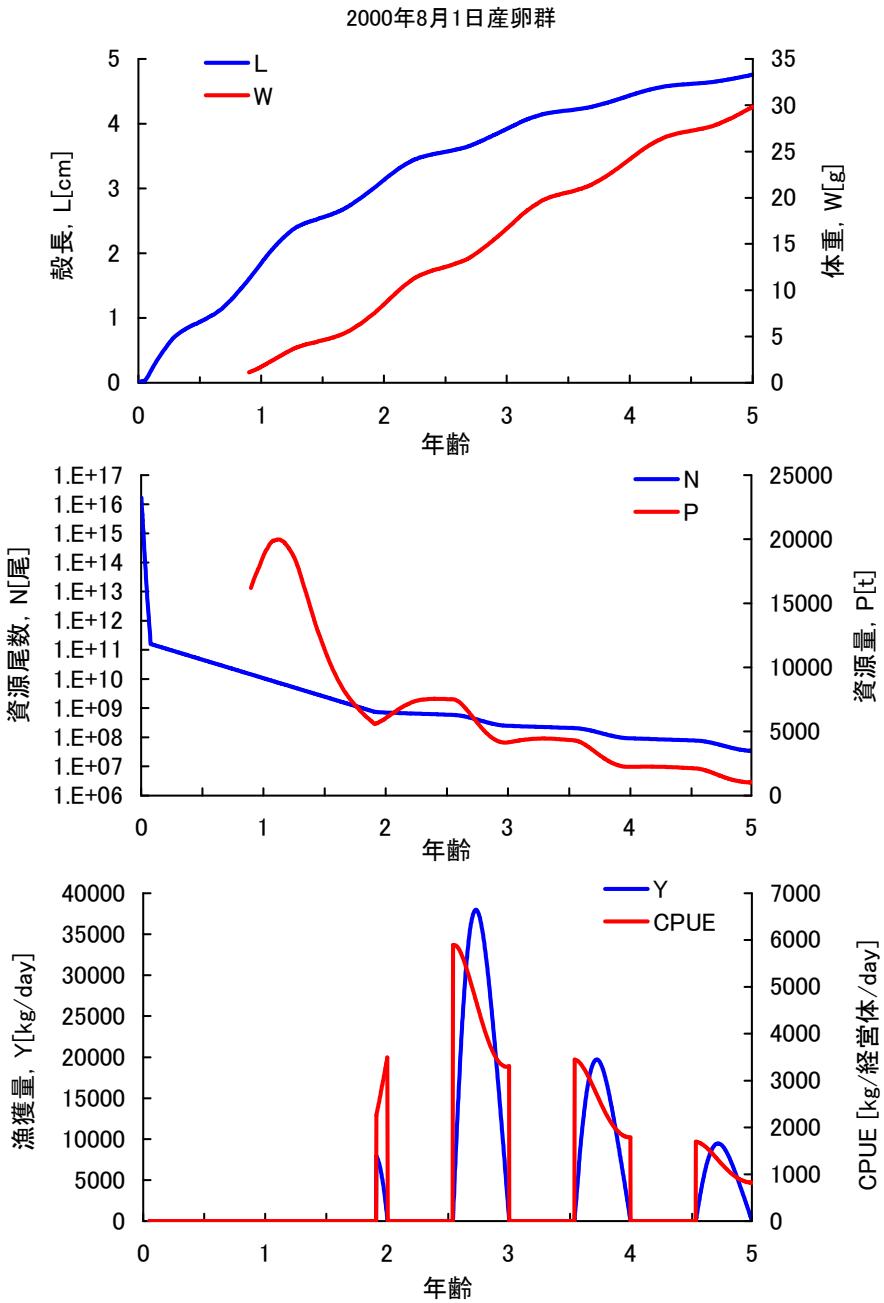
サルボウ産卵場

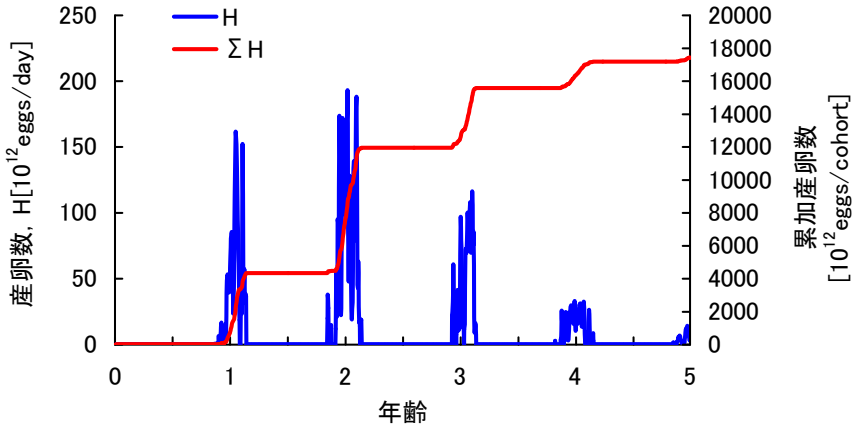


サルボウ着底場



サルボウの基本ケース

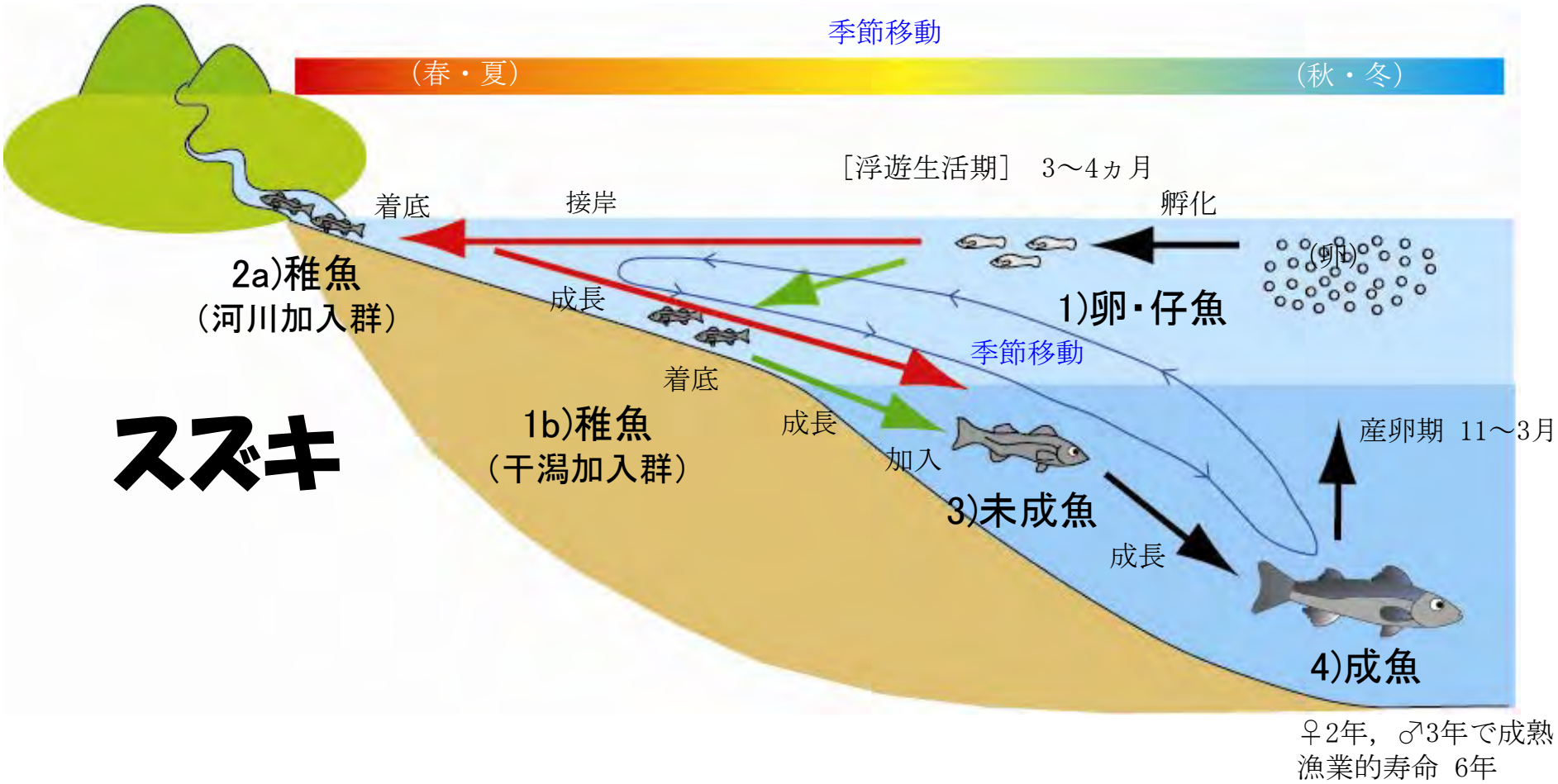




初期値　1.7×10^{16}

漁獲量　7,235 t/cohort

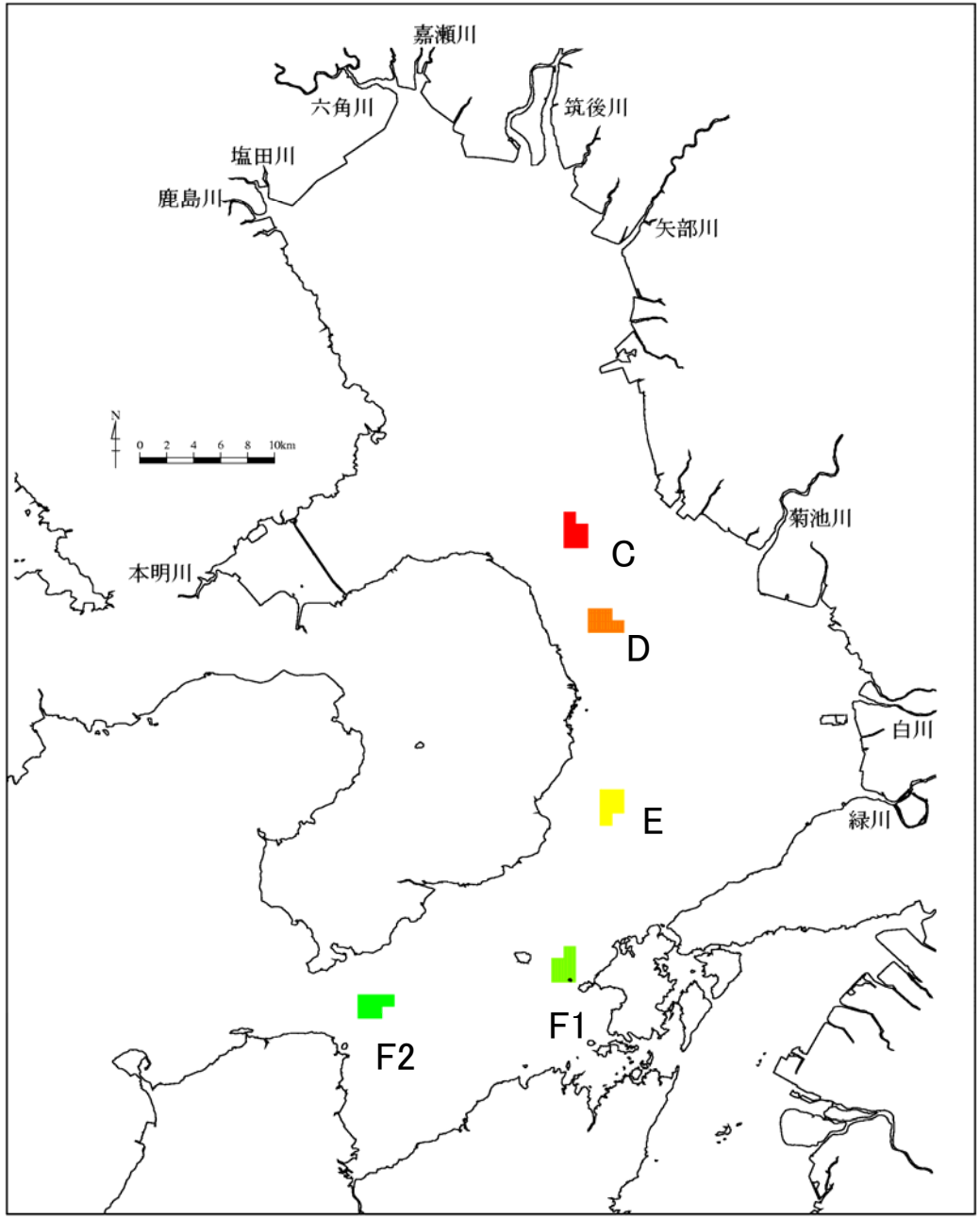
スズキ（*Lateolabrax japonicus*）の生活史



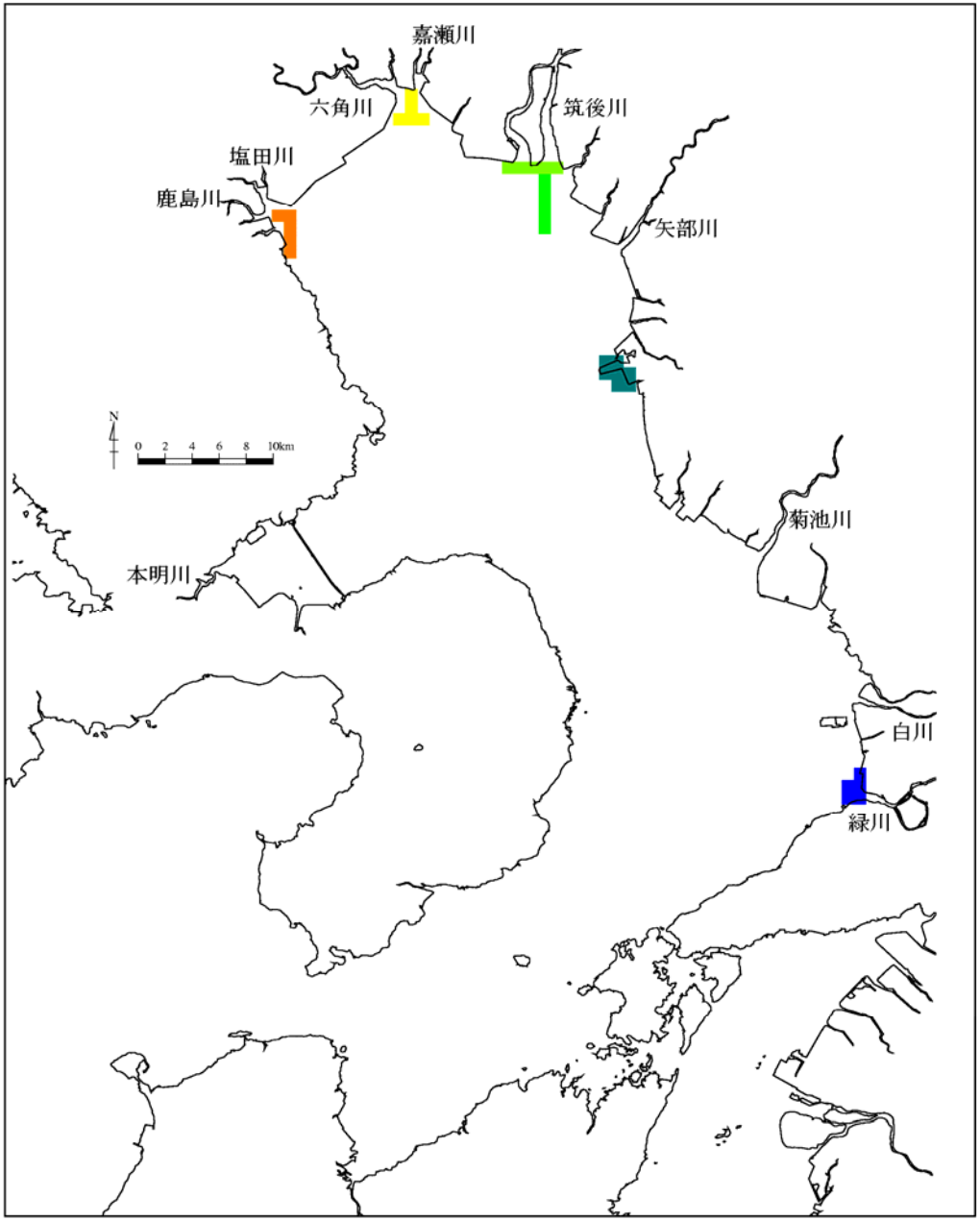
♀2年，♂3年で成熟
漁業的寿命 6年

有明海生態系の上位性
（有明海全域，特に河口・沿岸域）

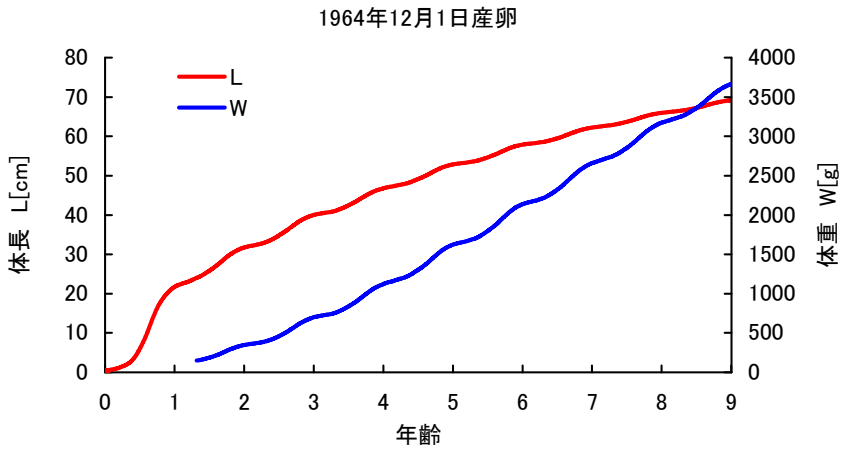
スズキ産卵場

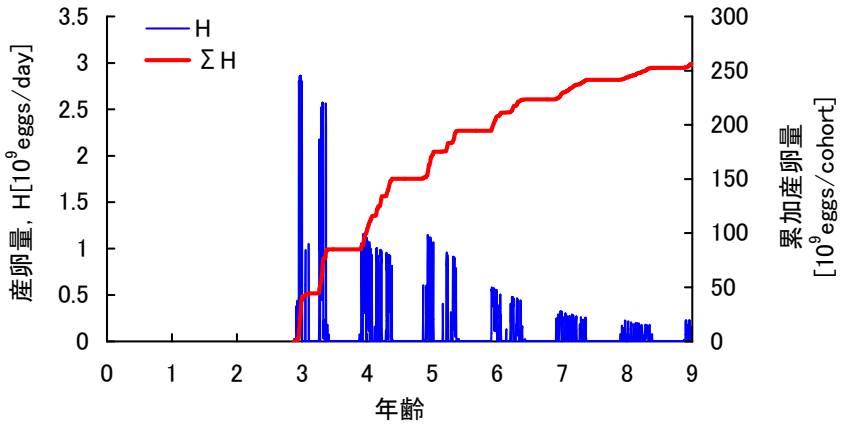


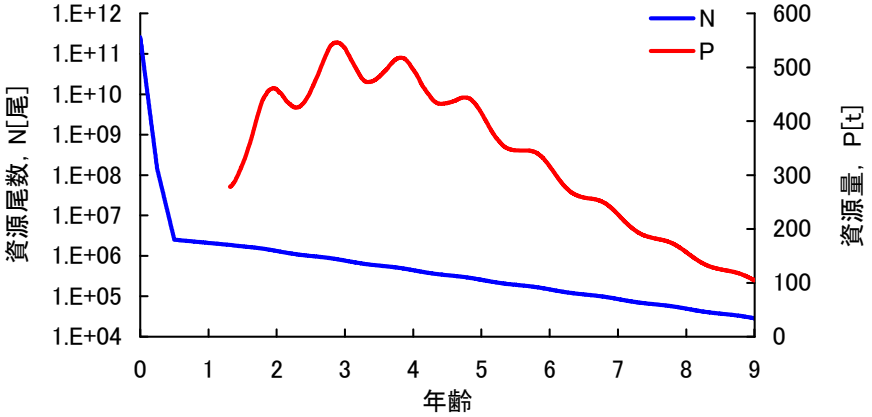
スズキ稚魚成育場

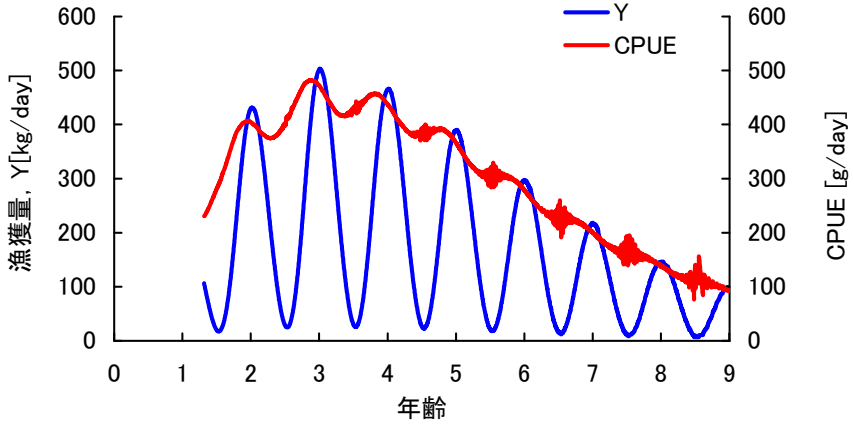


スズキの基本ケース









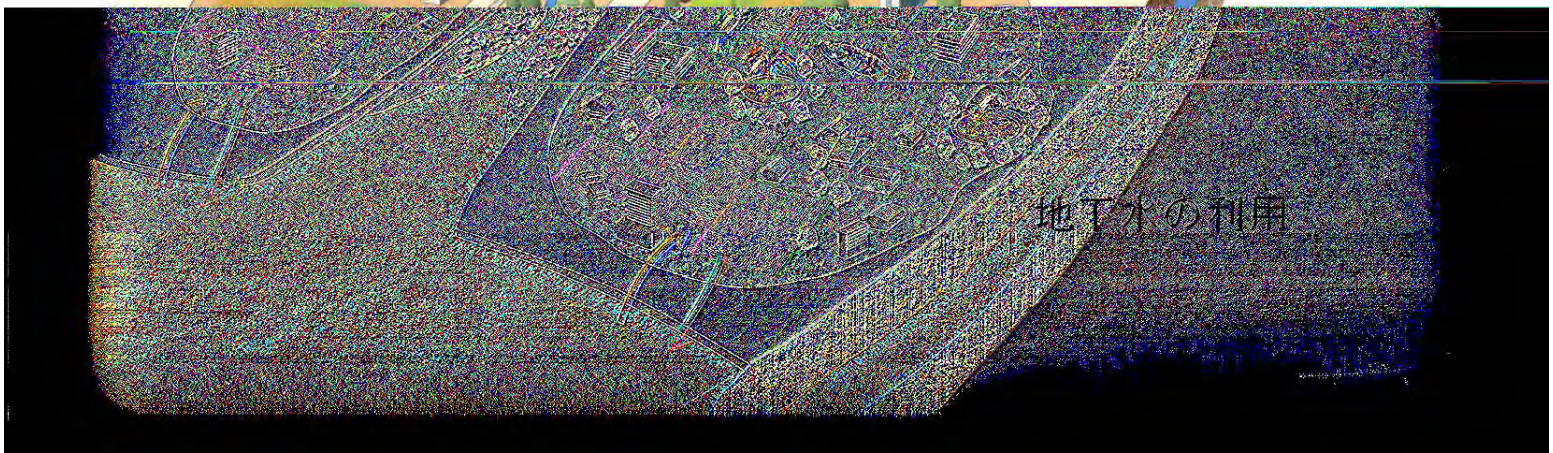
初期値　2.6×10^{11}

漁獲量　475 t/cohort

流域モデル（水循環サブモデル）

・山地から河口までの流域全体を一つの水循環の系として解析

・<u>CELL分布型流出解析モデル</u>（立川ら2003）を採用



水循環サブモデルの目的

・流域の水利用シミュレーション

流域でどのように水が使われているか？

・現状の水循環状態の把握

流域で水がどのような移動形態をとっているか？

・効率的な水利用の把握

（例）流域全体の水利用計画

正常流量の設定，ダム利用計画

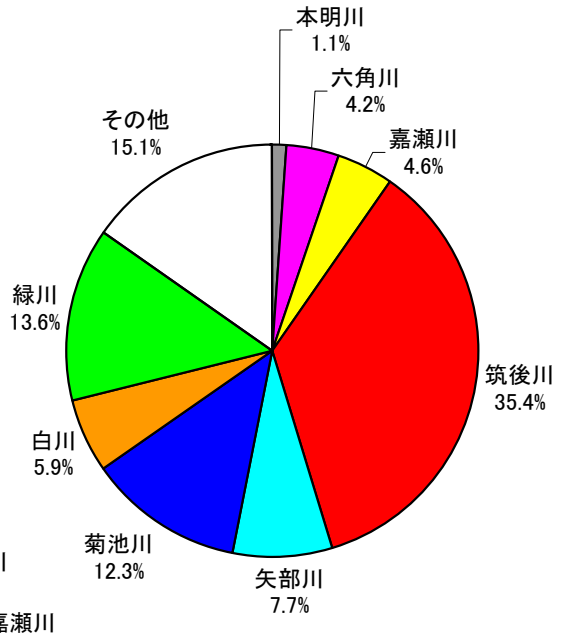
森林の管理計画

農業水利計画

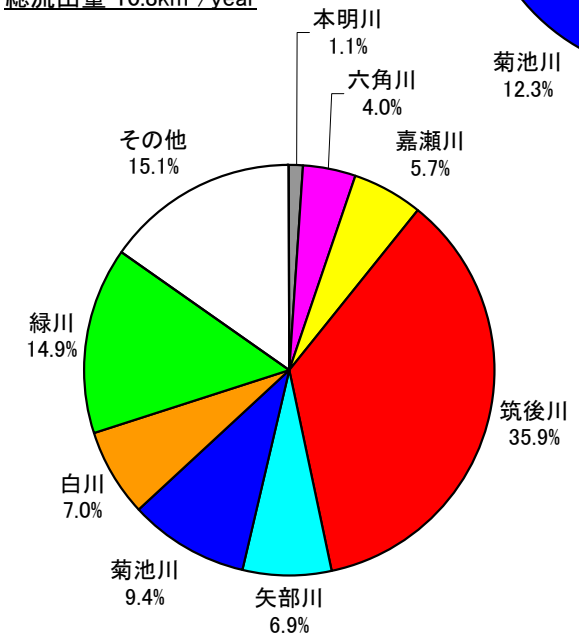
年間総流量の河川比較

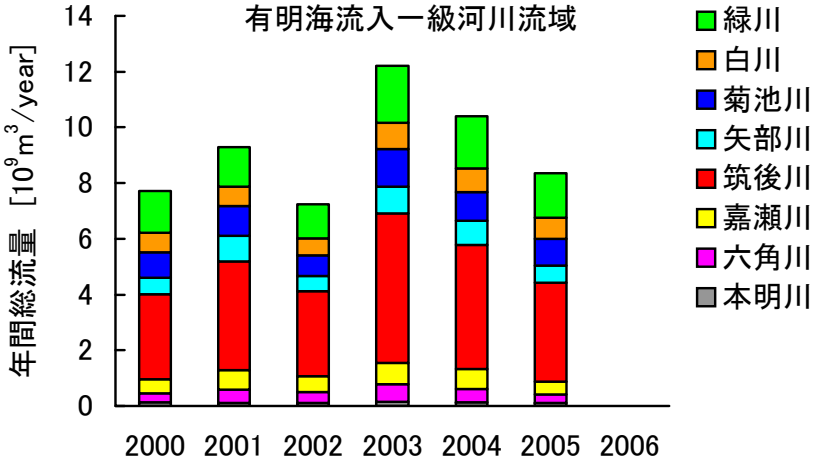
（2000～2005年）

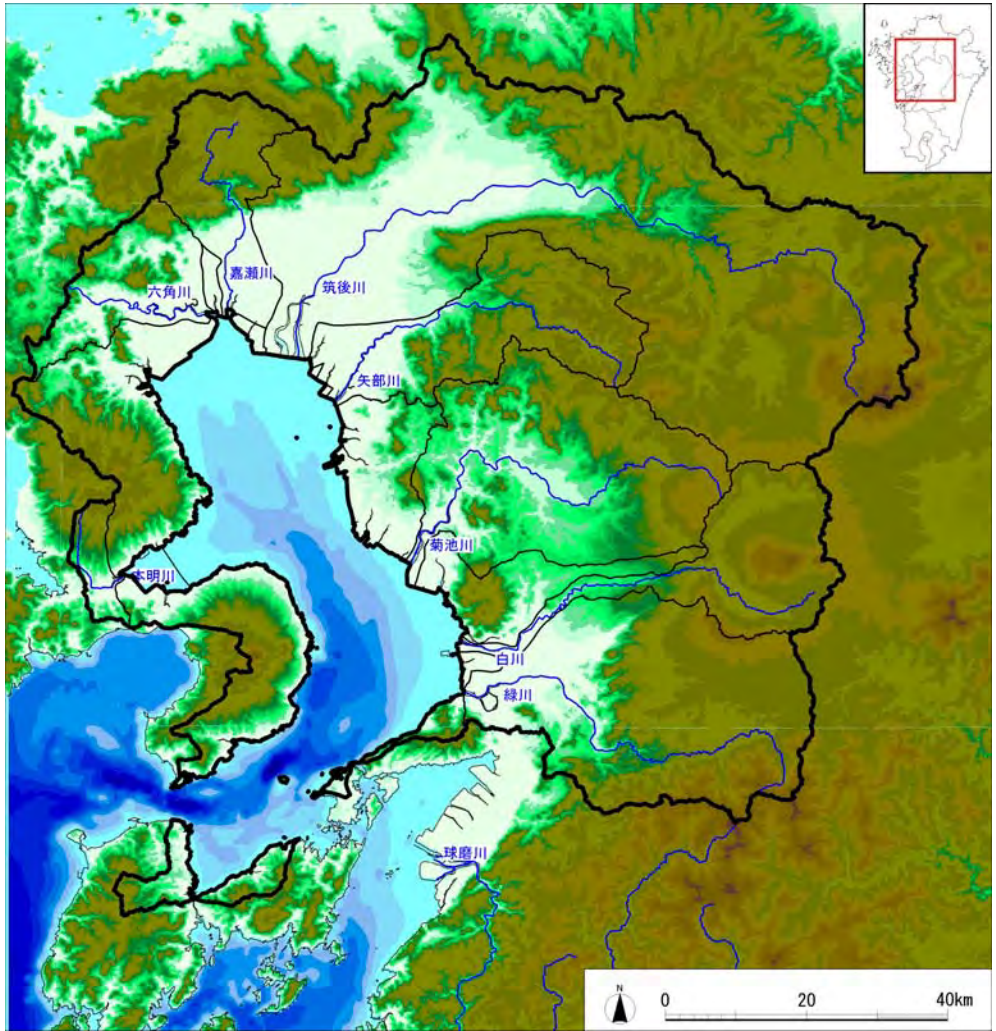
流域面積 8,075km²



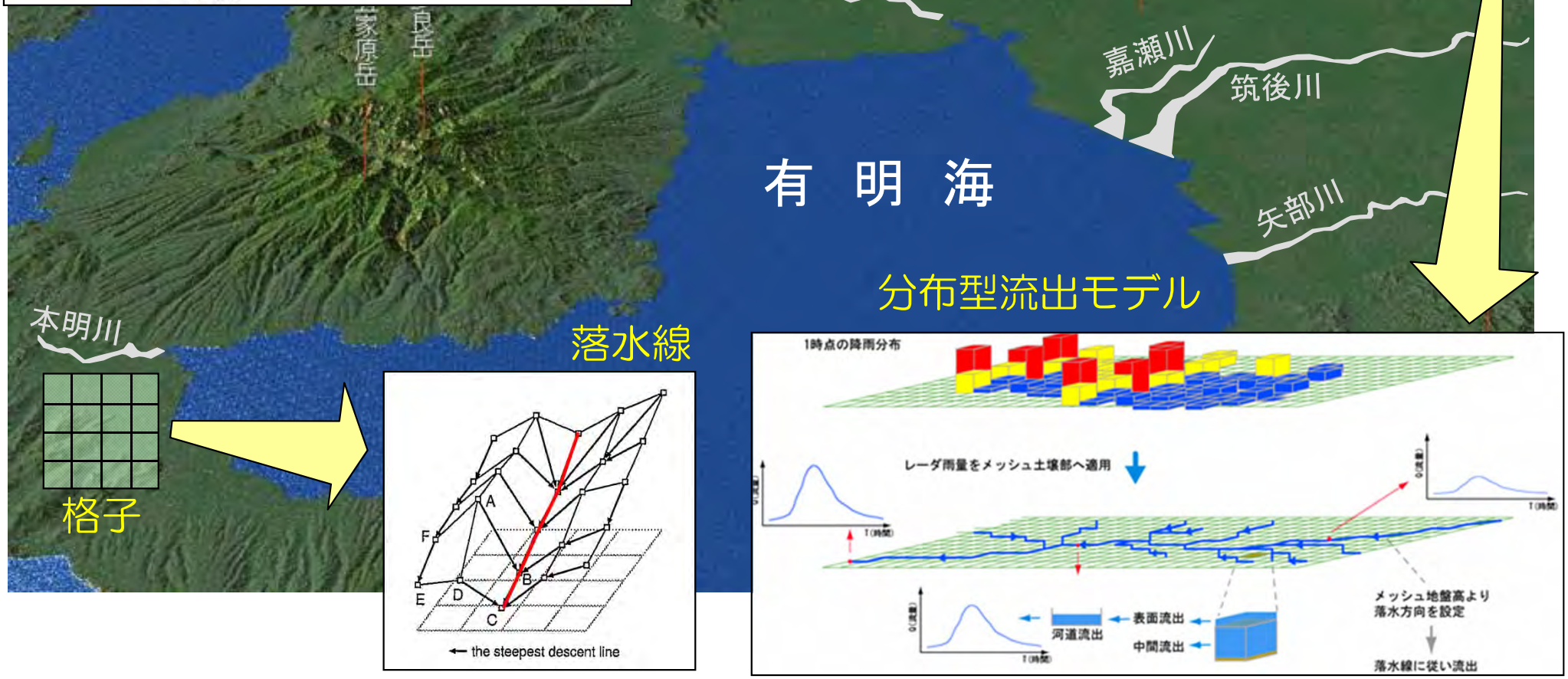
総流出量 10.8km³/year







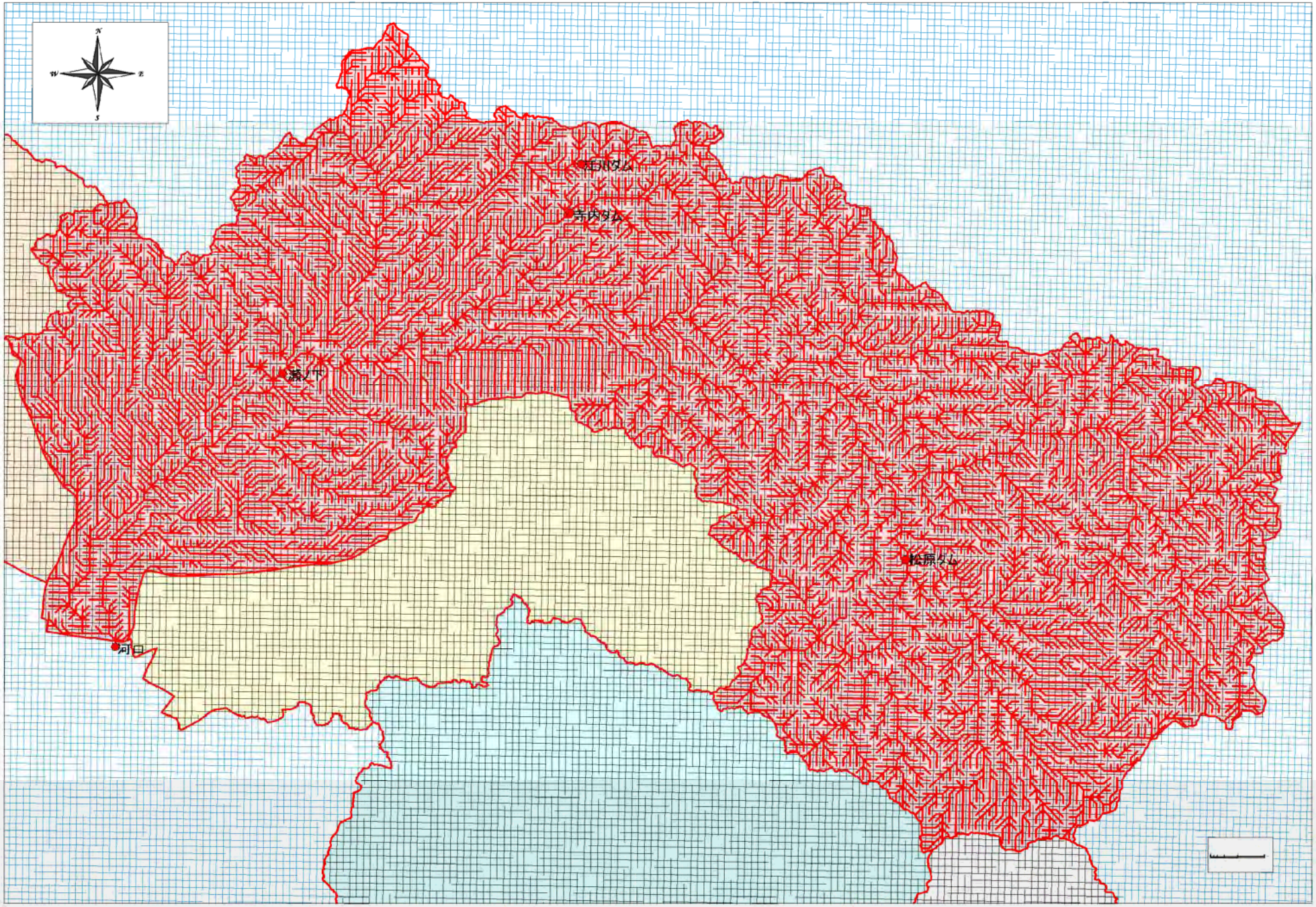
CELL分布型流出モデル



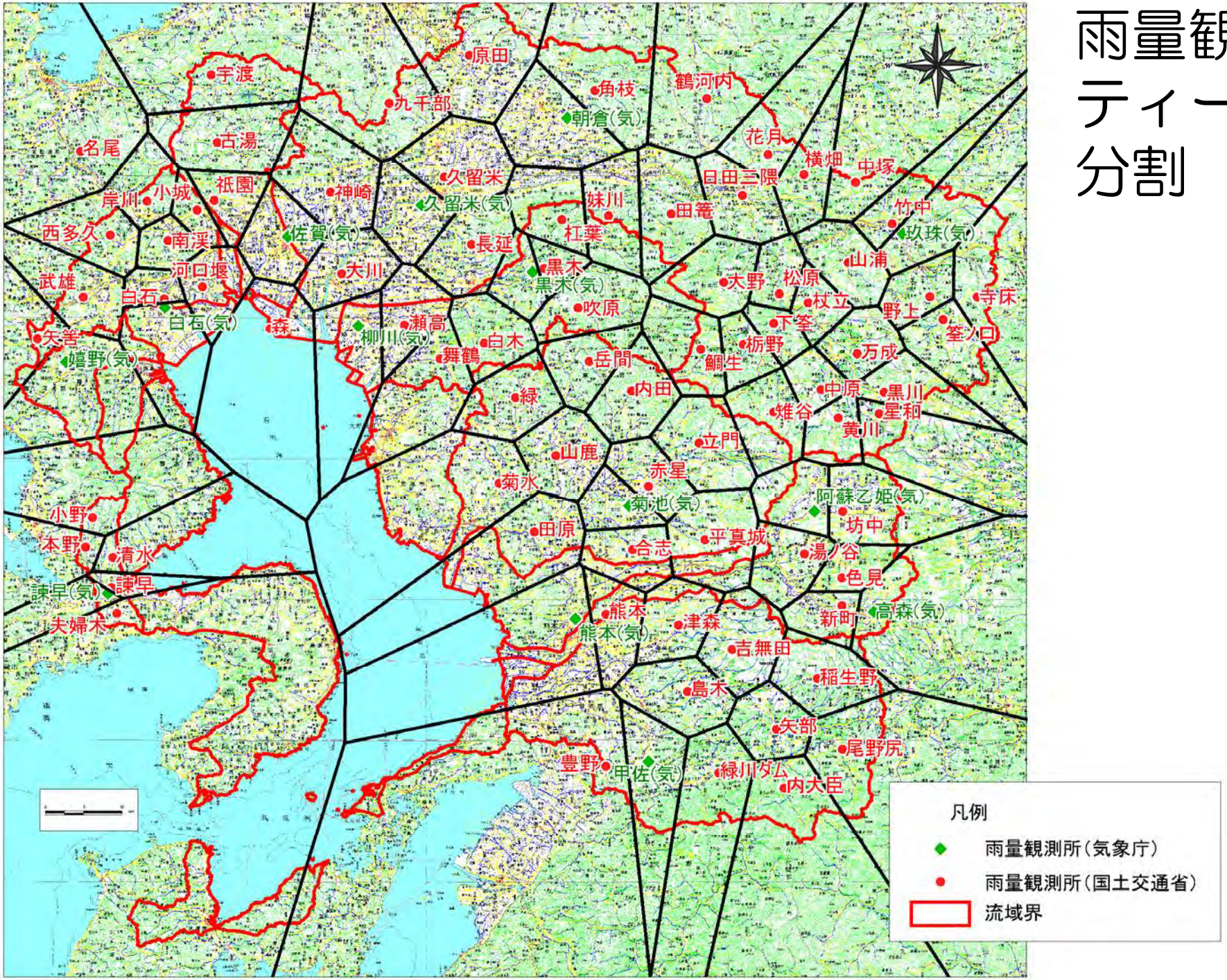
有明海の流域区分

筑後川流域
108 筑後川
102 嘉瀬川
101 六角川
103 矢部川
109 塩田川
110 鹿島川
104 菊池川
107 本明川
105 白川
106 緑川
凡 例
水 域
市街地
森 林
農 地

筑後川流域の落水線図



雨量観測所ティーセン分割



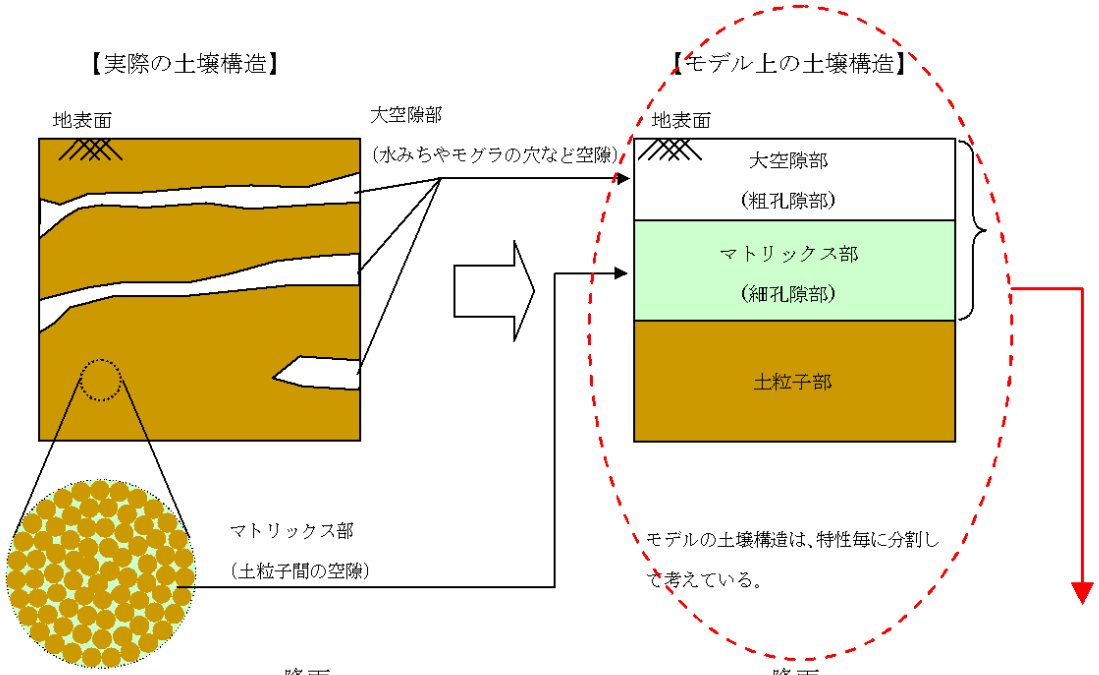
ダム

筑後川水系
　筑後川大堰
　松原ダム
　下筌ダム
　江川ダム
　寺内ダム
菊池川水系
　竜門ダム
緑川水系
　緑川ダム

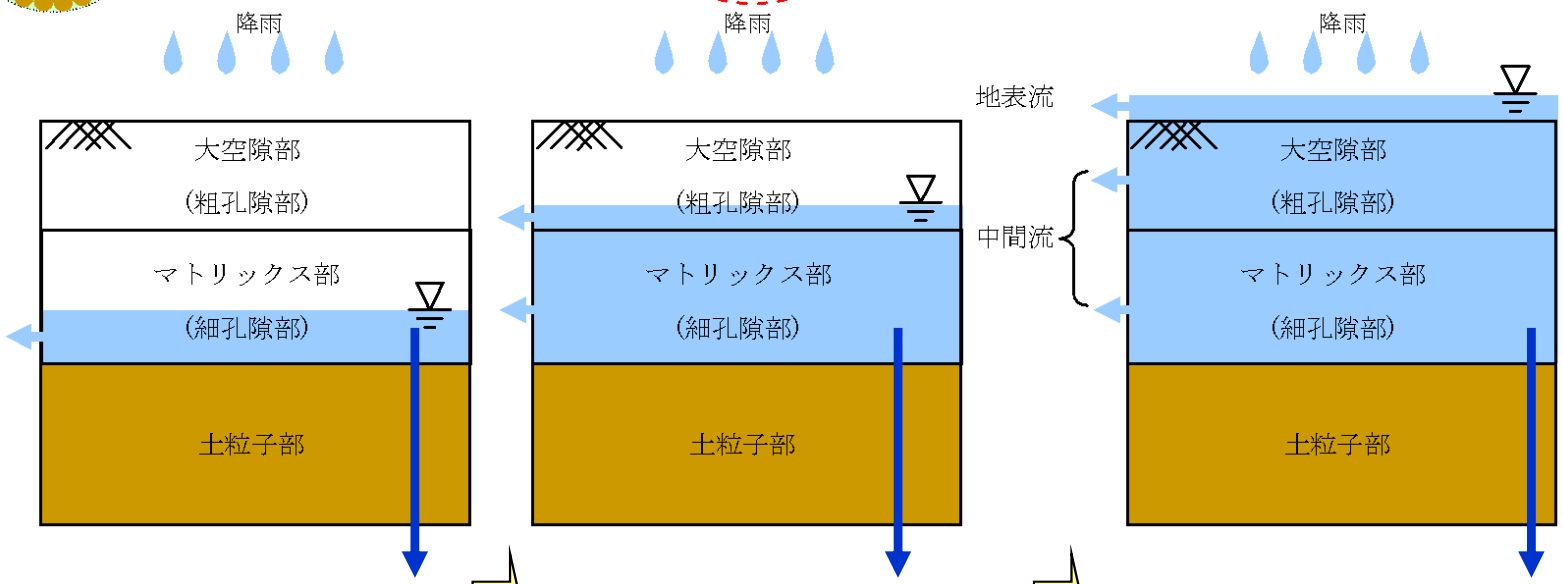
蒸発散モデル

土地利用	蒸発	蒸散
森林	教師モデル	教師モデル
農地	水田：Makkink式 畑地： Penman式	Penman-Monteith式
都市域	ー	ー
水域	Penman式	ー

層分割



実際の土壌構造を，
・大空隙部（粗孔隙部）
・マトリクス部（細孔隙部）
・土粒子部
の3層で表現



降った雨は，マトリックス部に入り，メッシュ間を流出する．

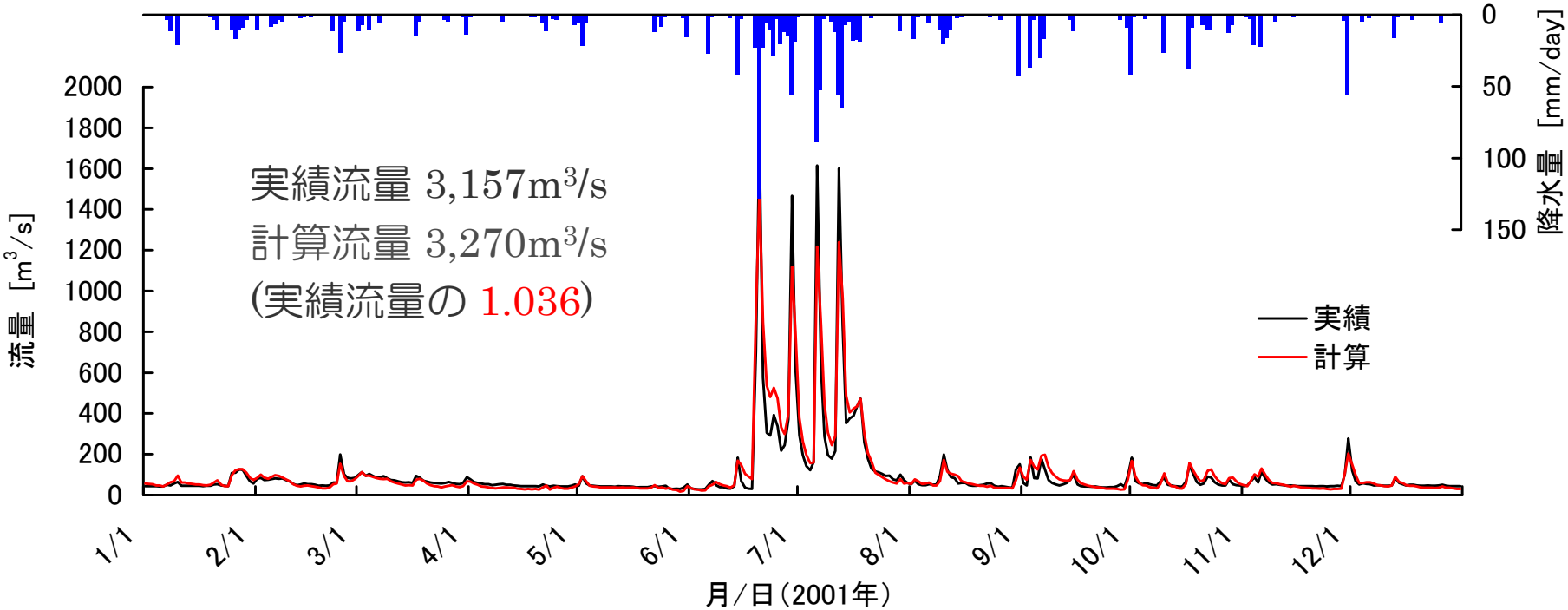
マトリックス部が満水すると，大空隙部が浸水し，両層ともメッシュ間を流出する．

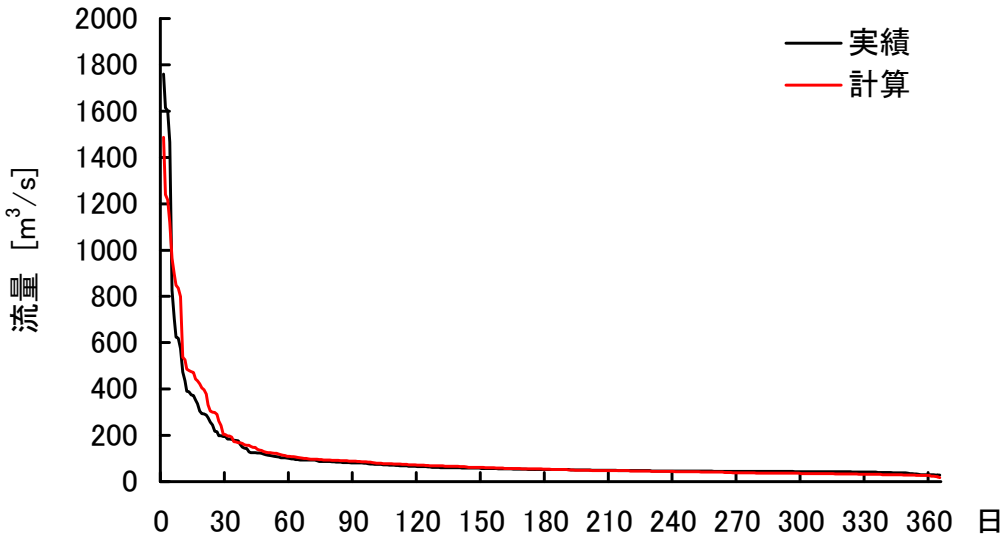
大空隙部が満水すると，表面流出を始める．

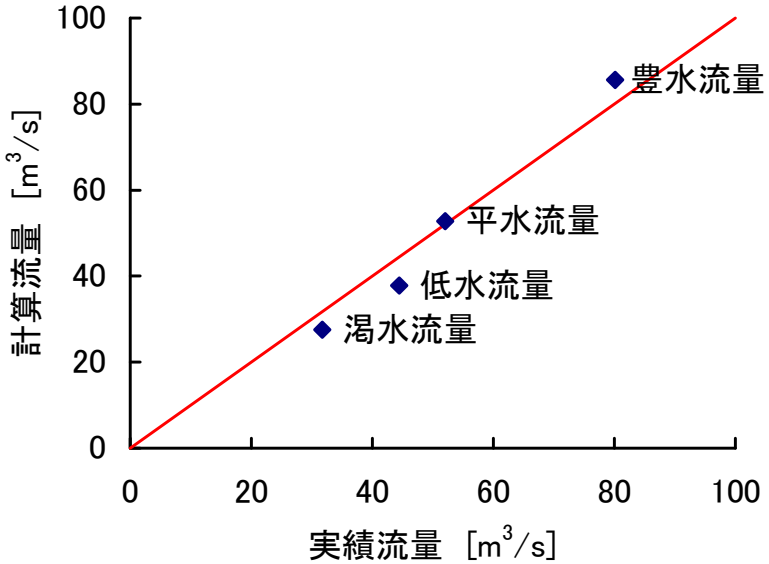
流域水循環モデルのパラメータ

パラメータ		森林	農地	市街地	水域
有効土層厚[mm]		1,000	500	0	0
粗孔隙部[mm]		300	150	0	0
細孔隙部[mm]		700	350	0	0
等価粗度		0.7	0.3	0.03	0.03
間隙率	粗孔隙部	0.6	0.6	—	—
	細孔隙部	0.6	0.6	—	—
透水係数	粗孔隙部	$2 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	—	—
	細孔隙部	$2 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	—	—
地下水浸透係数		$5 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$

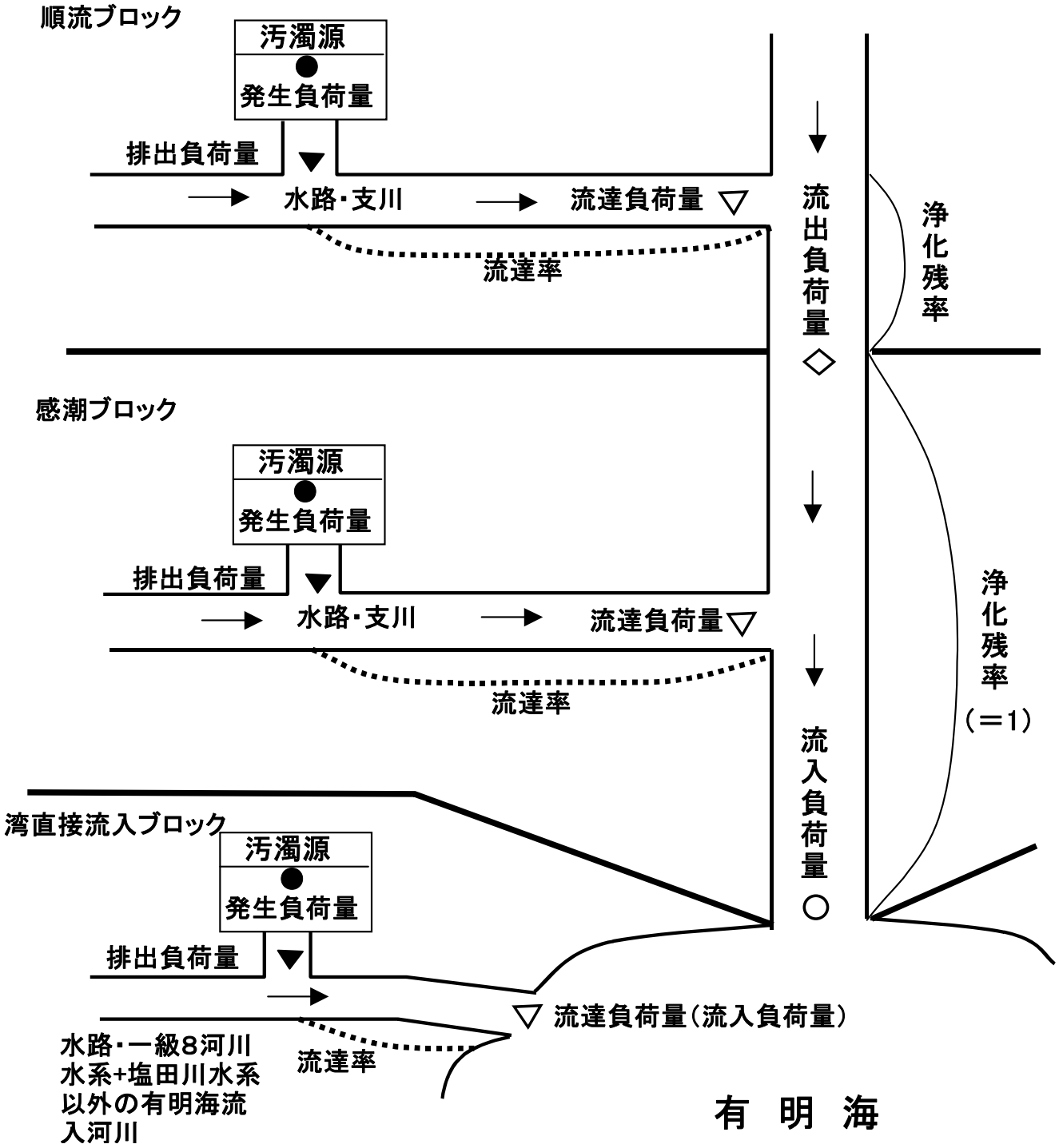
再現計算結果（筑後川 瀬ノ下地点，2001年）







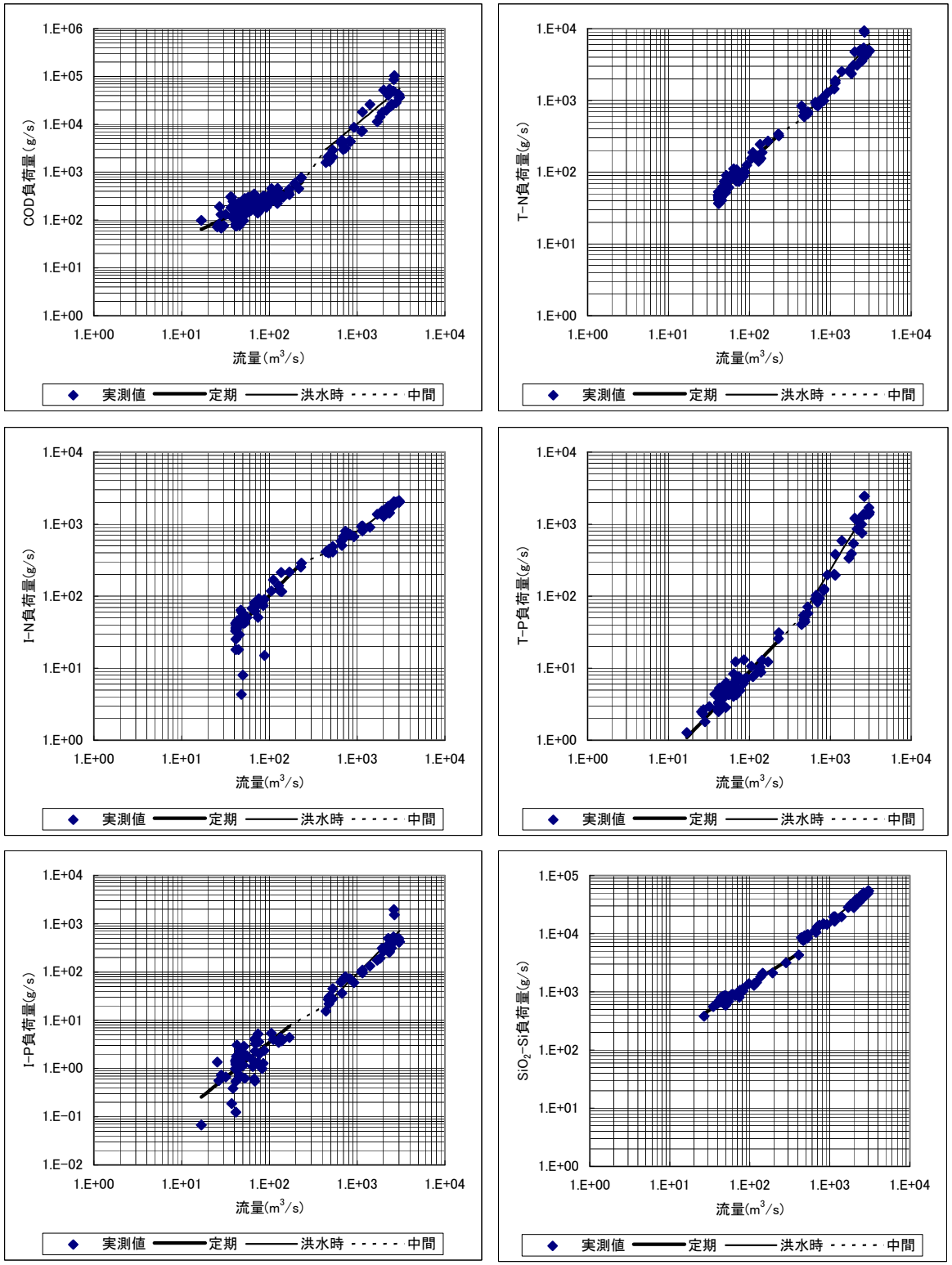
汚濁負荷の有明海への流入過程の概念



L-Q式
（筑後川の例）

1　通常時
2　中間時
3　洪水時

- COD
- TN
- IN
- TP
- IP
- SiO_2-Si



流動サブモデル

1. 有明海再生のために，環境劣化の主要因の1つである流動に着目
2. σ座標系の POM98（Princeton Ocean Model ）を，一般鉛直座標モデル（GCS：Generalized Coordinate System）に改造
3. 有明海の大きな潮位差を考慮して，陸海境界の水平移動をモデル化（干潟判定水深10cm）
4. 鉛直層分割は，干潟を含む浅海域（15m以浅）の流れの再現を重視して，水深0～5m，5～15m，15m～海底をそれぞれ5層（最大15層）にした結果，成層構造の解像力に優れ，再現性（2001年，2005年）がよいと判断
5. 地形，潮汐（外海の潮位振幅，平均水面），温度を変化させて感度解析を行い，流動変化要因を考察

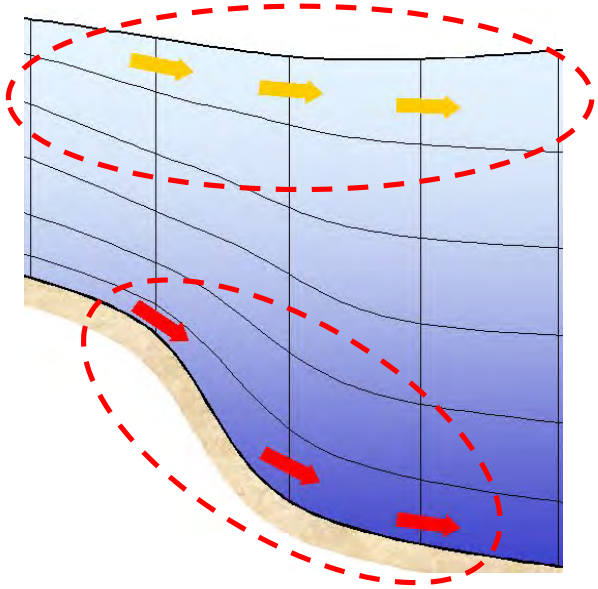
<u>感度解析のポイント</u>

1）有明海異変とされる現在（2000年代）．現況再現は2001年の通年計算

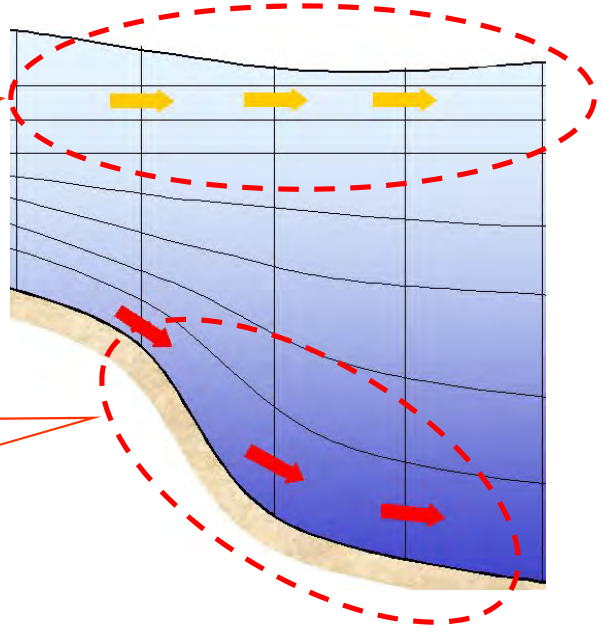
2）富栄養化の兆候が見えはじめた時代（1970年代後半）

3）人為的負荷が小さかった時代（1930年代）

σ座標



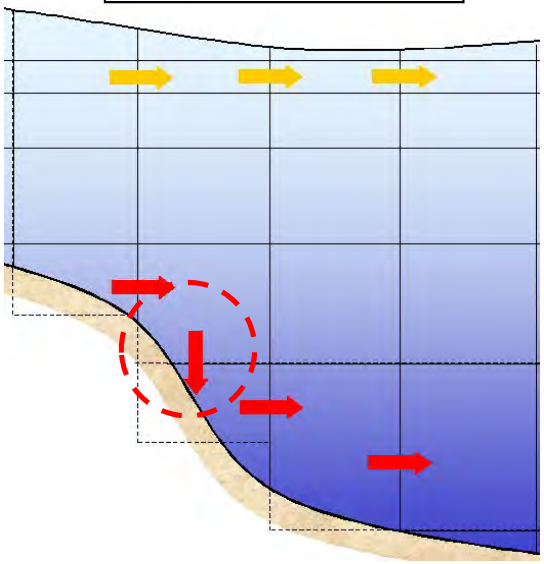
GCS

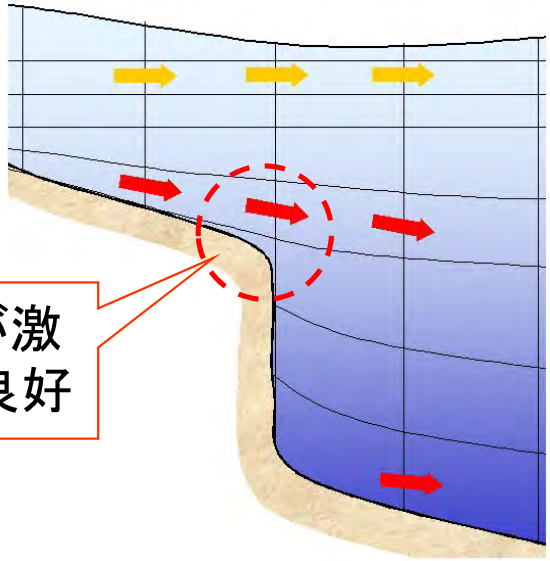


海面近くは水平に近い層分割が可能

海底付近はσ座標と同様に良好

Z座標





海底地形の変化が激しい箇所などでも良好

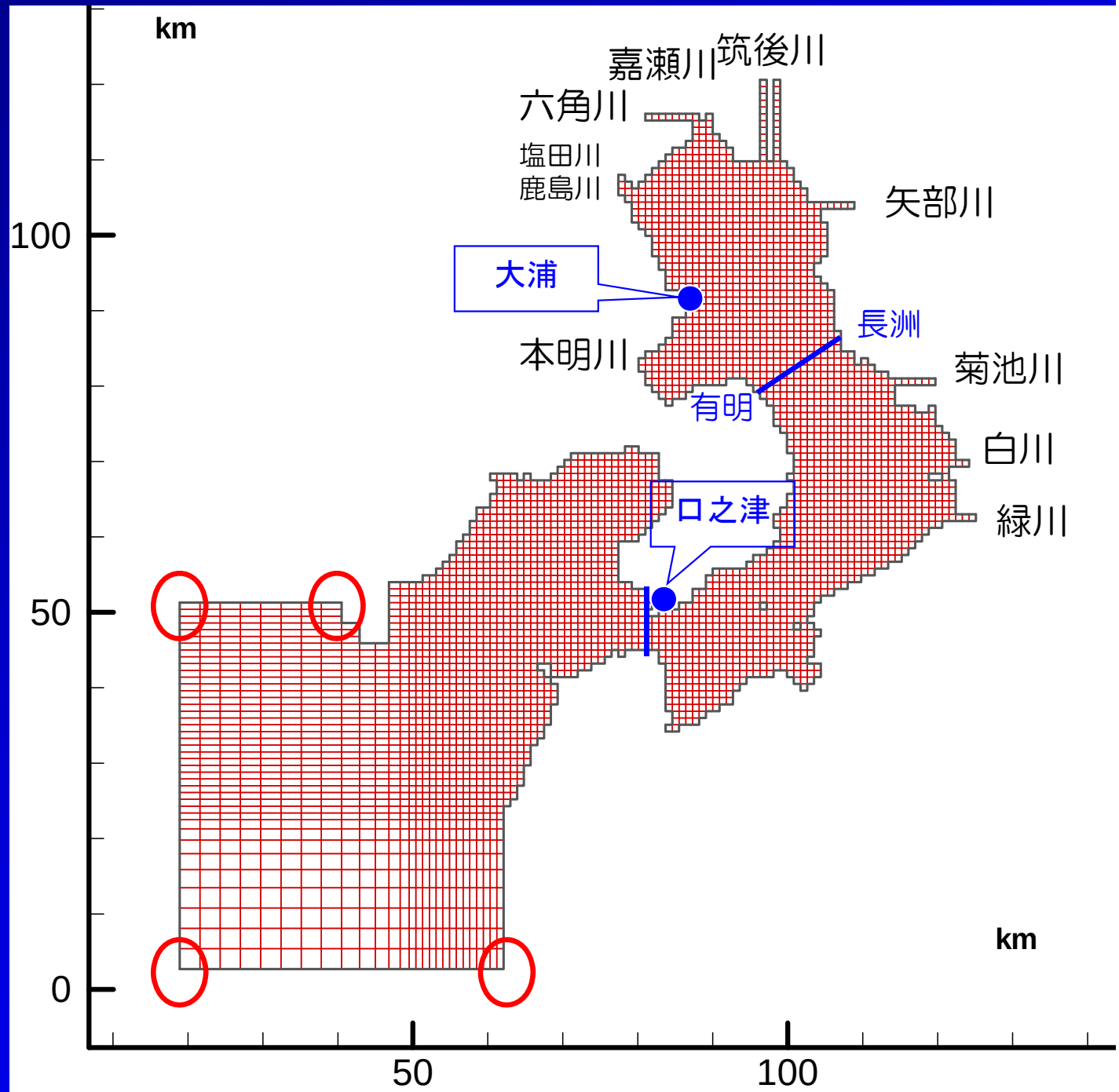
計算領域および格子分割

900m（有明海）
～2,700mの
可変格子

●有明海計算領域の諸元
（河川域を除く）

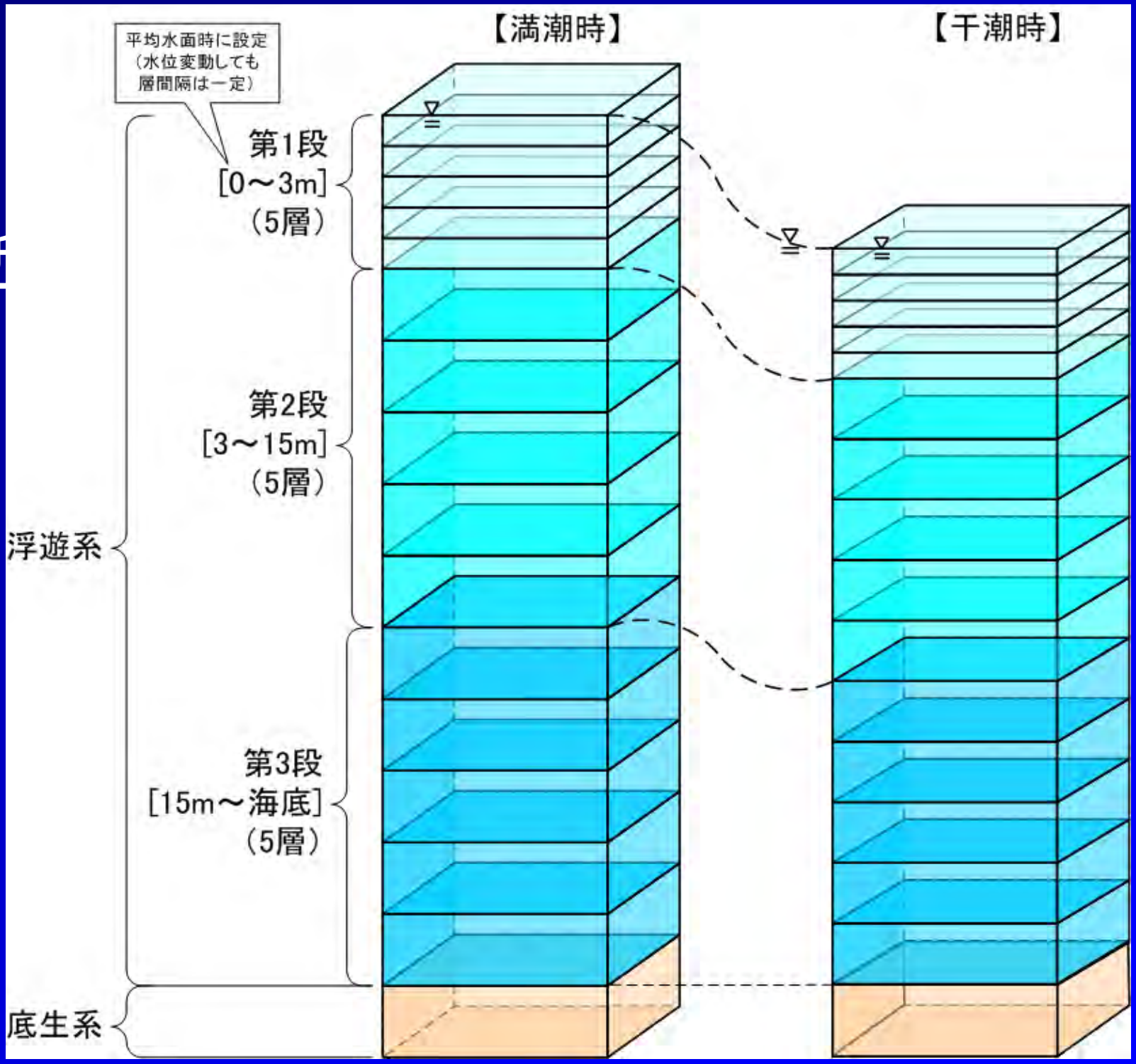
計算領域	面積 [km^2]	容積 [km^3]
北部海域	697 (43.9%)	6.9 (22.3%)
南部海域	889 (56.1%)	24.2 (77.7%)
合計	1,585	31.1

注)有明海の格子数:2,007（河川域含む）
総格子数:3,318



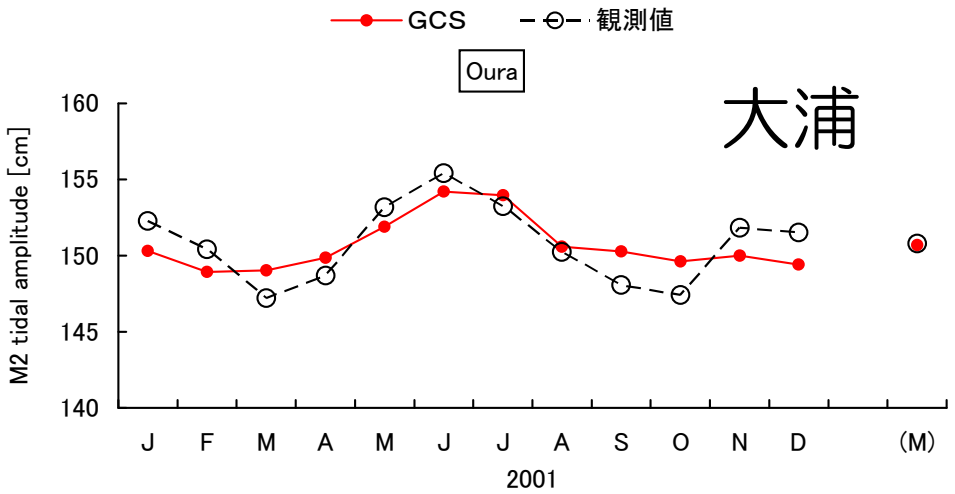
浮遊系の鉛直分割

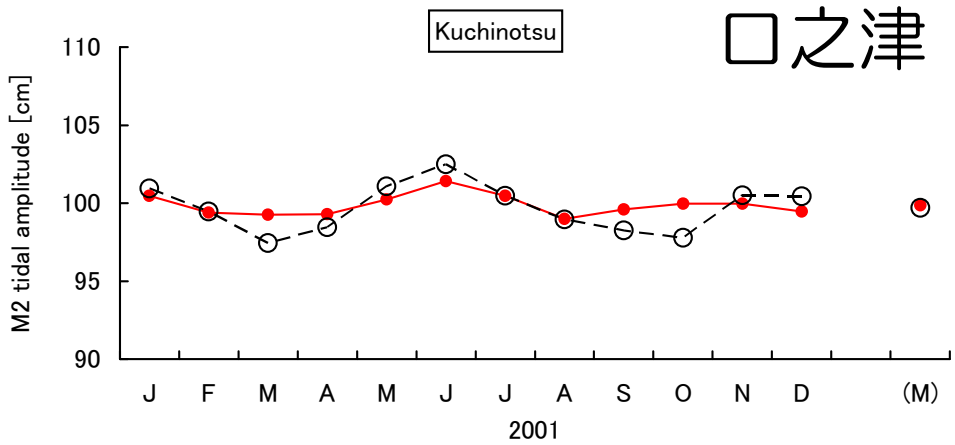
（多重σに近いGCS）



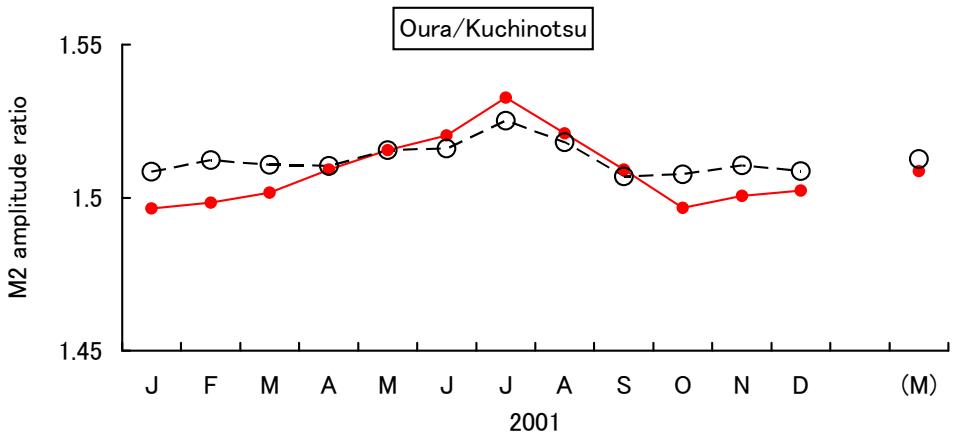
現況再現結果

潮位振幅　2001年

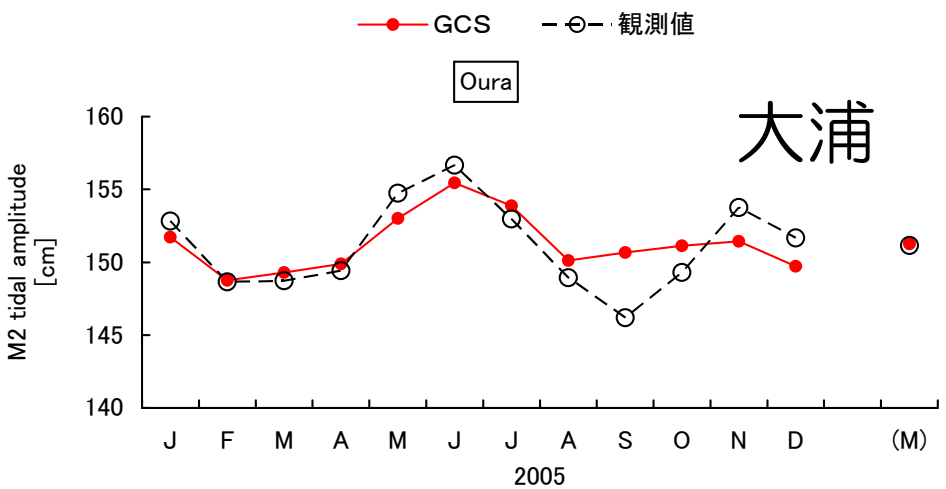


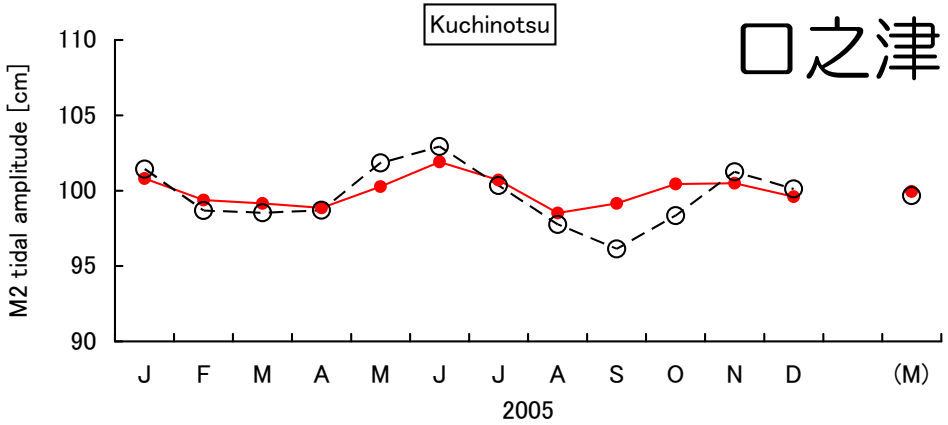


増幅率（大浦／口之津）

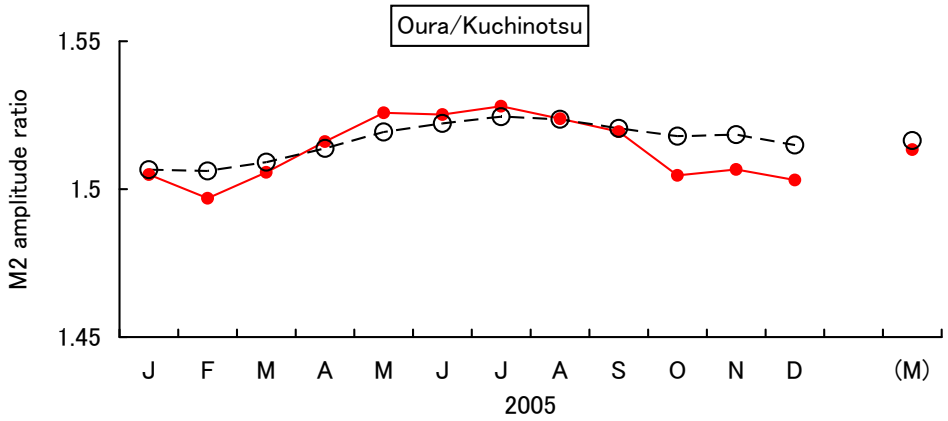


潮位振幅　2005年

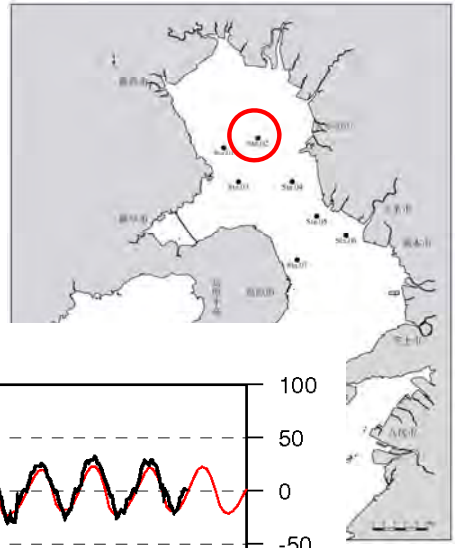


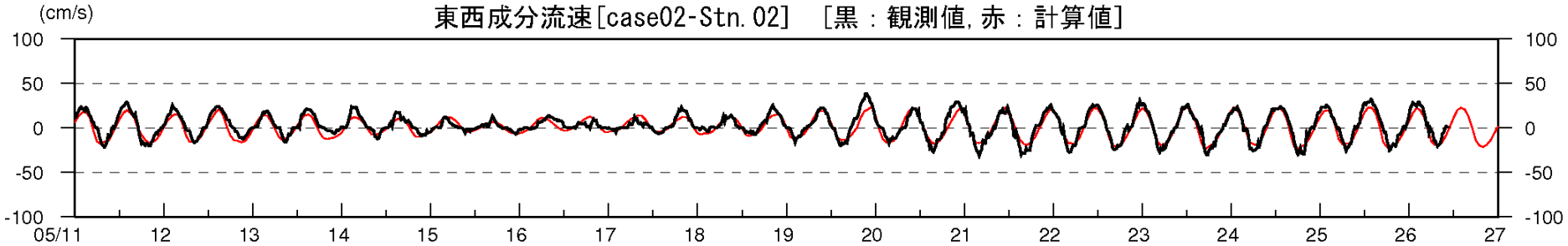


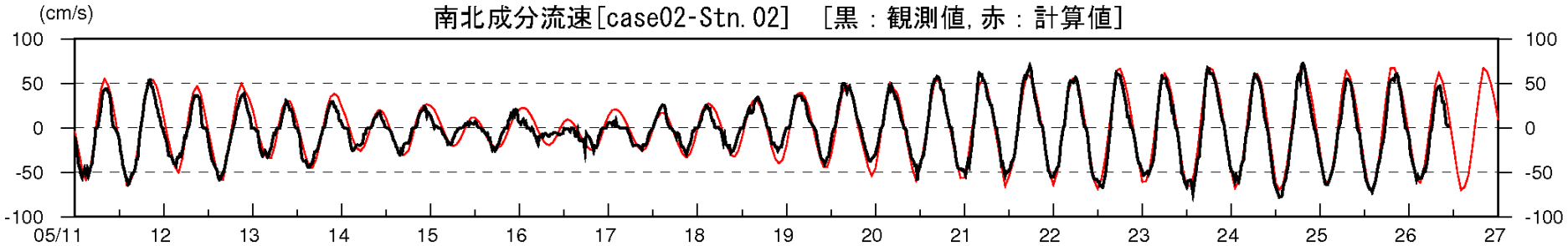
増幅率（大浦／口之津）

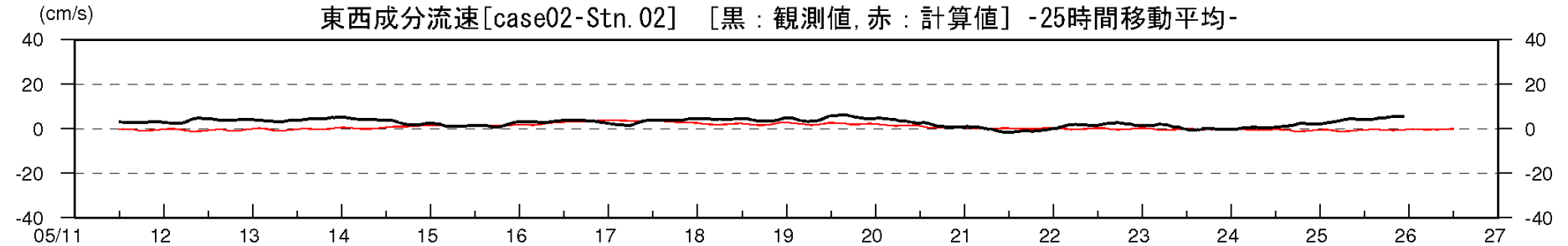


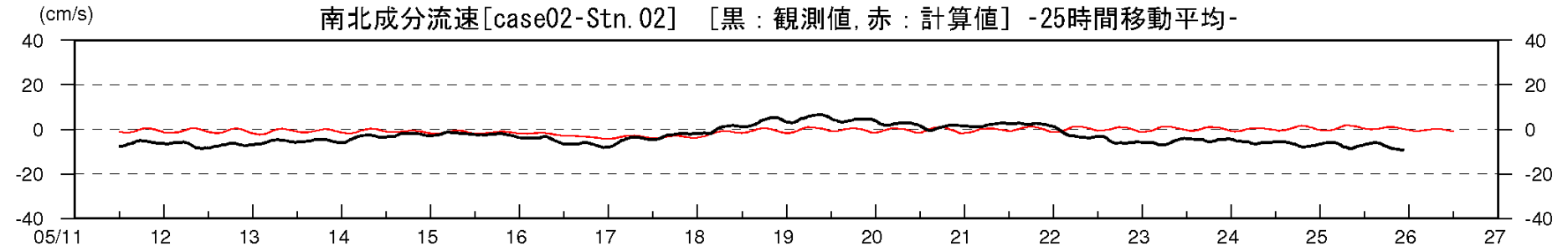
成分流速（海面下3m）
2001年5月



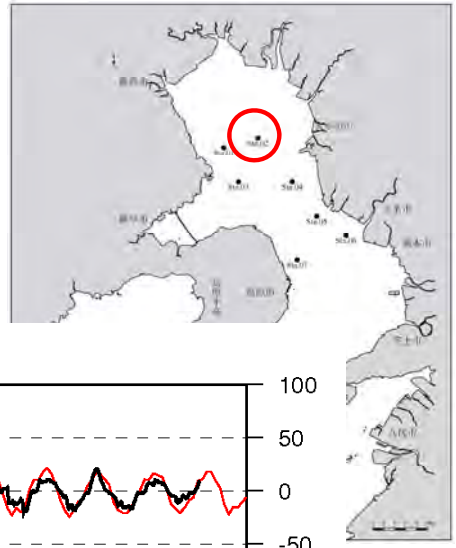


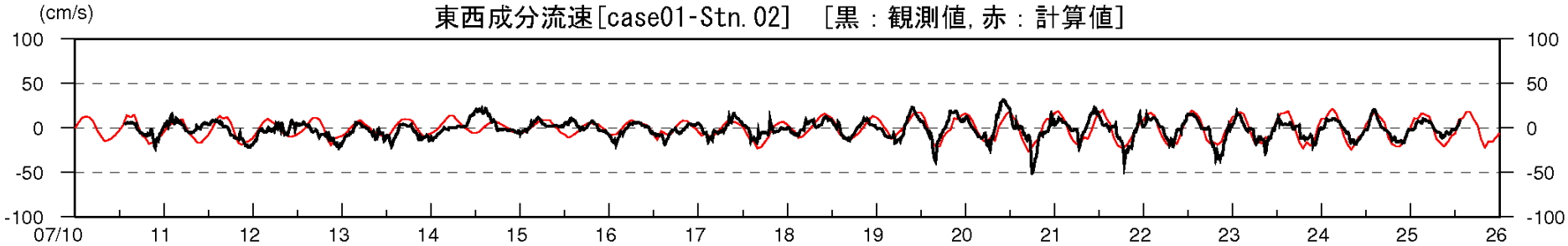


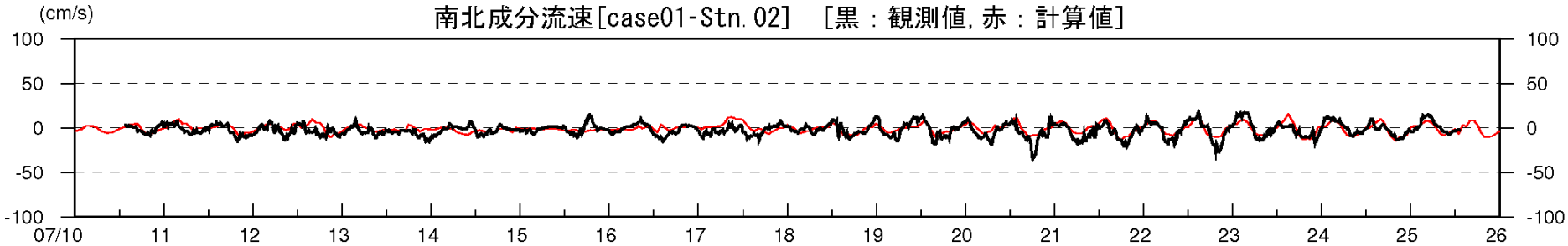


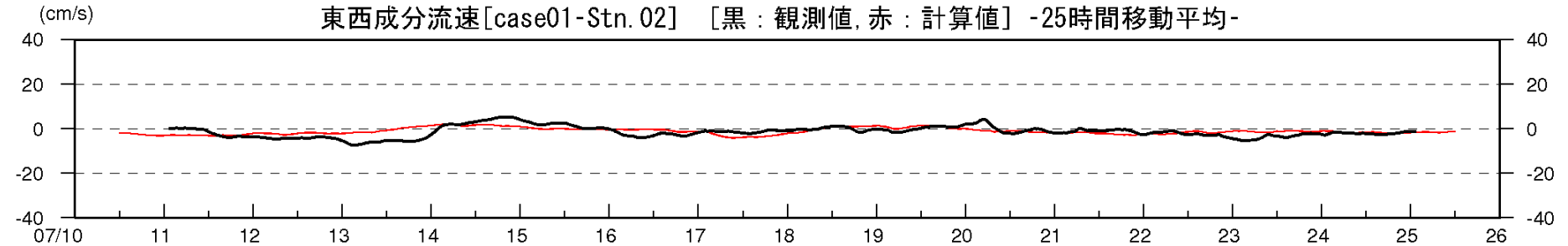


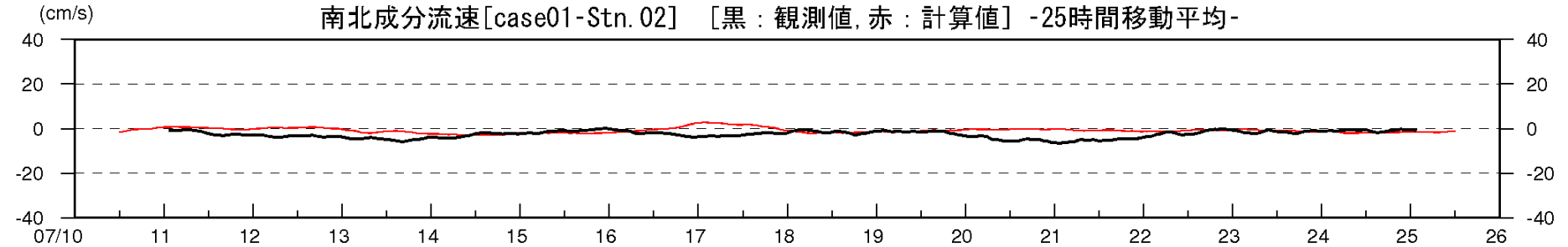
成分流速（海面下3m）
2001年7月





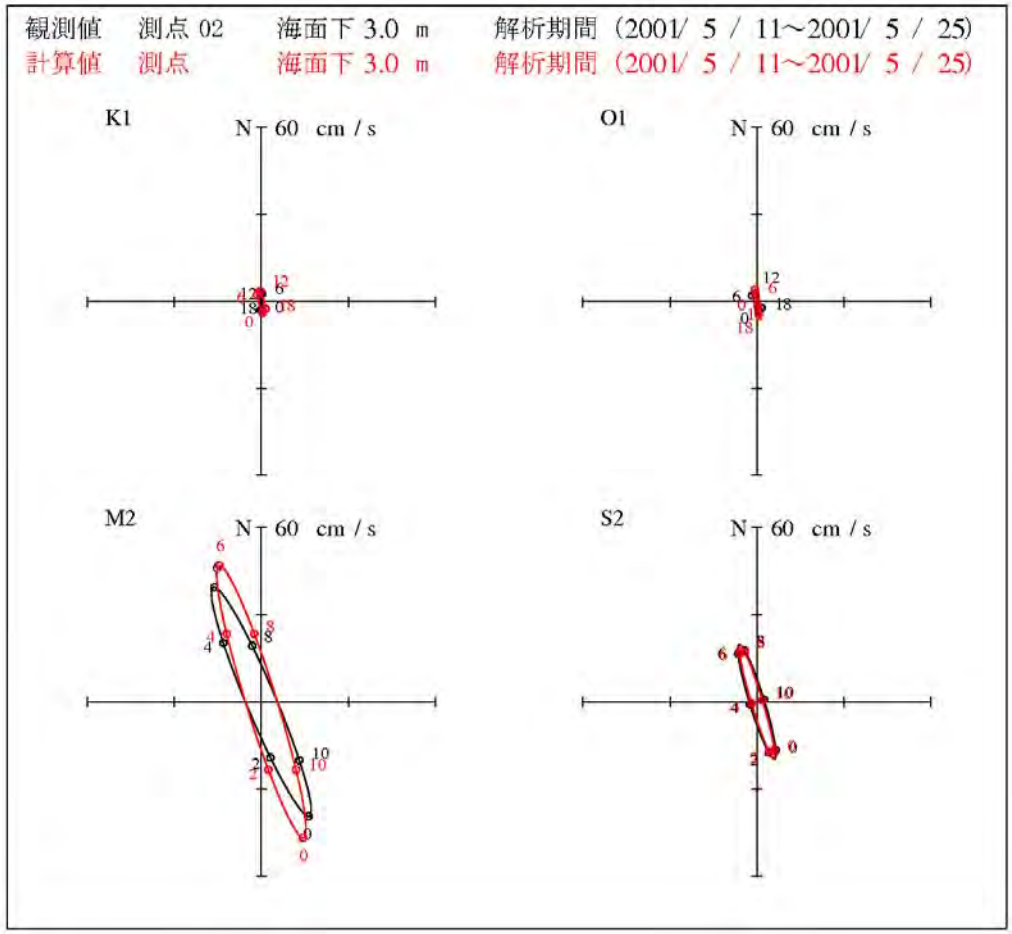




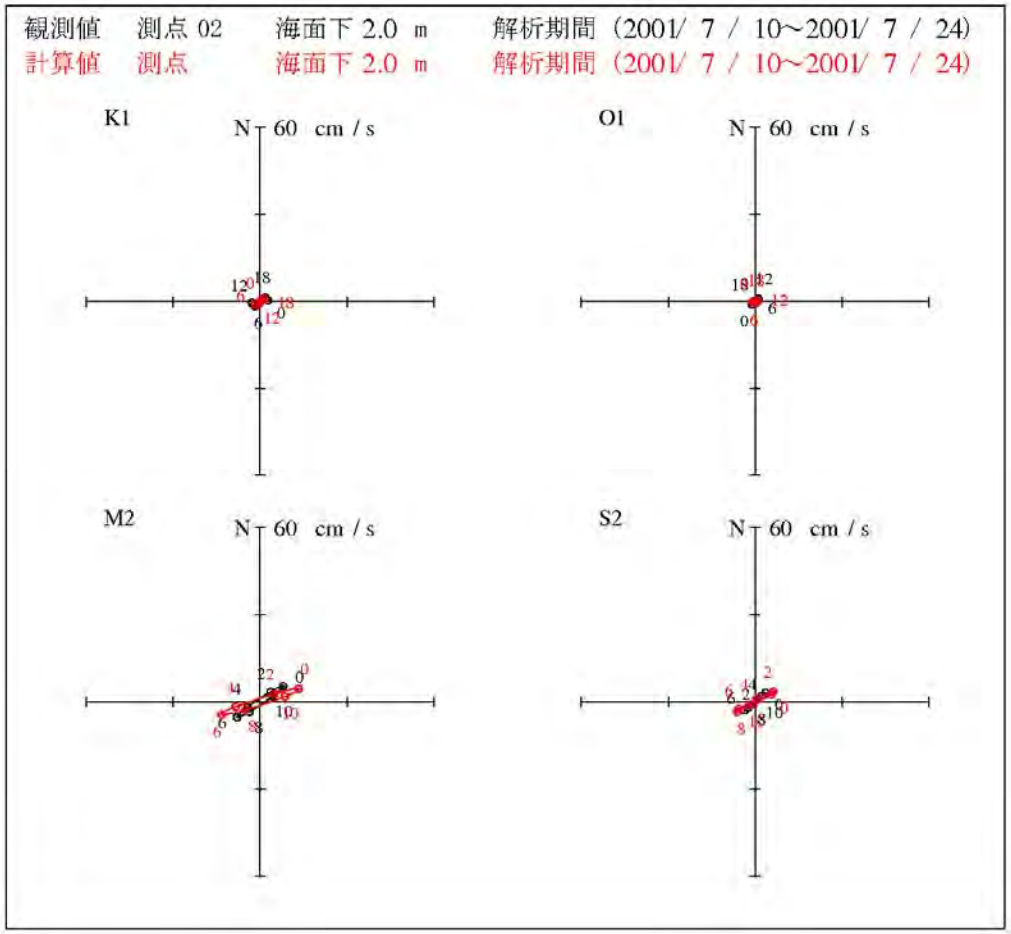


潮流楕円（海面下3m）
2001年

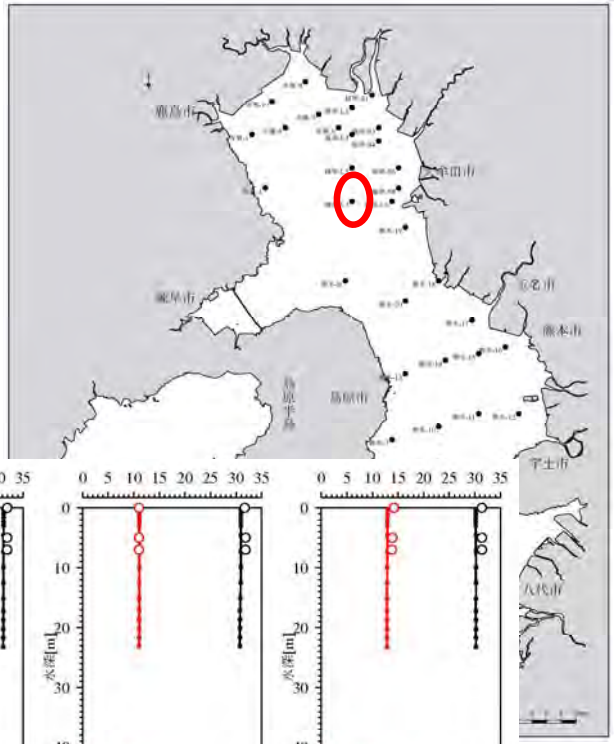
2001年5月11日～25日



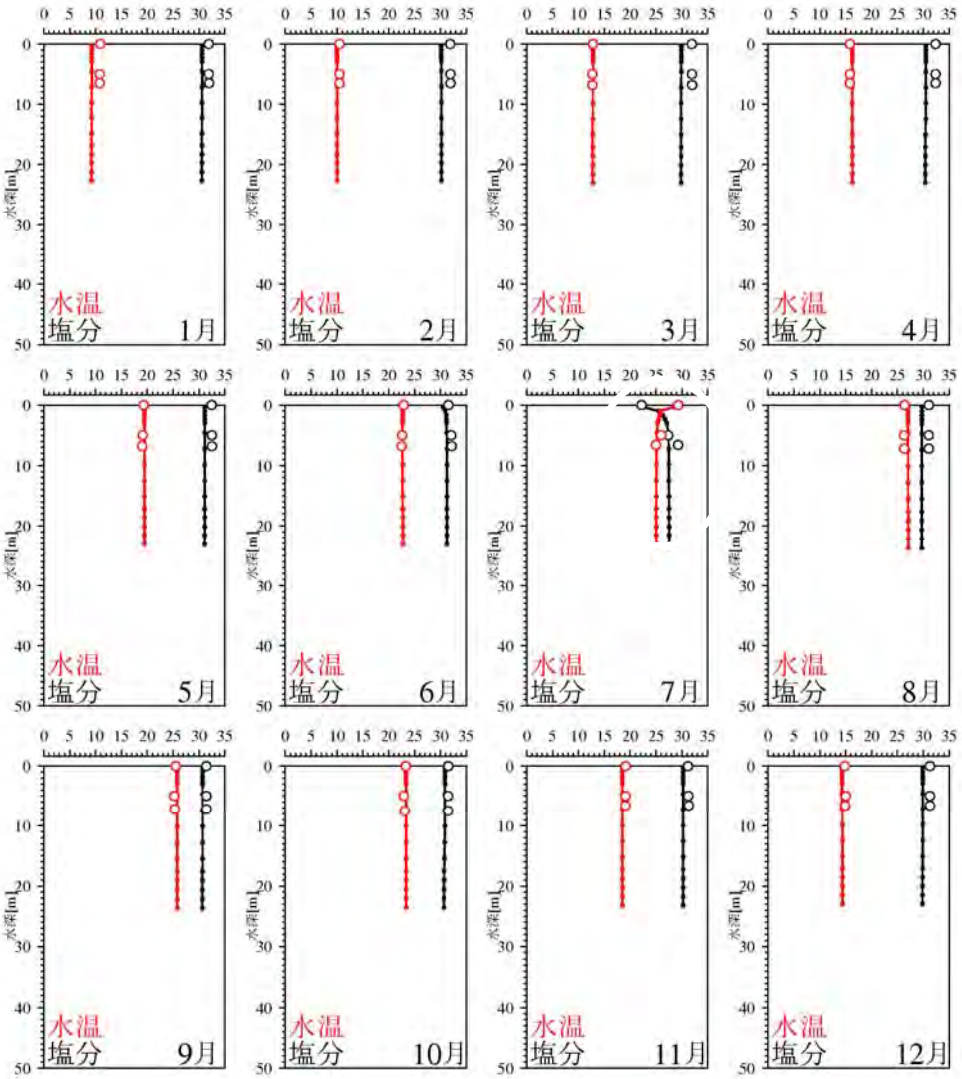
7月10日～24日



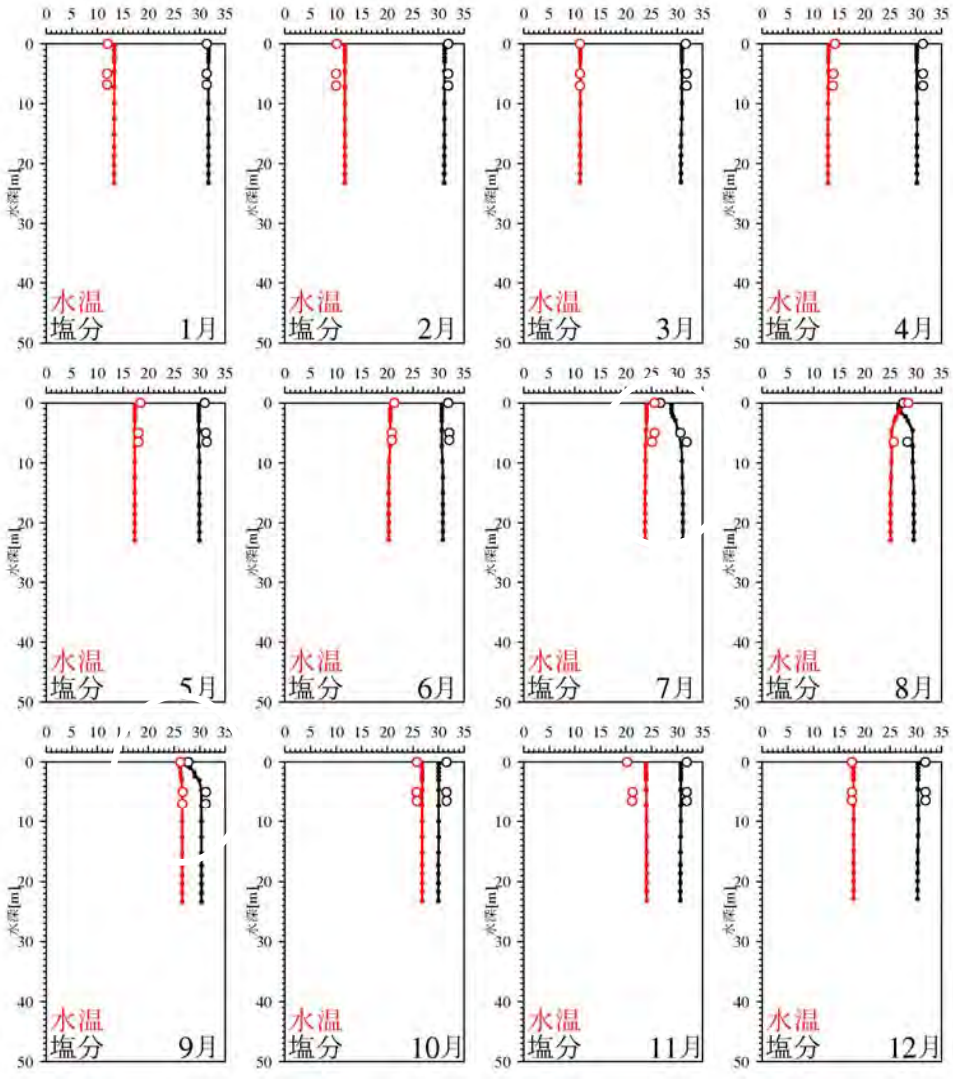
水温・塩分鉛直プロファイル

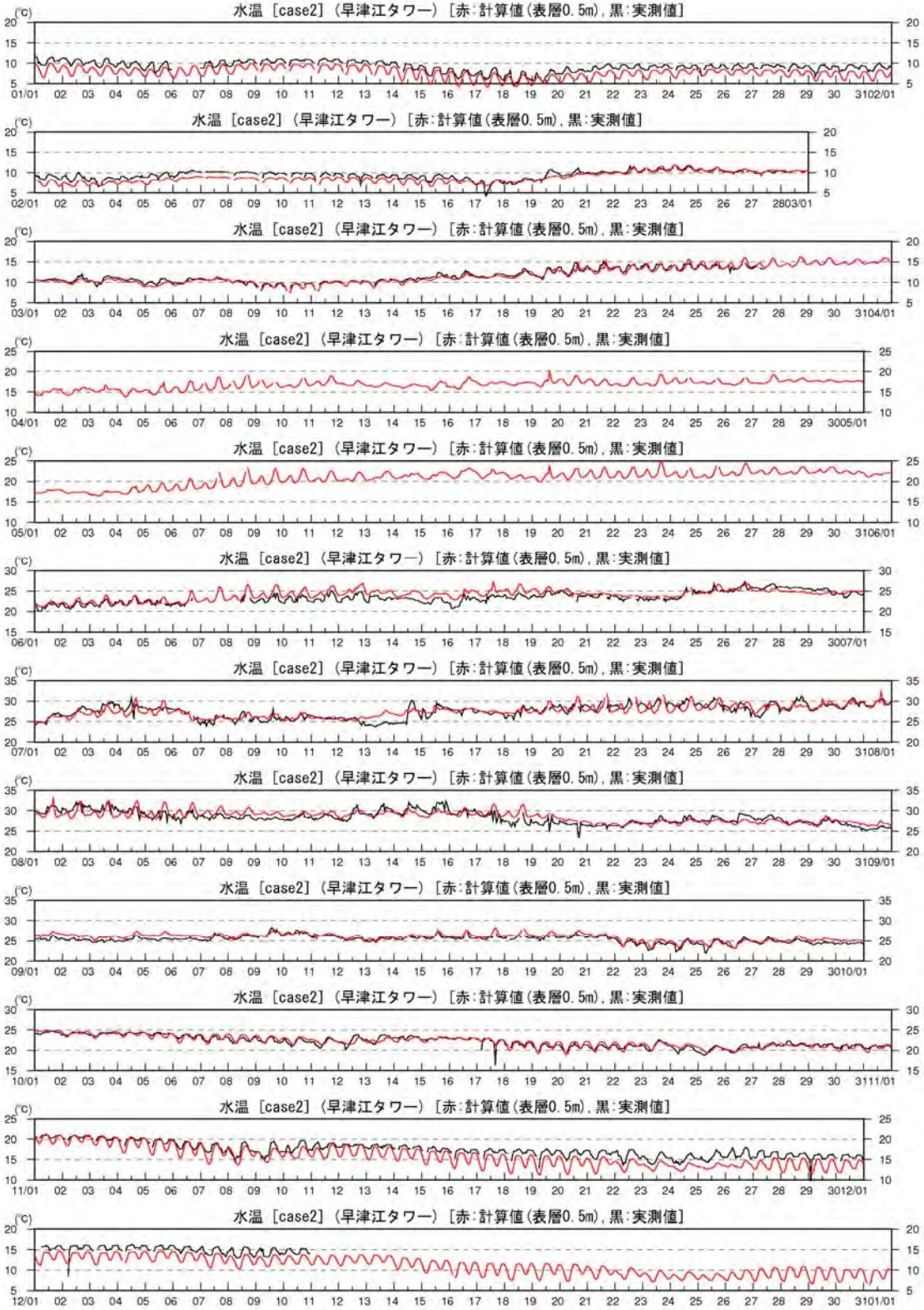


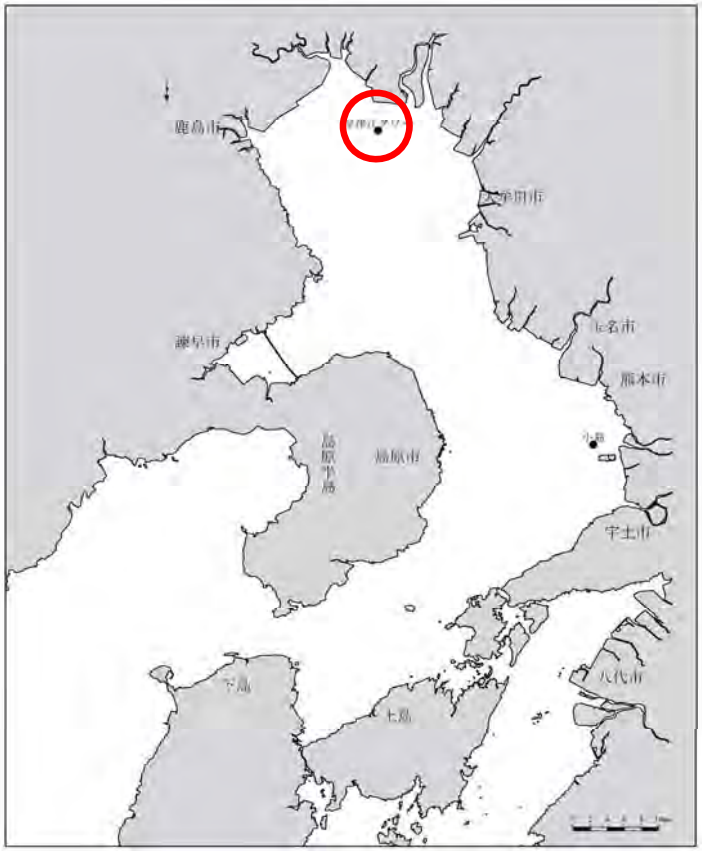
2001年



2005年

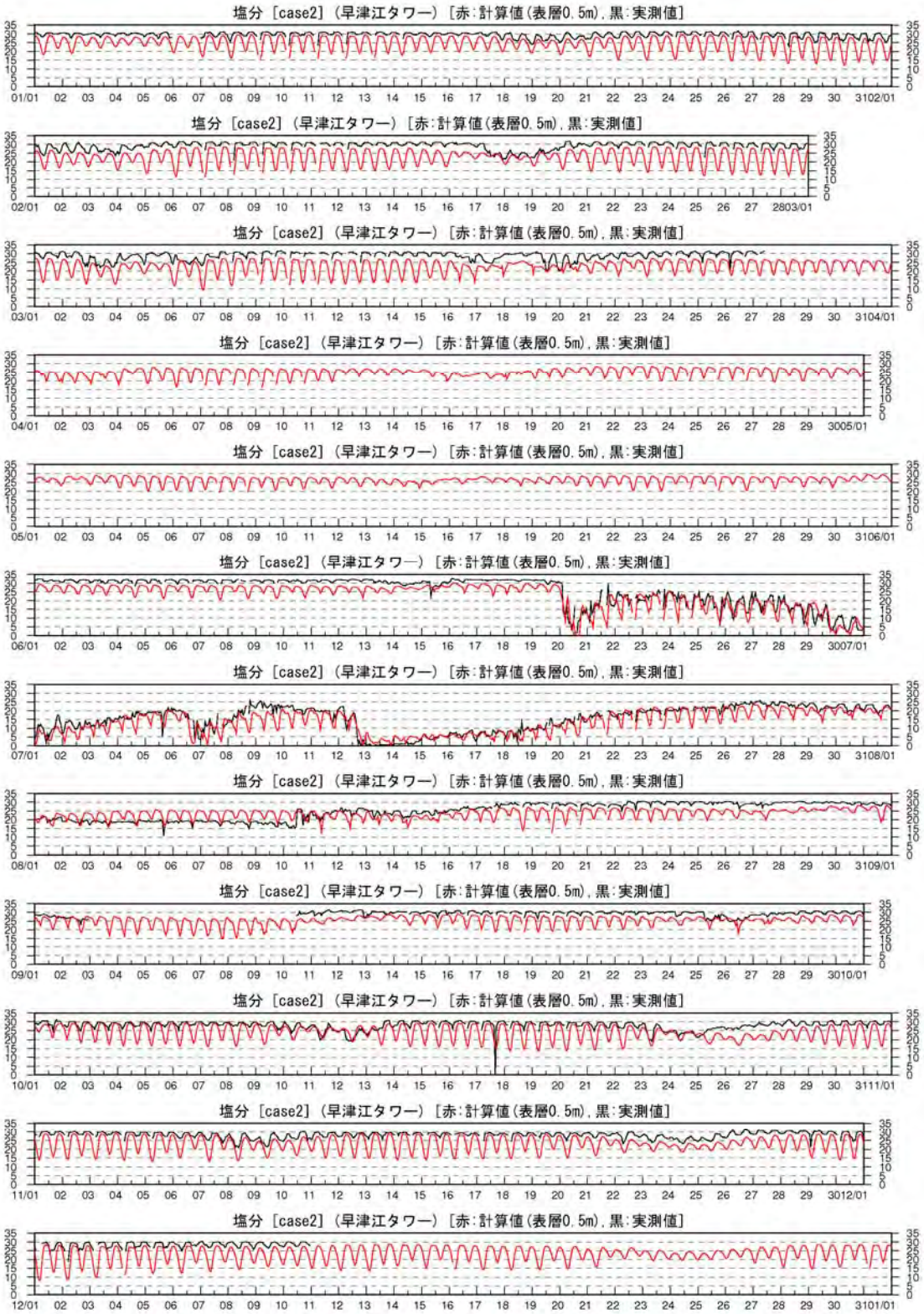


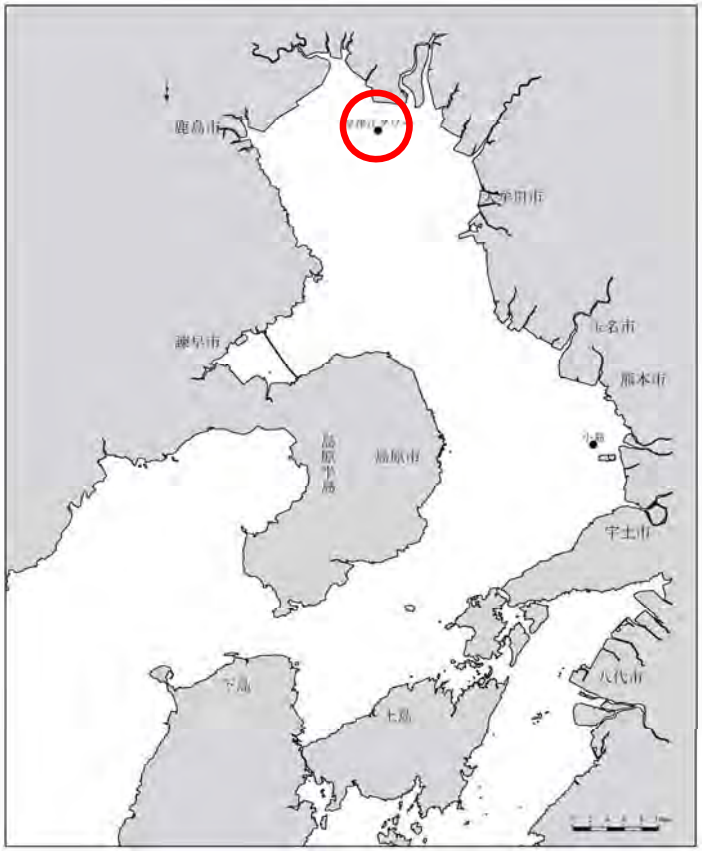




水温連続観測

2001年





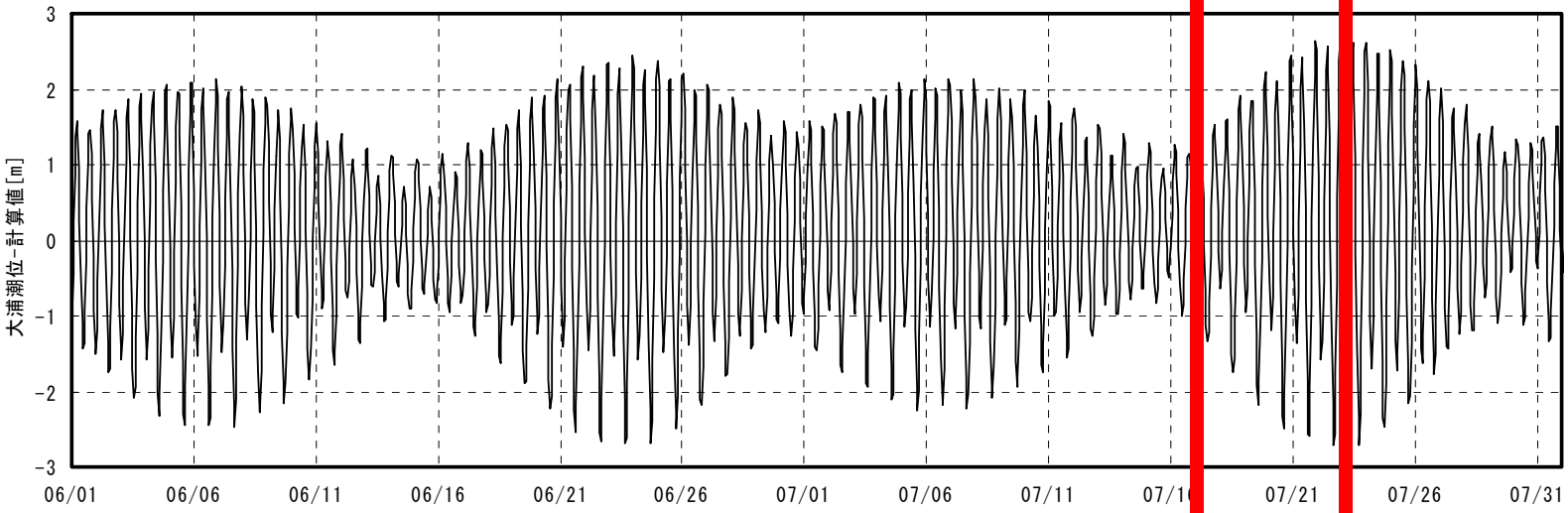
塩分連続観測

2001年

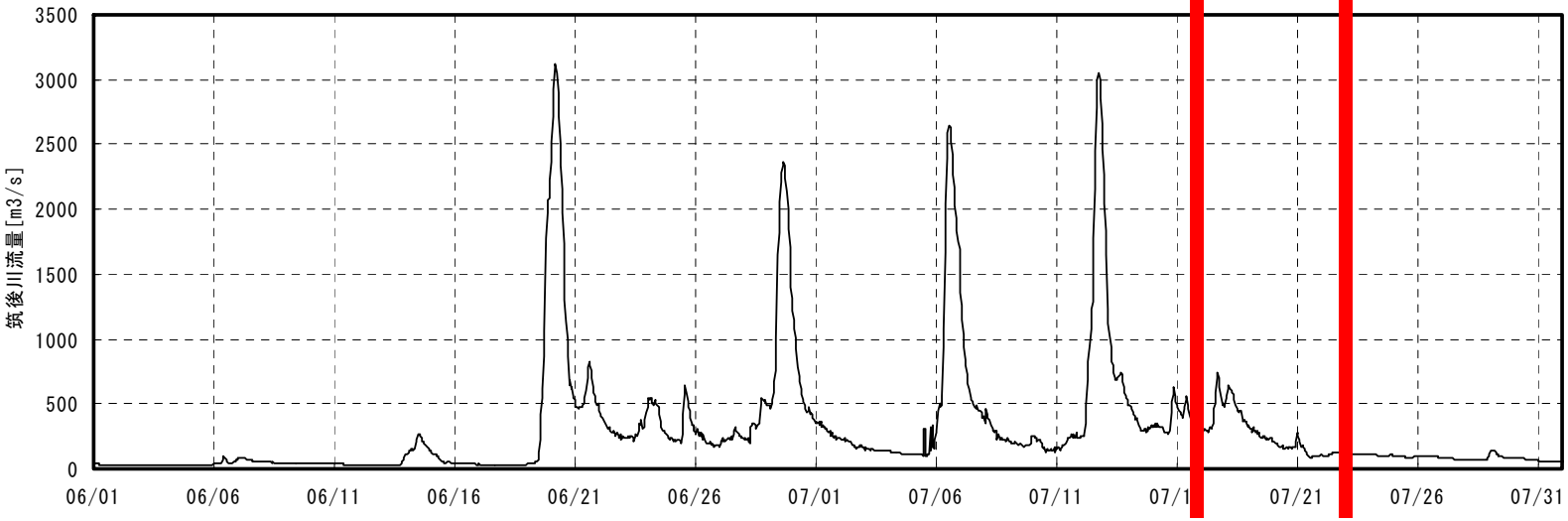
小潮:2001年7月15日

大潮:7月23日

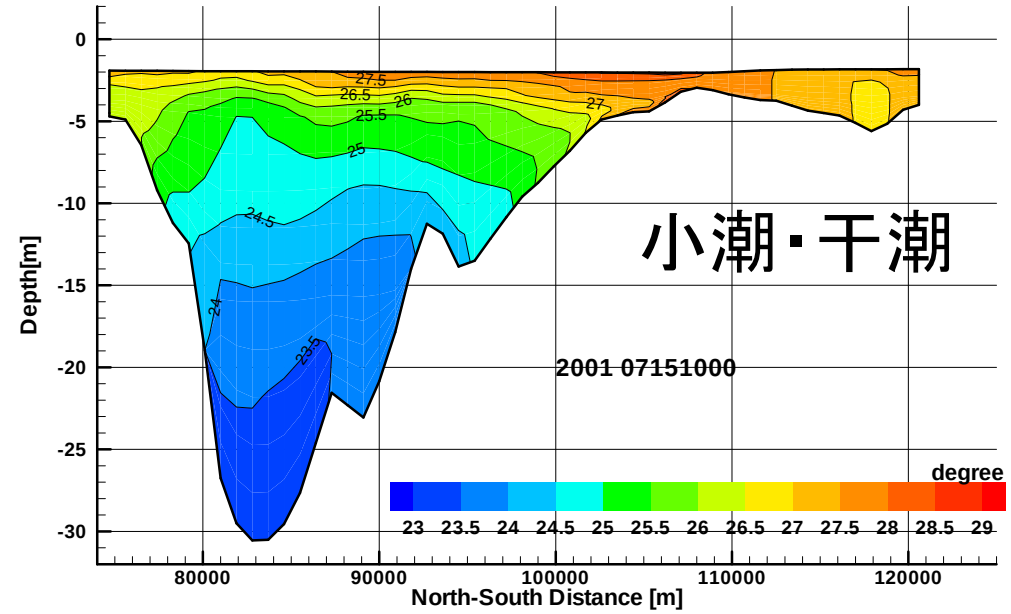
大浦の潮位

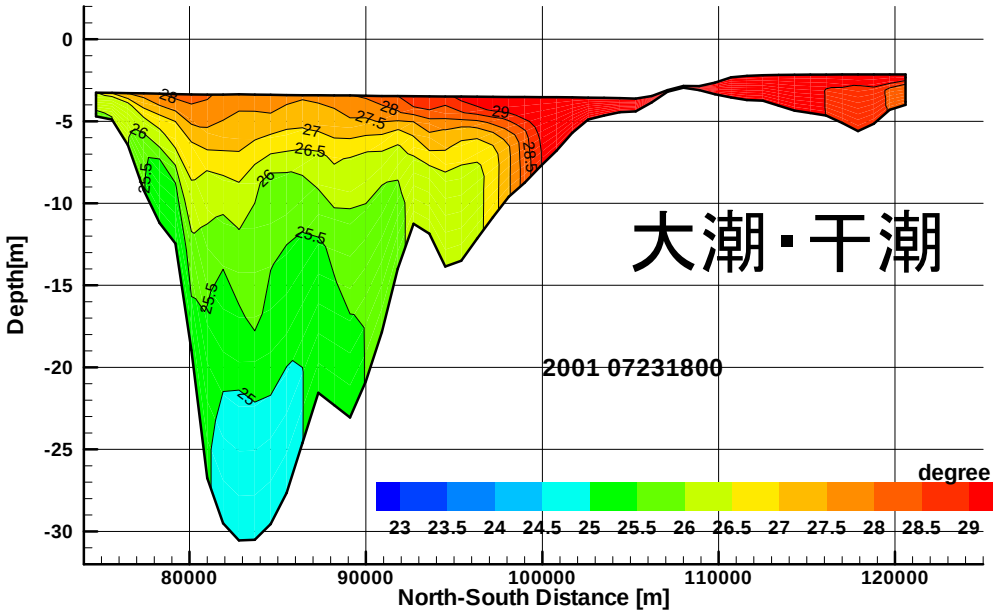


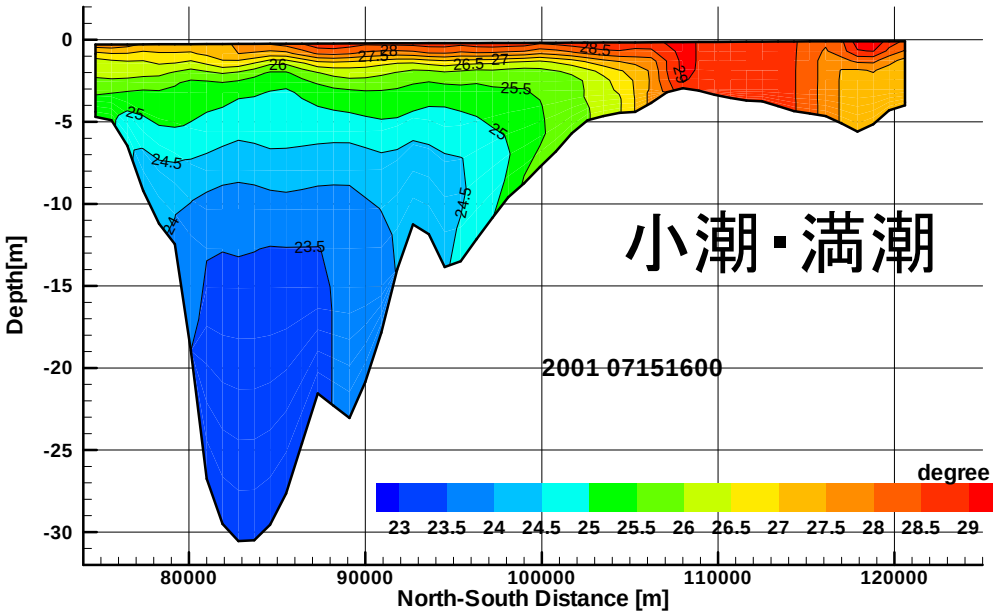
筑後川の時間流量

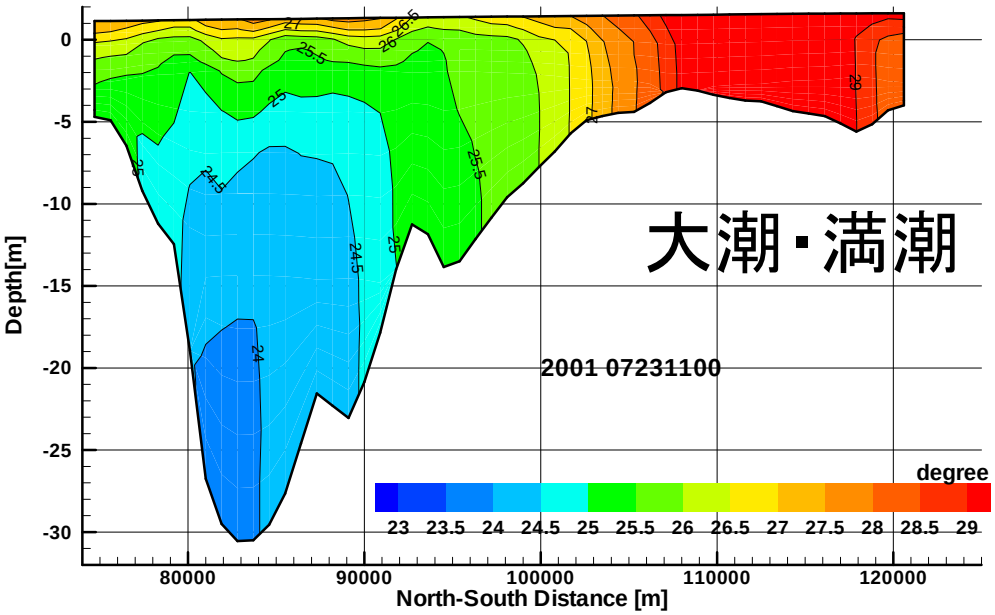


水温

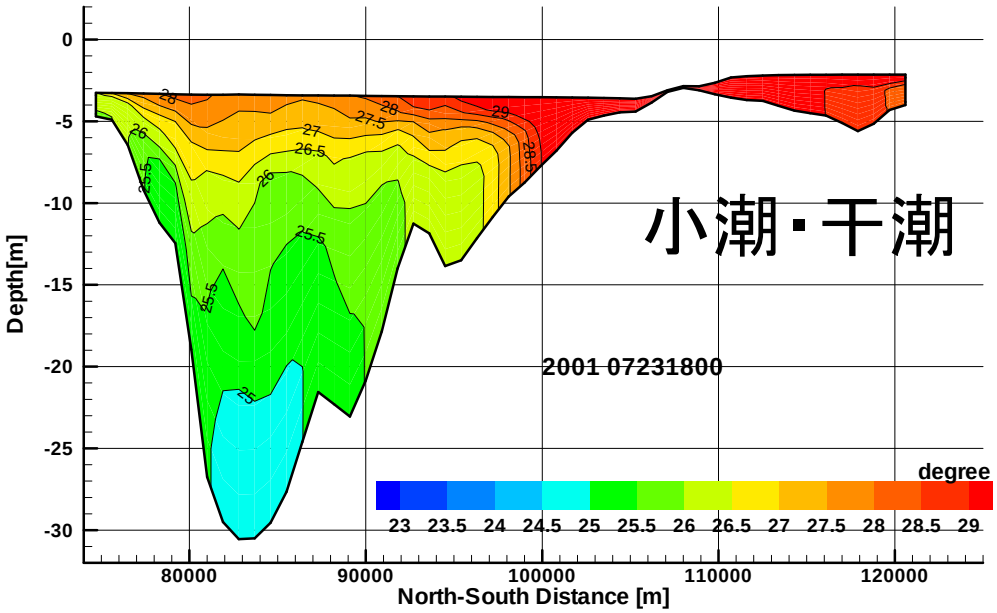

小潮・干潮
2001 07151000
degree
23 23.5 24 24.5 25 25.5 26 26.5 27 27.5 28 28.5 29
Depth[m]
North-South Distance [m]

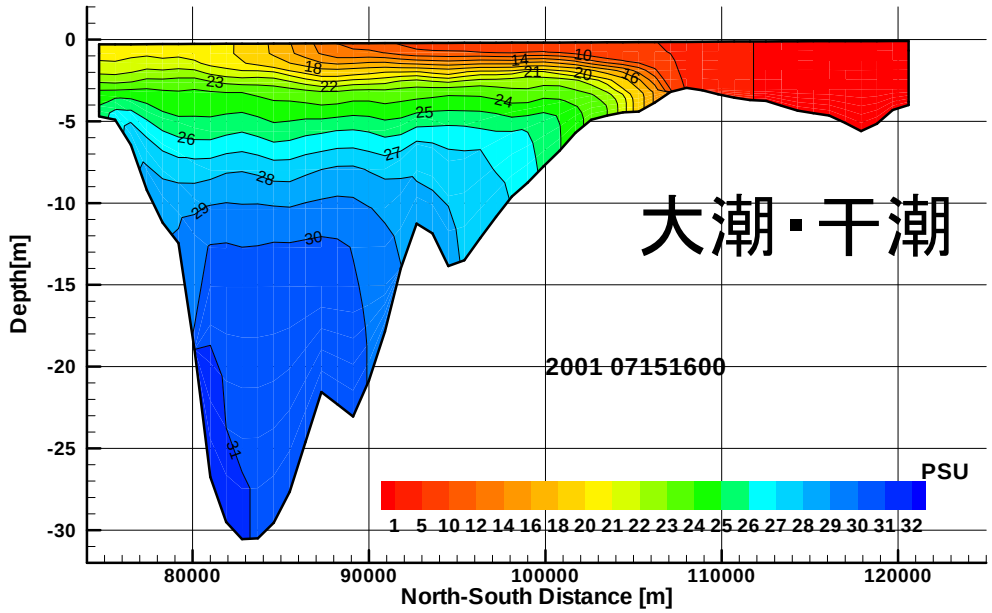

大潮・干潮
2001 07231800
degree
23 23.5 24 24.5 25 25.5 26 26.5 27 27.5 28 28.5 29
Depth[m]
North-South Distance [m]

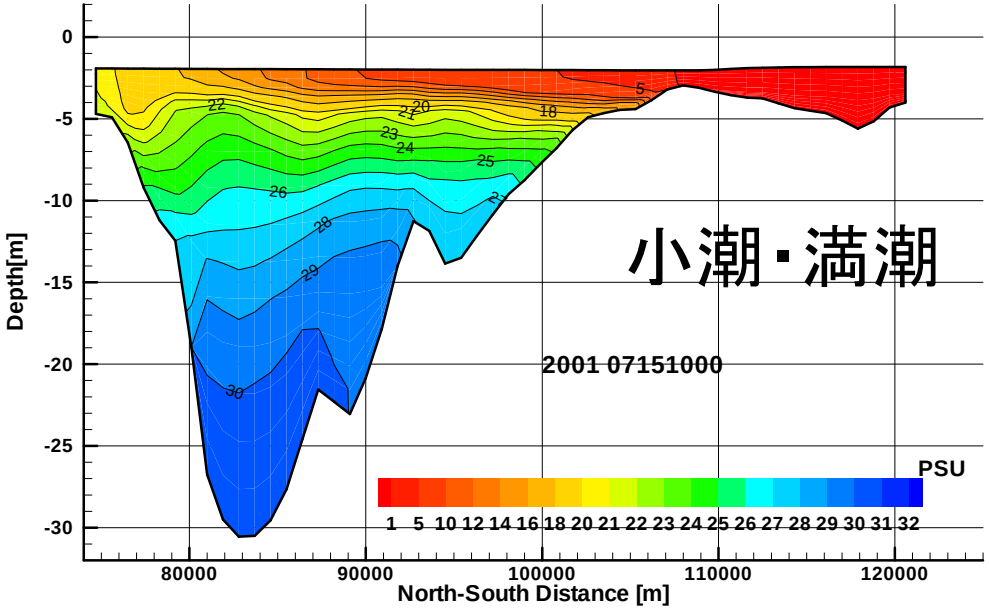

小潮・満潮
2001 07151600
degree
23 23.5 24 24.5 25 25.5 26 26.5 27 27.5 28 28.5 29
Depth[m]
North-South Distance [m]

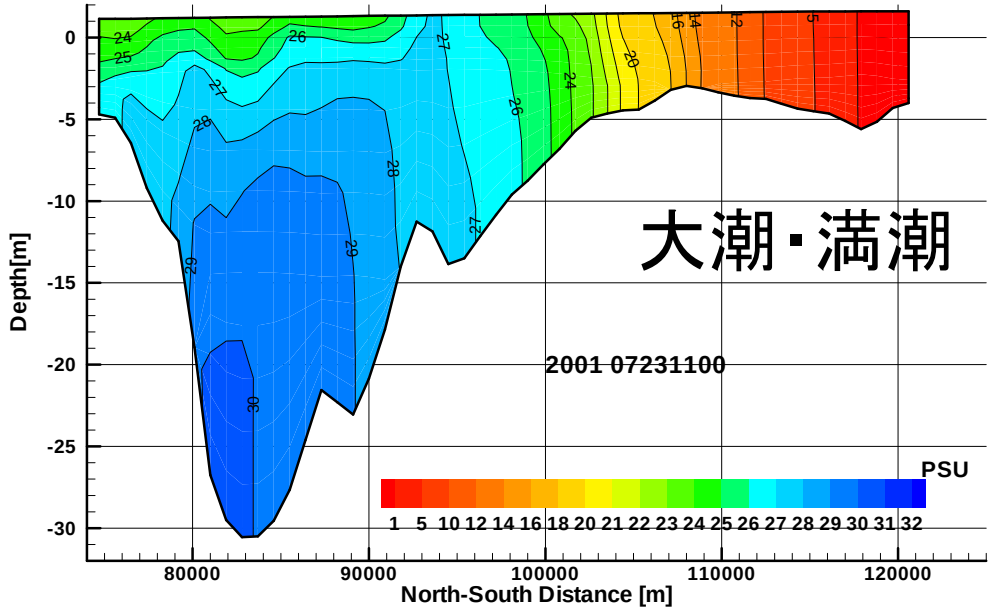

大潮・満潮
2001 07231100
degree
23 23.5 24 24.5 25 25.5 26 26.5 27 27.5 28 28.5 29
Depth[m]
North-South Distance [m]

塩分


小潮・干潮
2001 07231800
degree
23 23.5 24 24.5 25 25.5 26 26.5 27 27.5 28 28.5 29
Depth[m]
North-South Distance [m]


大潮・干潮
2001 07151600
PSU
1 5 10 12 14 16 18 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32
Depth[m]
North-South Distance [m]


小潮・満潮
2001 07151000
PSU
1 5 10 12 14 16 18 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32
Depth[m]
North-South Distance [m]

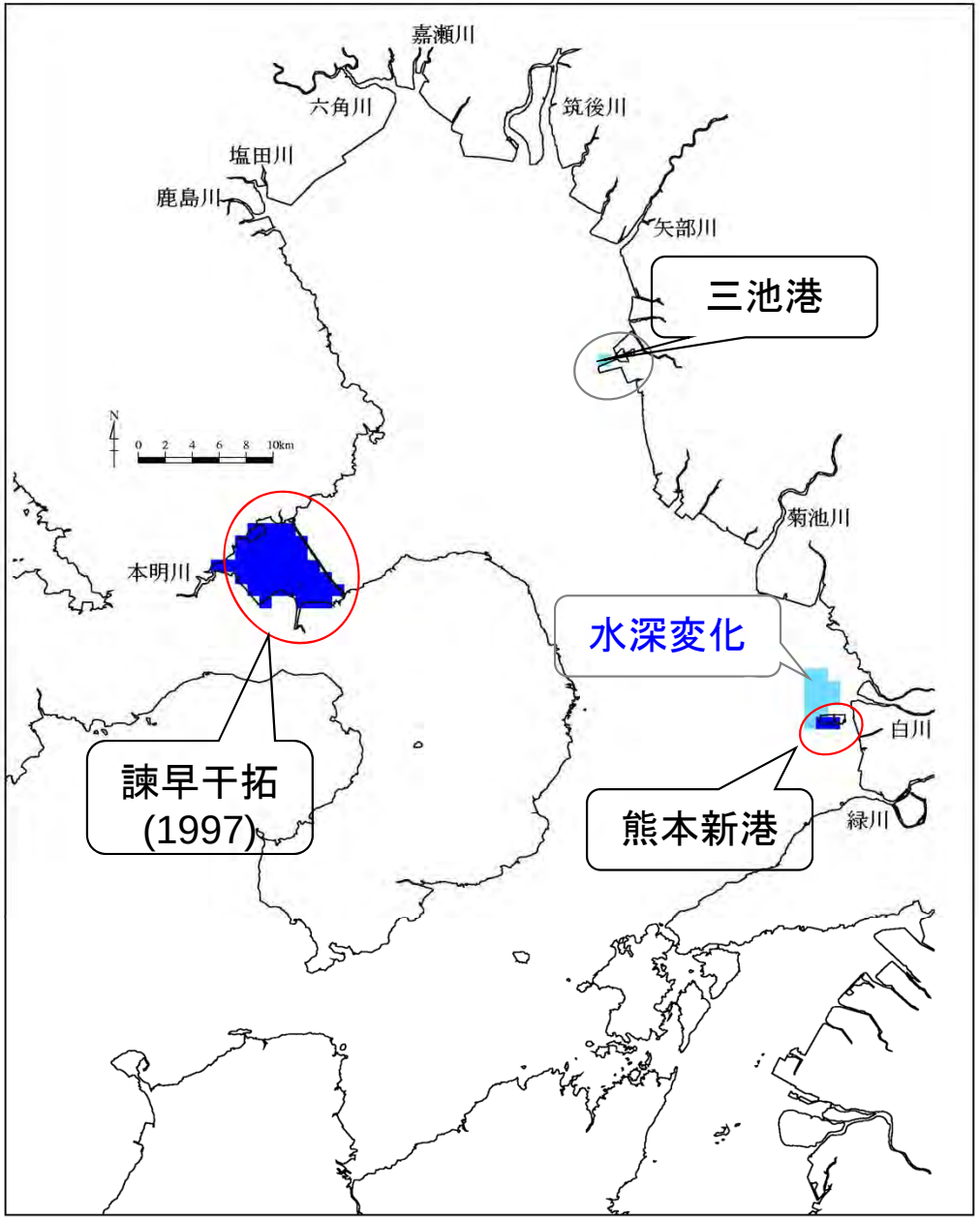

大潮・満潮
2001 07231100
PSU
1 5 10 12 14 16 18 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32
Depth[m]
North-South Distance [m]

計算ケース

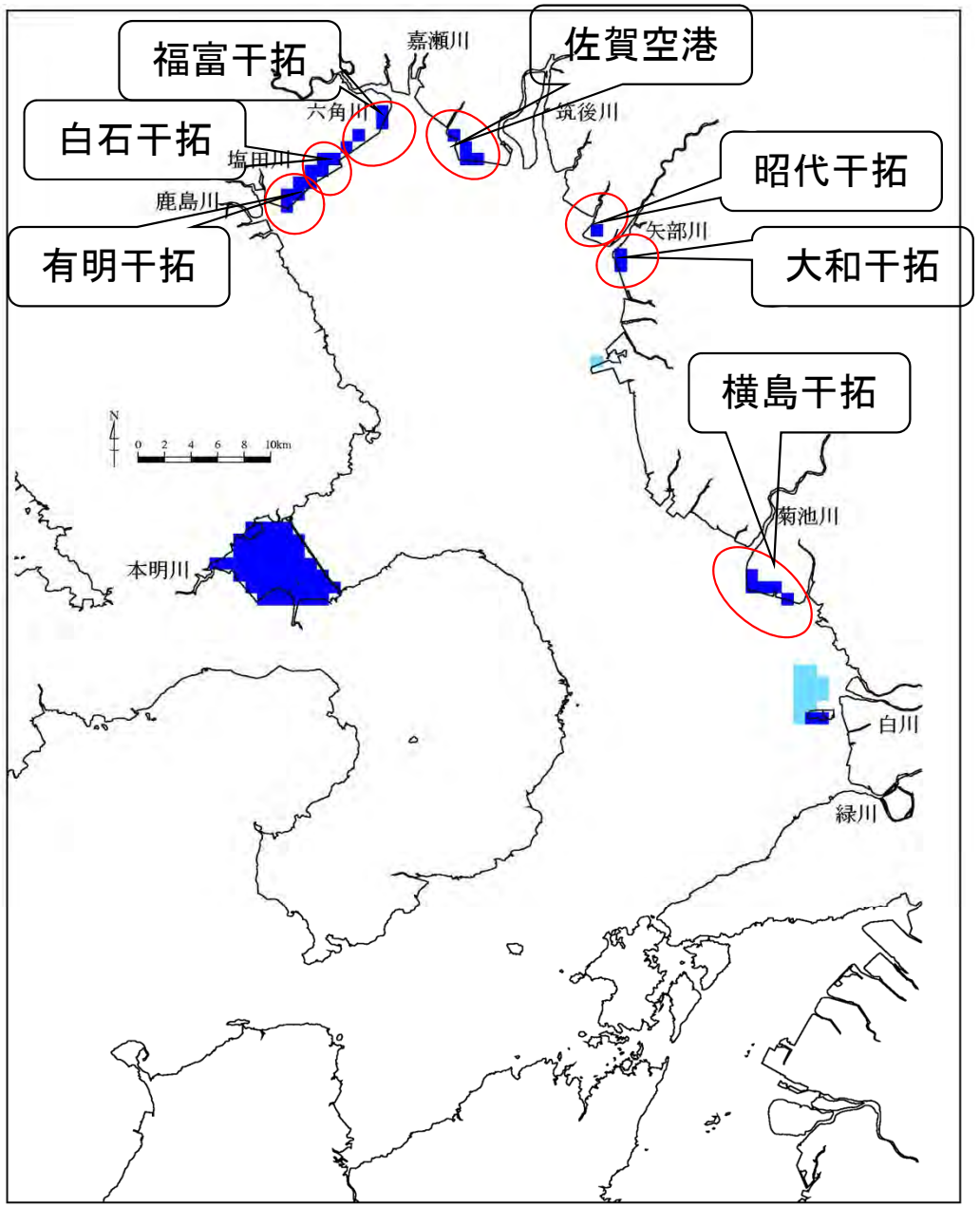
Case	地形	ノリ網	外海潮位振幅	平均水面	気温
1.現況再現	2000年代	あり	2001年	2001年	2001年
2.地形1	**1970年代後半**	あり	2001年	2001年	2001年
3.地形2	**1930年代**	あり	2001年	2001年	2001年
4.地形3	2000年代	**なし**	2001年	2001年	2001年
5.潮汐1	2000年代	あり	2001年	**－10cm**	2001年
6.潮汐2	2000年代	あり	**＋3%**	2001年	2001年
7.潮汐1,2	2000年代	あり	**＋3%**	**－10cm**	2001年
8.複合	**1970年代後半**	あり	**＋3%**	**－10cm**	2001年
9.複合	**1930年代**	あり	**＋3%**	**－10cm**	2001年
10.温度1	2000年代	あり	2001年	2001年	－1℃
11.温度2	2000年代	あり	2001年	2001年	－2℃
12.1970s想定	**1970年代後半**	あり	**＋3%**	**－10cm**	－1℃
13.1930s想定	**1930年代**	あり	**＋3%**	**－10cm**	－1℃
16.潮汐3	2000年代	あり	**－3%**	**＋10cm**	2001年
17.温度3	2000年代	あり	2001年	2001年	**＋1℃**
20.地形4	**諫早湾埋立**	あり	2001年	2001年	2001年
21.地形5	**人工海岸開削**	あり	2001年	2001年	2001年

地形変化　（2000年代との比較）

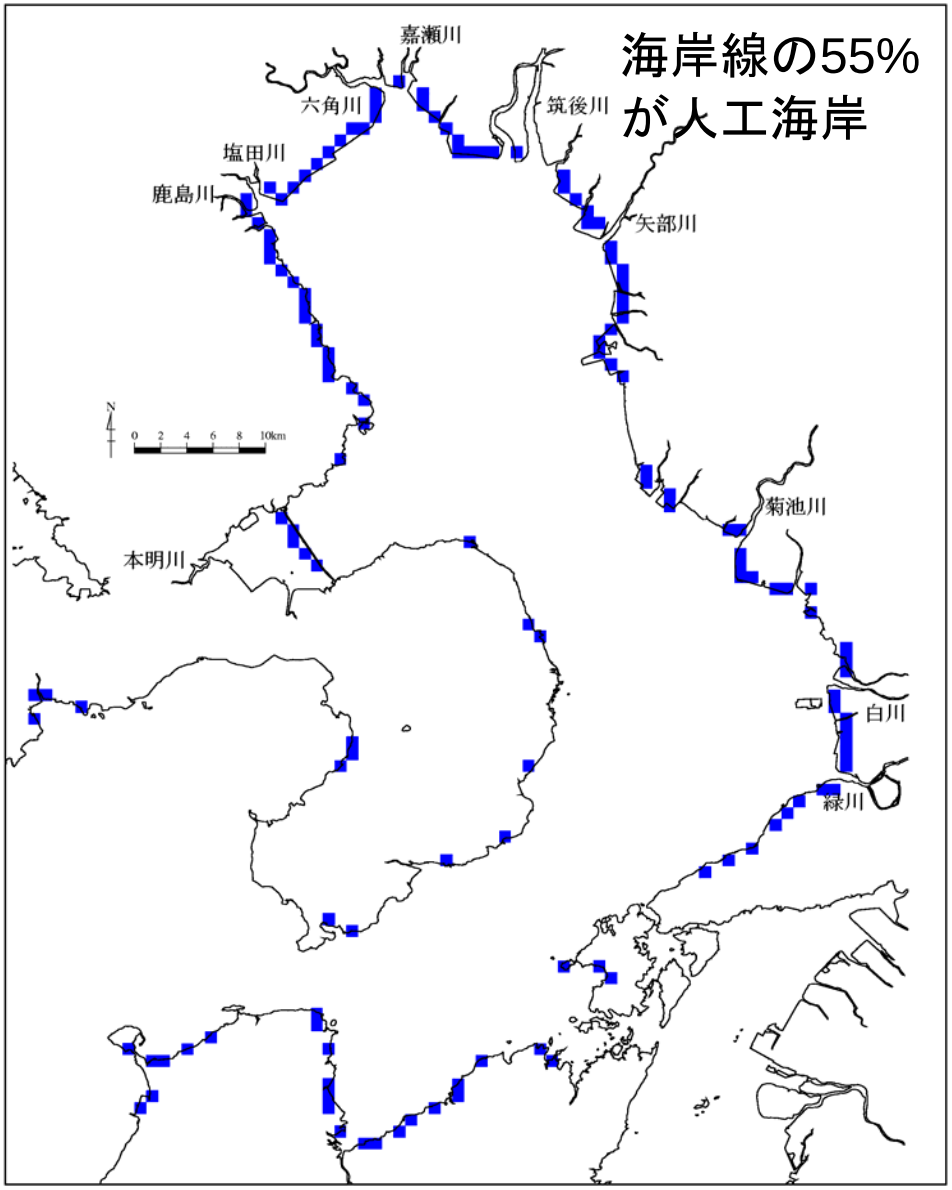
1970年代後半（Case2）



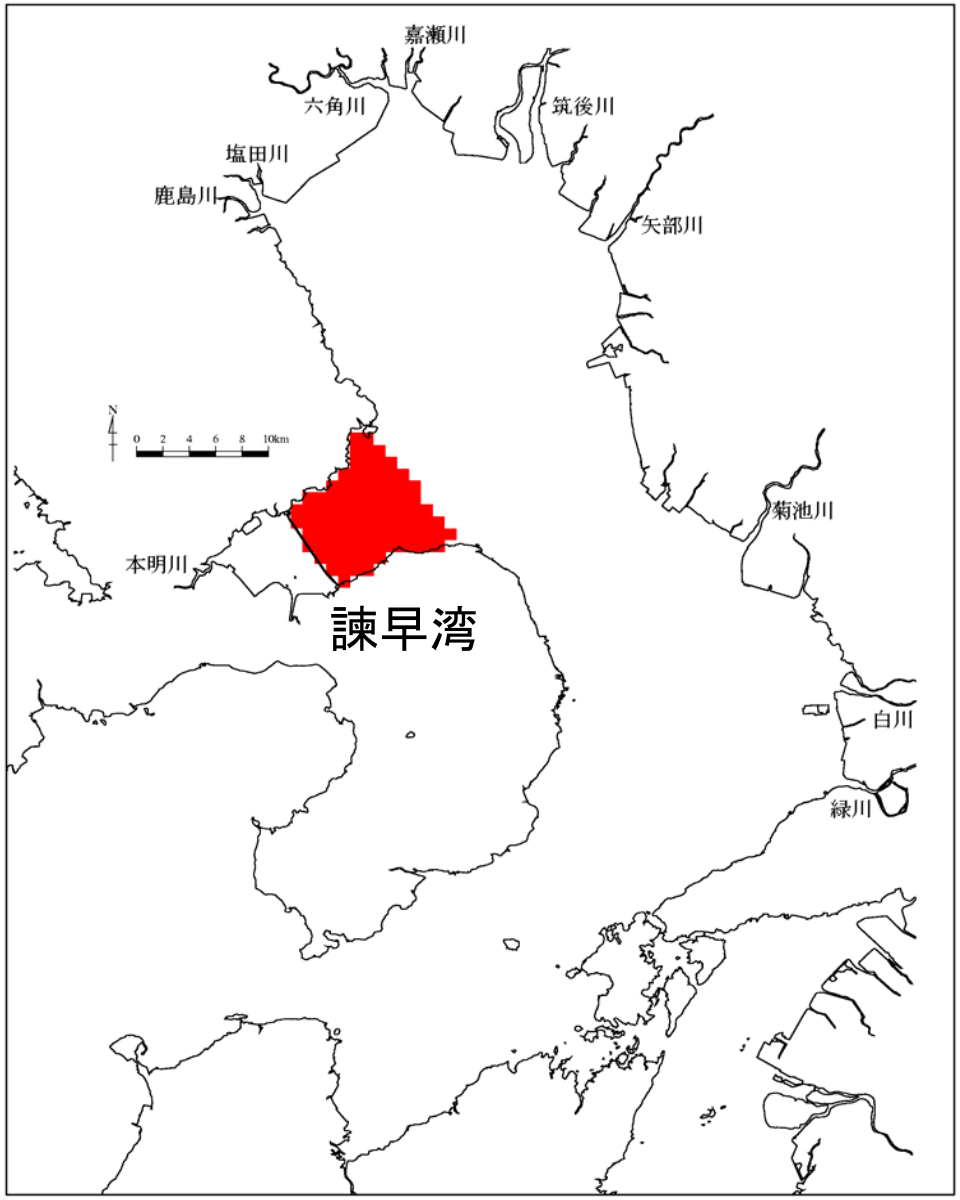
1930年代（Case3）



人工海岸開削(Case21)



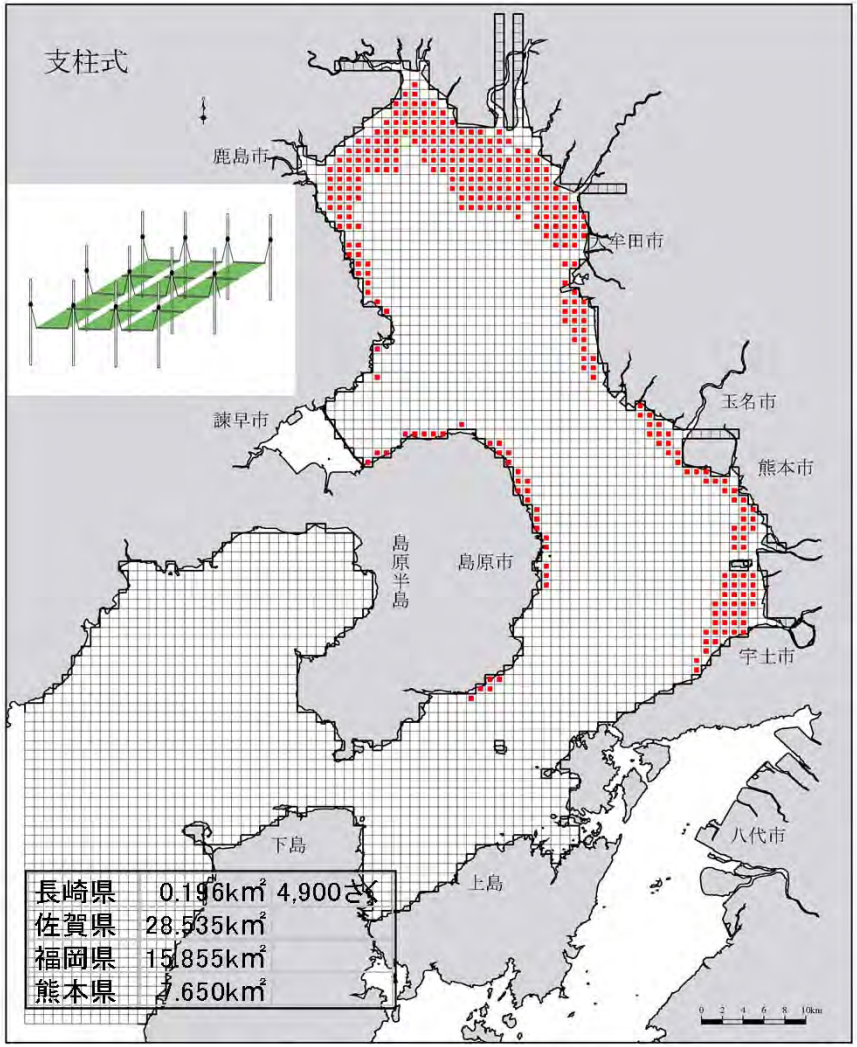
諫早湾全面埋立(Case20)

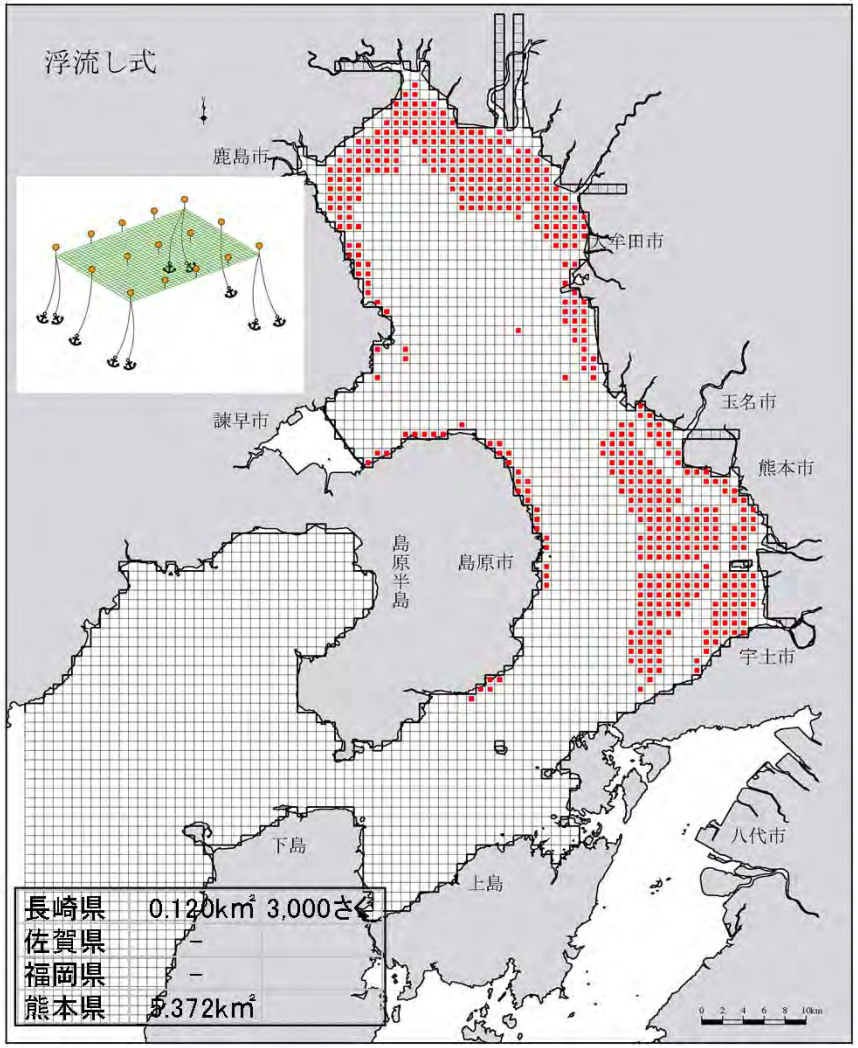


ノリ網による抵抗を考慮した計算格子

(Case 4)

支柱式　　浮流し式





ノリ網設置期間：10月1日～3月15日

潮汐 (Case5,6,7,16)

M_2分潮の振幅および平均水面の1981年と2001年の比較

Table 1. Variations in M_2 tidal amplitude and mean sea level at the stations in and out of Ariake Bay from 1981 to 2001.

	Amplitude in 1981 (cm)	Amplitude in 2001 (cm)	Decrease (cm)	Decreasing ratio (%)	Mean sea level rise (cm)
Oura	156.1	150.9	5.2	3.3	9.1
Misumi	122.1	119.2	2.9	2.4	10.0
Kuchinotsu	101.3	99.7	1.6	1.6	8.0
Akune	80.3	79.3	1.0	1.3	5.5
Nagasaki	84.2	81.7	2.5	3.0	6.3
Sasebo	85.0	82.7	2.3	2.7	5.6
Fukue	78.8	76.8	2.0	2.5	5.4
Makurazaki	71.6	69.9	1.7	2.4	8.0

藤原ほか(2004)

平均水面：10cm低下
M_2分潮の振幅：3%増大

M_2分潮の振幅の経年変化

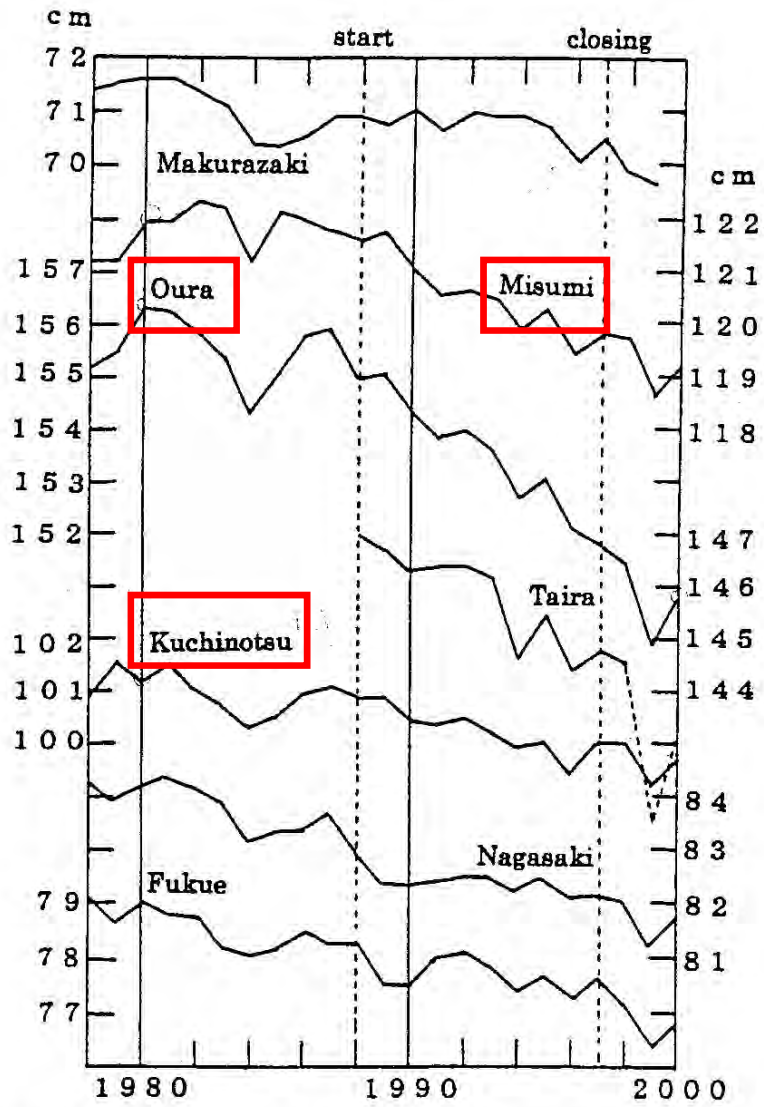
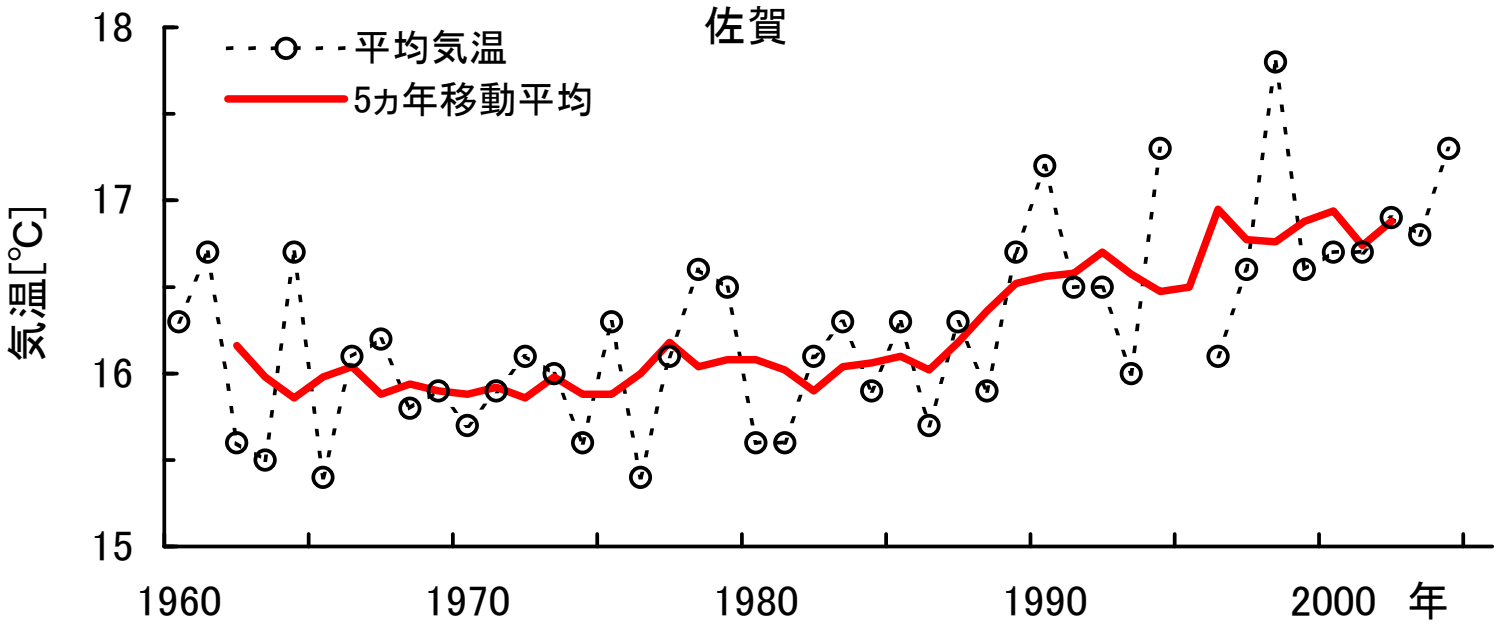
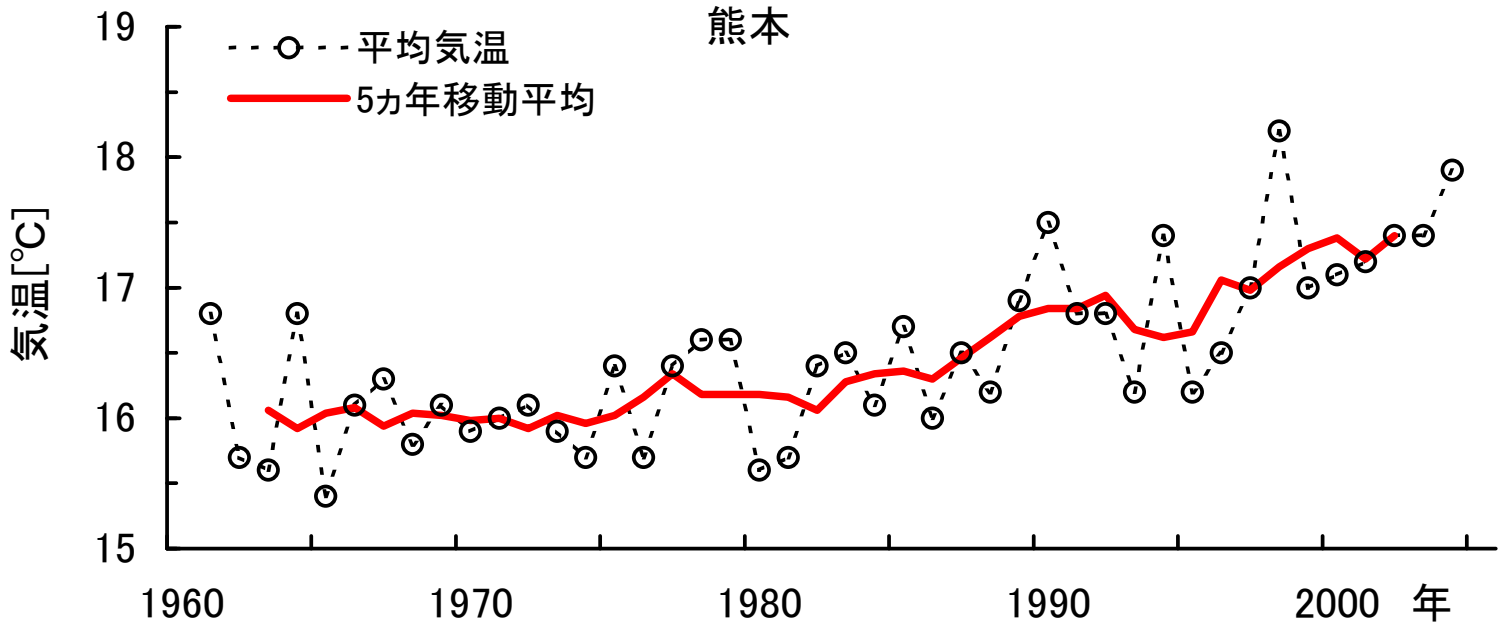


Fig. 3 Secular change of the amplitude of M_2 constituent. Two vertical dotted lines indicate the start of the reclamation project and the closing of reclaimed area by the sea dike, respectively.

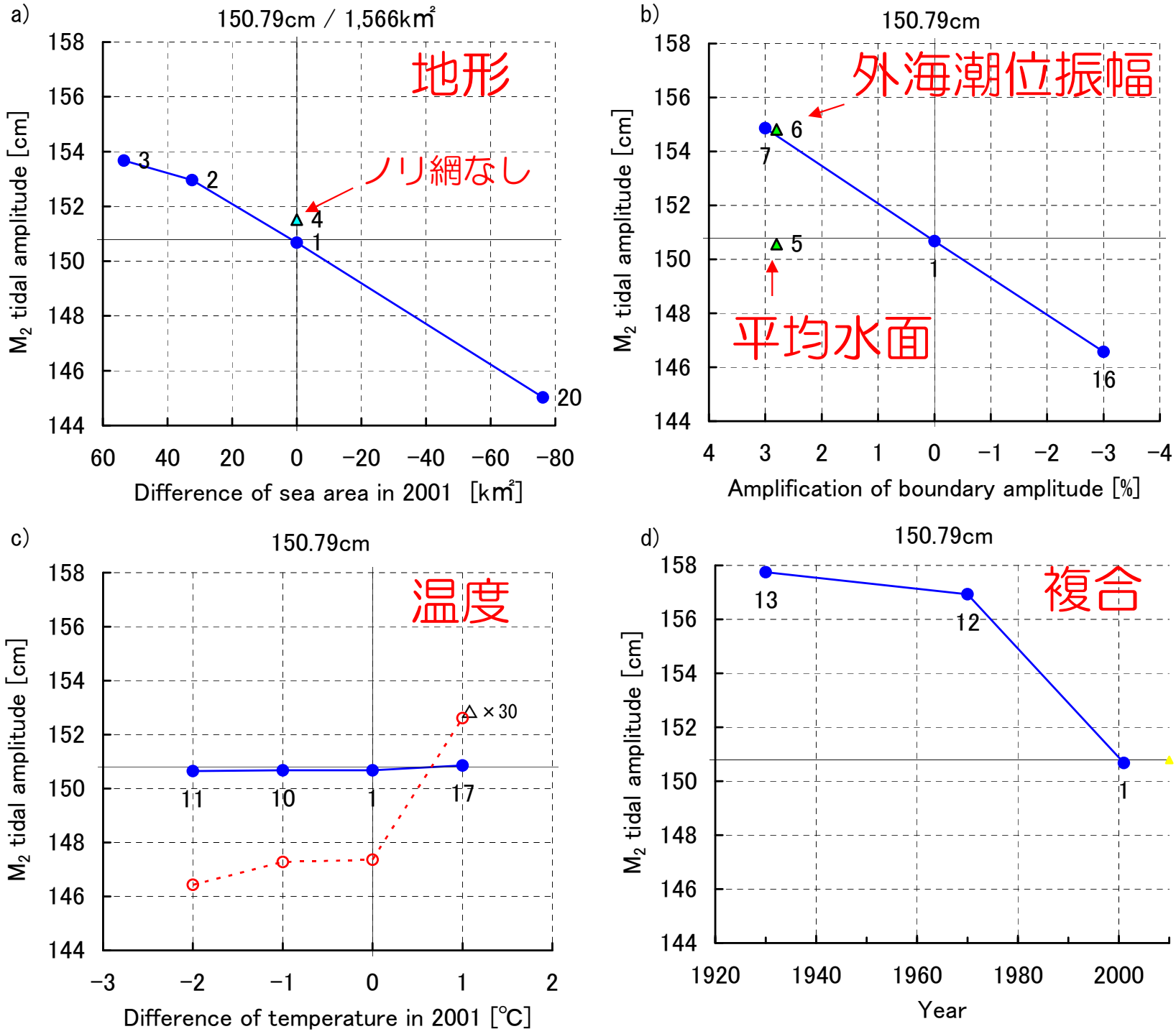
宇野木(2002)

温度 (Case10,11,17)

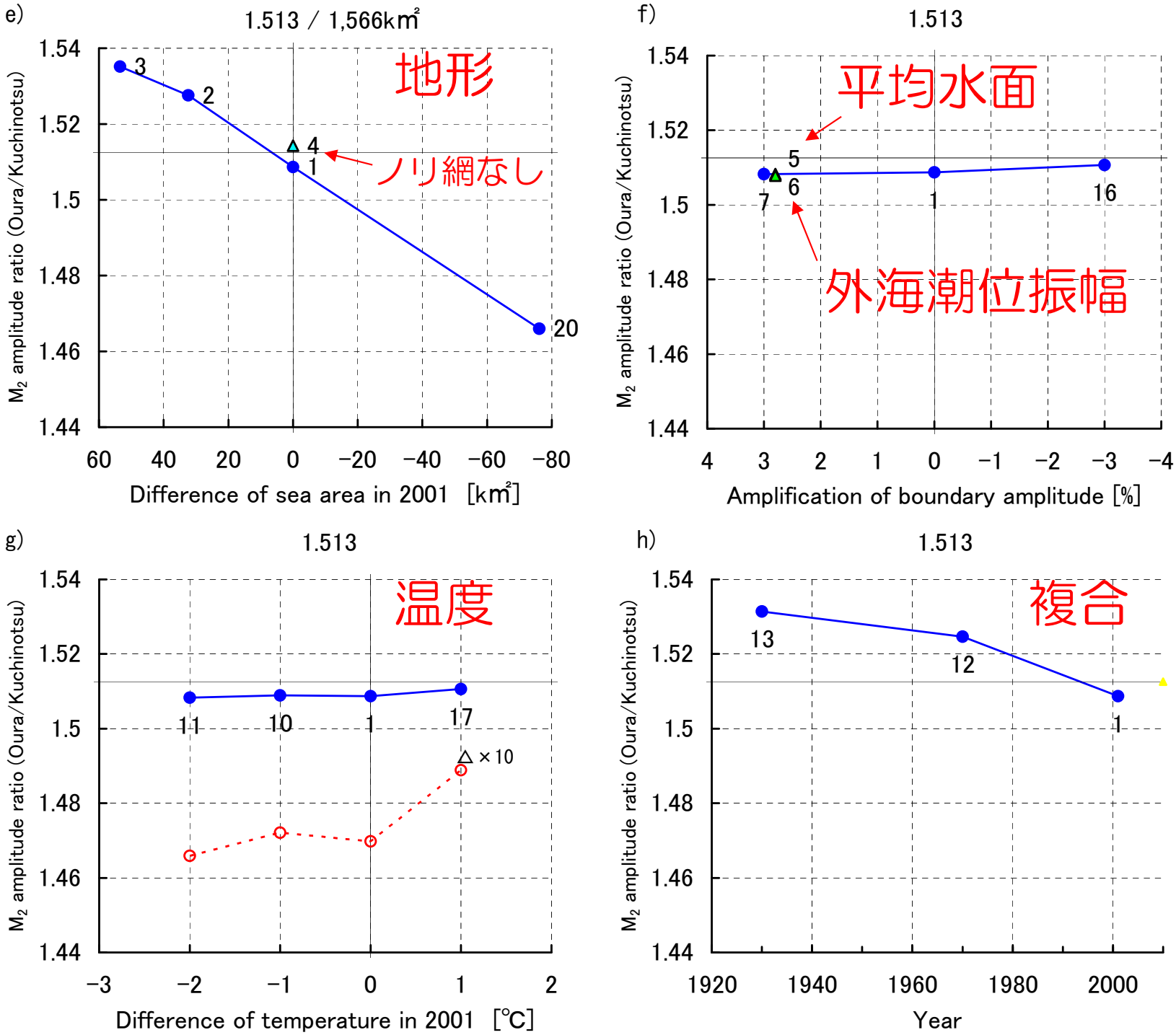




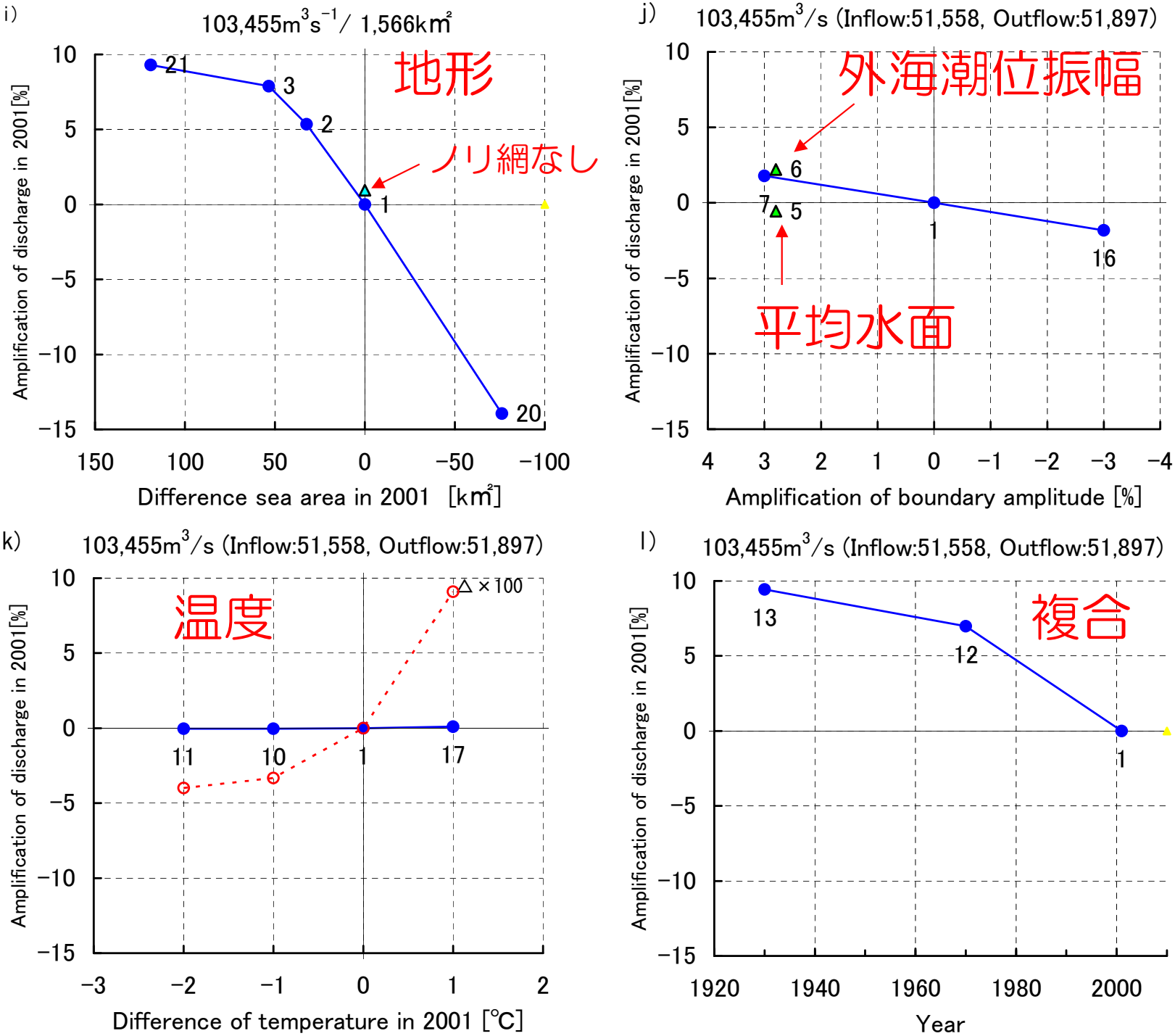
M2振幅（大浦）


a)
150.79cm / 1,566km²
地形
ノリ網なし
M2 tidal amplitude [cm]
Difference of sea area in 2001 [km²]
b)
150.79cm
外海潮位振幅
平均水面
Amplification of boundary amplitude [%]
c)
150.79cm
温度
×30
Difference of temperature in 2001 [℃]
d)
150.79cm
複合
Year

M2増幅率（大浦／口之津）


e)
1.513 / 1,566km²
地形
ノリ網なし
M2 amplitude ratio (Oura/Kuchinotsu)
Difference of sea area in 2001 [km²]
f)
1.513
平均水面
外海潮位振幅
Amplification of boundary amplitude [%]
g)
1.513
温度
×10
Difference of temperature in 2001 [℃]
h)
1.513
複合
Year

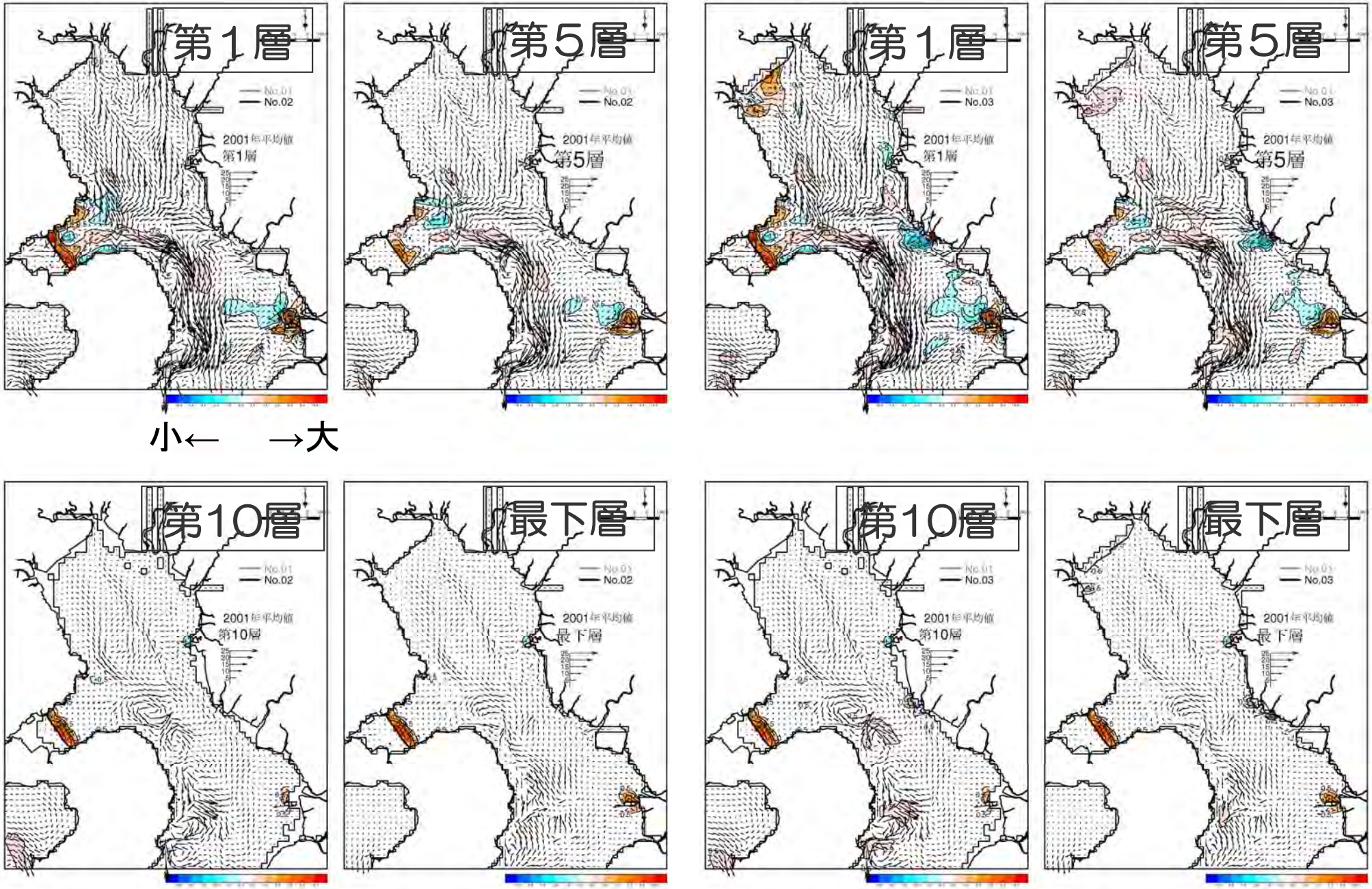
断面通過流量
（有明ー長洲）



残渣流（年平均値）

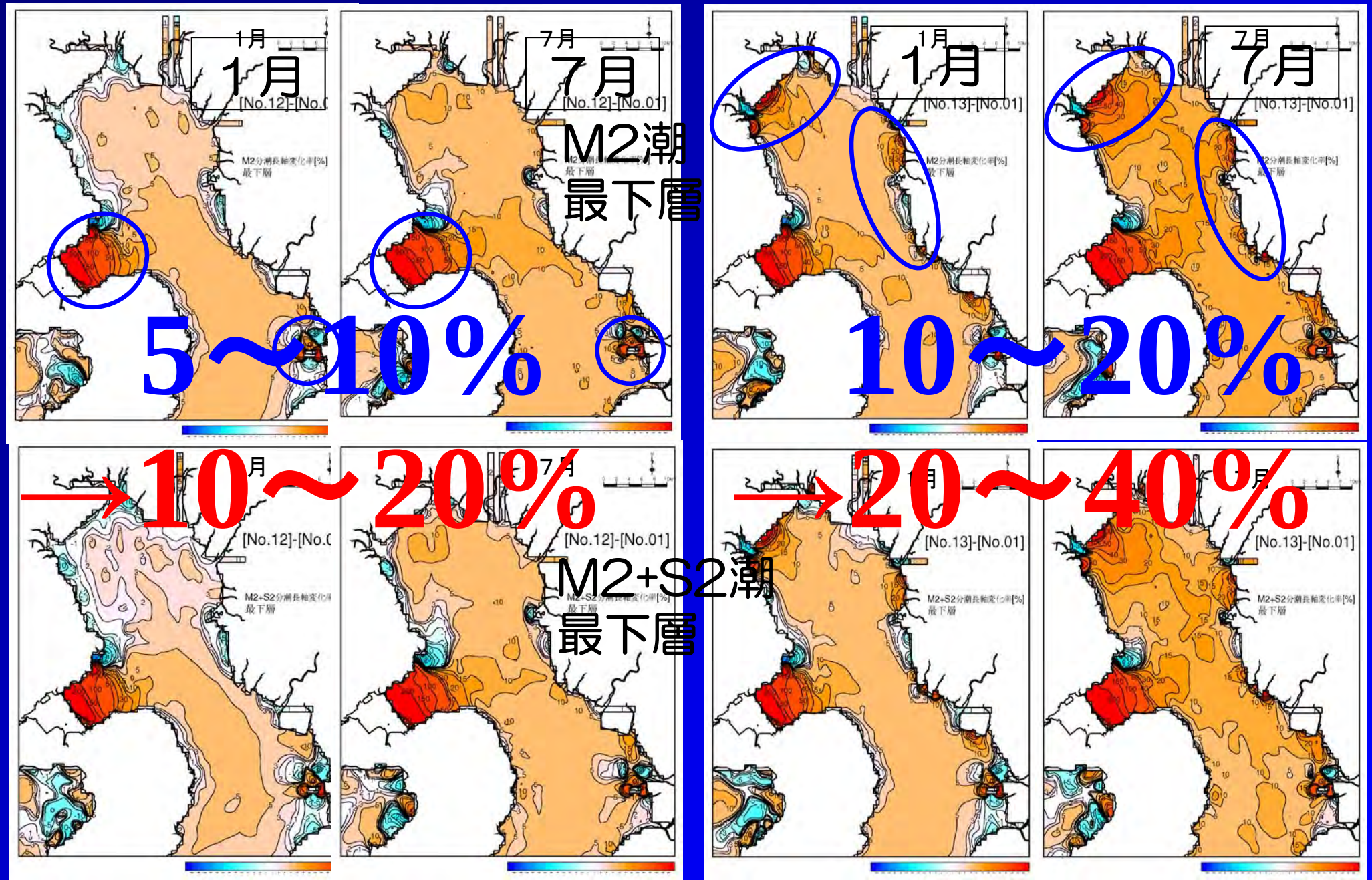
1970年代地形（Case2／Case1）

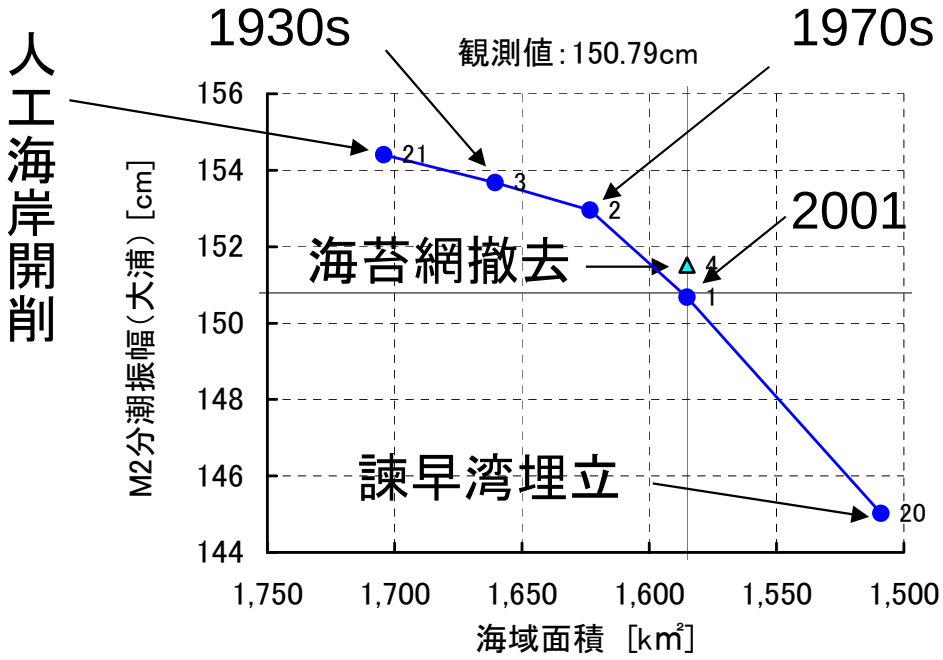
1930年代地形（Case3／Case1）

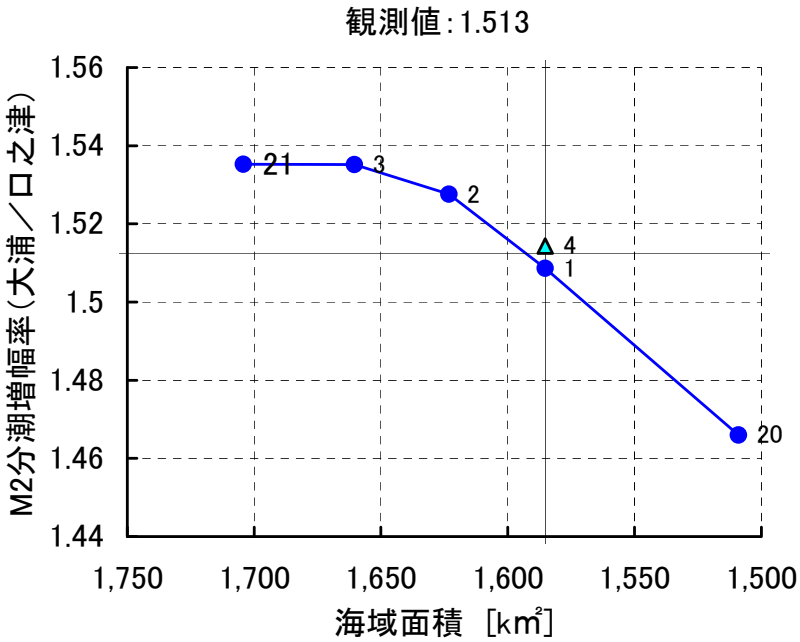


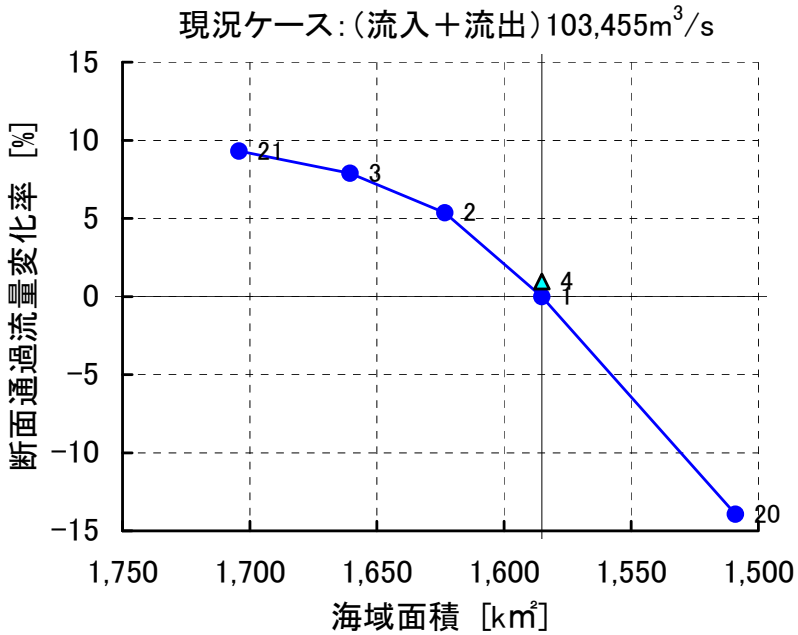
最下層の潮流楕円長軸振幅の変化　→底面せん断応力

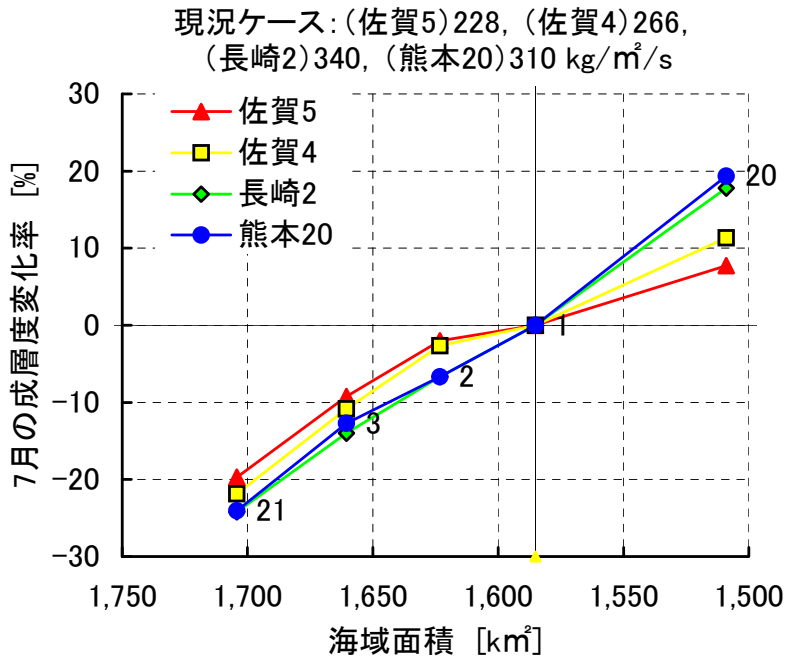
1970年代想定（Case12／Case1）　　1930年代想定（Case13／Case1）











注）図中の実線は観測値または現況計算ケース，数値は計算ケースを示す．

成層度（水柱のポテンシャルエネルギー）

$$S = \int_0^H \left|\rho(z) - \overline{\rho}\right| g dz$$

$$\overline{\rho} = \frac{1}{H}\int_0^H \rho(z) dz$$

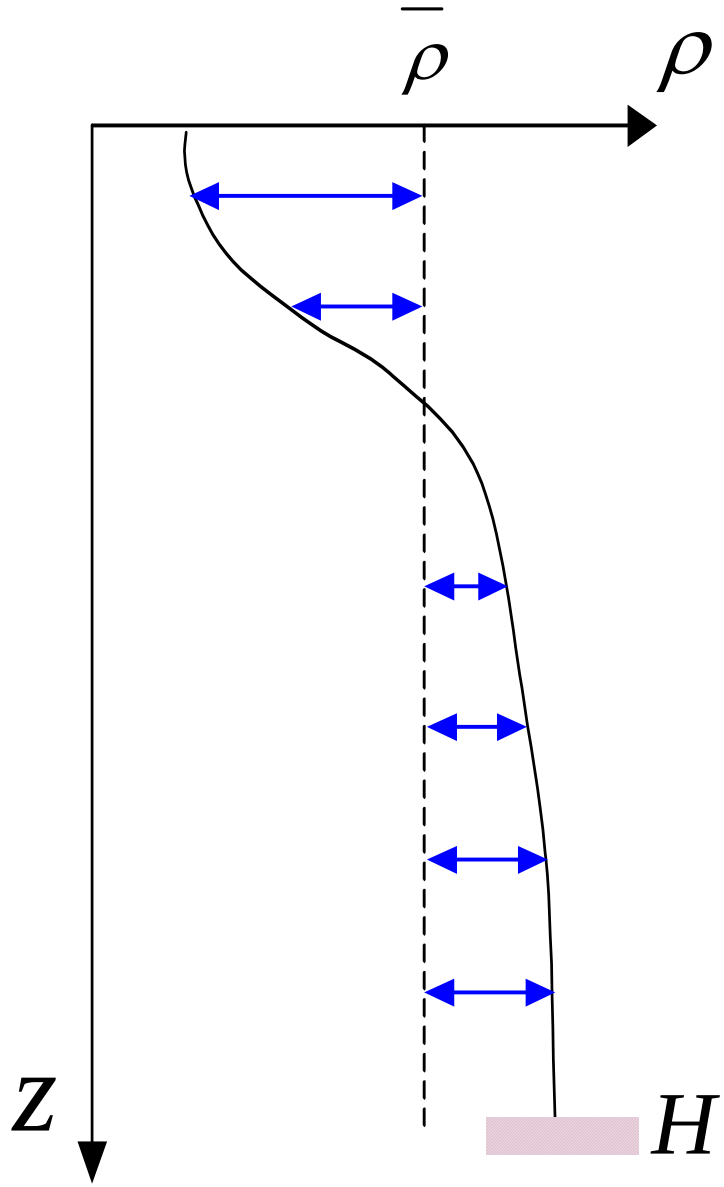
S : 成層度 $[kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-2}]$

H : 水深 $[m]$

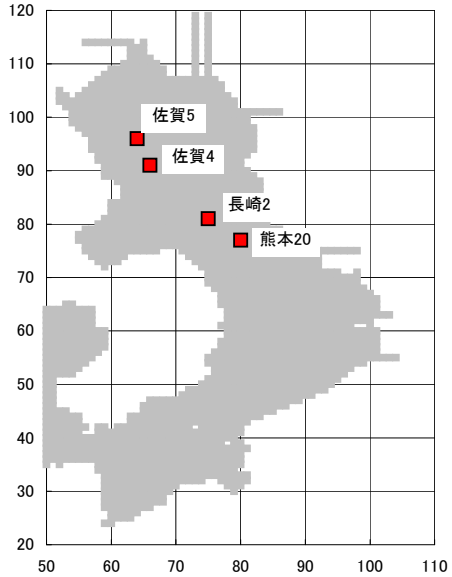
ρ : 密度 $[kg \cdot m^{-3}]$

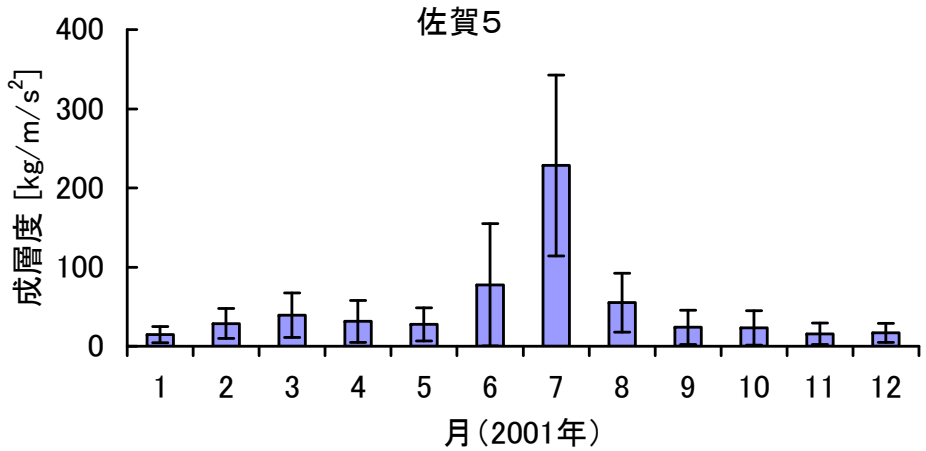
g : 重力加速度 $[m \cdot s^{-2}]$

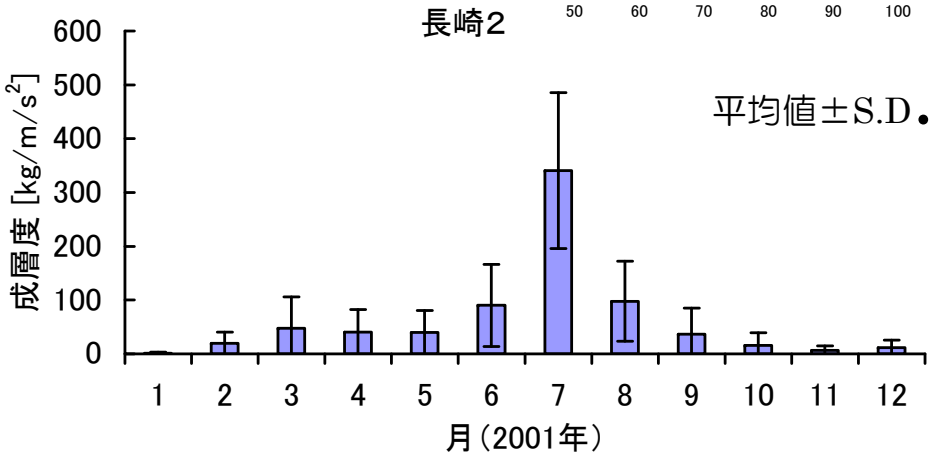
z : 鉛直方向の座標

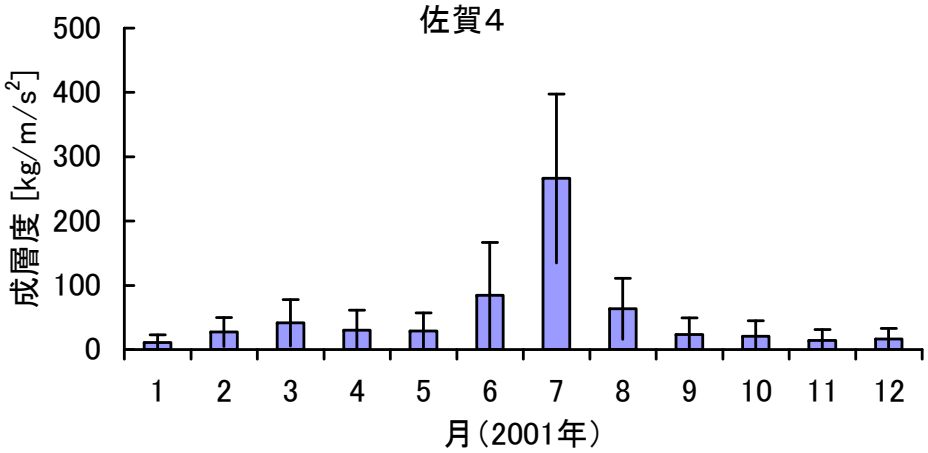


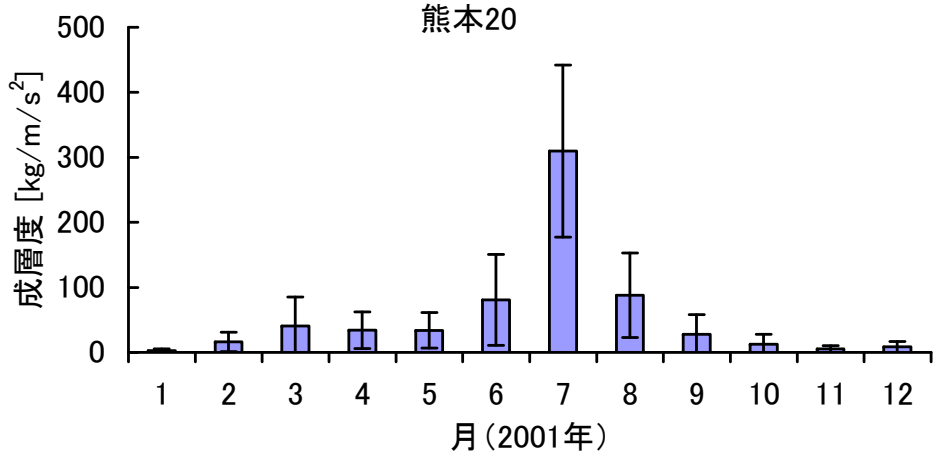
成層度の季節変化（2001年）











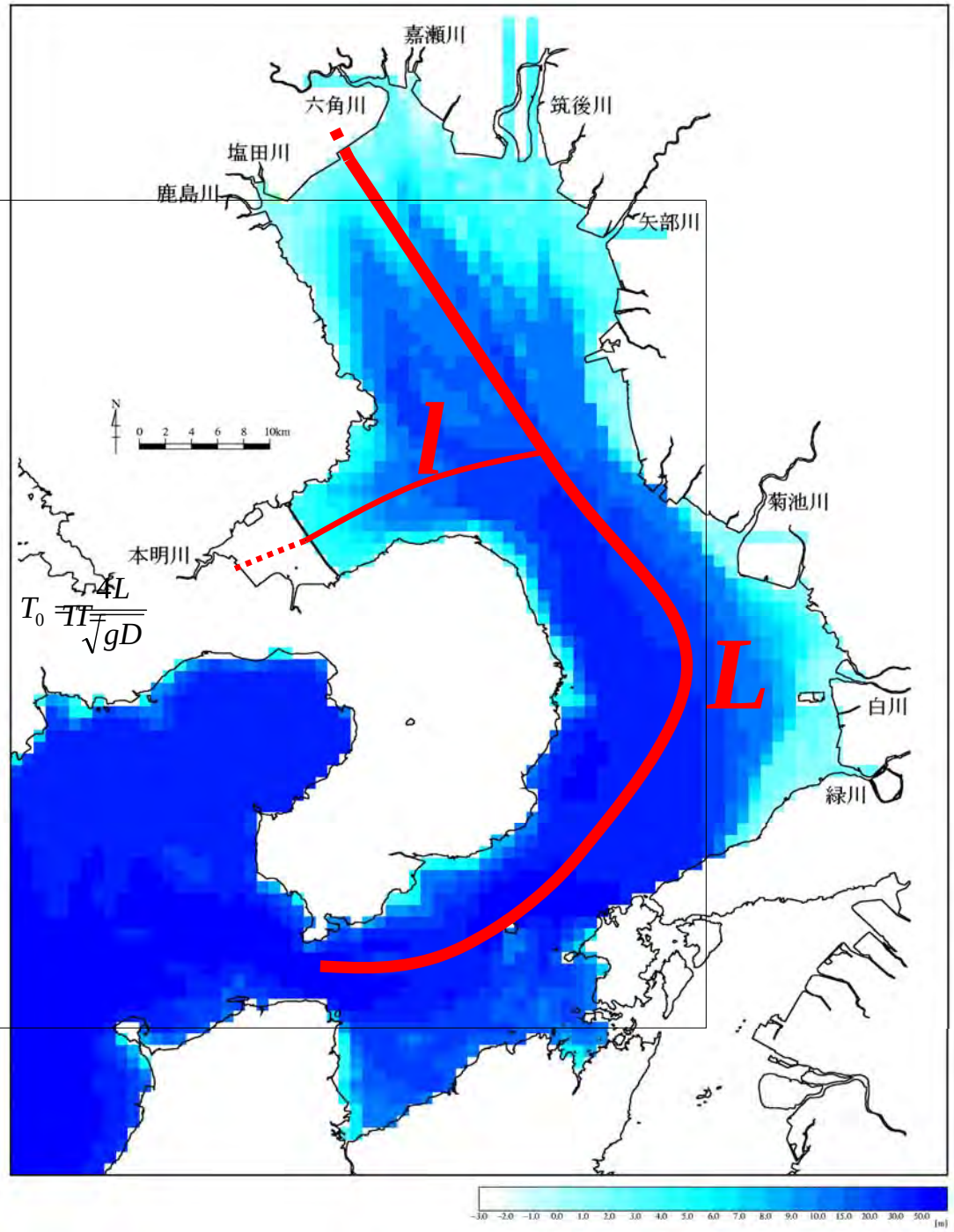
共振潮汐

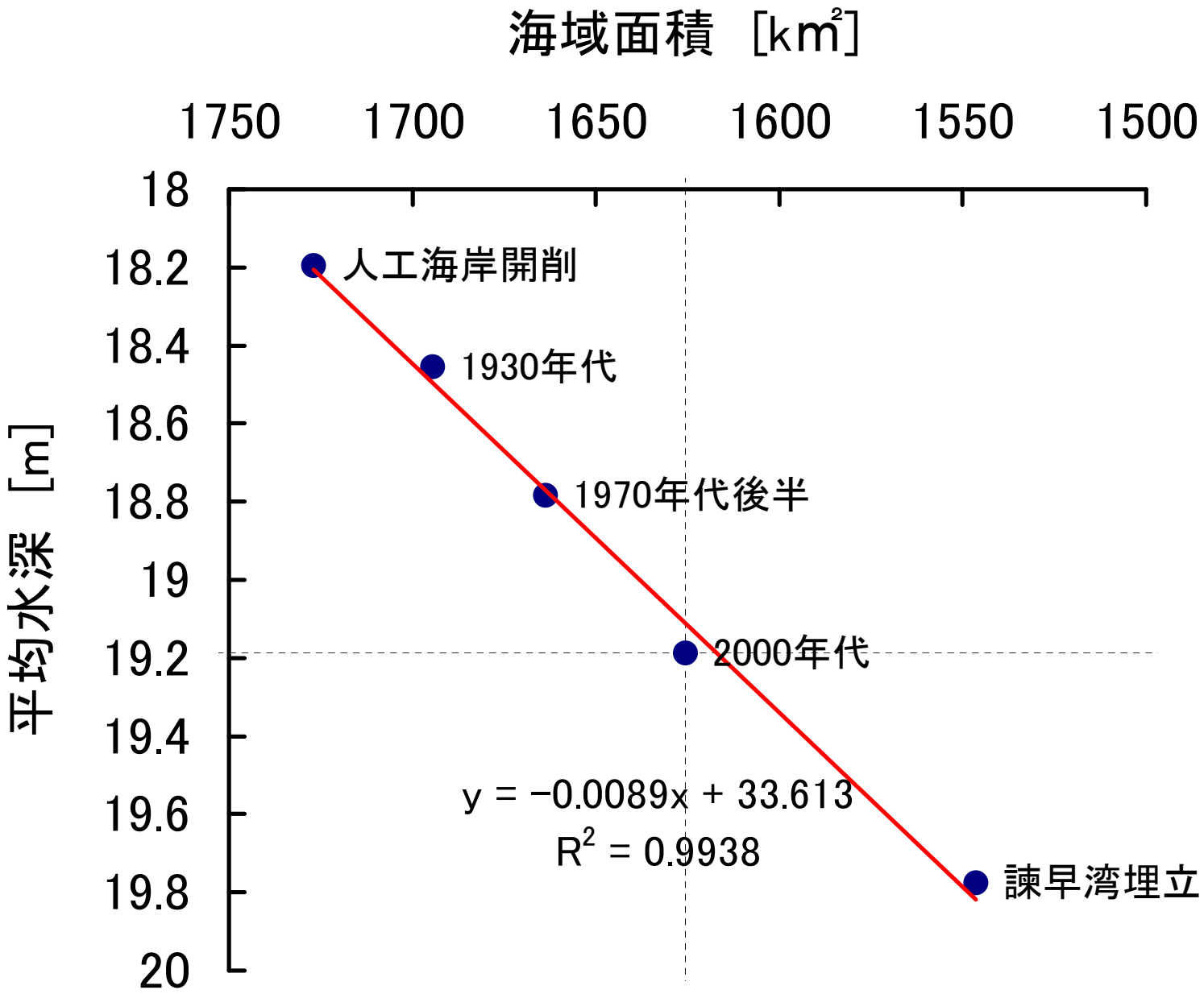
$$T_0 = \frac{4L}{\sqrt{gD}}$$

T_0 : 基本周期[s]

L : 湾の長さ[m]

D : 水深[m]




海域面積 [km²]
1750
1700
1650
1600
1550
1500
18
18.2
18.4
18.6
18.8
19
19.2
19.4
19.6
19.8
20
平均水深 [m]
人工海岸開削
1930年代
1970年代後半
2000年代
諫早湾埋立
y = −0.0089x + 33.613
R² = 0.9938

計算結果

case	内容	海域面積 [km²]	平均水深 [m]	大浦のM2分潮振幅 [cm]	M2分潮増幅率(大浦／口之津)	断面通過流量 (有明－長洲) [m³/s]	7月の成層度[kg/m²/s]			
							佐賀5	佐賀4	長崎2	熊本20
0	観測値	1,585	19.19	150.79	1.513	—	—	—	—	—
1	現況計算	1,585	19.19	150.68	1.509	103,455	228.3	266.4	340.4	309.7
4	海苔網撤去	1,585	19.19	151.52	1.514	104,440	229.6	268.0	341.0	310.9
2	1970年代後半	1,623	18.78	152.96	1.528	108,995	223.7	259.4	317.7	289.0
3	1930年代	1,654	18.45	153.67	1.535	111,605	207.2	237.5	292.9	270.3
21	人工海岸開削	1,686	18.20	154.40	1.535	113,084	183.3	208.1	258.1	235.1
20	諫早湾全面埋立	1,509	19.78	145.02	1.466	89,037	245.9	296.6	401.1	369.6
現況計算ケース(Case1)との変化率 [%]										
1	現況計算	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4	海苔網撤去	0.00	0.00	0.56	0.37	0.95	0.56	0.59	0.18	0.39
2	1970年代後半	2.40	-2.10	1.51	1.25	5.35	-2.00	-2.64	-6.68	-6.67
3	1930年代	4.34	-3.82	1.99	1.76	7.88	-9.24	-10.84	-13.97	-12.72
21	人工海岸開削	6.39	-5.16	2.47	1.76	9.31	-19.72	-21.88	-24.19	-24.06
20	諫早湾全面埋立	-4.80	3.07	-3.75	-2.83	-13.94	7.73	11.33	17.81	19.36

海苔網撤去（年間）　０．５６　０．３７　０．９５

（10～3月）　１．１６　０．７５　１．６８

（7月）　０．５６　０．５９　０．１８　０．３９

まとめ

1. 現在（2001年），1970年代後半，1930年代の地形，潮汐，温度を想定した感度解析の結果，潮位振幅の増幅率や入退潮量の低下は地形変化の影響が大きいと考えられた．
2. 懸濁物質の再懸濁力の低下に起因する有明海異変（透明度の上昇，植物プランクトンの増殖，貧酸素水塊の発生，二枚貝漁獲量の減少など）の指標として底層流速の変化に着目した．
3. その結果，底面せん断応力の推定変化率は，1970年代に比べて10～20%，1930年代に比べて20～40%程度減少していると予測された．
4. また，湾奥から湾央の成層度は，1970年代に比べて2～7%，1930年代に比べて10～14%大きくなっていると予測された．
5. 有明海再生の基本的事項の一つとして，潮流速を速める工学的手法等の開発が望まれる

二枚貝浮遊幼生の輸送・着底

1. 輸送現象は，流動サブモデルを用いて，Euler-Lagrange法により移動距離を計算
2. 鉛直移動については，アサリは発育段階ごとの塩分選択を考慮し，サルボウは発育に伴う比重の違いから浮遊層を決定
3. 水温依存の成長式により，履歴水温をもとに浮遊期間を決定
4. 死亡，走光性（昼夜移動），走地性（海岸線の反射），餌応答，再浮上などは考慮しない

アサリ　殻長100μm→220μm（着底）

積算水温（春秋）
約520℃日

$$L_t = L_{t-1} + \{(0.377/24)T - 2.96\} \cdot 10^{-4}$$

鳥羽(1992)より

サルボウ　殻長90μm→300μm（着底）

積算水温（夏）
約480℃日

$$L_t = \frac{L_{t-1}}{e^{-(0.003736/24)T} + \dfrac{L_{t-1}(1 - e^{-(0.003736/24)T})}{0.05434}}$$

高見・井上(1981)
より作成

スズキ　卵（表層）は積算水温66℃日で孵化
全長4.5mm（孵化）→15mm（着底）

積算水温（冬）
約760℃日

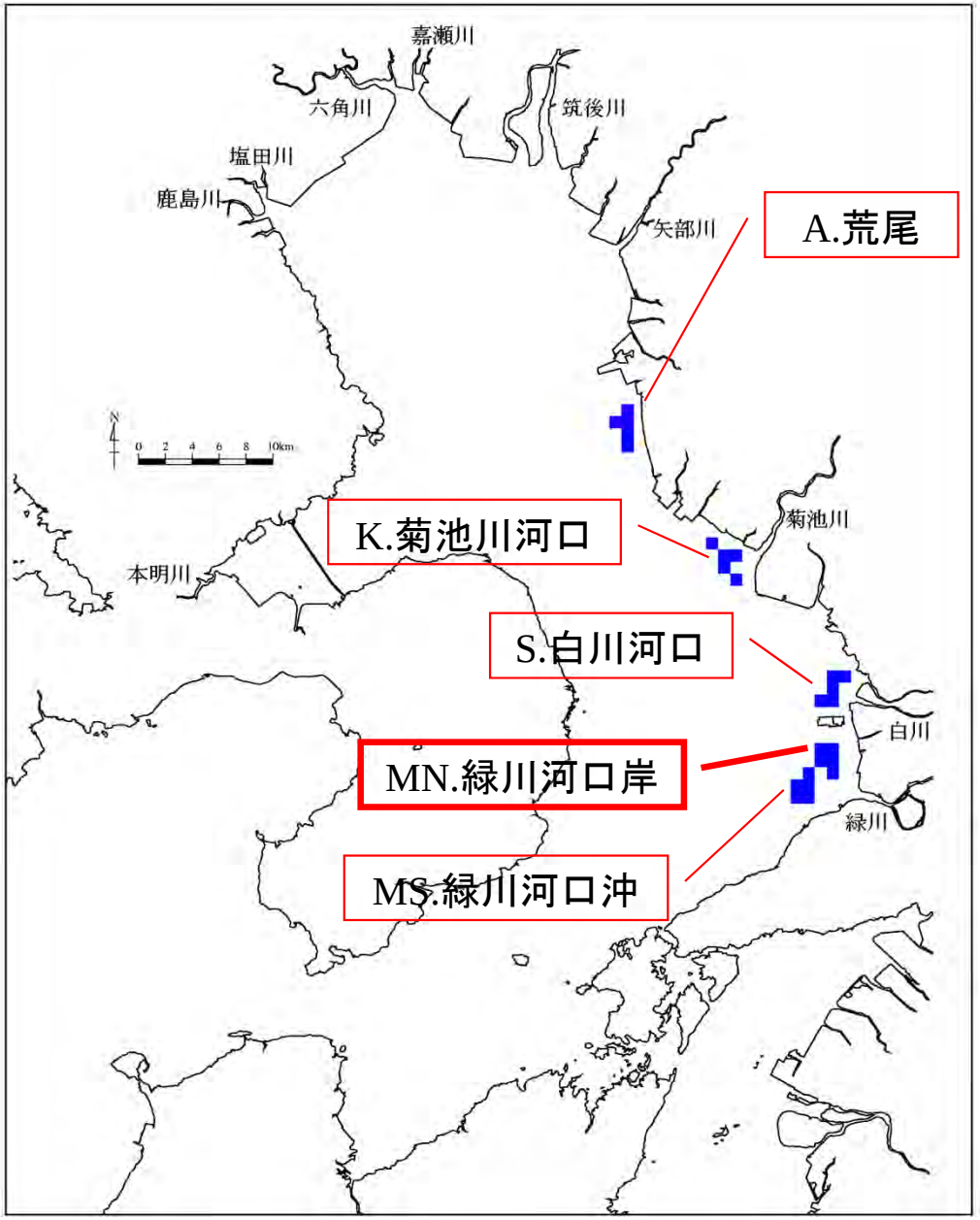
$$L_t = \frac{L_{t-1}}{e^{-(0.002145/24)T} + \dfrac{L_{t-1}(1 - e^{-(0.002145/24)T})}{4.5588}}$$

牧野(2002)
より作成

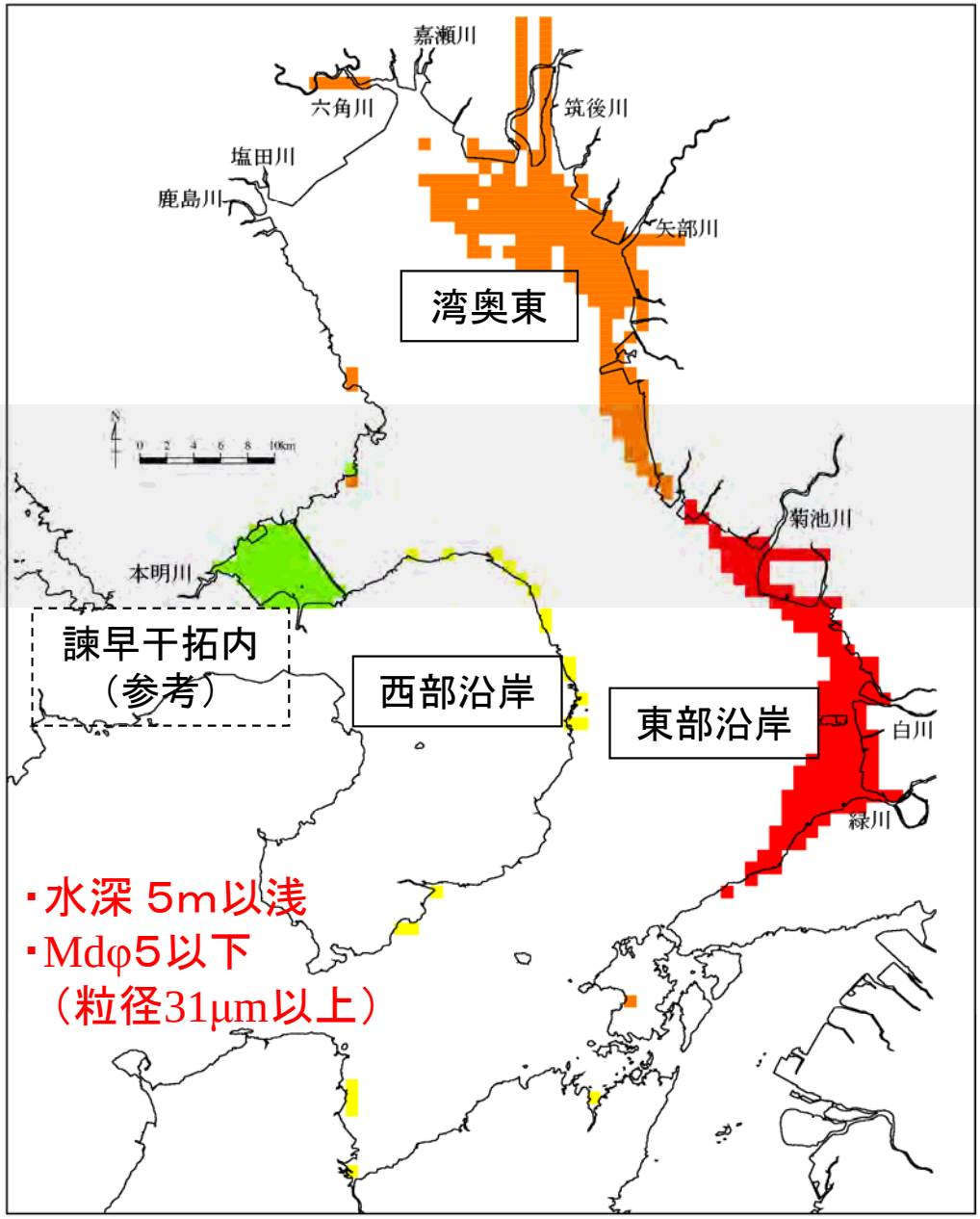
L：殻長または全長[cm], T：水温[℃], t：時間[$hour$]

アサリ，サルボウは
20日ですべて着底

アサリ産卵場

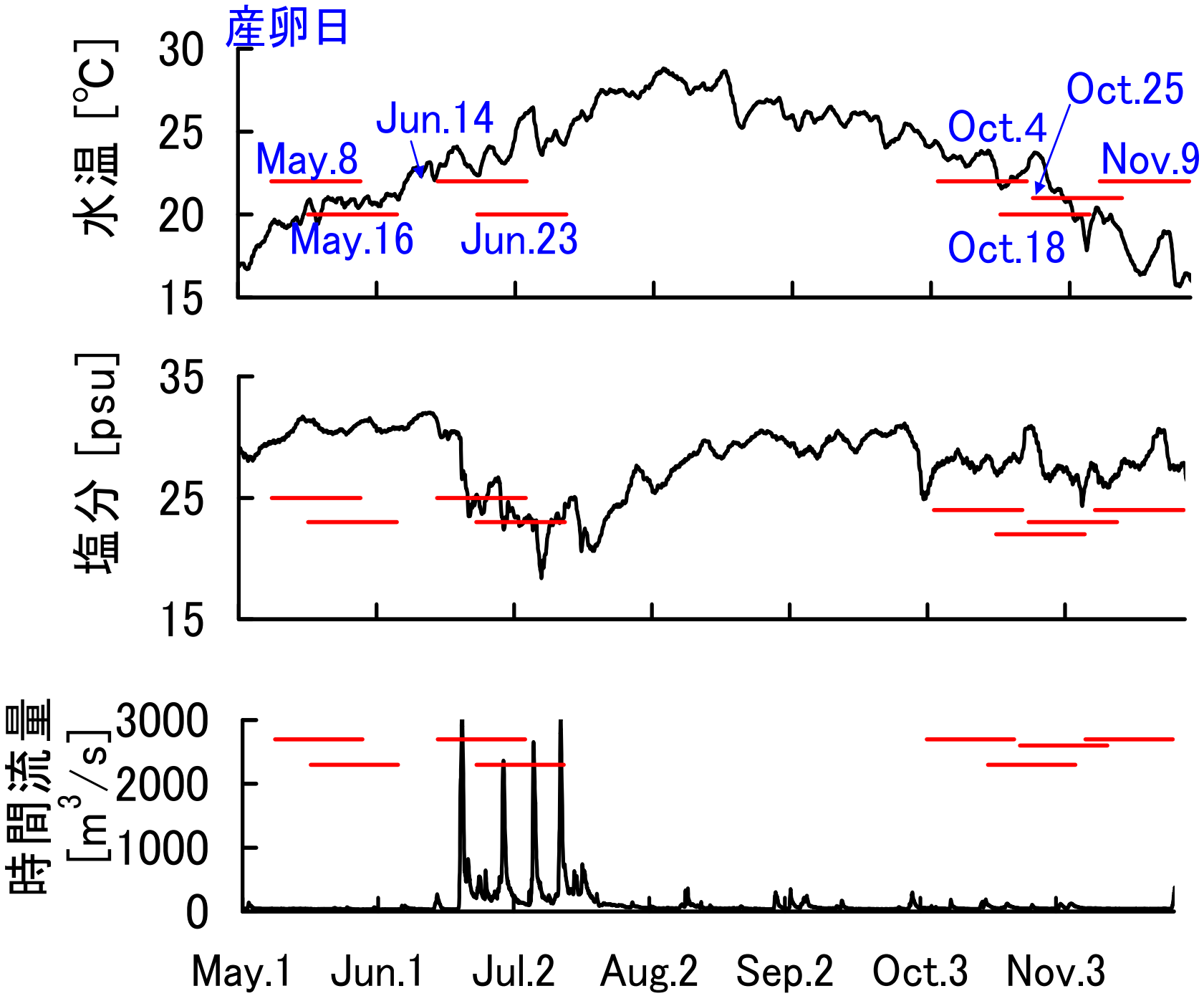


アサリ着底場



アサリの浮遊期間

注)水温，塩分は25時間移動平均



鉛直移動モデル（石田ら2005）

$$W_s(t) = \beta \cdot W_{\max} \tanh(k(S(Z(t)) - S_{base}(t)))$$

$$W_{\max} = 0.016t + 0.0388$$

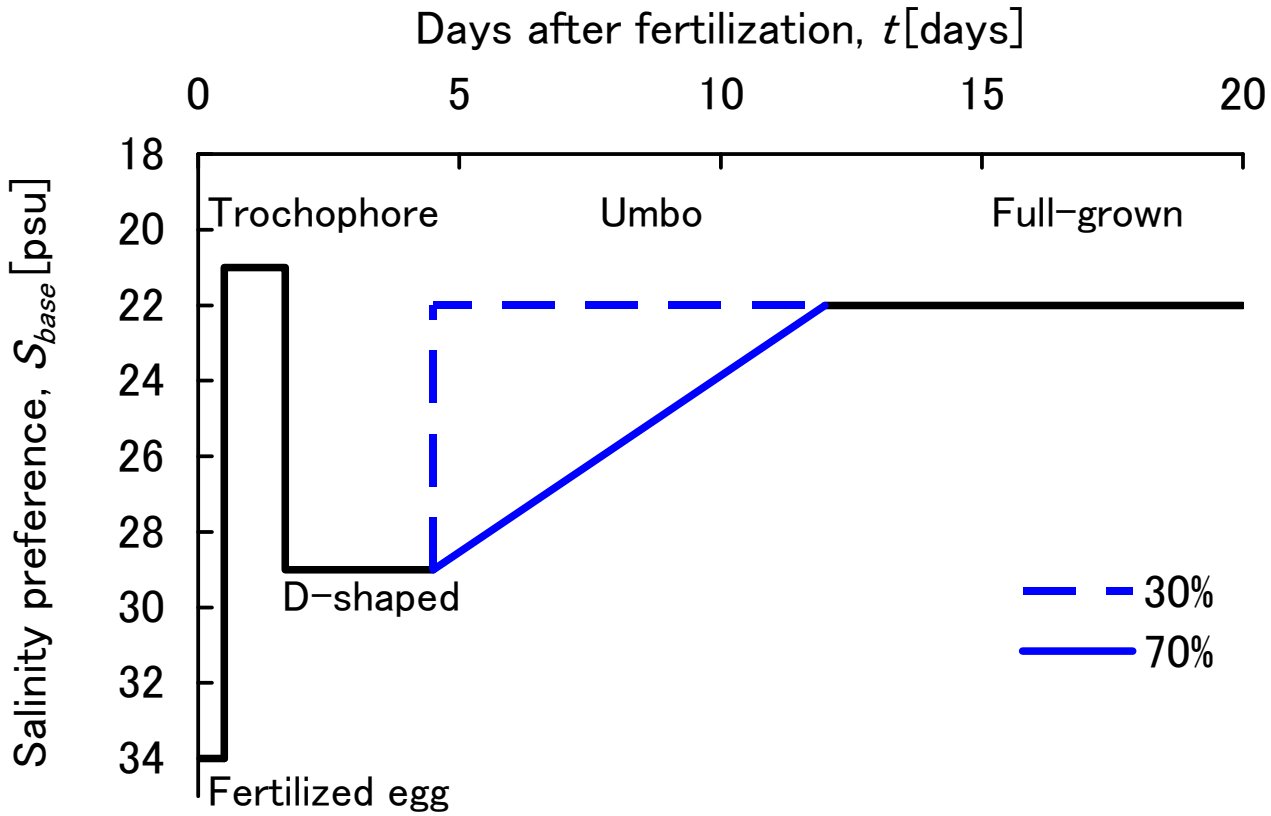
$$Z(t+\Delta t) = Z(t) + \{W_s(t) + \alpha(W_{\max} - |W_s(t)|)\}\Delta t$$

$W_s(t)$ ：t時の塩分選択による鉛直移動速度[cm/s]
W_{max} ：最大鉛直移動速度[cm/s]
β ：個体差を考慮するための一様乱数（0≦β≦1）
k ：応答特性係数（0.25）
S ：塩分[psu]
S_{base} ：アサリ幼生の選択塩分[psu]
$Z(t)$ ：t時の位置（水深）
t ：時間（孵化後の発育日数）[day]
α ：塩分に規定されない自由運動のための一様乱数（－1＜α＜－1）

選択塩分（石田ら2005）

経過時間(t)	発育段階	選択塩分(S_{base})
0～12時間	受精卵	34.0＋γ
12～40時間	トロコフェラ幼生～D状期	21.0＋γ
40時間～T_0	D状期～アンボ期	29.0＋γ
T_0～	アンボ期～フルグロウン期	22.0＋γ

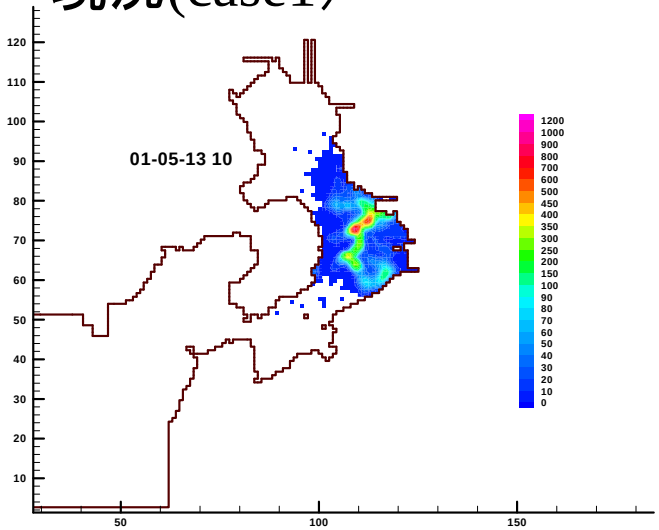
T_0：移行時期
・70%は4.5～12日間
・30%は4.5日間
γ：選択塩分偏差
（±2psuで乱数を発生）



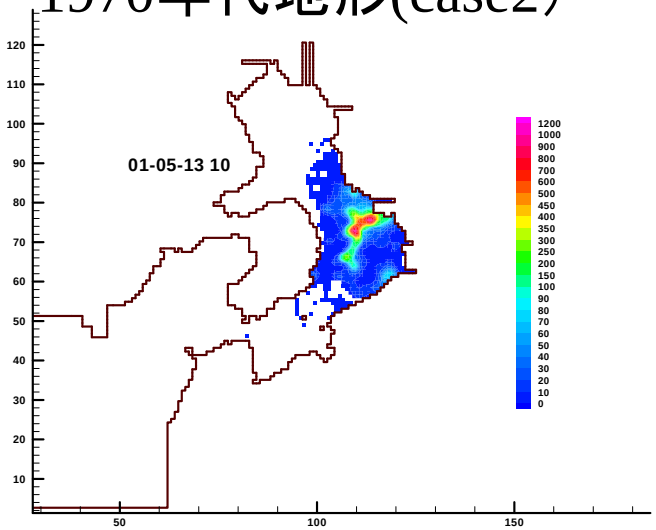
アサリ浮遊幼生の輸送過程

5日目(全層)

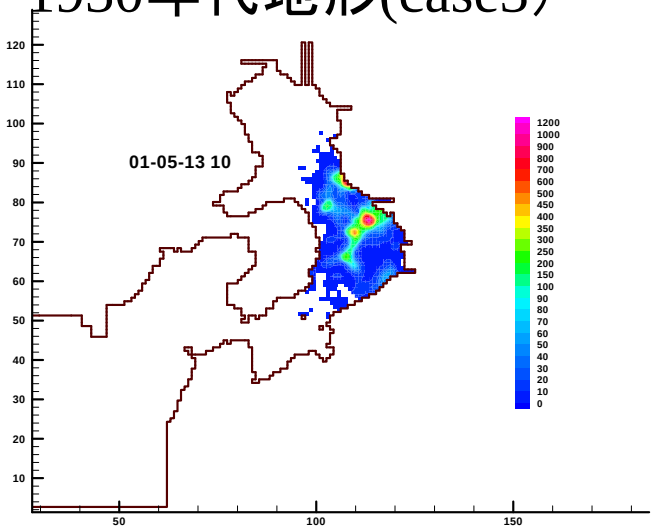
現況(case1)



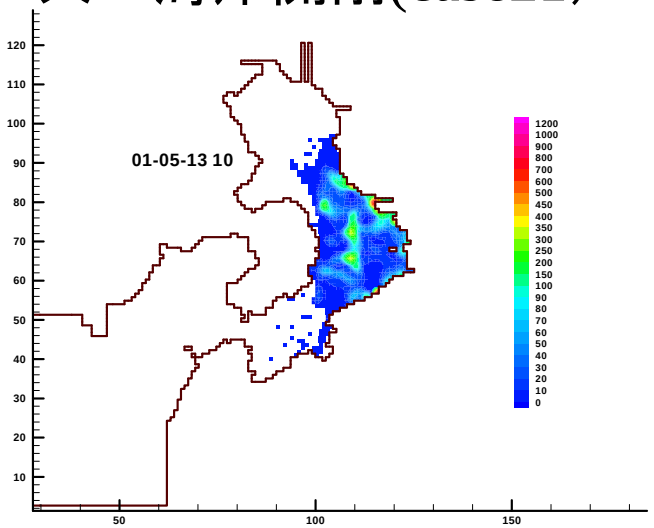
1970年代地形(case2)



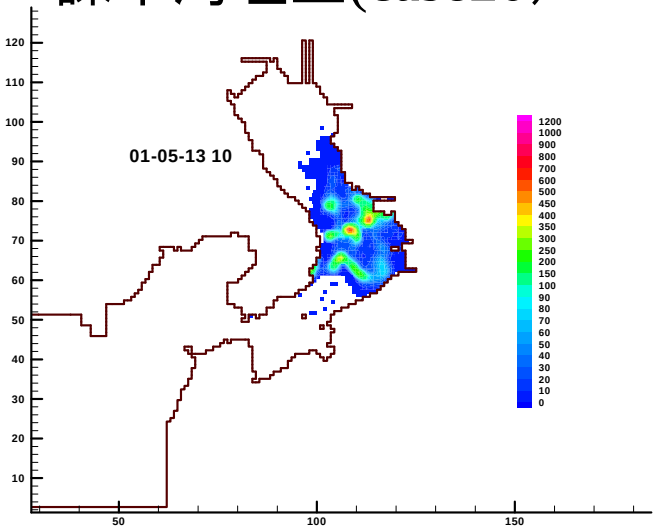
1930年代地形(case3)



人工海岸開削(case21)



諫早湾埋立(case20)



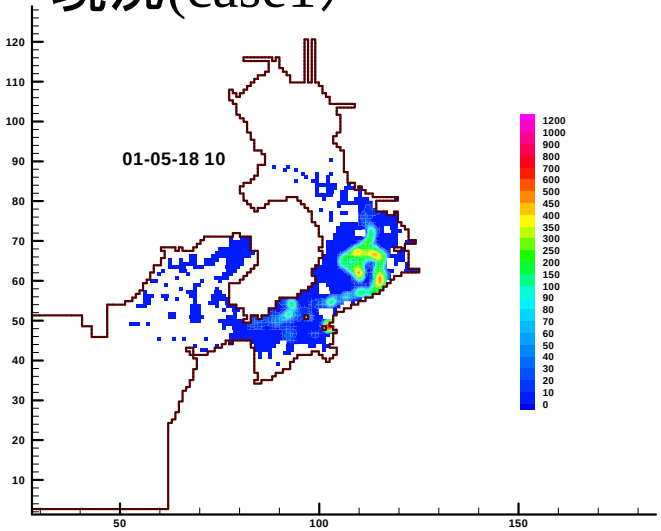
Spawning in
May 8,2001 10:00
spring tide

平水時

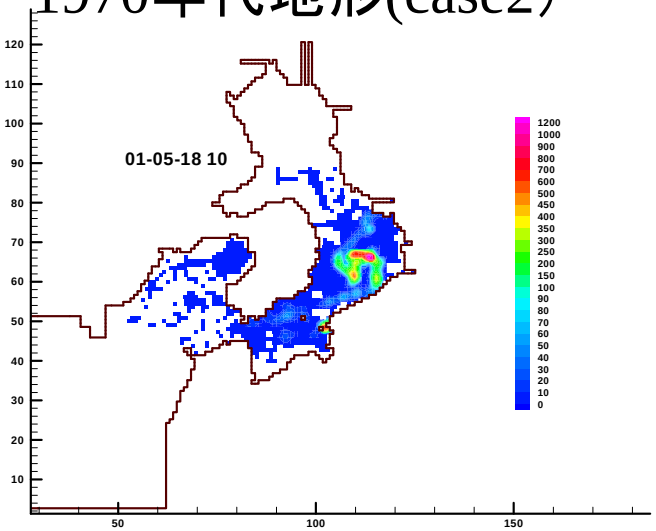
アサリ浮遊幼生の輸送過程

10日目(全層)

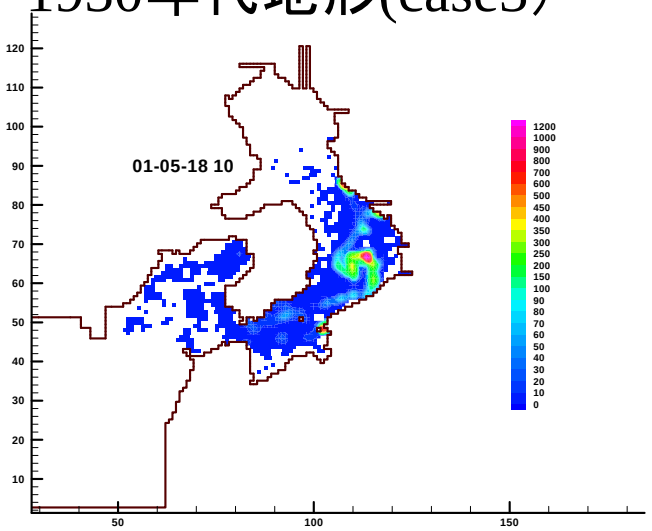
現況(case1)



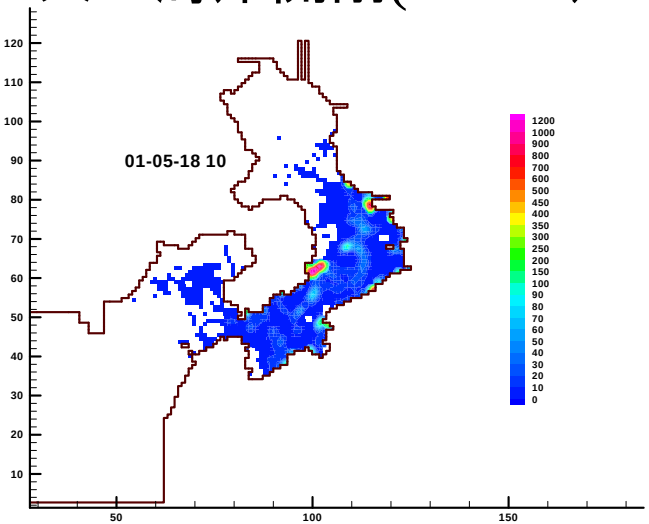
1970年代地形(case2)



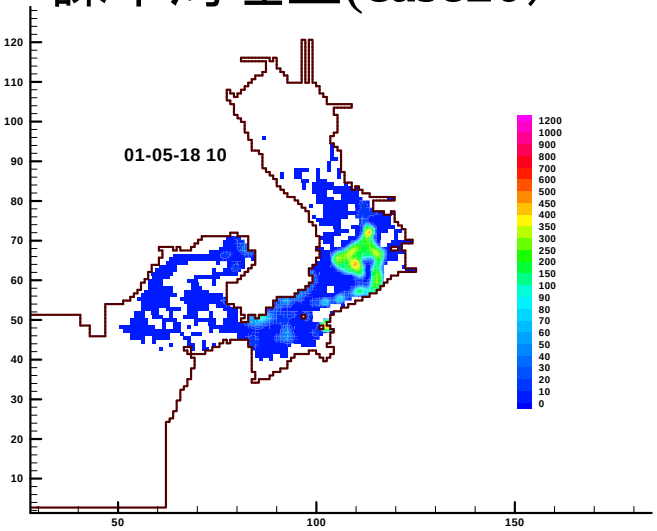
1930年代地形(case3)



人工海岸開削(case21)



諫早湾埋立(case20)



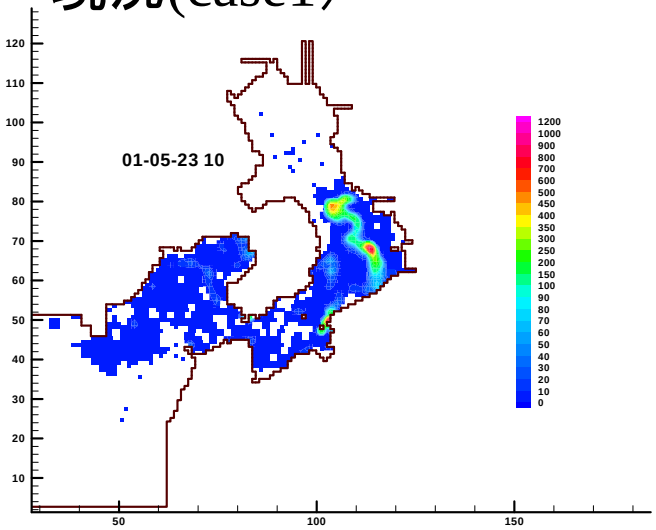
Spawning in
May 8,2001 10:00
spring tide

平水時

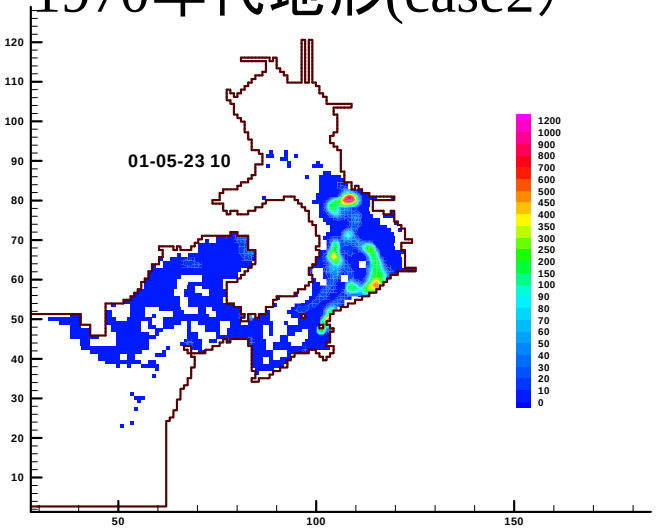
アサリ浮遊幼生の輸送過程

15日目(全層)

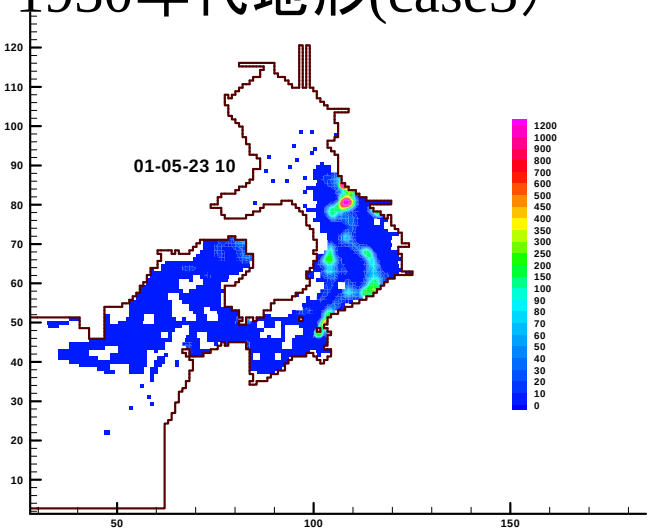
現況(case1)



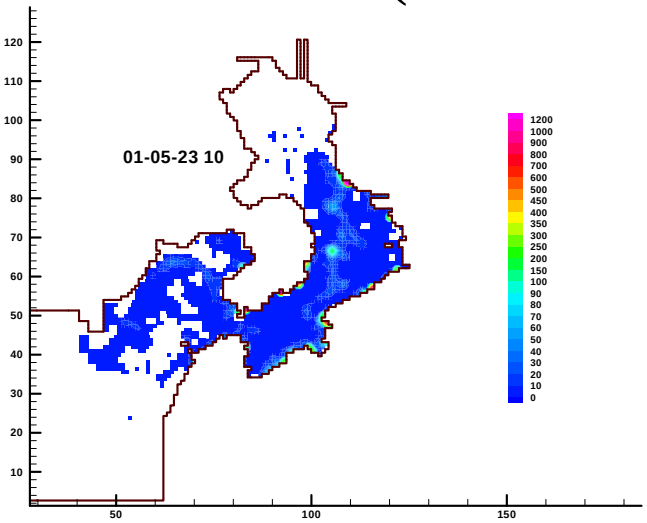
1970年代地形(case2)



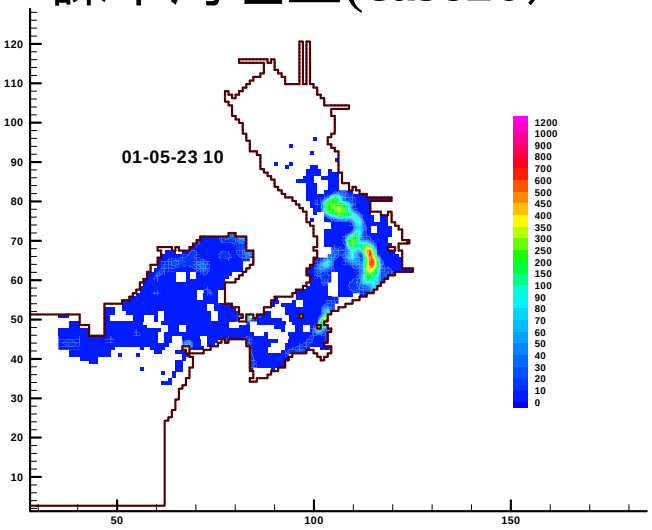
1930年代地形(case3)



人工海岸開削(case21)



諫早湾埋立(case20)



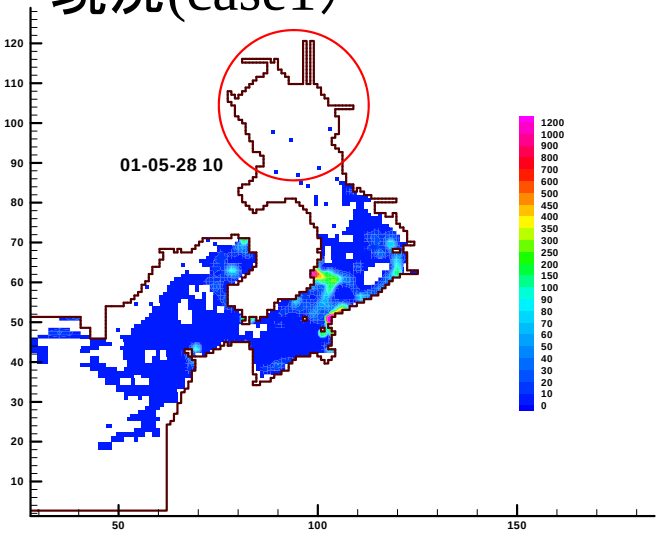
Spawning in
May 8,2001 10:00
spring tide

平水時

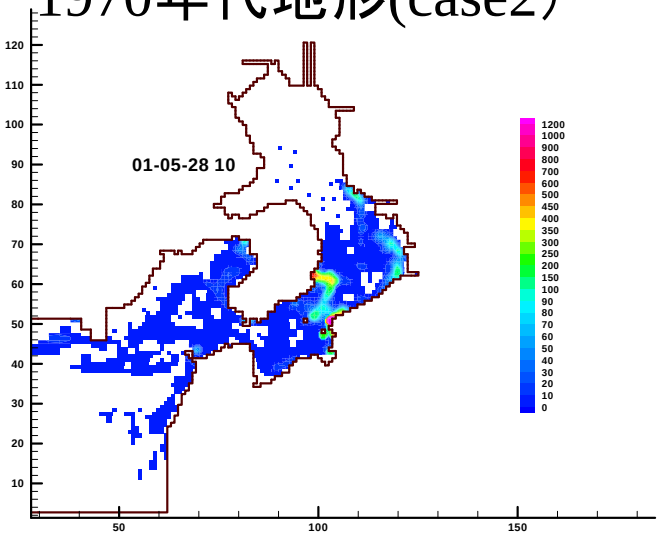
アサリ浮遊幼生の輸送過程

20日目(全層)

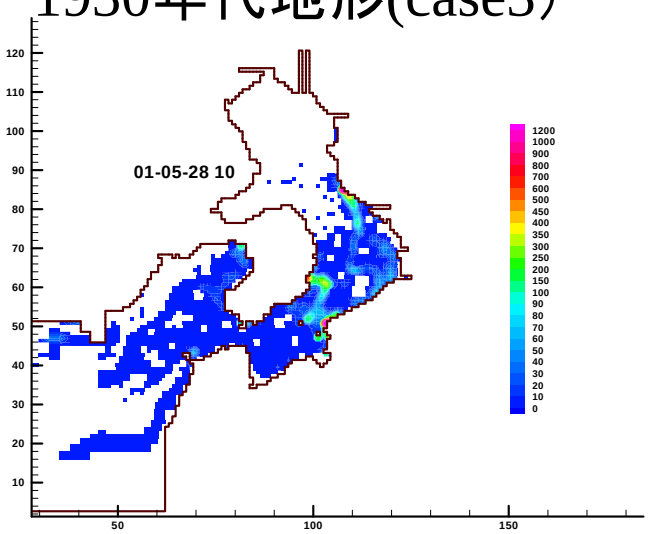
現況(case1)



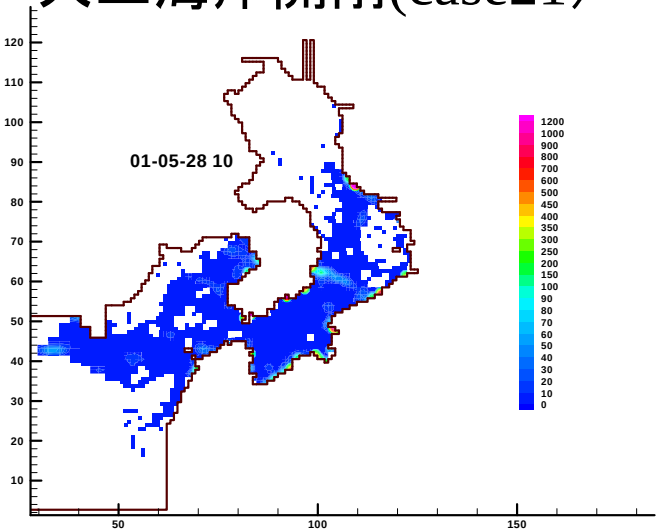
1970年代地形(case2)



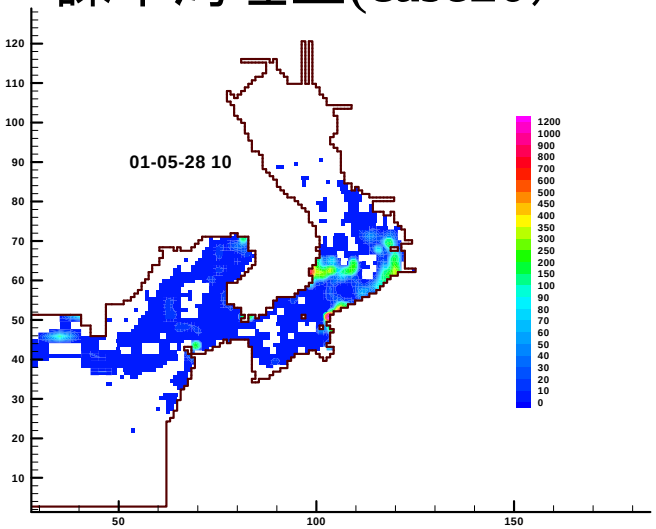
1930年代地形(case3)



人工海岸開削(case21)



諫早湾埋立(case20)

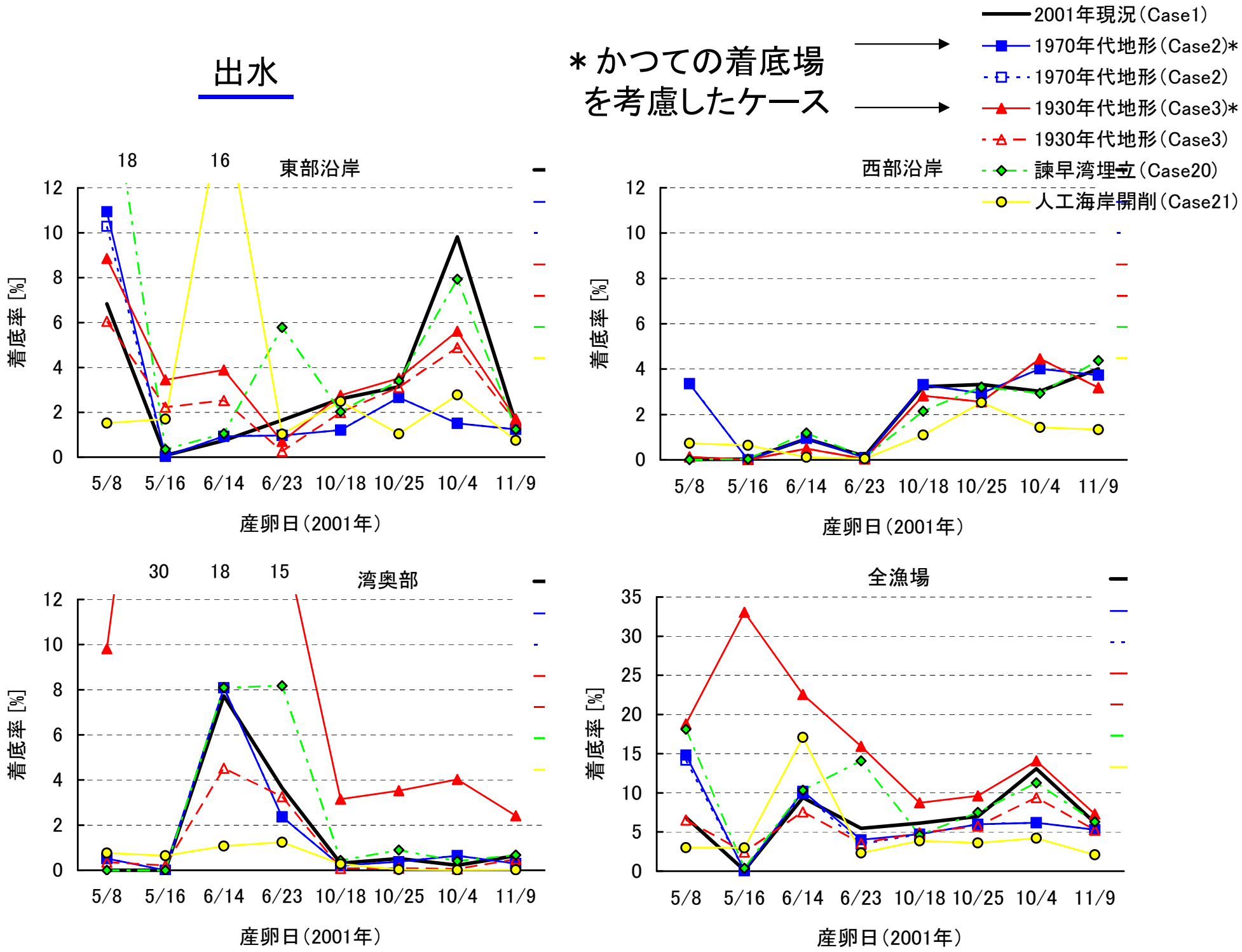


Spawning in
May 8,2001 10:00
spring tide

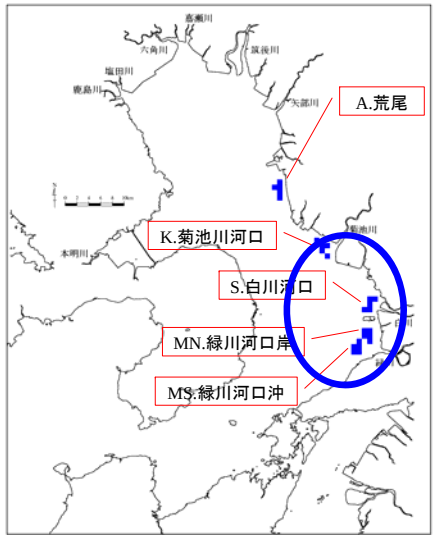
平水時

出水

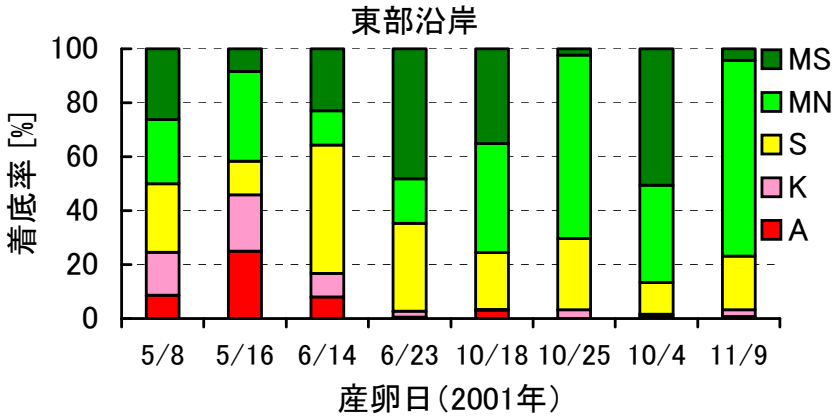
＊かつての着底場
を考慮したケース



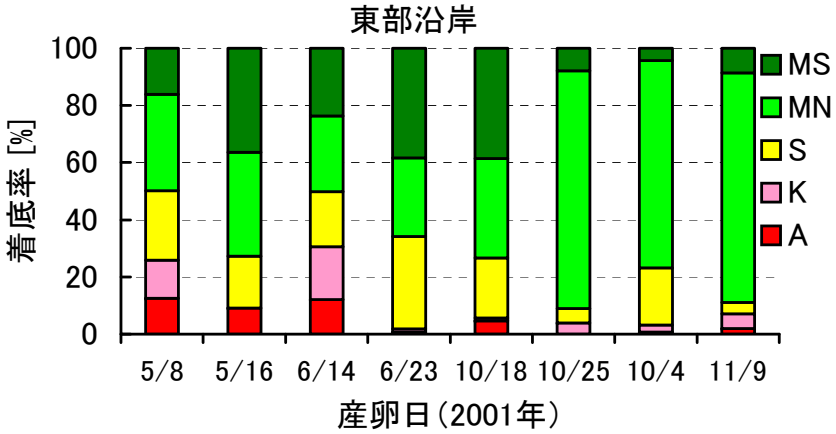
東部沿岸



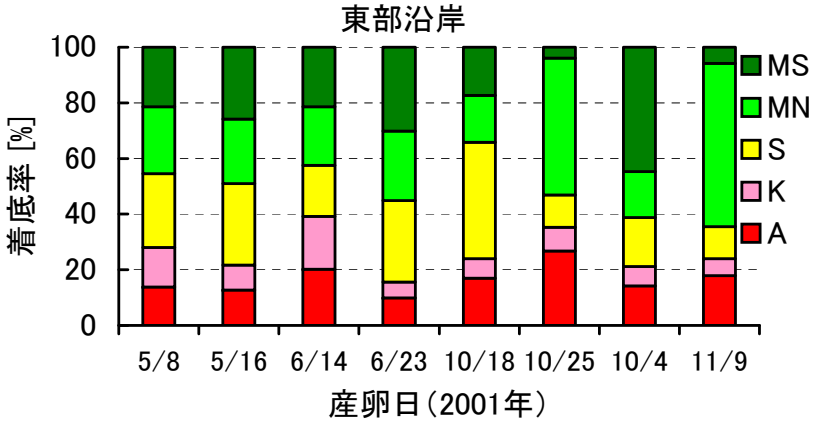
現況（Case 1）



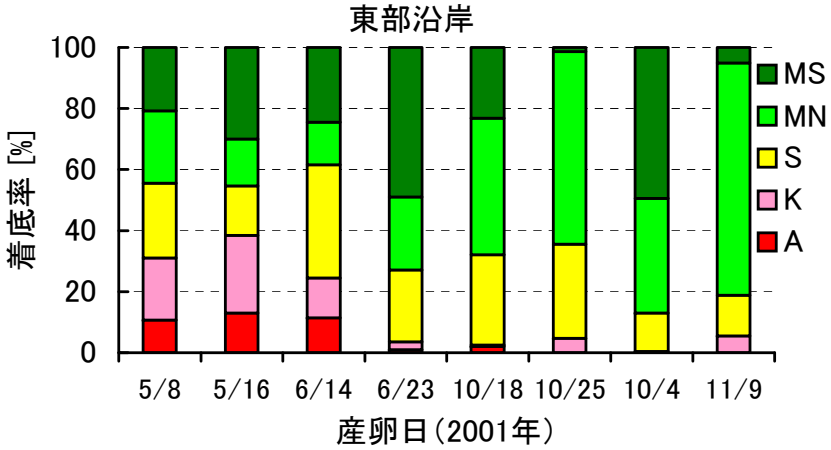
1970年代地形(Case2)



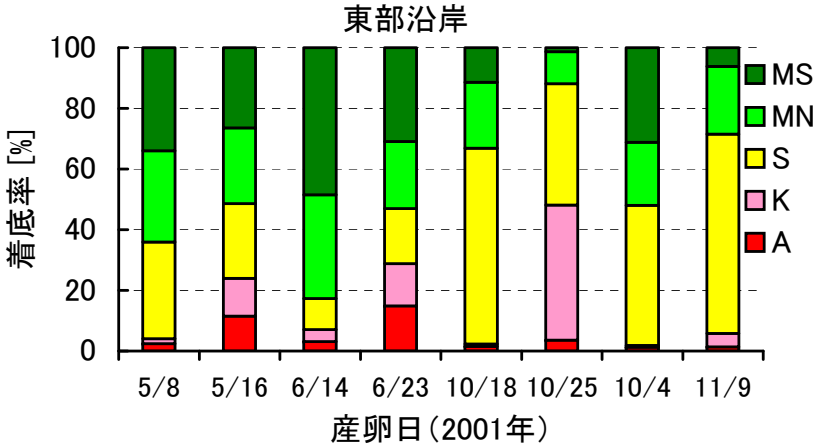
諫早湾埋立(Case20)



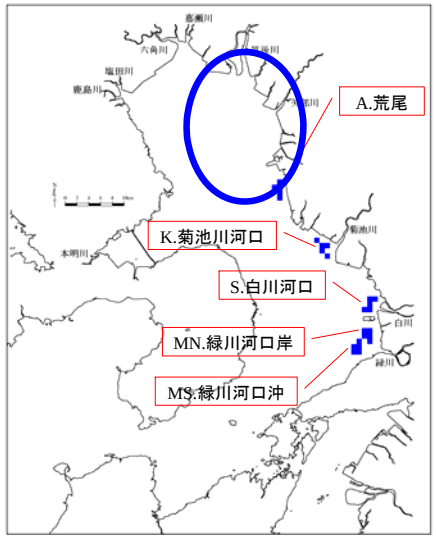
1930年代地形(Case3)



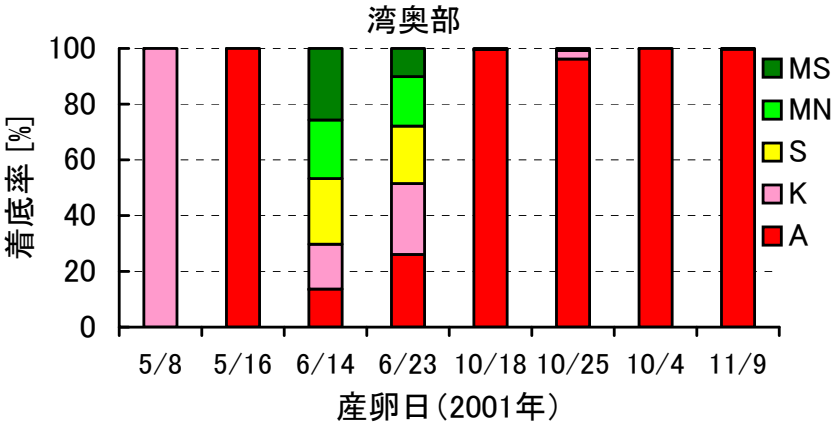
人工海岸開削(Case21)



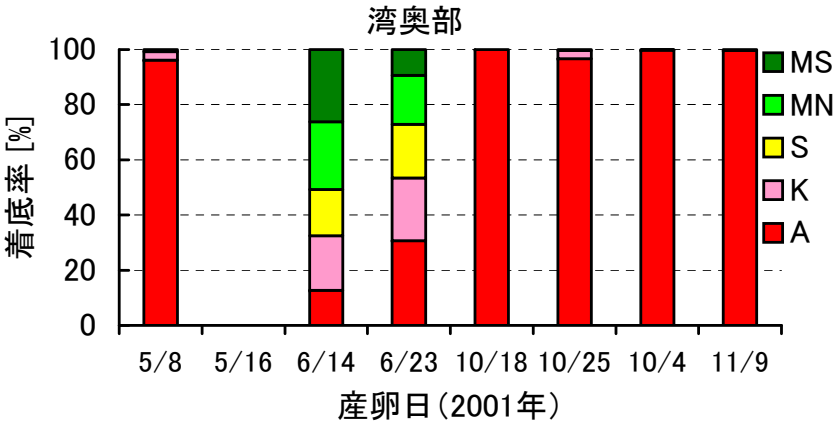
湾奥部



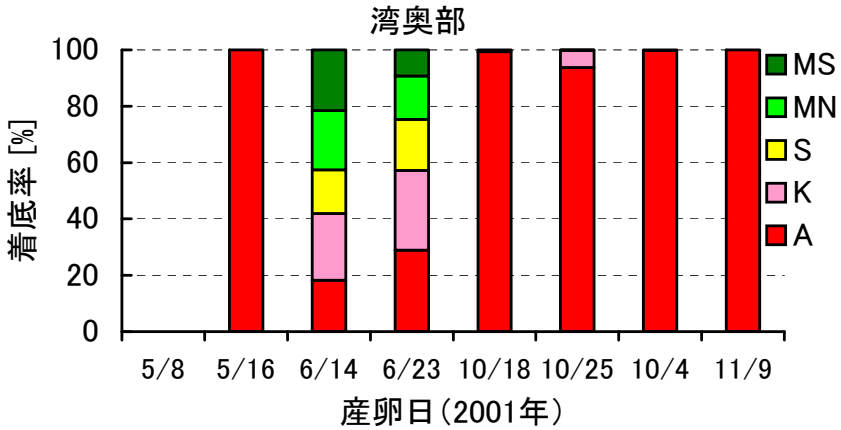
現況(Case 1)



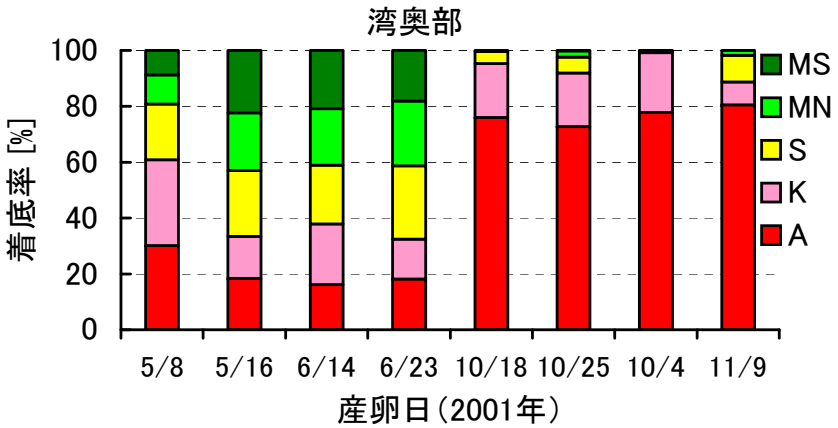
1970年代地形(Case2)



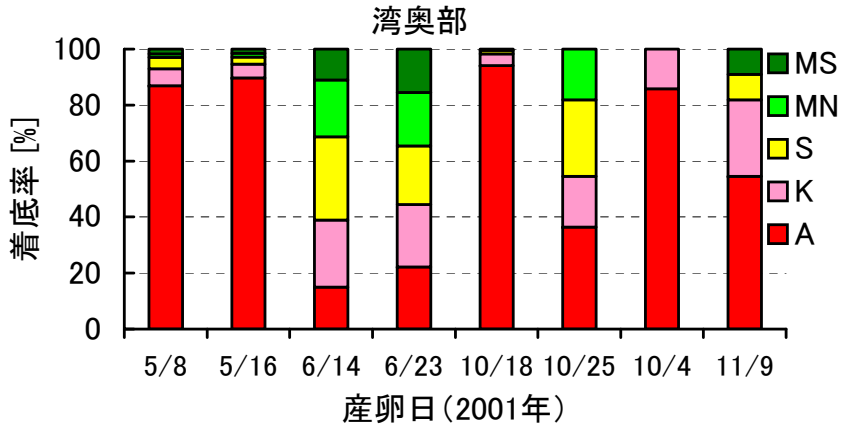
諫早湾埋立(Case20)



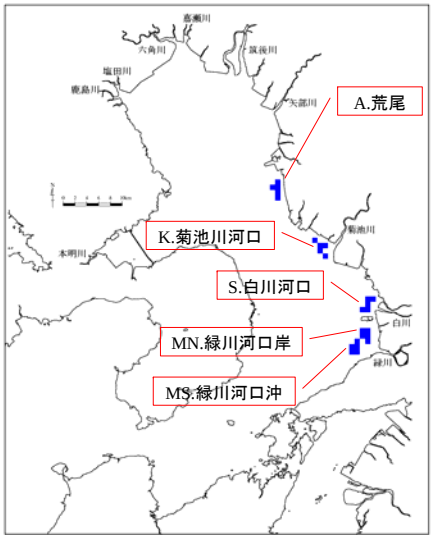
1930年代地形(Case3)



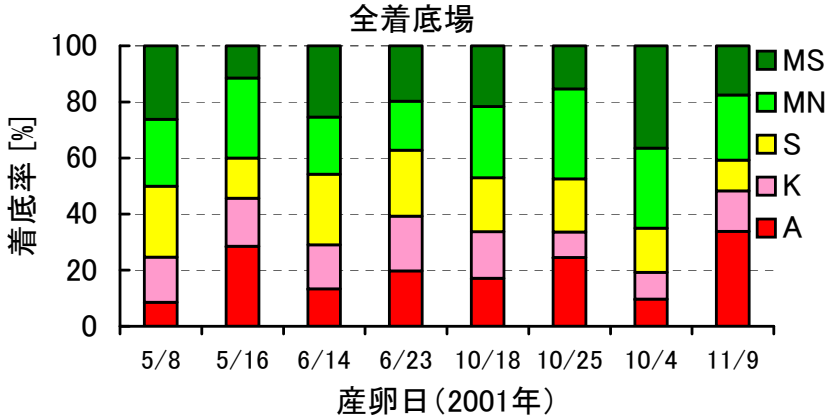
人工海岸開削(Case21)



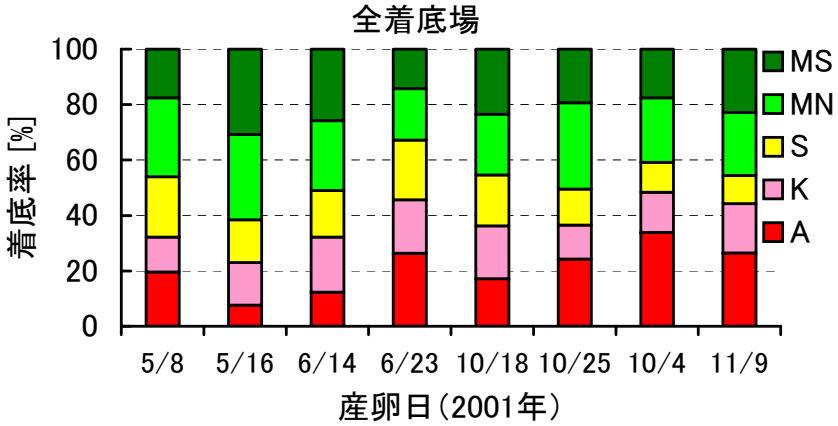
全漁場



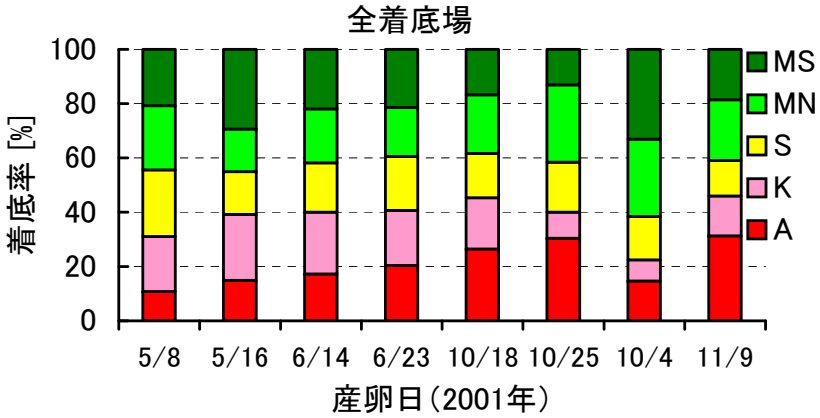
現況(Case 1)



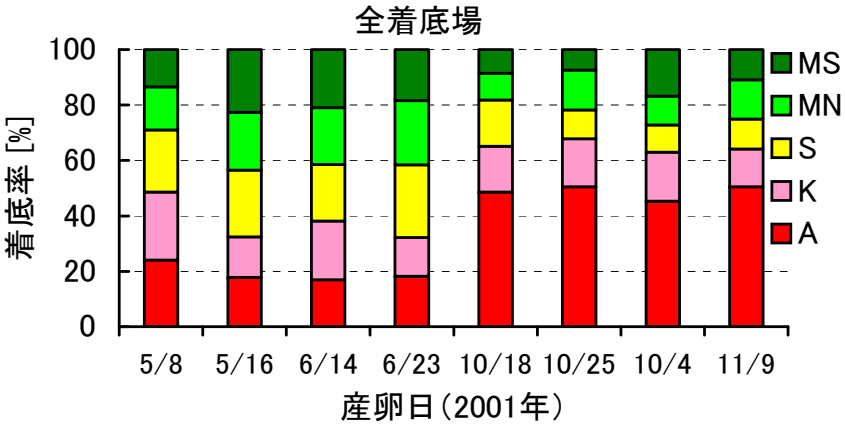
1970年代地形(Case2)



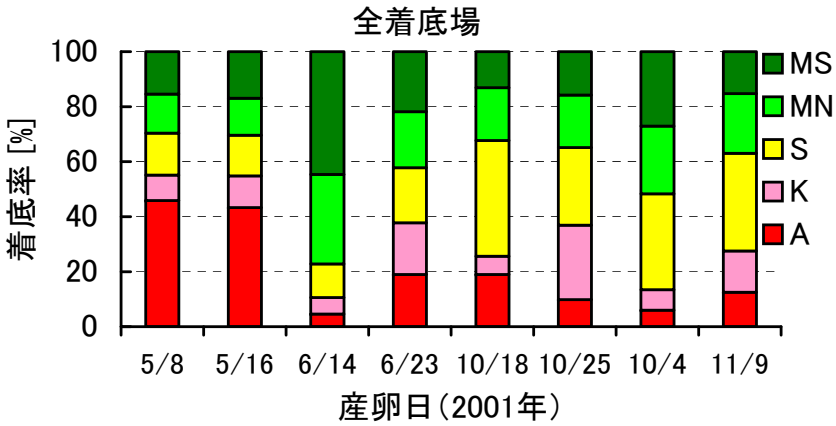
諫早湾埋立(Case20)



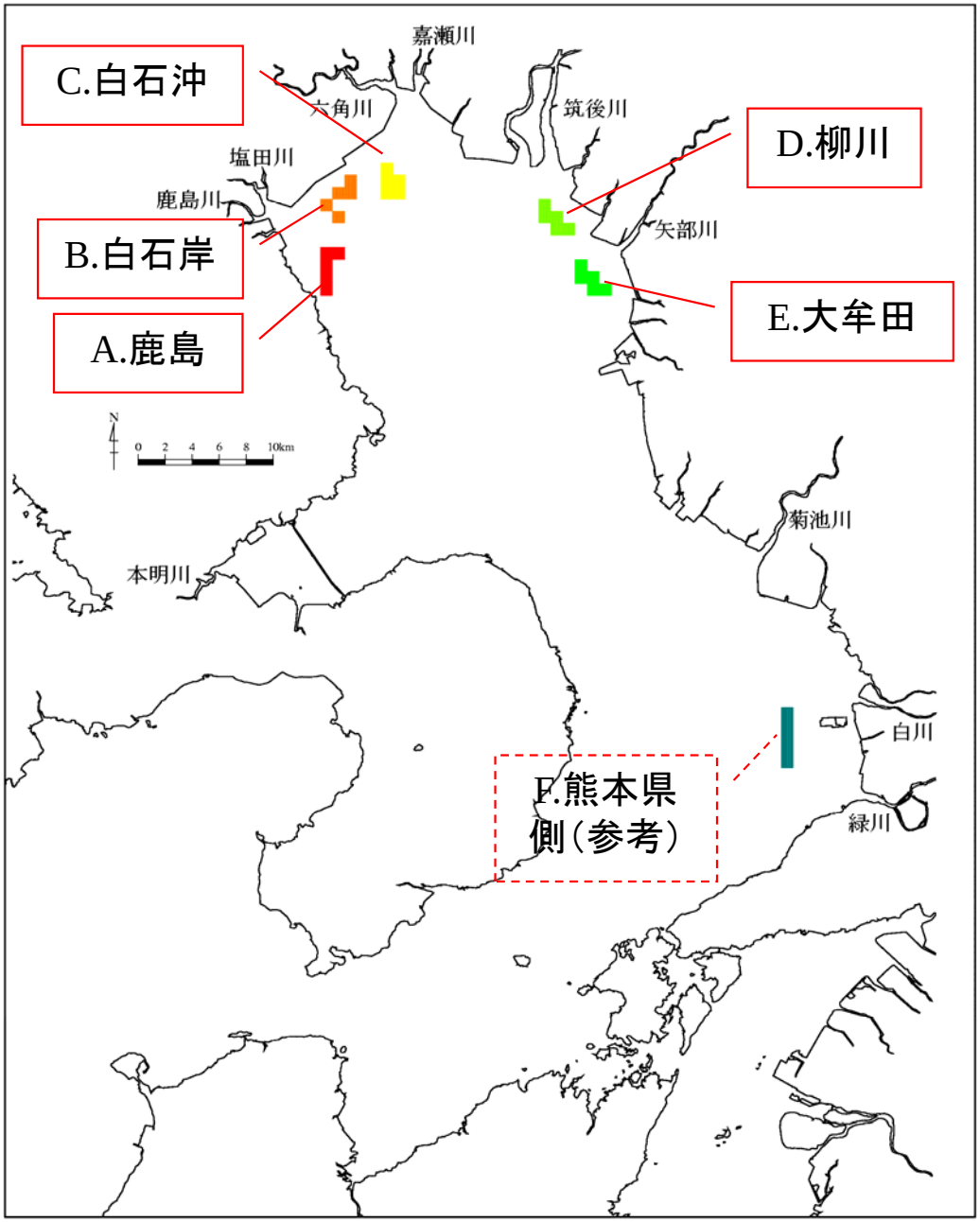
1930年代地形(Case3)



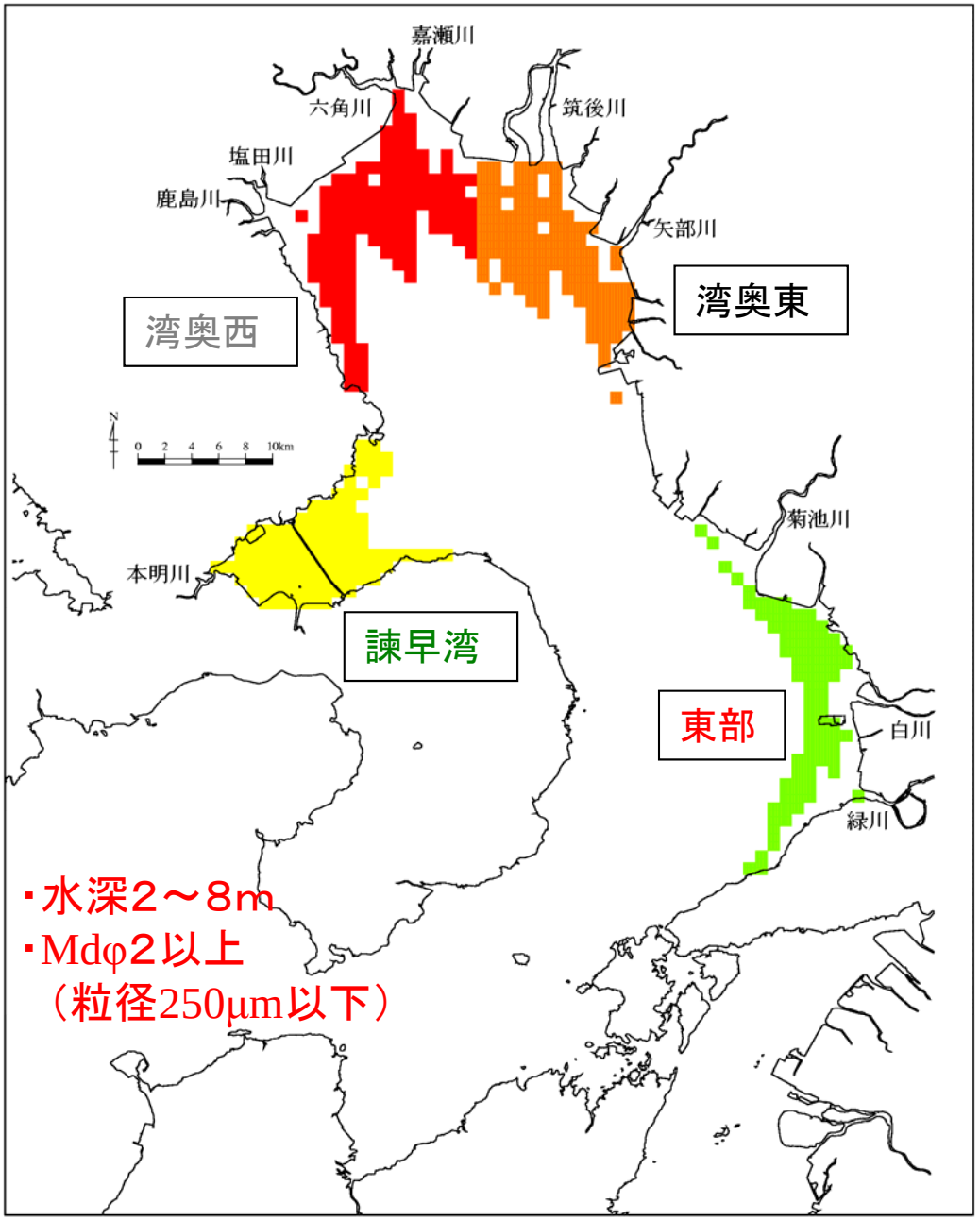
人工海岸開削(Case21)



サルボウ産卵場

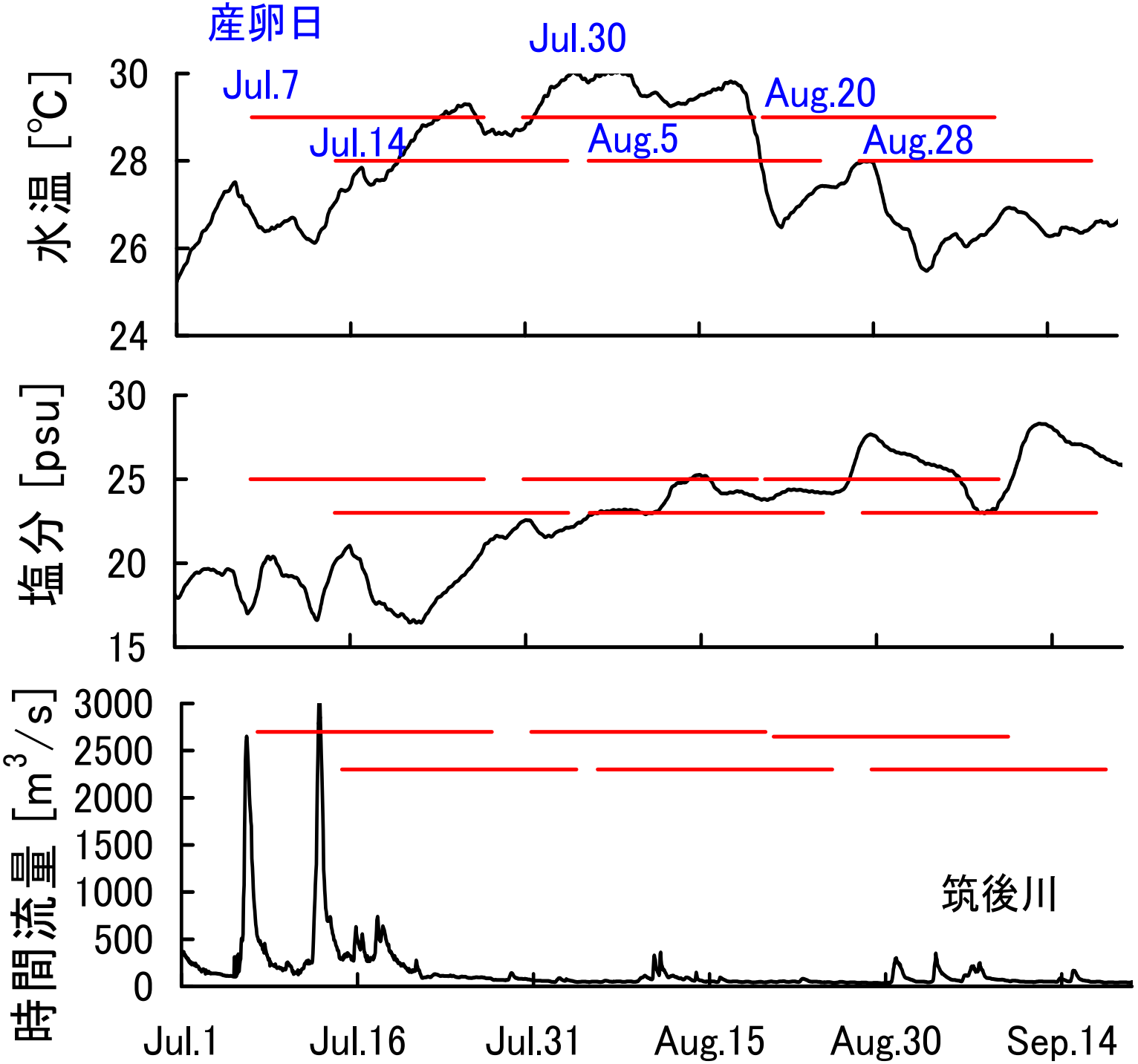


サルボウ着底場

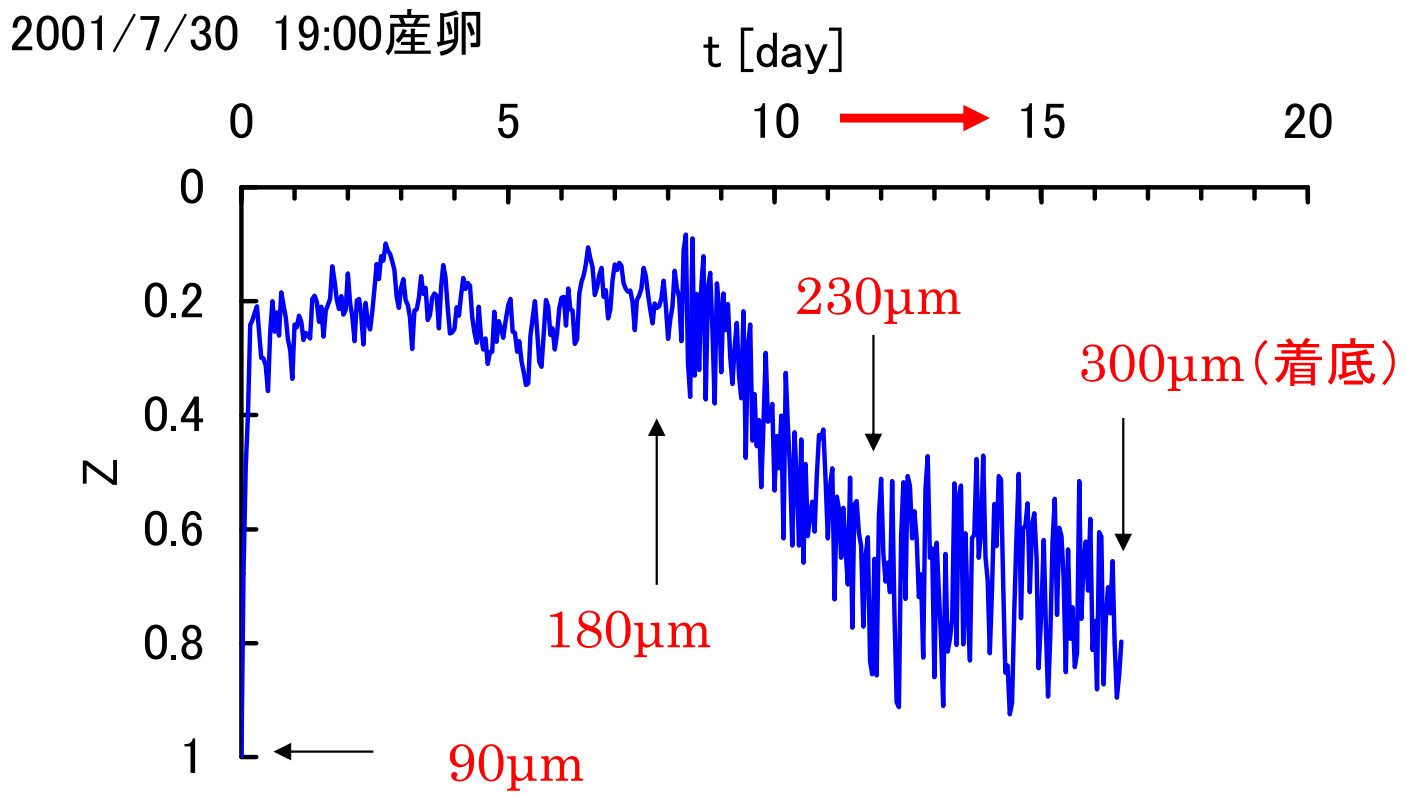


サルボウの浮遊期間

注)水温，塩分は25時間移動平均



サルボウ幼生の浮遊層



$$Z_{(t)} = \frac{Z_{(t-1)}}{1 + Z_{(t-1)} - Z_0}(1 - d\alpha)$$

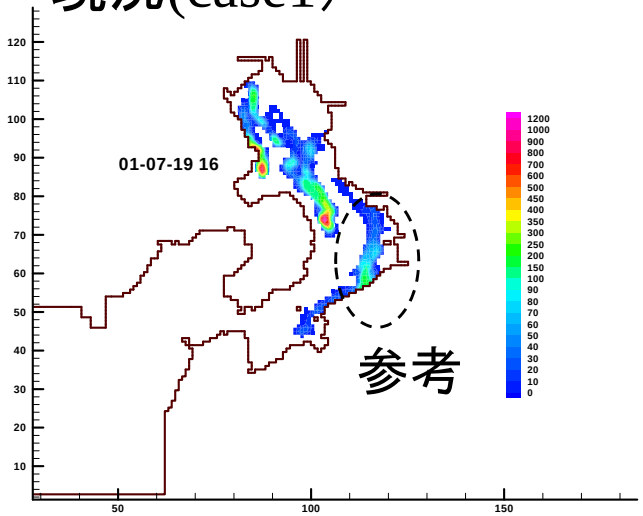
$$Z_{(t)} = \begin{cases} \dfrac{Z_{(t-1)}}{1 + Z_{(t-1)} - 0.2}(1 - 0.2\alpha) & for \quad 0.009 \le L \le 0.018 \\ 100L_{(t)} - 1.6 + 0.1\alpha & for \quad 0.018 < L \le 0.023 \\ \dfrac{Z_{(t-1)}}{1 + Z_{(t-1)} - 0.7}(1 - 0.3\alpha) & for \quad 0.023 < L \le 0.030 \end{cases}$$

Z: 鉛直座標（全水深の割合），Z_0: サルボウ幼生の選好水深（鉛直座標），
t: 時間（孵化後の発育時間）[hour]，d: 変動範囲（$0 \leqq d \leqq 1$），
α : 水の乱れを考慮するための一様乱数（$-1 \leqq \alpha \leqq 1$）

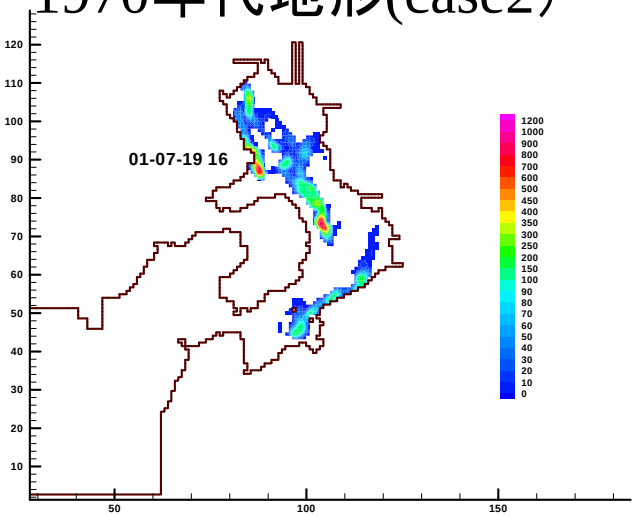
サルボウ浮遊幼生の輸送過程

5日目(全層)

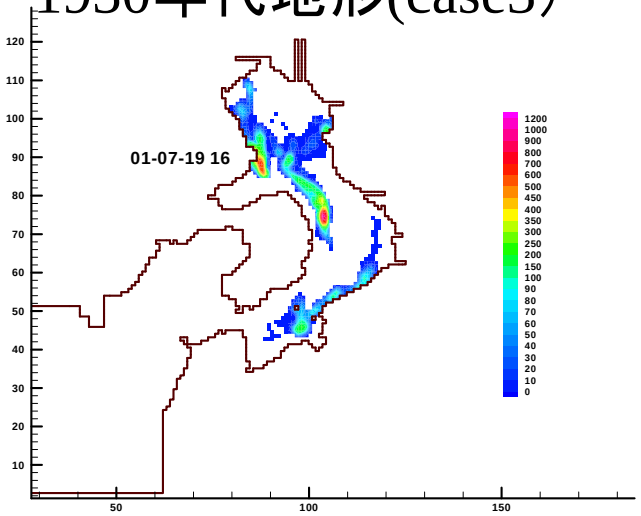
現況(case1)



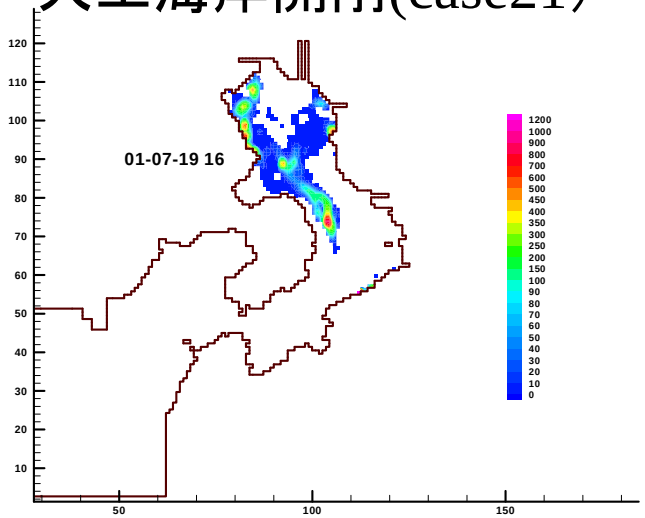
1970年代地形(case2)



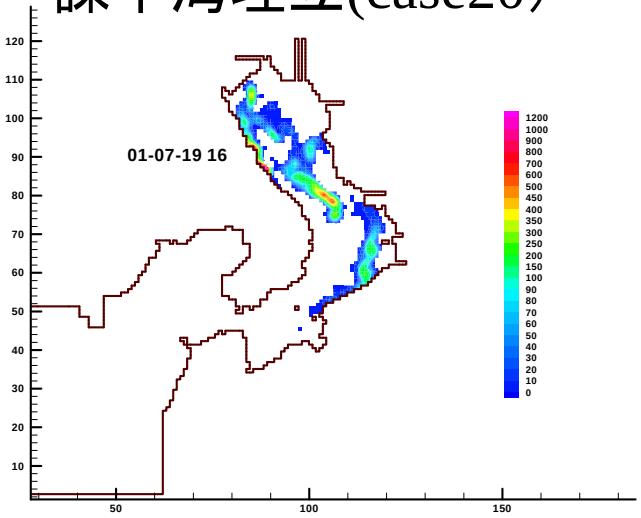
1930年代地形(case3)



人工海岸開削(case21)



諫早湾埋立(case20)



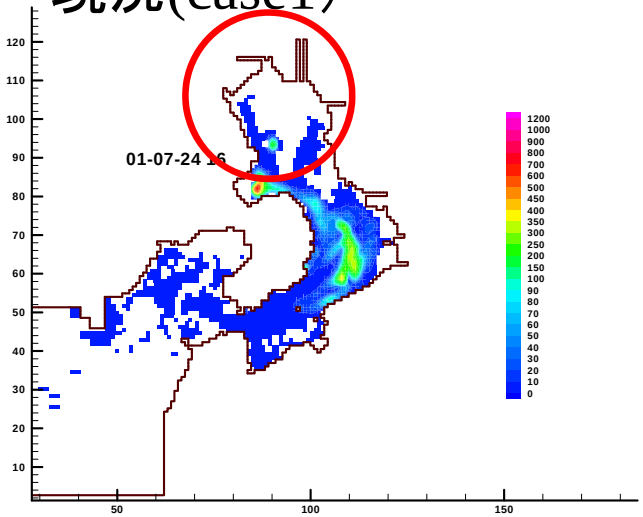
Spawning in
Jul.14,2001 16:00
(neap tide)

出水　高温

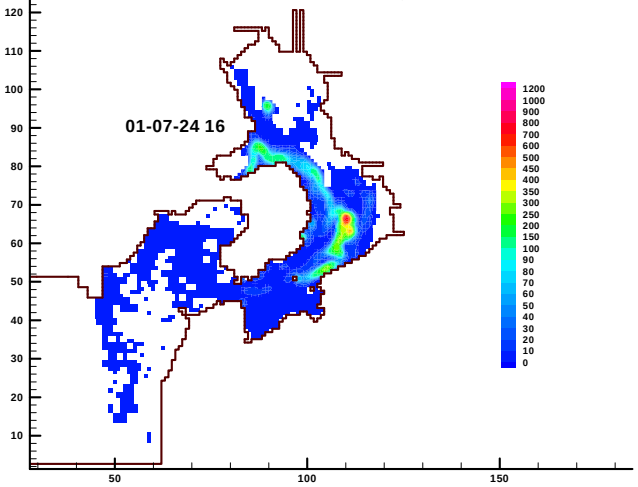
サルボウ浮遊幼生の輸送過程

10日目(全層)

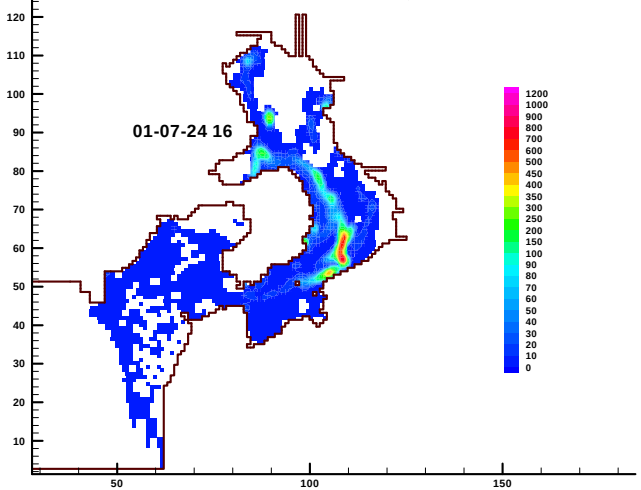
現況(case1)



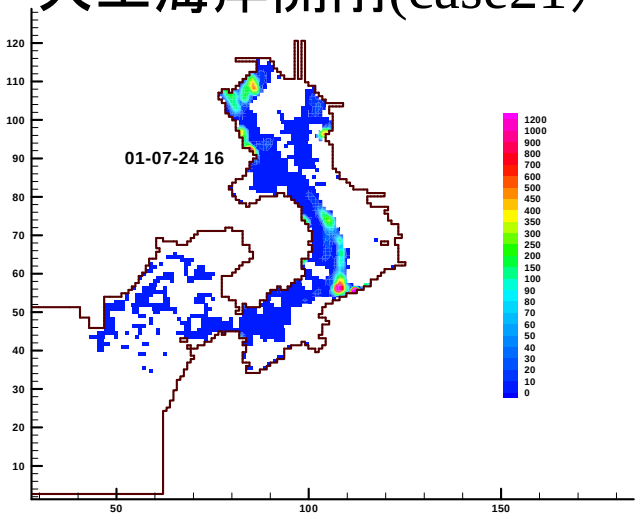
1970年代地形(case2)



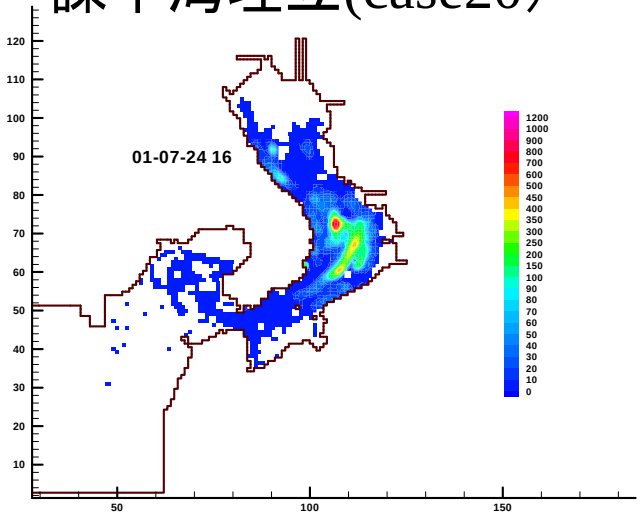
1930年代地形(case3)



人工海岸開削(case21)



諫早湾埋立(case20)



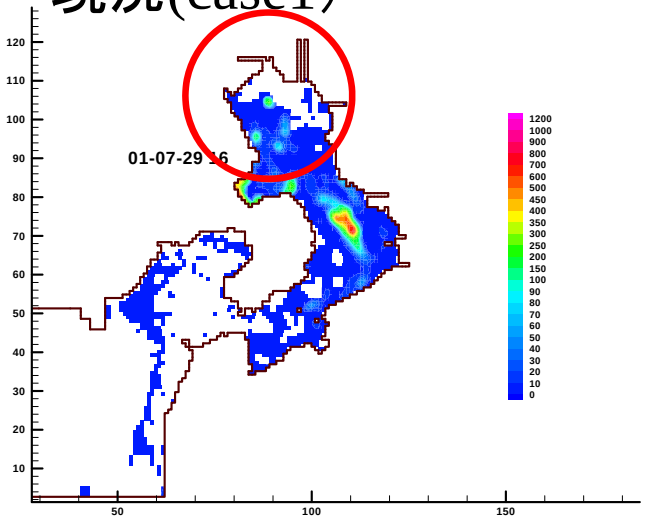
Spawning in
Jul.14,2001 16:00
(neap tide)

出水　高温

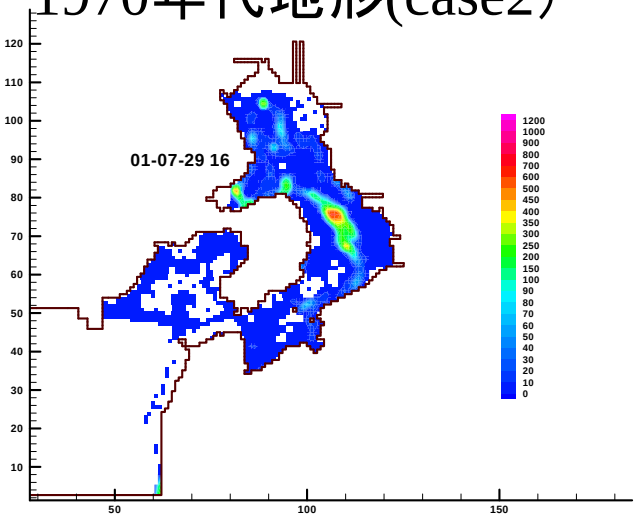
サルボウ浮遊幼生の輸送過程

15日目(全層)

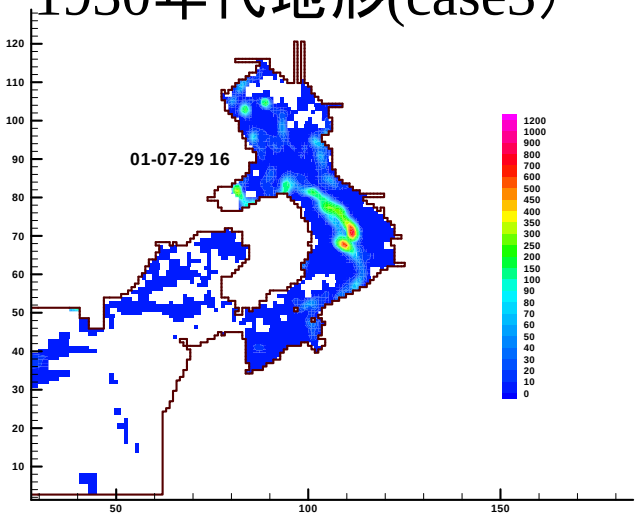
現況(case1)



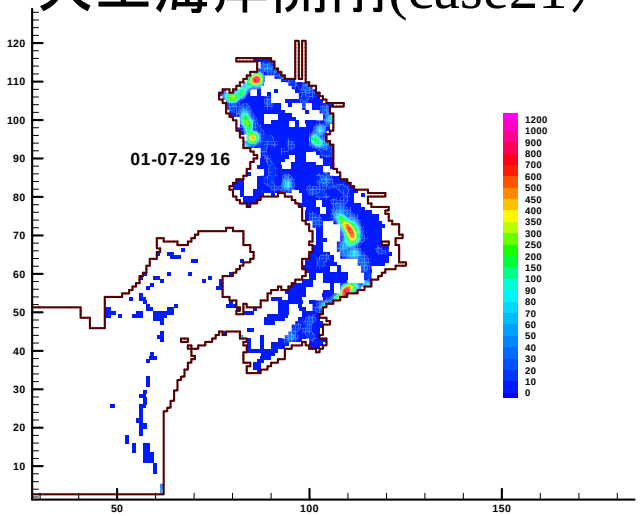
1970年代地形(case2)



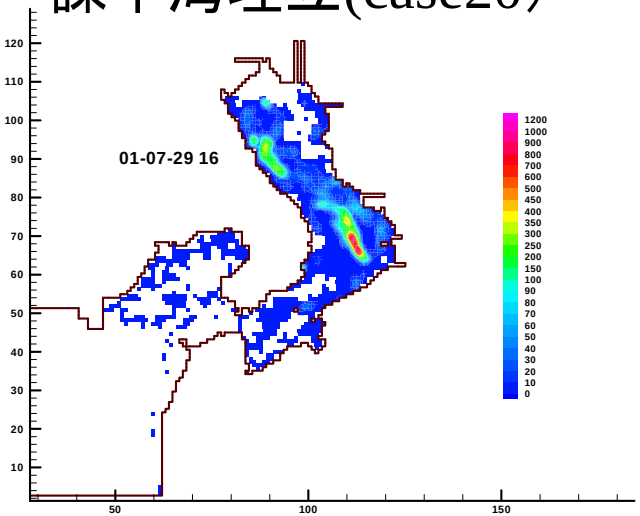
1930年代地形(case3)



人工海岸開削(case21)



諫早湾埋立(case20)



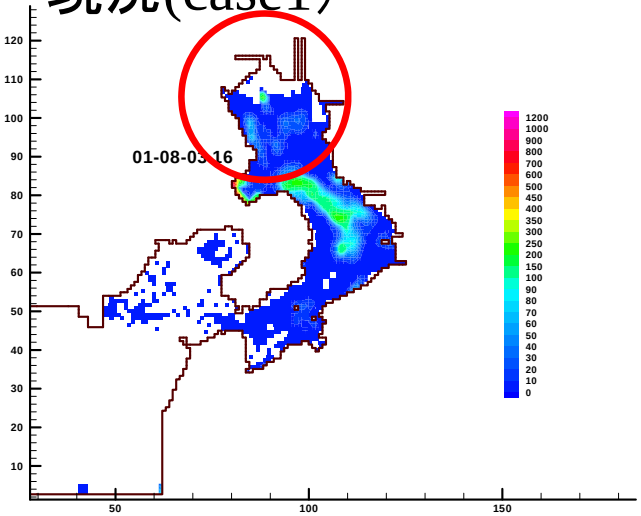
Spawning in
Jul.14,2001 16:00
(neap tide)

出水　高温

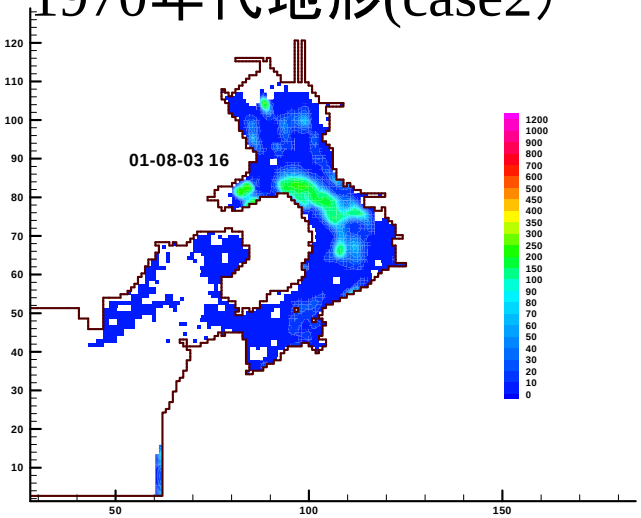
サルボウ浮遊幼生の輸送過程

20日目(全層)

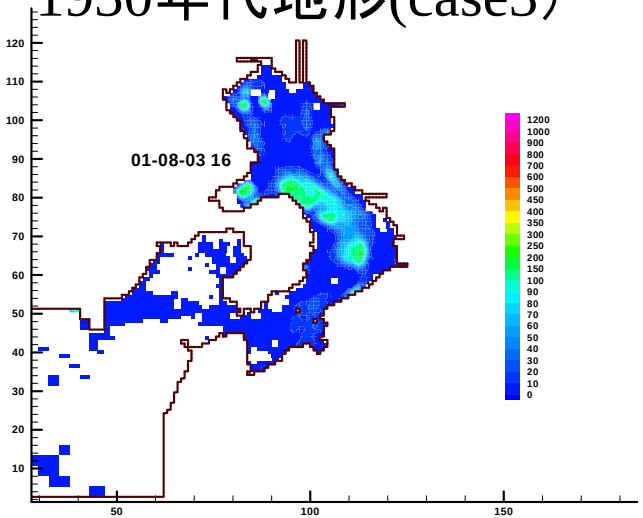
現況(case1)



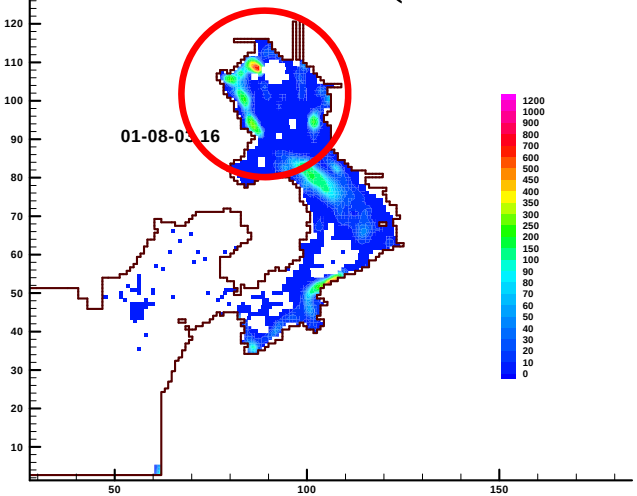
1970年代地形(case2)



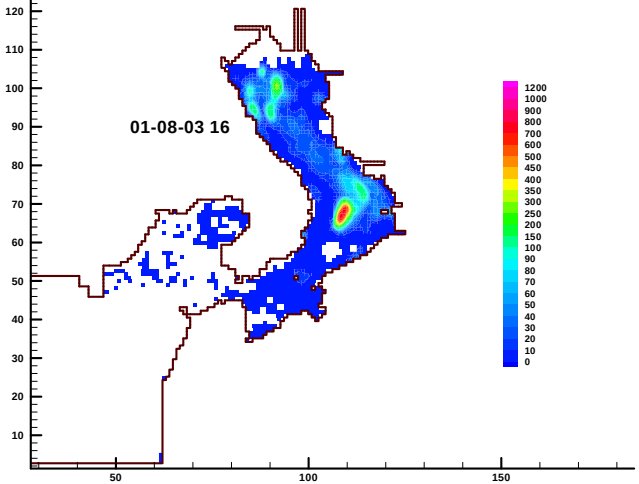
1930年代地形(case3)



人工海岸開削(case21)



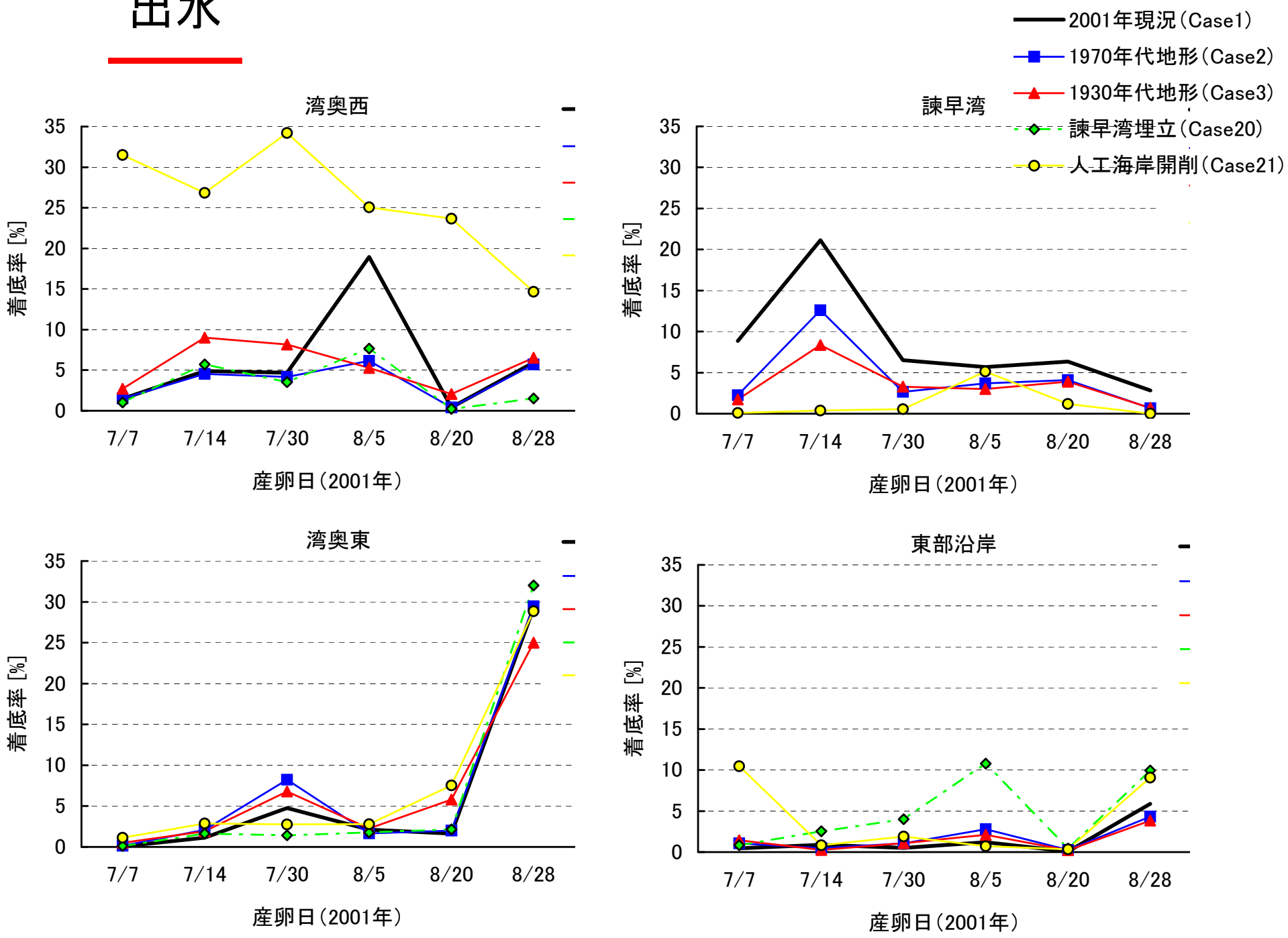
諫早湾埋立(case20)

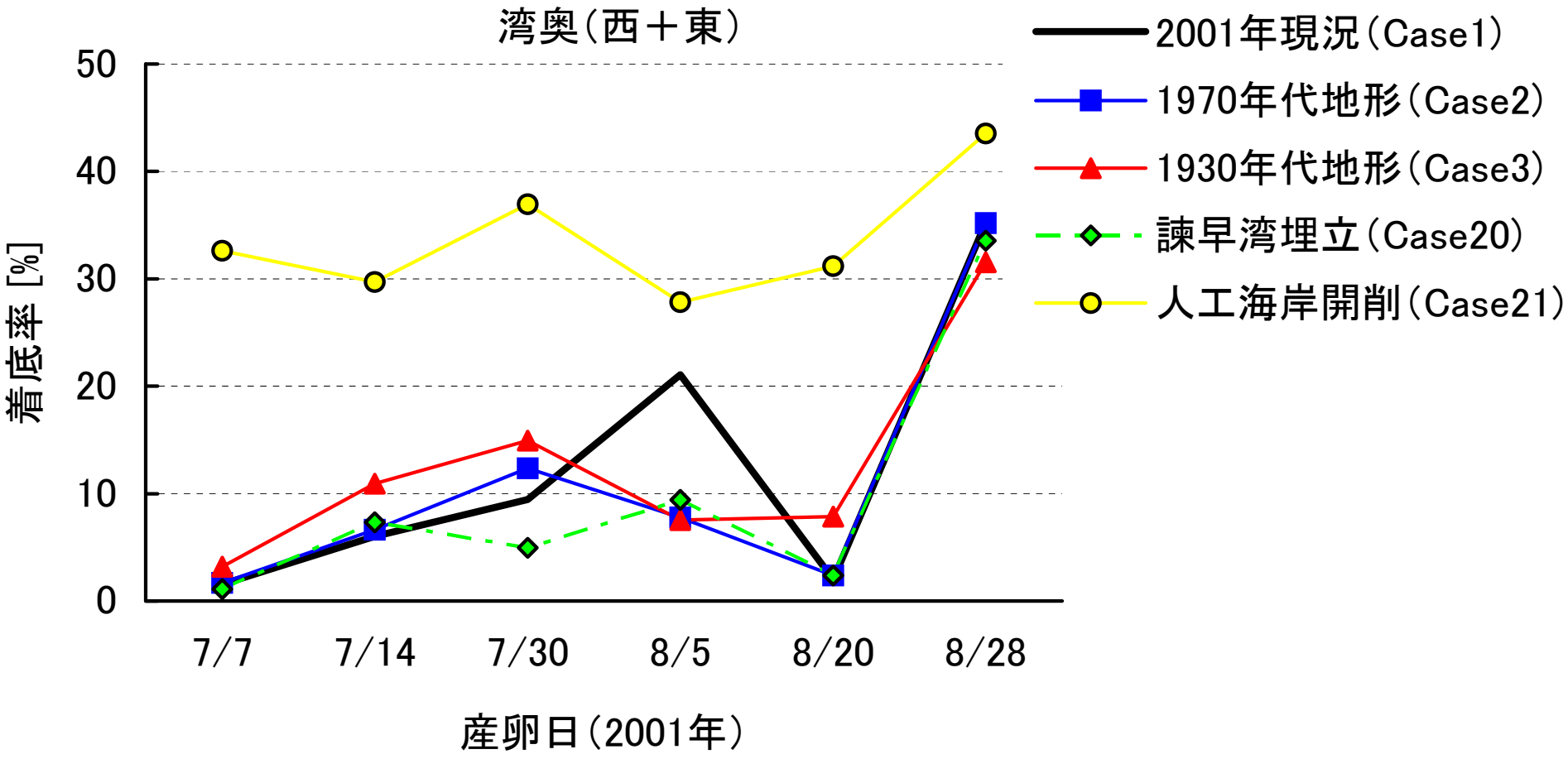


Spawning in
Jul.14,2001 16:00
(neap tide)

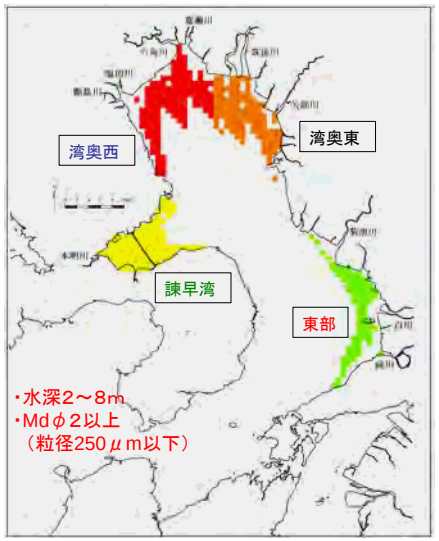
出水　高温

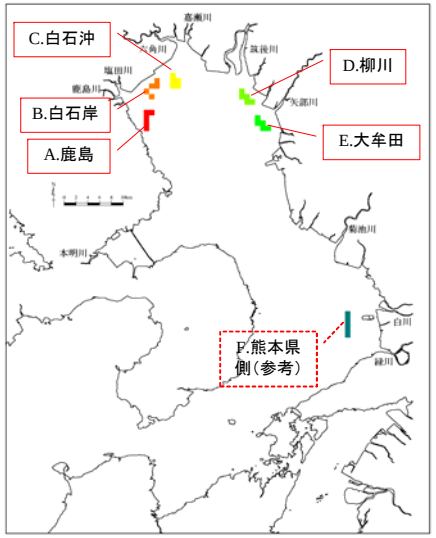
出水

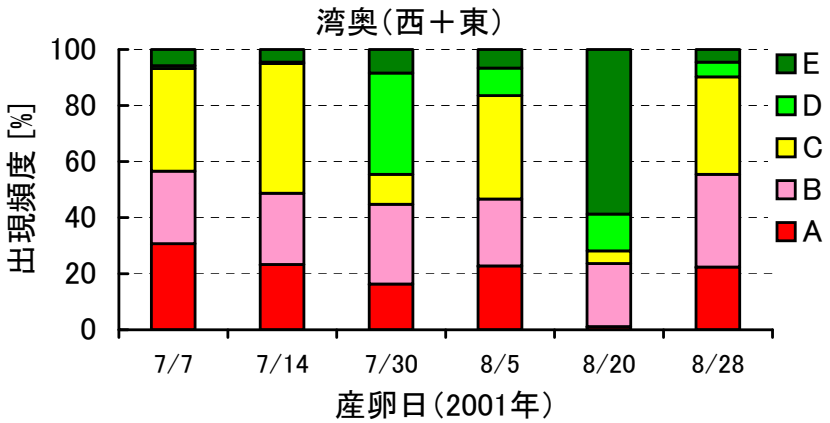

2001年現況(Case1)
1970年代地形(Case2)
1930年代地形(Case3)
諫早湾埋立(Case20)
人工海岸開削(Case21)
湾奥西
諫早湾
湾奥東
東部沿岸
着底率 [%]
35
30
25
20
15
10
5
0
7/7
7/14
7/30
8/5
8/20
8/28
産卵日(2001年)

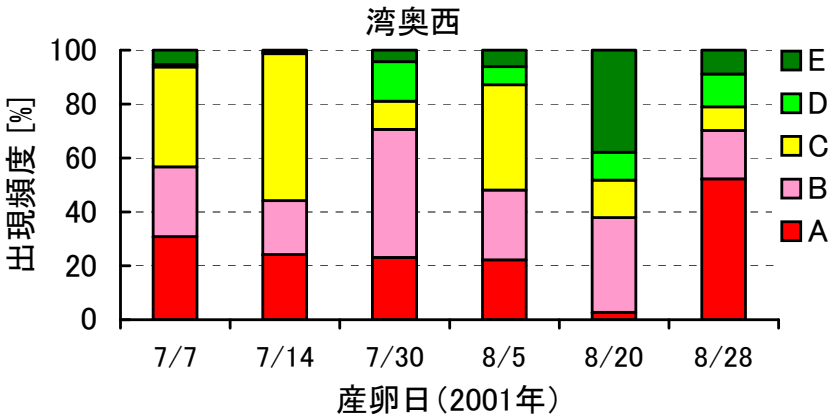

湾奥(西＋東)
2001年現況(Case1)
1970年代地形(Case2)
1930年代地形(Case3)
諫早湾埋立(Case20)
人工海岸開削(Case21)
着底率 [%]
50
40
30
20
10
0
7/7
7/14
7/30
8/5
8/20
8/28
産卵日(2001年)

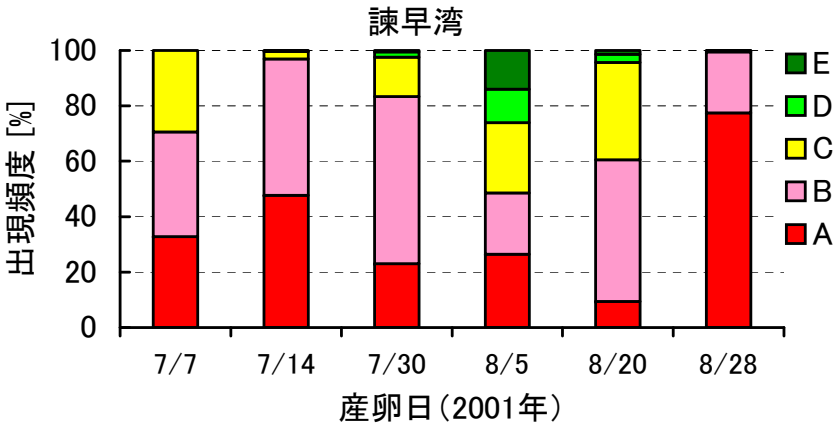
2001年現況（Case1）

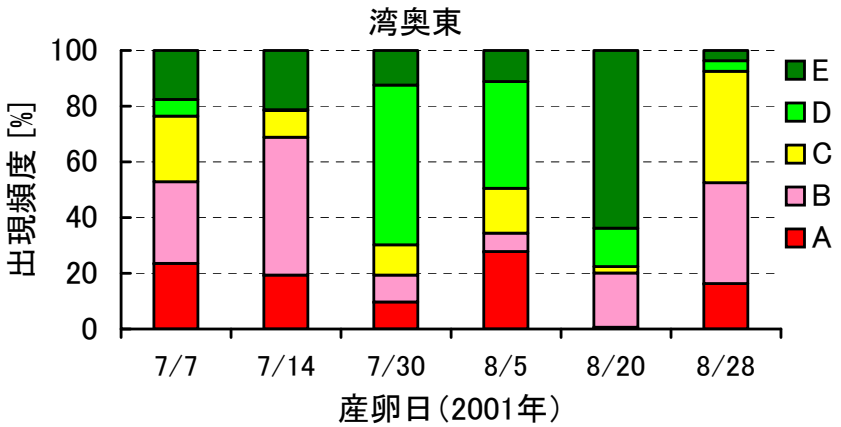


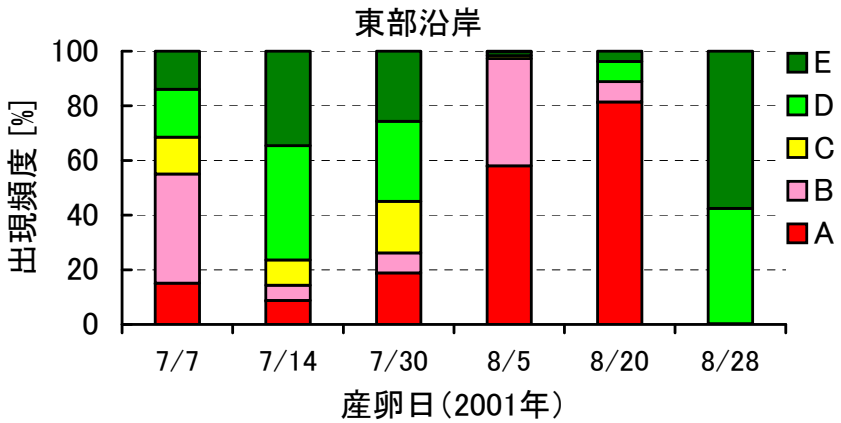




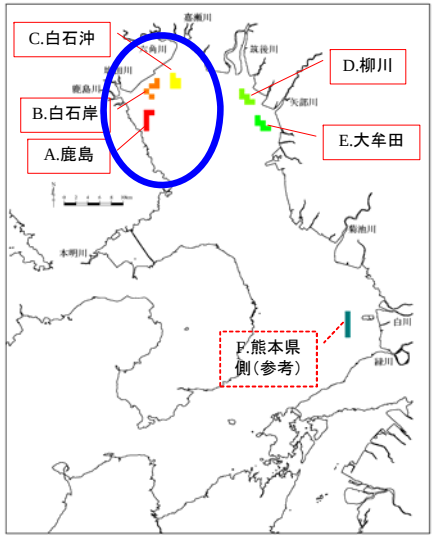




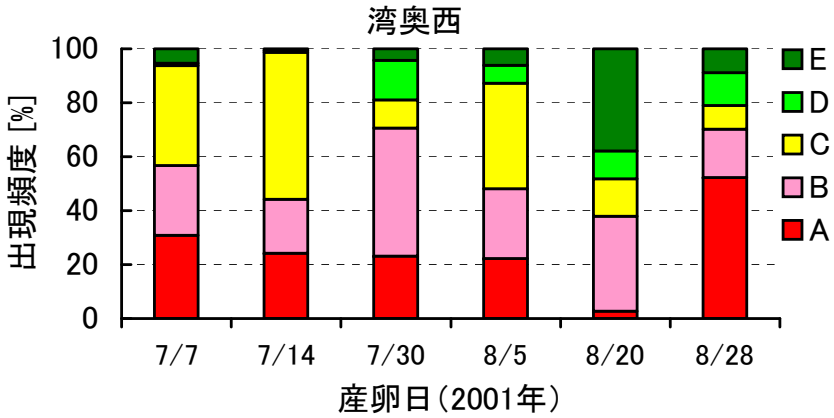




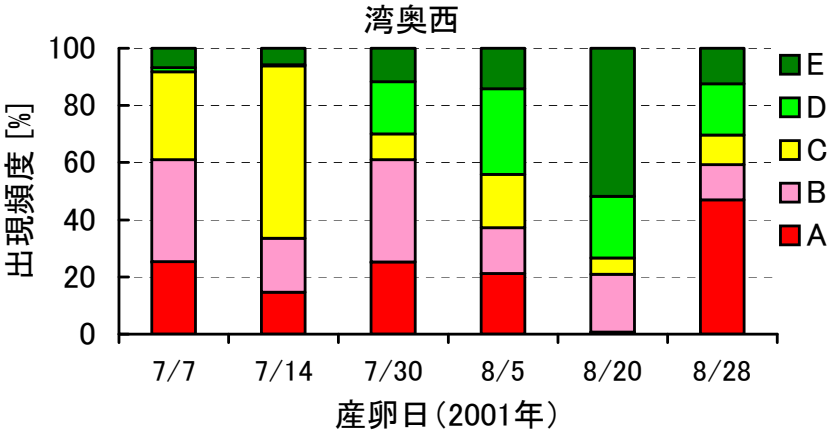
湾奥西



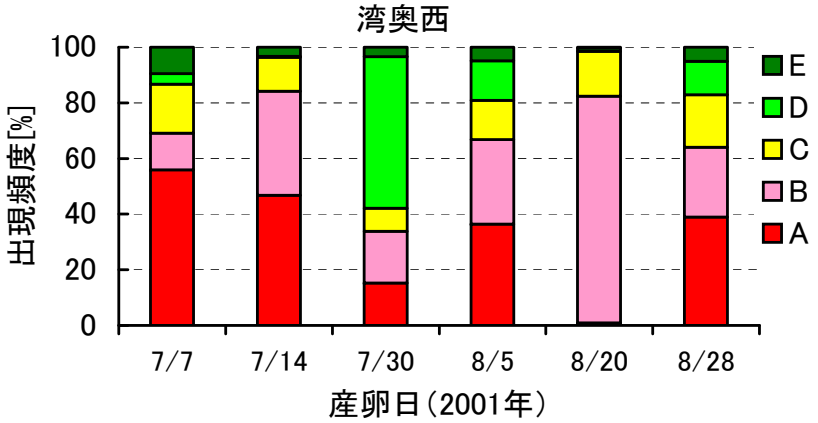
現況(Case 1)



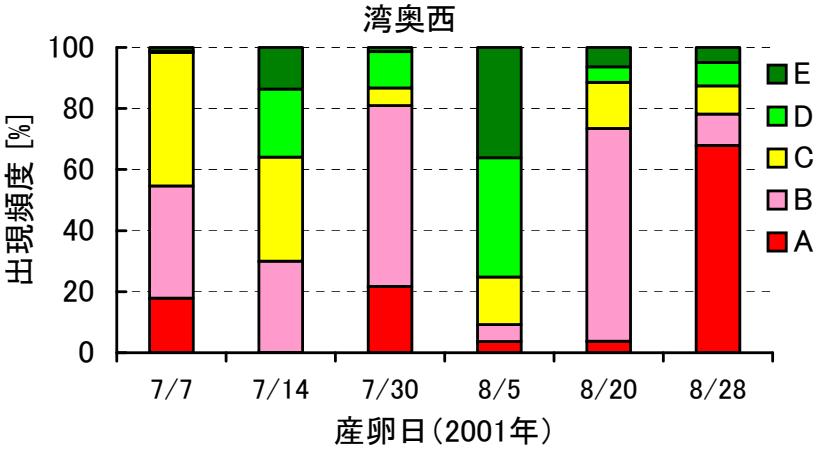
1970年代地形(Case2)



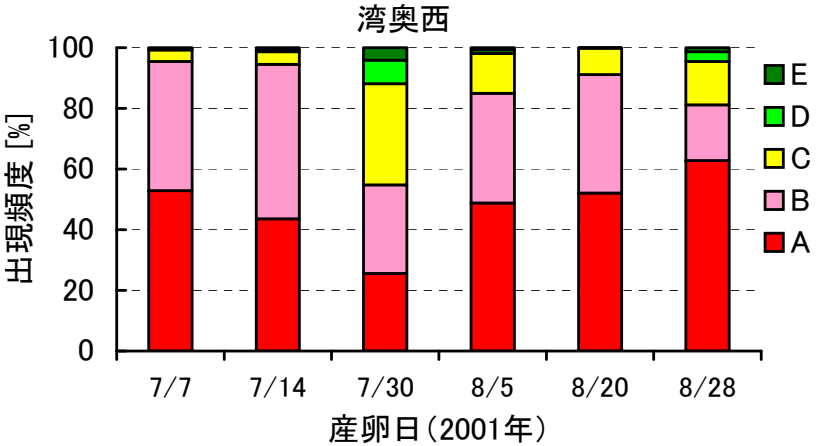
諫早湾埋立(Case20)



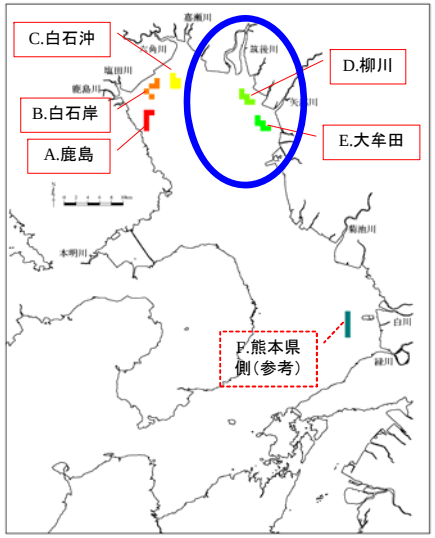
1930年代地形(Case3)



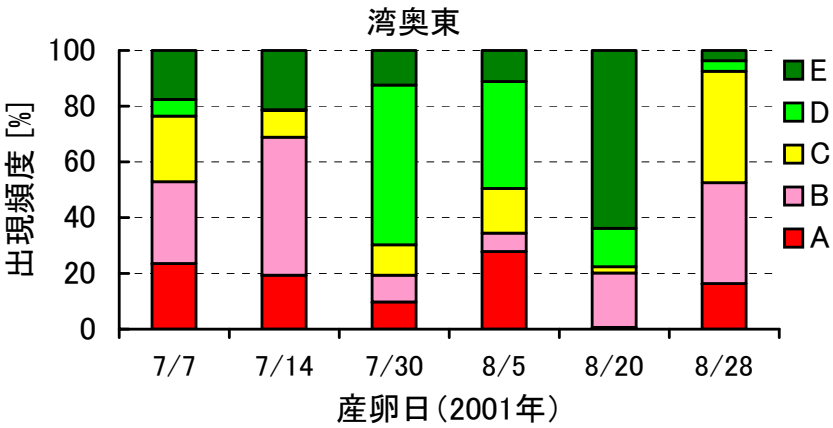
人工海岸開削(Case21)



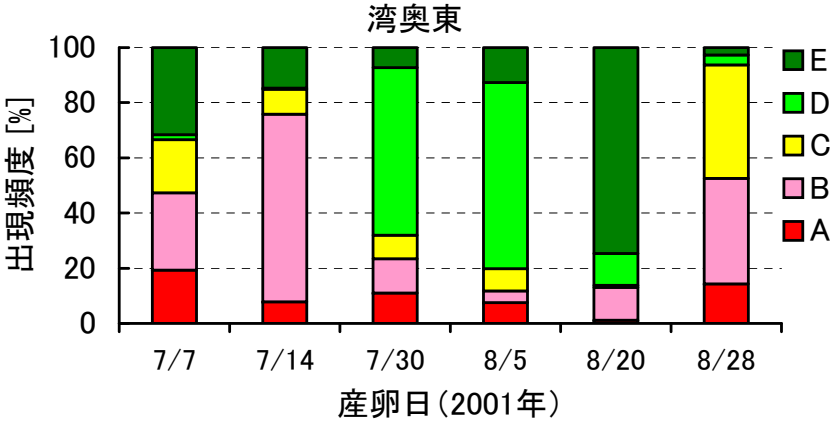
湾奥東



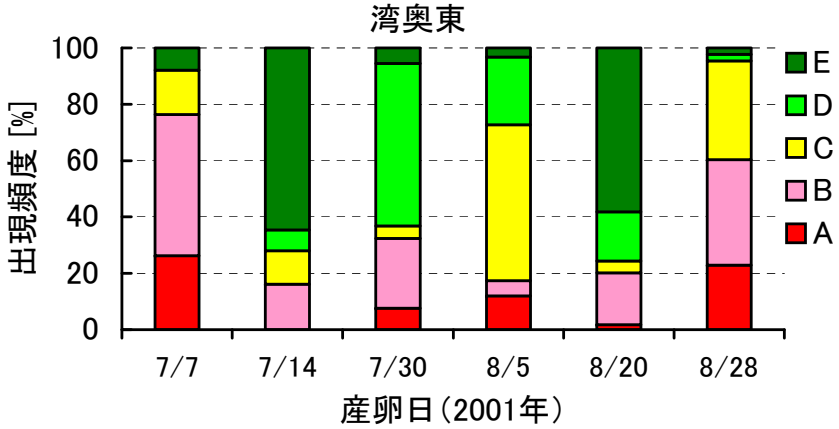
現況(Case 1)



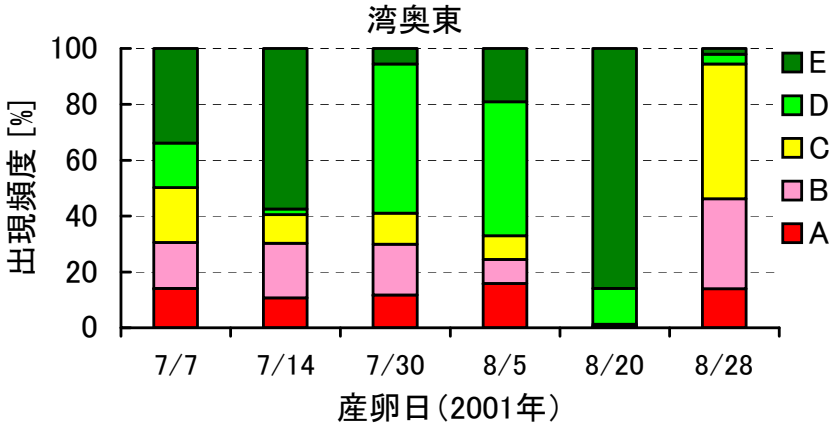
1970年代地形(Case2)



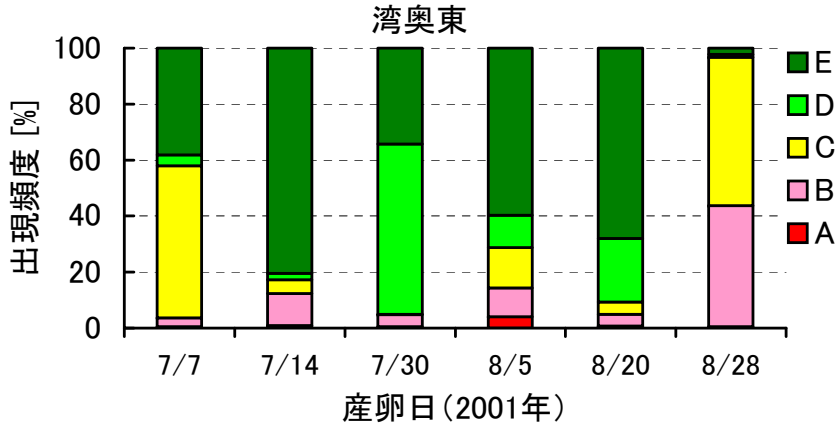
諫早湾埋立(Case20)



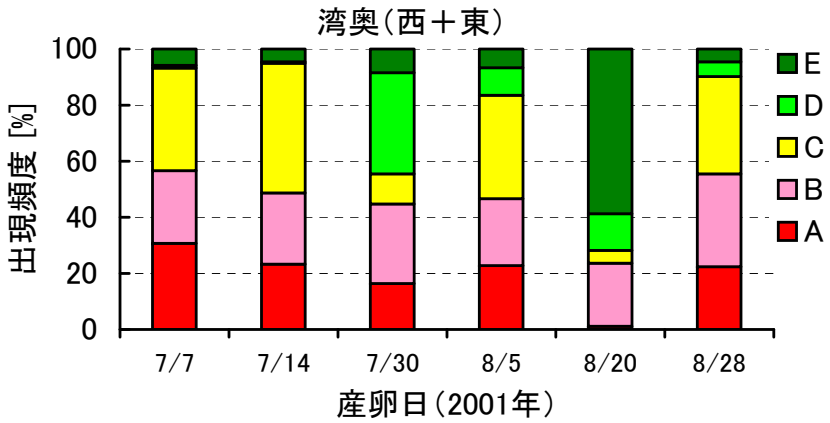
1930年代地形(Case3)



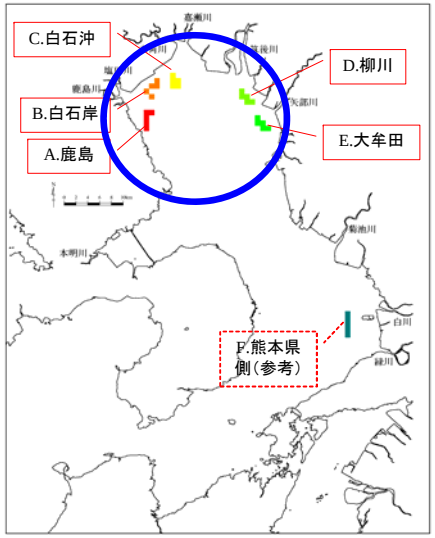
人工海岸開削(Case21)



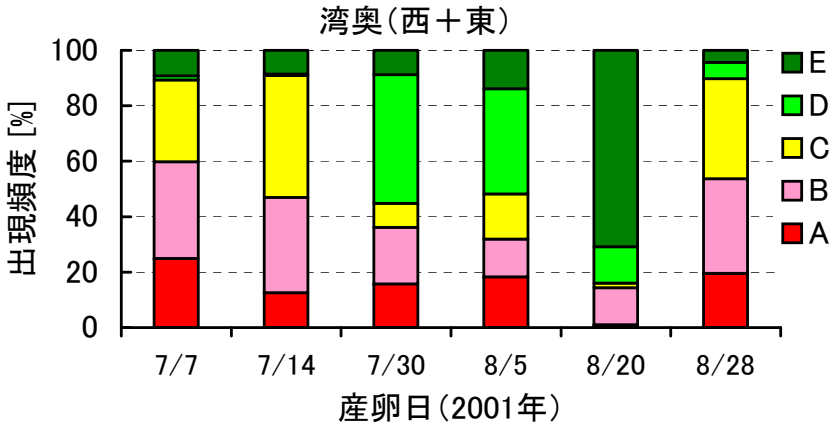
現況(Case 1)



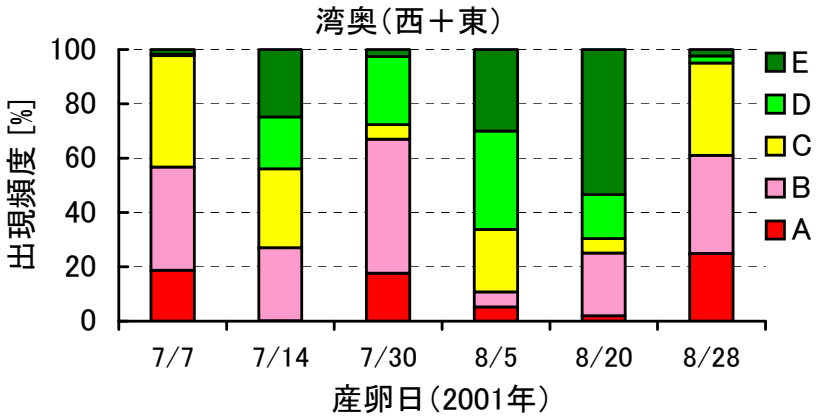
湾奥(西＋東)



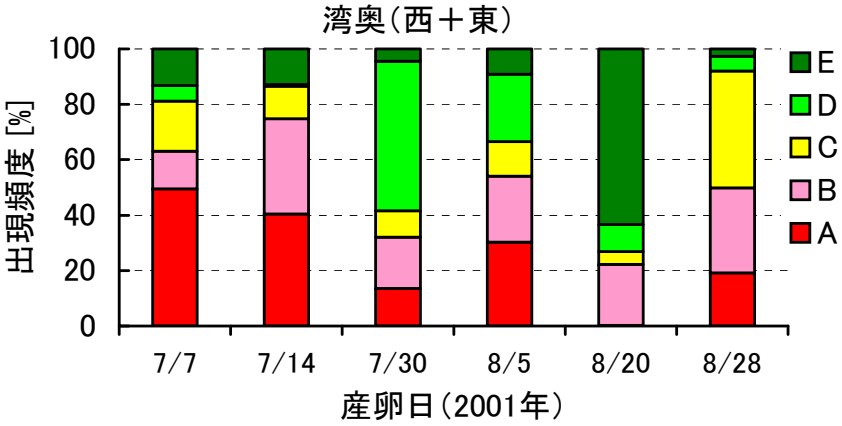
1970年代地形(Case2)



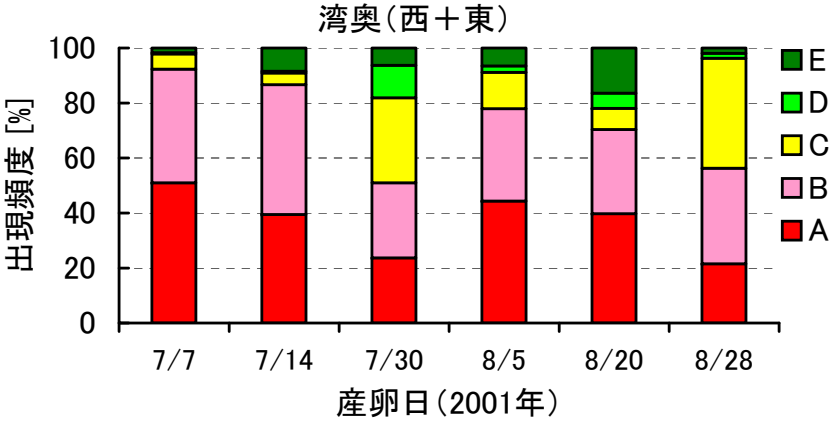
諫早湾埋立(Case20)



1930年代地形(Case3)

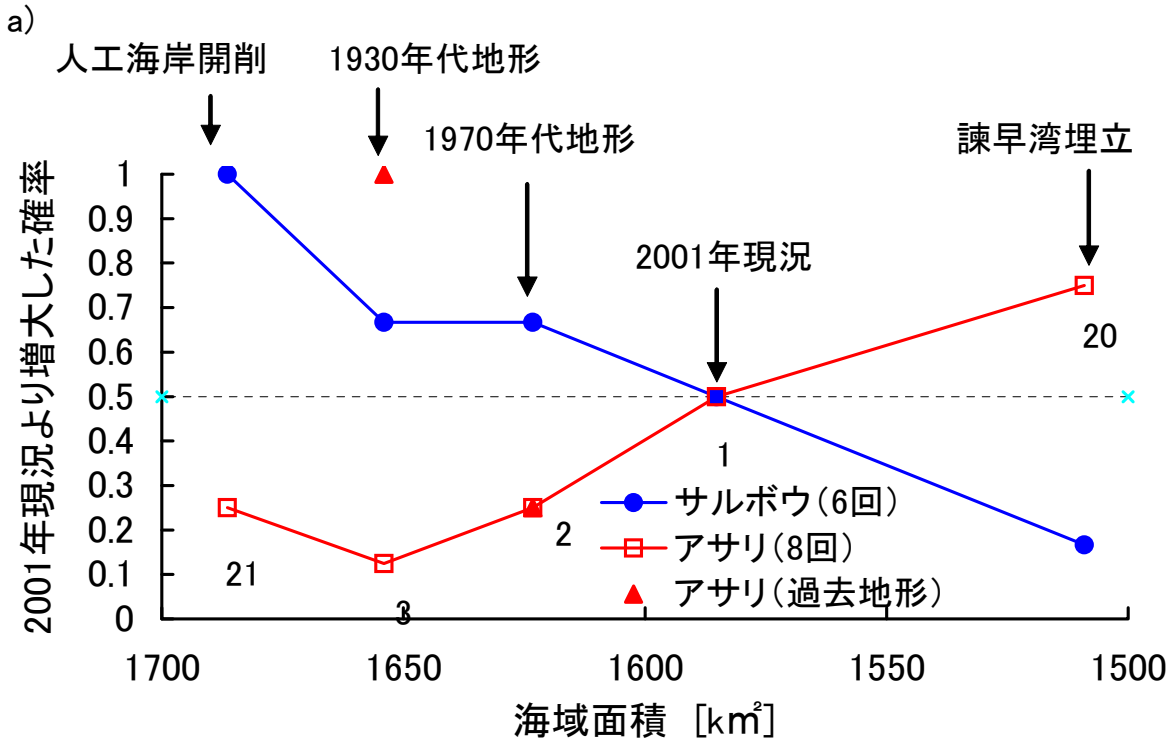


人工海岸開削(Case21)

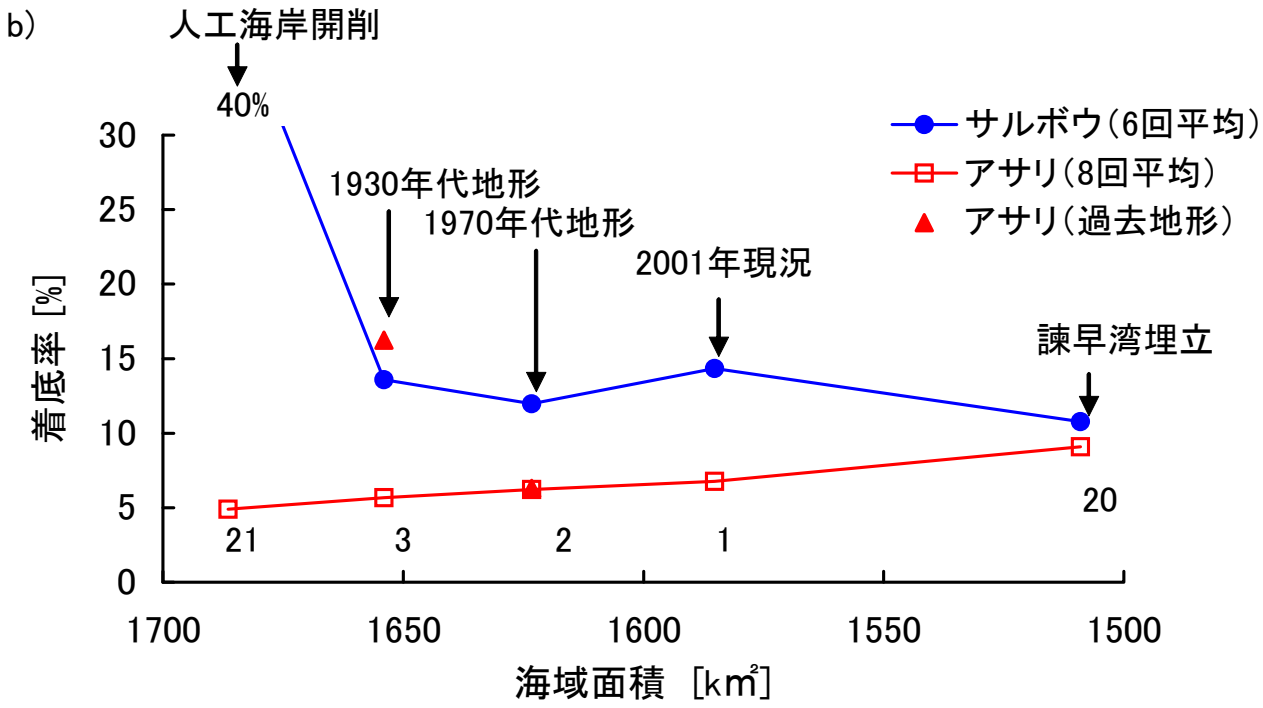


アサリ・サルボウのまとめ

産卵場の重み付けを考慮したケース



←確率



←着底率

まとめ

1. サルボウ、アサリとも，産卵日による着底率の差が大きい.
2. 平均的な着底率は，サルボウ14.3%，アサリ3.3%であった.
3. 浮遊期後半に底層を浮遊するサルボウについては，海域面積が増大し入退潮が大きくなると，エスチュアリー循環により底層水が湾奥に流入し，着底率が高くなる.
4. 表層を浮遊するアサリについては，海域面積が増大し入退潮が大きくなると，湾外に流出しやすく，着底率が低くなる傾向がある.
5. 有明海の重要魚介類の多くが「湾央産卵ー湾奥成育」型であり，サルボウ浮遊幼生の輸送機構と共通するところが多い. したがって，流況改善は水産資源増大策の一つとして期待される.

低次生態系モデル

低次生態系モデル作成の留意点

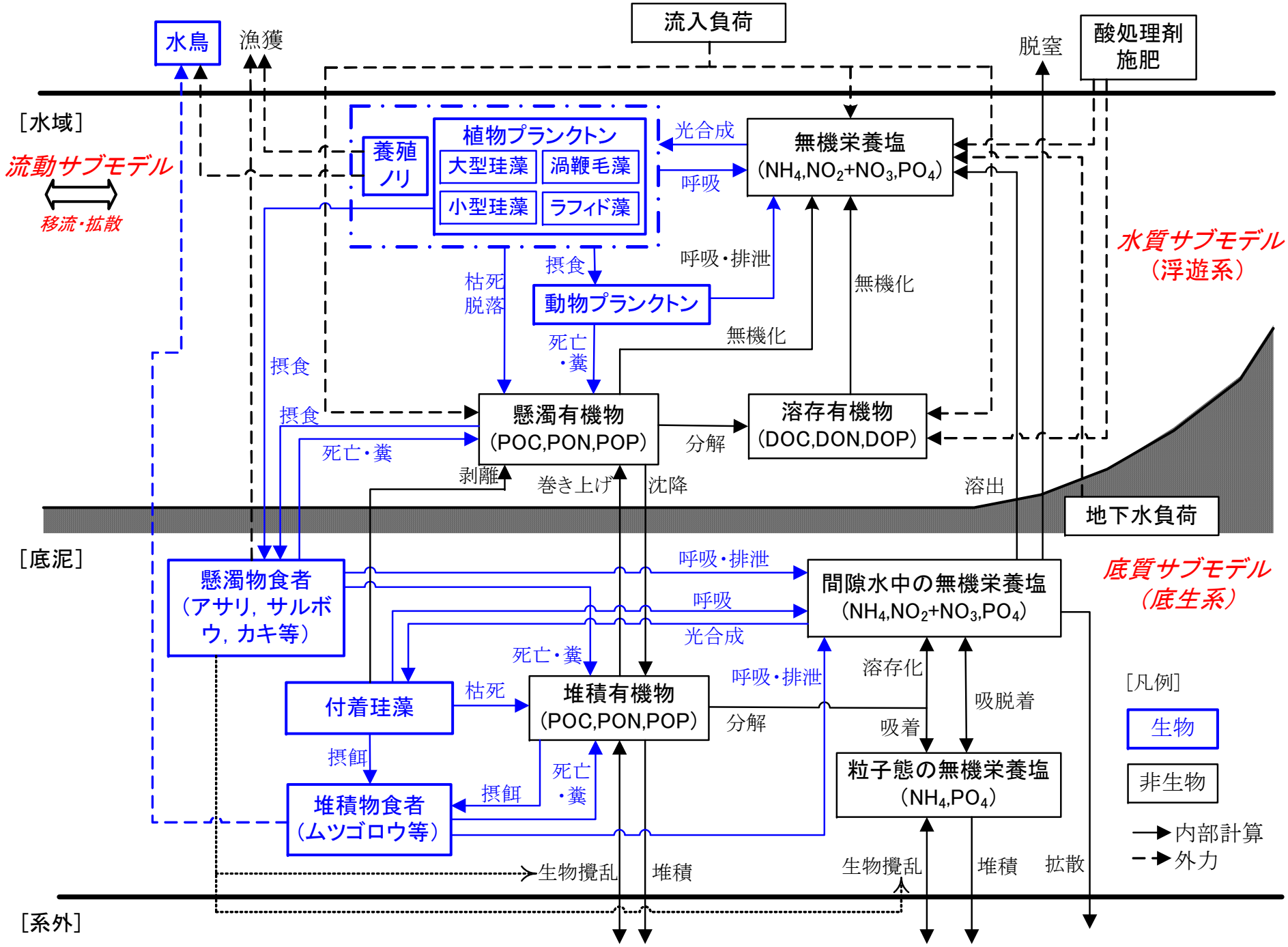
1. 流況，成層構造
2. 砂質～泥質の干潟生態系の機能
3. 貧酸素水塊の発生・移動　→サルボウ
4. 底質変化（細粒化など）　→アサリ
5. （化学物質の移動メカニズムと集積）

6. 潮流速の低下による底泥の巻き上げ減少，透明度の上昇などに伴う植物プランクトン増殖
7. 養殖ノリ，植物プランクトンとの栄養塩の分配，養殖ノリによる栄養塩の除去（栄養塩管理）
8. 二枚貝による有機懸濁物の除去（水質浄化能力）
9. 底生微細藻類の生産，剥離（二枚貝の餌資源）
10. 物質循環，（河口域の高濁度水）　→スズキ

定式化のポイント

1. 植物プランクトン（４種）とノリの栄養塩競合，ノリ網の流動，光環境への影響
2. 微細懸濁粒子（３分画）の河川からの供給，沈降，巻き上げ，波浪の影響　→底質形成
3. 泥質～砂質の底生系パラメータ
4. 付着藻類の生産・剥離　→二枚貝の餌資源
5. ベントス生産（懸濁物食者，堆積物食者）とバイオターベーション

低次生態系モデルの基本設計



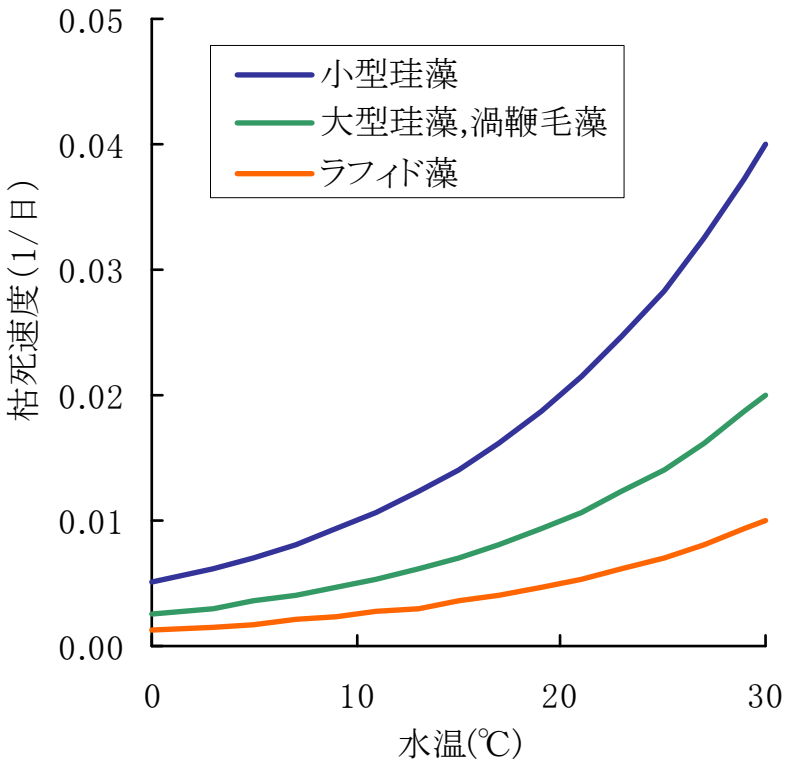
【植物プランクトンのパラメータ（光合成速度、枯死速度）】

種	光合成速度（1/日）	枯死速度（1/日）20℃時
小型珪藻	２．８	０．０２
大型珪藻	２．１	０．０１
渦鞭毛藻	２．５	０．０１
ラフィド藻	２．３	０．００５
ノリ	１．４	－

$$PP_4 = M_{pphy} \cdot \exp\left(0.0693(T-20)\right)$$

M_{pphy} ：枯死速度（1/日）

T ：水温（℃）



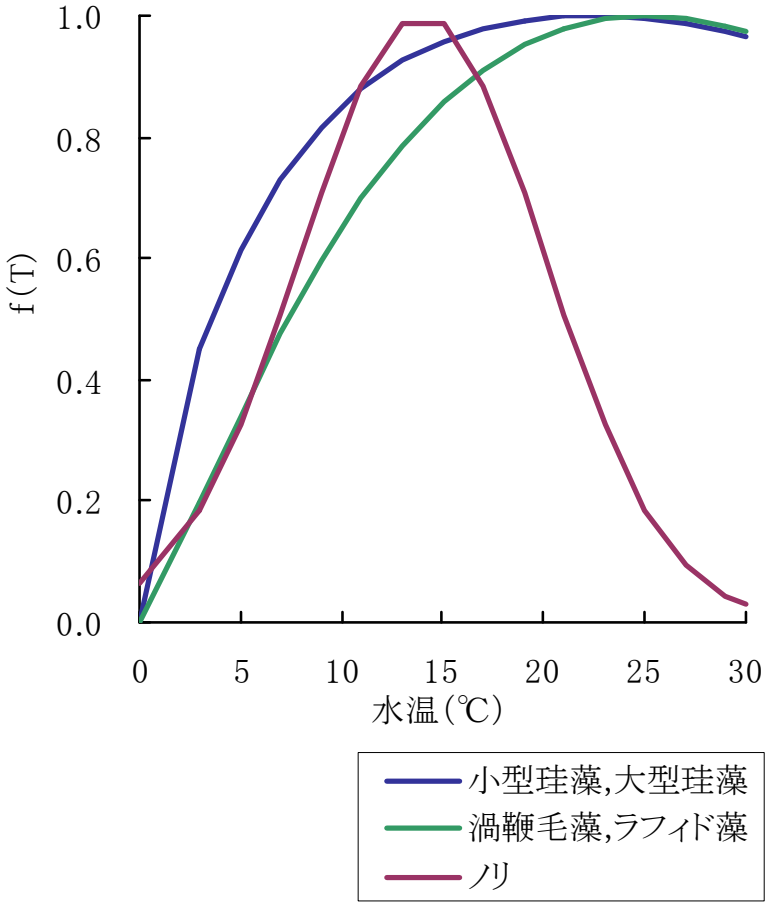
・小型珪藻は光合成速度、枯死速度を大きく設定し、大型珪藻は光合成速度、枯死速度を低く設定した。

・ラフィド藻、渦鞭毛藻も、小型珪藻よりも光合成速度、枯死速度を低く設定。

・ノリは収穫による減少を考慮。

【植物プランクトンのパラメータ（水温）】

種	最適水温：$Topt_{pphy}$（℃）	指数部：n_T
小型珪藻	22.0	0.8
大型珪藻	22.0	0.8
渦鞭毛藻	25.0	1.2
ラフィド藻	25.0	1.2
ノリ	14.0	―



【植物プランクトン】

$$f(T) = \left(\frac{T}{Topt_{pphy}}\right)^{n_T} \cdot \exp\left(1 - \left(\frac{T}{Topt_{pphy}}\right)^{n_T}\right)$$

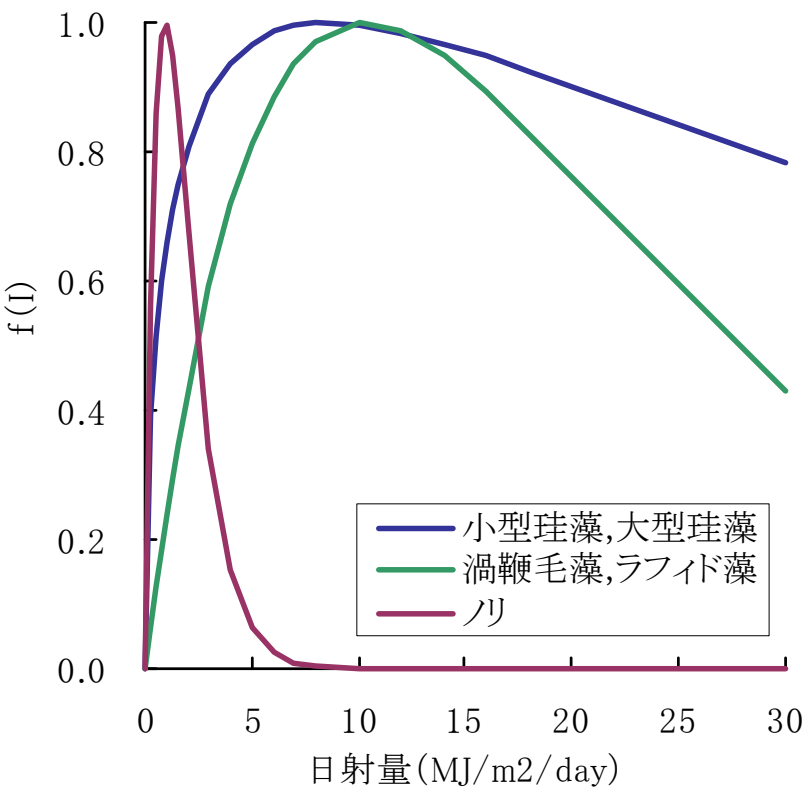
【ノリ】

$$f(T) = \exp\left(-0.0139(T - Topt_{plaver})^2\right)$$

・珪藻は通年出現することから、低水温でも増殖可能なように定式化。
・ラフィド藻や渦鞭毛藻は、冬はほとんど発生しないことから、低水温では増殖しにくいように定式化。

【植物プランクトンのパラメータ（日射量）】

種	最適日射量：Iopt（MJ/m²/日）	指数部：n_I
小型珪藻	8.56	0.5
大型珪藻	8.56	0.5
渦鞭毛藻	10.27	1
ラフィド藻	10.27	1
ノリ	0.92	1



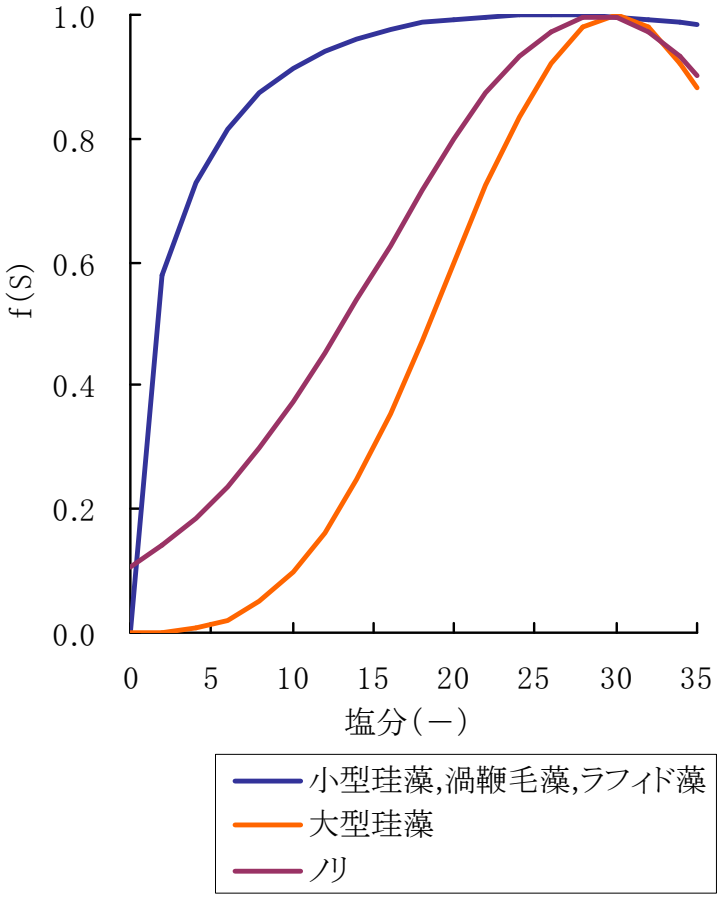
【植物プランクトン】

$$f(I) = \left(\frac{I_L}{Iopt_{pphy}}\right)^{n_I} \cdot \exp\left(1 - \left(\frac{I_L}{Iopt_{pphy}}\right)^{n_I}\right)$$

・珪藻は通年出現することから、広範囲の日射量でも出現できるよう、定式化。
・ラフィド藻、渦鞭毛藻は、夏季に出現することから、夏季の日射量にあわせて、最適日射量を高めにした。

【植物プランクトンのパラメータ（塩分）】

種	最適塩分：$Sopt_{pphy}$（－）	指数部：n_S
小型珪藻	25	0．5
大型珪藻	30	3．0
渦鞭毛藻	25	0．5
ラフィド藻	25	0．5
ノリ	―	―



【植物プランクトン】

$$f(S)=\left(\frac{S}{Sopt_{pphy}}\right)^{n_S}\cdot\exp\left(1-\left(\frac{S}{Sopt_{pphy}}\right)^{n_S}\right)$$

【ノリ】

$$f(S)=0.013+\left(\frac{33.01}{26.73\sqrt{\pi/2}}\right)\exp\left(\frac{-2(S-28.98)^2}{26.73^2}\right)$$

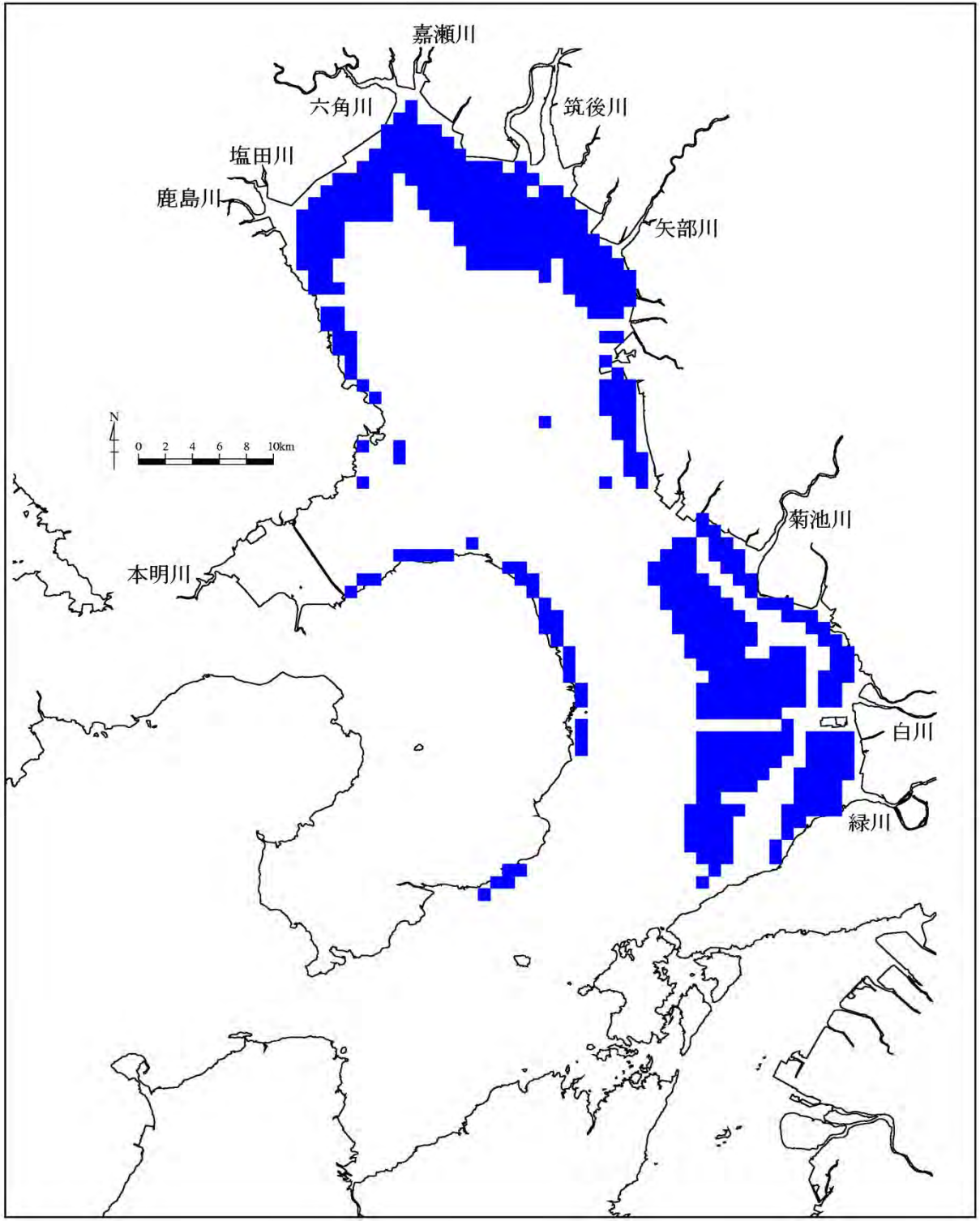
・大型珪藻は高塩分を好み、低塩分を嫌う（27～28以下では増殖しない）ことを踏まえた定式化を行った。
その他の種は、広範囲の塩分で増殖可能とした。

【ノリ網の分布】

ノリ網設置箇所では，
ノリ網の抵抗（流動），
ノリによる吸光（光低下）
を考慮。

$$I(z)=I_0 \cdot \exp(-kz-AS)$$

$I(z)$：水深zの日射量
$I0$：海面の日射量
k：消散係数
z：水深
A：ノリの吸光係数
S：ノリの重量



【底質の形成】

◆SSを以下の3粒径に分画

①Ｍｄφ 0～4(砂)

②Ｍｄφ 4～8(シルト)

③Ｍｄφ 8～(粘土)

沈降量

$F_D = w \cdot C$

w : 沈降速度　C : 底層のSS濃度

巻き上げ量

作用する底面せん断応力（τ_b）が限界せん断応力（τ_c）を超えると巻きあがるものとした。

$F_E = \alpha [\tau_b / \tau_c - 1]^{\beta}$

$\tau_b = f_{cw} \cdot \rho \cdot u_b^2$

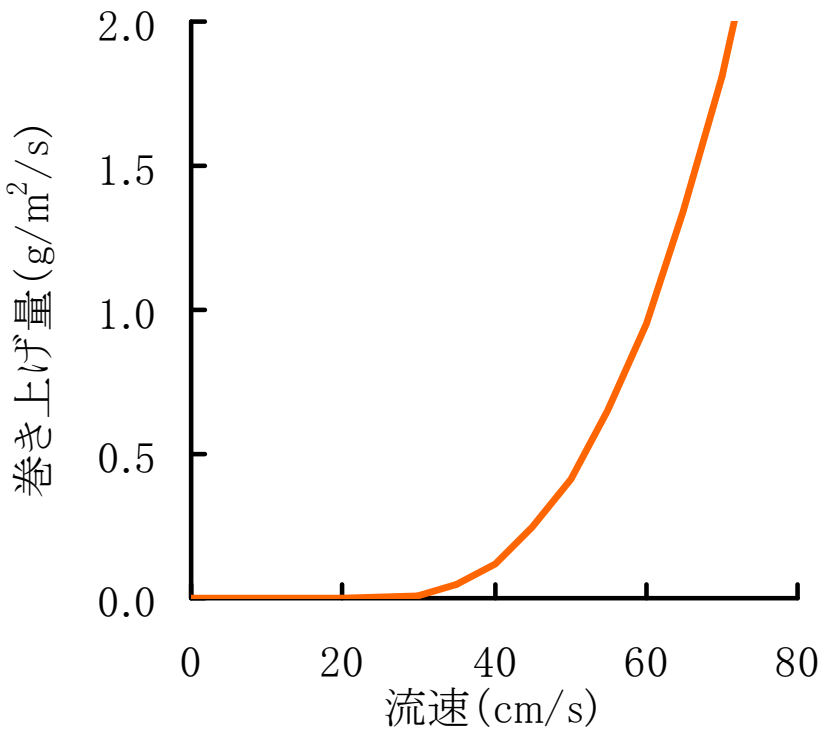
f_{cw} : 波と流れの共存場の底面摩擦

ρ : 海水密度

u_b^2 : 流速

α, β : パラメータ

（波高を一定とした場合の流速と巻き上げ量の関係）



波浪場の算定

風速（U_{10}^2）と吹送距離（F）から各メッシュの波高（$H_{1/3}$）を算定

$$gH_{1/3}/U_{10}^2=0.30\left[1-\left\{1+0.004(gF/U_{10}^2)^{1/2}\right\}^{-2}\right]$$

波と流れの共存場の底面摩擦

以下に示す田中の式により波と流れの共存場の底面摩擦を算定。

$$f_{cw}=f_c+2\sqrt{f_c\cdot\beta\, f_w}\cos\phi'+\beta\, f_w$$

$$\phi'=\cos^{-1}\left(\left|\cos\phi\right|\right)$$

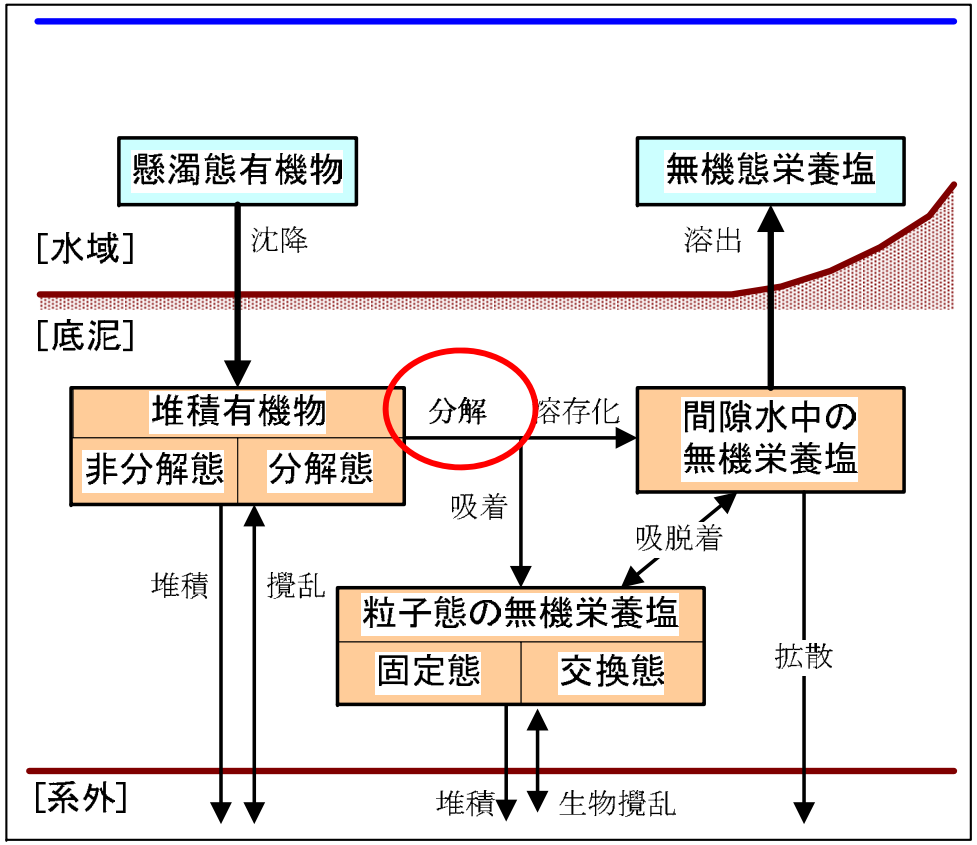
$$f_c=\frac{2\kappa^2}{\left\{\ln\left(\frac{h}{z_0}\right)-1\right\}^2}\left(\frac{\bar{u}_c}{\hat{U}_w}\right)^2$$

$$f_w=\exp\left\{-7.53+8.07\left(\frac{\hat{U}_w}{\sigma z_0}\right)\right\}$$

$$\beta=\frac{1}{1+0.769\alpha^{0.830}}\left\{1+0.863\alpha\exp\left(-1.43\alpha\right)\left(\frac{2\phi'}{\pi}\right)\right\}$$

$$\alpha=\frac{1}{\ln\left(\frac{h}{z_0}\right)-1}\frac{\bar{u}_c}{\hat{U}_w}=\frac{1}{\kappa}\sqrt{\frac{f_c}{2}}$$

【底質のモデル化】



堆積有機物の分解

・分解量は堆積有機物と分解速度の積として算定。

（堆積有機物の増加→分解量の増加）

・分解速度は温度に依存するものとしてモデル化

・非分解態の有機物を考慮

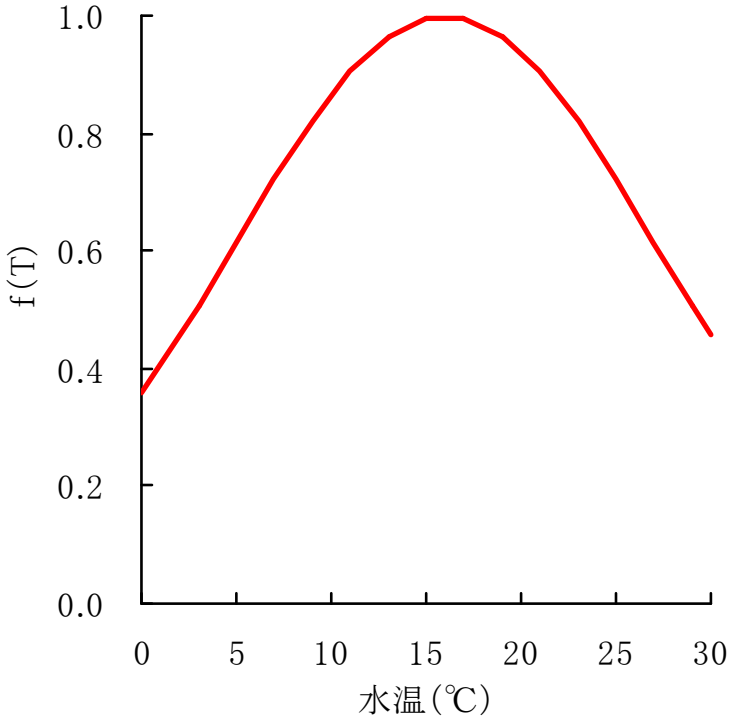
$$BPC_1 = V_{bpoc} \cdot \left(BPOC - BPOC_{fix}\right) \cdot 1.06^{T-25}$$

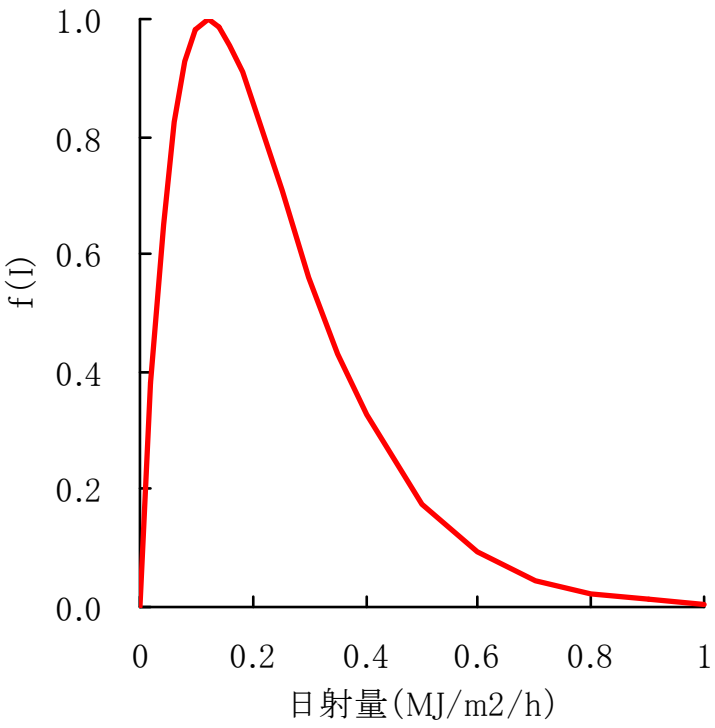
BPC_1	:分解による変化量(mg/g/日)
V_{bpoc}	:分解速度(1/日)
$BPOC_{fix}$	:非分解態有機物(mg/g)
$BPOC$	:堆積有機物(mg/g)
T	:温度(℃)

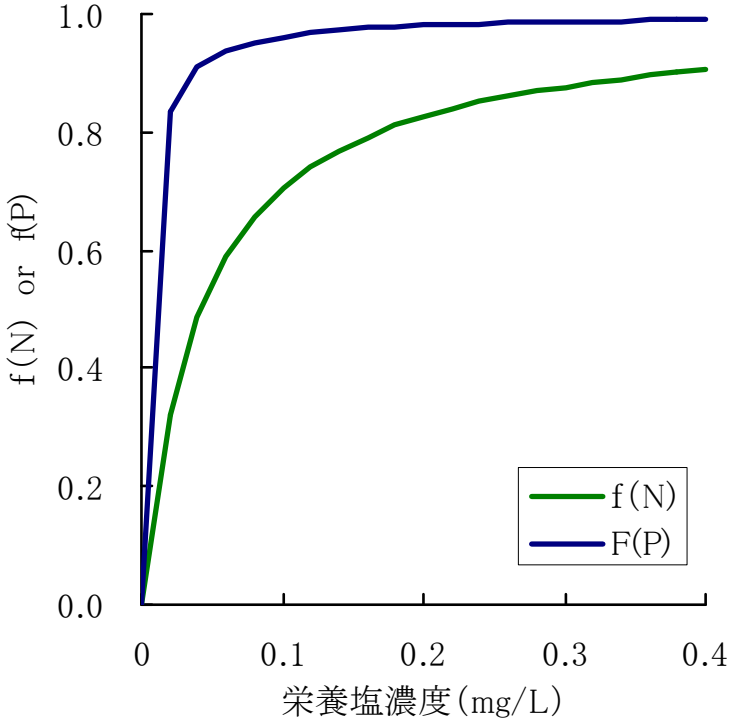
【付着珪藻の増殖】

温度、日射量、間隙水の栄養塩濃度に依存するものとして定式化

$$BD_1 = \mu \max_{bdia} \cdot f(T) \cdot f(I) \cdot f(N, P)$$

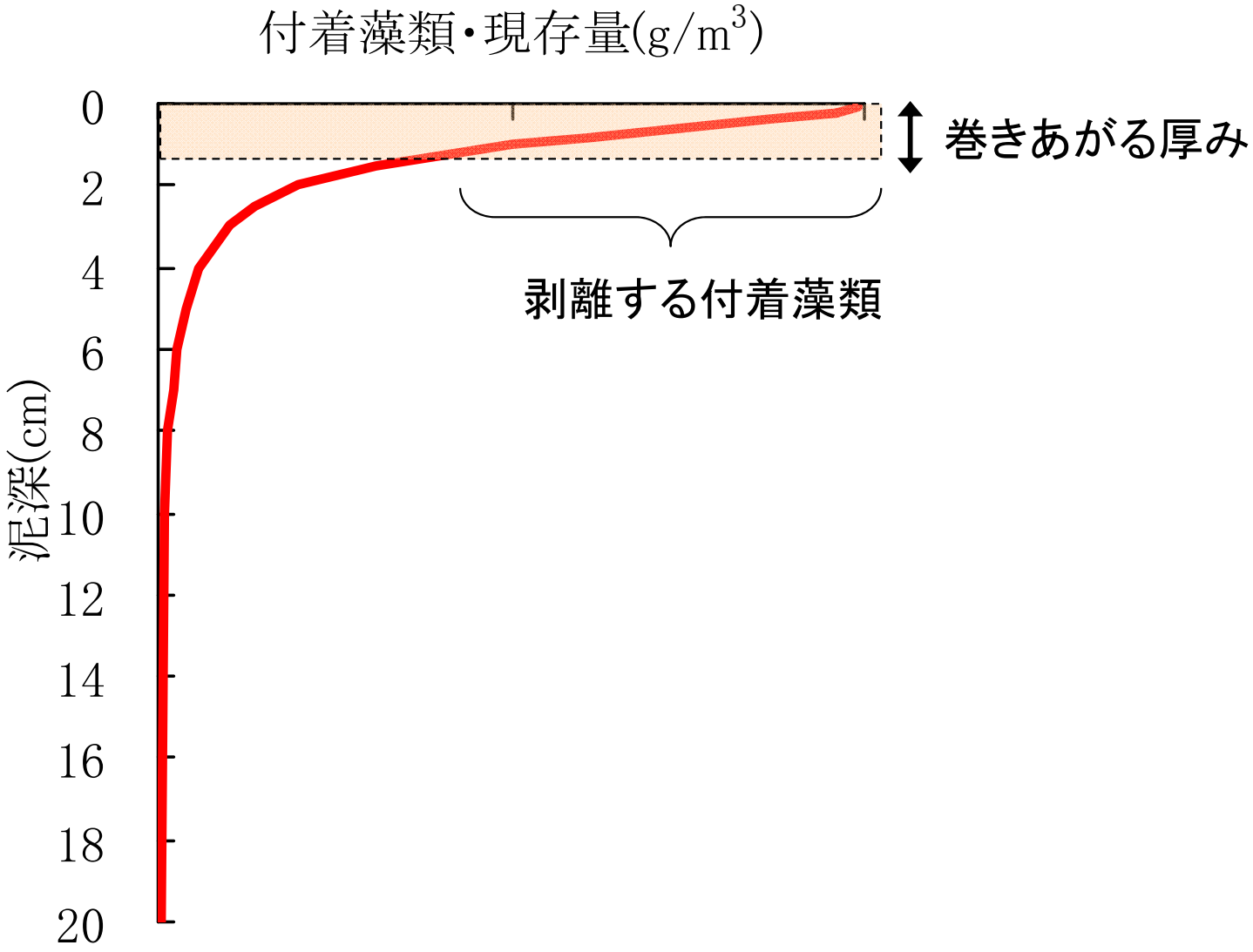






【付着藻類の剥離】

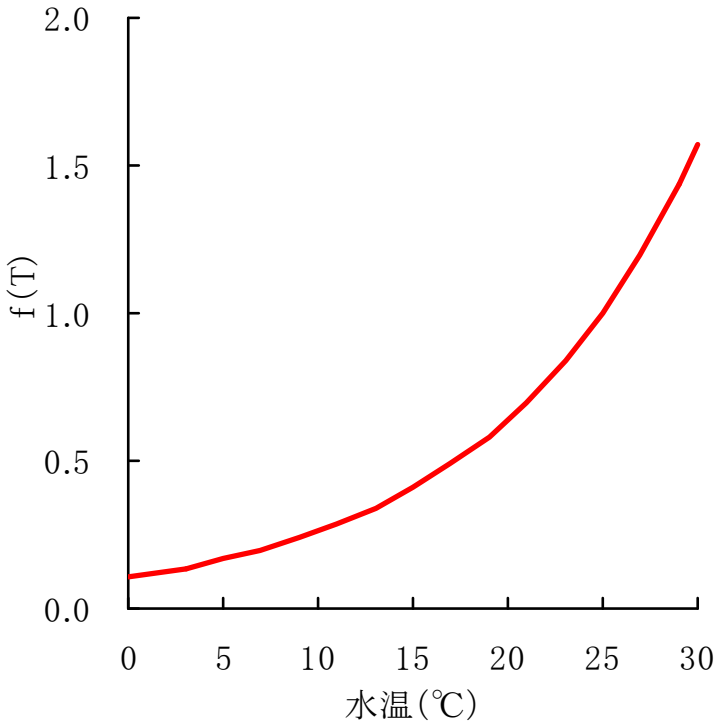
巻き上がるSS量から巻きあがる厚みを算定し、その厚みに含まれるものが巻きあがるものとした。

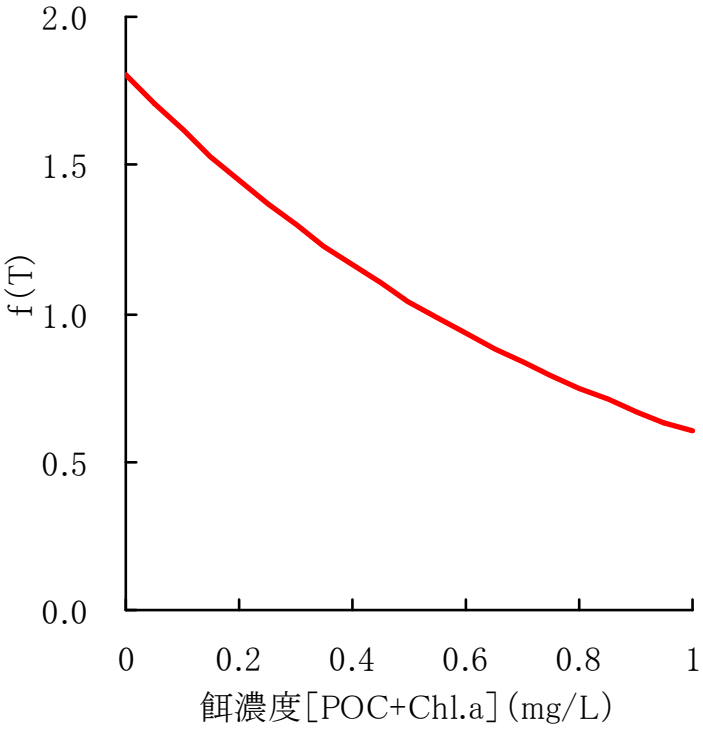


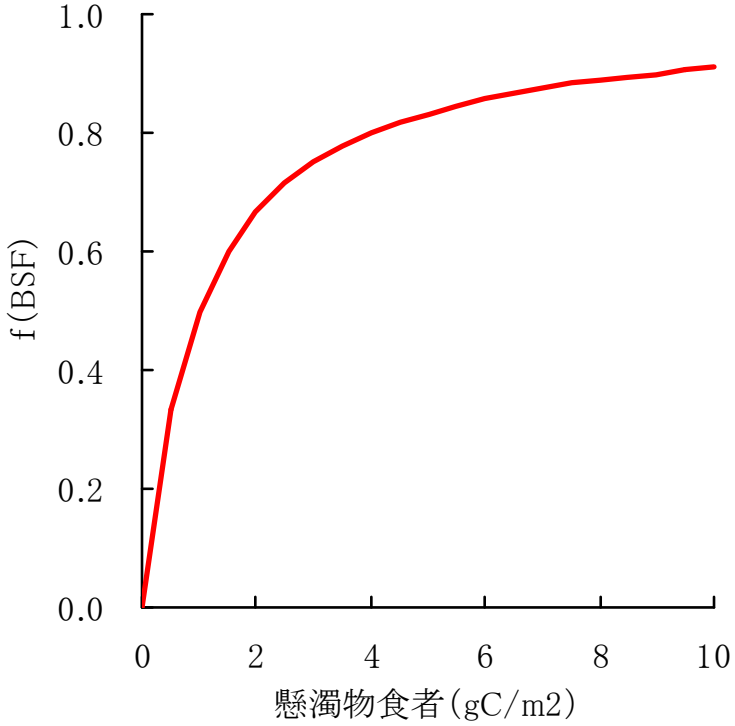
【懸濁物食者の増殖】

温度、餌濃度、生息密度に依存するものとして定式化

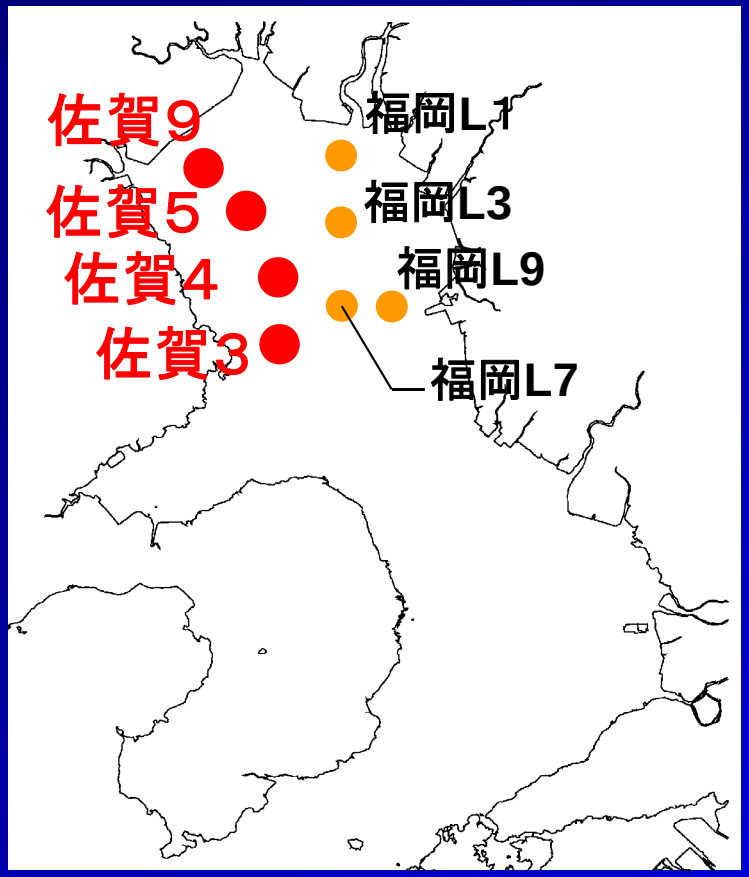
$$BS_1 = V_{bsf} \cdot f(T) \cdot f(CONC) \cdot f(BSF)$$



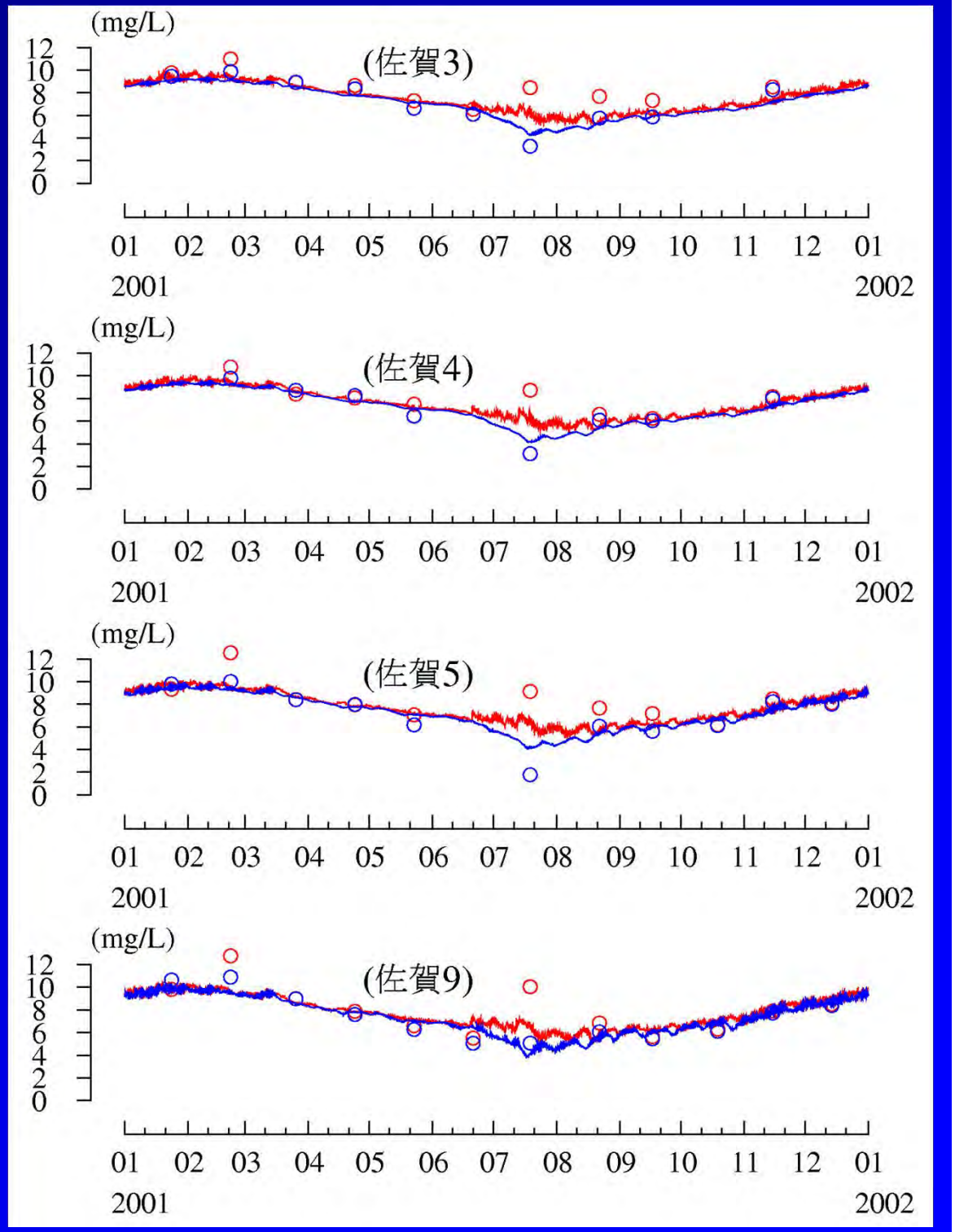




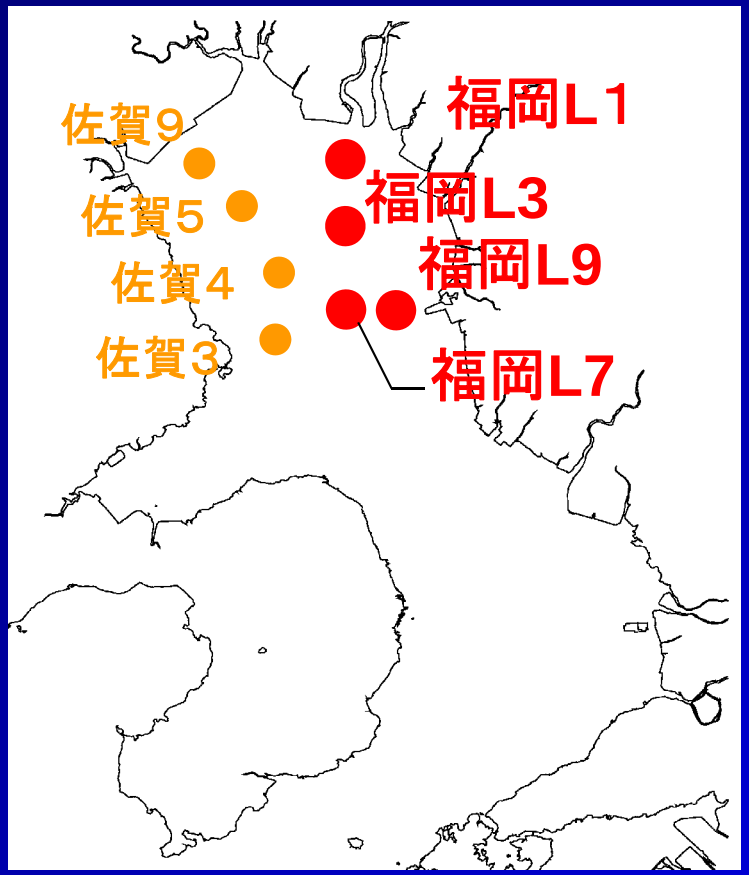
DO　2001年



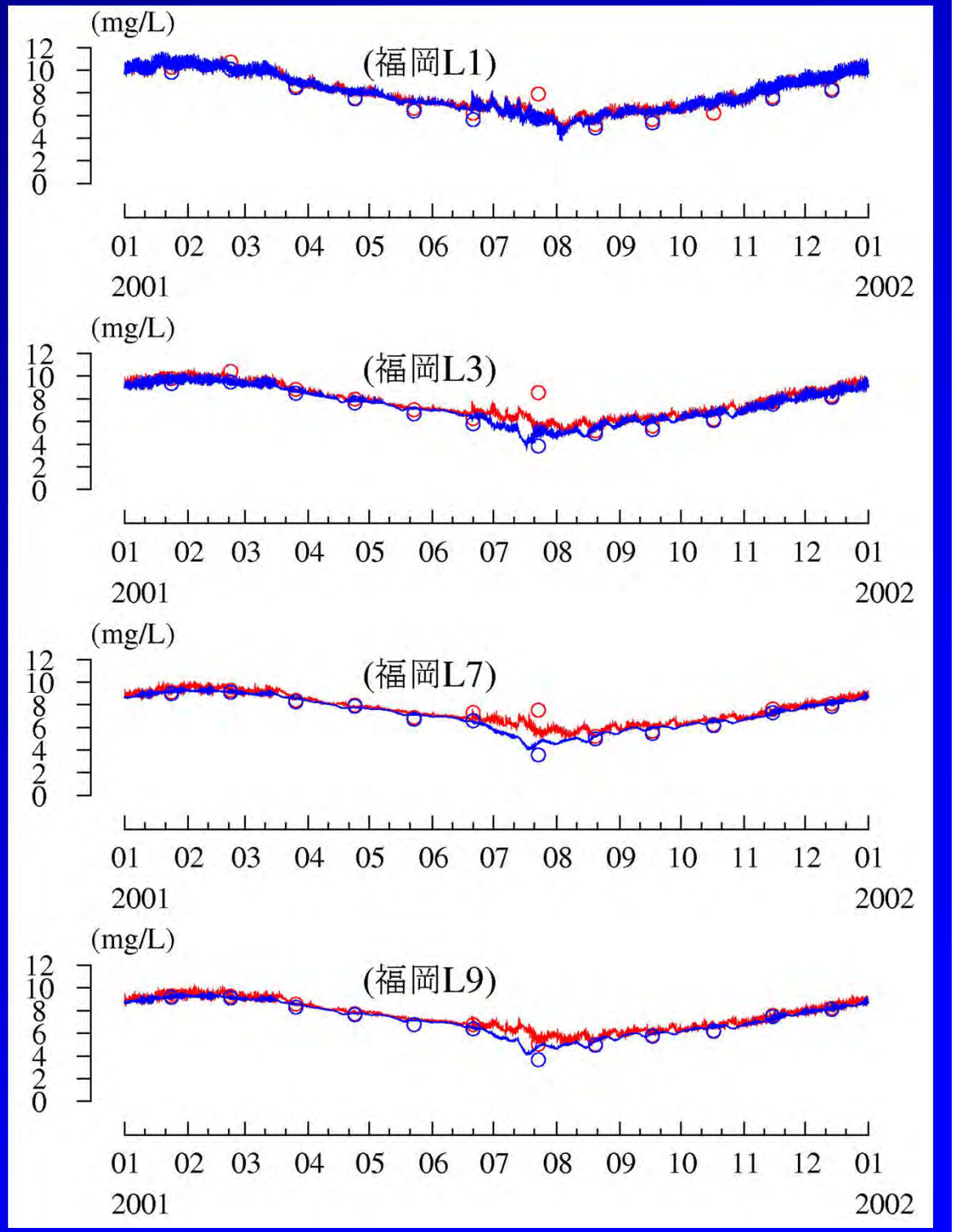
○実測値（浅海定線水質測定調査）
ー計算値
赤：海面　青：海底面上1m



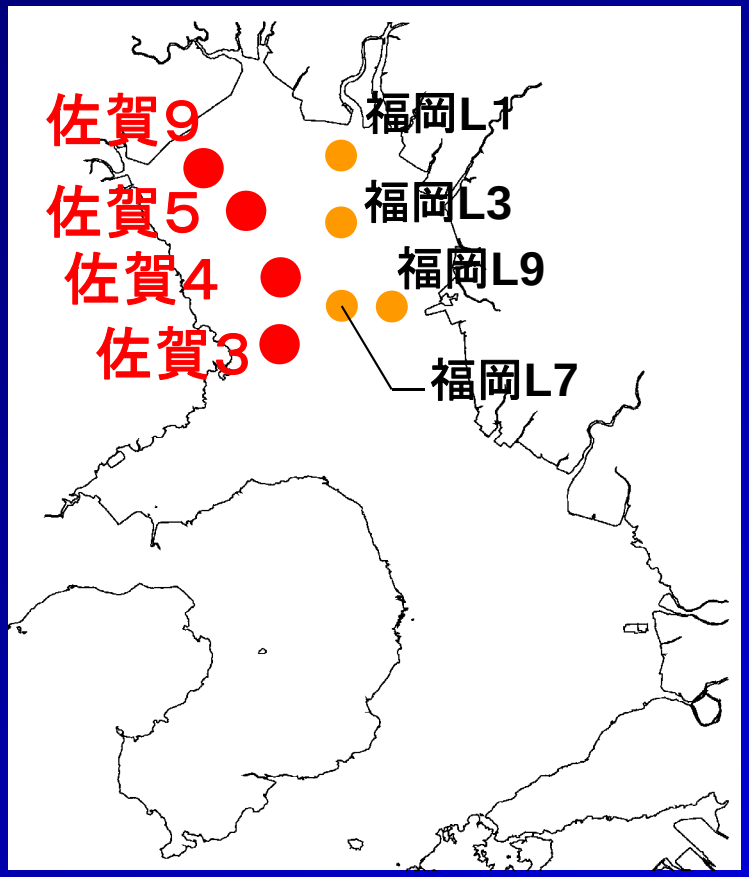
DO　2001年



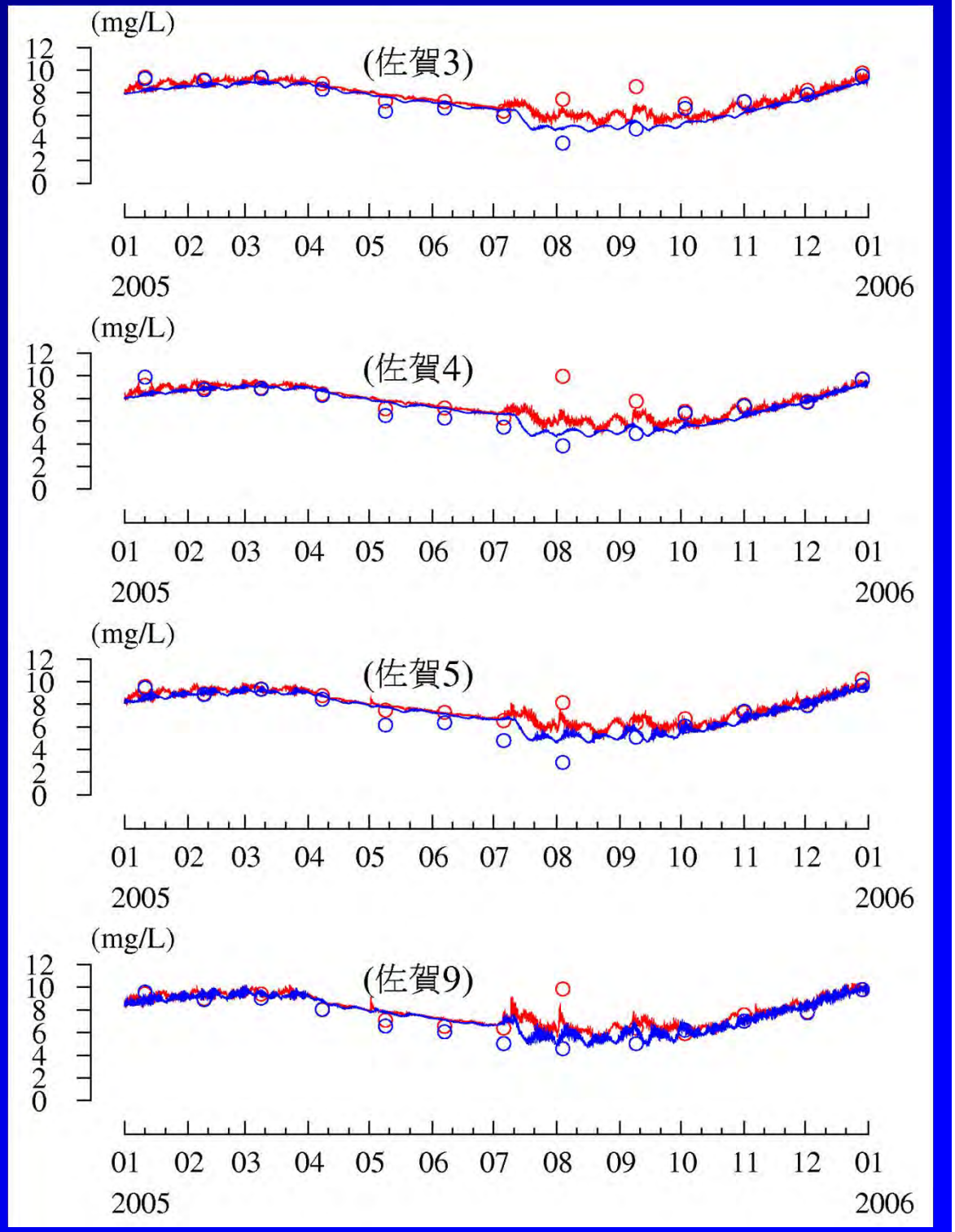
○実測値（浅海定線水質測定調査）
ー計算値
赤：海面　青：海底面上1m



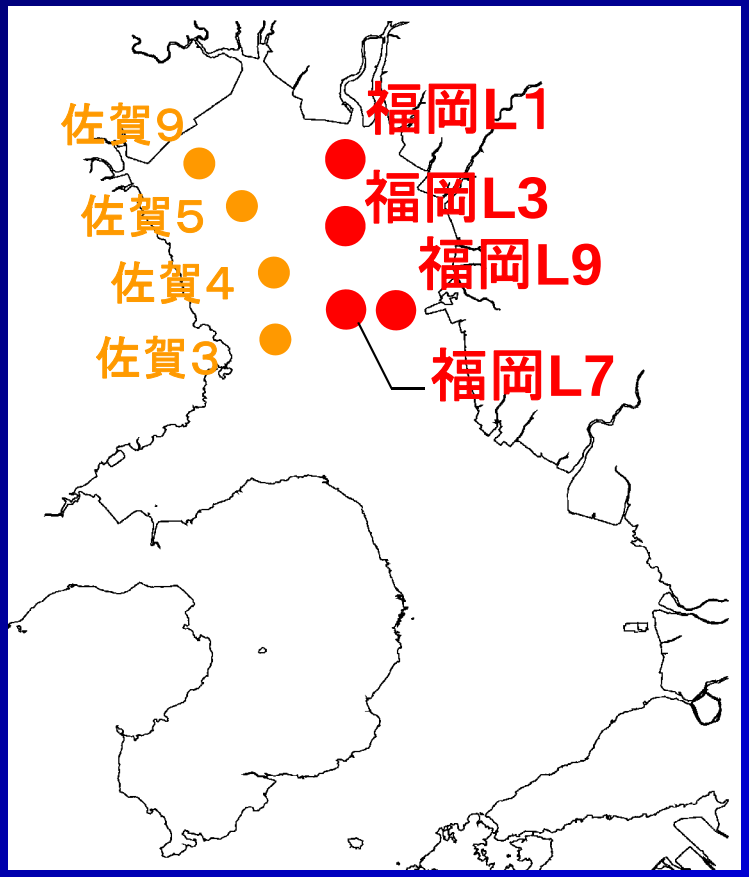
DO　2005年



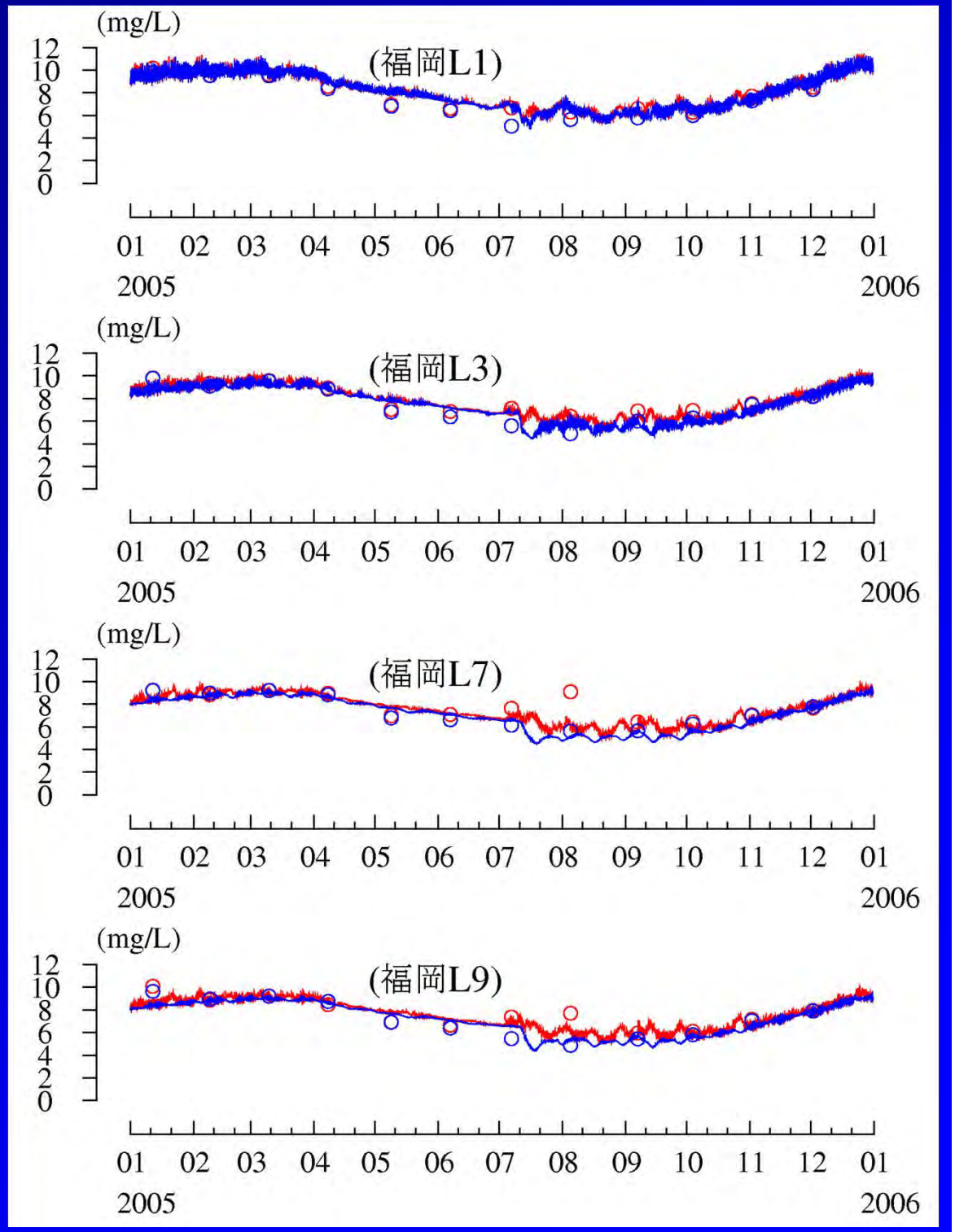
○実測値（浅海定線水質測定調査）
ー計算値
赤：海面　青：海底面上1m



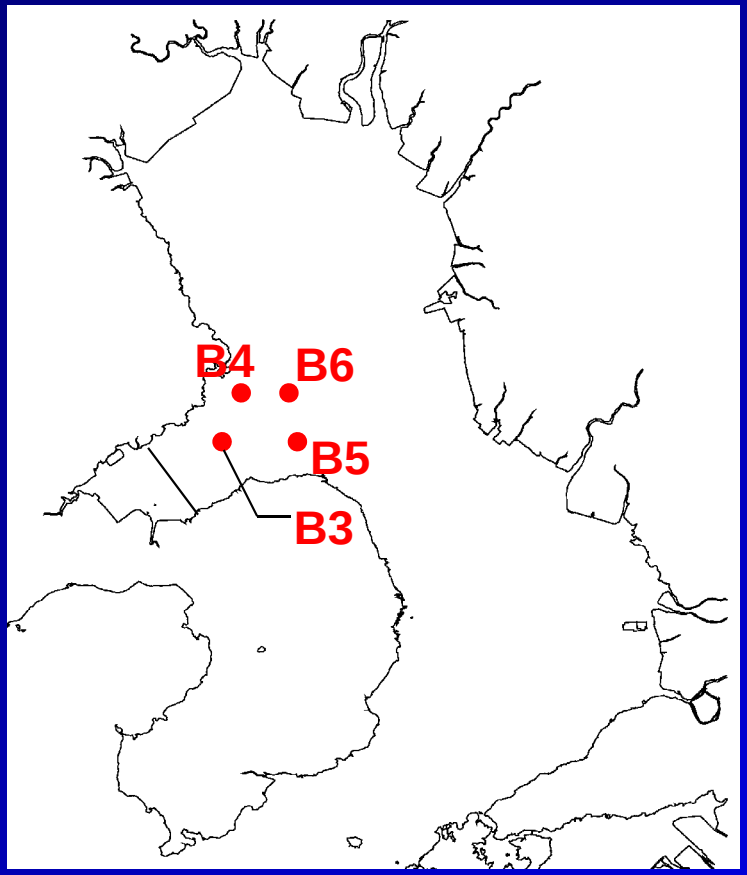
DO　2005年

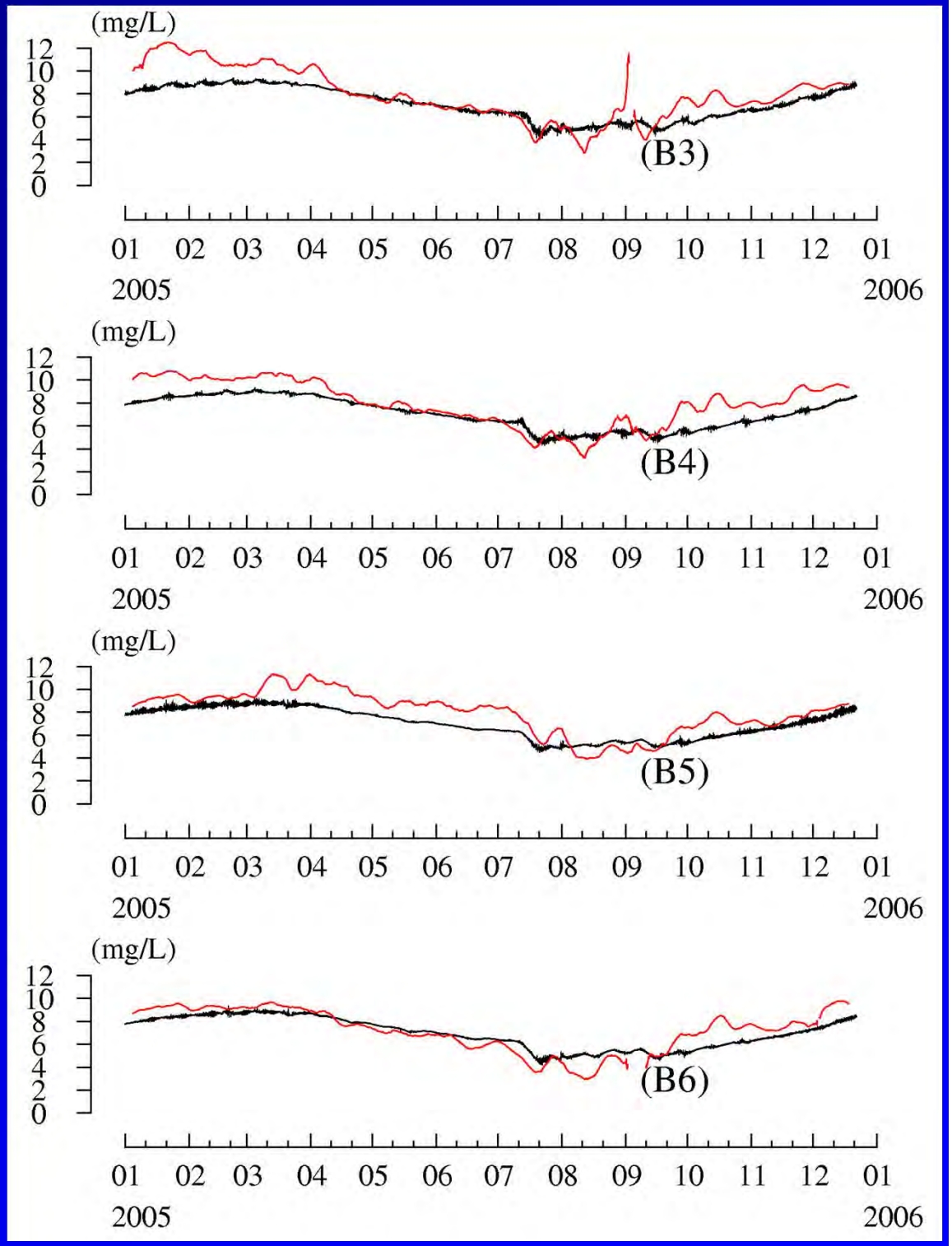


○実測値（浅海定線水質測定調査）
ー計算値
赤：海面　青：海底面上1m



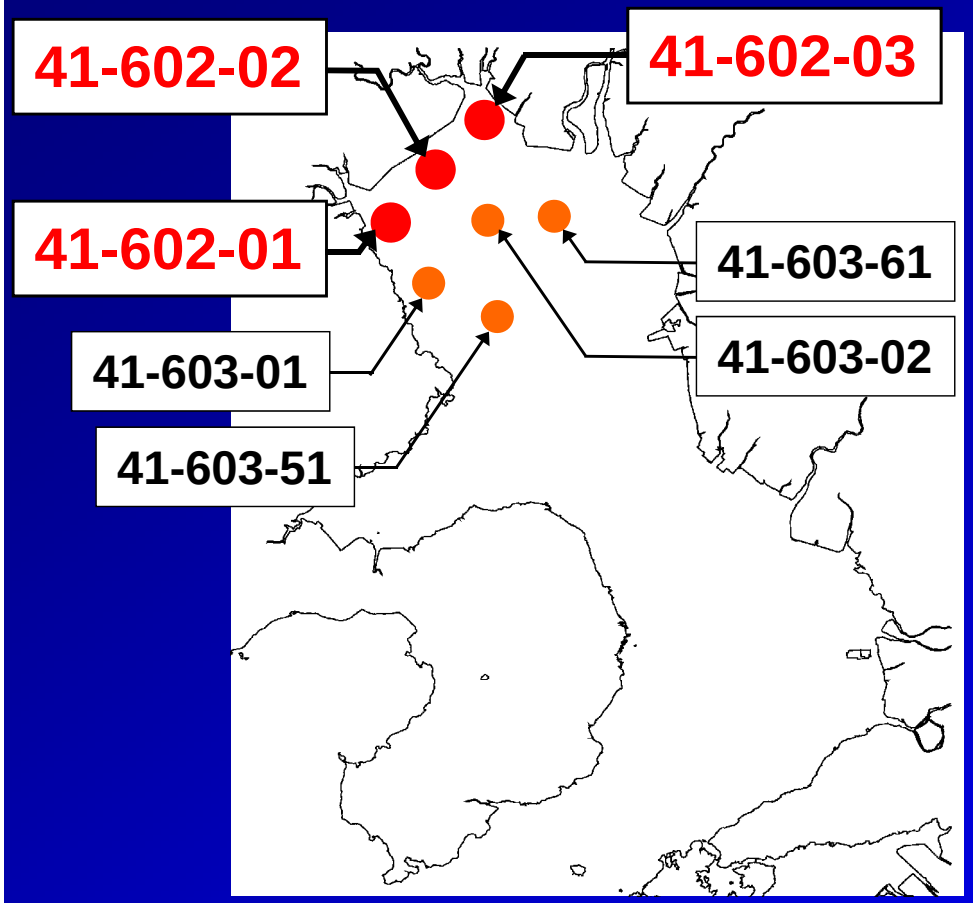
DO連続観測
2005年



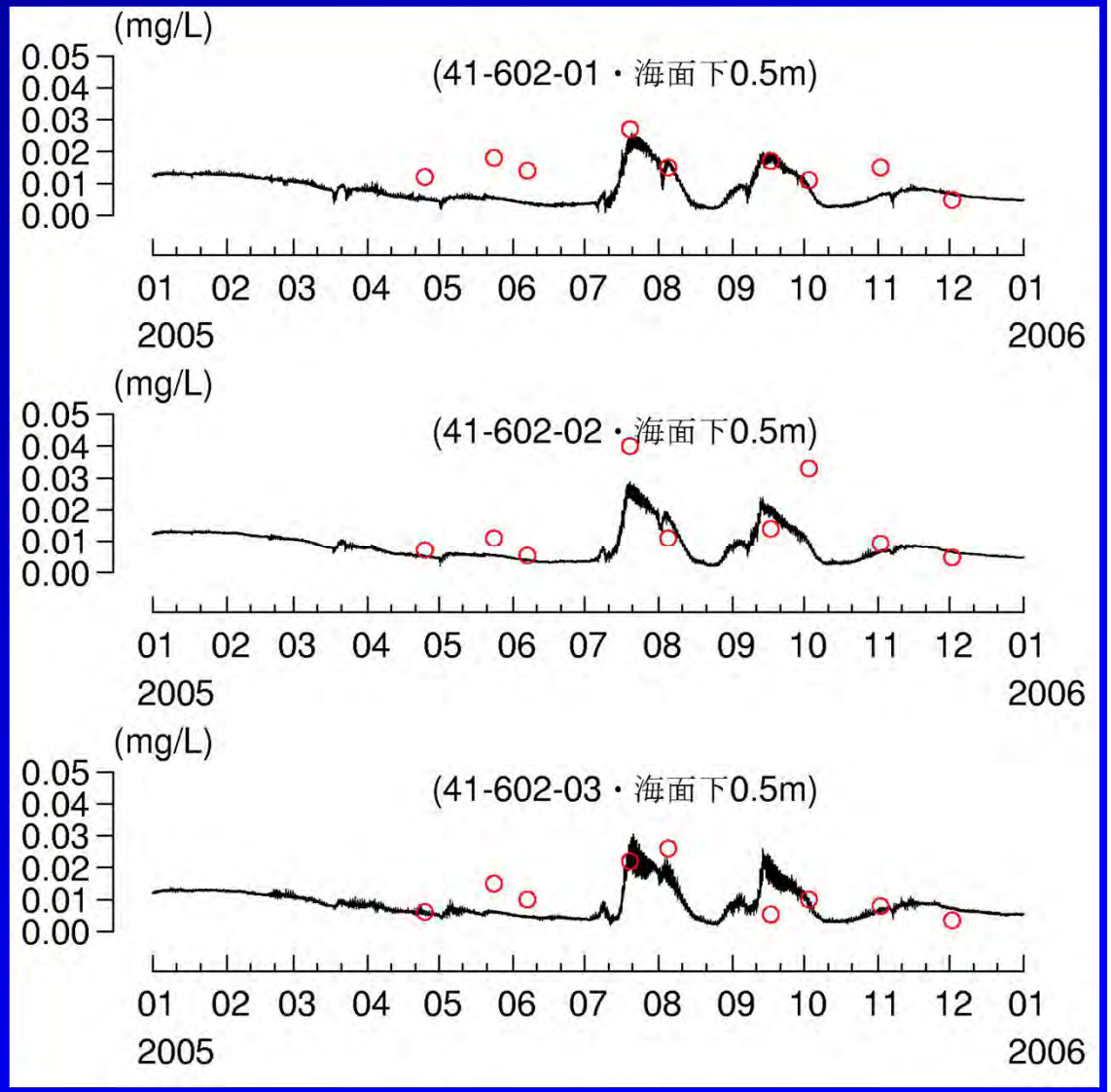


ー実測値（有明海貧酸素水塊広域連続観測）
ー計算値

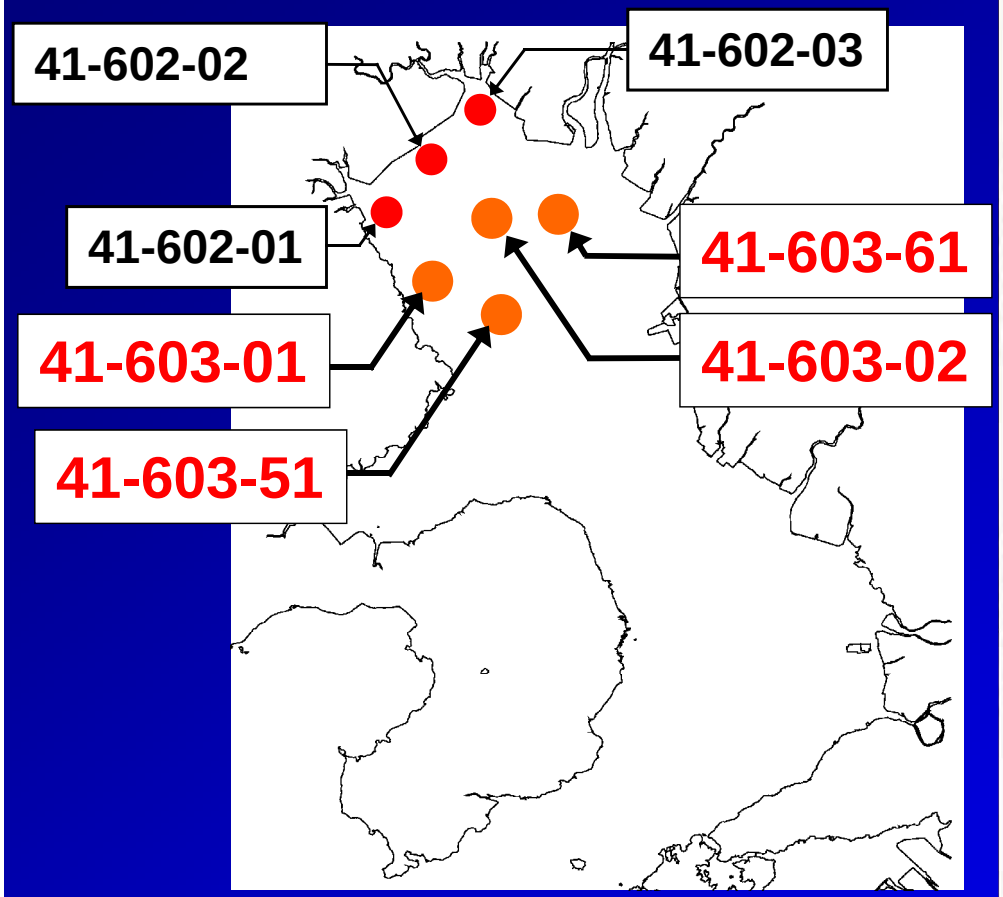
Chl.a　2005年



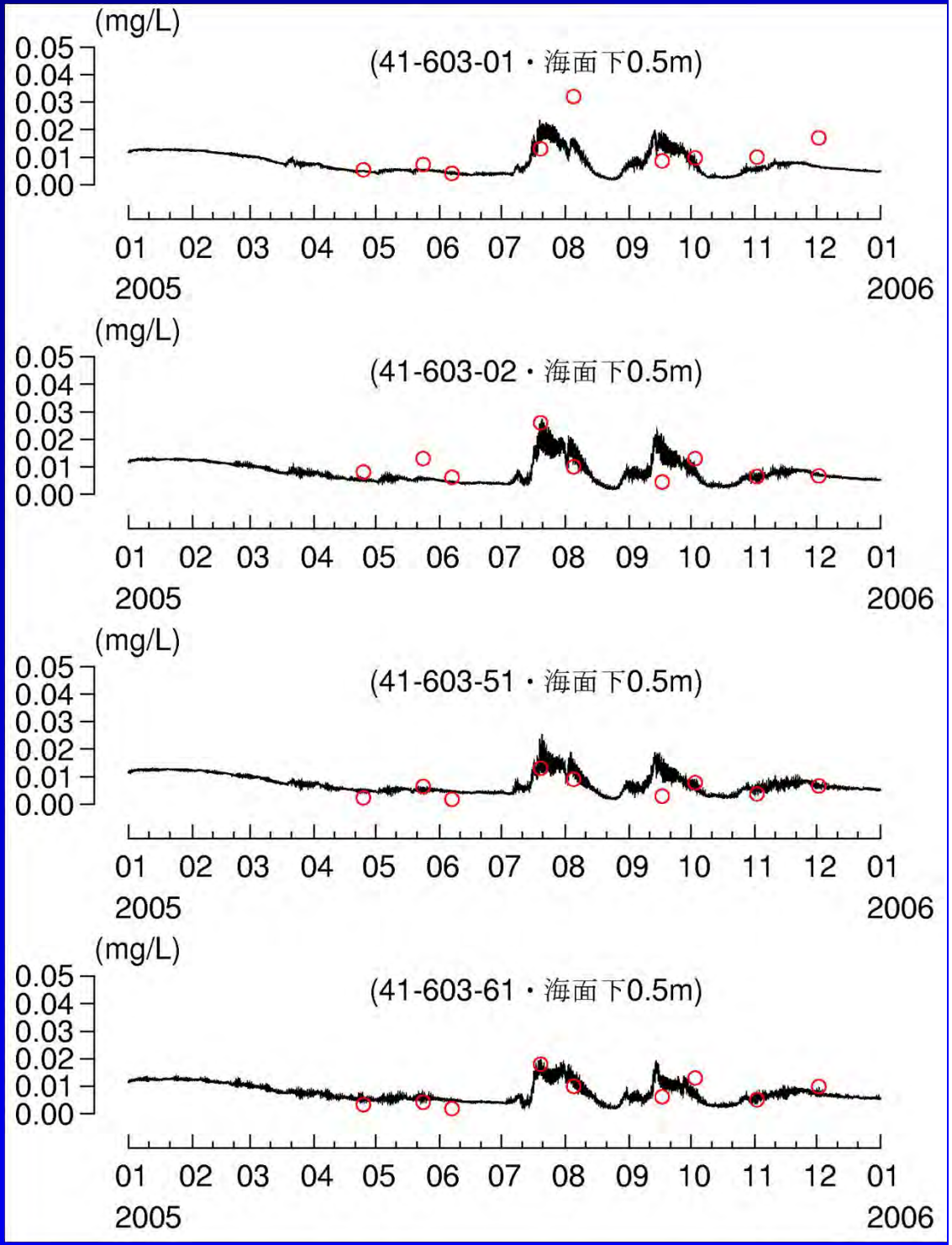
○実測値（公共用水域水質測定調査）
ー計算値
（海面下0.5m）



Chl.a　2005年



○実測値（公共用水域水質測定調査）
ー計算値
（海面下0.5m）



有明海再生シナリオ

再生の理念

- 生物多様性の保全および健全な生態系の維持
- 漁業資源等の持続的利用
- 生態系の科学的理解と再生科学技術の開発

↓

自然共生≒持続可能な社会
（環境と経済・社会の好循環）

最終目標

有明海を，豊穣で人々に安らぎを与える海として再生する.

有明海再生に関する工学的手法

物理的 ⟷ 化学的

浮泥浚渫

潮流増強

改良剤
分子状酸素の供給

自然力利用底泥除去

河川土砂供給増強

覆砂・改良材・なぎさ造成・底泥集積

耕耘・作澪

酸素供給装置埋設

微細気泡曝気

水流・気泡利用底質改善

底生藻類光合成促進

有用水産生物利用水質浄化

植物プランクトン異常増殖防止

生物学的

緊急型技術

持続型技術

流況改善

→底層DOの回復

　サルボウなど重要魚介類の浮遊幼生の生残

→サルボウ等の増大

→水質浄化機能の増強→生物生息環境の回復

漁業の適正管理

ノリ養殖削減（生産額は維持）

→余剰栄養塩

→植物プランクトン増加

→動物プランクトン増加

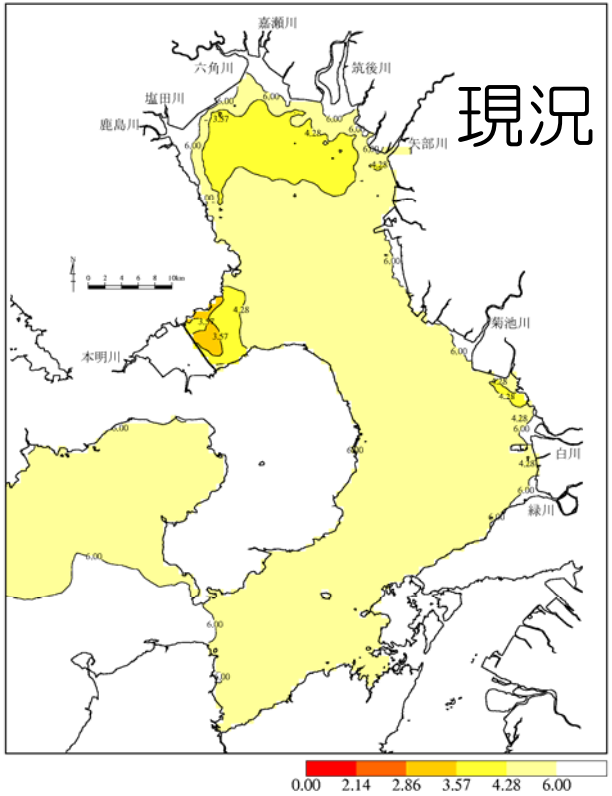
→スズキ

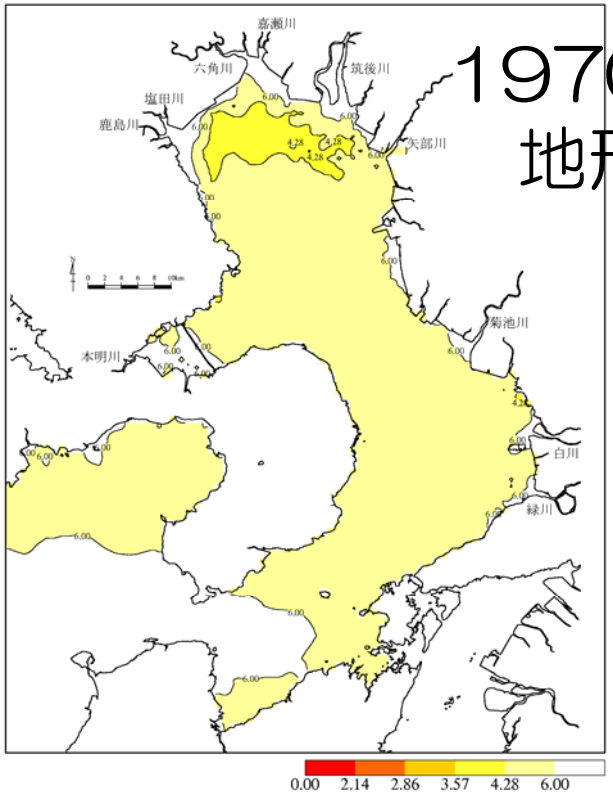
→本来の食物連鎖構造，生物多様性の保全

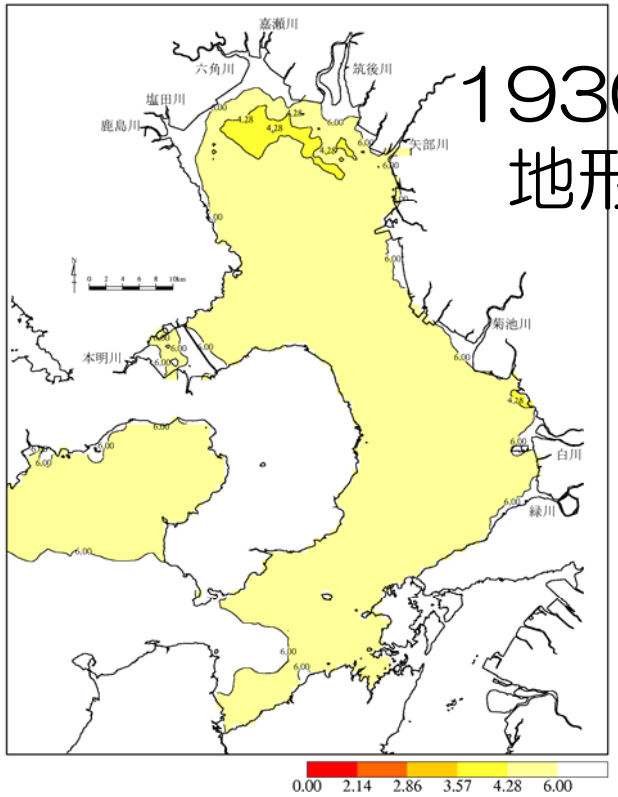
流況改善

底層DO

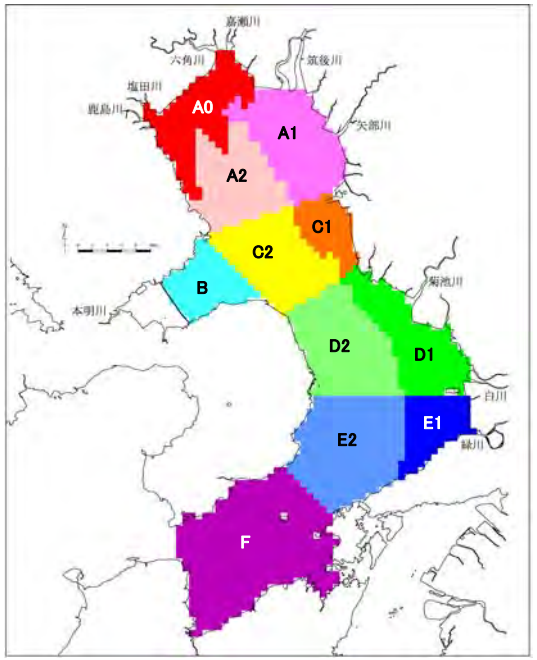
Jul.16,2001

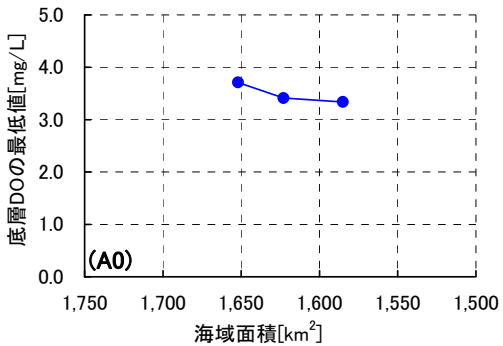


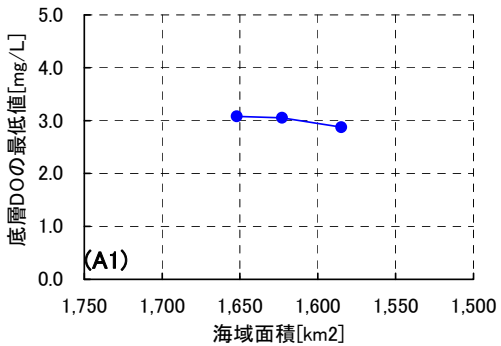


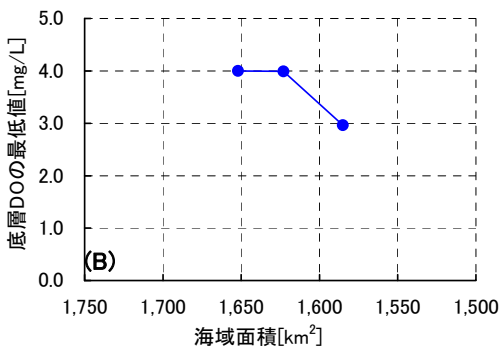


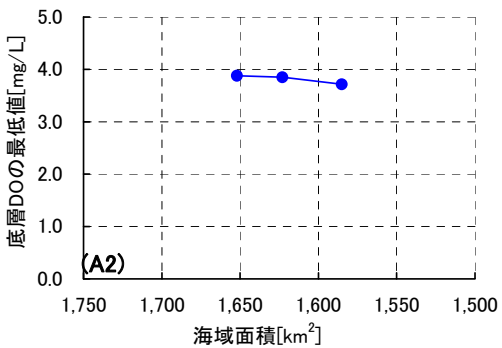
底層DO　最低値

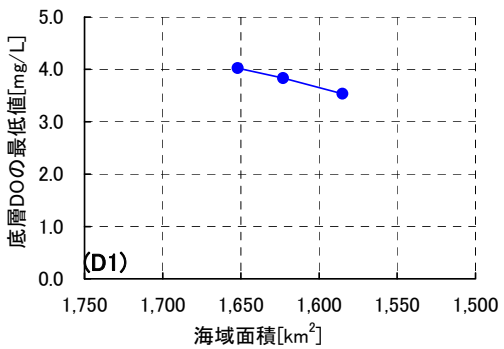

A0
A1
A2
B
C1
C2
D1
D2
E1
E2
F

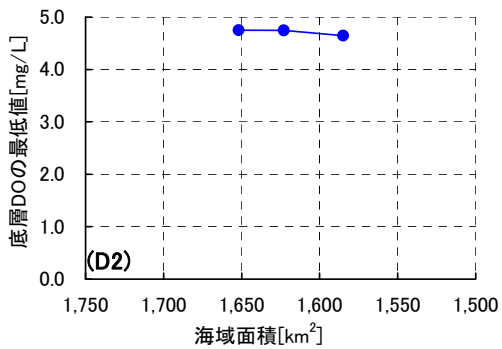

底層DOの最低値[mg/L]
5.0
4.0
3.0
2.0
1.0
0.0
(A0)
1,750
1,700
1,650
1,600
1,550
1,500
海域面積[km2]

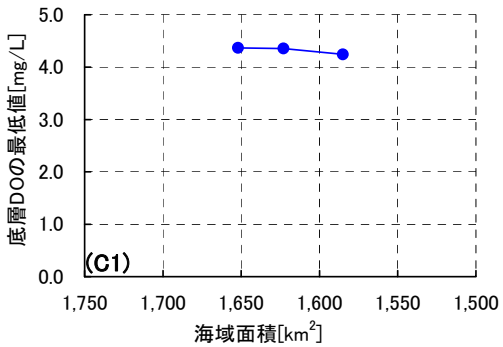

底層DOの最低値[mg/L]
5.0
4.0
3.0
2.0
1.0
0.0
(A1)
1,750
1,700
1,650
1,600
1,550
1,500
海域面積[km2]

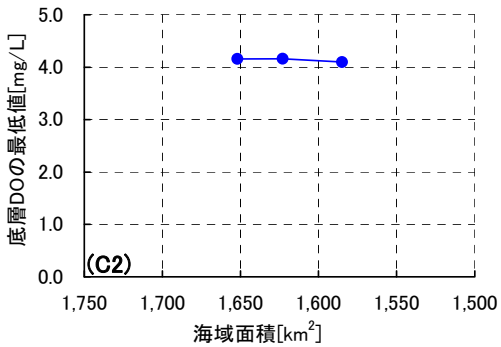

底層DOの最低値[mg/L]
5.0
4.0
3.0
2.0
1.0
0.0
(B)
1,750
1,700
1,650
1,600
1,550
1,500
海域面積[km2]

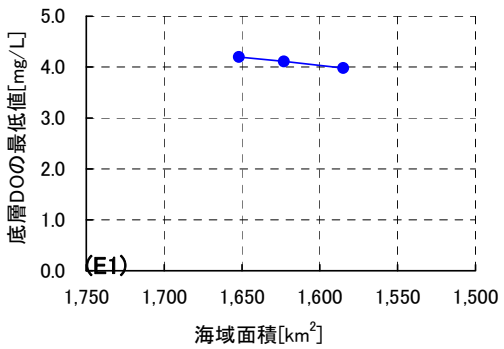

底層DOの最低値[mg/L]
5.0
4.0
3.0
2.0
1.0
0.0
(A2)
1,750
1,700
1,650
1,600
1,550
1,500
海域面積[km2]

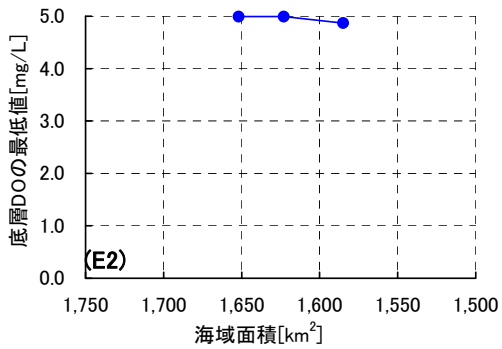

底層DOの最低値[mg/L]
5.0
4.0
3.0
2.0
1.0
0.0
(D1)
1,750
1,700
1,650
1,600
1,550
1,500
海域面積[km2]


底層DOの最低値[mg/L]
5.0
4.0
3.0
2.0
1.0
0.0
(D2)
1,750
1,700
1,650
1,600
1,550
1,500
海域面積[km2]


底層DOの最低値[mg/L]
5.0
4.0
3.0
2.0
1.0
0.0
(C1)
1,750
1,700
1,650
1,600
1,550
1,500
海域面積[km2]

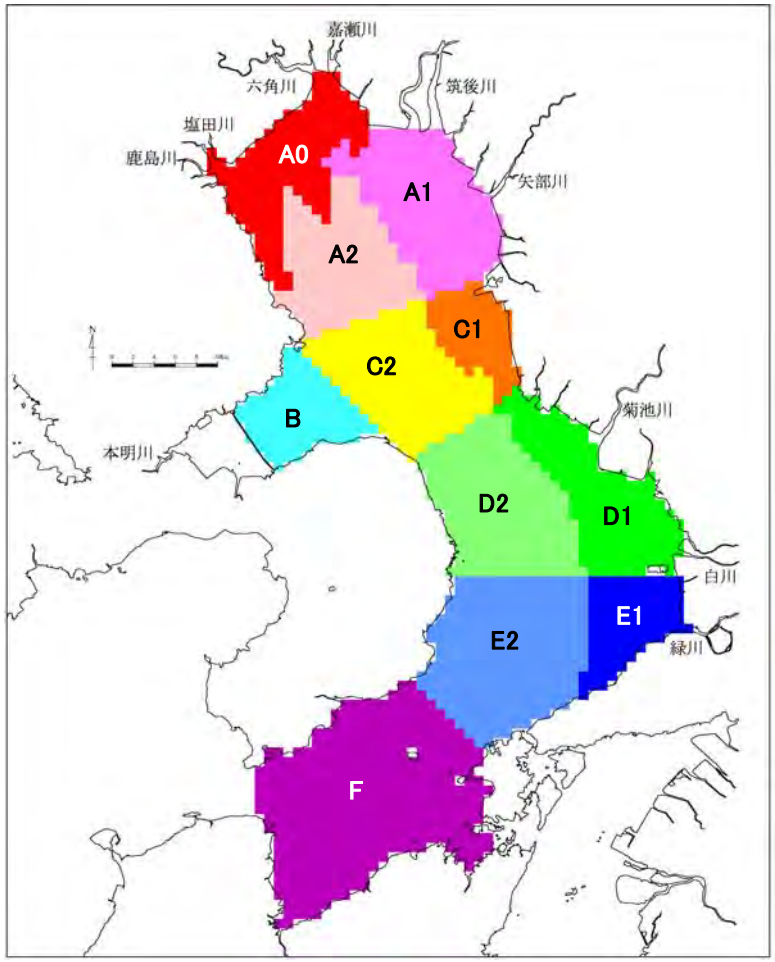

底層DOの最低値[mg/L]
5.0
4.0
3.0
2.0
1.0
0.0
(C2)
1,750
1,700
1,650
1,600
1,550
1,500
海域面積[km2]


底層DOの最低値[mg/L]
5.0
4.0
3.0
2.0
1.0
0.0
(E1)
1,750
1,700
1,650
1,600
1,550
1,500
海域面積[km2]

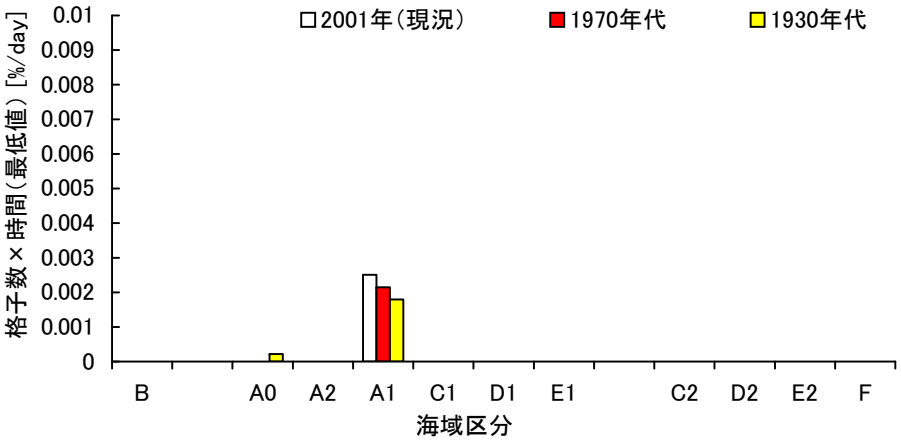

底層DOの最低値[mg/L]
5.0
4.0
3.0
2.0
1.0
0.0
(E2)
1,750
1,700
1,650
1,600
1,550
1,500
海域面積[km2]

底層DO

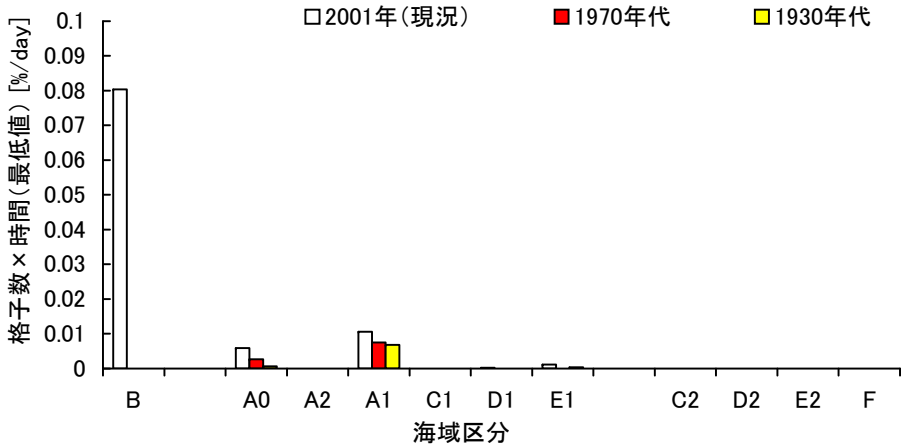
格子数×時間



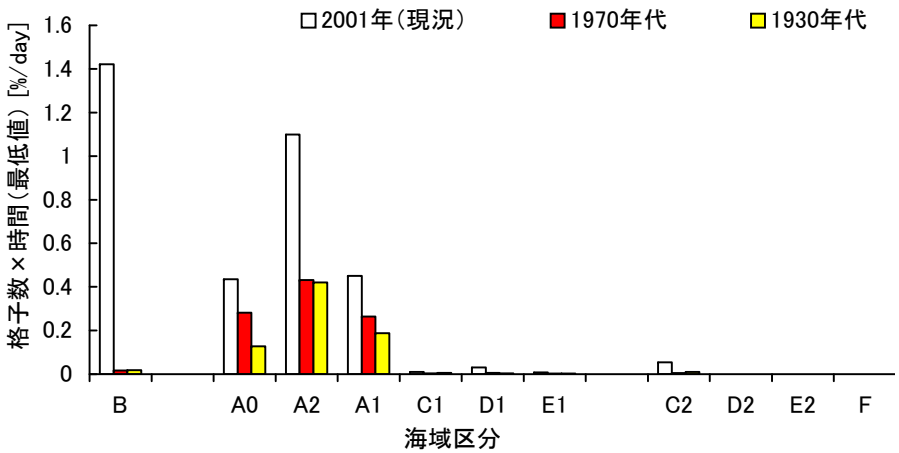
最下層；1.5～2.0mL/L, 2.14～2.86mg/L



最下層；2.0～2.5mL/L, 2.86～3.57mg/L

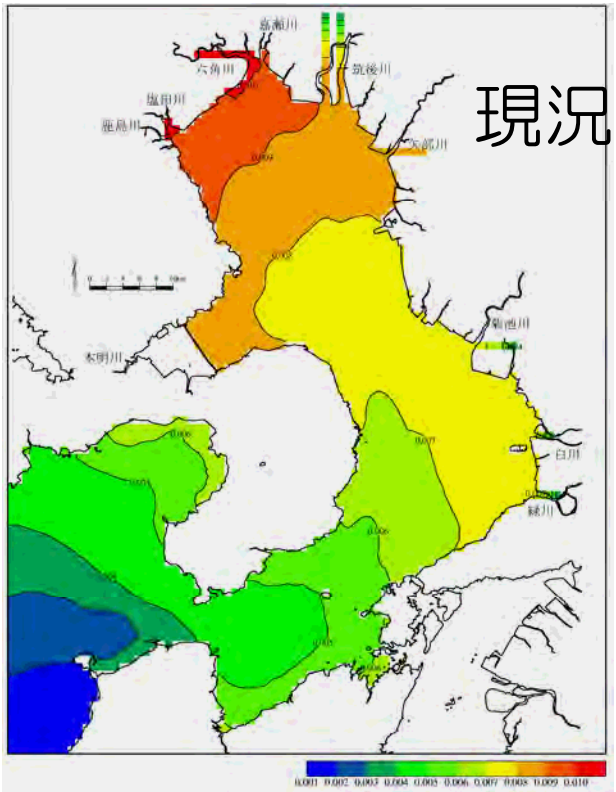


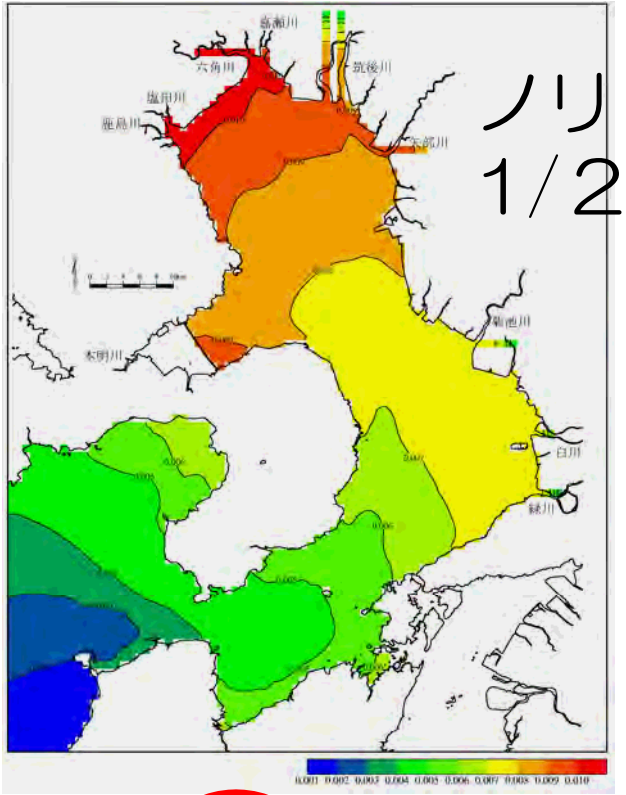
最下層；2.5～3.0mL/L, 3.57～4.28mg/L

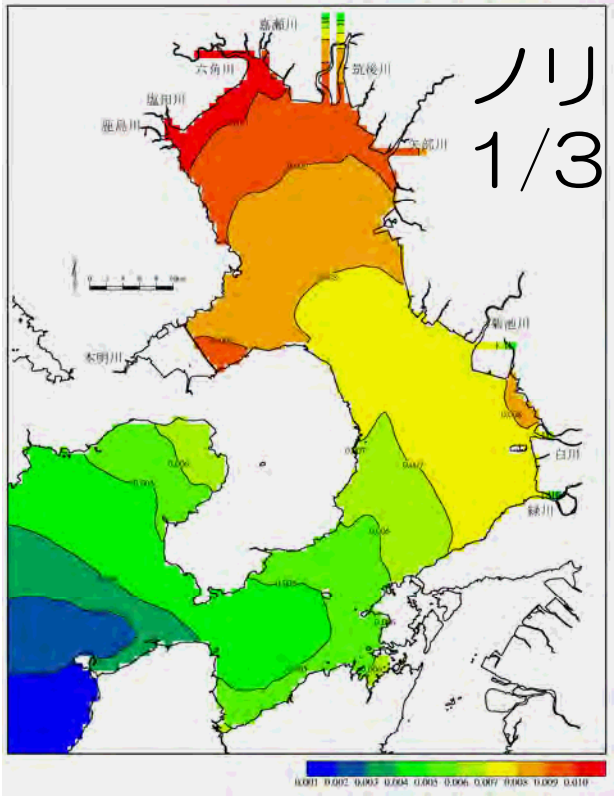


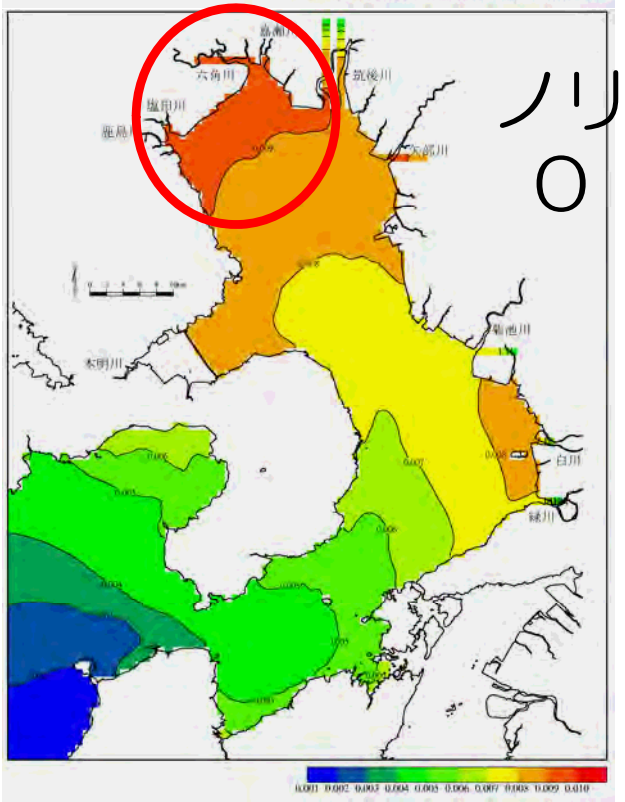
漁業の適正管理

表層Chl.a
Jan.15,2001



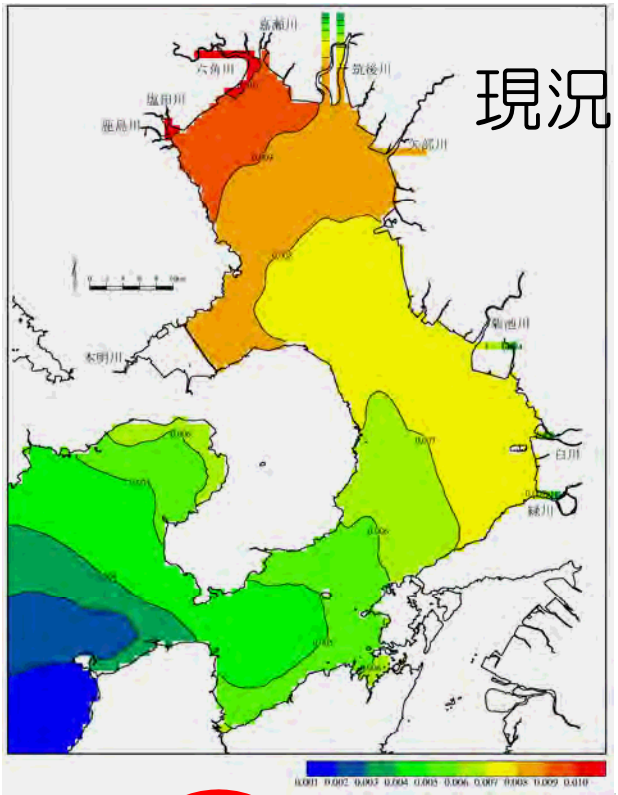


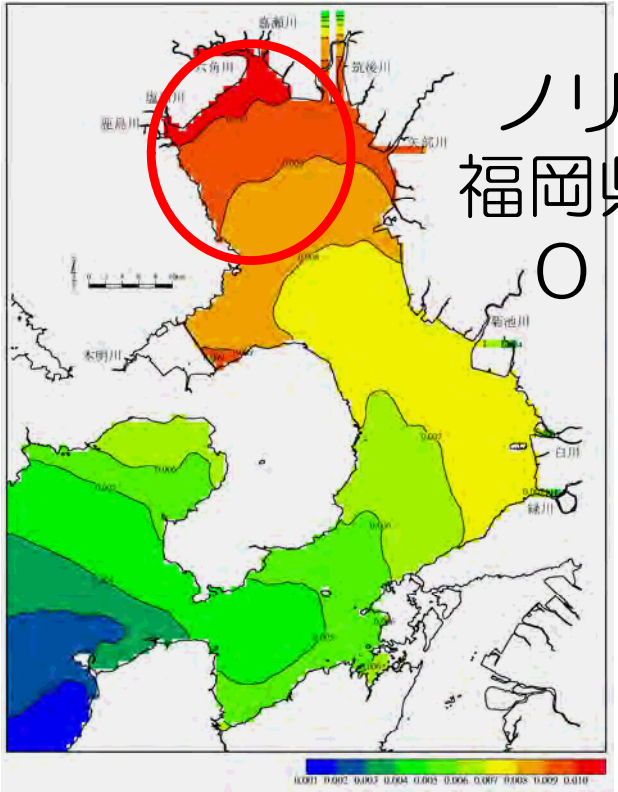


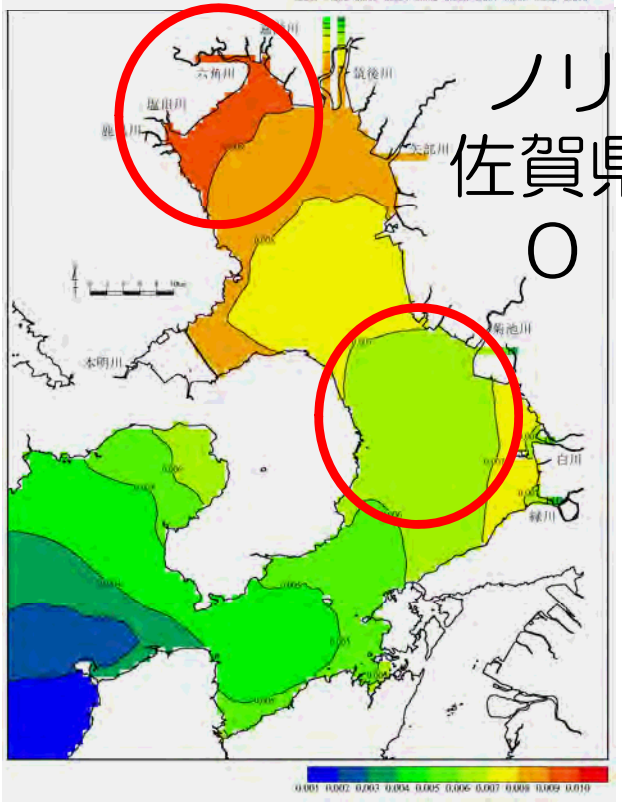


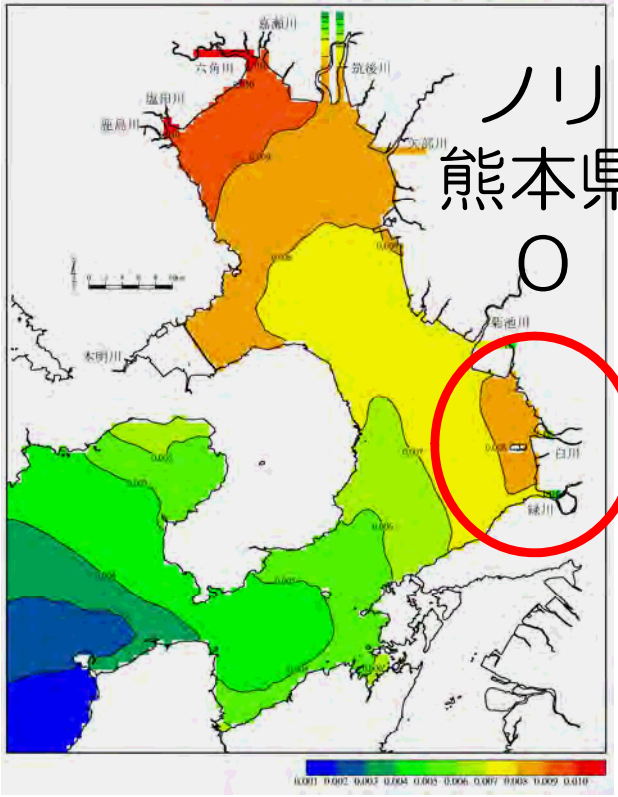
表層Chl.a

Jan.15,2001

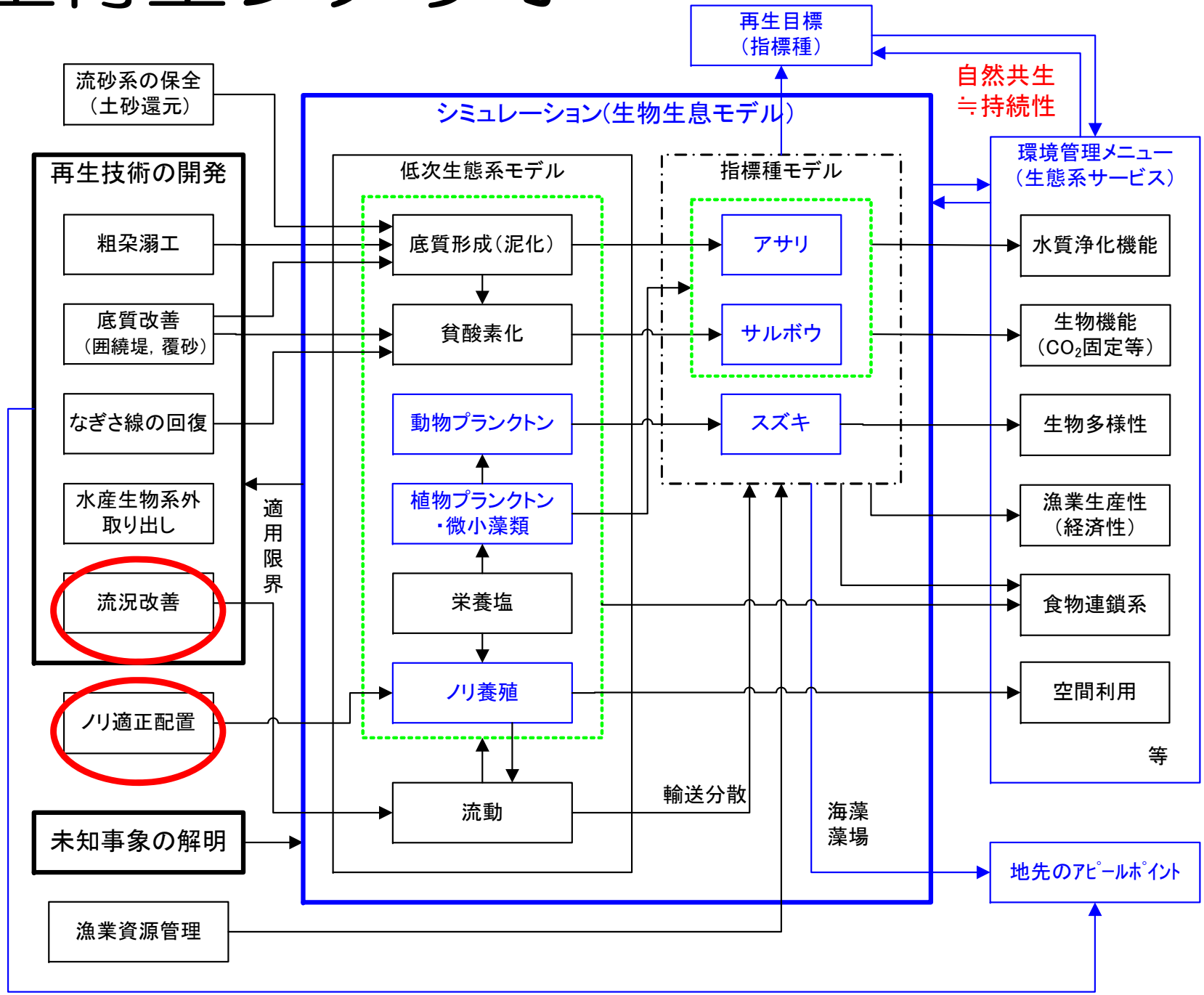








俯瞰型再生シナリオ



注）生物生息モデルは主要な評価項目を図示したものである．

今後の課題

1. 新たな知見に基づいたモデルの持続的な精度向上（特に，低次生態系モデル）
2. 地形情報の高精度化
3. 海上風の高精度化（分布）のための地域気象モデル等の導入
4. 流入負荷量（L-Q式）の観測精度の向上ならびに流域土壌の物質循環モデルの導入
5. 指標種（個体成長と生残）とその生息環境の相互作用を評価できる高次生態系モデルへの発展
6. 初期条件，境界条件，再現データの充実

■浮遊系

非生物項

- 有機物・栄養塩
- 溶存酸素・酸素消費物質

生物項

- 植物プランクトン
- 動物プランクトン
- 養殖ノリ

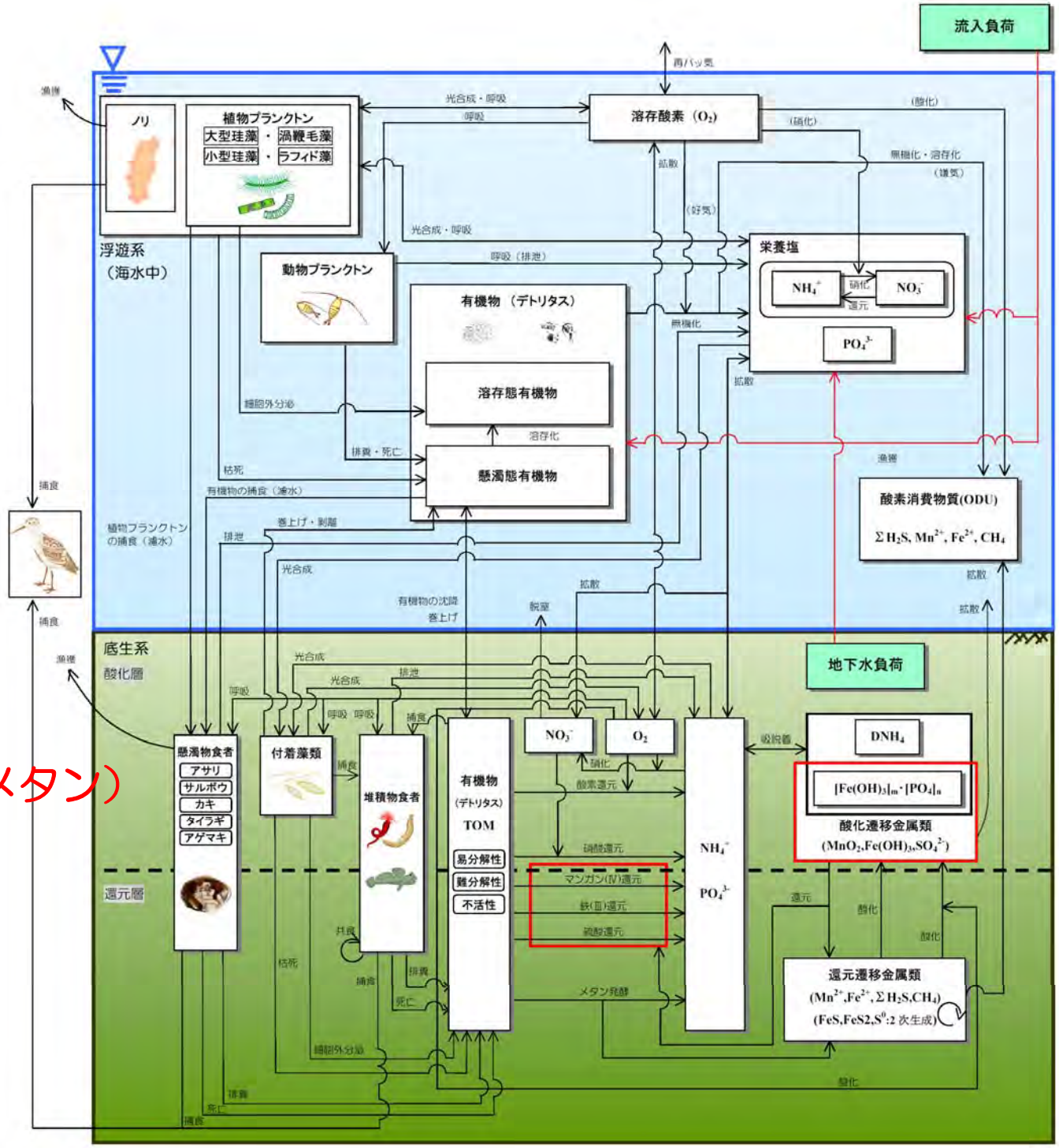
■底生系

非生物項

- 有機物
  （易分解・難分解・不活性）
- 栄養塩
- 溶存酸素
- 遷移金属元素類
  （マンガン・鉄・硫黄・メタン）

生物項

- 付着藻類
- 懸濁物食者
  (アサリ・サルボウ・カキ・
  タイラギ・アゲマキ)
- 堆積物食者
  (ムツゴウロウ・ゴカイ)

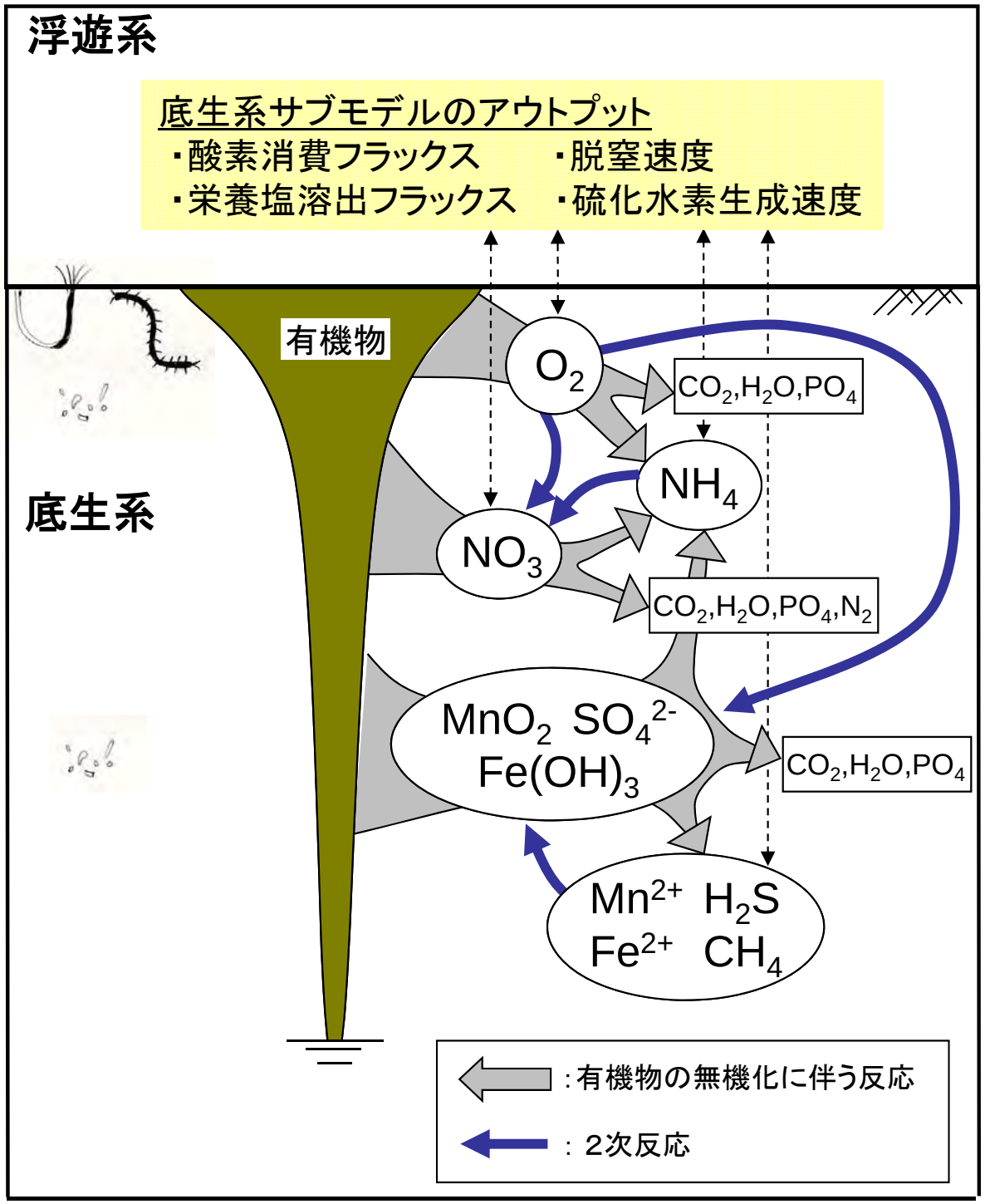


■底生系サブモデルの構造

①有機物を易分解・難分解・
不活性物質に区分

②有機物の無機化に対して、
酸素還元条件に応じた
段階的酸化分解を考慮

→硫化水素の発生量を推定可能
（貧酸素化の再現性◎）



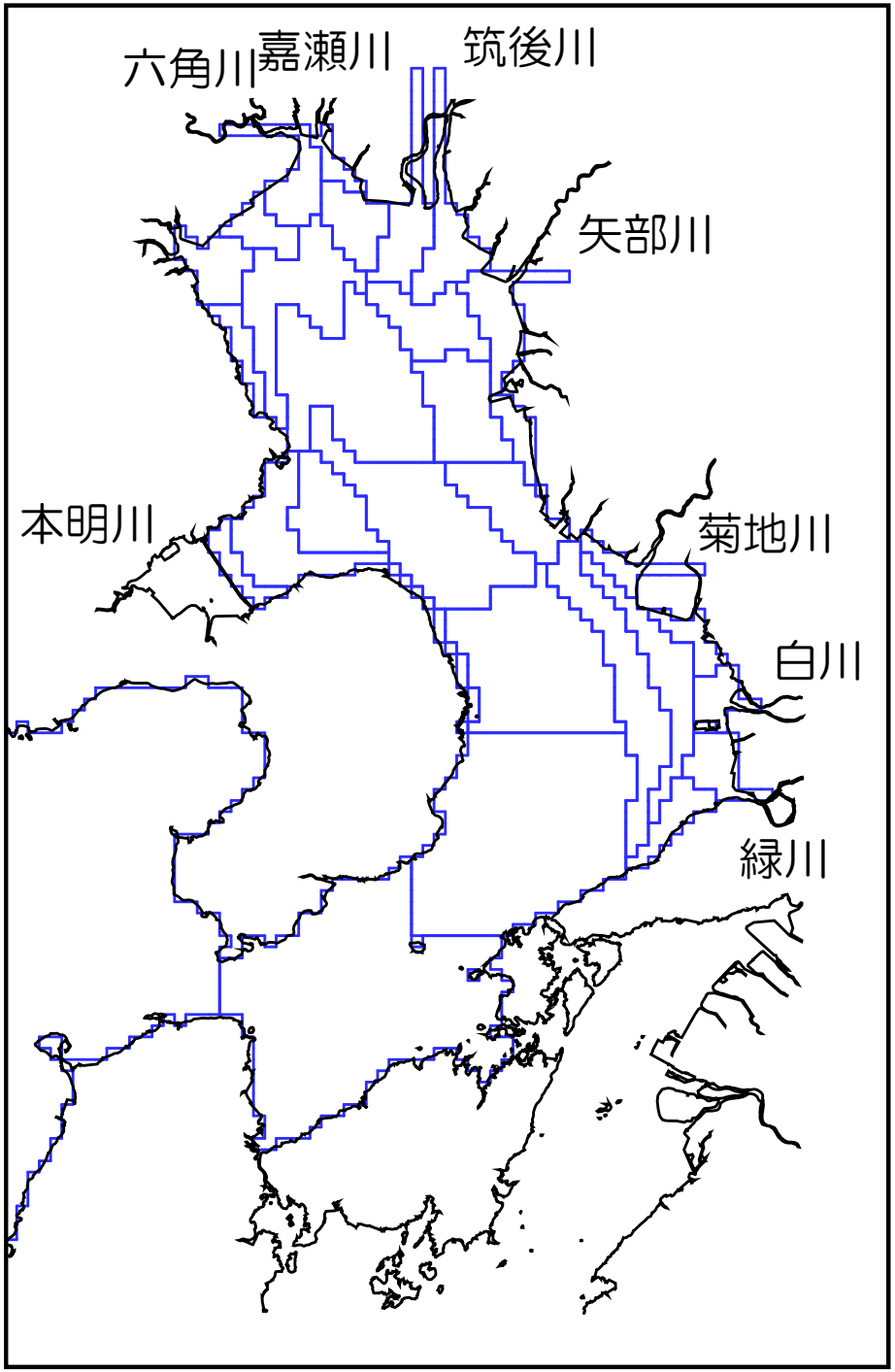
K.Soeaert,P.M.J.Herman,and J.J.Middelburg(1996)に一部加筆

■底生系サブモデルの水平格子分割

計算時間および実測データの
整備状況を勘案

①浮遊系サブモデルの格子（900m～2700m）を任意に連結させたボックス格子にて解析。
②水平方向の交換は無視する

ボックス分割にあたっては、
<u>等深線や生物生息範囲を考慮</u>



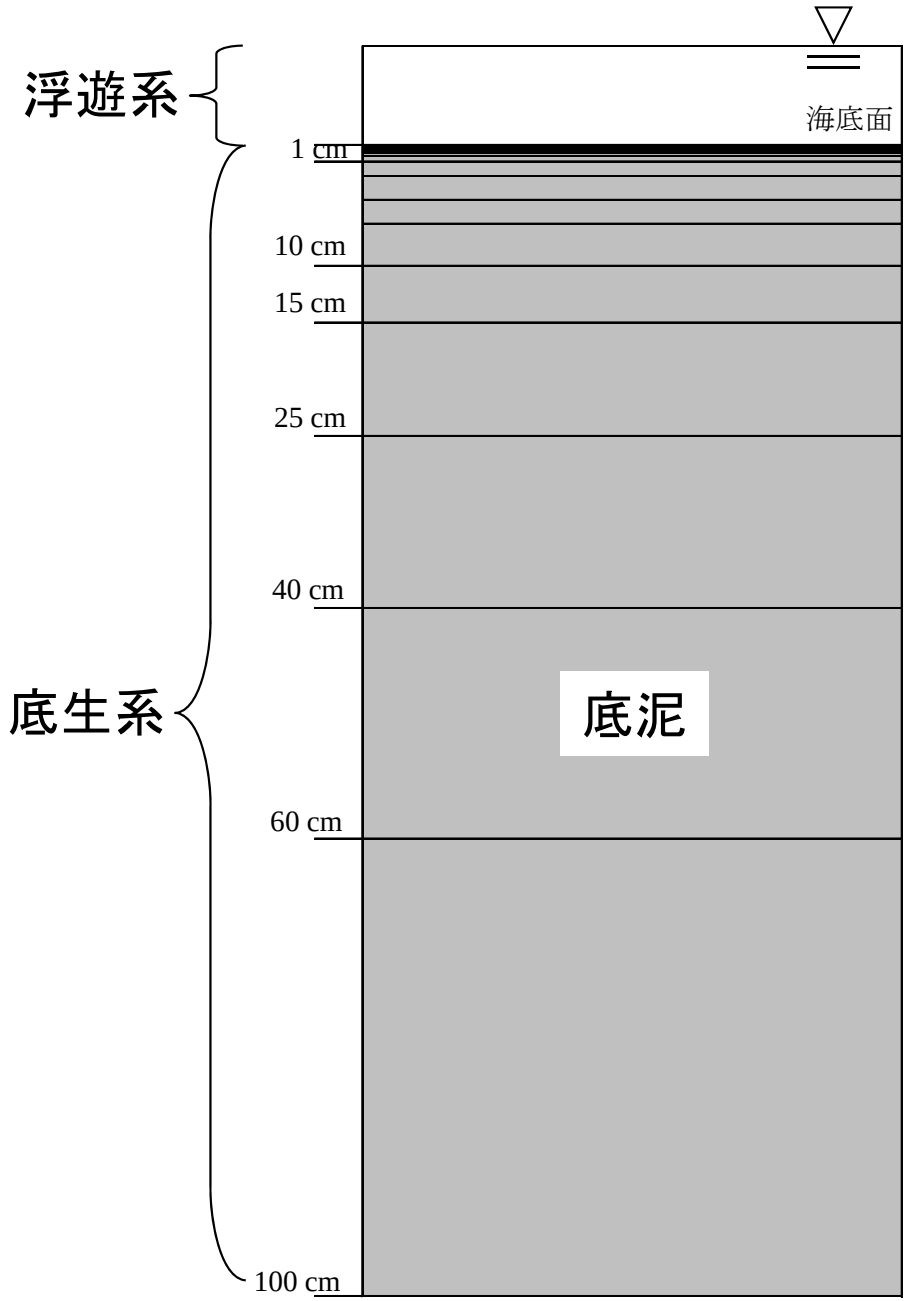
底質サブモデルのボックス分割図

■底生系サブモデルの鉛直格子分割

底泥表層より100cmを解析

格子分割は、不等間隔格子とし、
表層をより詳細に分割

	泥深「cm]	層厚「cm]
1	0.00 ～ 0.02	0.02
2	0.02 ～ 0.05	0.03
3	0.05 ～ 0.10	0.05
4	0.10 ～ 0.20	0.10
5	0.20 ～ 0.50	0.30
6	0.50 ～ 1.00	0.50
7	1.00 ～ 2.50	1.50
8	2.50 ～ 4.50	2.00
9	4.50 ～ 6.50	2.00
10	6.50 ～ 10.00	3.50
11	10.00 ～ 15.00	5.00
12	15.00 ～ 25.00	10.00
13	25.00 ～ 40.00	15.00
14	40.00 ～ 60.00	20.00
15	60.00 ～ 100.00	40.00



最終目標

有明海を豊穣で，人々に安らぎを与えることのできる海として再生する．

ご清聴ありがとう
ございました

総 合 討 論

【　コーディネーター　：　佐賀大学 理工学部 准教授　大串 浩一郎　】

ご紹介します。皆さんに向かって左側から大和田紘一先生です。東京大学卒農学博士で熊本県立大学環境共生学部の教授です。御専門は水産学一般、海洋微生物学、環境保全です。沿岸環境に関する研究、干潟の微小生物の生態に関する研究をされています。それから続きまして速水祐一先生。京都大学農学部卒業、農学博士。現在佐賀大学有明海総合研究プロジェクトの准教授です。湖沼・沿岸海洋における物質輸送、湖沼生態系の地球環境変化に対する応答の研究をされています。それから一番最後に中嶋雅孝先生です。九州大学理学部を卒業、工学博士。現在、財団法人九州環境管理協会　環境部環境技術課長をされています。主に諫早湾や博多湾の環境調査に従事されています。また財団協会の中で有明研究会というのが組織されていて有明海の栄養塩収支を研究されています。では今日は宜しくお願い致します。

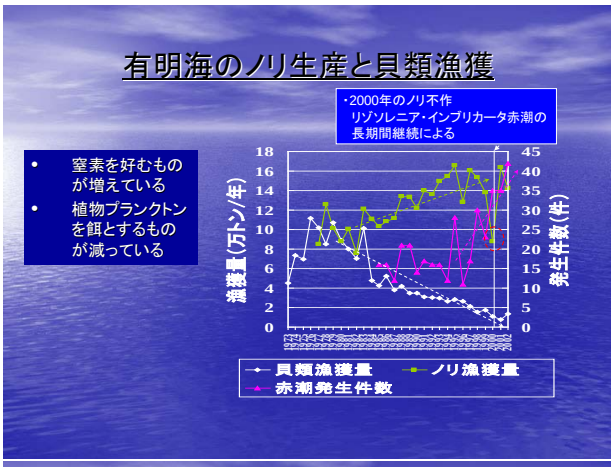
それでは３名のコメンテーターの方を御招きしまして、今から議論していくわけですけれども、最初に申し上げました通り、九州環境管理協会の中嶋様に最初にボックスモデルを用いて有明海をマクロ的に収支解析をされていますので、そのご説明と合わせて先程のJST モデル堀家さんのワーク等に対してコメントがございましたらそちらも併せてお願いしたいと思います。

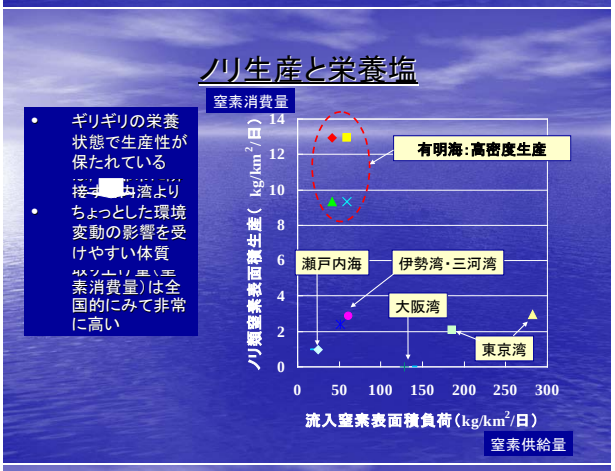
【　（財）九州環境管理協会　環境技術協会　中嶋 雅孝　】

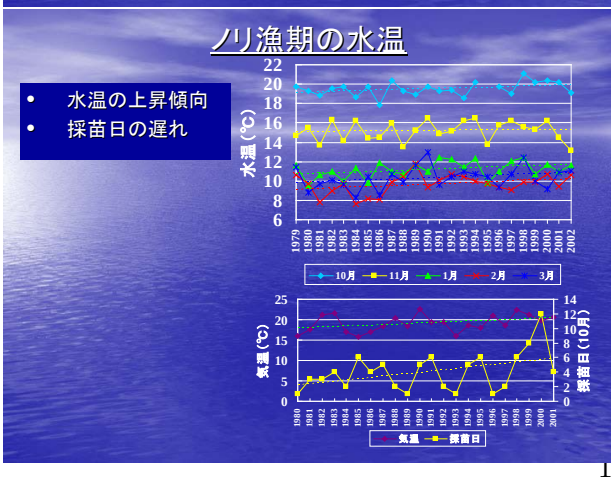
九州環境管理協会の中嶋でございます。

私共は、有明研究会を組織しまして、有明海環境の定量的評価として漁業生産の回復に向けてという事で研究を行っております。我々のスタンスとしましては、有明海をマクロにみようと、今、「いであ」の堀家さんの方でかなり精密なというか、詳しい現象を再現されるようなモデルを作られていますけれども、私共はどちらかと言うと、ざっくり、その替わりに、長い時間の変化を再現してみようという事で研究を行っています。

取り上げています課題ですけれども、有明の環境異変という、皆さん御存知のように、ノリの不作から始まって、二枚貝類漁獲量の減少、赤潮の増加、潮汐の減少、透明度の上昇、底泥の細粒化、貧酸素水塊の発生、こういった中で我々は主に、「ノリの不作、二枚貝類漁獲量の減少、赤潮の増加」の三つを対象に研究しております。有明のノリ生産と貝類漁獲をみますと、経年的にノリの漁獲量というのは増加しております。その一方で二枚貝の漁獲量は減少しておりまして、真ん中に赤い線で書いておりますけれども赤潮発生件数が増加しています。これがどういう事かといいますと、有明海の中で窒素を好む物、こういった物が増えている、それから植物プランクトンを餌とする、ここでは二枚貝を指しますが、そういった物が減っているという事がいえると思います。







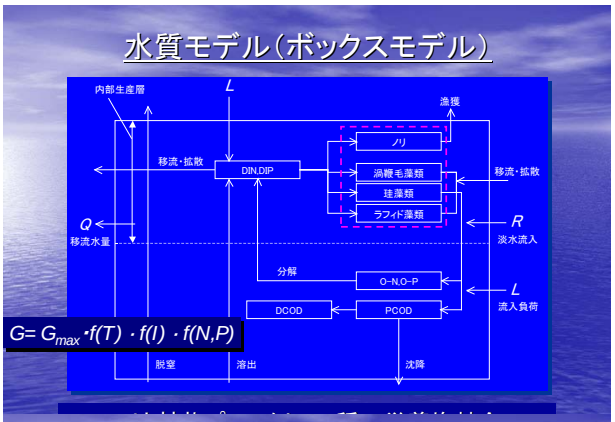
これは我々が2002年までを対象に計算した後の経過という事で、先日佐賀県の川村さんからデータを頂きましてノリの生産量をみてみました。最近は、2003年度以降につきましては、比較的良い成績にあります。その一方で、赤潮の件数も減ってきているという状況が現状のようです。

この図は横軸が有明海に対する流入窒素表面積負荷です。窒素の供給量といいますか、陸域からの供給量です。縦軸がノリとして取り上げられる窒素の消費量です。これをみますと、伊勢湾、大阪湾、東京湾とか背後に大都市を擁するような湾に比べて、有明海は非常に窒素の供給量が少ない、ただし、その中でかなり高密度に生産されているという事がいえます。どういう事かといいますと、栄養状態としてギリギリの状態でノリの生産性が保たれている。従ってちょっとした環境の変動の影響を受けやすい、漁業生産としてそういう体質にあるといえ

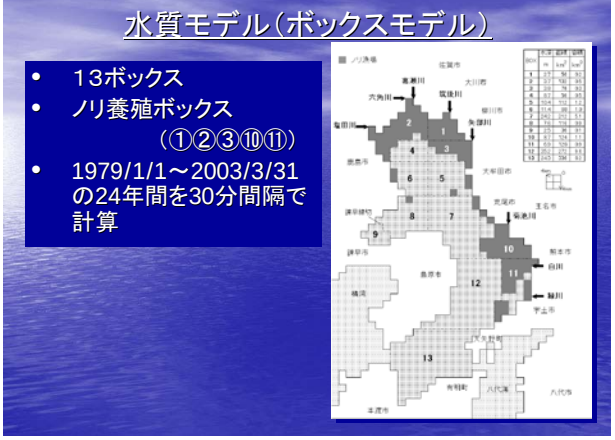
ると思います。

それから気候の方ですけれども、ノリ漁期の水温の傾向をみますと 10 月から 2 月、3 月にかけてのノリの漁期というか、最近冬季に水温が上がってきているという傾向がみえます。下のグラフは網を入れる採苗日です。その時期も段々遅れていて、昨年は 10 月末までなかなか網が入れられなかったという事も聞いております。

そういった事をみまして、ここに有明異変のシステム図という事で、先程、大串先生の方からもお示しされていましたけれども、要因の連関を考えまして、この中でノリの生産という所についてシミュレーションをやってみました。

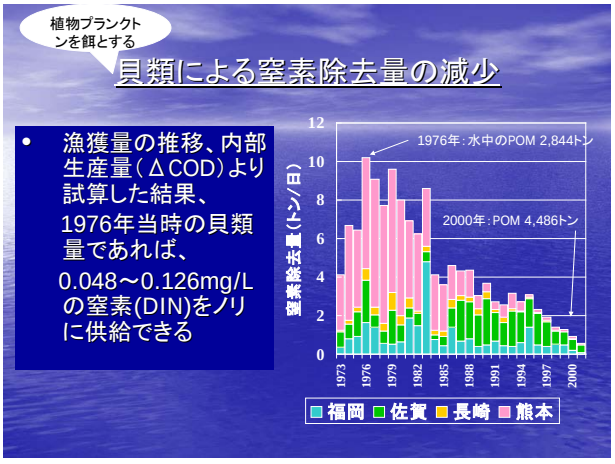


これは水質モデル、ボックスモデルの構造ですけれども、ここはノリと植物プランクトンの栄養の取り合いについて着目して簡単なモデルを作ってみました。ボックス分割は有明海では 13 ボックスです。図の中で黒く塗っている所はノリの養殖場です。養殖場ボックスとして 5 ボックスを設定しまして、1979 年から 2003 年までの 24 年間を 30 分間隔で計算したものです。



結果としましては、右側の図ですけれども、プランクトンとノリによる窒素の取り込み量、これによって経年的にプランクトンによる取り込みが増えている。これは水温の上昇によってプランクトンの成長が有利になったという結論であります。

次に、左側の下の図ですけれども、その反面ノリが取り込む窒素量が減っている、ただし、先程ありましたようにノリの生産としては上がっているわけです。それがどういう事を意味するかというと、その前に比べてかなり質の低下を招きやすいというように計算上はなっているのではないかと考えているわけです。

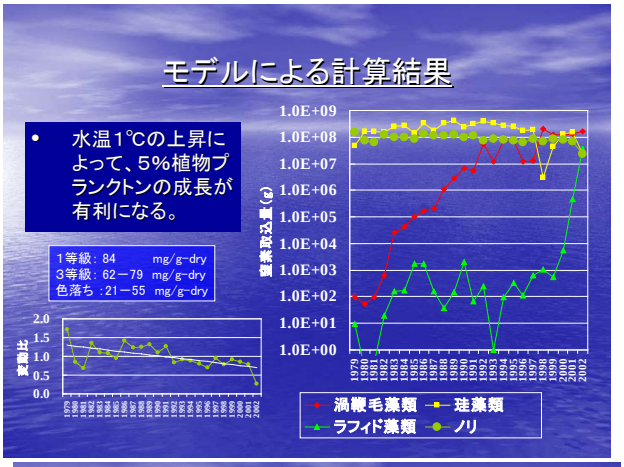


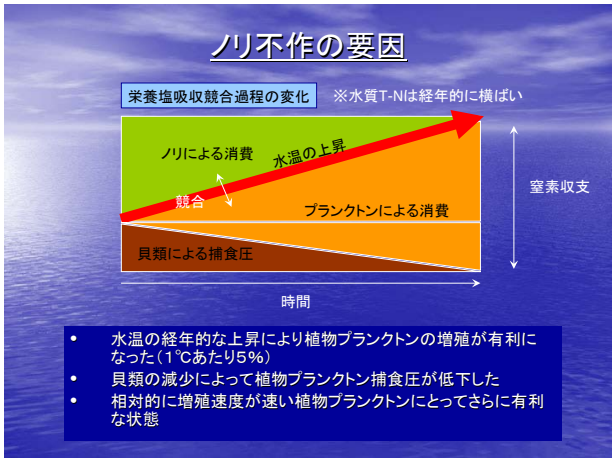
もう一つ、貝が減少していましたけれども、貝が減少する事による窒素除去量、そういったものがどの程度減っているのかというのも試算しました。これは漁獲量の推移です。現存量と生産

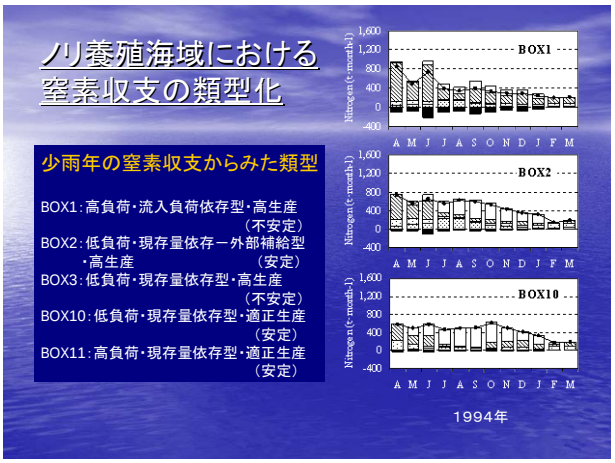
量の比を 2 と置きまして試算した結果、貝が多かった 1976 年当時ですが、そのくらい貝がいれば 0.05 から 0.1ppm の DIN を本当は供給出来ていたのではないか、それが今すべてプランクトンの方へ POM という形に転換されているのではないかというように試算されました。

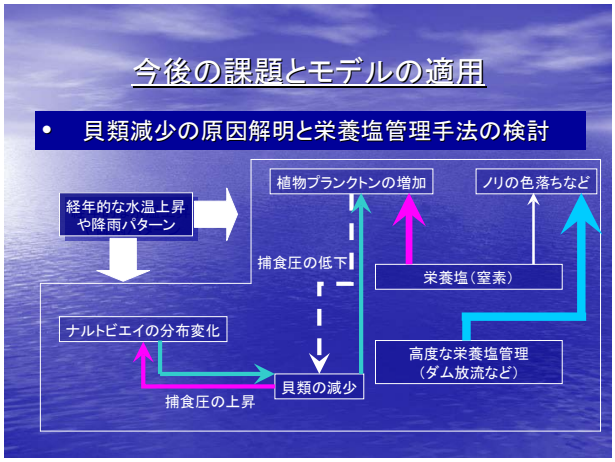
以上の話からノリ不作の要因を整理しますと、こういうイメージになります。横軸が時間で、縦軸が窒素収支、窒素量と考えて頂きたいと思います。水質の T-N というのは経年的にほぼ横ばいになっていますので、以前は、ノリの方に行っていた栄養が水温の上昇に伴ってプランクトンに行くようになった。あるいは、以前はプランクトンは貝によって食べられていたのが、貝による捕食圧が減ったので、全てプランクトンが栄養を使う状況になってきたというのが大きくみてノリ不作の要因ではないかと考えています。

それともう一つ、このボックスモデルを使って検討した結果ですけれども、雨が少ない年、あるいは渇水年についてです。こちらに挙げているのは 1994 年で、これは平成の大渇水といわれた平成 6 年です。その時の収支から、ボックス 1 というのは筑後川河口のボックスになるのですけれども、ここというのは背後に筑後川がありますので、負荷としてはかなり高負荷が入ってくるのですけれども、高生産をやっていますので結果的には生産性は不安定です。ボックス 2 というのが佐賀県のボックスになります。こちらは河川からの負荷というのがあまりなく、低負荷で、海域にある現存の量を使って生産をやっています。ただし、佐賀の場合は施肥をやっていますので、外部負荷として、外部から補給する形で高生産を安定的に保っています。ボックス 3 というのがこれは矢部川の河口のボックスになります。こちらも流入負荷に依存できなくて、現存している窒素を使ってノリを生産しているために不安定になりやすい。熊本のボックス 10 と 11 につきましては白川、緑川があり、ノリの生産量が福岡、佐賀と比べて低いので、適正生産という事で、河川からの流入と



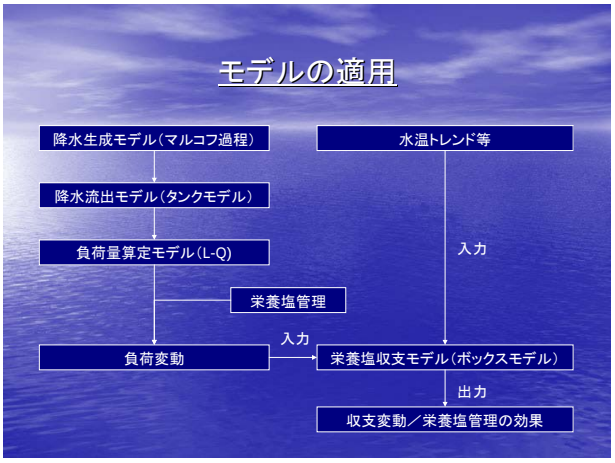




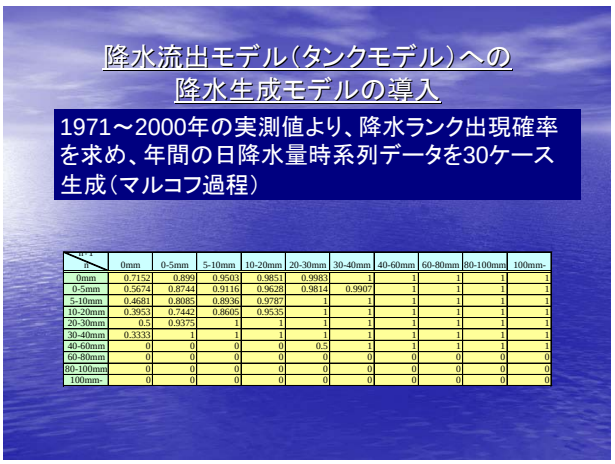


いうのはそんなにないのですけれども、現存している窒素を使って安定的に生産している状況にあります。このようにノリの養殖海域を類型化できました。今後も我々はこのボックスモデルを使って、何せ扱いやすい物ですから、これを少し発展させて色々検討しようと思います。

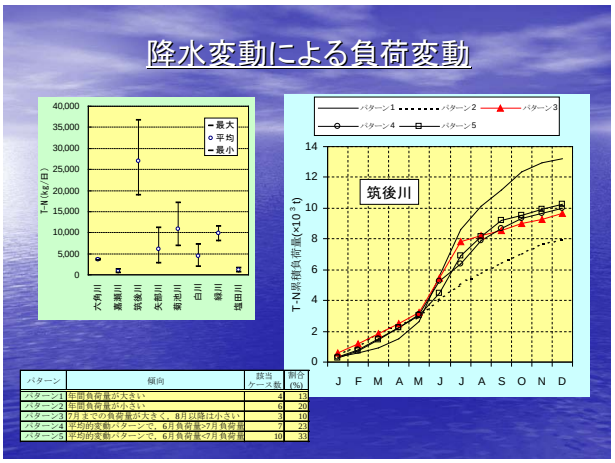
今回の検討からは植物プランクトンの方に栄養が行きやすくなったのでノリの不作が起きたといえます。今後は高度な栄養塩管理の形で、例えばピンポイントでダムの放流をやるとか、あるいは環境基準などでも上限値だけを決めるのではなくて下限値も決めるというような対策を取ってノリの方に栄養を回す。一方では貝が減少していますから、増えたプランクトンを食べてもらえないわけですので貝類を増やす、今、貝類が減っているのはナルトビエイの食害というふうにもいわれていますので、こういった事をモデル化して検討したいと思います。



モデルの適用に当たりましては、左側の方が流入負荷条件の設定ですけれども、流入負荷につきましては、堀家さんもいわれていますけれども、タンクモデルで淡水流入量を求めて L-Q に入れる。ただし、その前に降水生成モデルを用いて、雨の量によって負荷量が変動するとしてモデルに入れる。一方で水温トレンドみたいな形で制御出来ない物については、今後の水温上昇の傾向も加味した形でボックスモデルに入れていき、結果的には窒素収支の変動として出力されていくと思います。それをどう評価していくか、一つのケースだけの検討ではなくて、変動の中でこのシミュレーションの結果は伝えられていかなければいけないと思います。具体的に降水流出モデルへ降水生成モデルをどう導入するかといいますと、この下の表にありますように、表の縦がある日の降水量で、右側がその次の日の降水量、これは今、累積の確率で表していますけれども、次にどの位の雨が降るかというのを過去の確率から求めてあげて、30 ケース計算し、降水の変動をみると、左側の図のように各河川の T-N 負荷の変動が求められます。これからみますと、筑後川の変動が一番大きくなっていますけれども、その筑後川の変動の月変化をみますと大体 5 パターン位に分けられます。この中で真ん中の赤い三角で書いてあるパターン 3 というものですが、これにつきましては大体 7 月位まで、梅雨の時期に降水が入るのですけれどもそれ以降雨の流入負荷があまりみられない、そう言うパターンです。こうなり



	0mm	0-5mm	5-10mm	10-20mm	20-30mm	30-40mm	40-60mm	60-80mm	80-100mm	100mm-
0mm	0.7152	0.899	0.9503	0.9851	0.9983	1	1	1	1	1
0-5mm	0.5674	0.8744	0.9116	0.9628	0.9814	0.9907	1	1	1	1
5-10mm	0.4681	0.8085	0.8936	0.9787	1	1	1	1	1	1
10-20mm	0.3953	0.7442	0.8605	0.9535	1	1	1	1	1	1
20-30mm	0.5	0.9375	1	1	1	1	1	1	1	1
30-40mm	0.3333	1	1	1	1	1	1	1	1	1
40-60mm	0	0	0	0	0.5	1	1	1	1	1
60-80mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80-100mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
100mm-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



パターン	傾向	該当ケース数	割合(%)
パターン1	年間負荷量が大きい	4	13
パターン2	年間負荷量が小さい	6	20
パターン3	7月までの負荷量が大きく、8月以降は小さい	3	10
パターン4	平均的変動パターンで、6月負荷量>7月負荷量	7	23
パターン5	平均的変動パターンで、6月負荷量<7月負荷量	10	33

ますとノリの時期の最初の栄養塩が準備されないというような、ノリの生産にとってはあまり良くない条件になります。それが確率的に行きますと 30 ケース中 3 ケースありますので、確率的には 10%の確率で起こるのではないかと思います。従いまして現象を適切に再現するためのモデルの精緻化、たとえば二枚貝を入れたりとか、ナルトビエイを入れたりとか、そういう事もやる必要があるのですけれども、モデルの適用に当たっては、他の与条件の自然変動とかそのトレンドに伴う変動を考慮しながら今後評価をしていかなければいけないのではないかと思います。以上です。

【　コーディネーター　：　佐賀大学 理工学部 准教授　大串 浩一郎　】
有難うございます。続きまして先程の堀家さんの発表でコメント等ございましたら。

【　（財）九州環境管理協会　環境技術協会　中嶋 雅孝　】
そうですね、最後にまとめて書きましたようにモデルの精緻化と言う所に関しましてはかなり十分に色んな現象を複雑に捉えられていると思います。ですので、今後は具体策を検討する中での条件設定に気象変動とかそう言った物の効果を見込んでいったらいいのではないかなと思います。

【　コーディネーター　：　佐賀大学 理工学部 准教授　大串 浩一郎　】
他のコメンテーターの方にも色々とご意見を頂きたいと思います。大和田先生には生物を研究しておられる立場としまして、先程の JST のモデルに対する要求と言いますか色んなコメントがあると思いますけれども、そこの所のお話をお願いします。

【　熊本県立大学　環境共生学部　教授　大和田紘一　】
私は今日、モデルのかなり全体と言うのは初めて見せてもらいまして、今まで私も堀家さんの発表会がどうしても博多とか佐賀の方にあったり、土曜日曜だったりで殆んど話を聞いていなかったと言う事があるのです。私はＮＰＯ法人有明海再生機構の生産分科会、水産に一番関係のある、そこの委員長をしていまして、私共はいち早く目標としては東のアサリ７千トン。西のモガイ１万トン、これが毎年コンスタントに獲れるような環境になんとか有明海を持っていきたい。それともう１つは、その他に他の多様な生物が住んでいけるような環境にして行きたいと言う事で始まりました。堀家さんから最初にお聞きした時は、堀家さんの方の目標は非常に生物の種類が多くて我々と殆んど合わないのではないかと言う心配をしておりましたが、途中から今日は似たような東のアサリ１万４千トンでしたか、あとモガイがいくらだったか、それとスズキを入れたような形で、我々の目標とかなり近くなってきているので非常に有難いと思っております。生活史のモデル、目標は初めて出してもらいましたが、かなり私が考えていたよりは随分アサリ或いはサルボウに関しては、随分細かい数値まで探してきて入れておられると言うような事を感じました。只これも、例えばアサリが復活してきて非常にいい傾向にあると思うと年によってちょっと下がってくる。特にサルボウの方が２年前位は８千トン位居て、かなり上手く行ってきたのではないか。環境も良くなって来ているのではないかと思うと、昨年一昨年だったでしょうか、もうガタンと半分以下に落ちてしまう。そう言う事があるわけですから、ある意味ではマイナーな変化かもしれませんが、そう言う物が取り込んでいけるのかどうか、後はベントスといっても今日は幾つかの種類がありました。低次生産モデルの方には入っておりましたが、ああいうものの有明海におけるバイオマスが現場に近いようなデータが入れられているのかどうか。そう言う所にはこれから更にデータを見せてもらいながら検証していって、それで少しでも有明海を変えるようなモデルになっていったら良いのではないかというような思いです。後は、私も今非常に頭を悩ましているのですが、先程の目標値がスズキの場合は１０年位、アサリサルボウの場合は５年位になっていますが、これが実現する時の環境を考えるとモデルの中から何かこういう環境だという事が言えるのか、もし言えるのであれば是非数値を出して頂きたい。

【 いであ(株)大阪支社　副支社長　堀家 健司 】

まず低次生態系モデルの中でベントスを入れて、バイオマスがきちんといけているのかと言う事ですけれども、これにつきましては懸濁物食者は漁業生物ですので、現状の漁獲量から種類によってそれにある何倍かして資源量を想定して有明海全体でこれだけいるはずだと言う所で、後はそれを各メッシュの環境条件に合わせて、実際住んでいる所住んでいない所ある程度分かりますので、基本的には水深と底質である程度関数化して与えて、そのトータルが資源量になるようにして与える。それを初期値にして計算に入れて見ている。そういうふうな事をやっています。

それからもう１つ最初に申しておくのだったのですが、色々な突発的な変動とかそう言った物に対して果たしてその生活史モデルで応えられるかどうかと言う事ですけれど、まずアサリのような、ちょっとアサリの、今日はご説明を、大きな漁獲量の変動はこういうふうな事でなっているのではないかと漁獲圧がきいたという時代もあり、漁業管理が上手くいった時代もありと言う事もありますので、大きなトレンドとしては、今それである程度の再現と言いますか合わせは出来ています。只、単年単年での突発的な所を何処まで環境を取り入れるかによって、それは変わってくるわけなのですけれども、それについてはそんなに精緻には出来ていないかもしれないのですけれども、大きなトレンドについてはアサリについては先程申しましたような仮説を設けてそれに合うような形にしていると。ただ１つ頭を悩ましている所がこれはアサリもサルボウもそうなのですけれども、７０年位からずっと計算していくと、温度が随分上がってきている。温度が上がってきていると早く成長して早く産卵して早く卵を生んでと言うような事でどんどん資源が増えていくような計算結果になるので、だけれど実際には他の要因が効いてそれをセーブしているのか、或いはそうではなくて温度がそれ程効いていないのか、この辺はわからないのですけれども、そこが少し悩みの所でありますけれども。一応アサリに関しては、特に比較的稚貝の時が水温塩分が非常に重要なので特に低塩分にあまり長時間さらされるとかなり死んでしまうとかそう言う事があるので、そう言った事は、あの図でボックスの所で水溶塩分の計算結果で出て来ますので、そう言った所で取り組んだりはしています。

それから最終目標が実現に叶うかと言う事で、実は５年１０年と言っても目標設定したのはもう２年位前に設定したのですけれども、それは別にしましてある程度アサリ、サルボウ、スズキの其々の寿命とかそう言った事を考えれば、一律の再現目標の達成年は一律に設定するよりは種毎にやはり少し変えて、その方が実状に合っているのではないかと言う事でああいう計算をしました。それとここだけの話になるかどうか別に、去年中間評価がこの JST でありましたので、ある程度そういう計算結果が必要で、こういう風な環境を変えるとこの生活史モデルの中で目標が達成できると言うような一応計算結果をやったことはやったのですけれども、その時には例えば底質を改善したら、その時底質を改善したらかなり大胆なやり方ではあるのですけれども、生物量を倍にしたり或いは底泥の有機物を半分にしたり、ただそれは余り再現出来る事ではないので楠田先生もちょっとかなり首を傾げられたのですけれども、ともかくとして環境を変えるとその地表生物が好反応して全ての目標にどういう風に達成するか、逆に目標からこういう風に環境を変化させたら成るよと言う所が逆に出て来ますので、では環境を変えるような具体的なその工学的な技術とか、そう言った物が何かというような双方向で考えていきながらちょっと探って行きたいと、まだここで具体的な回答の機会がないのですけれども、そこは後残されている１年ない

しその時間で探って行きたいというふうに思っています。

【　コーディネーター　：　佐賀大学 理工学部 准教授　大串 浩一郎　】
　では速水先生には、流動とか底質とか大和田先生が生物で御質問されましたので、それ以外の事でありましたらお願いしたいと思います。

【 佐賀大学 有明海総合研究プロジェクト　准教授 速水 祐一 】
　非常に膨大なモデルのセットについて分かりやすく説明をして頂きどうも有難うございました。質問が２つとコメントが２つありますので順番に１つ１つ行きたいと思います。
　まず１つですけれども、これは少し途中で聞き落とした所なのですけれども、低次生態系モデルの最下層の潮流楕円の長軸の振幅の変化について比較計算された場合で、ケース１２とケース１の場合とそれからケース１３とケース１の比の図が出されていたですけれどもケース１２とケース１３のこれは、中身はどういう・・

【 いであ(株)大阪支社　副支社長　堀家 健司 】
　ケース１２が１９７０年代、１３が３０年代を想定したケースです。地形だけではなくて、地形と外海の潮位振幅を今よりも３％大きくして、平均水面を１０センチ下げて、温度をマイナス１℃、局所的です。そういう計算をしたのがケース１２です。ケース１３は今と同じ基本的には、地形だけを１９３０年代にしているのです。

【 佐賀大学 有明海総合研究プロジェクト　准教授 速水 祐一 】
　その場合、水温それから平均水位、それから潮位振幅、それから地形、全てを入れた場合と、其々１つだけを入れた場合のケースがあると思うのですけれども、７０年代とそれから現在、２００１年、それの違いの原因になった寄与の大きさというのは、地形、それから外海潮汐、それから水温、それから平均水位、どういう順番或いは、どれ位の割合で効いていているのかというのをお伺いしたい。

【 いであ(株)大阪支社　担当者 】
　お答えしますと、其々ばらばらの寄与の計算をしていまして、実は殆んど足し合わせという事で、結果としては出てきているのですけれども、若干細かい数字は変わりますけれども、例えば潮位振幅、大浦における潮位振幅の値で申し上げますと、例えば１９７０年代後半を想定したケースで全部込みでお示ししているケースですと、大体４％位の変化があります。その中の地形の効果が大体１．５％で、外海の潮汐を３％変えると、これは大体湾内でも影響が見られますので、大体３％弱、２．８％位という形で、あと平均潮位に関しましては殆んど影響はないと、あと温度、気温であるとか流入水温に関しても潮位振幅に関しては殆んど影響がないという事で、地形の変化が大体３分の２位ですか、外海の潮汐が残りの３分の１位の寄与という計算結果になっています。

【 佐賀大学 有明海総合研究プロジェクト　准教授 速水 祐一 】

地形が１．５％ですか？

【 いであ(株)大阪支社　担当者 】
そうです。全体の変化が４．何％の内の…

【 佐賀大学 有明海総合研究プロジェクト　准教授 速水 祐一 】
ですから、地形が３分の１、外海が３分の２。
それが大体今のが大浦の潮位振幅ですけれども、湾奥部の最下層の潮流楕円の長軸の変動に関しても大体似たようなものですか？

【 いであ(株)大阪支社　担当者 】
そうです。ちょっと、流れ、所謂潮流の方には面的な広がりみたいな物もだいぶ寄与してきますので、細かくは見られていなのですが、全部入れた効果で、やはり５％、平均的には５％位の変化が出ているという事で、寄与に関してもやはり１対２というか３分の１と３分の２位の寄与は大まかざっと計算結果を見た限りですと、その位の変化かなという感触はもっております。

【 佐賀大学 有明海総合研究プロジェクト　准教授 速水 祐一 】
どうも有難うございました。それから２つ目の質問なのですけれども、流れの違いの変化がどう影響するのかという事は比較的検討しやすいのですけれども、貧酸素なんかを考えた場合、流れ以外に底質の変化、それから酸素消費速度の変化、そういった物が長期的に変化してくるような場合、何らかの改善策を行った場合に、そういうものが長期的に変化していく。そういうものを評価する際にどういう計算をしようというふうに考えておられるのか。

【 いであ(株)大阪支社　副支社長　堀家 健司 】
今、今日御説明したのは、単年計算といって一年間の計算ですが、有明海、特に２００１年と２００５年其々あるわけなのですけれども、流れ、地形を変えた時の底層 DO の変化予測とか、それからノリにしても全部単年計算なのですけれども、そこはこれから、例えば今おっしゃった底質改善とかそういうふうな色んな効果をした時に、その影響がずっと単年ではなくて、ずっと複数年更には１０年とかそういうふうに持続していって、それに底質改善のような場合だったら、例えば覆砂を考えていった場合、絶対に寿命がありますので、そういった事をどういうふうにしていくかというふうな事は、これは研究代表者からもかなり強い要望を受けておりますので、そこは答えを出していかないとと思っておりますけれども、只、このモデルで長期間の計算はちょっと現実的には出来ませんので、そこは、かなり簡略化されたボックス的なモデルを作ってそういうふうなことに対する答えを見つけていこうというふうに思っています。

【 佐賀大学 有明海総合研究プロジェクト　准教授 速水 祐一 】
どうも有難うございました。あとコメントなのですけれども、１つがこういった非常に複雑なモデルを作っていく場合に、必要な現場付加のパラメータに関する情報が必要だという事は、これはよく言われるわけですけれども、同時に現場とモデルと両方やっている者からのお願いとし

て、モデルの方で現実的にこのあり得る範囲で、パラメータを変化させた場合に結果に対して非常に大きく効いてくるパラメータと効いてこないパラメータがあります。そういうモデルの側での、どのパラメータが結果に大きく効いてくるのかというそういう感度解析をして頂けると、これから現実に含めていかないといけないパラメータが何であるのか。こういうパラメータはあまり結果に大きく寄与しないから、だからあまり労力をかけなくていいと、そういう見通しがついてきますので是非やって頂きたいと思っています。

【 いであ(株)大阪支社　副支社長　堀家 健司 】
　それはモデルを作っているほうの基本でもありますので、当然、今、低次生態系のモデルに関しては最後のご説明したような底泥のモデルを組み込んだモデルについて出来た時に、いくつかのパラメータの何が一番よく効いているのか、そういう感度解析的にお示ししたいと思っています。

【 佐賀大学 有明海総合研究プロジェクト　准教授 速水 祐一 】
　それから、これは最後になるのですが、これは堀家さんに聞くべきかどうなのかがあるのですけれども、再生施策の効果を考える場合に、私が思うに基本的にはどのような施策を行った場合に、どのようなプロセスで環境が改善されるのかという定性的な見通しがついた上でモデルで定量的に評価する、或いは何年ぐらい改善されるのに時間がかかるのかという評価をする、そういうステップをとるべきだと思っています。ですからこの再生を考える場合はモデルとそれから再生施策に関する定性的な考え方、それがセットで示して頂けると非常に聞いている方は分かりやすい。その辺りどのようにお考えですか？

【 いであ(株)大阪支社　副支社長　堀家 健司 】
　多分、後でフォローされると思いますけれども、再生施策の再生シナリオをちょっと最後の方で図にお示ししたと思うのですけれど、色んな再生技術の開発があってそれがその生態系で色々影響があって、それから指標種、それが指標種の目標値に関連して、更にその目標値が達成した時に環境が変わった時に色んなメニューを提示するという様なお話をさせて頂いたと思うのですけれども、あの図の中には研究者がやるべき事、要はこのプロジェクトでやる事と当然行政が、この部分は関与するべきという点が当然入ってくるので、行政の方からのそういうニーズとか逆に出してもらったほうがいい場合が、このプロジェクトの中では余りたくさんは計算出来ないのですけれども、終わった後でも良いですので、ささやかな費用とそういうニーズを頂ければ対応できるというふうに思っているのですけれども。余り答えになっていないと思いますので…

【　コーディネーター　：　佐賀大学 理工学部 准教授　大串 浩一郎　】
　宜しいですか？

【 佐賀大学 有明海総合研究プロジェクト　准教授 速水 祐一 】
　はい。もし宜しければ、その JST のほうにニーズを提供された楠田先生の方からもひとこと説明して頂けると。

【 有明海再生機構 楠田理事長 】

今、ご指名を頂きました楠田です。今速水先生がおっしゃられた所の問題というのは、重々認識をしておりまして、堀家さんの方に圧力をかけ続けている状況にあると申し上げた方がいいかと思います。やはりコンサルタントの方にはコンサルタントの方の立場があって、大学で働いている者と状況が違いまして、あまり無理を申し上げられないという所もあって、色々課題はたくさんありましてこれも検討したいと思います。本来の所はこういう技術を実施した場合には、どれだけの変化が起こるかという事は当初から評価するという事にプロジェクトの中ではそういうふうに定められておりまして、最終的には実施しながらというふうには思っております。

【 コーディネーター ： 佐賀大学 理工学部 准教授 大串 浩一郎 】

それでは突然のご指名で申し訳ありませんでした。先程の速水先生のご質問とも関係するのですけれども、私の方から後で聞こうと思っていたのが、有明海再生のためにモデルというのをどういうふうに使っていくかというのがあると思うのですけれども、そこら辺の所の話に持っていって話をしたいと思うのですけれども、中嶋さんの方で先程ボックスモデルという話をしましたが、ボックスモデルだったら長期的な色んな変化に行けるという話で、今日の JST モデルだとかなり長期的なという話がありましたけれども、その場合はボックスモデルにならざるを得ないというお話がありましたけれども、その辺で何かお互いの協力というか出来ないでしょうか。

【 （財）九州環境管理協会 環境技術協会 中嶋 雅孝 】

そうですね、我々実はボックスにした理由の１つとして、やはり有明海というのは現地のデータが少ないというのがあります。多分今回も堀家さんは２００１年に集中して調査をやられていたと思うのですけれども、過去に遡った場合そういうデータが中々ない。現象を表したくても表せないからそれでもその経年的にそういうトレンドを含んだデータで大きな変化を現象を掴むというのも、今後将来の方向性を見る上では重要ではないかと、その時に実は、単年度のデータの危険性というのも実はあって、再現性の問題です。どれだけの変動を持っているかというのは、中々、多分これだけの詳細なモデルを作られていると言うことはパラメータの数と言うのは相当ありますから、パラメータの精緻化というのも非常に難しいと思います。それだったら少しその辺は犠牲にしても大きな所をボックスを見たら、計算時間でいいますと我々がやっているのは１ケース５分位で、３０年位はすぐ出来ますので、色んなトライをする方がそういう施策を検討する上ではある意味効率的かなという感じもします。

【 コーディネーター ： 佐賀大学 理工学部 准教授 大串 浩一郎 】

施策の検討的にはボックスモデルは効率的だということなのですけれども、では逆にボックスモデルはこういうことは無理だという事は・・・

【 （財）九州環境管理協会 環境技術協会 中嶋 雅孝 】

それはもう、空間的な解像度というのは圧倒的に違いますから、ピンポイントで評価しようというのはかなり難しいと思います。ですので、そういうメッシュモデルといいますかそういう者

との組み合わせ、ここに問題があるのだという所をそういうふうな精緻なモデルでやるという、正に、両輪だと思います。

【　コーディネーター　：　佐賀大学 理工学部 准教授　大串 浩一郎　】
分かりました。大和田先生、又ちょっとお聞きしたいのですけれど、モデルを使って有明海再生にどういうふうにモデルを使っていくかといった時に、生物の話になってくると、どういった事に使ったらいいかなというご意見があれば・・

【　熊本県立大学　環境共生学部　教授　大和田紘一　】
私の方は、実は、モデルをどのように使ったらいいかなという事を後でお聞きしようかと思っていたのですが、やはり大きく見て生物相互間の関係そういう事を、後は、ある環境がどちらかにシフトした場合に、将来を予測とかそういう事にはやはりモデルというのは非常に威力があるなという事を感じています。ですから我々もこのプロジェクトの一番始めに、楠田先生の方から有明海全体を俯瞰的に見て、ノリが非常に、もし、非常にノリの養殖というのが有明海に強い影響を与えているのだとしたら、それを減らした場合に他の生物がどうなるか、その生物相互間の関係、そういう事に是非答えられるようないいものを作って頂きたい。

【　コーディネーター　：　佐賀大学 理工学部 准教授　大串 浩一郎　】
だいぶ時間が過ぎておりますけれども、折角ですので、会場の方からも。

【　質問者：元熊本県水産試験場　石田　】
九環協さんが、窒素の供給と消費についてお話して下さったのですが、この中で、例えばこの九環協さんの話ですと、窒素の供給量というのはトータル窒素で測っておられます。恐らく、だから、窒素が増えればノリが増えるかもしれないというのは期待できるし、アサリの収穫量が期待できるのではないかというお考えがあると思うのです。ところがこの窒素がどういう形で供給されるのか、無機体窒素で供給されるのか、有機体窒素で供給されるのかという事が問題となって来ると思います。今、有明海の諫早湾から大牟田沖に線を引っ張って定点で取ります。私は諫早湾内の中の水を、海水を分析したのですけれども、それは無機体窒素がもの凄く低いのです。有機体窒素が大変に高いのです。ですから有明海のノリ不作とか、それから漁獲量の減とか、中層魚のエツなんかは痩せているのです。昔と比べたらずいぶん痩せている。この現象というのはプランクトンが植物プランクトンの発生量というのがずっと低くなっているのではないかと私は考えております。昔は、私は在職中に測定した事がありますけれども、そうしますと、この諫早湾沖の有機体窒素、それから無機体窒素比を昔と比べてどうなるか、データがないから比べる事は出来ないと言えばそれまでなのですけれども、そこは確かに無機の栄養塩は減少しているのです。ですからこれは今と考えて、全窒素供給量というものは変わってないのではないかという事になりますと無機体窒素が増えている。実際に今、海中の中の無機体窒素は非常に高くなっています。今、ボックスモデルとか、再生のために何が必要かという事は話し合われていますが、九環協さんもそうですが、他の研究者の方々も有機体窒素と無機体窒素という概念が殆んど入ってきていないのです。他の研究者の方も。これを入れる必要があります。無機体窒素と有機体窒素

の構成比はどう変化しているのかという事はこれは入れておく必要があります。そういうふうにしてボックスモデルを考えていかないといけない。それから調整池から泥が、泥水が出ています。非常に腐った水が。今、沈殿層化している調整池の中というのは、本名川河口域の泥はそんなに汚れていないです。調整池の中で汚れていて排水溝近くでもの凄く汚れているわけです。中の諫早湾もそういう状態です。ですからこの泥を、泥水を、腐った泥水をどういうふうに抑えていくのかという事をまず早急に考えないと、このボックスモデルとか何とか、そういう作業は生きて来ないことになります。ですから泥水をどういう泥水が出ているのかという事を押えておく必要がある。早急にやらなければいけない。これはあまりゆっくりしてはいけない。他の研究者の方々もそういうふうに言えます。特に佐賀大学においては、それをきちんと、押える必要があります。

【　コーディネーター　：　佐賀大学 理工学部 准教授　大串 浩一郎　】

はい有難うございました。だいぶ時間が押しておりますので、今日講演頂きました堀家さん、コメンテーターの大和田先生、速水先生、中嶋さん。それから最後に一言ずつお伺いしてから終わりにしたいと思いますので、堀家さんの方からお感じになった事とかあれば。

【 いであ(株)大阪支社　副支社長　堀家 健司 】

今日は長時間有難うございました。またこの後の総合討論でも貴重な御意見頂きまして、大変有難うございました。私達のやっていることは、非常に今日、これだけ大勢の方が集まって頂いて、非常に重要な事をやっているように、使命感に今、改めて感じた所です。これからも頑張っていきますので、どうぞ宜しくお願い致します。

【　熊本県立大学　環境共生学部　教授　大和田紘一　】

今日は大変貴重なシミュレーションモデルの全体像を見せてもらったという事が、かなり良くやられているという印象は受けました。私としては、私は八代海の方の仕事が専門で環境保全やっておりますので、是非、今日来ておられる会場の方々に有明海と同時に八代海の方も興味をもって頂きたいと思います。

【 佐賀大学 有明海総合研究プロジェクト　准教授 速水 祐一 】

最後にモデルというのは、中々一般の人には分かりにくい物だと思うのですけれども、ひとつ皆さんに良く理解しておいて頂きたい事があります。というのはモデルによって、作ろうとしている目的が違うわけで、一概にどのモデルが良いどのモデルが悪いとは非常に言いにくい。例えば、今日、中嶋さんの方から発表があったようなモデルは、これは冬のノリ養殖の適切な管理という意味では、ある意味非常に良いモデルになっていますけれども、只こういうモデルでもって長期的に有明の底質がどう変化するか、貧酸素がどう変化するか、そういうものを評価できるものではないですし、それから、さっき堀家さんの方で発表があったモデルでも１年間の中での細かい変動は非常に精度良く再現できるのですけれども、先程もご説明があったように、長期的に底質改善などをした場合に、どのように回復していくかというのを評価しようと思うと、ああしたモデルでは中々難しいものがある。そういうそのニーズに合った其々違ったモデルがあるという事を理解して頂きたい。それでどういうモデルが必要なのかというニーズをやはり出して頂き

たい。そういう技術に合わせてモデラーの方は、モデルを開発していく事ができますけれども、やはりニーズの提供をして欲しい。

最後に宣伝になりますけれども、佐賀大学の方では、中々生物の方は難しいと、まずはあまり成長したりしない物の方が取り扱いが良いという事でまずは流れ、その次に懸濁物のモデルの方を今作ろうとしています。特に有明海の底質細粒化、その中でも有明海奥部の大浦沖付近の底質の細粒化の解明を目指して、研究を進めておりますので、今後とも宜しくお願いします。

【　（財）九州環境管理協会　環境技術協会　中嶋 雅孝　】

今日は素晴らしいモデルをご紹介して頂きまして、私も勉強になりました。私ども最初に申し上げましたように、漁業生産の回復を願ってという事で、それに向けて、速水先生もおっしゃったようにそちらに目標を置いて、このモデルを今後も改良していきたいと考えております。どうも有難うございました。

【　コーディネーター　：　佐賀大学 理工学部 准教授　大串 浩一郎　】

今日は、堀家さん、それからコメンテーターの大和田先生、速水先生、中嶋さん、どうも有難うございました。今日、私も初めて JST モデルを、全容を見る事が出来て本当に良かったなと思っています。これを機会にこういったモデルを使ったら何が出来るのかなという事を研究者を始め、市民、漁民、色んな人達が真面目に考えて、それに向かってこういう事をやって欲しいという事をぶつけるような場というのが今後も出来てくればいいのかなと思っています。これをもちまして、総合討論を終わらせて頂きます。