NPO 法人有明海再生機構
平成21年度有明海研究意見交換会

開催日　平成 21 年 5 月 24 日(日)
於　佐賀大学理工学部 6 号館都市工学科大講義室

開催趣旨

当機構が、平成 19 年度及び 20 年度に助成、委託した研究の成果発表と、今年度、佐賀県から受託を予定している「有明海再生方策検討事業」で検討の対象となる有明海湾奥部の再生策についての意見交換会を開催しました。

【参考】有明海再生方策検討事業とは

これまでの研究や取組で提案されている再生策の具体例を実施した時の潮流の変化、赤潮・貧酸素水塊の発生状況などについて数値解析などにより検証を行い、地域毎の特性に応じた効果的な再生策を検討し、有明海湾奥部の再生に寄与するもの

NPO 法人有明海再生機構

平成 21 年度　有明海研究意見交換会

平成 21 年 5 月 24 日（日）
佐賀大学理工学部 6 号館

開会挨拶
理事長　楠田　哲也

只今ご紹介頂きました、有明海再生機構の理事長を仰せ付かっております楠田でございます。本日は日曜日というお休みの中、しかも非常にお忙しい中、この平成２１年度有明海研究意見交換会にご参加を賜りましたことを心よりお礼を申し上げます。

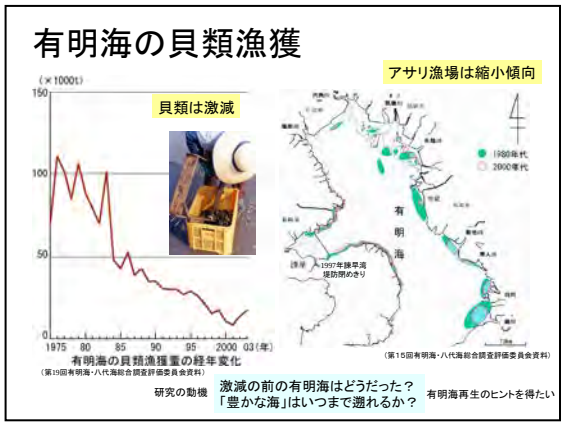
昨年度の有明海の水産は例年とほぼ同様でありました。低迷を続けております魚貝類の漁獲高も低い水準にあるものの、少し改善の兆しがあるように思える状況も出てまいりました。また、有明海を再生する為の調査研究事業も順調に進行しておりまして、佐賀大学の有明海総合プロジェクト、科学技術振興機構のプロジェクトも 5 年計画の最終年度を迎えるまでに至っております。環境省に設置されていました有明海八代海総合調査評価委員会は、法律の時限が到来しまして、休業状態になっております。一方、有明海八代海の総合調査推進業務として、調査研究のマスタープラン作りの委員会が発足しておりまして、再生目標に向けて検討結果が示され始めています。このような状況の中で有明海再生機構は有明海再生に関わります科学情報データベースの整理、再生技術のコンサルティング、有明海シンポジューム、さらに成層化に関します調査研究業務等を実施することが出来ました。これもひとえに皆様方のご支援、ご協力を頂きました賜物と感謝しております。この中で最も重要な事業の内の一つに、有明海研究の推進がございます。有明海再生機構の内部に干潟生産陸域分科会、潮流解析研究会等を設置いたしまして、実施してまいりました。合わせて少額ではございますがこれらに関します研究助成を実施することが出来ました。本日ご発表頂きますのは、このような調査や助成に関係したものと有明海再生機構が極めて重要と考えておりますシュミレーションモデルにつきまして、今日の午後、後半を小松先生の座長の元でいであの堀家さんと佐賀大学の浜田先生のご説明を頂戴して、皆様方と共に議論して頂ければと存じます。これら、今日の成果が有明海の再生のキーストーンとなることを心より念願しております。最後になりましたが有明海の研究活動に関して、研究や日頃の業務を遂行されたその成果を今日ご発表して下さいます皆様方に対し、お礼を申し上げて開会の挨拶とさせて頂きます。

有明海干潟における貝類漁場の地質学的研究
－豊かなアサリ漁場の地史を解明する－

九州大学大学院理学研究院　下山正一

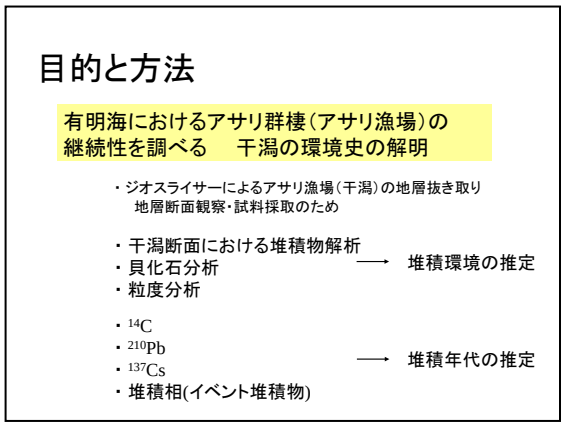
平成１９年度の助成研究と干潟分科会の成果を合わせて、このタイトルでお話しいたします。

まず、有明海の特徴とアサリ漁場のイメージをお話しするため、空中写真と１９８０年代の荒尾干潟のアサリ漁場でのアサリ採取トラックなどの写真を示します。まず、有明海の特徴です。ご存知のように、有明海は九州最大の内湾であり、西日本でも最大クラスの内湾です。全国一の約６ｍの最大潮位差が特徴で、広い干潟が発達しております。その他、流域に火山を沢山抱えて、有明海に火山性物質がたくさん集中する、という特徴も持っております。最近の有明海の抱える問題としまして、アサリを始めとする貝類の激減があります。アサリをはじめ、アゲマキ、タイラギも一緒に激減しています。最近は、やや小康状態になりつつあるとの事ですが、全体しての激減傾向は現在も続いており、はっきりとした回復傾向は見られておりません。



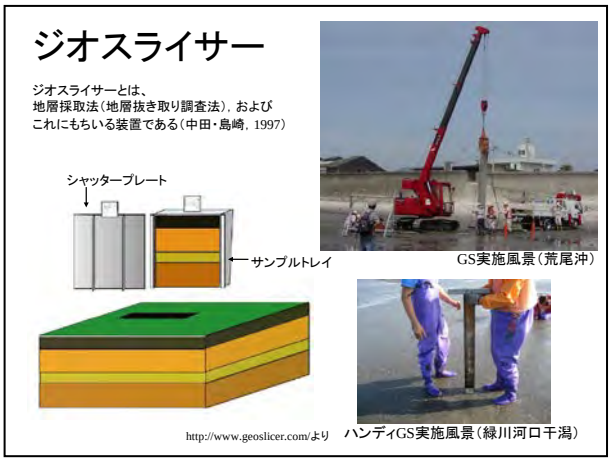
このスライドは有明海の貝類の漁獲量の経年変化の資料から借用しました。左の、アサリを中心とした貝類漁獲量グラフを見ると、１９７５年から２００３年までの間に貝類漁獲量が大きく落ち込んでいる様子が分かります。最近は少し上向いて来ているという程度で、依然として通常の水準に回復していないことがわかります。右はアサリ漁場の経年変化です。シンボル的になっていますが、１９８０年代の緑色の領域と、２０００年の水色の領域を比べますと明らかに大きく縮小傾向にあることがわかります。なぜ最近になってアサリなどの貝類が激減してきたのか、という疑問が私の研究の動機です。すなわち、アサリ激減以前の有明海の様子はどうだったか、豊かな海の象徴として、アサリ漁場はいつまで（どの時代まで）遡れるのか、ということをテーマに研究しました。その背景には、

有明海再生のヒントをつかみたい、基礎データとしてアサリ漁場が成立する条件を把握したい、という願望がありました。



目的と方法を説明します。目的は有明海におけるアサリ群棲の継続性を調べることであり、干潟の環境史の解明とイコールです。アサリの漁場とは、アサリが沢山棲息している場所＝群棲地ということになります。干潟の環境史をひもとくため、アサリ漁場である干潟を縦に調べます。私の専門は地層の研究です。干潟の地層を縦により深い側に調べて、含まれているアサリの貝殻化石や地層の情報を元に、時間をさかのぼって干潟の環境史を解明しました。

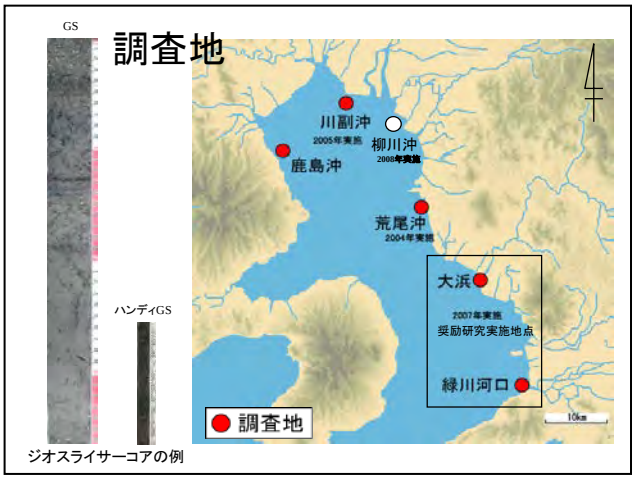
具体的方法として、ジオスライサーという、地層抜き取り装置を使い、アサリ漁場である干潟の地層をある深さまで抜き取ります。抜き取られた地層の縦断面を観察しつつ試料を採取し、その解析を行います。干潟環境の推定のため断面における堆積物の堆積物解析をします。貝化石の分析もします。粒度も大切ですので堆積物の粒度分析も行います。それから縦の地層断面の年代決定が必要です。地層の年代測定では、放射性炭素年代を通常使いますが、近過去に使うには誤差が大きすぎで精度が悪いので、鉛 210 年代やセシウム 137 年代を用いるほか、イベント堆積物を使います。イベント堆積物とは、地質学的な事件を示す地層のことで、今回は津波の堆積物です。こうしたものを使いまして年代を精度良く推定するという作業を行います。



最初に、主な手段となりましたジオスライサーについて説明します。ジオスライサーとは右に図示したような 2 枚のプレートを使った地層抜き取り装置のことです。今ではこの装置を使った調査方法をさします。右上の写真が通常のジオスライサーであり、干潟で用いるには、クレーン車や台船を使うため、大がかりです。原理は同じですが、右下のものはその小型版です。個人で持ち運びができるのでハンディジオスライサーと呼ばれます。

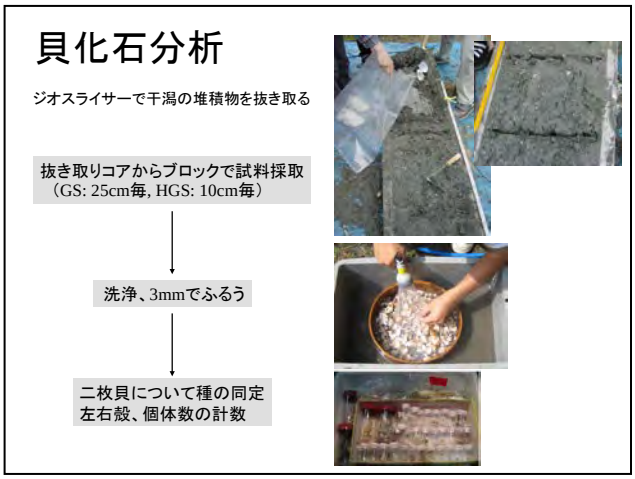
通常のジオスライサーは、クレーンで吊るしたバイブロハンマーで矢板状のサンプルトレイを干潟にドドッと打ち込んだ後、同様の方法でシャッタートレイをサンプルトレイに重ねて差し込みます。打ち込まれたサンプルプレートとシャッタープレートを２枚合わせ

て固定し、クレーンで一緒に引き抜くことでサンプルプレートとシャッタープレートの間の地層の縦スライスを採取することができます。特徴として、方位があり、円形ボーリングコアよりも容積が大きいので、海岸線に直交する方位の堆積構造観察と、まとまった量の堆積物を解析することができます。大学の研究ではこういう大型装置を頻繁に使う訳には行きませんので、主に右下のハンディジオスライサーを使い、人力のみで最深 1.5mまでの抜き取り調査を行いました。小型ですが、数多くやることにより試料量も確保することができます。



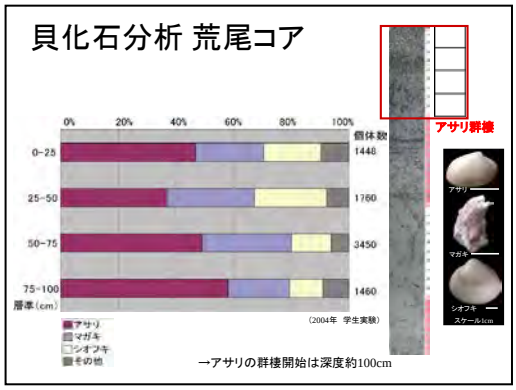
ジオスライサーコアの例

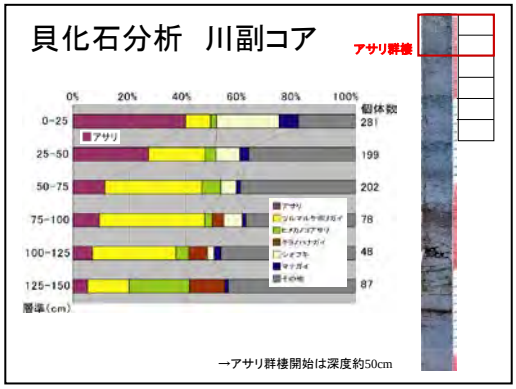
調査地点を示します。干潟分科会では２００５年度に有明海奥の鹿島沖、川副沖それから先行実施されていた荒尾沖のデータを解析した結果、ある傾向がつかめてきました。ただし、これらの調査地点は広い有明海の半分です。アサリ漁場として最も豊かな部分と言われている、緑川河口と菊池川河口干潟が抜けておりますので、助成研究ではこれらを付け加える調査を行い、データを集め、全体を解析しました。写真左側のうち長い方が大型のジオスライサーで引き抜かれた荒尾干潟の地層コアです。上が干潟表面です。このコアの場合、干潟表層から４ｍ弱の深さまでの地層が抜き取られております。短いものがハンディジオスライサーコアです。こちらは 1mちょっとの長さのコアが取れています。

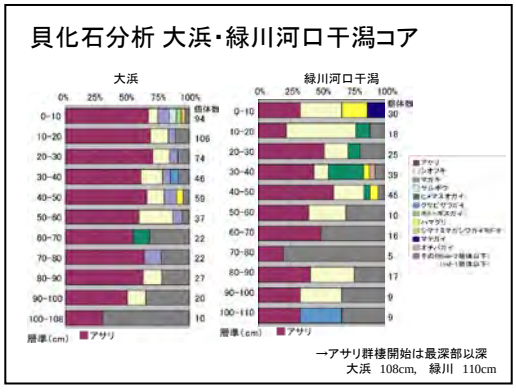


次にこれらのジオスライサーで採取したコアからのサンプリングと解析の様子を示します。これはサンプルトレイから堆積物を 25ｃｍの等間隔の深さ毎にブロックサンプリングをしている所です。堆積物中に含まれる貝化石分析、粒度分析、年代用試料の採取を行い、それらを注意深く解析しました。

ここでは貝化石分析を示しております。貝化石を含むブロックを 3mm 目のふるいで洗浄しながらふるいまして、ふるい上に残った全ての貝殻を調べます。特にアサリはアサリ漁場の直接の証拠となりますので慎重に扱いました。貝化石の種の同定、個体数カウント、サイズ分布の変化、それから後に出てきますが、貝殻を粉砕・脱灰してコンキオリンたんぱく質の分析などを行いました。





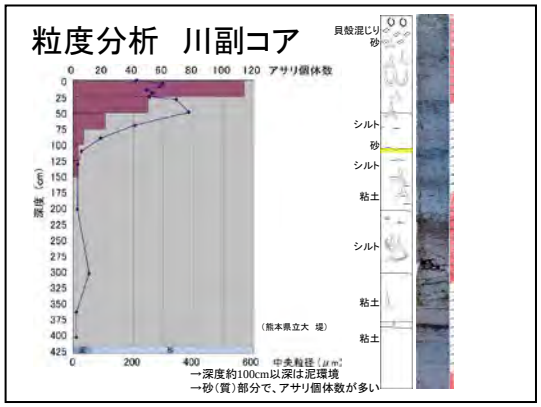


このスライドは採取された主な種の貝殻写真です。まずアサリ漁場ですから、コアからは当然アサリの貝殻が出ます。アサリとほぼ一緒に産出するのがその下のシオフキ、右側のサルボウ、有明海特有種のハイガイ、酸欠の海の指標種といわれるシヅクガイ、それから最近多いといわれているヒラタヌマコダキガイです。マガキも主要種ですがこの写真に入れておりません。これらがアサリ漁場の主な二枚貝貝殻として産出します。それ以外にもたくさんの種の貝が含まれております。

これは荒尾コアの解析結果です。荒尾コアの場合、干潟表層から深さ１ｍまでの砂層の区間にアサリ貝殻の集中部分、つまり群棲部分があります。その下はほとんど粘土層からなり、貝殻は非常に少なく、あってもマガキの破片です。1m深度の付近から表層まで貝の密集部分となり、その優占種としてアサリが主体をなしている事がわかります。次に多いのがマガキとシオフキです。アサリの群棲を考えますと、アサリが数多く出現しはじめる棲息開始深度は干潟表面下約 1mという事になります。

これが佐賀空港沖の川副コアの貝化石分析の結果です。荒尾コアと同様に調べました。荒尾コアと違い、アサリの個体数比率は最初少なかったのですが、表層に向かってしだいに比率を増して行き、表層近くで群棲状態になったことが分かります。川副コアでのアサリ群棲開始深度は、表層から約５０ｃｍということになります。

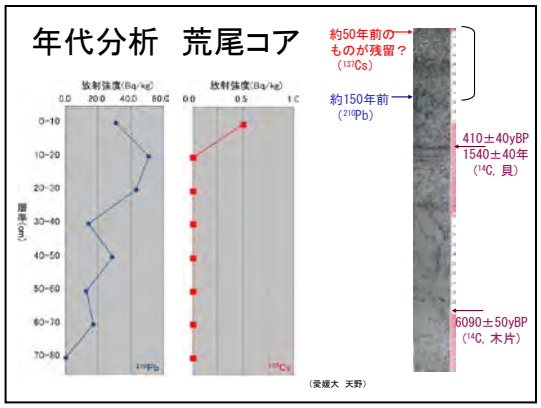
有明海南部で行った追加調査の結果を示します。大浜は玉名沖干潟、緑川河口干潟は熊本市沖の緑川河口干潟のコアです。これはハンディジオスライサーコアで少し短めなので、アサリが最初に出始めるところまでを完全にとらえているわけではありませんが、両方とも深度1m付近からアサリが多くなっている事がわかります。アサリの群棲開始深度は、これらのコアの最大長である、１０８ｃｍ、１１０ｃｍ（少なくとも）という事になります。



左のグラフが川副コアの粒度分析結果を示します。縦軸が深度、横軸に中央粒径値で示された粒度で、泥、砂の区分を併記しました。分析は熊本県立大学の堤先生がおこなっております。コアの最深部は泥のサイズですが、深度100cm 付近から急に砂のサイズになります。砂の増加とアサリの個体数の増大とがかなり良い相関を示しております。砂質部分でアサリの個体数が多くなる現象は、他の地点全てに見られた現象です。同様に、アサリ群棲部分の下位はほとんど泥の状態であることも共通します。これにより、現在のアサリ漁場は砂の底質と関係していること、アサリ群棲以前には泥干潟あるいは泥質の海底環境だった事がわかります。

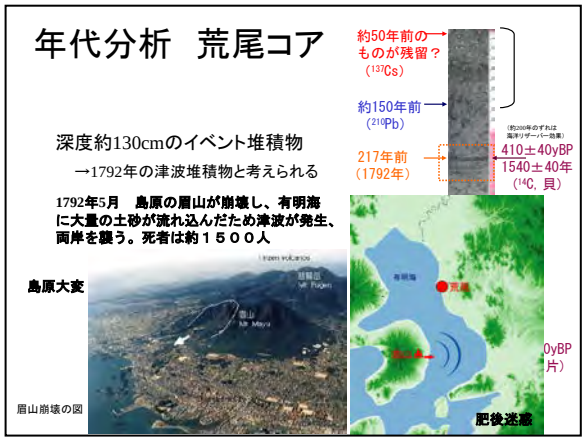
これは近過去を探るためのさまざまな年代分析の方法を示しております。地層の年代測定の主要手法である放射性炭素年代法は、Ｃ１４の半減期が５５００年もありますので、今回のような研究、つまり数百年前や数十年前という若い時代を扱う場合、３０年とか８０年という誤差範囲の中に変化した年代の全てがすっぽり入ってしまうため、年代がきちんと決まりません。それに対し、鉛 210 やセシウム 137 といった放射性同位体を使いますと、鉛 210 は半減期が 22.3 年ですので数 10 年単位で測定可能です。セシウム 137 は人類が大気圏で原水爆実験をすることによって人工的に生じた放射性元素です。セシウム 137 のピークは原水爆実験のピークである１９６３年のイベントをしめします。これらを用いて１００年、数十年、数年というオーダーの中での解析が十分可能です。

さらに、今回はイベント堆積物として津波堆積物を用いました。イベント堆積物の存在は津波発生年を表しています。これらを組み合わせて用いることによりまして近過去のかなり精度の良い解析を行うことができます。

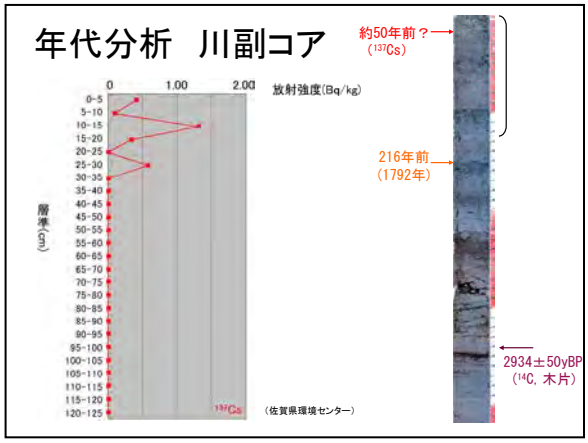


荒尾コアの年代分析の例を示します。まず左の二つのグラフのうち、右側がセシウム 137 のピークを求めたもので、最上部にピークが見つかりました。これが 1963 年つまり約５０年前と仮定できます。さらに、左のグラフは深さにおける鉛２１０の強度分布を示します。空中

で生成され、堆積物中で崩壊するので、表層で最大強度になるはずですが、ここでは減っております。表層 10cm は生物による堆積物の攪乱が多いので、これ以外に注目します。最上部の値を除外すると、鉛２１０の強度は深さ方向にしだいに減少して行き、７０cm から８０cm の所でバックグラウンドと同じぐらいになります。堆積速度からの年代とバックグランドまでの減衰年代から 80ｃｍ深度が大体１５０年前となります。次に、イベント堆積物ですが、深度 125ｃｍ付近に数枚の砂の薄層からなる特徴的な縞模様があります。これが津波堆積物です。まず、この部分の貝殻を使って放射性炭素による年代測定をしますと西暦１５４０年位という値が得られました。貝殻は海水中の炭酸を固定したものなので、海洋リザーバ効果で貝殻の年代が 200-300 年古く出ます。補正すると西暦１７４５～１８４５年位になります。西暦１７６０年前後の津波という事になりますと、有明海では１７９２年に津波が発生しております。この津波とは、島原の雲仙岳眉山での火山爆発により山体崩壊が起こり、有明海に大量の土砂が一気に流れ込んだ為、津波が発生して、島原と対岸の肥後の両岸を津波が往復して襲い、津波被害が生じたものです。有明海の津波の発生はこのときしか知られておらず、年代的によく一致するので、これは１７９２年の津波堆積物だろうと解釈できます。

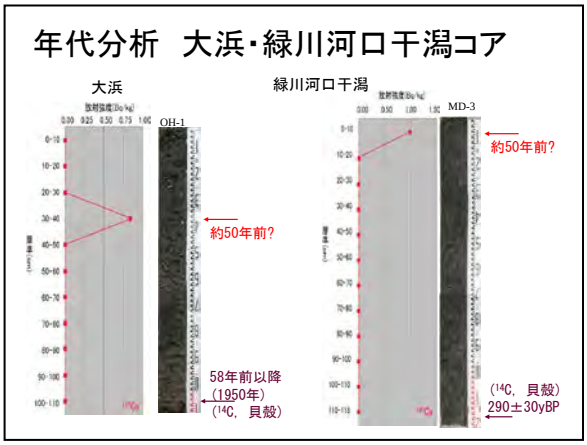


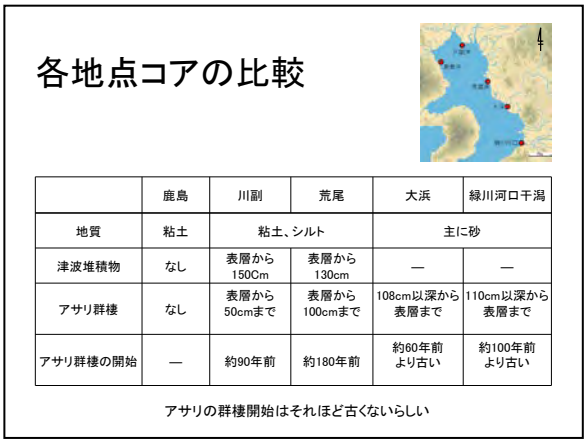
このときの傷跡は現在も残っております。これは北側から見た現在の眉山の俯瞰図ですが、眉山の東斜面に半円形に土砂が崩れた場所がみられます。ここから崩れた大量の土砂が一気に有明海に流入して津波を起こしたと思われます。島原外港では流れ出した土砂が現在でも多くの島を作っております。原因は島原側にあったのですが、発生した津波が往復して肥後側にも被害が拡大したことで、島原大変肥後迷惑といわれております。肥後迷惑津波イベントという言い方が出来ると思います。したがってこの津波イベントが２１７年前の、１７９２年の時間マーカーになり、正確に年代が決まります。



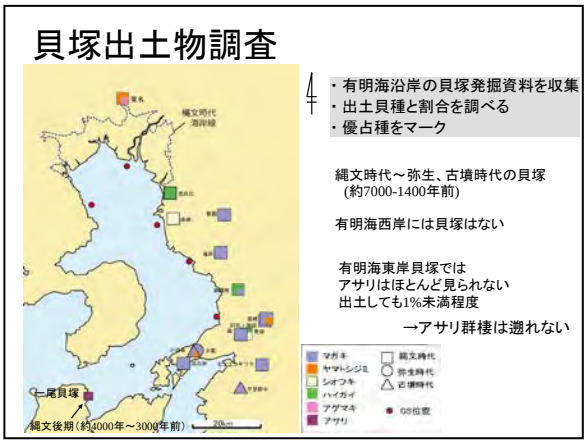
同様に川副コアにも津波イベントの堆積物がみられます。さらにセシウム 137 のピークが示す 1963 年の年代マーカー入ります。

さらに他のコアでも鉛 210 とセシウム 137 の年代マーカーと補助的に放射性炭素年代を





	鹿島	川副	荒尾	大浜	緑川河口干潟
地質	粘土	粘土、シルト		主に砂	
津波堆積物	なし	表層から150Cm	表層から130cm	—	—
アサリ群棲	なし	表層から50cmまで	表層から100cmまで	108cm以深から表層まで	110cm以深から表層まで
アサリ群棲の開始	—	約90年前	約180年前	約60年前より古い	約100年前より古い



使っております。

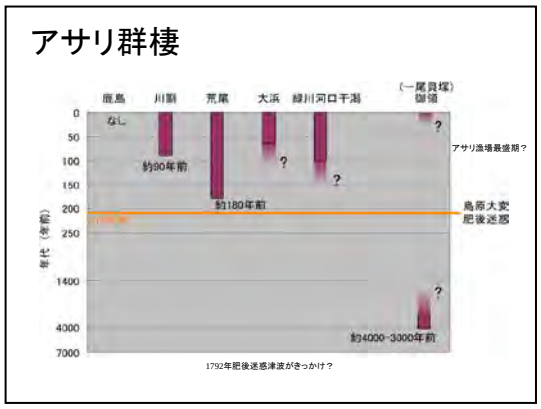
大浜と緑川河口コアでは短いため、津波堆積物まで達しませんでした。津波イベントより若い地層のみ検出されました。

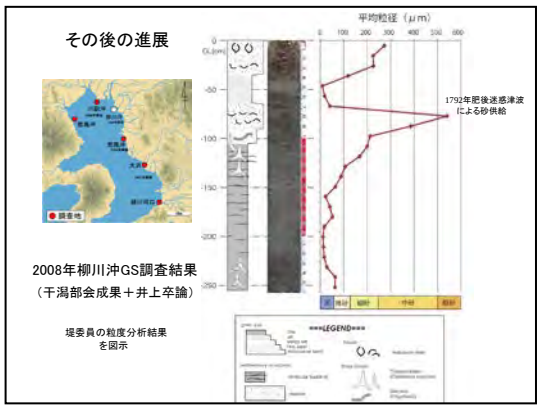
この表は各コアの結果を比較したものです。鹿島では津波堆積物は無く、アサリもありませんでした。アサリの群棲開始年代は、川副コアでは表層から６０cm で、９０年前、荒尾は表層から１００cm で、約１８０年前、大浜では６０年前より古い、という結果になりました。

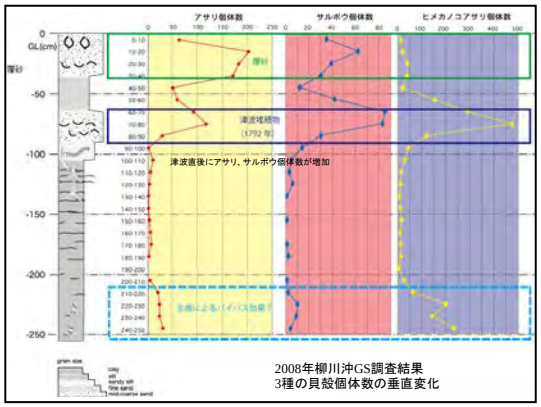
これらの結果は、アサリの群棲開始年代がそれほど古くないことを暗示しております。アサリが、どうやら最近になって有明海で生息環境を獲得したのではないかという疑いが濃厚になりました。思いがけない結果に、更に昔に遡ってしらべる必要が出てきました。

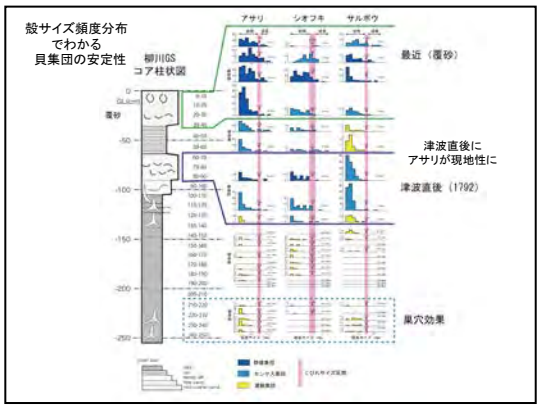
そこで、貝塚の出土物調査を行いました。ご存知のように貝塚というのは縄文時代から弥生時代を中心に、貝殻や獣骨など食べかすや壊れた土器などのゴミ捨て場がマウンド状に形成されたものです。アサリを食べていれば貝塚で検出できるはずです。そういった場所は有明海沿岸に数多くあり、特に東岸に沿って分布します。貝塚の発掘記録は公表されており、丹念に調べるとアサリの有無がわかります。凡例で四角が縄文時代、丸が弥生時代、三角が古墳時代の貝塚です。有明海沿岸の貝塚の大部分は縄文時代のものでした。マガキを主体とした貝塚が多く見られますが、シオフキの主体の貝塚やハイガイ主体の貝塚もあります。佐賀では、東名遺跡の大規模貝塚が最近発見されました。東名貝塚はヤマトシジミ、ハイガイ、アゲマキが主体です。アサリは出ておりません。当時の海岸線の位置は現在よりも奥にあり、海に近い場所にあったことがわかります。調査の結果、有明海西岸に有力な貝塚はなく、東岸の貝塚ではアサリは殆ど産出しておりませんでした。出土しても１パーセント未満であり、アサリの漁場と言えるほどのアサリ群棲は少なくとも古墳時代以前にはさかのぼれないことがわかりました。ただし、１

箇所だけ例外があります。有明海湾口部の天草下島にある一尾（ふとお）貝塚です。ここはアサリ主体の貝塚です。









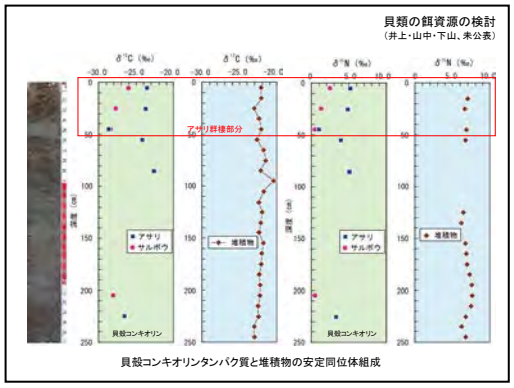
アサリ群棲の様子をまとめて示しました。アサリは有明海湾口部でのみ、縄文時代後期の４０００年、３０００年前には既に群棲しておりました。しかし、それより内側の有明海には、古い時代にアサリ群棲の兆しがありません。西暦１７９２年（２１７年前）の肥後迷惑津波以降になると群棲が確認されるようになります。肥後迷惑津波は干潟を大きく乱したことがわかっております。アサリの群棲がこれ以降ですので、これがきっかけになった可能性があります。ここまでが助成研究の結果わかったことです。

その後の進展として、昨年度の干潟分科会の調査が柳川沖で行われ、更にこの知見を強化する情報が増えました。その成果の一部を使わせて頂きますと、柳川コアでは、表層から１ｍ下に肥後迷惑津波が検出されました。粒度分析では砂のピークが２つあり、下のピークが津波イベントに一致していることがわかりました。この場所は津波の後一旦泥がちになりますが、上の砂のピークである、最近の覆砂による砂部分にアサリの群棲が認められます。

アサリ、サルボウ、ヒメカノコアサリの貝殻個体数の深度別分布を示しました。ヒメカノコアサリは干潟より深い所に棲息する貝なので、津波で流されてここに堆積したと考えられます。この貝殻が貝殻質砂の主体をなしております。この部分のアサリとサルボウの貝殻は津波の後、砂に潜り込んで混じった物です。津波後一旦泥が優勢になりますが、最近の覆砂の影響でアサリとサルボウが戻っています。覆砂はかなり効果がありそうです。

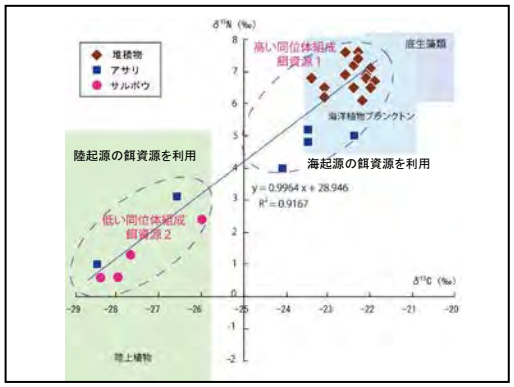
次のスライドは貝殻のサイズを調べたものです。貝殻のサイズを計測して、殻サイズ分布

形を描くと、群集の安定度合いがわかります。貝殻があるだけでなくそこで大人まで成長できたかどうかがわかります。アサリは津波直後には子供の小さな個体しかいないの、アサリ群集は不安定だったようです。最近は小さな個体と大人の大きな個体がそろうようになりました。覆砂によりアサリが群棲し、繁殖して再生産が可能になった状況を表しています。



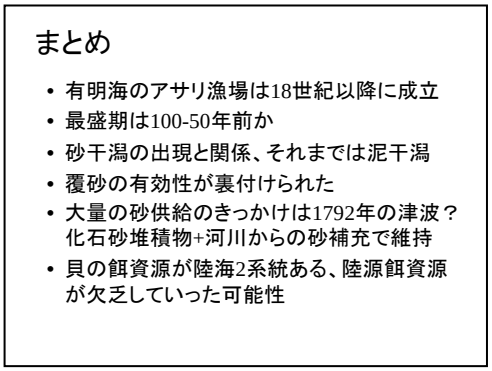
貝殻コンキオリンタンパク質と堆積物の安定同位体組成

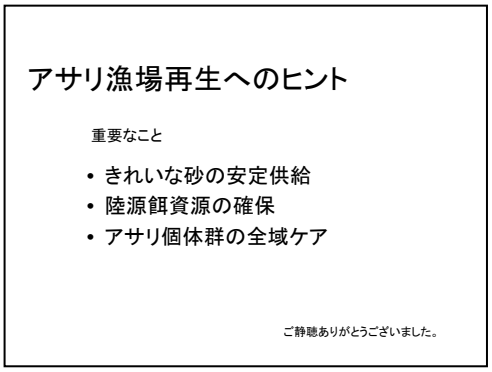
最後に、餌の問題を調べました。貝殻をつくる有機物にコンキオリンタンパク質があります。コンキオリンタンパク質は貝の体の一部で、同位体比は餌を反映します。コンキオリンタンパク質を使ってその中の炭素と窒素の安定同位体比を調べました。津波以後のアサリの群棲部分を赤線の四角で囲いますと、そこの部分で明らかな傾向が見られます。それは深い部分から表面に向かっての軽い炭素同位体から重い炭素同位体への変化です。窒素でも同様に軽い同位体から重い同位体への変化が見られます。それに対して堆積物は-２０‰前後の値を示し、縦方向では変わりません。窒素も同様です。これらは海洋プランクトンとほぼ同じ値です。



しかし、貝殻の中を作っているコンキオリン蛋白の組成は変化しております。この図は貝の餌事情を示します。縦軸に窒素の同位体比を、横軸には炭素の同位体比をとっております。炭素同位体で見ると堆積物は-22～-23‰付近にひとかたまりになります。しかしコンキオリンタンパク質の炭素同位体比と窒素同位体比は大きく変化しております。サルボウガイの変化は3‰程度ですが、アサリは下から表層にかけて炭素同位体比が-28.53‰から-22.53‰まで 6‰も重くなり、窒素同位体比も 0.53‰から 5‰付近まで変化し、重くなっております。内湾の餌資源には陸起源の物と海起源の物があります。低い同位体組成をもった餌資源が高等植物を表し、陸起源で、森林土壌から由来します。高い同位体組成を持った餌資源は海起源の物で、海洋プランクトン由来です。森林で生産され、川を通して陸から内湾に供給された有機物と海で生産された有機物があって、貝は両者を餌資源として利用しております。同位体比が上位に向かって重くなる傾向は、最近になって陸起源の餌資源が枯渇あるいは不足してきたことを物語ります。

まとめです。有明海のアサリ漁場は古くさかのぼれる物ではなく、どうやら１８世紀以降になってはじめて成立したようです。最盛期は１００年前とか５０年前というようなかなり最近であることがわかってまいりました。砂干潟の出現が密接に関係しています。そ





れ以前の有明海にはほぼ泥干潟が広がっている状況です。覆砂の有効性も砂との関係から裏付けられました。有明海に大量の砂を一斉に供給したきっかけは、１９７２年の肥後迷惑津波ではないかという印象を強くしております。砂泥干潟を巻き上げて泥分を運び去り、砂を残置したと考えております。その時の砂が砂質干潟としてのこり、その後の河川からの砂の補充で現在までアサリの漁場が維持されてきたのではないかと考えております。餌資源は海起源と陸起源のものの２系統があるようです。しかし最近にかけて陸起源の餌資源が欠乏してきた可能性があります。

今この研究の結果得られたアサリ漁場再生への重要なヒントとして、きれいな砂の安定供給、陸起源の餌資源の確保、アサリ個体群について有明海全体でのケアが必要であるという事がわかりました。ご清聴有難うございました。

【質疑応答】

〔質問者：山本〕

山口大学山本と申します。陸起源餌資源というのは具体的にどういったものですか。アサリはそういったものとどう関っていくのですか。

〔九州大学大学院理学研究院　下山正一〕

具体的な内容としましては川の中の流動有機物と考えられます。河川の中でこういう数値を表すのは、高等植物起源の腐植土壌ですので、そういったものが有明海に入ってきている可能性もあります。そのような高等植物起源の分解産物が海の中に入り込んで貝が餌として取り込み、体を作っている物質になっている。それに比べてこちらの高い同位体比を示す物は明らかに海棲プランクトンで、海起源というか、海の中での再生産を表しています。陸起源餌資源とは陸から流れ込んだ有機物に依存した餌と言えます。アサリに取り込まれた状態での話しです。

〔質問者：小松〕

九州大学の小松です。最後のスライドで綺麗な砂の供給と有りましたが、綺麗なという意味はどういう風なのでしょうかというのと、その砂の供給が無かったら、今ある砂が劣化

しているということだと思うのですが、リニューアルしないという事でまずいということになるのかと思うのですが、劣化というのはどんな感じなのでしょうか。

〔九州大学大学院理学研究院　下山正一〕

現象面しか見えていないのですが、沢山の砂が供給されてもその後、化石のような状態で堆積物として残ってまいります。それが綺麗な状態にある為には砂洲が常に潮流で動かされている必要があります。この場合何を想定しているかというと、堤先生が言われているような高いマンガン濃度です。高いマンガン濃度はアサリの阻害物質として働きますので、きれいでマンガン濃度の低い砂を供給し、成長を阻害する物質を薄めてやる必要が有るだろうということで、綺麗な砂、という表現をしました。基本的に砂の供給です。泥に吸着されがちなマンガンなどの成長阻害物質が砂によって薄まることによって、アサリの子供の定着が促進されれば、後は成長して大人のアサリではその影響は無くなります。そういった意味から綺麗な砂の安定供給、マンガンまみれでない砂というような意味合いで表現させてもらいました。

〔質問者：竹下〕

佐賀市水産課の竹下といいます。福岡、熊本の辺りアサリがかなり来ているので、佐賀市の沖のほうでもと考えていたのですが、今日は島原迷惑、肥後大変の後にしかアサリは出なかったということで、考えてみたらもう 1 回津波が起きないとアサリが復活しないのかなと非常に暗い展望なのですが、非常に欲張りな質問なのですが、色々先生が研究されて佐賀市沖でアサリを復活させる為にはどんなことが出来たら良いか、何かヒントがあったら教えて下さい。

〔九州大学大学院理学研究院　下山正一〕

これは分科会の方で調べられたことなのですが、アサリの密度が高い所というのはそういう砂洲の頂部にできております。ですからこういったところをアサリ漁場として開発しようとする場合とか流されてアサリが失われた場合、干潟の微地形を上手く利用して砂州に効果的な覆砂は一つの手段と思います。全体的な餌の量の確保というのと両輪になってくるものなのですが、砂に関して言えば、砂州の微地形をつくるよう選んで砂を供給してやるというようなことも一つの手かと考えています。

〔質問者〕

今、砂を散布するという事でしたが、当然昔から砂の有る所には、アゲマキなり或いは貝はいました。しかし今日では諸々の障害で育っておりません。少し申し上げますとやはり有明海は内海ですから潮の流れを良くする事につきるのではないかという風に言われておるわけでございますが、一時的に昭和３０年前後には有明海を締め切ろうというのがご

ざいまして、当時出来なくなったと、或いは半分位に有明海に潮が入る事でやろうかと言う話も有りましたけれど、これもやらなかったわけでございますが、やはり潮の流れをいかにして良くするかという事が第 1 条件ではないかと思っているのでございます。私も小さい時から昭和の始めからアゲマキなり或いはアカガイ或いは色んなセッカと言いますかカキといいますかそういったものを取りに行っておりました。小学校に上がる前から行っておりました。やはり潮の流れが良い所には全ての魚、貝が育っているのでございます。それで忘れないことはやはり今もう干拓が全部湾内に出来上がってしまって、昔のような干拓ではございません。潮が出入りするような干拓が昔のように作っておりません。諫早湾内でもああいう風に締め切ってしまうと言うのが今の干拓でございますのでやはり私は今の干拓の外に完全に締め切らない、少しは入口を開けておいて、そこに潮を入れて又引く時はそこから潮が流れると、そういう潮の流れこれが非常に有明干拓の場合、昔あったのでございます。色んなものが釣れていました。そういうことでございますので、やはり水の流れを良くすること。私は県の農林部に調査しましたところ、住之江川、六角川がやはり締め切らなかったと言うことは、六角川が武雄と或いは牛津川の上流に毎日約８００トンの水が出入りしている。ということであそこの川は今であって河口堰をしていなかった。そういうことで海苔がいいわけです。そういった例もありますので、私は早く潮の流れを良くする工夫を考えるべきだという風に思いますがどんなものでしょうか。

〔九州大学大学院理学研究院　下山正一〕

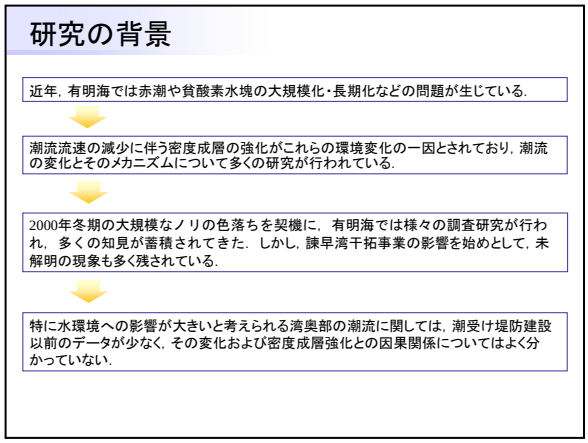
おっしゃる通りだと思います。色々バランスを取りながらそういった事を考えて今後に向けて改善して頂ければ有り難いなと思っております。これは基礎研究ですので今後さらに色んな形で発展研究ができればよいと思います。ご意見有難うございました。

以上

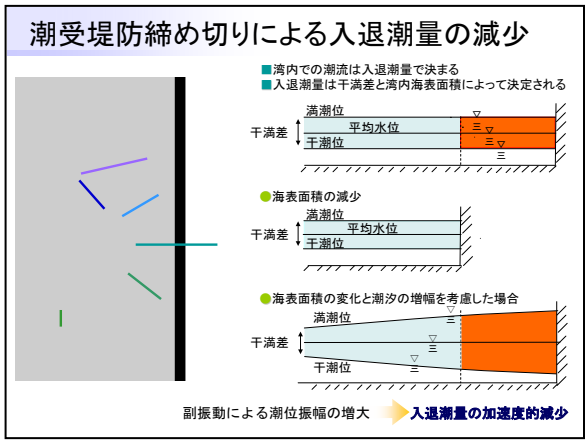
護岸建設による有明海の潮流減少と成層化について

九州大学大学院工学研究院　齋田倫範

本日は護岸建設による有明海の潮流減少と成層化についてと題して発表させて頂きます。宜しくお願いいたします。

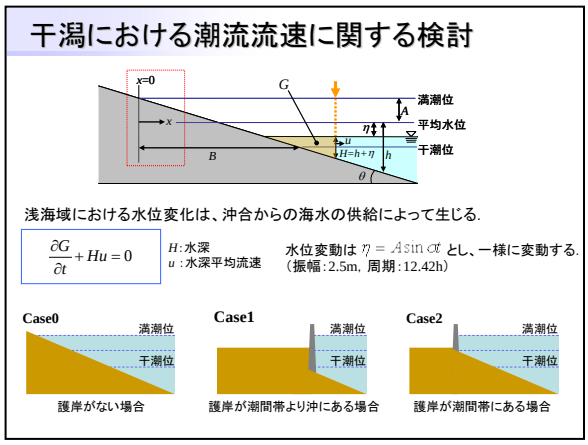


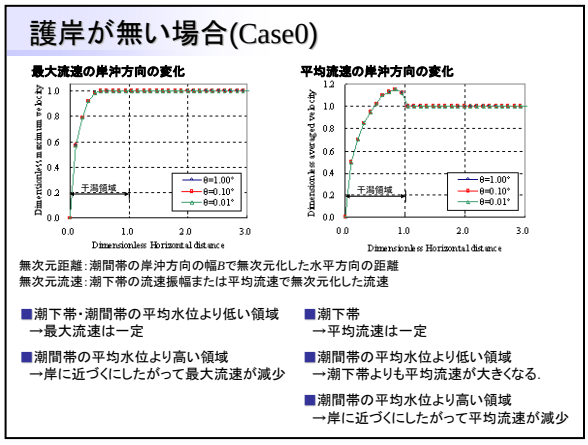
少し研究の背景に言及しますけれども、近年有明海では赤潮や貧酸素水塊の大規模化、長期化等の問題が生じております。この一因として潮流流速の減少に伴う密度成層の強化が指摘されております。そのため，潮流の変化、それからそのメカニズムについて様々な調査研究が行われておりまして、これまでに多くの知見が蓄積されてきたところであります。しかし、未だ解明されていない現象も多く残されていまして、特に有明海湾奥部の潮流に関しましては潮受け堤防建設以前のデータが少ないことも有り、その変化および密度成層の強化との因果関係というものは、まだ充分に解明されておりません。そういったことから北部有明海の潮流流速に着目してこれまで研究を行ってきました。



まず初めに潮受け堤防の締切りによる入退潮量の減少について簡単に説明したいと思います。海域に潮汐が生じますとそれに伴って潮流が生じるわけですけれども、それを模式的に表したのがこちらの図です。これが湾を横から見た図で左側が湾口、右側が湾奥ということになります。ここで、こちらの点線で書いた面に着目しますとこのオレンジ色で着色した部分の海水というものが、潮の満ち引きに伴ってこの断面を通過して出たり入ったりするということになります。これが入退潮量です。例えば下に示しますように、ここの断面で干拓等によって海が締め切られた場合につきましはこの断面を通過して水の出入りが無くなりますので、このオレンジ色で着色していたこの部分の入退潮量が減少するということになります。また、有明海のような内湾におきましては湾奥に行くほど潮汐振幅が増幅されますのでそれを考慮すると更に入退潮量が大きく減少することになります。そういったことを考慮しまして、潮受け堤防締切りによる入退

潮量の減少率を見積もった結果がこちらになります。潮受け堤防の前面ではそこから奥に水は入って行きませんので、減少率としては 100%となります。諫早湾口では諫早湾の約 3 分の 1 が締め切られていますので、約 33%減少することになります。大浦と大牟田を結ぶこのラインなのですが、局所的な流速の変化は生じるかもしれませんが、ここの断面をトータルしてみますと入退潮量の変化としては 0 ということになります。有明と長洲を結ぶラインでいくと 5.1%。以下はこのような値となります。この考え方と同じ考え方を用いまして浅海域における潮流流速における簡単な検討を行いました。

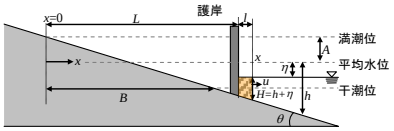




これは一次元的な検討なのですが、浅海域における水位変化というのは沖合いからの海水の供給によって生じるということで、こちらの式が成り立ちます。この黄色で示した地点に着目しますと H というのはこの地点での水深、U というのはこの地点における水深平均流速。この G というのが薄く黄色で色をつけた部分の面積ということになります。この考え方を用いまして護岸がない場合と護岸が潮間帯、すなわち干潟より沖にある場合、それから護岸が潮間帯にある場合、この 3 つのケースについて検討を行いました。ここで、座標につきましてはこのようにとっておりまして x=0 の地点が潮間帯の一番上端、岸側ということになります。

まず初めに護岸がない場合の結果をこちらに示します。左側が最大流速の岸沖方向の分布、右側が平均流速の岸沖方向の分布です。横軸は水平方向の距離なのですが、こちらにつきましては潮間帯の岸沖方向の幅で無次元化を行っております。縦軸はそれぞれ最大流速と平均流速なのですけれども、こちらにつきましてはそれぞれ沖側、すなわち潮下帯の値で無次元化しています。この左側の結果、最大流速の岸沖方向の分布から潮下帯および潮間帯の平均水位より低い領域、すなわち x で見ますと 0.5 以上の領域におきましては最大流速が減っているなとわかります。潮間帯の平均水位より高い領域 0 から 0.5 の領域では岸に近づくにしたがって最大流速が減少しているというような結果になっております。一方、平均流速の岸沖方向の分布なのですけれども、こちらにつきましては潮間帯の平均水位より低い領域、すなわち x が 0.5 から 1 の範囲で潮下帯よりも平均流速が大きくなるという点で特徴的な結果が得られました。

護岸が潮下帯にある場合(Case1)



$$\frac{\partial G}{\partial t}+Hu=0$$

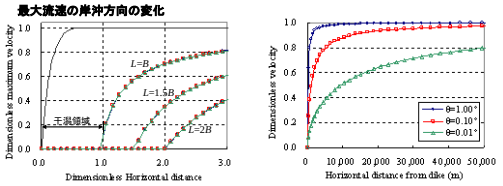
$$G=\frac{1}{2}(H+L\tan\theta)l$$

護岸が潮下帯にある場合の流速振幅 u_1

$$u_1=-\frac{A\sigma(x-L)}{x\tan\theta-A(1-\sin\sigma t)}\cos\sigma t$$

A：水位変動の振幅
σ：角周波数
l：護岸からの距離
L：潮間帯上端から護岸前面までの距離
h：護岸からの距離がlの位置の平均水深

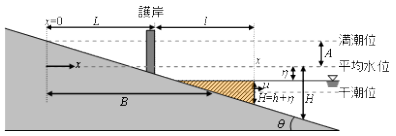
護岸が潮下帯にある場合(Case1)



無次元距離：潮間帯の岸沖幅Bで無次元化した水平方向の距離
無次元流速：護岸が無い場合（Case0）の潮下帯の流速振幅で無次元化した最大流速

■護岸の存在によって最大流速の大幅な減少が生じる.
■その減少量は護岸に近いほど大きく，護岸前面において流速は0となる.
■最大流速の減少量は護岸から離れるにしたがって小さくなる.
■干潟の勾配が緩やかであるほど護岸建設の影響が遠くまで及ぶ.

護岸が潮間帯にある場合(Case2)



護岸が潮間帯にある場合の流速u_2は汀線が護岸に到達しているか否かでことなり，

$$u_2=-\frac{A\sigma}{\tan\theta}\cos\sigma t$$

汀線が護岸に到達していない場合は護岸がない場合の結果と同じ

$$u_2=-\frac{A\sigma(x-L)}{x\tan\theta-A(1-\sin\sigma t)}\cos\sigma t$$

汀線が護岸に到達している場合は潮間帯より沖に護岸がある場合の結果と同じ

潮流流速の減少率

$$R_d=\frac{u_{before}-u_{after}}{u_{before}}\times 100$$

R_d：減少率
u_{before}：護岸設置前の流速，u_{after}：護岸設置後の流速

■護岸設置前の流速(Case0)

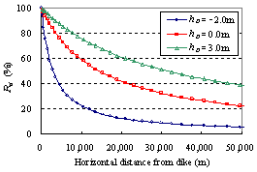
$$u_{before}=u_1=\frac{A\sigma}{\tan\theta}\cos\sigma t$$

■護岸設置後の流速(Case2)

$$u_{after}=u_2=-\frac{A\sigma}{\tan\theta}\cos\sigma t$$

$$u_{after}=u_2=-\frac{A\sigma(x-L)}{x\tan\theta-A(1-\sin\sigma t)}\cos\sigma t$$

護岸からの距離と流速の減少率の最大値との関係



潮汐振幅：2.5m，周期：12.42h，干潟の勾配：0.01°

汀線が護岸に到達していない時間帯の減少率　$R_d=0$

汀線が護岸に到達している時間帯の減少率　$R_d=\left(\frac{h_D+A\sin\sigma t}{h+A\sin\sigma t}\right)\times 100$　h_D：護岸前面の平均水深

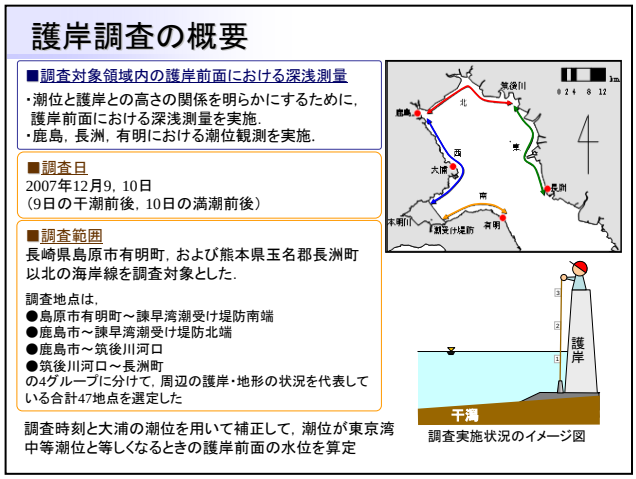
新たに護岸が設置された海域における護岸の法線方向の流速の減少率を考える際には，**平均潮位と護岸の設置位置との相対的な高さ関係が重要**と考えられる.

次に、護岸が潮下帯すなわち潮間帯よりも沖側にある場合についてです。状況としてはこのような状況になっております。護岸の設置位置は $x=L$ で表現しています。B は干潟の岸沖方向の幅です。この二つの記号が後程出てきます。

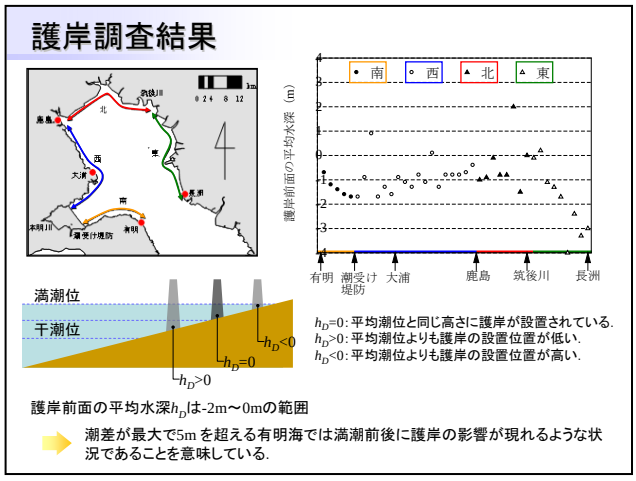
こちらに結果を示します。こちらの図が最大流速の岸沖方向の分布となっております。横軸と縦軸は先程と同様に無次元化をおこなっております。ですので 0 から 1 の領域が干潮時に干上がるということになります。こちらに $L=B$、$1.5B$、$2B$ の結果を示しております。また、この黒の実線で示しておりますのは、護岸を設置しない場合の結果ということになります。従いまして、この二つの差というものが潮流の減少を意味しております。こちらの結果より護岸の存在によって最大流速の大幅な減少がこのように生じていることがわかります。その減少量は護岸に近いほど大きくなりまして、護岸の前面で流速が 0 になることになります。右側の図につきましては、こちらの結果の中で $L=B$ の場合について、横軸を無次元化せずに具体的な護岸からの距離に直して作図しなおしたものです。青、赤、緑と有りますけれども、これは海岸の勾配、縦断勾配がそれぞれ異なっております。こちらの結果から見て取れるのは、干潟の勾配が緩やかで有れば有るほど護岸建設の影響が遠くまで及ぶということです。

続きまして護岸が潮間帯にある場合についてです。この場合は具体的な結果は無いのですけれども、基本的には汀線が護岸に到達していない場合というのは、護岸が無いのと同じ結果になります。一方、汀線が護岸に到達した場合につきましては先程の潮間帯より沖側、つまり潮下帯に護岸が有る場合と同じ結果になります。

これまでの結果を使いますと潮流流速の減少率が計算できます。計算の詳細につきましては省略いたしますけれども、結果としてはこちらのようになりまして、汀線が護岸に到達していない時間帯というのは護岸の影響は全く有りませんので、減少率としては 0 となります。一方、汀線が護岸に到達しますとこちらの式のような結果となります。この式の中に h_D という記号が入っておりますけれども、この h_D というのは護岸前面の平均水深ということになります。これはすなわち護岸が設置された場合、海域における流速の減少率と考える際に平均潮位と護岸の設置位置の相対的な高さ関係、これが重要になるということを意味しています。



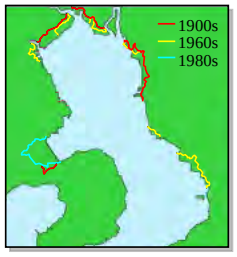
平均潮位と護岸設置位置の相対的な高さ関係が重要であるということがわかりましたので、護岸が現在どういった状況で設置されているのかというのを調べるために現地調査を行いました。調査方法としましてはいたってシンプルで、護岸の前面において深浅測量を行いました。調査日は２００７年１２月９日と１０日、調査範囲はこちらに示しておりますとおりです。東西南北の４グループに分けて４７地点で調査を行いました。



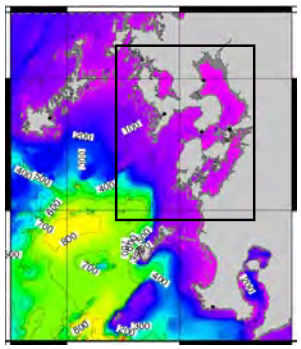
結果をこちらに示します。この横軸の色というのがこの調査範囲の色に対応しております。ですから有明からぐるっと時計回りに結果をプロットしていることになります。全体的に見てみますと大体護岸前面の平均水深 h_D というのはマイナス 2m から 0m という結果になりました。h_D が負の値というのは平均潮位よりも高い位置に護岸が設置されているということを表しております。0m の場合につきましては丁度平均潮位くらいの高さに護岸が設置されているということを表しています。ですのでこれから何が解るかというと、有明海においては満潮前後に護岸の影響が現れるようなそういった状況で護岸が設置されているということをこれは意味しております。これまでは単純な１次元の議論だったのですけれども、もう少し数値シミュレーションで具体的な検討をしてみようということで、数値計算を行いました。

数値解析の概要

POMの2次元モードを使用
・格子サイズ　10秒
・格子数　438×468
・水平渦粘性　Smagorinskyモデル
・干潟モデル　内山(2004)

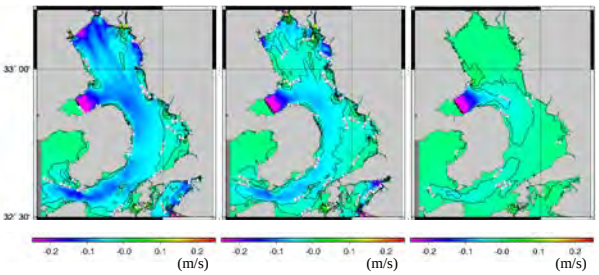


有明海の海岸線の変遷



使用したモデルはプリンストンオーシャンモデル、通称 POM ですが、POM の 2 次元モードで計算しました。格子サイズは 10 秒、格子数は 438×458。水平渦動粘性係数はスマゴリンスキーモデルで計算しました。干潟の計算につきましては内山(2004)の干潟モデルで計算を行いました。計算領域はこちらに示すとおりで、内側の実線の四角が計算領域です。少し見にくいのですが、有明海におきましてはこのように古くから干拓が行われています。今回の数値シミュレーションでは１９００年代、１９６０年代、１９８０年代と、現在として２０００年代の地形を用いまして４ケースの計算を行いました。

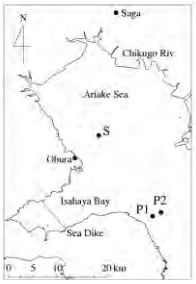
潮流楕円（M_2潮）の長軸長の変化



現在(2000)－明治（1900）　現在(2000)－昭和（1960）　現在(2000)
－諫早干拓前（1980）

結果をこちらに示します。こちらはM_2潮流楕円の長軸長の変化を表しております。それぞれ現在との差分で表しておりますので、右から見ていきますけれども右端が諫早干拓事業の影響ということになります。真ん中の図につきましては１９６０年代から現在にかけての変化、左端は１９００年代から２０００年つまり現在にかけての変化ということになります。有明海におきましては長年に渡って湾奥で干拓事業など行われておりますので、長期的に見ますとほぼ有明海全域で潮流が減少しているということがわかります。

観測概要と使用データ

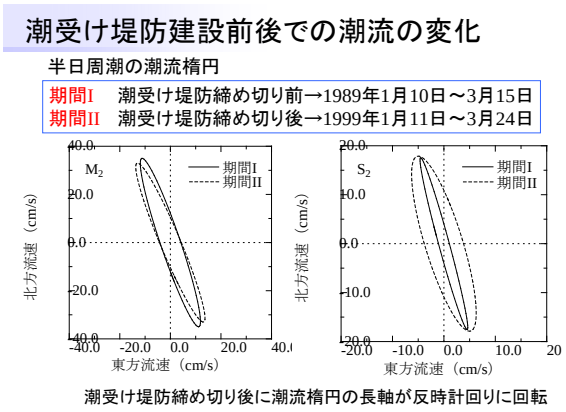


・佐賀県有明水産振興センターにより実施
・電磁流速計を用いて表層(-1.5m)の流向・流速を観測

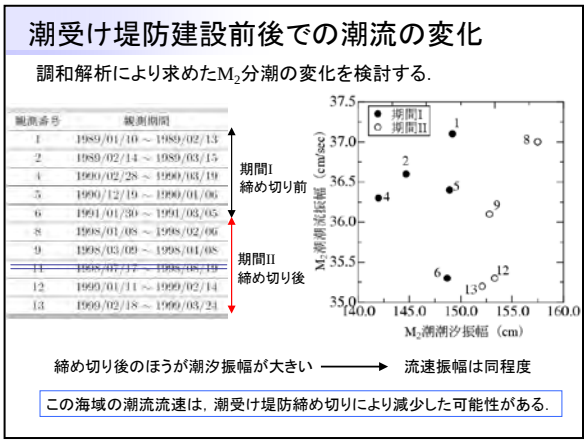
観測番号	観測期間	調和解析日数 (day)
1	1989/01/10 ~ 1989/02/13	29
2	1989/02/14 ~ 1989/03/15	29-1hour
4	1990/02/28 ~ 1990/03/19	15
5	1990/12/19 ~ 1991/01/06	15
6	1991/01/30 ~ 1991/03/05	29
8	1998/01/08 ~ 1998/02/06	29-2.5hour
9	1998/03/09 ~ 1998/04/08	29
11	1998/07/17 ~ 1998/08/19	29
12	1999/01/11 ~ 1999/02/14	29
13	1999/02/18 ~ 1999/03/24	29

期間I　潮受け堤防締め切り前→1989年1月10日～3月15日
期間II　潮受け堤防締め切り後→1999年1月11日～3月24日

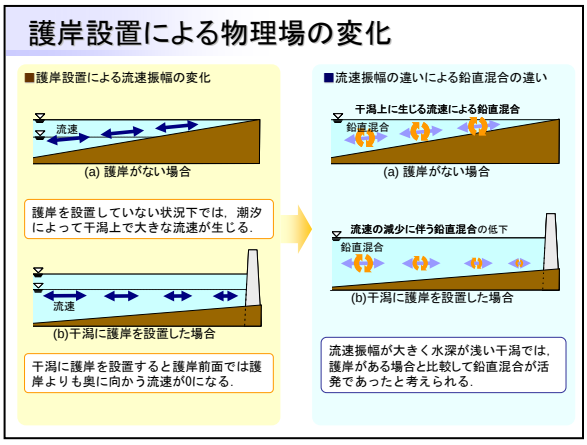
少しまた話題が変わるのですが、実際に有明海湾奥部、湾奥部の潮流が現地観測データから見たらどうなっているのだろうかということで、現地観測データの解析を行いました。使用しましたデータは佐賀県有明水産振興センターによって取得されたデータを使用させて頂きました。測点はこちらに描いております。



電磁流速計を用いて水深 1.5m の地点での流向、流速を測定したデータを使用しました。観測データとしてはこちらに示しております一連のデータがあるのですけれども、まず初めに潮受け堤防締切り前の期間 1 としてこちらのデータと、潮受け堤防締切り後の期間のこちらのデータを解析して比較を行いました。結果のうち半日周潮の潮流楕円をこちらに示しております。左側が M_2 潮の潮流楕円、右側が S_2 潮の潮流楕円ですけれども、点線で表示したものが締め切り以降です。この結果から潮受け堤防の締め切り後に潮流楕円の長軸が反時計回りに回転しているというような傾向が見られました。S_2 潮に関しましては潮受け堤防の締め切り後に楕円が膨らむような形の変化もしていると見て取れます。

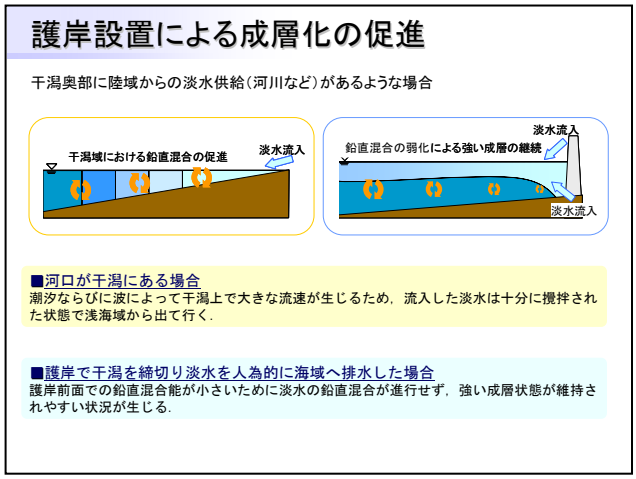


次に同じデータですけれども、こちらに示しておりますデータを調和解析しまして、その M_2 潮の潮流振幅とそれと同期間の潮汐振幅の関係をこちらにプロットしております。横軸が潮汐振幅で縦軸が潮流振幅です。この図を見てみますと、黒丸が潮受け堤防の締切り前、白丸が潮受け堤防締切り後のデータなのですけれども、例えば、潮流流速の振幅、潮流振幅が同程度のもの同士を比較しますと、締切り後の方が潮汐振幅が大きくなっているということがわかります。これは締切り後の方が潮汐振幅が大きかったにも関らず、潮流振幅は同程度の大きさでしたということになりますので、考え方によってはこの海域の潮流流速というのは潮受け堤防の締め切りによって減少しているという可能性があるということがいえます。少しばたばたと色んな話しをしてきたのですが、少しイメージ図を使ってこれまでの内容を整理してみたいと思います。



護岸を設置していない状況では潮汐によって浅い海域に大きな流速振幅、すなわち潮流流速が生じているということが示されました。一方、護岸を設置した場合につきましては、

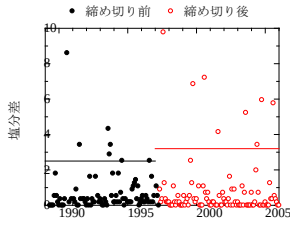
護岸前面で護岸よりも奥に向う流速が０となります。



また、その影響というのは沖側に影響するということが分かっているのですけれども、そうしますと、これはイメージ図なのですが、流速振幅が大きく水深が浅い干潟ですとか浅海域では比較的鉛直混合が活発であろうと推察されます。それに対しまして護岸を設置しますと、護岸の前面で流速が０になるのに伴って沖側の流速も減少します。それに加えて、干潟のような浅い海域が消失することになりますので、鉛直混合が弱まるということになります。そういった２つのケースに淡水を供給しますと護岸がない場合につきましては、潮汐によって大きな流速が生じるため流入した淡水というのは充分に混合した状態で浅い海域から出て行くことになります。一方、護岸を設置した場合につきましては、護岸前面での鉛直混合能力というのが小さいために、淡水の鉛直混合が進行せずに強い成層状態が維持されたまま浅い海域から出て行くということが推測できます。もう一つ干潟上の混合、浅い海域の混合を促進する潮流以外の要因としまして何が考えられるかというと、例えば波が干潟上に入射してきた場合、特にこちらの写真に示しますように波高が段々高くなって砕波が起きたような場合につきましては鉛直混合を促進する一要因になりえるだろうと考えております。

一方、潮受け堤防の前面等につきましては、比較的水深が大きくなりますので、干潟上と比べると静穏な状態を保ちやすい状況になっていると考えらます。以上のことから干潟域が消失したことで潮流や波による鉛直混合が小さくなって、それに伴って成層が発達し

B3の表･中層塩分差の経年変化



筑後川の流量が200m³/s以上のときの期間平均塩分差は
締め切り前 → 2.5（河川流量 408m³/s）
締め切り後 → 3.2（河川流量 327m³/s）

ている、発達しやすくなっていると考えられます。

そこで、あと少しですけれども、実際に諫早湾内の成層状況についてデータを見てみました。使用したデータは農水省のやぐらで測定されたデータで、今回はこの B3 という点のデータを使用しました。こちらに結果を示します。横軸は時間といいますか年、縦軸は B3 地点の表層と中層の塩分差を取っております。この中には出水時と平常時が混在しているのですが、一つの指標として筑後川の流量を、これを 200 トン(m³/s)以上の時で区切って、今回とりあえず平均を取ってみたのですけれども、そうしますと河川流量が締切り前には 408 トン(m³/s)で塩分差が 2.5 だったのに対して、締切り後には河川流量が 327 トン(m³/s)、塩分差が 3.2 ということで締切り後のほうが河川流量が少なかったにも関らず塩分差としては大きい結果が出てきたということになります。この辺りはもう少ししっかりした解析が必要かなと思っております。少し時間を過ぎておりますので、ここは割愛させて頂きます。

結論

- 干潟域のうち平均水位より低い範囲では，冠水して潮流が発生する時間帯の平均流速が潮下帯の平均流速より大きくなる．
- 干潟上は水深が浅いことから大きな潮流流速，増幅された波による大きなorbital motionを有しており，鉛直混合能力が大きい．このことはもっと高く評価されるべき干潟の特性である．
- 現地観測データの解析から，有明海奥部大浦沖の海域では，潮受け堤防締め切りにより流速が減少した可能性があることが示された．また，諫早湾潮受け堤防により有明海奥部大浦沖の海域の流向が変化している可能性がある．
- 有明海奥部においても永年にわたって大規模な干拓が行われてきた結果，干潟は消失しており，干潟上で大きな流速を有し，混合力･攪拌力が卓越するという干潟の特性がかなりの部分失われてきている．
- 護岸が設置された海域における護岸の法線方向の潮流流速の減少を考える上では，平均潮位と護岸の設置位置との関係が重要なファクターとなる．
- 海岸の縦断勾配が同じであれば，護岸を沖側に設置するほど潮流の護岸建設による潮流の減少が遠くまで及ぶ．
- 有明海湾奥部では0～2m 程度，平均水位よりも高い位置に護岸が設置されている．これは，潮差が最大で5m を超える有明海では満潮前後に限って護岸の影響が現れるような状況であることを意味しており，湾奥部における護岸設置の影響は諫早湾の締め切り堤と比べると格段に小さいと言える．
- 干潟の消失により鉛直混合能の低下した諫早湾に，調整池から淡水が干潟を経験せずに直接排水されることで，成層化が起こりやすい状況が出現している．また，淡水が比較的強く成層した状態で諫早湾外に流出する．これが諫早湾内外の成層強化の一因となって悪影響を与えていると推察される．

【質疑応答】

〔質問者：濱田〕

太良沖での潮流の経年的な変化についてですけれども、M_2潮とS_2潮で方向が若干異なるわけで、短軸方向の流速ですが、振幅が違うというその原因については具体的にはどのようなことが考えられるのでしょうか。一つは私が考えるのは前に阪大の西田先生がS_2潮の調和分解をやった時に海陸風の影響などの成分がどうしても大きかったということを言われていたので、そういうようなものも綺麗な変化と共通しているものも流速成分として入ってきて、完全な潮汐でない成分も入ってきているということもあるかと思うのですけれども、ちょっとその辺について何か得る原因等わかっていることがありましたら教えてください。水深等も教えてください。

〔九州大学大学院工学研究院　齋田倫範〕

原因について何かということに対しては現時点で明確なこういうことでこう変わったというのは説明できないのですが、一応、今回図示しているのは期間1、期間2の一部だけなのですが、解析自体はひととおり先程１３期間観測があったのですが、これはひととおり全部解析をしておりまして、やはり潮受け堤防の締切り前と締切り後では締切り後の方が少し膨らむような傾向が共通して見えていたので、気象上とかそういう影響だけでは説明つかないのではないかと思っています。水深は1.5mです。確かに吹送流の影響ですとか、入ってはくると思うのですけれどもやはり堤防締切り前と後のデータで、締切り前は前で共通の特徴を持っていましたし、後は共通の特徴を持っていたので気象的な影響ですとか成層の影響だけでは説明つかないかと。

〔質問者：石田〕

石田と申しますが、M_2振幅は大きくなって流速は堤防締切り前の所で小さくなっているという説明でございました。検潮所のデータを調べますと９４年と２００３年を比較してしまいますと締切り前と後ですが、これは振幅は小さくなっているのです。小さくなっているから流速が遅くなっているというのは理解できるのですが、M_2分潮だけを取り上げてM_2分潮の振幅は大になっているけれども流速が小さくなっているという説明がちょっと良く分からないのですが。

〔九州大学大学院工学研究院　齋田倫範〕

基本的には勿論M_2潮の潮汐の条件を揃えて潮流を測れると一番良いのですけれども、実際にはM_2潮の潮汐が18.6年周期で変動していますので、それでは潮汐振幅を揃えて比べられるかというと、比べられませんので、こちらに示していますけれども期間1は潮汐が小さい時期、期間2は潮汐が大きい時期、これはどうしようもありませんので、これで比較する時にどう比較するかということで先程のグラフを作って、潮汐は大きくなっている

けれど流速は一緒です。断定的なことは言えないですけれども、潮汐は大きくなっているのにそれに応じて潮流が増加していないということは、それは減速していることを示唆しているのではないかということで、先程みたいな結論で今の所考えています。

〔質問者：大串浩一郎〕

鉛直壁というのが成層を助長しているということなのですが、ちょっと荒っぽい質問ですが、鉛直壁の前面に斜面を作ったら元通りに戻るのでしょうか。それともそれとは戻らない違う理由もあるのでしょうか。

〔九州大学大学院工学研究院　齋田倫範〕

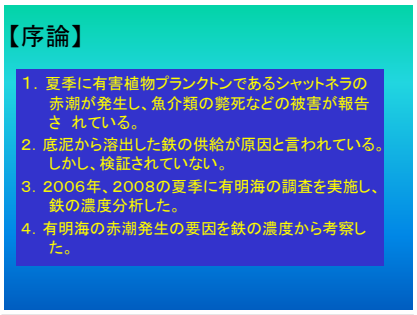
元には戻らないと思います。基本的には直立壁の全面にスロープを作ったとしてもその直立壁の位置では必ず流速は 0 になります。スロープを付けている分ひょっとしたらスロープ上で流速は早くなるかもしれませんが、スロープを作ることで海を埋めてしまったらそれはそれで入退潮が減る方向に作用しますので、中々うまくその効果を発揮させるのは難しいかなと思います。けれども、プラスに働く作用もあるにはあるのではないかと思います。

以上

海水中の鉄の濃度変化と珪藻プランクトンの発生との因果関係

佐賀大学　名誉教授・客員研究員　田端正明

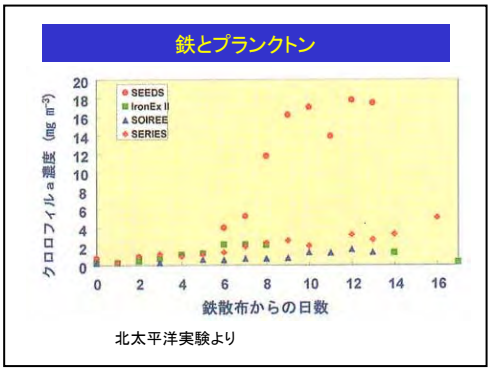
私の専門は分析化学でございますので、今日お話致しますのは、分析化学的手法を駆使した海水中の鉄の濃度変化と珪藻プランクトンの発生との因果関係でございます。鉄を測るというのは非常に難しくて、今日お昼の時にバクテリアが１０億個もいるというのは非常に多いのだという話が出ました。それとは反対に海水中の鉄というのは１０億分の １ 位しかありません。だから普通の人がやっても測れないのです。装置があれば窒素とか酸素濃度あるいは pH のように測れるというわけではりません。装置は測るけれど本当の値を出すのが非常に難しいのです。それは私達の生活の周りに鉄はいっぱい有ります。空気中にも鉄は有りますし、装置の測っている時のコンタミネーションの除去が非常に大変です。これを測るには人間の方がおかしくなるくらい神経を使わないといけないくらいであります。私は極めて低い濃度(ppt)の鉄の測定は出来ませんけれども、幸いにして有明海の方はかなり鉄の濃度が高いようですので、それについて測ることが出来ましたのでその結果について報告いたします。

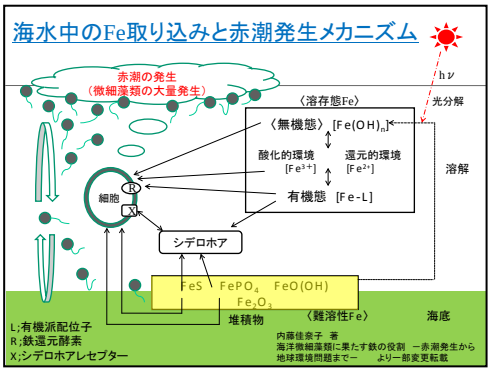


夏に有害プランクトンであったシャットネラの赤潮が発生して魚介類の斃死などの被害が報告されており有明海では低泥からの鉄の供給があるのではないかといわれていますが、まだ検証されていません。２００６年と２００８年の秋に有明海の調査を実施し鉄の濃度の分析をいたしました。今年度は両年にわたって有明海の赤潮発生の要因を鉄の濃度から検討いたしました。

これは一般的な鉄の働きに関する話です。朝日新聞２００８年、去年の１０月９日に掲載された記事です。プランクトンの光合成を炭酸ガス固定化に活用するために海に鉄粉を撒く記事です。これは以前から行われた実験なのですが、プランクトンを増やす為海水に鉄を撒きます。そうすると植物プランクトンは太陽光のもとで炭酸ガスを吸収し増殖いたします。動物プランクトンは植物プランクトンを食べて、動物プランクトンを他の魚類が食べ炭酸ガスが固定化されるという話です。こういった炭酸ガスの吸収剤としてプランクトンを増す計画です。これによって人間が化石を使って放出する炭酸ガス７０億トンの内の３分の１に相当する約２２億トンを除去出来るという計画が幾つか実験されたようでありま

朝日新聞
2008/10/9

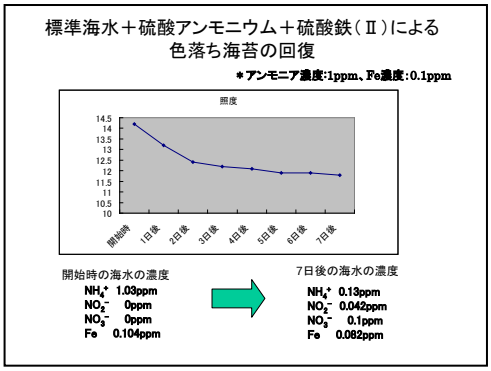




Metal concentrations Involved in Ariake Nori(ppm)

Nori	Fe	Zn	Mn	Cu	Mg	P
Normal	510	100	130	38.1	22.0	20.1
Normal	550	160	130	19.4	21.8	21.4
Decolored	260	64	54	11.9	22 .0	14.0
Decolored	250	61	55	9.2	22.5	13.2

(Yamazaki et al. *Anal. Sci.*, 2004, 20, 37-43)



す。しかしながらこれは環境の立場から、こんな所に鉄くずを撒くというのは、それこそ環境破壊ということなので中止されているようであります。実際に鉄を撒くとプランクトンが図のように増えるという事がわかっております。

これは私のではなくて、内藤先生の説です。海水中の鉄取りこみと赤潮発生のメカニズムにいて鉄は非常に重要です。勿論鉄だけではありません。栄養塩も必要なのですが、鉄がプランクトン増殖には必要であるということを示す図であります。溶けている鉄は勿論のこと、溶けていない鉄、例えば泥のところにある硫化鉄とかリン酸鉄とかヒドロキソ鉄とか酸化鉄なども、更にシデロホア錯体（大環状化合物で EDTA と同じぐらい非常に強く鉄と結合する環状の化合物）とも反応していくのではないかと考えられています。しかしこのことはまだ良く確認はされていません。

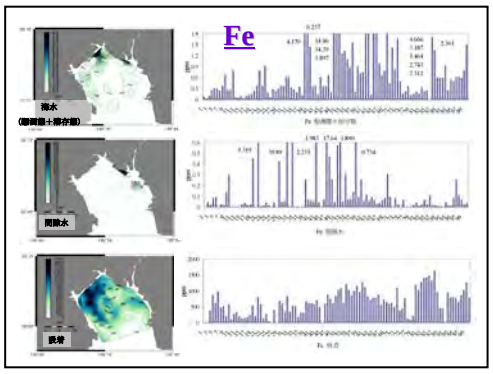
この図はノリに含まれている金属濃度を示しますが、正常ノリと色落ちノリを比べますと色落ちノリでも鉄は半分の濃度に減っているという事がわかっております。ノリの成長にも鉄が重要です。又私の実験ですが、この図はただ標準海水にアンモニアを加えてノリを浸漬させ、同時に鉄を加えるとどんどん色落ちノリが回復してきて、ノリの色つきが良くなるという事がわかりました。

鉄は申しましたように珪藻プランクトンやノリの成長に必須な必要な元素であるという事がわかります。一方海水中の鉄の濃度はｐｐｂ或いはそれ以下で有るので測定には高度な技術と知識が必要でございます。これは以前に測りました鉄の濃度ですが、有明海の底泥には鉄が非常にたくさん（１００００ｐｐｍ）あります。一方海水はそれの１０００分１位で１ｐｐｂから数ｐｐｂです。あるいはそれ以下です。

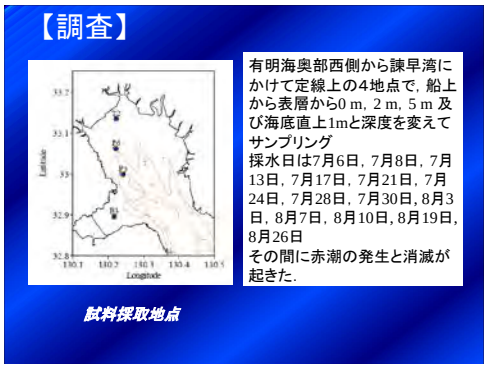
これは昨年のデータですが、ここに示します有明海の西側で夏にサンプリングが行われました。私は試料を頂いて鉄を測りました。試料海水採取が直ちにメンブランフィルターで濾過しすぐ塩酸処理をしたものと、濾過しないで塩酸酸性にした試料の二種の試料をと

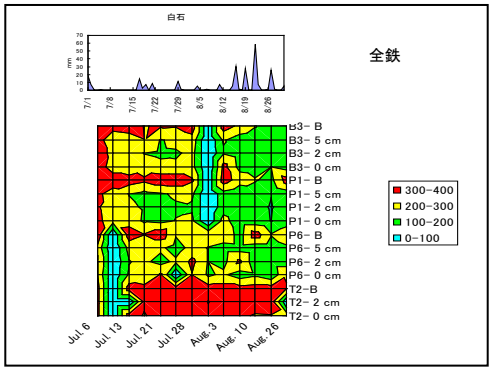
りました。海水中の鉄の濃度はしてゼーマン分光原子吸光光度計を用いて、溶けている鉄（可溶性鉄）と全鉄濃度を測定をいたしました。

２００６年と２００８年に鉄の濃度の測定を行いました。二つの年のデータを比べるとて分かりますように２００６年には雨が９０とか１００mm とか非常に沢山降りましたが、去年(2008 年)の夏は非常に少なくせいぜい１０mm ぐらいでした。一般的に雨が少ない時期に赤潮の発生が予想されます。２００６年の夏のこの時期には赤潮は発生せず、この辺の大雨の後の晴れた日に珪藻プランクトンが沢山増えました。



こちらの図は２００８年のデータです。全鉄です。全鉄では降雨のこの時期に高い値を示しています。特に沿岸部ではすべての場所で非常に多くなっています。海水表面と 2m、それから　B３　のところでも高い鉄の濃度を示しています。青い所は試料が無かったので濃度がゼロと出ています。一方沿岸より遠くなりますとＢ地点では表面はそう無いのですが海底で多くなっています。つまり沿岸部では底泥の巻上げが起こっているので、地点には関係なく高い濃度で、沿岸より遠い所にいくと底の方にも全鉄があるということが分かりました。３００ｐｐｍから１００ｐｐｍ位の値であります。つまり降雨のせいで全鉄濃度が増大しています。しかしながらプランクトンの発生とは関係がありません。



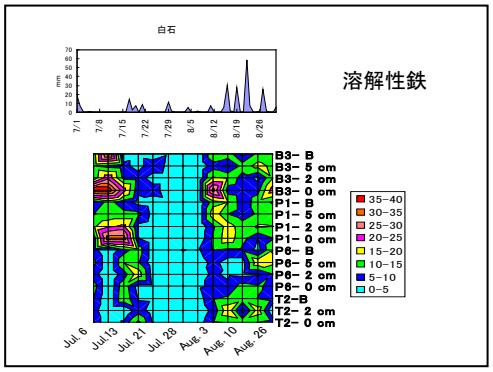


表層と底1mにおける全鉄の濃度(ppb)

	T2- 0	T2-B	P6- 0	P6- B	P1- 0	P1- B	B3- 0	B3- B
Jul. 6	343	346	299	351	332	343	356	341
Jul. 8	-	-	-	-	242	350	253	333
Jul.13	342	351	216	351	261	351	226	346
Jul.17	290	329	223	303	180	314	252	295
Jul.21	364	359	308	362	164	363	225	313
Jul.24	325	353	-	211	205	363	224	303
Jul.28	368	365	296	289	209	314	228	350
Jul.30	353	353	184	279	-	-	-	-
Aug.3	346	348	218	290	235	346	336	351
Aug.7	320	340	140	144	130	250	170	270
Aug.10	290	348	176	350	129	207	160	205
Aug.19	297	350	130	205	99	169	200	145
Aug.26	263	308	290	266	140	350	159	130

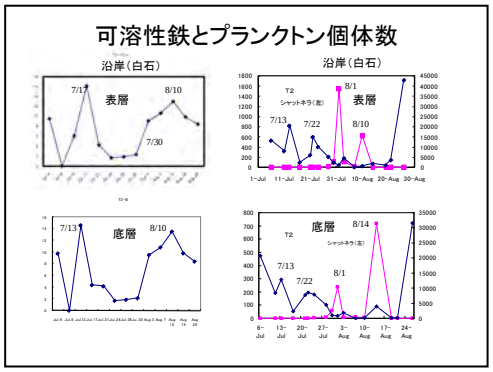
一方溶けている鉄の濃度分布は全鉄とは大分違います。全鉄はここの所に非常に沢山ありました。ところが溶けている鉄は遠い所の海水表面に、Ｂ３の表面に溶けている鉄があります。その場所はもう一度申しますとここです。ここのところの海水表面に溶けている鉄がありました。先程申しましたようにここは全鉄が高濃度で観測されました。沖合いの表層で溶解鉄の濃度が増大いたしました。後で示しますようにこの領域でのプランクトンの発生が見られました。

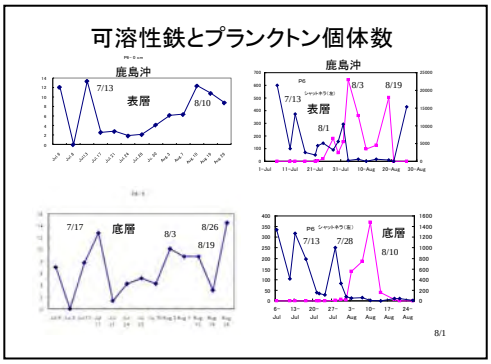
これはプランクトンの発生と鉄の濃度を示したもので有ります。これは溶けている鉄で

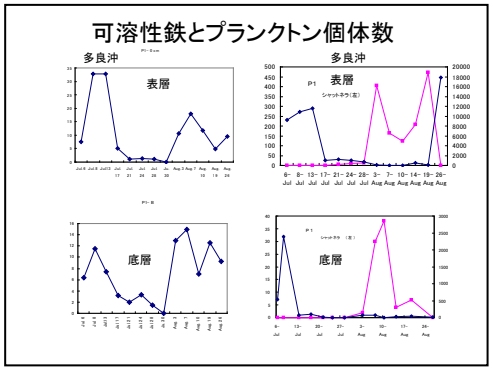


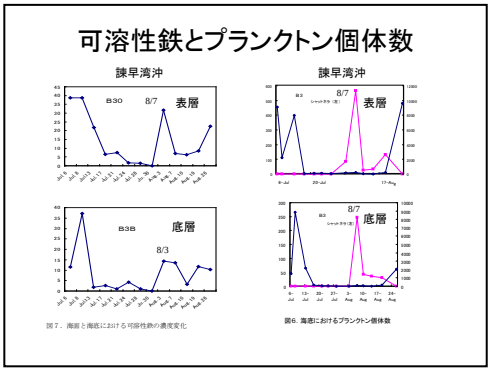
表層と底における可溶性鉄濃度(PPb)

	T2-0	T2-B	P6-0	P6-B	P1-0	P1-B	B3-0	B3- B
Jul.6	10	10	12	7	7	6	39	12
Jul. 8	-	-	-	-	33	11	39	37
Jul.13	6	15	13	8	33	7	22	2
Jul.17	16	4	3	13	5	3	7	3
Jul.21	4	4	3	1	1	2	8	1
Jul.24	2	2	2	4	1	3	2	4
Jul. 28	2	2	2	5	1	1	2	1
Jul. 30	2	2	4	4				
Aug.3	9	10	6	10	11	13	32	14
Aug 7	11	11	6	9	18	15	7	14
Aug.10	13	14	12	9	12	7	6	3
Aug19	10	10	11	3	5	13	8	12
Aug.26	8	8	9	14	10	9	23	10

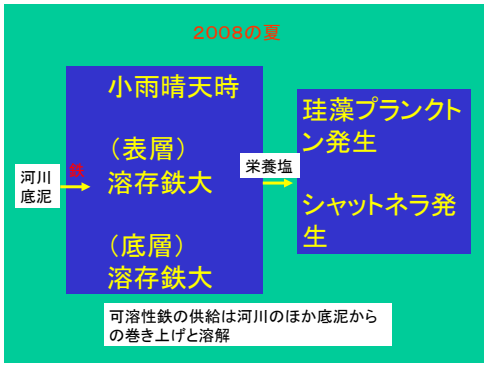








すが、珪藻プランクトンが右側で表層で８月７日、これはシャットネラの濃度変化であります。他のプランクトンとの関係も同じですが、珪藻プランクトンとシャットネラはお互いに打ち消す関係にあります。珪藻プランクトンが増えて死ねばシャットネラが増える、そして赤潮が発生する。プランクトン数と鉄の濃度が最大値を示す日にちを比べても、必ず鉄が多い時にシャットネラが多いわけでは無くて少しずれたりしているようであります。同じように、７月３０日頃殆ど鉄は少ないのですが、シャットネラは増えています。この結果についてはいろいろな考え方があります。ここで鉄が少ないのはシャットネラが発生した為に鉄が摂取されて減っているかもしれません。このデータも同じであります。鉄の濃度の最大値とシャットネラの個体数の最大値が現れる時期は少しずれています。この時期には鉄はなく、徐々に鉄が増え始めた時にもシャットネラは発生していません。シャトネラが無いと可溶性鉄の濃度は増え、鉄の濃度が徐々に増え始めたときにシャットネラが出てきます。これが増えると絶対数が減って、これが無くなると又増えてくるという関係にあると見て取れます。太良沖も同じような現象で非常に良く似ております。諫早沖における表層でも、鉄の濃度とシャットネラの発生数がどちらも増えた時、同じように日にちはずれておりますが、非常に関係が深



結論

1. 2008年夏は雨の量が少ないので、出水による全鉄の濃度の影響は少ない。
2. 全鉄濃度は350ppb～100ppbの範囲で存在した。
3. 全鉄の濃度は沿岸部が多く、沖合いで少なくなる。
4. 表層より底層で濃度が高い。
5. 可溶性鉄の濃度は夏の晴天時に、沖合いまで高い鉄の濃度が観測された.
6. 出水の影響は小さい。
7. 晴天時にプランクトンの個体数が増大した。
8. 珪藻プランクトンとシャットネラの個体数の増減は互いに相反する傾向であった。
9. 可溶性鉄の濃度はプランクトンの種類によらず個体数の増大と関係があった。

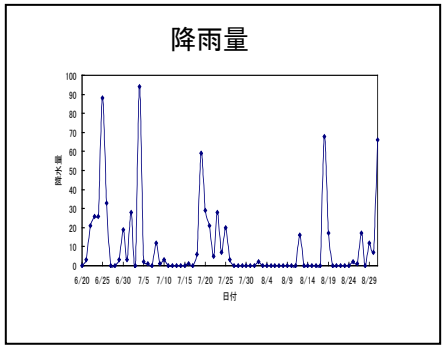
いという事が初めてわかりました。

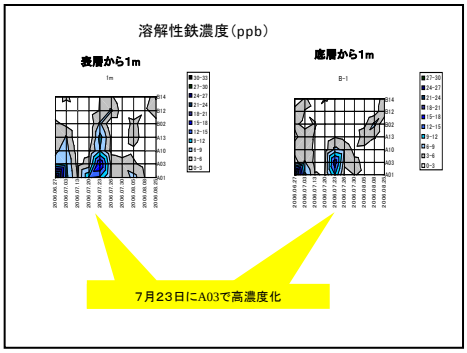
可溶性鉄とプランクトンの発生個体数と因果関係があることがわかりましたがもっと詳細に調べる必要があります。

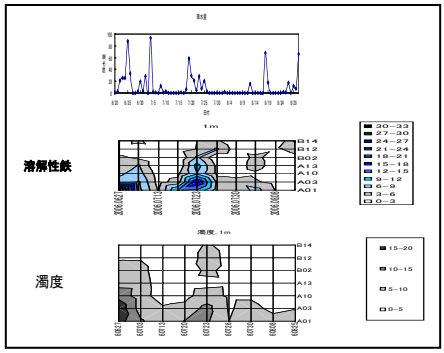
２００８年の夏は雨はあまり降りませんでした。雨が少ない時に表層で河川から運ばれた鉄が、或いは底泥から溶出した鉄が栄養塩と一緒になってプランクトン或いはシャットネラの発生を促進いたします。この場合は主に溶けているものは、雨も余り有りませんので底泥からの巻上げの量が非常に大きいのではないかと考えております。２００８年の夏は雨が少ないので出水による全鉄の濃度の影響はあまり有りません。

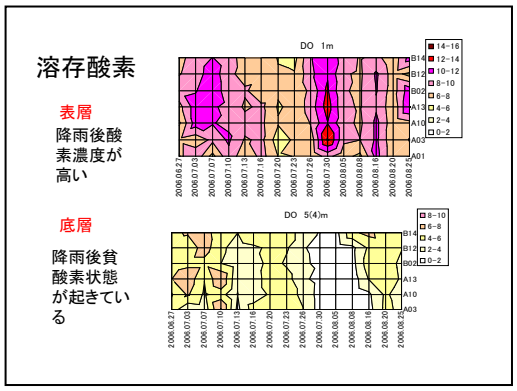
これから見ます２００６年では雨が沢山降りました。出水による鉄の影響が出てまいります。この図はこの地域で試料採取して６月末から８月にかけて鉄の濃度を測った結果でございます。先程図で説明しましたようにこの時期に雨が非常に降りました。しかしながら溶解性の鉄は表層の所と底層を見ますと、２００６年の７月２３日に少し増えています。数十ｐｐｂですからそれほど多くないのですが溶解性の鉄が２箇所で浅い所と深い所で存在していることがわかりました。

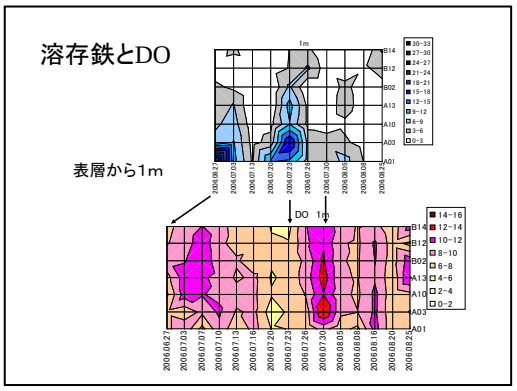
6月27日、7月3日、7月10日、7月13日、7月20日、7月23日、7月26日、7月30日、8月5日、8月8日、8月25日の計11日に渡って有明海西部の塩田川沖海底水道に沿った7地点（A01・A03・A10・A13・B02・B12・B14の計7点）で深度を変えて採水を行った。



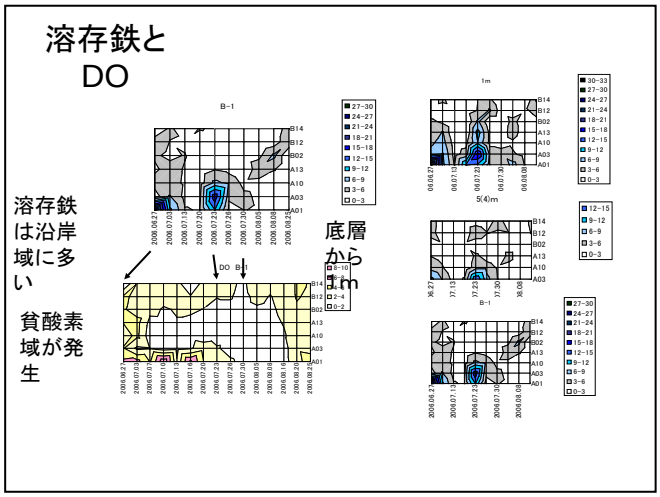




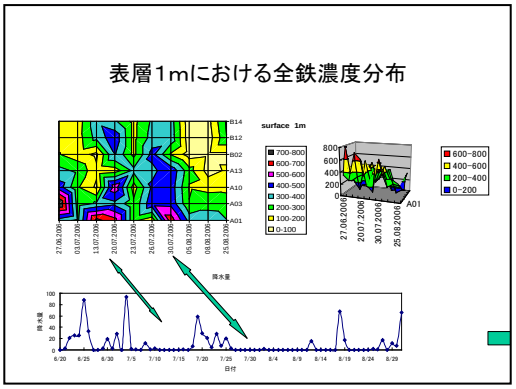




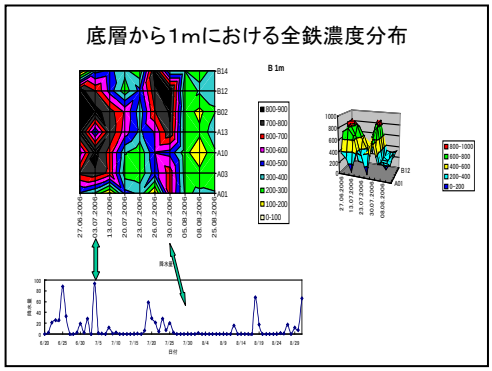
同じようにこの日も雨です。大雨が降った時には濁ってその時に溶解性の鉄が増えているという事が２００６年には観測をされました。



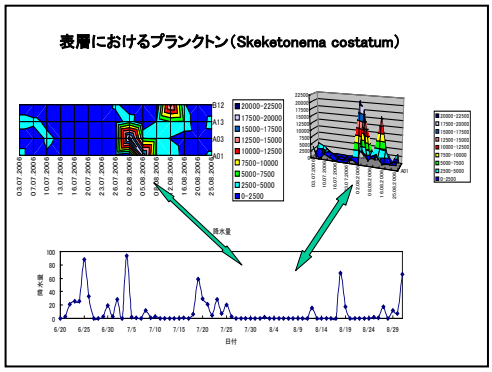
一方溶存酸素を見ますと溶存酸素がここで非常に高い値を示しています。これは雨の降った後です。雨が降った後表層で溶存酸素が非常に高い、一方底の所では溶存酸素が少なくなっている、酸素欠乏が起こっています。先程の鉄との関係を見ますと、雨が降って鉄は出てきますが、その時に酸素が減るのは降雨とは関係がございません。だから普通ならば雨が降れば雨から酸素も一緒に運ばれると思われますが、この雨が終わった後溶存酸素濃度が増大しています。おそらくこれはプランクトンの生成ではないかと考えました。同じ時期に採取した海水中のプランクトンを調べておられましたので、そのデータをお借りしてこのことを考察いたしました。この領域で底では貧酸素状態が起こっております。２００６年の夏では雨が降って濁って沿岸域の表層では溶存鉄が大きくなり底層でも大きくなった。一方その雨の降った後で酸素が高くなって、溶存鉄は無いのですが全鉄が増えています。全濃度の鉄はこの辺で高くなっています



この年は雨が多かったので雨の降った後全鉄が普通の時よりも２倍くらい増えております。おそ

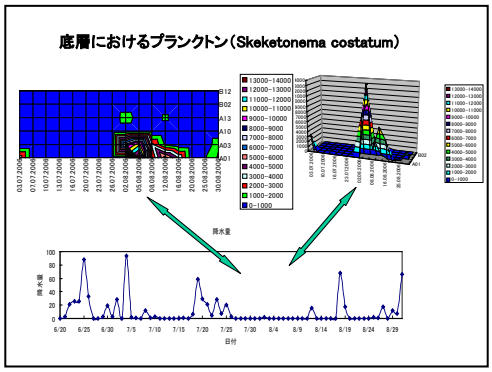


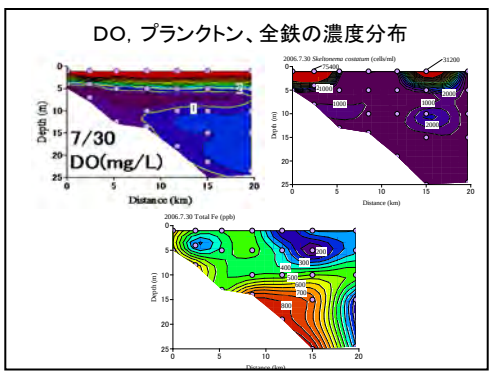
らくこの雨が降って全鉄の濃度が普通よりも２倍増えたのは、川から流れてきて数日たつと河川からの鉄が海に入りますと塩析効果で沈殿を起し、不溶性になっています。そのために著しく全鉄の濃度が増大した結果ではないかと考えております。先程は雨が降ったら溶けている鉄が多いと申しましたが、数日間の鉄の濃度を見ますと全鉄は反って雨が降り終わった後で流れてきた鉄が不溶性になってきて、非常な増大が起こっています。勿論雨が降れば全鉄の濃度は当然増えるのですが、それ以外に底層でも高い値を示しておることがわかりました。

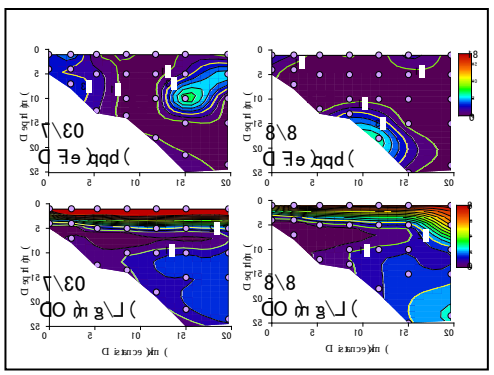


プランクトン、これはスケレトネマですが、これも雨上がりで晴天が続くこの領域で大変増えているという事がわかります。

鉄の濃度とプランクトン数との因果関係を見ますこの時期のプランクトンの増大を鉄が多かったから全鉄の影響だと考えがちですがそうではありません。全鉄が増えている領域では勿論可溶性の鉄も存在するのですが、大雨の後では塩化物イオンの濃度の減少により、可溶性鉄は全部不溶性に変わりますのでかえって減少致します。大雨が降ってきた時には、溶解鉄は雨が降った後減少をするが、しかしながら全体の鉄は上がるということであります。これはプランクトンの全鉄の濃度の関係を示したものですが、溶存酸素濃度が雨上がりに高くなっています。







プランクトンが表層で増え、このときの全鉄が底の方に増えているという事がわかりました。これも同じような雨上がりで酸素が増えて鉄が高い所があるというのが分かった次第で有ります。つまり雨が降って沿岸で鉄の濃度が増えて、プランクト

結論

1. 降雨による鉄濃度は700ppb～30ppbの範囲で存在した.

2. 出水で河川から海水へ鉄が供給される.

3. 出水により供給された鉄は、表層では沿岸部で高くなり、次第に沈降して沖合い深いところでまで高い濃度を示した.

4.降雨後の夏の晴天時に、沿岸部の表層と、底泥1ｍでは沖合いま　で高い鉄の濃 度が観測された.

5.沿岸部の表層部で、酸素濃度とプランクトンの量が多く、プランクトン発生による溶存酸素の増大とプランクトンに摂取された鉄が増大した

6.また、沖合いの底では貧酸素塊が発生し、鉄の溶出が起こったと考えられる.

7.2006年夏季については，シャトネラの発生は観測されなかったが、スケレトネマの発生を不溶性鉄が促進していることが明らかになった

2006と2008の比較

- 2006年の夏季
  雨量が多かった。
  スケレトネマが降雨後発生した。
  可溶性鉄の濃度は降雨時に増大した。
  全鉄濃度は降雨後に増大した。
  降雨後表層では酸素濃度が増大し、低層では貧酸素状態になった。
- 2008年の夏季
  雨が少なかった。
  赤潮が発生した。
  シャットネラ珪藻プランクトンが発生した。
  ８月初め、中旬以降
  可溶性鉄が雨の少ない時期（7月6－13、日、8月3、26日）に表層で増大した。
  全鉄濃度は沿岸で高濃度であった。
  沿岸から遠い地域では底に全鉄濃度が高くなった。

総括1

雨が多い時（2006年）

- 出水による溶解鉄の濃度が高くなる。
- 出水後晴天が続くと不溶性鉄濃度がふえる。
- プランクトンが降雨後発生する。
- 成層が形成され、底層では貧酸素となる。

雨が少ない時（2008年）

- 表層で溶解鉄の濃度が高くなる。
- その数日後シャットネラが増える。

総括2

- 鉄は微量でもプランクトン発生の要因の一つである。
- 有明海は他の海域に比べて、底泥から鉄が溶解しやすい環境にある。
- しかし、有明海の濁りは太陽光を遮りプランクトンの光合成を抑えている。

ンも増えて溶存酸素も雨上がりは増えていています。これを短絡的に考えてプランクトンが増えたのは全鉄が増えたからだというと決してそうでは有りません。大雨により運ばれた鉄は雨の後の晴天時に全部不溶性になってきますから全鉄の濃度は普通の平均値よりも増大いたします。はそこにその分だけ減少してその結果こういう現象が起こってくるという風に考えております。

時間がございませんのでまとめます。２００６年の夏には雨が多かった。スケレトネマが多く発生した。可溶性の鉄は降雨時に増大、全鉄濃度は降雨後に増大。降雨後表層では酸素濃度が増大し底層では貧酸素状態になった。２００８年は雨が少ない。赤潮が発生した。その時に可溶性鉄が雨の少ない時期に表層で出て、それがプランクトンの増大に重なっているのだろうという風に思います。これは先程と同じように雨が多い時に出水により溶解の鉄が高くなって、そして不溶性鉄が増えてくる。成層が強化され２００８年は表層では溶解の鉄が高くなってそれが原因でシャットネラのようなものが出てきているという風に考えます。鉄は微量でもプランクトンの発生の要因としてあるという風に考えます。有明海は他の海域に比べて底泥から鉄が溶出しやすい環境に有ると考えます。しかし有明海の濁りは太陽光を押えてプランクトンの光合成をかなり抑えているのではないかと思います。したがってこれに濁りがなくなるともっとプランクトンの発生も増えるかもしれません。以上です。

【質疑応答】

〔質問者：梅田〕

北九大の梅田です。聞き逃したかもしれないのですが、全鉄の計算の仕方というのは、溶存態のものと懸濁態のものを既に合算されて全部の値を出されているのですか。そうするといつも懸濁態の物の濃度が分かっているわけですよね。　そうしますとこの解析を詰めていく時には、その懸濁態の物のプランクトンクロロフィル濃度とかを一緒に測っていかれればそれと鉄との関係を見ていくと、どういうメカニズムで利用していくようになっていっているかというのは分かってくるのではないでしょうか。個数ではなくてクロロフィルという色素でやってみたらどうかなという事です。

〔佐賀大学 名誉教授・客員研究員　田端正明〕

そうです。懸濁態の鉄の濃度は引き算すれば出ます。

先程プランクトンの個数を申しました。そのプランクトンの個数に対して鉄の濃度を比べれば全鉄の方は非常に多いと思います。それから全鉄は３００ｐｐｂ位で、不溶性の鉄は数ｐｐｂですので１パーセントのところの議論ですからそれを引き算してもそれ程余り変わりません。大雨になると全鉄がその倍の７００とか６００とか、そこにクロロフィル、そういうプランクトンが発生したとしても全体量がどれ位であるかということを考えていかなければいけません。引き算というのは、片方は濃度です。それで個数を数えて体積にして濃度に同じように換算すれば出来るかもしれませんが、それは不可能ではないでしょうか。どうも有難うございました。検討します。

〔質問者：　松岡〕

長崎大学の松岡です。先生が有明海の鉄を測っておられて有明海の植物プランクトンの数の増減というか、クロロフィル濃度でも良いのですけれども、そういう増減に鉄が律測しているという風にお感じになりますか。或いは何か別のものをお持ちですか。

〔佐賀大学　名誉教授・客員研究員　田端正明〕

感想で申し訳ございませんが、有明海には充分鉄があるのではないかと思います。普通ならばもっとｐｐｔというような１０の１２乗分の 1 位の鉄が本当は海層海水なんかでは影響するといわれています。有明海でプランクトンが発生するときにどこまであれば出るのかというところは、今のところ良くわかりません。でもこの図から分かりますようにｐｐｂレベルの鉄があれば充分にプランクトンはいつでも発生するのではないかと思っています。

〔質問者：大串〕

貧酸素水塊が発生すると鉄が溶出してプランクトンがそれに伴って発生していって光合

成で溶存酸素が増えるということで、何か自然の摂理というのを感じたのですが、ただ貧酸素水塊は下層であって、このプランクトンは上層ですので、そこに鉛直方向の混合が無いと中々それが改善できないと、そこがネックになっているのではないかという気がしたのですが、もしそれが出来れば上手く環境改善に繋がるのではないかと思いましたけれども。

〔佐賀大学　名誉教授・客員研究員　田端正明〕

貧酸素域で実際に鉄が本当に出ているかというのはもう一回、これはたまたま全鉄を測って、それからここに鉄が底の方にある状態です。今言われているようにこの図で、これが酸素でこれがプランクトンです。でもこれは今測っているのは全鉄であって、これがプランクトンの成長にどの位あるかというのは今分からないです。本当は何度も申しますように、こういうプランクトン発生には溶解している鉄が影響を及ぼします。大雨の時には河川からの可溶性の鉄が供給され、そうで無いときには底からの巻上げで可溶性の鉄が供給されて、プランクトンが発生する環境になります。その環境で非常に濁りが無くて、天気の良い日にはプランクトンが発生するのではないかと思います。

以上

Ⅱ．有明海湾奥部の再生策の検討について
―有明海再生方策検討事業の実施に向けて―

司会：佐賀大学有明海総合研究プロジェクト特任教授　荒牧軍治

第２部は「有明海湾奥部の再生策の検討について－有明海再生方策検討事業の実施に向けて－」といったタイトルにしました。午前中理事会総会を開きまして今年度の事業を決定した訳ですが、そこの中に受託事業として佐賀県から受託しました『有明海再生方策検討事業』というものが提案されて承認されています。この事業はこれまで色々提案されている再生策と呼ばれているものがどの程度有効であるかのという事をシミュレーションモデルによって検証しようということです。例えば湧昇ブロックと呼ばれる上下攪拌を目的としたような装置であるとか、諫早湾の水門開放であるとか、干拓地に海水を流入してみてはどうかとか、そういう色々な提案がされているわけですが、それが一体どの程度有明海の海床、或いは生態系に、特に低次生態系に対して影響を与えるかという問題を検討してみたいという事です。今年発注しますので今成果がある訳ではありません。今使おうとしている２つのモデルがあります。１つは、株式会社いであさんが作られてきたシミュレーションモデルです。それから今佐賀大学総合研究プロジェクトが作っていますシミュレーションモデル、それの現在の到達点、そういうものをまずお示しして、あとディスカッションの中で再生策の検討にシミュレーションモデルを使う時の問題点であるとか、可能性であるとか、再生策としてこういうものもシミュレーションモデルで検討出来るのか、そういう事について会場からも色々ご意見を賜って、意見交換会を行なってみたいという事を企画しました。まだ成果が上がっているという事ではなくて、その可能性を探ろうという意見交換会ですので、ご自由に意見を交換して頂ければと思います。進行を有明海再生機構の潮流解析勉強会座長を務めて頂いている小松先生にお願いしました。小松先生は環境省の評価委員会のメンバーでもありますし、この再生機構の中でも先程言いましたように潮流、流れの解析のシミュレーションの勉強会の座長を務められるなど、シミュレーションの事については、専門家ですので、意見交換会の座長を勤めて頂く事にしました。

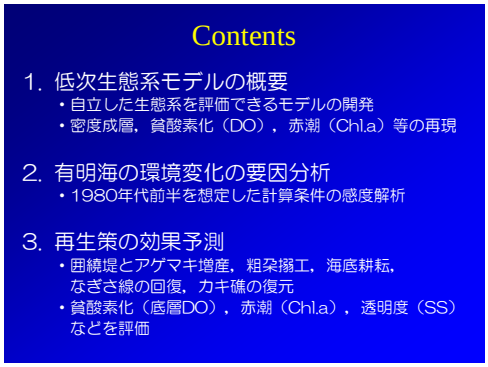
座長：九州大学教授　小松利光

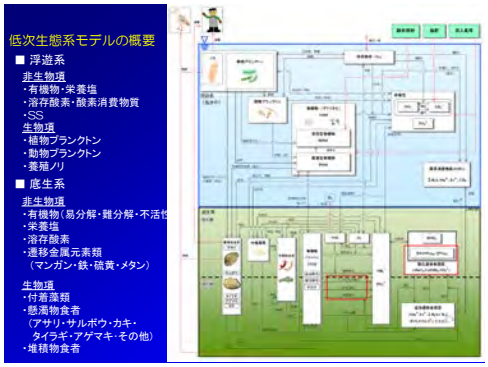
このセッションは再生策について検討しようという事です。有明海が非常に悪い状態になって、何が原因なのだというような事を色々議論し、再生策が必要だという話になった。どうも有明海が悪くなった原因は複合的になるようだ。あの諫早干拓も原因の１つでしょうし、河川から土砂が供給されなくなっているというのもやはり原因の１つだと思います。色々な原因が考えられるという中で、具体的な再生策を議論して、打てるところからどんどん手を打っていく必要があるのではないかという、そんな気がしております。

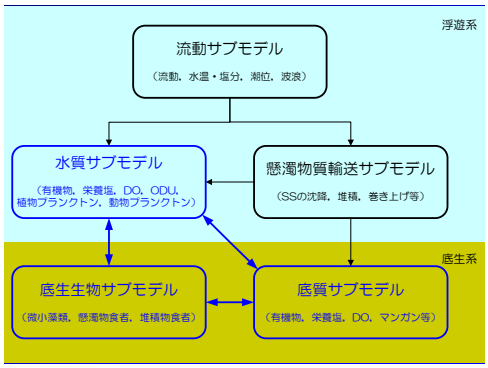
ＪＳＴモデルによる再生策の効果予測について

いであ（株）大阪支社副支社長　堀家健司

今日ご紹介する話はＪＳＴモデルという文部科学省の重要課題解決型研究「有明海生物生息環境の俯瞰的再生と実証実験」というテーマで、冒頭に挨拶をされました楠田先生が研究代表者です。このモデルは我々いであ株式会社５人で色々協力しあいながら作っていますが、今日は掘家が代表して発表させて頂きます。





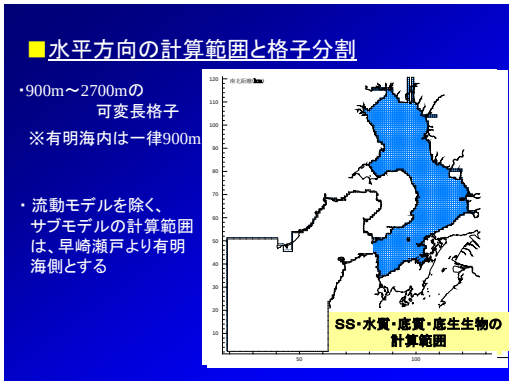


今日のお話ですけれども、まず中心的な低次生態系モデルの概要と、それがどの程度まで再現が出来ているかということを簡単にご説明したいと思います。ここで自律した生態系を評価できるモデルというのは、要は環境要因間の相互作用が評価されているというモデルを目指して作っております。２つ目に再生策を考える前にやはり過去から現在にかけて有明海がどのように環境が変わって、それがどういう要因が大きく効いているのかというようなことを、モデルを使って感度解析的に検討致しました。それから今日の本題であります再生策として、ＪＳＴでは各先生方が再生技術を研究されておられます。１つは佐賀大グループが担当されている囲繞堤を作って、そこにアゲマキを放流して増殖するということと、粗朶搦工、海底耕耘、なぎさ線の回復、カキ礁の復元、これらを有明海に適用したときにどういう変化が起こるのかと言うようなことをお話致します。評価としまして、まず有明海の生物生息環境として非常に重要な貧酸素の問題、それから赤潮、透明度をこのモデルで評価しています。

最初に低次生態系モデルの概要ですが、このモデルは５つのサブモデルからなっています。まず流動サブモデル、これは流動、水温、塩分、潮位、それから波浪等を計算しています。それと懸濁物質の輸送サブモデル、これはＳＳの沈降、堆積、巻き上げ等を計算しております。この２つは基本的には独立したモデルですけれども、ここで出力された結果を水質サブモデルと底質サブモデル、それからベントス、底生生物のサブモデルを作って、其々のサブモデルに入力しています。この３つのサブモデル

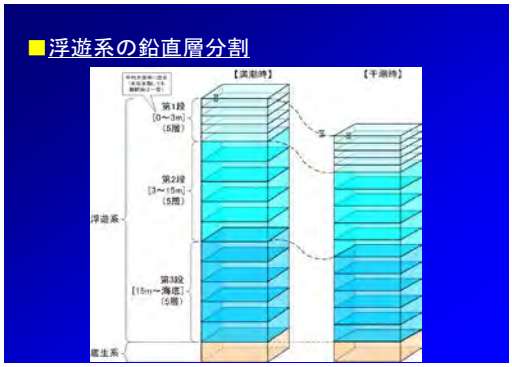
は相互に影響し合っているモデルです。水質サブモデルでは、有機物、栄養塩、ＤＯ、それから酸素消費物質、植物プランクトン、動物プランクトン、底質サブモデルでは、有機物、間隙水中の栄養塩、ＤＯ、マンガン等の還元物質、ベントスのサブモデルでは、微細藻類と懸濁物食者、いわゆる二枚貝です、それから堆積物食者、こういった底生生物の計算を行っています。

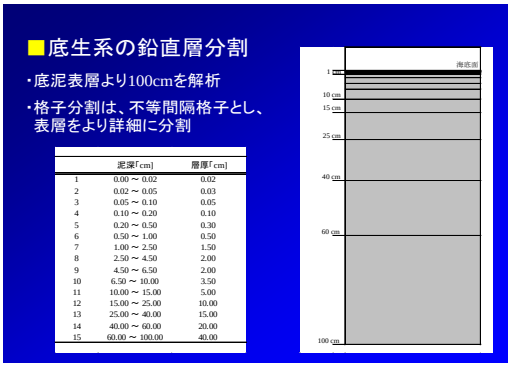
これが低次生態系モデルのフローのイメージですけれども、海水中の変化、プランクトン、デトリタス、そういった物の計算と泥の中の評価、底生生物を評価して、水質と底質が連結されたモデルになっております。



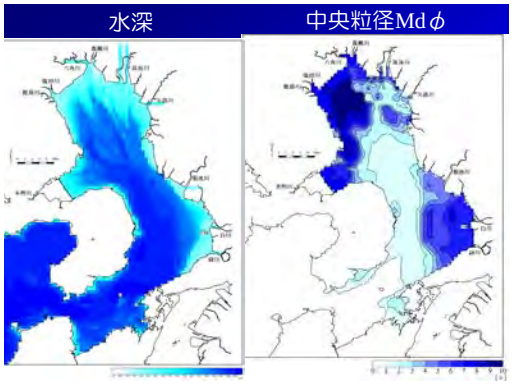
まずこのモデルは潮流のモデルです。流動サブモデルについてはこの範囲で計算をしています。流動以外のサブモデルは有明海の湾内を対象にして、全て９００ｍのメッシュで計算をしています。

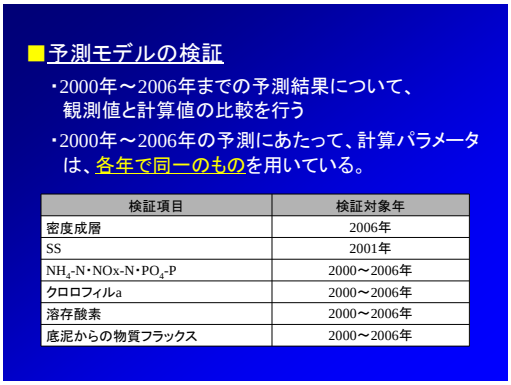
それから水中の鉛直層分割ですけれども、海面から３ｍと、３ｍから１５ｍ、１５ｍから海底までの其々を５つに区分した一般座標系、ＧＣＳモデルといいますけれども、一般座標系のシグマモデルを適用しています。泥の中はアゲマキが１ｍ近くまで潜りますので、１ｍまでを対象範囲として特に表層を密に分割し全部で１５層の泥の中のモデルを作っています。





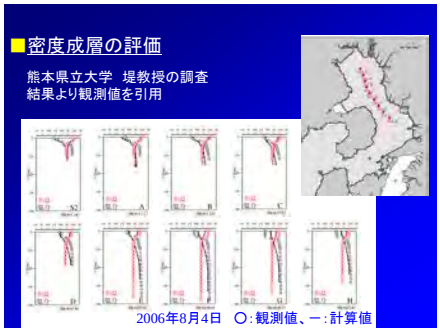
	泥深[cm]	層厚[cm]
1	0.00 ～ 0.02	0.02
2	0.02 ～ 0.05	0.03
3	0.05 ～ 0.10	0.05
4	0.10 ～ 0.20	0.10
5	0.20 ～ 0.50	0.30
6	0.50 ～ 1.00	0.50
7	1.00 ～ 2.50	1.50
8	2.50 ～ 4.50	2.00
9	4.50 ～ 6.50	2.00
10	6.50 ～ 10.00	3.50
11	10.00 ～ 15.00	5.00
12	15.00 ～ 25.00	10.00
13	25.00 ～ 40.00	15.00
14	40.00 ～ 60.00	20.00
15	60.00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

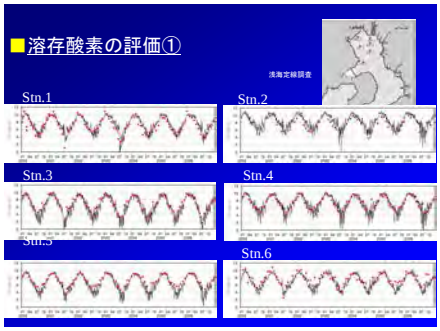


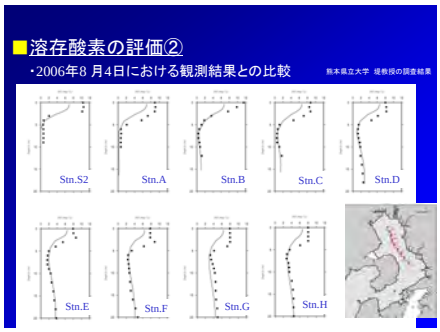


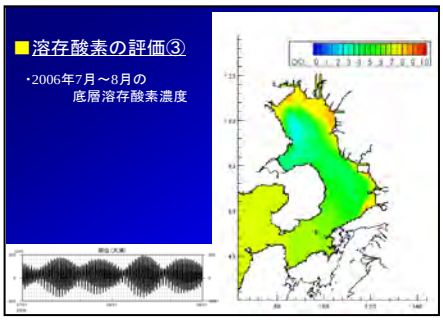
検証項目	検証対象年
密度成層	2006年
SS	2001年
NH_4-N・NOx-N・PO_4-P	2000～2006年
クロロフィルa	2000～2006年
溶存酸素	2000～2006年
底泥からの物質フラックス	2000～2006年

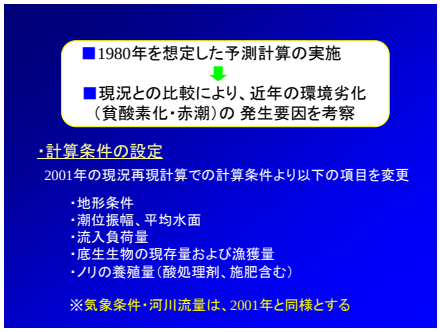
これはまずバックグラウンドとして有明海の水深を示しています。湾奥部と、それから









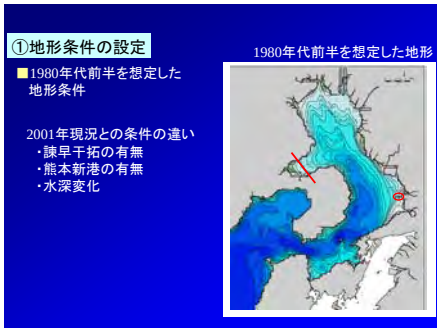


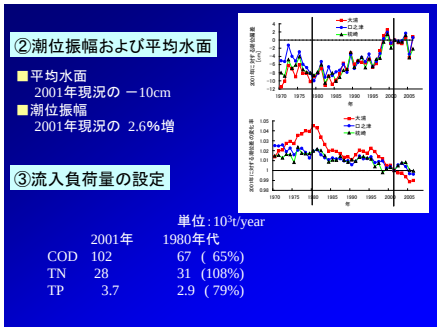
熊本沿岸に干潟が発達した浅い所があります。それからこれが中央粒径です。湾奥部の１０ｍ以浅の所で泥っぽくなっています。まずこのモデルの検証としまして、２０００年から２００６年までの計算を行っています。各年のパラメーターはすべて同一のものを使って行っております。１つの例ですけれども密度成層について、これは熊本県立大学の堤先生から提供いただきました。非常に密な鉛直観測をされておりますので、そのデータを引用させて頂きまして、現況再現を行っています。丸でプロットしているのが観測値で、実線が計算値です。

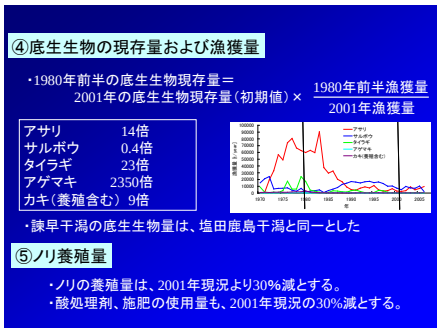
水温と塩分ですけれども、密度成層の鉛直プロファイルは比較的良くあっているというふうに考えています。底層の DO 濃度ですけれども、浅海定線の各地点の２０００年から２００６年の７年間の観測値と計算値の比較です。各年共その計算値と実測値のレベルが大きくかけ離れていないということと、季節変化についてもある程度きちっと再現出来ているというふうに認識しています。

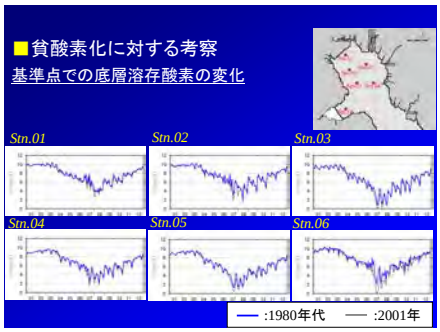
それから溶存酸素の表層から底層までの鉛直プロファイルですけれども、これも堤先生のデータですけれども、酸素の鉛直プロファイルも特に下層でずっと低くなっているというところも再現されているというふうに思います。これは底層の DO の水平分布ですけれども、７月から８月までの２ヶ月分を時間を追って変化をさせています。諫早湾の中から湾奥部、先程見て頂いた泥場のところですが、こういった所で青い部分が貧酸素ですので、貧酸素が発生しています。貧酸素が今なくなっていますが、小潮の時に貧酸素が発生しています。

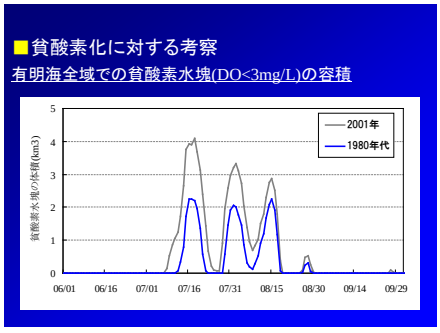
次に環境要因の分析ですけれども、まずどういうことをやったかといいますと１９８０年の前半を想定した計算を行ないました。現況を比較することによって貧酸素とか赤潮などの発生要因を考察しています。２００１年の現況再現で計算条件をまず地形、外海の潮位振幅、平均水面、流入負荷量、ベントスの現存量、

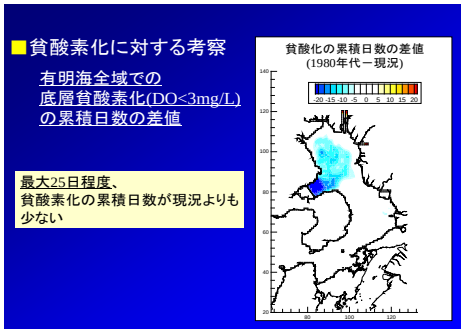








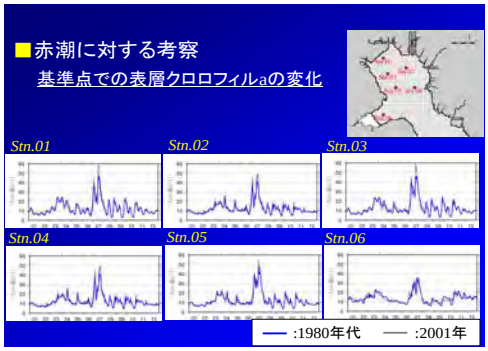


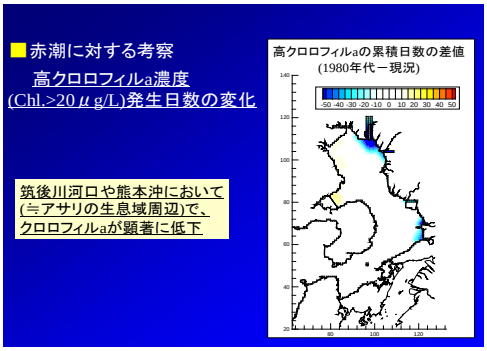


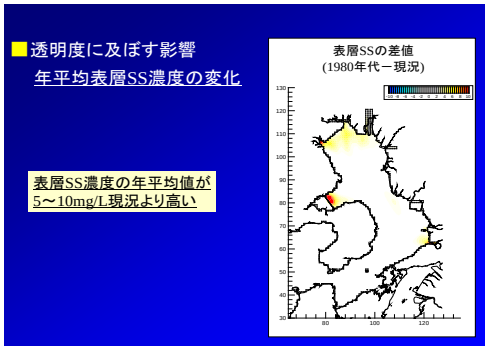
ノリ養殖量を１９８０年の前半を計算条件にして計算をしています。

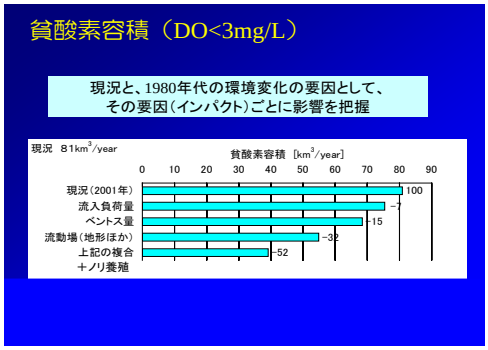
まず地形ですが、今と２０００年と違うところは諫早干拓、熊本新港、それからわずかですが水深変化も場所によってはあります。それから平均水面ですが、今海面上昇していますので、８０年代は大体今よりも１０センチ下がっていたことが分かっています。潮位振幅は今は小さくなっておりますので現況よりも２．６％大きくして計算しております。流入負荷量につきましては、ＣＯＤが２００１年の大体６５％、窒素は今とそんなに変わらない。リンは８0%、こういう流入負荷量で計算しています。

それから底生生物のアサリ、サルボウ、タイラギ、アゲマキ、これらも計算項目に入れています。これらは現況と１９８０年の漁獲量の変化率でもって現存量を変えて計算しております。アサリについては２００１年の１４倍、サルボウは逆に減って４０％位になっています。タイラギやアゲマキが今非常に少ないですけれども、この時代は非常に多いという計算となっております。それから諫早湾の諫早干拓内の干潟の底生生物量ですけれどもこれはデータがないので、ここでは塩田、鹿島の干潟と同じ初期値を与えて計算をしております。ノリ養殖量も生産量と酸処理剤、施肥量も含めて現況の３０％減らした計算条件にしています。それで今お話しました条件を入れて計算した結果ですけれども、まずこれは浅海定線の湾奥部を中心とした地点の底層 DO の変化でして、太いブルーが１９８０年代、現況に対して底層 DO が少し高めになっているということが分かると思います。それをもう少し見やすくするために









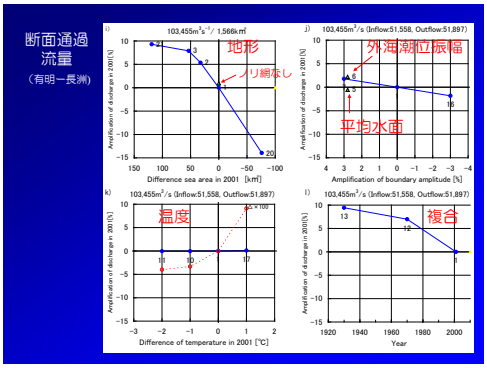
DOが３ｍｇ/Ｌ未満のメッシュの容積を１年間トータルして示してございます。

これが現況ですけれども小潮の時に貧酸素になっている結果になっています。１９８０年代の貧酸素容積をトータルとして見ますと大体現況の半分位になっているというような計算結果になります。ではどこで貧酸素が解消されているのかということですが、現況と比較して青い所は８０年代に較べて今の方が貧酸素になっている所と見て頂いたら良いのですけれども、諫早湾と湾奥部にかけて変化が大きく出ています。

次にクロロフィルａですけれども、これも１年間の時系列を出してクロロフィルが１９８０年代の方が２００１年より低く、特に高い所では低く出ているということです。これもどうしてそういう変化が大きいかと言うと、まず筑後川の河口から熊本の沿岸部、ここでクロロフィルが１９８０年の方が低く出ています。ここではアサリの現存量が１９８０年代の方が随分多いですので、アサリの水質浄化の機能が発揮されて、クロロフィルが低く、赤潮が発生しにくい状態であったというふうに見ています。ちょっと説明を忘れましたけれども、このクロロフィル濃度は２０μｇ／Ｌ以上の発生日数の変化を表しています。

それから透明度に及ぼす影響としまして、これは年平均の表層のSS濃度の変化を示しています。SSの年平均値が１９８０年の方が高く出ている所が塩田、鹿島、六角川、諫早湾です。要はこういった沿岸で透明度が１９８０年の方が低かったということになります。

それから最初に示しました貧酸素の容積ですけれども、これを要因毎に流入負荷量、ベントス量、流動場を単独で変えた場合、どういうふうな影響があるかということをみました。まず現況では貧酸素容積が年間で８０ｋｍ³程ですけれども、それを１００とした場合、流入負荷量だけ１９８０年代にすると、貧酸素容積が７％少なくなります。次にベントス量だけ１９８０年代のいわゆる二枚貝の多かった時代にして計算しますと１５％貧酸素容



積が解消されています。次に流動場は、地形と潮位振幅と平均水面を１９８０年代の条件で計算した場合ですが、現況に対して貧酸素容積が３２％解消されています。これらにノリ養殖の条件も複合した場合５２％、要は半分になるというふうな計算結果になっております。ですから個別の要因としては流動場の変化が一番大きいということになります。この流動場については地形と潮位振幅と平均水面の変化とが複合していますので、次にどれが効いているのかということを見てみます。これは以前に去年にこの NPO の会で報告したものですけれども、有明海の横断面、有明と長洲の間の横断面の断面通過流量、いわゆる入退潮量を計算したものです。地形だけ変えた場合、それから潮位振幅だけ、平均水面だけ変えた場合、更に温度を変えた場合の計算をしています。

■再生策メニュー

1. 囲繞堤とアゲマキ増産
2. 粗朶溺工（微細粒子捕捉）
3. 海底耕耘（底質改良）
4. なぎさ線の回復
5. 水産生物利用技術（カキ礁の復元）

■再生方策の評価項目

2001年の環境条件（非定常）において、再生策の効果を予測

●貧酸素水塊の低減効果
- 基準点での底層溶存酸素の変化
- 貧酸素水塊(DO<3mg)の容積
- 貧酸素化(DO<3mg)の累積時間

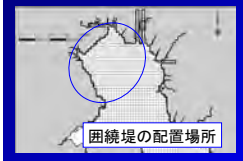
●赤潮発生の低減効果
- 基準点での表層クロロフィルa濃度の変化
- 高クロロフィルa濃度(Chl.>20μg/L)の累積時間

●透明度上昇の抑制効果
- 年平均SS濃度の変化

再生方策の効果予測　－囲繞堤の利用－

■囲繞堤の利用
・計算条件の設定

①地形条件の設定



②底質

囲繞堤の配置場所の底質は、覆砂に置き換わるものとして、有機物濃度をゼロ、間隙水の物質濃度を直上の海水濃度とする

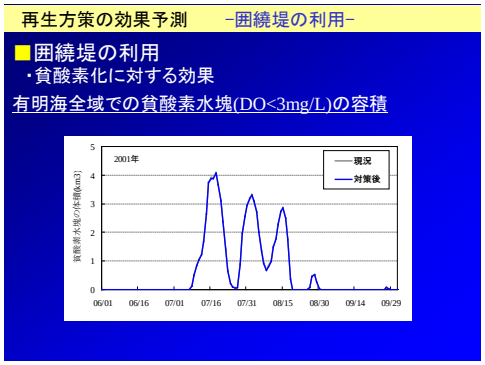
③底生生物
- 囲繞堤の配置場所にアゲマキ(0.25gC/m2)を初期配置
- アゲマキによるバイオターベーションが泥深100cmまで影響すると仮定

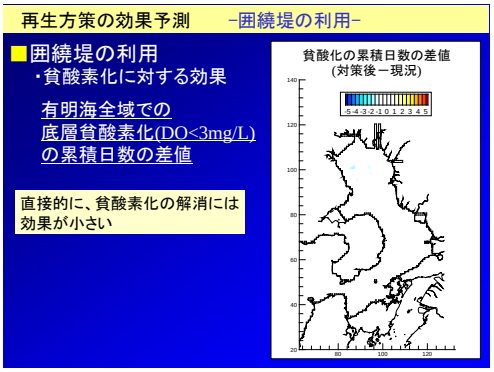
ここのクロスしている所が現況でして、１９８０年代の地形ではこれだけ入退潮量が増えているという計算結果です。潮位振幅と平均水面だけ変えた場合、地形の変化よりは小さくなっています。温度は更に小さい。従って流動場の変化といってもその中で複合的に効いていますけれども地形の変化が一番大きく、次いで外海の潮位振幅ということが言えると思います。

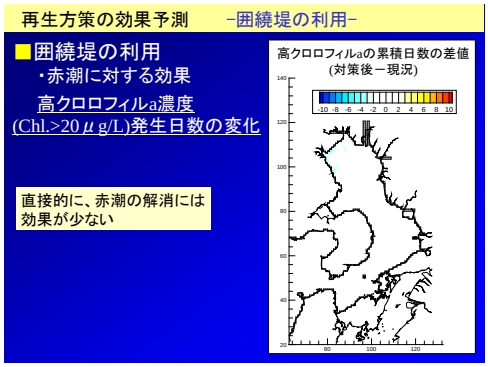
次に再生策の検討ですけれども湾奥部に囲繞堤を作って、そこにアゲマキを放流する、それから粗朶搦工をして微細粒子を捕捉する、トラップする、それから底質改良の１つとして海底耕耘をした場合、それからなぎさ線を回復した場合、カキ礁を復元した場合、こういった場合について計算を行ないました。貧酸素水塊の低減効果ですけれども、まず貧酸素水塊がどのように減るかという効果と赤潮発生の低減効果、透明度上昇の抑制効果、こういったものに的を絞ってその変化を見ていきます。

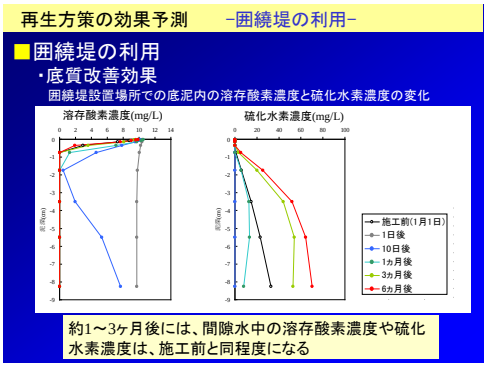
まず囲繞堤ですけれども、ちょっと色が見にくいかもしれないですけれども、湾奥部のこういった所に囲繞堤を設置したという条件で、その囲繞堤の中を覆砂して、計算条件としては有機物濃度

ゼロ、それから間隙水の物質濃度を直上の海水濃度と同じにした計算条件でやっています。底生動物はアゲマキを配置して、アゲマキによるバイオターベーションが 1mの深さまで影響するという仮定の計算を行ないました。



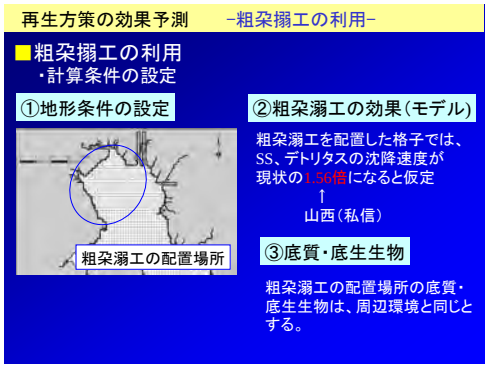




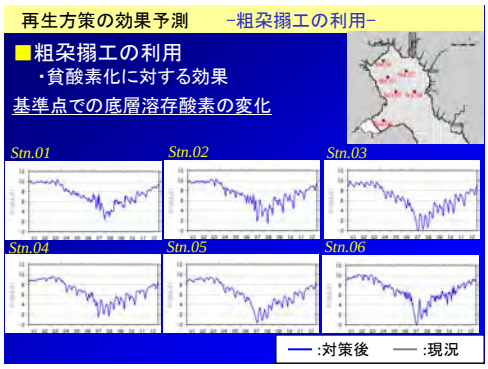


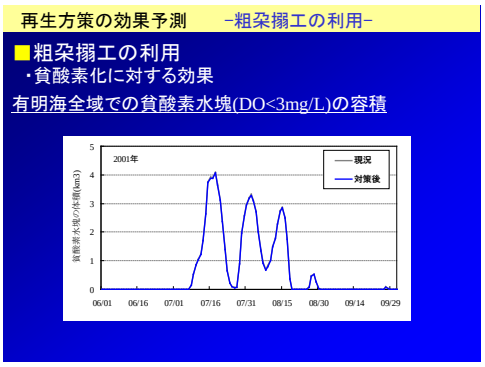
これは先程見て頂きました貧酸素水塊の容積ですけれども、対策後と現況とはほとんど変わっていません。これはクロロフィルですけれど、同様に変化は小さいです。したがって囲繞堤をすることによってこの規模では貧酸素と赤潮に対しては余り効果がないという結果になりました。

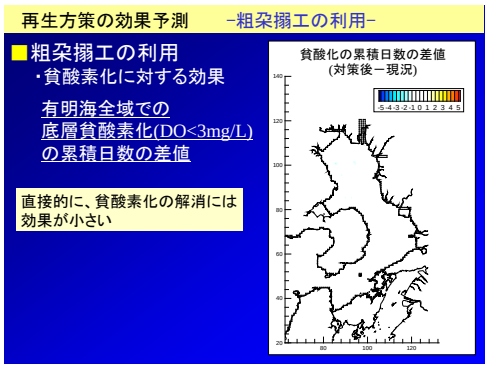
では泥の中の酸素と硫化水素について、これは鉛直プロファイルですけれども、底質を覆砂する前では１ｃｍよりも浅い所で殆んどゼロになっていますけれども、これを施工したら、１日目は酸素は下まで供給されています。しかし１０日目、１ヶ月ではこういうふうに覆砂前に近づいています。従って１ヶ月から３ヶ月位の間で元の状態に戻っているというふうな結果になっています。硫化水素の方も施工前は、これが施工前ですけれども、まず１日目、１０日目までは深いところも硫化水素はほとんどないですが、これは１ヶ月後ですけれども、１ヵ月後と３ヵ月後のだいたいこの間に施工前の状態に入っているので、この効果というのは１ヶ月から２ヶ月位がいわゆる寿命ではないかと考えられます。この計算はあくまでも最初に言いました条件で計算したものです。したがって施工後生物が住みついて、良くなるということもありますが、そういった計算はこの中ではしていません。

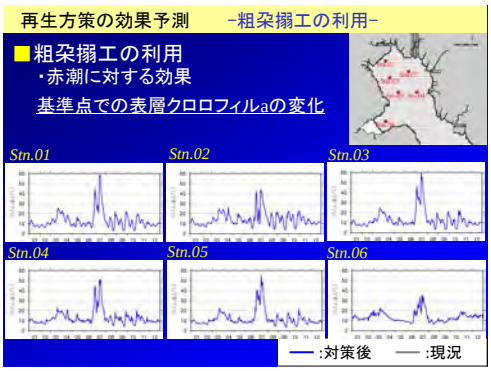


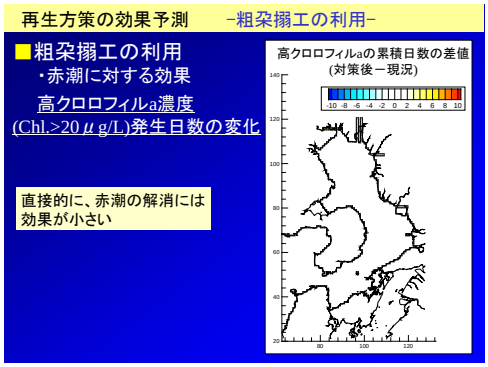
それから粗朶搦ですが、粗朶搦を湾奥部のところに配置しています。粗朶搦の内と外を潮汐によって海水が出入りするわけですけれども、濁水が入って来た所で沈降速度が上がるので粗朶搦で囲まれたところに懸濁物質がトラップされます。佐賀大学の山西先生の研究結果により粗朶搦内の沈降速度は現状の 1.56 倍になるとされていますので、1.56 倍にして計算した結果です。

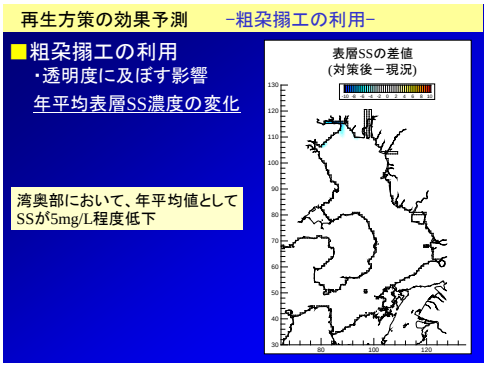






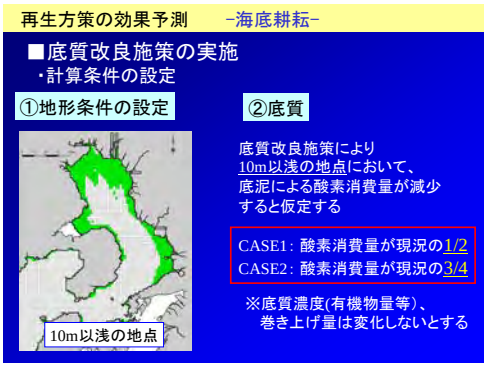


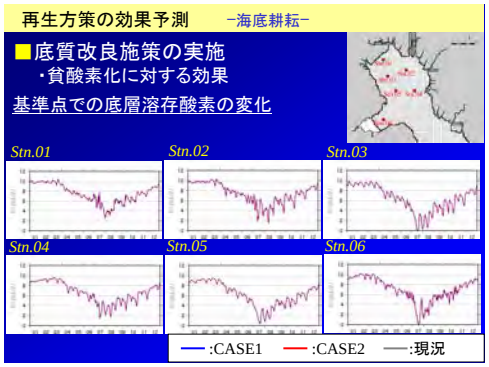


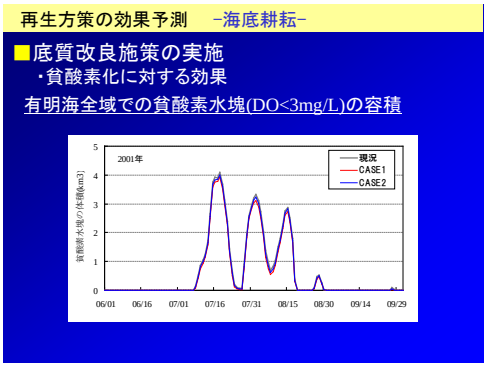


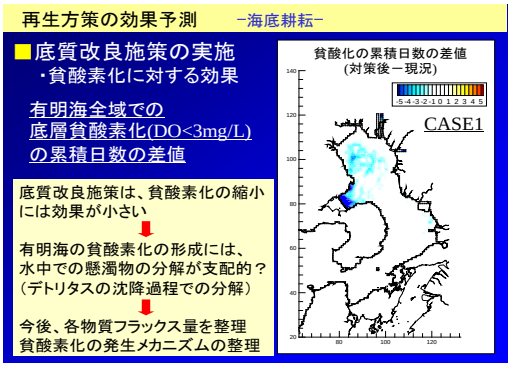
底層 DO ですけれども、余り変化は見られないです。従ってこの規模の粗朶搦では貧酸素の解消には大きな効果がないと予測されました。クロロフィル a につきましても余り変わっていません。ただし当然 SS はトラップしていますので、粗朶搦を置いているその周辺海域では SS 濃度は低くなっているというような計算結果になっています。

次に海底耕耘ですけれども、海底耕耘は 10m よりも浅い所が可能なので、ここでは 10m よりも浅い所を全て海底耕耘したらどうなるか計算しました。海底耕耘の計算条件ですが、ここでは酸素消費量を現況の１／２、３／４にして計算を行っています。こういう条件で計算をした結果、どれもそれほど差は大きく出ていません。面積的にはかなりの場所でやっていますけれども出ていない。貧酸素が少し解消されていますけれども、こういうような結果です。従って海底耕耘は、底泥の酸素消費速度を小さくしているわけですけれども、実際には水中での懸濁物の分解による酸素消費が大きいので、海底耕耘だけの効果では貧酸素を解消する所までいかないのではないかというふうに考えられます。

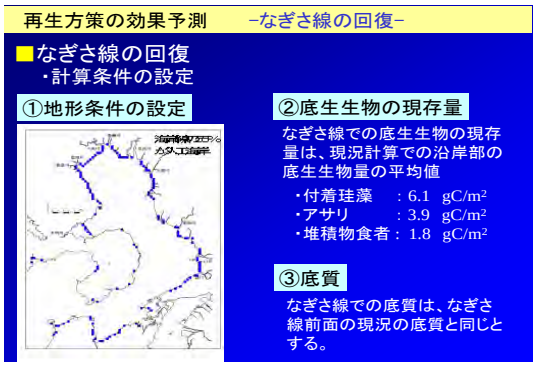


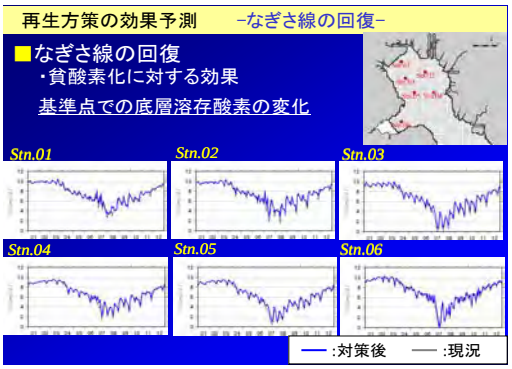


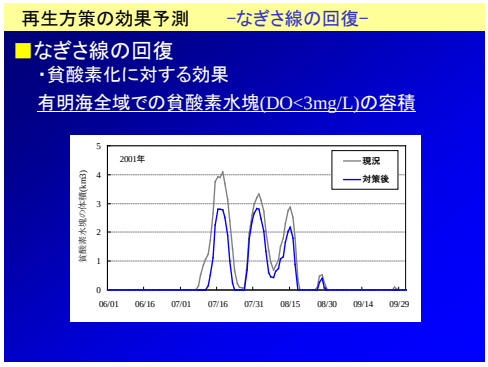


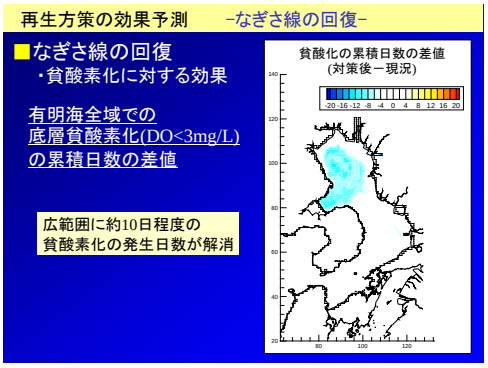


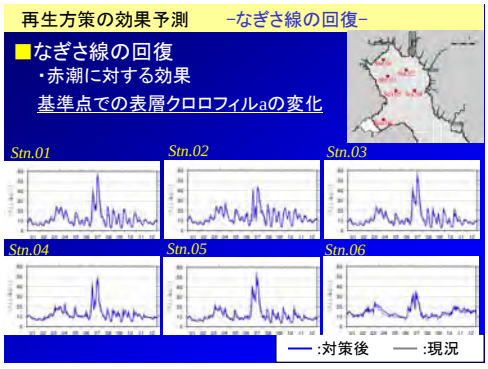
次になぎさ線の回復ですけれども、これはまず有明海の海岸線の５５％が人工海岸で、その多くは直立護岸であると考えまして、直立護岸を緩傾斜化にして、或いは開削して、そこの海岸線に直行する流れを速めてやったらどういうふうになるのかというふうな計算をしています。それから生物量も緩傾斜のところは直立護岸よりも生物量が豊富だし、底質も比較的良好なので、そういった条件でも計算しています。効果としては流れが速くなり、底層のＤＯの変化をみると、貧酸素になっているところはかなりＤＯが上がっているという計算結果になります。これが貧酸素の容積ですけれどもなぎさ線の回復によってかなり効果は上がっているというふうな計算結果になります。具体的には諫早湾から湾奥部にかけてこの辺りでＤＯが回復し、貧酸素が解消される日が増えるという結果になりました。クロロフィルでは高い所で少し低くなっています。具体的には湾奥部の地点でクロロフィルが低くなっています。これは SS ですけれど、SS は高くなっています。

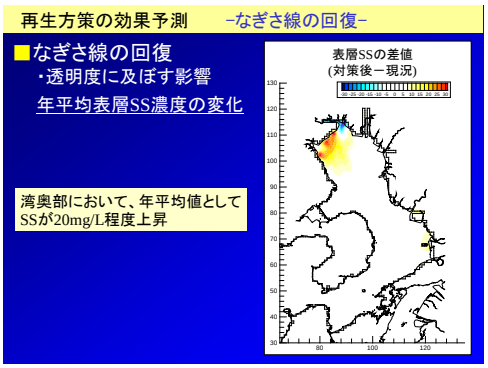




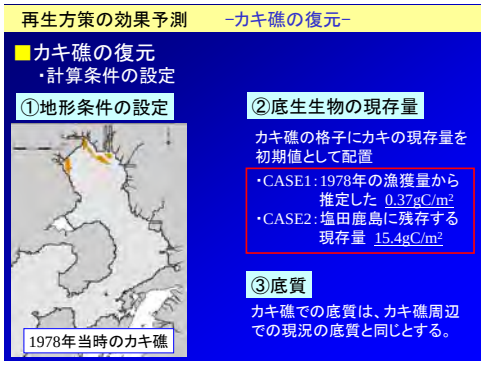


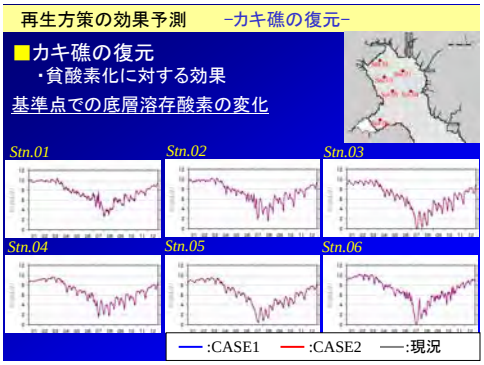


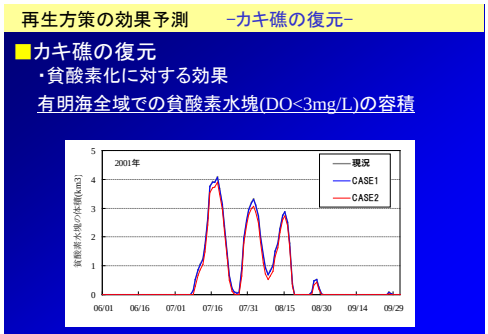


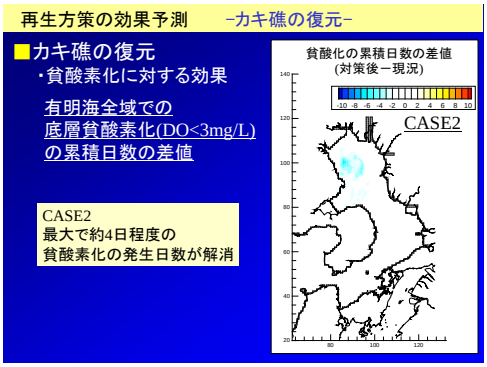


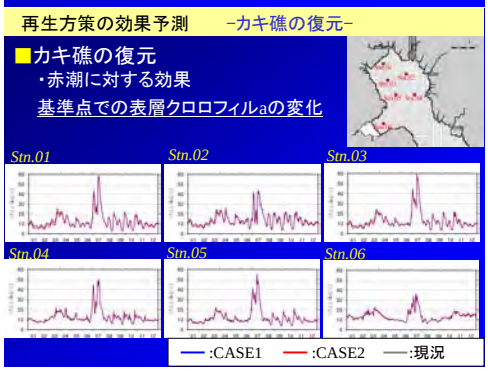
それからカキ礁ですけれども、１９７８年の航空写真から、こういったところにカキ礁があったという情報を基にしまして、このメッシュにカキ礁を配置して計算をしました。漁獲量から推定した 0.37gC/m² と、塩田・鹿島の非常にカキの多い所の現存量から 15.4gC/m² の２ケースを当てはめて計算しました。

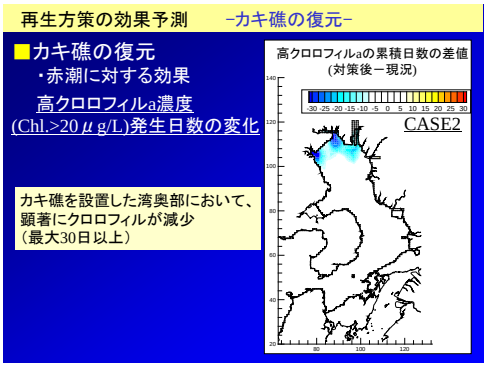








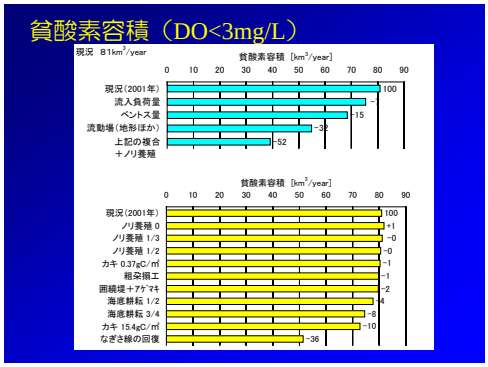


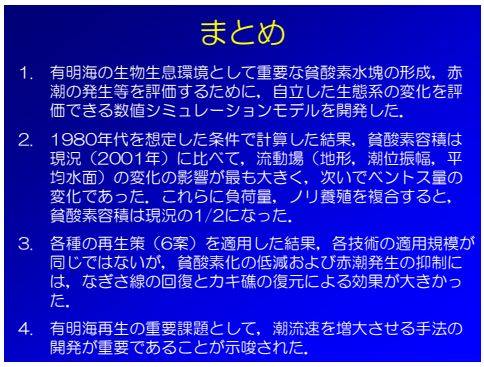


これが底層 DO の変化ですけれども、少し解消されていますけれども、それ程は大きくないです。しかし湾奥部のこういったカキ礁の近くで貧酸素になっている水域では効果があるのが見てとれます。それからクロロフィルでは比較的差が出ていまして、このカキ礁の配置されている湾奥部の所でクロロフィルの高い発生日数が少なくなっているというふうな計算結果になっています。

以上をまとめますと、貧酸素化、赤潮、すなわち高いクロロフィル濃度の発生日数、それから透明度、いわゆる SS で評価した場合、囲繞堤、粗朶搦、海底耕耘は思った程の効果はないのですけれども、なぎさ線の回復では貧酸素に対しても、赤潮に対しても効果がありました。また、なぎさ線の回復ほどではないけれども、カキ礁の復元というのも貧酸素化する海域に、また赤潮が発生しやすい海域にカキ礁を配置していますので、そういった所では非常に効果がありました。但し其々の検討はあくまでも同じ規模で適用しているわけではないので、手法そのものを単純には比較できないと思いますけれども、こういうよ

うな結果になっています。かつてのカキ礁については、現在、ノリ養殖場になっている所もありますので、その兼ね合いが大事だというふうに思います。今の部分をまとめたもの、これは最初にお示ししたものですけれども、これと同じように現況を１００とした場合、なぎさ線を回復すると、貧酸素容積が３６％回復されるという計算結果になって、次にカキ礁の復元、それから海底耕耘の順番になっています。





まとめですけれども、生物の生息環境として重要な貧酸素水塊や赤潮を評価するために、自律した生態系を評価するモデルをＪＳＴで開発しました。それを基にして１９８０年代を想定した条件で計算した結果、貧酸素容積に着目しますと、流動場の変化による影響が大きく、次いでベントス量であるということが予測されました。それから６案程の再生策で適用計算した結果、今回設定した計算条件においては、なぎさ線の回復とカキ礁の復元による効果が大きいと予測されました。従ってこれらのことから有明海を再生する重要な課題として、過去との違いでは流動場の変化の影響が大きかったこと、再生策ではなぎさ線の回復、すなわち直立護岸を緩傾斜にするなどの影響が大きかったことを考慮すると、潮流速を増大させるような手法の開発が重要だと思います。勿論、干拓した所をまた元に戻すわけにはいかないけれども、潮流速を増大させるような知恵がまず重要ではないかというようなことが今回の検討から示唆されたと思います。以上です。

【質疑応答】

〔質問者：石田〕

石田と申しますが、計算条件としていくつかの条件を入れてシミュレーションを行うのだというご説明でしたね。その条件がやはり堤防を構築する前と後で、排水門からの泥の出る量が全く違っているわけです。排水門の水の量を私が測定した事があるのですが、排水門から５０ｍから３００ｍ離れた所で平均値が５００ppm、その日は３００万トンの排水が出ているわけです。１１河川、全部併せますと流速が、秒速１１㎥位です。それに毎日秒速が、それに３６５をかけて５００ppm をかけますと年間１７万トンのＳＳが出ている事になるわけです。これはいであさんが湾口から湾奥までの泥を簡単に採泥器で取れば分かるのですが、これは真っ黒い色をしている。それで湾口から奥はどうなるかというと１直線状にとります。このずっと中央部は昔タイラギを取っていた漁場があるのですが、ここの泥は３回のうち２回は黒い泥が取れます。１回は昔の泥と黒い泥が半々位に混じった泥が取れる。これは数年前の話です。従いまして計算条件を入れる場合はこの泥の排出量を入れる必要がある。以前は無かったのですが、今はあるのです。だから計算条件の中にこの泥の排出量が入ってこなければならない。私はそう思います。

もう１つあるのですが、シミュレーションと言うのは灘岡・花田が、塚本・柳が内部地形の影響、堤防閉め切りによって、潮位振幅が減少しているという事をシミュレーションで調べているのです。灘岡・花田は４０ないし５０％の内部影響による、塚本・柳は１０％です。同じシミュレーションです。ですからシミュレーションでやるのは結構ですがこれはやはり傾向を調べるものであると、私はそう思います。ですからそれで結論を出すのは非常に危険だという事です。それから先に申しましたように、泥の排出量がかつてなかったものが現在有るという事はシミュレーションを行う場合の計算に、条件に入ってこなければならない。そのように考えるのです。

〔いであ（株）大阪支社副支社長　堀家健司〕

有難うございました。まず排水門からの泥の排出は１９８０年代の計算の事を言われていると思うのですが、現況の計算ではその排水門の中の水質濃度と排出量から計算して諫早干拓からの流入負荷量として計算して与えていますので、一応現況は近いものになっているというふうに思います。それから１９８０年は勿論諫早干拓はないので泥の排出は一切なく、本明川の河川からの負荷を与えて計算しているということになります。

〔座長：小松利光　九州大学教授〕

なぎさ線の回復と言うのは確かに私も良いと思うのですが、今の状態の時に先程斎田さんの方から発表があったように、直立堤があっても、かなり干潟が弱っているわけです。それをちゃんと現状で考慮されているのかどうか。というのは直立堤があっても　満潮に近い時にだけ直立堤の影響が出てきている。それ以外の時は結構干潟が生きているという、

それが１点。

もう１点はなぎさ線を作った時の勾配です。この勾配は今の干潟と同じような勾配を考えているのか、それとももうちょっと急な勾配なのか、例えば諫早の締め切りがある前は河川から流れこむ水が、そういう干潟に流れこんで、波の影響、潮流の影響を受けてかなり混ざった状態で、海の方へと出て行っている。それが締め切り堤が出来たら、さっきお話があったように１１河川の水が真水のまま締め切り堤の所まで持ってきて、そしてそこからドンと出ているわけですね。混合機構が全く違うのです。そういう事をシミュレーションの中で、考慮されているのかどうか、如何でしょうか。

〔いであ（株）大阪支社副支社長　堀家健司〕

１つ目は小松先生もご存知のように、そうですね、私は計算条件をきちっと今説明しなかったかも知れませんが、なぎさ線の回復では人工海岸の所のメッシュを、そこに直行した流速を増すためにどういう計算をしたかといいますと、陸側にもう１つメッシュを作って、そこのメッシュは海岸線のメッシュと水深を同じにして計算しています。

それから２つ目の諫早干拓の中の色々な機構についてはこのモデルでは一切評価していません。あくまでも排水門から出る負荷量として、諫早干拓事務所が調査されている潮受け堤防内の水質濃度と排水量から計算された負荷量を計算条件としております。その結果が先程おっしゃったような高い濃度になっているかどうかは検討してみます。

〔座長：小松利光　九州大学教授〕

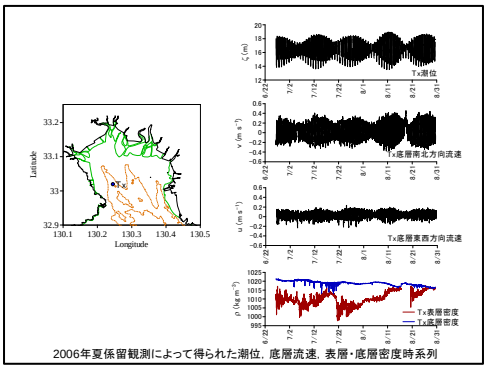
そうすると、いわゆる干潟の物理効果を過小評価している可能性があるなという感じがするのですけれども。混合能力が非常に高い干潟を経て河川水が流れこんでくるというのと、それからぽっと与えるというのとは全く違うと思います。

以上

佐賀大学有明海総合研究プロジェクトにおける有明海異変解明の試み
－数値モデルによる成果を中心として－

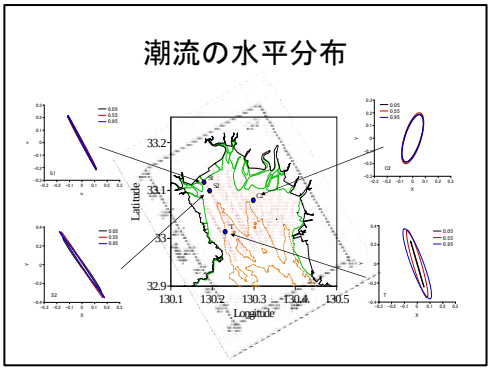
佐賀大学有明海総合研究プロジェクト　准教授　濱田 孝治

今日は有明海総合研究プロジェクトにおける有明海異変解明の試み - 数値モデルによる成果を中心として - と題しまして発表させて頂きます。まず、ちょっとおさらい気味になるのですが有明海の特徴を述べさせて頂きます。沿岸域というのは基本的にどこでもそうなのですが、特に有明海の場合は潮汐を始めとして水温、塩分などの変動が非常に大きいということが挙げられると思います。

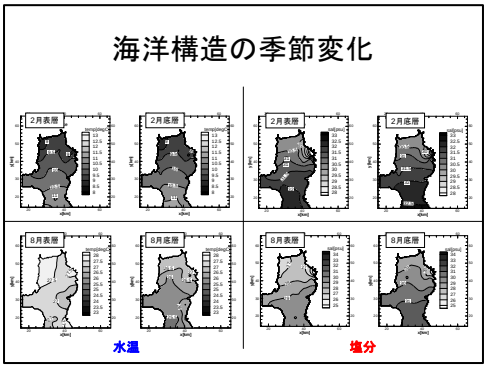


2006年夏係留観測によって得られた潮位，底層流速，表層・底層密度時系列

こちらの一番上は湾奥の潮位の時系列です。その下は底層の南北方向と東西方向の流速で、大潮、小潮に伴い大きく変動していることがわかります。また一番下は密度の時系列で，表層と底層のものですけれども、これを見ましても，大体２ヶ月位の観測期間中にこれだけ大きく変動しているということがわかります。

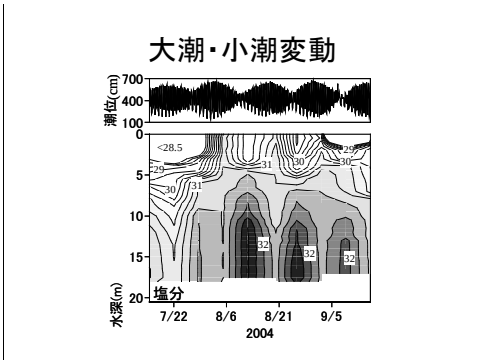


潮流について詳しく見てみます。先程のように大潮、小潮での変動もありますけれども、空間的な違いもかなりあります。こちらに示しておりますのは数値モデルによって得られた湾内の各点における潮流楕円です。湾の東側では楕円形になっており、西側では往復流の形になっているというのが見られます。このように湾内の西側と東側でかなり大きな違いが見られます。



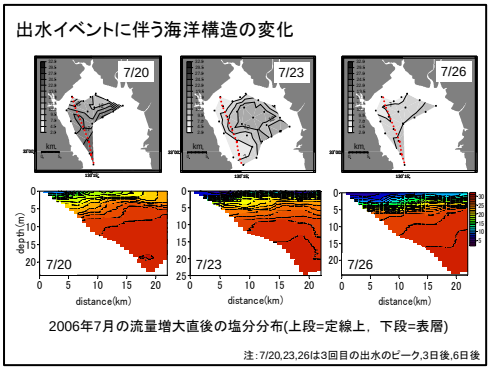
また、海洋構造、すなわち水温、塩分分布の季節変化というのも非常に大きく、特に成層強度が季節によって大きく変わります。これは，浅海定線調査のデータを平均して得られたものですが、上が２月の表層、底層の水温、塩分の水平分布です。下が８月の表層，底層の水温，塩分分布です。これを見ますと冬場の非成層期は鉛直方向に非常に良く混合していることがわかるのですが、８月の成層期にはかなり鉛直方向に差があるということがわかります。

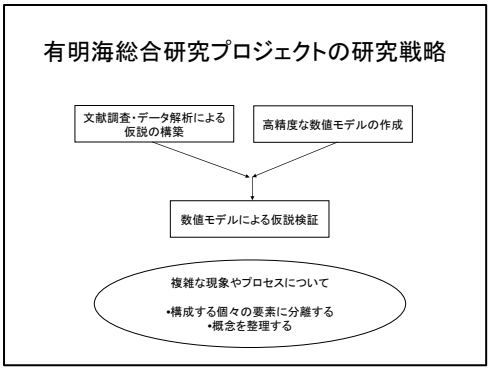
また、海洋構造は季節間で一定しているわけでは



なく、これも大潮、小潮で変動します。この図は塩分だけを見ていますが，九州農政局の観測データをもとに，横軸に時間、縦軸に深度をとって，塩分の鉛直プロファイルの時間変化を示したものです。これを見ますと小潮の時に底層の方に高塩分の海水が入ってきているという事がわかります。

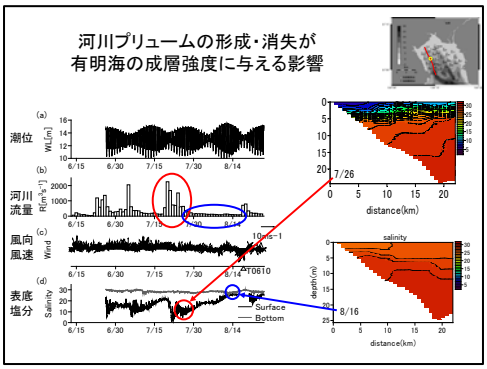
更に、出水イベントなどがありますと海洋構造ががらりと変わってしまいます。これは我々のプロジェクトの観測結果で、塩分分布の出水後の変化です。上は水平分布、下は鉛直断面分布で、鉛直分布は点線で示した面について示しています。７月２０日はちょうど出水の直後で、その時低塩分水塊は筑後川河口付近にあるだけなのですが、３日後には岸を右に見るような形でどんどん太良沖の方まで広がっていまして、その後湾全体に河川プリュームが広がるというよう現象が捉えられています。





こういった複雑な変動をする海域に対してただ闇雲に取り組むというのは非常に効率が悪くて、我々は限られた時間と人員の中でやらなければならないという制約がありますので、研究戦略として以下のような形を取っております。

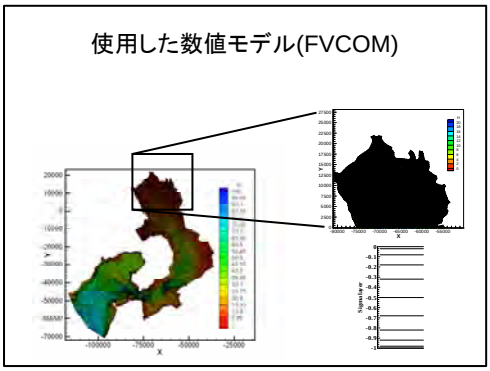
まず文献とデータ解析による仮説の構築を行いまして、その一方で高精度の数値モデルを作成します。そして両方を併せて数値モデルによって構築した仮説の検証を行うという事です。また複雑な現象プロセスについてもそのまま使うのではなくて、構成する個々の要素になるべく分離して概念を整理して、この海がどういう海であるかという事を明らかにするという事を１つの大きな目標として掲げております。

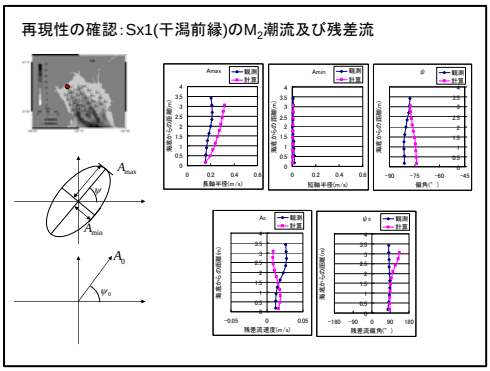


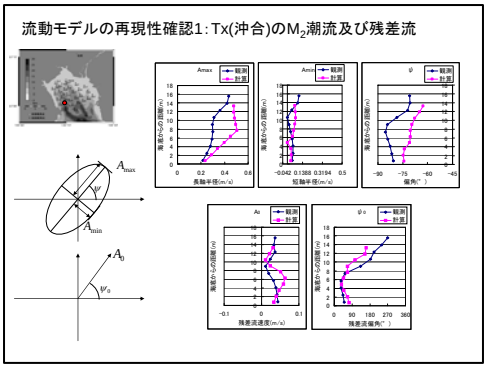
ここから数値モデルの成果の報告に移らせて頂きます。順番に流動モデル、懸濁物モデル、生態系モデルのそれぞれについて現時点で得られている結果について簡単にご紹介致します。

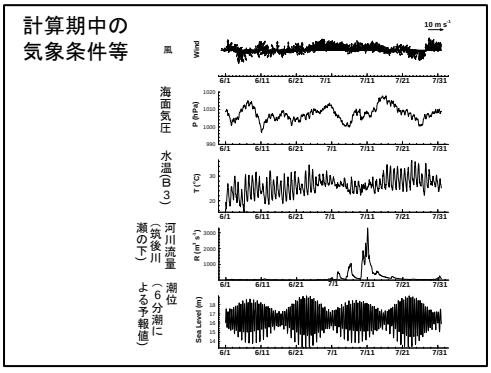
１番最初に流動モデルについて、海域の海洋構造の変動の中で最も大きなもののひとつである河川プリュームの生成と消失についての成果をご紹介致します。先程もちょっと示しましたが、大雨が降

って大出水が有りますと、特に筑後川からの淡水の流入によって成層強度が大きく変化します。こちらは沖神瀬付近の表層、底層塩分の時系列です。出水が１回起こりますと一時的に表層の塩分が非常に低下して，その後徐々に回復していき、そして最後は上下比較的一様に近くなる、こういうプロセスが見られます。出水直後の状態では、この塩分の鉛直プロファイルの図でわかりますように強く成層しておりまして、時間がたつにつれて徐々に成層が解消してきます。こういったプロセスを再現するために数値モデルによるシミュレーションを行いました。







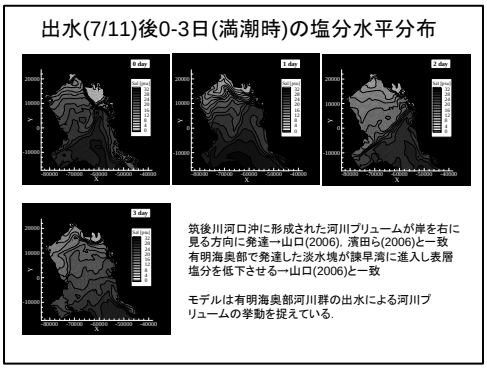


使用した数値モデルは FVCOM をベースとしたモデルです。なお、この後のモデルの結果は全て FVCOM をベースにしたモデルによるものです。FVCOM の特徴は、非構造格子を水平方向に使用する事によって、地形の表現が非常にフレキシブルに出来るという事です。特に、湾奥の海域については地形を意識し、或いは河川付近の澪筋などを解像する様な格子を作ることが可能です。そのため潮流の再現性などが非常に高い、という事が確認出来ています。

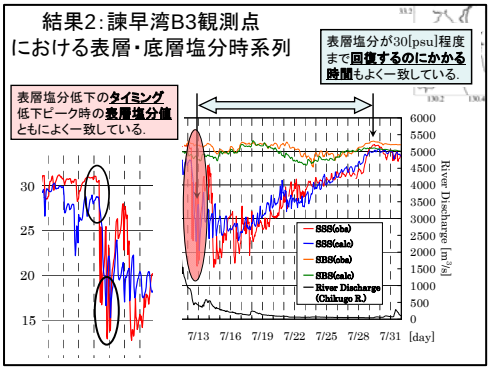
こちらは、干潟の前縁において、実測と計算の M_2 潮流楕円の諸要素を比較したものです。長軸半径、短軸半径、偏角、位相など比較的良い一致を示しているということがわかります。ここは特に干潟前縁ですので、数値モデル的には非常に再現が難しいのですが、このように再現出来ているという事を確認しております。沖側についても同様です。

計算は２００５年の夏の大出水を対象として行いました。７月１１日頃に非常に大きい出水がありまして、その後の塩分の変動がどうなっているかというのを見ています。

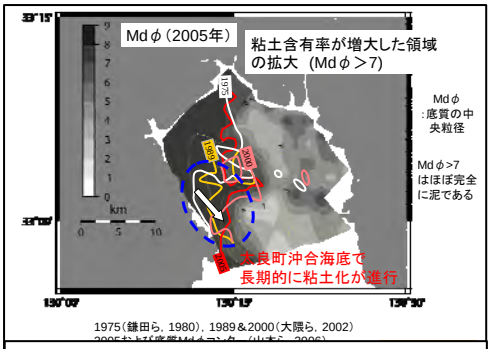
こちらはモデルによる塩分の表層の水平分布の時間的な変化を表したものです。残念ながら、この時には水平分布の観測を行っていないので、モデルの結果だけしかないのですけれども、こちら



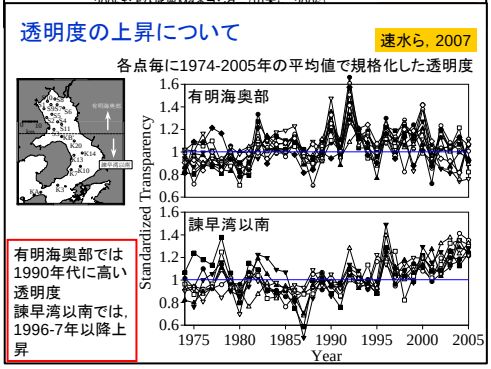
を見て頂きますと分かりますように、最初出水直後に筑後川の河口付近にのみ見られた淡水プリュームが１日、２日、３日とたつにつれて、岸を右にみる方向で広がっていって、途中で諫早湾の中に到達する、そして諫早湾全域が低塩分化するというような、一般的に言われているプロセスが再現されているという事がわかります。



更に特に諫早湾内の B3 観測塔で測られた表層の塩分と底層の塩分を計算と実測とで比較をしたものをこちらに示します。こちらの黒で示しているのが筑後川の流量です。これを見ますと観測の方も計算の方も出水からやや時間をおいて急激に低塩分化すること、しかもそのタイミングも非常に良くあっているということがわかります。そしてそのあと成層が解消していく過程、河川プリュームが消失していく過程についても、タイムスケールを含めて良く一致しているという事がわかります。このように、有明海の変動の最も大きなもののひとつである河川プリュームの生成消失のプロセスを良く再現出来ているという事が確認されまして、モデルに信頼性があるという事がわかりました。ここでは、流動モデルについての成果としてこれを説明させて頂きました。

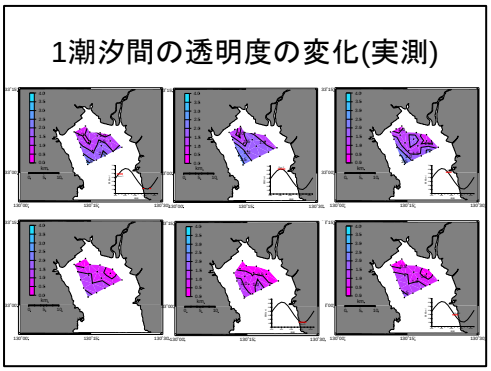


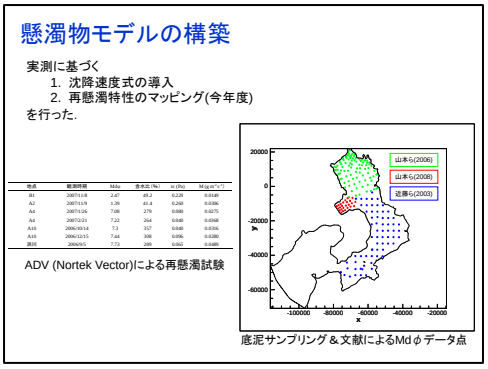
次に、有明海奥部の懸濁物の挙動について、懸濁物モデルを用いた成果について報告させて頂きます。



有明海異変のかなりの部分が懸濁物、泥に関する部分だというふうに考えられております。こちらは湾奥全域の泥の中央粒径の時間的な変化を示したものです。等値線は Mdφ=7 を表していて、その位置が白から始まって黄色、ピンク、赤というふうに経年的に変わっていっています。Mdφは大きければ大きいほど細粒化が進んでいるという事を表しているのですが、Mdφ>7 の領域が、特に太良沖で段々広がってきているという事が調査の結果としてわかっております。一方、透明度の変化についても調べられています。細かい泥が巻き上がる事によって光が遮蔽されるため、透明度と巻き上がった泥の濃度との間には密接な関係がある訳ですけれども、こちらに紹介しま

すのは，浅海定線調査データをもとに，有明海の奥部と諫早湾以南と分けて、それぞれ透明度が経年的にどのように変化したかという事をグラフに表したものです。横軸が時間になっておりまして、縦軸が透明度になっております。透明度が高い値程澄んでいるということを表していますけれども、こちらを見て分かりますように、有明海奥部では１９９０年代頃に一時的に高い時期があったのですが、その後はむしろ減少傾向にあります。一方諫早湾以南については１９８０年代後半位に非常に低い時期があったのですが、その後特に１９９５年以降位からはっきりとした上昇のトレンドが出ております。諫早湾の干拓事業の潮受堤防が完成したのがちょうど１９９７年なので、諫早湾以南に懸濁物の供給が少なくなったために透明度が上昇したのではないか、つまり、湾内の潮流が弱くなった事によって本来巻きあがって湾外の方に輸送されていた懸濁物が輸送されなくなっているのではないか、という仮説を立てる事ができる、ということです。



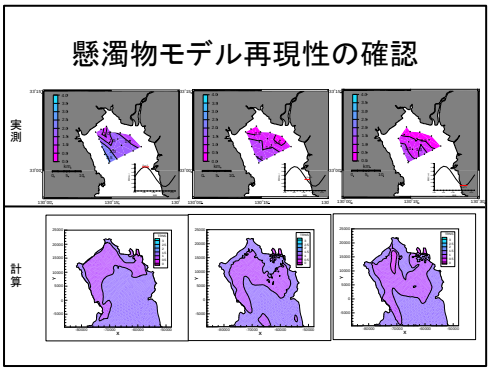


これを検証するためには非常に精度の高い懸濁物モデルが必要になります。というのは、実は透明度というのは時間的にそれほど安定しているわけではないのです。この図は、透明度の水平分布の実測値を表しているのですけれども、このように非常に大きく潮時によって変動しています。泥は潮の満ち引きによって、巻き上げと沈降を繰り返し、また、上げ潮には湾奥に運ばれ、下げ潮には湾口側まで運ばれるというのを繰り返していて、その結果として透明度が現れるわけです。

高精度の懸濁物モデルの構築のために、今回は懸濁物モデルに底質の再懸濁特性のマッピングを取り入れました. 実測に基づいたなるべくリアリティのある底質の条件を取り入れることによって高精度化を図りました。

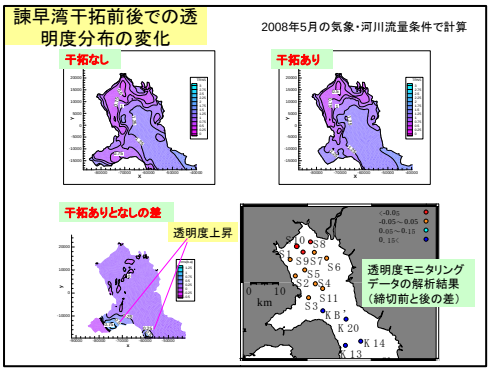
湾奥と諫早湾については，我々のプロジェクトで山本が中心になって測った最新のデータがあります。また湾口にかけては、我々のプロジェクトではとてもそこまでカバーできないのですが、幸い長崎大学の近藤先生により２００３年のデータが公表されておりましたのでそちらを使いました。そして湾奥及び筑後川、諫早湾でいくつかの点について巻き上げの再懸濁試験を行ない、それによって底質と巻き上げ特性の関数を求め、それを底質のデータに適用して全域について巻き上げの特性のマッピングを行ないました。

こちらはその結果です。上が先程お見せしました透明度の実測値で、下が計算値です。こちらで見ますと湾奥のこの辺りで透明度の低い海域が広がっていて、それが下げ潮にの

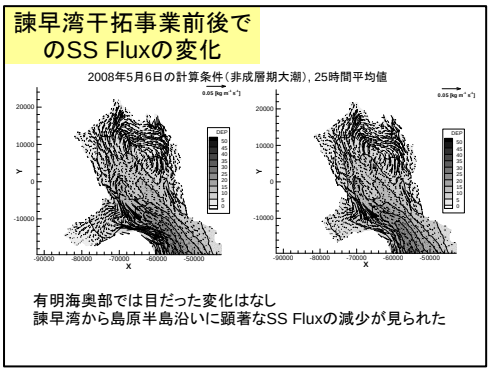


って南側へやってくるということ、それから太良沖の所に透明度の高い領域が有るという事が再現されています。ただ、実測値に見られる、干潮時の筑後川河口沖の透明度の顕著な低下がモデルではうまく再現出来ておりません。この計算の時点では感潮河道をモデル内で解像していないので、そのためと思われます。また、満潮時に太良沖に極端に澄んだ海水が入ってきて、透明度が２．５メートルを超える、といったこともまだ再現できておりません。これらは今後の課題という事になります。

このモデルを使いまして先程の仮説の検証、すなわち、諫早湾干拓事業の存在の有無によって、透明度がどのように変わるかという計算を行ないました。気象等は 2008 年 5 月の条件とし、諫早湾の地形を潮受け堤防を考慮するかしないかという違いだけを考慮し、それ以外は全て同じにした 2 種類の計算を行いました。



図は、それぞれの地形条件のもとでの大潮満潮時の透明度を表したものです。左は潮受け堤防なしの場合の計算結果で、右はありの時の計算結果です。このままだとちょっと見づらいので両方の差をとったものがこちらになります。これは干拓事業後から前、つまり潮受け堤防なしの状態からありの状態を引いた時の差がどうなったかということを示したものです。これによると、諫早湾の湾奥部と島原半島沿いについて、顕著に透明度の上昇した海域があるということがわかります。ここで、先程説明した、実測による透明度の経年変化の状況を面的に示し直して見ますとこちらのようになります。この青に近い色ほど１９９０年後半を境に透明度の上昇が著しかったという事を示しています。これによると島原半島以南の透明度が顕著に上がっているわけですが、それに対応した形で、計算でも透明度の上昇した海域が見られます。

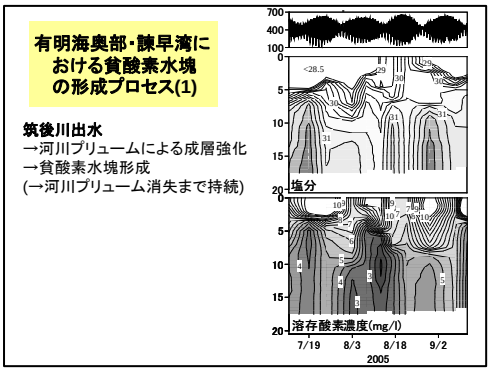


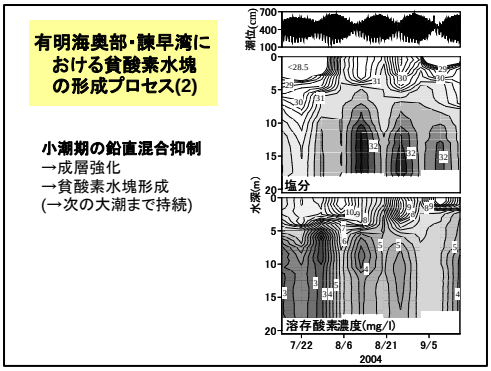
実測では、湾奥については変化無しか、或いはむしろ低下しているという結果になったわけですが、計算でも潮受け堤防ありと無しとの差を取った時にあまり顕著な差が出てこなかったという結果になっております。

こういう違いが何故起こったのかという事をモデルの中で検討して見ますとこちらのようになります。これは潮受け堤防の有無それぞれの条件のもとでの懸濁物の水平方向のフラックスを表したもので、2008 年 5 月の大潮時の 25 時間

の平均値です。こちらを見ますと、諫早湾から島原半島沿いにかけて懸濁物のフラックスが顕著に変化した場所があるという事がわかります。これが先程透明度の上昇した海域と対応しておりまして、つまり諫早湾から島原半島沿いの顕著なフラックスの減少によってこの海域の透明度が上昇したというふうに考えられます。一方で有明海奥部については、目立った変化というものは見られませんでした。ここのモデルの中では湾奥の透明度の変化は諫早湾の干拓事業では説明できなかったという事です。懸濁物モデルについては以上です。

次に有明海奥部、諫早湾の貧酸素水塊について、生態系モデルの成果を紹介させて頂きたいと思います。





生態系モデルの定式化（抜粋）

主な定式化は中田(1993)に準拠

底泥による酸素消費速度

$$DO_{cons} = 142.7\exp(0.1794 \cdot IL)\cdot\exp(\beta_{DO}\cdot(T-28.0))\frac{DO}{DO+DO_{00}}$$

海底からの窒素(NH_4)・リン(PO_4)溶出

$$NH_{4bflux} = \alpha_{NH_4}\cdot IL^{\beta_{NH_4}}\cdot\exp\left(\gamma_{NH_4}\cdot(T-T_{ave})\right)$$

$$PO_{4bflux} = \alpha_{PO_4}\cdot IL^{\beta_{PO_4}}\cdot\exp\left(\gamma_{PO_4}\cdot(T-T_{ave})\right)$$

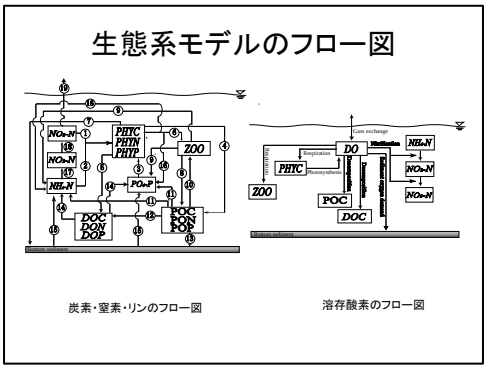
光束消散係数

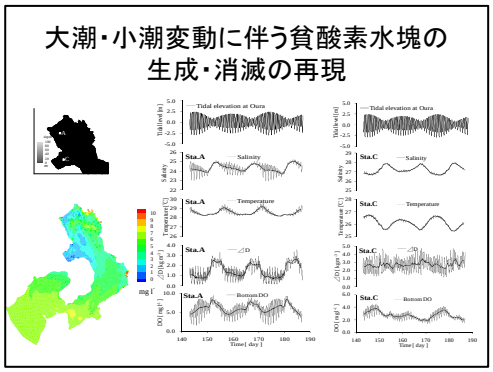
$$\kappa = \exp(5.63-0.22S)+0.5\cdot10^{-2}Chla$$

Cf:植物プランクトンによる自己遮蔽効果 $\kappa = 0.5+0.5\times10^{-2}Chla$

有明海奥部、諫早湾の貧酸素水塊の形成プロセスには大きく２つの種類があると言われております。ひとつは筑後川の出水によって河川プリュームが発達して成層が強化され、これは先程お見せしたプロセスですけれども、その事によって鉛直混合が抑制され、溶存酸素の供給が海底に対して抑制される、その事によって、貧酸素水塊が形成されるというもので、これは河川プリュームの消失まで持続します。こちらは実測による有明海奥部の潮位と塩分の鉛直プロファイルの時系列です。また、こちらは同じ点の溶存酸素濃度の鉛直プロファイルの時系列です。河川流量の増大があって、それに伴って低塩分の水塊が湾奥に居座って、その間、溶存酸素が海底で非常に小さくなるという事がわかります。これは大潮小潮で若干の変動はありますが、成層が解消されるまでずっと続きます。

一方もうひとつのプロセスとしては大潮、小潮の変動によるものがあります。それはどのようなものかといいますと、小潮時には鉛直混合が小さくなりますけれども、それに伴って湾口側から高塩分の海水が底層に進入してきます。そして進入して来た海水が湾奥部或いは諫早湾内で孤立することによって、貧酸素水塊が形成されるというものです。こちらは小潮の時から次の大潮まで持続します。この図は実測ですが、塩分の成層強度が大潮の時に弱く、小潮の時に強くなるという変動を繰り返し、それに伴って溶存酸素濃度が小潮期に低く、大潮期に解消するとい





う変動をしていることがわかります。

これを表現するために生態系モデルの構築を行なっておりまして、こちらが生態系モデルのフロー図になりますが、説明は割愛させて頂きます。

そして現時点での生態系モデルでの成果ですけれども、ふたつある貧酸素水塊形成プロセスの内、大潮小潮変動に伴う貧酸素水塊の形成、消滅の再現ができた所まで行っております。

こちらは溶存酸素が最も低下した時の海底の溶存酸素の水平分布を表しています。諫早湾内と有明海奥部の干潟前縁部付近に貧酸素水塊が出来ているということが表現されておりまして、この時の湾奥と諫早湾中央部の底層の塩分、水温、それから表層、底層の密度差、溶存酸素を時系列でそれぞれ表したものがこちらになるのですが、どちらの海域についても小潮の時に塩分が上昇しているというのが表現されております。これは湾の外側の方から高塩分の海水が底層に入り込んできたということを表しております。湾口側から新しい海水が底層に入って来るので密度差がその都度上昇し、また、溶存酸素が一時的に上がるのですが、その後強い密度差によって溶存酸素の供給が途絶えるために貧酸素化する。そして大潮期に向かって徐々に解消するといったパターンが表現されております。これが生態系モデルによって現在得られている成果となります。以上です。ご清聴有難うございました。

【質疑応答】

〔質問者：堤〕

熊本県立大学の堤です。SS の水平フラックスの所で、そのベクトルは時計回りになっていました。あればそこは反時計回りではないですか。特に大きな残差流の場合は。

〔佐賀大学有明海総合研究プロジェクト　准教授　濱田 孝治〕

今、図を持ってきていないのですが、時計回りになっているのはこれは残差流のパターンと一応対応した物になっています。というのが、ちょっとやはり図がないと説明しづらいのですが、有明海奥部の潮汐、残差流は特に大潮時には筑後川河口沖から一旦南下するような形のベクトルが現れて、その沖で一旦北上して太良沖に沿ってまた南下するというパターンとなります。

少なくとも大潮期には岸にべったり張り付くような残差流分布にはなってない筈です。反時計回りというのは、湾奥全体で見ると反時計回りになっている、ということです。

〔質問者：堤〕

それは後で確認して下さい。それからもう１つ、沿岸域の所が何か透明度が高くなっていますね。沿岸部の所は巻上げが激しい所で、そこはかなり濁りが一番高くなる所だと思うのですが、事実とそこは矛盾していると思われるのですが。

〔佐賀大学有明海総合研究プロジェクト　准教授　濱田 孝治〕

実はこの部分は干出した領域になっていて、干出で流動の計算をストップさせた状態で、SS はそのままにしています。そのために見かけ上ここの SS 濃度が下がってしまって、透明度が上がってしまっている状態です。

〔座長：小松利光　九州大学教授〕

今の見かけ上というのは実質的には問題がないという事ですか。

〔佐賀大学有明海総合研究プロジェクト　准教授　濱田 孝治〕

実をいうと、これが更に上げ潮になった時には、この干潟面上に置かれていた値が悪さをする可能性はあります。ただ上げ潮の時には汀線の前縁の所でかなり激しく巻き上がるという結果がモデルの方でも出ていますので、上げ潮時については沖側に悪い影響を及ぼすという事は今の所ないようですが、ただ、ちょっとこのままだと図の見栄えの問題だけではなく、今後数値的にも何かしら悪さをするという可能性が十分あるので、干出している場所或いはギリギリの場所の懸濁物の巻き上げ、沈降の特性についてはきちんと実測の方と比較して問題がないかどうか確かめておく必要があると思います。

以上

意見交換

〔座長：小松利光　九州大学教授〕

それでは具体的な再生策に向けて意見交換をしたいと思います。今２つのコンピューターシミュレーションの計算結果が報告されたのですが、先程お話があった様にコンピューターシミュレーション、一体どう信頼したらよいのかという難しい問題がありました。しかし、現時点ではシミュレーションに頼らざるを得ない状況です。まずシミュレーションの信頼性という辺りから話しを進めて行きたいと思います。まず先ほど講演いただいた２つで、自分のシミュレーションは、他方とどこが違うのかを是非明確にして頂き、自分のシミュレーションで、特に信頼性が高いところ不安定なところなど、その辺を分かる範囲でお願いしたいと思います。

〔いであ（株）大阪支社副社長　堀家健司〕

私共で作っている JST のモデルは色々な再生策のメニューが与えられて、それについて評価する、過去の環境変化に対して検証出来るようなモデルにするということで作っています。

そのためには有明海の計算条件として干潟機能をきちっと計算に織り込まれる、いわゆる干潟生態系のモデルのような物が有明海全体のモデルの中に入っているということと、多分濱田先生のモデルと決定的に違うのは生物の要因が、色々な生物が具体的にはアサリですとかサルボウ、タイラギ、アゲマキ、こういったものを入れているのと、干潟においては微細藻類を入れているという事です。今日お話した低次生態系モデルで出力された結果を最終的には、一般に分かりやすくするために生物指標種、具体的にはアサリ、サルボウ、スズキ、そこに受け渡してアサリとかサルボウの資源量の変動を予測するモデルにしたいと思います。そのためには、例えば、アサリの場合干潟域での、餌資源として、種々の懸濁物質を食べるのだけれども、その起源としていわゆる底泥の微細藻類がはがれたようなものも結構食べているというふうな知見もありますので、そういったことも評価できるようなモデルにして行きたい。強いて上げれば有明海全体の干潟生態系のモデルのような物を我が社の方で作っているという所は違いが有ると思います。構想的には同じと思いますけれども、そういう違いがあります。

〔佐賀大学有明海総合研究プロジェクト　准教授　濱田 孝治〕

モデルの具体的な実装については大体堀家さんがおっしゃられた通りで、流動モデルについては底質が若干違うというところではありますが、基本的には同じ構想のものになっていると思います。

懸濁物モデル或いは生態系モデルの方については、いであモデルの方が色々盛り込んだ形になっていたと思います。そして私の方で結果の違いとして大きいというものは、コンセプトの違いという事があるかと思います。我々は再生策の具体的なオプションを多数検討するというような事は、今の所考えておりません。検討可能範囲では検討するということはあるかと思いますが、どちらかと言うとそれよりはメカニズムの解明であるとか、そういったことを中心に考えたモデルの開発という事を行っております。そこが大きな違いということになるかと思います。

〔座長：小松利光　九州大学教授〕

どうも有難うございました。

各モデル、得意箇所、若干弱い箇所など、多少特性の違いは有るようです。大事な事は例えば再生策１つをとってみて、２つのモデルで同じように計算をする、比較的近いような結果が出るかどうかという事に関しては、試行する価値があると言えると思います。

例えば地球温暖化の問題で IPCC の予知報告の時には全世界で２６の GCM、モデルがあったのです。２６で計算するともうばらばらにばらつきます。彼らはどうしたかというとその中の９割が同じ傾向性を持っていたら多分大丈夫だろう、英語で”very likely”という表現を使うのですが、それは低レベルの話ではないのです。定性的な話なのです。地球温暖化のグローバルなモデルとこういう実証的なモデルというのは多少精度的なレベルは違うかもしれませんが、そういう扱い方をしているということですので、少なくとも今、２つのモデルが傾向的に一致しないと多分話にならないだろうという気がします。

それで、お２人の話をお聞きしていて私がちょっと感じたのは、干潟、なぎさを、もうちょっと細やかな扱い方が必要なのではないかなという気がしました。先に言いましたように、河川から水が入り込んでくる時にやはり干潟を通して海に流れ込むのと、それから締め切り堤から排水としてポッと流されるというのとはこれはもう全く違う。その辺の物理的な作用を、メッシュ幅も大きいですから、仕方がない面もあるとは思うのですが、でもかなり決定的に左右するのではないかと思います。濱田先生の定線付近で透明度がかなり高くなっているというような所もその辺を反映して、もっと細やかな取扱いにしなければいけないのに、それが必ずしも十分ではないというところが機械の限界かなとそんな感じがしました。

勿論、反論が有ると思うのですが、それでまず、いであモデルの話で潮流の回復が重要なメカニズムが色々有ると思うのですが、潮流が回復すると何がどうなって、その結果どう良くなるのかと、その理屈は明確になっているのですか。

〔いであ（株）大阪支社副社長　堀家健司〕

今日の計算結果で一応潮流の変化から生態系モデルを動かして、全体的には基準としてセットしたものを貧酸素の容積で一応見ましたので、その中のメカニズムとしては勿論成層強度とか色々なものが入ってきますけれども、結果として貧酸素の容積で見た時に、いわゆる潮流の変化による影響が非常に大きいというふうな結果が出たところから、今先生がおっしゃったような結論を導いた訳です。だからその中のメカニズムはある程度このモデルの中では実証されているというふうには思います。

〔座長：小松利光　九州大学教授〕

いであさんの今迄の計算結果からいくと、とにかく潮流の回復が極めて重要なポイントだということですね。今その指標が貧酸素水塊と停滞のプリュームが出るという所からこういう結果が出るということですね。

濱田先生の方は具体的なまだ再生策までは踏み込んでいないみたいなのですが、このコンピュータモデルを使って今後具体的にどういう事を再生策として考えられるのか、その辺をお伺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　濱田 孝治〕

短期での話と長期での話という事だろうと思うのですが、とりあえず当面の話をしますと、昨年の裁判の結果を受けて、開門調査の方が急激に実現化のきざしが見えてきているということで、我々が先の話としてする内容としては開門調査の影響評価を行なってどこまで回復するか、或いは悪い影響が起きないかということを評価する、それが大きな話であろうと考えております。

長期の話についてはまだはっきりした事というのは言えない段階にあるのですが、理念としては有明海が今まで健全な海であったのは主に懸濁物の挙動の力に支配される所が大きかったのだろうというふうに考えますので、懸濁物の挙動を軸にしてそれから派生して、赤潮、貧酸素の発生、或いはノリの生産量の低迷、そういった問題に取り組んでいくという事になるかと思います。

〔座長：小松利光　九州大学教授〕

今迄のお二人の発表を見せてもらいながら、コメントを頂くと、今のお二人が係わっているコンピューターシミュレーションは今どの程度まで来ているかという事を会場の皆様方にもご理解頂けたと思うのですが、是非こういう再生策をシミュレーションで検討して欲しいとか、こういった再生策が将来有望だと思うので是非検討して欲しい、そういったご意見が有りましたらお受けしたいと思います。

〔 質問者 〕

先に、小松先生が開門、排水方法も再生策の１つであるみたいに言われたのですが、具体的にはどういったこが再生策かイメージ的に良く解らないので教えて頂ければと思います。

〔座長：小松利光　九州大学教授〕

これは私ですけれども、さっき斎田さんの方で話しがあったように、以前だったら諫早湾の調整池の中に本名川も入り、１１の川が入っていて、それが其々河口の所で干潟を経ながら海の中に入って来た訳です。そうすると干潟の部分は結構潮流が速い、それから小さな波でも干潟の所で、結構波高が大きくなって混合力が大きい。そうすると川の水が干潟を通して諫早湾の中に入って来ていた。そして諫早湾の中を通して湾口の方に出て来ている。ところが今はどういう状態かというと調整池の中に、１１の川の水が全部真水のまま集まって来ている。そして締め切り堤の所まで真水で来て、真水のまま湾口に出ていっている。ということは以前と今は何が違うかというと、干潟を通して混ざって出ていったものが真水のままドンと出ているものですから、これは今の出し方というのはものすごく成層化を引き起こす方向に働いている。そうすると今の締め切り堤がもうどうしようもないという事になれば、排水の仕方を考えましょうよということになる。例えば強制的に人工的に排水と海水を混ぜて出す形にですね、これはどういう事かというと、締め切り堤の内側にちょっとブロックを積んで、そこに海水を導入して排水内に、調整池の淡水を入れて強制的に混ぜて出すとか、もっと徹底した話をすると調整池の水をパイプか何かで海底を通して、諫早湾の入り口位の所に下から出すと、そうすると真水ですから、軽いですからプルーム上に上がってくる、それで流れに乗って、混ざっていくという様な事で、出し方によって随分、諫早湾の成層を、諫早湾は先程の濱田先生の話では、筑後川の影響も結構有るということですが、やはり調整池の影響も結構強いと思うのです。ですから、その出し方をうまく工夫するこ

とで諫早湾の成層をかなり防げるのではないか、それをシミュレーションで検討出来るものであれば是非検討したい、ただどうも有明海全体のシミュレーションではどうしてもメッシュ間隔が大きいものですから、こういう局所的な影響を中々取り込みにくい。これをいかに局所的なスケールの小さい現象をいかにうまく表現して、全体のシミュレーションの中に組み入れて行くかという事は、これはちょっと工夫の余地があるのではないか、こういうふうに考えています。

〔佐賀大学理工学部准教授　大串浩一郎〕

やはり再生のためには先ほどの第１のところでも話をしたのですけれども、鉛直方向の混合という物がある程度促進されないといけないと思うのです。ただ、先程のいであさんのご発表の話だとなぎさ線が一番効果が有るという話だったのですが、費用がどの位かかるか、費用対効果の話が抜けていると思うのです。費用対効果で例えば鉛直混合が一番促進できるものはどんなものが良いのかという検討はシミュレーションと一緒にして頂いたら良いのかなという気がしているのですけれども。

〔いであ（株）大阪支社副社長　堀家健司〕

費用対効果をきちっと評価して、その上でこういう再生が一番良いですよと私が説明しないといけないとは思っています。今日の話は今は費用の話は一切考えないで、こういうふうな条件で計算したらこうなりましたという事と再生策自体が個々に対象としている所のバスが違うし、こういった物を単純に比較した結果でしたので、確かになぎさ線の回復が一番と言うような言い方をしましたが、比較しているものは基本的に違うというような意見もあるので、必ずしもそうではないかもしれない。だけれども１９８０年代に比較した時に潮流の変化が、流動場の変化がやはり一番大きく出ていたというようなことから考えても、なぎさ線の回復というか、いわゆる流速を早くするような知恵を出すという事がまず１つ、重要な政策の１つにおいてもらった方が良いのではないかということで、発表致しました。

〔座長：小松利光　九州大学教授〕

なぎさ線の回復の計算はずっと回復させ続けるわけですね。

〔いであ（株）大阪支社副社長　堀家健司〕

そうです。ですから恐らく湾奥部を回復したら効果が良いのか、どこを緩傾斜にしたら効果が良いのか、それは次の段階の検討になると思いますが、今回は全て海岸線のメッシュの９５％を変更して計算しております。

〔座長：小松利光　九州大学教授〕

結果的に実際問題としてそれを事業化するのは、はっきり言って不可能ですよね。結局なぎさを復活させるということは、潮流の回復なのです。潮流を回復すると何故良いのかというと、流速が早くなって混合物が大きくなる。それで、巻き上げたり、環流、混合したり、ですから潮流の、流速を必ずしも復活しなくても、混合力を大きくするという考えもあるのです。例えば、荒牧先生が今日、ちょっと触れられましたけれども、湧昇ブロックみたいなものを置いて、それに

流れが当たることで、湧昇流を起こして混合力を増やす、これはメンテナンスは殆んど要りませんし、私はかなり有力な方法ではないかというふうには考えます。これをうまくやると自己輸送としてのサブ的な機能を持っているのではないか、これをどうシミュレーションの中に組み込むかというのは非常に難しい、正に今日話ので、それに流れが当たった時にどういう湧昇流が起こって、どういう力を持っているかと言うのをうまく表現してやらなければいけないので、本当にかなりマクロな取扱の中で、ミクロの現状を組み込むという、シミュレーション上はちょっと難しいかなと思いますけれども、私は再生策として、費用対効果が非常に高いのではないかと思います。他にいかがでしょうか、はいどうぞ

〔質問者〕

今湧昇ブロックの話が出たのですが、この湧昇ブロックというのは部分的には流速は早くなるのです。確かに、何かこう断面図が直角三角形のようにおいて、流れが来れば下方から水が上がるということで、部分的には流速は回復する。しかし例えば、有明海にはこれを数千個置くという話が以前あったと思いますが、これを数千個置いた場合には置いた箇所において流速は早くなるかもしれないが、有明海全体として見た場合には抵抗として働くのです。ですから湾口から入る水流の流速と言うのは、水流はやや減少するのだと思います。従って流入、流出量は有明海全体としては減少する作用を起こすのです。流れの抵抗として働くので、だから、そこは確かに早くなるかもしれない。部分的なものである。しかし、部分的と全体的にどうかということを同時に検討していかなければならないのではないかと思います。

〔座長：小松利光　九州大学教授〕

私がお答えしたいと思います。まずブロックを置くと部分的に早くなるということはありません。これは湧昇、下層の物が上に上がって来るという事で、要するにそのまま流れていくと混合しない物を下層の物を上に持って行く事によって混合させようという、そういう働きなのです。確かに抵抗として働きます。だけど潮流と言うのは１２時間、M_2分潮でしたら１２時間数分で行ったり来たりしているものですから、非常に長時間に亘っていくように、ですから殆んど入退潮にはあまり効いて来ないのです。

例えばノリ網、ノリヒビとあれだけ幅広い所をはずすと、確かに潮流は遅くなります。だけどブロックというのは何千個と言っても、有明海の広さに較べれば所詮局所的なことです。ですからそこは抵抗が大きくなります。抵抗の小さいところはいっぱいあります。それによって入退潮が変化するというような事は殆んど有りません。これはもう断言して良いと思います。

〔質問者〕

流入の場合は湧昇流は起こるかもしれない。退潮の時は今度は障害物として働くという認識を持っています。ですからやはり流速は全体としては遅くなるのではないでしょうか。

〔座長：小松利光　九州大学教授〕

有明海の広さに対してブロックを入れたとしても、その割合はものすごく小さいのです。だからもう本当にポイントポイントで、ここで鉛直混合力を高めたら非常に効果的だなというような

所にポイント的に置くような感じですので、全体としてはそれほど流れには影響ないのではないか。

〔質問者〕
お話をお伺いしていますとやはり有明全体に潮流がなくなっていると思うのです。漁業者一般の話ですと潮の方向が変わっています。流れも少なくなっています。だから今、アサリが、タイラギが働いて、鉛直方向だけでは私らはだめと思います。やはり湧昇流もそうなのですけれども、ブロックのようなものでもやはり潮は止まると思います。それから海岸の効果ですが、ただ海岸に異物を全部押しやって水を浄化する作用はあるのです。ただ海岸を作ったから、砂浜を作ったから潮流が出るかというと恐らく出ないとおもいます。しかし海は非常にきれいになります。

〔座長：小松利光　九州大学教授〕
潮流を早める手立てというのは非常に難しいですね。先に言ったように混合力を高める手立てと言うのは有ると思いますが、潮流を早める手立てというのは一番難しいですね。それと緩傾斜の浜を作った時には潮流は出てきます。だんだん水深が小さくなってきますから、その入退潮が減っても潮流は出てきます。

〔質問者〕
今は直立型の堤防を止めて緩傾斜の堤防を造っているのです。全部私らは砂を混ぜております。全面に。今青ノリとか色々な物が生えているものは全部大潮で上げてしまうのです。それで、小潮で枯れて、非常に浄化作用はあります。

〔座長：小松利光　九州大学教授〕
どうも有り難うございました。それではもうかなり時間も超過しておりますので、一言づつ最後にお二人に今後の抱負を聞かせて下さい。お願いします。

〔いであ（株）大阪支社副社長　堀家健司〕
JST モデルで開発したこのモデルですけれども、今年度は最終年度にきていますので、勿論、モデルの精度をより持続的に改善して精度の高い物にするという事は勿論ですけれども、具体的にはその再生策について計算をしてどういうふうな再生策が有効なのかというふうなことを最終的に提言していく。それは我々だけでやるわけではないのですけれども、プロジェクト全体としてまとめをしていく。その中で先ほど少し話が有りましたけれども、経済的なことを最後の段階では少し検討した上で提言したい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　濱田 孝治〕
有明海総合研究プロジェクトの方も今年度は最終年度ということで今までの成果を発表するということで、そこで一旦〆という事になると思うのですが、佐賀大学としては有明海で今後の重点的な研究課題ということで、我々も短期的な資源保護だけでなくて、長期に亘って有明海の問題に取り組んでいくという前提で仕事を進めていきたいと考えています。

ちょっと話は変わるのですが、数値モデルについては、非常に信頼を頂く場合と或いはモデルで出てくる結果というものは全然当てにならないという中々厳しいお叱りの言葉を頂く事もあるのですけれども、モデルの限界という物を明らかにした上で発言をしていくというのも我々の現場責任で有るというふうに考えています。そのためには色々な会議や再生策のアイデアを１個１個検討をしていくという事は我々には出来ないかもしれませんが、ただ、先程お話した点にコンセプトを含む知見を出して検証していく事によって、他の例えばいであさんの方でされている結果について、我々の方からも貢献してきているので、お互い支えあうような結果を出していけるのではないかというふうに考えております。

〔座長：小松利光　九州大学教授〕

どうも有難うございました。私が最初に申し上げましたように有明海の環境の劣化というものは色々な原因がどうも複合的に関係している。それに対抗するためには、過去の再生策の幾つかを組み合わせるような総合力みたいなもので対抗しなければいけないのだろうと思います。やっと不十分ながらもシミュレーションもある程度その効果を検証する事ができそうな時期になって来たという事かなと思います。これからも是非色々な提案を皆さん方の方からして頂いて、シミュレーションで検討して頂いて、今後の有明海の再生に繋げたいと思います。明確な結論は出ませんでしたがこれで、有明海再生策に関する意見交換会を終わりたいと思います。どうも有り難うございました。

〔司会：有明海再生機構〕

これで本日の有明海再生機構の意見交換会を終了致します。