

NPO 法人有明海再生機構

【第4回】

有明海なぜ？シンポジウム

底質・干潟はどうかわってきたのか

平成22年11月20日(土)

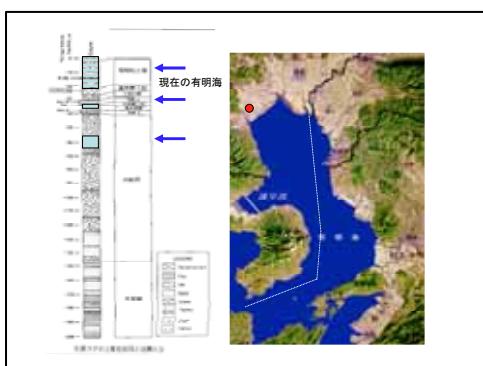
佐賀大学理工学部6号館都市工学科大講義室

【第一部 底質・干潟を知るために】

有明海再生機構干潟分科会の活動について

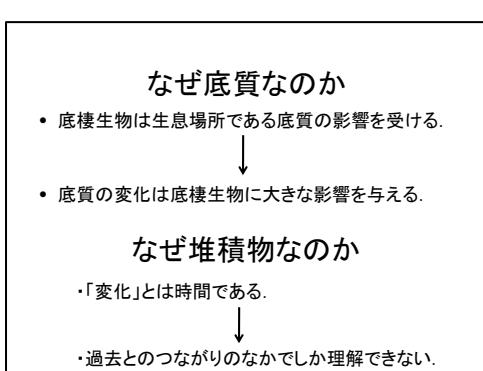
長崎大学環東シナ海海洋環境資源研究センター 教授 松岡數充

皆様こんにちは、ご紹介頂きました松岡でございます。皆様のお手元に有明海講座講演集と公開干潟分科会講演録があると思います。再生機構干潟分科会と致しましては、以前より干潟に焦点を当てて、公開の討論会等を開いてまいりました。本日はこれまでの活動を集約するという趣旨で講演会を開かせて頂きます。はじめに再生機構干潟分科会の活動をどのように行なってきたのかということをご紹介させて頂きます。

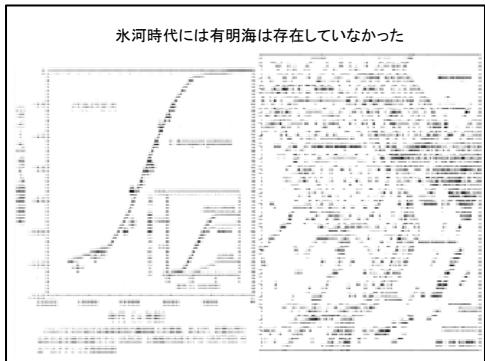


干潟及び底質を科学的に見る場合には色々な捉え方がある訳ですが、1つはこの底質の中に様々な情報が詰まっているという視点であります。例を挙げますと、これは現在の有明海の姿ですが、実はこの白石平野のところで 200 メートルあまりのボーリングを致しますと海の地層が 3 枚出てまいります。当然一番上にありますのが現在の有明海に堆積した地層ということです。この有明海の前身になる

ような海が過去数百万年という大きな数値になりますけれども 3 回あったという事です。現在の有明海で、我々が今その環境の問題にしろ、あるいは資源の問題にしろ、こういうような空間（現在の有明海を対象として）で議論をしているという事が 1 点であります。そういう観点からして、なぜ有明海研究にとって底質が重要なのか、あるいは底質を構成している堆積物にはどういう意味があるのかという事を少しご説明させて頂きます。



いわゆる堆積物というのはタイムレコーダーであるというような見方も必要になると思う次第です。



それで若干昔に遡って話をさせて頂きます。この図のこちらは東シナ海、こちらが中国大陆、東シナ海と日本列島、当然現在の有明海は九州の一部を占めていますが、今から2万年位前の氷河時代には、有明海はなかったという事です。したがいまして、現在生息している有明海の生き物というのはその歴史をたどりますと1万年くらいの歴史を持っているという、このような事がこの堆積物の研究から

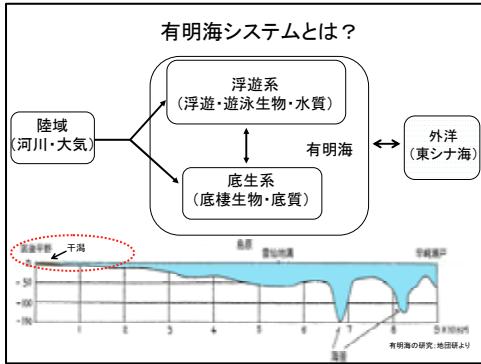
分かってきます。



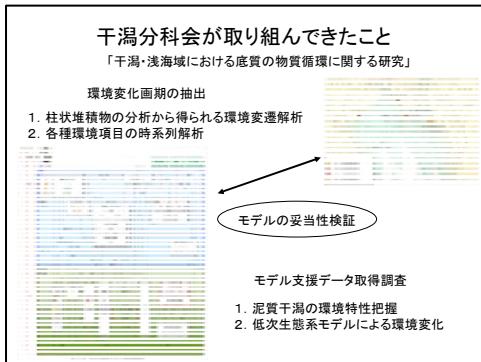
それから、これは干潟分科会のメンバーでいらっしゃる下山先生のお仕事を借用しておりますが、例えば現在の佐賀平野の中で有明海はどのように変化してきたのか、海域が変化してきたのか、という事を示して頂いた図であります。

最も有明海が広がった時期というのは約6000年前になりますが、このブルーで示された所まで広がっていた。それが嘉瀬川とかあるいは六角川とかの堆積作用が進むにつれて、有明海がどんどん埋め立てられて現在のような陸の広がりになってきたのですが、ここで注目して頂きたいのはこの赤で示した所です。これは江戸時代の初めの海岸線がここにあったという事であります。それ以降この海岸線から現在の有明海の海岸線に至るまでの間に、この空間というか土地は基本的に干拓が進められてきたところなのです。干潟の干拓によって陸地が造られてきたのです。従いまして、ここが6000年前で、ここが300年前だとしますと、この300年前以降に我々人が干潟に対して与えてきたインパクトあるいは干潟を干拓していくスピードは、いかに早いものであるかが分かるかと思います。つまり有明海の問題を考える時に気をつけないといけないことは、人が自然改変を行なうスピードと有明海の生き物達がその変化に反応する速度、この問題であると言い換える事が出来るかと思います。

以下は露払い的な話で、皆さんもご承知だと思いますけれども、有明海をシステムとしてどのように見るのかという事であります。



この図は、先程お見せしました有明海の全体の衛星写真の中で筑後平野から早崎の瀬戸までを縦断した海底地形図であります。これ全体が有明海というシステムになる訳ですが、その有明海システムに影響を与える他のシステムとしては陸域・河川とか大気がある。それから、外洋域の東シナ海からの影響が早崎瀬戸から入るという事です。有明海システムでは、いわゆる浮遊系、すなわち浮遊生物あるいは遊泳している生物がこのブルーの所（海域）に存在しており、その浮遊系に対してこの白で示しました表層に底生系底生生物が存在し、そういったものの相互作用の中に有明海システムが存在している事になります。とりわけ干潟エリアは陸域の影響を強く受ける所である、とそのような認識を持っておく必要があるという事であります。

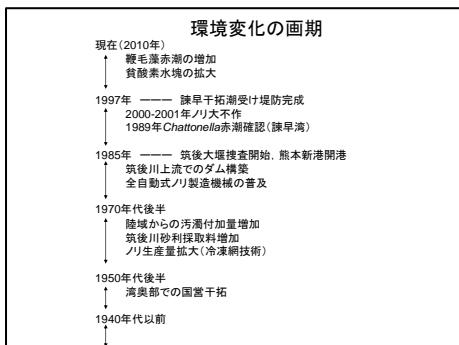


干潟分科会が過去5年間取り組んできた事、研究課題は「干潟浅海域における底質の物質循環に関する研究」であります。これには2つの大きなテーマがありまして、1つは環境変化の画期。いつ頃環境がどのように変わってきたのかという事を抽出していく。つまり、有明海の変化はどのような時系列で進行してきたのかという事を明らかにすることであります。その為に、有明海海底の堆積物を分析

する事から得られる環境変遷を解析するという事、すなわちその堆積物の中に含まれている様々な環境要素を時系列で解析していくという作業が1点。

それから、もう1つは低次生態系モデル、これは再生機構だけではなくて他のプロジェクトでも動いているモデルもありますが、そのようなモデルを使って有明海の再生に向けて色々な方策の有効性を検討する作業が進んでいます。そのモデルの精度を高めるといいま

すか、あるいは感度を高めるという意味で、モデルの妥当性の検証という事に取り組んできました。その為に重要な課題であると考えましたが、湾奥部で重要な泥質干潟の環境特性を明確にし、それをこのモデルの中に適切に組み込むという事であります。



それから、モデルの妥当性の検証に関しては具体的にモデルを動かしまして環境がどのように変わってきたのかという事をシミュレーションによって明らかにするという2つの事をやってまいりました。この結果はもう時間が有りませんので簡単に説明しますけれども、一応

こういうような画期を堆積物、あるいは様々な環境の資料から抽出できました。これには問題がって、すなわち色々な因果関係が混在しているようで、画期とその要因についてはまだ整理が必要です。それからもう1つ大切なことは画期の間に色々な出来事やイベントが書いてありますが、そのイベントの影響が即座に現れるのではないという事を考えておく必要があるかと思います。これは後ほど「いであ」の堀家さんから詳細なご説明があるかと思いますけれども、低次生態系モデル計算によってこのような水質変化とかあるいは貧酸素水塊の動態が明らかにされております。

低次生態系モデル計算結果による環境変化

- 1) 1950年代から1977年にかけての水質変化
湾奥部ではTOC, T-N, T-Pが顕著に増加(富栄養化)
河川からの流入付加: TOCで33%, T-N, T-Pでは110%増加。
TOCの内部生産量は68%増加。
湾奥部におけるTOC, T-N, T-Pの増加は流入付加、内部生産量の増大、
湾奥部の地形改変等が要因
- 2) 貧酸素水塊の動態
・1977~1983年は2001年比で8~33%の出現量。
・貧酸素水塊の発生は1977年以降
2001年と1930年代~1950年代とは鉛直拡散係数が13%、流入出量が6%減少
でその要因は地形改変、1977年以降の減少湯院は外海の潮位振幅変動。
溶存酸素の水中での消費量は1930年代から2001年代にかけて上昇
(POC・DOCの分解無機化による消費、動植物プランクトン呼吸の増加)
- ・諫早湾では2001年は1990年と比較して
鉛直拡散計数45%、流入出量が20%減少。

結果、環境変遷をある程度取りまとめて見ますと、この様な像が描けるのではないかと思います。1つは1970年代までに色々なイベントがあって、それに関わって富栄養化が進行し、それに対応して生態系が変化したこと。それからその1970年代の後半以降から貧酸素水塊が湾奥部で頻発はじめ、それに対応して底棲生物を中心とした生態系が変わったのではないかという事が成果として得られてきております。

今後の課題

- モデル計算結果に表れた環境要素の変化が堆積物から得られた環境変化特に生態系変化と整合性があるのか?
- ↓
- これによって有明海における低次生態系モデルの妥当性が検証される。

留意点:環境要素の変化と生態系変化との間にあるタイムラグ

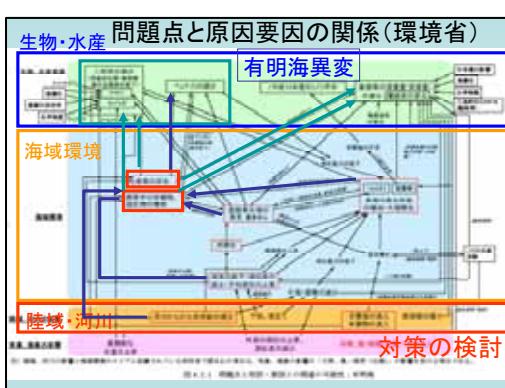
このような成果を基に、今後有明海の再生に向けてどういうような手立てがあるのかは、何に原因があるのかを踏まえて考えていく事になろうかと思います。先程も申しましたように、過去のこのようなイベントと、その影響が色々な生態系に現れた事を考える場合の1番重要なポイントとして、その各環境要素の変化と生態系の変化との間ににあるタイムラグです。時間差があつて色々な生態系に変化が現れるのだという見方が、やはりそれなりに重要ではないかなと考える次第であります。

以上で私の前段の紹介は終わらせて頂きます。ありがとうございました。

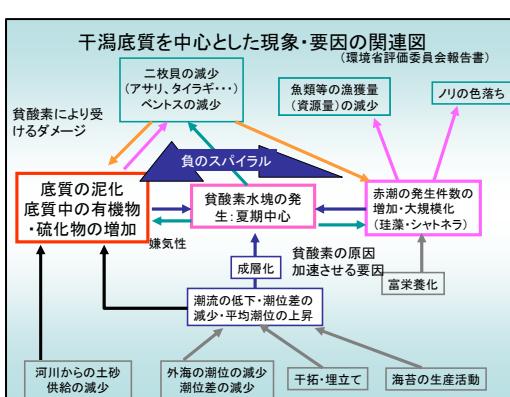
底質・干潟を議論するための基礎知識

有明海再生機構 副理事長 荒牧軍治

皆さんこんにちは、ご紹介を頂きました荒牧です。この5回のシリーズのシンポジウムというのは、1つのキャッチフレーズを市民にも分かりやすく今までの到達点、それからこれからの方針性を示しましょうという事にしていますので、私のほうで今干潟・底質それに浮泥というこの3つの点についてどういう事が議論されているかを簡単に紹介させて頂きます。

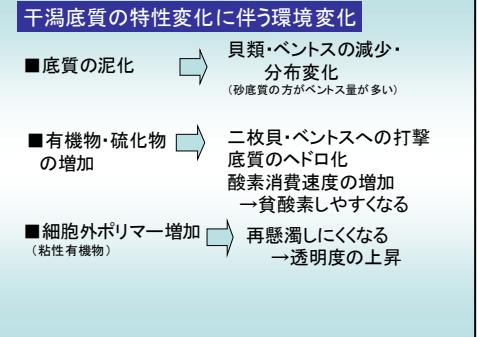


まず最初に示しましたのは、何回もこの話は出てくるのですけれども環境省が取りまとめた問題点と原因、要因の関係のところです。一番上が有明海異変の現象、二枚貝が減ったとかベントスが減ってきたとか。それから、真ん中のところがそれを引き起こした海域環境という事になります。それから、それを引き起こしたであろう陸域からの影響というのが一番下に書いてありますが、この赤で太く囲んだところそこが底質であるとかあるいはその底質に伴う硫化物の増加であるとかそういうそのところで起こっている事の現象です。



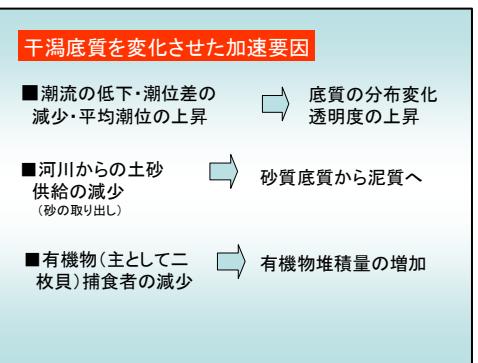
色々な原因によってこういう事が引き起こされる訳ですけれども、それがベントスの減少であったり二枚貝の減少であったりという事を引き起こす為に、いわば同じ事を書いただけですけれども、ここで負のスパイラルと呼ばれる、底質が悪化して二枚貝が減り貧酸素が発生して更に底質が悪化していくという、そういうふうなスパイラルが起こってきて有明海の環境を悪くしているという位置付けが成されています。非常に重要な有明海独特のというべきか分かりませんけれども、他の海域ではこれほど強く泥の影響を受けないのだけれども有明海では非常に特徴的に泥の影響を受けている。この部分の解明が、非常に急がれているのだというふうに認識しています。

底質の特性がどういうふうに変わったかというと、「底質が泥化してきた」「砂っぽいと



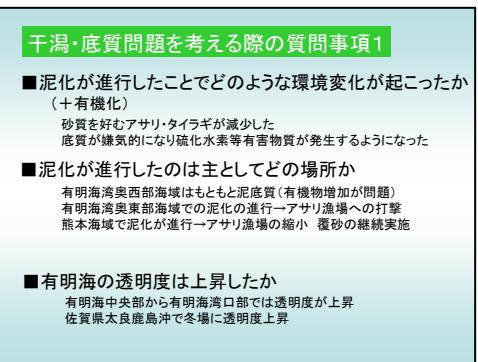
これまで泥っぽくなってきた」その事によって貝類やペントスが減少したりあるいは分布が変わつてしまったりそういう事が起こる。それから、有機物とか硫化物、非常に毒性の強い硫化物が増加する事によって二枚貝とかペントスそこに住んでいる生き物達が打撃を受ける。それから、底質がヘドロ化する事によって酸素を使う消費速度が増加して貧酸素しやすくなってしまう。それから、

細胞外ポリマーが増加してというのは粘性的なベトベトした有機物が下に溜まって再懸濁、巻き上がった時に懸濁し難くなって透明度が上昇してきたそういう事が話題として取り上げられています。



それを引き起こした原因としてはどんなものが考えられるのだろうという事ですけれども、潮流が低下した、潮位差が減った、それから平均潮位が上昇した。こういう流れの場が変わった事によって、底質の分布が変化しそれから透明度が上昇した。この潮位潮流の問題というのは必ずしも諫早干拓だけの問題ではなくて、例えば 18.6 年周期で起こる M2 分潮の周期性といった事でも起こるのだとい

う事が段々明確になって来てその影響の範囲が定量化されつつあります。それから、河川からの土砂供給の減少といったものが砂質、底質から泥質に変化させていっている。そういう事も今話題になっています。それから有機物、主として有機物捕食者主として二枚貝が減った事によって有機物の堆積量が増加した。その量が大体どれくらいであるのかという事が、テーマとして議論されその成果が上がりつつあります。

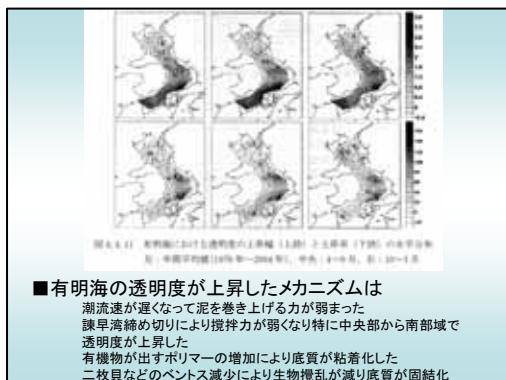


質問事項の 1 として、泥化が進行した、泥化というのは泥化プラス有機化と言っても良いのですけれども、その事が起きた事でどの様な環境変化が起きたのか。例えば、砂質を好むアサリ、タイラギが減少してしまったのではないか。底質が嫌気的になって、硫化水素等の有害物質がより発生しやすくなっていないか。

それから、泥化が進行したというのは主としてどういう場所でそれが起こっているのか。元々有明海湾奥部というのは泥質ですから、その事自体は問題はないのですけれども、その泥質の泥粘質が広がっていったという事はな

いか。それから奥の東部の方、東側では特に筑後川から流下してくる砂の量が減少してアサリの漁場に打撃を与えていないかどうか。それから、熊本の所でも泥化が進行して有明海の主要産業である熊本県における有明海の主要水産業であるアサリの漁場が縮小し覆砂の継続がもうどうしてもやらないといけなくなってしまっている、そういう事が問題にされています。

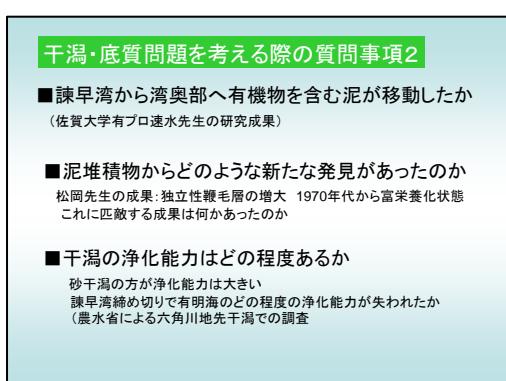
それから、有明海の透明度は上昇したのかという設問があります。中央部から湾口部にかけては、透明度の上昇は非常に顕著です。これは明確に認められますが、太良鹿島沖でも冬になると透明度が上昇する。年間的にはそれほど大きな変化がないと言われているのですけれども、冬場の透明度が上昇し赤潮が発生しやすくなっているかという事がテーマになっています。



- 有明海の透明度が上昇したメカニズムは
潮流速が遅くなって泥を巻き上げる力が弱まった
諫早湾縫め切りにより搅拌力が弱くなり特に中央部から南部域で
透明度が上昇した
有機物が出すポリマーの増加により底質が粘着化した
二枚貝などのペントス減少により生物擾乱が減り底質が固結化

それから、有明海の透明度が上昇したメカニズムとしては、湾奥部でも冬場に上昇した事が分かれている。全体としては透明度が上昇しているのだけれども、潮流速が遅くなつて泥を巻き上げる力が弱まつた。それから、閉切りによって搅拌力が弱くなつて、特に中央部から南の方は非常に強く諫早干拓閉切りの影響を受けてないかどうか。そういう事が今話題になって研究が進められています。

それから先程言ったように、有機物が出すポリマーの増加によって底質が粘着化し、より透明度が上昇する事になったのではないかというような事が研究されています。



それから、質問事項の2として諫早湾から湾奥部へ有機物を含む泥が輸送されるメカニズムがあるので、諫早干拓閉切りによってより湾奥部に移動したのではないか。但し、日常的には湾奥に送られるのだけれども、台風とか強風とかイベントがあると一気に今度は湾奥部の方から湾口部のほうに移動してしまう。その積分値は一体どれ位になるだろうかという事です。

それから、先程松岡先生が仰った泥堆積物の分析によってどの様な新たな発見があったのか。先程イベントそれぞれの時期が区分されましたけれども、そういうふうなものと先程言わされた数値解析との関係は対応が取れたのかどうか。

それから、今たくさん言葉では言われるのだけれども中々研究が進んでいない項目として、干潟の浄化能力という言葉を良く使いますけれども、これは一体定量的にはどの様な

ものであるのか、どの様な項目について浄化能力を有しているのかという事を、議論する必要があるというふうに認識しています。

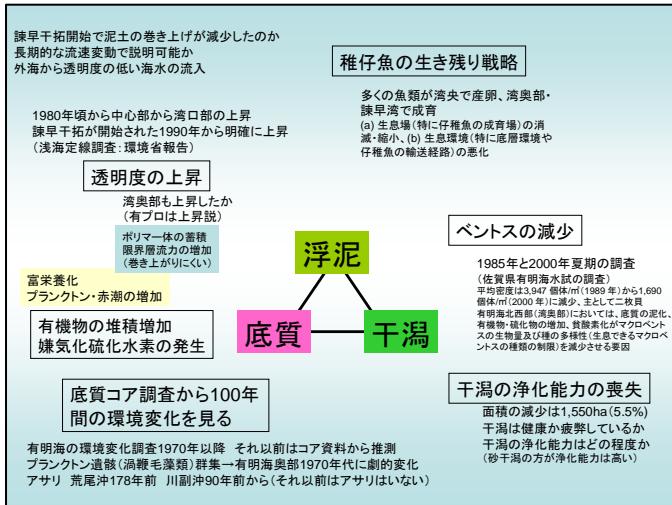
干潟・底質問題を考える際の質問事項3

■浮泥の果たす役割

透明度の上昇を押さえる→プランクトンの異常増殖(赤潮)を押さえる
稚仔魚の生息場所(やりかご、稚仔魚の生き残り戦略)
湾奥部、諫早湾の果たす役割(山口先生の成果)
タイラギの養成の着底を妨害する
有機物、各種化学物質を吸着する(底質の濃度は増すが海水中は低い)

Figure 3-18: Map of稚仔魚の成育場所 (稚仔魚の成育場所)

では、その透明度、浮泥、懸濁物が非常に多くある事によって稚魚がその透明度の低いところ、懸濁物が非常に多いところを生き残り戦略に利用しているという事で、その泥の移動というのは非常に重要であるという事が長崎大学の山口教授から提出されています。その事についての意味というのを考える必要がある。



それから、質問事項の3ですが、干潟底質というテーマにしていますけれども、最近言われているのは浮泥、即ち底質の上に薄く溜まるフワフワとした泥が実は非常に大きな影響を与える。例えば、その浮泥が、ある時期、あるかないかによってタイラギの幼生が着底可能かどうかという事が非常に大きく影響するというのが我々が開いたタイラギシンポジウムのところで議論になりました。

それからもう1つ、非常に貴重な報告とし

全体を取りまとめたものです。
「浮泥・底質・干潟」といったものがこの有明海の環境の中でどういうふうなものと関連しているかという事を書いたつもりです。こういうふうに他の海域ではないどちらかというと有明海独特の環境を作り出しているのが泥というものであるとする、底質というものであるとすると、これを解明して全体の中に位置づける事が非常に重要である

るという事だというふうに思います。これがどの程度今理解され到達してきたかというのが今日のシンポジウムの話題だと思います。

今日の最初の第二部の方では、先程松岡先生が仰ったように干潟分科会の方で取り組んできた事を議論しますけれども、後のパネルディスカッションの方ではもっと広く今日ここに示しましたような話題を総合的に討論してみたいという事で、こういう全体像を示してみました。これから議論に参考にして頂ければと思います。以上で私の報告を終わります。

【第二部 干潟分科会の取り組みで明らかになったこと】

■ 堆積環境の変遷と堆積年代

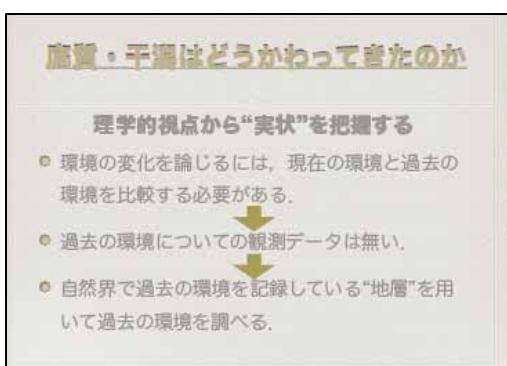
復建調査設計株式会社 地盤環境部 地盤技術課 主任 市原季彦



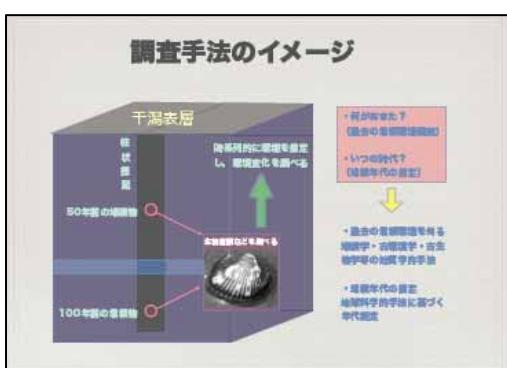
復建調査設計の市原です、宜しくお願ひ致します。

私のほうからは堆積環境の変遷と堆積年代という事につきましてお話ししたいと思います。先程松岡先生の方からもお話がありましたように、有明海再生機構では干潟に堆積した地層そのものを解析してその環境の変化を調べるという事も行なってまいりました。私の方からは、その結果について報告したいと思います。

地層を扱うという方法ですけれども、あまりお馴染みのない方が多いかと思いますのでその調査手法につきましてお話しして、それから堆積年代の決定、堆積環境の変遷という順にお話を進めて行きたいと思います。



まず今回の全体のタイトルとしまして、「底質・干潟がどう変わってきたか」というテーマですが、それを地層の解析の側から見ると、まず理学的な視点で実状を把握し、実際にどのような現象で、どのようなものが堆積しているのかというのを見てきました。環境の変化を論じるには、現在の環境と過去の環境を比較する必要があります。ですが、過去の環境についての観測データというものが無い場合が非常に多いです。地層の中には過去の環境の記録が全部ではありませんが一部残っています。そうした記録を抽出していきます。



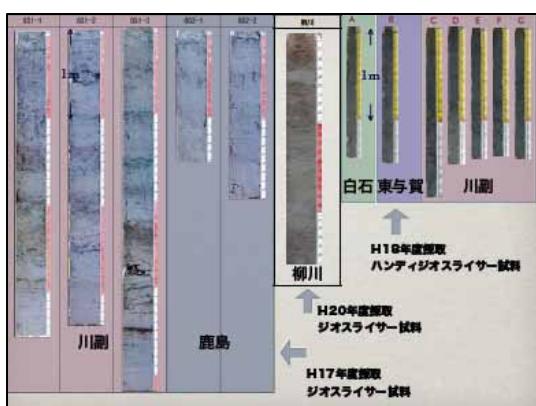
具体的なイメージとして絵を描いてみましたが、例えば干潟の表面で、干潟の表面から柱状の採泥を行ないます。その中で年代を決めていきますが、地球科学的な手法に基づいた年代の決定を行い、その地層の中に含まれる例えば生物の遺骸など、それから地層の色々な特徴を調べる事によって環境の変化を調べていきます。そうする事で

例えば、100 年前はどうだったのか 50 年前はどうだったのか、そして現在に向かってどう変化していっているのかという事を把握する事が出来ます。地層の解析は、こういう非常に長期的な環境の変化というの得意とします。ただ、残念ながら例えば 1 年前どうだった 2 年前どうだったというような細かい議論というのは中々困難です。こういう長い期間の中でどう変化していったかを把握するのに適した手法であります。



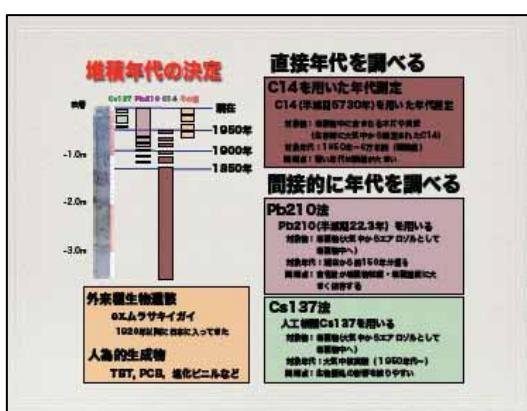
実際に調査した場所ですが、有明海再生機構の中で行なったのは平成 17 年度にこの地点、18 年度、20 年度というようにやっております。黄色で示している場所では重機を使って行ったジオスライサー調査、赤で示したものにはハンディジオスライサー、手動でやっているようなこういった調査を行なっております。

こちらはうちの社の方で独自に行ったものですけれども、今回のお話に非常に密接に関係してきますのでご紹介したいと思います。これは熊本の荒尾の干潟です。こうした所で試料採取して、その試料を解析してまいりました。実際に採取した地層をお見せします。



特にこちらの大きく写しているのが実際に採取した試料なのですが、長さはこの赤白の 1 つずつが 1 メートル。幅が大体 35 センチくらいあります。こういう非常に幅のある地層が採取できていますので、地層の中の構造等が非常に明瞭に見えます。こういったものが見られると、堆積構造を非常に細かく識別していくという事ができます。実際にこの様な試料を解析した結果というのを次にご紹介します。

まず、堆積年代の決定です。堆積年代の決定として、良く知られているのは C (炭素) の 14 という同位体を用いた手法です。これは、堆積物の中に含まれる植物とか貝殻などの中に含まれる炭素、その同位体比から直接的に年代を知る事が出来ます。但し、この方法が得意とするのは、ここに書いているような非常に若い時代ではなく、ちょっと対象が古くなります。最も若くても論理的に 1950 年という値までしか



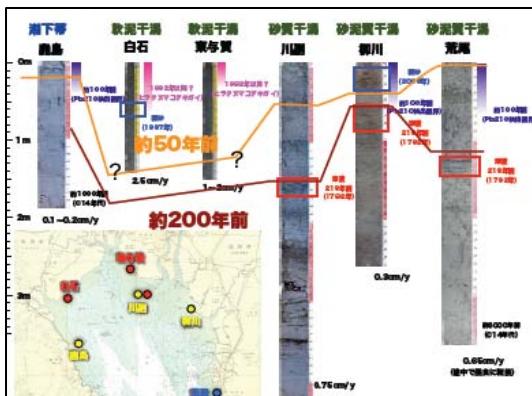
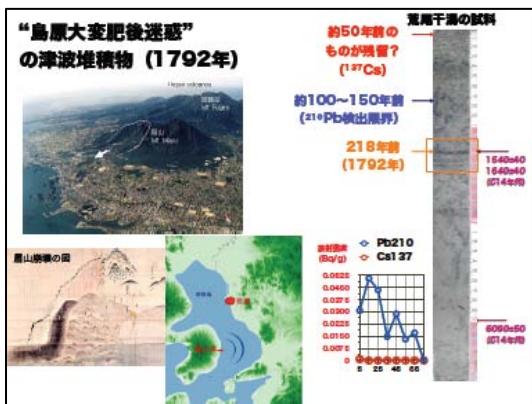
出ません。それよりも古い所を議論するには適しているのですが、それよりも若い所は全く議論出来ません。

過去 100 年位を論じるには一般的にはこちらの方法が用いられるのですが、この Pb (鉛) の 210 というこれは大気中に小さなゴミとして漂っているもの起源のものなのですが、これが堆積物の中に溜まりましてその中の堆積物の中にどれだけ含まれるのかという事を見る事によって、この半減期 22.3 年というものを用いて、おおよそ 100 年ないし 150 年くらいまでを遡ってみる事が出来ます。それから Cs (セシウム) の 137、これは大気中の核実験によって生じた人工的な核種です。1950 年代以降の大気中核実験の時に非常にピークがあり、それよりも前には存在しません。こういったものが地層の中でどのように検出される

のかを調べて年代を決めていきます。また、特殊な例としまして、人工的な他の生成物ですか、或いは日本全体そうなのですが、ムラサキイガイ等、元々日本にいなかったような貝殻が堆積物に入っている等、例えばこの図ですと 1920 年以降の堆積物であるというように地層の年代が決まっていきます。

そこで、先程お見せした荒尾の干潟の例ですが、ここが重要だと考える理由として、実は今申しましたような年代推定の手法で大体コアの年代が決まってきた中で、どうも堆積物の特徴からといって津波堆積物であると考えられるものが出てきたためです。

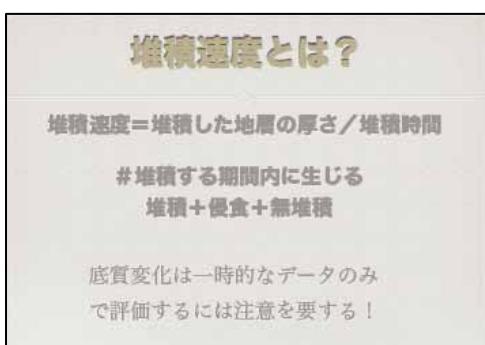
有明海の中で津波が発生したのは、歴史記録では 1792 年の島原の雲仙眉山が崩壊した時に発生した津波のみです。その時の津波であろうという地層が他の年代からも矛盾しないような所に出てきました。これが地層の中で年代を



決めていくマーカーとして重要な層として、実は他の場所でも認識できるという事が分かりました。つまり先に述べた手法に加え、この 1792 年という層が入りますので大体過去 200 年間の堆積年代を推定することが、有明海は他のエリアの干潟の堆積物より非常に精度良く行う事が出来ると言えます。実際にも今述べて来たような手法を用いて、採取した地層の中に年代を入れていきました。全ての場所で色々なものが使えるという訳ではありません。例えば津波ですと荒尾・柳川沖、それから川副こういった所で分布が分かれます。ここが地層として 1792 年に堆積したという事が分かる訳です。また、ごく最近の地層として、例えばこの白石それから柳川ですと覆砂の履歴がありましてそこの覆砂に対応する地層も見つかっております。

また、ここではヒラタヌマコダキガイという移入種。これは外来のもので 1992 年以降に出ているものなのですが、このような貝の産出等をそれぞれのコアで得られる情報から見

ていきますと、上方で大体こういう堆積速度というのが得られました。中でも、荒尾はちょっと特殊でして、途中で侵食に転換していました。上は削られています。本当はもつと堆積していたものが削られているという事が分かっております。ちょっと雑把に言いますと、おおよそこの地層の年代を対比させると 50 年前がどこだったのかというと、大体この図のようになります。200 年前は津波の堆積物の直ぐ上くらいですので、図のように地層の中に時間の軸を入れていくという事が出来る訳です。こうした作業が行った上で、今度は環境を中のパートを見ていきます。そうすることで、環境の変化を地層の中で読み取ることができます。

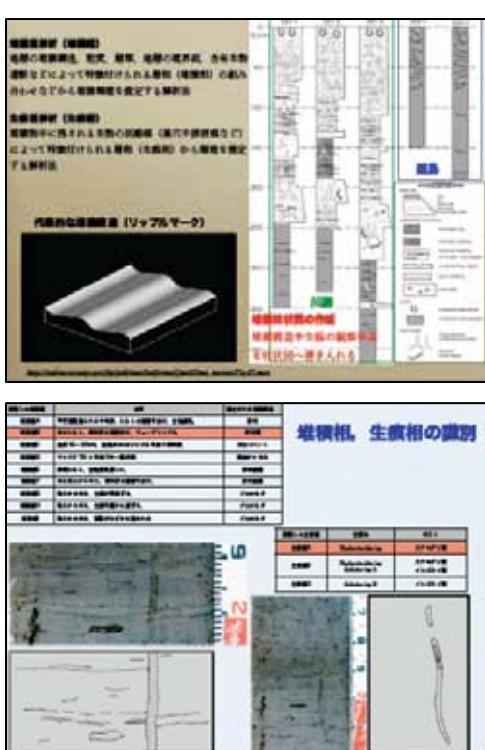


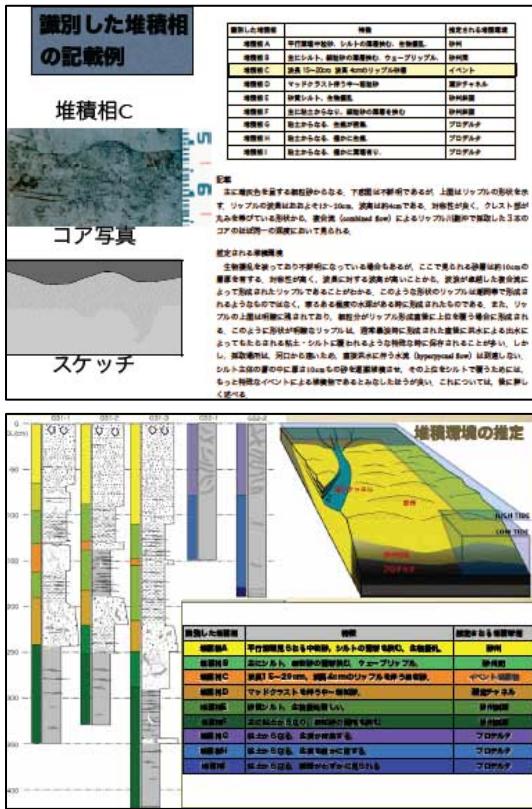
ありますが、それが長期的な堆積環境変化の中でどういう現象を指しているのかを誤認してしまう事がありますので、これはあくまでも平均した現象であるということをちゃんと把握しておくべきです。

ここで注意点なのですが、堆積速度は堆積した地層の厚さを単純に堆積時間で割っているわけですけれども、この中ではこの期間に生じている堆積と侵食それから無堆積という様々な現象を足した平均値であるということを忘れてはなりません。これを忘れてしまふと、例えば底質がその時に採ったときは泥だったけれども急に砂に変わったなど、そういう現象も実際自然相手ですとあります。

次に堆積環境の変遷についてお話しします。堆積環境を具体的に決める方法というのはかなり専門的なものになってきますので、内容は簡単に説明させて頂きます。まず地層の中の構造等でどのような所で堆積したのかということが分かります。その代表的なものがこのアニメーションで示していますけれども、リップルマーク（砂渾）等です。この表面に出てきているのが砂渾です。砂渾の断面で見ますと、地層の中にこういう模様が出来ます。こうした模様を観察する事で、地層の中のどういった場所がどういう流れで堆積したのかが分かるわけです。

更に、地層の中には生き物の活動していた痕跡というのもたくさん見られます。例えば、ここに示していますのはイトゴカイといわれる比較的貧酸素に強い生物の生痕です。こうした生物が住んでいた跡ですか、この図では砂質な干潟でそこにスナモグリ類が掘り込んだような巣穴、





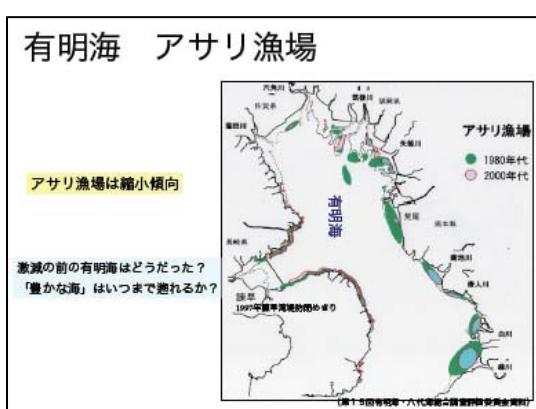
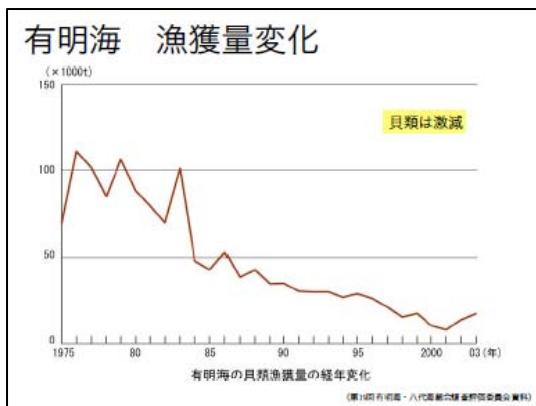
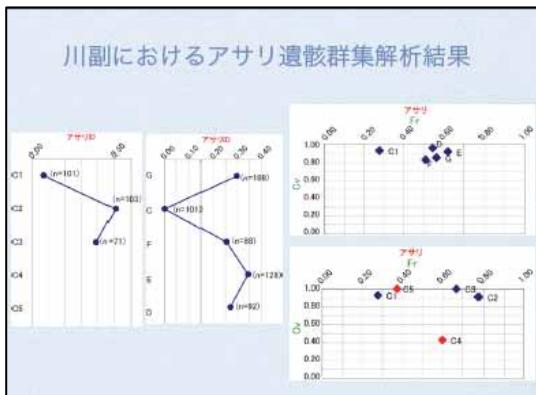
こうしたものは酸素が無いと駄目なのですが、そのような底質と生物との関係も生痕を用いて見ていく事ができる訳です。ちなみにこの図は川副の例と鹿島で取れたコアを解析したもののです。

このような細かく地層を見ていきます。実際のものがこの図のようなものです。分かりにくいかもしれませんが、これが巣穴です。これが

波で出来たリップルです。これは、津波の堆積物になるのですが、こういったものを地層の中から抽出していきます。

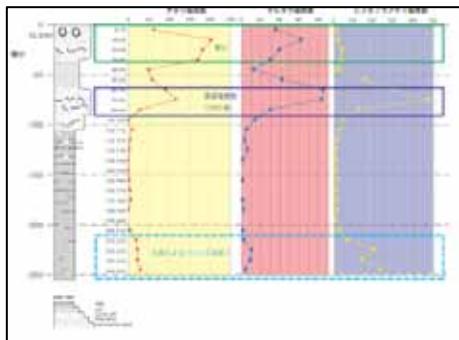
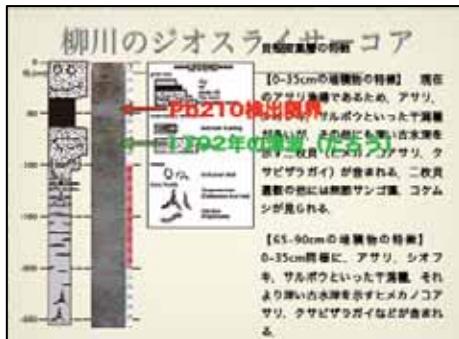
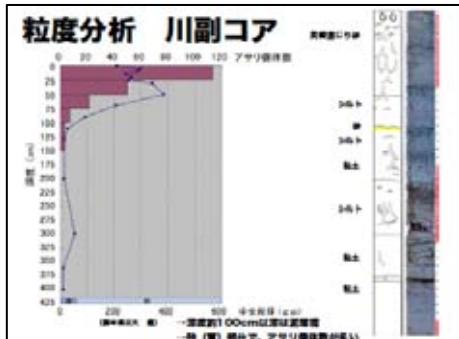
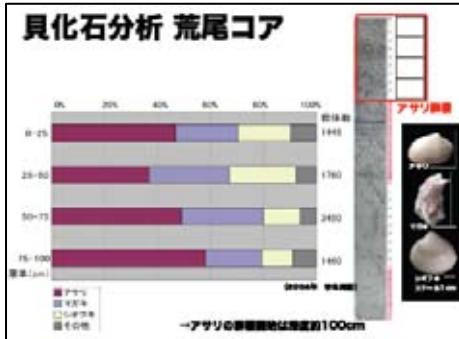
这样に地層を捉えて、その特徴毎で色分けすると、図のように分けられます。図中の色に対応したのが堆積環境になります。堆積環境というのは基本的には地形とほぼイコールと考えて貰って構わないので、例えばこの川副の沖とかですと河口のデルタの沖の方に位置しますので、元々泥っぽい所からどんどんデルタが前進していく過程で砂質になっていったというような環境の変化が読み取れます。その砂質になっていった過程で、例えばこのコアだと、上の方は砂の底質を好むアサリが表面に近くなるほど増えてくる。そうした事が環境の変化として読み取っています。

実際にその中の貝（貝殻遺骸）を見てていきます。これは実際に採取したコア資料を表面から何センチの部分までというような事でどんどん切っていって、その中に含まれる個体を洗い出してその種を同定して、その変化を見ていく訳です。その代表的な種を上げますと、水産資源としても貴重なアサリとかサルボウが主に砂質の干潟を中心に生きていまして、シオフキも同じ砂質の干潟に生息しているのですが水産資源としてはあまり利用されておりません。あと泥質の干潟にはこういったものが、シズク



ガイは泥底には割と広く生息しています。このヒラタヌマコダキガイは先程申しましたように1992年頃から有明海に入ってきた種です。これらそれぞれの貝について、産出の仕方等を細かく地層の中で調べていきます。途中の解析の方法はちょっと飛ばしますが、簡単に結果だけを見ますと例えばアサリを例にしたものですが、このIDがゼロに近い所が生息場所に最も適した環境のものとなります。例えばこれでDから並んでいますが、Cというポイントが一番アサリの生息している環境に適しているという事です。これは表面の分布を見たものでして、これは砂洲が発達している所のポイントの一番砂っぽい所になります。この端の方はやや泥質の部分になります。こちらが層準ごとで、これも下の方が泥質で上位ほど砂質なのですけれども、砂がちになってきた所でアサリの現地性程度がピークとなります。これはその地形の断面と地層の分布、それからどこにアサリが多いかを示すと、川副沖では砂洲が発達している部分の一番上の砂が卓越した所です。砂が卓越しているといっても、泥分も多少含まれております。完全な砂の所よりはそういう場所の方がアサリは好みます。そういう所でアサリが一番生息していた事が分かっております。これは全体としては、先程言ったようなデルタが前進したことによって砂質な堆積物が卓越するようになった場所であるという事です。

一方でちょっと話は少し変わるので、有明海全体で見た中で貝類の漁獲量というのが長期に渡ってすごく減っています。これは多くの方はご存知の事かとは思いますが、こういう減少をしている中で特にアサリに関して、今回コア資料の中でもたくさん出ていますので、どういうふうな変化があるのかというのをちょっと見てみました。



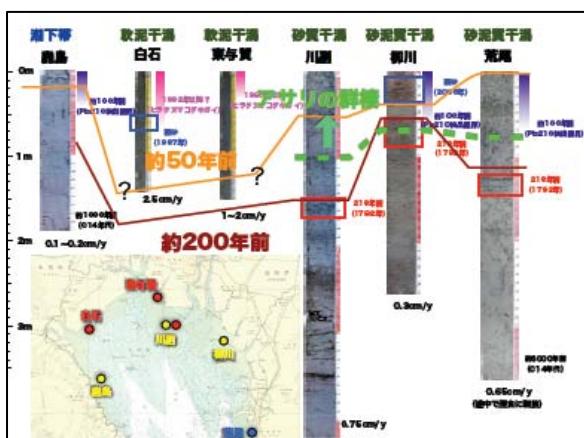
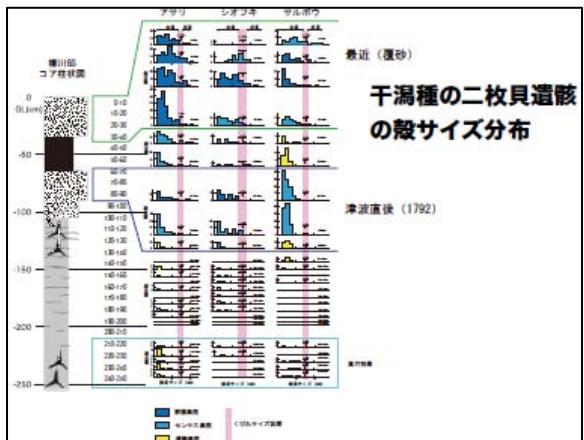
アサリの漁場自体は、この図で 1980 年、2000 年としていますけれども、こういうふうに有明海全体の中で凄く減少していっています。ではこれは、アサリの生息状況は過去においてどうだったのかを得られた試料の中から見てみます。

例えば荒尾のコアですとアサリは図の一番左側の所です。これは割と上のほうに密集しているゾーンがありまして、これはアサリとシオフキ両方とも出てきます。次に川副のコアですが、川副のコアは先程示しましたような形でこの表層付近になって急に個体数が増えている、そういう傾向が見られます。この川副のコアの中のアサリの個体数と底質の変化を見ますと、砂が増えてきている所と相関が良い事が分かるかと思います。

もう 1 つ、今回柳川沖で採取している中でも顕著に出ているのですが、柳川沖では津波の堆積物と考えられる地層と重なって混在していますが、一番上は覆砂層で、この部分は津波堆積物です。実は津波の堆積物にも、アサリ遺骸が若干含まれています。但し、ここはもっと深い貝が卓越していて、元々深い所から運搬されて来た砂であるという事が分かる訳です。その中の貝の種類をより細かく、その個体数の分布を見てみると、この津波堆積物の中でそれよりも下位にはアサリは殆ど入っていないのですが、津波堆積物が来た以降、急激に増え、またその後に減少していきます。減少していく層準では、元々泥が堆積する所なので、再び泥ばかりが堆積するようになり、それに伴ってアサリも減少してきています。そしてここに覆砂を入れる事によって再び増え

ているというような形になっています。このように、底質の変化に対して非常に密接に貝の分布がリンクしていまして、図のような産出状況が得られるわけです。

更に詳細に検討したものなのですが、二枚貝の生息していた時の状況を見るのに貝殻のサイズというものを調べて解析するという方法があります。元々



の幼貝の部分というのではなく、死亡率が非常に高い為に、例えばアサリで見てみると、幼貝の死亡率が一番高いのでそこに遺骸の数が多く、1つピーカーが出ます。そして、大人の部分でももうひとつピーカーがあるので、その間に成長のくびれが見られ、ここから一気に成長する為に遺骸としては残り難い所なのですが、この両方の山があるようなものは大人の代まで生きていたというものになります。

そう見ますと、この覆砂以降のところでも非常に明瞭に出ており、この津波直後はあまり明瞭に出ていません。他の種に関しても、同じように砂質干潟を好むシオフキとかサルボウを見ると同じような傾向があります。着目すべきはその間です。この泥化が進んでいる所では、このくびれの所に死亡している所が出てきているのですが、これは遺骸群集からの解析ではセンサス集団といいまして、例えば貧酸素が発生

した時とかに出やすい遺骸の分布パターンになります。現在こういう場所で貧酸素水塊というのが発達しているかどうかというのは、分かりませんが、少なくとも過去の地層中に残されている生物遺骸のサイズ分布を見る事によって貧酸素水塊が発達した可能性があるかどうかというものを評価するという事が出来ます。

途中でお見せしました地層の中に年代を入れたものに、今度はアサリがちゃんと着定して生息している状況がどこで現れるかというのをお見せしますと、この図のようになります。一番古くまでさかのぼれるのが、実はこの奥で採取した中では柳川の所でして、それでも、どうやら津波堆積物が堆積してそれによって底質が砂質化した事によってアサリが初めて着定したという事が分かりました。他の場所に関しましても、少なくともその津波堆積物が出てきているよりも以降に入っている。川副に関しては、この河口デルタの所にそれで砂質干潟の分布が広がった事によってアサリの群生が始まっていたのだろうという事が分かります。

これは、九大の下山先生の方がまとめられたものなのですが、津波堆積物以前では、アサリの群生がどこまで遡れるかを調べてみました。有明海の中に分布する貝塚ですが、縄文時代・弥生時代・古墳時代とかなり古いのですが、その中にも殆どアサリは見られないという事が分かっています。唯一出てくるのが天草の下島でしか出ていないという事が



る可能性が出てきました。

これまでの調査についてある程度まとめをします。有明海において採取した柱状採泥試料に基づいて堆積環境の変遷と堆積年代をある程度把握する事ができました。

アサリに関してなのですが、アサリの群生は有明海の湾奥では少なくとも島原大変肥後迷惑津波堆積物以降にしか認められませんでした。このアサリの生息中心は干潟ですが、アサリの生息には、その中の底質の砂質化、例えば河口デルタが前進する事によって砂質化したり、津波によって砂質化したり、或いは人工的に覆砂を行なう、こうした事が密接に関わっているという事が分かりました。

このような底質の変化と生物の生息との関係性が有明海再生のヒントの1つとしてあると思います。底質の長期的な変化傾向を見越したテコ入れをやっていく、今示したのは、あくまでもアサリに関するデータしか分かりませんが、他の生物にしても、このような底質の長期的な変化をちゃんと見越していかなければならぬという事はいえるかと思います。長期的な変化傾向というのを見越すという意味ではおそらく次にお話されるシミュレーション等が非常に有効な手段の1つとして考えられると思います。

以上で私の方からの話を終わらせて頂きます。有難うございました。

- ・有明海において採取した柱状採泥試料に基づいて、堆積環境の変遷と堆積年代をある程度把握することができた。
- ・アサリの群棲は有明海湾奥では、少なくとも“島原大変・肥後迷惑”の津波堆積物以降にしか認められない。
- ・アサリの生息には、底質の砂質化（河口デルタの前進、津波による砂質化、（覆砂））が重要。

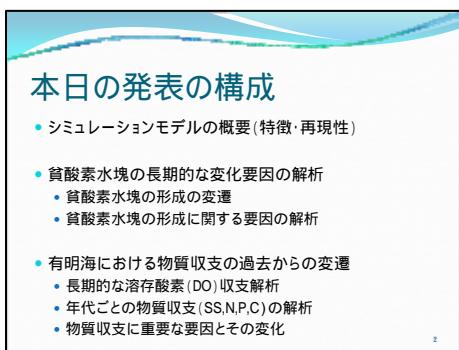
有明海の再生：底質の長期的変化方向を見越した“テコ入れ”

分かっています。因みに、通常アサリと一緒に産するシオフキを見ると、シオフキは沢山貝塚に入っています。シオフキとアサリは通常一緒に産するのにシオフキだけを食べてアサリを食べないと言う事は恐らくないであろうと思いますので、アサリは当時いなかったのではないかと推測できます。そうしますと、有明海の中で代表している二枚貝の種であるアサリは意外と最近になって生息したものであ

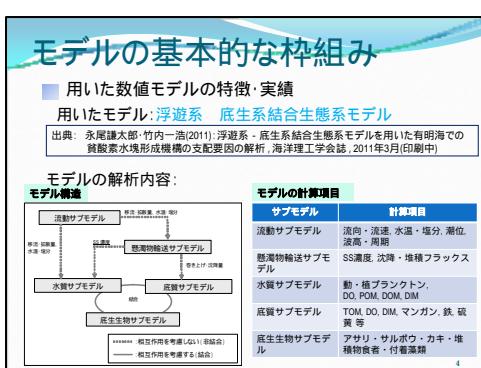
シミュレーションモデルによる貧酸素水塊の形成と物質収支の変遷について

いであ株式会社 大阪支社副支社長 堀家健司

紹介して頂きました、いであ株式会社の堀家です、どうぞよろしくお願ひ致します。今日は、「シミュレーションによる貧酸素水塊の形成」と「物質収支の変遷」についてお話しさせて頂きます。



主な内容ですが、まず 1 つ目にどういうシミュレーションモデルなのかという概要について説明致します。このモデルは、昨年度まで文科省の科学技術振興調整費で構築しましたモデルがベースになっています。それから、実際の計算結果としまして 2 つお話を用意しています。1 つ目は有明海の生物生息環境を考える時に非常に重要な貧酸素水塊について、長期的に貧酸素水塊がどの様に変化してきたか、またその要因の解析をお話致します。2 つ目はその貧酸素水塊の酸素収支に加えて、有機物とか栄養塩の物質収支について、どういうふうに変遷してきたかという事を、モデルを使って数値実験的に解析した結果をお話致します。

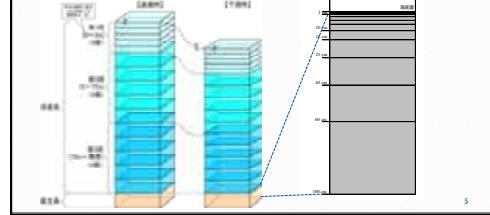


まずシミュレーションモデルの概要です。このモデルにつきましては前回のシンポジウムですとかその前にも幾つか発表させて頂きました。全部で 5 つのサブモデルから構成されています。まず、流れ、水温、塩分等の流動サブモデル。有明海で非常に重要な SS (懸濁物質) の挙動を解く沈降、巻上げそれから堆積、そういったフラックスを解く懸濁物輸送サブモデル。この 2 つは基本的に独立したモデル

で、流れのモデルの結果を SS の挙動のモデルの境界条件として与えて計算しています。この流れと、それから SS の計算結果を境界条件として、有明海の内部の水質とそれから底質と底生生物のサブモデルを解いています。この水質・底質・底生生物のサブモデルにつきましては、3 つが連結して計算されていますので、水質・底質・ベントスのそれぞれの相互作用が表現されています。

有明海に適用するための工夫

- 浮遊系(海水)は一般化した 座標モデルを適用し、大きな潮位差があつても、密度成層が表現できような工夫。
- 底泥系も底泥内での水質濃度分布を表現するために層分割を施した。



それから、有明海に適用する為の工夫としまして、流れのモデルでは一般化した σ モデル、要するに有明海の大きな潮位の変化を良く表現するよう一般座標系 σ 座標モデルを適用しています。それによって大きな潮位差があつても、その密度成層が解像度良く表現できるようになっています。具体的にどういうふうにしているかといいますと、これは水柱ですけれども海表面から海底まで大きく 3 段に切りまして、上は海面から 3 メートル、それから中層 2 段目が 3~15 メートル、それから 15 メートルから海底のそれぞれの 3 つの中を更に 5 層に分けています。従って最大で 15 層のモデルになっていて、満潮時、干潮時のように表面水位が変わっても、この層の比率は変わらないようにいわゆる蛇腹のような形で計算されています。底泥の中は底泥内での間隙水濃度の表現を良くする為に、底泥表面は非常に細かな層を切って底泥の層分割をしています。

有明海に適用するための工夫

考慮する底生生物:

- 有明海全体の物質循環に及ぼす機能と代表性からモデルに考慮する底生生物種を選定した。
- 二枚貝類として、アサリ、サルボウ、タイラギ、アゲマキ、カキ、その他の懸濁物食者と、堆積物食者、付着藻類をモデルに考慮し、水質・底質の物質循環に与える影響を解析し

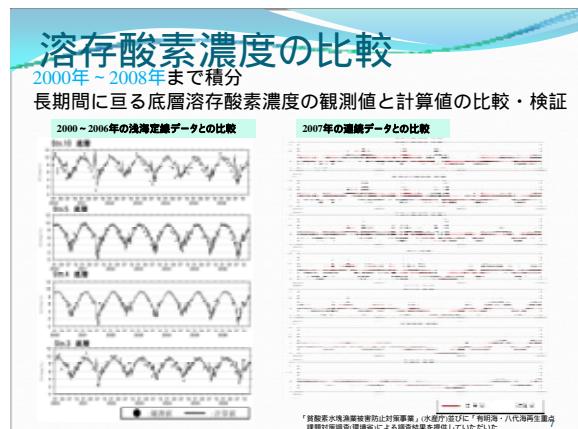


底泥の巻き上げに伴う現象を再現:

- 底泥の巻き上げによる水中の光環境(消散係数)の変化を表現
- 底泥の巻き上げ・沈降に伴う水質と底質の相互作用を表現した

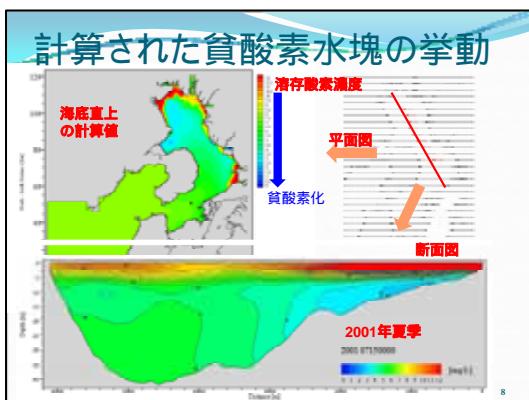
それからもう 1 つ有明海で非常に特徴的なのは二枚貝で、二枚貝の水質形成への働きが非常に大きいのでその機能を表現しています。具体的にはアサリ、サルボウ、タイラギ、アゲマキ、カキ、その他の懸濁物捕食者を想定しています。それから堆積物食者、泥の中の微細藻類、付着藻類をモデルに取り込んでいます。

それからもう 1 つ、有明海は非常に微細な懸濁物が多い濁った海ですので、それが植物プランクトンの光合成にどういうふうに関係するかを考慮しています。つまり底泥の巻き上げと沈降による光環境の変化を表現しているという事と、底泥の直ぐ上の水質と底質との相互関係を表現しています。



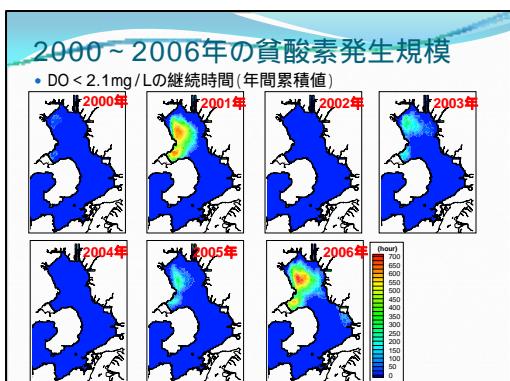
これが現況再現の結果で、溶存酸素 DO です。2000 年から 2006 年までの連続して計算した結果です、実線が計算結果でプロットが観測データです。浅海定線の観測データです。それぞれの年の変動とそれから季節的な変化もある程度これを見て頂いて分かりますように再現できていると考えています。それからもっと細かな変化という事で、こちらは連続データ

タです。黒が実測データで、赤が計算値です。実測値・計算値それぞれの変動とそれからレベルも含めて大体良く再現出来ているのではないかと考えております。



これが貧酸素、底層の DO を計算した結果です。前回の報告でもお示しいたしました。まず最初、今小潮から大潮に向かっている時で青い部分が貧酸素状態、DO の低い状態で、赤いのは DO が高い状態です。段々と小潮に向かって、湾奥西部とそれから諫早湾内から発生してそれが段々と広がって行く様子が見られるかと思います。

この貧酸素が最初浅い所から形成されるのが有明海の特徴です。その酸素の低い濃度が例えば沖合の鉛直方向で見ると、むしろ底層よりも中層付近の方が酸素の低い状態が出ている事があります。これも実際の観測データと一致しています。従って、鉛直的な DO の変化も比較的良く再現出来ているというふうに考えています。これは 2001 年の夏 7 月、8 月の計算結果です。



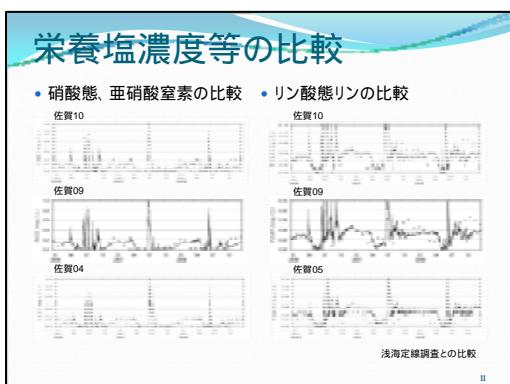
これは各年の貧酸素水塊の発生規模を示しています。2001 年は非常に貧酸素水塊が大きかった年です。2000 年から 2006 年までの各メッシュの貧酸素の累積時間を示しています。説明し忘れましたけれどもこのモデルは 900 メートル × 900 メートルのメッシュのモデルになっています。各格子の貧酸素をここでは DO<2.1mg/L、1.5mL/L と同じでして、水産用水基準である魚類の致死濃度に相当します。だから 2.1mg/L 以下だったらかなり生物にダメージがあるとそういう濃度です、各メッシュでの年間の 2.1 を下回った所の累積時間を示したものです。

2000 年代といつても見て頂いて分かりますように、2001 年とか 2006 年は非常に貧酸素が大きく拡大した年、しかし 2000 年、2002 年を含めてあまり貧酸素が発生していない年もあります。

| 状況 | 対象年 | 2000 年 | 2001 年 | 2002 年 | 2003 年 | 2004 年 | 2005 年 | 2006 年 |
|---|-----------|--------------|-------------|--------------|-----------|-----------|--------------|-------------|
| 貧酸素水塊の容積($\text{km}^3 \times \text{day}$) | 2.0mg/L以下 | 0.1 | 38.9 | 0.0 | 3.1 | 0.0 | 4.4 | 33.5 |
| | 4.0mg/L以下 | 99.8 | 257.4 | 24.5 | 174.2 | 46.4 | 207.9 | 355.3 |
| 降水量(佐賀地方気象台)(mm) | 959 | 1192 | 564 | 1022 | 900 | 663 | 1154 | |
| 全河川流量($10^3 \times \text{m}^3/\text{s}$) | 1697 | 2151 | 1037 | 2812 | 1666 | 1571 | 3418 | |
| 全流入負荷量(COD)(kg/s) | 13336 | 22038 | 7536 | 21417 | 12039 | 16942 | 30923 | |
| 気温(佐賀地方気象台)(℃) | 25.8 | 26.0 | 26.0 | 25.4 | 26.5 | 26.6 | 26.1 | |
| 日照時間(佐賀地方気象台)(h) | 708 | 781 | 799 | 611 | 719 | 715 | 668 | |
| M_2 振幅に関するF値の2000年比 | 1.00 | 0.988 | 0.976 | 0.965 | 0.956 | 0.950 | 0.948 | |

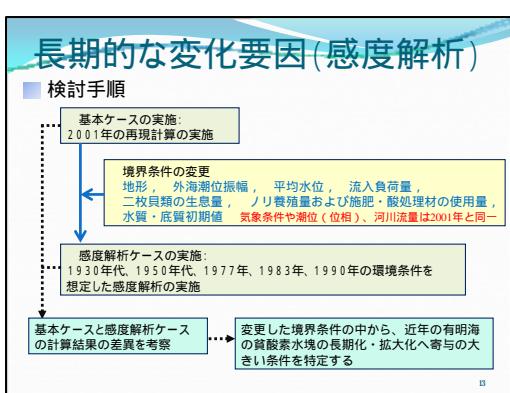
これがどういうことかという事で、貧酸素の多い年と少ない年の環境条件を比較したものです。こちらは貧酸素が多くった 2001 年と 2006 年です。何故この年が多かったかという事ですが、1 つは雨が沢山降って、河川流量が多く、つまり出

水があってそれから流入負荷量が非常に多かった。それで陸からの負荷がたくさん海に流入したので、この年は大規模な貧酸素水塊が形成されたと考えられます。ところが 2003 年も実は 2001 年 2006 年と同じ位の負荷量が入っていたのですが、それ程は大きく貧酸素は形成されていません。これについては、この年は他の年に比べてかなり気温が低かったのが特徴でして、温度が低い事によって生化学反応が非常に抑えられて貧酸素の出方が少なくなったのではないかというふうな解釈をしています。



次に後で出てきますが物質収支の計算をしています栄養塩についても述べます。これは栄養塩の再現結果です。これも実線が計算結果で、プロットが浅海定線の結果です。これは硝酸と亜硝酸をトータルしたもの、それからこちらはリン酸態リンです。この結果を見て頂いても、2006 年から 2008 年 3 年間ですけれども、計算値と観測結果のレベルがほぼ一致し、それから変動につきま

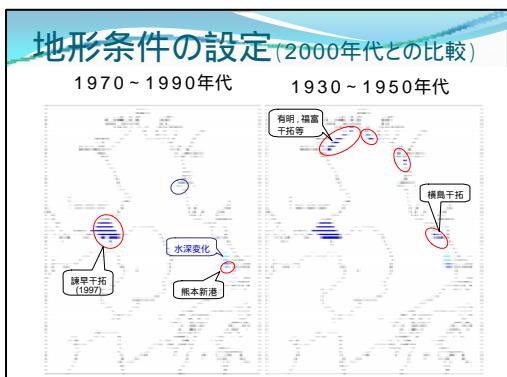
しても、先程の DO のようによく合っているという事はないのですけれども、ある程度許容範囲ということで合っているのではないかと考えています。従って、このモデルを使ってこの後いろいろな数値実験をした結果をこれからご紹介致します。



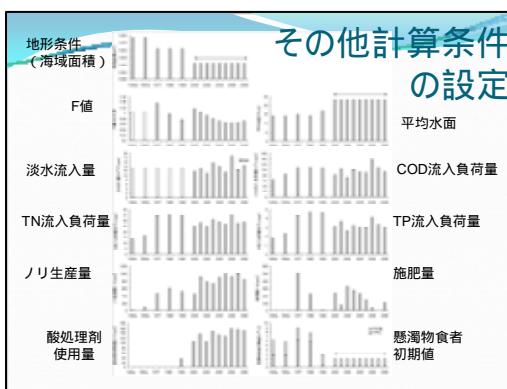
まず最初に長期的な変化という事で、昭和初期から平成の現在にかけて、ずっと 100 年弱ですがその間の色々なエポックを考えて計算年を決めました。古い時代からいくと、1930 年代、50 年代、それから 1977 年、83 年、90 年、それから 2001 年を基本ケースとおいて、2001 年と違った境界条件を各年代の境界条件に当てはめて計算した感度解析の結果です。1990 年というのは 2001 年に対して諫早干拓の前の時代、それか

ら 1983 年というのは 1980 年前半で透明度が上昇する前の時代ということ、それから 70 年代後半はノリの生産が非常に多くなった時代です。この 1960 年代から 70 年代前半に大規模な干拓が各地で、特に湾奥部を中心に行われましたので、その干拓前の状況として 1950 年代を選び、さらにその前の昭和初期 1930 年代を選びました。1930 年というのは昭和 5 年です。具体的に各年の地形を考慮し、それから外海の潮位振幅、これは月の昇交点の変動による 18.6 年の自然周期です。それから平均水位、流入負荷量それから二枚貝の生息量、ノリ養殖、水質・底質の初期値を考慮しました。但し気象条件と河川流量については、先程 2000 年から 2006 年の結果を見て頂いて分かるように流量の違いによって貧酸素の出方

が非常に変わりますので、河川流量と気象条件は 2001 年と同じにしています。

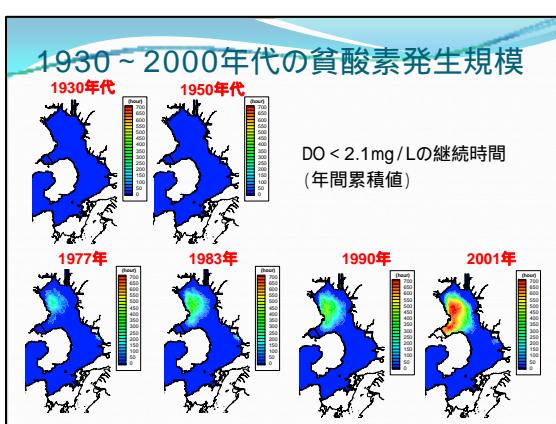


これは地形の変化です。2000 年代に対して 1970 年の後半から 90 年代は諫早干拓とそれから熊本新港が出来る前の時代。さらにそれ以前の 1930 年代と 50 年代は湾奥部から東部沿岸にかけての大規模な干拓が行なわれる前の時代です。ですから地形は 2000 年代と 1970 から 90 年代と 30 から 50 年代の 3 つの条件で計算しています。



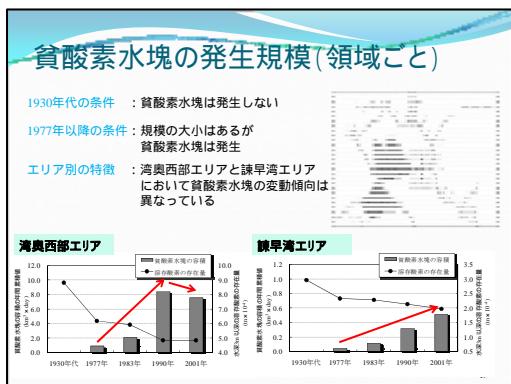
その他の条件についてみてみると、これが先程の地形の面積の変化です。外海の潮位振幅につきましては、2000 年以降は F 値が下がっていく状況で、70 年代から 90 年代もその F 値を使っています。30 年代と 50 年代は 2001 年と同じ F 値を使っています。平均水面も今よりも過去の方が約 10cm 低かったです。今の方が 10cm 高くなったという事を考慮しています。淡水流入量は 2001 年とも全て同じにしています。それから負荷量は大雑把にいうと 2001 年に対して 70 年から 90 年代は 2001 年よりも大きくて、30 年・50 年代は負荷量が小さくなっています。これはノリの生産量の変化です。最後に懸濁物食者のトータルの初期値、これは漁獲量を基にして決めています。90 年代は 2000 年代よりも少し多いくらいですが、70 年代後半と 80 年代はかなり多かった時代。30 年代、50 年代も恐らくこのくらいのレベルだろうという条件で計算しています。

従ってこのモデルは過去のそれぞれの時代を再現しようという事ではなくて、ここで示した境界条件を変えてどういうものが効いているかという事を見ようとしたものです。

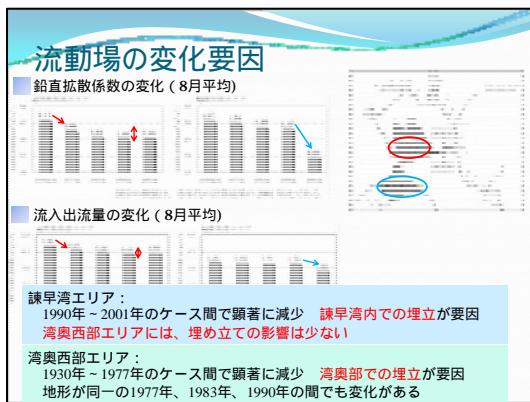


これが計算結果でして、30 年代と 50 年代では貧酸素は出ていません。77 年から 90 年にかけて貧酸素は既に出ていて 2001 年が一番大きくなっています。ここで、地形条件は同じですけれども F 値や負荷量が年によって違うので貧酸素の出方が違っています。流れを考えると F 値の違いで流れや成層状態が変化して、その影響で貧酸素の出方が違っていたのだろうと考えられます。それはまた後

で詳しく説明します。



ていなかった貧酸素が 70 年代の後半に出るようになって、90 年代に一気に増えています。諫早湾エリアも同じで、特に 2001 年、これは諫早湾干拓後に非常に増えています。プロットは DO 濃度の存在量を示しています。貧酸素というのは、酸素の供給と消費のバランスで消費が大きくなると貧酸素になるという事なので、ここでは酸素の供給についてみています。酸素は上層では植物プランクトンが光合成をして沢山ありますが、その水がいかに下の水と交わるかという指標としての鉛直拡散係数、それから水平方向に水がどういうふうに移動しているかという事で、水平方向の酸素の出入りを示す流入水量と出ていく水量を指標としています。これは湾奥西部エリアと諫早湾エリアです、

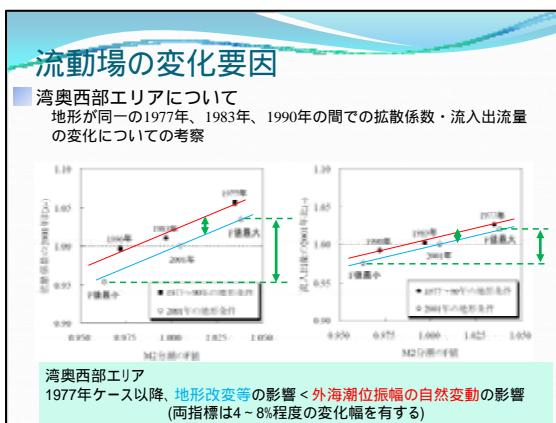


次に有明海全体を一つにしてみると、貧酸素が発生しやすい湾奥西部と諫早湾に注目して、ここでは諫早湾エリアと湾西部エリアのそれぞれの特徴について説明致します。

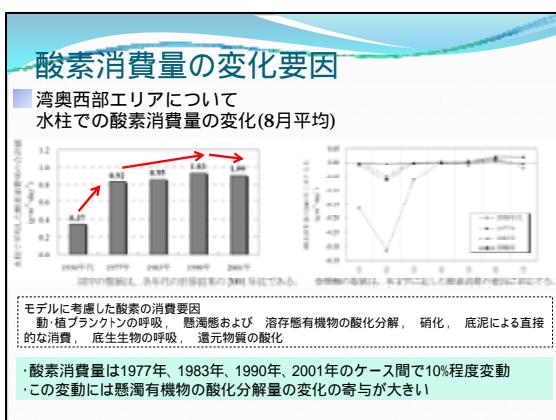
この棒グラフは各エリアの貧酸素水塊の容積の時間累積値です。湾奥西部エリアでは、1950 年代は省略していますが 50 年代も 30 年代と同じと考えて頂いて良いと思います、50 年代に出

ていなかった貧酸素が 70 年代の後半に出るようになって、90 年代に一気に増えています。諫早湾エリアも同じで、特に 2001 年、これは諫早湾干拓後に非常に増えています。プロットは DO 濃度の存在量を示しています。貧酸素というのは、酸素の供給と消費のバランスで消費が大きくなると貧酸素になるという事なので、ここでは酸素の供給についてみています。酸素は上層では植物プランクトンが光合成をして沢山ありますが、その水がいかに下の水と交わるかという指標としての鉛直拡散係数、それから水平方向に水がどういうふうに移動しているかという事で、水平方向の酸素の出入りを示す流入水量と出ていく水量を指標としています。これは湾奥西部エリアと諫早湾エリアです、

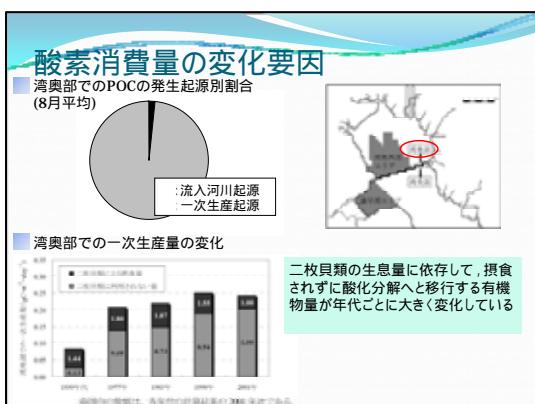
まず西部エリアです。これは貧酸素化する 8 ヶ月の平均値ですけれども、30 年代、50 年代もそうですが、鉛直拡散係数が大きく鉛直的に良く交わり混合されていた時代から 70 年代後半になってそれが低くなっています。諫早湾では諫早干拓の後、極端に低くなっています。それから水平方向の流入流出量も基本的に同じような変化を示しています。従ってこの湾西部のエリアでは 1950 年代から 70 年代にかけて行われた湾奥部の埋め立てが非常に効いているのではないかという事が推察されます。諫早湾エリアでは、諫早干拓の影響が効いているのではないかというふうに思います。ただ、諫早干拓の影響は湾西部エリアではそれ程は及んでいません。



これは湾西部エリアです。地形は 1977 年から 90 年にかけて変わっていませんが、ここが 77 年の F 値です。これは 2001 年を基準にして書いています。鉛直拡散係数の 2001 年を 1 としたものです。1977 年の F 値が高いときに鉛直拡散係数が高く、83 年、90 年と赤い線が引かれます。次に 2001 年の地形に対して F 値を最大にした場合と F 値を最小にした場合、感度解析で F 値だけを変え計算した結果、こちらの線上に乘ります。従って、この部分が地形による差であって、F 値の違いによる鉛直拡散係数の変化と比べますと、これくらいの差があります。と言う事は 1970 年代後半から 90 年代にかけては地形の影響よりも F 値の影響の方が良く効いているという事が言えます。流入出量で見てもこの F 値と同じような傾向が読み取れます。

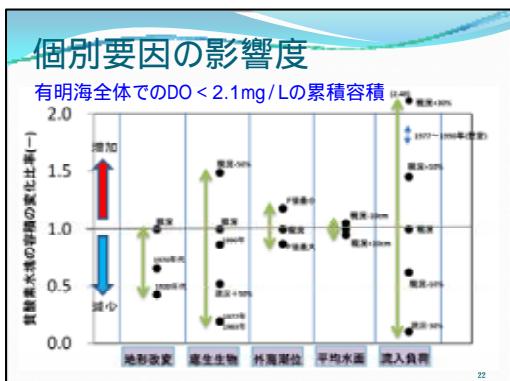


解されて酸素が消費されるもの、それから溶存態有機物による酸素消費、アンモニアから亜硝酸・硝酸へ硝化による酸素消費、それから底泥による直接的な酸素消費、底生生物の呼吸による酸素消費、還元物質の酸化による酸素消費で、それぞれの年代をプロットしたものです。懸濁物による酸化分解による酸素消費が一番良く効いていて、その次に動植物プランクトンの呼吸だという事が分かります。



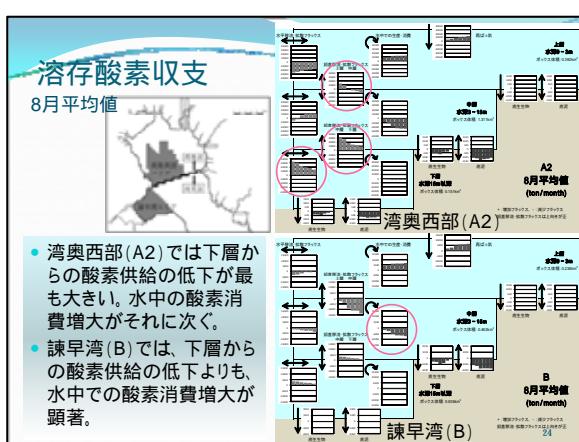
では、懸濁物の中身の発生起源はどうかという事で、ここでは有機態の炭素についてその発生起源を見てみます。この図は湾奥部全体の集計です。懸濁物というのは陸から入ってくる河川起源の懸濁物がこの程度あって、後は湾内部

で生産された一次生産起源のものが大部分を占めているという事が分かります。湾奥部の一次生産量を各年代で示したものです。このうちの懸濁物のうちの上の黒い部分が二枚貝によって摂食されたものです。従って 2001 年は非常に二枚貝も少なくなっているのでその量は少なくなっているという事になります。



今までの話をまとめます。まず地形改変によって貧酸素水塊の容積が現状に対して 70 年代 30 年代こういう所にプロットされます。それから、底生生物の量に応じて、現況よりもマイナス 50 パーセントにした時、貧酸素の容積は 1.5 倍位になり、プラス 50 パーセントにした時、貧酸素の容積も半分位になると予測されます。77 年、83 年は底生生物の量はこの辺りですので、非常に

に貧酸素は出難くなっている状態と理解できます。これが外海の潮位振幅 F 値です。これは平均水面の変化、これは流入負荷量の変化でして 1977 年から 90 年代は大体この部分に相当します。従って、70 年代、90 年代は 2001 年に比べて負荷量が多くだったのでかなり貧酸素の容積は高く出ますが、底生生物が 2001 年より多かったので相殺された結果になっています。



次に物質収支について説明致します。この図は少し細かいですが、海表面から水深 3m までがこの部分、3m から 15m までが中段、15m から海底までがこの部分を表しています。海底にくっ付いているのは底生生物による酸素消費、底泥による酸素消費、それから水平方向の矢印で出ているのは水平拡散しているもので、鉛直方向に出ているものは鉛直拡散しているもの、グルッと矢印が回っているも

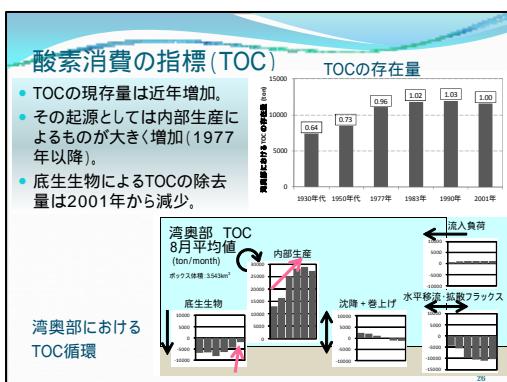
のはこの中で内部生産されているもを表しています。湾西部につきましては、底層から酸素が沢山入ってきて、上層へ移流していくというパターン、これが一番大きな流れです。この棒グラフですが、左から 1930 年代、50 年代それから 77 年、83 年、90 年、2001 年とプロットしています。年々底層から入ってくる酸素が少なく、また上層への移流も少なくなっているという事が読み取れます。次に、特に中層は容積が非常に大きく占めていますが、この内部での生産が逆に増えています。要するに懸濁物質が増えてそこで酸素が消費されているという事を示しています。諫早湾エリアでは同じように底層から入ってくる量

も多いですが、それよりもその内部で生産される量が大きく、特にこれも年々増えているという事が分かります。従って湾奥部と諫早湾では酸素収支のメカニズムが違っているという事が分かります。



では溶存酸素の収支の内訳を見ますと、これは生産によるもの、呼吸によるもの、硝化によるもの、POC懸濁態有機物の分解酸化によるもの、それから溶存態有機物、還元物質の酸化によるものを、上層、中層、下層に分けて示したものです。これは湾西部エリアです。一番大きいのは懸濁物でそれも年々非常に増えているという事が分かります。呼吸による酸素消費が次に多いです。諫

早湾でも同じです。それから、容積が非常に大きな中層で還元物質の酸化による酸素消費が近年非常に高くなっているという事がこのモデルで計算されています。

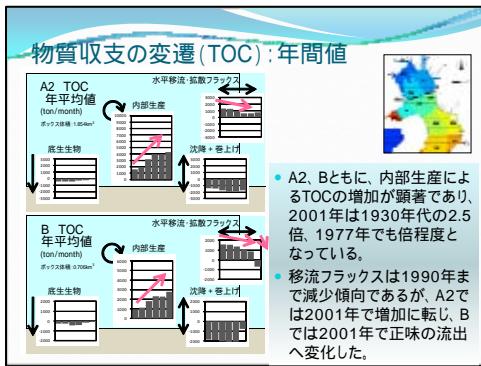


次に有明海の中での酸素消費の指標として有機物量の存在量はどうかという事で、これは炭素について示したもので、30年代、50年代はそれ程多くなかったけれども、70年代後半以降は増えてきています。これはどういうものかというと、内部生産による所が大きいという事がいえます。2000年代は特にそうですが、底生生物による懸濁有機物の摂食が非常に減ったことと関係しています。有機物があまり底生生物に摂食されなくなったので、有機物を分解するために酸素が消費されて貧酸素になり易くなっているという事になります。

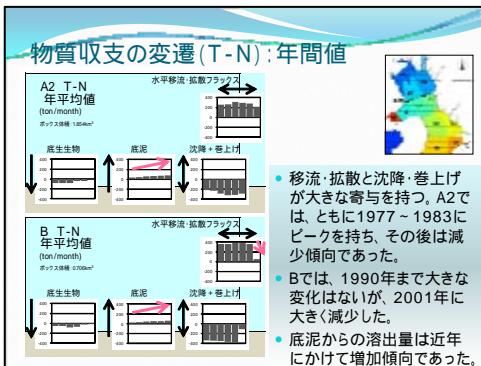


次に炭素、窒素とリンにつきまして有明海全体で12ブロックに分けてみてみます。それぞれは先程言いました年代を示し、古い時代から新しい時代を示したものです。湾口部の一部を除いては

殆ど増加傾向を示しています。特にこのグリーンの矢印で示したのは2001年ではなくてその前の年にピークだったという事を示し、ピンクの矢印は2001年が一番多かったという事を示しています。

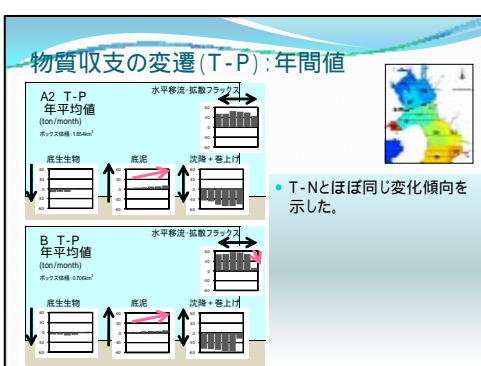


これは年間の炭素量です。これも A2 の湾西部エリアとこちらは諫早湾の中を示したもので。これは内部生産による水平方向の移流拡散フラックスを示したもので、内部生産による影響が非常に大きいという事が分かります。こちらは水平方向のフラックスが非常に少なくなっています。要するに酸素供給が少なくなって酸素の消費が非常に増えているという事が言えます。諫早湾も基本的に同じですが、特に諫早干拓が行なわれて水平フラックスがプラスからマイナスに極端に転じているという事が計算の結果で示されました。

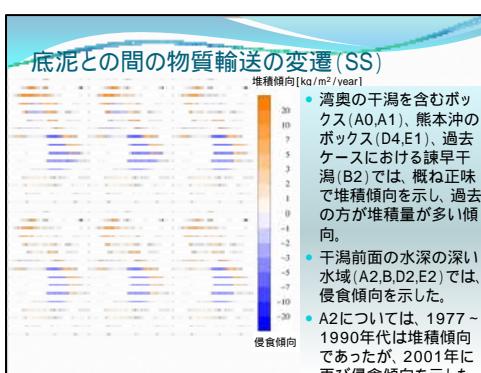


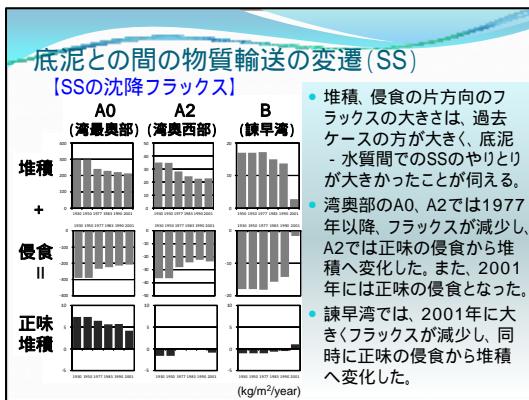
これは窒素ですが、先程の炭素と基本的には同じです。窒素の場合は底泥からの溶出量を示していますが、底泥からの溶出も両海域とも年々増えています。溶出量が増えるのでそれが植物プランクトンに利用され内部生産が高くなりやすいという事が言えます。

これはリンで、リンも窒素と同様に沢山溶出されるようになっています。



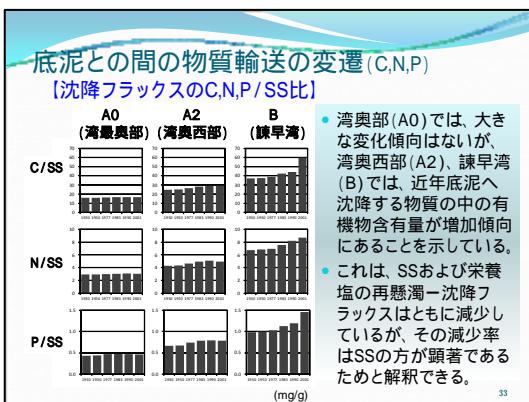
これは重要な指標となる SS について各ブロックでの堆積傾向と侵食傾向を集計したもので、暖色系のオレンジ色が堆積、それからブルーが侵食です。湾奥部とそれから東部沿岸域それから諫早湾の奥、ここは干拓前の諫早湾の奥ですが、ここは大体堆積傾向を示し、島原半島の流れの良いところは侵食傾向を示しています。



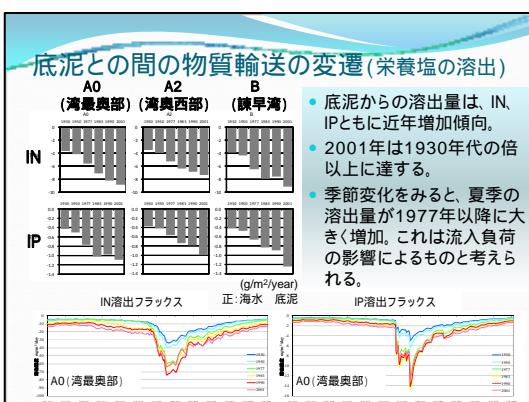


これは先程のグラフを棒グラフにして経年変化を分かり易くしたもので、堆積と侵食の正味で示すところちらが堆積こちらが侵食になります。特に湾奥部の堆積が非常に減っているという事が分かります。

底質との関連で見た時にこのモデルから言える事は SS の懸濁物質が特に湾奥部について着目しますと、30 年代 50 年代は高かったけれども 70 年代後半から 90 年代に低くなっています。2001 年は特に低くなっているという事が分かります。



次にこれは SS に対する有機物と栄養塩の比率を示したものです。こちらが SS に対する炭素と窒素、リンです、湾奥部は各年代そんなに変わらないのですけれども、湾西部と諫早湾については年々高くなっています。どういう事かというと、SS とそれから炭素、栄養塩ともそれぞれのフラックスは減少しているのですが、特に SS のフラックスの減少の方が大きいので、分母が小さくなつて比率として年々高くなっているという事です。従って、先程の結果とまとめてみると SS の堆積量が小さくなっているけれども、その中に占めている有機物や窒素、リンの比率が高くなっているという事です。栄養塩の溶出量を見ますと、出水に関係して溶出量が増えていますが、この増え方が昔よりも年々高くなっているという事と関係していると考えられます。



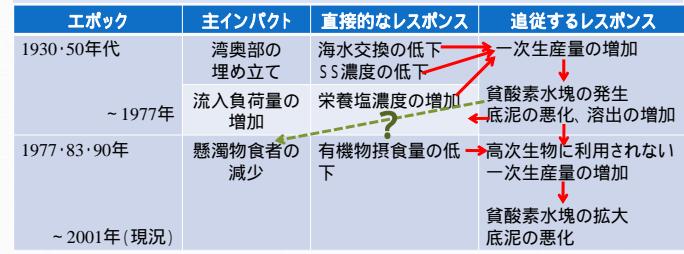
これは底生生物ですが、底生生物の現存量に応じて、底生生物による懸濁物有機物の除去量が段々減っている事を示しています。



まとめ

- 過去を想定した感度解析による貧酸素水塊形成の支配要因
 - 諫早湾の貧酸素については地形変化の影響が大きい(1990年以降)
 - 湾奥西部の貧酸素については、湾奥の地形変化の影響(1950年代以降)は大きいが、外海潮汐などの自然変動の影響も大きい。
 - 近年は二枚貝の減少により、底生生物による有機物の利用が減少し、余剰の有機物が増加したことにより、酸素消費量が増大している。

有明海における過去からの物質収支の変遷



最後にまとめです。今のような状況をまとめますと大雑把に昭和初期から平成の約100年弱にかけて環境変化を代表する年代を計算した結果、1930年代と50年代が1つの時代で、それから70年代後半から90年代前半、それから現在2000年代の3つに時代に区分されました。これは、干拓面積の時系列を見て分かるように、2回大きなジャンプをしている時期が

あって、1960年代から70年代前半にかけての湾奥部を中心とした大規模干拓、それから1997年の諫早干拓です。要するに地形の影響がまず主要なインパクトで、湾奥部については30年代50年代から77年にかけては湾奥部の干拓の影響が効いていて、それによって流れ場が弱くなっている海水交換が低下してSSも低下して、SSの低下によって光が深い所まで届くようになって一次生産量が増加した。それから、1970年代後半からは流入負荷量が増えてきていますので、流入負荷量が増えた事によって栄養塩濃度が高くなり一次生産量が増加し、これによって貧酸素水塊が70年代後半以降発生するようになったのではないかと考えられます。また貧酸素水塊の発生によって二枚貝がダメージを受け、増加した植物プランクトン等の死亡によって底泥に有機物が堆積しやすくなり、栄養塩が多く溶出している、先程見て頂いた通りですけれど、栄養塩の溶出によってさらに一次生産が増加しやすくなる、こういう循環を繰り返していることをモデルでの計算が示唆しています。諫早干拓によって諫早湾内の流れが弱くなり湾内の貧酸素化が進み、また干拓前後の、特に90年代から2000年代にかけては二枚貝がさらに減りましたので、二枚貝による懸濁有機物の摂食量が少なくなっている、高次生産へ利用されないので、一次生産量が増加して、さらに貧酸素水塊が拡大して底泥が悪化している。このような循環、これは負の循環、負のスパイラルといえますが、こういう事が各時代で起こっているのではないかという事が、総合的なコンセンサスとしてこのモデルから得た結論です。以上です。

【総合討論】

座長：長崎大学環東シナ海海洋環境資源研究センター 教授 松岡敷充

コメンテーター：講演者に加え

佐賀大学低平地沿岸海域研究センター 准教授 速水祐一

長崎大学 水産学部 教授 山口敦子

【長崎大学水産学部 教授 山口敦子】

宜しくお願ひ致します、山口と申します。早速話をさせて頂きます。私の方からは、仔稚魚の成育場としての干潟の機能について話をするという事です。簡単ですけれども仔稚魚が生育場としていかにして干潟を利用しているかという話をさせて頂きたいと思います。

まず最初のスライドです。これは日本で有明海だけに生息する有明海の特産魚類と呼ばれる魚種です。これについては有明海の泥干潟とかそれから河口域それから河川の干潮域、それから淡水に至る海域まで広く分布しているのですけれども、そういった海域と非常に関わりが深くて、そういうものがあるということ事態がその生息の為の条件となっている魚種ですので、仔稚魚に限らず成魚にとってもそういったその干潟を含む海域がもう重要な一つであるということは皆さんご存知かと思います。

これは準特産魚類と呼ばれるような魚種でして、日本国内では有明海を含む一部の海域にのみ分布記録があつて、有明海が分布全体の中で極端な飛び地となっている種というふうに定義されまして、ヒガ、コイチメ、ナダ、マナガツオ、スズキ、コダイカ、シタビラメ等がこの準特産魚類と言われる魚種です。この写真の魚はコイチなのですけれども、この種類は年中有明海に生息していまして夏場は湾奥、冬になると中央部の方に下がって特に島原半島の沖に下がっていくという事が知られているのですが、ところが最近冬になつても島原沖ではほとんど漁獲されておりませんで、この10年私達の研究室で行なっている調査でも殆ど漁獲がないというのが現状です。資源の減少が著しいのではないかというふうに推測されます。

こういった魚類もそうなのですが、その他にもマナガツオといった種類です。これは有明海でもマナガタと言われる魚ですけれども、有明海には産卵の為に一時的に来入すると考えられておりまして、夏になると湾奥や中央部の広い範囲で産卵を行ないます。丁度グリーンで書いた所なのですけれどもかなり広い範囲で産卵を行なっておりますが、この魚の稚魚はこういった河口域に出現をするという事が分かつておりますが、ほぼ産卵の為に外海からやってきて産卵を終えると成魚の方は外に出て行くのですが、稚魚の方はこういった河口域や干潟域で育つてある程度大きくなるとおそらく外海の方に移動していくものというふうに考えております。それからこれはヒラですけれども、これも準特産種ですがこの種類も同じように産卵の為に来るというふうに考えられておりまして、やはり夏ぐら

いになると沢山見られるのですが、このような仔魚も湾奥の河口域、干潟域といった所で見られるようになります。

それから小さな魚ばかりだったのですが、サメのような大きな種類も干潟河口域を成育場としておりまして、これはナルトビエイの胎児なのですが生まれる少し前の胎児です。こういったエイも、同じように干潟域を成育の場として利用しております。それからこれはヤジリエイといって、あまりこれは有名ではないので初めて御覧になる方もいるかと思いますが、有明海の中では最も大きなエイです。このようにもっと大きいのも沢山ありますけれども、あまりに大きいのは漁獲出来ないのでこのくらいがせいぜい漁獲できるサイズなのですが、もっと大きいのも沢山あります。かなり大きなエイなのですが、その稚魚も同じように有明海の干潟域で生育をするという事が分かってきました。これについても、おそらく産卵の為に一時的に外から入ってくるのではないかというふうに考えております。もっと大きいものなのですけれども、これはシュモクザメです。シュモクザメも実は同じように、これは赤シュモクザメという種類ですが同じように外海から入ってきて、そしてこの辺りで産卵をするというふうに考えられるのですが、稚魚はこういった浅い海域、干潟河口域を含む浅い海域を成育場として利用して、成魚は先に有明海の外に出て行くのですが暫くここで育った後、ここが安全で餌も豊富なのでここで育った後、水温が下がつてくると徐々に深い場所へ移動していくという事が分かってきました。

今大きい話までしましたけれども、干潟河口域というのは多くの稚魚の成育場となっておりまして、これはプゥーっと膨らんだフグなのですが、湾奥の干潟域河口域といった所で漁業をやりますと、目網にもよりますけれども小さな目網の漁業をやりますとこのようにして稚魚が、この場合はフグですけれども大量に取れるという事で多くの稚魚がそこで育っているというのがこれで分かるかと思います。稚魚はまだ人目に触れる機会がありますが、このような仔魚についてはもう殆ど人目に触れる機会がないので、あまりこれもご存じないかと思うのですが、実はよくよく調査をしてみると干潟河口域にはこういった仔魚が沢山いるという事も分かってまいります。これはコノシロ・サッパの仔魚ですけれども、稚魚になる前の極々初期の段階のものです。そしてこれはフグの仔魚です。それからこれはイヌノシタゾクと書いていますけれども、クチゾコ・シタビラメの仲間の仔魚です。最初はこのようにちょっと大人とは違う形をしておりますけれども、行く行くはあのような形になっていくという事で、この頃はこういう形で泳いでおります。こういったものが、皆干潟河口域で取れるという事です。

そういう事で、私は今まで有明海の魚類が何故減るのかとか、何故増えたりするのかそういう変動要因を明らかにするという事を目的にしまして色々な調査をやってきているのですが、特に卵・仔魚については 2003 年からその分布調査、ここでは水平分布と書いてますが鉛直分布も含めて調査をやっております。定期的な調査の海域としまして定点としては、ここに書いたような定点で今年も含めてですがずっとデータを蓄積しているような状況です。

有明海の魚が何故減っているのかという事を調べるのに、やはり一番重要なだなというふうに考えられたのがこの減耗が最も大きい時期の卵とかそれから仔漁期の分布状況。それから、生態についてまず知っておくというのが一番重要な課題であるという事が分かってきました。一番死にやすい時期、大幅な減少をしやすい時期の分布状況や生態について知つておく。もちろん魚種によってこれは全然違つてきますので、特に重要種を中心にして種別にその状況を明らかにしておく必要があります。今までの所、私の研究室で調査をやっていますが、300種類以上の魚類がいるという事が分かってまいりまして、現在も調査をしていて色々と整理をしているので種数が変わってきますが、今の所はもう300を越えております。300を超える魚の仔魚がいるわけですから、こういうふうに分別をするのも含めて同定をしていく作業、非常に難しいのですが頑張って調査をしているというところです。

こういった調査でどういう事が分かるかといいますと、干潟河口域が成育場としてどのように機能しているのかという事を知つて、各種の仔魚にとってどのような環境が必要であるのかを明らかにするという事で、結局初期この死にやすい時期をそれ程死なせずに生き残りを良くしてやる為にはどういう環境を、実際環境というのは出てくるのですけれども、じゃあどういう環境が本当に必要なのか、本当に良い方向に向かうにはどうした環境を用意すれば良いのかといったことを知る為に、非常に基本的で重要な情報になるというふうに考えております。

まずこれは全部の仔魚の水平分布の調査結果をちょっとご紹介するのですが、昨年度の結果です。大きな丸ほど沢山取れている事を示しているのですが、ちょっと見て頂いてもわかるようにこのように河口域でかなり沢山の仔魚が取れるという事がお分かり頂けるかと思いますし、かなりこの浅い場所を中心にして沢山の仔魚がいるという事もお分かり頂けます。年変動が大きいのですが、年によってそれから種類によつても色々な変動があるので一概には傾向としては言えないのですが、やはり干潟河口域に多いというのは共通の傾向かと思います。これが2008年度の調査結果ですし、それからこれが2007年度の調査結果になっております。

ここで少しシログチについて紹介するのですけれども、魚種別に先程のは全魚種を平均化していたのですが、ここではちょっとシログチに少しお話を絞つてみたいと思います。このシログチという魚なのですが、実はそれ程先程のコイチのように湾奥に多く見られる種類ではなくて、実はこの深い所に多く見られる種類です。今の所は産卵場を島原半島沖と考えているのですが、どうやらその仔魚や稚魚といった所はこの浅い海域に出現するという事が分かつてきただので、先程から言つていますようにこういったところが重要だうと考えられる魚種以外にも、普段成魚をあまり目にしないようなものでもこういったところを重要な成育場として使つてゐるものがあるという事を分かって頂きたいというのが1つと、それから意外にこれは島原半島沖で魚類漁業が非常に盛んなのですが、その中でも主要な漁獲対象種となっているのでそういうものも含めて、保全していく為にはやはり仔魚期にどうかというのを明らかにしていく必要があるという事です。これを見て頂くと

分かるのですけれども、分布に少し特徴が見られます。このように、一番奥のほうにはあまりいないのですけれどもこの少し前線辺りに多く見られる。それと今までのところ、諫早湾ではあまり取れていないという事が分かっています。先程ご紹介したコイチなのですがこれと非常に近縁の仲間なのですが、あれはもっとズレていましてこちらの方に多く仔魚が出るという事も分かってまいりました。このシログチなのですけれども、どうやら産卵場と仔魚が育つ場所が遠く離れているという事が分かってきまして、何らかの輸送の仕組みを持つのではないかという事が分かってきたわけです。東京湾でも同じようにシログチが生育していまして、かつて調査に関わっていたのですが同じような輸送の仕組みはもう持たないようだという事が分かっていまして、有明海で特有のこういった輸送の仕組みがあるのではないかという事で、シログチをモデルにしてどういうふうに輸送されるのかという事を明らかにしようという事で、ずっと調査に取り組んできている所です。他にも同じようなこういったケースの魚というのは実は有明海に非常に多いという事が分かってきまして、1つ資源を保全していく為にもこの流れの仕組み、輸送の仕組みというのを明らかにするというのが重要な事だという事で調査をしています。

これがちょうど産卵場と思われる場所で、ここでもずっと調査をして産卵日とか産卵時刻というのもも分かってまいりました。その推定できたその日のその時間その場所で網を引いてやると、このようにシログチばかりという事でかなり大量の親が取れましてこれを実験に使ったり人工授精をしてその生態を調べたりといった事をやっております。これも一度先程の図を模式化したものなのですが、おそらくここで産卵をして底層で産卵をするのですが、卵は発達しながら少しづつ奥の方に輸送されるのではないかというふうに考えています。このグリーンの場所なのですが、ここ一体がシログチにとっての成育場となっているのではないかと、主要な成育場というふうに考えております。ただし、先程言いましたようにこちらでは全然取れないので、ここが成育場として今機能しているのかどうかといった事も含めて、かつてどうだったのか、今どうなのかという両方の視点から、これはもう今後の調査課題なのですが、この絵ですが元々流れる仕組みがなかったのか、或いは何らかの流れの変化でこちらに運ばれないようになったのか、或いはここで死亡率が非常に高い為にここで見られなくなったのかといった事を調査しているところです。シログチの仔魚の発育を見て頂くのですが、これ受精卵です。孵化後、1日目、2日目、3日目と写真を見せているのですけれども、既にこの2日目で口が開いているのがお分かり頂けるかと思います。既に2日で口が開くという事が分かりました。これも実験で分かった事なのですが、2日目に口を開いて数時間以内に餌を食べなければどうやら死んでしまうという事が分かりました。これも魚種によって様々です。口が開く時期も様々ですし、飢餓にどれ位耐えられるかというのも種によって様々なのですが、シログチは非常に飢餓に弱いという事が分かりました。つまり、天然の海域では口が開いた時にその近くに餌がなければ恐らく死んでしまうだろうという事が想像されるわけです。

発育段階別にこれはフィールドから取ってきた魚なのですけれども、空胃率という事でお腹

がどれだけ空胃だったかという事を調べたものです。発育段階が若い程空胃率が非常に高くて、こういった空胃の個体というのはおそらく時間帯にもよりますけれども、恐らくその後死んでしまうのではないかというふうに考えております。つまりこれらは餌を上手く取る事が出来なかったのではないかという事が言えます。もう 1 つ減耗要因として重要なのが、貧酸素の問題かと思います。実際貧酸素が出来ると魚は死ぬのではないか、或いは逃げるのではないかと色々な事が想像出来るのですが、シログチを含めまして仔魚の場合はあまり遊泳力を持たないので中々逃げるといつても逃げ切れないのではないかという事が想像されると思うのです。ただし、実際には多少の移動は出来ますので先程もちょっとお話をありましたけれども、貧酸素というのは全層で貧酸素になるわけではないので、もし貧酸素水塊が出来た場合、それを避けたその際の所に移動しているという可能性もあります。そういう事でどの位の酸素量までシログチが生育できるのかという事で、これもフィールドで毎年データを蓄積しながらやっている所ですので、中々一気にデータが増えるわけではないのですが、かなり充実してきまして今の所 DO が 2.4mg/L 以上になるとシログチが採取できている。それよりも低い時には、シログチが採取出来ていないという事でその辺に閾値が来るのかどうか、今後シログチが生息出来るギリギリの溶存酸素の閾値、それを推定していこうという事でこれも調査をやっている所です。同じように、これはシマフグとそれからトラフグです。これも同じようにシログチと、産卵場所とそれから仔魚が育つ場所が遠く離れているという例です。こちらについても同じように調査をやっていきます。沢山あります。

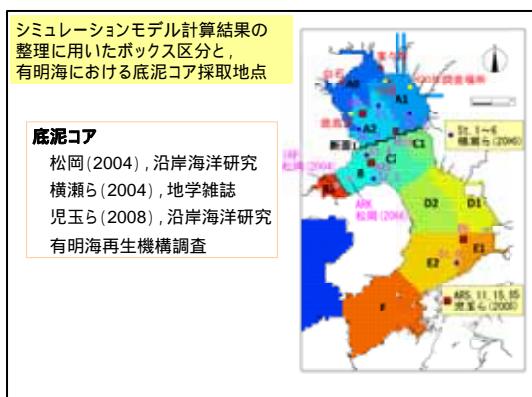
これは最後のスライドですけれども、有明海の魚が減っているのだという事でちょっと漁獲データをお見せするのですが、これは農林水産統計年報なので色々と不確実な要素も入ってきまして、必ずしもこれは資源量とはみなせないです。それに加えて、ちょっとここに写真を入れているのですが、例えばウシノシタ類と書いてありますのもおそらく見積もった所で 7 種類の漁獲量が一緒に入っているのではないかというふうに考えられます。実は、シタビラメ類は有明海には 10 種類はおりまして、そのうちの漁獲対象となっているのはおそらくこの 7 種だというふうに思えます。こういったウシノシタを見ましても、このように減少傾向が見られますし、カレイ類は特に減少傾向が大きいです。それからニベグチ類も同じように減少しておりますし、この減少具合とフグを少し見て頂くと減っているようではあるのですが、これらに比べると減少というのはそれ程大きくはないように見えます。

このようにして魚種によっても様々ですし、これもまとめてありますので 1 つずつ個別に見る事が出来ればもう少し確実な事が言えるかと思うのですが、何故このように減っていくのかという事を知る為にもその成育場である干潟河口域の機能を明らかにするという事が重要で、その為にはやはり初期生活史を知って、そしてどういった環境を用意してあげれば、その初期の減耗死亡を低く抑える事が出来るのかという事を調査して、これについても特に有明海のようなパッと見て頂いても分かるかと思うのですが魚類の種の多様性と

いうのが非常に高い海域です。これは他の海域にはあまりない特性でもありますので、そういういた海域の中で干潟河口域の機能をどのようにしていくか、そしてどの様にしてその魚類の減少要因を突き止めていくかという事を非常に難しいと思いますが、重要な事だと思いますので、今全てをここでお話できないのですが、今途中経過の少し分かってきた事を一部お話をしたのですが、こういった事が分かってきましたし、今後もこの調査をずっと続けていって何らかの再生の目標というのも作っていければいいなというふうにも思っております。以上です。

【佐賀大学低平地沿岸海域研究センター 准教授 速水祐一】

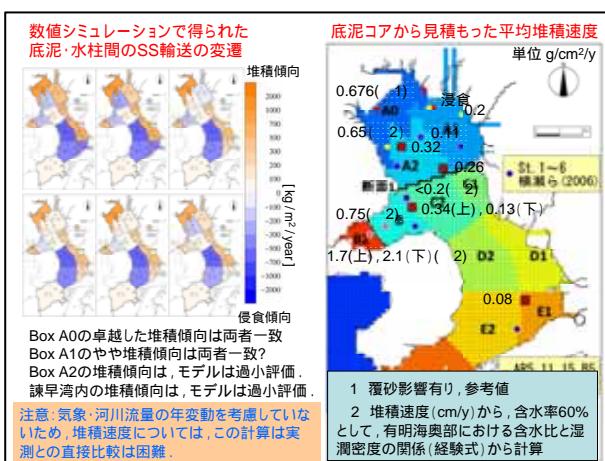
只今ご紹介頂いた佐賀大の速水と申します。最初にちょっと一言お断り申し上げたいのですけれども、私はこのシンポジウムにコメンテーターとして出て欲しいという事を再生機構の事務局から言われまして、ただ具体的に何をコメントして欲しいのかという事を言われたのはつい一週間ほど前でして、そこで底泥コア、最初に市原さんの方からお話があったような話と、それからシミュレーションの結果、さっき堀家さんが紹介された結果、それを比較した話をして欲しいと、比較の為の資料を最終的に全部揃って頂いたのが木曜日の深夜でして、昨日大学の仕事が終わったあとようやくこの企画の資料を作り出しまして、これからお話しするパワーポイントが出来たのが今朝の3時出来立てほやほやです。それから、また私は底泥コアについては実は専門外ですので、これからお話しする話についてはコメントが正しいかどうか私自身十分に検討できているとは思っておりません。ですからこれからお話しする内容につきましては、後で遠慮なくご意見を頂いて、どちらかというと皆さんで考える材料にして頂けたらというように思っております。



それではお話に入りたいと思いますけれども、これは先程堀家さんからお見せになった数値シミュレーションで解析を行なった時の有明海の海域分けです。このA0、A1、A2と書いたこういうカラーのボックス毎に結果を整理致しました。それらの上に点で載っているのが、これがこれまで私が把握している範囲で、有明海でもって底泥コアを採取して全て研究された結果です。先程市原さんからお話があったよ

うに、底泥コアの中には我々が知らない過去の有明海の歴史というものが残されています。具体的には、先程市原さんが紹介されたのが黄色と赤のこの丸の5点。それからあとと松岡先生が2004年に発表されている論文で、諫早湾の今はもう調整池になってしまった所とその外。それから、松岡先生も入られた横瀬らが2004でこの青丸で示した6点。それからこれは水産総合研究センターの調査ですけれども、児玉さんらが論文にしているものがこの4点とデータがあります。これだけの点でそれぞれ底泥コアが取られて、それでその中に過去の有明海の記録が残されていて、それが現在解析されているというのが研究の現状です。

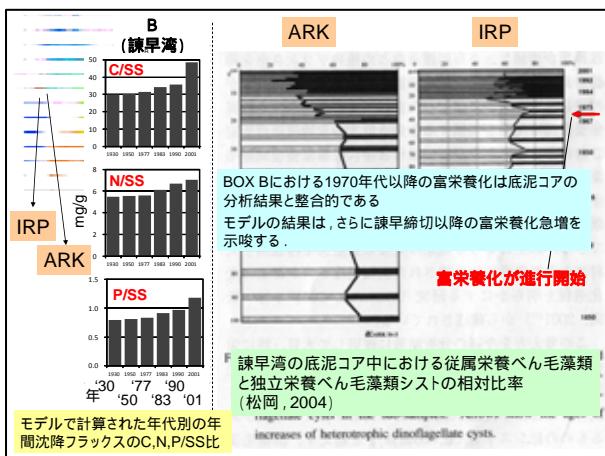
それで、まず底泥ですから堆積速度というものが多くの論文に出てきます。その堆積速度と、さっき堀家さんから紹介があった底泥と水中間のSSの輸送。これが堆積速度に当るもので、単位が違うので直接の比較は出来ないのですけれども、この全般的な傾向とこちらの数字を比較していただきたいと思います。これを見ますと、モデルの結果で特徴



的のはこの湾奥の A0 という所、ここが最もいつも堆積傾向にある。これをずっと見ていきますと、この諫早湾以外の所ではやはりこの湾奥の A0 という所で最も卓越した堆積傾向にあるという事で、これは両者一致します。ただし、ボックス A1 は砂質の干潟があってここは侵食傾向にあるのです。ここは、非常に僅かずつですけれども堆積している、全体としては少し離れますけれどもここも僅かずつ堆積している。ですから全体としてみると僅かずつ堆積という事で、モデルの結果とセンスとしては合うかなという感じです。

一方この A2、ここでは今まで 2 点のこの堆積速度のデータがあるのですけれども、それ程大きい値ではないのですけれども堆積傾向にあるというのに対して、計算の結果では少し侵食、少しだけ堆積。それで侵食という傾向で、少しモデルの方が過小評価なのかなと、それから諫早湾内については松岡先生の結果だと、諫早湾の湾奥以上に活発に堆積が起きているというそういう結果なのですけれども、シミュレーションの方は諫早湾の奥がともかくずっと閉切りまでは堆積が卓越していたというこの傾向はあるのですけれども、モデルの方がやや過小評価になっているなというのが比較の結果です。ただし、これに関してはシミュレーションの方が気象と河川流量とか年代の変動を考慮していませんので、堆積速度については絶対値としてはこの計算は実測との比較は困難、そこは分かった上でご判断下さい。

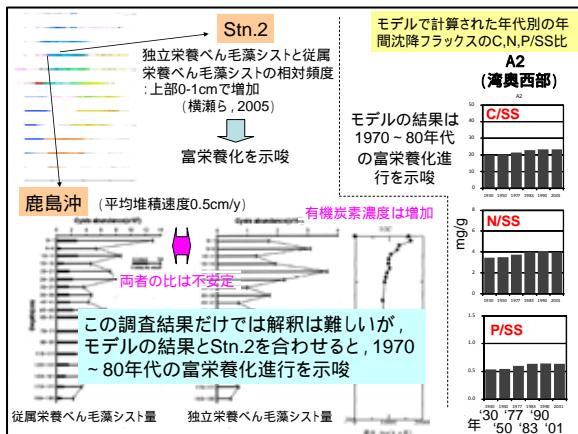
続いて、堆積していくものの質を見ていきたいと思います。堆積していくものの質という事では、これはさっき堀家さんから出して頂いたものですけれども、まず諫早湾のこの B というボックスについて見ていきますと、SS と炭素それから窒素それからリンの比。これというものは、要するに富栄養化していくと有機物が堆積しやすくなるというそういう



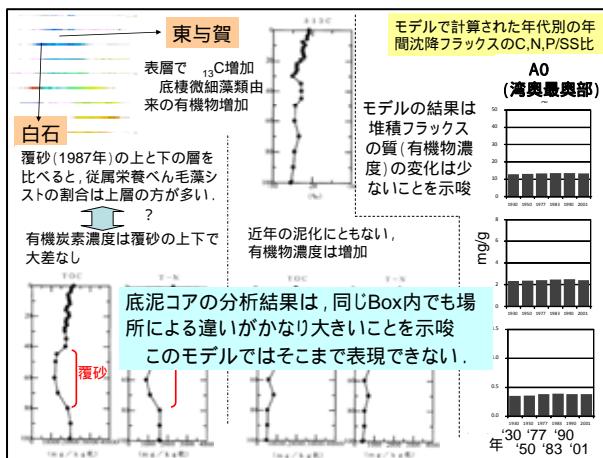
う結果を表していて、1930 年代から 77 年まではそれほど大きく変わってないのだけれども、77 年から 80 年代 90 年代にかけて大きく増えて、その後諫早湾の閉切り以降大きく増えた。

こちらは松岡先生の論文から持ってきた図ですけれども、こちらが ARK この B のボックスです。こちらが IRP、これがもう調整池の中になってしまった所です

けれども、どちらもちょうどこの辺り、1970年代ぐらいから従属栄養性の鞭毛藻類が増えてきた。これは、富栄養化が進んできたという事の指標です。そうしますと、しかもこれは干潟の上よりも寧ろボックスBの中にあるARKの方が明瞭である。だから、この1970年代から80年代にかけて急激にこう富栄養化が進んだという結果と、この先程の計算結果というのは非常に整合的である。更に、モデルの結果については諫早開切り以降の富栄養化の急増というものを示唆している。これが、ボックスBの比較です。

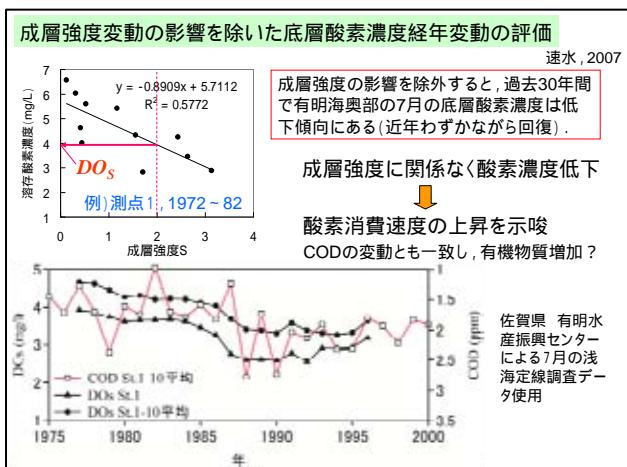


次に、ボックスA2のこことの比較をします。ここでは横瀬らによってこの点でもつて取ったコアの解析結果が報告されておりまして、そこで独立栄養鞭毛藻と従属栄養鞭毛藻の相対性頻度が上部1cmで増加しているという事で、近年になって富栄養化しているという事を示唆している。一方で、再生機構の調査で行なわれた鹿島沖のこの点なのですけれども、ちょうど境界付近なのですけれども、この点だとこの両者の比は不安定で一方的に富栄養とも言いがたいというのが現段の結果です。一方で、これはこここの点における有機炭素濃度なのですけれども、有機炭素濃度は近年増えている。こここの平均堆積速度が0.5cmくらいですので、10cmのところが20年前です。ですから、20～30年前位から有機炭素濃度が増えてきたという事をこれは示しています。モデルの結果はどうかといいますと、1970年代から80年代にかけていずれも有機物の堆積量が増えている。従って、これについては調査の結果だけだと解釈が難しいのですけれども、モデルの結果とこのステーション2の結果を合わせると、1970年代から80年代の富栄養化の進行というのを示唆しているというふうに解釈しました。



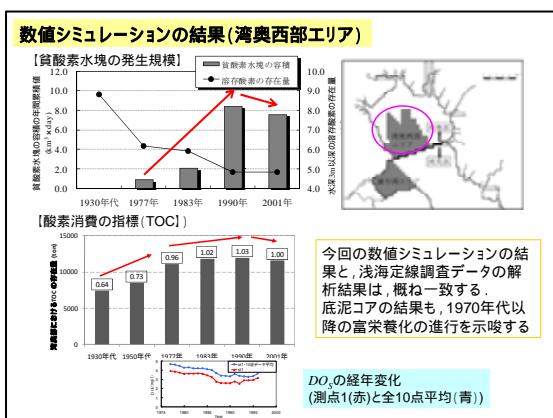
最後に、この一番湾奥のボックスA0です。ここでは、白石沖と東与賀沖というこの2点、今回再生機構の調査でもつて行なわれたデータがあります。このうち白石沖については、これは覆砂の層がこれが途中に分厚くありまして、これが白石沖で取った底質のコアの結果なのですけれども、この辺にちょうどポコッと炭素も窒素も減っている層があるのですけれども、ここが実は覆砂の層です。覆砂の

層が、これが 1987 年という事が分かっているので、それの上下で比べると海域がどうあつたかという事が比較できます。そうすると、有機炭素濃度はこれの上と下で大差がない。それからもう 1 点東与賀の所では、これは表層でもって有機炭素がこれがグッと増えているのです。これは、熊本県立大の堤先生の解釈としては、近年の動化に伴って有機物濃度が増加しているというのですけれども、それと同時に重要な事は、これは炭素同位体の安定同位対比、炭素の安定同位対比から出したデルタ $\delta^{13}\text{C}$ というものの値なのですけれども、この値が大きくなっているという事は、これは植物プランクトンに比べて底生微細藻類いわゆる潟原の形成をするものですけれども、それ以外の有機物が近年増えてきているという事です。これはですから東与賀に行かれた事がある方はご存知かとは思うのですけれども、干潟が干陸化していってそれで広がっていった結果、底生微細藻類が増えたのではないかなど、こういったものが増えた事によってこういう有機物が増えている。ただ、こちらの点とこちらの点は同じボックスにあるのですけれども、全くこのように傾向は違っていて、底泥コアの分析結果は同じボックスの間の場所による違いがかなり大きい事を示唆していて、このモデルではそこまで表現出来ないというのがこれが比較の結果です。

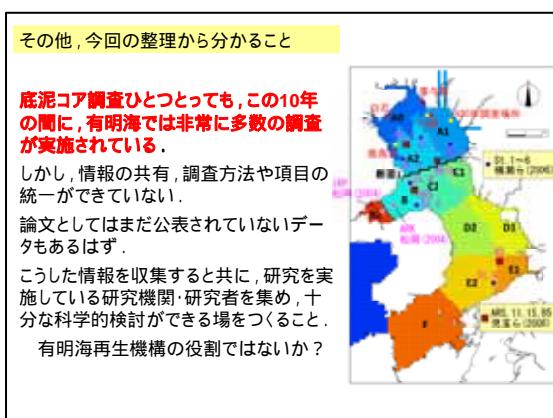


ここまででは底泥コアとそれからモデルの結果だったのですけれども、1 つ私のこれまでの研究の結果を紹介したいと思います。私が 2007 年に発表した結果なのですけれども、有明海の過去の調査というのは大潮時にしかされてなかつたので、貧酸素はだいたい小潮時に発生するので貧酸素をきっちりと捉えていなかった。それから年々の出水の影響があって、出水が大きいと貧酸素が起きやすいけれども出水が少ないと貧酸素が起こりにくい。だから単純にこれはデータを使えないのですけれども、成層強度と底層の溶存酸素の間の関係をとると、これが 7 月のデータだけを使っていて、1972 年から 82 年までのこの 9 年間のデータを使うと、この様に綺麗な直線の関係が出てきます。この直線の関係である一定の成層強度、ここでは成層強度 2 としていますけれども、この直線上のこの点におけるこの溶存酸素濃度というもの、これを DO_{s} とします。つまり年々の成層強度の変動の影響を除いた酸素濃度になります。こういったものを連続する 9 年ごとに求めてずっとプロットしてやるとこのようになります。1970 年代から 80 年代後半にかけて、ずっと DO_{s} が下がっていって特に 80 年代半ばの DO_{s} の低下が激しくて、90 年代ずっと悪くて近年少し上がってきている。ここではだいたい成層強度の影響を除外しているという事です。7 月の結果です。この結果というのは、成層強度に関係なく酸素濃度が低下してきているという事ですから、酸素消費速度

の上昇を示唆している。或いは流入してくる酸素を含んだ水の酸素濃度の初期値が下がつてきている。こういうことを示しています。更にこれは底層の COD データの変化と非常にこれは傾向が一致していて、ここからも基本的には富栄養化、有機物量の増加というものがこうしたこの時期の底層 DO の貧酸素化のポテンシャル、その低下を引き起こしたというように報告をしています。元のデータは、有明水産振興センターによる浅海定線調査で非常に貴重なデータです。



そのデータと先程の堀家さんの結果を比較します。そうするとこれは貧酸素水塊の発生の規模ですけれども、1983年から90年代にかけて非常に急激に発達した。その後、少しマシになったけれどもまだ貧酸素水塊の規模は大きい、この結果というのは私もびっくりしたのですけれども、1970年代から85年頃にかけてこのように急激に貧酸素化のポテンシャルが増えて、その後横倍で最近ちょっと良くなっている、これとほぼ一致します。それからまた、これは酸素消費の指標となる TOC の変化ですけれども、これも 1970 年代から 80~90 年代にかけて増加した後いきなり減っている。従って、ここから考えても先程私がお話したように、基本的には酸素消費の増加というデータ解析の結果と、これが一致すると。それからまた、底泥コアの解析の結果についても 1970 年代以降の富栄養化の進行というものを示唆しています、3つの異なるアプローチからの結果とこの時期の富栄養化とそれに伴った貧酸素化の進行というものを表しています。

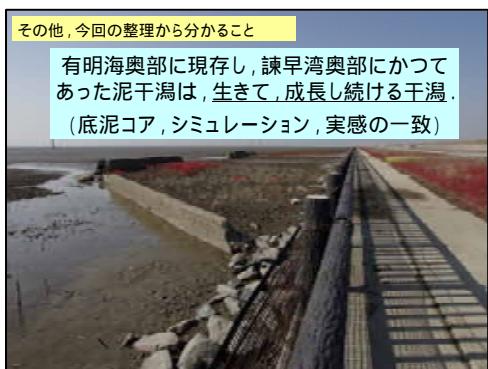


ここまでが私の今回のコメントーターとして与えられた役割なのですが、それ以外に昨日の晩、仕事をしながら私が感じた事を 2 つお話ししたいと思います。

1 つは、底泥の調査 1 つをとってもこの 10 年間に有明海に非常にたくさんの調査が行なわれているという事です。僅か 10 年の間にこれだけの底泥の調査が行なわれている海域というのは多分日本ないです。しかし

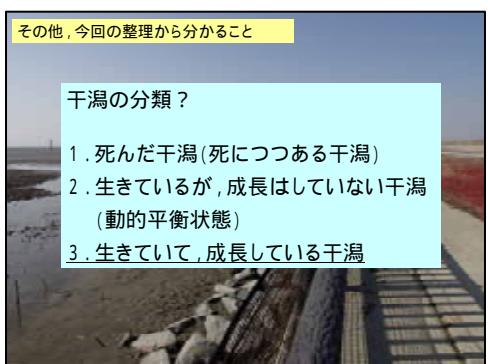
情報の共有、調査方法や項目の統一が出来ていないし、それから論文としては公表されているのだけれども、まだまだデータとしては公表されていないものがたくさんある。ですので、こうした情報を収集すると共に研究を実施している研究機関、研究者を集めて、研

究者同士十分な科学的な検討、互いに議論するような場、それを作る事が有明海の再生機構の 1 つの役割ではないのかと、それがこれまで十分出来ていないのではないかという印象を受けました。おかげで今朝 3 時まで私が働かされたのだなと。



それからもう 1 つは、これは佐賀市の東与賀の地先の海岸です。ここは昔港があつて船が出入りしていたのですけれども、今はもうシチメンソウがあるのですけれどもシチメンソウが生えた陸地になっています。潮をかぶるときもあるのですけれども、この絵からも実感できるのですけれども、底泥コアの結果、それからシミュレーション、いずれも有明海奥部の干渉、有明海奥部それから諫

早湾奥部にかつてあった泥干渉は生きて成長し続ける干渉であったという事です。ここで生きているというのは生物は関係なくて、純粹に地質学的に生きている、つまり構成している土砂が入れ替わっていっている、或いは新たに加わっていっているという意味での干渉です。これはもう実感としてあるし、それからシミュレーションも底泥コアの結果も一致しています。



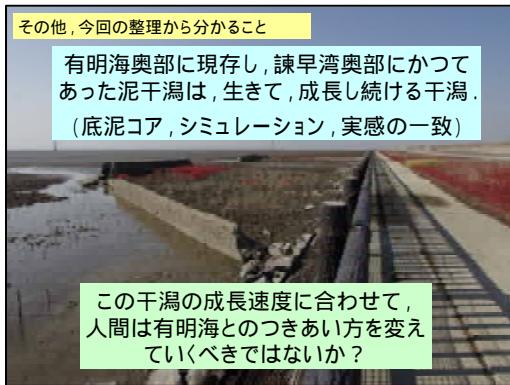
それで、干渉の分類というものをちょっと考えてみました。

1 つは死んだ干渉、或いは死につつある干渉です。これは生物には全く関係がないです。死んだ干渉或いは死につつある干渉というのは、これは干渉の形はあるのだけれども干渉を構成している土砂の粒子が供給されなくなった、或いは供給よりも侵食流出する方が大きい状態にある干渉。先程、市原さん

のお話にあった荒尾の干渉などがこれに当るのではないかと考えています。

それから 2 番目は、生きているけれども成長はしていない干渉。これは干渉の形はあって侵食もされていないのだけれども、供給された分だけ侵食によって外へ運ばれていっている。人間の体と一緒に、人間の体も絶えず細胞が死んでは剥がれ落ちて、また作られているという人間というのはそういうものなのですけれども、それと同じように土砂が供給されつつ外へ運ばれていって、見かけ上同じ形を保っている。科学ではこれを動的平衡といいますけれども、こういった状態の干渉。

そして 3 つ目に生きていて成長している干渉。つまり供給の方が多くてどんどん干陸化していっている干渉。この 3 種類の干渉があって、有明海奥部とそれからかつて諫早湾にあった干渉はこれではないかと。それで、大事な事はこの干渉の成長速度に合わせて人間



は有明海との付き合い方を変えていくべきではないかと。これは東与賀の公園ですけれども、国土交通省はここで海と陸を分けたかったみたいなのですけれども、有明海は国土交通省のいう事を聞いてくれる訳ではなくて、こうやってどんどん干潟というか陸が広がっていきます。かつてシチメンソウの花壇だった所は、今はこれは葦が入ってきてています。かつてはこれの後ろにはずっと広大な葦原があったはずで、こういうものがほんの20年くらいの間に進んでいく。つまり人間の意思との間に目に見えて干潟がこう成長していくというのが有明海で、そこにいくら建設省が「干潟の端はここまでだよ。」と「海と陸との境界がここまでだよ。」と言っても有明海がいう事を聞いてくれない。

それから水産の立場で言うと、区画漁業権というものがあります。区画漁業権というものがあって、「ここはノリを作る場所だよ。」「ここはカキを作る場所だよ。」というふうに法律で決めているのですけれども、有明海はノリを作る場所に適した環境をずっと保ってくれるわけではなくて、「ノリを作る場所なのだからノリを作るのに良い環境を、有明海にノリの養殖にとって良い環境に保ってくれ。」というように有明海に頼んでも、有明海は何も答えずにこうやって干潟が成長していくというそういう海、だから、かといって一気に干潟をなくしてしまうと今の諫早湾のように急激な貧酸素発達みたいなものを引き起こしてしまう。従って、今後の有明海に対しての我々の対応というものは、こうした干潟の成長速度に合わせて人が有明海との付き合い方を変えていくべきではないのかというのが私の全体の感想です。以上です。

【座長：長崎大学環東シナ海海洋環境資源研究センター 教授 松岡數充】

それでは総合討論に入りたいと思います。研究者として或いは現場で調査をされている人にこれまでの成果の発表をお願いするわけですが、お持ちになっている情報量が多いという事で時間をオーバーにいつもなってしまいます。しかしながら、演者の方にお話を頂いた事は非常に重要でございますので、まず総合討論を始める前にそれぞれの演者の方々のご講演に対してのご質問をまずこの場から得たいと思います。

その前に総合討論の進め方について少し説明しておきます。座長としてこの総合討論で討論すべき課題を 2 つ準備してまいりました。ひとつは、これまで余り触れてこなかった話題を山口敦子先生にフォローアップしていただいたのですが、それは干潟の持っている機能です。干潟には色々な機能があるのですが、その現在の干潟の持っている機能というのはどんなものなのかという事を議論したいという事。

もう 1 つは堆積物のコアの調査結果とこれまでの様々な観測資料の取りまとめ、さらにそれらの成果をベースにしたシミュレーションの結果から、干潟及びその先の浅海域の環境がどのように変わってきたのかということ。これらの 2 つを総合討論のテーマにしたいと思っています。

このディスカッションになります前にそれぞれの方々から頂きました報告に対しましてフロアからご質問があつたらまず受けたいというふうに思っております。

【 質問者 】

全体の方でまず結構ですけれども、有明海は豊かな海ですか。こういう海というのは、全世界の中で有明海みたいな海というのは幾つもありますか。300 種類と仰っていましたけれども。その辺の説明をお願いします。

【佐賀大学低平地沿岸海域研究センター 准教授 速水祐一】

豊かさというものその基準というのが非常に難しいのですけれども、生物生産量、単位面積あたりでの生物生産量という意味では非常に豊かな海です。

その一方で、生物の多様性というものも豊かさの基準なのですけれども、有明海の特に奥部というのは多様性は低いです。同じ種類の生き物が非常にたくさんいて、住んでいる生き物の種類は決して多くないという状況です。

【 質問者 】

山口先生のお話では、300 種の豊かな魚がいますと言う説明でした。

【佐賀大学低平地沿岸海域研究センター 准教授 速水祐一】

他の所ではもっといるのです。それは、有明海の干潟を見て頂くと分かると思うのです

けれども、そこに主にいるのはムツゴロウとトビハゼとシオマネキ、貝です。あれが大量にいる。それを見ても分かると思うのですけれども、これが例えば珊瑚礁域などに行くと 300 種類どころではないです。

【座長：長崎大学環東シナ海海洋環境資源研究センター 教授 松岡數充】

山口先生から何かございますか。

【長崎大学水産学部 教授 山口敦子】

多分どこに比べて多いか少ないかという問題なのかと思うのですけれども、私が多いと言ったのは 300 種以上というのは日本の他の海域に比べると、例えば同じような閉鎖的な内湾域でというふうに比べた時、東京湾は比較的調査が進んでいるので私達の方も大分進んできて同じように比較をしてみると、そういった所に比べるとやはり多いと思います。

干潟域も、実際歩いてみると確かにムツゴロウとそういう数少ない魚類しか見えないのですけれども、でも先程お見せしたようにネットをひいてみて顕微鏡で見てみるとたくさんの色々な種類の仔魚や稚魚やそれからあれほど大きなサメやエイというのが河口域にまで来ているというのが恐らくあまり知られていなかつたのではないかと思うのですけれども、実際によくよく調べてみるとそういう干潟域にでさえ凄くたくさんの種類がいるので、とても豊かな種の多様性も高いと思うのです。

ただ先程言わされたように、珊瑚礁域という所と比べるとまた環境も随分変わってきますので魚種数は恐らく珊瑚礁域にはちょっとかなわないかも知れないのですが、珊瑚礁域に比べれば種の多様性は低いとしても、先程言わされたようにそれぞれの種類はたくさんいますので、全体的にその生産性は高くて单一の種類、東京湾のような少し多様性が下がる、もっと北の方に行くともっと多様性は低くて、その代わりに 1 種類ずつについてはたくさんの量があるので、そういう所に比べると例えば生態系に何かの変化があった時に、何かの魚種が全部駄目になってしまふと、一気に全部駄目になっていく可能性があるのですけれども、そういった所で先程お見せしたみたいに例えば同じシタビラメでも 10 種類입니다ので、何かが異変があって駄目になったり減ったりした場合に、別の種類でその代わりができるので、別の種類が今度はそこに取って代わって増える事でまた全体としてはそのシタビラメを豊かにしてくれるというふうな事もあって、そういうふうな観点から言えばやはり有明海は豊かではないかなというふうに思うのです。

【 質問者 】

干潟の場合もですか。

【長崎大学水産学部 教授 山口敦子】

そうですね。

【いであ株式会社 大阪副支社長 堀家健司】

今、お二人の先生が話されていない事で、ある種類が非常に個体数が多いのであまり多様じやないかなと、それは数値的な指標で多様性指数で計算したら確かに低くなるのですけれども、もう 1 つのちょっと見方を変えて見ますと有明海には要するに特産種がたくさんあります、有明海だけしかいない種類がたくさんいるのでこれは非常に学術的にも貴重だし、世界中でもうそこでしか住まない生物がたくさんいるということなので、そういう見方をすればいわゆる生物多様性は高い。豊かさという基準がどういう基準かちょっとあれですけれども、非常に有明海らしさというかそういった事はそういう種類は確かに減つてはきているのですけれども、まだいるという事は豊かな 1 つの証拠になるのではないかというような感想を持ちます。

【座長：長崎大学環東シナ海海洋環境資源研究センター 教授 松岡數充】

もう 1 つちょっと付け加えさせて頂きたいのですが、山口先生は有明海の魚類を中心に調査研究を進められています。今でもまだ有明海に新種はいるのですか。

【長崎大学水産学部 教授 山口敦子】

先程、ちょっと今日は話をしなかったのですけれども、いまだに今になっても有明海の中で新種が見付かっていまして、信じられないような事なのですけれども今まで皆が見過ごしてきた魚の中に新しい種類というのも見付かっていますし、少し前に先に別の海域で見付かった新種が有明海にもいたというのが解った例もあります。まだまだ、多分これからもっと色々な魚種数が増えていくのではないかというふうに思います。

【座長：長崎大学環東シナ海海洋環境資源研究センター 教授 松岡數充】

というような事で、魚類に限らず我々がまだまだ知らない生き物が有明海の中にいっぱいいるという事。そういう意味では、将来研究が進むにつれて生物多様性が更に高くなっていく海域であろうと考えてよいと思います。

【 質問者 】

佐賀大学の日野と申します。

市原博士にちょっとお尋ねしたい事があって、手を上げさせて頂きました。今回、底質の調査という事で、鉛直方向にその地盤調査をされたのだと、その中で時代のマーカーとして幾つかの検討結果を私たちに見せて頂いて貴重な講演を有難うございました。それで、1 つ時代のマーカーとしては雲仙普賢岳の噴火というのがもう 20 年前でしたかあったのですが、雲仙普賢岳がドンと噴火してその時に有明海に火山灰が注いだのではないかなと、そういったものが時代のマーカーとして今回見る事が出来なかつたかどうかという事をお

尋ねしたいと思うのです。

【復建調査設計株式会社 地盤環境部 地盤技術課 主任 市原季彦】

あの時の噴火は、実は地層としてはあまり明瞭に残る規模のものではなく、地層の中では見出されません。1792年の津波というのはこれまで見付かっていなかったのですが、干潟の堆積物の中に更に異質なものが入るという事で識別する事ができたため、今回それをマーカーとしてお話をしたのですが、勿論他にも例えば河川とかの近くですと、ある特定の洪水とかそういったものがマーカーになったりする例もあります。有明海の中でそういったものはまだ他にありません。幸い約200年前の津波堆積物というのが今回優秀なマーカーとして使用できたという形です。

【 質問者 】

有難うございました。あともう1点あるのですが、これは市原博士にといいますか、全体にという事でいいますか、今回これだけ底質の調査をされている中で、私たちが一番興味深かったのは、もうひとつは底質の力学特性だったのです、実は。というのは、私今年の8月に地盤工学会の全国大会がありまして、そこでは干潟と海岸地形というセッションがあつて座長を仰せ付かってきたのですけれども、例えば干潟の上のその砂質部干潟の上で行動するその生物の動態と、それから干潟の硬さとの関係といったものがかなり相関付けられるようになってきています。

私自身は、この有明海異変が勃発した時にまさにそうした環境関係のデータも調査も必要なですけれども、それと一緒にこの干潟における力学特性というのも同時並行にこれを進めていくべきだと主張していた立場なのです。だけれども、その頃からなぜかその主張ははねられ続けて、その今回の調査結果でも環境関係のデータというのは非常に多数ありますけれども、そこに附隨してくる力学データは全くない。例えば、一口にアサリを養殖する為に砂を撒くというふうに言っていますけれども、そんなものは密度によって強度の様相を大きく変えてきます。例えば、地盤工学会の中で議論されたのは、1つのそういうアサリ貝ならそれが定着する時のその砂場におけるサクションとの関係辺りというのをかなり定量的な相関が設けられるようになってきたとするならば、そのそういう例えば一口に砂場を形成して、そこに貝をまた再生産させましょうという時に、単純にその場に砂を撒くのではなくて、そういうこう砂のサクションみたいなものを少し工学的な意見を入れつつ、生物と相関を取っていったりすると更に有明海の再生の方には役に立つのではないかなと思って聞いていたのですが、今までではそういう事で環境的なデータだけが取られているという事ならば、これから先々はそういった力学特性の調査も出てくることがありかどうか。それはもちろん市原博士に聞きたいのですが、例えば再生機構でもその辺はいかがでしょうか。

【復建調査設計株式会社 地盤環境部 地盤技術課 主任 市原季彦】

まず、これから先というのは私が言えるものではないので、何とも言えないのですが、ただ将来的に再生に向けてというのでは、当然今仰ったような事は非常に重要になると思います。例えばアサリを再生させる為に砂を入れるという場合に、例えば侵食傾向にあるような場所ですと砂を入れた中に、砂の中でも細粒なものなどは、より先に運搬されやすくなりますので、当然、より粗粒なものが残留してしまいます。そういう場所ですと固さも当然硬くなる傾向があります。アサリにとっては定性的な言い方でいうとよりふかふかな砂の方が生育には適します。硬く締まったような砂はあまり好ましくありません。ですので、例えば砂を入れるにしてもその砂がどういう挙動をしてその場所に留まるのかというふうな事は十分に吟味しながら対策をしなければ、実際の生物の生産性というのには結びつかないだろうと思いますので、強度とともに当然視野に入れて再生に向けてはしていくべきだというふうには考えております。

【座長：長崎大学環東シナ海海洋環境資源研究センター 教授 松岡數充】

堀家さん、さまざまなシミュレーションを実施する時に、同じ干潟といつても砂質干潟と或いは泥質干潟の特性の違いを考慮してモデルを作っていくかれるだらうと思うのですが、今回のやられたようなところで今のお話と関連するような工夫といいますか、情報といいますか、そういうものはありますでしょうか。

【いであ株式会社 大阪副支社長 堀家健司】

ちょっと難しいですね。シミュレーションで、底質のいわゆる、砂質の境界条件は中央粒径を基にして全部決めているのですけれども、その中央粒径をベースにして、泥、いわゆる SS ですけれども SS を 3 分割にしまして、要するに粘土、シルト、砂の粒径サイズの違ったもののそれぞれの比率を中央粒径に合うような形で与えて計算して、そこで巻き上がったり沈降したりして底質のその性状が変わるような計算にはなっているのですけれども、ただこの計算結果というのがうちとしてはその検証データがあまり無いので、その計算結果がどこまで正しいかというのはきっと検証されていない状況なので、今仰ったような例えば本当にフワフワしたような泥、いわゆる泥砂が上手いこと交わったような所というのは非常にアサリにしても生物としてもよい場所なのですけれども、中々そういうふうな状況は感覚的には分かっていても、そのモデルの中でそこまできっちりと表現されているかというと、それは限界としてまだ、きっと出来ていないので、これから課題だというふうには受け止めてはいます。

【有明海再生機構 副理事長 荒牧軍治】

今、多分私たちが認識しているのが、底質とのそれから例えば再懸濁だとかいう意味での力学はあるけれども、力学特性と生物との関係という視点は今までまだ全く無い、まだ

出来ていないのではないかという気がします。ですからそういう調査がどういうふうに必要なのかそのまだ定性的なものも把握していないので、今先生が座長されたということであればそういう情報定義をもらってその必要性とかという事を認識していきたいというふうに思います。

【座長：長崎大学環東シナ海海洋環境資源研究センター 教授 松岡數充】

必要性という事を前提に、次にそういう企画を考えられるような方向で見ればよいかなと思います。他にご質問どうぞ。

【 質問者 】

先程の方と話は同じとは思いますけれども、筑後川の流域面積が 2, 860 です、有明が 1, 700。2, 800 から 1, 700 というのを理学的、工学的にそういうデータを頭に入れながら今日の話を聞いているのですけれども、その中で有明海のモデルの解析が先程誰かが言われたけれども、あれくらいの要するに物質収支というかそれと水収支そういうのが出来上がっているのではないですか。あとは底辺の所を部分的にやっておられましたけれども、もうちょっとその辺をマクロ的に満潮をデータ化してというふうに私は思っています。このような情報社会で、なぜ、計画的な例を骨組みとして立ち上げきれないのかと不思議を感じます。

【座長：長崎大学環東シナ海海洋環境資源研究センター 教授 松岡數充】

もう少しご説明いただけませんでしょうか。

【 質問者 】

具体的に、昨年と今年で筑後川を 2 回 1 週間かけてずっと歩いてきたのです。筑後川の管理人として。それで考える事は、先程言ったように筑後川の流域面積が 2, 860 でした、143 キロ。有明海というのは 1704 キロ、平均水深が 20 メートルなので掛けると 340 億トンなのです。そうすると、1 年間に筑後川から流れてくる水の量が平水面で 34 億トン。そうすると、筑後川を有明海に皆ひっくり返すと 10 年間で筑後川の水が満タンになるのです。そこから計算したら色々なシミュレーションというのが力学構造的に出来るのではないかなどと言っているのです。今の計算のスピードで言えば簡単なものです。

【佐賀大学低平地沿岸海域研究センター 准教授 速水祐一】

それは有明海全体を 1 つのボックスとして考えたような計算で、それはもう既に行なわれております。ただし、ボックスでは対応できないような問題もたくさんあります。例えば、干潟の問題とか貧酸素水塊にしても局地的な問題ですし、それから魚がどういうふうに有明海の中を輸送されていくかなどという事は分からぬし、それからその海底の地形

がどういうふうに変わっていくのかというのも計算できないし、それはやはり問題によつて有明海全体を 1 ボックスで捉える問題もあればそうでない問題もあるというのが現状です。

【 質問者 】

よく分かりました。しかし、全体像と部分像というのはいつも整合しなければいけないのです、科学技術として当然の話です。部分が先行すればバランスが崩れるし、あまり全体的にやっても結局は内容の感度が低いし、そのバランスというのを聞いているけれども、聞いていて、どうも部分は進行していて全体像がどうも描いていないのではないかというのが僕の経験的な考え方です。

【佐賀大学低平地沿岸海域研究センター 准教授 速水祐一】

研究についていえば、有明海全体をボックスで捉えるというような研究というのはもう 5 年以上前に行なわれていて、それで今回の発表では取り上げられていないという事です。

【 質問者 】

その辺の継続性というのをあくまでも頭においていかなければ、その全体像というのがなければ物質的にも水収支的にも海洋の一部としての環境サイドというか、その考えというのはあくまでも貫いていかなければいつまでたっても 5 年もバラバラで研究も科学も行政もないですそんな発想は、有明海というのは司令塔はないのだから。諫早のあれも開ききれないではないですか人間の力では。それを偉大な自然現象というのか人間の偉さというのか、そこを解明するのが皆さん達の英知ではないですか。

【佐賀大学低平地沿岸海域研究センター 准教授 速水祐一】

そういう意味では、その骨組みという意味では確かに研究者ごとにバラバラになっているという方向があるのは私も感じていますので、非常に貴重なご意見というか、けつを叩かれているなというふうに感謝しています。

【座長：長崎大学環東シナ海海洋環境資源研究センター 教授 松岡數充】

有難うございます。今も速水先生の方からもご意見がありましたけれども、非常にたくさんの中種多様な研究が行なわれていて、荒牧先生が以前にそれを取りまとめられたがありました。中々全体像が見えてこないという事です。こういうシンポジウムを開催させて頂くというのも、そういった今までの研究の成果をある程度取りまとめた場を通して、お互いに情報提供を行い、お互いにその情報を共有しようという試みの 1 つであるというふうにご理解頂ければよいかなと思うのですけれども、荒牧先生それについて何かコメントござりますか。

【有明海再生機構 副理事長 荒牧軍治】

今みたいに、1つの全体をざっくりと見るというのは非常に重要な考え方であると同時に、研究者の方々が非常にこう精緻に行なわれているものを、さっき速水先生が1つの例としてコアのものとそれからシミュレーションを結合させてどう理解するかという事をされましたけれども、ああいう作業が今欠けているというふうに私たちはそういう批判を受けている。あるいは、有明海再生機構の重要な役割は色々なところで行なわれているものを、今速水先生は1つの具体例としてコアの部分、コア採取して取ったボーリングというかその結果と数値解析を組み合わせてどう理解をするかという事をやっておられますから、もう1つ今度は大きな行政まで入れてという事になると、もっと今度はもうちょっとザックリしたものをもう一回作り上げていかないといけないのかもしれません。

だから、その中には今日発表されたような泥に関する事柄、それから流れに関する事柄地形の変動に関する事柄というのが幾つもありますので、そういうものがどの程度効いてきたのかという定量に向かって皆今努力しているのだというふうに理解していますから、それを出来るだけ分かりやすい形で提供するというのが私達の仕事だと今思っています。まだ分かりにくいよという事であれば分かりやすくするように努力していくといけないというふうに思います。ですから、今後の第5回目のシンポジウムに向けて、これをもうちょっと大きな視点から理解したいというふうに思っていますので、今のような意見も参考にさせて頂きながら、もうちょっとザックリと理解する考え方を取り入れていきたいと思います、その時にまたお聞き頂ければありがたいなと思います。

【質問者】

ちょっと宜しいでしょうか。今先生の言われたとおりその通りだと思いますけれども、有明海の再生を簡単に言ったら自浄能力です、自然自浄能力作用のバランスです。それを科学的に現場的にフィールド的に科学的にやるただそれだけです。僕はそう思います。

【有明海再生機構 副理事長 荒牧軍治】

その事は反論はしませんけれども、今探しているのは何が今ここまで来てそれをどう変化させて行くかという時の、変化の部分の中で一番大事なものは自浄能力だと言われているのだと理解しています。

【質問者】

そういう事です。だから今までたくさん各セクションからデータの蓄積をしたり、先程データの公開・共有であると言われたのですけれども、その辺のつながりというのをもう1つ詰めていけば相当なあれが出てくるのではないですか。

【座長：長崎大学環東シナ海海洋環境資源研究センター 教授 松岡數充】

有難うございます、他にはございませんでしょうか。

【 質問者 】

山口大の山本と申します。堀家さんに貴重な計算結果を示して頂きましたけれども、ありがとうございます。底泥との間の物質輸送の変遷と配布資料 11 ページの左上にある図なのですけれども、1 点確認させて頂きたいと思うのですけれどもこの単位はこれで合っていますか。

最大で平方メートル辺り年間 2 トン、侵食したり削れたりするというグラフになっていて多分単純なミスなのかなと思うのですけれども、確認させて頂いてよいですか。

【いであ株式会社 大阪副支社長 堀家健司】

有明海 6 つ載っている図ですね。すみません、ちょっとミスをしているみたいなのでキッチリとした数字をまた載せて頂きます。失礼しました。

【 質問者：山口大学 山本 】

もう 1 点は、TOC の量がまた最近増えているという事ですけれども、どういう形態の TOC が多いのでしょうか。それで一時生産と流入河川の酸素消費に寄与する TOC も一時生産がものすごく多いという事ですけれども、どういうふうに計算からなってきたのかという事をもう少し詳しく説明して頂けますでしょうか。

【いであ株式会社 大阪副支社長 堀家健司】

TOC が、年々増えたという事ですけれども、1 つは流れが弱くなったという事と、それから流入負荷量が 70 年代 80 年代が非常に多く出ているので、多く出ているという事と、それからもう 1 つは SS が低くなっているので、より一時生産に拍車を掛けている。内部生産が非常に多くなってきた。河川の負荷量と比べて全然桁違いのオーダーでかなり増えていますので、いわゆる酸素を消費する懸濁態の有機物というのは一時基礎生産の基にして作り出されたものがベースが主体になって増えてきている。一時生産が増えてきたというのは、今ちょっと説明したような理由で増えてきたのだというふうな解釈をしました。

【 質問者：山口大学 山本 】

全体の TOC の中の懸濁態の割合というのはどのくらいになるものなのですか。

【いであ株式会社 大阪副支社長 堀家健司】

ちょっと今私はきちんと把握していないのですけれども、酸素消費している要するに懸

濁態と POC とそれから TOC の酸素消費がここで出ていますので、懸濁態の分はかなりの分を占めていると思いますけれども、ちょっと今具体的に何パーセントくらいかというのはまた後でご報告させて頂きます。

【座長：長崎大学環東シナ海海洋環境資源研究センター 教授 松岡數充】

それでは、最初にパネルディスカッションを始める前に最初の頃にお話しました今日メインで取り上げるトピックス 2 つについて、時間の許す限り議論を深めていきたいと思います。

1 つは干潟の機能という事を取り上げまして、山口敦子先生の方からはいわゆる稚仔魚とそれから干潟及びその前面に広がる浅海域のところが非常に重要であるというようなお話を頂きましたが、その点をもう少し補足して頂きたいと思います。例えば干潟あるいは干潟前面の浅海域の環境が、稚仔魚にとって「どういうふうになぜそこが稚仔魚としてよい場所なのか、どういう理由でそこを好んでいるか、そこに集中していくのか。」ということ、これまでの知見だとかあるいは知見がないとすればどのように研究を進めていくのかとかそういうようなコメントがあればお願ひしたいと思います。

【長崎大学水産学部 教授 山口敦子】

実際、その辺はなぜ干潟に稚魚がたくさん集まるのか、実際当たり前のように干潟とか藻場というのは「稚魚にとってのゆりかごだ。」とかよく言われるのですけれども、実際なぜそれがそうなのかとか、それが本当にゆりかごなのかとかそういうのというのはまだよく分かっていない事がたくさんあります。実際今干潟に確かに当たり前のように稚魚がいっぱい集まっていて、成育場だなどというのは分かるのですけれども、先程お話したように「なぜでは干潟域がその稚魚にとってなぜよいのか。」という「なぜそこが成育場として利用されるのか。」という事は、個々の魚についてやはり具体的に調べていって本当に実際何が必要なのかという事を知りたいという事で、今色々なプランクトンの調査ですとか餌の面から見て恐らく餌が豊富なのだろうというのは考えられるのですが本当にそうなのかどうか。それは仔魚にとっては餌の選択性というのがあるという事も分かってきてまして、同じような大きさの餌であれば必ず食べるかというとそうでもない。ある仔魚にとってはこのプランクトン、またある仔魚にとってはこのプランクトンというふうに選択性がありますので、やはりそう考えると単純にプランクトンが多いからよいのだろうとかそういう事でもなさそうです。あとは泥干潟というのは結構巻き上げがあって常に視界が悪い状態ですから、捕食者から身を守るという面でも身を隠すという面でも見付かりにくいのも 1 つあると思うし、巻き上がっているので同時に先程餌のプランクトンが直ぐ近くにないと食べられないと言ったのですけれども、巻き上げがあるということはプランクトンが近くに巻き上がってくる可能性もあるので、そういう意味では餌を取り易やすいというの

はあるかもしれないのですが、実際藻場のような海草がたくさんあるような場所でも、どちらかというと大きな魚から身を隠す為にそこを使っているのではないか、シェルターのような役割をしているのではないかという事もあって、同じように干潟も身を隠すのに使われているのではないかというふうにも思われます。色々な事が考えられるのですが、いずれにしても成魚がそういった干潟域ですとか河口域に仔魚が運ばれるような場所で産卵をしているという事を考えると、その魚によって産卵場所がそれぞれ違うのでそれぞれの魚に適した稚魚の成育の場所というのは、川のかなり淡水の影響が及ぶところであったりそうではなくて完全に淡水の影響が及ばないような浅海域であったりこれも種類によって違いますので、実際本当になぜそれが成育場となるのかというのは本当に個々に詳しく調べていきたいなと思います。そして、実際に本当に必要だったのは何なのかという事が明らかになっていけばいいなと、有明海で明らかになっていけばいいなと思います。

あともう 1 つ、巻き上げがあって凄く多分視界が悪い状態といったのですけれども、仔魚にとっても餌を見付けにくい状態でもあるので、私が飼育実験などをしますと、先程ちょっとスライドを見せましたけれども光が無いと目で見てどうも餌を捉えているので、そう考えると濁っている場所というのは凄く不利なのです。だから、実際そういう状況の中でどうやって餌を見付けているのかという事でさえまだよく分からないので、とにかく個々の事例について平年のデータをとにかく蓄積していって、本当に必要なものは何かというものを見つけていきたいなと思っています。

【座長：長崎大学環東シナ海海洋環境資源研究センター 教授 松岡數充】

他のお三方、何か今の話でコメントをして頂けるような事はありますか。
例えば干潟の物理的化学的な特性から。

【いであ株式会社 大阪副支社長 堀家健司】

要するに河口域とかそういう濁りと、それから稚仔魚の生育場という事でよくスズキが取り上げられています。要するにスズキは濁った所の方が被食者シェルターとして機能が発揮しているので、捕食者からの食死亡が免れて濁った所の方が生存が良いというような事。またかたや先程山口先生の仰ったように、濁っていたら餌が見難いのではないかという事があるのですけれども、スズキの場合は餌の量と濁りの量だったら寧ろ餌の量よりも濁りの方が重要だというような事もいわれているところもあると思うのですけれども、山口先生が研究されている例えばシログチとかといった事で、種類でその濁りの色々な分解した被食とかそれから捕食とかそういう分解した要素で何が一番効いているというふうに、ただ今これから研究の途中だとは思うのですけれども、直感的に考えられているとかいうのをお聞きしたいと思うのですけれども。

【長崎大学水産学部 教授 山口敦子】

濁りについてはちょっとまだそこまでいっていないので、今は、一番最初は流れによつて運ばれる稚魚にとっては、やはり流れが上手く、例えば諫早湾ですとか湾奥のところまで辿り着かなければ生育出来ないとすると、流れが上手くなければそこに辿り着かないで年によって流れによってうまく運ばれない年があるとすると、流れというのは凄く重要なのかなと思って調査を始めたのですけれども、流れももちろんあると思うのですが、稚魚がやはり成育場に辿り着いたところで餌の問題というのは実はやはり凄く大きいのではないかというふうに考えていまして、予想以上に今調査の段階で詳しくはお話できないのですけれども、かなり餌というのは効いてきている。貧酸素の影響も凄く効いていると思っていたのですけれども、意外に生息しているという事で貧酸素も時期的にどういうふうに出来るかによって影響も違うかとは思うのですけれども、案外稚魚の動きを見ていると、スッとよけたりという事も可能なかなというふうに思うので、そうするともう全域が貧酸素で一気に駄目になるような状況でない限りは、少しは避けるようなことも出来そうだという事が分かって、そう考えると特にシログチに関してはかなり大きな要素として餌を今考えています。

【佐賀大学低平地沿岸海域研究センター 准教授 速水祐一】

ものの考え方なのですけれども、1つ視点を変えて考える事も大事だと私は思っています。というのは、有明海というところは全体が非常に大きなエスチャリーで、上層で外洋に向つて雨水が流出して、下層からは谷に沿つて外部系の港湾に水が入つてくるという構造があります。それから、湾奥ではそれが大きな渦があって、その渦の中にそれぞれの河川が流入して、それでそれぞれの河口域でもう1つ小さいエスチャリー循環と、川の底層に沿つて流れて表層から水が出て行くというそういう流れがある。だから、逆に言えばそういう環境にあった生き物がここに生き残ってきた。そういう流れの場にプラスして、この細かい移動と強い潮汐によって巻き上げ沈降がある。それから、干潟の干出、冠水があると非常に大量なアンモニアがこれは溶出してきてそれで生産が活発になる。それが干潟と干潮域です。だから、そいつたものの季節サイクルに合つたものが有明海に生きている、そういう見方も大事かなというふうに思います。

【座長：長崎大学環東シナ海海洋環境資源研究センター 教授 松岡數充】

有明海特性のまさに生態系というかそういうものが存在するという事ですけれども、堀家さんは何かありますか。

【いであ株式会社 大阪副支社長 堀家健司】

浮遊幼生、稚魚の流れの関係ですけれども、この文科省のモデルでのアサリとサルボウの浮遊幼生が産卵場から粒子を発生させてどういうふうな所で着底するのかというような事を計算したのですけれども、その時にサルボウとかスズキもそうなのですけれどもサル

ボウの要するに比重から考えて、多分浮遊期の最初は表層から中層を浮遊してそれから着底前の浮遊期の後半くらいは中層から底層の方に浮遊するだろうというふうに考えられますので、そういう計算をしたところ、地形を変えた条件で例えば現状の 2001 年と例えば 1930 年代のその地形と変えた時の条件で計算すると、昔の方がサルボウの着底率が非常に高く出ている。それはなぜかというと、流れが昔の方が非常によかつたので最初は表層から湾港湾外に出るのですけれども、底層に入るとグッとまた中に入ってきてたくさん出る。逆にアサリは、これは愛知水産試験場の実験によると大体塩分が 22~23 のところを浮遊するというので、大体中層から上のほうです。だから、アサリはスズキとかサルボウとかとは逆に昔の方が着底率は低かった。要するに上の流れだけで浮遊しているので、底の方にあまり行かないのです昔の方が良かったというような計算結果が一応出ています、参考までに。

【座長：長崎大学環東シナ海海洋環境資源研究センター 教授 松岡數充】

それでは次に、他にも干潟の機能というのはあって、例えば SS です。懸濁物質が有明海に多いというのも 1 つは干潟と切っても切れないという事もあります。つまり浮泥の問題という事になるのですけれども、この浮泥がシミュレーションの結果減ってきていている。当然流速が低下するとの巻き上げられる浮泥量が減ってくるというような事になってきているわけですけれども、それとは別に速水先生のお仕事の中で最近は堆積物が粗粒化しているというお話もあると思うのですが、その辺りと環境の流れ場の変化というのとどのように絡めて考えたらよいのか、何かあったらお願ひします。

【佐賀大学低平地沿岸海域研究センター 准教授 速水祐一】

粗粒化しているというのは事実なのですけれども、粗粒化している仕組みも分かってはいるのですけれども、ただしそれをシミュレーションしようとしても合わないというのが現状です。何故かというと、先程日野先生が言われたような底泥の物性をキッチリと表現するような事が出来ていないというのが正直な現状です。

【座長：長崎大学環東シナ海海洋環境資源研究センター 教授 松岡數充】

その辺りは、シミュレーションをする場合の基礎的な情報がまだ抜けているという事でしょうか、それともそれ以外の何か要素が働いているという事ですか。

【佐賀大学低平地沿岸海域研究センター 准教授 速水祐一】

どこまでを必要とするかという話なのです。ですからそれはある意味行政なり市民の両者のニーズがどこまでを必要としているのかという事で、現状のモデルでもよいという問題もたくさんあります。だけれども、例えば「有機懸濁物の輸送についてキッチリと出せ。」「どこどこのノリの漁場に対してどの位そこから栄養が出てくるのか予想しろ。」みたいな

話になると、とてもじゃないけれども出来る状態ではない。だから、そこは逆に必要に応じてやっていくしかないし、ニーズによるものです。

【座長：長崎大学環東シナ海海洋環境資源研究センター 教授 松岡數充】

有難うございました。時間が押してきたのですが、実は今日のコアというか堆積物の仕事の中でちょっとショッキングな話が 2 つばかり私はあったと思っています。色々な側面を持つ、生物多様性をもつ有明海の中で、有明海の資源という事になりますと、この有明海異変解明の取り掛かりになりましたノリと、それから 1 つはアサリがあるかと思います。ところがアサリというのは、先程話を聞いてみたらその分布が大幅に拡大してきたのが 200 年位前だというような事。それからもう 1 つは、ヒラタヌマコダキ貝という貝がいるのですが、これは資源ではありませんけれども、これが 1992 年以降に現れてきているという、この貝は有明海の生態系に元々いたのか、あるいは個体群が小さかったのかその辺りの判断は難しいと思いますけれども、最近になって非常に有明海の生態の大きな影響を与えるような生き物が増えたというような事があります。その辺りの環境の変化とこのような貝類が増えてくるということとの関連。これは今までのシミュレーションで 1930 年代からして頂いたというのと少しオーダーが違う話になります。が、やはり有明海の主要な資源生物であるという観点からしますと、そういう生き物というのはなぜ増えてきたのかということは重要であると思います。これに対して市原さん何かコメントとかお考えありますか。

【復建調査設計株式会社 地盤環境部 地盤技術課 主任 市原季彦】

ヒラタヌマコダキガイに関しては、海外からの移入種として言われておりますし、基本的にはアサリとかの稚貝とかを海外から持ち込んだときなどに一緒に入ってきてているという事が知られています。ヒラタヌマコダキガイが特に軟泥質の干潟を好んでおり、そういう場所ですと他の競争相手となる貝があまりいないという理由もあって非常にたくさん密集して出てくるようになったという事があります。同じようにして貝というので有明海の中で他の国内の干潟でも知られていますが、ツメタガイの仲間でサキグロツメタガイ、この種も元々ほとんどいなかったのが、これも輸入してきた貝と一緒に入ってきたようです。サキグロツメタガイはアサリとかを食べる捕食者側の生き物ですので、そういったものも一緒に増えている。それもどれ位の量なのかは分かりませんけれども、漁獲減少に対しての影響があるというふうな原因だとされている例もありますので、そういう生態系自体が人間の手が加わる事によって大きく変わっている部分も実際存在しているというところはあるかと思います。

【佐賀大学低平地沿岸海域研究センター 准教授 速水祐一】

ここには佐賀県の方もおられるのでちょっと耳の痛い話だと思うのですけれども、つい

今年ですけれども佐賀県の有明海異変の対策事業として水産業振興でやられたもので、中国か韓国からアゲマキを大量に入れてそれで撒いています。そういう事をやると、例え同じ質であっても連続性が違ったりする、それからその中に他の生き物が混じっている。結果的にそれを撒いたものは夏の間に死滅してしまって殆ど鳥の餌になってしまったと漁師さんは言っておられたのですけれども、有明海の環境保全というか再生事業として国から来ているお金が漁協にパッと来てそれでそういう事が行なわれている。多用性の事とか考えると、外来種を持ってくる、正に一番の源に成りかねない。だから、その辺りやはり行政の縦割りといいますかそのきちっとしたプランを持たないまま有明海再生策というのに行なわれているという印象を私は強く持りました。

【座長：長崎大学環東シナ海海洋環境資源研究センター 教授 松岡數充】

有難うございます。今の話は非常に重要で、生物の種のレベルでは同じであってもいわゆる個体群というかポピュレーション、つまり遺伝子レベルで違うものが入ってくるとそこで遺伝子の搅乱が起こること、それは、生物の多様性に非常に大きな影響がある。生物の多様性というのは遺伝子レベルの多様性、種の多様性それから生態系の多様性その3つのコンポーネントからなっているのですけれども、その3つのコンポーネントを考えた場合、やはり同じ種であっても他の海域に生育しているポピュレーションの違うものを持ってくるというのが適切なのかどうかというような事を判断することが重要です。

再生を目指す時に、一体その再生というのはどういうレベルのものなのかという事を十分に議論する必要があるというサジェッションだったかと思います。

不慣れな進行で申し訳ないのですが時間が参りましたのでパネルディスカッションを一応この辺りで閉じさせていただきたいと思います。その前にパネラーのお一人一人から今日十分に噛み合ったような議論が出来たかどうか甚だ不安ではあるのですけれども、これからの有明海の再生に向けて何が必要なのかを一言ずつお伺いできればと思います。それでは、堀家さんからお願い出来ますか。

【いであ株式会社 大阪副支社長 堀家健司】

有明海の再生に向けてという事ですけれども、今日私がお話しました過去からの変遷を見た場合、やはりポイントとなるのは生物の生息環境として貧酸素を見た時に酸素の供給量が減って、要は流れの問題です。それと酸素を消費する物質がたくさん増えているという事なので、酸素を消費する物質は二枚貝がたくさんいた時は別に問題にならなかつたというような結果も出していますので、やはり二枚貝の生息というのとそれから貧酸素というのはお互いに相互関係を持っているのですけれども、やはりどこかの時点でその二枚貝がグッと復活するような再生策を講じるというのが1つの鍵になるのではないかというふうに考えています。

それから後は、再生の課題としてモデルの課題という事で1つだけお話をしますと、今過

去の計算をした時に、二枚貝とかそういう底生生物は境界条件として与えているのですけれども、実際に計算の中では酸素が低くなったり高くなったりする事によって当然その二枚貝の生息も変わってきますので、生物と貧酸素といったそういう関係をキッチリと把握してそれをモデルの中に組み込むという事が非常に大事だという事。それから実際に佐賀の水産振興センターさんが前お話をされたと思うのですけれども、サルボウは必ずしも DO だけで生残率が決まっているのではなくて、実際にサルボウというのは無酸素の状態でも無気呼吸して 4 日くらいいるのだけれども実験ではそうなのですけれども、でも現場では実際には死んでいる。それは硫化水素が多分悪さをしているのだろうという事も分かっていますので、だからモデルの中で硫化水素を表現してその硫化水素とそれから二枚貝との関係を定量化するとかそういうふうな事が、これから貧酸素の精度をよくすると言う意味での課題としてあるのではないかというふうに考えています。以上です。

【復建調査設計株式会社 地盤環境部 地盤技術課 主任 市原季彦】

今、堀家さんのほうも言われたように、二枚貝が非常に重要な鍵になるものの 1 つにあろうと私も考えておりまして、二枚貝はほとんどの種は底質の中に潜って生息をしております。要は棲みかとなる底質が非常に鍵になります。それをどの様に再生していくかというのが、1 つ有明海全体の生物を再生する所にも繋がるのではないかというふうに考えられます。海の中だけではなくて、土砂は陸域の河川から供給されて来ますので、その観点からのものの流れ、それから海岸線付近の人工的な色々な施設、そういうものが土砂の流れを止めていたり、そういうもので土砂の動くパターンとかがどんどん変わってきています。全体を形作る 1 つ 1 つの個別の事象が干潟に影響として出てきて、それが全体の悪影響に結びついていると思います。元々のよい環境、すなわち生物の生息に適した環境となるものが堆積するような場を形作れるような再生を目指せれば、一番自然なのかなというようになっています。中々実際に進めて行くのは難しいと思いますけれども、そういった視点というのが大切かと思います。

【座長：長崎大学環東シナ海海洋環境資源研究センター 教授 松岡數充】

ありがとうございました、では速水先生お願いします。

【佐賀大学低平地沿岸海域研究センター 准教授 速水祐一】

まず有明海の異変、2000 年のノリ色落ち問題というものが 10 年経った現状での私の認識ですけれども、最初は諫早湾締め切りの影響というものがひどく注目されたわけですけれども、10 年経って何が分かったかというと、有明海の環境異変というものは原因と結果を結ぶたくさんの糸が複雑に絡み合ったもので簡単には分からぬといいう事が分かったのだと、そういう印象を非常に強く、ただその糸の 1 本 1 本の正体については、1 つは諫早湾の問題であろう、1 つは長期的な陸域負荷の増加であろう、1 つは 18.6 年周期の月の昇交点

の変化、それから外海生物特にエイの問題などもありそれから湾奥の開発の問題もある、かなりそういったのが見えてきた。その一方で、複雑であるからこそこれを治したらよいという特効薬が見えないという事も見えてきた、それが現状だと思います。

それで、これから我々がやらなければいけない事が 2 つあって、1 つは水産振興です。海を見ている漁業者が食っていけない海になったら、その海を見る人がいなくなる、というのは終わりです。漁業振興については、研究者自らに伝えるだけではなくて、やはり漁業者一人一人がモチベーションを持って自分のところの海をよくしていく、自分のところの海をよく見ていく、自分のところの海をよく理解するそういう姿勢が大事なのではないかなという気が私はしています。

それからもう 1 つ多様性の問題、これは今までほとんどきちんとした調査の積み上げがない。これについてはやはりもっと見ていかなければならぬ。研究者だけで干潟を見るわけではないから、やはりきちんとそういうものを見ていくような市民層が育っていく必要があるし、そういった市民、漁業者、研究者を繋ぐような有明海全体を繋ぐようなそういう体制が作られていく事が大事で、そういった体制が 20 年 30 年続いていけば有明海は良くなっていくのではないかと思います。

【座長：長崎大学環東シナ海海洋環境資源研究センター 教授 松岡數充】

有難うございました、では山口先生お願いします。

【長崎大学水産学部 教授 山口敦子】

私は、魚類の立場から生物の立場から考えるとやはり先程もお話したのですけれども、いまだに新種が出てくるくらいで分からぬ事がすごくたくさんあって、私が 10 年前にこの研究をここで調査を始めた時には本当に分からぬ事ばかりで、何をどう始めてよいか分からなかつたのですけれども、この 10 年で随分姿形が見えてきた。もちろんまだ見えないところもいっぱいありますけれどもそういうふうに感じていますし、でも結局再生を目指していくという時に結局生物が住める海にしていかなければいけないとすると、魚も含めてそういう生物の事をやはり基本的な生態とか生息状況とかそういうのが分かっていないともう何も出来ないので、まずやはりそういったところもきちんと 1 つずつ押さえていかないといけないと思います。どちらかというと、先程速水先生も言った漁業振興もそうなのですけれども漁業も凄く大事なのですけれども、その漁業生物をどういうふうにして自然に再生産が上手くいってくれるような海にするかと考えた時にどうしても漁業生物にばかり目がいってしまうのですけれども、漁業生物を支えている生態系の中の生物というのも物凄くたくさんいて、私たちが普段目にしないものもいますし、それから見てもこれは重要ではないだろうと考えてしまう、人間の立場から考えてしまう生物もいるのですけれども、結局それぞれの相互作用で海が成り立っているので、やはり漁業生物以外のものも含めてもっと生態系全体に目を向けたような取り組みをしていかないといけない

と思います。先程のアゲマキの事もそうですけれども、そういった他の海域からの生物の移入というのは物凄く慎重にならなければならない事で、そういった事についてもこれから水産振興という事で色々な魚も含めたそういう種苗の放流というのも行なわれるようになると思うのですが、それについてのまず魚の生態が分からなければそれも育成出来ないですし、それから遺伝的な問題もありますので、簡単に放流するという事も出来ないと思います。だから、もう少し根本的な生物の基礎の部分をしっかりと理解して、もうちょっと根っここの部分で生態系を支えていけるような仕組みが出来ればいいかなというふうに思っています。

【座長：長崎大学環東シナ海海洋環境資源研究センター 教授 松岡數充】

有難うございました、では荒牧さんお願ひします。

【有明海再生機構 副理事長 荒牧軍治】

今年中間年を過ぎて、今有明海に関する調査研究、あるいは認識がどこまで到達したかという事を、今年度このシンポジウムまで入れて4回やってきました。これらは4つの面でしか捉えられてはいないのですけれども、それ以外にも膨大な調査研究がなされていて重要な成果がいくつも発表されています。その後それをシンポジウム、勉強会、それから講演会色々なところで積み上げてきたわけですけれども、その成果を次回来年の2月頃にもっと鳥瞰的にというか、全体を見渡すような形で皆さん達に発表する機会を持ちたいというふうに思います。その時に、どういう仕掛けでやるかというのが中々今のところまだ出来ていないのですけれども、2月くらいに最後の第5回目のシンポジウムを開いて、そして再生機構がこれまで5年間どう認識してきたかというような事を中心に議論をしていきたいと思いますので、2月にまた皆さんにお会いして、またご批判を頂いてそして我々の中間発表、中間とりまとめとしたいと思いますのでまたご参加くださるようにお願いを致します。どうも有難うございました。

【座長：長崎大学環東シナ海海洋環境資源研究センター 教授 松岡數充】

それでは、締めにあたりまして一言お話をさせて頂きます。今日のシンポジウムの趣旨は、基本的には有明海の環境がどのように変わってきたのかという事を様々な手法、特に堆積物に残された記録、それから文字の記録、それからシミュレーションというような異なった手法を用いて明らかにするという事でした。ある程度それは成功したというふうに私自身は思っているのです。しかしながらもう一步理解を進めるためには、シミュレーションの結果として見えてきた現象が、有明海の生態系の中に具体的にどんな形で影響を及ぼしているのかという事を、もう少し噛み砕かないと分からぬのかなと思っております。そういう意味では、今日速水先生に提案して頂いた内容についてはほとんど議論出来ていませんが、環境変化と生態系変化とのつき合せ、それからやはり資源、魚あるいはア

サリ、あるいはアゲマキ、あるいはタイラギ、あるいはサルボウ、そういった生物資源の生産量や生産高が結局どのように環境に対応して変化しているのかというところまで突き詰める事によって、社会にとっての有明海の環境変化の意義をある程度我々は理解する事が出来るのかなと思っています。そういう仕事はまだ少し残っている、これから取り組まなければならない課題ではないかと思います。

これでパネルディスカッションを終わらせて頂きます。

講演者略歴

荒牧 軍治（あらまき ぐんじ）

佐賀大学 名誉教授

工学博士。佐賀大学評議員、副学長、佐賀大学有明海総合研究プロジェクト長を歴任。
有明海再生機構副理事長、NPO法人有明海ぐるりんネットの代表理事として、有明海再生のために尽力されている。

松岡 敷充（まつおか かずみ）

長崎大学 環東シナ海海洋環境資源研究センター 教授

理学博士。海洋微古生物学、沿岸環境学が専門。地質学会の特性である「時間を通して現象を理解する」方法を環境問題に応用するところを目指す。

速水 祐一（はやみ ゆういち）

佐賀大学 低平地沿岸海域研究センター 准教授

農学博士。湖沼・沿岸海洋における物質輸送、湖沼生態系の地球環境変化に対する応答の研究
有明海のシミュレーションモデルの研究

山口 敦子（やまぐち あつこ）

長崎大学 水産学部 教授

農学博士。専門は水産資源学、魚類学

主な研究：沿岸における板鰓類（ばんさいるい）の生活史、および底生魚類の生態学的研究。

堀家 健司（ほりや けんじ）

いであ株式会社 大阪支社副支社長

技術士（水産部門）環境科学の総合コンサルタントとして、生物の調査・分析・解析、環境アセスメント、自然環境保全、生態解析などの業務に従事

市原 季彦（いちはら としひこ）

復建調査設計株式会社 地盤環境部地盤技術課主任

理学博士。主な研究に有明海干潟堆積物の堆積年代推定、2009.有明海干潟における豊かなあさり漁場の地史など