シンポジウム
有明海における貧酸素水塊の発生と対応
講演録

平成 19 年 6 月 30 日

佐賀市　パル 21

NPO 法人有明海再生機構

シンポジウム「有明海における貧酸素水塊の発生と対応」

目次

開催の趣旨説明・・

第1部

● 講 演

「何故、貧酸素水塊が発生するようになったのか」　　座 長:佐賀大学 瀬口昌洋

○ 貧酸素水塊の発生の現状

水産総合研究センター西海区水産研究所　木元克則・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・

○ 貧酸素水塊の拡大と発生原因としての赤潮の関連性

熊本県立大学 堤 裕昭・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・

○ 有明海の環境変遷と現状認識

長崎大学　松岡數充・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・

○ 質疑応答・・・

第2部

●パネルディスカッション「貧酸素水塊の発生にどのように対応すべきか」

■ 話題提供

○ 漁業者から期待すること

佐賀県有明海漁協 青年部　　久米和樹・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・

■ 討 論・・・

コーディネーター :九州大学　本城凡夫

パネリスト:北九州市立大学/九州大学　楠田哲也

水産庁 漁場資源課 漁場保全調整班　和田雅人

水産総合研究センター西海区水産研究所　小谷祐一

同上　木元克則

佐賀県有明海漁協 青年部　久米和樹

会員名簿・・・

＊＊＊開催の主旨説明＊＊＊

【 有明海再生機構　　理事長　楠田哲也 】

こんにちは。只今ご紹介を頂きました楠田でございます。本日は週末でお休みのところ、このシンポジウム「有明海における貧酸素水塊の発生と現状」においで頂きまして 有難うございます。心よりお礼を申し上げます。

皆様方におかれましてはご承知の事と存じますけれども、近年有明海湾奥部や諫早湾では貧酸素水塊がカキを中心に、中央部の底層及び干潟縁辺部におきまして頻発しております。その結果タイラギやアサリ等への影響というものがかなり懸念されてきております。この貧酸素水塊につきましては、今迄に色々な研究者の方或いは行政機関によります調査等によりまして、その動向ですとかその拡大状況等かなり分かってきております。今日は今迄の貧酸素水塊のその挙動に関わりますデータですとか、或いはそれに対します対応策というのを整理致しましてこの場で改めて共通認識を持ち、それを基に有明海の再生に向けて皆で手を携えて努めていけたらというふうに願っております。

ここで、今日の第一部では、「なぜ貧酸素水塊が発生するようになったのか」というのを課題と致しまして木元先生、堤先生、松岡先生からご講演を頂戴し、知識を理解を深めたいというふうに思います。更に第二部では、この貧酸素水塊の発生にどの様に対応すべきかという事をテーマと致しまして、パネリストの皆様方、研究者の方々、行政関係の方々及び漁業関係者の方からご意見を頂戴して議論を進めて参りたいというふうに思っております。どうか、長い時間になりますけれども最後までお付き合いを頂きます様お願い申し上げまして挨拶とさせて頂きます。

*** 第１部***

講演「何故、貧酸素水塊が発生するようになったのか」

○貧酸素水塊の発生の現状

【 西海区水産研究所　木元克則 】

只今ご紹介頂きました、水産総合研究センター、西海区水産研究所の木元でございます。私より有明海におきます貧酸素水塊の発生の現状、発生状況についてご報告申し上げます。

この１枚めのスライドにつきましては 2004 年の貧酸素の発生状況を示しておりまして、この部分、溶存酸素の低い海域を示しておりまして、奥部と諫早湾の中で貧酸素になっているという状況を示してございます。

近年有明海におきましては、魚類・貝類の資源の状況が悪くなっておりますけれども、それが貧酸素の発生と共に起きていると言われておりまして、特にサルボウにつきましては、有明海奥部西部海域に主たる漁場があるわけですけれども、そういった所の海域の漁場悪化がサルボウに対しても影響しているとされている所であります。

有明海におきます貧酸素水塊が危惧されましたのは 2001 年、2002 年頃からでございますけれども、私共ではその当時急遽関係県とも相談を進めまして有明海湾奥部での観測を開始した所でございます。その結果有明海の奥部と諫早湾の中で貧酸素が発生している様であるという事を掴む事が出来ましたが、中々船による観測で詳細を掴む事が出来ない状況が続いておりました。そこで 2003 年に湾奥に多数の観測機材を設置しまして、そこを連続観測する事によって貧酸素の状況を捉えようと致しました。

その結果、予想もしなかった事で有ったわけですけれども、干潟縁辺部、有明海奥部の干潟縁辺域で溶存酸素が著しく低下する、貧酸素が発生するという事が分かって参りました。また諫早湾の中でも溶存酸素が低下して、貧酸素が出来た状況が分かった所です。

この様な状況を受けまして、平成 16 年度水産庁、環境省、農林水産庁九州農政局の三省庁による共同観測体制ということで予算化がされまして、貧酸素に対する調査またその原因究明また改善のための実験を開始する事になっております。この水産庁と環境省におきます調査を私共水産総合研究センターが対応致しまして、あと九州農政局の諫早干拓事務所と共同して調査を進めてきた所です。調査におきましてはこういう連続観測は 2004 年から開始しまして、その現状を把握しようとした所ですけれども、有明海の奥部の海底地形に合わせた形で干潟縁辺部での貧酸素が発生するという事で、そこを中心とした点に観測点を設け、また諫早湾の中でも貧酸素が出る、それと海底での流動状況と貧酸素の発生状況を捉える必要が有るという事で湾内に合計 22 点の連続観測点を設けて観測を開始した所です。湾奥では、既存の施設なりまた簡易な杭を打った上で観測機器を設置致しまして、また沖合域ではブイを設置しまして海底また中層･各層での連続観測を行ないつつ、またそれをデータ通信を経まして、リアルタイムで貧酸素の状況を把握しつつ他の調査を組み合わせて現状把握をしようとした所です。諫早湾では九州農政局が観測やぐらを設置しておりました。

16 年度に 22 点の観測点で連続観測を行ないましてそのデータを私共で全体として整理させて頂いた所です。リアルタイムのデータにつきましては、各観測点よりインターネットを通じまして私共の水産総合研究センターにデータが届けられた物を整理した上で Fax で関係機関へお届けすると共に、17 年度からホームページでもデータを公表して、関係の皆様にご覧頂いて調査研究に活用頂いて来た所です。

現在、今年もこの観測として準備を今進めておりますけども、有明海奥部での観測データをリアルタイムで時間毎に承知しました皆様方に提供できるような体制にしております。

諫早湾の中では、観測につきましては、九州農政局のホームページに時間毎の連続データを提供しておりまして、グラフ及びまた数値での提供で皆様にご理解頂いている所です。

これまで今までの経緯と現状を簡単にご説明致しましたが、これより貧酸素がどのような状況になっているかという事を、実際のデータを基にご説明申し上げます。

これは 2004 年の 22 点でのデータを一同にしたものですけれども、夏場の水温が上昇に伴いまして、6 月から 9 月までの時期を示しておりますけれども、夏場水温が上昇する時期に当たりまして溶存酸素が低下し、特に小潮の時期に著しい貧酸素になったという、小潮期に貧酸素がおきるという事が起きております。それと共に 2004 年に台風が頻発しまして九州に接近しましたけれども、そういう台風による強い風が吹いた時には溶存酸素が上昇する、貧酸素は解消される、気象条件により左右されるという様な事が分かって参りました。2005 年は台風が少ない年でありましたが、9 月にかなり大きな台風が参りまして、20 メートルを超える風が吹き荒れるような中で夏場の水温の高い時期に貧酸素が起き、それぞれ同様に小潮の時期に溶存酸素が低下するという様な変動をしておりました。台風がまいりまして強い風が吹いた時には、擾乱によりまして良く混ざり貧酸素は解消されるという事で、台風による改善が、台風による漁場の維持が為されているという様な状況です。　2006 年は 6 月末から 8 月にかけまして例年より多い雨が降っております。その為 6 月の末より、それ以前の年に比べまして早いうちから溶存酸素が低下し著しい貧酸素が夏場に発生しております。それがそのまま 8 月の中旬に参りました台風の接近まで、貧酸素が持続しております。

この 3 年間の観測の結果、全体として言えますのは有明海奥部の干潟縁辺部で著しい貧酸素が起きているという事が分かりました。その中の点だけのデータをここに 2005 年の例としてお見せしておりますけれども、この上のグラフについては水深 1 メートルからたまに干出する様な所ですけれども小潮の時に著しい貧酸素が起きたという事になっています。それよりやや深い所では、それより干潟域よりもさらに著しく溶存酸素が低下し無酸素に近い貧酸素になるという状況になっております。それぞれこの様な場所では小潮期から少しやや遅れた時期、小潮のやや後の時期に著しい貧酸素になっているという特徴がございます。この様な従来貧酸素になるとあまり考えもしなかった様な干潟域での貧酸素が起きているというのはこの有明海での特徴と考えております。

その地点を含みます干潟域及び干潟の沖合縁辺域、それから沖合の水深 10 メートルから 20 メートルの点、この 4 つを比べて貧酸素の発生の状況について比較してご説明申し上げたいと思います。

これは 2005 年の例ですが、先程申し上げたように夏場の水温が上昇する時期に溶存酸素が低下しますが、その低下の状況については干潟域から干潟縁辺域及び干潟の沖合から先に貧酸素が起きております。沖合域の方ではそれに遅れているという事で、干潟域から貧酸素が発生しているというのが有明の特徴となっております。2006 年につきましては、先程申し上げましたように、6 月末に雨が大量に降った事によりまして、それまでの年と若干様相が異なっておりますが、6 月末から何れの点でも早い内から溶存酸素が低下し、この場合干潟縁辺域だけではなくて沖合域の水深 10 メートルの所でも、早い時期から貧酸素になってそれがそのまま長く持続したという事が、2006 年の特徴となっております。水深 10 メートルより更に沖合の 20 メートルの所では、溶存酸素の低下は浅い所よりもそれ程低くはなく、貧酸素の中心となるのはやはり干潟縁辺域からややそれに対して沖合域のどちらかと言うと湾奥の海域が貧酸素の発生の中心であるという事が言えるかと思います。沖合域が、沖合域の水深 20 メートルの様な海域が貧酸素の中心にはなっていないという事がこれでお分かりいただけるかと思います。

その海域でのデータをもう少し詳しく見てみますと、浅い所水深 1 メートルから 4 メートルの所、水深 1 メートルは青い線で、水深 4 メートルの所、水深 5 メートルの所は黄色の線、オレンジの線で示し

ていますが、潮汐が大きい大潮の時期には、流速がこの海域では潮流が相当有るわけですけれども、その時期には溶存酸素が高い状況になっていますが、潮汐が小潮に向かって小さくなるに従って、その海域での流速が低下する。それに伴いまして干潟縁辺域での溶存酸素が低下しているという事がお分かり頂けると思います。この夏場の時期の流速、小潮期の流れが止まっている中で、成層が強化された海域の状況の中で水塊の中での酸素消費により、貧酸素が進んでいるという事を考えております。

その時の断面につきまして見てみますと、この夏場の貧酸素が発生する時期には強固な水温躍層、塩分躍層がございまして、強固な成層がある状態の中で、表層の躍層の上では植物クロロフィルのピーク、植物プランクトンが増殖する様な赤潮的な状況も見られるわけですが、その下のその奥の域で懸濁物が多い海域が存在しております。その様な中で躍層下の、成層した水塊の中の湾奥の所で、溶存酸素濃度がこの場合は10%を割る様な著しい貧酸素になっているという事で、夏場の成層が強固な中での湾奥での躍層下での酸素消費によっての貧酸素が起きていると考えております。

先程の状況につきましては、これは満潮時ですけれども、干潮時、引き潮時、下げ潮に伴いまして湾奥にあります貧酸素の水が、沖合域の中層に広がっているという事で湾奥の貧酸素水が有明海奥部のどちらかというとやや沖合域まで影響を及ぼしているという事がこのデータからご理解頂けるかと思います。

この沖合域での水深 10 メートルの点の所での溶存酸素の変動の状況につきましては、3 年間鉛直多層での観測をしておりますので、その時の成層の状況と貧酸素の出来方が比較して見る事が出来ました。そのデータによりますと 2004 年、2005 年、2006 年におけます溶存酸素の変動を青で示しております。その時の表層の水と、水深 1 メートルの水と、海底の海水の密度の差、成層が強ければ高くなるのですが、それを赤で示しております。成層が小さい成層していない、混合している時には、この密度差が小さくなるという状況でご理解下さい。そうしますと成層が強い時に溶存酸素が下がるという対応が、密度差が大きい時に溶存酸素が下がるという事が全体的な状況としてご理解頂けたと思います。

2004 年は台風が頻発した事によって、密度成層がしばしば弱められたという様な状況がありました事から、溶存酸素は低下する物のそれが著しく長期にわたる事はありませんでした。それに対しまして 2006 年は、昨年ですけれども 6 月から 8 月にかけての大量の、平年より多い雨が降った事によりまして、表層と底層との密度差が大きく成層が強い状況があった訳ですけれども、その様な中で底層の溶存酸素が早いうちから低下し、それが台風が来る 8 月の中旬までの、台風による擾乱が起きるまでその強い成層が持続した状態の中で著しい貧酸素が持続したという事で、密度成層の存在がこの貧酸素の形成に大きく関わっているという事がご理解頂けるかと思います。

その成層の下の中での貧酸素化については、その成層の下の水の酸素消費また底泥の酸素消費があると従来から言われているわけですけれども、実際に有明海における貧酸素の要素としての酸素消費の速度を実際の現場で測ってみました所、底泥はそれなりの資料に予稿集に出ていますけれども、底泥の酸素消費速度がそれなりに有るわけですけれども、それだけではなくて底層水の酸素消費速度がかなり高く底層水の水と底泥との合算としての水柱あたりの酸素消費量として計りますと底層水の酸素消費速度もそれなりの寄与をしているという事が分かってまいりました。これは、私共中央水研の児玉が取ったデータですけれども、底層水の酸素消費速度を実際測ってみますと、一日当り 1 ミリグラム位の酸素を低下させる能力が有るという事、それと湾奥側と沖合側を較べると湾奥側の方が酸素消費速度が大きいというデータが得られております。

その様な酸素消費の結果によってこういう貧酸素が起きていると考えられておりますが、2004 年でのデータを、全点での底層のデータを繋ぎ合わせた結果、湾奥の干潟縁辺域と諫早湾の中での夏場の小

潮期から中潮時にかけて貧酸素が、溶存酸素が低下する、著しい貧酸素が出来るという状況が 2004 年はありましたし、また 2005 年も同様な状況が繰り返して発生したという事です。2006 年、昨年につきましては先程から申し上げている様に、強い成層が維持されてそれが長期に亘った事から溶存酸素が著しく低下しまして、10%以下の著しい貧酸素の状態が有明海奥部全域に広がる様な状況が起こっております。

この貧酸素の中心となっている場所につきましては先程から申しておりますけれども、実際には泥分が多くそういう海域で底泥の有機炭素量が多い、酸化還元度も低いという事で堆積物が多く溜まりそれが腐敗、還元的になっている様なそういう海域と一致しているという事で、有機懸濁物の集積と極めて密接に関わっているという事はご理解頂けると思います。

東京工業大学の八木先生は、有明海奥部での六角川と塩田川に囲まれた海域での調査を行なわれました結果、小潮時にクロロフィルの極大層が表層に出来るわけですけれども、それが小潮の潮水が減少した時に湾奥の方に輸送されてそこに堆積するであろうという、そういう観測データを得ておられます。その様な事からこの湾奥の奥部では懸濁物が溜まりやすい状況がある、成層が強化された夏場におけるエスチャリー循環と湾奥からの流入による懸濁物の蓄積し易い様な状況が有る中で、成層が強くなった中での混合の低下、表層からの酸素供給の低下、また水中の中の酸素消費によって溶存酸素が低下するという事が起きているというふうに理解しております。

観測からはおおよその状況として、現象としての状況が理解出来るわけですけれども、実際それを細かく詳細に理解しようとすると、やはりこの観測データだけでは中々収支が見えて来ませんので数値シミュレーションによる検討を昨年行なっております。数値シミュレーションがすべて万全で有るという事ではありませんが、その収支を見るという事が出来ますので水産庁の事業予算また環境省の事業予算に基づきましてシミュレーションを行ないました。その結果を簡単にご紹介致します。

シミュレーションにつきましては潮汐の大きい有明海の様な海域での相応しい物と言う事で潮高固定座標ではなくてシグマ座標のモデルを使って鹿島建設さんに解析をして頂いた所です。有明海全域での計算領域を設定しまして、特に奥部では詳細な計算を行なったわけですけれども、そういう流動モデルの計算、上、下、上で、水質モデルと底泥型のそういうそれぞれのパラメーターを用いまして、収支を計算してございます。

2004 年は河川流入量が公表されておりましたので、2004 年の国交省からの河川流入のデータと私共の観測しましたデータを基に数値計算を行ないまして、実測値と計算値とを較べてその精度を確認してございます。塩分の時系列の一例ですけれども実測では河川出水が起きた時に表層で塩分が低下し成層が起きるという状況があるわけですけれども、そういう物もうまく計算で何とか再現出来ております。ただ大潮時には計算の結果では混合しすぎてしまうという様な事で、まだ数値シミュレーションについての精度がまだ不十分で有るという状況ではありますけどおおよそその塩分の成層が表現出来る様な状況になっておりまして、その様な中で表層では流出、底層では流入という状況が再現されまして海底谷に沿った湾奥部の海域の中にデトライタス化された有機懸濁物が溜まるであろうとそういう再現を行なっております。それに基づきました水質モデルを用いた酸素消費速度、酸素消費の結果としての DO の時系列を見ますと、湾奥の干潟縁辺域で小潮期から小潮期のやや後に溶存酸素が低下するのが実測値としてこの緑色の線で得られているわけですけれども、それを再現できる様な数値シミュレーション結果を得ております。ただ大潮時の流動が課題で有るという事から大潮期の溶存酸素の戻りが大きくてやや貧酸素の低下が再現出来ていないという事で、まだ精度上には問題を残しているというのが現在のシミュレーションの状況です。

水質モデルでの検討におきましてはそれぞれ植物プランクトンとか懸濁物質、底泥による酸素の供給・消費の収支と、鉛直水平移流との収支を比較致しますと今回のシミュレーションの結果では底泥の酸素消費と鉛直水平移流の項がそれなりに支配的で有るという結果を得ております。これにつきましてはまだまだシミュレーションの精度を向上させる必要がありますので、ここのパラメーターについて有明特有のパラメーターその物を取っていく必要が有るというのが現在の評価の段階でして、今後そのパラメーターについて精度を上げていく必要がある事を思っております。

全体的に貧酸素の、湾奥と諫早湾で出来る溶存酸素の低下につきまして、これは湾奥だけを示しておりますけれども、湾奥での湾奥北西海域での貧酸素が発生するという状況は一定程度再現出来ておりますので今後これの精度を向上させていく事が課題であろうと考えております。

水の成層のメカニズムにつきましては、淡水の流入による成層が出来る事と、それを風による混合・潮流による混合によって混合させるわけですけれども、それの趣旨としまして干潟の有明海奥部での混合する海域と成層する海域が出来るという事が、そういう現象が起きていると考えております。その様な中で河川から流入する富化が、河川から流入する有機物が干潟縁辺部に集積し、また海域で生産される赤潮なり、そういう懸濁物がエスチャリー循環により湾奥に溜まるという状況の中で、先程申しました輸送混合による酸素供給量と有機物分からの酸素供給の収支の結果、干潟縁辺域奥部での溶存酸素が最も低下するという様な状況が起きている物と現在考えております。このシミュレーションによりましておおよそその収支を見る事が出来、干潟縁辺域で貧酸素が発生するという事については現象としては理解出来たと考えております。

只、今後の課題としましてこの貧酸素の発生機構について更に精度を上げていかなければ予測また軽減策の検討には繋がらないと考えておりまして今後とも観測という意味でのモニタリングと貧酸素発生のためのパラメーター水質モデル・生態系モデルのパラメーターの収集について関係の皆さんとご相談しながらデータを収集して精度を上げていくべきだと考えております。この点につきましてはまた後段のパネルの中で少し補足させて頂ければとも考えております。

○有明海の環境変遷と現状認識

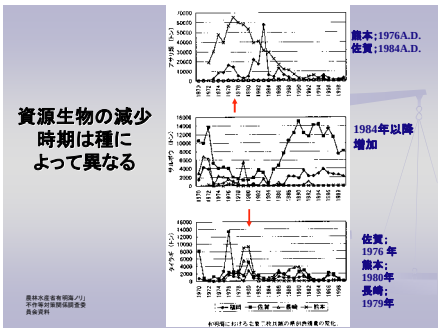
【 長崎大学　松岡數充 】

今、ご紹介頂きました長崎大学の松岡でございます。

今日、私がお話させて頂きますのは、前、お二方の先生方と少し違いまして、ちょっとスケールを大きくするというかアバウトな話と言いますか、有明海というのがどういう様な環境の変化を遂げてきたのかという事を研究の成果に基づいてお話をさせて頂きたいという事でございます。

堤先生のお話にもありましたように、こういう有明海で赤潮が頻発するというようになっております。この赤潮は2002年の８月、夏に起こった赤潮でございまして、この場合にはシャットネラ、或いは渦鞭毛藻という物が主体になっておりまして、海苔の不作をもたらした珪藻とは違う、そういう様な赤潮が出る様になって来ているという事でございます。

昔の事を考えるといった場合に、木元さんの話、あるいは堤先生の話をお聞きしましても、結局我々が数値上解こうとして取り扱う事が出来るのは非常に限られているという事でございます。例えばこの有明海でこういう環境絡みの研究が進行したのはいうまでもなく海苔の不作という所にキーが有る訳ですけれども、それも大体10年、20年足らずの事であります。これはそれ以前に、例えば水産試験場等で以前から集められていました色んな数値情報があります。透明度だとかＣＯＤとかプランクトン沈殿量などその他色々有る訳でありますけれども、そういう様な数値情報ですら溯って40年という事になります。ところが有明海という海はなにも40年前に存在しているわけではなく、我々御承知のように縄文時代、弥生時代からこの有明海で人々が暮らしをしてそれと付き合って来たという事になります。そうするとそういう有明海、今我々が接している有明海というのは一体どういう歴史を辿って現在の状況になっているのか、そういう事をきちんとと言いますか、色々な事を考える基礎を持っていないと、中々的確な現在の状況を認識する事が出来ないのではないかというふうに考える次第であります。

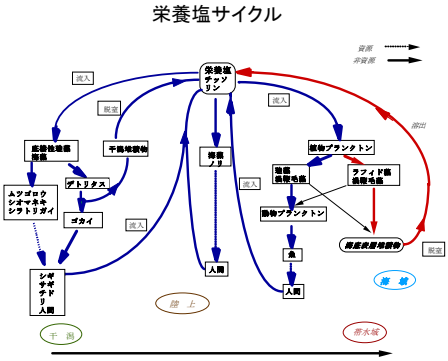


そうした場合に、ではどういう手法があるのか、データが無いので過去の事は言わないのだという事であれば、これはサイエンティストとしては中々受け入れ難い所でもありますし、逆に言えばそういう事を精度が悪いなら悪いなりに何とか考えようという科学が存在するという事をお話させて頂く、そういうベースに立ってお話をさせて頂きます。

そこで出て来ますのが、マイクロ・フォッシルと書いておりますけれどもプランクトンの化石であります。前後しますけれども我々が今色んな所で直面している問題、有明海に関して直面している問題というのは、こういう資源というのがどうして減って来ているのか、それと人為的な環境、或いは自然的な環境とは変化がどういうふうに絡んでいるのかという事であろうかと思います。

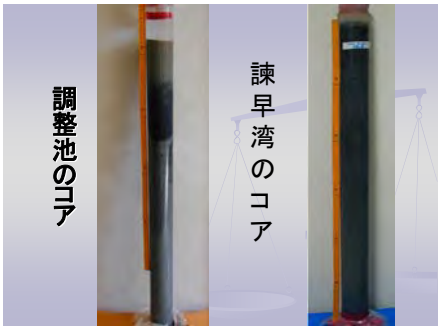
そういう事を考える場合に１つ有明海で重要なポイントは、私はここにある栄養塩のサイクルという

所に有るのかなというふうに考えます。有明海は御承知のように日本で有数の干潟が発達する海域でありまして、干潟、砂質干潟、泥質干潟合わせてそういった所で栄養塩がどういうふうに廻っているのかというのは、有明海の生物生産あるいは生態系という物を考える場合に非常に重要である。それともう1つ有明海の場合には人間が介在している海苔養殖という問題があります。干潟での栄養塩のサイクル、それから海苔に関わる栄養塩のサイクル、それから全面といいますか海水域、浅海域で起こっている栄養塩のサイクルというのがある。

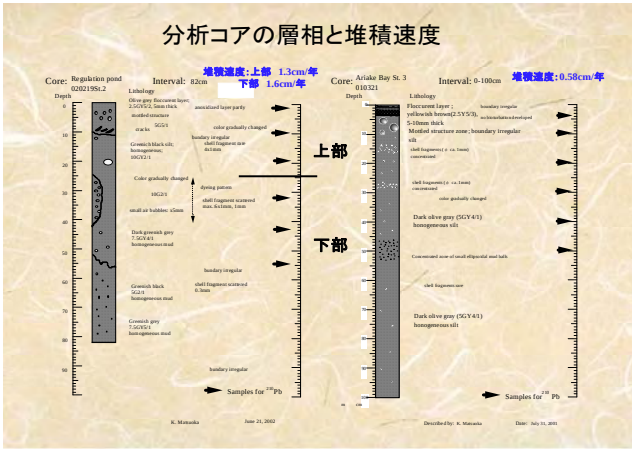


このブルーで示しました物は、栄養塩が陸域から海に入ってまた陸域に帰るというそういうサイクルを示しています。赤で示しましたのは、栄養塩が陸域に上がらずにもう1度フィードバックされずに海の中で栄養塩のサイクルがクローズするという様なものを表しています。こういう様なサイクルが有明海の中に存在しているであろうという事でございます。1つの考え方として、そういう栄養塩のサイクルというのが崩れてしまっている。あるいは新しい環境の変化に栄養塩のサイクルがシフトしてしまっているというのが有明海の異変という事になろうかと、それが私の考え方であります。

それをどういうふうに過去から現在まで、どういうふうなプロセスで起こって来たのかという事を考えたわけです。それは堆積物の中に記録されている情報を取り出すという方法であります。ここに示しました地点で資料を採取致しました。陸上の2点は、陸上でボーリング、所謂、堆積物を採取した結果でかなり古い時代まで遡る事が出来る。



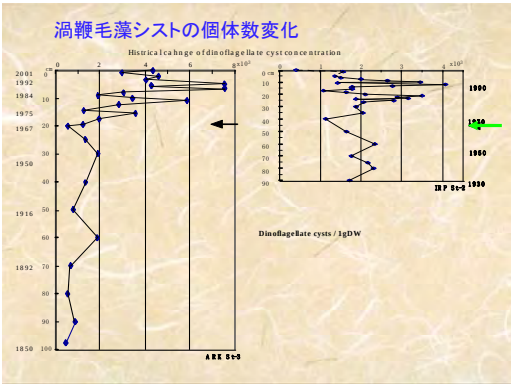
これは現在我々が直面している環境問題に関連して、海底の堆積物を採取した場所であります。こういうふうな堆積物を柱状に採取致します。非常にシンプルな話なのですけれどもこれは表層部分が現在の情報を持っています。それから下にいくに従って昔の情報が入っているという事であります。昔という事で今から何年前かというのは中々こういう堆積の状況からでは分からないのですけれども、ここの中に含まれている放射性元素、放射性同位体という物の、減少の割合という物を調べていきますと、平均的にこの堆積物が1年間の間にどれ位堆積したのかという事が分かる。そういう手法を用いております。



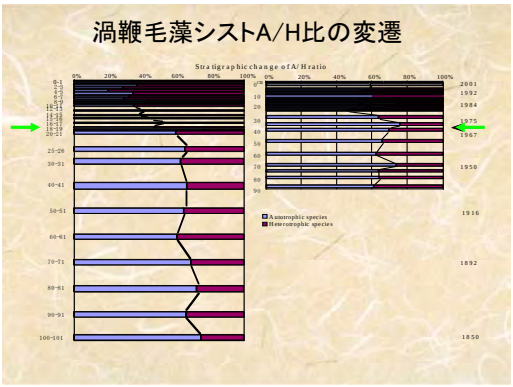
その堆積物がどういう様な性質を持っているのかという事を観察した結果を書いておりますけれども、ここに書いてございますように、潮受け堤防の内側で採取した物につきましては、先程堤先生の話にありましたけれども1年間に1センチ以上のスピードで物が溜まっていっている。若干、下部と上部とで違っておりますけれどもこういう様なスピードで溜まっていっているという事であります。それから諫早湾の中で採集しましたのは大体、1年

間で６ミリ位のスピードで溜まっているという事であります。但し重要な事は、この表層の部分というのは常に堆積物というのは攪拌されます。貧酸素状態、或いは無酸素状態になりますとベントスがほとんど活動しないという事になるのですけれども、浅い所だと、例えば一年の間に台風がやって来ますと表層の部分はかなり攪拌される。ですから１センチというインターバルというのは非常に平均堆積速度でいけば１センチだと例えばこれだと１.５年位の情報という事になるのですが、中々そうは簡単にいかずにそこの部分は混合されてしまいまして、中々１年間のスライスで時間を切って議論するという事が難しい。ですから私がここでお話させて頂きます、後からいろんな年代の話をさせて頂くわけですけれども、大体数年位の幅を持った話であるというふうにお考え頂きたいと思います。

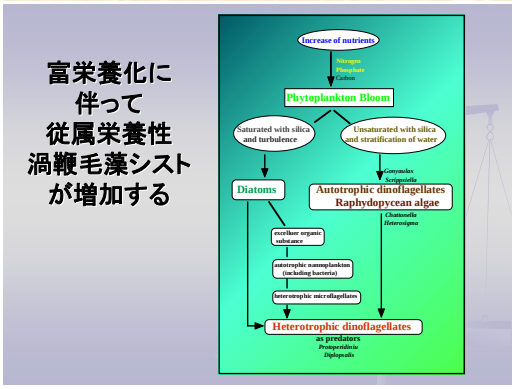
それで、先程この堆積物の中で何を情報として使ったのかというお話をしましたけれども、これはプランクトンの 1 種であります渦鞭毛藻であります。実はこの生物は水の中にいる時はこういう形で泳ぎ回っているのですけれども、環境が悪くなる、こういう生物が増殖する事が出来なくなったり、或いは水温が下がったりして増殖する事が出来なくなった様な状況の時にはこういう休眠胞子を使う。この休眠胞子は植物の種と同じでありますので非常に環境の変化に強い。ですから海底に沈みますとそれが化石として泥の中に何年も記録として留められるわけです。それの個体数だとか、種類だとかいうものを見ながらその水質との関係を見ていくという様な仕事であります。

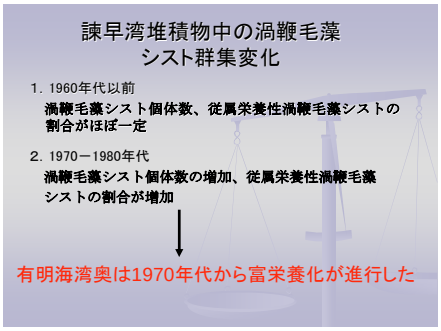


まず個体数の変化、諫早湾の方で採取しました資料は今から大体 150 年以上バックする事が出来まして、一番下の年代は大体 1850 年代位という事になります。採取しましたのは 2002 年ですので、上の方は現在という事で 2001 年位という事になります。



調整池で採取したコアは堆積相が早いわけですからこれに比べると非常に短い時間しかカバーしていなくて大体 1930 年位という事になります。いずれのコアの場合でもこういう所を取り出してプランクトンの化石の個体数を調べたわけですけれども、大体ここのマークを入れました所、1970 年代位、60 年代の後半から 70 年代位にかけて非常に変動がありますけれども個体数が増えていっているという様な状況があります。それから実は渦鞭毛藻というのは植物プランクトンというふうにいわれるのですけれども、2 つグループがあります。1 つは、クロロフィルルを持って、自分で光合成をやって分裂する事が出来るグループと、それから他の動物プランクトンと同じで他の植物プランクトン、或いはバクテリアなどを食べて生活をするグループ、従属栄養と独立栄養というのがあります。これは従属栄養と独立栄養の比率を表した物で、ブルーで示しましたのが独立栄養のグループ、それから小豆色で示しましたのが従属栄養のグループ

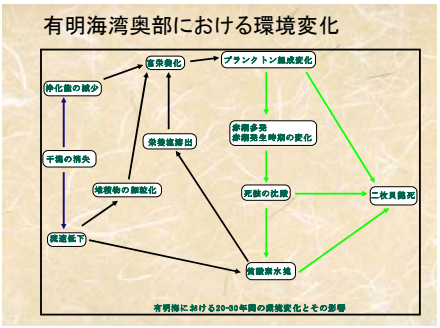




であります。それを見て参りますと、その比率の変化の所を見て参りますと、やはり 1970 年代に何かイベントが有るというか変化が出て来ているというふうに読み取る事ができます。

こういう様な 1 つの植物プランクトンのグループ或いは、渦鞭毛藻のグループの変化というのは何を表すのか、横文字で恐縮ですけれどもこれはそれを説明するための基本的な考え方を示した図であります。1 番下の所、これが従属栄養の渦鞭毛藻という事になります。ここが珪藻、それから珪藻以外の植物プランクトン、独立栄養の植物プランクトン、結局結果としてここの部分が増えているという事は、この部分のエサになる生物が増えているという事ですから、これのエサになる物は珪藻とか独立栄養の鞭毛藻という事になります。珪藻とか独立栄養の鞭毛藻はどうして増えるのかといいますと御承知の様に、窒素とかリンとかという栄養塩をエサとしているわけですからそういう物が増えているという事になります。これが結果的に増えるという事はここの栄養塩が増えてその結果として、珪藻とか独立栄養性の鞭毛藻が増えて、結果として従属栄養のプランクトンが増えたという事になります。即ちこれが増えているというのは栄養塩が増えているのだというふうに解釈出来るという事であります。

そうやって見ていきますと 1960 年代ぐらいはこういう様な割合がほぼ一定変わっていない。70 年代から 80 年代位にかけてこういうプランクトンの化石の数が増えたり、従属栄養の渦鞭毛藻が増えたりするという事ですから結果として 70 年代位から富栄養化が進行したのだろうというふうに考えざるを得ないという事であります。

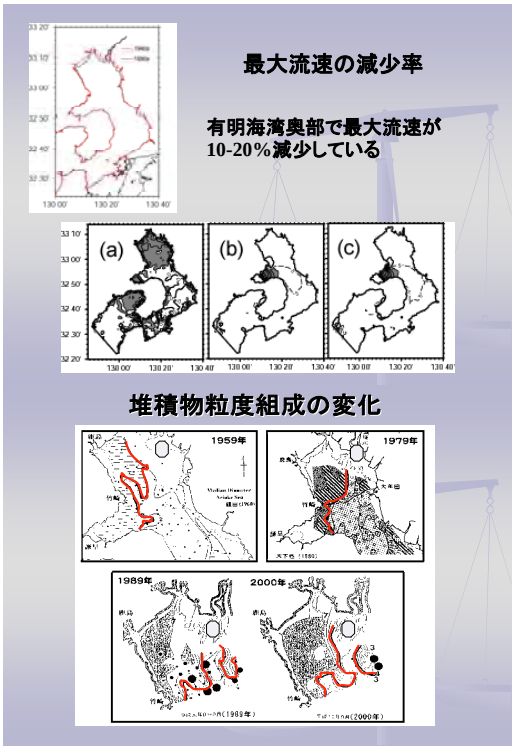


何故そういう事が起こったのかというのが次の問題であります。これはそのプロセスを私なりに考えた仮説という事であります。1 つは干潟の消失という事であります。干潟が消失しますと当然、後から述べますけれども、実は水の流れ、流速が低下します。流速が低下すると成層が起き易くなるわけですから貧酸素水魂が発生するだろう。それから流速が低下しますと堆積物が細粒化しまして、細粒化した堆積物の中身は富栄養化します。それから当然干潟が消失しますと干潟の浄化能が減少しますから富栄養化が促進される。貧酸素水魂が出来てまいりますと実は栄養塩が溶出して堆積物の中から栄養塩が溶出してくるという事が起こっておりますので、これも富栄養化がおこる、そういう事によってプランクトンの組成が変化した。あるいはプランクトンの量が増えたという事になってそれが赤潮を多発させたり、或いは赤潮の発生の時期が変化したりするであろうという事であります。そういう物が死んでしまいますと死骸が沈殿して更に酸素水魂が発生するであろう。こういう事が起こりますと二枚貝が斃死したり、貧酸素水魂によって二枚貝が斃死したりするという様な生態系の変化が起こっているのだろうという事であります。

それでは何故干潟の消失が起こったのであろうか、こういう事が本当に過去に起こっていたのかという事を検証したい。

干潟の消失につきましてはこれは明らかであります。これは御承知の様に有明海の干潟というのは奈良時代からずっと干拓しているわけですが、これは干拓のスピードを表しています。第 2 次、1955 年から 1975 年位にかけてそれ以前の干拓より物凄いスピードで有

明海が埋め立てられたという事があります。これは東京湾です。東京湾は御承知のように、江戸時代以前は殆んど人が手を入れてなかったのですけれども江戸時代から細々と干拓があって、東京オリンピックの頃には物凄い干潟の埋め立てが行われました、その結果、東京湾というのは死の海になるという様な言い方をされていまして、やはり干拓という物が生態系に影響を及ぼしているのだという事を我々は先行事例として知る事が出来る。即ち干拓は干潟を埋め立てられたのだという事であります。干潟が埋め立てられるという事は、地形が変わるという事でありますからその地形がどういうふうに有明海の流れに影響を及ぼしたのかという事を長崎大学の同僚の万田先生にシミュレーションして頂いたわけです。その結果として湾奥部、こういう所ではこれがそのデータなのですけれども最大流速が 10 パーセントから 20 パーセント減少したという様なシミュレーション結果を得ている。即ち干潟が無くなる事によって流速が低下したのだという事はこういう事でサポートされるだろう。



そうしますと流速が低下するとまずどういう所に影響が及ぶかというと、当然、流れがある所では物が運ばれていくわけですから、運ばれていくスピードが、流れが弱くなりますと運ばれている堆積物の粒子に変化が起こる。これは堆積物の粒度組成の変化で色々な所で既に指摘されていますけれども当然、分析の手法などが違いますのでこれをそのまま鵜呑みにする訳にはいかない。それはその通りなのですけれども、少なく共ここで赤いマークを入れたのはシルトのサイズなのですけれども、シルトのサイズ位だったら多少分析手法が変わってもある程度の傾向は知る事が出来るという事で 1959 年に採取された試料のシルトサイズのバウンダリーはこの辺りにある。それから 10 年、20 年後にはこのシルトのサイズが、ここが筑後の河口ですから東側に移動している事が分かる。これは佐賀県の水産振興センター、有明海の水産振興センターのデータをお借りしておりますけれども、これも 89 年、2000 年にかけてこれはシルトよりもさらに細かい所のサイズですけれども、それが東の方に移動しているというのが見えます。過去 40 年位を通じて、有明海の湾奥部は細粒化して来たのだという事もこういうデータでサポートされます。それと流速が低下していきますと水の流れが遅くなるわけですから、成層が起こり易いと考えられます。成層が起こり易いという事は先程からのテーマであります貧酸素が発生しやすいという様な事なのですけれども、これは例えば有明海の泥を取って来まして、これは実験室内の実験です、泥を静置しますと実は酸素がこういう所で縦軸に酸素濃度で、横軸に時間をとっておりますけれども、急速に酸素が消費されて貧酸素状態になるという事が分かります。問題は貧酸素状態になるという事ではなくこれが起こりますと実は栄養塩がこんな形で溶出してくる。左側が窒素で右側がリンであります。実は面白い事に窒素も時間と共に堆積物から溶出するのですがそのスピードよりも実はリンの方が大きい。だから貧酸素水塊が発生しますと実験室のデータですけれども選択的にどうもリンの方が溶出され易くなるだろうという事が考えられます。これは堆積物からのリンの溶出という事に注意して頂きたい。ですから栄養塩もこういう事が起こると溶出す

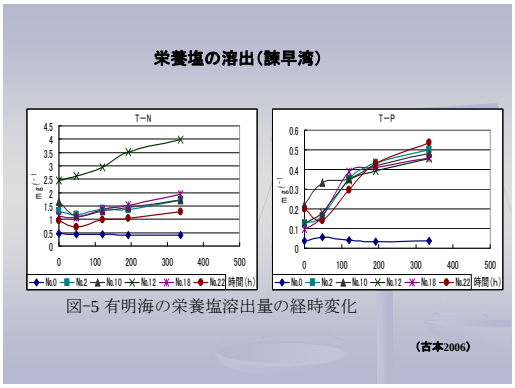
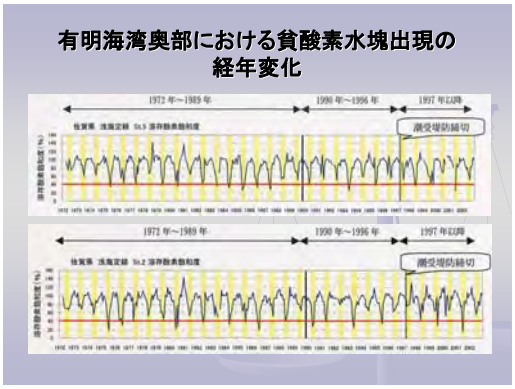
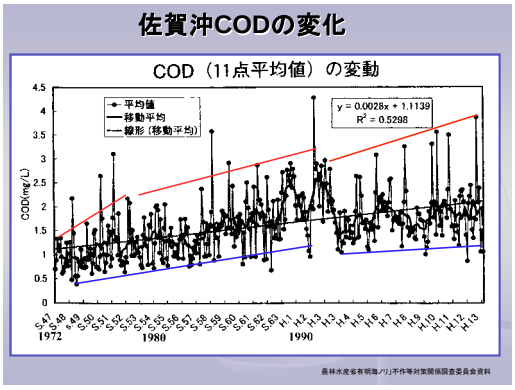


図-5 有明海の栄養塩溶出量の経時変化
(古本2006)

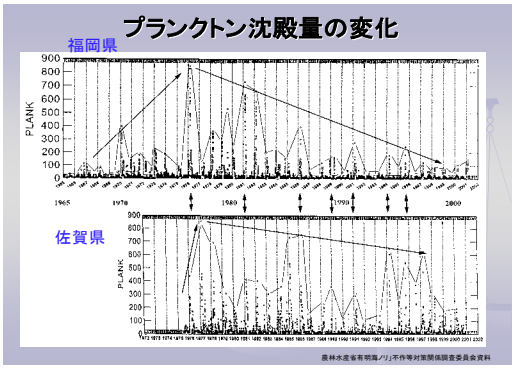
るだろうという事は間接的に考える事が出来る。

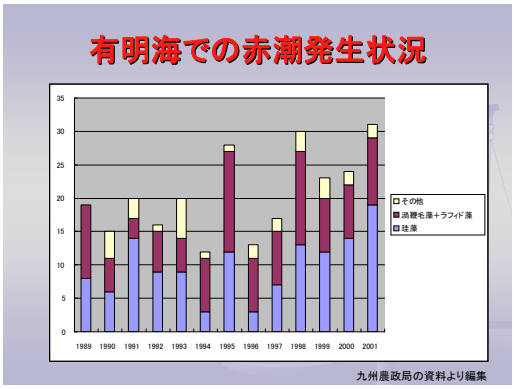


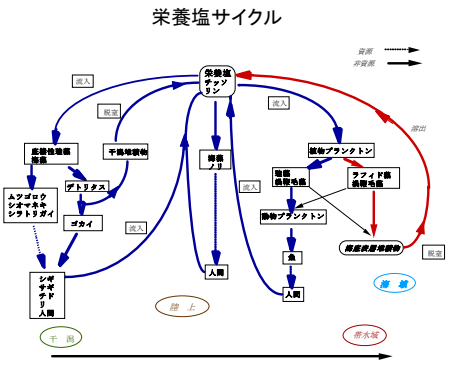
では貧酸素水塊が何時頃から出たのか、これも佐賀県の浅海定線調査のデータをお借りしておりますけれども 1972 年位からデータがあって貧酸素のレベルといわれる 40 パーセントの所を見ますとこういう所で貧酸素が出て来ているという事であります。これは、貧酸素が頻発するというのは小潮の時であるという様な話がありますので、この浅海定線調査というのはそういう時期に実は合わせた物ではないと思いますので、このレベルをその当時のレベルであるという事は当然考えられませんけれども 1970 年代位から貧酸素も出現していたという事で、こういうデータから明らかであるという事であります。

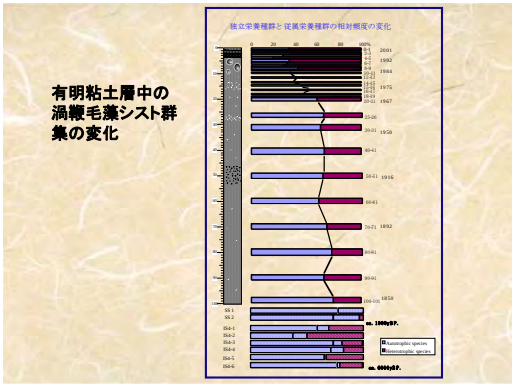


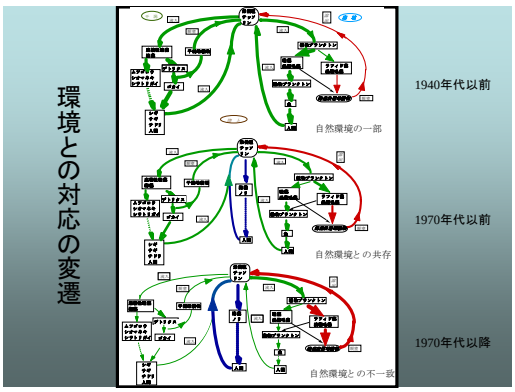
そうすると先程言いました様に貧酸素状態になりますと栄養塩が溶出して来ますから佐賀沖で COD、海水中の有機物含有量などを見ていきますと、やはり 72 年位からずっと全体として増加している、栄養塩が増えていっているという様な事が推定する事が出来ます。ところが非常にパラドックス的なのですけれども逆にプランクトン沈殿量が減少しているのです。私が一番最初にこれを見た時に一寸何故なのか理解出来なかったのですが、実はこのプランクトン沈殿量を測るのは非常に特殊なやり方をしているみたいで 100 ミクロンのプランクトンネットで水をろ過して、それを沈降した時のプランクトンの沈殿量だという事になりますので、もし 100 ミクロン以下のプランクトンが出て来ていたら、或いは沈殿させている間にプランクトンが死滅してしまったら、その沈殿量は逆にいえば減少するという事になるのでこれはプランクトンの現存量をそのまま表しているというのはとても考えられないだろうというふうに考えた次第であります。例えばこれは諫早湾に存在するプランクトンですけれどもこの中で今言ったプランクトン沈殿量の様なやり方でプランクトン量を測るとしたら恐らくここの 3 つの種は存在しない。溶けて無くなります。それからスケレトネムコスタートムといった珪質の殻を持っているガラスで出来ているプランクトンですけれども、これも非常にガラスが繊細ですからなくなってしまうだろう。ですからもしプランクトンの組成が変化していたら逆にいえばプランクトン現存量というのは低下している可能性がある。そういうふうな解釈も可能であろう。ですから栄養塩が変わったり、栄養塩のレベルが変わったりプランクトンの組成が変わったりするという事は、当然この栄養塩サイクルに何らかの影響を与えている筈であります。先程海中からとったサンプル、試料は 1850 年までバック出来るのだとお話しました。実は陸上でボーリングをした結果がありましてそれをこの下の所に入れております。当然、時間のスライスと言うのは荒い。ここに入れていい

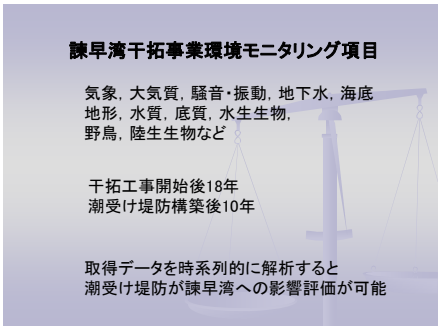


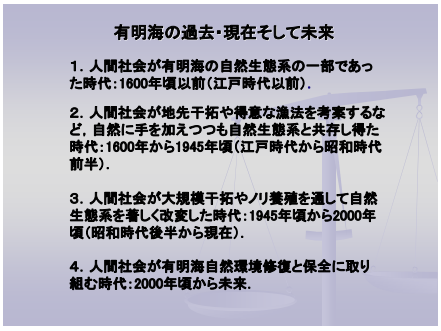










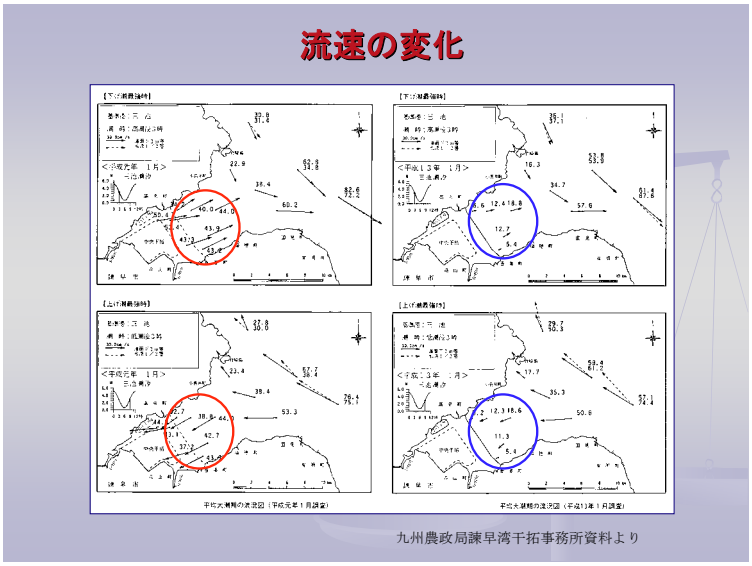


かどうか分からないのですけれども、一寸乱暴かもしれないですけれど、これが約 6000 年位前の試料、これが 1000 年位前の試料です。見て頂きたいのは先程と同じでブルーの所、所謂独立栄養のグループが優先していた事実というのは認めて良いだろう。そういう傾向は 1850 年代位までそんなに変わらない。1970 年代、60 年代の後半から 70 年代位にかけて大きなプランクトンの群集の変化に群集が大きく変化したのだろうという事が言えるわけであります。

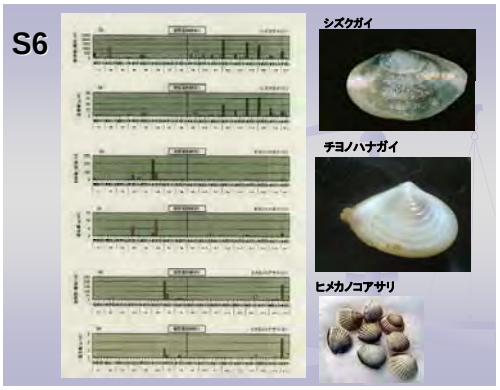
即ちまとめてみますと、栄養塩のフローというのは当然 1940 年代以前は海苔養殖は殆んどやられていませんから、しかも干潟が埋め立てられていないからこういう様なサイクルが有ったであろう。つまり水の中だけで栄養塩が廻るという様なサイクルは余り発達していなかった。ところが 1970 年代位になってくると海苔養殖が入ってきて 70 年代以降になるとこの干潟がやせ細って栄養塩のフローというのがこちらの方に来てしまっている。これが有明海の生態系が変化した大きな要因だろうというふうに見ています。

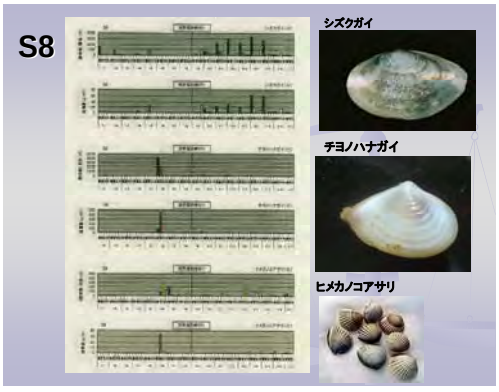
時間がありませんので、今私が推定した様な 1 つの仮説ですけれどもそれが一体どういうふうな意味を持つのかという事なのですけれども、実は諫早湾干拓事業というのはモニタリングをずっとやっています。こういう様なデータについて干拓工事を開始してから 18 年経つわけですけれどそれからずっとやっていますし、潮受け堤防が出来てから 10 年が経ちます。こういう様なデータを時系列的に解析すると潮受け堤防が諫早湾にどういうふうに影響を及ぼしているのかという事の評価が可能で有るという事であります。

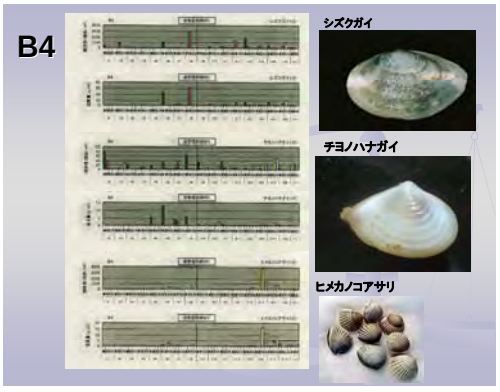
まず流速の変化ですが左側が潮受け堤防の以前、潮受け堤防のあとです。小さい字で恐縮ですが大体５分の１から８分の１位に流速が実は低下した。堤防を作る事によって流速が低下した。即ち干潟を干拓する事によって流速が低下したという事であります。そういう事によって当然、底生生物なども調べられております。先程堤先生の話の中にもありました様に嫌気性のベントスとか好気性のベントスが、

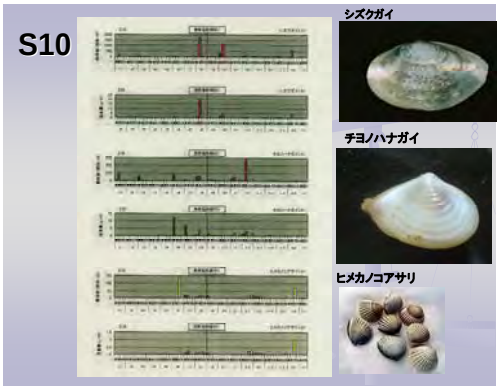


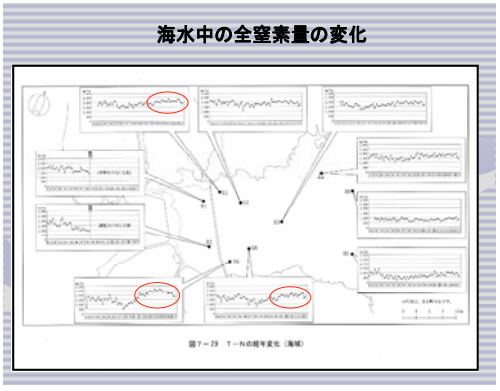
どういう様な種類がどういうふうに変化しているのかという情報も有るわけで私が調べた訳ではないですけれども、そういう様なものが公開されておりますのでそれを見てみたわけです。そうしますとS6というのは後からお話しますが一番潮受け堤防の近い所であります。そうしますとここの所が閉め切り前、閉め切り後です。例えばシズクガイ、チヨノハナガイ或いはヒメカノコアサリというのは非常に貧酸素水に強い物ですけれどもこのシズクガイなどが潮受け堤防形成後にざっと増えている。それからS8というのはS6よりももう少し沖合いですけれどもやはり同じ様な傾向があります。だからB4というのが一番沖合いの所ですけれどもこれは余り変化が無いといいますか、若干増えているかなという様な状況であります。S10も所々、若干こういうものが目立つかなという所です。あと色々なパラメータが有るのですけれども例えば海水中の全窒素量を見てみますと、これは潮受け堤防ですけれども、潮受け堤防のＳ６とかＳ８の所

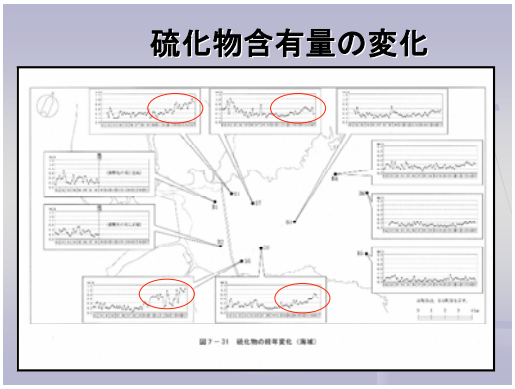


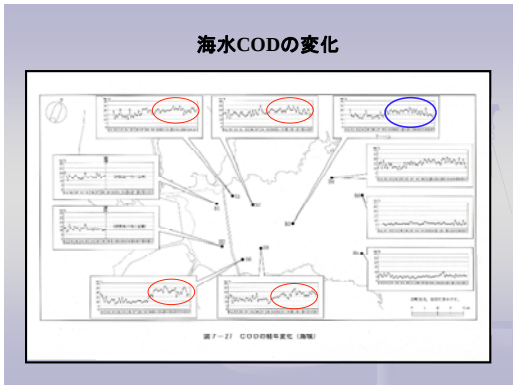




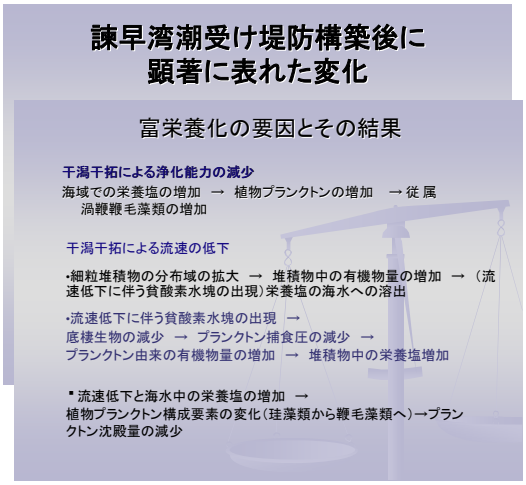








でトータルの窒素が締め切りの前よりも増えている。あるいはS1という所でも増えている。イオウ含有量、硫化物の含有量というものも特にS6、S8という所、対貧酸素の強い生物が増えていった様な所ではやはり増加しております。こういう所でも沖合いの所でも若干増加しておりますが優位の差が有るかどうかはこのグラフだけでは判ができない。何れにしてもこういう様な所で増加しているというのが分かります。ＣＯＤにつきましてもやはりこういうふうに増加している。潮受け堤防の前面の所でこんな海水の栄養塩、或いはＣＯＤという様なものが変化すると共に増加すると共にそういう貧酸素耐性の強いベントスが増えているという様な事であります。



結局こういう変化がいくつか有るのですけれども、まず流速が低下した。この貧酸素水、DOのデータをお見せしなかったのですけれどもDOの前面の所で当然硫化物が増えていますので貧酸素水塊が発達しているという事も事実だと思います。還元層が増加するという事と嫌気性のベントスが増加するという事であります。この辺りはもう少し時間をかけてみないと分からないのかもしれません。私が言いたい事はやはり過去においてもこれと同じ様な事が発生したのだろうというふうに考えるわけであります。ですから貧酸素水が佐賀の沖合い西岸で発生しているというのもやはりそういう物との何らかの関係が有るだろうというふうに考えます。従いましてこの潮受け、諫早湾のモニタリングというのは工事が行なわれ、完了すると同時に終了する、そういうものではなくて、やはりこういう環境の変化という物がどういうふうに継続していくのかという事をきちっと追究する為にも継続してもらわないと困るというふうに思っております。どうも 有難うございました。

第1部　質疑応答

【 座長：佐賀大学　瀬口昌洋 】

有難うございました。以上を持ちましてお三方の御講演が終了致しました。

これより質疑応答の方に移らせて頂きます。質疑応答の時間は 10 分というふうに非常に短く設定しております。中々全てのご質問等について十分御議論が出来ないかもしれませんがどうか宜しくお願い致します。発表、講演の順序に従って御質問、或いは御意見をお伺いしたいと思います。まず木元さんの御講演について御質問、御意見のある方挙手をお願い致します。木元さんの方からは夏季の小潮時を中心に奥部干潟周辺域で非常に激しい貧酸素水魂が頻発しているという様な実態が報告されました。

【 質 問 者 】

長崎大学の多田と申しますけれども、非常にメガニズムの所を色々聞かせて頂き興味深く聞かせて頂きました。1 つ確認をさせて頂きたいのですが今、最後に松岡先生の方が諫早湾の中のお話をされたのですが、木元さんのお話で言われた、干潟、縁の部分で起きている貧酸素の発生メカニズムというのはそのまま諫早湾も同じ様な機構で起きているというふうに解釈して良いのかどうか、この点をお教え頂きたいと思います。

【 西海区水産研究所　木元克則 】

基本的に同じ様な状況では有ろうかと思います。只、諫早湾の場合小さな入り江と言いますか浦があって流動が湾奥に比べてそれよりまだ弱い状況が有ろうかと思いますので発言の仕方とは違いますけれども、基本的には混合と輸送、酸素消費との収支がありますので要するに懸濁物が溜まり易い地域とは流動の中で溜まりやすい場所が当然出来ますので例えば小長井の辺りでは懸濁物が溜まりやすい所で小潮になると急激に貧酸素になるという状況は同じですので状況としては同じという気がしておりました。私自身、諫早湾の中は余り最近細かくは見てないものですから、最近また変化が起きている事については情報としては不足していると思います。

【 質 問 者 】

失礼します。大浦漁協の弥永と申します。

色々難しい話で私漁協者の難しい所も分からなかった事も有るのですけれども、私 40 年位の漁業体験を持っていますけれどもその体験において色々な考え方、漁業者としての考え方を持ち続けていたのですけれど、今先生方のどのお話を聞いてもはっきりした事と言えば我々の体験から出た、我々の結果が間違ってはいなかったのだという事で強い思いを致しております、と言うのは赤潮の発生においても貧酸素水魂の発生においても潮流の流速の低下が一番の原因だと我々業者は指摘していたのです。ですから有明海再生に対しても流速を元に戻す事が 1 番有明海の再生に繋がるのではないだろうかという事で色々考えて来ました。

色々なお話の中で貧酸素に関しても 1970 年代から起きていたという事をお話に伺ったのですけれども、以前は以前として今は今として漁業の漁獲減少に繋がる様な事が以前は無かったわけです。それで現在漁業、漁獲の減少に繋がる事が色々な原因としてあるわけなのですけれどもこれはすべて流速の低下によるものではないかと漁業者として思っておりますので、その点、木元先生や堤先生はどうお考えかをお聞きしたいと思います。宜しくお願いします。

【 西海区水産研究所　木元克則 】

貧酸素が起きる大きな要素として混合、混ざる事が低下しているという事が大きな要因ですので、当然色々物理の流動観測の中でも数字は、値につきましては研究の方々、機関によって数字が違いますけれども流速は下がっているとの事での報告はございますので、その事が貧酸素の発生に一定の程度の影響は有るのではなかろうかと理解しています。

【 座長：佐賀大学　瀬口昌洋 】

堤先生何かございますか？

【 熊本県立大学　　堤　裕昭 】

貧酸素に関しては先程打ち合わせの時も議論になりましたが、浅海定線のデータを使う 1970 年、貧酸素が確かにちょこちょこ出ます。でもそれの貧酸素と、私が観測データで言っている貧酸素とはまた別の物だろうと思うのです。干潟の沖合いというのは木元先生が言われたように干潟で有機物が一杯出来ます。底生微細藻類、珪藻が一杯生えています。潟の花ですが、そういう物が沖合いに運ばれていって溜まりますので、干潟の沖合いはどうしても有機物が溜まりやすくて貧酸素になり易い場所です。それでちょこちょこと浅海定線の調査でも貧酸素が見えていますが、それで先程業者さんの言われた様に魚業被害が起きてないわけです。それが今の海定線だけに大きな影響を与える様なそういう物ではなくて、今の問題と言うのは浅海定線調査が大潮の時の調査であってそれでは評価出来ないという事です。小潮の時に見ていってそれでどれだけ深刻な物が入っているのかというのを見ていかなくてはいけない。それで連続観測を今、西海水研の方でされていますけれども確かにそれを非常にきれいに出しています。ですからそこを見ていかなくてはいけないのではないかとそういうふうに思います。

【 座長：佐賀大学　瀬口昌洋 】

有難うございました。今、堤先生の方から御回答が有ったのですが、木元さんの発表、並びに堤先生の発表、非常に密接に関係がありますのでまとめて堤先生の講演についても御質問お受けしたいと思います。何か堤先生の方で・・、非常に興味深い発表がありましたけれどもこれに対する御意見等がございましたら良いでしょうか。

【 質 問 者 】

私は大浦から来たのですが、やはり 98 年、99 年位から漁業被害が結構ひどくなっていまして、赤潮と貧酸素の海域が非常に広域化していると言いますか、非常に長期化しているという事がありまして、アサリが竹崎から小長井にかけて全滅したりそれからずっとタイラギが 98 年の冬から全滅状態になっている訳です。先程言われていますように 70 年代から貧酸素が発生していると言われていますが、今堤先生が言われた様に 98 年、99 年位からの漁業被害に対する赤潮とはやはり全然別物ではないかと思うわけです。その辺りで或いはここにお集まりの先生を含めて、それが何故、どういう理由で原因はという所を何と言うのでしょうか、今緻密な調査をされておりますけれども西海区水産研究所のホームページを見ますと非常に正確に連続観測が出来ており、それをのぞいたらちゃんとはっきり見えるわけです。どの海域で何時の時期にどういうふうに貧酸素が発生しているか諫早湾内もそれから有明海全域が大体クリアされておりまして、その辺りから例えば「何故これが発生するのか、それ以前は発生してい

なくて何故発生するのか」、それから諫早湾内は 93 年位からタイラギが全滅しているわけなのですがその辺りも貧酸素と非常に影響が有るみたいですけれど、その視点を変えて「それでは何故原因がこういう状況になったのか」という所での視点での調査研究といいますか、そういう視点でのこれからの研究をやって頂きたいという思いとそこら辺に対する一寸視点を変えた考え方をお持ちかどうかをお伺いしたいのですがどうでしょうか？

【 熊本県立大学　　堤　裕昭 】

どうお答えして良いのか、お答えしにくい質問ですけれども取り敢えず今、先程申し上げましたように今、漁業被害に及んでいる様な貧酸素水、無酸素水というのは多分現在進行形の話だろうというふうに思います。ですから地球温暖化を含めてこれからもっと深刻になってくる、だから最初海苔の色落ちから端を発しましたけれどもこれからはむしろ漁船漁業の魚、網を入れても取れないというタイラギも全然入ってこないという、そういう所に話が段々及んでいくのではないかと思うので、それは当然詳細なモニタリングをこれから継続していかないといけないと思います。ところが今までの調査デザインではそれは対応できないのではないかと思います。我々の研究室でやっている調査という物は非常に詳細な調査ですので、そういうデザインとその浅海定線で良く行われてきた様な、何年も前から毎月ずっとやって来られていますその努力には非常に敬意を表したいのですけれどもそのデザインではこの問題は扱えないのです。ですからこれ専用のデザインを組んだ調査計画を各県でやっぱり構築して頂きたいなとそういうふうに思う限りです。大学の方では予算が無いと出来ないのです。私は今年度で予算が終わってしまうので来年度からこういう調査が出来る予算のあては全くありません。ですので私はどこまでこのペースで調査を続けていけるかという事は実は非常に心もとない状況でありまして、是非各県の方でそういう体制を早く整備して頂きたいと思う次第であります。

【 座長：佐賀大学　瀬口昌洋 】

有難うございました。時間が大変過ぎておりますので、最後に松岡先生の御講演という事でどうぞ。

【 質 問 者 】

元水産試験場職員の石田と申しますが松岡先生の柱状採泥を調整池内と外とでやったサンプル、写真がありましたが何年頃なのか私は疑問に思うのですけれども数年前ではないかと思うのですが私は今年の 4 月 29 日と 30 日に調整池内の定点 10 点取りました。それから諫早湾内を 10 点取りました。その前の年でもやはり、6 点乃至 7 点調整池内で、外で 8 点位の定点でとったのですがそのデータを比べてみますとかなり内側も外側も、内側と言うのは調整池内の諫早湾内の硫化物含量がかなり高いのです。今年のデータで言いますと 250 から 430ppm位、それから有機体窒素賀 2200 から 2500ppm位です。これは内側も外側も同じなのです。内側と言うか、調整池内も諫早湾内も同じなのです。それから粒度組成を見ますと 10 ミクロン以下の粒度が 40 パーセント以上占めております。これは内側も外側もです。従いまして調整池内の泥は、現在では真っ黒になっている。硫化物含量が高いことを示しております。これは諫早湾内で採泥しますとやはり同じ様に黒い泥が取れてくるわけです。従いまして、調整池内の黒い泥は諫早湾内に必ず出ているというふうに私は見ています。諫早湾内に出ればシケが起こったりしましてこれは容易に有明海の外側に諫早湾内から外へ広がっていくわけであります。昔、タイラギ漁場、福岡県沖にミネノ洲とか西ノ洲などの洲が有ってここの泥は黄色い泥、砂泥でここがふわふわした黒い泥が頻繁にあちこちに見られているわけです。こういう現状は諫早湾内から拡散した泥であると私は思

っている。調整池内から外に出ているのは間違いない。それから諫早湾内から有明海に広がっているのではないかと思っておるのですが松岡先生の講演の内容は現状認識についてという事ですのでこれも現状認識の中に入れておかなければならないのではないかという事とあの柱状採泥はかなり前の物ではないのかとそういうふうに思うのですが宜しくお願い致します。

【 長崎大学　松岡數充 】

まず採泥した時期、柱状採泥をしたのが 2002 年です。私が申し上げました様に 1 年単位で議論しているわけではなく数年単位のインターバルでやっているという事です。それからこれは諫早干拓事業のデータですけれども、これは私が自分で調査をしたというわけではなくてモニタリング委員会に提出されたデータを今日は皆さんに御紹介させて頂いたという事でございます。そのデータによりますと潮受け堤防の前面の所で硫化物の量が高くなっておりますし、それから今日は粒度組成のデータをお見せしませんでしたけれども粒度も細かくなっております。ただ流速から判断しますとそのシルトサイズ、或いは細かな砂のサイズが諫早湾の外まで出ていくというのは一寸論理的に考えて無理な所が有ろうかと思います。それは論理的に考えてという事です。ある粒の大きさは流れによって運ばれるわけです。流れが遅くなると運ばれる粒も多いというか、細かな粒というのは落ちていくわけです。ですからシルトとか粘土のサイズの粒子というのはそんなに遠くまで運ばれないという事になります。

【 座長：佐賀大学　瀬口昌洋 】

すみません、まだ色々ご意見が有るかと思うのですが非常に時間が大幅に遅れていますので一応これをもちまして第一部の講演を終わらせて頂きたいと思います。また御質問等については終わった後、先生方にお尋ねして頂きたいと思います。ではこれをもちまして第一部の講演を終了させて頂きます。講演者の方、並びにこの講演会に御参加して頂きました皆様に対して心から御礼を申し上げます。拍手を持って終えたいと思います。

*** 第２部***

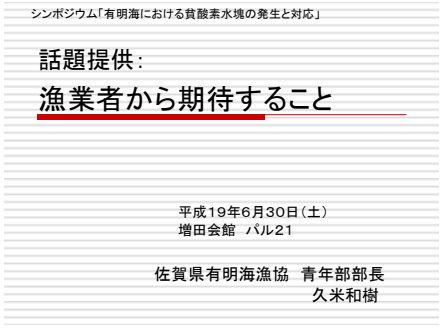
パネルディスカッション「貧酸素水塊の発生にどのように対応すべきか」

■話題提供

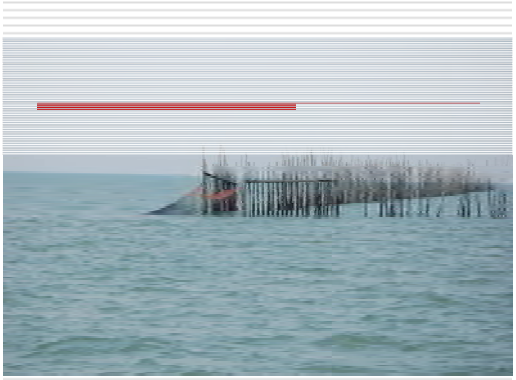
○漁業者から期待すること

【 佐賀県有明海漁協　久米和樹 】

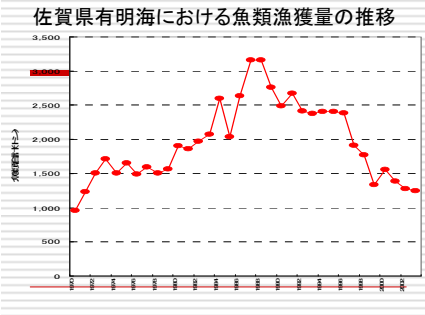
それでは私の方から漁業者からとしてお話させて頂きたいと思います。

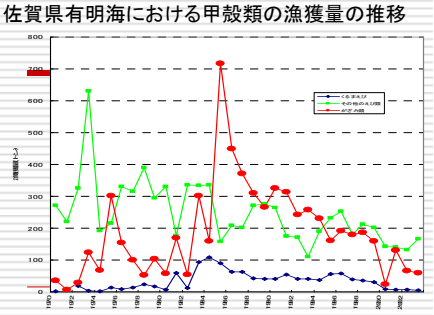


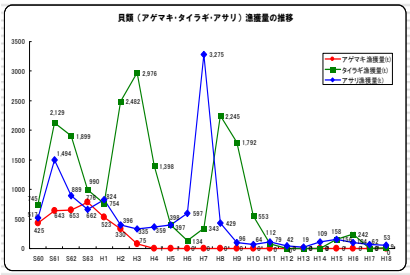
まず現状として有明海奥部における流速の 5%現象、流向の変化などで漁業がどの様に影響されているかを話したいと思います。有明海は 6mに及ぶ干満差による早い流速の流れによって、河口付近から砂、大きな泥、小さな泥と言う底質がはっきりしていました。又河川からの砂の流入も充分であり、砂の面積も充分でした。砂から潟地までの貝や魚の住み分けが出来ていたのです。そして早い流速による捲き上がった泥が作る濁りが有明海の最大の特徴である泥の海を作りました。河川からの水の流れ込みだけでなく、潮が河川を逆流することにより出来る膨大な汽水域が魚類の産卵場所を提供し、稚魚を育てる場所にもなっていました。そしてこの潮の濁りが卵や稚魚を捕食者から守る役割もしていました。泥の海であり海水の濃度が低い塩の甘い有明海独特の環境が有明海固有の生物を育て、他の地域で取れる同種の魚であっても有明海で取れたものは味が違う、おいしいと言われて来たのであり、その生物を漁獲する漁業も有明海独特のものが現在まで営まれてきました。



これは 6 月 15 日 FBS 福岡放送のテレビで伝統漁業として紹介された竹羽瀬で竹を立てているところです。竹羽瀬はV 字にたくさんの竹を立て、その頂点に網を張って潮の干満差を利用して魚介類を取る漁業です。これはアンコウ網のものです。このほかコウモリ網など幾つかの巻き網があります。潮が 1 日 2 回満ち引きを繰り返します。このような漁業は潮の満ち引きの中で、流れの向きが一定していなかったら、網を一定の方向に固定するという事にはならなかったでしょう。又潮の流れに魚を追い込む速さと力が無かったら、こういう漁業は発達しませんでした。しかし流速と潮流の変化により、コウモリ網、アンコウ網は河口付近の澪筋にその操業場所が移り、竹羽瀬は廃業が続いています。流速の減少は砂の上に泥を被せる事になり、砂質に好んで住んでいたデンベイ、クルマエビ、アサリなどの魚貝類の漁獲の減少の一因になっていると考えます。又河川からの水の流れ込みが充分に有った頃は、今よりも比重が低いものでした。干潮時はさらに低比重にさらされたことでしょう。このような環境であればアサリなどは低比重に順応していたと思います。ですから今のように大雨の後の低比重でも死ぬことが少なかったでしょう。更に満ち潮で捲







き上がる泥が比重を調節し生物の死滅を防ぐ一助になっていたと考えます。この表では我々が言う流速が遅くなったという頃から、漁貝類の減少が顕著に出てきています。これはエビです。クルマエビは特に最近の回復基調には有りません。これはアサリです。アサリで平成 7 年に飛びぬけて高い所がありますが、これは前年の渇水が影響して死滅が少なかったのではないかと言う考え方も有ります。有明海で行なわれている刺し網は、網の殆どは網の裾が海底をこすっていきます。特にゲンシキ網では網の高さの 3 分の 1 以上が底をこすって泥を耕し、掃除しています。泥を巻き上げます。この様な漁業活動は底質の保全に寄与していたと考えます。漁獲が減り刺し網漁をする船が減った場合、底質の悪化に拍車がかかることでしょう。学者さんが良く言われる負のスパイラルです。

有明海は今、透明度と比重の上昇が進んでいます。これにより外海の魚が増加してきています。6 月のこの時期ギマという魚が有明海の全域でかかります。これは以前は全く見る事が出来なかった魚です。サメも 30cm 位のものが多くかかります。この位の大きさですと有明海で生まれたものだと思います。有明海に居なかったわけでは無いのですが、最近はとても多くなっています。それに引き換えモダマやキワメといったものが全く見る事が出来なくなりました。シラグチは沖神瀬よりも沖合いでなければ、網にはかからなかったものが、今では海苔漁場の中でもかかるようになりました。ナルトビエイも潮が濁る所ではあまり見かけなかったのですが、今では何処にでもいます。このような魚は有明海の比重の低さと潮の濁りが壁となり、活動場所が制限されていたものが、壁が無くなり自由に活動できるようになったものと考えます。そして濁りを好むワラスボ等の有明海固有の生物は数を減らしています。ここ数年海苔養殖は順調でしたが、海の状況がこのようなので天気の比重が大きくなっています。ですから言葉にすると天気が良かったので海苔が取れたという事になります。しかし雨の量やタイミング、晴天が続くなど天気次第で何時 12 年度のような不作になるかもしれません。漁業者の努力にも限界があります。大雨の後、山からは倒木が、川からは葦がそしてクリークからもゴミが流れてきます。これが有明海の環境の悪化に拍車をかけています。これが有明海

有明海の現状

□ 海況
潮流が遅くなっている、流向が変わる
透明度が高くなっている

□網等漁業
魚類 - クツゾコなど底ものが少ない
エビ類 - 少ない
貝類 - アゲマキなし、タイラギは少し、
モガイも少ない（昨年よりも多い）

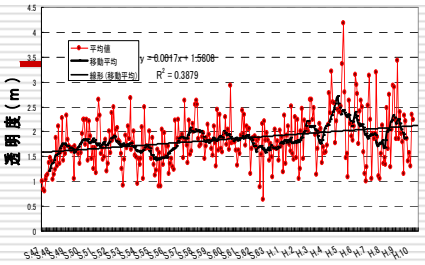


図 透明度（浅海定線調査11点平均値）の変動

ナルトビエイ

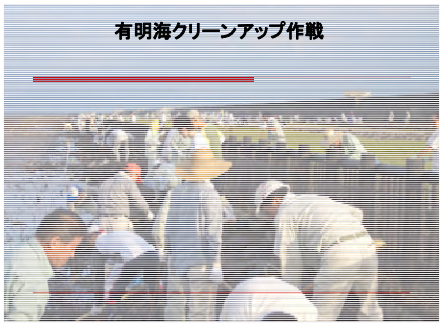
アサリなどを食べてしまう。

ギマ

近年6月頃、有明海に入ってくる外海の魚

佐賀県有明海漁協　青年部の活動

- 清掃活動 - ノリ漁期前
- 貝類調査 - 春季にアサリ、アゲマキの坪刈調査
- 各種事業への参加 – 海底耕耘
- 植林



の現状といったところです。

その中で我々青年部の活動としては漁期前、漁期中の清掃活動。海苔養殖に必要水位板の設置、アサリ、アゲマキ等の稚貝調査、地域で行なわれる植林事業への参加､海底耕耘などにも参加しています｡これは諸富支所が行なっていたトラクターを使った海底耕耘です。これは貝桁を利用した海底耕耘の様子です。

漁業者が望むことは調査研究の徹底による再生の提示と共に､一刻も早く対策を実行する事です｡後数年漁獲の回復が無ければ竹羽瀬は有明海から姿を無くします。大浦の潜水器漁業もあと 10 年も行なえなければ技術の継承が不可能になり難しくなります｡他の漁業も一緒です。有明海の漁業は特殊なものが多く､一度無くなってしまったら､海況が回復して魚や貝が増えても漁業を復活させる事が不可能でしょう。漁業が無くなるという事は､後継者や漁業技術が無くなり有明海が荒れるのを加速させます｡又伝統漁業と言う文化も無くなり、前海物を食べると言う食の文化も無くなる事です。そうならないように対策を急がなければなりません｡我々も協力しますので､漁業者で出来ることを提示して頂きたいと思います｡終わります。

これから実施して欲しいこと

- 調査研究の徹底による再生の提示
- 調査研究より対策を

貧酸素水塊の解消に向けて漁業者でも行える方法を考えて欲しい。

後継者､漁業技術がなくなり､有明海が荒れる

パネルディスカッション「貧酸素水塊の発生にどのように対応すべきか」

■討論

【 コーディネーター　九州大学 本城凡夫 】

このパネルディスカッションの前に３名の先生の方から話が有り、又パネリストの久米さんからの話もありましたけれども、その中で多くの共通した認識は流れが弱くなって貧酸素水塊が形成されているという点に大体集約されて来ている様に思います。それに関する原因はまだいくつかまだあるでしょうし、今後研究しなければならない部分もありますが、このパネルディスカッションの焦点は流れが弱くなって形成される貧酸素水塊の解消に向けた解決策の模索という事になります。

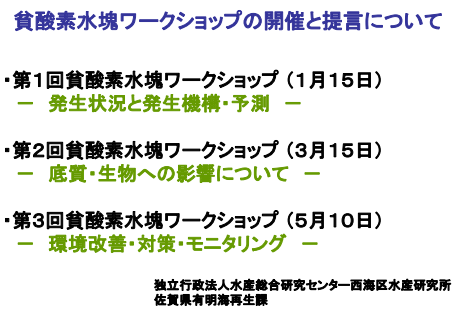
そこでパネリストの方々に１人ずつまたこの点に関係したお話をして頂きたいと思います。まずは小谷さんからお願いいたします。

貧酸素水塊が諫早湾干拓工事或いは佐賀干拓の開発によって潮流が遅くなり、それに連動する要因も変化して形成され易くなったという様な事もあるかと思います。そういった原因について小谷さんからまず話をして頂きたいと思います。

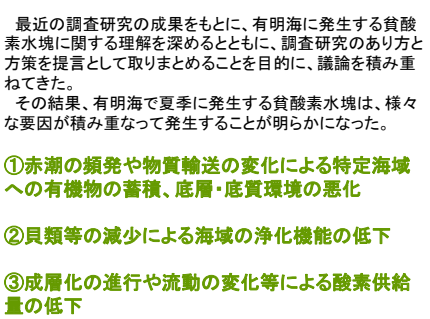
【 パネリスト　西海区水産研究所 小谷祐一 】

はい、西海区水産研究所の小谷です。

このシンポジウムを開催するに当りまして我々自身もこれまでの研究成果、それからそういった物をまとめまして今後の調査のあり方とかそれからまた提言といった事をやっぱり発していく必要が有るのではないかという事で、ここに示しました様に今年１月から５月にかけて３回のワークショップというものを開いております。



このワークショップを開催するにあたって経緯なのですけれども、冒頭私共研究所の木元課長の方から発表がありましたように、昨年の夏非常に厳しい貧酸素が長く続くだろうという様な調査結果から見通しを立てまして私共もプレスリリースをしてそう状況を皆さんにお伝えした次第です。そういった事が有るとやはり社会的な色々な反響も大きくなるだろうという事で、私達自身も他の大学とか調査機関でやられた貧酸素に関する色々な情報をやはり取りまとめて学習しておく必要が有るだろうという事で、この３回のワークショップに取り組んだ次第です。この中ではやはり最近の調査研究の成果をもとに貧酸素水塊に関する理解を我々自身が深めていくと、それからそれらを元に色々討議をしまして今後まだまだその解明すべき事は多々有ると言う様な結論の元に、調査研究のあり方と方策という物を提言として取りまとめて行くという事で議論を重ねてきました。



その結果なのですけれども、これにつきましては先程の話題提供にもありましたので詳細にふれる事はしませんけれども、やはりこの有明海で夏季に発生する貧酸素水塊というものが様々な要因が積み重なって発生するだろうという事で、まず１つ目は場所の頻発や物質輸送の変化です。潮流の変化による特定海域への有機物の蓄積もしくはその中での再循環といった様な事で、やはり底層というものが

長期にわたって悪化して来ているという状況が分かって来ました。2 つ目に、これは先程漁業資源の色々な減少の状況をデータとして見せて頂いたのですけれど、やはりその中でも貝類の減少というのが非常に顕著に出ております。これがやはり従来であれば発生した赤潮、これは珪藻類であればそういった物を餌として利用できる訳ですけれども、そういった貝類が減少した事によって海水の浄化能力が非常に低下していると言う現状があるのではないかというふうに認識しています。3 番目に貧酸素に影響する成層化の進行とか、流動の変化といったものによって、海域への酸素供給量の低下がもたらされているという様な事の中で我々自身が今後こういった事を解消して行く為にどういう形で調査研究を進めて行くべきかと言う事について討論しました。そしてこれはまだ提言の案という段階でお示しせざるを得ない状況で有るのですけれども、「貧酸素水塊に関する調査研究のありかたと重点課題についての提言」の案という段階ですけれど取りまとめて来た様な次第です。

“有明海の貧酸素水塊に関する調査研究のあり方と重点課題についての提言（案）”

1. 調査研究のあり方
   1）調査研究の分担と共同
   2）モニタリング調査体制の強化と継続性の確保
   3）調査観測手法やデータ等の統一・向上・共有
   4）調査研究対象とする海域及び現象の絞り込み
   5）対症療法的対策と持続的対策
2. 取り組むべき重点課題
   1）貧酸素水塊の発生機構の解明
   2）被害防除技術の開発
   3）物質輸送機構及び物質循環機構の解明
   4）貝類増養殖等による浄化機能改善技術の開発
   5）シミュレーションモデルの開発と活用

まず 1 つは「調査研究のあり方」です。これにつきましては 2001 年に海苔の不作の問題がありまして様々な形で様々な機関が調査研究に取り組んで来ました。その中で貧酸素水塊につきましても、私共主体的にモニタリング体制を持ちまして調査を進めて来たのですけれども、やはりまだ調査研究というものがバラバラと行なわれているという様な認識を持っています。やはり各機関が連携協力して進めて行くべきだ。そういう中でやはり研究課題の分担と共同という事を明確にしていく必要が有るというふうに考えております。2 番目に、一定夏場を中心とした連続観測ができるモニタリング調査体制というものを私共確立しました。ですがまだまだそれを強化して行く必要がありますし、先程もシミュレーションに取り組むに上ではまだまだそれに必要なパラメーターが不足している、データも不足しているという事でモニタリング体制を強化して継続性を確保して行く状況が必要かと考えています。それからそういった調査研究を共同していく上においてやはり調査観測手法やデータ等の統一性を図って行く必要がありますし、得られたデータの技術の向上も図って行く必要が有るかと思います。それから得られたデータをその機関で独占するのではなくてやはり共有していく、その事によって様々な形での分析、解析という物が進んで行くのではないかと期待されます。それから貧酸素水塊の発生海域というのは、有明海非常に広い海域に亘っていますし、中には深い所の貧酸素の発生とか多少メカニズムは違っているようなケースも出て来ております。そう意味では現在その調査研究に必要となる予算も、それから各機関も人員も非常に厳しい状況がありますので、そういった現状の中ではやはり調査研究対象海域を絞り込んで行く、現象を絞り込んでいく、もしくは出来るだけ協力して実施して行くという様な事で取り組む必要がありますので、これについてもまだ若干論議があって絞り込めてない所が有るのですが、やはり調査研究に携わる者の責任として海域や現象の絞込みをして効率的、効果的な調査研究を組んでいく必要が有るというふうに考えております。5 番目に対症療法的対策と持続的対策という事ですけれども、貧酸素水塊は非常に厳しい状況が今後も継続していくのではないかというふうに考えられます。その中で抜本的な対策、持続的対策というのは中々色々な大きな土木工事を進めて行く上においても長期間に渡るアセスメントというのが必要になってきます。その中でもやはり漁業活動は今後も続けて行かなければならないと言う事で対症療法的対策という物も重視して行かなければならない。これにつきましては近年マイクロバブルを使った底質の改善技術であるとかそれから覆砂改良・底質の改良そしてマイクロバブルを牡蠣漁場に取り付けるような形で牡蠣の斃死を防いでいるという技術開発もされています。そういった物につきましては是非実際の漁業の現場

に活用していける状況を作って行きたい。これも研究者の責任であるというふうに考えております。

それから 2 番目に「取り組むべき重点課題」ですけれども、これにつきましては 1 番、貧酸素水塊の発生機構の解明。これはこの間我々も取り組んできた事ですけれども、まだ不十分です。特に今後シミュレーションモデルというものが非常に活用期待される訳ですけれども、このシミュレーションモデルをきちんと動かして行くにおいて必要なパラメーターと言うものがまだまだ不足しているというふうに認識しております。

それから 2 番目に被害防除技術の開発という事で、これは対症療法的対策ですけれどもこれにつきましても色々なまだ検討すべき技術が有るという事で引き続き技術開発の方を進めて行く。

3 番目にこれは物質輸送機構及び物質循環機構の解明という事で、貧酸素水塊の発生の原因となる物質がある特定海域にやはり長い間かって堆積して、それを元にして貧酸素が発生するという様な事が想定されていますので、それをより精度良く予測して行く為に物質の輸送、それから物質の循環という物に着目して調査研究を進めて行く必要があるというふうに考えています。

それから 4 番目ですけれど、これは若干持続的対策にも関連してくる訳ですけれども浄化機能が期待される貝類資源が非常に減少していっているという中で、貝類を積極的に増養殖する事によって浄化機能の改善に繋げて行こうという様な事です。実際に私共タイラギそれからアサリといったような貝類を対象に資源回復の為の技術開発に取り組んでおりますし、今年度から牡蠣その中でも牡蠣礁、以前有明海の湾奥にたくさん牡蠣礁が有ったと伺っております。そう言った牡蠣礁について改めてその機能を見直してみようという事で調査研究を開始する事にしております。

最後にシミュレーションモデルですけれども、これにつきましては後程木元科長の方からも詳細説明がありますけれども、やはりしっかりと有明海の現状を再現できるようなシミュレーションモデルを開発しましてそれを今後の調査研究に活用すると共に漁場の改善技術それから検証、それからやはり潮流といったものを改善していく上での土木工学的な手法検討にもこういったシミュレーションを活用していくという事で精力的にこの課題にも取り組んで行きたいというふうに考えています。以上です。

【 コーディネーター　九州大学 本城凡夫 】

小谷さん有難うございました。

原因の究明をしていく為の調査研究のあり方や今後の重点課題等をお話して頂きましたけれども、やはり貧酸素水塊の解消に向けた対策としてはこれまでに実施されてきた策を更に明確にさせる為にはどうしたら良いのか、過去に試みられて今回採るべき対策が分かって来始めていることが書かれていた様に思います。そしてそれをもっと正確にしていかないといけないと言う意味でこういう書き方になっているかと思います。小谷さんと一緒に研究しておられ、しかも実際に有明海で現場に出て研究しておられます木元さんの方からもう少しこの話を続けて頂けますか。

【 パネリスト　西海区水産研究所 木元克則 】

先程小谷より今後の方策と言いますか、それと重点課題としてのシミュレーションによるシミュレーションモデルの開発とその活用という事で紹介致しましたけれども、今日貧酸素水塊の発生の現状について御説明する中でシミュレーションよる状況についてご説明申し上げました。ただ残念ながらまだこれは完成に辿り着いてないという様な状況でただ方向としてはやはりシミュレーションによる検討によって効率的な対策を考えて行く手段としては有効な物であろうと考えております。

このミュレーションで貧酸素の発生のメカニズムにつきましては今日簡単に最初ご説明致しました

ように、潮流による混合と風による混合が支配している中でその酸素の収支がバランスが取れない中で貧酸素が発生しているという事で御説明させて頂きましたけれど、自然の現象であります風をコントロールするという事は並大抵の事では御座いません。先程もありましたように、流れの潮流が低下していると以前に比べると潮流が低下している事によっての貧酸素が起きるという事が疑われている訳ですけど、そういう潮流を変えるという事もかなり困難な事でございます。そういう意味で間違った潮流を制御するという事にならない為にも、かなり精度の良い物でミュレーションで現状をまず再現しその上で潮流をコントロールするにはどのような形が効率的で有るかという事を十分吟味した上でないと、なかなか土木工学的な事もするには難しい物が有るのだろうかと考えています。

そういう意味でシミュレーションモデルによる検討は早急に積み上げて行かなければならないと考えておりますし、色々な方々も色々な立場で研究また検討進められて頂けると理解しております。私共ではこの貧酸素発生機構を解明する中でそのシミュレーションをディレクトのモデルを使いまして鹿島建設技術研究所さんと共同で進めておりますが、この検討につきましては色々なモデルとの比較検討しながらより詳細な形で持って行く、早急に作り上げていく必要があろうかと思っています。

今日ご説明申し上げました通り、実際の精度につきましてはまだ流動の状況がまだ再現出来ておりませんので、そのような物を早急に精度を上げていく必要がある一方、実際にその現状での検証データ、毎年毎年その貧酸素の新たな状況が変わりつつある中でその検証のデータをきちんとこれから取って行かざるを得ないという状況がございます。

それとあと今日充分ご説明しませんでしたが、境界条件につきましてはやはり今まで研究として不足している部分が御座いまして、現状での例えば浅海定線のデータでは１ヶ月に１回のデータでしかないと言う事とか、有明海の外におけるデータが不足しているという様な事で、そういうデータを取って行きつつ早急にシミュレーションモデルの精度向上が必要かと考えております。

それと先程小谷から言いましたけど、パラメーターそれぞれの水質モデルなり生態系底泥モデルの中のパラメーターにつきましては、これまでの知見で得られた物として用いられておりますけれど、実際に有明特有の浮泥が多い海域の中で、大量の浮泥が有る中で、自然の中でのパラメーターが十分理解出来ているのかという事も重要な問題であろうかと思います。そのような状況の中で、流動モデルをきちんと再現した中で懸濁物の集積する事をきちんと再現しそれを改善する為の効果的な手法、また精度的に除去する手法を検討していく必要があろうとかと思っております。このパラメーターの収集につきましても私共単独でとても出来る物では御座いませんので、関係の諸大学の先生方とも御相談させて頂きながら分担する中でモデル的なパラメーターのデータを収集し、より効率的なパラメーターの収集をさせて頂ければと考えている所です。そう言う意味ではミュレーションにつきましては私共が行っておりますモデルではまだまだ大潮期の密度成層の再現がまだ不十分で有るという事、そう言う点で実際の底層の流速値をきちんと収集して今後とも観測していかざるを得ないという事です。

それとこれは大きな問題なのですけれども有明海の海底の地形の詳細な精度の良いデータが、やはり成層をシミュレーションしていく上で不足しているという事で現場での検討で困っている所でございます。そういう意味で膨大な経費がかかろうかと思いますけれども、湾奥の測量データを詳細なデータを取得する様な予算上の工夫があったら有り難いかと言うのが、大きい問題かと思います。

あと水質のシミュレーション関しましては、流入負荷量の正確な把握がどうしても必要になって参りますが、筑後川におきましては私共も中央水研のメンバーが出水期の流入負荷量を調査しておりますけれども筑後川だけではなくて一級河川また二級河川を含めましてそういう流入量の負荷を把握していくという事も重要なデータになりますので、その様なものを取捨選択しながら優先順位の高い所で皆さ

んと分担させて頂ければ有り難いなと思っております。
あと実際、植物プランクトンまた底泥というのがモデルパラメーターについてはまだまだ不足している所がございます。そういう所で関係機関の御協力を頂きながら進めて行った上で、的確なモデルを作る事が出来る時が有ると思いますので、その上で効率的な貧酸素の発生を解消させる又は軽減させる様な効率的な対策の有り様が見えて来る事になろうと思いますので、そういうモデルの構築また精度向上を急ぎ進めて行きたいと考えております。

【 コーディネーター　九州大学 本城凡夫 】
はい、有難うございました。
先程も小谷さんから色々な問題点が指摘された訳ですが、木元さんの方からはその貧酸素水塊への解消に向けた解決策の模索の 1 つとしてやはりシミュレーションモデルの構築をして行く必要があり、それは貧酸素水塊発生の機構と解消或いは予測に有益であるという事でありました。流動とか水質のデータがやはりまだ不足しているし、データを充実させて流動シミュレーションモデルの構築等を行っていく必要が有るのだと。それは予測にも繋がって来るしそれが解決策の 1 つにもなって行くであろうと言うような話であった様に思います。
西海区水研のお 2 人の方の最終出口は、上の様な内容に落ち着いてくる様に私は大局的にそういうふうにお考えになっている様に思いました。
それで西海区水研の方から何か提案が他にございましたら少付け加えて頂ければ有難いと思います。

【 パネリスト　西海区水産研究所 小谷祐一 】
提案と言う事でないのですけれども私共環境省の業務を受けて、有明海・八代海の総合調査推進業務、これは今日若干ご説明がありましたけれども、昨年の 12 月に環境省にあります総合調査評価委員会が報告書を取りまとめました。
その中に調査研究のマスタープランを作って、今後より効率的、効果的に調査研究を進めていく必要があるのではないかというような事で、やはり今有明海・八代海でどんな調査研究が進められていて、それから今後どういう形で連携、協力すればより効率的な調査が出来るのかという事をきちんと調べて、こう有るべきだというあり方をまとめていくという業務です。これにつきましてはまだ業務を請け負ったわけではないのですけれど、私共水産総合研究センターとそれから有明海再生機構、本日のシンポジウムの主催者ですけれども、それとイデア株式会社、3 者で共同提案致しまして今後取り組んでいきたいと考えています。そういった中で貧酸素水塊の問題の解消を含めまして有明海・八代海の総合的な調査を推進する中でより良い成果が出て行くという事を目指して取り組んで行きたいというふうに考えています。

【 コーディネーター　九州大学 本城凡夫 】
今後効率の良い調査研究を行っていくにはどうしたら良いかという事を 3 者でもって話をし、そこでまとまった内容を提案していこうと思っておられるという事ですね。その内容は、今日まだ発表は出来ないのでしょうか。

【 パネリスト　西海区水産研究所 小谷祐一 】
そうですね。ある程度方向性がまとまった段階でまた皆さんの方に御紹介する機会を持ちたいと考え

ておりますけれども。

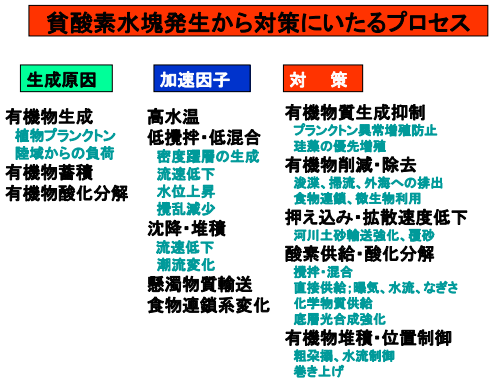
【 コーディネーター　九州大学 本城凡夫 】

そういう事の様です。それでは次に楠田先生の方からお話をして頂きたいと思います。実際に対策に関しても話をしていただけると思います。

【 パネリスト　北九州市立大学／九州大学　楠田哲也 】

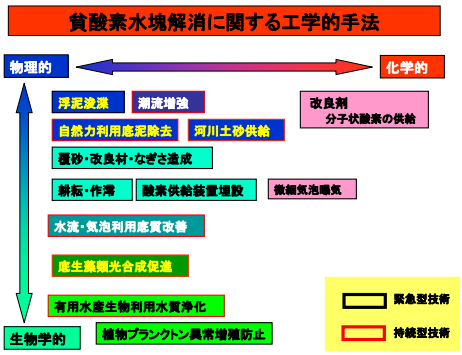
楠田でございます。

今、本城先生からお話がありました様に、土木工学的見地から採択できる再生方法に付きまして、体系的な観点から、お話させて頂きます。

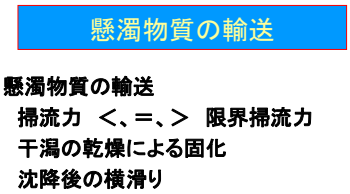


貧酸素水塊の発生からその対策に至るプロセスを分解しますと、生成原因が先ずあって、次いで，貧酸素水塊を発生させる為の加速因子と申しますか、影響因子があって、最後に、それを受けて対策となります。

基本的には有機物の負荷という、植物プランクトンよる生成や陸域からの負荷が貧酸素水塊の大きな発生原因になっていて、その生成ないしは流入したものが蓄積され、その結果として影響が出て来ることになると考えています。植物は光合成のために二酸化炭素を取って酸素を出す訳ですから、生成有機物の分解に必要な酸素の量というのは生産した酸素量と変わらない筈なのですが、この蓄積場所が移って酸素消費が起こるという事が問題になります。貧酸素水塊は、有機物の酸化分解に伴う酸素の消費というのが生成原因です。



現在の貧酸素水塊の出現を加速している原因の１つは水温がじりじりと上がって来ているということ、それから攪拌や混合の度合が下がってきているということ、その結果として密度躍層が生成し易くなっていることがあります。さらに流速が低下していること、流速が低下して混合度が下がって来ますから密度躍層が保たれるということもあります。一方で酸素の供給が水の流れや水表面の乱れの低下により減少することが生じています。さらに、水位の上昇が水塊の攪乱を減らしているということも生じます。風が吹いて攪乱が起こるというのが増えてくれればある程度カバーが出来るということにはなりますが、都合よく起こってくれるとは思えません。また、有機物も浮いている限りにおいては水中の酸素を満遍なくとってくれるので大丈夫なのですが、懸濁している有機物は、流速が低下し潮流が変化しますと沈降しやすくなって、しかも溜まる場所が変化してくるということになります。そういう意味では懸濁物質の輸送形態というのが大きな影響因子になっています。もう一方では、生物的に見た場合に食物連鎖系が変化するとかなり影響が出て来ることになります。堆積物食者が十分いてくれると有機物の代謝が進行して貧酸素水塊が発生する割合が下がって来るということからもお分かり頂けると思います。

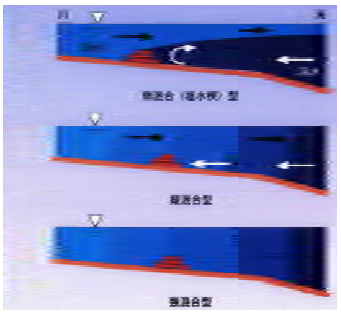


この様な生成因子と影響因子、加速因子という観点から対策を考えますと、まずは有機物の生成量を抑制しなければならないということになります。そうしますと植物プランクトンの異常増殖をどう防止するかということになります。本城先生が研究されていますように、同じ増えるのでも珪藻の方を先に増やして貰った方が良いというようなこともあります。有機物の固定の度合いを考えますとそうなります。次いで、発生した有機物をいかに削減あるいは除去するかということになります。力ずくでするには浚渫すれば良い、あるいは掃流力を利用して流してしまえば良い、さらには外海に出してしまえば良いということになります。それから先程申し上げましたように食物連鎖系を利用して有機物を削減する、あるいはこれは魚類とか貝類を使えば良い、さらには微生物を利用して好気性の環境下でどんどん代謝させますと、有機物は二酸化炭素まで分解するということになります。

以上が有機物を減らす方策になりますが、にっちもさっちも行かなくなった時には有機物を押さえ込む、あるいはその拡散速度を減少させることになり、そのための手法の 1 つは河川の土砂輸送量を増強して堆砂を増やして、有機物を押さえ込んでいく方法があり、それを人工的にやりますと覆砂ということになります。

有機物を押さえ込む以外に、酸素を供給して有機物の酸化分解を増やしていくという手立ても取ることもできます。水塊を攪拌混合して酸素をとにかく供給してやると微生物が自動的に増えてまいりますからそれで有機物の酸化分解を進行させることができる、特に冬場にこのようなことを行いますと翌年の夏に貧酸素水塊が出てくることが減ります。つまり、有機物の蓄積を減らすという意味でこの方法も効いて来ます。それから、次の方法として、水を掻き回して酸素を間接的に供給するということがあります。また、別の方法として、直接に酸素を供給する方法があります。空気を直接供給しても結構ですが、何らかの手法で曝気をしてやるとか、あるいは水の流れでもって水自体を掻き回してやるとか、さらには渚や干潟で波打ち際を大量に作ってそこで砕波によって水の中に酸素を供給するということも有ります。まったく別の方法として、化学物質で結合している酸素を、たとえば、硝酸態窒素を硝酸塩として供給してやって、その分子中の酸素を使って有機物を分解するという、つまり、ある種の脱窒ですが、このようなことも化学的には可能になります。さらには底層に、本城先生がご提案になっておられますように、光ファイバーなどで光を供給しながら光合成を強化して行くという直接的酸素供給方式も出て来ると思われます。

懸濁物質の輸送



貧酸素水塊解消に関する工学的手法

有機物の集積回収

貧酸素水塊解消に関する工学的手法

なぎさ造成

貧酸素水塊解消に関する工学的手法

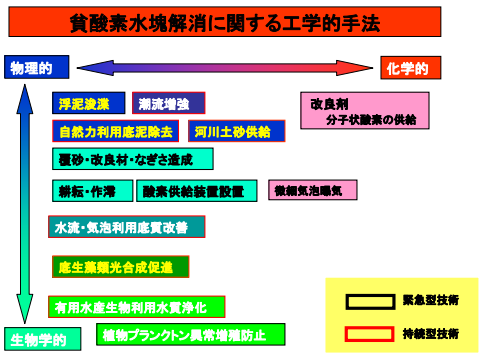
覆砂、底質改善

それから有機物の堆積状態とか堆積位置を制御するということも考えられます。貧酸素水塊発生の影響が生じない所に有機物を集積してしまうということもあります。ですから粗朶搦を使ってそこに有機物の有機物リッチな微細懸濁物質を集めるという可能性もあれば、水流を制御して堆積場所を変えるという事も可能です。また、逆に堆積物を巻上げることを積極的にしてやって今のような透明度の高い有明海でないようにするという手立てもとることも出来ると思います。

対策についての基本的な考え方は、この程度だと思います。かなり学問的になりますが、生物的対応、化学的対応と物理的対応という視点に分けられます。今申し上げました植物プランクトンの異常増殖の防止は生物学的対応です。この対応には有用な水産生物を利用して水質を浄化しようという手立てもあります。それから底生の藻類の光合成の促進ですと、生物的対応と物理的対応のいずれも含むことになります。水流とか気泡を利用して底質を改善することもこの位置づけになります。

力ずくでやる手法ですと、耕耘とか作澪、酸素の供給装置設置とか微細気泡で曝気があり、このような手法ですとかなり強力に実施できるようになります。それから、覆砂、底質に改質剤を入れて有機物の含有量、生物分解の可能な有機物の含有量を減らす方法、渚を造成して砂地を、泥でも結構なのですけれども、酸素の供給場所を積極的に増やすというのもあります。さらに、自然力を利用して底泥を除去する方法、つまり水流の導き方ですとかで不要な所に溜まらないようにする方法、それから河川の土砂供給の増強、底泥の浚渫があります。これらは完全に物理的対応になります。

化学的対応になりますと、いろいろな改質剤で分子中に取り込まれている酸素を供給をする方法があります。硝酸塩などいろいろな物質があります。気泡による曝気は、極めて気泡が小さくなって来ると単なる酸素の供給以外の効果が出てくることが知られていますので、物理的対応と化学的対応の中ほどに位置付けています。PPT の図中の枠が黒色と赤色があります。緊急的なものは持続性が低い、これは私の個人の判断ですが、このような低いのは黒色、持続性の高いのは赤色として区別しています。この区分には議論がかなりあるかと思います。



貧酸素も結局有機物としての懸濁物質の輸送状態で大きく変わって来る訳です。懸濁物質の輸送から見ますと結局水流が弱くなったと言うのは掃流力が減少したことになり、ある限界掃流力下で有機物が巻き上がるか否かという関係性が変わって来ているということになります。ですから水の流れをもう少し増強してやると、堆積している物が岸辺近くまで上がって来てくるようになります。懸濁物質を考えますと干潟の乾燥による固化でだんだん巻き上がりにくくなって、べったり引っ付くようになるとか、細かい粒子は水の中で単純に沈降したらその場所に沈むわけでありませんで、沈降後、横滑りと言うか浮泥流の様になって深い所に流れて行くということになります。普通の湖のように流れのない所ですと一番深い所に一番細かい物が集まることになっているのですけれど、有明海の場合には深い所には意外と微細懸濁物質は無くて、今日ご紹介にありました様に貧酸素水塊の発生位置というのは結構浅い方に寄っています。これは通常の感潮河川の懸濁物質の輸送と同じでして、この辺の筑後川、六角川を見て頂きましても分かります様に泥は必ず海から上流の方に上がる、つまり海にしてみますと深い方から岸辺の方にという事になって、それを洗ってくれるのが川の水であるか潮流であるかということになって、その中間の所に溜まる事になります。本来ですと、この溜まる物が 1 番深い所で溜まってくれたら、限界掃流力に届かない掃流力でしたらそこにずっと未来永劫とどまってくれるという事になりますが、現実はそうはなっていないので、流体力学的なプロセスに

基づいて対処方法を考えることが必要だと思っております。

今私共では『有明海の生物生息環境の俯瞰型再生と実証試験』というプロジェクトを進めております。そこで紹介されました写真を借りてきまして今日使わせていただいておりますけれども、粗朶搦のようなものをつくって溜まっては困る場所の有機物を、差し支えのない場所に意図的に蓄積させることが出来ないかを考えることになります。この PPT の粗朶溜はその枠の中に泥をためてそこを有効に使っていこうとしているものなのですが、ひっくり返して考えますと、懸濁物質の集積場にするという使い方も出来るということです。これは佐賀大学の林先生の写真です。

それから干潟の造成や覆砂の技術がございます。これは熊本大学から借りてきたものでございます。それから覆砂の際とか底質改善時に、いろいろな物を底質に混ぜて、砂よりはるかに生物にとって質の高いものにできることがあります。これは佐賀大学低平地研究センターの先生が実施されているものを借りしました。

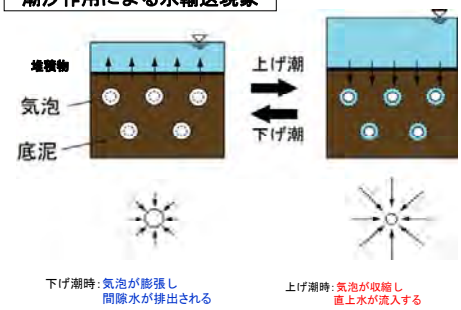
その他もう少し自然の力を使った方法でという事で、例えば円筒形のものを突き刺していますけれど、これは下側が開放されていましてお椀をひっくり返した様な格好になっています。これをどんどん海の中に埋めていくという、只それだけの操作なのですが、このようにしますと気泡が堆積物の中に保持されて、潮位差が大きい有明海では、満潮だと気泡が縮んで干潮になると気泡が大きくなるというように、水圧で体積が変わり、この体積変化に伴って底質中を水が強制的に上下し、その結果として、特に冬場に積極的にしてやりますと、有機物の代謝、つまり酸化分解が進行して次の夏には影響が減るということになります。簡便な手法として、竹竿を切って下をスッポンポンにしたものを時化が来ても浮き上がらない様な深さの所に順番に埋めていくことで可能にできます。このようなことも実際にすると大変なのですが原理的にはありえます。通常の泥の中には数パーセント、3 パーセント位、気泡が入っていますので普通の状態でも、この効果はあります。耕耘の時にこの効果を増強するような手法もあわせて考えて頂けると、コストが非常に低くて実施できる可能性もあります。

それから先程からお話のありましたように、牡蠣床を拡大して、有機物を摂取させて有機物を削減すると結果的に貧酸素水塊の発生が減ってくる可能性があるということもございます。

貧酸素水塊解消に関する工学的手法

潮位差を利用する酸素供給

潮汐作用による水輸送現象



貧酸素水塊解消に関する工学的手法

捕餌による有機物削減

貧酸素水塊解消に関する工学的手法

環境問題の工学的解決方法の順位

発生源の解消：第1
発生事象対策：第2

考慮要素
- **費用／便益**
- **実現可能性**
- **持続可能性**
- **生態系配慮**

私共としましては、工学的な考え方としてはこの種の問題の時には発生源の解消を第 1 番目に採用して、発生事象に対する対策は第 2 と常に考えています。その際に考慮しています要素は、費用と便益の比率、あるコストをかけたらいくら便益、利益が生まれるかという事、それから実現可能性これは物理的実現可能性だ

けではありませんで、社会的な可能性をも含めて、考える必要があると考えています。それからその打った手が持続可能であるかどうかということ、それから現実の便益には直接に考慮されない生態系についても配慮していきたと考えております。

ご清聴ありがとうございます。

【 コーディネーター　九州大学 本城凡夫 】

有難うございました。

楠田先生から工学的手法に基づきます色々な方策を挙げて頂きました。もう一方、水産庁も最近有明海再生の取り組みを行っております。その技術の紹介を和田さんからお願いしたいと思います。宜しくお願いします。

【 パネリスト　水産庁漁場資源課　和田雅人 】

今楠田先生が御説明頂いた様々な方法があります。そういった中で今日のこのパネルディスカッションのテーマが貧酸素水塊にどのように対応すべきかという事ですので、現在水産庁の方で取り組んでおります具体的な事例を 2 つ程本日紹介させて頂きたいというふうに思います。

1 つは佐賀県の大浦沖の牡蠣の養殖場で行っております、貧酸素水塊が形成されている海域で底層水を汲み上げて、それを台船の上で酸素供給をして曝気をして、溶存酸素を上昇させた後に再び海域に戻す、そういった事で養殖漁場の環境改善を図ろうと今のこの対策の中で言いますと、今楠田先生がお示し頂いているそういった様な事を大浦の沖でやっております。これは 17 年度から実施を始めまして、17 年度に装置を製作して設置しました。それで 18 年度、昨年度は上げ潮の時のみイカダの群れの端っこから 1 日 2 万リューベ程の放射水を噴射して貧酸素水塊対策という事でやっております。底層から汲み上げたやつを中層から放出する事によってある程度 DO の上昇が確認されて、一定の効果が認められておりますが、いかんせん上げ潮時のみの、しかもそのイカダ群の端っこからという事でしたので、今年度 19 年度はイカダの群れの真ん中の方に機械を持って行ってそこで 24 時間連続運転で 1 日 3 万リューベ放出したらどの程度養殖牡蠣に効果が有るのかという、その効果の適用範囲と持続性の検証を今年度行いたいというふうに思っております。

2 つ目ですけれども、これは佐賀県の鹿島沖のサルボウそれから長崎県の小長井のアサリ、これらを対象として行っておるのですけれども、微細気泡噴流型の底質改善装置、これを漁船に搭載しまして船で曳航し海底耕耘を行って底質環境を改善させて、同時に曝気をする事で酸素供給を行って貧酸素水塊の発生による二枚貝の斃死を防ごうというものです。これも 17 年度からやっておるんですけがこれまでの試験の結果から、牡蠣の小潮期に還元状態になった底質の表層に微細気泡を注入することで酸化還元電位を向上させる効果が有るという結果が得られています。これにともなって硫化物やそれから窒素、リン、こういった物にも改善傾向が見られました。サルボウ貝の斃死率を減少させる事も得られました。そういった効果も得られました。只、この効果の程度も、発生する貧酸素水塊の規模やその時の底質環境がどうかという事の程度によります。従って平成 19 年度、今年度は現地での実証試験に合わせて室内実験も行なってこの微細鏡装置がどの程度の能力を持っているのか、これを数値化する事によって想定される効果を検証したいというふうに、今年度の計画を立てております。

現在水産庁で行なっている取り組みはこういった事なのですけれども、お聞き頂いて分かるようにこの様な貧酸素水塊防止対策こういった方法はその場しのぎの対症療法的なものだというふうに言われる、指摘を受けても仕方が無いというふうに考えております。只、我々としては襲ってきた貧酸素水塊

からいかに二枚貝を守るか、その場にいるアサリやサルボウを死なさずに凌ぐかという事が重要だというふうに考えておりまして、その為の実際の現場で活用してもらえる技術を開発して、実用化に向けた検証を行なう為の取り組みを進めて行きたいというふうに考えております。以上です。

【 コーディネーター　九州大学 本城凡夫 】

和田さん、有難うございました。

水産庁で取り組んでいる手法について今紹介して頂きましたけれども、紹介された内容は対症療法的な手法では有るのだけれどもそれを漁師さんに活用して頂いてその場で役に立てて頂きたい、そういう方向での対策を紹介して頂いたように思います。

パネリストの方々、久米さんも含めまして話をして頂きましたが、私は時間を充分にまだ持っております。16 時 50 分までに終われば良いので、30 分少しございます。これから解決策に関しましての議論を皆様としていきたいと思います。その中には今後の方向性ということも含んで結構でございますので皆さんの方から意見を出して頂ければ有難いと思います。どうぞご遠慮なく質問して頂けませんでしょうか。はい、どうぞ。マイクをお願い致します。

【 質 問 者 】

九州大学の田井と申します。

1 点お伺いしたいのですが、貧酸素水塊の対策方法とか、あと木元さんの方からお話が有ったのですけれど、数値シミュレーションでメカニズムとかを再現する時にまず流動場の精度を高める必要が有ると思うのですけれども、その精度を高めるという時に一体どの位の空間スケールの現象の再現を目標とされているというか、すべきなのかという事をお聞きしたいのですけれど、今日先程あった発表だと、干潟縁辺部で貧酸素水塊が出来るという事は今まで潮流場だけで流動が測られていると思うのですが、波の影響とか波浪の影響というのも効いて来るのではないかなと思うのですけれども、その辺りお考えをお聞かせください。

【 コーディネーター　九州大学 本城凡夫 】

流動精度の問題について木元さんお願い出来ますか。

【 パネリスト　西海区水産研究所 木元克則 】

潮流だけでなくて、当然波浪の影響もある場所ですのでかなり難しい事なのですけれど、私自身が専門としている部分ではございませんので、色々と工学の先生方とご相談させて頂きながら進めて行くという事で計画をしておる所で、充分なお答えが出来なくて申し訳ありません。

現在の所、シミュレーションで特に実際の海底地形のデータも特に東側の海域での水深データが不十分な物ですから、実測データの流れとそこがまだ一致していないという所で、そこの所で行き詰まっている所があります。そこの部分をまず合わせた上で、それで酸素消費の収支が合う様にもっていかなければいけないという事で、若干道は遠いと思っておりますけれども、私自身まだ充分な答えを持っておりません。申し訳ございません。

【 コーディネーター　九州大学 本城凡夫 】

よろしゅうございますか。有難うございます。他にご質問ありませんでしょうか。

はいどうぞ楠田先生。

【 パネリスト　北九州市立大学／九州大学　楠田哲也 】

モデルの基本的な考え方は申し上げるまでも無いのですが、目的を達成できる程に簡単であるものが一番良く、目的を達成できる以上に複雑なモデルにする必要は無いというのが、モデルを作るときの基本的な考え方だと思います。それで、私どものプロジェクトで、10 月になりますと定量的な結果もお出し出来るかとは思いますけれども、現在採用しているメッシュサイズは 900 メートルです。少し粗いと感じておりまして、300 メートル位になればいいなという思いはありますけれどもコンピューターの容量や計算時間との関係があってこのようになっています。それから、メッシュサイズだけでなく鉛直方向に何層に切るかという問題があり、細かく切りますと、サイズ縮小とダブルで係ってきますので、今の所、メッシュサイズを 900 メートルにしています。ただ、海の沖の方では 900m で構わないのですけれども、岸辺の干潟のような所で 900m というのは少し粗すぎます。そこでは干潟モデルにより別途細かく計算して、この結果と本体の流動モデルと接合するという方法を用いて、900m という粗さを補えるようにしています。現在のシミュレーションの問題点は、干潟で水深が 10ｃｍ違うと、干潟の干出が 100m 単位で変わってくるわけです。シグマ座標系を用いても、この問題を解決できないので、良い知恵があればお教え頂きたいと思います。

【 コーディネーター　九州大学 本城凡夫 】

有難うございました。他にご質問ありませんでしょうか。どうぞ。

【 質 問 者 】

大浦の竹島ですけれど、第 1 部の講演でも先生方の方から、流速の低下で貧酸素が発生し易くなったという様な事を言われたと思うのですけれど、その流速が低速したので有れば早くする様な方法を、全然言ってもらえないのですけれども、そこら辺どういうふうに考えておられますか、お尋ねをしたいと思います。

【 コーディネーター　九州大学 本城凡夫 】

有難うございます。

確かに昔はタイラギを採る時には 45 度に傾いて採っていた。でも今は斜めにならなくても採れるのだと、しかし貝はいません。歩けるようになったけれども貝はいなくなったという話は聞きました。この様に流れが弱くなっている事はもう確かなことではありますが、それに対してどの様にすれば宜しいかというご質問でございます。楠田先生、是非工学的に何か。

【 パネリスト　北九州市立大学／九州大学　楠田哲也 】

工学的に対応を取ろうとする時に流速をあげる手立てというのはいくつかあると思います。まずは原理的な問題で流速があがれば良いかというと、必ずしもそうではなくて、所謂、剪断力、要するに底面をかき回す力、いいかえますと堆積物を捲き上げる力というのは厳密な意味では流速比例ではないのです。そのため、物質を輸送する時には流速を増すだけでいいのですけれども、巻き上げたい時には剪断力を増すことが必要になってきます。私共は力学的観点から両者を分けて考えています。

このような前提で、実際に例えば湾奥で流速を上げたいという時には、力ずくでやるには、干拓堤防

をはずして昔の様に干潟にして水を奥に送っていけば良い訳です。要するにポケットを大きくし、水が入ってきてくれれば良いことになります。ですから過去の干拓を含め、諫早湾も全部同じ考え方になります。奥行きを深くしてやれば必ず流速が上がるという事になります。ところで、流速を上げたらそれで問題解決するかと言ったら必ずしもそうではありませんで、この有機懸濁物質が次にはどこに溜まってくれるかという、どこで巻き上がって、どこで溜まってくるかという事までを想定をして適切な場所を選ばざるを得ないという事になります。力学的にはこのようにいえるのですが、社会学的にも考えますと、干拓堤防をなくすために経費がかかりますし、農地をどこかであきらめて頂かないといけないという事にもなってくると、それを補償するための経費が必要になるということになり、社会的な費用の発生を如何にするかが課題になります。有明海だけを考えると物理的に流速を上げるというのは理論上難しくありません。もう 1 つの方法は、九大の小松先生が研究されているように有明海の東側を速めて西側で返流として戻してくるというように、有明海の中で循環速度を上げるという考え方もあります。ですから平均的に速度を上げる方法と、海の中に物を置きますから平均すれば遅くなるのですが局所的な流速を増やす方法があります。ですから、モデルができ上がりますと、湾奥のポケットの量を例えば何 100 万トン増やせれば、湾の口でいくら流速が増えるかというのは計算上で答えを出す事はそんなに難しい作業ではございません。

【 コーディネーター　九州大学 本城凡夫 】
楠田先生からの話に対してどうぞ。

【 質 問 者 】
非常に難しい話で全部は私あまり理解出来なかったのですけれども、漁業者の気持ちとして堤先生からもお話があったとは思うのですけれども､90 年位の後半からやはり赤潮が非常に増えているという事ですから、やはり 90 年の後半に何かがあっているという事ですね。だからそういうのが流速が低下したという事ですから、その辺りも少し検討して頂いて対策として当然議論してもらうべきではないかと思うのですがその辺りを宜しくお願い致します。

【 パネリスト　北九州市立大学／九州大学　楠田哲也 】
90 年代後半にもそういうのがありました。それより以前にも多数、流速が落ちるような事を人間がやってきたということです。ですから、そういう意味で、ここの場所だったらこの位の効果というのをそれぞれの場所で検討して、影響度をシミュレーションで判断しておいたらいろいろ違う考え方、良い考え方が出て来る可能性が有ると思っております。

【 コーディネーター　九州大学 本城凡夫 】
大浦の方々から何度も質問があっています。大浦に行きましたが、細かい泥が溜まるようになって来ている様に思います。大浦は私達が頭を切り替えて問題の解決を図らなければならない場所であるように思います。1 つは佐賀県鹿島側ともう 1 つは新たに出来た諫早湾のいずれが関与しているかです。大浦は確かに昔よりもずっと悪くなっている。その原因はどちらの海域の影響を受けているのか。そのような研究は果たして有るのか。そしてその事実を知ったとしてどのような対策が果たしてあるだろうか。局地的ではありますが大浦という場所を助けていく為の対策はどのようにしたら良いかという事です。小長井だって同じでございます。私達が考えていかなければならないような使命がそこにある様に思い

ます。先生方、或いは会場の皆様でヒントがありましたら是非とも出して頂きたいと思います。大浦の所で飯田海岸の様な策は取れるのかどうか、大浦は干潟になりません。大きな干潟にはなりませんから有機物を取り上げるというような粗朶搦と言う対策は採りにくい。そうするとどんな手法があるのか。水産庁は曝気して中層でという対策を用いていますが、それだけで助けることができるのかどうかという事です。大浦は何故昔よりも溜まる様になったのかというのを含めて、情報が確かに不足している様に思えますけれども、何か解決策を皆で考えないといけないのではないのでしょうか。

大浦の方達からどんどん意見が出てきているのは、深刻な大きな問題を抱えているからである、と私は思っております。

どうぞ。

【 質 問 者 】

水産庁の和田資源課長さんからもお話がありましたけれども大浦の方でカキ養殖を始めたのはタイラギが弊死してタイラギに代わる冬の収入源として私は始めたわけです。それが全く私達の予想を反してカキも弊死が年々ひどくなっております。

ですからそういう事を、私達は対症療法を望んでいるわけでは無いのです。やはり長年、維持できる様なそういう事をやって下さいというお願いをしているわけなのです。その年だけやってもらっても結局、楠田先生も言われたように経費等もかかりますから、とてもじゃないですけれど漁業者はそれでは採算が取れません。後、何年か持つかも分かりませんけれども今の状態で行ったら大浦の漁業者は全滅します。

だからそういうお願いをしているのですから一つ御理解等ありたいと思います。以上です。

【 コーディネーター　九州大学 本城凡夫 】

お願いします。

【 パネリスト　北九州市立大学／九州大学　楠田哲也 】

いろんな魚介類の弊死に関し、私共は貧酸素水魂の出現が大きな原因の一つであると思っておりますけれども、経年的なデータを見ますと貧酸素水魂の出現が唯一の原因ではどうも無さそうだ、他に原因となるものがあるのではないかという事も考えながら研究をしていこうと思っております。それでまだ発表しておりませんけれども有機物質 100 種位について、有明海の湾奥、西側、東側から堆積物を採って来て、化学分析して検出しているのですけれども今の所まだ異常な物質が見つからないのです。それで、瀬戸内海についても同じ種類のデータで比較したのですが有明海の方がきれいなのです。泥中の有機物、特に難分解性の有機物と称されるものについては、こういう状況になっています。そういう意味で私共、研究している側としては、これだけというようにすること無く、いろいろな要因や原因の可能性があるという前提で検討していきたいと思っています。

【 コーディネーター　九州大学 本城凡夫 】

木元さん、これまで長く連続的な観測データなどを眺めながら大浦の辺りは諫早湾の影響が強くでる部分でしょうか。或いは佐賀鹿島側の影響が出る場所なのでしょうか。何か判断できる特徴が木元さんの頭の中に残っておりませんか。

【 パネリスト　西海区水産研究所 木元克則 】

あの海域、諫早湾の堤防を閉め切った事によって、諫早の湾口の潮流は大きく変わったのは事実だと思います。それまでは諫早湾に対して軸方向に流れてあったのが止まってしまって南北になったという事です。その意味では大きく変わっていますので諫早湾の影響による、諫早湾の潮流の変化した事によるのが今どうしても影響が出ている。

【 コーディネーター　九州大学 本城凡夫 】

大浦へは諫早湾の影響が強かろうという事ですね。

私達は視点を変えながら新しく出来てきた海域（諫早湾）、70 年代辺りから出て来たのではないかというふうな海域（鹿島沖）とを分けながら考えなければならないでしょう。そしてその影響が出る局所的海域はいずれを起因としているのかを明確にして、それからその理由を解決して、対策手法を考えて行かないといけないというふうに思います。楠田先生が思い切って流れを変えるならば昔に戻せばいいのだと言われました。しかし、それには経済的制約が大きく関わるという事、或は小松先生の発案なさっているような構造物を入れて流れの方向を整えて大きくするという事も有るようです。かなり高額であるかもしれませんが、こうした工学的手法は思い切って採用してみてはどうか。十分考えられる事ではないでしょうか。後は小さく対策手法しか私達には今の所考え切れない様に思いますけれども。

はい石田さんの前に手を上げられましたのでどうぞ。その後石田さんの方に回します。

【 質 問 者 】

東京久栄の山内と言いますけれど､今お話にあった様な形と、あと先程久米さんの方からお話が有ったみたいにやはり昔から漁をする事によって、例えば底質を撒き上げてその底質を改善していく事を促進させながら漁をして来たというのも、結果的になっていたというのでそう言うバランスというのを凄い大事だなというのも実感したのですけれど、やはり力ずくで何か対策していこうという考え方と、もう 1 つ最近良く持続可能という様な事を言われるのですけれど、その様な日々の生活とか、そういう様な活動の中で出来て行く対策という事を考えると、例えば漁業者の方とか例えば住民の方とかが何か取り組めるような活動とかそういう様な方向性と言うのは何か考えられる事は有るのでしょうか。

【 コーディネーター　九州大学 本城凡夫 】

漁師さん達が日頃漁をしながらでも取り組めて行く解決手法は無いでしょうかという質問ですが、パネリストの先生方に何かそういう案をお持ちの方がございませんでしょうか。
どうぞ小谷さんお願い致します。

【 パネリスト　西海区水産研究所 小谷祐一 】

この４月の始めの事なのですけれども、千葉県内で日米の牡蠣礁のシンポジウムと言うのがございました。来られた方はアメリカの東海岸にチェサピーク湾という湾が有るのですけれど、そこの在来種であるバージニア牡蠣が水質の悪化によって大量斃死してしまったという様な状況の中で、日本のシカメガキを導入してそれを増やしていると言う技術開発をして、それを更に市民運動にまで広げて色々な形でその牡蠣を湾内に定着させていくというような活動をして成果を収めているという報告がございました。

このシカメガキというのは有明の特産種なのです。向こうにしてやられたなと、そういった情報を聞

いて思ったのですけど、やはりその今牡蠣の養殖の研究者も、海苔もそうなのですけれどもそういった技術開発が終わったという何か先入観を持って研究が終わったという様な事で研究者の方が非常に少なくなっているのですけれども、やはり現場の環境が変わっていっているという中でやはり品種改良とか、その環境の変化に対応した環境に合った様な養殖方法の開発とか、まだまだ工夫出来る事が有るのではないかと思っています。これからそのアメリカのそういった研究者との技術交流を深めて、やはり日本のしかも有明海にあった品種もしくは養殖技術の開発といった事も積極的に取り組むのも良いのではないかというふうに考えています。

【 コーディネーター　九州大学 本城凡夫 】
他に、どうぞ楠田先生。

【 パネリスト　北九州市立大学／九州大学　楠田哲也 】
今の御発言にちょっと補足なのですけれども、千葉県で行われた時にオイスターリーフ、牡蠣礁の復元方法について、Luckenbach さんが、12 月 8 日の土曜日に福岡で実施します私共の国際シンポジウムに来てお話して下さいます。東海岸でのチェサピーク湾での経験をお話下さる様になっていますので御興味がありましたらどうぞ。

【 コーディネーター　九州大学 本城凡夫 】
有難うございます。よろしゅうございますか。石田宏一さんお願い致します。

【 質 問 者 】
先程楠田先生が「有明海のポケットが大きくなると流速が速くなる」と、私もそう思います。「流速が速くなる事は必ずしも資源の回復とかそういう事にも必ずしも繋がって来ないのだ」というお話でしたが、ポケットが大きくなると流速が速くなって外海水が沢山入ってくる訳です。そうしますと外海水というのはこのＣＯＤなどが低い、そして酸素含有量は比較的高い海水であります。これは内湾に入って来るとこの有機物を酸化して無機態の窒素にするという作用が考えられます。今の有明海と言うのは決して無機態の窒素は高くないのです。むしろずっと諫干の堤防が造られて以来ずっと減少してきている訳です。減少して調整池の水とそれから諫早湾内の水と言うのは、無機態の窒素が非常に低いですこれは分析してみると分かりますが、何が高いかというと有機態の窒素が非常に高くなってくる。1ｐｐｍを軽く越える水がしょっちゅう観測されてくる訳です。私は今まで 4 回位採水して分析機関に出しておりますが、という事は有明海では好気的な分解といいますか酸素を供給されても有機物の分解スピードが遅くなっていると、それから干出干潟面積が減っています。これは干潮時水位が上がって満潮時水位は余り変化が無い。従って幅が狭くなっていますから潮位差が小さくなっている。それで干出干潟面積が減っているという事は、空気が当たって太陽の日光に晒されるという面積が減っている訳です。従いましてこれが好気的な分解が減少しているという事で、従いましてこれを回復させるという事は、有明海の漁業とかそれから環境改善に当然これは繋がってくると思う訳です。

今はこの演壇に上がっている先生方のお考えと言うのは、堤防構築と言うのは既存の事実として認めた上で、対策を考えていこうという事なのですが、今私は漁村を歩き回っておりますけれども 21 名が生活苦に追われて、自ら命を絶っている訳です。ですからそういう事が有れば、堤防構築を前提として対策を考える様ではいけないのではないか、そういう事は当然言えるのではないか、ここは日本という

国は、ならず者の国家の国では無いのです。民主国家なのです。ですから公害の為に人が死んでいるのならばやはり当然考え直さなければいけないという事だと思います。

楠田先生にはまたポケットの機能が、また酸素供給量が大きくなって無機態の窒素が増える、海苔の肥料になる窒素が増えるのではないかと、この点についてお尋ねしたい訳であります。

【 パネリスト　北九州市立大学／九州大学　楠田哲也 】

今おっしゃられました窒素の形態、例えば今日のお話でもございましたけれども、TN や TP というのはあまり変わっていないというのは確かにそうなのですけれども、TON と TIN の比率が大きく変わって来ていること、TOP と TIP も同じように変わって来ていることは存じております。

それで、このことをどうするかということになりますと、まずは TON と TOP はどういう形態のものが、何故そこで多くなって来ているかというのを少し追いかけてみる必要があると考えています。たとえば、形態ごとにそれぞれの分解速度、酸化速度が分かってきましたら、その次に打つ手が決まるというように考えております。この有機と無機の比率が変わって来ているというのは非常に問題であるという事は認識しております。

【 コーディネーター　九州大学 本城凡夫 】

有難うございます。他に、はいどうぞ手前の方です。

【 質 問 者　速水 】

佐賀大の速水と申します。

私は今まで琵琶湖それから三河、伊勢湾それから瀬戸内海、海岸を含めて色々な海の貧酸素を見てきたのですけれども、貧酸素の問題の非常に重要な点というのは、これは形成されるのは非常に急速に数年、5 年程度で悪く成り得るのですけれども、一度形成される様になってしまうとなかなか回復しない。これは赤潮などの場合だとの負荷を減らすとそれに対応して良くなるのですけれども、瀬戸内海の場合等を見ても赤潮が良くなっても貧酸素に関しては良くなってないという現実があります。ですから貧酸素水塊がこれだけ問題になっている状況から言うと、やはり研究者の方としてはその改善策を講じても実際に良くなるまでは時間がかかるという事をやはり正直に言う必要があると思います。これがコメントです。

更には改善するとしたらどの位の時間がかかるだろうかという事の議論も必要だと思います。これはそういう議論をしなければ実際にその漁業者が耐えられない。それは私も大浦の業者さんの船に乗せて頂いて調査していますけれども、今潜水漁業をされている業者さんというのは皆 50 代以上なのです。ですからあと何年頑張れば良いのかという事をやはり示して上げないと非常に大きな問題になると思います。

それからもう 1 つは環境対策として行っても実際に対策の効果が得られるまで 10 年も 20 年もかかるという事であれば、それは漁業対策になり得ないと思います。ですからここは環境対策という物とそれから漁業対策という物をある程度分けて考えないといけないのではないかというふうに考えています。その辺コメント頂ければ幸いです。

【 コーディネーター　九州大学 本城凡夫 】

お願いします。

【 パネリスト　北九州市立大学／九州大学　楠田哲也 】

私で宜しいですか。

今先生が御指摘になられました一度環境を悪くしてしまうと戻すのに非常に時間がかかるというのは全く他の､海に限りませんで、他の所でも全く同じだと思います。例えば陸上ですと諏訪湖が最近非常に良くなって来ていますけれども、それを汚すのに 10 年かけて汚したら、治すのに 10 年以上かかっているというそれが実態であります。それは､水はすぐに交換するかも知れませんけれども下に溜まっている分を如何に減らしていくかという、しかも生物分解に係らない物が一度溜まってしまいますとそれを無くすのは至難の業という事になりまして、汚した年数以上の物が、以上の年数がかかるというのを覚悟して汚すようにしないといけないのですけれど、でも汚れてしまった所はもうそれ以上時間がかかるけれども回復しないと仕方がないという訳で、研究者の方は隠している訳ではありませんで、時間がかかるという事は皆さん認識をされていると思います。

例えば今日会場で堤先生が居られるかと思うのですが、例えば堤先生が洞海湾で貧酸素がいっぱい出て来ている時に無くす為に、冬時にゴカイを撒いておいていて冬に有機物を酸素の有る時に食べさせておいて、底質の有機物を減らして翌年の夏その出現を減らして生物の生息期間を延ばす。またその年の秋にゴカイを入れて、そしてまた食べてというのを 3 回～4 回、4 年繰り返していってやっとその夏場の貧酸素の出現をかなり抑えられたというふうな事があります。ですから、堤先生のようなアイデアマンの先生に次はこうすれば良いというのをご提案を頂けると本当に私共も助かると思っています。

【 コーディネーター　九州大学 本城凡夫 】

確かに行き過ぎると元に戻るのになかなか時間がかかるという事です。洞海湾で策をとられた堤先生何かアイデアございませんでしょうか。

【 熊本県立大学　　堤　裕昭 】

私も最後にコメントを述べさせて頂こうと思いまして手を上げていた所なのですが、そういう技術は確かに天草の養殖場のヘドロが溜まった所でもそれを綺麗にする技術をやっております。マイクロバブルも使っております。そういう研究をやっております。

ですがこれはあくまでも限られた海域の話です。ですのでこういう有明海のような広範囲な場所でそういう技術というのは全く無力だと私は思っております。確かに対症療法として漁業者の方、確かに生活がかかっていますから、貝が死ぬ、魚が死ぬ、何とかしてあげたいマイクロバブルを使って何とか生きながら得させたい、それは私もそういう共感する所はありますけれども、有明海に関してマイクロバブルを使っても無駄だという様に私はそう思います。残念ながら。先程大浦の漁協の組合長さんがおっしゃっていましたけれども要するに対費用効果を考えた時にそういう広い海域に対してそういう技術を使っても引き合わないのです。養殖場だと引き合うのです、これは。中の生簀の 10m、12m の真四角の中に数千万円の魚が入っていますから。そこに対して多少お金使って改善しても、却って利益が上がる位の事は出来ますので、それでそういう研究を行なっているのですけれどもその手法は有明海には私は使えないと思います。

ところが対症療法として何が出来るのか私も殆んどアイデアはありません。残念ながら。むしろ遠回りかもしれませんけれども、一体この原因の本質が何なのかという所をやはり究明していく研究をやっていって､そこの本質を治すという事です。それをやはり我々としては求められているのではないかと。

私はやはりその本質は諫早湾の閉め切った所が非常に影響しているというふうに思っていますが、漁業者側の要請で裁判でも証人で出た事もありますけれども確かに負けました。それは工事を色々何かするという、差し止めたり、開門調査を要求したり、そういうする理由に当たらないと、だけどそこの時に公害調停委員会でも福岡の高裁などでも最後に何が書いてあるかというと、でも全くシロじゃないよと裁判でもそう言われているのです。だから「開門調査も含めてあそこの諫早湾が、一体どういう影響を有明海に与えるのかというのはちゃんと調査する責務がありますよ」というのは国側の方に言われている訳です。ですからそれをやはりやっていくべきではないかと私は思うのですが、中々そう言った時に諫早湾と言う話に対して「そうだ、そうだ、あそこは開門調査でも何でもやって明らかにしていこう」という事に、それで仲間がパッと集まるような状況では無いです。九州では。残念ながら。という状況がある。折角シミュレーションをされるのでしたら、諫早湾を含めて他の干拓事業もあったというふうに影響も考えられるとおっしゃる判事もありますので、そういう地形変化を伴った物が、過去の、一体どういうふうに潮流に影響を与えているのかというのを、全てのケースを含めてやはりシミュレーションで検討していって頂きたいなと。折角シミュレーションをされるのでしたらとそういうふうに思います。

それからやはり諫早湾は一体どういうふうに、これは関係無いのか有るのかという事をもう少しフリーにディスカッションしていけるような場が欲しいなというふうに思う限りでございます。

【 コーディネーター　九州大学 本城凡夫 】

はい、有難うございます。はいどうぞ和田さん。

【 パネリスト　水産庁漁場資源課　和田雅人 】

今、堤先生の方からおっしゃられた事で、私共水産庁としてもマイクロバブル、微細気泡で有明海の全部の根本的な貧酸素水塊を解消出来るとは勿論思ってはいません。只、先程組合長の方からもその時だけの対策だけではなくて、その持続的な対策を是非お願いしたいというふうにコメントがありました。私共としても何とか再生に向けた対策が取れる様に色々と手を打っているのですけれども、中々その抜本的現状を打破する工学的な一撃というのを見つける事が出来ずにもがき苦しんでいる様な状態の中で、当面取り敢えずその中で何かやれる事をやらなければならないという事で、今ある一定の海域で対象種も限定し、絞ってマイクロバブルなり汲み上げ曝気という方法をとって、それで例えばその小潮の 3 日間の貧酸素を凌ぐ、凌いでそこのアサリを何とか守るという、正に対症療法といわれてしまうとそのままですけれどもそういった対策をとっている次第です。

一方では西海の木元さんなどがその根本的に発生機構を解明して、こういった事を改善すれば有明海自体から貧酸素水塊が無くなるという研究もされています。只、そこの結果を待っていられない現場の状況というのもあって、そこは根本的な発生その物の機構の解明という所と、それから取り敢えず今現場で貧酸素から二枚貝を守るという対策と少し一線を引いてというか、そこは餅は餅屋で役割分担をして対策を講じていく必要が有るのかと思って取り組んでいっている次第です。

【 コーディネーター　九州大学 本城凡夫 】

はい、有難うございました。

私に与えられた時間をほぼ使い果たしました。それでこのパネルディスカッションは貧酸素水塊の解消に向けた解決策の模索ということで進めてきました。30 分余の討議の中でかなりの質疑応答が出て来

たと思います。さらに、昼からの 3 題の先生方の発表の中からも対策に向けての重要なキーワードが出て来た様に思います。

3 題の先生方の話から共通して、流れが弱くなって来ているという事、その結果、有機物が溜まってすぐに貧酸素が形成され易くなっているのであろうと集約されます。これは相当大きなキーワードとして私達が共通認識を持って対処して良い様に思います。

貧酸素水塊はそのようにして出来上がって来る訳ですが、それを解消する為にはどういう解決策が有るかという事です。これには楠田先生がまとめておられました生物的な要因、物理的な要因、化学的な要因がありますし、思い切るならば力ずくで鉛直護岸を壊せば元の流れになっていくでしょうし、貧酸素が形成されない海に戻っていくでしょう。しかし、ここから先はやはり皆で考えることでしょう。護岸を元通りにするかどうするかどうかは国民一人一人が考えなければならない大きな問題です。

他に生物的な改善という時間をかけて解決していくという方法もあります。しかし、最後に堤先生が話されましたけれども、シミュレーション等を使いながら、まだまだ有明海の問題を究明していく必要が有るでしょう。その時に、諫早湾という海域と、もう 1 つ佐賀前の海域とを大きく 2 つに分けて、これらを混同しない事、共通点に関しては両者を踏まえて考えるべきでしょう。両海域での共通点は流れが弱くなった事という事です。鉛直護岸の建設が原因で形成される貧酸素水塊をどうやって解決していくかと、なかなか良い方法は出て参りませんでしたが、しかし、言葉として用語は出て参りました。このことを皆さんが知っておかれて、又次の会議でそういう知識の下で発言され、より良い有明海再生へと向って頂ければ有難いと思います。

今日はパネリストの先生方有難うございました。これで私のまとめとして会議を終わらせて頂きたいと思います。ご協力どうも有難うございました。

有明海奥部における貧酸素水塊の発生状況

木元克則（水産総合研究センター西海区水産研究所）

１．はじめに

近年、夏季の有明海奥部の底層において溶存酸素が低下する現象が認められ、これまで好気的と考えられてきた干潟浅海域で貧酸素化し、干潟域に生息するサルボウなどの二枚貝類が大量斃死するなど、有明海奥部の環境の悪化が著しい。海域の貧酸素化は二枚貝をはじめとする底生生物を死滅させ、その腐敗によってさらに底質環境が悪化するなど、生態系への影響は大きい。

この貧酸素水塊の発生機構を解明するために、水産総合研究センター及び有明海４県水産試験研究機関により、2002 年と 2003 年に船舶による共同観測（木元ら 2003）が実施され、2003 年には広域の連続観測（木元ら 2004、田中・児玉 2004）も実施された。これらの観測により有明海奥部と諫早湾で貧酸素水塊が発生し、潮汐により変動することが明らかになった（木元ら 2005）。これらの結果を受けて、有明海奥部における貧酸素水塊の発生状況及び発生機構を明らかにするため、2004 年より環境省、水産庁、及び九州農政局が連携して、溶存酸素等の水環境の連続観測を実施することとなり、環境省と水産庁の予算を受けて水産総合研究センターが調査を担当した。

本稿では、この広域連続観測における観測結果を元に、有明海奥部における貧酸素水塊の発生状況を紹介するとともに、その発生機構について考察する。

２．有明海貧酸素水塊広域連続観測により観測された貧酸素水塊の発生状況

（１）有明海奥部における溶存酸素の変動

2004 年から実施された貧酸素水塊広域連続観測において、水産庁・環境省の観測地点では海底設置型の多項目測定装置（Hydrolab 製、DS4a、MS４a、MS５）及び溶存酸素計（アレック電子製、ADOW-CMP）、水温・塩分計（アレック電子製、ACT-HR）、蛍光光度濁度計（アレック電子製、ACLW-CMP）、流向流速計（アレック電子社、AEM-HR）等を海底上 0.2mに設置して、2004 年には 30 分間隔で、2005、2006 年には 10 分間隔で連続観測が行なわれた。九州農政局の観測地点では諫早湾内の観測櫓に取り付けられた多項目水質計（アレック電子製、AAQ1183）により、１時間毎に自動観測が行われた。また、有明海奥の２点の底層で、水質計を海底設置して観測が行われた。

これらの観測では、20004 年と 2005 年には計 22 点の観測が、2006 年には南東部と諫早湾の４点を除く 18 点で観測が行われた。

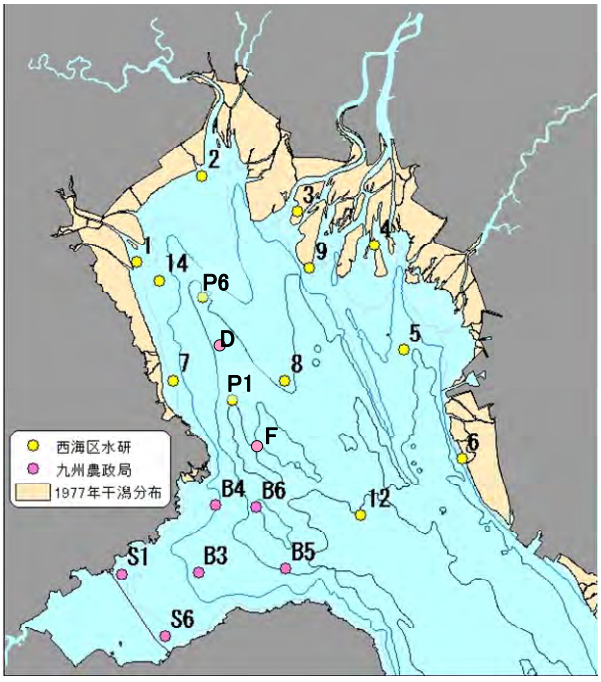


図１．有明海貧酸素水塊広域連続観測の観測地点

2004～2006 年の６月から９月末の観測期間中に、湾央部の観測地点 12 と B5 を除く 20 点で溶存酸素飽和度が 40%以下となる貧酸素化が観測された。

鹿島市沖から大浦沖に至る観測地点１、14、P6、P1 の４点の海底上 0.2m の溶存酸素飽和度の変化を図２～４に示した。干潟縁辺の浅海域の観測地点１及び 14 では、大潮期には溶存酸素が高いが、小潮期から中潮期初めにかけて溶存酸素が急速に著しく低下し、大潮期に向けて潮汐が大きくなるにしたがって溶存酸素が上昇する変動を繰り返した。このような干潟縁辺域における小潮期の急速な貧酸素化は東京湾や伊勢湾、三河湾などにおける貧酸素水塊の発生状況とは異なり、有明海特有の状況である。一方、沖合域の観測地点 P6 及び P1 では、干潟縁辺域より遅れて貧酸素化し、大潮期にも貧酸素化が持続する状況が観測された。

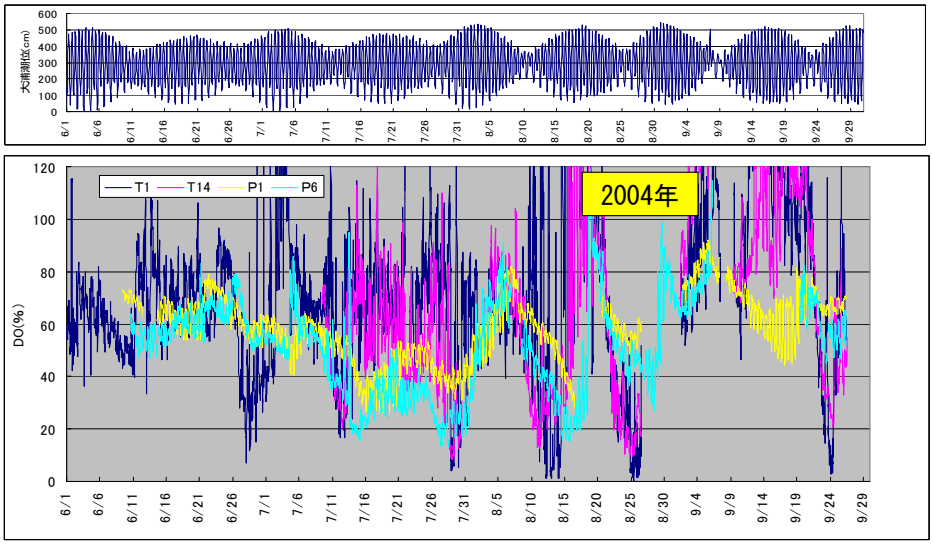


図２．有明海奥部の４観測地点の海底上0.2mにおける溶存酸素飽和度の変動（2004 年）

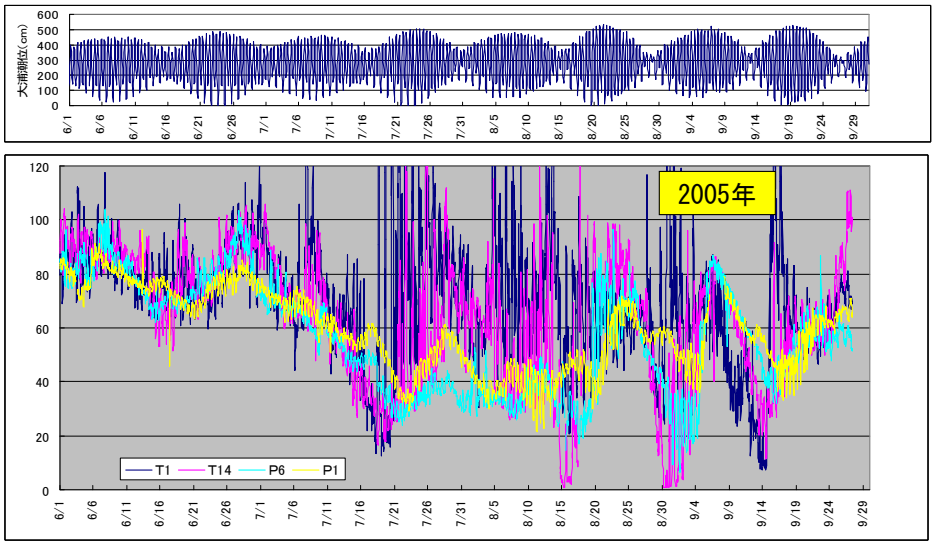


図３．有明海奥部の４観測地点の海底上0.2mにおける溶存酸素飽和度の変動（2005 年）

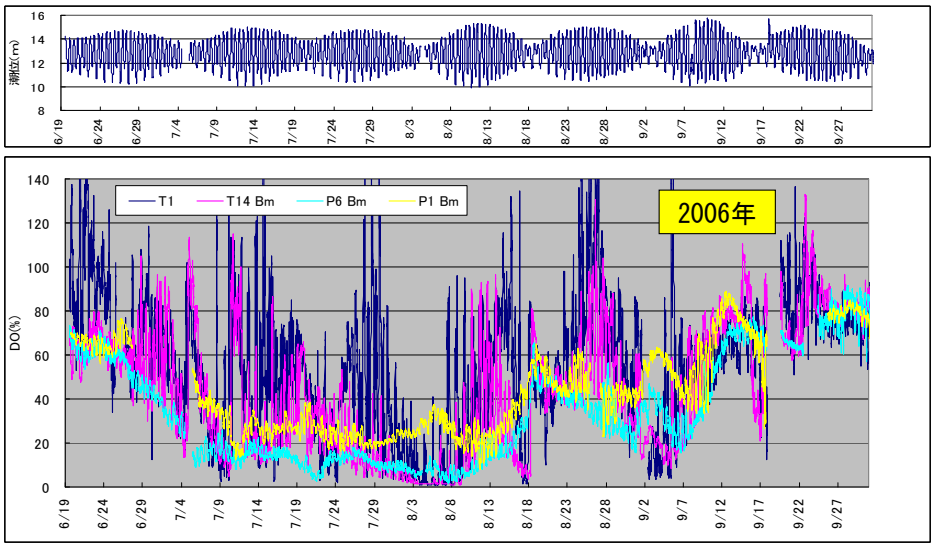


図４．有明海奥部の４観測地点の海底上0.2mにおける溶存酸素飽和度の変動（2006 年）

（2）湾奥干潟縁辺域における溶存酸素の変動

有明海奥部の干潟縁辺域では、2004 年、2005 年、2006 年の何れも８月上旬から中旬の小潮期に、ほぼ無酸素となる著しい貧酸素化が発生した。特に 2006 年８月上旬には、有明海奥部の観測地点１及び 14 では、大潮期から小潮期に向けて潮汐が小さくなるに従って溶存酸素が急速に低下している（図５）。観測地点 14 では、二枚貝類等の生物に影響を与えると考えられる溶存酸素飽和度が 10%以下の著しい貧酸素が約 10 日間にも及び、数%以下の無酸素的な貧酸素化が連続して３日間を超える著しい貧酸素となった。

この時の湾奥部鹿島沖の観測地点１～大浦沖の P1 までの断面観測では、高温・低塩分の水が湾奥から沖合の表層に広く分布しており、強い成層が形成されていた（図６）。躍層直上層には湾奥に中心を持つクロロフィルの極大層が沖合にかけて分布していた。一方、懸濁物質は湾奥の底層で多く分布している。このとき、溶存酸素は湾奥の底層で著しく低くなっており、成層により安定した底層の水塊において、底泥と懸濁物による酸素消費により貧酸素水塊が形成されたと推察される。また、湾奥底層に分布する貧酸素水塊が下げ潮に伴って沖合の中層に移動することがうかがえる。

このように近年の有明海の奥部では、夏季に成層が発達し、底層に貧酸素水塊が分布する状況がしばしば観測されるが、2006 年は湾奥部の広範囲で溶存酸素濃度が低く、湾奥部全域が貧酸素水塊となった。

2006 年８月上旬の溶存酸素の変動を詳細に見ると、観測地点１及び 14 では、大潮から小潮に向かって潮汐が小さくなるに伴って底層の流速（絶対値）が低下している（図５）。この間に両地点で表層１m と底層（海底上 0.2m）との密度差は、潮汐が小さくなるに従って変動が小さくなるとともに密度差が大きくなっている。このため、両地点では成層が強化され、14 では無酸素に近い貧酸素状態が継続している。この密度差の上昇は底層の塩分の上昇、水温の低下によっており、速水（2006）が指摘する底層への高塩高密度水の貫入があったと思われる。

このように、有明海奥部の干潟縁辺域における小潮期の急激な貧酸素化は、小潮期に成層が強化され海水が滞留する間に湾奥に多く分布する懸濁物及び底泥の酸素消費により溶存酸素が低下して発生していると推察される。

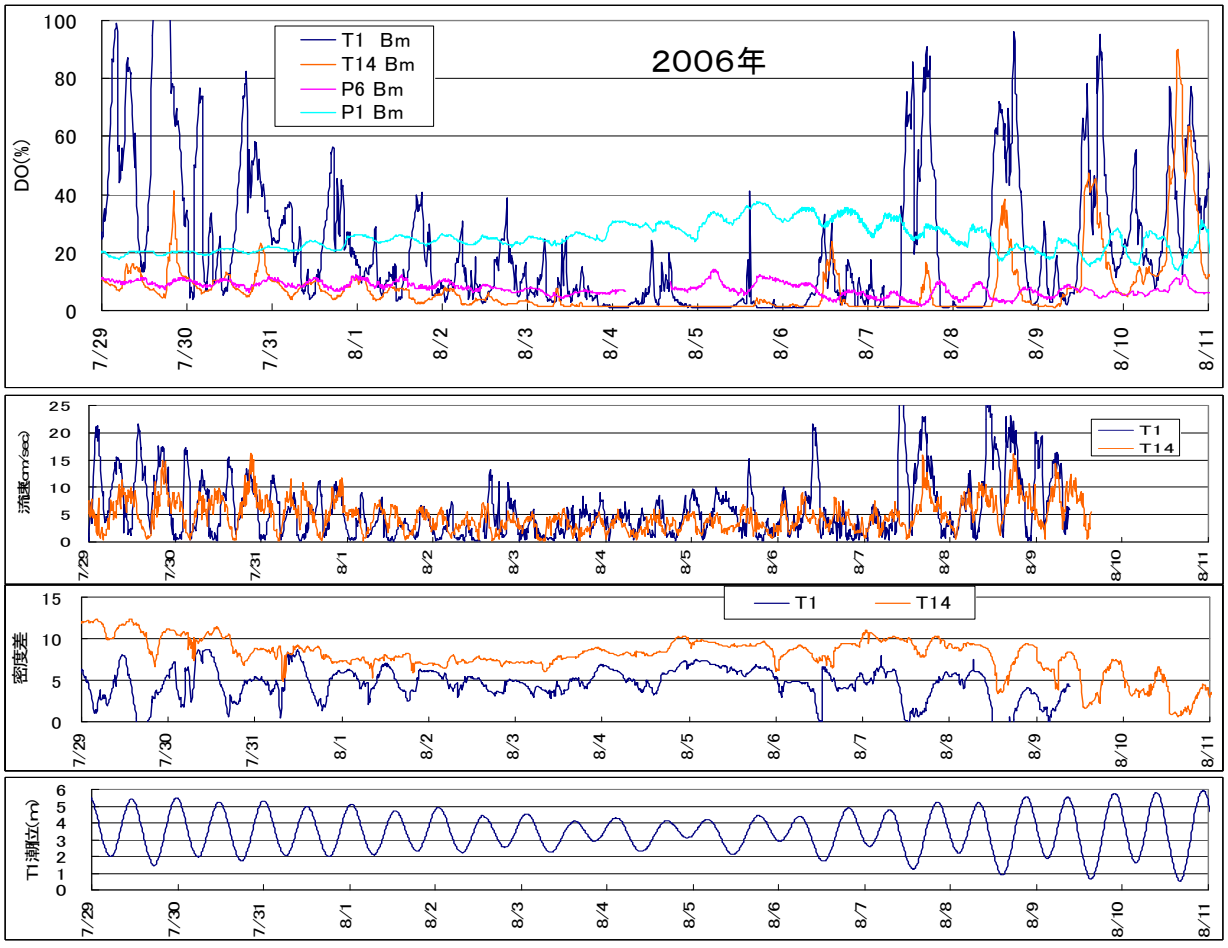


図５．有明海奥部の観測地点における溶存酸素飽和度、流速、表層と底層の密度差、潮位の変動（2006 年）

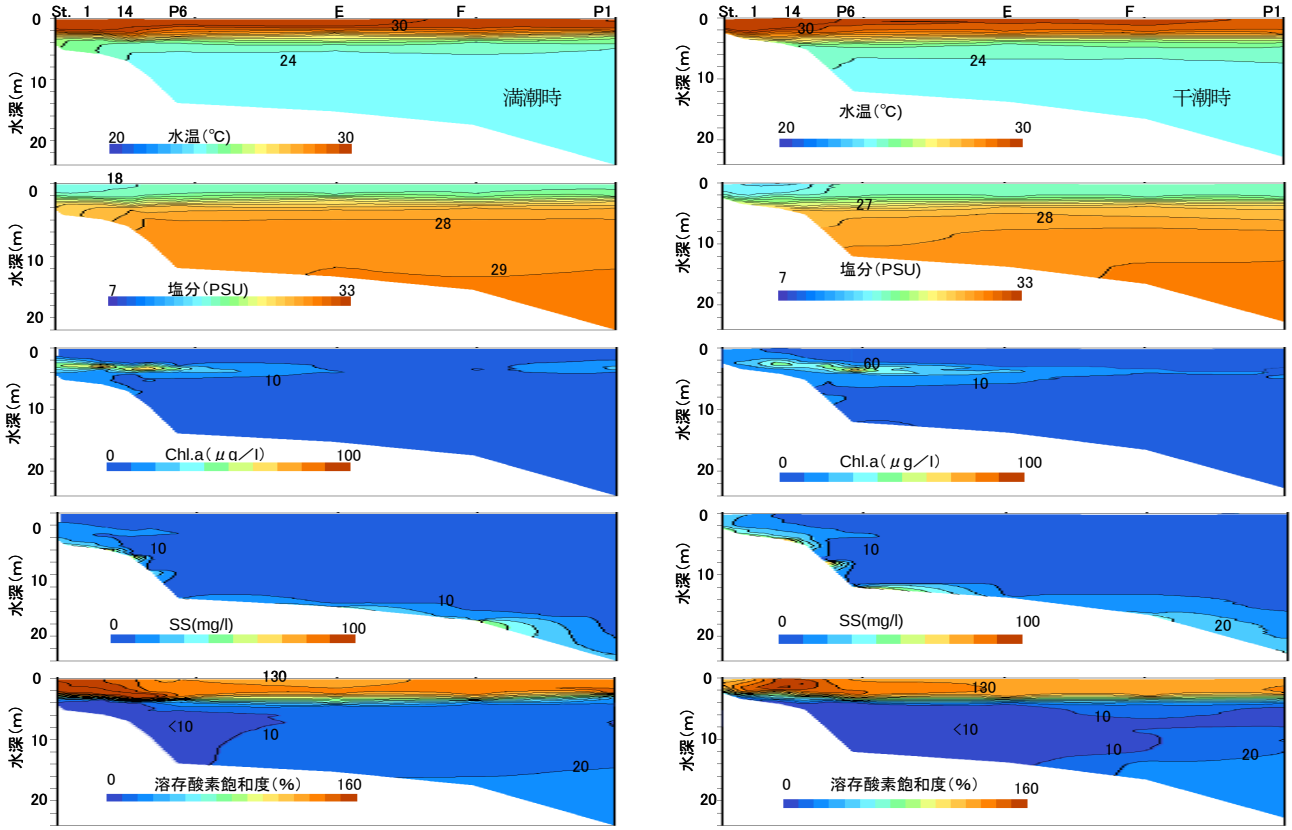


図６．有明海奥部断面における水温、塩分、クロロフィル、懸濁物、溶存酸素量の分布（2006 年８月４日）

（３）湾奥沖合域の溶存酸素の変動

有明海湾奥部の沖合にあたる水深 10mから 20m の地点（観測地点 P6、P1）では、干潟域縁辺域とは異なる溶存酸素の変動が見られた(図２，３，４)。

観測地点 P6 の表層（１m）と底層（海底上 0.2 m）の密度差と底層の溶存酸素の変動を図７に示した。2004～2006 年の３カ年において、表層と底層の密度差が大きくなると底層の溶存酸素飽和度が低下する変動を繰り返している。この変動は年により大きく異なった。

2004 年は、しばしば台風が九州に上陸・接近して強風が吹いたことにより貧酸素が長期間継続しなかった。

2005 年は、７月上旬まで表層と底層の密度差が小さかったが、７月上旬の 200mm を超える降雨により密度成層が形成され、底層で貧酸素化した。

2006 年は、観測地点 P6 では干潟縁辺域より先に６月下旬から貧酸素化し、その後、８月 18～19 日かけて九州を縦断した台風 10 号の北寄りの強風による擾乱を受けるまで１カ月半を超える長期にわたって貧酸素状態が継続した（図４）。表層と底層の大きな密度差は６月末から７月末までに及んでいる。これは、６月末から７月にかけての平年を上回る降雨に伴う河川からの出水により表層に低塩分水が分

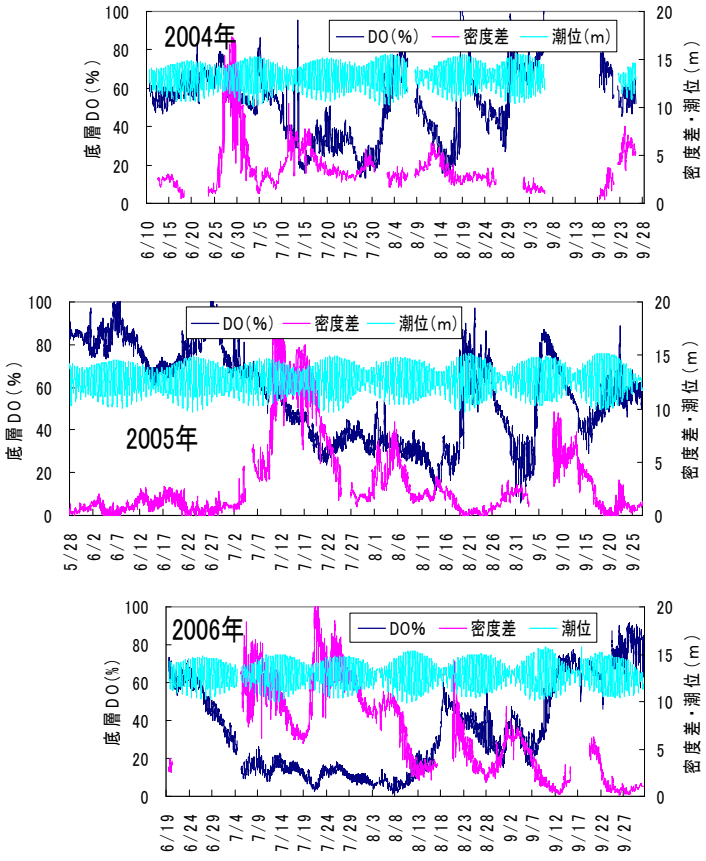


図７．観測地点 P6 における底層の溶存酸素飽和度と、表層と底層の密度差の変動

布して成層が発達したことによる。この結果、鉛直的な酸素供給が低下して底層の溶存酸素が低下し、貧酸素化が進行したと推察される。この成層は強く、８月 18 日に台風が来襲するまでの静穏な天気により成層が長期間持続し、貧酸素状態が継続した。

（4）底泥と懸濁物の酸素消費

有明海における溶存酸素の低下は、底泥の酸素消費と植物プランクトンや有明海特有の奥部の高濁度水（浮泥）及び底泥の再懸濁物質等の懸濁物質の酸素消費によると考えられており、阿部ら（2003)、徳永ら(2005)は、室内実験と観測結果から懸濁物質による酸素消費が底泥の酸素消費の約７倍になると報告している。

有明海奥部では小潮期に著しい貧酸素化が進行することから、小潮時に有明海奥部干潟縁辺域の観測地点 14 の海底にアクリル製の容器（図８：内容積 35 *l*）を静置して容器内の溶存酸素の減少を計測した。同時に DO 瓶に底層水を封入して海底上で培養して底層水の酸素消費速度を計測し、容器内の酸素濃度の変化から差し引くことにより底泥の酸素消費速度を算出した。

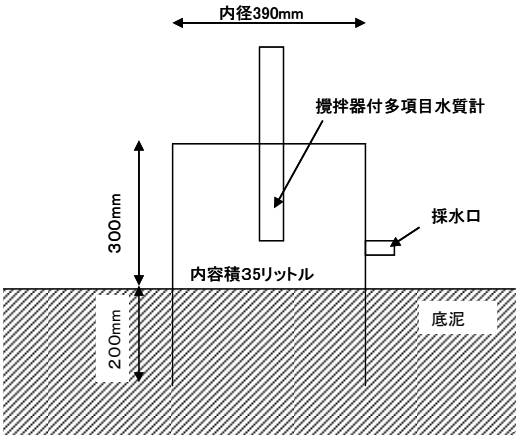


図８．海底に設置した酸素消費速度計測用アクリル製容器の概要

表１．有明海奥部（観測地点.14）における底泥と底層水の酸素消費速度

	調査地点	底泥の酸素消費速度 (g/㎡/day)	底層水の酸素消費速度 (mg/l/day)	底泥＋底層水酸素消費速度* (mg/l/day)
2005/7/16	14	2.21	0.34	0.89
2005/8/14	14	1.11	1.11	1.39
2005/9/13	14	0.39	0.33	0.43
2006/7/20	14	1.46	0.58	0.94
2006/8/4	14	0.29	0.82	0.90
2006/9/2	14	0.36	0.19	0.28

*:底層水の厚さを4mとして算出

表１に示すとおり、底泥のみの酸素消費速度は 0.29～2.21 g/㎡/day、底層水は 0.19～1.11g/m³/day の値となった。この数値を用いて、底層水の厚さを５ｍとして酸素消費速度を推測すると、0.28～1.39mg/l/day が得られた。この値は三河湾での 1.00～1.41g/㎡/day（鈴木ら 1998）と同程度である。この結果は、懸濁物の少ない小潮期でも溶存酸素濃度の低下には、底泥の酸素消費に加えて水柱としての底層水の酸素消費速度が寄与していることが解る。

３．貧酸素水塊の発生機構

３省庁による広域連続観測の結果、有明海における貧酸素水塊の発生場所の中心は諫早湾及び有明海奥部の北西部海域にあり、同時的に貧酸素化すること、特に湾奥の干潟縁辺域では小潮期に急激に貧酸素化することが明らかになった。図９，10 に底層の水質の分布図を示す。貧酸素水塊の分布範囲は岡村ら（2006）が報告する有機物含量が多く、還元的な底泥の分布と丁度重なり、底質悪化と貧酸素化が緊密に関係することが解る。

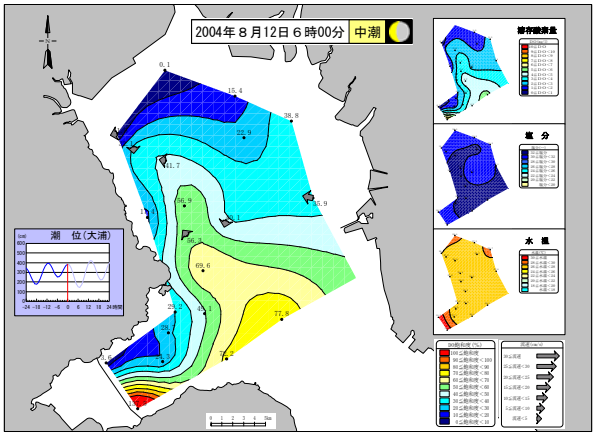


図９．有明海奥部及諫早湾底層における溶存酸素の分布（2004 年８月 12 日）

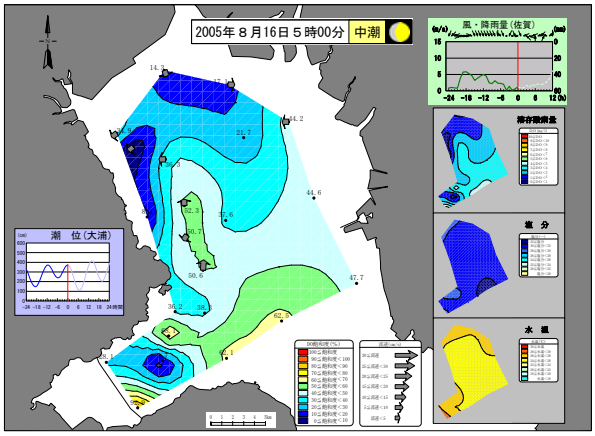


図 10. 有明海奥部及諫早湾底層における溶存酸素の分布（2005 年８月 16 日）

有明海における貧酸素水塊の発生機構としては、２つの型があると推察される。一つは、有明海奥部の干潟縁辺域で小潮期に著しい貧酸素水塊が形成される型で、これは成層が形成される夏季の小潮期に、潮流が低下して成層が強化され、滞留した水中の有機懸濁物と底泥の酸素消費により急速に貧酸素化する型である。もう一つは、湾奥の沖合域が貧酸素する型で、成層が形成される夏季に、表層からの酸素供給が低下して底層で徐々に酸素消費が進行して貧酸素化する型である。いずれも成層した海域において底泥と躍層下の有機懸濁物の酸素消費により貧酸素化する点では同じである。八木ら（2006）及び速水ら（2006）は現地観測により懸濁物質が湾奥へ輸送・集積されることを明らかにしている。有明海奥部の懸濁物の酸素消費の実測から、湾奥部干潟縁辺域に高密度で分布する有機懸濁物質が酸素を消費し、湾奥部の貧酸素化を起こしていると推察される。

山口・経塚（2006）は諫早湾の貧酸素水塊が小潮時の重力循環流の強化が引き金になっていることを報告している。速水（2006）は有明海奥部の貧酸素化は、高塩分水の底層への貫入が契機になる場合と、大量の淡水供給が契機になる場合の２つの発生機構があると推察しており、水塊構造と流動環境が貧酸素水塊の発生に大きく関わっていることが明らかにされている。また、湾奥の貧酸素水が潮汐により沖合の中層に拡がることが観測されており、沖合域の中層の貧酸素化に奥部干潟域の貧酸素水も影響していると考えられる。

環境省と水産庁による貧酸素水塊発生機構解明に関する調査では、2006 年度より有明海奥部の貧酸素化の機構について流動モデル及び、水質・底泥モデルを用いた数値シミュレーションによる検証に取りかかっている。その結果、湾奥干潟縁辺部での貧酸素化と沖合域の貧酸素化が大凡再現され、有明海における貧酸素水塊の発生機構の概要が明らかにされた。

４．有明海の貧酸素水塊等の環境モニタリング

有明海における貧酸素水塊の発生状況は、３省庁による広域連続観測及び大学、関係県の調査研究によりかなり詳細に捉えることができ、発生機構が明らかにされつつある。貧酸素水塊の発生には有機懸濁物を生産する赤潮の発生も大きく係わっていると考えられることから、今後は、赤潮発生のモニタリングも含めた環境モニタリングを関係機関による連携・協力のもと実施し、貧酸素水塊の発生と予測に関する検討を進めることが必要である。 2007 年度からは環境省の貧酸素水塊発生機構実証調査として、貧酸素水塊のモニタリング調査が継続され、さらに有明海奥部の懸濁物の酸素消費速度の実測や河川からの負荷量を把握して、数値シミュレーションの精度向上を図ることが計画されている。この調査により、発生機構がさらに明確になり、貧酸素化を軽減するための効率的な対策が検討されることが期待される。

参考文献

阿部淳・松永信博・児玉真史・徳永貴久・安田秀一(2003)：有明海西部海域における高濁度層の形成と酸素消費過程．海工論文集，50，p66-970.

速水祐一・山本浩一・大串浩一郎・濱田孝治・平川隆一・宮坂仁・大森浩二（2006）：夏季の有明海奥部における懸濁物輸送とその水質への影響．海工論文集，53，956-960.

速水祐一（2006）有明海奥部の貧酸素水塊－形成機構と長期変動. 2006 年度日本海洋学会講演要旨集, 275.

木元克則・西内 耕・清本容子・岡村和麿・田中勝久・半田亮司・熊谷 香・川村嘉応・廣田健一郎・山本憲一・藤井明彦・西村大介・吉田雄一・黒木善之(2003)：反復観測で捉えた有明海の貧酸素水塊の挙動．2003 年度日本水産学会大会講演要旨集．173.

木元克則・田中勝久・中山哲巖・奥石裕一・渡辺康憲)・西内 耕・藤井明彦・山本憲一(2004)：連続広域観測で捉えた有明海の貧酸素水塊の動態. 2004 年度日本海洋学会春季大会講演要旨集．191.

木元克則・田中勝久・児玉真史・山本憲一・那須博史（2005）：有明海奥部における貧酸素水塊の動態. 2005 年度日本海洋学会春季大会講演要旨集，196.

田中勝久・児玉真史(2004)：有明海湾奥部の環境変動に及ぼす浮泥の影響．水環境学会誌．27．307-311.

徳永貴久・松永信博・阿部淳・児玉真史・安田秀一(2005)：有明海西部海域における高濁度層の観測と懸濁物質による酸素消費の実験．土木学会論文集，No.782/Ⅱ-70，117-119.

岡村和麿・田中勝久・木元克則・清本容子（2006）有明海奥部と諫早湾における表層堆積物中の有機物の分布と有機炭素安定同位体比．海の研究，15(2)，191-200.

八木宏・井瀬肇・松村航裕・木元克則(2006)：有明海奥部干潟前縁域の流動構造と懸濁態物質の輸送特性に関する現地観測．水工学論文集，50，1465-1470.

貧酸素水塊の拡大と発生原因としての赤潮の関連性

堤　裕昭（熊本県立大学環境共生学部）

有明海奥部で規模が拡大する貧酸素水

有明海で広範囲にわたる貧酸素水の発生が報じられたのは，2001年8月上旬である。この時は、諫早湾および有明海奥部の広範囲にわたって，底層で貧酸素化現象が観測された（日本自然保護協会 2001, 堤ら 2003）。しかしながら、図 1 に示すように、有明海の縦断方向に設置した調査地点における水質観測結果では、毎年7月下旬から8月上旬の小潮時前後に貧酸素水がもっとも発達し、その発生規模の拡大やDO値の低下が年々進行していることがわかる（Tsutsumi 2006, 堤ら 2007）。2006年8月にはもっとも深刻な貧酸素水が発生し、奥部浅海域では、広範囲にわたって中層から底層にかけて、DOが 1 mg/L を下回る無酸素状態と言っても過言ではない状態に陥った。

このような貧酸素水（無酸素水）の発生は、当然、底生生物の生息に大きな打撃を与える。すでに、2005年8月および12月における底生生物の定量調査の結果では、奥部の中央部ではほとんど無生物化した海域が形成されていた（図2）。この奥部海域はもともと漁業が盛んな海域であり、特にタイラギ漁の漁場はこの海域全体に広がっていた。しかしながら、1999年頃を境に漁獲量が極端に減少し、ほとんど漁が成立しない状況が続いている。少なくとも、このような貧酸素水が発生する以上、タイラギのような大型の底生生物が夏季に生息することは困難であり、成体に成長するために 1 年以上かかる底生生物は、個体群を維持することは困難な状況にある。実際、奥部海域（Stn S2～Stn C）では、底生生物が周年にわたってほとんど生息しないか、わずかな生物量の生物しか生息していない状態に陥っている。

貧酸素水が発生した場所では、同時に二酸化マンガンの還元によってマンガンイオンが溶出したり、硫酸還元によって硫化水素が発生し、底生生物の呼吸色素に大きな障害をもたらす。単純に貧酸素状態の影響だけではなく、これらの付随した化学反応が底生生物の生息に大きな影響を与えている可能性がある。このような観点からの水質調査や底生生物への影響調査が、貧酸素水発生時に求められる。

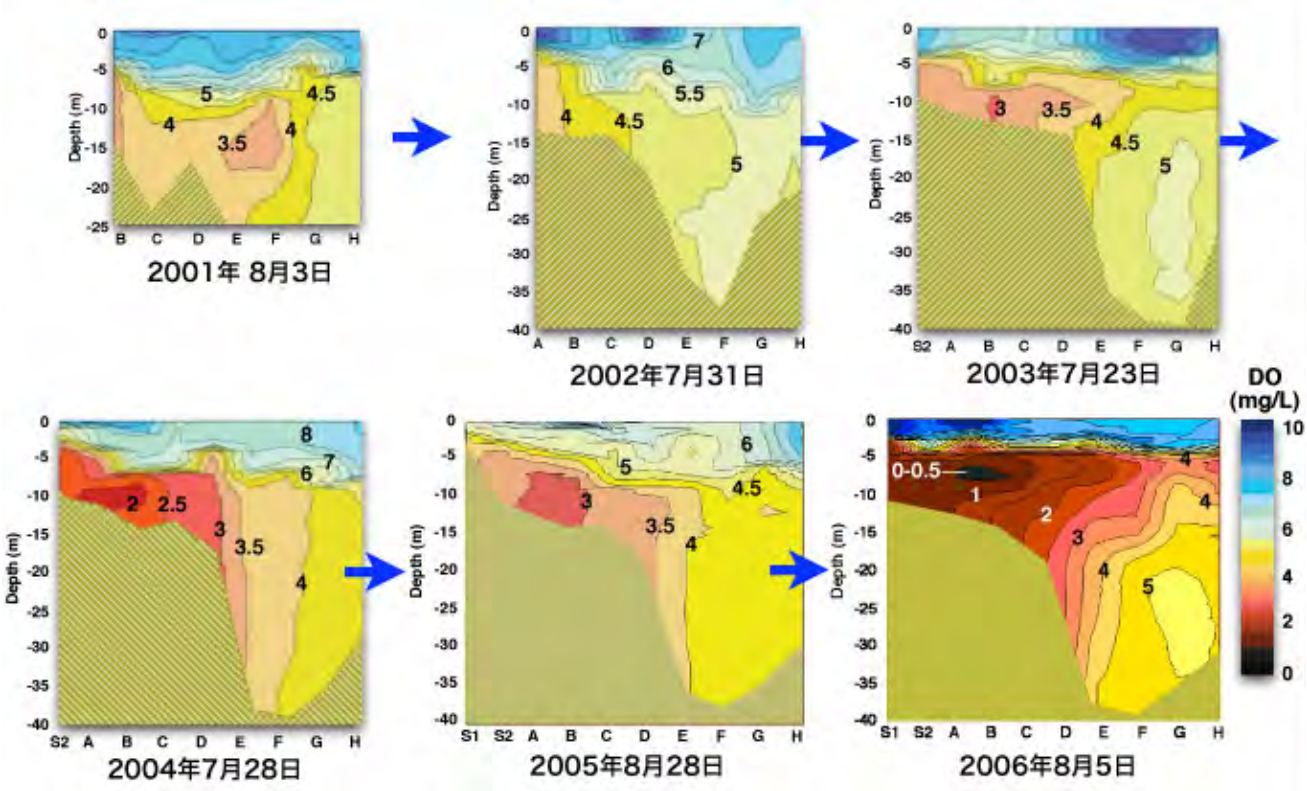


図1 有明海奥部の縦断方向に設置した観測点における貧酸素水の発生状況（堤ら 2003, Tsutsumi 2006, 堤ら 2007）。2006年の調査結果は未発表データ。

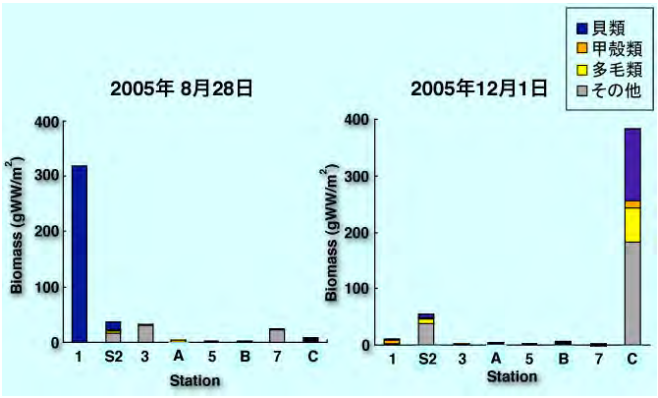


図2 有明海奥部の縦断方向に設置した観測点における底生生物の生息状況（未発表データ）。

貧酸素水の観測体制

貧酸素水の発生が大規模化し、生態系や漁業への影響が懸念される状況にあるが、その観測体制はいまだ整備されているとは言い難い。有明海沿岸の各県による浅海定線調査は、1970年代より毎月行われてきたが、貧酸素水の観測がもっとも難しい大潮時に行われており、各調査地点でわずか３層しか観測しないので、海洋構造が把握できない。しかも、県によって調査日が異なり、有明海を広範囲に一斉調査された結果ではない。西海区水産研究所は、水質観測機器を海底に設置して、貧酸素水塊連続観測を行っている。この観測結果によって、貧酸素水が７月～８月の小潮時前後に発生し、大潮時にはDOが一時的に回復することが正確に捉えられた。しかしながら、水質測定器を用いた観測は、測定場所が限られる。貧酸素水がどのような海域で、どのような海洋構造の形成とともに発生し、その発生メカニズムと原因を解明するためには、調査船を用いた広範囲におよぶ調査を頻繁に行うことが求められる。

大学の研究室による水質観測に関しても、学会発表や論文として公表されてきた情報は少ない。演者の研究グループは、月１回程度ではあるが、2001年8月より有明海奥部全域におよんで長期的に継続してきた。貧酸素水に関しては、それがもっとも発達する7月下旬～8月上旬の小潮に焦点を当てて観測してきた（堤ら 2003, 2007, Tsutsumi 2006）。この水質観測は、水温、塩分、DO、クロロフィル濃度、栄養塩濃度、懸濁有機物量について、すべて鉛直プロファイルを求めることができる精密な調査で、調査精度については秀でている。その結果、貧酸素水の発生状況だけではなく、その前後における水質観測結果の解析から、発生メカニズムおよび原因について、新しい知見を示すことができるようになってきた。しかしながら、大学の研究室の限界があり、現在までのところ、毎月１回程度の水質観測を継続することが限度で、それ以上頻度を詰めた観測ができていないので、貧酸素化現象の時間的な発生過程を追跡することができず、解析精度をさらに上げることができていない。貧酸素水に関しては、その発生メカニズムと原因、海底生態系への影響を明確にするために、貧酸素水の発生過程における海洋構造が解析できるような、より精密で、時間的連続性の高い水質観測結果を得られる観測体制の整備が求められる。

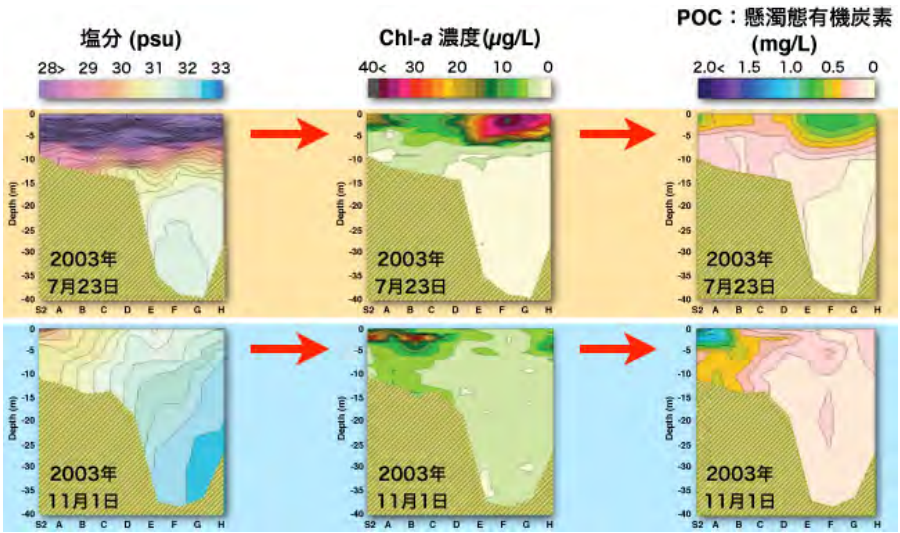


図3 有明海奥部の縦断方向に設置した観測点における（上）夏季（下）秋季における赤潮発生時の塩分、クロロフィルa濃度、懸濁態有機炭素量の鉛直プロファイル（未発表データ）。

貧酸素水発生と赤潮の関係

これまでの我々の研究グループによる水質調査結果のまとめより、有明海奥部海域で広範囲にわたって夏季に貧酸素水が発生するようになった原因は２つと考えられる。１つは赤潮の発生である。有明海奥部全体を覆うような大規模な赤潮は、梅雨明け直後と秋季～初冬にかけて発生することが多い。いずれも塩分成層が形成された時に、塩分の低下した表層で発生している。塩分の低下は河川水の流入によって起きているが、その河川水は通常、海水より数十倍高い濃度の栄養塩を含んでいるの

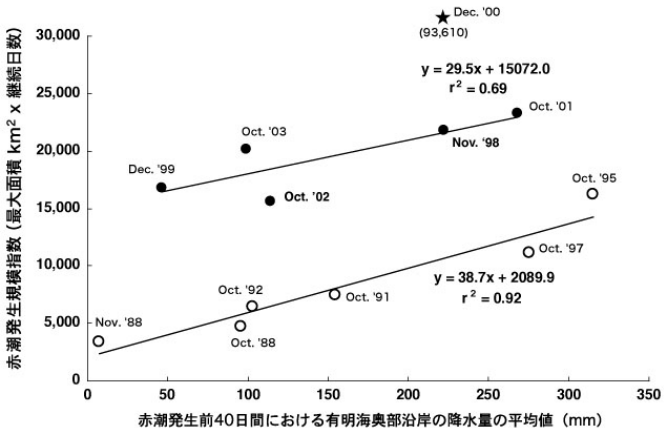


図4 10月～12月に有明海奥部で発生した赤潮に関して、その発生前40日間における沿岸域の平均降水量と発生した赤潮の規模（最大面積 x 継続日数）の関係。降水量データは気象庁観測結果、赤潮に関するデータは九州魚業調整事務所「九州海域の赤潮」に掲載されたデータを用いた（堤ら 2006より）。

で、塩分の低下した層は同時に富栄養化状態となる。その層で、赤潮が発生していた。

梅雨期の赤潮の場合、大雨によって密度差の大きい成層が形成されるために、赤潮が発生しても赤潮プランクトンによって生産された有機物は密度の低い表層に止まり、その多くは奥部の外へ移送される。一方、秋季～初冬の赤潮は成層強度が弱いので、奥部で発生した赤潮プランクトンが生産した有機物は、奥部の水深の浅い海底（10～15 m）へ沈降する割合が多く、海底への有機物負荷量を増加させることになる（図3）。

有明海奥部海域において、海底への有機物負荷を増大させる効果の大きな秋季～初冬に発生する赤潮は、1998年以降、沿岸域における同量の降水に対して、それ以前より突然数倍大規模なものになった（図4）。この季節の赤潮の発生規模の大型化は、海底への有機物負荷量の増大につながる。奥部海域の海底の基質表層の有機物含量は2002年以降、漸次増加する傾向が認められている。したがって、 秋季～初冬に発生する赤潮の規模の大型化とそれに伴う海底への有機物負荷量の増加が、翌年の夏季に海底における酸素消費量の増加をもたらし、貧酸素水を発生させ、さらに発達させていると考えられる。貧酸素水発生と秋季の赤潮の発生規模の大型化は１つの因果関係で結ばれることを意味している。実際、大規模な赤潮が発生するようになると、それを追うように貧酸素水が発生するのは、世界各地の赤潮発生に悩む沿岸閉鎖性海域で見られる共通の現象である（Diaz & Rosenberg 1995）。

秋季～初冬に発生する赤潮の規模の大型化が翌年の夏季の貧酸素水の発生を助長していると考えられるが、このような赤潮の規模の大型化の原因は、塩分成層が形成され、一時的に栄養塩濃度が上昇した表層で赤潮が発生していることから、そのような成層構造が近年、秋季～初冬に発達しやすくなったことによると推測される。そこで、なぜ、近年、秋季～初冬に有明海奥部において、冷却期とも呼ばれ、常識的には海面冷却によって海水の鉛直混合が盛んに起きると考えられる時期に塩分成層が発生しているのかということについて、その原因を明確にする必要がある。有明海は大潮時の潮位変動が約6mにも及び、速い潮流が発生し、海水の流動と鉛直混合の激しい場所として考えれてきたが、このような塩分成層が秋季～初冬に発生する状況は、有明海の海水流動に対する従来の捉え方を根本から見直す必要があることを意味している。1990年代後半より、有明海奥部では、海洋構造を大きく変化させるような潮流などに関連した物理的な変化起きていることは明らかであり、その原因の１つとして、1997年4月の諫早湾干拓事業による潮受け堤防の締めきりの影響について精査する必要がある。

地球温暖化による猛暑と貧酸素水塊の拡大

貧酸素水発生の原因は、近年、もう一つの要素が加わりつつある。それは、地球温暖化による夏季の表層水温の異常な上昇である。有明海奥部では、梅雨明け直後には塩分成層が形成され、毎年、その表層では珪藻赤潮が発生してきた。梅雨明け後には、盛夏の日射によって海水表層の水温が急激に上昇する。しかしながら、図5に示すように、1990年以前には、佐賀県の浅海定線調査の結果では海水表面の水温は29℃以下に止まっている。1990年に初めて、30℃を超え、1994年にも観測された。また、我々の研究グループの調査では、2001年、2004年、2006年と、2000年代になって、30℃を超える水温が頻発するようになってきた。

このような高水温は梅雨期から継続して発生している珪藻赤潮の生存に大きな脅威をもたらすことになる。図6には、 有明海奥部の堤研究グループの調査地点（Stn A）における梅雨明け直後の海水表層2mにおける水温とクロロフィルa濃度の関係を示す。表層水温が30℃に近い条件では、海水中のクロロフィルa濃度

はほぼ0に近い状態になる。この時、海水は植物プランクトンの少ない亜熱帯の海のような澄みきった状態にはない。その反対に、珪藻類の死骸が凝集して無数の粒状有機物が懸濁する海水が発生する。その典型的な状況が、2001年8月に観測され、撮影された。このような粒状有機物は、梅雨明け後の強い塩分成層が形成されている状態でも沈降し、その途上でも分解されて酸素を消費する。2006年8月5日の場合もその典型的な例であり、溶存酸素は有明海奥部～熊本市沖合の地点においても、水面下約 6～7 m 付近でDOの最低値を記録し、奥部では DO が 0.5 mg/L に満たないほぼ無酸素の状態が、このような中層で観測された。一方、この時、海底でも堆積した有機物の水温上昇に伴う分解促進により酸素消費量が増加して、貧酸素状態に陥ったと考えられる。したがって、2006年8月5日の場合、例年のこととなってきた底層における貧酸素水の発生に加えて、猛暑による表層水温の上昇によって珪藻赤潮がほぼ死滅し、その死骸が大量の粒状有機物となって塩分成層の密度差を貫いて奥部海域に沈降し、分解されることによって、水中のDOを消費した結果、塩分成層の下で、広範囲にわたって大規模な貧酸素・無酸素水が発生したと考えられる。

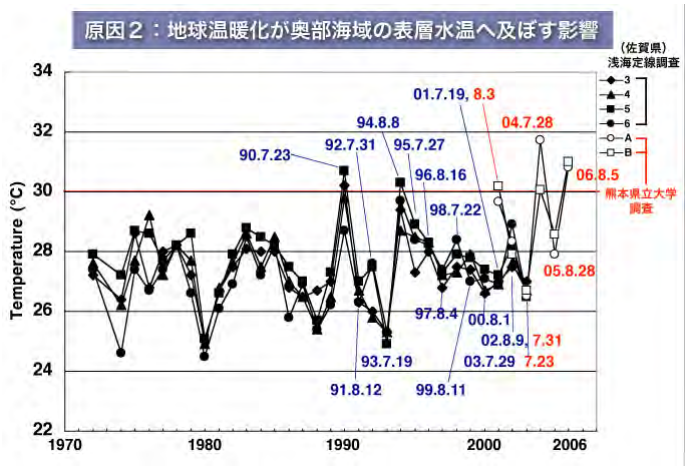


図5 有明海奥部の佐賀県の浅海定線調査地点（3～6）および堤研究グループの調査地点（Stn A, B）における梅雨明け直後の海水表面の水温の長期的変化。

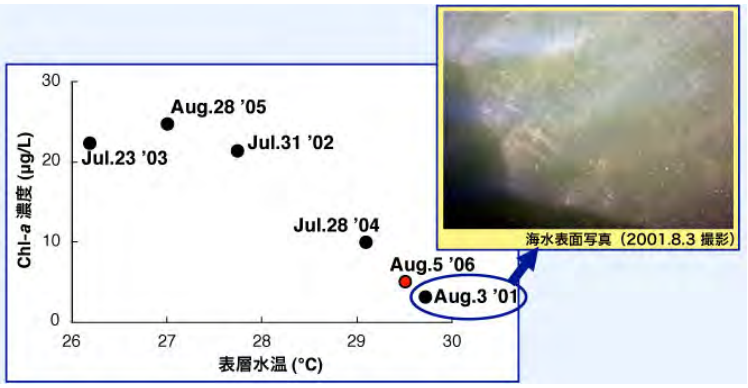


図6 有明海奥部の堤研究グループの調査地点（Stn A）における梅雨明け直後の海水表層2mにおける水温とクロロフィルa濃度の関係（未発表データ）。写真は堤ら(2003)に掲載。

今後、地球温暖化はさらに進行することは避けようがない事実である。海水表面の水温が30℃を超える事態がさらに頻発するようになれば、梅雨明け後の7月下旬～8月上旬には、有明海奥部ではさらに深刻な貧酸素・無酸素水が発生するようになることが予測される。

貧酸素水の発生を防止するための対策

有明海奥部における夏季の貧酸素水発生を防止するためには、２つの重要な点が挙げられる。１つは、秋季～初冬期に発生する赤潮の発生規模を1990年代前半以前のような状態に抑制し、赤潮プランクトンによってもたらされる海底への有機物負荷を軽減することである。もう１つは、梅雨明け後に形成されている塩分成層を鉛直混合を起こしてできるだけ弱くして、水温の比較的低い底層水との混合を起こして、表層水温の上昇を抑制することである。いずれの場合も、成層構造の発達を抑制し、鉛直混合が可能な限り起きるようにすることであるので、そのためには速い潮流が発生することが求められる。速い潮流が発生すれば、その速度の３乗に比例して、海水を鉛直方向に混合する力が生じる。

1997年に諫早湾潮受け堤防が締めきられて以来、有明海の潮流が弱くなり、成層構造が形成されやすくなったのではないかという可能性が論議されてきた。潮受け堤防締めきりの影響がどの程度であるかという評価をするまでもなく、潮受け堤防内の調整池となっている大量の水が、以前のように潮汐によって移流できる状態が回復すれば、その海水の流動分は少なくとも海水が多く動き、諫早湾や有明海奥部に海水の鉛直混合をもたらすことになる。今、有明海の生態系の維持にとってもっとも求められるのは、少しでも大きい海水流動なのである。潮受け堤防はその妨げにしかなっていない。そのことがもたらす損失と、海水流動の増加がもたらす利益、どちらが方が実り大きことなのかを評価する時が来ている。

文献

Diaz, R. J., and R. Rosenberg (1995)：Marine benthic hypoxia: A review of its ecological effects and the behavioural responses of benthic macrofauna. Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev., **33**, 245-303.

日本自然保護協会 (2001) 有明海奥部における底層の溶存酸素濃度．速報2001年8月17日. (http://www.nacsj.or.jp/old_database/isahaya/isahaya-010817-hokoku.html)

堤　裕昭 ・岡村絵美子 ・小川満代 ・高橋徹・山口一岩・門谷　茂・小橋乃子・安達貴浩・小松利光（2003） 有明海奥部海域における近年の貧酸素水塊および赤潮発生と海洋構造の関係．海の研究 12: 291-305.

堤　裕昭・木村千寿子・永田紗矢香・佃　政則・山口一岩・高橋　徹・門谷　茂 (2004)：広域定期観測による有明海水環境の現状，沿岸海洋研究，42: 35-42.

堤　裕昭・木村千寿子・永田紗矢香・佃　政則・山口一岩・高橋　徹・木村成延・立花正生・小松利光・門谷　茂（2006）陸域からの栄養塩負荷量の増加に起因しない有明海奥部における大規模赤潮の発生メカニズム．海の研究 15: 165-189.

Hiroaki Tsutsumi (2006) Review: Critical events in the Ariake Bay ecosystem : clam population collapse, red tides, and hypoxic bottom water. Plankton Benthos Res 1: 3-25.

堤　裕昭・堤　彩・高松篤志・木村千寿子・永田紗矢香・佃　政則・小森田智大・高橋　徹・門谷　茂（印刷中）有明海奥部における夏季の貧酸素水発生域の拡大とそのメカニズム．海の研究 16:

有明海の環境変遷と現状認識

長崎大学環東シナ海海洋環境資源研究センター
松岡數充

1997 年に諫早湾干拓事業として実施された諫早湾締め切り堤防構築により諫早湾奥部にあった 3542ha の干潟とそれに続く浅海が消失した．その後，2000 年晩秋から 2001 年晩冬にかけては外洋性浮遊珪藻の大規模赤潮により養殖ノリの色落ち被害が発生した．ところがこれを契機に行われた各種調査の結果，アサリやタイラギなどの底棲資源生物は 1980 年代から減少傾向にあることが明らかになった. このような資源生物の減少を引き起こした原因の解明を目的として多種多様で短期的な調査・研究が開始され，諫早湾をはじめとして有明海の現状が科学的に明らかにされつつある．私は有明海異変を議論するには環境の中長期にわたる時系列変化を把握することが特に重要であると考え研究を進めた．その結果，堆積物に残された植物プランクトン（特に渦鞭毛藻シスト）の遺骸群集変化から，有明海湾奥部では 1970 年代以降に富栄養化が進行したことが推察され，その要因として第二次世界大戦以降 1980 年代までに有明海湾奥部で実施された大規模干潟干拓に依拠するところが大きいとの仮説を提出した．

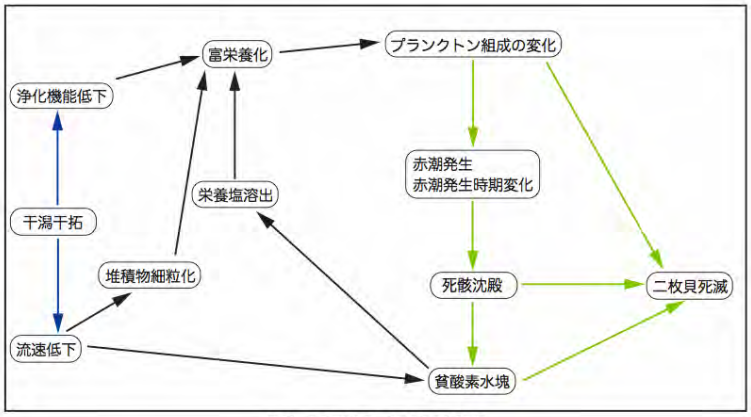


図 12　干潟干拓とそれが環境に与える影響

提案した仮説は次のように要約される（図１）.

第二次世界大戦以降 1980 年代までに有明海湾奥部で実施された大規模干潟干拓によって湾奥部での流速が低下した結果，1）堆積物の細粒化が促進された．それによって堆積物中の有機物量が増大した．2）海水混合が弱くなることから浅海域での海水の成層化が発生しやすくなり，とくに夏季に貧酸素水塊が出現するようになった．それによって表層堆積物からの栄養塩溶出が促進された．3）富栄養化した海域では流速低下による透明度上昇も加わって植物プランクトン群集が変化し，珪藻類が小型化（*Cheatoceros* 属や *Skeletonema* 属など）するとともに，渦鞭毛藻やラフィド藻類が増加した．しかし，プランクトン沈殿量は減少している．それはホルマリンによってプランクトンを固定し，その沈殿量を測定した結果であろう．4）また，表層堆積物細粒化はアサリやタイラギなどの生育場を圧迫すると共に，貧酸素水により個体数が減少した．それによって植物プランクトンへの捕食圧が減少し，さらに底質の富栄養化を促進することになった.

以上の仮説は九州農政局諫早湾干拓事務所が実施している諫早湾環境モニタリングデーターを解析する事で検証可能であると考えた.

諫早湾干拓事業の実施以降, 九州農政局諫早湾干拓事務所は事業実施が諫早湾をはじめとする周辺域にどの様な影響を与えているのかを把握するために気象，大気質，振動・騒音，地下水，海底地形，水質，底質，水生生物，野鳥，陸生生物などの項目について環境モニタリングを実施している．モニタリング開始後 10 数年を経過しており, 取得データを時系列的に解析すると潮受け堤防が諫早湾の海洋環境に与えた影響を評価することが出来る．とりわけ，１）潮受け堤防前面の海域では流速が潮受け堤防構築前と比較して 1/5 から 1/8 に減少した．２）堆積物が泥化し，全リン・全窒素が増加し，また硫化物も増加した．３）潮受け堤防構築後，鞭毛藻類を原因種とする赤潮が増加した．4）シズクガイやヒメカノコアサリなど貧酸素耐性のある底棲生物が増加した. 潮受け堤防構築による干潟干拓の影響が海底表層堆積物と底棲生物群集の変化に顕著に現れていることが明らかになった.