NPO 法人有明海再生機構
有明海研究意見交換会

開催日　平成 20 年 5 月 10 日（土）
於　増田会館　パル 21

開催趣旨

昨年開催しましたシンポジウム「有明海における貧酸素水塊の発生と対応」などにおいて、有明海湾奥部、諫早湾における貧酸素水塊の形成・変動についてはかなり解明されているとの研究者の共通認識の共有化が進んできました。

また、赤潮の発生、潮流の変化などの有明海における環境変化の要因についても、これまでの研究により明らかになりつつあり、解明すべき課題と再生方策は環境省マスタープランにおいて取りまとめられているところです。

そこで、有明海再生機構の総会で多くの先生方がお集まりいただく機会に、特に有明海で問題になっている貧酸素水塊・赤潮の多発、貝類にテーマを絞り、有明海再生のために今後取り組むべき研究課題の共有化に向けた意見交換会を以下のとおり実施することとしました。

NPO 法人有明海再生機構

「有明海意見交換会」

○貧酸素に関する研究成果と今後の研究課題

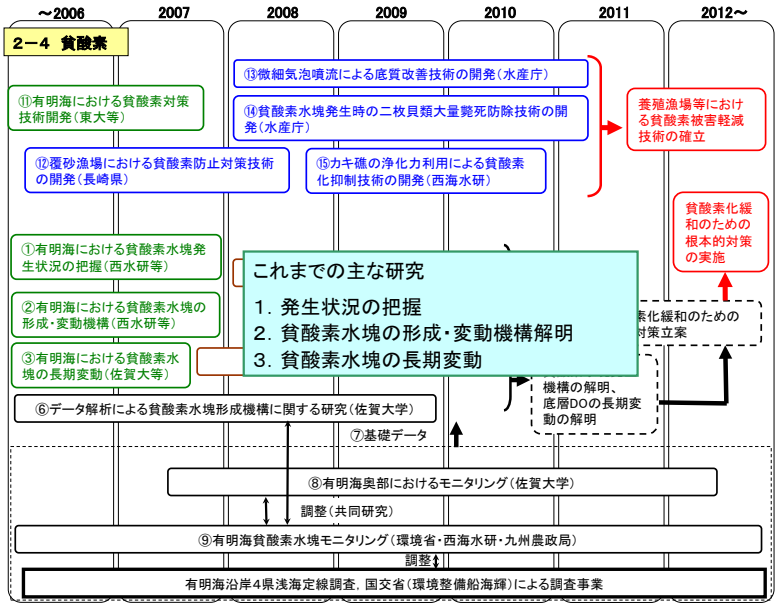
貧酸素に関する研究成果と今後の課題

佐賀大学有明海総合研究プロジェクト
速水祐一

佐賀大学の速水です。今日は貧酸素に関する研究成果と今後の研究課題と題しまして、これまでの有明海における貧酸素水塊に関する研究の結果と今後の課題について少し整理してお話したいと思います。

まず始めに、有明海における貧酸素関連の研究の実施状況と致しまして、平成 19 年度有明海・八代海総合調査推進業務における取りまとめの結果、マスタープランと呼ばれているものなのですが、私はこれの取りまとめの一部を担当させて頂いておりまして、そこから少しかいつまんでお話ししたいと思います。但しこの業務は有明海・八代海両方を対象としておりますけれども、ここでは八代海沿岸関係は除いて有明海についてのみご紹介します。

これがこの業務で作られましたマスタープランの案となっていますけれども、貧酸素に関するものです。有明海における貧酸素関連の取組みに関しては全体で大きく 3 つに分かれます。一つは貧酸素化の緩和防止技術の開発。どちらかといえば対症療法的な技術の開発です。もう一つはモニタリング。これに関しては貧酸素が問題になる以前から行われてきた沿岸各県の浅海定線調査、国土交通省による定期的な調査以外に環境省、西水研、九州農政局が非常に詳細なモニタリングを行っています。それ以外に大学によるモニタリングも行われております。こういったモニタリングで得られたデータ、更に独自の調査結果を合わせて、貧酸素問題解明のための研究というものが行われています。今日は貧酸素問題解明に向けての研究、その他関連についてお話したいと思います。

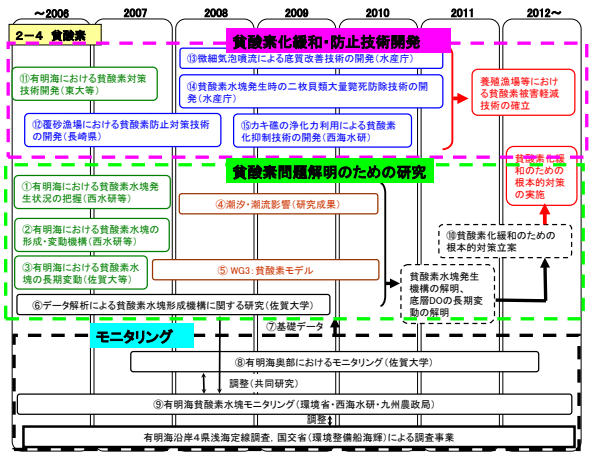


これまでの貧酸素問題に関する研究を大きく分けて見ますと、発生状況の把握、貧酸素水塊の形成・変動機構の解明、貧酸素水塊の長期変

動と大きく 3 つのカテゴリーに分かれると思います。それぞれについてみて行きたいと思います。

まず、発生状況の把握ですがこれに関しては西水研を中心に非常に活発な研究がなされていまして、まず有明海における貧酸素水塊は有明海湾奥西部と諫早湾の 2 箇所で別々に発生する。湾奥部でも干潟前面の浅海域、密度躍層が海底に接する水域の沖側で最も発達する。夏季を中心に成層が強まると発生する。それから小潮時に発達し、大潮時・強風後に解消される場合が多い。こういった事が解っています。特に短期間、2 週間以内の変動が非常に激しいことが有明海における貧酸素水塊の特徴で、本来例えば伊勢湾、東京湾と言った所での貧酸素水塊が長期間定着するのと違ってこういった有明海の特徴になっています。

次に貧酸素水塊の形成・変動の機構の解明についてです。貧酸素水塊の発生のトリガーになるもの、きっかけになるものは何かといいますと、成層の強化それから赤潮による有機物供給による酸素消費速度増大という 2 つの考え方が提示されております。但し諫早湾では非常に詳しい調査データの解析によって赤潮はトリガーになる場合が非常にあると言われていたのですが実際にはトリガーになっていない。基本的には成層の強化ともう一つ湾外からの低 DO 水の流入というのがトリガーになっているというのが九大の山口教授らによって示されています。有明海の奥部の方で成層の強化というのがトリガーの一つとして上げられていますけれども、こうした成層の強化がどういうメカニズムで起こるかといいますと 2 つメカニズムがあると思います。一つは筑後川を中心とした河川からの出水。もう一つは小潮時に生じる高塩分水の底層貫入という 2 つのメカニズムがあることがわかっています。



1. 発生状況の把握

有明海湾奥西部と諫早湾の2カ所で別々に発生（木元ら、2004）

湾奥部でも干潟前面の浅海域、密度躍層が海底に接する水域の沖側で最も発達（木元ら、2004；速水、2007）

夏季を中心に成層が強まると発生する（瀬口ら，2007等）

小潮時に発達し、大潮時・強風後には解消される場合が多い（木元ら、2004；山口・経塚、2006）

◎短期間（2週間以内）の変動が激しいことが有明海における貧酸素水塊の特徴.

2. 貧酸素水塊の形成・変動機構解明

貧酸素水塊発生のトリガー：
成層強化（木元ら、2004；速水、2007等）
赤潮による有機物供給による酸素消費速度増大（田中ら、2005）
＊諫早湾では赤潮はトリガーになっていない（湾奥西部では？），
また湾外からの低DO水の流入もトリガーになっている
（山口・経塚，2006）

成層強化の2つの要因（速水，2007）：
河川からの出水
小潮時に生じる高塩分水の底層貫入

貧酸素化の解消：
大潮の強い潮汐混合，強風による成層緩和（木元ら、2004等）

貧酸素水塊発生の基本的な機構については解明された

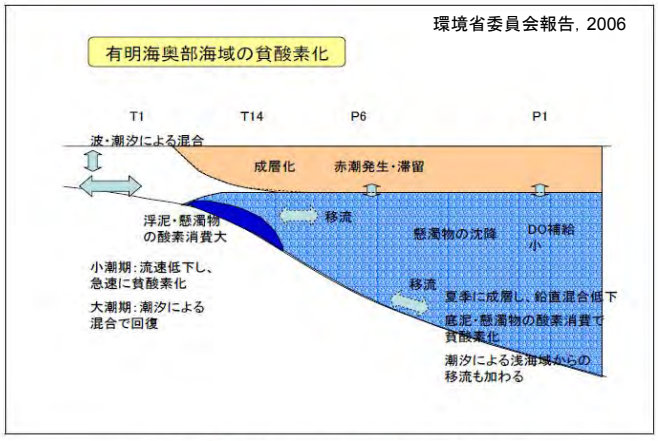


図 3.6.3　有明海湾奥部における貧酸素水塊発生の模式図

また、貧酸素化の解消に関しては大潮時の強い鉛直混合と強風による混合による成層の緩和というものが原因という事が示されています。

このように有明海奥部における貧酸素水塊の発生、変動の基本的な機構については既にほぼ解明されているといっていいと思います。これは環境省委員会報告にもある模式図ですが、夏季に成層し鉛直混合が低下して底層にいく酸素の量が減少する。そうすると底泥、懸濁物の酸素消費で貧酸素化が進む。特に湾奥の浅海域では浮泥、懸濁物の酸素消費が非常に大きいために貧酸素化が著しい。小潮時に流速が低下すると成層がそういったもののために貧酸素化する。大潮になると混合されて酸素が供給されて回復すると、それ以外にこちら側で発達した貧酸素が奥の方に移流していくとそういう効果があると、そういった事が報告書の時点で既に指摘されています。

こういった貧酸素水塊の形成・変動機構に関してはもう一つ、どうして湾奥西部の浅海域で特に貧酸素水塊が発達するのかということがポイントになります。これは例えば他の伊勢湾、東京湾といった所では非常に深い海岸の一番深い部分に貧酸素水塊が形成されるのに対して、有明海の場合は非常に浅い所になぜ貧酸素水塊ができるのか。それに関しては底質の有機物含量が高く、酸素消費速度が大きい海域がこの貧酸素水塊の発達する海域である。そういう指摘がされます。それからエスチャリー循環による底層で湾奥向きの流れがあるというのがこの原因ではないかと。これに良く似た表現がして有りますけれども、エスチャリー循環による懸濁物輸送、底質再懸濁、懸濁物による酸素消費と書きましたが、これは分かり易く説明しますと、有明海の場合潮流が低くて非常に底質の再懸濁、沈降が激しいと、そういった懸濁物はエスチャリー循環があるために底層で浮上、再沈降を繰り返しながら湾奥の方に動いていくと、湾奥に集積して集積した所で更に浮上、沈降を繰り返すと非常に酸素消費が大きくなっていく、こういったことを意味します。また、非常に水深が浅いということもここの海域で貧酸素が発生する要因になります。

2. 貧酸素水塊の形成・変動機構解明（続）

湾奥西部の浅海域で特に貧酸素水塊が発達する原因

A）底質の有機物含量が高く、酸素消費速度が大きいと推測される（瀬口ら、2006）.
B）エスチャリー循環による底層で湾奥向きの流れ（速水、2007）.
C）エスチャリー循環による懸濁物輸送、底質再懸濁、懸濁物による酸素消費（徳永ら、2005；速水ら、2006）.
D）浅い水深

3. 有明海における貧酸素水塊の長期変動

潮汐が大きい有明海では夏の成層期でも鉛直混合が活発で、貧酸素水塊はほとんどみられない（代田・近藤、1985）
→浅海定線調査（大潮時）データの水域平均にもとづく

湾奥西部では夏季の底層DOが長期的（1972-2002）に低下傾向にあり，植物プランクトン由来の有機物沈降量増加が原因である可能性がある.　（環境省委員会報告，2006）

近年も底質中の有機物が増加しており，貧酸素化は進行，その原因は秋季の赤潮増加にある．また，水温上昇も原因（堤ら，2007）

夏季の有明海奥部は出水の影響を強く受け，成層強度の年々変動が大きい.
（貧酸素化のポテンシャルを評価するために），年々の成層強度変動を除去して底層DOの経年変化を評価→1970年代から80年代中頃にかけて湾奥西部の7月の底層DOは低下（速水，2007）.

3. 有明海における貧酸素水塊の長期変動　–問題点–

有明海奥部

◎経年変化（貧酸素化が進んだか否か，進んだとすればその原因は？）が重要なのにもかかわらず，研究は少ない.

◎2000年以前の過去のモニタリングデータが限られている
特に，貧酸素水塊が発生しやすい小潮時のデータがない
また，浅海定線調査データは出水の影響を受けるなど数々の問題点があり，代表性がない（堤ら，2007）

◎潮汐振幅減少と貧酸素化進行の関係についてはまだ結論が得られていない.

◎諫早湾の貧酸素
潮受け堤建設による潮流低下が引き起こした鉛直混合の弱まりが原因として指摘されている（日本海洋学会海洋環境問題委員会，2002）．しかし，充分に検討された研究はまだない.

3 つ目としまして有明海における貧酸素水塊の長期変動を取り上げます。これに関しては潮汐が大きい有明海では夏の成層期でも鉛直混合が活発で、貧酸素水塊は殆ど見られない。これが良く引用される文献ですけれども、代田、近藤さんが 1985 年にこうした事が指摘されています。つい最近では、こうした結果が得られているデータが、浅海定線調査、大潮時に行われている調査ですが基本データの更に水域平均に基づいた記述であるということです。近年に関しては湾奥西部では夏季の底層 DO が長期的に低下傾向に有り、植物プランクトン由来の有機物沈降量増加がその原因である可能性があるという事が環境省の委員会で指摘されています。ここで長期的といいますのは 1972 年から 2002 年の 30 年間です。一方近年、1990 年代以降ですが、それに関しても底質中の有機物が増加しており、貧酸素化は進行している。そしてその原因は秋季の赤潮増加にあり、また、水温上昇も原因であることが堤先生らによって報告されています。また、夏季の有明海奥部は出水の影響を強く受けて、成層強度の年々変動が非情に大きいです。従って貧酸素水塊の変動と言っても、長期的な傾向以外に毎年の放水量、河川流量の変動の影響を非常に大きく受けています。そこでどの位貧酸素化しやすいかという貧酸素化のポテンシャルを評価する為に、こうした年々の成層強度の変動を除去して底層 DO の経年変化を評価することを行いました。その結果 1970 年代から 80 年代中頃にかけて確かに湾奥西部の 7 月の底層 DO は低下することが解りました。但しこの方法では 10 年程度の期間の平均でしか話しが出来ないので、近年に関しては評価でやっております。

こういった事が有明海における貧酸素水塊の長期変動に関するこれまでの研究成果ですけれども、ここで長期変化に関する研究の問題点を少し整理したいと思います。

まず有明海の奥部ですけれども、貧酸素化については経年変化、貧酸素化がまず進んだのかどうか、進んだとすればその原因は何なのか、それを明らかにするという事が重要にもかかわらず非常に研究が少ないという事があります。現時点でこうした貧酸素化の長期変動について研究を行なっているのは実質的には熊本県立大学の堤先生のグループ、西海水産研究所、それから我々佐賀大学のグループと、それしか有りません。この研究が資源と関連するわけですけれども、2000 年以前の過去のモニタリングデータが限られている。特に貧酸素水塊が発生しやすい小潮時のデータがないというのが非常に大きな問題です。浅海定線調査は大潮時のデータだけで行いますと出水の影響を受けるなど数々の問題点が有りまして代表性がない状況を堤先生らが指摘されていて、こういった事もありまして益々研究がされていないというふうに考えられます。また、元々有明海の貧酸素の問題は諫早湾の潮受け堤の建設にとまって有明海の潮流が弱まって、その結果海水が混合されにくくなって貧酸素化が増したのではないかというそういうシナリオが考えられていまして、潮汐振幅減少と貧酸素化の進行の間には密接に関係があるという事が考えられます。近年になって必ずしも問題はそんなに単純ではないという事が理解されつつあるのですけれども、その一方において、こうした潮汐振幅減少と貧酸素化進行の関係に関してはまだ結論が得られていません。こういった事が有明海奥部における今の問題点です。また、もう一つ諫早湾にも貧酸素水塊が形成されるわけですけれども、これに関しては潮受け堤建設による潮流低下が引き起こした鉛直混合の弱まりが原因として指摘されています。これは問題が発生してからかなり早い時期に日本海洋学会海洋環境問題委員会で指摘されているわけですけれども、それ以降実は充分に検討されている研究がまだ有りません。こうした諫早湾における潮受け堤防による変動の研究というものは非常に意外だと思われたかもしれませんが、問題点として大きなものを持っています。

次に佐賀大学における近年の研究より幾つかご紹介したいと思います。ここでは先程もお話しましたように貧酸素の問題で重要なことは経年的に貧酸素が進行したのかどうかという問題です。進行したとすればその原因、機構は何なのかというそれが非常に大きな問題であります。また、経年的にといった場合にこの期間、これが何時頃をさすのかという事によって問題の認識が非常に大きく違います。我々の場合ここでは 1990 年代以降に注目して研究を進めています。一般的に貧酸素の経年変化の要因を考えた場合に 3 つの原因が考えられます。1 つは酸素消費速度の増大。2 つ目は底層への酸素供給量の減少で、これは主に鉛直方向への酸素の不足です。3 つ目に初期 DO 濃度の低下。3 つの要因が考えられます。これらについて順番に我々は研究を進めているわけですけれども、酸素消費速度の増加に関しては有明海奥部では夏季の赤潮発生日数は経年的には増加していません。秋冬季は増加していますけれども、夏の酸素消費の増加に対して秋冬季に生産された植物プランクトンがどの程度寄与しているかは良く解りません。そこで他に有機物供給が増加した可能性があるかどうか検討してみました。そこで考えたことは諫早湾から有明海奥部への輸送です。それに関して我々が観測、調査したものを一つ紹介します。

II 佐賀大学における近年の研究より

貧酸素問題で重要なこと：経年的に貧酸素が進行したのか？　進行したとすれば原因・機構は？
特に1990年代以降に注目する.

貧酸素の経年変化要因
1）酸素消費速度増大
2）底層への酸素供給量減少 ---- 主に鉛直方向
3）初期DO濃度の低下

1)について→有明海奥部：夏季の赤潮発生日数は増加していない．秋冬季は増加しているが，夏の酸素消費増加に寄与するかは？　他に有機物供給が増加した可能性は？　→諫早湾から有明海奥部への輸送

これは 2006 年 8 月 2 日に観測、調査したものでどういった調査をしたかといいますと、一潮汐の間、この湾奥の各点に沿った A から F の間と、諫早湾から海底谷の G から L の間の片道 1 時間乗って 1 潮汐を往復してその間の水質及び物質を調査したということです。これがその結果で諫早の湾口付近この点（J）における濁度の 1 潮汐の間の変化、それから A から L に至るこのラインと G から J に至るこのラインのそれぞれの断面における濁度の分布の変化を示しているのがこの図です。これを見ますと干潮から上げ潮にかけて中層に濁度の極大が見られたことが非常に大きな特徴で結果的にみるとこれは諫早湾の湾口部に出現してこれが湾奥に向って、浅瀬に向かって、運ばれながら沈降していく可能性がわかります。これを諫早の湾内の方で見ますと丁度小潮から上げ潮にかけて諫早湾内に非常に底層が高濁度になっている。こうして高濁度の水が諫早湾の湾口から流出する様子が分かります。

諫早湾から有明海奥部への懸濁物輸送

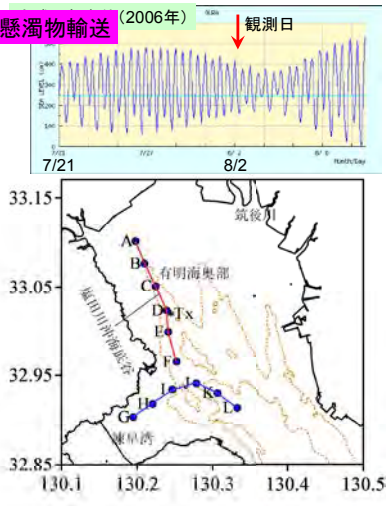
観測

観測日：2006年8月2日

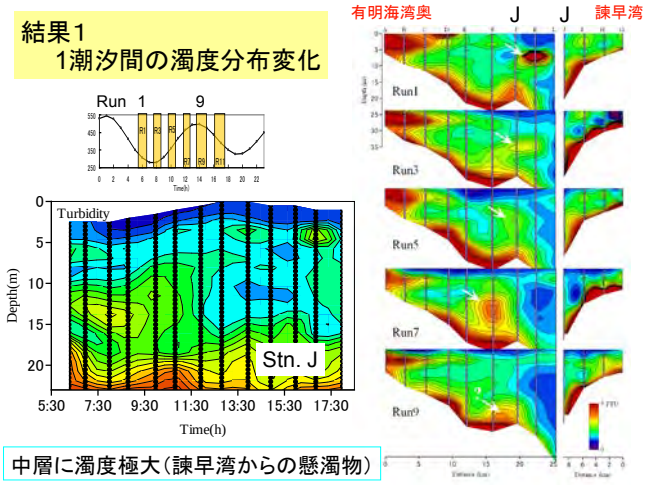
各測点で停止
CTD観測
ADCP観測（1分間）

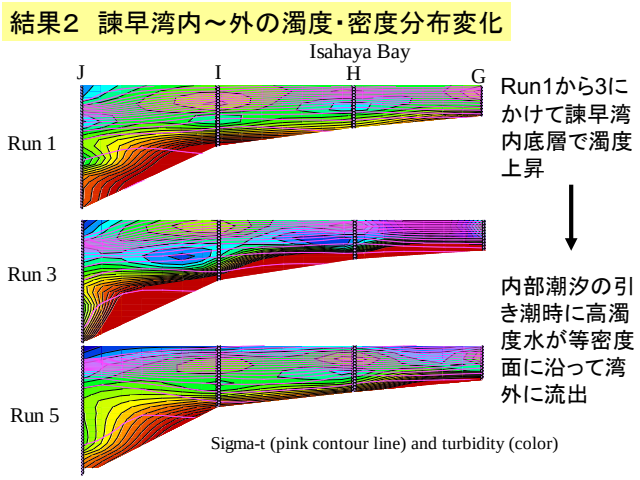
A～F，G～Lの各測線について，13時間往復
A-F：12 runs
G-L：13 runs

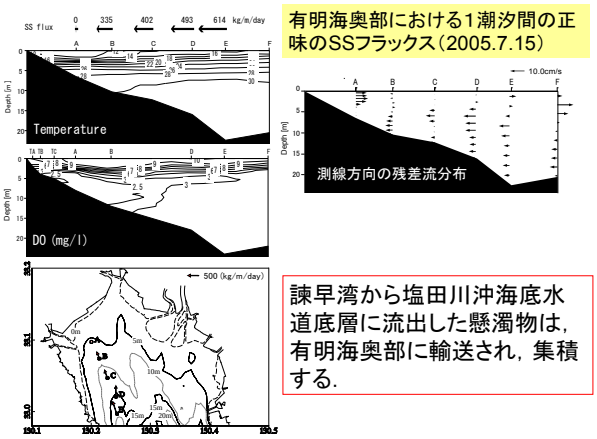
CTD観測測定項目
水温，塩分，濁度，クロロフィル蛍光



これは先程の諫早湾内の断面図について密度の分布図と重ね合わせたものですけれども、ピンクのラインが密度ですけれども、これを見ますと Run1 から Run 3 にかけて湾内に撒き上げられた懸濁物が、この密度面に沿って諫早の沖合海底付近に向かって流出している様子がわかります。これは少し説明を省きますけれども、どういうことかと言いますと内部潮汐の引き潮時に高濁度水が等密度面に沿って湾外に流出している事を示しています。更に、この諫早湾口の海底に流出した懸濁物は、どのように運ばれるのかと申しますと、これは２００５年７月に観測した有明海の奥部における懸濁物の１潮汐間の正味の輸送量の分布を示していますけれども、湾奥部では海底谷に沿って湾奥向きに懸濁物が輸送されていて、しかも沖合では、このように輸送量が多いと。これはどういう事を示しているかと言うと沖合で懸濁物が湾奥に集積していることを示しています。そして集積地がちょうど貧酸素水塊が形成される中心の位置に位置します。何故こういうふうに湾奥に輸送されるのかと言いますと、有明海奥部の残差流の分布と言うのは、エスチャリー循環の影響を受けて、上層で流出、下層で流入となっていまして、底層で強い潮流によって再懸濁、沈降を繰り返していくと結果として湾奥に運ばれる。そういう構造になっています。



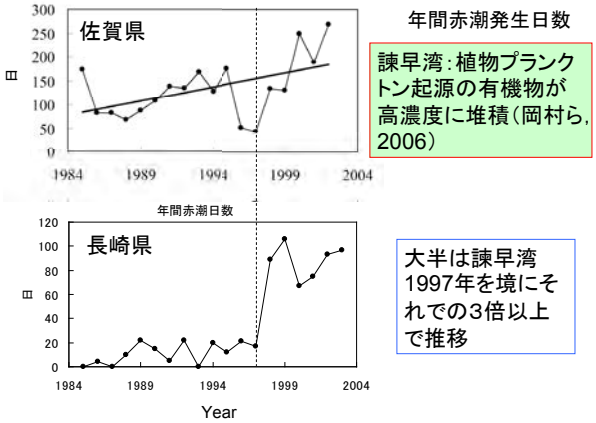




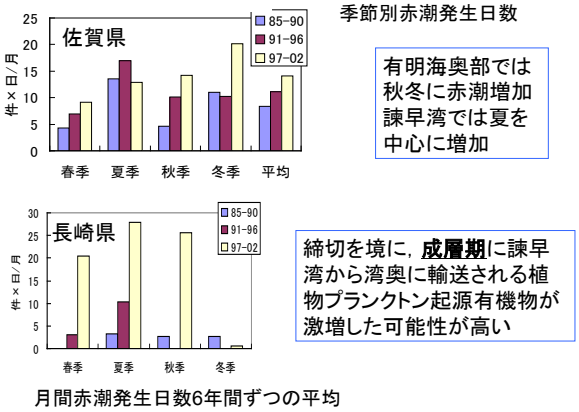
ここで少し別の視点から問題を見ることにします。これは佐賀県と長崎県の海域における赤潮の発生状況の違いを示したもので、１９８５年から２００３年までの毎年の年間赤潮の発生件数の変化です。どちらも赤潮の発生日数は増えているのですけれども、長崎県の場合、１９９７年を境にしてこの増加が非常に顕著で、しかも大半は諫早湾で発生しています。１９９７年を境にそれまでの３倍以上の赤潮が諫早湾で発生するようになっています。またこれは水研による調査の結果ですけれども諫早湾では、現在植物プランクトン起源の有機物が非情に高濃度に堆積していることがわかります。更に両海域における赤潮の発生状況を季節別に比較しますと佐賀県の場合は夏に関しては必ずしも増えていないのです。秋冬に関しては増えている。年間とし

ては増えていますけれど夏は増えていない。それに対して長崎県の場合は、冬は殆ど発生していなくて、夏を中心とした時期に赤潮が非常に増えてきています。こうした事と先程の懸濁物輸送に関するデータを併せて考えますと、諫早湾の締め切りを境に諫早湾内で植物プランクトンの生産量が急激に増えたと、そしてこうした植物プランクトンが湾内に沈降すると、湾口外に流出し諫早湾から流失した懸濁物は、諫早湾から湾沖に輸送される。即ち締切を境に成層期に諫早湾から湾奥に輸送される植物プランクトン起源有機物が激増した可能性が非常に高いと考えます。

佐賀県海域と長崎県海域における赤潮発生状況の違い1



佐賀県海域と長崎県海域における赤潮発生状況の違い2



それから２つ目。底層への酸素供給減少に関しては、これに関しては、浅海定線調査データの解析によると、夏季の有明海奥部の成層は、１９９０年から２０００年の間むしろ弱まってきているという結果が得られています。但しこれに関しては、出水の影響があるため代表性がないとされています。そこで出水の影響を除いて解析してみました。詳しくは省きますけれども、出水パターン別に浅海定線のデータを整理しまして、それで出水の影響がない、そういう時期のデータだけについて、経年的な変化を調べました。そうすると、データとしては歯抜けになるのですけれども、この中で出水の影響がない場合についてだけの経年的な変化を調べることができます。そうしますと７月に関しては出水の影響が多い年は多いので、余り連続的な変化を示す物にはならないのですけれども、８月９月に関しては、出水の影響がない年だけを取り出しても、潮受け堤建設後に成層が強まった様子は認められないという事がわかりました。即ち、少なくても大潮時だけのデータだけを見ると成層が強まった結果貧酸素が強まったというそういうシナリオは無いという事です。

３つ目、初期ＤＯ濃度の低下に関してですけれども、これについては特に、大潮小潮周期で形成・消滅を繰り返す底層貫入型貧酸素については初期値の影響が非常に大きいと考えられる。そこで、底層貫入の発生機構と貫入水の起源について調査を行いました。どういう調査を行ったかとい

貧酸素の経年変化要因
1）酸素消費速度増大
2）底層への酸素供給量減少 ---- 主に鉛直方向
3）初期DO濃度の低下

2)について→浅海定線調査データの解析によると，夏季の有明海奥部の成層は1990～2000年の間，弱まっている（柳・下村，2004）．

堤ら（2007）→浅海定線調査データは出水の影響があるために代表性無し．

⇩

出水の影響を除いて解析すると？

いますと湾奥から湾口に近い湯島瀬戸のこうしたラインの１大潮と小潮周期の間、つまり２週間の間繰り返し断面観測したという事です。時間がないので少し飛ばしますけれども、上が大潮、下が小潮の時の、湾奥から湯島瀬戸までのこの塩分と水温の分布です。湯島瀬戸は、非常に強く鉛直混合していて、この付近に表層フロントがあるのですけれども、底層の方のフロントはずっと湾奥にあって諫早の湾口にあります。また水温の方で見ますと熊本県沖に顕著な冷水ドームが形成されています。こうした冷水ドームは、実は諫早湾、有明海以外に、東京湾、瀬戸内海、伊勢湾の所で共通して見られるものであります。小潮になるとこうした底層フロントが湾奥に進入して冷水ドームに水が入ってくる。こういったところが貧酸素です。実際この調査では、無酸素状態であったことがわかっています。これが５回観測した密度ですけれども、これを見て解りますように、ここにあったフロントが湾奥に入って湾奥の成層が強化された後、鉛直混合されて成層が崩れる様子がわかります。

これをまとめますと、有明海における海洋構造という物は、大潮期には、熊本沖に冷水ドームがあって、底層フロントがあって、表層フロントがあって湾口近くにある。小潮になると底層のフロントが湾奥に侵入して、そしてこの冷水ドームの水が湾奥底層に入ってきます。そしてこの水が、湾奥底層の成層が強化されると共に、この水が貧酸素化する、即ち、進入水の起源は熊本沖底層に形成される冷水ドームになるということです。そこでこの熊本沖冷水ドームの水質の経年的変化について見てみます。ＤＯの経年的変動で、データが非常に少ないので、これは熊本県の公共用水域のデータを使っているのですけれども、これを見ますと実は夏の冷水ドームの底層ＤＯは、非常に経年の変動が大きくて、４．３から６位まで変化している。こう考えると熊本沖冷水ドームの変動が湾奥の底層ＤＯ経年の変化に影響する可能性があるという事が考えられます。

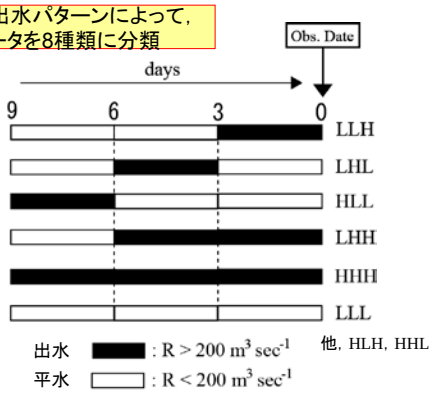
浅海定線調査の特性を考慮したデータ解析

目的
有明海奥部における出水に対する海洋構造（成層強度分布）と底層DO分布の応答の解明

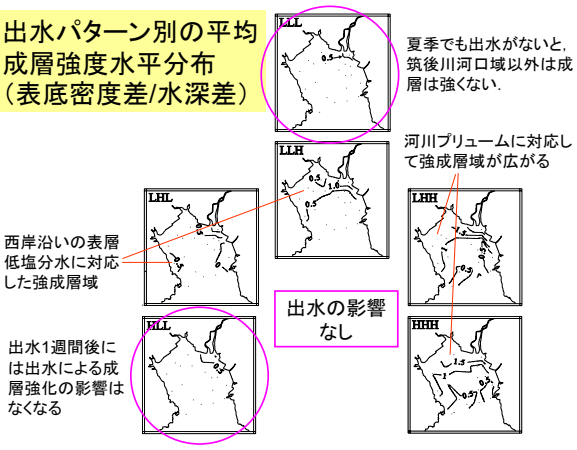
解析資料：
佐賀県・福岡県有明海浅海定線調査

データ期間
福岡県：1965～2005年
佐賀県：1972～2005年
いずれも成層期（6月－9月）のデータを解析

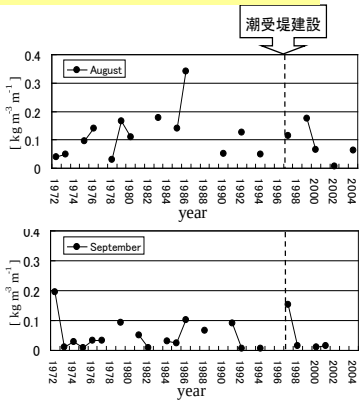
観測前の出水パターンによって，全てのデータを8種類に分類



出水パターン別の平均成層強度水平分布（表底密度差/水深差）

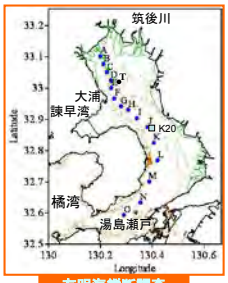


出水影響がない場合（LLL,HLL）の成層強度経年変動



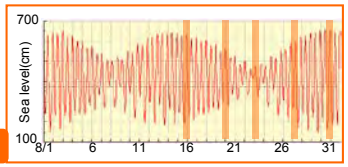
出水の影響がない年だけをとりだしても，潮受け堤建設後に成層が強まった様子は認められない．

観測（2007年7～8月）



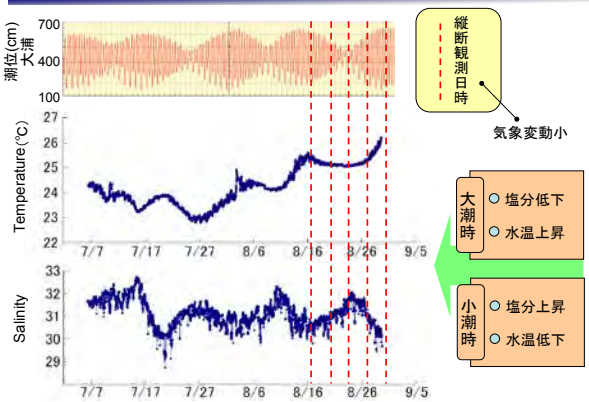
有明海縦断調査
測点位置

- 測点は湯島瀬戸から有明海奥にかけて海底谷に沿ったA～Oの15点
- CTD観測（塩分・水温等）
- 大潮・中潮・小潮時に計5回、満潮時を挟むように観測
- 測点Tでは流速及び底層塩分・水温の係留観測（7/6~8/29）

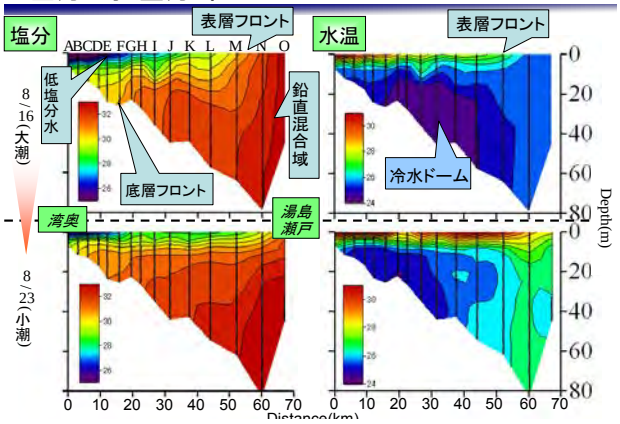


大浦実測潮位（8月）

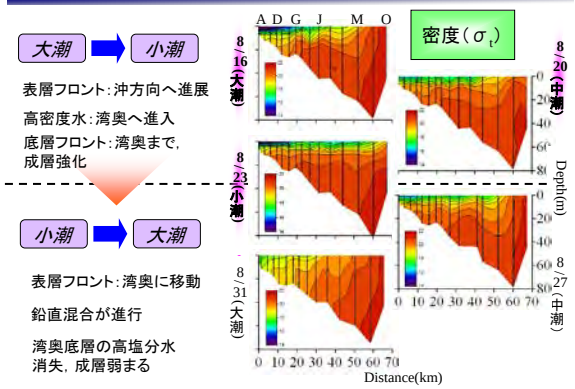
底層水温・塩分の変化



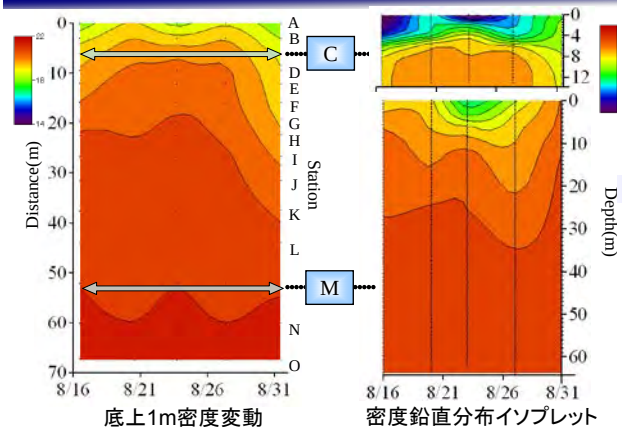
塩分・水温分布



密度分布

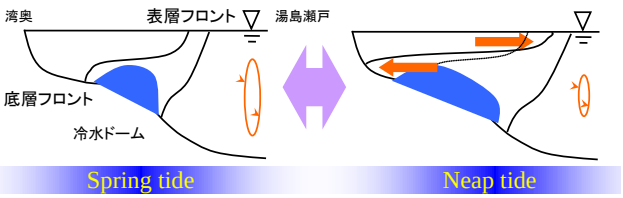


密度時系列変化



底上1m密度変動　　密度鉛直分布イソプレット

まとめ　-大潮小潮周期変動-

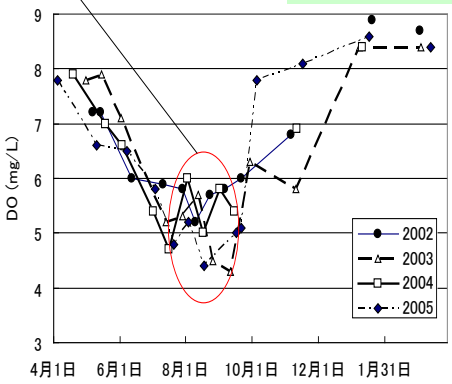


有明海・海洋構造の特徴

- 底層フロントが湾奥部に形成される
- 底層フロントは小潮になると、さらに湾奥部（測点A）付近まで進入
- 進入水の源は熊本沖底層に形成される冷水ドーム

熊本沖冷水ドームの変動が，湾奥の底層DO経年変動に影響する可能性あり．

4.3～6.0mg/L の経年変動



熊本県公共用水域調査測点K-20における底層DOの変動

最後に今後の研究課題についてお話しします。有明海の貧酸素に関しては、モニタリング体制が湾奥部に関しては非常に充実した状態にあります。貧酸素水塊の形成、変動機構に関しては少なくとも湾奥部に関しては基本的には解明されています。

今後の課題としましては、貧酸素の経年変化に関する原因と機構の解明、それから、貧酸素を緩和するための根本的な施策の立案。それから将来予測というのが大きな課題になります。この将来予測という物は、どの位の期間が環境の改善に要するかというそう言った予測を含みます。こう言った検討を進める場合、数値モデルによる検討に頼らざるを得ません。現時点では、有明海で貧酸素モデルを開発しているのは、私が承知している範囲では、鹿島建設といであ、それから佐賀大の３つのグループがベースとなります。

III 今後の研究課題

有明海の貧酸素
モニタリング体制：湾奥部については非常に充実した状況にある
貧酸素水塊の形成・変動機構：基本的には解明された

⬇

課題
1. 貧酸素の経年変化に関する原因・機構の解明
2. 貧酸素を緩和するための根本的な施策の立案
3. 将来予測

→数値モデルによる検討に頼らざるを得ない
貧酸素モデル開発：鹿島建設，いであ，佐賀大

残された小課題

有明海奥部で酸素消費に寄与している有機物の起源は？

秋冬季に沈降した植物プランクトンが夏季の酸素消費にどの程度影響するか？

酸素消費速度の空間分布は？

夏季の成層強度経年変動について，大潮時と小潮時で違いはないのか？

湾奥・諫早湾底層DOについて，流入水DOの変動が影響している
→熊本沖における中～底層のモニタリング拡充が必要

次にこれ以外にも小課題としては、いくつかの問題が残されております。ひとつは、有明海の奥部で酸素消費に寄与している有機物の起源が何かという事。これに関しては、水研の方の研究によって、主に、海で生産された有機物が酸素の消費に寄与している事が分かってきています。但し、海で生産された有機物でも、主にどこで生産されたものが湾奥、或いは諫早湾内での酸素消費に寄与しているのかという事が今後の課題として挙げられます。次に、有機物の起源はいいとして、いつ生産されたものかということも課題になります。即ち、秋冬季に沈降した植物プランクトンが夏場の酸素消費にどのように寄与しているのか、これに関しても研究開発が必要とされています。酸素消費速度の空間分布、これに関しても実はまだよく解っていません。底層の底質中の有機物の分布は、解っていますけれども、それが必ずしも中々酸素消費速度を反映したものとは言えないという事です。それが要因です。

それから、先程成層強度の経年変動についてお話ししましたけれども、大潮時と小潮時でこうした経年変動のパターンが同じであれば、長期的な成層の強化は無かっただろうという事が言えるのですけれども、実は、必ずしも証明されていません。従って小潮時に限って成層が強化された、そのような機構はないのかという事は検討する必要があると思います。それから、最後にこれはモリタリングですけれども、湾奥、諫早湾で底層 DO について、流入してくる DO の変動、

つまり初期値の変動が影響してくるという事が先程の話で分かって頂けたと思いますけれども、熊本沖における中層、底層のモニタリングというものは非常に欠けています。経年変動の計算データはありません。

従って、今後こうした沖合における中、底層のモニタリングの拡充が必要だと考えています。以上です。

〔意見交換〕

【九州大学 小松　利光　教授 】

九州大学の小松ですが、何点か教えて下さい。まず、聞き落としたかもしれないのですが、湾奥西部の浅海域で、貧酸素水塊が発達する原因の一つとして、浅い水深というのが
ありましたが、それはどうしてなのですか。それから、もうひとつは諫早湾で撒き上げられた懸濁物質が、湾の奥の方に運ばれるそのメカニズムは、そうだろうと思うのですが、同じ様に潮流とか波があって、何故、諫早湾では撒き上げられて、取られるというフラックスが生じて、そして湾の奥では、何故沈降という、何故そういうフラックスになるのかという、その点、それから、もう一つは、諫早湾の成層を議論する時に、多分調整池からの排水が物凄くきくと思うのですが、浅海定線調査で、大潮の時に測っていますけれども、多分調整池からの排水との関連で、物凄く変わってくると思うのですけれども、その辺はいかがでしょうか。

【 佐賀大学 有明海総合プロジェクト　速水　祐一 准教授】

非常に、鋭いポイントをついて来られたと思うのですけれど、まず浅い水深ですけれども、これは、非常に単純化して言いますと、酸素消費が海底だけで生じるとすれば、水深が大きければ大きい程、全体としては貧酸素しにくい。つまり、躍層よりも下の水のボリュームが 10 あるか 1 あるか、それによって、海底での酸素消費が同じであっても、その水塊全体の酸素の減少量は厚さが薄い程小さい。基本的にはそういう事です。

それから、2 番目の諫早湾とそれから湾奥のフラックスの違い。非常に物理データと考えると面白い点で、私も元々諫早の方でも湾奥に向って動いていると考えていて、それを証明するつもりで調査を行った訳ですけれども、実際は逆であったと。これは、どうも諫早湾の場合、内部潮汐によって、高密度水が湾内に打ち上げられて、それが引いていく時に、懸濁物を巻き上げて湾外に運んでくると、エスチャリー循環よりもその効果の方が大きい。それに対して湾奥の方は、そういった内部潮汐の影響よりも、はるかにエスチャリー循環の効果が大きい。基本的には、そういう事と考えています。定量的には、まだこれから検討する必要があると思います。

3 つ目の調整池からの影響に関しては、どちらかと言えば栄養塩供給の問題があると思っています。今の所、調整池からの有機懸濁物の供給に関しては、全くまだチェックできていません。

【九州大学 小松　利光　教授】

そうではなくて、成層度が強くなっていないのではないかと浅海定線調査の結果からそういう事になっていますね。成層度、特に諫早湾の成層度に関しては、調整池からの淡水の排水が随分来ているのではないかと。

【 佐賀大学 有明海総合プロジェクト　速水　祐一　准教授 】

諫早湾の成層といいますか、諫早湾内の淡水量に関しては、調整池から来るものよりも、諫早湾の湾口を通して、供給される筑後川起源の淡水の方がはるかに大きいという事は、これは東大の先生が報告されています。諫早湾内の成層に関しては、先程のものとは、全く別です。データがないのですが、諫早湾内の成層が基本的に強くなっているかどうかという事は、私は、まだ整理出来ていません。ただし、常識的に考えれば、締切りを境に非常に強くなっていると考えています。

【熊本県立大学　堤　裕昭　教授】

熊本県立大学の堤でございます。

中々上手くされていて、私が納得した所があるのです。前から疑問に思っていたのが、何故、有明海の奥の西側の部分に貧酸素水塊が大きく出るのかというのを、やはり、諫早湾からのフラックスもあるのでしょうが、そこだけではなく、諫早湾からも沈降しやすい。多分それは 1970 年代に浅海定線調査でも貧酸素が起きています。記録があるので、昔からそういう構造があったのではないかと思うのです。今、ひょっとしたら強化されているかもしれない。そういう事で強くなっている。それを非常に納得させて頂いたようなデータだと思うのです。只、実は速水先生の調査内容も鹿島のこの海岸線と並行に取られています。

私の調査内容ではそれから更に並行なのですけれど、もう少し沖側に行っているのです。そこには、それは及んでいない筈なのですが、そこでももうひとつ貧酸素が起きていて、それは残念ながら浅海定線調査の調査ポイントではないのです。沖側の所は採られていないので空白になっています。そこをたまたま両岸、有明海の柳川と佐賀県側の丁度真ん中の所なのですが、そのラインというのは、今まで調査されていないのです。そこも実は貧酸素が２０００年になってひどくなっているという事がありまして、そこに関してはもっと別のメカニズムがある。そのラインより、丁度、岸とその ABCDEF のラインと同じ位、沖側に行った所で我々は調査しているのです。そこは、浅海定線の点が無いのです。残念ながら。そこを我々は見ていて、そこに関しては確かに言われるように、夏の成層強度が私も強くなっていると思っていないのです。ひょっとしてなっているかもしれないが、データで、それが解析できるようなものはないのです。ですから、それ程夏に成層強度が酷くなって、貧酸素が酷くなっているわけではないけれども、現実には貧酸素が酷くなっているのです。我々が２０００年からやっている時に酷くなっているので、それは多分海底の有機物含有量が上がってきているので、そういう海底の酸素濃度が非常に大きく変わるのではないかと思うのですが、その有機物含有量のデータも、我々が採ったデータ以外にはないのです。

ですから無い物づくしでこれからまた、色々と考えなければならないのですけれども、そこで１つ質問なのですけれども、ここ２０００年のだいぶ後半になって来ると、非常に貧酸素が酷いですよね。１を切って０度台が広範囲にあって、こんな事は余程の事が無い限り起きないと思うのです。だって、周りに対して工場もないし、人口密集の高い都市でもない。栄養塩がそんなに大量に入ってきたり富栄養化した事実もない。そういう所でなぜかしら酸素ばかり無くなっていく。これって凄く不可解な、ですから、もう少し非常に明確なメカニズムがあるのではないかと

思うのですが、先生、それはどのように思いますか。

【 佐賀大学 有明海総合プロジェクト 速水　祐一　准教授 】

基本的には、有明海は非常に成層が強くなる事がある海ですから、酸素消費速度が大きくなれば、無酸素になって、当然の海域だと思います。有明海と同じように、周りに余り有機物が無いのに係らず、有機物発生が無いのに係らず低酸素の海域というのは、結構あります。従って、必ずしも有明海特長だとは思いませんけれども、ただ有明海の場合は、少なくとも昔は、十分にこういった水域にベントスとか沢山いた。つまり、そういう無酸素が毎年起きる状態ではなかった海だったのが、わずか十数年の間に変わってしまった。そこは同じ考えでありまして、それに関してはどうも有機物の供給量、酸素を消費する酸素の消費量ですが、それが急激に増えたのかどうか、ですから今後大きな課題としましては、貧酸素の問題はともかく、有機物のこの海域で、どういう有機物の負荷量がどのようにして増えたのか、また、その負荷量がどこにあるのかという事を明らかにしていくことが重要となっています。

【熊本県立大学　堤　裕昭　教授】

結局、消費量が増えているのですね。貧酸素は海洋構造が変化したのでなくて、消費速度が非常に上がっている。その影響は、それは一体どこに現れるのか。そこに尽きると思います。

以上

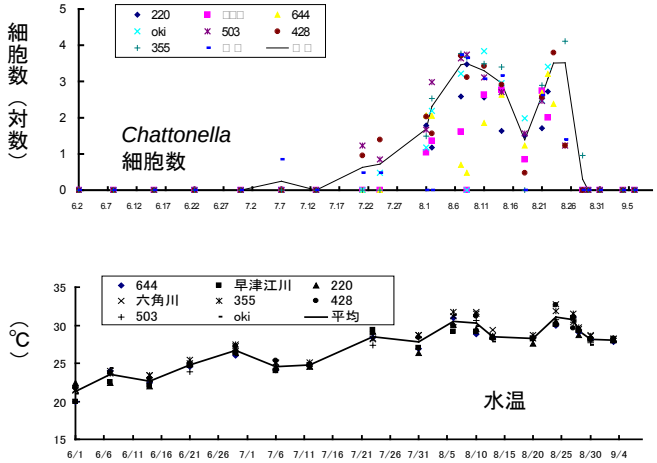
○赤潮に関する研究成果と今後の研究課題

赤潮に関する研究成果と今後の研究課題

九州大学　名誉教授　本城　凡夫

赤潮に関する研究成果と今後の研究課題としてまとめております。主として前半のシャットネラを中心に話をすることになるかと思います。

有明海におけるシャットネラ赤潮の発生機構に関してですが、この話をするのに非常に悩んでおります。これまでの情報と比較して、大きく異なっているからです。２００７年、昨年の赤潮の発生経過を佐賀県から送っていただいたデータで整理したものであります。上の図の縦軸はシャットネラ細胞の密度を対数で表示したものです。だから、１が十、２が百、３が千、４が１万細胞/ml に相当します。横軸に日を表示していて、６月の初旬から９月の初旬です。赤潮はどこで発生したかというと、８月６日から１０日頃にまず１回、それから２回目の赤潮を記録しています。下の図の水温は縦軸が１５℃から３５℃の間となっております。このように６月から徐々に上昇して、ここは２５℃、そして８月には３０℃まで達しています。最高水温の条件下でこの赤潮は発生していることになります。毎年、シャットネラ赤潮が発生する季節はこのお盆の頃で、ほぼ共通しています。１０数年間のデータを川村さんに整理して頂きましたところ、７月に発生した時が１回だけであります。ですから、何故この季節なのだろうと考えなければならないのですが、シャットネラの赤潮は大体お盆赤潮と考えて宜しいと思います。

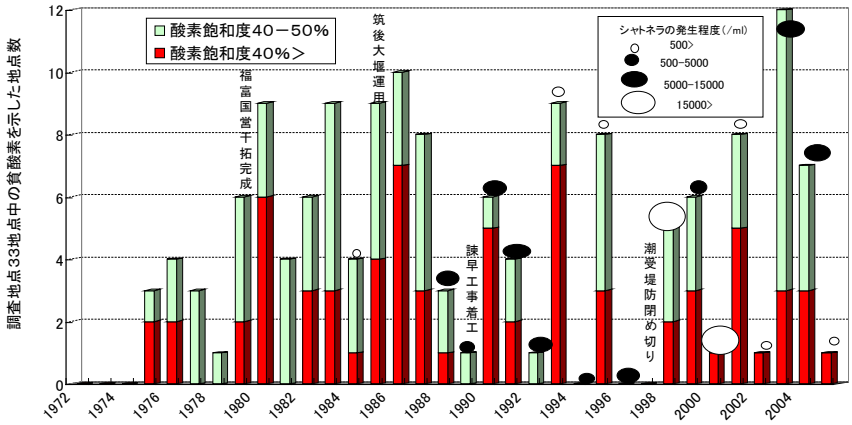


2007年有明海奥部佐賀県海域における*Chattonella*赤潮は最高水温条件化で発生

図 1

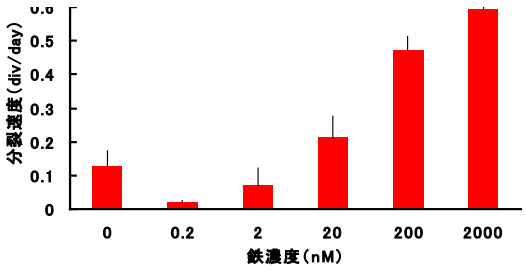
１９８０年代初旬に九州大学農学部の石尾先生が学会講演要旨で、１９８０年代以前に、有明海で鞭毛藻類の赤潮の発生を見た事はないと書いておられます。次の図も佐賀県の過去のデータ（７２年から２００６年）によってまとめたものです。縦軸は貧酸素になった地点数で、４０％から５０％になった地点数を緑で、それ以下になった地点数を赤で示す、貧酸素化が進み始めた時期を表す棒グラフであります。１９８０年に国営福富干拓干潟が完成し、筑後大堰の完成、諫早工事の着工、潮受け堤防の締め切りがこの図に記されてい

ます。佐賀県地先で最初にシャットネラの出現が観察されたのは、この１９８５年で、ここに小さな丸が書いてあります。実際にはもう少し前に諫早湾の近くで観察されたことが長崎県の資料に残っているようですが。このように、諫早湾のシャットネラ赤潮は瀬戸内海に比較して、新しい事象なのです。１９９０年代の頃から本格的に赤潮の発生は始まったという事です。私が現在の瀬戸内海区水産研究所の赤潮環境部長をしておりました少し前まで、瀬戸内海の播磨灘で大規模なシャットネラ赤潮が発生して大きな被害が出ています。それは１９７２年の４０億円に近い被害に始まり、それから１６年間ほど発生し続けてきました。実は、瀬戸内海のシャットネラの赤潮が終わった頃から有明海で発生しているという事です。ですから、自ずと研究の成果が多いのは、瀬戸内海、特に播磨灘です。播磨灘の発生仮説を基にして私は有明海の研究に取り掛かろうとしたのですけれども、その期待は無残にも打ち破られたことをこれから話します。



有明海奥部の大潮時における貧酸素水塊の形成及びシャトネラの発生

図 2



窒素とリン、その他の栄養素を十分に添加した培地でも鉄を加えなければ*Chattonella*は増殖しない

図 3

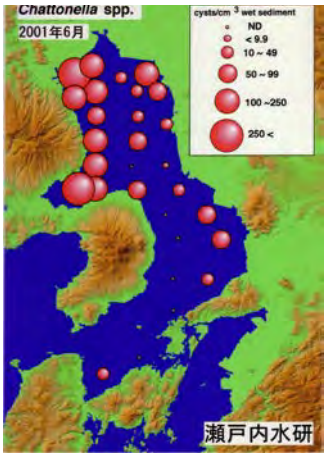


図 4

最近、私の研究室で得られた成果をここに示しています。シャットネラは窒素とリン、それからその他の栄養素を十分に添加した培地でも鉄を加えなければ、まず増殖致しません。この成果は、初めてではなく、岩崎英雄先生、岡市友利先生、そして私が１９８０年代に同じような成果を報告していま

す。ラフィド藻類の一種、ヘテロシグマはマンガンでも増殖しますから、鉄に変わる物としてマンガンがあるかもしれません。まず鉄が２００ｎＭ程あれば、高いスピードで増殖することをこの図は示しています。特に鉄は増殖を促進するということです。縦軸は分裂速度です。例えば２７ｎＭという濃度で鉄を培地に添加した時には１日にほんの０．２回分裂ですが、２０００ｎＭを添加すると０．６回は分裂します。そういうふうに増殖速度が増してくるわけです。ですから、本種の増殖に鉄を無視することはできない。発生機構を考えるうえで、重要な栄養物質であるように思います。

次に、赤潮が発生するためには、シャットネラの元種がなければならないという事です。２０００年に赤潮が発生し、２００１年６月の有明海におけるシストのデータを瀬戸内海水研がまとめています。塩田川の近くや諫早湾に大きな丸があり、１立方センチメートル当りに２５０以上のシストが泥の中にありました。ところが、図に示すように２００２年になるとそのシスト密度は半分ほどに減っているのです。２００１年に赤潮は発生していませんので、１年間で泥の中のシストは損失を受けたことを示しています。それでも私はこのように２年間シストが残っているので赤潮になる可能性があると予想していたわけですが、２００１年にも２００２年にも赤潮は発生しませんでした。元種すなわちシストとそれから発芽した栄養細胞がない事には赤潮は発生しません。水産庁は播磨灘のデータを総合して発生に関する仮説を立てています。シストは１５から２０℃になると、発芽する。発芽直後の細胞は小型細胞ですが、いつのまにか大型細胞に変化して核の DNA 量が２倍になる。この

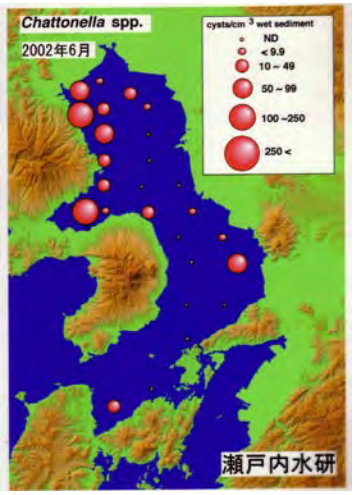
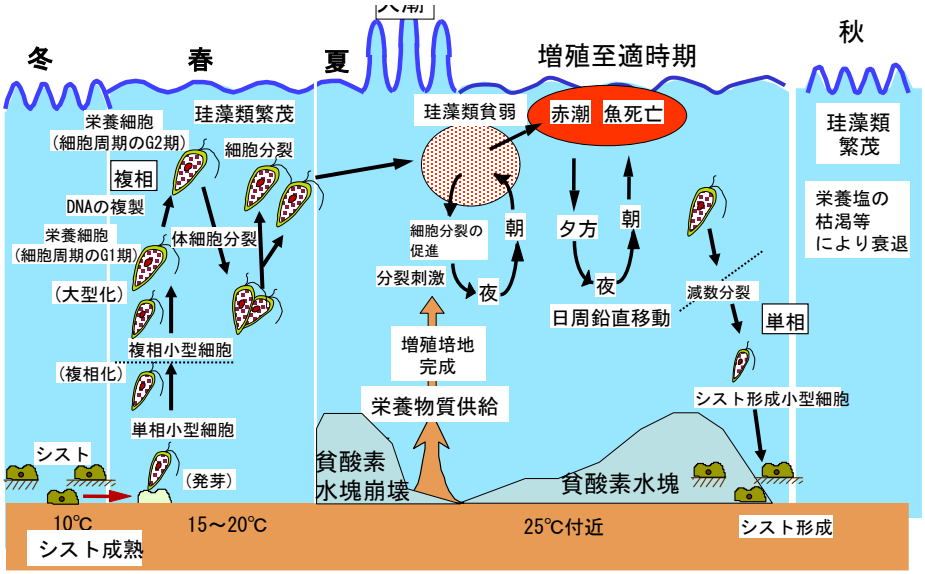


図 5

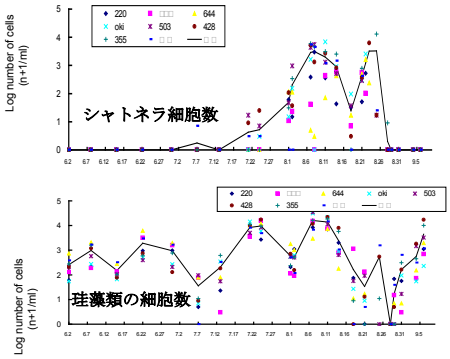


瀬戸内海の研究から想定される有明海における*Chattonella*赤潮発生機構

図 6

大型細胞が栄養分裂を繰り返して現存量が少し増えてきます。このような状態のときに、栄養物質の供給のイベントがないとこの分裂は一気に加速されないという事が過去の研究成果にあります。それが有明海の場合には大潮、小潮と考えていますが、播磨灘では強風による攪拌であるというふうに結論付けられています。台風のような強風による泥の攪拌の後に発生するという事であります。それで一気に増殖をし、養殖魚に被害を与えて、海水の栄養物質がなくなってくると、一部の細胞から小型細胞が生じ、この小型細胞から形態のまったく異なるシストになり、越冬してまた春を迎えます。

播磨灘の場合には泥の攪拌による栄養物質の供給ですが、有明海の場合には、大潮のときに貧酸素水塊が形成されても崩壊しやすいと考えて、貧酸素水塊の形成と崩壊による栄養物質の供給が赤潮を促しているのではないか、赤潮が終わったときに深刻な貧酸素酸水塊ができるというこういうシナリオを立てていたのであります。「ここになぜ降雨をあなたは入れていないのですか？」と聞かれるかもしれませんが、実は、大半の研究者が播磨灘では降雨との関わりについて触れてこなかったのです。それだけ赤潮は高塩分の状態で発生しているという事であります。



*Chattonella*の本格的増殖過程で珪藻類も増殖している

図 7

そこで、有明海の場合、貧酸素水塊が２００７年の赤潮の発達開始期に発生していたとする、主観的な整理をしてみました。この図のデータの定点は大浦から六角川に至る佐賀県の調査データを整理したものです。シャットネラ細胞の増殖開始時期はここです。対数増殖的に増殖しています。最初に出現が確認されたのは佐賀県の大浦から鹿島の間の所で、１リットルに数個でした。ですから、本格的な増殖はかなり期間を置いて始まっています。その時に少し酸素が低くなって回復しています。この４ミリグラム／リットルほどの酸素濃度でもって十分な栄養量はないと考えられます。酸素が減少していることは泥の中は還元状態であり、直上の酸素は無酸素に近いと想像はできるのですが、その証拠はありません。そうしますと、増殖の開始は何に一致してくるのかという事になります。また、先程シストは２５０個／

有明海鹿島沖におけるシャットネラシストの分布（佐賀県との共同）

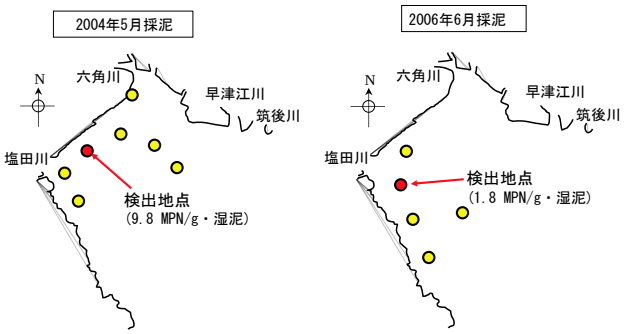
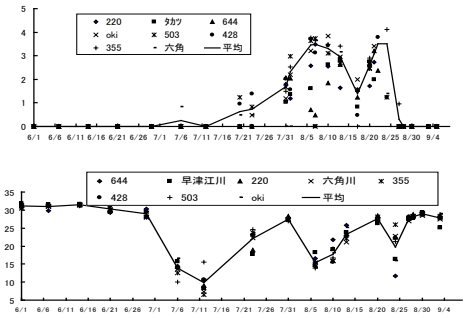


図 8

立方センチメートルというような数で泥の中に２００１年には存在していました。しかし、２００４年には、ついにこの点だけに限られ、しかも９．８個／立方センチメートルというような数に減ってしまっています。２００６年に再び調べてみましたら、ここの点だけで１．８と非常に低い細胞のシスト密度、２００７年６月には検出されませんでした。元種は検出され難いはずですから、赤潮は発生しないであろうと言っていたところに、予想に反して発生をしたのであります。

図に示すように、私の仮定と異なり、増殖初期に塩分が大きく下がっているといます。この塩分の低下とその後の回復が増殖の開始と非常に合っています。この時期に無機窒素やリンは十分な濃度で存在していました。有明海の鉄に関するデータはあります。今日、会場に配布されている年報を見て戴きますと、平成１９年度のこの年報に鉄に関係した報告を佐賀大学の田端先生がお書きになっています。珪藻スケレトネマ赤潮に関しての報告です。海水中には、利用可能な溶存鉄がかなり存在する、塩分の低いあるいは底層の貧酸素水塊の中に溶存鉄が存在していると書いてあります。そして、スケレトネマだと思いますが、大量に吸収したのでしょう。細胞内に鉄がたくさんある結果になっています。ですからスケレトネマが川から入ってきた鉄を利用したということになり、シャットネラが利用できる鉄が塩分の低下した海水の中に十分あったと考えても不思議ではありません。

この時期にシャットネラも増殖し始めているが珪藻も同時に増えています。塩分が低くなった時に、河川からの栄養物質を利用してシャットネラは珪藻と一緒に増殖しています。第１回目の赤潮の時には両種が複合してピークを迎えています。第２回目の時には珪藻は混在していません。２００７年のデータを見る限りにおいて、どうしても塩分の低下と赤潮



増殖初期において塩分が低下している

図 9

研究成果と今後の研究課題-1

2007年に発生した*Chattonella*赤潮

1. 発生の開始は降雨による塩分の低下と一致する。
2. *Chattonella*は増殖に鉄を要求する。河川水に利用可能な鉄は含まれているか？
3. シスト密度は発生の確率になぜ反映しないのか？
4. 瀬戸内海播磨灘における発生とは別の仮説を検討する必要がある？

図 10

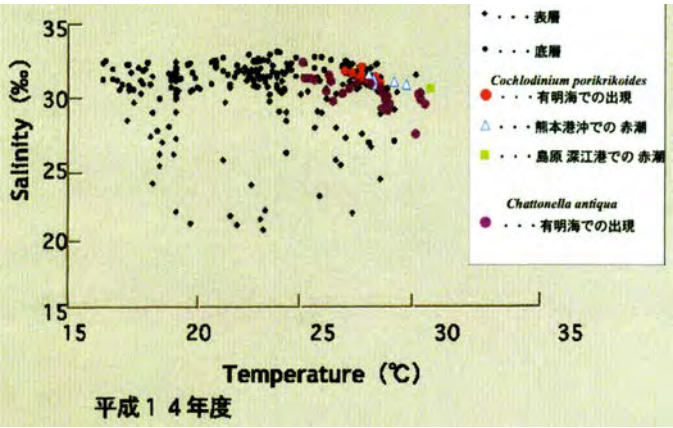
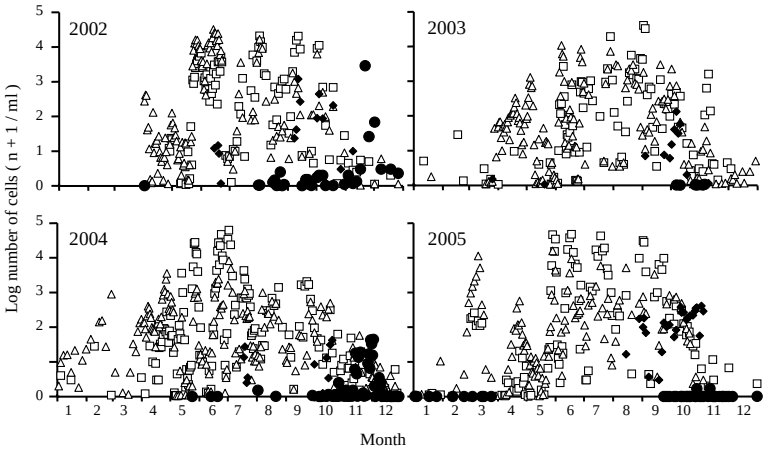


図 11

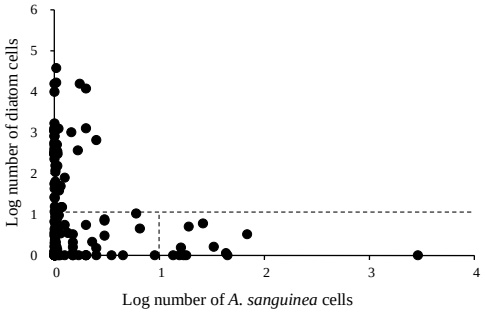
発生との関連を考えなくてはいけません。でも、２００２年に有明海でシャットネラ・アンティカが出現しているのですが、シャットネラが出現している時の水温と塩分は紫色で示したところです。塩分は３０です。対数増殖期の中期に相当し、塩分が非常に高い時に出現しています。２００７年のように雨による塩分低下期に発生を開始したのは、あまり例のないことであります。年によって淡水の時の影響と、他の影響がきっかけとなって赤潮となる事があるのではないかというように、私は２００７年の環境特性を踏まえて研究を進めていかなくてはいけないと思います。

本日お見えになっています長崎大学の多田先生が、筑後川の影響を受けて諫早湾のこの辺りの塩分が低下したと主張されています。筑後川の流量と諫早湾の塩分低下が非常に密接に関連しているという事であります。一方、諫早湾のシャットネラの赤潮はどうだったかと言いますと、農村振興局の毎日のデータから、シャットネラの赤潮はやや低い塩分の水塊の中で発生していることは確かです。すでに話をしましたように、多田先生は塩分の低下とシャットネラ赤潮の発生との関係を示唆されておりますけれども、塩分の低下が筑後川の直接の影響なのか、または他の影響なのかという事はなやましいところでもあります。とにかく諫早湾の赤潮はやや低い塩分の海水の中で発生しています。



箱崎港で*Akashiwo sanguinea*は珪藻の少ない晩秋に発生する
***A. sanguinea* (●), *Chaetoceros* spp. (△), *S. costatum* (□) and *A. japonica* (◆)**

図 12



***A. sanguinea*は珪藻類が繁茂している時にブルームを形成することはない**

図 13

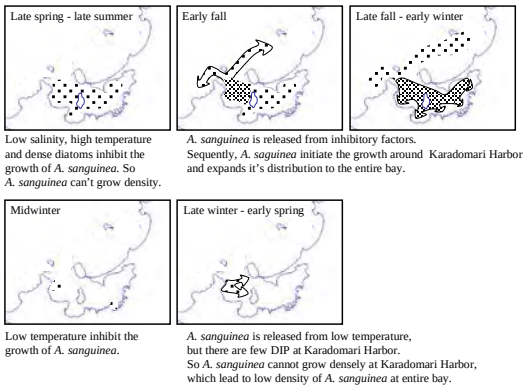
今回２００７年のデータの発生を見てみると、塩分と一致している。スケレトネマと鉄の関係は田端先生が報告されていますが、シャットネラと鉄との直接の関わりを示すデータがありません。もうひとつはシスト密度が、赤潮発生の確率に反映しなかったいという事です。ですから、シストから発芽した細胞は少なくとも、発芽してから後の栄養細胞が赤潮へと発達するのを待ち構えるまでの環境が非常に大事であろうと思います。また、瀬戸内海の播磨

灘における発生とは別の仮説と言いますか、雨量との関わりを検討しなくてはならないと思います。瀬戸内海の播磨灘の仮説とは合致しないのですけれども、周防灘では雨との関わりが一回報告されています。八代海の場合、貧酸素水塊は形成されずにシャットネラの赤潮は発生しているようです。

アカシオ・サングイネア（以後、サングイネアと記す）という渦鞭毛藻類が有明海では発生して冬の海苔期に発生し、栄養を吸収して、海苔生産の被害が懸念されています。この生物の話しを簡単にします。博多湾ではこの珪藻が繁茂している時に、サングイネアは観察されなくて、晩秋の頃にピークを迎えます。本日の意見交換会に出席されています佐賀県水試の松原 賢君が本種の研究をされました。これからの内容は彼の研究成果です。図が示すように、サングイネア細胞が高密度に発生している時に珪藻の数は非常に少なくて、珪藻の数が多い時に、サングイネアの数は少ないという明瞭な関係があります。

そして、フラスコの中で、珪藻類とサングイネアを混合して培養するとサングイネアの形態は異常をきたしました。これが正常な細胞ですが、混合培養すると全く増殖できない形態異常細胞になってしまいます。結果として、博多湾で多くの調査を繰り返して得られた結論は、最初に湾口部の唐泊周辺域で増えて、それから博多湾奥の方へと移っていき、湾奥で、ブルームを形成すると彼は結論しています。

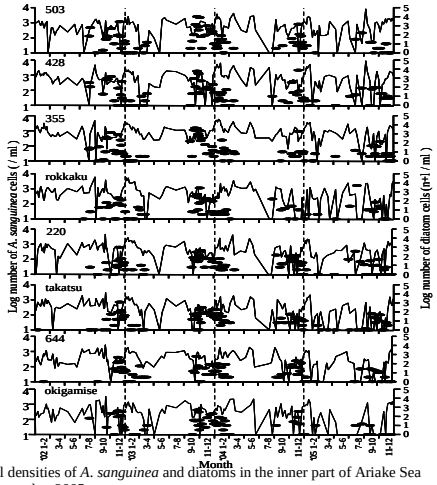
この図は、有明海のサングイネアのデータで、佐賀県の水質データと九州の赤潮から引用して解析した結果です。この黒い印で示しているサングイネアはこの



博多湾で*A. sanguinea*は初秋に湾口域で細胞密度が高くなり，湾外や湾奥域に分布が拡大する

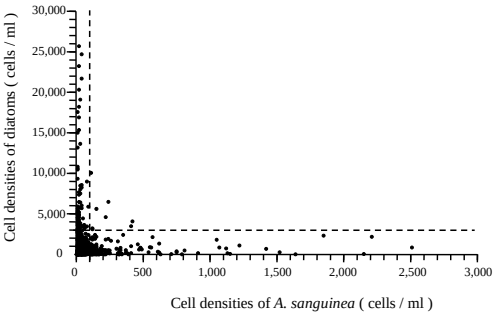
図 14

有明海における
*A. sanguinea*の
年変化



Seasonal changes of cell densities of *A. sanguinea* and diatoms in the inner part of Ariake Sea from January 2002 to December 2005.

図 15



有明海でおいても*A. sanguinea* は珪藻類が少ないときにブルームを形成する

図 16

時期に限られています。そして次の年もここに限られています。次の年もここです。この点線が新しい年変わりですから、本種の赤潮は冬場に発生しています。しかも珪藻類がかなり少なくなった時に、本種は出現します。博多湾と同様に有明海でも珪藻が非常に少ない時に、サングイネアの数が増えて、珪藻が多い時には殆んど出現しないという関係にあります。しかも、定点５０３から４２８、３５５、湾奥の鹿島側岸の六角定点よりも、２２０、TAKATSU、６６４、沖神瀬という少し東側に寄った所には、ピークがこれだけ違ってきている事が分かってきました。それで、恐らく諫早湾口息で発生したものが、矢印をしているように奥へと移っていったであろうと考えられます。博多湾の研究結果から想定して、珪藻が少なくて塩分が非常に高い諫早湾口域で最初に出現したことから、奥部海域ではなく、諫早湾口域が初期発生海域であろうと彼はまとめております。

博多湾と有明海では共通して塩分の高い晩秋に発生するということは、共通しているのですけれども、しかし疑問もあります。有明海の方が博多湾に比較して圧倒的に細胞密度が高い。これはなぜか？その謎を解くための参考文献があります。この文献にはサングイネアは非常に多くの鉄を要求すると書いてあります。有明海の方が博多湾よりも鉄濃度が高いため細胞密度が高いのではないかと予想されます。次に、珪藻類の産生するアレロパシーか細胞接触によって増殖阻害を受ける事も分かりました。

研究成果と今後の研究課題-2

*Akashiwo sanguinea*赤潮

1. 博多湾と有明海では共通して塩分の高い晩秋に発生する。
2. 有明海でなぜ細胞密度が高いのか？
3. 珪藻類の産生するアレロパシー物質によって増殖阻害を受ける。
4. 博多湾の初期発生海域は湾口部、有明海の場合は諫早湾口域か？

図 17

海苔の色落ちへの関与が危惧されているサングイネアの研究もシャットネラと同様に大切でありまして、石尾先生が記述されておられますように、１９８０年代には、鞭毛藻の赤潮は発生していなかったとあります。しかし、このサングイネアもまた１９８０年代中期から発生するようになりました。本種の発生についてどんな対策を打てば良いかという事になります。私には対策は分かりませんが、諫早湾口におけるサングイネア細胞密度の動向の監視もひとつの策かと考えているところです。

シャットネラに少し話を戻させて下さい。有明海の場合、過去に注目されてきたのは冬の海苔場に発生して被害を与えている大型珪藻の赤潮です。大型珪藻赤潮には水産庁研究予算がつき、１０年間ほど行なってきたと思います。でも、夏のシャットネラ赤潮に関する予算は付かず、研究がかぎられてきました。ですから、瀬戸内海よりも、こういう夏の赤潮に関しては、データが少ないと思います。でもごく最近、次々とデータは収集され始めていますから、４県集まって、大きな有明海を高所から眺めながら、このシャットネラ赤潮の発生機構を考えていく必要があるのではないかというふうに思います。以上です。

〔意見交換〕

【 佐賀大学 有明海総合プロジェクト　准教授 速水　祐一 】

コメントが一つと、質問を一つさせて頂きたいのですけれども、まずコメントですけれども、２００６年ですけれども、私とそれからそちらにおられる田村先生のグループと一緒に、２００６年の夏に３日から１週間おきにずっと夏の間、採水し調査しまして、有明海奥部の鉄に関しては、貧酸素水塊から供給されるよりも、出水時の方がはるかに大きい鉄が供給されるというそういうデータがあります。溶存鉄です。

ですから、出水の時に、入ってきたというのが非常にいい線だったと思います。それから、質問なのですけれども、２００６年の場合は、河川からの搬出が非常に大きくて、鉄もたくさん入ったと思うのですけれども、それ程赤潮は出なくて、２００７年はそれほど大きい出水ではないのだけれども、出水の後で増加している。また、播磨灘などの例を含めても、どうも高塩分のところに出やすい。そうするとどうも低塩分から高塩分に変化があるような時に、増えるような現象があるのですけれども、その辺どういう塩分の時に増殖しやすいのかという点について是非教えて頂きたいと思います。

【九州大学大学院 農学研究院 名誉教授　本城凡夫】

塩分が下がったときに、シャットネラが増殖するというような例を殆んど私は知りません。また、これを説明するだけのまとまったデータはまだないと思います。２００７年はこうしてしっかりした情報がありますけど、今のところ私の手元に低塩分で発生したデータは２００７年のみで、多くは塩分が高い時に発生しているように感じております。質問に答えるためのデータは少ないのですが、塩分が回復し始める時に、多くの生物の発生の鍵があると思います。シャットネラは、確かに顕著な低塩分を嫌います。塩分２５というのは嫌な塩分ではなくむしろ好みの塩分である事が山口峰生氏らの研究で分かっていますので、そのあたりから考えれば、当然塩分の回復過程でシャットネラが発生してもおかしくはないと思います。塩分２５というやや低塩分でも増殖できます。この見解は生理的な研究サイドからのみであり、実際現場でもっと低い塩分のときにはどうなっているのか、塩分２０以下まで３０から一気に下がった場合、シャットネラ栄養細胞はどのように生き残っているのかという事も考えなくてはなりません。急激な塩分の低下というのは、多くの殻を持たない細胞を破裂させます。このあたりは本当に分っていません。シストが非常に少ない年に、発芽して海水中に出てきたであろう栄養細胞が濃密な濃度まで徐々に増えてきたわけではなく、ある時をきっかけに一気に増えたわけですから。しかも、塩分の回復時にこの増殖が一致しております。栄養細胞は低塩分によってものすごいショックを受けたはずなのですが、細胞はどのようにしてショックから逃れたのか、それも分かりません。だから速水先生の今の質問に対して私は十分に答えられません。ヘテロシグマもそうですけれども、塩分を一気に３０から１０もしくは１５位まで下げると、やはり相当の細胞が崩壊してしまいます。しかし全滅することはありません。その点では急速な塩分低下

に珪藻の方が弱いかもしれません。でも、低塩分海水中では生き残れないはずのスケレトネマは塩分が回復する途中に、一気に増殖します。東京湾での産総研の岡田氏らの研究ですが、河川から流れ込んだ淡水で塩分が低下する層はかなり薄く、低塩分直下の３０cm 層でスケレトは生きていることが、ごく最近わかってきましたことを補足いたします。

【 質問者 】

赤潮プランクトンが増える時に、シャットネラが増える時に、栄養となるのは、無機態窒素を主に説明されたと思うのですが、それが有機態窒素である可能性が、有機態窒素が増える事はないのですが、培養する時に有機態窒素を使うことはないのかという事と、それから赤潮プランクトンが発生する時に、ヨウ素を持たないものがありますね。その時の同じ種類で、ヨウ素を持っているグループと、持っていないグループがあるようですね。その時に、これは無機態窒素が必ずしも栄養源ではないのではないかという、そうしますと、有機態窒素の増減と、そういうプランクトンの増殖が関係あるのではないかという事が考えられるわけですが、そのことについて解説をお願いします。

【九州大学大学院 農学研究院 名誉教授　本城凡夫】

シャットネラは、色素を持っていて、色素を持たない時期というステージは全くありません。色素を持っていないプランクトンは捕食をする生物達であります。葉緑素を持って、かつ有機の物質を取り込む植物プランクトンは沢山いますけど、無色の鞭毛というものは、これは、固まりの栄養物を直接食べないと生活できません。シャットネラは葉緑素を持ちながら、有機リンは存分に利用できますが、窒素は無機態を主体に摂取していることが室内実験で証明されていると思います。ヨウ素でしょうか、そのことについては説明できる知識をもっていません。これで宜しいでしょうか。

以上

○貝類に関する研究成果と今後の研究課題

貝類に関する研究と今後の研究課題
－濾過食性二枚貝の生態系サービスの観点から－

水産総合研究センター　養殖研究所生産システム部養殖グループ
日向野純也

今日は貝類に関する研究成果と今後の研究課題、副題として濾過食性二枚貝の生態系サービスの観点からというようなことでお話をさせて頂きます。

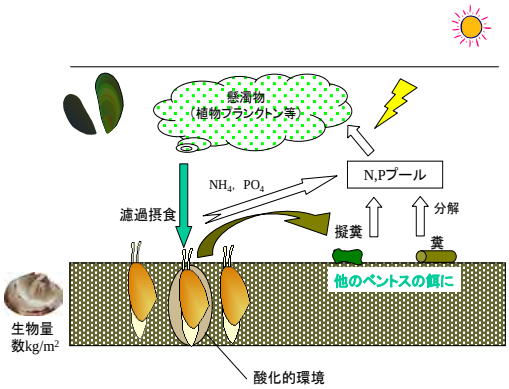
まず、生態系サービスというような言葉を用いまして、アサリとかカキといった濾過食性二枚貝の生態学的な機能につきまして、大雑把にまとめてみますと、ここにあげましたような濾過、それから撹拌、保持というようなものがあります。

例えば、濾過につきましては、懸濁物、水中から植物プランクトンやデトライタス等を除去していく、言い換えれば、懸濁物の除去をする、それを今度は糞ですとか擬糞ですとか、そういった形で排出して堆積させる生物堆積というふうにも呼ばれております。それから、今度は体内に取り込んだものは同化して今度は、おしっこですね、アンモニアの形で主に排出するということが知られておりますので、栄養塩の添加というような形で、有機態で取り込んで、無機態で出してやるというような働きをしているという事が出来ます。それから、砂の中に潜るような貝類については、潜砂して中で動き回ったりする事による酸素供給ですとか、底質中の撹拌、生物撹拌と言われるような効果があります。

もう一つは、この保持です。有機物を生物体として長期間蓄えるという事で、他の多くの動物プランクトンとか植物プランクトン等に比べますと、はるかに長寿命、まあP／B比としては低くなりますけれども、それから、生物量は非常に大きい、主な浅海域のベントスの中で

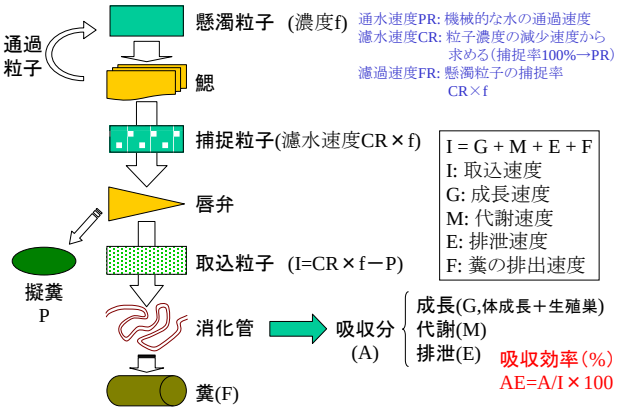
濾過食性二枚貝の生態学的機能について

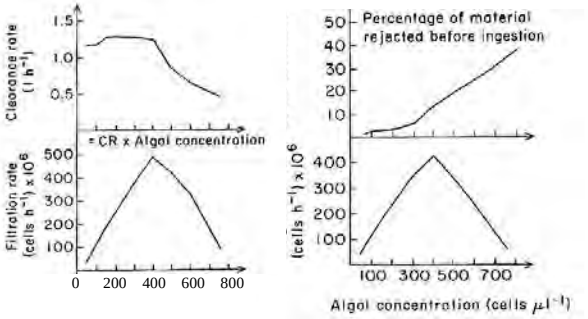
濾過	懸濁物（植物プランクトン，デトライタス）の除去
	糞・擬糞の排出　－－－　生物堆積(Biodeposition)
	アンモニア等の排出　－－－　栄養塩添加
撹拌	潜砂，砂泥内での移動　－－－　生物撹拌(Bioturbation)
保持	有機物を生物体として比較的長期間蓄える 長寿命（低いP/B比），高い生物量



も二枚貝の占めるバイオマスというのは非常に大きい。真の浄化というようなことを考えた時には、これを人間が利用する、水揚げをするということが非常に大きいという事で、アサリですとかカキですとか、サルボウガイですとか、そういったものがどれだけ大事なのかという事は、そういう事からも言えると思います。

まずこれを絵に書きますと、このような形になります。濾過については、主に濾過の作用というようなところに関連して研究内容等を紹介させて頂きたいのですけれども、濾過のメカニズムみたいなものを模式的に書きました。水中の懸濁粒子、これが植物プランクトンであるとか、デトライタス、底凄珪藻の撒き上がりとそういったものがあります。こういったものを鰓で濾しとって、捕捉したものを唇弁という器官を使ってより分けて、そのまま消化管内に入れないで排出するもの、それから消化管へ取り込んで、一部は糞として排出し、それから栄養分として吸収していく。吸収された分の中で、成長に回る分、代謝に回る分、それから無機排泄に回る分というようなものが出て、そういったものの差し引きの中で、成長にまわる分が計算されていくという事になります。それで、こういった濾過食性二枚貝の懸濁物に対する反応というようなことを模式的に研究した例から、模式的に書いてありますけれども、懸濁物の濃度、これは微小藻類で実験されているわけですけども、これが高くなっていくと、クリアランセイトというのは濾水速度ですね、濾水速度が段々高いところから藻類濃度があまりにも濃くなっていくと落ちていくと。取り込み量に相当するその濾過速度ですね、これはある程度の所にピークを持って、またあまり濃いと、お腹の中にあまり入れなくなってくると、それと同時に、擬糞として排出する量が増えていくというような関係が一般的に言えるという事であります。そして、先程の濾水速度、はこの後紹介しますような、例えば有明海の水をどの





濾水速度はアロメトリー式で表される

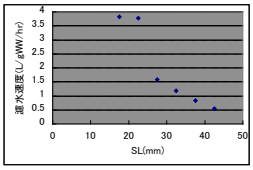
$CR = a\,W^{b}$　　a,bは係数，Wは軟体部乾燥重量

			1個体の乾重量 W(g)					
					0.5	1	1.5	2
			a	b	濾水率(L/gDW/hr)			
ザルガイ科	*Cardium*	*echinatum*	4.2	0.62	2.75	4.22	5.43	6.49
ヨーロッパザルガイ	*Cardium*	*edule*	12	0.70	7.14	11.60	15.41	18.84
			2	0.58	1.34	2.00	2.53	2.99
ムラサキイガイ	*Mytilus*	*edulis*	7.5	0.66	4.71	7.45	9.74	11.77
南米イガイ	*Choromytilus*	*meridionalis*	5.4	0.60	3.54	5.37	6.85	8.14
ミドリイガイ	*Perna*	*perna*	8.9	0.66	5.60	8.85	11.57	13.98
スジヒバリガイ	*Geukensia*	*demisa*	3.5	0.39	2.66	3.48	4.08	4.56
			6.2	0.83	3.46	6.15	8.61	10.93
フロリダヒバリガイ	*Modiolus*	*modiolus*	6	0.75	3.57	6.00	8.13	10.09
アイスランドガイ	*Arctica*	*islandica*	5.6	0.62	3.61	5.55	7.14	8.53
バージニアガキ	*Crassostrea*	*virginica*	6.8	0.73	4.09	6.79	9.13	11.26
ホンビノスガイ	*Mercenaria*	*mercenaria*	1.2	0.80	0.71	1.24	1.72	2.16

位のアサリやカキがいれば、何日間ぐらいで濾し取ってしまうかというような計算をする時の根拠にするようなものになります。

こういったものを体重のべき乗で表示するようなアロメトリー式で表現するようにして、実験的に求めていくというような事が一般的に行われております。日本では、あまり二枚貝の濾水源に関するような研究例がたくさんはないのですけれども、欧米では多くの研究例がありまして、そのうちの一部をこういった所にこうまとめております。例えば、１個体、そういった式で係数をａ、ｂと決めていきますと、１個体の乾燥重量が例えば１グラムであるような大きさの個体について、１時間あたりに例えばザルガイの仲間ですと、４リットルとか１１リットルとかムラサキイガイは７リットルとかそういったデータがありますけれど、カキの仲間では７リットル位、それからハマグリに近いホンビノスガイは１リットル位といった式が出されております。では、例えば、一番身近なアサリの場合はどの位であろうかという事なのですけれども、これは古くからある文献によっておりますが、東邦大学の秋山先生がやられた実験データなのですけれども、乾燥重量あたりという事ではないようなデータになっていますので、先ほどの表と比較する事は出来ないのですけれども、１個体、１グラム当たりに直してやりますと、２センチメートルぐらいの貝であれば４リットルぐらい、３センチメートルぐらいだったら１．５リットルぐらいというようなデータがあります。そういったデータを入れて計算してみますと、例えば有明海の干潟の面積、今もっと小さいかもしれませんけど、３４０平方キロメートル、潮差を５メートルとしますと満潮時に干潟を覆う容量が８５０，０００，０００キロリットルという位になりますが、もし今のこのデータを使って、アサリの資源量が例えば１０トンいたら１日に７２，０００キロリットル、５万トンいたら３６０，００

アサリの濾水速度は？



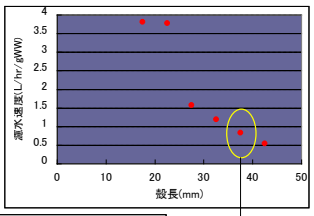
25℃
（秋山，1988）

L/gWW/hr	L/gWW/day	L/kgWW/day	flesh ww/total	L/k total W/day	stock (t)	kL/d
1	24	24000	0.3	7200	10	72,000
1	24	24000	0.3	7200	100	720,000
1	24	24000	0.3	7200	1000	7,200,000
1	24	24000	0.3	7200	10000	72,000,000
1	24	24000	0.3	7200	50000	360,000,000

有明海面積1700km^2　　容量3, 400, 000, 000kL
干潟面積 340km^2　潮差5m　容量　850, 000, 000kL
１２万トンのアサリは大潮１潮時で交換する量を１日で濾過する

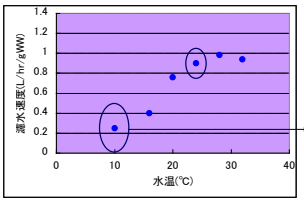
アサリの濾水速度は？

カオリンをマーカーとした測定例



水温25℃
（秋山，1988）

0.83L/hr/g WW を採用



10℃では24℃の28%

殻長33～38mm
（秋山，1988）

無機代謝速度？　　二枚貝は尿素ではなくアンモニアとして尿を排出する

アコヤガイ　$\log E = 3.000 \log T - 3.770 + 0.912 \log W$
（伊藤，1976）　　E:排泄窒素量，T:水温，W:軟体部乾重量

$E = 0.000170\, T^{3.000} \cdot W^{0.912}$　　（μgN/hr/ind）

T	W	E	mgN/kg/day
15	1	0.57	13.77
20	1	1.36	32.64
25	1	2.66	63.75
30	1	4.59	110.16
15	5	2.49	11.95
20	5	5.90	28.33
25	5	11.53	55.33
30	5	19.92	95.61

1kLに1kg分布するとすれば
15℃では10μgN/L
30 ℃では100μgN/L

ホンビノスガイ*Mercenaria mercenaria* の栄養塩供給に関する寄与
メソコスム実験（Doering *et al.*,1987）:堆積物から溶出するアンモニアに対し**40%**
現地測定（Murphy&Kremer,1985）:堆積物から溶出するアンモニアに対し**80%**

測定に際し考慮すべき事項:水温・塩分変化，堆積物の有無，飢餓

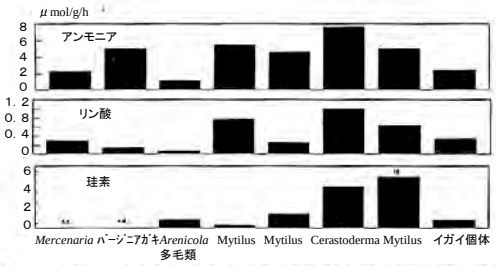


Fig. 6. Average nutrient release rates per g ADW from bivalve beds, based on in situ measurements of fluxes in various systems, and individual excretion rates. (see references in Table 5)

０，０００万キロリットルという事になりますので、仮に１２万トンのアサリがいると大潮１潮時で交換する量を１日で濾過するという様な計算になります。今のデータはこういった事を採用していたのですけれど、実はこの濾水速度はカオリン（カオリナイト）をマーカーとして測定されておりますので、実際の海水では如何であろうかということが疑問になります。

次に無機代謝速度という濾しとる方ではなくて、無機栄養塩を排出する速度についての研究ですけれども、アコヤガイや先程のホンビノスガイについての研究例がこれまであります。図に示したような式や数値が出されております。残念ながらアサリについては最近までデータは殆んど出ておりません。

こちらは海外の研究例なのですが、無機態のアンモニアを貝の軟体部重量１グラムあたり、１時間当りどれだけ排泄するかまとめたものであります。これはかなり現場のデータを使って試算しているという事例です。バージニアカキ、ムラサキイガイ、ヨーロッパザルガイ、それからハマグリに近いホンビノスガイ、そういったものでやられています。例えばアンモニア態窒素として数μmol/g/hrというレベルになっています。リンもまた無機態で排出されているという事が報告されています。それから次に取り込んだ量と排出する量のバランスがどのようになっているのかという研究例として、１年間の通算を見積もってやると、カキ礁とムラサキイガイ礁とでは、窒素とリンで取り込み量ですが、カキ礁では取り込む方が圧倒的に多くて、放出する方は少ない、ムラサキイガイの方は特に窒素については放出する方が若干多い位になっているというような報告が為されております。カキは吸収者（シンカー）になっていてムラサキイガイは放出者（リリーサー）になっているというような事を示唆しているような報告もされています。私は２００１年から３年間、有明海の行政特別研究に参加させて頂きま

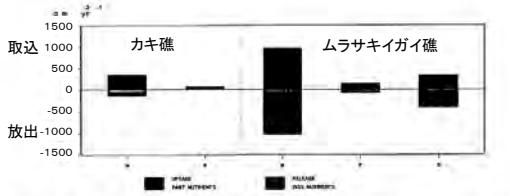
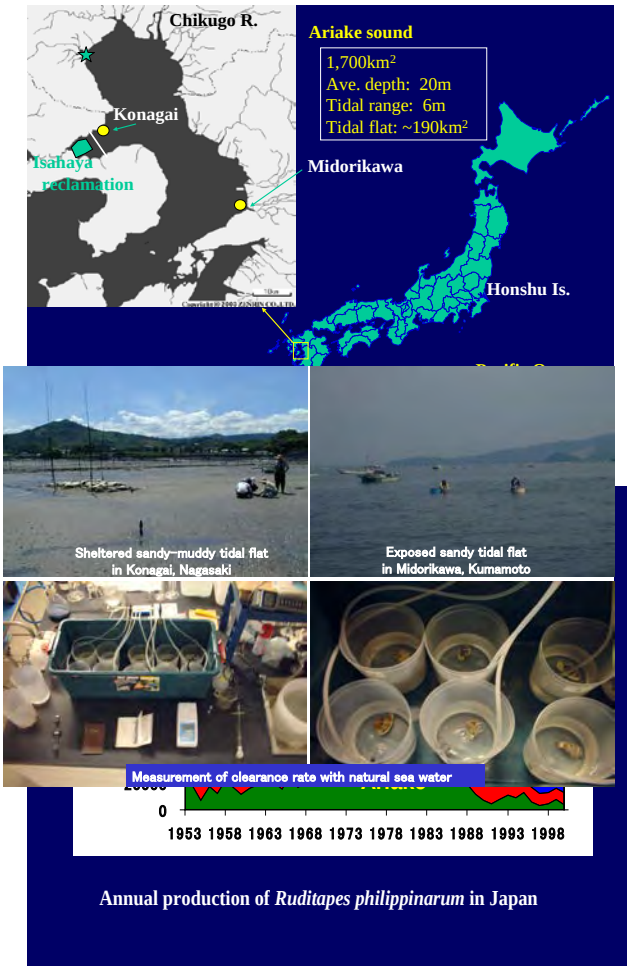


Fig. 7. Annual budgets ($gm^{-2}yr^{-1}$) of net uptake of particulate organic matter and release of dissolved inorganic matter of intertidal bivalve beds from *in situ* estimations, after Dame et al (1989) (*Crassostrea virginica*) and Prins and Smaal (1993) (*Mytilus edulis*).



Experimental procedure

Sampling clams and sea water on the one day before

Placed a clam in a fixed volume (500 or 800mL) of chamber slightly aerating to suspend natural seston.
Duration: 1-1.5hr, Check intial & final Chl.a concentration, Water temperature, Salinity and Suspended Solid.

Soft tissue; Dried at 60ºC, >48hr and weighted at 3 dig. balance

Determination of clearance rate (*Rc*)

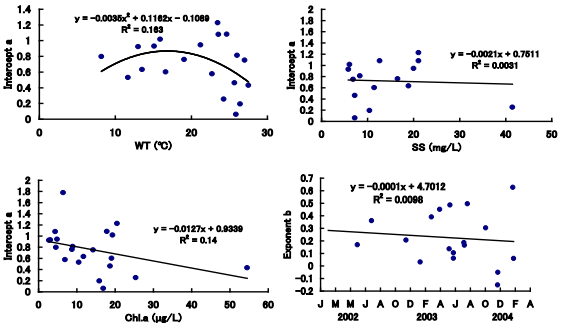
$$Rc = \{ \ln(C_0/C_t) - \ln(C_0/C'_t) \} V/t\,m$$

V : Volume of water, C_0: Initial Chl.a concentration, C_t : final Chl.a concentration at time t , C'_t : final Chl.a without animals,

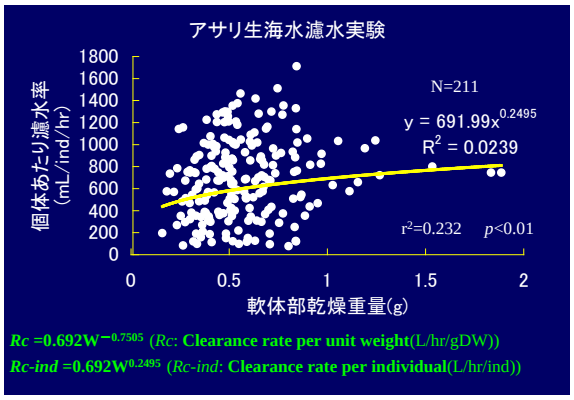
Determination of inorganic nitrogen and phosphate excretion rate from initial & final DIN and PO_4 concentrations.

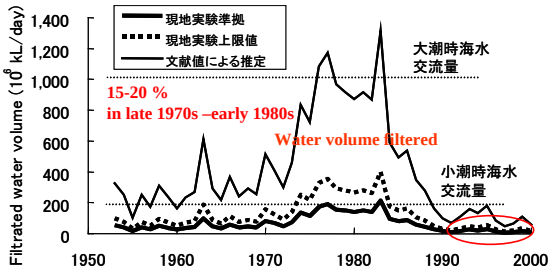
$$Nex = V(DIN_t - DIN_0) \quad Pex = V(PO4_t - PO4_0)$$

して、長崎県総合水産試験場さんにご協力頂きながら、小長井のアサリ養殖場でアサリの濾水量の試験をさせて頂きました。又数回ではあったのですけれど、熊本県水研センターさんに協力して頂いて緑川の河口域でも同様に行ないました。まずアサリの濾水量がどの位インパクトを与えてきているのかという事を知るために、有明海でのアサリの漁獲量の変化を示しています。最も多い時には年間漁獲量が８万トンを超える、最近は１万トンにも満たない状況になっているということです。それでのやり方を書いたものですけれども、アサリ養殖場・漁場でアサリのサンプリングを行ないまして、なるべく現場に近い所で現場海水を使ってアサリの濾水量を測定しました。水温の影響はどうかとかSSとかクロロフィルとの関係や季節変化を見てみたのですが、かなりバラツキが多くて一定の傾向は何か見出せませんでした冬でもあまり濾過水量は変わらない傾向にありましたのでとりあえず２００個体以上測ったデータについて全体の平均を取るような形で先程のアロメトリー式を算定してみました。そう致しますと、６９２ミリリットルに対してWの０．２４９５乗という近似式が出来ました。この式を使って平均的な大きさを仮定しまして計算して見ますと、この太い線になります。先程のカオリナイトで推定したものが細い線になります。漁獲量を資源量と置き換えてこのまま掛け算してみますと、最盛期にはカオリナイトで推定した場合は大潮時の海水交流量に近い値であると、それから私が取ったデータではそれ程大きくはない、最盛期でも１日辺り２億キロリットルくらいに当たるのではないかと、ただ現在は非常に低いレベルになっていると考えられます。２億キロリットルでは、前者に較べると随分少ないようですけれども、それでも小潮時の海水交流量に匹敵するような量ですので、大きな量になると言う事ができると思います。アサリからの栄養塩の排出速度も測定

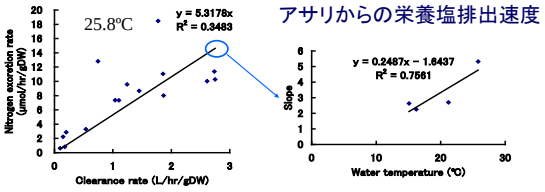


Not significant on a single regression analysis





しまして、このような関係式を作ってみました。これに基づきNPの排出のバランスを検討したのですけれども排出された無機栄養塩のN/P比が２０から３０位ありまして、窒素の供給源として寄与しているという事が言えると思います。



Nex* = (0.2487*C* - 1.644)*Rc
Pex* = (-0.00286*C* + 0.1441)*Rc
Nex: Inorganic nitrogen excretion rate (µmol/hr/gDW)
Pex: Inorganic phosphorus excretion rate (µmol/hr/gDW)
C: Water temperature (°C)
Rc: Clearance rate (L/hr/gDW)

最後に、今度は有明海の生態系のモデルの中に先程のような実験によって定式化した物を組み込んで、アサリが生息している事による水質への効果を算定してみましたので、それを紹介したいと思います。これはワンボックスにして鉛直８層に区切るというだけで水塊を細かく切るわけではなく、単純に致しました。基本的なところは一般的にも知られているような生態系モデルと同じような物で、この中には有明海特有の条件式を入れるという事は中々出来ないので、色々寄せ集めでやられていることになります。ただこのフィルターフィーダーによる吸収の部分、或いは無機栄養塩のリリースの部分、こういったことについては今回取ったデータを採用して計算して見ました。計算例の条件としては水温１６度、塩分３２、アサリの大きさを平均化させたのですけれど１０グラムという事で、乾燥重量は０．５グラム、アサリの資源量は２０万トンから０トンまで変えて検討して見ました。感度分析の結果、水中の植物プランクトン量は、アサリの資源量が増えていくと、２万トン位までは殆んどいないのと変わらないのですけれども、５万トン、１０万トン、２０万トンというふうにかなり大きく変わるという事が読み取れます。POC もそうなりますけれども、DOC（溶存態炭素）はあまり変わらない、アサリが増えますので生物堆積の量（バイオデポジション）は大きくなりますというような結果になります。それから水中にリリースされる無機窒素も非常に大きくなると、やはり５万トンを超えてくると顕著な効果

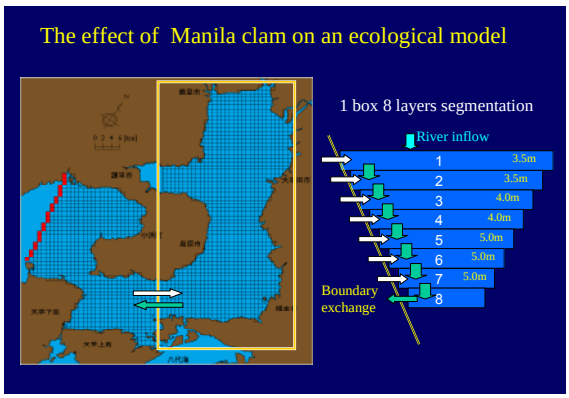
Is Manila clam - sinker? or releaser? -

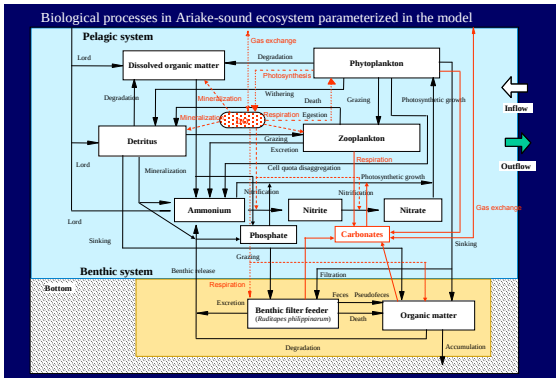
Nex* = (0.2487*C* - 1.644)*Rc
Pex* = (-0.00286*C* + 0.1441)*Rc

20°C, 1L filtrating means → *Nex* = 3.33 µmol-N
→ If C:N = 6:1 20 µmol-C
→ If Chl.a:C = 1:360 **7.2 µg-Chl.a**
→ *Pex* = 0.087 µmol-P
N/P ratio = 38.3

15°C , 1L filtrating means → *Nex* = 2.09 µmol-N
→ If C:N = 6:1 12.5 µmol-C
→ If Chl.a:C = 1:360 **4.5 µg-Chl.a**
→ *Pex* = 0.101 µmol-P
N/P ratio = 20.6

More act as Nitrogen supplier





が現れるのが読み取れます。溶存酸素量も差があるのですけれどもこのスケールでは８．１５から８位の所ですので、溶存酸素の低下は僅かなものでしかないと言う事が出来ると思います。このように単純な計算ではあるのですが、アサリの資源量が毎年熊本県だけでも４万トンから５万トンも獲られていたような時期というのは、有明海全体ではアサリだけで２０万トンくらいは充分に生息していたというふうに考えられます。そういう時には現在とは全く違うような生態系サービスを供与していたのではないかと思います。

最後にまとめと致しましてアサリ、サルボウ、タイラギ、カキなどの濾過食性二枚貝は植物プランクトンやデトリタスなどの有機物粒子を取り込み、無機栄養塩を水中に回帰させる。又漁獲される事により水中からの負荷の除去として生態系サービスを供与する。アサリを対象とし生海水を用いて濾水速度を測定すると軟体部の乾燥重量が１グラムの個体であれば、１時間当り７００CC、０．５グラム相当であれば６００CC 程度濾水されるという事がわかります。アサリによるアンモニアなどの無機栄養塩排泄速度はかなり大きな値となっておりまして無機態窒素供給源として寄与する可能性が示唆されます。有明海の生態系モデルを用いてアサリ資源量を変化させた場合の感度試験を行なったところ、２万トンまでは殆んど変化がなかったのに対して、１０万トンから２０万トンでは植物プランクトン量の大きな低下と DIN 及び生物堆積の大きな上昇が予測されました。最後に二枚貝による生態系サービスを、効果をより精度良く評価するために、濾水速度や栄養塩排泄速度、酸素消費量等をアサリだけではなく、その他の主要な二枚貝についても正確に測定しデータを集積していく必要が有るというふうに考えております。どうも有難うございました。

Case study

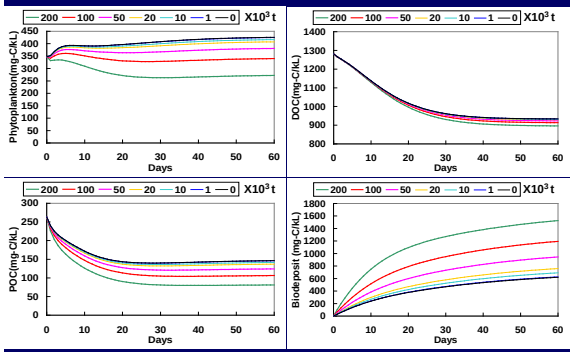
Water temperature: 16°C
Salinity: 32 (psu)

Whole wet weight of Manila clam: 10g
~ 0.5g dry soft tissue weight

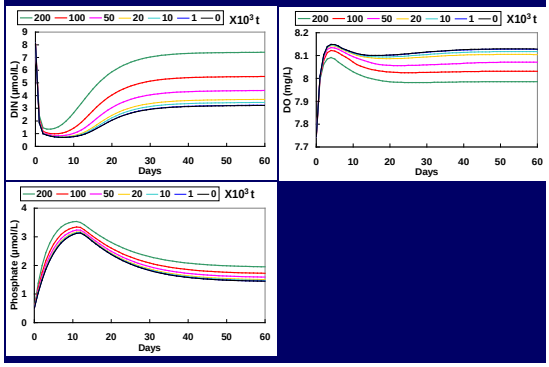
Standing stocks of Manila clam: 200,000 t
100,000 t
50,000 t
20,000 t
10,000 t
1,000 t
0 t

Sensitivity analysis of the model

Carbon stocks



Nutrient and DO



まとめ

1. アサリ，サルボウ，タイラギ，カキなどの濾過食性二枚貝は，プランクトンやデトリタスなどの有機物粒子を取り込み，無機栄養塩を水中に回帰させる，また漁獲されることにより水中からの負荷の除去として生態系サービスを供与する。
2. アサリを対象とし，生海水を用いて濾水速度を測定すると軟体部乾燥重量1gの個体であれば700mL/hr，0.5gであれば600mL/hr程度濾水される。
3. アサリによるアンモニアなど無機栄養塩排泄速度はかなり大きな値となり，無機態窒素供給源として寄与する可能性が示唆された。
4. 有明海の生態系モデルを用いてアサリ資源量を変化させた場合の感度試験を行ったところ，2万トンまではほとんど変化がなかったのに対し，10～20万トンでは植物プランクトン量の大きな低下とDINおよび生物堆積の大きな上昇が予測された。
5. 二枚貝による生態系サービスをより精度良く評価するために，濾水速度や栄養塩排泄速度，酸素消費量等を正確に測定しデータを集積する必要がある。

〔意見交換〕

【 質問者１ 】

非常に興味のあるご報告を有難うございました。質問がありますので、専門は化学ですから生物に関しては少し又お尋ねしますが、アサリによって色々なプランクトンを取ってアンモニアが出てくる。それが実際の他の今までに議論されてきた赤潮の発生とかに関してどういう効果をもたらすのか、例えば、同じ栄養塩といっても窒素とかリンとか言う時に、実際に測定するのは無機態の窒素、リンとか或いはリン化合物ですが、全体から見ると栄養塩の定義というのは窒素とかリンとか変わっているわけではないのですね。同じ形でそういうプランクトンをとってそこに含まれているものから又窒素を濾しているわけで、それが分離生産に対してどういう影響があるのかをお聞きしたいと思います。

【 水産総合センター養殖研究所　二枚貝養殖チーム 日向野純也 】

一言で申し上げるのが難しいところがございますけれども、一言で言えば、二枚貝がいる事によって富栄養化みたいな物はコントロールする事ができる、プラスの方向に寄与できるのではないかと言えると思います。例えば赤潮みたいな物を、栄養塩を無機体で出してしまうために、赤潮を促進するような恐れがあるのではないかとそういう議論がない事はないですけれども、それよりもやはり前半で紹介しましたように水中の懸濁物を取り込みます。例えば赤潮生物などを取り込んでしまうという効果の方が勝っているという事で寄与しているのではないかと、それから赤潮やなんかが顕在化する前に押さえ込む事ができるというような効果もあるのではないかという事が考えられると思います。現在水産庁の事業になるのですけれども、ノリ色落ち対策の技術開発に参加して二枚貝を増やすというような事をやっていまして、そういう中で、どういうふうな形で植物プランクトンなどを制御するのに寄与できるのかという所を評価していこうかと思っている所でございます。

【 質問者２ 】

参考にして頂ければと思っているのですが、私は昭和５５年その時はアサリがたくさん獲れている時期で、干潟も黄色い砂であって、貝殻の色も黄色っぽかったのですが、それが昭和６２年頃から黒い貝が獲れて、そして非常にやはり漁獲量が多かったわけです。黒いというのは干潟の泥の色で、干潟中の硫化物がついてきたのだろうというふうに考えているわけですけれども、今はその当時に比べると資源量が減ってきて、そして、アサリがちょっと上げ潮の高い所で取れているのです。これが泥がなんというか、漁業者の話を総合しますと干潟域で泥が増えてきている。泥が泥っぽくなってきていると、これは泥の所を避けるために少し高い所に上がってきたのではなかろうかと言っているのですが、私もそういう生息環境が不適当になってきたので上がってきたのではないかと思っているのです。こういう事も参考にして頂ければと思います。

【 熊本県立大学　大和田紘一　教授 】

熊本県立大学の大和田と言います。NPO 法人有明海再生機構の生産分科会の委員長をやっていまして、特にアサリ、モガイなどによる浄化能力毎になんとかそういう事を推定して、二枚貝の

環境への役割を明らかにしたいと思っています。今日の話と、この前、向井先生にしてもらったあの話を聞いたのは大変有効な本当に有難いと思っております。

ちょっとお伺いしたい、これは他の先生に聞いた方がいいのかもしれませんが、例えば有明海で、熊本県で今６千トン、７千トンとかアサリが獲れている。そういう漁獲がある時に天然ではどの位アサリがいると考えたらいいのでしょうか。漁獲というもの、天然の資源に対してどの位手を入れている物なのでしょうか。もし分かれば教えて頂ければと思います。

【 水産総合センター養殖研究所　二枚貝養殖チーム 日向野純也 】

漁獲量のデータしかないのだけれども、資源量を推定できないだろうかというお話ですね。

これは、私ども二枚貝、特にアサリの研究などをやっている研究者の間でもいつも議論になる所でありまして、はっきり言って正確な量は掴めておりません。これが現状でございます。本当は全域調査みたいな形で資源量を推定することをやって、それと漁獲量の比較みたいなことをやればいいとは思うのですけれども、中々そこまで時間と労力をかける体制にないという事で、できないという事が一つ、それからもう一つは他の魚類などで行われているような、漁獲努力量、CPUE、そう言ったものを用いた推定をするという事に関しては、熊本県さんは検討された事があったのですけども、やはりＣＰＵＥ 自体を評価するデータが殆どないのです。例えば毎日の操業日誌とかそう言った物がきっちりと整っていないものですので、中々難しいです。私自身は漁獲量をずっと並べて、歴年の漁獲量を維持するためにどのような資源量があればいいのか逆算で推定してみたことはございます。その根拠としてはその成長量とか死亡率みたいなものを適当に入れて、自然死亡で一年間に半分位になってしまうだろうとか、それで計算してみますとやはり漁獲量の２．５倍位になるかなと思います。その漁獲量と年間の資源量との比率が７０％とかという状態になってくると資源はどんどんどんどん減っていくような計算になります。あくまでもこれは仮定を沢山盛り込んだ中でですけれども。そう言った考え方で資源を推定していいのかどうかという事は議論になりますけれども、私共も実は伊勢湾の方で同じような事をしなければならないものですので、真剣に取り組んでみたいと思っております。また教えて頂ければと思います。

以上

○連携して実施すべき研究課題

【 座長 ：楠田先生 】

今日の３つのご講演を含めまして、他の分野の先生方も沢山おられますので、今後連携して実施すべき研究課題、大げさにいうとそういうことに事になりますが、こんな所が分からないのではないか、特に、他分野間との連携で解決していかないといけない課題について色々とご意見を賜ればと存じます。

それでは本城先生口火をきって頂きたいと思います。

【 九州大学大学院 農学研究院　名誉教授　本城 凡夫 】

先程お話をしました時に速水先生からコメントを戴いたのですけれども、確かに、塩分の低い水の中には、溶存鉄が沢山あると思います。それがシャットネラに利用できるような形態でもって存在しているのであれば、実際にその淡水中に含まれている鉄がシャットネラによって利用できるのかという事を試みてみたいなと思っています。水の中に酸素があれば鉄は必ず酸化されていきますから、そういう酸化された鉄というのは、プランクトン、生物にとっては非常に受容しがたいものになります。それが水の中で溶けたような形であるとすれば、それは黄色いだろう、この黄色い物質がどのようなものであるかということで、腐食酸というものが考えられます。この辺りでのもし淡水の水であれば、窒素もリンもあるでしょう。その研究がある程度進まないと貧酸素水塊の場合と違って淡水の流入には酸素が豊富ですから、そういう意味で説明をつけにくい部分になると思います。田端先生のお話も聞いてみたいです。

【 座長 ：楠田先生 】

有難うございました。今、田端先生のお名前が出ましたけれど、それも含めまして何か先生のお気づきの点をご指摘戴ければと思います。

【佐賀大学　田端　正明教授】

どうも有難うございます。あの先生の実験を興味深く傾聴しておりましたが、その時に加えました鉄はどのような形態を要するのかなと思います。

【水産総合研究センター　日向野　純也】

黄色い鉄です。

【 佐賀大学　田端　正明教授 】

それから先ほど速水先生がおっしゃったように、出水なのですが、私が観測したのはその後、大雨の後、天気が続いてそして貧酸素の量が非常に増えて、その後に速水先生からプランクトンの数とそれからその時に出てきた懸濁の鉄を測ったら非常に多量になったわけです。私の場合も鉄の形態は良く解っていないのですね。どういうものがいいのか。もう少し解りたいと思いますけれども。

【水産総合研究センター　日向野　純也】

そういうものを体の中に入れたということなのでしょうでしょうね。懸濁した鉄が増えているということはプランクトンにくっついて存在しているということですね。

取り込まれていることは事実かもしれないし、あるいは体の回りにくっついているかもありますね。

【 座長 ：楠田先生 】
はい。有難うございます。鉄そのものの形態という分子構造も色んなものすごい多様に渡っていますし、非常に存在している一番多い元素の一つになっていますので、その辺がかなり多面的な研究がいるような一朝一夕には解決していかないような感じが致します。その他に何か、はい。堤先生それでは・・・・

【熊本県立大学　堤　裕昭　教授】
ここに書いてある連携実施する研究課題ということを伺いますと、要するに有明海の課題というのは、貝類がいなくなっているのと、赤潮が大きいというのと貧酸素という事なのですよね。大体３つ位付けられると思うのですけれども、とりあえず目の前に何が迫っているのかと言いますと、夏に貧酸素が起きます。７月の下旬から８月の頭に、多分７月の末位になると思うのですが、小潮が上がってきます。そこにきつい貧酸素が起きるだろうと。それが起きると本城先生がおっしゃったシャットネラが後続く可能性もありますし、そこを一体どう観測体制をとって置くのかということだと思うのです。残念ながら、それほど観測体制は出来ていないのです。現場で何が起きているのかという事が物凄くわかっていないので、どうやってシャットネラ赤潮が起きてしまったのかという話になってしまうのです。別の件も含めて、今度の７月の下旬の貧酸素に対してどう観測体制を敷くのかという所がまず必要な課題ではないのかと思うのです。それに対して何処が、どれだけの事が出来るのかという事です。お互いに誰が何をやっているのか位知っているだけでも観測体制を補間的に作りやすいと思うのですが、それをやはり実はこういう事を計画していますというだけでも、お互い連絡を取り合う事が出来ないのかと思います。

【 座長 ：楠田先生 】
新たな提案を戴きましたが、いくつかの方法はあるかと思いますね。例えば何時何時やりますというそういう情報交換を集中的にトータルポイントに出して戴いてそれが完全に公開されていて、皆がそれで読めるようになってというのが一つです。そういうちょっとした組織を作るやり方もあると思います。
一番簡単なのはヤフー等の中にちゃんとそういうゾーンは取れるようになっています。ＩＤを持っておられる方が誰でも見られるようになっている。
有明再生機構の伝言板にヤフーとかのものを書いておけばいいのですよ。全部無料ですからそういうものを書いて、手続のところだけは再生機構で行うなどいいと思います。
それでは他に、聞いておきたい事、提言とかありませんか。

（ここで終了）