

## 浅海域の低次生物生産過程と栄養塩循環

香川大学瀬戸内圏研究センター長 多田 邦尚



多田です。「浅海域の低次生物生産過程と栄養塩循環」いうタイトルでお話をさせていただきます。

瀬戸内圏研究センター  
海の世界グループ

瀬戸内海の世界改善・保全・管理

- ・瀬戸内海の世界塩濃度変化の原因究明  
～播磨灘の水質・底質環境～
- ・沿岸海域の低次生産環境  
～植物プランクトンの生産環境～
- ・ノリの色落ち対策研究  
～環境にやさしい施肥試験(ノリスカート)～
- ・干潟・藻場の生物機能  
～浅海環境における干潟藻場の役割～
- ・里海の実現戦略  
～魚食から里海を考える～



庵治マリステーション






海の世界グループでは瀬戸内海の世界改善、保安全管理をテーマにしていますが、具体的には栄養塩濃度変化の原因を究明するために、栄養塩濃度がどうして減少したのか？ それに関する水質と底質の調査を実施しています。また、瀬戸内海の世界中の窒素、リンといった栄養塩濃度が減少してきますと、それを吸収して増殖する植物プランクトンが一体どういう応答をするのか。それから実際には栄養塩濃度の減少で、ノリの色落ちが起きていますので、香川県の水産課、水産試験場と一緒に、ノリスカートという環境に優しい施肥技術を開発してノリ色落ち海域に施肥試験をしているところです。

また、浅海域における干潟藻場の生物機能について研究を行っています。さらに、さきほど、ご挨拶のところでお話したのですが、魚を食べるところから里海を考えると、市民の食生活を考えるようなことも行っています。

今日は時間の関係で、栄養塩濃度変化の話と、この話とも少し関係するアサリ資源回復の技術開発についてお話をしたいと思います。私たちの研究は、学内では瀬戸内圏研究センター、工学部、経済学部、農学部、地域戦略室が連携して仕事をしています。一方、学外では地元の香川県水産課と水産試験場。それから、今日の話の中に出てきますが、大阪府水産技術センターとも協同して仕事をしています。

瀬戸内圏研究センター  
海の世界グループ

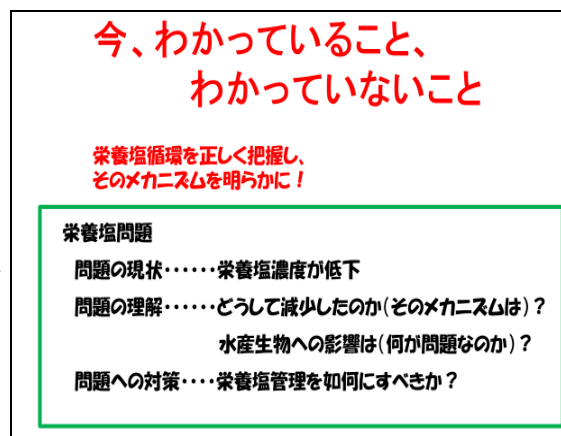
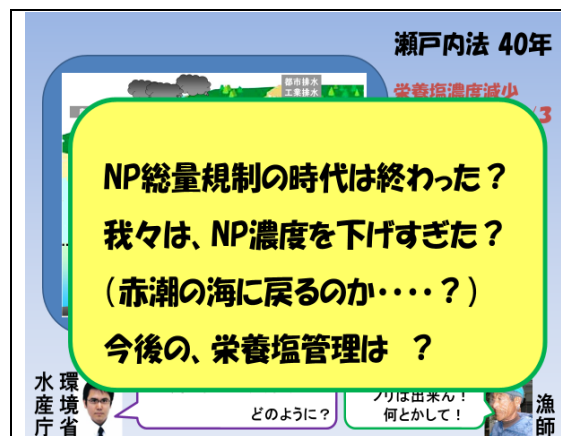
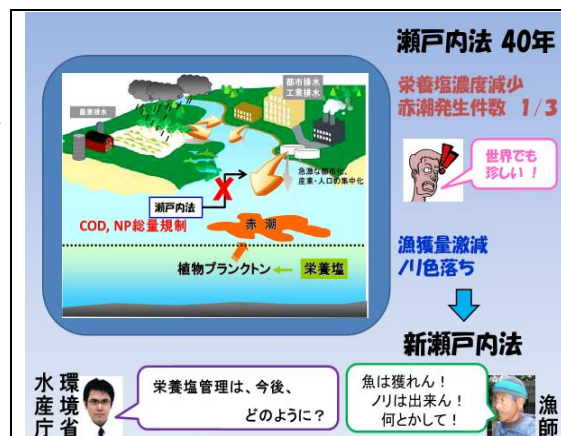
多田邦尚	瀬戸内圏研究センター長・農学部
一見和彦	瀬戸内圏研究センター
末永慶寛	工学部
石塚正秀	工学部
山口一岩	農学部
原 直行	経済学部
山田香織	地域連携戦略室
本城凡夫	瀬戸内圏研究センター

歴史的なところからおさらいしておきますと、この図は私の発表ではよく使うのですが、瀬戸内海は高度経済成長期に急激に都市化し、産業の発展、人口の集中化のために富栄養化が急速に進行して、当時、瀬戸内海では赤潮が多発しました。その現状を打破するために、当時の環境庁は瀬戸内法という法律を施行しました。具体的には COD 規制に始まり、後に窒素 (N) とリン (P) の総量規制を行って、要は汚い水を流すのを止めましょうという政策で水質改善に努めてきました。

その結果、2年前に瀬戸内法制定40周年を迎えたのですが、たった40年の間に栄養塩濃度は減少して、赤潮の発生件数も1/3にまで減少しました。このように水はきれいになったのですが、漁獲量が落ちてきて、同時にノリも色落ちしてしまいました。たった40年で、死の海と言われていた海がいきなりこんな水に変わったということ。これは世界でも珍しいと言われていています。

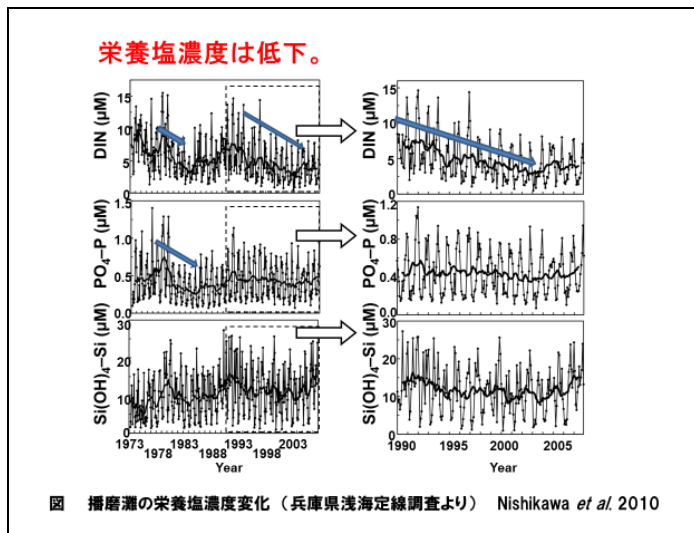
このように、NP総量規制の時代はもう終わってしまった。我々はNP濃度を下げ過ぎてしまっているのではないかという疑問を、今、投げかけられています。それでは、これから汚い水を流せば良いではないですかと簡単に思うかもしれませんが、しかし、それはまた赤潮が多発する海に戻すことにもなって、時代に逆行することになるので、今後の栄養塩管理はどうすれば良いのかというところが、我々に突き付けられた課題であるわけです。

ここで、今、大事なことは、我々が分かっていることと分かっていないことをはっきり整理して考えないといけないということです。栄養塩問題を考える時に3つのステップがあります。栄養塩というのは植物プランクトンが増殖する時に制限因子となる無機態の窒素、リン濃度のことを栄養塩と言っています。一つは問題の現状を正しく把握することです。これは、栄養塩濃度が本当に低下しているのかということ。2番目は、問題の理解です。



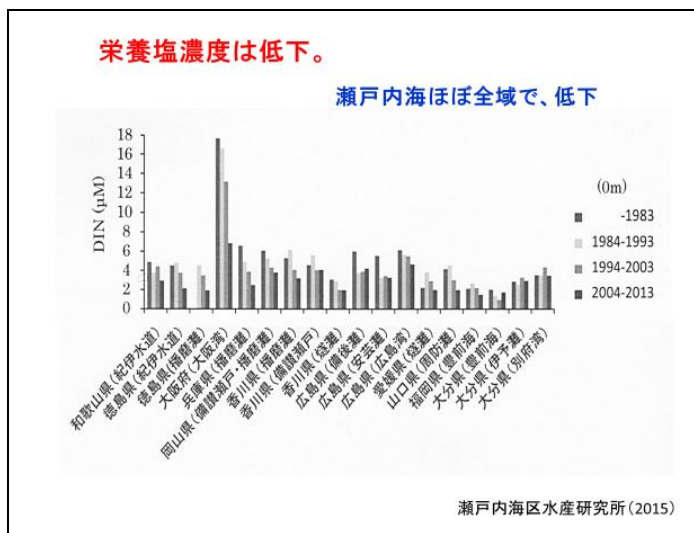
どうして栄養塩濃度は減少してしまったのか、どのようなメカニズムで減少したのかということ、さらにその栄養塩濃度の減少は水産生物にどのように影響して行くのか、何が問題なのかということです。最後に、その対策はどうすれば良いのかということです。このような3段階で考えて行かなければならないわけで、まずは現状の把握というところから説明していきたいと思います。

栄養塩濃度は低下しているという一例がこれです。この図は兵庫県水産試験場が長年行ってきた調査です。この解析に僕もお手伝いをしまして、2010年に論文が出たものです。上が無機三態窒素、中がリン酸態リン、下が溶存態ケイ素で、上と中の2つを見てください。右側のグラフには、1990年以降の変化を、時間軸を広げて示していますが、窒素、リンともに瀬戸内法が施工された70年代から



80年代に移るにつれて、DIN（無機三態窒素）濃度とリン酸塩濃度は減少しました。その後、リンは落ち止めみたいな感じになっていますが、窒素に関してはこの90年以降も次第に落ちてきて、2000年に入って香川県や兵庫県でノリの色落ちが起こって来たということです。この栄養塩の変化は兵庫県の例でした。

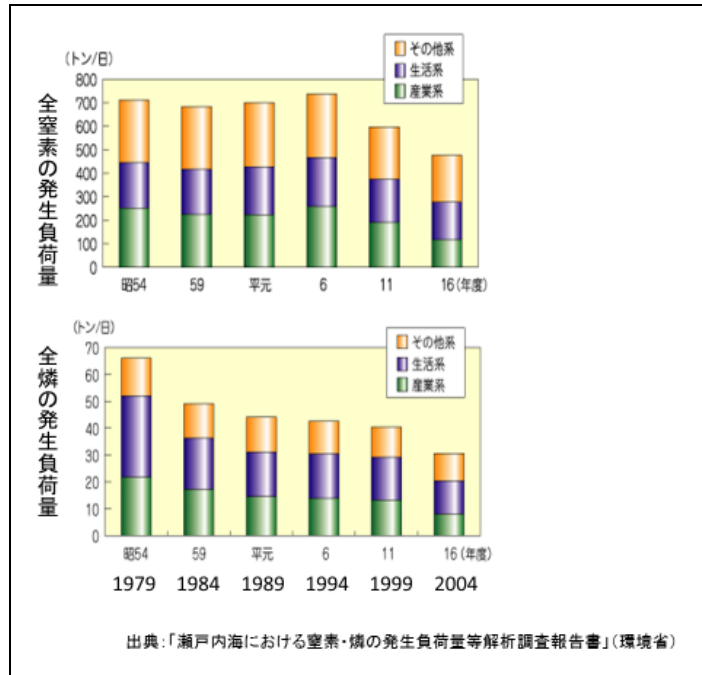
今度は瀬戸内海全体で見えます。これは各府県から出されてきたデータを瀬戸内海区水産研究所において整理されたものです。東西が右左反対になっていますが、和歌山の紀伊水道から順番に西へ西へと行って、最後、大分の別府湾まで、海域ごとに10年スパンで栄養塩濃度を表示したものです。この最も高いのが大阪湾ですが、10年、次の10年、次の10年、次の10年というふうに確実に10年スパンで、栄養塩濃度は減少してきています。大阪湾に限らず、どこの海域を見てもだい



たい減少しています。若干横ばいのような海域もありますが、全体を見れば瀬戸内海のほぼ全域で、栄養塩濃度が低下しているといえます。現状の把握としては、これで良いと思

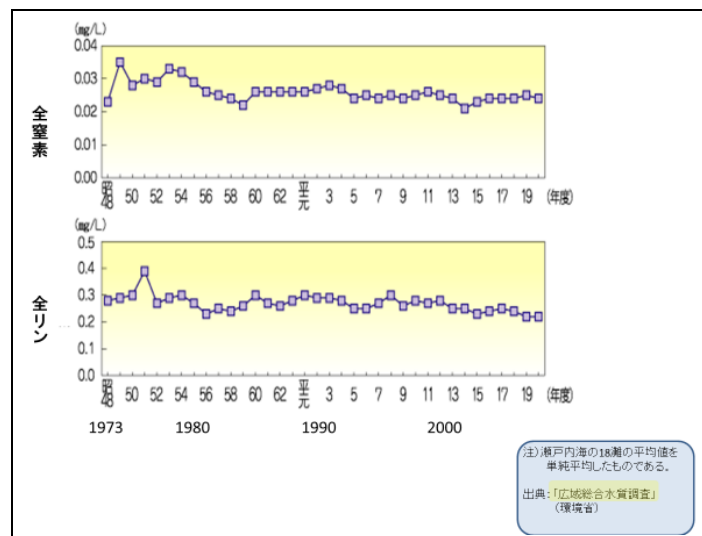
います。

それでは、どうして減少したのかという話です。これは環境省が出している全窒素と全リンの発生負荷量です。陸域から瀬戸内海に、どれだけの窒素とリンを流したかということです。リンは無リン洗剤を使用するなどの80年代から負荷量の削減が実施されてきました。ところが、窒素は廃液から抜き取ることが当時はなかなか困難であったため、90年代になってようやく負荷量が低下していきました。このように陸から海に流す量というのは、90年代になって窒素は減ってきました。

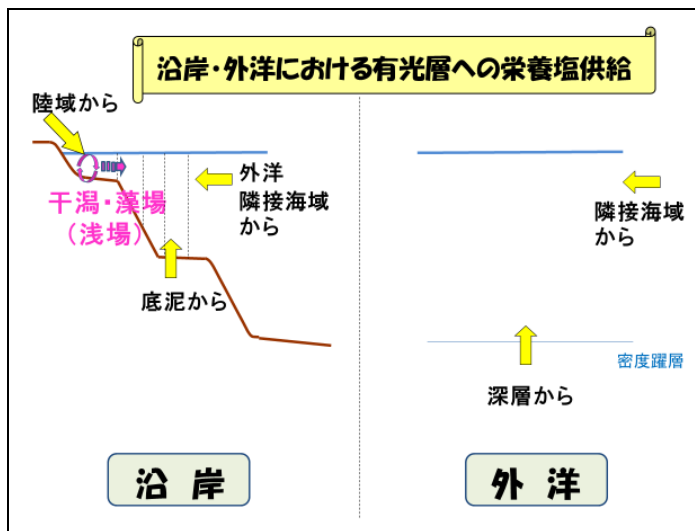


単純に陸から海に流す窒素の量が減ってきたら、海水中の全窒素濃度も減少するのかわかると、そうではなくて、この90年代以降、負荷量は減ったのだけでも、海的全窒素濃度はそれほど変わらない。リンにしても80年代から負荷量を削減したと言うけれども、そんなに大きく下がるということはありません。

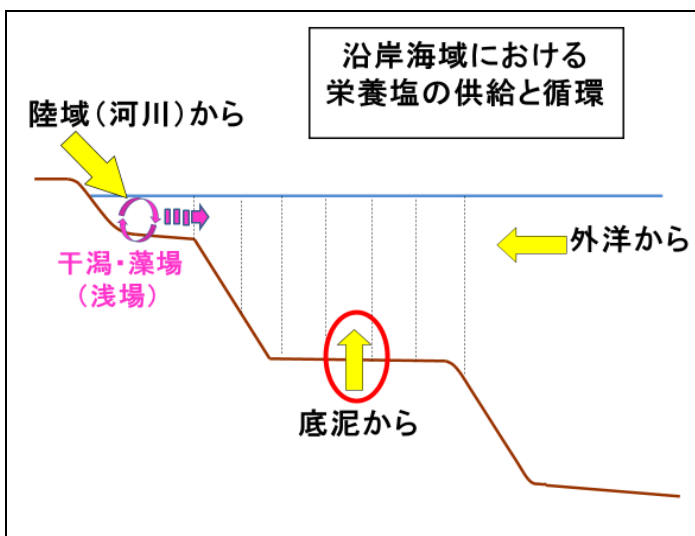
これはどういうことかと言うと、単純に言えば海は広いので、陸から流す量を半分減らしたからといって、海水中の窒素、リン濃度が半分になるということはないわけです。



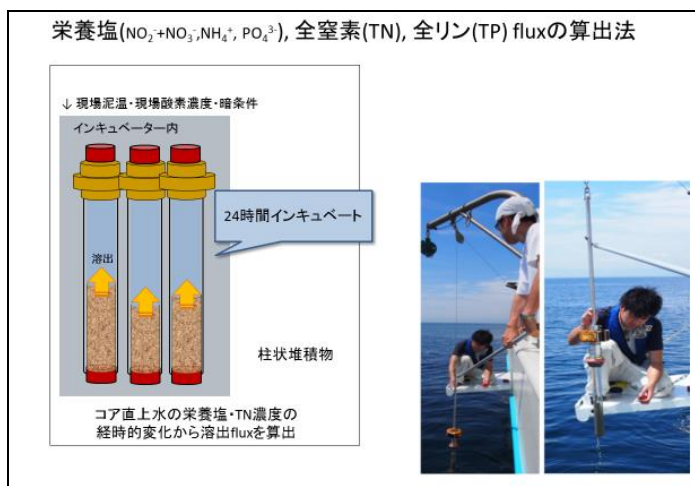
外洋の場合、どこから窒素やリンが入ってくるかという点、隣接海域から来るものと深層から上がってくるものとで単純なのですが、沿岸域の場合は、外洋域あるいは隣接海域から入ってくる窒素、リンに加えて、なんととっても大きいのは陸域から入ってくるもので、さらに海底の泥から溶出してくるというふうに、矢印が3つもあります。特に、海の調査に関わっていない方には、底泥から加入する



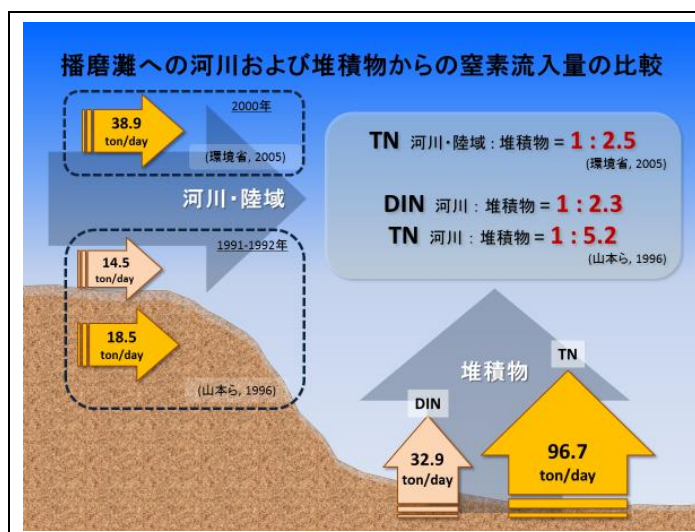
リンというのは、理解し難いかも知れませんが。単純に言えば、陸上では樹木が、葉っぱを落として、葉っぱが土の上で分解しますし、植物が枯れたら土の中で分解されます。あるいは動物が死んだら土の中で分解されます。分解されて無機態の窒素やリンになった元素は、植物の根から吸収されて、植物の成長に使われるわけです。ところが、海の中では生物が死んでマリンスノーといわれる、海面から下に向かって落ちていく粒子があります。それらは海底に溜まって、海底で分解を受けて無機態になると、濃度勾配によって上の海水にしみ出して行くプロセスを経ます。これを我々は泥からの栄養塩の溶出、その溶出する速度のことをフラックスと呼んでいます。



沿岸域における窒素、リンの供給源として、我々は特に底泥に注目した研究をしています。これは前回のシンポジウムでもお話したのですが、船で海に出て行き、このような柱状採泥器を海底に突き刺して、これらの筒を実験室に持ち帰って現場の温度で放置します。放置している間に、このチューブの中にある泥から溶出してくる窒素とリンが泥の上の水に溜まって行って、栄養塩の濃度が増加します。この濃度変化から一日当たりの窒素、リンのフラックスをそれぞれ算出しています。



夏の播磨灘で見積もって見たところ、1日当たり全窒素で96.7 t、それから無機態の窒素で32.9 tの窒素が泥から供給されていると見積もられました。このことは環境省が見積もっている陸域から1日当たり播磨灘に入って来る全窒素が38.9 tとありますので、これは96.7と38.9を比べますと1:2.5。つまり、播磨灘で見ると陸から入って来る全窒素量よりも泥から溶出してくる全窒素量の方が2.5倍も多いということです。



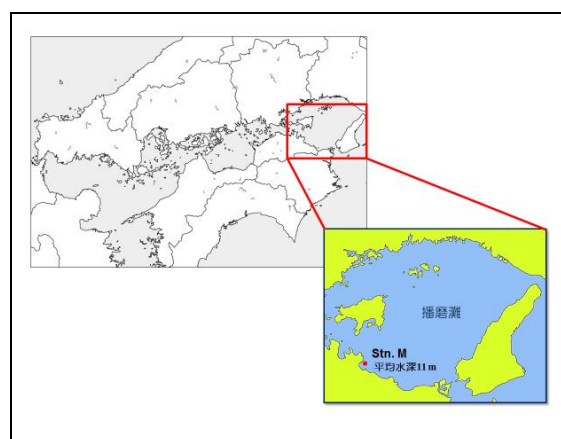
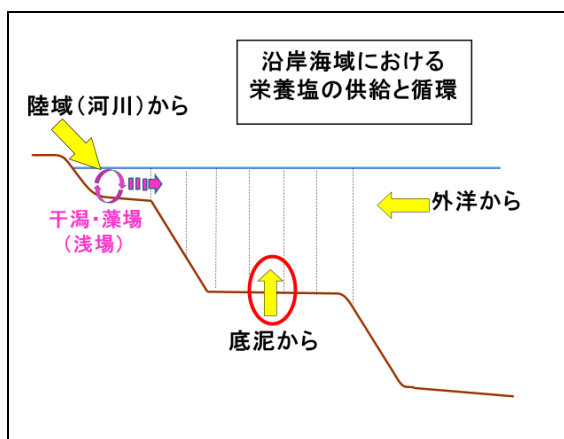
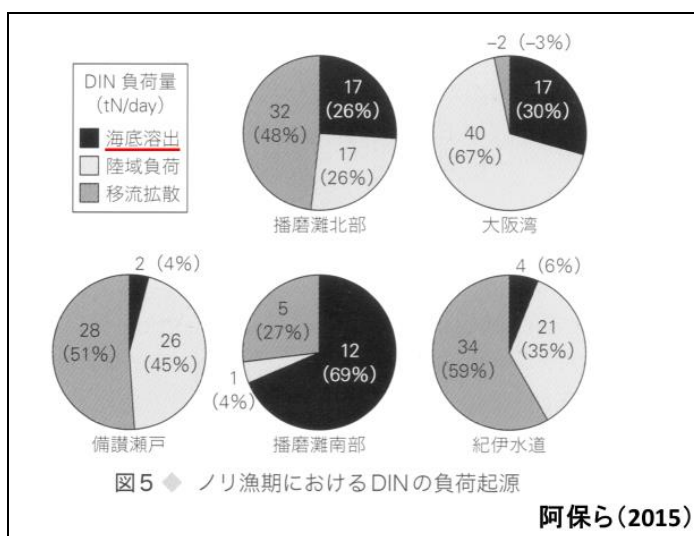
また、広島大学の山本先生が見積もっている河川だけから入って来る全窒素、あるいは無機態の窒素というのと比べるとそれぞれ1:2.3、1:5.2という値になってきて、圧倒的に底から溶出してくる窒素、リンが多いということが分かります。これは播磨灘の例です。沿岸域というのは陸域から入って来るのが最も多いでしょうと言いたくなるのですが、播磨灘に関しては2倍から5倍、底から供給される量が多いということになります。

2015年に水産研究教育機構瀬戸内区水産研究所の阿保さんが僕らとは全く違った方法で、モデル計算から無機態窒素はどこから来るかという見積もりを報告されています。我々が最も注目しているのは、この黒の海底からの溶出です。それからちょっと薄い色が陸域からの負荷量で、中間の色が移流拡散、すなわち隣の海域から来る窒素量です。播磨灘は北部と南部を比べますと、全然状況が違いました。

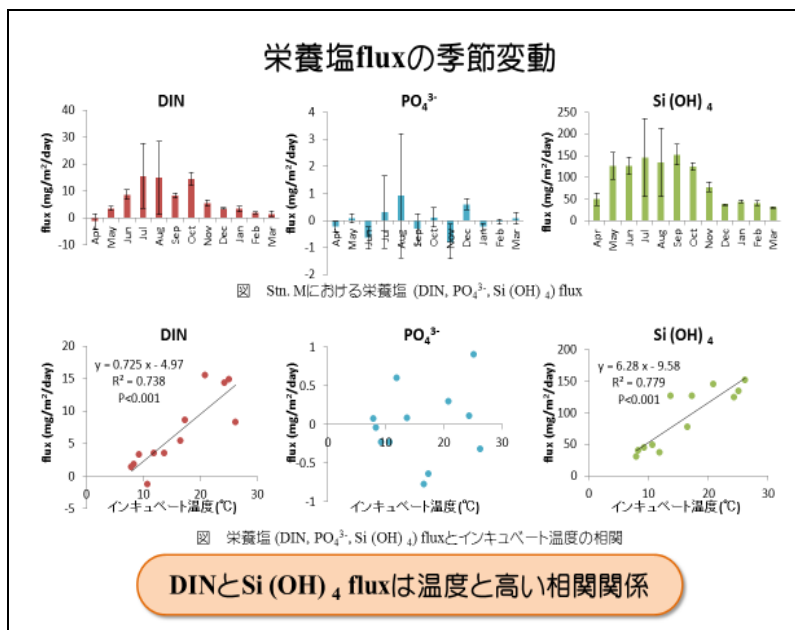
播磨灘の北部ですと、泥から入って来るのと陸から入って来るのがだいたい1:1ぐらい。一方、南部で見てみますと、泥から供給されるのが7割で、陸から入って来るのはほんの4%にすぎず泥からの率が高くなります。北部と南部の平均を取ってやれば、先ほど僕が見積もった値になる近いと思います。

逆に大阪湾では淀川からの負荷量がかなり多いので、陸から入って来るものが、7割弱を占めるという計算になっていて、残りの約3割が泥から溶出してくる見積もりになります。海峡部ではやはり流れの速い海域というのは底が砂地ですので、底からの溶出は小さいのですが、それに比べて湾灘部では圧倒的に泥からの供給が多いということがよく分かります。

このように、底泥からの供給が大きいことが分かってきました。海水中にしみ出して来る窒素やリンはどのようなファクターでセーブされているのかをもう少し詳しく知るために、香川県津田湾に観測点を設けて、毎月栄養塩のフラックスを測りました。

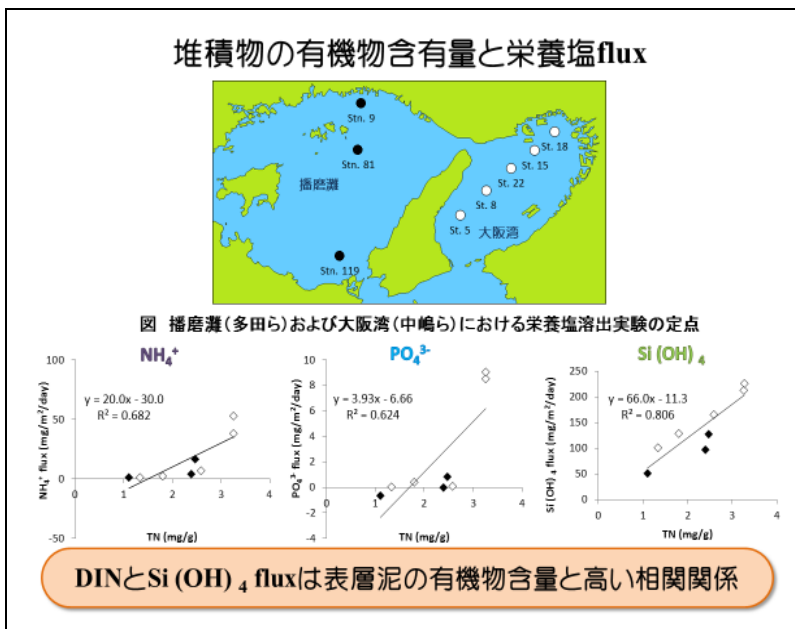


左から順番に無機三態窒素、リン酸および溶存ケイ酸のフラックスの季節変動を示しています。無機三態窒素と溶存ケイ酸の変化はきれいな一山型で、夏に高いことが分かりました。リンもこのようになってほしかったのですが、リンの場合はどうしても泥の中の酸化・還元状態によってリン自身が粒子に吸着されたり、溶離したりしますので、きれいな変化を示しません。



な変化を示しません。無機三態窒素と溶存ケイ酸に関しては温度と非常に良い相関を示します。このことは、窒素と溶存ケイ酸のフラックスは温度に制御されていることを示しています。温度が高くなれば、イオンの分子運動も早くなりますし、現場のバクテリア活性も高くなって、有機物の分解が進行することを示しています。

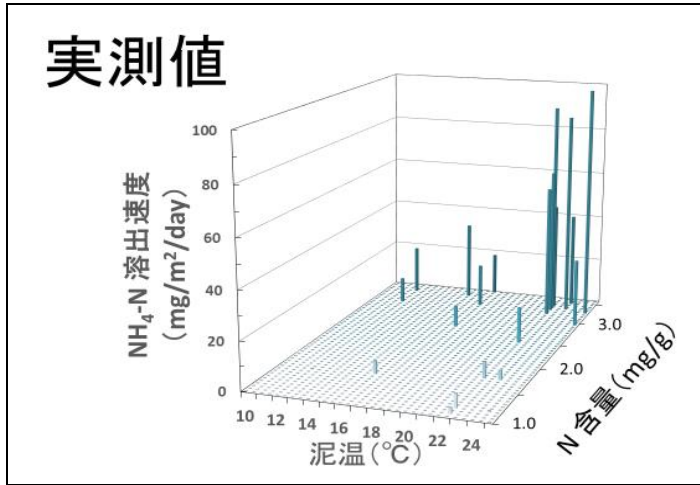
次に播磨灘の3点と大阪湾の淀川河口から沖合に向かった5点、計8点で有機物含量と栄養塩フラックスの関係を調べてみました。この図は大阪府水産技術センターの方と一緒に共同研究した結果です。泥に含まれている有機物含量を、有機態窒素含量でモニタリングしてみました。アンモニア、リン酸塩、それから溶存ケイ酸塩のフラックスと表層泥の窒素含量を軸にしてプロットしてやりますと、リンも割と良い直線に乗って来ました。つまり、リンは少し苦しいところもあるのですが、アンモニアとか溶存ケイ酸のフラックスは表層泥の有機物含量と高い相関関係を示すことが分かりました。このことは非常に単純に言えば、汚い泥ほどたくさんの窒素やリンが泥から速い速度で海水中に溶けてくることに





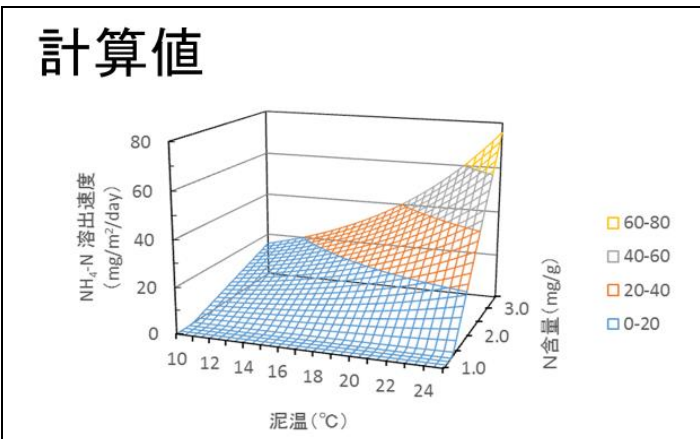
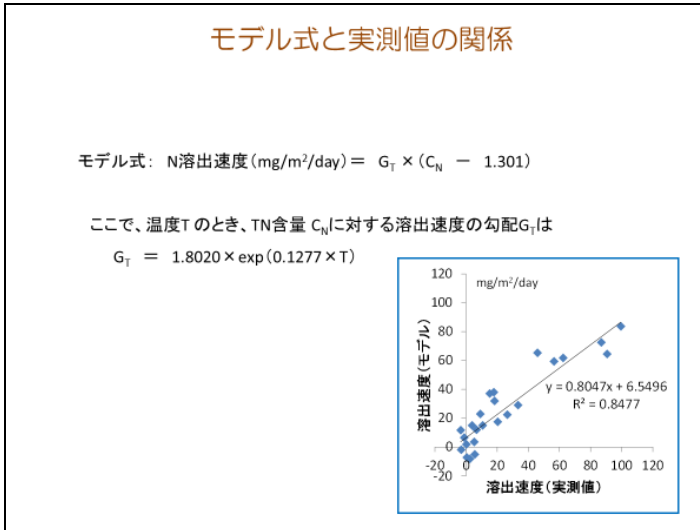
なります。

得られたデータを3次元でプロットすると、このようになりまして、上方向が溶出のフラックス、溶出速度です。左軸に泥温、右軸にN含量で、右に行くほど高くなります。アンモニアの溶出速度の柱は泥の窒素含量が高く、泥温が高くなればなるほど高くなっています。泥のN含量が高いほど溶出速度が高いということになります。

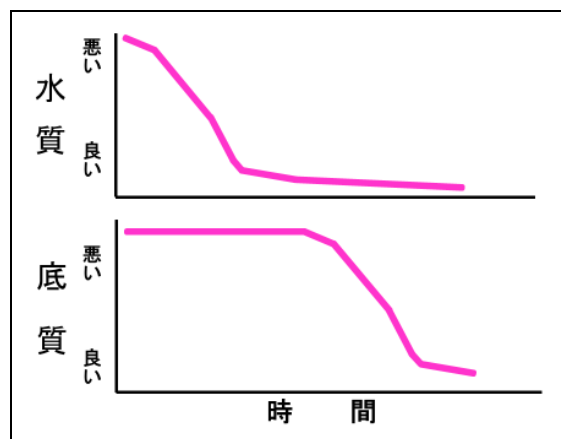


それでは、こういう関係が得られたので、Nの溶出速度を、現場の温度(T)と現場の泥のN含量(C<sub>N</sub>)の関数として表してやれば、右のような式になります。これは経験式で理論式ではないので、これに合うように式を作っていますから、当然のことながら、実測値と計算値がきれいに合います。

この式から、すべての点で溶出フラックスを測らなくても、温度(T)とN含量(C<sub>N</sub>)が決まれば、ほぼ全ての定点で溶出速度予測できることになります。

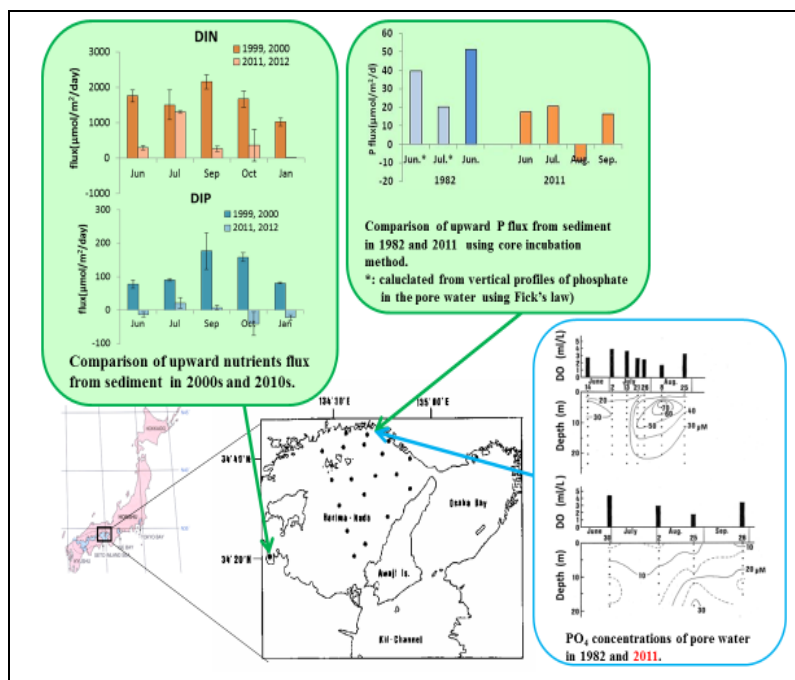


これは単純な概念図ですが水質と底質を考えてみると、水質は負荷量を減らせば、意外に単時間できれいになるのかもしれませんが。海は広いですけど、河口域で見ていると、かなりクリアーに濃度の減少が見られます。ところが海底泥は水がきれいになっても、すぐにはきれいにならなくて、少し時間を要してからきれいになります。海底泥は水の中で起こっている出来事を記録していくところですから、少し遅れてきれいになって行くと考えられます。



海水に関しては、1970年代後半から各府県がデータを取り続けてきました。しかし、泥のデータあるいは泥から溶出してくる窒素やリンの濃度は、ほとんどモニタリングされていなくて、データが少ないのが現状です。現在のデータはありますが、「昔と比べてどうなの」と言われると、比較ができなくて困ってしまって、ないものはないとしか、言いようがありません。ところが、実は、比較できる昔のデータを香川大学は持っています。

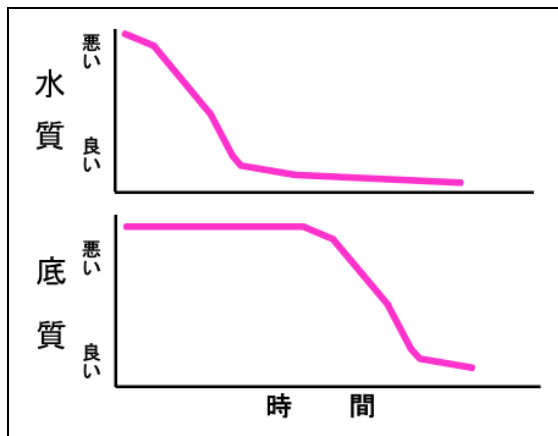
「1999年度と2011年度、10年前と今とでどう違いますか」と言うことを研究したことがあって、左上の上が窒素、下がリンです。これは香川県志度湾で調査した例ですが、10年を経過すると窒素もリンも溶出速度はいずれも減少しているというデータが得られました。つまり、泥がきれいになって来たということです。



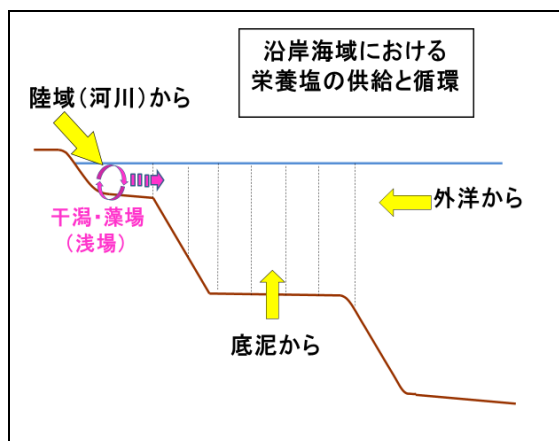
志度湾の場合は10年だけの比較でしたが、今度は

1982年と2011年、すなわち30年前と今とを比べた例です。残念ながら、リンのデータしかないのですが。これは僕が学生時代に卒業論文の副業でやらされた昔懐かしい仕事なのです。30年経って、もう一度卒論生に同じ場所に行って同じ方法で、リンの溶出速度を測定してもらいました。その結果、30年後の方がやはり姫路沖でも溶出フラックスは小さくなっていました。

このスライドの中で、右側の図の上のこれらの縦バーは海底直上へ海水の溶存酸素濃度で、下は泥の中のリン濃度を示しています。つまり、泥の中には泥の粒子と粒子の間に水があって、それを間隙水といいますけれども、間隙水を絞り出してリンの濃度を測定してみると、2011年には $30\mu\text{mol/L}$ 、 $20\mu\text{mol/L}$ の濃度のリンしかないのですが、1972年当時は $70\mu\text{mol/L}$ 、 $60\mu\text{mol/L}$ という濃度が普通に計測されました。夏場に関していえば、泥の間隙水中のリン濃度は2011年の方が確実に減少しています。泥はきれいになっていることが、ここから予想できるわけです。非常にアバウトな話ではあるのですが、現在このような現状にあるのではないかなと考えています。

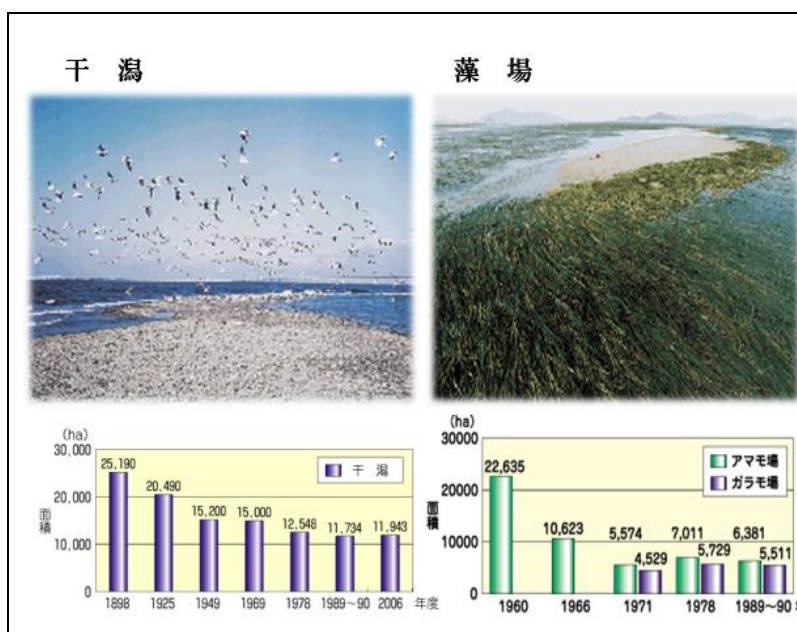


泥の次は最近少なくなってきた浅場（干潟・藻場）の話に移ります。陸からものが入るとするのは単純にプールにポトンとインクを落とすような話ではありません。そこで、干潟や藻場で、陸から入ったものはどういうメカニズムを辿って海に出ていくのかということについて、香川大学の私達の研究室では調べています。



干潟、藻場といった浅場ですが、干潟が1898年の相当古い時から、藻場が1960年(昭和35年)からモニタリングされていますけれども、残念ながら、いずれもその面積は瀬戸内海では半分以下になってしまいました。

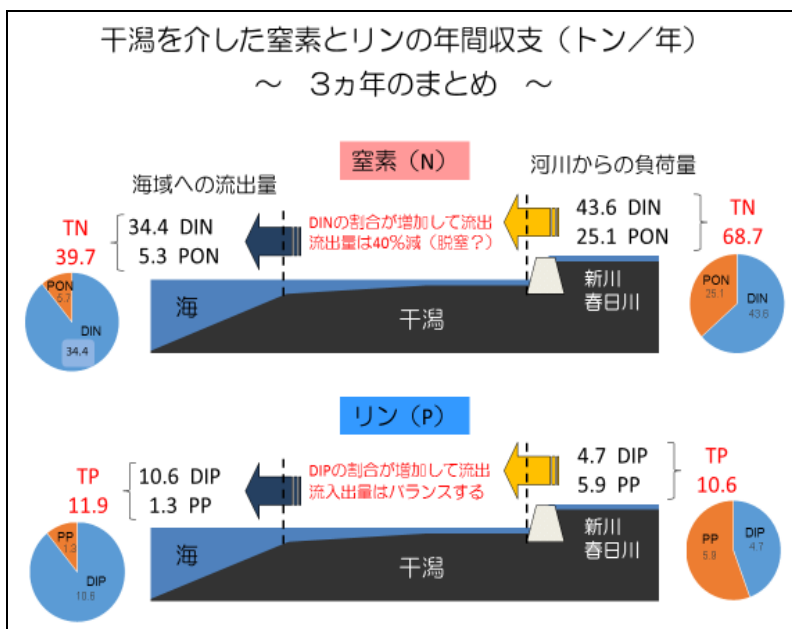
瀬戸内圏研究センターでは一見先生を中心に、かなりこの干潟に力を入れていまして、これは新川・春日川の河口干潟の写真です。この写真は屋島の頂上からサンポートに向か



ってカメラを構えたものですが、左が満潮時で、右の干潮になると、ここに干潟が現れてきます。



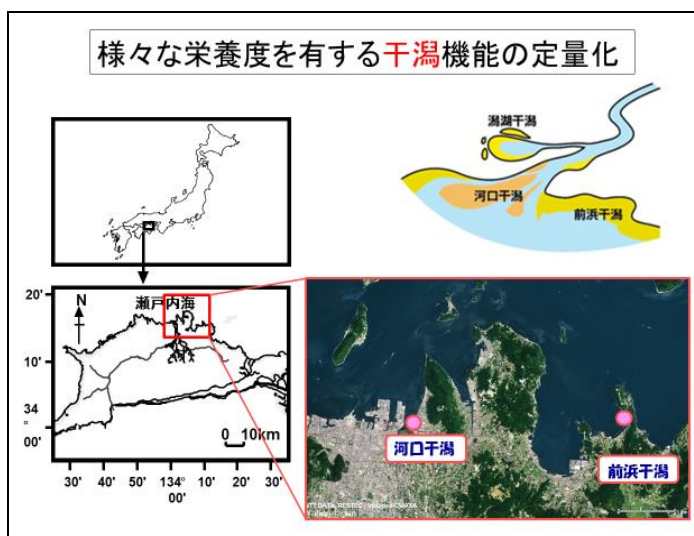
この干潟で、3年間窒素とリンの年間収支を見ました。全リン (TP) を見てみますと、1年あたり10.6tのリンが新川・春日川からこの干潟に入ってきて、11.9tが干潟から沖合に出ています。10.6と11.9ですから、ほぼ釣り合っていて、入って来たものがそのまま沖合に出ていることとなります。しかし、大事なのはこの中身の話でして、この橙色の懸濁態 (PP) のリンの割合が出て行く時には非常に少なくなります。つまり植物やノリに利用されやすい無機態のリン (DIP) になって出て行くということです。



濁態 (PP) のリンの割合が出て行く時には非常に少なくなります。つまり植物やノリに利用されやすい無機態のリン (DIP) になって出て行くということです。

一方、窒素を見てみますと、新川・春日川から1年間に68.7tの窒素が入って来て、39.7tが沖に出て行く値になりました。ということは、入ってきた窒素のうち40%が消えてなくなっていることとなります。これは脱窒作用といって干潟から気体となって空気中に出て行くためだと考えています。そこで、残ったものの割合だけで見れば、川から入ってくる時は有機態の窒素の割合がかなり多かったのですが、それが少なくなって沖に出て行っています。これこそが、「干潟は自然の浄化槽」と言われる所以です。有機物を分解して無機物にする、すなわち植物、微細藻類、あるいは海藻が利用しやすいような化学形態にして沖に出すということを定量的に示すことができました。

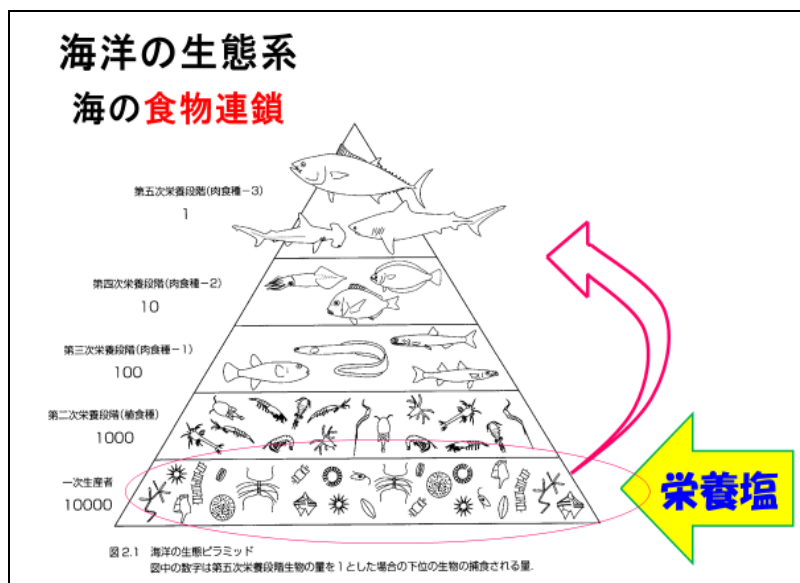
干潟には河口干潟、潟湖干潟、それから前浜干潟とあります。今説明した干潟は非常に栄養度の高い河口干潟の一例でした。そこで、もう少し栄養度の低い干潟でも、やはり4割が脱窒で空中に飛んで行って、残った窒素のほとんどは無機化されて沖に出て行っているのかどうか、干潟の栄養度に比例してどのようになっているのかを今調べています。ここが栄養度の高い河口干潟で、この辺に前浜干潟があり、前浜干潟でも同じように、窒素とリンの循環を調べています。これに関しては次回のシンポジウムで結果をお示しすることができると考えています。



環境省の予算で、香川県の生島湾における藻場でも同じような栄養塩循環の仕事をしています。四国アイランドリーグ、オリーブガイナーズのホームグラウンドであるレグザムスタジアムの前の生島湾はアマモが生えていて、アマモの繁茂期には湾全体がアマモで覆われてしまうほどの小さな湾です。ここには大きな流入河川がないので、湾の海水は単純に満潮時に入ってきて、干潮時に引き潮で出て行くという往復をしており、窒素とリンの循環を調査しているところです。これの結果も次回のシンポジウムでお示しできると考えています。



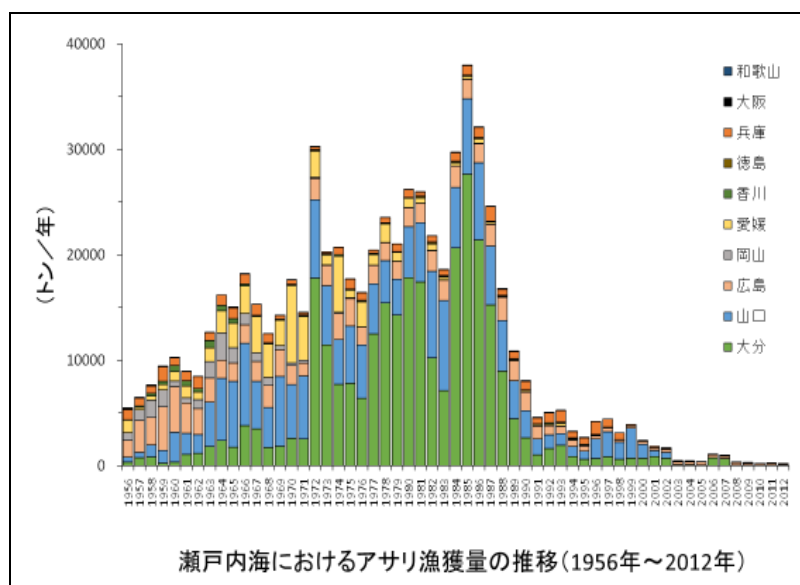
瀬戸内海の栄養塩は減少したという話をしてきましたが、では、栄養塩が減少した時に海の生物はどういう応答をするのかという話です。これは海の生態系、海の世界食物連鎖の図です。植物プランクトンがいて、それらを食べる動物プランクトンがここにいる。この動物プランクトンは小型魚、中型魚、大型魚と順番に食べられていく



わけです。この生態系の底辺を支えている植物プランクトンは餌を食べるのではなくて、豊富にある炭酸ガス (CO<sub>2</sub>) と太陽のエネルギーを利用して光合成をして、その時に無機態の窒素やリンを使って光合成をし、増殖します。

栄養塩が減少して来た時に、植物プランクトンはどういった応答をするのかを、今調べているところです。この辺をどのように考えるかが大きな問題なのです。この栄養段階の生物(一次生産者)が少し減ったらその上の栄養段階の生物がどうなって、この段階の生物が減ると魚が本当に減るのか。風が吹けば桶屋が儲かるみたいな話で、この辺のプロセスはかなり時間をかけて研究しないと、1~2年ではとてもではないけれども、結果が出てきそうにはありません。決して、この問題から背を向けているわけではなくて、真面目に取り組んでいます。それよりも今日は栄養塩がもし減ったとしたら、植物プランクトンあるいは底生に付着している光合成をする微細藻類はどうなるのか。そうなるアサリはどうかという話をしたいと思いません。

このグラフは瀬戸内海のアサリの漁獲量の推移を示したものです。字が小さいですが、横軸は1956年から2012年までを示しています。1980年代がピークで、非常にたくさんのアサリが獲れていました。その後、坂道を転げるようにアサリ資源は急激に減



少ししました。これは実は瀬戸内海だけのことではなくて、日本全国がこの傾向にあり、隣の韓国でも同じように獲れなくなっています。

この原因については、よく分かっていないのですけれども、その理由は大きく3つに分けられます。まず、生息環境の変化です。具体的には埋め立てです。埋め立てしてアサリが住む場所がなくなりました。それから底質が悪化してきた、餌生物の減少、それから温暖化です。水温が高くなってアサリが棲み難くなった。2番目に不十分な資源管理です。一言でいえば取り過ぎ。最後は食害と病害虫の発生です。アサリの減少原因として、こういう理由が考えられるのです。

瀬戸内圏研究センターでは一見先生が三重県にある水産研究教育機構養殖研究所が開発したケアシエルという増殖技術を勉強に行き、香川大学流に砂利の質をアレンジしたのがクラムハウスというものです。このクラムハウスは砂利を入れた網袋で、これを海岸に置くだけという非常に単純な装置です。

その前にアサリの生活史を復習しておきましょう。アサリは産卵して、卵からふ化しますと、浮遊幼生期を2~3週間過ごします。アサリは生まれたらいきなり貝になるのではなくて、浮遊生活をするプランクトンに変わります。2~3週間を経過したら適当な所に着底して、稚貝となり、大人の貝まで成長していきます。それを瀬戸内圏研究センターでは、海水をポン

### アサリ資源減少の原因

- (1) 生息環境の変化  
埋め立て  
底質の悪化(泥化など)  
餌生物の減少  
温暖化
- (2) 不十分な資源管理  
採り過ぎ(資源管理意識の欠如)
- (3) 食害・病害虫の発生  
食害: ナルトビエイ、サキグロタマツメタ、など  
寄生生物: カイヤドリウミグモ、パーキンサス原虫

### クラムハウスによるアサリの採苗と育成

アサリの浮遊幼生: 袋の中に入って定着

砂利を入れた網袋

アサリは袋の中で安全に成長

### アサリの生活史

初夏から晩秋にかけて産卵 → 2~3週間の浮遊生活 → 干潟などに着底し、成長 (浮遊幼生)

沖合いの海

浮遊幼生

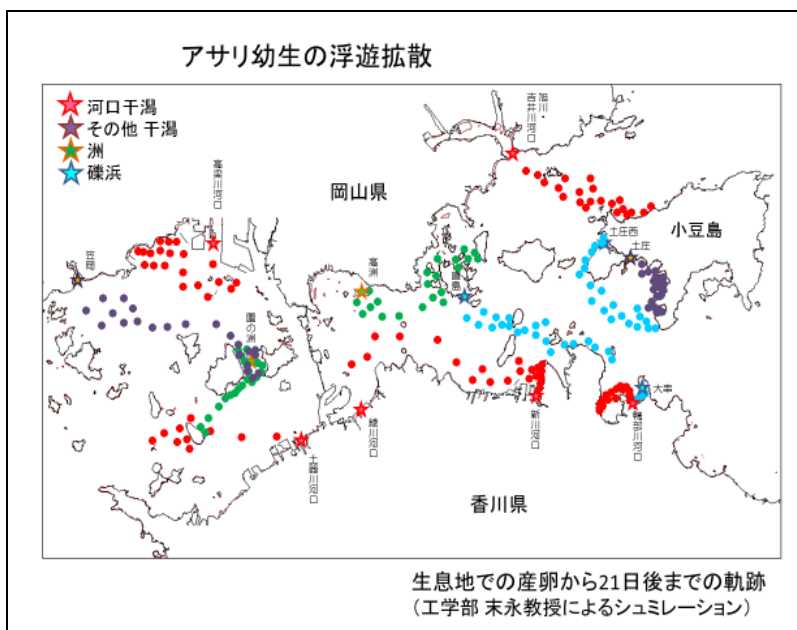
産卵

着底

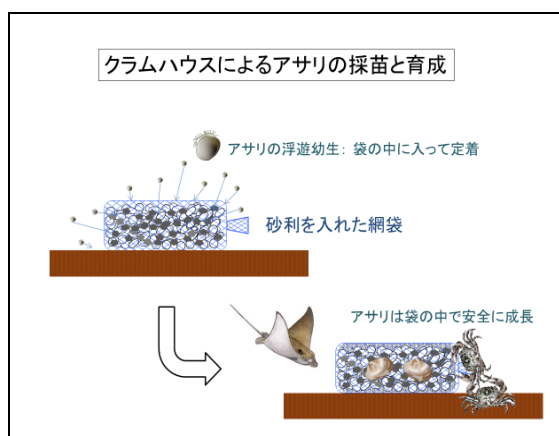
干潟

プでくみ上げて、アサリ幼生を特定するためにモノクローナル抗体を使って染色し、海水中の浮遊幼生がどのくらいいるのかを調査してきました。

これは先ほど府中湖の研究を発表された工学部の末永先生がシミュレーションのされたものです。星印はアサリが産卵したそれぞれの場所です。これらの場所で産卵されてふ化した幼生がどこに流れていくかをシミュレーションしたものです。例えば、岡山県の吉井川と旭川河口域で生まれたアサリ浮遊幼生は、小豆島の北岸の方に移動して行きます。一方、土器川の河口域で生まれた幼生は、なぜか西の方へ流れて行きます。次に、直島のあたりで生まれた幼生は丁度この八栗半島の方に流れてきます。このようなシミュレーションの結果を参考にして、ここが一番良いだろうと思われる海岸にクラムハウスを設置します。



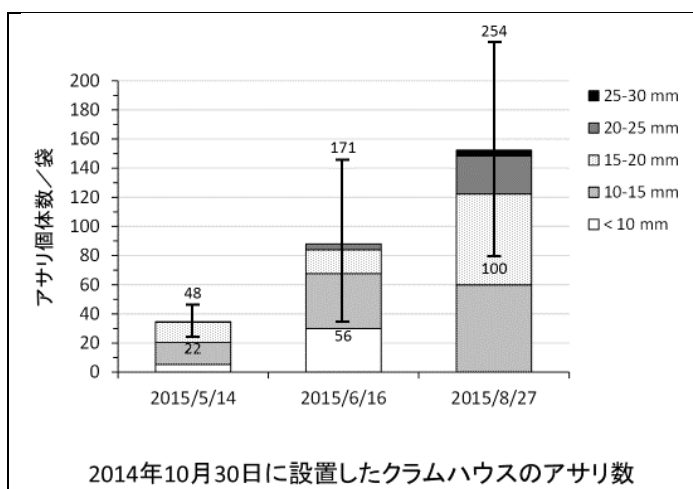
結局、浮遊幼生がここへ流れて来て、クラムハウスに着底して入って、網の中で大きくなります。大きくなった貝は、網の外へは出て行きません。しかも網の中は捕食者からも守られて、安心して成長することができます。クラムハウスはこのような優れた装置です。



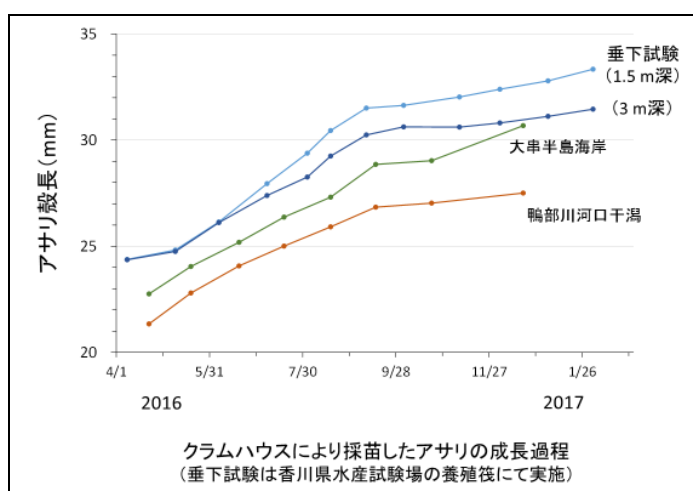
クラムハウスを先ほど言いましたように、最も良いと思われる海岸に設置しました。研究中ですので、この場所を探しに行かないでください。これらを持って行かれたら大変なことになりますから。(笑)



どこに設置したか場所は言いませんが、2015年の5月から順番に8月まで、クラムハウスの中のアサリの個体数を示したのがこの図です。前年の2014年10月30日にクラムハウスを設置しておりますので、秋に生まれたアサリの幼生がクラムハウスの中に着底して個体数を増加させ、翌年の5月から8月まで袋の中で確実に大きくなっていくことが、この図を見れば分かります。



さらに、香川県水産試験場は試験場近くの養殖筏から、袋網に入れたアサリを海水中に垂下して、一方、香川大学は干潟にクラムハウスを置いて、同時にアサリの成長を調べてみました。大串半島とか鴨部川河口に置いたクラムハウスではアサリの殻長はこのカーブに沿って増加していきました。垂下したアサリは水深1.5mと3mに吊ったものはもともと大きなアサリを入れていたので、こういうカーブで増えていきます。干潟に置いたクラムハウスでも垂下した袋の中でも、線の勾配はほぼ一緒ということで、吊り下げて土の上においても同じような速度で、順調に成長していくことをこの図は示しています。



瀬戸内海におけるアサリの資源減少の原因は、はっきりしないのですが、少なくとも餌生物が不足しているからアサリが減ったというのは、年間を通して研究をやったわけではないのですが、秋に生まれてその後の春から秋までの育成期間であれば、餌に制限されているということはないだろうと考えられます。また、クラムハウスの中でも、垂下実験でも順調に大きくなりましたので、病害で死亡したり、成長が悪くなるというようなこともな

**アサリ資源減少の原因**

- (1) 生息環境の変化
  - 埋め立て
  - 底質の悪化(泥化など)
  - 餌生物の減少(春～秋は)
  - 温暖化
- (2) 不十分な資源管理
  - 採り過ぎ(資源管理意識の欠如)
- (3) 食害・病虫害の発生
  - 食害: ナルトビエイ、サキグロタマツメタ、など
  - 寄生物: カイヤドリウミダモ、パーキンサス原虫

いだろうと、今は考えています。

以上、今日の話をもとめてみますと、瀬戸内海の栄養塩濃度は、ほぼ全域で低下している。しかし、そのメカニズムはよく分からないのですが、播磨灘に限って言えば、栄養塩の供給源として、海底泥からの溶出が非常に大きい。それから、海底からの栄養塩の溶出というのは、現場の泥温と表層泥の有機物含量から推定することが可能であることが分かりました。しかし、海水中の栄養塩濃度は減少しているけれど

も、漁獲量の減少等への影響は不明であります。それから、アサリの資源回復対策として、クラムハウスを設置したところ、アサリは順調に成長しました。今回の結果から考えれば、減少の原因としては餌不足、あるいは病害の可能性は低いと考えられました。ただし、袋の中に入れるアサリの適切な量はどうかなど、今後さらに詳しく研究を進めたいと思っています。

以上です。

[本城]

多田先生、ありがとうございました。どうぞ、ご質問等をお願いいたします。

[羽原様]

クラムハウスの話がありましたよね。先生はこれを河口の干潟に置かれているとお話になりました。以前、下関水産大学校の先生に栄養塩リッチな排水が出ている下水処理場近くの海底にはアサリが湧くというお話を聞いたことがあります。干潟ではなくて、このような場所の海底に置くのは駄目なのでしょうか。

[多田]

今のところ、置き場所というのは末永先生のシミュレーションに従って、この辺に幼生がたくさん着底するであろうという所を狙って置いています。実際に試みられている一見先生、如何でしょうか。

[一見様]

## まとめ

瀬戸内海の栄養塩濃度は、ほぼ全域で低下している。

播磨灘海域では、栄養塩の供給源として、海底泥からの溶出が重要である。

堆積物からの栄養塩溶出量は、現場の泥温と表層泥の有機物含量から、見積もる事が可能である。

海水中の栄養塩濃度が減少しているが、漁獲量の減少等への影響は不明である。

アサリの資源回復対策として、クラムハウスを設置したところ、アサリは順調に成長した。  
アサリの減少原因として、餌不足(春～秋)や病害の可能性は低いと考えられた。

潮下帯か潮間帯の話であろうかと思います。例数は少ないのですが、実際に干上がることのない水深に置いたことがあります。結果から言うと、ほとんど幼生の着底はありませんでした。捕食者との関係なののでしょうか、干出する所に耐えられるのがアサリの強みらしくて、干潟の方が確実に良いという結果でした。もちろんアサリは潮下帯でも大きな資源になっているので、決して干出しない所は駄目なのかということ、そうではないのかもしれませんが。クラムハウスを置いた結果としては干出する所の方が良いという結果です。

[本城]

他にございませんでしょうか。

私からコメントさせてください。ケイ酸塩の溶出速度は水温と有機物量に比例関係していました。しかし、リンは片対数直線関係にあると読み取りました。この片対数関係はリンの溶出が還元状態に強く左右されるためだと思います。アンモニアの溶出も若干この傾向がありました。アンモニアの溶出にも多少は還元状態が効いているのではないのでしょうか。そのため、このふたつの栄養塩の溶出速度に関しては、片対数直線で処理をして考えるのが正しいのではないかという気がしました。

[多田]

はい。

[本城]

他にございませんでしょうか。

[山口様]

紀伊水道で近年栄養塩の減少が非常に激しかったと思いました。どういう要因が効いてこのようになったのかお聞かせいただければありがたいです。

[多田]

紀伊水道での減少はよく分からないのです。単純に紀伊水道から入って来る外洋水が変わったと言ってしまうと、今度は豊後水道の方でもそのようになっていなければおかしいことになるので、この理由についてはよく分かりません。ただ、ここでは紀伊水道と書いているのですが、和歌山県の定点はかなり岸寄りにあるので、外洋から入って来る水ではなくて、和歌山県の陸からの負荷が減ったか底質からの溶出量が減ったということではないかなと思います。よく分からないのは、結構外洋まで行っても COD は昔に比べると若干上がるのですよね。黒潮の離岸・接岸が関係していると言っているようですが、あまりうまくは説明できないということです。

[本城]

大阪湾の下り潮が関係していることはないのでしょうか。

[多田]

基本的に播磨灘には明石海峡から海水が結構入って来るので、大阪湾の栄養塩が減ってしまうと、播磨灘の北部でも減少することはあります。大阪湾自体は淀川から入ってくる栄養塩がとにかく負荷量として大きいのです。河口から入った水は大阪湾の南岸を舐めるように下る動きがありますが、この水が単純に紀淡海峡を抜けて出て行くわけではなくて、明石海峡の方へと上がっていく方が多いように計算ではなるかもしれません。

[本城]

関空のところで末永先生が魚礁を入れて巻き上げた栄養塩を大阪湾の中をグルリと回すというのは、理にかなっているわけですね。

[多田]

そうですね。

[本城]

他にございませんでしょうか。それでは丁度時間となりました。多田先生ありがとうございました。