

藻場・干潟における物質収支とその機能

香川大学 瀬戸内圏研究センター センター長 多田邦尚



センター長の多田です。今日は藻場・干潟における物質収支とその機能と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
海環境グループ**

瀬戸内海環境改善・保全・管理

- ・瀬戸内海の栄養塩異常の原因究明
～播磨灘の水質・底質環境～
- ・浅海域の低次生産環境
～植物プランクトン・底生微細藻類の生産～
- ・アサリ資源減少について
～資源減少原因究明とその対策～
- ・ノリの色落ち対策研究
～海水の栄養塩濃度、施肥実験～
- ・干潟・藻場の生物機能
～浅海環境における干潟・藻場の役割～
- ・ダム湖(府中湖)の水質改善
～植物を用いた水質改善と
バイオマス資源利用～

庵治マリンステーション

私達の海グループでは、大きくくりで言えば瀬戸内海環境改善・保全・管理をテーマに仕事をしており、いくつも研究テーマを持っています。その主なものをここにあげておきました。

- ・瀬戸内海の栄養異常の原因究明ということですが、瀬戸内海はきれいになり過ぎたようなことが言われています。けれども、じゃあ、栄養塩濃度が減少していくということについて、瀬戸内海の水質と底質を調べることによって、どのように説明できるのか、あるいは将来予測がどのようにできるのかということ
- ・浅海域、浅い海での低次の生物生産ですけれども、瀬戸内海には太陽の光が海底まで届く海域がたくさんあって、海水中に浮遊している植物プランクトンと泥の上に付着して生きている底生微細藻類の生産がどのようにになっているのかということ
- ・近年問題になっているアサリの資源の減少
- ・ノリの色落ち対策
- ・今日の話ですが、干潟・藻場の生物機能
- ・ダム湖、具体的には府中湖ですけれども、水質改善ということで植物を用いて浮藻場を作って水質改善し、その植物も利用していく
というような研究を行っています。

海グループのメンバーとしては創造工学部、農学部、それから経済学部の高直先生も加わっていただいて、このようなメンバーで仕事をしています。今日は時間的なこともありますので、干潟・藻場の生物機能ということで報告させていただきたいと思います。

最初に「干潟・藻場は何故重要なのでしょう」ということと、「干潟・藻場はいったいどういう所なのでしょう」という非常に単純な質問です。既に皆様は「干潟・藻場は生物にとっての棲み家として非常に重要だ」ということを理解されていると思います。生物の棲み家として重要だと言いつつ物質循環という目で見ると、「物質循環にも結構重要な所だ」と定性的には皆様は分かっているはずですが、生物を構成する主要な元素である炭素とか窒素とかリンといった親生物元素が一体どのように動いているのか」という定量的に評価した研究は世界的にも非常に少ないのが現状です。

「干潟・藻場、これは重要ですよ」といろいろな人が言ってくれるのですが、
「何故重要なのですか」と問われると、あまり良く分かっていない。干潟・藻場は何故重要か、どんな所か分からない。では、それをいったいどのように保全、修復、回復していけば良いのかということも良く分からない。これは致命的な話で、「干潟・藻場の保全、修復、回復」とよく言われるけれども、「政策的にどのようにすれば良いのか」ということを国に提示できないという問題です。

瀬戸内圏研究センター
海の環境グループ

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	創造工学部
石塚正秀	創造工学部
東江 栄	農学部
松本由樹	農学部
山口一岩	農学部
原 直行	経済学部
本城凡夫	瀬戸内圏研究センター

干潟・藻場は何故、重要？
干潟・藻場はどんなところ？

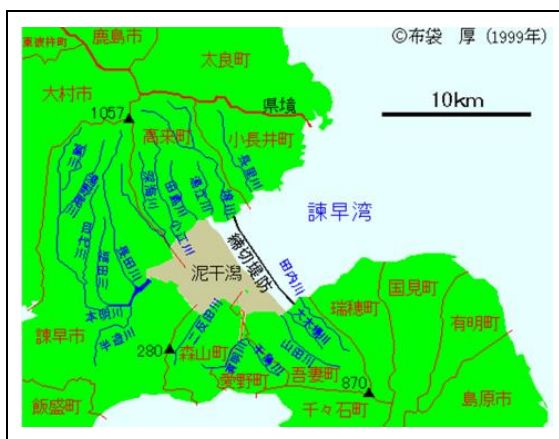
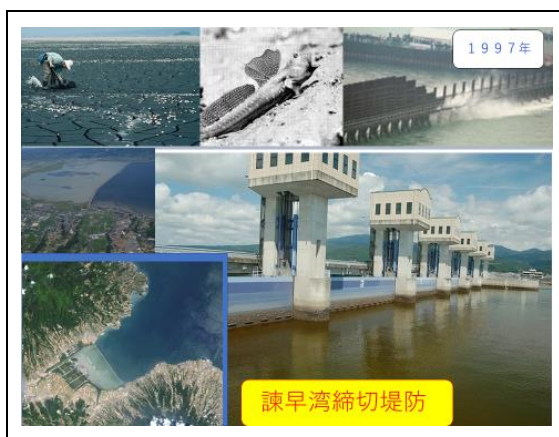
干潟・藻場がさまざまな生物にとって重要であり、
物質循環のうえでも重要であることは
定性的には理解されているものの、
親生物元素などの物質収支を定量的に
評価した研究は世界的にも少ない！

干潟・藻場は何故、重要？
干潟・藻場はどんなところ？

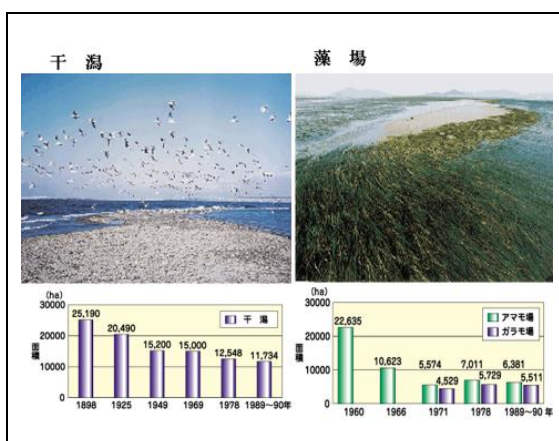
「干潟・藻場の物質循環や、生物再生産に果たす機能」
がよくわかっていない。

- ⇒ 干潟・藻場は何故、重要か？
どんなところか？ わからない！
- ⇒ どのように保全、修復、回復すれば
良いのかわからない！
- ⇒ 干潟・藻場の保全、修復、回復のための
政策が立てられない

私の個人的な意見ですが、干潟・藻場は何故重要かということが良く分からない」と言っている例が諫早湾の干拓の話だと思っています。1997 年のことになりますけれども、当時、私は干潟・藻場ということに全く興味がなくて、ひたすら瀬戸内海の沖合のことを一生懸命研究していました。ところが、1997 年、あのギロチンと言われた締め切り堤防ができ、干潟がなくなっていました。当時、干潟・藻場を研究していなかった私はテレビを見ながら、なにかすごい大騒ぎをしていて、私も単純に「そりゃあ干潟を潰してはいかんよな」と思いつつ、もしマイク向けられたら、「俺、どのように答えれば良いのかな」と感じていました。今でも覚えていますけれども、当時、環境保護団体が「生物の棲み家をこれだけ奪ってしまって、そのようなことが許されるのか」と言って、石碑を建てて干潟の生物の墓地のような感じで、皆が手を合わせている映像を見たことがあります。結局、「ここにこれだけの締め切り堤防を作れば干潟がなくなります」と言うだけで、「それがどうしていけないのか」と言うことの環境アセスメントができていなかったのではないかと思います。



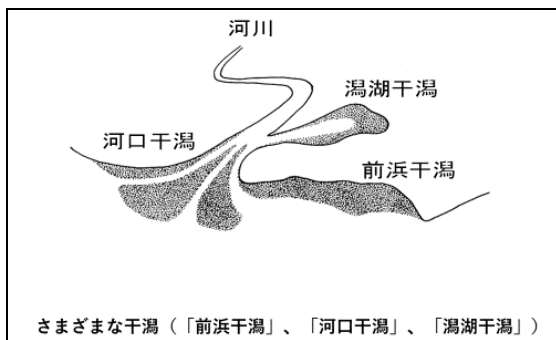
それから、何 10 年も経って、香川大学でも一見教授を中心に干潟・藻場の研究が始まりました。瀬戸内海に限ってデータを見てみると、干潟が 1898 年から、すなわち明治時代から面積の記録があります。藻場は 1960 年ですから、昭和 35 年から面積がモニタリングされています。干潟と藻場は観測の開始年代が違いますけれども、どちらも観測が始まって以来、面積が半分以下に減少してしまいました。今日は干潟・藻場のお話をすると申しましたけれども、実は 2 年前のこのシンポジウムでも、いくつかのテーマの中で干潟・藻場の話をしています。



環境省に環境研究総合推進費という結構大きなお金があるのですけれども、そのS13「持続可能な沿岸海域実現をめざした沿岸海域管理手法の開発」に私達のグループも参加することができました。これはチームが5つぐらいあるような大きな研究プロジェクトですけれども、その中に香川大学も参加することができ、5年間に4千万円弱ほどもらいました。その事業がこの3月に終わります。今ちょうどまとめに入っているところであり、少しまとめたお話ができるかと思って、今日はこのテーマの発表をすることにしました。

まず、干潟の研究成果からお示ししたいと思います。一言で干潟と言いましても、河川の河口、海の注ぎ口にできる河口干潟。それから、海を目の前にしている前浜干潟。香川県では有明浜が最も有名な前浜干潟で、香川県最大の干潟です。それから、少し奥まった所にできる潟湖干潟。さまざまな干潟があります。

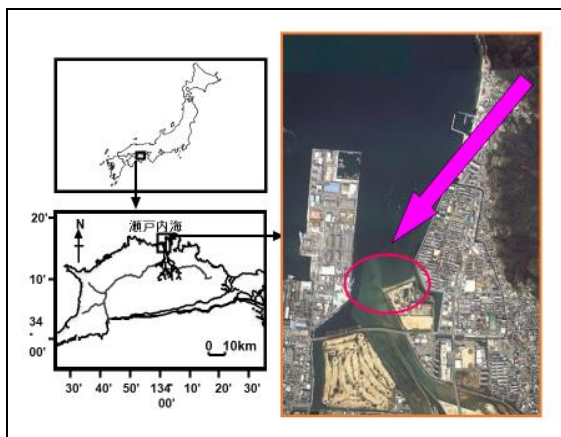
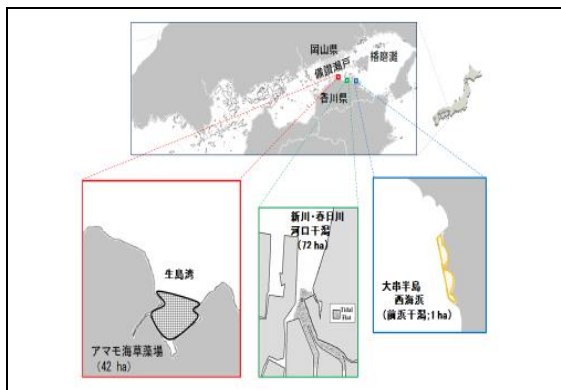
干潟にはいろいろな生物がいて、生物の棲み家として重要です。このことは昔から理解されてきたことです。私達は生物が専門ではありませんけれども、瀬戸内圏研究センターの一見先生を中心に長く干潟観察会、干潟ウォッチングを開催してきました。その中で新川・春日川の河口干潟で見られる生物の写真を中心に載せて、「瀬戸内圏の干潟生物ハンドブック」を作りました。香川大学瀬戸内圏研究センター庵治マリーンステーション編として出版したのですけれども、これは干潟観察会のテキストになるようにということで、「干潟とはどういう所でしょうか」と言うことや、干潟で見られる生物の解説。そういうことを載せて1冊の冊子を作りました。おかげさまで、今5千部ぐらいは売れていて、瀬戸内関係府県で干潟観察会などが開かれる時にテキストとして、よく採用していただいています。



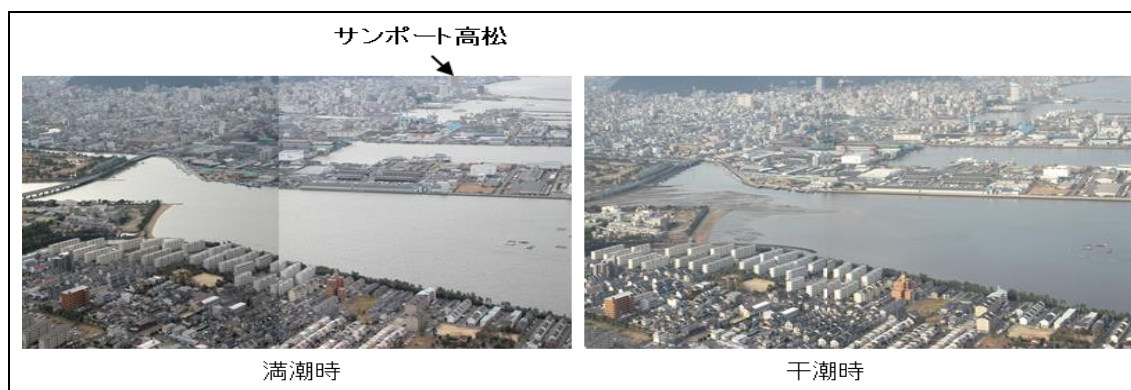


今日は生物の棲み家としてということではなくて、物質循環という目で研究した結果について紹介したいと思います。藻場の話はあとですることにして、まず、干潟について紹介いたします。干潟の観測点にしたのは、高松市郊外の新川・春日川河口干潟とさぬき市の大串半島西海岸にある前浜干潟の 2 つです。

新川・春日川の河口干潟ですがけれども、これは香川県最大の河口干潟です。場所は県庁から車で 15 分ぐらいの所です。ここで航空写真が切れていますが、これが高松地区の F 地区岸壁です。ここに神戸行のジャンボフェリーの乗り場が見えています。ここにパブリックのゴルフ場があって、銀星の自動車学校があって、これが屋島半島の付け根です。この辺りに新川・春日川河口干潟と呼んでいる大きな干潟が出てきます。



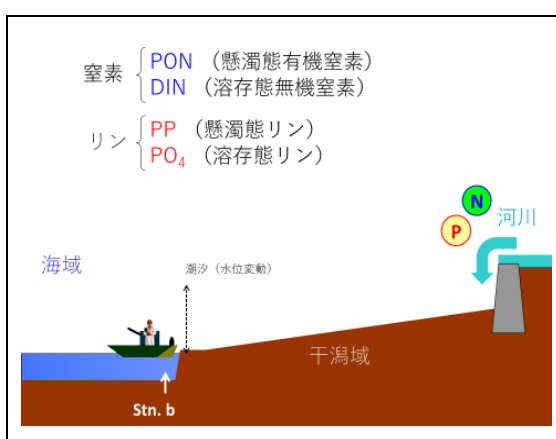
これは屋島の頂上からこの干潟を見下ろした写真です。今、我々はサンポートにいて、これが F 地区岸壁です。満潮なのでこの辺り全部が水没していますが、干潮になると全部干上がってきます。ここに棒が立っていて、大潮の時にはこの辺りぐらいまで歩いて行けます。そういう干潟です。



この干潟で「物質がいったいどのように動いているのか」と言うことを、長年研究を続けました。この干潟を空の上から見てみます。先ほどと方向が違って、今度は左が北で海側になりますけれども、左上に屋島半島があって、F 地区が左下になりますが、ちょうどこの赤で囲った場所が満潮の時に水没して、干潮の時には干上がるという干潟です。面積は 72.3ha になります。ここで「窒素とリンがどのように動いているか」と言う物質収支を調べました。



その方法ですが、写真の赤の線で囲った枠の中の物の動きを見るのに、まず窒素とリンを測るのですが、窒素は懸濁態の有機窒素と溶存態の無機窒素、すなわち溶けている無機態の窒素とつぶつぶの粒子になっている懸濁態の有機窒素。リンもほとんどが有機物である懸濁態のリンと、溶存態の無機リン、オルソリン酸 PO_4 です。まず、新川と春日川の河口堰を超えて干潟に落ちて来る N と P をそれぞれ分別定量して、干潟にどれだけの NP が入って来るかということを計算します。干潟では川から入って来るだけではなくて、海からも窒素、リンが入って来ます。この絵は干潮を描いており、干潮から満潮に向



かって水位が上がって来ると、窒素、リンを含んだ海水が沖から入ってきます。次に満潮から干潮に向かって潮が引いて行くと、これが外に出て行くことになります。そこで、入って来る NP と出て行く NP の差分を取ります。どちらが多いかというと大体出て行く方が多いのですけれども、その差分でもって、河川から入って来る NP 量と、海域に出て行く NP 量を見積もりました。

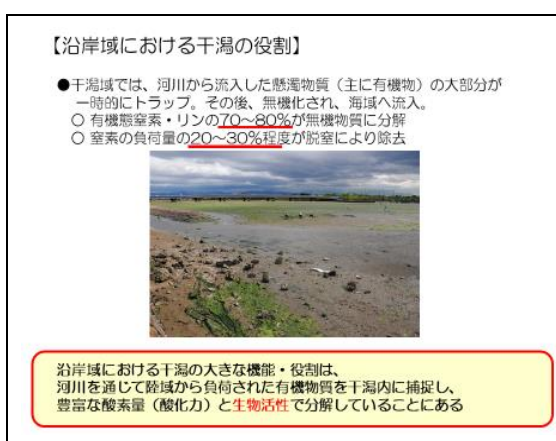
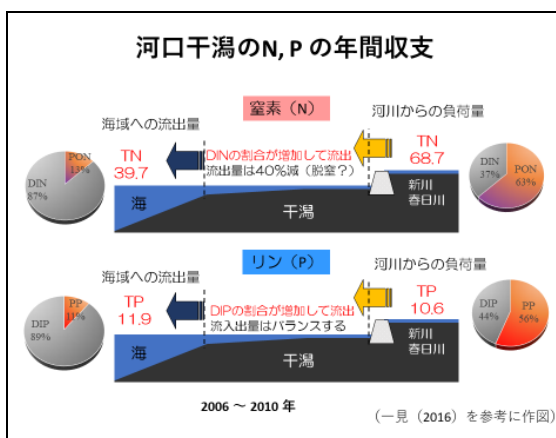
これは過去に一見先生が行った仕事で、2006 年から 2010 年までの 5 年間、春夏秋冬の年 4 回観測を繰り返して、平均値として年間収支をまとめた図です。これを見ますと、リンは河川から一年当たり 10.6 t 入って来て、沖合に 11.9 t 出て行きます。ほぼバランスしていて入った量が出て行きます。しかし重要なことは入って来る時には懸濁態、半分以上が有機態のリンであったのが、海に出て行くときには 1 割ぐらいに減っていて、ほとん

んどは無機態のリンに分解された状態で出て行きます。窒素についても 68.7 t 入って 39.7 t 出て行きます。40%ぐら減ったことになりますけれども、この一部は脱窒だろうと考えています。窒素もリンと同じで、63%が有機態であったものが出て行く時には 13%ぐらになっています。つまり有機物として干潟に入ってきた物は出て行く時に無機物となって、植物プランクトンや海藻などに直接利用されやすい形になって沖へ出て行くということが分かってきました。

その結果から見てみますと、沿岸海域における干潟の役割は河川から流入してきた懸濁物質、有機物を一度干潟に捕捉して、それを無機化して海に流して行きます。すなわち、有機態の窒素、リンの 70~80%を無機物に分解しているということです。

また、窒素の負荷量の 20~30%が脱窒などによって除去されていきます。この研究結果から考えると干潟域の役割・機能というのは河川を通じて陸から付加された有機物質を干潟内に一旦捕捉して、豊富な酸素量、酸化力と生物活性で分解している。これが干潟の役割ということになりました。

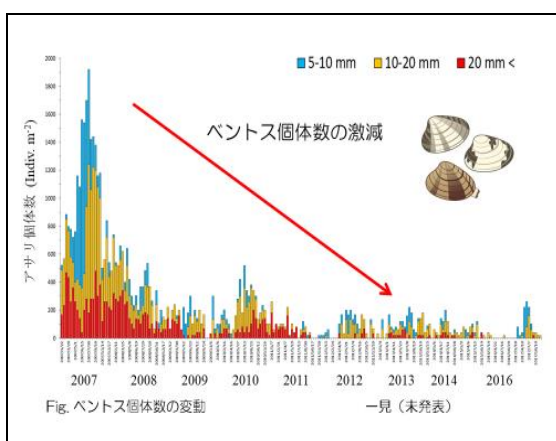
これで見先生の仕事としては一度完結していたのですが、その後、干潟が注目されるようになって、我々の研究成果をアピールしていたところ、「それは香川県のある干潟の話でしょう。どこの干潟も同じなのですか」という話になってきました。「干潟の機能を



明らかにした君らは偉いけれども、それでモデル組むには、瀬戸内海全体とか広い地域に広げて、いろいろな栄養度の干潟を見てみないと何とも言えないでしょう」と言うことになり、先ほどの環境省の環境総合研究推進費 S13 に手を上げて、その研究チームに入りました。

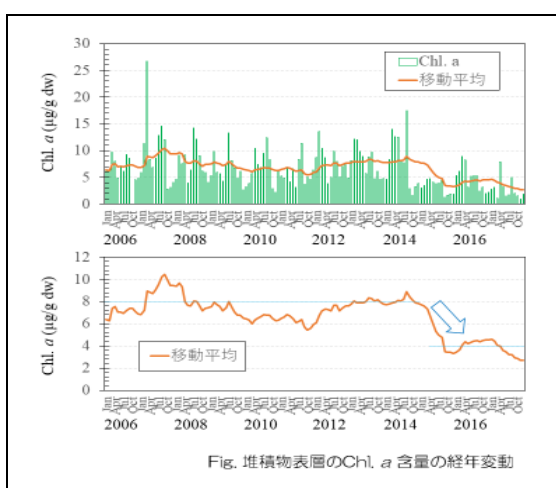
「栄養度の違う干潟をどのように見てみるか」と言うことですが、さっき示した 2006 年から 2010 年、一見先生が活発に研究された頃の干潟は毎年 5 月になると、我々研究室の学生が全部出て行ってしまっていて、研究室にいなくなるぐらい潮干狩りに精を出していました。そして、次の日にはアサリの酒蒸しから始まって、スパゲッティ、ボンゴレまでアサリ

ばかり食べていました。それが 2006 年、2007 年の話です。図は一見先生が長年測定してきたベントスの個体数の変化です。ベントスの減少がクリアに出ています。中でも一番顕著なのがこのアサリです。2007 年から 2017 年の 10 月まで、アサリのサイズ別の m^2 当たりの個体数をグラフにしています。5~10mm と 10~20mm、そして 20mm より大きいアサリを表していますが、ものすごいスピードで減っています。これは新川・春日川の河口干潟に限らず、西日本全体がこのような感じです。とにかくアサリが減ってきて、今では潮干狩りをしている人を見かけなくなりました。「なぜそうなのか」と言うことは少し置いておきまして、とにかく干潟が変わったということです。



先ほど示した「それは香川県のある干潟での話でしょう」と言われたのが 2006 年から 2010 年ですから、アサリも結構いた時の話です。それが今、この干潟がどのような状態なのかを調べることにしました。

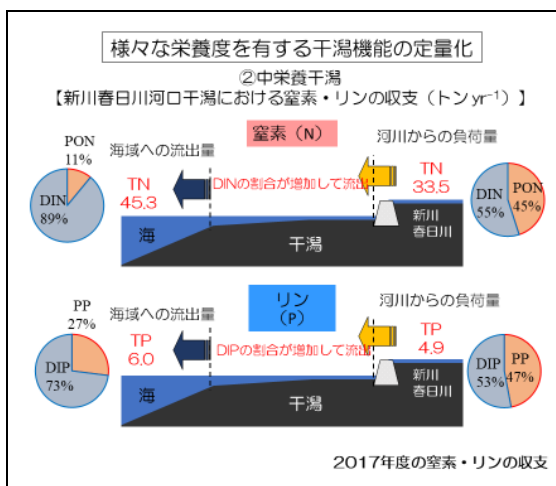
右の図は干潟の表層の泥の 1g 当たりのクロロフィル a 含量を示しています。毎月 2 回ほど採取して泥の表層の藻類、底生微細藻類の量を測っています。ここでは個体数、細胞数を見るのではなくて、グラム当たりの光合成色素で表しています。縦軸が泥の表層に引っ付いている微細藻類の量と考えて下さい。緑が測定値です。ページのラインが 13 カ月の移動平均を示しています。底生微細藻類というのが干潟にいる二枚貝などの餌になると考えられている生物です。下の図は見や



すいようにフルスケールを $12 \mu\text{g/g dry weight}$ にして、緑のグラフを除き移動平均だけを示したものです。ちょうど 2006 年から 2010 年、干潟の物質収支を盛んに測っていた頃と

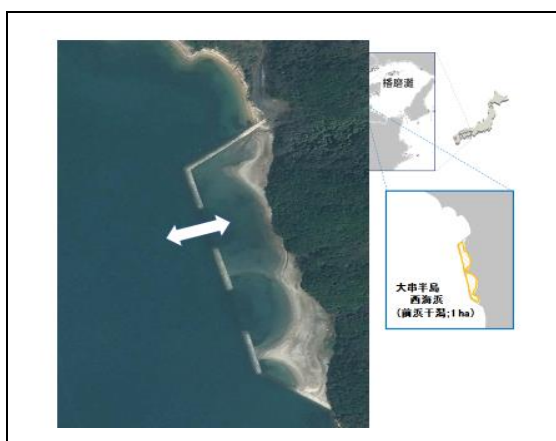
いうのは、このように少しジグザグがありますが、ざっくり見ると $8 \mu\text{g/g}$ ぐらいのクロロフィル a があった時代です。それが 2014 年を超えた頃からぐんと落ちて、2017 年、これがさらに落ちてきて $4 \mu\text{g/g}$ もない半分以下になりました。泥の表面にいる二枚貝の餌になるであろう底生微細藻類の数が減ってきました。すなわち、栄養度が落ちたということです。

今度はその栄養度が落ちた干潟の物質収支がどうなっているかを調べました。2006 年から 2010 年にかけて測定した物質収支と全く同じ方法で、同じ観測点で観測を行いました。右図が 2017 年の 1 年間、春夏秋冬の 4 回の観測結果の平均から計算したものです。先ほどの 2006 年から 2010 年を栄養度が高い干潟と定義し、今回の観測、2017 年を中栄養の干潟と定義したいと思います。2017 年を見てみますと、リンは 4.9t 入ってきて、6.0t と少し多めに出て行きます。やはり半分



弱が懸濁態、有機態のリンなのですけれども、沖に出て行く時には 3 割弱に有機態の割合が落ちていて、逆に溶存態の無機態の割合が増えています。窒素に関しては 33.5t 入ってきて、この時は 45.3t と若干増加して出て行くのですけれども、やはりその内訳を見てみると 45%、5 割弱が有機態で入って来て、出て行くときは 1 割強になっている。このようなことが分かりました。先ほどよりも有機物の分解能力が小さいということになります。

今度はさらに栄養度が低いと考えられるさぬき市大串半島の西海岸、ここは非常に小さな人工干潟です。航空写真で見るとこんな所です。ここには河川がないので、沖から干潟に海水が入ってきて、下げ潮で出て行きます。単純に入ってきて出て行く差分だけを見えていますけれども、窒素に関してだけ表示しました。先ほどの新川・春日川河口干潟を高栄養と中栄養の干潟。この大串半島の干潟を低栄養の干潟と定義します。



ここも1年間4回観測しますと、上げ潮で1年間に162kg窒素が入って来て、出て行くときは133kgになっています。入って来る時には67%が有機態の窒素であるのが出て行くのは58%ぐらいになっています。そういう意味で、ここでも有機物が立派に無機化されていますけれども、その無機化の割合は先ほどの高栄養や中栄養の河口干潟に比べると小さく、無機化の能力というものが低いということが分かりました。

窒素についてのみ、高い栄養度の干潟、中栄養の干潟、低栄養の干潟ということでもとめてみると(右表)、干潟に流入して来るものの割合と沖合に流出するものの割合、これを円グラフで表しました。それぞれ干潟の規模も違いますし、入って来る量と出て行く量の絶対量も違いますけれども、この割合だけで見てみますと、円グラフのようになります。注目していただきたいのがピンク色の有機態の部分です。高栄養の干潟ではこんなにあった有機物がこんなに分解されている。しかし、中栄養になると分解の割合が少なくなり、さらに低栄養の干潟ではあまり分解されません。

このようなことで、沿岸域における干潟の役割としては有機物を無機化することが物質収支の上で最も大きい。特に河口干潟では有機物を一旦干潟に捕捉して活発に分解します。その効果は栄養度が高いほど大きい。一方、前浜干潟でも有機物は分解しているけれども、栄養度が高い所に比べると、非常に低い分解能力しかないということが分かりました。

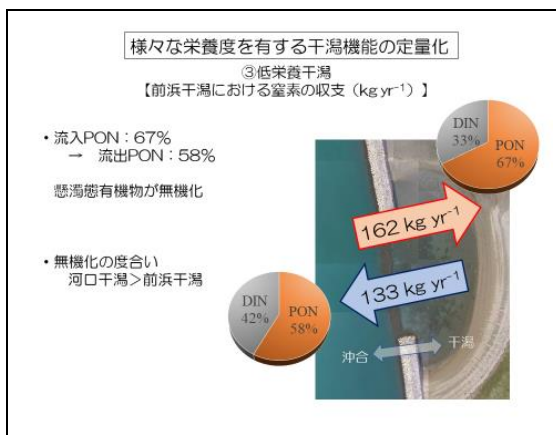


表 3.2.1 干潟へのN流入量とその形態の変化

	干潟への流入	沖合への流出
新川・春日川河口干潟 2006～2010年 (高栄養)	68.7 ton yr ⁻¹ PON 63% DIN 37%	39.7 ton yr ⁻¹ PON 13% DIN 87%
新川・春日川河口干潟 2017年 (中栄養)	33.5 ton yr ⁻¹ PON 45% DIN 55%	45.3 ton yr ⁻¹ PON 11% DIN 89%
大串半島の西海浜 前浜干潟 2017年 (低栄養)	0.162 ton yr ⁻¹ PON 67% DIN 33%	0.133 ton yr ⁻¹ PON 58% DIN 42%

沿岸域における干潟の大きな機能・役割は、・・・
有機物を無機化。

特に、河口干潟域では、
陸域から負荷された有機物質を干潟内に捕捉し、
豊富な**酸素量** (酸化力) と**生物活性**で有機物分解。

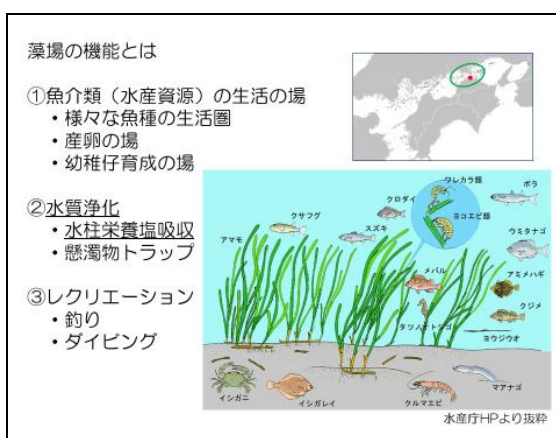
その効果は、栄養度が高い方が大きい。
有機態N・P (78～88%) → (30～67%)

前浜干潟でも、有機物を無機化しているが、
その活性は河口干潟に比べて低い。
有機態N (80%)

次に藻場について見てみます。藻場の機能は一般的にこの3つ。①魚介類の生活の場。

「先ほどの干潟と一緒に、生活の場として重要です」ということと、②水質浄化。アマモが栄養分を吸い取ってくれるので、水がきれいになる。あるいは藻場の中に水が入って行きますと、流れが藻類で堰き止められて流速が遅くなり、どっと入ってきた懸濁物が出て行く時に捕捉されてきれいになる。③レクリエーションの場。いろいろな生物を見ることができると、このようなことが定性的に言われてきました。

藻場には写真のようなアマモ場、ガラモ場、アラモ場、アラメ場など、いろいろな場があります。



アマモ場



ガラモ場



アラメ場

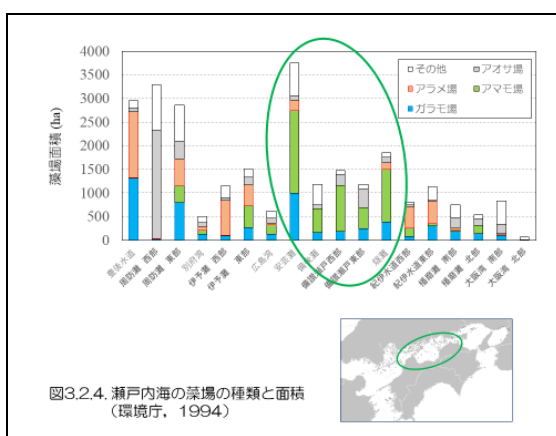
この写真はアマモ場にアオリイカの卵が産み付けられているところです。右の写真は稚魚の写真です。このように、魚が卵を産み付けに来たり、幼稚魚が生まれてから成魚になるまで身を隠しながら過ごしたりする所です。このように藻場は海の揺りかごと云われる所以ですが、このような場所を無くしておいて水質だけをきれいにしても、魚が返ってこないということになるわけです。



瀬戸内海の藻場の種類と面積を整理したものがこの環境庁のデータです(右図)。藻場をガラモ場、アマモ場、アラメ場、アオサ場、その他に分けて、その面積を積み上げた棒グラフで示しています。香川県と愛媛県とのお向かいの海域を見てみると、特に備讃瀬戸辺りは藻場の中で緑色のアマモ場が圧倒的に多い。ということで、アマモ場をターゲットに研究をしました。

研究フィールドにしたのは高松市の生島湾です。ここはアマモの海藻藻場で 42ha の非常に小さな湾です。写真は沖合から生島湾を撮ったものです。このようにアマモの繁茂期には海水中がアマモだらけというような小さな湾です。

皆さんご存知のように、アマモはこのような短冊状の顕花植物です。これは引っこ抜いてきた写真ですが、ちょうどこのラインより上が水の中に生えていて、この下に地下茎と呼ばれる茎があって、そこに根が生えている植物です。

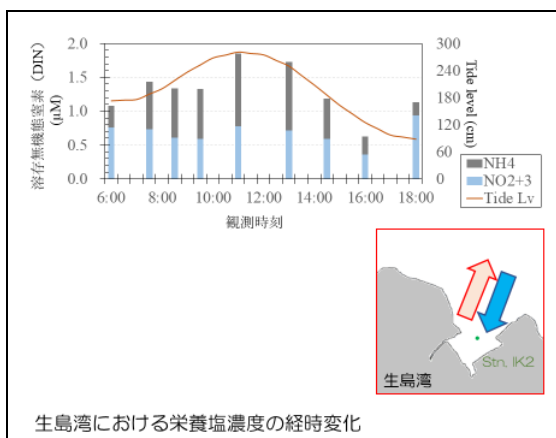


高松市の生島湾ですけれども、これが航空写真です。さっきの写真は沖から見ていたけれども、空から見ますと、ここにレグザムスタジアム、オリーブガイナーズのホームグラウンドがあって、その沖のこの緑の部分が生島湾です。繁茂期には湾全体がほぼアマモで覆われてしまいます。アマモは春から夏にかけて繁茂して、逆にこの湾では夏を過ぎるとアマモはほとんど枯れて沖へ流れて行ってしまいます。生島湾には先ほどの干潟の時と同じように大きな流入河川がなくて、上げ潮で海水が入って来て、下げ潮で出て行くと

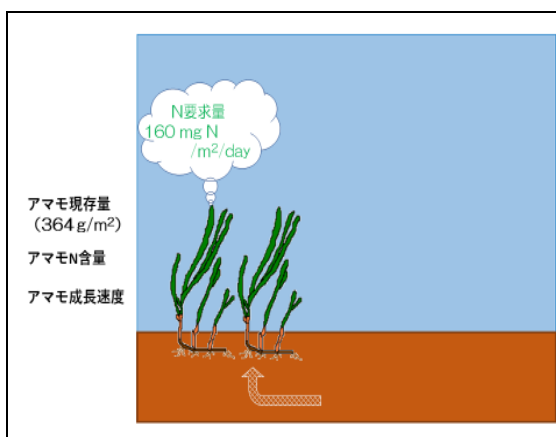


いう非常に単純な水の交換をしている湾です。

ここで一潮時、干潮・満潮・干潮について、1時間ごとに水を取って観測した図です。この茶色いラインがタイダルレベルで、干潮から満潮に向かって水深が上がって行って、満潮から干潮に向かって水深が下がって行くというさっきの干潟のアニメーションと一緒にです。これを見てみますと、黒がアンモニア、水色が硝酸、亜硝酸ですけども、干潮から満潮に向かって、つまりこの水色の矢印、海水が入って来る時には比較的高い窒素濃度の水が入って来て、タイダルレベルが下がって行く時、つまり、このピンク色の矢印では逆に硝酸やアンモニアの濃度が下がって出て行きます。つまり、湾内でそれが捕捉されているということになります。

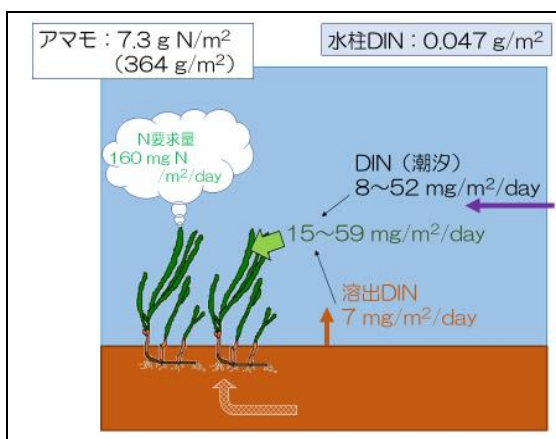


これも四季を通じて観測をしたのですが、今日はアマモの繁茂期の春から夏にかけての結果についてお示しします。この生島湾の干潟は繁茂期に湾全体がアマモで覆われると申しましたけれども、1 m²当たり364 gのアマモが生えています。これにアマモの窒素含量とアマモの成長速度の文献値をかけてやると、このアマモは繁茂期に1日当たり160 mg/m²の窒素を要求するということになります。つまりアマモの現存量が



364 g/m²あって、これらが成長していて、彼らはこの程度のN含量を持っている。彼らが成長していくのに必要な窒素として160 mg/m²/dayが必要であると見積もられました。

「じゃあ、この160 mg/m²の窒素がどのように供給されるのでしょうか」と言うことで、先ほどこの湾は非常に単純な水の出入りとお話したのですが、入ってき来て出て行く海水中の窒素濃度の差をとってやると、潮汐で8から52 mg/m²/dayぐらいの窒素が入って来ると見積もられました。また、湾の底は全て砂混じりの泥になっているので海底から窒素が溶出して来ます。その溶出量を室内実験で見積もると7 mg/m²/dayとい

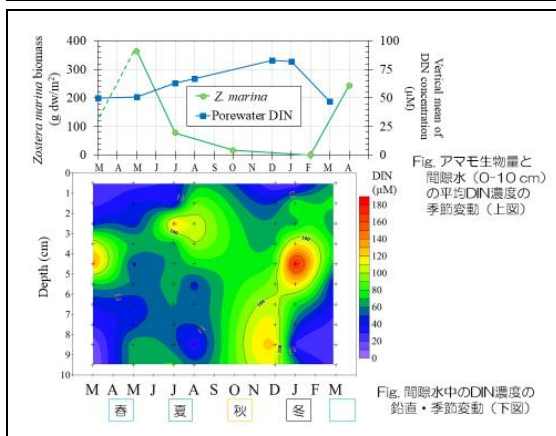
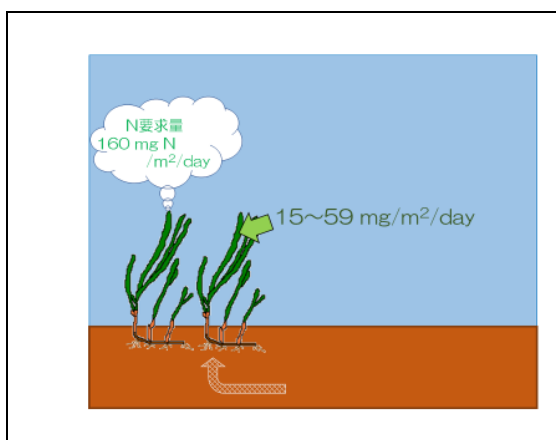


う値が得られました。ですから、8 から 52 に 7 を足しても 15 から 59mg/m²/day 窒素ぐらいしかアマモには供給されないことになります。そうすると、先ほど見積もった 160mg/m²/day 窒素が必要量を全く達成できないということになります。これはどういうことかと言いますと、そもそもアマモの繁茂期に現存量が大きすぎるということがあります。つまり先ほど示したように 364g/m²ものアマモが生えているので、これを窒素に換算すると、7.3 g/m²窒素がアマモという海藻の形で生えているということになります。しかし、動きはあるものの、この水の中にある 1 m²当たりの窒素の量、この水色で塗ってあるところ全体にある窒素の量というのは 2 桁低い 0.047g 窒素しかなく、現存量が無茶苦茶に大きくて、取り込むはずの水の中にそもそもそんなに窒素がないということです。

ただし、これは現存量の比較であって物がどのように動いているか、どのように供給、吸収されているかということを見なくてはなりません。そこで、160mg/m²/day に対して 15 から 59mg/m²/day 程度しか葉体から吸収できないのであれば、残りは当然のことながら土に埋まっている地下茎の根っ子を通じて泥から取り込まれたものだろうと考えられます。

そこで、泥の粒子の隙間を埋める間隙水を深さごとに泥の中から抜いて窒素濃度を調べました。すなわち、コアという泥の柱状堆積物試料を取って来て、それを 1 cm ごとに切って遠心分離で絞り出し、各深さの間隙水にどれぐらいの窒素濃度があるかということ毎月毎月調べました。上の表がアマモの現存量の変化です。冬場には湾内にアマモがほとんど見られなくて 2 月にはほぼ 0 です。それが 2 月から 4 月、5 月にかけてぐっと増えて

きて、5 月を超えると夏に向かって枯れて抜け、流れ藻になって外に出て行きます。このようにアマモの現存量は春から夏に向かって急激に増えて、夏頃から一斉に抜け落ちて行きます。このようなことを毎年繰り返しています。この 0 から 10 cm の平均の DIN (アンモニア、硝酸、亜硝酸の無機三態窒素) 濃度を取ったのがこの水色のラインです。アマモが少ない時には間隙水中にたくさんの DIN があって、アマモが多い時には減ってきます。それを、0 から 10cm までの平均値ではなくて、1 cm ごとの時空間分布で見ると、アマモが一番少ない時には、ちょうど地下茎が走っていると思われる泥の中の深さ 4 cm から 5 cm の辺りは非常に高い DIN 濃度があるのですが、アマモが生えている時には、地下茎が走っ



ている辺りの深さの N 濃度が非常に低い。それがまたアマモが抜けてなくなると、再び高くなる。このような現象を現場でとらえることができました。

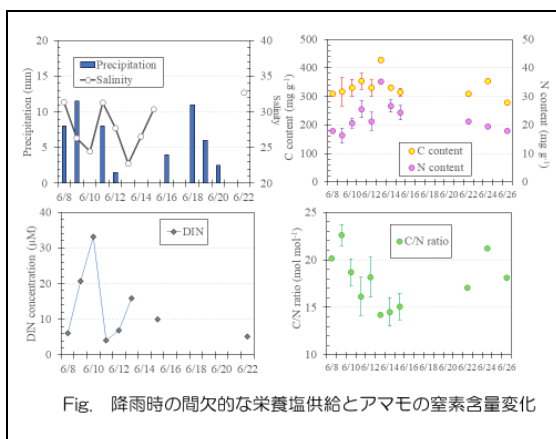
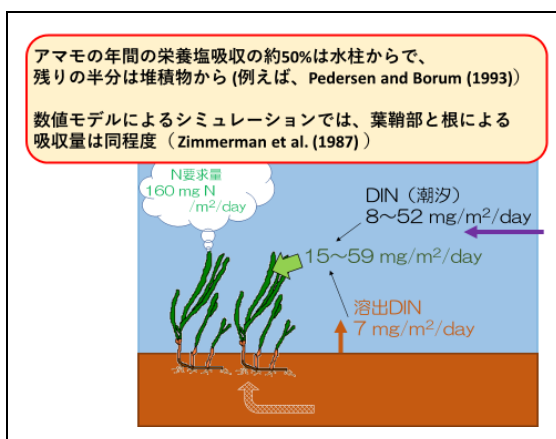
ですので、アマモはかなりの部分をこの地下茎、根っ子を通して吸収しているのだろうと考えました。ただし、先ほどお示ししたのは「現場の間隙水中の濃度が高くなったり、低くなったりしていますよ」と言うだけであって、どれだけのスピードで窒素がアマモの根っ子から入っていったのかということは分かりませんが、現場でこのような現象をとらえたということが非常に重要だと思っています。

アマモが年間の栄養塩を半分以上も根っ子から吸収しているという話なのですが、安定同位体の使用や室内実験などを通じて調査したもので、「アマモの年間栄養塩の吸収の 50%は水中からで、残り半分は堆積物から」という文献がありました。それと、数値モデルのシミュレーションで「葉鞘部、葉と根による吸収量は同程度」という論文報告もあります。今回の我々の現場での観測はこれ

を支持する結果であって、室内実験やシミュレーションではなく、現場でこのようなことを明らかにできたということは大きな成果だと考えています。

それから、不足の窒素をかなり根から取っているのだと思うのですが、降雨時の間欠的な栄養塩供給とアマモの窒素含量の変化ということで面白い現象を捕まえました。生島湾には流入河川がないと言いましたけれども、雨が降ると生島湾の表層の塩分、塩辛さがガクンと落ちます。雨水は硝酸をたくさん含んでいますし、川がなくても土に浸みこんだり道の上を走ったりして、栄養分をたくさん海に流し込みます。実は塩分が低くなると、それに反比例して無機態窒素の濃度が上がるという現象です。すなわち、川がなくても雨が降れば生島湾の海水中の無機態窒素濃度が高くなるという現象が見られました。

その時のアマモの葉鞘部、葉体部の炭素含量と窒素含量を測ってみました。黄色で示した炭素含量はほとんど変化しない。ばらつきはありますが、変化しません。一方、ピンクで示した窒素含量は、雨が降り始めて上がっています。このように、5日間という短期間で N 含量が 2 倍になりました。下の図は C/N 比、モル比で取っていますが、炭素含量がほとんど変わらなくて、N 含量だけが上がれば、当然のことながら C/N 比、C と N のモル比は分母の N が 2 倍なるわけですから下がっていきます。雨が降る前の C/N 比がほぼ

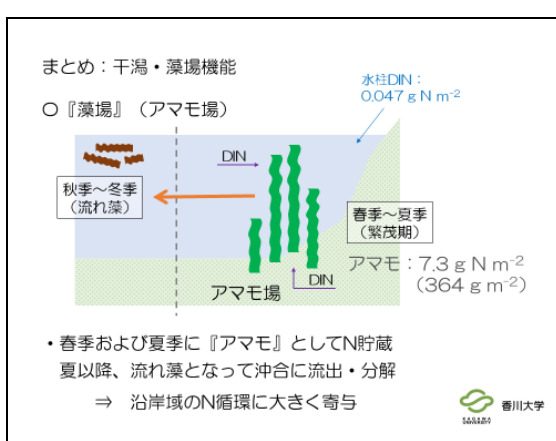
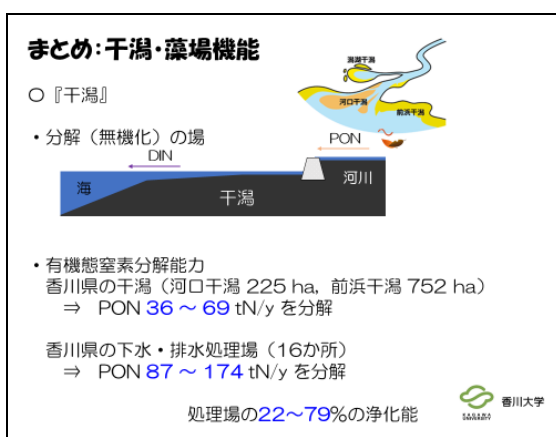


20 でした。これは文献値から見ても、標準的なアマモの葉っぱの C/N 比です。それがたった 5 日間なのですが、雨が降ると N 含量が急激に上がって C/N 比が一気に 15 まで落ちます。決してこれが不足分を全部雨で賄っているとは言いませんけれども、アマモはいろいろな N の吸収の仕方を持っていて、もちろん泥からも吸収するのですが、間欠的に高い栄養塩濃度にさらされると、急いで N を取り込んで行くというような吸収機構を持っているのだらうと推察されました。

以上、干潟と藻場について、途中で小まとめをしながらお話をしてきましたが、もう一度、まとめてみますと、干潟が生物の棲み家だということはさておき、無機化、分解の場である。この分解能力というのはやはり栄養度が高ければ高いし、栄養度が低ければ低い。干潟の分解能力について見てみますと、香川県には干潟では河口干潟が 225ha、前浜干潟が 752ha あります。「香川県全体の干潟がどのくらい有機態の窒素を分解している

のか」と言うことを我々の得た結果から計算してみると、1 年当たり 36 t から 69t の有機態窒素を無機化しているというように見積もられました。一方、香川県にはトータルで 16 カ所の下水排水処理場があります。その 16 カ所の下水排水処理場では 1 年間で 87 t から 174t の窒素を分解しているというように見積もられました。この結果から見ますと、瀬戸内海全体で干潟藻場の面積が半分になってしまいましたけれども、それでも香川県の干潟では、下水排水処理場で人工的に一生懸命処理している量に対して、2 割から 8 割、高く見積もれば 8 割。ほぼ同等の有機物を分解していると思われます。そういう意味で、この干潟の役割というものは非常にでかいと考えられます。

また、藻場ですけれども、僕はアマモが特殊な生物だと思っています。春から夏の繁茂期に生物量が莫大なものになって、水に溶けている N 量からは考えられないような 2 桁も高い窒素量がアマモの葉体として湾内に貯蔵されます。しかし、それは春から夏の初めまでの一瞬の話であって、「アマモは一体どこから N を持ってきて、こんなに増えたの」と問われると、「泥からかなり持ってきているのじゃないか」と、強くは言えないところもあるのですが、とにかく水の中から、泥の中からあるいは間欠的な栄養塩の供給があった時にはそれも取り込んで、とにかくすごく大量の現存量になっています。それが夏から一



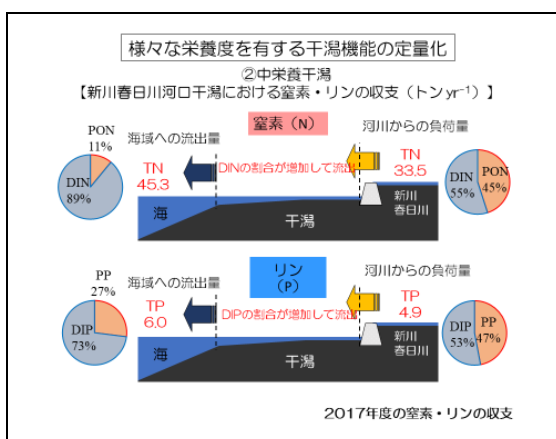
気に枯れて、ほんの一部が湾内に堆積しますが、我々の観察ではほとんどが流れ藻になって沖に流れて行きます。その意味では瀬戸内海沿岸海域全体を考えると、ある時期にすごいN量を岸寄りの浅い所にストックして、夏になるとそれを沖合に流して行きます。その流れ藻もまたバクテリアに分解されるので、いつか無機物に変わります。その意味からもNの沿岸海域全体の循環にアマモが非常に大きく寄与しているということが考えられました。

これが5年間、我々が干潟藻場の機能というものを追いかけてきた成果です。以上です。ありがとうございました。

[本城]

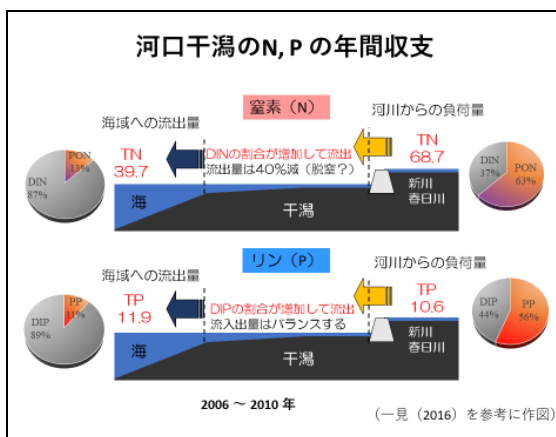
多田先生、ありがとうございました。非常に精力的な調査と緻密なデータから干潟が分解の場であること。それから藻場の方は一度蓄えて、それから沖合に出す。物質循環に非常に役に立っている場であるという結果を報告されました。

私からの質問ですが、2017年のデータの新川・春日川の収支結果なのですが、窒素は33.5入って、出て行っているのが45.3t。この場合、脱窒というものは、ほとんど現れてこないと考えて良いのですか。



[多田]

実際に脱窒がどれぐらいあるかは、なかなか難しく。もちろん脱窒が全く起こってないわけではないのかもしれませんが、それよりは出て行く方が多くなってしまうということだと思います。



[本城]

この図と前の図を比べてみると、Nの入るトン数がずっと低くなっていますね。人口はそれほど変わっていないと思うのですが、そのあたりはどのように考えているのですか。

[多田]

これも我々グループの中で議論をしました。単純に考えれば、入って来るトン数が減ったから栄養度が落ちたという話になってしまいます。しかし、これは一見先生が精力的に調査した2006年～2010年の5年間を平均して1年当たり換算しているのですけれども、残念

ながら研究費をもらった内の前半を藻場、後半を干潟研究に費やしたので、2017 年、1 年しか調査できなくて、年 4 回の結果です。

干潟の物質収支を見ますと、やはり雨の量に影響を受けていて、たくさんの水が入って来る年は、その分だけ窒素、リンもたくさん入って来るということで、単純に 2006 年～2010 年と 2017 年を比べて、干潟に入ってくる NP 量が減ったということではないと考えています。たまたまという言い方が好きではないのですが、この年、2017 年は流入量が少なかった。問題は干潟の分解能力が落ちているということを言いたいのです。

[本城]

もう少しデータを蓄積して、前との比較をするということが大事になって来るわけですね。

[多田]

はい。

[本城]

他ご質問等ございませんでしょうか。

[多田]

一見先生、補足はありませんか。

[一見様]

干潟研究をやってきた身としましては、干潟をやり始めた時に「やはり干潟って、こんなにも分かっていないのだ」ということを非常に感じたところです。今日、干潟は分解の場だという話でしたけれども、まさしく、自然の浄化槽とよく言われています。そこで、浄化槽ということで考えてみます。いわゆる下水処理場ですね。下水処理場と干潟を比べた時に、「下水処理場の良いところは何なのか」と言うと、コンパクトになることですね。分解する場としては干潟が下水処理場の 10 倍から 100 倍の面積を必要とすることになります。すなわち、下水処理場は非常にコンパクトになるという利点があります。けれども、実は、干潟は浄化槽として働いているだけでなく、最初に多田先生が示されたように、水産生物などの産卵の場になっていたり、幼稚魚の生育の場にもなっていたりしていて、本当にいろいろな稚魚がたくさんいます。そういう場にもなっているのです。

今、アサリが非常に減っているのです、これが大きな問題なのです。この新川の干潟はゴールデンウィーク前後の 2 カ月ぐらいで、アサリが人によって抜かれて行くわけです。そのアサリを金額で表すと、だいたい 15 百万円ぐらいになるのです。そういう意味でも非常にリクリエーション機構の高い場所ということになります。

あと景観学などを研究している方は「干潟という所は何もないただの空間という場なのですけれども、実はそれが大事なのだ」と言うことが多いのです。とにかく干潟はいろいろな機能を持っていて、単なる文化の場だけではなくて、非常に大事な環境だということが、やればやるほど分かってきます。実は、まだ僕らが気付いていないもっと大事なことを干潟が行っているかもしれないですね。ということはこの間やって来て感じた次第です。

[本城]

一見先生に聞いた方が良いのかもしれませんが、新川・春日川干潟のベントスの減少を代表としてアサリで示していました。あれほどアサリが減って、もう全く回復しないぐらいになっていますね。一方、他のベントスはどのような動きをしているのですか。ベントス全体が減っているのか、それとも減っていないベントスがいるのかどうか、そのあたりのデータはないのでしょうか。

[多田]

これも一見先生から答えていただいた方が良いでしょう。

[一見様]

はい。アサリはとにかく激減しています。ずっとアサリを見てきましたので、他のベントスをずっと見ていたわけではないのですが、2、3年前に、他のベントスもかなり減っているという感覚がありましたので、一度きちんとした調査をしたことがあります。そうすると、2000年代の初めに比べて1/10になっています。と言うのは、ゴカイやその他のベントスも含めてです。ですから、ベントス全体が減っているというようなイメージです。今、漁獲量の減少ということが言われていますけれども、これとよく似たことが干潟でも起こっているのではないかというように言えないこともない状況です。

[本城]

酸素の少ない所にも耐えるゴカイのような生物もいなくなって来ているということですね。

[一見様]

そうですね。

[本城]

ミミズというか。ゴカイの仲間のような小さなベントスに酸素がなくてもかなり生きるものがあるということなのですが、その調査結果はないのでしょうか。

[一見様]

はい。詳細な調査はないようです。ただアサリも他のベントスも含めて、底質の環境が決して悪くなったわけではないのです。というのは、我々は AVS という硫化物の濃度で底質が良いか悪いかを判断しますが、それこそ 20 年ぐらい前のデータなどに比べると、はるかに底質は良くなっています。そのようなことから、環境が劣化したのでベントスが減ったのではないと見ています。

[本城]

泥温はいかがですか。

[一見様]

昔の詳細な泥温データを持っていませんので、何とも言えませんが、干潟という所はとにかく半分陸ですから、最近の温暖化と言いますか、温度上昇というものが確実に干潟に現れるはずですよ。少なくともアサリに関しては、かなり温度上昇が関係しているというように僕は見ていますが、他のベントスについて、それがどうなのかということはまだ分からないと思います。

[本城]

推定のしようがないわけではないと思いますからお願いいたします。

[末永様]

貴重なご報告ありがとうございます。今の一見先生のお話に関連するのですが、実は今年も一见先生と一緒に志度湾を中心に浮遊幼生を獲りまくったのですが、アサリの占める割合がほぼ 1 % 以下になっています。他の 2 枚貝の浮遊幼生はたくさんいるのです。その中で特に目立ったのがホトトギス貝です。すごく多かったのですよ。浮遊幼生のレベルではですね。ホトトギス貝はある意味、アサリにとって底質の競合種として位置付けられると思うのですが、その干潟の中のホトトギス貝の占める割合みたいなものは分かっているのでしょうか。

[一見様]

ここ 5、6 年ほどはホトトギス貝のデータを持っていないのですが、今の状況から判断して、ホトトギス貝もこの干潟では減っています。明らかに減っています。ただホトトギス貝はアサリと違って、もう少し深いところまでいる種類ですから、そこがどうなっているかも含めて検証しないと分からないところです。

[本城]

この前、私は福岡県の研究評価委員会に行きました。この時の話を少し付け加えさせていただきます。豊前海の方の研究ですけれども「人工孵化したアサリを放流できるサイズまでもっていくには普通の海に置いては駄目だ。普通の海の海水に入れてはそれほど育たない。それを漁港に持って行って吊り下げると、放流できるぐらいまでのサイズに稚貝を成長させることができる」という話を聞きました。それでは、「それを豊前の干潟に撒けば増えるのか」と聞くと、「全然増えない」と漁師さんの代表が言われました。その結果、「いくらアサリの稚貝を育てて撒いてくれても増やすことができないので、その研究をもっと続けてほしい」と言うことになりました。

それから、母貝団地を作るのは良いのだけれども、豊前海には1つのケアシェルの中でほんの200個から400個ぐらいまでしか大人貝に育たないという限界がある。これでは商売にならないので、今のところ県としては母貝団地を作るための研究にとどまっているということです。しかし、漁師さん達は「その海域でアサリが獲れるように泥を改良してほしい」とか、「泥の研究してほしい」という話でした。

[多田]

本城先生の話に関して、地撒きと吊り下げのどちらが良いのかという研究を香川県の水産試験場と香川大学が今行っています。その結果も出始めておりますので、また何かの機会にご披露出来たらと思います。それと、これだけアサリが減っているのに、その減少の原因が良く分からないということ。これも一見先生がだいたい目星を付けていて、あと数年で何とか発表できると思います。

福岡県の「かぐや装置」でしたか、竹にアサリの稚貝を入れて捕食者から守ってあげるという研究。竹の中に稚貝を入れておいて、かぐや姫のようにそこで大きくなるから「かぐや」というのだそうです。それと水産総合研究センターの増養殖研究センターで開発されたケアシェル。これを一見先生が改良し網の中に石を入れたクラムハウス。そこにアサリを入れて捕食者から守りながら大きくする。このようないろいろな研究に成果が出てきているのですけれども、どれもこれも決定的なものになっておらず、「餌が足りないのではないか」、「浮遊幼生自体が減ったのではないか」、「高水温がきいているのではないか」、「捕食者がいるのではないか」など、いろいろな人がいろいろなことを言っていて、きちんとした説明になっていないのが現状です。僕がこのことを言ってもしょうがなく、たぶん一見先生があと数年で何とかしていただけたらと思っています。これについては次の機会に発表したいと思います。

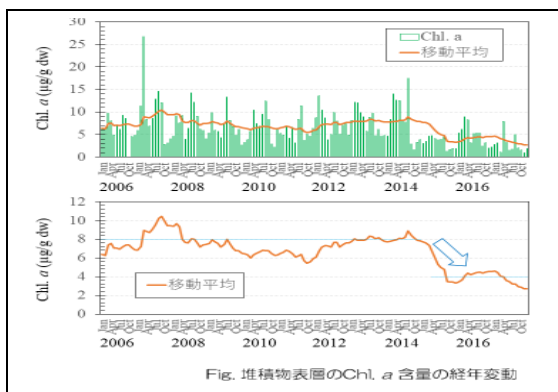
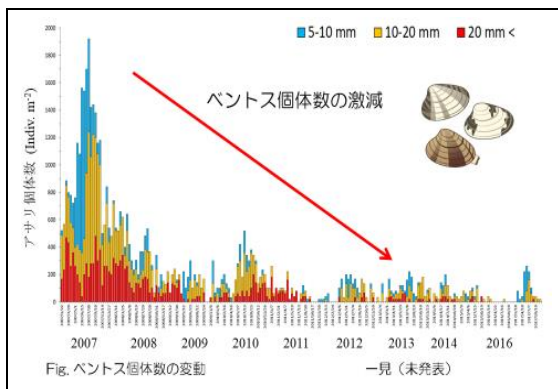
[本城]

それが香川大学初になること。瀬戸内圏研究センター初になることを期待しております。「かぐや」の研究は福岡県の職員が苛立って、立っている竹を蹴ったら折れて、その中にア

サリがたくさん入っていたことに端を発しています。

[宮川様]

香川県水産試験場の宮川です。今日は大変面白い研究発表、ありがとうございました。そのグラフについて、先ほど一見先生が「水温がきているのではないだろうか」ということをおっしゃられました。その次のスライドでクロロフィルaの図があったと思うのですが、これを見ると、あまり変わっていません。ただ近年は半減しているようですが、水温に対して、影を作るなど何らかの物理的方法で対策を考えることができるかもしれませんが、クロロフィルaに関しては植物プランクトンですので、「そのへんがどうしてそんなになっていて、それをどうしたら良いのだろう」と言うところが**あり**困ったなと思いました。先生のご意見はございますか。



[多田]

「アサリが何故減ったのか」がはっきり説明できないのと同じで、「この珪藻微細藻類が何故ここでガツンと落ちているのか」と言うことがきちんと説明できないというのが現状です。一見先生はどのように考えておられますか。

[一見様]

2014 年あたりから減っているところですよ。現状では分からないとしか言いようがないのですが、最初、粒度組成が変わったのではないかと考えたのですが、粒度組成も大きく変わってない。ということで、やはりこれは明らかに減ったとしか思えないのですよね。水産試験場さんに屋島湾のブイの中のクロロフィルaを見せていただいても、水中では沖合とあまり変わってないのです。ここだけで起きているので、「何故かな」と思っているところ。現状では原因を思い付けていません。

[本城]

必ず何かを表しているはず。大事なデータですね。

[竹内様]

アメリカ音響学会および日本音響学会では、非常に低い周波数の成分がクジラなど海の動物に大きく影響しているとのこと。特に会話などに影響している。ソナーを入れるとカチカチと聞こえるのですよ。それで、あたりに大きな工場のような何かが音を出し始めたというようなことが考えられますか。耳に聞こえないような非常に低い数 Hz の音です。

[多田]

ありがとうございます。新川・春日川河口干潟の周辺に関して、このガツンと落ちている 2010 年以降、何か建築物が新しくできたりとか、工場や排水処理場が新しくできたりということはありませぬ。耳に聞こえる、聞こえない、を別にして、何かそのような環境が変わったというようなことはないと思います。

[本城]

突堤ができたというようなことも聞いたことがありません。竹内先生、アサリの減少は全国的な問題なのです。だから、音響学的に影響があったという話はどこにもないのです。

[竹内様]

私は郷里が浜松ですけれども、浜名湖でもアサリを撒いて潮干狩りをさせるということ数を数年前に止めてしまいました。そもそもアサリが手に入らないのです。「地元のアサリでない」という非難が出て、もっと意地悪な「北朝鮮のアサリではないか」という嫌味も出ましてね。そういうことで止めることになったのです。全国が同じようになったということは、やはりグローバルな現象だと思った方が良くかもしれませんね。

[本城]

はい。確かにそうですね。今、アサリに集中してきましたけれども、他に質問等はございませんか。

日生のアマモは一時衰退しましたね。生島湾のアマモは一時的に衰えていたわけでしょうか。

[多田]

今、夏であればアマモは湾全体に繁茂しています。このプロジェクトが始まる少し前から生島湾で観測を始めたのですけれども、そんなに長いスパンで取っているわけではありませんが、アマモの現存量が特に変わったということはないと思います。

ただ水産試験場の方は我々よりも長い期間、ずっと生島湾でアマモの種を採り続けているので聞いてみたいと思います。水産試験場の宮川さんどうですか。

[宮川様]

すいません。どのような質問でしょうか。

[本城]

岡山の日生の方側は一時アマモがいなくなりましたね。一方、生島湾はそのころも盛んに繁茂していたのでしょうか。

[宮川様]

私の知る限り、生島湾はずっとあのような調子で、アマモが一面に生えていました。アマモが大きく減ったという記憶はありません。

[本城]

では、瀬戸内海全体で問題になっているような影響を受けていないのですね。

[宮川様]

生島湾に関してはそういう話しかないと理解していました。

[本城]

不思議なものです。

[本田様]

県水産試験課の本田です。どうも今日はありがとうございます。一般的な質問なのですが、先ほど窒素を吸収したアマモが夏からだんだん枯れて行って、海に窒素を還元するとお伺いしたのですが、最近では秋から冬にかけて栄養塩が下がっている状況にあります。ついては、そのアマモが枯れて、また海に戻った時に、どのぐらい全体の窒素として秋場から冬場に貢献するのかということが分かれば、教えていただきたいと思います。

[多田]

流れ藻になって出て行った瞬間から、これを追っかけ続けるのが無理なので、結局よく分からないのですが、ただ、例えば、現存量の9割なり8割なりが海に出て行ったとすれば、計算上はほぼ全部が無機態に変わったというように考えるしかないだろうと思います。つまり、アマモが何年も腐らずに海の中を漂い続けるというようなことはほとんどないと思います。この点について「海水の中で抜けたアマモがどのぐらいの速度で無機化されて行くか」という室内実験をした論文はありますが、実際の海では流れているアマモを拾うと、すぐにパラパラと潰れるのもあれば、結構しっかりしているものもあります。あるいは、流れている藻の表面にいっぱい付着藻が付いていて、ヌルヌルになっているものもあり

ます。このように分解の仕方が天然の海水中では一定でないと思いますので、見積はモデル計算で行うことができますけれども、あまり自分は計算したくありません。「どこまで現実を反映しているの」と言うような数字が出てきてしまいそうな気がします。ただ、僕的には感覚的に抜けて出て行ったものは、時間を言うことが難しいけれども、年単位、A few yearで、全部が海水中に無機物として戻っていると思っています。

[本田様]

ありがとうございました。

[本城]

時間がまいりました。多田先生ありがとうございました。