

## CPDS 認定講習会 有明海講座（第2回）

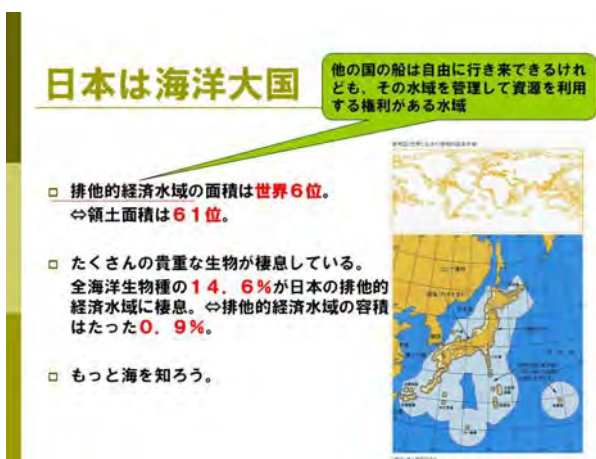
「海の低次生態系～プランクトンを主体とする生物生産と物質循環」

佐賀大学 低平地沿岸海域研究センター 片野俊也 准教授



僕は荒牧先生から今ご紹介頂きましたけれども、プランクトンが専門で、元々は湖のプランクトンの事を色々調べていました。ここに来る前は韓国にいたのですけれども韓国で赤潮の事をやるようになって、それで有明海も非常に今赤潮が深刻だけれどもやる人がいないという話も伺ってここに来る事になりました。この写真は、去年調査に行った時の

有明海の写真で今丁度こういう状態にありますけれども、この様に海苔網があつて今ちょうど海苔のシーズンが始まったところです。今日はそういう話ももしかしたら少し出来るかもしれません。



今日の話とは全く違う、趣旨とは全然関係のない話をちょっと最初に使いたと思います。

日本は領土の面積が世界の中で非常に小さくて61位なのですけれども、実は日本は凄い海洋大国なのです。排他的経済水域という水域が決まっていますけれども、これは他の国の船は自由に行き来できるけれども、その水域を管理して資源を利用出来る、優先的に

利用出来るのはその国のものですよというのが、排他的経済水域です。これはどの位なのか皆さんご存知でしょうか。61位でしかない日本なのですけれども、何と世界6位なのです。世界でも有数の海洋資源を持っているのが日本という国で、しかも6位も6位なのですけれども結構南北にも距離があつて、それともう一つ日本近海の特徴は凄く海が深いところもあります。そういうわけで、全海洋生物種のなんと15%が日本のこの排他的経済水域と呼ばれる薄いブルーで示した所に生息しているといわれていて、世界でもこの日本の海というのは非常

に貴重な水域になっています。なので、日本は凄く領土が狭くてしかも山ばかりで畑も少ないしというようなどうしても悲しい思いばかりしていますけれども、日本は非常に海洋においては海洋大国であるという事を、もっともっと我々は認識しないといけないと思います。今日はそういう海の話なのですけれども、もっともっと狭い有明海を中心にしてお話をします。

## 今日のおはなし

- 低次生態系一目に見えない小さな生物の世界
- 赤潮
- 貧酸素化現象とプランクトン活動
  
- 赤潮制御の考え方
- 諫早湾潮受堤防開門調査に関して

## 単位

$10^{15}$	P	ペタ	
$10^{12}$	T	テラ	
$10^9$	G	ギガ	
$10^6$	M	メガ	
$10^3$	K	キロ	
$10^0$			
$10^{-3}$	m	ミリ	$10^{-2}$ センチ
$10^{-6}$	$\mu$	マイクロ	
$10^{-9}$	n	ナノ	
$10^{-12}$	p	ピコ	
$10^{-15}$	f	フェムト	

## プランクトンはどれほど小さいか？

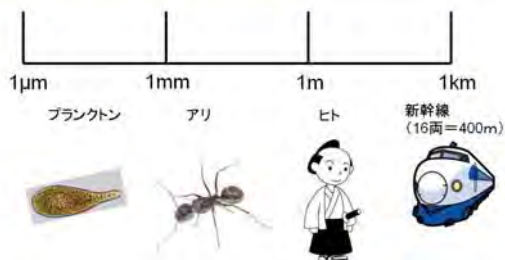
もし、あなたが、プランクトンだったならば、

- アリは、どのくらい大きい？
- あなた(プランクトン)から見たヒトは？

まず最初に、皆さんほとんど馴染みがないと思いますので、一体その低次生態系の主役であるプランクトンというものがどういうものなのか、それについてまず簡単に紹介をしたいと思います。その後、今有明海で起きている赤潮、これがどういうものなのかどうして起きるのか、それと僕はここに来て今3~4年目なのですけれども、ここまでの調査の結果から赤潮に関して分かって来たという事について、最新の情報を皆さんにちょっと紹介したいと思います。それともう1つ、有明海では赤潮ともう1つ並んで貧酸素水塊というのが非常に大きな問題になっていて、これでタイラギが死んでいるのではないかとかサルボウとかそういうものも死んでいるのではないかとよく言われますけれども、これについては有明海の研究者の中では割と理解が遅れているのです。貧酸素化という現象には生き物が深く関わっているのですけれども、今の所そういう認識がないようですので、ちょっとそれについてこれも簡単に紹介したいと思います。それと、僕の専門が赤潮なので赤潮というのは制御できそうなのかどうなのか、出来るとしたらどういうふうを考えていけばいいのかという事をちょっと紹介したい

と思います。それで、現在有明海で行われている1つの取り組みについて紹介します。

## プランクトンの大きさ



それで、プランクトンの話です。プランクトンとは小さいという事は皆さんご存知だと思いますけれども、どのくらい小さいかイメージできますか。もし皆さんがプランクトンくらいの大きさだとしたら、例えば蟻ほどの位大きく見えるのだろうか、プランクトンだとしたら、本当の人はどの位大きいものだろうかというイメージできますか。

まずその辺をちょっと考えてみたいと思います。プランクトンというのは大きさが1ミリより小さいのです。この写真は今非常に有明海で問題になっているシャットネラという赤潮を起こすプランクトンなのですけれども、これは0.1ミリくらい。大きくてです。ここが0.03ミリで凄く小さいのです。人はこのスケールでいくとこれは分かりますか、1,000倍、1,000倍、1,000倍になっているのです。1メートルの1000分の1が1ミリ、その更に1000分の1が1マイクロメートル。この辺はもう目にもう見えませんが、プランクトンというのはこの辺りにいます。つまり、人からすれば1000分の1の更に1000分の1の世界に住んでいるので、大体蟻と人の関係がプランクトンと蟻の関係です。人から見た蟻の大きさが蟻から見たプランクトンくらいの大きさ、凄く小さい。だからプランクトンと人を比べるのはほぼ無謀な話で、プランクトンから人を見ると僕の計算ではもし皆さんがプランクトンだとしたら、本当の人はどの位の大きさというか長さがあるかと計算して見ると、28キロでした。ここからどの辺まで行くでしょうか。とんでもなくスケールが違いすぎるのです。物凄く小さい。そういう生き物が今有明海で赤潮を起こしています。多分皆さん見た事もないと思うので今日持ってきました。ちょっと見てみてください。凄く小さいのですけれども、粒粒が多分良く見ると見えると思うので見てみてください。2つずつ回します。すごく小さいのが分かりますか。両方ともマジックで書いてありますけれども、シャットネラと赤潮と書いてあります。シャットネラというのがその今写真に出ているものです。これらは泳ぐ事ができるのです。ちょっと僕は試した事がないのですけれども、せつかなのでおもちゃの顕微鏡があるので、ちょっと顕微鏡でどのような感じで見えるのかというのをちょっと紹介してみたいと思います。顕微鏡が良くてあまり見えないのですが、泳いでいるのが分かりますか。さっきの写真にあったものなのですけれども、鞭毛といって毛を持っているのです。それでひらひらと泳ぐ事

ができるのです。これがシャットネラというもので、ちょっと拡大してみましようか、こういう感じで結構泳ぐことができます。こちらはさっきと少し形が違うのですけれども、もっと元気に泳いでいます。これは赤潮サンギニアというプランクトンです。これは、先のシャットネラというのは魚を殺す事で有名で、特に八代海で猛威を振るっていますけれども、これはどちらかというと有明海で問題となりやすいプランクトンで、多分何年か前にブルームが起きて、色落ちの原因になったのではないかなと思います。これはちょうど今有明海に行くとこれがいいます。これがもう少し増えると赤潮になって海苔が色落ちしてしまうという、海苔の色落ちを引き起こすプランクトンです。これは泳ぐのですけれども、全然目に見えないくらい小さく小さいプランクトンなのですけれども、これは今の赤潮です。こういう形をして、ちょっと見えなかったのですけれども、ここに鞭毛があってこっち方向に泳ぐことが出来ます。泳いでいるのをちょっととめておくと、上の方に集まってくるのですけれども、それはこのプランクトンは1日のうちに水の中を大きく移動します。あんなに小さいのに昼間は水深1メートルの所にたくさんいるのです。これは実際に僕が調査した結果なのですけれども、朝の8時から24時間ずっと海にいるのです。2時間に1回水を汲んで、それであとでどのくらいプランクトンがいたかをずっと2時間おきにカウントしていったのです。そうすると、昼間は水深1メートルくらいの所にこうやってたくさんいるのです。だけれど、これが夜になると夜中の2時、4時、明け方になると水深5メートルまで移動するのです。人の大きさが28キロにも見えるくらいのもものなのに、これらは5メートルくらい下に潜る事が出来る凄い力を持っている。先程シャットネラというものをお見せしましたけれども、こちらも同じように移動します。先ほどのアカシオ・サンギニアは1回だけだったのですけれども、シャットネラのほうは4回もやりました大体そういうパターンが見えてきました。昼間は上の方にいるのです。夜はこの2008年の調査の時は全部下に来てしまう。上の方には全くいなくなるのです。次の日の朝になると、ここではちょっとちゃんと見えていませんけれども、こういうふうになら集まる。ここもそうです。朝、昼間の時はここにいて、夜には下の方に行って次の日には上に来る。大体その移動距離も、大体5メートルくらいかなという事が段々と分かってきました。なので、あんなに小さいのですけれども、何と5メートルも毎日毎日移動しています。ちょっと人としては考えにくい距離ですけれども、そういう移動とかいう事をしながらプランクトンは成長していっています。このプランクトンが赤潮を起こすわけです。

2008年にシャットネラの赤潮が結構起きまして、その時の写真です。この辺りが赤くなっています。この時は長崎の小長井の所ではかなり魚が死んだそうです。これは韓国の写真です

## 赤潮

海面が植物プランクトンなどによって、赤く着色する現象。



6月4日 有明海



場合によっては、赤潮によって、ノリの色落ちを引き起こしたり、魚が死ぬこともある。



2008年8月有明海



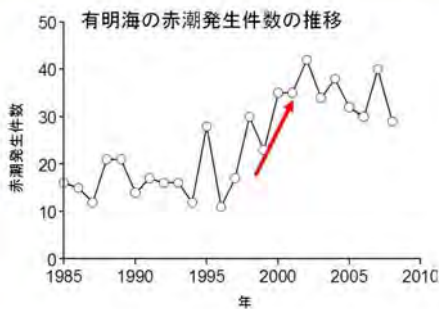
韓国での赤潮

赤潮は最近増えたの？  
赤潮はどうして起きるの？

けれども、嘘みたいに真っ赤になる事があります。韓国の南岸の方は日本よりももっともっとひどくて、工業地帯があってそういうところで水の交換が悪いような所はこういう赤潮がずっと起きているという所もあって、大変な事になっています。これは今年の有明海です。今年の6月、今年はこのようにシャットネラ赤潮は起きなかった

のです。その代わりに、珪藻が物凄く増えて、普通のシャットネラなどでは赤く茶色くなるのですが、珪藻だともう少し緑がかった感じのこういう感じの状態になります。こういう赤潮というのは、いわゆる植物プランクトンによって着色する現象の事をいいます。今日はこれが、どのように起こるのかという事などをちょっと紹介したいと思います。

## 有明海では90年代末から赤潮が頻発



有明海では、これは荒牧先生が良くご存知のデータですけれども、90年代からすごく赤潮が多く増えてきたといわれています。これは佐賀県だけでなく有明海全体の赤潮発生件数の推移ですけれども、80年代90年代前半は20件ないくらいだったのが最近では30件を超えるくらいの所で推移してきて、やはりちょうど諫干があった

頃からがと増えたのでそれとの関連がよく疑われるわけです。これがどんなふうに行き起きているのか、それと赤潮件数といえますけれども、色々な赤潮がありますけれども、どのようなもの

のがあるのかというものをまず紹介します。

赤潮というのは、基本的には3パターンだろうと思います。1つは直接有害なもの、例えばシャットネラというのは魚を先程お見せしましたように殺します。シャットネラは魚なのでいいのですが、場合によっては人の健康を脅かすものも知られています。これはまだ有明海では知られ

## 赤潮現象：どのようにおきるか

- 代表的な赤潮原因生物について
- どのようにして赤潮が発生するか

ていませんけれども、98年くらいに『川が死で満ちるとき』という本が出版されました。

### 赤潮基本3パターン

1. 直接的に有害なもの：魚を殺す、人の健康を脅かす。
2. 間接的に有害なもの：大量に増殖して、海水中の栄養分を使い尽くす。→ノリが生長できなくなる。
3. 無害なもの：一度に死んで海を汚す。酸欠を引き起こす。



### 魚を食い殺し、ヒトにとっても記憶障害を引き起こす。



これは実際に起きた話で、アメリカではあるプランクトンこれがそのプランクトンなのですけれども、大発生してこのプランクトンを培養していた研究者自身が記憶障害を引き起こしてしまうというすごい事件がありました。このプランクトンは魚を、シャットネラは少し増えたら魚が弱っていくのですけれども、これは直接魚を食うのです。それで魚を殺すという物凄いプランクトンも知られていて、本当に恐ろしいものもあります。そういう直接的に有害なもの。それ以外には、これが海苔で良く問題になる間接的に有害なものです。これは、赤潮プランクトンが増えてもそれ自身は問題ないのです。ただ、赤潮が増えてしまうと、本来海苔が使うはずの栄養塩が、なくなっ

てしまって海苔が成長できなくなって、つまり海苔と赤潮がライバルなので結果的に海苔が色落ちしてしまうようなものが間接的に有害なもの。それと後もう1つはどれにも当てはまらない無害なものというのがあります。ただこういうものであっても、ブルームをワッと起こすと一気に死んでしまって海を汚すという事もあるので、それにしても無害とはちょっといい切れないのかも知れません。でも基本的には、こういう3パターンがあります。

### 赤潮原因生物

□ 有明海での、よく見られる赤潮原因生物は、

- 珪藻-ノリの色落ち



- ラフィド藻-魚を殺す



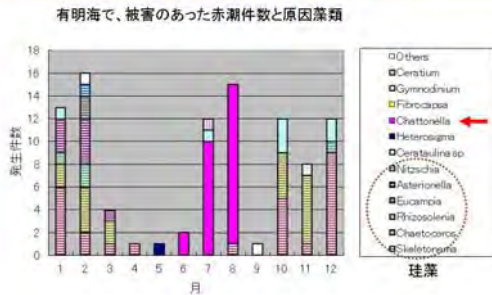
- 渦鞭毛藻-(ノリの色落ち、魚を殺す)



その原因になるプランクトンは有明海ではこのようなものが知られています。今紹介したシャットネラ、それとアカシオ。これは渦鞭毛藻とラフィド藻とってどちらも泳げるタイプのプランクトンです。海苔で問題になるのは、こういうコシノディスクとかスケレトネマとかリゾソレニア。2000年にはこのリゾソレニアが凄く問題

になりましたけれども、こういう珪藻も赤潮を起こして海苔の色落ちを引き起こします。

**冬季は、珪藻、  
夏季は、シャットネラ赤潮が問題。**



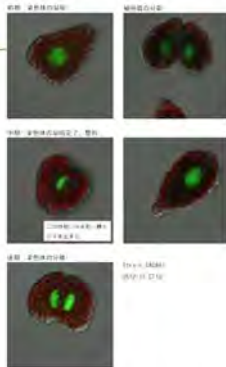
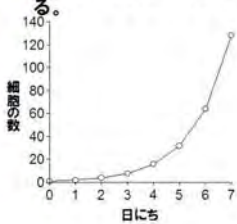
では有明海ではどのようなものが一般的によく出てくるのかという話ですけれども、これは月ごとに発生件数が縦軸になっていますけれども、その発生した原因が一体何なのかというものを細かく見ていきます。そうすると、まず発生件数の推移からいくともうパターンがこう決まっているのです。海苔の時期と夏なのです。この横線のもの

は、縞々のものは全部珪藻なのです。なので、10月から3月までは赤潮は大体が珪藻なのです。この縦にギムノデニウムとあるのが、これはちょっと分かりにくいのですが、先ほどのアカシオ・サンギニアの類がここに入っていますので、そういうのも時々起きます。有明海では、冬は珪藻の類が多くて、夏このピンクで示しているものが先程皆さんに見て頂いたシャットネラです。これが非常に多いというのが特徴で、非常にシンプルです。それで、このプランクトンはどのように増えるのかといいますと、プランクトンは2分裂で増えていきます。1個の細胞が2つに分かれて増えていきます。

**赤潮原因プランク  
トンの増え方**

□ 2分裂によって増殖する。

■ 1細胞が2細胞に分裂する。



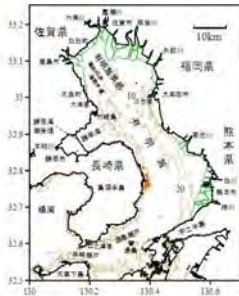
これはさっきとちょっと違う顕微鏡で見るとシャットネラはこのように見えます。赤いのが、光合成をするための葉緑素です。その真ん中に核があります。核というのはDNAが入っている所です。普段こういう形をしているのですが、分裂を始めるぞという細胞はこんな形にここがくびれてきます。これはリンゴみたいになってい

ますけれども、このこの所が、DNAがここに集まってきて細胞分裂のためにまず核の分裂をします。まず真ん中に集まって、こういうふうに分かれてそれでだんだん分かれて元に戻ります。この時に1個が2個になる、これを2分裂といいます。これは2分裂なのですが、単に1個が2個になるだけの簡単な分裂様式なのですが、これが結構恐ろしいもので、最初の1日目は1細胞だったものが1, 2, 4, 8...とドバっと増えてくる。

これは結構怖い事なのです。ここでちょっと皆さんにイメージをしてもらいたいと思い、こ

**1細胞の赤潮細胞が有明海を埋め尽くすまでどのくらいの時間かかる？**

- 有明海の面積 1700km<sup>2</sup>、平均水深 20m  
一体積は、34km<sup>3</sup>=30km<sup>3</sup>
- シャットネラの体積は(仮に)、0.1 mm X 0.01 mm X 0.01 mm = 10<sup>-23</sup>km<sup>3</sup>



**1細胞の赤潮細胞が有明海を埋め尽くすまでどのくらい時間かかる？**

□  $\text{Log}_2(30/1 \times 10^{-23})=81.3$

たった82回の分裂で有明海を埋め尽くす。

- 1日1回分裂するならば、2ヵ月半で有明海がシャットネラに！！

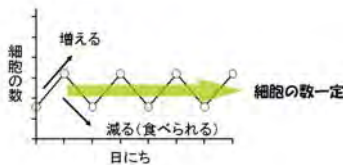
2分裂はバカに出来ない



こういう計算になるのですけれども、82回分裂すると有明海はシャットネラになってしまうのです。あの小さいシャットネラがグワッと大きくなって有明海を覆いつくすのはたった82回の分裂でいいのです。つまり1日1回分裂すると82日、2ヵ月半でなるのです。でも、シャットネラというのは調子がいいと1日2回分裂するので40日で覆いつくすことが理論上出来てしまう。2分裂というのはそういう非常に恐ろしいものなのです。

**でも、ふだんは、「増える」過程と「減る」過程がバランスしている。**

- 増えても、増えた分だけ食べられたら・・・  
一細胞数は変わらない。(ふだんの状態)



ういう問題を出してみました。もし有明海にたった1細胞のシャットネラがポツンといたとします。これが有明海全域を覆いつくすまで、このような事は起こる事はないのですが有明海全部がシャットネラになるまでどの位時間がかかると思いますか。ちなみに有明海というのは、面積が1,700平方キロメートル、平均水深が20メートルで体積がこういうふうになります。シャットネラは、凄く小さくて、もうイメージできないくらいこの大きさの違いがあります。10のマイナス23乗、23桁値が違う。どの位で行くと思いますか。例えば毎日1回分裂するとして、どの位時間がかかると思いますか。1年くらいでいくと思いますか、半年くらいですか、もっと短いという方はおられますか。これは、計算は

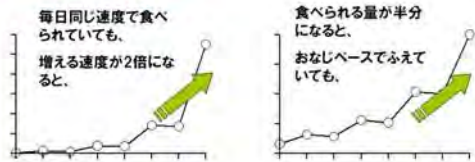
ただ、普段はそういう事は絶対起きません。それは何故かという、先ほどのアカシオ・サンギニアですけれども、これは動物プランクトンに良く食べられます。ちょっと増えて食べられてちょっと増えて食べられてこれをずっと繰り返すので基本的にはもし増えた分食べられていけば細胞の数はずっと一定なのです。それが崩れてしま

うから大増殖になる。



## 「増える」と「減る」のバランスが崩れる

- 同じ速度でも、食べられなくなったり、
- 同じ速度で食べられていても、増える速度がたかくなったりすると、  
→**大增殖は始まる。**



## 「増える」過程と「減る」過程

- 増える
  - 増殖する。
  - 流入する。
- 減る
  - 死ぬ。病気、寿命
  - 食べられる。
  - 流出する。



両者の差し引きで現存量が決まる。

## 増殖するには、

- 海藻、植物プランクトン
  - 光合成して、水中(空中)の二酸化炭素(無機物)から生物を作り出している。



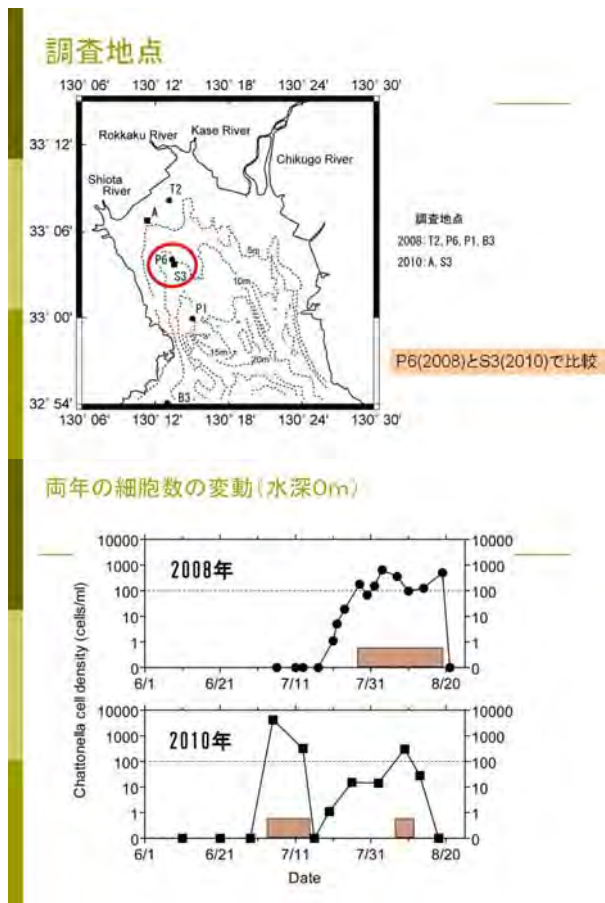
例えば同じ速度で食べられていても、増える速度が何かのきっかけで2倍になるとグッと増えていきます。また、食べられる量ももしかしたら動物プランクトンが思ったより多くなくて少なかったら、同じ速度で増えていても数としてはどんどん増えていってしまふ。そういうバランスが崩れた時に赤潮になりやすいのです。つまり、どういう事かという、赤潮というのは増殖、増殖とよくいいますけれども、結局は増える過程と減る過程のバランスで決まるのです。見ているのは増殖ではなくて、増殖して食べられる、或いは死んでいくその過程にある途中で増えて食べられて、その差し引きの現存量というものが赤潮なのです。つまりいつもいつも増殖、増殖と、赤潮を見ると凄く増殖しているというけれども、そうではなくて増殖したものなのです。そこに残っているものなのです。このバランスですべてが決まっている。増殖には植物プランクトンは光合成します。光合成をするためには、太陽の光と二酸化炭素とそして栄養分が必要です。二酸化炭素というのは基本的にはたくさんあって、地球温暖化でいわれているようにほんの少しずつですけれども増えている位ですからたくさんある。太陽もいつもあります。ちょっと曇ったりしたりというのはあるけれども、いつも太陽は必ず朝になれば出てくる。一番問題なのはこの栄養分です。この栄養分というのは、赤潮で

## 増殖に必要な栄養分って？

- 畑の場合
    - チッソ、リン、カリ
  - 海の場合
    - チッソ、リン、(珪素)
- 川から供給される。  
—富栄養化—
- 畑の肥料として大量のチッソが供給されて、今、海に流れ込んでいる。



重要なのは窒素とリンといわれています。畑では肥料に使うのは窒素・リン・カリですけども、カリウムというのは海には凄くたくさんあるので、この2つが重要です。こういうものが川とかからたくさん入ってくると、バランスが崩れて赤潮が起きます。これは非常に基本的なことですけども、だけれどもここはいつもこういう事をイメージしておく事がとても大切です。つまり、赤潮というのはこういう増えるが減るのバランスが、何かのきっかけで例えばこういう川からの水がたくさん入ってきたりする事でバランスが崩れて赤潮が始まります。

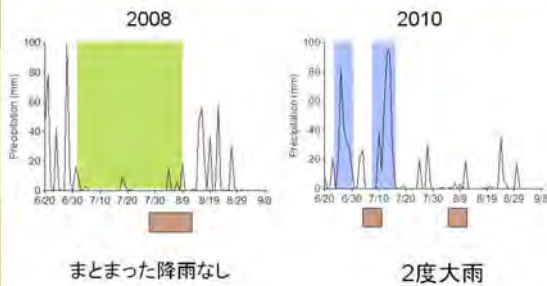


今日は皆さんに最新のデータを紹介します。ちょっと難しいと思います。というのは、これは先月海洋学会というものがあって、そこで僕が話してきた話なのでちょっと難しいかもしれませんが、赤潮がどういうふうになっているのかというのをちょっと紹介させて下さい。調査を昨年とそのもう少し前の2008年にこの赤いまるで囲った地点で行った調査結果を紹介します。2008年と2010年は両方ともシャットネラの赤潮が結構深刻なレベルで起きたのですけれども、それがどんなふう起きていたのかというのを示します。2008年は7月の終わりから8月の中旬まで1ヶ月近く続きました。ここに示しているのは、細胞密度の変動、先で言う現存量の変動です。つまりいくら現場にあったか。

ここの傾きが増殖みたいなものになります。ここは対数スケールなので全然スケールが違うのですけれども、1つ、仮に100を基準に考えます。というのは、この100を越えると魚が死に始めるのです。それを基準にすると大体この辺が赤潮の時期だというふうに考えられます。ここを赤くして後で使いますのでちょっと覚えておいて下さい。

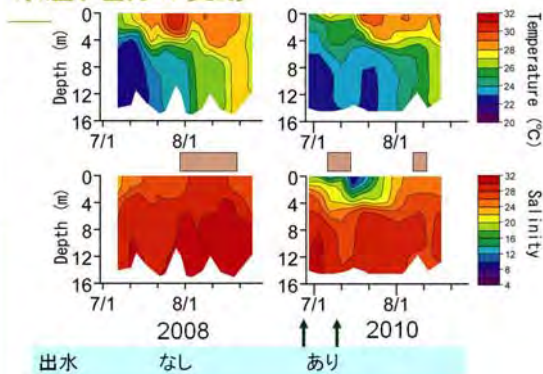
2010年は、過去にないくらい非常に早くて、7月の頭とそれともう1回8月に1回ありました。なので、2回こういうふうにあったという事が分かります。さっきも言いましたが、雨というのが栄養を運んでくるのでそれが重要です。なので、降水量と比較してみます。これは佐賀市の1日ごとの降水量をずっと示したものですけれども、2008年の赤潮はちょうどこの

## 降水量の比較



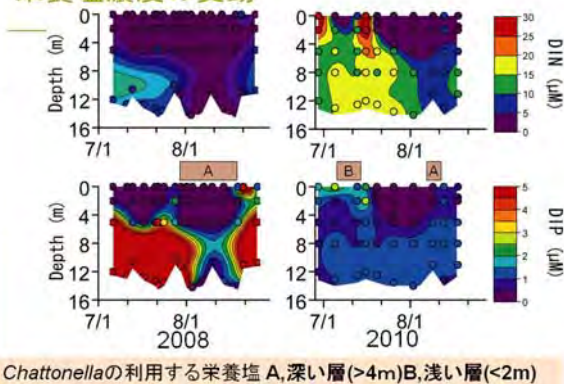
時期にあったのですけれども、2008年というのは空梅雨だったのです。6月の僕の記憶では20日くらいに物凄い雨が降って、ちょっとこの辺が水浸しになったのですけれども、その後6月の終わりから雨がパタッと降らない時期がずっと続いて、まとまった雨が全然降らなかった時なのです。ただここで赤潮になった。2010年はそれとはちょっと違っていたのです。2回赤潮が起きたといいましたけれども、その1回目の時はその前にかかなり大雨が降りました。赤潮の後にももう1回雨が降ったのだけれども、2回目の赤潮の時は2008年と良く似ていてまとまった雨がなかったのです。なので、これから見るとちょっと雨との関係がよく分からないので、この後それについて説明します。

## 水温、塩分の変動



この話は、水温、塩分の話は少し難しいのですけれど、この図は水温と塩分の変動を示していて赤いほど塩分が高い、海の水は赤です。青いほど真水が多い、川の水です。ですから、真っ赤な2008年というのは雨が降っていなかったため海の水がずっとあった。特に、淡水が入ってきた様子がないという状態です。ところが2010年はそのまとまった雨の後にこうやって青い所が入っています。これは深さが、こっちが深さ方向でこっちが時間方向なのですけれども、浅い所に雨水がワッと入ってきていることがわかります。ちょうど1回目の赤潮は、この浅い所に雨水が入ってきた時期ですという事がわかります。赤潮プランクトンが使う栄養塩濃度についてみると、2008年はずっと雨が降らなかった、

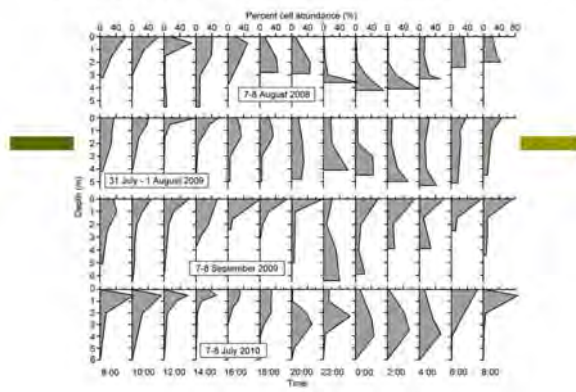
## 栄養塩濃度の変動



真水も入ってこなかったため、栄養塩が凄く少なかったのです。この図は上が窒素で下がリンの栄養塩のデータなのですけれども、深さ別に上が浅くて下が深い方で色分けをしているのは

紫っぽい所がほとんどない赤いのが物凄く多いというふうになっています。この場合で行くと2008年は、4メートルから上には栄養塩がまったくない状態がずっと続いていたという事です。リンも窒素も同じようなものでずっと少ない状態が続いていた。2010年雨が降った時ですけれども、その時に真っ赤になるのです。これは、淡水で栄養塩が凄くたくさん供給されるのでそれでこういうふうにならざるを得ないという状態がここから分かります。

有明海での *Chattonella* の日周鉛直移動パターン

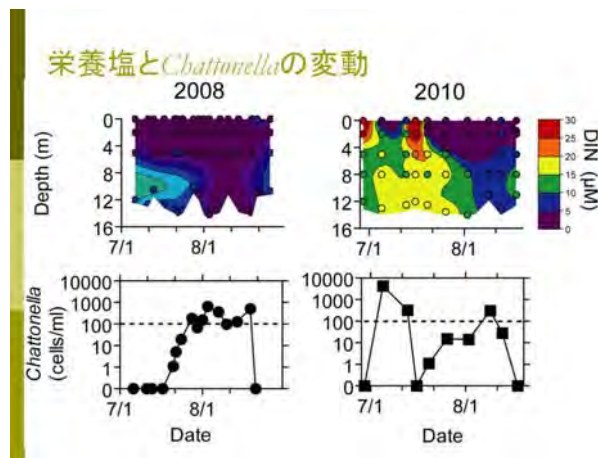


ここで分かる事は、2008年と2010年で全部で3回赤潮が起きましたけれども、パターンが2つあるという事です。2008年と2010年の2回目を見てください。赤潮がおきたときには、水深0-4mにはほとんど栄養塩がなかったのです。もうひとつ大切なことは、こっちが凄く分かりやすいのですが、赤潮が起きている時こういう

深い所の栄養塩が減っているのです、というのが特徴なのです。こっちもそうですが、栄養塩がほとんどないのですが、この栄養塩が15~20位あったのが5~10くらいまで減っています。ですから、ここにAとしましたけれども、パターンAとBと2つ区別して考えると、Aのパターンの時には栄養塩がなくて下の栄養塩が減っている。Bの時は浅い水深にたくさんの栄養塩があって、それがブルームの赤潮の時に減っているという事が分かります。これはどういう事かという、パターンAの時には深い層の栄養塩が多分使われていたのです。パターンBの時には、表層の雨で来た栄養塩を使っていた。

だからシャットネラのブルームが発達する時には2つのパターンがあって、Aのパターンは深い方の栄養塩を使いながら多分増えていて、Bは川から来た栄養塩を使って増えていたのではないかという事です。さっき僕がお話しましたように、シャットネラは1日のうちに5メートルくらい移動できるのです。何故こういう事をするのかという事が、理由がここにある訳です。つまり、他の珪藻とかは泳ぐ事ができないわけですが、シャットネラというのは泳ぐ事が出来ます。なので、昼間は光合成のために上にいるのですけれども、夜は栄養塩を求めて深い方に5メートルくらいの所に移動しているのです。それで栄養塩を吸収してそれでブルームをこうやって起こしているという事が分かります。なので、基本的には日周鉛直移動という昼と夜で凄くダイナミックに動く訳ですが、それは栄養塩をこうやって吸収し

ているのだという事がよくわかります。だけれども、B というパターンではそうではなくてそういう事をしなくてもブルームを起こす事ができるという事が分かります。



もう少し対応させてみると、これがシャットネラの細胞数の変動ですけれども、ちょうど増えている時にこの栄養塩が減っています。ここも、増えた時にはこの栄養塩が減っています。多分、ここは減っていないしここが凄く減っています。なので、多分ここは浅い方の栄養塩を使ってここは深い方の栄養塩を使っていたのだろう

という事が分かります。

### Chattonellaの増殖に必要な栄養塩量との関連

	窒素減少分 (µM)	窒素要求量 (µM)	リン減少分 (µM)	リン要求量 (µM)
2008年(A)	11.1	7.08	0.5	0.64
2010年①(B)	41.5	46.07	-0.8	4.19
2010年②(A)	5.6	3.36	0.1	0.31

Minimum cell quota—11 pmol N / cell, 1 pmol P / cell (Nakamura and Watanabe 1983)

窒素とChattonella細胞の動態は良く一致

そこで、ここちょっと難しいのですけれども、計算をしてみます。ざっと大まかな見積もりをして見ます。2008年のAというパターンと2010年のAというパターン、それと2010年の最初のパターン。シャットネラが増えるのには栄養塩が必要といたしましたけれども、シャットネラが増えた分どの位窒素が使われ必要かというのを計算しました、それが

ここです。窒素の要求量という所です。増えたのだからこれだけの窒素を必ず必要としていたはずだという、これは窒素の減少分というのはこのここからここまでどれだけ減ったか。

それと2010年のこのパターンについては、ここでは多分なくてこっちなのでここからここまでどれだけ減ったかを計算しました。そうすると、これがほぼ合ってしまった2008年のAと2010年のAは要求量が7、減少分が11、要求量が3.3、減少分が5.6。2010年もバッチリ合ってしまった。2010年の1回目のブルームは非常に細胞密度が高かったのです。これで見て頂くと分かるのですが、この辺は数百か千いくかいかないかなのですけれども、ここはもう1,000を遥かに越えて1万に届くレベルで非常に細胞数が多かったのです。なので、窒素の要求量も非常に高くて46なのですけれども、ちょうどその分川から供給されてきてそれが減っていたという事が分かりますので多分これで説明が出来て、この事から大雨の後、川からの栄養塩を利用して赤潮になるというパターンと、快晴が続いた時に深い方の栄養塩を使って段々

増えてくるという2つのパターンがあるという事がようやく分かってきた所です。というのが、今の最新のシャットネラに関する情報です。

### シャットネラの増え方は2パターン

- 大雨の後、川からの栄養塩を利用して赤潮になる。
- 快晴が続いたとき、次第に増えて赤潮になる。このとき、栄養塩は、深い層の栄養塩を利用する。

ここまでの所で何か質問があればお受けしたいのですけれども、ありますか。もうちょっと説明しますと、普通はこういう大雨の後は珪藻だと言われていたのだけれども、シャットネラが出るという事がだんだん分かってきました。過去のデータをもう一回見返してみると、どうも大雨の後にシャットネラがブルームを起こすという事は過去にもあったようなので、これを今もう一回調べようとしている所です。なので、もうちょっと説明すると、まとめますと赤潮というのは増えるというのと食べられて減るというのとそのバランスで大体決まっている。そのきっかけを与えるものは、割と栄養塩のことが多いのだけれども、川の水か有明海の深い層の栄養塩かそれはちょっと区別して考えた方がいいという事が分かってきましたという所です。これは僕の専門で、ここまででいったん赤潮の話は終わりにします。

### 赤潮の発生過程について

- 増えると減るのバランス



- 栄養塩

- どの栄養塩(河川水?有明海の底?)
- どのくらい?



次にもう1つ、また全然違う話題に移ります。それは貧酸素はなぜ発生するのだろうかというお話です。今一番貧酸素について言われているのは、成層すると貧酸素になるのですよといわれるのですけれども、それだけなのではないという話をちょっとだけします。そんなにこれは難しい話ではないかもしれません。プランクトンは、今僕が話しをした赤潮プランクトンというのは全部植物プランクトンと呼ばれるもので、光合成によって増えていきます。そういうものを生産者といいます。でもプランクトンには先程も言いましたように赤

### 貧酸素は何故発生する?

14

潮プランクトンは動物プランクトンで食べられるわけです。そういうものもいます、それを消費者といいます。それともう1つは、死骸を分解する分解者がいます。

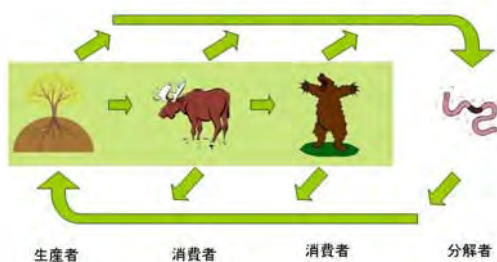
### プランクトンの世界: 生き物の分け方

- 植物プランクトン  
光合成を行って、成長する。  
二酸化炭素(無機物)から体を作る。  
**独立栄養**
- 動物プランクトン  
他の生き物(やその死骸)を食べて、成長する。  
他の生き物を構成する有機炭素から、体を作る。  
**従属栄養**

### プランクトンの分けかた

- 生産者
  - 普通は、独立栄養生物(=植物プランクトン)を指す
- 消費者
  - 他の生き物を食べる。従属栄養生物
- 分解者
  - 有機物を無機物に分解する

### 物質循環(陸上の場合)

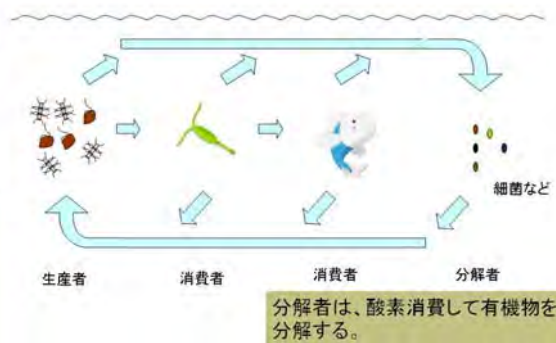


プランクトンの別の分け方としては、生産者、消費者、分解者といった3つに分けることができます。これは多分小学校中学校で勉強するのでしょうか、良く知られているのは陸上だと思うので陸上を例にとって説明してみます。生産者というのは木とか草です。それを草食動物が食べます。ここは喰う喰われるの関係です。それを肉食動物が食べます。こうやって物質が流れていきます。それと同時に、ここから死骸が発生します。食べられずに生き残っても最終的には死を迎えるので、それは木も草食動物も肉食動物も生きるものは皆等しく最後は死んでしまうので、そういうものは最後分解者の方に流れていきます。分解者は、ここではミミズをイメージしていますが、ミミズというのは落ち葉とかを食べて生活していますけれども、バクテリアとかそういった死んでいるものを食べる生き物というものがいます。そういうものが出てきます。そういうものは分解して今度また窒素とかリンとかはもう一回生産者が使えるような無機物に変えていきます。

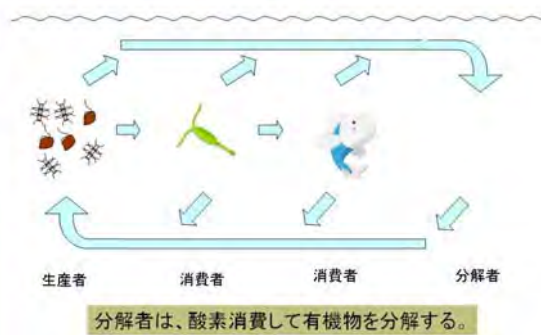
ここが分解者です。これは全く海も同じ

なのです。赤潮プランクトンだけではないですけれども、植物プランクトンが生産して動物プランクトンが食べる。魚に食べられる。死骸が皆、分解者に行く。分解者はこれは海の場合は細菌が一番有力というか大切です。細菌というのは今日お話した赤潮が原因のプランクトンは凄く小さいといいましたよね、でもまだ粒粒が見えるくらいでしたね。でも細菌というのはそ

## 物質循環(海の場合)

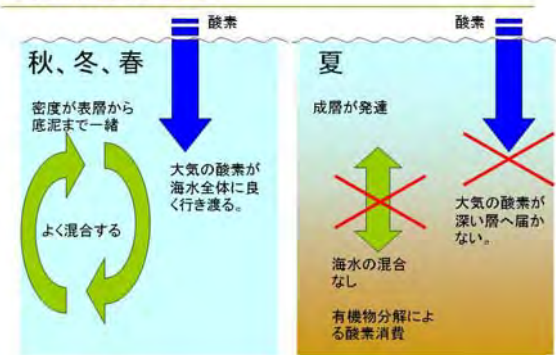


## 物質循環(海の場合)



ういものがたくさんあるのです。そういうものが、細菌によって砂糖が分解されて二酸化炭素になっていきます。その時に酸素を大量に消費するわけです。

## 貧酸素化現象



す。そういう状態だったら良いのですが、夏だけはそういう事が中々進まなくなってしまう時があります。それは有明海も岸よりの方だとそういう事はないのですが、沖の方に行くと成層という現象が起きます。それは冬のお風呂などもそうですけれども、お風呂に入れてずっと入れておくと下の方が冷たくなってきますけれども、下の方に冷たい水が溜まって

れよりももっともっと小さいもので目には見えません。凄く増えると白濁しますけれども、目に見えない細菌がその分解については凄く大きな役割をしています。水の中は陸上植物とか我々は空気の中にいるのでいつも酸素がありますけれども、水の中はそういうふうにはいきません。場合によってはどうしても酸素が足りない時が出てきます。そういう時に貧酸素ができてしまう。こういう死骸だけではなくてオシッコみたいなものも出てきますけれども、そういうようなものにも有機物がたくさんあって、あまり皆さん意識はされていないのだと思いますけれども、水の中には有機物がたくさんあります。イメージしにくいと思うのですが、砂糖みたいなものです。そ

貧酸素化の現象ですけれども、よくいわれるのは成層が発達するというふうにいわれますけれども、春と秋冬は有明海では割りと良く水が混じるのです。ここは海面でこちらが海底だとして温度が割と均一になるので良く混じます。なので、水の中で酸素が消費されても大気から酸素が供給されてよく混じるので均一によく行き届きま



## 貧酸素化現象の発生機序

- プランクトン(微生物)を主体とする生物の呼吸によって酸素が消費される。
- 海底付近の酸素消費と供給のバランスが、成層によって、崩れることで、起きる。

## 海中の物質循環と環境問題

- 赤潮
  - 植物プランクトンの大増殖: 増える、減る
- 貧酸素
  - 活発な海中生物の活動: 酸素消費を支える酸素供給

貧酸素化現象は、海の物理構造が引き金になるけれど、究極的には、生物活動のせい。

上の方が温かくなってきます。そうすると水が混じらなくなります。さっき言ったように分解がすごく進んでいる時に、夏は生物の活動が活発ですからそういう時に酸素の供給がないという時に起きるわけです。

なので、今有明海ではよく言われるのは成層すれば貧酸素になるのですねと言われるのですが、勿論そうなのですがそれはあくまでもきっかけであって、その根っここの所ですけども、ではなぜ成層すると貧酸素になるかということ、それは生物活動が非常に活発だから起きるわけです。このところを我々はもうちょっとよくよく理解しておかないと中々貧酸素問題の解決には結びつかないだろう。なので、今日僕が一番お話ししたいのはこの2点で、海の中

の物質循環と環境問題については今日は赤潮と貧酸素を取り上げましたけれども、赤潮はプランクトンの増える過程と減る過程のバランスの問題で大体見えてきます。もちろん原因はたくさんあるわけで、どうしたら赤潮が起きないかというのは非常に難しい問題なのですけれども、1つのプランクトンに着目して考えれば大体この辺で見えてしまいます。貧酸素の方は、有明海は非常に生物の生産が活発なのでその分分解もやはり活発で、それを支えるだけの酸素供給がない時に起きます。だからその事を我々はよく考えておかないといけなくて、そのプランクトンのそういう物質の循環というものをもう少し調べないといけないというふうに考えています。

今日の話は、一応はここで大体おしまいなのです。だけれども、先も言いましたように、もう少し違う話をしようかなと思って2つほど話題を持ってきています。1つは、先も言いましたように赤潮の制御の問題です。赤潮は、発生は大体そういう事なのですけれども、ではこれを制御するという事はどうすれば良いかというのはちょっと難しい問題です。これについてちょっとお話をしたいと思います。これは別の発表の時に使ったものなのであれなのですけれども、さっきと同じようにこれは赤潮が増えている様子です。瀬戸内海を例に一応学んでみたい

と思います。瀬戸内海は有明海よりも遥かに前に、1970年代に赤潮で非常に苦しんだ経緯があります。それで、これは瀬戸内海の赤潮の発生件数、それと赤潮で被害のあった件数をずっと並べたものです。昭和48年から平成20年までずっと記録を並べたものですが、昭和48年のこの辺は毎年200件以上の赤潮があったわけです。被害件数も20件30件あって、この頃は多分シャットネラの赤潮がこの瀬戸内海は本当にひどかったはずですが。現在は、もう今は100件もいかないくらいの所で落ち着いてきています。つまり瀬戸内海周辺ではある努力をする事によって効果を上げて、ゼロにはなっていないけれども、ある程度減らす事に成功しています。もしかしたらこれに学ぶと良いかもしれない。

では何をしたかという、栄養塩の流入規制なのです。瀬戸内海ではこういう特別法が作られて、栄養塩の水質の規制がすごくかかりました。結果的に陸上からの栄養塩は非常に低下しました。これが赤潮が頻発していた70年代前半から行う事によって、このように赤潮の低減に成功しました。ところが、赤潮はなくなったのだけれども、海苔も瀬戸内海は今取れなくなってしまっている。これは瀬戸内海の東部と瀬戸内海の西部の海苔の生産枚数の推移です。本来にこちらの西部などは悲惨で、ここは1974年から2005、2006年のデータなのですが、ちょうど水質規制に合わせるようにダーンと減ってしまいました。赤潮が起きなくなって良くなったのでしょうけれども、海苔も取れなくなったというのが今瀬戸内海で非常に問題になっています。これは栄養塩の供給を減らしすぎたせいだと今いわれています。あろう事か今は、何と栄養塩は足りないのだから栄養塩を入れろとダムからの放水によって栄養塩不足を補うという、一生懸命努力してきたのは何だったのかという状態にあります。ここから分かる事は、残念ながら有明海は瀬戸内海に学んではいけないという事です。どういう事かといえば、少しお話もありましたけれども海苔とプランクトンというものは利用するものが同じなのです。ライバルなのです。どちらも藻類で光合成をしてその時に栄養塩を使います。特に海苔は凄く大量の栄養塩を利用するのでそれはやはり赤潮と競合関係にある。赤潮を減らそうと思って栄養塩を減らせば、もう必然的に海苔もだめになってしまう。という事なので、海の管理のあり方としては栄養塩を減らすというのはちょっと失敗だったという事です。今有明海ではそういう事をいう人は殆どいません。只、今の所良い解決策はあまり見つかってはいません。ただ、1つのヒントは二枚貝というのがあります。有明海は貝が非常に豊富でしたので、これを利用するというのが1つ考えられる。これは荒牧先生もよく言われていたものですが、負のスパイラルというものがあります。それは、赤潮が増えたのは実は貝が減ったからなのではないかと、貝は元々海の粒、懸濁物をたくさん食べているので、プランクトンを食べていた。

それがだめになって赤潮が増えた可能性がある。そうすると赤潮が増えるとさっきお話をしましたように有機物が増えるのです。その有機物を分解しようとして酸素の消費が活発になって貧酸素ができます。酸素がなくなると二枚貝が生きていけない。それでもう、どんどんどんどん悪い循環に入ってしまう。それが良くいわれている負のスパイラル。これを解決するのはこの貝を何とかできないかというところがあります。

それで1つ言われているのが今は牡蠣礁です。これは研究プロジェクトとして今実際に動いているものですが、これは鹿島の辺でこういう調査地点を設けて、今調査を調べています。貝の浄化能力を使って、懸濁物を濾し取る能力を使って赤潮を減らせないだろうか。これが結構いい取り組みで、栄養塩を減らすことなく赤潮を減らせるかもしれないわけです。ちょ



っと計算をしてみます。有明海の1次生産がどのくらいか、ちょっと計算します。多分これは皆さん驚くと思います。物すごい数が出てきます。1日の1次生産速度、光合成速度は0.2から3ミリグラムカーボン、炭素として0.1ミリグラムくらい、1リットル1日当たり2ミリグラムとしましょう。有明海の平均水深20メートルの

こういう水柱を考えると、どの位1次生産があるのでしょうか。でも、光が届くのは全部ではなくてこの辺だけなので、実際にはこれを20メートルまでかけてしまうと間違いなので、4メートルまでとすると1日1平方メートル辺り大体8グラムの炭素が作られていると考えられます。これは凄くいい加減なというか、アバウトな見積もりです。例えば冬は冷たいし陽が出ている時間も短いのでこれの半分位かもしれません。夏はもしかしたらこれの2倍位かもしれません。大体この位だろうという見積もりです。8グラム位です。これが1,700平方キロメートルの有明海に行くと、どの位になると思いますか。これはすごい事になるのです。カーボンで1万3600トン、1日です。イメージできないですね、1万3600トンがどの位なのか。

これはスナメリで計算するとどの位かと思いませんか。スナメリってちょうど人くらいだと思います。炭素量としては、人もスナメリもそうですけれども体の中は水が一番多いので炭素量として15キロくらい。これも結構多い見積もりですけれども、これだとしてもビックリしました僕は。90万頭分、1日です。1日で有明海はこれだけの炭素の生産があるのです。この

話はちょっと横道にいつてしまったのですけれども、1日で有明海というのはこれだけの炭素があるのです。

### 13,600トンの炭素

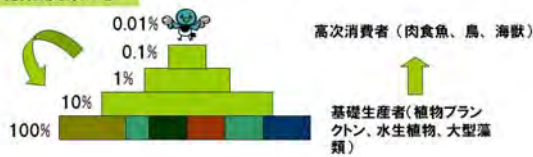


90万頭分！

食物連鎖を通じて、呼吸で二酸化炭素になり、一部だけが高次消費者へ、伝わっていく。

### 食物連鎖：基礎生産は高次消費者に利用される

呼吸によって、生産された炭素は二酸化炭素に。



食物段階の1段上に伝わるのは1割。

これはもちろん、毎日スナメリ 90万頭分がバツと生まれるわけではなくて、さっきも言ったようにプランクトンの生産というのは動物プランクトンに食べられて魚にいつて、そういう食物連鎖があるので毎日毎日これが現れるわけではないです。でも、これはやはりこれだけの炭素を放っておくわけにはいかないので、そこへ貝を使えるかどうかという話になります。牡蠣礁は牡蠣の現存量が1平方メートル辺り 4,000 個体、これで有明海全域というのはまず無理なのですけれども、プランクトンの生産をどれだけ濾し取る事ができるかという見積もりをしてみます。1平方メートル 4,000 個体、1日あたりの濾過量が 0.0095 グラムカーボン、もう本当にちょっとですけれどもチリも積ればというかどの

位いけるか考えてみます。そうすると1日あたりの濾過量は1平方メートル辺り 38 グラム。これは結構多いです。さっきの見積もりでいくと、1次生産は8グラムだったのでそれよりは遥かに多い、大体4倍上回っている。なので、牡蠣礁のある範囲に関しては1次生産分を十分牡蠣が濾し取ってくれるという事がわかります。有明海は潮汐が大きいですから4倍くらいのところはきっちりと取れるだろうというのが今の牡蠣礁のプロジェクトの根っこにある部分です。そうすると、赤潮はこの牡蠣礁の周囲では少なくとも全域という事にはならないけれども、この周囲では赤潮を減らせるだろう。そうすれば海水中に放出される有機物は今度牡蠣の体になっていくので少し減る。それが貧酸素水塊の解消低減につながらないだろうか。そこで負のスパイラルを断ち切りたいというのがその根っこにある物です。

これは我々の研究チームのモデルの人たちが計算した例です。では有明海全体でそこそこ牡蠣があると良いかどうかを仮想的な海で見積もってみます。これは仮想的な海なのですけれども、幅が約 20 キロでこっちが 10 キロでちょうど有明海と同じ面積、平均水深は深いところ

で、30メートルで段々浅くなって平均水深20メートル。体積も有明海と同じスケールのもので、川から栄養塩が入ってきて牡蠣礁があった時となかった時でプランクトンをどの位減らせるか。そういう計算をしてみました。対象区というのは牡蠣礁がなかったらどうなるのか、牡蠣礁が、流入河川がここにあるのですけれどもそれよりも上流部、岸よりにあった時はどうか、流入部よりもちょっと下の所にあった時はどうなのかという全部で5個の計算をしました。

そうすると、対象区は赤いほどプランクトンが多いという事を示しています。緑はちょっと少なくて青いのはもうスカスカというものなのですけれども、対象区はこういう状態です。ここに牡蠣礁を置いたらそのところだけは真っ青になって牡蠣礁の辺ではプランクトンを減らす事に成功しています。特に、川が流入する少し下に置いておくと凄く効果的で、その効果は川の上流に置くよりも非常に高い。だから、「流入河川の少し下のところに牡蠣礁が配置できれば結構プランクトンを食べてくれるのではないか」というふうに考えられます。それによって貝が再生すればもしかしたら赤潮をそこそこ減らせて、今まで海水中に流れ出ている有機物は今度は貝の方に回るわけですから、「貝の漁獲がアップして貧酸素の水塊は少しずつ減らす事ができるのではないか」という取り組みが今研究レベルで少し始まっています。これによって、瀬戸内海は栄養塩を減らして赤潮を減らそうとしましたけれども、それでちょっとこけてしまったわけです、海苔が取れなくなってしまったわけです。有明海は先輩の経験を生かして、栄養塩は減らさないで何とかしようという取り組みとして今牡蠣礁をやっています。佐賀水振ではサルボウをやっていますね、今はそういう意味で牡蠣礁だけではなくてサルボウを海苔に今度はつけてやればもっと直接的に赤潮を減らせるのではないかと、そういう取り組みが少しずつおきています。大切な事は1日90万頭分の、スナメリ90万頭分の生産が有明海にはあるわけです。これを押さえるというのはもったいない話で、それを海苔という形で人が使えるようにすればいい、それを牡蠣として人間が食べられるようにすればいい。なので、生産を抑えるという事ではなくて、物質の流れをスムーズにする。それが多分、すごく大切な事です。なので、生産は維持して栄養塩を減らすという事で生産を落とすという事はしないで、何とかプランクトンから魚とか、プランクトンから貝とかそういう物質の流れがスムーズに繋がるような海の整備をすると生産は高くても赤潮はあまり起きないとか、貧酸素水塊はあまり発生しないとかそういう海を作れるかもしれません。大切な事は、ここに書きましたようにスムーズな物質・エネルギーの流れというのが僕は多分すごく大事だろうと思います。もちろんこれは生物だけではなくて、さっきも言いましたように牡蠣礁は川の下流にあった方がいいとか、水が澱んでいては物質の流れも上手くいかないのです、そういう物理的なものも非常に重要です。で

すから生物だけがこういう事を頑張ろう、頑張ろうといってもだめで、総合的な取り組みが凄く大切なのですけれども、やはりこの物質の流れをどうにかしようというのが非常に大切ではないかというふうに思います。

最後に一つ紹介します。これは別の、手塚さんという研究員の方が中心になってやってくれているものです。赤潮が起きるかどうかは、さっきも言いましたように栄養塩がどれだけ使えるかという事なので、栄養塩がどうなるかというのがすごく重要です。それで今、泥の中の栄養塩を調べています。これは間隙水といって、泥は取ってみると泥に見えますけれどもその中には泥の成分と土の成分と水の成分がありますから、その水の成分の中にある窒素の量がどれだけかというのを調べます。そうすると、これに関しましてはこれが諫早湾、こっちが調整池、これが堤防です。深度0~5、5~10というのは海底からの深さです。これが上に積っているものでこれが5センチから10センチと深いところの泥ですけれども、窒素は殆ど違いがありません。堤防を境として、こちらとこちら殆ど変わりがありません。ちょっとこの所で高いという違いはありましても、堤防の締切の影響はほとんどないように思われます。ところが、これは吸着態というものでこれは泥を取った時に泥と水の成分に分けられますけれども、その泥の中には実はアンモニアの窒素がくっついているのです。それは例えば海水でよくシェイクするとそれが遊離してくる、取れてくるような非常にゆるい繋がりがあるアンモニアがあるのですけれども、それを測ってみるとこれはすごい事が分かりました。これは諫早湾側でこっちが調整池側なのですけれども、色が全然違う事が分かります。どういう事かという、諫早湾はこの位で、泥の乾燥重量で1グラム当たり20マイクロ7マイクログラムくらいの他と比べて特に高いという値ではないのですけれども、堤防の中は例えばここは20に対して101、5倍高いのです。ここは15に対して124、だから5倍以上もしかしたら10倍以上高い値が出ています。これはどういう事かという、たぶん97年に締め切られて以降ここに泥が蓄積していますけれども、そこにはものすごい濃いアンモニアが蓄積しているという事、泥に引ついた状態のアンモニアが物すごくたくさんあるという事です。これがどうして出来たかというのは、今調べている所です。残念ながらどうかというのは中々分かりませんが、現時点では研究はここまでしか進んでいません。現時点で考えられる事は、貧酸素水塊のリスクは成層したかどうかで、ある程度予測が出来るので成層で予測をした限りでは国の開門の基準ではかなり貧酸素水塊が形成する恐れが高いという事が分かっています。赤潮に関しては、まだまだどうなるか予想はつきません。ただ、調整池内に我々が気付いていなかった大量の栄養塩が蓄積しているという事が分かりました。これが、どうして蓄積したのかという事も大切な

のですけれども、開門に伴ってほぼ真水の状態にある泥が海水に接すると遊離してくると言われています。なので、開門されたら場合によってはその大量に眠っている窒素がワッと水に出てくる可能性があるのですが、それがどうなるのかというのを今実験的に検討している最中です。そういう結果を踏まえて、もう1つ今先程示したモデルの結果というのは、塩分とか密度差とか密度とかそういう状況だけを再現していますけれども、これからは生態系モデルといいまして実際プランクトンが増えるかどうか、酸素の消費がどれだけ活発になるかという所も含めて計算を今している所です。それによって今始めて、形成の可能性有りといっていますが、それが本当に具体的に生物生産と成層の関連から、どれくらい貧酸素が起きそうかそれと今たくさん溜まっている栄養塩がどれだけ本当に出てきそうでどれだけ赤潮が発生しそうかという所まで、計算をしている所です。これは多分来年の春くらいには一応我々の方でシンポジウムを予定してまして、その時くらいには少しまとまったお話が出来る状態になるのではないかと思いますので、ちょっとそれまでお待ち頂ければと思います。現在は諫早湾の開門に伴ってどういふふう環境は変わるかという事については現状この程度の進捗具合です。というのが以上です。

今日は、ちょっと後付け後付けで話をしていたので、ちょっとまとまりがない感じになってしまいましたけれども、今日僕がお話しようと思っていたのは大体このくらいで済みです。僕としては、今日皆さんに僕の話聞いてもし覚えて頂けるとしたらこういう事を覚えて頂ければなと思います。赤潮が起きるから悪いのではなくて、生産が高いという事自体は非常に良い。物質の流れが上手くいったら、海苔がたくさん取れて貝もたくさん取れてというすごく幸せな事ができるかもしれないので、そういうふうになれるような仕組みを考えたいという所で今日の僕の話をおわりにさせて下さい。どうも有難うございました。

【 司会：荒牧理事長 】

はいどうも有難うございました。早速ですが何か今の話についてご質問はありませんでしょうか。あるいはコメントみたいなものでも構いませんけれど。

【 質問者 】

ちょっと1件宜しいでしょうか、赤潮のシストは、底泥にあるのですか？

【 発表者：佐賀大学 片野俊也 准教授 】

シストの話は、今日はしなかったのですけれども底泥にあります。ただ、底泥にあるシストが、どういう条件で発芽するだとかいう事はちょっとまた難しい問題があるみたいです。それについては研究レベルでもまだ良く分かっていない部分が結構あります。

【 司会：荒牧理事長 】

1度シャットネラ赤潮が、シストがないのにある年異常発生したというのが話題になっていた事があったけれども、それは何か解釈はあるのですか。

【 発表者：佐賀大学 片野俊也 准教授 】

基本的には、シストがないと赤潮にはならないのですけれども、ほんの僅かあればいってしまう、条件さえ整ったらいってしまうというのが一般的にいわれています。シストがもはや、例えばシャットネラのシストが有明海からゼロになるという事はもうないので、今の状況であればちょっとしたシストの大小過多はあまり関係なくて、その後の環境条件のほうが大切だろうというふうによく言われています。

【 司会：荒牧理事長 】

調査で捕まえられるどの相関よりも、環境がどう変動するかの方が圧倒的に相関が高いという事ですか。

【 発表者：佐賀大学 片野俊也 准教授 】

そうですね、基本的にシストの数は数える事ができて多かったり少なかったりもちろんするのでけれども、どうもそれはあまり関係ないだろうと、ちょっとでも出てしまえば後は出水があってガッと増えるかどうかとかそういう問題の方がはるかに大きいだろうというふうにいわれています。ただ僕は一応そのシストの問題はすごく大切だと思っていて、今年から有明海の奥に10地点置いてシストが出てきたらいつでも捕まえられるような、シストから発芽したらいつでも捕まえられて、今どういう状態で赤潮が、では後2週間、いやひと月先に出るか、出ないかとか、少しでも早く捕まえたいと思ってやっていたけれども、今年に関しては全く出ませんでした。でも一応大切なのでそれを今調べている所です。

【 司会：荒牧理事長 】



少なくとも今年はシャットネラの話聞きませんでした。それはどのような環境だったからですか。

【 発表者：佐賀大学 片野俊也 准教授 】

それは珪藻がよく出てきました。基本的には、栄養塩が入ってきた時に何が待ち構えているかという問題があって、雨が降って筑後川から有明海に河川水がわっと入ってきますね。その時に有明海にいるプランクトンがもしちょっとでも珪藻が多ければ間違いなく珪藻なのです。今年はそういう状況がずっと続いて割りと定期的に雨が降りまして、珪藻が出て、普段は珪藻が出てずっと雨が降らないと今日お示ししました 2008 年のようにシャットネラが出るのですが、そうではなくて珪藻が駄目になりそうなタイミングで珪藻を起こすような出水がまた来て、また珪藻が復活して行ってそれで珪藻が少し増えて減って増えて減ってというふうにずっと繰り返していたので結果的にシャットネラが出る余裕が、隙がなかったというのが我々の中での見解です。

【 司会：荒牧理事長 】

そうすると、大群、群れとしては珪藻の方が強いのですか。

【 発表者：佐賀大学 片野俊也 准教授 】

強いです、基本的には強いです。

【 質問者 】

水温とは関係ないのですか。

【 発表者：佐賀大学 片野俊也 准教授 】

水温は関係はない事はないのですけれども、多分それよりも先も言ったように雨が降った時に待ち構えているプランクトンの組成です。そこである程度シャットネラが多くなると増える事ができなくて。

【 質問者 】

乾燥については私も研究をした事があるのですが、普通は珪藻だったら少し水温が低

い状態で発生するのと、そういう関係ですと今年は水温が少し低かったから珪藻は ないかなと。

【 発表者：佐賀大学 片野俊也 准教授 】

そういうのもあるかもしれません。確かに人によっては 30 度を越えると珪藻が駄目になるというふうにいわれて、有明海はちょうど真夏の一番高い時だと 30 度をちょっと越えるのです。そこで珪藻はあまり頑張れないというふうな話も聞きますので、そういう意味では温度は関係するのかもしれませんが、大体は 30 度ちょっと下にあって珪藻がよく増えるような状況ではないかと思うので、温度はあまり関係ないかもしれません。

【 司会：荒牧理事長 】

他にどうぞ。何でも。

佐賀大学のプロジェクトの中で一番感銘を受けて私がいつも使わせてもらっているのは、速水先生が出した論文の中で佐賀大学の論文集に、彼もいつも出してくるからお気に入りの成果だと思うのだけれども、サルボウ貝が非常に増えていた時代があるのですね。1980 年代から 2000 年にかけてだったか、その間というのは比較的海苔の色落ちの少ない時期です。そしてそれがその前全般というのは結構海苔の色落ちが起こっていて、そして最近もまた海苔が少しサルボウ貝が減ってきたのでという相関がある意味でいうと速水先生のそういう考え方と、それから川村さんという海苔博士がおられますけれども、その人が海苔のデータをずっと出して、それを並べてみると、非常にうまく相関が取れているという事を出していて、そこで我々がやったシンポジウムの時に濱田先生が言った、今、香川に行っておられる本庄先生がとにかく掘れよと、二枚貝との関係をきちっと調べれば、これが唯一の対策になる可能性があるというふうにコメントされたので、私はそれを再生機構の 1 つの成果としてあちこちで話をしています。今日取り上げられたので、多分片野さんもそういうお考えかなと、ちょっと補足して下さい。

【 発表者：佐賀大学 片野俊也 准教授 】

多分、これがそのデータですか。

【 司会：荒牧理事長 】

もう 1 つ、ノリの色落ちが・・・

【 発表者：佐賀大学 片野俊也 准教授 】

そのデータは無いのですけれども、これについては非常によく言われていまして、グラフを引っくり返してあるのですけれども、こちら側が二枚貝の漁獲量です。資源量とはちょっと違うのであくまでも直接は比較できないのかもしれないのですけれども、高さを取っているのです。こちら側がプランクトンの沈殿量と発生量とみてみますと、青いのと赤いのがほぼ一致しているというのがよく分かります。これはどういう事かということ、こちらは逆転しているので二枚貝がたくさん取れた年ほどプランクトンが少ないという事です。なので、多分たくさん取れたという事はたくさんいたはずでそういう時はこの二枚貝が先程いったように牡蠣礁がプランクトンをよく食べる、多分1次生産の4倍くらい食べる事ができるだろうという見積もりをお示ししましたけれども、そのロジックがこういうところからも見えてくるというデータです。

【 司会：荒牧理事長 】

発生していないのではなくて喰われたのですよね。

【 発表者：佐賀大学 片野俊也 准教授 】

その辺どちらが先か分からないのですが。

【 司会：荒牧理事長 】

喰われないと餌がないわけだから発生量とは違うのですね。とにかくそこに測ったものだから沈殿量だから喰われなくて落ちてきた分がこれだけだよねという話ですね。

【 発表者：佐賀大学 片野俊也 准教授 】

そうですね、そういう事です。

【 司会：荒牧理事長 】

だからプランクトン発生量を測ったわけではなくて沈殿量を測っているから、喰われてしまって貝の方に回ってしまったという解釈なのだと思います。非常にいつも設問があって、いくつか設問があってプロジェクトを立ち上げた時に先程いった本庄先生がシャットネラ赤潮にず

っと着目されていました。それで設問は、シャットネラ赤潮は昔有明海ではいなかったのに何故シャットネラが発生するようになったのかという設問をつけられてそれを有明海総合研究プロジェクトに振られたのです。その測って欲しいといわれたのは鉄が溶出する、貧酸素で溶出する事によって引き金になったという仮説を持っておられて、その仮説を佐賀大学が証明してくれないだろうかという事でしたけれども、あまりにも鉄の濃度というのは小さいのでとてもじゃないけど測れない。というので引き金説はどうも今のところちゃんと計れていません。ですから、そのシャットネラが何故最近になってこうやって増えてきていわゆる殺し屋みたいな事をやってしまうのかという事についての説明が今のところないと思います。片野さん、シャットネラというのは対策はあるのでしょうか。

【 発表者：佐賀大学 片野俊也 准教授 】

難しいですね、ただ鉄に関しては少しだけ調べたのです。僕らのところで。それと田端先生が測られていましたけれども、そのデータを見る限り鉄の濃度は非常に高いのです。ただ、シャットネラの鉄要求量というものもかなり高いのですけれども、多分鉄は十分あるのではないかと。

【 司会：荒牧理事長 】

引き金説ではないですね。

【 発表者：佐賀大学 片野俊也 准教授 】

多分違います。

【 司会：荒牧理事長 】

場としては、既に十分あると、有明海に。だから、それが何かの弾みで鉄がバツと溶出して増えたから引き金になってシャットネラがドンと増えるという仮説はちょっとないだろうと。

【 発表者：佐賀大学 片野俊也 准教授 】

多分ないだろうと思います。その鉄の濃度の変動とシャットネラの変動がほとんど合わないのです。今日お示ししましたように、シャットネラの変動と窒素は良く合う。なので、多分窒素で殆ど決まってしまうというようなイメージが僕はあります。ただ、これはまだきちんと調

べないといけない所ではあります。

【 司会：荒牧理事長 】

何故今このような議論をしているのかというと、実は、シャットネラの話は確かに出てくる  
と魚が死んだり貝が死んだりして非常に大きな被害を受けるのですけれども、もっと深刻なのは  
実は八代海なのですよね。八代海でこれが起こると、有明海で起こっている濃度よりも遥かに  
低い濃度で、いわゆるハマチとか貝とか車海老とかが全滅してしまうという、何十億という  
被害を出しましたので、そういう意味でいうとシャットネラというのは有明海よりもむしろ八  
代海のほうで非常に大きな問題になるという事で、もう 2 年続けてですか。

【 発表者：佐賀大学 片野俊也 准教授 】

3 年ですね。最後の年が 50 億ですから相当大変だったと思います。

【 司会：荒牧理事長 】

だから、水産被害としては桁が 1 つ大きいぐらいの被害なので、そういう事がやはり今から  
特に片野先生たちのような基礎的な科学をやっている人が一番追いかけていって、何とかして  
欲しいと思われているのが多分シャットネラのほうだと思います。

【 発表者：佐賀大学 片野俊也 准教授 】

本当にその通りで、有明海はシャットネラは出てもあまり問題はないのです。ただちょっと  
いわれているのは、アサリについてよく調べてみるとアサリがシャットネラよりダメージを受  
けているという話もあって、だから有明異変を野放しにしていい訳ではないのです。それと八  
代に関しましては、ここ数年の動きを見ていると、有明海と八代海のシャットネラの出方がほ  
ぼ一致するのです。すごい事なのです、時期的に。例えば 2010 年は、7 月 5 日に有明海は出  
たのですけれども、八代もその数日違いで出ています。ほぼ同じなのです。今有明海でシャッ  
トネラをやっているのは多分僕以外は大学ではないのですけれども、八代の方はとにかく水産  
の方のダメージが大きすぎるので、水産庁の研究所でやられておりましたその人の解析が今日  
お話したのと同じ事を言っていて、この 9 月に学会で僕がお話をしたらすごく驚かれて、ち  
ょうど僕が今考えている事と同じ話ですビックリしましたと言われていて、彼はどういう話を  
したかったかということ、僕と本当に同じで川からの出水と下からの栄養塩とその 2 つでブル

ームの分類が出来る。そうやって過去のデータを見直しをするとそれで大体説明が出来ているというお話なので、それがちょうど今分かってきた所です。なので、何故昔いなかったのに今出てきているかというのはちょっと難しいのですけれども、ここ 20 年くらいどうして出てきているかという事に関してはちょっとわかってきているところが出てきているというような状態です。

【 司会：荒牧理事長 】

非常に興味深い話を聞かせて頂きました。特に二枚貝の話というのは唯一我々が持っているかもしれない対策の話として、有明海の中で考えている方策です。ですから、片野先生がやっておられるような基礎的な生き物、こういう低次生態系ともうひとつ上にいる貝とかそういう高次のレベルの連中との間のやり取りが出来れば漁業と環境という問題が少しは理解してくるのではないかなというふうに思っています。今日はどうも有難うございました。