

「内湾域の微小動物プランクトン - 小さな体で大きな役割」

神山 孝史（水産総合研究センター東北区水産研究所特任部長）

[本城先生]

神山先生の略歴を紹介したいと思います。神山先生は 1984 年、東京水産大学、今の東京海洋大学をご卒業なされて、1985 年に農水省に入省され、水産庁南西海区水産研究所（現瀬戸内海水産研究所）赤潮部に配属されておられます。1999 年に神奈川県横浜市にあります中央水産研究所に移られて、その後、東北海区水産研究所、再び瀬戸内海区水産研究所へ戻って、現在、東北区水産研究所の特任部長をなさっておられます。1980 年代後半に私と神山先生は同じ職場で研究をしておりました。では、神山先生、よろしくお願ひします。

[神山先生]

2014年11月20日 瀬戸内圏研究センター学術講演会

**内湾域の微小動物プランクトン
-小さな体で大きな役割-**

独立行政法人水産総合研究センター
東北区水産研究所
神山 孝史

内容

1. 微小動物プランクトンとは
2. 植物プランクトン・微生物の捕食者としての役割
3. 他の動物の餌生物としての役割
4. ミズクラゲ大発生との関係

はい、どうもご紹介ありがとうございます。水産総合研究センター東北区水産研究所の神山と申します。よろしくお願ひします。本城先生の方からご紹介があったとおり、今、東北区水産研究所にいまして、震災復興関係の事業に関わっていますが、その前に広島にあります瀬戸内海水産研究所にいました。そうですね 13 年ぐらいいましたかね。今日お話ししますのは微小動物プランクトンで、あまり皆さんには馴染みがないかもしれませ

ん。私は微小動物プランクトンと赤潮生物、その他の海洋プランクトンおよびクラゲとの関係の仕事をこれまでやってきました。ですから少し古いデータなども出てきますが、その時の成果のお話しをさせていただきたいと思ひます。

話の内容は 4 つほどあります。ここにあげていますが、1) 微小動物プランクトンとはどういうものか、2) 食物連鎖の中で植物プランクトンや微生物の捕食者としての役割、3) 他の動物の餌としての役割。そして最後に特殊な話として、4) ミズクラゲの大発生との関係についてお話しをしたいと思います。

先ほど多田先生の方から、植物プランクトンから動物プランクトン、動物プランクトンから魚に繋がるというお話がありましたが、動物プランクトンはネットで採取されるようなものが昔からよく知られ、ネットで採取されるある程度大きな動物プランクトンが主に調べられてきました。しかし、ネットを通り抜けてしまうような小さな動物プランクトンがたくさんいるということが、20 世紀の初めの頃から分かってきて、ここ 30 年くらいでかなり研究が進んできています。そういう生物の研究を私は続けてきました。

植物プランクトン（スライド中の右の写真）は先ほどお話があったように光を利用して光合成を行い、栄養を取り込んで生活している生物ですね。一方、動物プランクトンは他の生物を食べて生活している生物です。ネットで採れる代表的な動物プランクトンであるカイアシ類を左側の写真に示しています。カイアシ類などが主体にこれまで研究されてきたのです。ネットを抜けてしまう生物はおおよそ 0.2mm 以下の小さなもので、こ

「微小動物プランクトン」とは

動物プランクトン

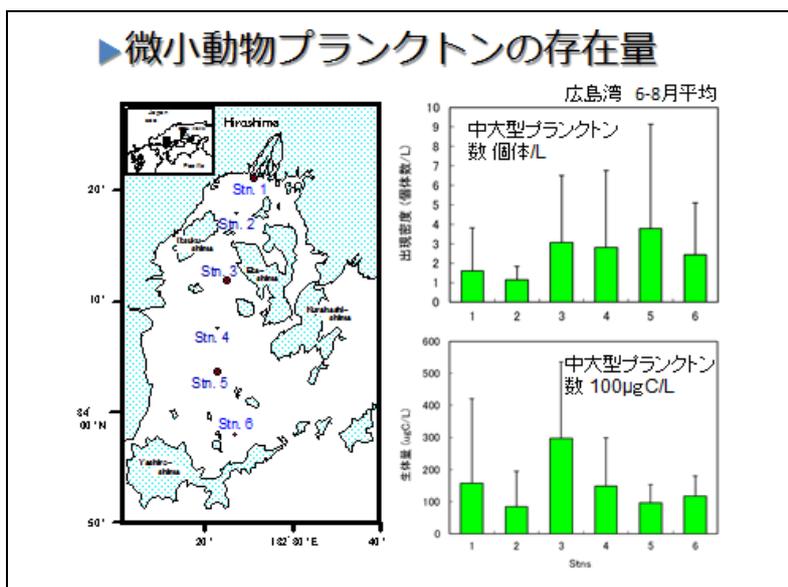
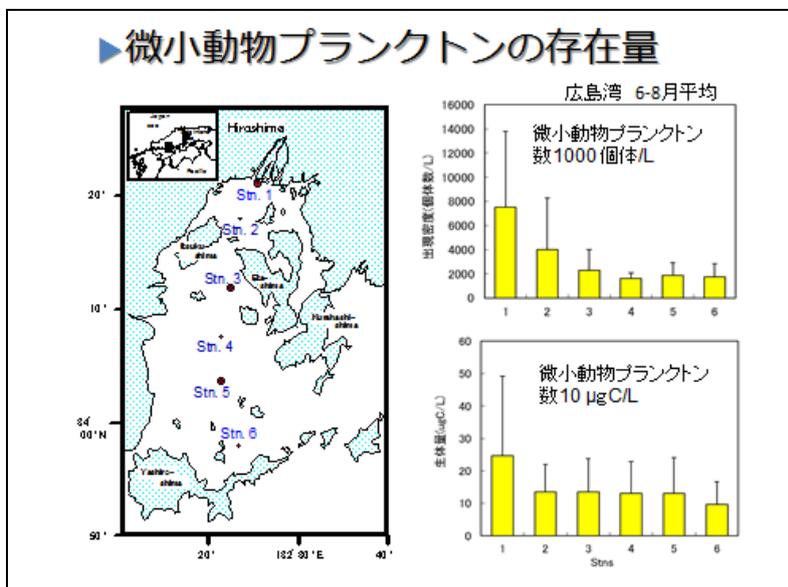
植物プランクトン

大きさ <0.2mm
繊毛虫類, 渦鞭毛虫類, ワムシ類, かいあし類等の幼生

このサイズの生物の多くは原生動物で、繊毛虫類や渦鞭毛藻類の生物が多くを占め、その他にワムシ類、カイアシ類等の幼生などが含まれます（真中の写真）。私の話ではその中でも繊毛虫の話が中心になると思います。

まず、微小動物プランクトンがどのくらいいるのかというのを話したいと思います。広島湾の例ですが、広島湾は瀬戸内海の西部にあり、北の方から太田川が流れていまして、多くの栄養物質はこの川から湾に入ってきます。そのため、栄養塩濃度は湾奥で高く、湾口に向かって低くなる海域です。

このような広島湾で微小動物プランクトンがどのくらいいるかですけれども、黄色の上の棒グラフがリッター当たりの個体数です。横軸は定点で、1 から 6 の順に湾の奥から湾口ですね。黄色の下



物プランクトンのリッター当たりの炭素量です。緑色の上の棒グラフはそれより大きな中大型動物プランクトン（ネットで採れるもの）の個体数で、緑色の下のグラフがリッター当たりの炭素で表した生体量です。このとおりネットで採れるような動物プランクトンはリットル当たりに数個体採れる程度なのですが、こちらの微小動物プランクトンは数千個体で 3 桁程違い、非常にたくさんいるのがこれで分かると思います。ただ小さいので生体量に換算しますと、ネットを通る微小動物プランクトンは中大型動物プランクトンよりも 1 桁ぐらい少なくなります。小さいのがたくさんいるのだけでも、炭素量としては少ないということです。

2014年11月20日 瀬戸内圏研究センター学術講演会

内湾域の微小動物プランクトン -小さな体で大きな役割-

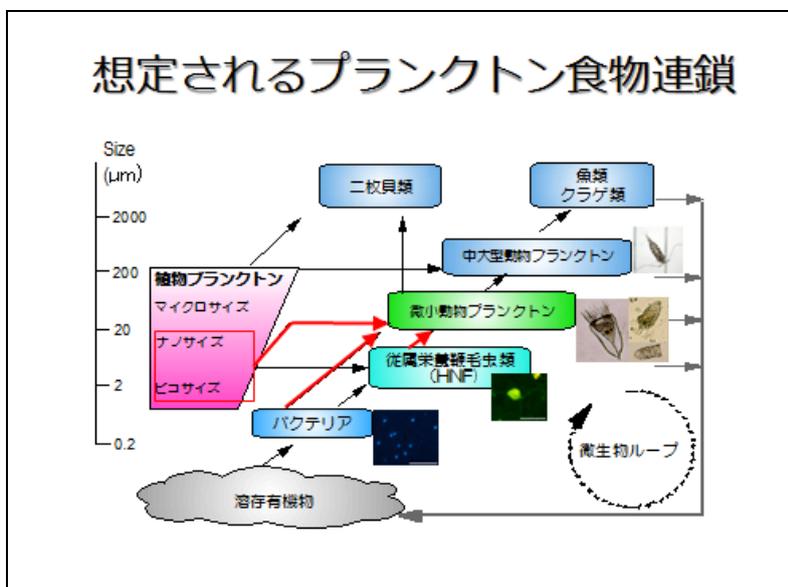
内容

1. 微小動物プランクトンとは
2. 植物プランクトン・微生物の捕食者としての役割
3. 他の動物の餌生物としての役割
4. ミズクラゲ大発生との関係

次に、こういった微小動物プランクトンはどのような役割を果たしているのかの話に移っていききたいと思います。

まず、ここで想定される食物連鎖について少しお話しします。通常、植物プランクトンの位置は左側のピンクの枠のところであり、下から、小さいものから大きなものを順に並べています（ピコサイズ→ナノサイズ→マイクロサイズの順）。

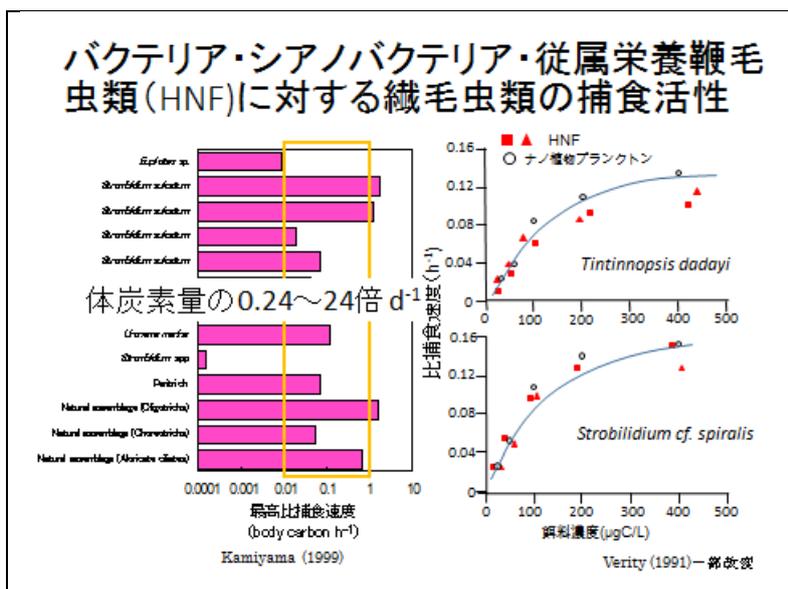
一方、海水に溶けている溶存態の有機物を利用する細菌がたくさんいて、これから始まるエネルギーの流れがあります。細菌を直接食べたり、あるいは細菌を良く食べる従属栄養鞭毛虫という生物がいて、これを微小動物プランクトンが捕食します。そして、微小動物プランクトンが上位の動物群に繋がってくるという



連鎖となります。逆に、個々の生物群から分泌・分解されてくる有機物が源になり細菌に利用されます。これが、一般的には微生物ループといわれている連鎖です。

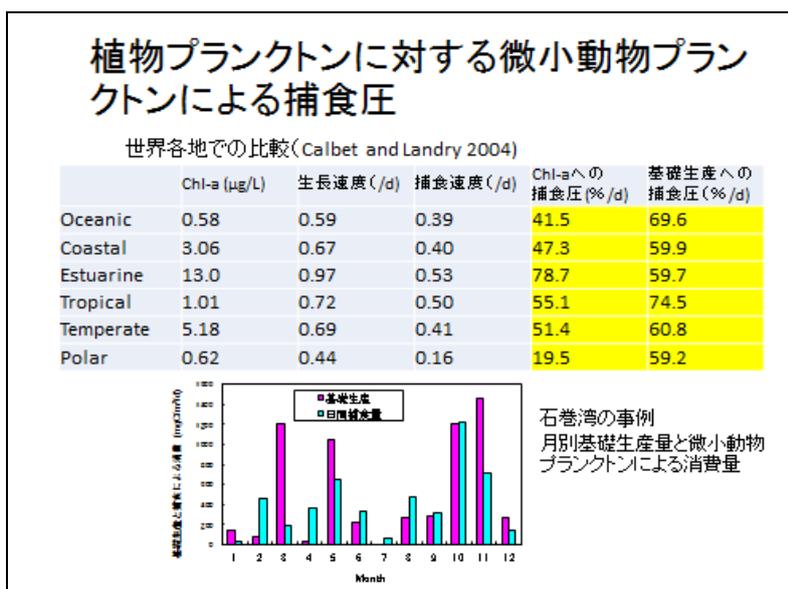
それではこれらの食物連鎖の中で微小動物プランクトンに至る 3 つの流れに注目したいと思います（図の赤の矢印）。まず、植物プランクトンはナノ、ピコ、マイクロに分けられます。ナノは 20 ミクロン以下、ピコは 2 ミクロン以下の小さいものです。微小動物プランクトンはこういった小さな植物プランクトンを利用したり、細菌および従属栄養鞭

バクテリアで調べても、十分量の餌があれば同じ程度を食べることになります。従属栄養鞭毛虫類 (HNF) を餌にした時の微小動物プランクトンの捕食と分裂に関する情報は非常に少ないので、右側の2つの図で簡単に示しています。横軸に餌濃度、縦軸に比捕食速度です。1時間当たり体に対してどのくらい食べているかを示しています。赤印が



HNF で白丸がナノ植物プランクトンです。同じような線に乗るということで、HNF も植物プランクトンと同じように食べられることを示していると思います。

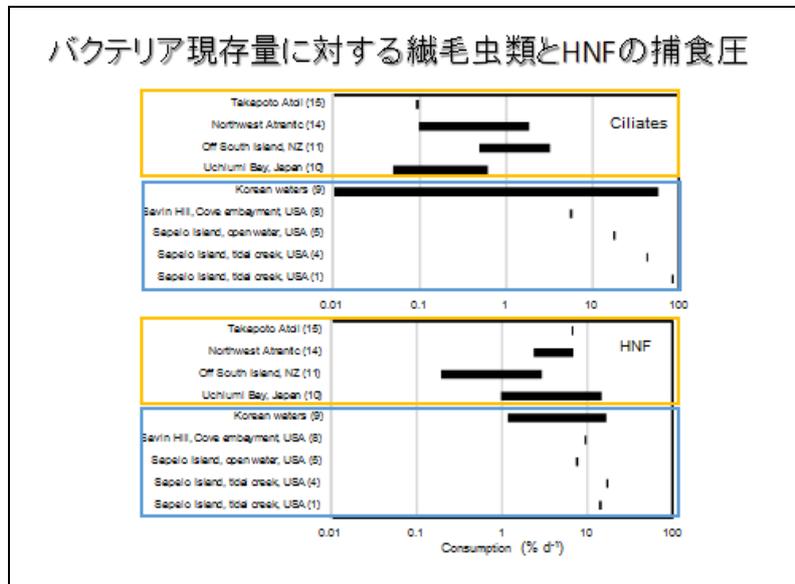
次に、植物プランクトンに対して微小動物プランクトンの捕食圧がどのくらい機能しているかについてお話しします。希釈法という方法がありまして、微小動物プランクトンが、どのくらい植物プランクトンの現存量 (Chl-a)、あるいは基礎生産量を消費しているかを測定する方法です。この方法は世界各地で試みられていまして、そのデータが



まとめられています。この黄色のところ 그게それです。左の列の数値から、だいたい植物プランクトンの現存量の20%から80%くらいが、この微小動物プランクトンによって食べられることがわかります。また、右の列の数値から、一日当たりに生産される植物プランクトンをどれぐらいの割合で食べているかがわかります。だいたい60%から75%くらいですから、かなり高いですね。これまで動物プランクトンが植物プランクトンを食べている、すなわち動物プランクトンが植物プランクトンの捕食に大きな役割を果たしていると言われてきていたのですが、実際のところ微小動物プランクトンがその役割をかなり担っていることを示しています。

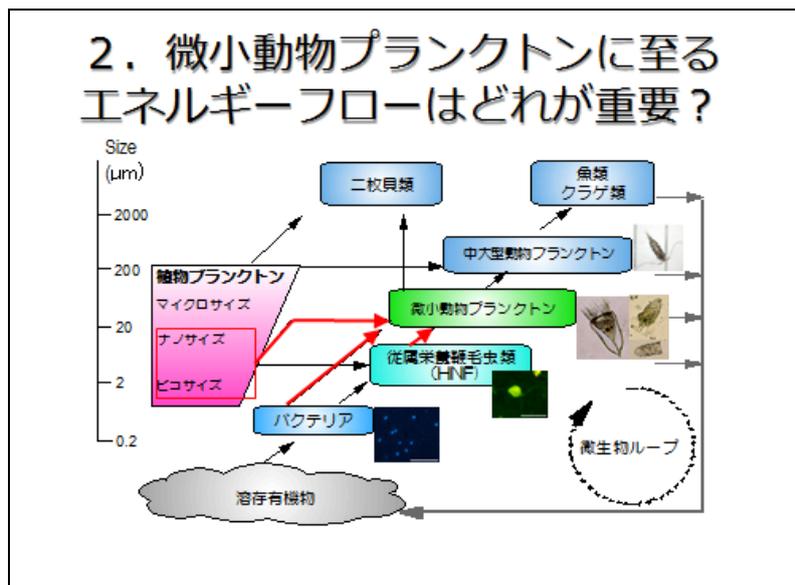
ちなみに下図は宮城県のデータですけれども、1日当たりの植物プランクトンの生産量と微小動物プランクトンの捕食量のグラフです。ところどころ消費量が生産量を超えているところがあり、こういったところからも微小動物プランクトンの捕食圧が、植物プランクトンに大きな影響を及ぼしているということを示していると思います。

次は細菌に対する繊毛虫の捕食圧です。繊毛虫が1日当たりどのくらい細菌の現存量を食べるかです(横図)。比較のためにHNFがどのくらい食べているのかというのも示されているので、ここで並べています。まず、この黄色い枠は沖合のデータです。沖合では、繊毛虫類の捕食量は1日当たり数%以下で大きくはありません。



よって、沖合において繊毛虫は、細菌の捕食者としてほとんど機能していないということになります。一方、HNFの捕食圧は繊毛虫よりも高くなっており、こちらの方が大きな役割を果たしていることになります。青枠は内湾を含めた沿岸で、細菌の100%近くを繊毛虫が食べている海域もあります。その値というのはこのHNFよりも大きくなることもあるので、沿岸では繊毛虫類は細菌の捕食者として、かなり重要な役割を果たすと言えるかと思えます。

以上、3つの連鎖の流れについてお話しましたが、微小動物プランクトンに至るエネルギーフローとしてどれが重要か、現場実験で定量的に調べたデータがありますので紹介したいと思います。



この実験を行った海域は瀬戸内海です。大阪湾、燧灘、あと広島湾で植物プランクトンの細菌からのエネルギー等の定量的な評価を行いました。

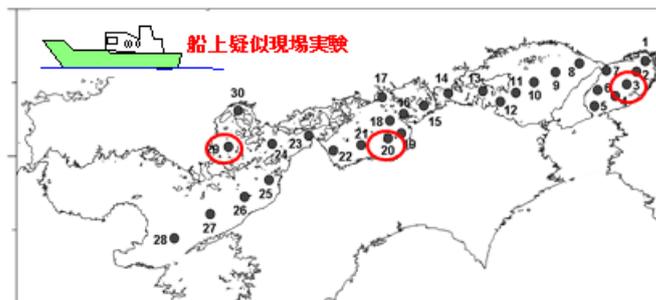
これら3つの海域で、現場実験をするわけです。疑似現場実験というのは船の上で、現場を想定して行う実験なので、このように疑似と呼んでいますが、基本的にはこの希釈法を使っています。

低コストの方法で簡単です。ただし、労力と根性が必要ですが、こまめに実験してデータを蓄積しました。

原理を簡単に言っておきますと、採取した海水を濾過して、濾過海水で何段階かに現場海水を希釈します。そして栄養塩を添加してから培養します。培養すると希釈の高いところは捕食者が少ないのでたくさん増えて、見かけの生長速度が高くなります。一方、あまり希釈しないところは捕食者が多くいるので見かけの生長速度は低くなります。

理論上、希釈率（生海水の割合）と見かけの生長速度は右下がりの直線関係となり、傾きが捕食速度で、Y軸切片が生長速度となります。ただし、この方法は植物プランクトンの生長が栄養塩の不足によって制限されない条件が必要となるため、栄養塩を添加したりしています。そういった意味で、ここのY切片というのは本来の現場での生長速度を表さないので、栄養塩を加えていない点（ピンクで示す）をこういうふうの一つ設けて、栄養塩を添加した線に平行に線を引けば、Y軸との切片が現場での生長速度になります。

微小動物プランクトンに至る植物プランクトン・細菌からのエネルギーフローの定量的な評価



疑似現場実験

1. 希釈法実験

▶ 複数の希釈海水(栄養塩添加)の植物プランクトン量(クロロフィルa濃度)の変化から微小動物プランクトンによる植物プランクトンの被捕食速度(g)と生長速度(μ_n)を推定(Landry and Hassett 1982)

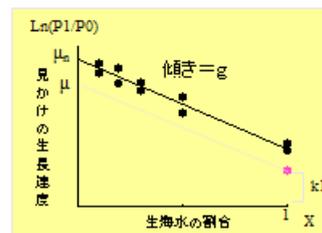
▶ 100%海水に栄養塩無添加区を設定することで自然状態での植物プランクトンの生長速度(μ)を推定(Landry et al. 1995)

▶ 微小動物プランクトンの増殖を考慮した植物プランクトンの μ と g の推定(一部)(Gallegos 1987, 3-point method)

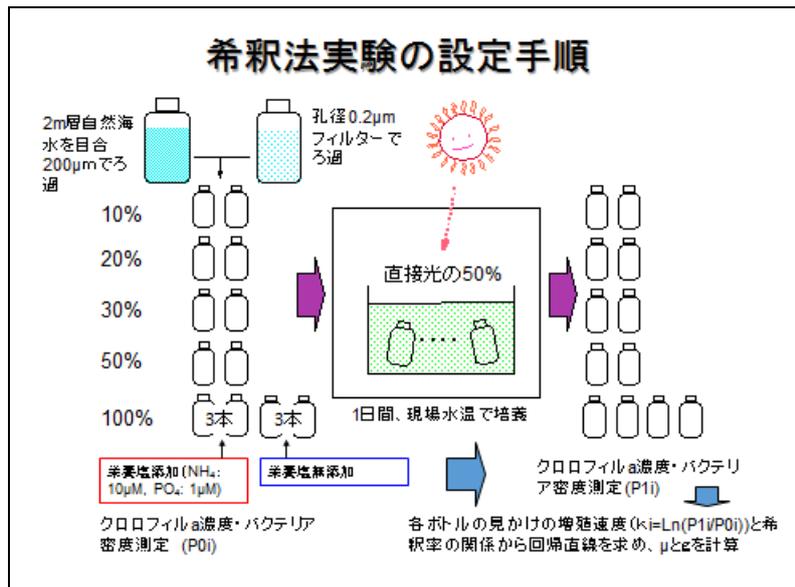
▶ バクテリアの生産速度と被捕食速度の推定への適用

2. 生体量変化による増殖・捕食量の推定

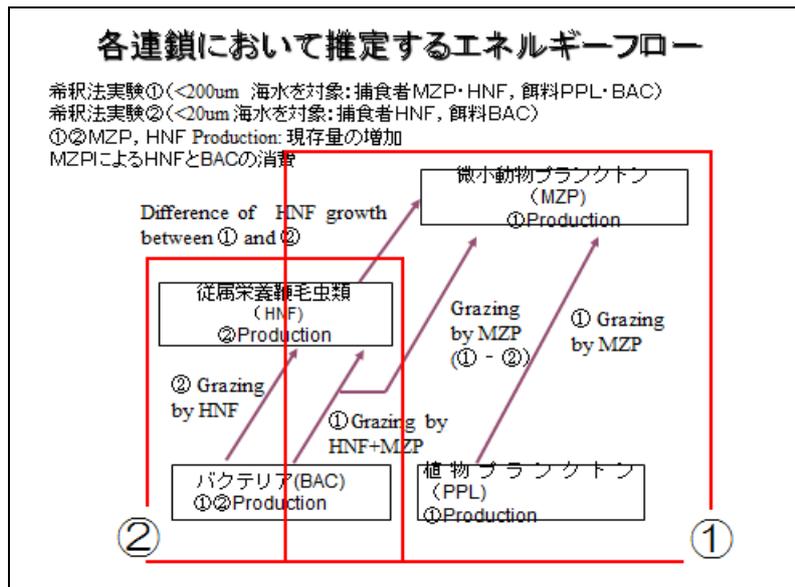
▶ 各生物の捕食者を除去した100%海水の各生物群生体量の培養前後の変化から生長速度を実測



栄養制限の他に動物プランクトンの増殖を考慮する必要がありますが、それも今回の実験では行っていません。本来は植物プランクトンの成長速度と微小動物プランクトンの捕食速度を求める方法ですが、対象を細菌とすることもできるので、今回はそれも試みました。あと、生物群生体量の増加から生産速度もそれぞれ求めます。こういった形で希釈段階を作って、1日培養して、それぞれの項目を測っていくということです。



次に、実験で求めるエネルギーフローの話です。細かい話になって恐縮なのですが、希釈法による実験を2回やります。希釈法実験については、餌料が植物プランクトンと細菌で、それを微小動物プランクトンとHNFが食べることを想定します。細菌の捕食者は微小動物プランクトンとHNFの両方です。この流れを測定する

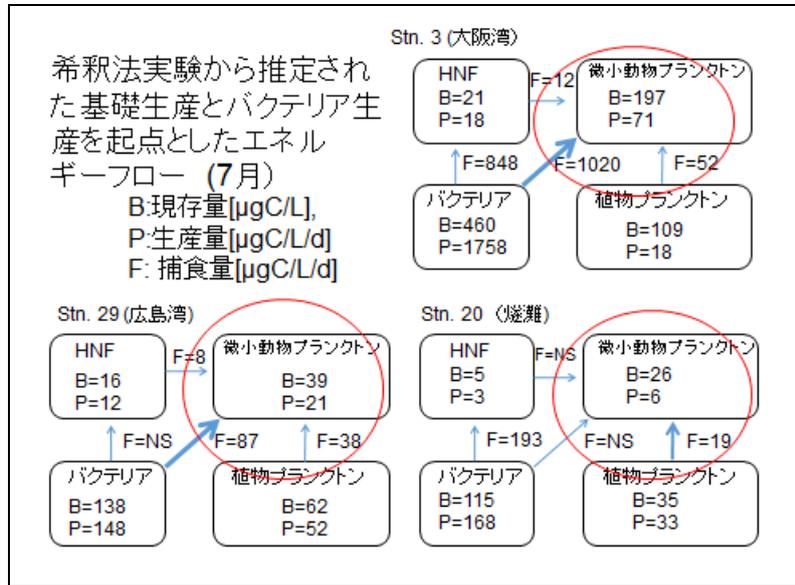


実験と同時に培養後の微小動物プランクトンとHNFの増加速度を測定します。大きな動物プランクトンを予め除いているので微小動物プランクトンの生産が算出できます。また、HNFの増加は微小動物プランクトンの捕食が加わった値となります。希釈法実験②では、20µmのフィルターを通り抜けた海水を試料として行います。餌料が細菌で捕食者はHNFとなります。培養後の細菌の増加速度とそれに対するHNFの捕食速度が求められます。同時に、培養後のHNFの増加を調べることで純粋なHNFの増加速度(② production)を求めます。この純粋なHNFの増加速度から上記のHNFの捕食圧が加わった増加速度を差し引くことで、微小動物プランクトンがHNFをどのくらい食べるかを算出します。このように炭素に換算したエネルギーの流れ(図の紫色の線)と培養前後の各生

物群の増加を組み合わせながら全体のエネルギーフロー求めます。

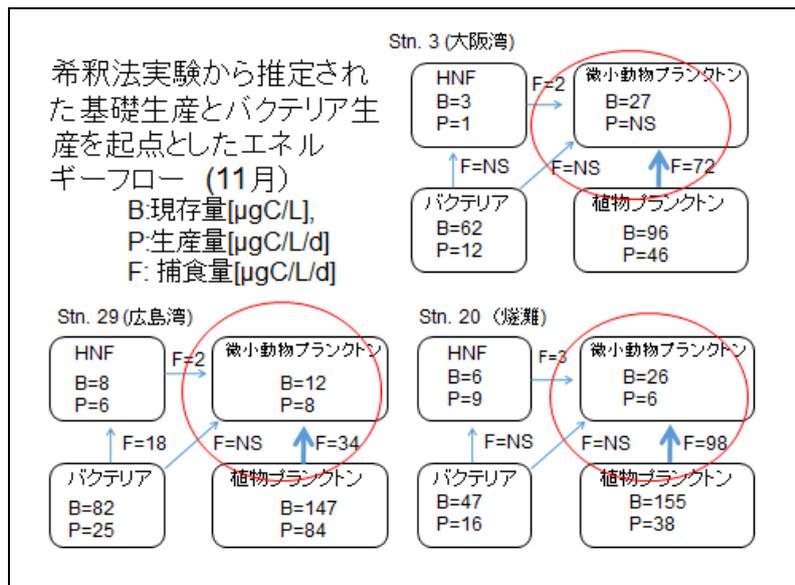
次に結果について話します（細かな点は省略します）。7月と11月の2つの時期の基礎

生産とバクテリア生産を起点としたエネルギーフローをまとめてみました。対象とするのは大阪湾、燧灘。広島湾です。Bは現存量、Pは植物プランクトンの生産量です。そして、Fが捕食量です。ここでフローといっているものが、このFです。7月の暑い時には、大阪湾の場合、非常に植物プランクトンの現存量が多かったわけですが、実は生産



量は少ないことがわかります。これは恐らく栄養塩がこの時期に枯渇していたためだと思えます。その代わりバクテリアの方は現存量が非常に多いし、生産量も高い状況にありました。一方、燧灘は両方とも少ないことがわかります。広島湾はその中間的という結果でした。一番注目したいのは、このエネルギーフローのFの値ですね。それぞれにこの微小動物プランクトンがどういうふう流れるかに注目しますと、大阪湾と広島湾では植物プランクトンよりもバクテリアからの流れが大きくなっています。ですので、この時期、非常に植物プランクトンが大阪湾は多いのですけれども、実はバクテリアからのエネルギーが微小動物プランクトンに多く流れていたことが分かりました。

秋の11月の結果を同様に見ると、植物プランクトンからの流れがどの海域でも卓越することが分かりました。微小動物プランクトンに流れるエネルギーの起点は、時期によってバクテリアとなったり、植物プランクトンとなったり、大きく変わるとともに、時期によってはバクテリアからのエネルギーフローが瀬戸内海では重要であることが、



今回の結果から分かりました。

2014年11月20日 瀬戸内圏研究センター学術講演会

内湾域の微小動物プランクトン -小さな体で大きな役割-

内容

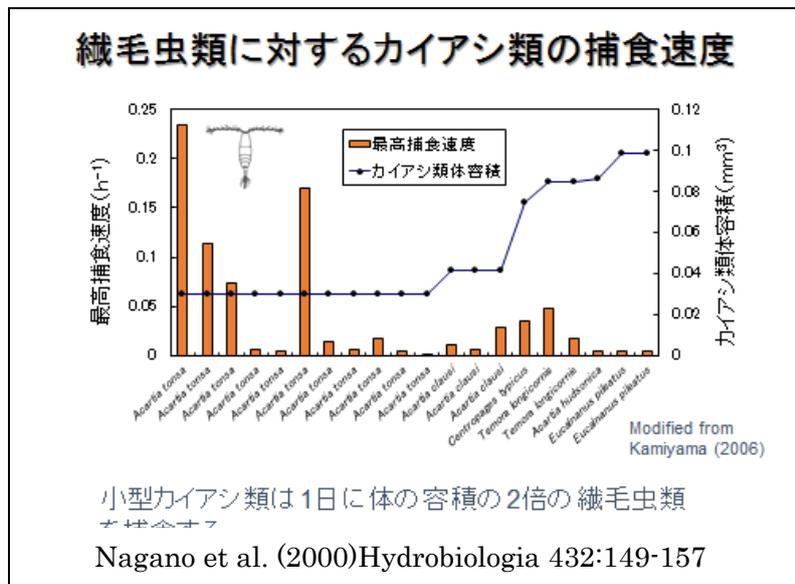
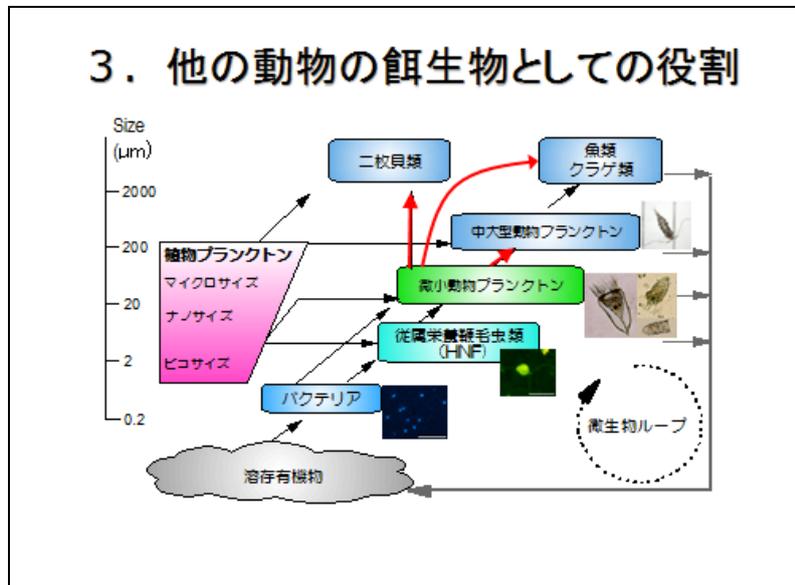
1. 微小動物プランクトンとは
2. 植物プランクトン・微生物の捕食者としての役割
3. 他の動物の餌生物としての役割
4. ミズクラゲ大発生との関係

次に、それらの微小動物プランクトンは他の動物にどのくらい餌として貢献しているかという話です。

先ほどの食物連鎖のエネルギーフローの中で、赤い矢印に注目します。まず流れとしてはこの中大型の動物プランクトン（カイアシ類など）ですけれど、二枚貝への流れ、そして、直接魚とかクラゲに行く流れもあります。この部分は少し特殊かも知れませんが、データがありますので、それを紹介いたしま

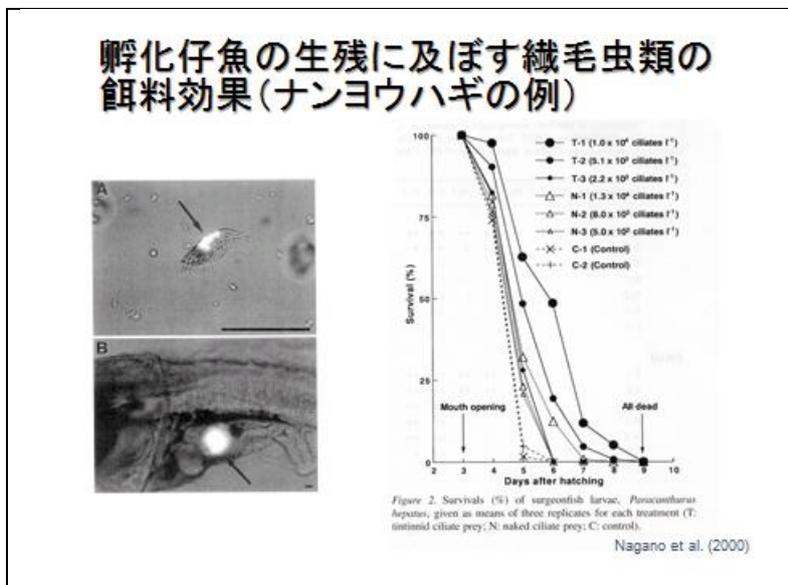
す。

まず、カイアシ類です。これは一番主流になるところではないかと思いますが、これをまとめたものです。図の横軸に示すようにカイアシ類にはいろいろな種類があります。青色線はカイアシ類の種類毎の容積を示しています。そして、小さいものから大きいものと、左側から順に並べまして、体の体積に対して1時間当たりどのくらいの捕食速度を示すか、棒グラフで表しています。このように、小さいものが高い捕食能力を持っていることが分かります。図の値からだいたい1日に体の容積の2倍の繊毛虫をこの小型のカイアシ類が捕食することが分かります。実際に植物プランクトンはカイアシ類の重要な餌なのですが、同じように与



えた時に、選択的にこういう繊毛虫類を食べるとい結果もありますので、繊毛虫のような微小動物プランクトンがカイアシ類の重要な餌になっていることを示していると思います。

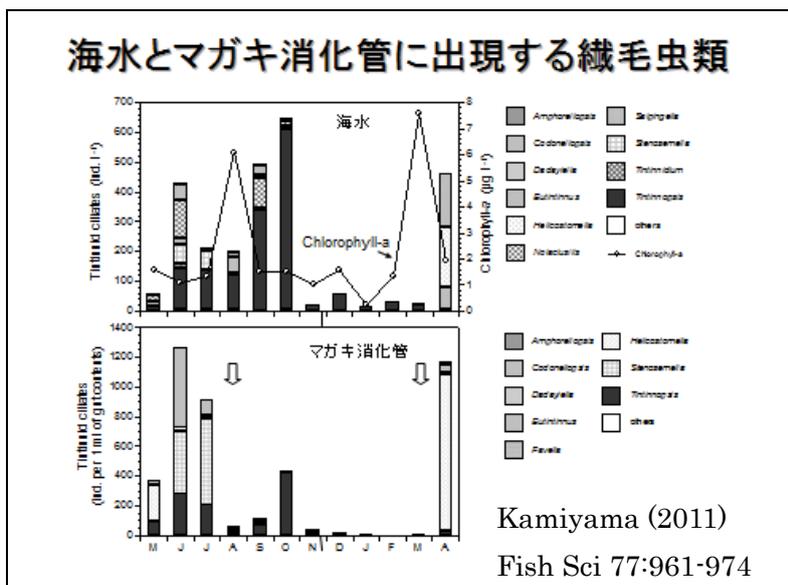
次に魚の餌としての貢献の話です。繊毛虫は体がすごく柔らかいので魚に食べられると、胃の中に形として通常は残りません。殻のない内容物が胃の中に残ります。そこで、予め繊毛虫に与える餌に蛍光物質を付けて、それを繊毛虫に食わせて、繊毛虫自体をこうやって光らせておきます。そうして、蛍光を付けた繊毛虫を魚に与えると、魚の



消化管の中に蛍光があるということで、実際に繊毛虫が食べられていることが分かります。右のグラフは、繊毛虫を培養して、孵化したばかりの魚に（この場合はナンヨウハギですけれども）繊毛虫を与えた時のナンヨウハギの生残率の変化を表しています。点線が餌を与えていない条件で、他が餌をいろいろな密度で与えたものです。どんな密度で与えても結局のところは9日目には死んでしまいましたが、繊毛虫を餌として与えた場合には、4日程度の延命効果があることが分かりました。

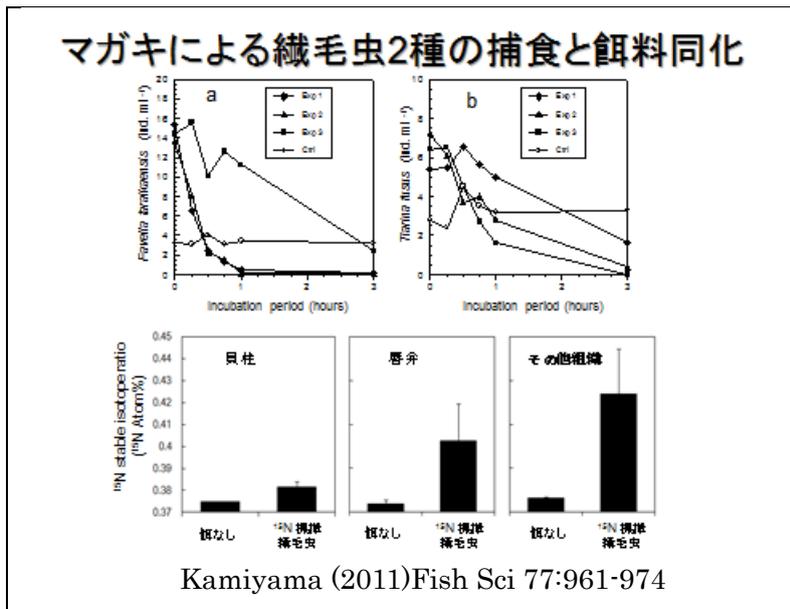
恐らくこのような繊毛虫は海水の中にいっぱいいるので、遊泳力のない魚が遭遇できる餌としては重要になると思います。こういう頻りに食べられる餌で、とりあえず生存することによって、重要な餌に遭遇できる機会を増やす、繊毛虫はこういうための貢献をしているのではないかということが、この結果から推察されました。

次に貝類の餌としての貢献です。まず、現場に吊るしたカキがお腹の中に繊毛虫とかの殻がどのくらい残っているかというのを調べたものです。右のデータ



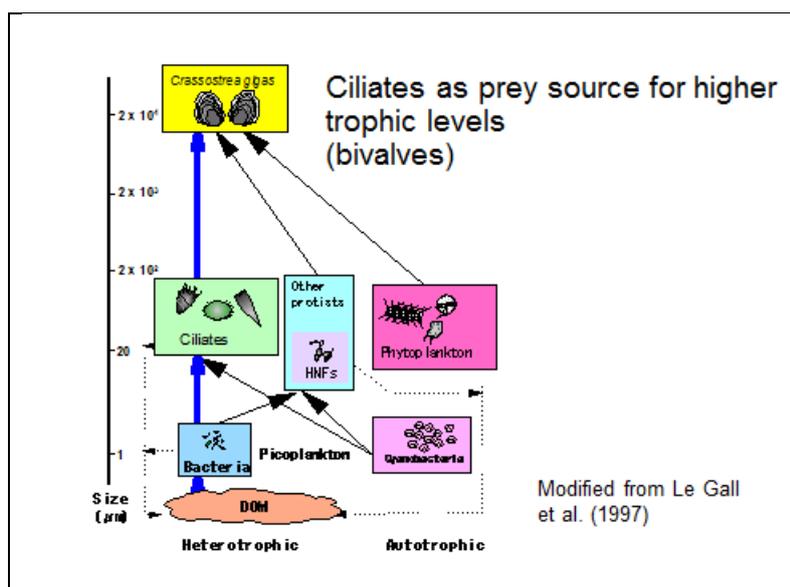
ですが、毎月、カキを採取してきて、消化管の中から注射器で内容液を取って、繊毛虫を数えた結果です。上が海水中の繊毛虫の出現状況です。上と下の変化はだいたい合っています。繊毛虫が多い時期にカキは繊毛虫類を多く食べているのが分かります。植物プランクトンの量（上の図の白丸実線）が多い時期には、下図の矢印のように食べられる繊毛虫は減っています。恐らくカキは現場で、植物プランクトンが重要な餌であることが分かるのですけれども、それが少ない時には、繊毛虫のような原生生物を餌として、利用しているということが、ここから分かりました。

また、繊毛虫を培養して、カキに餌として実際に与えました。図はマガキに繊毛虫を与えたあとの繊毛虫の変化ですが、このように食べられていることによって急速に減ることが分かりましたし、この与えた繊毛虫に安定同位体（今回は普通の自然界に存在している重い窒素 N^{15} を用いた）を標識して、それを餌として与えますと、カキの組織



の中で安定同位体が増加するということが見えたので、実際に食べた餌を体の中に栄養として取りこんでいるということが、確認できました。

二枚貝が餌として、繊毛虫とか微小動物プランクトンを利用していることに、どういう意義があるのでしょうか？カキのような主な二枚貝は基本的にバクテリアとか小さいものは餌として利用できないと言われていますが、実は、繊毛虫らが間に入ることによって、これらのエネルギーを効率的に利用しているということが分かってきました。こ



ういった海域で、バクテリア、シアノバクテリア（バクテリアサイズの藍藻類）と繊毛虫

がいることによって、卓越した量のカキの生産が支えられていることを、これは説明していると思います。

2014年11月20日 瀬戸内圏研究センター学術講演会

内湾域の微小動物プランクトン -小さな体で大きな役割-

内容

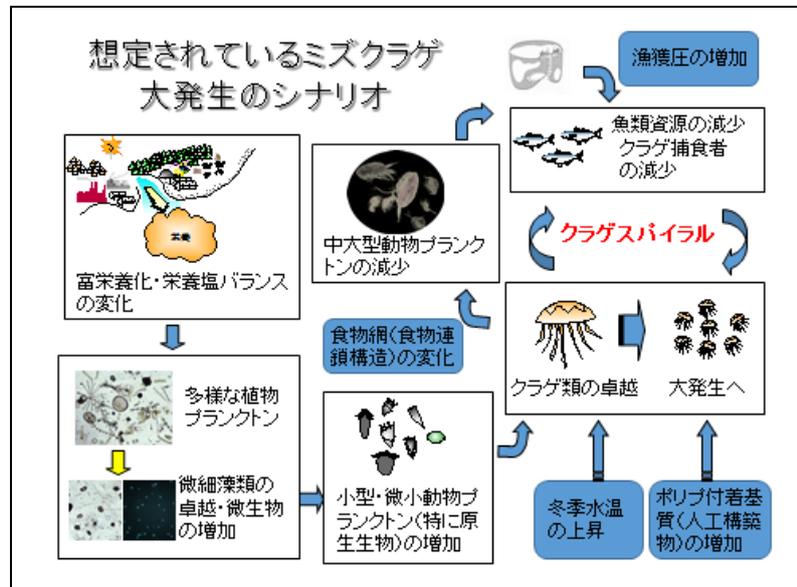
1. 微小動物プランクトンとは
2. 植物プランクトン・微生物の捕食者としての役割
3. 他の動物の餌生物としての役割
4. ミズクラゲ大発生との関係

最後に、ミズクラゲとの関係の話に移りたいと思います。

先ほど本城先生の方から話がありましたクラゲスパイラルという話で、これ広島大学の上真一先生が提唱された話だと思うのですが、クラゲの大発生にはだいたいこの4つの要因が関わっていると言われています。

まず、ミズクラゲというのは、通常、ブカブカ浮いているメデューサが冬にはいな

くなくなってしまうのですが、温暖化で冬の水温が上がることによって、それが非常に長い間漂っていて、その後の生産の増加をもたらしているということが一つ目の要因、メデューサがプラヌラという幼生を出して、それからポリプになるのですけれども、ポリプが付着しやすい人工的な護岸が近年増加しているということが二つ目の要因、魚をいっ



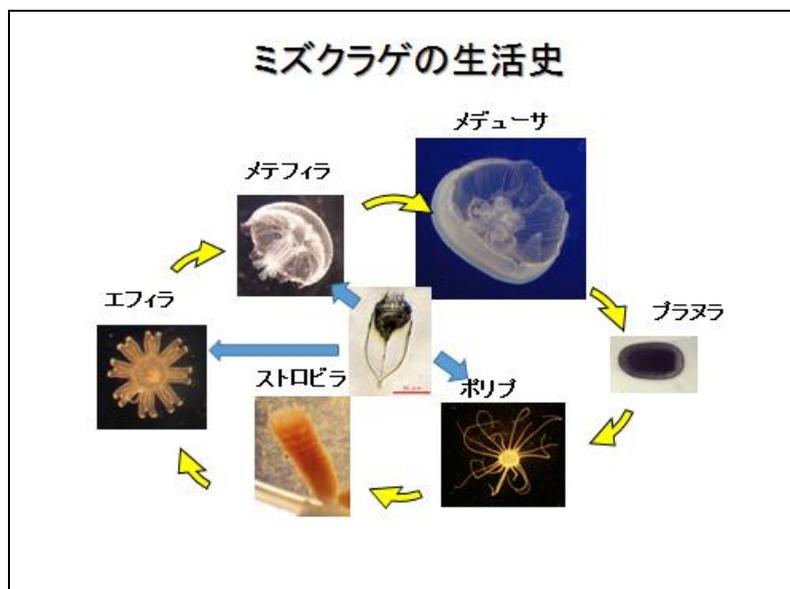
ぱい獲ることによって、クラゲの捕食者となる魚を減らすことになり、その増加を招いているということが三つ目の要因です。

最後の要因として食物網の変化があげられています。河川からの栄養流入が増えて植物プランクトンが増える。特に微細藻類が増えると、微小動物プランクトンとか、微小動物プランクトンを利用するような中型、小型の動物プランクトンが増える。これによって、大型動物プランクトンがクラゲの餌になるので減って行きます、こういった小さな動物プランクトンが増えて大きいものが減るとい、こういったバランスの変化がクラゲスパイラルに効いていると考えられています。

食物網の変化は動物プランクトンの組成として表れているかもしれません。瀬戸内海の各地の中大型と小型の動物プランクトンの組成がクラゲの発生海域と被発生海域で違いがあるのかどうかを調べました。炭素換算した生体量で中大型動物プランクトンに対する微

小動物プランクトンの比をみると、クラゲがたくさん出現するという大阪湾でかなり値が高くなって、少ないといわれている隠灘が比率は低くなっています。こういったことから、動物プランクトンの組成比がクラゲ発生海域の一つの特徴になっている可能性があります。

クラゲ生活史の中で、この微小動物プランクトンがどのように関わるかを見てみます。ここでは、繊毛虫の餌としての役割に注目します。繊毛虫は小型なので考えられるのは、幼生期への餌としての役割です。まずポリプです。クラゲの生活史の中で、秋口にこういった形でクラゲから出されたプラナラ幼生が何かに着して、イソギンチャクのような形状のポリプに変化します。これがポリプなのですけれども、これがプランクトンをどのように捕食するかという捕食の様子を映像でお示します。



まず、比較のためにアルテミアといわれる中大型動物プランクトンサイズの動物を与えます。こうやって触手で絡んで捕ります。繊毛虫は非常に小さいのですが、ポリプは触手に触ったのを感じて捕獲し、口の中に取り込みます。行動はかなり素早いです。しかし、植物プランクトンには何も反応を示さないようです。



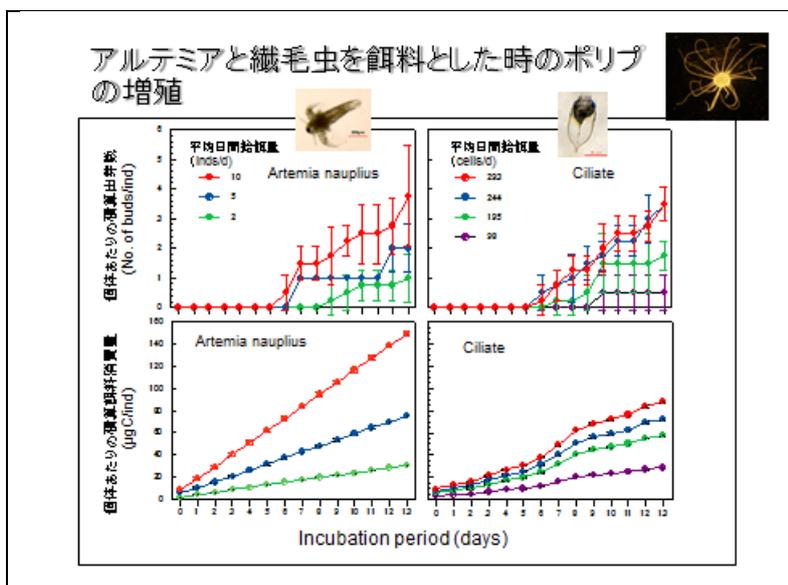
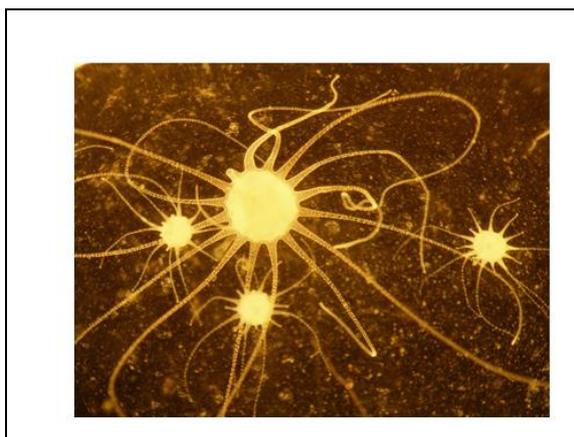
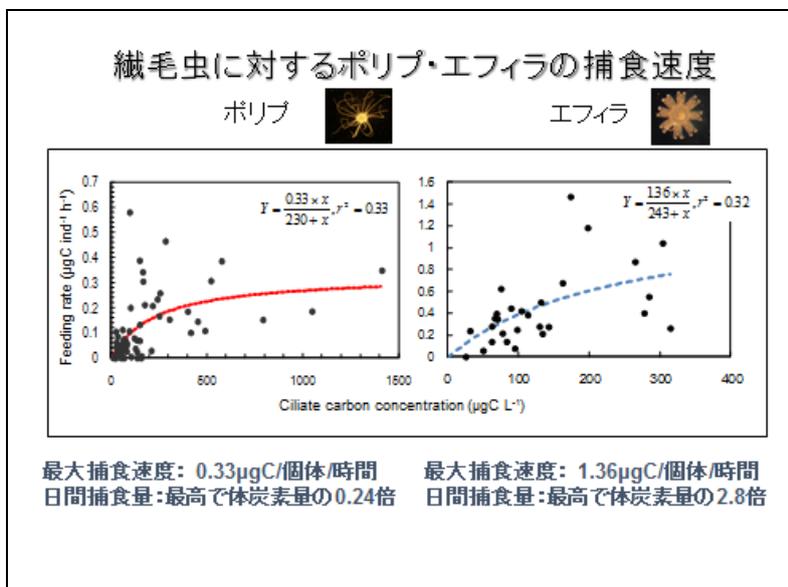
ポリプから生まれるのがエフィラといわれる子供のクラゲです。ポリプとともにエフィラにも繊毛虫類を餌として与え、その食べる速度を調べました。横軸が与えた繊毛虫の密度

です。縦軸が捕食速度（1個体が1時間にどのくらいの炭素量を取り込むか）です。このように餌が多くなるほど取り込む量が増えているので、しっかり食べていることが分かります。おおよその捕食速度も算出することができました。ポリプで1日に体の24%ほど食べるということ。エフィラに関しては、1日に体の2.8倍の炭素を取り込む。すなわち、かなりたくさん食べるということが分かりました。

ポリプはクラゲの世代の中で無性的に増殖できる唯一の世代で、クラゲが増加する時には、このポリプの増加が非常に重要ではないかと考えます。こういった形で体の一部が出芽で分身を作って新たなポリプを作るといった方法で無性的に増えることができます。

繊毛虫を餌とした時に、こういった1個体のポリプが何個、自分の分身を作るかを記録することで増殖の仕方を調べました。右のグラフが繊毛虫を与えた場合で、左がアルテミアを餌とした時の結果です。最初、両方の餌料でほぼ同じように増えるまでのタイムラグがあったのですが、そのあと、ポリプが餌の密度に応じて増えていくことが観察されました。

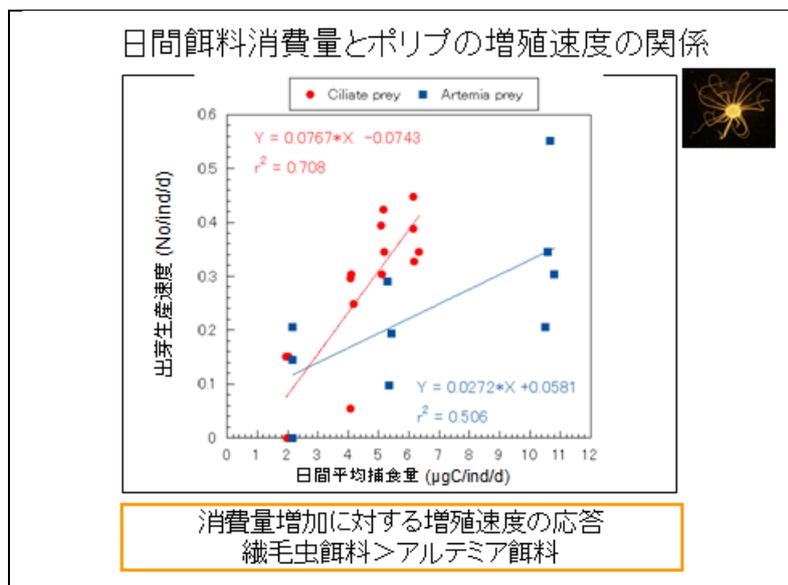
繊毛虫を餌とした時に、こういった1個体のポリプが何個、自分の分身を作るかを記録することで増殖の仕方を調べました。右のグラフが繊毛虫を与えた場合で、左がアルテミアを餌とした時の結果です。最初、両方の餌料でほぼ同じように増えるまでのタイムラグがあったのですが、そのあと、ポリプが餌の密度に応じて増えていくことが観察されました。



左右の下の図がそれぞれの餌の時の捕食量の推移です。

エフィラに関しましては、成長に応じて傘の径が変わりますので、その径の増加で与えた餌による成長の違いを見ました。概ね、ポリプと同様にアルテミアを餌とした時と同様に、繊毛虫を餌としてよく成長することが確認されました。こうしたことから、ポリプとエフィラの成長に繊毛虫がしっかり貢献できるということが分かりました。

ポリプに関するこの実験で与えた餌の炭素換算捕食量と増殖速度（ポリプの分身を作る速度）の関係をみてみますと、アルテミアと繊毛虫を餌とした時も正の直線関係に当てはまります。そして、両方の餌の時の傾きを見るとアルテミアよりも繊毛虫を餌とした時の傾きが高くなります。逆に、1 個体あたりのポリプの大きさは、繊毛虫よりも



アルテミアの方が大きくなることがわかりました。これが何を意味するかというと、アルテミアのような餌が増えてきた時にポリプの体が大きくなります。自分の分身、子供のポリプを作るとのことよりもサイズを大きくする方にエネルギーがいきます。一方、繊毛虫を餌とした場合には、逆に自分の分身を作る方にエネルギーを多く使うということが分かりました。要するに、繊毛虫がたくさんいる海域では自分の分身を効率的に作ることができ、ポリプが増えやすい環境にあるということが推察されました。

さらに成長段階が進むと小さいクラゲになります。稚クラゲに繊毛虫類を餌として与えた実験を 2 回行いました。比較としてアルテミアを餌として与えた場合には、大きくなってきますけれども、繊毛虫を与えた場合は、餌を与えてない場合とほとんど同じように減っていきます。実際には、食べてはいるのですけれども大きくなれないようです。ということは、繊毛虫は食べたとしても、このクラゲ状態まで大きくなると、成長に見合うだけのエネルギーを得ることができないということが考えられました。

以上、このスライドにクラゲについての話をまとめてみました。ポリプ、エフィラというクラゲの幼生時期には微小動物プランクトンを活発に捕食して、よく成長します。特に、この繊毛虫類はポリプの増殖を促進するということが分かりました。ところが、稚クラゲになってしまうと餌料価値が低下するようです。ということから、ポリプ、エ

フィラの生産・増殖に対してこの微小動物プランクトンが重要な役割を果たしているということが言えると思います。

以上の結果から、食物網の変化の観点からミズクラゲの発生機構を考えたのがこの図です。先程申し上げたとおり、クラゲの大発生は中大型動物プランクトンを減らすという方向にあります。これらは微小動物プランクトンの捕食者でもありますので、捕食者の減少によって微小動物プランクトンが増えることになり

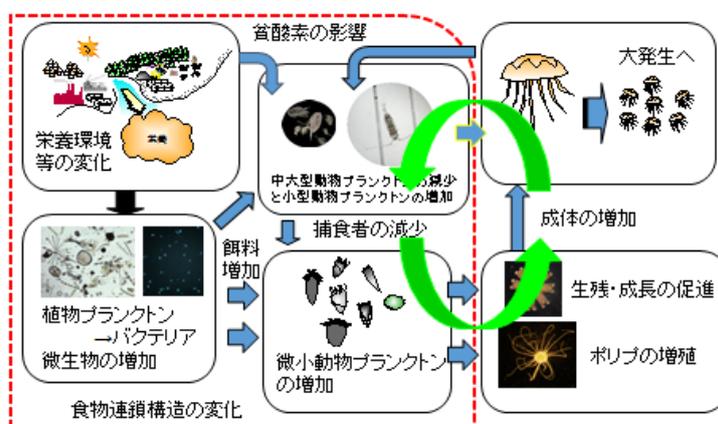
ます。微小動物プランクトンの増加によってポリプの増殖が促進され、エフィラの生産を促すことにつながります。これはクラゲのさらなる増加を促します。食物網の中でのこういったクラゲスパイラルが起きているのではないかと考えられました。

クラゲ各ステージでの微小動物プランクトンの餌料価値

- ◆ ポリプ、エフィラは微小動物プランクトンを活発に捕食、増殖/成長する
- ◆ 繊毛虫餌料はアルテミアよりポリプの増殖を促進
- ◆ メテフィラ以降になると微小動物プランクトンの餌料価値が低下

ポリプ、エフィラ期の生残、増殖に微小動物プランクトンが重要な役割を果たしている

新たな情報に基づく食物連鎖構造とミズクラゲ発生機構の関係



以上の話を、1枚のスライドにまとめてみました。微小動物プランクトンは、あまり皆様に馴染みのない生物ですが、植物プランクトンの主要な消費者となり、バクテリアやその捕食者である従属栄養繊毛虫の捕食者として機能していると言えます。また、実際のエネルギーフローの収支を見てもその場の環境や時期によって異なりますが、

かなり植物プランクトンだけでなく、バクテリアからのエネルギーを利用しているということが分かりました。

あと、繊毛虫は他の動物（小型カイアシ類、カキ、魚類仔魚）の餌としても機能していると同時に、クラゲの大発生にも貢献しているということが分かりました。

以上、まだまだいろいろな役割があるのですが、今回は瀬戸内海ということなのでその場に深く関係する部分に限って、選んで話をさせていただきました。

以上でお話を終わりたいと思います。ありがとうございました。

[本城先生]

ありがとうございました。私達は魚を食べるわけですが、その魚を増やしていく基になるものは、だいたい植物プランクトンであると、これまで考えていたのです。しかし、1980年代ぐらいから、バクテリアを食べながら魚の生産の方に繋がっていく流れもありますよということが分かってきました。そして、神山先生はそのバクテリアをもとにして増えて行く食物連鎖で活躍する微小動物プランクトンの研究の成果をかなり詳しく話されました。さらに、私はバクテリアから直接微小動物プランクトンと思っていましたが、それもありますけれども、また横から植物プランクトンの一部も食べているという新しい知見を本日知りました。

クラゲの話も面白いですね。実際に燧灘の方ではカタクチのシラスが捕れなくなったりしており、カタクチの資源量が減ってきています。それが、このクラゲのスパイラルとどのように関係しているのかには興味があります。

皆様の方からご質問等がございましたら、お願いします。

2014年11月20日 瀬戸内圏研究センター学術講演会

内湾域の微小動物プランクトン -小さな体で大きな役割- まとめ

- ◆植物プランクトンの主要な消費者
- ◆時に、バクテリアやその捕食者である従属栄養繊毛虫の捕食者として機能
- ◆微小動物プランクトンは植物プランクトンだけでなくバクテリアからのエネルギーを利用。状況に応じて変化
- ◆繊毛虫餌料は小型カイアシ類の重要な餌料となり、カキや魚類仔魚の餌としても機能
- ◆ポリプ期やエフィラ期の餌として機能することで、クラゲ大発生への貢献の可能性あり。

[質問者]

たいへん興味深い話をありがとうございました。実は昨年まで水産試験場におりまして、燧灘のシラスの調査を行いました。昨年は、まあ今年よりは少しましな状況でした。だいたい動物プランクトンの量、特に小型のコペポータが少ない時期には、シラスや魚類が少ない傾向にあることが分かっています。先ほどお話を聞かせていただきました微小動物プランクトン、これも非常に重要なものですね。例えばシラスであれば、マイクロメータよりも小さいプランクトン、たぶんコペポータであればノウプリウスぐらいまでは食べるでしょうから、微小動物プランクトンも当然サイズから判断すれば、十分食べているのかと推測されます。

それで今後調査を組むに当たってですね。この微小動物プランクトンを評価する上で、現場でいろいろなやり方があるかと思うのですが、普通のプランクトンネットを引いても、なかなか網を通過して難しいと思います。そうすると海水そのものを採取してきて、それを濾過して、それで微小動物プランクトンを評価していく方法しかないのでしょうか。それとも、もう少し簡便な方法があるのかどうか、もしそのへんご存知でしたら、教えていただければと思います。

[神山先生]

はい。言われたように動物プランクトンをネットで分けて、簡易的に調べる方法があれば非常に良いのですが、いまだにないのですよね。それで、私達も海水を採ってきて、数を数えながら、また体の大きさを測って、それから1個1個のバイオマスから炭素量を換算して、それで海水中にどれぐらい存在するかを出している状況なのです。目的によっては、簡易的にやる方法はあると思いますが、この場で、こういう方法が良いですとは言えないところです。たぶん、ノウプリウスだけを採るのであれば、目の細かなネットで採れば、ある程度は評価できるし、恐らく瀬戸内水研の方が行っているのではないかなと思います。また、こういう原生生物を採取する良い方法はないので、私もどなたかに教えてもらいたいほどです。申し訳ないです。

[本城先生]

そこが難しいから研究が遅れたのでしょうかね。本当に論文の少ない分野だと思います。多田先生、どうですか今の話を聞いて、どうお感じになりますか。

[多田先生]

面白い話をありがとうございました。勉強になりました。僕もちょうど神山さんと年がそんなに変わらないので、若いころ微小動物プランクトンがすごく注目されて、ホットな分野だというのが分かっていたのですけれども、話を聞けば聞くほど複雑で、避けて通ってここまで来てしまいました。今日、その分野をまとめて話していただいて、イメージが

もう少しクリアになってきました。

やはり動物プランクトンもマイクロ動物プランクトンとネット動物プランクトンで、すなわち微小動物プランクトンとネットサイズの動物プランクトンとに分けた時に、いつも海の生態系で考えなくてはいけないと言われる現存量とエネルギーの流れは、必ずしも一致していないことです。今の話しでも微小動物プランクトンは炭素量で見れば、でっかい動物プランクトンと小さい動物プランクトンでは、炭素量で 10 : 1、10 倍少ないのに、実はこうした少ない現実の中でも結構連鎖は回るのでよね。そのへんのところを考えると、やはり訳が分からないように僕はなってしまうのです。一つ知りたいことはクラゲの話のところで、微小動物プランクトンと大型のプランクトンの比をとって、高い比のところではクラゲが良く発生する海域と一致するという話でしたが、それでは、瀬戸内海が 40 年かけて栄養塩濃度が下がって行って、今、「魚が獲れない。獲れない」と言われるようになってきていますが、僕がさっき示したみたいに栄養塩が減ったから、植物プランクトンが減ったのでしょうかという単純なものではないですよ。40 年かけて瀬戸内海の小型と大型の動物プランクトンの比というのはどう変わってきているのでしょうかね。

[神山先生]

分からないですよ。微小動物プランクトンのデータは非常に限られていまして、過去のデータもないからです。私がクラゲの仕事で本当はそこをやらなくてはいけなかったのですけれども。結局、過去のデータがないので、現状でクラゲの出ている、あるいは出していない海域の現時点の比較で、クラゲが発生しやすい環境の指標はないかと解析してみたところ、ふたつの動物プランクトンの存在量の違いが出てきたのでご紹介しました。おっしゃるとおり、そういうことを本来やりたいのですが、過去のデータがないので、どうしようもないところです。

[多田先生]

ありがとうございます。そのへんのところに今のこの魚が獲れないという問題のヒントがあるのではないかと、僕は思っているのですが、もう少し考えてみたいと思います。ありがとうございました。

[本城先生]

他になにか質問はありませんでしょうか。はいどうぞ、岡市先生。

[岡市先生]

単純な質問で申し訳ないのですが。燧灘で今シャコとイガイが獲れない。これなぜ獲れないのかですね。多田さんの文章には長い期間での海底の泥質の改善、水質の改善が進んだとあります。しかし、40 年前に比べてシャコとイガイはまだ回復していない。私はそ

れを何とかしたいということ。それは水産課の藤原さん達にも言っているのですが。

[本城先生]

水産試験場ではこの質問に答えることができないでしょうか。どなたでも良いですが、なかなか難しい問題のようですね。彼らは何を食べるかでしょうかね。

[岡市先生]

これは神山さんの今の発表と、それから水産試験場の研究成果とが繋がって行った先にね。こういうような水産の問題が解決するように思います。

[本城先生]

きっとそうだと思います。ところで、カキが微小動物プランクトンを食べているのだということを初めて私は知りました。驚きですね。植物プランクトンだけがカキの餌ではなかったということもあるのですね。岡市先生が質問されましたシャコとイガイの減少も餌だけの問題ではないかも知れませんが、そういう餌の研究も強化していかないと解決してこないと思います。どうぞ一見先生。

[一見先生]

今も、本城先生が言われたところですよ。東北の方でカキの餌料として微小動物プランクトンがどれだけ使われているか。実際のところ餌として、微小動物プランクトンと植物プランクトンの占める割合はどれぐらいなのでしょう。

[神山先生]

炭素量に換算すれば、やはり植物プランクトンの方が多いですね。ただ季節によって、かなり植物プランクトンも減る時期があります。特に北の方の話ですが、夏場に栄養塩がかなり枯渇するので、微小動物プランクトンは夏場に増えて、正確な数字は覚えていないのですけれども、基本的に植物プランクトンを超えることはなかったと思うのですけれども、他の微生物も含めた値ですが、全炭素量の数割を微小動物プランクトンが占めていることがあります。たぶん北の方はブルームがはっきりしているので、春のブルームの時期は微小動物プランクトンの餌としての役割は重要でないかも知れません。しかし、夏場は、かなり微小動物プランクトンが餌として貢献しているのかなというイメージを持っています。

[一見先生]

そうすると、その海水の中にいる植物プランクトンと微小動物プランクトンの割合は、そのまま餌として利用されるということですか。選択性はないのでしょうか。

[神山先生]

選択性は現場ではよく分からないですね。基本的に有毒なものでもないかぎり、そこにあるものは食べると思うのですけれども。

[一見先生]

柔らかさなので消化はたぶんそんなに悪くないと思いますね。

[神山先生]

はい。同化効率（食べたものの中で体の成分にした割合）も調べています。繊毛虫を実験的に与えて同化効率を調べましたけれども、植物プランクトン以上の値だったので、取り込みやすさは全然問題ないと思いますね。

[一見先生]

今、アサリをやっていますので、アサリが餌を食べていそうな直上水などを見ると、植物プランクトンがいるのですけども、良く分からない小さな原生動物もいっぱいいるのです。これらの原生動物は餌になっていないのではなくて、かなり利用されているのかなあと思っています。

[本城先生]

伊吹島のカタクチの話を少し私の方からさせていただきます。広島大学の上先生と瀬戸内海水産研究所の永井達樹さん、および河野さん達の本や報告書を読みますと、クラゲの問題はカタクチイワシの量に絡んでいると書かれています。しかし、上先生が漁師さんに聞いてみると、伊吹島のある燧灘では、クラゲはカタクチイワシの漁獲量がピークであった頃から現在と同程度の量で出現しているという、アンケート結果が出てきました。周防灘と豊後水道のクラゲは少し増えている傾向にあることが、その解析の結果としてあります。燧灘でクラゲの影響が昔と変わらないならば、カタクチイワシの減少はなんで生じているのかということになります。河野さんはカタクチイワシの獲り過ぎではないかと述べています。カタクチイワシは鹿児島、宮崎あたりで生まれて、そして黒潮に乗ってやってくるのだそうです。生まれた量は親の量でだいたい決まってくるから、獲り過ぎれば、やはり減るといふ、これが一つ原因としてあるだろうということです。もう一つは黒潮の軸が離接岸することによって、生まれた稚魚が入りやすい、入り難いということもあるわけです。ですから、伊吹島のカタクチイワシが一概にクラゲの影響というだけのことではなくて、産卵量と黒潮の問題も考えて、資源量を勘案していかないといけないだろうということです。

それではどうすれば良いかというと、カタクチイワシは卵を産んだ後が一番良い製品だ

そうですから、解禁日を遅らせて、親が生んでしまった後に獲るようにすれば、資源量を増やすことに繋がるのではないかと、河野さんは書いておられました。カタクチイワシの減少について、「クラゲ、クラゲ」という声を聞きますけれども、やはり漁獲のしかたも考えて漁をすれば、元に戻すことができることがあるのかも知れませんね。

三好さんには私が勉強したメモをおあげいたしますので、これを読んで漁師さんとお話をしていただければと思います。しかし、クラゲの量が現場できちんとまだ測られていないので、演繹的な手法での仮説でございます。実際にはクラゲを採って現存量を調べていかないと、帰納的な仮説になっていきませんので、そのあたりを含んで検討していただければと思います。

[神山先生]

はい、ありがとうございます。ご指摘のとおりではないかと思えます。我々の水産総合研究センターとして、その魚の資源とか、それに関わる場所を研究していかなくてはならないので、そのいただいた情報を十分考えながら研究に役立てていきたいと思えます。

[本城先生]

どうも神山先生、ありがとうございました。