

「沿岸海域の低次生産」

多田 邦尚（香川大学瀬戸内圏研究センター長）

[本城先生]

多田先生から「沿岸海域と低次生産性」のお話をさせていただきます。

[多田先生]

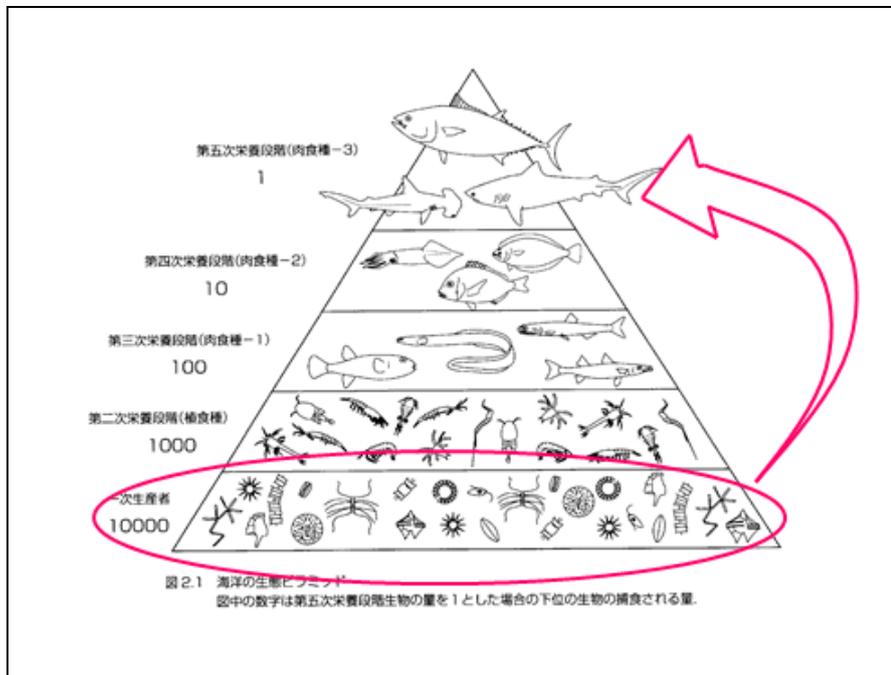


多田です。「沿岸海域の低次生産性」というタイトルでお話しさせていただきます。

下の図は海の生態系ピラミッドの図ですが、海では植物プランクトンがいて、その植物プランクトンが光合成をして増えて行きます。そして、植物プランクトンを食べる動物プランクトンがいて、さらにそれを食べる小型、中型魚、大型魚がいます。このように海には食う・食われるの関係があります。さっきの「イリコはなぜ少なくなったのですか」

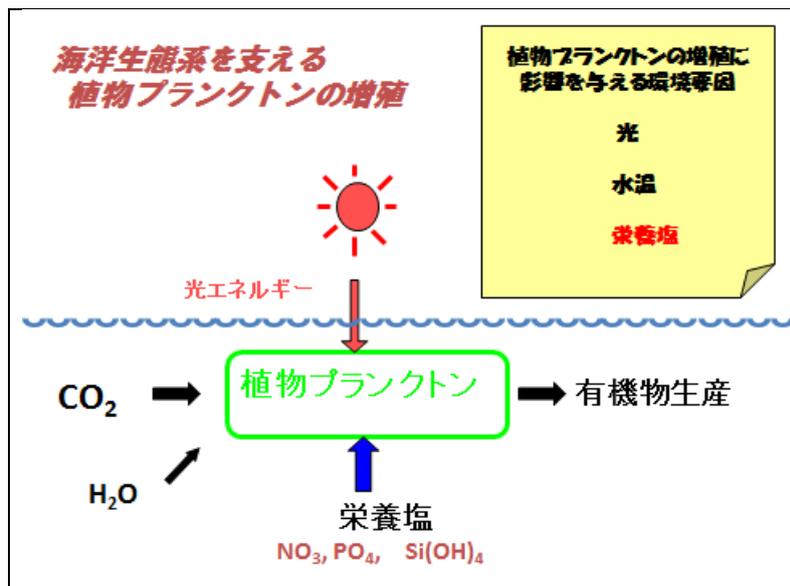
の答えにはなりません、単純に言えば、植物プランクトンが頑張ってくたくさん生産すれば、その上の生物達も豊かになるということが一般論として言えるわけです。

私達はこの植物プランクトンの生産量について調べているのですが、海洋の生態系、三角形のピラミッドの一



番下を支えている植物プランクトンが増殖する際に最も影響を与えている環境要因に、光、水温、栄養塩、この3つがあります。実はこの3つの中で、植物プランクトンの増殖に最も大きく関与するのが、栄養分、陸上でいう肥料成分の窒素やリンとされています。

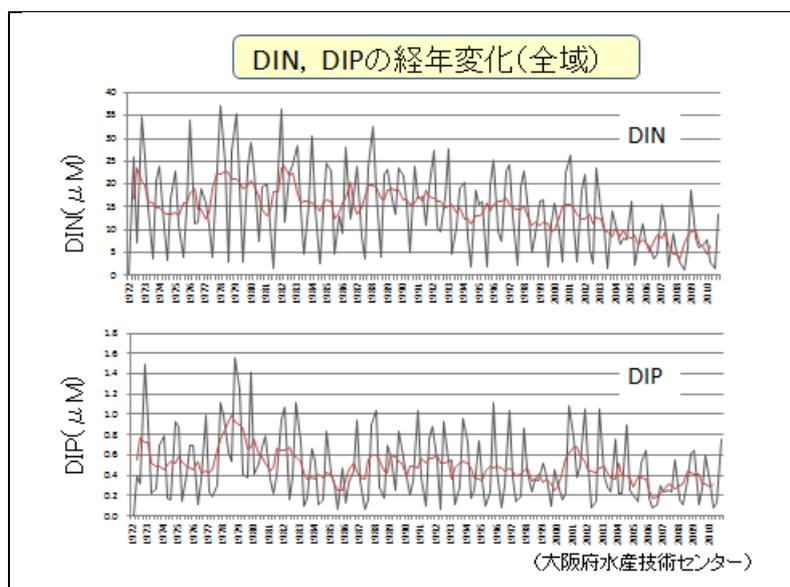
瀬戸内海に眼を移して見てみますと、実は高度経済成長期に富栄養化が進行して、海水中の窒素、リン濃度というのが非常に高かったです。その後、瀬戸内法ができて、総量規制などもかかってきて、この栄養塩濃度、窒素やリン濃度というのが、40年かけて徐々に下がってきました。一方、高度経済成長期も今も、光、水温というものが瀬戸内海ではほとんど変わっていません。



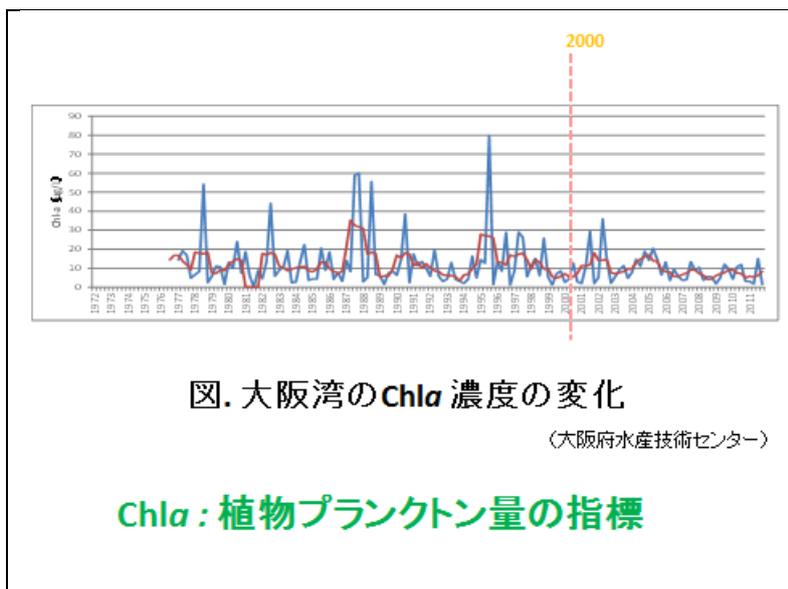
まず、さっきお話したように「水質がだんだん良くなって、海水中の窒素、リン濃度が下がってきたら、何が起こるのか」ということを、まず大阪湾を例に見てみます。これは大阪府のデータなのですが、上が窒素、下がリンです。月別変化が非常にガタガタしていますが、平均あたりのラインを見てみると、ちょうど2000年ごろから大阪湾でも、窒素やリン濃度が下がっており、特に窒素が下がってきているということが分かります。



一方、このように窒素やリン濃度が下がってくると、「栄養分を食って生きていく植物プランクトンがどうなるか」ということで、植物プランクトン量の指標として、光合成色素のクロロフィル a 濃度の変化を見てみますと、このようになります。これを見ますと、赤いラインが平均値ですが、



ざっと平均しますと、ほとんど有意差が見てとれない。栄養塩濃度の窒素、リン濃度が下がって行くのだけでも、植物プランクトン量は決してクリアーに顕著に減るわけではありません。しかし、細かく見てみれば、ちょうどこの 2000 年を境に見てみると、この月ごとに高く出てくるブルーの値が、だんだん少なくなっていく。平均値で見ると

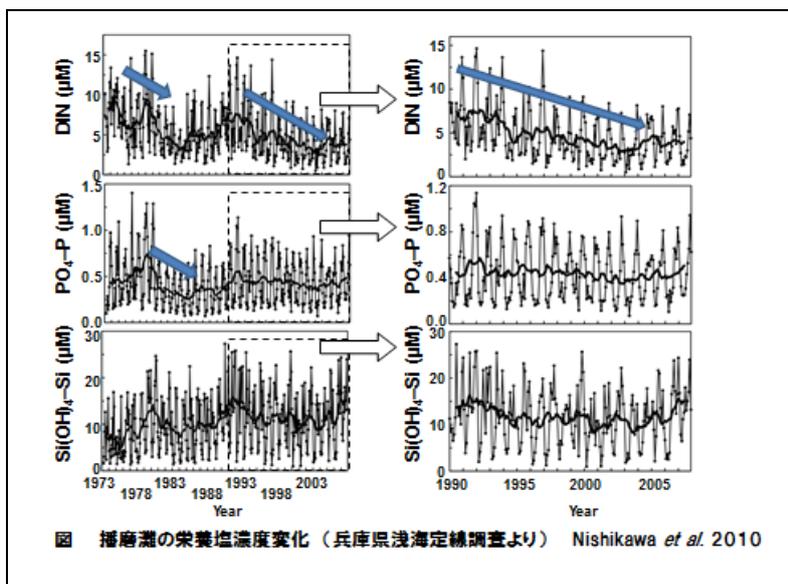


変わらないかもしれないけれども、このように時たま出てくる高い値というものが、だんだん見られなくなっていく、そういう傾向があります。

一方、播磨灘で見えますと、播磨灘は、ここ赤いラインで囲んだ所が播磨灘ですが、上から窒素、リン、溶存ケイ酸。上の窒素だけを見てください。これも 1970 年から今までずっと減少し続けています。右の図は左の図の 1990 年以降を広げて見せた図です。1990 年以降を見ても、明らかに窒素もまだまだ減少しているということが分かります。

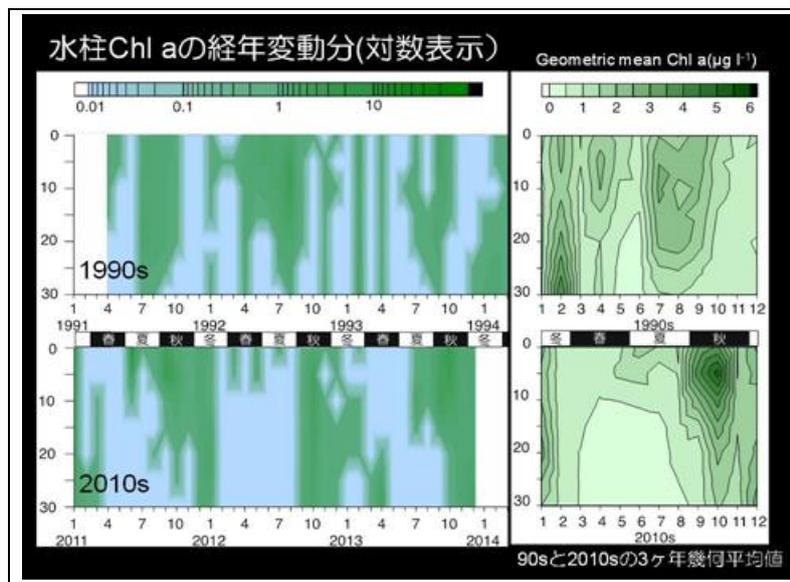
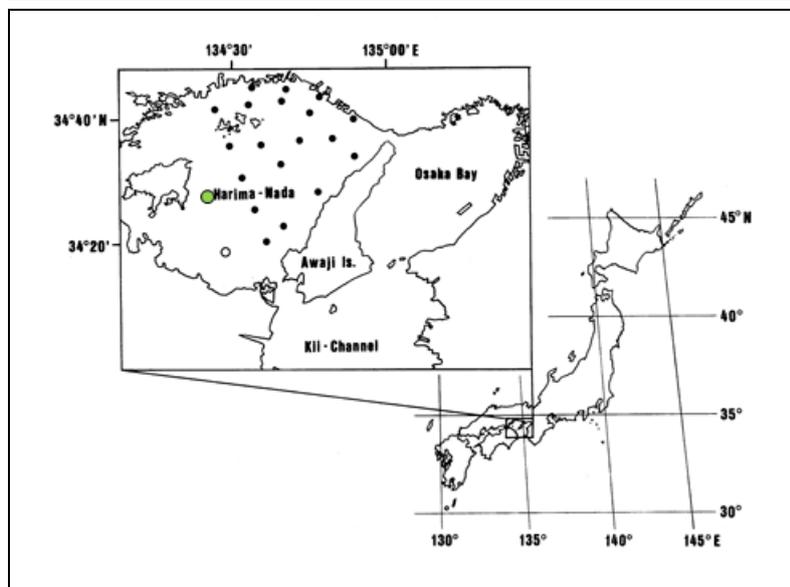
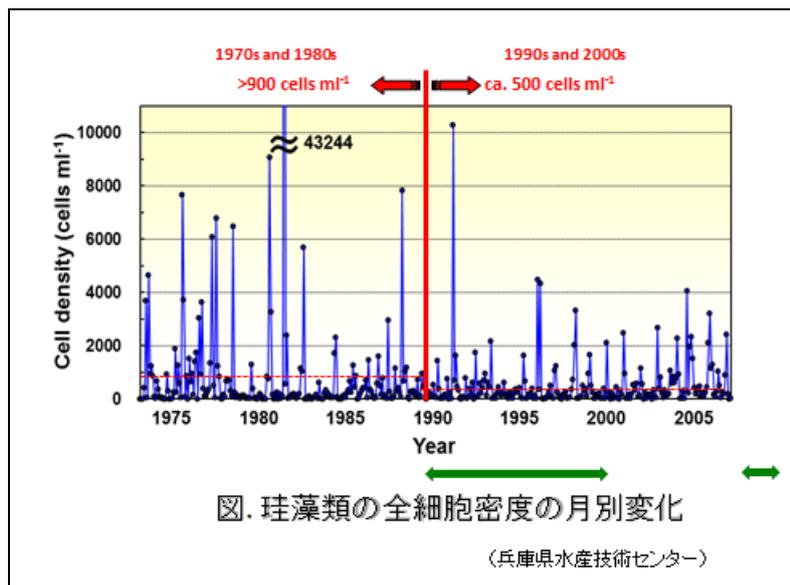


今度は、さっき見た 1990 年の前後で、クロロフィル a ではなくて、植物プランクトン群集の中の主要なグループであります珪藻類というグループの全細胞密度の変化を示しています。これを見ても、その 1990 年の前と後を見ても、実は平均すると細胞密度も有意差は認められません。



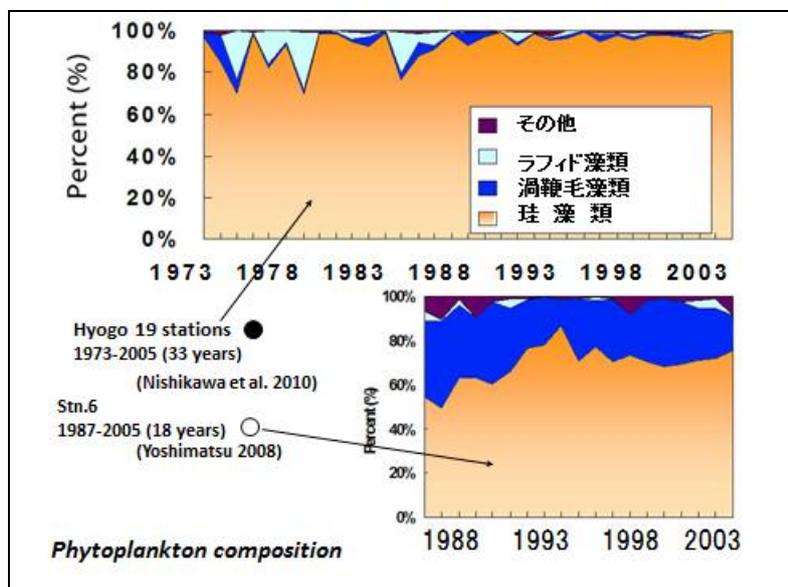
しかし、やはり時々出てくる非常に高い細胞密度というのは、どんどん少なくなっていく。さっきの大阪湾のクロロフィル a と同じような傾向が見られます。香川大学でも、ちょうど、この 1990 年代とその後の 2010 年代、植物プランクトン量の指標となるクロロフィル a 濃度を、小豆島の東側に観測点を設けて、ずっと測定し続けました。それをまとめたのがこの図です。

実は、これもまたクロロフィル a 濃度が顕著に下がっているという傾向は見られないのですが、細かく見て行きますと、これは差を大きく広げて見せるために対数表示しており、上が 90 年代で下が 2010 年代です。これを見ると、色が薄い所ほどクロロフィル a 濃度は低いですけれども、1990 年代よりも 2010 年代の方が色の薄い所、すなわちクロロフィル a 濃度の低い場所が増えているということが分かると思います。横が時間軸、縦が水深です。このように“非常に顕著に栄養塩濃度が下がった”、“顕著に植物プランクトン量が減った”というような傾向は見られないけれども、細か



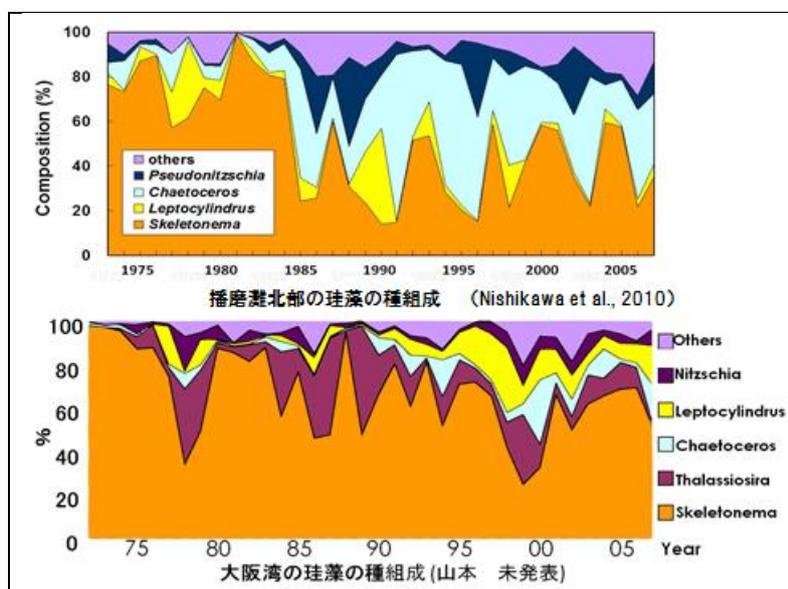
く見ていけば、明らかに減少していて、高い値が見られなくなるというような傾向があります。

一方で、全体量ではなく、中身がどうなっているのかというのを見たのが、この図です。上が播磨灘の北部。下が南部。ここの観測点で植物プランクトンの群集を珪藻、渦鞭毛藻類、ラフィド藻類、その他と4つのグループに分けて、各種類が占める割合をこの図で見てくださいと、このようになります。注目していた



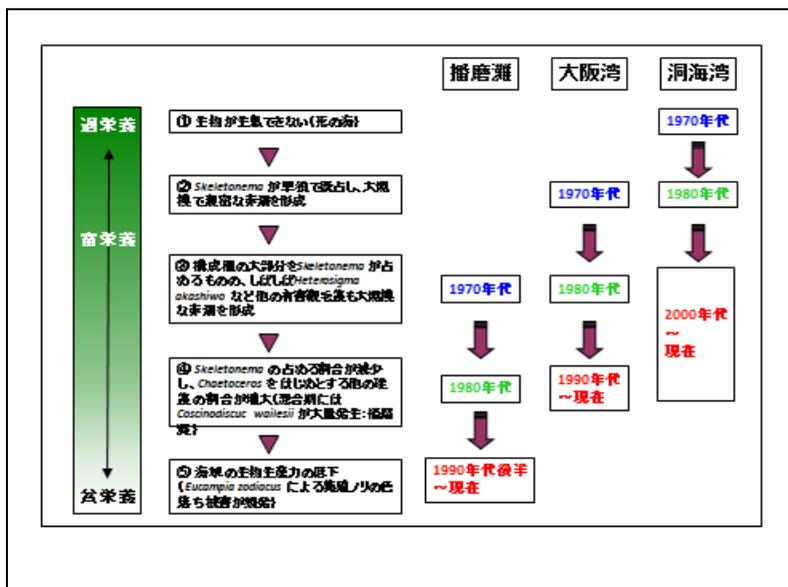
だきたいのは、このオレンジの部分、これは珪藻類なのですが、珪藻類の占める割合が1973年から2000年に向けてどんどん高くなっていきます。北部の方が古くからデータがあり、横軸の時間軸を合わせています。要は珪藻の占める割合が多くなって、珪藻の海に変わっていくという傾向があります。

さらに、その占める割合を広げてきた珪藻類の中身はこのオレンジで示した *Skeletonema* 属という種類が1970年代に優占していましたが、だんだんとその割合が減少してきて、逆に播磨灘の北部では *Chaetoceros* といわれる種類が増えています。つまり、*Skeletonema* の優占性が落ちてくるという傾向が見られます。一方、先ほどお見



せした大阪湾でも同じような傾向が出ており、この黄色で示したのが *Skeletonema* ですが、やはり *Skeletonema* は大阪湾でも、その占める割合が減っています。

今、播磨灘と大阪湾だけをお見せしましたが、播磨灘、それから大阪湾、そして今では環境基準をクリアするまできれいになったのですが、日本で最も富栄養化した海と言われていた北九州市にある洞海湾。実はこの3つの海でも、やはり傾向が一致していて、窒素、リン濃度が高いところから今の低いところまで遷移していくうちに、珪藻の



占める割合がだんだん増えて珪藻の海になって、その珪藻を構成する種類が、独り勝ちだった *Skeletonema* の優占率がどんどん落ちて、*Chaetoceros* のような他の珪藻類の占める割合が増えてくる。そういう傾向を共通して見る事ができました。これは一般的にそうなのだろうと思います。

それでは、どうして *Skeletonema* 属というものの優占率が下がって、*Chaetoceros* などの他の珪藻類が増えてくるのかということについて、今、我々は研究しています。これはこの3つ(左の2つと右の上1つ)。ピンクのラインを引いたのが、

どうして
Skeletonema 属の優占度は下がり
Chaetoceros 属をはじめとした
他のプランクトンの優占度は上がるのか？

NO₃濃度に対する
増殖速度の
半飽和定数(K_s)は
大きな差はない

多田ら, 2009~2011 @ 大阪湾
→水質改善による光量子量の増加

Chaetoceros という種類で、右下のブルーのラインを引いたのが *Skeletonema* という種類です。横軸に栄養塩濃度、縦軸に増殖速度を示してあります。つまり、増殖速度は栄養塩濃度が高くなればなるほど増加してきます。

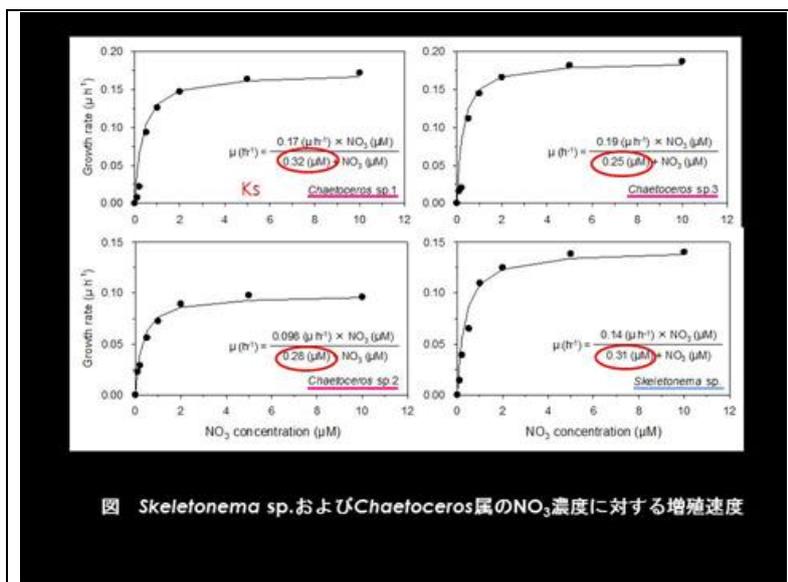


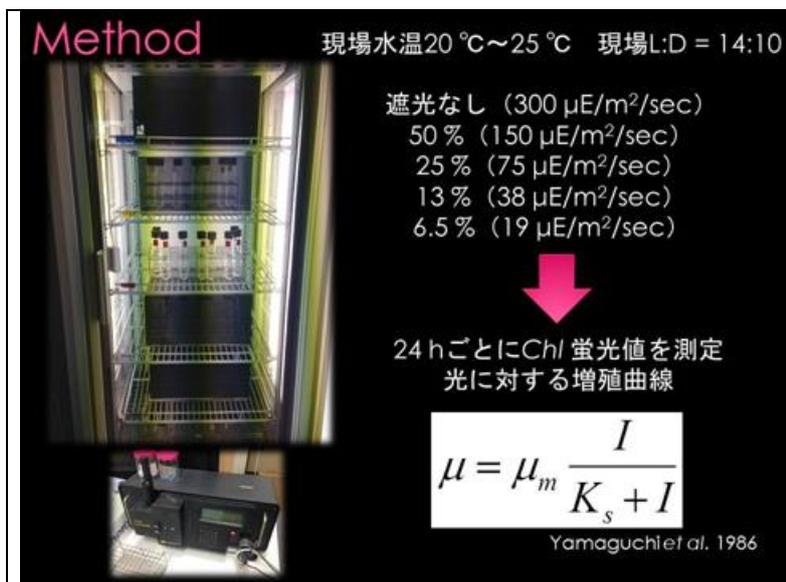
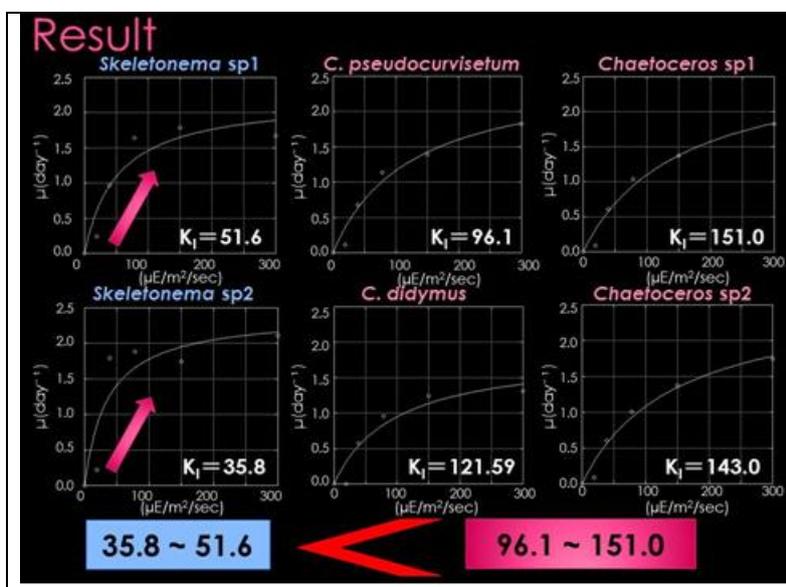
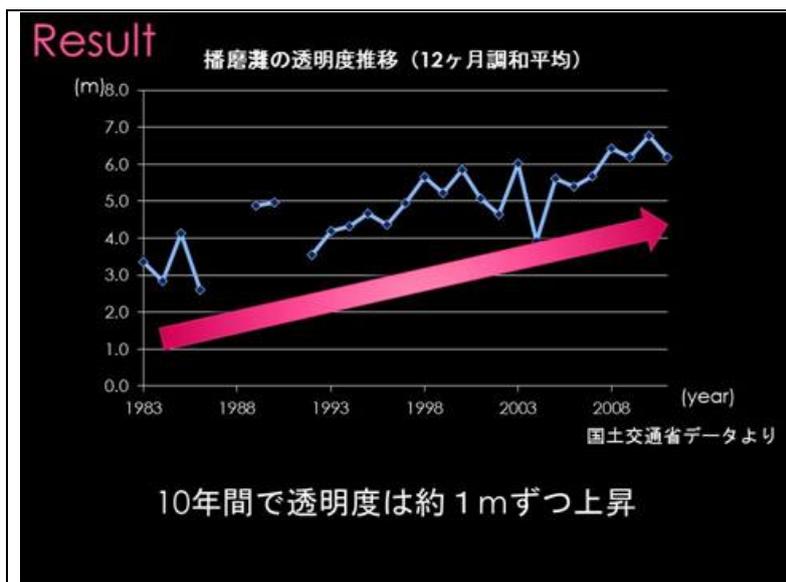
図 *Skeletonema* sp.および*Chaetoceros*属のNO₃濃度に対する増殖速度

これは *Chaetoceros* 3種と *Skeletonema* で変わり

ません。つまり、*Skeletonema* と *Chaetoceros* は栄養塩濃度がどんどん下がってくると、同じように増殖速度が落ちていくはずだということです。

一方、瀬戸内海がきれいになって、透明度が良くなってきています。透明度とは水がどれくらい澄んでいるかという透明の指標で、播磨灘ではだいたい 10 年間で 1m ずつ良くなってきています。そうすると、水の中に透過している光の量が多くなるわけで、当然、植物プランクトンにとって光環境が良くなるわけです。そうなった時、すなわち光環境が良くなった時に、この 2 種類がどうなるか室内で実験しました。それは人工的に光の量を変えて増殖

速度を見るということですが、図左のブルーで示している 2 つが *Skeletonema*、真ん中と右の欄のピンクで示しているのが *Chaetoceros*。横軸が光の量で、縦軸が増殖速度です。これを見てみますと、*Skeletonema* というのは光の量が増えていく、明るくなっていくと急激に増殖します。一方、*Chaetoceros*



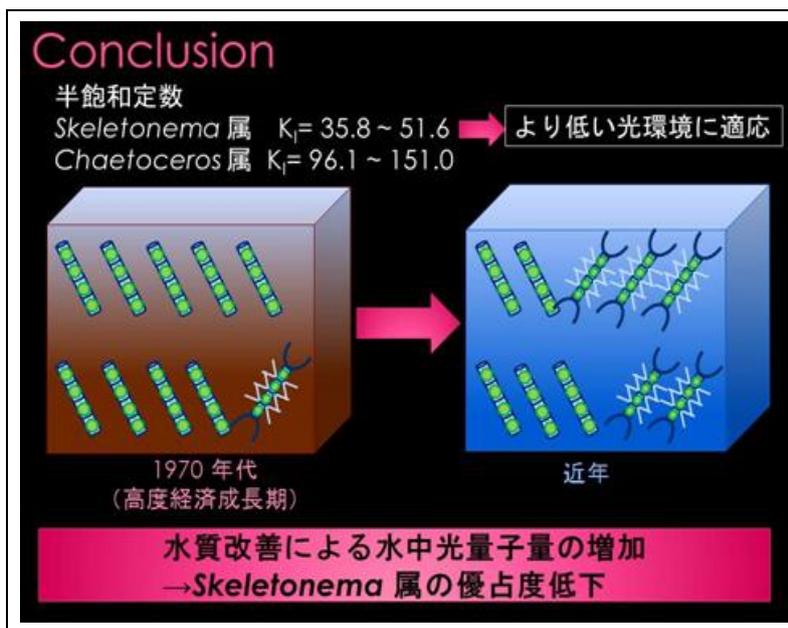
は光の量が上がっても *Skeletonema* ほど急激には増殖していない。しかし、十分な光を与えると、*Skeletonema* 属も *Chaetoceros* 属も増殖速度は変わらない。

つまり、*Skeletonema* というのは低い光環境、汚い水で光をあまり透過しない海に適応した種類で、光の少ない高度経済成長期に *Skeletonema* が優占していた。その後、水質が良くなり、

水がきれいになってきた。透明度も上がってきた。光も増えてきた。そうすると *Chaetoceros* も *Skeletonema* も優位性は変わらなくなる。だから *Skeletonema* の一人勝ちの世界は終わる。そのように考えています。

今、しゃべってきたことをまとめてみますと、こういうことになります。栄養塩濃度減少に対する植物プランクトン群集の応答というものは、単純に栄養分が減ったから植物プランクトン量が減少する。そんな簡単な現象としては見られずに、時折見られる高い値がどんどん減少して、低い値が増えてくる。その変動の幅が小さくなる。それから

植物プランクトンを構成するグループというものは鞭毛藻類の割合がだんだん減ってきて、珪藻類の占める割合が増加してくる。最後に珪藻類の種組成において *Skeletonema* 属の優占率が低下し、*Chaetoceros* などの割合が増加してくる。実は、この変化に栄養塩濃度がダイレクトに効いているわけではなくて、光環境が影響している。このようなことが分かりました。



まとめ

栄養塩濃度減少に対する植物プランクトン群集の応答

- ⇒ 単純に植物プランクトン量 (Chl_a量) が減少するのではなく、高い値が減少し、低い値が増え、その変動幅が小さくなる
- ⇒ 植物プランクトン群集を構成するグループは、鞭毛藻類の割合が減少し、珪藻類の占める割合が増加
- ⇒ 珪藻類の種組成において、*Skeletonema* 属の優占率が低下し、*Chaetoceros* 属などの割合が増加

この変化には、栄養塩濃度減少や濃度比の変化よりも、光環境の変化が影響

植物プランクトン群集の栄養塩 (N, P) 濃度減少への応答というのが今話したようなことなのですけれども、右図に書きましたように、N、P が下がると植物プランクトンは単純な生物量の減少を示すわけではない。一対一の対応では変わらないけども、現存量は明らかに下がります。しかし、植物プランクトンの量というものは栄養分を与え

られて増える分と動物プランクトンに食われて現存量を減らす両方の効果があります。残念ながら、まだ私達は動物プランクトンの効果まで検討するに至っていません。

そういうことで、今日は東北区水産研究所から神山さんに来ていただいて、このへんの動物プランクトンの捕食の効果のようなことをお話ししていただき、これを参考にして、これから我々も考えていこうと思っています。今、お話ししたように私達の海グループでは、植物プランクトンの増殖環境のようなことを研究してきたのですが、今日お配りしている一番大きな A3 の裏表、10月24日の四国新聞に大きく載せていただいたのですが、良くまとまっているので読んでいただければ我々の仕事を少しは理解していただけるのかなと思っています。私からは以上です。

**植物プランクトン群集の
栄養塩(N, P)濃度減少への応答**

**単純な生物量の減少ではなく、
高い値が減少、種組成変化！
動物プランクトンの捕食は……？**

N, P ⇒ 植物プランクトン ⇔ 動物プランクトン

ご静聴ありがとうございました。

