

播磨灘における 1990 年代後半からの漁獲量の減少について

反田 實（兵庫県立農林水産技術総合センター 水産技術センター）

[本城先生]

播磨灘における 1990 年代後半からの漁獲量の減少について、兵庫県立農林水産技術総合センター 水産技術センターの反田實先生からお話を伺います。反田先生は京都大学を卒業され、1973 年から兵庫県立水産技術センターに勤務されておられます。ですから、ずいぶん長く兵庫県で活躍されています。そして 2008 年に所長さんになられ、今は技術参与として県に残って業務に専念されています。



[反田先生]

兵庫県水産技術センターの反田です。よろしくお願ひいたします。1990 年代後半からの漁獲量の減少についてお話をしたいと思ひます。実は、兵庫県では 1990 年代後半から漁獲量が減る、あるいは漁場環境が大きく変化するという状況にあります。これは瀬戸内海全体で良く似た状況だと思ひます。そこで、今日は「いったい何があったのか」という視点でスライドを作ってみました。それでは説明

に入りたいと思ひます。

瀬戸内海東部では香川県も同じだと思ひますが、ノリの色落ちと漁獲量の低迷が、非常に大きな問題です。漁業者から、「海がきれいになったけれども豊かさが失われている」との声が聞かれます。これは漁獲量が減っていることを言っていると思ひます。また漁業者から「栄養が足りない」、あるいは「干潟も浅場も回復が必要だ」、「砂が減っている」と言う声が聞こえてきます。これらは「今、播磨灘が抱えている問題点を漁業者がきちんと喚起している」と言って良いと思ひます。問題が漁業者の言葉に網羅されている気がします。

瀬戸内海東部漁業が抱えている問題
播磨灘を中心に

➤ノリの色落ち問題

➤漁獲量の低迷

漁業者の声

「海はきれいになったが豊かさが失われている」

「貧栄養、干潟・浅場・藻場の回復、砂が減っている、等々……。」

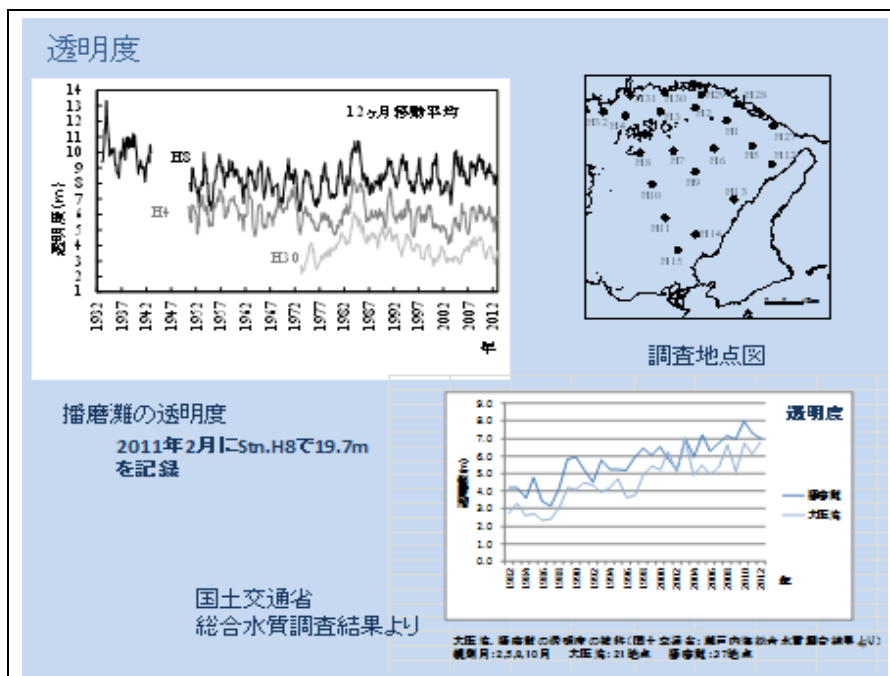
瀬戸内海関係漁連、漁協連絡会では 2012 年に右のパンフレットを作って、いろいろな問題点や「このようにしてほしい」という要望を整理して活動をしています。具体的には、今ある瀬戸内海環境保全特別措置法の改定等に向けた動きが行われている状況です。

そこで、実際に海がきれいになっていることについて、私達が持っているデータを中心に説明したいと思います。一番分かりやすいのが透明度だと思っています。これは兵庫県の観

測結果です。この中の観測定点 H8 では戦前からの透明度の観測データがあります。空白期間は戦争の時期です。戦争前は 10m 以上ありましたが、戦後は 9m 前後に、最も富栄養化が進んだ 1970 年代には 7、8m になりました。その後は増減しながら徐々に回復してき

ています。今は、おおよそ 9m 前後で、戦後間もなくの頃とあまり変わらない値です。おおむね、このように推移しています。ただ透明度は観測点によって変動にかなり違いがあります。

図中右下のグラフは国土交通省の透明度の観測値を拾ったものですが、播磨灘、大阪湾ともかなり透明度が良くなってきています。漁業者の声や私どもの現場での感覚からも、確かに海がかなりきれいになっていると思います。ちなみに 2011 年 2 月に同じ定点 H8 で約 20m の透明度を観測しています。閉鎖的な内湾で 20m の透明度というのは相当高いと思います。戦前にも 20m の記録があるのですが、このような値は稀だと思います。



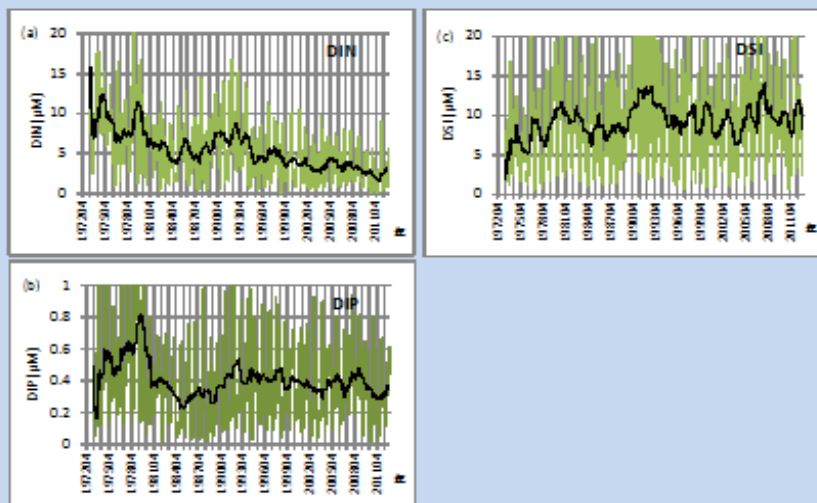
透明度を紹介しましたが、次は今問題になっている栄養塩の減少の話をしてします。陸の栄養塩は窒素とリン、カリになりますが、海の場合は窒素（無機溶存態窒素：DIN）とリン（無機溶存態リン：DIP）、ケイ素（溶存ケイ素：DSI）の3つを栄養塩と言っています。

この図を見れば分かりますが、DSIは最近横ばい。

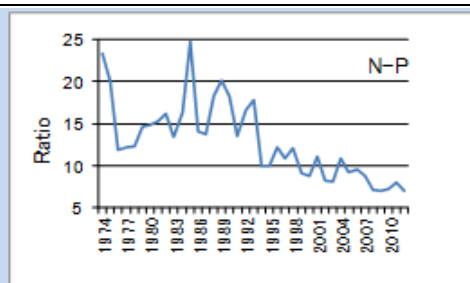
DIPは一時期下がったのですが、その後、再び増えて横ばいに近い傾向にあります。これに対して、DIN濃度は70年代前半に較べますと、最近では4割ぐらいにまで減ってきています。DINの減少が非常に顕著であると思います。

DIN-DIP比を見てみますと、窒素DINの減少に対応して1990年代後半にモル比が急に落ちて、最近是一直に下がっています。モル比は16程度が一般的だと思います。かつてはそのような値でしたが、最近では7前後まで落ちてきています。やはり窒素不足の状態が進んでいると思います。

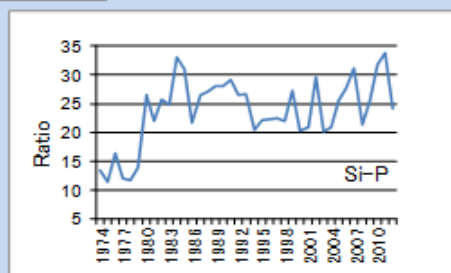
栄養塩濃度の変化



Stn.H51における栄養塩濃度の変化 表層・10m層平均値



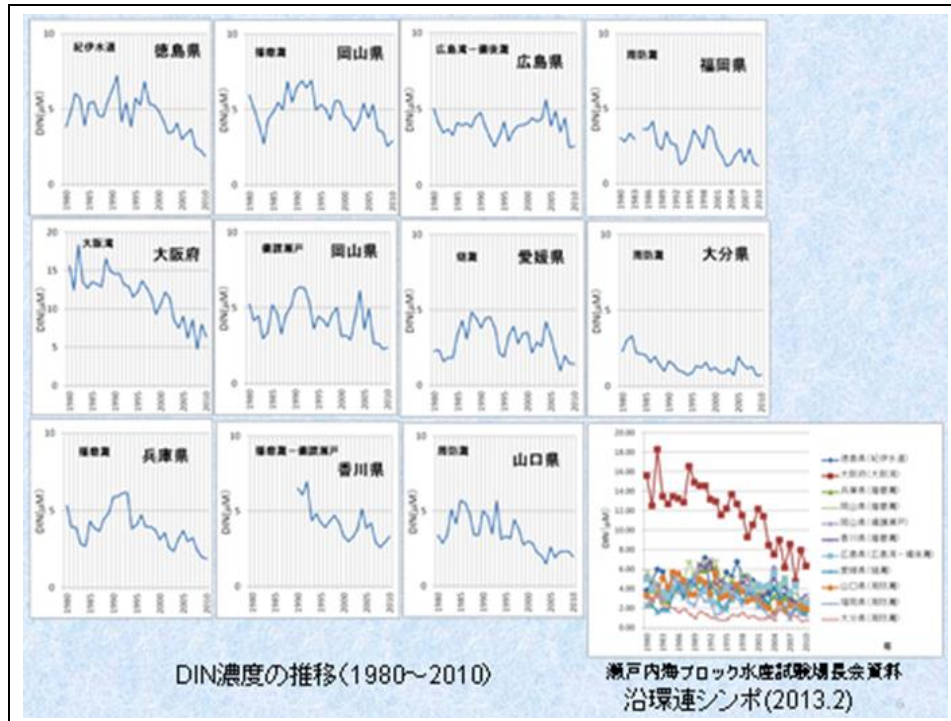
DIN・DIP比の変化



DSI・DIP比の変化

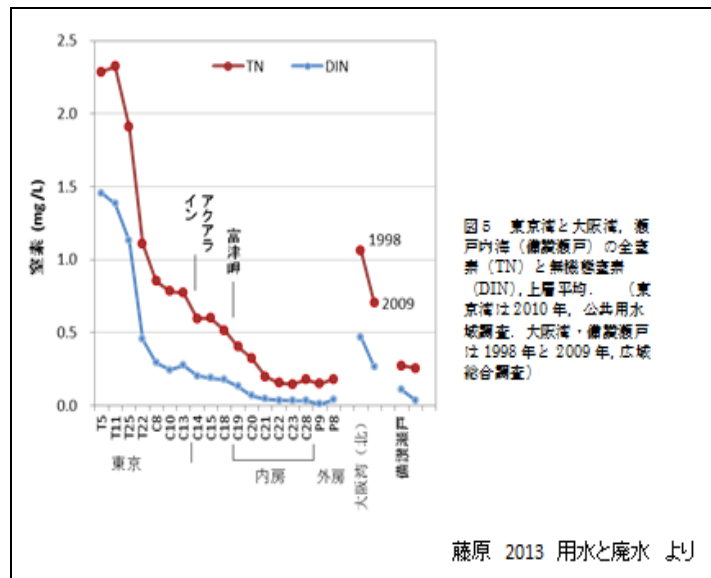
これは瀬戸内海ブロックの水産試験場長会の資料で、環境省に意見表明（パブリックコメント）する際にデータを収集して整理したのですが、どの府県とも DIN 濃度が減少してきています。

特徴と思うのは、赤で示した大阪府です。全体から見ると、大阪府（大阪湾）だけが比較的高い。その他の海域は、どんぐりの背比べのような感じです。このようなことから第 6 次の総量規制から大阪湾がその他の瀬戸



内海と分けられたという事情があります。しかし、大阪湾の DIN 濃度はどんどん下がって、他の海域に近づいています。これが、最近の状況です。

この DIN 濃度がどのようなレベルであるのかということについて、今年春に京都大学の藤原建紀先生が書かれた「用水と廃水」の記事の一部を紹介します。グラフの左側が東京湾で、その右が大阪湾、そして右端が備讃瀬戸を示しています。播磨灘も備讃瀬戸と似たレベルだと思います。東京湾を見るとこのあたりが富津岬、ここが浦賀水道のあたりで、ここからが館山で外房になります。この図から 2009 年の備讃瀬戸の値は、

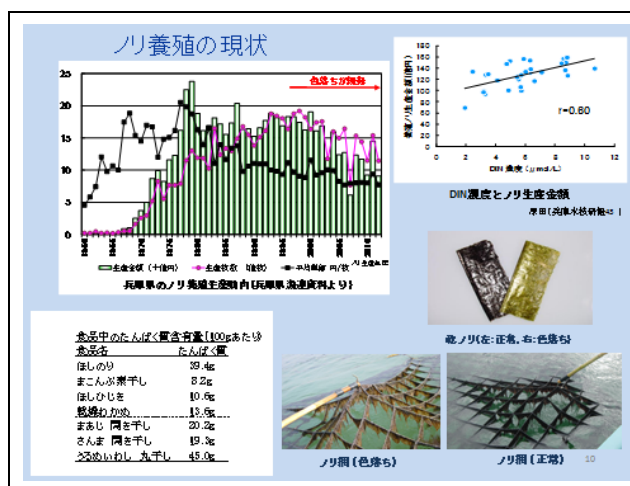


内房から外房のレベルまで下がっているということで、瀬戸内海の値は東京湾の近辺で見れば内房から外房レベルであり、ほぼ外海の値に近いところまで下がっているような状況です。ここまで述べましたのが現在の栄養塩の状況です。

次に兵庫県のノリ養殖の状況について簡単に紹介したいと思います。これが兵庫県のノリ養殖漁場の分布です。漁場は全域に散らばっています。

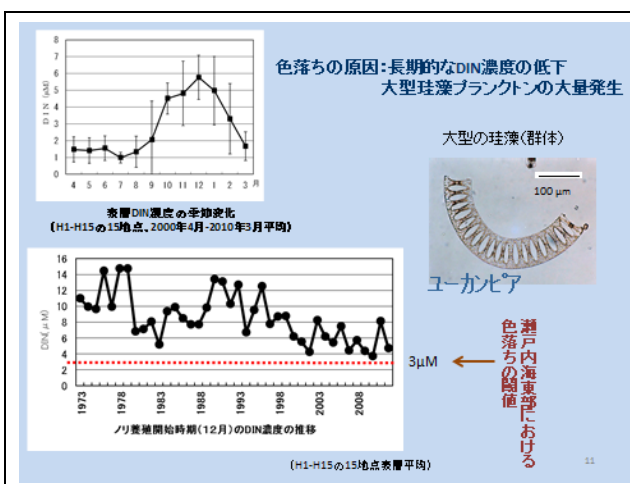


兵庫県のノリ養殖の現状が一番良く分かるのは、図中の緑の棒グラフで示した生産金額です。生産金額というのは、生産枚数と単価をかけたもので、生産の動向が一番良く分かると思います。この生産金額が近年急激に落ちてきています。1990年代後半、赤い矢印で示すあたりから色落ちが頻繁に起こるようになって、生産枚数が下がり単価も低迷しており、生産金額がかなり落ちてきています。この原因は窒素濃度の不足によるノリの色落ちです。DIN濃度とノリ生産金額をプロットしますとこのような関係（ノリ生産金額はDIN濃度に比例している）が得られます。写真は正常なノリと色落ちしたノリです。色落ちしたノリは実際に食べてもおいしくありません。ガサガサしておりタンパク質の量



も非常に少ない。図中左下の表は一般的な食品のタンパク質含有量です。乾ノリのタンパク質は100gあたり39.4gと多いため、窒素欠乏に陥りやすいと言えます。

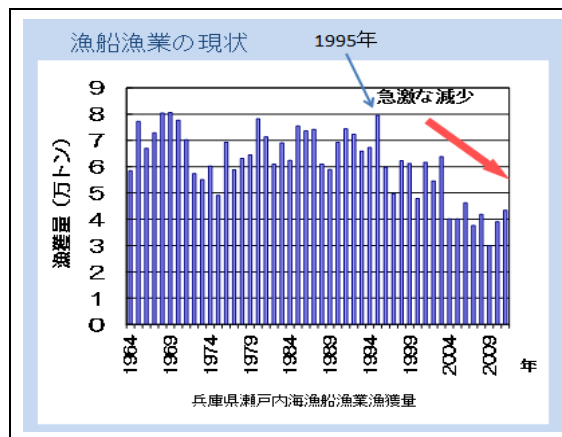
この図は播磨灘のDIN濃度の季節的な変化です。DIN濃度が年間で一番高くなるのが、鉛直混合が盛んな12月初めの頃です。幸いノリの養殖開始時期は12月初めですから、ノリにとって一番栄養塩が高くなる時期に養殖がスタートするわけです。この一番高い時期の播磨灘表層の栄養塩濃度をプロットしたのが、図中下のグラフです。ここに3



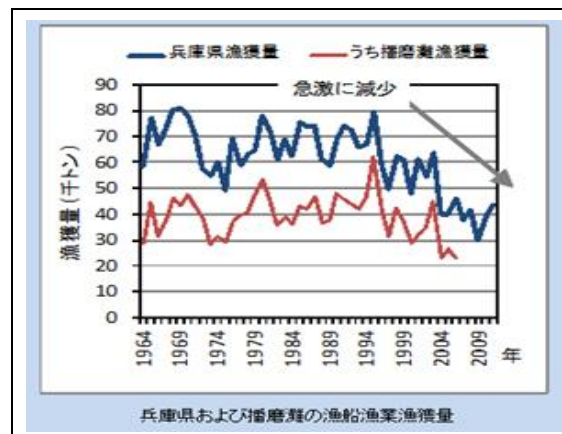
$3 \mu M$ という値を示していますが、これは瀬戸内海東部で色落ちが発生する目安の濃度です。ノリ養殖開始時期においても $3 \mu M$ を少し上回る程度まで落ちてきているということで、

今の栄養塩環境というのはノリ養殖にとって厳しい状況にあります。これに加えて冬季にユーカンピアという大型の珪藻が発生しますと、一気に栄養塩を消費して色落ちがよりひどくなるという状況になっています。

次に漁船漁業の現状です。この図は兵庫県瀬戸内海漁船漁業の漁獲量です。兵庫県は播磨灘、大阪湾、紀伊水道北部で漁業をしており、それらを合わせた漁獲量の変化です。これを見れば、1995年、ちょうど阪神淡路大震災の年にピークがあり、それ以降は急激に漁獲量が落ちています。長期変動の中ではかなり特徴的な落ち込みだと思います。6～7万tあった漁獲量が今では3～4万tぐらい、約半分にまで落ちています。



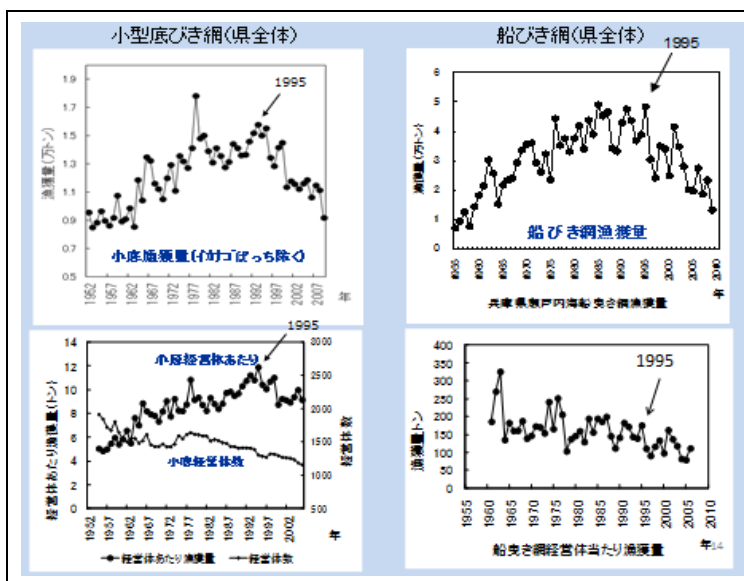
右の図の青線が兵庫県全体の漁獲量で、赤線が播磨灘の漁獲量です。兵庫県全体の漁獲量の動きは播磨灘の動きとよく似ています。



以上は漁船漁業の全体ですが、次の図は小型底びき網と船びき網別に漁獲量の動きを示したものです。図中左が小型底びき網です。なおイカナゴパッチという特殊な漁法を除いています。その漁獲量を見ますと、1952年以降のデータですが、それまで右肩上がりが増

加していたのが1995年ごろから急に減少しています。少しパターンが違いますが、船びき網についても1995年以降、急激に落ちてきているということなので両漁業ともほぼ同じ時期、すなわち1990年代後半以降に落ち込んでいます。

図中左下は小型底びき網の経営体当たりの漁獲量ですが、やはり1995年をピークにガクンと落ちています。この間、経営体数には急激な変化はありません。図中右下は船びき網の1経営体当たりの漁獲量です。少し分かり難いのですが、

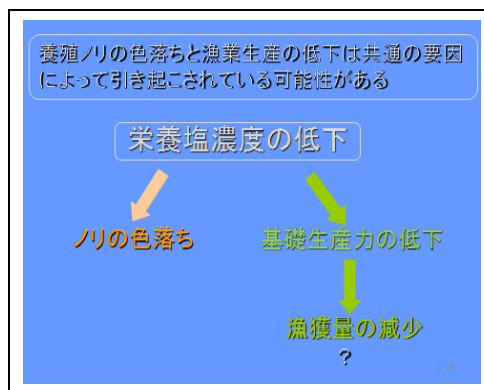


詳しく分析すると 1995 年以降の減少は少し大きくなっています。

最近の漁獲量の減少については、獲り過ぎではないかという話、つまり乱獲がよく言われます。しかし、小型底びき網ではカレイなどを獲っており、船びき網ではイカナゴやシラス、チリメンなどを獲っているように漁獲対象種が違います。このように漁法や漁獲対象種が違うにもかかわらず、2 つの漁業が同時期に減少傾向に入っていること、なおかつ、小型底びき網の漁業実態、例えば経営体数に大きな変化が同時期に見られないこと等から考えますと、獲り過ぎ傾向があるかもしれませんが、少なくとも 1995 年頃の転換点に関しては漁業自身が持っている内在的な問題というよりも、共通した何らかの環境要因が影響している可能性が高いと思います。恐らくいろいろな魚の再生産効率が低下してきたと考えられるので、「多くの魚種や漁法に共通して影響を及ぼすのであれば、環境要素が大きいのではないか」というように私は思っています。

そこで、今心配しているのが栄養塩濃度の低下です。栄養塩濃度の低下がノリの色落ちに影響していることは実験的にも明らかですが、さらに漁獲量の減少にも繋がっているのではないかと心配しています。まだ証明がされていないのですが、そのような懸念があると感じています。

そこで、いろいろなデータを集めて分析してみました。因果関係を立証するものではありませんが、例えば、小型底びき網の漁獲量と DIN 濃度の関係です。図の赤い線が播磨灘の灘別統計の小型底びき網の漁獲量です。青い線が播磨灘の DIN 濃度の変化です。2 つの線はかなり同調した変化を示しています。これを 1 年ずつずらして相関係数を計算すると、DIN 濃度と 2 年後の漁獲量との相関が非常に高く、0.7 以上と統計的に有意な関係が見られます。



栄養塩環境と漁獲量の関係は明確ではないがその影響が心配される

小型底びき網漁獲量とDIN
(播磨灘灘別統計)



反田・原田
水環境学会誌 2011

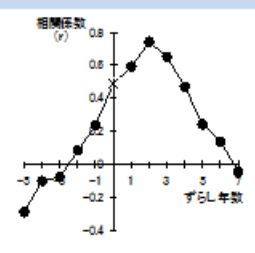


図3 DINと小型底びき網漁獲量との相関係数。ずらし年数2とはDINと翌年漁獲量の相関。同様にして-1は前年との、0は同一年漁獲量との相関(重印)。

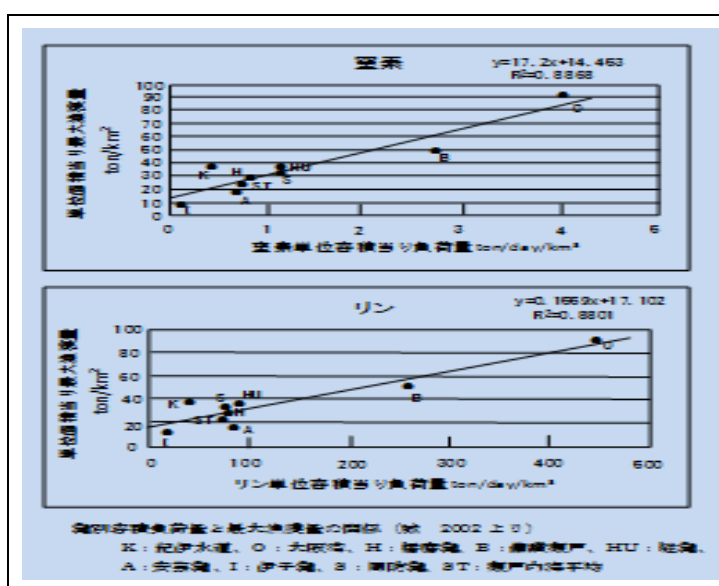
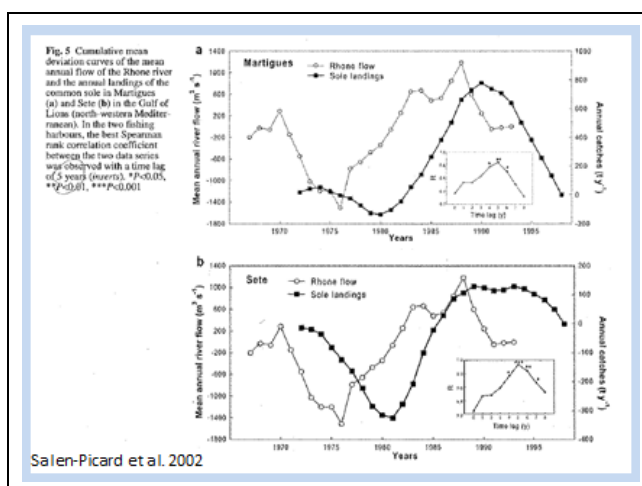
15

また、大阪府水産技術センターのデータをお借りして、同じような解析を大阪湾でも行いました。この図は大阪湾の小型底びき網の漁獲統計を示したものです。これはすでに一年ずらしてありますが、DIN 濃度と 1 年後の小型底びき網の漁獲量は、このような関係にあります。統計的にも有意な関係が見られます。

このような事例が他にもないかと調べてみました。この図は地中海のローヌ川の河川流量とその周辺 2 漁港のカレイの漁獲量ですが、5 年遅れで両者の変動に同調性がみられるという論文がありました。この論文は流量とカレイの漁獲量だけでなく、間に多毛類の変動のプロセスが入っています。ベントスの種類によって違うのですが、ローヌ川の流量変動に対して数か月から 1、2 年遅れでベントスの現存量が増えると、それを餌とするカレイ類の現存量がその後増えるというプロセスになっています。これはローヌ川からの栄養塩類等の供給が海域の漁業生産に影響を及ぼすことを示す例だと思います。

もう一つは、ナイル川のアスワンハイダムができて、ナイル川の流量が大きく減ったために漁獲量が激減したという事例です。しかし、その後、カイロなどでは人口増加による生活排水の増加、負荷量の増加があり、これに対応して漁獲量の回復がみられました。

これは少し前ですけど、大阪府水産試験場の城久さんが整理されたデータです。窒素の単位容積あたりの負荷量とその海域の

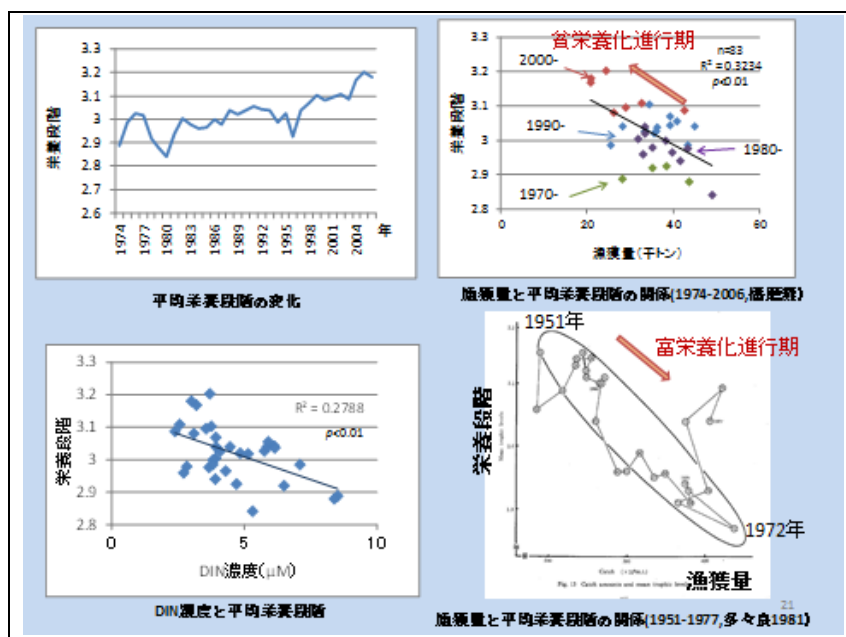
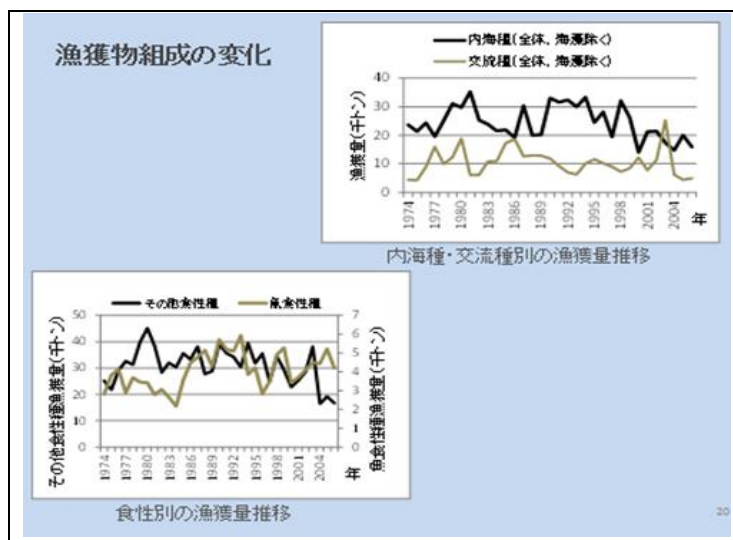


単位面積当たり最大漁獲量の関係が報告されています。負荷量が多いほど最大漁獲量、すなわち漁獲のポテンシャルが大きくなると考察されています。明確ではありませんが、「栄養塩の増減に対して漁獲量がそれなりに反応する可能性がある」と思っています。

次に漁獲される魚種について少し分析してみました。この図は播磨灘の漁獲物の組成の変化です。黒い線は内海種、例えばイカナゴやカレイのように生活史がほぼ瀬戸内海で終わるような種。灰色の線はアジやイワシ類などの内海と外海を行き来する交流種です。このように生活型別に漁獲量を整理して経年的な変化を見たものですが、内海種に関しては 1995 年頃、つ

まり 1990 年代後半から減少傾向が見られます。一方、交流種に関してはそのような変化は見られません。次に図中左下のグラフですが、これは食性別に漁獲量を見たものです。典型的な魚食性種の漁獲量、例えばサワラやタチウオなどを灰色の線で、それ以外の魚種を黒い線で描きますと、あまり明確ではありませんが、魚食性種が若干増えてきている傾向が見られます。一方その他の食性種については、1995 年ぐらいから減少傾向がみられます。これらが海域の環境変化に反応したものかどうかは分かりませんが、魚種組成も少し変化してきているように思います。

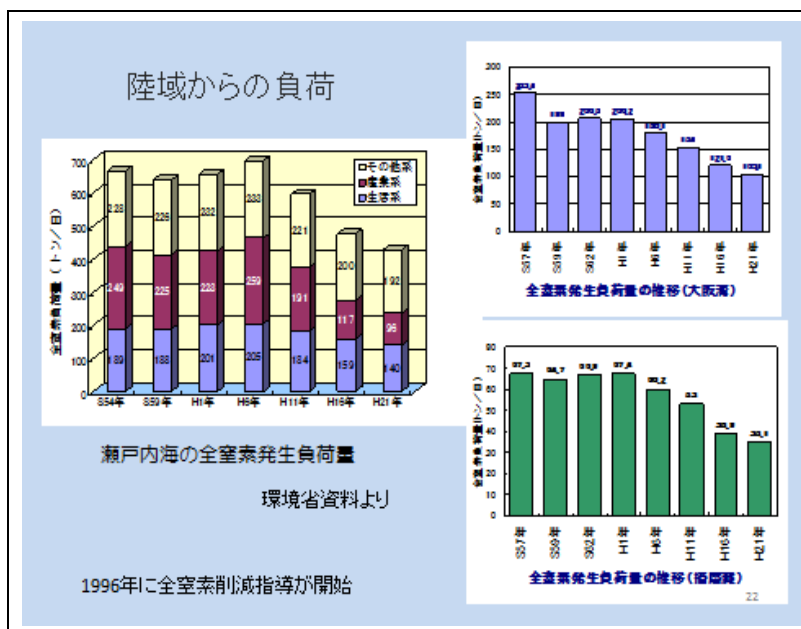
この図は先ほどと同じデータを使って平均栄養段階の変化を見たものです。魚食性魚については 4 点、動物プランクトン食性種については 3 点、植物プランクトン、懸濁食性種については 2 点というようにポイントを付け、漁獲量の重み付けをして平均栄養段階を計算したものです。播磨灘に関して言えば、



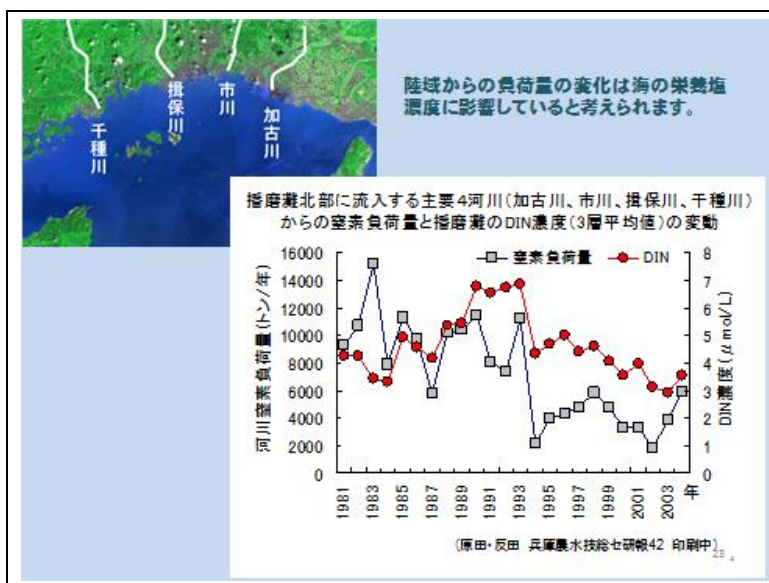
平均栄養段階が年毎に上がってきています。つまり魚食性種が増えて、プランクトン食性の魚が減ってきていることを表していると思います。平均栄養段階について、かつて瀬戸内海区水産研究所におられた多々良さんがこの図のような整理をされています（図中右下）。平均栄養段階の求め方はほぼ同じですが、多々良さんの場合は富栄養化が進行している時期にデータ分析をされました。その論文を見ますと、1951年から1972年にかけて漁獲量が増えていき、それに呼応するように平均栄養段階が下がっています。富栄養化進行期にこのような現象が見られました。これはイワシなどのプランクトン食性魚が増えていったことに対応しているのだと思います。

これと同じ視点で、播磨灘について時系列的な変化を見てみようと思整理したのが、図中右上です。1970年代の漁獲量に対する平均栄養段階が緑です。1980年代が紫、1990年代がブルー、2000年代が赤です。ざっと傾向を見てみますと、データのスタートの1970年代から平均栄養段階が上がっています。負荷量が減って行く時期を貧栄養化進行期と名付けますと、このグラフは貧栄養化進行期の変化ということになります。また多々良さんの時代と逆で、漁獲量が減少している時期です。富栄養化の進行する時期と貧栄養化が進行する時期で、漁獲種の平均栄養段階がちょうど逆方向をたどるように変化しています。次にDIN濃度と平均栄養段階にはこの図のような相関関係があります。これらを見ますと、海域への栄養負荷の増大あるいは減少に伴って、漁獲量あるいは魚種組成が変化している可能性があるように思われます。

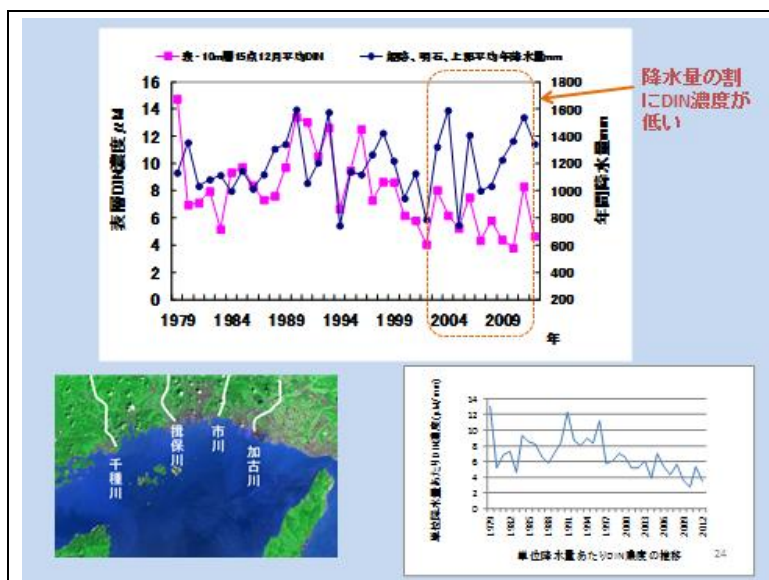
海域の栄養塩のDIN濃度を変化させる主な要因の一つとして考えられるのが陸からの全窒素負荷量です。環境省のデータを見ると、平成11年から減っています。平成7年が1995年ですから、時期的には1995年代後半から窒素負荷量が減ってきています。右の上下2つのグラフは大阪湾と播磨灘の全窒素発生負荷量の変化です。瀬戸内海全体と同じ傾向と思います。



右の折れ線グラフは、出水時や平水時を考慮しない荒い解析ですが、灰色の線は播磨灘にある大きな河川、加古川、市川、揖保川、千種川の4河川の流量と窒素濃度を掛けて求めた流入負荷量の変化です。また、我々がこの海域で測定しているDIN濃度の変化を赤で示しています。図の傾向から陸域負荷が海域のDIN濃度に影響していると思われます。



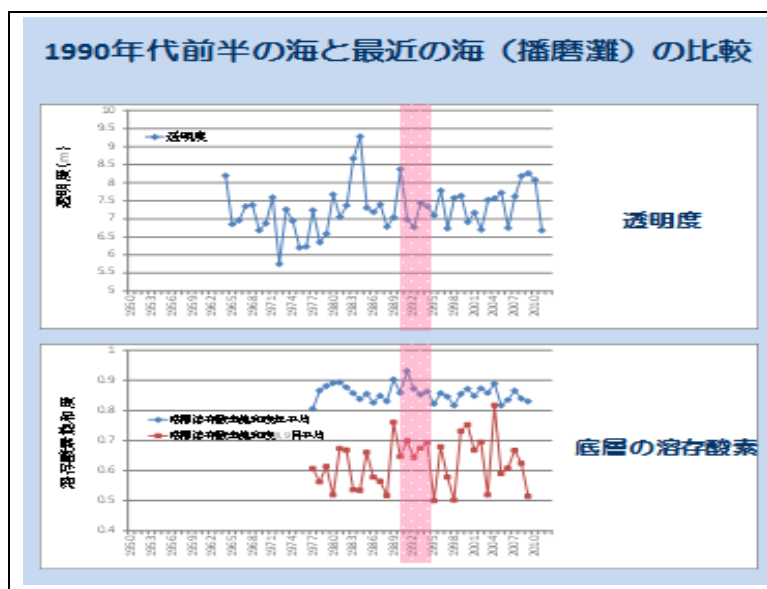
右図は別の視点で見たものですが、青い線は流域上流部の年間降水量です。赤い線が海域における12月のDIN濃度です。雨が多い年はDIN濃度も高くなっています。これは一年間に降った雨の影響が12月の鉛直混交期に表れるのであろうと考えました。図から分かりますように近年、雨の割にDIN濃度が上がらない傾向が見られます。橙色の枠で囲った時期です。



そこで、数値的な意味はありませんが、この図のDIN濃度を降水量で割った値の変化が図中右下です。単位降水量あたりDIN濃度の反応というような見方をしてもらえばと思います。これを見ますと、ちょうど1994、5、6年から下がっています。雨はいろいろな陸上物質を取り込んで海に運びますが、運ばれる窒素の量が減ってきているのだろうと思われます。農地での肥料の使用量もかなり減少しているそうです。つまり、面源負荷の低下が、このような図に表れてきているのではないかと思います。要するに、雨とともに海に供給される淡水の窒素濃度が低下しているのではないかと思います。

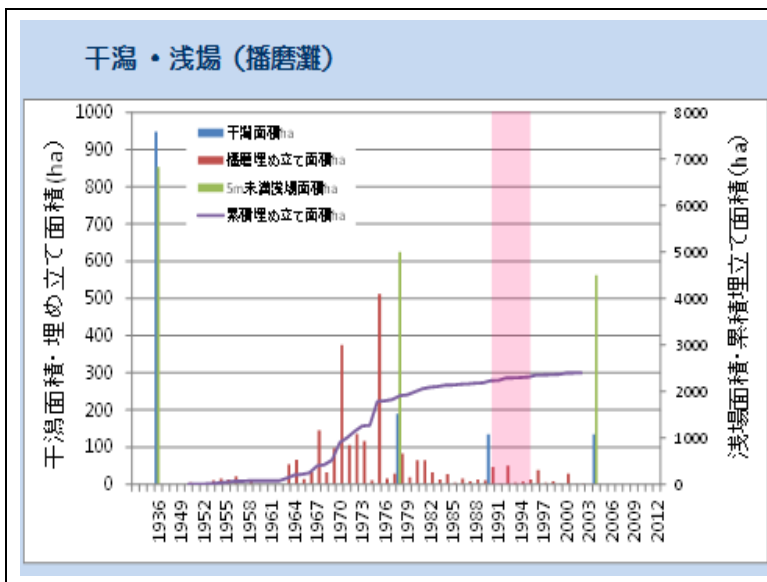
最近の播磨灘の漁獲量の減少について、例えば、「溶存酸素の減少や貧酸素水塊が出たことが原因ではないか」、あるいは「藻場、干潟、浅場が無くなったことが最も大きな要因ではないか」などと良く言われます。そこで、話を少し変えて、そのような点について考えてみたいと思います。

この図の赤い帯は1990年代前半を示しています。漁獲量が減少しているのは赤帯より後です。透明度を見ると、最近と漁獲量が多かった時期とではそれほど大きな変化は見られません。下のグラフの青線は年平均の底層の溶存酸素飽和度です。赤は8、9月の平均値です。1990年代前半から後半に向けて、底層の溶存酸素が低くなっているという状況ではありません。



このことから貧酸素水塊は1990年代後半からの漁獲量減少の決定的な要因ではないと思っています。

また、よく言われるのが、藻場、干潟、浅場が減ったために漁獲量が減少したという話です。図の青い棒は干潟面積です。1936年は海図から求めた値です。昔は広がったようです。しかし、1990年代前半から最近にかけての干潟面積はあまり変化をしていません。水深5m未満の浅場面積についても 마찬가지です。埋め立てについても1970年代後半から1980年代初めまでに多く行われていましたが、最近では横ばいで、かなり減っています。埋め立てが急増した時期と赤い帯までの間に15年ぐらいの開きがあります。埋め立てを近年の漁獲量減少の原因とするには、タイムラグが大き過ぎると感じます。一般的に瀬戸内海の生物、魚類も含めた生活サイクルからいうと、15年というのは少し長すぎると思います。



たとえボディブローのように埋め立てが効いてくるとしても、なかなか説明は難しいのではないかと考えています。

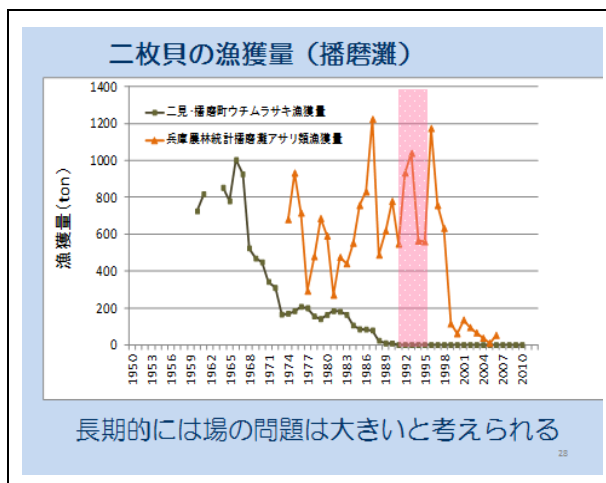
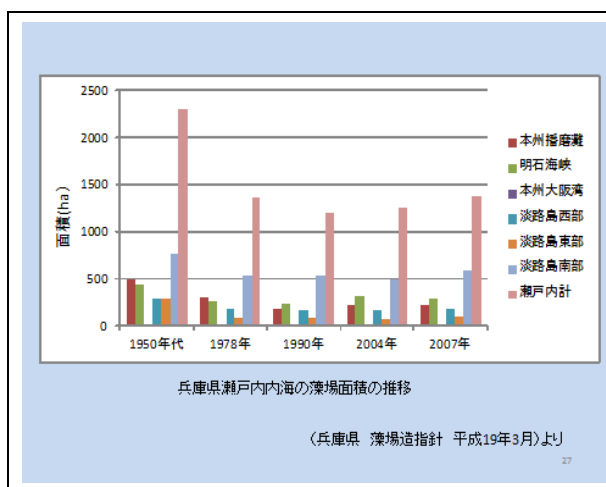
藻場についても同様です。この図は兵庫県が独自に藻場造成指針を作る際に求めたものですが、1990 年代ごろから藻場は減っているというより、むしろ少し増えている状況です。

次に示しましたのは二枚貝の漁獲量です。この図は兵庫県のアサリとウチムラサキの漁獲量です。ウチムラサキとアサリの変化の様子は大きく異なっています。同じ二枚貝でもおそらく減少原因が違うのだと思います。1970 年代初めにかけてウチムラサキが大きく減少したのは埋め立てが原因だと思います。1980 年代に再度減少している原因はよく分かりませんが、資源管理の問題もあるのではないかと考えています。アサリの場合は平成 10 年（1998 年）頃に急減しています。全国的な動向とは異なりますが、兵庫県のアサリ漁獲量は少ないので、ローカルな現象かも知れません。少なくとも我々が調査しているエリアでは、2 種類の二枚貝の減少原因

が異なるのではないかと考えています。生物現象の変化の原因を見る際には、時系列の変化というものをしっかり見ておかないと原因の特定を誤る恐れがあるような気がしています。

ここまで述べてきた漁業の現状がありますので、兵庫県の漁業者は行政施策を待つだけでなく、いろいろな取り組みを行っています。そこで、ここでは栄養塩供給の取り組みを簡単に紹介したいと思います。いくつかの取り組みの一つがため池のかいほり作業です。兵庫県はため池が 4 万個以上あって、全国一の多さです。ため池はボリュームが小さいので海域への効果は少ないのですが、近年、農業者が高齢化して冬季に池を干すなどの管理をすることができない場合が多くなっている

ので、漁業者が農業者に「かいほり作業をし



栄養塩供給の取り組み

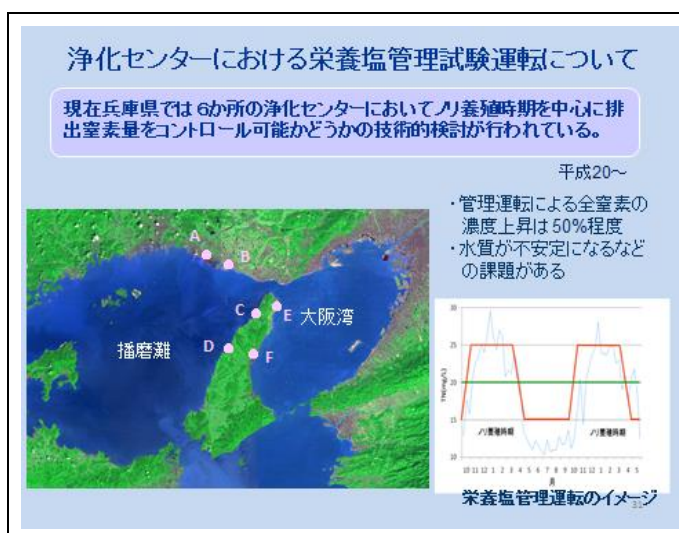
- 河川水利用（ダム放流）
- ため池（池干し）
- 施肥
- 海底こううん
- 浄化センターの栄養塩管理運転

ましよう」と声を掛けて、ノリ漁場の近くのいくつかのため池でかいほり作業が共同で行われています。

海への栄養塩の供給効果が少なくても、このように新聞に出たりするので、一般の人に海の現状を知ってもらおうという点で、非常に有益だと思います。ですから、私もできるだけ協力するようにしています。地域の農業者と漁業者は考え方が違う場合もあったようですが、このような取り組みを通じて理解が深まれば良いと思います。小学生や中学生も入る形で、一つの里海活動のような広がりも少し見える気がします。

もう一つ、これは全国的にも問い合わせがあるのですが、下水処理場の取り組みです。兵庫県では浄化センター（下水処理場）において栄養塩管理の試験運転をやっています。現在6カ所ですが、管理運転によって濃度が50%程度上がることが試験的に確認されています。ノリ養殖の冬場に栄養塩（DIN）をたくさん出して、夏場はより抑えることで、年間では通常運転と同じ排出量になるようにしています。このような運転を実施した場合の全体の窒素負荷量を見積もっておく必要があると思います。

この図は兵庫県の播磨灘に直接排水を流している浄化センターの分布です。日量約60万5千tで、その全窒素濃度は加重平均で13.5mg/lです。全窒素の排出負荷量としては8.2t/日です。排出濃度を50%上げると、排出負荷は日量で約4t上昇します。一方、平成21年度の全窒素の播磨灘への排出負荷量は約35.1tですから全部の浄化センターが50%増しの運転をしたと



すれば、播磨灘への負荷量の増加率は約 10%です。下水道関係の方から「全部の施設で 50% 増しの運転は難しい」と言われていますので、実際にはもっと増加量は少ないと思います。ですから、浄化センターの栄養塩管理運転をしたとしても、これによって播磨灘の負荷量が何倍にもなるということは考えられません。高度経済成長期とは違うのです。下水処理場の管理運転は国土交通省の水環境マネジメント検討会の中でも取り上げられ、季節別運転などについて議論が実際に行われています。

皆様ご存知だと思いますが、これは去年の 10 月に出た中央環境審議会の答申です。これまでの水質管理から、豊かな瀬戸内海へ、あるいは栄養塩濃度レベルの設定と適切な維持、湾、灘ごとのきめ細かい管理などの必要性が書かれています。また、私が大事だと思う順応的管理の考え方に基づく取り組みの必要性も記述されています。現在はこれにもとづいた瀬戸内海的环境保全基本計画の見直しなどが具体的に検討されていると聞いています。

栄養塩供給（管理）だけで豊かな海は実現できるのか？

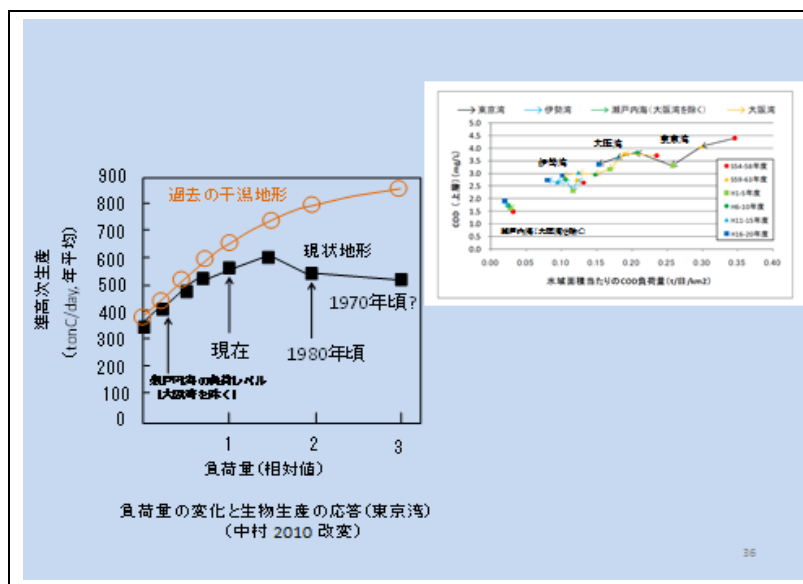
栄養塩管理と同時に

- ▶ 浅場、干潟の保全・造成
- ▶ 藻場の造成
- ▶ 二枚貝の増殖

必要

これまで、栄養塩の供給の話だけをしてきましたが、「それだけで豊かな海を実現できるのか」と言うと、違うと思います。やはり、浅場、干潟の造成、藻場の造成や、二枚貝の増殖などが必要です。これらにプラスして栄養塩管理が必要だと考えています。

この図は、瀬戸内海の現在の状況を示しています。図中左下は港湾航空技術研究所の中村さんが 2010 年に東京湾研究会で発表されたスライドに改変を加えたもので東京湾の例です。東京湾の過去の干潟地形が橙色です。過去の干潟地形を前提とした負荷量の場合の生産量が分かります。一方、現状の干潟地形は黒の線です。1980 年ごろの負荷量は図のとおりです。この頃は負荷量を減らして行くと、貧酸素水塊が減少して、海域の生産力が上がる効果が出ていました。しかし、現在はこの状態（現在と表示）にあ

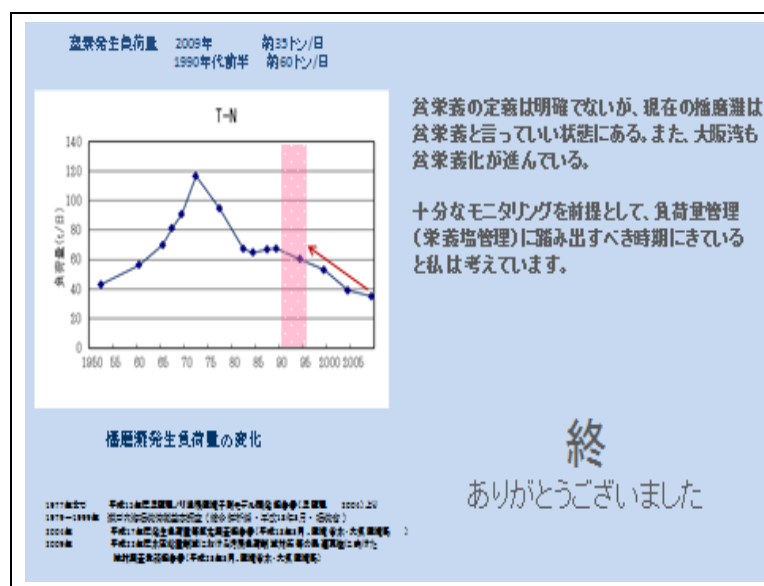


るので、負荷量を削減すると、海の生産力は低下していく方向にあります。このため、「現状では、負荷削減はこれぐらいに留めておき、それよりも、過去の干潟地形に戻す取り組み

みを優先すべきだろう」という提言をされておられます。以上が東京湾の現状です。

一方、今の瀬戸内海の負荷レベルは環境省が整理したデータから推測できます。右上の図は東京湾、大阪湾、伊勢湾、そして大阪湾を除く瀬戸内海の負荷のレベルです。この図から東京湾の負荷量に対する瀬戸内海の相対的な比率を求め、左下の図に示しました。これを見ますと、もちろん干潟の改善と回復は大事なのですが、今、負荷量を落として行くと、直ちに生産力の低下につながる恐れがあります。これは東京湾の例ですから、あくまで推測ですが、今、我々の海でこのような事態が進行しているのではないかという不安を抱いています。

最後に私の考えを述べます。現在の瀬戸内海(播磨灘)の全窒素負荷量は図に示すように過去の経緯からみて、すでに低いレベルにあります。漁獲量が一番多かった時代(1990 年前半)には負荷量は 60 t/日ぐらいありました。十分なモニタリングが前提となりますが、矢印方向へ負荷量管理に踏み出すべき時期に来ているのではないかと考えています。



以上です。どうもありがとうございました。

[本城先生]

ありがとうございます。非常に面白い話で香川県にも直結しているところがたくさんありました。会場からご質問をお願いしたいと思います。

[多田先生]

1951 年から 1972 年にかけて平均栄養段階が落ちて行き漁獲量が増えて行くのですが、今、平均栄養段階が戻っているというお話ですけれども、それであれば、その値に沿って漁獲量が減って行くのですか。つまり、1972 年に最も栄養段階数が低くて、そのあと漁獲量が落ちてきていますが、漁獲量もこのラインに乗って一緒に動いているのかどうか(多々良(1981)の栄養段階と漁獲量の関係図の直線上を動いてゆくのか?)。もし、動いてないのであれば、栄養塩だけでは説明できない部分があるということの証明になるのではないかと僕は思っているのですけど。

[反田先生]

今のご質問にすごく興味があつて、本当はそれを調べたいのですが、先ほどの説明で、片方が瀬戸内海全体の平均栄養段階であり（多々良さんの図）、私がやったのは播磨灘だけです。このため、どこで同じ値になってどうかという比較ができないのです。今のご質問に関しては、できる限り頑張ってデータを整理してみたいと思います。確かに漁獲量の変化との関係がずれているのであれば、当然違う要素が働いて、という結果が出るわけで、それは大きな成果になると思います。

[本城先生]

私からの質問です。この結果を見ますと、思った以上に栄養塩の変化に対する漁獲量の落ち方が早いですね。昔、授業で先生から習ったものよりも、ずっと早いような気がします。やはり、これが内海なのかな、瀬戸内圏域かな、という気がしています。

最終的に栄養塩レベルをどこかに定めていかなければなりません。播磨灘なら播磨灘の適正な栄養塩レベルを設定していく必要があるように、僕は感じました。そうすると、そのレベルは1995年ごろで良いのか。それよりももっと欲張るのか。反田先生はどのくらいに見れば良いとお考えでしょうか。

[反田先生]

1995年頃の漁獲量のレベルとそれを挟む環境の動きを見ますと、透明度はあまり変わらない。それから赤潮発生件数は落ち込んで横ばいです。だから、たぶん1995年頃の負荷量にゆっくり戻してやればよい。戻しても海底地形や海岸地形が当時とあまり変わっていないので、私は無茶苦茶に環境が悪くなることはないと思います。ただ、それより先に行くと、どうなるか分かりません。そこで、一つの目標として1995年ぐらいのレベルをめざしたら良いのかなと思います。

しかし、目標の栄養塩濃度レベルを維持していくことは、とても難しいと思います。そこで負荷量を設定して、その負荷量を管理して行く。そして負荷量に応じて海域栄養濃度がどのように反応するのかということをきちんとモニタリングするというやり方が現実的だと思います。

[本城先生]

そうですね。私も赤潮の専門家として、シャットネラの赤潮がいつごろから出なくなったのだろうかということで計算をしますと、1995年より少し前でした。岡市先生とも話をして、「やはりシャットネラは栄養がいっぱいあった時に出ていたのだろう」と言うことで、ほぼ一致しました。シャットネラが出れば漁業被害が大きいので、栄養が少なくなってシャットネラが出なくなるあたりが適正栄養塩レベルの設定になりそうだと、赤潮の専門家

と思います。

[反田先生]

そうですね。漁業にも漁船漁業もあれば養殖漁業もあるので、このような話は慎重にしないといけませんが、ただ、今のままほっておくのはどうかと思います。

[本城先生]

この結果だと、やはり河川から流れてきた陸域からの負荷量の減少ですね。そうすると、田畑への肥料の撒き方の違いや休耕田の多さとかに起因してくると思うし、多田先生は泥からの栄養供給も減ってきていると言われています。そのどちらからの供給も無くなっているのが現状ですから、大きな瀬戸内海の水量の中に栄養塩を管理して増やしていくには、どの海域にどのように負荷していくかというところの技術が必要ですね。

[反田先生]

産業が少なくなった上に汚水処理の技術などが向上しているので、窒素を供給するということが自体、かなり難しいことなのかなと感じます。

[本城先生]

どなたか、他にありませんか。

[質問者不明]

大変興味深いお話をありがとうございました。最初の方のお話で、N・P 比がすごく下がってきているという衝撃的な図を見せていただきました。これによってプランクトン組成とか、海藻の群落や植物プランクトン種組成などに何か変化が生じているということはございませんでしょうか。

[反田先生]

海藻の群落の種類組成というお話もございましたが、海藻でいえば少し天然のワカメが色薄くなったとか、そういったことがあります。それから、植物プランクトン種組成の変化に関しては、今のところ大きく変化したというようなことを聞いておりません。ただ私もプランクトン種組成の変化をつぶさに見ておらず、正確に答えることができないので、今ここであいまいなことを言わない方が良いと思います。これについては多田先生がご存知かと思います。

[多田先生]

今日、反田先生は 1995 年を境に見ておられましたが、もう少し以前から見てみますと、

瀬戸内海では珪藻類がメインでありながら鞭毛藻類の占める割合がいくらか見られました。その後、次第に珪藻類の占める割合が増えてきて、赤潮があのように出なくなっています。1995 年以降は珪藻類の優占率が高い所で頭打ちになり、さらに珪藻類の中で最も優占率が高かったスケルトネマのグループが播磨灘でも大阪湾でも落ちて、キートセレスなどの割合が高くなってきました。

僕らは一生懸命クロロフィル a の濃度を追いかけているのですが、残念ながらクロロフィル a の濃度が落ちたから、植物プランクトンの量も落ちたという結果がなかなか見つかりません。おそらく彼らは種組成を変えながら、環境の変化に対応しているのだろーと思っています。

[反田先生]

多田先生がおっしゃったようなことだと思います。ですから先ほど言った大型珪藻のユーカンピアが増えてノリを色落ちさせていることに繋がります。すみません。難しい質問をしまして。どうもありがとうございます。

[本城先生]

他にございませんでしょうか。

[山口先生]

香川大学の山口です。今日、DIN と漁獲量の非常にきれいな関係を見せていただきました。そして仮説として示された中では DIN の変化があって、植物プランクトンの変化があって、漁獲量が変わってきたとされていました。そうすると漁獲量の変化の直接的なトリガーは植物プランクトンの量的変化になると思います。ところが、植物プランクトンの量的変化と漁獲量を突き合わせると、必ずしもこのようにきれいな関係にならないような気がします。そこはどのように解釈しておられますか。

[反田先生]

きれいな関係にはならないと思います。実際にいろいろやってみても、栄養塩とクロロフィルと高次の生物というのが繋がらないのです。そして、その原因がどこにあるのか分からないのです。今、多田先生がおっしゃったようにプランクトンが種組成を変えながら応答していることなどプランクトン組成にも原因があるのかもしれませんが。今のところはそこが繋がっていないとしか言いようがないのです。ただ私は栄養塩濃度と 2 年遅れの漁獲量との相関を見ないといけないと思います。実はイカナゴの場合、当歳魚の漁獲量がその当歳魚の生育する冬場の栄養塩と年次のずれなしに高い相関を示します。イカナゴは生まれて数カ月で漁獲されるので、栄養塩のレベルが漁獲量に直接影響しているのではと思います。2 年というのはカレイなど播磨灘で漁獲されるいろいろな魚種の生活サイクル。す

なわち生まれてから漁獲されるまでの播磨灘での生育期間に近いものです。長いものでも生まれてから3年後には漁獲対象になります。3年後に漁獲対象になる魚種はむしろ少なく、満1歳か満2歳で漁獲対象になるという魚種が多いので、2年遅れて高い相関を示している可能性があると思います。

[本城先生]

ありがとうございます。