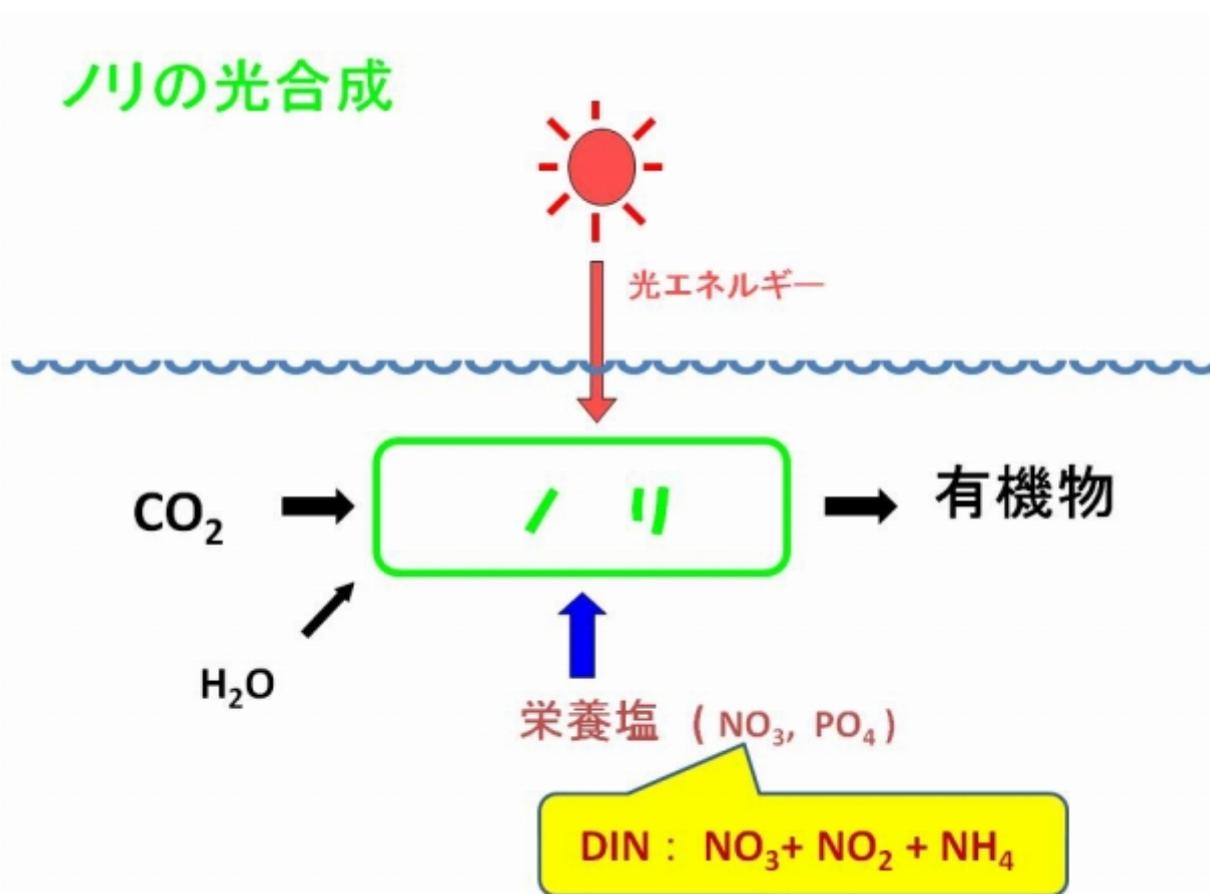


平成23年度 香川大学瀬戸内圏研究シンポジウム

多田 邦尚氏 備讃瀬戸海域の栄養塩の現状とノリ養殖の
新たな取り組みについて～ノリスカートを用いた養殖形態の
提案～

【講演内容】



海は大気と接しているため、海水中には酸素がたくさん溶けていて酸化状態です。そのため、無機態の窒素はほとんど硝酸の形で存在しています。しかし、海の無機窒素は硝酸、亜硝酸とアンモニアの形で存在していて、この三つを合わせて我々はDIN、無機三態窒素と呼んでいます。要するにノリはこれらのDINを摂取して黒色になって成長していくということです。

現場調査

・調査期間
2011年1月～2012年1月

・調査定点
瀬戸内海東部

播磨灘・小豆島沖 Stn. NH
(0m, 5m, 10m, 20m, 30m)

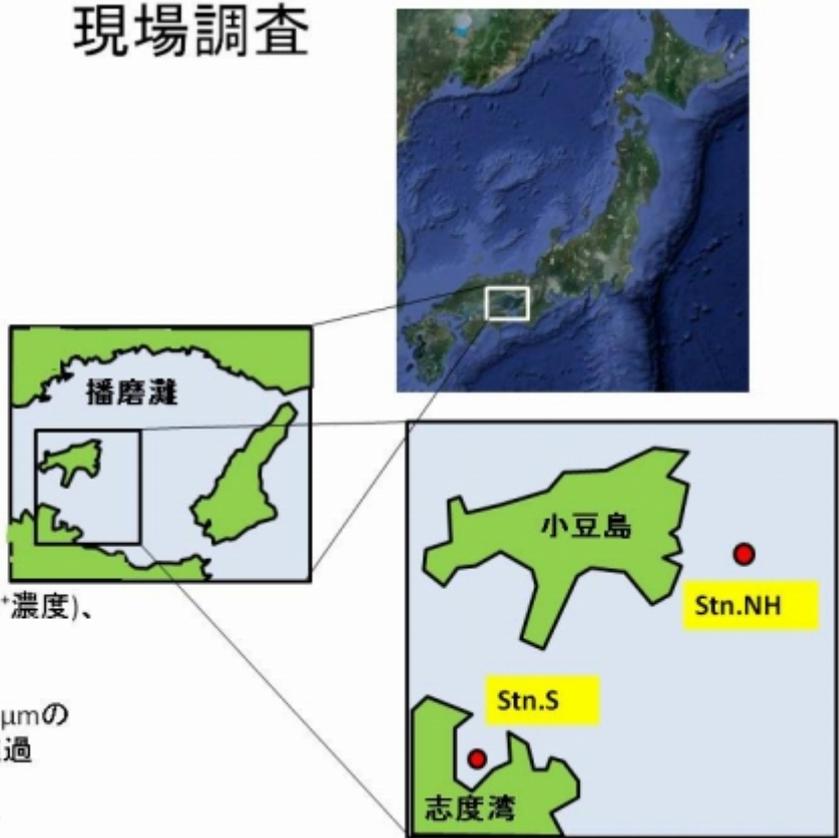
志度湾内 Stn. S
(0m, 2m, 4m, Bottom-1m)

・調査項目

DIN濃度($\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$ 濃度)、
 $\text{Si}(\text{OH})_4$ 濃度、 PO_4^{3-} 濃度

↓
各水深の海水を孔径 $0.45\mu\text{m}$ の
ディスクフィルターで濾過

↓
TRAACS 2000で分析



香川大学では、小豆島の東と志度湾の中にNH、Sというふたつの観測点を設けて、2011年1月から2012年の1月まで毎月1回、観測を行いました。

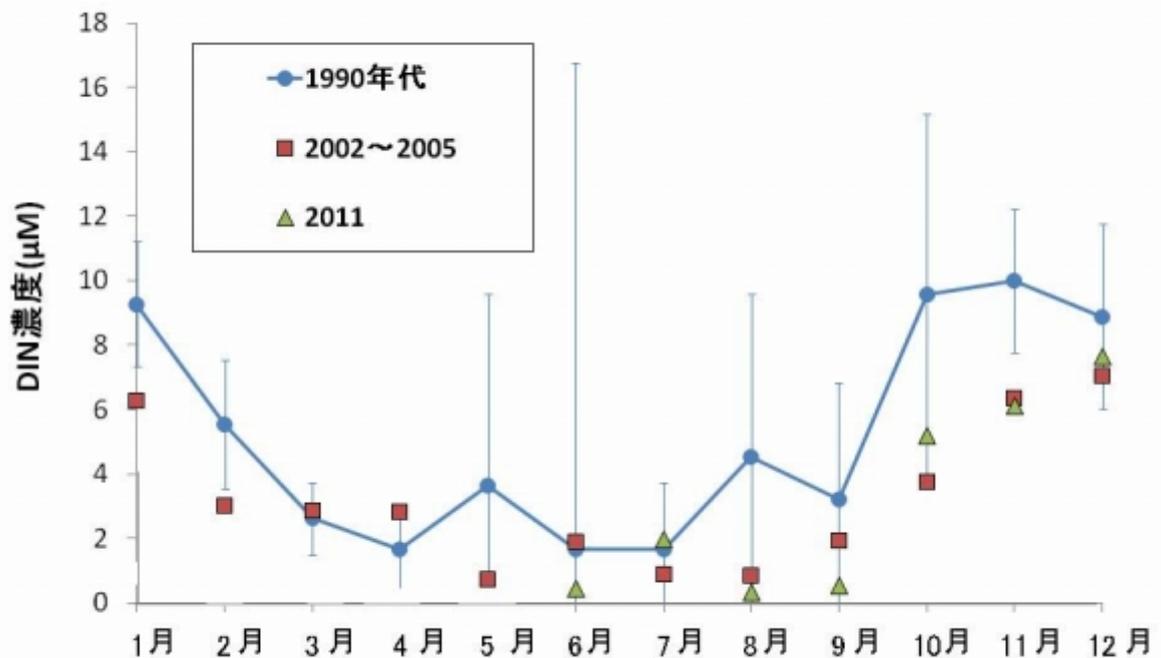


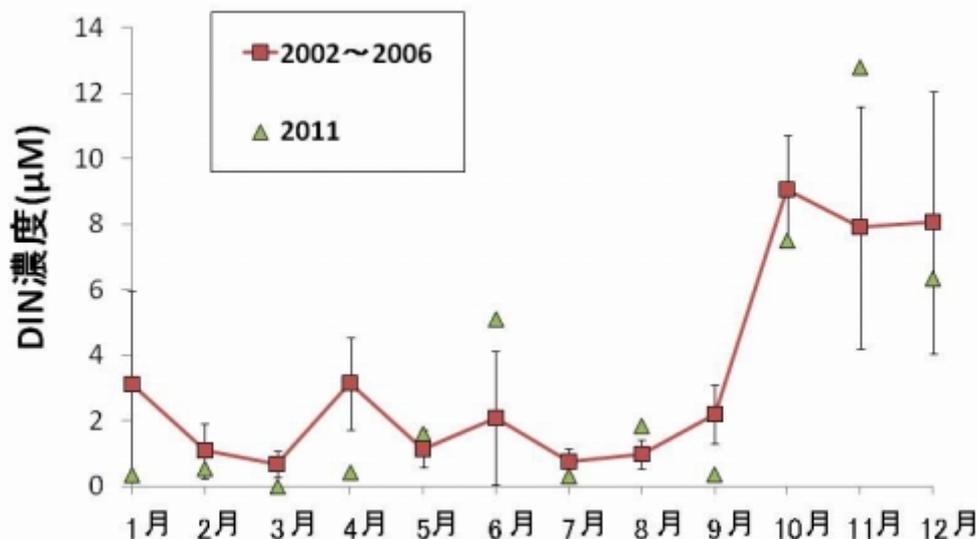
図 Stn. NHの表層(0m)のDIN濃度の比較

ノリは表層で生産します。そこで、表層水中の、先程お話ししたDINの濃度の推移を見てもみますとこの図のようになります。横軸に1月から12月までの期間を示しています。

このブルーのラインで繋いでいるのが1990年代、すなわちノリがよく取れていた時代の栄養塩濃度の変化を示しています。一般的に表層海水中の栄養塩というのは1月から夏に向けてどんどん下がって、夏場は低く推移し、冬が近づいてくると、表層水が冷やされて下層の水と混ざることによって栄養塩濃度は高くなります。ノリはちょうどこの時期に作るようになります。1990年代は、こういう変動をしていました。

大規模な色落ちが起って、ノリが不作になり始めた2002年から2005年をこの赤い四角で示しました。これを見ますと、ノリが取れた頃に比べれば、この赤い四角の点は常にこのブルーのラインより下にありまして、かつノリ養殖時期にこの赤い四角の点が特に下にあるという、こういう現実があります。

そして緑の三角で示した点が今年度です。6月からのデータではありますが、これを見ますと、2002年から2005年とほぼ同じようなパターンで変化しており、ノリが取れなくなっからの典型的な海のパターンが今年も見られたということです。

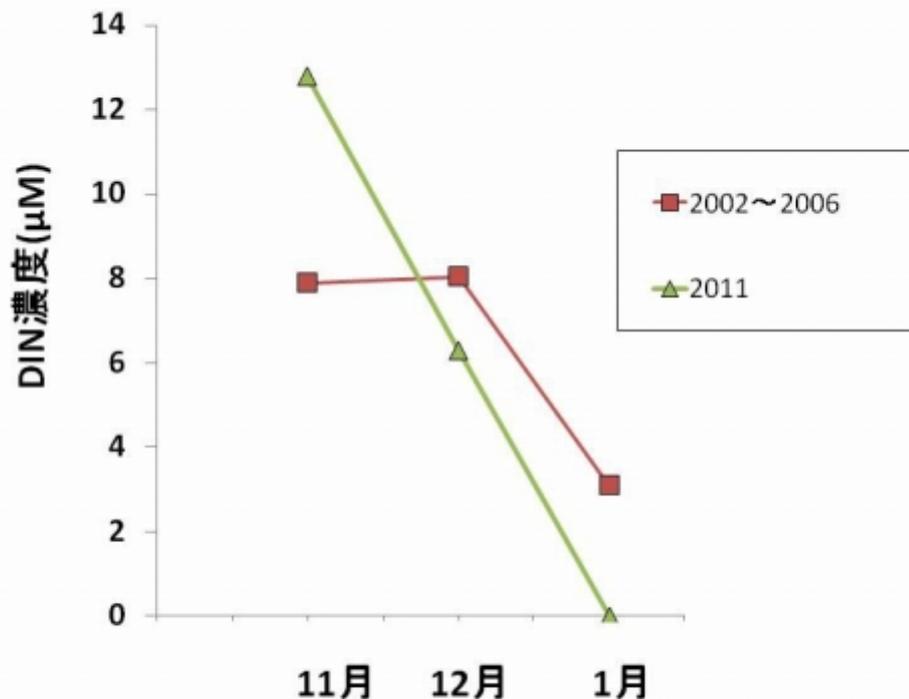


Stn. Sの表層 (0m) のDIN濃度の比較

一方、志度湾でのノリ養殖は湾内ではなくて湾口で行われています。2002年から2006年、ノリがあまり取れなくなっからの毎月の栄養塩濃度の推移をこの図の中に赤のラインで結びました。今年の2011年をここへ同時に緑の三角で示していますが、これ

を見てみますと大体ノリが取れなくなった時期とあまり変わりのない変化を示しています。ただ、台風があったこの6月とそれから11月で高い値を示しました。

年によってはこのように急に栄養塩濃度が高くなることもあり、今年はこれなら結構ノリは取れるのではないかなと期待していましたが、翌月の12月には、標準偏差内ではあるのですけれども、平均値を下回り、ここまで落ちてきました。



次いでに、2011年の11月と12月からさらに2012年1月までの3ヶ月間をピックアップしたのがこの図です。2002年から2006年までの平均で見ると、ほぼ8μM（マイクロモル）から3μMぐらいにまで減少しているというパターンですが、2011年11月に濃度が高いと思って喜んでいたところ、このように一気に下降線をたどってしまいました。今年は1 1月に栄養塩濃度が高かったというのはいつの話ですか、というくらい1月になったらもう栄養は全く枯渇してしまう状況にありました。

瀬戸内海では沖合と内湾のどちらでもDIN不足

ノリに十分な栄養塩を供給するには**施肥**が必要だと
考えられる

小豆島の内海湾における施肥実験



ノリスカートの有用性の検証

このような現実から、瀬戸内海では沖合と内湾のどちらもDIN不足であるといえます。ノリに十分な栄養塩を供給するにはやはり施肥、すなわち肥料を撒くことが必要であろうと考えられました。そこで、小豆島の内海湾で施肥実験をしようということになり、後で詳しく述べますが、ノリスカートというものを考案して、その有用性の検証を行いました。



この実験は、11月にノリ網に網型スカートをセットして、実際に12月から肥料の散布実験を始めました。12月、1月、2月と3ヶ月間実験をして、現在大急ぎで、香川県水産試験場の人たちとデータの整理をしているところで、今日は完璧な総括ではなくて、速報的に概要をお話したいと思います。

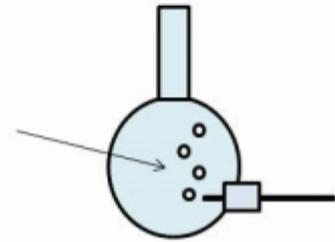
未整理のデータがたくさんありますけども、なんとかこういう結果が得られ、こういうことが考えられますよ、という程度の話をしていただきます。おかげさまで多数の新聞やテレビのマスコミにも取り上げていただきました。

ハリの栄養塩吸収

 × 10
1cm

スサビノリ(*Porphyra yezonensis*) の培養実験

NO₃⁻濃度: 20 μM
PO₄³⁻濃度: 5 μM



- ・ノリは60分以上、高濃度のDINにさらされると色調が回復 (藤原 2011)
- ・ノリは、明期でも暗期でも、同様に窒素を吸収

ノリスカートと呼んでおります装置を使った施肥実験を行う前に、ノリの栄養塩吸収特性についての勉強会を開催、あるいは吸収実験をして施肥実験に備えました。この話をすると長い話になってしまいますから、ここでは簡単な説明に留めます。

現在、香川県で養殖に使われている直径1cmに切ったスサビノリ葉体を、栄養塩添加海水を含むフラスコに入れて、栄養塩がどういうふうにノリに吸収されるかを調べました。ノリスカートを使った施肥実験のための多くの試験から、多くの知見が得られましたけれども、話を単純にするために、非常に大切な事実を二つ、ここで紹介します。

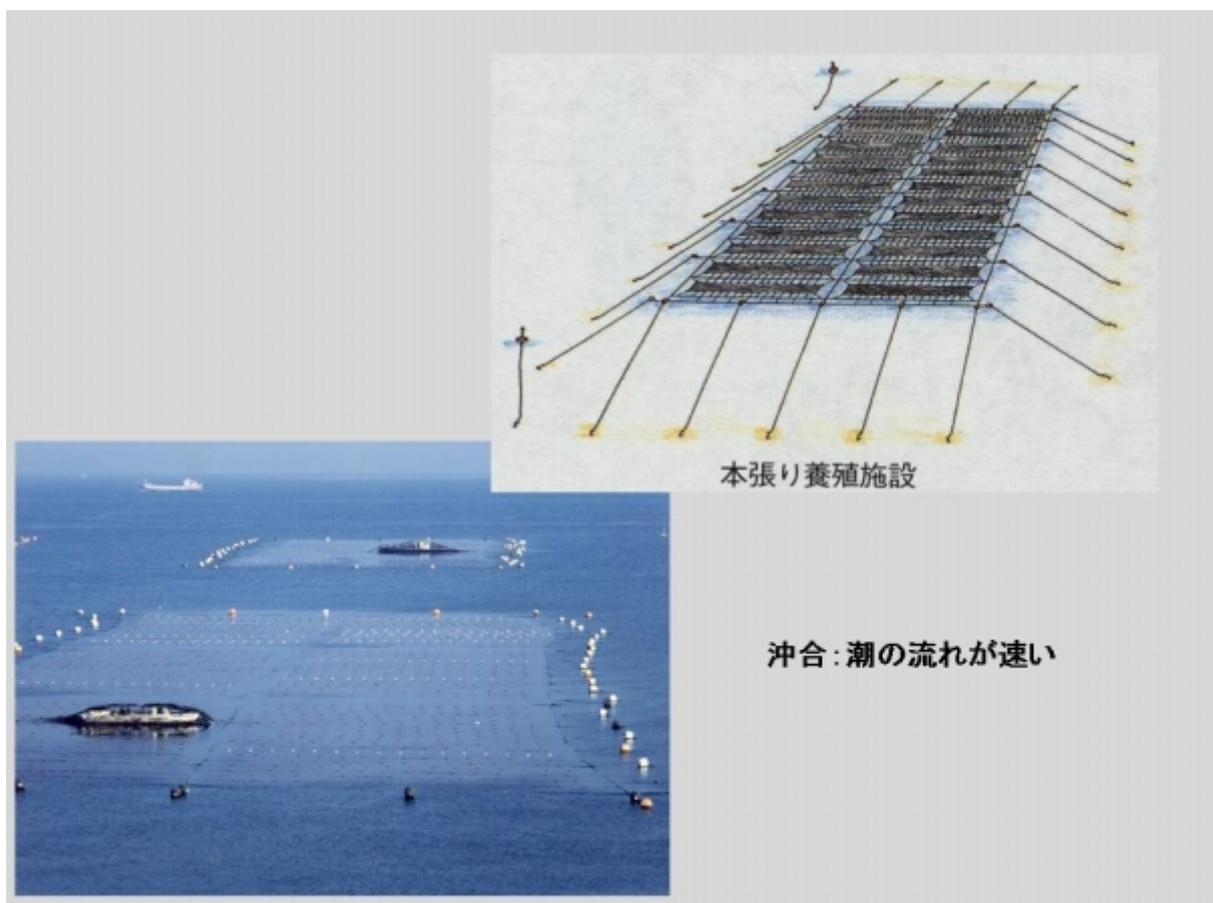
まず一つは、既に水産試験場の藤原さんが発表されたことですが、ノリは60分以上高濃度のDINに曝されると色調が回復するという非常に大切な事実です。肥料を撒いても、雨が降って流れない限り肥料はそこにとどまる畑とは違って、常に海水が流れ動いている海に肥料を撒けば拡散してしまいます。ところが、ノリは60分以上高濃度のDINに曝されないと色調が回復しないということです。90分程度ノリ網内に栄養分が留まることを狙って、4mm目のもじ網で作ったスカート（ノリスカート）を取り付けて施肥をすることを考えたわけです。

それからもう一つ、ノリは明るい時と暗い時のどちらで栄養塩を吸収するのかを水産試験場と香川大学で共同して調べました。結果の図は省きますが、明期でも暗期でも同様に窒素を吸収することが分かりました。これは施肥を昼間にしても夜にしても一緒だ

ということです。

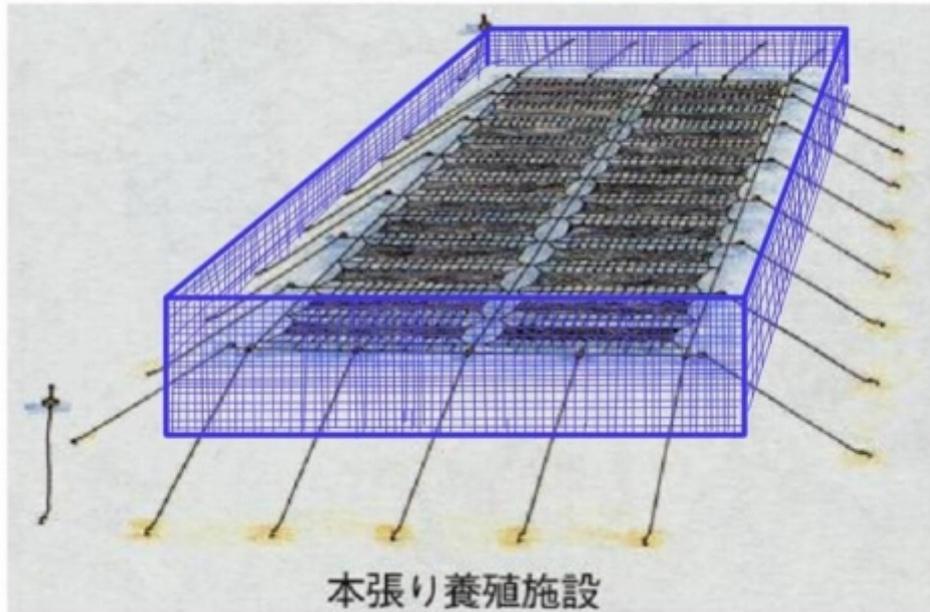
この二つの大事な事実に基づいてノリスカートで囲ったノリ網に施肥をする実験を行いました。

内海湾でのノリスカートを使った施肥実験は非常に大掛かりで、私たちが普段、研究室で水槽を使って行っているような仕事とは全く異なり、香川大学、それから香川県、小豆島町、内海漁協の皆さん、それから香川県漁連、いろんな方の協力を得て、実験を実施することができた次第です。



香川県のノリ養殖は浮き流し式といって、この写真にあるように沖合の潮の流れの速い所に、この写真のように網を張ってノリは作られています。まあ言うなれば、海水に含まれる栄養分は少ないのですが、この網を通過する海水の体積で栄養を賄い勝負するというノリ養殖です。潮の流れの速い所にノリ網を浮かせるように浮きを付けてセットして、それをロープで固定して、こういう方式でノリを養殖しています。しかし、逆に言えばここに肥料を撒いても、すぐに潮の流れが速いから拡散してなくなってしまうということになります。

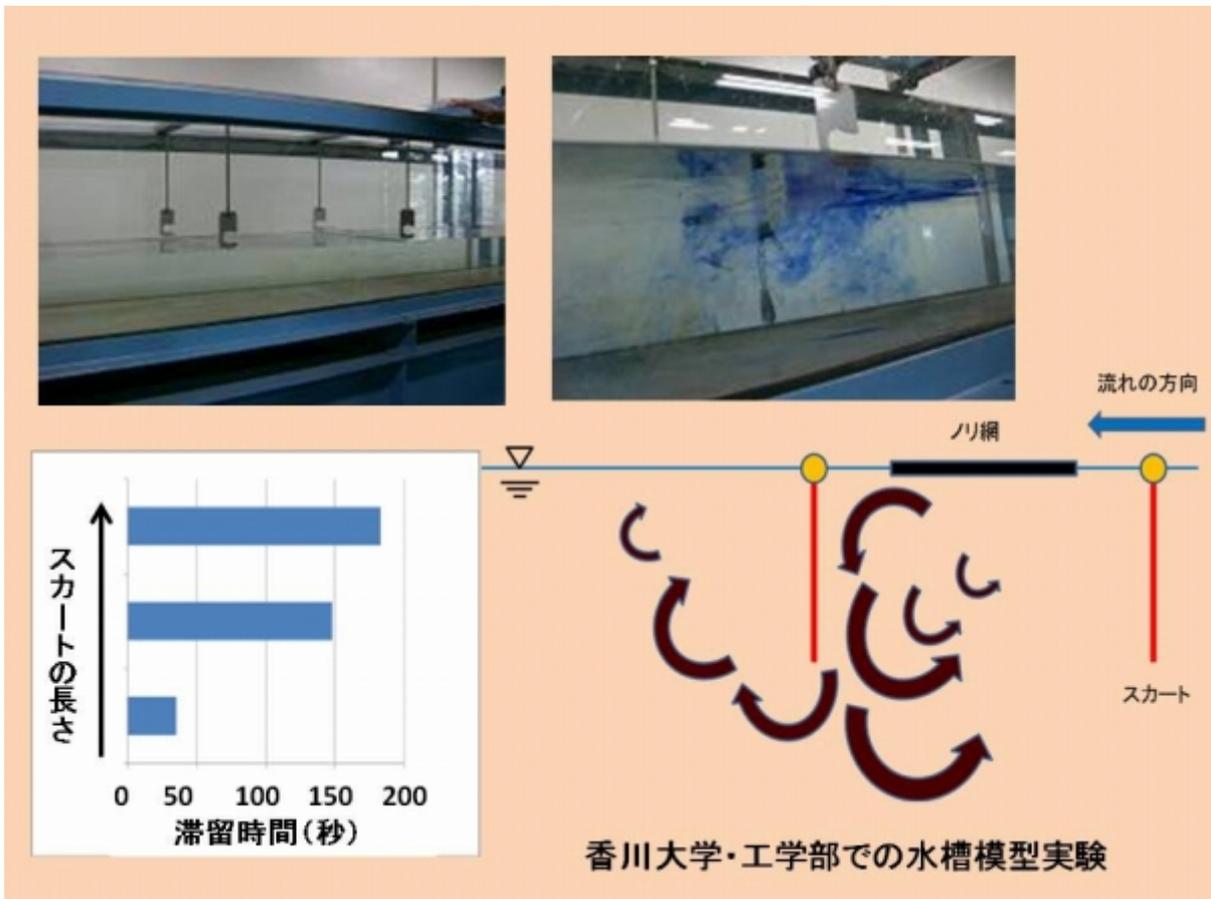
沖合:潮の流れ速い ⇒ 施肥効果なし
内湾:潮の流れ遅い ⇒ 施肥効果の可能性 さらに囲う!



本張り養殖施設 ノリスカートのイメージ図

そこで、私たちが考えたのは、ノリ網を流れの遅い内湾に持って来て、さらにノリ網をノリスカートで囲むという肥料散布方式で、沖合よりも潮の流れが遅い内湾に持って来て、さらにそれをこのように囲んで、そこに肥料を放り込むという考えです。

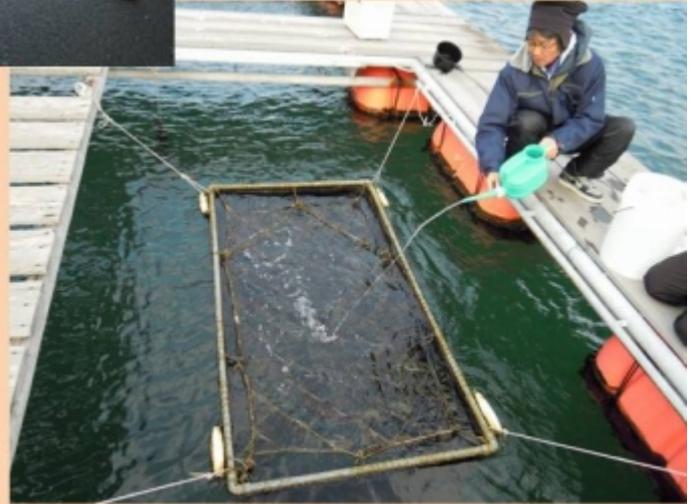
それから、瀬戸内海は瀬戸内法という法律を制定して水質を改善する努力を35年以上続けてきました。それに逆行するようなことはできません。そのため、撒いた肥料はできるだけノリに吸収してもらって、周りに肥料をできるだけ漏らさない。肥料を撒くことによって環境が変わるようなことは絶対に避けなければならないことを考慮して実験を行いました。



現場での本実験を始めるまでには工学部で水理模型水槽を使って、例えばノリスカーットの形状を決めるために、水槽でインクを流す可視化モデル実験を行いました。右下の図で、ここにノリ網があって、網（黒色）にスカート（赤色）をはかせて潮の流れが右から左の方向に流れている場合、こういうふうな渦ができる。それではスカートの丈をノリ網に対して何対何にすればどういう流れができるか、絵の具を流しながらいろいろと実験してスカートの丈の長さを決めていきました。



香川県水産試験場前
の小型ノリスカート実験



また、内海湾で実験を行う前に、ノリ網の小型模型を作って、香川県水産試験場前の小割イケスで実際にこのように吊り下げてみて、肥料を撒いてどれくらいこの中に高い栄養塩濃度が保持されるかということを確認しました。

<ノリスカートの条件>

・ 設置場所

沖合では効果が見込めない、内湾で！

・ スカートの形状・素材

流れを完全に遮断するのは不可能
流れを遮断すると、ノリに病気発生しやすい
施肥の時のみスカート設置、上げ降ろし可能式

・ 肥料海水

1/3～1/5海水で比重を軽くして、肥料を表層に留める
1/3～1/5海水の浸透圧差を利用して、ノリが効率良く吸収
N源はノリに吸収し易いアンモニア

⇒ **環境負荷をできるだけ少なく！**

このようなさまざまな検討を経て、ノリスカートってどうあるべきかについて簡単にまとめてみますとこのようになります。

まず設置場所です。流れの速い沖合では効果が見込めないので内湾でやりましょう。それからスカートの形に関してですが、流れを完全に遮断するのは不可能です。東日本大震災の津波の映像でもよくご存知のように、海の中に壁みたいなものを作ろうものなら潮の流れに負けて壊れてしまうか、ノリ網ごとどこかへ持って行かれるか、あるいは引きちぎられて流されてしまうかでしょう。だから完全には遮断することはできないと考えました。

もう一方でノリ網の中の流れを止めてしまうと、ノリの根が弱くなって剥離したり、病気が発生しやすいという心配があります。だから適切に肥料を撒くためには、なるべく水は動かない状態での散布が良いけれども、ノリの健康に配慮するならば適当に水が動いている方が良いでしょう。そこで、施肥をする時のみスカートを表面まで上げ、それ以外の時には流れを与えるためにスカートを下に降すという、スカートの上げ降ろしが可能な、可変式を考えました。

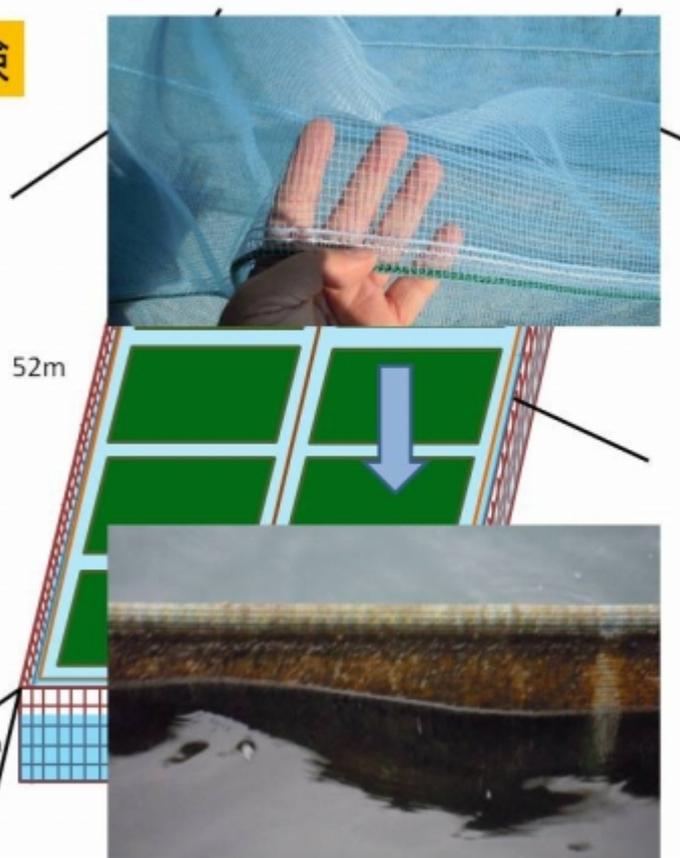
それから、撒く肥料海水は、真水と海水を混ぜ合わせた3分の1海水から5分の1海水と

比重を軽くし、これらに肥料を溶かして散布しました。比重が軽い肥料海水を海面に撒くと、肥料の入った海水をしばらく表層に留めることができます。また、真水が含まれていますので浸透圧差が生じます。ノリは塩分の高い海水の中にいるわけですから、そこに真水の混ざった塩分の低い肥料海水が入ってくると、当然浸透圧の違いで海水の中に入っている栄養分をノリは取り込みやすくなります。そういうことで浸透圧差を利用してノリが効率よく吸収できるようにしました。

それから窒素源には硝酸、亜硝酸およびアンモニアがあります。これも過去の取り込み実験の結果から、硝酸よりノリ自身が吸収しやすいアンモニアを使うということで、色落ちを防ぐ窒素源としては塩化アンモニウムを採用しました。これらを総合したうえで、環境負荷を出来るだけ少なくするような方法で肥料を撒きたいということです。

小豆島での施肥実験

- 2012年1月20日
- ・散布した肥料の濃度
塩化アンモニウム(195 mM)
+
リン酸二水素カリウム(1.70 mM)
 - ・散布した肥料海水の量
2000 L
 - 1/3~1/5海水
 - ・採水時間
直前、直後、30~90分後(30分おき)
 - ・分析項目
 $\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$ 濃度、 NH_4^+ 濃度、
 PO_4^{3-} 濃度



実際に内海湾にスカートを装備したノリ網をセットしたのは11月で、1月20日に第1回目の施肥をしました。ノリ網にさきほどお話したノリスカートと呼ばれるもので囲います。ノリスカートのサイズは45m×52mの囲いで、高さは約2mにしてあります。この中に塩化アンモニウムとリン酸二水素カリウムの肥料を図に書いているような濃度の肥料海水を2t撒きました。さっきお話したように3分の1から5分の1海水で、比重を軽くしてあります。これを撒いた直後から90分後まで、ノリ網の中、あるいはその周りで海水

を採取して、アンモニア濃度がどれぐらいノリスカート内に保たれているかを調べました。

ノリスカートは11月にセットしていますので、実際にはこのようにもじ網に付着物が目詰まりを起こす程度に付着していて、スカート内の海水の動きを幾分留められるまでになっています。これぐらいの目合いにして、これぐらい放置すれば、海水の動きを留めることができるようになるだろうという内海漁港の漁師さんのお話を参考にしてこういうふうにしました。



小豆島・内海湾での肥料散布

実際、これが散布している時の写真です。肥料を溶かした水をこのように、ノリ網面に一様に散布してやるということです。

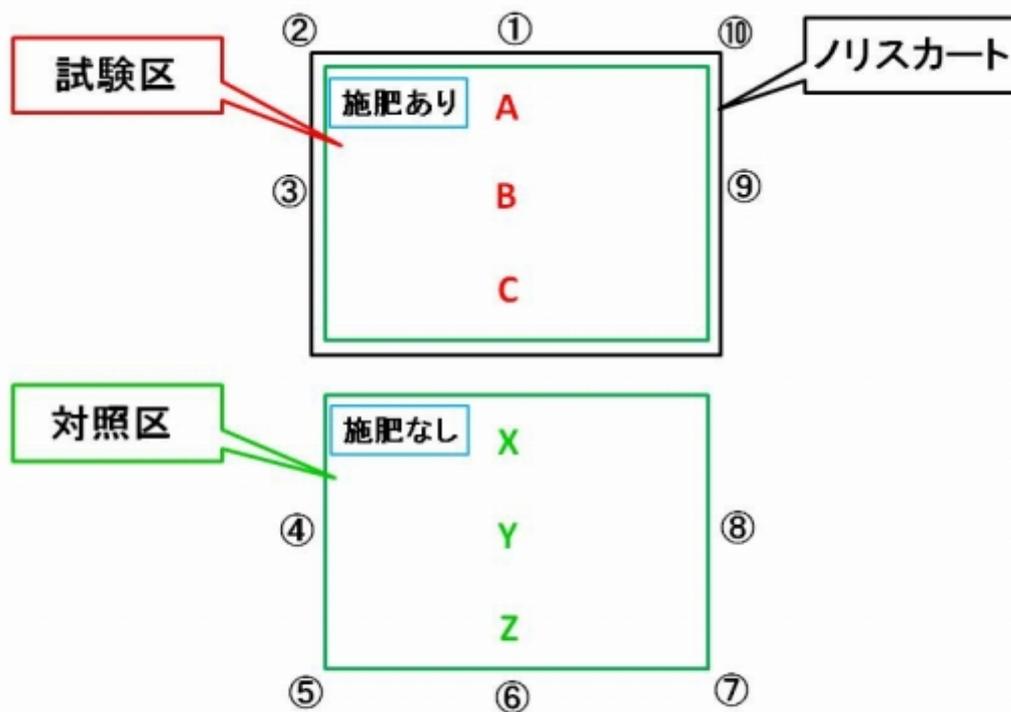


図 施肥実験における採水場所

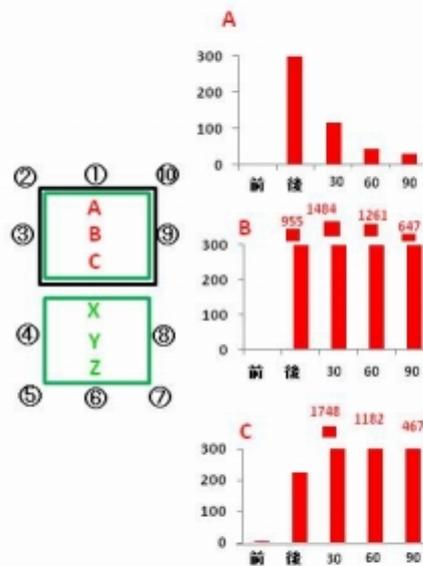
内海湾での試験場所ではこういうふうにもリ網が配置してありまして、ノリ網（緑色）を2セットこのように入れてもらって、この黒い枠で囲ったのがノリスカートです。

試験区は、ノリ網をノリスカートで囲ってあります。これはさきほど説明したとおりです。対照区はノリ網だけがあってノリスカートもないし、施肥もしません。この中に採水をするABCという3点の観測点を、また、対照区にはXYZという観測点を設けました。

肥料散布の試験中、ノリ網内からは試験区と対照区の3点と3点、計6点において一定時間間隔で海水を採取しつづけました。それから、このノリ網の試験区と対照区のまわりに反時計回りに1、2、3、4、5、6、7、8、9、10と10ヶ所の観測点を設けて、ここでも海水を同様に採り続けました。

・縦軸: NH_4^+ 濃度(μM)
 ・横軸: 採水タイミング

前=施肥直前
 後=施肥直後
 30=施肥30分後
 60=施肥60分後
 90=施肥90分後



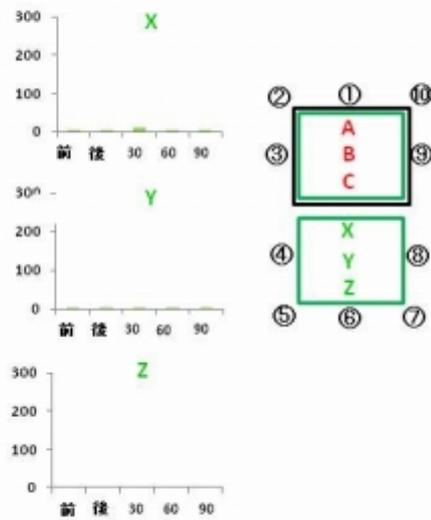
早速、結果の説明をしましょう。まずノリスカートで囲ったノリ網の中の観測点ABCのアンモニア濃度の経時的な変化をこのグラフに示してあります。

まず一番左側が施肥をする直前、現場のアンモニア濃度はほとんどゼロです。肥料を撒いた後すぐに船をこの中に入れてABCで採水しました。その後30分後、60分後、90分後まで水を採って、アンモニア濃度を測り続けました。

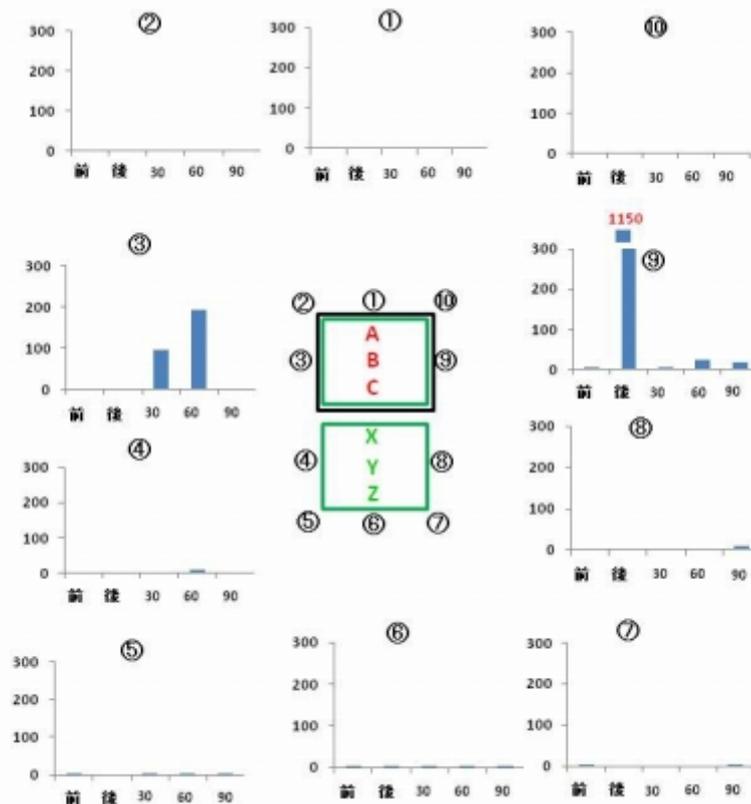
実はこのABCの中でかなり濃度に変化はありますが、90分後でも数十 μM （マイクロモル）から650 μM ほどのアンモニア濃度がこのスカート内で保持されていました。これはノリの色調を回復させるのに十分なアンモニア濃度です。室内実験の結果から60分以上でノリの色調が回復するということが分かっていますので、この結果は十分なノリの色落ちを防止できる効果が期待できることを示しています。

- ・縦軸: NH_4^+ 濃度(μM)
- ・横軸: 採水タイミング

前 = 施肥直前
 後 = 施肥直後
 30 = 施肥30分後
 60 = 施肥60分後
 90 = 施肥90分後



一方、スカートもなく、肥料も撒いてない対照区のXYZという3点については、このノリスカートに一番近いXという点で、30分後に若干高いアンモニア濃度が検出された以外は、際立ったアンモニア濃度の増加も認められませんでした。



ふたつのノリ網の周りに設定した1から10までの観測地点のアンモニア濃度を示したのがこのグラフです。施肥をしたこのスカートの左右の観測点、3番と9番で若干高い値が見られたのみで、90分後になるとほとんど高いアンモニア濃度は見られません。そのほかの観測点に関してもほとんど目立って高いアンモニア濃度は観測されなかったということです。

以上、この結果から見てみますと、ノリスカートによってノリ網内にノリの色落ちを防ぐに十分なアンモニア濃度を保持できているということ、それから、スカートの周りにはたくさんの肥料が漏れ出ているということもありませんでした。内海湾のノリ網を設置したこの海域では、肥料散布による環境への影響は極めて少ないだろうと考えられました。



施肥した試験区と施肥していない対照区で取れたノリをいただってきたのですが、見た目にもこのように色の違いははっきりしていますし、値段も試験区のノリー一枚が5円99銭で、対照区では4円とういことで約2円も値段が違うということです。一応このノリを会場入口のテーブルの上に置いてありますので、ぜひお帰りの際にもう一度見て帰ってください。

今年の結果は、肥料を撒く時期が遅れて色を落としてしまったけれども、施肥によってここまで頑張っで回復させることができたということです。

まとめ

- ・沖合および湾内の両方で過去と比べDIN濃度の低下が確認され、ノリに栄養塩を供給するには施肥が必要
- ・ノリスカートは60分後でも肥料を十分に留めており、周辺環境への負荷が少ない
- ・施肥区と対照区において、収穫されたノリの色には、有意な差が認められた。

⇒ ノリスカートのノリの色落ち防止効果は、十分に
あると考えられた。

今後、施肥のタイミング、施肥濃度、ノリスカートの形状等
について、さらに、検討を進める ！

以上をまとめてみますと、沖合および湾内の両方で過去と比べDIN濃度の低下が確認され、安定したノリ養殖をするためにはやはり施肥が必要であるということ。ノリスカートは60分後でも肥料を十分に内部に留めており、周辺環境への負荷が少ないこと。それから、施肥区と対照区において収穫されたノリの色には有意な差が認められたこと。

これらを総合して考えますと、ノリスカートのノリの色落ち防止効果は十分にありと
考えられました。今後、先ほどもお話しましたが、施肥のタイミング、それから施肥の
濃度、それからノリスカートの形状など、さらに検討を進める必要があると考えていま
す。

ご静聴ありがとうございました。

瀬戸内圏研究センターは

次年度も頑張ります。



【質疑・応答】

Q. 数年前、本城先生は施肥肥料として、海の中に元々存在する生物由来の窒素分を使ってそれを肥料として使うと話をされていたと思うのですが、そういう発想の施肥試験をこれからも考えていくことが、本当に海にやさしい施肥ではないかと思っております。

A. 海の中の生物を腐らせて、無機化させ、それをノリに撒けば海から来たもの施肥で海に返すことが上手くいっても、廃棄物処理に関する法律をクリアしないといけない問題があります。当初考えた海の中の窒素分をなんとか上手く使うのは、やはり理想ではあると思います。また、処理に要するコストの問題もあると思います。

ただ、上手く海の中の窒素化合物を無機化する方法が開発できれば、船の上に水槽にそれを溶かして一気にホースで撒くことができると思います。かなり先の話かも知れませんが、それは検討するべきだと思います。

Q. もっと広い範囲で、どういうふうにしてこの技術を応用していくかについてです。ノリスカートを装着しても、小豆島の沖とか高松の沖とか広い範囲で撒くことは難しいかもしれない。それをどうするか。散布技術ですね。今、多田さんが言われたような海水からの窒素を、上手く循環させてノリに持っていく。それをどのようにしていくか。私は、作業は大変だけれども、潮止まりの時間を上手く利用して、その時間に撒くことが一つあると思いますね。そうすると、ノリスカートなしに、潮止まりの60分ぐらいの散布は可能かも知れない。危険だと思いますが、一つの考えを申しました。

A. 潮止まりの話は私たちも考えています。ノリスカートは確実に潮の流れを止めることができる方法ではないので、その時撒けるかどうか別にして、潮が止まる時間を常に見ています。また、施肥をするタイミングは、天気によって左右されます。風の強い日だとか雨が降る日など、上手くいかないことがあります。もちろん満潮と干潮のちょうど間ぐらいを常に狙っています。

発表ありがとうございました。香川県のノリ養殖が全国でも5位、6位というのは香川県の方も結構知られていない事実です。サンポートから海を見るとノリ網のセットが見えます。香川県の高松沖でもノリが作られているのをぜひご覧になって帰っていただけたらと思います。

Q. 処理場も含めて、川の栄養塩をあてにするということは難しいですか。

A. 内海湾は閉鎖的ですから、ノリスカート方式は非常に適用しやすい。それを狙って選ばれています。しかし、開放的な湾や潮流の速い漁場ですと、先生も心配されているように施設が持たない可能性が高いので、異なった方法を別途検討していく必要があるように思います。

異なった方法のひとつに、下水処理場からの栄養塩がありますけれども、その量は限られています。また、河川水の栄養塩があります。しかし、水量のコントロールは天気まかせで人間にはできません。

今年は夏に雨が多かったのでノリの色がかなり戻ってきましたが、渇水の年には栄養塩はゼロになると思われます。そういう時にこそ施肥は重要な技術であると思います。

ですので、今回の内海湾の技術以外にも色々な型の技術を検討していく必要があるかな
と思っています。そういう時にコストの話が後々出てくると思います。その点も含めて
また今後、検討していただければと思います。

※本サイトに掲載している文章・文献・写真・イラストなどの二次使用は、固くお断り
します。

Copyright(C) Kagawa University All Rights Reserved.

閉じる×