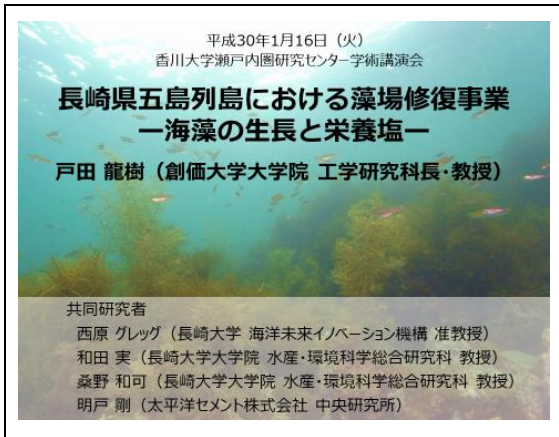


長崎県五島列島における藻場修復事業  
 - 海藻の成長と栄養塩 -

創価大学 大学院工学研究科長 教授 戸田龍樹



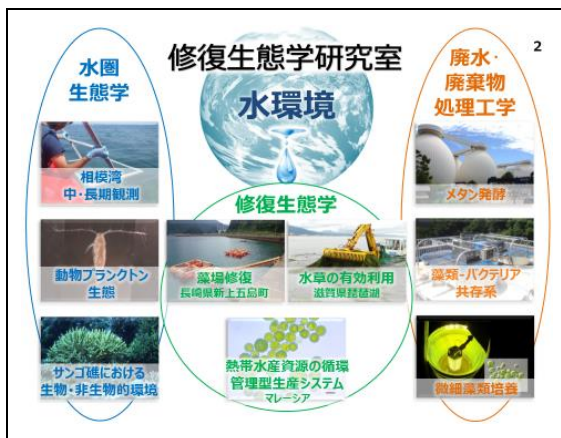
本城先生、それからセンター長の多田先生、  
 こういう場をいただき、我々の長崎県の活動  
 を紹介できるということで、今日はどうもあ  
 りがとうございます。

瀬戸内圏研究センター学術講演会とい  
 うことなのですが、今日の話の中では瀬戸内  
 ではない話をさせていただくということで、若  
 干恐縮しているところです。このプロジェク  
 トは私だけではなくて、長崎大学のグレッグ  
 先生、和田先生、桑野先生、それから太平洋

セメントという会社が参画しており、2つの大学と企業の3者で進めているプロジェクトで  
 す。

講演に先立って、自己紹介と研究テーマの  
 紹介を兼ねて話をさせていただきたいと思  
 います。大学院時代はプランクトン学、水圏  
 生態学というものを勉強しました。北海道大  
 学水産学部と東京大学の海洋研究所でプラ  
 ンクトンの仕事をしておりました。そのあと  
 創価大学の工学部に移って、環境工学とか、  
 水処理工学というものを勉強、研究して、現  
 在ですが、修復生態学という研究室を立ち上  
 げて、大学院生等の面倒を見ているというこ  
 とであります。

修復生態学はどのようなものかと言いま  
 すと、水圏の修復生態もありますし、陸域の  
 修復生態もあるのですが、私は水域の修復生  
 態学ということで、基礎的な水圏生態学の研  
 究をしつつ応用的な水処理工学等のエンジ  
 ニアリング的な仕事もしています。この2つ  
 を合わせて、今、壊れた自然生態系とか、負  
 荷がかかっている自然生態系をどのように



回して行ったら良いか、修復して行ったら良いかというような研究を行っています。

自治体や国からいただいている研究プロジェクトとしては、今、3つ大きなものが走っておりまして、1つは水草の有効利用です。琵琶湖にはものすごい量の水草が毎年増えており、いくら取っても取り切れないというような状態です。この水草をどのように有効利用するかという研究プロジェクトです。もう1つは、あとで写真を見ていただきたいと思いますが、熱帯水産資源の循環管理型生産システムの構築という、マレーシアで実施している国際共同プロジェクトです。そして3つ目が、今日詳しくご説明させていただきたいと思っている藻場修復、長崎県の新上五島町で行っているプロジェクトです。

私の修復生態学においてキーテクノロジーとなるのは、メタン発酵の技術と微細藻類の大量培養技術です。右図が今行っているプロジェクトです。まずプロジェクトの写真を見ていただいて、それから今日の話に入りたいと思います。現在の環境工学技術と水圏生態学の知識を利用し、新しい循環型社会形成の構築に向けての研究開発を行っています。

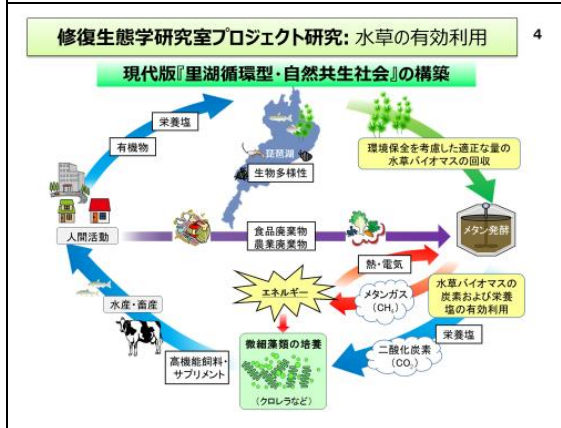
これが、我々が描く琵琶湖循環型社会の絵です。水草がどんどん生えていっていても、回収できた水草からは、メタン発酵によってバイオガスを得て、それらを電気エネルギーに変換できます。メタン発酵では、エネルギーを得ることのできるガスを生成できるということも重要ですが、残った液（消化液と言う）に窒素（N）やリン（P）などの栄養がたっぷり入っています。それ等を使って、微細藻類を生産することで、循環型の社会に組み込もうというものです。滋賀県立大学環境

科学部の伴先生と共同で行っていて、作られた微細藻類は多くのタンパク質を含むため、作ったものを競馬場の馬だとか、近隣の牛舎の餌に混ぜてもらおうというようなことを考えています。ここ、すなわち付加価値のある微細藻類の生産が循環の輪の中のエンジンになっていて、循環型社会を回転させます。

現在ならびに直近の研究プロジェクト 3

- ▶ 2014-2016; 環境省環境研究総合推進費 “水草バイオマスの持続可能な収穫と利活用による湖沼生態系保全技術の確立 Novel Lake Ecosystem Management by Sustainable Harvesting and Effective Utilization of Aquatic Weed Biomass”  
⇒2017-現在 滋賀県水草対策事業等開発事業など
- ▶ 2015-現在; 地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム・プロジェクトリーダー Science and Technology Research Partnership for Sustainable Development (SATREPS by JST-JICA), “微細藻類の大量培養技術の確立による持続可能な熱帯水産資源生産システムの構築 Continuous Operation System for Microalgae Production Optimized for Sustainable Tropical Aquaculture (COSMOS)”
- ▶ 2014-2016; 新上五島町磯焼け対策実証実験  
⇒2017-現在 新上五島町磯焼け対策事業

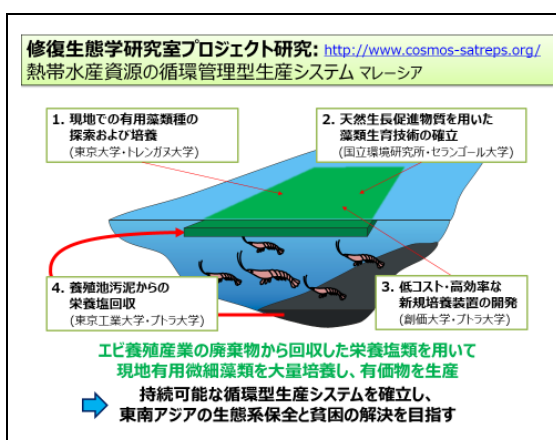
➡ 現代の技術と水圏生態学を利用した循環型社会形成



次は、マレーシアで行っているプロジェクトはどのようなものかと言いますと、この写真をご覧ください。これはマングローブ林です。豊みたいになっている所がエビ養殖場です。エビ養殖場からものすごく汚い水が出ています。エビ養殖をすると、養殖ポンドに汚泥がどんどん溜まって行きます。汚泥が溜まるとそれらを洗い出さか、次の所をまた新しく切り開くというようなことで、悪循環が続いているのが東南アジアの現状です。



これを打破するために、栄養をこの汚泥の中から抽出し有効利用しようと考えています。安価なフォト・バイオ・リアクターを開発して、この養殖場の池に浮かべ、微細藻類を作って売ったり、エビの餌にしたりというようなことを行おうとしています。養殖産業の有機廃棄物から回収した栄養塩類で、有用な微細藻類を大量培養し、有価物を生産し、新しい循環を作れないかという研究開発を行っています。



それでは、いよいよ今日の話になります。内容はこれまで長崎県の五島列島で実施してきた2つの事業についての紹介をさせていただきます。この2つ事業の前に、現場環境の調査期間が2、3年あって、そこでいろいろなことが分かり、この磯焼けの対策事業に繋がっています。舞台の新上五島町は大変風光明媚なところです。写真は、五島の鯛ノ浦湾という所です。このようにイカダなどを浮かべて実験をしているところです。



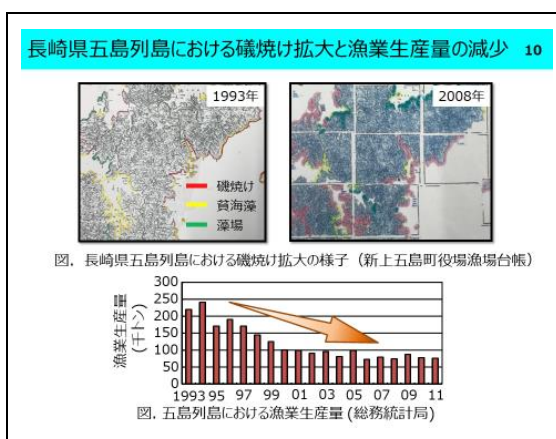
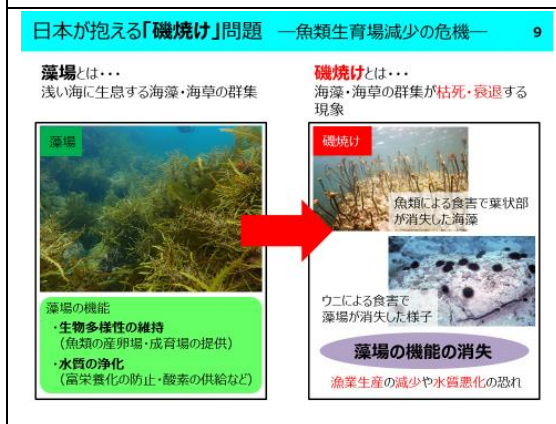
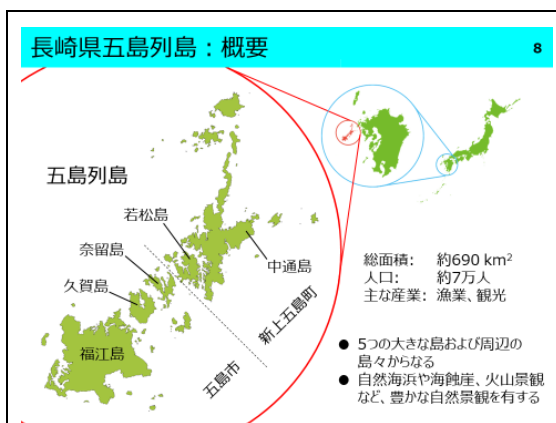


ご存知のとおり、五島列島は日本の最も西方にあり、名前のとおり、5つの島からできております。五島市と新上五島町の2つの自治体があって、人口が約7万人です。新上五島町が2万人、五島市が5万人ぐらいです。大変美しい所です。私はこの仕事を受けるまで行ったことがなかったのですが、最近ではできるだけこちらに行って仕事をしようと思っています。

日本が抱える問題、特に西日本ですが、本来、藻場というものは、右図のように美しく、魚もたくさんいて、多様性の高い生産性の高い生態系として知られています。生態系の基礎を作る海藻類は、生長するために栄養を摂取します。ところが、近年いろいろお聞きになっていると思いますが、磯焼けという現象が起こっています。このように茎だけが残っていますけれども、魚や他の生物に食べられた跡です。小さい時はウニなどにも食べられる

ということ、藻場が消失してしまうと考えられています。一旦、藻場が消失すると、もうほとんど元には戻りません。ここに書いておりますけれども、栄養を吸収してくれる海藻がないので、川からいろいろなものが入ってくると、一気に水質が悪化してしまうということも起きています。

これは新上五島町の役場の職員らにより記録ですが、1993年ぐらいから磯焼けが始まって、この部分の海藻がほとんどなくなってしまいました。貴重な資料だと思います。藻場ある緑の所が少ししか残っていないというようなことが始まり、2008年にはもう全体が、磯焼けで赤色になってしまいます。ほとんど海藻が生えていない。ごく一部、特例的な場所にいくつか残っているにすぎないという状態になりました。漁業生産量も1993年からずっと減って行って、往年の漁獲量の1/3とか半分という状況で推移しております。おそらく、藻場の問題だけではなくて、漁師さんの数も減ったとかいろいろな問題も起きてきているとは思いますが、やはり藻場と漁業生産高の何らかの関係を伺わせるデータだと



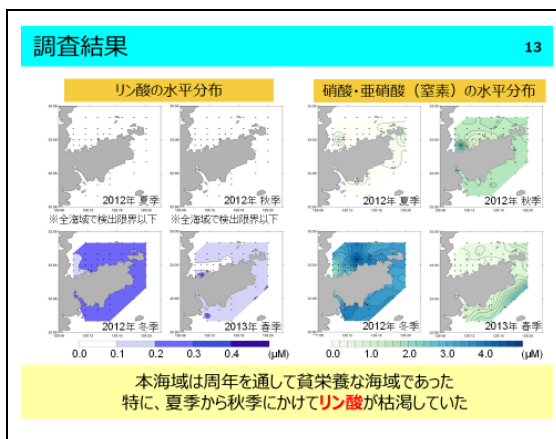
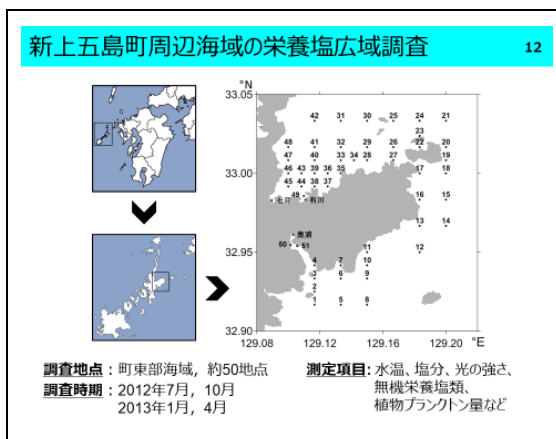
考えております。

藻場の磯焼けの原因としては、温暖化であるとか、土木改変、護岸工事など、それからテトラポットの入れ過ぎだとか、いろいろなことが言われています。例えば、温暖化によってウニなど海藻を食べる藻食魚の活動期が長くなる。それから、温度が高くなることによって、海藻自身の呼吸量が上がって、光合成で作ったものを自分の体の中でけっこう使ってしまうというような状態になるというようなことも含めて、いろいろな要因が

あると言われています。特に栄養不足、要するに植物ですから肥料のようなものが必要で、そういうものが足りないということも大きな問題として知られています。これはどんな田舎に行っても浄水場や浄化槽の設置に補助金が付いて、水がどんどんきれいになる。人口が減っているにもかかわらず、大きな浄化施設ができて、とことんまで栄養を落としてしまうというようなこともあって、日本の沿岸域は急速に貧栄養になっているということが指摘されています。

磯焼け現象には、このようにいくつかの要因が重なり合っているのです。まず栄養塩を調べようということで、2012年に、今から5年前ですけれども、徹底的に沿岸部の栄養塩を調べる調査を新上五島町と共同で行いました。

これがその時のデータの一部ですが、左側がリン酸、右側が硝酸・亜硝酸のデータです。色が付いた所が栄養塩のある所ですけれども、リン酸を見ますと、初夏から秋にかけては、これ50か所以上調査したのですが、オートアナライザーという栄養塩測定装置で検出限界以下というような濃度になっています。硝酸・亜硝酸についても同様な傾向が見られます。中でもリンの枯渇がひどく、もう少し点々と沿岸近くには一定の濃度が存在しているかなと考えていましたが、沿岸線近くでも全然リンが足りない状態で、外洋なみの環境になっていました。

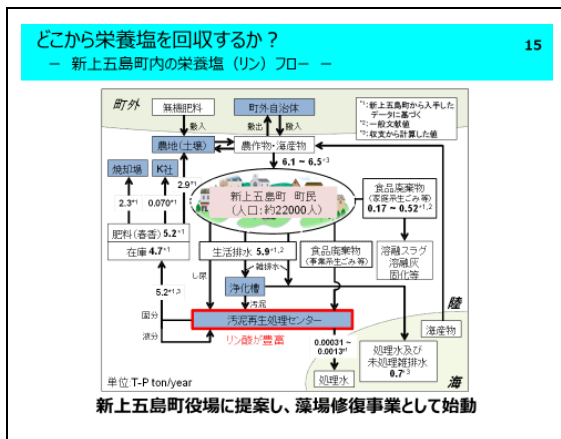
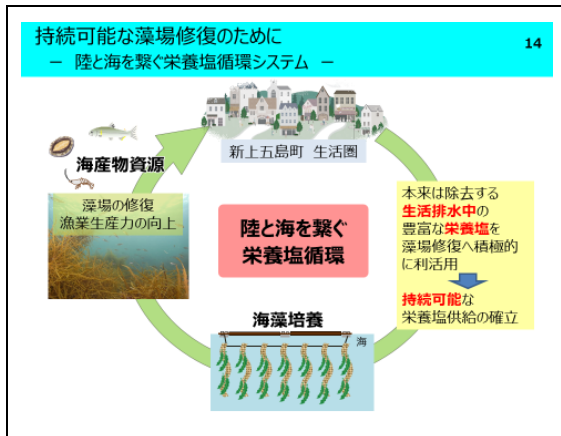


そこで、陸上で除去している生活排水中の栄養塩を積極的に利活用することで、持続可能な藻場修復を行えないかと考えました。くしくもリンの値段が高騰し始め、旭化成とか、太平洋セメントといった民間会社が、ケイ酸質のものでリンを吸着して、下水処理場からリンを取る製品をどんどん世に出してきました。このようなものを利用して、リンをこの中に供給できないか、海藻培養を行って藻場の修復ができないかというようなことを考えました。

右図が新上五島町内の栄養塩のリンフローです。いろいろなところから入って来て、出ていくのですね。これは2012年ぐらいのデータなのですが、その時2万2千人いたのですが、ここ数年で2万人を切りました。すごい速度で過疎化が進んでいるということが分かります。いろいろな経路を経て最後に汚泥再生処理センターに来ます。「この再処理センターからリンが回収できるだろう。我々のめざすリン資源がある場所はここだ」と言うことで、再処理センターからリンを回収する方法の検討を行いました。

少し専門的な話になるのですが、生物透過水という膜を通した、懸濁物が比較的少なくなった排水から、リンの吸着剤によってリンを回収することにしました。生物透過水自身を滅菌して、海の中で海藻が増えるかどうか実証実験しようということをはじめたわけです。

その生物透過水の作用がどのように海藻に影響するか。それから、その中から回収したリンだけで海藻が増えるかどうか、そういうことをまず実証実験しました。現在、この実験結果を受けて、より積極的に海藻を増やそうという磯焼け対策事業を去年から行っています。私どもは東京にある大学なので、長崎大学の先生方にも協力をいただき、本事業を進めています。



これまでに取り組んできた事業

**新上五島町磯焼け対策実証実験 (2014年8月~2017年3月)**  
 創価大学、長崎大学、太平洋セメント中央研究所  
 概要：  
 生活排水由来の栄養塩供給による海藻類の生長促進効果を実証する

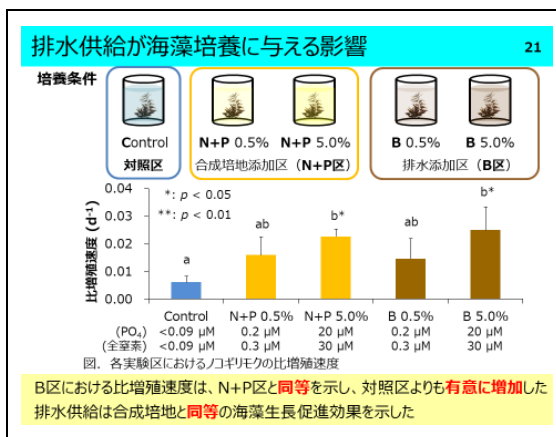
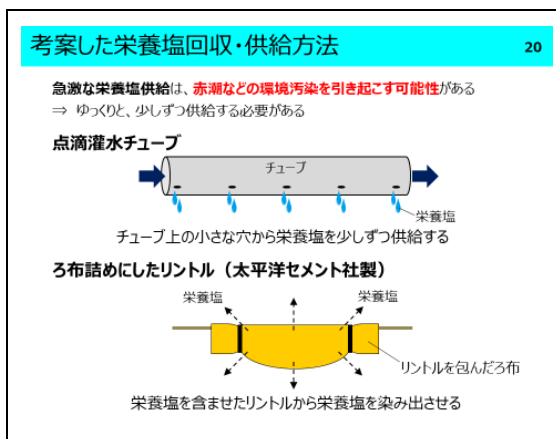
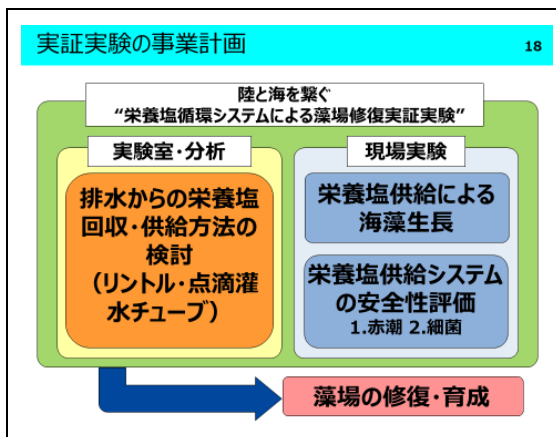
**新上五島町磯焼け対策事業 (2017年4月~現在)**  
 長崎大学、創価大学  
 概要：  
 磯焼け海域への継続的な海藻移植によって藻場の造成を目指し、藻場造成の手法を確立する

最初の実証実験の話ですけれども、実験室の実験と現場の実験の 2 つに大きく分けました。1 つは排水からの栄養塩の回収・供給方法の検討です。図の実験室の部分には、「リントル」と「点滴灌水チューブ」と書いています。のちほど説明します。それからもう一つは現場実験です。現場実験では海藻がどのように成長するか。それからもう一つ、栄養塩を供給して安全かどうかということを中心に評価しなくてはいけないので、現場実験にはこの 2 つの項目が入っています。

それでは、供給の方法からですが、ここに書いていますように栄養塩を急激に供給すると、そこに赤潮などの植物プランクトンの大増殖が起きて、「環境を良くしよう、生産を上げよう」と思ったところに、逆のことが起きてしまいます。そこで、じわじわと栄養塩を供給する必要があるので、2 つの方法を検討しました。1 つは点滴灌水チューブです。これは土の中に入れたチューブから水がぼたぼたとちょこちょこっと出ていくイチゴ

の栽培などに使われているチューブです。もう 1 つはリントルというもので、先ほどの下水処理場の生物透過水からリンだけを吸着させたものです。リントルは濃度勾配で吸着したリンが、今度は濃度が低い、リンがそれこそない所に行くと逆にリンが出るような製品です。とりあえずこの 2 つを栄養塩の供給方法として採用することにしました。

次に、そもそも排水で問題なく海藻が育つかどうかということを実験室で繰り返し実験を行ったわけです。この黄色いものが合成培地添加区（窒素“N”+リン“P”添加区）の実験で、N と P が入っています。生物透過水に体積比で 0.5%、5%入れて行ってみました。そうすると合成培地で行ったものと生物透過水で行ったものとほとんど同じ結果になりました。すなわち、下水処理場など汚泥再生センターからの水でも海藻はそれなりに育つということが分かりました。この B 区というのが生物透過水のことですけれども、





両区同等に、そして対照区よりも有意に増加するということが分かりました。

もう一つがリントルです。今度はリンだけを添加するという方法です。この写真がリントルです。リンを採るからということで安易な名前が付いていますけれども、なじみ易い名前ですね。このリントルは、太平洋セメントという会社が大量に提供してくれました。リンを吸着させたリントルを濾布に包んで使用します。いくつかの使用方法が検討されたのですが、粉体をそのまま海に入れると、あっという間に流れ出て来てしまいます。

**リントル (太平洋セメント社製) とは? : 栄養塩回収・供給資材** 22

リン回収能力・操作性に優れた、非晶質ケイ酸カルシウムのリン吸着剤

**メリット**

- 使用後に残渣がほとんど残らない
- リンの緩やかな溶出

**リン回収プロセス**

リントル (リン回収前)

そこで、リントルを濾布の中に包み込むことで、リンをじわじわ出していこうということなのです。リンを少しずつ出して行くと、もともとの汚泥センターのリン濃度にも影響するのですが、五島では濾布に入れるとだいたい2年間ぐらいもつということが分かりました。

これはリントル由来の栄養塩が海藻培養に与える影響ということを実験したものです。これがリントルに窒素を入れたものです。右から2列目が窒素“N”と合成培地のリン“P (通常の培地の P)”。一番右がリントルから出てきたリン“P”です。左から2列目が窒素だけを入れたもの。そして、一番左がリンも窒素も入れないもの。リンを入れないと、このように黄色になりますね。リンが細胞分裂に必要なので、色素が作れないというようなことが起きて、このようにスカスカになってしまいました。触ると非常にもろくて、やはりリンの供給は海藻に極めて重要だということがこれからも分かりました。それから、リントルからの“P”が、普通のリン酸と同じように、ある意味、肥料みたいに使えるというようなことも実験室で確認することができました。

**リントル由来栄養塩が海藻培養に与える影響** 24

使用海藻：紅藻類 マクサ

培養前				
培養後				
	無施肥 (夏季表層水)	窒素 (合成培地)	窒素+リン (合成培地+合成培地)	窒素+リントル (合成培地+リントル由来)

合成培地、リントル由来に関わらず、**リン添加区**では側枝が伸び色が濃くなった。リントル由来の栄養塩は合成培地と**同等**の海藻生長促進効果を示した

いよいよその栄養塩供給による海藻の成長ということです。実験をした場所は鯛ノ浦という所です。ここは恐ろしいことに、夏の間は砂漠のようにほぼ何も生えていません。ウニしかなくて海藻みたいなものは陸からは見えない。湾全体が砂漠状態になっているような所です。でも、20年ぐらい前にはかな

**実証実験の事業計画** 25

陸と海を繋ぐ  
“栄養塩循環システムによる藻場修復実証実験”

<b>実験室・分析</b>	<b>現場実験</b>
排水からの栄養塩回収・供給方法の検討 (リントル・点滴灌水チューブ)	栄養塩供給による海藻生長 栄養塩供給システムの安全性評価 1. 赤潮 2. 細菌
藻場の修復・育成	

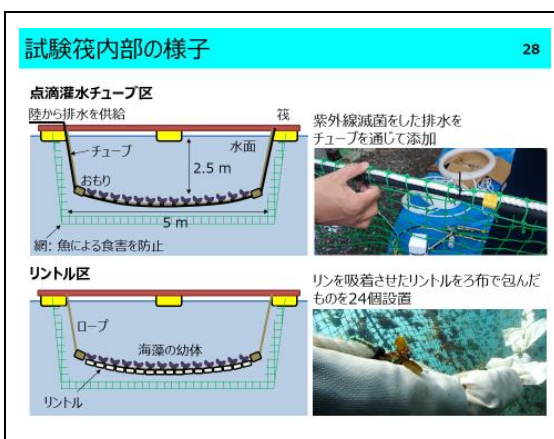


りの量の海藻が生えていて、僕もおじさんですけど、おじさん達に聞くと、「海藻を手で分  
けながらサザエやアワビなどを獲っていたのに」と言っていました。邪魔なくらい海藻があ  
ったそうです。私ここに行くまで知らなかったのですが、「五島のアワビはかなり有名なブ  
ランド海産物だったそうですが、今はもう天然のアワビはほとんど獲れない」と言っていま  
した。ですから、島全体が非常に短い間に海藻を失ったということです。このような湾に特  
徴的なことは、とにかくウニがたくさんいるということ。それから、海底に浮泥のようなも  
のがあるということです。

もう一つ、鯛ノ浦の反対側に有川という所  
があり、ここには奇跡的にピンポイントで海  
藻が藻場として残っている所です。これには  
いろいろな理由があると推察されますが、地  
下水が出てきているのではないかというよ  
うなことも考えられますが理由はわかりま  
せん。

のちほど栄養塩のデータもお見せしたい  
と思いますが、この鯛ノ浦で点滴灌水チュ  
ーブ区、リントル区、コントロール区設けて現  
場実験をしました。コントロール区というの  
はなにも入れないという実験区です。我々は  
点滴灌水チューブ区に一番期待しました。そ  
れはリンも窒素も入っているし、その他の微  
量金属も入っており、これをきちっと UV 照  
射し滅菌して流せば、一番海藻を増やせるだ  
ろうと思ったのですが、結果はのちほどお  
話します。

これらの栄養塩調査や現場実験は町を挙  
げての事業として、新上五島町の皆さんが  
いろいろと手伝って下さいました。この町の方  
は新しいことが大好きで、「よしやろう」とい  
う人達がずいぶん出てきてくれました。町役  
場の方もそれから近所の方も来てくださり、  
船に乗って栄養塩調査をしたり、点滴灌水チ  
ューブやリントルの設置を手伝って下さい  
ました。実験区は横から見るとこんな感じ  
です。チューブがあって、チューブの周りに  
このように海藻の幼体を付けます。下の白いも



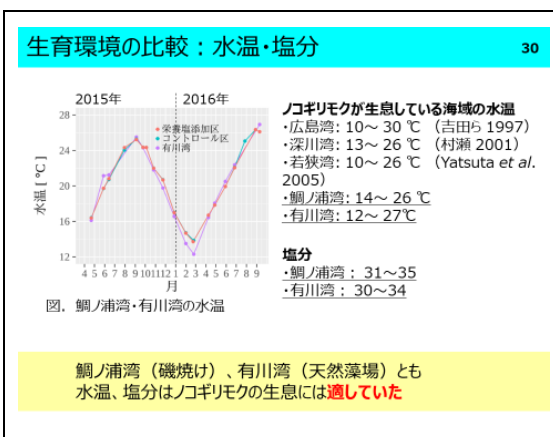
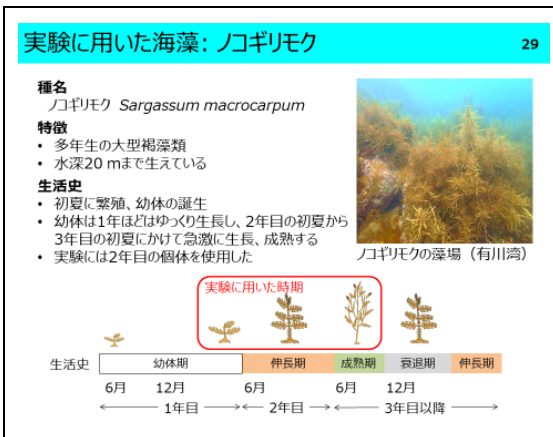
のがリントルです。このようにリントルを濾布に入れたものを付けていって、その上に幼体を付着させるというような形のものを作りました。もちろんコントロール区はなにも付けないで、このように幼体だけが付いているというものです。

結果をお見せする前に、どのような海藻を使ったかということを少しお話したいと思います。我々が使ったのはノコギリモクという *Sargassum* 属の海藻です。ホンダワラの仲間、このようにふさふさした海藻です。ワカメなどだと1年間で増えて、すぐに無くなってしまいますので、藻場を作るというわけにはいきません。そこで、このような多年草の海藻をうまく根付かせようということを考えました。ですから五島列島で一番優先する

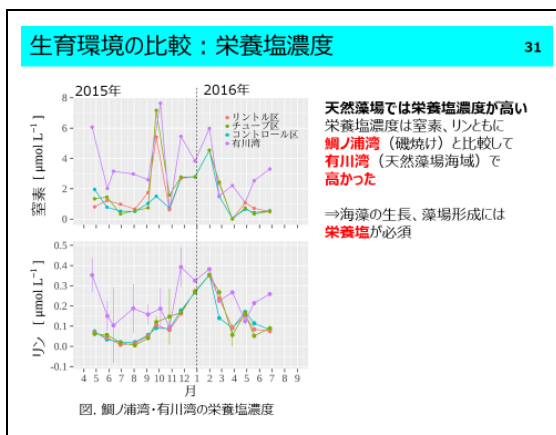
多年草、数年間にわたって生える海藻を検討しました。うまくいけば継続的に藻場を育てると。それから水深ですが、ノコギリモクは結構深い所まで生えている。浅い所から深い所まで生えているので、比較的いろいろな光条件に適用できるだろうということで実証実験の対象としてノコギリモクを選ことになりました。

図 29 に書いているのがノコギリモクの生活史です。胞子と卵子が受精して着底した後の初年度はなかなか伸びなく、1年間で数 cm というところで、ゆっくり成長していきます。2年目になると、ぶあーっと成長していきます。3年目の成熟期になると胞子と卵子を出した後は、このような再生産部分が抜けて、少しサイズが小さくなるのですが、またこのままの状態でも成熟したり、ないしはそのままずっと行ったりということで、最長 5 年ぐらい生きます。最初の実験のノコギリモクがまだ生きていますから、だいたい5年間ぐらいまですきるといような多年草です。

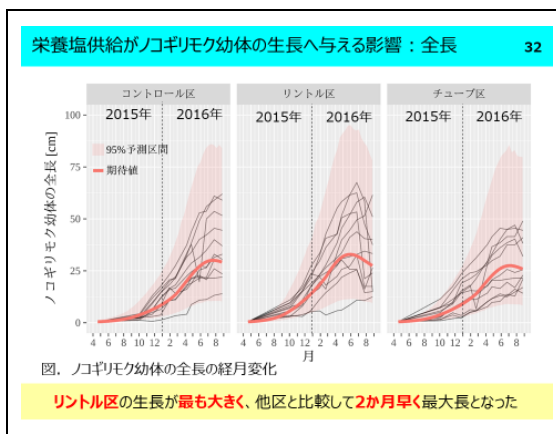
それから温度的にも適している。広島湾や山口県の深川湾、それから日本海側の若狭湾、このような温度の所において、鯛ノ浦湾も有明湾もだいたいこのような温度なので、ちょうど適しているのだろうということでノコギリモクを選びました。



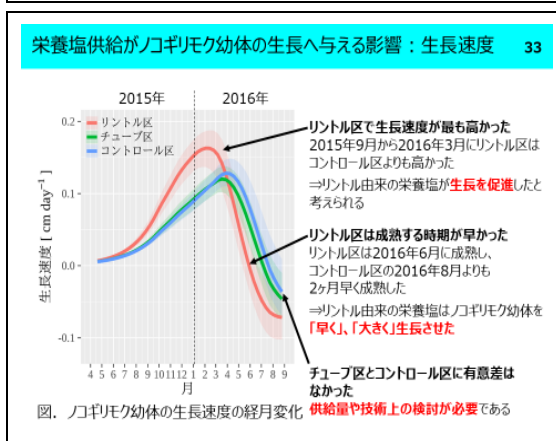
先ほど、有川湾の天然藻場ですが、ピンポイントで生えている所があると言いました。これは栄養塩のデータです。上が窒素で下がリンです。有川湾は紫のところですよ。リントル区とかチューブ区、コントロール区、これは鯛ノ浦湾の実験区の所です。実験区は夏の間、窒素もリンも、このように非常に0に近くなるのです。ところが有川湾の天然藻場があり、栄養塩濃度が高いのです。実際このような海域は他の所にも見られていて、藻場が全然なくなっているのに、「なんでこの所だけ生えているのかな。毎年生えているのかな」とか、そういう所が実はあって、詳細に調べて行ったところですよ。このようなことが結構要因の一つではないかということ、我々は自然界のデータから今疑っているわけです。いずれにしても、栄養塩が非常に重要で必要な環境要因だということが分かります。



右図は栄養塩供給がノギリモク幼体への成長へ与える影響の実験です。これがコントロール区で、リントル区、チューブ区になっています。成長は幼体の全長を測っています。図からリントル区が若干高いことが分かります。



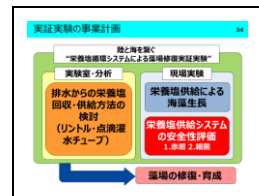
これを成長速度に直すともっと良く分かります。リントル区で成長速度が最も早かったです。もちろんコントロール区も高いですし、成長が促進したということが大体分かります。ところが早く大きく成長したのだけど、早く枯れてしまいました。枯れて、また次の年に生き返りましたから藻場は持続します。一方、我々はチューブ区の海藻、つまり直接排水を流したところの海藻が成長するだろうと思っていましたが、うまく生育しませんでした。これには供給量や技術上の問題があったと考えています。驚いたのは付着生物のことです。海の中の構造物にはフジツボや貝などいろいろな生物が付いてきますね。栄養があるものだから、チューブの周りこれらの生物がびっしり付いてチューブの出口を塞いでしまい、あるところからだけ、ビューと出るようになりました。途中からそれに気付いて付着生物を取るようにしたのですが、その時は



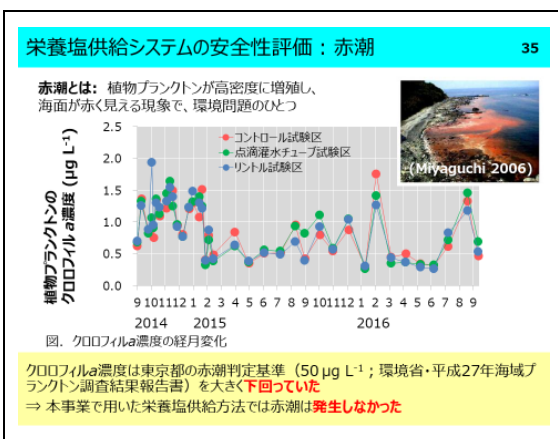


既に手遅れでした。これには技術上の問題があったということで、点滴チューブについては今後どこかで再チャレンジをしたいなと思っています。このようにリンだけでもかなりの成長が見込めたということが分かりました。

それから次に、栄養塩供給のシステムの安全性の試験ですけれども、これに関しては一步間違えると、相模湾で時々起きているような赤潮になってしまいます。このため、それをチェックするということで、コントロール区、点滴灌水チューブ区、リントル区の全てについて、植物プランクトンの指標となるクロロフィル栄養と植物プランクトンの主組成自身をチェックしました。その結果、大増殖が起こらなかったということが分かりました。



次に栄養塩供給システムの細菌に関する安全性評価です。ここから生物透過水を入れて、写真には写っていないのですが、こちらにもさらに大きなタンクがあるので、生物透過水を入れて、そこからチューブでさっきの海のイカダの中に降ろします。途中で殺菌ユニットなどを使って行いました。そして、これがバクテリアですけど、DAPI染色法で海水中の細菌をカウントしました。



### 栄養塩供給システムの安全性評価：細菌 36

排水由来の栄養塩供給は、目に見えない微生物（細菌）に対してどのような影響を与えるのか？

**目的**

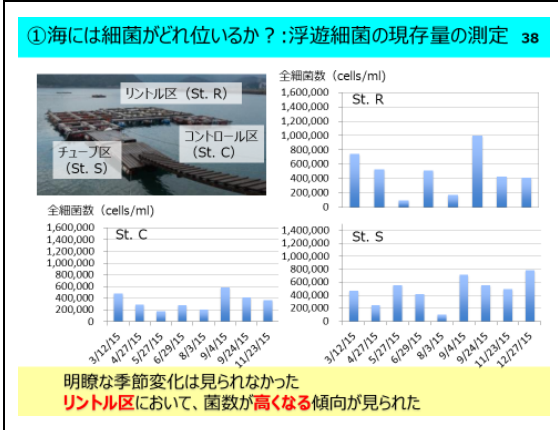
- ① 海には細菌がどれ位いるか？
- ② どんな細菌がいるのか？

図. 排水供給ユニット

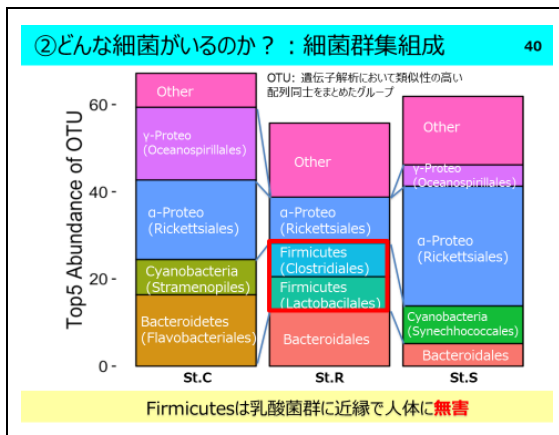
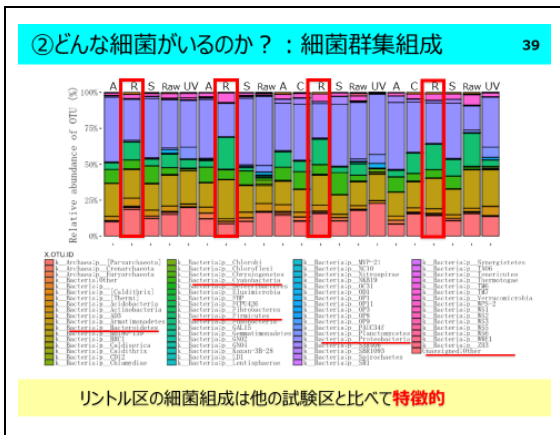
### ①海には細菌がどれ位いるか？:浮遊細菌の現存量の測定 37

蛍光顕微鏡による海水中の細菌の計数：DAPI染色法

そうしますと、コントロール区と点滴灌水チューブの方は、バクテリアはそれほど増えなかったのですが、やはりリントル区で少しバクテリアの量が多くなったということが確認されました。その組成ですが、長崎大学の和田先生が微生物の専門で、チューブのあちらこちらから、しかもさっきも言いました3種類の区から海水を取って調べました。こ



これはリントル区とコントロール区と点滴灌水チューブ区の組成を比較したものです。そうするとこの R と書いているリントルを入れた所が、少し組成が他と違うなというような感じになっているのが分かると思います。長崎大学の和田先生に調べてもらったところ、Firmicutes という乳酸菌群に近い、人体に無害な細菌がこのリントルの試験区で増えたということが分かりました。今のところ、何がどうなってこのようになっているのかということは皆目見当が付かないのですが、データとしてはこのような細菌が出てきたということです。



実証実験をまとめますと、実験室では排水由来の栄養塩で海藻類がうまく成長しました。現場では、リントルの方は良かったけれども、点滴灌水チューブの方はかんばしくありませんでした。これはもう一回検討が必要です。それから安全性の点ですけれども、有害な細菌群は検出されませんでした。ただし、細菌はある程度増えましたが、植物プランクトンの方まではいかに、赤潮等の発生は全く起こりませんでした。

これをまとめて平成 28 年の 11 月 21 日に「陸と海を繋ぐ栄養塩循環システムによる藻場再生実証実験」ということで、町役場で公開シンポジウムを行いました。100 名以上の出席があり、長崎県からもずいぶん来ていただきました。その時の講演にセンター長の多田先生に来ていただきました。今日呼ばれたのは、この借りを返せということかなと思って、朝、飛行機に乗ってやってきました。

本実証実験の総括 41

- 現場海域における排水由来栄養塩施肥による海藻類の生長促進効果  
試験区のリントル区で培養したコウヤク幼体の生長速度はチューブ区およびコントロール区よりも**高い最大値**を示した  
⇒ リントルによるリンのみの供給で海藻の**生長が有意に促進**されることが示された  
実験室では排水由来の栄養塩に**生長促進効果を認めた**  
⇒ 現場での点滴灌水チューブを使った供給方法ではコントロール区の海藻生長と**有意差がなかった**  
⇒ **供給量や技術上の検討が必要**である
- 排水施肥の安全性  
植物プランクトンのクロロフィルa濃度は、東京都の赤潮判定基準を**常に下回る**低濃度で推移した  
⇒ 赤潮等の植物プランクトンの**大増殖は発生しなかった**  
すべての試験区において人体に**有害な細菌群は検出されなかった**  
⇒ 本実験で利用した排水の施肥、リントルの使用について**安全性が示された**

公開シンポジウムの開催

藻と陸を繋ぐ「陸と海を繋ぐ栄養塩循環システムによる藻場再生実証実験」

磯焼け対策実証実験成果報告会

日時：2016年11月21日  
ところ：新上五島町役場

国会、大学関係者、マスメディア、  
ならびに市民の方々、約100名が出席

本シンポジウムの開催にあたり、香川大学  
瀬戸内圏研究センターの多田邦尚教授に  
ご講演を賜りました

伊原良典 磯焼け対策実証実験 成果報告会

1. 磯焼け対策の推進体制の確立  
2. 実証実験の推進体制の確立  
3. 実証実験の推進体制の確立

連絡先：新上五島町役場 電話：0959-53-1113 FAX：0959-53-1100  
E-mail: issa@town.ushikima.lg.jp

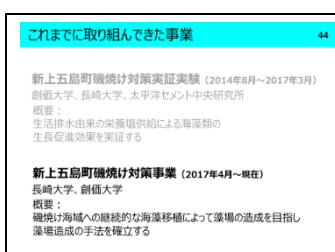
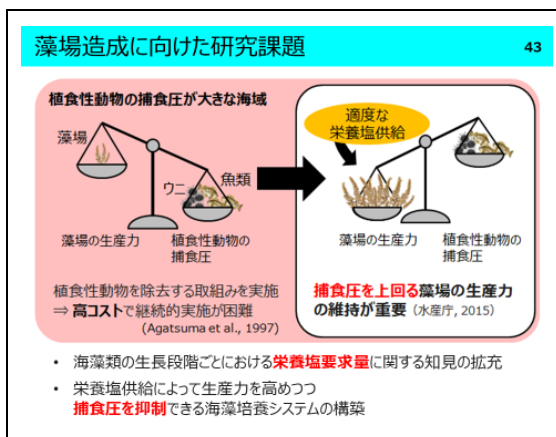
このシンポジウムに大変興味を持っていただき、町や県の方からいろいろな質問をいただきました。

この実証実験を行って少し考えなければならぬことがありました。最初のところで話をしましたウニや魚など藻を食べる生物がすごく多いのです。藻場を修復するためには、これらの生物の捕食圧よりも速く海藻を増やさなければなりません。ということになると、捕食生物を獲るのが一つの方法ですが、これにはコストがかかって、相当大変なのです。ウニは卵をすごくたくさん産みますから、一生懸命獲っても、2年後、3年後にはまた出てきてしまいます。そうすると、こいつらが食う量を上回る生産力を藻場に持たせてやる必要があります。それも安全に。そこで、適度な栄養塩を供給しつつ捕食圧を抑えるというようなことをやっていかないと、当初はなかなか増えていかない。我々の考えだと、ある一定量の藻場ができると、あとはそれが死んで腐って栄養になって、また生えてくる。でも、ちょっとの量だと駄目なのです。だから一区画きちんとこのようなことを考えて増やそうというのが、現在、取り組み始めた藻場修復事業です。

これから、現在進行している藻場修復事業の話を少し説明したいと思います。事業の概要は「継続的に海藻を海域に移植することで藻場の造成を目指し、藻場造成の手法を確立すること」です。むしろ、水産養殖に近いようなことをやって行こうということです。栄養塩を投下しつつ種苗生産をします。種苗生産はここに冷水という所があるのですが、この種苗生産のセ

ンターを使います。ここではアワビの子供をたくさん作っています。塩昆布を使ってアワビの子供を作ります。アワビがアンモニアとかいろいろなものを出します。ですから、逆にそのアワビの排水が海藻の種苗にとっても良いということで、この栄養塩の豊富な排水を使って種苗センターで行います。それから、長崎大学の桑野先生、海藻をご専門にしている先生ですけれども、その先生の研究室で大学の実験室の中でも試みることになっ

ています。そして、それを捕食抑制下のもと実海域で育成して行って、最終的に藻場を造成しようというようなことを、今、行っている最中です。





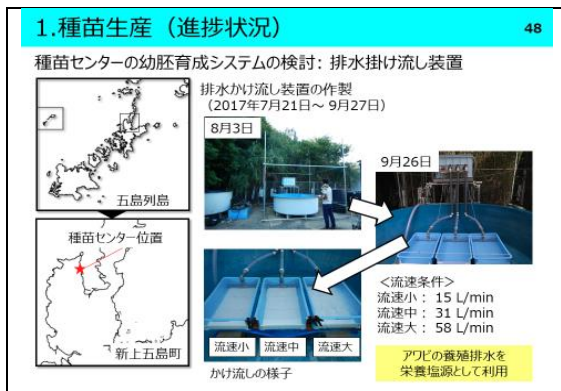
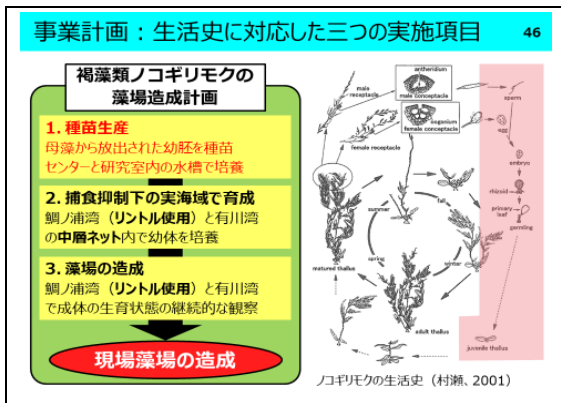
少し複雑なのですが、ノコギリモクというのはこのように精子と卵が出てから、受精して胚になって赤ちゃんを着底する。これは組織を拡大したところですが、このような所から出てきて、それがどんどん増えてくる。またそこから、精子と卵子を獲ると、そこから出したあとも、このように増えるというような2重のサイクルみたいなものを持っています。まず、図の赤い種苗生産のところのお話を進めていきたいと思えます。

ノコギリモクの母藻を採集して、顕微鏡で母藻の生殖器床の卵ができる所をチェックして、それを水槽の中に振り落とし母藻から卵を回収します。そして、卵をプレートの中にこのように入れていきます。昔、ゴムを巻いていたものがありましたね。パンツのゴムが切れるとうちの母親などは巻いているゴムで修繕してくれていました。これと同じアイデアです。このようなものの上に卵をざあっと乗っけるのです。そうすると、自然界に入れた時に、ぱあっと一気に何本もの線を広げることができます。

これが卵を着生させたプレートです。これを種苗センターで何本も作って、今、このように入れているところです。そして、野外でアワビの養殖排水を栄養塩源として利用し、種苗生産をします。

それから、長崎大学ではこのような実験系を作り高栄養塩を与えています。いくつか条件を作って行っており、このような所にもずいぶん赤ちゃんが着底しています。室内培養の幼胚の生育が順調で、今、培養規模を拡大して運転しているということです。

次に捕食抑制下での実験ということになります。捕食抑制下というのはどのようにしているかと言いますと、この中層ネットとい



うものを入れます。そして、鯛ノ浦と有川の実海域で育成します。有川の方は栄養がありますから、栄養塩を施肥しません。栄養塩を施肥しないで育成します。中層ネットはこのようなものです。中に先ほどの線を張ります。あるところまで成育したら、次に自然界に移そうというようなことを考えています。

### 2.実海域で育成（概要）

51

幼体が現場への移植に適切な大きさに生長するまで藻食魚やウニ類などの捕食者の影響を取り除いた実海域で育成

試験区：  
 ・鯛ノ浦無施肥区（1基）  
 ・鯛ノ浦湾リントル区（1基）  
 ・有川湾無施肥区（2基）

期間：  
 ・2017年5月～2018年5月（予定）  
 鯛ノ浦湾試験区内の幼体を育成  
 ・2018年5月～2019年3月（予定）  
 種苗センターで育成した幼体を育成

図 中層ネット（リントル区）

### 2.実海域で育成（進捗状況）

52

▶ 実験立ち上げ（平成29年5月下旬）

中層ネット設置場所 陸上で組み上げた中層ネット

両湾に設置された中層ネット ×16個体×2基

フレームに取付けたリントル 1.5kg×7個

最後は藻場造成の最終段階です。これはまさしく今年から始まるところです。今のところ比較的順調なのですが、この後、どうなるかドキドキしているところです。これはもう少し目合いの大きいものを置いて行うのということと、このような造成用のブロックにリントルを入れて、藻をくっ付け実際に現場で増やしていく。ですから、ある程度のサイズのところまで手を入れてやって、そこで増えたものを一気にこちら側の自然界に移すというようなことをやろうと考えております。

### 3.藻場の造成（概要）

54

現場における成体の生育状態を継続的に観察し、成体の再生・再生産を検証

現場藻場拡大の見える化

現場海域へ移植

藻場造成用ブロック 破砕けた岩場（鯛ノ浦湾）

期間：2018年5月～（予定）  
 鯛ノ浦湾の現場海域へ成体を移植するには無施肥区・リントル施肥区ともに栄養源としてリントルを使用する予定

食害を防ぐ方法を検討する必要あり  
 ・擬似海藻を入れる（案1）  
 ・ネットで囲う（案2）

事業スケジュールですが、非常に手間のかかる作業ですが、これを町の人達と一緒にやろうということになっています。共同研究者の長崎大学のグレッグ西原先生がPew財団というアメリカの財団から研究費を獲得して進めています。Pew財団はいただいた費用の半分ぐらいを啓発に使いなさいということで、このような種苗生産の方法から移植の方法を、各漁協を説明して回ることになっています。今年は私も駆り出されると言われていますから、一緒に回って現地でそれぞれこの海藻の増殖に取り組もうというようなことになっています。

### 事業スケジュール

55

①種苗生産  
 ・種苗センターへの幼体の搬送  
 ・水圏内で幼体を生産

②実海域で育成（中層ネット）  
 ・鯛ノ浦湾現場内の幼体の回収  
 ・実海域にて成熟するまで生育

③藻場の造成 現場海域への移植  
 ・実海域にて成熟するまで生育  
 ・高層有網際、注意を継続

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した。では、皆様、質問等をお願いします。



[松岡様]

県の水産試験場の松岡と申します。貴重な話をありがとうございました。香川県の藻場について、少しお話をさせていただきたいと思います。香川県も高度成長期に富栄養化や埋め立て、護岸の整備などで藻場がかなり減りました。その後、瀬戸内海の特別措置法などができて、排水が制限されたことなどで海の栄養が少なくなってきました。そして、現状は逆に貧栄養化ということで、ノリの色落ちや他の方にも被害が出るようになっていきます。その中で最近、海水温の上昇による食害生物。香川県ではアイゴが主原因と思うのですが、こういった魚が増えて藻場を食べていることで、我々もいろいろやっているのですが、なかなか増えないような状況です。先ほど食害よりも藻の量が速く増えれば良いというお話もあったのですが、やはり食害生物を減らすということも大事だと思うのですが、長崎の方ではそういった食害生物を減らす取り組みなどがありましたら教えていただければと思います。

[戸田]

はい。長崎の方も全く同じような状況で、アイゴをはじめとする藻食魚がものすごく増えていて、活動時期も広がっているということで、定期的に藻食魚を獲ったりしておられます。それからウニを潰すことを一生懸命やっておられます。ところが、これを支える労力が大変なので、長崎県ではいろいろな魚礁ブロックを藻場再生のために入れています。しかし、これが問題になっています。各漁協で、魚礁ブロックを時には数千万円単位で入っていたようなのです。そうすると、大型のブロックの間に隠れる場所がたくさんできて、アイゴのような魚がその隠れるサイトですごく大型化しているようなのです。もし、小魚などがたくさんいれば、アイゴは海藻をそれほど食べないと思うのですが、魚類の多様性も減っており小魚もあまりいません。今は海藻が少しでもあったら、アイゴが群れをなしてやって来て、ざあっと食べてしまいます。ですが、一つ不思議なことがあります。そのような海域であっても、ものすごく海藻が生えている海域が必ずあるのです。そこはやはり生産力がキーなのではないかと思っています。その生産力を支えているのが海の栄養で、局所的に栄養がある所のみ海藻が残っているという考え方なのですね。ですから、今おっしゃっていただきましたけれども、香川県と同じように長崎県も一生懸命頑張って、捕食圧を減らすということをやっています。ただこれを全部の海域でやり続けることができるかどうか、非常に頭の痛い問



題だと思っております。

[本城]

他にございませんでしょうか。

[山口様]

香川大学の山口と申します。興味深い話をありがとうございました。情報をお持ちでしたら教えて下さい。例えば、第2次世界大戦前とか、高度経済成長期前、今と同じように陸域源から海域への栄養塩供給が低かった時期、低かったと考えられる時期の藻場の繁茂状況はいかがだったのでしょうか。

[戸田]

多分それはデータがないと思います。比較的、五島は役場が率先して目視でデータを持っているのですが、高度成長期ぐらいまではあっても、第2次世界大戦までさかのぼれるかどうか分かりません。山口先生がおっしゃる通り、そのところはかなり重要だと思います。本当に陸域源の栄養だけなのか、それともそうでないのかというのは、古いデータの調査や聞き取り調査を行うことで解明して行くことだと思います。私もそれに気を付けてデータを収集したいと思います。ありがとうございます。

[山口様]

どうもありがとうございました。

[本城]

はい。一見先生、どうぞ。

[一見様]

香川大学の一見です。どうも面白い話をありがとうございました。先ほどの山口先生の質問とも少しかぶるのですが、栄養塩、リンの濃度が鯛ノ浦よりも有川の方がかなり高いというような状況だったと思うのですが、それは湾がかなり開放系だからでしょうか。五島列島は西から栄養塩を含んだ海流が来るとお思いますので、開放系だからリン濃度が高く、鯛ノ浦の方はかなり細い閉鎖系のようなので栄養が低いのかなというように見えたのですけど。



[戸田]

なるほど。それも少しあるかもしれませんが、有川自体も地形的に少し入り組んでいる所に海藻が生えているのです。逆に開放系の所には無かったので、非常に狭いエリアの何かが影響しているのではないかと考えられます。実際には先生がおっしゃったとおり、夏場はないのですけれども、どうも冬場には外から栄養塩が一定量入って来るというようなことになると思うのですが、その差し引きで使われる速度の方が早くて、あっという間に無くなるような状態だと思います。地形的なものですと、もちろん鯛ノ浦の方も奥の方ではなくて、むしろ湾口に近い所でこのような状態になっているということです。

[一見様]

はい。分かりました。もう一件。それに付随するのですけれども、おそらく最近、栄養塩濃度が低くなったのだらうと、その鯛の浦の所で。それは生活排水の処理などが進むようになったからだということでしょうか。

[戸田]

そうですね。それが一つとやはり過疎化が急激ということだと思います。

[一見様]

供給源が減ったということですか。

[戸田]

はい。そもそも供給源が減った。過疎化は結構恐ろしくて、排水だけでなく働き手がいなくなるから水田や畑が放置されてしまって、土が固くなってしまい、栄養が陸側から行かなくなる。だから単純に排泄や食べたものが栄養として出て行かなくなったということだけではなくて、例えば肥料などを撒いて、水田や畑を作っていたものが一切なしということになると、もう一人どころではなくて何人分も栄養が海に入らないというような状態になってしまいます。特にそのような休耕田の多さや廃屋の多さというものが、僕らが東京から行くと、「これは大変だな」と言うような状態になっております。まあ、そういう意味も含めて、田畑の減少も含めて過疎化というようなことですね。

[本城]

他にございませんでしょうか。

[岸本様]

香川大学技術職の岸本と申します。大変面白い話をありがとうございました。私も海藻の

ことについて大変興味があり、昨年ぐらいから流れ藻について調べています。五島列島は結構中国の方から流れ藻が来て、それが栄養になっていくというようなことが昔に比べて少し減ったとか、そういった話はありませんか。

[戸田]

漁師さんともよく飲みに行ったりしているのですけれども、確かに流れ藻の話はサバ巻き漁のような巻き網を行っている人達は、一時期、流れ藻に悩まされていたことがあったそうです。でも、それが大きく減ったというような情報はなかったですね。私が知っている10人ほどと流れ藻の話をしたことがあって、流れ藻に付いているいろいろな面白い生き物の話をしたことがありましたけれども、流れ藻が減っているというようなことは聞きませんでした。五島はもともと流れ藻がそれほど多くないようです。壱岐の方は結構あるようなことも聞きましたけれども、多分、流れ藻で栄養塩が供給されるほどは来ていないように思います。

[本城]

一見先生。どうぞ。

[一見様]

すみません。もう一件教えて下さい。実験に使われたリントルというものは、実際に汚水だとか、そういったものに漬け込んで、リンを取られたのではなかったのですか。

[戸田]

この実験ですか。

[一見様]

はい。

[戸田]

この実験はですね。濾布を巻いたら良いかどうかとか、どういうふうにリンを回収するかというところまでは実験室で行いましたけれども、このリントルは、先ほどお見せした汚泥再生センターの生物透過水で実際の海水からリンを吸着させて、海に入れるということをやりました。

[一見様]

何か変なものが一緒にくっついてくるようなことはないのですか。



[戸田]

変なものとは、例えば、どのようなものですか。

[一見様]

増殖を阻害するようなもの。あるいはその他の生物。

[戸田]

我々もそれは非常に神経を使いました。そこで実験室で培養実験を行って、阻害するようなものがないことを確かめております。我々が一番心配したのは、その汚泥が結構ヒ素を持っていることがあるので、汚泥自身の分析などを行いながら実験を行いましたけれども、重金属等もそこまで高い値ではありませんでした。リントル自身はリンしか吸着しなくて、それを生物透過水でちょっと洗うと、ほとんど他のものは回収していませんでした。

[本城]

その他にございませんでしょうか。

[岸本様]

たびたびすみません。香川大学の岸本です。栄養塩が減って、おそらくこちらの海でも同じと思いますが、よく漁師さんから「昔と比べ海がきれいになりすぎて、透明度が上がった」と言われます。それに関してか分かりませんが、先ほど松岡さんが言われたように、おそらくホンダワラのようなガラモは食害で減って行ったというようなイメージがありますが、アマモはおそらく増えて来たのではないかと考えています。五島列島ではどのようなようか。

[戸田]

全部を見たわけではないのですが、おっしゃる通りアマモは生えています。アマモはある程度生えているというような印象ですから、むしろ、いわゆる藻場の典型的な藻類が全くいないということです。

[岸本様]

ありがとうございました。

[本城]

他にございませんでしょうか。

[北尾様]

すみません。香川県の北尾です。先ほど、「過疎化がひどくて栄養塩の供給が減って行った」というお話でしたけれども、例えば、五島列島の下水処理場でリントル使っても、過疎化が進んだらあまり栄養を吸収できないのではないかと思います。そういうことがあれば、将来的に都会の方から栄養塩を取って来て、それを五島で供給するということも考えられるのですが。

[戸田]

最終的には、そのようになる可能性もあるのですが、願わくはその一部でも良いから藻場が再生して、いくつかの湾で魚類生産量が上がるようなことが、うまくリンクしてくれると、そのあたりは避けられると思いますが、全くおっしゃったとおりです。我々は五島市まで含め全島でリンをどれだけ集めることができるかという計算を行ったことがあります。ところが、リンを入れて魚が増えるのでしたら良いのですが、海藻だとそこまでは増えないので、コスト的になかなか理解されないところがあるのですね。ただ、この湾だけは何とか頑張ることができても、全島のエリアを賄えるほどリンは出て来ないので、もし行くとすれば今おっしゃられたように、長崎市の方から持ってくるようなことになると思います。そうすると持ってくるコスト、離島特有の運搬コストの問題が出てきます。そこがうまくいかないのではないかと思います。

先ほどの講演で、離島の小学校などが閉校になっているという話を聞いたのですが、五島もものすごく学校が閉校になっています。素晴らしい野球のグラウンドなども草ぼうぼうなのです。今、我々はそのような所に微細藻類、先ほどのプランクトンを敷き詰めて、光でクロレラとかスピルリナのようなものを作る。空き地を利用して新しい産業を興して、人を増やしつつ海を何とかして行くというようなことを考えています。一つのことだけではこの問題の解決が難しく、いろいろな知恵を絞って総合的にやって行こうというのが現状です。どうもありがとうございました。

[北尾様]

ありがとうございました。

[本城]

先生は有川湾に藻場がスポット的に残っている場所があると、非常に興味のあることを言われました。そして、先生はそこに地下水があるかもしれないというようなこともおっしゃいました。そうならば、地下水以外の要因によって栄養塩が存在しているのかどうか、あるいはそこになぜスポット的に藻場が残っているかの理由が分かれば、そこから研究の展開が可能になってきます。今回の話をお聞きして、そこが研究の一番大事なポイントではないかと思いました。

[戸田]

ありがとうございます。我々もそのように考えています。先ほどチラッと行ったのは、一定の海藻量があると、そこで栄養塩の再循環が起こるのではないかと。海藻の生活史に土壌的なものも加わって、生物と無機的環境の間で栄養がぐるぐる循環しつつ、海藻に栄養が添加されていっているのではないかとの仮説を立てています。こちらは純粋に町の事業で研究を進めています。

[本城]

証明できると良いですね。

[戸田]

はい。そういうところです。ありがとうございます。

[本城]

それと、もう一点ですが、今、五島列島の最高の生産物はマグロだと思います。五島の人達、マグロ養殖に関わっている人達も含めて、ものすごくナーバスになっているのは赤潮なのですね。赤潮と言っても色の付かない程度の赤潮生物の増殖なのです。色が付く状態でもない生物の密度でもってマグロが死んでいるのです。先生の実験では非常に少量の栄養塩の添加ですから、このようなことはあり得ないと思うのですが、しかし、風評みたいにして、この調査のことを言われないように注意しながら行う必要があります。このグループの中に県の水産試験場が入っておられませんね。僕は水産試験場と相談をなさると良いかなと思います。

[戸田]

はい。ありがとうございます。水産試験場にも話をしております。新上五島町役場には、長崎県の水産課、水産部の出先機関もありますので、そことも連携をとっています。その研究室も使わせていただいています。

[本城]

じゃあ、山砥さんなどとも話はされているのですか。

[戸田]

えーと、お名前までは憶えていませんが。

[本城]

長崎県の赤潮関連の研究は彼が主体にやっていますので、今の心配なことについて、彼と



話を通じておくと良いと思います。

[戸田]

はい。分かりました。ありがとうございます。

[本城]

他にございませんでしょうか。

[多田]

コメントが一つと質問が一つあります。まず、コメントですが、戸田さんは東京湾から見ると「五島列島の過疎化の勢いがすごい」と言われるのですが、正直、僕からすると「まだ、ましや」、「まだまだだろう」という印象です。僕、去年でしたけど五島に連れて行っていただき、2日半ぐらいいたのですかね。昼飯や晩飯を食べに行くたびに車に乗せていただいて、あちらこちら島を走りましたけれども、「何て都会なのだろう」という印象です。何が言いたいかというと、昔の五島列島は漁業が盛んで、大洋漁業やニチロなどが工場を持っていて、多分その頃にはすごく人口が多かったから、それに比べると、今は奈落の底みたいな感じかも知れないけれども、瀬戸内海の島々はもともとたいした人口がなくて、そこから落ちるから、これはすごいものがあります。今、戸田さんが瀬戸内海の離島に行ったら、多分びっくりすると思います。幽霊屋敷みたいなものがたくさんあります。小豆島のような所はまだ見ただ目には大丈夫なようですが、それでも人口は減っているのですけれども。先ほど山口先生が「戦前はどうだったのか」とか言った質問をされたのだけれども、五島列島は瀬戸内海と少し違うのではないかという気がします。我々の感覚は高度経済成長期の時にすごく人間が膨らんで、そのあと減ってきてという感覚なのですけれども、五島列島は少し違うのではないかなという気がします。

質問の方は、考え直さないといけないと言われましたけれども、リントルの濾布詰めには付着生物が点滴チューブと同じように付かないのはなぜですか。

[戸田]

ある程度は付きます。付いても濾布全体からじわじわ出てくるので一定の効果があつたのだと思うのです。ところが、点滴灌水チューブの方は、ばあーっと付いて出口を塞いでしまつて、どこからかビューと出ているのではないかなと思います。何回か大元の栓がパンと外れて抜けるようなことが起こりました。水圧がチューブの中で異常に高くなったということがあって、そのあたりをもっと技術的に考えないといけなかったかなと反省しています。

[多田]

ありがとうございました。

[戸田]

コメントをいただき、ありがとうございます。過疎化ですが、1年に800人も減っているそうです。だから、3年で2千人ぐらいです。実際、そのような統計も出ていて、2万人いても20年経つと2千人ほどになってしまうということで、町長はじめ注目しているようです。

[本城]

時間となりました。戸田先生ありがとうございました。