

# 第15回東京湾シンポジウム

## ～東京湾の水環境に関する研究～

2014.10.24

横浜赤レンガ倉庫 1号館 3階ホール

主催：国土交通省 国土技術政策総合研究所

後援：東京湾再生官民連携フォーラム

東京湾の環境をよくするために行動する会



## 目次

### 第15回 東京湾シンポジウム ～東京湾の水環境に関する研究～

#### 1. 開会あいさつ

国土技術政策総合研究所副所長 山本浩

#### 2. 趣旨説明

国土技術政策総合研究所沿岸海洋・防災研究部海洋環境研究室長 岡田知也

#### 3. 講演

##### 第一部 大気・陸域との繋がり、栄養塩、水質

- ・台場周辺海域における雨天時越流水の流出特性と水質に及ぼす影響  
東京大学大学院工学系研究科附属水環境制御研究センター教授 古米弘明
- ・陸域から東京湾へのリンの輸送プロセス  
(独)産業技術総合研究所環境管理技術研究部門海洋環境評価研究グループ長 鈴木昌弘
- ・内湾環境・生態系の予測・再生に向けて ～東京湾の水質とアサリ資源量の再現～  
(独)国立環境研究所地域環境研究センター海洋環境研究室主任研究員 東博紀
- ・東京湾の無酸素水塊と青潮  
東京大学大学院新領域創成科学研究科社会文化環境学専攻教授 佐々木淳
- ・東京湾の海草場におけるブルーカーボン研究  
(独)港湾空港技術研究所沿岸環境研究領域沿岸環境研究チームリーダー 桑江朝比呂

##### 第二部 生物生息場

- ・東京湾再生官民連携フォーラム「生き物生息場づくり PT」の活動について  
東京大学大学院新領域創成科学研究科社会文化環境学専攻教授 佐々木淳
- ・東京湾におけるマコガレイの産卵場  
千葉県水産総合研究センター資源研究室主席研究員 石井光廣
- ・内湾の魚類の生息場間ネットワークに着目した生息場デザインの検討  
国土技術政策総合研究所沿岸海洋・防災研究部海洋環境研究室研究官 秋山吉寛
- ・都市部の小さな干潟に「埋もれていた」絶滅危惧種の貝類・カニ類  
静岡県立下田高等学校理科専門支援員 柚原剛
- ・干潟域の魚類の多様性とその保全 —東京湾での事例—  
茨城大学広域水圏環境科学教育研究センター准教授 加納光樹

#### 4. 閉会あいさつ

国土技術政策総合研究所沿岸海洋・防災研究部長 鈴木武

## 第一部 大気・陸域との繋がり，栄養塩，水質

## 1. 開会あいさつ

国土技術政策総合研究所副所長 山本 浩

本シンポジウムの開催にあたりまして、主催者を代表しまして一言ごあいさつを申し上げます。本日は、大変ご多忙の中、このように大勢の方々にお集まりいただきまして本当にありがとうございます。また、日ごろより国土技術政策総合研究所の様々な研究活動、あるいはこのような活動につきまして、大変ご支援、ご理解を賜っていることを、この場を借りて御礼申し上げます。

さて、本シンポジウムは2000年に第1回を開催しまして14年目になります。15回ということでございます。東京湾の環境を考えていくために、関係と関心のある研究機関やNPOの皆さんに、最新の知見を持ち寄っていただいて、広く一般の方々に情報提供を行い、共に東京湾の未来、東京湾のより良い環境を考えていこうというものでございます。

この10年間に東京湾、あるいは水環境の問題についての考え方も大きく変化してまいりました。個別の環境、あるいは生態系、環境技術でありますとか、そういったものにとどまらずに、生態系サービスの向上をどう考えていくかということがテーマになってきたと思っております。資源、エネルギー、食料などの地球規模の問題に加えまして、わが国では少子高齢化、人口減少など、将来の社会的活力の減退が大きな問題となって参りました。今後、豊かな自然環境の保全、あるいは文化と伝統や良好な生活環境の維持、また精神的満足の充足といった、社会活力の維持や向上がより一層重要になってまいりました。これらを、東京湾の包括的な生態系サービスの問題としてどう捉え、どのようにアプローチしていくか、これが一つの大きな問題かと思っております。

次に、誰が東京湾について、これを進めていくのか。海の再生を推進するために協議機関として平成14年に東京湾再生推進会議が設立され、平成15年には東京湾再生のための行動計画が策定されました。この行動計画は10年間の計画期間を平成24年に終え、その取り組みを評価、総括して昨年5月に第2期の行動計画が新たに策定されたところであります。並行して、東京湾の環境改善に向けた活動や行動の輪を広げるために、行政、大学、研究機関、水産関係者、企業、レジャー、関係者、NPOなどの東京湾再生に意欲を持たれる多様な関係者で構成されます「東京湾再生官民連携フォーラム」、これが平成25年11月に設立されております。明日からの土、日には、ここ赤レンガ倉庫で、東京湾大感謝祭が開催されまして、同時に、このフォーラムも開催されると伺っております。

このように、この十数年の間に東京湾再生の枠組みと官民による推進のエンジンが作られ、理解の輪が一般にも随分広がり、東京湾再生に関する取り組みというのは、着実に成果を上げつつあるというふうに思います。こうした取り組みによりまして、水質は一時期に比べると随分改善されてまいりましたが、一方で、生物生息状況の改善というのは、必ずしも芳しくございません。東京湾の環境再生というのは、まだ端緒に就いたばかりでございます。これは、過去から長い時間をかけて積み重ねられてきた環境負荷、これが負の遺産として東京湾に蓄積されているためでございますが、再生には倦まず弛まず長期的に継続した取り組みを行っていくことが必要でございます。また、先の東日本大震災を契機としまして、これからの日本を持続可能な社会とするため、低炭素、循環型自然共生型の社会へ向かうべきとの認識が共有化されてきているように思います。東京湾再生に対しては、防災と環境の両立などの多機能性や非常時と日常時の利用を変えろといった冗長性など狭義の環境の枠にとらわれない多様な視点、防災など、他の分野との連携といったものが必要になってきているのではないかと思います。

今回のシンポジウムの問題意識の一部を簡単に述べましたけれども、本シンポジウムでは、東京湾の環境に関して最前線の研究を行っておられる各分野の研究者に、その最新の研究内容を発表していただきます。後ほど、総括的にご紹介してもらいますけれども、実に多様な分野でございます。本日は、これらの多様な分野の最前線の研究成果をまとめて聞くことができるという、非常に貴重な機会であると理解しております。これらの研究発表から、今後の隘路の打開策のヒントを見つけ、さらに、次に何を行動すればよいかのヒントをぜひとも見つけていただければと思う次第であります。もし、それができましたら、主催者として望外の喜びでございます。

このシンポジウムが第2期の東京湾再生行動計画の取り組みを進めていく上で、また、世界に誇れる東京湾の再生を実現する上で、皆さまの有意義な時間となりますことを、心より祈念致しまして、少し長くなりましたけれども、開会のごあいさつとさせていただきます。本日は、ご参加いただきまして、本当にありがとうございます。



## 2. 趣旨説明

国土技術政策総合研究所沿岸海洋・防災研究部海洋環境研究室長 岡田知也

本シンポジウムの狙いの背景ですが、先ほど、山本副所長から説明がありましたように、海の再生を推進するための協議機関として、平成14年に東京湾再生推進会議が設置されました。翌年の平成15年には、東京湾再生のための行動計画が策定されております。そして、10年間の計画期間を平成24年に終了しております。

その取り組みを評価、総括し、昨年、第2期の行動計画が新たに策定されたところであります。併せて、東京湾再生官民連携フォーラムが昨年の11月に設立されております。これは、東京湾の環境改善に向けた活動や行動の輪を広げるため行政、大学、研究機関、水産関係、企業、レジャー、NPO等の東京湾再生に意欲を持つ多様な関係者で構成されるものであります。その第1期行動計画の反省点と第2期の特徴について、簡単にご説明致します。

第1期の反省点としまして、一つありました。指標を底層DO濃度としていたため、各種事業およびNPO活動を適切に評価できなかったという点です。そこで第2期では、食文化につなげる重要性から江戸前というものを全体目標に加えています。ここで、江戸前というのは、東京湾全体で取れる新鮮な魚介類のことを指します。これは、多様な指標を考慮しようという表れであり、より多くの多様な主体による東京湾再生に資する活動をさらに推進できるようにするためです。現在、検討中の第2期の指標の案の概念モデルは、このようになっています。多岐にわたる目標がセットされています。ここで、流域圏、海域、社会といったように、多様な範囲、広範な範囲を考慮しています。これらの範囲の中で水質、底質、下水、生物、生態系サービスなど、多様な項目において研究段階の新たな指標が提案されており、多様な分野の研究が以前にも増して必要であります。

また、第1期からの大きな課題の一つとして、自然再生の取り組みにより、水質は一時期に比べて改善されつつあるものの、生物、生息状況はどうも今ひとつであるという課題があります。この問題は、一つの分野では解決が困難な複合的な課題だと考えています。併せて東京はオリンピックに向けた沿岸域の環境改善など、総合的な新たな課題に直面しています。そこで、多様かつ、複合的・総合的な課題を解決するために、東京湾の環境を話題に、多様な分野の研究者が集まれる場というのが大切と考え、多様な分野の第一線で活躍している研究者が研究発表するシンポジウムを企画させていただきました。

さて、本シンポジウムは2部構成になっております。まず、1部では、大気・陸域とのつながり、栄養塩、水質というタイトルで、東京湾の環境について全般的に考えていきたいと思っております。第2部においては、生物生息場というタイトルで、生物生息場について何が必要かについて考えていきたいと思っております。

第1部においては、まず、古米先生、鈴木先生から、陸域から入ってくる、下水やリンの影響についてご発表頂きます。その後、東先生に内湾の生態系についてご発表頂きます。その後、佐々木先生に無酸素水塊と青潮についてご説明頂きます。そして、桑江先生に海域におけるCO<sub>2</sub>の吸収、海草のCO<sub>2</sub>の吸収についてご発表頂きます。

第2部においては、佐々木先生に再度登場して頂き、東京湾再生官民連携フォーラム、生き物生息場づくりPTの活動についてご紹介頂きます。石井先生には、PTに関連したご研究で、東京湾におけるマコガレイの産卵場はどのような所にあるのかについてご発表を頂きます。そして、国総研の秋山研究官からは、内湾の魚の生息場のネットワークについて発表致します。柚原先生には、都市域の小さな干潟の機能についてご発表頂きます。そして、最後に加納先生に、干潟域の魚類の多様性とその保全についてご発表して頂きます。

それでは、早速、第1部を始めたいと思っております。



# 台場周辺海域における雨天時越流水の流出特性と水質に及ぼす影響

東京大学大学院工学系研究科附属水環境制御研究センター 教授 古米弘明

東京湾全体というよりは、湾奥部のお台場周辺海域に関するお話をしたいと思います。先ほど、岡田室長からあったように、キーワードを下水道として、雨が降ったときの汚濁問題の話だとしてご理解いただくといいかと思っております。

まず、一般の方もおられるので基本的な知識として、日本の大都市において整備されている下水道では、二つの方法で下水を収集・排除しています。一つは、合流式というのは、雨水と生活污水を一緒に一つのパイプで集めてきます。もう一つは、下水道法の改正後に整備されているもので、それぞれ別のパイプで集めるという分流式で、これら二つの下水道の排除システムがあります。

雨が降ったときを考えると、合流式では、汚水の流れに雨水も入ってくるので、ある一定以上の雨水が入ると、下水処理場で全て処理できなくなります。処理できない下水は、河川だとか湾に放流します。雨水だけ放流できればいいのですけれども、一部の汚水は処理されないまま出てしまいますので合流式では汚濁問題が生じてくることになります。分流式のほうは、晴天時も雨天時でもそれぞれ、汚水はすべて処理されているということですのでございます。

雨が降ったときの汚濁の問題というのは、定常的ではなくイベント的に起きるので、非常に把握が難しく、汚濁負荷量はどのようになっているのか、どのような受水域に影響がでるのかということも非常に関心事ですし、東京湾でも懸念されているということです。

平成12年9月、この合流式下水道由来の汚濁問題が、一般の方にも知られた非常に重要な出来事とございまして、このような大きなオイルボールがお台場海浜公園に漂着しました。どこが排出源なのかということで、海上保安庁さんが、きちんと調べると、どうやら下水道のパイプから出てきたということが分かったわけですね。下水管の中を見ると、確かに下水のパイプの中に油がどのように付いている所があるということです。従って、下水道局も「油・断・快適！下水道」ということで、油は流さないで、固めて廃棄処分してくださいという対策をしてきているところです。

このように、この問題は雨が降ったときに起きます。同時にこういったウォーターフロント、東京湾の環境再生の重要なところにおける汚濁問題にどう対応していくのかというのは非常に大きな課題です。

では、どの程度雨が降ったときに出るのかということ、ある一定以上の強度の雨のときに発生しており、毎回の雨で出るわけではございません。弱い雨のときは、できるだけしっかりと集めて、あるいは貯めて放流しない、越流させないということです。東京では、1年間で30回ぐらいは、放流されてしまうということになります。

この下の写真は東京都下水道局のウェブに載っていますけれども、晴天時は穴があるだけです。雨が降ると、非常に汚れた



第15回東京湾シンポジウム 2014年10月24日  
第一部「大気・陸域とのつながり、栄養塩、水質」

## 台場周辺海域における雨天時越流水の流出特性と水質に及ぼす影響

東京大学大学院工学系研究科  
附属水環境制御研究センター  
教授 古米弘明  
E-mail: furumai@envt.u-tokyo.ac.jp

下水道の仕組み：雨水はどのように流れていくか？  
下水を下水道管で流す方法には、合流式と分流式の2つの方法があります。

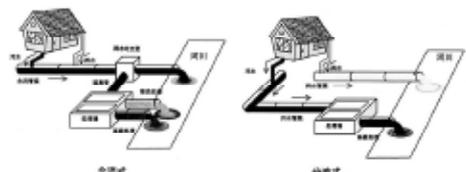
合流式：汚水と雨水を同じ下水道管で流す方法  
分流式：汚水と雨水を、別々の下水道管で流す方法



日本の場合、早くから下水道をつつた町では合流式が多く、1970年より後につくられた町では分流式が多い。  
出典: <http://www.jswa.jp/kankyo-kyoiku/material/index.html> <http://www.jswa.jp/suisuland/3-1.html>

第15回東京湾シンポジウム, 2014年10月24日 2

## 合流式と分流式のメリットとデメリット



- 合流式**
  - 【メリット】
    - 管渠が1本ですむので、建設費が安くすみ管理もしやすい
  - 【デメリット】
    - 大雨が降った時、汚水の混ざった水が川や海に放流され水質汚濁を招いてしまう可能性がある
- 分流式**
  - 【メリット】
    - 川や海への汚水の流出がない
  - 【デメリット】
    - 道路の表面についた汚れなどが、雨水とともに直接川や海に流されてしまう
    - 下水道管、排水設備まで分ける必要があるため、お金がかかる

第15回東京湾シンポジウム, 2014年10月24日 3

## お台場海浜公園とオイルボール

平成12年9月、東京都お台場海浜公園において合流式下水道から白色固形物が漂着して水環境の悪化が顕在化した。



お台場海浜公園に漂着したオイルボール

合流式下水道雨天時越流水 (Combined Sewer Overflow: CSO) 越流水対策において、その目標として、「分流式下水道並み」の汚濁負荷量削減または問題箇所を改善などを設定して段階的に越流水対策の向上を図ることが望まれている。



下水道管に油が付着

下水道局では、「油・断・快適！下水道」キャンペーンを実施して下水道に油を流さないことについて、都民の皆様にご協力をお願いしています。

[http://www.gesui.metro.tokyo.jp/omega/tomin\\_all.htm](http://www.gesui.metro.tokyo.jp/omega/tomin_all.htm)

第15回東京湾シンポジウム, 2014年10月24日 4

ものがこの穴から出てきます。

では、30回はどのくらいなのかと見ましょう。この図は、年間どのような雨が降るのかということを示す小さい降雨から並べて整理したもので、横軸は降雨量です。そうしますと、こちら辺が累積70、80回ぐらいですから、大体1ミリから10ミリ程度の雨では越流水は出ないことが多いのですが、それ以上の降雨量がある30回ぐらいは出るということです。もちろん、厳密では総降雨量ではなくて、雨の降り方によって変わりますが、大ざっぱに考えるとこういうことです。

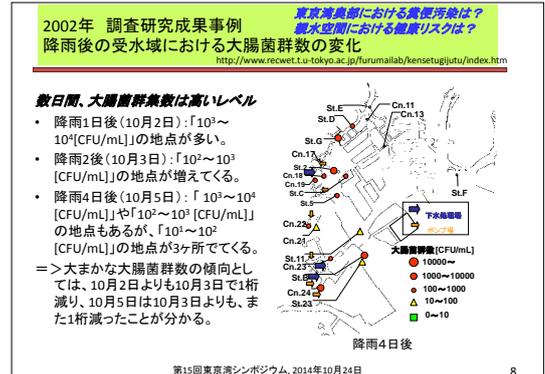
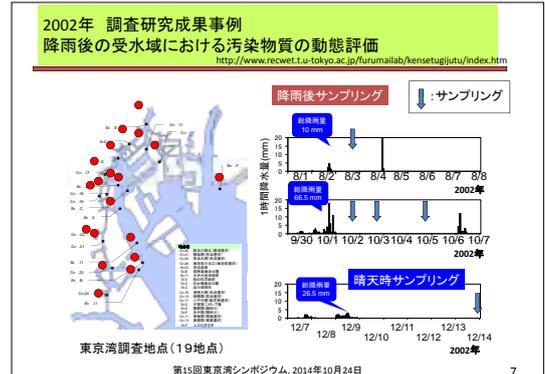
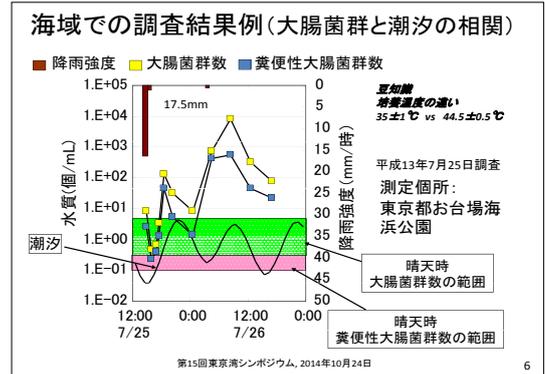
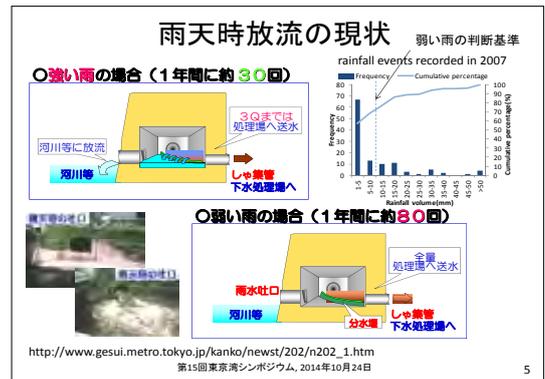
平成12年度には、お台場のオイルボール漂着のあった降雨イベントを受けて、国土交通省による緊急調査ということで、国内の13都市で雨天時調査が行なわれました。

これは、お台場海浜公園で調査したものです。このように、雨が降ると大腸菌だとか、ふん便性大腸菌という、お腹由来の微生物の濃度が、あっという間に上がってしまうということです。港湾では干満がありますので、沖合の海水が満ちてくると濃度が下がったりしますが、やはり干潮になるとさらに上がるというように、越流が発生すればどこから必ず到達してきます。すなわち、下水道システムから雨が降ったときに越流した下水が出てきて、お台場下海浜公園に到達するということになるわけです。

雨が降ったときに、海浜公園で遊ぶことはないですけども、1日、2日たつと、水辺へ遊びに行きたくなる。しかしながら、まだ微生物の汚染レベルが高いので、泳いではいけないのではないかと、皆さんもお感じになるかと思います。

そういうことを受けて、だいぶ前でですけども平成14年(2002年)に水質調査を致しました。これは、雨が降ったらサンプリングするぞという体制をとって、1回目は、残念ながら数日後に雨が降ったので連続サンプリングができませんでした。けれども、幸いこのときは総降雨量66ミリぐらいの雨で、放流が確実にあったらというので、1回、2回、3回と、4日後まで採水することができました。もう一回取る予定でしたけれども、また雨が降ってしまったので採水はしませんでした。同時に、晴天が長く続いた後の水質データも取るという調査をしました。この図の大腸菌群数濃度を見ていただくと、ミリリットル当たりの計数値で表示していますが、いったん雨が降ると普通だったらこの程度のものが、このように高くなってくると。降雨後2日経過すると、だいぶ下がってきましたけれども、やはり、まだまだ高い値です。水浴に適する目標値は、この△黄色ぐらいまでは落ちる必要があります。4日後はどうかというと、やっと△黄色が出てくるけれども、ところどころまだ高い所もあるというように、湾奥部の汚濁状況は非常に複雑です。しかし、日にちが経つと徐々に、ふん便汚染の指標である大腸菌濃度は下がってくるということが分かったわけです。

平成16年(2004年)のときには、オイルボールの問題を受けて、東京都がお台場海浜公園の海域にフェンスを入れて水質調査をしているということで、先ほどのような湾奥部域での調査をしな



いで、お台場地点をターゲットに綿密に水質調査をやるということになりました。

この図は、その当時フェンスが入っていて、きれいな水を入れて、こちら辺は安全ですよというような水域浄化プロジェクトが動いたときの状況です。そのときに、雨が降ったら取りに行くみたいなことではなくて、とにかく毎日のように採水を行い、水質データを取ったものです。これは大腸菌群や大腸菌の計数値変化の図ですが、こういったように雨が降ると計数値も上がっている。さらに、強い雨が降ると、もっと上がる。そして、何日かたつと下がってくるというようなデータを取りました。

皆さん、下痢などでおなか痛くなる原因微生物として、最近ではノロウイルスという言葉をお聞きになったと思います。海水中では細菌は死滅しやすいかもしれないけれども、ウイルスは残存しているかも分からないのでということで、このときは細菌以外にウイルスも一緒に調査を致しました。この図のように、同じような増減の動きがありますけれども、落ちにくいというデータが取れています。ウイルスは、DNAやRNAを検出して計数していることから、生きてるか、死んでいるかは、分かりませんが、残っている可能性はあるというように、調査データを一生懸命ためてきたということです。

現場調査をやったのだけれども、結局、そのときのデータしか取れないので、どうにかならないのかということを考えました。東大でも東京湾に関する研究がたくさんされていて、海岸工学研究室のグループが東京湾全体の3次元流動水質モデルを持っておられました。そこで、東京湾全体ではなくて、この台場周辺海域が対象なのだけれども、どうにか水質モデル解析を一緒にできませんかというように連携研究の提案を申し上げたところ、台場周辺海域のためのモデルを提供いただきました。

われわれは、雨が降った後の水質モデル解析を集中的にやるということです。東京湾全体では大きな2キロメッシュの所を、ここだけは100メートルメッシュとして解像度を上げるというようにネスティングをして解析をすると、こちら辺の流れの場もより詳細に解析できて、お台場の奥のほうはなかなか回っていないみたいだということもわかりますし、その潮流によって、この運河を含めて、どう流れが起きるのかという、流れの場の解析結果が出るということです。そのときの流れは、温度も影響しますし、塩分濃度も影響する。密度流になりますから。そこに下水道からの越流水が入ったときに、大腸菌がどう挙動するか分かれば、お台場にいつ頃到達して、干満に応じて濃度がどう下がって、また上がるのか、何日頃になったら大体泳げる濃度レベルになるのかということを検討するために、モデル解析を進めていったということになります。

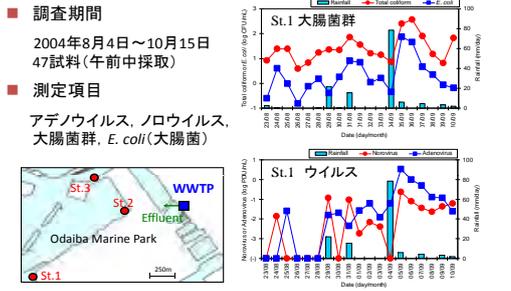
では、どうモデルを作って、どう条件設定して解析をするのかということです。2002年からだいぶ時がたって計算に必要なデータがそろってきたし、こういった下水道に関する情報はしっかりありますので、われわれとしては、これを提供いただいて、大腸菌の消



第15回東京湾シンポジウム, 2014年10月24日 10

### お台場海浜公園における病原微生物調査

Haramoto et al. (2006) Water Science & Technology Vol 54 No 3 pp 225-230



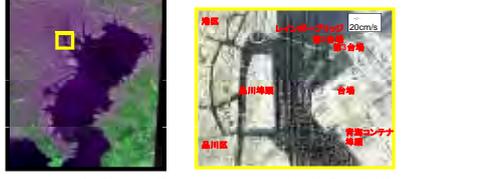
第15回東京湾シンポジウム, 2014年10月24日 11

### 東京大学大学院新領域創成科学研究科環境学専攻 沿岸環境研究室と連携したモデル解析研究へ

#### 3次元流動水質モデルによる降雨後の水質変動予測研究への展開

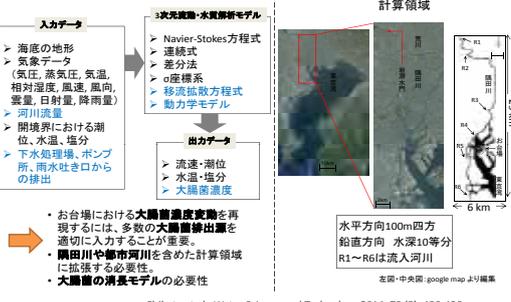
- 2段階ネスティング
  1. 東京湾スケール (2000m)
  2. 東京港周辺 (100m)
- 上げ潮時の流動の一例 (100mメッシュ)
 

第三台場と防波堤の開口部で比較的流速が速いが、お台場海浜公園の奥ではほとんど流動が生じていないことが分かる。



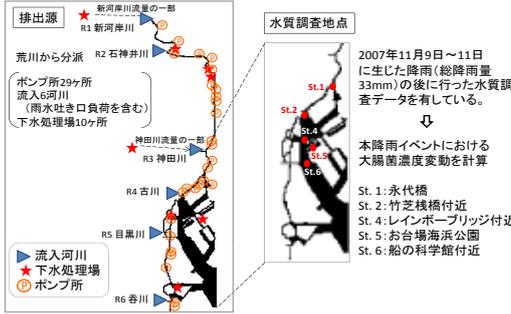
小野澤ら (2005) 海岸工学論文集, 第52巻, pp.891-895, 藤原ら (2005) 海岸工学論文集第52巻, pp.886-890 第15回東京湾シンポジウム, 2014年10月24日 12

### モデルと計算領域



Shibata et al.: Water Science and Technology 2014, 70 (3): 430-436 第15回東京湾シンポジウム, 2014年10月24日 13

### 大腸菌排出源と水質調査地点



第15回東京湾シンポジウム, 2014年10月24日 14

長動力学、海水の中での増殖や死滅などの挙動を示すモデルを導入して、沿岸域における大腸菌濃度をしっかりと計算をすることを行いました。調査データがありますので、そのモデルで再現計算ができるかという、モデルの検定をしたということです。

最初の頃は、東京湾奥部、ここだけをターゲットにしましたが、研究をするうちに汚濁が出てくる所が、どう湾内に入るかによって、結果が大きく変わることが分かりました。従って、隅田川も入れないといけないし、隅田川に入ってくるいろいろな都市河川や、特に目黒川がとてもお台場に近うございますから、ポンプ所だけでなく、それらの都市河川からの流入負荷量というのを全て入れておかないといけないということで、計算領域をどんどん拡張し、モデルを高度化してきたということになります。

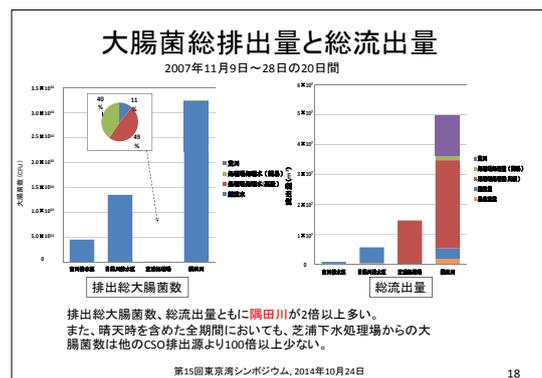
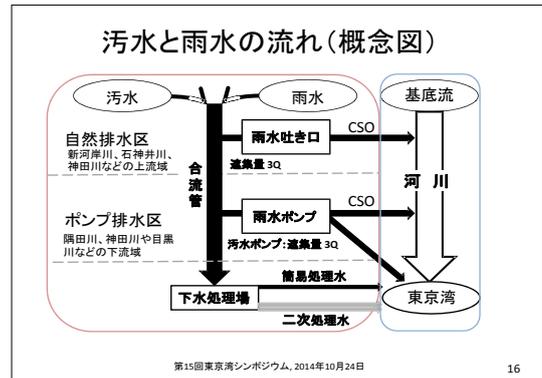
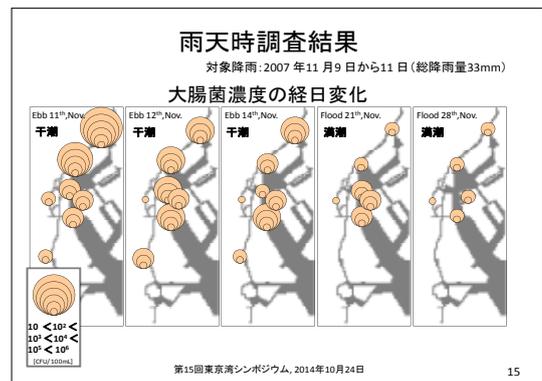
このデータは2007年のものですが、モデル研究自体は昨年度実施した内容です。このように、大腸菌が出る所は幾らでもあります。大体雨が降ると河川沿いに、自然流下で越流してくる吐口が800近くあって、なおかつ、ポンプ所が29カ所です。それが、どうポンプ排水するかは、雨の降り方によって変わります。そのため、この情報を的確に入れるというところを一生懸命精査し、雨が降ったときに、検証のために降雨後で複数地点で水質データを取るということを行いました。そのときのデータです。

先ほどお見せした、1日、2日、4日と同じように変化していきます。これは、色ではなく○の大きさに濃度の違いを表現したけれども、高い濃度だったものが、1日たち、3日、4日たち、1週間以上たつたというデータを取りました。今回は、長い間、晴天が続いたので、かなり下がった濃度レベルのデータも取れたということです。長くたつと下がってくるということも確認できますし、実は、干潮のときと満潮のときでは、濃度分布が変わるというデータも取ったということです。こういったような観測データを取ることによって、モデルを検証するということができます。

では、今回、陸域と東京湾という観点で言うと、どう汚濁物が入ってくるのかというおさらいをしたいと思います。合流式下水道ですので汚水も入ります。雨水も入ります。雨が降ってしまうと、こういうように自然流下の所は吐口という所から越流水が出てきます。先ほど申し上げた東京に800近くあるということです。ポンプ排水の所は、流下する下水がポンプ所に入ってきて、そのままでは流れないので、ポンプアップして排水します。もちろん、一定量の下水はきちんと処理場に行くというシステムです。従って、雨が降ると、その量以上の雨天時下水はこういった所から放出されるということになります。

もちろん、下水処理場に収集された下水も全て完璧に処理ができません。一部は簡単な沈殿処理だけをして放流している下水もあるということです。ただし、放流水を消毒すれば病原微生物を死滅できて、その指標である大腸菌も結果的になくなります。

このような流れが複雑にあることを理解した上で、では、大腸菌の濃度はどれだけ出たのかを与えないと計算できませんので、ど



### 境界条件 (河川)

荒川からの流入量の設定  
隅田川は、新岩瀬水門で荒川から分岐している。  
=> 荒川流入量: 79.4m<sup>3</sup>/sが降雨開始2日間と仮定

都市河川からの流入量の設定

流入河川	位置	流入量の構成
新河岸川	R1	越流水、基底流量 (0.2m <sup>3</sup> /s)、新河岸+浮間水再生センター処理水 (約10m <sup>3</sup> /s)
石神井川	R2	越流水、基底流量 (0.2m <sup>3</sup> /s)
神田川	R3	越流水、基底流量 (0.5m <sup>3</sup> /s)、中野+落合水再生センター処理水 (約5m <sup>3</sup> /s)
古川	R4	越流水、基底流量 (0.1m <sup>3</sup> /s)
目黒川	R5	越流水、基底流量 (0.2m <sup>3</sup> /s)
呑川	R6	越流水、基底流量 (0.5m <sup>3</sup> /s)
隅田川	-	越流水、荒川流入量 (岩瀬水門)

※越流水: 河川排水区ごとの総越流水をポンプ所と河川に配分

第15回東京湾シンポジウム, 2014年10月24日 19

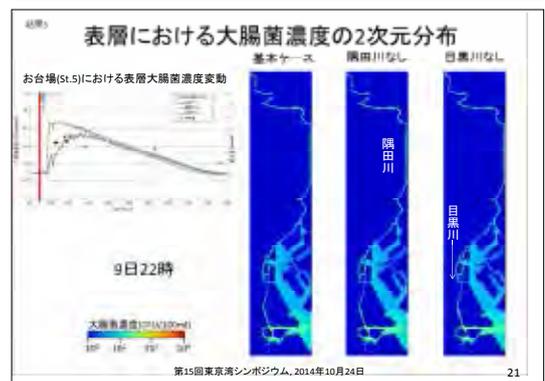
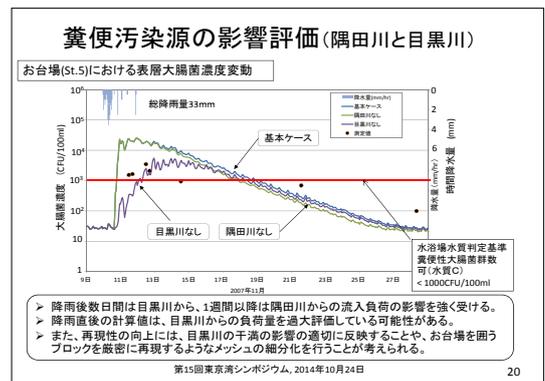
うやって計算をするのかというと、普段流れている汚水の中の大腸菌濃度をきちんと調べておいて、雨水によって、どれだけ希釈されて出ていくのかというように、非常にシンプルなものを入れました。実は、これにも限界があるのです。下水管の中に流れているもの以外にも、管路内にたまったものがあるので、たまった所にも大腸菌が残存しているので、これをどのように評価するかが難しいところです。研究というのは難しいことがあると、いつも喜びになりますけれども、まだまだ研究費をいただけるぞということになるかと思えます。ということで、当面はここまで精緻化したので、結構複雑なモデルのようですが、これでも単純化した雨天時汚濁解析のためのモデルになったということです。

どれぐらい大腸菌が出てくるのかという大ざっぱな計算ができます。こちらは、排出総大腸菌数です。こちらは、流出水のボリュームです。そうすると、ボリュームとしてはどのような水が多いかというと、これは、荒川から来た水だとか、あるいは下水処理場から放流される処理水です。この赤い色で示す処理水ですけれども、ボリュームとしては大きいのです。CSOというのは、この青い色ですから、雨が降ったときの越流量はボリューム的には大したことはないのですけれども、左を見ていただくとお分かりのように、ほとんど大腸菌の由来は、この青い部分のCSOから来ていて、隅田川からたくさん排出されていて、目黒川からもかなりあるというような状況が分かります。この値が、どれぐらい精度があるかというと、私自身、オーダーでは自信がありますけれども、ズレが2、3倍以内位に入っているかという、全く自信はありません。しかし、少なくとも、このオーダーは程度、すなわち10倍は違わない。10分の1でもないという感じでございます。

川の条件をこのように入れます。そうすると、境界条件が決まります。入ってくる量も分かりました。では計算しましょうということで、今日は、お台場での計算結果を紹介します。これは、33ミリの雨が降ったときに、普段はこの程度の濃度のものが、急激に上がって、じわじわ落ちていったデータをお見せしております。それを、先ほどの入力をして計算すると、この青い線が大腸菌濃度です。観測結果より高めとなります。きっと、大腸菌負荷量が実際には想定より低い条件であったかもしれません。

次に、この紫の色の線は、目黒川から流入してくる越流水は、皆きれいにしたと、仮にゼロの大腸菌数を与えた場合の計算結果です。この紫のラインになります。緑のラインというのは、隅田川からくる負荷を皆なしにしたものになります。

これらの三つの計算結果を比較すると、最初に一気に濃度を上げる原因は目黒川由来の汚濁であることがわかります。濃度をゼロとして負荷をなくせば濃度が下がるということは、負荷があるから上がっているということです。隅田川からの汚濁負荷を有り、無しにしても、最初の濃度上昇傾向は変わりません。しかし、調査期間の後半を見ると、緑のラインが、汚濁負荷を全部考えたときの青い線よりも低いので、隅田川のもののおっとり刀とは言わないで

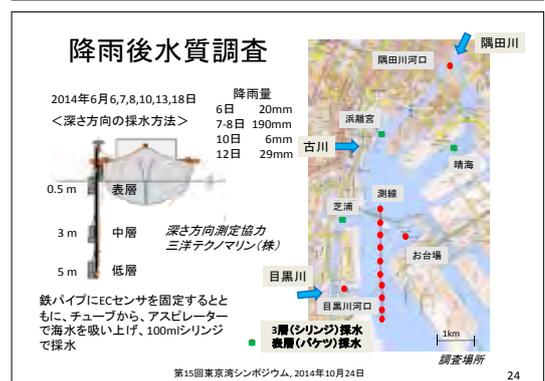
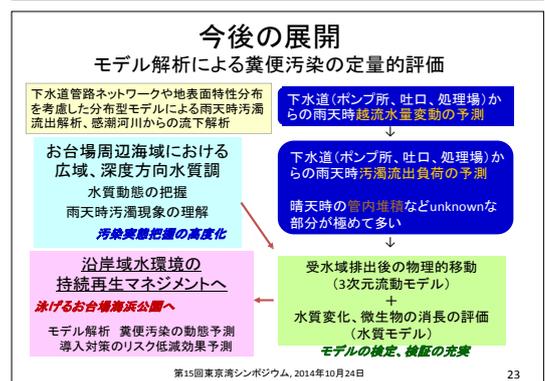


### まとめ

計算領域を隅田川上流端まで拡大させ、雨水吐き口からの負荷も受けた都市河川からの流入負荷を考慮して、異なる流入のシナリオでお台場周辺海域における大腸菌の3次元流動解析を行った。

- 大腸菌濃度の計算値は実測値に比べて、特に目黒川河口付近では、降雨直後が高い傾向にあった。
- 2007年11月9日からの降雨では、お台場海浜公園では降雨直後に目黒川からの、降雨開始約1週間以降は隅田川からの、流入負荷が長期間に渡り影響を与えることが推察された。
- CSO発生時における流入河川からの負荷流入パターンが、糞便汚染の拡散方向やお台場における最大濃度に到達する時間に大きく影響を与えることが示唆された。
- 今後の課題として、雨水吐き口排出量の精査、流入河川からの流入パターン、お台場周辺のメッシュ細分化などが挙げられる。

第15回東京湾シンポジウム, 2014年10月24日 22



すけれども、じわじわやってきて濃度をなかなか下げないというように、汚濁源が及ぼすお台場における大腸菌濃度変動への影響というのは、それぞれ汚濁源ごとに違うのだということが分かります。

ただ、このモデル計算結果では、まだこれだけ実測濃度からずれているので、皆さんにはまだ十分には信用していただけないので、さらに汚濁負荷条件などを精査するという課題が残っています。

図のプロットでは分かりにくいので、表層大腸菌濃度の変化をビデオ化しました。どれぐらいの濃度分布になるかは、これを見ていただければと思います。これは全部考えた基本ケースのとき、これは、隅田川の汚濁負荷がないとき、これは目黒川からの汚濁負荷がないとき、こちら辺に赤く色が付かなかつたらそこから大腸菌は出ていないとご理解ください。

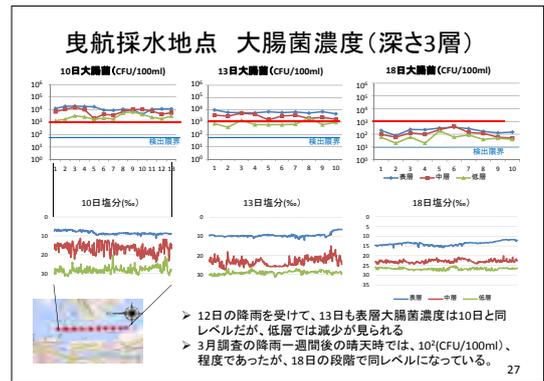
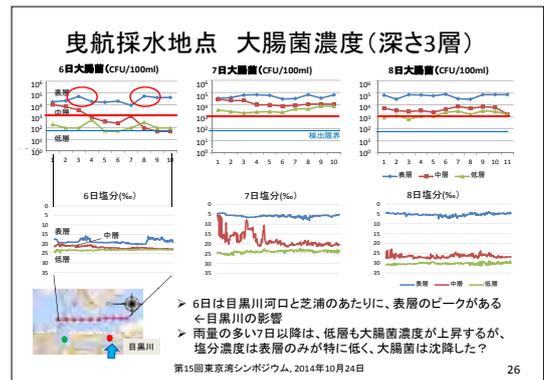
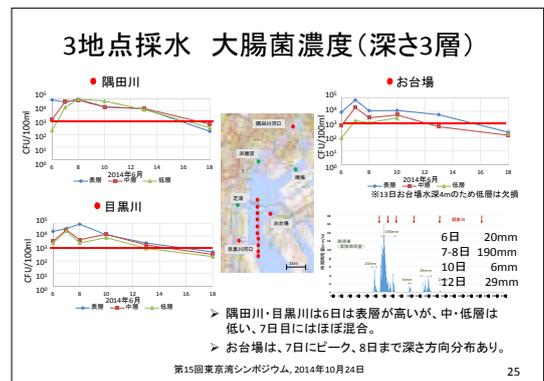
そうすると、これが時間経過で、徐々に今からお台場に到達しました。到達してないです。目黒川からの負荷を止めておけば、急には濃度が上がらないと、だけれどもじわじわこちらからの汚濁の流達があるということです。まだ十分に正確に再現された計算結果ではありませんけれども、こちらのケースでは濃度上昇はないですけれども、別のところから汚濁源がやってくるというように、全体の大腸菌の動きだとか、どこがお台場での濃度上昇において重要で、どこの汚濁負荷を止めるのがいいのかという議論をするには、非常に有効なツールになりつつあるというように、私は理解しています。

ということで、次のステップは何なのかということになるかと思えます。

そこで、まず今の成果をとにかくまとめて、何がさらに課題なのかということを書き化してみました。これは1番目です。降雨後の流動水質モデル解析において、大事なのは解析対象範囲を湾奥部に加えて流入河川まで広げたことです。しっかり都市河川からの汚濁負荷の流入を与えて計算した結果、隅田川、目黒川からの汚濁負荷が非常に重要である。お台場における濃度上昇への効き方は、汚濁負荷源ごとに違う。従って、モデルの設定条件を精査すると、いろいろな解析、シナリオ解析ができるだろうということが分かりました。

まとめですけれども、このような流動水質モデルができていますので、降雨後の沿岸域での水質データをもっと取って、モデルを精緻化して、しっかりと検証するということが必要で、これが最新の降雨後調査です。2014年の6月に大雨が降ったのですが、そのときに、深さ方向3点採水できるように工夫して、いろいろな所で連続採水をするという調査を実施しました。幸いにも6月6、7、8、10、13日と、前回調査のように降雨後3回ではなくて、これだけ連続で取ってみました。それなりにお金も掛かりましたが、深さ方向の塩分濃度も計測しながら一遍に深さ方向3地点で採水をして、大腸菌の濃度を計数したのは初めてですし、これらの試料についてもウイルスも測っているので、成果を発表するときには世界で初になるかなと期待しています。こういった調査データを体系立てていろいろ取ることによって、それぞれの地点がどうなっているのかとか、湾奥部から沖合への流れ方向での分布などを把握する。この図では、芝浦沖や目黒川の流入地点で、表層濃度がぴくぴく上がっているというのは、雨が降ったときに、これらの地点で濃度が高くなるということも現れてくるというように、空間分布、深さ方向、経時的にデータを取ってモデルを検証すると、きっといろいろなシナリオ解析を行うに十分なモデル構築ができます。そして、汚濁対策などの条件設定を入れて、汚濁対策の有効性を評価することなどができたらと思っています。

ということで、まだまだやるべきことはあります。まだまだ研究費が欲しいということをお願いして、私からの話題提供を終わりたいと思います。



## 陸域から東京湾へのリンの輸送プロセス

(独) 産業技術総合研究所環境管理技術研究部門海洋環境評価研究グループ長 鈴木昌弘

今回の発表で取り扱うリンという元素は、海洋の分野では、炭素や窒素に比べてマイナーで、その研究も少々マニアックな扱いされているところがあります。しかし、最後にお話しさせていただきますが、近年リンについての非常に大きな問題提起が世界的になされていますので、それと合わせて沿岸海域における話をさせていただきます。

まず非常に大きくくりなところから、リンとはそもそもどのような元素かについてお話いたします。リンは地殻中では11番目に多い元素ということで、比較的多量に存在しますが、海水中ではかなり少ない元素になります。リンは生命の維持に欠かせない元素であり、例えば、DNAやRNAなど遺伝子に関連する化合物はリンを豊富に含んでいます。それから、細胞を取り巻く細胞膜の構成成分としてリン脂質が非常に重要です。またATPなどの化合物は、リン酸基が切れたりくっついたりすることで細胞の中のエネルギー代謝をつかさどっています。さらに、物理的な硬さを持つものとして、リン酸カルシウムが動物の骨や歯などのアパタイトを構成しています。このように、リンはあらゆる海洋生物、細菌からクジラまで全ての生命の維持に必要とされる、非常に重要な元素です。

ここでは、沿岸におけるリンの循環を非常に大まかに示しましたが、健全な環境では、適度な量のリンが適度な速度で沿岸に流入してきます。リン酸塩という形で入ってくると植物プランクトンに非常に使いやすく、これを使って光合成が進行し、作られた有機物は、いわゆる食物連鎖を通して、最終的には水産資源という人間にとってありがたいものを得ることができます。一方、余ったものは海底に沈んでいったり、あるいは外洋に流されていったりします。流入と循環がこのように適切であれば、良いバランスでリンの物質循環過程が回り、「江戸前」を支える重要な栄養塩循環が維持されます。

これが、過剰に流入するとどうなるかということです。いわゆる、富栄養化現象が進行し、海水中の栄養塩濃度がどんどん高くなって、プランクトンなどの微小生物群集のバイオマスが大きくなります。捕食者はより多く食べることができるようになりますが、その一方で沈んでいった有機物が底層の酸素を消費して、その際、リンが再生、溶出します。外洋に出ていく分も増加しますが、やはり、どんどんヘドロとして溜まって行って、相乗効果で酸素消費がより進行するという悪循環が引き起こされます。また窒素とリンの循環のバランスが狂うと、場合によってはハームフルアーガブルーム(Harmful Algal Bloom)とって、毒性を持ったプランクトンが異常増殖してしまうようなことも、海外ではよく報告されています。

では、これを改善しなければならないということで、いろいろな対策、あるいは規制の強化、基準の変更等によりリンの流入量を削減したとしても、沿岸生態系内には、既にかんりの量のリンが蓄積してしまっています。これがすぐに無くなることはなく、流入



National Institute of Advanced Industrial Science and Technology **AIST**

「第15回 東京湾シンポジウム」  
～東京湾の水環境に関する研究～

### 陸域から東京湾へのリンの輸送プロセス

鈴木 昌弘  
産業技術総合研究所・環境管理技術研究部門  
海洋環境評価研究グループ

2014年10月24日

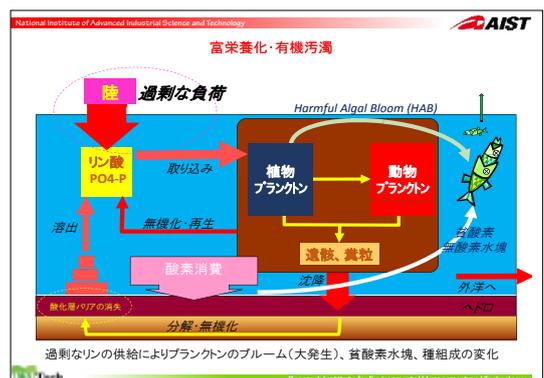
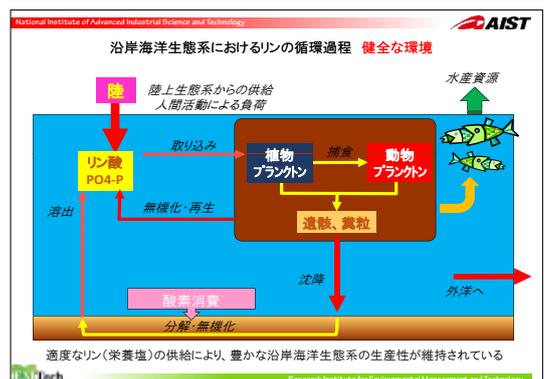
U-Tech Research Institute for Environmental Management and Technology

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology **AIST**

### リンとは？

- 地殻構成元素で11番目(一説には7番目)に豊富な元素である
- 生命の維持に欠かせない重要な役割を果たしている
  - ✓ 遺伝子を構成する**核酸(DNA, RNA)**
  - ✓ 細胞膜を構成する**リン脂質**
  - ✓ 細胞のエネルギー代謝をつかさどる**ポリヌクレオチド(ATP)**
  - ✓ 動物の骨・歯牙の主要成分**リン酸カルシウム=アパタイト**
- すべての海洋生物(原核生物からクジラまで)は生命の維持にリンを必要とする。

U-Tech Research Institute for Environmental Management and Technology



量が減っても、やはり依然として生態系内で循環するサイクルというのは、なかなか元に戻すことができない状況になります。

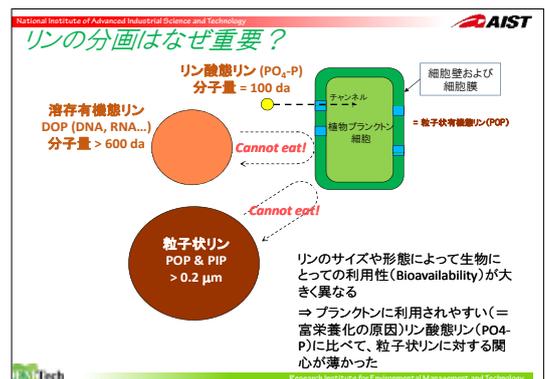
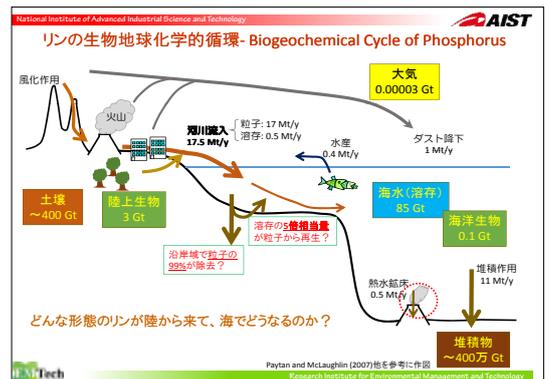
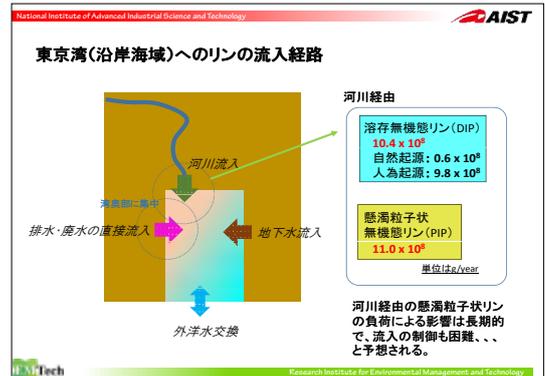
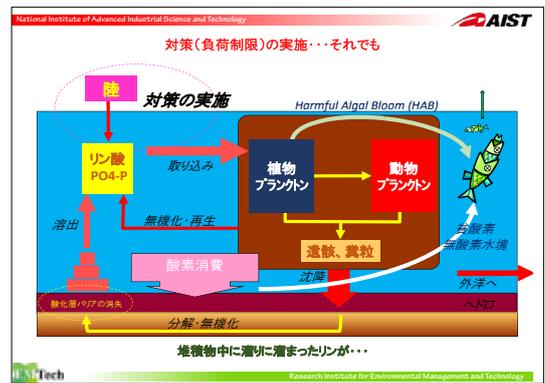
東京湾を初めとする沿岸海域でリンはどこから入ってくるのか、当然、沿岸・内湾域は外洋とも繋がっていますから、外洋との海水の交換があります。東京湾全域を見ると、このような外洋との海水交換によるリンの供給量は、非常に大きいのですが、赤く示した東京湾の湾奥部あるいは東京港付近というのは、やはり、圧倒的に陸の影響が大きいといえます。陸というと、先ほどのご講演にもありました下水道をはじめとする人間活動に直結する負荷源が挙げられます。それから、土壌の流出など自然のプロセスとして河川から入ってくるものも重要です。さらに、実は非常に大きいだらうと推測されていますが、今のところ、しっかりと定量化のされていない地下水経路の負荷もあります。

これらの中でも、河川経路で流入してくるリンは、湾奥部に非常に大きな影響を与えていると考えられます。特に、洪水時には茶色に濁った河川水を思い起こしていただけたと思いますが、その中には、粒子にくっついた、あるいは粒子そのものを構成するリンが、大量に含まれており、それが東京湾に流入し、蓄積することで、長期的に影響を及ぼします。しかも、洪水時に入ってくるものですから、その流入制御や、さらに影響の実態把握も困難で、その点をしっかり押さえないと、リンに関わる東京湾の水質について、人為的にコントロールできる部分とできない部分を区別することも難しくなります。

ここに示したのは、グローバルなリンの循環過程を取りまとめた図になります。リンと同様に生物にとって重要な、いわゆる親生物元素として、炭素と窒素も挙げられますが、リンの最大の特徴は大气経路の輸送が非常に少ないことです。これは炭素や窒素が気体としての輸送形態を持つのに対し、自然界に揮発性のリン化合物が極めて乏しいためです。そのため、炭素と窒素は大气経路での海洋への輸送が大きいのにに対し、リンはここで示すように河川経路での輸送が大部分を占めます。

河川では水に溶けた溶存成分と粒子成分が搬入されますが、私たちは植物プランクトンにとって最も利用しやすい溶存リン酸という形態のリンに着目しがちです。しかし実際にはこのように粒子状のリンが圧倒的に多く入ってきます。この粒子状リンは沿岸海域に蓄積しやすいだけでなく、溜まった後で、実は、溶存リン酸の流入量の5倍以上が溶け出してくるという報告があります。河川経路で運ばれ沿岸生態系に流入してくるリンは極めて複雑な挙動を取り、その循環過程の全容は未だ解明されていない部分が多くあります。

今、粒子状リンの流入について言及しましたが、具体的に粒子状リンとはどのようなものかという、基本的には実験的・操作的に定義しています。つまり、フィルターの孔を通過するかどうかです。一般的には0.2から1マイクロメートル程度の孔径を持つフィルターを使い、フィルター上にトラップされる大きなものを粒子、



通過する小さなものを溶存態としています。ですから、ウイルスなどは実際には粒ですけれども、取り扱いとしてはフィルターを通過すれば溶存成分になります。典型的な粒子状リンとしてはプランクトンや泥粒子、溶存成分としては分子やイオンが挙げられます。

このようなリンの分画を整理すると、水中に存在するリンの全てを括って「全リン」と言います。サイズによって、粒子と溶存に分けられます。さらに、化学的な範疇で無機物と有機物にそれぞれ分けられます。なぜ、このように分画することが重要なのか。先ほどから溶存リン酸は生物にとって利用しやすい形態と言いましたが、溶存リン酸は分子量 100 ぐらいの大きさになります。他に、溶存態リンとして例えば DNA や RNA というリン化合物が挙げられますが、これらは分子サイズが非常に大きくなります。もちろん粒子状リンはさらに巨大になります。植物プランクトンは、光合成にあたってリンを必要としますが、彼らは細胞膜にある非常に小さな孔から必要な成分を取り込みます。その孔のサイズから、プランクトンが取り込んで直ちに利用できる形態が溶存リン酸しかないのです。これより大きいものは、直接取り込むことができません。このため、富栄養化の元凶として溶存リン酸が注目されてきました。しかし、直接は利用できない高分子のリン化合物や粒子状のリンも、様々なプロセスを経てリン酸に分解されることで、生物に利用可能なことが分かっています。そのような間接的プロセスが実は富栄養化や有機汚濁に関連があることも指摘されています。その辺りについて、陸域からの負荷のプロセスを含めて紹介させていただきます。

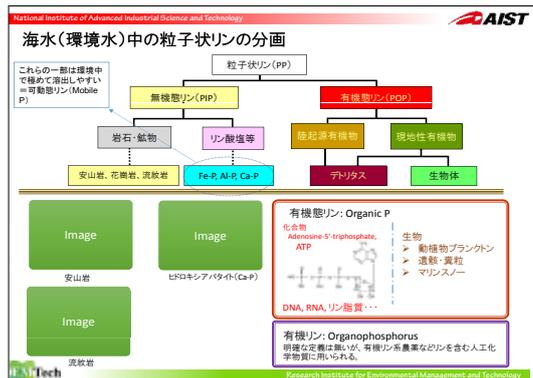
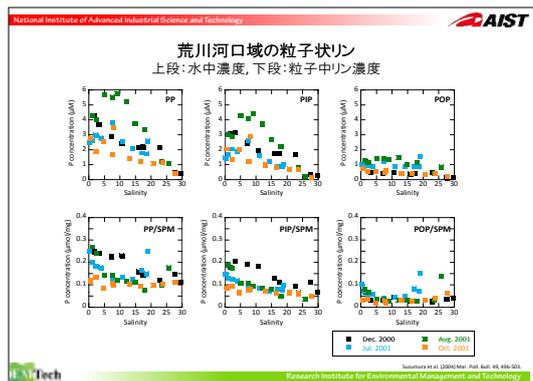
これは少し古いデータですが、2000 年の 12 月から 2001 年の 10 月までの 4 回、荒川の河口から上流域までサンプリングを行い、各種形態リンの濃度を計測した時のものになります。

そのデータを元に、横軸に塩分、縦軸に水中のリン濃度をプロットしたものが上の 3 枚で、左から全粒子状リン、粒子状無機態リン、粒子状有機態リンのデータです。下の 3 枚は粒子中のリンの濃度を示しています。塩分が低いところが淡水、塩分が高いところが河口域から湾内に入った採水点の値になります。このデータが発表されるまで、実は東京湾に流入する河川水中に、粒子状のリンがどのくらいの濃度で入っているのか、さらに無機態や有機態がどのような割合で存在しているのか、という知見はほとんどありませんでした。炭素と窒素に関しては、リンに比べて分析も容易であることから、多くのデータが蓄積されていましたが、リンに関しては、これがおそらく東京湾河口域で細かく測った初めての例だと思います。

これらのプロットから、いろいろと読み取れることはありますが、特に重要な点は塩分変化、つまり上流と下流で粒子状のリンの濃度と、さらにその中身が大きく違うのだということです。有機態リンは、土壌に由来する有機物から、湾内では植物プランクトンに由来する組成が複雑に混ざり合っていると考えられ、無機態リンも大きく変動することが示されています。これをもとに、さらに粒子状リンの中身の解析をしていく研究を進めました。

粒子状無機態リンはどのようなものかという、一つは岩石や粘土鉱物の細かく風化された粒子が含まれます。これらは環境中でかなり安定であると推定されます。また、鉄、アルミニウム、カルシウムなどの金属塩も存在します。これらは比較的反応性が高く、海水中で溶けることでリン酸を放出し、富栄養化の潜在的な原因物質になりえます。

こちらは、東京湾の観測点で、冬季と夏季に、海水中、堆積物中、堆積物－海水の境界におけるリンの量やフラックスを計測した結果をまとめた図になります。左が冬季で一次生産やそれに伴うリンの沈降フラックスが小さく、また海水が活発に混合することで海底まで豊富な酸素が存在する環境になっています。右は夏季の様子を示しており、一次生産に伴う沈降フラックスが非常に



大きく、また水温躍層の発達に伴って海水の鉛直混合が制限され海底付近は貧酸素あるいは無酸素の環境になっています。

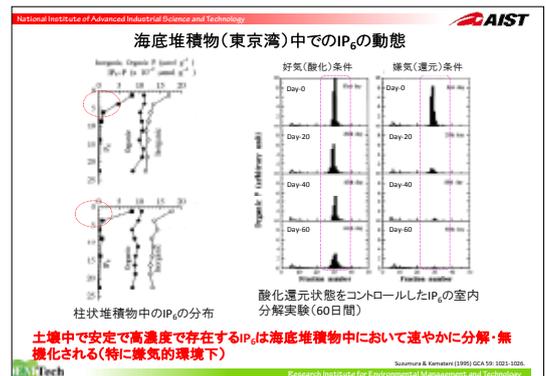
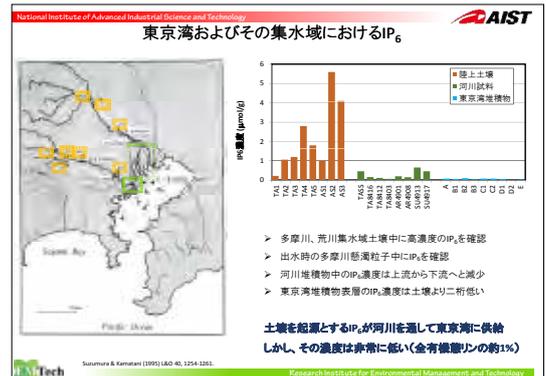
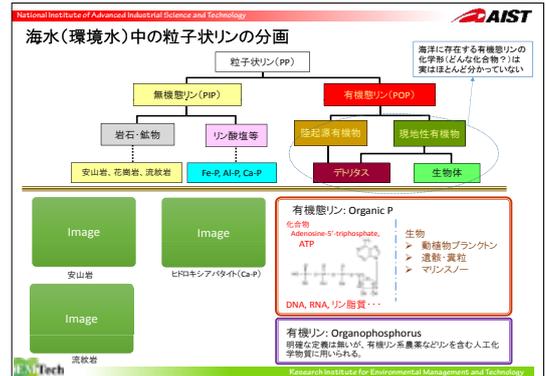
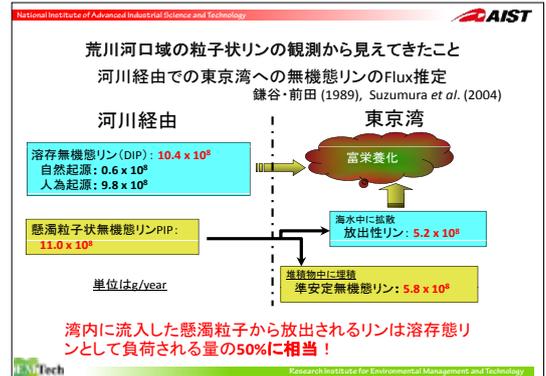
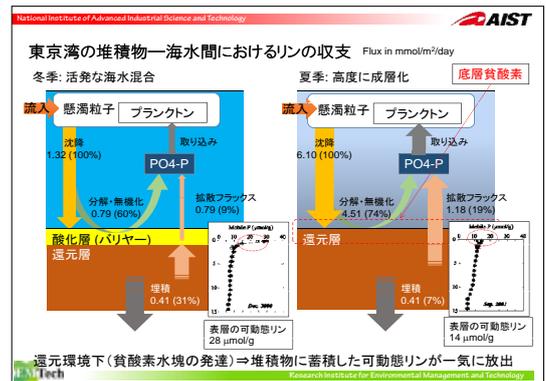
沈降してくるリンを100とした場合、堆積物に取り込まれる前の堆積物と海水の境界付近で分解、再生されてゆく部分は60%と70%と、季節によって大きな差はありません。しかし夏季は沈降フラックスが大きいいため、実際の再生フラックスは夏季が冬季の数倍大きくなります。また堆積物間隙水から海水に、拡散で溶け出してゆくフラックスも、夏季の方がパーセントで2倍、実際のフラックスで1.5倍、大きくなっています。再生と拡散をあわせた堆積物から海水へのリンのフラックス、つまり海底からの負荷は夏季に大きくなるのが分かります。

またこのグラフは、堆積物中の固相に含まれるリンの中で、還元状態になると速やかに溶出する「可動態リン＝Mobile-P」の鉛直分布を示したものです。海底にも酸素が豊富な冬季は、堆積物表層に酸化層が発達し、バリアーを形成しています。ここには、鉄の酸化物などに吸着した形で可動態リンが高濃度で蓄積しています。一方、夏季になって還元状態になると、表層の可動態リンは大きく減少しています。このことは、再生や拡散フラックスといった季節ごとの定常的なリンの負荷に加えて、冬季の間に堆積物表層に蓄積された可動態リンが、貧酸素化の進行とともに一気に放出される形での急激な負荷が春季から初夏にかけてあることを示しています。

荒川河口域の粒子状リンの分布や、東京湾定点でのリンのフラックスなどのデータから、東京湾における粒子状リンの負荷の様子をまとめてみました。これまで注目されてきたのは、富栄養化の直接の原因物質である溶存無機態リンでしたが、実は、溶存に匹敵する量の粒子状リンが東京湾に入ってきています。また、そのうちの半分が東京湾に入った後で海水中に溶け出してくる、潜在的な富栄養化源となっています。従って、溶存無機態リンに関わる対策だけを一生懸命考えていても、実はなかなか評価、コントロールが難しいということになります。

ここまで粒子状無機態リンの話をしてきましたが、先ほど示したように粒子状リンには有機態の成分も含まれています。実は、海洋環境中に存在する有機態リンの正体はほとんど分かっていません。海水や堆積物に含まれる、DNAやATPなど既知のリン化合物を調べた例はありますが、それらは微量で全体のごく一部を占めるに過ぎません。一方、作物へ栄養供給の観点から、陸上土壌中の有機態リン化合物の研究が古くから進められており、特にイノシトール六リン酸（フィチン酸）という化合物が非常に豊富に存在することが知られていました。

東京湾堆積物および集水域の土壌、多摩川、荒川、隅田川の堆積物と懸濁粒子中のイノシトール六リン酸濃度をまとめた結果を示します。まず、陸上土壌中で非常に高濃度で存在し、河川で減って、海（東京湾）でさらに減少しています。東京湾では、河川の多い湾奥で高く、湾口に向かって濃度が低くなっています。



東京湾堆積物中のイノシトール六リン酸濃度は非常に低く、全有機態リンの1パーセントあるかないかという程度だったため、先ほど述べた「海洋環境中の有機態リン化合物の正体はほとんど分かっていない」という状況を覆すことはできませんでした。しかし、これは陸から海までの連続した系の中で、イノシトール六リン酸という特定の陸起源有機態リン化合物の分布を明らかにした初めての研究成果となりました。

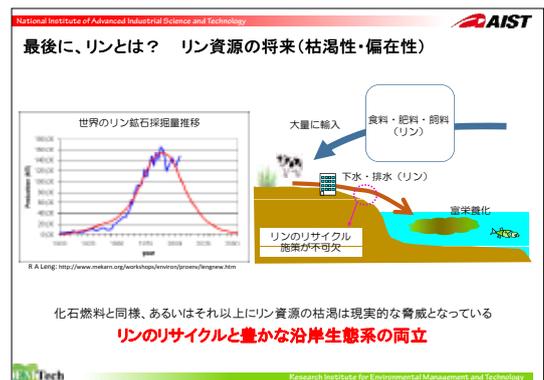
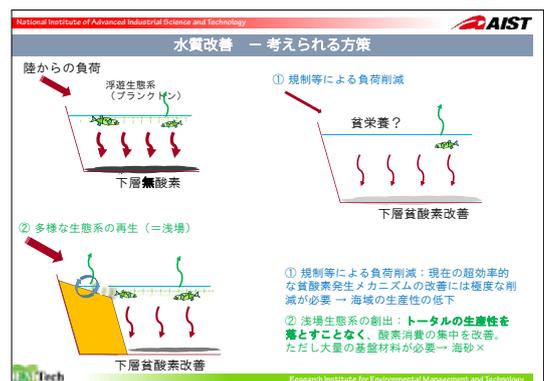
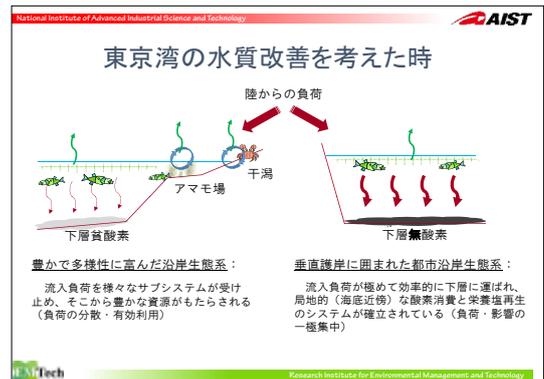
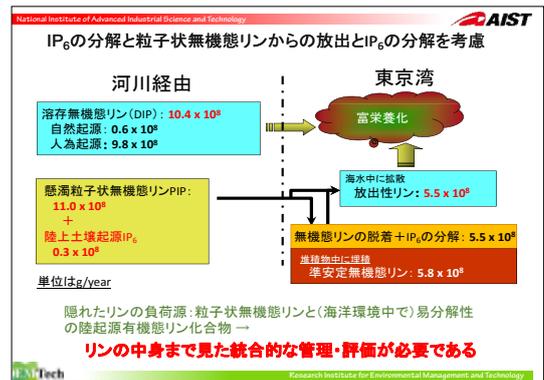
左側のグラフは、東京湾の2測点における、堆積物中の有機態リン、無機態リンおよびイノシトール六リン酸の鉛直分布です。イノシトール六リン酸だけ、濃度を10倍に拡大してあります。全有機態リンは表面から25センチの深さまであまり変化はないのですが、イノシトール六リン酸だけ、いずれの測点でも数センチで、ほとんど消失しています。東京湾の堆積速度から考える、陸から運ばれてきたイノシトール六リン酸が数年以内に分解していることを示しています。右側は、東京湾の堆積物にイノシトール六リン酸を添加し、60日間、酸化状態と還元状態で保存した室内実験の結果を示したものです。破線で囲んだ部分が、堆積物抽出液のリンの陰イオン交換クロマトグラフィーで、イノシトール六リン酸に相当するピークですが、東京湾の堆積物でよく見られる還元環境で非常に速く分解することが分かりました。

これらの結果から、先ほど、河川で運ばれてきた粒子状無機態リンによるリン酸の潜在的な負荷プロセスについて紹介しましたが、無機態リンだけでなく、同時に粒子状有機態リンも潜在的なリン酸の負荷源として影響を及ぼしている可能性が示されたと言えます。主要成分とはいえ、イノシトール六リン酸は土壌中の有機態リンの一部に過ぎませんから、土壌中の有機態リン全般がどのような挙動をとるのか、今後、その点も踏み込んで解明してゆくことで、陸起源粒子状リンの沿岸生態系における役割、影響というのが見えてくるのではないかと考えています。

干潟やアマモ場が豊富に存在する生態系では、陸からリンの負荷があった場合、入ってきたリンを、干潟、アマモ場、浮遊生態系、海底という多様性に飛んだサブシステムが受けとめ、それぞれ、その場その場で消費や循環、あるいは水産資源として取り上げるというプロセスが構築され、健全な環境が維持されます。一方で、垂直護岸に囲まれた都市沿岸生態系では、同じ負荷があっても、極めて効率的に海底近傍に運ばれ、局地的な酸素消費と栄養塩の再生が起こるシステムになってしまっているという点が、一番大きな問題とを考えています。

例えば、規制や高度な浄化技術の導入による対策等で、陸からのリンの負荷を減らしたとしても、局地的消費システムが効率的過ぎて、貧酸素の改善に結び付くのは簡単ではありません。むしろ水中が全般的に貧栄養になってしまい、場合によっては「江戸前」として知られる東京湾の豊かさが失われるかもしれません。ですから、負荷もあるが、生産性も高く、しかも貧酸素のような悪影響も少ないとなると、多様性のあるサブシステムを有する生態系を考えてゆくことが重要と考えられます。

最後に、発表の冒頭で言及した世界規模でのリンに関するトピックを紹介します。実は、リンというのは、2050年には世界で採掘できる資源が枯渇すると言われていています。青線が世界のリン鉱石の採掘量、赤線がモデルでの予



測です。特にヨーロッパでは、リンの資源枯渇が重要な問題として認識されており、リン資源のリユース、リサイクルへの取り組みが進められつつあります。日本でも一部では話題になっていますが、取り組みは十分とはいえません。特に日本は輸入大国であり、大量のリンを食品として輸入して、それを下水として海に撒いているという、極めて効率の悪いことをしているのです。

今後、リンのリサイクルが積極的に推進されるものと考えられます。しかし、その時に、重要な資源だからといって、根こそぎ取ってしまったら、当然、豊かな沿岸生態系は立ち行かなくなります。従って、リンのリサイクルを考える時には、海洋の観点からも考慮するといったことが重要になるでしょう。

# 内湾環境・生態系の予測・再生に向けて ～東京湾の水質とアサリ資源量の再現～ (独) 国立環境研究所地域環境研究センター海洋環境研究室 主任研究員 東 博紀

本日は、このようなタイトルで、私がこれまで研究を進めてまいりました内湾環境生態系モデルを用いた研究について発表します。

まず、モデルの開発の目的とその意義について簡単に説明します。こちらの図ですが、陸域と沿岸域のつながりをイメージしたものです。われわれ人間活動によって様々な汚濁負荷物質が排出されるわけですが、その影響については、流域内では水物質が循環していますので、上流から下流へ、最終的には海へと影響が波及していきます。典型的な環境問題としては、東京湾でも長年の問題となっている赤潮、貧酸素水塊といった富栄養化現象が挙げられます。近年では、これに加えて気候変動の影響も今後考えていかなければいけない事象となっています。このような背景から、沿岸域の環境保全、修復・改善を考える際には、沿岸域のみならず、そこに流入する流域全てを統合的に管理する必要がありますと考えられています。これを陸-海域統合環境管理と呼んでいます。持続可能な社会、中でも自然共生型社会の構築を今後進めていく上でも、この考え方は非常に重要になっています。

例えば、陸域の汚濁負荷量が変化するとき、沿岸域環境の保全・修復技術を適用したとき、あるいは気候が変動したときなど、これらの外的要因に対して、沿岸の環境・生態系がどのように変化するかを合理的に評価・予測するモデルが必要になります。それを作ることが私の目標になっています。本モデルは、流動サブモデル、水質・底質サブモデル、アサリ生活史サブモデルの3つを組み合わせられた形になっていて、水・物質循環を通して、それぞれの相互影響がきちんと考慮されるように双方向の接続をしています。そうする必要がある事例は、例えば、右図のような現象が挙げられます。現在の東京湾が正にこれに近い姿だと思われませんが、水質・底質が悪化すると底生生物が減少する、それによって自然の浄化能力が低下しますので更に水質環境が悪化するという、赤で示されたいわゆる負のループです。逆に言えば、何らかの適切な改善・修復技術が行われれば、この青い正のループの方に生まれ変わる可能性があるとも言えるかと思えます。その有効な流域管理施策・技術を、このモデルを用いて探っていくと考えています。

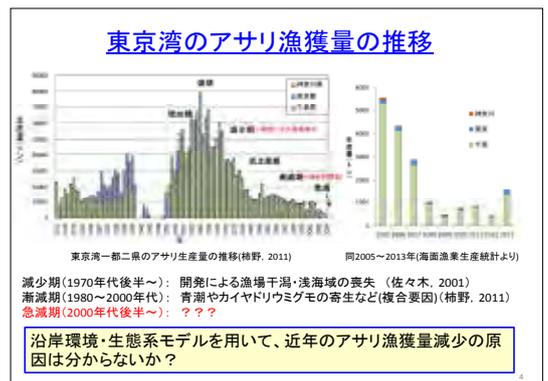
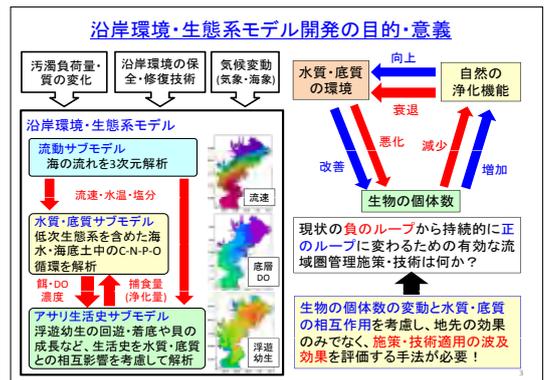
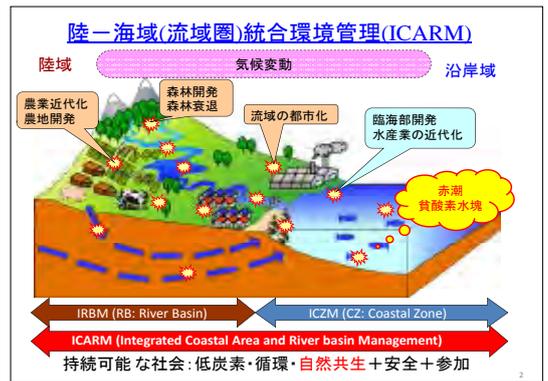
さて、本日のお話ですが、これまで開発を進めてきましたこのモデルを用いて、近年全国的に問題になっているアサリの漁獲量の減少について、その原因が分かるのではないかと考えて研究を進めてきました。こちらは、東京湾のアサリ漁獲量の推移を示していますが、東京湾のアサリ漁獲量は1960年代に最盛期を迎えていますが、1970年代に入りますと急激に減少しています。この減少につきましては、開発による漁場の干潟・浅海域の喪失が主な原因と考えられています。その後20年間は低水準でほぼ横ばいの状態になっておりますが、近年では、また急激に減少する傾向にあります。こちらは2005年から2013年の状況を示したものです



2014.10.24 第15回東京湾シンポジウム  
～東京湾の水環境に関する研究～

## 内湾環境・生態系の予測・再生に向けて ～東京湾の水質とアサリ資源量の再現～

独立行政法人国立環境研究所  
地域環境研究センター海洋環境研究室  
東 博紀



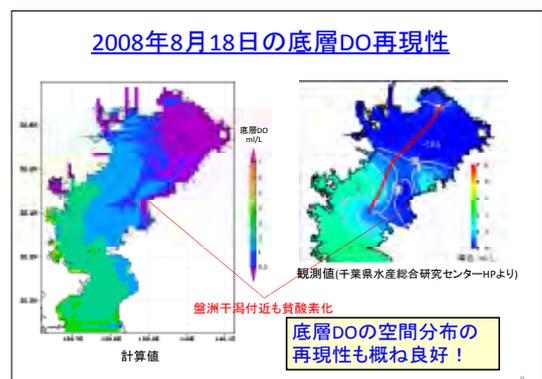
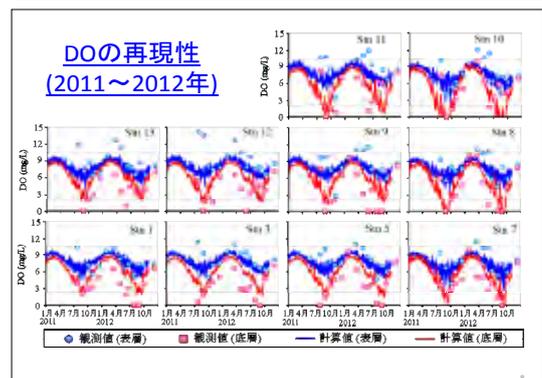
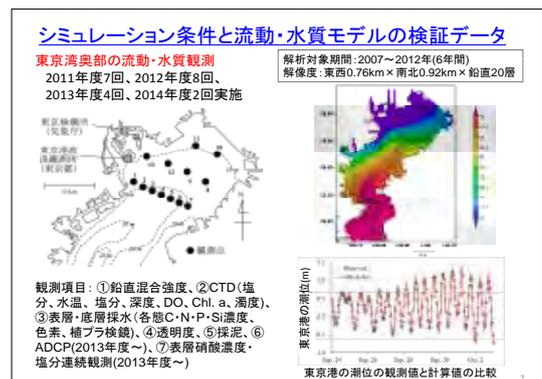
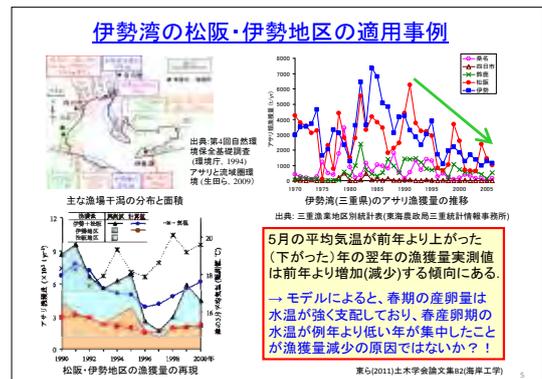
が、ひどい年は年間 1000 トンを下回る量になっていまして、最盛期の 1 パーセント程度まで落ち込んでいます。今回、この原因についてモデルで検討してみたところ、結果的には十分には分らなかったのですが、原因の手掛かりとなるようなものが得られましたので後ほど発表します。

このモデルを使ってアサリの漁獲量の原因を追究した研究は、他の場所、伊勢湾でも行っています。こちらは伊勢湾の概要と結果を示したものです。三河湾の一色干潟は有名ですが、伊勢湾の方でも南西部の伊勢・松阪地区といったアサリの生産性が高い漁場があります。こちらの漁場につきましては、長年、開発はあまり行われず、生息場は維持されているにも関わらず、1980 年代後半からアサリの漁獲量の減少が続いております。これについてモデルでアサリの漁獲量の再現し、結果を詳細に検討したところ、この伊勢・松阪地区につきましては、アサリは春と秋に 2 回産卵を行います、その春の産卵期の温度の変化に強く依存しているのではないかとこのような疑いが出てきました。この結果が本当かどうか現在精査しているところではありますが、このようにモデルを通すと、今回は自然の変動であったわけですが、何が強く影響しているのかが見えてきます。それを今回、東京湾でやってみようということです。

まず、モデルの説明を簡単に行います。こちらは、流動、水質・底質のサブモデルをそれぞれ解析する主な現象となっています。流動モデルは、その名のとおり海の流れを解くモデルです。水質・底質につきましては、それぞれ海水、海底中での C、N、P、DO の循環を解くモデルとなっております。これらをつなぎ合わせますと、右下の図のようになり、矢印一つ一つにそれぞれ支配方程式が与えられています。

アサリのモデルの説明に移る前に、流動、水質モデルの再現精度について若干触れておきたいと思えます。我々の研究室では、東京湾奥部における流動・水質観測を定期的に行っておりますが、こちらの湾奥部の 13 点のデータを用いてモデルの検証を進めました。観測項目は流動・水質に関わる 7 項目です。解析対象期間は 2007 年から 2012 年の 6 年間であり、連続して計算を行っています。解像度は長期間の計算を行うため、少し粗めの解像度で計算を行っています。解像度のイメージはこのように感じになっています。流動場の検証の一つの例として、東京港の潮位の気象庁観測値と計算値の比較を行いました。本モデルは東京湾の潮流を概ね再現していることが分かります。

水質場について、調査項目は窒素やリン、クロロフィル a などたくさんありますが、本日は時間の都合により DO だけ発表します。こちらの 13 点のうち、赤で示された 10 点の結果を、こちらにそのままの位置で示しています。青で示されたのが表層、赤で示されたのが底層の結果になっていまして、線が計算値、プロットが観測値になっています。まず上を見ますと、表層の方では、例えば (Stn 11) 秋場に非常に観測値と大きく離れているところがあります

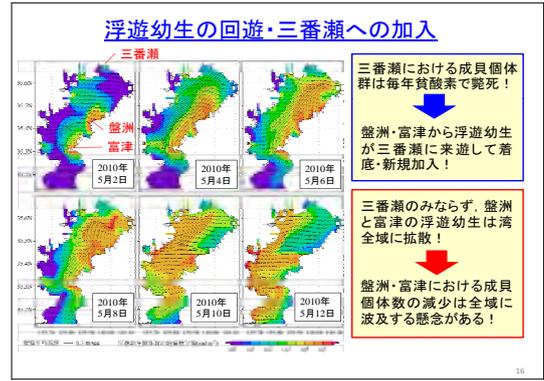
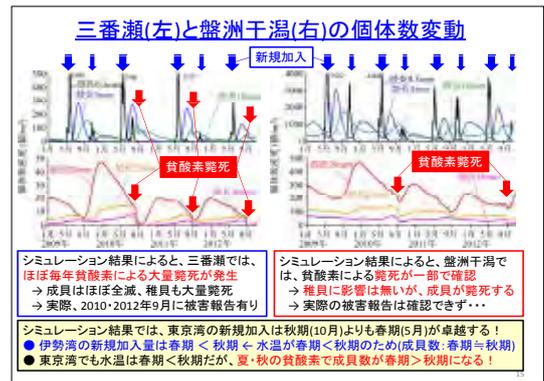
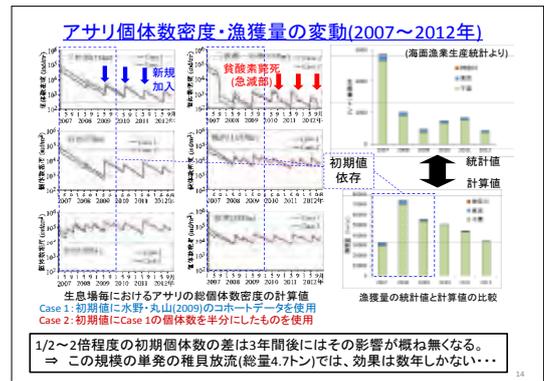




の解析については、まだ東京湾での研究は着手したばかりですので、伊勢湾と概ね同じパラメータ条件を使いました。その結果、本モデルは東京湾の漁獲量を80倍に過大評価してしまっており、これは大体1960年代の最盛期の値になります。この後の発表には、まだこのような不確実性が含まれた結果であるということをご理解いただけたらと思います。

こちらの図は、6つの主要な生息場における単位平方メートル当たりの個体数の変動を2007年から2012年までの計算結果を示しています。右側の図は漁獲量を示しており、先ほど申し上げましたように、80倍程度の過大評価になっています。この計算結果では計算初期の個体数密度を2種類設定してシミュレーションを行いました。ケース1は、伊勢湾の解析で使った初期のコホートデータをそのまま全ての地域に与えたもの、ケース2はケース1の個体数を半分にしたもので、それぞれ青線と赤線で示しています。まず、この図の見方ですが、個体数は着底稚貝から成貝までの総数で表記してあります。この周期的な個体数の急増は産卵期に新規加入したことを示しています。自然にゆるやかに減少しているところは自然減耗や漁獲を示していますが、急激に減少している部分は貧酸素によって大量斃死が起きたところを示しています。まず、赤と青の結果を比較しますと、初期値に2倍の個体数差を与えていますが、3年程度でその差が消えてしまっています。これが実際の現場で本当なのかどうか不明ですが、もしこれが正しいとするならば、現場に置き換えてみますと、単発の稚貝放流、0.3ミリの着底稚貝で換算しますと4.7トンぐらいになりますが、その効果は大体2～3年ということが示唆されているかと思われまます。

こちらは、貧酸素水塊の斃死が頻繁に見られた三番瀬と盤洲干潟の個体数について、殻長・成長ステージごとに変動を示したものです。上が稚貝、下が成貝の同じ時期の結果です。貧酸素による大量斃死はどちらの生息場においても見られますが、特に三番瀬では、成貝のみではなく、稚貝にも大量斃死が現れています。特に2010年と2012年というのは、ほぼ成貝が全滅するような貧酸素水塊が計算結果になっています。これらの年につきましては、実際、現場でも被害報告が出ています。一方、盤洲干潟では、成貝にわずかながら影響は出ておりますが、稚貝には全く出でならず、貧酸素水塊による影響が三番瀬よりも小さかったことが分かります。ただし、ここでは実際に貧酸素水塊による大量斃死の被害報告は出ていませんので、この辺については今後詳細に検証していきたいと思っております。もう一つ、ここで興味深いことが分かりました。東京湾で観測された年2回の産卵期において新規加入量は秋よりも春の方が多いうことがモデルで再現されています。伊勢湾では、東京湾の解析と同じパラメータを使っているにも関わらず、春よりも秋の方が卓越する結果になっています。伊勢湾の解析において春よりも秋の方が卓越する理由は産卵期の水温の違い、すなわち10月と5月で比べますと水温は10月の方が暖かいので、秋の方が産卵により適した温度であるということでした。春と秋の水温の違い・特徴は東京湾についても伊勢湾と同じ傾向になるのですが、なぜか新規加入量は春の方が卓越します。その答えは結構簡単に見つかりまして、秋の産卵の前にほとんどのところの成貝が貧酸素水塊によるダメージを受けており、東京湾では産卵をする時点の成貝の個体数が春と比べて秋は明らかに少ない



### 得られた知見と今後の課題

- 開発した沿岸環境・生態系モデルは、東京湾の流動場およびChl-a・底層DOなどの水質場を概ね良好に再現した。一方、伊勢湾で検証したアサリ生活史モデルを東京湾に適用したところ、漁獲量の計算値は統計値の80倍と過大に評価した。
- 本モデルの結果では、三番瀬は貧酸素・硫化水素による大量斃死の発生リスクが他の漁場と比べて著しく高く、ほぼ毎年稚貝・成貝の大量斃死が発生した。また、盤洲干潟の一部においても貧酸素水塊による成貝の斃死が確認された。
- 東京湾におけるアサリの新規加入が秋期よりも春期が卓越する主な理由には、夏・秋の貧酸素水塊による成貝の斃死が関連していることが明らかになった。
- 三番瀬の個体数の回復は盤洲・富津から来遊する浮遊幼生の加入によって生じることが明らかになった。三番瀬に限らず、東京湾におけるアサリの新規加入量は、盤洲・富津から来遊する浮遊幼生の依存性が高いことが分かった。
- 本研究で得られた知見はあくまでモデルシミュレーションの結果であり、いまだ不確実性が多く残されていることに留意する必要がある。とくにアサリ生活史モデルについては、アサリ生息場と個体数密度の初期分布の設定方法およびモデルの検証方法などの大きな課題が残されている。

ためです。

三番瀬は先ほど説明したように、毎年親貝がほぼ全滅する結果になっていますが、次の年、その次の年というように新規加入が見られます。こちらの図は浮遊幼生の濃度について2010年の5月、春の産卵期の結果を10日間ごとに示しています。盤洲・富津で高濃度の浮遊幼生が発生し、それが大体1週間ぐらい経つと全湾に拡散することが分かります。すなわち三番瀬は、盤洲・富津から浮遊幼生が来遊・新規加入して、底生貝の個体数が回復していることが分かります。この図を見る限りでは盤洲と富津の浮遊幼生はほぼ全湾に波及していますので、盤洲・富津のアサリが大量に減少すると、東京湾全体のアサリは甚大なダメージを受けるだろうと考えられます。

得られた知見と今後の課題をこちらにまとめました。現在のところ、東京湾のアサリが近年急速に減少した理由はまだ不明ですが、東京湾のアサリの特徴については幾分はっきりとしてきました。例えば、秋の貧酸素水塊による生息場への影響を軽減すれば秋の産卵量が増えて、アサリが増えるだろうというような方向性が今回の結果から示唆されました。今後は、モデルの精度を上げて、より確からしい、信頼できるような結果を出していきたいと思っています。

## 東京湾の無酸素水塊と青潮

東京大学大学院新領域創成科学研究科社会文化環境学専攻 教授 佐々木淳

今日のお話は東京湾の無酸素水塊と青潮ということで、今まで東京湾での水質の話や生態系の話がございましたけれども、そういったものを改善していくときに、一番ネックになるというのが、この貧酸素、無酸素の問題だろうと思います。

最初に、貧酸素水塊が東京湾でどのようにになっているか、一般の方もおられるかと思うので、ご紹介しておきたいと思います。この図は4月から3月までの1年間の底層酸素濃度分布を表していますが、青い所が貧酸素水塊となっておりまして、ちょうど8月、9月、特に9月に一番広がるという状況になっています。

では、9月の底層貧酸素水塊の分布を1984年から2002年まで並べてみると、ほぼ似たような分布になっております。他の解析からも長年にわたって、ほとんど改善が見られないことが分かっております。

一方で、流入負荷は相当減っています。過去30年から35年ぐらいで、窒素は半分、リンは3分の1ぐらいに減っているということです。この無酸素、貧酸素の問題解決は非常に難しいことが分かります。ちなみに、全リンの表層の濃度で、1980年と2002年を比べたもので、赤が濃度の高いところですが、確かに2002年は大分改善されている様子が分かるかと思えます。

では、こういったプロセスがどのように起こっているか、ごく簡単に紹介します。この絵は東京湾の断面の模式図となっておりまして、河川が上層右側から流入しています。その河川水が入ってきて、上層は密度の低い水になっています。一方で、下層のは外海の水が入ってきますから、塩分が高く、密度の高い水が入ってきます。上下層の境目には密度が急に変わる密度躍層が存在します。その結果、上の水は軽くて、下の水は重いので、上下の水が混ざりにくいということが起こります。

それに加えまして上の水が外に出ていくときに、密度躍層を挟んで下の水を、連行というのですが、上層に巻き込み流量を増やしながら湾外へ出ていき、それを補うように外洋からの水が結構入ってくることで、この密度躍層を強化していることとなります。このような上層で湾外へ流出し、下層で湾内に流入する循環流は、エスチュアリー循環というのですが、流入する河川流量の数倍にもなる流れが起こっています。

このように、上層と下層にきれいに分かれますと、上層では、十分な栄養があって、さらに光が十分にあると、植物プランクトンが大増殖をします。この密度躍層が壁のように働くために、プランクトンの多くは上層に閉じ込められたような感じになって、効率的に光を使ってしばしば赤潮状態になります。

これは観測によって得られた9月の1週間の塩分の鉛直分布で、ちょうどこの辺りが躍層になりますが、植物プランクトン濃度の指標であるクロロフィル a の分布と比べると、似たような分布変動となっていて、密度躍層の上で活発に増えている様子がわかります。こ



### 第15回東京湾シンポジウム 東京湾の無酸素水塊と青潮

東京大学 大学院新領域創成科学研究科 社会文化環境学専攻

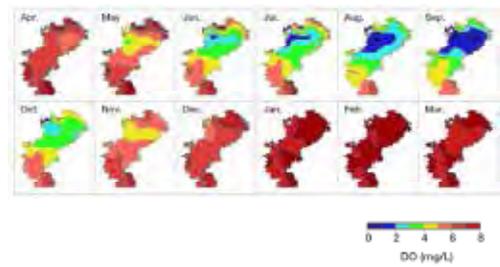
佐々木 淳

[jsasaki@k.u-tokyo.ac.jp](mailto:jsasaki@k.u-tokyo.ac.jp)

<http://estuarine.jp>

#### 2002年4月～3月の底層溶存酸素濃度の月別変化

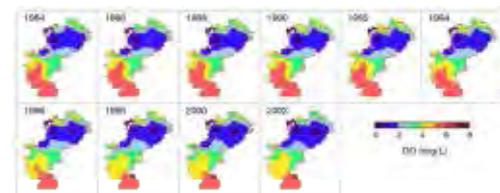
□9月に貧酸素域が最も拡大 安藤晴夫ら(2005)(色調変更)



#### 9月の底層溶存酸素濃度(DO)の経年変化

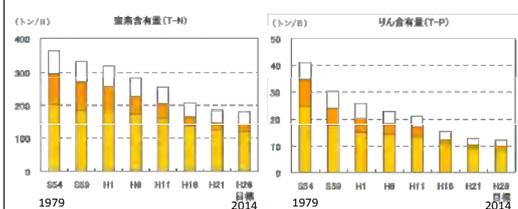
□1984年から2002年 安藤晴夫ら(2005)(色調変更)

- 長年にわたる貧酸素問題
- 改善の傾向は見られない

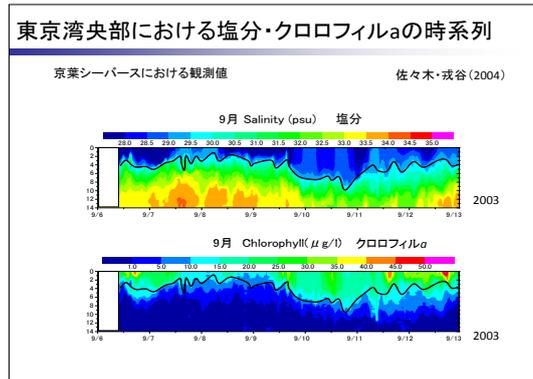
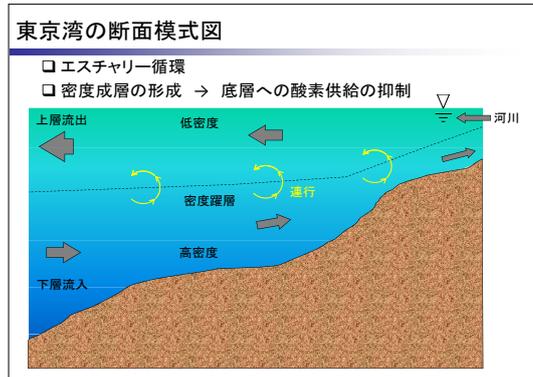
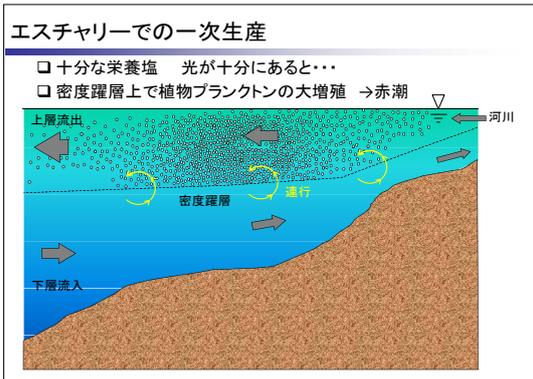
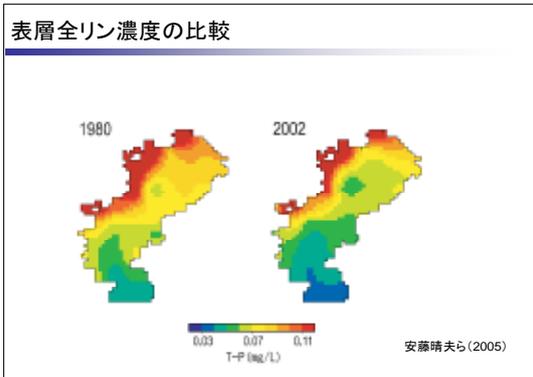


#### 東京湾流域の窒素・リン発生負荷量の35年間の変化

- 窒素 1/2
- リン 1/3



出典: 東京湾の水環境の現状  
[http://www.l.kaiho.mlit.go.jp/KANKYO/TB\\_Renaissance/RenaissanceProject/Handouts/7th/Ht\\_03.pdf](http://www.l.kaiho.mlit.go.jp/KANKYO/TB_Renaissance/RenaissanceProject/Handouts/7th/Ht_03.pdf)



のようにして生産された有機物の一部は最終的には海底に沈積堆積し、ヘドロを形成し、これが貧酸素、無酸素の主な原因となっています。

右側の図は、底質中の含水比の分布を示しております。これは国総研の岡田さんたちのデータですけれども、ちょうど湾奥の中央辺りの黒い所が非常に含水比の高い、いわゆるヘドロが大量にたまっているという様子を表しています。そういう所で全炭素を測ると、この赤い所ですが、値が非常に高くなっているのです、確かに有機物がたくさんたまっている状況であることが分かります。

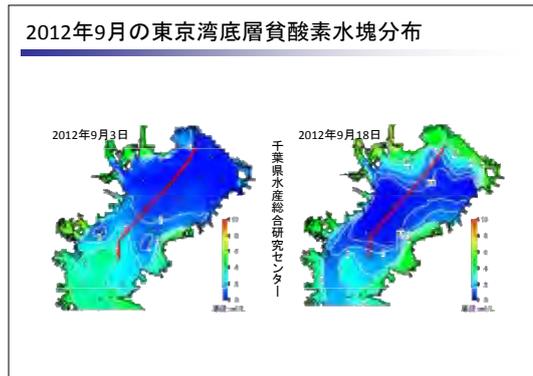
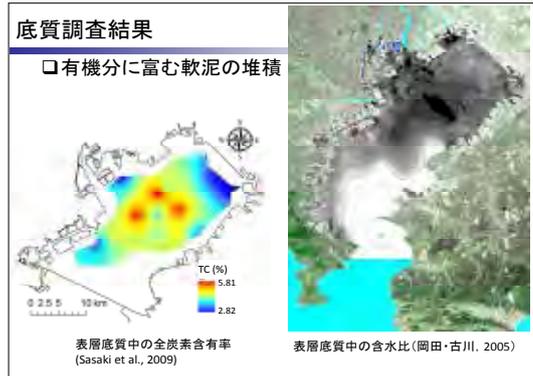
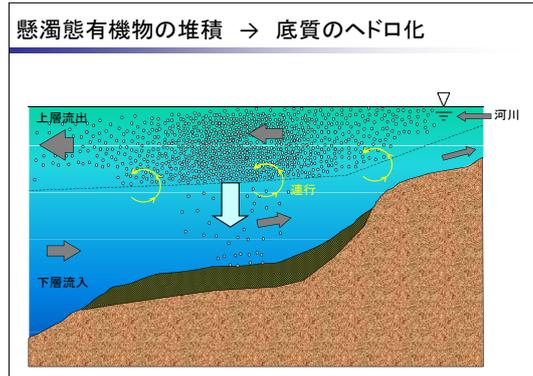
青い所が貧酸素を表していますが、2012年は貧酸素水塊、無酸素水塊が非常に発達した年でした。このような年には、東京湾の半分ぐらいで溶存酸素濃度 (DO) が 0.5mg/l 以下と非常に低い状態になります。

無酸素状態になりますと底質からリンが溶け出てくるのですが、たとえ河川や下水処理場からのリンの流入が減ったとしても、この大量にたまっている底質からの溶出が相当利いてくると考えられません。

また、長年にわたってヘドロが堆積形成されていますので、底質は最近でも劣化しているのではないかと話もごさいます。これに関しては、現在、われわれの研究室でも柱状採泥を行い、過去との比較を進めているところです。

これらを改善していくには、植物プランクトンをはじめとする懸濁態有機物の堆積を減少させていくことが有効なわけですが、そのためには、干潟や浅場などを再生し、動物に吸収させることで湾奥中央域の有機物量を減らしていくのが有効な方法だろうと思います。

第2部では官民連携フォーラムの生き物生息場づくりPT におけ



る活動の紹介をしますが、そこでは、こういうことを狙った取り組みをやっているかと検討しているところです。

ちなみに、リンの溶出については、これは無機態リン濃度の鉛直分布で、横軸が1年間を表していますが、海底から赤く伸びているのは、無酸素となる期間にリンが溶け出てくる様子を観測で捉えたものです。

さらに、このような無酸素水が海底にたまりますと、これが風によって、上に上がることがあります。ちょうど、こういう所にあった水が風によって上がってくるという現象、北東風が主ですが、このように青潮という現象が発生します。

これは、1985年頃の東京湾の三番瀬で、ここを青潮が襲ったときの様子です。アサリなどが、このときにはほとんど全滅するという被害が起こっています。

このような青白色に変色する理由ですが、もともと無酸素水の中には、硫化水素、硫化物が含まれておりまして、それが酸素と出会うことによって酸化されて硫黄粒子になり、光によって散乱されるためです。

最近では2012年の9月下旬に非常に大きな青潮が起きました。ですので、今に至っても、貧酸素・無酸素の問題はあまり改善が進んでいないということがお分かりいただけるかと思えます。

この2012年の青潮に関しましては、海上保安庁のモニタリングポストでの観測結果からもその様子を見ることができます。これはウェブサイトから取ってきた溶存酸素濃度の時系列で、横軸が時間スケールで6月の終わりから9月の下旬までになっています。縦軸は水深を表しています。

これは溶存酸素濃度で、青い所が酸素がほとんどない水です。これが8月の下旬から、非常に厚く海底から中層まで存在していて、最後に上層へ上がってきている様子が見てとれるかと思えますが、これが青潮が発生したときの様子を捉えたものと考えられます。

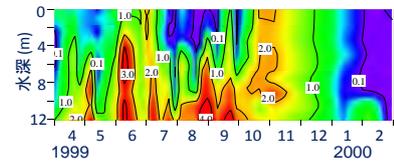
このときの濁度、濁りを見ますと、変化の様子がちょうど対応しているように見えます。無酸素のところと濁度の高くなるところがよく対応しているので、無酸素水の中でイオウ粒子が発生し、青潮が発生しているものと考えられます。それが、水面まで達すると青潮として人の目に見える状態になると理解できます。

ここまでは、湾奥中央の平場での貧酸素、無酸素水塊の発達という話をしましたが、それに加えて、東京湾の特徴として、いわゆる浚渫窪地、このような巨大な穴があちらこちらに開いております。有名なところでは、浦安沖と幕張沖のものです。それに加えて航路が存在しています。ここには、船橋航路があって、千葉航路があり、少し深い穴が開いていますが、無酸素水塊が同様に発達しやすい海域になります。ちなみに、この幕張沖の窪地は、水平スケールが4キロメートルくらいあります。水深も周囲の平場が6、7メートルのところ、20メートル以上掘り下げられた非常に巨大な穴となっていて、こういうところの水質が非常に悪くなっ

### リンの溶出

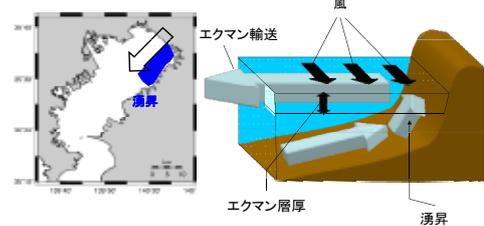
- 無酸素になると底質からリンが溶出
- 底質は劣化している可能性(CODから)
- 植物プランクトンの堆積を減少させるのが有効
  - 干潟・浅場の再生 → 動物による吸収
  - 官民連携による生き物生息場づくり

東京湾奥におけるリン濃度鉛直分布の時系列(観測・佐々木・磯部ら、2000)



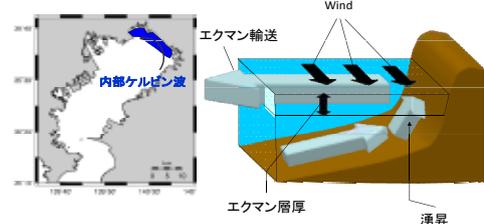
### 底層水の湧昇による青潮の発生

- 日本では岸を左にみて風が吹くと・・・



### 底層水の湧昇による青潮の発生

- 日本では岸を左にみて風が吹くと・・・



### 1985年の大規模青潮 三番瀬



コロイド状イオウによる散乱  
硫化水素臭  
アサリ等の底生動物の死滅

鬼塚(1986)

### 2012年9月下旬の東京湾大規模青潮



ている状況です。ただし、現在では一部で埋め戻しが実施されておりますので、今は少し改善されているだろうと思います。ちなみに、このラインで鉛直断面を見ると、このように穴が開いている様子が分かります。船橋航路なども、こういう穴になっているというわけです。

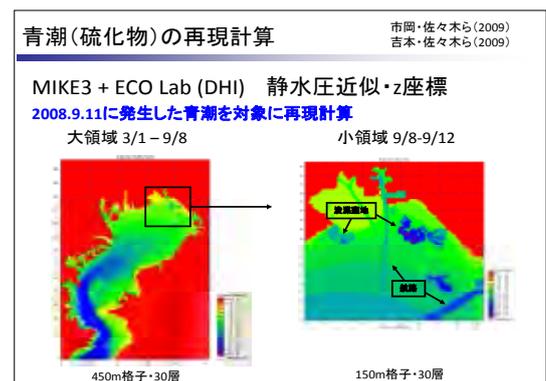
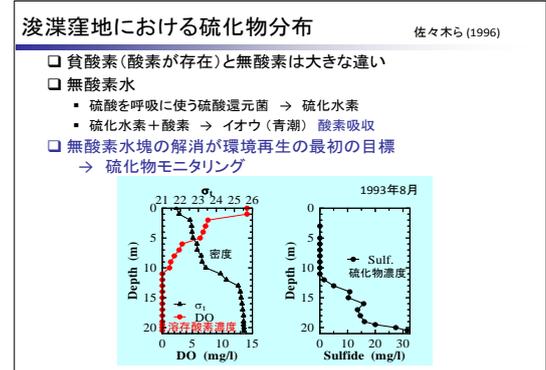
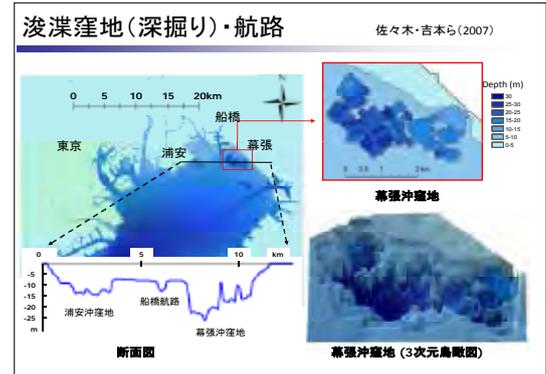
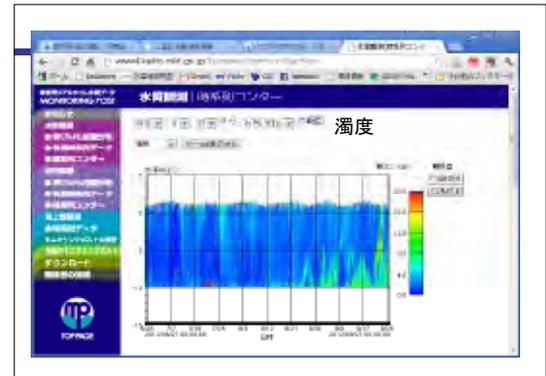
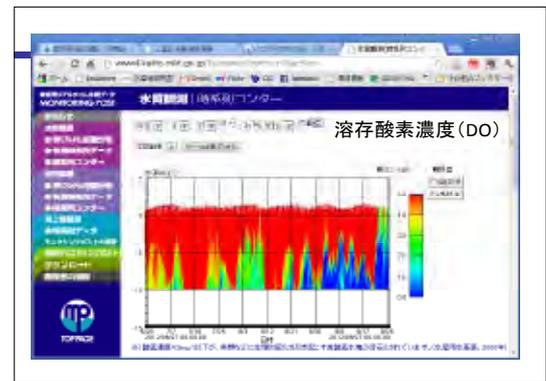
ここで水質を測ってみますと、赤いのが溶存酸素濃度ですが、ちょうど水深が11メートルくらいから下が完全にゼロになっているのが分かります。それに対応して硫化物が高濃度で蓄積していくということで、貧酸素の状態と酸素が全くない無酸素の状態というのは、硫化物発生の有無やリンの溶出の有無から非常に大きく異なるものであることを認識しておく必要があります。

この硫化物を含む無酸素水塊の解消が環境再生の最初の目標の一つになるだろうということです。貧酸素を改善するのは、その次の段階であろうと私は思っております。そういう意味で、硫化物のモニタリングが有効ではないかと考えているところです。

こういった現象をコンピュータシミュレーションで再現をしてみようということでやってみました。これによって青潮の起源となるような水塊について、どこが重要なかを平場と浚渫窪地、航路といったところを比較してみようという趣旨でやっております。

この部分を少し細かく見ることにして、窪地、あるいは航路を小さなメッシュで解像します。流れのモデルと水質生態系の簡易的なモデルをつくり、時々刻々の再現を、時系列の風の場をはじめとする気象場、潮汐場、河川流量、そういったものも入れて再現するというをやっております。

右側の絵を見ますと、これは硫化物の再現計算で、赤いドットが観測値で、青い線が計算値になっておりまして、幕張沖の浚渫窪地と浦安沖の浚渫窪地の比較になっております。横軸が1オーダー異なっておりまして、幕張沖のほうが非常に濃度が高いです。これは非常に大規模な窪地であることを反映しておりまして、計算でも、オーダーの違いなどは再現されているのではないかと考えているところです。これは、このラインで切った断面になります。この赤い所に硫化物がたまっています。9月9日から、9月10、12日、ちょうど青潮が発生したときの再現ですが、幕張沖のくぼ地のような所から上に上がってくる様子が分かるのではないかと思います。浦安のほうからも出ていって全部出ています。あるいは船橋



航路についても、もともとは少しまとまっているのですが、こういったものが完全に出ていく様子が計算されております。

これは青潮が発生したときの表層の様子を見たものですが、ここでも、ここで実験的なことをやっております。平場と浚渫窪地と航路の全てに硫化物が発生したとして計算をするケースがこれです。浚渫窪地だけに硫化物があって、それ以外にはなかったと仮定したときの表層の青潮分布がこのようになります。これは船橋航路起源のもので、少し濃度が下がります。それから平場起源、このとき平場にはほとんどなかったもので、出てこないということです。この結果からは、青潮の発生源としては主要なところは浚渫窪地で、一部は航路起源と判断されました。本当に浚渫窪地と航路起源が支配的なのだろうかというところは、実は疑問です。その辺りのことも含めて、現在、今年度から含めて3年くらいでもう少し詳細に調べようということで、研究を進めているところです。

硫化物の現地データがなかなか取りにくいので、他の水質データを使ってやろうということで、一般的にモニタリングされているpHを使って硫化物濃度の簡易的な推定をしてみました。これは浚渫窪地において、それぞれの測点において8月24日、30日というように、日ごとに底層1点の硫化物濃度の実測値を測定します。この曲線は硫化物濃度をpHの関数として引いたものですが、比較的よく合うようにできるということです。

こういった式を使うと、この図のように割合よく推定できるということです。例えば、公共用水域の水質測定において、底層の硫化物1点を取っておくと、あとは、pHデータの鉛直プロファイルは計測しているはずですので、そういったものを活用することによって、少し効率的に硫化物の発生具合のモニタリングができるのではないかと考えております。

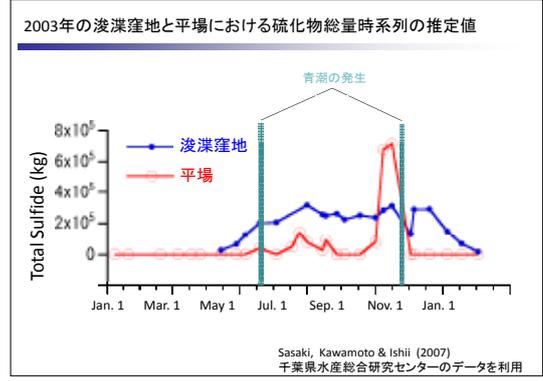
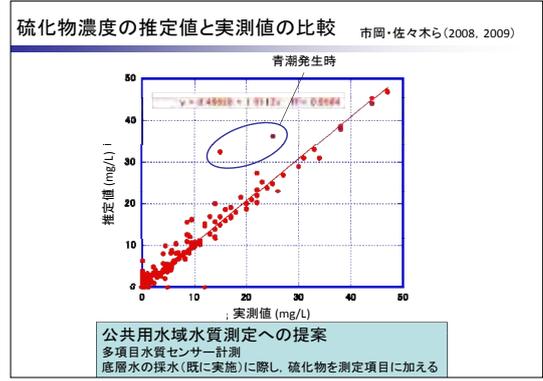
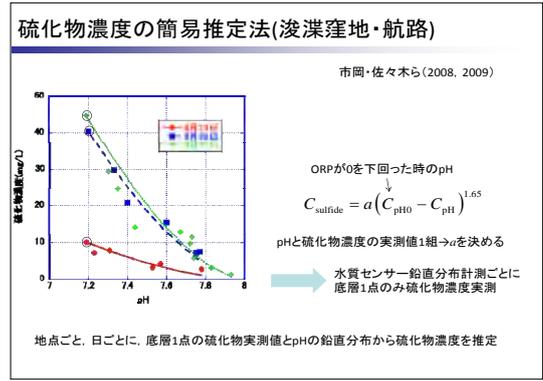
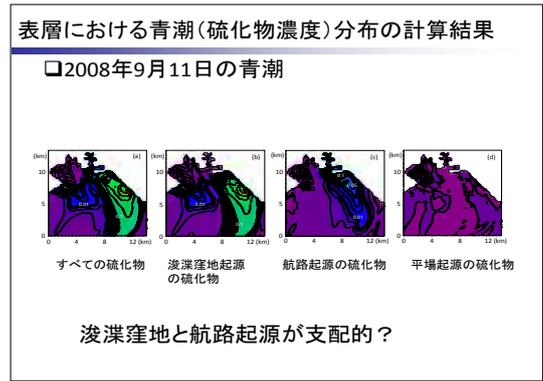
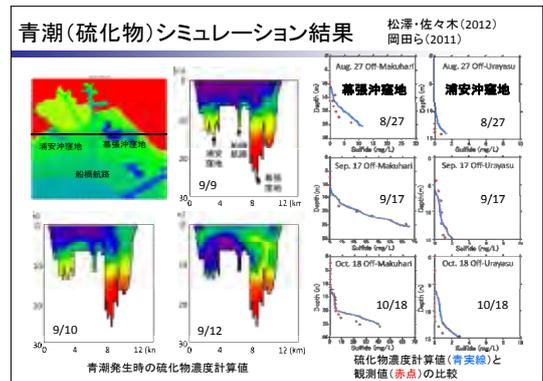
今のような手続きで、pHのデータを使って大まかに検討してみた結果が、このグラフになります。横軸は1年間で、青い所が浚渫窪地の中の硫化物の総量です。赤が平場の硫化物の総量です。平場は、もともとあまり多くないのですが、時々増えます。それに対して浚渫窪地は、春くらいからだんだん増えてきて結構遅くまで恒常的に存在する様子が推定されました。

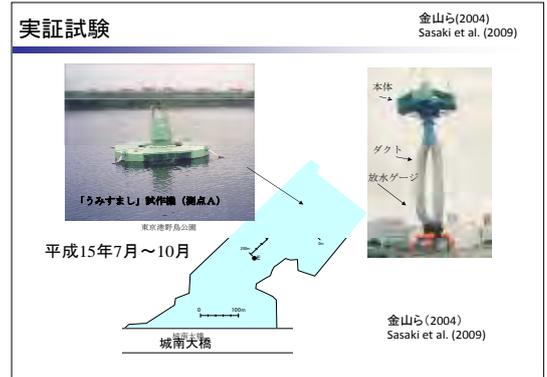
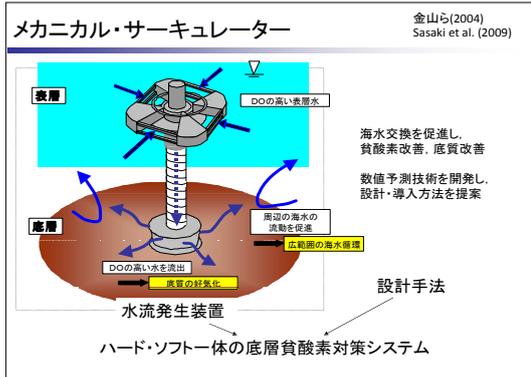
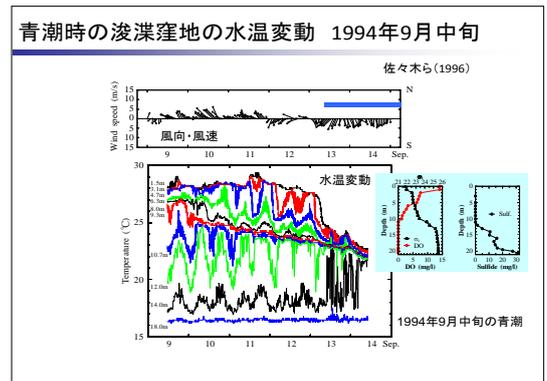
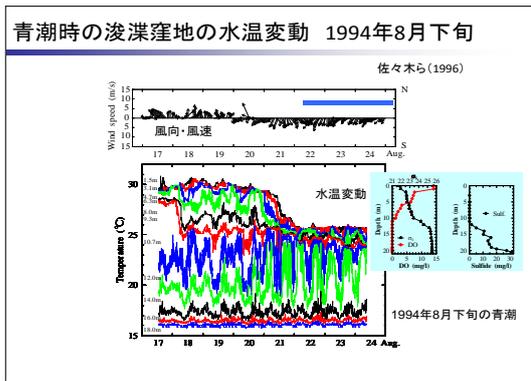
青潮が起こったのは、この部分とこの部分ですけど、青潮の前後で平場の値を見ますと、急に減少して、このときには平場起源の硫化物が相当利いていることが推察されました。大規模な青潮に関しては、恐らく平場の硫化物が主要な起源と今のところは考えているところです。

最後に、無酸素水塊の対策に関して少しお話をしたいのですが、なかなか、これは難しいです。

まず、対処療法的なことになりますけれども、メカニカルサーキュレーターといいまして、表層の水を下層に送り込む装置を活用する方法を検討しました。

これは実証試験を東京港野鳥公園で2003年頃にやりました。こういった装置でこれは上から見たものです。ここは上から下に水



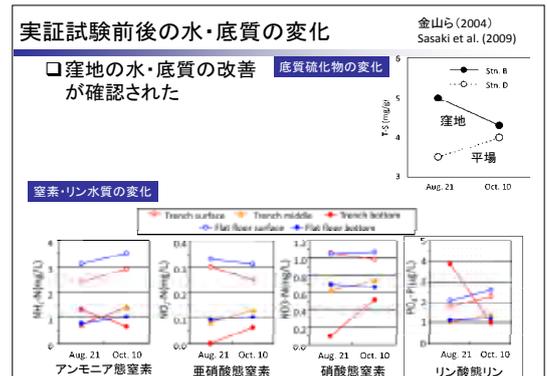
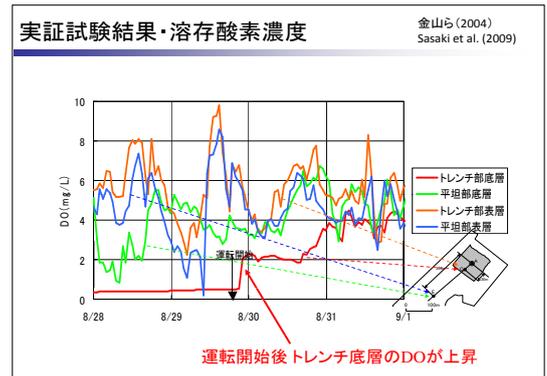
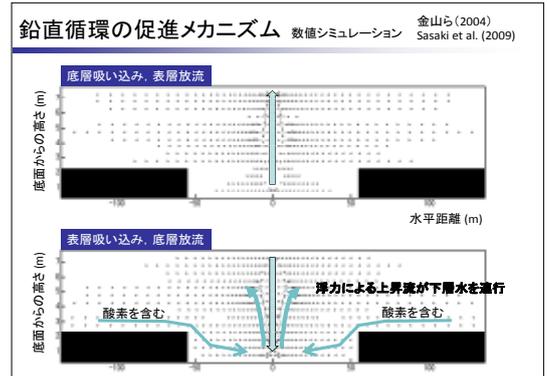


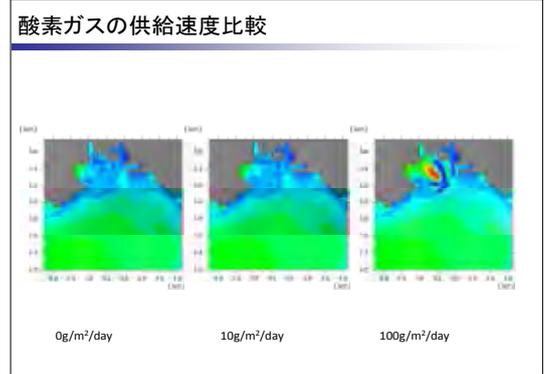
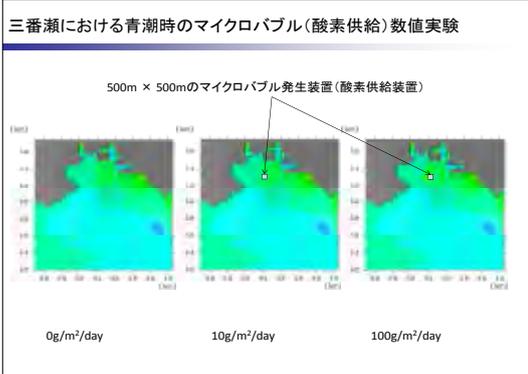
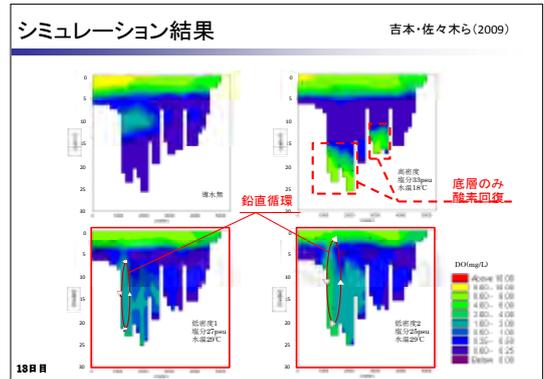
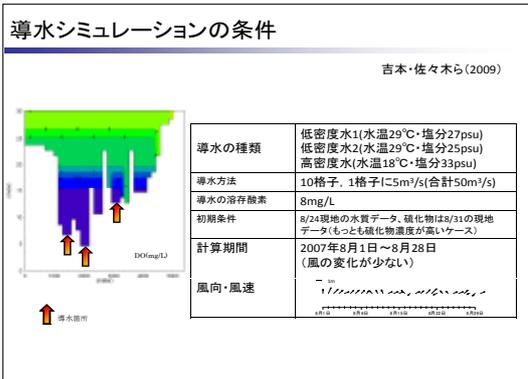
を送り部分です。この水は表層ですから酸素を含んでいますので、下層に酸素を供給していると考えられます。ここに小さな窪地がありまして、水平スケールは100メートル×100メートルくらいで2mくらいの穴が空いています。この窪地の貧酸素を、この1基でどのくらい改善できるかという検証実験です。

原理としては、上の水を下に送ってあげることによって、上の水は軽いので、このように浮力によってすぐに上昇流が起こります。すると周りの水を巻き込みながら上がりますので、これは連行とよばれていますが、上昇流の流量が増大していきます。そうすると、ここは浅いので酸素を含んだ水が平場の下層から窪地の中に入ってくるという原理になります。実際やってみますと、この窪地の中央の下層の溶存酸素濃度はもともと非常に低い値でしたが、運転を始めますとぐっと上がってくる様子が捉えられました。割合ははっきりと効果が見えるものになりました。

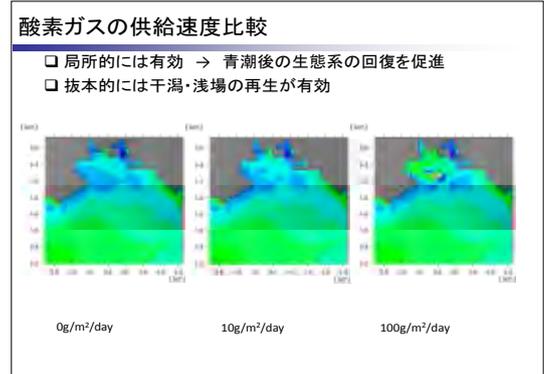
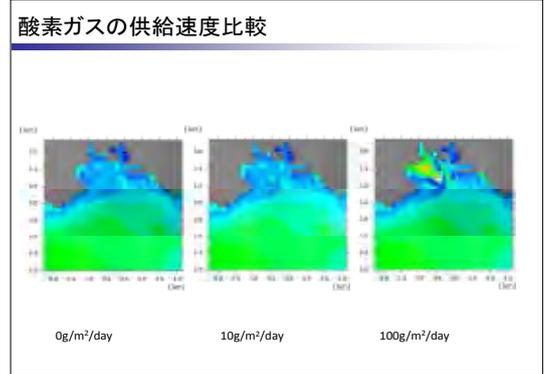
次に、青潮が来襲した東京湾の三番瀬に酸素発生装置を設置したときに、どのくらい効果が発揮できるかという検討をした例です。非現実的ですが、数値実験として、ここに500メートル×500メートルの規模を考え、何もしない場合と10g/m<sup>2</sup>/day およびその10倍の酸素を供給する場合で検討しました。

その結果、500メートル×500メートルの規模でも100 g/m<sup>2</sup>/dayくらいで酸素を供給しないと、貧酸素の改善効果が見られないことが分かりました。このような規模は非現実的ですが、もっと小さなスケールで局所的にこういった技術を使うことで、青潮時にも生き物が多少なりとも生残し、その後の生態系の回復を早める効果は期待できるかもしれません。根本的には干潟、砂場の再生を考えていく必要があると思います。





これが、最後のまとめのスライドになります。基本的には干潟、浅場の再生をやっていくために、官民連携による生き物生息場づくりといった活動を立ち上げていく、という話を後ほど少しさせていただきます。



- ### まとめ
- 流入負荷削減にもかかわらず、底質は劣化
  - 無酸素水塊はリンの溶出を促進、硫化物を発生
  - 無酸素水塊は貧酸素水塊に比べ悪影響大  
→ 無酸素水塊の解消が当面の目標
  - 青潮の起源は平場、浚渫窪地、航路の硫化物  
→ 大規模な青潮は平場が主な起源
  - 酸素供給による青潮対策は局所的には有効
    - 航路等の無酸素水塊の改善
    - 干潟・浅場の生態系の回復促進
  - 抜本的には干潟・浅場の再生が有効  
→ 官民連携による生き物生息場づくり

## 東京湾の海草場におけるブルーカーボン研究

(独) 港湾空港技術研究所沿岸環境研究領域沿岸環境研究チームリーダー 桑江朝比呂

本日は、東京湾の走水で私たちのグループで行っておりますブルーカーボンの研究についてご紹介したいと思います。

ブルーカーボンという言葉聞いたことがない方もいらっしゃるかもしれませんが、2009年に国連環境計画が初めて作った言葉で、まだ、できてから5年ぐらしかたっていない言葉です。

このブルーカーボンというのは、海洋生態系に存在する炭素の総称のことをいいますけれども、このレポートで強調されたことは、広い海のわずか1パーセントぐらしかないような浅い海で、その堆積物中にたまっている炭素が、海洋全体の堆積部にたまっている炭素の半分以上を占めていて、炭素を蓄積する場で非常に重要ということです。

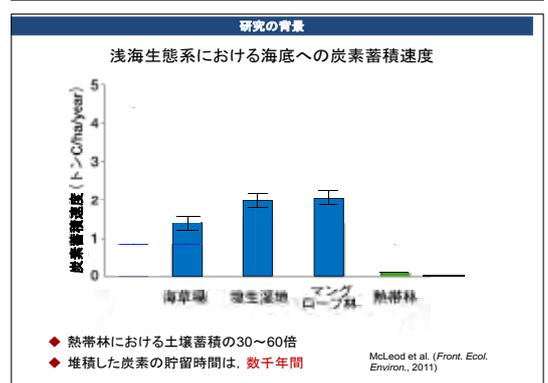
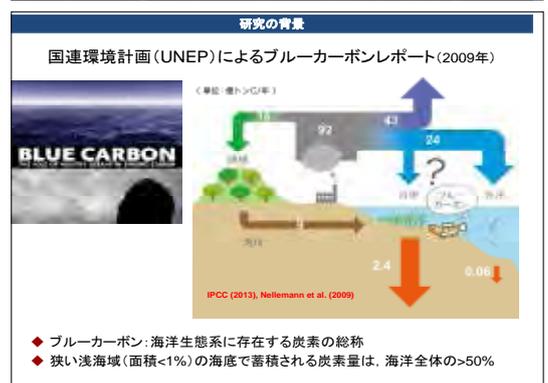
炭素が堆積物に蓄積していることは重要です。というのは、もし、堆積物が何らかの原因で乱され、たまっている有機物が酸化されてしまうと、CO<sub>2</sub>に変化して大気に出てくるかもしれません。それが気候変動や地球温暖化の促進につながるかもしれないからです。

熱帯林と比較しても、海草場、塩生湿地、マングローブ林というのは、炭素を蓄積する速度が非常に速く重要な場です。浅い海の炭素蓄積が速いのは、ある意味当たり前です。浅い海は、河口近くにあり栄養塩がたくさん入ってきます。一次生産が非常に活発で有機物がたくさん作られるし、川からも有機物が流入します。さらに、土砂と一緒に混ざって、どんどん堆積物に埋没するという効果もあります。また、常に酸素と土壌が触れ合う土壌とは違って、海では水があるために豊富な酸素と常に触れ合うわけではないので、場合によっては貧酸素や無酸素といった嫌気条件下では、炭素があまり分解されずに有機物で残存するという効果があります。ですから、浅い海でたまった炭素というのは、数千年のスケールでしかCO<sub>2</sub>として大気へは回帰しません。ですから、陸上と比べても、炭素を蓄積する場として非常に大事だということです。

なかなか、本州に住んでいるとイメージがしにくいのですが、北方の海岸へ行くと、海草とかが分解されずにたまっている状況がみられます。

このブルーカーボンの重要性をはじめて提唱したUNEPの報告書では、堆積物中への炭素の蓄積効果に着目していたのですが、実際に気候変動を考えるときには、やはり大気中のCO<sub>2</sub>の量をいかにして減らすかが重要となってきます。例えば、皆さんご存じのように、現在大気中のCO<sub>2</sub>が毎年増えていますけれども、海で結構吸収されて、陸でも吸収されています。しかし、沿岸や浅海でどのくらいCO<sub>2</sub>が吸収されているか、または放出されているかは、今のところほとんど分かっておりません。

岸沖方向で大気と海水の間のガス交換をみてみますと、海が大気中のCO<sub>2</sub>を吸収するといわれているのは、外洋と大陸棚の部分です。一方、河川とか内湾沿岸ではCO<sub>2</sub>の放出源だといわれ



ていて、ここではたくさん陸から入ってきた有機物が分解されて、それがガスとして出ていく状況になっています。ですから、浅い海では、炭素が堆積物に蓄積している一方、もしかすると、CO<sub>2</sub>は大気中には放出しているかもしれません。浅い海がCO<sub>2</sub>の放出源であるとする、それは少し残念なところ。海草場が、もし、大気中のCO<sub>2</sub>も吸収して、堆積物中にも炭素をため込む場であれば、両方とも気候変動の緩和に寄与するというので、非常にありがたい場所となるのですけれども、片方は気候変動による影響を与えて、片方では悪い影響を与えるとなると、海草場がはたして気候変動の緩和に役立つ場所なのかということについては、議論が分かれるかもしれません。ですから、私たちの研究グループでは、海草場のガス交換に特に着目をして、本当にCO<sub>2</sub>の放出源なのかを突き止めるために、これまで研究を行ってきました。

このガス交換について、走水で調べてみました。走水では岸沿いにアマモが生息していて、漁港に行くのに橋が架かっています。非常に調査しやすい場所です。海草場の水の由来は東京湾の海水と、それから結構有名な湧水でヴェルニー水という湧水となっています。流入河川はないですけれども、湧水のため塩分は実際に下がります。この湧水が走水では淡水の供給源となっています。

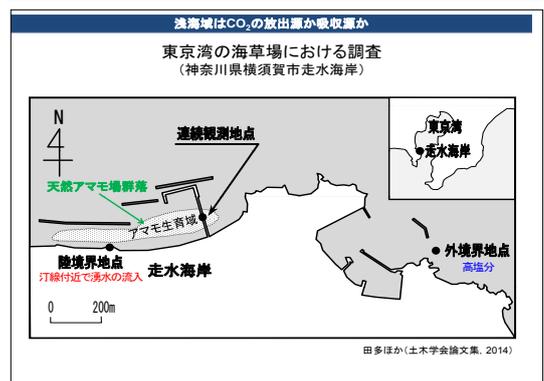
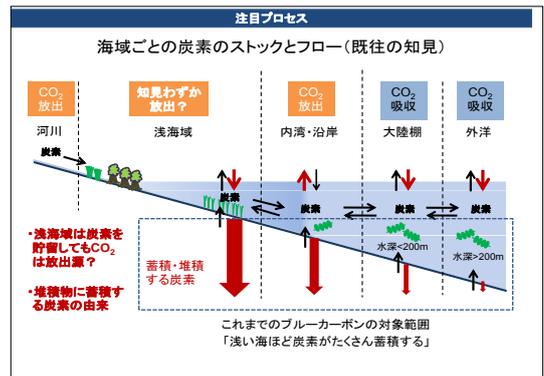
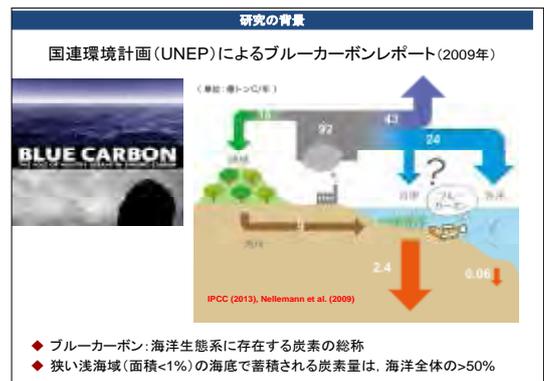
こちらは春の現地調査の様子です。ちょうど橋の上から撮った写真で、橋の真下が本当に濃密なアマモが生息していて、岸近くでは潮干狩りのお客さんがたくさんいる状況です。アマモ場があって潮干狩りもできるという非常にいい場所です。そこにCO<sub>2</sub>の濃度計などを設置して、CO<sub>2</sub>濃度を規定する要因である水温、塩分、光量子などを連続的に測定していったわけです。

少し、細かい図になっていますけれども、例えば、2番目の赤い点で示したグラフが両方ありまして、このグラフの下側に向かっているほど大気中のCO<sub>2</sub>を走水のアマモ場が吸収していることを示しています。左が夏の結果でして、右が冬のあまりアマモがない状況のときの結果です。見ていただきますと分かりますように、夏も冬も走水のアマモ場というのは、大気中のCO<sub>2</sub>を吸収している結果が得られました。なぜ、吸収するのかという原因を探るのが非常に大事です。例えば、風速との関係、塩分との関係、水温との関係など、いろいろ一緒に示してありますけれども、なかなか、大きく吸収するときにどういことが起きているかということは、単に生データをみても明確には分かりにくい結果になっています。例えば、少し風速が強まったときに、高い吸収値が出ているといったようなことは分かるかと思えます。

同じ図ですけれども、違う水質のパラメーターを載せてあります。こちらも一見して吸収しているときに、どういうイベントが起きているか一目では分かりにくいのですが、光合成が活発に起きているような時期に、やや吸収速度が強まるような傾向が少し見られたりします。

このようにCO<sub>2</sub>の動態を決める要因というのは非常に複雑でたくさんあるので、時系列に並べただけでは、何が原因でどういことが起きているかというのは分かりにくいわけなのです。そこで、統計モデルを使うと、どうい原因で何が起きて、どうい結果になったかというのを、ある程度推定することができるようになります。

例えば、今示したような現地調査データを全て用いて、アマモ場がCO<sub>2</sub>を吸収するか、放出するかを推定するモ



デルを作ることができます。

アマモ場とかアマモの活性は、光量とかその場のクロロフィル a (植物プランクトン)の量で決まっています。もし活性が高い場合は、光合成が呼吸分解を上回ることで、水中の CO<sub>2</sub> 量が減少します。そうすると大気と水中との間には CO<sub>2</sub> の濃度差が生まれ、バランスをとるために、大気中から水の中に自然 CO<sub>2</sub> が溶け込みます。

データセットが少ないと、こういった多くの要因を統計的に有意に判定することができないので、モデルをシンプルにする必要があります。結局、この走水での吸収量の変動要因は何かという問いに対しては、どうやら要因の一つは、光が強くクロロフィル a 量やアマモが多いなど、植物の活性が高い環境条件のときに、たくさん CO<sub>2</sub> を吸収すること、もう一つは、風が強まると CO<sub>2</sub> が吸収されることがわかりました。水と大気というのは、比較的混ざりにくい状況になっていて、風が吹いて水の表面がかく乱されることによってガス交換が促進されて、大気中の CO<sub>2</sub> が水の中に溶け込むといったことが、先ほどの複雑な時系列からある程度推定することが可能になります。

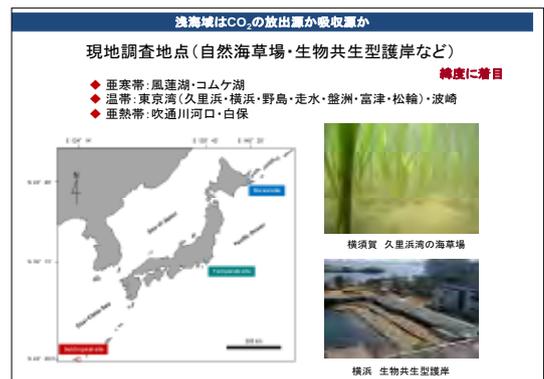
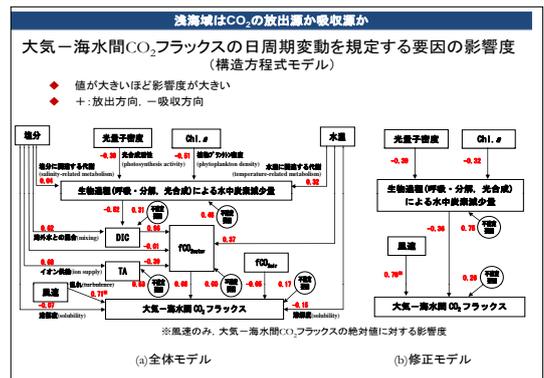
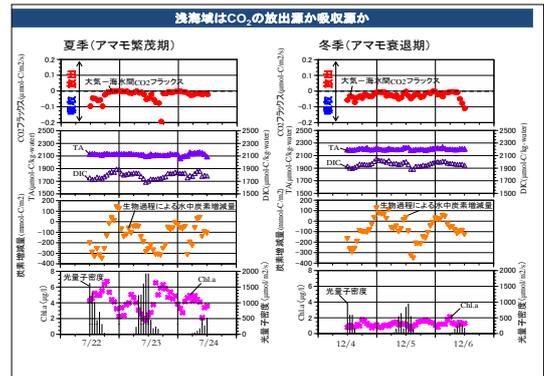
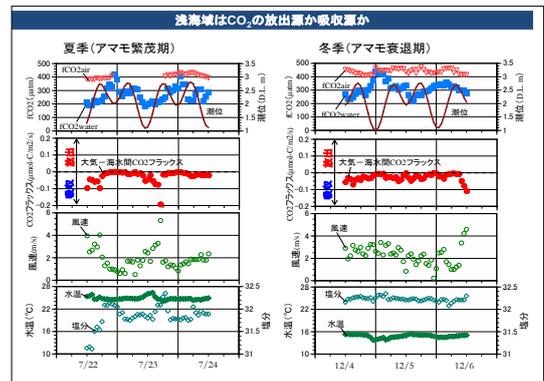
私どもは、北は北海道、南は沖縄まで幅広く調査してきて、必ずしも、自然の海岸だけではなくて、横浜にあるような生物共生型護岸においても調査をしています。大事なのは緯度で、緯度によって、吸収するか、放出するかというのは大きく変わる可能性があります。その理由は、光合成活性というのは、あまり緯度つまり水温の影響は受けないのですけれども、有機物の分解とか無機化は結構温度依存性が高いのです。つまり、南方ほど有機物の分解が卓越して放出源になりやすく、北方ほど吸収源になりやすい、そういった仮説が成り立ちます。

例えば、北海道の根室市の風蓮湖という場所で、河口から海に向かってラインで、6月から11月まで観測した結果、年間通じた平均値で見ても、ここは吸収源であるということが解明されました。

これまでの話をまとめますと、アマモ場の一次生産が高いと、活発に炭素を取り込むため足りない分は大気中から補うため、大気中 CO<sub>2</sub> の吸収源となります。生産された有機物の一部はその場にたまり、残りは外洋に出ていきます。ですから、気候変動を考えると、何千年間もの間、炭素が堆積物中に蓄積するプロセスと、大気中の CO<sub>2</sub> を吸収するプロセス、この二つのプロセスが非常に大事だということです。

今までは、浅海域といった海洋においては狭い空間の話をしたけれども、これをスケールアップして、湾レベルの広さだとどうなるかという話をしたいと思います。世界中で実施された既往研究では、内湾河口域というのは、基本的に放出源といわれています。低塩分の場所ほど放出しているといったような整理がなされています。

それにもかかわらず、東京湾では、湾の中央部や湾口部で常に大気中の CO<sub>2</sub> の濃度を下回る水中の CO<sub>2</sub> の濃度になっていて、東京湾というのは年間を通じて湾全体を見ても吸収源となっていることがわかってきました。芝浦付近では、さすがに大気中の CO<sub>2</sub> より高い濃度ですけれども、湾全体を平均すると、やはり、ここも吸収源になっています。特に夏場のクロロフィル a の高い、躍層が発達しているような時期により多くの炭素、CO<sub>2</sub> が吸収されているという結果になっています。



ポイントは、世界の内湾河口域では放出源なのに、なぜ、東京湾はCO<sub>2</sub>の吸収源になっているのかという点です。

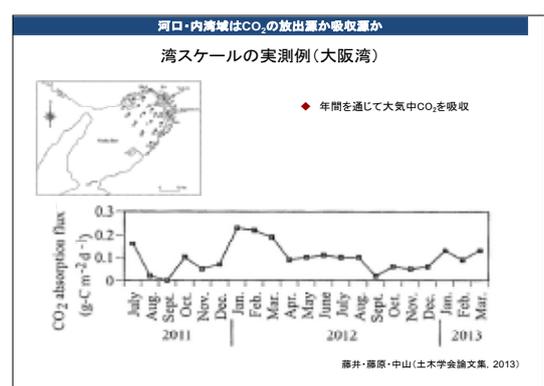
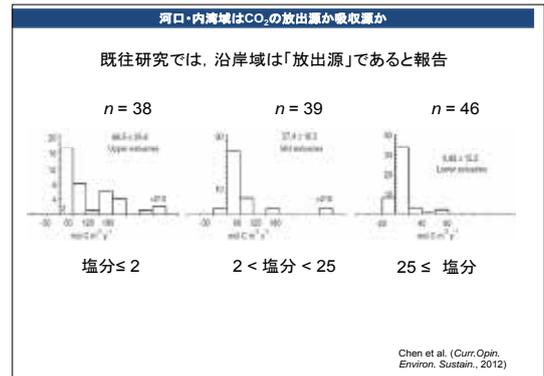
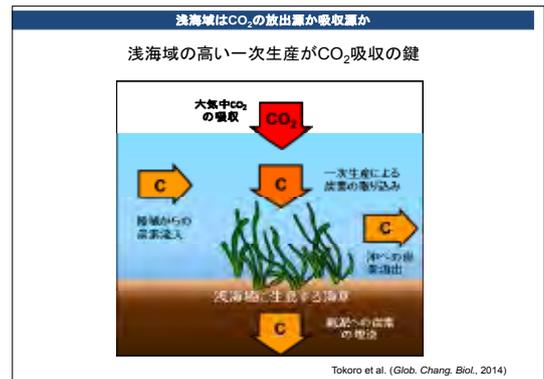
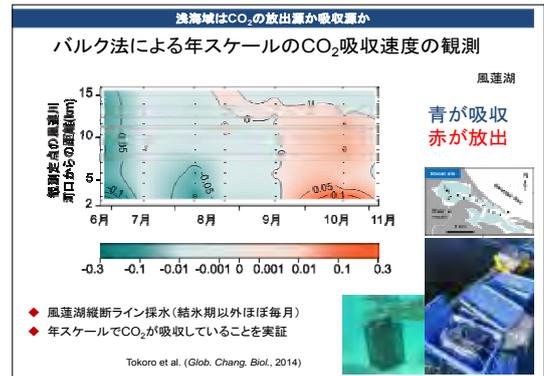
東京湾だけではなくて、どうやら大阪湾も全く一緒です。大阪湾も一番湾奥の部分で藤井先生、藤原先生のグループが大気と海水の間のフラックスを測定していて、3年ほどの観測から常に大気中のCO<sub>2</sub>が海によって吸収されていることが解明されています。ですから日本の内湾というのは、何か世界の内湾と違うということなのです。これについては、まだ原因がよく分かっていないのですけれども、おそらく、大気中のCO<sub>2</sub>をうまく取り込んで、そう簡単に大気に戻らない何か、そういう一方向の重要なプロセスが、この東京、大阪といった都市域の内湾域では働いているのではないかと予想しています。このような仮説のもとに、今、現在研究を続けているところです。

ブルーカーボンは、気候変動の緩和策のオプションの一つとしてとらえられるのですが、他の緩和策、例えば、海中に鉄を散布するとか、CCS (Carbon dioxide Capture and Storage) とか、排水抑制とか、他の緩和策と比較した場合、ブルーカーボンのような自然生態系を使う緩和策は、実現可能性の高い施策として位置づけられるかもしれません。この図で示されているように、実現可能性をコスト、生態系リスク、社会需要、運用、倫理、技術の六つの視点から考えた場合、生態系を使う施策は、他の施策より×が付きにくい結果となっています。他の施策では、実現した場合の効果は非常に高いのですけれども、なかなか社会的に受け入れられないとか、倫理的に問題があるとか、そういった指摘がされています。

自然生態系を使った気候変動の緩和策は、実現可能性が高いものと思っています。実際、横浜市では先月のトライアスロン大会を開いたときに、このブルーカーボンを使ったカーボンオフセットクレジットを発行して、実際に還元するという社会実験、社会実装を既に進めています。

トライアスロンの1万5000円ぐらいの参加費のうちの30円だけ、大会によって排出されるCO<sub>2</sub>を相殺するために寄付してもらったそうです。その30円という根拠は、参加者が交通機関を使って会場まで来るときに発生したCO<sub>2</sub>、ならびに会場で放出されるCO<sub>2</sub>をブルーカーボンで全部相殺するために必要な費用として計算されていて、3分の2の人が同意して平均して20円ぐらい集まったということです。このようなことで、自治体レベルからブルーカーボンのオフセット事業というのが始まっています。COPとかIPCCなど、世界的な枠組みによってトップダウン的にしか、こういった仕組みというのは動かないと思われたりもするのですけれども、自治体レベルからボトムアップ的に動くこともある好例です。

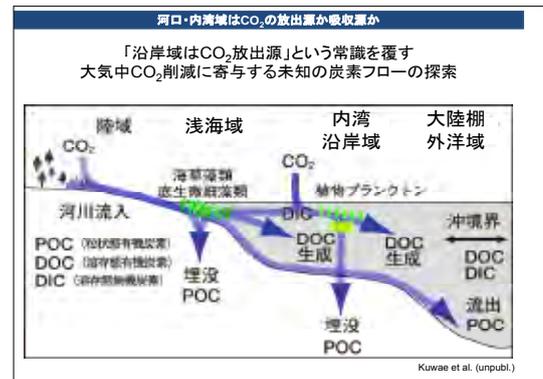
公共事業というのはベネフィットとコストが重要で、B/Cが上がってこないとゴーサインが出ないので、浅海域が吸収源だということであれば、便益をそのままオンすることができますので、例えば、浚渫土砂を用いた海草場や干潟の再生の推進につ



ながっていくことが期待されます。

さらに、海辺の自然再生は、公共事業としてだけではなく、民間資金や先ほどの寄付のように、一般市民から広く薄くいただいたお金をもとに進んでいけばいいなと思っています。

日本は長い海岸線を持っており、世界で海岸線第6位です。例えば、離島において長期無人で観測できるような装置を使って、しっかりとデータを取っていけば、日本の海においては多くのCO<sub>2</sub>が吸収されており、気候変動の緩和に貢献しているということ、国際的に強く主張することができていくのではないかと、そのような見通しを持っています。



ブルーカーボンの展望

沿岸海域における炭素隔離・貯留による気候変動対策の特徴

- ◆ 日本は海外総延長が世界第6位→沿岸生態系による大気中CO<sub>2</sub>吸収や炭素貯留の主要国になる可能性
- ◆ 他の緩和技術に付随する諸問題(コスト、環境への悪影響、社会受容、運用)が小さい、持続可能
- ◆ 沿岸生態系の保全は、食料供給、水質改善、リクリエーションなど、他の生態系へのくみの保全も兼ねる
- ◆ ただし、自然プロセスなので、不確実性が高い。

Cusack et al. (Front. Ecol. Environ., 2014)

ブルーカーボンの展望

- ◆ ブルーカーボンクレジットの社会実装が今月から開始
- ◆ グローバル (UNFCCC, IPCC) → ローカル (日本、自治体) と、ローカル→グローバルの両輪

ブルーカーボンの展望

ブルーカーボン研究の今後

- ◆ 炭素クレジット化 (B/C向上) を起爆剤とし、浚渫土砂を用いた海草場・干潟といった浅場再生の促進
- ◆ 民間主導の浅場再生 (森への植林から海への植林)
- ◆ 離島におけるCO<sub>2</sub>吸収調査研究

## 第二部 生物生息場

## 東京湾再生官民連携フォーラム「生き物生息場づくりPT」の活動について 東京大学大学院新領域創成科学研究科社会文化環境学専攻 教授 佐々木淳

東京湾再生官民連携フォーラムが昨年11月に立ち上がり、同時に生き物生息場づくりPTの活動が始まりましたので、その辺りの話を明日のフォーラムの際にもご報告をさせていただくのですが、ここでも少しお話をしたいと思います。

ここにお集まりの方は、よくご存じのことと思いますが、官民連携フォーラムの下でPT活動を行い、例えば、行政にはどういふことをやっていただきたいかということ提言をする、あるいは行政と一緒に取り組んでいくことを考えようということですが、目標としましては、来年のフォーラムのときに、東京湾再生推進会議にこういったことをやったらいいのではないかと、といった提言をするを最低限していきたくと考えています。

それに加えて、これからお話をしていきますが、我々としても少し具体的な現場での活動ができないかと考え模索中でありま。このスライドは、昨年11月にお認めいただいた、生き物生息場づくり設置趣意ですが、いろいろな方々、官民連携なので、当然ながら官の方は非常に幅広く入っていただき、生き物生息場をつくるのが目標ですので、水産の関係者には、特に漁業協同組合の方も含めて、いろいろご協力をいただきながらやっていくことを考えているところです。

この生き物生息場づくりPTなのですが、単に事業をやって、公共事業といいますか、干潟をただ作るということだけではなくて、最初に東京湾のあるべき姿、あるいは東京湾再生の理念をまずよく理解して、われわれで共有をしましょう、ということを考えております。環境再生の理念については既にいろいろな所で検討されているのですが、必ずしも十分な情報共有ができていない、あるいは、まだよく分かっていないところもたくさんありますので、どこまで分かっているかを整理し、共有したいと考えております。この生き物生息場づくりのプロジェクト提案は、10年くらいの時間スケールで、どういふことをやろうかと、現実的な提案を非常に意識してやっていくわけですが、再生の理念というものは、いわば22世紀、100年後などの姿としては、どういふ姿を目指していくべきなのか、短期的な時間スケールで実施するプロジェクトはそういった理念にきちんと整合しているのか、10年スケールの事業を実施した結果として、長期的には悪い方向に行ってしまうことがないか、といったことに注意してやらなくてはいけないと考えているところです。

これらを踏まえながら、具体的な取り組みをやっていきたいと考えておまして、PTのいろいろなサブ-ミッションでは、この官民連携の中でも最重要なキーワードの一つだと思っておりますが、江戸前の再興ということを考えております。これは、水産資源の特に有用な魚種をターゲットにした水産資源の再興を目指したいと考えております。

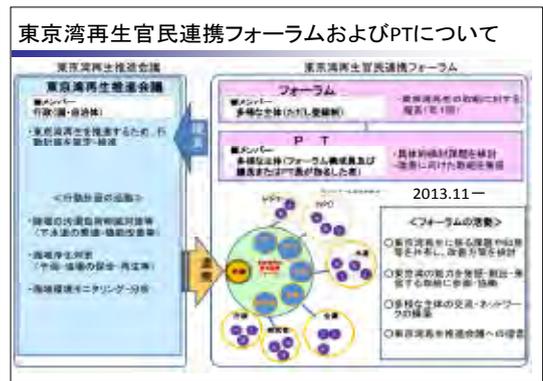
一方、これだけにしてしまうと、どうしても水産関係だけになってしまうので、もう少し身近な岸に近い干潟のような所で、市民が生き物と触れ合えるような場をもう少し官民連携で進められないかということも考えております。その中には藻場の再生も入ってくると思いますが、今のところは十分に検討が進んでいない状況です。来年には提言を出したいということがありますので、ぜひ、ご興味のある方のご参加をお待ちしているところであります。

こういった活動を通して、最終的には東京湾の環境再生、生態系の再生といったことに結び付けていきたいので、これは理念に関係してくるわけですが、東京湾全体としての環境再生につなげていきたいと考えております。

これまでのPT活動の概要を簡単にまとめました。まず、一番進んでいる取り組みは、この後、石井さんからご紹介いただくサブプロジェクトの一つの話題ですけれども、水産資源の増殖を目指す目的で、対象となる生き物や必要となる生息場の整理を行っていかうと考えています。それぞれの生き物の生活史を把握して、その生き物にとってどの生活段階がボトルネックになっていて、うまくいかないのか、ということ整理し、もし、一つのボトルネックさえクリアできればうまくいくのであれば、そのボトルネックを何とかできないか、ということを検討したいと思っています。10

第15回東京湾シンポジウム  
**東京湾再生官民連携フォーラム**  
**「生き物生息場づくりPT」の活動について**

生き物生息場づくりPT長  
 東京大学 大学院新領域創成科学研究科 社会文化環境学専攻  
**佐々木 淳**  
 (WEB: <http://estuarine.jp> Email: [sasaki@k.u-tokyo.ac.jp](mailto:sasaki@k.u-tokyo.ac.jp))



年スケールでできそうな話だったら、ぜひ取り組みを始めましょうということを考えています。

それから何をやるにしても、例えば、干潟をつくるか、浅場をつくるか、そういったことをやるにしても、資源材料や技術が必要になってくると思います。そういったものが、現状ではどうなっているかを整理しつつ、どういう技術が、あるいは、どのような資源が利用できるか、何ができるのだろうか、ということを検討しています。例えば、土砂がこれからどのくらい発生し、どのくらい有効活用できるだろうか、その質はどんなのだろうか、その質が悪くしたら、どういう技術を使って改善できるだろうか、いったい何を検討テーマの一つとしています。後ほど、石井さんからお話があるのですが、砂のマウンドをつくったらどうかという話を、今進めているのですが、そういったものをつくる技術はどうだろうかということも検討を始めています。

一方、技術と資源があるだけでは生き物生息場をつくることはできず、当然ながら法的、制度的な面のクリアや、関係者の合意形成、さらにお金がないとできないといったことがありますので、官民連携の場を生かし、こういったところにも踏み込んで、官任せにはしないようなことを目指したいということを考えています。ですので、官民のステークホルダーを把握し、制度面ではどんなことが課題となっているか、あるいは事業を進めていくときには、当然環境を監視しながらやらなくてはいけない、あるいは何かプロジェクトを実施したときには、その効果はどうかということも検証していかなければいけない、そういったことも含めてどういう枠組みでやるべきなのかということを検討しています。また、予算の確保ですが、これは行政に頼るだけではなく、企業のインセンティブになるような提案をしつつ、企業にも参加してもらえるような方向を模索したいと思っております。行政の中にもいろいろなセクターがありますので、その間でうまく連携し、役割分担を工夫することによって、このぐらいの小規模は事業だったら、少し捻出できるのではないかなど、そんな工夫をしてもらえよう、考えているところです。

こういった官民それぞれの要望を統合してプロジェクトの提案をしていくことを考えていまして、それを官民連携フォーラムから東京湾再生推進会議への提言として発信していくことを予定しています。同時に、実際に何か事業を、小規模な実証試験のようなものがないかと、今、いろいろ皆さんで考えているところです。

アクティブに活動していただける方でしたら、大歓迎ですので、ぜひ、これからでもご参加を希望される方がおられましたら参加していただきたいと思っております。

### 生き物生息場づくりPT設置趣意

#### □ 生き物生息場づくりPTのミッション

- 多様な関係者が連携し、生き物の生息場を創出するアイデアを提案する。また、これらの活動のうち、民が主体的に実施できるものについては、その枠組、メリット(インセンティブ)、PR方策等について整理・検討する。

#### □ 具体的な活動内容

- 企業とNPO等とが連携し、民が主体的にアマモ場の再生に取り組めるよう、企業にとってのメリット(インセンティブ)、一般市民への興味参画を促進するPR方策等について検討する。
- 水産・港湾等が連携し、生き物の生息に適した場の創出に関するアイデアを提案し、その取組を企画する。
- PTのメンバーは、多様なニーズ及びアイデアを抽出するため、研究者、漁業者、NPO、水産、行政等の多様な構成とする。

### 生き物生息場づくりPTのミッション

#### □ 東京湾のあるべき姿(理念)の理解と共有

- 理念の再整理と情報共有
  - 22世紀のあるべき姿とは?
- プロジェクト提案は10年の時間スケールで
- プロジェクトは理念と整合しているか?

#### □ PTのサブミッション

- 江戸前の再興
- 市民が生き物とふれあえる場 → 環境再生へ
- 生態系の再生

### 生き物生息場づくりPT活動の概要

#### □ 対象となる生き物や生息場の整理

- 生活史の把握に基づくボトルネックの整理
- 10年スケールでの現実的な実現可能性

#### □ 利用可能な資源・技術と課題の整理

- 土砂等の材料の量と質の確保は?
- 砂マウンドの浅場を造る技術は?

#### □ 制度・合意形成・予算

- 官民のステークホルダーの把握
- 制度間の調整、環境監視および効果の検証方法の確立
- 予算の確保、企業のインセンティブ
- 官、民、それぞれの要望を統合してプロジェクト提案  
官民連携フォーラム → 東京湾再生推進会議へ提言

#### □ 実証試験

- まずは小規模な実証試験の実現を目指す

### 港湾当局による環境再生事業の例

国土省千葉港湾事務所

#### □ 土砂材料の供給

- 中ノ瀬航路の浚渫土砂・・・良質な砂質土の有効活用

#### □ 浦安埋立地の地先覆砂事業

- 窪地の埋め戻しによる貧酸素改善
- 生物生息場の多様性確保

#### □ 官主導による事業

- 関係者による委員会設置



生物の多様性が向上! 濁り抑制が継続!

<http://warp.ndg.go.jp/info/ndlg/pdf/219973/www.pca.ktr.mlit.go.jp/kyoku/03info/03kiyoa/2008/081105chiba-sea.pdf>

## 東京湾におけるマコガレイの産卵場

千葉県水産総合研究センター資源研究室 主席研究員 石井光廣

会場の雰囲気はちょっと圧倒されているのですが、お魚の話でするので気楽に聞いてください。今日は、東京湾におけるマコガレイの産卵場ということでお話しさせていただきます。私は、千葉県水産総合研究センターの所属でご紹介いただきましたが、平成25年3月に「江戸前の復活！東京湾の再生をめざして」の提言を出した東京湾研究会、今、佐々木先生がご説明された生息場づくりPTにも参加させていただいていますので、この3つの代表のつもりで話をさせていただきます。

東京湾は今でも、多くの漁業が行われています。ノリ養殖、アサリなどを採る採貝、沖の魚介類を獲るまき網、底曳き網、あなご筒、刺網など、多様な漁業が行われています。

東京湾の主要魚種の漁獲量については、千葉農林水産統計の最近のデータをみると、大体、このようなイメージで漁獲されていることがわかります。スズキ、コノシロなどの浮魚は、今でも1000トン単位で多く漁獲されています。いわし類もまき網で漁獲されますが、東京湾のそこからやってきて東京湾内湾でも獲られています。今回主役のかれい類は、大体200トン弱になり、マコガレイ、イシガレイなどが含まれます。その他にはスミイカなどのいかも漁獲されています。えび類にはクルマエビ、シバエビ、サルエビなどが該当します非常に少なくなっているのが象徴的です。東京湾、内房の総漁獲量1.8万トン程度で、神奈川県分をも入れると東京湾の漁獲量は1.5倍ぐらいにはなると考えています。

本題のマコガレイについてです。生活史全体を眺めてみて、資源の減少・制限要因がどこにあるかということを考えています。マコガレイの生活環をみると、卵、浮遊仔魚、着底稚魚、稚魚、幼魚、成魚という形で一生を送っていて、特徴としては、生活史の多くは海底に接して暮らしているため、東京湾で大規模に発生する貧酸素などの影響をとでも大きく受けます。卵も魚としては少数派の沈性粘着卵です。多くの魚は浮上卵と異なり、この場合は沈んで何か物にくっ付くという性質の卵を産みます。ここでは産卵場の基質というのが重要になってきます。その後、一生の間唯一海中を漂うの浮遊期があります。ふ化直後は遊泳力が弱いため流れに乗って移動する時期から、遊泳力が大きくなって自分の意志で移動できるようになり、その後着底してだんだん大きくなっていくという形の生活史を送っています。このような生活史と環境条件の厳しい東京湾では、生残に大きな影響を与える時期・場所が幾つもあります。もっとも大きな要因は、貧酸素水塊になると思いますが、人が多少手助けをすると、死亡率が減少し次への生活段階に進めるようなことを探して、それで資源が増えないか検討しています。

東京湾（千葉県のみ）のかれい類の漁獲量の変遷をお見せします。1950年代まで遡れます。昔の東京湾はイシガレイが主体だと言われており、1970年代まではイシガレイの増減を表していると考えられます。その後、マコガレイが主体になって、1988年



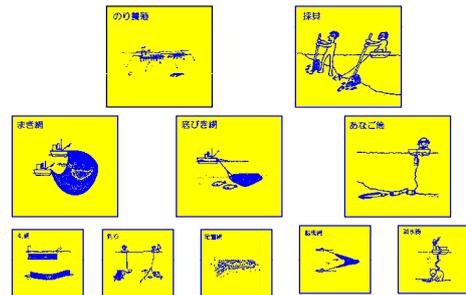
### 東京湾におけるマコガレイの産卵場

石井・片山・小島・内藤・柳川(2012)+α



千葉県水産総合研究センター 石井光廣  
(東京湾研究会 企画作業部会)  
(生き物生息場づくりPT)

### 東京湾の主な漁業



### 東京湾の主要魚種の漁獲量

魚種	東京湾	内房	
すずき	1,525トン	604トン	全国1位
このしろ	1,190トン	75トン	
いわし類	326トン	2,929トン	
かれい類	141トン	37トン	マコガレイ、イシガレイなど
魚類の合計	3,926トン	12,044トン	
いか	45トン	133トン	コウイカほか
えび類	2トン	31トン	
貝類	2,015トン	136トン	アサリやトリガイ
全合計	6,054トン	12,044トン	

千葉農林水産統計 2012年

### マコガレイの生活史

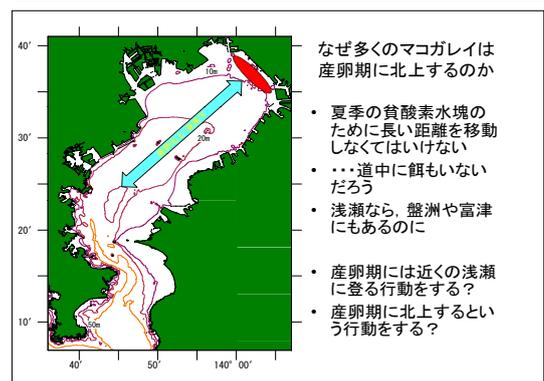
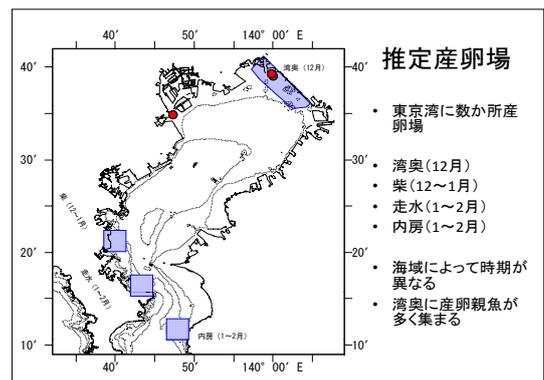
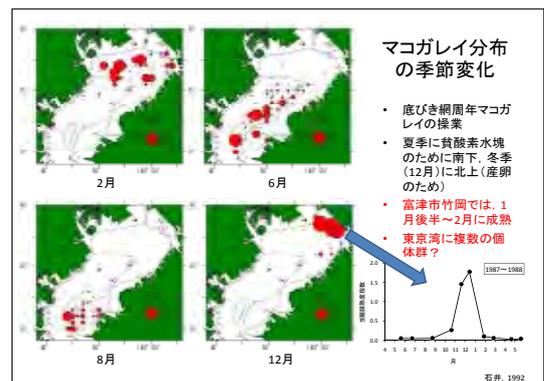
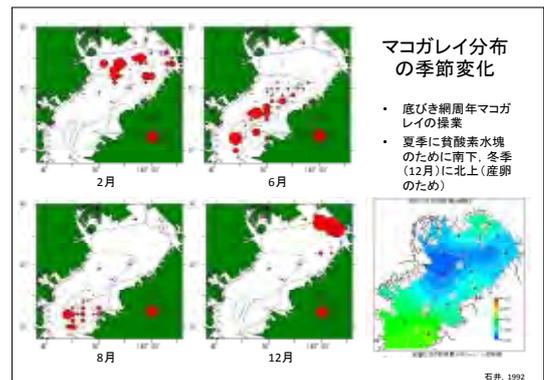
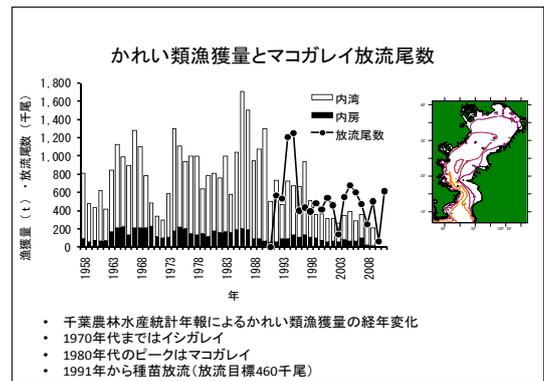


には千葉県だけで期間中最も多い1,600トンの水揚げがありました。神奈川を合わせると2,000トン程度でしょうか。東京湾の富栄養化が問題になったのが1960代ですから、貧酸素水塊、富栄養化の問題がある中で漁獲のピークがあったこととなります。現在の海洋環境には更なる問題があるのかもしれませんが、富栄養化した後に資源が増加した魚種として、比較的資源を増やせる魚種だと考えています。この図は私が県の職員になった平成元年頃の際に、マコガレイの調査を担当してしましてその時の調査結果です。漁師さんの操業日誌を地図に落として、どの辺りで漁獲されていたかを示しています。2月は内湾の広い範囲に分布していたのが、6月になると北部から漁場が消えて南のほうに偏ります。これは、この辺りが貧酸素水塊に覆われて、内湾北部から追い出されてしまうということです。さらに、8月になるともっと広範囲に貧酸素水塊が発生するため、さらに南偏します。ただし12月になると、一斉に北上するのです。

なぜ北上するのかを考えました。このグラフは雌の卵巣の大きさ（生殖腺塾度指数；全長に対する卵巣重量の割合）を示します。値が最も大きくなった時期が産卵期に当たります。マコガレイは貧酸素水塊の発生により夏季は分布が南部に追いやられるけれども、冬期の産卵期には必ず湾奥に集まるということがわかりました。

マコガレイの産卵場は、生殖腺（雌の卵巣、雄の精巣）が大きくなった産卵親魚がどの辺りで獲られるかということで、推定されます。湾奥のこの辺りには底曳網の漁獲が最も多く集まるため、東京湾のマコガレイ資源の多くはこの辺りに集合するだろうと考えています。湾奥ほどではないけれど、産卵親魚が集まるところがほかにもあって、神奈川県は柴や走水、千葉県の内房でも漁獲されています。特徴としては、湾奥の産卵期12月であるのに対して、神奈川県側は12月から1月、内房は1月から2月、このように産卵期が場所によって違うということも特徴です。

なぜ産卵期に多くのマコガレイが湾奥に北上するのかということは、私は、平成元年に調査したときからずっと疑問でした。秋季に貧酸素水塊が消滅したのちに北上するのですが、北上する先は貧酸素水塊が解消してもすぐにはベントスが解消しないため、ほぼ無生物です。餌は全くありません。そういう中で、なぜ餌がないのに北上するのかということです。あとは先ほどご説明したように、マコガレイの卵というのは、沈静粘着卵で基質は砂や礫みたいな所を好むはずなのに、この辺りは泥場なのです。そういう中になぜ向かうのかということで、もしかしたら盤洲や富津みたいな所に産卵するほうがいいのではないかとということです。それはどうしてだということの一つを考えました。



これは2年前の学会で発表したものです。産卵場についていくつか検証しました。方法は、①産卵期の推定、②産卵場調査、③流動モデルによるふ化仔魚の分散推定です。

まず正確な産卵期の推定です。このグラフは、雌の生殖腺熟度指数（卵巣の発達状態）の結果です。左が内湾、右のグラフが内房を示します。内湾は、12月までに生殖腺が大きく発達して、1月お正月を過ぎるとほぼ全部産み終わっていました。産卵期が早く、短期間集中するのが特徴です。一方、内房では、12月ごろ生殖腺が発達しはじめ、内湾より半月から1か月遅い1～2月にやや長い期間に産卵期が継続することが特徴です。

次に実際にマコガレイが卵を産んでいる現場を押さえるため、産卵場調査を行いました。湾奥で操業する漁師さんにいろいろ聞き取りをしました。親のマコガレイはどこに集まるかと聞くと、茜浜周辺の浚渫により周辺よりやや深いへこんだ所にたくさん魚が集まるということで、その付近に潜って調査をしました。マコガレイは12月の年末に卵を産み終わり、ふ化までに1週間ぐらいかかります。1月4日に調査を行った所、調査海域では広い範囲で卵が見つかり、最大7000粒/m<sup>2</sup>ぐらい卵が見つかりました。

この写真は、現場から採取した卵を現地水温10℃で管理してふ化させた仔魚です。ここに黒い模様があるのがマコガレイの特徴で、マコガレイの卵であるということを確認され、1月8日に最も多くふ化したことから、この年のマコガレイのふ化日を1月8日としました。

マコガレイの卵は沈性粘着卵のため播磨灘とか仙台湾などの他海域では、いずれも礫とか砂地の多い所が産卵場になっています。しかし、今回調査した海域の底質は写真で示しますとおり、穴ぼこの中のちょっとへこんだ所は本当の泥です。潜って手を入れると、どんどん沈んでいってしまいます。駆け上がりの上のほうは、青潮などでやられたホンビノスの大きな貝殻だらけで、マコガレイが上をはっていくような場所ではありませんでした。駆け上がり、穴から上っていく所が斜面になっているので、そこだと唯一、砂っぽいだろうということで考えて、一応そこを見ると、多少こちらに比べると、砂みたいな所がありました。これは、魚探で見ると非常にガクツとなるのですが、実際は、ほとんど海底ですので斜面は認識できないのですが、そういう場所ですと、やはり少しでもいい場所があるということが分かりました。

次に、浮遊仔魚の移動分散の計算結果をお示しします。今回卵が見つかった所がここです。先ほどもご説明したとおり、東京湾で泥分の少ないマコガレイが卵を産めばきっとちゃんとふ化するだろうなあとお勧めの海域を考えると盤洲や富津干潟周辺でしょう。実際には産卵親魚が集まらず主要な産卵場にはなっていませんが、私のお勧め産卵場として、仮想産卵場として、盤洲、富津に卵を置いて、1月8日に海底からふ化したというふうにして計算を進めました。

計算としては東京湾貧酸素水塊予測システムで行っています。

## 目的

- 東京湾におけるマコガレイの産卵場を特定し、その特性を検討するため、産卵場調査、浮遊仔魚の移動・分散の検討をおこなう。

## 方法

### 産卵期の推定

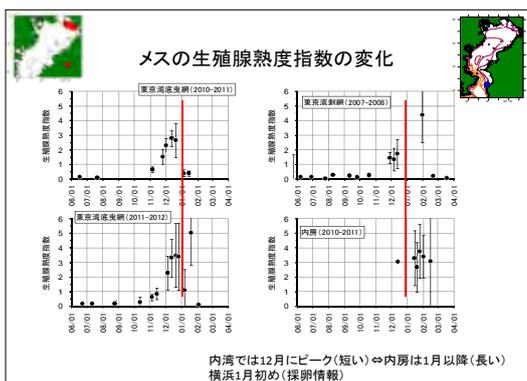
- メスの生殖腺熟度指数
- 内湾と内房海域

### 産卵場調査

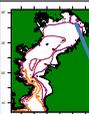
- 標本船、漁業者の聞き取り、成熟の情報
- 潜水調査
- 産卵場、ふ化日

### 流動モデルによるふ化仔魚の分散推定

- 3次元流動モデル(東京湾貧酸素水塊予測システム)の流動計算結果からふ化仔魚の粒子追跡計算



## 産卵場の特定



- 漁業者からの聞き取りにより産卵期に成魚が集まる海域
- 生殖腺の状況、底びき網の休漁(12/27~1/4)を考慮して、→調査は1月4日

→水深5mと7mの調査点を起点に十字に配置した8調査点から、11~7900個/m<sup>2</sup>(出現なしは1点)

水産生物の生活史に対応した広域的に連携する漁場環境形成手法検討委員会



船橋採集師からふ化した仔魚

2012/01/04採集  
2012/01/07ふ化

これはDOの予測をずっとリアルタイムでできていて、佐々木先生と国総研に以前いた古川さんにお手伝いしていただいて作ったシステムです。その中では、物理、流れの計算結果は残っていますので、それを使って計算を行いました。

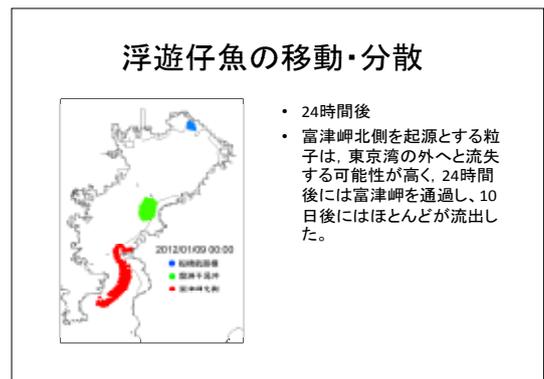
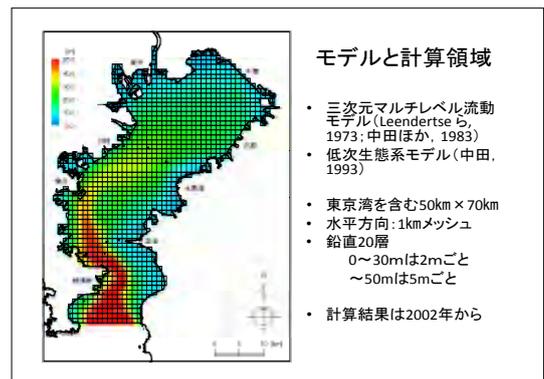
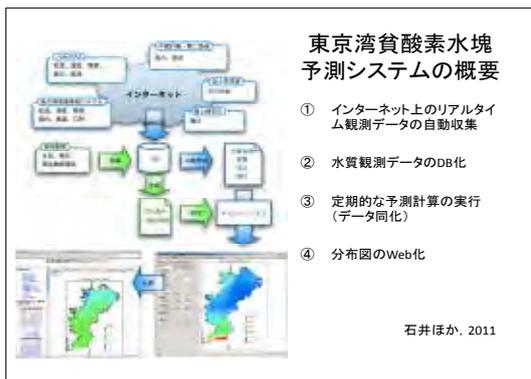
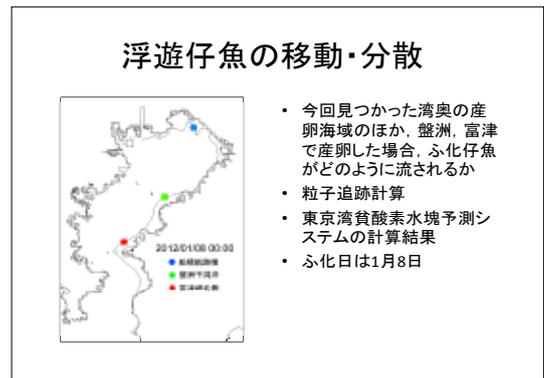
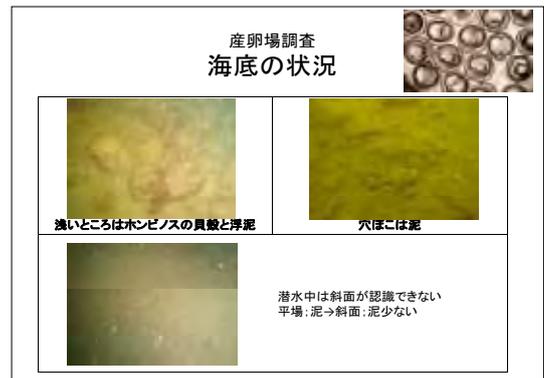
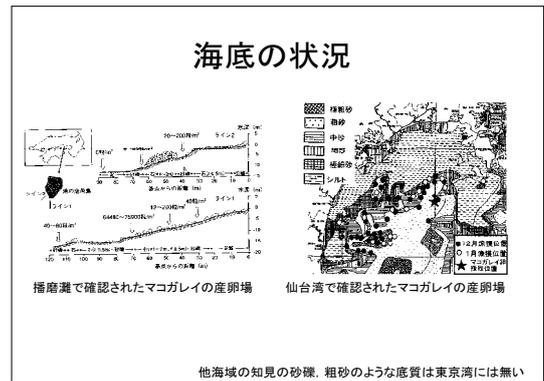
実際、このように計算をすると1月8日スタートすると富津とか盤洲というのは、数日の間に湾外に出ていってしまう。それに比べて湾奥で卵がふ化した場合は、なかなか出ていかなくて、このように内湾にとどまるということが分かりました。

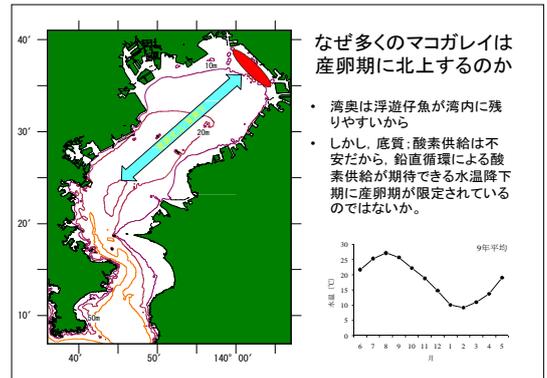
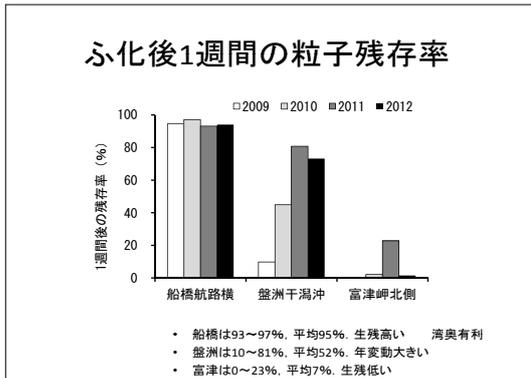
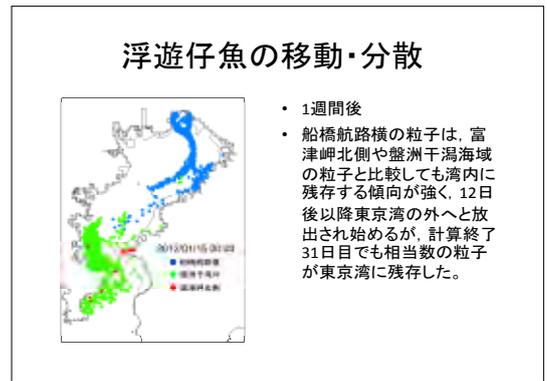
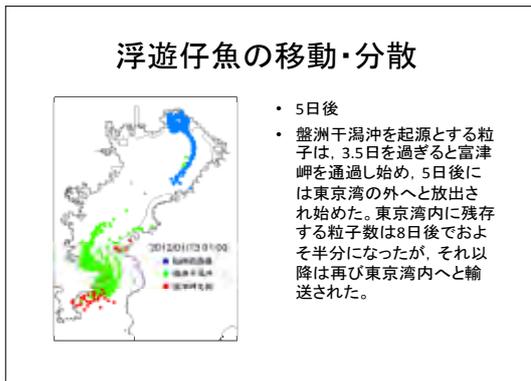
マコガレイのふ化仔魚の浮遊期約30日のうち、最初の1週間ぐらいは遊泳力が少なく、流れに乗ると考えた場合、富津由来の粒子は24時間で、盤洲由来の粒子も5日後ぐらいには東京湾から流出していってしまっていて、1週間後にはほとんど残りません。一方、湾奥由来の粒子は内湾の中にほとんど残るといった結果になりました。

同様の計算を2009～2012年も行ったところ、船橋はほぼ内湾に残り、盤洲は残ったり残らなかったり、富津はほぼ出ていってしまうという結果になりました。以上のことから、湾奥で産卵することがふ化後の生残に有利であるため、湾奥が産卵場になっているということが、非常に重要であると推定されました。

海域としては非常に有利なのですが、浮泥が周りにくっ付いたり、酸素があまり供給されないのではないかと考えられます。酸素が供給されない中で12月に産卵期があるというのは、水温降下期、鉛直循環期に卵がふ化まで到達するというので、こういう所が有利だということで、きっとこの二つの条件で12月にここで産卵をするのではないかと、今仮説を考えています。

マコガレイの生活史の中では、幾つか非常に問題点はあると思うのですが、このうちの一つはここです。底質については、





これから、まだいろいろデータを示さなければいけないのですが、一つとしては産卵場の底質を何とか改善することでふ化率が上がるのではないかと、これを生息場づくりPTのほうに提案させていただいています。

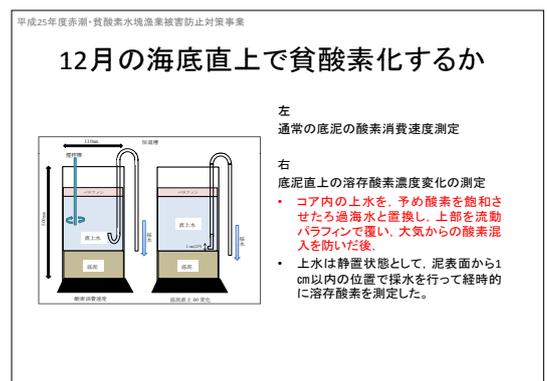
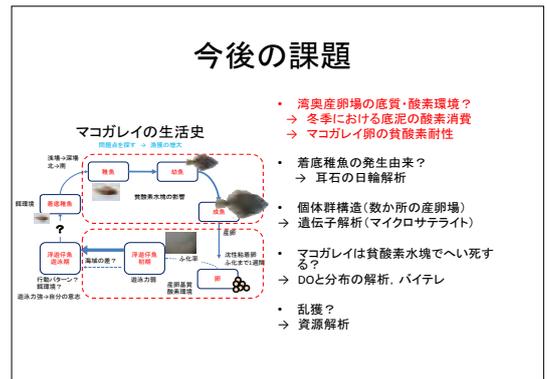
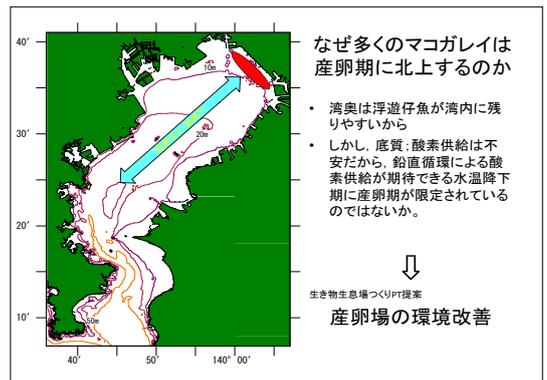
今後の課題としては、今のこの辺の湾奥の産卵場が本当に環境として、場としていいのかということ、これからの事業で調査をしていますし、その他、個体群とか、いろいろな幾つかの項目について調べて、もしかしたら、漁師さんの乱獲が一番資源に影響しているのかもしれない。

こういうことも含めて全体の中を考えながら、マコガレイ資源を考えていくのですが、その一つ、一番手を付けやすく確実に悪そうな底層の酸素環境を何とかしたいと考えています。

また、昨年からは始めた実験を少しご紹介いたします。私たちが東京湾で貧酸素水塊などの水質調査で観測をする場合、船上から水質計を降ろすため、測定水深は海底から1mぐらいで、冬期には貧酸素化しません。マコガレイの卵は、直径1mm程度で海底に着底しますので、海底面直上、1mmの酸素環境はどうでしょうか。冬期、海底上1mは貧酸素化しませんが、海底直上1mmの酸素濃度でマコガレイのふ化率が変わると考えています。

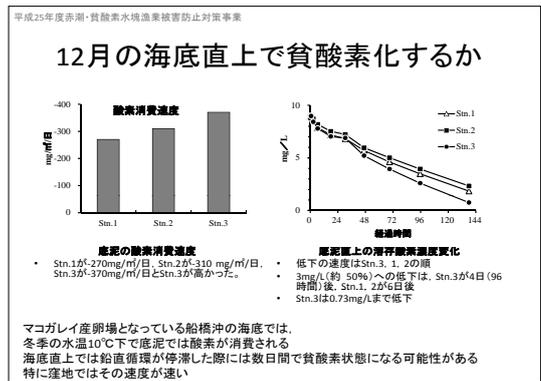
真冬の水温10℃の海中で、水温低下や波浪により海水が循環するとき、穏やかな日を想定して循環が弱いとき酸素消費とDOの変化を試験しました。実際、鉛直循環を止めると水温10℃でも、数日で酸素が低下するということが分かりました。今後は、DOのマイクロセンサーを使用して、さらにごく表面のDOを観測しようと考えています。

マコガレイの調査については、湾奥産卵場の底質・酸素環境、



耳石日齢解析による着底稚魚の産卵場推定、遺伝子解析による個体群構造の把握、DOとマコガレイ分布の解析やバイオテレメリー技術を用いた貧酸素水塊逃避の行動解析など進める予定ですので、今後ご協力をお願いします。

実際このポスターのように発信器や水温や水深を測る器械を埋め込んだマコガレイを放流しました。もし、これを見つけた方がいらっしゃいましたら、ぜひ、こちらまで連絡をください。



### 今後の課題

- 湾奥産卵場の底質・酸素環境？
  - 冬季における底泥の酸素消費
  - マコガレイ卵の貧酸素耐性
- 着底稚魚の発生由来？
  - 耳石の日輪解析
- 個体群構造(数か所の産卵場)
  - 遺伝子解析(マイクロサテライト)
- マコガレイは貧酸素水塊でへい死する？
  - DOと分布の解析, バイテレ
- 乱獲？
  - 資源解析

### 見つけたら、ご一報を！ 発信器付きのマコガレイ

マコガレイの移動、生息環境を調べるために、東京湾で発信器の付いたマコガレイを放流しました。

特徴は ① 海中に、**独自の無線(取れても場合あり)**  
② **腹側に発信器を埋め込んだ手前の跡** です。

見つけた方は、下記の連絡先までご一報をお願いします。  
情報・現物を提供いただいた方には、粗品をお送りします。

【実施者】  
(株)水産総合研究センター(担当: 堀)  
京都大学  
千葉県水産総合研究センター

【連絡先】  
千葉県水産総合研究センター 資源研究室(担当: 石井)  
〒295-0024 千葉県市川市青柳4-2-2  
Tel:0476-43-1114 Fax:0476-43-1118 E-mail: m\_hsh25@pref.chiba.lg.jp

# 内湾の魚類の生息場間ネットワークに着目した生息場デザインの検討

国土技術政策総合研究所沿岸海洋・防災研究部海洋環境研究室 研究官 秋山吉寛

先ほどの石井さんの発表は、個別の魚の話だったのですが、私は、もうちょっと全体的にいろいろな魚の話をしたと思います。

これは、私がとったエビや魚の写真です。これをとった場所は久里浜辺りです、ちょうどこの辺に当たります。この魚は春先ぐらいにはたくさん捕れるのですが、夏ごろには全然いなくなってしまう、この東京湾の奥のほうに向かって泳いでいくのか、それとも東京湾の外に出ていくのかということは、僕にはよく分かりません。けれどもこうやって魚が自分の一生を過ごす間に必要とする生息場の種類というのは、どういうものがあるのかというのを、今日はお話したいと思います。

今、生息場の環境が大きく変化しています、それによって生態系サービスの価値が低下しているなどの問題が起きています。ここでは、生物の生息場を再生して、いろいろな生き物が暮らせる沿岸域を作りたいと考えています。そのときに、これまでに行われてきた生物生息場再生というのは、比較的狭い範囲、小さな空間スケールで物事を考えていまして、そのときに重要なのは、鉛直方向に生き物の群集組成が大きく変わることです。なので、今までは鉛直方向に生息場の設計がなされてきました。

ところが、私たちはもっと広い範囲で生物生息場を再生したいと考えており、今ある鉛直護岸を生物共生型護岸に置き換えたいと考えています。東京湾中に鉛直護岸が張り巡らされていますので、これを置き換えようとするときに、今までのやり方ですと、最適な垂直断面を持った生息場を配置することになります。そうすると、一様に左側の絵のように同じものが置かれてしまいます。これはよく考えると、景観が一様になってしまいます。多様な景観タイプのそろっている場所ではいろいろな生き物が暮らせるということは既に分かっていますので、狭いスケールで考えていた物事だけではいろいろな生き物が暮らせる最適な場所は作れないと考えています。例えば、1種類の魚のことを考えてみます。マハゼの生息環境の変化がここに書いてありますが、仔魚期は運河、大人になるともう少し深場へ移動するといったことが分かっています。1種類の魚でも多様な場所を使うことから、いろいろな場所を右の絵のようにうまく置いてやるのが大事ではないかと考えています。

生活史や生態系ネットワークということ 키워ドにして、生息場をデザインしていくことは重要なのですが、その場合、工学的な知見が不足しています。では、どうしたらいいのかということを考えています。多様な生き物の生息場を作りたいと考えていますが、ここでは魚の話をしていきます。

ここに魚の生活史の一例が載っていますが、同じ種類の魚であっても成長するに従って違う場所を利用します。必要な生息場の種類を調べてみると、例えば、この上の絵のようになるわけですが、成長段階とともに住む場所が変わってきます。そのときに種AからDを並べると、このような感じになるわけですが、問題がありま



20141024第15回東京湾シンポジウム、横浜

### 内湾の魚類の生息場間ネットワークに着目した生息場デザインの検討

国土交通省 国土技術政策総合研究所 秋山吉寛

### はじめに

- 人間活動に伴う沿岸域生息場の減少で、生態系サービスの価値低下、生産力低下
- 生物生息場を再生し、多様な生物の生息できる沿岸域の再生を目指す

広い空間に多様な生物の生息場を作りたいけれど・・・

空間スケール 1辺:数m-1km

過去に行われてきたのは主に断面形状の検討 → 局所スケールの護岸に関する議論はされている

高木(2010) 桑江(2005)

### 多様なタイプの生息場の重要性

空間スケール

理想的な単一タイプの生息場を沿岸全体に配置 → 「多様な生物の生息場」の観点から適さない気がする

景観タイプが多様なほど種は増加(Remm 2005)

マハゼの生息環境の変化

仔魚	成魚
環境	運河 深場

吉田ほか(2013)

- 生活史や生態系ネットワークに配慮した生息場作りが重要
- 水域全体の生息場デザインの工学的知見は不足
- どのような生息場のネットワークを作るべきだろうか？最適な水域全体の生物生息場とは？
- 単一種の生息場は過去に検討されているが、我々は多様な種の生息場の再生を検討している。今回は東京湾の魚に注目。

### ある1魚種の生活史の例

深場 成魚

干潟 卵 仔魚 稚魚 未成魚 砂浜

成長に伴い多様な生息場を利用

して、それは東京湾に740種類ぐらい魚が住んでいます。

ということで、これが740も並んだところでよく分からないわけです。そこで、もっと理解しやすくすることを考えました。例えば、同じような生息場の組み合わせで多少仔魚期の暮らす場所が違う種どうしですけれども、こうやって同じ組み合わせで暮らせるものは、1グループにまとめて考えてはどうかと思っています。そこで、各種類の魚の住んでいる生息場として必要な環境の情報を集めて、それを類型化し、その先、どのようなデザインが必要なのかを考えてみました。

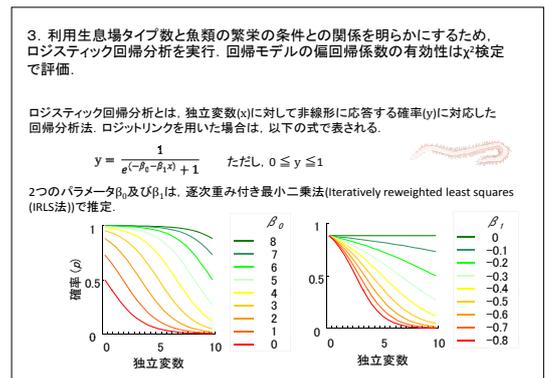
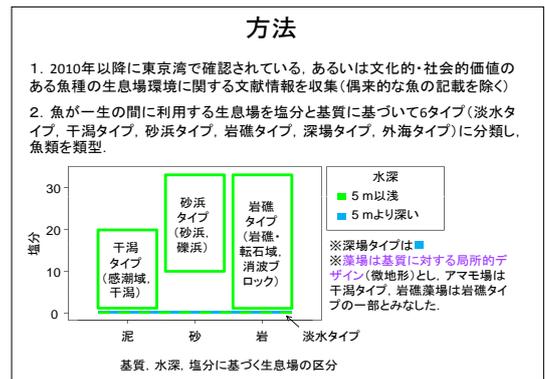
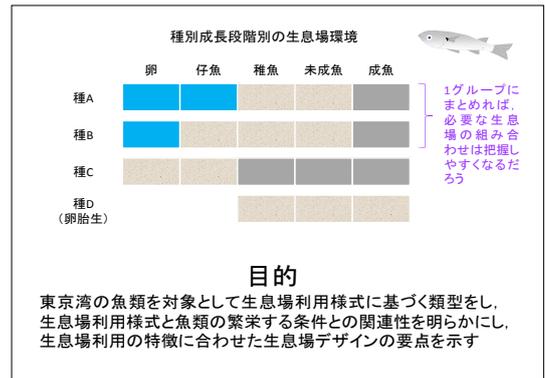
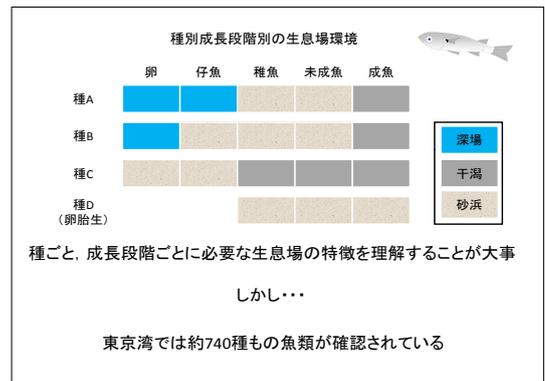
文献から情報を集めてみました。2010年以降に東京湾で確認されている魚で、多少絶滅種や絶滅危惧種も含めてあります。魚が住む場所は6タイプに大きく分けています。それらは、基質、塩分、水深で分けられています。ここに模式図が出ていますが、干潟タイプ、砂浜タイプ、岩礁タイプ、川を上がっていったりするので淡水タイプ。深場タイプは5メートルより水深が深い所。湾の外に出ってしまった場合は、外海タイプ。この6タイプです。

その後、それぞれの生息場利用タイプ数と魚類の繁栄の条件の環境を調べるために、ロジスティック回帰分析を行ったのですがこの辺の説明は割愛します。

これが、結果です。36種類の魚から情報を集めたのですが、すごくこまごましているの、これから注目していくところだけ大きく映して説明をしていきます。

まず、魚の種類と属する科です。生息場タイプ数が一番左側で、色が付いている部分なのですけれども、タイプ数が1から6までばらつきました。1カ所でこだわって暮らすような魚も居れば、6種類のいろいろなタイプの場所を使って暮らす魚も居ます。その横に、生息場利用型というのが書いてあるのですけれども、これは全部で16種類あります。16の型に分類することができましたが、これは思ったより多かったという印象です。あとは、同じ型に含まれる魚を見ても、例えば、これは遊泳魚に分けられるサツパ、コノシロに対して、下はもう少し底層で暮らすヒラメ、イシガレイなどが入っているので、生活型には、まず、従わないということです。

あと、科を見ても上との2種類はニシン科ですが、下はヒラメ科カレイ科なので、そういう生物の分類群でも生息場利用型というのはまとまっていないです。いろいろな魚がここに入ってくるのだけれども、実は同じような生息場利用型を示すということが分かりました。



結果

生息場タイプの組み合わせの類型に基づくグループ分け

生息場タイプ数	生息場利用型	科	種名	陸次部	淡水域タイプ	干潟タイプ	砂浜タイプ	岩礁タイプ	深場タイプ	外海部
1	t	キス	アオサズ							
		ハゼ	トビハゼ							
2	ts	シラウオ	シラウオ							
		ハゼ	チクゼンハゼ							
3	t.d	ヨロシロ	ヨロシロ							
		カレイ	カレイ							
4	t.s.d	アサギ	アサギ							
		マアサギ	マアサギ							
5	t.s.d	シラウオ	シラウオ							
		カレイ	カレイ							
6	t.s.d	アサギ	アサギ							
		マアサギ	マアサギ							

生息場利用型と魚類の関係

生息場タイプ数	生息場利用型	科	種名	生息場タイプ数	生息場利用型	科	種名
1	t	キス	アオサズ	3	t.r.d	ハゼ	アシロハゼ
		ハゼ	トビハゼ			カヨリ	
		シラウオ	シラウオ			アイナメ	
2	ts	ハゼ	チクゼンハゼ	4	t.s.r.d	ハゼ	マアサギ
		ヨロシロ	ヨロシロ			ウナギ	
		カレイ	カレイ			ニホンウナギ	
3	t.d	アサギ	アサギ	5	f.t.s.r.d	タイ	クロダイ
		マアサギ	マアサギ			フグ	
		シラウオ	シラウオ			クサフグ	
4	t.s.d	アサギ	アサギ	6	f.t.s.r.d	ハゼ	ボラ
		マアサギ	マアサギ				
		シラウオ	シラウオ				

※淡水域: t; 干潟: s; 砂浜: r; 岩礁: d; 深場: 0; 外海

• 1魚種の利用する生息場タイプ数は1から6までばらついた。生息場利用タイプは多様

• 36種の魚類を16の型に分類(情報量約56%減少)

• 各型の構成魚種は生物分類や生活型に従わない(例:コノシロとヒラメ)

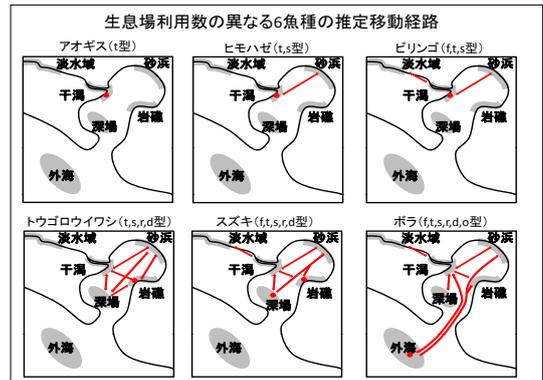
こうしてまとめていった暮らす場所の情報を1、2、3、4、5、6と、このような感じで並べていくと、生活史の成長段階の情報もあるので、移動経路が何となく推定することができます。これは、必ずしも正しいとは思っていないのですが、何となくこのような情報も把握できました。

次に干潟タイプに注目してみました。干潟タイプは、干潮ですと潟湖などが入ります。その場を使う魚は、どれだろうと思って見ると、この名前の所に色が付いているのが干潟タイプの場所を使う魚です。マアジ以外全部色が付いているので、ほぼ全部の魚が干潟タイプの場所を使っているということです。この干潟タイプの場所を繁殖場として使う魚の所に、この四角い枠を囲ってあるのですが、これが全体の47パーセントです。これらの97パーセントと47パーセントという値は、全タイプの生息場の中でそれぞれ最高の値を示していきまして、幅広くいろいろな魚にとって重要な場が干潟タイプなのということが分かります。あとは、赤い文字で記されている7種類の魚が居るのですけれども、これは絶滅種、または絶滅危惧種でして、これらの魚についても干潟タイプへの依存性があったり、あとは干潟タイプを繁殖場として利用していたりということで、干潟タイプは重要だと思われまます。

これがロジスティック回帰解析の結果ですが、左側の絵は横軸が生息場タイプ数に対して、上側が繁殖のために干潟を利用していますか、いませんかという、イエス、ノーになっています。これは、実はほとんどの魚が皆干潟タイプを利用するので、生息場タイプ数が左に行けば行くほど、干潟への依存性が高いことを示しています。そういう魚ほど干潟にこだわって繁殖を行っていることが分かります。あと、右側の画は、縦軸が絶滅危惧種または絶滅種ですかで、イエス、ノーなのですけれども、これは干潟への依存性が高い魚ほど生息場タイプ数が少なくて、絶滅確率が上がっていることを示しています。干潟タイプは、いろいろな生き物にとって重要だということが分かります。

あと、先ほどのこの右の絵は、全生活史で利用される生息場タイプ数を全部まとめたものですが、これを個別に分けて見てみますとこのようになります。どの成長段階で絶滅危惧種だったりする確率が上がるのかというのを見てみますと、曲線が引いてある所が三つありまして、この仔魚期、稚魚期、未成魚期です。この中で最も生息場タイプ数が減っていくと絶滅する確率が上がるという強い傾向が見られたのは仔魚期です。仔魚期といえば、あまり遊泳能力がなくて海流に乗って移動分散していく時期ですが、この時期の移動分散能力とか環境適応力が、もしかすると絶滅と関係しているのではないかと思います。

次は、移動に注目して見てみたいと思います。移動しそうな魚、これも実は移動しないかもしれないのですけれども、複数タイプの場所を利用していると考えられるものは、大体移動しそうだと考えたと、これが92パーセントです。この中で過去の文献やこの表の中で繁殖場と若い時期の生育場が明らかに異なっていて、移動

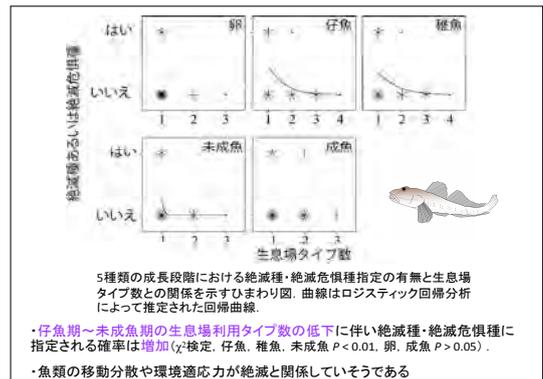
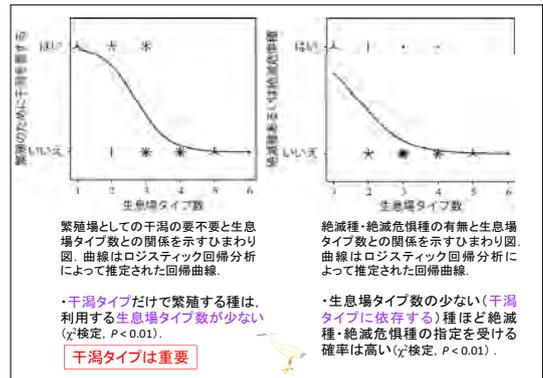


各魚類による干潟タイプの生息場の利用状況

生息場タイプ数	種名	干潟タイプ	生息場タイプ数	種名	干潟タイプ	
1	アオギス	卵、仔~種、成	3	アシシロハゼ	卵~成	
	トビハゼ	卵~成		サヨリ	卵~仔、成	
	エドハゼ	卵~成		アイナメ	仔	
	シラウオ	卵~成		ギンボ	卵~成	
2	ヒモハゼ	卵~成	4	マアジ	卵~成	
	チカセハゼ	卵、未成~成		アユ	仔~未成	
	ヨウジウオ	卵、未成~成		カタクチイワシ	仔~種	
	マナゴ	卵~成		トウゴロウイシ	仔~成	
	アベハゼ	仔~成		シロキス	種~成	
	マコガレイ	在		トサカギンボ	仔	
	ビリンゴ	卵~成		マハゼ	仔~成	
3	カダヤシ	卵、成	5	アマメハギ	種~未成	
	ヒナハゼ	卵、成		ニホンウナギ	種~成	
	チヌ	卵~成		クロダイ	種~未成	
	マアノ	在		クサフグ	種~未成	
	サツバ	卵~成		6	ポラ	種~成
	コトノ	卵~成				
		ヒラメ		在		
	イシガレイ	仔~未成				

絶滅種・絶滅危惧種  
 ・干潟タイプを利用する魚種は全体の約97%  
 ・干潟タイプを繁殖場とする魚種は全体の約47%(最多)  
 ・絶滅・絶滅危惧種の多くの生育場タイプ数は1が多い

干潟タイプは重要



異なる生息場タイプ間を移動する魚類

生息場タイプ数	種名	淡	干	砂	岩	深	外	生息場タイプ数	種名	淡	干	砂	岩	深	外
1	アオギス	■						3	アシシロハゼ		■				
	トビハゼ	■							サヨリ						
	エドハゼ	■							アイナメ						
	シラウオ	■							ギンボ						
2	チカセハゼ	■						4	マアジ		■				
	ヨウジウオ	■							アユ						
	マナゴ	■							カタクチイワシ						
	アベハゼ	■							トウゴロウイシ						
	マコガレイ	■							シロキス						
	ビリンゴ	■							トサカギンボ						
	カダヤシ	■							マハゼ						
3	ヒナハゼ	■						5	アマメハギ						
	チヌ	■							ニホンウナギ						
	マアノ	■							スズキ						
	サツバ	■							クロダイ						
	コトノ	■							クサフグ						
	ヒラメ	■							ポラ						
	イシガレイ	■					6								

■ 繁殖場 ■ 稚魚 ■ 未成魚

・複数の生息場タイプを利用する魚種は全体の約92%  
 ・繁殖場と若齢期の生育場が異なり、繁栄のために移動が必要な魚種は全体の25%(例: マアノ、ヒラメ、マハゼなど9種)

生息場間の移動が重要

しないと自分の一生を全うできなさそうという魚がこの四角い枠で囲ってあります。これが全部で9種類です。ということで、移動しなければ死んでしまいそうな魚もいます。自分の子孫を残すために移動を要する魚であればあるほど、生息場タイプ数が増加するような関係が見えてきました。ですから、さまざまな場を利用する魚というのは、移動することが必要なのだということが分かります。

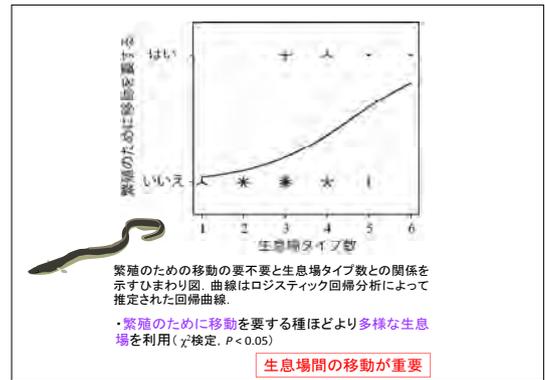
考察ですが、この類型によって36種の魚を16種類の生息場利用タイプに分けることができましたが、思ったより多くて、その一因というのが生物分類とか生活型では、この生息場利用タイプというのが分からないということなんです。イシガレイとヒラメだったら、同じような生活史かと思いきや、そうでもないということです。あと、想定される類型パターンが全54種類。理論的に考えると54あるのですが、このうち30パーセントが今回実際に確認できました。今回情報を集めた36種の魚種では、岩礁性のものが抜けていたりますので、こういう魚の情報が表に入ったりすると、この16の型がもう少し増えてくるのではないかと考えています。今回の研究で分かった重要なポイントはこの三つでした。干潟タイプの生息場と、あと魚の移動が重要だということです。これは、幅広くいろいろな魚に共通しています。あと、少数の生息場タイプを利用する魚は特に干潟タイプへの依存が強く、多くの生息場タイプを利用する魚というのは異なる生息場間を移動する必要があります。

では、生息場をデザインするとき、どうしたらいいのだろうと思ったのですが、まず初めにこの干潟タイプを中心に考えて、他の生息場タイプへの移動を考えていくというのが、一つ重要ではないかとは考えています。

あとは、少数の生息場を利用するものと、いろいろなタイプの場所を利用する魚で傾向が違ったわけですが、そうすると生息場をデザインするときの方向性がこのタイプ数で変わってくるのが分かります。例えば、移動しないと生きていけない、一生を全うできないという魚については、移動形態などを重視して、これからデザインのことを考えていけばいいのではないかと思います。例えば、先ほどお話した仔魚では海流を使って主に移動しますが、成魚になってくると自ら遊泳できたりするので、その違いなどを考慮して、これから移動経路を考慮したデザインをしていくということです。

逆に干潟タイプなどに依存して暮らしているものというのは、そこにこだわる理由があって、それは干潟タイプの中の一部に存在する微地形だったりします。例えば、ヨシ原が生えていたり、アナジャコの穴があったり、そういうものに依存して繁殖行動を行うなどということから、微地形への着目が重要ではないかと考えています。

どの辺りの範囲に生息場を置けばいいのかというのを考えるために、寄生虫を使って魚の生息場の空間的な広がりを把握しようと考えています。これは5種類の寄生虫を使って、チブの移動範囲を把握しようとしているものですが、まだ少し実験途中でどこ

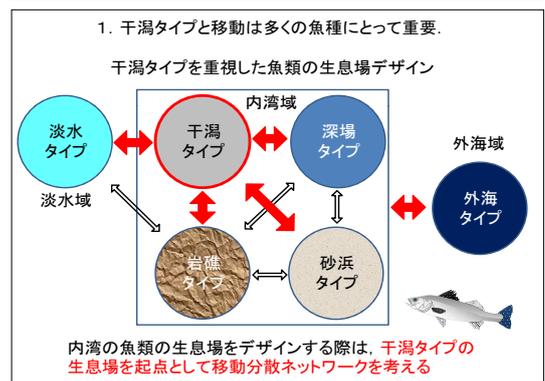


### 考察

- 情報量はほぼ半減(36種→16種)  
類型の種類の数は意外と多かった。この一因は、生物分類や生活形の類似した種間に見られる生息場利用パターンの多様さのため。
- 想定される類型パターン全54種の約30%を確認。  
メバル・カサゴ等特定の生息場利用様式(この例の場合は岩礁タイプ中心)の魚の知見が乏しく、まだ型の数は増加すると考えられる。  
類型によって生活史パターンは大幅には減少しなかったが、魚の生息場利用が概念的に把握しやすくなった。

結果から分かった生息場のデザインと関係する重要な点

- 干潟タイプの生息場と魚の移動は、多くの種にとって重要。
- 少数の生息場タイプを利用する魚類は、繁殖のために干潟タイプを必要とする傾向あり。
- 多くの生息場タイプを利用する魚類は、繁殖のために異なる生息場間の移動を必要とする傾向あり。

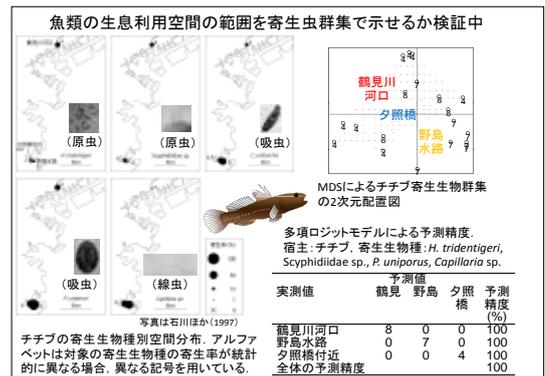


- 少数の生息場タイプを利用する魚類は、繁殖のために干潟タイプのような特定の生息場タイプに頼る傾向あり。
- 多くの生息場タイプを利用する魚類は、繁殖のために異なる生息場間の移動を要する傾向あり。

魚類の利用生息場タイプ数に伴う生息場デザインの要点の変化

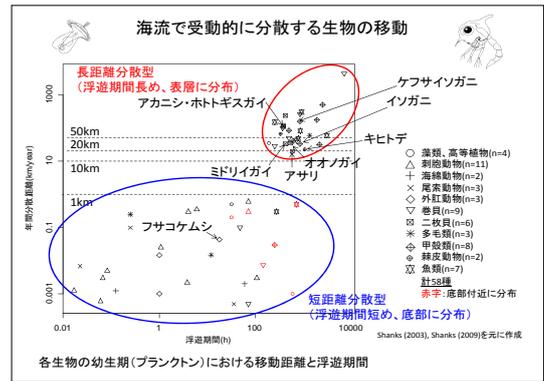
魚類の移動形態(主に成魚は遊泳; 仔魚は海流)への着目  
特定の生息場タイプに存在する微地形への着目

生息場のデザインを検討する際、魚類の生息場利用の傾向に従って、要点を変化させる必要がある



までうまくいくのか分らないです。でも、取りあえず今のところは、予測精度が全部 100 パーセントになっていたりするので、うまく使えば移動範囲が把握できるのではないかと考えています。

あともう一つ、移動で重要なのは幼生の移動です。これは、横軸が浮遊時間で、縦軸が距離ですが、これを見ていくと、何となく長距離分散型と短距離分散型に分かれていると思います。では、東京湾の生き物はどの辺りに入るのでしょ？この名前が出てきたのが東京湾の生き物ですが、全体的に長距離移動型が多いと感じます。この辺の移動距離がまた生息場のデザインと関わってくるので、こういうところも解明しながら生息場のデザインを考えていきたいと思っています。



**都市部の小さな干潟に「埋もれていた」絶滅危惧種の貝類・カニ類**  
 静岡県立下田高等学校 理科専門支援員 柚原 剛

現在、私は静岡県立下田高校に勤務し、伊豆の下田に住んでおりますが、今回は昨年まで東邦大学の博士課程で研究課題としてきた、『東京湾に生息するベントスの保全生態学』の研究結果について、主にベントスの生息場に関しての発表をいたします。研究対象はカニや貝類などのベントス（底生生物）ですが、水産有用種ではなく、干潟域に生息する絶滅危惧種を中心に行っておりました。

私が研究してきた場所は、大体このような「どぶ川」みたいな水路でした。2008年から2013年までの6年間、このような場所も含め東京湾全域の干潟域でカニや貝の生息調査を致しました。どこに、どのような種がいたのかを徹底的に把握したということが、この研究の要点であります。

皆さんご存じだと思うのですが、東京湾はこのような内湾形状になっていて、限られた流域に人口が多くいるという特徴としております。

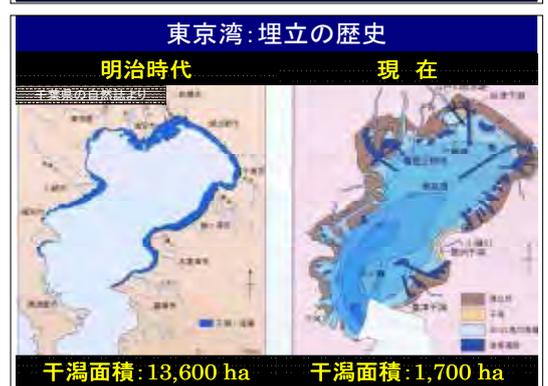
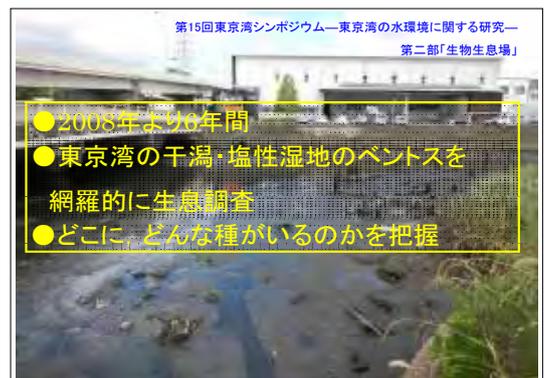
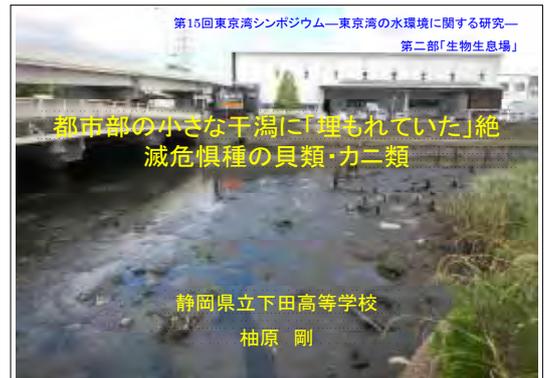
こちらもご存じだと思うのですが、東京湾は干潟域がほとんど埋め立てられ、現在、本来の自然形状を残す干潟は、こちらの木更津の盤洲干潟と湾奥の三番瀬の一部しかないということです。

また干潟域の後背地に、このようなヨシ原を伴う塩性湿地が、かつては東京湾沿岸域の至るところにありました。例えば、ここは現在の東京ディズニーランドのある浦安市舞浜付近の画像です。舞浜辺りも、このようにかつてはほとんど塩性湿地だったということが分かります。塩性湿地を定義すると、潮の干満に強く影響を受ける塩性植生帯ということで、泥干潟を伴うような所で東京湾では、主にヨシが群落を形成しております。

東京湾の塩性湿地の過去と現在の植生面積を比較するため、農環研の歴史的農業環境閲覧システムのサイトにある迅速測図を基にして作成したのですが、1870年代80年代辺りには、海岸線沿いに塩性湿地が結構あったことがわかります。現在は、小規模なものが市原市沿岸に実はあるのですが、ほとんど無いです。塩性湿地も干潟と同様に10分の1程度に減少してしまったということです。

当然、干潟や塩性湿地が減少してしまうと、そこに生息していた貝やカニなどのベントスが、生息場を失い絶滅や絶滅の危機に瀕することになります。特にこの緑枠に囲ったベントスが、塩性湿地や泥干潟に依存的に生息している絶滅危惧ベントスです。ですから、塩性湿地も面積としては、干潟域と同じ10分の1程度の減少なのですが、塩性湿地に依存的なベントスがより絶滅の危機に瀕している種が多いことが分かっております。これらベントスの生体写真すべては、東邦大学東京湾生態系研究センターの多留聖典さんの写真を許可を得て使わせていただいております。

現在の旧海岸線の景観を紹介しますと、この写真は、私の実家の近所なのですが、東京湾奥部の千葉県千葉市の国道14号線



### 東京湾: 塩性湿地・泥干潟の減少

塩性湿地: 潮の干満の影響を強く受ける塩性植生帯(泥干潟).  
東京湾: 主な塩性植物=ヨシが群落形成

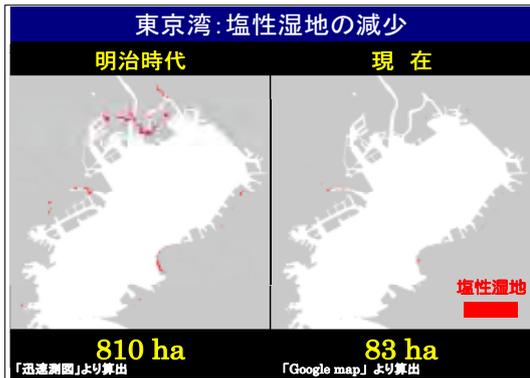
浦安市郷

### 東京湾: 塩性湿地・泥干潟の減少

浦安市郷土博物館より

浦安市郷土博物館より

海濱写真文庫: 東京湾



### 塩性湿地・泥干潟依存ベントス

写真は多留聖典氏より

明治期～1980年代間に絶滅

1980年代以降、絶滅

絶滅危機および希少

千葉県(2011), 日本ベントス学会(2012)

### 黒砂水路(旧海岸線)

コメツキガニが生息!

### 東京湾の水路(千葉県側)

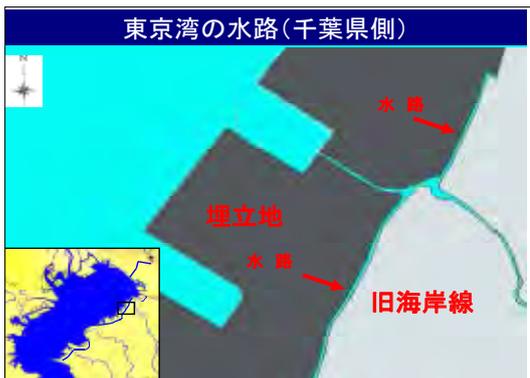
目で見える市原市の100年(2002)より

距離: 約40km  
水域面積: 約160ha

千葉県市  
市原市  
袖ヶ浦市  
大夏津市  
君津市  
富津市

1960年代埋立直前

現在



### 水路の共通構造

旧海岸線の堤防

埋立地の護岸

埋立地の護岸

旧海岸線の堤防



### 本研究の概要

- 近所の小さな水路にもベントスが生息
- 千葉県側には水路が多く残存 (しかも、塩性植生・泥干潟など景観が多様)
- 多様なベントスが生息しているのでは?
- 東京湾全域に範囲を広げ、水路も含めたベントスの出現パターンを調査
- これまで干潟ベントスの保全上、重要視されていなかった生息場として都市部の水路を評価した研究

沿いで、これが現在残っている黒砂水路です。この先から埋め立てられています。ただ、この場所もこのように小規模な干出域があって、汚くみえますが、干潟が現われます。そこにコメツキガニが昔から生息していることを知っており、少し興味は持っていました。

このような旧海岸線沿いにある水路は、実は東京湾中の千葉県側に多くあることが分かりました。特に市原市、袖ヶ浦市、木更津市辺りに多くあります。この写真は今、干潟部をまさに埋め立てようとしているところなのですが、その埋立地と旧海岸線の間に残された水路がずっとつながっている。この水路は全て東京湾につながっており、塩分がある汽水域になっていて、潮の干満もあり干潟も現われます。

千葉県側の水路には、旧海岸線の名残、痕跡が至る所にあります。こちらは写真の旧海岸線側の陸地なのですが、そこはかつての堤防がそのまま残っております。一方、埋立地側は一般的な護岸形状になっていて、その間の水路部分に干潟ができる構造が千葉県側に続いております。その中の幾つかの水路には、東京湾から失われた塩性湿地・ヨシ原が小規模ながら残っております。これらの場所は東京湾が埋め立てられて失われた環境に近いので、このような環境には東京湾から失われたベントスのいるのではないかと思います、徹底的にベントスの生息状況を調べようと思ったのが、この研究の動機です。

そこで私は、研究を行うにあたり、調査範囲を東京湾全域の干潟域・塩性湿地とし、上記の小規模な水路も含めた場所に生息するベントスの出現パターンを解明することにしました。その結果、従来干潟の保全に関して、あまり重要視されてこなかった生息場としての都市部の水路を評価したという内容の研究です。

研究内容に移ります。東京湾には、前浜干潟、河口干潟、潟湖干潟、人工水路内干潟など多様な干潟形状がありまして、これらすべての形状の干潟を対象に調査地として設定しました。まず前浜干潟、これは東京湾で一番有名な木更津の盤洲干潟です。その盤洲干潟の背後に広がっておりますのが小櫃川河口の干潟です。この典型的な河口干潟は泥干潟と塩性湿地が広がる天然の干潟です。こちらは大正時代に開削された江戸川放水路内の干潟で、行徳可動堰で普段は止められておりますので、潟湖状になっております。こちらは先ほどから申し上げている水路内の干潟であります。こちらが旧海岸線で、こちらが埋立地側の護岸で、水路の中にヨシ原がある景観もあります。ヨシ原を伴わない水路もあります。あとは横浜技調さんの「潮彩の渚」のような人工干潟の形状もあります。これらの干潟形状を全て含め、東京湾沿岸域26カ所に網羅的に調査地点を設け、そこに出現したベントスの群集解析を行いました。

調査方法は、それぞれの調査地点に4年間かけて最低3回以上上行きまして、一定面積の中で干潟面の表層探索し、ベントスを確認致しました。加えて干潟内をスコップで掘り返して底泥内に生



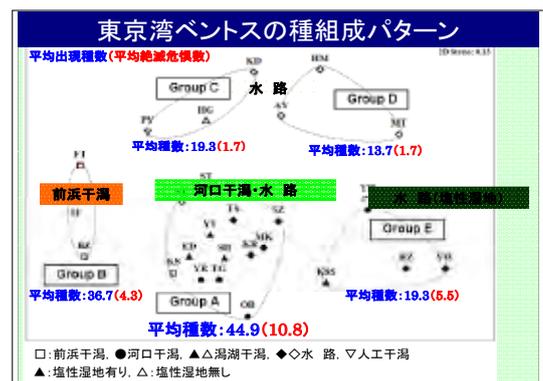
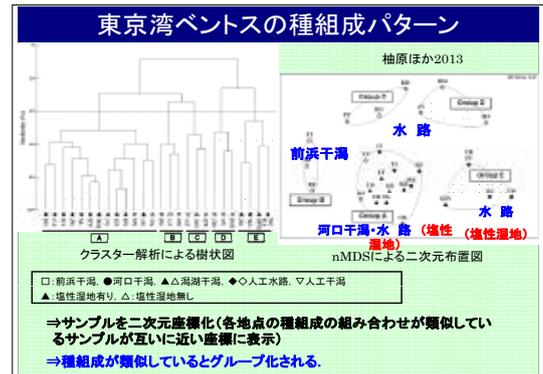
### 調査方法

調査範囲: 2500㎡

<定性調査> 調査期間 2008年~2012年 調査地につき最低3回以上

- ①調査範囲内を30分表層探索
- ②干潟内を10回スコップで掘り返し、1mmメッシュでふるう。
- ③発見したベントスを在・不在データとして記録

⇒東京湾の広範囲に及ぶ調査のため  
→各地点間のBray-Curtis 類似度を算出し、多変量解析を実施



息するベントスも採集しました。得られたベントスを在・不在データとして記録しまして、その結果より各調査地点の出現種の類似度の算出し、その類似度から多変量解析を実施しました。

この図は多変量解析の結果を示しております。アルファベットの略語は26カ所の調査地点を表してありまして、黒字が塩性湿地、すなわちヨシ原を伴うような干潟で、白抜きは塩性湿地の無い干潟を表します。また調査地点の2点間の距離が近ければ近いほど、それぞれの調査地点のベントス種組成、群集組成が似ているということです。

本結果では、東京湾の各調査地点のベントス種組成は、いくつかのグループに分けられました。大まかに分けると、グループAが河口干潟と塩性湿地を伴う水路の調査地点のグループ、Bが前浜干潟だけの調査地点のグループです。残りは、水路で塩性湿地が無い調査地点のグループと、水路で塩性湿地がある調査地点のグループに分かれました。

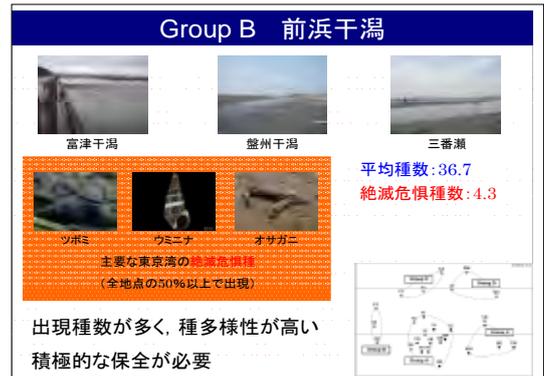
グループごとの平均種数に関しては、塩性湿地を伴う河口干潟や水路の調査地点からなるグループAが圧倒的に平均種数も絶滅危惧種も最も多くなっておりまして。ちなみに赤字は絶滅危惧種数を示します。前浜干潟の盤洲、三番瀬、富津からなるグループBは東京湾では著名な自然干潟のグループですが、平均種数は多いものの、絶滅危惧種はそれほど多くはなかったです。塩性湿地が無い水路などからなるグループC・Dは、種数も絶滅危惧種も少なかったです。塩性湿地を伴う水路からなるグループEは、平均種数は少ないものの、絶滅危惧種は多く記録されておりました。

グループAは小櫃川河口干潟や多摩川河口などの大規模な河口干潟と塩性湿地を含む水路からなり、ベントス種組成が似ております。グループAの調査地点の50%以上で確認された絶滅危惧種は、こちらの8種になっております。特にこの中でも、全国的にも絶滅が危惧されるものは、クシテガニやウモレベンケイガニです。これらの干潟や水路は絶滅危惧種の保全のためにも、積極的な生息場の保全が必要であると思えます。

次にグループBの前浜干潟です。東京湾で著名な前浜干潟の盤洲干潟、三番瀬などは、ベントスの種数は多いのですが、絶滅危惧種はあまり出てきませんでした。もともと絶滅危惧種というのは、塩性湿地の依存種が多いというのがあるのですが、基本的にはここではあまり出現しませんでした。

人工干潟、塩性湿地を伴わない水路は、やはり景観的に干潟部だけなので、あまり種数も絶滅危惧種もいなかったという結果になりました。この中で出現した絶滅危惧種のソトオリガイは、千葉県レッドデータブックでの絶滅危惧種です。全国的には、ある程度生息しているらしいのですが、東京湾を中心とした千葉県の地域的な絶滅危惧種となっております。

最後に、グループEの塩性湿地を含む水路などです。これらの調査地は水路の中に二次的に繁茂した塩性湿地や葛西鳥類



園や横浜ポートサイド公園のように人工的に造成した塩性湿地があります。そこでは、絶滅危惧種のウモレベンケイガニやクシテガニが結構生息していました。またカワザンショウ科などの小さい巻貝なども多くの種が確認されており、これらの調査地は、面積的に非常に小規模ですが、絶滅危惧種も多く生息し、保全が必要な生息場なのではないかと思っております。

少し詳しくみていきます。この水路は市原市の玉前緑地内の水路です。旧海岸線側の堤防と埋立地側の護岸の中に、汽水域の水路があり、ヨシが生えている塩性湿地があります。この水路の50×50メートルの調査範囲の中に、これだけのベントス種がありました。出現種が44種で、そのうち絶滅危惧種が12種いました。この水路はプロサッカーチームのジェフ市原の本拠地であったサッカー場の裏に位置しています。絶滅危惧種は、例えばウミニナ、フトヘナタリといった巻貝類、クシテガニ、ウモレベンケイガニ、アリアケモドキといったカニ類で、東京湾のみならず、全国的にも絶滅が危惧されるベントスが生息しておりました。

次に横浜のポートサイド公園の結果です。この写真のように、大部分はヨシとシオクグが植えられている景観なのですが、ちょっとした転石帯と泥干潟も用意されていて、多様な景観があります。ここでのベントス出現種は22種なのですが、ヨシダカワザンショウ、ヒナタムシヤドリカワザンショウというような、全国的にも絶滅が危惧される貴重な小さな巻貝が確認されました。また、絶滅危惧種ウモレベンケイガニも生息しておりました。写真のカワザンショウガイなのですが、この種は明治時代に横浜市をタイプ産地として新種記載された貝です。東京湾に面する神奈川県では、この場所に唯一生息していたということが分かりました。

前浜干潟のベントス出現状況を見てみると、東京湾の代表的な自然干潟である盤洲干潟では、さすがですが53種類の種が記録されました。ただ、絶滅危惧種に関しては、それほど多くなくて9種で、先ほどの水路よりも種数自体は少なかったことが分かりました。

次に三番瀬の前浜干潟の出現種です。写真の手前が船橋側で、奥が浦安市の新浦安です。広大な前浜干潟ですので、種数自体は34種と多いのですが、絶滅危惧種はオキシジミとマメコブシガニの2種のみでした。マメコブシガニは、東京湾では普通種なのですが、全国的には絶滅が危惧されているカニです。

以上の結果より、東京湾沿岸域の干潟ベントスの生息場の特徴と致しましては、絶滅危惧種が塩性湿地を含む干潟に、より多くの種類が生息していたということです。特に、腹足類のウミニナ、フトヘナタリ、カワアイや、カニ類のハマガニ、ヒメアシハラガニ、クシテガニ、ベンケイガニ、ウモレベンケイガニ、アリアケモドキといった全国的にも絶滅が危惧されるベントスが河口干潟や水路を中心に生息していたことが、本研究により明らかとなりました。つまり絶滅危惧種が東京湾の水路に「埋もれていた」ということです。「埋もれていた」ものを発掘しますと、このように新聞に掲載される

### 横浜ポートサイド公園の出現ベントス

カワザンショウガイ  
横浜市(二の橋)がタイプ産地!

出現種: 22種  
絶滅危惧種: 4種

### 盤洲 前浜干潟の出現ベントス

絶滅危惧種

### 三番瀬 前浜干潟の出現ベントス

出現種: 34種  
絶滅危惧種: 2種

### 東京湾河口域のベントス相の特徴: まとめ

水路: 絶滅危惧種が「埋もれて」いた!

花巻干潟に生息  
アケモドキ  
摩川河口)  
危惧種の生息場

### 絶滅危惧種ウモレベンケイガニの個体数

●水路にも生息する絶滅危惧種  
●個体数も多い(50×2mの範囲内)  
●抱卵雌も確認(繁殖)

絶滅危惧 I B 類

調査地	2012年4~6月	7~9月	10~12月	2013年1~3月
玉前緑地	N=155	N=279	N=37	N=6
横浜ポートサイド	N=34	N=70	N=6	N=0

甲幅 (mm)      抱卵雌

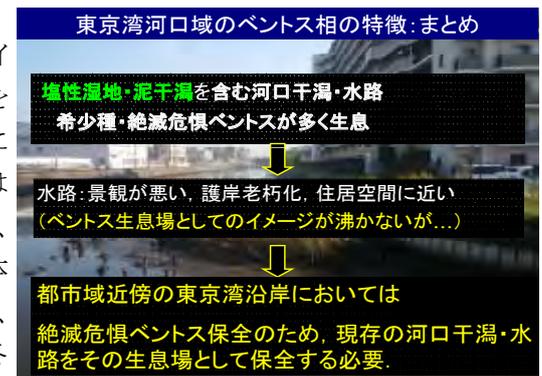
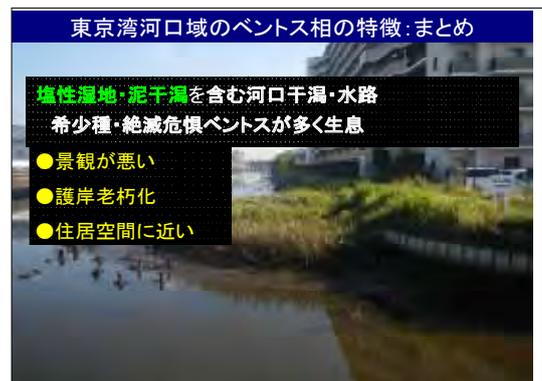
Yuhara & Furota 2014 を改定

こともあります。この記事は、7、8年前にアリアケモドキを八幡運河という運河（水路）で、東京湾で30年ぶりに発見したという趣旨のものです。

このような種多様性の高い河口干潟を保全することが、まず、第一だと思います。小櫃川河口、江戸川放水路、多摩川河口。それに加えて小規模な塩性湿地、先ほど申した通り水路も絶滅危惧種の生息場となっておりますので、そのような場も保全の対象となると思います。

今までは各生息場に、ベントスが居るか居ないかというデータをお示しただけでしたので、どの程度個体数が生息しているのかというデータもお示します。例として、絶滅危惧種ウモレベンケイガニを水路の玉前緑地および横浜ポートサイドで、その個体数を調べた結果を紹介します。市原市玉前緑地では、4月から6月にかけては、延べですが個体数が155個体でした。夏場にかけては300個体近く生息していたことが分かりました。抱卵雌も確認され、繁殖もしているということが分かりました。ただ11月12月に、個体数が減っているというのは、別に乱獲して殺しているわけではなく、調査後には元に戻っておりますので、カニ類は一般的に冬場に冬眠して巣穴深くに潜ってしまいますので、採集できず個体数が減少しているということです。横浜ポートサイドも、このように春には30個体、夏場になると延べで70個体ぐらい確認されています。抱卵雌もおり繁殖が確認されておりますので、絶滅危惧種の生息場として重要だと思います。

最後にまとめです。東京湾では、塩性湿地、泥干潟を含む河口干潟や水路に、希少種や絶滅危惧種のベントスが多く生息していることが分かりました。ただ、このように景観が悪くて、護岸も老朽化しており、いろいろ工事の話も出ております。また、住居空間に近く、こちらの干潟はマンションの真裏にあるので立ち入り禁止になっています。このように、生息場としてのイメージがなかなか湧いてこないと思います。しかし、都市域近傍の東京湾沿岸においては、このような場所でも絶滅危惧種の保全のためには生息場として保全の必要があるのではないか？ということで、今回の発表を終わらせていただきます。どうもありがとうございました。



## 干潟域の魚類の多様性とその保全 —東京湾での事例—

茨城大学広域水圏環境科学教育研究センター 准教授 加納光樹

今までの話の中で、干潟とか塩性湿地の重要性の話をしていただきましたけれども、私はその干潟の魚をもう少し掘り下げて、話をさせていただきたいと思います。

これは、東京湾奥部の市川市にある干潟の全景なのですが、概念図を描きますと、こういう図になります。干潟というのは、泥地あるいは砂地からなる平坦な潮間帯部分なのですが、干し上がってしまった所には魚はそれほどいませんので、魚の研究をするときには、この干潟とその前縁の浅瀬を含めた水域を干潟域というふうに定義しています。干潟域は、水産有用種を含む多様な魚類の育成場や生息場所と古くから考えられてきました。

それはなぜかといいますと、干潟域には、水産有用種の仔魚が非常に多く出現するということがあります。これは、九州以北で行われた干潟の魚の論文を参照して調べた数値ですけれども、水産有用種だけで、24科37種の魚類の仔稚魚が確認されています。

それからもう一つ、水産有用種だけではなくて、それ以外の魚類で、雑魚と言われるようなものも多く生息しています。これも九州以北の数値ですけれども、干潟域で確認された魚類は45科131種に及びます。この中には、環境省のレッドリストで絶滅の恐れが指摘されている魚種も多数含まれています。マハゼは江戸前のハゼ釣りでよく釣られる種類ですが、例えば東京湾のハゼ類は他にもたくさんの種がいます。互いによく似ていますが、干潟に行くと、たくさんこういうものがいます。この中で、この5種は絶滅危惧種に指定されている種類です。東京湾でもそういうものがたくさんいるわけです。

そういった中で、戦後、日本の干潟の消失がどんどん起きていて、その中で特に干潟の消失あるいは劣化が著しかったのが東京湾であります。東京湾では、先ほども説明がありましたけれども、この年代の間に93パーセントの干潟が消失してしまったという歴史があります。

その干潟が、いつ消失していったのかということを示すデータは、実はこのような形でまとめられていて、これは埋め立ての歴史を年代別に色分けしているものなのですが、昭和40年代から50年代というのが、特に大規模な埋め立てが行われた時期に当たります。これを大規模埋立期というふうに捉えまして、そうすると、東京湾の水面面積の約2割がこの時期に埋め立てられて、干潟域の大半が消失してしまっています。

では、この大規模埋立期の水産資源の動向はどうかというところを見ていきたいと思います。これも、やはりこのホームページから引用させていただいたものなのですが、1954年から2000年代までの総漁獲量から貝類、藻類、魚類というふうに分けたものまでを明示してあります。魚類は、この青の部分です。この中で大規模埋立期がどこに当たるかといいますと、ここに当たります。この時期に魚類全体の総量が減っているというわけではありませんでした。ただ、

### 干潟域の魚類の多様性とその保全 —東京湾での事例—

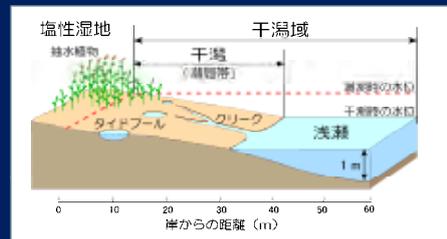
加納光樹 (茨城大) ・ 河野 博 (海洋大)



東京湾奥部の干潟と浅瀬 (千葉県市川市)

#### 干潟域とは

- ・ 干潟 (砂地から泥地の平坦な潮間帯) と浅瀬を含めた環境
- ・ 水産有用種を含む多様な魚種の育成場・生息場所



#### 干潟域には水産有用種の仔稚魚が多く出現!

24科37種

\*加納ら (2000)、日比野ら (2002) など  
15文献から計数



#### 水産有用種以外の魚類も多く生息!

- ・ 干潟域で確認された魚類 45科131種

- ・ 絶滅危惧魚類 19種 (環境省編, 2013)

日本各地の干潟域  
の魚類調査報告  
26文庫より



東京湾の干潟域に生息するハゼ類

これは漁業技術の進歩もありまして、この数値をそのまま見ても、なかなか増減は判断できないわけです。水産有用魚種については、個別に各種の動向を示すデータはかなり古いものからありまして、それを種別に見ていくと、例えばシラウオは1962年を最後に漁獲されなくなっているとか、アオギスは1976年稲毛浜での記録を最後に漁獲されなくなっています。あと、先ほど少し話がありましたが、イシガレイは、1970年代後半に減少し、その代わりにマコガレイがよく漁獲されるようになったことが知られています。これについては、イシガレイは稚魚期に干潟域に着底する習性があるため、1970年代での干潟域の激減がイシガレイの減少に直接的に関与したのではないかと考えられています。

では、水産有用種以外の、さっき見た雑魚といわれるような種類はどうかというと、そもそもデータ自体が存在しません。干潟域あるいは沿岸域での本格的な魚類調査が最初に行われたのは、1970年代後半のことです。この大規模埋立期中やその前には、東京湾が「死の海」と言われてしまうほどに水質汚染の著しい時期もありましたが、そういった時期の雑魚の生息状況に関するデータは、実は全く存在しないのです。つまり、いま、東京湾の湾岸環境の再生について話をしているときに、その再生目標の一つである湾岸原風景にどのような魚種が生息していたのか、ということのを誰も明示できないという事態なわけです。

では、どうすればいいかということ、私たちが実施しているのは、今の自然度の高い干潟と開発で環境改変が進行した干潟とで生息する魚類を比較して、実際に人為的な環境改変でどういった魚種が減ったのかということ推測していくということです。

干潟域の消失と劣化がどういったふうにしてきたかということ、まずは埋め立てによって干潟が直接的に消失ということが起きました。干潟が人工護岸に置き換わったという場所も多いです。さらに、通常、河川河口域に沿うように発達する干潟域は上流に向かって塩分や底質が変化していますが、そのような環境傾斜がある干潟域が消失していくということも起きました。そしてさらに大きいのが、河口汽水域の分断です。これは、潮止堰あるいは河口堰の設置のことです。さらに、残された干潟についても、微小生息場所の破壊が生じていきました。こういった状況を改善するために、1980年代に入ると、盛んに干潟域の再生が行われてきています。

それでは、最初にこの干潟域が消失したらどうなるのか、あるいは、人工護岸になるとどうなってしまうのか、ということ少し考えてみたいと思います。こういうことを調べるのには、実際は干潟域を埋め立てるとすぐに分かるのですけれども、今の時代はそういうのができるわけではありません。これは、湾奥部の新浜湖という潟湖の事例ですけれども、干潟域とそのすぐ近くにある護岸の所で、1年間潜水観察をして魚類がどれぐらい違うのかということ調べました。

これは、1年間の総個体数です。結果は明瞭で、護岸でしか出現しない種や干潟域でしか出現しない種がいたり、両方で出現する種がいたりということがわかりました。観察されたのは、ほとんど小魚

### 干潟の消失

戦後、日本の干潟の約40%が埋立等により消失（環境省のデータ）、その保全・再生が急務。

昭和40～50年代の大規模埋立期に東京湾水面面積の2割が埋め立てられ干潟域の大半が消失！

大規模埋立期の水産資源の動向は？

東京湾の年代別埋立状況 (東京湾環境情報センターHPより引用)

### 東京湾の漁獲量の経年変化 (東京湾環境情報センターHP)

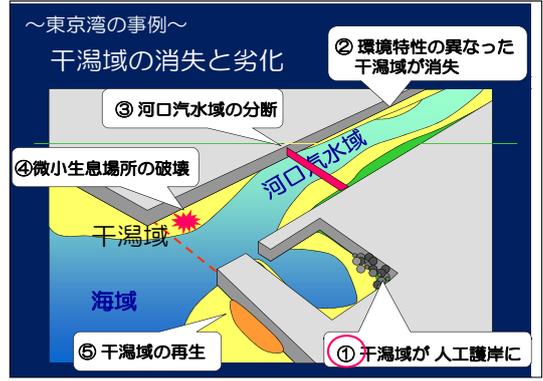
大規模埋立期の水産資源の動向

- 水産有用魚種の動向を示すデータはわずかにある。
- 水産有用種以外ではそもそもデータがない。 ※干潟域での魚類相調査は1978年に開始

今回、干潟域の消失・劣化が魚類に与えた影響を検討

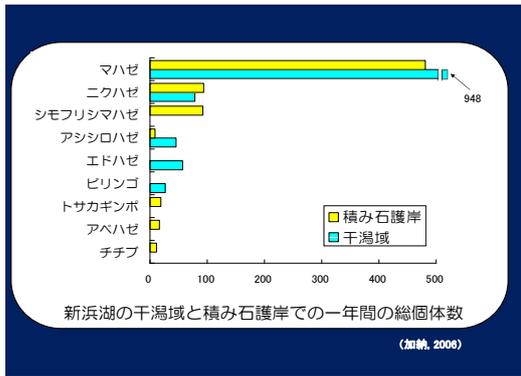
シラウオ:1962年絶滅? アオギス:1976年絶滅?

イシガレイ:1970年代後半に減少 (橋本田,1989; 工藤,1997)



### 干潟域が埋め立てられ、人工護岸になるとどうなる？ ～市川市新浜湖での事例～

一年間の潜水調査



でしたが、干潟域が積み石護岸になると、干潟域で多い種というのはもちろん減少したと思われ、逆に、護岸で多い種というのは、増加していったのだらうということが想定されます。ただ、この小型魚類の種組成の激変が内湾生態系に何をもたらしたのかというのは、現時点では推測するのは難しいと言えます。

それからもう一つ、干潟域は、例えば先ほどイシガレイが着底の場にすると言いましたが、イシガレイだけではなく、ハゼ釣りのハゼなんかは干潟域に着底するというのが、こういう2層式ソリネットというもので調べると、すぐ分かります。マハゼ以外の他の種類も、着底場として利用しています。干潟域がなくなるということは、この着底場の機能が失われるということになります。

それからもう一つ、これは東京湾の干潟域に出現する主要魚種の食性のデータです。29種 1400個体の食性を消化管内容物解析から調べたものです。食性グループごとに分けると、貝類食、多毛類食、動物プランクトン食、小型底生甲殻類食などだいたい六つのグループに区分されることがわかりました。つまり、干潟域の魚たちは、こうやって餌資源をうまく分割しています。また、この調査では、成長に伴う食性の変化が、水産有用種を含む21種で認められました。魚類は干潟で餌を転換しているわけです。こういった魚類の餌場としての機能は、干潟が消失すれば、損なわれてしまう可能性があります。

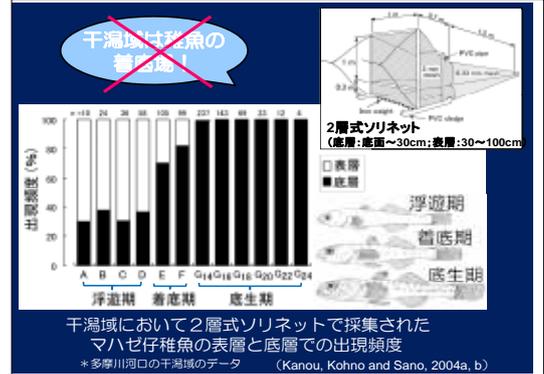
次は、環境特性の異なった干潟域が消失すると、どうなるかというところです。これは、多摩川河口干潟で調べたデータです。よく採集された種のうち、絶滅危惧種のエドハゼは海側の干潟で多いのに対して、もう一つの絶滅危惧種のマサゴハゼは上流側の干潟で多く、マハゼはどこにでも多く出現するという結果でした。マハゼはどこにでも出現するとは言いましたが、本種の仔稚魚についてよく調べると成長に伴って海側から上流側の干潟域へ、より底質が泥っぽく、塩分が低い干潟へと生息場所をシフトする傾向がありました。同様な生息場所のシフトは、スズキやビリンゴでも確認されました。以上のことから、海側の干潟域で多い種、上流側の干潟域で多い種、両者を成長に応じて使い分ける種がいますので、海側と上流側のどちらか一つの干潟域が消失しても、影響は大きかったというふうに考えられます。

それから河口汽水域の分断についてです。これは、先ほどの多摩川の干潟のある一定点で、干潮時と上げ潮時に魚類を採集して

干潟域が積み石護岸になると...

干潟域で多い種：減少？ 護岸で多い種：増加？

この激変が内湾生態系に何をもたらしたか現時点で推測するのは困難

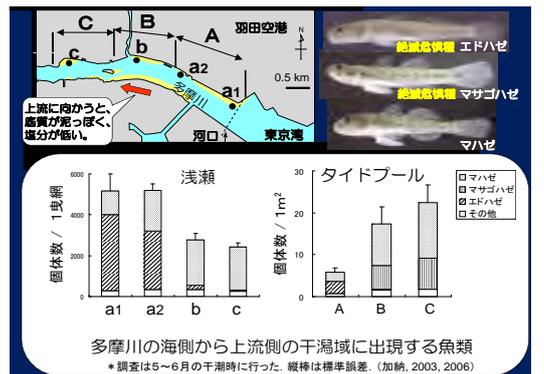
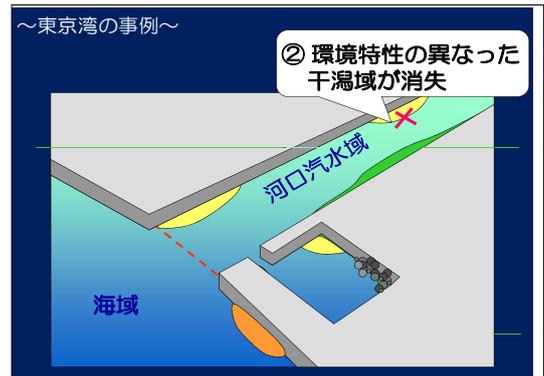


魚類の餌場

①食性グループは6つ → 餌資源分割  
②成長に伴う食性変化は21種で確認 → 餌転換の場

干潟域の主要魚種29種の食性による分類

\*東京湾の7干潟域に出現する29種 1386個体の消化管内容物データ (Kanou, Kohno and Sano, 2005)







タイドプール

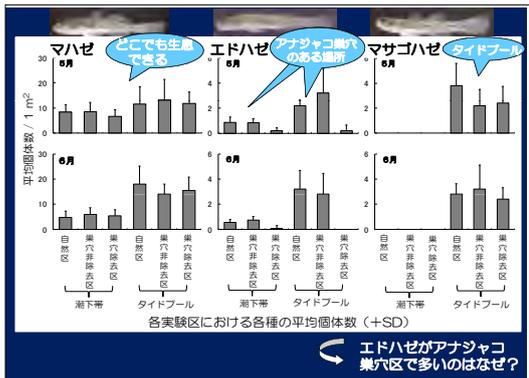
**野外実験**  
**「干潟域の微小生息場所改変へのハゼ類の応答」**

時期：2002年3～6月  
 場所：新浜湖の干潟域  
 方法：タイドプールと潮下帯に実験区を設定し、実験区間でハゼ類3種の生息量を比較した。

タイドプール  
 潮間帯  
 潮下帯

絶滅危惧種 エドハゼ  
 絶滅危惧種 マサゴハゼ  
 マハゼ

実験区の設定



**実験区の設定**

**A. タイドプール**

- ① 巢穴除去区 (n=5, 各1m<sup>2</sup>)
- ② 巢穴非除去区 (n=5, 各1m<sup>2</sup>)
- ③ 自然区 (n=5, 各1.1～1.6m<sup>2</sup>)

**B. 潮下帯**

- ① 巢穴除去区 (n=5, 各8m<sup>2</sup>)
- ② 巢穴非除去区 (n=5, 各8m<sup>2</sup>)
- ③ 自然区 (n=5, 各8m<sup>2</sup>)

\* 巢穴数は①<②=③

スcoopで底質を深さ3cm掘り、網目1mmの網を敷いたあと、再び底質を戻して行なった。

実験区間で稚魚の生息量を比較

実験水槽

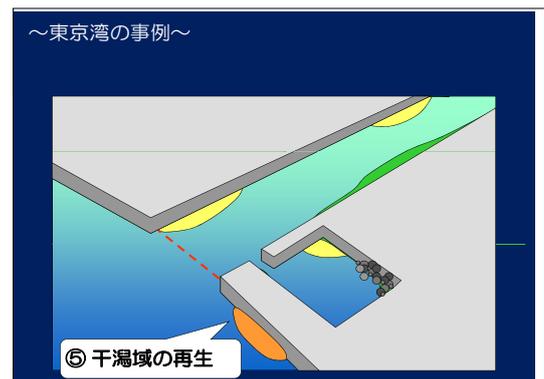
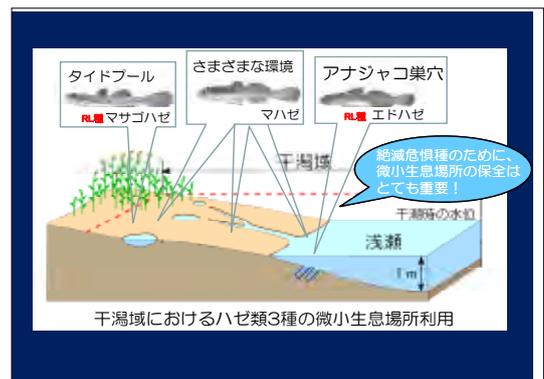
アナジャコ巢穴類似基盤

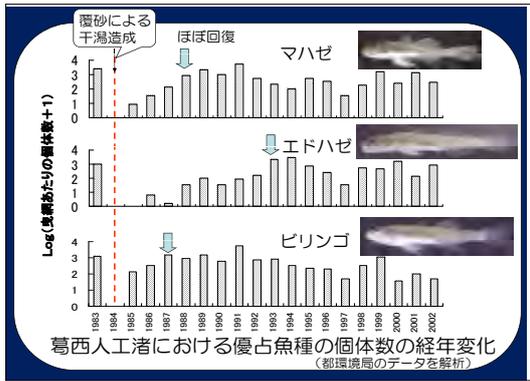
エドハゼ  
 捕食者：スズキ

アナジャコ巢穴を捕食者からの避難所として利用

間で魚類の生息量を比較します。そうすると、マハゼは、やはり割とどんな環境にでも生息できるのですが、絶滅危惧種のエドハゼは、アナジャコ巢穴のある場所だけによく出てきます。マサゴハゼについては、巢穴の有無とは関係なくて、タイドプールに出てくるといったような違いがあります。エドハゼがアナジャコ巢穴だけで多いのは、なぜかというのを餌生物量との関係から調べてみましたが、それではうまく説明できないこともわかっています。そこで、飼育下でこういうアナジャコ巢穴類似基盤を作って、捕食者を導入して調べたところ、エドハゼはアナジャコ巢穴を捕食者からの避難所として利用している可能性が高いことが分かりました。以上のような実験から、干潟域の絶滅危惧魚種の保全のためには、微小生息場所を残していくことがとても重要だということが分かりました。

最後、干潟域の再生です。これは、開発の例ではないのですが、東京都環境局が実施してきた葛西人工渚における魚類のモニタリング調査のデータを解析させてもらったものですが、覆砂をして干潟を造成した後の、各種の反応は種によって異なります。動物プランクトンを食べる遊泳性のピリンゴは、割と早く回復します

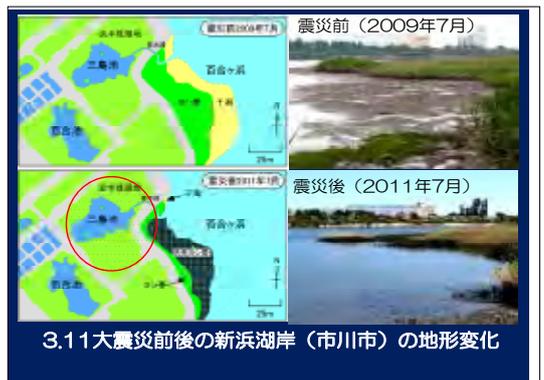
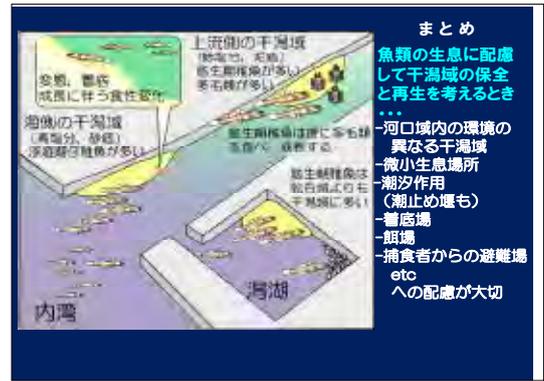




が、底生生物食で底生性のマハゼは若干遅いです。底生生物食で底生性のエドマハゼについては、アナジャコ類の巣穴を利用するという習性があるためか、回復まで約9年もかかるということが分かりました。

ここまで話してきたことに基づいて、これからの湾岸環境再生のイメージについて少し考えてみたいと思います。とくに、ここでは、東京湾岸で魚類の種多様性を高めるために、どういう沿岸環境にすれば良いかという点について示します。一つは、これまで様々な方々によって干潟の再生やアマモ場の再生などが行われていますけれども、これからは、先ほども話がありましたように塩生湿地の再生が必要で、さらには、塩生湿地—干潟域—アマモ場の連続性を確保するということが大切であろうと考えられます。それから、もう一つは、クリークやタイドプール、塩生植物帯など、微地形の造成による生物多様性の増加を図るということも重要だと思われまます。

そういったことを視野に入れて、最後に、私たちの研究グループ(茨城大学広域水圏環境科学教育研究センター、東邦大学東京湾生態研究センター、日本国際湿地保全連合、行徳野鳥観察舎友の会などのメンバー)が行った湾岸環境再生の事例を示します。これは、市川市の新浜湖の3.11大震災前後の地形変化を示したものです。この汽水湖の岸際には、干潟とか塩性湿地のヨシ原があったのですが、震災後になると、地盤沈下で大半が沈んでしまい、夏場なのにヨシも茶色く枯れています。このような状況下で、ここに生息していたマサゴハゼなどの絶滅危惧種は確認されなくなっていました。一方で、新浜湖の後背部には50mプール程の人工淡水池がありました。そこで、淡水池を干し上げて外来種を駆除した後に、学生たちや市民の方々とクリークなどの微地形をスコップで造成し、その後、新浜湖の汽水を導入しました。大変そうに見えますが、スコップでひたすら掘って微地形を作っていくのは、意外に楽しいです。これが汽水化実験1年後の状況ですけれども、思った以上に多くの種が入ってきて、一度はいなくなった絶滅危惧種も再生したクリークに出現するようになるなど、驚きの結果が得られているところです。以上です。



#### 4. 閉会あいさつ

##### 国土技術政策総合研究所沿岸海洋・防災研究部長 鈴木 武

本日は、われわれが今注目すべき研究について、そのテーマと適切な先生方をお願いをして、いろいろと話をいただき、皆さんに聞いていただきました。

われわれがいいと思ったものを一方的に決めて、皆さんに聞いていただいたわけですが、この時間の中で、皆さんが、自らの心の中でインスピレーションを抱き、さらには、やる気、元気、意欲が沸き上がったということを期待したいと思っています。

発表も、忙しいかたがたにかなりしっかりした発表をしていただいて、非常に聞き応えのあるものだったのではないかと思います。

そういったシンポジウムをしているのは、東京湾の再生というものを、何とかして実現していきたい。そういう大きな目標に向かって進んでいきたいわけですが、何をすればいいのか、これが難しい。最後のほうで質問もありましたが、何をすれば東京湾を再生できるのかということです。さらに言えば、東京湾の再生というのは、何なのか、どこまで行けば再生したと言えるのかということも、実はよく分かっていないと思います。こういう難しい中で進めていくので、例えば、東京湾再生官民連携フォーラムといった組織的な活動に参加をしていただいたり、それだけではなくて皆さん個人個人で東京湾の環境再生に向けていろいろと取り組んでいていただいたりして、それによって東京湾の環境再生が進んでいくことを期待して、きょうのシンポジウムの締めくくりとさせていただきます。

長時間、どうもありがとうございました。



-----  
第 15 回 東京湾シンポジウム 報告書  
編集・発行 国土技術政策総合研究所沿岸海洋・防災研究部  
平成 27 年 3 月発行  
-----

本報告書に関するお問い合わせは  
〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1  
国土技術政策総合研究所  
沿岸海洋・防災研究部 海洋環境研究室  
TEL:046-844-5026 FAX046-844-1145

