

第16回 東京湾シンポジウム

～東京湾の水環境に関する研究～

平成27年10月23日（金）
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16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 春日井康夫

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 陸域との繋がり, 水質

- ・東京湾に流入する雨天時越流水

公益財団法人東京都環境公社東京都環境科学研究所 主任 和波一夫

- ・陸域からの窒素・リン負荷量と沿岸海域の有機物量 (BOD・COD)・一次生産

京都大学名誉教授 藤原建紀

- ・東京湾における貧酸素・青潮影響を軽減するための共同研究

横浜国立大学大学院教授 中村由行

- ・東京湾におけるブルーカーボン研究

国立研究開発法人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

チームリーダー 桑江朝比呂

第二部 生物生息場

- ・マコガレイ再興に向けた生き物生息場づくり PT からの提案

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

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

- ・沿岸域の生物生息場の最適配置とは? - 概念モデルによる検討 -

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

- ・東京湾のニホンウナギ

国立研究開発法人水産総合研究センター増養殖研究所資源生産部

沿岸生態系グループ 主任研究員 山本敏博

- ・東京湾における底棲魚介類の資源変動と環境要因

国立研究開発法人国立環境研究所環境リスク研究センター生態系影響評価研究室

主任研究員 児玉圭太

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

ポスターセッション

- ・貝殻を利用した海辺の自然再生技術
：株式会社大本組，海洋建設株式会社，全国漁業協同組合連合会
- ・ファインバブル水発生装置を用いた貧酸素対策技術：株式会社ワイビーエム
- ・運河域の自然再生～大森ふるさとの浜辺公園～：五洋建設株式会社
- ・Hiビーズ（石炭灰造粒物）による海域環境の環境修復への取り組み：中国電力株式会社
- ・環境と共生するコンクリートブロック～ペルメックス・テトラネオ～：株式会社不動テトラ
- ・水辺再生の新素材 アミノ酸を混和した新しいコンクリート 環境活性コンクリート
：日建工学株式会社
- ・産卵場が判っても“親ウナギがいなければ子どもは増えない”天然ウナギ資源の保護再生デザイン 10～15年先の絶滅危惧種指定解除に向けて調査研究より方策の実行
：鹿島建設（株），（株）フタバコーケン，粕谷製網（株），九州大学
- ・地域に根差した協働組織による海域環境保全と活用事例 - ふるさとお台場の海をおもてなしの場に -
：お台場環境教育推進協議会（港区立お台場学園，港お台場学園 PTA，港区芝浦港南地区総合支所，東京都港湾局臨海開発部，国土交通省関東地方整備局東京港湾事務所，東京港埠頭株式会社，都漁連内湾釣漁協議会，木更津金田の浜活性化協議会，NPO 法人海辺つくり研究会）
- ・東京湾アサリ再生のため干潟底質改善を：生き生き東京湾研究会
- ・2020年オリンピック東京大会カヌースラローム競技場の見直し計画の再考と提言
：DEXTE-K
- ・NPO 法人 地球環境カレッジ（GEC）の取り組み
：特定非営利活動法人地球環境カレッジ（GEC）
- ・横須賀港 浅海域保全・再生事業（追浜地区）について：横須賀市港湾部港湾企画課
- ・東京湾ヴィーナプロジェクト：アジアの浅瀬と干潟を守る会
- ・みんなで学ぼう！東京湾の生き物のゆりかご「三番瀬」：浦安三番瀬を大切にする会
- ・復活！約50年ぶりの海水浴。ことしも葛西で海開き ～東京湾海水浴場復活プロジェクト～
：認定NPO法人ふるさと東京を考える実行委員会
- ・東京湾UMIプロジェクトの取組み：一般財団法人セブン-イレブン記念財団
- ・東京湾での青潮湧昇現象の観測：東京都市大学 田中陽二，宇野佳朗，軽部智章
- ・谷津干潟の環境変化特性に関する研究
：千葉工業大学工学部生命環境科学科水圏環境研究室
- ・海色の変化を利用した東京湾の水環境モニタリング技術の開発
：横浜国立大学大学院 都市イノベーション研究院 水環境研究室 JSPS 特別研究員（PD）
比嘉紘士

1. 開会あいさつ

国土技術政策総合研究所副所長 春日井康夫

本日はお集まり頂きまして誠にありがとうございます。また、日頃から国土技術政策総合研究所の研究業務にあたりまして、ご支援、ご協力を頂きます事を、この場を借りてお礼を申し上げます。本シンポジウムでございますけれども、西暦の2000年から第1回が開催され、今年で16回目ということでございます。東京湾の海



の環境を中心に、様々な観点から議論して頂くということで、東京湾の未来や、東京湾のより良い環境を考えていく議論を今までしてきて頂いたというところでございます。この横浜の赤レンガでの開催は昨年が初めてで、本年はこの場所で2回目の開催です。今年のテーマも昨年と同様に、東京湾の水環境に関する研究で

す。昔、東京湾も大阪湾も伊勢湾もそうですが、公害がひどい時には、非常に水環境が悪く、その後、下水道整備がすすみ、平成では窒素やリンが半分とか三分の一になって、非常に流入負荷が減っているわけですが、貧酸素水塊を例に例える通り、湾の水質はほとんど変わらないというか、かえって悪くなっているかもしれないというほど、いまだに悪いところがございます。また、水質だけでなく、水環境には様々な意義があり、生物、生態系、レジャー、水産業等様々な観点から東京湾の水環境については議論されるべきかと考えているところでございます。また、豊かな社会の実現に向けては、低炭素社会の実現や循環型社会の実現など、様々な観点が必要であるとともに、自然文化の次世代への継承や、防災と環境の連携を考える必要があると思っているところでございます。

このような様々な分野については、このシンポジウムの場を含めて、各種の場でご議論頂き、それらの英知を融合してその成果を未来につなげていくということができればと考えているところでございます。この東京湾の水環境を含めた海の再生については、その協議機関として、平成14年2月に東京湾再生推進会議が設置され、翌年の平成15年3月には東京湾再生の為の行動計画が策定されたわけでございます。また、この行動計画は10年の計画期間を、平成24年に終えたところでございまして、その取り組みを評価、統括しまして、2年前の平成25年には第2期の行動計画が新たに策定されたわけでございます。またあわせて東京湾の環境改善にむけた活動や、行動の輪を広げるために、行政、大学、研究機関、水産業、企業、レジャー、NPO等の東京湾再生に意欲をもつ、多様な関係者で構成される、東京湾再生官民連携フォーラムが平成25年11月に設立されております。明日の24日、東京湾再生官民連携フォーラムの第3回総会が、ここでまた、とり行われるということと、明日明後日の24日25日、こちらのパンフレットにございますように、東京湾大感謝祭が、この前の広場でとり行われるということでございまして、皆様もご家族誘って、ふるってご参加頂ければと思います。本日のシンポジウムでは、東京湾の成果として様々な議論が行われますが、このような議論の成果の反映は東京湾だけに限った話ではございません。2020年には東京オリンピック、パラリンピックがこの東京湾の最北部を中心に開催されます。これにより、臨海部、港湾、日本の海が注目され、これらの議論の成果を世界に発信していく絶好の好機と考えているところでございます。これらの成果が東京湾、ひいては日本全体の内湾の水環境の課題の解決につながる事を祈念いたしまして、本日の私の最初の挨拶とさせていただきます。本日は、ご参加頂きまして誠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

本日のシンポジウムの狙いについて、簡単に説明致します。先ほど、副所長からお話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立されました。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、10年間の計画期間を平成24年に終了しています。その取り組みを評価統括して、平成25年に第二期の行動計画が新たに策定されています。また、併せて東京湾再生官民連携フォーラムが平成25年に設立されています。



このフォーラムは、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の枠組みです。この枠組みは、行政、大学、水産関係、企業、レジャー、NPOなどの東京湾再生に意欲を持つ多様な関係者で構成されています。第二期の行動計画を作るにあたって、第一期の行動計画の反省を致しました。その反省の1つとして、指標を底層のDO濃度としていたため、各種事業およびNPO活動等を適切に評価できなかつたと言う反省がありました。そこで、第二期では、28項目からなる多様な指標を用いて、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しています。

また、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。この江戸前とは、東京湾全体で取れる新鮮な魚介類のことを指します。その結果、全体目標は、「快適に水遊びができ、江戸前をはじめ多くの生物が生息する、親しみやすく美しい海を取り戻し、首都圏にふさわしい東京湾を創出する」となりました。この「多くの生物が生息する」と言う点が、第一期から第二期への大きな課題の1つとなっています。自然再生の取り組みによって、水質は一時期に比べて改善しつつありますが、生物生息状況は“いまひとつ”です。この“いまひとつ”について、人によっては、「いやいや、“いまひとつ”どころじゃない。むしろ、生物生息に関しては悪くなっている。」と言う意見もあります。この生物生息を回復するにあたっては、私の考えとしては、生物の分野だけでは難しいと考えています。生物分野だけではなく、水質、水理、化学など、様々な分野の英知を総合的に集めて、複合的に解決していかなければならない課題だろうと考えています。

また、近年では沿岸域に対する多様な期待が高まっています。かつて、沿岸域は産業区域のように思われていて、人々は沿岸域に近づくことができませんでした。また、人々の意識としても、「沿岸域行きたくないな、怖いな」というイメージがあったかと思いますが、近年では、この会場がある「みなとみらい」に代表されるように、商業施設が沿岸域に隣接しています。また、「みなとみらい」もそうですし、お台場、汐留、多くの沿岸域において、高層マンションが建設され、沿岸域が徐々にはありますが、人々の日常生活の中に入り込んできていると思っています。その結果、沿岸域に多様な生態系サービスが益々期待されるようになっていきます。

水産物や水質浄化の観点だけではなく、“憩い”、“レジャー”、加えて地域社会の活力の維持向上として、“豊かな自然”、“文化”、“伝統”など、多様なサービスが期待されています。したがって、このような多様かつ複合的な課題を解決するためには、東京湾の水環境を話題に、多様な分野の研究者および環境に関心がある人が集まって交流する場が大切であると考えています。

そこで、多様な分野の研究者が発表するシンポジウムを企画致しました。このシンポジウムは、昨年度から引き続いて、第2弾となっています。今年は、さらにポスターセッションを新たに立ち上げました。さらに幅広い研究を、ポスターセッションを活用して発表して頂こうと思っています。

昨年度に引き続いて今年度も旬な研究話題を集めました。それらの話題から、今後の東京湾の水環境の展開に向けての解決策やヒントを、是非感じ取って頂ければ幸いです。

本シンポジウムは、2部構成になっており、1部は、「大気・陸域との繋がり」で、東京湾の水質についての全般的話題です。第2部は、「生物生息場」で、生物の生息状況や、生物生息場に求められているものは何だろうかという話題について発表して頂きます。第1部では、まず、東京都環境科学研究所の和波様、続いて、京都大学の藤原先生から、大腸菌や栄養塩に関して、陸域と海域の繋がりについて話題提供して頂きます。その後、横

浜国立大学の中村先生に、貧酸素水塊や青潮に関する研究の最新の話題を発表して頂きます。そして、港湾空港技術研究所の桑江様より、ブルーカーボンの試みについて話題提供して頂きます。

第2部では、まず、東京大学の佐々木先生と千葉県水産研究センターの石井様から、マコガレイを対象とした生き物生息場づくりPTの活動および、それに関連した研究について話題提供して頂きます。次に、当研究室の秋山研究官から、生物生息場の最適配置について、話題提供を致します。その後、水産総合研究センターの山本様より、東京湾のニホンウナギについて話題提供して頂きます。そして、国立環境研究所の児玉様より、東京湾の底生魚介類の資源変動等についての話題提供して頂きます。

第一部 陸域との繋がり，水質

東京湾に流入する雨天時越流水

公益財団法人東京都環境公社 東京都環境科学研究所 主任 和波一夫

今日は、東京湾が話題ですけれども、ここでは東京湾に流入する川を中心とした話をしたいと思います。次の講演の藤原先生のスライドにも出てくる衛星写真は、ランドサットの大雨後の東京湾です。ここで示すのは1986年の写真ですから、今から29年前の、だいぶ前のものです。藤原先生のスライドの衛星写真は確か2013年ですか、それと比べてあまり変わってない様子です。要するに、多摩川や荒川、江戸川の濁水の流入具合は現在もあまり変わってないなという感じがしたので、冒頭にそのスライドを出しました。

今回の内容は、東京都で実施した雨天時関係の調査について、1997年当時から昨年まで行った雨天時関係の調査を、時系列的に紹介したいと思います。実施した順に、野川、仙川、これらは多摩川の支川ですね。それから多摩川本川、目黒川、神田川、立会川・勝島運河、隅田川、東京港、お台場という順で、話していきます。

最初に、1997年ぐらいから始めた野川の雨天時調査です。どうやって行ったかという様子を写真で示すと、このように、川の中に圧力センサーと採水器を設置しまして、川の水位が上がったら自動的に河川水が採水器に入るようなことを、1年以上かけてやったわけです。

お手元の資料には写真が出てないですけど、スライドので写真で示す水位センサーというのは、圧力センサーのことです。写真の真ん中のもので、両側にあるのは採水器のホースのストレーナーです。

具体的な調査場所ですが、多摩川本川に田園調布堰という所があります。ここは、潮止めというか海水が入らないようにするための水道局の取水堰です。その傍に、丸子測定室がありました。これは東京都環境局が設置した水質自動測定室ですが、残念ながらもうそのときは稼働してなくて、揚水ポンプだけはまだ稼働できる状態でした。そこから水を汲み上げて、サービスタンクにこのようにサンプラーを複数設置して、毎日水を取っては雨の日に回収する、という方法で採水を行いました。先ほどスライドで紹介した野川と仙川については水位センサーを取り付けて採水を行いました。河川は季節ごとに定常の水位が変わってきますから、水位上昇設定値の微調整はその都度、季節ごとにやります。例えば水位が2センチ上がったから採水を開始しようというトリガーを設けて採水をするという方法です。こういった方法で、野川、仙川、それから多摩川の田園調布堰で調査を行いました。

写真で示すのは古いタイプのオートサンプラーですが、中の様子はこのようになっていて、1リッター瓶24本が入っています。これを回収するわけです。

測定結果については、野川、仙川、多摩川の3カ所、それぞれ特徴がありまして。野川については、BOD、COD共に、



東京湾に流入する雨天時越流水

公益財団法人 東京都環境公社
東京都環境科学研究所
和波 一夫

第16回東京湾シンポジウム～東京湾の水環境を改善する研究～ 日時 2016年10月29日(土) 13:00-17:00
■場所: 横浜国立大学東キャンパス国際センター16 ■主催: 国土技術政策総合研究所

1

大雨後の東京湾



気象庁データ
東京(大手町)
1986年8月4日185mm
8月5日29mm
八王子
1986年8月4日162mm
8月5日12mm
熊谷
1986年8月4日160.5mm
8月5日5.5mm

1986年8月6日 Landsat TM 5

2

雨天時関係の調査

- ・野川・仙川 1997年11月～1999年1月
- ・多摩川 1998年6月～1999年1月
- ・目黒川のスポット的採水 2007年10月9日
- ・神田川 2008年2月26日～27日
- ・立会川・勝島運河 2013年11月25日～26日
- ・隅田川～東京港、お台場の大陽菌調査
2014年9月30日, 10月7日, 10月23日

3

野川 雨天時用 採水器の設置

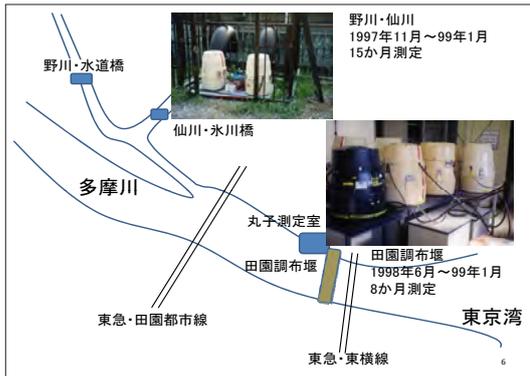


4

真中が水位センサー



5

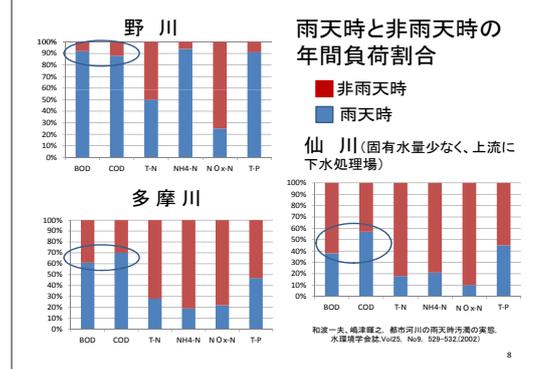


6

自動採水器の内部



7



8

かなり雨天時の年間の負荷の割合が大きいということが分かりました。野川上流には湧水群があり、1997年当時に若干は生活排水が流入していたとは思いますが、ほとんど下水道が普及した時代ですから、晴天時はそんなに濃度の高い排水は入ってきません。しかし、雨天時には相当の割合で負荷が川に入ってきます。一方、仙川については、もともと固有水量があまり多くなくて、上流に三鷹市の単独の下水処理場があって、晴天時も結構、流入負荷が大きい川です。ということで、仙川は、晴天時と雨天時を比べると、比較的、雨天時の負荷量が少ないなという感じがします。

最後に、支川が合流する大河川である多摩川については、BOD、COD 負荷の60～70%ぐらいが雨天時の負荷というのがその当時の計算結果でした。

これについては、水環境学会誌で、国交省の岡本さんが書かれた文章を一部引用させていただきました。これは全国規模の話ですけれども、合流式下水道では、年間通じて、公共用水域に放流されるBODの負荷のうち、約7割は雨天時の未処理水だったというふうな試算が出されています。先ほどのスライドに、ちょっと戻りますけれども、多摩川については60～70%ぐらいですから、結構似たような数値が出たかな、というふうに思いました。

続きましては、スポット的な調査の報告です。目黒川は都内の中小河川で、図は目黒川の雨天時の様子です。通常は左の写真のようにほとんど水の流れがなく、ここには下水の高度処理水を1日3万トンぐらい流していますが、それでも晴天時の状態は水量が少ない川です。ところが、大雨が降ると右の写真のようになります。実はこの地点の上流に下水の暗渠がありまして、そこから流れてくる、濁水。と言いながら、実際は雨水と下水が混ざった

雨天時負荷

- 国土交通省:合流式下水道では年間を通じて公共用水域に放流されるBOD汚濁負荷量のうち、約7割は雨天時の未処理放流水や簡易処理放流水によるものと試算

文献：岡本誠一郎、合流改善の基本方針と総合的な対策の推進、水環境学会誌、Vol.25、No.9、518-522(2002)。

9

目黒川 降雨時の様子

雨天時越流水が流入 → 水質・底質の悪化



降雨前

大雨時の濁水

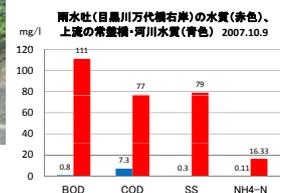
10

目黒川



目黒川 常盤橋付近の雨水吐
2007.9.11

東京(大手町)2007年9月11日
降水量55mm 1時間35mm 雷を伴う大雨



東京(大手町)前日降水量 2007年10月8日4.0mm
当日降水量 10月9日2.5mm

11

ような水ですね。これが、目黒川の水質悪化、底質悪化につながって、さらには、これが東京湾に流入するという問題となっています。

それで、その目黒川、このように雨が降ってですね、ドツと雨水吐から川の方に流れ出ます。目黒川の縦断調査したときに、このときは大した雨ではなく、降水量が前日 4 mm と当日 2.5 mm ぐらいで、そう強い雨ではないのですが、やはり雨水吐から水が出ていまして、それを採水した結果がこの赤い棒グラフです。一方、その上流の、まだ川がそんなに濁水で汚れてないときの河川水は、図の青い方の棒グラフです。データの的にはほぼ見えないぐらいの状態ですね。例えば、アンモニア性窒素なんか 0.1 mg/l ですから、川としてはそんなに汚い川ではないのですが、いったん雨が降ると、高い濃度の汚水（アンモニア性窒素 16 mg/l）が雨水吐から流入するということです。

神田川、これもスポット的調査です。JR御茶ノ水駅の前を流れている川です。これは船から撮った江戸川橋から中之橋付近の写真ですけど、このような3面コンクリート張りの川です。この川は、雨が降ると非常に水質が変わってしまうということがいわれていますので、ここを調査いたしました。

この雨水吐の図は、東京都下水道局のニュースに出ている写真です。晴天日は、乾ききった護岸が見えますが、いったん雨が降ると、このように濁水が神田川にどつと流れ込んでくるということです。

この地点を含む神田川の3地点で雨天時の調査を行いました。冬季の雨が少ない2月でしたが、降雨時に先ほどの雨水吐からの越流がありました。ここが雨水吐のある地点です。この江戸川橋と華水橋と中之橋の3カ所で調査員を張り付けて、手採水をしました。雨の始まる前から現場に張り付けて調査するという方法です。

時間がないので、その結果の一部しか紹介できませんが、図はアンモニア性窒素の時間変化です。雨が降り始めたのはこのあたりからで、この棒グラフは降雨量で、これは練馬のアメダスデータです。このように降り始めて、このあたりから、越流が始まりました。それで、先ほどの3カ所で、最初のスタート時点は10分間隔で、後半は少し間隔を空けますが、かなりの間隔で採水を行いました。その結果、アンモニア性窒素は急激に上昇することが分かります。これは1番下の橋（中之橋）のアンモニア性窒素で、他の地点と同じようなパターン変化ですけど、時間差があります。ここで雨がやみ、ある程度落ち着くと濃度変動があまりない状態で推移するということが分かりました。

アンモニア性窒素以外の項目も調査していますので、雨天時と晴天時の比を求めてみました。これは負荷量比です。棒グラフには非常に高い値と低い値があるので、図を2つに分けました。BOD、SSは晴天時に比べて断トツに高いというのが分かると思います。アンモニア性窒素も高い状態です。この神田川については、上流の方に落合と中野の下水処理場があって、晴天時は下水処

神田川 江戸川橋～中之橋付近



12

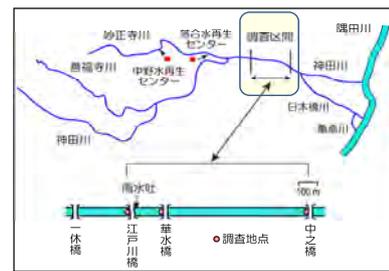


神田川
江戸川橋左岸の
雨水吐口

写真出典：東京都下水道局 ニュース東京の下水道 No202 (2006.7.8)

13

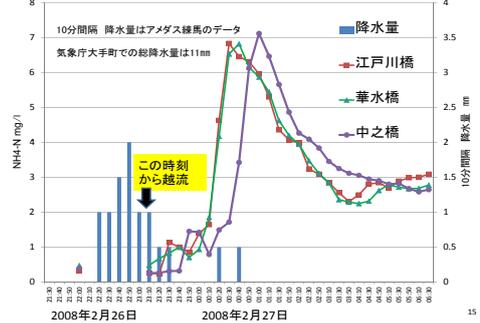
神田川 雨天時調査地点 2008年2月26日～27日



文献：安藤晴夫、和波一夫、石井真理奈、竹内健
雨天時調査結果について①
東京都環境科学研究所年報 121-125 (2010)

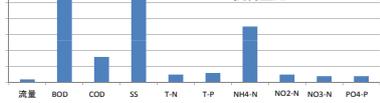
14

神田川 雨天時のアンモニア性窒素変化



15

神田川・中之橋 雨天時(2008年2月28日～27日)/晴天時 負荷量比



BOD SS NH4-N 除く 雨天時(2008年2月28日～27日)/晴天時 負荷量比



16

立会川・勝島運河 雨天時越流水の事態調査

調査日: 2013年11月25日~26日
先行晴天日数: 9日

調査地点: 立会川・勝島運河
①立会川・桜橋
②浜川ポンプ所前
③鮫洲橋

△: 降水量データ地点
都立八潮高校(東品川3丁目)
東京都立八潮高等学校「高度化計画推進による環境改善事業」による調査地点

文獻: 石井裕一・和波一夫・木瀬晴美・安藤晴夫
立会川・勝島運河の合流式下水道雨天時越流水の事態
東京都環境科学研究所年報 04-85(2014)

理水が河川水量の9割ぐらいを占めるような川で、その特徴が窒素類、栄養塩類関係の負荷量比で表れていると思います。

続きまして運河の調査です。勝島運河は京浜運河につながる小さな運河で、立会川が流入します。調査は2013年11月に行いました。この調査日の前は、ずっと雨が降ってなくて、比較的天候が安定したときでした。この調査日の深夜、急激に一時な雨が降りました。勝島運河には下水ポンプ場がありますが、調査地点については、ここ近くの立会川の上流、それから、京浜運河近くの鮫洲橋で調査を行いました。降水量については、近くの都立八潮高校で当研究所の方でデータを取っていましたので、それを降水量としました。

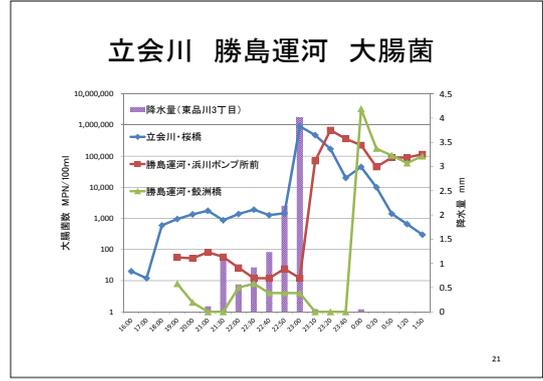
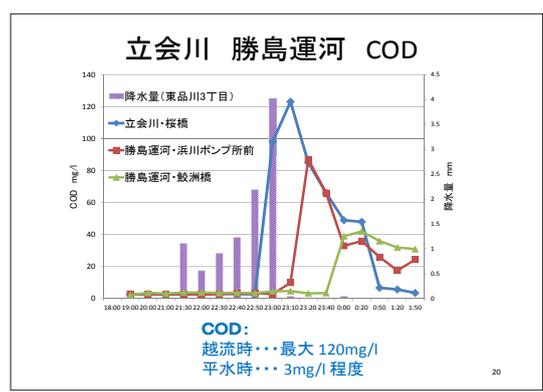
立会川も、目黒川と同様に、通常はほとんど水が流れていなくて、図では水が少し流れているように見えますけど、実はこれは、JR総武線快速の馬喰町駅地下の方から導水しています。JRの方で費用を掛けて、ここまで導水管で放流しています。地下水を下水道料金払って放流するよりも、河川に放流する方が長期的には安くなるという面もあって、環境面の保全と同時に、経済的な面で放流をしているわけです。この量は、そう多くはなく、一日1,600トンぐらいだったと思います。

この写真は越流前と越流直後ものですが、雨がいったん降ると、大きなゴム幕の先からドッと汚水が出てくるわけです。

このときのデータを、時系列的に見るとこのようになります。先ほどの神田川とちょっと似ていますが、雨が降って流出すると、COD 120 mg/l という高い値を示します。降雨終了後は、場所によって少しずつながら、希釈拡散しながらこのように水質が落ちていくというかたちになっています。非常に短時間で水質が変化するというパターンが、ここでも見られたと思います。

因みに大腸菌数については若干、経過的な落ち着き方が他の水質項目と違って、越流後ドッと高くなり、以降、少しずつゆっくり下がっていきませんが、高止まりになっているというような状態でした。

次は、比較的最近のデータ、2014年の秋ですから1年前の隅田川、お台場での調査です。隅田川の蔵前橋のあたりから、下流の東京港まで調査地点を設けて縦断調査を行いました。この9月30日、10月7日、10月23日は、降水量が特徴的に違いました。



隅田川・お台場調査

調査日
2014年9月30日
同年10月7日
同年10月23日

下げ潮時に調査

文獻: 和波一夫・石井裕一・安藤晴夫・木瀬晴美
隅田川から東京湾までの大腸菌数の変化
東京都環境科学研究所年報 32-33(2015)

文獻: 和波一夫・石井裕一・安藤晴夫・木瀬晴美
お台場における大腸菌数の経年分布密度の調査
東京都環境科学研究所年報 34-35(2015)

隅田川調査の様子



蔵前橋下流側 2014.10.7

調査は、このような船を使い、隅田川・蔵前橋から調査しました。橋の向こうに見えるのは東京スカイツリーです。

9月の調査日は、数日前から雨がまったく降っていません。10月7日の前3日間には、台風並みの総降水量270mmを超える大雨が降りました。10月23日については比較的まとまった降水量27mmで、これら降水量3パターン時のデータが取れました。隅田川から東京港までの塩分の変化を見ると、大雨が降ると、上流の方は淡水域になっていて下流に向かうにつれて塩分が少しずつ上がっていきます。

図は、隅田川、東京港の大腸菌数の縦断変化です。このように、雨が降ってないときは非常に低い値で、この両国橋では値がちよつと飛び出ていますが、これはすぐ横から神田川の水が入ってきますので、この影響と思われる。下流方向に行くとだんだん低くなって、東京港ではほとんど大腸菌数が検出しません。ところが、雨が降ると、このように東京港まで非常に高い値が出るということが分かりました。

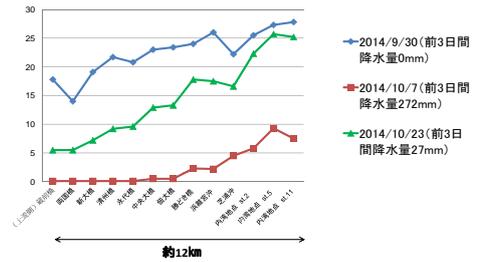
それから、大腸菌以外の衛生指標細菌としては腸球菌の測定を行いました。これは、若干、大腸菌とは違って、中程度の雨だと先ほどの大腸菌と別のパターンを示しましたが、でも非常に高い値です。雨が降ってないときはどの地点も低くて、ほとんど東京港では検出されないような状態でした。

この縦断調査ときに、お台場の中も調査を行いました。お台場については、先ほどご紹介があったように、2020年東京オリンピックのトライアスロンの水泳競技がここで行われることになっています。縦断調査と同じように、9月の降水量が少ないとき、10月の降水量が多いときの結果がこれです。

図を拡大しますけども、このように、雨が降らないときは大腸菌が非常に低い状態です。ところが、いったん雨が降ると非常に高い値となります。因みに、国際トライアスロン連合競技規則では、許容できる大腸菌数は250 CFU/100 ml 以下となっています。

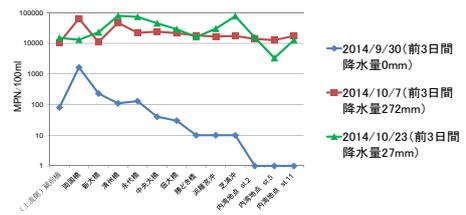
このように雨が降ると、流入負荷量も多いし、大腸菌等の濃度も高くなるということで、合流式下水道の改善が非常に重要になってきます。このスライドの文章は国交省のホームページからです。平成35年度までに大都市については対策の完了を義務付けるという下水道施行令になっています。この進捗率が今後の議論になってくるかなと思います。

表層水 塩分の縦断変化 隅田川～東京港



24

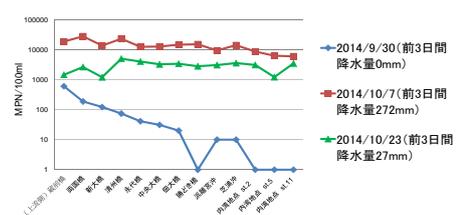
大腸菌数の縦断変化 隅田川～東京港



降雨時、東京港の大腸菌数の上昇

25

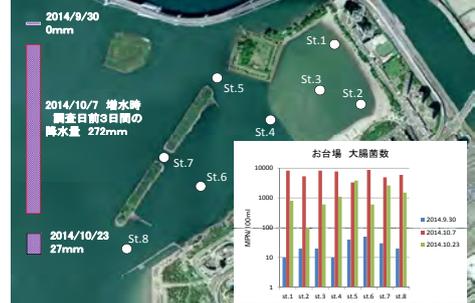
腸球菌数の縦断変化 隅田川～東京港



降雨時、東京港の腸球菌数の上昇

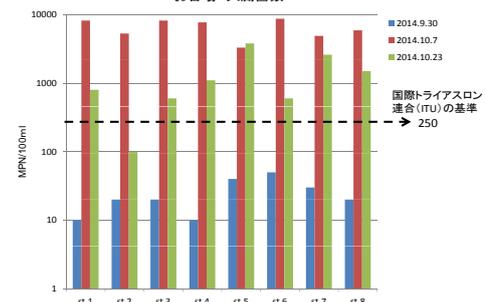
26

お台場 降雨後の大腸菌数



27

お台場 大腸菌数



28

以上、①東京湾に流入する多摩川については、COD 負荷は晴天時より雨天時の方が大きい。雨天時負荷は 60～70%と推定されます。②雨天時調査する場合は、非常に短時間で水質が変化するので、降り始めから越流するその最初のデータをうまく捉えないと、負荷量あるいは濃度変化を把握するのは難しいと思われます。③最後に、オリンピック会場となるお台場の水質改善には、雨天時汚濁水の流入抑制が必要だということで、3 点でまとめさせていただきました。

合流式下水道の改善

- 合流式下水道において、降雨時にし尿を含む未処理下水が放流されることによる水域汚染等が社会問題化
- 平成15年度には下水道法施行令を改正し、中小都市(170都市)25年度、**大都市(21都市)では平成35年度までに緊急改善対策の完了を義務付け**
- 「効率的な合流式下水道緊急改善計画の手引き(案)」を活用し、改善対策の低コスト化、スピリット21などの新技術の導入を図り、効率的・効果的に改善対策を推進し、法令で定められた期限内に確実に対策を完了(合流式下水道緊急改善事業)

国土交通省HP
<http://www.mlit.go.jp/crd/sewerage/sesaku/06cso.html>

29

まとめ

- 東京湾に流入する多摩川
COD負荷は晴天時より雨天時のほうが大きい
- 越流水質は短時間で変化する
- お台場の水質改善には、雨天時汚濁水の流入抑制が必要

30

私の方は、今日の発表では、公共用水域水質測定を表層 DO (溶存酸素濃度) と pH を用いて東京湾域の有機物がどこでつくられ、どこで分解されているかという話をしたいと思います。ここでいう有機物とは、先ほどお話がありましたような BOD、あるいは COD ということです。公共用水域水質測定という、一番古くから行われている水質調査で、生活環境項目として表層の DO と pH があります。COD、BOD もありますが、これらは非常に古くからデータがあるわけです。今の目で見ますと、えっ、何で「表層」DO なの? と思うでしょう。若い人が見ますと、これ下層の間違いじゃない? と疑問を抱くと思います。また pH についても、現在はほとんど注目されることがありません。私も最初そのように思ったわけです。ところが調べてみると、表層 DO は自然浄化の重要なファクターなのです。自然浄化というもの、水中の有機物を、バクテリアが酸素を取り込んで分解して CO₂ に変換する、いわゆる呼吸分解するというプロセスです。これが自然浄化の中の大きい部分を占めます。自然浄化を、人工的に狭い範囲で集中して行っているのが下水処理場です。河川等の自然浄化を測るために、河川水の取り込む酸素量を求めて、自然浄化量を定量的に測るということは、日本では明治時代から行われております。イギリスの論文等を見ますと、1920 年代に、もう酸素の取り込み量の測定が非常に詳しく、現代の目から見てもそのまま使えるような研究がなされております。ここでもういちど言いますが、有機物は酸化分解すると CO₂ になるし、無機態の窒素・リンも出てきます。これが栄養塩といわれる部分です。呼吸で出てくる CO₂ は水の中では酸性ですので、pH を下げることになります。ですから公共用水域の表層 DO と pH というのは、このプロセスを測るうえで非常に重要なパラメーターであり、これが非常に長い間測定されてきたということになります。

多摩川を例にして表層の DO 飽和度を描いてみました。横軸が年代で、1960 年代ぐらいからデータがあります。縦軸は年平均値の DO です。これ見ますと、表層が 1960 年代は 20% であり貧酸素化しているわけです。「多摩川は、昔は表層水が貧酸素化していたんだよ」という話をしても、なかなか信じてもらえません。私自身も不思議に思って、測定法等も見ましたが、DO の測定法はウィンクラー法で現在と変わりません。で、やはり実際に貧酸素化していただろうということになります。

それから、精度はあまり高くはないですが、pH データを使って表層水中の CO₂ 濃度を計算したものがこれです。pH とアルカリ度(塩分から計算) から CO₂ 濃度を計算することができます。大気中の CO₂ 濃度は 400 ppm ですが、昔は表層水中の CO₂ 濃度が、大気中の CO₂ 濃度よりも非常に高かったことが分かります。ですから昔の川は、たくさん酸素を取り込んで、水の中で自然浄化が行われて、大気に CO₂ をたくさん放出していたことが分かります。

多摩川だけですと心配ですので、荒川の方も見てみました。



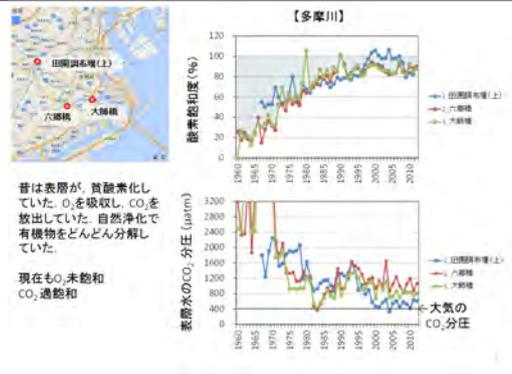
自然浄化と内部生産
自然浄化では、O₂ を取り込んで有機物を分解し、CO₂ と無機態窒素・リンに、内部生産では、無機態窒素・リンを使って有機物をつくり、O₂ を放出する。



表層 DO (溶存酸素) から、河川水の取り込み量 O₂ を求め、自然浄化力を定量的に測ることは、明治時代から行われてきた。
(例: 資源調査所) テキスト: 「自然の浄化機構」宗宮巧(編) 1990 (技報堂出版)

本発表では公共用水域水質測定を表層 DO 飽和度(%), pH を用いて有機物が、どこで作られ、どこで分解されているのか、分布を明らかにする。

CO₂ の吸収・放出の観点から 国際的には急速に研究が進んでいる。
REVIEW: The changing carbon cycle of the coastal ocean. doi:10.1038/nature12857
REVIEW: Anthropogenic perturbation of the carbon fluxes from land to ocean
nature geoscience DOI: 10.1038/NGEO1830



荒川でも、1960年代、この前のオリンピックがあったころですが、表層が貧酸素化していました。ですから、今は下水処理場が処理をしています、当時はその代わりに自然浄化が一生懸命やっていたということになります。現在もDOは100%より下ですから、下水処理場で分解できなかった部分を、今の川の部分がまだ頑張って浄化してくれているだろうと思います。

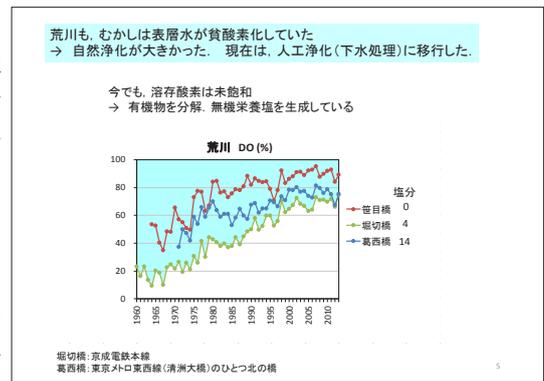
先ほど東京オリンピックの話ありましたが、第1回の東京オリンピックのころの話をラジオで聞いておられますと、倍賞千恵子さんの「下町の太陽」の歌をやっていました。私ももちろん覚えがありますから、面白いなと思って探してみたら、動画がYouTubeにありました。1960年代に撮影された映画がそのまま背景になっていて、その当時の町の様子とか、時代の雰囲気がよく分かります。場所が曳舟駅のところですから、多分隅田川だと思うんですけど、こういうふうにボートとか、カッターとか漕いでおります。このころの隅田川は表層貧酸素だったんだろうな〜、表層DO20%ぐらいの川でボートしていたんだろうな〜と、感慨深いものでした。

それでは現在はどうなっているか、現在の関東地方の河川と湖沼の表層DO飽和度をパーセントで計算しました。この絵にしたのは、パーセント飽和度から100を引いてバブルチャートにしています。青丸で10とありますと110%。白丸はマイナスですから、マイナス40で、DO飽和度は60%になります。これを見ますと、川の部分はほとんどの部分がDO100%以下です。現在も自然浄化を行っているだろう、特に自然浄化が著しいのは河床勾配の非常に緩いところ。明治時代に湿地帯であったようなところは、酸素を取り込んでいるところになっています。面白かったのは、酒沼(ヒヌマ)とか、手賀沼(テガヌマ)などの、今でもBODが高いところでは、DO飽和度は100%以上で、有機物・BODを水の中で作っていることが伺われることでした。

それで、この部分をもう少し拡張して、海の方までつないでみます。陸域の川はDOが100%より下で、運河の部分も100%以下になっていて、自然浄化を行っていると考えられます。ところがちよつと海に出ますと、酸素が100%以上になっています。年間平均DOが137%にもなっているの、有機物をどんどん作っているだろう、内部生産有機物を作っているだろうと考えられます。先ほど目黒川のところがありましたが、目黒川はマイナス33%ということで、DO飽和度では67%です。それから、隅田川の両国橋、今でもマイナス50%で、表層DO飽和度が50%です。今まであまり意識したことなかったんですけども、どんな川なのか、様子を見てみたいと思います。

このスライドは湾北部の拡大図ですが、次は湾口部まで示します。

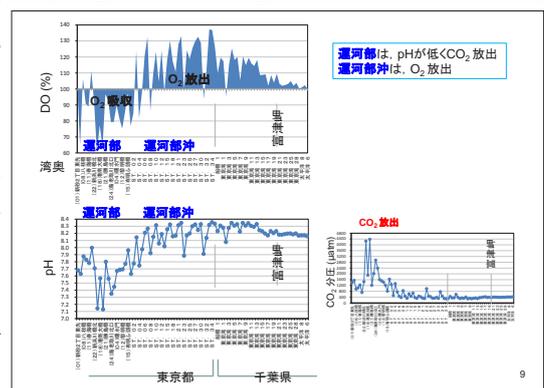
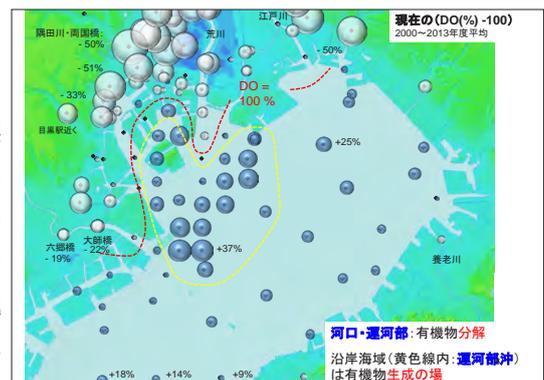
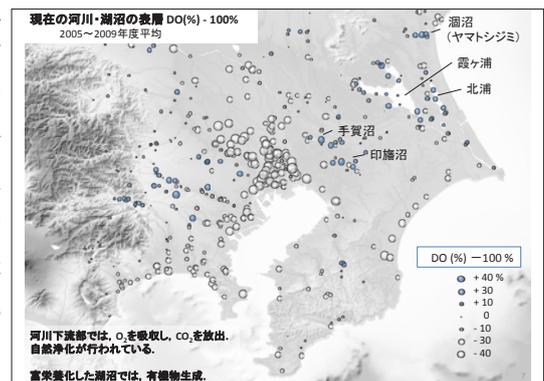
DO飽和度でみると、運河部は酸素を吸収し、自然浄化しているところ。運河部より沖では酸素を放出し、有機物を内部生産するところになっています。DO飽和度は、運河沖から富津岬を通過して、野島崎を回って外房の勝浦のところまで行くほど下がっています。同じ形でpHを描いてみますと、DO分布とよく対応しており、運河



1960年代の街と川、時代の雰囲気分かる。

『下町の太陽』(したまのたいよう)は1963年に松竹で制作された映画作品。1961年に主演の倍賞千恵子が題名と同タイトルの主題歌を歌い大ヒットとなったことから、東京都墨田区の京成線の京成曳舟駅および東武線の曳舟駅付近にあった資生堂の石鹸工場とその周辺が舞台となっている。

You Tube
倍賞千恵子「下町の太陽」オリジナルバージョン(動画と歌)
https://www.youtube.com/watch?v=9PjLeq6_G8



部の pH が非常に低く、運河沖で高い山になり、そこからまた緩やかに下がるという形になります。CO₂ 濃度を計算してみますと、運河部で CO₂ 濃度が高くなります。

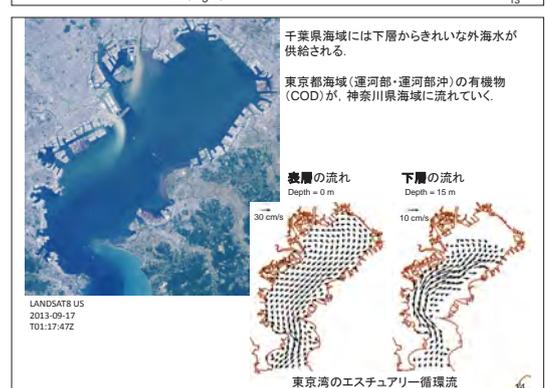
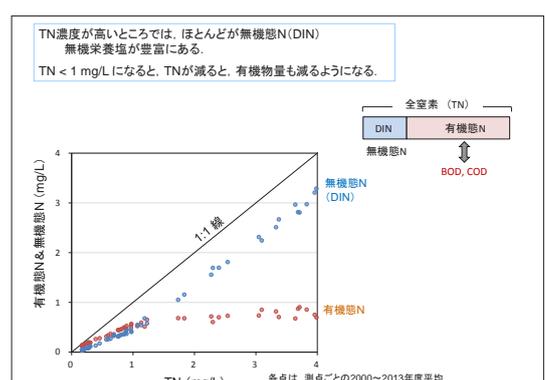
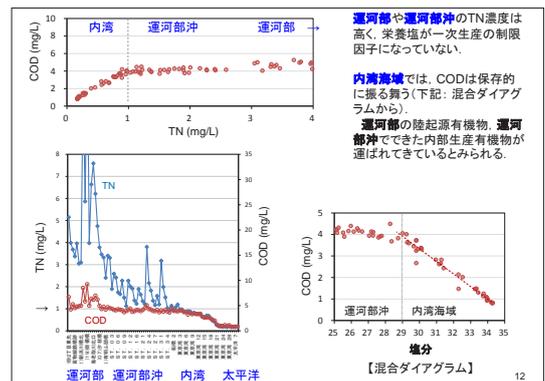
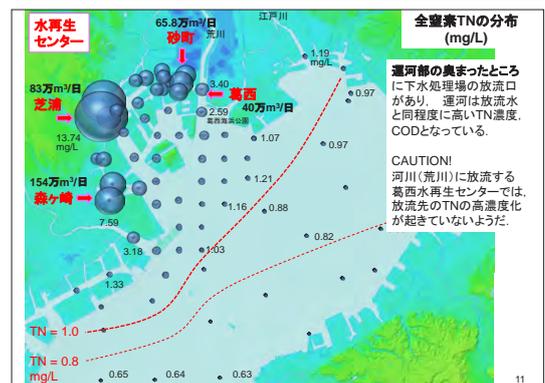
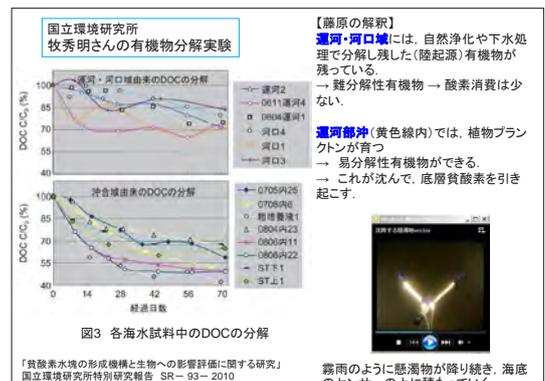
これは国立環境研究所の牧さんが行った東京湾奥部の有機物の分解実験です。運河部の水と運河部沖合の水を採って、有機物の分解実験を行って、難分解性の有機物がどのくらいあるのか調べた実験です。結論をいいますと、運河部の有機物はなかなか分解しない。つまり運河部は、自然浄化や下水処理場で分解された、分解が進んだ難分解性有機物が多く含まれています。一方、運河沖では、速やかに分解して酸素を消費していく易分解性有機物が多いのです。ですから、運河沖で有機物ができて、粒状態のものは沈んで貧酸素化を引き起こすということになっていると思います。運河沖の海底に設置した超音波流速計の動画を見ると、上から霧雨のようにプランクトンの死がいの懸濁物が降り続いて、このセンサーの上に積もっていくのがみられます。

この有機物量を減らすために、窒素、リン等の負荷量を減らしてきました。現在の全窒素の分布を見てみますと、運河部では依然として高濃度になっております。特に、水再生センターがある運河の部分では、運河の全窒素濃度が、処理場の放流水の全窒素濃度とほとんど同じくらい高濃度になっております。今後の参考になると思うのは、葛西の処理センターです。ここでは荒川の流れの中に放流しておりますが、高濃度域ができずに、速やかに沖合に運ばれて希釈される形になっています。

運河部から運河沖合、内湾、太平洋に向かう測線で、全窒素と COD をひとつのグラフ（左下図）に描きますと、湾の奥は、全窒素濃度が非常に高いですけども、COD は一定値になって飽和しています。窒素については、全窒素と無機態窒素が測定されていますので、これを引算しますと有機態窒素量を求めることができます。

これは、そのようにして求めた全窒素と有機態窒素の関係、全窒素と無機態窒素の関係です。全窒素濃度が 1 mg/l を超えると、有機態窒素濃度は飽和してしまいます。

次に、東京湾の流れを示します。表層の流れは、運河部沖でできた有機物が東京湾南西部に流されていく形になっています。東京都環境科学研究所の安藤さんの解析で、千葉県側の COD、水質は改善傾向が見られるけれども、神奈川県側はなかなか改善が見られないという話がありました。この流れを見るとよく分かります。表層は、運河沖の東京湾北西部から、岸に沿って南下して流れています。逆に、水深 10 m より下には、外海のきれいな海水がエスチュアリー循環流で入ってきて、千葉市沖で湧昇します。ちょうどここ横浜の沖合、すぐ目の前のところには、海底谷があるので、外海の水が 10 cm/s という速い流れで入ってきて、それが千葉県側で広がるという形になっております。ですから、千葉県側は水質が改善されてきたのに対して、神奈川県側には湾北西部から有機物が運ばれてくるので、なかなか水質が改善されないのだろうと考えられます。



まとめますと、河川や運河部では陸起源有機物が分解されている、運河部沖で内部生産有機物ができ、これが湾内に広がるので海域のCODはなかなか減らないと考えられます。

【まとめ】

1. 河川や運河部では、陸起源有機物が分解される。陸分解有機物が残る。
2. 1 運河部沖では、上記でできた無機栄養塩に、下水処理場の無機栄養塩が加わり高濃度になっている。一次生産は、栄養塩制限を受けていない。
2. 2 ここでできた有機物が沈降し、新生堆積物となって、底層貧酸素を起こす。
3. 内湾海域には、運河部沖でできた有機物(COD)が(保存的に)流されてくる。上記2.1により、TN負荷量を減らしても内湾海域のCODはなかなか減らない。
4. TN濃度の高さが生物生息の障害になっているか検討が必要。
河口・運河部・運河部沖は低塩分
その場の塩分にあった生物種と、その生物種にあった住み場所のマッチングが必要。

東京湾における貧酸素・青潮影響を軽減するための共同研究

横浜国立大学大学院 教授 中村由行

共同研究というタイトルになっていますが、これは、環境省の環境研究総合推進費という研究費がありまして、この研究費のもとで、昨年度から3カ年の計画で始まった研究です。長つたらしい名前にはなっておりますけれども、貧酸素水塊と青潮、これは従来から東京湾の三大疾患であった、赤潮・貧酸素水塊・青潮、これがあるんだけど、その自然のメカニズムに関する研究、その他、研究例は多いんだけど、じゃあ、これにどうやって対処するのか。例えば、青潮がきて、生物がたくさん死にました。あたかも自然の災害が起こって、そのまま通り過ぎるのを待つ、というのに等しいような、有効な対策が取られないまま、現代に至ってという意識がありまして、それに対して、なんとか対策ができないかと考えまして応募したところ、採択に至ったということです。

昨年度から始まってプロジェクトでありますので、まだ1年半経過したところで、まだまだ成果は一部ではありますけれども、この機会を利用させていただきまして、その一部の成果ではあります。ご紹介させていただきたいと考えております。参加していただいている研究機関は、私どもの横浜国大の他に、ここにあるような研究機関で、本日はこの後のセッション2で、国立環境研究所からは児玉さん、東京大学からは佐々木先生がご講演になると思いません。お2人も含めたこういった機関で共同研究をしております。

研究の背景は先ほど申し上げました通りでして、今まで有効な対策がない、青潮・貧酸素水塊に対して、なんとか有効な手が打てないか、ということ、できればモデルを使って、いくつかの対策を評価をして、例えば東京湾に対してはこういう組み合わせで対策を打てばこれぐらい効果が上がるだろうというようなメニューと、その効果の具合を予測しようというものであります。

研究の対象は、東京湾だけではなくて、このプロジェクトの中では、東京湾と三河湾も併せてやっておりますけれども、本日は時間の関係もありますので、東京湾の例をご紹介します。そのとき、最終的なゴールは今申し上げた通りですが、例えば青潮をとってみても、分からないことだらけであります。例えば青潮の中には硫黄が含まれているが、硫黄はどこから来たのか。それが、生物に被害を及ぼしてるんだけど、酸素がないから被害があるのか、硫化水素があるから被害があるのかということすらも、実はよく分かってないところがあります。そういった発生源から生物の被害がでるといような、一連のプロセスをしっかりと把握した上で、取り得る対策のメニューをきちんと挙げて、それぞれの対策の効果の定量化を行う。さらにこの2つの内湾で対策、有効指標の組み合わせとしてどういうものがあるか。その効果としてはどうか、というものを検討したいというものであります。

5つの研究機関が参画をしております、愛知県水産試験場は三河湾をもっぱらお願いしておりますけれども、あとは東京大学、国立環境研究所、港湾空港技術研究所、それからわれわれ、と、



環境省環境研究総合推進費
「人工構造物に囲まれた内湾の干潟・藻場生態系に対する貧酸素・青潮影響の軽減策の提案」

研究期間：平成26年度～28年度

横浜国立大学
港湾空港技術研究所
愛知県水産試験場
国立環境研究所
東京大学

平成26年8月28日千葉港で観測された青潮

研究の背景

- ＜社会的背景＞ 東京湾奥部や三河湾東部海域には、「人工構造物に囲まれた」三番瀬・谷津干潟や六条潟などの貴重な干潟・藻場や浅海域が存在し、開発が進んだ現在でも水産有用種や野鳥などの高次の生物生産を支え、さまざまな生態系サービスをもたらしている。このような干潟・藻場生態系にとって、現在最も大きな脅威となっているのは貧酸素水塊や青潮の来襲である。
- 例えば三河湾東部海域ではここ5年間で3回大規模な青潮が発生し、三河湾全体のアサリ生産を支えている六条潟でのアサリ稚貝の2,000～5,000もの死亡が生じている。また、東京湾においても2012年9月末に大規模な青潮が発生し、甚大な漁業被害や悪臭被害が報じられるなど、その対策の検討は急務である。
- しかしながら特に青潮は貧酸素水塊の湧昇現象であり、気象擾乱によって突発的に生じ、しかもしばしば大規模であるため、周辺の関連研究は多いもののその予測技術の進展は遅れ、生物被害を抑制するための実効ある有効な対策はなされていない。

研究の目的

- 本研究では、「人工構造物に囲まれた」干潟・藻場生態系への貧酸素・青潮影響を軽減するため、
 - (1) 主要な発生源と、生物被害をもたらす一連の過程を観測と室内実験により特定し、
 - (2) 発生源対策とともに、干潟・浅海域での青潮回避策を提案し、
 - (3) 具体的な諸対策効果の定量化を行い、
 - (4) さらに、東京湾や三河湾での水環境再生にとって有効な手法の組み合わせを提案することを目的とする。

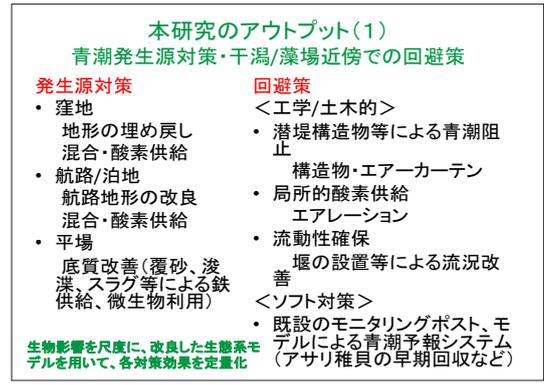
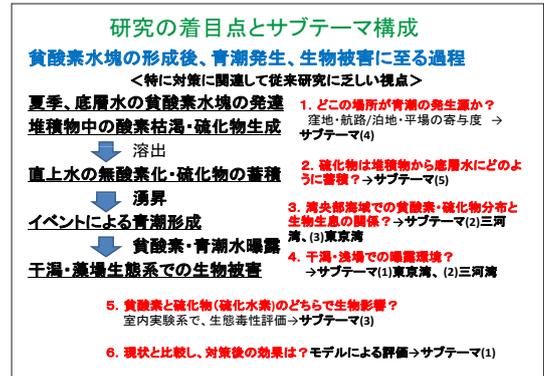
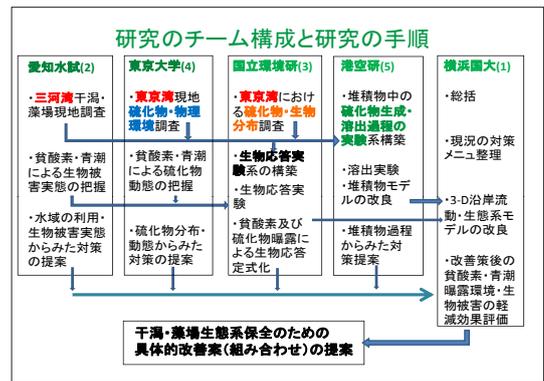
こちらの方では東京湾の改善に資するような提案をしたいと考えております。それぞれの細かい研究の内容については、あまりご紹介できる余裕がないんですけれども、それぞれの持ち場の成果を持ち寄って、最終的な提案に結び付けたいと考えています。

これは先ほどご紹介した一連のプロセスを、もう少し細かく書いております。昔は、藤原先生のお話ですと、表層でも貧酸素があったということですが、われわれは、底層での貧酸素化ということに着目していて、さらにその程度が悪くなりますと、酸素がなくなる無酸素化まで到達します。そうすると、硫化物が出てくる。底泥直上水に無酸素、それから硫化物の蓄積が見られる。それがなんらかの気象条件の影響を受けて湧きあがってきて、青潮に至ると。そういった硫化物、あるいは硫黄を含んだ水、あるいは酸素のない水にさらされるとということで、生物の被害が生じるということです。それぞれのプロセスを書いてみても、例えばどこでこういった硫化物が生まれたものが、湧昇して青潮になっているのかというような起源の問題。それから、こういった溶出と単純に書いておりますけれども、泥から生まれるのか、水の中で硫化物が生まれるのか、どっちが多いのか。それによって対策が変わってきます。最終的には生物の被害が生じるときに、酸素の影響で生物がやられているのか、硫化水素が多少ともあって生物に影響があるのか、ということもよく分かりません。

最終的なメニューの案として、例えば発生源の貧酸素になったり、硫化物が蓄積しているその場所で対策をするなら、どういふことがあるか。例えば、くぼ地、東京湾にたくさんのくぼ地がありますけれども、くぼ地の中で生まれる。それ以外に航路、人工的に掘った航路もあるでしょう。こういうものがないところでも、われわれは平場と呼んでますけれども、こういうところでも貧酸素か、無酸素化が生じている。それぞれに対して、考えられるメニューはちよつとずつ違うと思います。それと共に、これは回避策と呼んでおりますけれども、例えば青潮が出た後でもいろんな組み合わせで、それを少しでも生物の影響を押さえるような工夫ができるんじゃないか、というような。

これは一例として、メニューの案を示しているところですけど、こういうものが考えられます。例えば三番瀬の中に、いろいろ対策のメニューを持ち込んで、総体として仮にこのくぼ地、あるいはこの周辺から青潮が襲来しても被害を最小限に食い止めるような総合的なメニューができないか、と。これが目指す方向性です。

前置きが長くなりましたけど、残りの時間でここまでの研究成果の一端をご紹介したいと思います。ただ、時間がほんとに限られておりますので、本日は横浜国立大学の中で取りくんできた研究成果のみをご紹介させていただきたいと思っております。他の機関でそれぞれの成果がもちろん上がってるわけですが、それはお手持の資料には載せておりますので、ご関心のある方は、そちらを併せてご覧いただければと思います。この写真は今年、われわれがちょうど青潮が出たタイミングで観測をしている様子でありま



す。われわれのミッションとしては、生態系モデルを使って、先ほど、三番瀬の例がありましたけれども、青潮インパクトがあったときに、あのような対策メニューを提案するというところでありますけれども、そのためには、きちんとしたモデルを作らなきゃいけません。モデルの検証データも、実は、先ほどの青潮が出ているようなところの検証データというのは、極めて限られているということがあります。

モデルを作るときに、例えば青潮の現象を考えてみると、青潮ができるときには、その前に、無酸素の水塊があって、硫化物が蓄積する。このとき、生物への毒性については、硫化水素が非常に強いと言われておりますので、トータルの硫化物と硫化水素を区別する必要があります。さらにそれが、酸化されて単体の硫黄になる。それがさらに酸化されると硫酸になるという、それぞれのプロセスがあります。硫化水素については、生物の毒性がもっとも強い。一方、われわれが着目している現象として、青潮として認識しているのは、ほとんどが単体の硫黄が蓄積した状況であります。こういった反応プロセス、実は今までの青潮を再現した、いろんなモデルが提案されてはいるんですけども、こういったプロセスを正確にモデル化した例はないと思います。モデルを検証するためには、まず青潮が起こったタイミングで、きちんと観測しましょう、何がどういうタイミングで、どのぐらい存在量があるのか、ということであります。青潮が出そうな場所で、青潮を確実にキャッチしないとイケないということがありますので、これは、昨年度と今年度、継続してやっておりますけれども、岸壁調査と呼んでいる調査と、船上観測という2つの調査を組み合わせることで、観測することに致しました。岸壁調査とわれわれが呼んでおりますのは、岸から水があるところまで近づくことができる場所、ここでは3か所設定しておりますけれども、この3点でできる限り毎日調査に行く。今年は毎日3週間近く続けて調査を行いました。

それと併せて船の調査を、図には沖の点がいくつかありますけれども、こういう点で調査をする、と。船の場合に問題点がありますのは、青潮が出た、じゃあ、すぐ出るか、といっても備船のタイミングの問題もありますので、なかなか迅速に調査をすることができない。どうしても、たまたま行きあたるかどうか、という問題があります。そこで船の調査と、岸壁の調査を組み合わせただけです。

今日は、昨年の例、この船の調査の中の、千葉本航路沿いの結果と、それからステーション1という岸壁で調査をした結果の組み合わせをご紹介します。ちょうど青潮が出たタイミングで、ステーション1、その前後の水質を連続的に毎日測定していました。また、運よくC1からC6に向けての航路沿いで、青潮が出る2日前の様子も観測することができました。

それぞれの図が小さくて申し訳ありませんけれども、左の図が岸壁から調査をした結果で、8月18日から9月5日まで調査を、連続的に、岸壁からセンサーをおろして水質を測ったという例であります。これは表層の水質の例でありますけど、背景に青みがかかった背景をつけている部分は青潮が目視で観測された期間です。青潮が出ていないときには、普通の水の色をしておりますけれども、青潮が出たときには、青白っぽい色に変わっている。青白く変わったタイミングはこうしております。青潮現象は、もともと海水の深いところにあった水温の冷たい塩分の濃い酸素のほ

**サブテーマ(1)横浜国立大
生態系モデルの改良とモデルによる現地地形及び保全策後の変化解析**

- H26: 可能な対策メニューの整理
3D生態系モデルの改良
モデル検証データ: 青潮観測
- H27: 現地地形による貧酸素・青潮再現計算
(モデルの検証)
- H28: 保全策後の青潮インパクトの変化解析
有効な対策メニューの提案

3D生態系モデルによる解析

既存のモデル

- 3次元生態系モデル(伊勢・三河湾+東京湾対象のモデル)(横国大+港空研が開発済み)

モデルを改良すべき点

- 改良点1: 硫化物(硫化水素の区分)→単体硫黄→硫酸への酸化反応過程
- 生物毒性 → 青潮現象の再現
- 改良点2: 空間分解能(干潟・構造物周辺のメッシュサイズ、サイズの異なる領域の連結)での青潮発生時の面的モニタリングと計算モデルの改良
- 改良点3: アサリ等底生生物の死亡(低酸素+硫化物濃度の関数形)

サブテーマ3の成果を取り入れ(H28年度)

- 改良点4: 水・堆積物界面近傍の硫化物蓄積過程(主として反応速度パラメータ); サブテーマ5の成果を取り入れ(H28年度)

保全策有り無しでの青潮インパクトの変化解析(H28年度予定)

- アサリ: モデルで個体群(資源量)の変動を直接解く
- アサリ以外の高次生物: モデルでは、死亡に影響を与える環境因子(DO、硫化物濃度、水温、塩分)を解く、その時空間情報+室内実験(ほか)結果を組み合わせ、資源量の変化を推定

ア. 東京湾での青潮水曝露環境調査

観測方法

- ▶ 青潮発生の前後で観測(2014年8月から10月)
- 岸壁観測 毎週3回、計15回の水質調査 (●計3点) 8月28日青潮発生
- 船上観測 1-2週間おき、計4回の水質調査 (●計16点) 時の千葉本港内

本日の発表対象: 青潮が観測されたSta.1及び千葉本航路での船上観測

ア. 東京湾での青潮水曝露環境調査

観測結果 岸壁観測と船上観測結果の比較

千葉港での観測例

船上観測 鉛直水質データ

青潮発生直前(8月24日) 千葉航路 C1ライン 鉛直分布

青潮形成時に観測された高濁度(=硫黄粒子)は、青潮前に航路中・底層水中にも存在

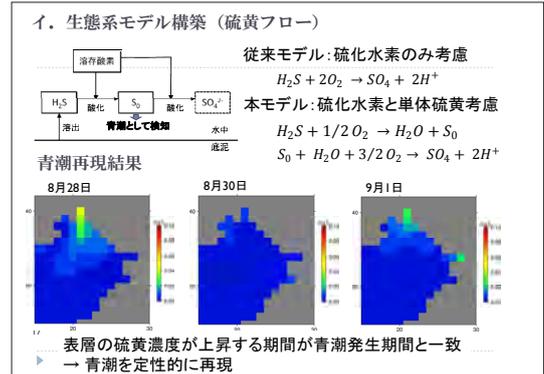
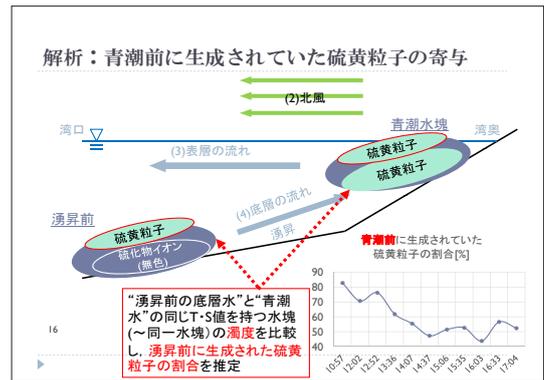
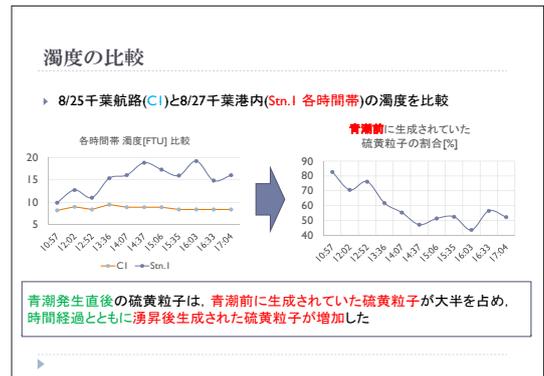
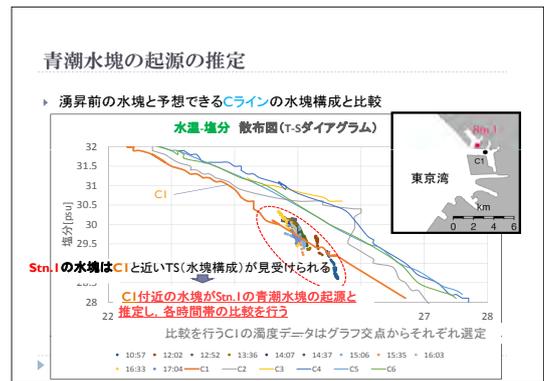
青潮が観測されたSta.1及び千葉本航路での船上観測

とんどない水が上がってきておりますので、まさに青潮が認められた、こういう色になったタイミングで、こういった酸素のない等の性質を持つ水がやっぱり観測されているということです。我々がさらに注目したのは、濁度のデータです。青潮、これは硫黄の粒子がたくさん析出して、それが太陽光に当たって散乱して濁って見える、ということでもありますので、確かに濁度を測ってみると非常に高い濁度です。例えば赤潮のときに測った濁度のレベルよりもはるかに高いレベルの濁度の値として検知されます。こういうことが、分かりました。この青潮が出た2日前にこの航路沿いで観測をしていました。そのときの、一番航路の奥まったところと、航路の沖側の、それぞれの鉛直方向の水質の分布をここに並べております。左側が航路の一番奥まったところ、それから、右側が航路の一番沖側の、それぞれ水温、塩分、DOの分布でありまして、例えばこのC1という航路の一番港の奥のデータを見ますと、DOが水深10メートル近いところで0になっております。このちょうど酸素があるところとないところの堺目の所で、濁度の値がこのように非常に高い値を取っております。この性質は実は航路の一番沖側の場所でも同じような特徴がありまして、ちょうど無酸素と酸素のある水の境目の所で、濁度の上昇が起きる。この濁度の値、レベルそのものはこちらの岸壁で見た青潮が出ているときの濁度のレベルに非常に近いものでした。こういうことを考えますと、この濁度がどこから来たのか、青潮の元になっている硫黄の粒子がもともとあったのではないかと考えました。

これは若干解析としては専門的になりますけれども、塩分を縦軸に、水温を横軸にとりまして、TSダイアグラムと呼んでおりますけれども、このダイアグラム上の水質の性格を比較しますと、水がどこから来てどこに移動したかということが、おおよそ見当がつきます。青潮が陸上で観測されたもの、TSダイアグラム、それがこの辺の赤い枠の中に入っております。時系列上に変化しておりますけれども、それとこのC1で青潮が出る2日前のTSダイアグラム値を重ねますと、交点がありますので、もともと航路の中の深めのところにあった水が、ステーション1の場所に移動したんだということが推定できる。

それぞれの場所の濁度の値の時系列を見ますと、この比率を取ると岸壁で観測された濁度の起源として、もともと航路の中に準備されていた濁度の割合が推定できまして、少なくとも、青潮が出始めた数時間ぐらいのうちでは、7割、8割を超えるような値になっておりました。ここから言えることは、青潮発生直後の濁度成分としては、青く見えている硫黄粒子が大部分だと思っておりますけれども、青潮前に海の中で生成されていた硫黄粒子がその大半を占めている、と。ただ、時間がたってきますと、その割合はだいぶ減ってきますので、時間経過とともに、硫黄粒子は湧昇後に湧きあがった後に増加したのだらうと考えます。

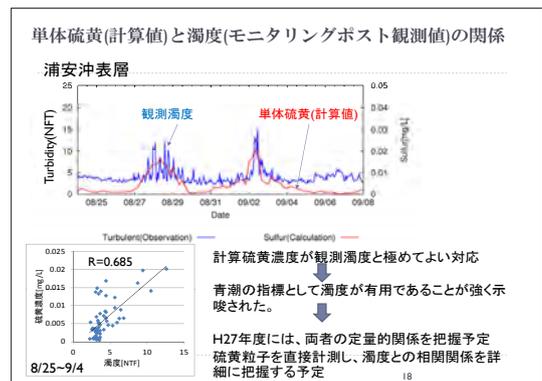
これまでの青潮の形成のメカニズムは、もともと深いところに硫化物があって、それが物理的に湧きあがってくる過程で、あるいは湧きあがってきた後になって、酸素と反応して硫黄粒子ができるというものでありましたけれども、もちろんそのプロセスもありますけれども、もともとあった硫黄粒子がそのまま運ばれている、というプロセスも非常に重要だらうと考えました。



我々はまだこの観測の段階で硫黄粒子がほんとうに濁度として検知できているのかということには分かりませんでした。とにかくこういった情報を元にして、生態系のモデルを使って、観測された濁度の変化、あるいは青潮の再現ができるかということモデルで検証しました。モデルは先ほど申しましたように、硫化水素の後、硫黄ができてから、さらに酸化される、と。このプロセスを初めて入れております。モデルの計算のアウトプットの一例ですけれども、時間経過とともに、この着色した場所が、硫黄として計算の結果出てきた、というものであります。

非常におもしろいのは、いくつかの観測ポイントが、連続モニタリングポストとして東京湾の中にありますけれども、この青い線で示したものが青潮が観測された前後で、浦安沖の観測ポストでの濁度の時系列です。我々の計算の結果として、単体硫黄の計算のアウトプットが、この赤い時系列の変化です。これを見ていただきますと、なるほど、観測の濁度というものが単体硫黄を反映しているんだろうなということが、よく理解できるのではないかと思います。

これまでの我々の成果をまとめますと、湧昇する前に、実は結構硫黄粒子ができていて、それが単純に湧昇することで青潮として認知できる、そういう場合も非常に多いのだろうなということ。それからもう1つ、硫黄粒子は分析するのが大変でした。しかしながら、現場観測で濁度というのは、普通のセンサーとしていろんな場所で測っています。濁度計でこういった硫黄粒子が容易にリアルタイムで計測できるということが、かなり確からしいと考えております。現在のところ、本当にそうなのかを実際に硫黄粒子も化学分析をしながら、この濁度と硫黄粒子の関係を、一生懸命追跡しているところであります。ちょうど我々の成果をご紹介したところで時間になりました。この我々の研究グループ、横浜国大以外のグループの研究成果につきましては、本日は時間の関係でご紹介できませんので、資料の方でご確認いただきまして、またご質問があればお受けしたいと思います。



- これまでの横浜国大グループの成果
- (1) 従来考えられてきた青潮の機構を修正すべき、重要な科学的知見を取得した
 - ▶ これまで、底層無酸素水中に含まれる硫化物が、物理的な湧昇後あるいは湧昇の過程で酸化されて硫黄粒子が生じ、青潮という着色現象が生じるものとされてきた。しかしながら、H26年度現地調査により、すでに湧昇以前に硫黄粒子は中・底層水中に高濃度に蓄積されていることが強く示唆された。
 - (2) 青潮原因物質であるイオウ粒子濃度の指標として、濁度が有効である
 - ▶ 本研究により、現場観測に広く利用されている濁度計によって、硫黄粒子が容易にリアルタイム計測できることが示された。その結果、今後飛躍的にその動態(酸化速度など)に関する知見が広がり、現場水中での正確な硫化水素曝露環境の把握、及び生物影響評価が可能になると期待される。

東京湾におけるブルーカーボン研究

国立研究開発法人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

チームリーダー 桑江朝比呂

本日は、特に後半の方で前半、3人の方々からお話がありました研究内容に非常に関連した内容を本日までご紹介したいと思います。

私が本日お話しする内容は、ブルーカーボンということなんですけれども、このブルーカーボンというのは、海に存在する炭素の総称になっていまして、新しい言葉が2009年にできたわけです。このブルーカーボンレポートでは、狭い、浅い海で海底中に蓄積する炭素の量というのが外洋とか大陸棚とかと比較しても非常に多いといった内容なんです。ですから、堆積物中にたまっている炭素が非常に地球温暖化とか気候変動を緩和する上で重要な役割を持っているといったこととなります。ただ、皆さんご承知のように、大気中のCO₂というのは海洋で吸収されているといった話があるんですけども、浅い海で実際にその場で大気中のCO₂が吸収されているか、もしくは放出するかということについてはあまり知られておりませんでした。

何でこんな浅い場所で非常に多くの炭素が貯留されるかといったようなメカニズムを考えます。おそらく1つは、浅い海というのは河川から豊富な栄養が流れてきて、それに応じて植物が非常に活性の高い状態に保たれること。また、例えば浅い海なので、アマモに代表されるような海草が生えている場合には、地下茎が非常に発達して、地下茎が堆積物中にたまっていくような過程もたぶんあり、そういったところでより多くの炭素が貯留されること。あとは、堆積物中に一度有機物が入りますと、非常にすぐ下の方は無酸素状態になりますので、たまった炭素がそう簡単には分解されず、そのまま残り続けるだろうといったようなプロセスもあるかと思えます。また、海草は流動の抵抗体としての働きを持ちますので、懸濁有機物が来た場合には、より効率的にトラップされて、より多くの粒子や有機物を下に送ることができます。降り積もった有機物が、今度は河川から同時に来る無機物の土砂と一緒に混ざって、分解される前にどんどん積もって行って、それで酸素に触れずに残ります。こういったいろいろな過程がおそらく浅い海で炭素を貯留するメカニズムであると言われております。

先ほど2009年の時点では、こういった浅い海が大気中のCO₂の吸収になっているか、放出になっているかということについては報告されていなかったんですけども、その後、2012年に、世界のこういった浅い海でどのような収支になっているかというレビューが出ました。それを見ると、実は残念なことに、こういった浅い海では大気中のCO₂の放出源だという報告がほとんどでした。特に先ほど藤原先生からご紹介がありましたけれども、河川から流れてくる淡水域はほとんど放出の傾向になります。塩分が低い水はほとんど放出です。同じ内湾でも、湾口に近づいてきて塩分が高くなれば若干吸収しているような報告事例もありますけれども、トータルで見れば圧倒的に、大気中のCO₂に対しては放出源になっ



研究の背景

国連環境計画 (UNEP) によるブルーカーボンレポート (2009年10月)

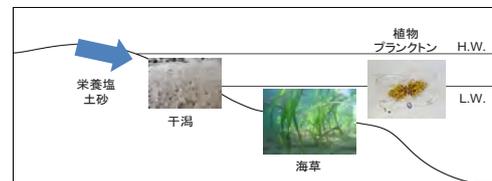


- ◆ ブルーカーボン: 海に存在する炭素の総称
- ◆ 浅海域 (海洋全体の<1%) の海底で蓄積されるブルーカーボンの量は、海洋全体の50%以上。しかし大気との関係は不明

沿岸海域の重要性: 海底に炭素を蓄積する

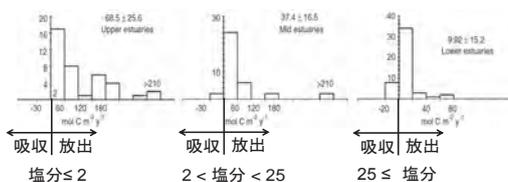
ブルーカーボン蓄積速度が速い理由

- ◆ 浅海域の植物は高密度・高活性・地下茎発達
- ◆ 枯死後、一部未分解のまま堆積物中に埋没
- ◆ 懸濁物を効率的に捕捉
- ◆ 河川からの土砂供給



研究の背景

既往研究では、沿岸海域は「放出源」であるとの報告



Chen et al. (Curr. Opin. Environ. Sustain., 2012)

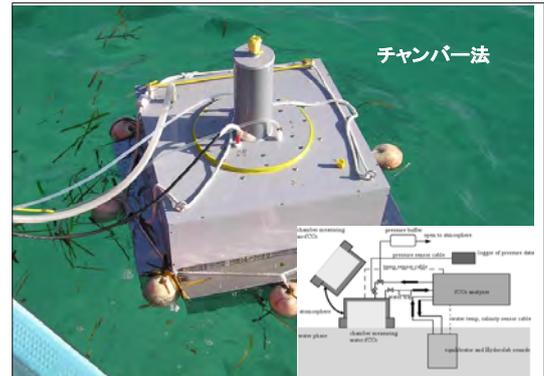
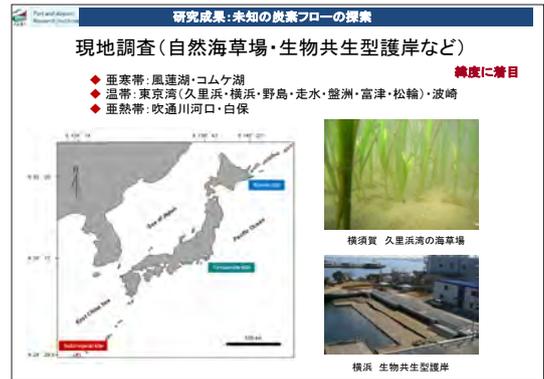
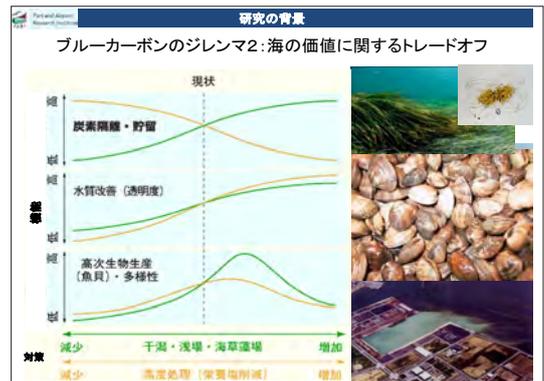
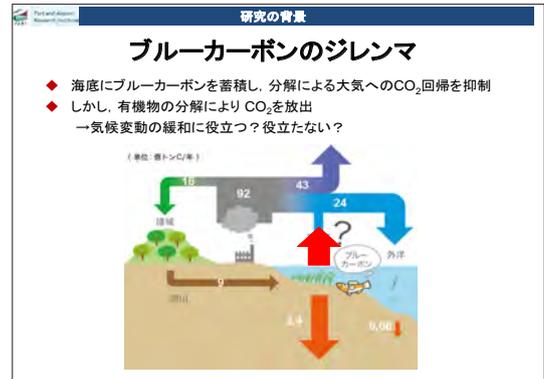
てしまっているといった事実が判明しております。

ですからここで、例えばブルーカーボンを気候変動とか地球温暖化の対策に使えるかというようなことを議論するとき、具体的にはこういった場所を保全したりとか、再生することが本当に地球温暖化の緩和とかに役立つかというときには、もちろん有機物を貯留するという面では役立つ。ですけども、その場自体からはCO₂が放出してしまうということで、一体どっちなのかよく分かりません。浅い海で、本当に放出ばかりしているのか、たまには吸収しないのかと、そういったところに着目したわけです。

こちら、例えば東京湾の事例で、東京海洋大の久保さんたちが長年蓄積した水中のCO₂のデータを東京の芝浦辺り、真ん中で、沖の方とずっと観測していると、こういった東京湾というのは、基本的に年間を通じて大気中のCO₂濃度よりも水中のCO₂濃度の方が下回っています。芝浦だけが超えていて、後のポイントではずっと大気中のCO₂より低くなっています。ですから、東京湾全体を見ると、どうやら放出源になっていなくて吸収源になっているだろうという観測データが得られています。先ほどの藤原先生の酸素の収支とか分布パターンとまったく一緒の傾向がこの図からでも明らかになっています。ですから、2012年に報告された世界中の内湾域での放出源だという、そういった観測の海域とは、おそらく東京湾というのはちょっと違って、未知のメカニズムが働いているんじゃないかということを見させるわけです。

もう1つ、ブルーカーボンを気候変動の緩和策として考えていく上で避けられない事実がもう1つあります。それは、例えば具体的には海草とかを増やしていけば先ほどのトラップ効果とかによって、おそらく炭素貯留量は増えていくおとになるかと思えます。また、植物プランクトンと海草は、競争関係にありますので、海草が増えれば植物プランクトンが減って、結果として、おそらく濁度といったものが減って透明度が上がって水質改善にもつながるだろうと思えます。この2つがプラスの効果で、それはいいんですけども、一方で、植物プランクトンというのは、魚介類とか魚のえさになったりしますので、もし植物プランクトンが極度に減ってくると漁業生産とか、生物の生産というのが落ちていく可能性があると考えられます。

また、私たちが海に対して取れるオプションというのは、基本的に浅場の再生とか保全ということと、もう一つは下水処理とかを通じた水質調整の2つにおそらく限られると思えます。水質調整の方でいきますと、栄養塩がどんどん減ってくると植物プランクトンが減りますので水質改善にはつながるでしょうけれども、大気中のCO₂を固定してくれる植物プランクトンが減るということは、もしかすると炭素の隔離とか貯留にはマイナス効果になってしまうかもしれません。同様に、栄養塩が減ると植物プランクトンが減って、高一次生産も減るかもしれません。ですから、あるオプションに対してすべての生態系サービスがプラスに働けば、それは万々歳なんですけれども、なかなかそうは世の中うまくできていないジレン



マが実際にはあります。

それで、1つ目のジレンマをちょっと考えたくて、全国各地で大気中のCO₂濃度、それから水中のCO₂濃度を測定したりとかして、本当に放出ばかりしているのかということ調べました。

具体的には採水をして水の中のCO₂濃度を調べたり、水の上に箱を浮かべて、箱の中のCO₂濃度の変化から大気と水の間でCO₂がどういふふうにやりとりされているかということ調べたりしました。

最先端の方法ですと、海の上にやぐらを立てて、超音波の風速計とCO₂センサーを設置します。それで、1秒間に20回程度の非常に高速なデータを風速とCO₂の濃度に対して調べていきます。それで、鉛直の風速とCO₂濃度の積をどんどん積分して行って、その積分結果で大気中と海とのやりとりで放出になっているか、吸収しているかを観測するというような方法もございます。

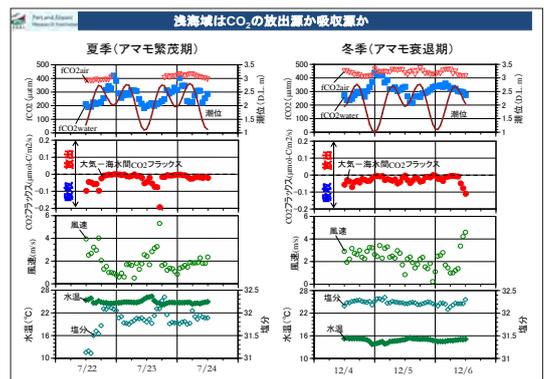
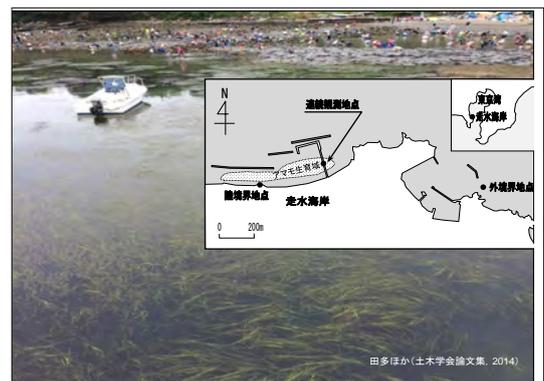
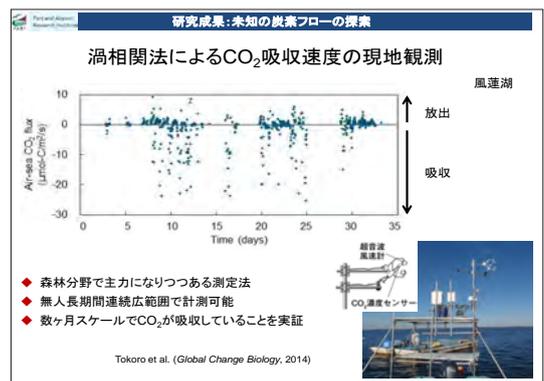
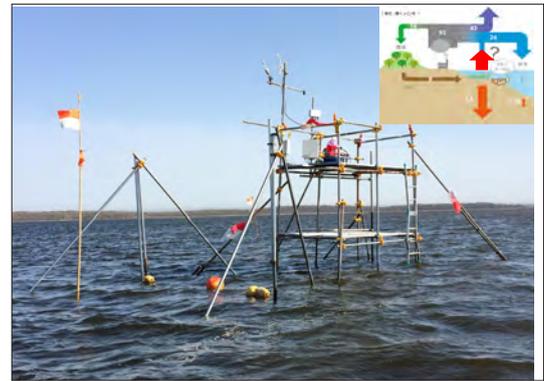
この渦相関法と言われる方法ですと、無人で長期間連続で広範囲で測定することができて、例えばこちらに時系列で示すような形で数カ月から半年以上のCO₂の吸収とか放出ということを連続的にとらえることができます。

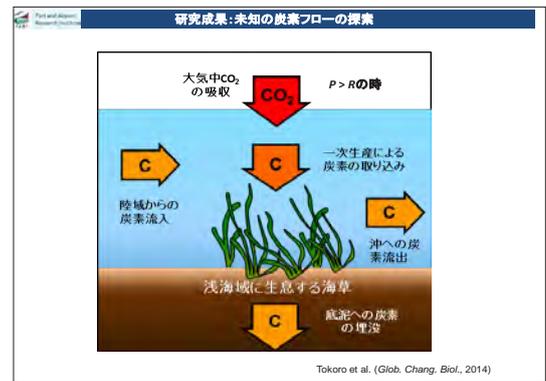
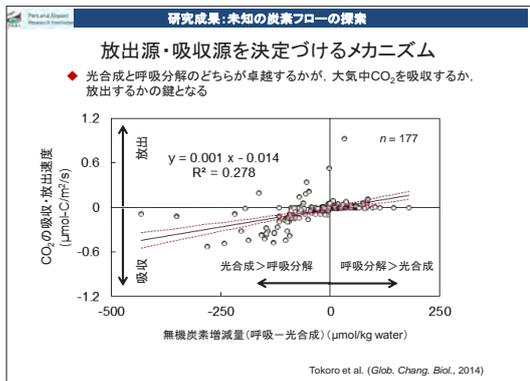
例えば風蓮湖の例でいきますと、吸収と放出が、非常に変動しながら観測されていくわけですけども、全部の観測期間トータルを平均しますと、数ヶ月スケールで測定された場合でもきちんとCO₂が正味で吸収されていることが実証されました。ですから、条件によっては放出だけでなく吸収する海域も確かにあるというようなデータが取れました。

これは、東京湾の走水で藻場の観測をした例です。東京湾でも同じように夏と冬と調べて2日間、連続で観測してもずっと吸収を保ったままといったような結果が表れています。

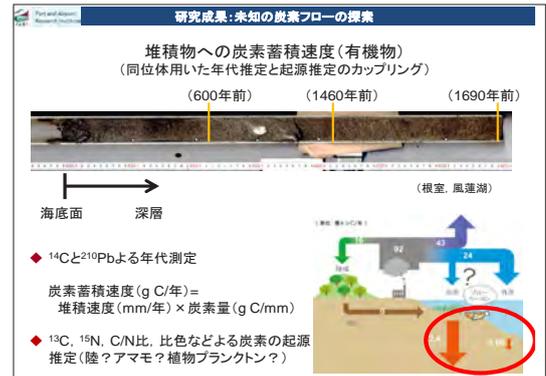
先ほどから放出と吸収を繰り返しながらも正味で吸収しているという話をしましたけれども、実際に吸収しているか、放出しているかを定めるメカニズムとしては、どうやら生態系全体を見たときに光合成と呼吸分解、どっちが上回っているかに依存しているという解析結果になりました。例えば、光合成が呼吸分解を上回っているようなときには、吸収、逆に生態系全体の呼吸分解が光合成を上回っているような時間帯とか、そういった海域、場所では放出、従来通り放出しているということです。ですから、やっぱり光合成とこの呼吸分解の比率が非常に大事だといったようなことが考えられます。

生態系全体の光合成が呼吸分解を上回れば、不足している炭素が大気から補給されて、それで大気に対しては吸収源になると考えられます。こういったオープンな海域でも、しかも水平方向の炭素流入と流出の方が鉛直方法のフラックスの5倍から10倍以上大きいにもかかわらず、光合成が呼吸を上回れば、いくら水平方向の炭素の流入とか流出如何にかかわらず、吸収源になるという、いかにも閉鎖系の振る舞いをするのが非常にサイエンスとしては興味深いです。

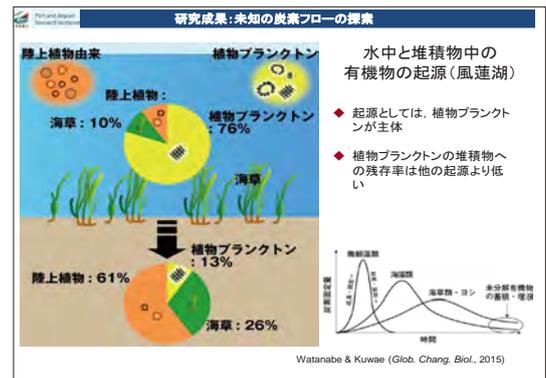




風蓮湖の海草場で調べた場合、水中から堆積物へ供給される炭素というのは、海草由来は少なくとも陸上からの有機物、それから、その場の植物プランクトン由来の有機物が供給源としては多かったです。でも、実際に数千年かけて貯留されていくような、堆積物中の炭素の起源を調べたところ、植物プランクトンはむしろ少なく、海草由来とか陸上植物由来が多く、これらが長期間の貯留には利いていることが分かります。これはある意味当たり前で、植物プランクトンというのは、枯れた後は速やかに分解されてしまって、結果的に長い年月で見ると植物プランクトンは残りにくい。一方、こういった海草とか陸上有機物というのは分解されにくい。藤原先生のお話にありましたけれども、分解されやすい有機物は分解された後に海にやってきます。ですから、海に到達する陸上由来の有機物はなかなか分解されにくいといったことがあります。起源によってブルーカーボンの貯留効果というのはだいぶ違うということが分かりました。



アマモ場というのは、もともと稚魚のゆりかごといった役割はよく知られている話なんですけれども、大気中のCO₂を吸収するというような新しい生態系サービスの可能性を見出したということで、新聞には取り上げていただいております。



COPとか、そういった国際交渉の場では、科学的知見についても議論する場があって、重要な事実を発見した場合には、どんどん国際交渉の場でもインプットしていくことが大事だということで、積極的に発信するようにしています。

研究成果:社会へのインパクト

毎日新聞 全国版朝刊2面 2014.3.24
海草が繁殖した沿岸域 実はCO₂の吸収源

毎日新聞 全国版朝刊19面 2014.1.11
海草が繁殖した沿岸域 実はCO₂の吸収源

毎日新聞 東京版夕刊14面 2015.4.17
稚魚のゆりかごといった海草場の役割に、新たな価値を付加

何で吸収源になっているかの理由を説明するいくつかの重要なプロセスの一端は明らかになったんですけども、まだまだ分からないことが非常に多く残されています。何で東京湾だけが吸収源だという謎はいまだに残っているわけです。

研究成果:社会へのインパクト

気候変動枠組み条約(UNFCCC)科学技術に関する補助会合(SBSTA)における我が国の気候変動対策への取り組みを説明する position paperにインプット

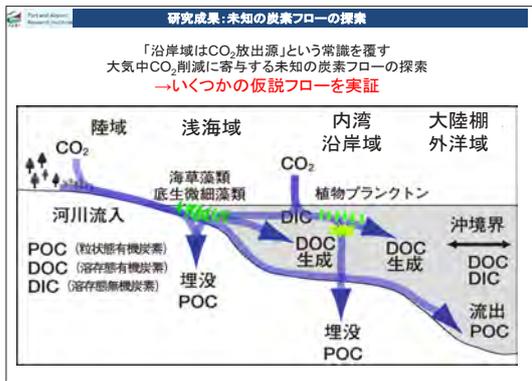
UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE
Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice
Thirty-eighth session
Bonn, 3-14 June 2013
Item X of the provisional agenda

Views on the content of the workshop on technical and scientific aspects of ecosystems with high-carbon reservoirs not covered by other agenda items under the Convention

■ In Japan, inter-tidal flats and seaweed beds are restored and created using dredged materials to improve port and coastal environments. In relation to such activities, the Port and Airport Research Institute (PARI) is currently collaborating with other research institutions, through fieldwork, laboratory experiments and data analysis to clarify the mechanism behind carbon dioxide capture and storage, develop measurement technology and investigate key environmental drivers controlling the rate of carbon dioxide capture and storage.

ほかの海域と違うわけです。ここからがちょっと新しい話になります。藤井先生と藤原先生、大阪湾で調べられた例を見ても、大阪湾でも吸収源になっています。ですから、世界の海と違うのは東京湾だけじゃなくて大阪湾もそうです。

都市海域だからこういった海は吸収源になっているんだろうと仮説を立てました。実は4日前にこの論文がアクセスされましたので、はっきり言えますけれども、私はこの下水処理が非常に大きな役割を持っていると考えています。下水処理では、炭素をたくさん除いて窒素、リンは比較的残された状態で放流します。ですから、

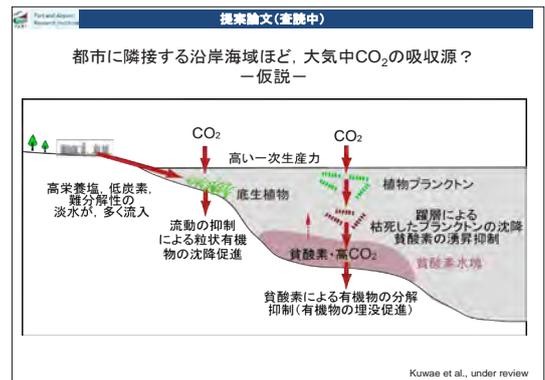
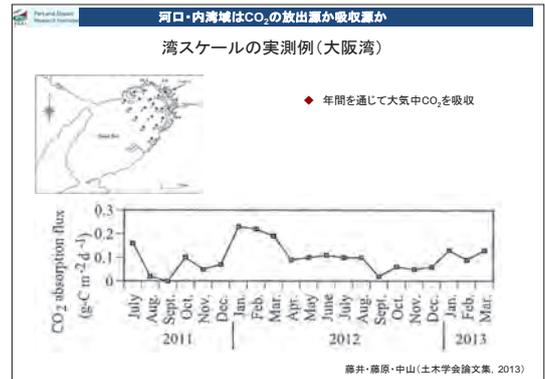
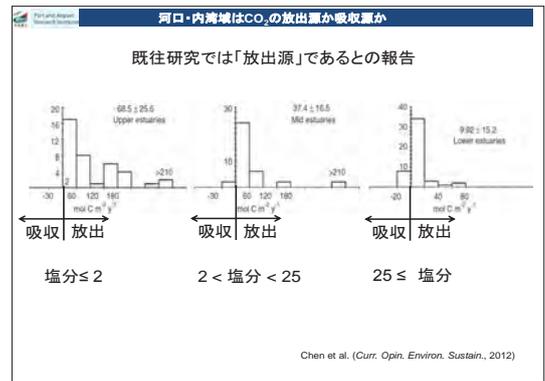


易分解性の炭素はかなりの部分下水処理場で除去されるわけ
です。ですから、易分解の炭素が海へ流れてきて、分解して CO₂
を出すというプロセスが抑えられます。また、窒素、リンは少し残っ
たまま海域に来ますので、海域で植物プランクトンの光合成によ
って CO₂ が吸収されます。こういったことがあって下水処理場が吸
収源になっている可能性があります。

あともう1つ、貧酸素水塊なんですけれども、酸素がある状態よ
りは酸素がない状態の方が有機物の分解は抑制されるわけです。
ですから、決して貧酸素水塊を奨励するわけじゃない、そこは誤
解なきようにお願いしたいんですけども、炭素のサイクルだけを考
えると、貧酸素水塊は炭素貯留にとってはプラスに働くと、そのよ
うに科学的には言えるはずなんです。

ですから、下水処理場が発達する前の戦前とか高度成長期まで
は、おそらく東京湾というのは放出源だったろうと思います。藤原
先生のお話に出てきましたけれども、現在のように高度に下水処
理が行われている都市海域は吸収源である可能性が高いといっ
たようなことを現在考えています。

生態系モデルを使って定量的に、本当に都市海域が CO₂ の吸
収源であること、それから、CO₂ を吸収できて、しかも底生生物
や魚介類を増やせて、しかも水をきれいにするような方策が取れ
る余地があることを示すスライドを用意していたんですけど、残念
ながら、私のパソコンから本日は映せなかったもので、もし機会が
あれば来年度、ご紹介したいと思います。



ブルーカーボンの設置

沿岸生態系を用いた気候変動の緩和技術の特徴

	ブルーカーボンによる気候変動緩和	その他の方策 (e.g. バイオ燃料・CCS)
現状における実現可能性	高	低
効果の大きさ	小	大
不確実性	高	低
相乗効果 (食料・減災・浄化・レク)	高	少



第二部 生物生息場

マコガレイ再興に向けた生き物生息場づくりPTからの提案

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

今日の話は、明日、東京湾再生官民連携フォーラムの総会というものがございまして、その官民連携フォーラムの下に、生き物生息場づくりプロジェクトチーム（PT）というものを作りまして、その中で行ってきた活動についてのご紹介ということで、私の方から8分ぐらいで概要を説明します。生き物生息場づくりプロジェクトチームから、今回、政策提案を行いたいと考えておりまして、基本的な考え方と進め方、具体的な提案としてマコガレイ産卵場の底質改善、この2点の提案をやろうということで、この①の方を中心に私の方からご紹介し、具体的マコガレイに関する提案につきましては、千葉県水研センターの石井さんの方からご紹介をいただくということで進めさせていただきます。

まず、東京湾再生官民連携フォーラムですが、これは東京湾再生のための行動計画第二期、これは行政の東京湾再生推進会議の方で取り組んでいるものですが、これには第一期というものがございまして、もともとは官側を中心に行ってきたのですが、具体的な環境再生事業を官民連携で提案して、それを官側で受けていただくというスキームを導入していこうとしているのがこのフォーラムであり、その下でいろいろなプロジェクトチームが立ち上がって活動しているということでございます。その中の1つが、私たちの生き物生息場づくりプロジェクトチームで、具体的な課題について検討したり、改善に向けた取り組みを実際に実施していくようなことをミッションとしております。

こちらが生き物生息場づくりプロジェクトチームの設置趣意書です。これは公開されているもので、詳しくは、お配りしたものに入っておりますが、まず、ミッションとしては多様な関係者の連携ですとか、あるいは、生き物の生息場を創出する、それから、3番目として、民が主体的に実施できるものについては、その枠組みとかメリット、どんなメリットがあるから、その活動に民のお金が入るんだというようなことですが、この3つを掲げております。このうち今日のお話としては、①と②にかかわる部分で、③の部分は、まだ手がついていないということで今後の課題でございます。

具体的な活動内容としましては、これがそれぞれの番号に対応していますけれども、今回は①、②ということで、水産とか港湾などが連携して生き物の生息に適した場の創出、これに関連したアイデアを提案していきたいということで、PTのメンバーは多様な構成とし、合意形成の場となるようなことを目指してやっております。

今回、生き物生息場づくりに関する政策提案をやりたいと考えておりますが、その中では提案書がコアになりまして、この提案書は2つのパートから構成されております。1つ目が生き物生息場づくりの基本的な考え方と進め方ということで、どのような基本的な考え方、方針で生き物生息場づくりを進めていくべきなのかという点に関する提案です。ですので、この最初の①の提案は、ある意味重たい提案だと我々は認識しております。それから2番目として、



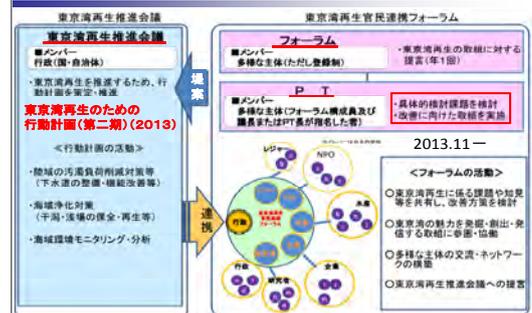
第16回(2015年度)東京湾シンポジウム マコガレイ再興に向けた 生き物生息場づくりPTからの提案①

東京湾再生官民連携フォーラム 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: jsasaki@k.u-tokyo.ac.jp)

1. 生き物生息場づくりPTの紹介とミッション
2. 生き物生息場づくりPTからの政策提案について
 - ①基本的な考え方と進め方
 - ②マコガレイ産卵場の底質改善

東京湾再生官民連携フォーラムおよびPTについて



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
 - ① 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
 - ③ 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。
 - ①、② 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。
 - ① 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に関する政策提案

- 提案書の構成
 - ・ 生き物生息場づくりの基本的な考え方と進め方についての提案
 - ・ 東京湾北部沿岸域におけるマコガレイ産卵場の底質改善の提案について
- 補足説明資料の構成
 (共有したい東京湾再生の理念や提案の背景について補足)
 - ① 東京湾における生き物生息場づくりの長期的な視点と留意点
 - ② 東京湾北部沿岸におけるマコガレイ産卵場の底質改善の提案について
- 明日2015年10月24日(土)フォーラム総会にて提案

これは具体的なプロジェクトに関する提案で、今回はマコガレイの産卵場の底質改善に関する提案をさせていただこうと考えております。この提案書に対応して、共有したい東京湾再生の理念とか、提案の背景について補足する、補足説明資料も併せて作っております。これらを明日、この赤レンガ倉庫で開催されるフォーラム総会において提案する予定にしております。最初の生き物生息場づくりの基本的な考え方と進め方についての提案ということで、文章にすると長くなっているの、かいつまんでご説明しますが、まず、基本的な考え方というところでは、長期的な視点ということをやまずうたっております。これは東京湾再生推進会議への提案ですので、時間スケールとしては10年ぐらいでできる、そういった具体的な提案を目指しているわけですが、同時に長期的な視点で見たときの目指すべき理念と整合しているかどうか、確認しながら進めましょう、ということをご提案しております。それから、次に進め方としては、合意形成が当然ながら非常に重要であって、また、モニタリング、これも非常に重要であると。特に予期せぬ影響の監視とか、それによる必要な見直しはしっかり積極的にやっていくべきだということをやっております。

例えば、これはPTで議論になった件の1つですけれども、人工干潟をつくるというのが1つのプロジェクトになり得るわけですが、これはもしかすると予期せぬ影響があるかもしれません。

予想しているので予期せぬというわけではないんですけれども。これは潮汐だと思ってください。ここが湾奥で、ここに節があると、これが潮汐波ですね。ちょうどこの節のところにもし湾口があると、この潮汐によって湾内の潮汐振幅が非常に大きくなり、共振を起こすということになります。東京湾では大体湾口がこの辺りにあり、これを拡大しますと、湾口でこのくらいの振幅だったものが湾奥でこのくらいに拡大しているというような状況です。b割るaですね。これが潮汐振幅の増幅率となるわけですが、もし干潟をつくと、これはある意味で埋立てと似たような影響があるわけですが、ここの距離が短くなってここまでしか来なくなると。そうすると、bに比べてb1が短くなるので増幅率が小さくなる。こういう可能性があるということです。

こういったようなこともしっかり検討しながらそのプロジェクトが本当に全体としていいのかどうか見極めながらやっていきたいと思います。ということで小規模なものから実験的に始めるですとか、継続的にモニタリングをすることが大事だろうとか、あるいは、それによって必要な見直しもちゃんとしていきますよ、そういったことをうたっているということで、継続的にいこうとか、先ほど申したようなことが入っております。

2番目の東京湾北部沿岸におけるマコガレイ産卵場の底質改善の提案に関しましては、これは石井さんの方から具体的に紹介をいただくとすけれども、ここでも小規模な実証試験から始めましょうとか、連携、それから協力ですね、あるいはモニタリング、こういったことをうたっております。

①生き物生息場づくりの基本的な考え方と進め方についての提案

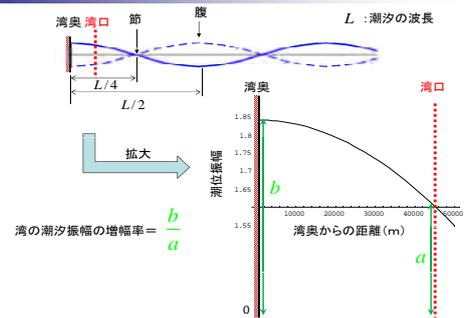
□ 基本的な考え方

- ・ **長期的な視点**では陸から海への緩やかな景観の連続性を取り戻すことを念頭に
- ・ 小規模であっても生き物の生息場を増やしていくことの積み重ねが重要
- ・ **10年スケール**で：干潟・浅場造成、**覆砂・盛土による底質改善**、湿地・藻場造成、生物共生型護岸、既存構造物の撤去や改善、旧海岸線沿いの在来種保全

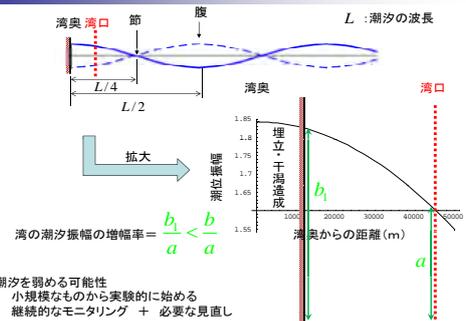
□ 進め方

- ・ **合意形成**：漁業者、遊漁船業者、水産部局、港湾部局、海上保安部局、環境部局、企業等を含む様々な関係者が存在することに留意するとともに、広く海の恵みを共有する市民・住民の理解を得る
- ・ **モニタリング**：プロジェクト実施後も継続的に、効果の把握、および**予期せぬ影響の監視と必要な見直し**、官民連携の体制で取り組み、結果を広く公にしながら、市民の関心を高めていく

干潟をつくることの予期せぬ影響とは？



干潟をつくることの予期せぬ影響とは？



①生き物生息場づくりの基本的な考え方と進め方についての提案

□ 基本的な考え方

- ・ **長期的な視点**では陸から海への緩やかな景観の連続性を取り戻すことを念頭に
- ・ 小規模であっても生き物の生息場を増やしていくことの積み重ねが重要
- ・ **10年スケール**で：干潟・浅場造成、**覆砂・盛土による底質改善**、湿地・藻場造成、生物共生型護岸、既存構造物の撤去や改善、旧海岸線沿いの在来種保全

□ 進め方

- ・ **合意形成**：漁業者、遊漁船業者、水産部局、港湾部局、海上保安部局、環境部局、企業等を含む様々な関係者が存在することに留意するとともに、広く海の恵みを共有する市民・住民の理解を得る
- ・ **モニタリング**：プロジェクト実施後も**継続的に**、効果の把握、および**予期せぬ影響の監視と必要な見直し**、官民連携の体制で取り組み、結果を広く公にしながら、市民の関心を高めていく

②東京湾北部沿岸におけるマコガレイ産卵場の底質改善の提案について

- 小規模な現地実証試験から始め、モニタリングを通して効果や再生の理念との整合性を検証しながら、継続的に進めていく
- 整備後も砂質を維持するために適切な土砂の確保と泥質分の堆積を抑制するための勾配の確保が必要であり、傾斜部への覆砂、盛土によるマウンド形状とする等の**施工上の工夫**も必要
- 浅瀬土砂をはじめとする適切な土砂の確保と運搬、泥質分の堆積抑制も考慮した適地の選定と施工方法が重要であり、生き物及び漁業資源に関する知見を有する水産部局、港湾・湾域の事業実施や管理を行う港湾部局、及び水環境保全に知見を有する環境部局との**連携**
- 加えて、プロジェクトの計画・実施段階においては、河川部局、環境部局、海上保安部局等の行政に加え、漁業者、NPO、研究機関、教育機関、企業等も含めた**官民連携の下での協力**が必要
- プロジェクトの効果や東京湾再生の理念との整合性に関する検証のための**モニタリング**を官民の協力の下に実施し、結果を広く公にしながら、市民の東京湾再生への関心を高めていく

マコガレイ産卵場の底質改善の、特に合意形成、あるいはプロジェクトメイキングというところが非常に難しいところだと思っておりますが、東京湾再生において今回の提案が出てきた背景には、港湾部局と水産部局との連携の模索がまず前提としてあったように感じます。従来はそれぞれの部局が独立にいろいろな事業をやっていく面が非常に強かったわけですが、こういう複数の部局が連携して何かをやるという、おそらくこの種の事業では初めての試みと聞いています。PTとしてはこういった活動を支援していこうという立場にありまして、利害が対立する可能性もある、このような活動を様々な部局の協力の下に進めて頂くことを願い、それを文言として「生き物及び漁業資源に関する知見を有する水産部局と港湾地域の事業実施や管理を行う港湾部局との連携」と具体的に踏み込んで書き込んだということでございますし、官民連携の下での協力とかモニタリングということを書き込んでおります。

ここから先は、千葉県水研センターの石井様の方から続きのご講演を頂きたいと思っております。

マコガレイ産卵場の底質改善における合意形成

東京湾環境再生における官官・官公連携の(多分)初めての試み

困難な点
それぞれの部局の本来のミッションの境界線上の課題

協力にリードする関係者の存在

②東京湾北部沿岸におけるマコガレイ産卵場の底質改善の提案について

- 小規模な現地実証試験から始め、モニタリングを通して効果や再生の理念との整合性を検証しながら、継続的に進めていく
- 整備後も砂質を維持するために適切な土砂の確保と泥質分の堆積を抑制するための勾配の確保が必要であり、傾斜部への覆砂、盛土によるマウンド形状とする等の**施工上の工夫**も必要
- 浚渫土砂をはじめとする適切な土砂の確保と運搬、泥質分の堆積抑制も考慮した**適地の選定と施工方法**が重要であり、**生き物及び漁業資源に関する知見を有する水産部局、港湾・湾域の事業実施や管理を行う港湾部局**、及び水環境保全に知見を有する環境部局との連携
- 加えて、プロジェクトの計画・実施段階においては、河川部局、環境部局、海上保安部局等の行政に加え、漁業者、NPO、研究機関、教育機関、企業等も含めた**官民連携の下での協力**が必要
- プロジェクトの効果や東京湾再生の理念との整合性に関する検証のための**モニタリング**を官民の協力の下に実施し、結果を広く公にしなが、市民の東京湾再生への関心を高めていく

→ 詳細は石井様@千葉水研センターよりご紹介

マコガレイ再興に向けた生き物生息場づくり PT からの提案

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

PT の提案については、佐々木先生からきっちりと説明いただいたので、私は生物 - マコガレイ - について、気楽に聞いていただけるような内容でお話しさせていただきます。

今回お話する内容は、「生き物生息場づくり PT」の最初の提案になぜマコガレイを選んだのかということ、東京湾でマコガレイが生息するためには、生活史のどこに問題があり、どう解決とマコガレイの資源が増える可能性があるかということです。昨年この場でお話しさせていただいた「東京湾におけるマコガレイの産卵場」と内容が重複するところが多く申し訳ありませんが、どうぞ聞いてください。そして、今回の PT の提案である「マコガレイ産卵場」以外に、次期の提案に向けて今後どう進めていくのいいかも考えましたので、時間があればお話しさせていただきます。

まず「生き物生息場づくり PT」でマコガレイを選んだ理由としては、①江戸前の代表的な魚から選ぶこと、②生活史、生態などその生物の情報が豊富であること、そして、③実際に解決策が思い付くことを条件に選定されました。

そのため、見送った魚種には、貧酸素水塊を全面的に解消しないと資源が増えませんか、広大な干潟、浅海域の場を大規模に造成しないと、増産に結びつきそうもない魚種は、最初の PT の提案として、テーマが大きくてハードルが高くなっていること、外されました。また、絶滅してしまった魚や資源が非常に少なくなっている魚も最初の提案にはそぐわないということで、今回見送っています。逆に、厳しい東京湾の環境でも資源が増えていたり、生活史の一部が湾外にあり、湾内の改善のみは解決できないもの、もしくは、分布が南部にあり、東京湾での開発や内湾特有の環境の影響を受けてない魚なども外すことになりました。

江戸前の候補種としては、東京湾研究会が提案した「江戸前の復活、東京湾の再生を目指して」に掲載した 27 種から検討しました。これらの魚種は東京湾で重要な魚種ばかりですが、27 種中、16 種は資源が低迷していて、その多くが貧酸素の影響を受けており、その他の要因としては場の減少、消失などが原因とされています。

27 種を先ほどの基準でグループ分けすると図のようになります。資源が豊富で今のところ問題ない魚種には、スズキ、コノシロ、コウイカ、ホンビノスガイが該当します。その代表格はスズキで、全国で東京湾が最も漁獲されています。コノシロも多く、コウイカ、ホンビノスも、現状では問題はないと考えられました。

一方、資源が深刻な魚種には、これらの 9 種が該当します。東京湾で絶滅したと考えられるアオギスやシラウオの他、資源を復活させるにはなかなか一筋縄ではいかないぞという魚がこのグループです。いつかはこれらの魚種の復活にチャレンジする必要があるかもしれませんが、PT の最初の取り組みとしては外させていただきました。



東京湾シンポジウム

マコガレイ再興に向けた 生き物生息場づくりPTからの提案②

千葉県水産総合研究センター
資源研究室
石井光廣



CHIBA prefectural Fisheries Research Center

お話しすること

- マコガレイの選考理由
- マコガレイ生活史の問題点
昨年「東京湾におけるマコガレイの産卵場」
同じ話をするかもしれません……
- 次の提案に向けて

マコガレイの選考理由

おすすめ

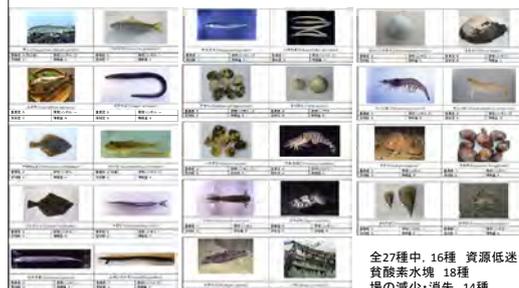
- ① 江戸前の代表的な魚！
- ② 生活史、生態の情報が豊富な魚！
- ③ 解決策が思いつく魚！

今回は見送り

- ① 「貧酸素水塊の全面的な解消」や「広大な干潟・浅海域・藻場の造成」などの長期的な大工事の必要な魚種？
- ② 絶滅・著しく資源・漁獲量が減少している魚？**多い魚も**
- ③ 生活史の一部が湾外にあり、東京湾だけでは解決できない魚？
- ④ 分布の主体が南部

江戸前の候補種

「江戸前の復活！東京湾の再生をめざして」より



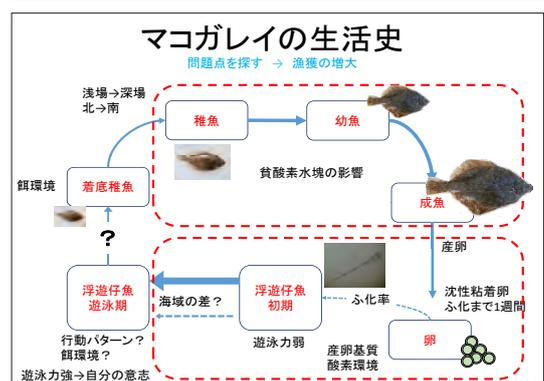
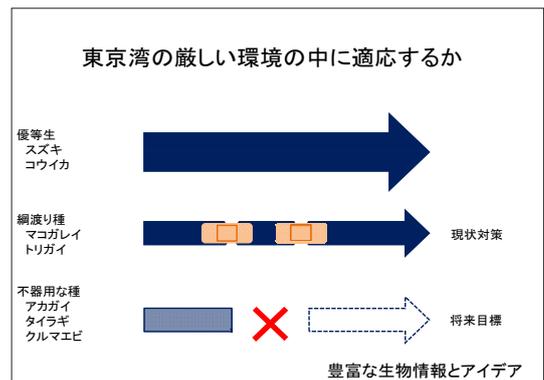
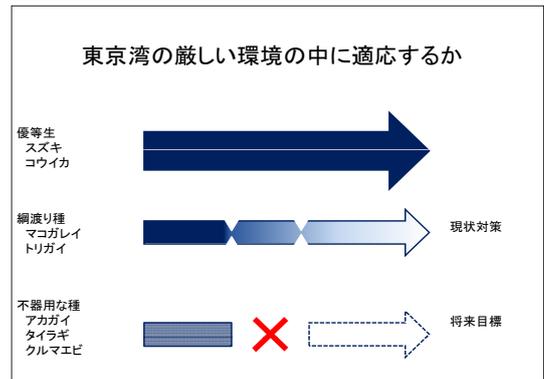
生活史の中の一部を湾外で過ごすマアナゴ、ニホンウナギの2種は、いずれも湾外で産卵し、浮遊幼生（レプト）として東京湾に流入するため、資源の増減の要因が湾内に限られません。浅場に生息するため浅場や干潟を多く造成しないといけないアサリ、ハマグリや、南部で漁獲されるサヨリ、タチウオ、マダコ、ミルクイを除くと、検討しやすい魚種はマコガレイ、シャコ、トリガイなど数種に限定され、その中でも生活史の情報を比較的多く集めているマコガレイを今回1つの候補として考えさせていただきました。

東京湾で、厳しい環境の中で適応的に生きているものとして、うまくいくスズキとか、コウイカは、時間軸をとって、成長であったり、季節であったりしたときに、何も問題なく進んでいく魚に比べて、ちょっと悪いもの、低迷しているものの中には、きっとその途中で、環境とか、何かに影響があって、どっかボトルネックになっているところがあって、なかなか全部が育たないもの、逆に途中で本当に大きな関所があって、ほぼ増える可能性が非常に少ないものという、こういうものがあって、今回このあたりから選びましょう、この部分に、こういうところを見つけて、ここをちょっと修復したらうまくいくのではないかと魚として、マコガレイを挙げさせていただきました。

マコガレイの生活史を簡単な図に示しますと、卵から成魚、産卵までこのように過ごしています。マコガレイの生活史の中で特徴的なのは、沈性粘着卵であることです。多くの魚の卵は浮上しますが、マコガレイの卵は海底に沈み、何か物に付着しなくてはいけないので、卵の段階では産卵場の底質環境によりふ化率などが大きな影響を受けることとなります。その後、ふ化して仔魚（しぎょ）になると、一生のうち唯一1か月ほど水中を漂う時期があり、分布や移動（生残）に流れの影響を受けます。成魚の形に近い稚魚として着底するときには、北部の比較的浅場に分布しますが、その際には海域の環境であったり、その餌がどうであるとか、こういうところがまた問題になるでしょうし、その後、稚魚から幼魚、成魚になると、内湾で生活するのに当たって、東京湾で一番問題となる貧酸素水塊の影響を受けますので、こういう形でぐるっと見渡した中でもいくつか問題はあるのですが、そういう中で、1つ、ここら辺に着目して今回提案をしようというふうに考えています。

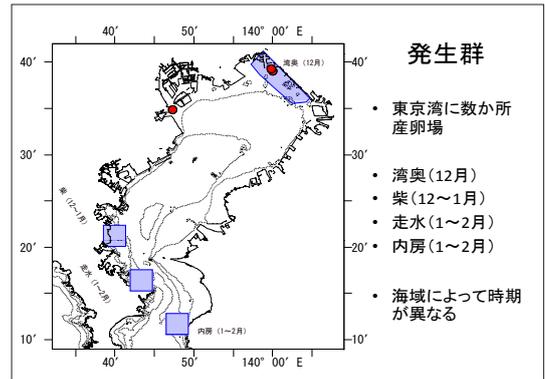
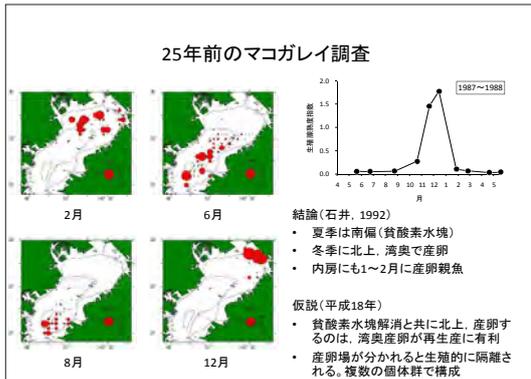
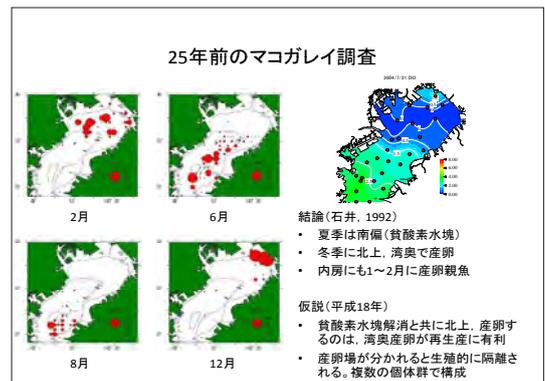
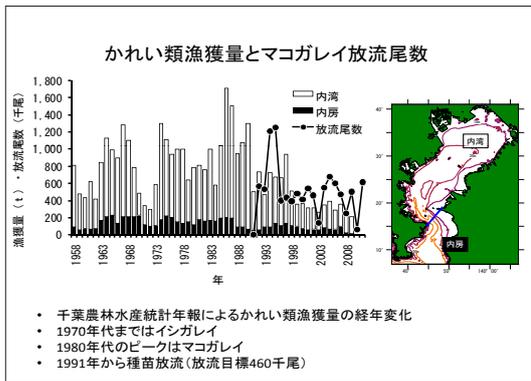
昨年の発表では、「マコガレイの産卵場」についてご説明しました。その際、マコガレイの成魚は南北移動する中で、湾奥で産卵すること、湾奥の底質はふ泥の多いどろどろの状態であり、沈性粘着卵が産み付けられるには、いい状況ではないということ。湾奥を産卵場として利用している理由は、内湾の南部で産卵するより北部で産卵する方が、浮遊期の仔魚が内湾に滞留しやすいためだろうという推定を立てましたというご説明をしました。

図は、東京湾における千葉県のかれい類漁獲量とマコガレイ種苗の放流尾数の経年変化を示しています。1980年代以降マコガレイが主体といっていますが、1990年頃のピーク以降減少し、近年は低迷しているのが現状です。



昨年の発表 東京湾におけるマコガレイの産卵場

- マコガレイは湾奥に大きな産卵場
- 湾奥の産卵場の底質はふ泥が多く、粘着沈性卵には不適の可能性
- ふ化仔魚の流れによる移動・分散の検討から、湾奥に産卵場が形成されていることは、マコガレイの浮遊仔魚の生残および加入に重要



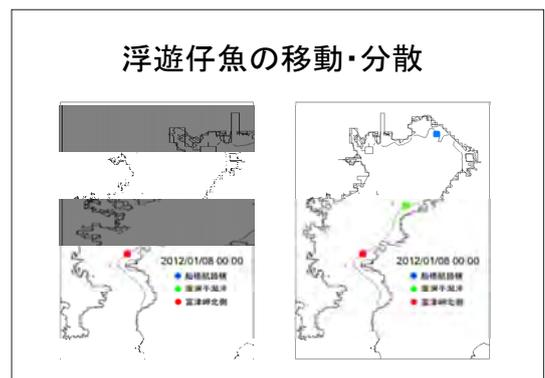
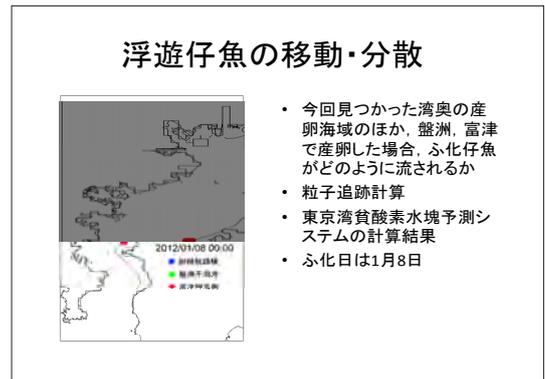
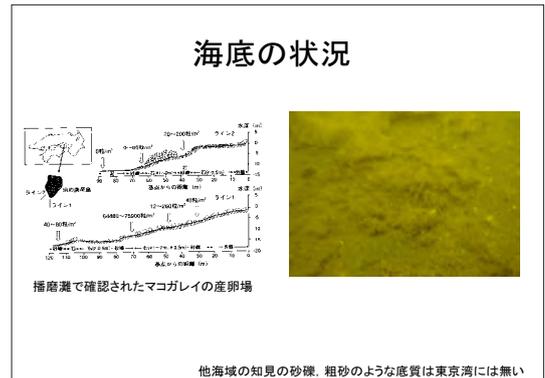
マコガレイの季節的な分布の変化をみると、2月北部の広い海域に生息していますが、夏には北部からいったん撤退します。水温が上昇するという要因もありますが、貧酸素水塊が発生するため、住めなくなるし、餌となる多毛類もなくなるからというのが一番大きな影響です。しかし、秋季に貧酸素水塊が解消後まもなく餌生物も回復しないうちに北上して湾奥に集まるのは、産卵のためだということです。

マコガレイ親魚が漁獲される情報や実際に天然卵を採集した情報を合わせると、東京湾には産卵場が北部の他にもいくつかあると考えられていますが、マコガレイ成魚の分布状況から判断すると、湾奥がもっとも重要であると考えています。

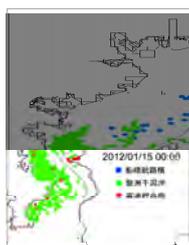
マコガレイの卵は沈性粘着卵のため、播磨灘や通常の産卵場には、こういう礫であったり、石であったり、こういう場所が他の海域では産卵場になっているのですが、東京湾で産卵している海域はこのようにドロドロの所でしたというのが問題点です。

東京湾の環境については皆さんもお詳しいと思いますが、マコガレイの産卵場として底質判断すると、盤洲や富津で産卵する方が有利なはずなのですが、この海域には産卵場として親魚が集まっています。

盤洲や富津が産卵場とならず湾奥が産卵場となっている要因として浮遊仔魚の移動について流動モデルで検討しました。湾奥の産卵場のほかに盤洲、富津を仮想産卵場と見立てて粒子を流して計算をすると、富津は数日中に全部湾岸に出てしまい、盤洲でも多くが流出してしまうため、湾奥で産卵することが唯一浮遊仔魚が湾内に残れる可能性があるというので、湾奥は底質は悪いけど、北部で産むのが、マコガレイを種として、この中で適用的に

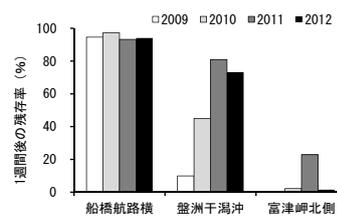


浮遊仔魚の移動・分散



- 1週間後
- 船橋航路横の粒子は、富津岬北側や盤洲干潟海域の粒子と比較しても湾内に残存する傾向が強く、12日後以降東京湾の外へと放出され始めるが、計算終了31日目でも相当数の粒子が東京湾に残存した。

ふ化後1週間の粒子残存率



- 船橋は93～97%、平均95%。生残高い 湾奥有利
- 盤洲は10～81%、平均52%。年変動大きい
- 富津は0～23%、平均7%。生残低い

個体群を支えるには有効であるだろうというのを考えています。

4年間同様の計算をしても、湾奥ではほとんどの粒子(浮遊仔魚)が湾内に残るのに対して、盤洲では残ったり残らなかったり、富津岬だとほぼ流出してしまうということで、湾奥で産むということが、マコガレイが適応的に個体群を維持するということの推定になっています。

ここまでは昨年お話した内容で、ここからはその後調査を続けて見えてきた内容についてご説明をします。実際にマコガレイの産卵場を見つけたのが湾奥で、マコガレイの親魚が多く漁獲される海域の1つ、茜浜周辺に産卵場があることが確認されました。実際にマコガレイ卵が採集された海域の底質は写真のような状況であり、底質の含泥率をみても卵が多い所で、40～50%泥の多い底質に産んでいるのが現状です。

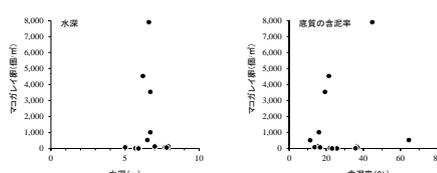
マコガレイの卵は、図のようなちょっと硬い物に付着するため、移動せず、水の流れて酸素が供給されているはずですが、このような底質環境では①そのまま流失してしまうという危険性もありますし、②周りにコロコロ転がって、砂だんごみたいになってしまうこともあるかもしれませんし、③比重が関係するので埋まりはしないんですけど、ある程度浮泥の中には埋没可能性があり、ふ化率の低下が推定されます。

さらに、この底質は有機物が多いため、鉛直混合期の12月でも、例えば晴れの日が続いて上下の混合が弱まった時などに酸素濃度が低下しないかという試験を行いました。

産卵場で海底の泥をコアで採集し、室内実験として10℃、止水の条件で、海底直上の海水のDOがどのように変化するか、100ミクロンのDOセンサーを使って測定しました。

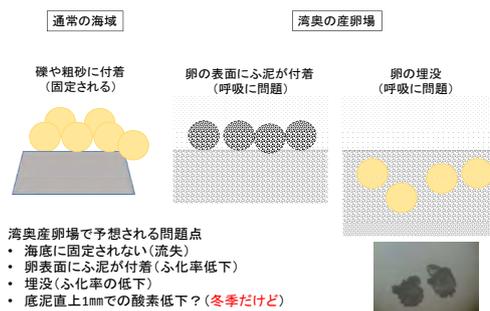
このグラフはその例です。海底上20cmから底質まで測定しました。底泥上20cmから1cmまでは通常に酸素がありますが、1cmより底泥近く、0.1cmぐらいの狭い範囲でDOが著しく低下することが分かりました。野外では海水の上下混合がまったく止まるということはなかなか起きないかもしれません。真冬に強い北風が吹いて、鉛直循環が活発なときには、こういうことはなかなか起きないと思いますけど、ちょっとでも暖かくなったり、風がやんだりしたときには、直径1mm弱のマコガレイ卵が産み落とされている海底直上ではふ化率に影響が出るほど酸素濃度が低下するのではないかと考えています。

湾奥マコガレイ卵の分布状況

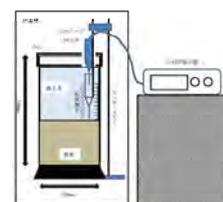


2012年の調査結果より

湾奥産卵場での卵の状況



方法 室内試験による海底直上のDO変化

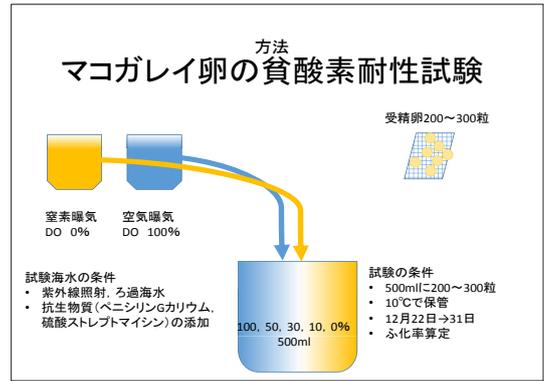
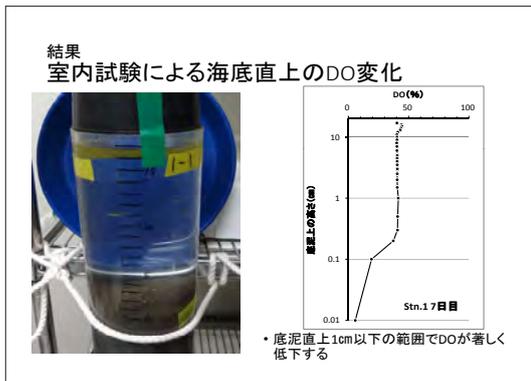


- 現場と同じ温度環境下10℃で静置
- マイクロプロブタイプDO計 (UNISENSE 製マイクロOxy 計)
- 1日1回底泥上20～0cmを1～0.1cm間隔で鉛直測定。

水産庁の「赤潮・藍藻発生対策推進事業(東京湾における賛成水産物の影響軽減)」委託事業

測定現場の様子





別の試験として、酸素濃度が低下した時にマコガレイ卵のふ化率が低下するか明らかにするために、卵の貧酸素耐性試験を行いました。海水を窒素で曝気（ぼつき）したDOが0%の海水と、空気曝気した100%の海水を適量合わせて、5段階の酸素濃度の海水を用意して、その中に卵を入れて、マコガレイの卵がふ化するかを調べました。

マコガレイの卵と海水を詰めた袋は、酸素を通さないポリエチレン袋です。イワシの煮干しなどの加工品が酸化しないように使われます袋です。

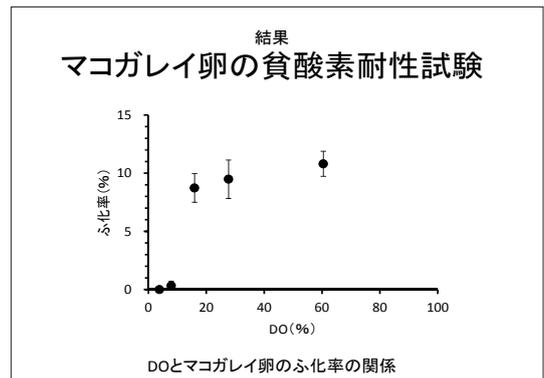
結果です。DOが高い試験区のふ化率10%程度となり試験としてはあまりよくない内容でしたが、DO濃度が10%を下回ると卵はふ化しなくなるという結果が出ました。

全体のふ化率があまりよくなかったので、再試験を行う予定ですが、マコガレイの卵は酸素濃度がある程度低下するとふ化率が下がる。したがって、湾奥産卵場の底質では、卵の流失や埋没の他に、酸素濃度の低下によって、ふ化率が低下する可能性があり、底質を改善することにより、マコガレイ卵のふ化率が向上して資源の増加につながるのではないかとというデータの1つとして、今回挙げさせていただきました。

マコガレイの生活史の中、ボトルネックとなっている要因が他にもいくつもあると考えられます。東京湾全体の貧酸素水塊を解消させようとか、もっと浅場を造成したり、餌環境を良好にする海域を作った方が効果的かもしれませんが、マコガレイの生活史の中で、この産卵場の底質というのが1つ大きくきいているのではないかとということで、今回PTとして提案をさせていただくことにしました。

こんなにいっぱいくるわけではありませんが、マコガレイの産卵場になっている所、親魚が集まるのを邪魔しない程度、こういううっすらした山でも、斜面さえつくれば、表面の浮泥が飛ぶので、そういうものをつくることで底質を改善して、マコガレイの産卵場のふ化率を解消するのは1つの手かなと考えています。

水産研究機関として、マコガレイの他にもいろいろな提案をすべきだと考えていますが、実はそれほど、私たちは、そういう提案を持っていないことに気がきました。こういうことをしたら増えるなっていうのは、貧酸素水塊を解消するとか、干潟を10倍増やせみたいなこと以外、自分の手で頑張れるようなこと何かありませんかっていうときに、なかなか提案できなかつたのが現状です。



まとめ

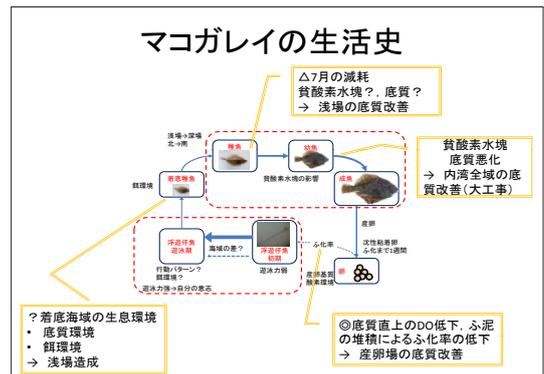
室内試験による海底直上のDO変化

- 水温10℃で海水を静置した場合、底泥直上1cm以内で、DOが低下する。

マコガレイ卵の貧酸素耐性試験

- マコガレイの受精卵は溶存酸素の低下に伴い、ふ化率が低下し、溶存酸素濃度が10%以下になると正常にふ化しない。

9年平均



それでも次のアイデアをなんとか見つけていかなければいけないので、このような表を作ってみました。資源の深刻度をC～AA、水産生物の生息相を海底から表中層の4段階に分けています。貧酸素水塊の影響を考えると海底近くに生息する種が深刻となり、貧酸素水塊から逃避できない種が深刻になるはずですが、例えば海底で動かないトリガイとアカガイで深刻度に差がみられ、底層に生息するスズキやコウイカでも結構獲れていることがわかります。貧酸素と重なってるはずなのに、みたいなものがあるのですが、こういう他と違うことをして、こいつら、うまくやってるぞっていうところに、もしかしたらヒントがあるかなと考えています。

主要魚種の漁獲量の経年変化をみると、著しく減少した種には干潟・浅海域が必要なクルマエビや生息相が貧酸素水塊でおおわれるアカガイなど、近年ほとんど獲れなくなっている魚種に対して、トリガイのように昔ほどではないけど近年比較的漁獲される種やスズキ、コウイカのように近年で増えて絶好調みたいな魚種もいるわけですから、こういう中に、もしかしたらヒントはあるかもしれないかなっていうふうに考えています。

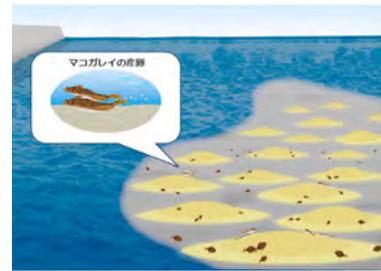
「一時のすき間戦略」種として、トリガイについてご説明します。現在、千葉県水産総合研究センターでトリガイについて研究をしています。トリガイは1990年代後半から、急に増えだして、漁師さんたちはある程度の漁獲を毎年見込んでいる魚種になります。同じように沖合に住む貝としては、アカガイやタイラギがあり、本来ならこのような東京湾で代表的な貝がいろいろ増えると、東京湾って楽しくなるんですけど、今のところ、トリガイのみが1種がんばって、数十トン～100トン程度漁獲される年が出てきました。

2005年にトリガイの漁場になった海域を、漁師さんにお聞きして赤い点で示しました。2005年の春に漁場になったのですが、この海域は半年前の2004年8月は貧酸素のど真ん中なんですね。なんで漁場ができたか調べてみると、秋に貧酸素水塊が解消した後この海域に着底して、翌年春の貧酸素水塊が再び発生する前までに漁獲できる大きさまで成長することがわかりました。全国のほかの海域では何年も生き続けますが、東京湾では貧酸素水塊が解消している秋～春を利用して親貝まで成長する、さらに言えば、貧酸素水塊により害的生物もいない海域を利用して稚貝期の生存率が高くなっているという例の貝です。

図は横軸を時間、縦軸を水深にとって、DO濃度をカラーで示し、トリガイの浮遊期、着底をイメージして表しました。青が濃い貧酸素水塊が秋まで発生していた海底に、解消した後稚貝が着底して、それがだんだんだんだん大きくなって行って、5月ぐらいに、トリガイの場合は成長がいいので、漁獲されています。アカガイやタイラギで考えると、漁獲されるには2～3年かかるため、全滅してしまうのです。本当はトリガイもこの夏全滅しているのですが、この前に獲れるということで、海域からそのまま有機物に戻らずに、100トンぐらいの水揚げがあるみたいな貝なのです。

一方、スズキは1990年代後半から資源が急激に増加して、近

マコガレイ産卵場の底質改善イメージ

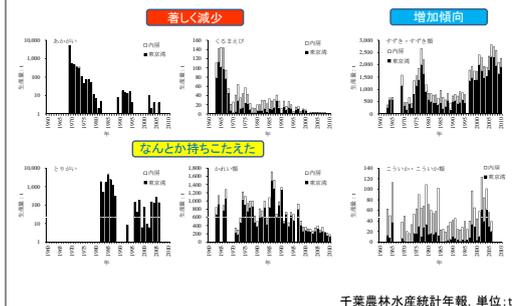


解決策のヒント 生息層と資源の深刻度

深刻度	海底(静)	海底(動)	底層	表中層
C	ホンビノスガイ		スズキ コウイカ	コノシロ
B	トリガイ ナマコ	マダコ	タテウオ	サヨリ
A		マアナゴ マコガレイ マハゼ		
AA	アカガイ タイラギ アサリ	シャコ イシガレイ シバエビ サルエビ クルマエビ		

貧酸素水塊の影響をあまり受けにくい南部に分布
比較的浅瀬に分布

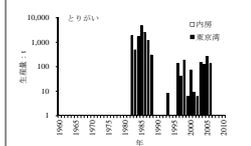
主要魚種の生産量の経年変化



千葉県水産統計年報, 単位: t

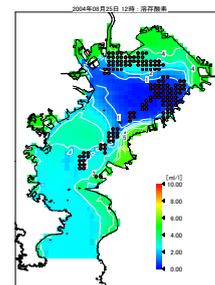


一時のすき間戦略【トリガイ】



- トリガイは、1990年代後半以降、10～100トン程度の生産量で推移し、春季の底びき網の漁業対象種として、毎年期待されている。
- 大畑ら(2013)によると、秋季貧酸素水塊解消後に着底した稚貝が急速に成長し、翌年春に漁獲サイズに達し、貧酸素水塊の再発生により死滅するという。

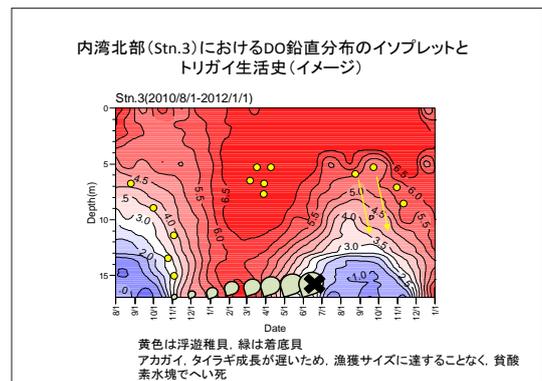
2004年の貧酸素水塊分布(8月25日)と 2005年のトリガイ漁場



年でもまき網、底びき網で多く漁獲されています。スズキの漁獲量が最も多いのは千葉県であり、そのほとんどが東京湾で漁獲されていることから、全国で最も多くスズキが東京湾で漁獲されていることになります。その理由として、①外湾、富津岬の南側にスズキに好適な環境の産卵場があり、②餌料の豊富な内湾に輸送されるためだと考えられており、東京湾全体がスズキに適した海域となっているようです。

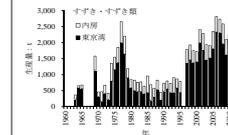
以前、スズキの漁場と貧酸素水塊の分布の解析をしました。これで見ると、貧酸素水塊の縁辺で多く漁獲されていることから、最初は貧酸素水塊から逃げて、分布しているのかなと思っていたのですが、カレイや貝と違って、ちょっと浮かべば死ぬこともないので、貧酸素水塊をそれほど苦しめず、うまく行き残っているのではないかと考えています。

マコガレイについても、成長段階ごとに生息環境と併せて、資源増大のアイデアを整理するつもりですが、その他の生物についても、誰かがアイデアを出していただければ、今回のような提案につながるのではないかと考えますので、皆さんでいい知恵を絞ることが大切だと思います。

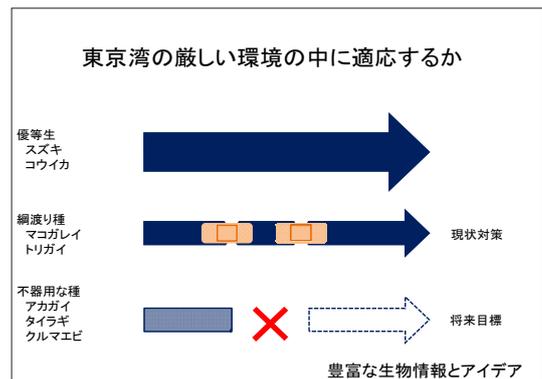
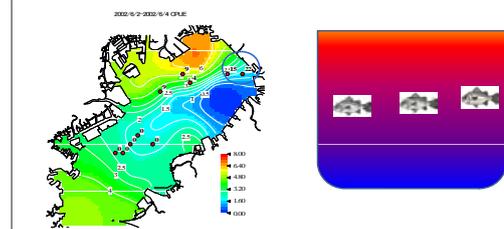


環境完全対応型【スズキ】

- スズキは1990年代後半から資源が急激に増加し、近年でもまき網、底びき網で多く漁獲されている。
- 外湾に好適な産卵海域があり、餌料の豊富な内湾で成長する。
- スズキ漁獲量(千葉県1位)



環境完全対応型【スズキ】



沿岸域の生物生息場の最適配置とは？ - 概念モデルによる検討 -

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

今日は、特に内湾での沿岸域で多様な生き物が暮らす生息場を置きたいと考えているんですが、その最適配置についてのお話をします。

これまで人間活動に伴う沿岸域の生息場の減少が起こっていて、生態系サービスの価値や質が低下してきています。この問題を解決するために、生物生息場を再生して、いろいろな生き物が住める場所をつくっていきたくて考えています。多様な生き物が暮らせる場をつくっていきくと、生態系サービスが充実していくことも分かっているので、そこを目指していこうということです。これまでの再生する方法としては、比較的狭い空間、小さなスケール、1辺が数メートルから1キロぐらいの範囲に生息場をつくるということをやってきました。このとき、スケールは小さいので、主に考えなきゃいけないところは、垂直方向で生き物の分布や組成が大きく変わっていきますので、そこをよく設計していかないといけないということで、断面形状を中心に設計が検討されてきました。

私が今考えているのは、もうちょっと広いスケールで見たらどうなるのかなど。内湾スケールで、四角が大体100個分ぐらいかなと思って、掛ける100と書いたんですが、もっと広いスケールで見ていきますと、生き物の移動に注目していかないといけないのではないかなと考えています。例えばボラの例ですと、ボラは外洋で卵を産んで、その子どもが内湾に移動して行って、内湾で成長する。そのうちの一部は川にも遡上（そじょう）して行って成長して、大人になると、また産卵のために外海に出ていきます。あまり動かなさそうなアサリでも、主に干潟に親のアサリは住んでいますが、アサリが放出する幼生は、この東京湾の図にありますように、丸が幼生の居た所なんですけれども、東京湾のかなり沖合のほうにまで幼生が出ているということが分かります。石井さんの発表にもありましたとおり、かなり海洋生物っていうのは一生の間に動くんだなと。陸上生物と比べても、かなり動くというのが特徴です。

では、そこで、内湾の生物の生息場づくりには、移動のことを考えるというのが重要そうだなと思うんですけども、どのように生息場を置いたらいいのかということに対して、まだまだ工学的な知見が得られていない状態です。例えば、これは仮想の内湾ですが、仮想の内湾の赤い所が生息場として、こっちの例ですと、近い所に赤いのが置いてあって、近ければいいのか、それとも、もうちょっと下のほうに、赤い別の生息場で遠い所に置いてあるのもありますが、遠い所に置くべきなのかというところが、まだよく分からない。近い、遠いっていうのは、どれぐらいのスケール感かというのも、生物の種類によって違うと思うんですが、そこもまだうまく整理できていないわけです。単一種の生息場の空間配置については、これまでいくつかの研究事例がありまして、少しは分かっているんですが、うちの研究室で目指したいのは、もっと多様な種の暮らせる生息場の配置を検討したいということで、ここでは研究を新たに進めていくことにしました。

この中で今回は幼生の移動に注目しています。幼生はいったいどれぐらい移動するのかと思って、このグラフを



沿岸域の生物生息場の最適配置とは？ - 概念モデルによる検討 -

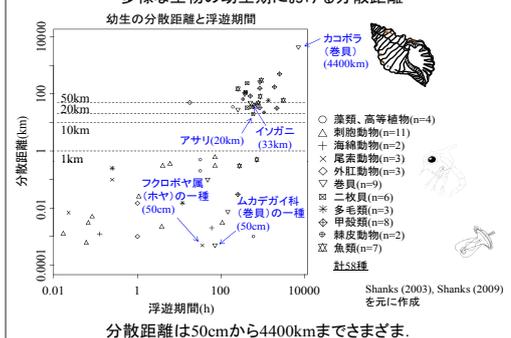
国土交通省 国土技術政策総合研究所
秋山吉寛, 井芹絵里奈, 岡田知也

- ・生物の移動に配慮した生息場作りが重要
- ↓
- ・水域全体の生物生息場の空間配置(Seascape)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か？最適な水域全体の生物生息場とは？
- ↓
- ・単一種の生息場の配置は過去に検討されているが、我々は多様な種の生息場の配置を検討。今回は幼生の移動に注目。

生息場の配置と生物の移動



多様な生物の幼生期における分散距離



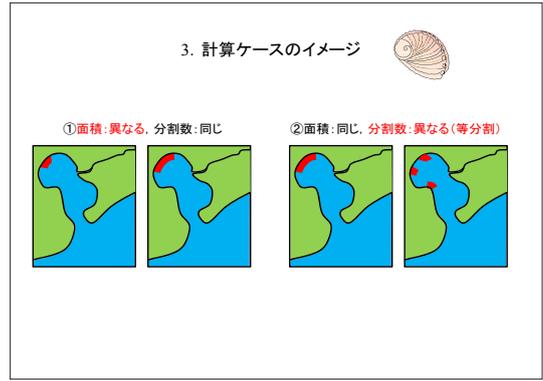
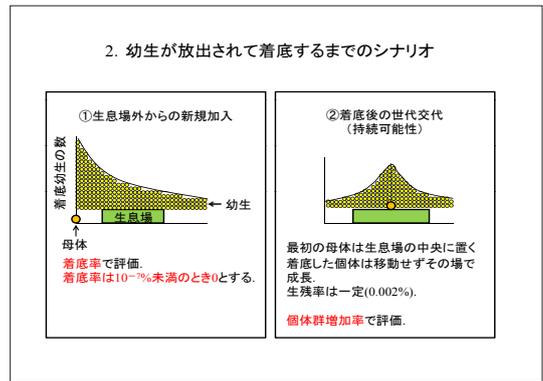
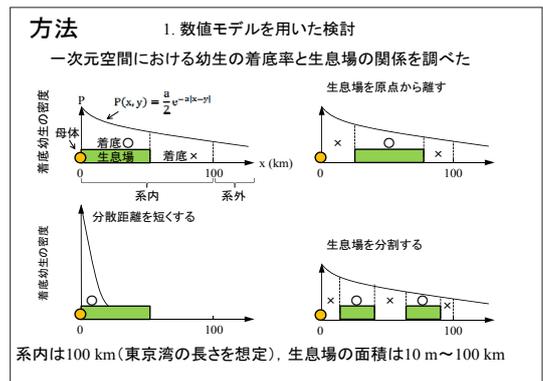
つくってみました。縦軸が分散距離になっていまして、上と下の所に、大体レンジが分かるんですが、一番分散しないやつですと、ホヤの仲間ですとか、あとは、巻き貝の仲間、50センチぐらいで、一番上に表示されているのがカコボラという巻き貝なんですけど、4,400キロです。分散距離は、身近でよく見かけるアサリだと20キロ、イソガニだと33キロとかで、分散距離は結局50センチから4,400キロまで色々だということが分かります。

この生き物の移動を考慮した数値モデルを用いて、生息場の配置として何がいいのか、最適なのかっていうのを考えていこうということで、この研究を進めました。ここでは、パソコン上の計算なんですけれども、1次元空間の中に母体を1つ置いて、あと、もう1つ生息場を置くということをしました。母体を起点として幼生が出ていって、その幼生の分布は、拡散の関数に従って、母体から離れるほど密度が下がっていきますよという式を与えて、生息場の上に着底したものは着底成功で丸と、生息場の隣に落ちてしまったものは着底バツと書いてあるんですけど、これは失敗ですよ。こうすると、着底率を計算することができます。さらに、系内って書いてあって、ゼロから100のレンジなんですけど、これは内湾を一応想定しています。内湾の中で生息場を配置することを考えているので、この生息場という緑の所は系内だけで配置を検討する。系外っていうのは外海のことを意味しています。外に出ちゃったものは生息場がないのでアウトと、ここでは仮定しています。分散距離が短くなったときには、下の絵のようになりますが、この分布が狭まっていって、同じ大きさの生息場にもかかわらず、100パーセントの幼生がうまく着底できるという絵です。さらに、今までずっと母体と接して生息場を置いていたが、これをずらしていくと、ここでまた着底率が変化していく。さらに分割するというのも検討しています。このときの生息場の面積は10メートルから100キロで設定しました。

あと、幼生が放出されて着底するまでのシナリオとして、2つ検討しました。1つは、新しくつくった生息場があるとして、その生息場の外に母体が居ると。もともとたぶん本来居た生き物の生態ですね。これが幼生を放出して着底するというのを仮定しました。そうすると、生息場に何パーセントかの幼生が着底するんですが、この生息場の評価を着底率で評価しました。あと、着底率が10のマイナス7乗パーセント未満のときはゼロとしました。もう1つのパターンは、着底した幼生のうち一部が生き残って大人になる。大人になって、オレンジの丸になって、生息場から直接幼生を吐き出すパターンです。この場合は、最初の母体は常に生息場の真ん中に置くというやり方をとりました。あと、生残率は常に0.002パーセントで固定しました。この生息場の配置について評価するときは、10世代分計算したんですね。世代を経て計算していくと、徐々に個体群が成長していったり、衰退していったりするわけです。そのときの増加率で評価しました。

1次元モデルの計算のイメージを地図に起こしてみると、こんな感じになります。これも仮想の内湾ですが、評価の仕方として、分割数をこっちの例では固定してる。ここでは1個ですが、それに対して面積だけを変えると、面積に対して、着底率や、個体群増加率がどう変化するかっていうのが評価できる。こちらの例では、逆に面積を固定してやって、分割数を変えると、分割数に対して、どのように生物の盛衰が変化していくのかというのが評価できるわけです。

この数値モデルで考慮する生き物の分散距離は、ここで調べたピンク色の範囲ですね。つまり、すべての幼生で観察される分散距離がすべて含まれるようなレンジで計算を行いました。

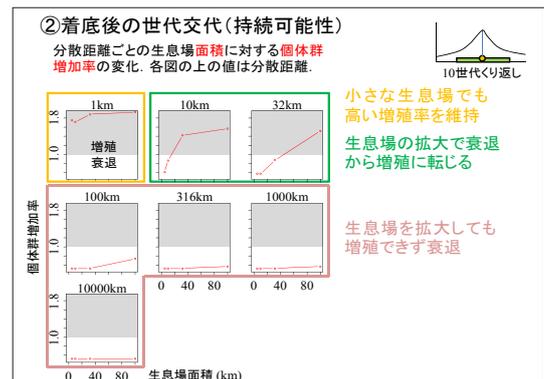
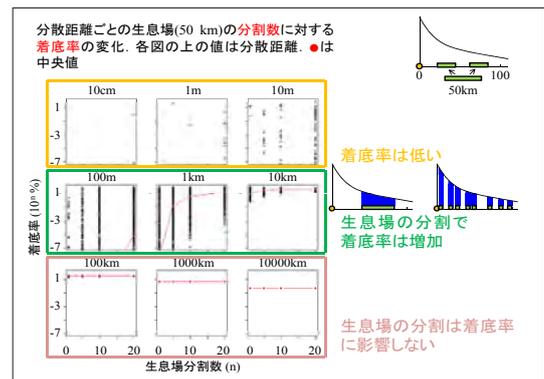
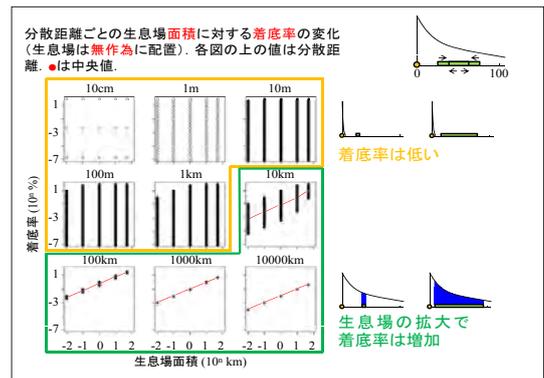
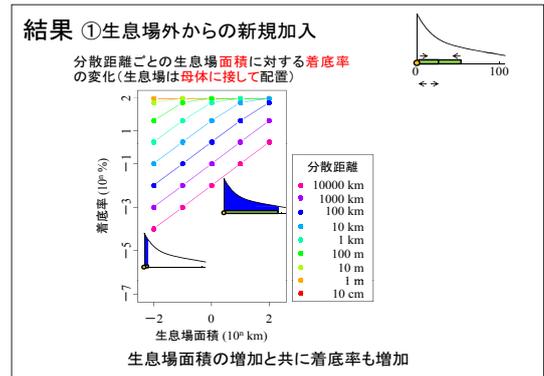
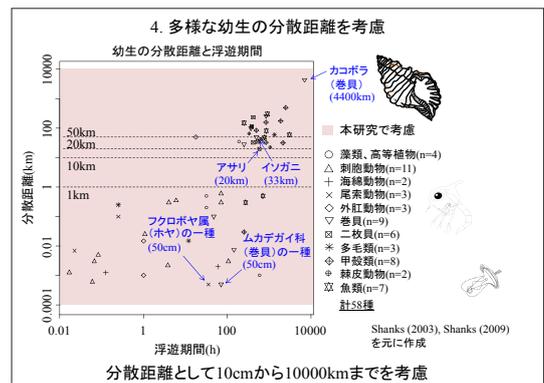


結果です。まず、母体が原点に居て、そこの母体に接する形で生息場を置いて、面積だけ変化させた場合です。横軸が面積なんですけれども、左側のほうが小さな生息場で、右側に行くほど大きくなっていくので、着底率はどの分散距離の生き物も上がっていきます。これなんか当たり前の感じなんですけれども、あと、一番上の所に横ばいになっているものは、分散距離が1メートルとか10センチの、非常に分散しないタイプの生き物でして、これは非常に小さな生息場をこの直近に置いてやることによって、着底率が100パーセントいつているので、横ばいですよということなんです。

次は、母体から離して、無作為に生息場を置いてみる。無作為に置きながら、面積を変化させた結果がこれです。オレンジ色の所を見ていただくと、先ほどと逆の結果になっているんですが、着底率が下がっているオレンジのグループは、分散距離がどれも短いやつです。分散距離が短いと、横軸が生息場面積なんです、面積をこのように大きくしても、なかなか針のような分布を示す幼生は、着底させることがなかなか難しい。100キロの海に対して、1メートルぐらいしか分散しないものを、うまく着底させようというのは難しいなということなんです。それに対して、ほどほど分散距離が長い生き物、この緑で囲った所ですが、説明し忘れましたが、この各グラフの上にかかれている10キロとか、1万キロというのが分散距離です。分散距離が比較的長いものに対しては、生息場面積を広げてやると、着底率、縦軸の方向に向かってプラスに上がっていきますよという傾向が分かります。

次に、これは、面積は50キロで固定しておいて、分割したパターンですね。20個まで分割してみても、どういう着底率の変化があるかを見たものです。オレンジ色の分散距離が短い所では、着底率がマイナス7乗以下だったので、ゼロとみなして、ここではうまくいっていない。緑で囲った所は、もうちょっと分散距離が長いですが、ここでは生息場を、同じ面積にもかかわらず、分割して置いてやることによって、着底率が上がっている傾向が見えるグループです。さらに分散距離が延びていきますと、これは完全に横ばいになっていまして、どういうことかといいますと、この幼生の分布が、横に延び過ぎてフラットになっている状態ですね。平らに広がっていつているので、結果的にどこに生息場を置いても着底率は変わりませんよという結果になっています。

これは持続可能性を検証するために行った、世代交代のモデルの結果です。このように真ん中に母体を置いて、幼生を吐き出させて、10世代繰り返すと。この縦軸が個体群増加率と書いてありまして、この値が1を超えた場合に、個体群が成長して増殖していく傾向があります。逆に1を切ると衰退ですね。なので、灰色のエリアに入っている所の点は、うまく個体群が成長していくことを示しています。唯一このオレンジで囲ってある所というのは、すごく小さな生息場であっても、十分に増殖する能力を持っている生き物で、非常に分散距離が短いやつです。それに対



して、もうちょっと分散距離が延びますと、最初のうちは、小さい生息場では衰退傾向にあって居なくなっちゃうんですけども、面積を広げてやることによって、衰退から増殖に転じるグループです。さらに分散距離が延びていきますと、生息場を一生懸命広げてやっても、なかなか増加傾向に持っていくことができないグループと。これは外海に出ていく幼生の割合が結構高いので、一生懸命内湾だけで生息場をつくっても、うまくいかないということです。

これまでの結果を1つの表にまとめたのが、この色付きの表です。この表の中で、幼生の分散距離に近いものほど、似たような結果になっているというのが分かると思います。色付きのセルがありますが、色付きセルは生残率が10のマイナス7乗パーセント以上で、ゼロじゃない、あるいは、個体群が増殖傾向にありましたよという所です。この中で濃い緑色の所は、生息場の面積や、あと、分割数を増やしてやることによって、着底率や、あと、個体群増加率が上がっていったという結果が出たものです。これを分散距離ごとにまとめてみるっていうことができるんじゃないかなど。分散距離の近いものほど類似した傾向が見られるということで、ざっくりとなんですけれども、短距離分散型で10センチから10メートルで、中距離が100メートルから10キロぐらいで、長距離分散型が100キロから1万キロで分けました。

これでさらに生息場の配置との関係を見ていきます。これは母体の生息する場所が分かっているから、効率よく、その近くに生息場を置いてやればいだろうということが出来る種ですね。そういう場合に、短距離分散型の生物の幼生の加入を促進させることができますというか、そういう生息場の配置を示すことができます。それはもともと居た、本来親が居た生息場のすぐ横に生息場を置いてやる。そうすると、効率よく幼生を着底させることができます。

母体の生息する場所が分からない場合は、ああやって効率よく、いい場所を狙って置くことができないんですが、この場合は、中距離分散型の生物の幼生の新規加入を促進させる生息場の配置が提案できます。この場合には、同じ面積であっても、生息場を分割することによって、カニ1匹しか着底しなかったのが、ここでは3匹着底していますが、このように着底効率を上げることができるということです。

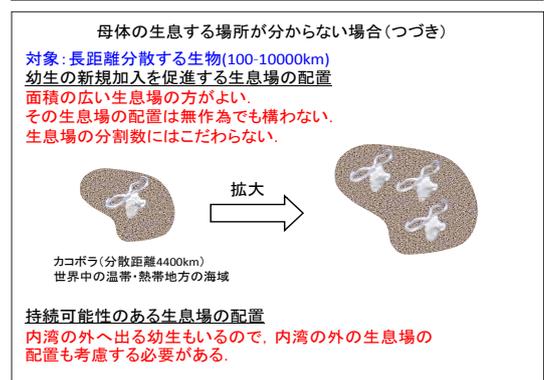
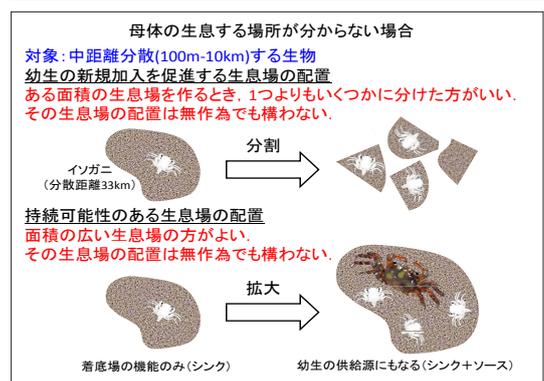
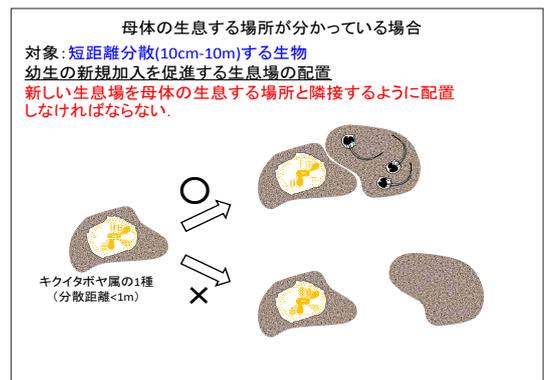
さらに、持続可能性のある生息場の配置の提案として、ともかく面積の広い生息場がよいですよ、そして、上の状況でも、下の状況でも、生息場の配置は無作為でも、こういった傾向が見られますよということが分かります。さらに、長距離分散する生き物について、幼生の加入の促進するための生息場の配置を考えていきますと、これも、ともかく面積が重要で、特にそれを分割しても、しなくても変わらないし、あと、無作為に配置しても構いませんよと、ともかく広いのが重要ですよというのが長距離分散型で、持続可能性のある生息場の配置については、内湾の外に出ちゃう幼生の割合が高いので、内湾だけで生息場の配置を考えていくとうまくいかないんで、外海の生息場の配置も同時に考えていくと、持続可能性のある生息場の配置というのが提案できるだろうと考えています。

いろいろな結果が出てきましたが、今後の展望として、ここで得られた研究成果で、短距離型、中距離型、長距離型で、

考察
生息場の面積の増加及び分割数の増加に対する生物の盛衰

		幼生の分散距離 (10 ⁿ km)											
		-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4			
新規加入	面積の増加 (≤ 100 km)	0	0	+	+	+	+	+	+	+	+	+	母体の生息場に接して配置 無作為に配置
	分割数の増加 (≤ 20個)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
持続可能性 (10世代)	面積の増加 (≤ 100 km)	NA	NA	NA	NA	+	+	+	+	+	+	0	短距離分散 (10cm-10m) 中距離分散 (100m-10km) 長距離分散 (100-1000km)

色付きセル: 生残率は10⁻⁷%以上あるいは、個体群の増殖傾向
 緑: 生息場の面積*あるいは個数**の増加で生物は増加
 黄緑: 生息場の面積あるいは個数を増加させても生物の盛衰への影響なし、NA 今回計算していないケース
 *10m~100kmの間で変化、**1~20個の間で変化
分散距離によって適した生息場の配置が異なる



それぞれ生息場の配置に対して、その生物の盛衰のパターンが違ったわけですが、それぞれのいい生息場の配置というのをうまく組み合わせることによって、同じ1つの内湾の中で、それぞれ異なる分散距離の生き物が、このように1つの生息場でたくさん増えてくる場の再生を今目指しています。

今後の展望

本研究成果で得られた短～長距離分散の生物が同一の海域に生息できる場について検討し、水域全体の最適な生息場の再生をめざす。



東京湾のニホンウナギ

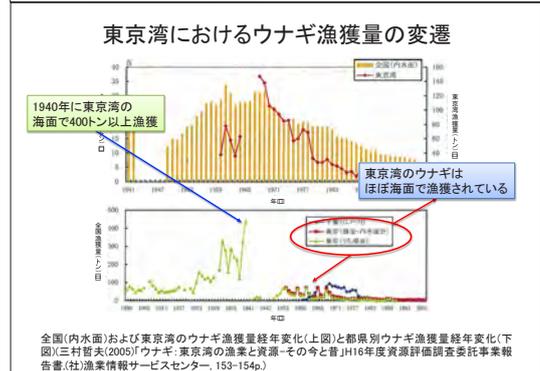
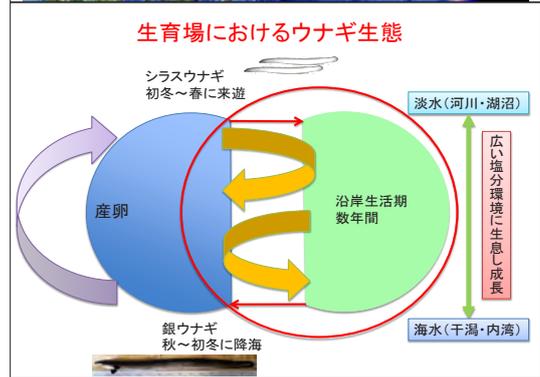
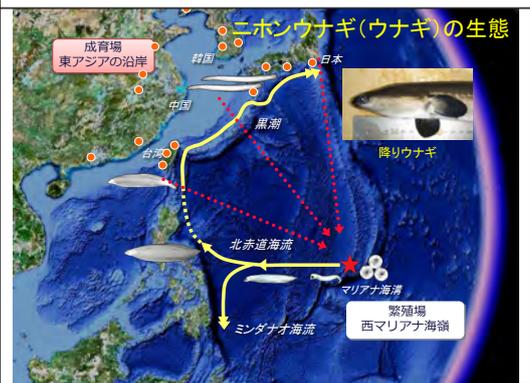
国立研究開発法人水産総合研究センター増養殖研究所資源生産部沿岸生態系グループ
主任研究員 山本敏博

本日の話題について、少し先にお話をさせていただきたいと思
います。私共の組織名・「水産」総合研究センターとありますと
おり、本日の話題の前半は東京湾のニホンウナギの「漁業」の歴
史についてお話をさせていただきたいと思います。また、本日の
話題の副題として書かせて頂いた通り、話題の後半に、ニホンウ
ナギの保全、われわれの方で取り組んでおります資源保全研究、
「食う、食われるものからのアプローチ」ということで、お話をさせ
ていただきます。この絵を見ていただければ、ご存じの方もいると思
いますけれども、かつての東京湾の宮戸川ですので、隅田川の河
口の浅草川ですかね。このように、ウナギ鎌という、ウナギを鎌の
ようなもので引っかけて獲る漁法が、この辺りで盛んだったよう
です。また、ウナギというのは江戸前を代表する魚で、もともと江戸前と言
えば、ニホンウナギを指していたということのようです。

まずニホンウナギの生態です。以後、ニホンウナギをウナギと省
略させて呼ばせていただきますけれども、生態から紹介させてい
たきたいと思います。皆さん、ご存じとは思いますが、ウナギに関
しては、東アジアに生息をしております。秋になると、このように目
が大きくなって、胸びれが黒くなって、海へ降り、産卵場へ向か
います。産卵場は、マリアナ海溝の西側ですね。西マリアナ海嶺
(かいいい)のあたりで、ということが近年確認されております。その後、
北赤道海流に乗って、レプトセファルス幼生といいますが、このよ
うなものが流れて、途中で黒潮に乗り換えて、東アジアの生育場へ
運ばれてきます。生育場は、今、申しましたとおり東アジア沿岸と
いうことで、日本はその分布の中心になります。

この生育場でのウナギの生態は特徴的です。先ほどのスライ
ドで、降りウナギが産卵場へ行って産卵をして、シラスウナギは初
冬から春に生育場に来遊してくるとお話ししました。生育場でウ
ナギは数年間から十数年生活をしします。ニホンウナギの最大の特
徴は、我々の身近に生活してるんですけども、淡水：水産の用語
では内水面といいますが、河川、湖沼域ですね。あとは、東京
湾は特徴的な海面ですけども、海水、干潟、内湾と言った広い
塩分環境に適応して生活をしているということです。

東京湾におけるウナギの漁獲量の変遷の話に移ります。下の図
を見て下さい。緑のラインが東京湾のかつての漁獲量、こちらが
スケール、どれぐらい獲れていたという単位を示していますけれど
も、1940年に東京湾の海面で400トンを超えて漁獲されてお
りました。400トンというとどれぐらいの量かということ、1尾300
グラムで計算すると、400トンは120万尾です。現在の東京の昼
間の人口が1,000万人以上としても、10人に1人食べれるか、食
べれないかで、最盛期でもそれぐらい貴重なものでした。今は、
後ほどお話ししますが、後ほど数千尾しか獲れていません。もう
1つ特徴的なものとして、東京湾のウナギというのは、この図の
緑と赤ですね。緑色が東京



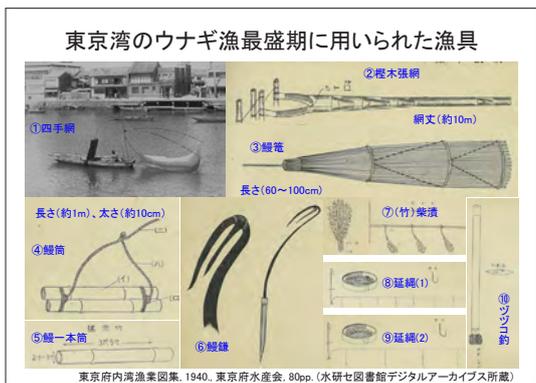
湾の海面の漁獲量になります。赤色が海面と内水面ですね、河川、湖沼、淡水域の漁獲量を足したものになります。そうすると、ほぼオーバーラップしています。これから見ると、統計上も明らかなんですけれども、東京湾のウナギは、ほぼ海面で漁獲されているといえます。この特徴というのは、日本の他の水域と比較して、東京湾のみということになると思います。

1940年に最大400トン以上、東京湾でウナギが獲れていたと示しましたが、そのころ実際にウナギの漁獲に用いられていた漁具をこのスライドで紹介します。これは、冒頭のスライドで紹介した宮戸川で用いられていたウナギ鎌です。他の漁具も含めると細かく分けてこれだけですね、10種類。ほぼ10種類の漁具・漁法が用いられて漁獲されておりました。現在とはいうと、結論から言ってしまうと、4番目のウナギ筒。3本を束ねた竹の筒、ないし、塩ビのパイプを沈めて、そこにいったウナギをソーッと引き上げて網ですくうという漁法のみが行われております。

先に示した資料は、1940年に刊行された『東京府内湾漁業図集』からウナギを対象とした漁法のみ抜粋しています。『東京府内湾漁業図集』には、違法禁止漁業も含めて71種類が紹介され、どういう漁具で何月に、どこで、どんなふうに獲っていたかということが記されています。東京湾のウナギ漁業の最大の特徴として、海面、ウナギは海面といっても、主に5メートル以浅の河口から干潟域の海面で漁獲されていたということが、この資料から伺えます。

現在の東京湾におけるウナギ漁業に話を移します。私が、東京湾でウナギの調査を始めたのが、2010年ぐらいです。そのころに、東京湾全体の漁協の方を回らせていただきまして、聞き取りないし、実際に現場に行つて確認をさせていただきました。荒川の隣に中川という川があるんですけど、中川の河口は両岸、このように護岸になっております。そちらの方で、わずか1カ統のみ、ウナギの漁業が残っていました。現在は数カ統の方が操業されているようですが、当時は1カ統でした。その方に2013年から操業日誌を執っていただいて、今も執っていただいているんですが、そこから計算をすると、東京内湾で獲られている天然ウナギの量は、現在年間で1トン未満ということになります。仮に1トン獲れていたとして、1キロに3匹入っているとすると、東京湾で3,000尾ぐらいしか天然ウナギが獲れていない。さらにいえば、遊漁の釣り等で獲られているものも含めても、数千尾しか東京湾ではウナギが毎年獲られていないのかなという印象です。一方、漁法に関して言えば、先ほども紹介しましたウナギ筒で漁獲されており、その点では最盛期と変わらない。これ江戸時代から続く漁法だと思われそうですが、このような漁法で獲られています。もう1つ、ここで紹介させていただきたいのは、中川で漁獲されているウナギについて、CPUEという単位努力量あたりの漁獲量というのがあるんですけど、それで見ると、全国で最もウナギが高密度に分布しているだろうことが分かっています。ですので、東京湾の河口域というのは比較的ウナギにとって住みやすい場所なのかなというふうには考えております。

ここまで、400トン獲れていた時代から1トン未満しか獲れていない現状を紹介させていただきましたが、東京湾に限らず、東アジア全体でウナギが減少しております。この減少要因ですけれども、考えられるのは場の消失ということが言われております。資源量減少と場の消失の因果関係は、明確な情報っていうのは非常に少なく情報不足の点は否めませんが、恐らく言えるだろうと。あと、獲りすぎも考えられると思います。特にウナギは、養殖による生産量が高く、養殖に用いられるウナギの赤ちゃん、シラスウナギと言いますが、これの獲りすぎによって河川や沿岸への新規の加入量が減少していると考えられます。あとは、東アジア全体の親ウナギ資源が減少していること



東京湾におけるウナギ漁業の特徴

東京府内湾漁業図集では、昭和初期の東京湾内の漁法を網羅しており(網漁員31種、延縄漁員12種、平均11種、禁止漁業5種、その他12種の計71種類)、その中でウナギを漁獲していた漁具(漁業)10種について取りまとめた。

漁具名	漁具の長さ	漁具の幅	漁具の深さ	漁具の材料	漁具の用途
①四手網	長さ(約1m)、太さ(約10cm)	約10m	約10cm	竹、木	網を引いて一定時間後にフコギに投入した魚獲をフコギコンゴの舟小舟の上で漁獲する。
②桎木張網	長さ(約10m)	約10cm	約10cm	竹、木	網を引いて一定時間後にフコギに投入した魚獲をフコギコンゴの舟小舟の上で漁獲する。
③網	長さ(約100m)	約10cm	約10cm	竹、木	網を引いて一定時間後にフコギに投入した魚獲をフコギコンゴの舟小舟の上で漁獲する。
④網筒	長さ(約1m)、太さ(約10cm)	約10m	約10cm	竹、木	網筒(約30cm)で網を引いて、一本の網筒には約200尾のウナギを、網筒には約20尾のウナギを投入し、4分間の網筒に引き上げて漁獲する。
⑤桎一本筒	長さ(約1m)、太さ(約10cm)	約10m	約10cm	竹、木	網筒(約30cm)で網を引いて、一本の網筒には約200尾のウナギを、網筒には約20尾のウナギを投入し、4分間の網筒に引き上げて漁獲する。
⑥網鎌	長さ(約1m)、太さ(約10cm)	約10m	約10cm	竹、木	網筒(約30cm)で網を引いて、一本の網筒には約200尾のウナギを、網筒には約20尾のウナギを投入し、4分間の網筒に引き上げて漁獲する。
⑦竹葉漬	長さ(約1m)、太さ(約10cm)	約10m	約10cm	竹、木	網筒(約30cm)で網を引いて、一本の網筒には約200尾のウナギを、網筒には約20尾のウナギを投入し、4分間の網筒に引き上げて漁獲する。
⑧延縄(1)	長さ(約1m)、太さ(約10cm)	約10m	約10cm	竹、木	網筒(約30cm)で網を引いて、一本の網筒には約200尾のウナギを、網筒には約20尾のウナギを投入し、4分間の網筒に引き上げて漁獲する。
⑨延縄(2)	長さ(約1m)、太さ(約10cm)	約10m	約10cm	竹、木	網筒(約30cm)で網を引いて、一本の網筒には約200尾のウナギを、網筒には約20尾のウナギを投入し、4分間の網筒に引き上げて漁獲する。

東京府内湾漁業図集、1940、東京府水産会、80pp。(水研セ国産館デジタルアーカイブ所蔵)

東京湾におけるウナギ漁業の現在

- 東京都中川で1ヶ統のみウナギ漁業(網筒)が存在(2010年時点)
- 現在は数ヶ統が操業しているが、漁獲量は1トン未満と推定される。
- ウナギは浅海域でのみ漁獲されている。→最盛期と変わらない特徴

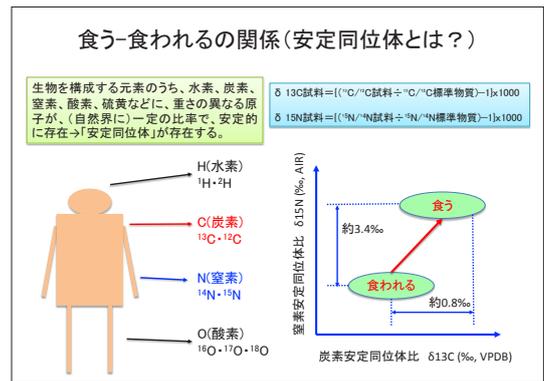
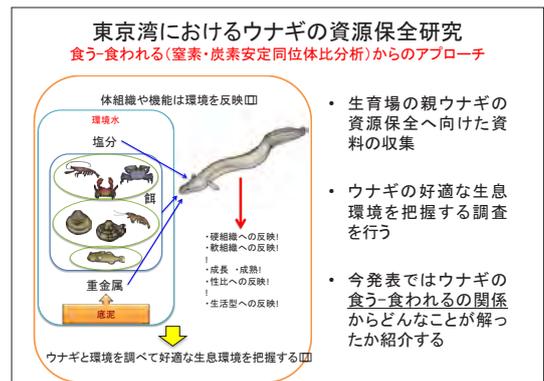
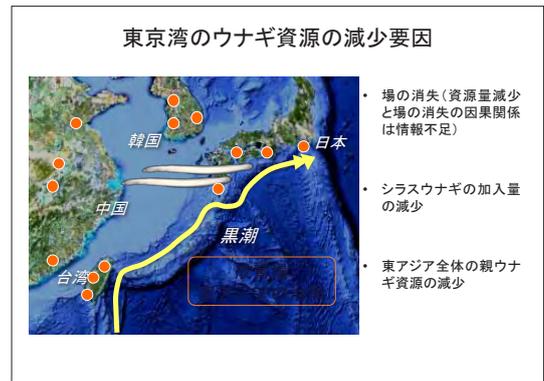
によって、これらが一連のサイクルとしてつながるんですけども、全体的に減っているということが考えられます。

それでわれわれとして、東京湾におけるウナギの資源保全研究に取り組んでいます。私は、最終的にはウナギ漁を漁業として成り立たせながら保全していくことを想定しております。その解決の糸口の1つとして、食う、食われるという研究アプローチを、この次に紹介させていただきます。その概念図です。生育場の親ウナギの資源保全に向けた資料の収集ということがまずあります。次に、どういう環境を整えればウナギが増えるのかということで、ウナギの好適な生息環境を把握することを調査の大きな目的としました。さて、ウナギに限らずいろんな生物は、体組織や、表現型というか、そういうものは環境を反映します。ウナギの面白いところは、他の魚にもみられることがありますけれども、水環境とか、餌環境が成長・成熟、オスメス決定、性比とか、川に行くか、海に行くかというところも変わってくると考えられています。ですので、これら環境とウナギ、生物、ウナギ自身の組成を調べて、ウナギの好適な生息環境を把握するというを最終的なゴールにしています。

その中の1つのテーマとして、食う、食われるの関係を、ここでは紹介させていただきたいと思います。まず、食う、食われるの関係、どういう方法で把握したかということです。窒素と炭素の安定同位体、結論から言ってしまうと、その比を調べて、そこから、食う、食われるの関係を明らかにしています。生物を構成する元素のうち、水素、炭素、窒素、酸素、硫黄などに、重さの異なる原子が自然界に一定の比率で存在します。そのうちの安定的に存在するもの＝核崩壊しないもの、そういうものを安定同位体といいます。例えば、水素だと1H、2Hとか、炭素だと13C、12Cが存在するんですが、このようなものが体の構成要素になっています。これがその変化率ですね。標準物質っていうのは普通に含まれる、自然界にある標準的な比を表していますが、それからの隔たり具合をパーミルという千分率で表したものを、それをデルタ13Cとか、デルタ15Nという形で表現をします。通常、食われるものと食うものとの関係というのは、食われるものに対して食うものは、炭素でいいますと0.8パーミルぐらい上がります。窒素でいえば、3.4パーミルぐらい上がるということがわかっています。

われわれの調査に移ります。これがD滑走路になります。ここが荒川、先ほど紹介した中川がここです。中川に設定した1、2、3の定点を拡大しますと、こうなります。ここが江戸川競艇になります。荒川の合流点から中川を上流に向かって平井大橋にかけて定点1、2、3を設定しました。それぞれの定点で底生生物とウナギの漁獲調査を行って、それぞれの生物について窒素と炭素の安定同位体比を調べてみました。

調査を開始したのが2012年6月です。この図には2012年6月に定点1、2、3で採集した底生生物とウナギの窒素と炭素の安定同位体比について全部プロットしてみました。海域起源・海由来の餌料生物は陸域起源・河川由来の餌料生物と比較して、窒素と炭素の安定同位体比が高いことが分かっています。さて、もともとの生産の始まりのところをエンドメンバーっていうんですけど、木くずとか、底生珪藻(けいそう)とか、水中に含まれる懸濁態物質からスタートしています。河川由来というのは、エンドメンバーの窒素と炭素の安定同位体比が低いから高次の捕



食者も低い方へ引っ張られます。一方、およそケフサイソガニとか、ホトギスガイとか、アサリっていうのは、海域起源の餌料への依存性が高いことが解ります。ウナギについてみると、河川のなかで上位捕食者にあたるということが分かりました。また、河口にいるウナギは、もう少し細かく見ると、河川由来の餌料に依存しているということも分かってきました。一方、ヤマトシジミなんかもあるんですけど、ヤマトシジミは、上流に生息する個体の方がより淡水、河川由来の餌料に依存していて、海側に生息する個体の方が、海寄りという差が認められました。

それぞれ定点ごとに分けて底生生物とウナギの窒素と炭素の安定同位体比をプロットしたものです。St1 が下流側です。St3 に行くに従って上流になります。この図からわかるのは、より下流側で海域起源の餌料に依存した生物が出現しているということです。

さらに、この図は個別別、定点毎に底生生物とウナギの窒素と炭素の安定同位体比をプロットしたものです。個別別でプロットをすると、下流側のウナギに注目してみますと、下流側では非常にばらつきが大きくて、中流、上流に関しては、そこまでばらつかないという傾向が認められました。その原因が何に起因するのかとすることで、次の解析を行ってみました。

このスライドでは、定点毎にウナギの全長と窒素と炭素の安定同位体比の対応をみています。例えばこの上の図では、横軸が炭素安定同位体比、縦軸がウナギの全長になります。下の図は、横軸が窒素安定同位体比、縦軸がウナギの全長になります。これらの図から、下流側に生息し全長が大きな個体ほど炭素と窒素の安定同位体比が高くなるという傾向がわかります。さらに下流に生息し、大型のウナギほど海域起源の餌料に依存していることが、ここから言えると思います。

もう1つ、これは定点毎に採集したウナギを単純に全長と体重をプロットしたのですが、ここから言えるのは、より河口に生息するウナギほど肥満度が大きいという傾向が明らかになりました。

以上まとめますと、東京湾は、海面でウナギが漁獲されてきた特徴的な海域です。戦前400トン、推定120万尾獲れていたものが、今は数千尾、1トン未満と推定されます。戦前と変わらぬ伝統的漁法で、ほそぼそですが今もウナギ漁業が続けられています。窒素と炭素の安定同位体比の分析結果から、河口域のウナギについては、当たり前かもしれませんが、陸域の餌料源に依存しています。より河口に生息するウナギほど肥満度が大きく、より河口に生息する大型のウナギほど海域に餌料源を依存していると。ここから考察になるんですが、河口や干潟は、ウナギの好適な餌料環境としてはよいのかなというところなんです。また、河口の生物は、陸域や海域起源の餌料をうまく利用しています。これ、ヤマトシジミなんかそうですね。あと、河口は、江戸前の魚介類が今も生息している場所です。さらに、これはまったく想像ですけども、河口は貧酸素水や青潮の影響を受けにくい境界なのかなと。もし貧酸素水や青潮の影響が河口まで及ばなければ、もう少し海側に漁場が維持されていてもいいのかなというふうに考えております。

まとめと考察

- ・ 東京湾は、海面(河口・干潟・浅場)でウナギが漁獲されてきた特徴的な海域
- ・ 戦前400トン(1940年)を超えていた漁獲量は、現在1トン未満と推定
- ・ 戦前と変わらぬ伝統的漁法(鰻筒)で細々と漁業が継続
- ・ 安定同位体を用い、食う-食われるの関係から、河口域のウナギは陸域起源の餌料源に依存
- ・ より河口に生息するウナギほど、肥満度が大きい
- ・ 大型のウナギほど、海域起源の餌料源に依存
- ・ 河口や干潟は、ウナギの餌料環境としては良い！？
- ・ 河口の生物は、陸域や海域起源の餌料を上手く利用する。河口は、江戸前の魚介類が生育できる場所
- ・ 現在、河口は貧酸素水塊や青潮の影響を受けにくい境界？

謝辞

東京東部漁協代表理事組合長 小島一則氏
 東京東部漁協の皆様
 中央隅田漁協の皆様
 大田漁協の皆様
 港漁協の皆様
 芝漁協の皆様
 佃島漁協組合員の皆様
 東京都産業労働局農林水産部
 元東京都島しょ農林水産総合センター小泉正行氏
 元千葉県水産総合研究センター東京湾漁業研究所山田勝雅氏
 株式会社スタンダード嶋村健太氏
 水産庁増殖推進部栽培養殖課
 国立研究開発法人水産総合研究センター高橋千絵・川島智子・青木貴美恵・浅野森子・山田圭子の各氏、研究支援職員の寺本航氏、はじめ職員の方々

東京湾における底棲魚介類の資源変動と環境要因

国立研究開発法人国立環境研究所環境リスク研究センター生態系影響評価研究室
主任研究員 児玉圭太

国立環境研究所・環境リスク研究センターにおいて実施している東京湾研究の概要を示します。研究の目的は、東京湾の底棲魚介類群集（海底に棲息している魚類、甲殻類、軟体類、ウニ類の現状および、長期的な動態の把握をまず行って、漁獲量や生活史特性がなぜ変化するのか、についての原因を解明することです。

研究の進め方としては、こちらに示した2つの調査から進めております。1つは群集レベル調査ということで、個別の種だけでなく魚介類全体についての調査です。これは、東京湾20定点調査と呼ばれる年4回のベースライン調査により、魚類、甲殻類、軟体類、ウニ類の底棲魚介類群集として生物量・種組成がどのように変化しているかということモニタリングしています。

次に、個体レベルの調査については、群集レベルの調査で抽出された、大きな特徴的な変化を示す種について、より詳細に、種別の生活史および個体群動態について研究を行っています。現在、スライドに示した4魚種、シャコ、ハタタテヌメリ、マコガレイ、ホシザメについて調査をしておりますが、本日は、シャコの研究結果についてのみご紹介いたします。

まず1つ目の話題、東京湾20定点調査についてです。この調査は漁業独立の生物モニタリングです。通常、魚介類の生物量の変化を把握するためには、都道府県が集計している漁獲量統計が利用されます。先ほど、千葉県の石井さんからもご紹介のあったようなデータです。そうした漁獲量データは、商業的な漁業で得られたものですので、漁業者が魚が集まっている所に集中したり、魚がいる時期に偏って操業したり、といった漁獲努力量の偏りがありますし、商業的に利用価値がなく漁獲されない雑魚についての情報も得られないという欠点があります。漁業独立の東京湾20定点調査では、湾内全域にくまなく定点を配置し、春夏秋冬の四季調査により一定の時間間隔で、すべての定点で同じ方法で漁獲するというので、漁獲努力量に偏りのない情報を得て、魚介類の生物量・種組成の長期変動を見て、環境変動との関係も解析します。

調査の概要についてです。この長期用モニタリング調査は1977年に東京大学農学部水産学第1講座の清水誠先生が始められ、1995年まで19年間続けられました。その後、しばらくは調査が休止しましたが、2002年に国立環境研究所の堀口敏宏室長により調査が再開され、現在も継続して調査を実施しております。この調査では、横浜市漁業協同組合柴支所の漁船を傭船し、各定点で2ノット10分間の試験底曳を行っています。魚類、甲殻類、軟体類、ウニ類、の4分類群を採集し、個体数と重量を測定して、生物量と種組成の長期変動を調べています。

このスライドでは、1曳網あたりの漁獲量（CPUE: catch per unit



東京湾における底棲魚介類の資源変動と環境要因

国立研究開発法人 国立環境研究所
環境リスク研究センター
児玉 圭太

本日の発表内容

1. 東京湾20定点調査 (底棲魚介類群集の長期変動)
2. シャコ個体群調査 (生活史初期における
貧酸素水塊の影響)

国立環境研究所・環境リスク研究センター 実施中の東京湾研究の概要

目的

底棲魚介類群集の

- ・ 現状および長期的な動態の把握
- ・ 漁獲量・種組成の変化を引き起こす環境因子の解明

1. 群集レベル調査 (東京湾20定点調査)

底棲魚介類の群集構造の時空間的变化をモニタリング

2. 個体群レベル調査 (主要種の生活史特性と個体群動態調査)

主要種の生活史特性と個体群動態を調査

シャコ
ハタタテヌメリ
マコガレイ
ホシザメ

Oratosquilla oratoria
Repomucenus valencienni
Pseudopleurometes yokohamae
Mustelus manazo



東京湾20定点調査 (漁業独立の生物モニタリング)

- ・ 漁獲統計に無い非漁獲対象種を含む
底棲魚介類群集の長期変動
- ・ 環境変動との関係



東京湾20定点調査

- 1977～1995年 : 東京大学農学部水産学第一講座
清水 誠 名誉教授
- 2002年～継続中 : 国立環境研究所・環境リスク研究センター
堀口敏宏 生態系影響評価研究室長



幅5.5 m、高さ0.6 mのビームトロール
コードエンド目合3 cm 2ノット 10分間曳網

魚類、甲殻類、軟体類、ウニ類を採集

2002年以降、水温・塩分・溶存酸素濃度を測定
採水および採泥も実施



effort) の経年変化を示しています。上の図が1 曳網あたりの個体数、下の図が1 曳網あたりの重量でそれぞれ1977年からの経年変化を分類群別に示しています。経年変化の特徴としては、調査を開始した1977年から1980年代後半までは、個体数、重量共に増加傾向にありました。しかし、1980年代末に、個体数、重量が共に著しく減少しました。1990年代は、減少したまま低い水準で推移しました。環境研が調査再開しました2000年代には個体数は低い状態が続いていましたが、特徴的なのは重量で、青色の棒で示した魚類が大きく増えたことが見てとれます。さらに2010年代には、赤色の棒で示した貝類が個体数、重量ともに著しく増加しました。このように、東京湾の底棲魚介類群集の生物量と種組成は、過去およそ40年間の間に大きく変化したことが明らかとなりました。

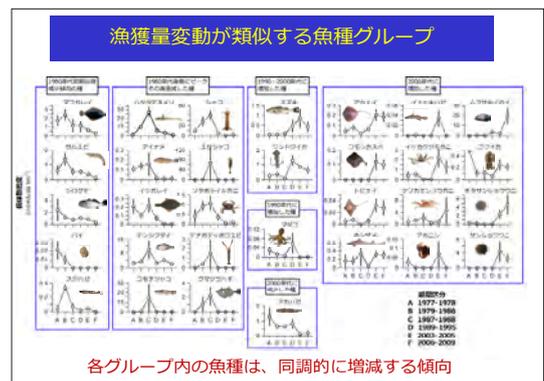
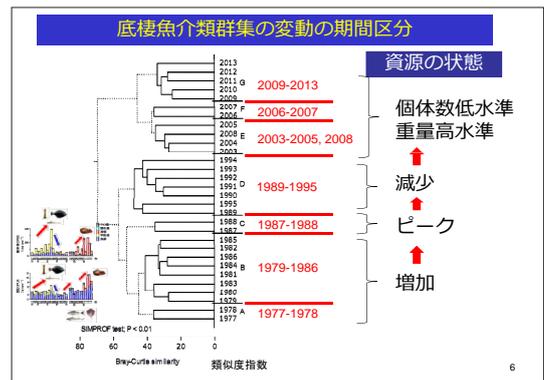
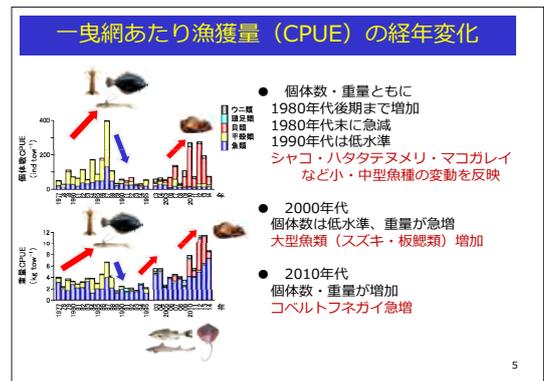
次に個別の魚種ごとに経年変化を見てみます。1980年代に生物量が大きく増えた原因としては、シャコ、マコガレイおよびハタテヌメリなどの、小～中型の魚種が増えたためと考えられます。そして、1980年代末にはこれらの魚種が著しく減少することにより、底棲魚介類群集全体の生物量も減少しました。2000年代の重量増加には、スズキやサメ、エイ類などの大型の種が増えたことが寄与しています。2010年以降には、二枚貝のコベルトフネガイが木更津沖の水域において爆発的に増加しました。コベルトフネガイ1種の増加だけで、魚介類群集全体の生物量の増加につながっています。しかし、コベルトフネガイを除くと、小～中型の魚種は少なく、大型魚種が多いという状況が継続しています。このように、最近の東京湾は大型魚種やコベルトフネガイが増えているが、一方で漁獲対象になるような小～中型の魚種は減ったままであり、生物相が単調化している状況です。生物相の変化の長期的な傾向をみるため、各年の間で種組成・生物量の類似度を求め、クラスタ解析により期間区分を行いました。年変動傾向を要約すると、1970年代から1980年代後半までの増加期。1987～1988年の漁獲類ピーク、1989年代末から1990年代にかけての減少期、2000年代以降の個体数減少・重量増大期（大型魚種の増加）というように区分できます。このように1977年から2014年までの38年間に、東京湾の底棲魚介類の生物相が大きく変化したことがお分かりになると思います。

次に、同じような漁獲量の変化パターンを示す魚種をグループ分けしてみました。各種について、先ほどのクラスタ解析による期間区分に沿って、時系列ごとに漁獲量がどのように変化しているかを表した図です。図の左半分には1980年代に多かった種、マコガレイとかサルエビなどの魚種。次に、1980年代の半ばから後期に多かった魚種、ハタタテ、シャコ、アイナメ、エビジャコなどの小～中型の魚種。これらの魚種は、80年代後期まで増加傾向で、その後急激に減少し、1990年代以降には生物量が低い状態にあるということがお分かりになるかと思えます。

一方、図の左半分の魚種と逆に、図の右半分には最近増えてきている魚種、1990年代に増えてきたスズキとかジンドウイカ、そして2000年代に増えてきたサメ・エイ類やイカ類、ウニ類なども増えてきています。過去と現在では生物量および種組成に大きな変化があり、東京湾に棲息する魚介類の顔ぶれがかなり変わってきている、ということがお分かりになるかと思えます。

こういった同様の増減傾向を示す各グループ内の魚種の資源変動原因は、現在のところ解明されていないのですが、各グループ内の増減の原因は、おそらく類似しているのではないかと推測しています。

次に、東京湾の環境はどういう状態にあるのか？ということで、公共用水域水質データベースや、一般に公表されている環境データベースを基に、水温、溶存酸素、溶存態の栄養塩（窒素、リン）や、クロロフィル、そして動物プ



ランクトンの年変動を調べました。スライドに示した図は、全体の期間の平均値からの偏差、すなわち平均からどれぐらい高いか低いかを表しています。全期間の平均値より高い正の値は赤色、平均値より低い負の値は青色で示しています。各グラフの左上の数字は、全期間の平均値を示しています。1977年から近年までに生じた特徴的な変化としては、水温が表層、底層ともに、上昇傾向にあります。一方、溶存酸素については、底層に貧酸素水塊が形成される6月から10月の間の平均値の経年変化を調べたところ、過去に比べて減少傾向にあることが分かります。栄養塩についても、流入負荷削減の取り組みを反映したためか、溶存態の窒素、リンの濃度が減少傾向にあります。

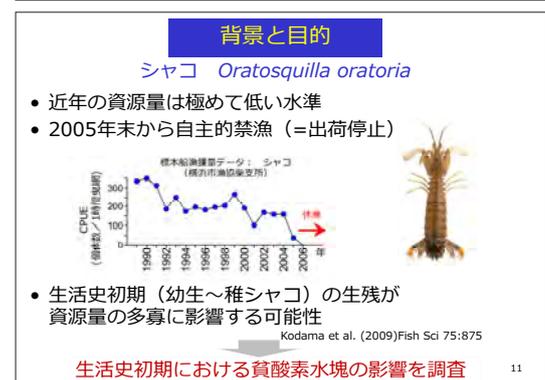
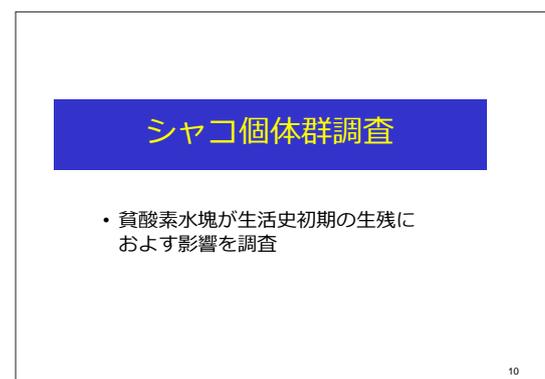
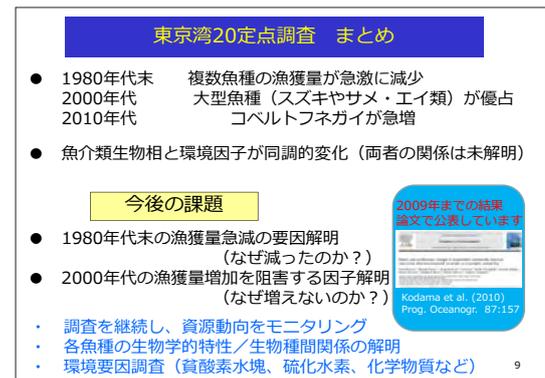
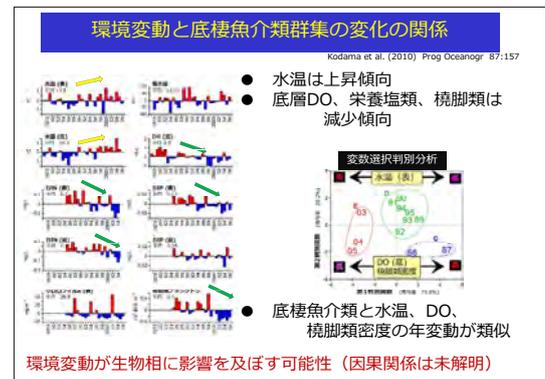
東京都の調査データから動物プランクトンの密度の経年変化を調べたところ、こちらも1980年代から2000年代にかけて減少傾向にありました。以上のような環境変化が1970年代から2000年代の東京湾において生じていることが分かりました。こうした環境変動と、底棲魚介類の年変動の間の相関関係を見るために、変数選択判別分析を行いました。その結果、生物量が多かった1980年代は水温が低く、魚介類の餌となるような動物プランクトンの密度が高い。一方、小～中型の魚介類が減少し、大型魚類が優占している2000年代は水温が高く、栄養塩濃度や動物プランクトンの量が少ない、という傾向がみとれます。このように、生物相と環境の変化は、類似した年変動傾向を示す結果が得られました。ただし、この結果は統計解析によるもので、因果関係については不明ですので、その点については今後、解明していく必要があります。

以上、東京湾20定点調査による生物群集レベルの解析結果をまとめますと、1980年代終わりごろに小～中型の複数魚種の漁獲量が急激に減少し、2000年代に入ると、スズキやサメ・エイ類といった大型魚類が増えてきています。また2010年以降の近年には、木更津沖の限られた水域に二枚貝のコベルトフネガイ急激に増加しました。一方、シヤコとかマコガレイ、ハタタテヌメリなど、1980年代に多かった種の生物量は、非常に少ないまま推移しています。こうした生物相の変動は、湾内の環境変化と同調的に生じたことも分かりました。今後は、生物相の変動と、環境変動の関連性について明らかにする調査を進める必要があります。

次に、個体群レベル調査の事例として、シヤコについての調査結果を示します。

1980年代後期以降にシヤコが急激に減少しましたが、それは何故かということで、その要因を解明するための調査を行っています。東京湾においては、横浜市漁業協同組合柴支所が主に漁獲・出荷しており、小柴のシヤコというブランドで、主要な漁獲対象種でした。しかし、漁獲量は減少の一途を辿り、2005年末からは自主禁漁せざるを得ない資源水準となりました。現在も本格的に操業再開できない資源水準にあります。この資源減少要因について、現在調査を行っています。

調査の進め方としては、シヤコの生活史全体を把握した上で、どの生活史段階に資源減少をもたらす要因があるのか、というアプローチで調べています。ここでは、生活史初期段階、すなわち卵から孵化した幼生、そして浮遊幼生期を終えて着底して海底生活を始める稚シヤコについて、どのような因子が生残率に影響するのか、いうことに



着目して調査を行いました。

ここでは2004年から2013年までの調査データを解析した結果をご紹介します。この調査では、産卵量指数、および幼生と稚シャコの個体数密度を調べています。またCTD-DOロガーにより水質もあわせて調べています。

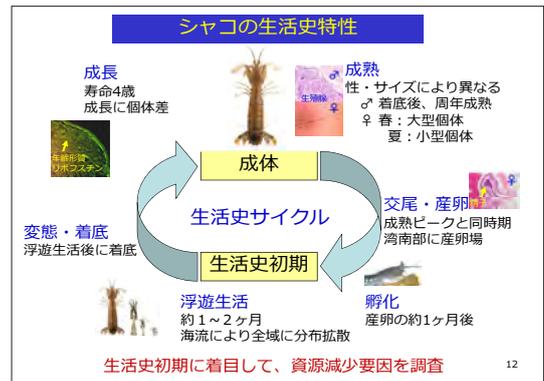
このスライドで調査結果を示します。図は産卵量指数と、幼生・稚シャコの個体数密度の経年変化を示しています。産卵量が多い2004年と2007年には幼生も多いことが分かります。つまり、親が多くて産卵量が増えれば、発生する幼生も多い、という結果となります。一方、幼生が多い年に稚シャコが多いかという点、必ずしもそうはなりません。2007年を見ると、幼生、稚シャコともに多かったのですが、2008年に着目すると、幼生が多く発生したにも関わらず、稚シャコの量は非常に少なかった、という結果となっていました。これらの調査結果から、幼生から稚シャコに至るまでの間において、個体数が大きく減耗する原因があるのではないかと推察されます。

その原因として、東京湾で近年、非常に大きな問題となっている貧酸素水塊が関与しているのではないかと考え、貧酸素水塊がシャコの生活史初期段階に及ぼす影響について調査を行いました。このスライドでは、幼生・稚シャコともに多く、生残率が高かった2007年、そして、幼生は多いが稚シャコが少なかった、すなわち生残率が悪かった2008年、という代表的な2つの年について図示しました。上側の図は、どこに稚シャコが存在するのかを示す空間分布図で、赤い四角が大きいほど稚シャコの量が多いことを示しています。生残率の高かった2007年には、湾全体に稚シャコが分布し、貧酸素水塊は10～11月にかけて、湾奥に小規模ながら存在しますが、だんだん縮小してくる、という状況でした。一方、シャコの生残率が低かった2008年を見ると、湾奥で稚シャコが全く存在しないことが分かると思います。この年の貧酸素の状況を見ますと、11月になっても規模の大きい貧酸素水塊が、依然として湾奥に存在している状況でした。

貧酸素水塊と稚シャコの個体数密度の関係を明らかにするために、10月から12月まで、貧酸素が発生したエリアを重ね合わせて、それに稚シャコの空間分布も重ね合わせてみました。図を見ますと、貧酸素が発生している水域では稚シャコは少ない、または全然ない。一方、貧酸素が発生していない水域では稚シャコが多い、ということが分かりました。

この結果は他の年でも同様でした。スライドに示した各年における稚シャコと貧酸素水塊の空間分布をみると、貧酸素水塊の発生していない水域で稚シャコが出現することが多く、つまり貧酸素が発生する場所では稚シャコが少ない、という関係にあることがわかります。

この関係について一般化線形モデルという統計手法により解析しました。この図は、横軸に貧酸素が発生する8月から11月までの間の調査で、ある定点で何回貧酸素が起こったか、発生回

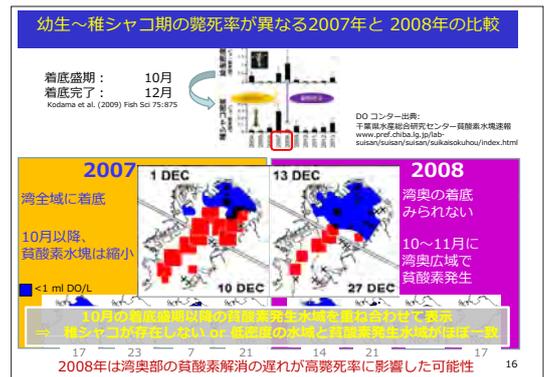
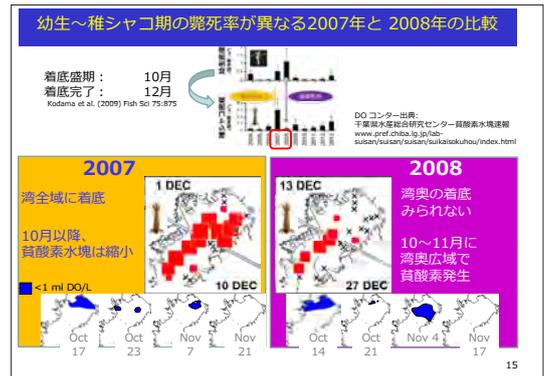
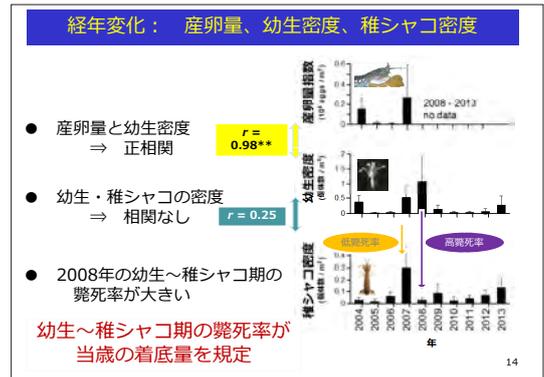


フィールド調査 (2004~2013年)

Kodama et al. (2009) Fish Sci 75:875, Kodama et al. (2014) Mar Pollut Bull. 85:433

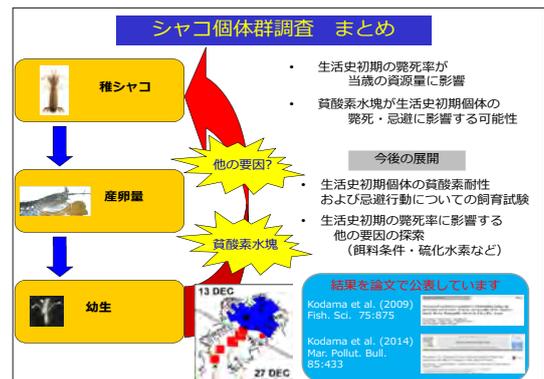
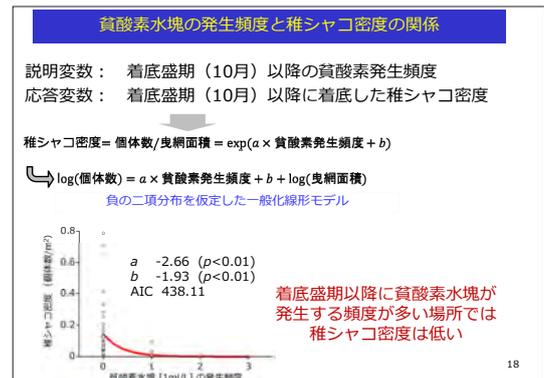
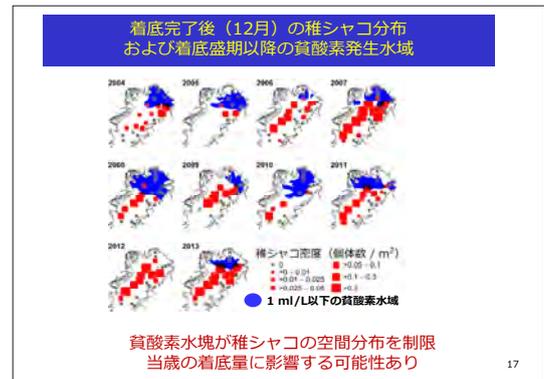
- 底曳網調査
 - ・ 成体と稚シャコを採集
 - 産卵量指数 (産卵体の密度 × 成熟個体の出現割合 × 1個体あたり産卵数)
 - 稚シャコ密度 (個体数/曳網面積)
- ブランクトンネット採集
 - 幼生密度 (個体数/濾水量)
- CTD-DOロガー
 - 底層溶存酸素濃度

経年変化および空間分布を調査



数を示し、縦軸は稚シャコの密度を示しています。8月から11月の間に貧酸素が1回も発生しない定点では、稚シャコの出現が認められます。一方、貧酸素が1回でも発生してしまうと、稚シャコの密度が大きく減ってしまいます。貧酸素水塊が同じ定点で2回発生すると稚シャコはほとんど出現せず、3回発生すると稚シャコは全く出現しませんでした。貧酸素水塊が発生する水域では、稚シャコの密度と出現頻度が低下するという関係が明らかになりました。

以上の調査結果をまとめますと、まず、産卵量が多いほど幼生は多く発生しますが、幼生の発生量が多くても稚シャコの密度が高いとは限りませんでした。その原因として、貧酸素水塊が1つの大きな原因であると考えられました。今後は、貧酸素水塊の影響について実験により検証するとともに、貧酸素水塊以外の要因、例えば、硫化水素や、水温上昇、生活史初期の餌料生物である動物プランクトンの減少などの影響についても調査を進めていく必要があります。



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

シンポジウムの終わりに当たり、ひとこと挨拶をさせていただきたいと思います。東京湾の環境を、クリーンで、快適で、豊かなものにしていくということは、多くの人々にとって非常に重要な課題だと思います。その課題を実現していくことを考えると、非常にたくさんの研究を積み重ねていく必要があると思います。本日はその中で、陸域、大気、あるいは、海域システムを考えた水質の話、それから、生態を考えた生物生息場の話、こういったテーマでシンポジウムをさせていただきました。

今回のシンポジウムの中では、大きな物語みたいなものがあったと思います。夢のようなものを感じることができたのではないかと思います。

それから、夢というようなものとは別に、現実を見た地道な考え方、提案、こういったものもあったと思います。それは夢と同時に、現実的に何をしていくべきかということで、われわれの意志を高めるということにつながっているのではないかと思います。そういった意味で、今回のシンポジウムは有意義なものになったのではないかと思います。

このようなシンポジウムをやるに当たり、非常に魅力的な話題を提供していただいた講演者の方々、それから、その話をしっかり聞いていただいて、積極的な意見交換をしていただいたフロアの皆さん、皆さんに感謝をして、終了のあいさつとさせていただきます。どうもありがとうございました。

司会 ありがとうございました。以上を持ちまして、第16回東京湾シンポジウムを終了いたします。また、あすから東京湾大感謝祭が始まります。ぜひご家族連れで参加してください。よろしくお願いたします。本日は誠にありがとうございました。

