

第19回 東京湾シンポジウム

～沿岸域の環境改善に向けた新しい技術・考え方～

平成30年10月18日(木)

横浜港大さん橋国際客船ターミナル 大さん橋ホール

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

東京湾大感謝祭



目次

第19回 東京湾シンポジウム ～沿岸域の環境改善に向けた新しい技術・考え方～

1. 開会あいさつ

国土技術政策総合研究所 副所長 鈴木弘之

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・危機管理研究室長 岡田知也

3. 講演

第一部

- ・ブルーカーボンの可能性と社会実装への展開

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

- ・環境DNAを活用した新しい海草モニタリング手法に向けた取り組み

大成建設株式会社 技術センター 水理研究室 水域環境チーム

チームリーダー 高山百合子

- ・人工衛星データによる沿岸環境モニタリング技術の現状と今後の展望

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 助教 比嘉紘士

- ・機会の目による底生生物とアマモ場の抽出

国立研究開発法人 海洋研究開発機構 海底資源研究開発センター

環境影響評価研究グループ 研究員 山北剛久

- ・沿岸の生物や物質の分布・移動の把握に役立つ情報源ー寄生虫、耳石、糞

国土技術政策総合研究所 沿岸海洋・防災研究部 海洋環境・危機管理研究室

研究官 秋山吉寛

第二部

- ・東京2020大会に向けた海上公園の取組について

東京都 港湾局 臨海開発部海上公園課 課長代理 林瑞江

- ・内陸起源の発生土を活用した東京湾の底質改善

関東地方整備局 港湾空港部 事業継続計画官 野口孝俊

- ・沿岸漁業と環境計測

公立はこだて未来大学 マリンIT・ラボ 所長 和田雅昭

- ・沿岸の環境改善とSDGs

慶應義塾大学大学院 政策・メディア研究科 特任講師 小坂真理

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 國田淳

ポスターセッション

<企業>

1. Hiビーズ（石炭灰造粒物）を活用した沿岸域での底質改善事業への取り組み
中国電力株式会社 電源事業本部 石炭灰有効活用グループ
2. 瀬戸内海統合モデルを用いた水質環境の評価手法の構築
株式会社エコー 事業本部 防災系事業部 環境解析部
3. 多摩川河口におけるコアモモ生育状況の確認調査
株式会社日本海洋生物研究所
4. 海への恩返しプロジェクト～～ Return a Favor to Sea ～～
日本海工株式会社
5. 東京湾における水産生物保全に関する取り組み
東亜建設工業株式会社 海の相談室
6. 東京湾の天然うなぎ増をめざして～うなぎにやさしい川づくりのとりくみ～
いであ株式会社 国土環境研究所 生態解析部

<市民・NPO・研究所>

1. 東京湾アサリ再生のため干潟底質改善をー生き活き東京湾研究会ー
生き活き東京湾研究会 亀田泰武
2. 小型貝殻ブロックによる生物生息空間の創出 貝殻を活用した生き物の棲める環境回復技術
貝殻利用研究会（全国漁業協同組合連合会 購買事業部資材課、海洋建設株式会社 水産環境研究所）
3. 地球環境カレッジの環境教育への取り組み
特定非営利活動法人 地球環境カレッジ（G E C）
4. 塩分・水温・pHモニタリングデータ 東京湾基盤データのご提供
特定非営利活動法人 ヴォース・ニッポン
5. アマモリバイバルプロジェクト
金沢八景ー東京湾アマモ場再生会議
6. リサイクル材を活用した環境共生型護岸の取り組み
関東地方整備局 横浜港湾空港技術調査事務所
7. 東京湾の貧酸素水塊による影響解明と漁業被害防止策の提案に向けて はじめに
東京湾貧酸素共同研究機関（国立研究開発法人 水産研究・教育機構中央水産研究所、千葉県水産総合研究センター、東京都島しょ農林水産総合センター、神奈川県水産技術センター）
8. 東京湾の貧酸素水塊による影響解明と漁業被害防止策の提案に向けて 1）
東京湾貧酸素共同研究機関（国立研究開発法人 水産研究・教育機構中央水産研究所、千葉県水産総合研究センター、東京都島しょ農林水産総合センター、神奈川県水産技術センター）

9. 東京湾の貧酸素水塊による影響解明と漁業被害防止策の提案に向けて 2) 3)
東京湾貧酸素共同研究機関（国立研究開発法人 水産研究・教育機構中央水産研究所、千葉県水産総合研究センター、東京都島しょ農林水産総合センター、神奈川県水産技術センター）
10. 東京湾の貧酸素水塊による影響解明と漁業被害防止策の提案に向けて まとめ
東京湾貧酸素共同研究機関（国立研究開発法人 水産研究・教育機構中央水産研究所、千葉県水産総合研究センター、東京都島しょ農林水産総合センター、神奈川県水産技術センター）
11. 江戸前干潟研究学校／行徳生物多様性フィールドミュージアム研究会
行徳生物多様性フィールドミュージアム研究会 風呂田利夫
12. 東京湾の希少な魚類の生息場利用の特徴
国土技術政策総合研究所 沿岸海洋・防災研究部 海洋環境・危機管理研究室 秋山吉寛
13. 沿岸域における生態系サービスの統合的評価手法（IMCES）の開発
国土技術政策総合研究所 沿岸海洋・防災研究部 海洋環境・危機管理研究室 岡田知也

<大学>

1. 湾岸埋立地での塩性湿地クリーク造成実験の取り組み
茨城大学 広域水圏環境科学教育研究センター 魚類学研究室 加納光樹
2. 東京湾奥部三番瀬における貧酸素水塊湧昇期の現地観測
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 佐々木研究室 遠藤雅実
3. 東京湾におけるアサリネットワークの解明に向けて〈沖合部での二枚貝初期稚貝の沈降着底〉
日本大学大学院 理工学研究科 海洋建築工学専攻 山口兼右
4. 東京湾セシウムプロジェクトの展開について〈内湾における放射性セシウムの堆積分布とその動態〉
日本大学大学院 理工学研究科 海洋建築工学専攻 橋本宗侍
5. 生き物生息場づくり PT 東京湾：あなたのそばの絶滅危惧種
東京大学海洋アライアンス 野村英明、東邦大学 風呂田利夫
（協力：東北大学 柚原剛、茨木大学 加納光樹）
6. 生き物生息場づくり PT 絶滅危惧種とヨシ原の深い関係
東京大学海洋アライアンス 野村英明、東邦大学 風呂田利夫
（協力：東北大学 柚原剛、茨木大学 加納光樹）

1. 開会あいさつ

国土技術政策総合研究所 副所長 鈴木弘之

本日は東京湾シンポジウムに参加頂きましてどうもありがとうございます。この回は19回とありますけれども、始まったのが2000年です。これまで多くの方のご支援とご協力をいただき、ここまで続けてくることができたと思います。このシンポジウムの目的ですけれども、東京湾の環境を改善すること、そのためにいろんな観点から議論していただくということを目的としているものでございます。今回は特に新しい技術、考え方に力点を置いているところでございます。

さて、東京湾ですけれども、ちょっと歴史を辿ると、大正年間にわが国初めての本格的な臨海工業地帯が生まれて、

片方で昭和10年頃から京葉工業地帯の計画というのが出来て。それによって湾全体が広がって、わが国の経済発展を牽引してきたという経緯がございます。一方で昭和33年に事件がありまして、それをきっかけとして排水規制、水質汚濁の防止ということで法律が制定されるということで、わが国の水環境の保全の法整備の契機となった湾でもございます。さらに現在は経済がグローバル化した時代ですけれども、これを支える物流、コンテナサービスになりますけれども、これが始まったのも昭和40年代の東京湾になります。現在東京湾ですけれども、流域人口が約3千万人を抱えて世界でも有数の経済圏でございます。これを東京湾が支えていると言ってもいいのかなと思います。物流、エネルギー、生産、漁業、生活、レジャー、自然環境、生態系、いろんな役割が東京湾にはありまして、その分だけ東京湾には様々な価値観が交錯しているというふうに思います。これを一言で表すことは非常に難しく、このようなシンポジウムによってそれぞれの価値に対する認識を深めていく事が重要だと考えております。

昨年に引き続きまして、この会場を提供頂きました横浜市に感謝を申し上げ、開催にあたっての挨拶とさせていただきます。本日はどうぞよろしくお願い致します。



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・危機管理研究室長 岡田知也

改めまして国総研の岡田です。シンポジウムのねらいについて簡単に説明させていただきます。

まず唐突ですが、ITのキーワードを今からいくつか出します。分かりますか？ AIは皆さんさすがに分かると思います。だけど、この後の下の3つはちょっとクエスチョンだろうなと思います。これらのキーワードは、「何となくああ聞いたことある」という感じだと思います。このグループについて、仮想現実には聞いたことあるけど、ちょっとこれらになってくると分からない人もいると思います。スマートスピーカーとドローンは皆さんご存知で、ほっとしている方も多いかと思います。これはウォーミングアップで、この様なITの技術があるというところで本題に入っていきます。

この図は昨年も使った図ですが、少しバージョンアップしています。この図の見方は、左から右に時間軸で、縦軸に水環境の良い状態、悪い状態を示しています。これまでの我々の沿岸域・港湾域における環境はどのような位置づけだったかという、「事業に伴う環境影響を緩和する対策」というスタンスで、富栄養化対策であるとか有害化学物質対策を行ってきました。そして現在では、「生物生息場を作りましょう」「自然再生をしましょう」ということで干潟の造成、藻場の造成を一生懸命行っているところです。未来に向けては、沿岸の環境は、「沿岸の新たな価値を創出する手段」に変えていきたいと思っています。その為には沿岸域の生態系サービスをもっともっと向上させたいと考えています。

そのことを別の図で示したのがこれです。先ほど言ったように、丸で示したのが我々の視点です。我々の視点は、富栄養化対策として貧酸素水塊やヘドロ、また青潮といった物質循環であるとか成層といった現象に着目していました。ですが最近では現象だけではなく、もっと視点が広がって、利用・活用の方へ我々のニーズは高まっています。利用であるとか社会、サービス、沿岸域統合管理、協働、環境教育、管理等に広がっていています。

このように環境に対する視点が変わると、それに伴って求められるものも変わってきます。現象重視だった時は何故現象重視だったのかということ、事業を実施したときの環境影響というのを知りたかったからです。したがって、物理・生物過程に従ったモデル化が重要視され、そのために現象把握というのがキーになっていました。しかし今後利用・活用という面に行くと、少し違ったニーズが出てきます。例えば、速やかに数時間・数日後を予測したいといったニーズが出てくる可能性も今後多々あると思います。このようなことは、先ほどキーワードで示したAIというのが得意な分野です。しかしAIでは物理・生物過程よりも時間的・空間的な大量データ、ビックデー



シンポジウムのねらい

国土交通省 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 室長 岡田 知也

判りますか？ ITのキーワード

2 国総研 沿岸海洋・防災研究部 海洋環境研究室

沿岸域と環境

3 国総研 沿岸海洋・防災研究部 海洋環境研究室

視線の変化 それに伴い、求められることも変化

4 国総研 沿岸海洋・防災研究部 海洋環境研究室

タと言われるようなものの方が重要です。我々自然科学者としては、少しもどかしいところではありますが、時代はその様に流れているのかなと思っています。したがって、これからは現象把握と利用・活用を目指した両者の使い分け、バランスが非常に重要になってくるだろうと思っています。

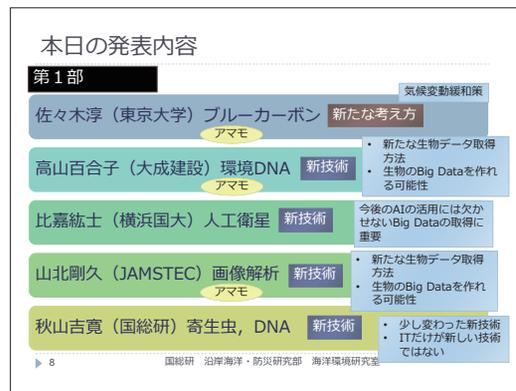
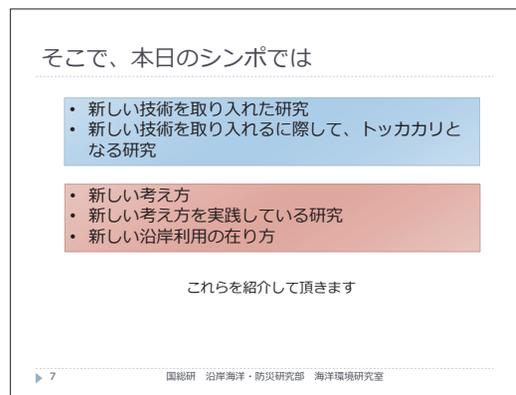
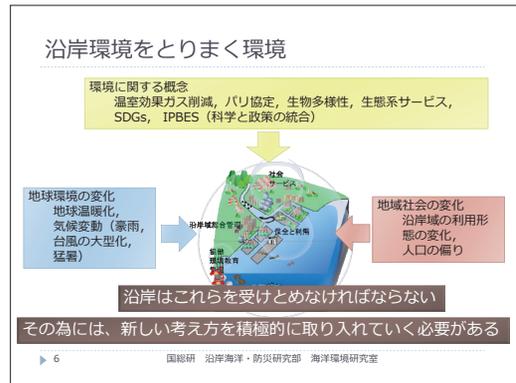
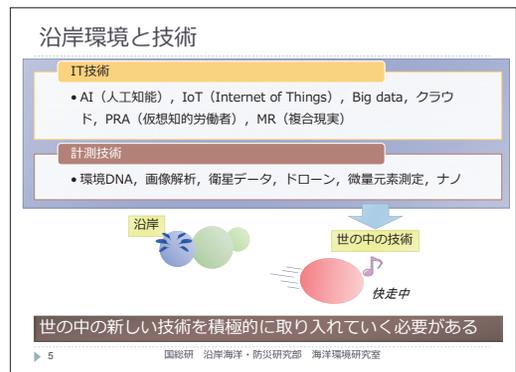
でも時代の流れ、世の中の技術というのは無視できません。先ほどキーワードで示したように、IT 技術や計測技術はもの凄いスピードで発展しています。すごいスピードで鼻歌を歌って快走しています。我々が関連する沿岸域もこの流れに置いて行かれるわけにはいきません。この世の中の新しい技術を積極的に取り入れていく必要があるだろうと考えています。

また温室効果ガス削減やパリ協定、生物多様性、生態系サービス、SDGs、IPBES など、環境に対する新しい概念が次から次へと出てきています。また、地球環境の変化もあります。今年の夏皆さんも強く実感したと思いますけど、豪雨や台風の大規模化、あと猛暑、このように地球環境全体が変わりつつあります。加えて、地域社会も変わりつつあります。沿岸域の利用形態が変化しています。また人口の偏りというのが大きく出始めています。沿岸というのは、これらの変化を受け止めなければならない所に位置しています。したがって、新しい考え方を積極的に取り入れていく必要があると考えているところでありませう。

そこで本日のシンポジウムは、新しい技術を取り入れた研究であるとか、新しい技術を今後取り入れるに際してとっかかりとなるような研究であるとか、新しい考え方を実践している研究、また新しい沿岸利用の在り方等について紹介していただくと考えています。

まず第 1 部では東京大学の佐々木先生に気候変動の緩和策としてブルーカーボンについて紹介して頂きます。大成建設の高山さんには、新たな生物データの取得方法として環境 DNA について紹介して頂きます。このような技術というのは生物のビックデータを今後取れる可能性を秘めています。横浜国立大学の比嘉先生には、今後の AI などの IT 技術の活用には欠かせないビックデータの取得に重要な人工衛星について紹介して頂きます。JAMSTEC の山北さんには、新たな生物データの取得方法として画像解析の技術について紹介して頂きます。先ほどの環境 DNA とは異なったアプローチでありますので、これも今後生物のビックデータを作れる可能性を秘めた技術だと考えています。佐々木先生、高山さん、山北さんはアマモという点でも共通点がある話題であります。国総研の秋山研究官からは、少し変わった新技術ということで寄生虫について紹介して頂きます。寄生虫は IT ではありませんが、IT だけが新しい技術ではないということも紹介したいと思います。

続いて第 2 部です。まず東京都の坂下さん、坂下さんは本日ご都合が悪く代理で林さんのご発表になりますが、東京オリンピック・パラリンピック関連について紹介して頂きます。これについては皆さんとても知りたい内容かなと思っています。続いて関東地方整備局の野口さんには、内湾起源発生土について、「野口さんは今こんなことを考えている」というようなことを紹介して頂きます。はこだて未来大学の和田先



生には IT の漁業への利用について紹介して頂きます。IT を使うとこんな面白いことができるといった事例を紹介して頂きます。最後に慶応大学の小坂さんには SDGs について紹介して頂きます。SDGs について我々言葉は知っているのですが、実は中身はよく分かっていないというところもあるのかなと思うので、その点について紹介して頂きたいと思っています。

本日はこのようなラインナップでシンポジウムを構成したいと思っていますので、よろしくお願い致します。本日の発表形式ですが、発表時間はお一人 20 分とさせて頂いています。質疑応答は各部の終わりにまとめて致したいと思しますので、よろしくお願い致します。そして 1 部の終了後は休憩とあわせてポスターセッションがありますので、是非活発な意見交換をよろしくお願い致します。ということで、私からねらいの説明を終わりにして早速中身に入っていきたいと思います。

本日の発表内容

第 2 部 沿岸域の利用・活用 皆さん知りたい!

坂下智宏 (東京都) 東京オリンピック・パラリンピック
代理: 林 瑞江

野口孝俊 (関東地方整備局) 内湾起源発生土 野口さんはこんなことを考えている

和田雅昭 (はこだて未来大学マリンIT・ラボ) IT の漁業への利用 IT を使うとこんな面白いことができる (事例)

小坂真理 (慶応大学) SDGs 新たな考え方 言葉は知っているけど、実は良く判っていない

9 国総研 沿岸海洋・防災研究部 海洋環境研究室

本日の発表形式

- ▶ 発表時間: 20分
- ▶ 質疑応答は,
 - ▶ 1部: 1部の終わり
 - ▶ 2部: 2部の終わり
- ▶ 1部終了後
 - ▶ 休憩 & ポスターセッション

10 国総研 沿岸海洋・防災研究部 海洋環境研究室

第一部

ブルーカーボンの可能性と社会実装への展開

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

今日はブルーカーボンということで、新しい考え方の話をさせて頂きたいと思います。私がこの話をすることになった経緯は、おそらく私自身がブルーカーボン研究会の座長として、今後の可能性とか、あるいは社会実装に向けた考え方の整理というようなことに関わらせていただいている、ということがあると思いますので、ブルーカーボン研究会の中で議論してきた内容を中心にご紹介をしたいと思っております。実はブルーカーボンは、ここにお集まりの方はよくご存知かと思いますが、世の中ではほとんど知られていないですね。今年の4月、私の大学院専攻の新入生に聞いてみたのですが、誰も知らなかったですね。というようなところですので、おそらく社会的にはほとんど認知されていないという現状があるので、そういう中でどうやって社会実装を進めていくのか、というのは大きな課題か思っているところで

す。それでは早速話を進めさせて頂きませんが、まず背景ですが、ご承知のように2015年パリ協定というのがございましたが、この中で全ての国が参加する2020年以降の温室効果ガスの排出削減のための新たな国際的な枠組みとして、パリ協定が採択されたというのはご案内の通りです。その中で自国が決定する貢献としてNDCと言われておりますが、これを提出してそれに向けて、その目標達成に向けた取り組みを進めていく、こんなことが決まっております。この背景としてはご案内のように、IPCCなどでも言われておりますように、世界の気温が一番右側2100年となっていますけれども、このRCP8.5はベースラインと言われる、このまま行くとこうなってしまうというシナリオですが、それでいくとかなり温度上昇しますし、右側の方は海面上昇を表しております

が、例えば2050年頃に大体一番高い水準でいくシナリオですと、33cmくらい、2100年頃には0.8mを超える、0.9mくらい、そのような海面上昇が起きるのではないかと言われております。このような予測に対し、二酸化炭素を吸収することによって海面上昇を含む気候変動を緩和しようというのが背景でございます。ちなみに、海面水位変動はかなり証拠と言いますか実測データが出ておまして、簡単にご紹介をしますと、これは気象庁が出しているもので、2000年以降このように水位が上がっているという傾向があります。ただ長期的に見ると結構ばらついていきますので、なかなかはっきりしないという所があります。

一方でこちらは、国土地理院が出しているGPSなどを使ってかなり高精度に、あるいは検潮所の地盤高の変化なども十分補正をしたデータとして出ておまして、例えばこれは勝浦検潮所の2004年以降でしょうか、比較的最近十数年くらいの傾向なのですけれども、このペースでいきますと赤い線の通り、30年で25cmくらい上昇するようなペースで海面が上がっている結果となっています。日本全国いろんな所に観測点がありますが、それらの平均的な変動を見ると、大体どれもプラスを示しておまして、30年で十数cmくらい



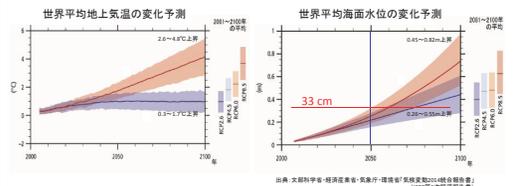
2018.10.18 第19回東京湾シンポジウム ブルーカーボンの可能性と社会実装への展開

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
ブルーカーボン研究会
佐々木 淳

2015年パリ協定の概要

ブルーカーボン研究会資料を一部改変

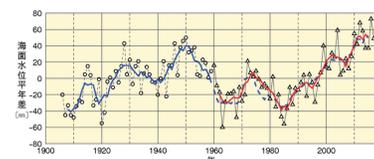
- COP21 (国連気候変動枠組条約第21回締約国会議)
- 全ての国が参加する、2020年以降の温室効果ガス排出削減等のための新たな国際枠組みとして、パリ協定が採択
- 地球の平均気温の上昇を2°Cより十分下方に、1.5°Cに抑える努力を追求
- 先進国・途上国の区別なく、温室効果ガス削減に向けて「**自国が決定する貢献(NDC)**」を提出し、目標達成に向けた取組を実施 (Nationally Determined Contribution)



日本沿岸の海面水位変動1906-2017(気象庁)

[https://www.data.jma.go.jp/saiun/saiun/cn/cn4_101_trend/01_trend.html](https://www.data.jma.go.jp/saiun/saiun/cn/cn4_101_trend/01_trend/01_trend.html)

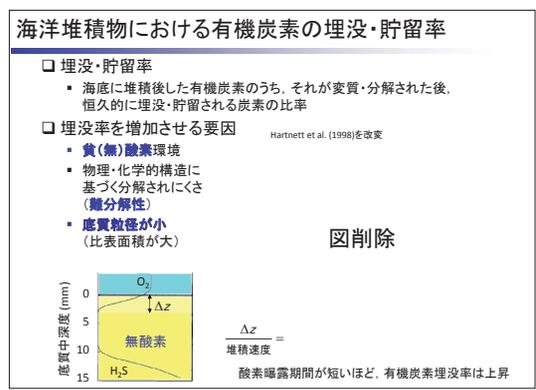
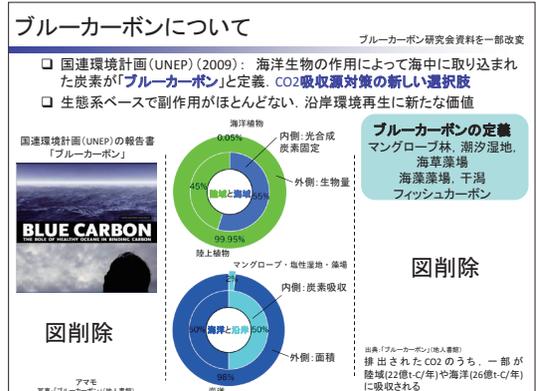
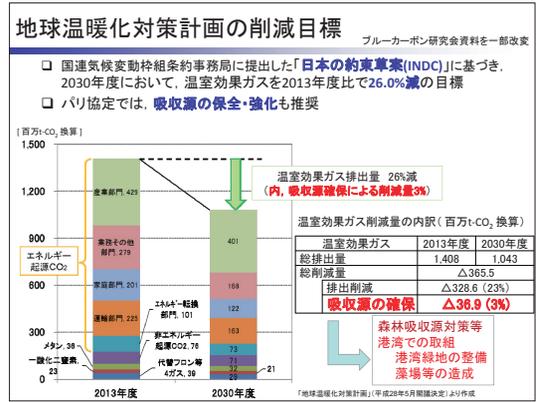
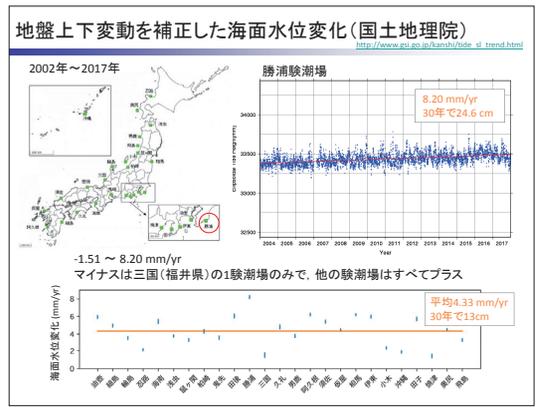
- 1906-2017(気象庁)
 - 1906-2017では上昇傾向は見られない
 - 1980年代以降は上昇傾向が見られる
 - 1993~2010年の期間で2.8 [1.3~4.3] mm/yr
 - 30年で8.4 [3.9-12.9] cm
- IPCC (2013) AR5
 - 世界平均 1993~2010年の期間で3.2 [2.8~3.6] mm/yr
 - 30年で9.6 [8.4-10.8] cm



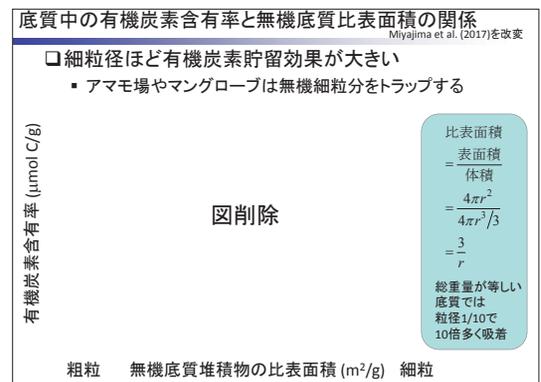
上昇するペースで上がっているということで、水温の上昇が海面上昇に効きますので、気候変動の緩和は喫緊の課題であろうというふうに考えられます。つまり、長期的な対応が必要な課題ですので、今から手を打たないといけないという意味で喫緊の課題だろうと思います。地球温暖化対策計画の削減目標として、日本政府は約束草案を出しておりまして、この中では2013年度に比べて2030年度には、二酸化炭素の排出を26%減らすということを謳っております。この減らすというのはいろんな産業部門で減らすということが基本ですけれども、パリ協定では吸収源の保全・強化、これも推奨しております、この中の主なものとしてはここに挙げております森林などですね、こういったもので吸収するということが、これを3%分見込んでおります。ただ日本ではブルーカーボンについてはこの3%に現在では含めて考えていないということで、ブルーカーボンを吸収源対策の一つに位置づけて行くのが大きな目標になるだろうと考えております。

このブルーカーボンの定義をまずご紹介致しますが、元々は国連環境計画が2009年に出したレポートに端を発しております、簡単に言えば海洋生態系によって隔離貯留された炭素、これをブルーカーボンと定義しております。CO₂吸収源対策の新しい選択肢として考えることができるということです。ご案内のように、森林が二酸化炭素を吸収することはよく知られておりますが、実は森林を含めた陸上の植物は生物量で見ると、この外側の円で99%以上を占めているのですが、海洋の植物は0.05%ぐらいしかありません。それにも関わらず海洋の方で吸収する二酸化炭素は、陸上にも勝るくらいの効果があるというような試算がありまして、こういったところがブルーカーボンの将来性ということで強調されるところであります。ブルーカーボンは海全体が対象ですが、特に沿岸が重要であるというのはこのグラフの通りでして、これは海洋の全体の面積がこの一番外側で濃い青で示されていますが、沿岸のマングローブ、塩性湿地、藻場といったところの面積というのはごくわずかであるということなんですけれども、二酸化炭素の吸収で考えると、半分ぐらいは沿岸域が占めているということで、沿岸域でのいろいろな吸収源対策というものが非常に効果があるだろうというふうに言えるというわけです。この右側のちょっと小さな図で恐縮ですが、概念図として人為的起源の二酸化炭素のうち、大体22ぐらいが陸域の森林などで吸収され、26が海で吸収されているといったようなまとめがされておまして、こういった数字からも陸に比べて海の方が実は吸収する効果が高いというようなことが言われるようになっております。ここで対象としているブルーカーボンというものですけれども、沿岸が非常に重要だということと植物ということですので、ここで挙げたような海草藻場、海藻藻場、あるいはマングローブ、塩性湿地が主なブルーカーボンになるというものでありまして、これからこういったものに少し絞った話をさせて頂こうというふうに思います。

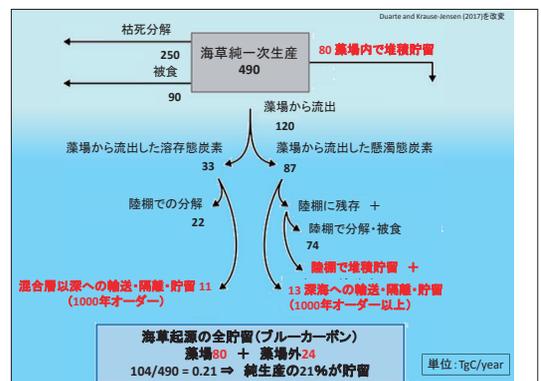
その前に少し科学的な話として、どういう場がブルーカーボンとして効率的に二酸化炭素を吸収し、あるいは吸収し



ただけではだめで、その二酸化炭素がすぐ分解されて大気に戻ってしまっただけだということがありますので、長期間水中あるいは底質に留まる、この効果が高いものほどブルーカーボンとしての価値が高い、そういうことが言えるわけです。その支配要因の一つとしては、酸素濃度がございまして、これが底質中、ここが水中でここが海底面になります。ご案内のように底質中はほとんど酸素の無い状態になります。酸素が無くなりますと、炭素の貯留率と言いますが埋没率、こういったものが上がるということがこのグラフで、こちらが酸素に曝露されている時間が短くてこちらが長いのですが、短いほど高い。こういったことが効いてくるということがあります。それからもう一つは、細かい粒径のものほど有機物を粒子に吸着させる作用がある。特に底質中ですね。ですので、細かい泥のようなものの方が有機物をよく吸着して貯留効果が高い、そういったことが知られております。そういう意味で砂泥質のアマモ場のようなところは非常にその場の底質中に有機物を閉じ込めて、長期間に渡って炭素を貯留する効果が高いと考えることができます。

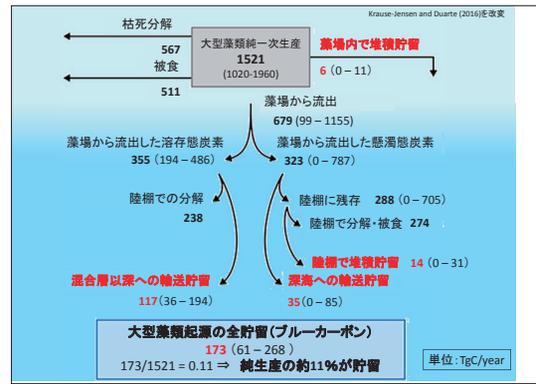


では最初に、海草藻場、これはアマモですけれども、これがどのようにブルーカーボンに貢献するのかということをごく簡単にご紹介します。これは論文から持ってきているものですが、細かくて恐縮ですけれども主に赤い字を見て頂くということになります。最初にアマモなどの海草が一次生産によってどれだけ有機物を生産するか、その数字が490という数字です。ここに単位 TgC/year と書かれていますが、これが最終的にどれだけ貯留されるか、長期に渡って大気中には戻らない形で隔離・貯留されるかがこの数字です。結論としてこの論文では、490のうち104ですね。80+24という数字が出されておまして、80が藻場中で貯留されると。残りのかなりの部分は外洋に出て行き途中分解を受けるわけです。左側が溶存態、溶けた状態のものとして、右側が懸濁態、粒子状ですね。そういった状態で深海の方まで行って、深海まで到達しますと、数百年、七百年とかそういったオーダーで深海の水は海面に上がってこないということがありますので、長期間隔離されたと考えられますし、それが深海や大陸棚の底質まで到達すれば貯留されていこうと考えて、このように藻場外で貯留される分が24ぐらいあるだろうと、こんな試算になっていまして、大体純一次生産の2割ぐらいが貯留されるのではないかと、そんな結果になっています。ただこの数字を赤にしなかったのは、あまりこの数字が厳密な根拠があるわけではなく、ここがまさしく研究段階にあつて、今世界中でいろんな研究者がいろんなことを研究していて、後程紹介しますが日本のブルーカーボン研究会でもこの数字をどうやって精査するかという点をかなり苦労して検討してきたところです。



もう一つが海藻の藻場、例えば昆布などです。これも最近非常に効果が期待できるのではないかと。日本で今後社会実装を展開する場合に、海藻は主に岩場が生息場ですから、港湾的には浚渫土砂やスラグなどを使って岩を模擬したブロックを造り、沖合に展開するような可能性があるということもあり、注目しているものになります。これはどういうメカニズムで貯留されるかと言いますと、先ほどのアマモの場合にはかなりの部分が藻場中で貯留されていくというお話でしたが、海藻の場合は岩場が多いので、藻場内ではほとんど貯留されないと考えられます。これがちぎれて漂って行ってそれが深海に沈んで行って貯留される、このメカニズムが多分重要だろうと言われておまして、この模式図はそのような理解を表したものになっています。藻場を離れ沖合へ運ばれていくのですが、葉体は気泡を持っており、これによってかなり長期間浮いたまま漂い、渦循環などによって少し深いところに運ばれ水圧によって気泡が潰れてくる。そうすると浮力を失って沈んでいくというメカニズムが紹介されているところです。その結果をまとめたのが

このグラフになりまして、先ほどと同様に見て頂くとよいのですが、純一次生産が1500ですので、アマモ場よりも大きいと考えられていまして、そのうち藻場内の貯留は基本的に岩場が多いということで、これは小さな数字になっています。主には外洋に運ばれていって、溶存態または懸濁態として隔離・貯留される分が173という数字になりますが、純一次生産の11%くらいが貯留されるとこの論文では述べられています。海藻のところでも述べましたように、この数字は精査が必要ですが、オーダーとしてはこのくらいなのだろうということは言えるのではないかと思います。



ここからはブルーカーボンが有効であろうということを前提にして、ブルーカーボンの活用に向けて、ということでお話を進めたいと思います。まず、世界の動向はどうなっているのかということですが、オーストラリアや中東、サウジアラビアはかなり進んでいまして、すでにオーストラリアだったかと思いますが、政府がブルーカーボンの活用と言及している。ブルーカーボンの活用と言及している国に色を付けて示しておりますが、日本は色が付いておらず、言及していないという状況です。適応策と緩和策、適応策は、例えばマングローブによる海面上昇あるいは海岸災害の減災が適

ブルーカーボンの活用に向けた世界の取組の動向

- オーストラリアでは沿岸湿地(マングローブ、潮汐湿地、海草藻場)を吸収源の対象にするための取組が行われている
- パリ協定の「**自国が決定する貢献(NDC)**」において、気候変動の緩和・適応の面から、**ブルーカーボンの活用**に言及している国も多くなる
- 日本は地球温暖化対策として定めていない

国名	地球温暖化対策としてのブルーカーボンの活用に関する取組内容	パリ協定の「自国が決定する貢献(NDC)」で、沿岸浅海域やブルーカーボンの活用と言及している国(2016)
オーストラリア	沿岸湿地を(吸収源の対象にする意向) ¹⁾ 適応策として沿岸生態系の保護を実施中 ²⁾	<p>薄灰色:緩和効果のみ言及 中灰色:適応効果のみ言及 黒色:両効果に言及</p> <p>緩和効果: 28カ国 適応効果: 59カ国</p>
インド	マングローブの植林 ³⁾ マングローブ林や海草藻場の炭素吸収源(Carbon Sink)としての可能性について、IUCN(国際自然保護連合)と協働で検討を進めていく ⁴⁾	
バーレーン	炭素隔離(carbon sequestration)の可能性についての意思決定者の理解を深める「ブルーカーボン」実証プロジェクトの実施 ⁵⁾ マングローブの植林 ⁶⁾	
アラブ首長国連邦(UAE)	「ブルーカーボン」を地球温暖化対策として定めていない	
日本(参考)		

1) Coastal blue carbon ecosystems: Opportunities for Nationally Determined Contributions. Policy brief (2016). D. Heim, E. Lovell. 参考資料1-p.13
2) 海草(Seagrasses), Deserretal. Contribution 2012. 参考資料1-p.13
3) Abu Dhabi Global Environmental Data Initiative (AGDI), 2011. BLUE CARBON. 参考資料1-p.13,14
4) 出典「ブルーカーボン」(個人集積)

応策の例ですけれども、特に東南アジアや南アジアでは適応策として言及されています。黒い色の国は適応と緩和の両者に言及しています。薄い色のところは緩和策。二酸化炭素の吸収をメインに打ち出しているということでオーストラリアをはじめとして結構多くの国が言及している状況の中で、日本はやや出遅れているかなというところで、これから頑張っていかなければいけないという状況だと思います。そんな中で昨年の11月に第3回ブルーカーボン研究会がございまして、議事録に公開されているはずですが、その中でブルーカーボンが有効な吸収源で、地球温暖化対策計画における吸収源対策として定めることを目標に検討を進めていく、と言っております。最終的な目標としてはおそらくインベントリーへの参加。インベントリーというのは目録というような意味ですけれども、何がどのくらい吸収したり排出したりしているのかというのを、数値として整理し、例えばブルーカーボンはこれだけ貢献していますというようなものを公式に計算して出していく。そういったものに位置付けていくのが当面の目標になるのではないかと考えております。では日本の中で吸収源対策として位置付けられているものとして、先ほど申しました森林、都市緑地、農地土壌、この3つが定められています。これらで3%分の吸収を賄おうということになっております。では日本のブルーカーボンは、こういった数字と比べてどのくらい貢献できるのか、ブルーカーボン研究会では、急ぎ今年の3月に、今後の事業展開を踏まえた現実的な仮定を置き、日本沿岸域におけるCO₂の吸収量の試算結果を発表致しました。これもWEBで見ることができる数字になりますが、2013年と2030年の1年間あたりの二酸化炭素吸収量で棒グラフにしてありますが、この青いのがブルーカーボンで、数値に幅があるのは、標準値と最大値を示したためで、今後精査が必要なのですけれども、こういった幅を持たせ

ブルーカーボンの社会実装に向けた背景

第3回ブルーカーボン研究会(2017年11月)議事録

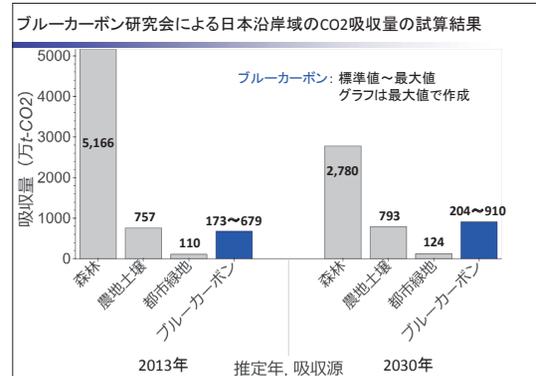
- ブルーカーボン生態系は有効な吸収源となりうるものであり、十分に精査を行った上で「地球温暖化対策計画における吸収源対策」として定めることを目標に、検討を進めていく。
→ インベントリーへの算入に向けて

地球温暖化対策計画における吸収源対策の現状

日本の地球温暖化対策計画では、吸収源対策として、森林、都市緑地、農地土壌の3つが定められており、それぞれ目標値が設定されている

吸収源	吸収能力 [t-CO ₂ /ha/年]	各吸収源の吸収能力と将来の吸収量の目標値		NDC 排出量26%減 3%を吸収源確保で
		2013年度	2030年度	
森林	3.2	5,166	2,780	基準年(2013年度)の温室効果ガス総排出量の3%に相当
都市緑地	14.8	110	124	
農地土壌	1.4~6.3	757	696~890	

日本のブルーカーボンによる吸収量はどのくらい見込めるのか?



た上で最大値を用いて棒グラフにしています。森林、農地土壌、都市緑地と比べて頂くと、森林ほどではないですが、農地土壌には十分匹敵し、都市緑地はかなり上回るような、そういった結果で、ブルーカーボンを吸収源対策の一つに位置付けていくことは十分検討に値すると現段階で言えるのではないかと思います。

ブルーカーボンの社会実装に向けてということで、少し整理してみたのがこの図になります。今申しましたようにCO₂の吸収量が日本でどのくらいかというのを試算したところですが、この試算の考え方としては基本的には吸収係数という単位面積当たり、1年間にどれだけ二酸化炭素を吸収するかという数値。これにその吸収する場の面積というのを活動量と呼んでいるのですが、これを掛け合わせることで求めます。これはアマモ場とか海藻でも種などによって当然数字は異なってきますので、それぞれで数字を出して掛け算し全部の項目で足し合わせるというような形で決めていくということになります。そういった数字を精査していくということ、吸収係数の値の検証などを進めていくということや、活動量をしっかりモニタリングしていく必要があります。特に市民活動などで藻場再生の活動もありますので、協調して進めていく必要があると思いますし、簡易にできるものにしていく必要があります。それから吸収量はどうやったら増大させることができるか。これは技術開発に繋がるところだと思えますが、重要な点であると思います。最後に行政的な手続きで、インベントリー化に向けた取り組みが課題として挙げられます。そのために研究だけではなく、関係者と連携していろいろな取り組みをしていく必要がある。基本的に今申し上げたことと重複するので申しませんけれども、ただそういったことを進めるときに闇雲にやるというよりはそれをやることによって、生態系や環境等に負の影響がないか、ということは常に配慮しながら進めていくということも併せて大事なポイントだろうと思っています。

ということで私の話は終わりとしたいと思います、まとめはこちらに示しました。まずブルーカーボンの取り巻く背景ということでご説明しました。日本はこれからキャッチアップしていかなければならないということだと思います。一方で日本はブルーカーボンのポテンシャルが高いということも言えそうですので、是非積極的に展開していくべきだろうと。それからブルーカーボンの特徴について、あるいは今後日本における展開の可能性ということでまとめさせて頂きました。以上で私の話を終わります。どうもご清聴ありがとうございました。

ブルーカーボンの社会実装に向けた取り組みの整理

ブルーカーボン研究会資料を一部改変

- ブルーカーボン研究会では、現時点での知見を最大限に活用し、科学的根拠に基づき我が国のブルーカーボン生態系によるCO₂吸収量を試算した。
- 吸収量は、吸収係数と活動量(面積)の積で求められる。したがって、吸収係数と活動量(面積)を増加させる技術開発が必要である。
- ブルーカーボンを我が国の地球温暖化対策計画における吸収源対策として定めるためには、必要となる手続きを順に進めていく必要がある。

- 1) 吸収係数の検証と特定に向けた取り組み
 - 実証結果との突き合わせ
 - 国内各地における吸収係数の特定
 - 変動要因の整理
- 2) 活動量(活動面積)のモニタリングに向けた取り組み
 - 測定手法の改良
 - モニタリング体制の構築
- 3) 吸収量の増加に向けた取り組み
 - 吸収係数の向上技術
 - 活動面積の増加技術
- 4) 行政手続きの推進に向けた取り組み
 - 求められる科学的水準等の把握・対応

連携者・協力者との取り組み内容

ブルーカーボン研究会資料を一部改変

- 1) 吸収係数特定のための国内各地における実証実験
- 2) 活動量のモニタリング
 - 測定手法の改良, モニタリング体制構築
 - ・ 地域の教育・研究機関とも連携?
- 3) 活動量増加技術
 - 生態系管理「保全、再生、(創造)」に関わる技術・情報の提供
 - 社会経済的インセンティブの付与技術
 - ・ オフセット・クレジット(自らの排出量を他の場所の削減量で相殺)
 - 顕彰
 - ・ 生態系、環境等への影響に配慮も必要
- 4) 行政手続き推進
 - 定義, 目標値, 関連施策組み入れ, 立案

まとめ

- ブルーカーボンを取り巻く背景
 - ・ 国連気候変動枠組条約の「自国が決定する貢献」における、ブルーカーボンの活用へ向けた世界的取り組み
 - ・ CO₂隔離・貯留効果に関する研究の進展
- ブルーカーボンの特徴
 - ・ 生態系ベースの技術で社会実装への障壁が低く、持続可能
 - ・ 他の生態系サービス(生物多様性, 食料供給, 水質浄化, 観光レクリエーション, 防災・減災)との相乗効果(コベネフィット)
- 日本における今後の展開の可能性
 - ・ ブルーカーボンのCO₂吸収・貯留機能を温室効果ガスのインベントリー登録へ向けた検討
 - ・ CO₂隔離・貯留量の科学的根拠に基づく見積り精度の向上
 - ・ 官民連携による環境再生事業の展開と沿岸域の新しい価値の創造

環境 DNA を活用した新しい海草モニタリング手法に向けた取り組み

大成建設株式会社 技術センター 水理研究室 水域環境チーム チームリーダー 高山百合子

本日はお時間を頂きましてどうもありがとうございます。私共は、近年着目されています環境 DNA を海草のモニタリングに活用する事、これに向けて取り組みを開始しているところです。冒頭に岡田室長よりお話しして頂きましたように、一緒に付いたばかりの研究ですけれども、私共の目指すゴールとそれに向けた取り組み状況をご紹介します。

まず環境 DNA について、最近耳にした方も多いと思えますけれども少し紹介させていただきます。環境 DNA は、海域や河川、池など、土や大気でも同じですが、こうした環境中に存在している生物の微細な破片、あるいは排泄物などに含まれている DNA の総称です。水域で調べる場合は、現場での作業が採水をするということになります。そしてこの採水中の DNA を調べることで、どんな種類の生物がいた、あった、いなかったという有る無しが分かります。これまでの水域モニタリングは、潜水をして調査することがメインになりますので、それに比べるとこの環境 DNA を活用することが出来れば、潜らずに調べる水質項目のようにたくさんのデータや情報が得られます。それから採水作業自体が非常に簡単ですので、これまでよりも高頻度に、密度も広さもたくさん調べることが出来ると思います。それから DNA の分析ですので、目視で見分けにくい種も見つけられる可能性があります。

環境 DNA の研究動向を少しご紹介させていただきます。神戸大グループの一部紹介ですが、ため池における生物の存否、いるいないを調べた例で、種類にもよりますが分かるようになってきています。河川やため池ですと、河川は流れがほとんど一様、ため池ですと閉じられた空間ですので、採水においてその場を代表した水を採れるという考え方も良いだろうということになります。それから、その採った DNA の量からそのバイオマス、生物の量を調べようとの研究も研究段階ですが進められています。

それともう少し、環境 DNA の分析について紹介をさせていただきます。こちらの縦に書いてあるところが一連の分析の流れになっております。私共は水域、水の間を想定しておりますので、現地の作業は採水です。一般的には 1ℓ 程度の採水が実施されています。水を採りましたら実験室で分析を行いますので、まずその水をろ過します。分析の対象としますのは、このろ紙上に残ったろ過残さです。ろ液の方も当然分析対象になりますけれども、多くはこのろ紙上に残ったものを対象にしています。そしてこのろ紙上に残ったもの、ここに DNA が含まれているということで全ての DNA を液体に抽出させます。そして、抽出した DNA が溜まった抽出液に、PCR という技術を使いまして、DNA を倍々に増やしていきます。PCR は DNA の分析技術でして、DNA を数時間で百万倍に増やすことが出来ますので、これで見たい DNA を増やします。全部増やすのではなくて、見たい DNA を増やします。この「見たい DNA」ですけれども、例えばこ



第19回東京湾シンポジウム -沿岸域の環境改善に向けた新しい技術・考え方-

環境DNAを活用した 新しい海草モニタリング手法に向けた取り組み

大成建設(株) 技術センター
高山 百合子

第19回東京湾シンポジウム -沿岸域の環境改善に向けた新しい技術・考え方-

環境DNAとは

海域や河川、池など環境中に存在している生物の微細な破片や排泄物などに含まれているDNAの総称

生物種	DNA	有無の判別
海草	検出	ある
アマモ	検出	ある
スガモ	検出	ある
ハゼ	検出	いる
アカウミガメ	検出	いる

(利点) 水生生物の情報を
 ・潜らずに調べる(水質項目(SS, COD等)のひとつ)
 ・たくさん調べる(高頻度、高密度、広範囲)
 ・潜水目視では見分けにくい種などが分かる

第19回東京湾シンポジウム -沿岸域の環境改善に向けた新しい技術・考え方-

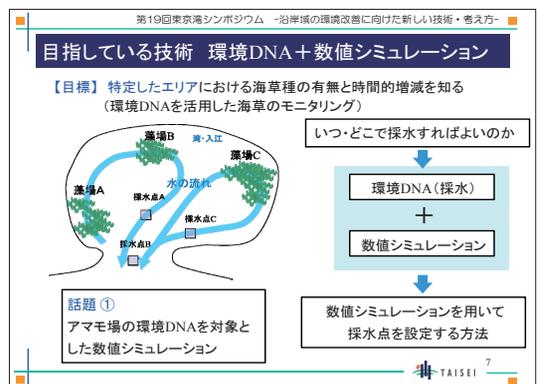
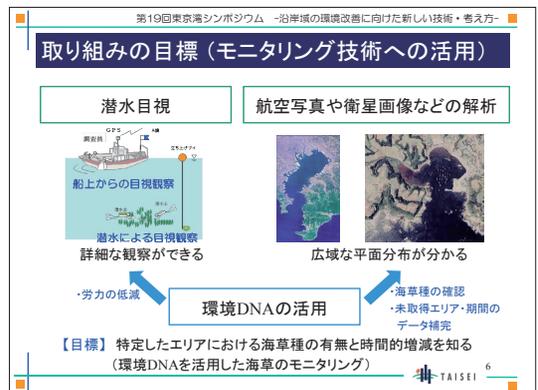
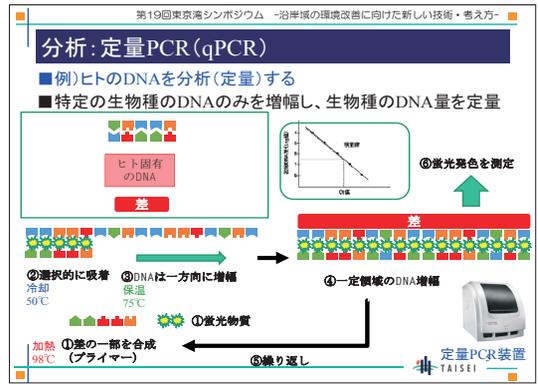
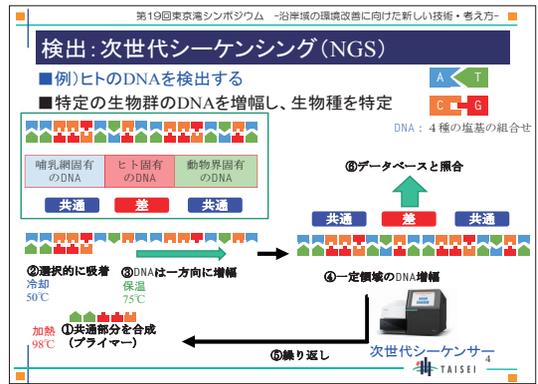
環境DNAの分析と生物種検出の手順

現地 採水 → ろ過 → DNA抽出 → PCR → NGS解析 (塩基配列を決定) → DNAデータベース検索 (種を特定する)

実験室(分析) 分析の対象はろ過残さ
 【PCR】プライマーを目印に特定領域のDNAを増幅させる
 プライマー ex) 植物領域 プライマー
 リアルタイムPCR(qPCR) 増幅させたDNAをモニタリングし初期(増幅前)のDNAを定量する

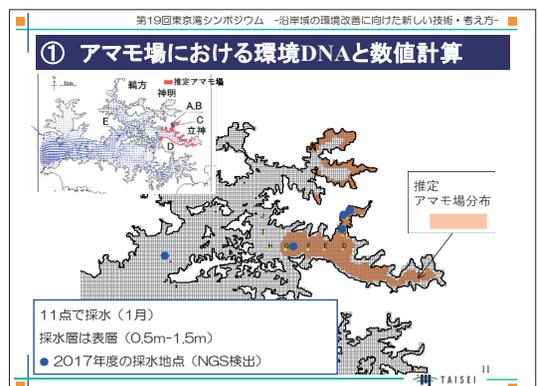
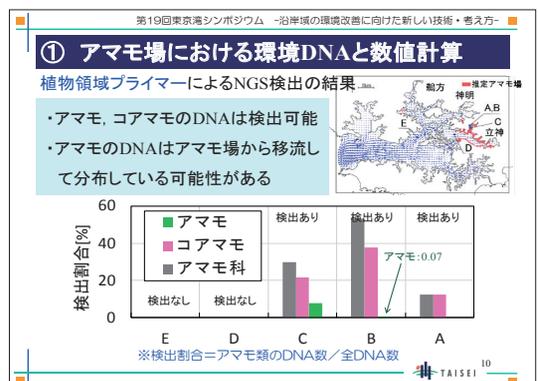
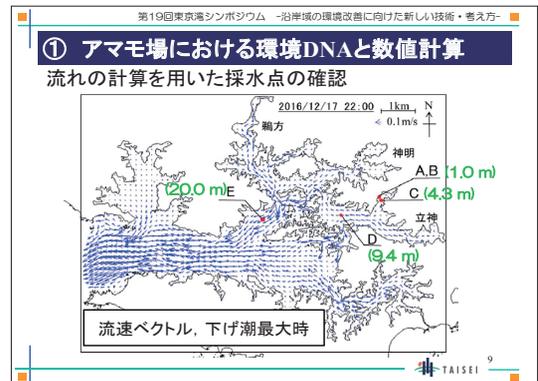
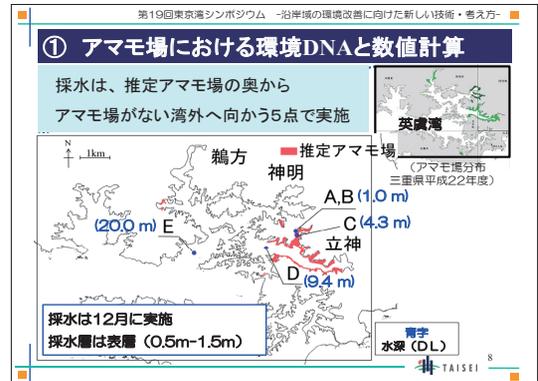
の抽出液中にはいろいろなDNAが混ざっています。例えば海藻が見たいとしますと、植物に着目して植物のDNAだけが増えるような「プライマー」と呼んでいる目印をつけて植物だけが持つDNAが増える操作を行います。そしてその増やしたDNAのデータ処理をします。こちらは次世代シーケンス等と呼ばれますけれども、ここでその中の塩基配列を決定することにより種類が分かります。そうするとその中にアマモがあったとか無かった、何がいたという種類を特定して有無を確認できる技術になります。またDNAを増やすPCRでは、増やしたDNA量を検量線に乗せることによって、元のDNAを定量することが出来ます。ですので次世代解析、「NGS」とも呼びますがけれども、こちらは種を特定して、それらがいたことを確認することが出来ます。こちらのPCRはDNAの量を調べることが出来るものです。もう少し補足しますと、このいたかないか調べるNGS技術は、例えばヒトがいるかないかを調べたいとしますと、このヒト特有のDNAの前に共通して持っている哺乳類のDNAの部分を、先ほど「プライマー」と呼んだ目印にします。そうするとこの後ろに合体してDNAがどんどん増えて、増やしたDNAを次世代シーケンスで読み、ヒトがいたかないかを調べます。これに対して定量するPCRですが、先ほどはヒトDNAの前にあるDNAを目印に増やしましたが、PCRは見たいDNAそのものを増やします。見たいDNAを増やしていく事で、どれくらい増えたかを定量できますので、元々どれくらいあったかを調べる技術になります。次世代シーケンスは何がいたかを最後のデータベース照合で分かりますけれども、PCRは増えた量だけしか分からないので、何がいたかはここでははっきりさせることは出来ないことになります。ただし、ヒトのDNAを目印にこれを増やすことで、ヒトのDNA量を調べていることになります。

前段が長くなりましたが、私たちが目指しているものと研究のご紹介をしたいと思います。ターゲットは、海藻のアマモ、コアマモがある藻場のモニタリングです。現状のモニタリングは潜って見る目視の観察、あるいは航空写真とか衛星画像などで広域に調べる方法が使われていると思います。それぞれ利点もありますけれども、課題も少しある状況かと思えます。目視は労力がかかりますし、衛星画像では種までの詳しい確認、細かい場所までの確認が不十分、あるいはデータが取れなかった部分とか期間、そういうものもあると思えます。そこに水を採って調べる環境DNAを活用することで、それぞれ補うことが出来ればこの3方法を使うことでより効率的で詳しい情報を得られるのではないかと思います。そして今はアマモ、コアマモを対象にしていますので、当然皆様疑問に思うことがあると思えます。環境DNAを使うことは採水をするのですが、それでは海のどこで水を採ればいいのかという大きな課題が思い浮かぶのではないかと思います。先ほど、河川やため池ですとある程度水の流れが均一だ、流れが一様だということが出来るのですが、海は流れがあり、潮汐もあり、地形も複雑です。そういう場なので採る場所や



時間によってどこの部分をモニタリングしているのかが異なることになります。ですので海草のモニタリングを実現させるために、ここで採った水の DNA がどこから来たのかを特定し、採水の場所と時間を決める方法、これを研究のゴールとして取り組んでいます。方法としては、藻場から環境 DNA が流れてきたと仮定をし、それを数値シミュレーションし経路を予測することができれば、その元を辿ることで DNA がどこから来たかを推定できると考えて、数値シミュレーションと環境 DNA を合体させる研究に着手しています。

この研究は始めて2年ほどですが、一番初めにやったことをご紹介します。フィールドは三重県の英真湾で、アマモ、コアマモが生えている海域です。ですので、まずここで水を採って、環境 DNA を調べてみました。その時に用いた情報の一つとして、三重県により公表されているアマモ場の分布図があり、複雑な入江の奥に緑で印がついている所にアマモ、コアマモが生えているという情報がありました。この分布図を元にまず ABCDE の 5 点を決めて水を採って DNA を調べました。恐らく生えている入江の奥 ABC と、それから湾口に向かい、水深が深くなっていく DE の 5 点です。そして英真湾の流れの数値計算をして、流れの場も確認しました。その数値計算の結果、ABC の辺りは入江の奥ですので流れがほとんど無く、一番遠くの E 点では北から南に向かう流れがあり、流れが強いところでした。地元の漁師さんにお伺いすると、やはり E 点付近は流れが最も速いとおっしゃっていて、感覚的には合っているような流れ場の 5 点で水を採りました。その結果がこちらです。ここでは、NGS、先ほどの次世代シーケンサーで、海草についていたかいかを調べました。結果は、湾奥の ABC ではアマモ、コアマモ、あるいはアマモ科が検出されました。それから水深が深くなる方、DE では検出しない結果でした。こちらの図の縦軸は、今回は植物のプライマーを使いましたので、植物の DNA を全部増やし、それを分母としてアマモ類の割合を示した目安ですが、着目しているのは出るか出ないかという点でした。何となくですが、湾奥の方で出て、アマモ場から離れて流れが大きい所では出ないという結果で、まず海草の DNA が検出できることを確認して、さらにアマモ場から移流しているような分布を確認した状況です。その次の年は、ABCDE の 5 点よりも、もう少し細かく、と言っても距離はありますが、採ってみようということでアマモの場を縦断するようなライン上で採りました。このオレンジで色付けしたところは、実際に水を採りに行ったときに非常に少ない点ですが、潜って確認した藻場を繋いだ想定のアマモ場分布です。前回の分布図とは様子が違いますが、共通しているのは奥側にアマモ場があるということで、アマモ場から離れていくような 11 点で水を採っています。採水エリアを拡大したのがこちらで、オレンジのエリアが想定したアマモ場です。前回と同じように、アマモ場がある湾奥からアマモ場がない、生えていないところに向かう 11 点です。そして 11 点の採



があるのではないかと考えています。計算がそのような状況です。

最後に分析について少しご紹介したいと思います。もう一つの課題としては、実際モニタリングをするためには、水を探って調べますが、採った水を確実に分析できなければ、その場を表すことが出来ないので、分析の阻害に関して調べる意味での分析を行いました。こちらと同じく三重県の英虞湾で、アマモの生え始めで草体が非常に少ない時期に、一年生の発芽体がほんの少しある所と、多年生のアマモ場で、成熟した後の株も残っているような所の2地点で水を探り分析をした結果がこちらです。発芽体だけで密度が低いところと、密度が多少高く腐食物質もあると想定したところの比較です。分析の方法は、阻害物質を除去するカラムを通した場合、検出結果が変わるのか変わらないのかを確認しました。結論としては、NGSの結果は、密度が高い方ですね、腐食物質があると想定したところでは、こうした除去カラムを通すことで検出ができ、通さないとうまく検出ができませんでした。一方密度が低くて腐食物質が少ないと考えたところでは、カラムを通さなくても検出できましたが、通すと逆に検出できず、カラムを通すことで測るDNA量が少なくなり検出できなかったのではないかと今このところ知見として集めております。

以上で現状のご紹介でしたけれども、まだまだ課題も多く、そもそも環境DNAの挙動や形態など、基本的な所も調べることを今後も続けていきたいと思っております。ご清聴ありがとうございました。

第19回東京湾シンポジウム -沿岸域の環境改善に向けた新しい技術・考え方-

環境DNAを用いた海草のモニタリングのイメージ

【目標】 特定したエリアにおける海草種の有無と時間的増減を知る
(環境DNAを活用した海草のモニタリング)

モニタリング
アマモ DNA → 多 → 少 → 結死
アマモの繁茂 → 枯死

環境DNAの分布 採水

海底 特定エリア

アマモ場(海域)における環境DNAを定量する

話題②
アマモ場を対象とした環境DNAの分析

TAISEI 19

第19回東京湾シンポジウム -沿岸域の環境改善に向けた新しい技術・考え方-

② アマモ場を対象とした環境DNAの分析

三重県英虞湾にて
アマモの生育状況が異なる
2地点で採水と分析・検出を実施

英虞湾の海草地形
Am Bay in Ise

英虞湾
F (3.4m)
G (5.2m)
潮水観測による推定アマモ場分布
2017年11月

● 採水地点

青字
水深 (DL)

F点
主に新生株(実生体)
密度: 低

G点
栄養株と新生株
密度: 高

TAISEI 20

第19回東京湾シンポジウム -沿岸域の環境改善に向けた新しい技術・考え方-

② アマモ場を対象とした環境DNAの分析

NGS検出結果

地点	水深 (m)	アマモの目視観察		抽出液全DNA量 (ng/μl)	阻害物質除去	PCR除去後の全DNA量 (ng/μl)	NGS	
		優占種	生育密度				7日	30日
F	3.4	一年生(実生体)	低	4.87	なし	4.87	○アマモ検出	×検出なし
					あり	0.34	×検出なし	×未実施
G	5.2	多年生	高	7.32	なし	7.32	×増幅せず	×未実施
					あり	0.68	○アマモ検出	×検出なし

F点
主に新生株(実生体)
密度: 低

G点
栄養株と新生株
密度: 高

密度低
実生体(発芽体)

密度高
成熟後の株と発芽体

TAISEI 21

第19回東京湾シンポジウム -沿岸域の環境改善に向けた新しい技術・考え方-

おわりに

環境DNAを活用した海草のモニタリング技術の開発に向けて

- ・海草場の環境DNA(アマモ・コアマモ)を分析・検出することができる
- ・海域では、環境DNAが分布する傾向がある
- ・海域では、環境DNAが特異的に高くなる場合がある
- ・粒子計算により、環境DNAの経路を予測できる可能性がある

【課題】

- ・環境DNAの形態や挙動
- ・分析阻害の要因や影響度の確認
- ・環境DNA分析データの代表性について

ご清聴ありがとうございました

TAISEI 22

人工衛星データによる沿岸環境モニタリング技術の現状と今後の展望

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 助教 比嘉 紘士

ご紹介どうもありがとうございます。横浜国立大学水環境研究室の比嘉と申します。私の方からは人工衛星データの沿岸域に対しての利用ということでご紹介させていただきます。十数年前まではこの人工衛星を沿岸域に適用するとなると、非常に困難な状況にありましたが、この現状について本日はご紹介させて頂きたいということと、また今後の展望については私の主観も含まれる部分がありますけれどもご紹介できればと思います。

まず人工衛星のリモートセンシングとは、対象物に触れることなく物体が反射、放射する電磁波を遠隔リモートから計測センシングし、物体の性質や形状などを識別する技術のことを言います。こちらの画像ですが、NASAのホームページから得られるものでして、人工衛星が地球をモニタリングしている様子が描かれております。またこの人工衛星のリモートセンシングは、私たちの日常生活の中では天気予報で使用されておりますし、また衛星データは蓄積されるということがありますので、例えば都市部面積の長期的な時系列変化を追うことが出来ますし、また植物の活性を捉えるNDVIという指標を用いますと、作物の成長のモニタリングにも利用できるなど、様々なセンサーによって様々な対象物のモニタリングが実施されているという状況です。その中で私の専門は水色のリモートセンシングでして、これは海洋を対象とした可視域、人の目が見える領域の可視域のリモートセンシングとなります。始まりとしては、1978年NASAによって打ち上げられたNimbus-7に搭載されたCZCS、これが世界初の水色センサーでして、こちらがそのデータになっております。1979年3月における日本周辺の植物プランクトン色素濃度、こういった空間分布が得られています。またこの人工衛星ですが、こちらの動画のように地球全体を周回してありまして、連続的に画像を取得してあります。この衛星データに対して私たちは解析を加え水質を推定するといったことを行います。その原理ですが、太陽の光が地球に照射し大気から跳ね返ってくる光、反射光やまた海面からの反射光とありますが、非常に重要なのは水中で反射されて衛星方向に進



第19回東京湾シンポジウム
-沿岸域の環境改善に向けた新しい技術・考え方-

Yokohama National University
YNU

人工衛星データによる沿岸環境
モニタリング技術の現状と今後の展望

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 助教 比嘉 紘士

人工衛星リモートセンシングとは？

対象物に触れることなく、物体が反射・放射する電磁波を遠隔(remote)から計測(sensing)し、物体の形状や性質などを識別する技術。

NASA's A-Train Satellite Formation © NASA

人工衛星リモートセンシングとは？

都市部面積の時系列変化
Agapou, A. et al. (2015). Impact of urban sprawl to cultural heritage monuments: The case study of Paphos area in Cyprus. *Journal of Cultural Heritage*, 16(3), 671-680.

NDVIによる作物の成長モニタリング
*Copyright contains modified Copernicus Sentinel data (2016), processed by ESA.

水色のリモートセンシング

- 海洋を対象とした**可視域**のリモートセンシング
- 1978年 - 1986年 (Hoavis et al., 1980)
- Nimbus-7に搭載されたCZCS (Coastal Zone Color Scanner) が世界初の水色センサー

1979/03

Nimbus7-CZCS月別複合画像による北西太平洋海域における植物プランクトン分布の衛星画像時系列データベース

編: 福島剛, 虎谷充浩, 松村早月, 原島省

植物プランクトン色素濃度
0.10 1.00 10.00 No Data
Log₁₀ μg/L

水色センサーとは？

人工衛星

微小な液体または個体の粒子による反射

水中で反射されて衛星方向に進む光 (海面放射輝度)

海面での反射

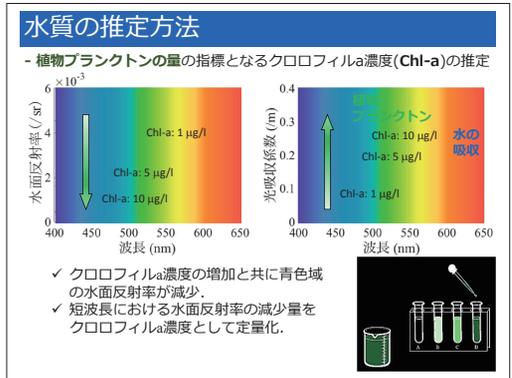
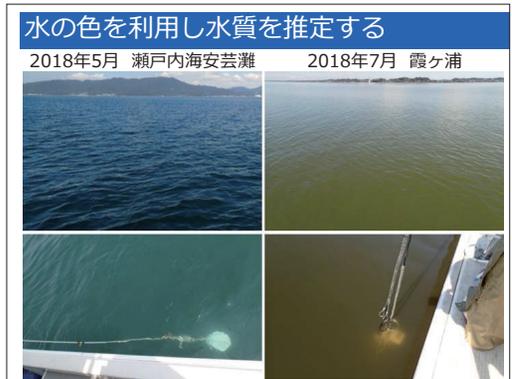
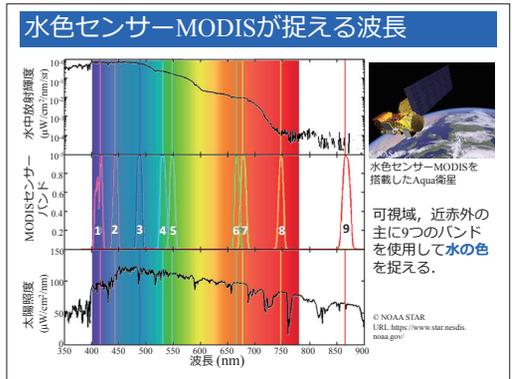
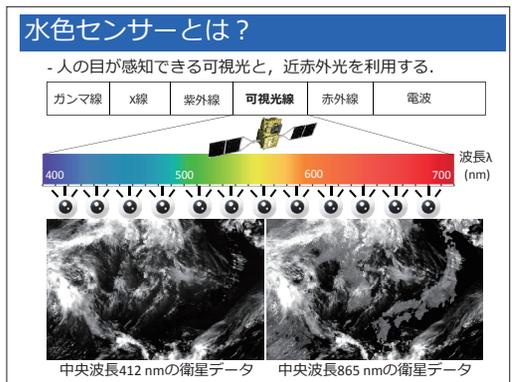
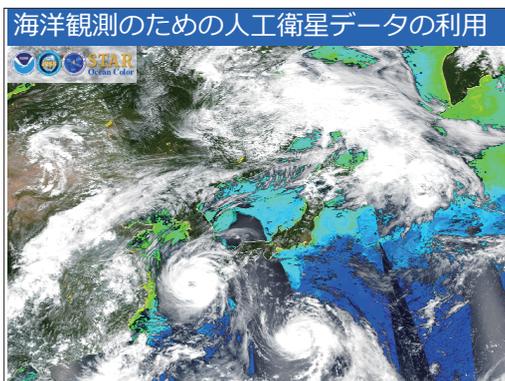
大気

海洋表層

大気中の散乱・吸収、海面での太陽の直接反射等を大気補正により除去し、水中から進んでくる光の放射輝度を得る。

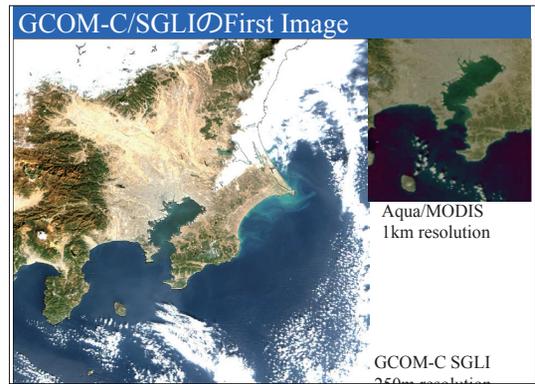
む光の方でして、こちらを大気補正によって海面反射光や大気の影響を除去し、水中から進んでくる光の放射輝度を得てそこから解析を加え水質を推定します。また水色のセンサーですが、人の目が感知できる可視光と近赤外域の光を利用しております。この水色センサーの特徴としましては、特定の波長の光を捉えることが出来ますので、詳細に対象物質の光の吸収や散乱の情報を得ることが出来ます。例えばこちら水色センサー、NASAによって打ち上げられた Aqua/MODIS センサーというものですけれどもそれを例に見ていきますと、可視域のこちらの青の部分の9つ、可視域から近赤外域の主に9つのバンドを使用して水の色を捉えることができます。例えばこちら瀬戸内海の安芸灘の写真で、こちらが霞ヶ浦の写真ですが、ご覧の通り植物プランクトンの現存量によって水の色見え方が異なります。こちらは人の目からしても青に見えますし、こちらは緑色に見えるということで、このような水の色の変化を利用して水質を推定していきます。具体的には、水面反射率の光のスペクトルを表しているものになりますが、植物プランクトンの量の指標となるクロロフィル a 濃度、これが増加していきますと、こちらの水面反射スペクトルが短波長の青の領域で低下していくということが分かります。それに伴って相対的に緑の部分が高まっていくような形が見えます。このとき何が起きているのかと言いますと、こちらの光の吸収に着目しますと、クロロフィル a 濃度の上昇に伴って植物プランクトンの光の吸収が短波長側で増加していきます。それによって水面反射率が減少していくということですが、この減少量をクロロフィル a 濃度として定量化とするというのがクロロフィル a 推定の原理になります。このような手法を衛星画像に適用していくわけですが、そうしますとこのような画像からクロロフィル a 濃度の空間的な変化といった情報を得ることができます。

また水色センサーを搭載した人工衛星の発展としまして先ほど紹介したこちらの NIMBUS-7/CZCS から始まりまして、非常に数多くの衛星が打ちあがっております。有名なのはこちらの TERRA, AQUA。NASA によって打ち上げられた衛星で、解像度 1 km で観測頻度は 1 日 1 回というように、世界中の研究者や様々なユーザーが使用している有名な衛星となっております。また特徴的なのはこちらの 2010 年に韓国によって打



ち上げられた衛星ですが、静止海色衛星になっていまして500 mの解像度で韓国や日本周辺の海域を1日に8回画像を取得することができます。また2016年にはヨーロッパによって Sentinel シリーズの衛星が打ちあがっておりますし、また2017年去年の12月には JAXA によって250 m解像度、観測頻度2日おき、GCOM-C/SGLI という衛星が打ち上げられています。このように徐々に人工衛星のハード面のスペックが上昇していることが分かります。それをイメージで見っていきます。従来の画像がこういった AQUA/MODIS、1 km解像度のもので、これで水質を推定しておりましたが、去年打ちあがった SGLI の画像で見っていきますと、こちら250 mと比較してみると非常にクリアな画像が取得できていることが分かります。例えばこの高解像度の衛星データを利用することで、パナマ諸島のサンゴ礁の領域では、サンゴ礁の分布というものも得ることが出来ます。こちらは先ほどの画像ですが、例えばこの水色リモートセンシングの長所と短所という部分をまとめますと、長所は広大な海の水質を空間的に瞬時に観測できるということが挙げられます。また打ち上げるまではさすがにコストはかかりますが、それ以降は低コストで低労力に常に水質の状態を観測できるようになる。また繰り返し観測可能であり、データが蓄積されるというのも大きなメリットとして挙げられます。また短所としてはこちらの画像からも分かる通り、水表面の情報しか知ることができない、また雲があると観測できない。また沿岸域では水質の推定精度が悪いといった問題点が挙げられます。この最後の部分、沿岸域では精度が悪いというところですが、それがなぜ沿岸域では水質推定が難しいのかと言いますと、例えば外洋域の場合ですと、水の色が植物プランクトン単一で決まるため、光の反射光の情報が非常にシンプルになります。一方で沿岸域ですと、河川から流入する物質もしくは内部生産により生成されるもの、有色溶存有機物、非生物粒子といった様々な物質が混在しますので、これによって反射光の情報が複雑になります。光吸収のスペクトルで見ても、植物プランクトンだけでなく有色溶存有機物や非生物粒子の光の吸収も加わっていることが分かります。また、光の散乱も変化しますので、さらに光の反射光は複雑になります。つまり沿岸域において水中に様々な物質が混在して光環境が非常に複雑ということで、このような中で単一の物質、物理量を抽出するというのが非常に困難になるということです。

このような現状の中で私たちは JAXA による地球環境変動観測ミッション、先ほどの GCOM-C のプロジェクトになりますけれどもこちらに加わっておりまして、その中で「沿岸域・湖沼の光学的性質特徴別分類に基づいた大気-水中結合アルゴリズム構築に関する現地観測」といったテーマでこれまで現地観測を実施しておりました。この目的としては、様々な沿岸域に対して複雑な光環境を解明していくということ、その知見に基づいて水中アルゴリズムを開発していく、ということを行ってきました。こちらは東京湾において実施してきた現地観測の様子になりますが、学生と共に毎年の



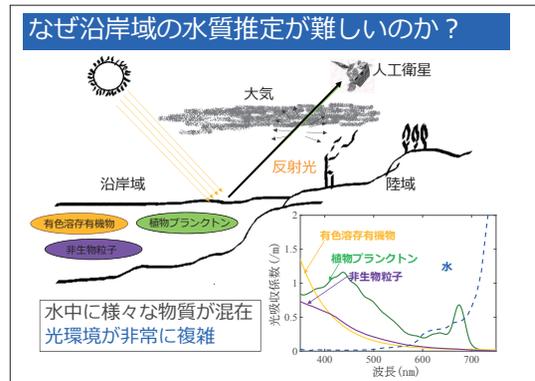
水色リモートセンシングの長所と短所

長所

- ✓ 広大な海の水質を空間的に瞬時に観測できる。
- ✓ 低コスト・低労力で観測できる。
- ✓ 繰り返し観測可能でありデータが蓄積される。

短所

- ✓ 水表面の情報しか知ることができない。
- ✓ 雲があると観測できない。
- ✓ 沿岸域では水質の推定精度が悪い。



河川から流入する物質もしくは内部生産により生成されるもの、有色溶存有機物、非生物粒子といった様々な物質が混在しますので、これによって反射光の情報が複雑になります。光吸収のスペクトルで見ても、植物プランクトンだけでなく有色溶存有機物や非生物粒子の光の吸収も加わっていることが分かります。また、光の散乱も変化しますので、さらに光の反射光は複雑になります。つまり沿岸域において水中に様々な物質が混在して光環境が非常に複雑ということで、このような中で単一の物質、物理量を抽出するというのが非常に困難になるということです。

JAXAによる地球観測ミッション(GCOM)

地球環境変動観測ミッション
(GCOM : Global Change Observation Mission)
2017年12月23日 種子島からGCOM-C打ち上げ

2016年 - 2018年
「沿岸域・湖沼の光学的性質特徴別分類に基づいた大気-水中結合アルゴリズム構築に関する現地観測」
by 山梨大学, 広島大学, 東京大学, 東海大学, 横浜国立大学



ように光のデータ、水質のデータを取得してきました。特に2010年からは千葉県環境研究センターの東京湾赤潮・青潮調査に同行させて頂き、非常に多くの水質・光学データを蓄積させて頂くことが出来まして、このような調査によって東京湾の光環境の解明が進んだものと考えています。現地観測の概要となりますが、非常に多くのパラメーターを取得しておりまして、例えばこちらの東京湾内の4地点から5地点において多項目水質系で基本的な水質項目を測定する水温、塩分、溶存酸素、濁度等を測定すると共に、クロロフィル a の実測値、または浮遊懸濁物質を有機と無機に分離して測定することも行いますし、また船の上から直接的に太陽の照度、そして海面反射光を測定するといったことも行っております。またサンプルを実験室に持ち帰りまして、有色溶存有機物、植物プランクトン、デトリタスといった各光吸収係数を測定し、また現場では後方散乱係数も測定しています。こちらが東京湾の光学特性の結果ですが、海面反射光の結果、さらに固有光学特性と言われる植物プランクトンや有色溶存有機物としてデトリタスといった光の吸収係数のデータを大量に習得することが出来ています。このような実測値、固有光学特性の結果に基づきまして、固有光学特性から水中の光の輝度を計算する放射伝達方程式を用いて、海面の反射光を計算していきます。それによって東京湾においては、おおむね海面の反射光をシミュレーションできるといったことが最近の研究結果から得られています。また東京湾の水色リモートセンシングにおける研究では、この有色溶存有機物 CDOM に着目したのも進めています。これはフミン酸、フルボ酸等の腐食性の物質になりますが、こちらの画像のように水の色を黄色に変化させていくものです。こちらが東京湾の湾奥部に限って言いますと、有色溶存有機物の CDOM の光の吸収係数、こちらが塩分と負の相関関係があるということで、つまりこの水色センサーによってこの CDOM を推定することが可能となれば、塩分が推定できるのではないかとということで、その仮定に基づき研究を進めてきました。その結果、先ほどの水面反射光計算のモデルにより CDOM 推定モデルの適用性の検証を行った上で、静止海色衛星のデータに適用しています。そうしますと、

現地観測の概要

観測日
2010年6月～2014年5月
2016年8月25日, 31日
9月15日, 23日

水質観測項目

- 水温, 塩分, 溶存酸素, 濁度等
- クロロフィル a (Chl-a) ($\mu\text{g/l}$)
- 全浮遊懸濁物質 (TSS) (mg/l)
- 有機浮遊懸濁物質 (OSS) (mg/l)
- 無機浮遊懸濁物質 (ISS) (mg/l)

光学観測項目

- 下向き放射照度 (E_d) ($\text{W/m}^2/\text{nm}$)
- 上向き放射輝度 (L_w) ($\text{W/m}^2/\text{sr}/\text{nm}$)
- 光吸収係数 (a) (m^{-1})
- 後方散乱係数 (b_b) (m^{-1})

現地観測の概要

観測日
2010年6月～2014年5月
2016年8月25日, 31日
9月15日, 23日

水質観測項目

- 水温, 塩分, 溶存酸素, 濁度等
- クロロフィル a (Chl-a) ($\mu\text{g/l}$)
- 全浮遊懸濁物質 (TSS) (mg/l)
- 有機浮遊懸濁物質 (OSS) (mg/l)
- 無機浮遊懸濁物質 (ISS) (mg/l)

光学観測項目

- 下向き放射照度 (E_d) ($\text{W/m}^2/\text{nm}$)
- 上向き放射輝度 (L_w) ($\text{W/m}^2/\text{sr}/\text{nm}$)
- 光吸収係数 (a) (m^{-1})
- 後方散乱係数 (b_b) (m^{-1})

TriOS RAMSES ARC/ACC による海面反射光の測定

リモートセンシング反射率 (R_{rs}) を導出 $R_{rs}(\lambda) = L_w(\lambda) / E_d(0^+, \lambda)$ (steradian)

現地観測の概要

観測日
2010年6月～2014年5月
2016年8月25日, 31日
9月15日, 23日

水質観測項目

- 水温, 塩分, 溶存酸素, 濁度等
- クロロフィル a (Chl-a) ($\mu\text{g/l}$)
- 全浮遊懸濁物質 (TSS) (mg/l)
- 有機浮遊懸濁物質 (OSS) (mg/l)
- 無機浮遊懸濁物質 (ISS) (mg/l)

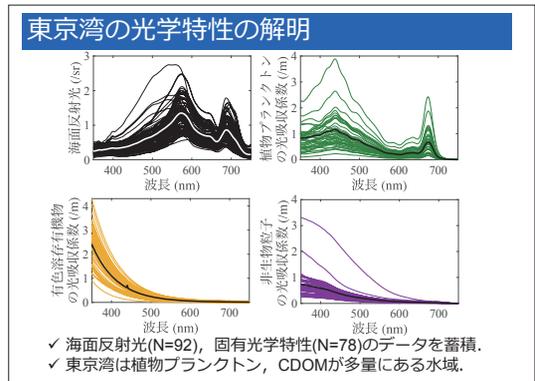
光学観測項目

- 下向き放射照度 (E_d) ($\text{W/m}^2/\text{nm}$)
- 上向き放射輝度 (L_w) ($\text{W/m}^2/\text{sr}/\text{nm}$)
- 光吸収係数 (a) (m^{-1})
- 後方散乱係数 (b_b) (m^{-1})

光吸収係数 (a) の測定
Quantitative Filter Technique (QFT法)
(Sosik, (1999); Kishino et al., (1985))

後方散乱係数 (b_b) の測定
後方散乱計 (Hidrosac-6P)

測定項目: 後方散乱係数 (b_b) (m^{-1})
測定波長: 420, 442, 488, 510, 550, 676 (nm)



東京湾の光学特性の解明

Hydrolight (Mobley et al, 2000) 固有光学特性に基づき輝度分布を計算

固有光学特性

- 光吸収係数 $a(\lambda)$ (m^{-1})
- 体積散乱係数 $\beta(\lambda)$ ($\text{m}^{-1}\text{sr}^{-1}$)
- 光散乱係数 $b(\lambda) = \int_{4\pi} \beta(\lambda, \Omega) d\Omega$ (m^{-1})
- 光束消滅係数 $c(\lambda) = a(\lambda) + b(\lambda)$ (m^{-1})
- 単一散乱アルベド $\omega_0 = b/c$
- 位相関数 $\beta = \beta/b$ (sr^{-1})

放射伝達方程式

$$\cos \theta \frac{dL}{dz} = -L + \omega_0 \int_{4\pi} \beta L d\Omega$$

放射輝度

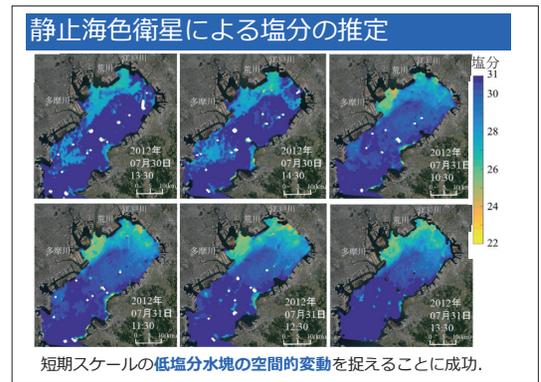
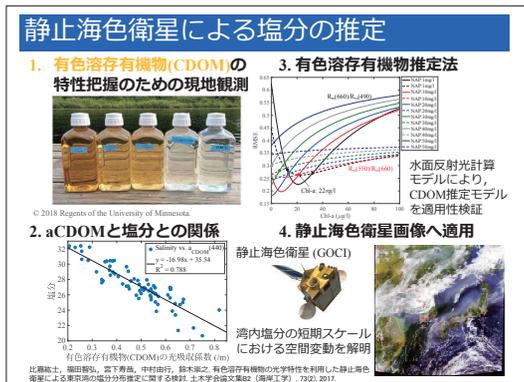
放射輝度分布 $L(z, \theta, \phi, \lambda)$ ($\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}$)
下向き放射照度 $E_d = \int_{4\pi} L d\Omega$ (Wm^{-2})

リモートセンシング反射率
 $R_{rs}(\theta, \phi, \lambda) = \frac{L(z, \theta, \phi, \lambda)}{E_d(z, \lambda)}$ (sr^{-1})

放射輝度の概念図

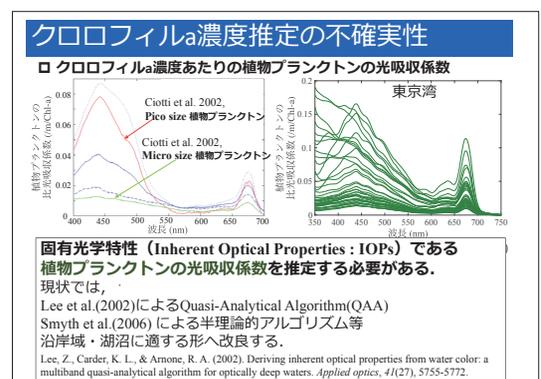
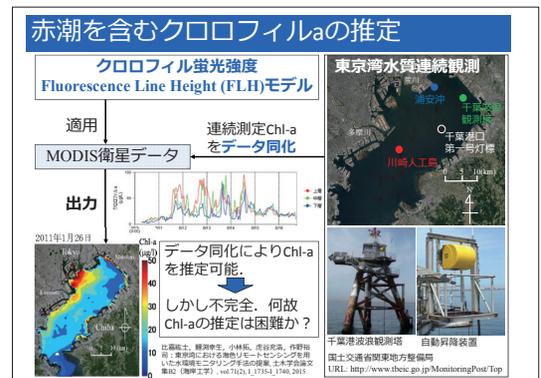
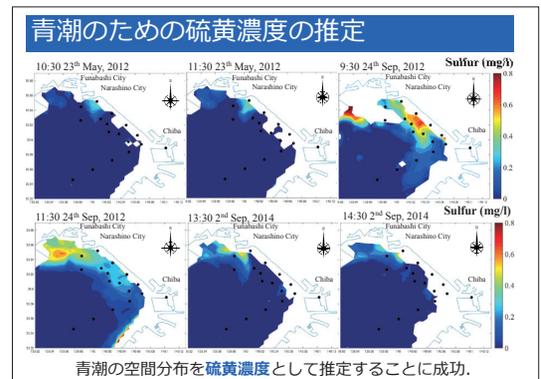
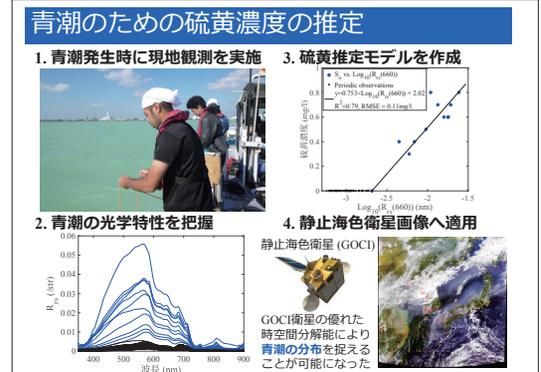
放射輝度: $L(z, \theta, \phi, \lambda)$ ($\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}$)

観測日: 2012年5月1日
Chl-a: 44.8($\mu\text{g/l}$)
CDOM: 0.26 (m^{-1})
デトリタス: 6.2 (mg/l)



こちら静止衛星ですので1時間に1回のインターバルで低塩分の水塊の空間的変動を捉えることが出来るようになってきています。さらに現地観測は青潮の発生時にも実施しておりまして、この時は同様に青潮の光学特性を把握し、また青潮の元となる硫黄を推定するモデルを構築しまして、それも同様に静止海色衛星に適用します。そうしますとこれまで捉えることが非常に困難だった青潮の空間分布が、硫黄濃度として推定することができるようになります。こちら実は私の方では分担は衛星データの解析を行いました、水中の硫黄濃度の分析方法の開発に関しては、島根大学の菅原先生にお願いしておりまして、二人でコラボレーションすることによってこのような結果が得られ、得られた時には非常に感動致しました。

次に先ほどから話にありますクロロフィル a 濃度はどうかということですが、これが非常に困難な状況にあります。こちら2015年に私の論文の方で報告させて頂いておりますが、クロロフィル a 蛍光強度 Fluorescence Line Height のモデルを、まず MODIS 衛星データに適用します。その後これでは精度が不十分ですので、関東地方整備局のモニタリングポストのクロロフィル a の連続データを用いまして、これをデータ同化し最終的に出力するといったものを用いています。誤差率は30%以下のまずまずの結果ですけども、加えてデータ同化を用いるという点で不完全なものとして終わっている状況です。これがなぜクロロフィル a の推定が難しいのかというのを見ていきますと、このクロロフィル a 濃度のあたりの植物プランクトンの光吸収係数、こちらは日本語では比光吸収係数と言われるものですが、こちらに着目しますと Pico size の植物プランクトンそして Micro size の植物プランクトンでこのように比光吸収係数の大きさが異なることが分かります。これは植物プランクトンのパッケージ効果といわれるものでして、例えば植物プランクトンのサイズが小さいものが密集した場合、その比光吸収係数が増加するということがあります。つまり東京湾の中においても植物プランクトンの種やサイズというのは時期によって異なりますので、これによってクロロフィル a 濃度だけに着目する推定法では限界があるのではないかと分かってきています。それをどう解

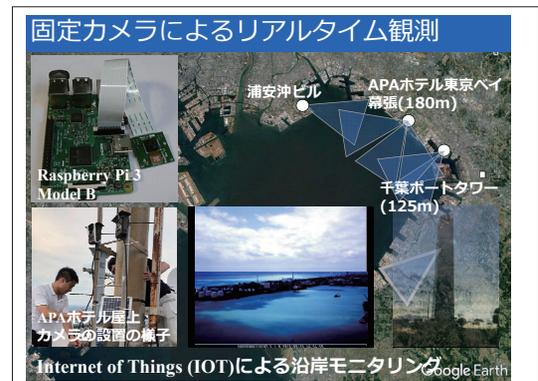


決するのかということですが、この固有光学特性 Inherent Optical Property、IOP というものでして、植物プランクトンの光吸収係数そのものを推定する必要があるのではないかと方向を進めています。現状では 2002 年や 2006 年に、外洋用に IOP を推定するアルゴリズムが提案されておりまして、これを沿岸や湖沼に適する形で進められないかということを検討しています。

本発表でご紹介させて頂いた人工衛星のデータですけども、実は全て無料で使用することが出来ます。誰でも WEB サイトからダウンロード可能となっています。例えば先ほどの静止衛星もそうですし、250 m 解像 JAXA の衛星もそうとなっております。ただこちらの JAXA の方に関しては、今年の 12 月または来年から使用可能になってくると思います。このような流れに伴って、民間企業の衛星データの利用というのも活発になってきております。例えばこちらベンチャー企業のウミロンという会社ですけども、IOT と衛星データを活用した水産養殖のためのデータサービスを展開しておりまして、

彼らのアプローチとしては餌やりの最適化をしていくということ。IOT で管理していくと共に衛星データで水質の状況を把握していくといったサービスを展開しています。また先ほど岡田室長の方から IOT の話もありましたが、私たちの方でも衛星データの話から少しズレてしましますが、IOT を用いた沿岸モニタリングができないかということも進めています。例えばこちらはラズベリーパイという小型の PC になっておりまして、これから環境モニタリング用のカメラを作成します。これを幕張沖や幕張のアパホテルやポートタワー等の屋上に設置しまして、常に海の状況を監視できるようにします。それによって、雲がかかっているときにおいても青潮の変化が常に追えるといった状況になっております。ここからこの小型のコンピューターの中に置いて画像解析をかけ、青潮や赤潮の検出というのを自動的に行えるようなシステムを開発しております。また、私が個人的に興味を持っているのが、小型衛星でして、こちらは米国の planet という企業のものになります。

今衛星の打ち上げが非常に安価にできるようになってきたことで、民間企業からも次々に衛星が打ち上げられているという状況です。ただしこの小型衛星の弱点と言いますと、観測できる範囲が非常に限られてしまう。小さい領域しか観測できないため、これをどのように解決するのかと言いますと、単純に多くの衛星を打ち上げてそれぞれが補完し合う、連結させるような方法で面積をカバーしていきます。このスペックですが、地上分解度約 3 m、そしてほとんど毎日画像が取得できるということで、非常に高スペックな衛星データを得られることが出来ます。これ例ですが例えばお台場、千葉港側のところですけども、こちらのモニターだとちょっと見にくいんですがよく見ますと、赤潮の空間分布がくっきり表れていることが確認できます。さらにこれは雲がかかってしまっておりますが、こちら雲が途切れた部分に港内の青潮の空間分布等も映し出されております。このような小型衛星が今は水質推定だけではなくて、藻場や浅場にも適用・活用というのも考えられるのではないかと検討しています。この小型衛星が、先ほどの大型衛星と比較しますと、これまで 200 億円以上総額かかっていたものが、小型衛星ですと 10 億円程度。10 億円と言っても非常に高価ですが、打ち上げ可能となっています。これがさらに打ち上げのコストが下がっていくことを考えますと、今後漁業や環境調査への活用、有効な活用方法が見いだせると、もしかしたら夢のような話かもしれませんが、東京湾等主要な沿岸域用



に小型衛星が1つあってもいいのではないかと想像したりしています。

それでは最後にまとめですが、人工衛星のハードウェアと水質推定手法は著しく発展してきておりまして、また複雑な光環境特性の解明も進んできております。また現状ではデータ同化に頼っている部分がありますので、こういったところを徐々に詳細なメカニズムを解明してデータ同化を必要としない推定手法を提案していきたいと思っています。また無償で利用できる多くの人工衛星データが蓄積されておりますので、これをうまく活用できれば今後様々な用途で東京湾の環境モニタリングに有効になるのではないかと考えているところです。以上で私からの発表を終わります。

まとめ

- ✓人工衛星のハードウェアと水質推定手法は著しく発展しており、光環境特性が複雑である東京湾においても水色リモートセンシングが徐々に適用可能になっている。
- ✓現状、東京湾ではデータ同化によるクロロフィルa推定、塩分、青潮の推定が可能になってきているが、今後、データ同化を必要としない固有光学特性の推定法を検討予定。
- ✓無償で利用できる多くの人工衛星データ、また、高頻度高解像度で観測可能な小型衛星は、うまく活用できれば、今後、様々な用途で東京湾の環境モニタリングに有効になると考えられる。

機械の目による底生生物とアマモ場の抽出

国立研究開発法人 海洋研究開発機構 海底資源研究開発センター

環境影響評価研究グループ 研究員 山北剛久

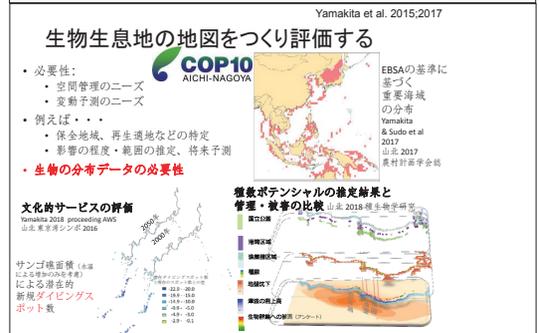
よろしくお願いします。JAMSTEC 海洋研究開発機構の山北と申します。今回、東京湾の話はあまり出てこないのですが、私は元々東京湾でアマモ場の分布の変化やベントスの調査をおこなっていました。現在、私の主な業務の対象地が東京湾ではないこともあり、東京湾にもこんな手法が応用できます、という例として画像解析のご紹介をさせていただければと思います。

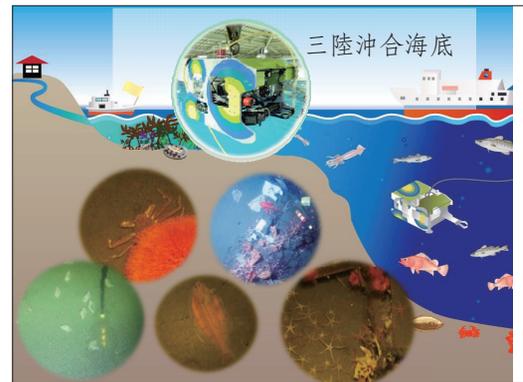
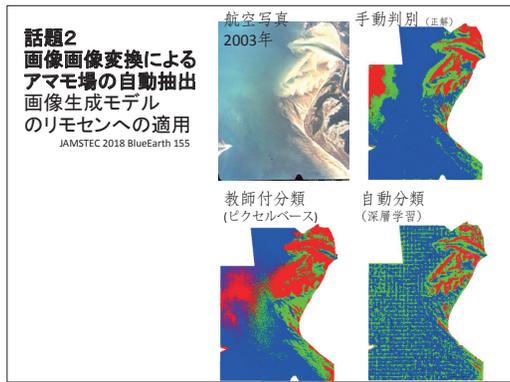
私が最近行っている仕事は、生物の生息地に関連した地図を作って海域を評価するということです。一昨年の東京湾シンポジウムでも少しお話しさせていただきましたが、例えば生物多様性がもたらす文化的なサービスを全国で評価するなどの例があります。ほかにも生物多様性の分布を推定して重要な場所を特定すること、東日本大震災の後に、どこが元々生物多様性のポテンシャルが高い場所で、震災の被害や管理様式がその場所でどういう状況かという評価を行っています。こうした推定すべてのベースになっているものが生物の分布データです。

今日あまりにも東京湾の話が出てこないのです、一つだけスライドを用意しました。東京湾の近況を本題とあまり関わりなしに入れてあるのですが、東京湾の湾奥三番瀬の浦安市日の出沖で毎年調査してきて、今年の夏に生きているキサゴが大量に出てきました。ハマグリの子貝も見られてきており、以前より良くなっているのかなという印象を受けています。これは、これから生物をソーティングしなくてはならない試料で、写真には暗くて分かりにくいですがキサゴが入っています。理想的にはこういった生物が自動で抽出できるようになると、全部の種まで特定はできないかもしれませんが、ソーティング作業を沢山やらなくても、一部は自動で簡単なモニタリングができるようになるかもしれません。

今日お話しするのは、東京湾ではなく三陸沖の海底の画像からどうやって生き物を抽出するのかという話です。ここではクモヒトデが海底面にたくさんいまして、それを抽出するという話をさせていただきます。また後半に、アマモ場を抽出するというものを話します。今まではいわゆるリモートセンシングで使われているソフトに入っている方法でやっていたものが、深層学習を使った時に白黒の画像でも精度よく抽出できるモデルができていますという内容です。

初めの東北の沖ですが、こちらが震災の後に潜った際の映像になります。海底のかなり多くの部分をクモヒトデが覆っています。このような場所が、沖合大体水深 200 m から 400 m 辺りに広がっています。クモヒトデはキチジ、あるいはサメガレイなどの餌になっており、海底の生物の分布の指



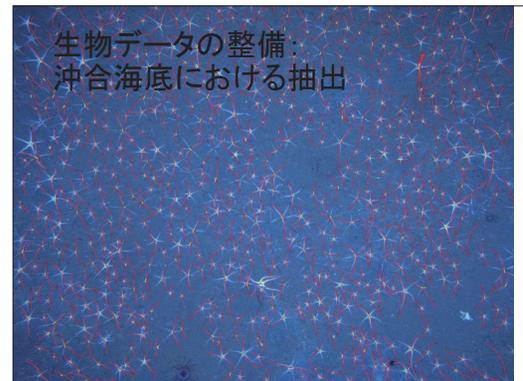


標にもなると考えています。これらを数えて場所による違い、あるいは量を推定しようということを行います。図は赤い線がいっぱいありますが、手作業でトレースして数えた様子です。手で数えるのは大変で、これは自動化するしかないだろうと検討したわけです。

自動化の方法の前に、生物の分布を網羅的に調査する方法を示します。今日は環境 DNA のお話もリモートセンシングのお話もありました。すでに様々な方法があります。ベントスの調査をしている身としてはなじみがないですが、海洋生物の分野ではプランクトンをフローサイトメータなどで自動的に撮影するということが、以前から行われてきました。そうした従来の方法だけではなくて最近、画像認識を使った方法や環境 DNA を使った方法も充実してきています。そこで今回は自動抽出の方法を適用してみました。

自動抽出の方法といってもいろいろあります。シンプルなものと工業製品で使われるテンプレートマッチングという方法で、あるテンプレートを用意してそれと同じものを別の画像の中から見つけてくるといったものです。あるいは動画や連続写真を使って、その差分からそこに物があつたかどうかを抽出する方法もあります。また、ディープラーニングが話題になる少し前から行われてきた方法として、画像から特徴量を抽出してそれを機械学習にかける方法が以前からありました。皆さんご存知の通り、最近カメラでは顔を認識してくれると思いますが、あれはディープラーニングを使う前の従来型と呼ばれる特徴量抽出による機械学習モデルで十分できています。ご存知のように、そうしたモデルだけではなくて最近ではディープラーニング・深層学習と呼ばれている、もっと高度な方法も出現しました。

最初に、従来型の機械学習による特徴量抽出方法を簡単に説明します。例えば顔を例として検討する際に、まず特徴量というものを定義します。ここでは単純な白と黒の隣り合ったブロックの明るさの差で Haar-like と呼ばれます。この特徴量が画像中に指定した枠の中にどう分布しているのかを調べます。例えば鼻の縁と目との間の明暗で特徴量が一つつくれます。口と顎の明暗で特徴量が一つつくれますという具合に、これら顔範囲を指定した四角い枠の中にどう分布して



網羅的な調査の検討

- 非構造化データからのデータ抽出
 - 生物サンプル
 - 海ではフローサイトメータ、FlowCam、ZooScanなど自動化手法が既に多数ある・・・
 - 映像・画像・音声 → 自動認識
- リモートセンシングの活用
 - 衛星・Drone・AUV・ASV
 - レーザー・レーザ・音響
 - eDNA
 - 画像 → 画像分類・変換

Extraction of brittle stars (Yamakita et al. 2018 Ecol Res)

自動抽出方法

- テンプレートマッチング
 - 画像の一部から同一物をずれを含めて判別
- 差分による関心区域の抽出
- 特徴量抽出と機械学習
 - 従来型学習
 - 個別画像の検出・複数の画像の検出
 - ディープラーニング (特徴量検出方法も自動で検討)
 - 方法:
 - 移動窓による一貫性、ROI抽出による一貫性、セグメンテーション、画像生成 (変換)

従来型学習の特徴量抽出

例えば Haar-like 特徴量

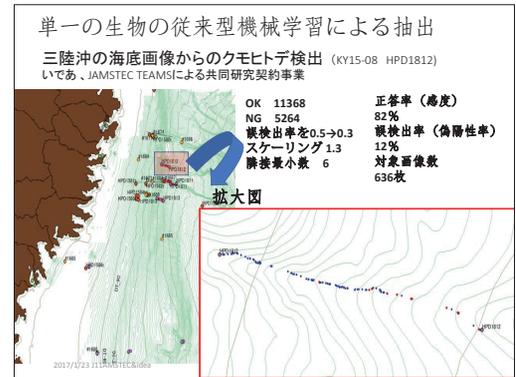
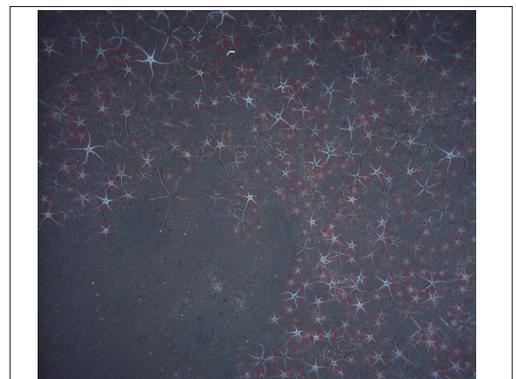
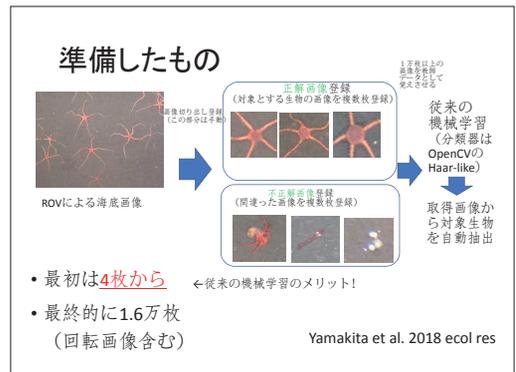
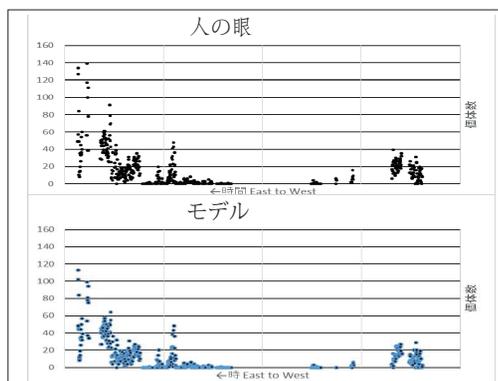
1. Edge features

http://opencv.jp/opencv-2.2/c/objdetect_cascade_classification.html

のかということで、こういう分布が顔ですと認識していくわけです。実際の作業では枠は検索するウィンドウをずっと動かして行って、あらかじめ顔と認識したものと同じ特徴量が枠の中にあると、これは顔だということ認識になります。従来型の学習では特徴量に白と黒の濃淡差を用いた Haar-like というものを使いました。どのような特徴量をつかうのかは誰か解析する人が決めるものですが、ディープラーニングではこういった特徴量をあらかじめ考えなくてもできる自動で作成される点が凄い所です。それは後ほど説明します。

では、顔認識と同じことを海底生物に対してやってみようということで、クモヒトデの画像をたくさん用意し、不正解の画像として生物だけではなく何もいない海底なども用意しました。そして従来型の学習を OpenCV というプログラムを使って行いました。従来型学習のいいところは、画像が少なくても、ものによってはそこそこ良い結果が出ることです。最終的にはかなりの数の画像を作りましたが、例えば、結果的にたまたまうまくいった例ですと、画像を4枚登録して学習させただけで一応学習モデルができて、そこそこ検出された結果が最初出てきました。おーっと思って、さらに学習量を増やして進めていくと、この赤い枠がクモヒトデを囲っている結果になっています。最初と違う画像ですが、教師画像でない画像に対して適用しても、結構な割合でクモヒトデを拾ってくれるものが出来合いのプログラムでできています。

実際の現場への適用と開発を「(株)いであ」と一緒にやっています、ROV による一潜航の間ずっと検出していくと、正答率としては目で見たと比べて8割くらい正答して、誤検出が1割ちょっとというような結果になっています。600枚くらいの画像を数えました。上が人が数えたもので、下がモデルで抽出したものです。オーダーは合っていて、少し10、20多い箇所やはずれているものもありますけれども、かなりいい精度でできていると思っています。これは、クモヒトデだけではなくフジツボの認識にも使えています。東京湾ではなく、プロジェクトの事情により三陸なんですけれども、フジツボの認識にもフジツボ以外の貝とかを拾っていますが、形が明瞭なものはその認識できるモデルが、従来の学習でも簡単にできるようになっています。

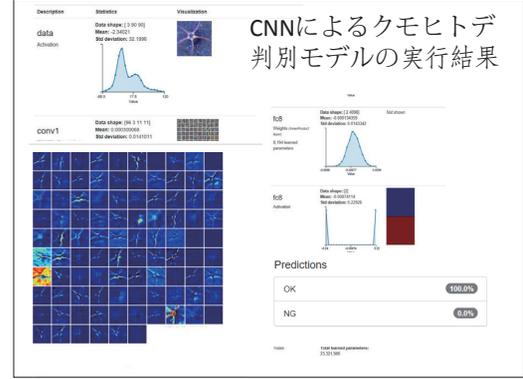
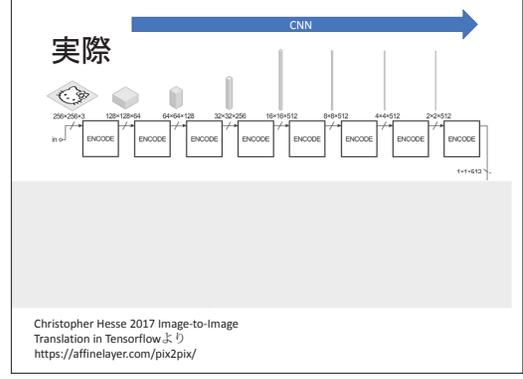
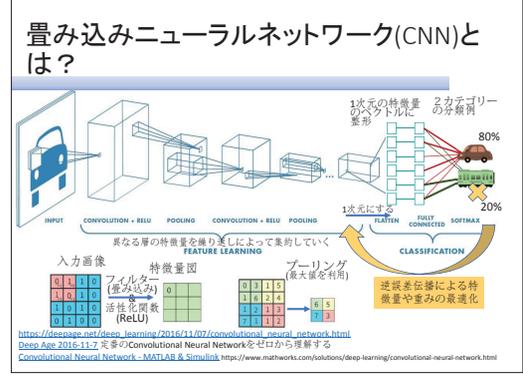
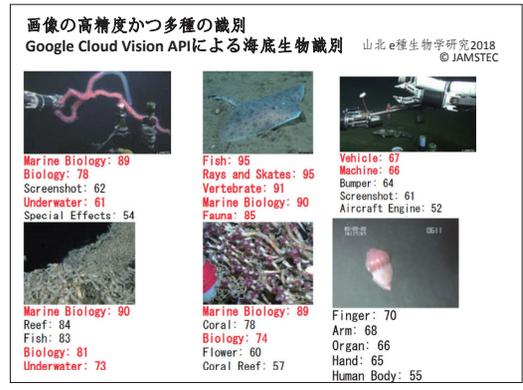
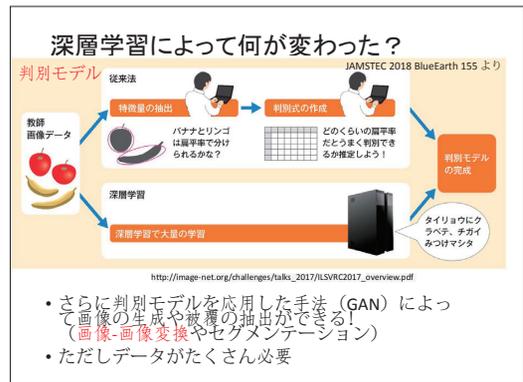


最近、深層学習というのが出てきて、何が変わったかということですが、画像を判別するコンペティションの結果を示します。2012年ぐらいから深層学習（ディープラーニング）が出現して精度が良くなり、さらに2015年になるとほとんど0%に近いエラーに近づいてきています。このようにディープラーニングによって劇的にモデルが良くなったということ。また、もう一つは、次の図のように、今まで特徴量として何を使ったらいいか研究者が自分で考えて、それからさらに分類モデルを作っていました。OpenCV上のHaar-likeを使ったモデルの場合、たまたま画像認識の判別のモデルも一緒に用意されていて良かったのですが、統計モデルについては自分で考える必要がありました。けれども、ディープラーニングの場合、画像をただ大量に与えてあげれば、なんだか知らないけどそれを分けるモデルを機械が作ってくれる、という凄いののできたということです。

ディープラーニングについては中身がわからなくて使っているのかと議論はありますし、多くのデータが必要となります。しかし、かなり色々なことに応用できることが分かっています。どれぐらいすごいのかと言う例が次の図です。例えばGoogleのようにたくさん画像を持っているところだと、エイの画像を切り取って与えた場合、これがなにか識別してくれます。魚が95%、まあ魚ぐらいいはさすがに認識できてほしいですけど、これがエイだと認識する確率も95%と正しい分類が出てきます。左下のエビがいっぱいある画像もマリンバイオロジー90%と出てきてくれて、データを持っている所では良い精度で認識ができています。右下はうまくいってない例ですけども、こういったことが出来るようになってきています。

さて、そのディープラーニングとは、何かということをお話します。その中身を車を車と識別する例で分かりやすく説明します。まず画像にあるフィルターをかけて、特徴量の画像というものを作ります。次にそれを縮約する処理、プーリングを行います。周辺セルの最大値を取って画像縮小して特徴量を濃縮する処理です。その2つの作業をどんどん繰り返して、最終的には特徴量のベクトルが出来上がります。それと画像の分類した結果とがどれぐらい一致するのかという関係を見るということをやっています。この最後の一致性の部分の誤差を今度はどんどんとモデルの前方に伝播させていって、フィルタやモデル自体を改善していくことで、いい特徴量を抽出して与えたデータを識別できるモデルが出来てくるという仕組みになっています。

次の図の実例を見ると、元々が256×256の画像をどんどん濃縮させて、1次元の512のベクトルになっています。このモデルにクモヒトデの画像を与えた結果がその次の図です。モデルの中身が絵としてどうなっているかという、図の左下のようにたくさんの特徴量を持った画像が何

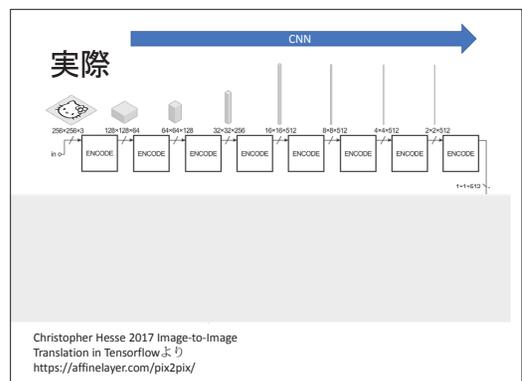
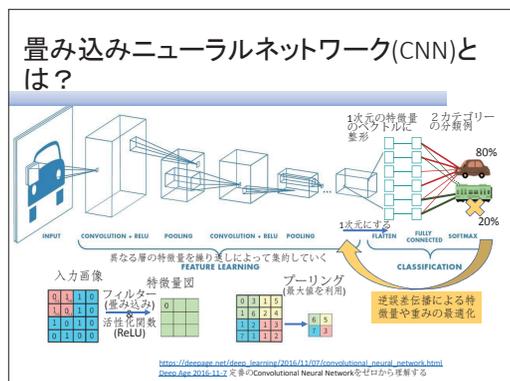
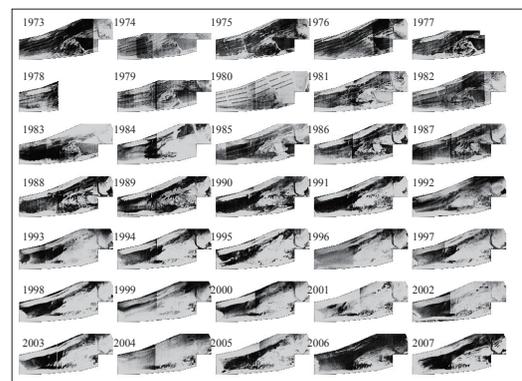
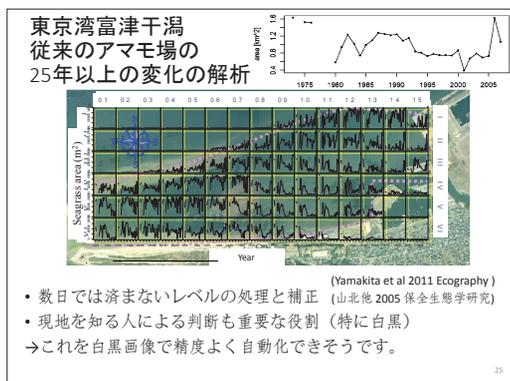
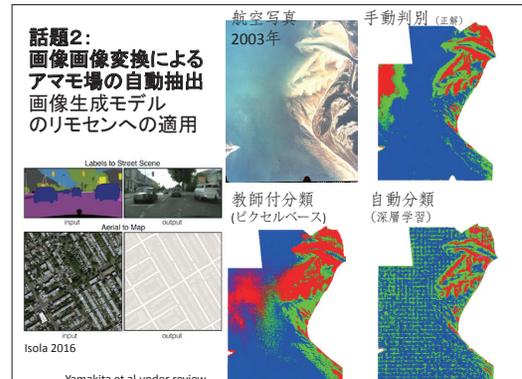
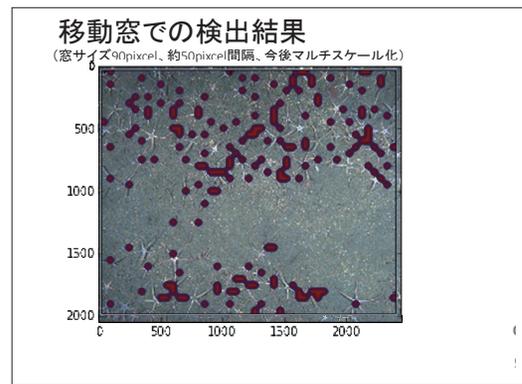


枚も何層にもわたってできています。途中の層を見ていくと、ある層ではクモヒトデの形を拾っているような所が抽出されていたりしますし、右真ん中の最後の層ではクモヒトデかどうかを0か1かで判断し、最終的に2つセルの一方がクモヒトデの画像を与えたらちゃんとクモヒトデの画像だと認識し、確率100%という結果になっています。

深層学習を使ってクモヒトデを検出することは、物体の認識についてはかなりうまくいっていますが、物体の検出については課題があります。現在は、窓を動かして検出する基本的なモデル作っているところです。次の図は、少々画質が悪いですが、クモヒトデの解析をある解像度で行った結果です。そこそ分布は推定できていますが、まだ一部には改善の余地がある現状です。

2つ目の話題の例として、この深層学習モデルをさらに発展させたモデルをアマモ場の抽出に適用します。ここで使うモデルは分類だけではなくて、さらに画像を生成するモデルを使います。私は学生のころ東京湾を対象にアマモ場を大量の画像から抽出するというのをやっていました。全部で抽出に数ヶ月かかったのですが、このモデルを使うと1日でできてしまいます。

先ほどの深層学習と何が違うかと言うと、このモデルでは判別するだけではなくて、モデルを逆回転させて、判別モデルを作ったのと同じことを逆に計算して行くと、今度は画像が生成されてきます。「画像生成モデル (ジェネレーター)」といいます。特徴量の情報からだんだんアップスケーリングしていくので、当然元の画像よりちょっとぼやけたりズレたりします。その補正手法もCNNを内部的に使っています。



さらに、新たに生成する画像の生成精度をよくなるために、モデルを2つ組み合わせます。今、説明した「画像生成モデル」は図の右にあります。これに加えて、先に紹介した「画像識別モデル」を一個下の段階にかませてあげます。こうして、生成モデルの結果が、教師データとして与えた本物のデータと同じかどうかを識別モデルで判別します。この方法で、識別モデルが識別できたら生成モデルを変えてやり直すことで、生成モデル（ジェネレーター）の精度を良くしていくということを、モデルの内部で行っております。このように組み合わせさせたモデルを敵対生成モデル、GANと呼んでいます。「画像生成モデル」と、生成された画像が本物と見分けがつかないかどうかの「識別モデル」とが競争することで、精度の良いモデルができあがってくるのです。

このモデルをすでにパッケージ化した pix2pix というものがあり、今回はそれを使います。画像の解析サイズは決まっているので、256 × 256 ピクセルのタイルに航空写真を細かく切って、航空写真の元の画像と教師として人が目視判読でアマモ場と砂の場所とを塗りつぶした画像とを小さなタイルのペアにして用います。なお、先ほど触れた、ぼやけたりズレたりを補正する CNN 内部の補正手法も、pix2pix には組み込み済みです。解像度を高く保持し、元の特徴量を維持することができます。

さて、このモデルを東京湾でなくて申し訳ないですが、今回タイのプーケットから3時間以上南にあるハットチャオマイ国立公園の航空写真に適用します。右側が陸で、左が海で沖の方は少しハレーションが起きており、今回除いています。陸を除くと全体は、藻場と砂になっています。

比較対象の従来の画像解析方法は何かと言うと、カラー画像については「教師付分類」というピクセルの色に基づいて、「藻場」、「砂」、「薄い藻場」を3分類します。あらかじめ教師データとして用意した3分類ごとの RGB の色の分布の統計量に基づき分類するという方法です。白黒の画像については「オブジェクト分類」と言って、近い場所で似かよった色の範囲をあらかじめひとまとまりのオブジェクトとして囲む方法です。そのオブジェクトの形や色に基づいて、そこが何かを推定します。それと比較して深層学習はどうかを最後に見た

(敵対生成モデル)

GAN (Generative Adversarial Network) とは？

(Goodfellow et al. 2014)

- 与えた画像の特徴を生かした画像画像間変換が可能。
- 以下2つを競わせることにより、訓練データによく似た画像に変換する機械学習モデルを作成。
- Generator:** 訓練データと似た中間出力データを自動生成するCNN
- Discriminator:** 中間出力データが訓練データ由来か、生成モデル由来かを識別するCNN
- デメリット: mode collapseなど (分布が最頻値に寄りやすい)

pix2pixとは？

Isola (2016) Image-to-Image Translation with Conditional Adversarial Networks <https://arxiv.org/pdf/1611.07004.pdf>

- cGAN(条件付きGAN)の調整済のパッケージ
- Discriminatorは正解ペアか不正解ペアか判断 (GANは生成データか真データか判断)
- 高い解像度での画像生成と特徴量保持のための特別なネットワーク構造をもつ
- U-net
- Patch GAN

実際

Christopher Hesse 2017 Image-to-Image Translation in Tensorflowより <https://affinelayer.com/pix2pix/>

熱帯(タイ、ハットチャオマイ国立公園)の海草藻場に適用 (大型の1種と小型の複数種)

画像分類を比較する

- 判読
- 教師なし分類
 - 底質指標の閾値
- 教師つき分類
 - カラー: ピクセル値による分類
 - 白黒: オブジェクト指向分類
- 画像画像変換
 - cGAN, pix2pix

画像のオブジェクト型分類 (類似バンドの空間を結合) eCognitionのサイトより



と思います。

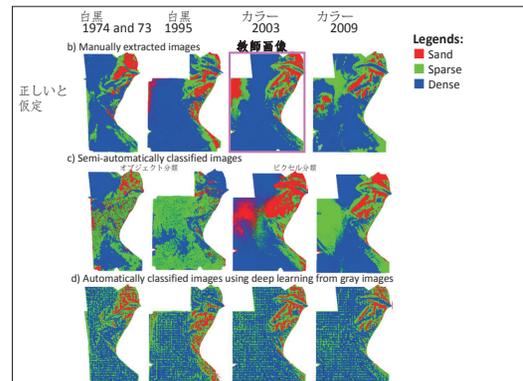
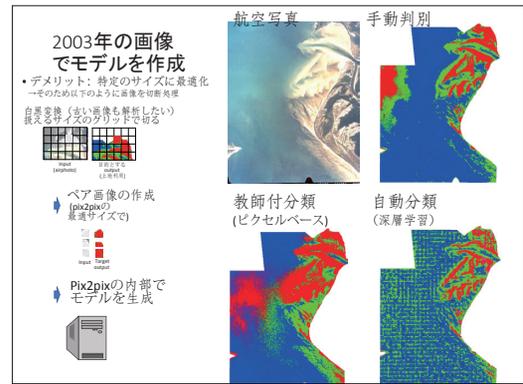
まず左上の2003年の航空写真に対して、右上が目視判別して、手で塗りつぶした画像です。沖合のハレーションは取り除いて解析しています。色をつかった教師付分類で識別したものが左下です。目視判別したもの比べるとだいぶ過大評価にみえます。本当はもう少し調整できるかもしれませんが、同じ年の深層学習による結果が図の右下です。実はこの2003年の深層学習の結果は、教師データとして同じ2003年の目視判別したものを学習させたので、結果が近くなるのは当たり前です。けれど、このように元の画像にかなり近いものが生成できるモデルが出来上がりました。

この2003年の画像で作成した深層学習のモデルを他の年に適用してどうなったかという結果が次の図です。上が正解としている目視判別結果です。深層学習の結果が一番下ですが、ここでは2003年の教師画像を使った先ほどのモデルで分類結果を生成しています。そのため、白黒の昔の航空写真や2009年の衛星の画像のデータについて、一切データを与えず、元の航空写真だけしか使っていないのです。けれども、ご覧いただくと白黒の昔の画像についても、目視で判別した結果と似た色合いに分類されています。

一方で、2行目の従来手法について、「オブジェクト分類」を適用した白黒画像は散々たる結果です。目視判別とはだいぶ違って、赤いところが砂ですが、浅い砂のところが少ない見分けられているぐらいで、他はうまくいっていません。カラーの画像は「教師付き分類」も深層学習もどちらもそこそこうまくいっています。したがって、ここでは、白黒の画像でのモデルとしても使える良いモデルが出来上がりました。精度はカラーの結果も入れると、従来手法と深層学習どちらも8割くらいで、まあまあですが、白黒画像についてはかなり精度良くできたという結果になりました。

まだ、ディープラーニングの課題、というよりもむしろ、このモデルの課題があります。最初に画像を256×256ピクセルに細かく切ってから学習させると話をしましたが、この切った部分の縁にノイズが乗りやすいこと、あるいは水深の傾きによる色のバイアスを拾ってしまい、陸側の方が同じ1枚の断片内で藻場が薄いというような結果になっていたりします。そういった部分は今後補正して改善していく課題もあります。しかしながら、白黒の画像でこれだけうまくいったことは今までリモートセンシングで見落としていた類の画像の特徴を拾っているのだと思います。

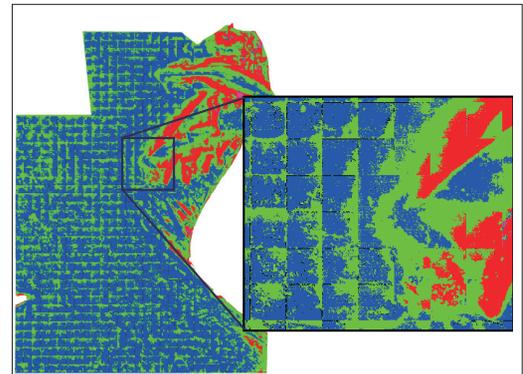
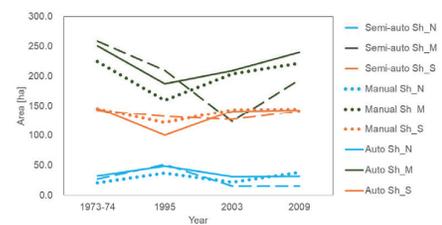
最後に少しだけ東京湾でやった事例を紹介します。図は富津干潟の画像です。富津干潟のデータは一切モデルの中には入れずに先ほどのタイのモデルで、富津の藻場がうまく抽出できた例です。解像度を色々変えた結果、濃い藻場の部分はどの解像度でも抽出されているのが分かります。



精度評価

- 全体のランダムな点での評価
 - 植生の有無の場合・・・
 - 半自動: 84% ± 6.48% and $\kappa = 0.31 \pm 0.18$
 - 自動: 89% ± 6.6 ($\kappa = 0.50 \pm 0.13$)
 - 植生の密度別の場合・・・
 - 半自動: 55% ± 15.8% and $\kappa = 0.28 \pm 0.17$
 - 自動: 63% ± 4.48, $\kappa = 0.35 \pm 0.07$
- 半自動 (教師付) 分類のトレーニングデータでの評価
 - 精度 72% ± 13.8% $\kappa = 0.54 \pm 0.24$
 - 新しい方が精度は高い (53% ($\kappa = 0.2$) in 1973 to 92% ($\kappa = 0.86$) in 2009.)

最も浅い部分での変化の比較



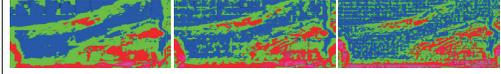
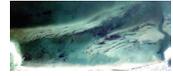
このように、汎用性についてはそこそこ高いと考えておりまして、どのくらい使えるかどうかというのも今後検討していきたいと思えます。

最後にまとめです。生物の抽出について、物体が何か識別する精度は高いので、今後、広い画像の中から生物を検出する精度を上げていくことに工夫できる部分があります。リモートセンシングについて、白黒でも土地被覆の識別ができそうなので、そもそもディープラーニングで、今までのリモートセンシングでは見ていなかったどんな特徴を拾っているのかをもっと検討する必要があると思っています。東京湾には、まだあまり適用していないので、是非そういったものをしていきたいと思っていますし、こういった分野で、まだ沿岸観測に使っている人は少ないので、一緒に進めて頂ける方も歓迎します。以上、ご清聴ありがとうございます。

他の画像や地域への適用可能性

- ・別地域に作成したモデルを調整せずに適用
→見た目にはそこそこの精度
解析解像度による変異も大きい

・課題：
解析解像度、写真の濃度
どの程度の教師の追加で精度が向上するか



Aerial photograph of the Futtsu 2010

今後の課題とまとめ

- ・生物抽出
 - ・識別の精度は高い、「個体の」検出の精度をもっと上げるには？
 - ・リモートセンシング
 - ・白黒でも植生の有無の検出には使える。
 - ・密度は課題、形状は抽出できそう？
 - ・そもそもDLが何を特徴として拾っているか？
 - 従来光学リモセンで避けてきた分野が重要かもしれない？
 - ・現着観測への適用（精度が悪くても使える分野、、、モニタリングなど）
- ・東京湾のデータへの適用！

沿岸の生物や物質の分布・移動の把握に役立つ情報源－寄生虫、耳石、糞
 国土技術政策総合研究所 沿岸海洋・防災研究部 海洋環境・危機管理研究室

研究官 秋山吉寛

国総研の秋山です。今日は変わった技術として、寄生虫と耳石と糞のお話をさせていただきます。この三つを使って沿岸の生物や物質の分布・移動の把握に役立てたいと考えています。まずは生物の移動ですが、生物はこのエリアを単純にAからBに移動しているような絵が書かれていますが、移動することによって初めて生涯を全うできる魚のような生き物が海には結構いまして、例えば海から川へと遡上するとかですね、あと深いところと浅いところの間を移動するような種類がいます。こういう移動の観点から、生きる上で必要な生息場の種類や生息場間の距離のことなどを考えていきますと、港湾の生物を豊かにするためにはどういう生息場をどこへ置けば良いのかが考えられるわけです。そのための技術として、寄生虫と耳石に関するお話をいたします。また、有機物の堆積とここに書いてありますが、有機物が過剰に堆積すると、青潮みたいな環境の悪化が進んでくるわけです。こういう状況になるとまずいので、沿岸の環境をうまく管理したいと考えているわけです。この有機物が堆積するプロセスを理解するために、糞に関する技術のお話をします。こうした技術を活用して最終的なこの海洋環境の適切な管理につなげていきたいと思っております。

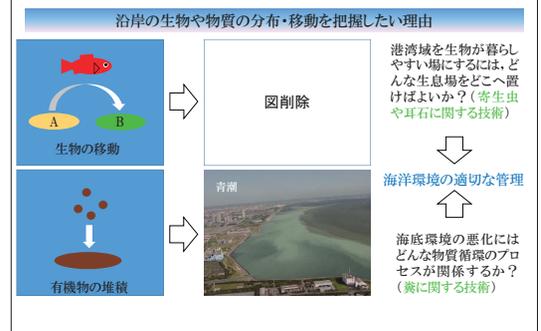
まずは寄生虫のお話ですが、ここでは寄生虫を生物標識として使おうじゃないかという話をします。生物標識では人工的なこの矢印の先についているようなものを使うケースもありますが、ここではこの人工的なタグの代わりに寄生虫をタグとして利用したいと考えています。寄生虫を使うメリットは小さくデリケートな宿主にも標識出来る。値段が安い、そして宿主が異常な行動を起こさないことがあります。また標識として適した寄生虫の特徴には、生息域が限られると書いてありますが、この左下の絵を見ますとこの緑色の範囲のこの限られたところに寄生虫が繁殖して生涯過ごせる場所がある。ここでたくさん暮らしている寄生虫のうちの一部が、魚にくっついてこの緑の範囲の外側で採集されますと、この緑のところからこの魚が取れたところまでの間を移動したと考えられるわけです。また、寄生中が寄生できる魚の種類が限られていると、この緑の位置とこの魚の関係はよりクリアに説明できます。ということで、宿主の種類が限られていることも重要です。あとはこの魚にくっついてる虫がなるべく長くくっついてる方が標識として長く機能しますね。ということで、長期間寄生することも大事です。生物標識としての寄生虫の利用に関しては、国内ではサクラマスやホシザメで知られています。東京湾でも寄生虫を利用して魚の移動を理解することができるのではと考えています。ここでは既存の石川



第19回東京湾シンポジウム－沿岸域の環境改善に向けた新しい技術・考え方 第1部 横浜港 大さん橋ホール 2018年10月18日

沿岸の生物や物質の分布・移動の把握に役立つ情報源－寄生虫、耳石、糞

国土交通省 国土技術政策総合研究所
 沿岸海洋・防災研究部
 秋山吉寛



生物の移動を把握する標識としての寄生虫の利用

標識としての寄生虫の利用は国内では検討段階の新しい技術！

利点

1. 小さくデリケートな宿主に標識できる
2. 安価
3. 宿主に異常な行動が起きない

適した寄生虫の特徴

1. 生息域が限られる
2. 宿主の種類が限られる
3. 長期間寄生

国内検討例

サクラマスの系群および移動経路の把握 (Awakura et al. 1995)

ホシザメの系群把握 (Yamauchi et al. 2003)

移動した距離や期間が分かる

使用データ

- 東京湾の魚類の寄生虫群集データ

石川智子・岩下誠・林公義(1996)横浜市沿岸域の魚類相調査(1994年度)－魚類の寄生虫相について－. 横浜の川と海の生物(第7報海城編). 環境保全資料No183, 横浜市環境保全局pp69-148.

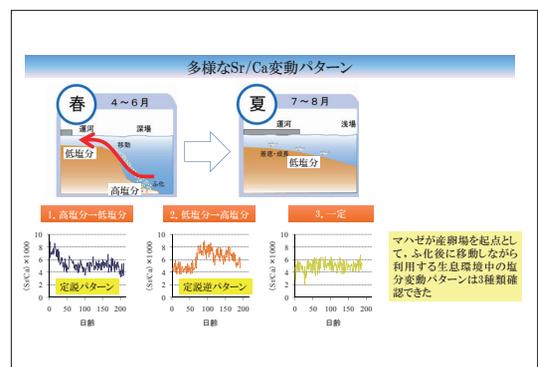
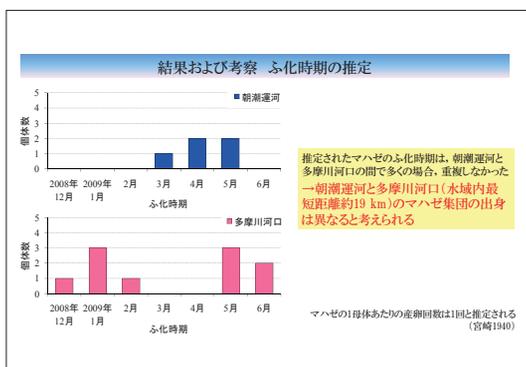
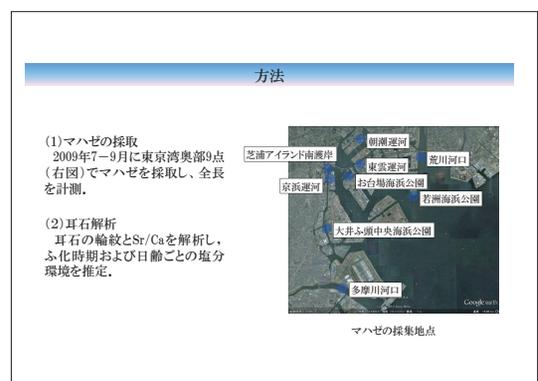
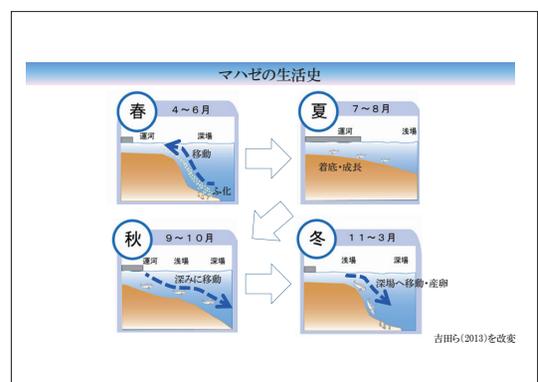
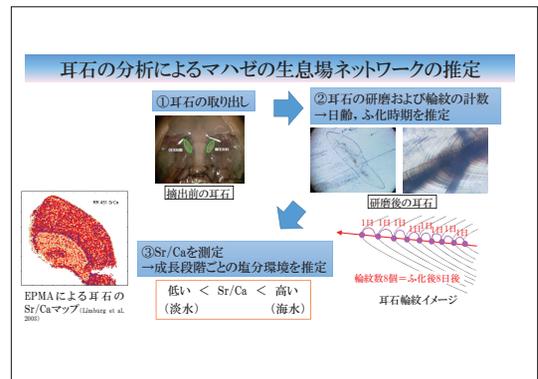
- データの構成

- ①魚の採集年月:1993年4～11月
- ②魚の採集場所
 沖合(3地点):本牧沖, 根岸沖, 富岡沖
 沿岸(5地点):鶴見川河口, 堀割川河口, 海の公園, 野島水路, 夕照橋付近
- ③魚種(15種, 採集数の少ないサベカとアサヒアナハゼは除く)
 テンジクダイ, マアジ, シログチ, マタナゴ, コトヒキ, タケゲンボ, ハタタテスミ, ドロメ, コモチジャコ, マハゼ, アシシロハゼ, スジハゼ類, アカオビシマハゼ, チチブ, ゲンコ
- ④各寄生虫の寄生率:0-100%/魚種/採集場所/月

いかなと考えています。解析した結果はクリアに分かれているので、これらの寄生虫の寄生状況の違いに着目することによって、チチブの出身を言い当てられるのではないかと考えています。このように、寄生虫を解析していきますと、沖合の深いところから沿岸に向かって魚が移動していく様子が推定できました。そして、出身地の識別ができました。こうしたことが分かってくると、魚類の移動や分布を理解できるんじゃないかと考えています。

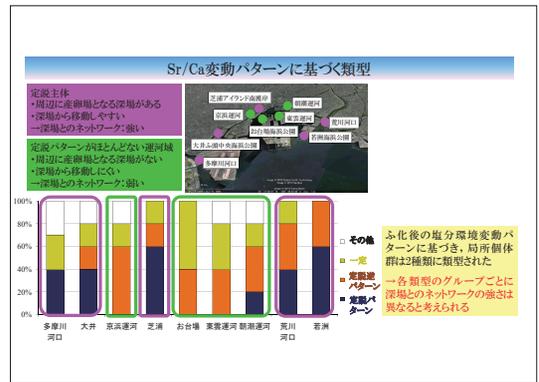
次に耳石のお話です。耳石は感覚器官の一部でして、脳の近くにあつて一対の黄緑色で示したところですが、ここにあります。これは石みたいなものですが、それを取り出して表面を削っていくとリング状の筋模様が見えます。多くの魚では、この筋模様は大体1日に1本増えると言われていています。なので、この筋模様の本数から魚の日齢や孵化時期の推定ができます。さらに耳石の中の微量元素をEPMAという

技術で分析しますと、ストロンチウムとカルシウムの濃度を明らかにできます。その比率が実は重要でして、ストロンチウム、カルシウム比の値が高い場合、その魚がその時期に海水中にいたことを表しています。逆に低い時は、淡水に住んでいたことがわかります。マハゼの生活史を見ていきますと、まず春先に親が作った巣穴の中に卵が産み付けられていまして、そこから孵化して稚魚が出てきます。この時、マハゼは高塩分の水域にいます。それから徐々に浅い低塩分のところに移動していきます。その後夏になりますと浅いところで過ごし、秋になるとちょっと深みに移動し、冬になるとさらに深みに移動して、また産卵行動に入るわけです。こうした移動とストロンチウム、カルシウム比の関連性から、魚の移動が分かるんじゃないかと考えています。このマハゼの採集を9地点、この右の図ですね。これらの場所で行って耳石の解析を行いました。孵化時期を推定したところ、朝潮運河と多摩川河口の間でほとんど重複していないんですね。重複しているのは5月ぐらいであとはバラバラ。この原因として、出身地は一緒だけれど、海流が季節によって変化して、その結果、3月4月5月ぐらいは朝潮運河にたくさん流れつき、12月から2月と5月から6月は多摩川河口にたどり着きやすいという考え方もできます。もう一つの可能性は孵化して生まれた場所がそれぞれ違う。つまり、場所ごとに孵化時期に影響を及ぼす環境条件が違うんじゃないかという考え方も出来ます。もしかしたら孵化時期の違いが出身地の違いを表しているのかもしれない。また、こっちはストロンチウム・カルシウム比の話でして、先ほど説明した通りマハゼは最初のうちは高塩分のところに暮らしていて、そ



の後に低塩分のところに移動します。このパターンを示すストロンチウム・カルシウム比の変化は、最初は値が高く、その後低くなります。この定説パターンがマハゼの移動パターンと合致するわけです。ところが分析してみますと、逆パターン、つまり、最初は低くてその後高くなるパターンも見られました。また値が大きく変わらない一定パターンも見られました。この3つのパターンの違いで採れた魚を区別して、9地点の場所を色分けした棒グラフがこれです。この中で定説パターン主体になっているのがピンク色の四角で囲われている地点ですね。ここは周辺に深場があったりもしくは深場から移動しやすいと考えられまして、深場とのネットワークが強い個体群と推測されます。一方、この緑で囲われている4つの採集地点は、定説パターンがほとんどない運河域にありまして、周辺に深場が無かったり、あるいは深場から移動しにくいと考えられます。つまり、深場とのネットワークが弱い個体群と推測されます。こうしたストロンチウム・カルシウム比の変動パターンをみることによって、どこの個体群が深場とのネットワークが強く、どこが弱いのかを推測できるわけです。結局、耳石の解析をすることによって、個体群間の出身の違いや、深場とのネットワークの強さの違いを推測することができました。こうした技術によって、マハゼの移動や分布の理解が進むのではないかと思います。

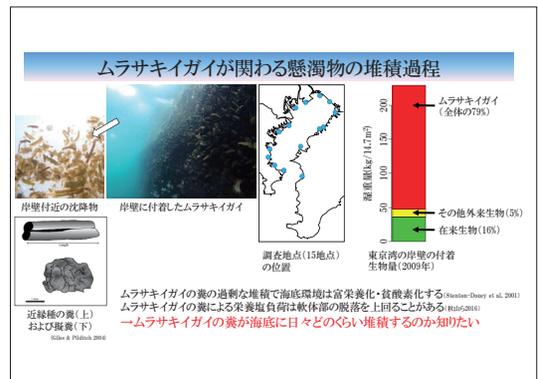
最後にムラサキガイの糞の話をしてします。この図は東京湾の岸壁にくっついて付着動物の質量です。15地点で調査しましたが、全体の80%がムラサキガイです。ムラサキガイはこの写真のように岸壁にたくさんついていて、これがずっと広がっています。これらの貝が毎日排泄物をすると、海底にたくさん有機物が堆積するわけです。有機物が過剰に堆積することによって、海底環境は富栄養化したり、貧酸素化したりすることが知られています。また糞による栄養塩の負荷は、貝そのものが脱落して海底に落下した場合の栄養塩負荷と比べてより大きい場合のあることが知られています。そこで、ムラサキガイの糞が海底に日々どのくらい堆積するのかを知りたいと考えています。ムラサキガイの排泄物には大きく二種類ありまして、一つは腸管を経由して出てくる糞です。もう一つは口に入れずに鰓でこしとって不定形の塊にして吐き出す擬糞というのがあるんですが、ここでは糞の方を扱います。ムラサキガイの糞を示したのが左の図です。こういう糞を120個ぐらい並べて、形の特徴を調べたのですが、大きく分けてこの五つの特徴を持っていることが分かりました。幅が一様であること、扁平であること、縦長であること、あとは幅の広い溝があるというのはこの左の写真ですね。これは幅広な溝ですが、これがあること。そして、大きな粒子が縦軸中心部に集中していることです。この図ではちょっと見えにくいんですが、実は荒い粒子が集中して分布しています。こうした5つの特徴を持つ糞を排泄する海洋動物がどのくらいいるのかを調べるために、372種類の無脊椎動物の糞の形を調べた結果、4種類だけこの5つの特徴を持つ糞を排泄することが分かりました。大体100種類に1種類ぐらいの低い割合で同じような形の糞を排泄するので、糞の形態的特徴に基づけば、ムラサキガイの糞を高精度で判別できるのではないかと思います。この



結論

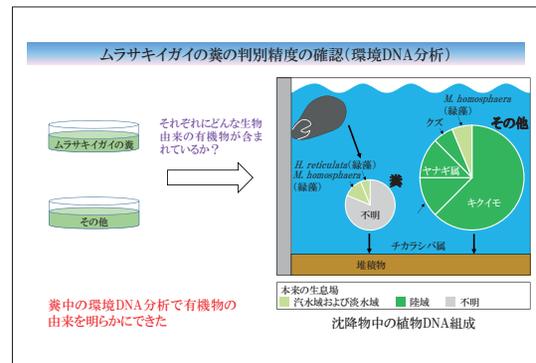
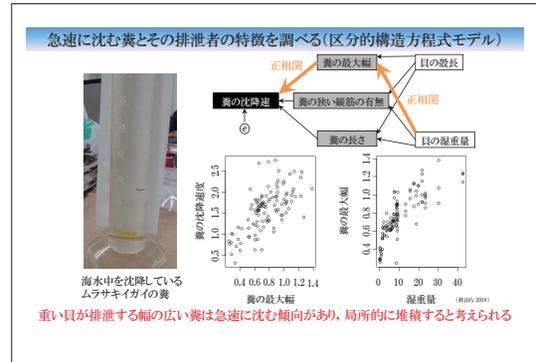
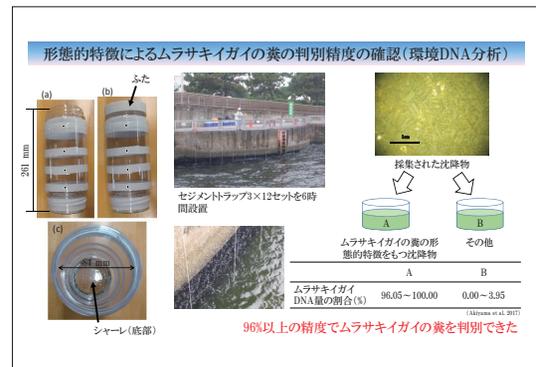
- ・耳石の輪紋の分析でふ化時期が推定でき、**局所個体群間の出身の相違を推測**できた
- ・EPMAによる微量元素の分析で**深場とのネットワークの強さが推測**でき、この強さに基づき局所個体群を**類型**できた

耳石の分析はマハゼの移動の理解に役立つ



ことを確認するために、セジメントトラップで沈降物を採取しました。この岸壁付近にセジメントトラップを仕掛けて6時間ぐらい置いておくと、たくさんこういう沈降物が採れます。この沈降物を1個ずつ顕微鏡で観察して、ムラサキイガイの糞と共通した特徴を持つ沈降物と、それ以外の沈降物に分けました。そして、それぞれに含まれるムラサキイガイDNA量を比較しました。その結果、このAに含まれるムラサキイガイDNAの量は96%から100%とかなり高い割合でした。つまり、形態に着目して沈降物を分別することによって、ムラサキイガイの糞を高精度で識別できたわけです。そうしますと、こっこのAにどのくらいの量のムラサキイガイの糞が含まれていることが分かれば、大体日々どれくらいの量のムラサキイガイ由来の有機物が沈降し、堆積しているのかが分かるようになります。そしてこのムラサキイガイの糞とそれ以外の沈降物のそれぞれに、どういう由来の植物の有機物が含まれているのかを調べました。ムラサキイガイの糞では、DNAが分解されて種類の分からないDNAの割合が高かったのですが、種類が特定できたものはすべて緑藻でした。それに対して、その他の沈降物はほとんど陸上植物の由来のDNAで構成されていました。つまり、ムラサキイガイの糞に関しては、植物プランクトン由来の有機物だけでできており、それ以外の沈降物は、主に陸上由来の有機物によって構成されていることが分かりました。結局、植物由来の有機物が流れてきて海底に堆積する過程において、それぞれ由来が違っていただけです。

最後に結論です。糞の解析では形に着目することによって、沈降物中のムラサキイガイの糞を判別できる可能性を見出しました。そして、環境DNA分析を行うことによって、その精度が高いことを確認しました。さらに、ムラサキイガイの糞とそれ以外の沈降物の中に含まれる有機物の由来をDNA分析で明らかにし、物質循環経路の違いを示しました。このような糞の解析は、沿岸域の有機物の種判別や組成、沈降過程の理解に役に立つと考えております。以上で発表を終わります。



結論

- 糞の形態分析で沈降物中のムラサキイガイの糞を抽出できるようになった
- 糞中の環境DNA分析で糞の抽出精度を明らかにできた
- 区分的構造方程式モデルで糞の沈む速度と、糞および糞の生産者の物理的特徴の関係を明らかにできた
- 糞中の環境DNA分析で有機物の由来を明らかにできた

糞の分析は糞の判別、構成、沈降過程の理解に役立つ

第二部

東京2020大会に向けた海上公園の取組について

東京都 港湾局 臨海開発部 海上公園課 課長代理 林瑞江

それでは、ご紹介に預かりました東京都港湾局 臨海開発部の海上公園課で、オリンピック、パラリンピックの海上公園の整備を担当しております林と申します。宜しくお願い致します。本日はすけれども、課長の坂下の方が説明をさせて頂くという予定になっていたんですけれども、昨日になりまして、職務の関係から出席できなくなったとのことで、急遽私が代理で出席することになりました。ですので、ちょっと拙い説明になるかもしれませんがご容赦頂ければと思います。

私、今日久しぶりに大栈橋の方に来たんですけれども、非常にやはりこの大栈橋の方、非常に景観も良くて非常に良い栈橋があって羨ましいなと思っていたんですけれども、丁度この写真の方で、ちょっと見えないんですけれども、この写真の方のこの辺りですね。このカーソルがある辺りに、今現在新客船のターミナルを我々も作っております、オリンピックがある2020年の7月の14日に新客船ターミナルをオープンさせる予定でございます。そんな2020年の大会に向けた海上公園の取組について今回ご説明させて頂ければと思います。

まず海上公園って何なのかという事をご存知の方もあまりいらっしゃらないのではないかと思いますのでご説明させて頂きますと、海上公園というのは東京の埋立地に自然環境の保全ですとか、再生、都民のレクリエーションの場として整備してきた東京都独自の条例に基づく制度となっております。港湾緑地、港湾計画に詳しい方もいらっしゃると思うんですけれども、港湾緑地の上に海上公園の制度を重ねまして昭和の時代から、都民のレクリエーションに資する公園という事で整備を進めさせて頂いております。なぜ海上公園の方が必要となってきたかという事で、歴史の方なんですけれども、左側昭和31年の航空写真でございまして、真ん中辺りに旧防波堤が見えているかと思えます。こちらの方、旧防波堤という事で今現在お台場の海浜公園の旧防波堤になっております。昭和31年当時はこのよりも南側全て海だったという事で埋め立てが進みまして、右側の平成28年の航空写真を見て頂きます通り、ほとんど東京湾の内湾の奥の方は埋め立てが進んでおりまして、最終処分場と言われるこちらの辺りが、埋め立て地としては残す限りという事になっております。ご存知の通り高度経済成長ですとか、

急激な都市化の為に迫られた埋め立て地だったという事でありまして、現在も東京港は物流港として日本の経済を支える拠点という事になっておりますので、機能の拡充が求められていく中で埋め立てを余儀なくされてきたという所です。ただそういった関係の中で、東京の海と市民生活との距離が物理的にも心理的にも徐々に広がってしまって、都民に対して海が非常に遠いものになってしまっていたという事が海上公園の制度を作ってきた背景になっております。こちらの方もよく見られる写真ですけれども、昔この様に右側の写真なんかですと、昭和47年、私産まれた年なんですけれども、その当時は東京の公害写真コンクールなんてあったんだという事で、そういった泡ですね。下水道の整備も進んでなかったという中で、こういった写真で見られる様なものですか、左下の十五号地処理場、今の若洲ゴルフリンクス、ゴルフ場になっている場所は直接生ゴミを捨てていたという事で、色々な公害問題が明らかになっていたと。



そういう中で漁業についても、昭和 25 年以降、漁業的なもの、深部での漁業というのはほとんど出来なくなってきた、打瀬ですとか、桁網漁業といった様な漁業についても姿を消していったという所になります。そういった中で色々紛争が、交渉が難航したという風に聞いているんですけども、昭和 37 年には漁業組合と協議を進めた結果、漁業権については東京港の中で喪失していったという歴史を背負っているという所でございます。そういった中で東京都の海上公園制度というのが、昭和 45 年に出来たという事になっているんですけども、私 6 年位前からこちらの担当になりまして、この海上公園構想というのを詳しく読ませて頂きました。その当時にこれだけの事を考えていた行政の人間が居たという事に非常に驚いた事を覚えております。高度経済成長時代に港の拡張をしてしまい、自然との触れ合いの場を都民から奪ってしまう行政の在り方を厳しく反省しなければならないという事ははっきりその構想の中には書いてあります。そして今後、「失われた東京の海を都民の手に取り戻す」という事をキャッチフレーズと致しまして、下の様に書いてあります、葛西沖から羽田沖までの海面全域にわたる一体的な構想として、海と陸上へ続く一連の中で、都民の様々なレクリエーション活動が行える施設を効率的、重層的に配置するといった事、都民の参加を得て、都民の知識、経験を活用しながら、この時代から都民連携という事で、市民協働の意識もしっかりと書かれているという事が、非常に特徴的な構想となっております。海上公園の場所なんですけれども、右側の葛西臨海公園の部分から、左側の羽田沖の京浜島つばさ公園の方まで今現在 38 公園、約 801ha うち水域が 490ha という事で、これまで整備した公園の中で、区の方にも移管した公園が多くございますので、整備した面積として見れば、これよりもっと大きい面積の公園をこれまで約 50 年間の中に渡って整備をして参りました。

東京都海上公園

「東京都海上公園構想（昭和45年12月）」の策定

【背景】

- ・ 里化学工業化に伴う大規模な埋立により、工場の進出と港の拡張が続けられた。
- ・ 海は工場廃液、都市汚水等により汚染され、都民は自然とふれあう場を失った。
- ・ 都民のために大切に利用しなければ暗く汚れた海となることわかった。

配慮を怠ってきた行政の在り方はきびしく反省しなければならない

「失われた東京の海を都民の手に取り戻す！」

- ◆ 西沖から羽田沖までの海面全域にわたる一体的な構想
- ◆ 海一海浜（港）一陸上と続く一連の中で、都民の様々なレクリエーション活動が行える施設を効率的、重層的に配置
- ◆ 都民の参加を得て、都民の知識、経験を活用

港湾エリアの公園緑地や水域の保全・創出を体系的に示した
全国に先駆けた計画

4



東京 2020 大会と海上公園の関係というお題を頂いておりますので、オリンピックの関係をちょっと説明させていただきますと、この図の通りですけれども、オリンピックに関しましては、都心部の白い丸で囲んであります、ヘリテッジゾーンと呼ばれる都心部の施設を活かしたゾーンと、東京ベイゾーンと呼ばれる臨海部の競技エリアという事で二つの大きいエリアに区分されておりまして、真ん中にオレンジ色の丸で囲んである所が選手村という事になっております。オリンピックに関しましては、2020 年の 7 月 24 日から 8 月 9 日まで全ての 33 競技 40 会場で行われます。パラリンピックにつきましては、オリンピックが終わった後、少し間を置きまして 8 月 25 日から 9 月 6 日まで 22 競技 20 会場で行われる予定となっております。臨海部にはオリンピックの 40 会場の内、14 会場が計画されておりまして、その他、晴海に選手村、ビッグサイトを利用したメディアセンターなども出来る予定になっております。そのほとんどが海上公園の中出来るですとか、海上公園に隣接しているなど、海上公園と密接な関係にございます。競技会場を一覧表にしたものですが、左から 3 列目の所に関連する海上公園という風に書いておりまして、ほとんど海上公園に含まれるという事になっておりまして、6 番目の潮風公園に関しましても、海上公園ではないんですけども、こちらも都市公園ですし、11 番のカヌー・スラローム会場も都市公園の葛西臨海公園、アーチェリー会場も都市公園の夢の島公園という事で、臨海部の競技会場は全て公園に関連して設置されるという事になっております。こちらは、2020 年に向けた実行プランという





No	競技会場	関連する海上公園	競技/種別	
			オリンピック	パラリンピック
1	有明アリーナ	有明親水海浜公園 (未開園)	バレーボール	車椅子バスケットボール
2	有明体操競技場	有明親水海浜公園 (未開園)	体操	ボッチャ
3	有明BMXコース	有明親水海浜公園 (未開園)	自転車競技 (BMX)	—
4	有明テニスの森	有明テニスの森公園	テニス	車いすテニス
5	お台場海浜公園	お台場海浜公園	トライアスロン、水泳 (マラソン 10km)	トライアスロン
6	潮風公園	お台場海浜公園	ビーチバレーボール	—
7	青海アークスポーツ会場	汐木が丘公園	スケートボード、スポーツクライミング	5人制サッカー
8	大井町体操競技場	大井町中央海浜公園	ホッケー	—
9	海の森アークスポーツ	海の森公園 (未開園)	馬術 (総合馬術: 加給付)	—
10	海の森水上競技場	海の森公園 (未開園)	ボート、カヌー (スプリント)	ボート、カヌー
11	カヌー・スラローム会場	海の森公園 (未開園)	カヌー (スラローム)	—
12	アークアリーナ	有明親水海浜公園	アーチェリー	—
13	アクアティクスセンター	辰巳の森海浜公園、辰巳の森緑道公園	水泳 (競泳、飛込、30分以内水球)	水泳
14	東京辰巳国際水泳場	辰巳の森海浜公園、辰巳の森緑道公園、海の森緑道公園	水泳 (水球)	—
選手村	晴海公園、晴海緑道公園 (未開園)	—	—	—

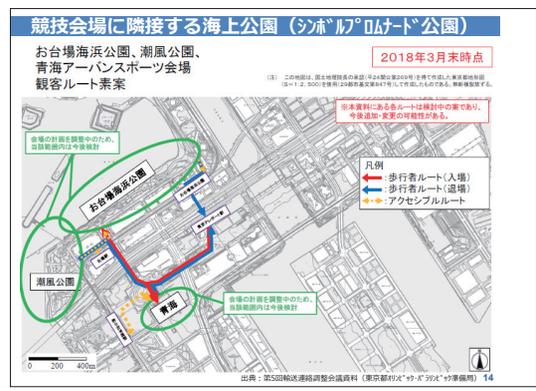
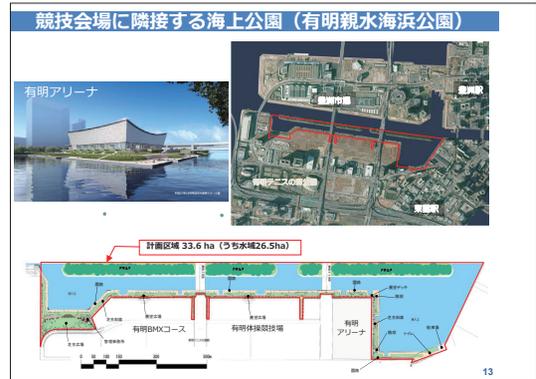
○海上公園内の競技会場 オリンピック8会場、パラリンピック5会場
 ○海上公園に隣接する競技会場 オリンピック5会場、パラリンピック2会場
 ○選手村と一体となる海上公園 オリンピック、パラリンピック2公園

事で、小池知事の下でこういった行政計画が立てられておりまして、その中でも2020年の中で大会のバリアフリーを図ることや、今年の夏も非常に暑かったですけれども、暑さ対策をしていくという必要がございます、もちろん自然環境の再生に関しても書かれた計画になっております。我々の海上公園の絞った中での行政計画ですけれども、海上公園ビジョンというものを平成29年の5月に発表させて頂きました。「賑わいと自然あふれる海辺を目指して」という事で、これからの2020年の大会とその後の都民との関係も踏まえまして、今後の海上公園はどう在るべきか、という事をビジョンとして打ち出したものでございます。その中でオリンピックに関しても、東京2020大会の成功とレガシーの活用といった形で書かれておりまして、赤線で引いてありますけれども、バリアフリー化ですとかサインの多言語化対応、トイレの洋式化、暑さ対策などを行っていきますと書いてあります。もちろん、これ以外の箇所でも自然環境の再生も大きなテーマです、海上公園の核となる部分なので、そちらについても非常に多くのページを割いて書いておりますので、もしご興味があればご覧頂ければと思います。

2020大会という事なので少し競技会場のご説明をさせて頂ければと思うんですが、こちらの方は有楽町線の辰巳駅から徒歩5分位の場所にある、辰巳の森海浜公園の中に出来る水泳競技をやる事になっているアクアティクスセンターになります。新築の水泳競技場になっておりまして、1万5千席の競技観覧席を設ける非常に大きな競技会場が辰巳の森海浜公園の中に出来ます。今、絵の右側の所京葉線が走っておりますけれども、そちらのすぐ脇の所があげぼの運河になっておりまして、水域が見える場所に整備をされる競技会場という事になっております。こちらの方はお台場海浜公園ですけれども、つい先日ですね。8月にオリンピックの運営を担います大会組織委員会の方がコースを発表致しまして、ちょっと見辛いですが、青い部分がスイム、泳ぐ部分で、赤の部分がランですね。走るランニングの部分、オレンジの部分バイクという事で公園の中、臨海副都心の中を巡るコースとして発表された訳でございます。フィニッシュと書いてある所が、スタートとフィニッシュはもちろん海の近くという事で、お台場海浜公園の中に設置されております。ご存知の方も多いと思いますが、お台場に関しては水質の問題が長いこと問題にされておまして、横浜で実施した方が良いのかとか色々な意見を頂いていた所なんですけれども、お台場に決まりまして、水質の問題に関しては、

やはり大雨が降った直後などですけれども、糞便性大腸菌群数の数が圧倒的に増加してしまうという状況は確かに見られる所でございます。ただ、それについては東京湾全体の問題でございますので、お台場だけ局所的に2020年までに水質改善が出来るかと言うと中々難しい状況もございます、ただ泳ぐ中で大雨が降らないとも限りませんので、現在、三重のスクリーンを二重のスクリーンまではやっているんですけれども、お台場に関しましてはオリンピックの時には三重のスクリーンをやって浄化対策を取れないかという検討事を今現在行っております。今月（10月）の初めに東京都のホームページの方で水質調査の調査結果なども公表しておりますので、ご興味がある方はご覧頂ければと思います。続いて、こちらが有明親水海浜公園という公園でございます、有明アリーナと言いまして、新しく今現在バレーボールをやる競技会場を作っている所で、有明アリーナの外側にこちらの緑色の部分が有明親水海浜公園と呼ばれる場所になります。まだ計画段階でして、現在整備を昨年度から着手致しました。競技大会の時は有明アリーナですとか、その左の今建設中の仮設ですけれども有明体操競技場、左側の自転車競技の有明BMXコースの競技会場の一部となって観客の方に入って頂いて使われる訳なんですけれども、非常に広い水域を抱えております。こちら側の東エリアと呼ばれる部分とこちら側の西エリアと呼ばれる部分、水域を含んでおりまして、こちらにつきましては、この7月に東京都港湾審議会の方で海浜としていくという計画を決定致しました。オリンピックまでには間に合わないんですけれども、オリンピックの後ですね。こちらの海浜につきましても砂浜であったり磯浜であったり、水質改善の為の生物多様性向上の為の環境作りを進めて参りたいと考えております。あと競技会場に隣接する海上公園として、シンボルプロムナード公園というのがございまして、こちらの方ですね、競技会場はあまり出来ないんですけれども、多くの観客が通ると言う事になっております。その中で東京湾の関係とはあまり関係ないかもしれないんですけれども、こういった形で暑さ対策という事でミストであったりとか、日陰を作ったりですとか、中々イベントが多くて木を植えられない公園でございますので、こういった対策なども今年の夏実証実験などを行ってきた所でございます。

もう一つ、選手村となる海上公園もございまして。晴海ふ頭公園と言いまして、勝どきの駅からバスで行って、一番突端にある晴海客船ターミナルというのも行かれた方多いと思いますけれども、先程冒頭にお話しました新客船ターミナルが共用を開始しますと、こちらの方には豪華客船は停まらなくなるので機能は廃止される事になります。ただ、オリンピックの時はまだ晴海客船ターミナルは晴海の場所にはござい



暑さ対策

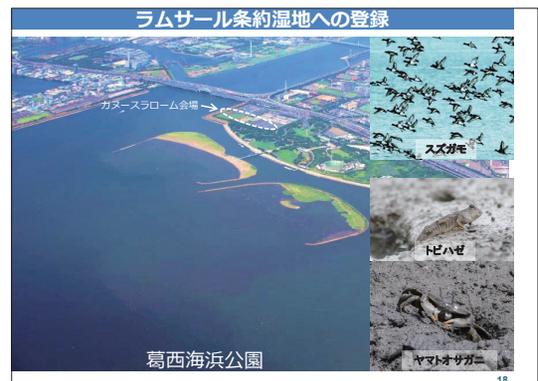
- ラストマイルとなるシンボルプロムナード公園で、日除けや微細ミストなど暑熱対応施設への対応（2018年7～9月に実証実験を実施）
- 東京メトロ駅など駅前広場の保水性舗装、車道の遮熱性舗装、緑陰確保への対応
- 大会時には、ソフト面からの対策も加えて対応



ます。選手村としてはこの赤枠の中に約4万人収容出来る選手村が今現在建設中でございますけれども、その一部として青い枠で囲んである所に晴海ふ頭公園というものと晴海緑道公園というものの整備を現在始めた所です。こちらが整備計画図になっておりまして、右側の現況写真と書いてある所が平成30年の7月、つい先日撮った所で、少し緑が見える所は昨年度、昭和40年台からあった古い公園を取り壊し行いました。こちらを全面改修致しまして左側の絵にある様な広大な芝生広場と噴水、あと桜の木などを植えたカポックの広場と呼ばれる様なエリアを作って、港の景観を楽しませる様な広大な公園を作っていく予定でございます。下の方は晴海緑道公園という事で、こちらの方は晴海ふ頭公園に繋がる散策路という様な機能を果たす公園として整備していく予定です。



最後にちょっと唐突になるんですけども、自然環境再生という面から東京都が取り組んでおりますラムサール条約湿地への登録の話をごさせて頂きたいと思っております。こちらの方はオリンピックがあるからという訳ではないんですけども、この時期に登録をされますと、オリンピックに対して非常に効果的なアピールになるのではないかと思います。この葛西海浜公園は荒川と江戸川の河口に広がる干潟の保全ですとか、海辺のレクリエーションの象徴を目的とする海上公園として非常に有名な公園でございます。こちらの写真の半円状になっている人工海浜ですけども、東渚、西渚と呼ばれるエリアでございまして、ほとんどが水域の非常に大きな約412haの公園となっております。いわゆる三枚洲と呼ばれる干潟ですのでご存知の方も多くおられると思うんですけども、冬季には多くの渡り鳥がこちらの公園に越冬に訪れる他、多くの水生生物が生息する事が明らかになっておりまして、東京都ではこの公園のラムサール条約登録湿地を目指している所でございます。つい先日の10月2日にラムサール登録の候補地として選定されまして、来週からドバイで開催されるCOP13の方で正式に登録をされる予定です。近接する場所には2020大会のカヌー・スラローム会場が整備されております。あともう一つですけども、大田区にある東京都東京港野鳥公園というのがあるんですけども、今年の3月末に干潟11haの整備が完了致しました。今後はこの干潟に生息するカニ類ですとか、貝類などの海辺の生き物や飛来する水鳥が更に増えていく事を期待している所でございます。野鳥公園では来月11月18日に野鳥公園の里地里山フェスティバルというのを開催致します。普段は拡張致しました11haの干潟は立ち入る事が出来ないんですけども、フェスティバルの日は立ち入る事をさせていただきますので、どうぞお越し頂ければと思います。



最後に前半部でモニタリングの関係する自然環境の新規の技術ですとか色々聞かせて頂きまして非常に為になり、色々干潟とかを整備していく中で、モニタリングを繰り返す事というのは我々としても非常に大事だと思っております。ですけども、モニタリングに関して非常にお金がかかるので、予算が削られやすい部分でございますので、より効果的な手法を開発して頂けますと、我々としても継続してモニタリング調査実施していく事が出来るのではないかなと思っております。大会時には都心近くにこの様な自然が存在する事を国内外の多くの方々に知って頂きたいと思っております。本日はありがとうございました。

内陸起源の発生土を活用した東京湾の底質改善

関東地方整備局 港湾空港部 事業継続計画官 野口孝俊

ご紹介頂きました、野口でございます。「お手元の資料を拝見ください」、と言いたいのですが、タイトル1枚だけの資料でございます。お恥ずかしいと言うのか、潔いと言うのか。なぜかと言うとお話をするその根拠となるデータが、まだ無いので配布資料には入っておりませんという所です。「それでは根拠を作ってから来年話をしたら」と、私なんかそう思いますが、行政というのは人事異動というのがありまして、来年居るのか分からないので、「こういう事やりたい」という内容を私がお話をして、「良い事言うじゃないか」と、「いや違うよね。でもちょっと検討してみようかな」という形で、皆様方が来年度ここで発表をして頂く前提で、後々私のお話を聞いて頂ければと思います。レジメだけはしっかり作りました。①東京湾における従来の再生方法、②今後の考え方、③今ある水環境再生計画の考え方。④発生土を活用した東京湾の底質改善。最後に河川から東京湾に流入する土砂の減少と海域への再利用。これだけ見たら何を言いたいのか分かって頂けると幸いです。



内陸起源の発生土を活用した 東京湾の底質改善

関東地方整備局港湾空港部
野口 孝俊

【東京湾における従来の再生方策と今後の方針】

今まで、東京湾水環境の再生は、様々な取組みを実施しています。浚渫、有機汚泥が溜まった所への覆砂、それから今取り組んでいる干潟とか浅場造成というのは、埋め立てにより少なくなったので、回復していきましょうという話です。しかし、干潟になりますと中々適地が少ないことや造成土量が確保できないというのが現実です。それから深掘りの埋め戻しですが、これは現在も続いておりますが、埋めた所での効果は本当にあるのかというのが、まだ分かっていないという状況です。それから生物に配慮した港湾構造物を造りましょうと。生物と言うか環境創造型みたいな、色んな言い方されますけども、出来る所から始めましょうというのが、今の東京湾の環境政策という形ではないかと思えます。

そのことを踏まえて、「関東地方整備局は何をやっています」言いたいのですが、実はこういった取組みは行政側が淡々とやっているだけじゃ中々上手いかわなくて、色んな場所がありますが、いわゆる産学官で取り組んでいくことが一番重要であり、現在東京湾再生官民連携フォーラムという組織を使って、みんなで行っているというのが実態です。この中の生物生き物場を作りましょうというPTに関しましては、佐々木先生をリーダーとして一緒になって取り組んでいる形になります。

【東京湾水環境再生計画】

東京湾の環境対策では一番効果が表れているのは、下水道の整備によって水質が改善されたことでしょうか。実は東京湾というのは二つのタイトルがあって「美しい東京湾を目指しましょう」というのと、「豊かな東京湾を目指しましょう」があります。この二つの目標は相反関係ですが、右向く人と左向いている人を合わせたものですから、悪いキャッチではないのですが少し問題が発生しています。そういった中では、下水道の終末処理を一回議論しましょうという話が漁業者の方から今出てきていて、環境に対して取り組む者として考えていく必要が出てきました。それから深掘り埋戻しを実施していますが、本当に青潮減少しているの？ 貧酸素水塊発生してないの？ 有機物の状況はどうなの？ こういった所のモニタリングというのは十分ではないので、今後ここはちゃんとやっていかないといけない。それから生物生態系というのが貧

施策	実施結果	実施場所	課題
汚泥浚渫(公害防止)	浚渫土量：約30万m ³	東京湾芝罘地区・江東地区 横浜港象の鼻地区	浚渫土は埋立処分 再浚渫が必要
覆砂	覆砂土量：約50万m ³ 覆砂面積：51.9ha	東京湾芝罘地区・江東地区 東京湾象鼻(浦安沖) 横浜港象の鼻地区	効果継続のための維持管理
干潟・浅場等の整備	再生・創造された干潟・浅場等の面積：8.5ha	東京湾羽田池 川崎港東扇島地区 東京湾中央防波堤沖 横浜港金沢地区	干潟適地が少ない 造成土量の減少
深掘りの埋め戻し(港湾浚渫)	埋め戻し量：1500万m ³	千葉港及び海奥部	効果の発生
生物に配慮した港湾構造物等の導入	導入施設：4施設 全整備延長：2.215km 再生・創造された干潟・浅場等の面積：1.39ha 高温度酸素発生装置：1箇所	千葉港葛南中央地区 千葉港中央地区 横浜港港湾空技術調査事務所構内(浦影の港) 東京湾河城 横浜港扇島地区	整備費用と民間企業の参入

相である。これでは豊かな東京湾とは言えないので、そういった場を作っていくましようというのが今フォーラムの中でも、主要な意見にはなってきております。藻場については、現在、水質、透明度も良くなっていて、アマモが無くなった場所に再生している現象も見られます。だから藻場造成は今後重点的に力を入れるべき話です。今、ブルーカーボンという話が出てきております。ブルーカーボン施策推進のためにも整備して、種は植えなくても自然に繁茂してく形の藻場が良いですね。

それから浅場造成です。特に魚介類については、貧酸素水塊でも、酸素豊かな浅場を作ってやる事によって生物が逃げ込んでいく様な考え方で浅場を作ることも取り組んでいかなければいけないと考えています。また、モニタリングというのは重要で、取り組みを開始して十年程になりますけれども、東京湾の一斉調査、8月の1日前後ですが、色んな方々が参加して、非常に多くの良いデータが取得される取組みです。今後共、継続していかなければなりません。

【内陸起源の発生土を活用した東京湾の底質改善】

現在、東京湾の埋め立て地建設時に海底土砂を採取した深掘り跡を埋めています。今までは港湾区域の建設工事や航路整備で発生する浚渫土砂を使っていました。今は航路の維持管理の発生土砂を利用しています。平成2年から28年度における東京湾における浚渫土砂発生量の推移について示します。航路泊地の浚渫土砂は減少して、現在はほとんど発生しない状況です。東京湾の港湾施設が概成したこと、水深の浅い所は無いため、沖出して水深の深い場所を作るため浚渫する必要が無い。港湾整備としては合理的に埋め立てが出来ている訳ですけども、浚渫土の発生が無ければ浅場造成、深掘り跡を埋める材料がないのが現状です。維持浚渫は発生しますが、シルト分が多く、砂地は造成できないこととなります。黄色で示したのは、埋立用の土取りで発生した土砂ですから、浅場造成には回ってこないわけです。「発生土が無いから出来ませんね」と、「諦めちゃうのか」と、「いやもうちょっと考えようね」という現状です。三河湾とかは、未だ大きな航路浚渫をしていますし、北陸地方も砂地盤で漂砂による堆積対策で浚渫土が発生しています。そういう所から持ってくれば良いんじゃないのという事で、平成20年から30年度全国浚渫土砂発生予定量を確認しました。全国的に見ても浚渫土砂は減少傾向です。遠くから持ってくると運搬費用も掛かるから造成は難しいとの結論となります。

現在、陸域、内陸建設発生土を有効にリサイクルする仕組みがありますが、内陸発生土は内陸で処分、海起源の発生土は埋め立て地に使用したり、深掘り跡に投入する考え方がありますが、「内陸の発生土砂を海域に使ったらどうですか」と発

2. 東京湾水環境再生計画(関東地方整備局)

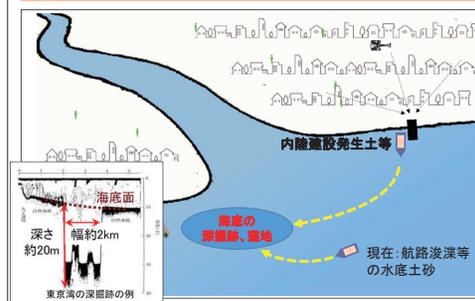
- 平成15年3月に「行動計画(第一期)」策定
- 平成25年5月に「行動計画(第二期)」を策定
- 平成25年11月に「東京湾再生官民連携フォーラム」は東京湾再生を官民で考え、共に連携・協働する組織として設立
- 9つのプロジェクトチームで具体的な取り組みを実施中

実現に向けた具体的プラン(海域にける主要課題)

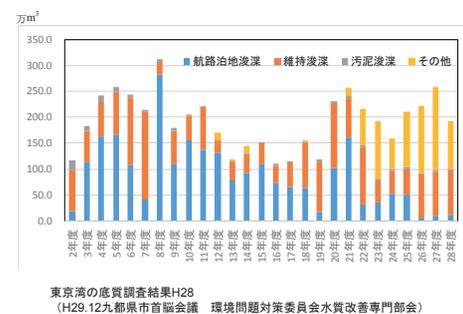
- 水質改善プラン
 - 下水道整備の推進と高度処理の積極導入による流入汚濁負荷対策
 - 汚泥浚渫・覆砂による水質の改善
 - 深掘り跡等の埋戻しによる青潮等の対策
- 生物生息環境改善プラン
 - 干潟・藻場・浅場等の保全・再生・創出
 - 生物共生型港湾構造物の普及
- 調査・モニタリングプラン
 - 東京湾一斉調査

内陸発生土の活用に係る取組のイメージ

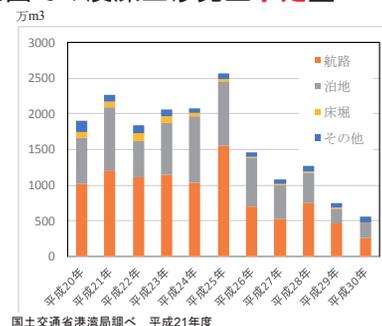
実施方法等は、浚渫土砂等の海洋投入及び有効利用に係る技術指針(H25.7港湾局)を基本とする。



東京湾における浚渫土砂発生量の推移



全国での浚渫土砂発生予定量



想を切り替えると言うのが新しい技術（考え方）と言えないでしょうか。

内陸土砂の海域利用に関しては、「海域環境が綺麗になるように改善しましょう」と言っておりますので、有害土砂ではいけません、それから生物が住みにくい材料でもいけません。法律に照らして問題がないことや、目的が合致していることが必要です。利用目的が明確でなければ、海への土捨場となりますので、何の為に実施するのかという目的意識をきちっとした上で、それを確かめるモニタリングをする事が大切です。モニタリングに費用が発生しますが、これは譲っちゃいけない所だと思います。それから第三者による確認が必要です。これを適切に実施して、初めて内陸起源のものを海に利用しようという計画を立てるべきです。

東京都さんが作った報告書で中々面白く良い資料だなと思って、ちょっと掲載します。「東京港でどれ位ヘドロが溜まっているか」という調査結果を示したものです。緑色で示している所が、ヘドロが1m 堆積、ピンク色が 2m 位堆積を示しています。東京湾の中で、東京港はヘドロが多いと言われていた所ですが、その中で平成 2 年と平成 22 年の堆積厚さの比較をしたものです。平成 2 年度と比べるとヘドロ厚さが減少しているとデータが出ています。これが事実でしたらそれなりに良かったなという感じですが、全体的にヘドロ厚さが全体量で言うと 65%も減っています。この資料にピンク色がありますが、この場所は羽田空港です、まだヘドロが 2m 位堆積しているデータですね。ここでは、ちょっと良く考えて聞いて頂きたいのですが、羽田空港 D 滑走路という新しい滑走路を作りました、埋め立てと栈橋の構造です。栈橋は多摩川の河口にあるので、河川の流れを阻害しない様という形で栈橋構造にしました。そこから先の羽田空港の沖合側ですね。埋め立てです。埋め立てについては、「埋め立ては悪だと。埋め立てをしたのは悪いやつだ」と。そういう概念で皆さん発言されますが、これ見たら、確かに海底という場は失ったのですが、有機物であるヘドロを永久に封じ込めたと考えることは出来ないでしょうか。通常、覆砂をしても、東京湾では 3 年位で堆積による溶出が始まるため覆砂効果が無くなると言われていています。空港を造るということで、悪い事をした感じはしないですが、逆に環境的には評価しても良いのではないかと思います。もし羽田空港の埋立地がなかったら、底質から窒素リンが溶出して水質等への影響が出てきます。計算して、どれ位の差異が出たかみたいなのをやっても面白いんじゃないかなと思います。ちょっと脱線しましたが、皆さんも少し検討して頂ければと思います。

【河川から東京湾に流入する土砂の減少と海域への再利用】

次が最後です。河川からの土砂が海域へ流入する話です。昔はダムもないし堰もないし、陸域は畑地も多かったですね、水田もあったし、そういった場所から結構な土砂が供給されたはずですよ。今でも土砂の供給は台風時に堰もダムも開きますので、ある程度は流れてきますが、その量は圧倒的に少なくなりました。これ確かなデータがありません。これらのデータを探って、どれ位減少したのか確認したいところです。仮にそのまま、周辺の山から流れてくる無機物 (Fe、Al、Ca、Si) が東京湾に堆積していたなら、今の東京湾の水質状況はどう変わっていたのだろうか。今後の課題として、底質改善の方策として一つの手掛かりになるのではないかと検討を始めてはいますが、中々これが難しいのです。難しいので皆さん一緒にやりませんか。

陸域起源の土砂類の有効利用の定義(海防法)

- 人が占有の意思を放棄したと判断できない物
⇒目的の明確化、計画の位置付、十分な計画書
- 客観的に見て十分な管理の下で積極的に利用される物
⇒報告と第三者の確認
- 材質が社会通念上埋立材等として認められるもの
⇒有害性がないこと等海洋環境の保全に著しい障害を及ぼす恐れがないこと

土砂類の有効利用に利用する際の確認(具体的)

- ①海洋汚染等及び海上災害に関する法律・施行令を満たしていること。
- ②有効利用の目的を達成する品質を確保していること
- ③有効利用の実施計画を策定
- ④事前に当該箇所における海洋環境の保全に著しい障害がないことを評価
- ⑤海洋環境への影響、有効利用目的の達成状況の確認(モニタリング計画)
- ⑥モニタリング結果より有効利用目的の達成状況の確認
第三者の確認

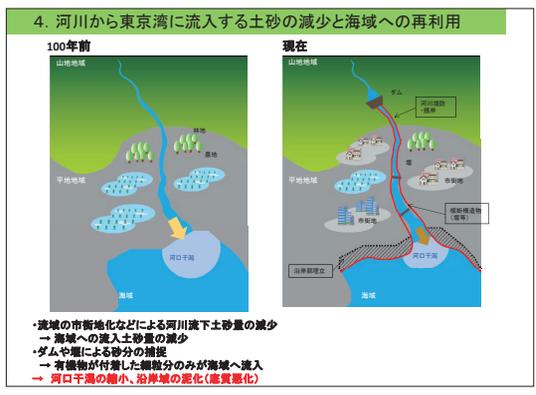
東京港の底質(ヘドロ堆積場所の封じ込め)



「今、風が吹いてる」と言うか、河川管理者は河道を確保する、河川水深を確保しないと、洪水というものが起きてしまいますので一定の浚渫をしています。土量的にはそんなに多くないのですが、今まで埋立地に処分していました。東京湾の埋立地は、東京港の新海面処分場と横浜港の南本牧地区ですけど、その受け入れっていうのは止まっている状況です。つまり、河川の維持管理の浚渫をしたらどこに処分するかが、非常に大きなポイントとなっています。「これを上手く活用していこう」というのが本日のお話です。実は河川浚渫土というのは色々な問題があります。河川は様々な陸域から流れ込んでいますので、有害と呼ばれる様な物が入り込んで来る場所もあるし、東日本大震災に起因した放射能の堆積物がそのまま流れてくることも想定される。そのため、海域利用するためには、基準を満たしているのかチェックした上で利用することが必要です。その結果5万m³発生した内の3万m³しか利用できないという結論になるかもしれません。

更に河口部の浚渫だと、どうしてもシルト分が多くなる傾向が観られます。細かい粒径で浅場を作ろうとすると、どうしても盛り勾配が確保できないため、何かの工夫が必要となります。工夫する材料としては、カルシア改質土という材料があり、混ぜれば安定的な地盤が出来ます。この地盤を基礎(あんこ)にして、あんこにした上に砂を覆砂すれば河川の土砂も活用することが可能となります。このカルシア改質土は、中々、水産関係者の方々に説明しても抵抗感が残ります。抵抗感を払しょくするためには、カルシア改質土で造成した場所の調査データを公開していくことが必要です。本日、横浜港湾空港技術事務所のポスターセッションに発表しております。千葉県側の場所で小さいエリアですが、カルシア改質土や人工石材での浅場造成地において、生物回復実験を去年から始めました。これを5年位継続してどういった影響が出てくるのか、回復効果があるのかと実験をしています。この結果を報告していきたいと思えます。

今日の話聞いて浅場を作っていきたいなと思われた方はおりませんか。河川土砂の流入量や、東京湾に流れ込んでいったらどう変化するとの観点から、今後の底質改善というものに対して取り組んでいきたいと考えています。時間も参りましたので、この辺で報告は終わりたいと思えます。ありがとうございました。



4. 河川から東京湾に流入する土砂の減少と海域への再利用

前提

- ・土砂流入量の減少は、海域の底質粒度分布の細粒化の一要因になる可能性

実施

- ・ダムや堰を廃止し、コンクリート護岸や埋立を昔に戻すのは不可能。
- ・河川土砂の発生
- ①毎年河口部等における河道確保のための維持浚渫土砂が海面埋立処分場に処分
- ②台風などの大量出水により狭隘した河道断面の回復や護岸整備の際に発生している浚渫土砂がある。
- ③埋立処分場の受け入れがストップ
- 河川浚渫土は埋立処分から東京湾環境再生へ
- 有害物質や放射線の影響土は要注意

4. 河川から東京湾に流入する土砂の減少と海域への再利用

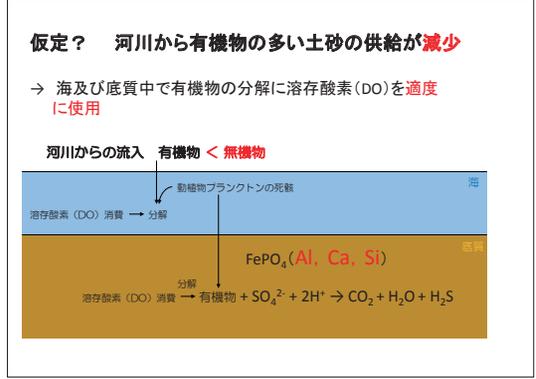
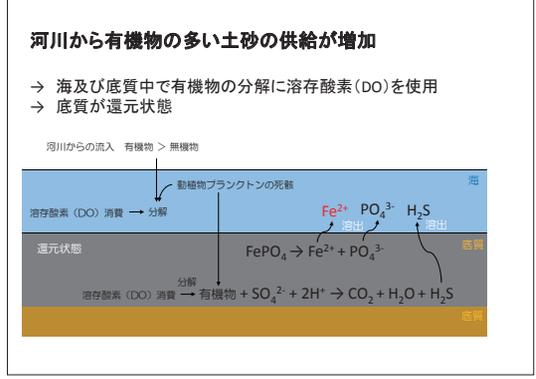
深掘跡等の埋戻しや藻場・浅場等の保全・再生・創出
→積極的に展開

課題

①河川土の特徴(シルト分多い)
→維持による浚渫土はシルト分が多いため、リサイクル材を活用した**混合土(カルシア改質土)**の活用

→ポスターセッション展示中

「リサイクル材を活用した環境共生型護岸の取り組み」
関東地方整備局横浜港湾空港技術事務所



ご紹介ありがとうございました。公立はこだて未来大学の和田と申します。宜しく願い致します。今日はですね、私の方にはIT 漁業というお題を貰いましたので、そのタイトルで「沿岸漁業と環境計測」という形で考えて参りました。最初に、函館から今日呼んで頂いたのですが、その事に関してお礼を申し上げたいのと、移動途中に発表の練習をしてきました。その結果、予稿集からアップデートが入っていますので、先にお詫びを申し上げたいと思います。それから予稿集の上の方に皆さんの発表タイトルが書いてあるのですが、31 ページと 32 ページは次の小坂先生のSDGsのお話なのですが、ヘッダーの所が私のタイトルがそのまま残っている様ですので、そこも訂正差し上げたいと思います。では本題に入っていこうと思います。

IT 漁業って何だろうという事で簡単にご紹介を差し上げたいと思います。我々はですね ICT、IT を使いながら水産業の取り組みを行っているのは、大体 2004 年位からです。そのきっかけとなったのが 1990 年台に発生をしました、帆立貝の養殖業の大量へい死を受けてとなっているのですが、恐らくですね、何かしら海の環境に変化があつて海の生物が死んでしまつとか、変化が起きたのではないかなと考えられる訳です。そういった経緯がありまして、当時も水産試験場が定点観測をやってくれている訳ですけども、水産試験場に頼るだけではなくて、漁業者自らがそういった観測に参加をしようといった事を呼びかけて進めてきています。それが左側の方ですね。右側の方になりますと、こちらは漁船漁業を対象としまして、やはり例えば水産試験場が資源の評価なんかをしてくれる訳ですけども、水産試験場に頼るだけではなくて、実際に自分達が毎日漁を行っている訳ですから、そういったデータを活用しながら、資源評価に対して自分達も参加をしていこうといった事をやってきております。

ですので、我々が特別な事をやった訳ではなくて、これまで水産試験場がやってきた事を、もう少し裾野を広げて漁業者が参加出来る様にしたという事と、その為に使う機材等を出来るだけ安価な物だとか、もしくはそれを使うに当たってスキルを必要としない物だとか、そういった物を提供するような事をやってきておりました。

ちょっとお話が函館に飛んでしまつて申し訳ないのですが、私は函館から来た訳ですけども、これが函館市における漁種別漁獲量の推移を表した物になってきております。一番上が函館のシンボルであるイカなのですが、物凄い勢いで落ち込んできています。何かと言いますと、生き物ですから資源量そのものがどうなっている、という事もある訳ですけども、やはりこの背景としては環境が変わってきている事が恐らくどうしても影響しているのではないかな、という事が考えられる訳です。そういった事がありまして、ベースは北海道で活動している訳ですが、今我々は色んな所で日本全国にも足を運んでいますけども、主に函館ではイカ釣り漁業だとか、もしくは皆さんあまりイメージが無いかもしれないのですが、函館は実は定置網が非常に盛んな海域になっていまして、そういった定置網



IT漁業の事例

うみのアメダス (海水温観測ネットワーク)

全国の沿岸を対象とした海水温観測ブイを開発

漁業者が得る価値
 気候変動に対応する海水温の上昇により、漁業では魚種構成が変化し、養殖業では発生し、定置網漁業では魚種が変化し、環境への対応に迫られていた。

漁業者が得る価値
 全国市場の需給に合わせた北海道産のマダコは価格が急騰し、漁業者の所得向上につながり、資源評価が減少、枯渇の危機に直面していた。

漁業者が得る価値
 水産資源の可視化
 ● IPadの導入
 ● 漁業者の共有
 ● 位置情報の共有

ICT利活用の効果
 ● 海水温の状況が数値とグラフで可視化された
 ● 船と経路の強化 (補正と検証) が図られた
 ● 突発的、かつ、計画的な漁獲が可能となった

社会課題の解決方法
 ライフサイクルによる製品化

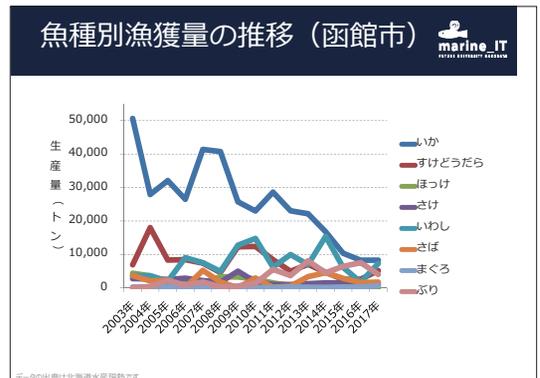
うみのレントゲン (水産資源管理システム)

北海道のマダコを対象とした資源評価手法を開発

漁業者が得る価値
 水産資源の可視化
 ● IPadの導入
 ● 漁業者の共有
 ● 位置情報の共有

ICT利活用の効果
 ● 資源の状況がマップとグラフで可視化された
 ● 漁業者全体の資源管理が実現した
 ● 効率的な資源評価 (漁獲管理) が可能となった

社会課題の解決方法
 ITへつなげるサービス化



だとかですね、そういった所の支援に ICT、IT を使っているといった取組みを行っております。これはですね、ちょっと写真が暗い中に強い灯りが見えていると思うのですが、これ函館の今の時期、こういった風物詩で漁火が見えているのです。こんな感じで非常に沿岸に近い所で操業が行われています。これが綺麗だなというのがあるのですが、実際にどんな所で操業しているのかなという事で、まだまだ隻数は足りないのですが、イカ釣りに関しましては2隻の船が協力をしてくれていて、情報を提供してくれている訳です。こんな形で船が出て行って操業を行っていますよといった情報が分かっています。慣れてきますとイカ釣りといった漁法を理解していると、どこでどういう仕事をしているのかなという事が航跡だけで十分判断出来る様になる訳ですが、これに対してあとはイカ釣りの場合には、非常に機械化が進んだ漁業になっていまして、少し分かりにくいのですが、数字が入っていますね。例えば8とか1とか書いてあるのですが、ちょっと説明が飛んでしまっているのですが、その機械がどれ位のイカを釣っているのかなという事を kg 単位で表した物になっています。どれ位の深さの時にどれ位のイカが釣れたのかなという情報というのが、人を介さずに自動的に集約出来る環境が出来ています。そういった情報があると、どこに船が今いますよって事が GPS で分かりますよ、どこで釣れたのって事は深さも含めてイカ釣り機械で分かりますよと言うと、こんな感じで、実際にどの辺に漁場があったんだろうという事が分かってくる訳です。漁場があるイコール、居心地が良い場所にイカが居たよという事が考えられる訳ですから、そうしますと、そこに餌がありますよという事、それに加えてそこが居心地の良い環境でしたよといった事が言えるのではないかなと思います。ですので、こういった事を見ていくと、例えばイカの場合ですと、どの深さでという情報まで分かりますから、3次元的にですね、どの辺がイカにとって良い環境だったのかなという事が分かるよという事は、イカから環境を教えるという様な事が出来るんじゃないかなという風に考えられます。

これは有名な東京湾の漁場ですね。明治時代に作成されたものだとされていますけど、ちょっと字が小さいですが、昔はエビとかサメとか、あとは赤貝っていう字も見えますね。あとはトビウオの仲間も居た様ですが、非常に豊かな水産資源が東京湾で漁獲されていたという風に見える訳です。ちょっと絵が変わりまして、これが東京湾を中心を持ってきた物ですが、今の東京湾、非常に経済が発展して色々な船が行き来している訳ですね。じゃあどんな船が居るのかなと、ちょっとプロットをこの上に行くと、こんな感じになる訳ですね。大きな船だけ AIS と言ってですね、大きな船は自分の居場所をきちっと安全管理の為に通信しますよといったルールがあるのでありますが、その信号を元に船をプロットしてみた訳です。東京湾に埋め尽くされるだけ船が居るのですね。大きい船だけと言ったのはこれには漁船とかプレジャーボートは含まれていないので、更にもっと多くの船が行き来している訳です。ちなみにこの丸が一つの船を表している訳ですが、この中に500隻位船が居るのですね。そうすると、この東京湾の込み入った海域の中で、今の漁業ってどうなっているのかなと

函館市での取り組み



いか釣漁業の高度化

函館の101隻のいか釣漁船を対象とした移動観測網を構築



いか釣漁業が抱える課題
いか釣漁業は遠く漁法であり、海水温の上昇により船と観測機との距離が遠く離れたため、IT利活用による漁場予測が期待されている。

観測網の構築
● いか釣漁船の緯度経度
● 海水温
● いか釣機の負荷

期待される効果
● 漁場変化の把握によるコスト削減/排出CO₂削減
● 主要いかの安定供給
● 流通とのリンクによる魚価の安定

ビッグデータの生成
漁獲と海水温の関係から漁場形成の条件が明らかになる。

定置網漁業の高度化

函館の30ヶ所の大型定置網を対象とした定置観測網を構築

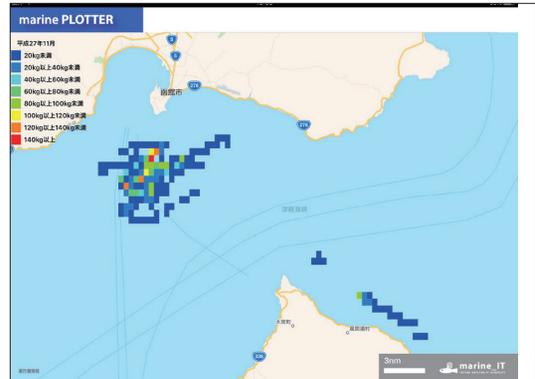


定置網漁業が抱える課題
定置網漁業は待つ漁法であり、漁獲量をコントロールすることはできない。そのため、IT利活用による漁場予測が期待されている。

定置観測の対象
● 目撃計測による魚影
● 海水温、流向流速
● 漁獲量

期待される効果
● 漁場変化の把握によるコスト削減/排出CO₂削減
● 人員/水の削減によるコスト削減
● 流通とのリンクによる魚価の安定

ビッグデータの生成
漁獲と海水温の関係から米道平船が可能になる。



少し気になって調べてみました。そうすると私が心配する程もなく、やはり色々な漁法が営まれている訳です。江戸前で有名な穴子がありますし、あと私から見て意外だったのが比較的の海域を占領してしまう様な刺し網とかですね、もしくは巻き網、こういった漁法も今でもきちんとやられていますよといった事で、非常に東京湾は海上交通、盛んな事もありますけれども、漁業も今でも非常に大きな産業として行われているといった事が分かりました。それから東京周辺の経済発展に伴って、環境という意味では貧酸素水塊の問題とか、あとは赤潮、青潮といった環境の問題が起きてきている訳です。そういった環境に対する問題を、どういう風に解決

していくのかといった事で私も今回シンポジウムに参加するにあたって色々ホームページ等を使いながら勉強させてもらったのですが、非常に東京湾に関しましては情報が整備されていますし、情報が非常にオープンになっているというイメージを持ちました。これも右側下の方に写っている、これが全てという事でなくて、私が見つかる事が出来た範囲ではあるのですが、東京湾環境情報センターだとかですね、千葉県水産総合研究センターや、東京都農林水産振興財団、こういった所が非常に多くの情報を提供してくれていて、それも活用しやすくなっている事が分かりました。この中で今日私が普段やっている事と、重なる事、この定置網が重なりましたので、ここの所のお話を中心にこのあと展開していきたいと思えます。これは海上保安庁が出してくれていますシーズネットというサイトがあるのです。GISが使える様なサイトになっています。今ここで赤く示されているものが東京湾を中心とした部分の中で定置網が営まれている所になります。ちょっと東京湾と言っても大分南側の方に偏っているという所もあるのですが、いずれにしてもこの辺りで定置網が営まれています。それからちょっと見てみたのですが、例えば横須賀市だとか、三浦市、この辺りですと相模湾と東京湾の西側、両方の海域を持っています。南房総市もそうです、太平洋側と東京湾の東側の両方の海域を持っていますので、純粋に東京湾の漁獲だけが評価出来る所が館山市だったので、館山市の情報をインターネットから引っ張ってきました。そうすると館山市に関しての総漁獲量が上の青い線ですね。結構デコボコがあるのだという印象はありますが、総漁獲量だけで見ていると、増えた減ったは難しい判断になりますけれども、増えても減ってもいないのかなという見方も出来るかなと思います。一方、定置網、そのうち定置網にどれだけ掛かっているかを赤く示しているのですが、定置網を見ると、ちょっと減っている傾向にあるのではないかなという風に見える訳です。定置網というのは必ず決められた場所で魚を獲っていますので、ある意味凄く良い定点観測なんですね。そうすると、何かしら獲れている魚の資源が減っているといった事もあるかもしれませんが、これが何かしら東京湾の環境を示している可能性もあるのかな、インデックスになる可能性もあるのかな、という見方も出来ると思っています。

そこでこれからちょっと提案になっていくのですが、今我々はですね定置網に関しまして、クラウド型魚群探知機という呼び方をしているのですが、名前は誰でもいいのですが、海に浮かべる魚群探知機を導入して全国で活用を始めています。左下の写真は私が立っているのですが、(写真の)私の横にあるブイがあれ位の大きさですね。それ程大きな物ではないというイメージを持って頂けたらいいかなと思っています。右上の写真ですね。これが振動子と呼ばれる音を出したり拾ったりする部分、センサーの部分なのですが、これが海面の非常に浅い所、大体

東京湾の漁業と環境



- 主な漁法
 - ✓ あなご筒
 - ✓ 底びき網
 - ✓ 刺し網
 - ✓ まき網
 - ✓ 一本釣り
 - ✓ 定置網
 - ✓ のり養殖
 - ✓ 潜水器
 - ✓ たこつぼ
- 環境
 - ✓ 貧酸素水塊
 - ✓ 赤潮
 - ✓ 青潮
- 環境情報
 - ✓ 東京湾環境情報センター
 - ✓ 千葉県水産総合研究センター
 - ✓ 東京都農林水産振興財団

データの出自は東京湾漁業情報図 (日本漁業防止協会) です



クラウド型魚群探知機

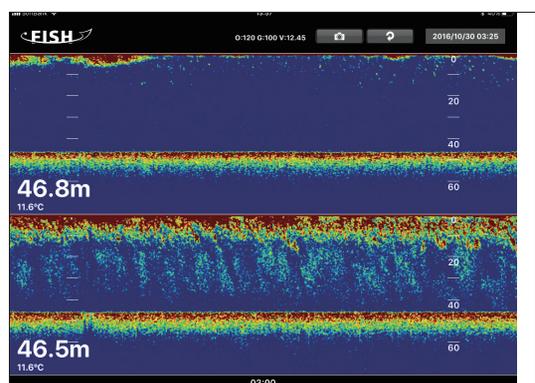
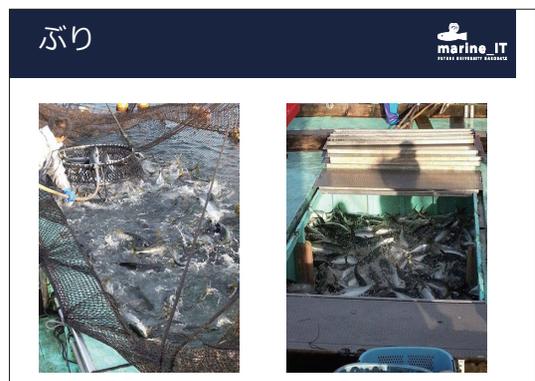
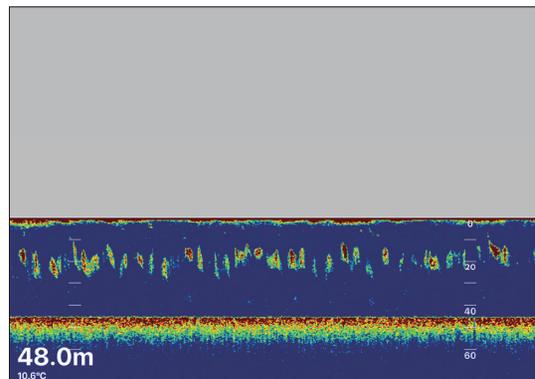
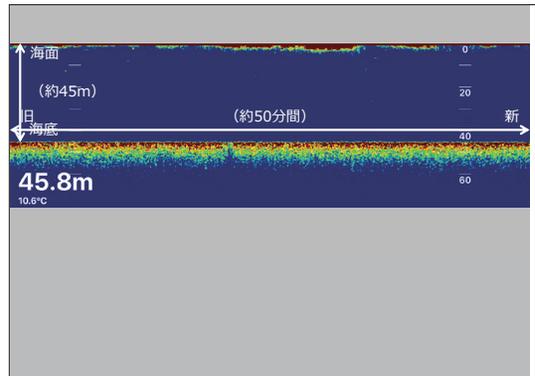
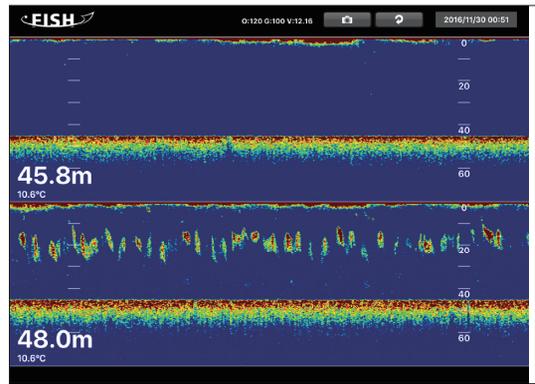








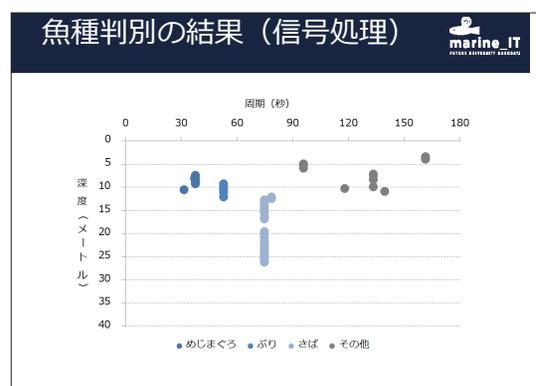
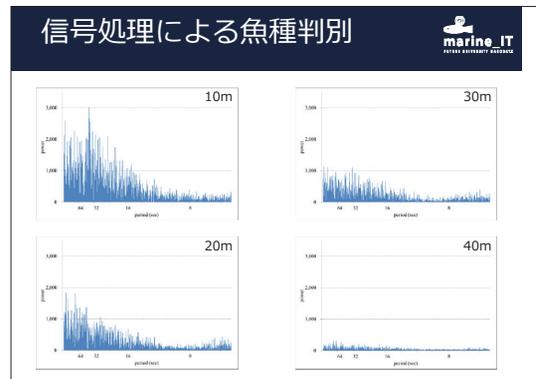
50cm 位の所に入れている訳です。実際に魚の群れを探している訳です。こういった物を使いながらどんな情報が取れるかと言うと、こんな情報が取れます。ちょっと分かりにくいのですが、上の段と下の段と情報が二つ入っています。上の方が魚の通り道です。まだ罾に掛かっている、定置網に入り込んでいない部分に仕掛けているセンサーの絵になっています。下の部分が罾にはまってしまった、つまり定置網に入ってしまったので、これが獲れるよ、漁獲出来るよといった魚が写っているものになります。少し分かりにくいので、もう少し丁寧に説明をしたいのですが、音で何を聞いているかと言うと、海水と海水じゃない部分を見分けています。海水じゃない物って何かって言うと、海の底は海水に比べて非常に密度が高くなっていきますから、非常に見分けしやすい訳ですね。それから魚自体はですね、直接魚を見つけている訳じゃなくて、海水と違う物を見つけているので、海水と極端に違って見つけやすい物って空気なんですね。海水に比べて密度が非常に薄いという意味で見つけやすいのですけれども、つまり魚が持っている浮袋を見つけて、その反応から結果的に魚を見つけていますよと、こんな事を音を使ってやっています。こちら上段の方だけを切り抜いたのですが、これが一つのセンサーのデータとなっています。この見方ですが、縦方向が海の深さを表しています。上の方ほど浅くて、下の方ほど深くなっています。丁度海底と左側の方に白文字で書いてある所ですね。その下の所に赤っぽく見えている線がずっと右に走っているのですけれども、海水に近くてほとんど見分けが付きませんよというのが青っぽく、海底と明らかに何か違いますよと音を使って検出出来た部分が赤っぽく見えている訳ですね。その中間は緑っぽく見えている訳です。それで一番下のずっと繋がっている赤色のラインが海底を表しています。海の底ですね。それから横軸なんですけども、これは時間を表して、左側の方ほど古い時間、右側の方ほど新しい時間ですよといったそんな情報になっています。ですので、音を使ってデータを集めているのですけれど、最終的には時間と空間、時空間を使った絵として人間が見て分かりやすい表現としています。こちらは魚の通り道だったのですが、実際にじゃあ今度は魚が溜まった所ですね。こうして見ると、先程の上の段の絵と見比べてみると、明らかな違いがあってですね、この辺に丁度上の所が海面、下に海底がありますから、ちょっと真ん中よりは気持ち浅い所かなという気がします。ほぼ中層ですね。この辺に水に比べて非常に何か特徴的に水とは違う物が見えていますよといった事で、これが実際に魚を反映している事になります。こんな形で音を使って、何かしら魚の反応を見つかる事が出来る訳です。じゃあ実際にこの魚が何だったのかという事なんですけれども、これはですね、ブリが沢山獲れた日の絵になっています。こんな形で魚の種類によって、少しずつ取得出来る信号、もしくはその信号から作った絵に対して特徴が出てきます。先程の

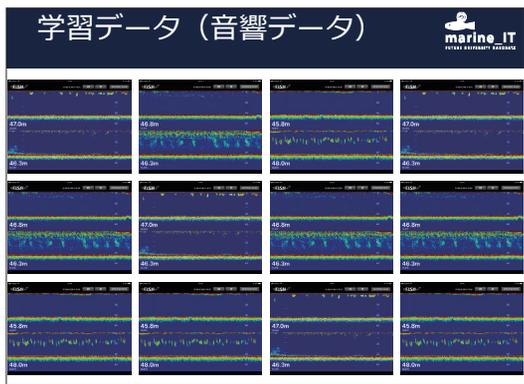


これをブリですよというイメージを頭に少し残して頂いて、これを見るとブリじゃないという事は恐らく分かって貰えると思います。これはですね、違う魚が獲れた時なんですけれども、少し中層の辺りを見てみると、緑っぽいので、あんまり水と比べると極端に差がある訳じゃないけれど、でもここに何かしら反応がありますよといったものと、それから非常に浅い所ですね。この辺に沢山何か強い反応が見えていますよといったこんな絵になっています。これは中層の緑色に見えている所ですね。この辺なんですけれども、この辺はスルメイカが見えています。スルメイカって実は浮袋を持っていないので非常に音に対しての反応が弱い事が分かっていますので、非常に理にかなった絵になっている訳ですね。それから上の方はですね、鮭が写っています。定置網ですので、実際にこの後魚を獲るという事を毎日毎日やっていますので、その答えが分かる訳ですね。私自身は毎日魚を獲りに行く事が現実的に出来ないものですから、こんな形で漁業協同組合から毎晩バッチ処理で、その日に何が獲れたのという情報を貰っています。ですので、毎日絵と実際に何が獲れたのといった正解と言いますか、漁獲のデータが私の手元に集まってくる仕組みが出来上がっている訳です。それを元にじゃあ何となく居る魚によって何となく絵に特徴があるなという気がしたので、少し信号処理のアプローチでやってみました。深さ毎にどんな特徴があるのかなといった事を見たのですがどれも、これはどれ位の時間的な周期で反応が現れるのだろうみたいな事を見てみた物になっています。そうするとこれはですね、20kg位のマグロが沢山獲れた時の反応を見た物なんですけれども、何となく水深10m位の所に反応があります。単純に山が高い所程特徴があるよと見てもらえば構わないのですが、そうすると明らかに10mの所に反応があるな、みたいな事が分かった訳です。それから一番高くなっている所が横軸方向のどこにあるのかというのも特徴を表して、20kg位のマグロだとこの辺に特徴があるという事が分かった訳ですね。これをちょっと色々なケースでやってみました。そうすると何となくなんですけれども、深さとそれから時間的な反応の周期性といった所に少しずつ特徴が見えてきました。例えばこれがマグロですけれども、マグロだと大体水深10m位の所で特徴が強いですよねとか、あとは周期性が30秒から40秒ですねと分かったのです。ブリの場合には、マグロと比べるとちょっと水深が深い位、ちょっと似た様な水深帯を使っているかなといった傾向があるのですけれども、ただ周期性は少し遅くなります。あとは水深帯をですね結構幅広く使っていて、更に周期が遅くなると、これはサバかなとかですね、何となく絵から魚の特徴が見えてきた訳です。

こうなると一生懸命僕がこの信号処理をするよりは、先程からお話が出ている人工知能に任せた方が良くないかなというお話になっていきます。人工知能自体は非常に画像処理を得意としています。ですので、例えばレントゲンなんかでその方が病気なのか、もしくは病気になる兆候があるのかといった事に関して、良く人工知能が使われてるといった事例が紹介されますけれども、我々はこれを音を使って得られた魚群探知機の画像に活用しようといった事でやってみました。具体的には毎日毎日先程もお話した通り、実際に魚群探知機のデータがありまして、それに対してどんな魚が獲れたよという正解のデータがある訳ですね。そこで画像と実際の水揚げの情報を人工知能に学習をして貰って、じゃあ画像だけ見せた時にどんな魚がそこに居るはずですよと答えて貰おうとそんな事をやっています。これがその絵ですね。画像と実際の水揚げを人工知能に一生懸命勉強してもらいましょうと、学習してもらいましょうとい

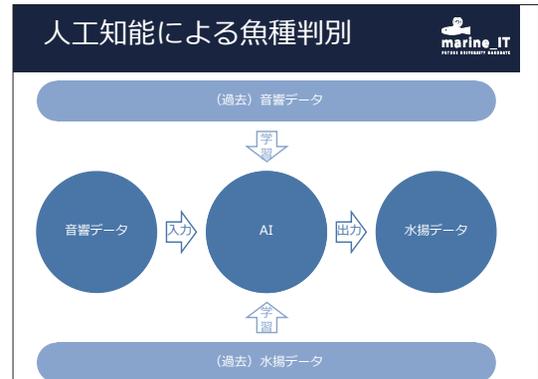
2017 08 28(月)		一号網		二号網		三号網	
魚名/規格	本数	数量(kg)	買主	単価	金額	メモ	
いか(網)	1 なし	0	1.0	450	450		
水いか	4 なし	0	0.1	300	30		
さけ	9 なし	0	14.6	899	13,126		
平目	39 スレ 大	0	3.0	800	2,400		
ほっけ(網)	43 活 大	0	1.0	1,300	1,300		
ぶり	55 なし	8	3,979.5	141	563,612		
イナダ	56 なし	3	1,310.0	136	178,291		
ふくらげ	57 込	13	176.0	106	18,656		
合計			2.3時間	5,490.6kg	778,175円		





た事をやっていきます。実際に画像だけ入れるとそこに写っている魚がどんな種類の魚で、どれ位の量の魚が居ますよと答えてくれる、こんな人工知能を作っています。実際にですね、今そういった物が運用が出来ていて、色んな表示の仕方があるのですが、これはスマートウォッチで表示した物ですね。どんな魚がどれ位写っていますよと、こういう風に人工知能が答えてくれるといった物が出来ている訳です。こういった物が出来てきたので、じゃあ何がしたいかと言うと、これがですね東京湾の中で色んな観測ポイントがあると思うのですが、モニタリングポストとかですね、私がインターネット上で調べたところ 20 点位すぐ出てきた訳ですね。こういった所では水温だとかですね、もしくは風の情報とかですね、そういった物が観測されている訳ですが、こういった所に更に魚群探知機みたいな音の情報をですね、一緒に取れる様な物を載せていくと最終的にはですね、こういった資源があるのかなとか、もしくはよく動き回る魚が居れば、どういう風に動き回っているのかなとかですね、じゃあその魚が動いているんだから、じゃあ今どういう環境状態にあるのかなといった事で、魚をセンシングする事によって環境の情報を見ていくといった事が出来れば面白いんじゃないかなと思ってる訳です。それで魚群探知機を使ってアレイ状にですね、沢山東京湾の中に観測ポイントを設定してあげて、そこを可視化していくといった事ができると、それに照らし合わせて環境の情報とかですね、色んな事が見えていくという期待が持てるかなと思っています。

これが最後になりますけれども、今日は沿岸漁業と環境計測というお話をさせて頂きました。これまでの考え方というのは、例えば今の環境がどうだから、それが沿岸漁業と言うか、水産資源に対してどんな影響が出ていますよとかですね、そういった評価といった、そういった向きのアプローチだったかなと思っています。そういったアプローチもちろんあるのですが、これからは逆にどんな魚が獲れたのかとか、どんな風な水産資源がどういう風に変化しているのかといった資源の状態から環境の情報を教えて貰おうといった逆方向のアプローチも面白いかなと考えています。それをバックアップする動きがありまして、ここにスマート水産データベースと書いてあるのですが、今年平成 30 年の 5 月に閣議決定になりました水産白書を見て頂きますと、ICT の特集が前半に組まれています。その ICT の特集の最後の辺りにスマート水産データベースという言葉が出てきていました。このように漁業を対象としたビッグデータを作りましょうといった事が、国が掲げた目標になっている訳ですね。オリンピックと同じ 2020 年にはこれは稼働させますよといった事が実際に水産白書に明記されてしまっていますので、そういった動き



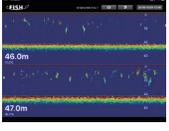
がある訳です。そうすると何が言いたいかというと、右上の
写真にある様に、実際に船がどういう風に動いたのといった
様な船の航跡のデータだとかですね、その時にどんな魚が
獲れたのといった様な漁獲の情報だとか、そういった物とい
うのが、どんどんどんどんと国のデータベースに集まってい
って、必要があれば解析が出来る様なそういった向きに今
向かっているよといった事が背景としてあります。ですので、
今お話した様な事も水産資源から環境を見ていこうといった
事も現実的に出来るかなという風に考えています。それから
今日後半ですね、魚群探知機の話もさせて貰いましたけど

も、こういった物を使いながら実際にこれまで見てきた環境だけではなくて資源の状態といった物について
音を使いながら見ていく、それに対して、今までは非常に高価な物だったりとか、もしくは定点観測に
使う為の低消費電力化とか、ある程度課題があった物かもしれませんが、最近は非常に簡単に音響のデ
ータをセンシング出来る様な物がIoTなりですね、クラウドといった技術を使いながら出来上がってきてい
ますので、そういった物も今後合わせてハイブリットでやっていくと非常に面白い物が出来て、環境にも資
源にもどちらにも役立つデータが作り上げていけるのではないかなと思っております。以上で私の話を終
わります。ありがとうございました。

沿岸漁業と環境計測



- これまでの流れ
 - ✓ 環境計測を沿岸漁業に活用
- これからの流れ
 - ✓ 沿岸漁業を環境計測に活用
- 施策と技術
 - ✓ スマート水産データベース
 - ✓ クラウド型魚群探知機



沿岸域の環境改善とSDGs

慶應義塾大学大学院 政策・メディア研究科 特任講師 小坂真理

慶應義塾大学の小坂です。宜しくお願いします。

本日は沿岸域の環境改善とSDGs（持続可能な開発目標）についてお話致します。これまでのプレゼンの内容とは異なり、国連の目標の話に焦点をあてながら、東京湾の活動にSDGsというものを取り入れるときの基本的な考え方について、少しお伝えしたいと思っております。お話する内容ですが、まずSDGsとはどのようなものか、どのような特徴があるのかという事を説明した上で、政府の対策について簡単に見ていきます。最後に、他の沿岸地域でSDGsがどのように使われているかを紹介しながら、東京湾に取り入れる際のヒントについて話します。

まず、SDGsが出来た背景についてです。2001年から2015年にMDGs（ミレニアム開発目標）という主に途上国の開発を中心に据えた目標が実施されましたが、2015年以降にはどのような開発目標のあり方がよいのかという議論が国際社会で行われてきました。同様に、MDGsは、途上国の開発に関する目標ですが、例えば持続可能な街づくり、持続可能な消費と生産、あるいは気候変動といった問題は組み込まれていませんでした。どの様にこれらの目標を組み込んでいけるだろうかという様な議論も同時に挙がってきました。この様な背景を受けて、2013年から2015年の間に国連で持続可能な開発に関する目標の在り方について交渉が行われた結果、2015年の9月の国連サミットで『持続可能な開発に向けた2030アジェンダ』という成果文書が採択されました。この2030アジェンダの中に17の目標と169のターゲットを含むSDGsが組み込まれていました。

簡単に、SDGsにはどのような目標があるかを説明したいと思います。SDG1では、貧困をなくすという大きな目標の下に、数個の具体的なターゲットが掲げられています。例えば2030年までに1日1.25ドル未満で生活する人々と定義されている貧困を終わらせる、各国定義によるあらゆる次元の貧困状態を半減させるという事が書かれています。SDG2は飢餓をなくすという目標で、ターゲットには栄養の改善や持続可能な農業に関する事が挙げられています。SDG3は健康、SDG4は教育、SDG5はジェンダー平等、SDG6は水と衛生、SDG7は再エネや省エネという目標です。SDG8は働きがいのある人間らしい雇用という目標の下、同一労働同一賃金などのターゲットがあがっています。SDG9は本日のテーマに非常に近い産業、技術、イノベーションに関するものです。SDG10は不平等の是正、SDG11は持続可能な街づくりについて、例えば緑地や公共スペースのアクセス、持続可能な運送システム、世界遺産の保護というターゲットがあります。SDG12は持続可能な消費と生産について、例



沿岸域の環境改善とSDGs



慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科

小坂真理

沿岸域の環境改善とSDGs

1. SDGsとは？どのような特徴があるか？
2. 政府のSDGs対策
3. 東京湾とSDGs
 - ✓沿岸域でのSDGs活用事例
 - ✓SDGsを東京湾に取り入れる際のヒント



SDGsとは？ どのような特徴があるか？

SDGs（持続可能な開発目標）

背景

■ミレニアム開発目標（MDGs）の終了期限である2015年以降、どうするのか
■途上国の開発目標を中心としたMDGsに含まれていない現在の大きな課題は？

■大量生産大量消費型の経済活動。いかに、限りある資源のなかで経済活動を行うか？

↓ 国連で交渉

■2015年9月、国連サミットで「持続可能な開発に向けた2030アジェンダ」が採択
■SDGs：17の目標、169のターゲットが含まれる
■2016年から2030年が実施期間

例えばサイクルの促進、廃棄物の管理、フードロスの削減などのターゲットがあります。SDG13は気候変動、SDG 14は東京湾に関連が深い海洋の資源の保護です。SDG 15は陸の生態系の保護、SDG 16は平和や意思決定への参加、SDG 17はパートナーシップや政策の一貫性、データ、能力構築といった実施手法について書いています。これから12年間にわたって実施する、持続可能な開発の包括的な取り組みに関する中期的な目標と言えます。

では、SDGsの特徴について、またSDGsのプロジェクトを実施するとき念頭においておくべき事項についてみていきたいと思います。1つ目に包摂性です。誰も置き去りにしないというのが、2013年から2015年の国連の交渉の中でスローガンとして挙がってきました。例えば1.25ドル未満で暮らす人々を置き去りにしないという事です。いかにSDGsのプロジェクトを行う事によって、この取り残された人々、あるいは脆弱な立場にある人々を取り込む事が出来るかという事を考察していく事が重要となってきます。2つ目に多様性です。先程の17の目標、169のターゲットのSDGsは国連の大きな目標ではありますが、もちろん各国において置かれた状況は異なってきます。そのため、国レベルで各国が優先順位を決めて、自分達のターゲットを作っても良いという事になっています。透明性の問題ですが、これは先程から皆さんがモニタリングという事を強く言ってらっしゃった点にも関わってくるのですが、いかに指標を設定しながら進捗を測って、データを公開し評価していくかという事が求められてきます。4つ目に政府、企業、市民の参加などを含めたパートナーシップ構築や参画性ですね。5つ目に、重要な点ですが、いかに環境という面だけではなく、経済や社会まで含めながら統合して実施していけるのかという点が挙がってきます。さらに具体的にいうと、169のターゲットのうち「私はSDG 14.1だけをやりたいのです」というのではなくて、SDG 14.1を中心として、他に関係したターゲットというものがあるかということに気を付ける必要があります。1つのターゲットを実施した事により、他のターゲットの促進にも繋がっているのか、あるいは1つのターゲットを実施した為に、他のターゲットの実施を阻害する事が起こっていないのかという相互関連性を見ていく重要性です。少し具体的に見ていきますと、例えばケース1で、女子の教育レベルを向上させる事によって、健康、貧困削減、ジェンダー平等、経済成長に寄与したとします。これをSDGsの目標でいいかえると、SDG 4を実施する事によって、SDG 3、1、5、8の達成に導くことができるといえます。このように他の目標にポジティブな影響を与える関係は簡単に分かりますが、次のケースはどうでしょうか。ケース2で、各国がエネルギーアクセスを改善する手段として化石燃料をさらに利用するという目標を立てた場合、気候変動や海洋の酸性化、健康への被害というものにマイナスの影響を与えてしまいます。つまりSDG 7を実施する事によって、SDG 13、14、3といった目標の達成が阻害される事になってきます。その為、このような相互関連性をしっかりと考慮したプロジェクトを計画、実施する必要があります。最後に、SDGsというのは目標設定に基づいたアプローチを取っていると



特徴 (1)

- ① 包摂性：「誰も置き去りにしない」
 ➔ 誰を取り込むことができたか



- ② 多様性：SDGsを基に、国レベルで優先順位や目標を設定する
 ➔ 優先順位は何か？ それについてどのような目標を設定するか？

特徴 (2)

- ③ 透明性：情報の公開
 ➔ どのような指標を設定して、進捗を測り、データを公開、評価していくか
- ④ 参画性：政府、企業、市民の参加
 ➔ パートナーシップ
- ⑤ 統合性
 ➔ いかに「環境」だけではなく、「経済」、「社会」の要素を統合して実施できるか
 ➔ それぞれの目標やターゲットを独立したものとしてとらえず、統合的にみているか
 ➔ 相互関連性：相乗効果やトレードオフの関係を考える

相互関連性の視点を！

- ケース1：女子の教育レベルを向上（目標4）させることにより、健康が確保され（目標3）、貧困の削減（目標1）、ジェンダー平等（目標5）と経済成長（目標8）に寄与
- ケース2：各国がエネルギーアクセスを改善する目標（SDG目標7）のために、化石燃料を利用した場合、気候変動（目標13）や海洋酸性化（目標14）が進み、汚染による健康被害が発生（目標3）
- ケース3：各国が増加する人口に対応するための食料を確保（目標2）するために、森林を伐採して農地に転換し、生物多様性が減少（目標15）、あるいは魚の乱獲をして海の資源が枯渇する（目標14）。これに頼って生活していた人々は貧困に（目標1）。

出典（一部）： Griggs, D., Nilsson, M., Stevance, A., and McCollum, D., (eds.) (2017) A guide to SDG interactions: From science to implementation. Paris: ICSSU.

る点です。目標を設定して実施していくのですが、やり方として例えば次のステップがあると思います。最初に 2030 年の中期目標としてターゲットを設定し、その時まで在るべき姿というものを先に設定します。次に、そのターゲットを達成する為の課題は何かというものを洗い出してきた、最後にその課題を解決するアクションを特定していくというバックキャストの方法で実施します。その後、これまでの発表で皆さんが指摘されていたモニタリングをしっかりと実施していくというやりかたです。この目標設定に基づいたアプローチをしっかりとやる場合、いくつかの成功の要因というものがあげられます。例えば 1 日 1 ドル未満で生活をする人をなくすというふうに人々がターゲットを簡単に理解出来て、計測が可能な 2030 年の姿を出すこと、人目を引く様な文書、例えばプレス発表などで公表してしまうこと、公約してしまうこと、というようなことが既存研究で指摘されています。

では次に、政府の SDGs の対策を説明したいと思います。日本政府は、SDGs 実施について活発な動きをしているのです。まず 2015 年 9 月に SDGs が出来たのですが、その翌年の 2016 年には SDGs 推進本部というものを設置しています。これは行政機関を連携させて、効果的に SDGs を促進するためのものであり、首相が本部長を務めています。この推進本部は「SDGs 実施指針」も作成しています。これには、SDGs を日本で実施していく為の優先順位やビジョンが書かれています。2018 年になるともう少し目的や着眼すべき点をしっかり決めた「アクションプラン 2018」を作成しています。例えば、日本の SDGs の実施モデルというものを世界的に発信していくこと、特に企業の SDGs の実施、自治体の SDGs 実施、あるいは次世代と女性についてのプロジェクトを促進していくことをかなり明確に挙げておりました。また、日本内で SDGs の普及が拡大、普及していくために、「ジャパン SDGs アワード」という賞を設置しています。これは SDGs の達成に向けた企業や団体の活動を促進し、日本のモデルを打ち出していくひとつの活動です。1 年に 1 回表彰されるのですが、昨年第一回目があり、北海道下川町が 1 位をとりました。その他、SDGs の考え方はいろいろと取り入れられています。例えば、第 5 次環境基本計画の中に SDGs の考え方が盛り込まれていたり、SDGs 未来都市が 29 都市にわたり選定されています。特に SDGs の未来都市については、地方創生の分野で SDGs をどの様に活用する事が出来るのか、よい事例をあげていると思います。後ほどこの 29 都市のうち、静岡市と伊勢市について沿岸地域の SDGs 実施についてとりあげたいと思います。

ここからは東京湾と SDGs について簡単に見ていきます。先程言いましたように、SDGs の 14 番が海、海洋の資源の保護という所に直接的に関わってくる SDG 目標です。例えば

特徴 (3)

⑥ 目標設定に基づいたアプローチ

1. 2030年のあるべき姿をターゲットとして設定する
2. ターゲットを達成する課題を抽出
3. それに対応するようなアクションを特定
4. アクションを実施
5. 指標を設定し、進捗を評価

うまく動かすためには・・・

- ✓簡単に理解でき、簡単に測れる形でターゲットを公表
 ✓例：1日1ドル未満で生活する人口をなくす
- ✓宣言や人目を引くような文書で公表
- ✓公約する

政府のSDGs対策

政府の対策

1. **SDGs推進本部を設置**
 ■行政機関を連携し、効果的にSDGsを促進

2. **SDG実施指針を決定**
3. **拡大版SDGsアクションプラン2018を決定**
 ■日本の「SDGsモデル」を実施し、発信することを目的。方向性や主要な取組を示した。
 ✓企業；自治体；次世代と女性
4. **ジャパンSDGsアワードの設定**
 ■SDGs達成に向けた企業・団体等の取組の促進を目的
 ■波及効果が大い；ベストプラクティスとしての率先的行動の意義が大い；SDGsの達成に大きな効果

その他

- SDGsの考え方にも依拠した**第5次環境基本計画**
 - 環境の許容範囲のなかで持続可能な経済社会活動を実施
 - 相互関連性（特にトレードオフ）
 - パートナーシップ
 - 課題ベースの実現可能性を踏まえた積み上げではなく、目指すべき社会の姿からバックキャストする思考法。未来を考えて「次の一手」をどう指すか
 - SDGs未来都市の選出
 - 地方創生分野のSDGs日本モデル
 - 29都市選定
 - 森林
 - コンパクトシティ
 - エネルギー
 - スマイル100歳
- 

東京湾とSDGs： 沿岸地域でのSDGs活用事例と ヒント

SDG14.1は、富栄養化を含む汚染などから海洋汚染を防止して大幅に削減する、SDG14.2は生態系を回復させる、SDG14.3は酸性化の影響を少なくすると、SDG14.4は漁獲を効果的に規制するという具体的なターゲットが10個挙げられています。では、SDG14を中心として考えてみると、その他の目標とどのような相互関連性があるのでしょうか。簡単に考えられるのがSDG13の気候変動対策です。CO2の排出がどんどん増えていくと、もちろん海洋の酸性化に繋がり、最終的には海洋の生態系を崩してしまいます。海洋の生態系が崩れてくると、どこの目標に、負の影響がでるのでしょうか。まず魚が減り、漁獲量の低下につながり、漁師さんの生活に影響を与えてしまいます（SDG1）。あるいはSDGs12（持続可能な消費と生産）には廃棄やリサイクルについて書かれてありますが、例えば内陸部でプラスチックが回収されずに海に流れてしまった場合、最終的にそれがマイクロプラスチックとなって海洋汚染に繋がってしまう（SDG14.1）、あるいは東京湾の小魚の体内にマイクロプラスチックが溜まり、そのような小魚を人間が摂取することにより、人体への負の影響が発生する可能性があるかもしれません。つまり、SDGs3に関係してきます。

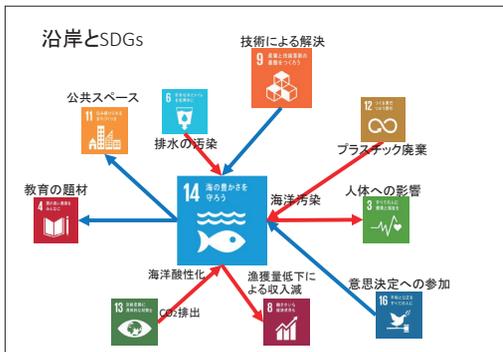
同じ様にプラスの面で見えてみると、本日のシンポジウムのテーマである技術によって海洋に関連する多様な問題を解決することが出来る可能性があります。また、都民、県民など多様なステークホルダーが参加することによって、問題が解決する可能性があります。SDGs11や4にも色んな貢献があるでしょう。ここで具体的なSDGsの利用例を志摩市の事例として見ていきたいと思えます。SDGs未来都市に入っている志摩市です。ここは「豊かさの源である自然環境がより良く保全され、持続的に志摩の多様な食材が生産されている」という2030年の姿を描きました。これから12年後の姿です。もちろんSDG14の海洋資源とSDG2の食料という分野に関連してきます。この2030年の姿を実際にどのように達成していくか、活動していくかというところですが、すでに志摩市では資源管理型の漁業を実施しています。この点はSDGターゲットの14.4に深く関わるところですが、漁法、あるいは漁期、それからお魚の体重をきちんと設定して持続可能に獲れるように、自主的な取り組みをしています。また面白い点が、この自主的な取組をこの伊勢の地域だけではなく、同じ漁を行っている近隣の愛知県や静岡県との漁業者とパートナーシップを組んで、自主的なルールを共有したというところ。パートナーシップはSDG17.16や17.17であげられている点です。これらの点が未来都市として評価されたのだと思えます。

次に静岡市の例ですが、ここは2030年のターゲットを海洋以外の分野でも挙げているのですが、今日は海洋に関するものだけご説明します。海洋関連産業や教育機関を活かし、災害に強い港を作りたいと書いています。これはSDG4、9、14という目標に関連します。取り組みもいくつかあがっています。観光の基盤整備という所もあがっていて、これもSDG12にも関わってきます。

時間がなくなってきたので、急いで最後のセクションにいきま

目標 14. 持続可能な開発のために海洋・海洋資源を保全し、持続可能な形で利用する

- 14.1 2025年までに、海洋堆積物や富栄養化を含む、特に陸上活動による汚染など、あらゆる種類の海洋汚染を防止し、大幅に削減する。
- 14.2 2020年までに、海洋及び沿岸の生態系に関する重大な影響を回避するため、強靱性（レジリエンス）の強化などによる持続的な管理と保護を行い、健全で生産的な海洋を実現するため、海洋及び沿岸の生態系の回復のための取組を行う。
- 14.3 あらゆるレベルでの科学的協力の促進などを通じて、海洋酸性化の影響を最小化し、対処する。
- 14.4 水産資源を、表現可能な最短期間で少なくとも各資源の生物学的特性によって定められる最大持続生産量のレベルまで回復させるため、2020年までに、漁獲を効果的に規制し、過剰漁獲や違法・無報告・無規制（IUU）漁業及び破壊的な漁業慣行を終了し、科学的な管理計画を実施する。
- 14.5 2020年までに、国内法及び国際法に則り、最大入手可能な科学情報に基づいて、少なくとも沿岸域及び海域の10パーセントを保全する。
- 14.6 陸域上及び後発開発途上国に対する適切な効果的な、特別かつ異なる待遇が、世界貿易機関（WTO）農業補助金交渉の不可欠な部分であるべきことを認識した上で、2020年までに、漁業漁獲力や漁業資源につながる農業補助金を禁止し、違法・無報告・無規制（IUU）漁業につながる補助金を撤廃し、持続可能な漁業活動への取組を支援する。
- 14.7 2030年までに、漁業、水産養殖及び陸域の持続可能な管理などを通じ、小規模開発途上国及び後発開発途上国の海洋資源の持続可能な利用による経済的恩恵を最大化させる。
- 14.8 漁業の健全性の改善と、開発途上国、特に小規模開発途上国及び後発開発途上国における海洋生物多様性の向上のため、海洋技術の移転に関するユネスコ政府間海洋学委員会の議案、ガイドラインを推進し、持続可能な環境、研究能力の向上、及び海洋技術の移転を支援する。
- 14.9 小規模・沿岸常規漁業者に対し、海洋資源及び沿岸のアクセスを提供する。
- 14.c 「我々の求める未来」の（ラ15B）において懸念され、海洋及び海洋資源の保全及び持続可能な利用のための法枠組みを強化する海洋法に関する国際条約（UNCLOS）に反映されている国際法を実施することにより、海洋及び海洋資源の保全及び持続可能な形で利用する。



SDGs未来都市 志摩市の事例

2030年ターゲット

豊かさの源である自然環境がより良く保全され、人の営みと自然が調和した志摩の景観が広がるなかで、持続的に志摩の多様な食材が生産されている

活動例

先進的な資源管理型漁業の推進：ありのふくの資源管理

- 自主的な取り決め
 - 漁法は「底はえ縄」のみとすること
 - 漁期は10月から2月末までとすること
 - 体重600グラム以下のトラフグは再放流する

→同じ海域でトラフグ魚を行う愛知県や静岡県の漁業者と協働。ルールを共有

ターゲット 14.4

http://www.city.shima.mie.jp/kakaku/52g/132966/608769.html

SDGs未来都市 静岡市の事例

2030年ターゲット

清水港周辺に集積する海洋関連産業や教育機関を活かし、世界の玄関口となる「国際海洋文化都市」に変身を目指す。災害に強く、賑わい、交流、経済の活性化を実現する。

活動例

- 「働くみなと」に「楽しむみなと」を加えた求心力の強い港町の創生
 - 清水都心ウォーターフロント地区において、観光の基盤整備や、わくわくドキドキを肌で感じよう多彩な賑わいづくりの施設を通して、民間投資を喚起していく。
- 産学官民連携による「海洋文化拠点」の形成
 - 大学等の研究機関や周辺企業との連携を深め、新たな海洋産業や海洋人材の育成と、海洋・地球に関する総合的な展示施設である「海洋文化施設」を整備し、この施設が国際海洋文化都市のシンボル施設となることを目指していく。

静岡市 SDGs 未来都市計画
http://www.city.shizuoka.jp/00792640.pdf

す。今までの話してきた内容をもう一回簡単に振り返ってみますが、SDGsを東京湾に取り入れる際には次のようなことが言えると思います。まず最初に、2030年の姿という中期的な目標やターゲットを設定すること。その設定にあたっては、取り残された人々はいないか、あらゆるステークホルダーを組み込みながら参加型の議論や意思決定を行ってみること。2番目に、そのターゲットを達成する為の課題を洗い出していく。ここからが重要ですが3番目に、それに対応する様なアクションを特定していくこと。そのアクションを特定する際には誰とパートナーシップを組むのが良いのかを考えたり、目標に関連する

「取り残された人々」を組み込んでいったりすることを考えなければいけません。また、そのアクションが169のターゲットと照らし合わせて見たときにマイナスの影響を引き起こす可能性がないかどうかを考察します。もし起こりそうであれば、それをプラスに転じられるような追加的な対策を取れるのかどうか、考えることができます。最後に、アクションを実施した後は、モニタリングが重要となってきます。何を指標として設定して、その進捗を測るのか。どうやってデータをとるのか。ある年だけのデータではなく、時系列のデータをとって、どのように公表していくかを計画します。この様なやり方をふみながら、例えば国連のHLPF（ハイレベルポリティカルフォーラム）などのサイドイベントで日本の対策として世界に発信していくことも出来ると思います。

本日は、沿岸域でSDGsを活用するひとつのやり方を説明させていただきました。ご清聴ありがとうございました。

SDGsを東京湾に取り入れる際のヒント

- 2030年の姿をターゲットとして設定
 - ✓取り残された人などあらゆるステークホルダーを含めて議論
- ターゲットを達成する課題を抽出
 - ✓課題解決型ではなく、未来志向で
- それに対応する様なアクションを特定
 - ✓誰とパートナーシップを構築するか
 - ✓取り残された人を組み入れる
 - ✓他のSDGターゲットとの相互関連性を考慮する
 - ✓他のアクションや関連する政策との整合性（アクションの一貫性）を確保する
- アクションを実施
- 指標を設定し、進捗を評価
 - ✓指標を設定する。時系列のデータをとる



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 國田 淳

ご紹介頂きました、国土技術政策総合研究所の國田でございます。本日は本当に多くの方にお集まりを頂きまして、また、熱心な討議にご参加頂きまして誠にありがとうございました。今日のシンポジウムでは、第一部では本当に様々な指標や手法でこの沿岸域を見つめていくと、今まで分からなかった事が発見出来たり、あるいは分析出来たりという興味深い発表をいただきました。また、第二部では、この沿岸域に関わる様々な主体でその新しい考え方、技術、どういう風に取り組んでいるのか、あるいはどう連携していくのかという所を、分かりやすく説明して頂いたと思います。全体を通じまして、私としてもこの東京湾、本当に色んな可能性があるという事を改めて感じましたし、また沿岸域の行政に関わる1人として、この課題の1つでも前に進めたいなと思った次第です。



さて、このシンポジウムですけど、先程会場からもありましたが、「東京湾大感謝祭 2018」の口火を切るイベントとしての位置付けもございます。明後日の10月20日（土）と21日（日）に、横浜の赤レンガ倉庫、象の鼻パーク、そして今年初めて、この大栈橋ホールの方でも多くのイベントを予定しております。海の恵みに感謝して、海に触れる色んなイベントに1人でも多くの方、ご参加頂ければと思いますので、皆様のご近所の方、職場の方には是非宣伝をいただければと思います。あと、極めて事務的なお話でございますけれども、この後6時過ぎ位からですね、意見交換会を予定しております。本来、今日20分で盛り沢山の内容でございましたので、そういった意見交換会を利用して、もう少し聞いてみたいと言うか、情報交換に利用して頂ければと思います。

最後に改めてお集まり頂いた皆様に感謝を申し上げて閉会の挨拶とさせていただきます。本日は長時間に渡りまして、本当にありがとうございました。