

生態系環境モニタリングチーム担当

島根大学重点プロジェクト

「汽水域の自然・環境再生研究拠点形成プロジェクト」

2006公開セミナー・討論会

講演要旨集



第一部 (10:00～15:00)

生態系環境モニタリングチーム

「汽水域環境のモニタリング手法の確立に向けて」

第二部 (15:00～16:30)

島根大学汽水域重点プロジェクト特別討論会

「みんなで語ろう！宍道湖・中海の賢明な利用
－市民と大学の協働に向けて－」

問い合わせ先

島根大学汽水域研究センター

〒690-8504 島根県松江市西川津町1060

Tel. & Fax. 0852-32-6099 : e-mail : kisui@soc.shimane-u.ac.jp

島根大学重点プロジェクト
「汽水域の自然・環境再生研究拠点形成プロジェクト」
2006 公開セミナー・討論会

日時：2006年1月15日10:00～

場所：松江テルサ 4F 中会議室

第一部

生態系環境モニタリングチーム

「汽水域環境のモニタリング手法の確立に向けて」

趣旨説明

島根大学重点プロジェクトの趣旨説明・・・國井秀伸（島根大学汽水域研究センター）

生態系環境モニタリングチームの趣旨説明・・・瀬戸浩二（島根大学汽水域研究センター）

- 10:15～10:45 「中海・宍道湖をまるごと見る方法」
・・・瀬戸浩二（島根大学汽水域研究センター）
- 10:45～11:15 「人工衛星からの汽水域環境のモニタリング」
・・・古津年章（島根大学総合理工学部）
- 11:15～11:45 「水中動態長期観察システムの改良と環境・生物資源評価への応用」
・・・野村律夫（島根大学教育学部）
- 11:45～13:00 一昼休憩
- 13:00～13:20 「魚をモニタリングすると何がわかるのか？」
・・・堀之内正博（島根大学汽水域研究センター）
- 13:20～13:40 「安定同位体比を利用した底生動物のモニタリング」
・・・倉田健悟（島根大学汽水域研究センター）
- 13:40～14:00 「二枚貝から読みとる汽水域の環境」
・・・山口啓子（島根大学生物資源科学部）
- 14:00～14:20 「汽水生底生有孔虫による環境モニタリングの最近の研究例」
・・・高田裕行（島根大学汽水域研究センター）
- 14:20～14:40 「植物プランクトンが語る最近の環境変化-サロマ湖における珪藻の場合」
・・・香月興太（島根大学汽水域研究センター）

第二部

島根大学汽水域重点プロジェクト特別討論会

15:00～16:30

「みんなで語ろう！宍道湖・中海の賢明な利用 ー市民と大学の協働に向けてー」

司会：國井秀伸（島根大学汽水域研究センター）

汽水域の自然・環境再生研究拠点形成プロジェクト

島根大学 汽水域研究センター
センター長／教授 國井秀伸

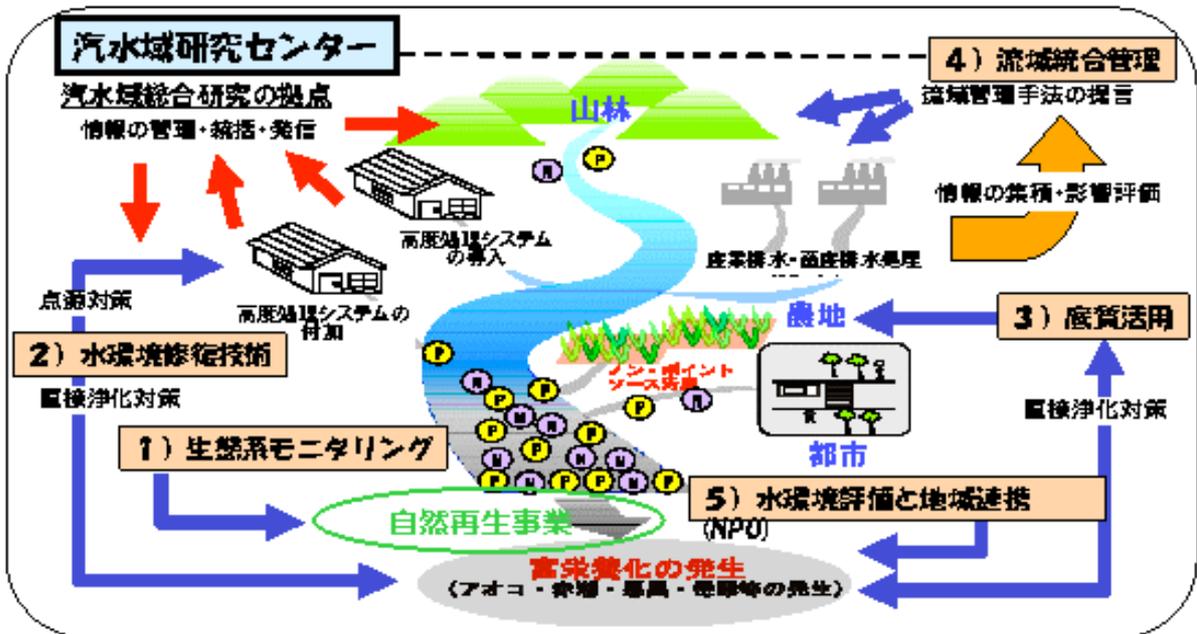
プロジェクト概要

斐伊川の河口、淡水と海水の入り混じる汽水の湖、宍道湖・中海では、ラムサール条約への登録を前にして、自然との共生を目指した賢明な利用（ワイズユース）の議論が始まっています。湖の豊かな恵みを将来の世代に引き継ぐためには、まず2つの湖の過去を知り、そして未来に向けて再生を図らなければなりません。私たちのプロジェクトでは、生態学、工学、地球化学、分析化学、水文学など、様々な分野の20名の専門家の協働により、2つの湖の再生に向けての科学的なアプローチを開始しました。

目的

このプロジェクトでは、島根大学に隣接する、合わせて日本一の面積となる汽水湖、宍道湖・中海をモデルフィールドとして、学内の研究者の様々な専門領域の視点から、汽水域の環境特性を総合的に分析して、自然と調和した汽水域の賢明な利用のあり方を明らかにすることを目標としています。宍道湖・中海は多様な汽水域環境を持つばかりでなく、大規模な自然改変を伴う開

汽水域の自然・環境再生研究拠点形成プロジェクト



高度な要素技術と生態系モニタリングの結集により、流域管理を含めた汽水域総合研究の拠点が形成される

発計画が中止され、今や環境再生・自然再生が急務となっている場所でもあります。将来的には、汽水域研究センターを中心に、汽水域研究の拠点形成を目指します。

前年度の成果

前年度は短期的な視野の研究(高機能水処理材料の開発と応用、汽水湖腐泥の加熱造粒化技術、ヘドロの有効利用)と、長期的な視野の研究(宍道湖・中海の生態系の構造把握、ヤマトシジミの優占する人工湿地での環境改善の研究、宍道湖における内部負荷量の推定)の、2本立てでプロジェクトを進めました。その結果、短期プロジェクトでは、文部科学省所管の産学官連携促進事業である「都市エリア事業」に参画し、高機能水処理材料としてリン酸イオンに対し高選択性と大容量を有する無機吸着材(ハイドロタルサイト)の開発に成功しました。そして現在、この材料を点源負荷および面源負荷の削減、また水環境修復にいかに応用するか、技術的側面から種々検討を進めています。加えて、汽水湖腐泥の加熱造粒方法および汽水湖への還元方法として、間接加熱法による造粒化試験とその製造物を用いた植物栽培試験および水槽での還元試験を実施しました。長期プロジェクトでは、2004年度から、「宍道湖・中海における自然再生事業に適したモニタリング法の確立」と題した文部科学省科学研究費補助金による調査を本プロジェクトと同時に開始し、国土交通省出雲河川事務所との連携により、宍道湖・中海において沿岸環境改善のための実証実験を開始しました。その他の成果として、宍道湖・中海の水質データの共有化(データベース化)について関係機関との協議を開始し、また島根県とテキサス州との共同プロジェクトの一環として、水環境問題解決のため、「テキサス水プロジェクト」を立ち上げました。

研究者紹介

- ・プロジェクトリーダー
國井秀伸(汽水域研究センター・教授)
- ・生態系モニタリングチーム
瀬戸 浩二(汽水域研究センター・助教授)
野村 律夫(教育学部・教授)
古津 年章(総合理工学部・教授)
山口 啓子(生物資源科学部・講師)
堀之内 正博(汽水域研究センター・助教授)
倉田 健悟(汽水域研究センター・助教授)
- ・水質浄化用高機能材料開発チーム
野中 資博(生物資源科学部・教授)
佐藤 利夫(生物資源科学部・教授)
大島 朗伸(生物資源科学部・助教授)
桑原 智之(生物資源科学部・研究員)
- ・底質活用チーム
石賀 裕明(総合理工学部・教授)
三瓶 良和(総合理工学部・教授)
増永 二之(生物資源科学部・助教授)
- ・流域統合管理法開発チーム
武田 育郎(生物資源科学部・教授)
森 也寸志(生物資源科学部・教授)
松本 一郎(教育学部・助教授)
- ・水環境評価と地域連携チーム
相崎 守弘(生物資源科学部・教授)
奥村 稔(総合理工学部・教授)
清家 泰(総合理工学部・助教授)
作野 広和(教育学部・助教授)

参考ホームページ(HP)

島根大学プロジェクト研究推進機構 HP

<http://www.proken.shimane-u.ac.jp/>

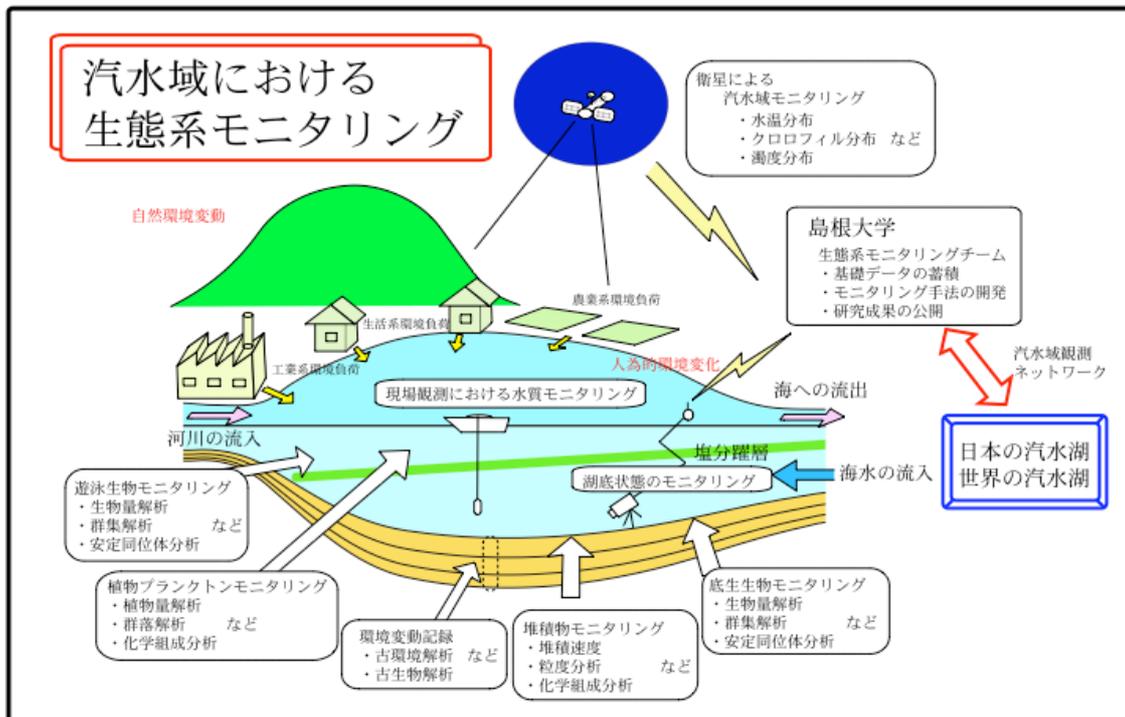
汽水域の自然・環境再生研究拠点形成プロジェクト HP

<http://pm75.soc.shimane-u.ac.jp/kisuijp/index.html>

生態系モニタリングチームの概要

- 瀬戸 浩二 (汽水域研究センター・助教授)
- 野村 律夫 (教育学部・教授)
- 古津 年章 (総合理工学部・教授)
- 山口 啓子 (生物資源科学部・講師)
- 堀之内 正博 (汽水域研究センター・助教授)
- 倉田 健悟 (汽水域研究センター・助教授)

汽水域は、淡水と海水が混じりあう水域である。そのような水域は、沿岸の平野部に分布することから、古くから人間の生活と密接に関ってきた。汽水域は、重たい海水と軽い淡水が接触するため、複雑な水質環境を示しているのが特徴である。汽水域におけるこのような水質環境は、実は微妙なバランスで成り立っている。すなわち、比較的軽微と思われる環境変化でも、汽水湖環境に大きく反映されることもありえるのである。汽水環境は、日々の気象変化から地球レベルでの気候変化までの自然環境変動や堤防の建設・河川の拡幅工事・流域のダム建設など的人為的改変で容易に変化する。そのような水質環境の中で成り立っている生態系も、同様に微妙な環境変動によって大きな影響を受けることになる。中海・宍道湖をはじめとする汽水湖も例外ではない。実際に、これまで受けてきた自然環境変動や人為的改変によって絶えず環境を変えてきた。そして、今後もまだまだ変わっていくことになるであろう。それがいったいどのように変わるのか、あらゆる角度からモニタリングする必要がある。島



生態系モニタリングチームの活動イメージ図

根大学汽水域重点プロジェクトの生態系モニタリングチームは、汽水環境における精度の高い基礎データ・環境変事例の蓄積および新しいモニタリング手法の開発を行うことを目的としている。ここで得られる生態系モニタリング技術やデータは、中海・宍道湖における長期モニタリングとして活用され、今後の人為改変・自然環境変動による環境変化や再生事業の効果の検証に役立つだろう。また、国内外の他汽水域に応用することで、国際的な枠組みで地球環境変動をモニタリングすることが可能となる。

17 年度の活動

1. 新装備

- ・水中ビデオシステムの開発
- ・多波長励起蛍光光度計の導入

2. 調査・研究

- ・中海・宍道湖の水質調査
- ・中海・宍道湖における衛星同期調査
- ・魚や底生生物の炭素・窒素同位体比の測定
- ・シジミを用いた環境記録の読み取り技術研究
- ・宍道湖における底質環境の研究
- ・網走周辺汽水湖群の水質・底質・底生生物調査
- ・阿蘇海における水質調査および流出量調査

【17 年度計画概要】

- ・汽水域の環境観測（監視）拠点とするため、宍道湖・中海の自動水質観測網を整備
- ・各種観測データを集中管理するシステムの構築
- ・マルチ波長ビデオを用いた水中ビジュアルモニタリング技術の開発
- ・安定同位体測定による生態系環境モニタリングシステムの開発
- ・生態系モニタリングシステムとリモートセンシングとのリンク法の確立

【17 年度研究項目】

- A-1. 自動水質観測網の整備
- A-2. 水中ビジュアルモニタリング技術の開発
- A-3. 生態系環境モニタリングシステムの研究開発

【17 年度達成目標】

- A-1. 基礎水質データの取得とモニタリング目的に応じた自動観測網の検討.
- A-2. 水中ビジュアルモニタリング技術の開発.
- A-3. 貝類を用いた環境記録の読み取り技術研究. 魚や底生生物の炭素・窒素同位体比の測定による基礎データの取得. 衛星同期調査による事例研究の積み上げと新リモートセンシング技術の検討.

中海・宍道湖をまるごと見る方法

島根大学 汽水域研究センター
瀬戸 浩二

中海・宍道湖は島根・鳥取県にまたがる広大な湖沼群である。その周辺には平野が発達していることもあり、多くの人々がそれらに関して生活している。そこで生活している人々はいつも見ている水域ではあるが、実際には表面的な風景しか見えていないのが現状であろう。しかしながら、表面的な風景を見ることによって、その水域の全体像を理解することができれば、水域に対する見え方や接し方も変わってくるだろう。そのためには、まさに「中海・宍道湖をまるごと見る方法」が必要となってくる。

中海・宍道湖は、汽水域であるため、淡水域や海洋域よりかなり複雑な水塊構造をしており、その構造は微妙なバランスのもとに成り立っている。そのバランスは、日々の気象現象から長期的な気候変動までの自然環境変化や人為的な改変で容易に変化する。したがって、水域の全体像を見ることは、言うのは簡単であるが、実際にはかなり難しい。それを行うためには、水域全体を総括的に記載し、水理・生態系などのシステムを理解することが重要である。今回は、中海・宍道湖をまるごと見る」ために、どのような視点があるか具体的な事例を挙げつつ整理し、それに向けた観測手法のいくつかを提案したい。

中海・宍道湖の水質環境は、これまでも多くの研究・観測事例があり、比較的的理解が進んでいる。図 1 は、比較的容易に測定できる水質項目について、斐伊川河口から美保湾までの水質断面を作成し、その水塊構造を解釈したものである。この水系では、2つの明瞭な塩分躍層（密度躍層）が見られ、3つの水

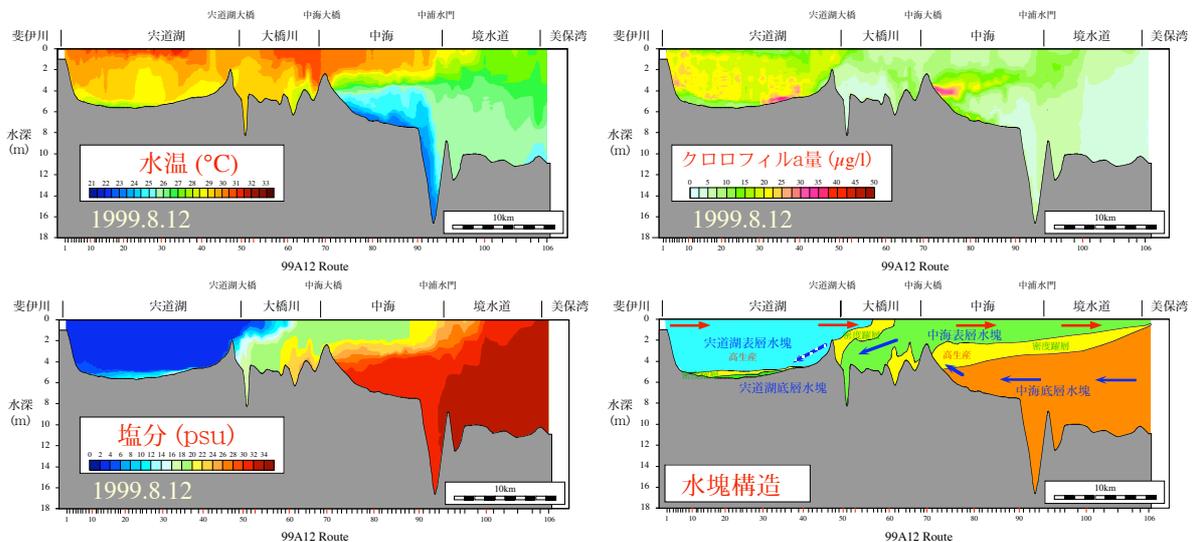
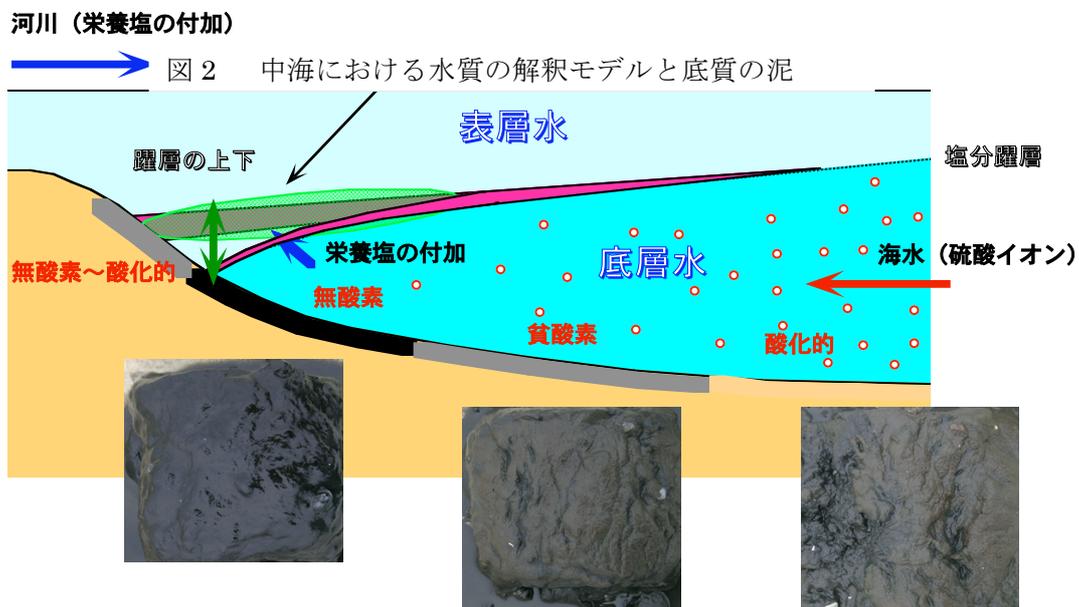


図 1 中海・宍道湖の水質断面

塊を識別することができる。さらに宍道湖の湖底付近の躍層を加えれば、もう一つ増えることになる。これを標準として中海・宍道湖の水循環システムや2003年春の中海の赤潮, 2003年夏の低塩分化などの水質に関わる諸現象を図説する。

次に底質環境の観測も重要な視点である。底質環境は、周辺の水質環境に左右された化学的要因、波や水流などによって左右された物理的要因、生物の生息による生物的要因が複雑に作用することによって決定される。図2は、周辺の水質環境に左右された化学的要因の一例として、水質の解釈モデルと湖底の堆積物を示したものである。底層水の入り口から奥に向かうにつれ溶存酸素が減少し、貧酸素・無酸素状態に変化する。それに伴い、底質の泥の表面の色が変化する。そのほかの要因についても底質の写真から説明する。その他にも、水域に関連した生物を見ることも重要であろう。



これらは、調査・研究することで捕らえた一例を挙げているに過ぎない。今後さらに調査・研究をすることによって新しい事象も見えてくることであろう。しかし、本当にそれだけでいいのだろうか？汽水域の場合、その環境が微妙なバランスのもとに成り立っているため、今の状態が永久に保存されるものではない。したがって、現在の環境だけを見るのではなく、歴史的な環境変化を理解することも重要な視点である。さらに中海・宍道湖だけを見るのではなく、その他の汽水湖も同様に見て、地球環境の中での汽水域の役割を考慮することも必要であろう。

最後に、中海・宍道湖では、今後大橋川の拡幅事業や堤防の開削など人為的な改変が予定されている。それを踏まえた観測手法のいくつかを提案したい。

人工衛星からの汽水環境モニタリング

島根大学 総合理工学部
古津 年章

人工衛星からの観測は、一般に電磁波（光と電波をあわせて「電磁波」という）を用いたリモートセンシング技術により行われている。この技術は、極めて短時間で広い範囲の観測が可能という利点を持つが、測定が間接的であり、精度を上げるには、現場測定データとの比較により検証を行うことが必要である。用いる電磁波としては、これまでは可視光や赤外線が主に用いられてきたが、近年、雲を通して地上や水面を観測できるマイクロ波（波長が数 cm の電波）も用いられるようになってきた。これら光と電波は、それぞれ観測できる物理量が異なり、両者を併用することにより、より詳しい観測が可能と考えられる。リモートセンシングを行う人工衛星の数も近年増加している。そのうち汽水域の観測に用いられる可視・赤外線を用いたセンサを搭載する主な衛星を図1に示す。

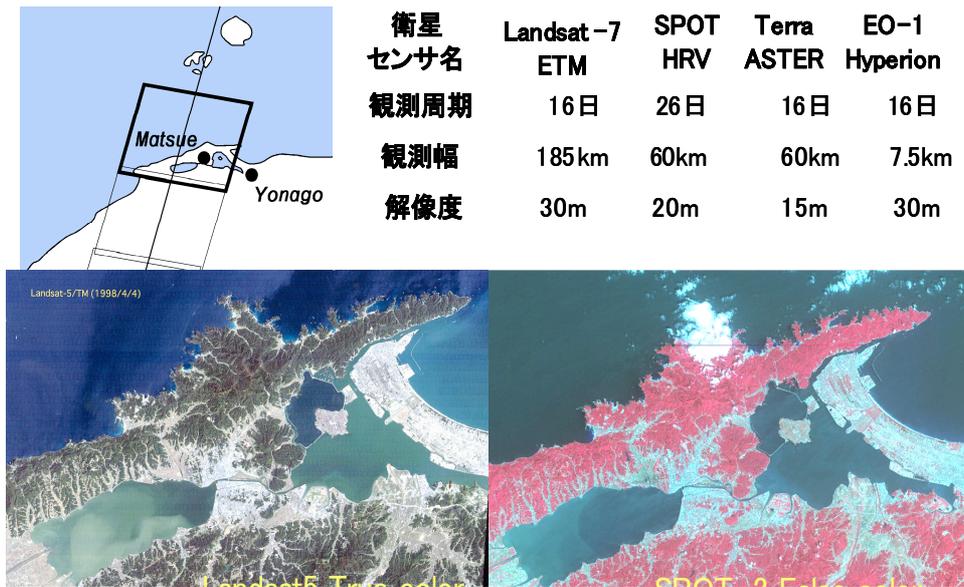


図1. 汽水域観測に用いられる可視・赤外線センサー搭載の主要衛星.

宍道湖・中海を対象とした衛星リモートセンシングの研究は、まず特定の観測物理量を測定する手法の研究から開始された。これまでの研究から、汽水表層のクロロフィル a、濁度、水温の推定可能性が示されている*。クロロフィル a の推定は、可視 2 チャンネルの DN（デジタルナンバー）の比をとる方法や数チャンネルの DN を用いた重回帰実験式により行われている。濁度は、可視の 1 チャンネルもしくは可視～近赤外の 3 チャンネルを用いた回帰実験式により推定され

* リモートセンシングの場合、測定が間接的であるので、以下「測定」ではなく「推定」という。

ている。また水温は、主に夜間の遠赤外チャンネルを用いて推定されている。

マイクロ波を用いた観測は、一般に光に比べて空間分解能が非常に悪くなるが、合成開口レーダ（SAR）を用いることにより、数十m程度あるいはそれ以下の高い分解能が得られる。衛星からのマイクロ波リモートセンシングで、宍道湖・中海などの比較的狭い水域の観測が可能なセンサは SAR が唯一のものと考えられる。これまでの研究より、SAR を用いて湖水面上の風速・風向の推定、油膜などによる水面汚染域の検出などの可能性が示されている。

これまでの衛星観測は、観測の頻度が少なく、また光を用いたセンサの場合、天候に左右されることにより、更に頻度が下がるという問題があった。今後、リモートセンシングを汽水域環境のモニタリングに利用するには、まず観測頻度を上げることが必要である。現在、海洋を対象にした空間分解能の悪いセンサーでは、毎日もしくは数日に1回程度の高頻度観測が実現されている。そのうち、米国の衛星 TERRA と AQUA に搭載された MODIS というセンサは、図1に示したセンサより分解能が悪く 250~500m であるが、宍道湖・中海の概略モニタリングに使用可能である。

今後のリモートセンシングの使い方としてすすむべき道のひとつは、光と電波による同時観測である。しかし現在のところ、SAR と高分解能の可視・赤外センサーの同時観測が可能な衛星は極めて少ない。図2は、フランスの衛星 SPOT1 と ESA（欧州連合の宇宙機関）の衛星 ERS2 が続けて宍道湖観測を行ったデータを解析し、濁度と水面汚染域（黒い筋状の部分）を推定して重ねたものである。このように、光と電波の同時観測により、より詳しい環境情報が得られると期待される。

今後はリモートセンシングと様々な現場観測データ、さらに汽水域の物理モデルや生態系モデルによるシミュレーションを組合わせて、汽水域の“4次元”モニタリングを目指す必要があると考えられる。

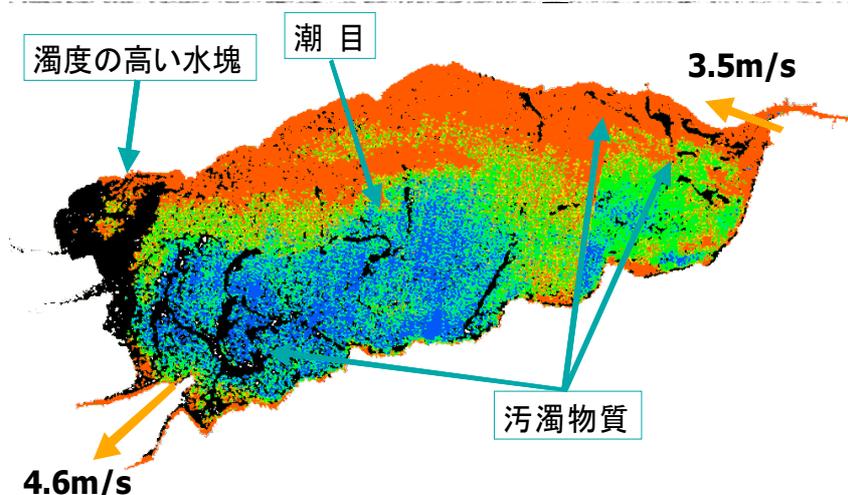


図2. SPOT1 と ERS2 の連続観測から得られた宍道湖の濁度および水面汚染域分布。

水中動態長期観察システムの改良と環境・生物資源評価への応用

島根大学 教育学部

野村律夫

沿岸域の生態系は1900年代中葉以降、人為的改変の影響を受けて大きく変化してきた。また地球規模で進む温暖化現象も沿岸生態系に影響を及ぼしている。島根県の水産資源として重要な宍道湖のシジミに大量斃死が起り、中海では赤潮が毎年のように発生している。中海・宍道湖のような大きな水域では複雑な水力学かつ化学的過程が起こっており、生態系も非線形的挙動をしている。宍道湖・中海の原形が約400年前に出来て以来、複雑な変動を繰り返しながら現在の水環境を形成してきた。

このような複雑な環境を保全し、人間生活と自然のバランスのとれた持続的環境を形成するためには、我々はより深く自然現象を理解する必要がある。その鍵になるのが、自然を長期にわたって統一されたフォームで観察を続けることである。中海・宍道湖では水質観測が各種の調査機関で実施されており、測定値をもとにした議論がなされる。この数値化された測定値に観測現場の様子を視覚でとらえて、総合的に環境を評価するシステムがあれば、より水環境の理解が深まるものと考えられる。ある側面で数値化された環境をイメージする前に、実際に観察するほうが具体的な評価が可能であろう。

このような目的で開発したのが今回の水中ビデオカメラで、長期間水中の様子を観察することができる。このカメラの開発にあたり克服しなければならなかった大きな問題は2点あった。

①水中に生息する藻類の付着、ヘドロ物質の付着、水棲動物の付着などが映像記録を妨害してしまうため、生物忌避のための工夫が必要であった。

→カメラの窓に光触媒作用を施した。



写真1



写真2

②長期間の映像を記録することに加えて、リアルタイムの観察をできるようにした。大学の研究室で湖底の様子をリアルタイムに観察し、さらに水質データを参照しながら、複雑な水環境を具体的に評価することができる。
→映像の無線通信を可能にした。



写真3



写真4

今回、開発改良した長期間観察可能な装置によって、水環境の学術的評価ばかりでなく、環境教育への応用、水産資源の維持・管理などにも広く応用が可能となった。



写真5



図1

写真1：水中ビデオカメラの概観。現在は視線方向が固定式になっており、湖底の一部分を長期に観察できるようにしている。写真2：水中カメラの窓面へは酸化チタンを焼成し、常時、紫外線を照射できるようにしている。写真3：水中ビデオカメラの製作者の百井春夫氏（NDE）が水中へ沈めようとしているところ。写真4：ゴズが遊泳している様子。写真5：湖底の溶存酸素が減少すると、数時間で硫酸バクテリアが大繁殖しはじめる。

図1：水中ビデオカメラを使った利用形態のイメージ。

魚をモニタリングすると何がわかるのか？

島根大学 汽水域研究センター
堀之内 正博

一口に“魚をモニタリング”と言っても、対象となるレベルには 1. 個体、2. 個体群（ある場所に生息している同種個体の集まり）、3. 群集（ある場所に混じり合って生息している異種個体群の集まり）などがある。個体を対象としたモニタリングでは生化学的手法を用いて環境中の汚染物質（例えば環境ホルモン）などが生体にもたらす影響を評価するという調査が多く行われている。一方、個体群や群集を対象にする場合には、まず個体数の調査がすべての基礎になる。特に群集を対象にする場合には、ある場所において各季節にどのような種がどれくらいの個体密度で生息しているのか、明らかにすることがモニタリングの基礎となる。これらの情報を長期間にわたって収集・蓄積することにより、環境に何らかの攪乱（例えば生息場所の改変など）が加えられたとき、その前後で生息する魚類群集の構造がどのように変化するかを把握し、その影響を明らかにすることが出来るようになる。さらに、どうすれば元の状態に戻るのかといったことについて考察することなども可能になる。

今回の発表では、演者らが宍道湖西岸で行っている魚類群集のモニタリング調査について紹介する。周知のように、宍道湖では昔から治水・利水などのために湖岸の改変が行われ、現在ではコンクリート護岸などの人工湖岸が湖岸のほとんどをしめ、以前は湖岸で普通にみられたヨシ帯はわずかに西岸や大橋川などでみられる程度に減少している。近年、宍道湖では環境悪化が懸念されているが、国土交通省は宍道湖の環境改善を目的とした湖岸再自然化事業の一環として、「自然再生湖岸」の造成を行っている。自然再生湖岸とは、コンクリート垂直護岸等を改修して緩傾斜の砂地に戻し、さらにその水際の部分にヨシを植えたもので、一応外見はヨシ帯に似たものになっている。しかし、“自然”を再生すると（すなわちヨシ帯を再生すると）、その魚類群集の構造は、自然のヨシ帯におけるそれと同様になるのか、あるいは、現在は異なっていたとしても、時間の経過とともに自然のヨシ帯における群集構造に近づいていくのか、まだよくわかっていない。そこで、演者らは、宍道湖西岸において2003年よりモニタリング調査を開始し、自然のヨシ帯と自然再生湖岸などに生息する魚類群集の構造を調べ、それらがどのように違うのか、また、時間の経過とともにどのように変遷していくのか、追跡している。今までのところ、自然のヨシ帯に生息する魚類群集のほうが自然再生湖岸のそれよりも種数・個体数とも多く（図1）、群集構造が大きく異なること（図2）などが明らかになっている。今

回の発表では、2003年夏季から2004年夏季の調査で得られた結果について紹介し、何故このような違いが生じるのか、考察を加えることにする。

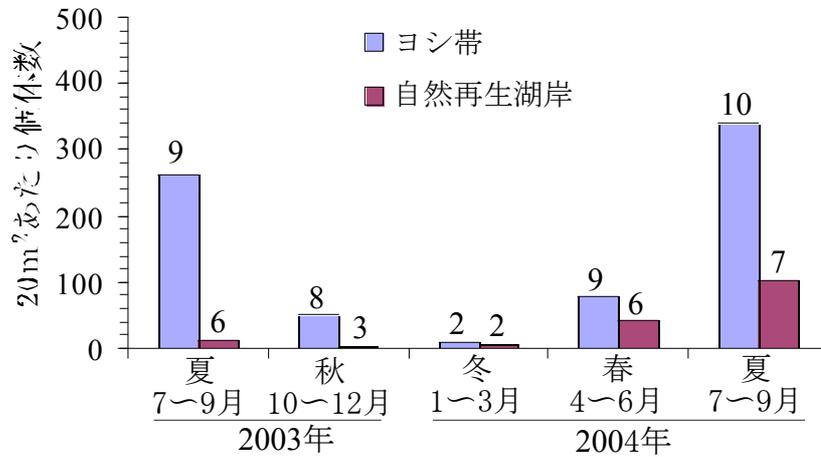


図1. 各季節において、ヨシ帯および自然再生湖岸に出現した魚類の総個体数。縦棒の上の数字は、各季節に出現した総種数。

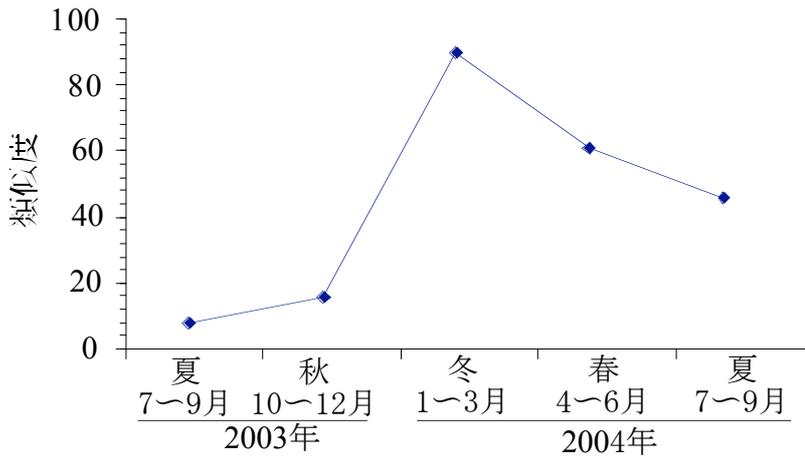


図2. 各季節におけるヨシ帯魚類群集と自然再生湖岸魚類群集間の類似度指数の値 (Bray-Curtis Similarity Index)。

安定同位体比を利用した底生動物のモニタリング

島根大学 汽水域研究センター
倉田 健悟

宍道湖と中海の沿岸では、宍道湖側から中海側への主に塩分などの水質の違いと、小規模の流入河川からの距離や湖岸の状況（護岸や植生等）の局所的条件による違いの両方が、底生動物の生息場所に影響する重要な環境要因である。また、地形的条件による風向、水の流れや波などの物理要因によって、沿岸の底質はおおよそ決まり、底質は底生動物の生息を左右する。湖岸の改変は、直接的かつ間接的に、沿岸に生息する底生動物に影響を与えると考えられるので、その評価と予測のための手法が必要である。

汽水湖の生態系において、底生動物の栄養源となりうるものは大きく2つに分けられる。河川の上流や湖岸の植生などから入ってくる陸上植物の有機物と、湖で生産された大型海藻や植物プランクトンに由来する有機物は、それぞれ底生動物の主要な栄養源であると考えられる。外部生産と内部生産を代表しているこれらの有機物に、底生動物がどのくらい依存しているかを調べることは、単に底生動物の餌利用という視点でだけでなく、湖全体の生態系の食物網構造と有機物収支を考える上で、有用な情報となる。

底生動物の餌利用の場所による違いを明らかにし、継続的な調査による時間変化のデータを集積すれば、湖岸の改変などの人為的影響が汽水域の沿岸の生態系に及ぼす変化を予測するのに役立つであろう。

近年、安定同位体比の値を利用して、食物網における餌の起源と栄養段階を推定する解析が生態学で広く行われるようになってきた。生態系を構成する餌の有機物から高次の消費者までの試料について安定同位体比を測定すると、炭素安定同位体比 ($\delta^{13}\text{C}$) は餌の起源を反映し、窒素安定同位体比 ($\delta^{15}\text{N}$) は栄養段階の推定に使われる。汽水域では、河川と海の間にあることから、安定同位体比の挙動は複雑さを増すと予想されるものの、データの集積により手法の有効性を確認できると考えられる。

また、底生動物の食性の中で広く見られる、ろ過食性、堆積物食性は、実際に餌の何を栄養として同化しているかまでを表す言葉ではないので、汽水湖の底生動物が利用している有機物について食性の分類に頼るだけでは、解析できないことが多い。これらのことから、安定同位体比を使った底生動物の栄養源の推定は、従来の底生動物の食性による群集の捉え方や食物連鎖の解析に新しい情報を与え、違った側面からの議論を可能としている。

このような背景から、本研究は、底生動物の安定同位体比を指標としたモニタリングによって、底生動物の利用している餌の推定を行った。河川の上流や湖岸の植生などから入ってくる陸上植物の有機物と、湖で生産された大型海藻や植物

プランクトンに由来する有機物は、汽水域沿岸に生息する底生動物にどの程度貢献しているのか、斐伊川水系の地点による差異を調べた。

2004年6月～7月に宍道湖から10地点、本庄水域を含む中海から12地点および境水道の1地点でサンプリングを行った。砂泥質の底質の場合、浅い場所ではアクリルコア、深い場所では船上からエクマンバージ採泥器を用いて底質ごと採取し、1mm目合いのふるいで底生動物を採集した。転石帯やコンクリート構造物などの基質の場合は、スクレイパーで剥ぎ取るかピンセットもしくは手で表在性の無脊椎動物を採集した。また、ウミトラノオ *Sargassum thunbergii* などの海藻ごと取り上げて1mm目合いのふるいを用いて無脊椎動物を採集した。

実験室にサンプルを持ち帰った後、丁寧に洗浄と選別を行ってガラス管ビンに種類ごとに入れた。殻付きの軟体動物については殻を外してメスを用いて軟体部のみを注意深くガラス管ビンに入れた。ヤマトシジミ *Corbicula japonica* とイシマキガイ *Clithon retrapictus* については中腸腺とそれ以外の軟体部に切り離して別々のガラス管ビンに入れた。軟体動物と環形動物はクロロホルム・メタノール混合溶液で脱脂処理をした。凍結乾燥機で一昼夜凍結乾燥させた後、ミクロスパーテルを使ってガラス管ビンの中の試料を細かく砕いて適量を安定同位体比測定用のスズ容器に入れた。アリゾナ大学の質量分析器によって炭素および窒素安定同位体比を測定した。

本発表では測定を終えた軟体動物について安定同位体比の解析結果を紹介する。

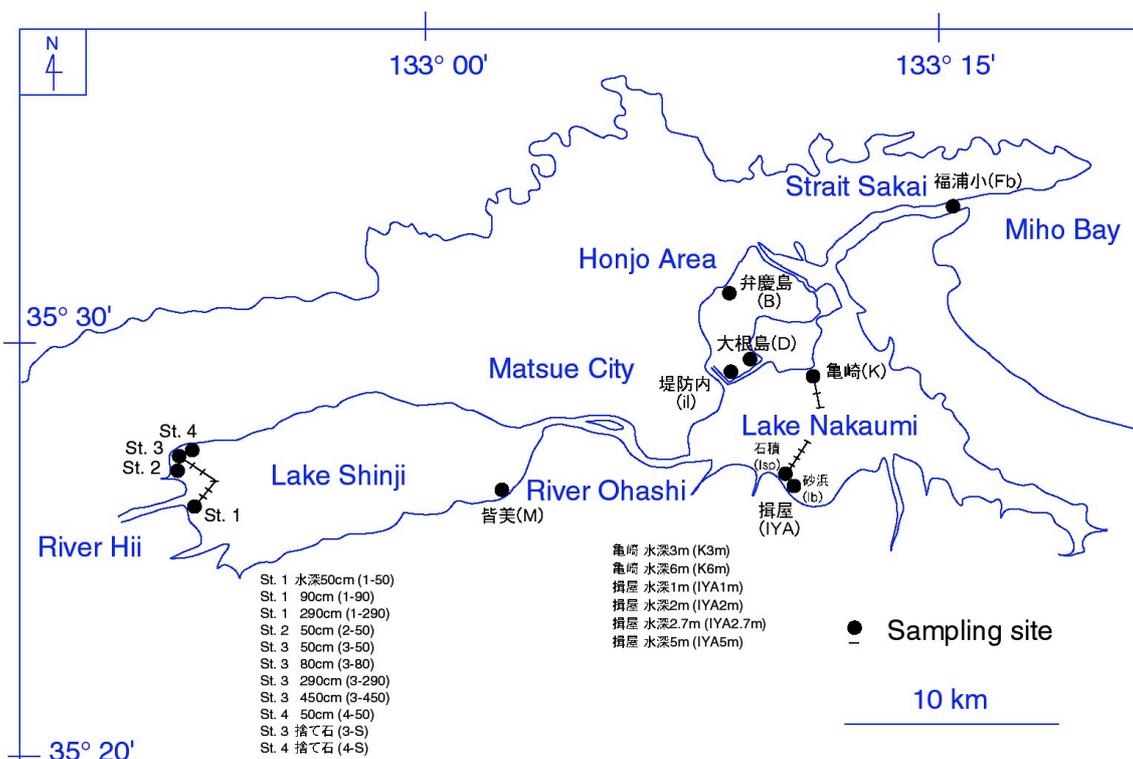


図1 サンプリングを行った地点

二枚貝から読みとる汽水域の環境

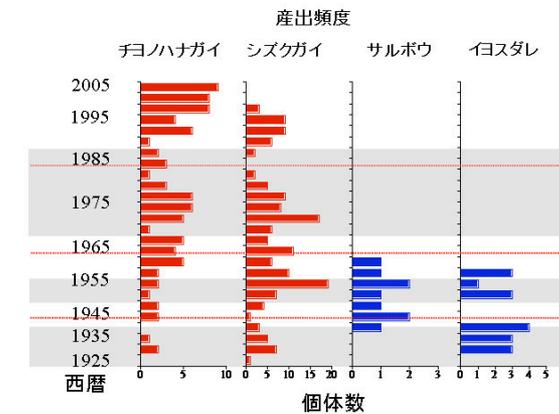
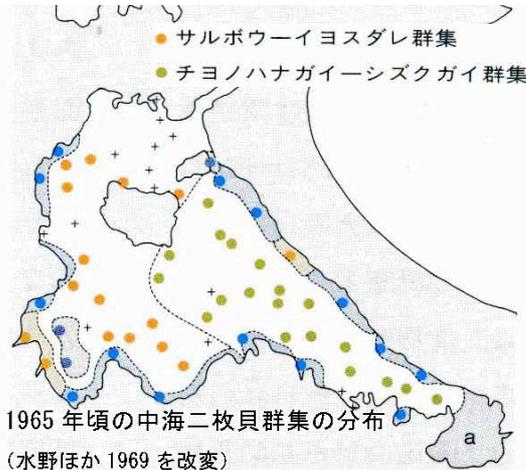
島根大学 生物資源科学部
山口啓子

1. はじめに ～環境モニタリングにおける二枚貝の有効性～

二枚貝は、他の底生動物と同様に、水域に定住する生物であり、環境を反映する生物としてモニタリングの利用が大いに期待される。二枚貝はその底生生物の中でも、特にモニタリングに有効である。それは、①堆積物の中で長期的に残りやすく、過去の情報を得ることができると、②貝殻そのものの中に成長と環境情報を記録しており、一日～数年の記録を連続して取り出すことができる、③食用にもなる身近な生物であるため、漁業や行政・市民活動との連携によって調査が行える、といった特徴による。本講演では、①②の特徴について具体例を示しながら紹介し、これからの展望について述べたい。

2. 貝類群集と環境コア

貝類群集は、ある環境に特有な貝類や特に優占する貝類の組み合わせであるが、沿岸域や内湾において環境を反映して変化するため、研究がよく行われている。汽水域においても、環境変化を反映して生物相が変化する。その変化は、平面的な分布と時間変化の両方で現れる。図1には、中海における二枚貝群集の変化の事例を示した。中海は過去数十年で環境が大きく変化した。かつて、中海の広範囲に生息したサルボウガイとイヨスダレガイが、徐々にその生息域を縮小し、その反面、チヨノハナガイとシズクガイの群集が広がっていくようすを追跡することが出来る。チヨノハナガイ・シズクガイ群集は夏季に貧酸素になるような閉鎖性水域に特徴的な群集であり、汚染指標種でもある。



コア分析から見た中海湖心における二枚貝の変化
(Data: 汽水域研究センター Coops Multiproxy reconstruction Project)

図1 中海における二枚貝群集の変化

(左) 1960年代の水平分布,

(右) 湖心における時間変化

水域の富栄養化が1960年頃にはすでに進行し、地中海の貧酸素化が進んだことがわかる。このように、二枚貝は過去の環境変化を時間・空間的に再現してくれる。深いコアを取れば、数千年・数万年間の環境情報も得ることが出来る。

3. 二枚貝の殻成長と環境

二枚貝の殻の断面を切ると、図2 A Bのようになる。二枚貝の殻は、内側から外側へ向かって（写真では左から右の方へ）、新しい殻を付け加えて、大きくなっていく。そのため、殻の中には、殻を作ったときの環境や成長、二枚貝の生態が時間変化とともに記録されている。干潟に棲む二枚貝では、潮の干満が微細成長縞として記録されていることは有名である。一方、汽水域、とくに潮汐の影響の少ない穴道湖のような汽水湖では、成長縞の解読は困難である。しかし、図2で示すように、様々な情報が記録されている。たとえば、色の濃い部分（透明層）は二枚貝に大きな長期的ストレスが加わったとき（産卵期や冬期）に形成されていることが、実験によってわかってきた。



図2 ヤマトシジミの貝殻断面 A. 穴道湖産 B. 中海産

また、図2のA穴道湖産とB中海産のヤマトシジミを比較すると、様々な点で断面の様子が異なることがわかる。これは、成長の速度や、産卵へのエネルギー投資の程度を反映していると考えられる。このように、水域の環境が生理に及ぼす影響が、貝殻内部に情報として保存されていることがわかる。どのような環境条件がどのように貝殻に記録されるのかを、現在、種々の実験によって明らかにしようとしている。

4. 二枚貝を用いた環境モニタリングへの応用（今後の展開）

上に述べたように、二枚貝を使うと、数千年から一日の単位まで記録をたどることが可能である。近年では、環境や生態系を調べる方法として、安定同位体比（炭素・窒素・酸素）を測定する方法が導入されてきた。また、ストレスによる生理変化が有機酸やアミノ酸組成に変化をもたらすことも知られるようになってきている。そのような分析手法も取り入れて、貝殻に記録された情報から、汽水域の変動をより詳細に読みとるための手法を開発したい。

汽水生底生有孔虫による環境モニタリングの最近の研究例

島根大学 汽水域研究センター
高田裕行

底生有孔虫は汽水～深海域に生息する原生生物の一種である。その外骨格である殻は化石として堆積物中に保存されることから、堆積物を用いた古環境復元に古くから用いられてきた。この底生有孔虫化石の群集組成を用いたアプローチは、中海や宍道湖などの沿岸潟湖における近過去（数 10～100 年スケール）の古環境復元にも、成果を上げてきた（たとえば、Nomura, 2003）。一方で、底生有孔虫化石にもとづいて古環境復元を行うためには、底生有孔虫の生態をよりよく理解することが欠かせない。演者らは、この一環として日本各地の沿岸湖沼で、現生種の生態を検討している。本発表では、北海道東部のサロマ湖において、底生有孔虫の産状と海草由来の有機物との関係を検討中の結果について紹介する。

サロマ湖は北海道東部に位置する沿岸潟湖である。湖水の塩分はほぼ海水と同様であり、また冬季に湖表層は結水する。湖内全域の 56 地点で底生有孔虫の分布を検討した結果（図 1）、3 つの群集が識別された。このうち *Elphidium excavatum* の多産で特徴づけられる（地点）群集（クラスター C）が、湖内の主要河川河口沖において認められた（図 2）。本種は開放的な沿岸海域に普遍的な種であるが、サロマ湖では海側よりも陸側で多産するという特異な産出傾向を示す（図 1）。同一堆積物試料で有機物について分析した三瓶ほか（1997）との比較検討から、本種の河口域での多産は、高い生物生産による有機物の集積に関連したものと解釈される。

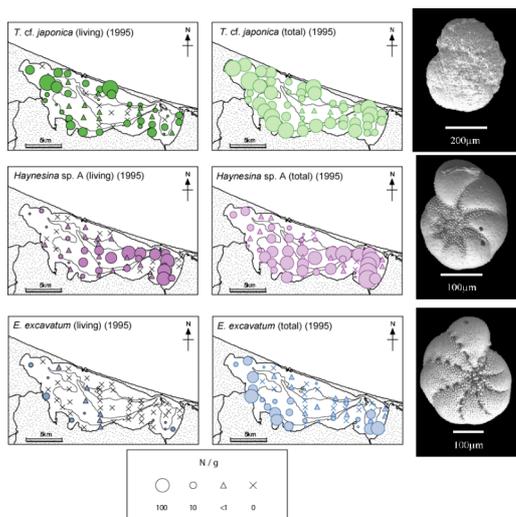


図 1 サロマ湖における底生有孔虫の主要 3 種 (*Trochammina cf. japonica*, *Haynesina sp.A*, *Elphidium excavatum*) の分布

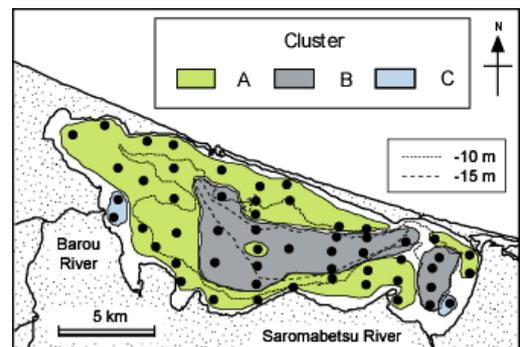


図 2 サロマ湖における底生有孔虫群集の分布

次の段階として、本種の多産にどのような有機物が関与しているかに着目した。そこで、サロマ湖西部の芭露川河口域で、底生有孔虫、表層堆積物中の有機物の有機炭素量/全窒素量の比 (C/N 比)・炭素安定同位体比 ($\delta^{13}\text{C}$) について検討した。C/N 比と $\delta^{13}\text{C}$ は、有機物の起源を推定するのに有用な指標とされている (例えば, Kuramoto and Minagawa, 2001)。以上にもとづき、表層堆積物に含まれる有機物について、藻類・陸上高等植物・海草起源有機物の寄与を推定し、底生有孔虫との関係を考察した。

E. excavatum は、芭露川河口域の有機物に富む底質で多産が改めて認められ、とくにアマモ場に隣接した地点で多産することが明らかになった (図 3)。C/N 比は陸側へわずかながらも高くなることから、陸側の地点で陸上高等植物あるいは海草由来の有機物の寄与が相対的に高いことが示唆される。 $\delta^{13}\text{C}$ は、河川が陸上高等植物由来の有機物を供給することにより、陸側に向かって軽い値を取ると考えられるが、逆に陸側へ重くなる傾向を示す。このことは、植物プランクトンもしくは海草由来の有機物の寄与が、陸側の地点で高いことを示唆する。これらの結果は、*E. excavatum* が多産する陸側の地点において海草起源有機物の寄与が高いことを、暗示する。現在、昨年 9 月に採取した追加試料にもとづいて、さらなる考察を行っている。

近年、底生有孔虫の住み分けと餌としての有機物の性質 (種類, 新鮮さなど) との関係が着目されている。しかし、それらは外洋域における植物プランクトン由来の有機物に着目したものが多く、海草起源の有機物については、沿岸生態系に占める寄与の大きさにも関わらず、底生有孔虫の生態との関連はほとんど検討されていない。底生有孔虫の産状と有機物の由来との関係を明らかにできれば、底生有孔虫から海草起源有機物の分布状況を、推定することも可能と考えられる。また、それを通して海草藻場の生育状態に関しても、間接的ながら情報を得られるかもしれない。

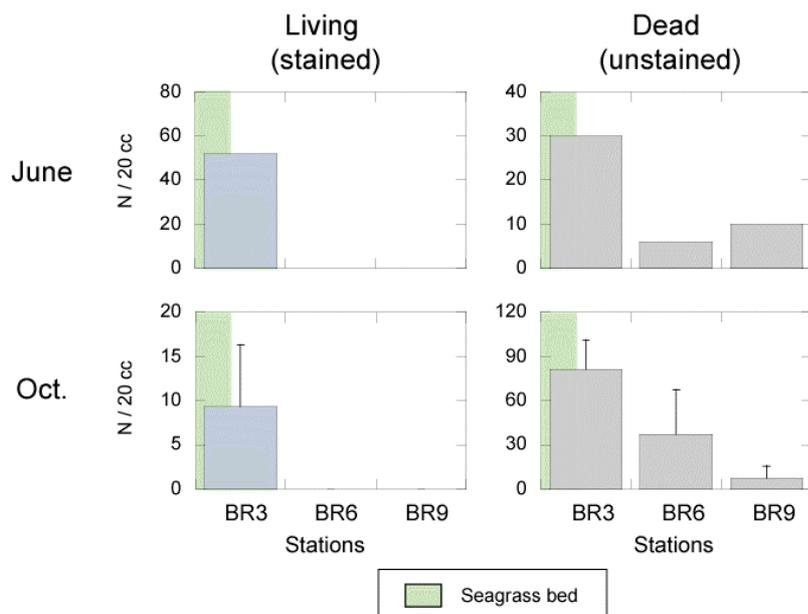


図 3 芭露川河口沖での底生有孔虫 *Elphidium excavatum* の産出状況

植物プランクトンが語る最近の環境変化

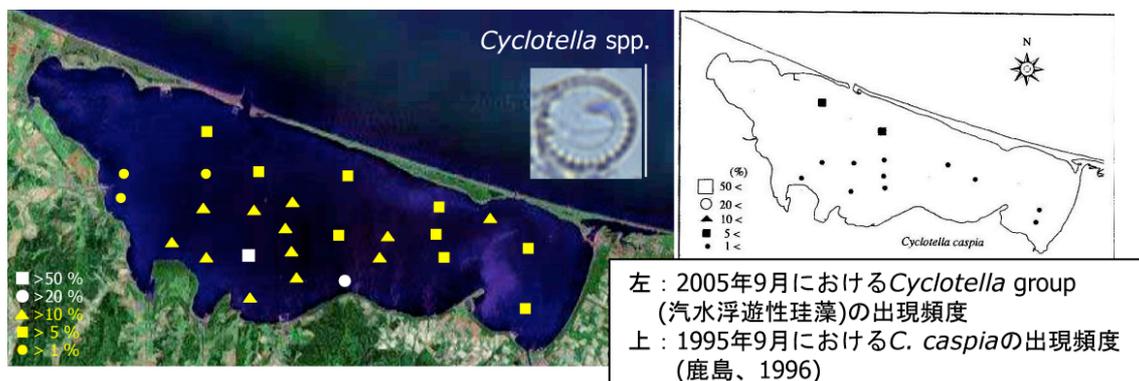
ーサロマ湖における珪藻の場合

島根大学 汽水域研究センター
香月 興太

湖の水を顕微鏡で覗いてみると、様々な生き物を観察することが出来る。これらの多くは、植物プランクトンと呼ばれる微細な藻類である。水中における基礎生産者である植物プランクトンは環境適応性が高く、湖の環境変化に応じてその構成や量を変化させる為、植物プランクトンを調べることにより湖の環境を知ることが出来る。植物プランクトンの観察から環境を知る方法として、水中の植物プランクトンを直接観察する方法の他に、湖底の堆積物中の遺骸を観察する方法が存在する。水中の植物プランクトンを直接観察すると湖の状態はよく分かりすが、観察した時の環境しか分からない。その一方、湖底の表層堆積物を観察すると、およそ一年間の平均的な植物プランクトンの分布を知ることができ、季節的な変化の激しい場所の環境を知る上で非常に有用である。しかし、多くの植物プランクトンは死後溶解し、堆積物中まで保存されない。そこで、珪酸質の丈夫な殻を持ち、殻の模様のみから種の判別が可能である珪藻と呼ばれる植物プランクトンの1グループを用いて、環境変化の考察を行なうことにした。

今回の発表では、日本最大の汽水湖であるサロマ湖の湖底表層堆積物中に含まれる珪藻遺骸群集を観察し、サロマ湖の最近の環境動態について報告を行う。日本最大の汽水湖であるサロマ湖は、昭和初期まで季節的にしか外海（オホーツク海）と水塊の交流がない湖であったが、1929年に現在の第一湖口にあたる場所を人工的に開削した為、外海水との交流が良くなりオホーツク海とほぼ同等の塩分濃度(32~33%)の湖水となった。その後東部水域の海水交流を良くする為、1978年に第二湖口を開削し現在とほぼ同じ地形となっている。

今回(2005年9-10月)観察を行なった試料は、10年前(1995年9月)の環境と



現在の環境の直接対比を行うため、1995年と同地点で採取を行った。その結果、現在サロマ湖の表層堆積物中で優占する珪藻群集は海洋性である *Thalassiosira* 属や汽水性の *Cyclotella* 属といった種であり、10年前と同じ種であることが分かった。しかしその優先順位には大きな変化があり、10年前に湖心で過半数を占めていた *Thalassiosira* 属が現在10%程度に限られている一方で、10年前は湖全域で数%に過ぎなかった *Cyclotella* 属が現在は殆どの箇所で10%を越える出現頻度を示していた。この10年間に大きな地形の変化はなく、オホーツク海との海水交換が滞りなく行なわれていたことを考慮に入れると、この珪藻群集の入れ替わりの原因は塩分濃度以外にあると考えられる。*Thalassiosira* 属以外に出現頻度を下げている種として、河口域や湖岸域で優占している *Cocconeis scutellum* が挙げられる。この珪藻は海藻付着性であり、この珪藻の減少は、サロマ湖における藻場の衰退が原因であると考えられる。藻場は窒素を固定し湖を貧栄養状態に押さえることが出来ることが報告されている。従ってサロマ湖における珪藻群集の入れ替わりの原因として、藻場の減衰により、湖全体が富栄養化していることが挙げられる。今後、サロマ湖の環境保全を考える上で湖の藻場の保護を考えていく必要があると思われる。

