

公開シンポジウム I

要　旨

9月27日（日曜日）午前

北海道大学函館キャンパス大講義室

日本陸水学会企画委員会主催

公開シンポジウム

「技術革新がもたらす

陸水・沿岸環境学の新展開」

コンビーナー：

北澤大輔・山室真澄（東京大）

1S11～1S15

* Warwick Vincent

Center for Northern Studies, Laval University, Quebec City, Canada

From the earliest studies in limnology and oceanography onwards, the advent of new technologies has allowed old questions to be addressed in new ways, and has opened up new questions that were previously inconceivable.

For example, the Swiss naturalist Francois Forel, who established limnology as a new discipline and defined it as ‘the oceanography of lakes’, developed a continuous recorder of lake levels at the millimeter scale, and the resultant data allowed him to formulate a quantitative theory to explain and predict the surface seiches that had long puzzled lake residents and scientists. His application of the reversing thermometer, newly developed for oceanographic studies, gave rise to the first observations of internal waves that he found difficult to explain, and his conception of a moored system with photographic plates showed that photochemically active radiation penetrated the water column and declined exponentially with depth.

Today there is intense interest in the development of new observation systems for lakes, rivers and oceans, driven by the urgent need to achieve four interrelated objectives for the proper management of aquatic resources: 1) spatial observation, including identification of pollution zones or critical habitats for marine and freshwater biota; 2) temporal monitoring, including the early detection of extreme events such as toxic blooms; 3) prediction, via statistical or numerical models; and 4) improved understanding, to produce and refine the conceptual models that underpin prediction.

There are rapid advances in spatial observation technologies, including: fleets of remote sensing satellites with high spatial resolution (see the Landsat-5 image above of a toxic *Microcystis* bloom on Lake Erie; <http://earthobservatory.nasa.gov>), autonomous underwater vehicles (AUVs including gliders), and unmanned aerial vehicles (UAVs or

drones), including their deployment to take water samples. Observation methods include synthetic aperture radar (SAR), hyperspectral optical sensors, acoustics (sonar instruments), and imaging systems, including low cost video cameras.



Temporal monitoring in the future will continue to rely on moored instruments as well as ship-based

profiling systems that provide detailed observations throughout the water column, and innovative sensors that are generating new insights into biogeochemical gas fluxes, biological production and species changes. Lower cost flow cytometry and cell sorting instruments are changing the nature of monitoring programs and are stimulating new laboratory-based experiments and analysis.

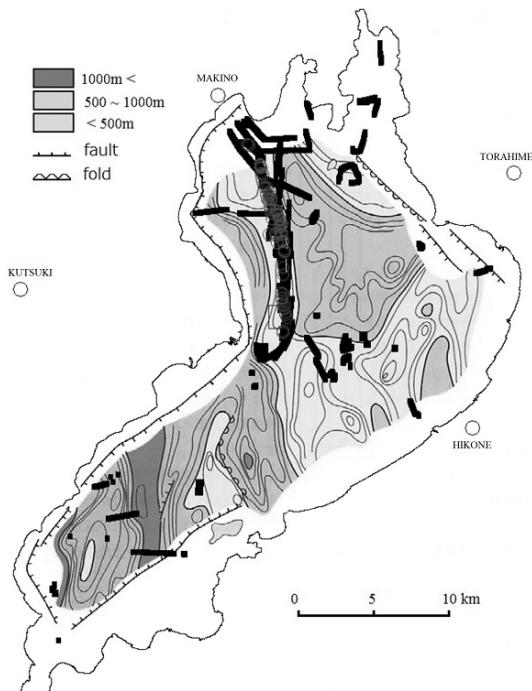
There is a huge effort internationally to develop and apply molecular methods based on nucleic acid and protein sequencing, and the results are revolutionizing our view of biodiversity, food web structure and plankton processes in lakes and oceans. The trend towards application of these approaches to monitoring includes the ‘Environmental Sample Processor’ developed by the Monterey Bay Aquarium Research Institute (MBARI), which allows in situ DNA analysis and quantification of plankton components.

Finally, it should be noted that a major challenge for all of these approaches is the integration, analysis and interpretation of large data sets that are spatially and temporally distributed. Powerful new approaches are emerging to deal with ‘Big Data’ at scales ranging from genomes to biomes.

*熊谷道夫（立命館大）

1. 湖底ベントはどこに？

2009年から2012年の間にかけてAUV（自律型水中ロボット）潜航で撮影された琵琶湖における湖底ベントの位置を図示する。



驚くことに、これらの湖底ベントは、琵琶湖の基盤を示す地形図（植村・太井子 1990）の湖底山嶺上に並んでいることがわかった。この地形図は、エアガンなどを使って測定した湖底堆積物の厚さ分を除去した後に明らかとなった琵琶湖の基盤部分を表している。

地学的考察によると、古琵琶湖が形成された当時（およそ400万年前）には、現在の琵琶湖がある場所は高い山であり、火成岩（湖東流紋岩など）によって形成されていた。その後、地殻活動によって沈降を続け、現在の琵琶湖が形成されたと言われている。

2. 湖底ベントは増えている

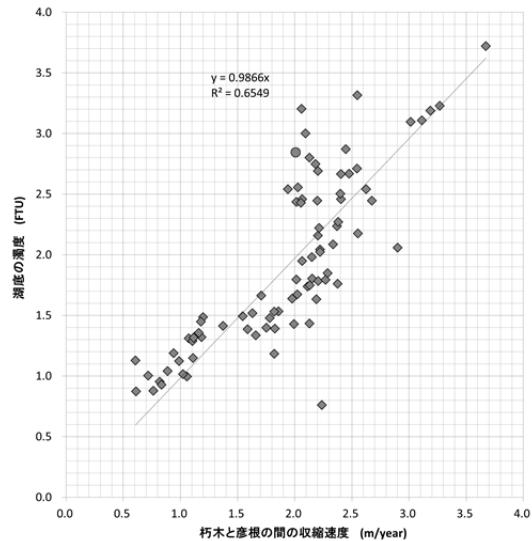
過去の画像から検出された湖底ベントの数の経年変化を示す（表）。2009年頃から急激に増えている

ことがわかる。いったい何故、湖底ベントは増えているのだろうか。このことを明らかにするために、過去10年間の地殻変化を調べてみた。するとおもしろいことがわかった。

Date	Number of Vents (N)	Distance (km)	Density ($N \text{ km}^{-1}$)
Dec 17 - 21 2008	18	11.72	1.43
Nov 8 - 11 2009	17	11.83	1.46
Dec 25 - 27 2009	13	5.43	2.55
Apr 26 - 28 2010	21	7.65	2.71
Dec 16 - 18 2010	124	10.84	12.09
Jan 5 - 8 2012	402	12.64	31.80

3. 琵琶湖が縮むと湖底ベントが増える？

今、琵琶湖はゆっくりと縮んでいる。湖底の濁度（濁り）が、琵琶湖の縮むスピードと関連がありそうだということがわかつってきた。朽木と彦根の間の距離が縮むと、湖底の濁りが上昇するらしい。国土地理院が測定しているGPSデータを用いて距離を算出した。濁度は、実験調査船「はっけん号」で測定したものである。まったく異なった機関が測定したデータの間にこのような有意な関係が見つかるのは稀有なことである。



4. 考察

琵琶湖のように深い構造湖は、プレートなどの地殻活動と大きな関係があるので、AUVを活用した調査が有効である。ただ、このような湖沼は僻地にある場合が多いので、搬入や投入・回収が簡便なシステムの開発が望まれる。

小池勲夫 (JST/CREST 海洋生物多様性領域)

1. 領域の狙い

JST/CREST の「海洋生物多様性および生態系の保全・再生に資する基盤技術の創出」領域は海洋の生物多様性および生態系の研究で現在ボトルネックと考えられる 2 つの基盤技術を創出することを目的として平成 23 年度にスタートした。その基盤技術の 1 つは海洋生物やその周辺環境の広域・連続的なセンシング・モニタリング技術、生物種の定量把握や同定の効率化等により生物・環境データの集積に資する先進的な技術等の開発であり、もう 1 つは生態系や生物多様性の変動を把握し、生態系の将来予測に貢献する新規モデルの開発である。また、この研究領域ではこれまでの海洋科学の進展が、他分野での新規技術や手法の開発によって大きく支えられてきたことから、工学やライフサイエンス等を中心とする幅広い分野の研究者と海洋生物・生態研究者との共同研究を重視することを公募に記している。さらに CREST は重要施策への科学技術による貢献という観点から社会への成果還元が重視されている研究であり、本領域では保全を考慮した海洋資源の持続的な利用などの海洋環境保全策への貢献が出口である。なお、本領域は海洋現場での生物群集をターゲットにした初めての CREST である。

2. 現在までの研究の進捗状況

平成 23 年から 3 カ年にわたり公募を実施し、約 100 件余りの応募の中から 16 課題が採択された。本領域では課題の採択や中間評価にあたっては、11 名の工学を含む関連分野の専門家をアドバイザーとして依頼して行っている。採択された課題は計測機器、観測システム、AUV などのプラットフォームの開発やメタゲノムなどの分析手法の開発などが 12 課題であり、一方、モデル開発を中心としたものが 4 課題であった。研究対象で見ると、生物群としては微生物、プランクトンから魚類までが含まれ、また海域では浅海のサンゴ礁や藻場から深海での熱水域海

底まで幅広い。現在、全体計画のほぼ半分を過ぎた所であり、2 年次に開始された 6 課題の中間評価が本年度行われることになっている。各課題に対して開発した測器や手法、モデルの有用性を実海域で確認する所までを 5 カ年で要求しているので、多くの課題では、測器等の開発とそのフィールドでの実証テストを同時進行で進めている。この CREST で取り上げられた現場の海洋生物群集に関する新規技術としては、海洋微生物やサンゴ群落などのメタゲノム解析、魚類群集などの環境ゲノムによる解析など、近年著しい技術開発があるゲノム解析技術の海洋への応用、衛星や航空機による可視部スペクトルデータによる生物群集の識別と定量法の開発、水中ではアクティブ・パッシブ音響での魚群の広域マッピング、AUV 搭載の高感度 3 次元カメラによる海底生物群集のマッピングあるいは耳石中の¹⁴C や重金属元素同位体比を用いた魚類の行動履歴の把握など多様な技術開発が取り組まれている。これらの中では、既に論文として公表されたものもあり、研究がより進展することで論文発表が増えることが期待される。

3. 将来の展望

地球温暖化や海洋酸性化による全球海洋への影響や、沿岸域の人間活動による富栄養化、貧酸素化など海洋生態系・生物多様性に深刻な影響を与える大きな環境変動が進行している。これらの理解には生物群集が海洋現場でどのようにこれらの変動に応答しているかを知ることが極めて大切であり、その現在における大きなボトルネックが海洋現場での 4 次元における生物群集の把握であり、また、全体像把握と将来予測を行うためのモデリングであると考えている。本領域で開発される様々な新規技術がこれらの解析のために広く使われるよう、成果の応用や普及に関してもさらに努力して行きたいと考えている。

*山崎秀勝・長井健容・近藤逸人（東京海洋大）・Herminio Folo (JFE アドバンテック)・
増永英治（東京海洋大）Hua Li (JFE アドバンテック), Derek Bogucki (Texas A&M 大)

1. はじめに

海洋乱流の計測技術は 1950 年代に Stewart を中心とするカナダのチームにより Kolmogorov -5/3 則を検証することに端を発し、その後 Scripps Institution of Oceanography で Ph.D. を所得した Osborn が University of British Columbia に移籍し shear probe を開発することで目覚ましい発展をとげた。しかしながら、90 年代までこの技術の伝承は北米の限られた研究組織により支えられてきた。2000 年代以降、JFE アドバンテック（旧アレック電子）や Rockland Scientific により Microstructure profiler の市販化が試みられて市場の開拓がすすみ Microstructure profiler のユーザーが増加し、海洋の乱流研究コミュニティーが拡大している。いまでも乱流は shear probe により計測されているがさまざまなプラットフォームに搭載され、さまざまな物理環境下で観測が行われている。また、shear probe を用いない間接的な観測方法も開発され沿岸域での混合状態を詳細に調べることができるようになった。さらに、近年、光を利用した乱流の計測方法も開発され実用化が試みられている。

2. プラットフォーム

70 年代から 80 年代にかけては自由落下方式の microstructure profiler が主流であった。自由落下方式であるのでなんらかの方法で回収しなければならない。Osborn が初めて shear probe を搭載した *Pumpkin* は drop-off weight を落として海面に浮上する方式であったが回収に時間がかかることや連続して計測することが難しいため、現在は TurboMAP や MVP のように回収用のケーブルをつけたまま運用されることが主流である。しかし、この方法ではケーブル長に限界があるため深海の計測には向いていない。そこで Drop-off weight を用いるか、投棄式のプロファイラーが開発されつつある。

80 年代後半から水平式プロファイラーの開発が盛んとなってきた。主に曳航式のプロファイラーが主流であった。shear probe はその機能上の問題点として振動に対して極めて敏感である。曳航式のプロフ

アイラーは振動の発生をどのように軽減するかが技術的なチャレンジである。この振動の問題は潜水艦、潜水艇や AUV に搭載した場合も同様である。そこで推進装置を必要としないグライダー方式のプロファイラー(TurboMAP-Glider)が開発された。また、推進方法として水流ジェットを応用した AUV も開発されつつある。

近年、ARGO フロートに代表されるような自立型のプロファイラーが世界中の海で観測を展開し大量のデータが取得することができるようになった。Navis-float も同様なプロファイラーであるが Microrider を搭載し乱流を計測することが可能になった。

3. Young Ocean Data Aquisition Profiler (YODA Profiler)

沿岸域における海洋構造を詳細に調査するために Masunaga and Yamazaki (2014) は Rinko-profiler に microstructure profiler の技術を応用して曳航式海洋構造観測装置(YODA Profiler)を開発した。さらに電気伝導度のデータを基に乱流の間接的な計測方法を開発した。

4. Optical Turbulence Sensor

乱流は水温の微細な分布に影響を与え Batchelor spectrum に代表されるような Universal な水温のスペクトルが存在することが知られている。水温は密度と密接な関係をもち、水温の微細な分布状態は密度の微細な分布を意味している。このため、光が透過する場合、この密度の微細な分布状態は影響を与える。この特性を利用して Bogucki et al. (2015) は Optical Turbulence Sensor (OTS)を開発した。

講演では、はじめに乱流計測の歴史に振り返り、次に、近年開発された乱流計測技術を中心に紹介する。

*浦 環（九州工大）

1. はじめに

地球上最後のフロンティアと言われる海には、多くの資源があります。古くから私たちは水産資源を利用してきましたが、それが一例で、「豊かな海」という耳に優しい言葉がよく使われています。豊かさをどう守っていき、どう育てていくかは、私たちの重要な課題です。最近になって、熱水鉱床やコバルトリッチクラスト、さらにはレアアース泥などの鉱物資源が脚光を浴びています。五十年前には、その存在すら知られていませんでした。また、太平洋側にも日本海側にも陸の直ぐ近くに大量のメタンハイドレートが存在し、将来のエネルギー源として期待されています。しかし、陸上と違って、歩いて調査にいくことのできない海中、それも 1000m を越えるような海底では、調査は行き届いていません。フロンティアと言われるゆえんです。

学者達は、調査船や潜水機を使ってフロンティアの未知を少しずつ明らかにしてきました。海底鉱物資源に関する知識を一举に深めようと、2014 年に日本政府は新しいプログラムを開始しました。

「戦略的イノベーション創造プログラム（SIP : Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program) [1]参照」の中の一つの課題「次世代海洋資源調査技術」通称「海のジパング計画[2]参照」です。

2. プログラムの成り立ち

SIP は、総合科学技術・イノベーション会議（内閣府）が独自に予算を持つ初めての試みです。SIP の英文名の最初にあるように、省庁横断型の大型プログラムです。5 年間を予定していて、10 の課題が挙がっています。課題はトップダウンで決められ、2013 年にそれぞれのプログラムディレクター（PD : Program Director）が公募されました。海のジパング計画は、東京大学名誉教授の浦辺徹郎氏で鉱物資源の専門家です。しかしながら、浦辺氏は、国際連合の下部機関である大陸棚限界委員会の委員をなさっている関係で、ニューヨークに滞在して

いる期間が長く、不在の間は、著者が PD 代理として、PD の活動を補佐しています。

海のジパング計画が対象とする資源は（括弧内はサイトの例）

- ①熱水鉱床（ごんどうサイト）
- ②コバルトリッチクラスト（拓洋第五海山）
- ③レアアース泥（南鳥島沖）

の 3 種類です（ここでは科学的な名称ではなく一般社会で使われる「通称」で記述します）。それぞれは成分も賦存状態も異なり、成因も当然異なるので、必要とされるプラットフォーム技術は共通のものもありますが、センシング技術などは異なります。なお、正式名称に「海洋資源」というたってはいるものの、鉱物資源のマンガン団塊とエネルギー資源のガスハイドレートが入っていないことに注目ください。

3. 研究開発の推進

海のジパング計画は、3 つの課題とその下にあるサブ課題に分かれています。

1) 海洋資源の成因に関する科学的研究

2) 海洋資源調査技術の開発

- ・海洋資源調査システム・運用手法の開発
- ・AUV の複数運用手法等の技術開発
- ・ROV による高効率海中システムの技術開発
- ・衛星を活用した高速通信技術の開発

3) 生態系の実態調査と長期監視技術の開発

- ・海洋生態系観測と変動予測手法の開発
- ・ケーブル式観測システムの開発

これらの研究開発は以下の国立研究開発法人

- ・海洋研究開発機構
- ・産業技術総合研究所
- ・海上技術安全研究所

- ・港湾空港技術研究所
- ・情報通信研究機構
- ・国立環境研究所

と民間企業、および 2015 年度に公募で採用された大学担当します。

文部科学省は、別途、2008 年より「海洋基盤ツール」というセンサ開発の大型プログラムを開始し、大学における研究開発の基盤を作っていました。コバルトリッチクラストの厚さを非接触で測る音響センサ開発、化学センサ開発、合成開口ソナー開発などが行われました。5 年の後にその成果の上に立って「海洋鉱物資源広域探査システム開発（通称「新基盤ツール拠点」^{3]}参照）」がスタートし、前プログラムで開発したセンサ技術の高度化と一般化を目指しています。新基盤ツール拠点と海のジパング計画は正式タイトルが似ていますが、内容は違います。前者はセンサ開発が中心であり、後者の 2) はこれらセンサを乗せたプラットフォーム技術が中心です。従って、両者は協力しあってプログラムを進めることができます。

4. 出口戦略

SIP は、文部科学省がサポートする各種学術研究プログラムとは違い、具体的な出口（Outcome）を求めていました。すなわち、海のジパング計画がどのようなイノベーションをもたらすのかを示し、そこに向かっての戦略を示さねばなりません。

海のジパング計画では、次の二つを大きな出口として設定しています。

- 1) 海洋資源調査産業の創出
- 2) グローバル・スタンダードの確立

1) では、民間企業等が商業ベースで海洋資源調査を実施することが可能となるよう、競争力のある調査技術（低コスト、高効率、迅速、安定）を開発し、

海洋資源調査産業を牽引する主体となる民間企業等を育成することを目指します。新たな調査技術・ノウハウを、探査サービス会社、探査機器製造会社、海洋エンジニアリング会社など、幅広く民間企業に移転し、海洋資源調査産業の活性化へと繋げます。2) では、他国より先行している調査技術及び環境影響評価手法を世界に先駆けて確立することにより、日本の調査技術及び環境影響評価手法を国際標準化することを目指します。

5. おわりに

「科学者達は、その専門分野に集中していて、全体を見ることが少ないように思える。そのような研究者社会で、このような大きな開発計画はうまくいくのか」とよく聞かれます。著者は答えます、「個々の学者はそうかもしれません。学者というものは好奇心を満足させるために研究しますのでいたしかたありません。海のジパング計画は、好奇心によるプログラムではなく、海底鉱物資源を開発するための調査技術を開発するという目標に向かって知識と知恵を結集するもので、海底の諸事象に対する参加者の心構えが違います。つまり専門分野を横断的にまとめ上げなければ達成できません」

注意しなければならないのは、海のジパング計画は、海底鉱物資源開発ではありません。資源開発の前段階にある調査技術なのです。本来は、調査と開発とが一体となってバランス良くおこなわれることが望されます。無駄な重複を避け、効果的な開発を進めるためには、両関係者の密接なコミュニケーションが必要です。そのような基礎の上で、海のジパング計画は成功するものと考えます。

参考資料

- 1] <https://www.jamstec.go.jp/sip/index.html>
- 2] <http://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/>
- 3] <http://unac.iis.u-tokyo.ac.jp/pdf/kaiyoshinpo.0717.pdf>

公開シンポジウム II

要　旨

9月27日（日曜日）午後

北海道大学函館キャンパス大講義室

日本陸水学会第80回大会

実行委員会主催

公開シンポジウム

「北海道渡島大沼の自然と歴史、

課題と将来展望」

コンビーナー：

田中邦明（北教大函館）・池田 誠（北海

道国交セ）・伴 修平（滋賀県大）・

今井一郎（北海道大）

1S21～1S25

*伴 修平 (滋賀県大)

1. はじめに

大沼湖沼群は、駒ヶ岳南山麓に位置し、大沼、小沼、蓴菜沼と2~3の小池沼より成る。これらは駒ヶ岳より噴出した泥流による河谷の堰き止めに地盤陥没が伴って生じたが、いまの形態になったのはおよそ500年前と考えられている。

これら3湖沼のうち大沼が最も大きく、蓴菜沼が最も小さい。大沼の標高は130m、最大水深は13.6m、平均水深は4.7m、湖面積は9.05km²、集水域面積は196.5km²である。

大沼に流入する主要河川は、宿野辺川、軍川、苅間川で、大沼と小沼はセバット（狭戸）と呼ばれる地峡部でつながっており、大沼の水はここを通って小沼に流入する。今日、小沼の水は湖南西端の取水口より排出され、発電と灌漑に利用される。

2. 水質

大沼の水質は、表層水の年平均でみると、全リンが0.022mg/L、全窒素が0.35mg/L、クロロフィルa量が8.2μg/L、CODが2.7mg/Lであり、これより中栄養湖に分類される。大沼と小沼では、年間を通して湖の長軸方向に沿って南西風と北東風が卓越する。これによって生じる吹送流は水深7m付近まで湖水を攪乱するため、これより浅い小沼では周年に渡って成層構造は発達せず、大沼でもそれ以浅のところでは頻繁に湖底堆積物の巻き上げが起こる。この吹送流による攪乱のため湖底堆積物の巻き上げが著しく、透明度は周年を通して1~3mしかない。しかし、1990年代後半以降は明らかに透明度の低下が認められ、一方、CODとTNそして植物プランクトン現存量は増加傾向にあるようだ。

3. 湖沼生態系

一般に、湖沼は水草の繁茂する沿岸帯とそれより沖の沖帯に分けられる。大沼以外の湖沼は5m以浅と浅く、湖面の大部分が水草の繁茂する沿岸帯である。1970年以前の調査報告では、大沼、小沼、蓴菜沼とともに4m以浅の沿岸帯には高密度で水草が繁茂しており、ヨシ、コウホネ、スイレンが密生して

いた。その沖側には浮葉植物のヒシやヒルムシロ、沈水植物のセキショウモ、センニンモ、イバラモが多くあった。しかし、最近の報告ではコウホネとヨシ以外の水草はほとんど見られない。

沖帯はプランクトンの世界だが、通常、大沼では4月に解氷した後、水温上昇に伴って植物プランクトンが増加し、これに続いて動物プランクトンが急激に増加する。このとき増えるのは、*Bosmina longirostris*、*Bosmina longispina*、*Eurytemora affinis*だが、5月に孵化するワカサギやウキゴリ稚仔に捕食されて6月中旬以降は急激に減少傾向を示す。ワカサギは成魚も動物プランクトン食なので、これらは秋まで増えることができないが、*E. affinis*は行動が変化することで夏に若干増加傾向を示す。本種は春の増加期には水柱に均等に分布している。しかし、6月中旬以降、日中は湖底付近に分布し、夜になると表層まで上昇して摂餌する日周鉛直移動を行うようになる。これによって、日中の魚類捕食から逃れることができるため、夏に再び増加することができるが、夜しか摂餌できないため春のように増加することはない。

ワカサギは大沼で最も重要な漁獲対象魚種であり、毎年5月に人工孵化放流が行われる。漁獲は9月下旬に解禁となり、湖が結氷するまで続けられる。漁獲量は26~28トンで安定しているが、漁獲尾数と魚体サイズは年によって異なり、漁獲尾数が多い年は小さい魚が捕れ、少ない年は大きな魚が捕れる。これは、春に増殖する動物プランクトン量に関係するようで、ワカサギの孵化直後に餌となる動物プランクトン量が多いと初期死亡が減少し、生き残りが増えるので夏以降の餌が少なくて魚体サイズが低下する。逆に孵化直後に餌が少ないと生き残りが減る分、餌が余るので魚体サイズが向上すると考えられる。

このように、ワカサギによるトップダウン効果が動物プランクトンの動態と行動の変化を促し、さらにはワカサギ自身の成長にフィードバックすることで、大沼沖帯のプランクトン群集構造と食物連鎖に影響を与えている。

*宮下洋平・今井一郎（北海道大）

1. はじめに

北海道七飯町にある大沼は 2012 年 7 月にラムサール条約湿地に登録され、水鳥等の生息する重要な湿地として、より一層自然環境の保全が重要視されるようになった。しかしながら、毎年夏季に有毒種 *Microcystis aeruginosa* はじめとする有害有毒藍藻類ブルームのアオコが発生している。アオコは、魚介類の斃死や湖水の悪臭、景観の悪化等を招き、早急な対策が必要となっている。また、有毒なアオコの発生頻度の増加に伴い、ヘラブナ等の有用生物の減少も懸念されている。

ここでは、大沼と周辺の自然環境の変遷、アオコ問題の現状、および対策と将来展望を述べたい。

2. 大沼での利用と水生植物の減少

大沼周辺は様々な土地利用がなされてきた。以前は稲作が主要産業であったが、1970 年代になると稲作農業は急激に衰退し、野菜、花卉生産および畜産業へと遷移した。また、観光業も発展し、船舶の航行の妨げになるとして草魚の稚魚が放流された。さらに 1980 年代には爆発的に繁茂した水生植物の大々的な刈り取りが実施された。特に小沼での水生植物の減少は顕著であり、小沼の大部分を覆っていたヒシは 1988 年頃完全に消滅した。このような湖沼の周辺環境や、湖沼自身の変化に起因する要因が近年のアオコ大量発生の一因となっている可能性がある。大沼のアオコ問題にはその周辺環境の変化が付随しており、抜本的解決は非常に難しいのが現状である。

3. 水生植物を利用したアオコ防除対策

七飯町は遊水池を苅間川流域に浄化池として造成し、ヨシを人工的に植栽し、浄化池に河川水を導水して栄養塩の吸収除去を試みた。その結果、流入する栄養塩の 40% 以上を吸収除去する事に成功した。近年、さらにヨシだけでなく浮葉植物ヒシの優れた栄養塩吸収能を利用した水質改善技術が注目されているが、人工的に植栽したヒシを活用した水質改善は未だ取り組まれていない。そこで新たな取り組みとして遊水池にヒシの種を 2 区画（高密度区

および低密度区）設けて播種して 5 月から 10 月までモニタリングを行い、ヒシを用いた水質の浄化改善の可能性を評価した。

調査期間中、ヒシの高密度帶と低密度帶の間で、pH や、DIN、PO₄·P および SiO₂·Si の各栄養塩の項目で濃度の差が確認された。さらに夏季にはヒシの表面からは、藍藻類を殺滅する殺藻細菌が 1 g あたり 100 万のオーダーの密度で検出された。

また、水中の植物プランクトンは付着性の羽状目珪藻類が実質的に占めていたが細胞数は少なく、最大総細胞数は 10 月の 83 cells mL⁻¹ であった。一方、ヒシ表面バイオフィルム中の微細藻類は、実質的に付着性珪藻類で占められており、最大細胞数 1.8 × 10⁶ cells g⁻¹ wet weight で湖水と比較してその密度は非常に高い値であった。

3. ヒシを用いた環境に優しいアオコ防除

ヒシに関するアレロパシー効果や光の遮蔽、栄養塩吸収能、そして今回の殺藻細菌等、アオコの抑制能があると考えられる。本研究は、ヒシ自身だけでなく、ヒシに付着するバイオフィルム由来の付着珪藻類や細菌も、栄養塩吸収能やアオコ防除能を有する事が新たに裏付けられた。以上から、ヒシの活用は環境に配慮された理想的なアオコの防除技法と考えることができる。

4. 里山・里湖構想

ヒシは、枯死の際に大量の栄養塩を湖水中に放出回帰されてしまう。かつて、ヒシの実は、ジュンサイと並び、大沼の名産品であった。栄養塩の流出のみられる枯死前にヒシを刈り取り、実について手を加える事で再び名産品として販売したり、葉や水中葉は有機肥料やバイオエタノール燃料として循環的に利用する総合的な湖沼の管理を通じた環境保全が重要である。海洋では現在、里山・里海といった人間の管理によって良好な状態を創出・維持するという概念が提案されており、大沼においては「里湖」という構想を今後の取り組むべき課題として提案したい。

*一瀬 諭（滋賀琵琶湖研究センター）

1. はじめに

琵琶湖南湖は、平均水深が4mと浅く、近年では沈水植物群落が拡大し、大量に繁茂した沈水植物が、船舶の航行を妨げたり、湖岸に打ち上げられ腐敗臭を放つなど環境問題となることが多い。

しかし、沈水植物は有機物の供給源であり、直接的・間接的に魚介類の産卵場や稚魚期の育成の場となるとともに餌資源など沿岸帶の環境保全の役割を担っている。さらには、栄養塩類を吸収し、光合成により酸素を供給することで有機物の好気的分解を促進するとともに、沈水植物表面が微生物の担体としても機能し、水質浄化にも大きな役割を果たしていると考えられる。

反面、沈水植物群落内では流速が緩やかになって微細粒子が沈降しやすく泥質化を招く。また、大量繁茂後に枯死・沈降し、藻体に蓄積された窒素やリンなどの栄養塩類の溶出により、湖底の貧酸素化を促進する可能性もある。

2. 琵琶湖の現状と課題

琵琶湖南湖におけるプランクトンの多様性をみると、その種類数は、この30年間で約50%以下となり、「種の多様性」が各地点で低下している。その傾向は沿岸帶で顕著であり、分布している魚介類にとっては稚魚期の餌資源の貧弱さにつながっている可能性がある。

南湖における沿岸帶の構造についてみると、高度成長期以前には、湖岸形状は複雑で砂浜帯も多く、入江や内湖に接続する無数の水路があるなど、「生態系の多様性」が豊かに保たれていたが、現在は、湖周道路や湖岸堤の整備等が進み、単調で急勾配の人工的護岸帯が増加し続け、南湖においては、このような人工的湖岸帯が74%を占めるに至っている。

近年、漁獲量が大幅に減少しているが、その要因としては①水質改善の影響による餌資源となる植物プランクトン量の減少やプランクトン種の変化、②魚食性外来魚の増加、③人工的湖岸化による魚介類の生息・繁殖場所の減少、④沿岸帶の泥質化に伴う生息環境の悪化や底泥の貧酸素化（特に貝類）などが主たるところであり、さまざまな要因が複合的に影響して

いると考えられる。植物プランクトンの長期変動を見ると、近年、そのバイオマスは減少傾向にあるものの、夏季から秋季にかけて、群体を形成する藍藻類の占める割合が増加している。この藍藻の多くは、「粘質鞘」と呼ばれる無色透明の寒天質状物質が群体全体を包んでいるため、動物プランクトンの可食サイズからみると、餌となりにくい植物プランクトンであると考えられた。さらに、こうした種類はシジコを用いた繁殖阻害結果からも餌として不適であることなどが明らかとなってきた。

3. 沿岸帶機能評価への取り組みと対策の方向性

我々は、琵琶湖沿岸帶における豊かな生物多様性の再生を目指し、近年、沿岸帶の生態的な機能の回復に向けた研究を現在進めている。

湖岸の泥質化は、湖岸からの勾配が急激に、谷地形を形成する地点より沖側で進行しやすいことが示唆され、勾配急変部を有する人工的湖岸は、自然の緩やかな湖岸に比べ、水の流れが停滞しやすく、沿岸帶で発生した植物プランクトンはその場に沈降し、その結果、湖底の泥質化や貧酸素化が進みやすい。さらに、泥質化した環境下では、藍藻の細胞や休眠細胞が保存されやすく、人工的な湖岸帶は、より藍藻の発生源となりやすくなるなども明らかとなってきた。これらの結果から、勾配急変部が存在する人工的湖岸帶を緩斜面化させることで泥質化が抑制できる可能性が示唆される。

現在、全国各地で、里山、里川、里海づくりが推進されているように、湖沼の湖岸域においても豊かな生態系の象徴でもある「タナゴやシジミ、エビ等の魚介類が生育しやすい湖岸環境づくり」を合言葉に、この「里湖(さとうみ)づくり」を積極的に推進する必要があると考える。

謝辞

本研究は、環境省環境研究総合推進費（平成23年度～25年度、代表一瀬 諭）の一部として実施したものである。記して謝意を表す。

田中邦明（北教大函館）

1. はじめに

国連「持続可能な未来のための教育」(Education for sustainable development: ESD) は持続可能な地球を達成する教育を指し、とりわけ我が国は「ESD のための 10 年」の提案国として全世界での ESD 取り組み推進を呼びかけてきた。しかし、地球環境の最新報告では、人類による環境改変要因のいくつかはすでに回復可能な水準を超過したとも言われ、持続可能な地球環境システムの構築は危うい状況にある。

いま、ESD には持続可能な未来の構築に向けて、地球全体の環境問題に結びつく地域の個別的環境問題の解決と予防の成果が強く求められている。

渡島大沼は北海道南部に位置する最大水深 13m、水域 9km²、流域 187 km² のかつては中栄養の小湖沼である。1990 年以降、流域での畜産業が活発化し、現在も約 8 千頭の肉牛と 3 千頭の乳牛が飼養されている。畜産廃棄物の排出量も莫大で、2010 年には推計 9 万 1 千 t に達しており、主に堆肥として流域農地に施用されており、過剰施肥によるリン・窒素負荷によるアオコの発生など、大沼湖水の富栄養化が問題となってきた。

2. 研究方法

大沼の富栄養化が畜産圧力によることを論証し、飼養頭数許容量を明らかにするため、農業および環境統計から養牛頭数と水質との相関分析を行った。さらに、流域から大沼へのリン・窒素負荷低減のため、降雨時の流出メカニズムの解明、堆肥や液肥の施用方法や時期の改善提案を行うとともに、畜産家がより環境負荷の小さい堆肥製造と施肥方法を採用するよう世論誘導をはかった。そのために北海道主催の地域環境フォーラムでの講演、渡島大沼青年環境サミットの開催、漁協と国際交流センターとの共同による国際ワークキャンプ環境ボランティアによる水質浄化筏の作成と設置など、環境教育的手法をとおして湖水浄化対策の提案と実践を行った。

また、遊覧船会社との共同取り組みにより、水温、透明度、水色、電気伝導率などの湖水パラメーターを毎日定点観測する水質モニタリング・システムを構築し、富栄養化に関係する主な要因を探査した。

3. 結果

相関分析では養牛頭数と COD 値の間に有意な正の相関がみられたが、筆者らが ESD を開始した直後の 2006 年以降は飼養頭数許容量の有意な増加が認められた。さらに 2011 年以降、大沼の COD 値は急激に改善し、2014 年も COD75% 値は北海道の水質環境基準 3.0mg/l を下回っていた。大沼の下流にあたる小沼では未だに COD 環境基準を達成していない課題を残してはいるが、かつてはアオコが発生し、汚濁の著しかった大沼の内湾にもタヌキモ、マツモなどの沈水植物が復活し、かつて 50 種を数えた水生植物群集の多様性も復元しつつある。

また、毎年 10 月に地元の高校生と大学生約 30 名が参加する渡島大沼青年環境サミットでは、大沼を代表する産業である農業、漁業、観光業の 3 つの立場から大沼の環境とコミュニティーの持続的発展を達成するための地域政策を「大沼環境アピール」として毎年取りまとめ、七飯町長と北海道知事に提言書として提出してきた。遊水地、自然湖岸、河川水質モニタリングなどの七飯町と北海道による地域環境対策はその具体例である。

4. 考察

ESD を中心とする環境教育的、協同的な取り組みによって、大沼の水質が環境基準を達成するなど、富栄養化問題は徐々にではあるが、改善に向かっている。このような改善が定着し、持続可能とするためには、農畜産業だけでなく、現在も大沼の環境を生業として利用している遊覧船やカヌーなどの観光業、ワカサギ、エビなどの漁業をはじめ、湖沼環境を基盤とする多様な産業を展開して新たな雇用を拡大しつつ、大沼のワイル・ユースの新たな形を模索し、湖沼環境保全に対するインセンティブを地域産業の中に定着させることが今後の課題である。

そのためのアイディアの一つが、かつてアイヌ民族の貴重な食糧であった水草ヒシの利用である。ヒシは高いリン酸吸収能力とアオコ殺滅効果をもち、湖水浄化に役立つとともに、デンプンに富むその種子を地域特産の食品原料や漢方薬に活用する方法について検討しているところである。

池田 誠（北海道国際交流セ）

1. はじめに

渡島大沼は 2012 年 7 月に国際ラムサール条約に登録され、協議会は今年で 3 年目を迎える。筆者は 2014 年から 2 代目の会長の任にあたっている。現在函館市にある HIF 北海道国際交流センターの事務局長の職にあるが、地元大沼在住であり、以前から大沼のラムサール条約登録を目指して活動し、大沼の水質環境問題とその解決に深い関心をもっていた。

大沼地域は元々国際交流の盛んな地域であった。その背景として、幕末の開港時に現在の七飯町に七重官園（農林畜産試験場）が置かれ、近隣に在住する外国人が大沼を避暑地としてよく訪れ、官園では外国人への食料供給と技術指導のため、米国から豚、牛、羊などの畜産品種やハム、ソーセージ製造技術を早くから地元に導入した歴史があり、現在も海外へ留学して農畜産技術を修得した農民が多い。

国際交流センターの活動も大沼地区では早くから活発に行われており、ホームステイによる外国人の受け入れや国際ワークキャンプの海外ボランティアによる環境改善活動が毎年実施されてきた。

2. ラムサール協議会の活動

大沼の国際ラムサール条約登録と同時にラムサール協議会が七飯町に設置され、事務局は大沼婦人会館内にあり、業務は七飯町職員が担当している。協議会の組織は、七飯町、漁協、農協などの地域団体および大沼の環境に関する会の代表から構成されているが、初代会長から現在の任を引き受けるまでの 2 年間は、協議会として組織的な活動はほとんど行えなかった。その理由は、大沼の水質環境問題の原因と責任について意見の不一致があり、協議会の活動方針が明確に打ち出せなかつたようである。

筆者が会長に就任してからは、公式ホームページ、ブログを立ち上げて外部への情報発信に努めている。協議会の運営資金は七飯町のほか、国際交流や環境保全プロジェクト資金を獲得し、年 1 ~ 2 回の講演イベント開催、地域の子どもたちで組織される「ラムサール隊」による地元での研修および近隣ラムサール登録湿地との交流を行っている。

3. ラムサール協議会のイベント記録

2013 年 9 月 13 日（日）：環境フォーラム「仲間を

増やす野鳥観察」、大沼国際セミナーハウス

2013 年 9 月 12 日（木）：国際シンポジウム「大沼の保全・再生、交流・学習、ワイスユースの視点から、ラムサール登録地のこれからを考える」、大沼国際セミナーハウス、主催：HIF

2013 年 10 月 6 日（日）：秋の大沼環境学習クルーズ「道南初のラムサール登録湿地大沼での環境学習クルーズ」、主催：北海道渡島総合振興局

2013 年 10 月 11 日（金）：大沼環境シンポジウム「大沼の総合的な課題の解決」、大沼国際セミナーハウス、主催：七飯町、協力：函館工業高専

2013 年 11 月 13 日（水）：「ラムサール登録地・宮島沼の事例からこれからの大沼を考える」、大沼国際セミナーハウス、主催：HIF

2014 年 9 月 9 日（火）：大沼ラムサール国際シンポジウム「持続可能な地域づくりを求めて」、大沼国際セミナーハウス

2014 年 11 月 1・2 日：大沼ラムサール隊宿泊研修「水質実験」や「わら細工作り」「マガレンジャー」の子ども達との交流、美唄市、宮島沼水鳥・湿地センター

2015 年 2 月 4 日（水）：もっと身近な大沼ラムサールに「大沼ラムサールの協働取組の状況について」「全国のラムサール湿地の取り組みについて」、大沼多目的会館、主催：HIF

4. 考察

ラムサール協議会が設立されてまだ 3 年であり、課題は山積していると言って過言ではない。自然環境の保全については、何も水質環境だけが問題なのではない。大沼は北海道の中でも開発の歴史が古いため、全国的に問題となっている特定外来生物ウシガエルのほか、コイ、ヘラブナなどは漁業や遊漁の対象として重要な種も含まれるが、国内外来種として生態系搅乱の可能性も否めない。これからは農畜産業だけでなく、環境負荷の少ない漁業や観光のあり方、とりわけ大沼のワイス・ユースの具体的なビジョンについて、市民レベルでの議論と小規模の試行実践を積み重ね、旅行者を含むすべての大沼利用者に受け入れられる目標づくりが課題である。

