

トピックス

(公社) 日本水環境学会の受賞について

滋賀県琵琶湖環境科学研究センター、国立環境研究所、東レテクノ株式会社が長年にわたり連携して取り組んできた、微生物に分解されにくい有機物である「難分解性有機物」を題材とした調査研究で、(公社)日本水環境学会よりH29年度の「技術奨励賞」および「論文奨励賞」を受賞しました。



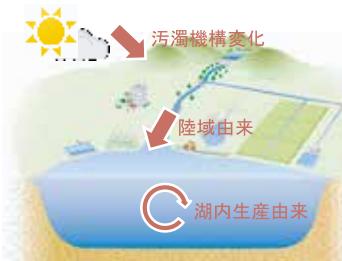
写真 「技術奨励賞」授賞式の様子 (H30.6.12)

透明度や全窒素、全りん、BOD（生物化学的酸素要求量）などの琵琶湖の水質は改善傾向にある一方で、COD（化学的酸素要求量）が高止まり状態にあったことから、その要因の一つとして難分解性有機物の増加が考えられていました。「そもそも難分解性有機物ってなに？」ということについては2011年のセンターニュースNo.16をご覧いただき、本稿では受賞した内容について簡単に紹介いたします。

「技術奨励賞」の対象研究では、難分解性有機物を定量的に分析する考え方および手法を確立しました。1990年代から、滋賀県では東レテクノ株式会社と有機物の分子量等に関する調査を開始しました。しかし、先行研究をそのまま適用することが困難であったため、2000年代前半に国立環境研究所が湖水中の溶存有機物を疎水性（水を嫌う性質）、酸性、生分解性（微生物による分解のしやすさ）の切り口で評価することに成功していたことから、その生分解試験に関する研究等を発展させ、湖沼・河川水と、点源（工場・事務所、家庭など）や面源（森林、農地、市街地など）の種類別排水を採取し、難分解性有機物量を調べました。有機物の生分解試験の方法については、生分解試験の日数、サンプル量、植種

や栄養塩の添加の有無や通気の方法など各種条件を比較検討し、最適な調査手法を提案しました。10年以上の歳月をかけて標準的な分析手法を開発し、多数の分析実績と学術的な審議を経て全国でも参照される標準的な分析手法となったことを評価していただきました。

「論文奨励賞」の対象研究では、琵琶湖の難分解性有機物が「①どこからきているのか？」「②なぜ増えてきたのか？」の2点について、各種調査やモデル解析を通じて明らかにしました。琵琶湖流域における各種発生源の場所や量などのデータを用いて、陸域からの難分解性有機物の流入負荷量を算出するとともに、琵琶湖を箱の組み合わせで模したシミュレーションモデルを構築して、起源や増加原因を推定しました。その結果、難分解性有機物の起源としては琵琶湖内部での生産由来が卓越すること、難分解性有機物（とくに溶存態成分）が増加してきた原因是、内部生産の量や質の変化であった可能性が高いと結論づけられました。本研究のアプローチや知見は汎用性が高く、今後の閉鎖性水域の管理への貢献が大いに期待されるということで評価していただきました。



難分解性有機物はなぜ増えた？

- 1 陸域由来
点源・面源由来負荷の増加
- 2 湖内生産由来
湖内における有機物生産機構の変化
- 3 汚濁機構変化説
気候変動、自然浄化機能劣化など

琵琶湖における難分解性有機物の分析手法を確立するとともに、モデルを用いた解析を行うことで、難分解性有機物の起源およびその増加原因を推定した。

- ① TOC(全有機炭素)を用いた発生源・環境調査と生分解試験法の確立
- ② 難分解性有機物の流入負荷量の推定
- ③ 琵琶湖ボックスモデルによる難分解性有機物の起源と増加原因の推定

図 受賞研究の概要

本研究や関連する調査研究により、琵琶湖では湖内でどのような有機物生産・分解等が行われているのかを把握しなければ、湖沼の水質や生物を含む総合保全にはつながらないということを明確にしました。このことが、次にご紹介する「研究最前線」の有機物収支の把握に関する研究にもつながっているのです。

環境監視部門 岡本 高弘
総合解析部門 佐藤 祐一

1. はじめに

琵琶湖では、富栄養化対策によって透明度や栄養塩などの水質が改善されてきたにもかかわらず、水環境は必ずしも健全な状態にあるとはいえない。異臭味の発生による利水障害、内部生産による水質への影響、外来魚の繁殖、水草の異常繁茂、在来魚類や二枚貝等の著しい減少など生態系の脆弱化がみられます。この原因には様々な問題が重なっています。異臭味やアオコの問題は、富栄養化の問題がまだ終焉していないことを示しています。在来魚類や二枚貝等の著しい減少は、それらの生物の生息・産卵環境が失われていることと関係しています。外来魚の繁殖も大きな影響を及ぼしています。さらに近年は、水産関係者からアユの餌不足が懸念される声もあがるようになりました。以上のことから、これから湖沼保全には、栄養塩や有機汚濁を減らすだけでなく、生態系の動向にも配慮した取り組みが必要となっていました。

2. 琵琶湖の生物生産をはかる

魚の捕食は食物連鎖によって成り立っています。植物プランクトンを動物プランクトンが捕食して、それを魚類が捕食する連鎖が生食食物連鎖です（図1）。琵琶湖においても緑藻類などの植物プランクトンを捕食するミジンコ類やカイアシ類の動物プランクトンがいて、それをアユが捕食する連鎖が知られています。一方、あまり知られていない食物連鎖があります。細菌（写真1）は、湖水中に存在する有機物の一部を利用して増殖します。この細菌を繊毛虫や鞭毛虫などの原生動物（写真2）やワムシが捕食し、さらにそれを動物プランクトン（写真3）が捕食します。このような連鎖を微生物食物連鎖といいます（図1）。

植物プランクトンの光合成は食物連鎖の起点であり、水質にあっても栄養塩や有機物の挙動に関する重要な現象です。これまで琵琶湖では、光合成生産量のモニタリングではなく、生産量の推定は学術研究における実測報告や水質モデルによる予測に頼ってきました。今後、餌資源量を予測しながら水産資源の管理を行うためには、光合成生産量を実測値に基づき、確度の高い予測を行う必要があります。

一方、細菌の生産量は、これまでデータがほとんどありませんでした。通常、細菌の生産量の測定には放射性同位元素を使用するため、放射性物質の取扱いが厳格な日本国内の湖沼では実用が困難だったためです。しかし、細菌が有機物の分解者としてだけでなく、微生物食物連鎖によって高次の捕食者への餌資源となっているとすれば、水質と生態系の両面で重要な役割を担っていることになります。

そこで当センターでは、平成28年度より環境省環境研究総合推進費の助成を受け、琵琶湖の有機物の生産とそのフロー（流れ）についての研究「琵琶湖における有機物収支の把握に関する研究」に取り組みました。研究は、植物プランクトン生産に関する研究を進めてきた滋賀県立大と、放射性物質を使用しない細菌生産測定法（¹⁵N-dA法）を開発した国立環境研究所、細菌や原生動物などの微生物生態学を得意とする京都大生態研センターとの共同実施です。

3. 見えてきた細菌からはじまる世界

プロジェクトメンバーの滋賀県立大グループによる2017-2018年の彦根沖の光合成生産の測定では、平均 $0.95 \text{ gC/m}^2/\text{day}$ の生産がありました。それは、過去の値（参考：

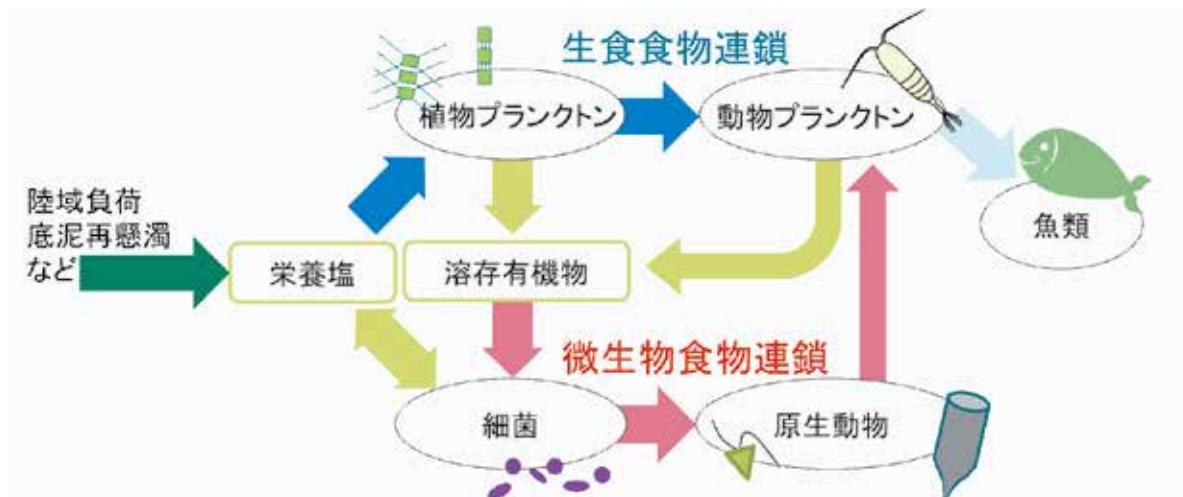


図1 水中の食物連鎖の概念図

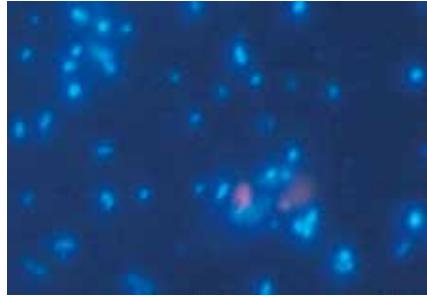


写真1 水中の細菌写真 (DAPI染色)
京大中野氏提供



写真2 水中の原生動物
(鞭毛虫 キネトプラスト)
当センター永田主任研究員提供



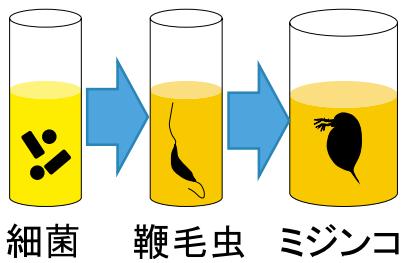
写真3 動物プランクトン
(カブトミジンコ)
当センター永田主任研究員提供

琵琶湖ハンドブック三訂版 p143) に比べ、さほど減少していませんでした。一方、細菌生産（呼吸を含む）は、国環研グループによる2016-2018年の南比良沖(0~20 m深まで)の測定で、平均 $0.52 \text{ gC/m}^2/\text{day}$ でした。細菌生産は光合成生産に比しても相当量であることがわかりました。琵琶湖水中の細菌や原生動物の群集組成は、京都大学の遺伝子解析を用いた研究によって、群集の全容が初めて明らかにされました（表）。

表 特定された琵琶湖細菌種 (Okazaki & Nakano 2015より作成)

バクテロイデス門	bacI-A1	bacV	bacII-A	bacVI*
アクチノバクテリア門	adl-B1	adl-A7	iluma-A1	adl-C2
α -プロテオバクテリア綱	iluma-A2	adV-B	adl-C2*	LC12
β -プロテオバクテリア綱	LimC	LD28	Nitrosospira	PnecB
プランクトミケス門	CL500-37	CL500-15	CL500-3	P-OTU1
クロロフレクサス門	P-OTU76	P-OTU31	CL500-52	CL500-11
その他	LiUU-3-374	LiUU-9-330	Nitrospira	Nitrosoarchaeum

さらに、細菌から原生動物を介して動物プランクトンに至る微生物食物連鎖もはたらいていることが見えてきました。当センターの研究による安定同位体でラベルした細菌を用いた原生動物と動物プランクトンの捕食実験から、動物プランクトンによる細菌由来の有機物の取り込みを確認したのです。ただし、動物プランクトンが原生動物を捕食しても成長がよくないことが確認されたため、動物プランクトンの成長に対する微生物食物連鎖の貢献についてはさらに検討が必要です。



4. 水質管理の新たな枠組みをめざして

微生物食物連鎖のはたらきがあることは、湖の食物連鎖が栄養塩から魚類まで1本の連鎖でつながっているだけでなく、複数の連鎖があることを示しています。湖水中の栄養塩の減少は、植物プランクトンの生産量を減らす可能性がありますが、それが直ちに高次捕食者の減少につながるとは限りません。水質保全と生態系の関係は複雑で、丹念な解析が必要です。

琵琶湖は、近畿1,450万人が水を利用する湖であり、固有種を含む豊かな生態系があり、水産資源の利用の面からも大変重要です。琵琶湖総合保全整備計画(マザーレイク21計画)では、将来の目標像として良好な水質と生物のにぎわいの両方を掲げています。これまでどおり、確実に水質モニタリングを行いながら、湖の利水要件を満たすための水質保全対策を継続しつつ、生態系サービスを支える生物活動をモニタリングして維持することが肝要です(図3)。そのためにも湖沼の生態系にある物質循環を炭素フローなどによっておさえた上で、水中の栄養塩や有機物を水質にも生態系にもバランスのとれた管理を行う新たな枠組みが必要であると考えています。



図3 新たな管理の概念図
本研究の一部は環境研究総合推進費5-1607の支援により行われました。

総合解析部門 早川 和秀

びわ湖 視点 論 点

湖沼の2つの食物連鎖をつなぐ者たち -ミジンコ類の役割-

動物プランクトンは、海ではオキアミ類やクラゲ類等でよく知られていますが、湖沼にも多くの種類があります。湖沼の動物プランクトンとして比較的馴染みがあるのは、生物学の教科書等に登場するミジンコ類（正式には枝角類）だと思います。ミジンコ類といっても1種類ではありません。例えば琵琶湖には、カブトミジンコ、ゾウミジンコ、プリカリア等が生息しており、どの季節でも数種類のミジンコ類を観察できます（写真1）。



写真1 琵琶湖のミジンコ類等の動物プランクトン

渡辺圭一郎氏提供

ミジンコ類の多くは、 $1\text{--}50\mu\text{m}$ の水中に漂う粒子を濾しとつて食べており、その餌は主に植物プランクトンです（Brönmark and Hansson 2005）。植物プランクトンは、太陽光や水中の栄養塩類で光合成を行う湖沼の生産者です。ミジンコ類は、生産者を食べる消費者と言えます。植物プランクトンとミジンコ類等の動物プランクトンは、生食食物連鎖で繋がっています（図1）。

ミジンコ類が食べる水中の粒子には、細菌や原生動物（鞭毛虫や纖毛虫等）も含まれます。細菌の多くは、他生物が排出する排泄物、植物細胞等から排出される有機物を餌に増殖する湖沼の分解者です。一方、原生動物は、植物プランクトンと同じで光合成を行うものや（独立栄養性と呼ぶ）、細菌を食べるものがいます（従属栄養性と呼ぶ）。細菌と従属栄養性の原生動物は、微生物食物連鎖で繋がっています（図1）。さらに細菌や原生動物はミジンコ類の餌となり、生食食物連鎖と微生物食物連鎖の2つの食物連鎖は、ミジンコ類によって1つに繋げられます。

ミジンコ類は、2つの食物連鎖を繋げる湖沼生態系のコンダクター（指揮者）としての役割を担っていることから、これまでに多くの研究者によって注目されてきました（中野2015）。筆者らも琵琶湖の細菌、従属栄養性の鞭毛虫（原生動物）、ミジンコ類を実験に用い、ミジンコ類が細菌や原生動物を食べる

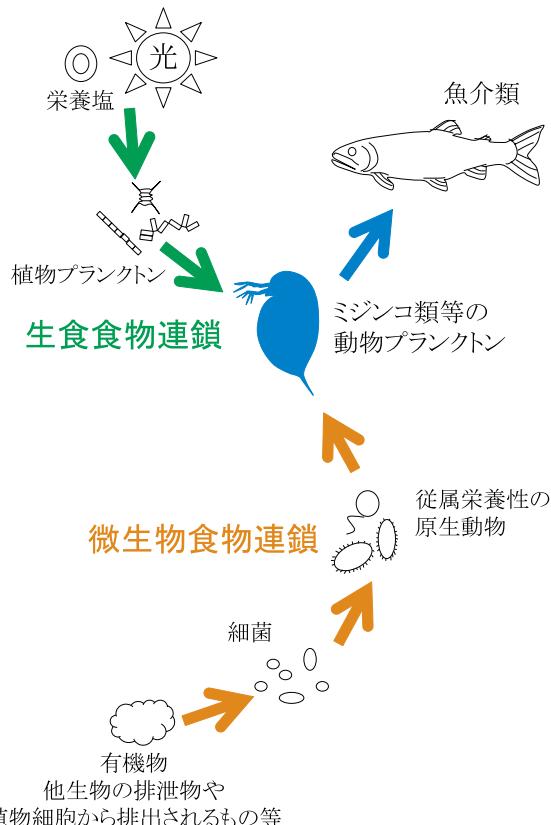


図1 ミジンコ類をとりまく食物連鎖

ことを確認しました。一方、筆者らの研究では、細菌や鞭毛虫の餌でミジンコ類を培養すると、ミジンコ類の生産性が高くはないケースもみられました（永田ら 2018）。ミジンコ類が効率的に高い生産力を発揮するためには、微生物食物連鎖からの餌（細菌や鞭毛虫等）だけでなく、生食食物連鎖からの餌（植物プランクトン）も必要です。2つの食物連鎖の餌とミジンコ類の生産性との関係については、今後、詳細に評価する予定です。

ミジンコ類は、琵琶湖のアユやホンモロコ等の重要な餌資源です。こういった商業的価値の高い魚種も、近年の琵琶湖では、漁獲量が減少傾向です。魚介類等の生物の豊かさを取り戻すためには、餌資源の観点からも研究を進め、影響評価を行う必要があります。ミジンコ類は、2つの食物連鎖を繋げ、魚介類の餌にもなることから、生態系に大きな影響を与える力を持っていると言えます。そのミジンコ類を研究することで、生態系における餌の流れの問題点や改善に向けたヒントを得られるかもしれません。我々は、今後もミジンコ類等の動物プランクトンに着目し、研究を進めていきます。

総合解析部門 永田 貴丸



■編集・発行

滋賀県琵琶湖環境科学研究所センター
Lake Biwa Environmental Research Institute

〒520-0022 滋賀県大津市柳ヶ崎5-34

TEL:077-526-4800 FAX:077-526-4803

<http://www.pref.shiga.lg.jp/d/biwako-kankyo/lberi/index.html>

この印刷物は古紙パルプを配合しています。