

\*風間健宏（京大・生態研），早川和秀，永田貴丸（琵琶湖環境研セ）  
霜鳥孝一，今井章雄（国立環境研）

## 1. はじめに

藻類サイズは、一次生産者から一次消費者への転送効率だけでなく、食物網全体における生産性や、生態系の物質循環に大きな影響を与える。琵琶湖における漁獲量低下の要因の一つとして、2015年頃から増加している大型藻類 *Micrasterias hardyi* が注目されている。2019年の調査により、*M. hardyi* を含む大型藻類は強光ストレスに強く、同じ光環境下では小型藻類よりも光化学系 II (PSII) の活性が高いことが示された (Kazama et al. 2021a)。PSII の活性は、PSII 電子伝達速度と炭素当たり電子要求量 ( $\Phi_{e,c}$ , mol e<sup>-</sup>/mol C) に影響し、活性が高いほど総生産速度も高くなる。しかしながら、琵琶湖において生産量のサイズ間比較はほとんど行われておらず、小型藻類と大型藻類の生産性のバランスは明らかでない。そこで本研究では、琵琶湖の藻類現存量と一次生産における小型藻類と大型藻類のバランスについて、琵琶湖における時空間変動を明らかにするため、高速フラッシュ蛍光光度法による総生産速度推定を行った。

## 2. 材料と方法

野外調査は2020年4月から12月まで毎月行った。琵琶湖の沖合（南比良沖、深度5m）と沿岸（長命寺沖、深度3m）において10L採水し、研究室へ持ち帰った。各地点の試料は30μm目合いのナイロンメッシュを用い、小型藻類と大型藻類に分画した。各分画試料を孔径0.7μmのガラス繊維ろ紙でろ過し、Chl-*a*、セストンCNおよびセストンP分析に供した。Chl-*a*濃度は、試料をDMFにて24時間抽出し、分析に供した。セストンCNおよびセストンPは、試料をそれぞれCF/IRMS (Flash EA1112/Delta plus Advantage, Thermo Finnigan) および連続流れ分析装置 (QuAAtro, BLTEC) により分析した。NO<sub>3</sub><sup>-</sup> および PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>濃度は、試料100mLを孔径0.2μmのポリエーテルスルホンフィルターでろ過し、イオンクロマトグラフィーで測定した。植物プランクトン試料は、試料50mLを最終濃度1%のルゴール液で固定した後、24時間静置して15mLまで濃縮し、光学顕微鏡下で細胞密度を測定した。GP測定は、まず各分画試料2mLを現場水温にて15分間暗順応させ、多波長励起FRR蛍光光度計 (Act2, CTG

Inc.) を用いて、光環境0~800μmol/m<sup>2</sup>/sにおける光化学系II (PSII) のパラメータ群を測定した。 $\Phi_{e,c}$ は、現場物理・化学環境データ、およびPSIIのパラメータ群を用いた経験式 (Kazama et al. 2021b) により、試料ごとに算出した。光量子に対するChl-*a*あたり生産 (PB, mg C/mg Chl-*a*/d) の飽和曲線に、現場光量子量及び水柱のChl-*a*濃度を外挿し、面積当たり生産 (GP, mg C/m<sup>2</sup>/d) を推定した。

## 3. 結果と考察

セストンC濃度とChl-*a*濃度の季節変動はよく似た傾向を示し、沖合と沿岸ともに5月から7月は大型藻類が、8月から12月は小型藻類が卓越した。5月から7月にかけて *Staurastrum dorsidentiferum* と *M. hardyi* を含む大型藻類が増加したが、8月以降は減少した。小型藻類は、ラン藻や珪藻、クリプト藻が中心だった。

サイズ別PBのバランスには、地点間で明確な差が見られなかった。沿岸では、常に大型藻類のPBが相対的に高くなった。沿岸は全窒素、全リン濃度が高く、大型藻類にとって好適な栄養塩環境と考えられる。また沖合では、日射量の低下した7、10月以外で大型藻類のPBが相対的に高くなった。沖合は貧栄養だが消散係数が低く、光環境が十分な環境では、大型藻類のPBはそれほど低下しないのだろう。

サイズ別GPのバランスには、地点間で明確な差が見られた。沿岸では8月以外、大型藻類のGPが相対的に高くなった。一方、沖合では5月から7月にかけて大型藻類のGPが相対的に高くなったが、9月以降は小型藻類のGPが高くなった。

本研究の結果から、大型藻類のPBは相対的に高いことが示された。しかし現存量やGPにおける大型藻類と小型藻類のバランスは季節的に変動し、特に沖合では小型藻類が卓越する時期が見られた。2019年は特に冬季の鉛直混合が弱かったことから、沖合では大型藻類の沈降ロスが生産を上回っていた可能性がある。Kazama T., Hayakawa K., Nagata T., Shimotori K., Imai A. & Komatsu K. (2021a). bioRxiv, 2021.07.15.452429. Kazama T., Hayakawa K., Kuwahara V.S., Shimotori K., Imai A. & Komatsu K. (2021b). PLOS ONE 16, e0238013.

\*岡崎 友輔 (京大)・藤永 承平 (京大)・田中敦 (国環研)  
高津文人 (国環研)・大八木英夫 (南山大)・中野伸一 (京大)

## 1. はじめに

湖沼は互いに物理的に隔離された生態系であるにもかかわらず、そこに生息する細菌群集は世界共通の系統で占められる。近年の研究で、これらの系統内における、従来の (16S rRNA 遺伝子レベルの) 系統解像度では検出できないゲノムレベルの多様性(genotype)の実態が明らかになってきた。一般的に、湖沼のプランクトンは孢子や休眠卵、エアロゾルとして風で輸送されたり、鳥や動物への付着、人間活動によって物理的接続のない離れた湖沼へと分布を広げるものと考えられている。湖沼の細菌も同様のメカニズムで分散・定着すると考えられるが、それがどのような頻度・規模で起こり、それによりどのような湖内・湖間の遺伝的差異が生み出されるのかに関しては、統一見解が得られるに至っていない。

## 2. 材料と方法

本研究ではこの課題に挑戦するため、微生物生態学における先端技術であるロングリードシーケンス解析を用いて2つのアプローチから研究を行った。一つ目はロングリードアンプリコン (メタバーコーディング) 解析である。これは、従来法のマーカー遺伝子である 16S rRNA 遺伝子に加え、それに隣接しより保存性の低い (=系統解像度の高い) internal transcribed spacers (ITS) 領域を含む約 2000 bp の領域を PCR 増幅し、PacBio シーケンサーで解析することで、高解像度かつ網羅的な細菌群集組成解析を行う手法である。本解析を、国内 9、海外 2 の計 11 の大型淡水湖で採集した微生物サンプルに適用し、系統内多様性の実態解明を試みた。

もう一つのアプローチは、ロングリードメタゲノム解析である。メタゲノム解析は、環境中の細菌のゲノム情報を培養非依存的に決定できる手法であるが、通常、数十～数百の断片に分断化されたゲノムしか得ることができず、高解像度な系統解析には不適であった。そこで本研究では琵琶湖で 2 水深×12 か月にわたって得た微生物サンプルを対象に、

Nanopore シーケンサーを用いたロングリードメタゲノム解析を行うことで、従来法 (=ショートリード解析) で叶わなかった高品質な細菌ゲノムの構築を試みた。

## 3. 結果と考察

ロングリードアンプリコン解析の結果、従来法 (=ショートリードの 16S rRNA アンプリコン解析) の解像度では検出不可能であった系統内多様性が、湖内・湖間・時系列間で存在することが明らかとなった。特に、日本と欧州の湖の細菌間では塩基配列に明確な差異があり、湖の微生物集団においても一定の地理的隔離が存在することが示された。

ロングリードメタゲノム解析からは、575 個の細菌ゲノムが得られた。これは琵琶湖沖の異なる水深・季節に生息する主要な細菌をほぼ網羅した情報であると考えられ、うち 188 個がゲノム断片数が 10 未満、29 個が環状 (=完全長) にアセンブルされた、極めて高品質のゲノム情報であった。得られた高品質ゲノムに、ショートリード及びロングリードのシーケンスリードをマッピングすることで、系統内の 1 塩基解像度のゲノム多様性および、遺伝子領域の挿入・欠失・重複等の構造多型の存在を明らかにした。同一の湖 (=琵琶湖) 内において、無数の genotype を擁する系統が存在する一方、湖に生息するほぼ全ての細胞が同一ゲノムのクローンであると考えられる系統が見つかるなど、ゲノム多様化の程度に系統間で大きな差が見られ、その生成・維持のメカニズムも系統間で大きく異なることが示唆された。

今後、メタゲノムやロングリード技術のさらなる高度化、低コスト化を背景に、高い系統解像度での研究が前提となっていくと思われる。互いに隔離された湖沼微生物生態系は微生物の普遍性や系統地理をとりまく我々の理解を転換させる魅力を秘めた研究対象であり、本研究はその可能性を先導的に示した研究成果であるといえる。

\*篠原隆一郎 (国立環境研究所), 田中陽二(株式会社 エコー)  
神野有生(山口大学), 松重一夫(国立環境研究所)

## 1. はじめに

近年、気温上昇などの気候変動が顕在化してきており、水環境においても水温の上昇が世界中で報告されつつある。水温の上昇は、湖沼生態系においては最も影響を与える因子であるため、上昇が確認される季節や、上昇率などの情報が、今後の生態系予測に対しては必要不可欠である。

特にユニークな点は、湖沼によっては水温の上昇率が気温の上昇率よりも大きいことである。この現象は、水温上昇の直接的な要因として気温のみではなく、短波放射、長波放射、潜熱、顕熱などの変動が複雑に関係していることを示している。

国立環境研究所が所有する臨湖実験施設では、1992年から現在に至るまで、霞ヶ浦の水温及び、風などの気象データを1時間毎に観測・採取している。そこで本研究ではこれを活用し、霞ヶ浦における1992年～2019年までの28年間の水温変動について以下の2点について考察した：(1)各月においてどのように水温が変化してきたのか (2) どのような要因で水温上昇しているのか。

## 2. 材料と方法

風向・風速、湿度、気温、水温について、国立環境研究所の臨湖実験施設における観測データを用いた。日射量及び雨量のデータは気象庁電子閲覧室から時別データをダウンロードして用いた。これらを月毎に平均し、28年間のトレンド解析に用いた。

特に日射量及び、気温上昇の影響を解析するため、以下の水面熱収支式を用いて解析を行った。

$$R_n = R_s + R_l + R_{la} + R_{sn} + R_{prec} \quad (1)$$

ここで、 $R_n$ は正味の熱収支、 $R_s$ は短波放射、 $R_l$ は長波放射、 $R_{la}$ は潜熱輸送、 $R_{sn}$ は顕熱輸送、 $R_{prec}$ は降雨に伴う熱輸送である。短波放射については天頂角を考慮したアルベド(ref)を用いて次式で表される：

$$R_{sd} = (1 - ref)S_d \quad (2)$$

ここで  $S_d$ は観測された全天日射量である。下向き、

上向きの長波放射については：

$$R_{ld} = \varepsilon_a \sigma T_a^4 \quad (3)$$

$$R_{lu} = -\varepsilon \sigma T_w^4 \quad (4)$$

ここで  $\varepsilon_a$ ,  $\varepsilon$  は下向き、上向きの射出率、 $\sigma$ はステファン-ボルツマン定数、 $T_a$ ,  $T_w$  は気温、水温である。また、潜熱・顕熱輸送は以下の式で表される：

$$R_{la} = -c_p \rho_a C_H U (T_w - T_a) \quad (5)$$

$$R_{sn} = -\rho_a l C_E U (q_{sat} - q) \quad (6)$$

ここで  $c_p$ は定圧比熱、 $\rho_a$ は空気の密度、 $l$ は潜熱、 $C_H$ ,  $C_E$ は潜熱、顕熱のバルクの輸送係数、 $q_{sat}$ ,  $q$ は飽和比湿及び比湿である。

## 3. 結果と考察

1992年から2019年までの月平均水温を解析したところ、有意な上昇率を示した月は3月、5月、6月であった。最も有意な上昇率を示した5月の水温上昇率は0.74°C/decadeであった。また、6月には上昇率が0.56°C/decadeであり、気温も同時に上昇していた。しかし、6月の気温の上昇率は、0.40°C/decade程度であり、水温の上昇率が気温の上昇率よりも高かった。一方でつくばにおける日射量の増加率を見ると、5月の上昇率は13W/m<sup>2</sup>/decadeであり、28年間で19%増加していることが明らかになった。5月、6月においては水温上昇していたにも関わらず、風や湿度はさほど経年変動していなかった。

これらの気温、日射量の上昇率を用いて、熱収支式に基づく感度解析を行ったところ、気温の上昇率の影響より、日射量の上昇率の影響が2倍以上大きかった。これらの結果は近年の日射量増加が霞ヶ浦の水温の長期変動に大きく影響を与えていることを示すものである。実際の熱収支は河川や地下水の流入や、底泥への熱伝導なども加味する必要があるが、日射量増加の影響は水面における熱収支に対して、無視できないことが本研究では明らかとなった。[参考文献] Shinohara et al. (2021) *Hydrology Research*, *In press*.

\*熊谷道夫（立命館大・総合）、藤井康之（立命館大・情報）  
辻英人（マスパイオラボ）、朴虎東（信州大学・理）

## 1. はじめに

日本とイスラエルの共同研究として、アオコを形成するシアノバクテリアの動態を把握するために、SASV (Solar-powered Autonomous Surface Vehicle) を開発してきた。具体的には、開発した SASV に Phycocyanin や Phycoerythrin のセンサーを搭載し、シアノバクテリアのモニタリングを行うことを目的としている。しかし、2019 年度・2020 年度は COVID-19 によって現地調査ができなかったため、スマートフォンを用いたアオコ迅速監視システムの開発を行うこととした。世界各国で普及しているスマートフォンなどのカメラ搭載型デバイスの利用が拡大していることに着目し、目視や採水・リモートセンシングの代わりに迅速かつ簡便にアオコの写真撮影を行い、画像の RGB 解析を行うことによって市民に直接警告できるシステムを開発する。この手法ならば、今後感染症が拡大しても、各地域で個別に撮影したアオコの写真から濃度や種別を推定し、ユーザーに通知することが可能となる。

## 2. 方法

本研究では、図1のような ICT 用いた監視システムを構築することを目指しているが、感染症拡大に対応して back-up plan を設定した（赤太線）。

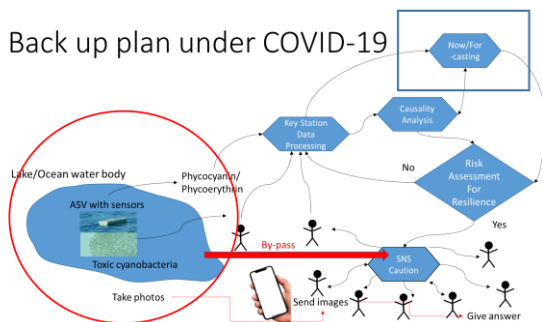


図1 COVID-19 下での back-up plan

教師データベースを作成するために、実験室で培養したアオコの画像解析を試みた。光は波動であり、人間を含む動物は網膜の奥にあるオプシンというタンパク質センサーを通して光の波動を感知する。波動は電気信号となり脳に到達し、そこで色合成される。ヒトの場合、光の感受性の異なる3種類のオプシンL(ロング波長560nm)、M(ミドル波長530nm)、S(ショート波長430nm)があり、一般的には赤(R)、緑(G)、青(B)とも言われている。

人間の脳内では、これらの3つのアウトプット信号の比率によって色が決定される。一方、カメラで撮影される画像の色素は、Rが700nm、Gが546.1nm、Bが435.8nmと定められている（国際照明委員会CIE）。したがってカメラ画像の方が、人間の目より波長帯が広いことがわかる。毒性アオコを形成するシアノバクテリアが有する色素は、淡水の場合は Phycocyanin で蛍光波長が645nm、汽水の場合は Phycoerythrin で蛍光波長が590nmである。つまり人間の目で知覚するより、写真のRGBを解析する方がアオコを感知しやすいことになる。そこで、まず実験室（信州大学）で培養した複数種のシアノバクテリア（*Microcystis*, *Dolichospermum*, *Cuspidothrix*等）を用いて、異なる活性状態および濃度の画像を撮影し、それぞれの基本となる蛍光強度スペクトルを測定した。

## 3. 結果

基本的には図2のような手順で解析を行った。

- 研究室レベルの画像から各種アオコの色特徴を分析する
  - 画像から代表領域を抽出
  - 代表領域画像のRGB値をマッピング

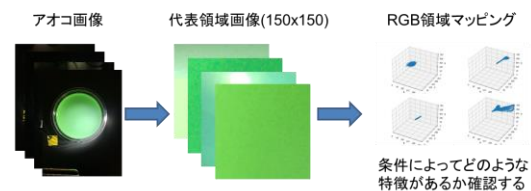


図2 写真画像から作成した RGB 空間分布

## 4. 考察

RGB空間ではそれぞれの種によってかなり特異的な分布をするので、種の識別は可能であることがわかった。ただ実際のアオコの写真は明暗とか濃淡があるので、RGB空間における蛍光強度スペクトルは引き延ばされたようになる。今後は、これらの特性を評価する必要がある。またRGB空間から波長スペクトル空間への写像を試みる予定だが、変換が線形ではないので何らかの非線形評価を取り入れることも考えている。

なお、本実験にご協力いただいた朴研究室のみなさんに厚く御礼申し上げます。

## イオンクロマトグラフィーを用いた 有機態リンの酵素加水分解定量

\*池谷透（地球研）、丸尾雅啓（滋賀県大・環境科学）

### 1. はじめに

水中には、無機態の栄養塩類以外に有機物が相当量存在し、微生物食物網の働きで有機物中の窒素やリンなどが再利用されるが、循環過程の把握が困難で未解明な点が多い。また、微生物が細胞外のリンを利用する際には、細胞膜のリンの吸収システムを介して無機態リンのオルトリン酸 ( $P_i$ ) が取り込まれるが、モリブデン・ブルー法によって定量される溶存反応性リン (SRP) は発色液の酸によって易分解性の有機態リンが分解されるため、無機態リンが過大評価される傾向にある。そのため、SRP の測定に基づく有機態リンの分解量見積もりでは、有機態リン分解の寄与が過小評価される可能性がある。

湖水の  $P_i$  濃度は、Maruo *et al.* (2016 *Limnology*, 17(1): 7-12) によるイオンクロマトグラフィー (IC) の導入によってナノモルオーダーの高感度な直接定量が可能になった。水深が浅く富栄養湖に分類される琵琶湖周辺の内湖の湖水と流出入水について  $P_i$  と SRP を同時測定した Yi らは、 $P_i$  と SRP の量比には 0.1~1 の変動があり、微生物活動に由来する有機態リンの変動が原因となっている可能性を見いだした (Yi *et al.* 2019 *Limnology*, 21(3): 329-339)。溶存全リン (TDP) と SRP との差分 (SUP: Soluble Unreactive Phosphate) 以外に SRP 成分内にも有機態リンが含まれている可能性がある。

本研究では、有機態リンのリン酸エステルを加水分解することによって生成する  $P_i$  を IC によって定量することにより湖水の有機態リン濃度を求め、従来、SRP の定量で見落とされていた酸易分解性の成分を含む有機態リンについて、酵素の基質特異性によりリン酸エステル結合の種類やサイズ分画ごとに成分量を明らかにすることを目指した。

### 2. 材料と方法

柳平湖、平湖、流入水路の各地点の採水試料について GF/F フィルター、孔径 0.2  $\mu\text{m}$  メンブレンフィルター、孔径 0.1  $\mu\text{m}$  メンブレンフィルターで順次ろ過を行い、冷蔵・冷凍保存した。微生物の取り込みや湖水に含まれる分解酵素によるリンの変性を抑えるために、 $1 \times 10^{-5}$  M Carbonyl cyanide

m-chlorophenylhydrazone (CCCP) と  $3 \times 10^{-5}$  M Chloramphenicol (CAP) を保存時に試水に添加した。酵素分解直前にも同濃度の CCCP と CAP を再度添加した。試料は、湖水のほか、分解すると蛍光を発する 4-Methylumbelliferyl Phosphate (4-MUP) をリン酸モノエステル結合のモデル分子種として、4-Methylumbelliferyl pyrophosphate diester (MUPyrP) をリン酸ジエステル結合のモデル分子種として用いた。測定液に 0.1 mM 炭酸塩緩衝液と 3mM  $\text{MgCl}_2$  を添加し、 $37^\circ\text{C}$  で分解を行った。ペルオキシ二硫酸カリウム分解で定量した試水の TDP と  $P_i$  濃度の差分から試料ごとに有機態リン酸 (DOP) 濃度を見積もり、各酵素のキネティクスに当てはめて分解に必要な時間を調整した。酵素加水分解反応の開始時に、サブサンプルに 4-MUP、または、MUPyrP を添加し、それらの蛍光強度の変化で反応速度を逐次モニターし、所定の反応が進んだ時点で IC 測定を行った。

### 3. 結果と考察

リン制限が強い非灌漑期の 11 月は、0.2  $\mu\text{m}$  以下のろ液画分の DOP 濃度は流入水、柳平湖、平湖の順に 0.20、0.16、0.11  $\mu\text{M}$  と流下の順に低くなった。11 月に比べてリン制限が弱いと考えられる非灌漑期の 7 月の流入水の DOP 濃度は 0.35  $\mu\text{M}$ 、平湖は 0.21  $\mu\text{M}$  だった。11 月の 0.2  $\mu\text{m}$  以下のろ液画分をアルカリフォスファターゼ (AP)、無機ピロフォスファターゼ (PPase)、フォスホジエステラーゼ I (PD-I) の 3 種の分解酵素で処理したところ、柳平湖、平湖ではリン酸ジエステル結合をもつ有機態リンがリン酸モノエステル結合の 1.1~3.7 倍、流入水では 32 倍だった。有機態リンの総和は、DOP の 68%~100% を占め、流入水では PPase 分解成分が最も多く、流下順に濃度が低くなった。流入水から供給された PPase 分解成分が柳平湖や平湖で消費されたと考えられる一方、AP 分解成分や PD-I 分解成分は PPase 分解成分のような濃度変化は見られず、AP 分解成分は流下順に濃度が増加した。講演では、サイズ分画ごとの特徴や灌漑期の 7 月との比較を通して流入水・湖水の有機態リン成分の特徴や動態について議論する。

## ミジンコの表現型応答

\*坂本正樹, 河合哲太, 福島侑樹 (富山県立大・工)

### 1. はじめに

多くの水生生物は、特定の捕食者の密度や存在の有無に応じて行動、形態、生活史特性などの表現型を変化させる。これらは誘導防御と呼ばれ、捕食者から放出されるカイロモン（情報化学物質）によって誘導される例が多い。近年は、捕食者カイロモンの構造も少しずつ明らかになってきた。例えば、*Daphnia* 属のミジンコの形態変化を誘導するフサカ (*Chaoborus* spp.) のカイロモンや、日周鉛直移動を誘導する魚カイロモンの構造が同定されている。ただし、フサカや魚の存在下で観察される生活史特性の変化（体サイズや増殖率の変化）も、それらの既同定物質が誘導しているのかは不明である。

湖沼には様々な生物が共存しているため、そこに生息する生物は同時に複数の情報化学物質に曝されながら、自身の適応度が最大になる応答を選択していると考えられる。しかし、先行研究のほとんどは個別の捕食者に対する応答を調べたものであり、同時に曝された場合に優先される表現型応答やその反応基準についての知見はほとんどない。本研究では、同所的に存在するフサカ幼虫と魚（モツゴ：*Pseudorasbora parva*）のカイロモンに対するミジンコ (*D. pulex*) の応答を明らかにするため、室内実験による検証を行った。

### 2. 材料と方法

**実験 1. 魚カイロモンの影響：**実験には国立環境研究所の *D. pulex* 経代培養クローン (NIES 系統) を使用した。また、モツゴ幼魚 (2 inds. L<sup>-1</sup>, 平均体長 4.4 cm) を COMBO 培地に 24 時間入れ、メンブレンフィルター (孔径 0.45 μm) でろ過したものを魚カイロモン水とした。先行研究から、魚カイロモンは固相抽出による濃縮が可能であることがわかっているため、脱塩素水道水にモツゴを入れて作製したカイロモン水を C18 カラムに通し、メタノールに溶解させたカイロモン抽出液も用意した。作製した魚カ

イロモン水または固相抽出液を使用し、モツゴの密度が 0, 0.5, 1, 2 inds. L<sup>-1</sup> 相当の培地にミジンコを曝し、カイロモン濃度と体成長および繁殖率との関係を調べた。

**実験 2. 複合影響：**富山市の貯水池 (古洞池) から採集したフサカ幼虫 (*Chaoborus* sp., 3-4 齢, 10 inds. L<sup>-1</sup>) に十分数のマギレミジンコ (*D. ambigua*) を与えながら COMBO 培地中で 24 時間維持し、メンブレンフィルター (孔径 0.45 μm) でろ過したものをフサカカイロモン水として使用した。ミジンコをフサカカイロモン (有 or 無) と魚カイロモン (固相抽出液を使用して 0, 0.02, 0.1, 0.5 inds. L<sup>-1</sup> 相当に調整) に同時に曝し、体成長、繁殖率、防御形態の発現に対する影響を調べた。

### 3. 結果と考察

実験 1 では、ミジンコの成熟サイズに対する魚カイロモンの明らかな影響は確認されなかった。繁殖率は、固相抽出液 0.5 inds./L 相当に曝した際に最大値となったため、これを実験 2 における魚カイロモンの最高濃度とした。実験 2 では、フサカに対する防御形態の発現率および発現の程度が、魚カイロモンによって濃度依存的に抑制されることがわかった。繁殖率は、フサカカイロモンの有無にかかわらず、魚カイロモン濃度に依存して高くなる傾向があった。これらの結果は、ミジンコがフサカ幼虫よりも魚に対する応答を優先させたことを示唆する。また、形態変化 (フサカへの防御) の抑制が起こる魚カイロモンの濃度 (0.1 inds. L<sup>-1</sup> 相当) は、繁殖率の上昇 (魚への応答) を引き起こす濃度 (0.5 inds. L<sup>-1</sup> 相当) よりも低いことがわかった。このことから、形態変化 (抑制) と生活史特性 (繁殖率上昇) の反応基準は異なることがわかり、ミジンコは捕食者のタイプに応じて柔軟に表現型応答を調整していることが明らかになった。

\*片桐浩司（東京農工大 EAGLe）

## 1. はじめに

河跡湖は洪水時などに河道の一部が切り離されることでつくられる特殊な水域であり、異なる要求をもつ各種生物に対してさまざまな生息場を提供してきた。とくに水生植物については、数少ない生育環境のひとつとして機能していることが報告されているものの、これまで国内で河跡湖の水生植物について扱った研究はなく、河川生態系の中で河跡湖が水生植物の多様性にどのように貢献しているのかについては不明である。以上の背景を踏まえ、本研究では、①河跡湖の水生植物は河川生態系の種多様性に貢献しているか？ ②河跡湖に特異な種の分布を決定する環境要因は何か？ ③河跡湖に特異な種の分布は、近年どのように変化してきたか？の3点を明らかにすることを目的とした。

## 2. 材料と方法

良好な河跡湖が残存する北日本の河川（雄物川 0-42km, 十勝川 0-40km, 釧路川 32-40km）を対象にゴムボートを用いた現地調査をおこなった。

### (1) 水生植物相調査

2019年に、雄物川の河跡湖 10 地点、十勝川の河跡湖 13 地点で水生植物相と環境条件を調査し、河跡湖と本川の水生植物相について比較した。

### (2) 河道の変遷と河跡湖の成立年代の把握

古地図（地図・空中写真閲覧サービス（国土地理院ウェブサイト）等）と文献から、河跡湖がいつどのような要因で成立したかを把握した。

### (3) 河跡湖に特異な種の生育特性

特異な種の生育特性を明らかにするために、特異な種の種数との環境条件（成立年代、pH、EC、DO、水温、水深、泥厚）との相関分析をおこなった。

### (4) 河跡湖に特異な種の経年変化

国内では河跡湖のみで確認されているイヌイトモを対象として、分布状況の経年変化を把握した。

## 3. 結果と考察

### (1) 本川と河跡湖の水生植物相の比較

#### ① 雄物川

雄物川本川で 32 種の水生植物が確認された。河

跡湖では全 16 種の水生植物が確認され、このうち河跡湖のみで確認された種は 7 種であった。河跡湖の確認種のうち 43%が本川に生育していなかった。

#### ② 十勝川

十勝川本川で 31 種の水生植物が確認された。ワンド・たまり、河跡湖で全 30 種の水生植物が確認されており、このうち河跡湖のみで確認された種は 9 種であった。河跡湖の確認種のうち 30%が、本川には生育していない種であることがわかった。

以上の比較から、雄物川および十勝川の河跡湖には河川にみられない特異な種が生育しており、河跡湖は流域の種多様性（ $\beta$ 多様性）の向上に貢献していることがわかった。

### (2) 河跡湖に特異な種の生育特性

河跡湖のみに特異的にみられた種の種数と環境条件との対応関係を明らかにするために相関分析をおこなった。解析の結果、河跡湖に特異な種と、水温、水深、泥厚の間に有意な正の相関がみられた。水温が高く、水深が深く、泥厚が厚くなることで増加しており、特異な種の分布はその場の物理環境条件によって決定されることが示唆された。一方、河跡湖の成立年代や水質の影響は受けていなかった。

### (3) 河跡湖に特異な種（イヌイトモ）の経年変化

イヌイトモの生育状況の経年変化を調査したところ、約 10 年間で 7ヶ所の生育地のうち 4ヶ所で消失した。イヌイトモが消失した調査地では、ヒシやマツモが大幅に拡大したところもあったが、他種による競争排除以外の要因で消失した例もみられた。一方、生育が維持された河跡湖では、水底からの湧水や伏流水の湧出が確認された。こうした湧水や伏流水の流入が良好な水環境を維持し、イヌイトモの長期間の生育を可能にしているかもしれない。



釧路川の河跡湖のイヌイトモ (2019. 8 撮影)

## における有機物の生成機構

\*長尾誠也 (金沢大・環日セ), Bat-Erdene Ariunsanaa (金沢大・院自然)  
岩井久典 (金沢大・環日セ), 福士圭介 (金沢大・環日セ),

## 1. はじめに

人間活動に伴う湖沼の汚濁とそれに伴い発生する生態系への影響が環境問題として取り上げられ、陸域の環境保全を実践するためには、湖沼の汚濁の原因解明が必要不可欠である。北陸沿岸の平野部には、水深が浅く人間活動と密接に関係する潟湖が分布している。本研究で対象とする木場潟は石川県小松市に位置し、ここ 10 年間で化学的酸素要求量 (COD) が環境基準値の 3mg/L を上回る 6~7mg/L で推移している。有機汚濁の原因解明のため、2012 年から小松市と共同で調査を実施している。これまでの観測結果から、木場潟の COD の変動は、湖水の水温・pH とともに、溶存・懸濁態有機物濃度と正の相関性が認められ、有機物の動態が関与していることが示唆されている。

本研究では、木場潟における有機物の変動要因を明らかにするため、流入河川、湖心部の表層水と底層水から懸濁粒子を捕集し、有機炭素濃度とともに炭素同位体比、 $\delta^{13}\text{C}$  と  $\Delta^{14}\text{C}$  を測定し、流入河川からの有機物の供給とともに、湖内での有機物の生成機構について検討した。

## 2. 材料と方法

木場潟では 2020 年 1 月~3 月、6 月から 2021 年 3 月まで毎月一回の調査を行った。調査地点は木場潟で 5 地点、日用川で 1 地点の合計 6 地点を設定し、多項目水質計 (TOA-DKK WQC-24) による pH、溶存酸素、電気伝導度、濁度、水温測定を行った。また、日用川と木場潟中央部の表層水と底層水 (水深 2m) 40L~60L を採水し、連続遠心法により懸濁粒子を捕集した。凍結乾燥後に粉碎し、1M 塩酸処理後に元素分析、炭素安定同位体比 ( $\delta^{13}\text{C}$ ) と加速器質量分析計により放射性炭素 ( $\Delta^{14}\text{C}$ ) を分析した。湖水の溶存有機炭素濃度は島津 TOC-V<sub>CSN</sub> 計で測定した。

## 3. 結果と考察

木場潟中央部の表層水、底層水、流入河川表層水の溶存有機炭素濃度は 9 月に最大値、2 月に最小値を示す同様な変動を示した。9 月の溶存有機炭素濃度は、表層水 (2.2 mg/L) > 底層水 (2.1 mg/L) > 流入河川 (1.8 mg/L) の順であり、湖内での溶存有機物の供給源の存在を示唆している。懸濁態有機炭素濃度は、湖内表層水と底層水で 10 月に最大値 4.1~4.3 mg/L、1 月~2 月に最小値 0.68~1.5 mg/L を示した。一方、流入河川水では 9 月と 10 月に 0.32~0.37 mg/L と低く、木場潟湖水とは異なる変動傾向であった。

湖水の懸濁態有機物の  $\delta^{13}\text{C}$  値は、懸濁態有機炭素濃度と同様に、夏季に高く (-24.8~-25.4‰)、冬季に低い (-32.3~-30.3‰) 季節変動を示した。2020 年 3 月を除くと湖内の表層水と底層水での変動傾向はほぼ一致した。

湖水の懸濁態有機物の  $\Delta^{14}\text{C}$  値は、懸濁態有機炭素濃度の変動を参考にして、2020 年 2 月、7 月、12 月と 2021 年の 2 月を選択して分析した。その結果、2020 年 7 月は表層水 -49‰、底層水 -94‰ と差異が認められたが、7 月以外では湖内表層と底層水で懸濁態有機物の  $\Delta^{14}\text{C}$  値はほぼ一致し、10 月には -89~-86‰ と高く、2020 年 2 月では -117~-115‰、2021 年 2 月は -149~-143‰ と低い値であった。

懸濁態有機物の炭素含有量 (% 単位) に対して  $\Delta^{14}\text{C}$  値をプロットすると、調査直前に降雨が観測された 2021 年 2 月の試料を除くと正の良い相関関係 (相関係数 0.98) が存在した。この結果は、木場潟湖内での植物プランクトンの増殖に関して懸濁態有機炭素含有量と  $\Delta^{14}\text{C}$  値が増加することを示している。また、2020 年 7 月の表層水と底層水の  $\Delta^{14}\text{C}$  値の違いは、夏季の湖水の成層化により大気からの二酸化炭素供給量の違いが反映された可能性が考えられる。



\*北村立実, 大内孝雄, 木村夏紀, 古川真莉子, 湯澤美由紀, 福島武彦 (茨城県霞ヶ浦環境科学センター) 増永英治 (茨城大), 鮎川和泰, 清家泰 (島根大)

## 1. はじめに

北浦は、茨城県南東部に位置する霞ヶ浦の一部で、東西約 5 km, 南北約 20 km の南北に延び、最大水深約 7 m の浅い特徴を持つ富栄養湖である。北浦流域では様々な水質保全に対する取り組みが実施されているものの、湖内水質が改善されていない。その要因の一つとして、貧酸素化に伴う底泥からの栄養塩回帰が指摘されている。そこで、本研究では、リン(リン酸態リン: PO<sub>4</sub>-P)を対象として、現場調査による溶存酸素(DO)濃度と PO<sub>4</sub>-P 濃度の状況の把握や、底泥から見かけ PO<sub>4</sub>-P 溶出速度を算出することで、現場における北浦底泥からのリンの溶出速度について検討した。また、室内実験による PO<sub>4</sub>-P 溶出速度も調査し、現場と室内実験における溶出速度の特徴を検討した。

## 2. 調査方法

### 【現場調査】

2019 年及び 2020 年の 7 月～9 月に北浦の釜谷沖水質自動監視所(図 1)に水質計自動昇降装置(マイクロプロファイラーAWQP13)を設置し、多項目水質計(Datasonde5x)を 30 分に 1 回往復する速さで上下させた。Datasonde5x は 2 cm 間隔で計測し、項目は水温と DO とした。また、自動採水機(ISCO6712)も設置し、上層(水面下 50cm)及び下層(湖底直上 50cm)の湖水を 1 日 1 回以上採水した。

### 【室内実験】

2020 年の 6 月～9 月, 2021 年の 6 月及び 7 月に月 1 回の頻度で北浦の釜谷沖水質自動監視所付近の底泥をコアで採取した。実験室へ到着後すぐに水層を除去し、窒素曝気した下層湖水のろ液で置換し密栓した。暗条件, 窒素曝気の下, 現場の下層水温(25℃)で攪拌しながら培養し, 一定時間ごとに水層から採水した。

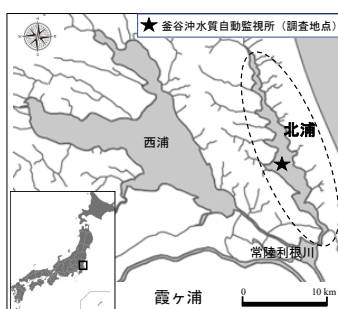


図 1 調査地点

現場調査や室内実験で採水した水試料は孔径 1 μm のろ紙(Whatman GF/B)でろ過し, ろ液を PO<sub>4</sub>-P 分析(JIS 法準拠)に供した。現場調査で得た下層の PO<sub>4</sub>-P 濃度の経時変化から, 濃度上昇は全て溶出起因と仮定した見かけ PO<sub>4</sub>-P 溶出速度を算出し, 室内実験で得た水層の PO<sub>4</sub>-P 濃度の経時変化から PO<sub>4</sub>-P 溶出速度を算出した。

## 3. 結果及び考察

現場調査において, 下層の DO 濃度が 4 mg L<sup>-1</sup> より低くなることで下層の PO<sub>4</sub>-P 濃度が上昇する傾向が見られた。下層で最も高い PO<sub>4</sub>-P 濃度を示したのが, 2019 年 8 月 2 日の 0.20 mg L<sup>-1</sup> であり, 下層の DO 濃度は 0.0 mg L<sup>-1</sup> と非常に低かった(図 2)。前日(8 月 1 日)の PO<sub>4</sub>-P 濃度は 0.002 mg L<sup>-1</sup> であったことから, 見かけ PO<sub>4</sub>-P 溶出速度を算出すると 99.3 mg m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> と見積もられた。現場調査では下層の DO 濃度低下に伴う PO<sub>4</sub>-P 濃度の上昇が何回か確認されたが, それらの見かけ PO<sub>4</sub>-P 溶出速度は 19.8～99.3 mg m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> であった。一方, 室内実験による PO<sub>4</sub>-P 溶出速度は 16.7～49.1 mg m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> と, 現場調査における見かけ PO<sub>4</sub>-P 溶出速度の方が大きい傾向が見られた。現場では下層の DO 濃度の状況などによって PO<sub>4</sub>-P 溶出速度が異なる可能性が考えられた。

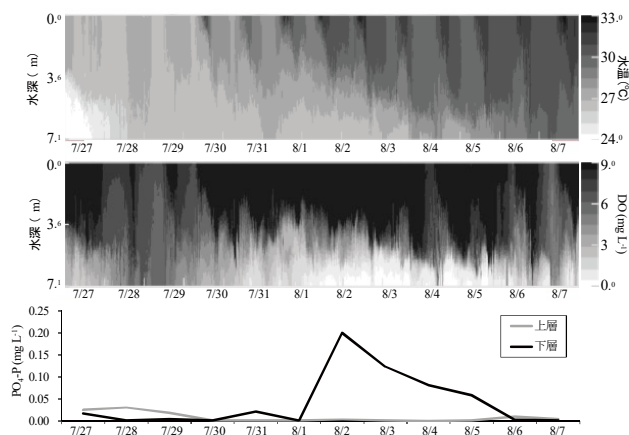


図 2 釜谷沖水質自動監視所における水温, DO 濃度の鉛直時系列分布及び PO<sub>4</sub>-P 濃度の経日変化(2019 年 7 月 27 日～8 月 7 日)

## — 東京都大田区の呑川を例に —

\*安原正也(立正大)・伊東優希(立正大・院)・李 盛源(立正大)  
稲村明彦(産総研)・中村高志(山梨大)

## 1. はじめに

三面張コンクリート護岸を有する呑川(図1)では、その水流維持のため、落合水再生センターから導水された2~3万 $\text{m}^3$ /日程度の高度下水処理水が、大岡山の工大橋の下から放流されている。一方、約4km下流の鶴林橋までの流路区間では、高さ5m程度の護岸側壁に多数の“湧水パイプ”が設置され、また地下水の浸出を示す黄褐色に染まった部分が河道のコンクリートの継ぎ目に散見される。さらに、鶴林橋に近い下流部の約1kmの区間には部分的にコンクリート打ちされていない河床部分(“湧水孔”)も存在することから、呑川にはこれらの経路を通じて武蔵野台地の地下水が流入し(図2)、水流の形成に一定の寄与をしているものと考えられる。そこで、2015年~2019年の無降雨日に調査を行い、電気伝導度(EC)と酸素同位体比( $\delta^{18}\text{O}$ )に基づき、呑川へ流入する浅層地下水の量的評価を試みた。

## 2. 方法

放流される下水処理水と地域の浅層地下水のECには明瞭な差が認められる。前者は44~50 $\text{mS/m}$ 程度、後者は流量の重み付け平均で35.2 $\text{mS/m}$ (大田区資料)である。さらに、下水処理水は、高標高の山地部から流下する利根川や多摩川の河川水(=水道水)を起源とするため、 $-9.8\sim-8.4\%$   $\delta^{18}\text{O}$ と同位体的に軽い。対照的に、同地域の降水を起源とする浅層地下水は相対的に重い( $-7.5\sim-6.5\%$   $\delta^{18}\text{O}$ )。



図1 呑川流域. 写真番号は発表当日のpptのそれに対応。

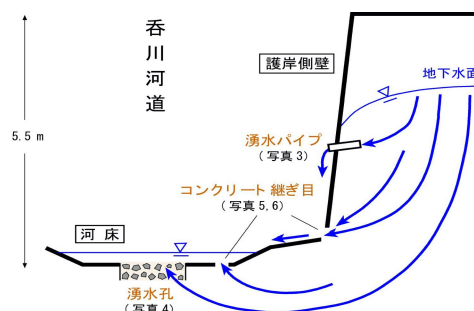


図2 呑川河道への地下水の浸出経路(模式図). 写真の番号は発表当日のpptのそれに対応。

このような浅層地下水の流入により、呑川河川水のECは流下に伴い低下、反対に酸素同位体比は上昇する。本研究では2つの端成分のECと $\delta^{18}\text{O}$ に基づく混合解析を行い、各観測日の呑川の流量に占める浅層地下水の割合(寄与率 $X_g$ )を求めた。呑川の流量( $Q_r$ )は、流水幅、橋の上からの測深による水深、浮子法によって求めた流速の値から算出した。

## 3. 結果と考察

$\delta^{18}\text{O}$ に基づく浅層地下水の寄与率 $X_g$ は、たとえば入梅前の2018年5月12日には約12%、夏季豊水期に相当する2019年9月20日には約20%と季節による差が認められた。これらに流量( $Q_r$ )を乗ずることで、約4kmの流路区間における地下水の流入量はそれぞれ約4,300 $\text{m}^3$ /日、8,600 $\text{m}^3$ /日と算出される。両日のECに基づく混合解析結果とも整合的であり、呑川の流量形成に浅層地下水が無視できない役割を果たしていることを示している。すなわち、コンクリート三面張の河川であるにもかかわらず、呑川は依然として武蔵野台地の(地下)水循環の重要な一部として機能していることが明らかとなった。

ここで、前出の浅層地下水流入量を、約4kmの流路区間に対応する流域面積で除すると、流出高はそれぞれ0.57 $\text{mm}/\text{日}$ 、1.13 $\text{mm}/\text{日}$ となる。これは約200 $\text{mm}/\text{年}$ 、400 $\text{mm}/\text{年}$ に相当するが、年平均降水量1,500 $\text{mm}$ 、また同流域の市街地率が95%を超えている現状(東京都, 2017)を考えると、この地下水の起源についての検討が今後必要となる。

## 吉野川(奈良県)で採集した水生昆虫のメタバーコーディング解析

\*稲井 公二・脇村 圭 (大阪府立大・高等教育), 渡辺 幸三 (愛媛大・沿岸環境科学研究センター), 加藤 幹男 (大阪府立大・高等教育, 大阪府立大院・理学系)

### 1. はじめに

種判別DNAマーカーとして提唱されているミトコンドリアのシトクロムcオキシダーゼサブユニットI(COI)遺伝子から生物種を判別する試みが広く行われており、それに伴い生物種に対応づけられたマーカー領域の情報の蓄積がかなり進んできている。本研究では、吉野川支流から採集した水生生物群から得られたCOIマーカー領域の次世代シーケンシングデータを用いて、採集試料に含まれている種数の推定などのメタバーコーディング解析の結果を報告する。

### 2. 材料・方法

2017年に吉野川(奈良県)支流3地点から、局所の河床を攪拌し底生生物類を採集し、形態に基づく種判別が困難なサイズである2mmメッシュを通過する個体を集め、DNA解析の対象とした。3地点の試料から別々にDNAを抽出し、COIマーカー領域をPCR増幅し、イルミナ社MiSeqによる次世代シーケンシングに供した。シーケンシングの対象は、Folmerら (Mol Mar Biol Biotechnol 1994;3:294-299) のプライマーで増幅される658塩基対のうち、3'側の313塩基に相当する領域とした。DNA配列参照データは、国立遺伝学研究所(DDBJ)のアーカイブに登録されているDNA配列(2021年7月末までの更新データ)、BLAST検索には、NCBIから提供されているDNAおよびアミノ酸配列を対象としたオンラインBLASTを用い、分類学情報はNCBI Taxonomy databaseに従った。

### 3. 結果と考察

#### MiSeqによるシーケンシング

得られたDNA配列のうち、使用したPCRプライマー配列と読み取ったプライマー領域の差が1塩基以内で、かつプライマー間(増幅標的領域)の鎖長が313塩基である配列(リード)を有効な解析対象とし、3地点合計で約22万リードが得られた。約4.1万種類のDNA配列から構成されており、それぞれの出現頻度を集計した。

#### 操作上の分類単位(OTU)の取り出し

得られたリードには1塩基程度の読み間違いが含まれることがあり、信頼性の高いDNA配列(測定ごとに1塩基違いの隣接配列の出現頻度を調べ、出現頻度の高い配列を採用)を取り出しOTUとした。全体でOTU数は888であった。

#### 系統樹と進化的種区分

得られたOTUを用いてMCMC法(MrBayes 3.2.7aでGTR+I+Gモデルを使用、世代数500万)で系統樹を作

成した。得られた系統樹データを進化的種区分法(GMYC: Generalized Mixed Yule Coalescent、RのSPLITSパッケージを使用)で解析した結果、369種(推定種)に区分された。

#### BLAST検索による生物種への対応

GMYCで同一種に区分されたOTU群の中で、リード数の最も多い配列を代表DNA配列とし、それらに対してBLAST検索を行った。90%以上の一致率を基準にBLAST検索で得られた参照配列の学名に対応させた結果、カゲロウ目で45種、トンボ目で2種、カワゲラ目で21種、トビケラ目で16種の対応づけができた。ここでは陸水域の環境指標生物として重要な水生昆虫4目の結果のみを示したが、ハエ目やコウチュウ目などの昆虫、それ以外の多くの生物種についても対応づけができた。

#### アミノ酸配列による目の推定

一致率が90%未満であるOTUも多数認められたが、それらについてアミノ酸配列を指標に種判別の可能性を検討した。OTUのDNA配列をアミノ酸配列(104残基)に変換し、アミノ酸配列を対象としたオンラインBLAST検索を実施した。まず、アミノ配列が完全に一致する参照配列の生物分類情報との対応を調べた。我々が着目している水生昆虫4目で対象としたマーカー領域においては、同一アミノ酸配列を有する生物種はほぼ単一の目に属していることがわかり、それらに基づいた目の推定結果を表1に示す。あわせて、アミノ酸配列が完全に一致した参照配列はデータベースに存在しなかったが、アミノ酸配列に基づく分子系統樹から推定された分類数を示した。DNAの一致率に基づいた方法よりも、多くのOTUが目レベルで分類された。

以上の結果から、水生昆虫の主要な4目に対して、DNA配列の一致率が90%以上を基準に種へ分類すると、84種の対応づけができたが、さらにアミノ酸配列情報を加えると、アミノ酸配列の完全一致にしたがって110種が目へ対応づけられ、分子系統樹との比較によってさらに多くの種数が目レベルに分けられた。

表1. アミノ酸配列に対するBLASTによる種分類数

	配列完全一致	系統樹からの推定を含む
カゲロウ目	64	72
トンボ目	1	2
カワゲラ目	25	27
トビケラ目	20	27
合計	110	128

## オオシロカゲロウの遺伝的集団構造

関根一希 (立正大・地球)

## 1. はじめに

オオシロカゲロウ (カゲロウ目シロイロカゲロウ科) は河川の中・下流域に生息する水生昆虫であり、日本に広く分布する。地域によってメスのみの雌性個体群とオス・メスからなる両性個体群が認められる地理的単為生殖種である。雌性個体群は、二倍体の雌性産生単為生殖によって維持される。ミトコンドリア DNA の COI 遺伝子に基づく分子系統解析から、雌性個体群を形成する個体は西日本の両性個体群に起源する単系統群といった単為生殖系統であり、二次的に東日本へ移動分散し、分布を拡大した。

福島県の阿武隈川や埼玉県の荒川においては、両性生殖系統と単為生殖系統といった両方の繁殖タイプの共存が認められており、もともと両性個体群であった河川に単為生殖系統が二次的に入り込んだものと考えられる。メスのみで繁殖する単為生殖系統は、オスを生じない分、両性生殖系統に対して繁殖の数で圧倒する可能性が考えられる。一方で、両性生殖系統のオスが存在する環境下では、単為生殖系統のメス個体が両性生殖系統のオス個体と交雑したり、単為生殖系統の両性生殖化といったことが生じる可能性も考えられる。実際、非常に少ないながらも単為生殖系統のオス個体が認められており、単為生殖系統メスの両性生殖によって生じた可能性もある。

そこで、本研究では両性生殖系統と単為生殖系統間での遺伝的混合が生じているのかを明らかにするため、ゲノムワイドの一塩基多型 (SNP) 解析を行ない、遺伝的集団構造を調べた。

## 2. 材料と方法

東日本からは、阿武隈川、荒川、養老川、夷隅川の4河川より両性生殖系統12個体、北上川、名取川、阿武隈川、荒川、千曲川の5河川より単為生殖系統17個体 (その内4個体はオス)、西日本からは、木津川、加古川、旭川、高梁川の4河川より両性生殖系統12個体、庄内川、旭川、小瀬川、佐波川、肱川の5

河川より単為生殖系統11個体 (その内1個体はオス) のオオシロカゲロウをサンプルとして用いた。これらのサンプルの胸部筋肉から Qiagen DNeasy Blood & Tissue Kit により DNA 抽出し、両性生殖系統か単為生殖系統かを、あらかじめミトコンドリア DNA の COI 遺伝子によって識別した後、GRAS-Di 技術 (ユーロフィンジェノミクス株式会社への外部委託) によるゲノム解析を行なった。その後、Stacks ver. 2.59 により SNPs 探索を行ない、PCA, MDS, Admixture ver. 1.3 による解析、および RAxML-NG により ML 樹を作成した。

## 3. 結果

17,877 個の SNPs が確認され、PCA や MDS では、単為生殖系統、東日本の両性生殖系統、西日本の両性生殖系統といった3つのグループが認められた。また、ML 樹においても、同じ組み合わせの3つのクレードが認められた。単為生殖系統のオス個体はいずれも単為生殖系統のメスと類似、特に同じ河川のものとはほぼ同じ塩基配列であった。Admixture 解析では、同じ河川内に生息する両性生殖系統と単為生殖系統間の遺伝的混合は認められなかった。しかし、北上川と名取川の単為生殖系統メス個体には、東日本の両性生殖系統との遺伝的混合が認められた。

## 4. 考察

単為生殖系統と両性生殖系統が共存する地点において、単為生殖系統は基本的に単為生殖によって世代をつないでいると考えられる。わずかに認められた単為生殖系統のオス個体は、単為生殖によって生じた可能性が高い。ただし、北上川と名取川の単為生殖系統メスには、東日本両性生殖系統由来の遺伝子が認められることから、単為生殖系統と両性生殖系統間の交雑が起こる可能性は否定できない。今後、外群となる韓国産オオシロカゲロウのサンプルや近縁種のアカツキシロカゲロウを加えることでより詳しい検証を行ないたい。

## 水生菌類の役割の菌種間比較

松山民傑（東京大）・\*加賀谷隆（東京大）・佐藤大樹（森林総研）

## 1. はじめに

森林溪流の食物網において、溪畔林より流入する植物リターは重要な基礎エネルギーであり、その分解には水生菌類とリター食の水生昆虫が大きく関与する。菌類の定着はリターに栄養価の向上や軟化を生じ、直接的に昆虫の破碎摂食を促進するとともに、昆虫の適応度を高めることで間接的に溪流のリター破碎を促進すると考えられている。落葉広葉樹の葉リターの破碎摂食について、促進効果が菌種によって異なることはよく知られている。しかし、促進効果の菌種差は、菌定着期間により変化する可能性がある。また、昆虫の成長を促進する効果や、針葉樹リターにおける効果の菌種差は知見が乏しい。

本研究は、溪流のリター食昆虫の破碎摂食と成長において、様々な長さの菌定着期間を経た落葉広葉樹の葉リターと、スギの針葉シュートリターを摂食する場合のそれぞれについて、促進効果の菌種による大小を明らかにすることを目的とする。

## 2. 材料と方法

$\gamma$ 線滅菌したケヤキのリーフディスクとスギの針葉シュート片、普通種の水生菌類である *Alatospora acuminata* (菌 A), *Tetracladium marcharianum* (菌 M), *Tricladium chaetocladium* (菌 C) を用いて、カクツツトビケラ種群終齢幼虫の摂食実験と成長実験を行った。いずれの実験とも、2樹種のリターについて、無菌処理と菌 A, 菌 M, 菌 C の各接種処理、各菌処理について定着期間の異なる3処理（2週、4週、6週）を設定した（ $2 \times 4 \times 3 = 24$  処理）。

摂食実験では、各処理ともトビケラにリターを与える摂食区とリターのみを対照区を設け、2区におけるリターの重量変化から日摂食量を推定した。成長実験では、実験前後のトビケラ個体の体重変化から日成長量を推定した。日摂食量、日成長量とも、トビケラの個体重の影響を除去するために、直線回帰の予測値からの残差に基づき解析を行った。

## 3. 結果

いずれの樹種のリターを与えた場合でも、菌接種処理のトビケラの平均日摂食量と平均日成長量の残差は、無菌処理に比べて大であった。ケヤキリターを与えた場合の平均日摂食量残差は、定着期間に関わらず菌 A 処理よりも菌 M, 菌 C 処理で大であった。平均日成長量残差は、定着期間に関わらず菌 M, 菌 C 処理よりも菌 A 処理で大であった。スギリターを与えた場合の平均日摂食量残差と平均日成長量残差には、菌処理と定着期間の交互作用が認められ、それぞれについて大である菌種は定着期間によって異なった（図）。

## 4. 考察

落葉広葉樹の葉リターとスギの針葉シュートリターのいずれを食物とした場合でも、リター食昆虫の破碎摂食と成長は、水生菌類の定着によって高まり、その効果は菌種によって異なることが示された。

昆虫がスギのリターを摂食する場合には、菌種による効果の大小が、菌の定着期間の長さによって異なることが認められた。スギ植林地の溪流では、リター流入後の時間経過にしたがって、昆虫を介したリター分解に寄与する菌種は変化すると考えられる。落葉広葉樹のリターを摂食する場合には、短期スケールで昆虫の個体レベルの破碎速度を高める菌種と、個体の適応度を向上させることで、長期スケールで昆虫個体群全体の破碎速度を高める菌種は異なることが示唆された。

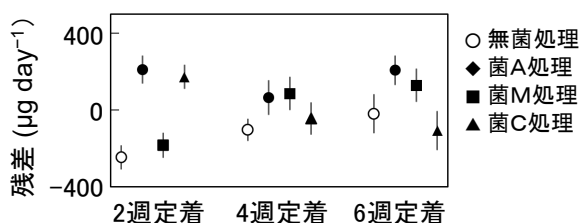


図. 各定着期間の各菌処理におけるスギリターを摂食したトビケラの日摂食量残差（平均±SE）。

\*西村洋子（龍谷大）、吉山浩平（滋賀県大）、打越崇子（琵琶博）、大塚泰介（琵琶博）、泉野央樹（滋賀県大）、木本裕也（滋賀県大）、丸尾雅啓（滋賀県大）

## 1. はじめに

河川生態系において、付着藻類は一次生産者として重要な役割を担っている。また、アユをはじめとする藻食魚類や、昆虫・貝類などの底生生物の餌となり、河川食物網を支えている。河川生態系においては、珪藻類、ラン藻類、緑藻類が主要な出現分類群となっている。特に珪藻類はアユが好んで餌としているなど、種によって食物網内での役割は異なっている。付着藻類の多様性を明らかにすることは河川生態系を知る上で重要である。付着藻類の現存量の定量は、一般的に蛍光法を用いたクロロフィル *a* 測定により行われているが、この手法では分類群ごとの現存量を知ることはできない。また、植物プランクトンでは顕微鏡を用いた定性・定量法がよく用いられるが、付着藻類では、砂等の夾雑物が多く、この方法も比較的困難である。そこで本研究では、液体高速クロマトグラフィー (HPLC) 法を用いて、主要な付着藻類分類群を定量することを一つの目的とした。また、付着藻類の出現する礫は、そのサイズによって受ける攪乱強度が異なり、これが出現する付着藻類の種組成を変化させている可能性がある。そこで、二つ目の目的として、礫サイズと分類群組成の関係について調査を行った。

## 2. 材料と方法

夏季（2018年8月30日）と冬季（2019年1月17日）の2回、滋賀県彦根市の犬上川において調査を行った。調査地点は、犬上川の上流から下流の6地点 (Stn.1~Stn.6) を設定した。Stn.3とStn.4の間には犬上川ダムがある。各地点において、付着藻類のサンプリングは、大礫 (5×5 cm 以上の石1個)、中礫 (5×5 cm 以下の石複数個)、砂 (直径3センチのシリンジで深さ1センチ分) より採取した。礫表面について5×5 cm 枠相当の面を歯ブラシでこすり、付着藻類を洗い落して採取した。砂については採取した全量を強く攪拌して付着藻類をはぎ取った。これらをGF/Fフィルター上に捕集した。フィルターから色素を90%アセトンに抽出した試料をHPLCで

分析した。移動相としてアセトニトリルと酢酸エチルを用いる二液グラジエント法を採用し、ODSを固定相に用いた。波長750 nmでの吸光度を用いて各色素を定量した。

現場で水温、電気伝導度、流速、pHを測定した。同様に河川水をGF/Fでろ過し、オートアナライザーにより、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、NO<sub>2</sub><sup>-</sup>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、SRP、SRSi、TDN、TDP濃度を、イオンクロマトグラフィーにより、Ca<sup>2+</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>等10成分の濃度を測定した。

## 3. 結果

HPLC法により、河川の主要藻類である珪藻類、ラン藻類、緑藻類由来の色素群を分離・定量することができた。犬上川の各成分の変動は夏冬共に同様の傾向が見られた。水温は上流から下流まで、大きな変化はなかった。電気伝導度は、ダムを境に下流で上昇していた。同様に硝酸イオン、塩化物イオン、硫酸イオン、SRPなどの濃度もダムを境に上昇していた。SRSi濃度はダムを境に逆に低下していた。付着藻類生物量はダムを境に変化が見られ、ラン藻類、緑藻類はダム上流では少なく、下流で増加する傾向が見られた。珪藻類は、上流、下流共出現し、特に冬季の下流地点で多かった。結果として上流では珪藻類が優占し、下流では、3分類群が均衡して存在する状態になっていたと考えられる。礫サイズと付着藻類の分類群組成との間に明確な関係は見られなかった。

## 4. 考察

犬上川の上流で珪藻類の優占がみられたのは、SRSi濃度が高かったこと。また、有力な捕食者であるアユの遡上がダムによって妨げられたことが原因と考えられた。下流では、SRPなど他の栄養塩類濃度が上昇しており、かつアユなどの捕食者がいたことにより、珪藻類が減少し、他種藻類が出現してきたと考えられた。

\*田屋 祐樹 (株式会社国土開発センター・筑波大)・  
傳田 正利 (国立研究開発法人土木研究所・筑波大)

## 1. はじめに

平成 29 年 7 月九州北部豪雨や平成 30 年 7 月豪雨等、近年は、治水安全度が高い国管理の 1 級河川においても、河道の流下能力を超える洪水が発生し河川氾濫による被害が生じている<sup>1)2)</sup>。これを受けて、「防災・減災、国土強靱化のための 3 か年緊急対策」がとりまとめられ、全国の河川では、流下能力向上のための緊急的な樹木伐採が行われている<sup>3)</sup>。一方で、河道内の樹林は、動植物の生息場としての役割を担っており、樹木伐採にあたっては、治水と生物多様性の保全の両立を図ることが重要と考えられる。しかしながら、河道内樹林の生物多様性から見た価値の評価方法や現地検証の研究は少なく、河川管理の現場では、樹木伐採箇所や保全箇所の順位を決めるに際して試行錯誤している。そこで、河道内樹林を対象に群落組成調査を実施し、群落内に生育する植物種から植物群落の多様性の評価を試みた。

## 2. 材料と方法

本研究では、手取川水系手取川の扇状地に位置する宮竹地区(以下「調査地」という)を対象とした。調査地は、扇頂部から約 4km、河口から約 11km に位置する礫床河道である。調査地においては、アキグミ群落とハリエンジュ群落を優占し、木本群落の面積の 7 割以上を占めている。これら群落を対象に、1 群落あたり 6 地点の群落組成調査を行った。群落組成調査で確認した植物種から、「河原水辺種」、「外来種」を定義・抽出し、調査区の被度割合から植物群落における在来種の多様性を評価した。

河原水辺種は、河川環境に適応した土着の種と定義し、本研究では、改訂新版日本植生便覧の日本植物種名辞典を用い、最適生育立地が「河原、砂礫地、水辺、河畔、河岸、溪畔、湿地、水湿地、湿性地」のいずれかの種を選定した。外来種は、自然分布の範囲外の地域に人間活動によって移入した生物種のことをいい、本研究では、おおよそ明治以降に人為的影響により導入された国外由来の植物を選定した。河原水辺種、外来種に該当する種の被度の割合を調査区ごとに算出した。被度は、ある植物の地上における広がりを示すものであり、ブラウン・ブランケの 5 段階の被度階級を、各階級の百分率の中

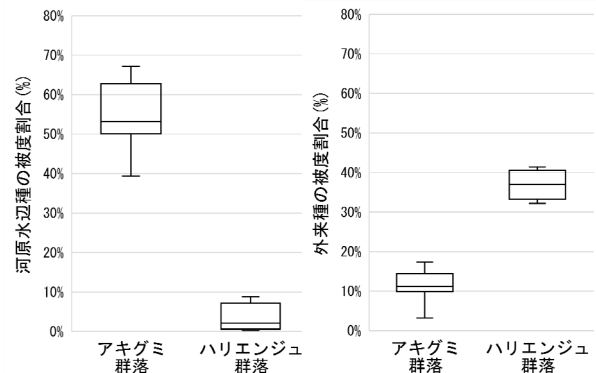


図-1 河原水辺種(左)と外来種(右)の被度割合(%)

央値に変換して算出した(+0.1%, 1: 5.5%, 2: 17.5%, 3: 37.5%, 4: 62.5%, 5: 87.5%)。群落間の河原水辺種、外来種の被度割合の違いをマン・ホイットニ検定により検定し比較した。

## 3. 結果

河原水辺種の被度割合は、アキグミ群落では 53% (中央値)であり、ハリエンジュ群落の 2%に対して有意に大きく、アキグミ群落には河原水辺種が多く生育することが認められた(マンホイットニ検定,  $P < 0.01$ ) (図-1)。外来種の被度割合は、アキグミ群落では 11% (中央値)、ハリエンジュ群落では 37%と、アキグミ群落が有意に小さかった ( $P < 0.01$ ) (図-1)。

## 4. 考察

アキグミ群落は、ハリエンジュ群落に対して、群落内は外来種の生育が抑制されており、河原水辺種が多く内在していることが把握できた。河原水辺種は、河川環境に依存する在来種であり、これらを保全することが河川の植物種の保全の目標となる。河道内の樹木伐採の際には、アキグミ群落を優先して保全することにより河道内における植物の多様性が保たれることが示唆された。

## 参考文献

- 1) 国土交通省編, 令和 2 年度版国土交通白書, pp. 50-51, 2020.
- 2) 気候変動を踏まえた治水計画に係る技術検討会, [https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai\\_blog/chisui\\_kentoukai/index.html](https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/chisui_kentoukai/index.html) 2021 年 8 月 23 日確認.
- 3) 社会資本整備審議会, 気候変動を踏まえた水災害対策のあり方について, pp. 22-23, 2020.

9月22日(水), B会場

課題講演

「河川中流域における生物生産性の機構解  
明と河川管理への応用」

コンビーナ：平林公男

O-B14~O-B22



## 河川中流域における生物生産性の機構解明と 河川管理への応用—趣旨説明

### 趣旨説明

生態系を評価するための手段は、「密度や構成種などの群集構造の評価(structural measures)」と「物質循環やエネルギーフローなどの機能的評価(functional measures)」を組み合わせた方法が推奨されており、「構造的評価」と「機能的評価」の両者をカバーする方法の一つに二次生産の分析がある(Buffagani and Comin, 2000 ; Dolbeth, 2012). また生物生産は、生物相互作用や環境条件などの影響を受けるため、環境変化や人間の活動からの影響を評価する手段ともなり、重要な指標の一つだと報告されている(Buffagani and Comin, 2000 ; Dolbeth, 2012). しかし、我が国の河川においては、「物質循環と生物生産性」について、1970年代にJIBPにより実施された2河川(奈良県の吉野川と北海道の遊楽部川)の総合研究調査成果が主にあるのみで、その後の研究は大きく進展していない。近年、河川生態系を取り巻く環境は大きく変化しており、魚類現存量の減少やコクチバス等の肉食性外来魚の侵入などにより、1970年代とは異なる「物質循環と生物生産パターン」の形成が推測される。これらのことから、再度「物質循環と生物生産性」に関する研究を進める必要性が出てきた。近年の観測・分析や数値計算技術の進展・普及に伴い、一次生産を中心とした調査・研究には進捗がみられ、「物質循環と生物生産性」の実態解明の実現性は高くなっている。しかし、実河川における二次生産までを含めた生物生産性の実態把握とそのモデル化は未だ不十分であり、魚類現存量の減少をはじめとする水圏生産性の低下などの原因解明や、これら問題を解決するための河川管理上の留意点等の把握には至っていない。本課題講演では、河川中流域の瀬・淵ユニットにおいて、観測技術、分析技術を駆使し、物理環境、一次生産及び二次生産を一連の系としてとらえる「二次生産系」の実態を把握し、その量的な関係を明らかにすることを第一の目的とした。また、野外において直接観測できない項目や、推測が難しい項目については、近年、著しい進展が認められる数値モデルを駆使し、全体像の把握を行った事例について報

コンビーナー：\*平林 公男 (信州大学・繊維学部)

告する。河川生態系は時間的な変動が大きいため、季節や年を通じた野外でのデータ観測を継続するとともに、複数の手法を用いて生物生産力を推定する試みは極めて重要である。応用例として、推定したデータを元にして、開発したモデルを用いて過去からの生物生産性の変遷を再現し、二次生産に関する課題の原因推定と二次生産系を良好に保つための河川管理基準(「生産性管理基準」)も提案してみたい。他河川などからの事例報告があれば情報を共有し、併せて議論をしていきたいと思う。

**謝辞:** 本研究は国土交通省河川砂防技術研究開発公募地域課題分野(河川生態)の助成を受けて実施された。

## 3次元流動シミュレーション

\*豊田政史（信州大・工），傳田正利（土木研究所）

## 1. はじめに

近年，普及が進んでいる河川用の超音波ドップラー流速計（ADCP：Acoustic Doppler Current Profiler）を用いて河道地形・流況計測を実施した。同時に，ADCPの観測結果を用いて，常田地区・岩野地区における3次元流動シミュレーションを実施し，現地観測・3次元流動シミュレーションを通して把握できる常田地区，岩野地区の河道地形・流況特性の差異と差異が生じるメカニズムを検証した。

## 2. 材料と方法

常田新橋下流の常田地区（河床勾配：約 1/180）と岩野橋上流の岩野地区（河床勾配：約 1/1000）を対象とした。

ADCPによる流れ場の現地観測は，2014年～2020年までの7年間で，2015年と2019年を除く合計5回行った。

3次元流動シミュレーションでは，現地観測時の流量を参考とした平水時流量を用いて，定常状態の流れ場を準三次元モデルで解いた。その解析結果にSSの移流拡散方程式に浮遊土砂の堆積効果のみを加えて，淵への物質堆積傾向をみた。微細粒子の粒径は $9\mu\text{m}$ とした。ここでは，SSをパルス状で上流端から与えた計算を行った。そして，物質堆積傾向を定量的に評価するために，計算領域全体における単位面積当たりの堆積量を求めた。

## 3. 結果

現地観測に関しては，常田地区・岩野地区ともに，表層，中層及び下層とも類似した平面流速分布であった。地区別に現地観測結果を把握すると，常田地区においては，表層，中層及び下層の各層間の平面流況分布は類似していた。鉛直分布に関しては，表層，中層及び下層の各層ともに，各層の流速が岩野地区よりも流速および流速分布の変動幅が大きい。一方，岩野地区においては，常田地区と比較して，表層，中層及び下層における平面流況分布の類似性はより高い傾向があり，地区全体として，平面，鉛

直方向ともに流速変化が少なかった。特に，表層，中層及び下層の各層間における流速分布の差異，流速分布の平均値・変動幅，ともに常田地区よりも小さかった。

それぞれの淵で流量を平水時の範囲で変化させて得られた結果が図1である。この結果から，平水時における流下物質の堆積量は，岩野の淵の方が常田の淵よりも5%程度大きいことがわかった。また，流れ場の3次元性を検討した結果，常田の淵では流れ場の3次元性はほとんどみられないのに対し，岩野の淵では流れ場の3次元性が若干みられた。また，その3次元性が物質の堆積量に及ぼす影響をみるためにSSの移流拡散方程式のみを2次元として計算した結果，常田の淵ではほとんど差がみられないが，岩野の淵では20%程度の差となった。

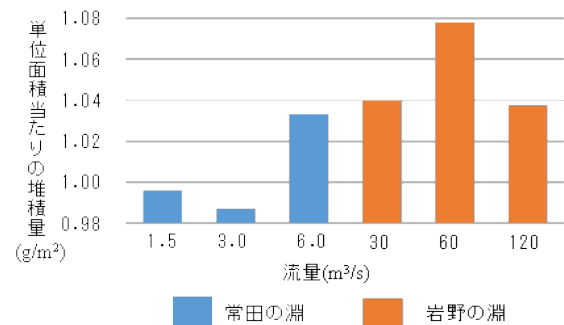


図1 常田・岩野地区での微細粒子堆積量の違い

## 4. 考察

常田地区と岩野地区の流況に関して，以下のよう  
な考察が得られた。

## 【現地観測】

常田地区では岩野地区に比べて，流速の空間的な変動性（瀬・淵といった景観の変化）が大きい。

## 【3次元流動シミュレーション】

流況解析に3次元モデルを用いた結果と2次元モデルを用いた結果とを比較したところ，淵への物質堆積傾向にはあまり差がみられなかった。このことから，常田地区と岩野地区のリーチスケールで物質輸送計算を行うにあたって，3次元性を考慮する必要は小さいといえる。

## 千曲川中流域におけるプランクトン及び バイオフィルムのバクテリア生産動態

\*土屋 健司, 高津 文人, 松崎 慎一郎 (国立環境研究所), 桑原 ピクター伸一 (創価大学),  
傳田 正利 (土木研究所), 平林 公男 (信州大学)

### 1. はじめに

水圏生態系におけるバクテリアは溶存態有機炭素 (DOC) の主要な消費者であり, 自身のバイオマスを作ること (=バクテリア生産) で, DOC を懸濁態化し, 微生物食物連鎖を駆動させる. このことから, バクテリア動態を定量的に調べることは, 水圏生態系での物質循環の定量理解に重要である. 河川中流域においてバクテリアは, 河川水中のプランクトンとして, また河床の礫などに形成されるバイオフィルムの構成員として存在し, 生産を行っている (Battin et al. 2016). プランクトンバクテリアはフィルター食者に, バイオフィルムバクテリアはデポジット食者に捕食されるなど, 食物連鎖における役割は両者で異なる (Edwards et al. 1990, Hall 1995). そのため, 両ハビタットにおけるバクテリア生産動態を把握し, それらの制御要因を明らかにすることは, 河川生態系における生物地球化学サイクルを理解する上で重要と考えられる.

そこで本研究では, 千曲川中流域の流程が異なる瀬及び淵において, プランクトン及びバイオフィルムのバクテリア生産速度 (BP) を観測し, 時空間変動と制御要因を明らかにすることを目的とした.

### 2. 材料と方法

調査は 2019 年 2 月から 2020 年 5 月に上田盆地の末端部に位置する常田地区の瀬・淵の 2 地点と, 犀川合流点より上流に位置する岩野地区の瀬の合計 3 地点で実施した. 各地点で採水及び採石を行い, クーラーボックスに入れて実験室に持ち帰った. 現場では水温, pH, 溶存酸素, 流速を測定した.

実験室では, 濾過河川水 (<0.45- $\mu\text{m}$ ) で満たしたポリエチレンバッグに, 現場で採取した石を沈めた. その後,  $^{15}\text{N}_5\text{-}2'$ -デオキシアデノシン ( $^{15}\text{N-dA}$ ) を添加し, 現場水温に設定したインキュベータ内 (暗所) で数時間培養した. 培養終了後, 石表面の 25 $\text{cm}^2$  をブラシでこすり落とし, 一部をバイオフィルム BP 測定用試料として孔径 0.2- $\mu\text{m}$  のメンブレンフィルターに濾過後, 70%エタノールで洗い, 分析まで

-20°Cで保存した. 同時に, バクテリア現存量 (BA), クロロフィル *a* (Chl *a*) 測定用試料を採取した. 河川水からは DOC, 栄養塩, Chl *a*, BA, BP 測定用試料を採取した. プランクトン BP は, 無濾過の河川水に  $^{15}\text{N-dA}$  を添加・培養後, バイオフィルム BP と同様の処理を行った. BP 測定用試料は, DNA 抽出, DNA 加水分解後, LC-MS/MS を用いて  $^{15}\text{N-dA}$  取込速度を測定し, BP を見積もった.

### 3. 結果と考察

プランクトン及びバイオフィルムの BP は調査期間を通して, それぞれ 5.5~466  $\text{mgC m}^{-3} \text{d}^{-1}$ , 2.9~132  $\text{mgC m}^{-2} \text{d}^{-1}$  の範囲で変動し, 冬季に低く, 春季から夏季に高いという明瞭な季節変動を示した. バイオフィルム BP は常田の瀬において最も高い値を示した. 一方, プランクトン BP は地点間で有意差は見られなかった. 一般化線形モデルによる解析の結果, 水温が両 BP における共通の制御要因であることが明らかとなった. プランクトン BP は DOC と有意な関係を示し, 有機炭素律速であったことが示唆された. バイオフィルム BP は河川水中の栄養塩及び DOC とは有意な関係を示さなかったが, 地点と流速が有意な説明変数であることが明らかとなった. これらの結果は, バイオフィルム BP は季節変動が最も卓越していたが, 同一季節においては有意な空間変動が見られたことを意味する. 瀬や淵といった河道地形によって変動する流速や底面せん断応力が, バイオフィルムへの基質供給速度やバイオフィルム形成プロセスに影響を与え, バイオフィルム BP を制御したものと考えられる. 以上のことから, 千曲川中流域におけるプランクトン及びバイオフィルムの BP は異なる制限要因によって制御されていたことが明らかとなった.

**謝辞:** 本研究は国土交通省河川砂防技術研究開発公募地域課題分野 (河川生態), 科研費 JP17J11577, JP20K12140 の助成を受けて実施された.

\*宮原裕一（信州大・理），戸田任重（信州大・理）  
平林公男（信州大・繊維）

## 1. はじめに

千曲川は甲武信ヶ岳を源とし、長野市で犀川と合流し、新潟県に入ると信濃川と名を変える我が国で最長の河川である。なかでも、上田市から長野市にかけての千曲川中流域は生物生産が高いことが知られている。近年、千曲川中流域でも、魚類現存量の減少やコクチバス等の肉食性外来魚の侵入などにより、その生態系構造や物質循環に変化が生じている可能性が高い。しかし、河川生態系を支える付着藻類による総生産量は、その測定が煩雑なため、年間を通じた観測はなされていなかった。

そこで、本研究では、数年間にわたり水中溶存酸素濃度を連続測定し、その変動をマスバランス法により再曝気と生物活動にともなう総生産と呼吸に分け、通年の千曲川中流域における総生産量と呼吸量の推定を試みた。また、河川での炭素循環の要となる流下懸濁物質を構成する有機化合物の起源解析も試みた。

## 2. 材料と方法

千曲川常田地区の淵頭にあたる岸に溶存酸素ロガーを設置し、10分間隔で溶存酸素濃度の連続観測を行った。得られた観測値からマスバランス法により、日ごとの単位面積当たりの総生産量と呼吸量を求めた。その概略は以下の通りである。まず、日没前後の酸素濃度の変化から、日ごとの再曝気係数を算出した。次に、再曝気を考慮した夜間の溶存酸素濃度の変化から、水温と呼吸量の関係を求め、日ごとの群集呼吸量と総生産量を求めた。ここでは2018年11月から2019年10月の1年間を対象とし、各月計10日間について推算を行った。これら総生産量や呼吸量は、単位面積当たりの炭素の変化量として表した。これらの算出には、近傍の生田観測所での水位を反映させた。

流下懸濁物質、付着藻類および陸上植物試料中の炭素安定同位体炭素比は、元素分析計を連結した質量分析計にて測定した。試料はいずれも分析前に1N塩酸で無機炭酸塩を除去した後、凍結乾燥し適量を

錫箔に包み分析に供した。炭素安定同位体比の標準物質にはサウスカロライナ州 Peedee 層産ベレムナイト化石を用いた。

## 3. 結果

マスバランス法により、日ごとの群集呼吸量と総生産量が見積もられ、対象期間の呼吸量と総生産量の平均値は、それぞれ  $4.77 \text{ g-C m}^{-2} \text{ 日}^{-1}$ 、 $3.03 \text{ g-C m}^{-2} \text{ 日}^{-1}$  であった。本研究での夏季の総生産量は、かつて辻本（2001）が夏季に千曲川中流域で観測を行った値（総生産量： $3.25$  から  $4.15 \text{ g-C m}^{-2} \text{ 日}^{-1}$ ）とほぼ同程度であった。一方、群集呼吸量は、どの季節においても総生産量を上回っていた。

千曲川常田地区の流下懸濁物質と付着藻類の炭素安定同位体比を測定したところ、付着藻類に比べ、懸濁物質の炭素安定同位体比は低く推移していた。一方、陸上植物試料の炭素安定同位体比は、懸濁物質よりも低く平均  $-28.7 \pm 2.4 \text{ ‰}$  とほぼ一定であり、流下懸濁物質が陸上植物と付着藻類の混合物であることが示された。懸濁物質の有機物に占める付着藻類の割合を炭素安定同位体比から算出したところ、懸濁物質の大半を占める  $75 \mu\text{m}$  未満の粒子では、およそ4割が付着藻類由来と推定された。

## 4. 考察

千曲川中流域の総生産量は  $1,107 \text{ g-C m}^{-2} \text{ 年}^{-1}$ 、河川生態系の群集呼吸量は  $1,743 \text{ g-C m}^{-2} \text{ 年}^{-1}$  と推定された。ここで推定された総生産量と群集呼吸量の差分である群集純生産量は負の値 ( $-636 \text{ g-C m}^{-2} \text{ 年}^{-1}$ ) であり、水生昆虫などの二次生産は付着藻類による一次生産だけでは成り立たない。一方、上述の通り、流下懸濁物質の有機物の4割が付着藻由来、残り6割が陸上植物由来と推定されたことから、付着藻類の総生産量を上回る有機物 ( $1,661 \text{ g-C m}^{-2} \text{ 年}^{-1}$ ) が陸上から供給されていることが示唆された。これらの結果は、千曲川中流域では、河畔もしくは集水域から供給された陸上植物由来の有機物によって河川生態系が維持されていることを意味している。

## 千曲川中流域における水生昆虫類の二次生産力の推定 —東日本台風襲来前の二次生産力—

\*平林 公男<sup>1</sup>, 岡田峻典<sup>2</sup>, 崔翔気<sup>2</sup>, 難波広樹<sup>1</sup>, 大塚健斗<sup>2</sup>  
(<sup>1</sup>信州大学繊維学部, <sup>2</sup>信州大学大学院理工学研究科)

### 1. はじめに

河川において、魚類や鳥類の主要な餌となる水生昆虫類の二次生産力を知ることは、その河川全体の生産力を知る上で、極めて重要である。千曲川中流域は、付着藻類が石面上に高密度で繁茂し、水中には藻類の破片や河畔林由来の落葉・落枝片など、多くのものが流下している。そのため、水生昆虫類の餌となる有機物が豊富で、以前から中流域における二次生産力は高いと予測されていた。本研究では水生昆虫類の二次生産力を年変動とともに推定することを目的に、2015年から2019年までの間、千曲川中流域の常田地区(河床勾配 1/180)と岩野地区(1/1000)の瀬・淵において、毎月、幼虫と成虫の調査を行った。

### 2. 調査方法

対象とした主な水生昆虫類は、トビケラ類、カゲロウ類、ガガンボ類、ユスリカ類などである。トビケラ類については、対象地域における主要6種(ヒゲナガカワトビケラ、ウルマークダトビケラ、エチゴシマトビケラ、ナミコガタシマトビケラ、ナカハラシマトビケラ、ウルマーシマトビケラ)について、瞬間成長法を採用して齢別構成を明らかにし、二次生産力を世代毎に推定した。カゲロウ類とガガンボ類(主にフタマタウスバガガンボ)については平均現存量法で、ユスリカ類については川面から羽化してくる成虫数と現存量を毎月計測することにより推定できる羽化法で二次生産力を算出した。

### 3. 結果と考察

各分類群が占める生産力の割合を2015-2017年为例にまとめた。年による変動幅は大きいですが、水生昆虫類全体で、常田地区では炭素量換算で54~90 gC/m<sup>2</sup>/年、岩野地区では46~58 gC/m<sup>2</sup>/年であった。魚類や水生昆虫類による生産力の合計が270 gC/m<sup>2</sup>/年であると推計されているので、その内の約20%程度が水生昆虫類によるものであることが明らかとなった。常田地区、岩野地区ともに全年でトビケラ

類の占める割合が高く、最低でも水生昆虫類全体の47%(常田地区2015年, 2016年)を、最高では67%(常田地区2017年)を占めた。トビケラ類の中でも常田地区ではヒゲナガカワトビケラの割合が高く、岩野地区ではヒゲナガカワトビケラ以外のトビケラ類の占める割合が高かった。つまり同じ中流域の地点でも場所によって、生産力を支えている主要メンバーが異なるということである。ヒゲナガカワトビケラは水生昆虫類の中でも極めて高いが、魚類などに餌としてあまり利用されていない様である。一方、水生昆虫類全体の10%程度しか生産力をもたないカゲロウ類ではあるが、コクチバス等の魚類の主要な餌となっているため、食物網では極めて重要であることもわかった。ユスリカ類の生産力も水生昆虫類全体の10%程度しかないが、年による変動幅は大きく、冬期にヤマユスリカの仲間(黒体色で大型)が大量発生した年は、その年の生産力が高くなることが明らかとなった。つまり、冬期に発生するグループが年間のユスリカ類の生産力の大小を決めるキーマンとなっている。世界の温暖湿潤の気候帯を流れる河川における水生昆虫類の生産力の値と比較してみても千曲川はその2-3倍と高い値を示した。

水生昆虫類は、食物網の中でも、付着藻類などの一次生産者と魚類や鳥類などの高次消費者との中間の栄養段階に位置するために、河川生態系の中での物質循環上、極めて重要な位置にある。その生産力が高いことは河川水中での水生昆虫類の単位時間あたりの成長が早いことを示し、水生昆虫類にとっての餌が豊富に存在していること、また、水生昆虫類を主要な餌となる魚類や鳥類などの高次生産者の生産力をこれらが支えていることを意味している。令和元年東日本台風は、川の様相を大きく変化させた。水生昆虫類の生産力もその前後で大きく変化し、ヒゲナガカワトビケラなどでは、非越冬世代で台風襲来前の1/10程度まで落ち込んだ(小松ら, O-A12 発表参照)。

\*笠原里恵（信州大・理）

### 1. はじめに

河川での物質循環を考えるうえで、高次の捕食者である鳥類は、二次生産者としても、河川での生産物を河川外に持ち出す存在としても重要であり、鳥類を含む二次生産の機構解明は河川における生態系や物質循環の現状の評価に貢献しうると考えられる。しかし、高次捕食者の二次生産の計測においては、捕食者の体内での被食者の同化の程度や代謝率など多くの複雑な要因を考慮する必要があり、二次生産を直接的に数値で示すことは困難であるとされている。そこで、本研究では、二次生産者が捕食を通して有機物を取り入れる過程、すなわち二次生産が生態系における食物網と深いかかわりをもつことから、生態系を構成する生物間の捕食－被食関係の理解を通して、千曲川における生態系や物質循環の現状を評価しうる知見の蓄積を試みた。

### 2. 材料と方法

本研究の調査地である千曲川中流域では、鳥類からみた捕食－被食関係の研究が1990年代後半から行われており、頸輪法やビデオ撮影を用いて、アオサギ、ゴイサギ、ササゴイ、ヤマセミ、カワセミ、ハシボソガラス、キセキレイ、ハクセキレイ、ツバメについて、繁殖期に親鳥が雛に与える食物の調査が行われている。本研究では、2014年から2020年まで、千曲川の距離標105 kmの上田市常田から距離標58 kmの長野市小布施町までを調査地として、繁殖期に親鳥が雛に与える食物について、先行研究での未調査種を対象に調査を行った。窒素と炭素の安定同位体比分析を用いて、砂礫地で繁殖するイカルチドリとコチドリの食性を、またビデオ撮影を用いてヨシやオギなどに営巣するオオヨシキリと低木に営巣するモズの食性を調査した。加えて、過去との比較を行うためにビデオ撮影を用いて魚食性鳥類であるカワセミの食性を、糞から抽出したDNAを用いたDNAメタバーコーディングによって同じく魚食性であるアオサギの食性を調査した。

### 3. 結果と考察

安定同位体比分析から、イカルチドリとコチドリの4月と5月の食性を調べたところ、両種とも4

月は水生生物を利用する割合が相対的に高く、5月に入ると陸生昆虫を利用する割合が高くなる傾向が見られ、種間での違いは小さく、共通した季節変化が見られた。オオヨシキリでは、雛に与える食物は全体として非常に多様であり、水生生物の利用割合は巣によって大きく異なっていた。水辺に近い巣ほど水生生物の搬入割合が増加する傾向が得られ、ヒゲナガカワトビケラなどのトビケラ目やチラカゲロウのようなカゲロウ目が利用される割合が高く、これらは、オオヨシキリにとって重要な食物資源になっていることが示唆された。モズの食性のほとんどは陸上性昆虫であり、水生昆虫はトンボ目を含めても1%にも満たなかった。したがって、モズは河川敷で繁殖するものの、水の中の生物には依存していない可能性が高い。魚食性のカワセミについては、2000年代前半と比較して、食物構成が大きく変化していることが明らかとなった。2000年代前半に巣に搬入された割合が高かったのは、当時の千曲川の優占種であったオイカワ(57%)やウグイ(15%)、ドジョウ類(11%)だったが、本研究では、オイカワ(28%)、ドジョウ類(24%)、甲殻類(16%)となり、オイカワの利用率は大きく減少し、ウグイの利用もほとんど見られなかった。この背景には、コクチバスの侵入などによる千曲川の魚類相の変化の影響があると考えられる。ただし、育雛期に、カワセミによる巣へのコクチバスの搬入は確認できなかった。1990年代後半に実施されたアオサギの食性調査では、オイカワやアユ、ウグイ、フナ類が検出されていたが、本研究では、ドジョウ類、イワナ類、コクチバス、コイ類、アブラハヤ、カジカ、タモロコなど様々な魚種が検出された。ただし、これは食性の変化というよりも、先行研究で用いられた頸輪法と今回用いたDNAメタバーコーディングの手法の違いの影響が大きい。

カワセミで見られたような長期的な時間軸での食性の変化は、今後の環境変化によって水生昆虫食性鳥類でも見られる可能性がある。新たな手法を取り入れながら継続的に調査することで、生き物同士の関係の変化や河川生態系の現状を検討していくことが重要であろう。

## 洪水の影響評価について

\*東城幸治（信州大・理），鈴木智也（信州大・理，京都大・地球環境），  
谷野宏樹（信州大・理，基生研・進化発生），岡本聖矢・上木岳（信州大・理）

## 1. はじめに

河川生態学術研究会・千曲川研究グループの取組の一つとして，水系内におけるバイオマスが大きな底生動物の数種を対象に，水系内の分布や移動分散の動態評価に取り組んできた。瀬で優占するチラカゲロウやヒラタカゲロウ類，マダラカゲロウ類，ヒゲナガカワトビケラ，瀬も含めて幅広いハビタットを利用するトビイロカゲロウ類，主にワンド・たまりを利用する水生半翅類などを対象に，千曲川-信濃川流域広域を対象にした定量調査により，流程による生息密度やバイオマスを把握するとともに，遺伝構造の評価を実施してきた。

その結果として，各対象種群ごとに，水系内のどの流域において生息密度が高いのか？ バイオマスが大きいのか？ という二次生産性に関する知見の蓄積や，遺伝的多様性や遺伝子流動の方向性や強度に関するような評価，そして生息域の連続性や分断化などに関する考察を行ってきた。

このような背景下の2019年10月，東日本に襲来した台風19号（令和元年東日本台風）の影響で，千曲川中流域は観測史上最大規模の洪水被害を受けた。立ヶ花観測所（長野市）では1950年の観測史上最高水位12.46 mを記録し，北陸新幹線の駐機場被害などは大きく報じられた。我々は，この洪水以前に，上記のような主要な底生動物種群を対象とした集団構造や遺伝構造の調査・解析を実施していたこともあり，洪水後に同様の調査を実施することで，大規模洪水の前後での集団構造や遺伝構造の比較・検討を試みた。今回の講演では，時間的な制約もあるので，千曲川水系内に広域分布し，生息密度も高く，遺伝的多様性が高いチラカゲロウ（Saito and Tojo, 2016a, b, Freshw Sci）を対象にした調査研究の成果を紹介する。

## 2. 調査地域と方法

千曲川-信濃川水系内に，本流24地点，最大規模の2つの支流である梓川-犀川に12地点，魚野川に6地点（計42の調査地点）を設定し，瀬ハビタット

において5分間×3反復の定量サンプリングを実施した。採取された個体数と湿重量を計測するとともに，遺伝子解析（DNAバーコード領域であるmtDNA COI領域）を実施した。定量サンプリングでの採取個体数が少ない場合には，遺伝子解析のための定性サンプリングを実施した。定量調査や遺伝子解析手法については，洪水前の調査解析法（Saito and Tojo, 2016a, b, Freshw Sci）に準じた。

洪水後の調査サンプリングについては，洪水直後の大規模な復旧工事の影響を回避するべく，約1年が経過した2020年晩秋から2021年早春までの期間に実施した。洪水前の調査解析データとしては，集団構造調査と遺伝構造調査をセットで実施していた2011年晩秋から2012年早春期のデータを用いた。

## 3. 結果および考察

瀬ハビタットに適応し，「遊泳型」生活型をもつチラカゲロウは，今回の洪水により大きなダメージを受けたと予想していたが，水系全体的には，集団構造にも遺伝構造に大きな影響は認められず，洪水後に生息密度やバイオマスが増加している地点も多く認められた。遺伝的多様性に関しても，洪水前後ともに高く維持されており，大きなダメージは認められなかった。チラカゲロウの生活史は年2化と考えられ，洪水から約2世代が経過する中で，大きく回復した可能性が高い。また，本種が大礫・浮石下の環境を好むことも洪水による攪乱がその後の回復により効果をもたらしたのかもしれない。ただし，千曲川本流の最上流部の地点では，集団構造も遺伝構造も洪水後の低下が顕著であり，上流側に流入する支流も含めて回復における供給源となる集団を欠く場合には影響も長引くのかもしれない。また近年，千曲川中流域には外来種であるコクチバスが増殖していたが，今回の洪水ではコクチバスの現存量が激減したとされる。コクチバスの胃内容物に占めるチラカゲロウの割合が高いともされていたことから，洪水による外来種へのダメージによる影響も示唆されるが，今後精査する予定である。

## 河川版コンパートメントモデルの開発・検証と生産性管理基準の提案

\*傳田正利（土木研究所・水災害研究グループ）・宮原祐一（信州大・理），平林公男（信州大・繊維）  
北野聡（長野県環境保全研究所）

### 1. はじめに

二次生産系（水生昆虫・魚類）は、流速・水深等の環境変化、餌資源となる流下有機物、低次の生物生産、捕食者による被食等の様々な影響を受ける。二次生産系をモデル化するには、水生昆虫・魚類の現存量推定、水生昆虫・魚類に関連する「食うー食われる」の関係を評価できるモデルの開発が必要となる。湖沼研究ではこれらの関係性を記述するコンパートメントモデルが用いられるが、河川での適用例は少ない。本研究では、環境変化から二次生産に関連する生物群集の現存量や「食うー食われる」の関係性を記述できる河川版コンパートメントモデルを開発し、その精度を検証・改良した。その後、河川版のコンパートメントモデルを用いて、過去からの二次生産系の変化を推定し、二次生産性の状態を健全に保つ管理のための、「生産性管理基準」を考案し、その実用性を検証した。

### 2. 材料と方法

調査地は、信濃川水系千曲川常田地区（長野県上田市，河床勾配:1/180），岩野地区（長野県長野市，河床勾配:1/1000）とした。河川版コンパートメントモデルは、平面流況計算により流速・水深の二次元分布を求める計算を行った後、付着藻類、水生昆虫及び魚類の現存量の算定、鳥類による水生昆虫・魚類の被食可能性の評価を行った後、水中の食物連鎖網を評価するモデルである。河川生態学術研究会千曲川グループの共同研究者が採取した付着藻類、水生昆虫及び魚類の現存量データを対象に、流速、水深及び出水からの経過日数等と前述の現存量の関数式を求め、各日の現存量、生産性を算定した。その後、現地調査から推定した年間の生産性と河川版コンパートメントモデルにより求めた生産性を比較し、その精度を検証した。

千曲川においては、河床低下、流路の単流路化が問題となり、それに伴う高水敷の樹林化（河道内の過剰な樹林繁茂）・砂礫河原の減少に伴う植物重要種の減少が問題となっている。この河床低下、流路の単流路化の問題を生物生産の視点から考えれば、河床低下と流路の単流路化は、水深の増加による水中への光資源減少、流れの集中に伴う水深・流速の増

加を促し、生物生産・河川生態系を変質させたと考えられる。魚類現存量の減少や外来種のコクチバスの増加は、その現れと考えることができる。生物生産性を簡易な指標を用いて評価するため、河床低下は平水時の水深（ $h$ ）を増加させる、流路の単流路化は、平水時の川幅（ $b$ ）を減少させると考え、「平水時の川幅（ $b$ ）/平水時の水深（ $h$ ）」の比を生産性管理基準とし、魚類現存量の縦断変化と比較した。

### 3. 結果と考察

河川版コンパートメントモデルを用いた推定生物生産速度と実測に基づく生物生産速度の比較の結果、河川版コンパートメントモデルは、一定の精度で生物生産速度を再現することを確認した（図-1）。河川版コンパートメントモデルを用いることで、複雑な河川生態系の生物生産性を流速・水深等がから推定することが可能になる。



図-1

$b/h$ の指標としての実用性を検証するために、千曲川において常田地区、岩野地区以外の広域調査を実施した魚類現存量と  $b/h$  の比較を示す。 $b/h$  は、概ね良好に魚類現存量の空間的な偏在を表現した。 $b/h$ を用いることで、 $b$ 、 $h$ といった単純な指標で一定精度の生物生産性管理が可能となる（図-2）。

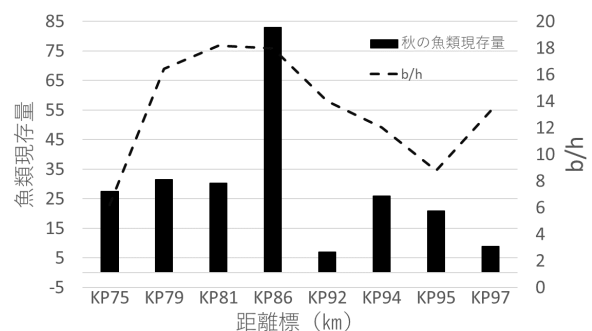


図-2



## 河川中流域における生物生産性の機構解明と 河川管理への応用—まとめ

コンビーナー：\*平林 公男（信州大学・繊維学部）

### まとめと今後の展望

生物間を循環する有機物の動態と、今後の研究の方向性についてまとめる。千曲川中流域の生態系全体の中で、付着藻類の総生産量は炭素換算で  $1110 \text{ g C/m}^2/\text{年}$  である。しかし、マスバランス法で計測した河川全体の呼吸量が  $1740 \text{ g C/m}^2/\text{年}$  もある。総生産量の 1.6 倍の量である。この大きな呼吸量は、水中での付着藻類や魚類、水生昆虫類などの呼吸量に加え、河床底の石間に堆積した有機物をバクテリアなどが分解する時に使われる消費量なども含まれると予想している。さらには下水処理排水などの人為由来の有機物分解に伴うものも寄与しているかもしれない。仮に付着藻類による総生産量しか水中になれば、動物の生産に回るものは  $-630 \text{ g C/m}^2/\text{年}$  と推計され、負の値となってしまう。これでは魚や水生昆虫類などは成長できない。しかし、河川生態系では有機物の供給源が付着藻類由来のみではなく、上流の森林や近傍の河畔林から供給される落葉・落枝などの陸上植物由来の生産物がある。これらの量が  $1660 \text{ g C/m}^2/\text{年}$  もある。つまり、台風 19 号襲来前までの千曲川中流域における河川水中の生産力は、付着藻類由来の  $1110 +$  陸上植物由来の  $1660$  の合計  $2770 \text{ g C/m}^2/\text{年}$  から、河川全体の呼吸量  $1740 \text{ g C/m}^2/\text{年}$  を引いた  $1030 \text{ g C/m}^2/\text{年}$  であり、河川外からの陸上植物由来の有機物が供給されているからこそ、河川生態系が成り立っているということが明らかとなった。陸上植物由来の有機物が、近傍の河畔林由来であるのか、さらには、上流域から供給されてくる森林由来の有機物なのかは、現時点では不明である。しかしこのことは、有機物の供給源としての河畔林の維持・管理や、流域という視点から、本川に対する支川の役割やその重要性について再認識し、検討していかななくてはならないことを意味している。台風 19 号のような河床が大きく変動するような大規模洪水が起きると、河床下に堆積した大量の有機物が下流に押し流され、河床下の呼吸量が一時的に小さくなり、相対的に藻類の純生産量が高くなるのかもしれない。逆に長期間、大規模な洪水が起きなければ、河床下に大量の有機物が堆積し、河床下での

呼吸量が増大して、魚類や水生昆虫類などの二次生産者は、陸域の有機物に依存せざるを得なくなっているのかもしれない。これらの仮説に対する答えは、現在行っている調査結果から明らかになる。

演者らのグループの試算では、水中にある有機物  $1030 \text{ g C/m}^2/\text{年}$  の内の  $270 \text{ g C/m}^2/\text{年}$  が魚類や水生昆虫類による生産量、残りの  $760 \text{ g C/m}^2/\text{年}$  は流下して他地域で利用される量として推計されている。この  $270 \text{ g C/m}^2/\text{年}$  (特に魚類の生産量と推定される  $200 \text{ g C/m}^2/\text{年}$ ) を如何に大きくできるのかが、千曲川中流域における魚類の生産性を上げることにつながる。魚類の現存量のデータから 20 年前と比較して、現在の千曲川では  $1/10$  以下に生産量が減っている可能性が示唆される。

魚類により主に餌として利用される水生昆虫類はカゲロウ類であるため、攪乱が少なく河川生態系が安定化し、造網型のトビケラ類幼虫の密度が高くなると、水生昆虫類全体の生産力は高くなるが、トビケラ類は魚類にあまり捕食されないため、物質循環上は、あまり重要ではない。魚類では、本来存在しなかった外来肉食魚のコクチバスを少なくすれば、ウグイ、オイカワ等の魚類の生産力は上がりそうではあるが、逆に、水生昆虫類は魚類の捕食により減少する可能性もある。本研究成果は、高生産性の中流域を構成する単位の瀬・淵区域を対象としている結果であり、より多様性の高い流域全体を対象とする場合には、更なる基礎的な研究の展開が必要となる。

生態系モデルの研究成果により、現在の千曲川のように河道が固定化し、河床がますます低下すると、水深や流速が増加し、付着藻類による一次生産量が減少し、付着藻類などを餌資源とする水生昆虫類や魚類の生産力に大きな影響が出てくることが予想された。このため、一次生産力を増加させるためには、浅い低流速域を有する複数流路で構成される水域、すなわち浅くて広い瀬や水際部の創出が重要であることも示唆されている。謝辞:本研究は国土交通省河川砂防技術研究開発公募地域課題分野(河川生態)の助成を受けて実施された。

9月22日(水), B会場

課題講演

「栄養塩負荷量と漁業生産の関係：水質  
総量規制は漁業生産の減少要因か？」

コンビーナ：伴修平

O-B23~O-B35

## 減少要因か？-概要と趣旨説明

\*伴修平, 刘鑫, 後藤直成, 尾坂兼一, 丸尾雅啓 (滋賀県立大), 小野寺真一, 石田卓也 (広島大), 齋藤光代 (岡山大), 奥田昇 (神戸大)

近年、様々な水域において漁獲量の減少が問題となっている。漁獲量減少については、浅瀬の埋め立て、藻場の消失、乱獲などいくつかの要因が考えられるにもかかわらず、最近では窒素・リンの排出規制による栄養塩負荷の低下に対する懸念が大きい。わが国の湖沼および沿岸海洋では、1980年代以降、窒素・リンの排出規制によって富栄養化は改善された（人為的貧栄養化と呼ばれる）。一方で、人為的貧栄養化が漁獲量の低下の主な原因ではないかと危惧されている。いくつかの水域では漁獲量と栄養塩濃度の間に正の相関関係が認められているものの、定量的な研究はほとんど存在せず、栄養塩負荷と漁獲量の間には存在する間接効果を考慮した研究はない。栄養塩負荷の変動が植物プランクトン一次生産に直接影響を与えることは明らかである。しかし、一段上の栄養段階である動物プランクトン生産、さらにその上の魚類生産にどれ程影響を与えるかは、十分に検討する余地がある。

琵琶湖では1980年に公害防止条例が施行されて以降、窒素・リンの負荷量は減少傾向であり、1990年以降は、魚類、特にコアユ (*Plecoglossus altivelis altivelis*) の漁獲量が減少傾向にある。このため、貧栄養化が漁獲量低下に影響しているのではとの懸念がある。実際に、全リン (TP) 濃度と魚類漁獲量の間には正の相関関係が認められる ( $n = 48, r = 0.42$ )。

我々は、2018~2020年に科研費基盤A(18H03961)において、琵琶湖を例に、1) 魚類 (特にコアユ) 漁獲量の減少が人為的貧栄養化に伴う一次生産の減少に起因するのか確かめる一方で、2) 湖内におけるリンの動態について再検討を行った。これまでにTPは1960年以降、富栄養化の進行に伴って上昇傾向を示すが、1980年以降、減少傾向に転じることが分かっている。しかし、1990年以降は高止まりして富栄養化以前のレベルに戻らない状況が続いており、面源汚濁負荷の抑制が十分でない可能性が指摘されている。

1) については、過去40年間におよぶ動物プランクトン保存試料を再分析することによって、コアユの主な餌生物である甲殻類動物プランクトン生物量が1990年以降、増加傾向を示すことが明らかとなった。これら餌生物の総生物量と群集平均体サイズについて、コアユの単位努力量当たり漁獲量 (CPUE) と相関分析を行うと、どちらも良い負の相関関係を示すことが分かった。これは、コアユによるトップダウン効果が甲殻類動物プランクトン生物量の年変動を良く説明することを示している。即ち、これは漁獲量の減少要因がボトムアップに決定されている可能性は低いことを意味する。

他方、2) については、植物プランクトンが直接利用できるリン画分は正リン酸だが、これまで用いられてきたモリブデン青法ではほとんど測定限界以下のため、琵琶湖における正リン酸の時空間分布は不明のままであり、湖内におけるリン動態は再検討が必要であった。本研究では、イオンクロマトグラフィーを用いたリン酸ナノモル測定で正リン酸の詳細な分布を求め、リン酸酸素安定同位体比測定によって、湖内でのリン負荷源の特定を試みた。また、これまで不明であった地下水と沿岸堆積物間隙水由来のリン供給について推定を試みた。

本課題講演では、講演番号T-02~09でこれらの研究成果について報告した後、T-10~12でその他水域の事例について紹介する。最後に、今後の展望について議論する時間を設けたので、活発な意見交換を期待する。

\*後藤直成, 伴修平 (滋賀県大・環境科学)

## 1. はじめに

琵琶湖では、1990年以降、富栄養だった水質の改善が進んでいる一方で、漁獲量は年々減少傾向にある。また、琵琶湖では、温暖化に起因する様々な問題が顕在化してきている。これらの問題には、琵琶湖生態系を根本から支えている植物プランクトン群集が関わっていると考えられ、その動態を詳細かつ正確に把握することは重要な課題となっている。そこで本研究では、琵琶湖北湖における植物プランクトン群集の現存量、種組成、一次生産速度を時空間的に高解像度で連続的に測定し、詳細な植物プランクトン群集動態を捉えることを目的とした。

## 2. 方法

2020年4月から12月まで、琵琶湖北湖湖心部(水深66m)に係留系を設置し、クロロフィルa濃度と水中光量子量を3深度(5, 10, 15 m)にて連続的に測定した。これらの両データと同期間に実験室で測定した光合成-光曲線から単位面積あたりの一次生産速度を算出した。また、同期間における船舶観測により、植物プランクトン群集の種組成およびサイズ別(大型:>20 μm, 中型:5-20 μm, 小型:<5 μm)のクロロフィルa濃度と光合成活性(光化学系IIにおける最大量子収率:Fv/Fm)を測定した。さらに、多波長励起蛍光計を用いて珪藻・緑藻・シアノバクテリアのクロロフィルa濃度を鉛直的に測定した。

同期間において、気候変動観測衛星(SGLI/GCOM-C, JAXA)から得られた490 nmと560 nmの正規化海水射出放射輝度を用いて琵琶湖全域におけるクロロフィルa濃度分布を推定した。

## 3. 結果と考察

植物プランクトンの一次生産速度は、0.04~3.56(平均0.87) gC m<sup>2</sup> d<sup>-1</sup>の範囲を変動しており、5月から6月において比較的高く、8月以降は低い一次生産速度で推移した(図)。本研究における一次生産速度は、2018年に測定された一次生産速度(平均1.69 gC m<sup>2</sup> d<sup>-1</sup>)と比較して低い傾向にあり、特に、8月から11月の一次生産速度が著しく低下していた。この時期の平均最大風速(彦根)は、2018年と比較しておよそ半減しており、また、湖水を混合させる擾乱イベントである台風の接近もなかった。このような静穏な環境は、琵琶湖の水温成層の強化・長期化を引き起こし、結果として、深層から表層への栄養塩供給量を減少させる。このような一連の現象が、2020年8月以降の一次生産速度の低下を引き起こしたと考えられる。また本研究では、秋季(9月~11月)における植物プランクトンサイズの小型化および現存量低下(秋季ブルームの小規模化)を確認した。これらの現象もまた、水温成層の強化・長期化に起因する栄養塩供給量減少が要因になっていると推察される。

衛星観測では、植物プランクトンが湖流によって沖域へと運ばれる様子や、成層期に発達する環流によって植物プランクトンが湖心部に集積する様子を明瞭に捉えることができた。例えば、5月と6月のクロロフィルa濃度分布は、東沿岸域で濃度が局所的に高く、また、その高濃度域が東岸に沿って北方へ帯状に延びている様子を詳細に示している。これは、4月下旬から5月上旬の代掻きによる陸域からの栄養塩供給に起因した植物プランクトン群集のブルームと湖流の影響によるものと考えられる。

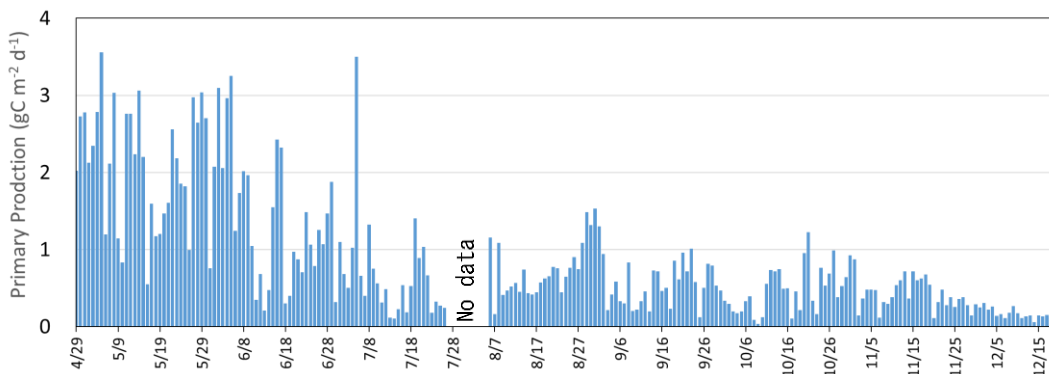


図 2000年4月から12月の琵琶湖北湖における一次生産速度

# イオンクロマトグラフィーを用いた正リン酸のナノモル測定と琵琶湖北湖における時空間分布

\*刘鑫 (滋賀県大・環境), 易容 (贛南師範大), 丸尾雅啓 (滋賀県大・環境), 伴修平 (滋賀県大・環境)

## 1. はじめに

湖沼における一次生産は主にリンによって制限されている。植物プランクトンが使えるのは、主にリン酸態リン ( $\text{PO}_4\text{-P}$ ) だが、従来の測定方法 (モリブデン青法) では、多くの場合、表層付近は測定限界を下回っているため、その時空間分布を知ることができなかった。本研究では、2018~2019年の2年間に渡って、イオンクロマトグラフィーを用いたナノモルレベル測定にて、琵琶湖の正リン酸濃度の時空間分布を明らかにした。同時に、リン添加培養実験にて植物プランクトンのリン制限を評価し、リン供給過程について考察した。

## 2. 材料と方法

調査は、2018年4月から2019年12月の期間に月一回 (2019年1、2月は欠測)、琵琶湖北湖の定点K4 (水深、50m) にて行った。また、2018年5月16日と7月25日、2019年5月8日と24日には、沿岸から沖への観測線 (K1~K5) にて断面観測を行った。試水は、K1~K3では表層から湖底直上まで5m間隔、K4~K5では0~20mを5m間隔、20~50mを10m間隔でバンドン採水器またはシンドラートラップにて採取した。採水と同時に、CTDにて水温などの鉛直プロファイルを得た。

採取した試水は、溶存態栄養塩濃度測定用に孔径  $0.45\ \mu\text{m}$  のメンブレンフィルターで、Chl. *a*、懸濁態炭素 (PC) と窒素 (PN) 濃度測定用に GF/F ガラス繊維フィルターで、それぞれ 200 mL を濾過した。 $\text{PO}_4\text{-P}$  濃度はイオンクロマトグラフィーにて、全リン (TP)、全溶存態リン (TDP)、無機態窒素 ( $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ ) 濃度はオートアナライザーにて、それぞれ測定した。懸濁態リン (PP) 濃度は TP-TDP、溶存有機態リン (DOP) 濃度は TDP- $\text{PO}_4\text{-P}$  にて算出した。PC、PN と Chl. *a* 濃度は CHN コーダーと蛍光光度計にて、それぞれ測定した。

リン添加培養実験には、K4 の 0、5、10、15、20 m から、それぞれ 2 L ずつ湖水を採取して混合した。

この混合試水を 1-L の培養瓶に分注し、 $1\ \mu\text{mol/L}$  の  $\text{PO}_4\text{-P}$  を添加した P 添加区 (+P)、そして湖底直上水を 1:1 で加えた深層水添加区 (+B) を設けた。未処理の試水のみは対照区である。これら実験試水は、採水日の 0~20 m 平均水温と光条件で 2 日間培養し、成長速度を  $\ln(C_t/C_0)/2$  にて求めた。 $C_0$  と  $C_t$  は、それぞれ培養前と培養後の Chl. *a* 量である。

## 3. 結果と考察

2018年と2019年は共に、水温は4月に表層から上昇し初め、6~9月には10~20mで温度躍層が発達した。Chl. *a* 濃度は6~7月と10~11月に10~20mで増加した。これに伴って、 $\text{NO}_3\text{-N}$  濃度は4月以降、表水層で徐々に低下した。一方、 $\text{NH}_4\text{-N}$  は5~7月に10~30mで亜表層極大 ( $2\ \mu\text{mol/L}$ ) を形成した。

$\text{PO}_4\text{-P}$  濃度は、周年に渡り 30 m 以浅では  $30\ \text{nmol/L}$  以下であり、2019年5月中旬~6月上旬には10m付近に  $60\sim 70\ \text{nmol/L}$  の亜表層極大を形成した。なお PP では、この亜表層極大が両年で認められた。一方、30 m 以深では  $\text{PO}_4\text{-P}$  は常に増加傾向で、2018年12月には湖底直上で  $220\ \text{nmol/L}$  に達した。この年は8月以降に、 $\text{PO}_4\text{-P}$  の急増が認められたが、これは台風による攪乱影響と考えられた。

5月と7月に行った断面観測によると、5月第1週ごろに、 $\text{NH}_4\text{-N}$  と PP の亜表層極大が岸から沖へ延びていることが分かった。同様の分布は  $\text{PO}_4\text{-P}$  では見られなかったが、5月中~下旬に K4 近傍の 40 m 以深で高濃度が認められた。これらのことは、田植え期に、沿岸から沖への栄養塩輸送を示唆した。

リン添加実験は、植物プランクトンは有光層内では常にリン欠状態であるが、湖底直上には、それを解消するに充分量のリンの存在することを示した。結局、琵琶湖の植物プランクトンは、田植え時期には沿岸湖底から、そして秋の鉛直混合期あるいは台風による攪乱による深層から表層へのそれぞれ  $\text{PO}_4\text{-P}$  供給に依存して増加することが示唆された。

\*藤山信太郎 (滋賀県大院・環境科学), 小畑元 (東大・大気海洋研)  
丸尾雅啓 (滋賀県大・環境科学研究院)

## 1. はじめに

リンは植物プランクトンにとって必須の栄養塩であり、水中では、リン酸などの溶存無機態、有機物、懸濁態リンなど様々な形態で存在する。しかし、植物プランクトンが優先的に利用するのは、正リン酸 ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) のイオン種であることが知られている。環境水中のリン酸の定量には、モリブデンブルー法が用いられることが多い。この方法で得られたリン濃度 (Soluble Reactive Phosphorus: SRP) は、リン酸の濃度としては過大評価となる場合が多いことが指摘されている。これには2つの原因があり、一つは酸性条件下で反応させるため、試水中の一部のリン化合物が加水分解をうけてリン酸を付加することが原因とされる。もう一つは共存するヒ酸やケイ酸が同様に、発色して吸光度が増加することである。

リン酸濃度をより正確にもとめるには、モリブデンブルー法に反応する他の化学種から分離することが必要である。このためイオンクロマトグラフィー (以下 IC) を用い、他の化学種と分離してリン酸を定量する方法を開発 (Maruo et al., 2016)、琵琶湖と流入河川の測定に利用してきた。

これまでの琵琶湖北湖における測定結果から、北湖の水温躍層下における SRP と IC による正リン酸定量値は深度、観測時期によって大きく異なることが明らかになった。水中の溶存態リンの形態変化を理解するためには SRP と正リン酸の定量値を比較することが重要であると考えられる。しかし成層期の表層水については、SRP 濃度が検出限界以下であり両者の比較ができなかった。本研究では、琵琶湖表層水に適用できる極低濃度 SRP 測定を、長光路キャピラリーセル (以下 LWCC) により達成した。全層において SRP と IC による正リン酸濃度を求め、季節、深度ごとに両者の比較を行った。

## 2. 材料と方法

2020年12月から2021年7月にかけて本学調査船「はっさか」、「はっさかII」を用い、琵琶湖北湖 T1 地点 (N35°22', E136°06') で採水を行った。湖水料を船上にてカプセルフィルター (Acropak : 孔径 0.2  $\mu\text{m}$ ) によりろ過した。

SRP の測定に光路長 100 cm の LWCC を用いた。試料測定のために洗浄液を十分に流すことにより、モリブデンブルーのセル内吸着、気泡の発生を防止し、再現性の高い測定を実現した。専用の分光光度計 (Ocean Optics) で波長 708 nm における吸光度を測定した。IC における分離カラムは、IonPacAS23 (Thermo Fisher Scientific) を用いた。溶離液においては 4.5 mmol/L  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 0.8$  mmol/L  $\text{NaHCO}_3$  混合溶液を用い、サプレッションは External モードで行った。試料注入量は 5000  $\mu\text{L}$  とした。

## 3. 結果

琵琶湖における測定結果において、SRP 濃度はすべての試料で正リン酸濃度より高い値となった。2020年12月、2021年3月の SRP、正リン酸濃度を比較数すると、3月の方が両者とも高かった。

2021年6月および7月の正リン酸と SRP について (SRP-正リン酸)/SRP 値を比較した。表水層および水温躍層下の深度 40 m までは平均して 0.96 程度と、SRP のほとんどが正リン酸以外の形態であることを示した。これに比して、50 m 以深では平均して 0.62 であり 1/3 程度が正リン酸であることが示された。

## 4. 考察

2020年12月の琵琶湖では弱い水温躍層が残っており、湖底からのリン化合物の供給は躍層上に達しない。2021年3月には全層の水温が一定となっており全循環が起こったと考えられる。その際湖底から種々のリン化合物が供給された結果、12月に比べ SRP、正リン酸濃度共に高くなったと考えられる。

2020年6、7月の測定結果について、深度 40 m 以浅で (SRP-正リン酸)/SRP 値がほぼ 1 に近かった理由は、植物プランクトン由来の有機態リンがモリブデンブルー生成時に相当量加水分解されてリン酸を生じたためと考えられる。50 m 以深では表水層から沈降してきた有機態リンが徐々に分解されて正リン酸に変化しており、その深度での要求量を上回っていたものと考えられる。

引用文献 : Maruo et al. (2016), *Limnology* 17,7-12.

## 共同沈殿濃縮法-イオンクロマトグラフィーを用いる天然水中メチルホスホン酸の定量

\*山本知季 (滋賀県大院・環境科学研究科), 小畑元(東大・大気海洋研)  
丸尾雅啓 (滋賀県大・環境科学研究院)

### 1. はじめに

メチルホスホン酸 (以下 MPn) の C-P 結合は大きな結合エネルギーをもつため分解されにくい。しかし細菌類の中には C-P リアーゼなどの酵素によりこの結合を切断できるものが存在する。MPn の分解によりリン酸が生じ、シアノバクテリア等がリン制限時にこれを利用すると考えられている。また、MPn 分解時にメタンが生じ、これが海洋や淡水域からの好氣的メタン極大層の出現、メタン放出に大きく寄与している可能性が示唆されている。しかし、天然水中の MPn 定量例は極めて少ない。

辻他 (2019) は、大容量試料注入等を用いたイオンクロマトグラフィー (以下 IC) による MPn 定量法を確立した。天然水中の MPn は多くの場合極低濃度 (1 nmol/L 以下) であると考えられ、さらなる感度向上が必要である。本研究では、リン化合物と水酸化鉄(III)との共沈作用による濃縮法を利用して、定量限界の向上を試みた。分子内に遊離の P-O 結合を 2 つ以上もつリン化合物は pH 6 付近で定量的に水酸化鉄(III)に吸着捕集されることが示されている (堀,2006)。同様に P-O 結合を 2 つ持つ MPn が濃縮できれば、定量限界の向上につながることを期待されるため本法の適用を試みた。

### 2. 水酸化鉄(III)による MPn の濃縮法

MPn 捕集剤となる水酸化鉄(III)沈殿は、塩化鉄(III)水溶液とアンモニア水溶液を混合して調製した。沈殿物を洗浄後、超純水に分散させてこれを MPn 捕集剤とした。調製した MPn 捕集剤を測定試料 (500 mL) に添加後、緩衝溶液を添加して所定の pH に調整した。30 分間攪拌を行った後、吸引濾過 (Nuclepore メンブレンフィルター, 孔径 0.4  $\mu$ m) によって沈殿のみを回収した。回収した沈殿物をアンモニア水溶液 (pH 10) と共に超音波をあてながら

混合し、MPn を遊離させた。その後、吸引濾過によって濾液を回収した。本法では MPn を定量的に回収できたとすると、試料水 500 mL からアンモニア水 25 mL へ 20 倍濃縮が可能である。

### 3. 結果と考察

MPn 吸着時に最適な pH 条件を検討するため、pH を変えながら回収率を求めた。pH 4~6 で回収率は 50%程度、pH 7 以降ではこれ以下になった。pH 6 を最適条件として回収実験を行った。同濃度の MPn 添加試料に対し濃縮を行った時の平均回収率は 48.6%(n=5)であるが、CV 値は 1.65%と高い再現性が得られた。また、添加する MPn 濃度 (1,5,10,100 nmol/L) を変化させて回収率を求めた場合も回収率 49.4%、CV 値は 5.6%と安定しており、定量的に 10 倍濃縮可能であることが示された。また、濃縮前の濃度として 100 pmol/L の定量限界を得た。

この方法を用いて琵琶湖湖水中の MPn 定量を行った。採水は 2020 年 9 月に琵琶湖北湖 T4 地点 (北緯 35° 17', 東経 136° 11' : 最大深度 45 m)、2021 年 4 月及び 7 月に琵琶湖北湖 T1 地点 (北緯 35° 22', 東経 136° 06' : 最大深度 90 m) で行った。各月とも、MPn 濃度は湖底付近で高くなる傾向を示し、湖底での生物分解や堆積物由来の MPn が存在する可能性がある。2020 年 9 月は深度 5m 付近で MPn 濃度が低下した。水中で MPn がリン供給源として利用されている可能性が示唆された。

### 引用文献

- 辻一真他 (2019) 分析化学 68 : 275-278
- 堀智孝 (2006) 科学研究費助成事業 研究成果報告書 課題番号 155069

\* WELLS, John (立命館大・理工), 伴 修平(滋賀県大・環境科学), 刘 鑫(滋賀県大・環境科学), 後藤 直成(滋賀県大・環境科学) 尾坂 兼一 (滋賀県大・環境科学)

## 1. Introduction

Previous research has suggested that sediment resuspension by internal wave activity may enhance transport of nutrients from the littoral slope to pelagic waters. Of particular ecological importance in Lake Biwa is transport of particulate phosphorus that runs off from rice paddies during the planting season in late April to early May.

## 2. Method

At a mooring next to the JWA monitoring buoy near the center of the North Basin of Lake Biwa, where bottom depth is 68 m, currents were monitored by a downward pointing 600 kHz ADCP, with 2 m bins from 12 to 40 m, while temperature profiles were monitored by a thermistor chain, starting on April 28, 2020. On the JWA buoy, starting on the same date, daily water samples were automatically collected from depths of 5 and 20 m and analyzed for concentrations of  $\text{NO}_3\text{-N}$ ,  $\text{NH}_4\text{-N}$ , and  $\text{PO}_4\text{-P}$ .

High-resolution ( $\sim 150$  m in horizontal) hydrodynamic simulations were performed in hydrostatic mode with the unstructured  $z$ -level SUNTANS simulator, to which meteorological forcing was applied based on observations at the Hikone weather station and four AMEDAS stations near the lake shore. After a two-week spinup from April 14, 2020, for which the initial temperature profile was provided by a CTD profile, the simulation was run from April 28 to May 7, 2020.

Based on velocity fields saved at 15' intervals by the hydrodynamic simulations, particle-tracking simulations were performed by second-order Runge-Kutta integration of particle position in three dimensions. The virtual particles model dissolved or particulate nutrients, especially phosphate, that are hypothesized to flow into the base of the water

column following internal wave action on the lakebed. In the hydrodynamic simulations, strong internal wave activity appeared near the eastern shore around 16:00 on April 28th; this time was chosen to release a set of 48 particles for tracking, from initial heights 1.50 m above bottom, distributed in plan around a circle centered at a point with 20 meter bottom depth that lies south of the central monitoring station.

## 3. Results

Daily sampled  $\text{PO}_4\text{-P}$  spiked quasi-periodically, initially over  $0.05 \mu\text{mol/L}$ , in early May at both 5 and 20 m, with intervals between spikes of 4–6 days.

A favorable comparison of measured *versus* simulated currents and temperatures supported the reliability of the hydrodynamic simulations. The virtual particles were initially swept up toward the surface by the internal wave motions, then followed an anticyclonic surface gyre to the opposing shore, before returning in four days to the central axis of the lake and passing very close to the monitoring station. This pattern was insensitive to longshore launch position. However, backtracking from the monitoring location suggests that the provenance of sampled water also included the basin to the North, and was sensitive to depth and date of sampling.

## 4. Discussion

The simulated particle trajectories launched from a 10-km longshore band with bottom depths around 20 meters retained a remarkable coherence, *i.e.* lack of dispersion, as they followed strongly correlated elliptical orbits, with some superposed cycloidal motion, over a timescale of a week. This may help explain the spikey character of observed  $\text{PO}_4\text{-P}$  concentrations near the center of the North Basin during the rice-planting season.



## 水文条件の影響

\*尾坂兼一 (滋賀県大・環境), 田辺晴人 (滋賀県大・環境), 石橋孝晃 (京大・情報), 伴修平 (滋賀県大・環境)

## 1. はじめに

閉鎖性水域の生態系にとって、集水域からのリン流入は、水域内の一次生産や富栄養化に影響を及ぼす極めて重要な現象である。集水域から下流域へのリン流出量や流出パターンは、集水域内の土地利用分布に関連付けられることが多く、農地や市街地といった土地利用が多い集水域において、河川水中のリン濃度が高いことが知られている(Brett et al., 2005)。一方で、河川水中のリン濃度は河川の水文条件によって大きく変化し、河川流量の多い洪水時に河川水中のリン濃度は高くなることが知られている(大久保, 2008)。

しかし河川水中のリン濃度と集水域の土地利用の関連については平水時の研究例が多く、河川水中のリン濃度が高くなる洪水時における河川のリン濃度と集水域の土地利用の関係についてはほとんど明らかになっていない。そこで本研究では集水域の土地利用と河川水中のリン濃度に対する水文条件の影響を明らかにすることを目的として研究を行った。

## 2. 材料と方法

本研究では2019年から2021年にかけて、琵琶湖北湖に流れ込む17河川において河川水を計28回採取した。頻度は1ヶ月に1度程度とし、できるだけ幅のある河川水位での採水を行った。採取した河川水からは全リン(TP)、溶存態リン(DP)をペルオキシ二硫酸カリウム分解-モリブデンブルー法、 $PO_4^{3-}$ をイオンクロマトグラフィー法で測定し、懸濁態リン(PP)はTPとDPの差から算出した。また、採水時の河川水位を滋賀県土木防災情報システムから取得し、河川水位から水文条件を特大降雨、大降雨、中降雨、小降雨、平水時の5段階に分類した。

## 3. 結果と考察

図に異なる水文条件下における、各河川の農地面積割合とDP濃度の関係を示す。観測した17集水域では全ての水文条件において、集水域の農地面積が増加すると河川水中のDP濃度は増加した。ただ

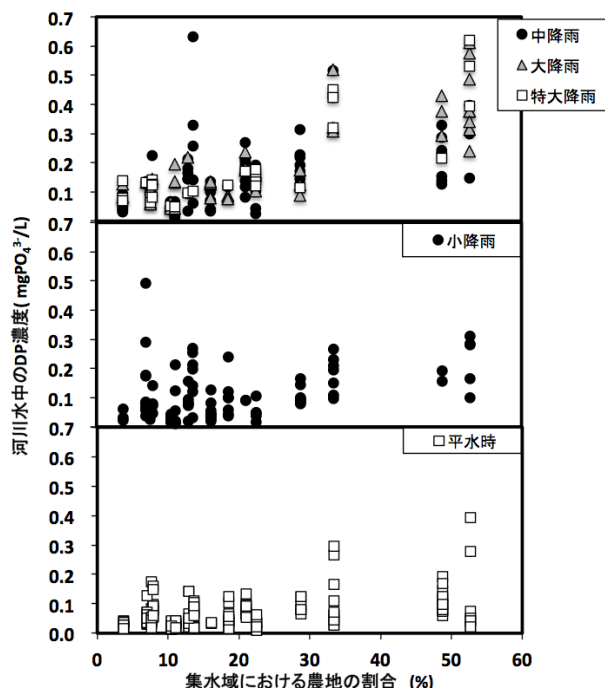


図. 異なる水文条件下における、各河川の農地面積割合とDP濃度の関係

し水文条件により集水域の農地面積割合と河川水中のDP濃度の関係は異なり、平水時でもっとも関係が弱く(傾き: 0.0016,  $R^2$ : 0.16)、大規模な降雨時になるにつれて関係性が強くなり、特大降雨時では傾きが0.0082、 $R^2$ が0.71であった。このことは水文条件により、集水域の土地利用と河川水質の関係は異なるが、DP濃度の場合、傾向は同じであったと言える。また集水域から流出するDPの主たる起源が農地であることを示唆している。

一方で、集水域の農地面積割合と河川水中のDP濃度に強い関係がみられた降雨時において、河川水中のPP濃度は集水域の農地面積割合とほとんど関係がなかった。このことは、DPとは異なり、降雨時におけるPPの主たる由来が農地ではないことを示唆している。発表時には降雨時のPPの主たる起源についても考察を行う。

Brett et al., 2005 Environmental Management, 35(3), 330-342, 大久保, 2008, 河川環境管理財団報告書

## 琵琶湖湖岸流域における地下水の物理化学特性と 湖への物質輸送特性

\*齋藤光代（岡山大・院）・小野寺真一・友澤裕介・王 崑陽・石田卓也（広島大・院）  
・伴 修平（滋賀県立大）・奥田 昇（神戸大・院）

### 1. はじめに

淡水湖沼の基礎生産は、一般にリン（P）に制限を受ける場合が多く、湖沼へのリン供給の定量化は重要な課題である。湖への地下水流出（Lacustrine Groundwater Discharge: LGD）は、特にリンの潜在的な供給経路として注目されているが<sup>1)</sup>、その評価の困難さから、世界的な湖沼においてもこれまで十分に定量化されてきたとはいえない。我が国最大の淡水湖である琵琶湖では、従来の研究において、浅層地下水由来の LGD が湖岸近傍から生じていることが確認されている<sup>2)</sup>。一方で、より強い水圧をもつ深層地下水の沖合からの流出については明らかにされていなかった。そこで本発表では、琵琶湖とその集水域を対象に、浅層および深層地下水経由の LGD について、地下水の物理化学特性および物質輸送特性から明らかにすることを目的とした。

### 2. 材料と方法

琵琶湖への LGD およびそれにとまなうリンの供給を定量的に評価するため、地下水のトレーサーとして有用とされるラドン ( $^{222}\text{Rn}$ ) を用いた観測、観測井における地下水位・水質モニタリング、さらには水文水質モデル（Soil and Water Assessment Tool: SWAT）による評価を実施した。 $^{222}\text{Rn}$  濃度の測定については、半導体検出器静電捕集型ラドンモニター（RAD7, DURRIDGE Company, Inc.）を用いて実施し、浅層地下水の流出については、琵琶湖の湖岸沿いに表層水の  $^{222}\text{Rn}$  濃度の空間分布を測定し、また、沖合湖底からの深層地下水の流出を捉えるため、東岸（彦根市）および西岸（高島市）から沖に向かう観測ラインを設定し、湖底直上水の  $^{222}\text{Rn}$  濃度をそれぞれ水深の異なる数地点で測定した。観測井は滋賀県立大学の敷地内に深度 4m、25m の 2 深度を設置しモニターを行った。地下水、湖水、および湖底間隙水を採取し、栄養塩濃度および酸素・水素安定同位体比 ( $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta\text{D}$ ) の測定を行った。さらに、観測

井掘削時に採取したボーリング柱状試料中のリンの含有量を測定した。また、野洲川流域に SWAT を適用し、水収支ベースの推定を実施した。

### 3. 結果と考察

琵琶湖湖岸沿いの  $^{222}\text{Rn}$  濃度分布から見積もった琵琶湖への浅層地下水経由 LGD は、従来の観測に基づく推定結果<sup>2)</sup>とほぼ一致した。さらに、水深 10m 以深の湖底付近で比較的高い  $^{222}\text{Rn}$  濃度が検出され、沖側の湖底からの深層地下水経由の LGD を示唆し、さらに湖底堆積物から抽出された間隙水の  $\delta^{18}\text{O}$  から、深層地下水の寄与が明らかになった。また、それらの結果から、深層地下水の流出量は浅層地下水に匹敵することが示唆され、陸域における観測井での地下水位分布・変動や野洲川流域を対象とした SWAT による水収支解析結果もそれを支持した。

加えて、ボーリング柱状試料の分析結果から、堆積物中でのリンの存在が確認され、さらに、地下水のリン酸濃度は湖水や河川水と比較して明らかに高濃度であった。これらの結果から、琵琶湖への LGD 由来のリン供給量は、河川経由とほぼ同程度かそれ以上に相当すると推定された。

\*本研究は、科研費基盤研究(A) (18H03961, 代表：伴 修平) および総合地球環境学研究所研究プロジェクト (代表：奥田 昇) の支援のもと実施された。

### 参考文献

- 1) Lewandowski, J. et al. (2015) Groundwater – the disregarded component in lake water and nutrient budgets. 2. Effects of groundwater on nutrients. *Hydrol. Process.*, DOI: 10.1002/hyp.10384.
- 2) 小林正雄 (2001) 地下水と地表水・海水との相互作用 3. 湖水と地下水の相互作用. *地下水学会誌*, 43: 101-112.

## そのリン酸酸素安定同位体比分布：地下水によるリン供給評価を目指して

石田卓也（広島大），\*奥田昇（神戸大），友澤祐介（広島大），齋藤光代（岡山大），  
小野寺真一（広島大），刘鑫，後藤直哉，伴修平（滋賀県大）

### 1. はじめに

湖沼や沿岸生態系への地下水を介しての栄養塩供給はこれまで考えられてきたよりもはるかに重要で、富栄養化や貧栄養状態の緩和などに寄与していることが示唆されている。現在の琵琶湖北湖は、中栄養湖であり特に必須栄養元素であるリン（P）はわずかにしか存在しない。そのため、地下水を介してのP供給は琵琶湖の生産性を支えている可能性がある。

近年、P循環を評価するためのツールとしてリン酸酸素安定同位体比（ $\delta^{18}\text{O}_{\text{PO}_4}$ ）分析が注目されている。 $\delta^{18}\text{O}_{\text{PO}_4}$ とは、リン酸（ $\text{PO}_4$ ）を形成する酸素安定同位体比（ $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ）のことであり、Pの起源や生物による利用を評価できる性質を持つ。

地下水によって供給されたPは、湖内の底層環境へと流入し、一部は湖底堆積物中で反応・蓄積し、残りは直接湖水へと供給される。つまり湖底堆積物中の化学特性と $\delta^{18}\text{O}_{\text{PO}_4}$ を調べることで地下水からのP供給を評価できる可能性がある。そこで本研究では、琵琶湖の湖底堆積物と沿岸地下水の無機態P濃度とその $\delta^{18}\text{O}_{\text{PO}_4}$ 値を明らかにし、地下水を介したP供給を評価することを目的とした。

### 2. 材料と方法

調査は、琵琶湖の東岸で行った。滋賀県立大学内（滋賀県彦根市）の観測井から浅層（1.8～10.0 m）・深層（24.7～27.5 m）地下水を2019年5月、2020年10月に採水した。湖底堆積物は、滋賀県立大学近傍の沿岸から沖合に向けて4地点からコアサンプラーを用いて2020年10月に採取した。採取した堆積物コアは5 cmごとに切り分けて分析に供した。

地下水試料は、濾過した後、溶存反応性P（SRP）濃度とその $\delta^{18}\text{O}_{\text{PO}_4}$ 値を測定した。堆積物試料は、SEDEXの連続抽出法に従い $\text{MgCl}_2\text{-P}$ （交換態）、BD-P（鉄結合態）、NaAc-P（自生アパタイト）、HCl-P（アルミニウム結合態+残渣アパタイト）画分を抽出し、

P濃度を定量した。地下水と各抽出液の $\delta^{18}\text{O}_{\text{PO}_4}$ は、Tamburini et al., (2010)の方法で処理した後、総合地球環境学研究所の熱分解型質量分析計によって測定した。

### 3. 結果

地下水中のSRP濃度は、湖水（ $>0.06 \mu\text{mol}$ ）と比較して浅層（0.74～1.42  $\mu\text{mol}$ ）、深層地下水（27.4～28.0  $\mu\text{mol}$ ）と特に深層地下水で非常に高い値を示した。地下水中の $\delta^{18}\text{O}_{\text{PO}_4}$ 値は、浅層地下水で12.7‰～15.1‰、深層地下水で16.8‰～17.4‰であった。

湖底堆積物中の全無機態P量（各抽出画分の合計）は、全調査地点において表層で高く、深くなるにつれて減少した。調査地点ごとに比較すると、岸から離れるにつれてP量は増加し、主要な蓄積形態は、NaAc-PからBD-Pへと変化した。湖底堆積物中の $\delta^{18}\text{O}_{\text{PO}_4}$ 値は、BD-P画分において最も岸に近い調査地点で低く（13.4‰～13.9‰）、離れるにつれて高くなる傾向（15.3‰～16.9‰）があった。一方、NaAc画分（14.8‰～16.4‰）とHCl-P画分（13.9‰～17.4‰）では、 $\delta^{18}\text{O}_{\text{PO}_4}$ 値と岸からの距離に明確な関係は認められなかった。P濃度が低い $\text{MgCl}_2\text{-P}$ 画分は $\delta^{18}\text{O}_{\text{PO}_4}$ 値を測定できなかった。深さ方向における $\delta^{18}\text{O}_{\text{PO}_4}$ 値の変化は、地点・画分ごとに異なり一定の傾向は認められなかった。

### 4. 考察

地下水中の高いP濃度は、低い酸化還元電位を伴っていたことから、地層中の鉄酸化物の還元・溶解とともにP溶出が起きていると考えられる。特に高いSRP濃度を持つ深層地下水は、沖合で湧出することから、沖合の底辺環境にそれが反映されている可能性がある。実際に、堆積物中のBD-P濃度は、沿岸から沖合にかけて増加し、 $\delta^{18}\text{O}_{\text{PO}_4}$ 値も深層地下水の値に近くなっていった。これらの結果から、地下水を介したPと鉄の供給が、湖底堆積物中のBD-P蓄積を促していることが示唆された。

\*大久保卓也（滋賀県立大・環）・鈴木隆夫・森田尚・孝橋賢一・中嶋拓郎（滋賀県）  
・藤岡康弘（滋賀県立琵琶湖博）

## 1. はじめに

琵琶湖では下水道整備、排水規制など様々な富栄養化防止対策が実施されてきた結果、湖水の窒素・リン濃度の低下、透明度の上昇、赤潮発生件数の減少などの水質改善現象がみられてきた。しかし、一方で、魚類の漁獲量は1980年代をピークにその後減少しており、リン濃度の減少に追従した変化となっている。富栄養化防止対策による湖沼のリン濃度低下は貧栄養化(oligotrophication)現象と呼ばれ、欧米ではその生態系や漁業への影響に関する研究が数多く行われている。本発表では、海外の湖沼における貧栄養化に伴う生態系変化、漁獲量変化に関する文献を収集し、レビューした結果を報告する。

## 2. 方法

Google Scholar および Elsevier ScienceDirect の文献検索を利用し海外の湖沼における栄養レベルと漁獲量の長期変化に関する文献を収集し、レビューした。

## 3. 結果

ヨーロッパでは、Jeppesen らや Gerdeaux らによって貧栄養化の生態系影響に関する研究が活発に進められてきた。Jeppesen ら(2005)が、欧米の35の湖（浅い湖22、深い湖13）のデータを解析した結果、富栄養化対策によってほとんどの湖でT-P濃度が減少し、クロロフィルa濃度、植物プランクトン現存量も減少した。動物プランクトン現存量は、浅い湖では減少したが、深い湖では明確なトレンドはみられなかった。漁獲量から推定した魚類現存量は、ほとんどの湖で減少した。種組成については、植物プランクトンでは、浅い湖で珪藻、クリプト藻、黄金色藻の比率が増加、深い湖で渦鞭毛藻、黄金色藻の比率が増加した。動物プランクトンでは、浅い湖でダフニアの比率が高くなる傾向がみられた。魚類組成では、魚食性魚の比率がほとんどの湖で増加する傾向がみられた。例えば、マス類/コイ類の比は、多くの貧栄養化湖沼で増加する傾向がみられている(Gerdeaux,


2006)。米国では、ミシガン湖、ヒューロン湖で貧栄養化が進んでおり、クロロフィル、POCが減少し、透明度が上昇している。また、植物プランクトン・動物プランクトン（甲殻類）現存量も減少傾向にある(Barbieto ら, 2018)。栄養状態と魚種別収穫量との関係について、米国EPAはサケ類漁業では栄養レベルがやや低め(T-P $\leq$ 0.024mg/L)がよいが、総魚類漁獲量は栄養レベルが高いほど多くなることを示している。カナダのKootenay湖(Bassett ら, 2018)や米国のDworshak湖(Wilson ら, 2018)では、漁獲量を増やすために湖に窒素・リンを投入する大規模実験が行われている。その効果は、Kootenay湖では不明確であるが、Dworshak湖では、①窒素・リン投入による窒素・リン濃度変化は不明確、②クロロフィルa濃度変化は不明確、③従属栄養細菌細胞数密度は増加、④ピコシアノバクテリアの細胞数密度は増加、⑤植物プランクトン体積密度の変化は不明確、⑥食べられやすい小型の植物プランクトンの割合は増加、⑦動物プランクトン個体数密度は増加、⑧ベニザケ(kokanee)の推定現存量は増加したと報告されている。

## 4. 考察

すべての関連論文のレビューをまだ終了していないが、これまでの文献レビュー結果を総括すると、下記のようなまとめができるのではないかと考えている。貧栄養化の過程で魚食性魚が一旦増加するのは、底層の溶存酸素が増加し捕食可能な空間が広がることが影響しているのではないかと推定される。

### 文献レビューに基づく

#### 湖沼における貧栄養化進行に伴う現存量変化の概略



植物プランクトン	減少（珪藻、クリプト藻の割合は増加）
動物プランクトン	減少（ダフニアの割合は増加）
動物プランクトン食魚	減少
雑食性魚	減少
魚食性魚	一旦増加 → その後減少

## 琵琶湖の漁獲量減少は貧栄養化が原因か？ ～統計データおよびモデル解析を用いた一考察～

\*佐藤祐一（滋賀県・琵琶研セ）

### 1. はじめに

近年、流入負荷の削減により水質は改善する一方で、漁獲量が減少するなど生物への影響が見られる湖沼や海域がある。この一因として、栄養塩の流入負荷の減少により植物プランクトンの生産量が減少し、それを餌とする上位の生態系にも影響が生じるという「貧栄養化」の問題が指摘されている<sup>1)</sup>。

流入負荷の削減は、必ずしも受水域の栄養塩濃度や植物プランクトン、動物プランクトン、魚介類のバイオマスを一様に減少させるわけではない。ロトカ・ボルテラモデルを用いた考察では、貧栄養化時には植物プランクトンと魚類バイオマスは減少するが、栄養塩濃度や動物プランクトンバイオマスは変化しない<sup>2)</sup>。これは、琵琶湖で生じていることとも類似する。

一方で琵琶湖の状況をより詳細に見ると、貧栄養化だけでは説明できないことが多く挙げられる。例えば魚類の漁獲量は1980年代中頃から減少傾向にあるが、栄養塩の流入負荷量が顕著に減少し始めたのは（データのある1985年度以降では）1995年度以降である。漁業者数も1980年代以降減少傾向にある。1980～90年代にかけては流域における開発や外来魚の増加、水位操作規則の改定、水草の大量繁茂などが顕在化した時期であり、1985年度以前の負荷量減少が効いているとしても、この時期の漁獲量減少の主要因を貧栄養化に求めるのは困難である。

加えて、従来の流入負荷量の算定手法には多くの問題が指摘されている<sup>3)</sup>。特に面源負荷については実態より過小評価されていると考えられ、年度ごとの気象状況などを踏まえたときにも流入負荷が減少しているといえるのか不明である。

本研究では2000～10年代に着目し、流域水物質循環モデルを用いて各年度の流入負荷量を算定するとともに、単位漁業者あたりの漁獲量（CPUE）との関係について考察する。

### 2. 方法

流入負荷量の算定に用いたモデルは、琵琶湖の

湖沼水質保全計画でも活用された「琵琶湖流域水物質循環モデル」<sup>3)</sup>のうち陸域の計算に係る部分（陸域水物質循環モデル）である。本モデルは蒸発散モデル、地表流モデル、地下水モデルなど5つの要素モデルから成る分布型物理モデルである。2000～2018年度の19ヶ年について、各時刻の気象データ等を用いて流入負荷量を計算した<sup>4)</sup>。

CPUEについては、琵琶湖の総漁獲量（外来魚を除く）を各年度の漁業就業者数（データがない期間は線形補間する）で除して求めた。

### 3. 結果と考察

琵琶湖の総漁獲量とCPUEの推移を図1に示す。CPUEは1990年度頃をピークに減少する傾向が見られる。一方、陸域水物質循環モデルで計算した結果からは、TN、TPのいずれにおいても、2000年代以降は流入負荷が減少する傾向は見られなかった。点源負荷は減少してきたものの、それと同程度に面源負荷が増加してきたことが示唆された。したがってCPUEと流入負荷量の間には明瞭な関係は見いだされず、少なくとも2000年代以降については貧栄養化がCPUEを減少させたとは言えないと考えられた。

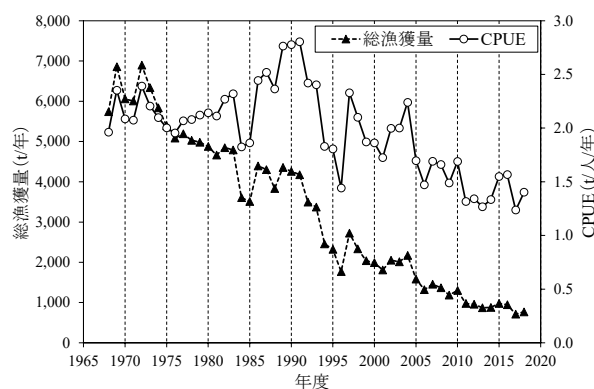


図1 琵琶湖の総漁獲量とCPUEの推移

### 参考文献

- 1) 山本民次ら編（2015）海と湖の貧栄養化問題，地人書館。
- 2) 大久保卓也ら（2016）環境技術，45（7）。
- 3) 佐藤祐一ら（2011）水環境学会誌，34（9）。
- 4) 佐藤祐一ら（2020）水環境学会シンポジウム。

\*井上祥一郎（㈱名邦テクノ、㈱エステム、㈱日吉）、石川甚右衛門（愛知県吉田漁業協同組合）

## 1. はじめに

主要な水産物がアサリとノリの三河湾でも、漁獲量の低下は顕著である。アサリは減耗、ノリは色落ちと被害内容は異なるが、共に貧栄養化の影響とされ、水産関係者からは、N、P不足に起因するとの声強い。

10年を迎えた国土交通省豊橋河川事務所の「矢作川流域圏懇談会」事業がある。目的は、

- ① 矢作川流域圏に関係する各組織のネットワーク化を図る
- ② 流域圏一体化の取り組み及び矢作川の河川整備に関わる情報共有・意見交換を図る

である。事業の仕組みは、民、学、官の人々が、山、川、海の3地域部会と市民部会に自由に参加し、上記の目的達成に向けて協働するというものである。とりまとめは年に1度の全体会議で発表される。

演者は海部会と市民部会に所属し、全体会議にも出席する。海部会には漁業者の出席もあり、懇談会設立時点（2010年）には危機感はなかった。1500トンの以上の安定したアサリの水揚げを中心に高い水産収入が得られていた。ところが、2012年以降アサリの水揚げは急減し、2017年には1500トン程度と、水産経営が難しくなり危機感が募っている。

海部会には共同発表者の石川吉田漁協組合長（以下石川）も出席され、危機を示すグラフ情報を提供される。今回は、この漁業者目線で作成された水産と水質に関する通信簿的な手作り資料を紹介する。

## 2. 材料と方法

石川が懇談会に提示したグラフは3種類ある。最も長期間に亘っているのが、西三（西三河）ノリ研究会のデータ7枚（以下西三ノリ）で、採水地点はノリ漁場の8点。矢作川浄化センターに近い「十四号地」から、本場9号、六区、実録、坂田、伍保、丙、東端の「吉田」まで8カ所。十四号地から吉田までの海岸線の距離は11km弱である。採水地点間は単純計算で約1.5km間隔になる。

次に古いのは「矢作川浄化センター放流口」を扇の要とする10点（内8点が評価対象）のデータ4

枚（以下矢作浄化）である。あとは西尾次世代産業地区開発計画水質保全地域調整会議のデータ9枚（以下西尾次世代）で、矢作古川河口と矢崎川河口の2ヶ所が採水地点である。

「西三ノリ」は三態窒素（ $\mu\text{g/L}$ ）、リン酸態リン（ $\mu\text{g/L}$ ）、プランクトン数（個/ml）が棒グラフで示され、ノリの良好な成長と品質の基準とされる目標ラインが二重線で示されている。また、植物プランクトンの種類と個数が手書きで記載されている。

「矢作浄化」は、三態窒素、リン酸態リンおよびノリの必要とする目標ラインが引かれている。矢作川浄化センター放流水の拡散情報が期待される。

「西尾次世代」は全窒素、全リン、クロロフィルaが $\mu\text{g/L}$ で表示され、水産1種（エビ、カニ、タコ、イカ、クロダイ、ハマグリ）、2種（イワシ、スズキ、カレイ、シャコ、ナマコ）、3種（イワシ、コノシロ、スズキ、アサリ）の基準水質ラインが示される。（当該データの提供は石川の了解を得ており可）

## 3. 結果

全20枚の中から平成2年度2月20日（19日）の資料を抜き出し観察した。

「西三ノリ」では8地点の内、5地点は3要素の内何かが不足する。植物プランクトンは珪藻類が優占し、8地点中7地点で1000個/ml以上であった。

「矢作浄化」では8測点の内、3点が基準に達しない。「西尾次世代」では、全窒素、全リンは水産2種の範囲にあるが、クロロフィルaは、水産1種の中位しか存在せず、2種、3種の漁獲は望めない。

## 4. 考察

珪藻類の優占でアサリが増殖すると、ろ過食性で透明度が上がり、浅場底層の好気化が期待できる。アサリの排せつ物がノリの栄養に繋がると、色落ち被害が低減できる。単に、窒素、リンの不足を補う要求ではなく、珪藻類の優占する水質を求めるべきと考える。そのためには、シリカ量の把握と、微細藻類中にしめる珪藻の存在量をデータに加える必要がある。

O-B35

栄養塩負荷量と漁業生産の関係：

水質総量規制は漁業生産の減少要因か？

総合討論

# 企業広告





# 株式会社バイオーム

## アプリを使って 生物分布情報を収集しませんか。

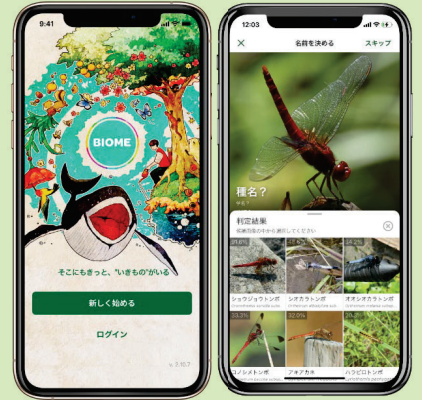
株式会社バイオームは生物多様性ビッグデータの作成・活用を進めることで「生物多様性市場」を創出し、環境保全と経済が両立する社会を目指しています。  
スマートフォンアプリ「Biome」はユーザーが無料で使用することができる“いきものコレクションアプリ”で、誰もが無料で参加できる市民参加型の生物分布調査のプラットフォームです。アプリで得られたデータを研究目的でご提供することも可能です。



- ・ヌートリア
- ・アメリカナマズ
- ・外来水草

ほか多数

アプリを使って  
いきもの調査



### スマートフォンアプリ「Biome」

日本国内のほぼ全種の動植物（約94,000種）を収録したいきものコレクションアプリ。撮影した生物の名前を自動で判別してくれるAI機能の他、図鑑・地図・SNS・クエストなど生物にまつわるあらゆる機能を搭載。



本社 〒600-8813 京都府京都市下京区  
中堂寺南町134番ASTEMビル8階  
四条堀川  
オフィス 〒600-8482 京都府京都市下京区綾堀川町296  
四条堀川ビル7階

Tel: 075-432-7622  
Email: info@biome.co.jp  
HP: https://biome.co.jp



# GOKO映像機器株式会社

見えない世界を、みんなで観る

「拡大して画面に映す」GOKOのラインナップは  
医療・美容・健康・工業等多分野で  
活躍しています



ユニークな  
超拡大スコープの  
開発・製造・販売を  
自社で一貫して  
行っています



光学  
70年の  
誇り。

生体・生物用 工業用

## マルチディスタンス スコープ GOKO EV-6HD

マクロから遠景まで一台で実現!  
圧倒的な鮮明さで  
幅広い目視検査を強力にサポート

ウェブカメラとして  
リモート観察、拡大説明にも



Webページ: <https://www.gokocamera.com/ev/ev-6hd.php>

【作例画像】



生体・生物用 工業用

## 顕微鏡用 USB デジタルカメラシステム SCORP-ON Direct USB

優れた光学性能で  
ハイクラスな画質を実現する  
日本製の顕微鏡用USBカメラ  
「自動エッジ検出機能」付の  
高機能計測ソフトも標準付属です



Webページ: <https://www.gokocamera.com/mvc/mvc-direct-usb.php>

創業70年。8ミリ編集機及びコンパクトカメラにおいて、OEM供給・自社ブランドにより生産台数・シェア共に世界一記録を持つGOKOが、開発・製造・販売を一貫して行っています

問合せ先: 川崎市幸区塚越3-380GOKOビル tel:044-544-1313  
製品紹介ページ: <https://www.gokocamera.com>

# 赤潮をリアルタイムにキャッチ

## HAI Sensor

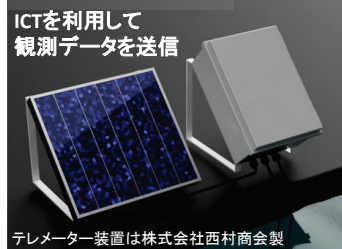
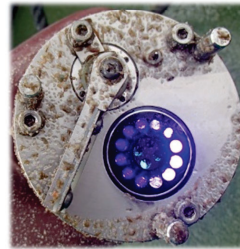
有害プランクトン検出センサー

カレニア・ミキモトイと  
シャットネラ・アンティーカ/マリーナの  
現存有無を判別できるセンサーです。

### 直読式検出センサー

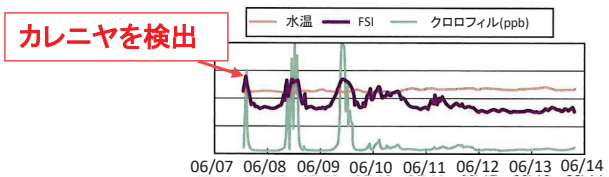


### テレメーター監視用センサー



ICTを利用して  
観測データを送信

テレメーター装置は株式会社西村商会製



- 深度センサー付なので鉛直測定が可能
- 判別を容易にできる新しい独自の指標を設定
- 同時に水温、クロロフィルを鉛直測定

- 24時間自動連続観測
- 遠隔で赤潮検知を素早くキャッチ
- 生物付着防止用ワイパー洗浄機能付

【主要製品】水質計(水温、塩分、溶存酸素、クロロフィル、濁度、pH)、電磁流速計、波高計、光子子計



JFE アドバンテック 株式会社 海洋・河川事業部

本社 〒663-8202 兵庫県西宮市高畑町3-48

TEL.0798-66-1783 FAX.0798-66-1654

東京支店 〒111-0051 東京都台東区蔵前2-17-4(JFE蔵前ビル 2F) TEL.03-5825-5589 FAX.03-5825-5591

東北支店 〒980-0811 宮城県仙台市青葉区一番町1-3-1(TMビル 2F) TEL.022-711-7535 FAX.022-711-7534

<http://www.jfe-advantech.co.jp/>



### 「サブスク」で始める水質連続観測

機器購入からデータを購入するという、新しい考え

例えば  
水温・溶存酸素の  
遠隔監視ならば・・・

**34,100**

円・月額  
(税込み価格)

外出が困難な今 現場データ取得をサポートする  
「サブスク・定額制データ提供サービス」  
備品費20%の制限を受けない遠隔-自動観測システムが研究データを  
在宅でも監視します  
今の時代だから、人と会わずデータを得る連続自動観測をサブスクで御体験下さい

乾電池式  
通信装置

環境システム株式会社  
[www.hydrolab.co.jp](http://www.hydrolab.co.jp)

さらに詳しい  
情報はWEB  
にて公開中



Hydrolab.co.jp

# $^{14}\text{C}$ は年代だけとっていませんか？ ～ Cの天然トレーサーとしての $^{14}\text{C}$ ～

$\Delta^{14}\text{C}$ : 同位体効果を補正で除き, 崩壊での変化だけを反映  
⇒ **化学/生化学反応に影響されずC動態を反映**

1. 同位体分別の確かめ(※生物なら培養実験など)が不要  
**野外試料だけでそのまま野外を解釈できます**

2. End memberが幅広い⇒**天然トレーサーとして明瞭になり易い**

化石燃料や石灰岩C ~ 現代大気C ~ 1970年頃の大気C  
-1000% ~ 0% ~ 1000%

有機物など炭素化合物は究極の炭素源であるこれらの寄与を反映します

ご興味がお有りでしたら是非当社までご相談ください！

株式会社 加速器分析研究所

〒214-0013 神奈川県川崎市多摩区登戸新町129-1  
TEL:044-934-0020 E-mail : office@iaa-ams.co.jp

## ハンディタイプ 電磁流速計 LP40/LPT-425

- ・ 小型軽量、低消費電力により単3乾電池 4本で駆動
- ・ 計測オプション品を多数用意  
現場の状況に則した観測方法が選択可能
- ・ 本体部 410g 検出部 200g
- ・ 測定水深 2.5cm～
- ・ 最大流速測定 4m/s



本体部  
LP40



検出部  
LPT-425



株式会社ケネック

〒196-0021 東京都昭島市武蔵野2-8-1  
TEL : 042-544-1011 FAX : 042-544-4748

URL <https://www.kenek-co.com>  
E-mail [sales@kenek-co.com](mailto:sales@kenek-co.com)





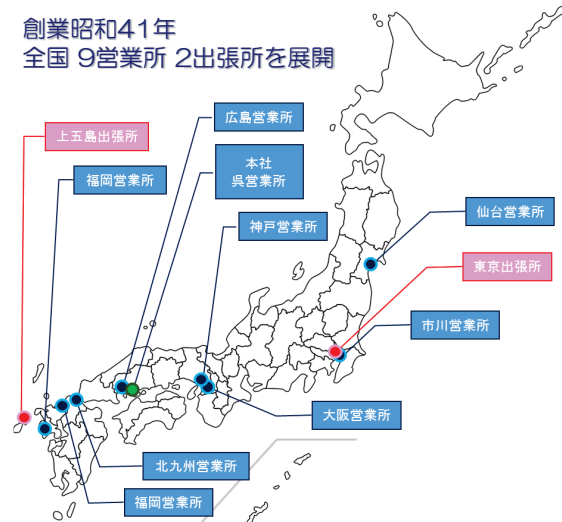
【主な事業】

- 各種潜水作業請負
- 潜水指導講習
- 潜水器材販売
- ウェットスーツ製造販売
- 高圧空気器具販売・修理
- 潜水用プール時間貸し

☆潜水士募集中☆

- 未経験OK（入社後免許取得）
- 海が好きな方歓迎♪

創業昭和41年  
全国 9営業所 2出張所を展開

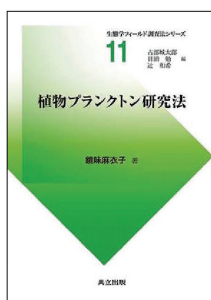


共立出版

創業95周年

植物プランクトン研究法

生態学フィールド調査法シリーズ⑪

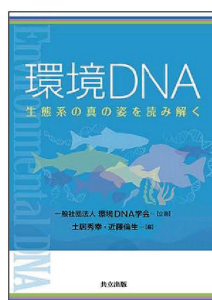


鏡味麻衣子著  
占部城太郎・日浦 勉・辻 和希編  
植物プランクトンを見たい、培養したい、大発生した原因を知りたいなど様々な場面で必要となる手法を解説。

A5判・定価3080円(税込)  
ISBN978-4-320-05759-3

環境DNA

生態系の真の姿を読み解く



(社)環境DNA学会企画  
土居秀幸・近藤倫生編  
環境DNA技術と多数の応用事例を詳解。今後の展望にもふれ、日本の環境DNA学発展への出発点となる一冊。

A5判・定価3960円(税込)  
ISBN978-4-320-05816-3

環境同位体による水循環トレーシング



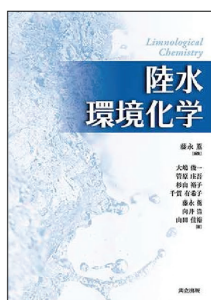
山中 勤著

環境中に存在する水素と酸素の安定同位体をトレーサーとして利用する際の基礎理論を解説する。

A5判・定価5830円(税込)  
ISBN978-4-320-04739-6

陸水環境化学

藤永 薫編集／大嶋俊一・菅原庄吾・杉山裕子・千賀有希子・藤永 薫・向井 浩・山田佳裕著



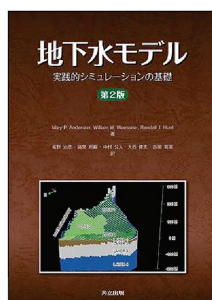
河川や湖沼を中心とした陸水環境中で起こる化学変化と物質移動の基礎を、わかりやすく解説した教科書。

B5判・定価2860円(税込)  
ISBN978-4-320-04733-4

地下水モデル

実践的シミュレーションの基礎 第2版

M.P.Anderson・W.W.Woessner・R.J.Hunt 著  
堀野治彦・諸泉利詞・中村公人・大西健夫・吉岡有美訳



MODFLOWなどによる地下水問題への具体的な対処を交え、理論から実務的な問題解決までカバーしている。

B5判・定価9900円(税込)  
ISBN978-4-320-04736-5

湖沼近過去調査法

より良い湖沼環境と保全目標設定のために



占部城太郎編

人間活動の影響が最も顕在化した過去100年間の生物群集と環境の変遷を調べる手法を、具体的に紹介する。

A5判・定価3850円(税込)  
ISBN978-4-320-05735-7



### LAI sensor MIJ-15 LAI/K2

- Just set under the canopy
- Easy research for seasonal change
- Much more accurate than fisheye lens type
- Neglecting PAI → Gives you Real LAI

### LAI Sensor & Analyzer

#### LAI analyzer MIJ-15 LAI/P

- Portable type of LAI sensor
- Using same sensor as K2 use
- Light weight so easy to carry

### WET150

- Lower cost multi-parameter sensor
- Measures moisture, temperature and EC
- Digital SDI-12 for easy system integration
- Rugged, buriable and low power
- Accurate monitoring of growing conditions

### Soil Moisture Sensor

#### WET150 KIT

- For portable use
- Instant measurements of moisture, EC, and temperature
- Comes complete with readout meter and case

### Soil Oxygen Sensor MIJ-03

- Long term observation with easy set-up
- No influence by the rain or other waters
- Easy span calibration
- Not require to do the zero calibration

### Soil Oxygen Sensor & Dendrometer

#### Dendrometer MIJ-02 Rotary Type3

- Selectable nondestructive or screw mount
- Allow measurement immediately after set to measurement object
- Wide measurement Range

### FluorPen E-FP110

- Accurate measurement of photosynthetic parameters
- Leaf-clip for dark adaptation
- Easy-to-use two-button operation
- Ft (Fo')
- QY(Fv/Fo)
- OJIP
- NPQ
- Light curve

### Chlorophyll Fluorescence

#### AquaPen E-AP110

- Chlorophyll excitation in algal cultures
- Suitable for use with cyanobacterial cultures
- Capable of OD measurement
- Ft (Fo')
- QY(Fv/Fo)
- OJIP
- NPQ
- Light curve

## 新開発!! ポータブル型 浅水域用 超音波式流向流速計 Eco (エコ)

「あ、ここの流速、すぐ知りたい！」  
に 応える最新 ADCP パッケージ。

活躍の場多数!  
漁網周辺の流向流速、  
環境調査、流況調査、  
海岸工学、水産研究、  
湖沼、河川、汽水域、  
釣り、教材利用、他

構成部品および水中設置時のイメージ  
※水風に固定するアンカー (棒) とそのロープは付属しません

全高 13cm、重さ約 1kg

→ スポンのポケットや車のドリンクホルダーに入るサイズを実現しました。

#### 最新機能搭載

→ コンパクトな本体の中には ADCP として必要不可欠なセンサー類を全て搭載しており、他の ADCP ラインナップと同精度です。専用開発されたパルス音波機能により機器真正 30cm から測定可能 (新機能)。

#### 無線通信

→ 設定・読み出しを全て無線通信 (Bluetooth) にて実施します。通信ケーブルやコネクタがありません。

#### 非接触充電

→ 非接触充電型充電電池を搭載し、本体を開けることなく繰り返し使用できます。卓上型非接触充電器により、置くだけで充電ができます。

全高 : 13cm

#### LED ランプ

→ マルチカラー LED を搭載。音波の発信タイミングのほか、通信状況や充電状態なども色で表示。

#### スマートフォン操作

→ スマートフォンアプリを使用して設定とデータ読み出しを行います。必要な場合には PC の Web ブラウザーより PC の Bluetooth 通信機能を介して使用することも可能。

#### 複雑なデータ品質管理は Nortek サーバーが対応

→ データの確認や品質処理といった複雑な後処理作業は、Nortek のデータサーバーが自動で行います。データ読み出し後に自動アップロードを行えば、品質処理されたデータが Web 上のユーザーページにグラフ表示されます。強力な報告書作成機能あり。

#### 中層パイ測定用パッケージ

#### 海底設置用パッケージ

### 設定用 Web ページ公開中!

www.nortek.eco

各スマートフォンに対応した測定設定用アプリを無料公開中「Nortek Eco」

Eco 設定 Web ページでは Eco の取り扱い説明やサンプルデータを用いた自動データ処理やグラフの表示、グラフやデータエクスポート、レポート作成機能を無料でお試しいただけます。ぜひ一度お試しください。

Nortek ジャパン合同会社 (ノルテックジャパン)  
東京都港区芝 2-5-10  
TEL: 03-6435-3270

Nortek社 (本社/ルノー-王国スロ) は1996年から超音波式流向流速計を製造・販売しているグローバル企業です。

# WS-CRDS

# PICARRO

波長スキャン キャビティリングダウン分光方式

## ガスアナライザー 安定同位体比アナライザー

温室効果ガス、水文科学、火山、炭素貯蔵、生態学、海洋科学、土壌科学

ガスアナライザー

Gas Analyzer



CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub>  
N<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>CO, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>  
H<sub>2</sub>CO, HF, HCl



NEW! 携帯型モデル  
CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>

安定同位体比アナライザー

Isotope Analyzer



$\delta^{13}\text{C}$  for CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>  
 $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta^{17}\text{O}$ ,  $\delta\text{D}$   
 $\delta^{15}\text{N}$ ,  $\delta^{15}\text{N}^{\alpha}$ ,  $\delta^{15}\text{N}^{\beta}$

### 三洋貿易 株式会社

■ 科学機器事業部

〒101-0054 東京都千代田区神田錦町 2-11 三洋安田ビル 8F  
TEL: 03-3518-1188 FAX: 03-3518-1237

Springer

### Limnology

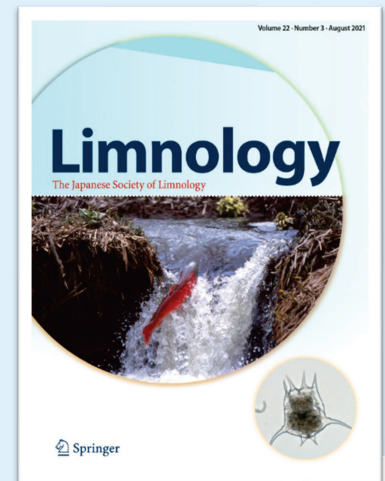
- Limnology is the official journal of the Japanese Society of Limnology
- Limnology publishes original scientific contributions on physical, chemical, biological, or related research, including environmental issues, on any aspect of basic, theoretical, or applied limnology
- Article types: Rapid communication, Research paper, Review article, Asia/Oceania report, Comments

Editor-in-Chief: Prof. Ichiro Tayasu

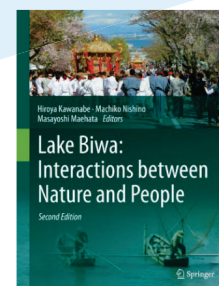
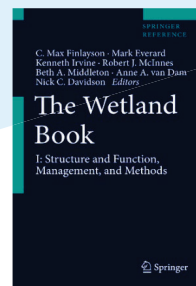
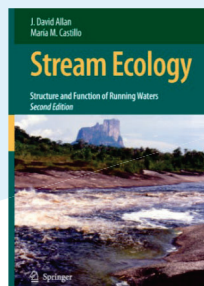
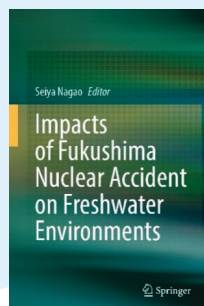
Managing Editor: Assoc. Prof. Kohei Yoshiyama

Springer contact for Journal inquiries: [Sachiko.Hayakawa@springer.com](mailto:Sachiko.Hayakawa@springer.com)

springer.com



### Book Highlights



Springer Contact for Book publication inquiries : [Fumiko.Yamaguchi@springer.com](mailto:Fumiko.Yamaguchi@springer.com)

## 日本陸水学会 第 85 回大会 講演要旨集

発行年月日 2021 年 9 月 10 日 (第 1 版)

編集・発行 JSLIM85 実行委員会

東京農工大学

〒183-8509 東京都府中市幸町 3-5-8

URL: <http://web.tuat.ac.jp/~jslim85/index.html>

[rikusui@gmail.com](mailto:rikusui@gmail.com)