

## 全国 50 ダム湖の菌類群集比較

\*望月学（横浜国大院・環境情報），土居秀幸（兵庫県立大院・情報科学）  
鏡味麻衣子（横浜国大院・環境情報）

## 1. はじめに

湖に生息する菌類は、酵母や菌糸状の子囊菌類や担子菌類、鞭毛をもち水中を遊泳するツボカビ類など系統的にも形態的にも多様である。子囊菌や担子菌は落ち葉の分解、ツボカビは花粉の分解や植物プランクトンへの寄生を通じて水域の物質循環において重要な役割を果たしている。2000 年以降、分子生物学的手法の発展により、湖沼や海洋において予想以上に多様な水生菌類が存在することが明らかになった。しかし、検出された菌類の多くは未培養の種類であり、その生態や機能は未知である。また、水生菌類の群集組成の決定機構も不明であり、湖内の生息場（沿岸や底、沖）や有機物組成の影響をうける、もしくは湖の地理的な位置によって顕著に異なるなど、いまだ統一見解は得られていない。

本研究では、全国ダム湖 50 か所のダム湖の沖において同時期に採水し、DNA メタバーコーディングにより菌類の群集組成を調査した。また Single spore PCR により植物プランクトンに寄生している菌類の DNA 解析を行い、DNA メタバーコーディングの結果と結びつけることで、植物プランクトン寄生性菌類の分布パターンを明らかにした。菌類の群集組成に影響する要因を明らかにするために、各ダム湖の特徴や位置との関係を検討した。

## 2. 材料と方法

全国約 3000 箇所 of ダム湖から特性が偏らぬようランダムに 50 湖選んだ。採水は、2020 年 9~10 月に水源地環境センターと各ダム湖管理所の協力のもと行われた。沖の基準点から得られた湖水を、フィルター上をろ過捕集し、DNA 抽出を行い、菌類特異的なプライマーを用いて DNA メタバーコーディングを行った。湖水を顕微鏡観察し、植物プランクトンに寄生する菌類（ツボカビ）が確認できた場合には Single spore PCR を行い、分子系統解析を行った。また花粉を基質とした釣菌法により腐生性ツボカ

ビを単離培養し、分子系統解析を行った。菌類群集組成と各ダム湖の諸要因（全流域面積、常時満水位、有効貯水容量、堤頂長、緯度、経度）との関係を解析した。

## 3. 結果と考察

菌類の群集組成は全体的にはツボカビ門が多く出現しており、特にツボカビ目（Chytridiales）とフタナシツボカビ目（Rhizophydiales）が優占していた（図）。Single spore PCR により珪藻 *Aulacoseira ambigua* や *A. granulata*、*Fragilaria crotonensis* に寄生するツボカビ（*Zygothlyctis*、*Rhizophyidium*）が検出された。これらの寄生性ツボカビは DNA メタバーコーディングで検出されたツボカビ目、フタナシツボカビ目に含まれ、湖によって珪藻寄生性ツボカビが 98% を占めるほど優占していた。NMDS 解析の結果、菌類群集組成は湖の位置（緯度と経度）によって異なり、ダム湖諸要因のうちでは常時満水位と関係が見られた。一般化線形モデルによる解析では菌類の多様性及び珪藻寄生性ツボカビの割合とダム湖諸要因との間に有意な関係はみられなかった。菌類の中でもツボカビの群集組成は植物プランクトンに大きく影響を受けるという報告もあり、ダム湖の諸要因に加え植物プランクトン組成やクロロフィル a、栄養塩など水質の影響を受けていると推察される。

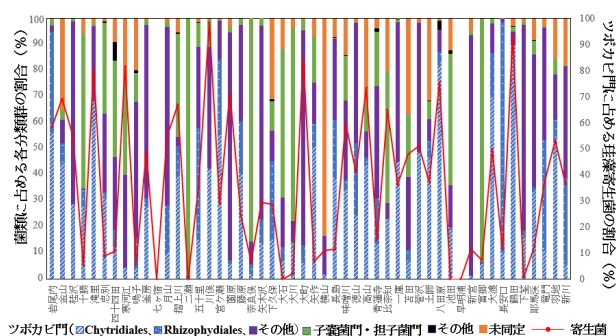


図. 全国 50 ダム湖における菌類の組成と、珪藻寄生性ツボカビの割合



## 浅い湖沼におけるベントスと 植物プランクトンの食物連鎖の解明

李 若水 (京都大), 大西雄二 (京都大), 木庭啓介 (京都大)  
蔡 吉 (滋賀県), 中野伸一 (京都大)

### 1. はじめに

湖沼では、表層に植物プランクトンなどの独立栄養生物を起点とする生食連鎖、底泥ではベントスなどの従属栄養生物から構成される腐食連鎖がそれぞれ卓越する。これらの食物網は、それぞれ独立ではなく、粒状有機物の沈降や鉛直移動を行う魚類や動物プランクトンにより互いにつながっていると予想される。

湖沼の底泥において最も重要な消費者は、ベントスである。ベントスの餌資源は、表水層で生産された植物プランクトンを含む沈降粒子、底生藻類およびデトリタスである。本研究では、湖沼表層と底泥との物質循環のつながりを解明するために、ベントスごとの食性、特に表層で生産された植物プランクトン由来の有機物の餌資源としての重要性を解明し、上記2つの食物網のカップリングにより駆動する鉛直的物質循環を解明することを目的とする。

### 2. 材料と方法

琵琶湖南湖（水深~2.2m、大津市下阪本、A地点）と木浜内湖（水深~1.6m、守山市、B地点）にて、2019年5月から2021年4まで月一回（7月と8月は二回）サンプリングを行った。それぞれの調査地点において、透明度、RINKO Profiler (FE Advantec) による水温、溶存酸素、クロロフィル a 濃度の測定を行った。ベントスは、エックマンバージ採泥器で3回採取し、同時に餌としての底泥有機物を評価するための安定同位体比分析用サンプルも採集した。植物プランクトンは、湖水 250mL を採集し、酸性ルゴール液で固定した。また、10L 以上の湖水をプランクトンネット（150 $\mu$ m と 20 $\mu$ m）で濃縮し、餌としてのプランクトンを評価するための安定同位体比分析に供した。

### 3. 結果と考察

両サイトの底泥は違う性質を示しており、A地点の底泥は黒い泥質の貧酸素環境である一方、B地点

では灰色の砂質で底生シアノバクテリア *Aphanothece stagnina* が多く生息していた。この底質の違いは $\delta^{15}\text{N}$ にも反映しており、三種類のベントスの $\delta^{15}\text{N}$ 値は、B地点のものがA地点のものより~2%高いことが観察された。

A地点で採取したユスリカは、全てオオユスリカ (*Chironomus plumosus*) であり、B地点に於いては2020年と2021年の冬場（1-3月）で大量発生したユスリカはほぼ全部ビワヒゲユスリカ (*Biwatendipes motoharui*) であった。前者は貧酸素環境への耐性が高く、A地点の底泥でも生息可能であるが、後者は体色が淡く、溶存酸素が高い冬場のきれいな砂質の水底を好む。顕微鏡観察ではオオユスリカの胃内容物ではデトリタスが優占しており、ビワヒゲユスリカのそれは主に前述の *A. stagnina* であった。

A地点のベントスの $\delta^{13}\text{C}$ 値から、沿岸陸上植物由来の炭素がベントスの食物連鎖に入っていると考えられた。2019年夏にA地点で採取したユスリカの $\delta^{13}\text{C}$ は低い値（~-40‰）を示したのに対し、2020年夏のユスリカのそれは比較的高かった（~-30‰）。前者の低い $\delta^{13}\text{C}$ は、高い気温と少雨の影響で底層の溶存酸素が低下し、貧酸素環境を好むメタン酸化菌（Methane-oxidizing bacteria, MOB）由来の低い $\delta^{13}\text{C}$ の炭素が食物連鎖に関与している可能性を示唆した。

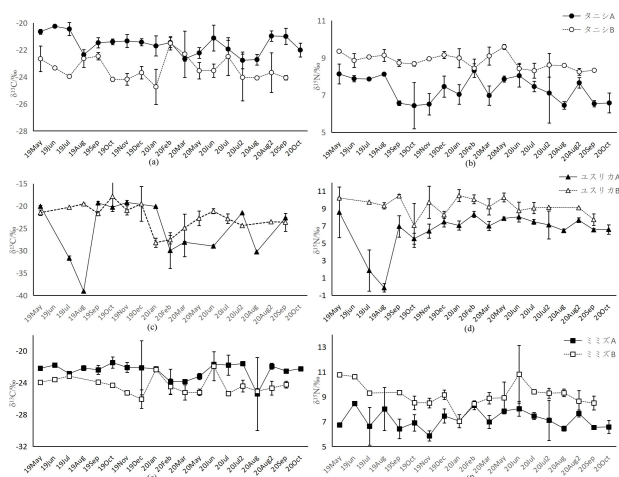


図 両サイトの各種ベントスの C と N 安定同位体比の変動

## Application of a Novel Cadmium-sensitive Fluorescence Probe in In-vivo Detection and Quantification of Cadmium Bioaccumulation in the Freshwater Cladoceran: *Moina Macrocopa*

\*Thilomi Samarakoon (Saitama University), Takeshi Fujino (Saitama University), Masayori Hagimori (Mukogawa Women's University), Rie Saito (National Institute of Environmental Sciences)

### 1. Introduction

Cadmium (Cd) is a toxic heavy metal which causes adverse health effects in humans and animals. To understand the potential risks of Cd exposure, it is important to determine its bioaccumulation, where fluorescence probes; an emerging tool to detect and quantify target molecules in a desired medium, could be employed with numerous benefits in comparison to the conventional methods. In the present study, a novel cadmium selective synthetic fluorescence probe (4-(methylsulfanyl)-6-(pyridine-2-yl)pyrimidin-2-amine) was used to detect and quantify the bioaccumulation of Cd in the freshwater cladoceran *Moina macrocopa*.

### 2. Materials and Methods

Exposure experiments were conducted with female *M. macrocopa* neonates (<24h old) obtained from clonal cultures excluding first brood progenies. The neonates were exposed to a series of Cd concentrations (1-1000 µg/L) prepared in aerated tap water along with a control for 48h under semi-static conditions (3 replicates,  $n=10$  per replicate). Immobilization was recorded daily. Upon termination of the exposure, all surviving neonates were incubated with the fluorescence probe (100 µmol/L) prepared in 1% dimethyl sulfoxide (v/v %) for 1h after sequential washing with aged tap water and phosphate buffered saline (0.01 mol/L). After incubation, the neonates were imaged by a fluorescence microscope (BZ-X810, Keyence Corporation, Japan) using 4x objective lens and BZ-X filter DAPI (Model OP-87762). Fluorescence intensities of the images were determined using ImageJ software (National Institutes of Health, USA) with background corrections.

### 3. Results

Percentage immobilization in *M. macrocopa* was increased with increasing Cd concentrations and exposure duration, where control groups did not show

any sign of immobilization until the end of the exposure assessment. Neonates exposed to Cd  $\geq 750$  µg/L did not survive until 48h. Furthermore, the 24 and 48h median effective concentrations (EC<sub>50</sub>) for immobilization were calculated as 260.84 and 114.59 µg/L, respectively. Fluorescence images analysis showed a concentration dependent Cd bioaccumulation (Figure 1), and the mean fluorescence intensities showed a significant positive correlation with Cd concentrations in exposed media as well as with the calculated percentage immobilizations ( $r=0.943$ ,  $p<0.05$  and  $r=0.972$ ,  $p<0.05$ , respectively).

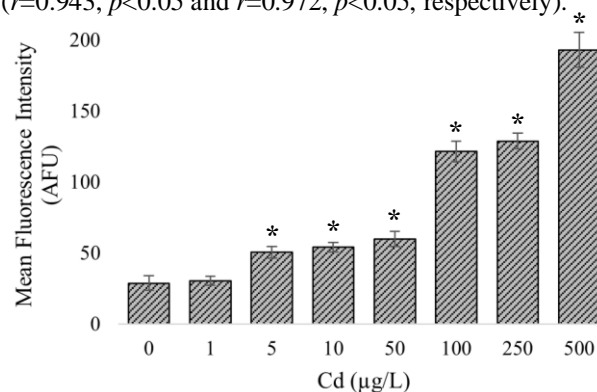


Figure 1. Mean fluorescence intensities ( $\pm$ SEM) of the fluorescence images of *Moina macrocopa* exposed to Cd (0-500 µg/L) (\* -  $p<0.05$ , One-Way ANOVA)

### 4. Discussion

The results of the present study indicated a significantly higher Cd bioaccumulation in *M. macrocopa* exposed to Cd  $\geq 5$  µg/L in comparison to the control group. In conclusion, the present study revealed the potential use of the novel Cd selective fluorescence probe in the detection of Cd in living organisms as a tool of screening Cd contamination in aquatic habitats. Further, application of the fluorescent probe to identify the toxicokinetics of Cd and identification of molecular and biochemical effects of chronic exposure to sublethal Cd concentrations are recommended for future studies.

**Reference:** Hagimori M. et al. (2021). Journal of Fluorescence, 30(3):33983566.

## 琵琶湖北湖における大型トンボ類の分布

\*奥田達也（滋賀大学大学院），石川俊之（滋賀大学）

### 1. はじめに

琵琶湖とその湖岸周辺では国内に生息するトンボ種の約 1/4 が確認されている（河瀬ら, 2018）。また、琵琶湖ではオオサカサナエ *Stylurus annulatus* やメガネサナエ *Stylurus oculatus* など、国内では分布が限られているトンボも確認されている（河瀬ら, 2018）。このことから、琵琶湖は国内におけるトンボ類の重要な生息場所であると考えられる。しかし、琵琶湖全域におけるトンボ類の調査は定性的なものは実施されているものの、定量性が高い調査は六山・広瀬（1966）以降、約半世紀行われていない。そのため、琵琶湖におけるトンボ類の群集組成について定量的な議論が十分に行われていない。そこで、本研究では琵琶湖湖岸において羽化殻と GPS を用いた定量的な調査を行い、トンボ類の分布と生息環境を明らかにする。

### 2. 材料と方法

羽化殻調査は、2018 年の 6 月下旬～8 月下旬に琵琶湖南湖（以下、南湖）の湖岸 10 地点を各地点 5 回（内 1 地点のみ 4 回）、総延長 5015m の範囲で行い、2020 年の 7 月上旬～8 月上旬に琵琶湖北湖（以下、北湖）の湖岸 33 地点を各地点 2 回（内 2 地点は 1 回）、総延長 5196m の範囲で行った。また、2021 年 7 月に北湖と南湖の境界である真野川河口において 2 回、総延長 1321m の範囲で羽化殻調査を行った。各調査において、調査時には GPS を用いて調査距離と羽化殻の位置を記録した。

### 3. 結果と考察

南湖全域の調査（2018 年）では、6 科 8 種 326 個体（同定不能 76 個体を含む）の羽化殻が得られた。この内、ウチワヤンマ *Sinictinogomphus clavatus* が 176 個体と半数以上を占め、南湖で優占種となっていることが示された。1960 年代の調査では、南湖の優占種がオオヤマトンボ *Ephthalmia elegans* であ

った（六山・広瀬, 1966）が、本調査では 326 個体中、26 個体であり、半世紀の間で優占種が変化していたことが示された。六山・広瀬（1966）では、南湖において地点によって優占種が異なっており、堅田ではメガネサナエが優占していた。しかし、本調査では南湖の湖岸全 10 地点において優占種はウチワヤンマであり、本種が優占種となっている地点は見られなかった。このことから、約半世紀の間に南湖湖岸で得られる羽化殻に占めるメガネサナエの割合が大きく減少しており、優占する場所も消失したことが示された。

北湖全域の調査（2020 年）では 4 科 8 種 558 個体（同定不能 139 個体含む）の羽化殻が得られた。この内、メガネサナエが 209 個体、オオサカサナエが 105 個体であった。南湖で優占種であったウチワヤンマは 72 個体であった。このことから、北湖においてはメガネサナエ属 2 種が優占種となっていることが示された。

全 33 地点中、メガネサナエが優占したのは 16 地点で、主に北湖東岸や南湖に近い地点が多かった。オオサカサナエが優占したのは全地点中 10 地点で、北湖西岸で広く優占種となっていることが明らかとなった。ウチワヤンマが優占したのは全地点中 3 地点で、北湖北部であった。また、六山・広瀬（1966）では北湖西岸でメガネサナエ属 2 種の個体数が少ないとされていたが、本調査では南湖との境界まで広く分布しており、個体数も多いことが示された。

真野川河口で行った調査（2021 年）では、431 個体（同定中）が得られた。この調査では、南湖に近い地点から北湖に近い地点に移るにしたがって、優占種がウチワヤンマからメガネサナエに変化する傾向があることが明らかとなった。

本発表では、南湖と北湖におけるトンボ類の種組成の差異やより細かな地点における差異について、関連する環境要因から考察を行いたい。

\* Tettey Afi Pamela<sup>1</sup>, Sotaro Fujii<sup>1</sup> and Kawaii Koichiro<sup>1</sup>

Hiroshima University, Graduate School of Integrated Sciences for Life, Department of Bioresources Sciences<sup>1</sup>

## 1. はじめに

Organisms employ adaptive mechanisms when faced with any stressor or risk being wiped out. Heat shock proteins have been widely studied to determine their involvement in stress tolerance among various organism of which chironomid species have been no exception.

## 2. 材料と方法

We examine the survival and expression of genes encoding seven (7) heat shock proteins (HSP90, HSP 70, HSP68, HSP67, HSP60, HSP27 and HSP23) from *Chironomus sulfurosus* larvae reared from 1<sup>st</sup> instar for 10 days at 25°C, 30°C and 35°C.

## 3. 結果

The highest survival rate was recorded at 30°C, followed by 25°C then 35°C. Some heat shock proteins responded to an increase in high temperature. The relative expression levels of all HSPs were lowest at 30°C. At 25°C, HSP90, HSP70 and HSP67 had the highest expression. At 35°C, HSP68, HSP6-, HSP27 and HSP23 were highly expressed.

## 4. 考察

In this study, we have demonstrated that expression of genes coding several members of HSP groups are linked to temperature tolerance. The expression of heat shock proteins varies from one species to another, and depending on the species they may be upregulated, downregulated or remain unchanged. The upregulation of HSP90, HSP70 and HSP67 may indicate that 25°C is not the ideal rearing condition for *C. sulfurosus*. These results and future studies at both the transcriptome and proteome level will improve the information needed to predict the future geographic distribution of these species within the context of global warming.

\*谷聖太郎, 河合幸一郎 (広大院・統合生命)

## 1. はじめに

類線形動物門ハリガネムシ綱のうち、淡水に生息するハリガネムシ目 (Gordioida) は、カマキリやカマドウマ、ムカデなど陸生節足動物の内部寄生者として知られる水生生物群である。そのうち、国内に生息する 2 種: *Chordodes formosanus*; *C. japonensis* は、ともにカマキリ等に寄生するとされているが、分類に用いられる表面構造が非常に類似し、過去に混同されてきた可能性が高い。

本研究は、命名以来不足している 2 種の生態学的情報の充実化を目的とし、主に陸生宿主との関係について調査と実験を行ったものである。

## 2. 材料と方法

### ハリガネムシ及び宿主の採集と種同定

寄生種と宿主種の間を調査するため、広島大学東広島キャンパス周辺の河川敷やため池周辺でハリガネムシ及びその宿主生物を採集した。宿主試料は外部形態から種を同定し、ハリガネムシ試料は、体中部を切り出して DNA を抽出し、PCR によりミトコンドリア DNA の COI 遺伝子内部領域を増幅して塩基配列を決定し、分子系統解析により種同定を行った。

### 宿主への導入による寄生実験

研究室内でそれぞれ 1 卵塊より孵化させたカマキリ目昆虫 3 種 (オオカマキリ *Tenodera sinensis*; チョウセンカマキリ *T. angustipennis*; ハラビロカマキリ *Hierodula patellifera*) に対し、同じく研究室内で孵化させた *C. formosanus* 幼体を経口摂取させ、宿主種に対するハリガネムシの寄生能について検証した。摂取はカマキリ幼虫に対して行い、宿主の羽化後、腹部を水没させ、さらに死亡後に解剖を行い寄生の有無を判断した。

## 3. 結果

### 寄生者と宿主の調査結果

計 67 個体のハリガネムシ試料が得られた。このうち 35 個体はカマキリ目 6 種及びバッタ目 2 種の陸

生昆虫からの脱出により発見され、それ以外は宿主脱出後の遊泳期あるいは乾燥状態で発見された。

ハリガネムシ試料の塩基配列を用いた分子系統解析の結果、系統樹は遺伝的距離が 0.15 程度 (TN93 モデル) の 2 群に分岐し、それぞれが国際塩基配列データベースに登録された 2 種の DNA データと高い近縁性を示した。従って、この 2 群のいずれに属するかを分類の基準として、*C. formosanus* はカマキリ目 5 種及びバッタ目 1 種に寄生し、*C. japonensis* はカマキリ目 1 種及びバッタ目 1 種に寄生していたと推定され、宿主昆虫は互いに重複しなかった。また、遊泳期に発見された 2 種は、ともに集水弁等の同所的環境に棲息していた。

### 寄生実験の結果

経口摂取により、ハラビロカマキリ・チョウセンカマキリでは寄生が誘発されたが、オオカマキリでは寄生が見られなかった。オオカマキリとチョウセンカマキリは同属の近縁関係にあり、体サイズを含めた形態や出現時期が類似するにもかかわらず、*C. formosanus* の寄生能には差が見られた。また、この結果は前述の調査で見出された寄生者と宿主の種の対応関係に合致する。

## 4. 考察

### 寄生-宿主関係について

これらの調査・実験から、ハリガネムシ 2 種は、ともに宿主としてカマキリ目昆虫だけでなくバッタ目昆虫を利用しており、2 種が同所的に棲息する東広島キャンパス周辺においては、それぞれが異なる宿主を利用していたことが判明した。さらに、*C. formosanus* は、多種の昆虫を宿主とする一方で、種レベルの宿主特異性を有することが示唆され、この特異性の違いが 2 種の宿主重複を防ぎ、競合を回避させる効果を持つ可能性がある。

今後は、検証する宿主種を増やし、さらに同様の実験を *C. japonensis* に対しても実施することで、宿主をめぐる 2 種の関係解明に取り組みたい。

### 1. はじめに

イトウホソバトビケラ *Molannodes itoae* Fuller et Wiggins, 1987 は、ホソバトビケラ科コガタホソバトビケラ属に属する国内唯一種で、極東アジアのサハリン、国後島、北海道、本州に分布する。本州では、岡山県を分布の西限として、新潟、三重、大阪など各地にみられるが、局所的で個体数は少ない。河川上流の湧水域や細流および小湿地に生息し、幼虫は、細かな砂粒で、背腹に扁平な盾形の携帯巣を作る。本種と近縁の普通種ホソバトビケラ *Molanna moesta* Banks の生活史は、兵庫県では1年2化とされているが、本種的生活史の詳細は明らかになっていない。今回、兵庫県で初めて、神戸市内の小湿地で本種が繁殖していることを確認し、本種の成長ステージの季節消長、成虫飼育による産卵・ふ化について、若干の知見を報告する。

### 2. 材料と方法

調査地は、兵庫県神戸市北部の丹生山系内の湿地群のうちの小湿地1か所である（神戸市北区山田町, 34.77542°N, 135.18297°E, 標高461m）。調査期間は、2016年3月21日～2018年7月24日の期間、月1回、個体群の保全に配慮して採集場所を限定し、ハンドネット（幅30cm、目合い1mm）で底泥を掻き取り（30cm長×3～4回）、バット内の幼虫を採集した。幼虫は、エタノール70%で保存後、双眼実体顕微鏡（Nikon SMZ800）を用い、倍率76倍で頭部撮影を行い、画像ソフトImageJにより頭幅の測定（最小0.001mm）を行った。成虫は、2016年～2020年の夏季に、湿地周辺をネットスweepingあるいは小型ライトトラップ（4W×3）により採集し、1頭ずつ、穴あきフィルムケースに入れ、保冷（11～21℃）または室温（18～28℃）で飼育した。幼虫の頭幅の頻度分布にもとづいて、各齢の頭幅の混合正規分布を推定し、平均推定値を求めた。

### 3. 結果

調査期間で、幼虫94頭、成虫35頭を採集した。

採集時の気温 0.7～27.9℃、水温 -0.6～27.2℃、pH5.0～7.0であった。採集した幼虫の頭幅の頻度分布は、飼育ふ化幼虫のデータを含めて、1～5齢とみられる5個のピークを示した。齢と各齢の頭幅平均推定値（対数変換）との直線の傾きから、各齢間の増加率は1.42倍であった。幼虫各齢の出現時期は、2齢は7月～9月、3齢は2月～3月、9月～11月に、4齢は1月～3月、11月に、終齢（5齢）は2月～5月、11月～12月だった。成虫は、2017年5月に幼虫飼育により羽化成虫を、2018年6月、2019年6～7月、2020年5～6月に野外で採集された。湿地周辺の樹木枝先のスweepingではオスが、ライトトラップではメスが多く採集された（Fisher's test,  $p < 0.001$ ）。オスの前翅長は、5.5～6.5mm、メス6.0～7.5mmだった。室温下で飼育した成虫のメス10頭のうち1頭が、採集2日目で産卵し、産卵後14日間でふ化幼虫5個体を得たが、残りの卵の発生は進まなかった。

### 4. 考察

本調査では、採集圧を抑えるため、採集範囲、回数を限定したことから、採集個体数が少なく、全く採集できなかった採集月もあった。したがって、各齢幼虫の正確な出現時期を明確にすることができなかったが、終齢幼虫を3～5月に、成虫を5～7月に、2～3齢幼虫を7～9月に採集していることから、本種個体群の生活環は、1年1化と推測できる。一方、2～3月に3齢幼虫が、11～12月に5齢幼虫が出現したことから、秋から冬にかけて幼虫の成長速度には大きな差があることがうかがえ、さらに詳細な調査が必要である。メス成虫はライトトラップで多く採集されたが、飼育下で産卵したのは、日中に行ったスweepingで採集した1頭のみだった。ライトトラップに誘引されたメスは、産卵を終えていた可能性があるが、飼育条件が不適合であった可能性もある。また卵の発生が卵塊の一部にとどまった要因も、飼育環境が不適合であった可能性があるが、本種の繁殖生態の解明には多くの課題がある。



\*永岡洗介, Shrestha Ashok Kumar, 藤野毅(埼玉大・理工)

野本健志(建設環境研究所・環境分析)

## 1. はじめに

2011年3月の福島第一原発事故によって高かった空間線量は現在、着実に減少している。しかし福島県内の河川生物の放射能汚染は続いており、未だに出荷制限の基準値 100 Bq/kg(wet)を超える箇所も残る。環境省は現在まで年4回の放射能汚染調査を行っている。本研究ではまず並行して行われた水質調査結果を用いて福島県内の4河川を対象に水生生物の放射性セシウムの移行について関連を分析した。その結果、特に河川中の濁度が高いほど水生生物体内の放射性セシウムが高くなる傾向が見られたため実験によって検証することを試みた。

## 2. 方法と材料

### 2-1 放射性セシウム( $^{137}\text{Cs}$ )移行度合いの統計解析

2012年から2019年までの環境省のモニタリングデータを用いて福島県内の宇多川、真野川、新田川、太田川において11種の水質指標を従属変数、移行係数(生物体内の $^{137}\text{Cs}$ 濃度/水中の $^{137}\text{Cs}$ 濃度)を独立変数として重回帰分析を行った結果、第一に選択された最も重要度が高いとされる独立変数は3つの河川で濁度、太田川のみ溶存酸素濃度であったが濁度は2番目に重要度が高い項目として選定された。

### 2-2 懸濁物のセシウム(Cs)吸着・脱着実験

河川の濁度は様々な懸濁物質が流下していることを反映し、それは無機の粘土鉱物と生物遺体の2つに大別される。粘土鉱物としてカオリナイト、生物遺体として粉末セルロースを用い、各0.5gを別々に遠沈管に入れ、0.5、2.0、10、40、60 mg/Lの塩化セシウムを12 mL加え、タッチシェイカーで3分間振とうした後、遠心分離機で3500 rpmの回転数で20分間遠心分離した。水溶液をろ過して上澄み液のCs濃度をICP-MSで計測した。水溶液中のCs濃度の減少から吸着量を算定した。次に、1 Mの塩化カリウムを12 mL加え同様に遠心分離させてCs濃度を計測し、その増加量から脱着量を算定した。

## 2-3 高濁度における生物暴露試験

河川生物は環境省調査でも放射性セシウムが依然として高濃度となったヒゲナガカワトビケラ(以下、トビケラと略す)幼虫を用いた。2021年7月23日に埼玉県寄居町を流れる荒川にてヒゲナガを採取し、温度と光条件を制御した部屋でスターラーにより流水を維持した水槽で1つ当たり25個体飼育した。

濁度として、前節で用意したCsを含んだカオリナイトと粉末セルロースを水槽に入れて、この間は餌を与えず開始から、3、6、12、24、48時間後に5個体ずつ分取した。個体を99%エタノールで固定し、乾燥させ、体内のCs濃度を計測した。

## 3. 実験結果

**吸着実験**：実験ケースとしてCs濃度10 mg/Lを除いて全てでカオリナイトよりも粉末セルロースの方が多く吸着した。また両方とも初期のCs濃度が高いほど吸着率は減少した。液中に取り残されるCsイオンの割合が増加するのは、吸着媒が飽和に近づいたためと考えられる。

**脱着実験**：塩化カリウムでの脱着実験について、Csの初期濃度が0.5 mg/Lのときは全く脱着が起きなかった。濃度が低く塩化カリウムと反応しなかったと考えられる。全体としてカオリナイトよりもセルロース粉末において多量のCsが脱着した。

**トビケラ曝露実験**：6、12、48時間後はカオリナイトを浮遊させた水槽の方がトビケラ体内の残留Cs濃度が有意に高かった。カオリナイトは時間が経つほどトビケラ体内のCs濃度が高くなる傾向にあったが、粉末セルロースについては48時間後に減少した。なお、32時間後の観察よりトビケラは水槽底部で巣を作り始めていたことが観察され体内への摂取量に影響したことも考えられる。

セシウムの吸着物質の違いによる影響および濁度の規模の違い、また曝露後の排せつの影響については今後も引き続いて確認する。

## マイクロプラスチックの汚染実態

\*相子伸之・近藤美麻・今川愛佑美（大阪環農水研）  
近藤 泰仁・田中 周平（京大院・地環）

### 1. はじめに

大阪府を流れる淀川の沿岸には、「ワンド」と呼ばれる独特の入江構造がある。このワンドによりもたらされる複雑な構造は、多くの水生生物のすみかとなっている。例えば、多くの種が国もしくは都道府県のレッドリストに記載されているタナゴ類は、淀川ではワンドをすみかとしてきた。タナゴ類はイシガイ目二枚貝を産卵場所とする生活環をもっているが、イシガイ目二枚貝もまた全国で生息数の減少が懸念されており、ワンドはタナゴ類やイシガイ目二枚貝をはじめとした希少な生物の貴重な生息場となっている。

淀川の水源となっている琵琶湖では、マイクロプラスチック（以下、MPs）が検出されており、琵琶湖から流出した MPs は淀川に流下し、ワンドや流れの緩やかな本流で滞留することが考えられる。

二枚貝は餌のプランクトンや懸濁した底泥中のデトリタスを含む水を取りこみ、エラでろ過して必要なものを体内に取り込む。また、タナゴ類もプランクトンだけでなく、デトリタスを好んで食べる。水中や底泥に MPs が分布していれば、MPs を摂取ことになることになり、生体に影響を及ぼすことが懸念される。そこで本研究では、淀川の本流およびワンド内に生息する二枚貝、およびタナゴ類の体の中に含まれる MPs を調査した。

### 2. 材料と方法

淀川の上流から順に A~H 地点の本流あるいはワンドより、底泥を採取した。この地点のうち、地点 C、D、F の本流、および地点 E、F、G、H のワンドでは二枚貝のイシガイ (*Nodularia douglasiae*) を採取した。さらに、地点 G のワンドではタイリクバラタナゴ (*Rhodeus ocellatus ocellatus* : 以下、タナゴ) をそれぞれの地点で採取した。イシガイは 1~2 個体を 1 つの試料として、殻から軟体部を取り出し、エラと腸管内を含むその他の軟体部とに分けて測定した。タナゴは、腸管、あるいは雌個体の産卵管

を取り試料とした。

それぞれの試料は、10% (w/v) -KOH 溶液を加え、55°C の温度条件で数日間有機物を変性させた。その試料を、100  $\mu\text{m}$  目開きのプランクトンネットで濾過し、残渣と濾液に分け、濾液はさらに 10  $\mu\text{m}$  目開きのプランクトンネットで濾過した。100  $\mu\text{m}$  あるいは 10  $\mu\text{m}$  目開きのプランクトンネットで濾別した残渣は  $\text{H}_2\text{O}_2$  を加えて 55°C で数日間夾雑の有機物を分解した。十分に夾雑の有機物が分解した試料は再びそれぞれの目開きのプランクトンネットで濾過し 100  $\mu\text{m}$  以上あるいは 10-100  $\mu\text{m}$  の MPs として分析を行った。100  $\mu\text{m}$  以上の MPs の同定には、ATR-FTIR 装置を、10-100  $\mu\text{m}$  の同定には顕微 FTIR 装置を用いた。

### 3. 結果と考察

底泥では、100  $\mu\text{m}$  以上の MPs の個数密度は、0.1~5.9 個/gDW、10-100  $\mu\text{m}$  は 11.5~232.9 個/gDW であり、10-100  $\mu\text{m}$  で 1~2 オーダー高く検出された。

イシガイに含まれる 100  $\mu\text{m}$  以上の MPs の個数密度は、エラとその他の軟体部で、それぞれ 0.0~4.3 と 0.0~3.3 個/匹、10-100  $\mu\text{m}$  ではそれぞれ 25.0~55.0 と 7.5~70.0 個/匹であり、底泥と同様に 10-100  $\mu\text{m}$  で 1~2 オーダー高く検出された。また、地点 G のタナゴでは、100  $\mu\text{m}$  以上の MPs の個数密度は、腸管と産卵管でそれぞれ 0.8 と 0.0 個/匹、10-100  $\mu\text{m}$  では 13.0 と 17.0 個/匹であり、10-100  $\mu\text{m}$  で高く検出された。

淀川ワンドあるいは本流の底泥ではいずれの地点でも MPs が検出されたことから、広く MPs に汚染されており、特に小さいサイズの MPs の個数密度が高いことが明らかになった。イシガイやタナゴは巻き上がった底泥などを採餌する際に MPs も誤飲していることが考えられる。また、タナゴの産卵管から検出された MPs の汚染経路については不明であり、今後解明する必要がある。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 19K12427 の助成を受けたものです。

9月21日(火), A会場

一般講演

O-A01~O-A16

## ミジンコの種内多様性はどのように維持されるのか

### O-A01 : 異なる日長応答に基づく生活史戦略の違いがもたらす共存

\*大竹裕里恵（兵庫県立大・情報科学，東京大・総合文化），山道真人（クイーンズランド大学），平田優香，小田切悠（東京大・総合文化），吉田丈人（地球研，東京大・総合文化）

#### 1. はじめに

生物の種多様性や遺伝的多様性がどのように維持されるのかは、生態学で広く取り組まれてきた課題である。この解明は、近年深刻化している生物多様性の減少への対策を講じる上でも重要となる。多様性の維持には、類似した資源や生息地の利用をめぐって競争する近縁種や種内遺伝子型の共存が必要になる。種子や休眠卵といった休眠ステージは、これらの競争の影響を緩和し共存を可能にし得ると示されており、この共存機構はストレージ効果と呼ばれる。ストレージ効果による共存に、近縁2種や遺伝子型間での休眠打破のタイミングの違いが寄与すると示されてきた一方で、休眠導入の違いの寄与については理解が限られてきた。本研究では、休眠ステージを持つ代表的な生物であるミジンコ (*Daphnia pulex*) の種内遺伝的系統に着眼し、種内で休眠導入戦略に違いがあるか、これが共存に寄与するかの検証を試みた。また、異なる休眠戦略を取る機構として、日長応答の違いに着目した。

#### 2. 材料と方法

日本に生息する *D. pulex* の遺伝的に離れた2系統を用いた (JPN1 系統、JPN2 系統)。いずれも絶対単為生殖性であるため、交雑は起こらない。2系統の出現が報告されている深見池 (長野県) から採集した湖沼堆積物を用い、共存時期にあたる堆積物層から休眠卵を採集した。これを孵化して取得した個体を継代培養し、実験に使用した。1系統につき、7つの異なる休眠卵に由来する株を用いた。

まず、室内実験により各系統の競争能力と、日長に対する休眠応答を評価した。いずれも、日長2条件 (長日・短日) と餌2条件 (高濃度・低濃度) の計4条件で実験を行った。競争能力は、JPN1の1株とJPN2の1株を、4個体ずつ同じ瓶に入れ培養し、最終的な個体数の比率を分析することで評価した。この組み合わせは、7株×7株の総当たりで行った。培養条件は休眠応答の検証を行った4条件と共通で、最終日の系統をPCR-EFLPで判別した。休眠応答は、1株につき5~10個体を単独で培養し、休眠卵を抱卵した個体の割合を休眠移行率として評価した。3回目の抱卵まで観測した。

これらの室内実験で見られた休眠応答・競争能力で2系統の長期共存が生じるかを数理モデルシミュ

レーションにより評価した。

#### 3. 結果

競争実験の結果、短日条件でJPN2の優占率が増加した。また、JPN1が優占した組み合わせは見られなかった。休眠応答を評価した結果、競争劣位であったJPN1が短日条件で休眠しやすい傾向を示した。JPN2は短日・低濃度餌条件でもほとんど休眠移行が見られなかった。数理モデルシミュレーションの結果、2系統の共存には年ごとに増殖シーズンの長さが変動する必要がある、このばらつきが大きいほど共存領域が広がる、即ち共存が起こりやすくなると示された。加えて、競争劣位のJPN1の休眠移行が早期に起こるほど、共存領域が拡大した。

#### 4. 考察

今回対象とした *D. pulex* の2系統は競争能力に差異があり、日長応答の違いにより異なる休眠戦略を取っていると示唆され、競争劣位であるJPN1が、短日条件において休眠しやすい傾向が見られた。短日条件は季節シグナルとして機能することから、JPN1が増殖に不適となる秋から冬の時期に、短日刺激に鋭敏に反応して早期に休眠に移行する戦略を取っている可能性が考えられる。これが、JPN2との競争回避となることで共存が促進されている可能性が考えられる。数理モデルシミュレーションは、この休眠開始時期の違いによる長期共存の促進を支持した。年ごとの増殖シーズンの長さのばらつきによってもたらされた共存が、競争劣位型JPN1の早期休眠傾向により促進されるといえる。増殖シーズン長のばらつきは、気温などの環境条件によってもたらされると考えられる。増殖シーズンが長い年は競争能力の高いJPN2が有利になる一方、増殖シーズンの短い年は休眠導入の早いJPN1が十分数の休眠卵を残せるため有利になる。それぞれの系統が有利な年に産んだ休眠卵により不利な年をやり過ごすことで、2系統が共存している可能性が考えられる。このような、環境条件のばらつきやそれによる有利系統の変動、休眠ステージを介した競争影響の緩和は、ストレージ効果による共存機構に合致する。以上より、*D. pulex* 種内2系統は、異なる休眠戦略により、ストレージ効果を介して共存している可能性、系統ごと異なる休眠戦略取る機構として日長応答の違いが寄与している可能性が示された。

## 全国のダム湖間比較による解析

\*鈴木碩通（東北大学・理学部）

一柳英隆（水源地環境センター）

占部城太郎（東北大学大学院・生命科学研究科）

## 1. はじめに

近年の群集理論では、生息場所の環境や生物間相互作用だけでなく、生息場所の大きさや地理的な位置が、生物種の分散を通じて群集構造に影響を及ぼすことが指摘されている。動物プランクトンは群集調査が容易であり、水圏生態系において低次生産と高次生産をつなぐ重要な役割を果たしていることから多くの研究が行われ、植物プランクトンによる栄養状態や魚類による捕食圧がその群集構造に大きな影響を及ぼしていることが示されてきた。しかし、動物プランクトンの群集構造が生息場所（湖）の大きさや地理的な位置にどのような影響を受けているかは良くわかっていない。

我が国には大小多数のダム湖が南北に存在する。このうち、国交省や水源地機構が管理するダム湖では、河川水辺の国勢調査により魚類等と共にプランクトン調査が行われている。そこで、本研究では、河川水辺の国勢調査で得られた南北に点在する大小様々なダム湖のデータを用い、動物プランクトン群集の構造と①栄養状態や②魚類群集との関係に加え、③ダム湖の大きさ（諸元）や④地理的位置との関係を解析することで、これら4要因の相対的な重要性について評価した。

## 2. 材料と方法

本研究では、河川水辺の国勢調査において3巡目と4巡目のデータを用い、解析項目が揃っている計87のダム湖についての解析を行った。各ダムの動物プランクトン群集は、各巡回年で4~11月に出現したタクサの在・不在により構成し、全体を通じて出現頻度が15%以上のタクサを対象とした。この群集データからダム湖間でのSorensen指数（類似度）を算出して、本研究の目的変数とした。

説明変数には後述の①~④を用いた。具体的には、①にはTP・TN・クロロフィルa濃度を用いた。②にはダム湖毎の各魚種在不在データを用い、出現頻度15%未満の種を除外してから主座標分析を行い、得られた主座標スコアを用いた。③には、堤高・堤頂長・集水域面積・

有効貯水量・曝気の有無・築年数に加え、年間降水量に集水域面積を乗じて有効貯水量で除すことで算出した水の滞留時間の指標も加えた。④には緯度・経度をdbMEM（distance-based Moran's eigenvector maps）によって様々な空間スケールに変換したMoran固有値と標高を用いた。

解析にあたっては、上記のデータセットを用いてdistance-based RDA（dbRDA）を行い、さらにその算出結果を分散分割（variation partitioning）することで群集構造に対する各要因の寄与率を評価した。また、各動物プランクトンタクサの在不在データを目的変数とし、①~④の要因を説明変数とした一般化線形モデルから、種レベルでの解析も行った。

## 3. 結果と考察

dbRDAでは、①~④のいずれの要因も動物プランクトンの群集構造に有意な影響を及ぼしていた。また、④においては、特に大~中程度のMoran固有値の寄与率が高く、群集構造に有意な地域性があることが示唆された。

次いで、dbRDAの結果を用いて分散分割を行なったところ、①~④の要因によって群集構造の約30%が説明された。その寄与率は、高いものから④ダム湖の地理的位置、③ダム湖の大きさ（諸元）、②魚類群集、①栄養状態であった。共分散についてみると、ダムの位置と魚類群集との共分散の寄与率が高く、他の変数との共分散を含めた寄与率は、高い方から、④、①、②、③であった。この結果は、ダム湖の動物プランクトン群集の構造は栄養状態や魚類群集に影響されるものの、それらの要因よりも、ダム湖の大きさや各タクサの分散に関与するダム湖の地理的な位置に大きく影響されていることを示唆している。

\*吉田潤哉（京大・理），中野伸一（京大・生態学研究センター）

## 1. はじめに

タイヨウチュウは、世界中の湖沼や海洋で普遍的に見られる単細胞の原生生物である。大きさは数十ミクロンの球形の細胞体から多数の軸足を放射状に伸ばしており、その形態が太陽のようであることからタイヨウチュウ（太陽虫）と名付けられた（図1）。タイヨウチュウは、自ら積極的に動いて餌生物を能動的に捕獲するのではなく、軸足に補足された餌生物を軸足の収縮によって細胞体へと運搬して取り込む待ち伏せ型の戦略をとる。このような待ち伏せ型の戦略をとる生物は珍しく、タイヨウチュウを研究することで、今までにない生物の生存戦略の解明に繋がる可能性がある。

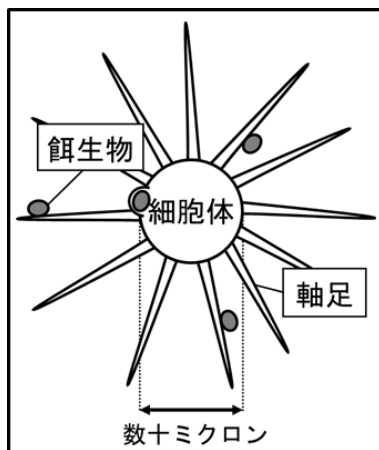


図1：タイヨウチュウの模式図

水域生態系の原生生物の生態学的研究は、繊毛虫や鞭毛虫といった現存量が高いものが主であり、タイヨウチュウのような現存量が低い生物に関してはほとんど研究が行われていない。

本研究ではタイヨウチュウの生態を解明するために、琵琶湖においてタイヨウチュウ個体密度の季節変動と鉛直分布の調査を行った。

## 2. 材料と方法

琵琶湖の北湖と南湖の定点それぞれ1地点において、2020年8月から1年間、毎月2回以上の頻度でサンプリングを行った。CTDプロファイラーを用い

て水温、クロロフィルa濃度などを測定した。北湖では2つの異なる水深、南湖では表層から、それぞれニスキン採水器を用いて採水し、10ミクロンメッシュのプランクトンネットによって試水を濃縮して持ち帰った。持ち帰った生サンプルを光学顕微鏡で観察し、タイヨウチュウの個体数を記録した。

鉛直分布の調査では、タイヨウチュウが多く見られた2020年10月に、北湖の複数の水深（0, 4, 8, 12, 16, 20, 25, 30, 50 m）から試水を採取した。上記と同様に水質を測定し、採取した水は濃縮した。サンプルは酸性ルゴール液で固定して持ち帰り、沈殿による濃縮後、顕微鏡で観察し、タイヨウチュウ個体数を記録した。

## 3. 結果と考察

調査期間中、北湖では10月26日に、南湖では11月2日と11月25日に、それぞれクロロフィルa濃度が高くなった。タイヨウチュウの個体密度は、数週間といった短期間で急激に変動した。個体密度のピークは、北湖、南湖ともに10-11月と4-5月に見られ、それ以外の期間にはタイヨウチュウはほとんど見られなかった。また、北湖と南湖ともに、タイヨウチュウ個体密度とクロロフィルa濃度に有意な正の相関が見られ（Pearson, 北湖  $p < 0.001$ , 南湖  $p < 0.01$ ）、タイヨウチュウと植物プランクトンとの食物連鎖が示唆された。北湖においては、水温もタイヨウチュウ個体密度と有意な正の相関（Pearson,  $p < 0.05$ ）を示した。

鉛直分布調査の結果、クロロフィルa濃度のピーク付近の水深にタイヨウチュウが多く存在した。しかし、タイヨウチュウ個体密度と各種環境パラメータとの間に有意な相関は見られなかった。

\* Sioud Imane (Tohoku Univ.)

Makino Wataru (Tohoku Univ.)

Urabe Jotaro (Tohoku Univ.)

## 1. Introduction

Recently, DNA metabarcoding has gained traction among researchers, as it allows the simultaneous identification of many species within one sample. However, this method may not be appropriate to detect species if there is a large difference in the Polymerase Chain Reaction (PCR) efficiency among those, since genes from multiple individuals of several species are all amplified by PCR at once. This study aims to examine the degree of “PCR bias” between three different gene regions in freshwater zooplankton species and assess those biases in order to determine the best gene region(s) for appropriate species identification of Japanese freshwater zooplankton.

## 2. Materials and Methods

Samples were collected from the Miharu Dam reservoir in Fukushima prefecture on June 12<sup>th</sup> and August 21<sup>st</sup>, 2018. A total of 15 mock communities were prepared with a defined number of individuals for every species and denoted as either June, August or Mixed (June and August) mock community. The biomass of each mock community was estimated and the extracted DNA from each mock community was amplified in PCR for mitochondrial 12S (mt12S), mitochondrial COI (mtCOI), and the D6 domain of nuclear ribosomal DNA (nr28S). PCR products were sequenced with a high throughput sequencer (HTS) using an Illumina MiSeq platform.

## 3. Results

The HTS produced from 48,299 in paired-end mtCOI reads of an August mock community, to 138,814 in single-end mt12S reads of another August mock community, of which at least 95% could be assigned at a species level. The data revealed substantial differences in PCR efficiency among species in all gene regions examined, such that different species were nearly eliminated in different gene regions. For example, *Eodiaptomus*

*japonicus*, which is a common copepod species in Japan (along with *Cyclops vicinus*), was rarely detected when using mtCOI, while it was evidently detected when nr28S was used. On the other hand, another common zooplankton taxa, *Thermocyclops* spp., was rarely detected in nr28S, while it was distinctly detected in mtCOI. It also appeared that mt12S detected copepods successfully, but failed to detect cladocerans.

## 4. Discussion

In mtCOI, which is the most used in HTS, *Daphnia galeata* was over-represented, while *E. japonicus* and *C. vicinus* were under-represented relative to their biomass. That was especially clear in the case of *E. japonicus* which is endemic to Japan. Without prior information on *E. japonicus*' evident presence, HTS reads could have been judged as analytical noise, as there is no threshold value delimiting the presence or absence of a species in HTS metabarcoding. nr28S detected *E. japonicus* in a mock community, despite being barely detected with mtCOI. However, it did not detect *Thermocyclops* spp. efficiently, which was better detected with mtCOI. Thus, using both mtCOI and nr28S in future HTS monitoring is the best choice for Japanese freshwater zooplankton communities. Moreover, when monitoring is done using HTS in Japan, it is important to carefully detect *E. japonicus*, *D. galeata*, and *C. vicinus*. Taxa which were over- and under-represented compared with their biomass varied with gene regions used in the HTS analysis and did not produce quantitative data. Therefore, the quantitative nature of zooplankton monitoring data should be ensured by traditional quantitative collection methods and traditional counting operations using a microscope.

## 湖沼生態系における $\omega$ 3 脂肪酸供給量の評価指標の開発に向けたワカサギ脂肪酸組成の解析

\*新田真弓 (秋田県大院), 青森壮汰 (秋田県大院), 藤林恵 (九大院・工),  
高田芳博 (秋田県・水振セ), 渡邊美穂 (秋田県大・生資),  
岡野邦宏 (秋田県大・生資), 宮田直幸 (秋田県大・生資)

### 1. はじめに

エイコサペンタエン酸 (EPA) やドコサヘキサエン酸 (DHA) などの $\omega$ 3 脂肪酸はその生理活性や膜脂質としての重要性から、水生動物にとって必須の栄養素であり、植物プランクトンなどの生産者によって生態系に供給されている。 $\omega$ 3 脂肪酸は食物連鎖を介して高次の動物に移行するため、ワカサギおよび潜在餌源である懸濁物質中の EPA 含有率に有意な正の相関が報告されている。このことはワカサギを指標とすることで湖沼生態系における $\omega$ 3 脂肪酸の供給量を評価可能であることを示唆している。魚類は成長期によって EPA や DHA の要求量が異なるため、本研究では、湖沼生態系の $\omega$ 3 脂肪酸供給量の評価指標により適したワカサギの年齢を把握することを目的として、秋田県八郎湖においてワカサギ当歳魚および1年魚と懸濁物質に含まれる $\omega$ 3 脂肪酸との関係を調べた。

### 2. 方法

秋田県八郎湖において2016年から2020年まで、毎年6月から11月に月1回、湖心付近でワカサギの当歳魚および1年魚、懸濁物質を採集し脂肪酸を分析した。得られた全脂肪酸中の各脂肪酸量の割合を算出し含有率とした。特に、 $\omega$ 3 脂肪酸の中でも EPA および DHA について着目し解析を行った。また、ワカサギ当歳魚および1年魚の湿重量を測定し、6月と11月の湿重量比を算出した。

### 3. 結果

ワカサギ当歳魚および1年魚の EPA 含有率と懸濁物質の EPA 含有量の2カ月移動平均との間に有意な正の関係が見られた (図1)。特に当歳魚で決定係数が大きく (図1)、当歳魚の方が懸濁物質の脂肪酸を反映していることが確認された。

また、ワカサギ当歳魚は6月から11月にかけて湿重量が3~6倍程度に増加しているのに対して、1年魚は1~2倍程度の増加となっており、当歳魚の方が湿重量比が高いことが明らかになった。

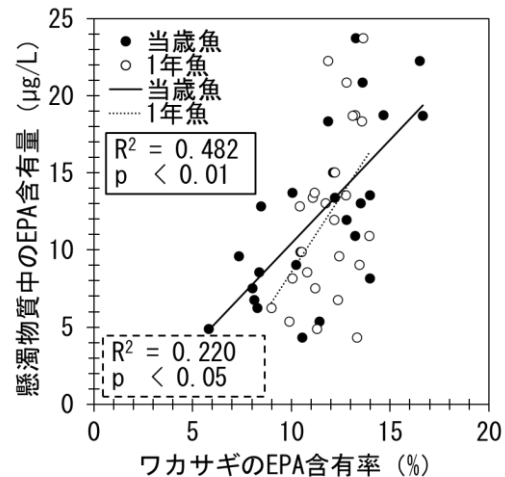


図1 ワカサギの EPA 含有率と懸濁物質の EPA 含有量の2カ月移動平均との関係

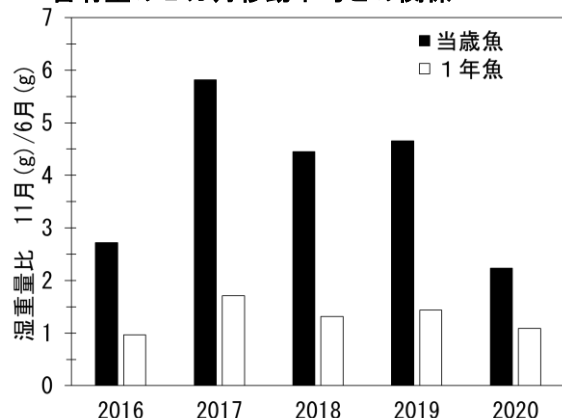


図2 ワカサギの湿重量における6カ月間の成長率

### 4. 考察

本研究より、湖沼生態系の EPA 供給量を評価するには1年魚よりも当歳魚がより適していることが明らかになった。これは、ワカサギ当歳魚は1年魚に比べ湿重量増加率が高かったことから、餌から得た脂肪酸がより反映されやすかったためと推察される。今後は DHA についても解析するとともに、胃内容物から年齢間の餌の相違を検討する。

謝辞：本研究の一部は環境研究総合推進費 (SRF-1901) の援助を受けて行われた。



\*小野誠仁（千葉大），薄羽珠ノ介（千葉大）  
竹内望（千葉大）

## 1. はじめに

氷河や季節積雪といった雪氷環境には，雪氷生物とよばれる寒冷な環境に適応した特殊な生物が生息している．例えば，寒冷環境に適応した光合成微生物である雪氷藻類や，雪氷藻類を餌とするクマムシやワムシ，雪面上を歩行するセッケイカワゲラといった無脊椎動物などである．雪氷生物は雪氷環境で食物連鎖を形成していることから，雪氷はこれらの生物群集を含む生態系（雪氷生態系）とみなすことができる．中でも季節積雪では，春の融雪期になると，雪氷藻類が大繁殖し，積雪表面を赤（赤雪）や緑（緑雪），黄色（黄色雪）といった様々な色に着色する彩雪現象が見られる．これまでに，カナダの高山帯に見られる赤雪中の藻類構成や，赤雪中の藻類を食べるトビムシやダニ，クマムシ，ワムシといった捕食者が報告されており，スロバキアの高山帯の赤雪や緑雪からも，雪氷藻類や菌類，絨毛虫，微小無脊椎動物の存在が報告されている．また，日本の森林帯では，パッチ状に形成される緑雪にクマムシやワムシといった無脊椎動物が集中して藻類を食べていることが明らかになっている．いずれの研究も積雪表面のみに焦点を当てている一方で，積雪中のクマムシやワムシは，垂直方向に能動的に移動している可能性が新たに示唆されている．これら生物の垂直移動は，季節的な変化以外にも，日射強度，積雪の融解速度，気温といった積雪環境の日周期に伴っている可能性がある．しかしながら，積雪中の生物活動の日周期については全く調査されていなかった．そこで本研究では，日本国内の積雪中に生息する雪氷藻類，微小無脊椎動物（クマムシ，ワムシ），菌類について，積雪内分布の日周期を明らかにすることを目的とした．今回は，積雪量が多く雪氷藻類も豊富に繁殖することで知られる山形県月山の樹林帯において，積雪表面および積雪内部の各種生物について，形態的分類を行い，個体密度の表面分布および垂直分布の調査を行った．

## 2. 材料と方法

山形県月山の県立自然博物館（標高 750 m）のブナ樹林帯において，積雪期の 2020 年 5 月 6 日 2 時から翌日 7 日 2 時までの 24 時間の間，3 時間おきに積雪表面および内部の白い雪と緑雪を採取した．この地点では，緑雪が毎年現れることが知られている．サンプル採取時には，ブナの葉は展葉していなかった．調査中は，気象条件の日変化を明らかにするために，林内において気温および日射量の自動観測を行った．千葉大学に持ち帰ったサンプルは融解後，顕微鏡で形態的特徴を観察し，藻類，微小無脊椎動物（クマムシ，ワムシ），菌類の積雪中の個体密度および細胞濃度を算出した．

## 3. 結果と考察

積雪サンプルを顕微鏡で観察した結果，主に多様な形態の雪氷藻類細胞，2 種類のヤマクマムシ属のクマムシとヒルガタワムシ，菌類の 1 種である *Chionister nivalis* が含まれていることが明らかになった．自ら動くことのできない菌類が 1 日を通して積雪表面（深さ 0-3 cm）で細胞濃度が高かった（最大平均濃度： $5.1 \pm 2.1 \times 10^6$ ）のに対し，積雪表面のクロロフィル a 濃度は，夜間から朝（2 時-8 時および 17 時-2 時）には，積雪下層に比べ表面で濃度が高く（最大平均濃度： $8.0 \pm 4.7 \times 10^2 \mu\text{g/L}$ ），日中（11 時-14 時）は，反対に積雪表面に比べ下層（3-8 cm）で濃度が高かった（最大平均濃度： $1.3 \pm 1.0 \times 10^2 \mu\text{g/L}$ ）．クマムシとワムシは，早朝（5 時）に積雪表面で個体密度が高く（最大平均： $1.3 \pm 1.5 \times 10^4 \text{ ind/L}$ ， $2.3 \pm 2.5 \times 10^2 \text{ ind/L}$ ），反対に日中から深夜（8 時-23 時）は，積雪下層で個体密度が高かった（最大平均： $3.7 \pm 5.2 \times 10^4 \text{ ind/L}$ ， $3.5 \pm 5.0 \times 10^3 \text{ ind/L}$ ）．以上の変化は，日射量の変化のタイミングによく一致したことから，積雪中の藻類は，強すぎる日射を避けて積雪内を垂直移動しているものと考えられ，微小無脊椎動物も食物となる藻類に合わせて積雪内を垂直移動するものと考えられる．

## 底生動物捕食者の炭素・窒素安定同位体比から示唆されること

\*太刀掛脩平，加賀谷隆，則定真利子（東大院・農学生命科学）

## 1. はじめに

河川における捕食者の栄養カスケード効果は、主に魚類捕食者について多数の研究で示されている。腐食者への捕食圧を介したリター破砕に対する栄養カスケード効果についても理解は進んでおり、底生動物捕食者に関してもリター破砕を遅延させる効果を検出している研究例は少なくない。栄養カスケード効果の正負や強度は、捕食者の栄養段階上の位置と餌種の食性に左右される。底生動物捕食者が与えるリター破砕遅延効果の一般性を判断するには、これらについて明らかにする必要がある。

本研究では、炭素・窒素安定同位体比 ( $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$ ) 分析により、溪流の淵のリターパッチに生息する底生動物捕食者について、①栄養段階上の位置には1段階以上の種間変異があるか、②基礎資源としてリターへの依存性が高い種が多いかを明らかにし、リター破砕に与える栄養カスケード効果の正負や強度を予測した。

## 2. 材料と方法

多摩川水系の2溪流で、リターパッチに生息する底生動物、リター、付着藻類を冬から夏に採取し、 $\delta^{13}\text{C}$  と  $\delta^{15}\text{N}$  を測定した。本研究では、既往知見より主に肉食を行うとされる種を捕食者と定義した。すなわち、これらは機会的に動物餌以外も摂食する雑食性の種を含む可能性がある。捕食者各種は生息場がリターパッチにほぼ限定されるパッチ制限種と、砂礫底にも生息するパッチ非制限種に区分した。

## 3. 結果

底生動物捕食者は18種が採取され、そのうち13種はパッチ非制限種であった。捕食者各種の  $\delta^{15}\text{N}$  は、0.0~3.1‰の範囲を示した(図)。リターと付着藻類の  $\delta^{13}\text{C}$  は、範囲が重複せず明確に異なった。捕食者各種に対するリターの寄与率は、最大でも35~63%にとどまると推定された。パッチ制限種は、非制限種よりリターの寄与が大きく、 $\delta^{15}\text{N}$  の高い種ほどリターの寄与率は低かった。

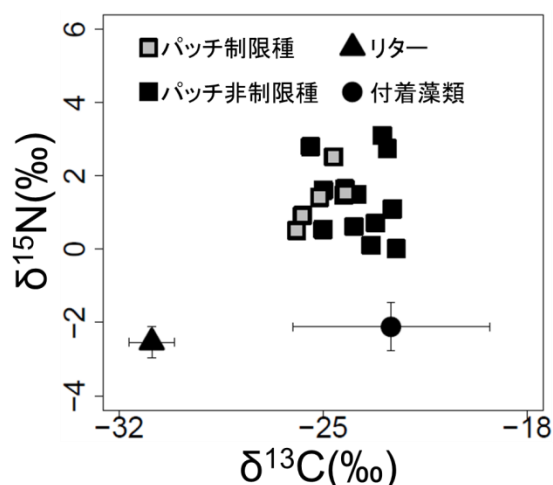


図. リターパッチに生息する捕食者各種と基礎資源の炭素・窒素同位体比。全サンプルの平均値を示す。基礎資源のエラーバーはSD。

## 4. 考察

淡水の無脊椎動物捕食者では、窒素同位体分別が3‰を超えることは極めて稀である(Caut et al. 2009; Bunn et al. 2013; Brauns et al. 2018)。したがって、本研究で対象とした底生動物捕食者の栄養段階上の位置には、最低でも1段階の種間変異があるといえる。このことは、これらの捕食者がリター破砕速度に与える効果は、種によって正、負、ほとんど無の場合のいずれもがありうることを示す。

基礎資源としてリターの寄与率が、65%を超える底生動物捕食者種は存在しなかった。これらの捕食者には、リターとともに付着藻類を摂食する腐食者や、藻類食者を主な餌とする種が少なくないと考えられる。パッチ制限種においても、リター主食の腐食者を主要な餌種とする可能性は低い種が存在した。したがって、基礎資源を消費する底生動物種に対する捕食者の負の効果は、リターを主食とする腐食者に集中せず生食食物網に分散するため、リターに対する強い栄養カスケード効果は一般的ではない可能性が高い。

\*岡部智洋, 齋藤達昭, 杉山裕子 (岡山理科大学・理・総合理)  
笠井楓也, 片岡翔, 竹中大二郎 (岡山理科大学・理・基礎理)

## 1. はじめに

モンカゲロウ属は河川の水環境における主要な水生昆虫である。モンカゲロウ属は濾過食者(filter-feeder, filterer)に分類され、そのほとんどは落ち葉などの粗粒状有機物(Coarse Particulate Organic matter: CPOM)がより細かくなった微細粒状有機物(Fine POM: FPOM)を主に捕食している(Takemon, 2005)。溶存有機物(Dissolved Organic Matter: DOM)は生物体の分解などが物理、化学、生物反応などを受けた物質群であり、水質や水環境内で起きている現象を反映する。我々は、フタスジモンカゲロウが FPOM を捕食し DOM に変換することを見出し、水生昆虫による捕食が河川生態系の有機物循環に影響を及ぼす可能性を示した(岡部ら, 2021)。本研究では、飼育下のモンカゲロウ属の捕食による有機物の変換システムをより長期的に調べ、モンカゲロウ属の河川水中粒子状有機物分解に対する生態学的な役割を明らかにすることを目指した。

## 2. 材料と方法 (サンプリングとモンカゲロウ属の河川水を用いた *in vitro* 飼育実験)

サンプリングは 2021 年 5 月に旭川支川の田地子・宇甘川(岡山県岡山市)で行った。飼育実験は、未ろ過の河川水を用いて暗所で行った。飼育予定日数経過毎に飼育試料水の回収を行い、450°Cで約 2 時間熱処理をしたガラス繊維ろ紙(GF/F: 参考孔径 0.7 μm)を用いてろ過した。試料は、DOC、TOC および三次元励起蛍光スペクトル(EEM)測定を行い、日数の経過に伴う溶存有機物の変化を分析した。対照実験(コントロール)では、モンカゲロウ属を入れていない河川水のみをサンプルを飼育実験と同じ条件下に置き、飼育実験の試料水と同じ日に回収した。

## 3. 結果と考察

蛍光測定結果より、トウヨウモンカゲロウ飼育下において 4 日目にタンパク質様ピーク(Ex/Em=270/340 nm)の上昇が見られた。7 日目に腐植物質様

ピーク(Ex/Em=340/413 nm 付近)強度が上昇した。

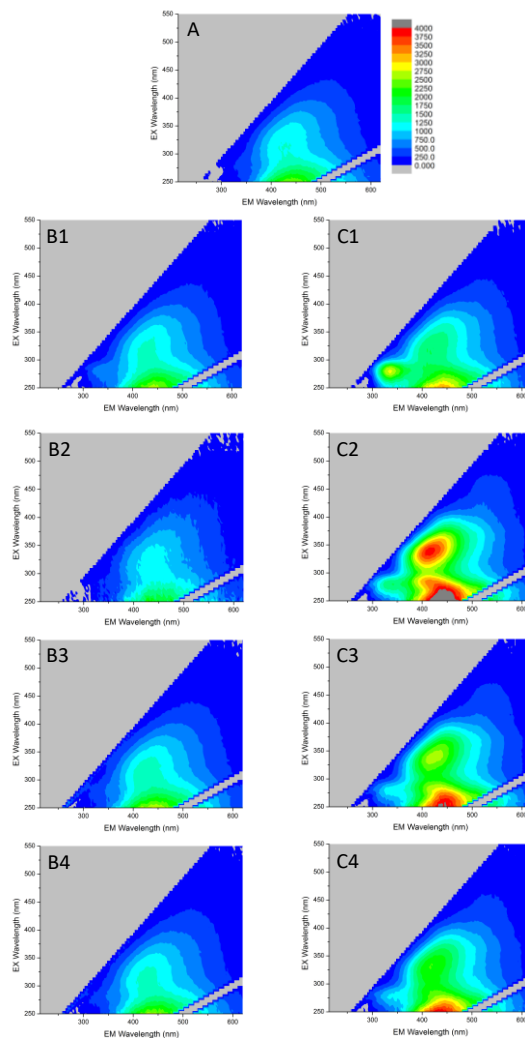


図 1. 水温 10°Cで暗所でのトウヨウモンカゲロウ 5 頭の飼育実験で得られた各サンプルの EEM スペクトルの変化 (A:0 日目;B1~4:対照実験下 4,7,8,10 日目;C1~4:トウヨウモンカゲロウ飼育下 4,7,8,10 日目)

コントロールサンプルについては EEM の変化は見られなかった。フタスジモンカゲロウ飼育実験でも、トウヨウモンカゲロウ飼育実験と同様の EEM の変化が見られた。モンカゲロウ属は水の中に含まれる FPOM を捕食して DOM を排出したと考えられた。

\*宮元拓夢（東京理科大学・理工），八鍬楽（東京理科大学・理工）  
磯野航也（東京理科大学・理），関陽児（東京理科大学・理）

### 1. はじめに

利根運河（以下「運河」）では、代表的な水質汚濁指標である生物化学的酸素要求量（BOD）が環境基準 3 mg/L を超過しており、改善が求められている。平水時は利根川と水理的に遮断されているため、支流・樋管からの流入水がない運河東部の水流は停滞するが、利根川からの揚水中は東部を含む運河全体で江戸川に向けて流下する。運河では国土交通省により 2 地点で多くの水質指標や溶存成分が継続して測定されているが、全域における水質を詳細に調査した事例はない。そこで本研究では運河全域の表流水を対象として様々な水理・水文条件における水質データセットを取得し、それらを解析することで運河の表流水の水質形成過程を推察し、水質汚濁の低減に資する情報を取得することを目的とする。

### 2. 材料と方法

採水地点は運河本流 10 地点に加え、支流・樋管、利根川・江戸川本流 7 地点を含め計 17 地点とした。採取時期は 2019 年 9 月～10 月の計 5 回である（平水時と揚水時（各 1 回）、2019 年台風 19 号の既往最高水位の減少過程（3 回））。水質調査として水試料の温度、電気伝導度、pH を現地測定し、ポリエチレン製角瓶に 500 mL 採取した。水試料は、当日に 0.45 μm フィルターを用いてろ過し、冷暗所に保存した。重炭酸イオンは、採取当日に 1/50N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 滴定法（地質調査所、1978）により定量した。冷蔵保存をした試料を対象に、主要溶存イオンである Na<sup>+</sup>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、K<sup>+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、F<sup>-</sup>、Cl<sup>-</sup>、Br<sup>-</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> をイオンクロマトグラフィーにより定量した（金井、1987）。溶存有機物については、254 nm 紫外光の吸光度に基づき全溶存有機物指標（TOC\*）として測定した（松本・柴田、2018；早川ほか、2018）。

### 3. 結果と考察

平水時の本流における EC および TOC\* は支流・樋管の影響を受けている。揚水停止後から平水時において流入水がない東部（図 1, 2 の 0～1 km 区間）で

EC および TOC\* が増加するのが確認された。これは底質と表流水との間の何らかの相互作用の存在を示唆する。また洪水ピーク時に本流の EC は最低水準を示した一方、TOC\* は最高水準を示した。台地を開削した区間では、高い EC の湧水が平水時に流入している。増水時には表流水の高い水頭により湧水の流入が封止される一方、降水の強い影響を受けた低 EC の水による置換のため、低 EC になると考えられる。一方、TOC\* は洪水時に懸濁物中の有機物の一部が溶解して、表流水中の TOC\* が上昇すると考えられる。以上より、運河の通常的水文状態と異常増水状態では、有機物汚濁の過程が異なることが示唆された。今後、運河全域における有機汚濁負荷量の変化の把握、底質の特徴や溶出特性の理解、湧水の特徴や汚濁負荷量の見積もり等が必要とされる。

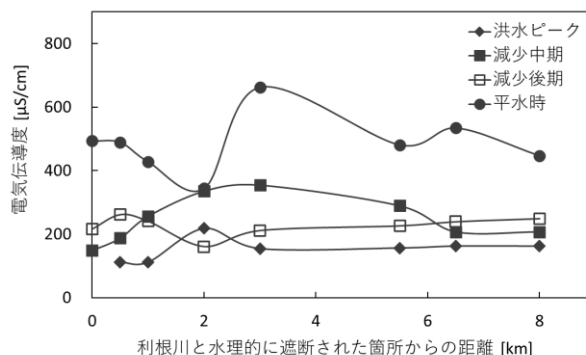


図1 平水時および水位減少局面におけるECの流下変化

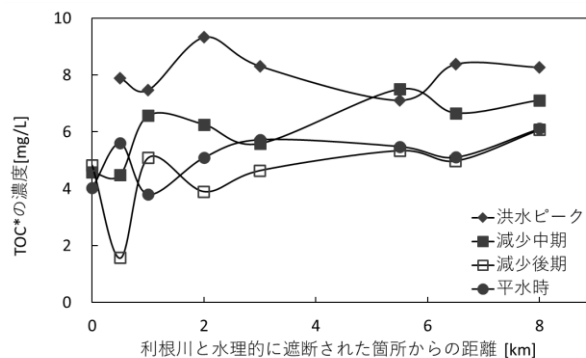


図2 平水時および水位減少局面におけるTOC\*の流下変化

\*八鍬楽 (東理大・理工), 関陽児 (東理大・理)

## 1. はじめに

千葉県北西部の野田市、流山市、柏市を流れる利根運河は「水質汚濁に係る環境基準水域類型 B」に指定された河川であるが、有機物汚濁の指標である生物化学的酸素要求量 (BOD) が基準値である 3 mg/L を超過し有機物汚濁が改善されていない。有機物汚濁の主因として、生活排水や工業排水の流入も考えられるが、利根運河の河床全域に分布した有機物に富んだ堆積物も一因と考えられている。また、利根運河の水質形成プロセスには表流水だけでなく堆積物や地下水①台地から浸み出している地下水②底質中に存在する水頭の高い地下水)も関与している可能性が高く、その理解が不可欠である。本研究では運河竣工以来の底質が堆積し、かつ底質中から地下水の流入が推定された境田樋管と利根運河が整備された 1970 年代以降(高度経済成長期以降)の堆積物が得られる宮本樋管を対象とし、底質からの溶出検液及び底質中の間隙水を採取し定量分析を行うことで堆積物が水質へ与える影響と利根運河の水質形成プロセスの理解に資するデータの取得を目的とする。

## 2. 材料と方法

千葉県北西部に位置する利根運河の境田樋管と宮本樋管を対象に現地調査及び室内分析を行った。

**1. 現地調査** 携帯水質計を用いて境田樋管と宮本樋管の水温、pH、電気伝導度(EC)を測定し、室内分析用サンプルを採取した。また、底質中に挿入したポラスカップによる底質間隙水の減圧吸引採取、ハンドオーガーによる底質試料の採取を行った。

**2. 室内分析** **[HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>の定量]** 現地調査にて採取した水サンプルを 1/50N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 滴定により HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> のイオン濃度を定量した。**[溶出実験]** 底質試料を風乾、破碎し孔径 2mm ふるいを通し粉末試料を得た後、粉末試料と超純水を 6 時間振とうさせ 5000rpm, 10min で遠心分離し孔径 0.45µm フィルターで濾過して溶出検液を得た。**[イオンクロマトグラフィー]** 水サンプルと溶出検液の溶存イオン濃度の定量分析をイオンクロマトグラフィーにより行った。

## 3. 結果と考察

境田樋管及び宮本樋管の底質試料の溶出検液の定量分析結果をそれぞれ Fig.1 および Fig.2 に示す。

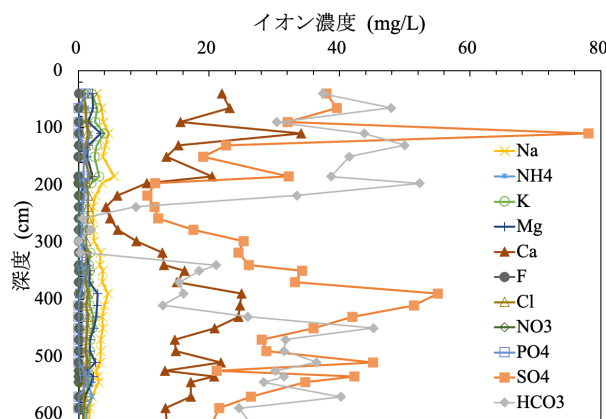


Fig. 1 溶出実験による深度別イオン濃度(境田樋管)

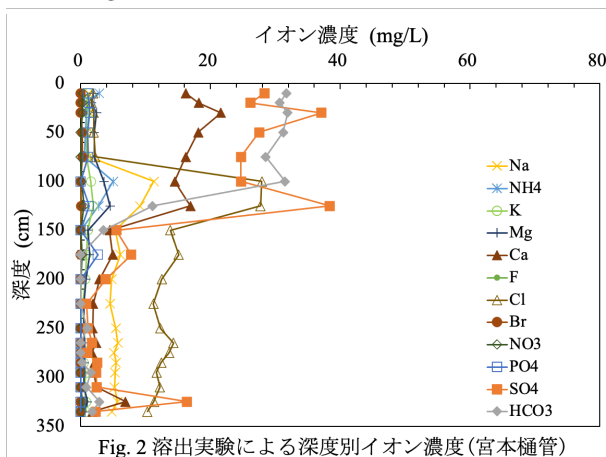


Fig. 2 溶出実験による深度別イオン濃度(宮本樋管)

境田樋管と宮本樋管共に深度によって溶出するイオン濃度に差があることが確認された。また、両地点で現地調査における採泥時に湧水が確認された。閉鎖性水域に近い利根運河には多くの地下水が流入している。その流入してくる地下水と利根運河本流の水質分析結果を比較すると地下水の方が利根運河本流水よりも溶存イオン濃度が大きいことから、地下水が利根運河に堆積している底質の相互作用によって汚濁を進行させていることが示唆される。また、UVC 測定より推定される溶存有機物濃度は表流水よりも底質の方が大きいことが確認された。

\*上羽涼太郎(農工大), 梅澤有(農工大), 楊宗興(農工大),

## 1. はじめに

ワンド(湾処)とは河川に沿って氾濫原に湾入して形成される静水域であり、魚類や水生生物の生息域として機能することが知られている(傳田ら2006)。一方で、これら生物を支える一次生産者が利用するリン酸( $\text{PO}_4^{3-}$ )や無機態窒素の供給メカニズムについては明らかになっていない。淡水域におけるリンの供給形態は陸域循環で植物に取り込まれたものや金属との(水)酸化物と結合した粒子状リンである。そのため河川水中では $\text{PO}_4^{3-}$ は不足しやすいことが知られている。 $\text{PO}_4^{3-}$ の供給源について、河川溪流において $\text{PO}_4^{3-}$ 濃度とその規定要因を調べた先行研究では、 $\text{PO}_4^{3-}$ 濃度は溶存態ケイ酸濃度(DSi)と正の相関を示すことが報告されていることから、風化により岩石から $\text{PO}_4^{3-}$ およびケイ酸が溶出し、河川へと供給される可能性が示唆されている(若松ら2006)。そこで本研究においては伏流水によって涵養されるワンドにおいても氾濫原を形成する礫が風化し、伏流水に $\text{PO}_4^{3-}$ やケイ酸が溶出することで供給されていると仮定し、検証実験を行った。

## 2. 材料と方法

調査対象地は多摩川中流域に位置する全長約300mのワンドであり、上流側から旧河道を経て伏流水が流入し、下流部から表層水が本流へ流出している(Fig.1)。現地ではワンド内を上流部、中流部、下流部に分けて調査を行った。調査期間は2020年7月~1月および2021年6月~9月であり、現地ではEC、水温、pHの測定および採水を行った。本分析では植物プランクトンなどの影響を考慮するため、未ろ過、ろ過、懸濁物試料に分けて分析を行った。未ろ過試料水はペルオキソ二硫酸カリウムで分解したのち、モリブデンブルー法(比色法)で測定することで全リン(TP)を、ろ過試料水ではモリブデンブルー法を用いて $\text{PO}_4^{3-}$ を、モリブデンイエロー法(比色法)を用いてケイ酸濃度をそれぞれ測定した。また粒子状懸濁物では中島・井関(2006)を参考に生物起源ケイ素をアルカリ抽出し、モリブデンイエロー法を用いることで水中の生物起源ケイ素量(BSi)

を、UNESCO法を用いてクロロフィル濃度(Chl.a)を、ろ過前後のろ紙の乾重量差から浮遊状粒子物質量(SS)を測定した。

## 3. 結果と考察

2021年8月に実施した調査では、河川と比較して、ワンドの水温は約 $2^\circ\text{C}$ 低くECは約 $8\text{ mS/m}$ 高かった。ワンドの上流部においてはワンド内の他の地点と比較してさらに約 $2^\circ\text{C}$ 低かった(Fig.1)。またワンド上流部においては、リン酸と溶存ケイ酸に有意な正の相関( $R^2=0.6411$ )が示された(Fig.2)。このことから、河川水が伏流する過程で岩石の風化由来の $\text{PO}_4^{3-}$ および、ケイ酸が溶出し、ワンドへと供給されている可能性が示唆された。TP、BSi、SS、Chl.aとの関係については発表にて議論を展開する。

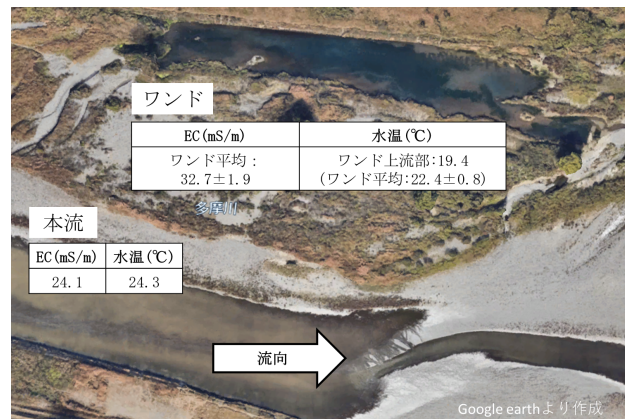


Fig.1 調査地と観測データ

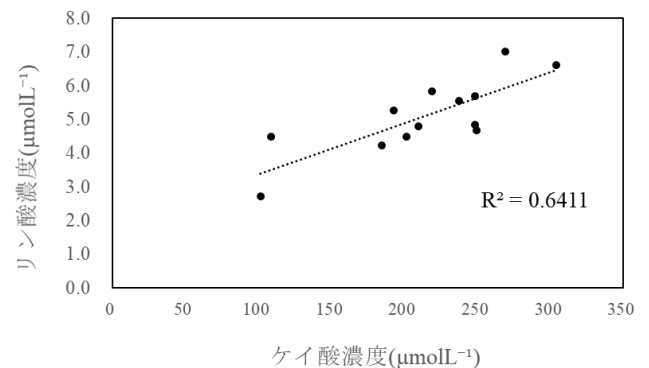


Fig.2 ワンド上流部でのリン酸とケイ酸の関係

## 幼虫の越冬・非越冬世代の二次生産力に与えた影響

\*小松楓子・三村亮・平林公男（信州大・繊維）

## 1. はじめに

二次生産力とは一定面積における一定期間内の消費者の同化量のことであり、生態系を機能的・構造的に評価する指標の一つとなることが知られている(Delbeth *et al.*, 2012). ヒゲナガカワトビケラ (*Stenopsyche marmorata*)は造網型トビケラ類の一種で、河川底生動物の中でも、個体数密度や現存量で優占するグループの一つである(西村ほか, 1958). また、河川生態系における栄養段階の上位に位置する魚類や鳥類などの主要な餌資源になっていることから(Wingberg, 1971; Wallace and Merritt, 1980), 河川生態系全体の生産力に重要な役割を果たしていると考えられる. 令和元年(2019年)10月に襲来した大型の台風19号は、河川の氾濫、土砂災害など甚大な被害を全国的にもたらした. この台風は令和元年東日本台風と呼ばれ、千曲川では観測史上最大の流量を記録する洪水が発生した. 本研究では、千曲川中流域の瀬におけるヒゲナガカワトビケラの二次生産力を洪水の前後で比較することにより、本種幼虫の生産力に与えた影響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5月から2021年6月の間(現在も調査を継続中)、毎月1回(夏期の水温の高い6-9月は原則2回)、千曲川中流域の常田新橋付近(常田地区)の瀬で行った. 底生動物の採集はサーバーネット(NMG42, 30×30cm<sup>2</sup>, メッシュサイズ450μm)を用い、3サンプルずつ定量的に捕獲した. 試料は実験室に持ち帰り70%エタノールで固定し、肉眼および実体顕微鏡を用いてヒゲナガカワトビケラ幼虫と蛹を選別し、個体数と湿重量(WW)を計測した. 幼虫は、接眼マイクロメーターを用いて頭長を測定し齢毎に分類した. 二次生産力は瞬間成長法(Johnson & Brinkhurst, 1971)を用いて推計した. 湿重量から灼熱減量(AFDW)を求める際にはWaters (1977)の式を用い、湿重量・乾燥重量に定数を乗じることで灼熱減

量に換算した.

## 3. 結果と考察

千曲川中流域の常田地区におけるヒゲナガカワトビケラの年間世代数は、幼虫の齢別組成の解析(発育ゼロ点と有効積算温度)から越冬世代と非越冬世代の2世代が確認されている(崔, 2018). 越冬世代は概ね9月から翌年の6月まで、非越冬世代は概ね5月から10月までの期間であり、東日本台風による大規模洪水は非越冬世代(2019年5月から10月;以降「2019年の非越冬世代」)の最後、越冬世代(2019年9月から2020年6月;以降「2019年の越冬世代」)の初めに起こったことになる. 本要旨では、紙面の都合上、越冬世代(洪水の直撃を受けた「2019年の越冬世代」と翌年の「2020年の越冬世代」)の二次生産力に焦点をあてて、東日本台風前の「2017年越冬世代」の二次生産力(崔, 2018)と比較しながら以下報告をする. 崔(2018)によると、洪水前の「2017年の越冬世代」(2017年9月から2018年6月)の二次生産力は13.8 AFDW g/m<sup>2</sup>(平均密度は206.3±540.8 匹/m<sup>2</sup>, 平均現存量 5.9±1.5 WW g/m<sup>2</sup>)であり、洪水後の「2019年の越冬世代」(2019年9月から2020年6月)の二次生産力は11.5 AFDW g/m<sup>2</sup>(60.6±175.7, 2.4±7.3)であった. このことから「2019年の越冬世代」の初期に洪水が起こったため、二次生産力は、洪水前と比べて約2割減少したに留まった. さらに翌年の「2020年の越冬世代」(2020年8月から2021年6月)の二次生産力は7.0 AFDW g/m<sup>2</sup>(126.1±112.5, 19.2±16.3)であり、洪水前と比べて約2分の1まで減少し、大きな影響があったことが明らかとなった. 以上のことから、世代のどこで洪水の影響を受けるかにより、その世代はもちろんこと、次の世代まで大きく影響することが明らかとなった.

**謝辞** 本研究を遂行するにあたり、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)の研究助成をいただいた. 深謝致します.

## 濾過食者シマトビケラ科の栄養状態に及ぼす影響

\*輪地紗良(奈良女子大学大学院人間文化総合科学研究科), 土居秀幸(兵庫県立大学大学院情報科学研究科), 竹門康弘(京都大学防災研究所), 片野泉(奈良女子大学大学院自然科学系)

## 1. はじめに

シマトビケラ科幼虫は河川の流れの速い場所で川底の石に巣網を張り、流下する微細な有機物を巣網で捉えて食物とする、造網型の濾過食者である。ダム下流域には、ダム湖で生産され流出する動植物プランクトンを餌資源とする濾過食者が多く生息する。本来、濾過食者の餌となる微細有機物の主成分は陸上由来の落葉落枝の破砕物や河川内の付着藻類の剥離物であり、これらは動植物プランクトンより栄養価が低いとされている(Kainz et al. 2004, Torres-Ruiz 2007)。ダム下流で濾過食者の密度が増えるのは、栄養価の高い動植物プランクトンが大量に供給されることによる正の影響であり

(Doi et al. 2008, Katano et al. 2009)、個体にも同様の正の影響が及んでいると考えられてきた。しかし近年、ダム下流では濾過食者個体の脂質量が減少していることが報告された(小林ら 2019, 佐藤ら 2020)。これらは冬季の1調査におけるデータであるため、濾過食者の齢期や季節的な餌資源量の変化等も含めてさらに詳しく調べる必要がある。そこで、天ヶ瀬ダム(淀川水系宇治川、宇治市)周辺において月一回の野外調査を行い、餌資源である流下物量および生息するシマトビケラ科幼虫個体の脂質量について、ダム下流とダムの影響のない支川との間で比較した。

## 2. 材料と方法

宇治川(淀川水系、京都府宇治市)とその支川である志津川において、ダムの影響がない地点(St.1)、ダム直下(St.2)、支川流入後(St.3)、導水路流入後(St.4)、さらに下流3地点(St.5, St.6, St.7)の合計7地点を定点に設定した。Sts.2-4は川幅の狭い狭窄部となっており河道に洲は形成されていないが、Sts.5-7では川幅が広がり寄洲や中州が形成されている。調査は2020年4月から一ヶ月に1回行っ

ており、現在も継続中である。各地点において、河川表層水の採水と環境変数(水温, EC, pH)の測定を行い、プランクトンネットを用いて流下物を採集した。また、St.1とSt.6においてシマトビケラを採集したが、St.6では天ヶ瀬ダムの放流量増加により採集ができない回があった。実験室では、採水した河川水中のSS量、クロロフィルa量を測定した。また、流下物中のSS量を測定し、動物プランクトン密度を検鏡により調べた。採集したシマトビケラは同定した後、齢期解析を行ない、Folch法により脂質量を測定した。

## 3. 結果と考察

河川水中の有機物量は、ダムの影響がない支川(St.1)よりもダム下流(Sts. 2-7)の方で多かった。また、河川水中のクロロフィルa量・流下物中の動物プランクトン密度もダム下流で増加しており、天ヶ瀬ダム下流は、シマトビケラの餌資源である植物プランクトン・動物プランクトン共に豊富な環境であることが確認された。シマトビケラ科幼虫を同定した結果、ウルマーシマトビケラ *Hydropsyche orientalis*、ナカハラシマトビケラ *H. setensis*、コガタシマトビケラ *Cheumatopsyche brevilineata*、オオシマトビケラ *Macrostemum radiatum*、エチゴシマトビケラ *Potamyia chinensis* の5種が確認された。

特に優占していたウルマーシマトビケラ(St.1)とナカハラシマトビケラ(St.6)を使用し脂質量の測定を行ったところ、5, 10, 11月は先行研究と同様、支川の個体に比べダム下流の個体で脂質割合が有意に減少していたが、8, 9, 11月は両者に有意な差は見られなかった。これらの結果から、先行研究で報告されたような「ダム下流でのシマトビケラの脂質量減少」は常に見られる現象というわけではないことが新たに示された。



## ダム下流における支川流入・土砂還元が 河床環境と底生動物群集に与える影響

\*原 直子(奈良女子大・理)・皆川朋子(熊本大・工)・根岸淳二郎(北海道大学・院・環境科学)・土居秀幸(兵庫県立大学・院・情報科学)・萱場祐一(名古屋工業大・工)・片野泉(奈良女子大・院・自然科学)

### 1. はじめに

ダム下流域ではダムの設置によって土砂の供給が減少し、河床粗粒化という問題が起こっている。粗粒化に伴い、河川に生息する底生動物群集の構造も大きく変化する。粗粒化を解消するための環境緩和として、ダム直下での支川流入や人為的な土砂還元が挙げられる (Katano et al. 2009, Sumi 2017)。これらの緩和によって、ダム下流に土砂が再供給され、河床環境、底生動物群集両面で、ダム下流がダムの影響のない状態に近づくことがわかっている (Katano et al. 2009, 2021)。しかしながら、土砂還元が土砂だけを再供給するのに対し、支川流入では土砂以外の物質もダム下流に供給するという違いがある。そのため、支川流入と土砂還元が底生動物群集に及ぼす影響は異なることが予想されるが、両者の影響量を比較した研究はこれまでにない。そこで本研究では 12 のダム河川において、支川流入・土砂還元による河床環境や底生動物群集への影響について比較した。

### 2. 方法

支川流入の影響を調べるために 7 つのダム河川、土砂還元の影響を調べるために 5 つのダム河川を調査対象とした。調査地点としてダムの影響のないリファレンス (ダム上流もしくは支川)、ダム直下、支川流入後もしくは土砂還元後を設定した。各地点 3 ヶ所で環境要因を測定後、コドラート法により底生動物を採集、実験室で同定、計数を行った。環境要因データと底生動物計数データを用いて多変量解析を行い、底生動物群集 (PCA)、河床環境 (RDA) がどの程度変化したかを算出した。

### 3. 結果

RDA の結果、ほとんどのダムで土砂要因が 1・2 軸に沿ったベクトルとして表され、土砂が強い環境要因であることが示された。土砂に対する底生動物群集の変化を図 1 に示す。支川流入ダムでは土砂と底生動物の変化がある程度相関しているのに対し、土砂還元ダムでは土砂軸が大きく変化しても底生動物はほとんど変化せず、最大変化量も支川流入ダムの約半分であった。

### 4. 考察

支川流入ダムでは河床環境と底生動物群集、両面でダム影響が緩和されるのに対し、土砂還元後では河床環境が緩和されるものの、底生動物群集の緩和には限界があると考えられる。土砂還元地点で底生動物の変化が大きかった蓮ダムは、土砂還元地点より下流で支川の流入があった。このことは、土砂還元は支川流入の有無を考えて行うことにより、より効果的になる可能性を示唆すると考えられる。

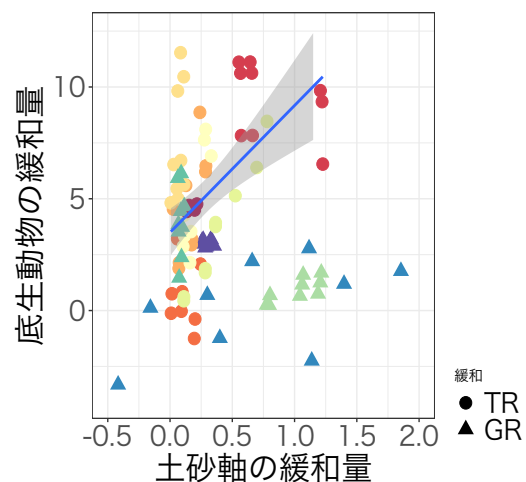


図 1 土砂軸に対する底生動物の変化  
TR : 支川流入ダム, GR : 土砂還元ダム

## の活動時間の解明

\*塩塚菜生(奈良女子大学大学院人間文化総合科学研究科), 中村匡聡(いであ(株)環境創造研究所),  
土居秀幸(兵庫県立大学大学院情報科学研究科), 片野泉(奈良女子大学大学院自然科学系)

## 1. はじめに

半水生哺乳類ニホンカワネズミ (*Chimarrogale platycephalus*, 以降本種と呼ぶ) は, 河川上流域に生息し, 水中で水生昆虫や魚類などを採餌し, 河岸など陸域で捕食や休憩を行う。近年, 水質悪化や河川構造物の設置など人為的な河川改修により, 本種の生息場所が失われてきており, 多くの生息地で絶滅が危惧されている。保全するためには, 早急な生態的基礎情報の蓄積が必要である。そこで, 本研究では, 本種の活動時間に着目した。本種は, 夜間活発に活動することが知られているが, 日中の目撃例や捕獲例も報告されている(阿部, 2003)。しかし, 実際, 日中も周期的に行動しているかは不明である。本種の活動時間の調査には, カメラトラップ法や捕獲調査法が用いられてきた。しかし, 本種は夜行性かつ小型で素早く動きまわるため, カメラトラップ法では見落とす可能性が高く, 捕獲調査は侵襲的手法であり, 調査員の労力も非常に大きい。このような難点は, 環境 DNA 法を用いることにより解決できると考えた。環境 DNA 法は, 水中に含まれる対象種の DNA を検出することにより, その対象種の存在を確認できるもので, 魚類や両生類など多くの生物種において, 止水域のみならず流水域でも適用されている。先行研究では, 本種の分布調査に環境 DNA 法が用いられ, 新規に生息地が確認されている(Yonezawa et al., 2020)。そこで本研究では, 環境 DNA 法を用い, 本種の活動時間の解明を目的として調査を行った。調査は, 生活史を考慮して季節別に年 4 回, 1 時間おきに 24 時間の採水調査を行った。

## 2. 材料と方法

カメラトラップ法により本種の生息が確認された奈良県東吉野村・谷山川と御杖村・桃俣川において, カメラトラップによる撮影と合わせて採水調査を行った。調査は秋季(2020 年 10・11 月), 冬季(2020 年 2 月), 春季(2021 年 5 月), 夏季(2021 年 8 月)

に行っており, 各時季は本種の妊娠・子育て期(10・11 月), 交尾・妊娠期(2 月), 子育て・巣立ち期(5 月), 非繁殖期(8 月)に相当している。採水調査では正午 12 時から翌日 13 時まで, 1 時間おきに 2L の表層水を汲み取った。採水後すぐに塩化ベンザルコニウム水溶液を添加・攪拌し, 冷暗状態で実験室に持ち帰った。実験室では DNA の抽出後, 種特異的プライマーを用いたリアルタイム PCR により本種の環境 DNA を検出した。

## 3. 結果

両河川・全季節において, 夜間に本種の環境 DNA を検出することができた。一方で, 冬季・春季・夏季では夜間に加え, 昼間も環境 DNA が検出された。

採水と同時にに行ったカメラトラップ法では本種の個体が撮影されることはほぼなかった。桃俣川では昼夜ともに撮影されることはなく, 谷山川では春季, 夏季, 冬季の夜間に撮影され, 撮影された時間帯の前後では環境 DNA の検出もされたが, 昼間は一度も撮影されることはなかった。

## 4. 考察

環境 DNA が昼間も検出された時期について, 冬季は交尾・妊娠期であり, 繁殖のためテリトリーを超えて昼間でも移動をしていたためと考えられる。春季は子育て・巣立ち期であり, 子育てのための採餌で夜間のみならず昼間も活動していたためと考えられる。夏季は非繁殖期ではあるが, 巣立った幼獣が成獣と同所的に生息し, 採餌のため昼間も活動していたと考えられた。一方, 夜間のみ環境 DNA が検出された秋季に関しては, 妊娠・子育て期であるため, 日中は巣の中で過ごし, 夜間に採餌を行っている可能性が考えられた。

また, 冬季・春季・夏季の昼間に検出された時間帯が似ていることから, 季節によっては日中も周期的に活動していることが示唆された。

## 隠蔽種の検出

\*竹中將起（筑波大・生命環境）、谷野宏樹（基生研・進化発生）・鈴木智也（京都大・地球環境）・東城幸治（信州大・理）

## 1. はじめに

種多様性の観点からみると地球上で最大のグループである昆虫は約 100 万種記載されているものの、未記載種も多い。DNA バーコーディング法は、規定された短い DNA 断片を使用することにより、迅速、正確、そして自動的に種を同定できる手法である。その簡便性から長期モニタリングや、広範囲における同質的な手法による生物群集の理解が可能となる。加えて、未記載種や隠蔽種の発見に関しても強力なツールである。

近年のシーケンス技術の発展により、メタバーコーディング技術の需要は高まり、環境 DNA に関しては河川や湖池沼の水中の環境 DNA を解析することで、そこに生息する生物種を明らかにできるようになった。環境 DNA 研究において発展している魚類における DNA バーコーディングには、mtDNA *cytb* 領域が用いられてきたが、メタバーコーディング解析や環境 DNA 解析では、短鎖配列で種識別できるような新たなマーカーが希求されたことで、魚類の汎用メタバーコーディング用プライマーが設計されたことで魚類の環境 DNA 研究は急速な進展をみせた。その後、哺乳類、鳥類、甲殻類においても同様に開発されている。

しかし、昆虫類に関しては、短鎖配列で種識別できる汎用マーカーは確立されていない。本研究の目的は、昆虫類、特に水生昆虫類を対象に、汎用性の高いプライマーを設計することで、昆虫類においても安定したメタバーコーディング法を実施できる基盤を構築する。さらに、プライマーの設計と同様に重要となるのが、増幅された遺伝子領域を参照するデータベースの充実である。そこで、バーコーディング領域を含み、系統解析にも適用できる長鎖断片用の汎用プライマーも設計し、系統解析や遺伝子解析を実施する研究者に積極的に使用・公表してもらうことによって、データベースの充実につなげる。

## 2. 材料と方法

本研究では、先行研究を参考にし、mtDNA 16S rRNA, 12S rRNA 領域に着目し、GenBank に登録されている水生昆虫のミトコンドリアゲノムを用いて最適なプライマー領域を探索した。そして、設計したプライマーセットの汎用性を確認した。

## 3. 結果・考察

mtDNA 16S rRNA 領域に関して、バーコーディング領域（短鎖配列）用のプライマー MtlInsects-16S とデータベース用の長鎖配列用をそれぞれ設計した。mtDNA 12S rRNA 領域に関しては、全昆虫類を網羅する汎用プライマーの設計は困難であったため、不完全変態類とトビケラ目昆虫を除く完全変態類・トビケラ目の 3 つの分類群に分けて、それぞれバーコーディング領域（短鎖配列）用のプライマー MtlInsects-12S とデータベース用の長鎖配列用をそれぞれ設計した。これらの設計したプライマーを用いて、昆虫類の幅広い分類群において増幅を確認することができた。実際にメタバーコーディング解析を実施する必要はあるものの、昆虫類の種多様性を理解するための有用な手法となるだろう。

DNA バーコーディングのメリットの一つとして、多様性の再評価や発見が挙げられる。ヒラタカゲロウ属 *Epeorus* は河川の流程に沿って種が棲み分けをしながら流程分布している。しかしながら、属内においてキロヒラタカゲロウ *Epeorus aesculus* は比較的広い流程から確認できる。そこで、近年の分子系統解析によって多くの生物種群における隠蔽種が報告されてきたように、キロヒラタカゲロウ種内にも隠蔽種が含まれている可能性を予想した。そこで、長野県内を対象にキロヒラタカゲロウを採集し、本研究で開発したプライマーを用いて遺伝子解析を実施した。その結果、隠蔽種の存在を示唆する結果が得られ、本研究で新規開発した汎用プライマーが、こういった隠蔽種をも検出し得るような好適な感度のものであることも明らかとなるなど良好な結果が得られたのでここに報告する。

9月21日(火), B会場

課題講演

「火山山麓河川の陸水環境」

コンビーナ: 谷口智雅・野崎健太郎

O-B01~O-B08

\*野崎健太郎（梶山女学園大学・教育），谷口智雅（三重大学・人文）

### 1. 日本の無機酸性湖沼の陸水学研究

吉村（1939, 陸水学雑誌 9）は, pH<5 を示し, 腐植酸を含まず, 水素イオンの供給が自然由来の硫酸や塩酸による天然湖沼を, 無機酸性湖と定義し, 日本の陸水学上の重要な一分野であると述べ, Ueno（1958, *Verh. Internat. Ver. Limnol.* 13）は, その成果を国際陸水学会議（SIL）で紹介した. その後も, Satake and Saijo（1974, *Limnology and Oceanography* 19）による無機酸性湖における物質代謝の研究をはじめ, 比較的単純な生物相を対象にした安定同位体を用いた食物網解析（Doi *et al.*, 2003, *Aquatic Microbial Ecology* 36）等, 興味深い場として研究され続けている. 1970年代までの無機酸性湖沼の研究成果は, 佐竹（1980, 陸水学雑誌 41）の総説にまとめられている. 本講演では, 湖沼と並ぶ陸水学研究の大きな一分野である河川を対象に, 火山性の無機酸性河川研究の概要を示すことを目的とする.

### 2. 火山性無機酸性河川の水質形成過程

田瀬・杉原（2011, 日本水文学会誌 41）は, 日本には「河床が赤くなった赤川, 味の酸っぱい須川, 酸川, 酢川, 渋い渋川, まずい松川, あるいは硫黄川や濁川などの名前がついた酸性河川（acid river）が多数存在する。」と指摘し, それらの成因として, ①酸性泉（主に温鉱泉）の流入, ②硫化鉄の酸化による酸性浸出水の流入, 坑内排水なども含む, ③大気由来の酸性酸化物（酸性雨や降水物）が川（湖沼）に流入, ④その他の人為起源物, の4つを挙げている. 火山性無機酸性河川は, ①に相当し, 無機酸性湖沼と同じく, 火山起源の硫酸や塩酸を豊富に含んだ湧水（温泉水を含む）が混入した場といえる. このように火山性無機酸性河川は, 地名にも反映される身近な水環境であり, 自然災害の原因や観光資源となる火山に関連しているため, 地球科学（化学）の主要な研究対象となり, 水質形成過程には多くの先行研究が蓄積されている.

この要旨では, 主要な場と先行研究について列記する. 秋田県の玉川および玉川温泉（加村・長谷川, 1990, 日本土壌肥料学会誌 61; Yoshiike, 2003, *Geochemical Journal* 37; 佐藤ほか, 2010, 資源地質

60), 山形県の蔵王山（今野, 1934, 陸水学雑誌 4; 今野, 1936, 陸水学雑誌 6; 山縣, 1952, 陸水学雑誌 16; 加藤, 1954, 地理学評論 27; 白田, 1960, 陸水学雑誌 21; 入江, 1976, 陸水学雑誌 37; 加藤, 1979, 地理科学 32), 福島県の長瀬川（三宅ほか, 1948, 気象集誌 26), 神奈川県の箱根山（堀内・小寺, 2020, 陸水物理学会誌 2), 長野県の八ヶ岳（半谷・杉村, 1957, 日本化学雑誌; 瀬野, 1961, 陸水学雑誌 22）で研究が実施されてきた.

### 3. 火山性無機酸性河川の生物相

中性河川とは異なる種が卓越することで古くから指標生物学的に研究されてきている. 特に珪藻は, *Pinnularia* 属, *Eunotia* 属の優占が数多く報告されている（上篠ほか, 1974, 日本生態学会誌 24; Negoro, 1985, *Diatom* 1; 渡辺・浅井, 2006, *Diatom* 22; 上田ほか, 2009, *Diatom* 25; 田中, 2012, 四日市大学環境情報論集 15). 他の藻類では, ミドリムシ藻の *Euglena mutabilis*, 緑藻の *Chlamydomonas* 属, *Hormidium* 属, *Microspora* 属が特徴的とされる（根来, 1943, 植物学雑誌, 57; 根来, 1962, 植物分類・地理 20). その一方で, Nozaki (2016, *Rikunomizu* 74), Nozaki *et al.* (2020, *Rikunomizu* 87) は, 御嶽山南麓の火山性無機酸性河川の濁川, 濁沢では, 附着藻群落の形成が見られないことを明らかにしている.

水生無脊椎動物は, 上野（1940, 陸水学雑誌 10), 河西（1941, 陸水学雑誌 11), 河西（1942a および 1942b, 陸水学雑誌 12), 福原・古木（2010, 新潟大学教育学部紀要 3）が報告しているが, いずれも無機酸性河川では貧弱な動物相で現存量も少ないことが示された. 魚類は, 無機酸性河川では生息が確認されない（Onoda and Kayaba, 2016, *Rikunomizu* 74).

### 4. 今後の課題

無機酸性河川の生物相については, それらの成立過程や生活の研究が不足している. 無機酸性河川は火山活動と密接な関係にあるが, 火山噴火の影響と回復過程は情報が乏しい. 海外では, Claeson *et al.* (2021, *Freshwater Biology* 66) は, 1980年に噴火した St. Helens 火山の追跡調査を発表している.

## 1. はじめに

火山地域の水の特徴を見ると、新しい火山は透水性が良く、地下に水が浸透するため、地表水の無い水無川や浸透した地下水が山麓の豊富な水資源をもたらす。このような河川は枯渇しにくく、火山山麓の湧水やそこから生まれた河川の沿岸は、湧水流量も多くなり、水の利用に都合の良い地域となる。また、火山活動にともなう大規模な地形変状や水質改変などの攪乱は陸水環境に対して大きなインパクトを与えるものにもなる。本発表では、御嶽山の視覚的に捉えられる火山地域の地理的景観と視覚では把握しづらい陸水現象を観測・測定することによって、火山山麓河川の地理的景観と陸水環境の特徴として捉えた。なお、王滝川の支流は発電のため各所で取水されており、さらに上水道の水源や農業用水などの目的で人工的な水移動が行われている。これらを含めた量的な把握と合わせて、水循環・水収支と物質循環、および生態系システムの解明も必要である。そのためには、取水施設の概要や取水量の把握も重要である。

## 2. 研究方法

王滝川支流であり酸性河川である濁川のさらに支流である伝上川を対象に河川流量の変化と河川景観の把握を行った。伝上川は1984年9月14日に発生した長野県西部地震の際に、御岳崩れ（伝上崩れ）と呼ばれる大規模崩壊を起こし、河床が泥流堆積物で上昇するなど特異的な河川景観を有している。これらの特徴を把握するため、魚眼レンズ（SIGUMA 4.5mm F2.8 EX DC CIRCULAR FISHEYE HSM）を用いた写真撮影を行い、景観画像の天空率・占空率を示した。河川流量については、本川での複数地点を含む地点や湧水などやや細かな観測を行なった。流量は、アドバンテック社製の電磁流速計AEM1-Dによる60%水深で測流する1点法の流速観測の断面流速法によった。各地点の水深観測数は、基本的には川幅の狭い支流は0.05~0.2m間隔で測定した。さらに、人工的な移動を把握するため取水施設の把握と発電のための取水地点の上下流地点で流量測定を行い、取水状況の把握も行った。

## 3. 結果と考察

ここでは、2019年9月に調査を行った濁川上流の伝上川の伝上川橋から約1.6km区間の結果を示す。河川流量の変化を見ると、伝上川の伝上川橋から約1.6km区間では途中支流からの大きな流入はないが、崖下湧水（EC:2.17~3.31mS/m）からの流入があり、最上流観測地点（EC:23.1mS/m）での0.740495m<sup>3</sup>/sから伝上川橋（EC:19.77mS/m）では0.905288 m<sup>3</sup>/sとなる。途中流量が減る区間があり、これは砂防堰堤が連続していることや礫の堆積環境などによる地下浸透によるものと考えられる。河川景観を見ると、最上流調査地点（地点E）での崖が接近して閉塞感も高く、川幅も狭いため占空率と天空率はそれぞれ21.3%と38.1%と割合が低くなっている。崖下湧水の分布する地点上流（地点D）では崖は高いが川幅があるため、23.2%と49.8%となっている。伝上川橋上流地点（地点B）では27.4%と57.7%あり、他の地点と比較して河川空間の開放感がそれぞれの値に示されている。さらに、伝上川と濁沢川の合流では、さらに占空率と天空率の割合は高くなり、38.4%と67.4%となっている。御岳崩れ（伝上崩れ）と呼ばれる大規模崩壊に起因する堆積と浸食による河川横断面の顕著な地点間の差異を示すとともに占空率と天空率による視覚的な指標は観光資源や環境教育の活用も示唆される。

## 4. おわりに

王滝川の支流では水の人工的な移動や水循環の顕著な差異が見られる。特に発電による取水は、河川水質や生態系などの陸水環境に大きな影響をもたらす場合もある。必ずしも取水地点や取水量の数値的データの入手が容易でないことから、各支流間の比較検討などによって、流域全体と各支流の量的把握と特徴を把握することが今後の課題である。

本研究はJSPS 科研費・基盤研究(B)『自然災害/資源開発を收容する火山山麓地域の自然共生に向けた水文水質・生態機構の解明、研究代表者；田代喬（課題番号19H04318）』の一部として実施した。

\*松本嘉孝（豊田高専・環境都市），宇佐見亜希子（名古屋大・減災セ）  
江端一徳（豊田高専・環境都市）

## 1. はじめに

長野県と岐阜県の県境に位置する御嶽山は 2014 年 9 月に噴火した。御嶽山を流域に含む木曾川水系を管理・利水する国土交通省中部地方整備局，水資源機構，関係自治体，企業などは水質保全対策検討会を立ち上げ，継続的な水質監視を行ってきた。

2020 年 8 月の第 7 回検討会では，2018 年の観測各地点の pH が噴火前と同レベルになったことや，環境基準の pH 下限値を満足していることが報告された（国交省中部地整，2020）。噴火直後に比べ，水質は大きく回復し，水質的に問題のない状況とし，水質保全対策の収束を決めた。ただし，その資料には噴火前の 2009 年にも環境基準を下回る pH を観測していることも掲示されており，御嶽山南麓河川水質は，噴火が及ぼす影響と，火山地域にみられる無機酸性陸水の特徴とが重なり合う状況が考えられる。

松本ら（2020）も噴火後から御嶽山南麓の水質調査を実施しており，御嶽山の噴気孔が位置する地獄谷から流出する濁川において，噴火口付近が積雪期の 12 月から 3 月ぐらいまで（SP, Snow Period）の pH が，降雨期の 4 月から 11 月ぐらいまで（RP, Rain Period）に比べ高くなることを指摘している。松本らはこの短期間の pH 変化は噴火による影響というよりも，気象や水文による影響であると示唆している。

このように，噴火後の水質の回復は認められるが，長期的な水質管理をする上では，無機酸性陸水であることを踏まえた噴火影響の原因の明確化，水質形成機構の解明は必要である。そのための，今回は，一年内での短期的な pH 変化と，噴火後数年経過した中期的な pH 変化との関連性について解析を行う。

## 2. 使用データ

本研究では，（独）水資源機構 愛知用水総合管理所の HP に掲載されている「牧尾ダム・兼山取水口の水質状況」の中の，採水場所①'松原橋の pH を用いる。この調査地点である松原橋は，牧尾ダムのバックウォータ地点よりも上流にあり，濁川を含む御嶽山南麓を流域とする地点である。

上記の検討会により，松原橋での水質測定は 2014 年 12 月 25 日より開始され，2020 年 7 月 29 日まで 1 週間に 1 回の頻度で行われた。

## 3. 結果および考察

図 1 は噴火後の松原橋における SP と RP 毎の河川 pH の中央値と 25 および 75 パーセンタイル値および年間平均値を示している。まず，短期的な pH 変化として SP と RP の値を比較すると，どの年も SP の方が RP に比べ中央値は高くなっていることがわかる。ただし，SP は RP に比べ観測数が少なくなるため，年間平均 pH は RP に近くなる。

そして，中期的な pH 変化として，噴火後の pH は，SP，RP 共に 2018 年の RP までは上昇傾向にあることがわかる。ただし，2018 年以降 SP は減少傾向，RP は 2019 年に減少し，2020 年には若干上昇した。SP の pH 分布は大きな経年変化がみられないが，RP は，噴火後が大きく，その後分布は徐々に小さくなった。この分布をもたらす低 pH が減ることで全体の pH も上昇となることがわかる。

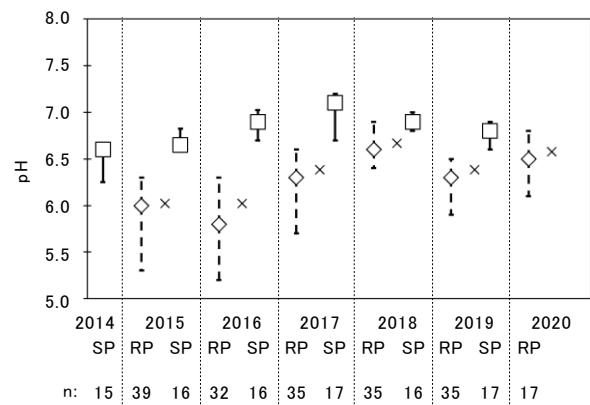


図 1. 松原橋における SP (□) と RP (◇) の pH 中央値，25%と 75%ile 値（ひげ線）および年間平均値（×）。

## 参考文献

国交省中部地整（2020）：第 7 回御嶽山噴火に伴う木曾川上流域水質保全対策検討会。  
松本ら（2020），陸の水，87：11-22。

\*江端一徳（豊田高専・環境都市工），松本喜孝（豊田高専・環境都市工）  
宇佐見亜希子（名大・減災セ）

## 1. はじめに

長野県の御嶽山では、2014年9月27日に1979年以来35年ぶりとなる噴火が発生した。噴火にともない、御嶽山麓を流下する王滝川水系において、行政機関による濁水と酸性化などの水質変化が確認されている。その後、王滝川水系の水質測定は継続的に行われていたが、2020年8月の検討会で噴火前の水質状況に改善したことが報告されている。

松本ら（2020）は、王滝川本川と濁川のイオン構成が類似していることから、濁川が王滝川の水質に大きく影響を及ぼしていること、また濁川が特徴的に示す低pHが王滝川本川のpHの水質変動に影響を及ぼしていることを報告している。特に、濁川の支川の一つである濁沢川は火山噴火口に近く、硫酸イオン濃度が高いことがわかっている。ただ、水域生態系にとって悪影響を及ぼす低pH要因の一つと考えられる硫酸イオンの流出負荷量について、火山噴火前後で経年的に調査された例はない。

そこで本研究では、噴火前後での王滝川水系に強い影響を及ぼしている濁川を対象に硫酸イオン流出負荷量の把握とその経年変化の推定を行うことを目的とした。

## 2. 調査及び解析方法

2018年2月より2019年5月まで、毎月、濁川の支流である伝上川、濁沢川を対象に調査を行った。調査時に採水した試料は実験室に持ち帰り、その後、硫酸イオンは、TOA IC-300（TOA）を用いて測定を行った。

流量計算は、2段タンクモデルを用いて実施した。入力値の降水量は気象庁の御嶽山の雨量データを、蒸発散量は能研機構のモデル統合型作物気象データベースの御嶽山東北東5kmに位置する開田高原のデータを用いた。キャリブレーション期間は2018年と2019年で、手動でパラメータ調整を行った。出力値は日流量で、2013年から2020年まで流量計算を行った。

硫酸イオン流出負荷量の推定は、調査期間での実

測の流量とその時の硫酸イオン濃度をかけた硫酸イオン流出負荷量からL-Q式を作成し、そのL-Q式にタンクモデルで計算した計算流量を入力することで、硫酸イオンの年間流出負荷量を算出した。硫酸イオン流出負荷量の算出においては、他の影響因子も考えられる中で、今回は、水文因子である流量について解析を行った。

## 3. 結果と考察

伝上川と濁沢川での各月の硫酸イオン流出負荷量を計算した結果、誤差評価指標の一つであるPbiasが66%程度と良好な推定精度が得られた。そこで、この結果を基に、2013年から2020年までの硫酸イオン流出負荷量を算出した（図1）。

伝上川と濁沢川の硫酸イオン流出負荷量の割合は、全期間平均で伝上川が9.7%、濁沢川が90.3%と、火山噴火口の谷より流れ下る濁沢川が多くを占める結果となった。

次に、降水量と硫酸イオン流出負荷量の相関を取ると、伝上川、濁沢川どちらも強い正の相関があり、決定係数はそれぞれ0.88、0.94となった。さらに、中長期的な経年変化を検討した結果、硫酸イオン流出負荷量は、降水量によって増減がみられ、降水量が最大値をとった2018年は、両河川とも2020年に次いで高い値を示した。

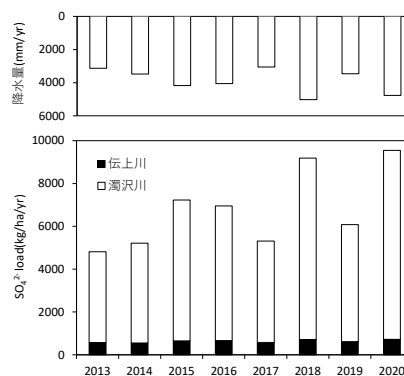


図1. 降水量と硫酸イオン流出負荷量の経年変化。

## 参考文献

松本ら（2020），陸の水，87：11-22.



*Klebsormidium flaccidum* の繁茂と溶存無機態炭素濃度との関係

\*野崎健太郎（梶山女学園大学），松本嘉孝（豊田高専），谷口智雅（三重大学），宇佐見亜希子（名古屋大学）  
田代 喬（名古屋大学）

## 1. 背景と目的

火山性の無機酸性陸水は，日本の興味深い研究対象の1つである（Ueno, 1958）. Nozaki (2016) は，pH 4~6 を示す御嶽山南麓の無機酸性河川では，付着藻群落が発達しないことを報告している．酸性水域では，溶存無機態炭素が二酸化炭素分子として大気中に放出され，理論的には， $0.31 \text{ mgC L}^{-1}$  を超えることはない（Satake and Saijo, 1974）. Nozaki *et al.* (2020) は，無機酸性河川では付着藻は炭素律速の状態にあることを推察している．ところが，私たちは，2020年11月13日に御嶽山南麓の pH 3 を示す河川敷の湧水において，糸状緑藻 *Klebsormidium flaccidum* の大繁茂を観察した（図1）．そこで，この繁茂と溶存無機態炭素濃度との関係を考察した．



図1. 御嶽山南麓の pH 3 を示す無機酸性湧水における糸状緑藻 *Klebsormidium flaccidum* の繁茂（2020年11月13日）.

## 2. 方法

野外調査は2020年11月13日から14日に行った．調査地は，御嶽山の噴気孔が位置する地獄谷から流出する濁沢川の河川敷である．一般水質項目として，水温，pH，電気伝導度を測定した．付着藻は，20 cm × 20 cm のコドラートを用いて採取した．付着藻の活性は，酸素ロガー（HOBO U26, CO-UA 002, Onset Co.）を用いた溶存酸素濃度の日変化測定から評価し

た．*K. flaccidum* の群体を11月15日に採取し実験室に持ち帰り，明暗びん法によって，光合成と呼吸を測定した．溶存無機態炭素濃度（DIC）は，TOC/TN計（Analytik-jena Co.）で定量した．

## 3. 結果と考察

本調査地で繁茂していた *K. flaccidum* の細胞の幅は6~8  $\mu\text{m}$ ，長さは8~27  $\mu\text{m}$  であった．*K. flaccidum* は陸生藻として知られているが，英国では流水からも報告されており（Rindi, F. 2011, *The Freshwater algal flora of the British Isle* p.554-557），細胞の大きさ，細胞壁と細胞質の形態から *K. flaccidum* と同定した．図2は，調査地におけるクロロフィル *a* 量（A），強熱減量（B），溶存無機態炭素濃度（C）の分布である．クロロフィル *a* 量，フェオフィチンと強熱減量は，湧出部から10 m 下流から増加し，溶存無機態炭素濃度は，下流に向かって明瞭な減少を示した．*K. flaccidum* の光合成-光曲線は陽生型であり，湧出部は堤防の縁で遮光されているため増殖が抑えられていたと考えられる．溶存無機態炭素の減少は *K. flaccidum* の吸収によるものと推察された．

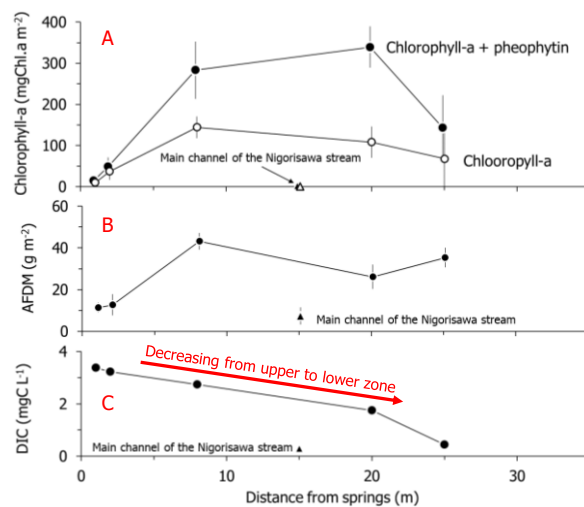


図2. 調査地におけるクロロフィル *a* 量（A），強熱減量（B），溶存無機態炭素濃度（C）の分布（2020年11月13日）.

\*田代 喬 (名古屋大・減災連携研究センター)

## 1. はじめに

火山は、その特有の地質・水質、噴火や崩壊などの攪乱を介して、山麓地域の生態系を規定する。また、火山を水源とする河川では、噴出物で構成される保水性の高い集水域を有することから、発電や灌漑目的の開発が進められている。そのため、現況の火山麓地域の河川生態系には、自然現象である火山活動とダム・堰堤による取水・貯水・放水などによる人為的改変が複合的に影響しているが(田代:陸の水 74:5-11, 2016), 両面に注目して調査した事例はほとんど見られない。

本研究では、御嶽山の南麓を流れる木曾川水系の王滝川中流域に着目し、2014年火口を集水域に持つ支川とその流入先でダムを有する本川の水系各所における底生動物群集の時空間的変異から、噴火とダムの影響に関する考察を試みる。なお、本研究は、WEC 応用生態研究助成(2015-04;2017-05;2020-03), JSPS 科研費 19H04318 を受けて実施した。

## 2. 材料と方法

御嶽山南麓の王滝川周辺において、噴火影響の色濃い一次支川「濁川」(NigoB), 濁川に流入する「濁沢川」(NigoA)・「伝上川」(Den), 濁沢川上流の「赤川」(Aka)・「白川」(Shira)(以上、濁川水系 5 地点), 濁川とは別の一次支川である「下黒沢」(Shimo), 「うぐい川」(Ugui), 「王滝川」に沿った 4 地点(OutA, B, C, D)(以上、王滝川水系 11 地点), 近隣別水系の木曾川一次支川の「黒川」(Kuro)に加え、これらの合流後の「木曾川」(Kiso)(計 13 地点)で調査した(全 72 検体)。なお、流下方向に沿って、最上流の下黒沢、下黒沢が流入する「自然湖」(1984 年の「伝上崩れ」による天然ダム)下流(OutA), 濁川流入後(OutB), うぐい川流入後(OutC), 「牧尾ダム」(1961 年竣工の利水ダム)下流(OutD), および、発電導水系統から放水後の木曾川といった具合に縦断的な変化が認識できる。

噴火から約 1 年経過後の 2015 年 9 月から 2020 年 8 月にかけて、各地点の瀬で 30 cm 方形区内の堆積物を目合い 0.5 mm のネットで採集した後、底生動物を抽出、同定して分類群ごとに個体数密度を求めた。採集の際、pH, 水温, 電気伝導度( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )を計測して、簡易に水

質特性を把握した。

群集解析には、Primer Ver.6.1.6(Primer-E Ltd.)を用いた。はじめに、局所局時的な強酸性などによる極小密度な検体を除いたうえで、分類群を「目」水準の 15 カテゴリーに集約した。続いて、それぞれの個体数密度を 4 乗根変換した変数をもとに、地点間の類似性を表す similarity index S17(0-100%)を求め、クラスター解析と NMDS(Non-metric Multi-Dimensional Scaling)を実施して、地点間の群集構造の類似性を可視化した。

## 3. 結果と考察

自然湖下流の王滝川(OutA)で最高密度(891 $\pm$ 471 個体), かつ, 最多種数を示したが(50 $\pm$ 9), 2015 年 9・10 月濁川と流入後の王滝川(OutB)(同年 11 月)で少なく(5 個体未満), 2016 年 8 月濁川, 9 月濁沢川, 12 月王滝川(OutB, C)と 2017 年 8 月の濁川で低密度(10 個体未満)であった。濁川では、2015 年 11 月にやや回復し(21 $\pm$ 7 個体), 噴火前の記載種が再確認されたことから(丹羽:木曾谷の魚, 1954), 噴出物流入に伴う強酸化による攪乱からの回復過程にあると示唆される。

図 1 には NMDS による解析結果を 2 次元で示す。図中の A~D は、S17 = 40%を閾値として区分され、火口に近い濁川水系上流地点で構成される A, 噴火影響の少ない B, 噴火後の回復途上が含まれる C と牧尾ダム下流の D に類型化された。火山活動とダム貯水池により、群集構造に一時/局所的に変異が生じている様子が見受けられた。

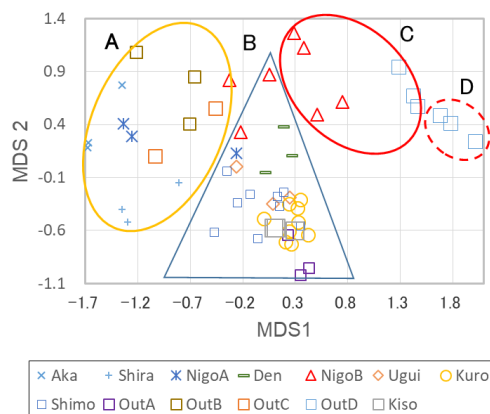


図 1 NMDS による底生動物群集の解析 (2D Stress : 0.16)

## 湧水の影響を受けた河川水の特

\*宇佐見亜希子・田代喬（名古屋大・減災セ），松本嘉孝・江端一徳（豊田高専・環境都市）  
谷口智雅（三重大・人文），八木明彦・岩月栄治（愛知工業大・工学）

## 1. はじめに

御嶽山南麓を流れる王滝川は、牧尾ダムの設置により遮断され、導水管を通り木曾ダム貯水池へ運ばれる。そのため、牧尾ダム直下から御岳発電所放水口までの約3kmの王滝川は減水区間となり、この減水区間内の河川水はそこに存在する湧水あるいはその両岸から流入する支川により形成される。洪水吐ゲートからの放流は、2018年、2019年、2020年でそれぞれ1,296時間（54日分）、576時間（24日分）、1,392時間（58日分）であり、年間を通して牧尾ダム直下へ放流される頻度は少なく、減水区間の水環境は安定している。

牧尾ダム直下は、複数地点より湧水とガスが噴出しており、このような水環境は日本の温泉地で確認され、成分分析や形成過程の研究は進んでいる。しかし、この水環境が引き起こす下流への影響について調査した研究は少ない。牧尾ダム（王滝川）は愛知用水として利用されているため、この水環境が下流にどの様に影響を与えているのかを求めることは重要である。本研究の目的は、河川水中の成分を測定し特異的な水環境の水質特性と下流への影響を把握することで、用水の源水を担う王滝川の水質管理への貢献、観光資源や環境教育の活用の一助にすることである。

## 2. 材料と方法

2019年9月～12月、2020年8月、10月、12月に調査を実施した。現地で、水温、pH、電気伝導度、DO、硫化水素の測定と流量観測をした。実験室でRpH（採水した試料水をビーカーに入れ15分間曝気）、アルカリ度、栄養塩（硝酸態窒素、亜硝酸態窒素、アンモニア態窒素、りん酸態りん）の測定、主要成分分析（ICP発光分光分析装置：SHIMADSU：ICPE9000（平成24年度文科省私大研究設備整備費等補助金））、ガス成分分析を実施した。

## 3. 結果と考察

牧尾ダム堰堤から200m下流でまでのpHについて、湧水を源水とする表流水（王滝川）のpHは4.8～5.5を示し、弱酸性であった。支流はpH7であった。湧出ガス成分の96～98%がCO<sub>2</sub>であったこと、表流水の硫酸イオンや硝酸イオンは低濃度、塩化物イオンではNaの存在があったことから、酸性の要因はCO<sub>2</sub>過剰溶解によるものと考えられる。RpHについては、支流は約7.2であったのに対し、表流水は8.0と弱アルカリ性であった。酸性水により鉱物からNaやCa等の成分が溶解しアルカリ性の水質が形成されたと考えられる。この水環境下では、CO<sub>2</sub>脱気によりpH5.5から8.0へ大幅に変化する水質であり、また、高濃度の金属イオンが溶解しているため、水生生物の生息が困難であることが推察される。

御嶽発電所放流後までの約3km間の流程に沿った変動をみると、堰堤より0.5km下流から1.3kmにてpHが7へ徐々に上昇した。これは、流れの擾乱によるCO<sub>2</sub>脱気、支流による希釈、付着藻類の光合成によるものと考えられる。一方、1.5kmあたりに牧尾ダム直下と類似したCO<sub>2</sub>ガス湧出地帯が広がっており、pHは下がったが下流に行くに従いpHは再度上昇した。御岳発電所放流後では、pHとRpHの差は小さく、湧水により形成された王滝川河川水がこの地点で発電所放流水により大幅に希釈され、湧水の影響は小さくなることが明らかとなった。

## 謝辞

（独）水資源機構牧尾管理所には調査の便宜を図っていただき、（一財）東海技術センター坪井秀樹様には湧出ガスの成分を分析していただいた。JSPS 科研費19H04318（代表：田代喬、2019-2022年度）とWEC 応用生態研究助成（代表：宇佐見亜希子、2020-2021年度）の助成を受けて実施された。ここに記して謝意を表す。

O-B08

火山山麓河川の陸水環境

総合討論

9月21日(火), B会場

一般講演

O-B09~O-B13

## 1. はじめに

生物生産の盛んな湖沼では夏期に底層の貧酸素化（本研究では  $DO \leq 3\text{mg/L}$  と定義）が進行しやすい。この貧酸素化は底質からのリン溶出を促進させ、富栄養化に正のフィードバックをもたらす。特に浅い湖沼では富栄養化の主な原因であるリン外部負荷量を減らしても、このリン溶出により水質改善に遅延が発生した例もある（Søndergaard et al., 2013）。長野県の諏訪湖では、少なくとも 1970 年代の夏期より湖底層の貧酸素化が確認されている（長野県衛生公害研究所, 1975；宮原, 2018）。このように夏期の諏訪湖では底質からリンが溶出しやすい環境であるにも関わらず、2000 年以降、湖水中リン濃度の季節変動がほとんど見られず、環境基準値（ $50\mu\text{g/L}$ ）前後で推移している。

諏訪湖における近年の湖水中リン濃度の低下はリン外部負荷量の減少だけではなく、湖内リン動態の変化によるものではないかと考え、本研究では諏訪湖の底質、底質直上水、沈殿物のリン・鉄濃度、およびこれらの動態に影響を与える溶存酸素濃度（DO）・酸化還元電位（ORP）の測定を行った。

## 2. 材料・方法

2019 年 5 月から 2020 年 5 月まで諏訪湖湖心（水深約 5.8m）にてコアサンプラーで底質を採取した。コア試料は持ち帰り、底質直上水を取り除いた後、0-4cm、4-8cm の 2 層に切り分け、遠心分離したものを分析に供した。底質および水深 5m にて採取した新生沈殿物は CDB, NaOH, HCl を用いたリンの連続抽出を行い（小松ら, 2009）、モリブデン青-アスコルビン酸還元吸光度法にて各画分に含まれるリンを定量した。底質直上水は全リン濃度を測定した。また、試料採取と同時に湖底層の溶存酸素濃度と酸化還元電位を測定した。さらに、諏訪湖の水温に関して、40 年余の観測値の解析も行った。

## 3. 結果・考察

底質の全リン濃度は 1 年を通して  $2000\mu\text{g/g}$  前後

と季節変動がほとんど見られず、リン溶出は確認できなかった。一方、新生沈殿物の全リン濃度は春から夏にかけて上昇し、易溶出性の CDB 無機リンの割合が増加する傾向が見られた。また、沈殿物中の鉄濃度も夏期に高くなっていた。底質直上水の全リン濃度は  $54\text{-}325\mu\text{g/L}$  で推移していた。表層水のリン濃度は  $32\text{-}63\mu\text{g/L}$  で推移しており（信州大学、未公開データ）、底質直上水よりも低かった。夏期における諏訪湖の底質直上は還元的（ $\text{ORP} < 0\text{V}$ ）な環境であったが、湖底から数十 cm 上層の水深 5m は貧酸素ではあるが酸化的（ $\text{ORP} \geq 0\text{V}$ ）な環境であった。

新生沈殿物に含まれるリン濃度の変化や直上水と表層水のリン濃度の差、水深 5m 付近における酸化還元状態の変化から、現在の諏訪湖では夏期になると底質直上湖水の貧酸素化により底質からの鉄の還元に伴ってリンが溶出するが、水深 5m 付近で鉄が酸化されリンを吸着し、再び沈殿するというリン循環が生じていることが示唆された。湖底層でリン循環が生じるため底質のリン濃度に年間を通じて大きな変化が見られず、表層水のリン濃度が低く保たれていると考えられた。さらに、水温の長期的なデータから夏期における表層水温が年々上昇し、底層水温との差が増加する傾向が見られた（図 1）。かつては水温成層が現在ほど明確ではなく、湖の鉛直混合が容易に生じ、底質から表層水へリンが回帰しやすかったが、近年では夏期の水温成層が強固になり鉛直混合が阻害され、このような湖底層でのリン循環が形成されるようになったと考えられた。

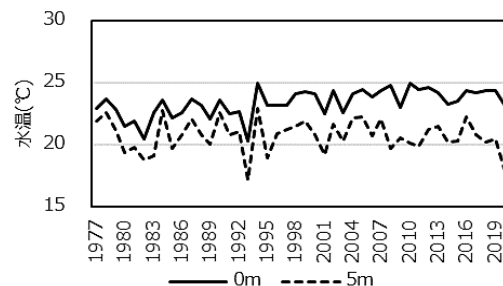


図 1. 夏期(7-9 月)の諏訪湖における平均水温の経年変化(1977 年 - 2020 年)

\*片桐知咲, 菅原庄吾, 朴紫暎, 江川美千子 (島根大院・自然)  
清家泰 (島根大 EsReC)

## 1. はじめに

メタンは二酸化炭素に次いで地球温暖化に及ぼす影響が大きい温室効果ガスである。世界の平均メタン濃度は18世紀半ば(平均0.72 ppm)から年々増加しており、2019年には約1.88 ppmとなった。メタンの発生源は人為起源と自然起源に分けられ、自然起源には湿地や池、水田、貯水池等からの放出がある。

水圏では、水質・底質悪化が進行すると、微生物による還元反応が順に起こる。淡水域は硫酸イオンの濃度が低いためメタン生成が起こりやすいのに対し、汽水・海水域は海水由来の硫酸イオンが高濃度で存在するため、硫酸還元が卓越する。よって、汽水・海水域におけるメタン生成は、一般的に起こり難いとされている。

メタンは、メタン生成菌により酢酸等の有機物を基質として生成される。このメタン生成は微生物的還元過程の最終段階に位置することや、メタンの化学的性質から、メタン濃度は湖の水質悪化の指標として用いることができる。そこで本研究では、宍道湖・中海におけるメタンの生成・放出について調査を行った。

## 2. 方法

調査は宍道湖湖心、宍道湖湖岸(鹿園寺)、中海湖心、中海浚渫窪地(彦名沖)で行った(Fig. 1)。

### ① 湖水中の溶存メタンの定量

バイアル瓶に湖水を満たし、ブチルゴムとアルミキャップを用いて密栓した後、ホルマリンを添加して実験室に持ち帰った。そのバイアル瓶にN<sub>2</sub>ガスを注入して気相を作成し、気相中のメタン濃度をFID-GCを用いて測定した。

### ② 大気へのメタンの放出速度(フラックス調査)

チャンバーを湖面に浮かべ、経時的にチャンバー内の気体を真空バイアル瓶にとった。その採取して気体に含まれるメタンをFID-GCを用いて測定した。その値から時間当たりのメタン放出速度を算出した。

## 3. 結果

2021年7月16日に宍道湖・中海で調査を行った。その結果、宍道湖湖心と中海湖心の湖水中からはメタンはほとんど検出されず、大気への放出もごくわずかであった。一方、中海浚渫窪地では湖底付近の湖水中から約70 ppmのメタンが検出された。さらに同地点の堆積物を柱状に採取し、堆積物中に含まれる気泡中のメタンを調べたところ、その濃度は約20万~70万 ppmであった。

また、2020年9月9日に宍道湖湖岸で調査を行った。その結果、水深がわずか数十cmしかない宍道湖の湖岸において、湖水中から100 ppmを超えるメタンが検出され、さらには湖水から大気へのメタンの放出も確認された。

## 4. 考察

中海浚渫窪地では、塩分躍層の形成により躍層以深で溶存酸素が消費されたことで、湖底でメタンが生成され、湖水中に溶存したと考えられる。

また、宍道湖湖岸では、多量の水草類が堆積していたことから、水草類の腐敗によってメタン生成が促進されたことが示唆された。そして、フラックス調査により得られたメタン放出速度は、2008年に北海道の網走湖で調査された年平均フラックスよりも高いことが分かった。

以上より、一般的にメタン生成が起こり難いとされている汽水湖でも、条件さえ整えばメタン生成が起こることが分かった。さらに宍道湖湖岸では、水草類の腐敗によりメタン生成が促進され、大気への放出も確認されたことから、地球温暖化対策の観点から水草類の対策も必要である。

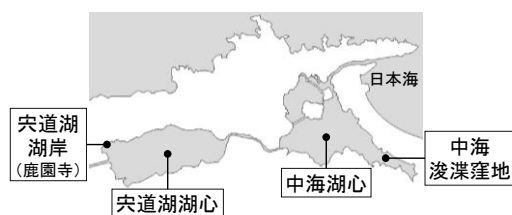


Fig. 1 サンプルングポイント

## 冬季の琵琶湖水における窒素循環構造の変化

\*石橋 孝晃 (京大・情報), 大手 信人 (京大・情報), 尾坂 兼一 (滋賀県大・環境)  
木庭 啓介 (京大・生態研), 中村 高志 (山梨大・ICRE), 西田 継 (山梨大・ICRE)

## 1. はじめに

水域生物にとって窒素は必須の元素である。しかし水域に多量の窒素源が供給されると富栄養化が起き、それによる水質悪化が誘発され水生生態系、人間の活動に悪影響を及ぼす。このことから生態系を適切に保つためにも水域の窒素化合物量を適切に保つことが重要である。近年、地球温暖化の影響で世界の様々な湖沼で成層構造が変化しており、成層構造の変化は栄養塩動態にも影響を及ぼすとの報告がある(North et al., 2014)。本研究の調査地である琵琶湖は日本最大の湖沼であり、その窒素動態は主に内部循環によって制御されている(Tsunogai et al., 2018)。近年、琵琶湖においても全循環が確認されない年があるなど水循環過程が大きく変わりつつあり、湖水の循環が窒素循環に与える影響を明らかにする必要がある。そのためには長期的、全層での経年変動を分析し、循環の強弱を含めた窒素動態を解析する必要があるが、数年間、全層の窒素動態について解析した研究は非常に少ない。そこで本研究は6年間の調査データを用いて琵琶湖水における窒素動態を解析し、気象条件や循環状態にどのように影響されるかを考察することを目的とした。

## 2. 材料と方法

本研究では琵琶湖北湖第一湖盆(水深約90m)の14深度において、2015-2021年の間、湖水を1-2ヶ月に一回採取、同時にCTDで水温、DO、chl.fluを測定した。採取した試料からは各種窒素化合物濃度、 $\delta^{15}\text{N}_{\text{DN}}$ 、 $\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$ を測定した。また測定した濃度、 $\delta^{15}\text{N}$ と琵琶湖の各深度別面積より湖水全体に含まれる各種窒素化合物量、 $\delta^{15}\text{N}$ を計算した。

## 3. 結果

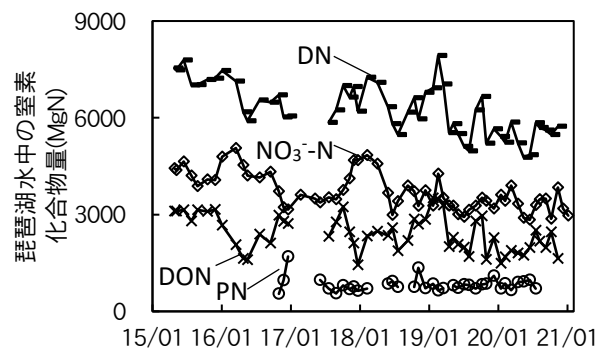
図に結果を示す。図よりDN量は長期的に減少していることを示した。DNは $\text{NO}_3^-$ とDONが大半を占めていることからDN量の季節的、長期的な変動傾向を明らかにするには $\text{NO}_3^-$ 量、DON量の季節変動を明らかにすることが重要である。 $\text{NO}_3^-$ 量は秋~冬に増加し、春~秋にかけて減少する傾向を示し、DONはその反対の季節変動傾向を示した。PN量は

主に6月と11月頃に大きく増加し、また減少する傾向を見せた

## 4. 考察

DNが増減する要因として、内部循環の他に外部流入、内部負荷が考えられる。外部流入として河川からの流入、内部負荷として湖底からの溶出が考えられる。河川水の $\text{DON}$ 、 $\text{NO}_3^-$ -N濃度は琵琶湖水の $\text{DON}$ 、 $\text{NO}_3^-$ -N濃度より高く流入水は湖水の $\text{DON}$ 量、 $\text{NO}_3^-$ -N量を増加させる。また湖底からは $\text{NH}_4^+$ -Nが供給されるため(Osaka et al., submitted)、 $\text{NH}_4^+$ -N量が増加し、硝化によって $\text{NO}_3^-$ -N量が増加する可能死がある。しかし湖底からの溶出量は少なく、 $\text{NO}_3^-$ -N変動量を説明できない。以上から秋~冬の $\text{NO}_3^-$ 量増加、 $\text{DON}$ 量減少は内部循環による変動であると考えられる。 $\text{DON}$ が $\text{NH}_4^+$ に無機化、さらに $\text{NO}_3^-$ に硝化される事で $\text{DON}$ が減少し $\text{NO}_3^-$ が生成する。この時生成した $\text{NO}_3^-$ は $\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$ が低いことが知られており、 $\text{NO}_3^-$ -Nが増加する時期に $\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$ が低下していることから内部循環、特に無機化、硝化によって $\text{DON}$ 量が減少、 $\text{NO}_3^-$ -N量が増加したと考えられる。

この $\text{NO}_3^-$ 増加量が変動する原因として全層で水温、PN変化量と $\text{NO}_3^-$ 変化量について一般化加法モデル(GAM)を用いて解析を行った所、PN変化量、水温ともに負の関係性が見られた。これは冬の水温が高い時は植物プランクトンが増加し、 $\text{DON}$ の取り込み量が増加、そのため無機化、硝化量が減少、また生成した $\text{NO}_3^-$ の取り込み量も増加し、結果として $\text{NO}_3^-$ 増加量が少なくなったと推察した。以上より水温の高い年は循環が弱い、起きない事から、今後植物プランクトンの取込みが活発化し、DN量が減少する可能性が示唆された。



図：各種窒素化合物量の経年変動



## 都市の浅層地下水の水質・同位体組成の季節変化 —東京都品川区を例に—

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

### 1. はじめに

日本有数の人口集中地域である東京都品川区北品川・南品川(図1)の浅層地下水を研究対象に、都市の地下水形成に果たす1)降水浸透水,2)水道漏水,3)下水漏水の役割の定量化とその季節変化,また都市の地下水の水質形成プロセスを解明する目的で研究を実施中である。本発表では,2019年1月~2020年2月の同地域の浅層地下水の水質・同位体組成の季節変化について報告する。

### 2. 研究方法

北品川の7本,南品川の3本の井戸(図1;深さ約10m以浅)の浅層地下水を対象に,現地調査・採水を2019年1月,2月,4月,6月,7月,8月,9月,10月,12月,2020年2月に行った。水温,EC,pH,DO,ORP,地下水位を現地で,また主要溶存成分,重金属類,水の酸素( $\delta^{18}\text{O}$ )・水素( $\delta\text{D}$ )安定同位体, $\text{NO}_3^-$ の窒素( $\delta^{15}\text{N}-\text{NO}_3^-$ )・酸素( $\delta^{18}\text{O}-\text{NO}_3^-$ )安定同位体,陰イオン界面活性剤,大腸菌・大腸菌群を実験室で測定した。

### 3. 結果・考察

地下水水質には地点間で明瞭な違いが認められる(図1)。特に,北品川の7地点(地点N2~N6,

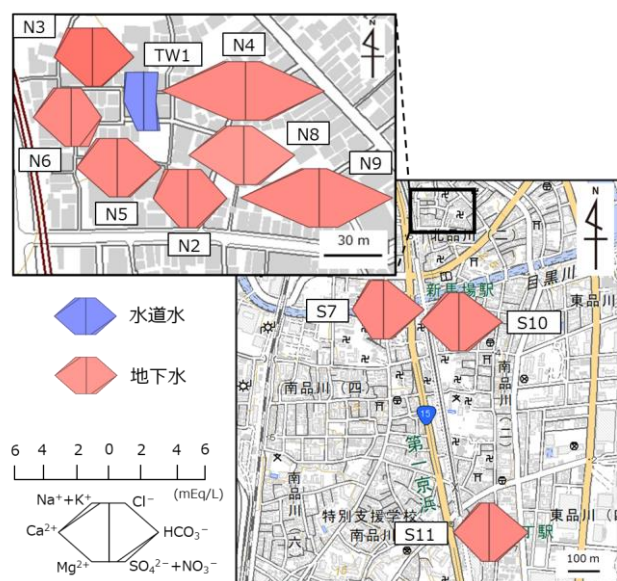


図1: 研究対象地域および地下水水質のヘキサダイアグラム(2019年2月)。基図は国土地理院地図。

N8, N9)は東西約100m,南北約60mという極めて狭い範囲内にあるにもかかわらず,水質の違いが顕著である。さらに,地点N6やS11を除き,地下水の主要溶存成分濃度は季節によって大きく変化する。例えば $\text{NO}_3^-$ は,地点N5では6月,地点N8では8月,また地点S10では4月に濃度が急上昇しており,それぞれの濃度も8.8~19.3 mg/L, 11.1~32.8 mg/L, 4.8~24.6 mg/Lと著しい季節変化を呈する(図2)。同様に,水や $\text{NO}_3^-$ の同位体組成も,極めて幅広いレンジの値を示した(例えば, $\delta^{15}\text{N}-\text{NO}_3^-$ ; 4.8~25.1‰,  $\delta^{18}\text{O}-\text{NO}_3^-$ ; -3.5~32.6‰)。このように,年間を通じて水質や同位体組成が大幅に変化しているのは,地下水涵養に果たす降水浸透水,水道漏水,下水漏水の役割(相対的重要性)が季節によって大きく変わることの一義的な原因があるものと推定される。一方,ほぼ全地点の $\delta^{15}\text{N}-\text{NO}_3^-$ と $\delta^{18}\text{O}-\text{NO}_3^-$ は,夏期・冬期を問わず年間を通じて脱窒の進行を示す $\delta^{15}\text{N}:\delta^{18}\text{O}=2:1$ の直線(Kendall and Aravena, 1999)に沿ってプロットされる。このような脱窒の発生と進行の,季節ならびに地点間での違いが,研究対象地域の浅層地下水の水質形成に副次的影響を及ぼしているものと考えられる。地点N2では2019年2月,10月を除いて $\text{NO}_3^-$ は検出されなかったが,これは脱窒の著しい進行の結果と見なしうる。DOやORPの測定値とも整合的である。

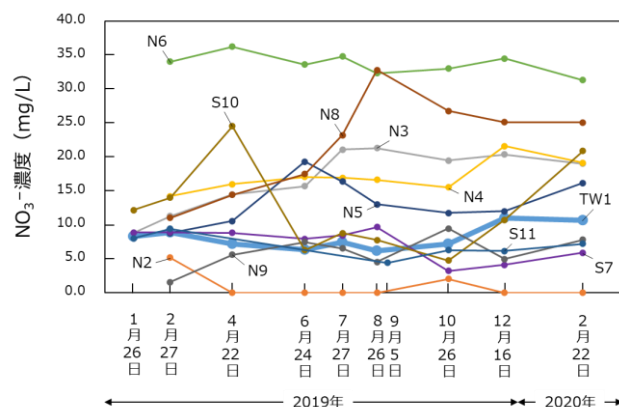


図2:  $\text{NO}_3^-$ 濃度の季節変化(2019年1月~2020年2月)。地点番号は図1のそれに対応。

## Mussel-distribution Estimation Using High-resolution Sonar Images with Deep Learning

\*趙 帆, 水野 勝紀, 多部田 茂 (東大・新領域)

麻山 賢人, 速水 裕樹, 藤本 泰文, 嶋田哲郎 (伊豆沼財団)

reaches 94.45%, which ensures the reliability of the mussel's investigation. Figure 3 shows the predicting results of field survey data.

### 1. Introduction

The mussel (*Cristaria plicata*) is an aquatic bivalve mollusk that inhabits the sediment of freshwater lakes or wetlands. In Japan, the mussel is widely used to remove impurities and improve water quality, performing essential ecosystem functions and services to humans [1]. For unknown reasons, the population of endangered species mussel *C. plicata* in Lake Izunuma has sharply decreased in recent decades. Conventional survey methods (e.g., surface surveys using optical video cameras and divers) are affected by the transparency and depth of the water. The previous quadrat survey for mussel distribution was limited by time-consuming and required many labor resources. A new observation method of mussel distribution was proposed in this study; the acoustic video camera was applied to map underwater topography. The well-trained YOLO (You Only Look Once) model can detect the mussel and classify their status (dead or living) with high accuracy.

### 2. Materials and Methods

A series of field surveys were conducted in Lake Izunuma. Our field observation system equipped with ARIS (Adaptive Resolution Imaging Sonar, Sound Metrics, Bellevue, WA, USA) can scan the underwater topography with an efficiency of 1,400 m<sup>2</sup>/h. As Figure 1 shown, the collected acoustic data were constructed into a map after image mosaic operation. Before the field survey, some mussel samples were set with different postures to simulate their status in the sample experiments. Figure 2 shows the acoustic images of living (right) and dead (left) mussels; the living mussel was partially buried in the sediment and has a strong acoustic reflection from the outer shell [2]. The dead mussel always exposed its whole body on the lake bed and with a larger acoustic reflection area.

### 3. Results

The YOLO model was applied to mussel detection and classification [3]. The training data set including 910 labelled images from sample experiments and field surveys. After the training and verification, the mAP

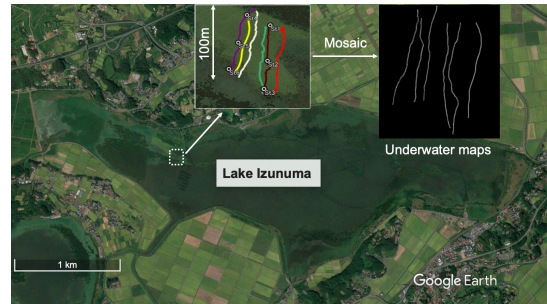


Fig.1 The field survey routes and underwater maps

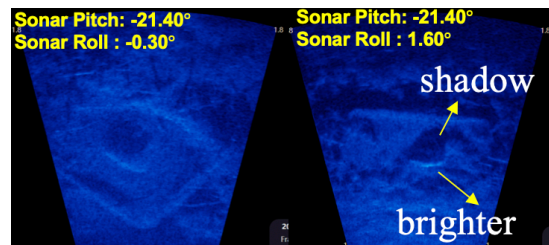


Fig.2 The acoustic images of sample mussels

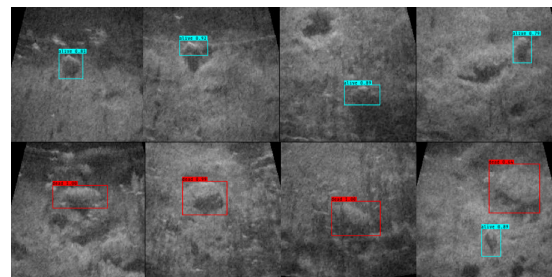


Fig.3 The predicting results of field survey data; the blue boxes mean living mussel, red mean dead mussel.

### 4. Discussion

The acoustic survey makes it possible to efficiently investigate the distribution of mussel in high turbid water, contributing to the conservation of *C. plicata*. In the future, we are planning to explore the factors affecting mussel's distribution.

### References:

- [1] Aldridge DC, et.al, (2007) Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems 17: 554–564.
- [2] Pacific Northwest Freshwater Mussel Workgroup. <https://pnwmussels.org/about-freshwater-mussels/>
- [3] Redmon, J., et al. (2016) CVPR. IEEE.

9月22日(水), A会場

一般講演

O-A17~O-A38

## Multi-Shot Pyrolyzer GC/MS を用いた琵琶湖底質中有機成分の特性解析

\*井上和樹 (京工織大院・工学), 布施泰朗(京工織大・環境科学セ)  
早川和秀, 山口保彦(滋賀県琵琶湖環研)

### 1. はじめに

近年、琵琶湖北湖では地球温暖化の影響により成層期が長期化し、湖底の低酸化の発生頻度が増加している。2019-2021 年は観測史上初全層循環不全に陥り、2021 年冬に回復した。今後、琵琶湖の湖底環境が大きく変化する過程において物質循環を解析するために重要となる底質中化学成分の短期的な動態を捉える手法が必要となる。

Multi-Shot Pyrolyzer は熱脱着、熱分解、発生ガス分析 (Evolved Gas Analysis : EGA) 法など様々な手法で有機成分を解析することが可能である。EGA-MS 法は、熱分解炉の昇温加熱により試料から発生するガス成分を、分離カラムを介さずに質量分析計に導入することでサーモグラムを得る熱分解分析の手法の一つであり、試料の熱脱着・分解特性解析の基本となる分析法である。

本研究では、EGA-MS 法で底質の情報を得るとともに、熱脱着(TD)成分と熱分解(PY)成分を分離測定できるダブルショット(DS)Py-GC/MS 法及び元素分析法を組み合わせた解析を実施することにより、EGA-MS 法で捕らえられる試料間の相違の要因を明らかにすることを目的とした。

### 2. 材料と方法

2018 年 10 月, 2019 年 1 月, 3 月, 7 月に琵琶湖北湖今津沖中央 (St. 17B、水深 89 m) において、不攪乱採泥器及び浮泥捕集システムを用いて底質コアを堆積層深度別 (Layer 1: 0-1 cm, Layer 2: 1-2 cm, Layer 3: 2-4 cm, Layer 4: 4-10 cm, Layer 5: 10-20 cm) に採取した。得られた試料は遠心分離器 (3000 rpm、20 min) により間隙水と底質試料を分離した。底質試料は送風乾燥し、その後テフロン乳鉢を用いて粉碎し、底質粉末試料とした。この試料を用いて EGA-MS 法による分析を行った。15 °C/min で 150 °C から 600 °C まで昇温させ、発生する熱脱着ガスと熱分解ガスを直接質量分析計に導入し、得られたサーモグラムを解析した。DS/Py-GC/MS 法による試料の分析を行い、TD : 150-390 °C 及び PY : 390-600 °C の各温度領域画分について評価した。底

質粉末試料中化学成分は、固体 TOC 分析及び蛍光 X 線分析法を用いて評価した。

### 3. 結果と考察

Fig. 1 に EGA-MS 法による底質試料の堆積層深度別サーモグラムを示す。355 °C と 470 °C に極大値が確認され、150-390 °C の熱脱着成分と、390-600 °C の熱分解成分で底質が主に構成されていることが示唆された。また 355 °C のピークで脂肪族炭化水素に由来する m/z 69 などが高く検出された。470 °C のピークでは、特に芳香族炭化水素に由来する m/z 91 が高く検出された。DS/Py-GC/MS 法では、Fig. 2 の TD と PY の合計ピーク強度の面積比が約 1:1.2 であり、EGA-MS 法の 150-390 °C 領域と 390-600 °C 領域の面積比と良い一致を示した。また、採取時期毎の底質試料を EGA-MS 法で分析し、その変化から琵琶湖環境の変化を考察した。

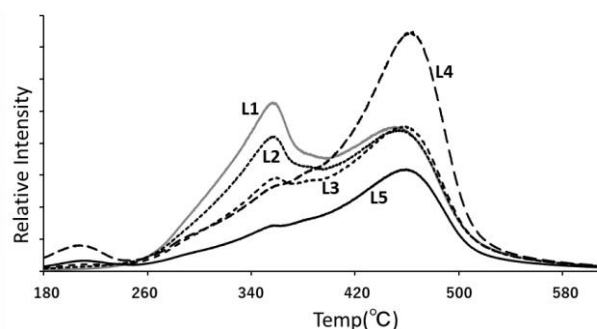


Fig. 1 EGA-MS 法による堆積層深度別底質粉末試料の TIC サーモグラム (2019 年 1 月採取)

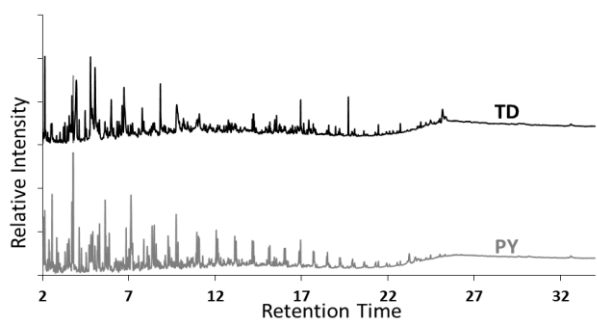


Fig. 2 DS/Py-GC/MS 法による底質粉末試料の TIC パイログラム (2019 年 1 月採取)

## 貧酸素水塊の広域観測

\*石川俊之（滋賀大・教育），合田幸子（京都大・生態研セ），  
赤塚徹志（京都大・生態研セ），後藤直成（滋賀県大・環境科学）

## 1. はじめに

琵琶湖は、従来1回循環湖とされてきたが、2007年に冬期循環が3月まで遅れるなど循環様式の変化が危惧されていた。すでに報道されているように観測史上初めて2019年・2020年と琵琶湖では冬期循環がおこらなかった。

冬期循環の停止は溶存酸素濃度の顕著な低下をもたらすと考えられるが、その影響を議論するには、まず貧酸素水塊の継続期間や広がり把握する必要がある。県行政が比較的深い定点で高頻度な観測を行い時間変化について把握しているが、広がりには十分把握できていない。

そこで、2019年・2020年の9月・11月の計4回の多地点調査を実施し、溶存酸素濃度の低下した貧酸素水塊の広がりを明らかにするとともに、水温など他の観測値との関連を検討することとした。

## 2. 材料と方法

2019年、2020年のそれぞれ9月・11月に琵琶湖北湖に設けた88の定点において、鉛直プロファイラーを用いた調査を行った。調査は、滋賀大学、滋賀県立大学、京都大学の調査艇3艇が実施し、全地点を数日間で観測をするようスケジュールした。

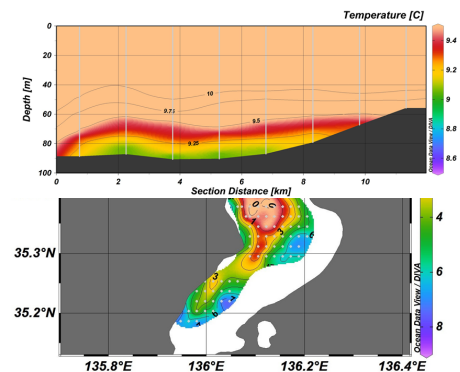
調査では3艇で異なる型式の鉛直プロファイラーを用いた。このうち、隔膜式の溶存酸素センサーは、応答速度と安定性にやや劣るため、プロファイルはリアルタイムデータを確認し、変化が大きい層では投下速度をきわめて遅くして取得した。また、安定性を確保するため、飽和水を用いて100%値を毎回確認して投入した。さらに、器差の影響をみるための同一地点の観測を適宜おこなったところ、湖底のデータで最大1mg/L程度の誤差であった。

得られた鉛直プロファイルデータから、濁度と電気伝導度の外れ値が出る水深を着底したもののみ

なして水柱のデータとした。

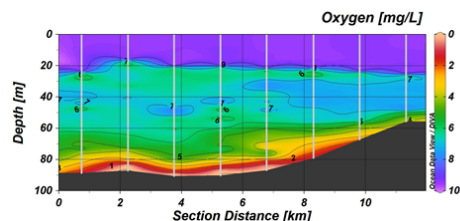
地点ごとのデータはOceanDataView5.4.0 (ODV: Schlitzer, R) を用いて集計し図示した。格子補間のアルゴリズムはODV内蔵のDIVAを用いた。

## 3. 結果と考察



計4回の観測から、貧酸素水塊の広がりを確認することができた。下の平面図は2020年11月の湖底近傍の溶存酸素濃度から作図したもので、今津・長浜間に無酸素に近い観測値がみられている。2020年11月の今津・長浜間の断面図データ（下図：単一のプロファイラー使用の断面）からは、貧酸素水塊が、水深にそって平行になるとは限らず、やや浅い水域まで広がること示された。

貧酸素水塊の広がりは、水温の広がりと同様のパター



ンを示していた。湖底での大きな酸素消費を反映しただけでなく、湖底付近の流動の影響を受けて貧酸素水塊の広がりが形成されたものと考えられた。

\*石川可奈子・井上栄壮・焦春萌（滋賀県・琵琶湖研セ）

## 1. はじめに

近年、気候変動および温暖化の影響により、琵琶湖では全層循環の遅れや未完了が生じるようになった。そして、深湖底では貧酸素の長期化や貧酸素水域の拡大が深刻化している。琵琶湖は日本で最も大きな湖であるとともに古代湖でもあり、深湖底には、ここにしか生息しない固有種も存在するため、それらの生物の生息環境の縮小および消滅が懸念されている（石川ら、2019）。

滋賀県琵琶湖環境科学センターでは、貧酸素化に伴う生物への影響を調査している。貧酸素水塊の形成により生物の死亡個体はしばしば発見されてきたが、生物の個体群としての影響は、生物調査のデータ数が少なく、これまで十分に評価できなかった。そこで、2012年度よりROV（有索型水中ロボット；写真1）を導入し、底生生物を定量的に把握するためのモニタリングを実施してきた。

ここでは、ROVでのモニタリング結果を中心として、近年の琵琶湖深湖底の貧酸素化が底魚を含む底生生物に及ぼす影響について発表する。



写真1 底生生物モニタリング用に下方カメラを搭載したROV

## 2. 方法

琵琶湖北湖水深50m以深の3~5定点（図1）において、2012年より2ヶ月に1回（2012年度と2013年度は月1回）の頻度でROVによる映像を各定点30分程度撮影した。ROVは、QI社製DELTA150Zの標準装備で有する前方カメラの他に底生生物モニタリング用に下方カメラ（SONY CX-180）を搭載した。下方カメラの画像には2点のレーザーポイントでスケールを表示できる。得られたビデオ画像は、

各地点30枚程度を時間間隔で抽出し、その中に映り込む生物を目視で計数した。

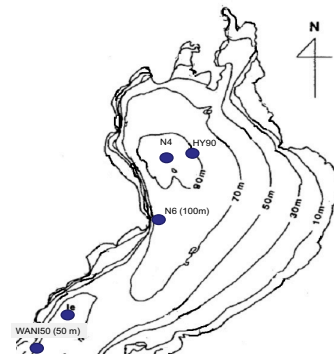


図1 ROVによる調査地点

## 3. 結果・考察

アナンデルヨコエビは、3~5地点の平均生息密度の年最大値が、2012年度から2020年度の期間において、2017年度に最大で1621個体 $m^2$ であり、2020年度に最小で50個体 $m^2$ であった。9年間の平均値は、 $687 \pm 206$ 個体 $m^2$ であった。

ピワオオウズムシは、3~5地点の平均生息密度の年最大値が、2012年度から2020年度の期間において、2013年度に最大で34個体 $m^2$ であり、2020年度に最小で6個体 $m^2$ であった。9年間の平均値は、 $23 \pm 3$ 個体 $m^2$ であった。

スジエビは、3~5地点の平均生息密度の年最大値が、2012年度から2020年度の期間において、2013年度に最大で52個体 $m^2$ であり、2015年度に最小で11個体 $m^2$ であった。9年間の平均値は、 $23 \pm 4$ 個体 $m^2$ であった。

イサザは、5地点の平均生息密度の年最大値が、2012年度から2020年度の期間において、2013年度に最大で16個体 $m^2$ であり、2012年度に最小で1個体 $m^2$ であった。9年間の平均値は、 $8 \pm 2$ 個体 $m^2$ であった。

2018年度、2019年度の琵琶湖全層循環が2年にわたり未完了であったため、2020年8月~12月には3ヶ月にわたり湖底直上DOが $2mg L^{-1}$ 未満の水域が拡大した。2020年度のアナンデルヨコエビ、ピワオオウズムシの生息密度の減少は、このことが影響した可能性が高いと考えられる。

\*管原庄吾・片桐知咲・朴紫暎・江川美千子（島根大）・  
清家泰（島根大 EsReC）

### 1. はじめに

汽水・海水域の表層水が白濁する要因の一つとして、青潮の発生が挙げられる。青潮とは、硫化水素を含む底層の無酸素水塊が浅場に一気に湧昇し、単体硫黄の形成により水面が乳白色を呈す現象である。青潮は、東京湾や三河湾等で頻発しているものの、宍道湖で青潮発生記録が残っているのは、2012年の1度だけである。

2018年の夏頃から、宍道湖の湖岸やシジミ漁師の船着き場内の湖水が一時的に白濁するとの情報が入るようになった。また、表層水のDOがほぼゼロだったことから、青潮が発生した可能性が考えられる。そこで本研究では、宍道湖の湖岸が白濁した要因を確かめるため、宍道湖の湖岸の観察、および白濁した水を分析することによって、その原因を確かめることを目的とした。

### 2. 材料と方法

宍道湖の湖岸が白濁する時期や場所を把握するため、2019年の6月から月1~5回の頻度で宍道湖湖岸の観察を行った。その観察結果から、白濁が何度もみられた場所を中心に、25地点の水質調査を行うこととした。

硫化水素は、試料を直接ガラスシリンジに採水し、シリンジからシリンジに直接濾過した。そのろ液に酢酸亜鉛溶液を添加して実験室に持ち帰り、塩酸と発色試薬を順に添加して、667 nmにおける吸光度を測定した。単体硫黄は、湖水をろ過して単体硫黄をろ紙上に濃縮し、実験室に持ち帰った。その後、有機溶媒を用いてろ紙から単体硫黄を抽出し、J. K. Bartlett and D. A. Skoog(1954)の方法を用いて単体硫黄を定量した。

### 3. 結果

ロードバイクを使って宍道湖の湖岸を観察していたところ、湖岸から強烈な悪臭を感じた。その湖岸には、水草類が打ち上がって腐敗し、また、小規模ではあるが湖面が白濁しているのを確認した(Fig. 1)。白濁した湖水を分析した結果、0.8 mgS/Lの硫

化水素と0.2 mgS/Lの単体硫黄を検出した。同地点を継続して観察したところ、水草類が打ち上がっていないときや冬季には白濁はみられず、硫化水素と単体硫黄の濃度は、それぞれ定量下限以下であった。また、宍道湖で採取した水草と宍道湖湖水をビーカーに入れて、屋外に放置した結果、溶存酸素は開始直後からゼロとなり、2日後には約1 mgS L<sup>-1</sup>の硫化水素を検出した。

### 4. 考察

白濁した湖水を採水し、単体硫黄を定量した結果、0.2 mg L<sup>-1</sup>の単体硫黄を検出した。このことから、湖面の白濁は単体硫黄によるものと考えられる。さらに、同じ試料中から硫化水素も検出した。よってこの単体硫黄は、同地点で発生した硫化水素が酸化されて生成したと考えられる。湖岸は、水の交換が起り易いことや、大気から酸素が供給されるため、一般的に嫌気化し難い場所だと言える。しかし、今回白濁していた場所は、水草の腐敗が進行し、一時的に嫌気的な環境を呈していたと考えられる。汽水湖は、淡水湖よりも高濃度の硫酸イオンが存在するため、水質悪化が進行すると硫化水素が生成する。室内実験の結果をみると、わずか2日で硫化水素が検出されたことから、水草が腐敗すると水質悪化が急速に進行することが分かった。硫化水素は生物に対して強毒性を示すことから、硫化水素を浅場で発生させてはならない。したがって、打ち上がった水草を回収するなど、早急な水草の対策が必要である。



Fig. 1 水草が打ち上がった様子

## 大型実験プールを用いた操作実験

\*松崎慎一郎（国環研・生物多様性領域）、高津文人（国環研・地域領域）、土屋健司（国環研・地域領域）、篠原隆一郎（国環研・地域領域）、中川恵（国環研・生物多様性領域）、福森香代子（国環研・生物多様性領域）、山口晴代（国環研・生物多様性領域）、今藤夏子（国環研・生物多様性領域）、角谷拓（国環研・生物多様性領域）

### 1. はじめに

浅い湖沼では、リン等の栄養塩負荷が大きくなると、「水草が卓越する透明度の高い系」から「藻類が優占する透明度の低い系」に突然シフトする（レジームシフト）ことが知られている。富栄養化した湖沼では、藍藻類の大増殖（アオコ）や底層の貧酸素化が見られる。

浅い湖沼を健全な状態へ戻すためには、栄養塩負荷の削減が必要であるが、レジームシフトが起きた負荷量よりもさらに低くする必要がある。しかし、これまで以上に流域からの負荷量を飛躍的に減らすことは難しい場合が多く、対策に非常に長い時間がかかる。別の方法として、水位低下が考えられる。水位を低下させることで、水草が再生する、付着藻類が増加する、大型動物プランクトンが出現することが報告されていることから、生物を介したプロセスによって水質が改善する可能性がある。また、水深が浅くなることで、水温や光の鉛直構造が変わることで底層の貧酸素環境が改善される可能性もある。ため池や公園池において、かいぼり後に水質の改善が見られた例が報告されているが、どのようなプロセスやメカニズムが働いたか不明である。どの程度（時間的にも規模的にも）の水位低下によって水質が改善されるのか、水位の低下によって系の変化が起こるのか、生態系管理に結びつく知見は乏しい。

本研究では、水位低下による底層の貧酸素環境の改善に注目し、大型実験プールに貧酸素水塊を発生させ、水位を低下させる野外実験を行った。栄養塩添加、水位低下に対する底層の溶存酸素濃度の変化を詳細に明らかにするため、ロガーを用いて高頻度で観測を行った。

### 2. 材料と方法

2020年、国立環境研究所霞ヶ浦臨湖実験施設にある大型実験プール（10m×30m×水深約2.6m）1面を用いて操作実験を行った。表層から50cm、底層から50cmに溶存酸素濃度ロガー（Onset社HOBO U26）を設置して、5

分間隔で溶存酸素濃度と水温を観測した。また、平日の朝と夕方、水温や溶存酸素濃度の鉛直プロファイルも多項目水質センサー（YSI社Pro-DSS）測定した。

6月8日に実験を開始し、6月23日から8月11日の間、平日毎日、少量の窒素とリンを添加し、富栄養化させる操作を行った。その後、8月11日から9月2日まで、毎週40~50cmずつ水位を段階的に低下させた。

### 3. 結果と考察

栄養塩添加により、水中のTP・TN濃度は徐々に上昇した。栄養塩添加をはじめてから約1ヶ月後の7月20日前後から、表層水温の上昇が顕著となり、表層と底層で水温差が見られるようになった。それに伴い、表層で植物プランクトンの光合成により溶存酸素濃度の増加が見られた。一方、底層では、成層と有機物分解により、溶存酸素濃度が低下した。その結果、2mg/Lを下回る貧酸素水塊が高頻度で出現するようになった。

その後、表層から排水する形で水位低下の操作を行った。最初の50cmの水位低下後、1週間で底層の貧酸素水塊は解消され、表層の溶存酸素濃度と同程度となった。水位低下直後から、底層の水温が急激に上昇し、表層との水温差が縮まっていった。その後、夜間に冷やされた表層水（酸素を豊富に含む）が朝方に底層へ移動し、底層水と混合する様子が見られた。以上のことから、水位低下によって、水温の変化を介して表層と底層の混合が起こり、底層の貧酸素水塊が消失したと考えられた。

わずかな水位低下によっても、物理環境の変化によって、底層の貧酸素が比較的速やかに改善される可能性が示唆された。現状の湖沼管理では、水質改善の目的で水位を著しく下げることが難しいが、わずかな水位低下によって水質改善につながる可能性が期待される。今後、さらなる実験と野外での高頻度観測データとの検証を行う予定である。



## 富士五湖、仁科三湖、裏磐梯三湖を対象とした 深水層無機化速度と深水層厚に関する経験式の評価

\*板井啓明, 石水浩喜 (東京大・院理)

### 1. はじめに

湖沼の低酸素化は、富栄養化や、気候変動に伴う湖水循環の変化により顕在化し、世界各地で問題となっている。一旦富栄養化が進行すると、栄養塩流入を制限しても、溶存酸素濃度が元の状態に回復しない事例も多く、その機構解明は環境保全学的に重要である。本現象を定量的に解析する上で、深水層無機化速度 (AHM: aerial hypolimnetic mineralization rate) は重要なパラメータである。AHM は、(1) 底質由来の易酸化性無機物質の酸化 ( $F_{red}$ )、(2) 沈降有機物の分解 ( $F_{om}$ )、の両者を含み、観測に基づく寄与率の推定は不確かさが大きい。 $F_{red}$  の正確な推定は低酸素化の非可逆現象を議論する上で重要である。

一方で、AHM の規制要因を比較湖沼学的に導出する経験モデルの構築も進んでいる。例えば、ETH-EAWAG のチームによるスイス国内の 11 湖沼の調査結果、AHM の変動は深水層の平均的厚み ( $Z_H$ ) でほとんどが説明可能とされている (Muller et al. 2012)。このモデルは単純で応用性が高く、酸素消費機構を評価する上でも示唆的でもある。しかし、気候や形成機構が異なる温帯湖沼への応用性は検証されていない。日本の複数の湖沼について包括的調査を実施すれば、当モデルの応用性評価に貢献できる。本研究では、東日本における複数の中規模湖沼を対象に調査を実施し、EAWAG モデルの応用性を評価することを目的とした。

### 2. 材料と方法

2020 年 8 月に長野県の野尻湖および仁科三湖 (青木湖、中綱湖、木崎湖)、福島県の猪苗代湖および裏磐梯湖沼群 (桧原湖、小野川湖、秋元湖) で底泥および深度別の湖水試料を採取した。また、2021 年 3 月、6 月、8 月には富士五湖を観測点に加え、仁科三湖と裏磐梯湖沼群で採水調査を継続した。採水は、各湖沼の最深部またはそれに近い深度を目的地として設定し、GPS で近傍点に到達したのち、深度計測用ロープを用いて深度を決定した。各深度の水はバンドーン採水器により採取した。底泥は、エクマンバージ採泥器で採取後、2 日以内に遠心分離により間隙水を採取した。水中の溶存酸素はウィンクラー滴定法、微量元素濃度は ICP 質量分析計 (Agilent7700cx, Agilent Technology, Japan) で分析した。溶存 P 濃度は、reaction cell を

用いた ICP-MS/MS 法により分析した。装置は Agilent8800 (Agilent Technology, Japan) を用い、酸素反応モードにより  $m/z = 47$  ( $^{31}P^{16}O^+$ ) を検出した。本手法での定量限界は、 $0.5 \mu\text{g/L}$  であった。

### 3. 結果と考察

先行研究における酸素消費モデルに倣い、湖沼の水温データから  $Z_H$  を算出した。また、面積あたり深水層酸素消費速度 (aerial hypolimnetic oxygen demand: (AHOD)) を、酸素濃度の季節変化データを基に算出した。その結果、顕著な貧栄養湖 ( $TP < 2 \mu\text{g/L}$ ) を除外すれば、 $Z_H$  と AHOD の間に二次式で近似可能な相関関係が認められた。この関係は、スイスの研究グループが現地の湖沼で導出した関係と類似していた。一方で、 $Z_H$ -AHOD から推定される易酸化性無機物質による酸素消費 ( $F_{red}$ ) の寄与は、 $0.1 \text{ gO}_2/\text{m}^2\text{day}^{-1}$  程度であり、スイスでの研究例 ( $0.35 \text{ gO}_2/\text{m}^2\text{day}^{-1}$ ) と比較して低値であった。間隙水分析から推定した Mn と Fe の酸化による潜在的な無機化量は、湖沼間で変動はあるものの、 $F_{red}$  に対する寄与は限定的であった。本研究では、 $F_{red}$  に対するメタンやアンモニアの寄与を考慮していないが、スイスでの研究例ではこれらの影響が大きいことが指摘されている。

今回得られた経験式を用いて、成層開始日からの深水層平均酸素濃度変化を推定すると、経時的に単調減少し、減少速度は  $Z_H$  が大きいほど小さくなる。 $Z_H$  以外で減少速度に大きく影響するパラメータは湖底拡散境界層の厚み ( $\delta$ ) であり、浅層湖沼では風の影響等でこの値が変化すると予想される。パラメータを最適化した結果、仁科三湖は裏磐梯三湖に対して  $\delta$  値が小さいと推定されたが、これは各地の平均的な風速分布からの予測と整合的であった。

本研究により、東日本湖沼の深水層酸素消費速度やその化学機構について、(1) 深水層に基づく深水層の酸素消費速度の概算が有効であること、(2) このモデルの適用範囲が湖沼の栄養状態 ( $P > 2 \mu\text{g/L}$ ) に規制されること、(3)  $F_{red}$  の寄与や湖底拡散境界層の厚みには地域差があり要因解明が将来的な課題であること、が示された。今後、観測する湖沼のバリエーションを増やすとともに、底質からの還元性物質の計測項目を増やすことで、国内湖沼の物質循環研究の基礎知見を提供したい。

\*安野 翔 (埼玉県環境科学国際センター)

## 1. はじめに

水田は、人為的に管理された湿地生態系であるが、元来自然湿地に生息していた水生生物にとって重要な代替生息地、繁殖地として機能している。気候が温暖な関東地方以西では、様々なタイプの水田が見られる。埼玉県では、田植え時期が5月の早植え栽培や6月の普通期栽培の他、裏作として秋から翌年の田植え前まで麦を栽培する二毛作水田も見られる。田面水中の生物群集は、生活史が水田の湛水時期とある程度一致する種が中心になると考えられる。しかし、田植え時期や単作、二毛作といった輪作体系が、田面水中の水生動物群集に対してどのような影響を及ぼすかについては不明な点が多い。本研究では、埼玉県内の同一地域において、早植え栽培(4月末～5月植え)、普通期栽培(6月植え)、米麦二毛作(6月後半植え)の水田にて、田面水中の水生動物群集を比較した。

## 2. 材料と方法

埼玉県加須市内の2地域(志多見、種足)において、田植え時期および輪作体系の異なる合計20枚の水田において調査を行った。水生動物の採集には1mmメッシュのたも網を用い、50cm区間の底引きを20回行った。比較的大型の生物(カエル幼生やドジョウ等)については、現地で種同定と計数を行い、再び水田に放した。それ以外の小型の生物については実験室に持ち帰り、種同定と計数を行った。貧毛類については個体数のみ計数し、ユスリカ科幼虫については亜科レベルまで、それ以外の生物については可能な限り種または属レベルまで同定した。水田内の環境要因として、水温、pH、電気伝導度、水深を測定した。調査は、2020年および2021年の5月から7月にかけて、各水田の田植えから起算して2週間後、4週間後、中干し直前の5～6週間後の計3回ずつ実施した。

水田間で水生動物の群集構造を比較するため、Bray-Curtis指数を用いてPERMANOVAによる重心の検定を行った。なお、群集構造解析のためのデータは、各水田3回分の調査データをプールしたもの

を用いた。

水生動物群集の主要な構成種である肉食性水生昆虫の個体数と分類群数に着目し、水田内の環境(水温、pH、電気伝導度)、餌生物(ユスリカ科幼虫と貧毛類の個体数(常用対数))、田植えからの経過日数を説明変数とした一般化線形混合モデルにより解析した。

## 3. 結果と考察

調査期間を通じて、合計55分類群の水生動物が採集された。PERMANOVAによる解析の結果、水田のタイプ間( $p<0.001$ )および地域間( $p<0.01$ )で有意な差が認められた。ニホンアマガエルとヌマガエルの幼生はいずれの水田においても確認された。一方、トウキョウダルマガエル幼生は、早植え栽培の水田でのみ採集された。本種の繁殖時期は潜在的には4～7月とされているが、調査地域では5月に田植えを行う早植え栽培の水田を繁殖場所として利用していたと考えられる。

早植えおよび普通期栽培の水田では、1回の調査で採集されたユスリカ幼虫の個体数は、最大で642個体だったが、10～200個体程度の場合が多かった。二毛作水田で得られたユスリカ幼虫は、509～2756個体と田植え後の経過日数によって大きく変動したものの、単作水田に比べて高い水準での変動であった。肉食性昆虫の個体数および分類群数の決定要因を明らかにするため、一般化線形混合モデルによる解析を行ったところ、いずれも餌生物(ユスリカ科幼虫と貧毛類)の個体数が多いほど、肉食性昆虫の個体数、分類群数がともに多くなる傾向が認められた(いずれも $p<0.001$ )。二毛作水田では、麦の収穫後に麦藁を土中にすき込むため、麦藁が土壌中で分解されることで、ユスリカ幼虫等が利用可能な餌資源が増加したと考えられる。その有機物がユスリカ幼虫の餌となることで、食物連鎖を通じてより上位の栄養段階に位置する肉食性昆虫までも支えていると推察される。