

*石井伸昌（量研機構），風呂田利夫（東邦大），田上恵子（量研機構）
村上正志（千葉大），大手信人（京大）

1. はじめに

2011年3月に発生した東日本大震災に伴う福島第一原子力発電所の事故により、大量の放射性核種が大気中に放出された。その結果、放射性降下物により環境が汚染された。 ^{137}C は放出量が多く物理的半減期も約30年と長いことから、この核種による人や環境生物に対する被ばくが懸念される。そのため、公衆の安全と安心の観点から ^{137}Cs の環境動態を明らかにすることは重要である。

千葉県北部にある印旛沼は、農業用水、工業用水、および上水道の水源として重要な役割を果たしている。食品中の放射性物質の基準値（100 Bq/kg）を下回るものの、印旛沼で捕獲された魚からは ^{137}Cs が検出されている。魚は水や餌から ^{137}Cs を取り込み、また餌となる生物も水中の ^{137}Cs を取り込んでいる。そこで、水の ^{137}Cs 濃度を調査した。

本発表では、印旛沼で調査した溶存態 ^{137}Cs 、懸濁態 ^{137}Cs 、および総 ^{137}Cs 濃度の経年変化を述べる。さらに、この変化から推定される実効半減期と汚染対策について述べる。

2. 材料と方法

2019年2月から2021年12月にかけて、印旛沼の表層から試料（沼水）を採水した。沼水は実験室に持ち帰り0.2 μm 孔径のフィルターでろ過した。ろ液の ^{137}Cs はAMP法で濃縮し溶存態 ^{137}Cs 試料とした。懸濁態 ^{137}Cs 試料は懸濁物質を凍結乾燥することで得た。 ^{137}Cs の放射能はゲルマニウム半導体検出器で測定し、沼水の放射能濃度に換算した。また、総 ^{137}Cs は溶存態 ^{137}Cs と懸濁態 ^{137}Cs の総和として算出した。

得られた実測値をもとに最小二乗法で放射能濃度の減衰率を、その減衰率から実効半減期を求めた。

懸濁物質（SS）の濃度（mg/L）は、ガラスフィルター（GF75、保持粒径0.3 μm ）上に捕集された試料の乾燥重量とろ過量から求めた。

3. 結果と考察

総 ^{137}Cs 濃度は4.4 mBq/Lから19 mBq/Lの間を

変動しながら減少した。同様に、溶存態 ^{137}Cs は2.1 mBq/Lから9.4 mBq/Lの間を変動しながら減少した。一方、懸濁態 ^{137}Cs の変動幅は1.9 mBq/Lから15 mBq/Lであったが、時間経過に伴う減少傾向は認められなかった。これらの実測値をもとに実効半減期を求めたところ、総 ^{137}Cs と溶存態 ^{137}Cs はそれぞれ28.7年と2.5年であった。経年減少が認められなかった懸濁態 ^{137}Cs については実効半減期を求めることができなかった。以上の結果は、印旛沼の水に存在する ^{137}Cs がこの核種の物理学的半減期と同程度の速度でしか減少せず、長期間に渡って汚染が続く可能性を示唆している。また、溶存態 ^{137}Cs は総 ^{137}Cs の実効半減期と比較して急速に減少していることから、総 ^{137}Cs の減少を抑制しているのは懸濁態 ^{137}Cs であると考えられる。つまり、懸濁態 ^{137}Cs 濃度抑制は、沼水の ^{137}Cs 汚染対策になり得る。

懸濁態 ^{137}Cs 濃度とSS濃度との間には正の相関関係が認められた。SSに収着した ^{137}Cs の濃度は、調査期間を通じてほぼ一定（210 mBq/g-dry SS）であったことから、懸濁態 ^{137}Cs とSSとの関係は単純に沼水のSS量増加が原因と考えられる。SSはフィルター上に捕集された生物および非生物から構成される。SS濃度とクロロフィルa濃度の間には正の相関関係が認められたことから、SS量の増加の原因の一つとして植物プランクトン量の増加が考えられる。つまり、植物プランクトン量が抑制できたならば、総 ^{137}Cs も抑制されることが期待される。一方、植物プランクトンが取り込む ^{137}Cs は溶存態であるため、この抑制は溶存態 ^{137}Cs の減少も抑制する可能性がある。たとえ溶存態 ^{137}Cs が増加したとしてもこの ^{137}Cs は浮遊粘土粒子や堆積物に収着し、最終的には魚等が利用しにくい形態として湖底に沈降する等により沼水から除かれると思われる。

4. 謝辞

本研究はJSPS科研費JP21K05758, JP20H00435の助成、および福島県基金の助成を受けたものです

鉄剤散布による堆積物からの 硫化水素溶出抑制に関する室内実験

*井上 徹教（港空研），萩野 裕基（（株）東京久栄）

1. はじめに

閉鎖性水域において、硫化水素は底層の無酸素化が継続した場合に、嫌気化した堆積物からの溶出により供給される。この対策として、鉄の散布が試みられることがあるが、その効果は硫化水素生成速度との相対的な関係で議論されるべきである (Inoue & Hagino 2022)。そこで本研究では、鉄 (Fe)、酸化鉄 (Fe_2O_3)、酸化水酸化鉄 (FeOOH) を堆積物表面に散布した場合の硫化水素抑制効果について、室内実験により検討した。

2. 方法

硫化水素溶出実験に使用する未攪乱堆積物コアは、三河湾奥部に位置する航路部 (N34° 42.7720'; E137° 18.2960', 水深約 12 m) において、内径 100 mm、高さ 50 cm の円筒形アクリルパイプを用いてスクーバにより採取した。

鉄材は堆積物表面に散布し、その後、ろ過海水を未攪乱堆積物コアに入れ、ゴム栓で密閉した。濃度を均一にし、流体力学的な条件を制御する (Inoue & Nakamura 2009) ため、未攪乱堆積物コア内の直上水は PTFE 製プロペラとブラシレスモーターを用いて攪拌した。未攪乱堆積物コアの直上水には、予め、その下端が堆積物表面上 5 cm の位置になるように樹脂製チューブ（を差し込んでおいた。そのチューブを通して、シリンジにより採水を行うことで、サンプルの空気への暴露を避けた。採取した水サンプルの一部は、ディスポーザブルフィルターを用いて

速やかにろ過した。

3. 結果

堆積物表面の様子を概観すると、無添加の表面は、元の堆積物の色相（黒色）を示している。また、純鉄の添加系では、元の堆積物の色相（黒色）からの変化は確認できなかった。一方、酸化水酸化鉄の添加系では、黄橙色を呈することが確認された。

図に、直上水中の硫化水素濃度の増加率から算出された硫化水素溶出速度を示す。対照区 (1A-1、1A-2) では顕著な硫化水素溶出速度 (平均値で $10.2 \text{ mmol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) が観察されたが、十分量の酸化水酸化鉄を散布した未攪乱堆積物コア (1C-1、1C-2、1C-3) ではその溶出は完全に抑えられていた。純鉄を散布した未攪乱堆積物コア (1B-1、1B-2、1B-3) では、ほぼ溶出を抑えていたが (約 97% の抑制)、わずかな溶出 (平均値で $0.29 \text{ mmol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) がみられた。

4. おわりに

本研究で使用したすべての鉄材で硫化水素溶出抑制効果が確認されたが、酸化水酸化鉄が最も効果的であることがわかった。また、純鉄は堆積物の酸化還元電位を下げ悪影響が懸念されること、酸化水酸化鉄は酸化還元電位を上げる効果があることなどについても確認された。

参考文献

Inoue & Nakamura (2009) J. Environ. Eng. 135(11), 1161–1170.

Inoue & Hagino (2022) Wat. Sci. Tech. 85(1): 305–318.

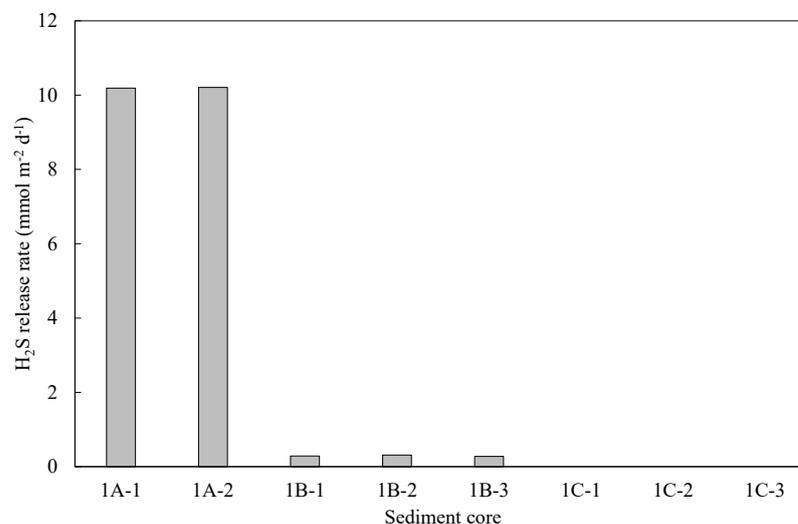


図 硫化水素溶出速度

*板井 啓明 1、石水 浩喜 1、砂村倫成 1(1 東大院理・地惑)

1. はじめに

20世紀序盤から中盤にかけての湖沼学では、少数の研究者が国内湖沼を自ら横断的に調査し、比較解析に基づき湖沼物質循環の原理的理解を目指す研究が見られた。今日では、各地の湖沼における計測は、近隣自治体や研究機関が主体となった枠組みが整えられている。湖沼の物質動態には、日スケールまたは数時間スケールで変化する物理・化学・生物要因が関与するため、観測環境の整った臨湖実験施設などに学術研究の中心が据えられたことは必然である。一方世界的には、長年蓄積された比較湖沼学的研究の成果をメタ解析に応用する研究が増加している。国内の湖沼学的研究も、天然の実験槽としての各湖沼の特徴を描出した上で、自治体データを有効に活用し、グローバルな比較研究に応用できる形で出力することが必要である。我々は上記認識に基づき、同一チームで国内湖沼の特性を広く調査する基盤を構築するため、2021年に東日本に分布する夏期成層構造が明瞭な湖沼の網羅調査を実施した。本発表では、(1) 深水層酸素消費速度(AHOD)の推定とその支配要因解析、(2) 湖底堆積物の特性解析と吸着実験によるリン酸固定容量評価、(3) 観測・室内実験データを元にした湖水中リン

(P)濃度支配要因解析、の結果を中心に紹介する。

2. 材料と方法

2021年3-4月、6月、8月、10月に富土地域湖沼群(山中湖、河口湖、西湖、精進湖、本栖湖)、仁科地域湖沼群(青木湖、中綱湖、木崎湖)、裏磐梯地域湖沼群(桧原湖、小野川湖、秋元湖)で採取した湖水(n=200)を分析した。また、上記湖沼に加え、野尻湖、猪苗代湖、霞ヶ浦、琵琶湖(LB)で採取された堆積物を分析した(n=26)。現地調査では、水温、pHを計測し、溶存酸素(DO)はWinkler滴定法で定量した。実験室では、湖水中のP濃度、微量元素濃度、アルカリ度を分析した。堆積物中P濃度および微量元素濃度は、シュウ酸可抽出態について定量した。湖沼の成層構造解析法として、epilimnionとhypolimnionの境界深度およびmetalimnionの厚さを、

水温の離散データを3次スプライン関数で補間して解析するコード、および国土地理院の提供する

GISデータを利用して湖水中化学成分の総量(standing stock)を計算するコードを、「R」を用いて作成した。Standing stockの季節変化を基に、Pについては深水層P蓄積速度(HPA)を、DOについてはAHODを算出した。

湖沼堆積物試料に対する無機リン酸(IP)の吸着実験を、25°C、pH7の条件下で実施し、Langmuir式でフィッティングした。得られた吸着等温線から分配係数(K_d)を算出してP固定容量を比較した。

3. 結果と考察

分析の結果、各湖沼の全リン(TP)濃度は鉛直方向に不均質な分布を示し、epilimnion内でピークが形成される傾向が認められた。ピーク深度はpHや溶存酸素量(DO)の極大と一致する場合が多く、Pは生物生産性最大深度で植物プランクトンに吸収されてその深度に滞留し、分解と再利用を短い時間サイクルで繰り返していると考えられた。Hypolimnionにおいては、成層期に溶存鉄(DFe)濃度の上昇を伴う溶存リン(DP)濃度の上昇が認められ、古くから提唱されている鉄水酸化還元溶出モデルと整合的であった。しかし、堆積物中のシュウ酸可抽出態のP/Fe比は0.05-0.10であるのに対し、湖水中のDP/DFe比は平均1.50で、0.1を下回る場合は稀であり、還元的溶出モデル以外のP溶出過程の存在が示唆された。8湖沼で計算したHPAは、1.55-12.6 mmol m⁻² day⁻¹の範囲で変動し、AHODは、2.22-15.6 mmol m⁻² day⁻¹の範囲で変動した。AHODは深水層厚が増加するほど上昇する傾向が認められた。また、成層が強固な湖沼に限定すると、循環期TP濃度(TP_{mix})とAHODの間に正の相関が認められた。複数の国内湖沼のAHODを系統的に決定した研究は本研究が初めてである。

吸着実験から推定された各湖沼堆積物の K_d はシュウ酸可抽出態のFe濃度と相関し、堆積物の吸着容量の支配因子はFe濃度であることが示唆された。 K_d とTP_{mix}には相関が認められなかったが、湖水の平均滞留時間が0.9年以上の湖に限ると負の相関が認められた。滞留時間の長い湖沼では、堆積物のP固定容量が湖水中のP濃度を支配することが示唆された。このことから、環境変動に伴う湖水中P挙動を、室内系での吸着実験の結果に基づき予測することの妥当性が支持された。

比較湖沼学のアプローチ

*佐藤 佑磨¹、石水 浩喜、高橋 嘉夫¹、板井 啓明¹(¹東大院理・地惑)

1. はじめに

マンガン (Mn) および鉄 (Fe) は、酸化還元に敏感な元素であり、これら元素の成層型湖沼における挙動は古くから詳細に調べてきた。還元されやすい Mn は、とくに流動性が高く、同一湖盆内でも水深が深いほど Mn が濃集する現象がしばしば認められる (例えばバルデッガー湖: Schaller et al., 1997; バイカル湖: Muller et al., 2002; 琵琶湖: Takamatsu et al., 1985; Itai et al., 2012; 野尻湖: 寺島他, 1989; シュテヒリン湖: Scholtysik et al., 2021)。この形成要因として、還元的堆積物から溶出した Mn の水平拡散と MnO_2 への酸化の繰り返しが濃集の主要因であるという仮説があるが (Schaller et al., 1997)、無酸素水塊が形成される湖沼であれば常に Mn 濃集が認められるわけではない。この現象が進行する環境条件を制約するため、とくに水深に着目した比較調査を実施することとした。湖沼の栄養状態が類似し、水深の異なる長野県の三湖沼 (木崎湖: 最大水深 29 m, TP: 135 nM; 中綱湖: 最大水深 13 m, TP: 129 nM; 野尻湖: 最大水深 38 m, TP: 94 nM) を対象に、季節別の鉛直水質調査に加え、深度別に堆積物コア試料を採取し、元素濃度分析、Mn および Fe の化学形態分析 (XAFS)、二次鋳物観察 (SEM)、間隙水化学分析を実施した。

2. 材料と方法

木崎湖、中綱湖、野尻湖を対象に、2021 年の 3~11 月にかけて複数回の深度別湖水調査を実施し、懸濁物試料は濾過により採取した。水深の異なる複数地点で、堆積物コアを採取し、アルゴン雰囲気下での遠心分離により、間隙水と堆積物をそれぞれ採取した。溶液試料中の Mn は誘導結合プラズマ質量分析計 (Agilent 7700, Agilent Technology) で、固体試料中の Mn はハンドヘルド蛍光 X 線分析計 (DP2000, Olympus) を用いて定量した。Mn の化学形態については、高エネルギー加速器研究機構、Photon Factory の BL12C と BL15A において XAFS 分析を行った。また、湖底堆積物を SEM (S-4500, Hitachi) で観察し、Mn 濃集部における固相の

特徴と化学組成分析を実施した。

3. 結果と考察

溶存酸素の深度プロファイルから、全湖沼の最深部において、夏期から秋期にかけて無酸素水塊の生成が認められた。無酸素水塊の Mn 濃度は、木崎湖、中綱湖、野尻湖でそれぞれ 770, 600, 5300 mg/L であった。間隙水中 Mn 濃度は、木崎湖と野尻湖では水深が深い地点で高濃度になる傾向があり、最深部での平均濃度は、木崎湖、中綱湖、野尻湖でそれぞれ 1900, 680, 8400 mg/L であった。これらから、間隙水中の Mn は、湖水に対して高値であり、間隙水から湖水への溶出が示唆された。

堆積物中 Mn/Fe を深度別に解析したところ、木崎湖では深部ほど Mn/Fe が低値 (22.0 m: 13.8, 25.0 m: 11.3, 28.6 m: 7.4)、中綱湖では Mn/Fe は深度によらず一定 (9.7 m: 7.5, 12.0 m: 6.3, 14.0 m: 6.3)、野尻湖では深部ほど Mn/Fe が高値 (25.5 m: 26.4, 35.5 m: 46.9, 37.0 m: 187.5) の傾向が認められた。中綱湖は、水深が浅く無酸素水塊と表水層が近いいため、堆積物から溶け出した Mn が表水層まで拡散し、河川によって系外流出したため Mn/Fe が低値を示したと推察される。XAFS の結果から、深水層で採取した懸濁物や木崎湖・中綱湖の堆積物における Mn は主に MnO_2 であるのに対し、野尻湖の最深部堆積物でのみ MnCO_3 が検出された。還元環境で溶出した Mn^{2+} が、水平拡散・再酸化により MnO_2 として堆積物に供給された場合、無酸素環境では再度溶出するが、 MnCO_3 が形成されると安定に固定される。すなわち、木崎湖と野尻湖における Mn 濃集の差は、 MnCO_3 生成の可否にあると考えられる。 μ -XAFS や SEM の分析結果から、堆積物中の MnCO_3 は含カルシウム炭酸塩であることが示された。野尻湖はカルシウム濃度が高値であること、間隙水中 pH が高く CO_3^{2-} 濃度が高いことなどが、 MnCO_3 生成に有利である。これらの結果より、湖底堆積物への Mn 濃集挙動は、湖盆の形状や湖水の主成分組成に強く支配されることが明らかになった。

全天日射量増加は植物プランクトンの 光合成速度増加にも寄与しているのか？

*篠原隆一郎（国立環境研究所），松崎慎一郎（国立環境研究所），中川恵（国立環境研究所）
土屋健司（国立環境研究所），高津文人（国立環境研究所）

1. はじめに

近年，エアロゾルの減少等と同時に，日射量が増加してきていることが知られている¹⁾。この現象は世界的に確認されており，我が国においても全国的に，日射量の増加がみられる。つくばで観測された2019年5月の正午における平均日射量は，1992年に比べて約20%程度高い値を示していた。昨年度，我々は日射量が増加することが最も春の水温を上昇させる要因になっていることを，水面熱収支モデルを用いて明らかにした²⁾。

春季は生物の活動が活発になる時期である。例えば湖沼のクロロフィル量を見ると，春季に最大値を示す。もし春季の日射量が増加し，水温も上昇しているならば，それらは春季の植物プランクトンのブルーミングにも寄与している可能性がある。そこで本研究では，これまで長期的に観測してきた光—光合成曲線(*P-I curve*)を元に植物プランクトンの光合成モデルを作成し，春季の光合成速度に対する日射量増加の影響を定量的に評価した。一方で，植物プランクトンの光合成活性は栄養塩濃度などの影響も受けるため，それらの影響についても併せて検証した。

2. 材料と方法

本研究では光合成速度を， $\text{NaH}^{13}\text{CO}_3$ を添加し，その取り込み速度を計測することで求めた。国立環境研究所が実施している霞ヶ浦全域の4地点において湖水を採取し，実験室に持ち帰ってから ^{13}C の取り込み速度を求めた。本研究では1992年～2019年における1328回の実験結果についてIwakuma and Yasuno (1983)³⁾に従い，以下の式でフィットした：

$$f(I) = P_{max} \frac{I}{E_k} \left[1 + \left(\frac{I}{E_k} \right)^2 \right]^{-0.5} \quad (1)$$

ここで P_{max} は最大光合成速度である。式1の曲線は， $I=0$ において P_{max}/E_k 傾きを取る。 P_{max} と E_k は

水温変動に大きく依存しており以下の式で求めた：

$$P_{max} = \beta \cdot \theta_1^{T-20} \quad (2)$$

$$E_k = 237 \cdot \theta_2^{T-20} \quad (3)$$

ここで β は栄養塩濃度などに依存する係数， θ_1, θ_2 は水温変動による係数， T は水温($^{\circ}\text{C}$)である。 β は，解析の結果0.01~0.07の範囲であり， θ_1, θ_2 はそれぞれ1.046, 1.044であった。最終的には式(1)を光の減衰に応じて鉛直に積分することで，水柱における一次生産速度(PP; $\text{gC m}^{-2} \text{h}^{-1}$)が求まることになる：

$$PP = \int_0^h P_{max} f(I) C(z) dz, \quad (4)$$

ここで h は積分範囲(水深2m)， $C(z)$ は粒子態の炭素濃度である。このモデルを用いて，1992年～2019年の日射量・水温の増加率及び栄養塩の影響(β の範囲)から，それぞれの影響を検証した。また， β と栄養塩濃度を比較することで，光合成速度を決定する要因を検証した。

3. 結果と考察

1992年～2019年の日射量増加率によって，PPは $0.093 \text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$ ~ $0.105 \text{gC m}^{-2} \text{h}^{-1}$ となり，13.4%増加することが明らかになった。一方で水質による影響(β)によってPPは $0.026 \text{gC m}^{-2} \text{h}^{-1}$ ~ $0.179 \text{gC m}^{-2} \text{h}^{-1}$ の範囲で変動し，水質の変動による影響がより強くPPに影響を与えていた。一方， β と栄養塩濃度を比較したところ，POC:PON比と有意な負の相関が得られ，植物プランクトン内の窒素の枯渇が光合成速度に影響を与えているものと推察された⁴⁾。これらの結果は，気候変動の影響を評価する上で水質も考慮する必要があることを示している。

[引用文献]

- 1) Wild et al. (2005) Science, 308, 847-850
- 2) Shinohara et al. (2021) Hydrol. Res., 52, 916-926
- 3) Iwakuma and Yasuno (1983) Arch. Hydrobiol. 97, 208-229
- 4) Shinohara et al. (2022) J. Plankton Res. 44, 497-507

琵琶湖周辺内湖における可分解性 溶存有機態リン動態と現場分解活性

*池谷透（京大），易容（Gannan Normal Univ），伴修平・丸尾雅啓（滋賀県大），
石田卓也（広島大），奥田昇（神戸大）

1. はじめに

水圏の溶存有機態リンは、オルトリン酸濃度をしばしば上回り、リンの大きなプールとして存在するため、その存在状態とオルトリン酸への再生過程はリン循環を理解するうえで重要である。我々は、リン酸素同位体比の変化に基づいて、内湖に流入したリンの形態変化の定量を試みるとともに (Yi *et al.* in prep.)、有機態リンの酵素加水分解産物をイオンクロマトグラフィー (IC) により定量することによってリン酸エステル結合の種類ごとに濃度を測定する方法を導入し、アルカリフォスファターゼ

(APase)、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) の基質特異性に基づく有機態リンの定量法を開発した (池谷・丸尾, 第 85 回大会)。

本講演では、酵素分解の添加阻害剤条件を再検討のうえ、2017 年の毎月調査試料の有機態リン濃度と現場分解速度キネティクスの測定で得られた結果に基づき、有機態リン動態の季節変動を報告する。

2. 材料と方法

調査は、2017 年 4~10 月に水田の流入負荷の影響を強く受ける琵琶湖周辺の連結内湖の平湖・柳平湖で行った。柳平湖、平湖、流入水路で計測・採水を行い、孔径 0.2 μm メンブレンフィルターろ液の冷凍保存試料を分析に供した。分解反応速度を促進し、微生物によるリンの取り込みを抑えるために、0.1 mM 炭酸塩緩衝液、3mM MgCl_2 と 3×10^{-5} M Carbonyl cyanide *m*-chlorophenylhydrazone (CCCP)、 3×10^{-5} M Chloramphenicol (CAP) を酵素分解直前に試水に添加し、37°C で反応を行った。分解反応の開始時に、4-Methylumbelliferyl Phosphate (4-MUP)、または、4-Methylumbelliferyl pyrophosphate diester (MUPyrP) をサブサンプルに添加し、分解生成物の蛍光強度の変化で反応速度をモニターして所定の反応が進んだ時点で IC 測定を行った。

冷凍保存した湖水を解凍し、50, 70, 100, 200, 1000

nM 4-MUP、または、MUPyrP を添加後の蛍光強度変化を測定し、モノエステルとピロリン酸ジエステルの分解反応キネティクスを Hanes-Woolfs プロットにより求めた。

3. 結果

柳平湖、平湖の懸濁物の元素比は 6~8 月にかけて C/P や N/P 比が増加し、夏季から 10 月の期間はリン制限の傾向が強くなると考えられた。比の最大は、下流側の平湖 (C/P=142, N/P=23) が柳平湖 (C/P=114, N/P=17) より大きかった。サイズ画分ごとの測定により、APase、PPase 活性の 89% と 85% は 0.2 μm より大きな懸濁物画分にあり、いずれの酵素も微生物細胞表面のエクトエンザイムとして機能していると考えられた (予備実験)。最大活性 (V_{max}) は柳平湖では 8~9 月に最大、平湖では 8~10 月に最大、6 月 (平湖 APase は 4 月) に最小となり、40~300 倍ほど変動した。 V_{max} は懸濁態リン濃度に比例して変動し (柳平湖で $P < 0.1$; 平湖で $P < 0.12$)、微生物密度が主な変動要因と考えられたが、半飽和定数 (k_m) の変動は V_{max} と一致せず、微生物組成や調節機構によって変動する可能性も示唆された。講演では、酵素分解測定に基づく有機態リン濃度組成とそれらの回転時間や変動要因についても議論する。

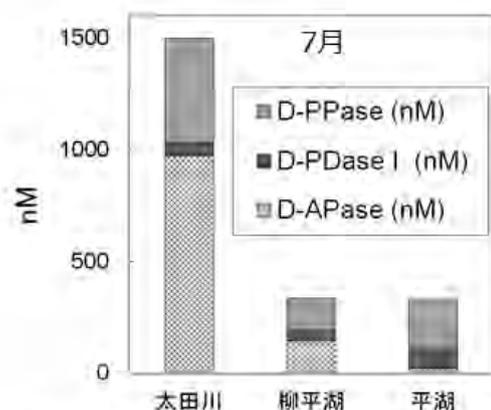


図1. 酵素分解によって得られた有機態リン濃度組成. D-APase: アルカリフォスファターゼ分解性; D-PDase: フォスホジエステラーゼ I 分解性; D-PPase: 無機ピロフォスファターゼ分解性

濃度による湖底堆積物カラム培養法の検討

*尾坂兼一（滋賀県大・環境）、横山黎（滋賀県大・環境）、
石橋孝晃（京大院・情報）、後藤直成（滋賀県大・環境）

1. はじめに

湖沼の物質循環や一次生産にとって、湖底堆積物からの窒素やリンなどの栄養塩負荷は重要な影響要因であり、湖沼の水質管理や予測には、湖水と湖底堆積物間の栄養塩交換過程を明らかにすることが必要である。湖底堆積物と湖水間の栄養塩交換速度は、実験室において不攪乱堆積物培養によって測定されることが多い。この方法は比較的容易であり非常に有用であるが、堆積物中の有機物の分解により湖水の溶存酸素(DO)が消費されてしまう欠点がある。堆積物表層における微生物群集の活動や酸化還元反応は湖水の DO 濃度に影響を与えられることが知られている。そのため、湖水と湖底堆積物間の栄養塩フラックスを正確に測定するためには、安定した湖水 DO 濃度での培養が必要である。また、近年、地球温暖化により湖沼の成層構造が変化し、様々な地域の湖沼で湖底が低酸素化する現象が報告されている。これらが湖沼の物質循環に与える影響を理解するためにも、湖水の DO 濃度と湖水と湖底堆積物間の栄養塩フラックスの関係を明らかにする必要がある。そこで本研究では湖水の DO 濃度を一定に保ちながら湖底堆積物を培養する簡易な手法を開発することを目的とした。

2. 材料と方法

本研究では、図のような湖底堆積物と湖水の上に任意の酸素濃度のヘッドスペースを作成し、湖水を循環させたカラム(Osaka et al., 2022)を用いて実験を行なった。湖底堆積物、湖水は琵琶湖北湖第一湖盆の水深約 90 m 地点で採取した。湖水の DO 濃度を 0.35~9.95 mgO₂/L にコントロールした 24 カラムを現位置の水温(約 9°C)で O₂ 濃度を 5 分間隔で測定しながら約 10 日間培養した。また、培養途中で Port1 から湖水 20 mL 程度を数回採取し、湖水の硝酸+亜硝酸(NO₂+NO₃)、アンモニア(NH₄⁺)、反応性溶存リン(SRP)、溶存窒素濃度変化の測定を行なった。

3. 結果と考察

計 24 本のカラムを 179~269 時間培養した結果、培養期間中の湖水中の平均 DO 濃度は 0.35~9.95 mgO₂/L の範囲であった。ほとんどの場合、培養期間中の DO 濃度は非常に安定しており、5 分間隔で測定した DO 濃度の標準偏差は 0.1 mgO₂/L 以下であった。また、培養途中でヘッドスペースの酸素分圧を変化させることで、湖水中の DO 濃度を調整することも可能であった。

この培養法によって、DO 濃度と堆積物からの栄養塩フラックスの関係を詳細に測定したところ、琵琶湖北湖では、湖水の DO 濃度が 1.5 mgO₂/L を下回ると SRP フラックスが、3.0 mgO₂/L を下回ると NO₂+NO₃ フラックスの一次反応係数が急激に増加することが示された。この閾値と DO 濃度と栄養塩フラックスとの正確な関係は、湖底の DO 濃度低下が堆積物からの栄養塩放出に及ぼす影響を予測する上で有用な情報を提供するものである。本研究の結果は、本培養法がそれらの関係を明らかにするための有用なツールであることを示している。

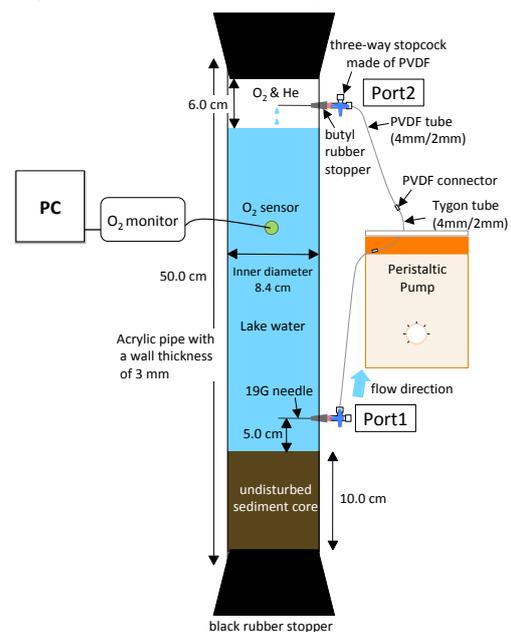


図 本研究で検討を行った湖底堆積物培養カラム
Osaka et al., 2022, L&O method, 20, 1-14.

SRP(溶存反応性)リンの比較

藤山信太郎、辻一真、山中裕貴（滋賀県大院・環境）
小畑元（東大・大気海洋研）、*丸尾雅啓（滋賀県大・環境）

1. はじめに

環境水中の溶存態リン測定法の代表であるモリブデンブルー法は手法が確立されており、定量性もよい。一方で測定値は溶存反応性リン（SRP: Soluble Reactive Phosphorus）として扱われる。その大部分はリン酸のイオン種であると考えられるが、多様なリン化合物が酸性条件下で加水分解によってリン酸に変化し、リン酸イオン指標としては過大評価になる傾向がある。リンの人工放射性同位体を利用した実験では、SRP 測定値やその測定限界を下回る 100~10 pmol/L 程度のリン酸イオン濃度が推定値として示された例もある（Hudson et al., 2000）。

発表者らはこれまでイオンクロマトグラフィー（以下 IC）による、リン酸イオンの選択的定量を行い、SRP との比較を行ってきた。琵琶湖北湖の成層期には表水層のリン酸イオン濃度が、通常の SRP 定量限界を下回る濃度で推移しているとみられるが、表水層における SRP 濃度は検出限界以下（手法により 10~100 nmol/L）であることが多く、リン酸イオン濃度と比較できなかった。

SRP 分析では長光路セル（LWCC: Liquid Waveguide Capillary Cell）による一桁 nmol/L レベルの定量が海洋で実現されている（橋濱, 2013）。今回 LWCC による SRP 測定において、セル洗浄法の改良により再現性良くかつ検出限界 1.3 nmol/L を達成できた。深水層だけでなく、夏季の表水層におけるリン酸イオン濃度と SRP の比較を行った結果について述べる。

2. 方法

試料採取は 2020 年 12 月~2021 年 12 月まで、滋賀県立大学実習調査船「はっさか」・「はっさかⅡ」に乗船し、琵琶湖北湖 T1 地点（35° 22' N、136° 06' E、最大深度約 90 m）で採水を行った。試水はニスキン X 採水器で採取し、カプセルフィルター（Acropak200 孔径 0.8/0.2 μm, Pall）でろ過後、10°C で保存した。

SRP の定量には光路長 100 cm の LWCC を持ち出で分析した。試薬添加後の試水を一定流速でセルに送液した。リン酸イオンの定量にはイオンクロマトグラフィーを用いた。サプレッションには超純水を再生液に用いるエクスターナルモードを用いた。試料注入量は、カラム容量を超えない程度に増やし、5000 μL とした（検出限界は 0.5 nmol/L 程度）。

SRP、リン酸イオンの鉛直分布が成立する過程を検証するために、2021 年 12 月に深度 10 m、60 m で採取した未ろ過試水、ろ過済試水を 10°C、暗所で最大 26 日間培養し、両者の濃度変化を追跡した。

3. 結果・考察

琵琶湖の表層から中層（0~40 m）では 12 月から 3 月にかけて SRP・リン酸イオン濃度が共に上昇した。琵琶湖が循環期に入り、深層のリン化合物が表層に供給されたためと考えられる。

リン酸イオンは 3 月から 6 月にかけて低下してゆき、7 月~11 月の間はほとんど検出限界以下となった。一方 SRP 濃度は 7 月~11 月でも 42~120 nmol/L であり、SRP のほとんどが正リン酸以外の形態であることが明確に示された。50 m 以深では、表水層から沈降してきたリン酸化合物の分解が進むためとみられるが SRP の 50%を超えるリン酸イオンが検出される場合も見られた。

深度 10 m の未ろ過試水を培養した結果、では SRP、リン酸イオン共に濃度が上昇増加し、相対的にリン酸イオンの比率が上昇した。懸濁態中の有機態リン化合物が生分解を受けた結果、リン酸イオンが吸収を上回る濃度で生じたと考えられる。深度 60m で採取した未ろ過試水では、顕著な変化がなかった。

引用文献

橋濱史典 (2013) 高感度栄養塩分析法を用いた亜熱帯海域表層の生物地球化学的研究. 海の研究 22:169-185.

Hudson J.J. et al. (2000) Phosphate concentrations in lakes. Nature 406, 54-56.

*時枝隆之(気象大学校)、木持謙 (埼玉県環境科学国際センター)
清水歩(気象大学校)、牧野隆平 (気象大学校)、関根希一 (気象大学校)

1. はじめに

一酸化二窒素 (N_2O) は温室効果気体であるとともに、21 世紀においてはオゾン層破壊に最も寄与する物質である (Ravishankara et al. 2009)。大気中濃度は年々増加しており、地球環境を議論するうえで注目を集める。陸水域が大気中 N_2O に与える影響の評価は観測例の不足から不明瞭であり、全球における N_2O 放出量の見積もり値にも大きな不確かさが残っている。そこで本研究では、還元環境が発達しやすく大量に N_2O が生産されていると考えられる富栄養湖沼が大気 N_2O 濃度に与える影響や富栄養湖沼での窒素の循環を明らかにするため、日本を代表する富栄養湖沼千葉県手賀沼 (4km²) において年間を通して湖水の N_2O の観測を実施した。

2. 方法

湖水中 N_2O 濃度の観測は、千葉県手賀沼内の 7 測点及び流入及び流出河口域 6 測点で 2019~21 年におよそ 2 ヶ月に一度実施した。湖水中 N_2O 濃度は木持ら (2014) の ECD 付ガスクロマトグラフを用いたヘッドスペース法を応用し、決定した。

湖水-大気間の N_2O 交換速度は、表面湖水と大気中の N_2O 濃度差と N_2O の気体交換係数の積として算出した。ここでは、Wanninkhof (1992) の気体交換係数を用いた。

3. 結果と考察

手賀沼表面湖水中の N_2O 濃度は、平均 1210 ± 500 (ng-N/L) (490~3280) で、すべての表面水試料が大気 N_2O に対して過飽和状態 (176~1300%) にあった。すなわち手賀沼は年間を通して大気への N_2O の供給源となっている。富栄養湖沼手賀沼の N_2O 濃度及び大気に対する飽和度はいずれもこれまで報告のある他の陸水域に比べて高い値であった。

図に示す観測ごとの大気への N_2O 放出速度の平均は 207 ± 112 (g-N/km²/day) で、顕著な季節性を見出すことはできない。手賀沼周辺では風が強くなりにくいいため、湖水中濃度が比較的高いにもかかわらず大気への放出速度は他の陸水域に比べて決して大きな値とは言えない。手賀沼の湖面から年間に

大気へと放出される N_2O は 325 kg-N と計算された。

無酸素水の存在が限られる手賀沼湖水中での N_2O 消費は限定的と考えられるので、河川を通じた N_2O の流入 (155 kg-N) と流出 (215 kg-N)、大気への N_2O の放出、及び湖底堆積物からの N_2O の湖水への溶出がバランスしているものとして計算される湖底からの溶出は年間で 385kg-N と見積もられた。

手賀沼湖水中の N_2O と硝酸イオン (NO_3^-) 濃度の間には有意な相関が観測された。すなわち、今後さらなる富栄養化に伴い溶存 N_2O 濃度が増加することを示唆している。手賀沼での年間を通じた観測から得られた N_2O/NO_3^- 比は 0.000562 ± 0.000352 であった。この値は他の陸水域の値と比べると低い。IPCC は全球の陸水域からの N_2O 放出量を見積もるモデルに EF_3 (Indirect N_2O emission factor)、すなわち様々な観測結果による N_2O/NO_3^- 濃度比を用いている。IPCC EF_3 値は 0.0005~0.025 であり、今回観測された手賀沼の N_2O/NO_3^- 濃度比は小さい方に位置する。手賀沼における小さな N_2O/NO_3^- 濃度比の原因として、より進んだ還元環境下での N_2O の窒素ガス (N_2) までのさらなる脱窒の可能性が期待される。温室効果気体でオゾン層破壊物質の N_2O として大気に窒素を放出するか、無害な N_2 として窒素を大気に放出するかは地球環境への影響という意味で大きな違いとなるため、さらに調査・研究を進めていく。

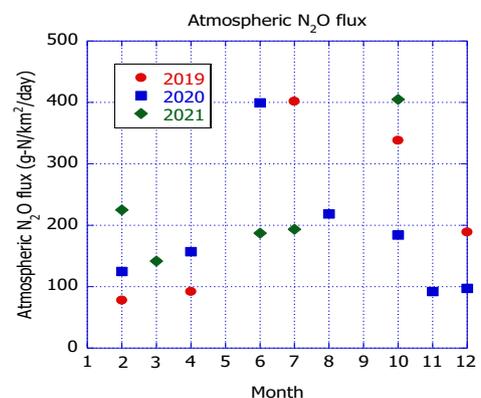


図 手賀沼表面から大気への N_2O 放出速度

2000年有珠山噴火後の洞爺湖・壮瞥温泉の源泉群における 遊離二酸化炭素濃度と泉温および pH の複合関係の変化

*高野敬志・青柳直樹・市橋大山・内野栄治（北海道衛生研）

1. はじめに

北海道の西南に位置する有珠山は、約 30 年周期で噴火を繰り返す活火山であり、最近では 2000 年 3 月 31 日に大規模な噴火が確認された。噴火直前および直後の 1998-2000 年には、有珠山の山頂などで、マグマ由来である土壌二酸化炭素の地上へのフラックス増加が観測されている (Hernandez et al., 2001)。このことから、地下中の二酸化炭素量は火山活動に関連する指標の一つである可能性が示唆されている。有珠山麓には、洞爺湖温泉および壮瞥温泉の源泉となる井戸が十数個あり、我々は噴火後の 2000 年からそれら源泉の水質を監視している。土壌二酸化炭素は、地下に胎芽する温泉源水中に吹き込まれて遊離二酸化炭素となることが予想され、土壌二酸化炭素量の変化は、温泉源泉中の遊離二酸化炭素濃度に影響を与えられと考えられる。

水中の遊離二酸化炭素濃度は、pH や温度依存である Henry 定数およびアルカリ度により定まっている。著者らは北海道の温泉地別に分類した温泉群において、温泉水中の遊離二酸化炭素濃度、泉温および pH を求め、x 軸に遊離二酸化炭素濃度/泉温、y 軸に遊離二酸化炭素濃度/pH をとり散布図を作成した。その結果、高い相関係数を持つ回帰直線が得られ、その傾きの値は火山性温泉群で高く、非火山性温泉群で低いことを報告した (高野他, 2022)。しかしながら、この解析では x: 独立変数、y: 従属変数という関係が不明瞭であり、最小二乗法で回帰直線を求めることに対して考慮すべき点がある。今回我々は、洞爺湖温泉および壮瞥温泉の源泉群に対して、有珠山噴火後、2000-2020 年の 5 年置きの測定結果から前回と同様に遊離二酸化炭素濃度/泉質を x 軸、遊離二酸化炭素濃度/pH を y 軸にとり、主成分分析を行って x 軸と y 軸を統合し、それらの変数の関係から洞爺湖・壮瞥温泉の源泉群における火山性熱水の寄与について推察した。

2. 材料と方法

温泉試料採取は有珠山麓の源泉湧出地で行った。全ての源泉は水中ポンプによる動力揚湯で温泉水をくみ上げている。源泉の井戸の深さは 86-1428 m (平均 227 m) である。温泉水を十分揚湯した後、泉温、pH および遊離二酸化炭素濃度を現地分析により定めた。泉温および pH は調査前に校正したハンディタイプの温度計および pH 計で測定するか、標準温度計および pH 指示薬による比色計により測定した。遊離二酸化炭素濃度は、温泉水に水酸化ナトリウム溶液、酒石酸ナトリウムカリウム・クエン酸ナトリウム混合液およびフェノールフタレイン溶液を添加し、遊離二酸化炭素を炭酸イオンに変換した後、塩酸溶液により赤色が認められなくなるまで (pH 8.3) 逆滴定を行って、消費した塩酸の量から算出した。

3. 結果および考察

主成分分析では散布図から $Z=aX+bY$ の近似式が求められる。火山性温泉群では a は低く、b が高い傾向が認められ、非火山性温泉ではその逆の傾向が認められている。そのため、高い b/a 値が火山性温泉としての性格が強い温泉群と考えられる。洞爺湖・壮瞥温泉の源泉では、噴火直後の 2000 年 7 月では b/a 値が 6.09 であり、2005 年 5 月、2010 年 6 月、2015 年 6 月および 2020 年 6 月では、それぞれ 4.68, 4.82, 4.27 および 4.52 と推移した。すなわち、洞爺湖・壮瞥温泉の源泉の遊離二酸化炭素と泉温および pH の関係は噴火直後から非火山性温泉の性格に近づいていき、少なくとも噴火後の 2005 年から 2020 年まではそれらの関係は比較的安定していたと考えられた。このことは、洞爺湖・壮瞥温泉の源泉群は噴火から 5 年後までの比較的短い期間で天水やマグマ性の熱源の影響が少ない熱水の勢力が強くなり、以降その状態が続いていることが示唆された。

(J-ADRES) の紹介と展望

*吉田丈人（地球研・東京大）

1. はじめに

近年、梅雨時の豪雨や台風などによる浸水災害や土砂災害が頻発し、甚大な被害が発生している。気候変動ともなう災害の頻度や激しさの増加が予測されるなか、より一層の災害リスクへの対応が求められている。一方、自然は、災害の災いだけでなく、さまざまな恵み（生態系サービス）も私たちの社会や暮らしにもたらす。自然の恵みを最大化しつつ災いを最小化できるかどうか、それぞれの地域社会の持続可能性にとって重要な課題である。

では、日本各地における自然の恵みと災いの状況はどうなっているだろうか？私たちの研究グループ*は、自然の恵みと災いに深く関係する土地の使い方（土地利用）の視点から、日本各地の状況（2010年前後）を評価し、その結果を「J-ADRES」というウェブサイト（j-adres.chikyu.ac.jp）で公開した。

2. 土地利用の総合評価

日本各地の土地利用はさまざまである。市街地や工場などの都市的な土地利用と河川・湿地・森林・農地などの自然的な土地利用があり、土地の使い方によって、自然は豊かな恵みをもたらすこともあれば災いをもたらすこともある。自然的な土地利用は、生態系と生物多様性を基盤としたさまざまな自然の恵みをもたらす一方、洪水や土砂崩れといった危険にさらされている都市的な土地利用は、ハザードへの暴露が高く、災害リスクをはらんでいる。

J-ADRESの「土地利用総合評価」は、土地の使い方によって暴露を避けることで災害リスクを低減している程度を示す「災害からの安全度」と、生態系・生物多様性をもたらす「自然の恵みの豊かさ」（生態系サービス）の観点をもとに、日本各地の土地利用を総合的に評価したものである。災害に強くしなやかで自然の豊かさを享受できる地域社会を実現するため、土地利用のあり方を考える機会を提供することを目的としている。市区町村ごとに集計した結果を公表しているが、それぞれの自治体において、土地利用の現状を理解し、課題となっている

ことを検討していただくことを期待している。その際、要望に応じて、集計前の詳細な空間スケール（~100mメッシュ）のデータ提供が可能である。

3. 今後の予定

現在、J-ADRESの「災害からの安全度」は、大雨がもたらす洪水による災害のみを対象としている。今後、土砂災害や高潮災害の評価についても追加する予定である。また、今回の評価は2010年前後の土地利用を対象としている。今後、将来（2050年）の土地利用についてシナリオ分析を行い、人口減少下での土地利用を工夫することで、どれだけ自然の災いを避けながら自然の恵みを享受できるかについても評価し、結果を追加する予定である。

*本研究は、総合地球環境学研究所 Eco-DRR プロジェクト「人口減少時代における気候変動適応としての生態系を活用した防災減災（Eco-DRR）の評価と社会実装」（RIHN 14200103）の一環として実施された。

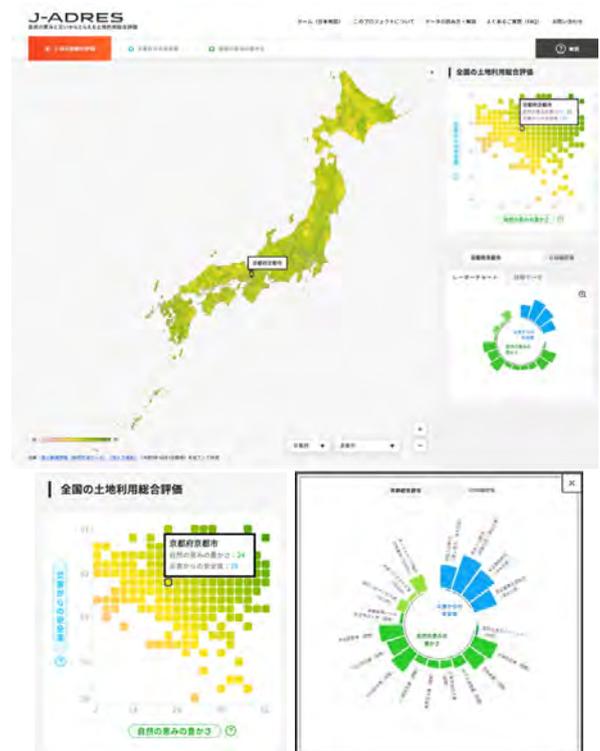


図 J-ADRES のトップページ・自治体ごと詳細評価

* 野原精一（国立環境研究所），福原晴夫（河北潟湖沼研究所），岩熊敏夫（北海道大学名誉教授）

1. はじめに

尾瀬ヶ原は、群馬、福島、新潟三県にまたがる、北海道を除く日本最大の「生きている泥炭地」であり、植物や昆虫の宝庫である（阪口，1989）。これまで3回の総合学術調査が行われ、現在の尾瀬ヶ原を特色づける多様な尾瀬の自然は、過去からの気候変動の影響を受けている事が解ってきた。

そこで第4次尾瀬総合学術調査（2017～2019年）では、地球温暖化の進行で増加した短時間集中豪雨とそれに原因する洪水の湿原生態系への影響と、近年個体数が増加したニホンジカの湿原攪乱に関する科学的知見を得ることを主な目的とした。特に新しい観測手法と、多面的調査の推進により、多くの新知見が得られた。ここでは、特にドローン（UAV）を活用してより詳細な地形図や植生図を作成し尾瀬ヶ原の地下環境や地形の解析に用いた。湿原の地形・地質構造や河川、池澮と泥炭との関係を明らかにした研究について述べる。また、池澮における大型水生植物の分布と長期的変化についてこれまでの総合調査と比較して述べる。

2. 湿原地下環境に関する水文地形学的研究

2012年5月のEM探査で研究見本園と上田代に高電導度層が泥炭層に観測され、約1,300年前の降水量の増大に起因した猫又川由来の河川堆積物と推定した。2019年4月末には、UAVによる湿原積雪を撮影し、KA1-04では池澮北西部に早い融雪があり地下水の流入が大きいと考えられた。その池澮北西部底に円形にくぼみが見られ、常に水温が周囲よりやや高く、融雪時に日周変化が早く出現し常に湧水で涵養され融雪が早く起こった。中田代では積雪が4mに達して、地下水位に影響を与え近隣の池澮NA5-43の積雪下の水位変化に影響を与えていた。高電気伝導度の池澮が多く見られ、河川や地下水起源の流入が推定された。水中ドローン画像の解析を行い竜宮の形状や生息している水生動物の分布について明らかにした。深度1.5m下にほぼ水平に地

下水路がT字になっていた。地下水路内上部には泥炭の亀裂があり堆積層に約20cmの地層のずれがあった。6世紀後半～7世紀前半以降に泥炭地が地滑りし、その後水路が地下水路になったと推定した。

3. 河川と池澮の水文地形学

2019年5月に融雪による洪水が発生し、上田代の池澮は滝のような流れを受け、池澮底質の洗堀や湿原への流出が観察された。洪水前後に粒度分析を行った結果、洪水後の池澮には数 μm の非常に小さな球形無機粒子や無機粒子があり、水深約1mより深い池澮はしばらく濁った。直後にUAVの空撮によって詳細な濁りの分布が明らかになった。研究見本園の表層から約1m深に無機成分の多い層が見られ過去約1,300年前の洪水履歴とみられた。

4. 池澮における大型水生植物の分布と長期変化

尾瀬ヶ原における池澮1,639箇所 で詳細に地形と大型水生植物の有無の把握を2017～2019年に行った。現地調査の結果、1998年の池澮リストと比べて池澮が80箇所（4.9%）消失し、浅い池澮において渇水のため水が減って乾いたことが主な要因と考えられた。前回1998年の調査と比較して大型水生植物の割合は、上田代ではヒツジグサは増加、オゼコウホネは減少し、中田代ではヒツジグサは増加し、オゼコウホネはやや増加した。上田代はヒツジグサ、背中アブリ田代はミツガシワとオゼコウホネ、西中田代と中田代や泉水田代はヒツジグサとミツガシワが特徴的に多く分布していた。田代によってヒツジグサとオゼコウホネは増減が異なりその原因の一つは気候変動による洪水の多少が関係していると考えられた。

謝辞

本研究は第4次尾瀬総合学術調査の一環として行われた。本講演は野原ほか（2022abc）低温科学第80巻を引用し、総合討論するものである。

*岩熊敏夫 (北大), 野原精一 (国立環境研)

1. はじめに

高地の尾瀬は複数の気象地域区分の境界に位置し、尾瀬ヶ原西端の山の鼻観測所(「山の鼻」と略、標高 1,405 m)と東方の尾瀬沼観測所(「尾瀬沼」と略、標高 1,665 m)でも降水の傾向が異なる(菊地『尾瀬の気候』2002)。山の鼻では 1977 年より、5 月～11 月に(1988 年 11 月～2011 年 3 月は通年)観測が行われているが、降水量は欠測値が多く、2016 年以降は欠測が続いている。そこで本研究は、①尾瀬内外の地上観測所で観測された日降水量の月別・季節別の空間相関を調べ、②尾瀬の降水現象を代表する観測所を特定し、③数十年以上の長期間の降水トレンドを明らかにすることを目的とした。なお、①と②は岩熊・野原(低温科学, 80, 549, 2022)に基づいている。

2. 方法

中田代中央から半径 51.2 km 内の 172 観測所(気象庁アメダス, 国土交通省水文観測所)およびその外側で 150 km 以内の 17 の地方・管区气象台, 特別地域気象観測所のうち、データ未確定の観測所や休止アメダスを除外した 178 地点について、1981～2010 年の日降水量データを使用した。日降水量にはゼロ値(<1 mm)が約 70%含まれ、相関係数に大きく影響する。本研究では、ゼロを離散値として扱う 2 変量混合対数正規分布(Shimizu K. *J. Appl. Meteorol.*, 32, 161, 1993)を用い、観測所間の相関係数も算出した。

尾瀬内外の気象観測所の相関を距離, 標高差, 方位との関係から評価した。次に、山の鼻および尾瀬沼との空間相関と観測期間から、尾瀬の降水現象を代表する観測所を特定した。各観測所における連続観測期間について、降水連続日数(wet spell, WS と略)と連続無降水日数(dry spell, DS と略)を算出した(RGENERATEPREC 使用)。

3. 結果

【空間相関】山の鼻では年間を通して尾瀬の西南西から東北東を結ぶ帯状域と相関があり、 $R_{biv} > 0.6$ の

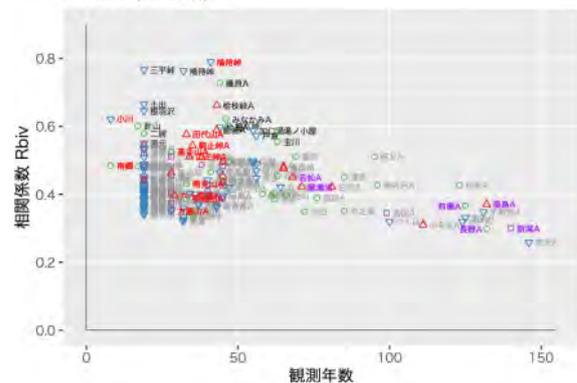
領域は、1～2 月は西から北西の新潟県側に、3～4 月および 9～12 月には尾瀬近傍の群馬県側から東北東の福島県側に、5～6 月には東北東から南～南西に、7～8 月は尾瀬近傍に集中した。尾瀬沼では通年尾瀬の南西から北東を結ぶ帯状域と相関があった。

【距離および標高差との関係】山の鼻および尾瀬沼のいずれも、 R_{biv} と距離に負相関がみられた。距離と標高差および交互作用項を説明変数にとり、 R_{biv} を従属変数としたステップワイズ重回帰分析から、標高差単独では R_{biv} を説明することはできないことが示された。 R_{biv} と R_p の傾向は概ね一致していた

4. 考察

【尾瀬を代表する観測所】地上観測所は観測期間順に、A(100 年超): 管区・地方气象台, B(50～100 年): 特別地域気象観測所, 国交省水文観測所, C(30～40 年): 1970 年代に整備されたアメダス観測所および水源地観測を目的とする水文観測所(鳩待峠など), D(～20 年): 既に観測を停止した比較的高地の観測所の 4 つにグループ分けされる。この順はアクセスの良さを反映し、その結果、長期観測の観測所では R_{biv} が低かった(下図)。夏期に限れば C の鳩待峠が、通年観測では、B の湯ノ小屋, 宝川, C の藤原が尾瀬の降水現象の再現性が高いと考えられた。

6-10月 (n=150)



【長期トレンド】湯ノ小屋と宝川では 1959 年以降、6～10 月の無降雨日数は減少、5 日以上 of WS が増加、平均 WS: 平均 DS 比の増加がみられた。管区・地方气象台についての解析とは異なる傾向がみられ、長期変化の解明には更なる吟味を必要とする。

* 福原晴夫（河北潟湖沼研究所）、永坂正夫（金沢星稜大学）、藤原英史（KK ドキュメンタリーチャンネル）、野原精一（国立環境研究所）

1. はじめに

尾瀬ヶ原には約 1800 個の池澮が分布している。これらの池澮の起源、遷移は興味深い課題である。池澮の地形的な基本的課題は、1.湛水（なぜ湛水するか？）、2.深度（なぜ深くなるか？）、3.拡大（なぜ拡大するか？）であろうと思われる。本講演では、3.の池澮の拡大に関する事象について述べ、単純な仮定を基に池澮岸の拡大速度の推定を試みた。

本講演では面積の拡大に限定して述べる。

尾瀬ヶ原の池澮が「拡大している」という論考は福原ほか(2022)まで見当たらないが、池澮の形態や起源を論じた中で「池澮の融合」、「小池澮相互の併合」、「多数のものが相連合」、「池澮が融合」、「連合」と述べられ（福原ほか、2022）、相対する池澮の一方または両方の拡大を示唆している。

池澮が水平方向に拡大し、他の池澮と連合し大型化していくなら、その速度はどの程度であるかを推定することは、池澮の保全を考える上で重要である。これまで、池澮の拡大速度を推定する試みは他の高層湿原を含めて報告をみない。

2. 方法

多くの池澮等の観察から、拡大に関係すると思われる事象を結果で述べた a)～g)についてまとめた。

拡大速度の推定は、池澮内の 2 地点間の泥炭の堆積年代の差から推定する方法を考案した。また、推定値の検証を、70 年前の池澮形態の計測値を推定し、実測値と比較して行った。

3. 結果

拡大に関連する事象

- 池澮岸の「えぐれ」状態—50-60 cm 以下で大きくえぐれ始める場合が多かった。
- 池澮岸の開裂や離脱の状況—岸辺がある範囲で開裂や離脱している状態が此処に見られた。
- 洪水による岸辺泥炭の攪乱や剥離—洪水後に岸辺の泥炭の剥離や露出が見られた。

- 過去の映像との比較—上田代 KA4-05 について 1948 年、1961 年、2005 年の空中写真、2019 年のドローン映像で比較を行った。解像度の問題があり、池澮の形態には差は認め難かった。
- 固定島の形成過程—ケルミ-シュレンケ複合体の連合が推定された。
- 水深と水生植物の分布—ケルミ-シュレンケ複合体の連合が推定された。
- ヒツジグサのへりなし型分布—泥炭の露出による拡大過程の結果と推定された。

拡大速度の推定

泥炭の堆積速度を 1 mm 年^{-1} として 4 池澮の拡大速度は $3\text{-}50 \text{ mm 年}^{-1}$ 、平均で 15 mm 年^{-1} であった。

西條・阪口（1954）の 3 池澮の平面図・断面図より判別可能な部位の再測定を試みた結果、70 年間で $-0.90\sim+1.44\text{m}$ の変化があった。

4. 考察

- 尾瀬ヶ原においてもケルミ-シュレンケ複合体の連合が池澮拡大の要因の一つと思われる。
- 池澮壁のえぐれは、拡大への大きな要因と思われる。池澮の連合を促す力には風、波浪、冠水、雪、氷、霜などの力によるとされているが、尾瀬ヶ原では積雪圧が大きく関係しているかもしれない。
- 本研究における拡大速度の推定値は泥炭の堆積速度に依存する。堆積速度を 1 mm 年^{-1} とすると拡大速度は 15 mm 年^{-1} であるが、尾瀬ヶ原の堆積速度の実測平均値 0.7 mm 年^{-1} を採用すると、 10.5 mm 年^{-1} となる。70 年間で $1.00\text{-}1.44 \text{ m}$ の拡大があった箇所では、その速度は $7\text{-}10 \text{ mm 年}^{-1}$ となり、近い値となっている。
- 北欧の String（ケルミ）の移動速度の実測値 $2\sim5 \text{ cm 年}^{-1}$ （Koutaniemi, 1999）と同程度であった。

謝辞

本研究は第 4 次尾瀬総合学術調査の一環として行われた。本講演は福原ほか(2022) 低温科学, 80:79-93 より要約し、議論を追加したものである。

*永坂正夫（金沢星稜大），福原晴夫（河北潟湖沼研究所），
高野典礼（国立石川高専），野原精一（国立環境研）

1. はじめに

尾瀬ヶ原湿原には、歩くと足元が揺れて地下に水体の存在が知覚される「動きの田代（ゆるぎのたしろ）」と呼ばれる地形がある（武田, 1930; 末野, 1933; 川崎, 1953）。動きの田代の地下には水体の存在が推測されているが、現在までその地下構造に関する報告はおこなわれていない。2019年9月に立ち入った際に揺れを感じる地点を上田代から2地点（KA1-Y, KA2-Y）、2020年8月に中田代から1地点（NN6-Y）、踏査により選び出し地下構造を推定する調査を実施した。

2. 方法

各調査地点で周囲を注意深く踏査し、明らかに揺れを知覚する範囲を動きの田代の範囲として特定した。動きの田代の不安定さは、地表の沈み込みと揺れの2つの要素が合わさっているが、簡便に測定できる地表面の沈み込み量の測定を試行した。動きの田代を縦断するトランセクトラインを設定し、成人男性（体重 65 kg）が直立した際に地表面が沈み込む深さを測定した。KA1-Yにおいては、簡易貫入試験機（地盤工学会基準 JGS 1433 準拠）により構造を探查した。3地点の動きの田代において、採水用の井戸を設けて、水温、pH、電気伝導率（EC, mS m^{-1} ）、溶存酸素量（DO, mg l^{-1} ）を電気伝導率・pH計（WM-22EP, DKK-TOA）と溶存酸素計（ProODO, YSI）により測定した。現地でGF/Cで濾過した後、冷蔵して試水を持ち帰り、GF/C上の残渣は105°Cで乾燥させた後に秤量し懸濁物質（SS, mg l^{-1} ）とした。試水のイオン成分をイオンクロマトグラフ

（PIA-1000, 島津）で測定した。周辺池塘や地表流についても同様に測定した。2020年9月から1ヶ月間、NN6-Yの井戸と小池塘に自記記録水深・水温計（Hobo U20, Onset）を設置した。2020年10月には井戸と小池塘の内部構造をファイバースコープカメラ（DS450, DEPSTECH社）で観察した。

3. 結果

KA1-Y, KA2-Y および NN6-Y の地表面の泥炭層

の下部は軟弱な泥炭などではなく、共通して水体の層が存在し、簡易貫入試験より水平方向にも広がりを持っていることが推定された。KA1-Yの水体は厚さ 132 cm, NN6-Yは厚さ 251 cm と地下洞窟ともいえる規模であったが、KA2-Yの水体は厚さ 37 cmにとどまっており、これは地下水の貯留されやすい地形であるかが関係していると考えられた。動きの田代からみて標高の低い側に共通して地下水の湧出点となる小池塘が存在した。これらの小池塘や周囲に染み出した地表水のECやカチオン類の濃度は、採取した地下水と類似した値であり、地下でつながった状態にあることが推定された。さらにKA1-YやKA2-Yの標高の低い側には地表流の吸込み口となっている地形が存在し、尾瀬ヶ原の微地形である竜宮の一種と言える構造を伴っていた。

4. 考察

動きの田代の成因について、阪口（1989）は池塘の岸辺の棚が成長して広がり、池塘の水が閉じ込められたと推測した。成因を明らかにするには、竜宮に似た地表水を吸い込む池塘や湧出点の池塘が水体と泥炭層内で相互にどのようにつながっているのか明らかにする必要があるが、本研究で調査した動きの田代は、抛水林の旧河道や河川の自然堤防付近の低地に水が集まり、長年の間に地下の泥炭層に地下流路が形成されることで生じるのではないかと推測している。様々な土壌の内部には soil pipe（水みち）が存在し、泥炭地にも soil pipe が存在する（Holden, 2005; Smart et al., 2013; Li et al., 2018）。発表ではこの soil pipe との関連についても議論する。

謝辞

本研究は第4次尾瀬総合学術調査の重点研究部会として実施しており関係各位に深く御礼申し上げます。ドローン撮影画像を提供頂いた（株）ドキュメンタリーチャンネルの藤原英史氏に深く感謝致します。本報告の結果は永坂ほか（2022）低温科学, 80:61-78 に報告しており、口頭発表として要約して報告議論する。

溶存有機物の太陽光分解から発生する温室効果ガス

*千賀有希子・清水崇広・柴木叶（東邦大学）・野原精一（国環研）

1. はじめに

湿原における溶存有機物 (DOM) は、炭素構成物質の主要な部分を占め、生物学的および化学的に反応性の高い炭素とみなされている。これまでの研究により、尾瀬ヶ原池澮における DOM の大部分は植物遺骸に由来する複雑な構造を持つ腐植物質 (AHS) で構成されており (約 70%)、その動態は太陽光による化学的分解に大きく支配されることが示された (千賀ら, 2021, 2022)。AHS の光分解時には揮発性物質が生成することが知られており、その中には温室効果ガス CO_2 , CH_4 , CO も含まれる。しかしながら、湿原において AHS 光分解から放出される CO_2 , CH_4 , CO を定量的にした例は少ない。

本研究では、尾瀬ヶ原池澮における AHS の光分解から放出する CO_2 , CH_4 , CO を測定するとともに、AHS の量と質の変化を追った。また、湿原における AHS 光分解によって放出する温室効果ガスの寄与について考察した。

2. 材料と方法

ろ過により懸濁物を取り除いた池澮水を、石英三角フラスコに 80 mL ずつ分取しゴム栓で密閉した。人工太陽光ライトによって露光した系 (光条件) とフラスコをアルミホイルで遮光した系 (暗条件) の 2 つの系を調製し 3 週間静置した。人工太陽光ライトの光量子束密度は、約 $1400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ であった。フラスコの気体は、0, 1, 2, 3 週目に真空採血針を介して真空バイアル瓶に採取された。気体中の CH_4 は水素炎イオン化検出器 (FID) 付き、 CO_2 と CO は熱伝導度検出器 (TCD) 付きガスクロマトグラフでそれぞれ測定を行った。また実験前後の DOM と AHS の量と質を測定した。DOM 炭素濃度は溶存有機炭素 (DOC) として TOC 計で測定し、AHS 炭素濃度は樹脂吸着-炭素測定法 (Tsuda et al. 2012) で測定した。AHS の質は、その蛍光特性を利用した三次元励起蛍光スペクトル (EEM) -PARAFAC 法で解析を行った (Aqualog, HORIBA)。

3. 結果と考察

光条件における DOC および AHS 濃度は、0~3 週目にかけて約 60% 減少した。DOM, AHS の大部分が揮発性物質に変化したと考えられた。一方、暗条件下における DOC と AHS 濃度は、0~3 週目にかけて有意な変化はみられなかった。

EEM-PARAFAC 解析より 3 種類の AHS 様成分が検出された; BP-1 (Ex/Em = <252, 321/435 nm), BP-2 (Ex/Em = <252, 339/494 nm), BP-3 (Ex/Em = <252/396)。光条件におけるこれらの成分の蛍光強度は、3 週目に大きく減少しほとんど検出されなかった。したがって、光分解によって放出される揮発性物質のほとんどが AHS の光分解に由来すると推察された。一方、暗条件におけるこれらの AHS 成分の蛍光強度は 3 週目に 1.1~1.7 倍に増加した。これら 3 つの成分は、暗条件ではバクテリアに合成される成分と予測された。

光条件における CO_2 , CH_4 , CO は 2 週目まで増加しその後一定であった。暗条件におけるこれらの気体の発生はみられなかった。光条件における 2 週目までの CO_2 , CH_4 , CO 放出速度を算出したところ、 CO_2 は $7.5 \pm 0.7 \mu\text{gC L-water}^{-1} \text{h}^{-1}$, CH_4 は $2.5 \times 10^{-2} \pm 0.3 \times 10^{-2} \mu\text{gC L-water}^{-1} \text{h}^{-1}$, CO は $0.9 \pm 0.1 \mu\text{gC L-water}^{-1} \text{h}^{-1}$ であった。放出速度は、 CO_2 が最も高く、次に CO , CH_4 が最も低かった。また、2 週目までに発生した CO_2 , CH_4 , CO の炭素量の合計は、0~2 週目までの DOC の減少量の 42%, AHS の 46% を占め、重要な量の温室効果ガスが光分解により放出していると予測された。

湿原における温室効果ガスの研究は、微生物による生成が着目され研究が進められている。太陽光が当たるのは湿原の表面だけであり、さらに日射量が高い季節は限定的であるが、光分解は極めて早い反応である。AHS 光分解に由来する温室効果ガス放出量の解明は、湿原における温室効果ガス収支に新たな知見をもたらすと推察される。

*帆苺 信 (新潟県立新潟翠江高等学校・新潟河川生態研究グループ)

1. はじめに

近年尾瀬ヶ原では、集中豪雨によって湿原内を流れる河川の洪水が引き起こされ、周囲の池澮や湿原に濁流が流入する現象が観測されており、近年その頻度が増していることが指摘されている(福原ら, 2022)。これらの洪水は池澮内の枝角類に対して大きな影響を与えていると考えられ、濁流による池澮外への流出の他、川からの氾濫水と共に魚類が池澮内に侵入することが指摘されている(Maruyama *et al.*, 1982; 阪口・相馬, 1999)。上野(1936)から始まる尾瀬ヶ原の動物プランクトン調査では、これまで上田代やその下流部に位置する中田代の池澮を中心として定性的・定量的な採集が行われ、動物プランクトンの出現種、餌環境の解析、池澮に生息するイモリによる捕食影響などが報告されてきた。しかし、季節変化となると報告例は少なく、尾瀬ヶ原の池澮全体としての把握はできていない。また、近年増加してきているといわれる洪水によって池澮内の動物プランクトン群集がどのような影響を受けているのかはよくわかっていない。

本研究は尾瀬ヶ原上田代地域の池澮について、枝角類の季節変化を明らかにすること、また、洪水の影響が大きいと思われる池澮と洪水の影響が小さいと思われる池澮の枝角類を比較し、洪水による直接的な影響と、洪水によって侵入した強力な捕食者である魚類による影響を明らかにすることを目的とした。

2. 材料と方法

尾瀬ヶ原上田代にある池澮のうち24ヶ所を選び、それぞれの池澮で枝角類の採集ならびに環境要因の測定を行った。調査は2018年5月から11月にかけて6回実施した。

枝角類の採集は、池澮の岸からカラム式採水器を使って底質直上までの湖水を50Lまたは75L採水し、それをNXX13のプランクトンネット(メッシュサイズ100 μ m, 離合社)を用いて濾過濃縮することによって行った。

調査した池澮の洪水影響に関する区分は福原ら

(2022)の区分を用い、洪水影響大池澮と洪水影響小池澮についてそれぞれの得られた枝角類の個体群密度を比較した。また、野原ら(2022)によるもんどり法と釣りによる2018年7月と8月の池澮の魚類調査から、魚の生息が確認できた池澮とそれ以外の池澮に区分し、7月と8月における枝角類の個体群密度を比較した。

3. 結果と考察

今回の調査では、9属9種の枝角類(*Diaphanosoma brachyurum*, *Scapholeberis kingi*, *Daphnia dentifera*, *Ceriodaphnia quadrangula*, *Streblocerus serricaudatus*, *Acroperus harpae*, *Alona guttata*, *Chydorus sphaericus*, *Polyphemus pediculus*)を確認した。出現種別の個体群密度の平均でみると、個々の池澮でのばらつきが大きい、5~8月は*D. brachyurum*が出現種のうちの80.8~93.4%を占めた。9月になると*D. dentifera*が増加して出現種の40.9%に達し、*D. brachyurum*は出現種の42.1%に低下した。10月以降は*D. dentifera*が出現種の69.3~79.1%を占めた。

2018年10月1日に発生した洪水では、洪水前の9月の枝角類全体の個体群密度が3.27 ind L⁻¹であったのに対し、洪水後の10月の枝角類全体の個体群密度は3.61 ind L⁻¹と逆に増加した。このことからこの洪水では池澮内の枝角類への直接的な洪水影響はほとんどないか、あっても短時間で解消されたと考えられる。

洪水影響の大小による枝角類の個体群密度については、9月と10月の*D. brachyurum*個体群密度と*C. sphaericus*個体群密度、10月の*C. quadrangula*個体群密度で有意差が検出された。しかし、9月の*D. brachyurum*個体群以外はその月の枝角類全体に占める割合も少ないため、洪水が池澮の枝角類全体に大きな影響を与えたとは言えない結果となった。

魚の有無による差は7月、8月ともに大きな違いがみられ、魚類の影響が大きいことが明らかになった。池澮内の魚類は融雪期の溢水、大雨による洪水によって侵入したものと考えられ、洪水における間接的な影響と考えることができるだろう。

尾瀬のアカシボ現象と微生物

*福井 学 (北大・低温研), 小島久弥 (北大), 梅澤和寛 (静岡県立大)
Jackson Tsuji (北大), 渡邊友浩 (北大), 藤原英史 (ドキュメンタリー
チャンネル), 野原清一 (国立環境研), 福原晴夫 (河北潟湖沼研)

1. はじめに

尾瀬では融雪期に積雪が茶褐色に呈する「アカシボ現象」が観察されている (図 1A)。アカシボ中の赤褐色沈殿は酸化鉄によるものであり、同時に微生物が観察されている。こうした彩雪現象は太陽光を吸収し、融雪を加速させる。アカシボ発生過程において、温度上昇による微生物活動の変化とともに種々の物理化学的因子の劇的変化が伴う。しかし、その発生メカニズムは未解明である。そこで、本講演では、アカシボを構成している微生物群集の特徴付けを行うことにより、発生のメカニズム及び生態学的意義を考察する。

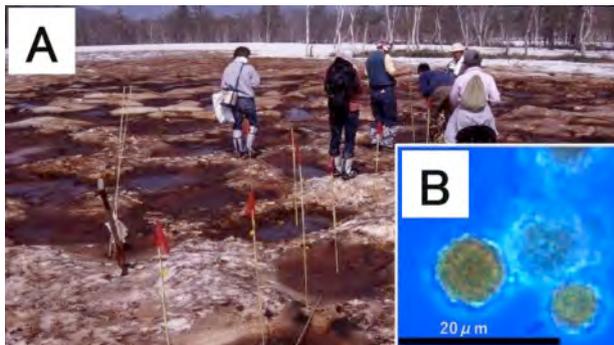


図 1. 尾瀬研究見本園で観察されたアカシボ現象 (A) と微生物を伴う赤褐色粒子 (B)

2. 材料と方法

融雪期及び無雪期に尾瀬ヶ原湿原及び尾瀬沼において、積雪コアサンプラーや葉さじを用いてアカシボ及び積雪を採取し、微生物由来の核酸を抽出した。抽出核酸から、16S rRNA 遺伝子のクローン解析及びアンプリコンシーケンシング解析により微生物群集構造を調べた。アカシボを構成している粒子 (「アカシボ粒子」と呼ぶ) 内の構造を解析するため、弱い酸溶液で粒子に沈積した酸化鉄を溶解し、顕微鏡下での観察を行なった。

3. 結果と考察

16S rRNA 遺伝子解析により、尾瀬沼及び尾瀬ヶ原湿原の積雪上で発達するアカシボ現象において、数十種類以上のバクテリアが検出された (Kojima et al., 2012)。顕微鏡観察の結果、茶褐色の酸化鉄に覆われた直径約 $10 \mu\text{m}$ の球状粒子 (アカシボ粒子) が特異的に存在していた (図 1B)。弱い酸溶液処理したアカシボ粒子内では、複数の細胞からなる微生物が観察された (藤原ほか, 2022)。両地点で共通して、好氣的メタン酸化菌 *Methylobacter* と嫌氣的鉄還元菌 *Geobacter* が高頻度に検出され、他の積雪環境では見られない特徴であった。積雪中のメタンや鉄の分布からも両バクテリアの活動は裏付けられる。好気性菌と偏性嫌気性菌が同時に存在することは一見矛盾するが、両者がアカシボ粒子を構成していることから微視的な空間スケールで好氣的環境と嫌氣的環境が存在するものと考えられる (小島, 2012)。以上のことから、長期の積雪期間中、尾瀬では、積雪下部から湿原表層部において有機物の好氣的分解により酸素が消費されて嫌気環境が発達し、その結果として嫌氣的微生物代謝であるメタン生成や鉄還元が進行し、生成されたメタン及び還元鉄がアカシボ発生を支えているものと考えられる。

文献

1. Hisaya Kojima, Haruo Fukuhara and Manabu Fukui. Community structure of microorganisms associated with reddish-brown iron-rich snow. *Systematic and Applied Microbiology* 32: 429-437. 2009.
2. 小島久弥. アカシボおよび赤雪の微生物群集の特徴. *低温科学* 70: 61-65. 2012.
3. 藤原英史, 福原晴夫, 大高明史, 小島久弥, 福井 学, 野原精一. 尾瀬の赤褐色雪をつくるアカシボ粒子の顕微鏡観察. *低温科学*, 80 巻: 145-154. 2022.

気候変動下におけるダム湖とダム下流生態系の 構造と機能（イントロダクション）

*岩田智也（山梨大）、鏡味麻衣子（横浜国立大）、土居秀幸（兵庫県立大）
占部城太郎（東北大）

1. はじめに

国内には堤高 15m 以上の大ダムが 3,000 基以上設置されており、治水・利水や水力発電に利用されている。ダムの運用や土砂管理、水質環境、下流への生態影響については、土木工学、衛生工学、応用生態工学などの分野で活発に研究が行われてきた。陸水学においても、ダム湖内の水質やプランクトン群集の動態、物理過程に関する長い研究の歴史がある。とくに近年では、気候変動を踏まえた治水対策の見直しや、山から海岸までを一体とした流砂系の復元を目指す取り組みが広がりつつあり、そのなかでダムの新たな運用が模索されている。さらに、ダムによる効用と環境影響を同時に評価し流域全体でダムの最適配置を検討する試みや、ダムによる流域生態系サービスの変化といった、住民の幸福 (human well-being) にまで踏み込んだ研究も行われるようになっており、多面的な評価軸からのダム研究が精力的に進められている。

このように環境変動に対する新たな適応策がダムの運用にも求められているが、ダム湖およびダム下流生態系の広域的な応答特性に関する知見は思いのほか蓄積していない。そのため、ダムを含めた流域管理施策のための基礎的知見が不足しているのが現状である。本セッションでは熱帯から冷温帯の様々な立地環境に設置された大ダムを対象に発表者から最新の研究事例を紹介していただき、ダム湖・ダム下流生態系の広域的な変動パターンを浮き彫りにすることを目的とする。さらに比較陸水学的な観点から、気候変動の適応策としての新たなダム管理策について考察する。

2. 課題講演の概要

セッションに先立ち、本講演では、まず国内外における既存研究の成果をレビューし、ダム湖および

ダム下流生態系の物理化学的諸特性や生物群集、生態系機能に関する課題を整理する。次いで、本セッションの 11 の講演概要を紹介しながら課題との対応関係を示し、総合討論に向けた論点整理を試みる。

各演者からの発表では、前半にダム湖内の生物群集と生態系プロセスに関する研究を順に紹介していただく。まずダム湖の動物プランクトン、水生菌類、魚類、細菌群集に関する 3 つの研究紹介があり、ダム湖における生物群集の構造と機能およびその広域パターンについて明らかにする。次いで、ダム湖の一次生産や富栄養化対策に関わる研究として、全循環の有無やリン負荷量、曝気式循環装置に着目した 3 つの発表があり、それらをもとに水資源に直結したダム湖の水質変換過程に関して議論を行う。さらに、水柱の溶存メタン動態とその支配要因に関する研究紹介があり、ダム湖からの温室効果ガス放出について考察する。

セッション後半では、ダム下流生態系に関わる研究を紹介していただく。土砂還元が底生動物群集に及ぼす影響、ダム河川の濾過食者の生態機能、ダムによる流域ネットワークの改変と魚類群集など、下流の生物群集についての研究紹介を通じて、ダムによる生物影響とその緩和策について統合的に理解を進める。最後に、通砂運用が開始されているダム下流河川の生態系代謝のモニタリング結果の報告があり、土砂対策が河川の生態系機能に及ぼす効果を考察する。

本セッションの最後には、各発表の成果を統合しながら意見交換と総括を行い、気候変動下におけるダムによる環境影響の回避と低減のための適応的方策について検討したい。

広域パターン

*鈴木碩通（東北大・生命）

一柳英隆（水源地環境センター）

占部城太郎（東北大・生命）

1. はじめに

局所生物群集は、巨視的に捉えると、分散フィルターとニッチフィルターによりその構造が決定される。しかし、それらフィルターの相対的な影響の大きさは、生物群集の構造単位によって異なり、分類群を単位とした場合では分散フィルターが、機能群を単位とした場合ではニッチフィルターがより支配的な影響を及ぼすと考えられる。しかし、群集構造を決定するそれらフィルターの具体的な影響を評価するためには、多数の離散的な群集を対象にした解析が必要である。本研究では、分散能力や形質などの点で多様性に富む動物プランクトンに注目し、河川水辺の国勢調査によって調査記録された、ダム湖における動物プランクトンデータを用いることで、上記フィルターの相対的重要性とその群集構成単位への影響について解析した。

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巡目のデータが入手可能であった全国87のダム湖のデータを解析に使用した。まず、各ダム湖におけるタクサの在・不在データ及び、各タクサを体サイズや食生といった形質によって分類した機能グループごとの在・不在データを用い、分類群による群集構造と機能群による群集構造を把握した。次いで、これら群集構造毎にダム湖間での非類似度指数を算出した。また、ダム湖の緯度・経度や標高といった動物プランクトンの分散に関わる要因と、湖水の栄養状態や魚類群集、ダムの諸元といったニッチに関わる要因を説明変数としたデータマトリクスを作成した。ダム湖の緯度・経度は、distance based MEM (dbMEM) によって様々な空間スケールを表すMoran 固有値へと変換し、魚類群集はPCoAによって主座標スコアを算出し、第3軸までのス

コアを説明変数として用いた。ダム湖間での群集構造のばらつき（分散）に対するそれらの要因の説明率は、distance based RDA (dbRDA) を用いた分散分割によって算出した。また、群集構造に対する各説明変数の影響の大きさは、partial dbRDA で評価することで、それらを分類群と機能群で比較した。

3. 結果

dbRDA を用いた分散分割により、分類群を単位とした群集構造のばらつきの約31%、機能群を単位とした群集構造のばらつきの約39%が、とりあげた説明変数で説明された。分類群を単位とした群集構造では、分散に関わる要因とニッチに関わる要因の説明率がほぼ等しかった。しかし、機能群を単位とした群集構造では、ニッチに関わる要因の説明量が分散に関わる要因の説明量よりも大きかった。さらに、partial dbRDA による変数ごとの解析の結果、分類群を単位とした群集構造では、分散に関わる変数の多くが有意であった。しかし、機能群を単位とした群集構造では、ニッチに関わる変数のほうがより多く有意であり、ばらつきに対する説明量も多かった。

4. 考察

本研究の解析により、機能群を単位とした群集構造は、分類群を単位とした群集構造に比べ、ニッチに関わる多くの要因に有意に影響され、しかも構造のばらつきもニッチに関わる要因によって多く説明されることが示された。これらの結果は、動物プランクトンの機能群レベルの構成が、ニッチフィルターにより支配的な影響を受けていることを意味している。すなわち、環境が似ていば、動物プランクトン群集は、種構成が異なっても、機能的には良く似た構成となることが分かった。

*鏡味麻衣子(横浜国大), 土居秀幸(兵庫県大), 松岡俊将(京都大)
瀬戸健介(横浜国大), 望月学(横浜国大), 斉藤達也(兵庫県大)
一柳英隆(水源地環境センター), 大杉奉功(水源地環境センター), 占部城太郎(東北大)

1. はじめに

湖の生物の群集構造は、移入や絶滅のような広域的なスケールで作用する要因と、局所環境で作用する水質などの非生物的要因や競争や捕食といった生物間相互作用の結果として決まる。また、それら複数の要因の相対的重要性は、対象とする生物群集によっても異なることが予想される。

本研究では、日本全国のダム湖における生物群集を比較することで、広域的なスケールで作用する要因と、局所環境で作用する要因の相対的重要性を検討した。解析対象は、空気を介した移動分散も可能な菌類と、河川や人為を介した移動が可能な魚類を対象とした。

群集把握には、近年発展しつつある、環境 DNA メタバーコーディングを活用した。環境 DNA メタバーコーディングを真菌類と魚類群集の網羅的把握に適用することで、全国 50 ヶ所のダム湖についての生物群集解析が可能になった。

2. 材料と方法

調査地は全国約 3000 箇所の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、GF/F ガラスフィルター上にろ過捕集し、環境 DNA 抽出を行った。菌類特異的なプライマーセット(18S)および魚類特異的なプライマーセット(MiFish)を用いてライブラリ調整を行い、MiSeq にて DNA 配列を解析した。その後、Claident, DADA2 などを用いて、ASV により種判別を行い、DNA メタバーコーディング解析を行った。メタバーコーディングで得られた菌類・魚類の群集について、空間・環境要因の相対的重要性を Variation partitioning (分散分割) 解析により検討した。空間要因として各ダム湖の緯度経度を、湖内要因として水質および植物プランクトン組成を用いた。

3. 結果

菌類については、水中で泳ぐことのできるツボカビが多く、多くのダムで優占しており、中でも珪藻に寄生するツボカビが多く出現した。一部のダム湖では子嚢菌や担子菌が優占した。子嚢菌や担子菌は陸上植物の寄生菌や内生菌と近縁であり、ダム湖集水域の植生を反映している可能性がある。菌類群集構造と空間要因および湖内要因(水質、植物プランクトン)の影響を検討した結果、菌類全体とツボカビ群集とでは空間要因と湖内要因の相対的重要性が異なった。陸生菌類を含む菌類全体では空間要因が重要な一方、水域に生息するのは植物プランクトン組成からの影響が大きかった。

魚類については、緯度によりダム湖での種数異なる傾向が見られ、南方のダム湖では種数が増える傾向にあった。また、魚類群集構造と空間要因および湖内要因(水質、植物プランクトン)の影響を検討した結果、空間要因と湖内要因の相対的重要性が低く説明力が小さいことが明らかとなり、菌類と同様の傾向を示した。

4. 考察

日本全国のダム湖において、菌類と魚類生物群集について比較することで、さまざまな環境や地理的位置にあるダム湖における解析を行うことができた。その結果、群集構造については緯度との関係など全国的な傾向は見られるものの、分散分割などの分析では説明力は低く、今回解析に用いた空間要因や湖内要因では説明できない構造がみられた。菌類については、空気を介した移動分散が多いため、メタ群集からの移動分散が群集集合に大きく貢献している可能性が考えられた。魚類においては、影響しうる適切な環境要因を検討するなど、今後さらに検証が必要である。

Anaerobic microbial redox processes in an iron-rich and meromictic dam lake

*Jackson M. Tsuji¹, Tomohiro Watanabe¹, Hisaya Kojima¹, Tomoya Iwata², Manabu Fukui¹
¹Hokkaido University ; ²University of Yamanashi

Introduction

– Lake Mizugaki (Yamanashi Prefecture) is a multi-purpose dam lake used for flood control, hydroelectricity, and drinking water supply. Strong stratification has been reported across multiple seasons, and the cold, deep, and anoxic water of the lake dissolves high concentrations of ferrous iron. Hydrogen sulfide and methane are also detectable in the anoxic water column, along with arsenic that is likely sourced from a nearby geothermal spring. By sequencing selected marker genes, we have previously identified microbial populations potentially involved in sulfide and methane oxidation in the lake. One of the predominant sulfur oxidizers in the genus *Sulfuritalea* was isolated and found to respire arsenate, suggesting that microbial arsenic cycling could be important in the lake's anoxic zone. However, the diversity and functional potential of microorganisms in this meromictic lake remain largely uncharacterized. Here, we apply metagenome sequencing to water samples from Lake Mizugaki to explore the genomic potential for microbial redox processes using methane, sulfur, iron and arsenic.

Materials and Methods

– We sampled the water column of Lake Mizugaki in September 2021 to collect physicochemical parameters and obtain microbial biomass. The total depth of the lake was 45 m. Water from seven depths of the lake was pumped through Sterivex filters. Extracted DNA from Sterivex filters was used for short read shotgun metagenome sequencing, and short reads were assembled and binned into metagenome-assembled genomes (MAGs) using the ATLAS pipeline. Marker genes for biogeochemical processes of interest were identified using sequence homology searches followed by manual curation. Specifically, the *soxB*, *arrA*, and *pmoA* genes were used as markers for the oxidation of reduced sulfur species, arsenate reduction, and methane oxidation, respectively. Multiple genes were used to identify potential iron-oxidizing and iron-reducing populations.

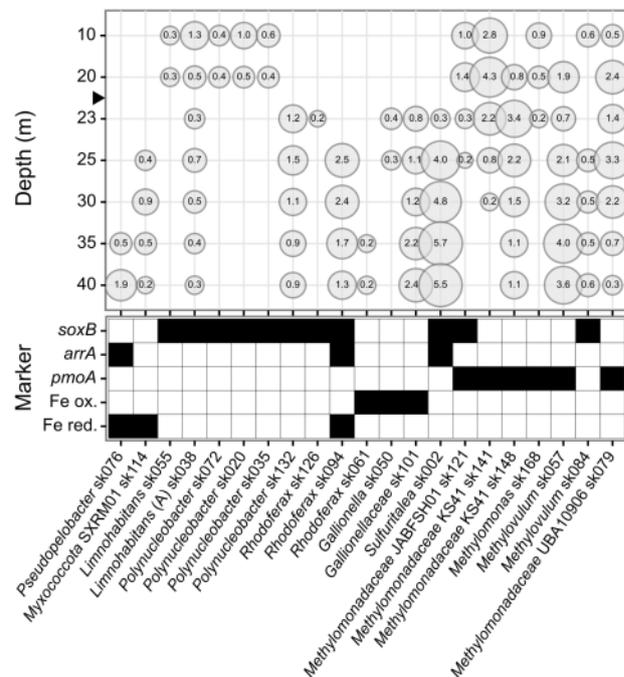


Fig. 1. Genomic potential of microbial communities in Lake Mizugaki. The bubble plot shows the relative abundances (%) of MAGs that contain genetic markers of interest; a black triangle shows the oxic/anoxic zone boundary. The heatmap shows the presence/absence of selected genetic markers in each MAG.

Results and Discussion

– We detected diverse microbial populations with the genomic potential to oxidize sulfur compounds across the water column of Lake Mizugaki (Fig. 1). Along with *Sulfuritalea* sp., we detected two other high relative abundance populations in the anoxic zone with potential for arsenate reduction. These populations appear flexible metabolically and could also participate in iron or sulfur cycling. Populations with potential for methane oxidation were detected even in the deep anoxic zone, implying that they might use a novel metabolism. Multiple populations with potential for iron cycling were also identified in the anoxic water column, which had up to $\sim 50 \mu\text{M}$ ferrous iron. These results support that microorganisms could be important drivers of biogeochemical cycles relevant to water quality in this meromictic dam lake.

ダム湖における全循環の有無と水温の植物プランクトン 群集構造に対する異なる影響：現存量と多様性の変動に着目して

片寄涼介¹, 角谷拓², 高津文人², 松崎慎一郎², 赤坂宗光^{1,2}

1. はじめに

気候変動による湖の表層水温の上昇は成層強度を強め、冬季全循環の発生を停止させる可能性が指摘されている。しかし高水温とそれに伴って生じやすい全循環の不全や停止の湖沼生態系への影響を分けて議論することは難しかった。一次生産を担う植物プランクトンは、多様な表現形質を持ち世代間が短く、水中に浮遊するため成層の発達状態や水質等に依って出現種が置き換わりやすい。このことから植物プランクトンの群集構造は全循環の有無によって変化すると考えられ、全循環の有無が植物プランクトン群集にもたらす影響の解明は、気候変動が湖沼生態系にもたらす影響の理解に不可欠といえる。本研究では長期データが蓄積されているダム湖を対象に、全循環の有無が植物プランクトン群集を規定する要因となりうるのか、また水温とは異なる関係があるのか検証した。

2. 材料と方法

水資源機構が管理する全国 22 のダム湖を対象とした。1982 年から 2017 年までの 9 月から 12 月における各月の表層の水質観測値(水温、全リン、全チッソ濃度)は環境条件を示す変数として利用した。各月の植物プランクトンの総現存量を示す変数として表層のクロロフィル a 濃度を用いた。多様度の変化は各月に表層で確認された植物プランクトンの属数を示す分類学的多様度と、出現した属の表現形質を定量化することで群集構造の変化を把握できる機能的多様度を指標とした。機能的多様度は環境条件に応じて出現頻度が変化すると考えられる 6 表現形質(群体性、遊泳性、糸状性、単細胞性、付着性、¹ 東京農工大,²

国立環境研究所浮遊性)の出現有無と細胞サイズを用いた Functional richness Dendrogram をもとに算出した。全循環の有無は 9 月から 12 月の底層における溶存酸素濃度が上昇する際の表層と底層の水温差であった 3.7°C を閾値とし判断した。現存量、分類学的多様度、機能的多様度、それぞれに対する表層の水質観測値と全循環の有無の直接的な効果、および栄養塩濃度を介した間接的な効果は構造方程式モデルを R 上で JAGS を用いて構築し、ベイズ推定により行った。

3. 結果

全循環の発生月は未発生月と比べ表層の全リン、全チッソ濃度は増加する傾向がみられた(図 1)。また水温の上昇は植物プランクトン群集を評価する 3 指標全てを増加させた。全循環の有無の直接効果は現存量のみに対して負の効果を示した。一方、栄養塩濃度を介した全循環の発生の効果は現存量に対しては表層全リン、全チッソ濃度どちらも正の効果と認められたのに対し、機能的多様度と分類学的多様度に対しては全リン濃度の増加に伴い低下する傾向を示した。

4. 考察

全循環の有無は植物プランクトン群集に影響することが明らかとなった。特に栄養塩濃度の増加は現存量を増加させることから水温とは逆の効果を持つと考えられる。また全循環の発生は全リン濃度の増加を介して機能的多様度と分類学的多様度を減少させることから現存量だけでなく群集構造にも影響を与える。これらから水温変化だけでなく、気候変動に伴う全循環の停止も植物プランクトン群集の構造に影響を与えると考えられる。

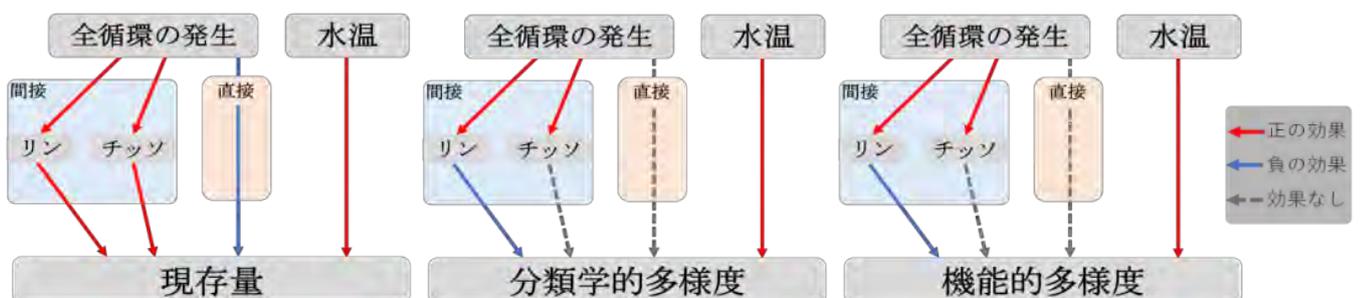


図 1、植物プランクトン現存量と多様度指標に対する全循環の発生と各変数の効果

Zhang Xiaoxuan, *吉村千洋 (東京工業大・環境・社会理工)

1. はじめに

ダム湖でのアオコ発生に対しては、曝気などの現地対策が取られる。しかし、栄養塩流入とアオコ発生の関係に与える各対策の効果はまだ十分に解明されていない。そこで、本研究では、ダム湖の水質管理に資するために、ダム湖におけるリン負荷と一次生産の関係を整理し、その関係に対する水質対策の影響を検討することを目的とした。

2. 方法

関西・中部の9か所のダム貯水池を対象として、1991年から2017年の水文・水質データを収集した。まず、各貯水池における全窒素と全リンのモル比を計算し、制限因子を推定した。その結果、リンが制限因子であったことから、Vollenweiderモデルを年単位で適用し、リン酸態リンの実際の面積負荷に対する限界面積負荷の割合を富栄養化レベルの指標として算出した。そして、その指標とクロロフィルa濃度の関係を回帰直線により経験的にモデル化し、その濃度の実測値とモデル値の比を貯水池ごとに時系列データとして整理し、統計的に有意な変化点を検出した。また、検出された変化点と各ダム貯水池の水質対策の実績の対応を確認した。

3. 結果

全てのダム貯水池中の窒素とリンのモル比はレッドフィールド比よりも高かったためリン制限と推定された。リン酸の限界濃度や限界負荷量に関する比はクロロフィルa濃度と有意な正の相関関係を示し、限界負荷量を用いた富栄養化レベルの指標の方が高い相関係数を示した(図1、図2)。そして、対象期間において真名川ダム及び宮ヶ瀬ダム以外の全てのダム貯水池において、少なくとも一つ以上の変化点が検出された。

4. 考察

各ダム湖のリン負荷とアオコ発生の関係は変化点のタイミングで変化したと考えられる。たとえば、青蓮寺ダムでは、2005年及び2011年において変化点が検出され、リンの面積負荷が同じでもアオコが発生しにくい状況になった(図3)。また、このダムでは2002年および2005年に分画フェンスが設置されており、その効果が示されたと考えられる。

今後、全国のダムを対象とした解析、また、ダム特性と水質対策の効果について統計的に対応付け

を行うことが可能である。

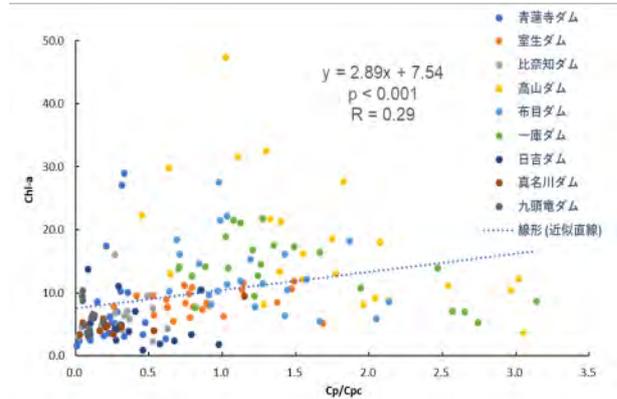


図1. ダム貯水池におけるリン酸の年平均濃度と限界濃度 ($C_{pc} = 10 \mu\text{g/L}$) の比とクロロフィル a 濃度の関係

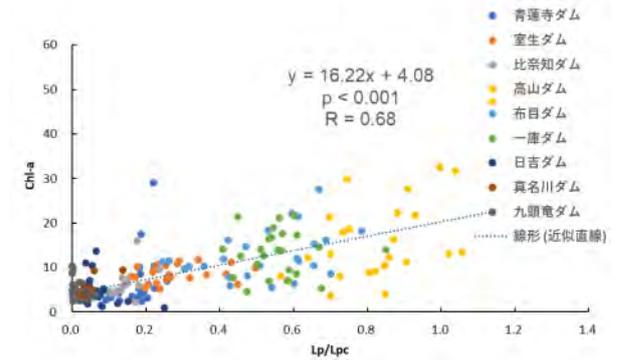


図2. ダム貯水池における富栄養化レベルの指標 (リン酸態リンの面積負荷に対する限界面積負荷の割合) とクロロフィル a 濃度の関係

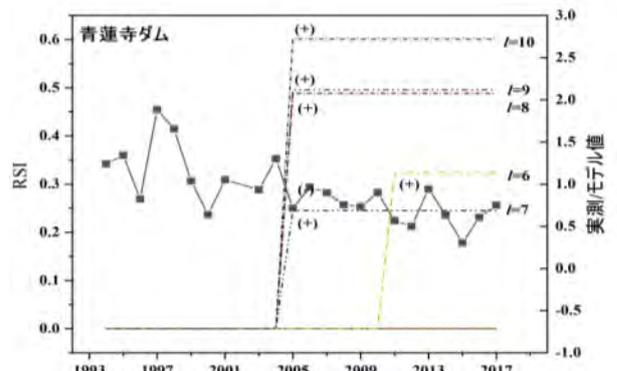


図3. 青蓮寺ダムにおけるクロロフィル a 濃度の実測値とモデル値の比およびレジームシフト指標 (RSI: Regime Shift Index) の年平均値 (l : 検定対象期間 (年))

謝辞. 本研究は水源地生態研究会の一環として実施しました。水源地環境センターのご支援に感謝いたします。

*梅田信（日本大学）

1. はじめに

ダム貯水池は、治水や利水といった様々な役割を果たしており、社会基盤施設として非常に重要なものである。しかしながら、ダムを建設することにより、流れていた河川がせき止められ、本来の河川環境は変化することがある。特に閉鎖性水域となるダム貯水池では、河川から流入する栄養物質などが蓄積し、水質障害が発生する場合もある。その例として、アオコのように植物プランクトンが過剰に増殖する現象が挙げられる。アオコによる水面の着色現象や上水の異臭味障害などが発生した場合には、景観や水利用に障害を及ぼしてしまう。そこで、アオコ抑制のための湖内水質対策として、曝気式循環施設が多くの貯水池で導入されている。

本研究では、数値解析モデルを用いて曝気式循環施設の適切な施設規模を求める手法に関する検討を行った。そして、国内の複数のダム貯水池を対象とした計算結果に基づき、施設規模指標に対する外力条件の影響について解析し評価した。

2. 材料と方法

曝気式循環施設の施設規模についての指標としては、土木研究所により提案された、次式で定義される k 値を考慮することが多い。

$$k = \frac{\sum \sqrt{Q}}{A} \quad (1)$$

ここで、 Q は曝気循環装置 1 基あたりの吐出空気量 (L/min)、 A は貯水池の湛水面積 (km²) である。国土交通省が取りまとめた曝気設計マニュアルでは、概ね 250 から 300 の k 値であれば十分な施設規模であるとしている。

アオコ発生の原因種である藍藻類の増殖は、貯水池表層の水温成層と関連することが指摘されている。貯水池表層の成層安定性を表す表層水温勾配 I は、アオコ発生指標として用いられている。

$$I = \frac{T_1 - T_2}{D_1 - D_2} \quad (2)$$

ここで、 T_1 は表層水温 (°C)、 T_2 は水深 3m における

水温 (°C)、 D_1 は表層水温の測定水深 (m)、 D_2 は T_2 の測定水深 (3m) である。 I が 0.5°C/m を超過すると、アオコが発生する可能性が高くなるという知見がある。

検討対象には、曝気式循環施設の設置されるダムを地域別に 7ヶ所を選定した。東から（概ね東北から九州に向かって）順に、浅瀬石川ダム、三春ダム、草木ダム、阿木川ダム、高山ダム、鹿野川ダム、寺内ダムであり、これらを対象にそれぞれ 1 年間の条件を用いて計算を行い、曝気の適切規模に関する解析、評価を行った。

3. 結果

水温に関して、解析モデルの再現性を各ダムについて確認をした。いずれのダムでも、表層水温については良好な再現性であった。水温勾配についてはある程度の再現性が得られた。

適切な曝気式循環施設の施設規模の評価としては、稼働曝気台数を 0, 2, 4, 6, 8 台と複数の条件で計算し、それぞれの表層水温勾配の時系列から、0.5°C/m を超過する日数から評価を行った。これを k 値に換算し、7ダムでの比較評価をした。概ね実績の設置条件に近い条件で、適切規模と評価することができた。

この k 値を指標とする結果から、外力条件との相関分析を行った。気温、風速、雲量および流量と適切な施設規模に相関があると見られ、特に風速の影響が強いことが分かった。

4. 考察

湖面風は、自然湖沼も含め湖水の流動に対する最大の外力であると言え、特に本研究対象に関わるような、表水層の流動と混合に対する影響は大きい。すなわち、湖面風が強いほど表層の混合が進みやすいため、アオコの抑制に対して曝気循環の効果を増幅しうる。 k 値では、湖面風が考慮されていない指標であるが、このような整合的な結果が得られたことは興味深いと言えそうである。

溶存メタン濃度の季節変動と支配要因

*伊藤雅之（兵庫県大），小林由紀（山口大），Mendoza MU（Ateneo de Manila Univ.），藤林恵（九州大），福井学（北大），奥田昇（神戸大），Shiah FK（Academia Sinica）

1. はじめに

湖沼は重要な大気へのメタン放出源の一つと考えられ、全球の湖沼からの放出量の推定値(159 Tg CH₄ yr⁻¹)はその時空間的変動の大きさから非常に不確実なものとなっている(Saunois et al., 2020)。推定に利用されているデータの多くは温帯や寒帯のものであり、高温条件でメタン生成が活発と予測される熱帯の観測例がほとんど含まれていない。本発表では、特にデータの少ない東南アジア域の熱帯火山湖(フィリピン; Mendoza et al., 2020, JGR)と亜熱帯ダム湖(台湾; Itoh et al., 2015, JGR)で行った詳細なメタンと環境要因の観測結果から、気候帯や湖の深さ・気象条件が湖の酸化還元環境やメタン生成・大気への放出機構に及ぼす影響について発表する。

2. 材料と方法

フィリピンの3つの火山湖 Yambo (最深深度 38 m), Pandin (同 62 m), Calibato (同 135 m; 2018 年 4 月～2019 年 2 月; 14.1° N, 121.4° E)、台湾のダム湖 (Fei-Tsui Reservoir: FTR; 同 114 m; 2012 年 10 月～2014 年 3 月; 24.5° N, 121.3° E) で観測を行った。年平均気温・年降水量は各 27.7°C, 1639 mm (2015-18), 21.5°C, 4052 mm (2004-13)である。深度別の湖水試料を Go-Flo ボトル (General Oceanics, USA)を用いて採水した。水試料はガラスバイアル(20-30ml: 溶存メタン濃度)とポリボトル(水質分析等)に分けて採取した。バイアルはゴム栓とアルミシールで密閉し、FID 検出器付 GC を用いてメタン濃度を測定した(ヘッドスペース法)。主要な溶存イオン濃度はイオンクロマトグラフィーを用いて分析し、水温・溶存酸素濃度(DO)等の深度別濃度を各サイトで観測した。

3. 結果

フィリピンの火山湖の平均溶存メタン濃度は表層及び深底層で Yambo (0.27 ± 0.07 , $421 \pm 189 \mu\text{mol L}^{-1}$), Pandin (0.48 ± 0.37 , $1121 \pm 125 \mu\text{mol L}^{-1}$), Calibato

(0.34 ± 0.23 , $943 \pm 119 \mu\text{mol L}^{-1}$)であり、いずれも明瞭な季節変動は見られなかった。一方、台湾 FTR の溶存メタン濃度は表層 0.036 ± 0.026 、深底層 $135.6 \pm 120 \mu\text{mol L}^{-1}$ と、フィリピンの同様の深度の湖に比べて共に 1 桁以上低い濃度だった。FTR では冬期混合の直前に底層の溶存メタン濃度が高い季節性が見られたが、その時期の底層濃度(90m)は 2012 年(深底層 0.11 ± 0.23)、2013 年(同 $84.0 \pm 25.4 \mu\text{mol L}^{-1}$)と有意に異なった。

4. 考察

フィリピンでは、深底層の水温が深度 135m の Calibato でも 25°C とメタン生成菌にとって好ましい環境かつ、深部では常に成層が持続することで高濃度のメタン蓄積が観測されたと考えられた。3つの湖で表層から 15m-25m 程度までは溶存酸素が 2 mg L^{-1} より高く、特に表層メタン濃度(0-5m)は概ね $1 \mu\text{mol L}^{-1}$ 以下であった。最も浅い Yambo ではそれ以深で段階的に溶存メタン濃度が増加する一方、さらに深い2つの湖では、それ以深の深度で急激にメタン濃度が高く維持され、高濃度メタンの蓄積層が存在するとみられた。浅い湖や深い湖の表層では気象(降水・気圧・気温)の変動とメタン濃度に関係がみられ、表層の部分的な湖水鉛直混合の影響が示唆された。台湾 FTR では、深底層(100m)の水温は年間を通じて 16°C 程度と熱帯より低いことに加え、低温期に生じる鉛直混合により表層の DO が深部に供給されることで底層のメタン生成が抑制されるために熱帯より低い底層メタン濃度となっていると考えられた。また前年の鉛直混合の強度が翌年の底層の還元環境を規定し、その結果メタン生成や蓄積にも影響することが示された。これらの結果は、暖冬(温暖化)により鉛直混合が弱まることで亜熱帯湖の深底部のメタン生成や蓄積が増加し、熱帯の湖のように高濃度のメタンを蓄積する機会が増加する可能性があることを示した。

支川流入との比較

*片野 泉（奈良女子大研究院・自然科学系）・原 直子（奈良女子大院・人間文化総合科学）・土居秀幸（兵庫県立大院・情報科学）・根岸淳二郎（北大院・環境科学）・皆川朋子（熊大・工）・萱場祐一（名工大・工）

1. はじめに

河川生態系にとって土砂は不可欠な要素であり、その輸送と堆積のバランスは、水生生物相に大きな影響を与えている。ダムは土砂輸送の連続性を断つため、ダム下流域では砂や小礫が消失する河床粗粒化が引き起こされ、底生動物や魚類など生物群集の改変が問題となっている。しかしこのような問題はダム下流で支川が流入し、土砂が再供給されることで緩和される(Katano et al. 2009)。

現在、いくつかのダム下流で試行されている土砂還元は、元々はダム湖の堆砂処理として行われていたものであり、ダム湖上流や湖内に堆積した土砂を掘削してダム下流河道へと輸送し置土するものを指す(Sumi 2017)。土砂還元は支川流入と同様に、粗粒化の改善など劣化した環境を緩和する効果が認められるものの、その生態学的効果についてはこれまでほとんど評価されてきていない。

そこで本研究では、土砂還元が下流生態系に及ぼす効果を検証し、その効果量を支川流入と比較することを目的とした。第一に、土砂還元実施前後で野外調査を行い、河床環境および底生動物群集の変化を比較した。第二に、これまでの調査で得た支川流入前後および土砂還元前後の河床環境・底生動物群集データを解析し、両者の効果量を比較した。

2. 方法

調査地として阿木川ダム（木曾川水系阿木川）周辺を設定した。阿木川はダム下流 2.3km において、ダム下流で最初の支川が流入している。阿木川ダム下流で初めて土砂還元が実施された 2005 年の 3 月（実施前）と 8 月（実施後）に野外調査を行った。河床環境因子を網羅して測定し、底生動物は 50x50cm サーバネットを用いた定量採集を行い、密度・分類群数・多様性指数などを計算した。多変量解析により 3 月と 8 月のデータを比較

し、有意な差がみられる分類群を明らかにした。

支川流入前後のデータが揃う 7 ダム河川、土砂還元前後のデータが揃う 5 ダム河川を対象に多変量解析(PCA, RDA)を行った。河床に存在する土砂量を表す環境因子として、D50、砂被度、河床粗度を用いて、土砂量を表すと判断される軸に沿った支川流入・土砂還元前後の変化を比較した。

3. 結果と考察

阿木川ダム流程での調査では、土砂還元前後で底生動物群集が大きく変化し、土砂還元後には底生動物密度・分類群数・多様性指数が還元前よりもリファレンス地点（支川・ダム上流）に有意に近づくことが確認された。多変量解析の結果、土砂還元後の底生動物群集はリファレンス地点に近づくが、ダム上流よりも支川の方により近づくことが示された。この群集変化を特徴付ける分類群として、ヤマトビケラ科 *Glossosomatidae* など、還元土砂を用いて携巣を作る携巣型トビケラが挙げられた。これら分類群の密度はダム上流・支川の両地点共に高かったが、より高いのは支川であった。また土砂還元後の調査時期が 8 月であり、ヤマトビケラ科の生活史からは、支川から遡上飛行した雌成虫がダム下流で産卵し、孵化した幼虫が土砂還元地点で再供給された細流河床材料を使用して生息可能になったことが考えられた。

複数のダム河川において支川流入と土砂還元の効果を比較した結果、支川流入前後では土砂環境と底生動物群集の両方に緩和効果がみられた。一方、土砂還元前後では土砂環境の緩和は、支川流入よりも有意に大きく認められるものの、底生動物群集はほとんど変化が認められなかった。

これらの結果から、土砂還元は河床環境を改善させる効果が高いものの単独では生物群集への顕著な効果は見込めず、支川による生物の供給を考慮した土砂還元が重要であることが示唆された。

*原 直子 (奈良女子大院), 坂本 菜々子 (奈良女子大・理)

田代 喬 (名大・減災連携研究センター)

土居 秀幸 (兵庫県立大院・情報科学)

竹門 康弘 (京都大学防災研究所), 片野 泉 (奈良女子大研究院自然科学系)

1. はじめに

ダム直下では、ダム湖内で増殖したプランクトンが流下することでプランクトン密度が高くなっている。しかしその流下プランクトン密度は河川の自浄作用が働くことで、数 km 以内に減衰することが多い (Chang et al. 2004, Doi et al. 2008)。河川の自浄作用は大きく 2 つに分けられる (Lair 2006)。1 つ目は物理学的作用であり、支川や地下水などの流入による希釈や淵での沈降、瀬での濾過によって物理的に粒状有機物が減少する作用である。2 つ目は生物学的作用で、河川に生息する濾過食者が濾過、摂食することで河川水中の粒状有機物を減少させる作用である。生物学的作用の担い手である濾過食者が、ダム下流域において密度増加することはよく知られているが (Katano et al. 2009)、濾過という生態機能がいつ、どこで、どの程度、発揮されているかについての知見は少ない。そこで本研究では、自浄作用としての生物学的作用、すなわち濾過食者の生態機能がどのような地形、どのような生活史段階で最も強く働くかを明らかにすることとした。

2. 方法

濾過食者が豊富に生息する宇治川 (淀川水系、京都府宇治市) にて調査を行った。河道地形による差を評価するため、川幅、水深がともに異なる地形の場所 (狭窄部と拡幅部、図 1) にそれぞれ上流地点と下流地点の 2 地点を、生活史段階による差を評価するために一つの瀬内に上流地点と下流地点の 2 地点を調査地点として設定した。河道地形間の比較 (狭窄部と拡幅部の調査) では濾過食者 eDNA 量の測定、生活史段階間の比較ではコドラート付サーベネットで底生動物の定量調査を行い、濾過食者の分類群と数量を測定した。濾過対象物として流下粒状有機物量、流下クロロフィル (植物プランクトン) 量を測定し、上流から下流

への減衰傾向を濾過効率として比較した。河道地形間の調査は流量の安定した時期に行い、生活史段階間の調査は河川内に水生昆虫が豊富に生息する冬季と羽化して陸上に移出した春季で同一の調査を行って結果を比較した。

3. 結果

河道地形間調査で eDNA 量を測定した結果、狭窄部では特定外来種のカワヒバリガイ、拡幅部ではシマトビケラ科の濃度が高く、各地形で優占する濾過食者は大きく異なることが明らかとなった。濾過食者の餌として、流下粒状有機物量は減衰傾向に地形間で差はないものの、植物プランクトンの減衰傾向は拡幅部に比べ、狭窄部で高くなっていた。また、生活史段階間の調査では、水生昆虫の数量ともに多い冬季の方が植物プランクトンの減衰傾向が高いことが分かった。

4. 考察

カワヒバリガイ・シマトビケラ科による生物学的作用は、主に植物プランクトンの減衰に大きく寄与していることが明らかとなった。また、本来日本に生息していないカワヒバリガイの濾過機能は非常に高く、カワヒバリガイのみによる濾過 (生物学的作用) がシマトビケラ科と瀬淵構造による濾過効率 (生物学的作用+物理学的作用) を上回ることで、水生昆虫が河川内に多い冬には濾過食者による生態機能がより強く発揮されることが示唆された。本研究により、濾過機能の現れ方は河川地形、生活史段階によって大きく異なることが明らかになった。今後は複数のダム河川でも比較、検証を行いたい。



図 1 宇治川の調査地点 (a)狭窄部 (b)拡幅部

1. はじめに

これまで筆者が取り組んだ3つの研究を通じて、ダム建設が魚類に与える影響が多様かつ複雑であることをお伝えする。はじめに、北海道全域で過去半世紀に実施された魚類調査データの解析によって示された、ダム上流で生じた魚類群集の変化についてお話しする。続いて、稚内市北辰ダム貯水池に陸封された絶滅危惧淡水魚イトウの回遊生態と陸封個体群の行く末について分かったことを紹介する。最後に、ダム開発が盛んなインドシナ半島の国際河川メコン川流域にすでにある複数のダム貯水池において、魚類群集の食物網構造を自然湖沼のそれと比較して示唆されたことをお話しする。

2. 材料と方法

2-1 北海道での約7千件の魚類調査について、調査時にその下流にダムが存在したか否かを説明変数に含め、調査地点の魚種数と各魚種の存在を応答変数とした一般化線形モデルを構築した。そしてダム変数の有意性を検証するとともに、モデルから推定される全道の魚種数と生息確率をGISによりマッピングした。

2-2 稚内市沿岸で漁獲されたイトウ成魚を3個体、地元漁師から入手した。また稚内市の声間川と隣接する猿払川の流域からイトウ稚魚(1+)を合計25尾採捕した。これらすべての個体から耳石を摘出し、切断研磨の後、レーザーアブレーションMC-ICP-MSによりSr安定同位体比($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)の成長に伴う変化を記録した。

2-3 メコン川流域の6つのダム貯水池、また3つの自然湖沼から合計85種の淡水魚を地元市場より入手し(肉食魚29種、雑食魚23種、草食魚33種)、筋肉組織の窒素安定同位体比($\delta^{15}\text{N}$)を計測した。またすべての魚種について栄養段階を文献(FishBase)より求めた。

3. 結果

3-1 ダム上流では生息する淡水魚の種数が有意に減少し、低い場所に造られたダムほど減少量が大き

く、仮に河口にダムが建設されると回遊魚を中心に9種の淡水魚が絶滅することが分かった。

3-2 (ダムのない)猿払川のイトウ稚魚はすべて海から遡上した母親から生まれ、一方で北辰ダム流入河川の稚魚はすべてダム湖から遡上した親から生まれたことが示された。そして海で捕獲されたイトウ成魚のうち1尾は北辰ダム流入河川で生まれダム湖から海に下り成長したことが示された。

3-3 計測した筋肉組織の $\delta^{15}\text{N}$ は、ダム貯水池の魚では1年を通じて各魚種の栄養段階と有意な正の相関を示した。しかし自然湖沼の魚では乾季のサンプルは正の相関を示したものの、雨季のサンプルではその関係が失われた。

4. 考察

北海道には70種ほどの淡水魚が生息するが、その約半数は海と川を行き来する通し回遊魚である。ダム建設により回遊経路の連続性が失われ、生活史を全う出来なくなった個体群が地域的に絶滅していることが示された。またダム建設以来、陸封され貯水池に閉じ込められていると考えられていたイトウ個体群において、その一部が降海していることが示された。この河川では、成熟したイトウが強い母川回帰性が故に産卵期にダム下に集結すること、魚道がないため子孫を残せず貯水池の個体群から降海性をつかさどる遺伝子が失われている可能性のあることも指摘されている(Fukushima et al. 2019, 2021)。メコン流域の自然湖において、雨季に魚類の $\delta^{15}\text{N}$ が栄養段階を反映しなくなるのは、水位の上昇に伴い水界内の有機物に加え、沿岸帯の有機物を魚類が餌として利用するからではないか。言い換えると、ダム湖の魚類は水界内の一次生産(植物プランクトン・付着藻類)のみを餌の炭素源にしている。単純な食物網が支えるダム湖の魚類群集、またそれに支えられた漁業や地域経済がはたして持続可能であるかが問題である。

*中野大助・鈴木準平・野田晃平（電力中央研究所）

1. はじめに

生態系代謝量（生産量および呼吸量）は、生態系内の全生物による炭素の固定と無機化を通じた炭素循環サイクルの基本プロセスである。観測機器の発達により河川水の溶存酸素濃度の連続測定が簡単に行えるようになったため、近年、溶存酸素の日変化パターンから河川生態系代謝量を推定するマスバランス法を用いた研究が世界各地で行われている。しかし、ダム河川における生態系代謝量の報告は限られている。

□本研究では、集水域に多数のダムを持つ河川において溶存酸素濃度および関連水質データや気象データの長期観測を実施し、河川生態系代謝量の時系列変化を明らかにするとともに、ダムからの放流量データを用いて出水攪乱に対する河川生態系代謝量の抵抗力（レジスタンス）と回復力（レジリエンス）について解析することを目的としている。

2. 材料と方法

調査対象である耳川（宮崎県）は、7つのダムを有しており、これらのダム群の最下流に位置する大内原ダムから約8.4km下流にある東郷橋付近に観測機器を設置し、河川生態系代謝量の推定に必要なデータ（溶存酸素濃度、水温、水位、気圧、光合成有効放射等）を取得した（観測間隔は10分）。本観測は2013年末から開始し、現在も継続中であるが、解析期間は2014年の1年間とした。得られたデータからマスバランス法を用いて日毎の生産量と呼吸量を算出した。なお、日毎の再曝気係数の推定には、回帰式法を採用した。

3. 結果

2014年の調査地の生産量と呼吸量の値はそれぞれ、 $0.1\sim 1.4\text{ gC m}^{-2}\text{ d}^{-1}$ と $0.01\sim 3.0\text{ gC m}^{-2}\text{ d}^{-1}$ の範囲であった。年始から大きな出水のない5月半ばまでは、ほぼ常に呼吸量が生産量を上回っていた（図1）。

その後、流量 $300\sim 600\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$ 程度の出水が発生する時期（6～9月）に入ると呼吸量は時々、生産量より小さい値を示すようになった。さらに10月上旬に流量 $1,300\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$ の大規模出水が発生すると呼吸量は減少して常に生産量を下回るようになった。

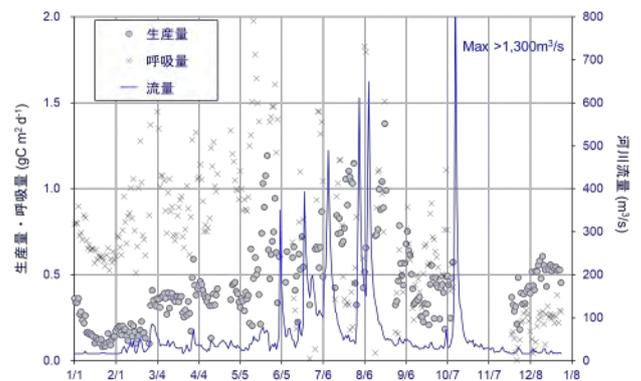


図1 2014年の河川生態系代謝量と流量

4. 考察

□本研究では、生産量と呼吸量の出水攪乱に対する応答の違いが認められた。先行研究では、呼吸量は、生産量に比べて出水攪乱への抵抗力が高いと報告されているが、本研究では、大規模な出水攪乱の後、生産量は速やかに回復するのに対して、呼吸量の回復は遅れることが示された。これらは、生産量と呼吸量の出水攪乱に対する抵抗力と回復力の違いによるものと考えられる。

□本研究は、公益財団法人国土緑化推進機構より助成を受けた。また、九州電力株式会社より流量データの提供を受けた。厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 岩田智也 (2012) 河川の炭素循環. 淡水生態学のフロンティア. 日本生態学会編
 Nakano et al. (2022) The effects of temperature and light on ecosystem metabolism in a Japanese stream. *Freshwater Science* 41: 113-124.

*中野伸一 (京大・生態セ)

1. 本課題講演の趣旨など

湖沼の植物プランクトンは、光合成の中間代謝物や自己の分解物として溶存態有機物 (DOM) を排出する。また、DOM は細菌や原生生物からも放出される。このようにして生成した DOM は細菌の餌資源となり、DOM により生産された細菌バイオマスは原生生物の餌資源となる。このように、DOM から細菌を経て原生生物へとつながる食物連鎖は、微生物ループと呼ばれている。従来、微生物ループは光合成による有機物生産を起点としていることから、その研究のほとんどは太陽光が透過する光合成が活発な表水層において行われてきた。一方、湖沼の最下層で底泥を含まない深水層は、太陽光が届かず、水温も低く、生物の現存量・生産が低いために、多くの研究者の注目を受けることが無かった。深水層の生態系は、これらの特性を持つため大型生物は少なく、細菌や原生生物などの微生物が優占するシステムであると考えられる。本課題講演は、主に科研費基盤 B 「湖沼深水層に卓越する微生物の世界」 (令和元年度から3年度) の成果に基づき、琵琶湖の深水層における有機物動態や微生物生態を解明するため、地球化学と微生物生態学が3年間にわたって共同研究を行った成果を報告する。我々は、本共同研究を通じて、湖沼深水層の微生物ループを基軸とした「Hypolimnion ecology (湖沼深水層生態学)」を提唱し、これまで未解明な秘境生態系とも言える湖沼深水層における生態学の学術基盤を構築したい。

2. 講演者 (順不同)

- 早川一秀 (滋賀県琵琶湖環境科学研究センター)
- 山口保彦 (滋賀県琵琶湖環境科学研究センター)
- 三木健 (龍谷大学先端理工学部)
- 岡崎友輔 (京都大学化学研究所)
- 沈尚 (日本学術振興会・特別研究員)
- 中野伸一 (京大大学生態学研究センター)

*早川和秀, 山口保彦 (琵琶研セ), 中野伸一 (京大生態研),
霜鳥孝一, 今井章雄 (国環研琵琶湖分室), 武井直子 (東レテクノ (株)),
Renhui Li (中国温州大), Fuhong Sun, Fengchang Wu (中国環境科学院 SKLECRA)

1. はじめに

紫外線および可視光を吸収する有色の溶存有機物 (CDOM) は、湖沼では、微生物や藻類からの溶出・分解生成物、植物や土壌に由来するフミン物質など複数の供給源がある。また CDOM の性質は、水環境の物理、化学および生物学的プロセスに大きく影響を受ける。このような CDOM の濃度とスペクトル特性を把握することは、湖沼における溶存有機物 (DOM) の起源やその生物地球化学的ダイナミクスの理解に役立つ。

国内湖沼には DOC 濃度と特定の紫外吸収波長の強度に相関があることが知られる (Fukushima et al. 1997) が、これまでの国内の水環境分野では、特定の波長における強度から腐植様物質の含有比を求めることが多かった。しかし近年、海外では、起源により波長領域を分けるなどのスペクトル解析方法が進展している (Helms et al 2008)。また、分子量分画による各画分の CDOM 評価も特性を把握する有効手段の 1 つとなっている。

CDOM の新たな解析法を導入することで、湖沼における DOM の起源や変化プロセスの理解が深化することを期待できる。本研究では、CDOM の解析方法として、吸収スペクトルの様々な波長を用い、分子量分画による低分子量画分の CDOM 解析を導入して、日本および中国湖沼での適用について検討した。

2. 材料と方法

湖沼水のサンプルは、2011 年 11 月に日本全国の湖沼 (n = 22)、2014 年 8-9 月に琵琶湖、霞ヶ浦、中国の太湖の中央 0.5 m 深で採取したものを用いた。採取した試水は Whatman GF/F フィルターろ過し、分析まで -20°C で保存した。DOC 濃度は、島津 TOC-VSH にて、紫外吸収 (230-500 nm) は、日立 U-2001 ダブルビーム分光光度計にて測定した。分子量分画は、0.2 μ m メンブレン膜ろ過と、ポール製 Minimate TFF ポリエーテルスルホン膜 (5kDa, 650 Da) により 2 段階の限外ろ過を実施した。

3. 結果と考察

湖水を 3 つの分子量画分 (0.2 μ m ろ過水、5kDa 膜ろ

過水、650Da 膜ろ過水) に分画した。そのスペクトル形状は、低分子量画分ほど短波長側で勾配が大きくなった (図)。275-290nm (S275-295) の勾配は、0.2 μ m ろ過水と低分子量画分では大きく異なったが、350nm 以上 (S350-370) では、0.2 μ m ろ過水と低分子量画分の差は統計的に有意ではなかった。275-290nm 付近には、アミノ酸やヌクレオチドなど生体に由来する有機物に関連する吸収があり、350 nm 以上の紫外吸収には土壌性のフミン物質の関与などが考えられることから、上記の違いは、国内湖沼の紫外吸収が湖内自生性の有機物の影響を強く受けたものと解釈できる。さらに、S275-295 は、流域/湖面積比および水の滞留時間と強い相関があった。

DOC あたりの吸収係数は、0.2 μ m ろ過水に比して、低分子量画分で有意に低く、高分子量画分に CDOM が多いことを示している。詳細にみると、DOC あたりの吸収係数は、富栄養、中栄養など似た特徴をもつ湖グループの間で類似していた。特に、富栄養湖の 650 Da 画分における DOC あたりの紫外吸収は、他の湖群よりも高く特徴的であった。

以上により、紫外吸収の新たな解析法により、湖水の有機物起源の推定、特に自生性の有機物への適用が示唆された。

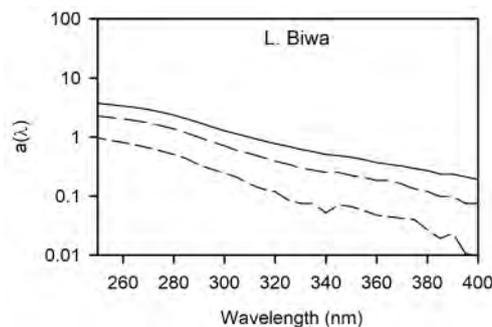


図 琵琶湖水の 0.2 μ m ろ過 (実線) および 5kDa, 650 Da 限外ろ過 (点線) の紫外吸収スペクトル

文献:

Fukushima et al (1997) J Jpn Soc Water Environ 20,297-.
Helms et al (2008) Limnol Oceanogr 53,955-.

* 山口保彦 (琵琶研)・岡崎友輔 (京大)・

霜鳥孝一 (国環研)・今井章雄 (国環研)・早川和秀 (琵琶研)

1. はじめに

深い湖の水体の大部分を占める深水層は、酸素消費や栄養塩再生など重要な生態系機能を持つ場であり、深水層における物質循環のメカニズム解明が重要である。琵琶湖の深水層では、沈降粒子等も含めたトータルの無機化の中で、準易分解性の溶存有機物 (DOM) の分解が大きな寄与割合を占める (成層期の濃度減少から計算した分解フラックス推定: Kim et al. 2006, *L&O*)。しかし、この推定は、見かけ上の分解フラックス (総分解フラックスー生産フラックス) であり、成層期深水層で生産された DOM が分解される分は考慮されておらず、まだ過小評価の可能性がある。

近年、サイズ排除クロマトグラフィー全有機炭素計 (SEC-TOC: Shimotori et al. 2016, *L&O Meth.*) の開発と応用により、湖水中の DOM は、高分子 DOM (重量平均分子量が 150kDa 程度) と低分子 DOM (同 2kDa 程度) という二画分の混合物であると分かってきた。我々のグループは過去数年間で、琵琶湖表水層湖水等を用いた有機物生分解実験 (20°C・暗所) を進めており、高分子 DOM の分解速度は比較的速く、濃度が数十日程度で検出限界以下になる結果を得てきた。一方で、琵琶湖湖水の月別採水・分析からは、成層期 (春～秋) の深水層の高分子 DOM 濃度は概ね一定だった。

これらの観測結果を説明できる仮説として、①深水層が低温 (7~9°C) で有機物分解速度が遅い、②深水層で高分子 DOM の生産と分解が釣り合って濃度が見かけ上で保たれている、が考えられる。本研究は、上記の仮説の妥当性を評価して、湖深水層における高分子 DOM の動態を解明することを目的とし、琵琶湖湖水のフィールド調査と有機物生分解実験を組合せた研究を実施した。

2. 材料と方法

フィールド調査では、琵琶湖北湖沖合 (今津沖中央 17B 地点) の水深 60m において、2020 年 3 月~12 月にかけて湖水を毎月採水・濾過した。

有機物生分解実験は、2020 年 3 月 (循環期) に

採取した湖水を元試料として実施した。9°C (条件 A: 2020 年の深水層現場水温) および 20°C (条件 B) の暗所で振盪し、水温の影響を評価した。試料の採取・濾過は、1, 5, 9, 15, 29, 65, 133, 191, 251 日目に実施し、29~251 日目は、それぞれ 4, 5, 7, 9, 11 月 (成層期) の湖水採水とほぼ同時期とした。9°C 実験とフィールド調査の結果を比較し、沈降粒子等の有機物供給の有無の影響を評価した。

濾過試料は SEC-TOC で分析し、分子サイズ別に溶存有機炭素 (DOC) 濃度を定量した。

3. 結果

高分子 DOC の見かけの分解速度は、20°C 実験 > 9°C 実験 > 深水層天然湖水の順で速かった (図 1)。

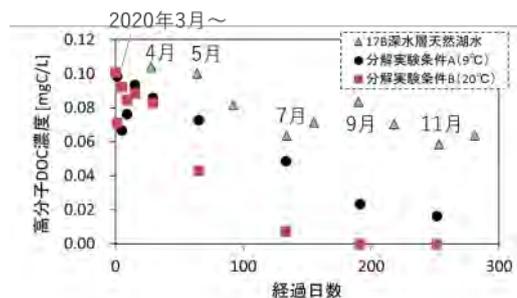


図 1: 琵琶湖深水層の各月採取天然湖水 (緑三角) と、有機物分解実験 (9°C 実験 = 黒丸、20°C 実験 = 赤四角) における高分子 DOC 濃度の変遷

4. 考察

琵琶湖深水層で一定濃度の高分子 DOM が存続するメカニズムとして、仮説①の低温環境だけでは説明できず、仮説②の生産と分解の釣り合いも重要であることを、上記の結果は示す。湖水中の高分子 DOM の生分解速度の推定式を作成し、高分子 DOM の総分解フラックス (= 生産フラックス + 見かけ上の分解フラックス) を見積もったところ、見かけ上の分解フラックスの 7 倍近い値となった。つまり、深水層に供給された有機物 (沈降粒子等) から高分子 DOM が新たに生産され、数十日スケールで分解されるプロセス (= 高分子 DOM の隠れた循環) が重要である可能性が見出された。

ダイナミクス：バイオログ培養実験と微生物群集モデル

*三木 健, 徳島 生大 (龍谷大)

1. はじめに

従来、微生物ループの研究は光合成産物が供給される有光層で行われることがほとんどであった。一方、湖沼の深水層は生物生産が低いために微生物が卓越するシステムであり、より一層の微生物ループ研究が深水層における食物網の維持機構の理解のためだけではなく、様々なプロセスを経て性質を変えた有機炭素の循環を理解するためにも必要である。そこで本研究では、表層と深層における細菌群集の有機炭素に対する分解応答に注目し、バイオログ培養実験による定量的評価と微生物群集モデルの解析による時空間動態の機構理解を目的とした。

2. 材料と方法

バイオログ実験：夏季から秋季の琵琶湖の表層水と深層水の細菌群集の持つ有機炭素基質利用パターンを比較するため、琵琶湖の表層水(0m)・深層水(50m)を定期的に採水した。有機炭素基質利用パターンの分析には、合計 31 種類の炭素基質の利用可能性を調べることができる EcoPlate を、琵琶湖内の溶存有機炭素 (DOC) の利用可能性については、MT2 プレートを用いて培養評価した。

微生物群集モデル：培養実験の結果からは、成層期から循環期への移行時のような非平衡状態でのダイナミックな細菌群集-DOC 相互作用についての理解が必要なことが示唆された。そこで、この非平衡状態について特に注目した数理モデリングを実行した。具体的には、鉛直次元の反応-拡散-移流モデルの枠組みを用いて琵琶湖を対象として作成した。モデルでは、一次生産の季節変動パターン、鉛直混合パターンについては内的なシミュレーションは行わず外力として与え、空間解像度は 2m として深度 0~100m についてモデル化した。反応項(細菌-DOC 相互作用)については、POC、易分解性 DOC (Labile DOC)、Semi-Labile DOC、付着性細菌グループ、Labile DOC を主に利用する浮遊性細菌グループ、Semi-Labile DOC を主に利用する浮遊性細菌グループ、および細菌の捕食者である従属栄養鞭

毛虫 (HNF)を変数とした。

3. 結果

有機炭素基質利用性については、水深間で統計的に有意な差があった (Bray-Curtis dissimilarity, PERMANOVA, $P < 0.05$)。同時に、有機炭素基質利用性・多機能性共に月間の違いは明快で、とくに多機能性については 10 月が他の月よりも有意に高かった (t 検定, $P < 0.05$)。湖水内の DOC 分解能に対しては、単純に表層由来の有機物、深層由来の有機物に対してそれぞれ、表層、深層の細菌群集の方が利用度が高いという「細菌群集の局所適応仮説」を立てていたが、結果はそのように単純なものではなかった。たとえば 9 月の試料では、表層由来の有機物に対してはたしかに深層の細菌群集よりも表層の細菌群集の方の利用度 (吸光度) が大きく局所適応が示唆されたが、深層有機物に対しては、表層細菌群集の方の利用度が高く、局所適応はしていないことを示唆していた。

数理モデルの解析からは、POC の沈降による表層から深層への輸送される速度・タイミング、鉛直混合によって DOC が表層と深層間で拡散する速度・タイミングと、Labile DOC が細菌による消費過程を経て Semi-Labile DOC に転換される速度のバランスによって、Labile DOC から Semi-Labile DOC への転換・蓄積が生じる深度が季節的に変動することが分かった。さらに成層期の後半では、表層においても Semi-Labile DOC の消費が進む一方、混合期においては、水深 50~60m 付近に Semi-Labile DOC の消費の相対的ピークがあることが分かった。

4. 考察

研究開始時に立てた単純明快な仮説「琵琶湖の深層には比較的早く分解が困難な有機炭素 (Semi-Labile DOC) が蓄積しており、細菌群集については深層群集の方が複雑な有機炭素源の利用特性が高い」は支持されず、非平衡状態におけるダイナミックな変動をとらえた評価が必要であることが示唆された。

*岡崎友輔（京大・化研）・中野伸一（京大・生態研）

1. はじめに

深水層は多くの大水深淡水湖で容積の過半を占め、有機物の分解や貯蔵、栄養塩再生産の場として、質・量の両側面で生態系や物質循環の基盤を担っている。その中で細菌は微生物生態系の中核として、特に重要な役割を果たしている。一方で、ハイスループット DNA シーケンサーの急速な進歩と普及を背景に、微生物生態学は知見と技術の両側面で飛躍を迎えている。こうした状況を背景に演者は、琵琶湖をはじめとする国内外の大水深湖の微生物生態系を対象に、最新の環境ゲノム解析技術を駆使した研究を展開している。本発表では、湖沼深水層の細菌の多様性や生態研究の最前線を概説しながら、現在構築を進めている「琵琶湖細菌ゲノム・遺伝子発現カタログ」を紹介し、これまでに得られた成果と今後の展望について議論する。

2. 材料と方法

琵琶湖沖の定点にて、12 か月×2 水深（表水層・深水層）の計 24 サンプルを採集し、濾過にて原核生物画分(0.22-5 μm) を濃縮したのち、DNA および RNA を抽出した。得られた DNA は、従来法であるショートリードシーケンサーに加え、ロングリード (Nanopore) シーケンサーを用いたメタゲノム解析に供した。得られた DNA リードをアセンブルし、塩基頻度と相対存在頻度の情報を用いて、ゲノム情報を構築する工程 (ビニング) を行った。得られたゲノムに、元のショートリード及びロングリードをアライメント (マッピング) することで、環境中に共存する細菌ゲノムが示す塩基・構造多型の情報を得た。一方、抽出した RNA については、RiboPOOL pan-prokaryotes キットで rRNA 除去したのち、逆転写ライブラリを作成し、各サンプル約 1 億リードのショートリードシーケンスを行った。得られたリードを構築したゲノムに貼り付けることで、各サンプルにおける各遺伝子の転写発現の相対存在量を得た。

3. 結果

ショートリードとロングリードのメタゲノムアセンブリにより、琵琶湖沖に生息する 575 の細菌系統のゲノム情報を構築した。これらのゲノムは 21 の分類門にまたがり、元の DNA リードの過半がこれらのゲノムに由来していた。さらに得られたゲノムのうち 29 個が完全長 (環状) にアセンブルされていた。すなわち、琵琶湖沖の多様な細菌・古細菌叢を網羅した高品質なゲノムカタログが得られた。DNA ショートリードおよびロングリードのマッピングからは、塩基多型・構造多型とも、多型をほとんど示さない多様性の低いゲノムから、10 塩基に 1 塩基が多型を示したり、400 個以上の構造多型が見られたりする、極めて多型に富んだゲノムまで、その多様化の程度の幅広さが明らかとなった。さらに相対存在量の時系列変動パターンや、遺伝子間の多型の比較から、ゲノム多様化の促進要因の一つがウイルス感染に対する抵抗であり、制約要因の一つが細菌の集団サイズであることが明らかとなった。RNA のマッピングからは、DNA の相対存在量が低いにも関わらず極めて高い発現量を示すゲノムや遺伝子が見つかり、例えば深水層においては、硝化関連遺伝子が大量に転写発現していた。

4. 考察

ゲノムの多様性が集団サイズの制限を受けるという観点において、表水層よりもはるかに容積の大きな深水層が「遺伝的多様性のプール」として重要な機能を担っている可能性が示された。RNA シーケンスの結果からは、存在量が多いことが、必ずしも活性が高いことに直結しないことが明らかとなり、生態系内の細菌の機能を評価には慎重な解釈が求められることが示された。今後の研究では本研究で得られた「琵琶湖細菌ゲノム・遺伝子発現カタログ」を多角的に解析し、さらに他の大水深淡水湖との比較解析を交えることで、深水層の微生物系統の多様性と機能の全容の解明を進める。

*沈尚 (国環研), 富永賢人 (東京大), 土屋健司 (国環研)
松田知成 (京都大), 吉田天士 (京都大), 清水芳久 (京都大)

1. はじめに

水圏炭素循環において細菌は様々な炭素流の結節点として、ウイルスは細菌を介する炭素流を阻害あるいは加速する制御因子として重要な役割を担っている。表水層と深水層では環境が大きく異なることから、海洋では細菌・ウイルスの群集構造やその変化速度も水深間で異なることが報告されている。しかし、琵琶湖のような完全循環湖では、海洋と違い、年に一度の鉛直混合によって表水層と深水層の環境が均一化される。これが両水深間の群集構造やその変化速度にどのような影響を及ぼすのかについて明らかにした研究例はない。本研究ではこれらを明らかにすべく、琵琶湖表水層と深水層での1年以上にわたる調査を実施した。

2. 材料と方法

琵琶湖北湖沖帯定点の表水層 (0.5 m) と深水層 (60 m) において採水を行った (2018 年 9 月~2019 年 12 月)。湖水を孔径 0.2 μm のフィルターでろ過し、ろ液をウイルス画分とした。孔径 0.2 μm のフィルター上に捕捉された細菌の群集解析には、16S rRNA 遺伝子解析 (V3-4 領域) と ASV 解析を用いた。ウイルスは鉄共沈法と塩化セシウムを用いた超遠心密度勾配法で濃縮・精製した。その後、DNA を抽出し、virome 解析へ供した。得られたウイルスコンテイングの相対存在量は FPKM として求め、季節変動を追跡した。細菌およびウイルス群集の水深間・月間比較には、Bray-Curtis の非類似度を用いた。

3. 結果

細菌を 1,608 種、ウイルスを 13,761 種得ることができた。Bray-Curtis の非類似度解析によれば、細菌、ウイルスともに成層期中盤 (7~9 月) では表水層と深水層の群集が最も異なり (細菌: 0.90、ウイルス: 0.86)、循環期では群集が均一化された (細菌: 0.084、ウイルス: 0.085)。細菌およびウイルス群集の変化は半年後に極大、12 ヶ月後に極小となった (図 1)。ただし深水層のウイルス群集は、これらのような季節性は認められず、単調に変化した。また、細菌群

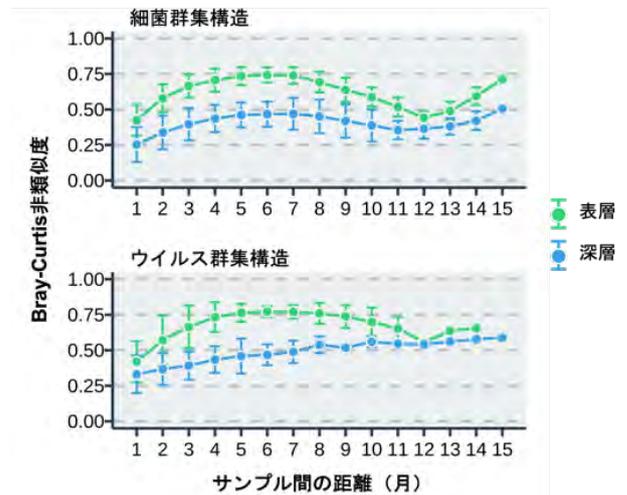


図 1 表水層と深水層における群集構造変化

集とウイルス群集ともに表水層における群集変化は深水層よりも速かったが、12 ヶ月後には同程度になった。深水層では調査期間を通してひと月以上優占した細菌種 (相対存在量 > 1%) およびウイルス種 (FPKM-based rank が 100 位以内) のうち、4 割程度は 1 ヶ月のみ優占した。

4. 考察

深水層の細菌およびウイルス群集の変化が表水層と比べてゆるやかであるのは、深水層の環境 (水温、基質濃度) が低く安定しているからであると考えられる。しかし 1 年単位での群集変化は表水層と深水層で同程度であった。これは年に一度の湖水の鉛直混合が両水深の異なる群集変化速度をも均一化することを示唆している。また、深水層で優占する細菌・ウイルス種のうち 4 割程度が 1 ヶ月間しか優占しないという結果は、深水層でも一部の種が速く消長していることを示唆している。

環境変化が乏しく安定している深水層でも、群集変化の速さは鉛直混合によって表水層と同程度になり、一部の細菌・ウイルス種は速く消長している可能性があることが明らかとなった。今後は深水層でこのような速い種の消長が何によって引き起こされているのかを明らかにしていく予定である。

一環境 DNA 技術を用いた種組成調査より一

*大藪愛紗（神戸大・国際人間科学部），源利文（神戸大・人間発達環境学研究所）

1. はじめに

世界の沿岸域の22%以上は、夜間に人工的な光（Artificial Light at Night: ALAN）を受けている。ALANは、特定の魚の生殖成功率や活動量、選択する行動経路などに影響を及ぼするという報告がある。しかし、野外においてそこに生息する魚を網羅的に対象にしてALANの影響を調べた研究事例はまだ少ない。そのため、「自由に移動できる野生の」魚類に関してはALANの影響が明らかになっていない。

そこで、本研究では、野外の水路で光照射実験によって、人為的にALAN環境を作り、コントロール環境における魚類分布と比較することで、ALANが野生の魚の生態に影響を及ぼしているか否かを明らかにすることを目的とした。魚類分布の解析には、低コストかつ非侵襲的な手法として生物モニタリングで実用化が進められている環境DNA分析手法を用いた。

2. 材料と方法

2021年9月の2週間において、石川県河北潟干拓地中央幹線路の全長600m区間で光照射実験を行った。調査地の600m区間は上流300mと下流300mに分けられ、一方の300m区間の中央地点に光源設置環境区間を設けた。光源設置区間には投光器を設置し、夜中光を水面に照射することでALAN環境とした。光照射実験1週間目と光照射2週間目では光源設置区間の場所を入れ替えた。

光照射実験が行われた各週にそれぞれ4回、両300m区間の中央地点で採水を行った。水サンプルは、環境DNAメタバーコーディング手法とリアルタイムPCR法を用いて、魚類相をそれぞれ定性的、定量的に解析した。

得られた魚類相の定性的データを用い、非類似度検定(PERMANOVA)によってALAN環境サンプルとコントロール環境サンプルの種組成を比較した。また、得られた定量的データは、ALAN処理の有無でDNA量に違いがあるか否かをGLMMで検定した。

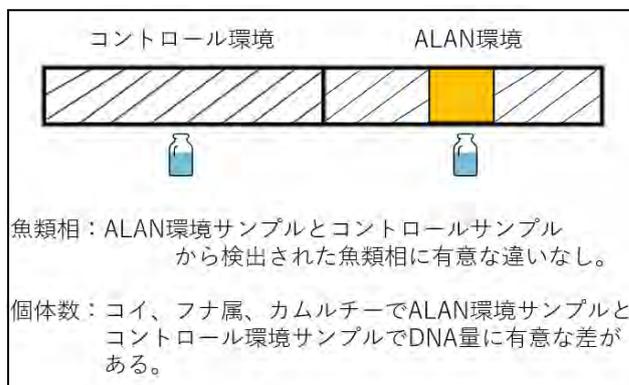
3. 結果

環境DNAメタバーコーディングの結果、全部で19種の魚のDNAが検出された。ALAN環境サンプルとコントロール環境サンプルから検出された魚類相をJaccard係数とBray-Curtis係数を用いてPERMANOVAで検定したところ、どちらの検定結果においても種組成に有意な違いはなかった。

しかし、環境DNAメタバーコーディングのデータで、ALAN環境サンプルとコントロール環境サンプルの間に、その種が占めるリード数の割合に差がありそうな種が複数あった。これらの種を対象に行ったリアルタイムPCRの定量的データからは、コイとフナ属とカムルチーの3種において、ALAN環境サンプルとコントロール環境サンプルで、DNA量に有意な違いがあった。DNA量と個体数には正の相関があるという報告があるため、これらの種においては、ALAN環境とコントロール環境で、そこに存在していた魚の個体数に違いがあった可能性が示唆される。

4. 考察

本研究のレベルのALANは、野生の魚類に対して、種組成を変えるほど大きな影響は与えていないが、種によってはALANの有無が魚の分布に影響を及ぼしている可能性が示唆される。



図：本研究の概要

放流によるニホンウナギの生物量の増加の推定

*山下尚希, 畑啓生 (愛媛大院・理工)

1. はじめに

ニホンウナギ (*Anguilla japonica*) は、日本では食用として需要が高い水産重要種である。しかし、漁獲量は大きく減少しており、日本各地でニホンウナギの放流が行われている。また、環境省は2013年に、国際自然保護連合 (IUCN) と愛媛県レッドリストは2014年にニホンウナギを絶滅危惧種に指定している。

近年、魚類の分布調査に環境 DNA (eDNA) が用いられており、種特異的なプライマーを設計することにより対象種を検出することが可能である。また、一部の魚種では生物量の変化をモニタリングするために有効であることが示唆されている。

本研究では、愛媛県重信川水系でニホンウナギの放流前後で採水を行い、環境 DNA を用いて放流によるニホンウナギの生物量の増加を推定することを目的とした。

2. 材料と方法

調査河川は愛媛県を流れる重信川水系で、調査地点は放流地点とその上流、各支流の合流点を中心に放流前は計26地点を設定し、放流後は新規放流地点を追加した計30地点を設定した。採水期間は2021年6月~7月で、ニホンウナギの放流の前後で採水を行った。各地点で得られた水はGFフィルターを用いて濾過した。GFフィルターからDNA抽出を行い、ニホンウナギに特異的なプライマーを用いて定量PCRを行った。

採水調査と同時に流量の計測を行った。得られた流量と定量PCRの結果から、1秒間に河川の横断面を通過するDNA量であるeDNAフラックスを算出し、放流前後で比較を行った。

3. 結果と考察

ニホンウナギの放流が行われた地点では、ニホンウナギのeDNAフラックスが放流後に5地点増加していた。この増加は、放流によるニホンウナギの生物量の増加を反映していると考えられる。その為、環境DNAはニホンウナギの生物量をモニタリングすることに有効であると考えられる。

また、放流地点より上流の地点においてニホンウナギのeDNAフラックスの増加が見られた。環境DNAはニホンウナギの移動を反映する可能性がある。

4. 謝辞

本研究は水産庁環境収容力推定手法開発事業ウナギ課題の支援により行われた。

シミュレーションとモデリング

*齊藤 達也 (兵庫県立大・情報科学), 土居 秀幸 (兵庫県立大・情報科学)

1. はじめに

水中、土壌中、空気中には、そこに生息している生物由来の DNA のことを総称して環境 DNA (eDNA) と呼ぶ。eDNA は環境中で分解が生じており、分解の原因を明らかにするために、さまざまな条件下で分解実験が行われている。eDNA 分解についての最初のメタ解析では、水温、pH、PCR アンプリコンの長さなどが、eDNA 分解速度に影響を及ぼすことを明らかにした。eDNA は、断片的な DNA や、水中の遊離細胞内の DNA など、多くの由来から構成されているとされているが、これまでこれらの分解速度を由来ごとに区別をしていない。自然界における eDNA 分解の詳細を理解するには、これらの eDNA の由来を区別する実験が不可欠である。そこで、本研究では eDNA 分解実験と、メタ解析を行った。

2. 材料と方法

【メタ解析】 eDNA の分解に関連する論文を Google Scholar にて検索しそれらの論文のタイトル、アブストラクトをチェックし、42 本に絞った。42 本の論文内容をチェックし、分解率(k)を算出している計 28 本の論文を採用した。次に、これら 28 本の論文から、データを抽出し、解析、シミュレーションを行った。

【実験】神戸市の海水、ため池、およびコントロールとしての精製水を各 12 本の 500mL ポリビンに分注をし、実験室内で静置した。単離処理を行ったギンザケ (*Oncorhynchus kisutch*) の細胞と DNA 断片として IPC を分注したボトルに添加した後、時間を計測した。添加後、0 から 168 時間後に Sterivex フィルターで全量を濾過し、1.5mL の RNA later を加え DNA 抽出まで -20°C で保存した。DNA 抽出には DNeasy Blood & Tissue Kit を使用し、リアルタイム PCR によってギンザケ、IPC、マアジ (*Trachurus japonicus*)、コイ (*Cyprinus carpio*) の DNA コピー数を定量した。

3. 結果

【メタ解析】各実験に使われた水源と PCR 領域のどちらも有意差はなかった。一方、水温が高い時、分解が促進され、アンプリコンの長さも、長いほど分解が促進されるという結果になった。eDNA 分解速度に対する水温とアンプリコンの長さの複合効果から分解速度を予測した結果、高温下、または低温下では温度の効果が強く、アンプリコンの長さはそれほど影響を受けていなかった。しかし、中水温域では、アンプリコンの長さも分解に影響した(Saito and Doi 2021a)。

【実験】ため池と海のサンプルでは、細胞と IPC の添加後から DNA コピー数は指数関数的に減少したが、精製水中ではどちらも減少しなかった。細胞と IPC のどちらもため池の方がコピー数の減少速度が速くなった。また、ため池と海水のどちらも IPC よりも細胞の方がコピー数の減少速度が速くなった(Saito and Doi 2021b)。

4. 考察

本研究では、eDNA の劣化をメタ解析的アプローチで調査し、その結果を基にシミュレーションとモデリングを行い、eDNA の劣化を予測することができた。eDNA の状態と分解を理解することは、eDNA の効果的なサンプリングと保存に不可欠であり、種の分布、存在量、バイオマス推定結果をより良く解釈することに重要である。特に希少種や絶滅危惧種のような低密度の種については、種の分布や存在量・生物量が過小評価される可能性がある。また、複数の eDNA の特徴や動態を理解することは、eDNA 解析に関する基礎情報のさらなる充実に貢献する。multiple eDNA の解析の新たな応用可能性は、今後の個体群生態学や群集生態学のための eDNA 解析の発展にとって重要であると期待している。

*中根快（愛媛大・理工），刘鑫（滋賀県立大・環境科学），
土居秀幸（兵庫県立大・情報科学），伴修平（滋賀県立大・環境科学），
Gaël Dur（静岡大・理），加三千宣（愛媛大・沿環科研セ），槻木玲美（松山大・法）

1. はじめに

動物プランクトンのカイアシ類は、水圏生態系において魚類の主要な餌として、一次生産者と高次栄養段階をつなぐ極めて重要な役割を担っている (Mauchline, 1998)。温暖化や環境汚染が深刻化する中で魚類資源を安定的に維持していくためには、餌であるカイアシ類の動態把握が不可欠である。特に温暖化や周期的な気候変動がカイアシ類の動態に影響を与えることから (Garzke et al., 2015, Liu et al. 2021) 将来予測の観点からも長期動態を明らかにすることが急務となっている。しかしながら、多くの場合、定期的な観測は 1980 年代以降に限られ、長期の観測データは得られない。一方、過去の生物情報を得るための堆積物を用いた古生物学的解析は、これまで遺骸が保存されないカイアシ類は情報が得られなかった。しかし、近年、遺骸が残らない生物種の長期復元を可能にする手法として堆積物に残る環境 DNA (堆積物 DNA) が注目されている。

そこで、本研究は琵琶湖を対象に湖底堆積物に残るヤマトヒゲナガケンミジンコ (*Eodiaptomus japonicus*) の環境 DNA をリアルタイム PCR 法により分析し、本種の過去 100 年にわたる復元を試みた。さらに得られた堆積物 DNA の濃度変化と本種の生態情報 (現場観測による生物量・成長速度・生産量・急発卵と堆積物記録による休眠卵量) を比較することで、堆積物 DNA に基づく復元の妥当性を検証した。

2. 材料と方法

本研究でヤマトヒゲナガケンミジンコを復元するために用いた堆積物は、2017 年に琵琶湖北湖中央部 (安曇川沖) の水深約 70m 地点で採取されたもので、2017LB2 と 2017LB5 の 2 本のコア試料を DNA 用に 2017LB7 を年代測定用に供した。採取した堆積物 DNA 用のコア試料は 1cm 間隔に切り分け、DNeasy PowerSoil Kit を用いて DNA を抽出した。今回、新たに *E. japonicus* の種特異的プライマー・プローブを開発し、これを用いてリアルタイム PCR (qPCR) 法

で分析を行った。年代測定は 2017LB7 コアを対象に放射性同位体を測定し、得られた過剰 ^{210}Pb に基づく CRS モデルに従って算出した。他のコアは年代測定を実施したコアとクロロフィル・帯磁率を用いて比較し、年代推定を行った。

3. 結果

分析を実施した 2017LB2 と 2017LB5 の両コアで、欠損試料 (2017LB5 の 5-6、6-7、7-8cm 層準) を除いた全ての層準でヤマトヒゲナガケンミジンコの堆積物 DNA が検出された。また、堆積物 DNA と 1970 年から 2010 年の期間における本種の生態情報 (生物量・成長速度・生産量・急発卵・休眠卵) を比較した結果、生産量 ($R^2 = 0.60, p = 0.001$)、生物量 ($R^2 = 0.51, p = 0.004$)、急発卵 ($R^2 = 0.52, p = 0.005$) と有意な相関関係が得られた。

4. 考察

これまでカイアシ類の堆積物 DNA に関する研究は断続的に検出された報告例が僅かにあるが、本研究は過去 100 年以上にわたる堆積物から、連続的かつ定量的にヤマトヒゲナガケンミジンコの DNA を検出することができた。さらに堆積物 DNA の濃度は本種の生産量や生物量、急発卵の変動を反映していることが示唆された。

本研究では、ヤマトヒゲナガケンミジンコの堆積物 DNA は休眠卵量ではなく、急発卵量と有意な関係が得られた。本種の産卵量は、休眠卵より急発卵量の寄与が大きいことから (Liu et al., 2020)、堆積物 DNA が産卵活動に関連した生産量と生物量の変動を捉えている可能性を示し、堆積物 DNA によるカイアシ類の長期復元の妥当性を裏付ける結果が得られた。

Mauchline, J. (1998). *Advances in marine biology*, 33.

Garzke, J. et al. (2015). *Oecologia*, 177, 849–860.

Liu, X. et al. (2021). *Limnology and Oceanography*, 66, 3783–3795.

Liu, X. et al. (2020). *Inland Waters*, 10, 89–100.

*谷聖太郎, 河合幸一郎 (広島大院・統合生命)

1. はじめに

類線形動物門ハリガネムシ綱に属するハリガネムシ目(Gordioida)は、カマキリやカマドウマ・ゴミムシなどの昆虫、さらにはムカデなどを含めた陸上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、それぞれハラビロカマキリ *Hierodula patellifera* およびオオカマキリ *Tenodera sinensis* に寄生する事例が多く見られる。

本研究は、本2種のハリガネムシの寄生が宿主の外部形態に与える影響について明らかにすることを目的としたものである。

2. 材料と方法

2018年から2021年までの期間で、広島県東広島市鏡山の広島大学東広島キャンパスとその周辺地域にて、ハラビロカマキリ成虫計49個体(寄生区28個体)、およびオオカマキリ成虫計32個体(うち寄生区11個体)を採集し、70%エタノール中で液浸保存した。このカマキリ試料の外部形質の7項目(前胸背板長、前翅長・幅、後翅長、および各肢長)について測定し、統計ソフト R version 4.0.3 を用い、有意水準を5%以下とした統計解析を行った。測定形質のうち、体長を表す形質として前胸背板長を用い、翅・肢の長さとの比、および回帰直線の傾きと切片の差についての検定により寄生によるアロメトリーの変異について検証した。なお、ミトコンドリア DNA の一部領域を増幅する PCR とシーケンスによる寄生虫の同定を行い、ハラビロカマキリからは全て *C. formosanus* のみが得られ、オオカマキリからは全て *C. japonensis* のみが得られたことを確認した。

3. 結果

カマキリの雌雄差について

統計解析によって、ハラビロカマキリおよびオオカマキリの前胸背板と翅・肢の長さとの比の値と回帰直線、および縦横比で表した前翅の形状について、顕著な雌雄差があることが明らかになった。これは

寄生区・非寄生区を問わず同様であった。

ハラビロカマキリの形態

前胸背板と翅・肢の長さの比の値と回帰直線、および縦横比で表した前翅の形状について、雌雄ともに寄生区・非寄生区の間で有意差が見られなかった。

オオカマキリの形態

雌雄ともに、寄生区では非寄生区に対し、前胸背板と比較して有意に前翅が短くなり、また回帰直線の傾きにも有意差が見られた。一方、前翅の形状、および前胸背板と後翅、または各肢の長さとの比、および回帰直線には有意な差が見られなかった。

4. 考察

ハラビロカマキリと *C. formosanus*

Chiu *et al.*, 2015 では、台湾に生息し、ハラビロカマキリに近縁で形態が類似する *Titanodula formosana* に対し、*C. formosanus* の寄生が宿主の幼若化を引き起こし、翅の形状や肢の長さを有意に変異させることが示唆されたが、本研究における解析によると、ハラビロカマキリでは同様の有意な変異は見られなかった。東広島で採集された *C. formosanus* は、この台湾の個体群との間に遺伝的差異がほとんどなく、形態変異の相違が宿主の個体群の遺伝的相違に起因するとは考えにくいため、従って本種の寄生による形態の変異の程度または有無が宿主種間で異なることが示唆された。

オオカマキリと *C. japonensis*

解析により、雌雄ともに *C. japonensis* の寄生による前胸背板長・前翅長間のアロメトリー変異と相対的な前翅のサイズ縮小が支持された。前者と比較して寄生区の個体数が少ないことは留意すべきであるが、宿主の羽化前後におけるエネルギーの一部を *C. japonensis* が搾取したことにより、羽化による翅の伸長が阻害されたと考えられる。一方、移動に関わる各肢の長さは相対的な変化がなく、捕食者に対する逃避能力など、宿主の生存に関わる構造変異を抑え、自らの生存確率を向上させている可能性がある。

*竹中將起・岡本聖矢・上木岳・鈴木啓久・吉田匠・東城幸治(信州大)

1. はじめに

河川流程のそれぞれの環境は上流から下流にかけて劇的に変化していくが、各環境の空間的な配置も大きく異なる。生物の適応する環境の空間的な配置と、その生物の遺伝構造は大きく関連している。河川上流域の環境は、下流域の環境と比べて孤立・散在的なパッチ状の分布傾向にあり、上流域の集団サイズは比較的小さい。下流域の環境は連続的に存在しているため、集団間の接続性が強くなり遺伝子流動が頻繁に生じて遺伝的な均質化が生じやすい。また、上流域に適応した種の集団サイズは小さくなりがちであり、比較的遺伝的浮動の影響を受けやすく、限定的なパッチ状の集団構造をとる傾向が強いと考えられる。そのため、比較的近隣の集団間においても遺伝子流動は生じ難く、遺伝的固定化が起こりやすい。これらのことから上流域に適応した種は地理的に近い場合であっても遺伝的に分化しやすく、遺伝的な地域性を検出しやすい。これらのことから、適応する環境の空間的配置は、その種の遺伝構造に影響している。また、本研究では上流、中流、下流域という主観的な概念ではなく、環境データを基に客観的に河川の流程を評価することで、各環境とそこに適応する生物集団との関連をより詳細に理解することを目的とする。

2. 材料と方法

室戸半島の6河川(東の川、奈半利川、安芸川、物部川、海部川、那賀川)の飛沫帯、源流域、上流域、中流域、下流域において、30cm×30cmのコドラートを用いた水生昆虫の定量調査と、定性的な調査を実施した。また、調査地点の環境に関して、標高や河川規模に影響せず(相関しない)、河川の「上流らしさ」や「下流らしさ」を表す指標として用いられている底質粗度と河床勾配を用いて評価した。

遺伝構造を比較する分類群は、河川流程に沿って流程分布することが知られているモンカゲロウ属 *Ephemera*、ヒラタカゲロウ属 *Epeorus* と、広い河川流程において単一種が生息するチラカゲロウ

Isonychia japonica、シロハラコカゲロウ *Baetis thermicus* を対象とした。また、上流域、源流域、飛沫帯と比較的河川の上流に適応する分類群であるノギカワゲラ属 *Cryptoperla* と、タニガワトビケラ属 *Dolophilodes* を加えた。これらの対象種に関して異なる環境に適応する同属別種間や種内系統間の遺伝構造を比較した。

3. 結果・考察

広域な分布域や、広域の環境に適応する種を対象に、分子系統解析を実施した結果、地域ごとや環境ごとに未記載種や隠蔽種の発見が報告されている。本研究において、シロハラコカゲロウから複数の隠蔽種が検出された。また、シロハラコカゲロウ種内から検出された各系統の採集された地点の環境を評価した結果、飛沫帯、上流、下流の3つの異なる環境ごとに流程分布していることが示唆された。

生物の適応するハビタットの空間的な配置と、その生物の遺伝構造は大きく関連しているが報告されているが、近縁種間を比較した研究事例は多くない。生物の遺伝構造は、様々な要因が影響しているため、近縁種との間で比較することで、適応する環境の影響を調べることができる。その結果、上流域種は、下流域に適応している種と比べてより遺伝的多様性が高く、多くのハプロタイプが検出される遺伝構造を示した。しかし、最も河川上流部である飛沫帯に関しては、均質な遺伝構造を示した。この傾向に関して、飛沫帯の環境は点で存在し、ハビタット間は散在的であるために、高い分散力がなければ飛沫帯に適応することはできない。ハビタットが点として存在している池や沼などの止水域に適応した種の分散力が高く、均質な遺伝構造を示す傾向と同様の要因が考えられる。

日本広域を対象に遺伝構造を示した知見はあるが、特定地域の河川に焦点を絞った研究例は少なく興味深い結果が得られた。各種の詳細な遺伝構造の比較や分類群間の比較を含めて、ポスターにて紹介したい。

鉛直分布とツボカビとの関係

*橋爪 達郎(横浜国立大学), 伴 修平(滋賀県立大学), 大塚 泰介(滋賀県立琵琶湖博物館),
瀬戸 健介(横浜国立大学), 三木 健(龍谷大学), 鏡味 麻衣子(横浜国立大学)

1. はじめに

琵琶湖の浮遊性接合藻では、1960 年ごろから *Staurastrum dorsidentiferum* が優占種であったが、2015 年以降、*Micrasterias hardyi* に置き換わった。両種ともに大型で動物プランクトンに濾過捕食されにくいことが、優占の一因であると考えられる。また、両種ともツボカビと呼ばれる原始的な真菌類による寄生が確認されている。しかし、ツボカビが両種の優占に及ぼす影響は明らかでない。そこで、本研究では、*M. hardyi* および *S. dorsidentiferum* とツボカビとの関係を明らかにすることを目的とした。

2. 材料と方法

M. hardyi および *S. dorsidentiferum* の細胞密度の変化と生物学的要因及び環境要因との関係を明らかにするために、滋賀県水産試験場の採集した試料を計数した。試料は北湖 St.4 (35.18342°N, 136.07191°E, 77 m) にて、2018 年 4 月～2019 年 3 月、2020 年 4 月～2021 年 3 月に月 1 回試料は 0～10 m、10～20 m、20～40 m の層別に、プランクトンネット（ネット地は NXX14）を用いて採取されたものを用いた。*M. hardyi* および *S. dorsidentiferum* の細胞密度、両種に対するツボカビの付着率を計数した。両種の細胞密度をそれぞれを応答変数とし、「水温」、「DIN」、「PO₄」、「ツボカビ付着率またはツボカビ孢子密度」、「動物プランクトン

(*Daphnia galeata*, *D. pulicaria*) の密度」を説明変数とし、深さを変量効果として、一般化線形混合モデル (GLMM) による解析を行った。

ツボカビとの宿主寄生者関係を明らかにするために、Single spore PCR 法により *M. hardyi* および *S. dorsidentiferum* に付着するツボカビの同定、検出頻度に基づくネットワーク解析を行った。試料は滋賀県立琵琶湖博物館の沿岸域において 2021 年 4 月 2022 年 3 月の月 1 回試料を採取した。試料を顕微

鏡観察し、宿主に付着するツボカビが確認できた場合には宿主ごと拾い上げ、1 孢子ずつ Single spore PCR 法により分子系統解析を行った。検出できたツボカビと宿主のペアを計数し、ペア数からネットワーク図を作成した (図)。

3. 結果および考察

M. hardyi と *S. dorsidentiferum* の出現時期は一致した。2018 年度は夏と秋にピークを迎え、2020 年度は夏にピークを迎えた。水温躍層形成時には *M. hardyi* は 10～20 m に多く分布する一方、*S. dorsidentiferum* はほとんどが 0～10 m に分布した。

GLMM の結果、2018 年度と 2020 年度に共通して *S. dorsidentiferum* に対してツボカビの孢子囊密度、*Daphnia galeata* 密度、*D. pulicaria* 密度の有意な影響が認められた。一方、*M. hardyi* に対しては、2018 年度と 2020 年度に共通して有意な影響が認められる説明変数は存在しなかった。

Single spore PCR 法により *M. hardyi* からは幅広い宿主に付着する腐生性と考えられるツボカビが検出された。一方、*S. dorsidentiferum* からは宿主特異性が高い寄生性のツボカビが検出された (図)。

以上の結果から、*S. dorsidentiferum* の個体群密度の変動にはツボカビが影響を与えていると考えられる。一方、*M. hardyi* は深い層でも生存が可能で、かつツボカビによる影響を受けないため、優占につながった可能性がある。

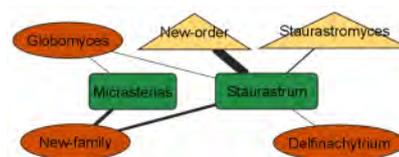


図. Single spore PCR 法の結果に基づく宿主寄生者ネットワーク (緑の□: 宿主、黄の△: 寄生性と考えられるツボカビ、茶の○: 腐生性と考えられるツボカビ。線の太さは検出されたペアの数を示す。解析数は *M. hardyi*=6、*S. dorsidentiferum*=20)

二酸化炭素濃度の日変動特性

*宮下直也（兵庫県立大・環境人間，姫路科学館）

伊藤雅之（兵庫県立大・環境人間），坂部綾香（京都大・白眉センター）

1. はじめに

陸水は自然起源 CO₂ のソース (IPCC, 2021) として知られている。一方で、水深の浅い湖ではシンクとなる例も存在し (e.g. Gu et al., 2011)，陸水の存在形態や環境の違いにより、CO₂ の動態が異なることが予想される。兵庫県をはじめとする瀬戸内少雨地域にはため池が高密度に分布するが、炭素循環における役割はほとんど明らかになっていない。ため池は平野の皿池から山間の谷池まで環境が多様であることから、藻類の光合成や呼吸、雨水や沢水由来の炭素流入プロセスの違い等が炭素動態に影響すると考えられる。本研究ではため池の炭素循環機構を明らかにすることを目的とし、溶存 CO₂ 濃度の変動要因について調査を行った。

2. 材料と方法

上池（姫路市青山: 34.85 °N, 134.63 °E）は、谷池に分類されるため池で、沢水や周辺の道路排水が流入している。2022年4月27日から8月20日にかけて、上池の沢水流入側に設置された栈橋付近（水深約 1.5 m）において、溶存二酸化炭素 (CO₂)、溶存酸素 (DO)、pH、電気伝導度 (EC)、水温、水位、光合成有効放射量 (PAR) の定点観測を行った。CO₂ 濃度測定には、CGP-31 (TOA-DKK) を用いた。観測地点の表層及び底層の2深度の水試料については、週 4 回程度随時測定を行った。加えて表層水については 30 分ごとの測定を 1~3 日間継続するインターバル測定を断続的に計 25 日間行った。また一部の観測項目については、調査期間を通じて表層水と底層水の連続測定を行った (Fig. 1)。

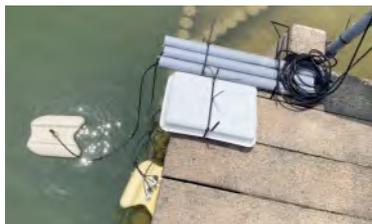


Fig. 1 インターバル測定及び連続測定の様子。ビート板に各測器のセンサーを取り付けた。

3. 結果と考察

表層水中の溶存 CO₂ 濃度 (mg CO₂ L⁻¹) の日変化 (インターバルの全観測データを 30 分毎に平均) を Fig. 2 に示す。CO₂ 濃度は 8:30-9:00 頃に最大値 (平均 0.68; 範囲 0.12-2.69 mg CO₂ L⁻¹)、19:30-20:00 頃に最小値 (平均 0.28; 範囲 0.10-0.86 mg CO₂ L⁻¹) を示し、1 日を通しての平均値は 0.45 CO₂ mg L⁻¹ であった (Fig. 2)。この日変動傾向は Sellers (1995) のカナダの浅い湖 (表層水) の結果と同様であった。日変動の要因として、夜間の CO₂ 蓄積や日射のピークに遅れて光合成が活発になること、水温変化に伴う光合成や呼吸活性への影響等が考えられた。

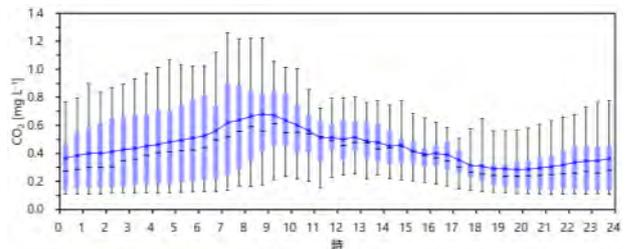


Fig. 2 溶存 CO₂ 濃度の日変動。箱ひげ図の箱は 75%-25%、ひげは 90%-10%、×は平均値、-は中央値を表す。

随時測定やインターバル測定において、降雨の数時間～数日後に CO₂ が高濃度となる現象が確認された。これは降雨によって沢水の流入量が増加するためであると考えられた。沢水は池表層水と比べ 4.1 - 17 倍程度、底層水と比べ 3.5 - 15 倍程度、溶存 CO₂ 濃度が高かった (Table 1)。これは森林土壌由来の CO₂ を多く含むためと考えられ、沢水は山間のため池への炭素供給源にもなり、CO₂ の日変動要因の一つとなっていると考えられた。

Table 1 上池と流入する沢水の CO₂ 濃度の比較

CO ₂ [mg L ⁻¹]	7/8	7/10	7/21	7/30	8/14	8/19
表層	0.63	0.49	0.41	0.36	0.21	0.63
底層	0.74	0.76	0.55	0.41	0.46	0.74
沢水	2.74	4.48	2.66	6.17	2.56	2.60

*篠崎真希・林暁嵐・佐藤貴之（福島県環創セ）
畑恭子・荒居博之・石川泰助・竹内一浩（いであ）

1. はじめに

猪苗代湖は、日本で第4番目の面積を有する大型湖沼であり、福島県内の飲料水、農業用水、観光資源等として利用される重要な水資源である。しかし近年、湖水 pH の中性化に伴って湖水中の有機物濃度が上昇しており、富栄養化の進行による水質の悪化が危惧されている。これまで、行政等が水質汚濁対策を実施してきたが、水質改善には至っていない。そのため、水質汚濁対策の効果を検証するために水質予測に取り組む必要がある。本研究は、水質予測モデルを構築し、そのモデルの再現性を検証した。

2. 方法

現在までの猪苗代湖における水質変動の要因は、イオンバランスの変化が密接に関わっており、予測・解析では、生態系モデルと pH モデルを組み合わせたモデル化が有効であると考えられる^{1,2)}。生態系モデルは、ネクトン未満の生態系に考慮した低次生態系モデルとした。その過程で植物プランクトンの光合成速度・動物プランクトンの摂餌速度が pH 値により変化すると設定した。なお、富栄養化に関わるリン酸は、河川流下過程では主に水酸化鉄(III)と共沈するが、湖内では主に水酸化アルミニウムと共沈する³⁾ ことから、リン酸の沈降を考慮した。

湖内の流動場・水温場については、過年度に構築した湖水流動モデル⁴⁾の計算結果を利用した。モデルにおける格子分割は、水深または既知の水域特性を考慮し、湖内を水平方向に 11 ボックス、鉛直方向に最大 23 層とした(Fig. 1)。

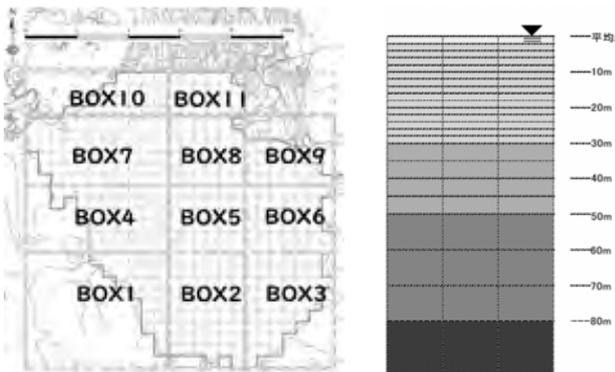


Fig. 1 モデルにおける水平格子分割及び鉛直格子分割

3. 結果と考察

モデルの再現性を検証するため、2017年1月～2020年9月の期間で計算を行い、各地点の表層におけるCODの観測値と計算値の相関係数を算出した。その結果、北岸部浅水域(BOX11)での相関係数が0.20と低いが、それ以外の地点では、0.42～0.73であった。また、湖心部(BOX5)では季節変動を再現できたのに対し、北岸部浅水域では9～10月の観測値に比べ計算値は低かった(Fig. 2 下段)。これは、北岸部浅水域では、繁茂する植物帯は秋期に枯死し、他の水域に比べCODは局所的に高くなる⁵⁾ため、モデルにおける再現性は低かったことがわかった。

今後は、北岸部浅水域の水質などの調査を行い、本地域における物質収支およびその移動が猪苗代湖全水域に与える影響をまとめ、水質予測モデルの精緻化を行う予定である。

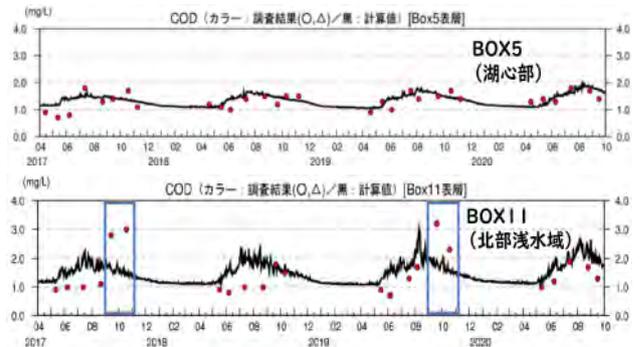


Fig. 2 モデル計算結果と観測値の比較

参考文献

- 1) 猪苗代湖調査研究事業等報告書(福島県)
- 2) Sutani et al., 2013, Japanese Journal of Water Treatment Biology Vol.49 No.4 109-122
- 3) 岡田ら(2007) 水工学論文集、51 巻、p1367-1372.
- 4) 篠崎ら(2022) 日本水環境学会第56回年会要旨集、p235
- 5) 中村ら(2005) 水利科学、342 号、p82-99

複雑な水系における物理的障壁を考慮した 水質の時空間平滑化モデリング

*西本誠（東京大学）、宮下直（東京大学）、深澤圭太（国立環境研究所）

1. はじめに

淡水生態系は様々な生態系サービスを提供しており、その環境、生物多様性、機能を理解する上で、水質は必要不可欠な情報である。サンプリングデータから水質の時間的・空間的パターンを得るために、平滑化法による補間は極めて一般的なアプローチである。平滑化では、一般に空間自己相関が点間の距離のみに依存すると仮定されるが（定常仮定）、物理障壁がある場合、正しい空間相関を反映できず予測に偏りが生じる可能性がある。陸域や分岐構造などを有する複雑な淡水系に平滑化を適用する場合、その問題が顕著になる可能性があるが、これまで物理障壁としての陸域は考慮されていない。そこで、本研究では水質（化学的酸素要求量：COD、リン酸態リン：PO4-P、硝酸態窒素：NO3-N）の空間平滑化および時空間平滑化において、陸域を物理障壁として考慮する確率偏微分方程式（SPDE）を用いた平滑化法を淡水系に適用し、各ケースで二乗平均平方根誤差（RMSE）と予測バイアス（BIAS）について比較することでその有用性について検討した。

2. 材料と方法

千葉県北西部に位置し、河川と沼を含む印旛沼水系を研究対象地域とした。本研究では野外調査で得た測定データ（100 地点）と行政水質データ（11 地点、2002-2020 年）を使用した。野外調査では、COD と NO3-N は簡易の水質調査法であるパックテスト、PO4-P はパックテストまたはモリブデンブルー法を用いて各水質の濃度を測定した。行政データについては、自治体が毎月測定した値の年平均値を用いた。

本研究では非定常な空間相関をモデルに考慮した。非定常仮定では、バリア内部における空間相関の範囲を極めて小さくすることで、バリアを挟んで近隣の関係がない状況を作り出すことが可能となる。バリアモデルを表現する微分方程式系は、有限要素法により解くことができる。本研究では、研究対象領域をドロネー三角網で分割し、有限要素法を適用した。本研究では、データの70%をトレーニング

グデータ、30%をテストデータとし、テストデータの予測値と観測値から BIAS と RMSE を算出した。統計解析は R と R パッケージ INLA を用いて行った。

3. 結果

解析の結果、予測精度の指標である RMSE については空間平滑化と時空間平滑化のいずれの場合も非バリアモデルと同等程度であったが、空間的平滑化の場合には物理障壁を考慮することにより、すべての水質指標の予測において BIAS が小さくなることが示された。検証用データとの残差で特に大きな改善が見られたのは、陸域を間に挟む河川構造であった。一方、時空間平滑化の場合には、バリアモデルでも非バリアモデルでも BIAS は同程度であった。

4. 考察

河川では、流域を挟んで隣接する2つの河川の物理化学的特性が異なる場合がある。特に蛇行する河川では、上流と下流が水平距離で近い場合があり、この違いが顕著になることがある。空間平滑化の場合に非バリアモデルで検証用データとの残差が大きくなったのは複数の河川が近くを流れるような場所であり、近接する他の河川からの空間相関の影響を受けて生じたものと考えられる。時空間平滑化の場合では、RMSE と BIAS の双方において非バリアモデルはバリアモデルと同等の性能を示したが、これは補間に際して時間方向の情報も利用可能であったことによると考えられる。

空間的・時空間的平滑化の結果から、淡水系の複雑な空間構造において障壁を考慮するメリットは、スナップショットデータのように情報が限られている場合に特に顕著であることが示された。ただし、時空間平滑化においても、非バリアモデルと同程度の推定精度であり、計算コストは同じである点から、まずバリアモデルを検討することが推奨される。本研究で紹介したバリアモデルによる平滑化は、淡水における水質だけでなく流速や生物個体数などの推定にも広く適用できる応用性の高い手法である。

*朴 紫暎, 菅原 庄吾, 早川 隼也, 古川 京介 (島根大院・自然),
杉山 雅人 (京大院・国際), 清家 泰 (島根大・EsRec)

1. はじめに

環境水中での溶存ケイ酸は、0.02~0.25 mM の濃度分布を示す (Ning 2005)。そのため、溶存ケイ酸は単量体としての溶解度 (1.42 mM at 15°C, Zuhl and Amajad 2013) に満たない不飽和状態であるため、環境水中の溶存ケイ酸の化学形態は主に単量体ケイ酸 (MSi; H_4SiO_4) として存在する (Philippini et al. 2006)。

一方、汽水湖の湖底堆積物の間隙水中では、溶存ケイ酸の濃度が溶解度付近または、超過していることが持続的に観測された。特に、島根県と鳥取県にまたがる中海の湖底間隙水中からケイ酸の溶解度を2倍以上超過する高濃度の溶存ケイ酸が持続的に検出された。湖底環境での溶存ケイ酸の供給源は、主に金属酸化物に吸着しているケイ酸であり (Park et al. 2020)、夏季水温上昇による微生物の活性化と共に湖底間隙水中の溶存ケイ酸の濃度が増加する。

本研究では、湖底間隙水中の硫化水素と溶存ケイ酸などの分布様相を観測し、それらの関係性を調べることで、中海の湖底堆積物からの還元的な溶出による溶存ケイ酸の濃縮原因について調べた。

2. 測定方法

採集した堆積物試料は深度別に切り取り、窒素置換水で希釈した後 (Sugahara et al. 2010)、孔径 0.45 μm のシリンジ用フィルターを用いて間隙水を抽出した。抽出した間隙水のうち 5 mL はメチレンブルー法による硫化水素の測定に使用した。残りの間隙水には HNO_3 を加え最終濃度を 0.02 M に調整し、吸光光度法と ICP-AES 法 (誘導結合プラズマ原子発光分光法) による溶存ケイ酸の測定を行った。

本研究では、溶存ケイ酸の化学種を次の3つに分類した。ICP-AES 法で測定したケイ酸を全溶存ケイ素 (TSi)、吸光光度法で測定したケイ酸を低分子量ケイ酸 (MSi) とした。そして、TSi と MSi の濃度差で分別されるケイ酸を高分子量ケイ酸 (PSi; 六量体以上のオリゴマー) とした。

3. 結果と考察

各湖での測定結果から、すべての汽水湖の湖底間隙水中での溶存ケイ酸とリンの鉛直分布様相がほとんど一致していることが確認された (Fig. 1)。また、どの湖でも硫化水素が高濃度で溶存していることから、湖底環境は無酸素の還元的な環境であることが分かった。このような、無酸素の湖底間隙水中の溶存ケイ酸とリンの急激な濃度増加は、湖底堆積物中の鉄酸化物が硫化水素により還元され硫化鉄になる過程で、鉄酸化物に吸着していたケイ酸とリンが間隙水中に溶出されるのが原因である。

また、溶存ケイ酸の分布濃度について、宍道湖と中海の湖底間隙水中には溶存ケイ酸が溶解度を超えて存在していた。特に、中海の場合、全ての堆積物深度からケイ酸の溶解度を2倍以上超過する高濃度の溶存ケイ酸が検出された。

溶存ケイ酸は、その溶解度を超えると重合反応が起き、重合体ケイ酸 (PSi) を形成するため、各汽水湖での間隙水中の溶存ケイ酸の化学種の分布を測定した。その結果、汽水湖の湖底間隙水中では、TSi と MSi の間の濃度差は見られなかった。そのため、汽水湖には MSi が溶解度を超えて溶存していても、重合反応は起こらず、TSi が MSi として安定的に溶存可能な環境であることが示唆された。

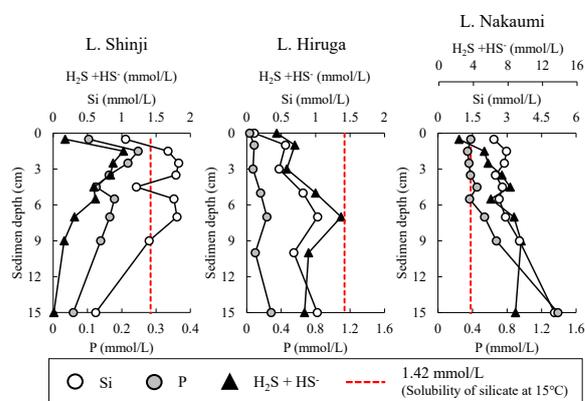


Fig. 1 各汽水湖での湖底堆積物の間隙水中の溶存ケイ酸とリン、硫化水素の鉛直分布

渦相関法を用いたため池からのメタン放出の測定

*森口大世(京都大), 坂部綾香(京都大),
伊藤雅之(兵庫県立大), 小杉緑子(京都大)

1. はじめに

温室効果ガスであるメタン(CH₄)は温暖化の23%に寄与すると推定されている。CH₄は嫌気条件下でCH₄生成菌によって生成され、水田や湿地だけでなく、ため池のような浅い水域からも多くのCH₄が放出されていると考えられる(Itoh et al., 2017; Ecol Res.)。日本には約17万個のため池が存在し、特に兵庫県には24,000個以上のため池がある。しかし、小規模なため池はCH₄の全球収支に含まれておらず、国内のため池からのCH₄放出量を測定した例は少ない。そこで本研究では、ため池からのCH₄放出量を測定し、その量や影響する環境要因を考察する。

2. 材料と方法

本研究では兵庫県加古川市に位置するため池の1つ(布池)でCH₄放出量を測定した。布池は水深0.8 m - 2.0m、面積約0.7 haである。観測手法は微気象学的手法である渦相関法を用いた。渦相関法は鉛直風速と気体濃度の共分散からフラックス(輸送量)を直接測定する方法で、池全体からのCH₄放出量を30分毎に連続で測定することができる。風速とCH₄濃度の測定には、それぞれ超音波風速計(CSAT3B, Campbell scientific Inc)とオープンパス型CH₄計(LI-7700, LI-COR Inc)を使用した。2021/3/21 から2022/3/31において測定し、フラックスのフットプリント(ソースエリア)を考慮して、布池からのフラックスを主成分とするデータのみを選択した。また、気温、風速、気圧、降雨、水温も併せて測定した。

3. 結果と考察

観測期間において、夏にCH₄フラックスの増大が見られた(図1)。水温とCH₄フラックスには相関があり、水温の上昇に伴ってCH₄放出量は指数関数的に増加した。これはCH₄生成菌の活動が水温の上昇によって活発になったためだと考えられる。また、

CH₄が特に多く放出されている6/8-6/23(期間1)、7/3-7/18(期間2)、8/2-8/17(期間3)をそれぞれ抜き出し、降雨、風速、気圧との関係を調べた。CH₄の主な輸送過程にはバブル輸送と拡散があり、バブル輸送は気圧が、拡散は風速や降雨、それに伴う池内部の混合が影響すると考えられる。期間1では風速が大きく、鉛直方向の水温勾配が小さくなり、池水の混合が生じたと考えられるタイミングでCH₄が放出されていた。期間2ではCH₄放出の増大の前に断続的な降雨があり、池内部で弱い混合が継続していたと考えられる。期間3では風が強くなる際に池内水温勾配が小さくなったタイミングで多くのCH₄が放出されていた。また、観測期間を通して気圧が高いときはCH₄の放出が抑制される傾向にあった。

また、CH₄放出量について他のサイトと比較した。長野県にある諏訪湖では、恒常的にバブルによるCH₄放出が起きている箇所以外の場所では、8月の放出量の中央値は0.25-0.39 μmol m⁻² s⁻¹であった(Iwata et al., 2020; Agricultural and Forest Meteorology.)。日本の水田からのCH₄フラックスの8月の値は0.18 μmol m⁻² s⁻¹であり(Iwata et al., 2018; Atmospheric Environment.)、中国東部の養殖池では、夏のCH₄フラックスの平均値は0.49 μmol m⁻² s⁻¹(Zhao et al., 2021; Agricultural and Forest Meteorology.)だった。布池の夏のCH₄フラックスの3日平均値は0.2-0.6 μmol m⁻² s⁻¹であり(図1)、布池は他の池と同程度、水田以上の量のCH₄を放出しており、重要なCH₄放出源である可能性が示された。

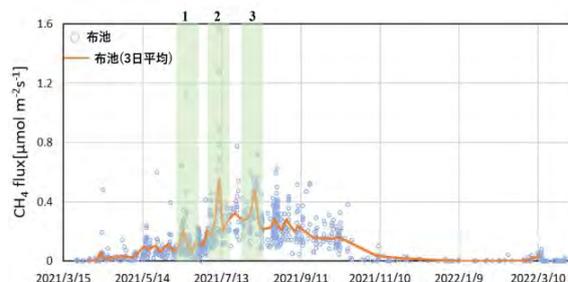


図1 2021/3/22-2022/3/31の布池からのCH₄フラックス

*坂本洸也（東京理科大学・理），関陽児（東京理科大学・理）

1. はじめに

千葉県北西部、野田市・柏市・流山市を流れる利根運河（以下「運河」）は、利根川と江戸川を連絡する延長約 8 km の人工河川である。運河は「水質汚濁に係る環境基準の水域類型 B」に指定されているが、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 を超過した状態が続いている。有機物汚濁の主因として、運河本流に流入する支流・樋管からの生活排水や工業排水の影響が考えられている。また、運河の河床全域には有機物に富む底質が広がっており、汚濁の一因である可能性が示唆されている。先行研究にて 2 地点（境田樋管前、宮本樋管前）における底質中の間隙水の水質調査が行われており（八畝・関、2021）、表流水より高い溶存有機物濃度を持つことが確認されている。一方で、底質中の間隙水の鉛直方向の移動の向きについての調査は行われていない。そこで本研究では調査地点を増加し、かつ複数深度の間隙水の水質調査及び水頭測定を行うことで底質中の間隙水の上下方向での移動の向きを解明し、汚濁プロセスの理解を深めることを目的とする。

2. 材料と方法

調査地点は千葉県北西部に位置する利根運河であり、本流 7 地点と谷津・池 2 地点を含め計 9 地点で実施した。現地調査は 2021 年 10 月から 12 月の間に行った。

各地点の河床下 0.5 m、1 m、2 m、4 m を目的深度とした有孔管を挿入した（図 1）。有孔管は VP13 塩ビ管の底部約 20 cm を有孔部に加工した。現地調査では各管から間隙水を採水し、水温、電気伝導度（EC）、pH を携帯水質計により測定するとともに、水頭を測定した。採水した試料はポリ容器で運搬し、当日中に 1/50 N H₂SO₄ 滴定法により HCO₃⁻イオン濃度を定量した。また、主要溶存イオン濃度をイオンクロマトグラフにより測定し、全有機体炭素計により全有機体炭素（TOC）を測定した。

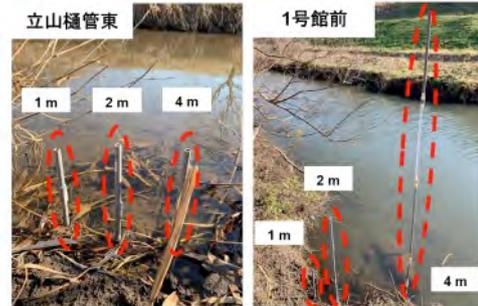


図 1. 本流 2 地点の現地写真（数字(m)は VP13 の目的深度）

3. 結果と考察

本流 2 地点の水質・水頭測定結果を図 2 に示す。

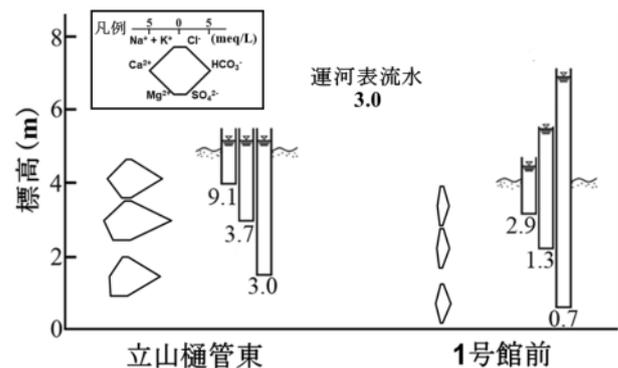


図 2. 本流 2 地点における水質・水頭比較
（数字は TOC(mg/L)、六角形はヘキサダイアグラム）

立山樋管東の間隙水の TOC は全深度で表流水の TOC 同等以上の値を示すことが確認された。しかし深度方向への水頭差がみられなかったため底質中を鉛直方向に移流する可能性がなく、底質との接触時間が長いことから有機物が溶出して高い TOC を示すと考えられる。一方で、1 号館前の間隙水 TOC は深部で清澄であるにもかかわらず浅部で表流水の TOC と同等の値を示すことが確認された。深部に向けての水頭が増加し、かつ河床直下の水頭が表流水面より高いことから間隙水が表流水に湧出すると考えられる。また、間隙水の TOC は表流水の TOC と同程度とはいえ、表流水と合流することで有機物負荷量の増加に寄与していると考えられる。

*大八木麻希, 佐藤瞭磨(四日市大・環境情報), 劉文博(三重大院)

1 はじめに

まんぼ(間歩, 間風)は, 堅穴と横穴をもつ暗渠式の農業用手掘り地下水灌漑である。手掘り作業は通常 1 人で行われるため, 幅は約 0.5~1m, 高さは 1~2m 程度である。長さは 1 km を越えるものもある。水源は地下水が多く, 起源は江戸時代末期と考えられており, 三重県北勢域に多く現存し, 岐阜県, 奈良県, 福井県にも点在している。地域の水不足の問題を解決した歴史がある。しかし近年, 上水道の整備で生活用水への利用が少なくなり, まんぼの必要性は減少しているため, 管理されず崩壊したり, 危険である理由から埋められたりする事例もある。

本研究では, 採水しにくい地下水を簡易的に採水できるまんぼの特性を生かして, 水質特性を明らかにするとともに低 pH である理由について考察を行った。

2 材料と方法

調査地は, 四日市市和無田町にある和無田マンボ(図 1)と流出先にある和無田池とした。調査は 2019 年 5 月から 2021 年 3 月に計 13 回実施した。水質調査項目は水温, pH, EC(電気伝導率), DO(溶存酸素量), リン系(TP, TDP, PO₄-P)窒素系(TN, TDN, NO₃-N, NO₂-N, NH₄-N)合計 10 項目とした。マンボの長さの測量は 2019 年 5 月 2 日に 30m メジャーを用いて行った。



図 1 和無田まんぼ流出口

3 結果及び考察

3-1 予備調査

和無田マンボの長さを測定したところ 485m であった。地上からはまんぼの堅穴は 1 本(堅穴 5)しか確認出来なかったが, まんぼの中からは堅穴が 11 本確認できた。

マンボ内部を流下する水質変化について明らかにするため, マンボ流出口, 内部 8 地点で採水を行った結果, マンボ内部では流下とともに DO と水温共に変化はなく一定であり, DO はすべて過飽和であった。TP・TN についても変動は確認されなかったため, まんぼ流出口の値を代表値として扱うこととした。

3-2 まんぼの水質特性

マンボの水温は最低値 14.8℃(5 月), 最高値 19.7℃(9 月)であり, 流下先の和無田池の水温は最低値 9.1℃(12 月), 最高値 22.4℃(7 月)であった。まんぼと池を比較した結果, 季節によって変化が少ない地下水路の特性が明らかとなった。また, pH については, まんぼは最低値 4.61, 流入先の池で 4.86 とともに低い値を示した。しかし, 渇水期においては, 池では 7.84 まで回復していた。このことから, まんぼの地下水の低 pH の影響により, 流下先の池も大きく影響を受けていることが明らかとなった。この理由については, 集水域に茶畑や畜産が行われていることに起因すると推測された。

池から流出した後は内部川に流入するが, pH について, 他の河川と大きな違いは認められなかったため, 周辺に大きな影響は与えていない。また, TN についてまんぼでは平均 6.7mg/L, 内部川では 4.1mg/L であり, 大きな変化は認められないが, 内訳は, 和無田マンボでは硝酸態窒素約 10%に対して, 内部川のほうが約 85%と高い割合を占めた。

*保月勇志（福井県衛生環境研究センター）

1. はじめに

福井県の三方五湖の最上流に位置する三方湖は、富栄養化した淡水の湖である。かつては、アオコの発生が例年続いていたが、現在ではアオコに代わってヒシが広範囲で繁茂している。このヒシは、2000年頃から次第に範囲を拡大し、2008年以降は湖全体を覆いつくすほどとなっている。本報告では、福井県が実施してきた長期間にわたる調査データを用い、10年間隔ごとに、アオコが発生していた時期（第Ⅰ期）、アオコの発生頻度が減少してヒシの繁茂が拡大しはじめた時期（第Ⅱ期）、ヒシの繁茂が広範囲となった時期（第Ⅲ期）に区分し、水質について整理・解析した。また、植物プランクトン種の組成および細胞数についても解析を行い、水質との関係性を評価した。

2. 材料と方法

三方湖東部における各水質結果を、10年間隔で区分し、各期間についてt検定による有意差を評価した。また、植物プランクトンの優占上位3種について、時系列の解析を行った。

評価対象としたデータは以下のとおりである。水質分析方法は、環告第59号法を、クロロフィルおよびカロチノイドはSCOR-Unesco法を用いた。

[水質]

- 期間 : 1988～2017年の6月、8月、10月
- 区分 : 第Ⅰ期：1988～1997年
第Ⅱ期：1998～2007年
第Ⅲ期：2008～2017年
- 地点 : 三方湖東部
- 項目 : 水温、pH、透明度、SS、COD、DO、TN、TP、Cl₂、クロロフィル(total,a,b,c)、カロチノイド

[植物プランクトン]

- 期間 : 1999年～2017年の8月および10月
- 地点 : 三方湖東部

3. 結果

アオコが継続的に発生していた第Ⅰ期と、アオコが次第に減少した第Ⅱ期を比較すると、第Ⅱ期で全

クロロフィル量が低かった。

ヒシの繁茂が拡大しはじめた第Ⅱ期と広範囲に拡大した後の第Ⅲ期では、pH、透明度、SS、COD、TN、Cl₂、クロロフィルbおよびカロチノイドで有意差が確認された。一方、全クロロフィル量や全窒素で有意差がなかった。結果の一部を図1に示す。

また、植物プランクトンに関しては、第Ⅱ期には、藍藻が優占し細胞数のほとんどを占めていたが、第Ⅲ期以降に、藍藻の細胞数が減少し、緑藻や珪藻が増加していた。

4. 考察

第Ⅰ期から第Ⅱ期における全クロロフィル量の減少は、アオコの発生が次第に減少したことと整合する。なお、アオコは2002～2017年は観測されていない。

過去の報告によると、アオコが発生すると、炭素固定・窒素固定や藻体の増加によりpH、SS、COD、TNが増加し、透明度が低下するといわれている。本研究でも、これらの項目については第Ⅱ期と第Ⅲ期の間で有意差が確認され、藍藻の減少が影響していると考えられた。また、第Ⅲ期においてクロロフィルbおよびカロチノイドの濃度増加がみられた原因としては、藍藻に代わり、緑藻や珪藻が増加したことが影響していると推察された。

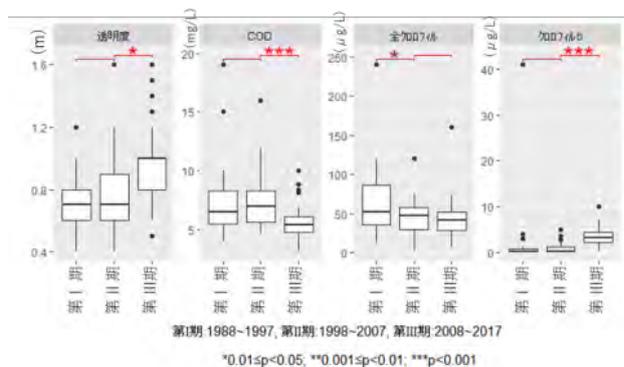


図 各期間における各水質の箱ひげ図および有意差

※本研究は、文部科学省「特別電源所在県科学技術振興事業費補助金」により実施した。

湖沼生態系の変化について（文献レビュー）

*大久保卓也（滋賀県大・環境）

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。瀬戸内海ではノリの色落ち等の生育不良対策として下水処理場の窒素・リン除去率を下げる試みが一部で実施されている（例えば、兵庫県での取組事例など）。海外ではサケ等の水産資源の増加を目的に湖沼に栄養塩を投入する事業（実験）が行われている事例がある。本研究では、日本における沿岸海域や湖沼での貧栄養化進行過程での対策の方向性を検討するための情報収集として、湖沼での栄養塩投入が生態系や漁業資源に及ぼす影響について文献レビューした。

2. 方法

Google Scholar および Elsevier Science Direct の文献検索を利用し海外湖沼における栄養投入実験に関する文献を収集し、レビューした。

3. 結果

カナダの Kootenay 湖（ダム湖、面積 389km²、平均水深 94m、滞留時間 1.8 年）では、漁獲量を増やすために窒素・リンを投入する大規模実験が行われた(Bassett ら,2016; Schindler ら,2020)。栄養塩投入は、1992 年から開始され、今も継続中と思われる。投入量はリンが毎年 20~50 t、窒素が毎年 90~250 t 程度である。全層混合として流れがないと仮定すると、栄養塩投入によって平均してリン濃度はおよそ 2.6 $\mu\text{g/L}$ の増加、窒素濃度はおよそ 11 $\mu\text{g/L}$ の増加になる。実際は流れがあり、また成層するので、異なる値になる。栄養塩投入による湖の T-P、T-N 濃度の変化はデータが不十分で評価できなかった。一方、動物プランクトンの個体数密度は、栄養塩投入によって増加していた。ベニザケ(kokanee)の現存量は魚探で調査した結果、増加していた。

カナダのアロー湖（ダム湖、平均水深 83m、面積

464km²）では、1999 年から栄養塩の投入が始まり、現在も継続中と思われる。この湖でもアロー湖と同じ程度にリン濃度と窒素濃度を増加させる量の栄養塩が投入されている。T-P、T-N、D-N 濃度のモニタリングでは、栄養塩投入による変化は明確でなかった。植物プランクトンのバイオボリュームは、栄養塩投入による変化は明確ではなかった。動物プランクトンのバイオマスについても栄養塩投入の効果は明確でなかった。一方、ベニザケの現存量は栄養塩投入によって増加した(Bassett ら, 2018)。

米国の Dworshak 湖（ダム湖、面積 69km²、平均水深 62m、滞留時間 10 ヶ月程度）では、栄養塩投入が 2007 年から 2010 年の 4 年間実施された。リン・窒素濃度は、栄養塩投入の影響はみられなかった。クロロフィル a 濃度も栄養塩投入の効果はみられなかった。従属栄養細菌細胞密度は、栄養塩投入によって高くなった。栄養塩投入によって、植物プランクトン全体のバイオマスに変化はみられなかったが、食べられやすい植物プランクトンの割合は増加し、藍藻類の割合は低下した。動物プランクトンについては、動物プランクトン全体およびミジンコの個体数密度は、栄養塩投入によって増加した。ベニザケの推定現存量は、栄養塩投入によって増加した(Wilson ら, 2018)。

4. まとめ

北米の貧栄養ダム湖での栄養塩投入実験の結果をまとめると、①窒素・リン濃度の変化は不明確、②クロロフィル a 濃度の変化は不明確、③従属栄養細菌の細胞数密度は増加、④植物プランクトン体積密度の変化は不明確、⑤食べられやすい小型植物プランクトンの割合は増加、⑥動物プランクトンの個体数密度は増加、⑦ベニザケの推定現存量は増加、となる。

参考文献

兵庫県立農林水産技術総合センター「下水処理施設の栄養塩管理運転によるノリ漁場への栄養塩供給効果の実証」
https://hyogo-nourinsuisangc.jp/seisan_gizyutu/suisan/setonaikai/02/23/1298/

山本知季、辻一真、山中裕貴（滋賀県大院・環境）、小畑元（東大・大気海洋研）
岩田智也（山梨大・生命環境）、*丸尾雅啓（滋賀県大・環境）

1. はじめに

メチルホスホン酸（以下 MPn）は有機態リン化合物の一種で、リン酸の水酸基（-OH）が一か所メチル基（-CH₃）に置換されている。C-P 結合は化学的に安定であり、生分解をうけにくいと考えられていた。しかし、近年 MPn が P 制限環境においてリン酸の代替 P 供給源として機能する証拠が示されてきた。また、MPn 分解時に副産物として生成するメタンもメタンパラドックス解明の鍵として注目されている。培養実験等によって環境中に MPn 合成生物や利用生物が存在する事は明らかだが、実際に MPn を定量した例は存在しない。理由としては、環境中の MPn が極低濃度であるため従来の測定手法では定量が困難な為である。

本研究では MPn 定量のため、イオンクロマトグラフィー（IC）と水酸化鉄（Ⅲ）を利用した共沈濃縮法を組み合わせた定量法を開発した。しかし、濃縮法による回収率が 50% になる原因については不明のままであった。そこで本研究は共沈濃縮法による MPn 回収率の向上を目指すとともに回収率が低下する要因について検証した。

2. 共沈濃縮法と IC による MPn 定量法

共沈濃縮法の原理は、水酸化鉄（Ⅲ）が分子内に P-O 結合を 2 つ以上保有する P 化合物を定量的に吸着捕集する事を利用している。まず、試料水 500 ml に対し 10 mg-Fe の水酸化鉄（Ⅲ）を捕集剤として添加し、pH 6 程度に調整する事で MPn を捕集剤に吸着捕集した。次に、捕集剤のみを吸引濾過（孔径 0.4 μm）によって回収し、0.01M アンモニア水溶液（25 ml）を添加して pH 10 以上に調整する事で捕集剤から MPn を遊離させて回収した。再度、吸引濾過（孔径 0.4 μm）を行って捕集剤を取り除いた溶液を濃縮回収液として IC による定量を行った。

本研究では極微量正リン酸定量用にカスタマイズされた IC を使用している。通常の IC の試料注入量が数十 μL 程度であるのに対し、本研究の IC は 5 ml に拡充する事で高感度検出を可能とした。また、

溶離液濃度をメーカー推奨濃度の半分にする事で MPn ピークの分離を最適化した。

3. 結果と考察

共沈濃縮法による MPn 回収率向上のため、捕集剤添加量を変えながら回収率の変動を検証した。その結果、捕集剤添加量を変えても回収率は向上せず、逆に 20 mg-Fe 以上で回収率が低下した。回収率が低下した要因として、濃縮回収液中に残存する捕集剤由来の Fe が IC による MPn 検出を妨害した可能性、または、コロイド態の水酸化鉄（Ⅲ）に吸着した MPn が濃縮過程で回収されずに流出した可能性が考えられた。

捕集剤回収時の濾過に用いるフィルターの孔径を変更して濃縮回収液中の Fe 濃度を測定した。その結果、これまで使用していた孔径 0.4 μm では捕集剤の回収率が十分でなかったこと、孔径 0.2 μm 以下で捕集剤を十分に回収可能である事がわかった。この結果に基づき Fe による IC の MPn 検出への影響を検証したが、影響はみられなかった。

コロイド態の水酸化鉄（Ⅲ）の影響を検証するため、添加前の水酸化鉄（Ⅲ）の沈殿を孔径 0.4 μm フィルターで濾過を行い、コロイド画分の水酸化鉄（Ⅲ）の除去を試みた。しかしながら、コロイド画分を除去した捕集剤で濃縮を実施した結果、回収率は 35% 程度まで低下してしまい、本実験ではコロイド画分の影響は確認できなかった。

先行研究との濃縮条件の比較を行った結果、回収実験に使用した試料水中の P 化合物濃度に大きな差が見られた。先行研究では試料水中の P 化合物濃度が 0.6 μM と比較的高濃度であった。そこで、先行研究と同程度の濃度（MPn : 1 μM）で回収実験を実施した結果、MPn 回収率は 80% 程度になった。以上より、共沈濃縮法による MPn 回収率には濃度依存性がある事が判明したが、これまでの回収実験で想定される環境水中の MPn 濃度に対しては再現性の高い一定の回収率が得られたため、現条件で測定法として十分に利用可能である。

拡散の特徴

*日野 淳郎・横田 雅弘・世良 篤弘・阿部 由克・飯塚 徹谷・金谷 智・牧野 健一
(公益財団法人ひょうご環境創造協会)

1. はじめに

アフリカツメガエル(*Xenopus laevis*) (以下「本種」という。) はアフリカ中南部が原産の両生類で、我が国では実験動物やペットの餌として輸入・流通している。本種は広い温度適応性を持っているため、国内で定着・繁殖が可能で、野生化した場合に在来の水生動物に対する捕食圧・競合圧が生じる可能性が高く、生態系被害防止外来種に指定されている。現在、兵庫県、和歌山県、静岡県、神奈川県、千葉県で定着が確認されており、鹿児島県でも捕獲事例がある。

本種は一生を水中で過ごし、大きな声で鳴かないことから発見が難しい生物である。従来の生息確認は、本種が活動する夜間に罠を設置し捕獲する方法が主流である。しかし、夜間調査や罠を使った捕獲調査は人的・時間的に困難を伴うものである。そこで本調査では、池の水を 1L 程度採水し持ち帰って分析することで対象種の存在を判定できる環境 DNA 手法を用いて、分布状況調査を実施した。

2. 材料と方法

調査地は、兵庫県で初めて本種が発見された(川上ら:爬虫類両棲類学会報 2017(1), 13-17, 2017) 上那木池(兵庫県淡路市江井)を中心に半径 1km 圏内に存在するため池のうち、池に水がありアプローチ可能な 70 の池を対象とした。

採水はロープ付きバケツを用いて池ごとに複数箇所で行い、1つに混合して 1L ポリ瓶に入れ、10% 塩化ベンザルコニウムを 1ml 添加し持ち帰った。

環境 DNA 分析は、本種を対象としたプライマーおよびプローブを Jean ら(*Amphibia Reptilia*37, 131-136, 2016) の配列を基に作成のうえリアルタイム PCR を用いて増幅し、陽性・陰性により本種の確認を行った。

また、魚類相を把握するため、任意に選択した 28 池において MiFish プライマーを用いたメタバーコーディング分析を行った。なお、採水や分析は「環

境 DNA 調査・実験マニュアル ver2.2 (環境 DNA 学会(2020))」に準拠した。

採水は 2020 年 7 月 22 日, 9 月 29 日, 11 月 25 日の計 3 日間で実施した。

3. 結果

①分布状況:環境 DNA 分析を行った 70 池中, 38 池で陽性となり, 上那木池から直線距離 1km に位置する池でも陽性になった。当該地域における本種の分布拡大が明らかになった。また, 拡散経路について GIS を用いて解析した結果, 標高が高い所にある池から低い池へ拡散している状況を確認できた。

②メタバーコーディング分析:本種の環境 DNA が陰性であった池にはオオクチバスやブルーギル, カムルチーが生息している割合が高かった。

4. 考察

①分布状況:池間を常時水が流れている水路はないが, 側溝の集水桝から本種が捕獲されたことから雨天時のみ水が流れる側溝などの水の流れに乗って移動している可能性が考えられる。また, 雨上がりに牧草地の刈草の下から本種が確認されたとの情報を得たことから, 雨天時には圃場や牧草地等の平地を歩行して自ら分布拡大させている可能性を示唆している。

②メタバーコーディング分析:肉食性の魚類が生息している池では, 本種が捕食されるなどして生息しにくい可能性が示唆された。

5. まとめ

本種の防除にあたっては, 標高が高い位置にある池から優先的に対策することが重要であると考えられる。また, 雨天時に本種が水と共に流出しないよう対策を講じる必要がある。さらに, 本種が地上を移動することも念頭に置く必要がある。

本調査は環境 DNA 分析手法を用いたことにより広域的な調査が可能となり, 面的な分布拡大の状況を把握することができた。環境 DNA 分析手法が非常に有効な手法であることが分かった。

炭素・窒素安定同位体比の有効性の検証

*棗田 孝晴 (茨城大), 中川 恵 (国環研), 松崎 慎一郎 (国環研)

1. はじめに

炭素・窒素安定同位体分析は水圏生態系における魚類の食性、栄養段階や生息環境を推定する重要な手法であるが、筋肉部位などの破壊的な検査試料が汎用されている実情がある。絶滅の恐れのある希少種の保全を進めるうえで、再生可能な尾鰭などの非破壊的な検査試料に基づく安定同位体分析手法の確立は極めて重要な命題である。しかし先行研究の多くは、サケ科魚類などの水産資源上重要な魚種に焦点が当てられ、底生の淡水魚類に関する知見は少ない。そこで本研究は希少種を含めた底生淡水魚類 8 種から採取した尾鰭試料及び筋肉試料に基づく炭素・窒素安定同位体比の回帰分析を通じて、尾鰭試料の安定同位体比分析対象の有効性を検証することを目的とした。

2. 材料と方法

2015 年から 2018 年の夏期 (5~9 月) に茨城県内の那珂川水系の 3 河川 (藤井川、塩子川、西田川) および東連津川を対象として底生魚類 8 種 (オオヨシノボリ、シマヨシノボリ、スミウキゴリ、カジカ小卵型 (ウツセミカジカ)、カジカ大卵型、シマドジョウ、ホトケドジョウ、カマツカ) を魚種あたり 20 個体前後採取し、 -28°C で冷凍保存した。各魚体から尾鰭試料および筋肉 (第 1 背鰭前部位) 試料を採取し、乾燥機 (60°C) で 2 日間乾燥させた後、粉末化、脱脂処理のうえ安定同位体分析 (ConFlo IV および Delta V Advantage, Thermo Fisher Scientific, Germany) に供した。本研究では導入量 1000mV 以上の尾鰭試料を安定同位体比分析の対象とした。標準体長の違いによる試料部位間の同位体比の影響を検証するため、Willis et al. (2013) にならい、各個体の尾鰭と筋肉の同位体比 (‰) の差 (offset $\Delta\delta^{15}\text{N}$ および offset $\Delta\delta^{13}\text{C}$) をそれぞれ算出した。

3. 結果

$\delta^{15}\text{N}$ の平均値は全 8 種で尾鰭と筋肉間で有意差

(尾鰭<筋肉) が、 $\delta^{13}\text{C}$ の平均値はシマドジョウとスミウキゴリを除く 6 種で有意差 (尾鰭>筋肉) が認められた (paired t-test)。最小二乗法に基づく回帰分析の結果から、 $\delta^{15}\text{N}$ では全 8 種で尾鰭と筋肉との間に有意な回帰式が得られ ($0.36 < R^2 < 0.98$)、うちシマヨシノボリ、カジカ小卵型、カジカ大卵型、ホトケドジョウ、カマツカの 5 種では 0.86 以上の決定係数を示した。 $\delta^{13}\text{C}$ についても全 8 種で尾鰭と筋肉との間に有意な回帰式が得られ ($0.36 < R^2 < 0.96$)、シマドジョウとスミウキゴリを除く 6 種では 0.82 以上の決定係数を示した。最小二乗法に基づく各魚種の標準体長と offset $\Delta\delta^{15}\text{N}$ の回帰分析の結果から、カジカ小卵型 ($R^2 = 0.16, P = 0.03$) とカマツカ ($R^2 = 0.29, P = 0.03$) 以外の 6 種では回帰式は有意ではなかった ($0.005 < R^2 < 0.11$)。各魚種の標準体長と offset $\Delta\delta^{13}\text{C}$ の回帰分析では、カジカ小卵型 ($R^2 = 0.54, P < 0.0001$) とシマドジョウ ($R^2 = 0.27, P = 0.02$) 以外の 6 種では回帰式は有意ではなかった ($0.0004 < R^2 < 0.09$)。

4. 考察

本研究対象とした底生淡水魚類 8 種のうち、シマヨシノボリ、カジカ小卵型、カジカ大卵型、ホトケドジョウ、カマツカの 5 種については、尾鰭と筋肉の $\delta^{15}\text{N}$ および $\delta^{13}\text{C}$ において、それぞれ高い決定係数 ($\delta^{15}\text{N} : 0.86 < R^2 < 0.98, \delta^{13}\text{C} : 0.82 < R^2 < 0.96$) を伴う有意な回帰式が得られたことから、尾鰭試料からでも筋肉試料同様の食性・栄養段階等の情報を示せる可能性が示唆された。また供試魚の標準体長の増加に伴って、offset $\Delta\delta^{15}\text{N}$ (カジカ小卵型、カマツカ) および offset $\Delta\delta^{13}\text{C}$ (カジカ小卵型) が有意に増加する傾向が認められたことから、一部の魚種では尾鰭試料に基づく安定同位体分析に際して、体サイズの影響を考慮する必要があると考えられた。

引用文献

Willis et al. (2013) Mar. Biol. 160: 1633-1644.

Response of fish community to weir gate operation in large regulated river: changes in local and regional scale community diversity and heterogeneity after weir gate opening

*Hyun-joon Kim, Kwang-Hyeon Chang(Kyung Hee University),
Jeong-Hui Kim(EcoResearch Incorporated),
Min-ho Jang, Kyu-jin Kim, Jun-Wan Kim(Kongju National University),
Hye-Ji Oh(Kyung Hee University)

1. Introduction

Weir construction may have species-specific impact on the fish community. 16 weirs were built in 4 major rivers of South Korea by Restoration of 4 Major Rivers Project. After the weirs were built, the problems of water quality such as algal blooms occurred due to the hydrological modification of the river. In 2018, the gates of weirs in Geum River were fully opened to solve the problems. Meanwhile, the gates of weirs at Yeong-san River were partially opened and remained its disconnected condition. This gate operation of large weir which had blocked the water flow and migration of organisms might have affected the fish community and caused its species diversity (Fig. 1).

Recently, β -diversity which quantify the species dissimilarity between communities is widely used to estimate the regional diversity that is geographically larger than local diversity expressed as α -diversity. Therefore, in this study, by analyzing α and β -diversity of fish community in Geum River and Yeong-san River which has weir gate operated in different ways (fully open and partially open), we estimated the change of species dissimilarity between fish community caused by opening weir gate.



Fig 1. A weir constructed at Geum river, one of the 4 major rivers in Korea; (Gongju-bo)

2. Materials and Method

We analyzed fish diversity change by using the fish community data during 2018~2021 collected at Geum River and Yeong-san River as the monitoring program of “Survey of Aquatic Ecosystem Changes by Discharge of the Weirs in 4 Major Rivers(2018~2021)”.

α -diversity (Shannon’s H') of fish community at each 3 sites of 3 weirs in Geum river and 2 weirs in Yeong-san River was calculated by the ‘vegan’ package in R. β -diversity (Sørensen index) of each River by year was calculated by ‘betapart’ package in R.

Also, we monitored impact of opening weir gate to fish community by analyzing the cause of difference in dissimilarity of fish communities at each river and impact of each site to dissimilarity. It was evaluated by components of β -diversity (turnover, nestedness) and local contribution to beta diversity (LCBD) which were calculated by ‘adespatial’, ‘ade4’ packages in R.

3. Results and Discussion

In fish communities in Geum River and Yeong-san River, there was no apparent change of α -diversity in each site during the gate open period. Only α -diversity of fish in Geum River has a increasing tendency, but such pattern was not apparent in Yeong-san river.

Sørensen dissimilarity of fish community in Geum River and Young-san River has decreased during opening weir, so after opening weir gates, it seems to have restored their connectivity in aquatic ecosystem (Fig. 2).

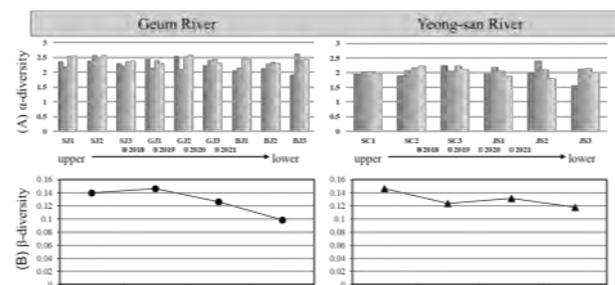


Fig 2. Trends of changes in (A) α -diversity(Shannon’s H') and (B) β -diversity(Sørensen dissimilarity) of Geum and Yeong-san River during 2018~2021; – SJ, Sejong-bo; GJ , Gongju-bo; BJ, Baekjae-bo; SC, Seongchon-bo; JS, Juksanbo

β -diversity (turnover, nestedness) and local contribution to beta diversity(LCBD) and apply to estimate the restopre pattern of fish community to the change of connectivity of river ecosystem.

日本に出現するマルミジンコ (*Chydorus sphaericus*) の分類学的再検討

*牧野渡 (東北大)・鈴木碩通 (東北大)・大竹裕里恵 (東北大)
・伴修平 (滋賀県大)・占部城太郎 (東北大)

1. はじめに

いつ、どこに、どのような種が出現したのかを記録することは「できてあたりまえ」と思われがちであるが、実は本邦の淡水動物プランクトンでは、現状それすら「できてあたりまえ」ではない。その理由のひとつとして、よく使用される図鑑図説類に、厳密には日本に分布しない種が数多く掲載されている点を指摘できよう。例えば、本邦でも様々なタイプの淡水環境から発見される *Chydorus sphaericus* (マルミジンコ) では、従来よりも踏み込んだ形態観察と分子系統解析とを併用した Belyaeva & Taylor (2009, *Mol Phylogenet Evol* 50:534-546) は、狭義の *C. sphaericus* は欧州にのみ分布し、他の地域の「*C. sphaericus*」は、狭義の当該種に酷似する未記載種であると報告している。これは本邦の「*C. sphaericus*」にもあてはまり、少なくともミドリガ池と大鳥三角池の集団は狭義の *C. sphaericus* ではないことが確かめられている。仮に本邦のマルミジンコ集団が未記載種の「*C. sphaericus*」であるならば、それを狭義の *C. sphaericus* 扱いし続けることは、そうとは知らずに資料試料を取り扱う将来世代に対して無用の混乱のタネを与え続けることと同義であり、無論、そのような状況は避けるべきである。

演者らは日本各地の淡水域にて、動物プランクトンの網羅的採集を行っている。本ポスターでは、本邦の広い範囲から採集された「*C. sphaericus*」について、分類学的位置づけを Belyaeva & Taylor (2009) の基準に従い再検討したので報告する。

2. 材料と方法

今回は「*C. sphaericus*」が含まれていたエタノール固定サンプルについて、湖沼 (あるいはため池、水田) あたり 2 個体の「*C. sphaericus*」を単離し、その mtCOI 領域・Folmer 領域の塩基配列を既報 (Prosser et al., 2013, *Mol Ecol Res*, 13: 1151-1155) に

従い決定した。合計 80 地点から 153 個体の「*C. sphaericus*」をシーケンスした。Folmer 領域は、Belyaeva & Taylor (2009) を含む先行研究で解析された領域である。日本集団の塩基配列と、先行研究の塩基配列との相同性を解析し、種判別の一助とした。なお DNA 抽出前には、解析個体の顕微鏡写真も撮影した。

いくつかの採集地では、得られた「*C. sphaericus*」を生かしたまま実験室に持ち帰り、抱卵した単為生殖メスを単離・継代培養することで「単メス系」を作成した。単メス系の個体については遺伝子解析だけでなく解剖して形態を調べた。

3. 結果

本邦からは、狭義の *C. sphaericus* に該当する遺伝子型は全く出現しなかった。また本邦の「*C. sphaericus*」は単一の種ではなく、2 種類から成ることがわかった。そのうち一方は、Belyaeva & Taylor (2009) の名称に従えば *Chydorus undescribed* (A3) であり、もう一方は *Chydorus brevilabris* であった。単メス系の形態を比較したところ、遺伝子型が *Chydorus undescribed* (A3) であった個体の口唇は、末端が細く尖る *C. sphaericus* 型であった。一方、遺伝子型が *C. brevilabris* であった個体の口唇は、末端が細く尖らない *C. brevilabris* 型であった。

4. 考察

本邦の「*C. sphaericus*」には、口唇の形状を確認しないと区別できない 2 種が混在していることが初めてわかった。今後「*C. sphaericus*」に遭遇したら面倒でも解剖に供すべきである。また口唇が *C. sphaericus* 型の個体についても、狭義の *C. sphaericus* ではないことを記述すべきである。本邦からの *C. brevilabris* の出現は初記録であると思われるが、その由来についても考察したい。

：湖沼堆積物を用いた湖沼間比較（予報）

*大竹裕里恵^{1,2},大槻朝¹, 占部城太郎¹, 吉田丈人^{2,3}

(1. 東北大・生命科学, 2. 東大・総合文化, 3. 地球研)

1. はじめに

生物の集団遺伝構造はその種の生態系機能に影響する。しかし、集団遺伝構造の生息地間での差異やその決定機構は良くわかっていない。集団遺伝構造の決定には、大別すれば分散能力と競争能力が関与していると考えられる。例えば、分散能力が大きい遺伝子型は早く到達して分布を広げるが、競争能力が高い遺伝子型が後に集団で卓越するようになるかも知れない。一方、先に侵入した遺伝系統は環境適応時間（変異が選択される時間）が長いため、より卓越出来るという monopolization¹⁾が集団遺伝構造に関与している可能性もある。しかし、生物の移入初期から集団とその遺伝構造変化を追跡することは通常は困難である。幸いなことに、ミジンコ類では休眠卵が湖沼堆積物に保存されており、その遺伝情報を用いれば集団遺伝構造の歴史的变化を追跡することが出来る。そこで、本研究ではミジンコ類のうち *Daphnia cf. pulex sensu* Hebert (以下 *D. pulex*) に着目し、堆積物に保存されている休眠卵を対象に時間軸に沿った遺伝子型組成の解析を行った。日本に生息している *D. pulex* は、いずれも絶対単為生殖系であり、遺伝子型間での交雑が生じないため、到達順やこれによる遺伝的構造の影響を評価しやすいという利点がある。

2. 材料と方法

2系統のミジンコ (JPN1, JPN2) の同所的生息が報告されている6湖沼において、堆積物コアサンプルを採集した。採集した円柱状堆積物は、厚さ1 cm 間隔で切断し、各層に含まれる卵鞘とその中の休眠卵を計数した。次いで、休眠卵を卵鞘から取り出し、mtDNA 塩基配列 (ND5 領域 755bp と control 領域 873bp) でジェノタイピングを行い、集団遺伝構造を記録した。各層の年代 (クロノロジー) は、深見池では年代既知の鍵層と堆積速度・年縞に基づき推定した²⁾。他の5湖沼は、鉛の放射性同位体の測定に基づき推定した。本発表では、このうちの2湖沼、深見池 (長野県) と畑谷大沼 (山形県) の結果について報告する。深見池は面積 2.2 ha・最大水深 7.8 m の富栄養湖、畑谷大沼は面積 19 ha・最大水深 4.7 m の中栄養湖沼である。

3. 結果

堆積物コアから取得した *D. pulex* の休眠卵の内、

深見池では 602 卵、畑谷大沼では現時点で 40 卵を用い分析を行った。

堆積物に保存されている休眠卵のクロノロジーから、深見池で *D. pulex* が最初に出現したのは 2003 年頃と推定され、JPN2 系統遺伝子型が近年まで通じて出現した。この中で Jpn2C 遺伝子型の休眠卵が常に多くみられた。その indel 変異と推定される遺伝子型も量的には少ないが、散見的に出現した。2010 年に、JPN1 系統の遺伝子型 (JpnA1-C2T2) が出現したが、置き換わりは見られなかった。

畑谷大沼では *D. pulex* の堆積物遺骸は 1982 年から、休眠卵は 1989 年から記録されている³⁾。今回の研究では 1983 年の堆積物から 2009 年の層までは空の卵鞘のみがごく低頻度で観察された。休眠卵からの DNA の抽出に成功した最下層は 2009-2010 年と推定され、この層では Jpn1 に属する Jpn1A-C2T1 が見られた。しかし、その後間もなく JPN2 に属する Jpn2A が出現した。以後は両系統の遺伝子型の休眠卵がみられ、量的な優劣傾向はみられなかったが、2018 年以降の近年では Jpn1A-C2T1 の休眠卵が量的に多くみられるようになった。また、深見池と異なり畑谷大沼では indel 変異型はあまり見られなかった。ただし、畑谷大沼は分析した休眠卵数が限られるため、追加分析で上記遺伝子型の変異体が検出される可能性がある。

4. 考察

休眠卵解析から、深見池では JPN2 系統の遺伝子型が、畑谷大沼では JPN1 系統の遺伝子型が量的に多くみられるなど、優占系統は2湖沼間で異なることが分かった。しかし、いずれの湖沼も休眠卵が多かったのは先に侵入したと考えられる系統であった。この結果は、系統ごとに競争能力や分散能力に違いがあるというより、先に侵入した遺伝系統に monopolization が働いている可能性を示唆している。今後は、畑谷大沼での休眠卵検体数を増やすと共に、他4湖沼での分析を進める。これにより、遺伝系統間での分散・競争能力の違いや monopolization の寄与可能性について詳細な検討を行う予定である。

1) DeMeester et al. (2016) TREE 36:136-; 2) Otake (2022) Freshwat Biol 67: 1428-; 3) Ohtsuki et al. (2015) Plos One 10: e0119767

Application of zooplankton index to environmental assessment; verification of community index for lake assessment using multi metric

*Yerim Choi, Kwang-Hyeon Chang (Kyung Hee University),
Min-Ho Jang, Kyu-Jin Kim, Jun-Wan Kim (Kongju National University),
Hye-Ji Oh (Kyung Hee University)

1. Introduction

Since zooplankton has a short life cycle and is sensitive to environmental changes, the community can change rapidly as the physicochemical properties of the lake change. In the lake food web, zooplankton play as a link between phytoplankton, a food source, and fish as a predator. Therefore, using the zooplankton index in the monitoring can provide more comprehensive information regarding lake environment, and represent health status of the ecosystem in the series of continuous responses. Although useful zooplankton indices have been developed by EPA to estimate USA aquatic ecosystems, their applicability in Northeast Asia is very limited due to the differences in zooplankton species composition as well as different characteristics of lakes. In the present study, we tried to modify the EPA zooplankton indices and develop comprehensive indices focusing on the multi-metric assessment applicable to Northeast Asia, having similar climate, lake environment and biota.

2. Material and Methods

Recently, Korean government has introduced the MultiMetricIndex(MMI) assessment method for various taxonomic groups for aquatic ecosystems monitoring and evaluating ecosystem health at the national level, and is in the process of standardizing sampling methods, analysis, and interpretation of results.

MMI is a key tool in national ecosystem health assessment programs. The MMI consists of indices that respond to different target environment factors, including environmental disturbance (e.g. nutrients, toxic substances, climate change, etc.).

For the modification of zooplankton indices and their verification, we collected zooplankton samples from 9 reservoirs in Korea having different water quality, zooplankton species composition, and surrounding environment.

3. Results and Discussion

We classified 236 candidate metrics used in the zooplankton MMI development process at EPA, into three categories: 1) indices applicable to Korea, 2) indices not applicable to Korea, and 3) indices that can be applied after modified.

First, a total of 136 indices were sorted out by deleting indices associated with zooplankton species that do not inhabit in Korea. Since there are not many studies on the exotic zooplankton species in Korea, the indicators using native species were not applicable, and since most of the lakes in Korea are artificially created reservoirs, the littoral vegetation environment is not developed, so the indices for zooplankton species living in the littoral was also difficult to apply in Korea.

Second, 136 indices were classified into 6 categories (Abundance, Richness, Trophic, Copepod, Cladoceran, Rotifer). A total of 44 indices were extracted by modifying and deleting duplicate indices, there is a discrepancy in the zooplankton sampling methods between the U.S. and Korea (e.g., differences in the size of zooplankton collection net mesh, 300-count subsample etc.).

Finally, through sensitivity, redundancy, and distribution tests for 44 indicators, 6 metrics were finally selected for representing 6 categories. The optimal MMI combination applicable to the Northeast Asia region was estimated using available zooplankton data set and environmental parameters.

Cladoceran biomass based on length-weight relationships; applicability, species-specific variances, and gap between laboratory and lakes

*Dae-Hee Lee · Hye-Ji Oh · Kwang-Hyeon Chang (Kyung Hee Univ.)

1. Introduction

Biomass is a biological quantity that reflects the difference in species size, and is important in estimating the amount of materials and energy transferred through biological interactions between the species that make up the food web. Biomass based on the size of the individual differs depending on the regional scale (e.g. latitude, longitude) as well as the local scale (e.g. trophic status of water body). In the case of zooplankton located in the intermediate position in the aquatic ecosystem food web, biomass calculation is essential to understand their function more accurately in the food web such as the degree of energy transfer from lower to higher trophic level organisms through them.

Studies for the estimation of zooplankton biomass have been conducted by several researchers in the past and it is now common to use the length-weight equation derived from previous studies. However, the constants of the biomass estimation equation for the same species differ depending on the literatures, and the geographical location of the water body may affect the size of zooplankton individuals and the biomass accordingly. Therefore, it is necessary to review the biomass estimates when applying the preceding equation to the zooplankton biomass calculation.

In the present study, we reviewed the applicability of preceding biomass estimation equations by measuring the dry weight of three major cladoceran species appearing in Korea using a microbalance and comparing them with the estimated value. Furthermore, we tried to present a more accurate biomass estimation equation for each species through regression analysis between the body specification (length/width/area) and dry weight.

2. Material and Methods

We collected each cladoceran (*Daphnia galeata*, *Diaphanosoma orientalis*, *Ceriodaphnia reticulata*) from various water bodies. Field individuals were identified under a microscope in the laboratory and body specifications were measured at the time. The individuals whose body specifications were measured were placed in a tin capsule for each species to measure the wet weight (a), and then dried in an oven at 60°C for 24 hours to measure the dry weight (b). The difference between actually measured values and those obtained from the estimation equation was used to estimate the accuracy of the equation. To derive the biomass estimation equation for each species of cladoceran, regression analysis was performed using the body specifications (body length, body width, and body area) and measured value, fitting in linear/logarithmic/exponential function formula. Suitability was compared based on multiple R^2 values. Statistical analyses were performed by R software.

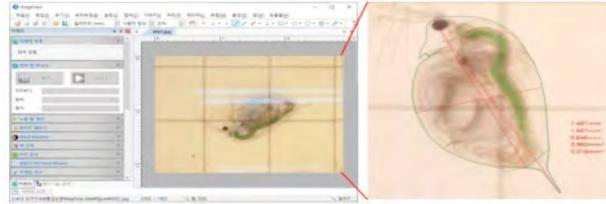


Figure 1. length/width/area of *Daphnia galeata* measurement using the image measurement analysis tool

3. Results and Discussion

As a result of the comparison between the measured value and the estimated value using the previous biomass estimation equation, *Daphnia galeata* and *Diaphanosoma* showed statistically significant differences, but *Ceriodaphnia* did not show a difference. In the case of *Daphnia galeata*, the analysis results differ depending on the presence or absence of eggs, and there was no significant difference for no-egg individuals.

As a result of regression analysis between length/width/area and measured value of three species of cladoceran, it was analyzed that *Daphnia galeata* showed the highest multiple R^2 value in width-weight linear regression, *Diaphanosoma* showed the highest multiple R^2 value in the length-weight exponential regression. On the other hand, *Ceriodaphnia* showed the highest multiple R^2 value in area-weight linear regression.

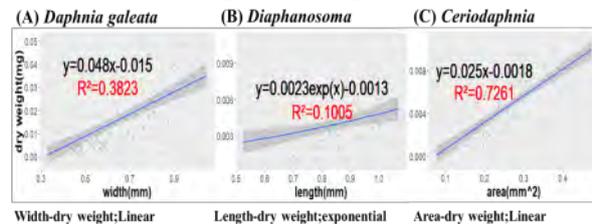


Figure 2. Regression analysis and fitting results showing the highest degree of fit between body specifications and biomass measurements of major Korean cladoceran species.

(A) *Daphnia galeata*, (B) *Diaphanosoma orientalis*, (C) *Ceriodaphnia reticulata*

Multivariate analysis of zooplankton community and environmental factors using time series analysis ; separating seasonality and trend from seasonal data

* Geun-Hyeok Hong, Hye-Ji Oh, Kwang-Hyeon Chang (Kyung Hee Univ.), Han Sa Rang(Geum-River Environmental research Cental) , Hyun-Gi Jeong(Environmental Researcher)

1. Introduction

Seasonal changes in physicochemical and biological environmental factors cause succession in zooplankton community. In addition, non-seasonal variability in environmental factors can also affect changes in the zooplankton community structure, which can be distinguished by changes in intra-annual forms that occur rapidly over a short period and inter-annual forms that appear slowly over a long period of more than a year. Identifying the zooplankton community response according to seasonal and non-seasonal fluctuations of environmental factors helps understanding the interspecies relationship within community as well as the effect of abiotic and biotic interactions of habitat environment on the zooplankton community. Therefore, in the present study, in order to better understand the response of changes in the habitat environment for rotifers, which is generally dominated at the lotic systems, we performed multivariate analysis by extracting three components through the time series analysis of the zooplankton abundance and environmental factors – repetitive variability (Seasonal), inter-annual variability (Trend), and irregular non-repetitive variability (Random). Analysis results conducted on each independent times series components are expected to contribute for understanding the appearance tendency of rotifers according to habitat environment by specifying environmental factors influencing the appearance of rotifers and grouping species which similarly respond to environmental changes.

2. Material and Methods

Zooplankton including rotifers were collected from the Korean artificial lake, Daecheong-ho by the vertical towing method during the period from March 2017 to November 2019 (twice a month) excluding the winter season. Simultaneously, we measured water quality variables and collected phytoplankton from the surface water. As environmental factors affecting the rotifer community of the lake, we categorized parameters to four groups–water quality (total nitrogen; TN, total phosphorus; TP, and Chl -a concentration), food sources (phytoplankton and protozoa), competitors (cladocerans, nauplius), and predators (copepods).

Each rotifer abundance and environmental factor data were decomposed into Seasonal, Trend, and Random

components through an additive decomposition model of classical time series analysis (R package "stats"). Redundancy analysis (RDA) was conducted to understand the correlation between rotifer species and environmental factors for each component extracted by time series analysis (R package "vegan"), and the rotifer community was classified according to the abundance and frequency.

3. Results and Discussion

In the RDA analysis using raw data of rotifer species composition, although the predator abundance(copepods) and TP were determined as important factors, the correlation between rotifer composition and environmental parameters were not clear. At the same time, rotifer species showed different response patterns depending in their abundances and frequencies.

On the other hand, when the data of rotifer abundance was decomposed to seasonality, trend and random components, the correlation described in RDA analysis were more apparent (Fig. 1).

The relationship between each decomposed component and seasonal changes of factors were analyzed and discussed through this study.

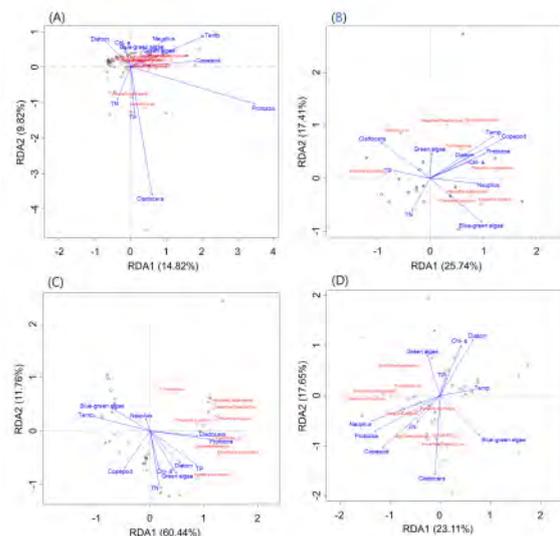


Fig 1. Comparisons of RDA analyses using raw data of rotifer density (A), seasonality (B), trend (C) and random variables (D) decomposed by Time series analysis.

*Hye-Ji Oh, Yerim Choi (Kyung Hee Univ.)

Yong-Jae Kim (Daejin Univ.), Kwang-Hyeon Chang (Kyung Hee Univ.)

1. Introduction

Species diversity is important for understanding the structure of aquatic ecosystems, and is recently used as an important indicator for assessing ecosystem health. Therefore, standardized sample collection and individual counting methods are needed to compare the diversity between different lakes. Unlike fish, for example, which are counted based on the whole individuals collected from fixed CPUE, plankton are collected and counted through filtering a certain volume of water in the field, extracting a certain amount of subsample from the concentrated sample, and calculating diversity indices. The number of species detected depends on the researcher's effort to collect zooplankton samples, i.e., the volume of water filtered and the amount of concentration and subsample treated in the laboratory. The larger the sample coverage, the more accurately the number of species and individuals presenting in the target water body can be estimated, but degree of concentration of the sample and the amount of subsample cannot help but vary for each researcher, depending on the sample condition and other factors. Therefore, in this study, we compared the number of species detected under the different amounts of concentration and subsample and proposed background information for reasonable enumeration process in zooplankton diversity study.

2. Material and Methods

Samples used for comparison were collected from three lakes, each with different water quality and zooplankton community composition: (A) a deep eutrophic lake (DEL, high species number and abundance), (B) a shallow eutrophic lake (SEL, intermediate species number and abundance) and (C) a deep oligotrophic lake (DOL, very low species number and abundance, cladocerans dominant). All sample were concentrated to 100 ml, from which the number of species and individuals detected were compared by increasing the volume of subsample by 1 ml. However, copepods, which are difficult to identify in detail, were not included in this study. We also compared the number of species detected when the number of counted individuals increased by 100 inds./L. The increasing trends of the number of species and diversity index (Shannon's H) detected when showing different subsample and individuals' amounts and their differences were analyzed by the rarefaction curves, and sample coverage was estimated using R package (iNEXT).

3. Results and Discussion

Detected number of species, as we expected, showed increase tendency as the amount of subsamples increase and more individuals are counted. In the case of the

eutrophic lakes, with high population density, the number of species detected reached more than 90% of the total species number when 4 ml of subsamples were taken from 100 ml of concentrated samples and counted. In oligotrophic lake, however, only about 70% of the total species were detected in the same amount of subsample.

As a result of pattern estimation using the rarefaction curves, the number of species detected from the sample, the diversity index, and consequent sample coverage tended to differ depending on the zooplankton composition and individual numbers (Figure 1). This means that the degree of concentration and the amount of subsamples should be considered for more accurate species richness and diversity analysis, thereby suggesting the need for a standardized manual considering sample coverage, particularly for the site comparisons.

Because sample collection for zooplankton is carried out in accordance with water depth, it is difficult to match filtration rates as same sample coverage at the on-site. Alternatively, more accurate comparisons of species richness and diversity between sites can be made by adjusting the method of concentrating samples and taking subsamples, as shown in this study.

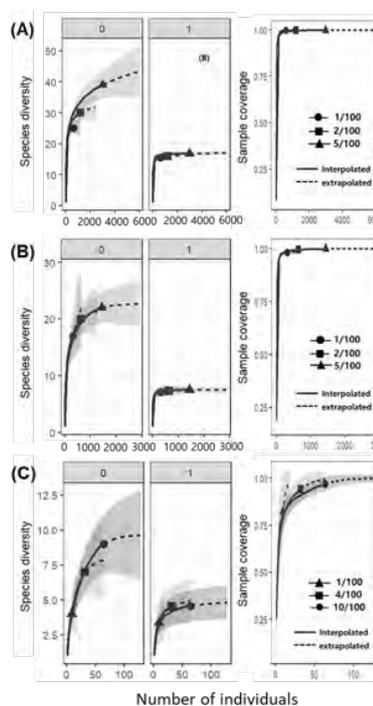


Figure 1. Results of species rarefaction curve analysis using species diversity and sample coverage according to counted zooplankton individual numbers; (A) DEL, (B) SEL, (C) DOL. Species diversity; 0 = species richness, 1 = Shannon's H

*富山 楓 (信州大・総合理工学研究科), 伊原 正喜 (信州大・農)

1. はじめに

Nostoc commune (イシクラゲ) は、窒素固定能を有する陸生シアノバクテリアで単細胞原核生物である。イシクラゲは、十数細胞からなる糸状体のトリコームが増殖し鞘を形成することで数センチの巨大コロニーを形成する。一方、鞘が破裂して糸状体がむき出しになり、多様な生物種を含む不定形の集合体となる現象がしばしば観察される。鞘の破裂は、イシクラゲの産業利用において解決すべき課題であるが、その原因は全く知られていない。

当研究室では、野外から採取したイシクラゲコロニーを洗浄し、乾燥と湿潤を繰り返した後、破碎し、40 μm フィルターで鞘除去、10 μm フィルターでバクテリア除去し培養すると、鞘を有するコロニーが形成されやすくなることを見出した。本実験では、得られた数ミリサイズのコロニーに同様の継代操作を繰り返すことで純化を試みた。また鞘形成率は、寒天培地の寒天濃度に比例して高くなるとの報告について再現性を確認することともに、その過程を詳細に観察した。

2. 材料と方法

実験に用いたイシクラゲコロニーは長野県伊那市三峰川から採取した。採取した野生株コロニーを、1.5 ppm 次亜塩素酸溶液で洗浄し湿潤後、乾燥するというサイクルを3回繰り返した。その後、コロニーを破碎し、孔径40 μm および10 μm のフィルターを用いて鞘とバクテリアをそれぞれ除去し、トリコーム溶液とした。寒天濃度1.5%の寒天培地で1か月間培養して得られたコロニーを破碎し、同様に継代した。このサイクルを5回以上繰り返した株を継代株とした。3株の継代株 (V, K, L 株) と野生株のトリコーム溶液を、寒天濃度0.6%、1.5%、2.2%の改変BG11o寒天培地に播種し、25 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ の連続照射下、25°Cで培養した。1か月間の培養におけるコロニー形状とコロニー内部のバクテリアを観察した。

3. 結果

培養1週間後のトリコームを観察したところ、野生株ではバクテリアが増殖したのに対し、継代株ではバクテリアは確認できなかった。培養2週間後、継代株ではバクテリアが確認され始めたが、それぞれの株で差はなかった。寒天濃度によるバクテリア数の変化もそれぞれの株では確認できなかった。

培養3週間後、野生株ではいずれの寒天濃度においてもコロニーが形成しなかった。継代株においては、寒天濃度0.6%では、3株ともにコロニー同士が融合した不定形集合体が形成された。寒天濃度2.2%では、VおよびK株において、表面が滑らかで強い鞘を持つ球体型コロニーが形成されたが、L株においては表面に凹凸が見られ、半球型コロニーとなった。VおよびK株の球体型コロニー表面は、L株と比較して、有意にバクテリア数が少なかった(図1)。

4. 考察

早い時期からバクテリア増殖が観察された野生株ではコロニーが形成しなかった結果と、バクテリア混入量が少ない継代株ほど強い鞘を持つ球体型を形成する傾向から、コロニー形成へのバクテリアの関与が示唆された。また、寒天濃度の違いによるバクテリア数の変化は観察されなかったにも関わらず、鞘の硬さやコロニー形状に違いが生じ、物理的要因もコロニー形成に関与することが示唆された。

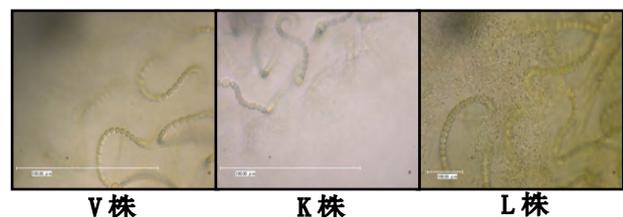


図1. 継代株コロニーの内部のバクテリアの様子 (アガロース濃度1.5%)

5. 参考文献

西塚紘明、博士論文 (北海道大学)、2018

*美齊津 青空 (信州大院)、酒井祐介、城山真恵加 (熊谷組)
伊原 正喜 (信州大、バイオメディカル)

1. はじめに

藻類バイオマスは、石油代替資源として注目を集めているが、培養施設や運用の高いコストが課題となっている。重量単価の安い化成品を藻類バイオマスから得るには、最低限の培地成分を休耕田などに投入すること以外、なにもしない超低コスト培養が必要である。しかし、休耕田での培養で問題となるのが、捕食生物である。そこで、著者が注目した藻類は、陸生藻類のイシクラゲである。イシクラゲ細胞は一つにつながった糸状体を形成し、その外側には「鞘」が形成されるため捕食されにくい。しかし、イシクラゲの人工培養を試みると、鞘が形成されずに多様な微生物を巻き込んだ不定形コロニーになることがしばしば観察され、鞘形成機構の解明が必要となっている。これまでに、イシクラゲ天然株から抽出したトリコームの成長を顕微鏡観察したところ、鞘形成度合いと、周辺のバクテリアの繁殖度合いの間に強い相関が確認されたことから、鞘形成へのバクテリアの関与が示唆された。そこで、鞘形成に関与しているバクテリアを特定することを目的に、イシクラゲ培養液の 16S rRNA 解析を行った。

2. 材料と方法

長野県伊那市三峰川岸から採取したイシクラゲコロニー14株をガラスホモジナイザーによって破碎し、数個~数十個の細胞からなるトリコームを取り出した。トリコームは、フィルターを用いて洗浄後、1 ウェルあたり 30 トリコーム程度となるように

384 ウェルプレートに播種した。そこに、窒素源を含まない無機塩培地 BG1100 を添加し、約 25°C のインキュベーター内で、白色 LED (50 $\mu\text{mol photons}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) を照射して培養した。培養開始から 14 日後に、イシクラゲの鞘形成を、マイクロプレート自動撮影装置 EVOS FL Auto を用いて記録した。

後にマイクロプレートから培養液を回収した。培養液サンプルから 16S rRNA 断片を増幅し、次世代シーケンサー Miseq システムにて解析した。

3. 結果

培養したイシクラゲ 14 株の鞘形成は、鞘形成した“Excellent”が 6 株、明確な鞘は見られないがトリコームが折りたたまれている“Good”が 4 株、明確な鞘もなく折れたたまれていない“Poor”が 4 株であった。表に示す通り、“Excellent”ではイシクラゲが主成分であるが、“Good”および“Poor”培養液ではイシクラゲのリード数は少なく、*mucilaginibacter* 属や *Ideonella* 属のリード数が多かった。

4. 考察

Mucilaginibacter 属にはセルロースやペクチンといった多糖を分解する株が多く報告されている。また、*Ideonella* 属の中にはポリエチレンテレフタレートを分解する種が報告されている。これらの菌が、イシクラゲの多糖を資化して増殖したことで存在比が大きくなり、かつ、イシクラゲは鞘の原料となる多糖が不足し、鞘が形成出来なくなったと考えられる。

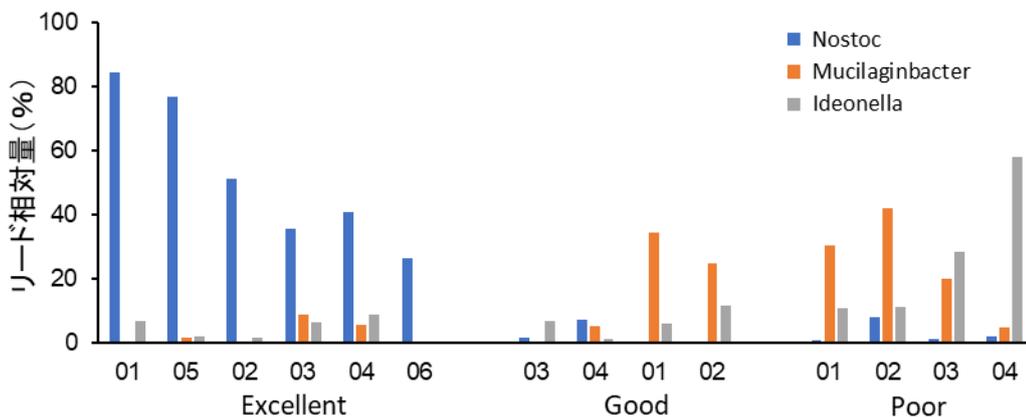


表
イシクラゲ培養液の
メタゲノム解析結果

リード相対量
各バクテリアのリード
数/全リード数

道下 遥香(京都先端科学大学附属高等学校3年)
熊谷道夫(びわ湖トラスト)

1. はじめに

私にとってメダカは身近な生き物だった。教室でも家でも飼っているメダカはエサをやるうとして水槽をのぞき込むとすぐに水草に隠れてしまう。エサはとても細かいので、私がエサがないと思っていたところでもエサを食べる動作をしている。

その時にメダカは世界がどのように見えているのか興味を持った。メダカの目について調べていると、メダカは紫1つ、青2つ、緑3つ、赤2つのオプシンをもっており、これは人間の持っているオプシンの数より多いことを知った。メダカは人間よりも世界が鮮やかに見えていると考え、メダカの色覚について研究を始めた。

2. 材料と方法

実験は3回行った。



図1 実験Ⅰ～Ⅲの実験風景

図1で示したように、実験Ⅰではメダカが一番集まるのはどの色か調べるために、赤、青、緑のコップを入れて調べた。また、メダカは季節によって色覚を変化させているかを調べるために15℃と25℃の水温に分けて調べた。実験Ⅱでは実験Ⅰの反省を踏まえて、底に赤、青、緑の色に分けた。メダカがどの色のところにいるか分かりやすいように、エアポンプを中心に色ごとに仕切りを付けた。仕切りは水槽上部のほうにあるので、水槽の下のほうでメダカが移動できるようにしている。実験Ⅲではメダカが色の波長によってオプシンの構成を変えているか調べるために上から赤、緑、青の色分けと、実験Ⅱと同様に下からの色分けと、色なしで実験をした。実験Ⅱでは仕切りを使用したけど、仕切りが動いたり、メダカが水槽上部で移動しようとしたりして

仕切りに衝突しているところを確認されたので、仕切りは使用しなかった。色なしの水槽の底にはメダカがどこにいるか分かりやすいように5cmの方眼紙をした。観察するメダカはヒメダカ *Oryzias latipes* である。

3. 結果

実験Ⅰの水温が15℃の水槽ではメダカがコップに入っていた時間は赤、青、緑の順に長かった。25℃の水槽では15℃の水槽と同様に、メダカがコップに入っていた時間は赤、緑、青の順に長かった。実験Ⅱは平均して赤ゾーンにいるメダカの数が多かった。実験Ⅲの上からの色分けは図2のような結果になった。

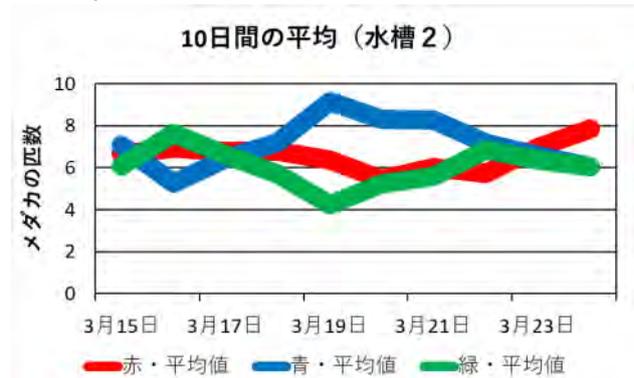


図2 実験Ⅲ:上からの色分けの結果

4. 考察

実験Ⅱより平均して赤ゾーンにいるメダカが多かったことから、メダカの目は色の変化に対応しているようである。実験Ⅲよりどの色も同じくらい反応していたことから、上からの光に反応しており天敵に早く気付くためと考えた。以上のことから、メダカは生活をするために、色・光・水温の環境に柔軟に対応していることがわかった。

文献

自然科学研究機構基礎生物学研究所名古屋大学 (2017):メダカの色覚が季節によってダイナミックに変化することを発見.

URL

https://www.itbm.nagoya-u.ac.jp/ja/research/20170905_NatComm_Yoshimura_JP_PressRelease.pdf

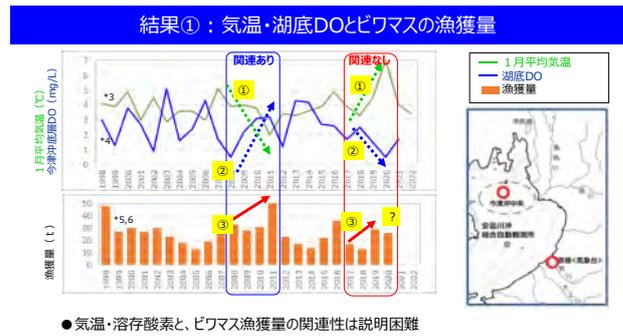
*高橋朋晃（京田辺市立大住中学校）・桑原雅之（びわ湖トラスト）

1. はじめに

いま世界では、温暖化による様々な気候変動が起きている。びわ湖においても全循環が止まり、底層のDOが減少する年があり、生物への影響が問題になっている。その中で私は琵琶湖の固有亜種であり、準絶滅危惧種とされるビワマスに着目し、温暖化が進むことによって生息水域の酸素が少なくなり、ビワマスが住めなくなるという仮説を立て、温暖化の影響を調べた。

3. 結果

2008年～2011年のグラフに注目すると、1月平均気温の低下、底層DOの増加に伴いビワマスの漁獲量が増加し、仮説に当てはまっているように見える。しかし、2017年～2020年のグラフに注目すると、1月平均気温の上昇、底層DOの低下に伴い漁獲量が低下するはずが、増加しており仮説と異なる結果となった。



●気温・溶存酸素と、ビワマス漁獲量の関連性は説明困難

2. 材料と方法

温暖化との関連を調べるために、1月の平均気温、底層DO(水深90m)、ビワマス漁獲量の統計データを収集した。そして、統計データからグラフを作成し、関連性を確認した。

4. 考察

今回の研究では、底層のDOとビワマス漁獲量に明確な関係性は見られなかった。また、ビワマスは遊泳能力が優れており、貧酸素領域から逃げることができると考えられるため、底層DOの低下で死ぬことはないのではないかという疑問も出てきた。今後は上記のような事象に加え、フィールドワークを中心に調査を進め、温暖化がビワマスに与えそうな影響について明らかにしていきたい。

*田原瑠衣斗（滋賀県大津市立瀬田北中学校）

熊谷道夫（立命館大学）

1. はじめに

昨年、私は琵琶湖の全循環の有無と水鳥の渡りには関係があるのではないかと考え、そのテーマで研究した。その結果、全体としては全循環のあった年に飛来数が多かったが、種類別に見ると、多くない種類もいた。さらに、2020年の11月～2021年の2月にスズガモ、トモエガモ、オナガガモの3種類が極端に増えていたことに気づいた。しかし、2021年の11月～2022年の2月には、例年と同じぐらいの飛来数減少していたのだ。このことから、なぜスズガモ、トモエガモ、オナガガモの3種類が2020年の11月～2021年の2月のみ極端に増えたのかという疑問が浮かんだ。そして、この研究をすることでトモエガモなどの絶滅危惧種の飛来数の回復に貢献できるのではないかと考えた。さらに、なぜ増えたのか分かれば、琵琶湖の全循環の有無と水鳥の渡りの関係についても解明できる可能性がある。

2. 材料と方法

2020年1月と2021年1月のスズガモ、トモエガモ、オナガガモの3種類の琵琶湖より東の都道府県の飛来数を調べ、割合(%)にまとめ、比べた。そして、北海道、山形県、福島県、宮城県、秋田県、茨城県、福井県、石川県、滋賀県の積雪量、降水量、平均気温を調べ、3種類の個体数の増減との共通点があるかどうか比べた。

3. 結果

スズガモ、トモエガモ、オナガガモの3種類の琵琶湖より東の都道府県の2020年1月と2021年1月の個体数の増減を調べ、割合(%)を日本地図にまとめた。ただし、個体数が一桁の都道府県は計算していない。そして、10都道府県の積雪量、降水量、平均気温を調べ、増減との共通点があるかどうか調べた。スズガモ、トモエガモ、オナガガモのうち、トモエガモは2020年1月の都道

府県別個体数が一桁の都道府県が多く、たくさん渡来している県が少なかったため、正確な結果が得られたかどうかは分からなかった。ただし、割合(%)に表すと、3種類とも増加している県は、宮城県、滋賀県だった。さらに、石川県、福井県では、トモエガモ、オナガガモが増加していた。そして、宮城県、福島県を除く東北地方では、2020年1月と2021年1月の増減率が-20%～+20%のほとんど変わっていないか20%以上減っていることが分かった。

4. 考察

今回2020年1月と2021年1月の平均気温、降水量、積雪量では調べた北海道、山形県、福島県、宮城県、秋田県、茨城県、新潟県、福井県、石川県、滋賀県の全ての都道府県で、2021年の平均気温が低く、積雪量が多かった。この2つのことから3種類が、より温暖な南へ渡りけっかとして東北地方の飛来数が減ったのだと考えた。そして、その南に渡った個体が琵琶湖に来たことが、琵琶湖の飛来数が増えた一因ではないかと結論づけた。

文献

[気象庁 | 過去の気象データ検索 \(jma.go.jp\)](https://jma.go.jp)

[2021_anatidae.pdf \(biodic.go.jp\)](https://biodic.go.jp/2021_anatidae.pdf)

[Microsoft Word - 2019-20 ガンカモ調査報告書 20201203.docx \(biodic.go.jp\)](#)

Mike Uniwin ,David Tipling and 森本元(2021)
世界の渡り鳥大図鑑. 緑書房. 日本

カワニナの食性について

*岡友葉（大津市立瀬田北中学校），熊谷道夫（びわ湖トラスト）

1. はじめに

カワニナの成長過程における生存率の向上を目指す中で、まずカワニナの食生活に焦点を置いた。理由としては、食は生活と成長の両方にとって大きな要因の1つといえることが挙げられる。カワニナが好む餌やよく食べる環境を知るために、食性の調査を試みた。

2. 材料と方法

実験 1。カワニナが明るい場所と暗い場所のどちらの方がよく餌を食べるのかを2種類の方法で調べた。一つ目の方法 (a) では、水槽（およそ縦 16.0cm 横 31.5cm 高さ 19.0cm）を使用した。明るい条件では部屋の電気を常につけたままにしておき、暗い条件ではアルミニウムを含むシートで囲って光を遮断した。合計 25 匹のカワニナを使用し、餌の小松菜を食べに来ている個体数を 1 時間おきに 43 時間計測した。二つ目の方法 (b) では、蓋のない四角形のプラスチック製容器（およそ縦 44.0cm 横 63.0cm 高さ 10.0cm）を使用した。容器の半分を、アルミニウムを含むシートで覆って暗くし、明るいところと暗いところの両方に小松菜を置いた。合計 30 匹のカワニナを使用し、それぞれの場所にいるカワニナの数を 100 分後に計測することを 2 回行った。

実験 2。30 種類の餌を使用し、その中でカワニナが何をよく食べるのか 2 種類の方法で調べた。今回はスダチ、大葉、レタス、赤しそ、長芋、葛、桑、桜、ピーマン、万願寺唐辛子、三つ葉、蓬、小松菜、オシロイバナ、ドクダミ、藤、ひよこ草、ケイトウ、ほうれん草、ナス、ツルムラサキ、ゴーヤ、カボチャ、トマト、アップルミント、ミカン、キンカン、ニラ、オクラ、ニオイバンマツリの合計 30 種類の葉を用意した。また、実験 1 の方法 (b) と同じ容器を使用してそれぞれの実験を行った。一つ目の方法 (a) では、30 種類中 15 種類の餌を 3 つの容器に 5 つずつ入れ、食べにきているカワニナの個体数を 2 分お

きに 1 時間計測した。終了したら餌とカワニナをシャッフルして、合計 3 回ずつの計測を行った。この方法を、残りの 15 種類でも行った。1 つの容器につき 11 匹のカワニナを使用した。二つ目の方法 (b) では、容器の左側にカワニナ、右側に餌をいれ、食べにきているカワニナの個体数を 1 時間おきに 6 時間計測した。カワニナの個体数は、餌の数とそろえた。

3. 結果

実験 1。方法 (a) では、明るい時の方が速く食べにきたが時間がたてば差はあまり見られなかった。方法 (b) では、2 回とも 6 割以上が明るいところにいた。

実験 2。今回用意した中では、ケイトウ、ひよこ草、小松菜、万願寺唐辛子、ツルムラサキ、ピーマンが、比較的安定した人気があった。他は、個体差が激しいものや近づいてもすぐに離れていくものがほとんどだった。

4. 考察

実験 1。明るい方がカワニナにとって餌を見つけやすい、もしくは餌を探すことに視覚を利用している可能性がある。ただし、計測のぬけがあったので調査期間と計測方法の調整を行い、精度を上げて行う必要がある。

実験 2。安定した人気のあった餌は全て柔らかくて棘などのないものだった。実験後の餌を見てみると、柔らかい葉には食べた跡があったが、硬い葉には跡が残っていなかった。カワニナにとって硬い餌は食事しにくい可能性が高い。今回は葉を餌に使用したので、果実や花でも調査するとより詳細な結果が得られるかもしれない。また、餌の種類によっては予想しているよりも個体差が激しかった。

実験 1 と実験 2 のどちらにおいても、調査に使用できるカワニナの個体数や実験数を増やせるよう調整する必要がある。

～ジュンサイを利用したオカバンゴデルタ流域の

農業モデルの検討～

1. はじめに

以前よりジュンサイとタニシの併用による水質浄化能力について研究を行ってきた。そこで、この研究成果を実践的に応用するためにジュンサイの生育地域であるオカバンゴデルタの水質改善について考察する。オカバンゴデルタはアフリカ南部のボツワナに位置し、洪水による豊かな水源とそれを水場とする野生生物が多く生息している世界最大の内陸デルタである。しかし、周辺地域の農地、油田開発による水質汚染が懸念されている。また、他方では気候変動による不規則な洪水が周辺地域の農作物の収量減少を引き起こしオカバンゴ川流域の農家に大きな影響を与えている。そこで、各種問題を包括的に解決する農業モデルを検討した。

2. 材料と方法

オカバンゴデルタ周辺地域の状況から、土壌と水質に注目して、包括的な農業モデル構築に向けて先行研究を整理する。また、ジュンサイとタニシの水質浄化能力を検討するために、茨城県南地域に位置する湖である牛久沼の水を用いて、以下の要領で実験を行う。

川の水が入ったバケツにジュンサイのみを入れたもの、及びコントロールを用意し、7日間に渡ってCOD, NO₂, NO₃, NH₄の値、また透視度の変化を調べる。

3. 結果

オカバンゴデルタ周辺の土壌は保水力が弱く、酸性で有機物が少ない。保水力に乏しい土壌での作付けに際しては保全農業の一種の *planting basins* という方式の耕作が適しており、これは不規則な作付けに対応可能である(IIRR and ACT, 2005)。また、在来種の樹木の生育によって乾燥地の保水力の向上につながる (Sendzimir et al, 2011)。さらに、混合農業や輪作を行うことは土壌構造の維持、回復に有

*樽見荘子(土浦日本大学高等学校)

効である(FAO, 2010)。土壌中の栄養素不足に際しては、家畜の糞尿等の活用などが考えられる。田中ら(2012)によれば、畜産排水の処理において、非結晶ケイ酸カルシウム水和物を用いることで、高度な処理が可能になる上、回収したリンの肥料としての有用性が示された。

また、洪水の予測に際しては適応型ニューロフuzzyモデルを用いた予測が効果的である (Bahram et al, 2014)。多発する洪水に対して、低酸素応答の遺伝子の発現しているイネが開発されており、これは洪水時に作物が腐るなどの影響を受けないため、この利用は有効であると考えられる(Gibbs et al, 2011)。

水質浄化実験では、ジュンサイありのバケツでは一日目に20だったCOD値が7日目には10まで減少した。ジュンサイなしのバケツでは一日目のCOD値が5であり、7日目には10まで増加していた。



4. 考察

様々な先行研究を集約することで、問題解決へ向けた包括的な農業モデルが構築できる可能性を示すことができた。

水質浄化実験ではジュンサイがCOD値の低下に有効だと考えられるが、ジュンサイ有とジュンサイ無のバケツではCODの初期値が異なるので、同一条件で行いたい。また、今回はバケツを用いた実験を行ったが、今後流水条件での実験を実施していきたい。

天候における差異と溶存酸素の長期的変動

* 柴田優月, 鍋島理緒, 向田結愛 (南山高校女子部)

1. はじめに

名古屋市にはかつて300をこえるため池があった。高度経済成長期以降に農地減少に伴い埋め立てが進み、ため池の数も減少し、現在ではその数は111となっている。ため池は、生物の住処や市民の憩いの場として機能しているため、ため池の水質が良好であることが望ましいとされる。

名古屋市で実施されている、ため池の水質調査結果からは、研究対象地域である隼人池は「やや汚濁が進行している」という結果で、「水質汚濁の進行」度合いについては、長期的に変化を見る必要がある。

南山高校女子部化学部では、隼人池において2008年から水質調査をほぼ毎週実施し、主に溶存酸素量(DO)などの観測を実施してきた。本研究では、当団体が蓄積してきた長期的資料に基づいた結果や2022年夏季に集中的な観測を実施した結果から、一次生産量の天候・気候に関する差異についても考察する。

2. 材料と方法

南山高等学校・中学校女子部は名古屋市昭和区隼人町にあり、その近隣に隼人池がある。隼人池の面積は0.0097 km²、最大水深は0.8 mで、1646年に新田灌漑のために造られたため池である。

当団体では、前述の通り、定期的な観測を行い、隼人池の中心部において水温、電気伝導度(EC)、pH、雲量、透視度を現場での機器観測、DOについては、現場で固定作業を行った後、実験室にてウィンクラー・アジ化ナトリウム法で分析した。また、不定期ながらクロロフィルaの観測も実施してきた。

本研究では、これらの資料に加え、2022年7月25日～29日に観測を実施し、表層と水深0.6 m(底部)において9:00・12:00・15:00に水温や水中照度などの測定と、光合成量の測定を考慮し、明ビン・暗ビンによる各日6時間、表層・底部に設置されたDOの測定も実施した。

3. 結果および考察

隼人池の観測データに基づくDOについて、2017年1月～2021年9月の長期的変動について図1に示

す。近5年では、最大が12.1 mg L⁻¹(2020年12月)、最小が4.9 mg L⁻¹(2018年5月)であった。また、季節変動が特徴的で、特に春季から夏季にかけて、DOが大きく減少する傾向がみられ、毎年7月～8月には平均に低い値となっている(図1)。また、他の観測資料も組み合わせてみると長期的な変動が安定していることから、現時点では水質汚濁の進行は比較的緩やかであることが推察される。

夏季のDOの低い値に注目し、2022年には集中的な観測を実施し、光合成量などの結果を表1に示す。本結果から、特に日射量と純生産量の関係に注目すると、期間中最も日射量が少ない7月27日は純生産量が最も少ない結果となった。純生産量が最も高かったのは、7月28日で6.77 mg L⁻¹となり、期間中最も日射量が高かった値よりも2割ほど低い値であったが、純生産量にして2.4倍ほど多い結果となった。表層と底部を比べてみると、呼吸量は差が小さいが、底部の方が光合成量は少ない結果となっている。水中照度による結果からは、表層の光の強さに比べ底部では約1割程度に減衰しており、光合成量に影響を与えており、今後、表層部での強光阻害の閾値などの条件によるDOの生産の減少などを考慮して考察していく必要があると考えられる。

表1 日射量と光合成量の関係

	観測日	日照時間 h	日射量 MJm ⁻²	純光合成量 mgL ⁻¹	呼吸量 mgL ⁻¹	総光合成量 mgL ⁻¹	純生産量 mgL ⁻¹
表層水	2022/7/25	6	18.19	0.37	0.15	0.52	2.78
	2022/7/26	5.6	15.03	0.45	0.32	0.78	-0.23
	2022/7/27	1.6	9.92	0.49	0.14	0.63	-2.19
	2022/7/28	4.1	14.85	0.82	0.09	0.91	6.77
	2022/7/29	3.7	14.8	0.79	0.21	1	5.11
水深 0.6m	2022/7/25	6	18.19	-	-	-	-
	2022/7/26	5.6	15.03	0.3	0.25	0.54	-0.63
	2022/7/27	1.6	9.92	0.21	0.14	0.35	-2.7
	2022/7/28	4.1	14.85	0.56	0.25	0.8	1.95
	2022/7/29	3.7	14.8	0.49	0.19	0.68	2.44

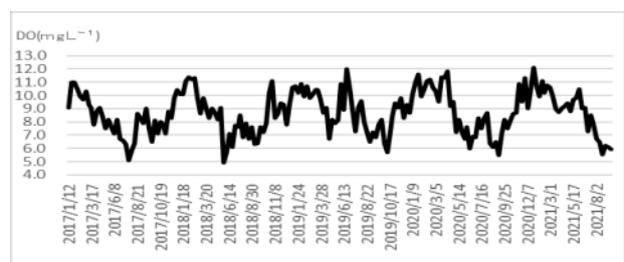


図1 DOの長期的変動

愛宕 真 大阪市立南大江小学校 6年
熊谷道夫 びわ湖トラス

1. はじめに

近年琵琶湖の水温が上昇していて、全循環が出来ない年がありました。そこれで、琵琶湖に年間 3.5 億トン放流される生活・工業用排水を利用して琵琶湖の水温を下げる事ができないか実験しました。

2. 材料と方法

① 環境による水温変化の実験

すだれで被覆、黒布で被覆、何もかぶせないの 3 個の水槽を室外に置き、水温の変化差を調べた。(遮光性の高さを考え黒布にし、すだれは遮光と通気を選んだ。)

日	時間	気温	すだれ	黒布	何も無し
12/30	10:12	9.6℃	12℃	12℃	12℃
1/1	10:29	9℃	6℃	5℃	1℃
1/2	10:17	5℃	6℃	4℃	5℃
1/5	10:51	7℃	8℃	7℃	7℃
1/6	9:38	6℃	7℃	5℃	6℃
1/14	7:26	4℃	3℃	3℃	2℃
1/19	7:33	3℃	3.9℃	4℃	4℃
1/22	14:06	7℃	8℃	7℃	7℃
1/27	13:00	10℃	11℃	10℃	10℃

表1 3個の異なった水槽の水温変化

②流入河川水、冷やした処理水を混合した

流入河川水 39.3 億トン・処理水 3.5 億トン (年間)

	割合 %	5月 °C	6月 °C	7月 °C	8月 °C	9月 °C
河川の水温	91	11.5	21.9	28.7	25.5	20.4
処理水	9	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
混合した結果	100	10.7	20.4	26.5	23.5	18.9
温度変化		-0.8	-1.5	-2.2	-2.0	-1.5
(河川の水温 - 処理水) ÷ 温度変化 × 10		1.187	1.326	1.226	1.213	1.171

$(1.1875 + 1.3266 + 1.2266 + 1.2136 + 1.171) \div 5 = 1.22506$ (1.2)

表2 河川水と処理水の温度の比較

③流入河川の水温による琵琶湖の水温の変化

琵琶湖水量 275 億トン・流入河川水 39.3 億トン (年間)

	割合 %	水温 °C
琵琶湖	86	10
流入河川水	14	4
混合した結果		9.1
温度変化		-0.9

表3 河川水と湖水の温度の比較

$10^{\circ}\text{C} - 4^{\circ}\text{C} = 6^{\circ}\text{C}$ (琵琶湖と河川の水温差)

$6^{\circ}\text{C} \div 9 (-0.9 \times 10) = 0.66 (0.7)$ (水温差を温度変化で割る)

3. 結果

① 黒布をかぶせた物が平均して水温が一番低かった。(実験したのが冬だったので保冷効果があったのかも知れない。)

② 河川に流れ込む処理水を約 1.2℃下げることができれば、川の水温は 0.1℃下がる。

③ 流入する河川の水温を 0.7℃下げると、琵琶湖の水温が 0.1℃下がる。

4. 考察

	2021年1月	2021年2月	2021年3月	2020年4月
琵琶湖の水温	8.9	9.3	10.7	12.9
下水処理水の温度	16.9	17.1	18.1	18.7

上記のように冬季の処理水の温度は琵琶湖の水温の 2 倍近く高いので処理水を内湖等に放流し、貯水して外気をあて冷やす。黒布で覆う等をするとう水温が下がるのではと思われる。

今後熱量計算等をして考えていかなければならないと思っています。

河川の水温を下げる為には温排水を減らす、川沿いに木陰をつくる等の方法を色々考え、実験していきたいです。

ロボットを作る

*浅川透真（洛南高等学校 1年）

熊谷道夫（琵琶湖トラスト）

1. はじめに

私の将来の夢はロボット科学者になることだ。特に、ミクロの世界で活躍できるようなロボットを作りたいと考えている。そこで、実際にミクロの世界で生きている微生物を模倣しようと考え、べん毛モーターについて調べ、同じ仕組みを再現させてみることにした。

細菌の多くはべん毛を使い水中を自由に動いている。べん毛は、細長いらせん状の繊維である「べん毛繊維」、回転モーターである「基体」、回転をべん毛繊維に伝える「フック」の3つの部分から構成されている。私は、このべん毛モーターの仕組みを実際に再現し、観察した。また、べん毛繊維の形状や材質を変え、どのような条件であれば最も効率的に水中を進むことができるのか実験を行った。

2. 材料と方法

基体をモーター、フックをゴム管で再現し、べん毛繊維の材質を変える実験を行った。水中（80 cm）、洗濯のり 50%（30 cm）中を、べん毛モーター小型ボートが進むのにかかる時間をそれぞれ測定した。

3. 結果

水中

材質（長さ：24cm、巻き数：6回）	直径(mm)	タイム(秒)
針金	0.55	2.46
ステンレス線		2.77
真鍮		3.28
銅線		3.21
銅線	0.28	3.69
銅線	1.2	5.38
はんだ	0.8	円を描くように進んだ
ワイヤー	0.45	進まなかった
アルミニウム線	0.9	3.68
釣り糸（ナイロン）	0.57	ゆっくりと後退した
螺旋状にした釣り糸（ナイロン）		5.53
釣り糸（PE）	0.45	糸が絡まった
螺旋状にした釣り糸（PE）		糸が絡まった

表1 材質の異なったべん毛を用いた水中での移動

洗濯のり中

材質（長さ：24cm、巻き数：6回）	直径(mm)	タイム(秒)
針金	0.55	2.84
ステンレス線		2.54
真鍮		3.44
銅線		3.62
銅線	0.28	3.74
銅線	1.2	3.09
はんだ	0.8	3.66
ワイヤー	0.45	進まなかった
アルミニウム線	0.9	進まなかった
釣り糸（ナイロン）	0.57	13.12
螺旋状にした釣り糸（ナイロン）		7.3
釣り糸（PE）	0.45	糸が絡まった
螺旋状にした釣り糸（PE）		糸が絡まった

表2 材質の異なったべん毛を用いた洗濯のり中での移動時間

4. 考察

水中では、太さ 0.55 mm の金属が比較的早く進んだ。それに対し、柔らかく、曲がりやすいはんだや釣り糸は絡まってしまいうまく進まなかった。

洗濯のり中では全体的にタイムが落ちた。また、洗濯のり中は抵抗が水中よりも多く発生するため、水中では絡まってしまったはんだも進むことができた。

さらに驚くべきことに、洗濯のり中ではナイロンの釣り糸でも進むことができた。洗濯のり中では回転するときにかかる抵抗が大きくなる。周囲の抵抗が高い状態の中で、片側に強い回転力がかかると糸が螺旋状になる。そのため、ナイロンの釣り糸は洗濯のり中で推進力を得ることができたと考えた。

参考文献

細菌べん毛モーター

<https://www.biophys.jp/highschool/A-13.html>

日本陸水学会第 86 回兵庫大会実行委員会

大会長: 佐川 志朗 (兵庫県立大学)

実行委員長: 土居 秀幸 (兵庫県立大学)

実行委員: 伊藤 雅之 (兵庫県立大学)

源 利文 (神戸大学)

風間 健宏 (神戸大学)

奥田 昇 (神戸大学)

大会事務局: 日本陸水学会 第 86 大会実行委員会

E-mail: rikusui86@gmail.com

日本陸水学会企画委員会

委員長: 鏡味 麻衣子 (横浜国立大学)

委員: 永田貴丸 (滋賀県琵琶湖環境科学センター)

永坂正夫 (金沢星陵大学)

大八木麻希 (四日市大学)

岡崎友輔 (京都大学)

内井喜美子 (大阪大谷大学)

土屋健司 (国立環境研究所)

企業広告

日本環境計測株式会社 Environmental Measurement Japan, CO., LTD.		Please Visit → 
 <p>LAI sensor MIJ-15 LAI/K2</p> <ul style="list-style-type: none">• Just set under the canopy• Easy research for seasonal change• Much more accurate than fisheye lens type• Neglecting PAI → Gives you Real LAI	 <p>WET150</p> <ul style="list-style-type: none">• 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	
LAI Sensor & Analyzer		Soil Moisture Sensor
<p>LAI analyzer MIJ-15 LAI/P</p> <ul style="list-style-type: none">• Portable type of LAI sensor• Using same sensor as K2 use• Light weight so easy to carry	 <p>WET150 KIT</p> <ul style="list-style-type: none">• For portable use• Instant measurements of moisture, EC, and temperature• Comes complete with readout meter and case	
 <p>Soil Oxygen Snesor MIJ-03</p> <ul style="list-style-type: none">• 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	 <p>Measurement accuracy: ±0.05°C</p>	
Soil Oxygen Sensor & Dendrometer		High precision thermometer
<p>Dendrometer MIJ-02 Rotary Type3</p> <ul style="list-style-type: none">• Selectable nondestructive or screw mount• Allow measurement immediately after set to measurement object• Wide measurement Range	<p>MIJ-NLTP</p> <ul style="list-style-type: none">• High sensitivity -0.1939°C/mV• Fast response t63.2=2.6 seconds at Static Water• Accuracy ±0.05°C that exceeds Pt100 Class AA standard• Low power consumption 27.6μW(Overall, Max)	

日本陸水学会 第 86 回大会 講演要旨集

発行年月日 2022 年 9 月 9 日(第 1 版)

編集・発行 JSLIM86 実行委員会

兵庫県立大学

〒670-0092 兵庫県姫路市新在家本町 1 丁目 1-12

URL: <https://sites.google.com/view/jslim86/top>