

湖沼の生態系の評価と管理・再生に関する調査研究

1. 目的

琵琶湖においては、工場等に対する排水規制や流域下水道、農業における施肥指導等、県民も含めた種々の水質改善努力により、富栄養化は抑制されたが、琵琶湖の水環境は必ずしも健全な状態にあるとはいえず、異臭味の発生による利水障害、内部生産による水質への影響、水草の異常繁茂による湖内部および沿岸域での環境悪化、二枚貝等の著しい減少をはじめとした生態系の脆弱化を招くに至っている。

これらの諸課題に対応し、健全な琵琶湖の水環境を保全・管理・再生していくためには、水質汚濁メカニズムを明らかにし、さらに水質、水生生物、水辺地を含む水環境を総合的に把握するための新たな水質評価手法や生物資源・生態系保全の評価手法を構築し、改善手法を見出してゆく必要がある。

本研究では、琵琶湖南湖において課題となっている水草の繁茂や外来魚の繁殖等による影響も含め、在来魚の生息や分布の変化を駆動する要因を明らかにするとともに、保全上重要な場所や対策優先度の高い場所の抽出を試みた。また、これらの研究の基盤となり、生態系への影響評価や対策（事業）の評価が可能な生態系モニタリングの手法を開発・改善し、生態系の保全・管理に向けた評価手法を提案することを目指した。

2. 研究内容と結果

「サブテーマ1. 琵琶湖生態系の保全・管理・再生手法に関する研究」

（1）既存データの収集・解析

「琵琶湖魚種別漁獲量・生産額の長期データを活用した解析」

多様な魚種を利用することで、予期せぬ環境変動や市場変動が起こった際でも、漁獲量や生産高を維持できる可能性が先行研究によって示唆されている。琵琶湖においても多様な魚種を利用することでどのような便益があるかを分析することは、漁業資源の持続的利用の観点から重要である。

琵琶湖の魚種別漁獲量・生産額の長期統計データ（1963～2006年）を用いて、多様な魚種の利用が、総生産額と漁獲による栄養塩除去量の安定性向上につながるかについて検証を行った。生態学において、多様な種を含む群集ほど、群集全体の機能や個体数が変動しにくくなる（安定化する）効果が知られており、そのメカニズムの一つに、ポートフォリオ効果（統計的平均化効果）がある。種間の変動には違いがあるため、種数が増えるほど群集全体の変動は小さくなり、これをポートフォリオ効果と呼ぶ。本研究では、このポートフォリオ効果を通じて、利用魚種の多様性が総生産額、総窒素除去量、総リン除去量の3つの便益のそれぞれの安定性を増加させるかについて調べた。

下記の式を用いて、Average-CV と呼ばれる最も単純なポートフォリオ効果指標を算出した。CV は変動係数、N は総漁獲対象種数であり、CV_{sp1} は種1の便益の変動係数、CV_{total} は全漁獲対象種の総便益の変動係数を指す。

$$\text{Average-CV PE} = \frac{CV_{sp1} + CV_{sp2} + \dots + CV_{spN}/N}{CV_{total}}$$

各種の変動係数の平均値に対する全種の変動係数を比較していることから、この指標値が1以上の場

合には、漁獲利用種数の増加によって全体の便益の変動係数が小さくなることを示す。

各便益において、Average-CV を算出した結果、全て 1 以上の値を示した (図 1)。このことから、利用する魚種の多様性が高いほど、総生産額、総窒素除去量、総リン除去量の安定性を増加させることが明らかとなった。今後、利用する魚種の数が増加すれば、これらの便益の変動が大きくなる可能性が示唆された。

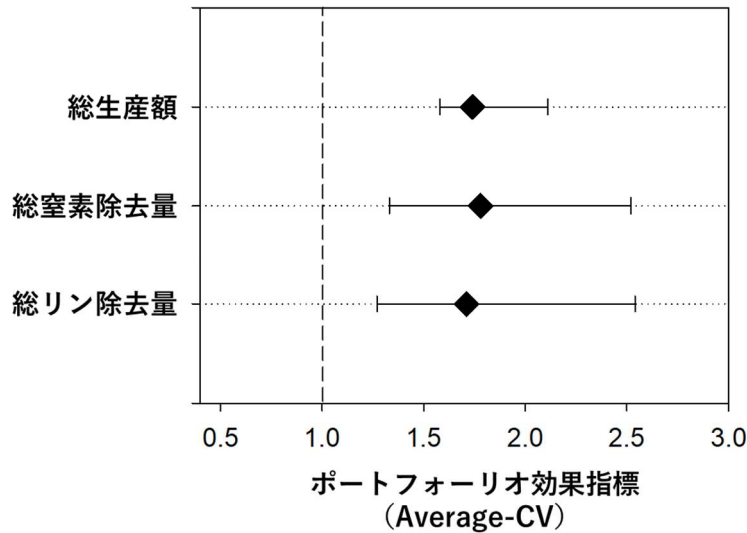


図 1. 琵琶湖における漁獲利用種類の増加が総生産額、栄養塩除去量の安定性に与える効果. Average-CV が 1 以上の場合、漁獲対象種数の増加によって総便益の変動が小さくなることを示している。

[志那漁協から提供された漁業統計資料の解析の試み]

南湖は、琵琶湖全体の 12 分 1 程度の面積であるが、かつては、琵琶湖固有種であるホンモロコ、ニゴロブナ、ゲンゴロウブナ等の重要な産卵場であった。しかし、近年、南湖は、水位操作、湖岸の改変、魚食性外来魚の侵入、水草の大量繁茂など様々な人為的影響を受け、魚類の産卵場所や生息場所は劇的に変化し、漁獲量も大きく減少している。漁獲量は、漁獲努力量や漁獲効率などの影響を強く受けるため、漁獲量と資源量の動態は一致しないことが多い。南湖の資源量がどの程度減少しているのか、またどのような要因が資源量に最も影響を及ぼしているか十分に明らかになっていない。

これまで南湖では定量的な魚類長期モニタリングが行われていないことから、統計資料が資源量の長期推移を把握するための数少ない手がかりとなる。今回、草津市にある志那漁業協同組合 (以下、志那漁協) の長期的な漁業統計資料を入手する機会に恵まれた。通常、漁業統計データは、市町村や県レベルで集計され、また個人情報保護の観点から個別の漁業協同組合のデータが公表されることは少ない。南湖の漁獲資源量の長期推移を明らかにすることを目的とし、2019 年度は、志那漁協の長期統計データの電子化作業および志那漁協への聞き取りを行った。

志那漁協から毎年開催される総会資料（図 2）を入手し、必要なデータの電子化作業を実施した。最終的に、1948 年から 2018 年までの 70 年間にわたる年間魚種別漁獲量・漁獲高データおよび漁業組合員数（正会員）のデータが抽出された。また、志那漁協への聞き取りを複数回実施し、1965 年から 2018 年までの約 50 年にわたるエリ漁の統数、エリ漁の従事世帯数、刺網漁の従事世帯数のデータも入手し、これらも電子化を行った。なお、総会資料の紛失等により、データが一部欠損となった年もあった。

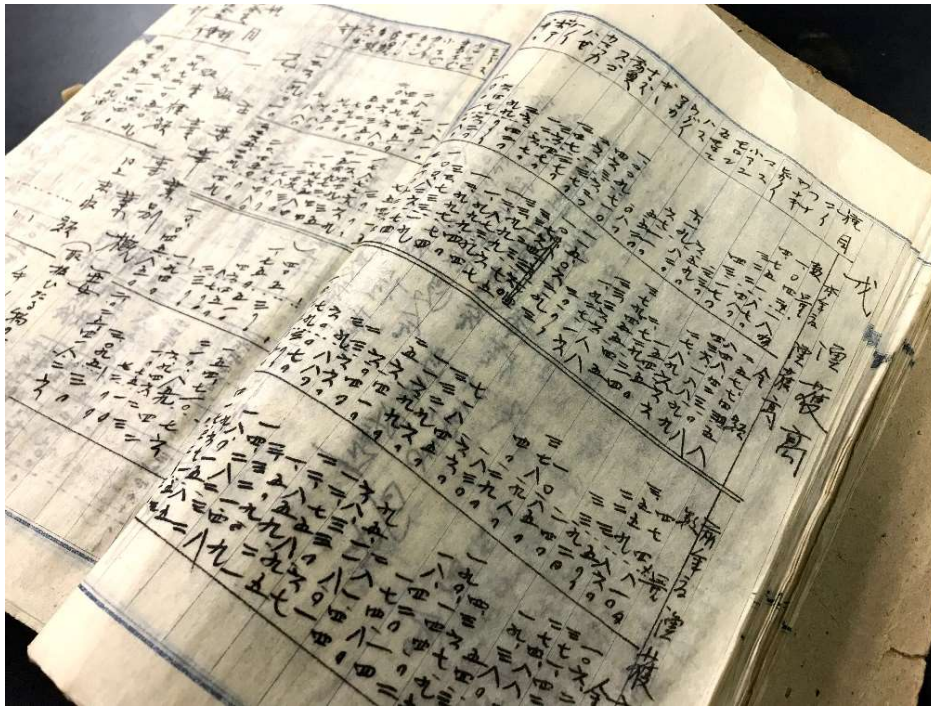


図 2. 志摩漁協の総会資料（原本）の一例。魚種ごとの漁獲量や漁獲高が詳細に記録されていた。

収集・電子化したデータの試行的な解析例として、ここでは、南湖におけるホンモロコの長期的な漁獲量・漁獲高の変化を示す（図 3）。ホンモロコの漁獲量は、1990 年前後から大きく減少していることがわかった（図 3a）。消費者物価指数で補正した漁獲高についても、漁獲量同様、1990 年前後から減少していた（図 3b）。琵琶湖全体での統計資料では、ホンモロコの漁獲量は 1995 年以降に大きく減少していることが報告されている。南湖では、報告されているよりも前に漁獲量の減少が始まっていた可能性が考えられた。ホンモロコの漁獲量減少は、人為的な水位操作による産卵場所の減少が主要因とされているが、その他の要因あるいは複合的な要因について検討する必要性を示唆している。

また、漁獲高を漁獲量で除してホンモロコの粗魚価（一定重量あたりの平均価格）を算出した（図 3c）。全体として顕著なトレンドはみられなかった一方、漁獲量が減少した 1980 年代後半から 1990 年代後半にかけて、魚価の増加がみられた。推察に過ぎないが、漁獲量が減少しているにも関わらず、市場の需要が高い状態が続いたため、魚価が増加した可能性が考えられた。

今回、志那漁協への聞き取りによって努力量に関わるデータも入手・電子化できたことから、今後、状

態空間モデル等の統計学的手法を用いて、魚種別の資源量の長期変動を推定することを目指す。さらに、長期的な資源変動パターンから、水位操作や外来魚の侵入などの駆動因との関係を詳しく解析する。

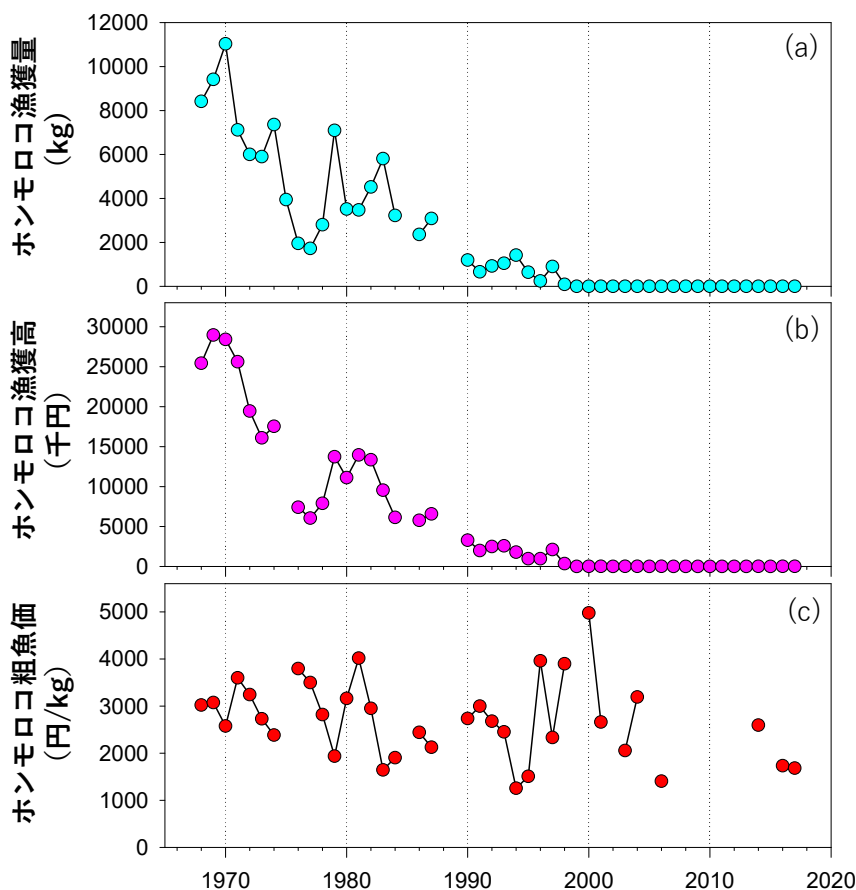


図 3. 琵琶湖南湖におけるホンモロコの (a) 漁獲量、(b) 漁獲高（消費者物価指数で補正済み）および (c) 粗魚価（漁獲高を漁獲量で除したもの）の長期推移。データがない都市は、欠損値あるいは算出できない場合である。

次に、南湖に関する漁獲量に加えて、漁獲努力量や漁獲効率に関するデータを入手し、資源量の指標となる CPUE (catch per unit effort) を算出することを目指した。

2019 年度までに、草津市にある志那漁業協同組合から総会資料を入手し、1948 年から 2018 年までの 70 年間にわたる年間魚種別漁獲量・漁獲高データおよび漁業組合員数のデータ、および、1965 年から 2018 年までの約 50 年にわたるエリの統数に関するデータの電子化作業を完了した。

電子化したデータセットを用いて、1968 年から 2019 年までの 52 年間のホンモロコ、フナ類（ニゴロブナとギンブナを含むが集計上区別されていない）の資源量動態を明らかにするため、下記のような統計モデルを構築し、CPUE をベイズ推定した。

対象種の漁獲量の対数 =

対象種の資源量指標 (CPUE) の対数 + 漁獲努力量の対数 + 誤差項

漁獲努力量については、漁業組合会員数とエリ数は高い正の相関関係であったことから、漁業組合会員数のみを用いた。また、一部のデータが欠損していたことから、状態空間モデルを用いて欠損値を補間した。

推定の結果、ホンモロコ、フナ類いずれも、CPUE の減少が認められた (図 4)。ホンモロコについては、1970 年代後半と 1980 年代後半に顕著な CPUE の減少が見られた。フナ類については、1970 年代後半からゆるやかに CPUE の減少が続いていること、1990 年前後に大きく減少していることがわかった。

これまで、琵琶湖全体のホンモロコの漁獲量の推移から、1990 年代に資源量が減少したこと、その主要因が 1992 年に開始された人為的な水位操作であること、が議論されてきた。しかし、本推定結果は、資源量に影響を与える要因が異なる (あるいは他にも要因がある) 可能性を示唆している。今後、CPUE 変動に関係する要因 (人為的な水位操作、湖岸の改変、外来魚の増加)、資源増殖対策の効果の可能性について詳細に分析する予定である。

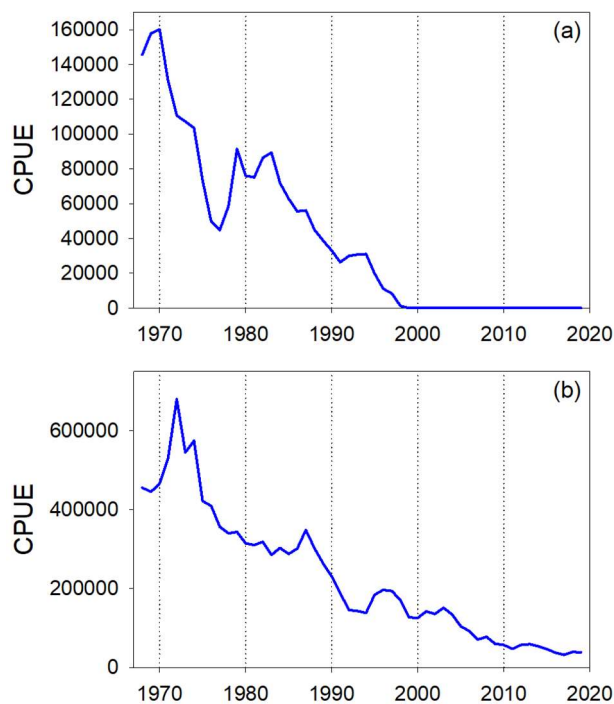


図 4. 推定された琵琶湖南湖における (a) ホンモロコ、(b) フナ類の CPUE の変化。青の実線は推定された事後中央値。

(2) 野外調査の実施

[琵琶湖湖岸の植生帯と流入河川・水路におけるコイ科魚類の産着卵調査]

ホンモロコ、ニゴロブナ、ゲンゴロウブナ、在来コイは、琵琶湖固有のあるいは琵琶湖にしか残存していない貴重な魚類である。これらは滋賀県の伝統的な食文化を支える食材として利用されてきたが、1980-90 年代以降、漁獲量が激減し、現在では環境省のレッドリストおよび滋賀県版レッドデータブックに掲載されている。

漁獲量激減の原因としては、オオクチバスなど魚食性外来魚の蔓延とともに、産卵のための回遊を阻害する土地改変や人為的な水位調節が大きな要因と考えられている。これらの魚種はいずれも琵琶湖沖合の深場で越冬するが、春になると産卵のために沿岸や内湖に移動し、さらに一部は、流入河川・水路を遡上し、これらの場所にある植生に卵を産み付ける。以前は水田にまで遡上して産卵する姿が見られたが、1970年代から始まった湖岸堤の建設や圃場整備以降は、湖岸の産卵適地が広範囲で消失し、また、琵琶湖から内陸水域へ侵入することが困難になっている。現在の産卵可能な場所は、湖岸堤の本湖側に残された植物帯や新たに造成されたヨシ帯と、流入河川・水路、および一部の内湖に限られている。

このような中で産卵場所を再生・保全していくためには、まずは、現在利用されている湖岸の植生帯や流入河川・水路が、各魚種によってどのように利用されているかの実態を明らかにすることが重要である。

南湖の面積は琵琶湖全体の12分の1以下に過ぎないが、かつては琵琶湖全体のホンモロコの65%が産卵していたという推計もあるほど、本種の繁殖にとっては重要な場所であった（成魚にまで生育する場所は北湖の沖合深場で、南湖には産卵のために来遊する）。かつては瀬田川の入り口も含めて南湖の全域で産卵が行われていたが、1996年頃には南湖での産卵は全く観察されなくなっていた。本種は水際のヤナギ（湖畔ヤナギ）の根の、水面近くの部分に好んで産卵するが、人為的な水位低下の影響により産着卵の多くが干出・死亡する事例が観察され、このことから、1992年に変更・開始された瀬田川洗堰による新たな水位操作が激減の主要な原因だったと考えられている。これに加えて、魚食性外来魚による捕食や、1975-1991年にかけて建設された湖岸堤によって湖岸の産卵地が破壊されたことも原因だと考えられている。その後、赤野井湾や下笠地区で集中的な外来魚の駆除やホンモロコの種苗放流が行われ、ここ3年ほどはこの周辺で産卵回復の兆しが見え始めているが、南湖全体に関しては、回復はまだと考えられており、広範囲の調査は行われていなかった。

そこで我々は、2019年の4月中旬から5月中旬の産卵盛期に、湖畔ヤナギを南湖で広く探索し、根に産み付けられた卵を採集してホンモロコ産卵の地理的な分布を調べた（図5）。同時期に同様の卵を生むコイ科魚類が複数いるため、DNAにもとづく種同定によりホンモロコ卵を認識したが、同じタモロコ属に属するタモロコとの判別を簡便に行う手法（塩基サイト特異的なプライマーを用いたPCR種判別法）も開発し、種同定に用いた。調査の結果、人工護岸化が高度に進んでいる南端領域を除いて、南湖全域でホンモロコ卵の存在が確認され、少なくとも2019年は南湖のほぼ全域で本種の産卵が行われていたことが明らかとなった（馬淵ほか、2020）。本種の産卵領域がこれほど回復した原因は推測の域を出ないが、近年、外来魚や水草の量が減少していることと関係があるかもしれない。湖畔ヤナギは湖岸堤の建設で伐採されたり、造成ヨシ帯に湖面を遮られたりして激減しているが、工事後の護岸に根付いたと思われるヤナギの根でも産着卵が観察される例があったことから、湖畔ヤナギの植栽は、人工護岸であっても本種の産卵場所の創出として有効であると考えられた。

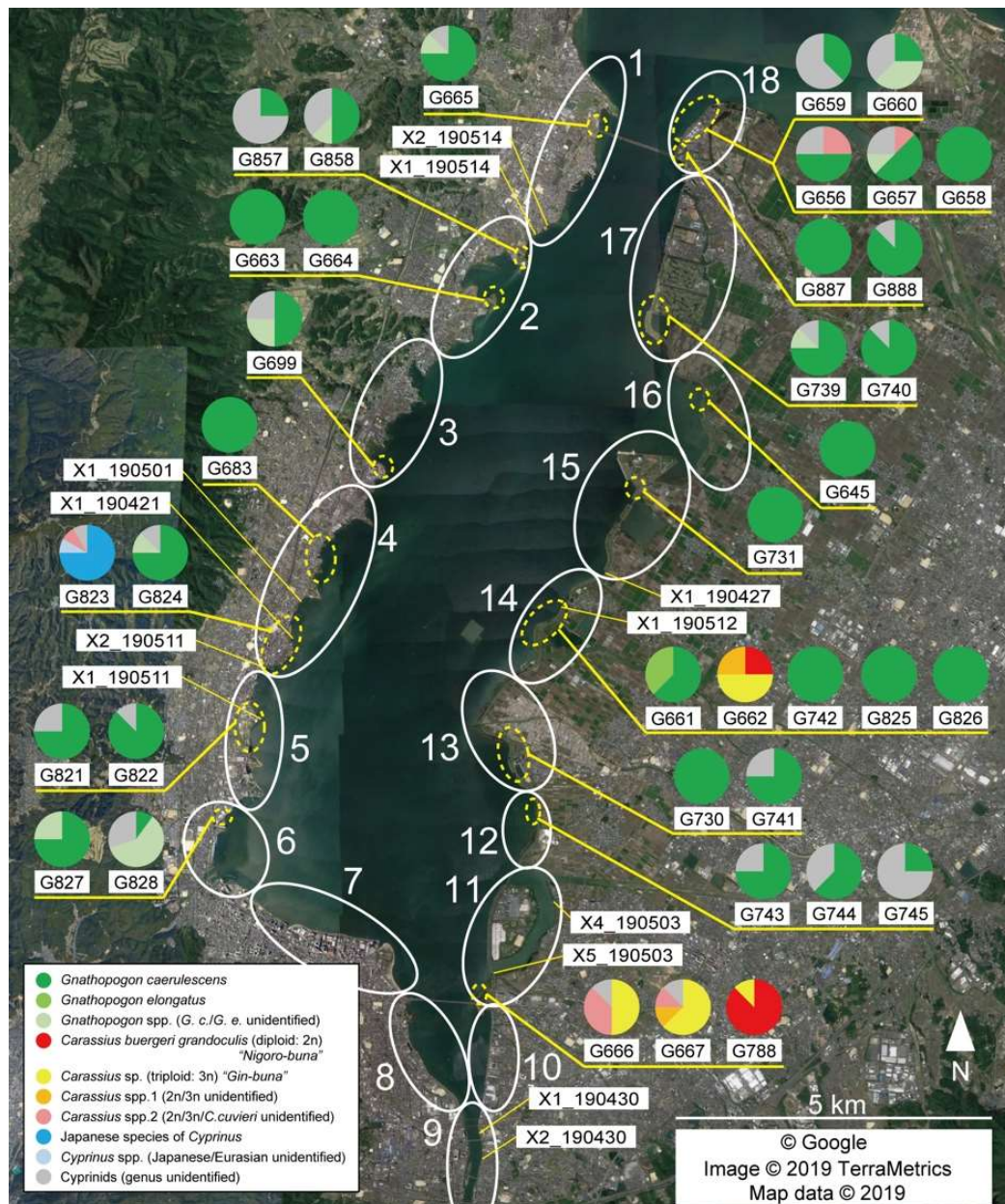


図 5. 南湖の湖畔ヤナギにおける産卵調査の結果. 円グラフはひとつかみの卵群 (Gnmn) の DNA 解析に基づく種組成. 濃い緑色がホンモロコ. Xn_yymmdd は卵が採集されなかった地点. 馬淵ほか (2020) より.

次に、北湖の湖岸ヨシ帯の調査結果の例を紹介する。この湖岸ヨシ帯は、かつてゲンゴロウブナの琵琶湖最大の産卵場所と言われた早崎内湖の外側に位置する造成ヨシ帯である。早崎内湖は 1970 年に全面干拓が完了したが、本種が現在でもその周辺で産卵を行なっているかは不明であった（コイ・フナ類の産着卵調査は行われていたが、フナ類の種・亜種は区別されていなかった）。

この造成ヨシ帯において産卵シーズンのある 1 日に採集した産着卵について DNA 種同定を行なったところ、解析した卵は全てフナ属の卵であり、産着卵の有無や、卵群中に占めるゲンゴロウブナ卵の割合

は、植生区分ごとに異なることが明らかになった（図 6）。調査区域は沖から陸方向へ向かって A、B、C の3つの帯状エリアに分けられるが、ヤナギ属樹木が優占するエリア A では産着卵は見つからなかった。一方、ヨシ群落が優占するエリア B と、部分的にチクゴスズメノヒエの浮島がある開水面のエリア C ではほぼ同量の産着卵が採集された。さらにこの両エリアの産着卵を種同定した結果、ゲンゴロウブナ卵の割合は前者エリアで約 40%、後者エリアで約 90%であり、統計的にも有意にエリア C でゲンゴロウブナ卵の割合が高いことが判明した。ヨシ群落の裏側にある開水面というエリア C の環境は、かつての内湖的な環境と類似している。ゲンゴロウブナは、かつて琵琶湖内最大位の産卵地であった早崎内湖の周辺で現在でも産卵しており、かつてと似たような内湖的環境で産卵する傾向のあることが明らかとなった（馬淵ほか, 2021）。

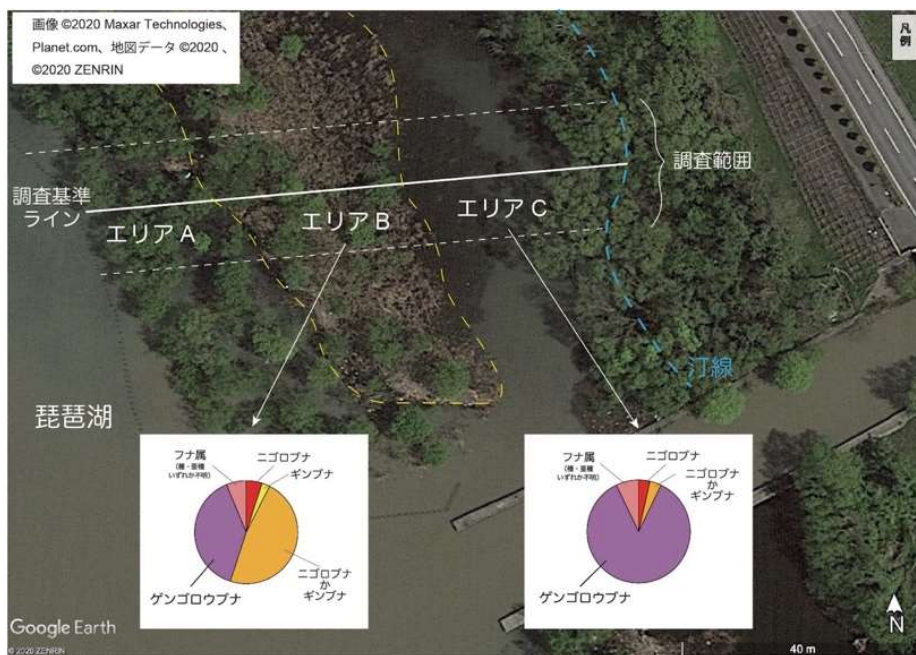


図 6. 旧早崎内湖の外側の造成ヨシ帯における産着卵調査の結果. 各パイグラフは、そこで採集された卵群における卵の種・亜種組成. 馬淵ほか (2021) の図を改変.

この造成ヨシ帯に隣接した場所に河口を持つ流入河川について、2km 上流で同様の調査を行ったところ、図 7 のような結果が得られた。この場所では、ホンモロコ、ニゴロブナ、ギンブナ、在来・導入コイの卵が検出され、これらの魚種が琵琶湖から 2km も流入河川を遡上して産卵することが判明した。一方、ゲンゴロウブナの卵は全く検出されなかった（馬淵ほか, 2019）。上述の造成ヨシ帯の結果とは対照的であり、コイ科魚類の産卵場所の保全には、魚類ごとに様々な環境を区別して対策を進めていくことが重要であることが確認された。

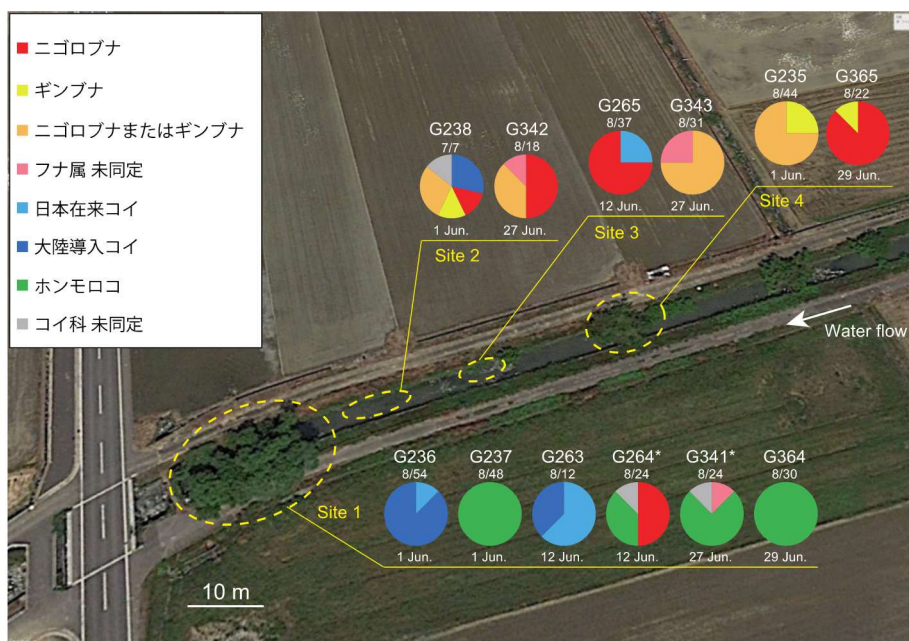


図 7. 旧早崎内湖の外側に河口をもつ流入河川の 2km 上流部における産着卵調査の結果. 各パイグラフは、そこで採集された卵群における卵の種・亜種組成. 馬淵ほか (2019) より.

「サブテーマ 2. 生態系評価・予測のためのモニタリング手法の検討」

(1) 琵琶湖の水生生物種の遺伝情報の収集と分析

[琵琶湖南湖、沿岸、流入河川における生物種調査]

琵琶湖南湖のベントス調査、沿岸と流入河川のベントス・魚類調査、ならびにプランクトン調査を実施し、採集した生物種の形態同定ならびに遺伝子分析を実施した。

琵琶湖南湖のベントス調査では、図 8 に示すように、水草帯と底生ラン藻帯では、底生動物相に明確な違いが認められた。そのため、底生植生の違いにより生態系の構造が異なることがわかった。遺伝子情報収集と平行して進めた琵琶湖南湖ベントス調査では DNA バーコーディングの活用により詳細な種同定が可能となった。また、多様な分類群が含まれるベントス採集標本から同一条件で DNA を PCR 増幅し遺伝子情報を収集できる迅速で効率的な分析方法を実用化した。遺伝子分析に用いたミトコンドリア DNA COI 領域では増幅用の標準的 DNA プライマーによる増幅が難しい生物群が存在するが、プライマーを標本 DNA に結合させる温度を低くすることにより PCR 増幅率を 90% 近くまで高めることに成功した。

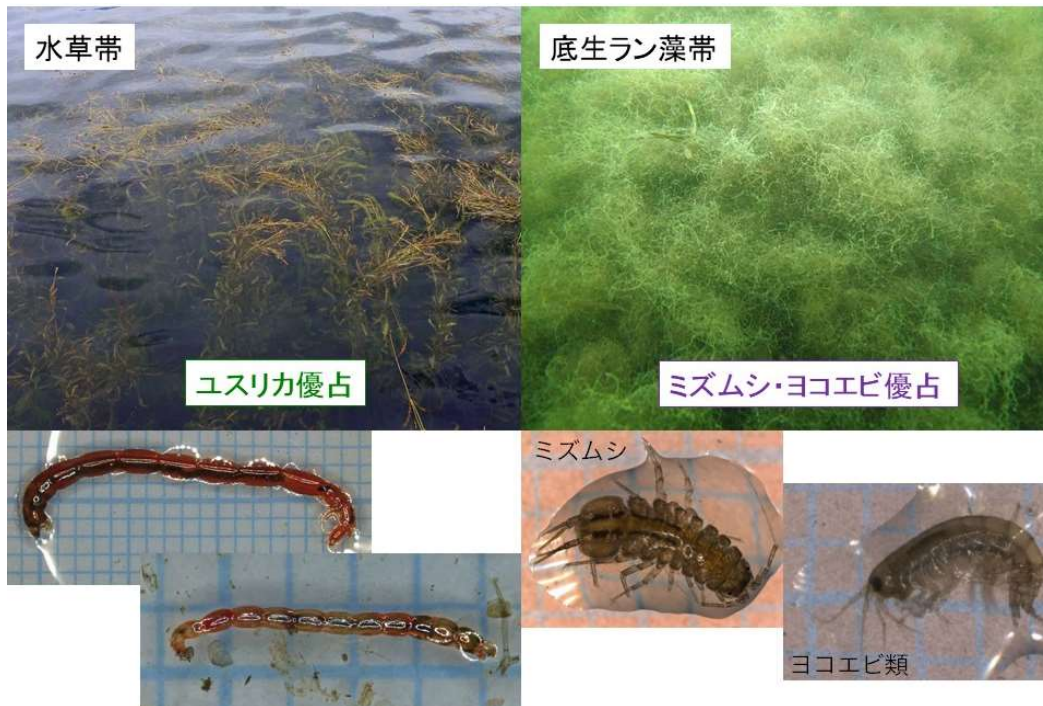


図 8. 琵琶湖南湖の水草帯と底生ラン藻 (*Microseira wollei*) 帯の各 3 地点、計 6 地点で大型無脊椎動物の調査を行ったところ、初夏の水草帯ではユスリカ類が、底生ラン藻帯ではミズムシ類、ヨコエビ類が多く、明確な底生動物相の違いが認められた。

2017 年と 2018 年の夏季に、滋賀県生きものデータバンク（仮）検討会の委員を中心としたメンバーで沿岸と流入河川のベントス・魚類調査を実施した。調査後は、琵琶湖産のベントスと魚類について DNA で同定するために必要な DNA バーコード情報を収集するため、ソーティング、形態による同定ならびに写真撮影を行い、一頭ごとに DNA を抽出した。2018 度は 2017 年度の調査サンプルから、約 30 種についてミトコンドリア COI 領域の塩基配列を解析し、形態同定に基づいた DNA バーコード情報を取得した。約 30 種の内訳は、魚類 1 目 1 科 3 種、節足動物 9 目 17 科 24 種、軟体動物 1 目 2 科 2 種、海綿動物 1 目 1 科 1 種であった。マルヒラタドロムシ属の昆虫については、形態からは種判別が難しいものの、塩基配列からは明らかに別種と判断される 4 種を含むことがわかった。また、国際塩基配列データベース（Genbank、DDBJ 等）における未登録種のアカマダラカゲロウ (*Uracanthella rufa*、図 9a) やタイリククロスジヘビトンボ (*Parachauliodes continentalis*、図 9b)、絶滅危惧 II 類 (VU) のオウミガイ (*Radix onycha*、図 9c) も含まれていた。



図9. アカタラカゲロウ (*Uracanthella rufa*, (a))、タイリククロスジヘビトンボ (*Parachauliodes continentalis*, (b))、杓ミガイ (*Radix onycha*, (c))。

滋賀県琵琶湖環境科学研究センターの定期調査や国立環境研究所の南湖ベントス調査にて、動物プランクトンを採集し、形態による同定を行うとともに、遺伝子分析用に単離等を実施した。単離後は、プランクトン1個体ずつからDNAを抽出し、ミトコンドリアCOI (mtCOI) 領域の塩基配列データを個別に取得した。現在までに24ハプロタイプが得られているが、それらをDNA塩基配列の国際データベースと照合した結果、ゾウミジンコ (*Bosmina longirostris*) (図10a) に酷似するが、北米からの外来種と判断されるゾウミジンコ的一种 (*Bosmina freyi*) (図10b) が琵琶湖南湖に分布していることがわかった。

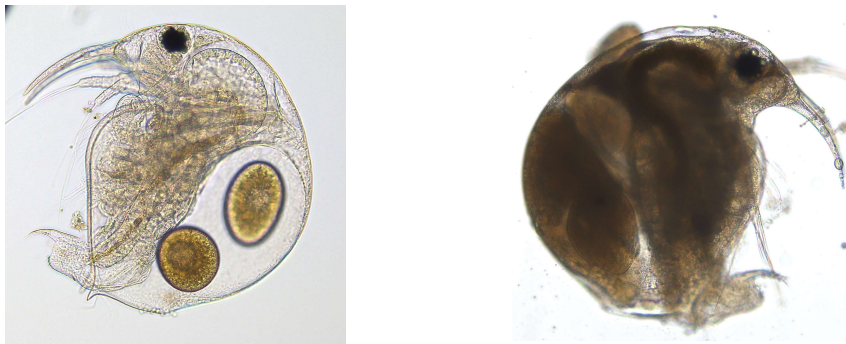


図10. ゾウミジンコ (*Bosmina longirostris*, (a))、ゾウミジンコ的一种 (*Bosmina freyi* 北米からの外来種, (b))。

DNA塩基配列 (DNAバーコード) の違いに基づいて生物種を判別するDNAバーコーディングは、分子生物学的技術の進歩と共に、環境調査の分野でも幅広い活用が期待されるようになっている。湖沼では、在来種の分類の再検討に加え、外来種や飼育品種等の移入増加に伴い、形態的に類似した種を精確に区別する必要性が高まっている。そのため、DNAバーコーディングの実装が可能なDNAバーコードデータベース整備と効率の良い分析手法の開発が求められる。

本サブテーマでは、琵琶湖南湖のベントス調査、琵琶湖沿岸域と主な流入河川のベントス・魚類調査、ならびに琵琶湖プランクトン調査を実施し、採集した生物種の形態同定ならびに遺伝子分析を進めてい

る。琵琶湖南湖のベントスと動物プランクトンについては、主に2018年度まで採集した標本の分析を中心に研究を進めた。底生ラン藻 (*Microseira wollei*) については、さらに、琵琶湖南湖の複数箇所において2019年10月(2ヶ所)、11月(2ヶ所)、2020年1月(3ヶ所)の計3回、エクマンバージ採泥器による *M. wollei* の採集を行った。琵琶湖沿岸と主な流入河川のベントス・魚類調査については、前年度までに得たサンプルの遺伝子分析を進めるとともに、2019年度も、引き続き滋賀県生きものデータバンク(仮)検討会の委員を中心としたメンバーで、2019年6月17-21日に北湖岸18地点、南湖岸1地点、北湖の流入河川1地点、計20地点、9月2-6日に北湖岸20地点、南湖岸2地点、北湖の流入河川2地点、南湖の流入河川1地点で行った。

[琵琶湖南湖におけるベントス(底生動物)]

琵琶湖南湖では、近年、湖底の水草帯に底生ラン藻帯が広がる傾向が確認されており、両者の間のベントス(底生動物)相の違いを明らかにする必要があるが生じている。そこで、本研究では、形態による種同定に加え、DNAバーコーディングによる種類相を把握するためDNA増幅手法の精度を向上させDNAバーコードの判明していない標本の標的遺伝子COI(チトクロームcオキシダーゼI)のDNA塩基配列を決定した。その結果、表1に示すとおり、ユスリカ10種、水生ミミズ6種、ヒル3種と、形態に基づくよりも多くのベントスについての種判別が可能となり、今後、琵琶湖南湖のベントスについて、広範にDNAバーコーディングに基づく調査を進めるための条件整備が進んだ。

琵琶湖南湖のベントス相については、水草帯はユスリカ類を中心とした種構成、底生ラン藻帯はミズムシ・ヨコエビを中心とした種構成と、底生植生の違いにより明確な違いが認められたことはすでに報告した。2019年度は、おのおののベントス個体の食物連鎖上の餌生物起源や栄養的地位を推定するために、初夏に分析用サンプルを採取し、炭素・窒素安定同位体分析比を測定した。よく知られているように、炭素安定同位体(^{13}C)比は食物の由来を、窒素安定同位体(^{15}N)比は食物連鎖上の栄養的地位(植物・植食者・捕食者の別)を反映する。分析したベントス個体は、採集場所如何にかかわらず、いずれも底生ラン藻の ^{13}C 比に近い値を示さなかった(図11)。つまり、底生ラン藻は、光合成生産物としてベントスに利用されておらず、その生産には直接つながっていないと推測された。

表 1. 形態ならびに DNA バーコーディングによるベントス種の判別の比較.

種名	種同定根拠		学名
	形態	DNA	
[ユスリカ類]			
オオユスリカ	○	○	<i>Chironomus plumosus</i>
コガタヒメユスリカ		○	<i>Microchironomus tener</i>
ハマダラハモンユスリカ		○	<i>Polypedilum masudai</i>
ユノコヒメエリユスリカ		○	<i>Psectrocladius yunoquartus</i>
クロバヌマユスリカ属の1種		○	<i>Psectrotanypus</i> sp.
ユスリカ類 5種		○	学名不詳
[環形動物類]			
エラミミズ	○	○	<i>Brachiura sowerbyi</i>
フトゲユリミミズ	○	○	<i>Limnodrilus grandisetosus</i>
ユリミミズ		○	<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i>
フクロイトミミズ		○	<i>Bothrioneurum vej dovskyanum</i>
水生ミミズ類 2種		○	学名不詳
ヒル類 3種		○	学名不詳
[貝類]			
ビワコドブシジミ	○	○	<i>Sphaerium biwaense</i>
サカマキガイ	○	○	<i>Physella acuta</i>
ヒメタニシ	○	○	<i>Bellamyia quadrata</i>
[甲殻類]			
ミズムシ	○	○	<i>Asellus hilgendorffii</i>
フロリダマミズヨコエビ	○	○	<i>Crangonyx floridanus</i>
ナリタヨコエビ	○	○	<i>Jesogammarus naritai</i>
[種数]	9	25	

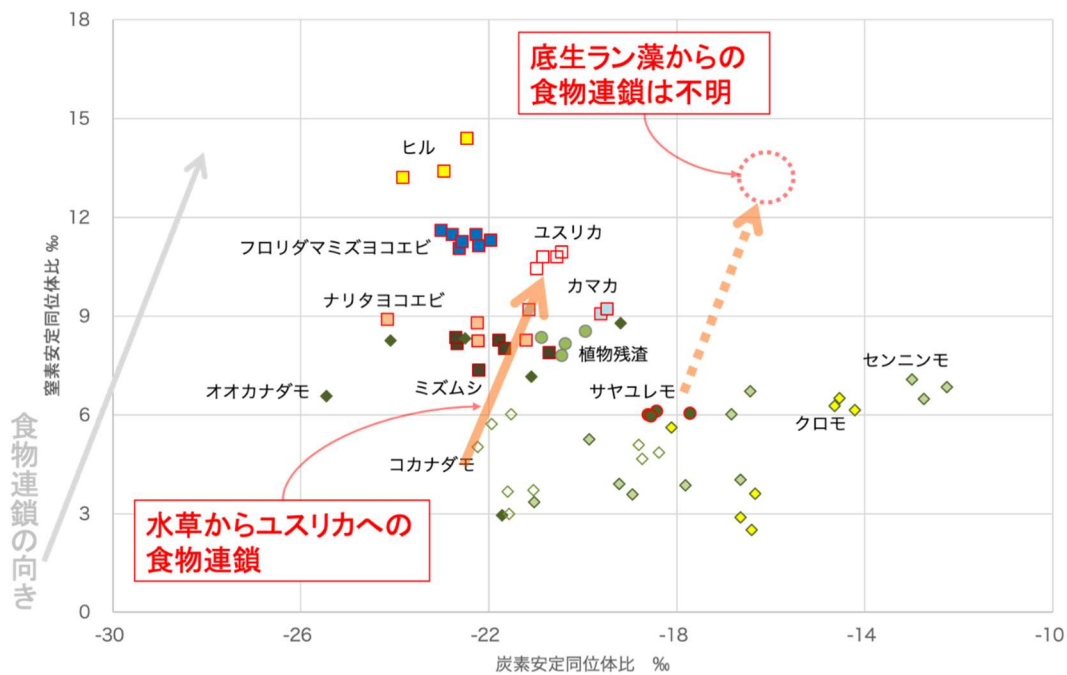


図 11. 琵琶湖南湖の水草帯と底生ラン藻帯から採集したベントス個体の炭素・窒素安定同位体比。

[琵琶湖南湖の底生ラン藻]

南湖の湖底に広がっている底生ラン藻 (*Microseira wollei*) の特性を明らかにし、実験室内での詳細な研究を可能にするため、本藻の無菌培養株 NIES-4236 を作成した (図 12)。無菌株は国立環境研究所微生物系統保存施設において、NIES-4236 として登録を行い、一般に公開した (<http://mcc.nies.go.jp/strainList.do?strainId=4234>)。また、本株の 16S rRNA 遺伝子配列を取得し、アメリカ国立生物工学情報センター (NCBI) の GenBank DNA 配列データベースに登録した (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/MK577503.1>)。16S rRNA 遺伝子配列の比較解析を行ったところ、琵琶湖から得られた *M. wollei* はサキシトキシンを産生するアメリカカリフォルニア州のものやシリンドロスパーマプシンを持つオーストラリアクイーンズランド州のものとも異なる系統的位置をもつことが示唆された。

NIES-4236 を用いて、全ゲノム解読を行った結果、NIES-4236 のゲノムサイズは約 10 Mb とシアノバクテリアの中では非常に大きいゲノムを持ち、遺伝子数も約 8,700 個と非常に多いことがわかった。既知のシアノトキシン類の生合成遺伝子クラスターを探索したが、NIES-4236 のゲノム中からは予測されなかった。また、液体クロマトグラフィー質量分析計 (LC/MS) による解析でも主要なシアノトキシン類と保持時間を同じくするピークは検出されなかった。アノテーションされた全ゲノム配列については、GenBank DNA 配列データベースに登録を行った (https://www.ncbi.nlm.nih.gov/assembly/GCF_020521235.1/)。本種の全ゲノム情報の登録は、これまでデータベース上になく、初めての登録となった。

一方で、2018年12月に公開された京都大学学術情報レポジトリに、南湖において、サキシトキシン類を産生する *M. wollei* が存在するという報告があったため、琵琶湖南湖の複数箇所において2019年秋から2020年冬、夏に複数回の追加調査を実施した。加えて、それらで得られた *M. wollei* について、麻痺性貝毒の原因とされるサキシトキシン類特異的 PCR プライマーを用いて、サキシトキシン類合成遺伝子の増幅の有無の確認を行ったところ、2019年10月の1サンプルから遺伝子の増幅が確認されたが、それ以外のサンプルからは増幅が確認できなかった。増幅が確認された1サンプルにおいて、LC/MS/MSによる麻痺性貝毒分析を行ったところ、サキシトキシン類の1種であるゴニオトキシン-2,-3が検出された（水産研究・教育機構 中央水産研究所との共同研究）。これらの結果より、南湖の多くの地点に存在する *M. wollei* はサキシトキシン類を持たないことが示唆された。

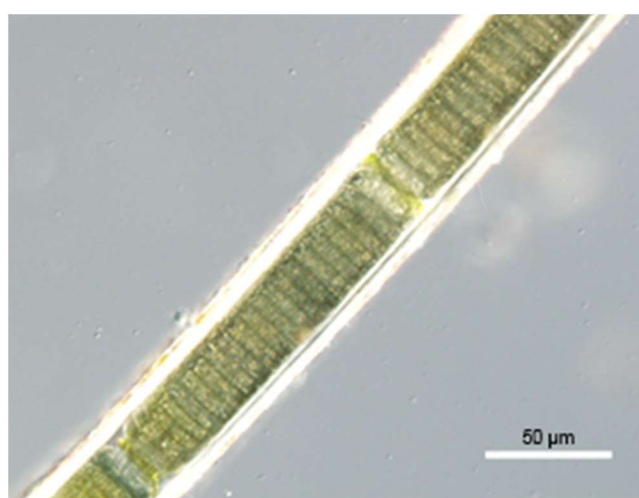


図 12. *Microseira wollei* NIES-4236 の写真.

[琵琶湖の大型植物プランクトン]

近年、琵琶湖で大繁殖し、生態学的に問題になっている大型植物プランクトンである *Micrasterias hardyi* の採取を行い、世界ではじめて本藻の無菌株の確立に成功した。このことにより、本藻を室内実験に使用することが可能になった。今後、本株は *Micrasterias hardyi* NIES-4464 として、国立環境研究所微生物系統保存施設から公開される予定である（図 13）。この無菌株を用いて、本藻の系統、起源、遺伝的特徴等の調査が行われる予定である。



図 13. *Micrasterias hardyi* NIES-4464 の写真.

〔動物プランクトン〕

形態による種判別が難しい淡水動物プランクトンでも、DNA バーコードに基づく種判別が極めて有効であるが、DNA バーコードライブラリーを自前で整備する必要がある。淡水無脊椎動物の DNA ライブラリー整備に際しては、ミトコンドリア DNA の COI 領域（以後 mtCOI）がよく使われるが、mtCOI 領域を PCR 増幅しやすい種と増幅し難い種が混在する。従って、複数種のゲノム DNA を一括して PCR 増幅する、NGS のアンプリコンシーケンスの際には、プライマーのアニーリング効率の種間差が、アンプリコンシーケンス結果の解釈を難しくする可能性がある。このような mtCOI バーコードの潜在的な難点を補完するためには、PCR 増幅がどの生物でも容易な、別の遺伝子領域（例えば、核 DNA・28SrDNA 領域）のライブラリーの整備も試みた方がよいと考えられる。そこで 2019 年度は滋賀県琵琶湖環境科学研究センターの定期調査や国立環境研究所の南湖ベントス調査にて採集した動物プランクトン種について、mtCOI 領域に加え、核 DNA・28SrDNA 領域の塩基配列を取得することを試みた。

その結果、湖内の動物プランクトン生物量の大半を占める甲殻類に属する、枝角類の *Diaphanosoma dubium*, *Daphnia galeata*, *Daphnia pulex*, *Ceriodaphnia cf. quadrangula*, *Bosmina longirostris*（形態が酷似する *Bosmina freyi* も解析）、橈脚類の *Eodiaptomus japonicus*, *Mesocyclops dissimilis* から、mtCOI 領域と核 DNA・28SrDNA 領域双方の塩基配列を取得した。

さらに、赤野井湾沿岸のヨシ帯にて 2019 年 6 月 6 日に採取されたタマミジンコが、琵琶湖での過去のタマミジンコ出現種とは異なった形態を有していた（図 14）ため、このタマミジンコについて形態と DNA 塩基配列を精査した。その結果、当該種は琵琶湖初記録となる *Moina cf. affinis* であることがわかった。本種は湖沼に出現することは稀であるが、水田では湛水期に極めて高密度で出現する。赤野井湾の本種も、琵琶湖周辺の水田にて繁殖したものが、水田排水とともに流入したものと推察される（Makino et al., 2020）。



図 14. 琵琶湖南湖赤野井湾ヨシ帯で採集されたタマミジンコの一種 *Moina cf. affinis*.

DNA 塩基配列 (DNA バーコード) の違いに基づいて生物種を判別する DNA バーコーディングは、分子生物学的技術の進歩と共に、環境調査の分野でも幅広い活用が期待されている。この技術を用いるためには、あらかじめ種名のわかった標本について DNA バーコードを取得し、種判別の基準とする必要がある。本研究では、琵琶湖とその周辺の様々な生物について、このような「参照 DNA データセット」を構築しているが、興味深い分類群では、遺伝子マーカーを用いた分布調査や系統解析も行ない、藻類については、詳しいゲノム解析やそれに向けた無菌培養株の確立も行なっている。

[琵琶湖・淀川水系の魚類]

魚類の DNA バーコーディングでは、とくに環境 DNA の解析においては、ミトコンドリア DNA の 12S rRNA 遺伝子領域に設計された汎用プライマー (MiFish プライマー) の増幅領域 (MiFish 領域) が、バーコード領域としてよく利用される。本研究では、琵琶湖・淀川水系産の魚類について、マッチングがよく、かつ、分類の変更や訂正があっても修正して利用可能なように、魚体標本を残した上で参照 DNA データセットを構築し、在来魚 61 種 (未入手 6 種)、国内外来魚 3 種 (未入手 1 種)、国外外来魚 6 種 (未入手 5 種) の標本を収集し (表 2)、DNA 塩基配列を決定した。

表 2. 琵琶湖・淀川水系産魚類の参照 DNA データセット構築のために収集した標本のリスト。

科名	種名	標本収集状況	科名	種名	標本収集状況
在来魚			在来魚(続き)		
1 ヤツメウナギ科	スナヤツメ北方種	○	44 ドジョウ科	アユモドキ	未入手
2	スナヤツメ南方種	○	45	ドジョウ	○
3 ウナギ科	ニホンウナギ	○	46	アジメドジョウ	○
4 アユ科	アユ	○	47	オオシマドジョウ	○
5 サケ科	ヤマトイワナ	○	48	ニシシマボジョウ	○
6	サツキマス(アマゴ)	未入手	49	ビウコガタスジシマドジョウ	○
7	ビワマス	○	50	オオガタスジシマドジョウ	○
8 コイ科	コイ	○	51	ホトケドジョウ	○
9	ゲンゴロウブナ	○	52	ナガレホトケドジョウ	未入手
10	ギンブナ	○	53	ギギ科	ギギ
11	ニゴロブナ	○	54	アカザ科	アカザ
12	ヤリタナゴ	○	55	ナマズ科	イワトコナマス
13	アブラボテ	○	56		ビウコオオナマス
14	カネヒラ	○	57		ナマス
15	イチモンジタナゴ	未入手	58	メダカ科	ミナミメダカ
16	シロヒレタビラ	○	59	トゲウオ科	ハリヨ
17	ニッポンバラタナゴ	未入手	60	ドンコ科	ドンコ
18	イタセンバラ	○	61	ハゼ科	ウキゴリ
19	ワタカ	○	62		イサザ
20	カワハタモロコ	○	63		カワヨシノボリ
21	ハス	○	64		ビウヨシノボリ
22	オイカワ	○	65		オウミヨシノボリ
23	カワムツ	○	66	カジカ科	カジカ
24	ヌマムツ	○	67		ウツセミカジカ
25	アブラハヤ	○			
26	タカハヤ	○	国内外来魚		
27	ウグイ	○	68	キュウリウオ科	ワカサギ
28	モツゴ	○	69	コイ科	ツチフキ
29	アブラヒガイ	未入手	70	ケツギョ科	オヤニラミ
30	カワヒガイ	○	71	ハゼ科	ヌマチチブ
31	ビワヒガイ	○			
32	ムギツク	○	国内外来魚		
33	タモロコ	○	72	サケ科	ニジマス
34	ホンモロコ	○	73	コイ科	タイリクバラタナゴ
35	ゼゼラ	○	74	ドジョウ科	カラドジョウ
36	ヨドゼゼラ	○	75	アメリカナマズ科	チャネルキャットフィッシュ
37	カマツカ	○	76	カダヤシ科	カダヤシ
38	ズナガニゴイ	○	77	サンフィッシュ科	ブルーギル
39	コウライニゴイ	○	78	サンフィッシュ科	コクチバス
40	ニゴイ	○	79	サンフィッシュ科	オオクチバス
41	イトモロコ	○	80	カワスズメ科	ジルティラピア
42	デメモロコ	○	81	カワスズメ科	ナイルティラピア
43	スゴモロコ	○	82	タイワンドジョウ科	カムルチー

〔琵琶湖沿岸域と主な流入河川のベントス（底生動物）〕

これまでに琵琶湖とその流入河川において採集した底生生物のうち、ヒラタドロムシ科昆虫の塩基配列情報に基づく種判別と解析を行った。ミトコンドリア COI 遺伝子領域の DNA バーコード情報に基づき、マルヒラタドロムシ (*Eubrianax ramicornis*) とヒラタドロムシ (*Mataeopsephus japonicus*) に加え、クシヒゲマルヒラタドロムシ (*Eubrianax granicollis*) とマスダチビヒラタドロムシ (*Malacopsephenoides japonicus*) が琵琶湖に生息していることを確認した。一方、チビヒゲハナノミ *Ectopria opaca* は、過去に採集記録のある地点も含めて調査を行ったものの 1 個体も採集されず、個体数の減少が危惧された。

COI 塩基配列を解析したところ、琵琶湖のマルヒラタドロムシ集団は、西日本の他集団（兵庫、岡山、小豆島など）とは明らかに遺伝的に分化しており（図 3）、琵琶湖と西日本では集団間の遺伝的距離は 6.5% (K2P) と別種と言っても差し支えないほどに離れていた。さらに化石情報に基づく分岐年代推定を行ったところ、琵琶湖のマルヒラタドロムシは西日本集団からおおよそ 140 万年前 (95% HRD, 178–107 万年前) に分岐したと考えられた。これは古琵琶湖群の最後の湖である堅田湖が形成された時期 (120–80 万年前) かその少し前に当たる。一般にマルヒラタドロムシは河川に生息しており、琵琶湖のように大きな湖の湖岸に広く分布しているという報告はない。堅田湖の形成に至るまでの周辺河川や沼地の出現と消失といった地誌的な環境変化が、マルヒラタドロムシの琵琶湖集団の分化に影響を与えたのではないかと

と考えられた。今後、琵琶湖のマルヒラタドロムシ集団が琵琶湖固有種であるかを検討するためには、滋賀県近隣の府県においても調査を行う必要がある。

一方、琵琶湖産のクシヒゲマルヒラタドロムシは、これまで報告されている日本産の他の地域との遺伝的な分化が見られなかった（図 15）。マルヒラタドロムシよりも分散力が大きく、近年になって琵琶湖へ移入した可能性が示唆された。

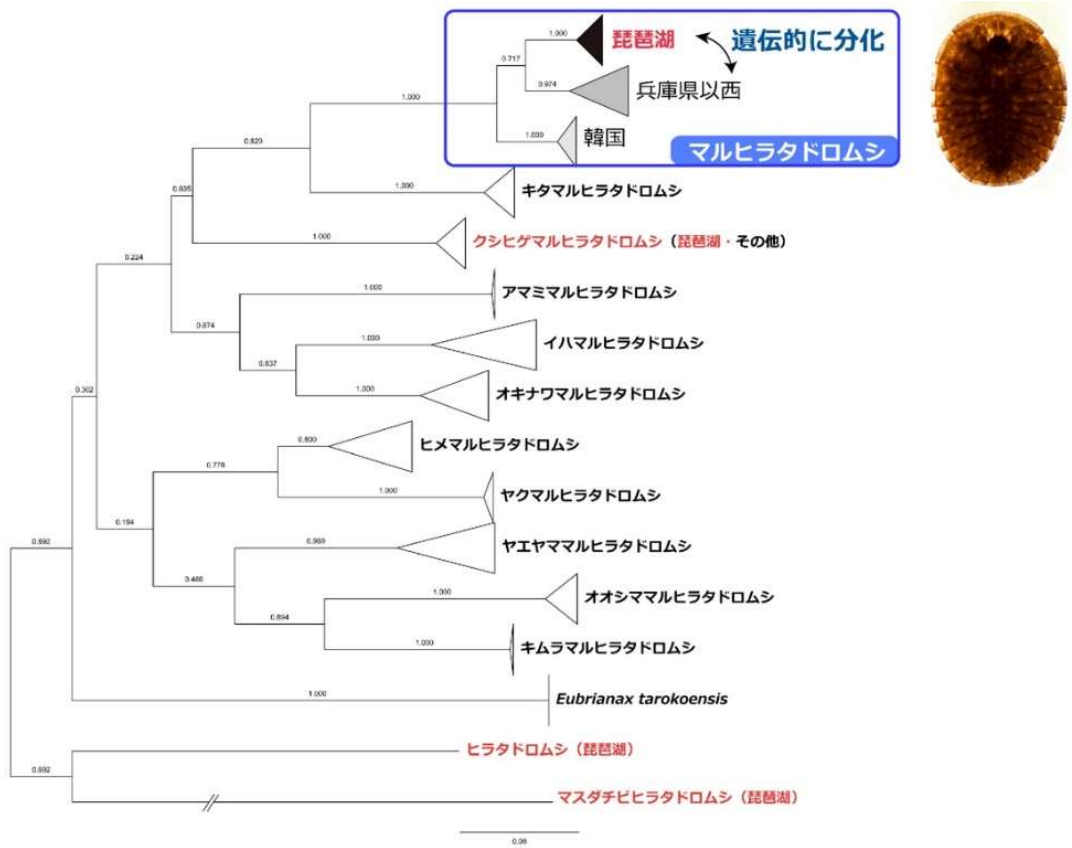


図 15. マルヒラタドロムシ属のミトコンドリア COI 塩基配列を用いた種判別と系統樹解析。

(2) 遠隔計測を活用した水草繁茂監視手法の開発

[リモートセンシング技術によるマッピング技術開発]

高頻度・高解像度の可視衛星画像と自動撮影(タイムラプス)定点カメラ、無人航空機(ドローン)による空撮画像を用いて、琵琶湖南部(南湖)における水草繁茂評価・監視のための水草分布マッピングの技術の開発を目指した(図 16)。水草の繁茂要因のひとつである光環境を時空間的に密に把握するため、海

色衛星観測による湖面における光合成有効放射データを収集するとともに、琵琶湖環境科学研究センター屋上と空中光量子を設置、また水資源機構の雄琴沖観測所において空中/水中光量子ロガーを設置して毎時の現場光環境観測を開始した。同時に、調査船を用いて光消散係数や水温等の現場水環境データも収集している。図 17 は降雨イベント(アメダス大津・累積雨量、5/13: 71mm/日、7/5-8: 265mm/日)による南湖に現れる湖面変化が、定点カメラによって撮影された画像であり、濁水やアオコの出現により湖水中の光環境が減退したことを示唆している。図 18 は可視衛星画像から得られた水草(緑：沈水植物、青：浮葉植物)の分布評価である。このようにリモートセンシング技術を集約させたマッピング技術開発が進んだ。

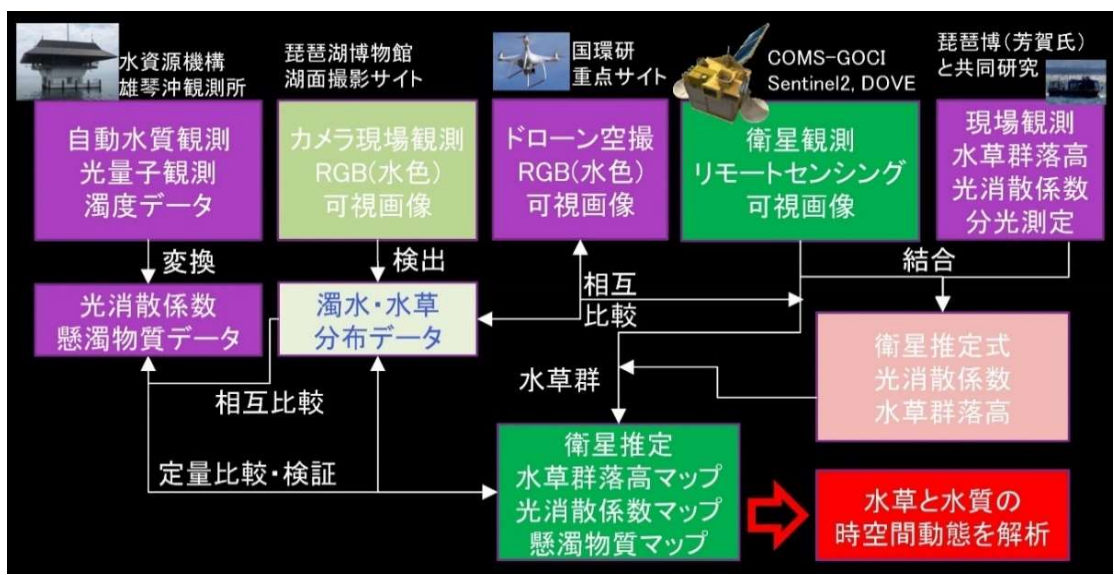


図 16. 遠隔計測を活用した水草繁茂監視手法確立のための研究開発フローチャート.

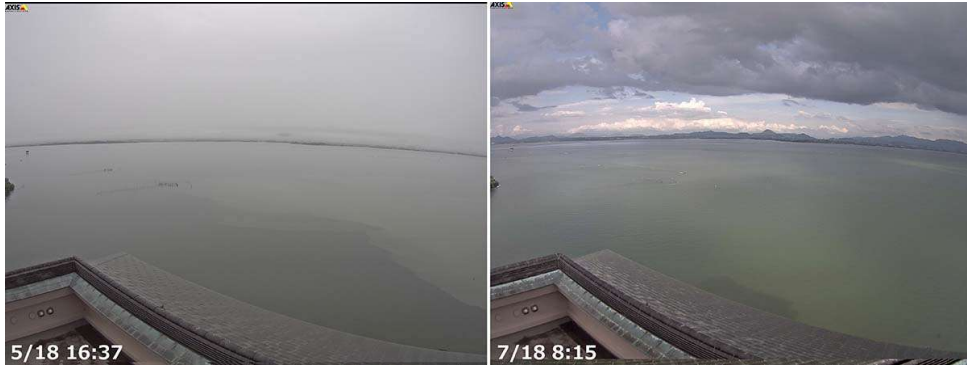


図 17. 雄琴グランドホテルに設置した定点カメラによる、(左) 野洲川・日野川からの濁水の南湖流入の様子(5/18)、(右) 平成 30 年豪雨後のアオコの大規模出現の様子(7/18).

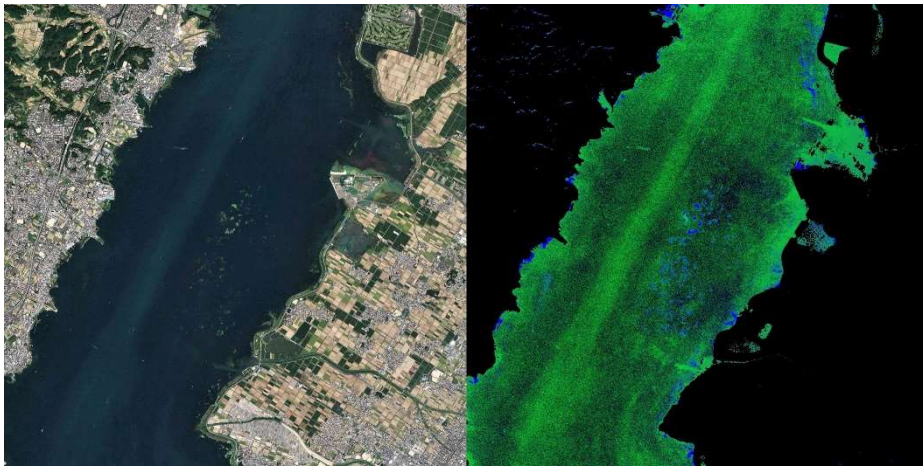


図 18. 高頻度・高解像度空撮衛星(DOVE)による可視画像(左)と近赤外(IR)画像を利用した水草分布マップ(右). 2015年9月22日のデータ.

自動撮影定点カメラについては、湖西の雄琴にある琵琶湖グランドホテルの屋上に MOSFREE (株スマート)、湖東の烏丸半島に位置する琵琶湖博物館にハイクカム (株ハイク) をそれぞれ装着し、湖面を日中 1 時間おきに撮影した。JPEG 形式で撮影された画像を用いて、各画素内に含まれる赤緑青 (RGB) のデジタルカウント値 (0 - 255 階調) を抽出し、画素内における色の割合を表す分光指標である R_{cc} (Koide et. al (2019))、GR (Green ratio; Ide and Oguma (2010, 2013))、GRVI (Motooka et al. 2010) を算出し画像化した。これらの指標画像と元画像の目視判読結果とを対比させたところ、水草と非対象物 (開水面) の分離には画素内の R の割合を示す R_{cc} が有用であると判明したため、分離する最適閾値を大津の二値化 (Otsu, 1979) により決定し、水草の分布マッピングを試みた (図 19、図 20)。



図 19. 琵琶湖グランドホテルに設置した定点カメラ画像 (2019 年 9 月 20 日) における水草判別推定法の適用結果.



図 20. 琵琶湖博物館に設置したハイクカム (2019 年 9 月 20 日) における水草判別推定法の適用結果.

自動撮影定点カメラ（株スマット）については、2018年4月から2020年3月にかけて琵琶湖南湖の西岸（雄琴）にある琵琶湖グランドホテルの屋上に装着し、日中1時間おきに湖面の画像を撮影した。JPEG形式で撮影された画像を用いて、各画素内に含まれる赤緑青（RGB）のデジタルカウント値（0-255階調）を抽出し、昨年度までの検討にて沈水植物と非対象物（開水面）との判別に対する有効性が確認された分光指標 RR (Red Ratio) を用いて日々の沈水植物の繁茂状態を画像化した。図 21 は画像全面に沈水植物群落が繁茂した 2019 年 9 月における解析結果の一部である。図中左側の RR 画像は、画素内の赤色の割合の大小を赤色から黒色へのグラデーションとして色付けした。RR 画像とカラー画像とを比較すると、RR 画像では湖面上の反射光などが軽減されており、沈水植物が存在している箇所が明確となっている。以上、自動撮影定点カメラによる近接・高頻度の湖面観測と分光指標を用いた画像解析により、時々刻々と変わる沈水植物の繁茂状況のモニタリングが可能であることを示した。



図 21. 自動撮影カメラにより撮影されたカラー画像（右）と RR 画像（左）の例.

次に、南湖における沈水植物の生育状況を把握するため、Planet 社が運用している衛星コンステレーションを用いた DOVE 衛星によって毎日得られる撮影画像を収集した。可視 (RGB)と近赤外(NIR)の 4 チャンネルの画像データが得られ、南湖における $NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$ を計算した。NDVI は植生分布を評価するための指標の一つで、コンステレーション衛星の問題となるセンサーの機差や撮影時間、太陽高度などによる画像間の撮影誤差を軽減できるメリットを持つ。また、グランドトゥールースとして、沈水植物が繁茂している水域においてドローン (Phantom4 および Matrice210) を用いた空撮を実施し、繁茂状

況を確認すると共に合成可視画像を作成した。また、分光測定による分光スペクトルからわかる植生の持つ反射特性と、空撮や衛星画像から得られる地表面反射率を検証した。

図 22 は DOVE 衛星画像から得られた NDVI マップ (上段) であり、緑色のコントラストが大きい領域は沈水植物が分布すると推測される場所である。また、下段はドローン空撮によって得られた水草繁茂域における可視画像であり、NDVI マップの赤枠部分に対応する。赤枠部分は、琵琶湖博物館の芳賀氏が定期的に魚探を利用した水草群落高調査をしているライン(L22 と L23)である。NDVI マップをみると 6 月下旬までは沈水植物はほとんど育っていなかったが、7 月上旬より徐々に緑色のコントラストが大きい領域が増え始めた。特に NDVI マップの二つの赤枠内では、特徴的な分布をした水草繁茂域が形成されたことがわかる。赤枠内に注目したドローン空撮画像をみると、その時間変化に対応して沈水植物が水面下から出現して繁茂する様子がわかる。このように、DOVE 衛星画像から得られた NDVI マップは、沈水植物の繁茂状況のある程度推測できているものと考えられた。

今後は、定量的な水草マッピング技術開発に着手すると共に、光環境や水質の現場時系列データと合わせた詳細な環境解析を実施し、水草が繁茂する要因を調査する。

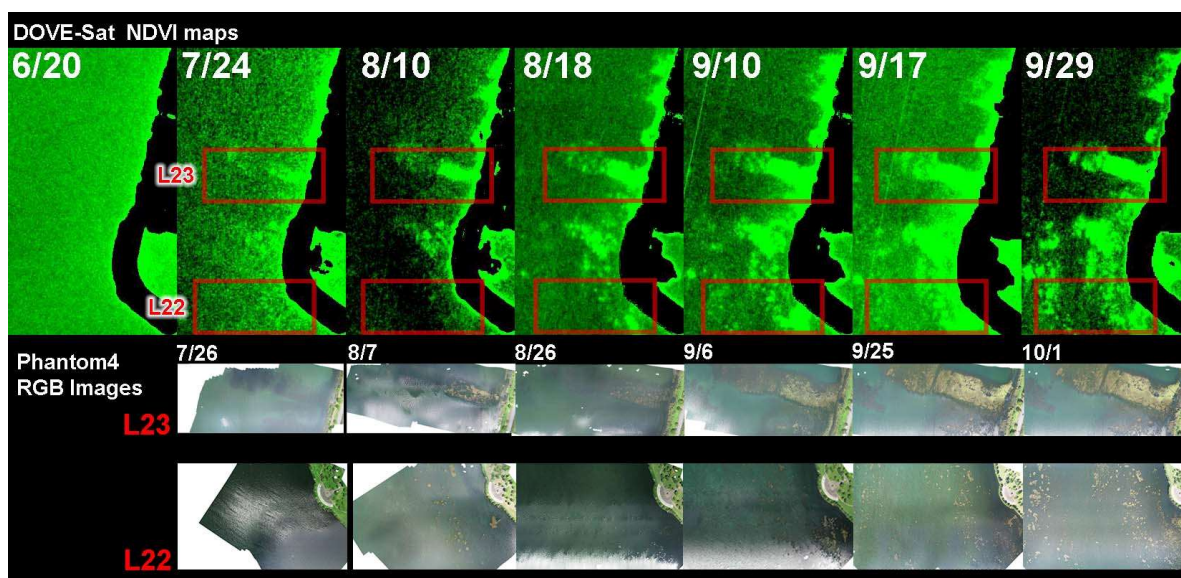


図 22. DOVE 衛星画像から計算した NDVI マップ (上段) と赤枠内において収集されたドローン空撮画像 (下段)。

また、水草繁茂状況を時空間的に密に把握するため、2019 年度報告では、Sentinel2 や Planet DOVE といった高解像度可視衛星画像に加えてドローン空撮、ライブカメラ自動撮影を組み合わせることで、南湖における広範囲な水草監視が可能であることを示した。ただし、衛星観測では雲量の多寡により画像の有無や画質の良し悪しが決まってしまう。それを補うため、衛星画像から水草繁茂の可能性のある監視重点域を特定し、ドローンによる機動的な空撮によって水草を継続監視していくことが肝要である。こ

のような背景から、2020年度はドローン空撮によって水面の水草分布だけでなく、水面下における水草繁茂状況を把握するための、沈水植物の群落高のマッピング技術を開発した。

群落高の推定には2つのデータセット、1) 調査船「うみんど」に搭載された魚探で観測された沈水植物の群落高データ(琵琶湖博物館提供)と、2) 高度 120m からドローン(Phantom4)によって空撮されたRGB(赤緑青)画像データ(Agisoft Metashape を用いて合成)を使用した。群落高推定マップの一例として、2019年9月における水草群落高の推定結果を、群落高推定手法とともに紹介する。図 23 は、滋賀県守山市の琵琶湖岸において9月4日(13:30頃)にて空撮された画像であり、画像上の黄色線は9月9日にて群落高データが得られている調査側線である。この調査側線上に AOIs(areas of interest)として格子(赤枠)を配置し、AOI 格子内の群落高データを平均化した、平均群落高 H を算出した。また、各 AOI 格子内の各画素に含まれる RGB 値(0-255 階調)を抽出し、平均群落高 H と比較候補となる分光指標(RR: Red Ratio, GR: Green Ratio, BR: Blue Ratio, GRVI, VARI 等)を算出して、それぞれ平均した。平均群落高 H とそれぞれの分光指標値との比較結果にもとづき、それらの相関解析を行った。なお、格子の大きさは、Planet DOVE 衛星画像の分解能と同じ 6m とその半分の 3m 四方とし、格子幅の違いによる推定精度を比較した。これらの解析には ArcGIS Pro と Ze Graph v.2.4 (<http://www.zegraph.com/>)を用いた。

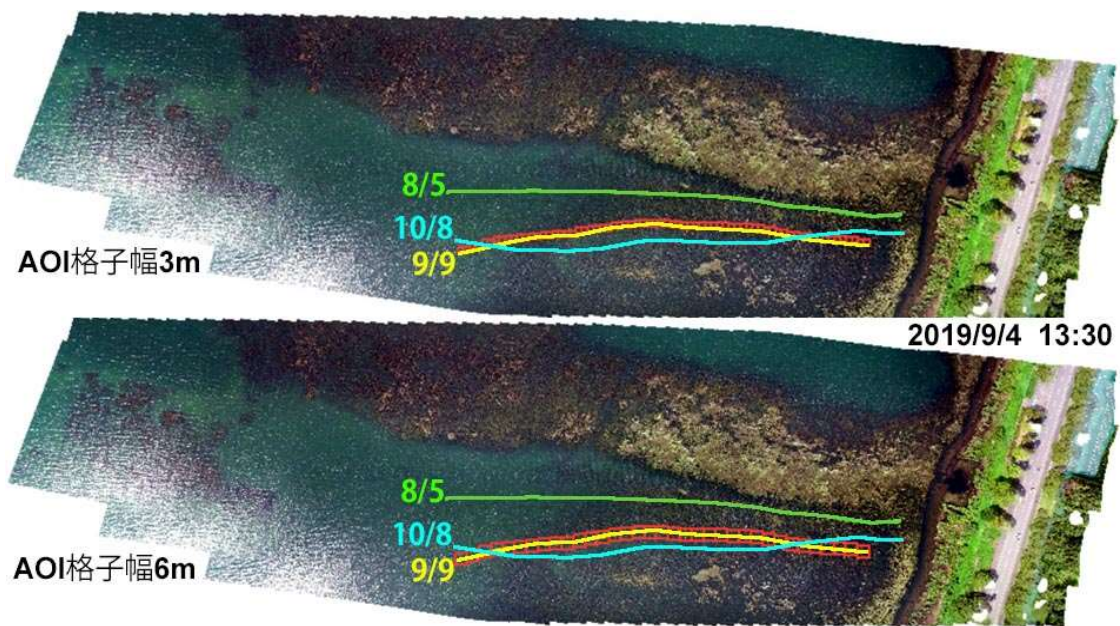


図 23. 滋賀県守山市の琵琶湖湖岸におけるドローン空撮画像と水草群落高調査側線上の AOI 格子 (赤枠) 位置.

解析の結果、相関関係の決定係数は分光指標の中で RR が比較的に高く、AOI 格子幅 6m が最も高かった。また、東岸から沖方向に約 200m までの調査側線上においては、群落高の東西変化が顕著であり、RR と平均群落高 H との相関関係が最も良好であった。図 24 は、それらの相関関係を示す H と RR の散布図である。AOI 格子幅 3m と 6m のどちらも決定係数が高く、格子幅にはほぼ関係なく RR と H の推定式を

作成可能であることを示している。このことは、本推定と類似した方法を用いて、空間分解能 6m の可視衛星画像(例えば Planet DOVE)から沈水植物の群落高を推定可能であることを示唆している。RR から沈水植物の群落高を推定する式は、AOI 格子幅 3m の場合は $H=32.69 \times RR - 7.86$ [m]、6m の場合は $H=45.12 \times RR - 11.99$ [m]であった。

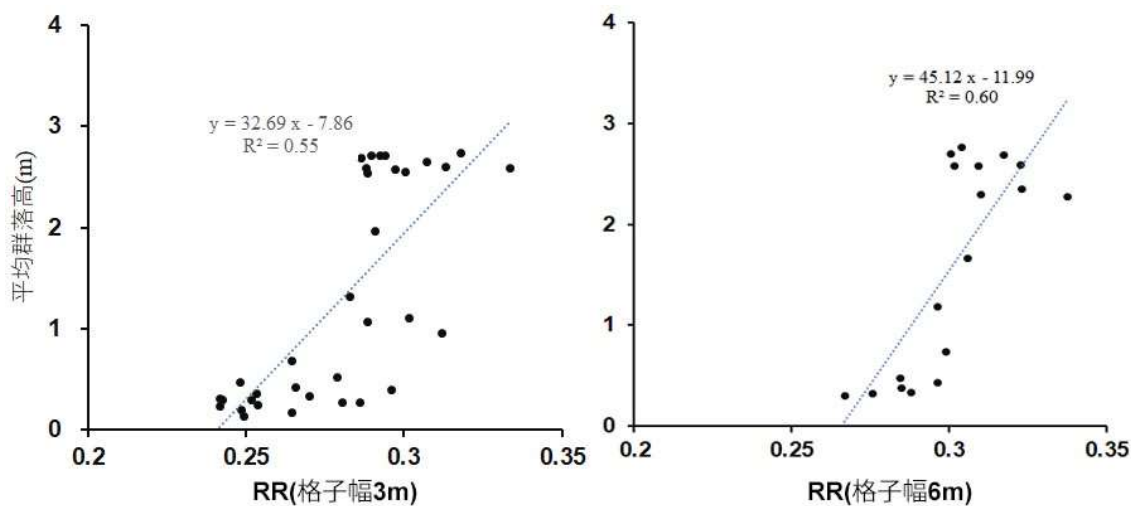


図 24. AOI 格子幅 3m と 6m の平均群落高と分光指標値 RR の散布図。

格子幅 6m の方の推定式にもとづいて、ドローン画像に基づいた沈水植物の群落高推定マップを作成した(図 25)。画像下側(南側)では群落高が 0~3m の範囲で推定されており、中央部は群落高が 0m に近く、沈水植物がほぼ存在しなかった。逆に沖側の方は群落高が約 3m であったことが定量的に推算できた(斑模様パターンは照り返しによるノイズ)。一方、画像上側(北側)では群落高がほぼ一様に 3m と推定され、群落高が湖底水深と同じかそれ以上の推定値となった。これは水草の葉が水面上に達した浮葉状態であることを示しており、このことは元のドローン画像からもわかる。このような浮葉状態や照り返しノイズを区別することは今後の課題ではあるものの、ドローン空撮による機動的な観測によって、高解像度衛星画像では得られない水草繁茂情報を収集することが可能である。

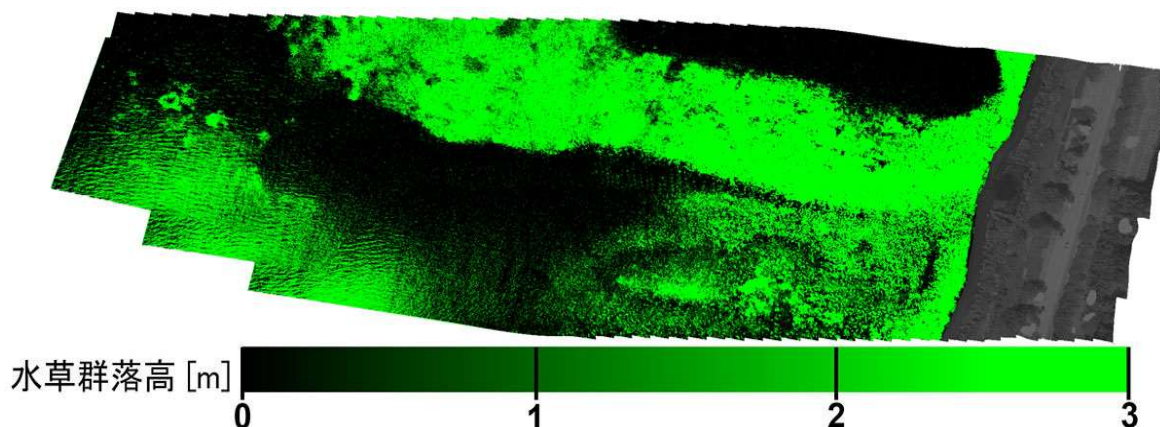


図 25. ドローン空撮画像にもとづいて推定した水草（沈水植物）の群落高マップ。

〔台風襲来による水草消失メカニズムの解明〕

2018年9月4日に「非常に強い」勢力(カテゴリー5)の台風21号(Jebi)が日本に上陸し、近畿地方を中心に大きな被害を与えた。琵琶湖南湖においては1961年の第二室戸台風以来となる異常に大きな水位変動が観測され、水草(主に沈水植物)が大規模に消失したことが琵琶湖博物館の調査によりわかった(図26)。このような水草消失イベントは、今後も琵琶湖水環境にとって重大なインパクトがあると考えられる。この水草の流失メカニズムを理解するため、高解像度流動モデルを用いた台風襲来の水草消失要因解明を試みた。

まず、台風21号襲来時における発生した水位異常変動を再現するため琵琶湖内の高解像度流動シミュレーションを実施し大規模水草消失の物理過程を調べた。シミュレーションに用いたモデルはFVCOM(Finite-Volume Community Ocean Model)であり、入力データは気象庁提供の気象データGPV/MSM(Grid Point Value datasets of the Meso-Scale Model)、および国土交通省提供の瀬田川洗堰放流量と流入河川流量である。計算期間は8月28日から9月10日までの2週間として、8月下旬の現場観測水温場を与えた静止状態から計算開始した。入力検証用データとして水資源機構からの提供により風速データを収集した。また、計算検証用データとして、琵琶湖水位データ(8地点)を国土交通省から収集すると共に現場水位ロガー(3地点)による観測データを収集した。シミュレーション結果は水位の異常変動をよく再現しており、台風接近後の水位が顕著に下がった時には、南湖のほぼ全域において強流帯が形成されていたことがわかった(図26右)。水草にかかる流体力の計算結果は水草群落が大きい場所で高い値を示し、水草の消失分布と極めて似たパターンを示した。これらの結果から、強い水平流によって水草に大きな流体力が働き、水草が激流に耐え切れず引き抜かれて流されたことが推察された。

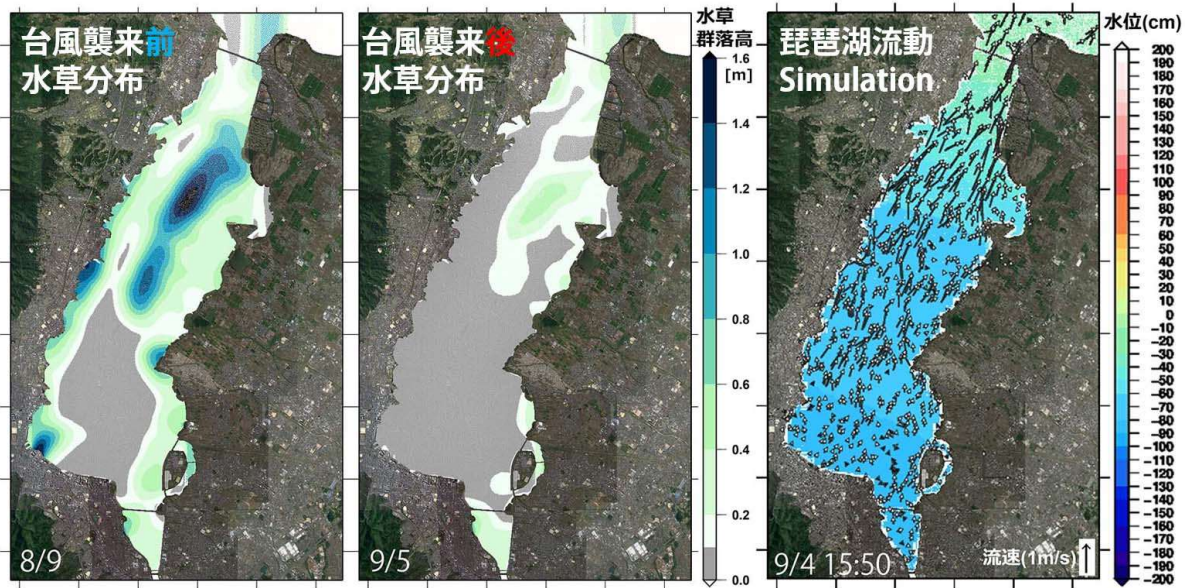


図 26. (左) 2018 年 8 月 9 日 (台風襲来前)、(中央) 9 月 5 日 (襲来後) における水草群落高分布 (琵琶湖博物館提供)、(右) 流動シミュレーションによる 9 月 4 日 15:50 (台風襲来時) 表層 (深度 0.1m) 流速と水位.

3. まとめ

[魚類関係統計データの収集と解析]

- 琵琶湖の魚種別漁獲量および生産額の統計データ (1963~2006 年) をもとに、漁獲物の多様性が多様な魚種の利用によって、3つの便益 (①総生産額、②漁獲による総窒素除去量、③漁獲による総リン除去量) の時間的な変動を小さくする (安定化する) かにについて解析した。各便益において、ポートフォリオ効果指標を算出した結果、多様な魚種の維持・利用が、総便益の絶対量だけではなく安定性の増加にもつながる可能性が示唆された。
- 琵琶湖南湖にある志那漁協から長期的な漁獲量や漁獲高に関するデータを入手し電子化した。ホンモロコを例に解析を試みた結果、琵琶湖全体の漁獲量変動と異なるパターンが見られた。今後、収集統計資料から魚種ごとの資源量推定を行い、南湖の漁獲資源量の回復に資する基礎資料を整える。
- 琵琶湖南湖の水産重要種について、草津市の志那漁協から入手した長期的な漁獲量等に関するデータを用いて、資源量の指標となる CPUE (catch unit per effort) の算出を試みた。その結果、ホンモロコは 1970 年代後半と 1980 年代後半に顕著な CPUE の減少が見られ、琵琶湖全体のホンモロコ資源量が減少した主要因とされてきた人為的水位操作 (1992 年開始) の他に、少なくとも南湖では、それ以前に別の要因が関与して資源が減少していた可能性が示唆された。

[ベントスおよび動物・植物プランクトンデータの取得]

- 琵琶湖南湖の湖底に広がる傾向がある底生ラン藻 (*Microseira wollei*) の培養株の無菌化株に成功し、

その系統的位置を明らかにした。また、ゾウミジンコ (*Bosmina longirostris*) に酷似するが、北米からの外来種と判断されるゾウミジンコの一種 (*B. freyi*) が南湖に分布していた。

- 琵琶湖南湖のベントス調査からは、形態の同定では9種が判別、遺伝子分析では25種の無脊椎動物種の遺伝子情報を得た。動物プランクトンについては、枝角類7種、橈脚類2種から、mtCOI領域と核DNA・28S rDNA領域双方の塩基配列を取得した。琵琶湖沿岸・流入河川調査から得たヒラタドロムシ類は4種で、そのうちの1種であるマルヒラタドロムシ (*Eubrianax ramicornis*) については、琵琶湖沿岸集団と兵庫以西の集団とが、遺伝的に分化していることが示唆された。
- 琵琶湖南湖ベントスの安定同位体解析から、底生ラン藻は光合成生産物としてベントスに利用されていないと推測された。
- 底生ラン藻 (*Microseira wollei*) NIES-4236株の全ゲノム解析を世界ではじめて実施し、アノテーションされた全ゲノム情報をデータベースに登録した。既知のシアノトキシン類の生合成遺伝子クラスターの存在はゲノム中から予測されなかった。また、夏季～冬季に採集した *M. wollei* についても、そのほとんどがサキントキシン類を持たなかったため、琵琶湖南湖において、本藻類はサキントキシン類を持たない個体群が主であることが示唆された。

[琵琶湖湖岸ヨシ帯における魚類産着卵データの取得と解析]

- 琵琶湖の北湖と南湖の合計5か所の湖岸ヨシ帯で4～8月の産卵シーズンにわたってコイ・フナ・モロコ類の産着卵調査を行い、卵群の卵毎のDNA種同定の結果から、各魚種の産卵傾向(時期や選好環境)を推定する基礎データを取得した。
- 南湖におけるホンモロコの産卵状況を、産着卵の採集とそのDNA種判別により調べた。本種が好む湖畔ヤナギの根に産み付けられた卵を南湖全域から採集し調べたところ、ほぼ完全に人工護岸化された南端領域を除く南湖の全域でホンモロコの卵が確認され、少なくとも2019年は、1980年代以前のように南湖の広範囲で産卵が行われていたことが判明した。
- かつてゲンゴロウブナの琵琶湖最大の産卵場所と言われた旧早崎内湖の外側に位置する造成ヨシ帯において、コイ・フナ類の産着卵調査を行った。採集卵をDNA種判別したところ、この場所は主にフナ類の産卵場所となっており、最も陸側に位置する静かな開水面ではゲンゴロウブナの卵が多く、ヨシ群落の優先する場所ではそれ以外のフナ(ニゴロブナ、ギンブナ)の卵が多いことが判明した。早崎内湖は約50年前に干拓されたが、現在でもその周辺の内湖的環境(静かな開水面)で、ゲンゴロウブナが産卵していることが明らかとなった。

[遠隔計測を活用した水草繁茂監視手法の開発]

- 南湖における水草繁茂評価のため、高頻度・高解像度の可視衛星画像と自動撮影定点カメラ、無人航空機(ドローン)による空撮画像を用いて、南湖における水草繁茂評価のための水草分布マッピング技術を開発した。リモートセンシング技術を集約させたマッピング技術開発を構築して、光環境や水質データと合わせた詳細な解析を実施する方向性を示した。
- 水草繁茂評価・監視のための水草分布マッピングの技術開発では、分光指標RR(Red Ratio)を用いた画像解析を行うことにより、自動撮影定点カメラによる近接・高頻度の湖面観測画像データでは、沈水植物の分布・移動が検出しやすくなり、ドローンによる空撮画像データでは、群落高を精度良く推定できるようになることを確認した。
- 2018年9月の台風21号による琵琶湖南湖の水位変動を高解像度流動シミュレーションで再現し、水

草消失の物理過程を調べ、強い水平流によって水草に大きな流体力が働き、水草が激流に耐え切れず引き抜かれて流されたことが推察された。

4. 引用文献

- Ide R., Oguma H. (2010): Use of digital cameras for phenological observations. *Ecological Informatics* 5, 339-347.
- Ide R., Oguma H. (2013): A cost-effective monitoring method using digital time-lapse cameras for detecting temporal and spatial variations of snowmelt and vegetation phenology in alpine ecosystems. *Ecological Informatics* 16, 25-34.
- Koide D., Ide R., Oguma H. (2019): Detection of autumn leaf phenology and color brightness from repeat photography: Accurate, robust, and sensitive indexes and modeling under unstable field observations. *Ecological Indicators* 106, 105482.
- 馬淵浩司, 西田一也, 吉田誠 (2019): 琵琶湖流入河川・丁野木川の人工護岸支流におけるホンモロコ・ニゴロブナ・在来コイの産卵：産着卵の DNA 種判別にもとづく知見. *魚類学雑誌*, 66, 237-243.
- 馬淵 浩司, 西田 一也, 吉田 誠 (2021): 琵琶湖・早崎内湖干拓地外の造成ヨシ帯におけるゲンゴロウブナ（コイ科フナ属）の産卵：産着卵の DNA 種判別にもとづく確認. *伊豆沼・内沼研究報告*, 15, 31-45
- Makino W., Machida R.J., Okitsu J., Usio N. (2020): Underestimated species diversity and hidden habitat preference in Moina (Crustacea, Cladocera) revealed by integrative taxonomy. *Hydrybiologia* 847(3), 857-878.
- Motohka T., Nasahara N.K., Oguma H., Tsuchida S. (2010): Applicability of Green-Red Vegetation Index for Remote Sensing of Vegetation Phenology. *Remote Sensing*, 2, 2369-2387; doi:10.3390/rs2102369.
- Otsu N. (1979): A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms, *IEEE TRANSACTIONS ON SYSTEMS, MAN, AND CYBERNETICS*, 9:1, 62 -66.

5. 研究成果

[誌上発表]

1. 馬淵浩司 (2017): 「生物」「生命」を研究・育成する施設から読者の皆さんへのメッセージ. *生物の科学 遺伝* 72(1), 102 (査読無し).
2. Makino W., Maruoka N., Nakagawa M., Takamura N. (2017): DNA barcoding of freshwater zooplankton in Lake Kasumigaura, Japan. *Ecological Research* 32(4), 481-493.
3. 今藤夏子, 松崎慎一郎 (2018): 霞ヶ浦における定置網と環境DNAを用いた魚類調査と多様性の比較. *水環境学会誌* 41(4) (査読無し).
4. 馬淵浩司, 松崎慎一郎 (2018): 日本の自然水域のコイ: 在来コイの現状と導入コイの脅威. *魚類学雑誌* 64(2), 213-218.
5. Mabuchi K., Nishida K., Nakajima N. (2018): Complete F mitochondrial genomes of the Biwa pearl mussel, *Hyriopsis schlegelii*: the first report from the species' native lake in Japan. *Mitochondrial DNA part B Resources*, 3(2):1294-1295.
6. 馬淵浩司 (2018): コイ科コイ亜科コイ属コイ. テンジクダイ科. ベラ亜目. 中坊徹次 編, *小学館の図鑑Z 日本魚類館*: 88-89 248-253 330-341. 小学館, 東京.
7. McDougall A.S., Harvey E., McCune J.L., Nilsson K.A., Bennett J., Firm J., Bartley T., Grace J.B., Kelly J., Tunney T.D., McMeans B., Matsuzaki S.S., Kadoya T., Esch E., Cazelles K., Lester N., McCann K.S. (2018): Context-dependent interactions and the regulations of species richness in freshwater fish. *Nature Communications* 9.973.
8. Nakaoka M., Sudo K., Namba M., Shibata H., Nakamura F., Ishikawa S., Makino M., Yamano H., Matsuzaki S.S., Yamakita T., Yu X., Hou X., Li X., Brodie J., Kanemoto K., Moran D., Verones F. (2018): TSUNAGARI: A new interdisciplinary and transdisciplinary study toward conservation and sustainable use of biodiversity and ecosystem services. *Ecological Research* 33, 35-49.
9. Takamura N., Matsuzaki S.S. (2018): Current status of and future research on biodiversity assessment and ecosystem conservation in Japanese lakes. *17th World Lake Conference, Proceedings*.
10. 高村典子 (2018): 水辺の保全と再生—保全戦略の必要性とその実現. *グリーンエイジ* 4, 2-4.
11. 馬淵浩司, 西田一也, 吉田誠 (2019): 琵琶湖流入河川・丁野木川の人工護岸支流におけるホンモロコ・ニゴロブナ・在来コイの産卵: 産着卵のDNA種判別にもとづく知見. *魚類学雑誌*, 66, 237-243.
12. 馬淵浩司 (2019): 野生型コイ. 大久保卓也, 須戸幹, 皆川明子 編著. *水田地域における生態系保全のための技術指針*: 20-22. 滋賀県立大学, 彦根.
13. Matsuzaki S.S., Shinohara R., Uchida K., Sasaki T. (2019) Catch diversification provides multiple benefits in inland fisheries. *Journal of Applied Ecology* 56:843-854.
14. Ye L., Chang C.W., Matsuzaki S.S., Takamura N., Widdicombe C.E., Hsieh C.H. (2019) Functional diversity promotes phytoplankton resource use efficiency. *Journal of Ecology* 107:2353-2363.
15. 西田一也 (2019): 農業水路における生態系配慮工法の効果と課題. 大久保卓也, 須戸幹, 皆川明子 編著. *水田地域における生態系保全のための技術指針*: 41-51. 滋賀県立大学, 彦根市.
16. 高村典子 (2019): 日本における外来種・外来魚の状況について. *京都国際舞台芸術祭 KYOTO*

EXPERIMENT 2019, 46-47.

17. 吉田誠 (2019): 琵琶湖における外来魚アメリカナマズの捕獲情報収集および遊泳能力計測に基づく分布拡大予測. *Pro natura ニュース*, 29, 18.
18. 馬淵浩司 (2020) 国立環境研究所・琵琶湖分室. *日本バイオロギング研究会会報* 165:2-3.
19. Mabuchi K, Nishida K (2020) A DNA mini-barcoding system for endangered unionid mussels in the Lake Biwa system in Japan. *Conservation Genetics Resources* 12:581-584.
20. 馬淵浩司, 西田一也, 吉田誠, 桑原雅之 (2020): 琵琶湖南湖の南部で得られたビワマス成熟雄の記録. *魚類学雑誌* 67:215-222.
21. 馬淵浩司, 西田一也, 吉田誠 (2020): マルチプレックス PCR 法を用いた琵琶湖水系産タモロコ属 2 種のミトコンドリア DNA の簡易識別法: 手法開発と南湖の産着卵への適用. *魚類学雑誌* 67: 51-65.
22. Chang C.W., Ye H., Miki T., Deyle E.R., Souissi S., Anneville O., Adrian R., Chiang Y.R., Ichise S., Kumagai M., Matsuzaki S.S., Shiah F.K., Wu J.T., Hsieh C.H., Sugihara G. (2020): Long-term warming weakens stabilizing effects of biodiversity in aquatic ecosystems. *bioRxiv*
23. Stockwell J.D., Doubek J.P., Adrian R., Anneville O., Carey C.C., Carvalho L., De Senerpont Domis L.N., Dur G, Frassl M.A., Grossart H.P., Ibelings BW, Lajeunesse M.J., Lewandowska A.M., Llamas M.E., Matsuzaki S.S., Nodine E.R., Nöges P., Patil V.P., Pomati F., Rinke K., Rudstam L.G., Rusak J.A., Salmaso N., Selmann C.T., Straile D., Thackeray S.J., Thiery W., Urrutia-Cordero P., Venail P., Verburg P., Woolway R.I., Zohary T., Andersen M.R., Bhattacharya R., Hejzlar J., Janatian N., Kpodonu A.T.N.K., Williamson T.J., Wilson H.L. (2020): Storm Impacts on Phytoplankton Community Dynamics in Lakes. *Global Change Biology* 26(5), 2756-2784.
24. Chang CW, Ye H, Miki T, Deyle ER, Sami S, Anneville O, Adrian R, Chiang YR, Ichise S, Kumagai M, Matsuzaki SS, Shiah FK, Wu JT, Hsieh CH, Sugihara G (2020) Long-term warming destabilizes aquatic ecosystems through weakening biodiversity-mediated causal networks. *Global Change Biology* 26: 6413-6423.
25. Rogers T.I., Munch S.B., Stewart S.D., Palkovacs E.P., Giron-Nava A., Matsuzaki S.S., Symons C.C. (2020) Trophic control changes with season and nutrient loading in lakes. *Ecology Letters* 23:1287-1297.
26. 西田一也, 皆川明子 (2020) : 滋賀県の「魚のゆりかご水田プロジェクト」の趨勢と課題. *農業および園芸* 95: 106-112.
27. 吉田誠, 馬淵浩司, 佐藤克文 (2020): 琵琶湖における外来魚アメリカナマズの捕獲情報収集および遊泳能力計測に基づく分布拡大予測-チャンネルキャットフィッシュ行動研究グループ-. *自然保護助成基金助成成果報告書* 29:150-161.
28. Yoshida M.A., Totsu K., Sato K., Mabuchi K. (2020): Underwater video and still-image dataset of fishes and other aquatic animals in Lake Biwa, Japan, observed via carp-mounted video loggers. *Ecological Research* 35:1001-1008.
29. Haubrock P, Balzani P, Matsuzaki SS, Tarkan AS, Kourantidou M, Haase P (2021): Spatio-temporal niche plasticity of a freshwater invader as a harbinger of impact variability. *Science of the Total Environment* doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.145947.
30. Matsuzaki S.S., Lathrop R.C., Carpenter S.R., Walsh J.R., Vander Zanden M.J., Gahler M.R., and Stanley E.H. (2021): Climate and food web effects on the spring clear-water phase in two north-temperate eutrophic lakes.

Limnology and Oceanography 66:30-46.

31. 吉田誠, 馬淵浩司 (2021): 湖沼におけるバイオリギング研究: 個体ベースで解き明かす魚類の行動と生態. *地球環境* 25.
32. Zagarese H.E., Gonzalez Sagrario M.A., Wolf-Gladrow D., Noges P, Noges T., Kangur K., **Matsuzaki S.S.**, **Kohzu A.**, Vanni M.J, Ozkundakci D., Echaniz S.A., Vignatti A., Grosman F., Sanzano P., Van Dam B., Knoll L.B. (2021): Patterns of CO2 concentration and inorganic carbon limitation of phytoplankton biomass in agriculturally eutrophic lakes. *Water Research* 190:116715.
33. 西田一也, 馬淵浩司 (2021): 湖魚の産卵場としての琵琶湖沿岸の水田地帯: その現状とモニタリング手法の開発. *地球環境* 25.
34. 馬淵浩司, 西田一也, 吉田誠 (2021): 琵琶湖・早崎内湖干拓地外の造成ヨシ帯におけるゲンゴロウブナ(コイ科フナ属)の産卵: 産着卵のDNA種判別に基づく確認. *伊豆沼・内沼研究報告* 15: 31-45.

[口頭発表]

1. Kameyama S., Kawaguchi Y., Inoue M., Miyake Y., **Kondo N.**, Nohara S. (2017): The temporal change of Japanese eel distribution and the habitat monitoring using environmental DNA in Japan. *The 8th, World Recreational Fishing Conference 2017*, 2017年7月, カナダ.
2. 今藤夏子, 今井達也, 清川紘樹, 中島一豪, 谷川明男, 井上泰江, 中嶋信美, 長谷川雅美, 宮下直 (2017): 昆虫におけるMIG-seq活用例: 景観スケールから地理的スケールまで. *第65回日本生態学会大会, 自由集会, 続・MIG-seqのすべて: 迅速・簡単なゲノムワイドDNA分析法の利用*, *第65回日本生態学会*, 2017年3月15日, 札幌コンベンションセンター(北海道、札幌市).
3. 今藤夏子, 松崎慎一郎, 角谷拓, 山口晴代, 安藤温子, 中嶋信美, 高津文人, 渡邊未来, 小松一弘, 霜鳥孝一, 中川恵, 伊藤洋, 大澤剛士, 三枝信子, 高村典子 (2017): 霞ヶ浦流域河川における環境DNAを用いた魚類の種多様性評価. *第65回日本生態学会大会*, 2017年3月17日, 札幌コンベンションセンター(北海道、札幌市).
4. 馬淵浩司 (2017): 日本在来コイの現状と琵琶湖における生態調査. *第20回自然系調査研究機関連絡会議 調査研究・活動事例発表会*, 2017年10月26日, 滋賀県立琵琶湖博物館、滋賀県草津市.
5. **Matsuzaki S.S.**, **Komatsu K.**, **Kohzu A.**, Tomioka N., **Shinohara R.**, **Shimotori K.**, Ueno R, **Kondo N.**, **Yamaguchi H.**, Kadoya T, Ando H, Nakagawa M, Totsu K, **Imai A.**, **Takamura N.** (2017): Long-term monitoring of Lake Kasumigaura, Japan: a 40 year legacy and looking to the future. *Global Lake Ecological Observatory Network (GLEON) 19*, November 29th, 2017, New Paltz, New York, USA.
6. Stockwell J., Anneville O., Patil V., Adrian R., Carvalho L., Chang C.W., Dur G., Hsieh C.H., Lajeunesse M., Lewandowska A., Jacquet S., **Matsuzaki S.S.**, Rusak J.A., Salmaso N., Schmitt F., Selmann T., Souissi S., Straile D., Thackeray S., Venail P. (2017): GLEON Storm-Blitz: An update from the GEISHA group on the links among storms, lake physics, and phytoplankton community dynamics. *Global Lake Ecological Observatory Network (GLEON) 19*, November 29th, 2017, New Paltz, New York, USA.
7. 高村健二, 上野隆平, 今藤夏子, 大林夏湖 (2017): ため池のユスリカ多様性4類型の指標としての理解. *日本陸水学会第82回田沢湖大会*, 2017年9月29日, 駒ヶ岳グランドホテル, 秋田県仙北市.
8. 吉田誠, 馬淵浩司, 小玉将史, 井上広滋, 佐藤克文 (2017): 琵琶湖沖合におけるコイの採餌行動: 動

物搭載型ビデオで観察された多様な摂餌パターン. 2017 年度 日本魚類学会年会, 2017 年 9 月 16 日, 北海道大学函館キャンパス, 北海道函館市.

9. 吉田誠, 馬淵浩司, 佐藤克文 (2017): 琵琶湖沖合におけるコイの遊泳行動と摂餌様式. 第13回 日本バイオロギング研究会シンポジウム, 2017 年 11 月 11 日, 福山大学 宮地茂記念館, 広島県福山市.
10. 馬淵浩司 (2017): 日本の河川におけるコイ養殖品種の現況. 2017 年度 日本魚類学会 市民公開講座「第3の外来種問題」人工改良品種の野外放流をめぐって, 2017 年 7 月 15 日, 近畿大学 東大阪キャンパス アカデミックシアター, 大阪府東大阪市.
11. 今藤夏子, 松崎慎一郎 (2018): 霞ヶ浦における環境 DNA を利用した魚類多様性調査. 第33回全国環境研究所交流シンポジウム, 2018 年 2 月 15 日, 茨城県つくば市.
12. 高村健二, 今藤夏子 (2018): 富栄養湖のベントス相 水草帯と底生ラン藻帯の比較. 第65回日本生態学会大会, 2018 年 3 月 16 日, 札幌コンベンションセンター, 北海道, 札幌市.
13. 吉田誠, 馬淵浩司, 佐藤克文 (2018): 琵琶湖沖合におけるコイ 2 型の浮力調節能の違いに対応した摂餌戦略. 第65回 日本生態学会大会, 2018 年 3 月 16 日, 札幌コンベンションセンター, 北海道札幌市.
14. 今藤夏子 (2018): 汲んだ水で生き物さがし. *Cafe 自愉時間* vol.33 (サイエンスカフェ), 2018 年 2 月 4 日, 千葉県柏市.
15. 馬淵浩司 (2018): 琵琶湖で生き残った日本在来コイーその保全に向けてー, 平成 29 年度 びわ湖セミナー「魚介類のにぎわい復活に向けて」, 2018 年 3 月 3 日, コラボしが 21, 滋賀県大津市.
16. 馬淵浩司, 霜島孝一, 今井章雄, 高村健二, 高村典子 (2017): 琵琶湖の水環境と生物・生態系の保全・再生を目指してー琵琶湖分室の設置と今後の展望ー. 国立環境研究所 公開シンポジウム 2017「私たちの安心・安全な環境づくりとはー持続可能性とその課題ー」, 2017 年 6 月 16 日, びわこホール, 滋賀県大津市, 2017 年 6 月 23 日, メルパルクホール, 東京.
17. 馬淵浩司 (2018): 琵琶湖で生き残った日本在来コイーその保全に向けてー. 平成 29 年度びわ湖セミナー「魚介類のにぎわい復活に向けて」, 大津市.
18. 馬淵浩司 (2018): 琵琶湖のヨシ帯におけるコイ科魚類の産着卵調査. 2018 年度 日本魚類学会年会 (50 周年記念大会), 東京都渋谷区.
19. 馬淵浩司 (2018): [招待講演]: コイの日本在来系統: 琵琶湖に残る貴重な自然遺産. 第17回世界湖沼会議, つくば市.
20. 馬淵浩司 (2018): [招待講演]: 琵琶湖在来魚の保全に向けて. 平成 30 年度 滋賀県化学・環境行政職員同友会 研修会, 大津市.
21. 馬淵浩司, 西田一也, 吉田 誠, 中田 聡史, 波多野圭亮, 古賀勝之 (2018): 琵琶湖周辺水域におけるコイ・フナ・ホンモロコ類の産着卵・仔稚魚調査. 第9回琵琶湖地域の水田生物研究会, 草津市.
22. 馬淵浩司 (2018): 琵琶湖のヨシ帯と流入河川におけるコイ科魚類の産着卵調査: 2018 年シーズン. 琵琶湖環境科学研究センター総合解析部門研究集会, 大津市.
23. 高村健二, 今藤夏子 (2018): 富栄養湖のベントス相 水草帯と底生ラン藻帯の比較. 第65回日本生態学会大会, 2018.3, 札幌市.
24. 高村健二, 今藤夏子 (2018): 琵琶湖南湖湖底の水草帯と底生ラン藻帯のベントス比較. 第29回ユスリカ研究集会, 2018.5, 竹原市.

25. 高村健二, 今藤夏子 (2018): 水草帯と底生ラン藻帯のベントス相がくっきりと分れる. *日本陸水学会第83回岡山大会*, 2018.10, 岡山市.
26. Takamura N., Matsuzaki S.S. (2018) [招待講演]: Current status of and future research on biodiversity assessment and ecosystem conservation in Japanese lakes. *17th World Lake Conference*, 2018.10, Tsukuba
27. 牧野渡, 中川恵, 永田貴丸, 高村典子 (2018): 動物プランクトンの DNA バーコーディングとその応用, *日本陸水学会第83回大会*, 岡山市.
28. 馬淵浩司, 西田一也, 吉田誠, 中田聡史, 波多野圭亮, 古賀勝之 (2018): 琵琶湖周辺水域におけるコイ・フナ・ホンモロコ類の産着卵・仔稚魚調査. *第9回琵琶湖地域の水田生物研究会*, 2018.12.16, 滋賀県草津市.
29. 馬淵浩司 (2018) [招待講演]: 琵琶湖のコイの由来と生態調査. *第一回 I-URIC ワークショップ「よその学からみたコイとヒトの関わり」*, 2018.10.23, 滋賀県草津市.
30. 馬淵浩司 (2019): [招待講演]: 琵琶湖に残った日本在来のコイ: わかっていること, 今調べていること. *魚の会 平成30年度第4回講演会*, 小田原市.
31. 吉田誠 (2019): 琵琶湖におけるチャネルキャットフィッシュの分布拡大予測に向けた取り組み. *第14回外来魚情報交換会*, 2019.1, 草津市.
32. 吉田誠 (2019): [招待講演] 大型魚類をプラットフォームとした琵琶湖の生物・環境モニタリング. *しが水環境ビジネス推進フォーラム研究・技術分科会*, 2019.2, 大津市.
33. Matsuzaki S.S., Shinohara R., Uchida K., Sasaki T. (2019) Catch diversification provides multiple benefits in inland fisheries. *Association for the Sciences of Limnology and Oceanography (ASLO) Aquatic Science Meeting*, San Juan, Puerto Rico (March 2019).
34. 石川可奈子, 芳賀裕樹, 酒井陽一郎, 井上栄壮, アンユングブルト, 朴虎東, 山口晴代, 高村典子, 横井貴大 (2019): 藍藻類がもたらす新たな問題: 琵琶湖南湖で見られる底生糸状藻類の増加について. *日本藻類学会第43回大会公開シンポジウム*, 京都市.
35. 今藤夏子, 平野祐奈, 木寺法子, 深谷肇一, 角谷拓, 松崎慎一郎 (2019) 湿地調査における環境 DNA の有効性と課題. *日本生態学会第66回全国大会*, 2019.3.19, 神戸市.
36. 馬淵浩司 (2019) [招待講演]: 在来コイの沖合環境への適応. *2019年度日本魚類学会公開シンポジウム「古代湖における魚類の適応進化と種多様性創出」*, 2019.9.23, 高知市.
37. 馬淵浩司 (2019) [招待講演]: 琵琶湖に暮らすコイのおはなし. *湖北野鳥センター企画展特別講演会*, 2019.8.4. 滋賀県長浜市.
38. Mabuchi K. (2019): Current status of freshwater fishes in Lake Biwa with main focus on two endemic fishes important to fishery. *The 11th Asia-Pacific Biodiversity Observation Network (APBON) Workshop*, 2019.6.27, Kuala Lumpur, Malaysia.
39. 馬淵浩司 (2019) [招待講演]: 琵琶湖に残った日本在来のコイ: わかっていること, 今調べていること. *魚の会 平成30年度第4回講演会*, 2019.2.17, 神奈川県小田原市.
40. 馬淵浩司, 西田一也, 吉田誠, 中田聡史 (2019): 琵琶湖のヨシ帯と流入河川におけるコイ科魚類の産着卵調査: 2018年シーズン. *琵琶湖環境科学研究センター総合解析部門研究集会*, 2019.1.30, 滋賀県大津市.
41. Nakada S., Haga H., Iwaki M., Hatano K., Mabuchi K., Takamura N., (2019): High-resolution flow-

simulation in Typhoon 21, 2018: tremendous loss of water plants in South Lake Biwa. *Japan Geoscience Union Meeting 2019*, 2019.5.26, Makuhari, Japan.

42. 西田一也, 馬淵浩司, 吉田誠 (2019): 琵琶湖に流入する改修済み農業排水路は魚類の産卵場となり得るか? 2019 年度農業農村工学会大会講演会, 2019.9.4, 東京都府中市・東京農工大学府中キャンパス.
43. 高村健二, 今藤夏子 (2019): 水草帯・底生ラン藻帯で異なるベントス相 彼らは植生を食んでいるか. 第66回日本生態学会大会, 2019.3, 神戸市.
44. 高村健二, 今藤夏子 (2019): 琵琶湖南湖のユスリカ: 底生ラン藻帯に棲まず、水草帯に棲む. 第30回ユスリカ研究集会, 2019.5, 大津市.
45. 高村健二, 今藤夏子 (2019): 琵琶湖南湖、湖底植生は生態系を育む? 日本陸水学会第84回金沢大会, 2019.9, 金沢市.
46. 吉田誠 (2019): 琵琶湖における外来魚チャンネルキャットフィッシュの分布拡大予測に向けた取り組み. 第14回外来魚情報交換会, 2019.1, 滋賀県草津市.
47. 吉田誠 (2019): 琵琶湖全周で魚を追う: コイとアメリカナマズを例として. 滋賀県琵琶湖環境科学研究所総合解析部門研究集会, 2019.1, 大津市.
48. 吉田誠 (2019) [招待講演]: 大型魚類をプラットフォームとした琵琶湖の生物・環境モニタリング. しが水環境ビジネス推進フォーラム研究・技術分科会, 2019.2, 大津市.
49. 吉田誠・馬淵浩司・佐藤克文 (2019): 単独採餌するコイは同種他個体の採餌する様子も餌探索の手がかりとする. 平成31年度日本水産学会春季大会, 2019.3, 東京.
50. 吉田誠・佐藤克文・馬淵浩司 (2019): 琵琶湖沿岸におけるコイの採餌生態: 同種との同所的採餌および他種との随伴行動. 2019 年度日本魚類学会年会, 2019.9, 高知市.
51. 吉田誠・佐藤克文・馬淵浩司 (2019): 秋～冬季の琵琶湖沿岸におけるコイおよび他魚種の採餌生態. 第15回日本バイオロギング研究会シンポジウム, 2019.9, 東京.
52. 吉田誠 (2019): オープンサイエンスの方法論3: オープンデータ. 第15回日本バイオロギング研究会シンポジウム, 2019.9, 東京.
53. 吉田誠 (2019) [招待講演]: コイ目線の琵琶湖ドキュメンタリー: 動物搭載型ビデオを用いた琵琶湖流入河川の河口域における在来魚類の生態観察. 公益財団法人河川財団研究発表会 (近畿事務所), 2019.11, 大阪市.
54. 吉田誠 (2019): 琵琶湖における外来魚アメリカナマズの現状: 市民科学手法を用いた情報収集とその広がり. 第25回自然保護助成基金助成成果発表会, 2019.11, 東京.
55. Matsuzaki S.S., Shinohara R., Uchida K., Sasaki T. (2019): Catch diversification provides multiple benefits in inland fisheries. *ASLO 2019 Aquatic Science Meeting, Puerto Rico (March 2019)*.
56. 馬淵浩司 (2020) [招待講演]: 在来コイからみえてくる琵琶湖の課題. 2020 年度 びわ湖の日 滋賀県連携 龍谷講座, 2020.12.12., オンライン開催.
57. 馬淵浩司, 西田一也, 吉田誠 (2020) 琵琶湖・早崎内湖干拓地外の造成ヨシ帯におけるゲンゴロウブナの産卵: 産着卵の DNA 種判別にもとづく知見. 2020 年度日本魚類学会年会 (ウェブ大会), 2020.10.31. オンライン開催.
58. 馬淵浩司, 吉田誠, 西田一也 (2020) [招待講演]: 琵琶湖の沿岸・流入水路におけるコイ・フナ・ホ

ンモロコの産卵・回遊調査. 「ながはまネイチャーマイスター」第2回, 2020.8.9. 滋賀県長浜市.

59. 松崎慎一郎, 高津文人, 角谷拓, 大澤剛士, 渡邊未来, 今藤夏子, 深谷肇一, 山口晴代, 小松一弘, 安藤温子, 霜鳥孝一, 中川恵, 吉岡明良, 佐々井崇博, 三枝信子, 松下文経, 高村典子 (2020) 霞ヶ浦流域の生態系サービス・生物多様性間の関係: シナジー促進とトレードオフ緩和. 第67回日本生態学会大会, 名古屋市.
60. 西田一也 (2020) **[招待講演]**: DNA 分析を用いたコイ科魚類の種判別法とその活用事例. しが水環境ビジネス推進フォーラム研究・技術分科会, 2020.8, 滋賀県大津市.
61. 西田一也・馬淵浩司・吉田誠 (2020) 魚は農業排水路のどこで卵を産むのか? - 滋賀県湖北地域における調査結果の予備的解析 -. 2020 年度農業農村工学会大会講演会, 2020.8, Web 開催.
62. Rogers T.I., Munch S.B., Stewart S.D., Palkovacs E.P., Giron-Nava A., Matsuzaki S.S., Symons C.C. (2020) Long-term data reveal the importance of seasonality and productivity on patterns of trophic control. *The 2020 Ecological Society of America Annual Meeting (Online)*, August 2020.
63. 吉田誠, 西田一也, 馬淵浩司 (2020) 琵琶湖岸ビオトープにおける産卵期のフナ類の回帰遡上: バイオテレメトリーによる確認. 2020 年度日本魚類学会年会 (ウェブ大会), 2020.10, オンライン開催
64. 吉田誠, 西田一也, 馬淵浩司 (2020) 琵琶湖岸ビオトープにおける産卵期のフナ類親魚の回帰遡上. 第16回日本バイオリギング研究会シンポジウム, 2020.11, オンライン開催
65. 馬淵浩司, 吉田誠, 西田一也 (2021) 琵琶湖と流入河川における在来コイ科魚類の産卵・回遊調査. 琵琶湖環境科学研究センター総合解析部門研究集会, 2021.2.10., オンライン開催.

[図書]

1. 高村典子 (2018): 「アジアの淡水魚、その魅力を将来へ」146-153 (コーディネーターとしての執筆)、鹿野雄一著 共立出版「溺れる魚、空飛ぶ魚、消えゆく魚」2018年 159 ページ.