

湖沼の生態系の評価と管理・再生に関する研究

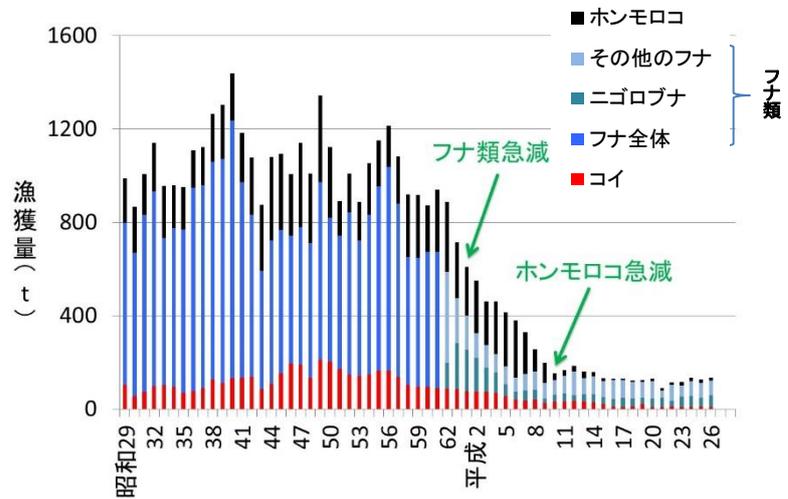
高村 典子¹⁾・馬淵 浩司¹⁾・中田 聡史¹⁾・吉田 誠¹⁾・高村 健二¹⁾・西田 一也¹⁾・岩木 真穂¹⁾・松崎 慎一郎¹⁾・今藤 夏子¹⁾・山口 晴代¹⁾・小熊 宏之¹⁾・山野 博哉¹⁾・焦 春萌²⁾・石川 可奈子²⁾・酒井 陽一郎²⁾・永田 貴丸²⁾・芳賀 裕樹³⁾・西野 麻知子⁴⁾・牧野 渡⁵⁾

1. 目的

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を抽出し、在来魚回復のための対策の優先順位付けを行う。また、これらの研究の基盤となり、対策の評価が可能なモニタリング手法を開発・改善し、生態系の保全・管理に向けた評価手法を提案する。

【現状における課題】

- 琵琶湖では、かつて大量に生息していた多くの在来魚の漁獲が激減している。特に、産卵環境の悪化や外来魚の増加、南湖における水草の大量繁茂などの好ましくない生態系の変化が認められる。
- 生態系評価の基盤となる生物モニタリングが、十分に行われていない。



【課題解決に向けた対応】

- ① 琵琶湖生態系の保全・管理・再生手法に関する研究
琵琶湖の在来魚の回復を目標とし、それに必要な環境因子の解明を行う。野外調査、既存データの収集、結果の統計解析などを通じ、琵琶湖生態系の管理・再生に向けた手法の検討を行う。
- ② 生態系評価のためのモニタリング手法の検討
琵琶湖生態系評価・予測をより高精度に可能にするため、環境 DNA 解析の技術や遠隔観測などを活用したモニタリング手法を開発する。

2. 研究内容と結果

① 琵琶湖生態系の保全・管理・再生手法に関する研究

【サブテーマ①既存データの収集・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示唆されている。そこで、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、琵琶湖においても多様な魚種を利用することで、総生産額と漁獲による栄養塩除去量の安定性が同時に向上するかについて検証を行った。

生態学では、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。その結果、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。

【サブテーマ②野外調査の実施】

各魚種の産卵傾向（時期や選好環境）を推定するため、昨年度に引き続き、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・ホンモロコ類の産着卵調査を行った。自然ヨシ帯では7月でも産卵場所として利用されるが、造成ヨシ帯は5月下旬以降には、ほとんど使われていないことや、ホンモロコは湖岸ヨシ帯を産卵場所としてあまり利用しないが、沖側に波の当たるヤナギの木がある場合はその根に産卵すること、ゲンゴロウブナはヨシ帯ではニゴロブナより深い（開けた）場所に産卵することなどが予備的に明らかになった。

また、流入水路の産卵着の調査（図1）から、ゲンゴロウブナは流入水路への遡上産卵を行わないらしいこと、ニゴロブナ、ホンモロコ、在来コイは、現在でも琵琶湖から2 kmも水路を遡上して産卵していることなどが明らかになった。



図1 長浜市の丁野木川の支流・益田川における産着卵の調査結果

② 生態系評価のためのモニタリング手法の検討

【サブテーマ①琵琶湖の水生生物種の遺伝情報の収集と分析】

昨年度に引き続き、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情報の収集を実施した。

琵琶湖南湖のベントス調査では、水草帯ではユスリカ類が、底生ラン藻帯ではミズムシ類とヨコエビ類が多く底生動物相と生態系の構造が明確に異なることがわかった。形態分類で確認された種は9種であったが、遺伝子分析から25種のベントス種が確認された。今後、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の識別が可能となった。

なお、南湖の湖底に広がる傾向がある底生ラン藻 (*Microseira wollei*) については、培養株を作成し、さらに無菌化株の確立に成功した。無菌化株は国立環境研究所微生物系統保存施設において、NIES-4236 (図2) として登録を行い一般に公開した (<http://mcc.nies.go.jp/strainList.do?strainId=4234>)。分子系統解析の結果、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、さらに、全ゲノム解析を行なった結果、マイクロキスチン、シリンドロスパーマプシン、サキシトキシンといったメジャーなシアノトキシンの産生に関わる遺伝子はみつからなかった。

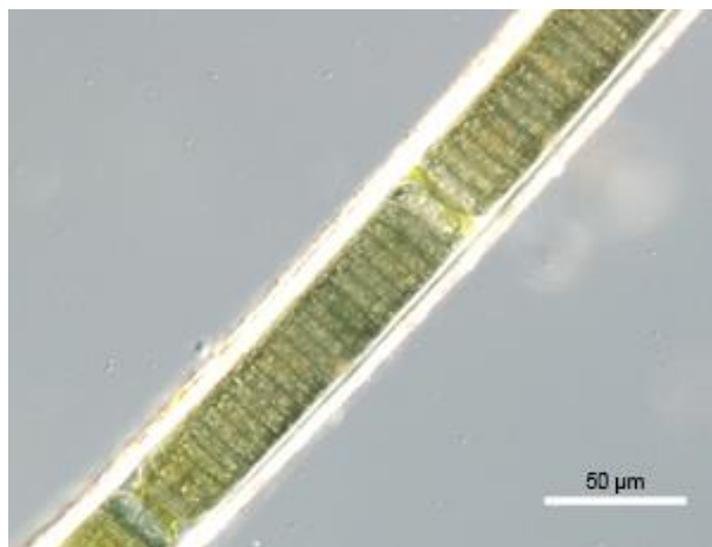


図2 *Microseira wollei* NIES-4236 の写真

【サブテーマ②遠隔計測を活用した水草繁茂監視手法の開発】

2018年9月4日の台風21号襲来時において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。図3に示すように、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。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。

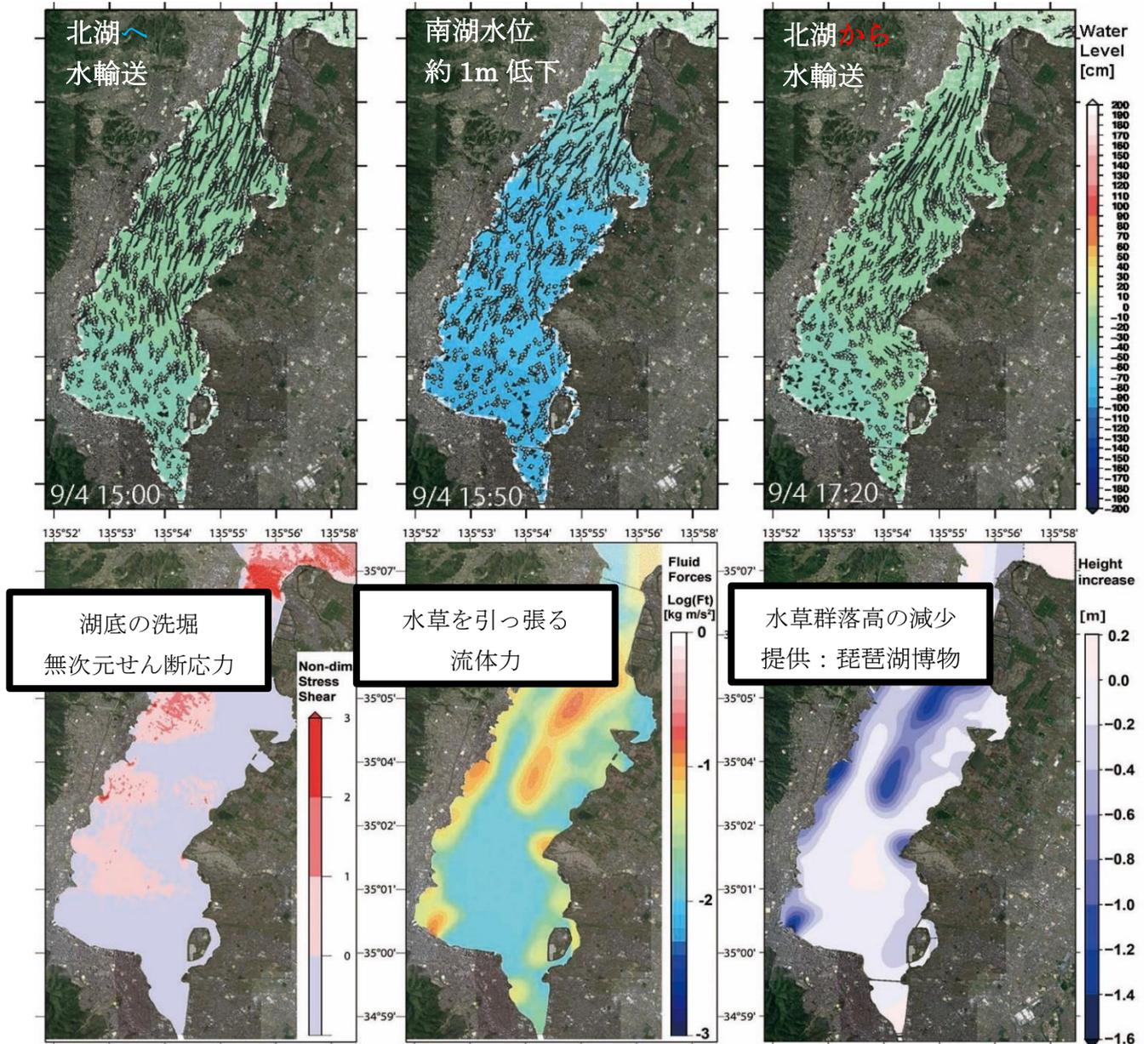


図3 上段は台風時の流速と水位の変動を示す高解像度流動シミュレーションの結果、下段は水草を引っ張る流体力の分布

3. まとめ

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）を用い、多様な魚種を利用することで、総生産額と漁獲による栄養塩除去量の安定性が向上するかについて検証を行った。その結果、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、総リン除去量が同時に増加するとともに、年変動が小さくなり安定することが明らかとなった。

昨年に引き続き、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コイ・フナ・ホン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蓄積した。また、流入水路の産卵着の調査から、ニゴロブナ、ホンモロコ、在来コイは、現在でも琵琶湖から2kmも水路を遡上して産卵していることなどが明らかになった。

昨年に引き続いて、琵琶湖南湖のベントス、沿岸域、動物プランクトンの調査を行い、採集・同定した生物種について遺伝子配列データを獲得した。琵琶湖南湖のベントス調査では、形態分類で確認された種は9種であったが遺伝子配列から25種のベントス種が確認された。今後、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の識別が可能となった。南湖の湖底に広がる傾向がある底生ラン藻（*Microseira wollei*）については培養株の無菌化株に成功した・これを用いて全ゲノム解析を行った結果、シアノトキシンの産生に関わる遺伝子はみつからなかった。

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たところ、湖底を洗掘する無次元せん断応力ではなく、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。