

南湖生態系に影響を及ぼす湖底環境等に関する研究

焦 春萌・石川 可奈子・酒井 陽一郎・芳賀 裕樹¹⁾

1. 目的

琵琶湖南湖では、1994 年の大渇水以降、水草の増加が著しくなった。水草の異常繁茂による環境悪化、湖流の停滞、湖底の泥化の進行より、湖底の溶存酸素濃度が低下する。また、南湖の湖底には、砂利採取などにより深い湖底穴が多数形成され、これらの深い湖底穴では、夏に貧酸素や無酸素状態になり、湖底環境が悪化することが危惧される。また、それ以外の地域でも、多地点において一時的な湖底貧酸素化が確認されている。これらの貧酸素や無酸素状態が、外来魚の繁殖、水草の大量繁茂、生息環境の改変とあいまって、セタシジミなどの底生水生生物を脅かす可能性がある。2010 年代になると、水草量の年変動が著しくなってきた。県の水草除去、在来魚の放流などの対策事業の経過とともに、水草量の変化および生物・生態系への影響評価が必要である。

南湖は、西側が深く東側が浅い湖盆形態を有し、平均水深が 4m 程度の浅い湖である。琵琶湖放流量から計算される湖水の滞留時間は、3 日～1 か月であり、浅く小さい湖であるため、北湖における地衡流の性質を持つ安定な「環流」や「内部波」による流れ等のような時間規模の大きい流動は存在せず、南湖の流況は一般に複雑な変動状態を持つ弱流の場合が多いと考えられてきた。しかし、過去に実施されてきた定点における連続測流および漂流板による測流では、機器の精度の制限により、南湖の流れ分布の特徴を十分把握できていなかった。また、近年、南湖の水草量が少ない年も見られるようになってきたものの、生物の回復状況の調査は、容易ではなく十分に把握できていない。

そこで、本研究では、最先端の超音波流向流速計（ADCP）による流れの空間分布調査により、南湖の流れの分布の特徴を把握するとともに、自動連続観測機器で溶存酸素濃度の水平分布および水草繁茂の影響や湖底水塊の停滞状況などを把握し、南湖生態系の管理と再生および在来魚の回復に向け、湖底環境改善にかかる対策の検討のため情報を提供する。また、水草の増減が南湖の生物・生態系へ与える影響について、近年注目されている環境 DNA 手法の適用を検討する。2020 年度は、水草量と魚類相の関係について予備調査を行い、今後の水草対策事業の推進に資する情報を提供する。

2. 研究内容と結果

【サブテーマ名① 南湖における貧酸素や無酸素状態の調査解析】

●方法

本研究では、2020 年度に、自動連続観測機器により、湖底直上の水温・D0 濃度の時間・空間変化の詳しい構造を把握するために、S0～S7（配置図省略）のそれぞれ湖底直上 0.5 m において測定精度 $\pm 0.002^{\circ}\text{C}$ の水温計（RBR 社製の高精度水温計）、測定精度 $\pm 1\%$ の D0 計各 1 台を設置した。また、船を走らせながら流れを計測できる超音波流向流速計（アメリカ製 ADCP）（測定精度 $\pm 5\text{mm/s}$ ）を使って、広域での流れの 3 次元分布を測った。

1) 滋賀県立琵琶湖博物館

●結果

南湖の湖底直上 0.5m の多数の地点において、2020 年 7 月～9 月に一時的に貧酸素状態（溶存酸素濃度が、2mg/l より低い状態）になったことが分かった。その中でも、山ノ下湾の調査地点 S0 は、水草が多く繁茂しており、水温・DO の時系列変化は、水草の影響を受ける典型例と考えられる（図 1）。山ノ下湾は、風が弱く、波や船の通過の影響も少ないため、水温・DO の日変動を捉えやすい。7 月から 8 月上旬まで、昼は、水温の上昇に伴い、植物プランクトンや水草の光合成により DO が高くなり、夜は、湖底有機物の酸素消費により DO が低くなる。その後、水草が増えたことにより、DO が 2mg/l より少ない貧酸素状態になり、DO の日変動も見えにくくなった。

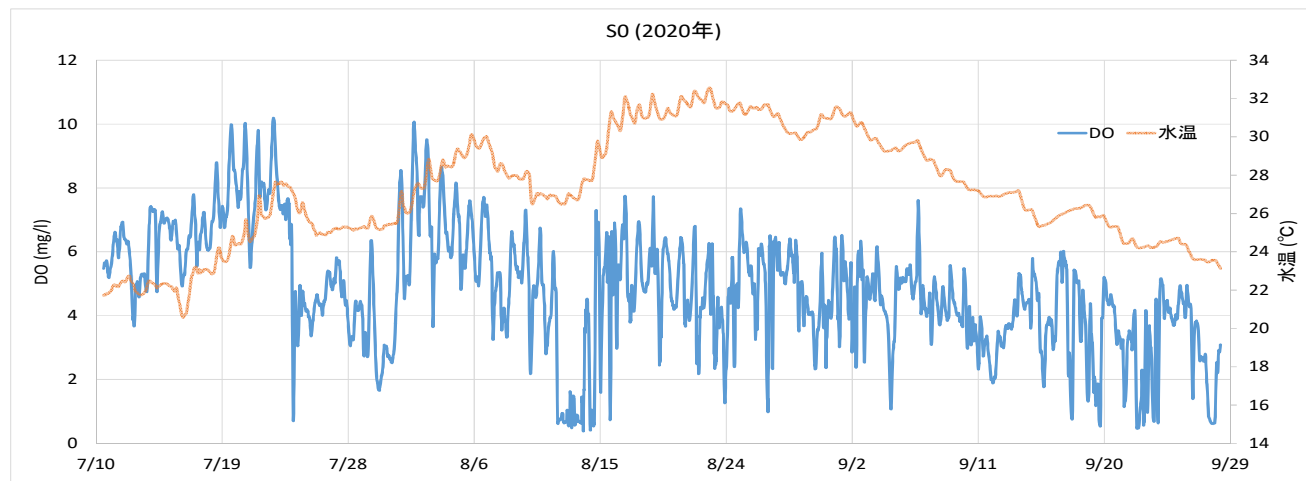


図 1 2020 年 7 月～9 月、山ノ下湾 S0（水深 2.7m）における湖底直上 0.5m の水温および DO

また、超音波流向流速計（ADCP）で船を走らせながら流れを測り、今までよく分からなかった南湖の流れの 3 次元分布の詳しい構造が明らかになった（図 2）。この南湖の流れの 3 次元分布は、琵琶湖放流量が弱く（80.8m³/s）、北風 1.6m/s の時の分布で、南湖全体で流れが弱く（流れの南湖全体平均値が 1.5cm/s）、南湖の南側には、反時計回りの環流があることがわかった。

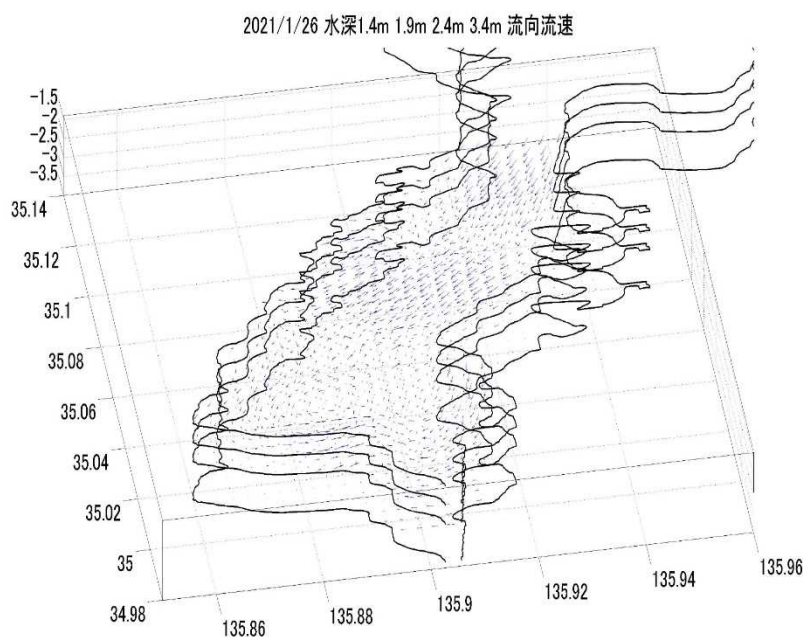


図 2 2021 年 1 月 26 日、超音波流向流速計（ADCP）で測った南湖流れの 3 次元立体分布図

【サブテーマ名② 水草の増減が湖底生態系に与える影響の評価】

南湖では、2011 年以降、大規模な水草（沈水植物）の根こそぎ除去が継続的に行われてきた。第 5 期中期計画までの研究で南湖全体の水草量を変化させるほどの除去量でないことが明らかになってきた。しかし、生態系に与える影響については、影響評価に時間がかかること、生物調査に手間がかかることから、十分に実施できなかった。そこで、第 6 期中期計画では、近年注目されている環境 DNA 手法を活用し、水草周辺生物群集の変化の調査が可能か試験するため、2020 年度は魚類相の予備調査を行った。

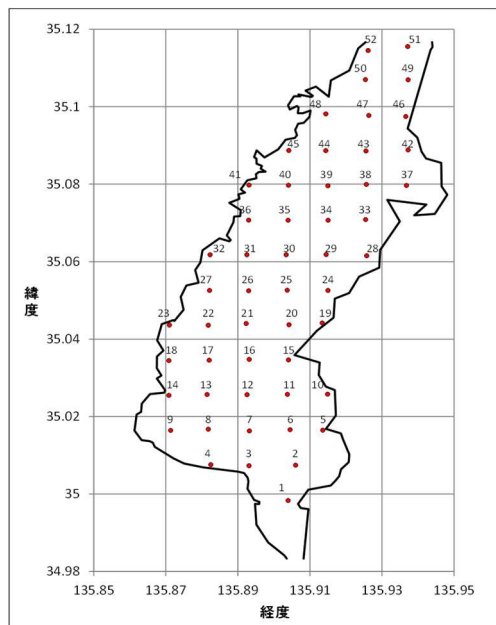


図 3 調査地点 南湖 52 地点

南湖 52 地点(図 3)において、2020 年 9 月 22 日および 23 日に、湖底直上 30 cm から採水を行い、実験室で濾過後冷凍保存を経て DNA 抽出を行った。

各地点で超音波流向流速計 (ADCP) の 4 つのビーム長差を用いて水草高を測定し、間縄で測定した水深とともに、PVI (水草高/水深; 水柱における水草の占める割合) を求めた。

予備試験であるためサンプル数を削減する観点から、52 地点の湖水から抽出した Total DNA を PVI の段階別 (0-20%, 20-40%, 40-60%, 60-80%, 80-100% 合計 5 段階) にまとめ、混合分析を行った。

魚類相は、MiFish プライマーを用いて次世代シーケンサーを用いた DNA の網羅的解析を行い、BLAST 解析により最も相同性の高い配列から魚種を決定した。

環境 DNA 手法を用いて調査した南湖の魚類相の結果を、図 4 に示した。在来および外来種を含めて 9 分類群が検出できた。

水草 PVI が 0-20% の混合 DNA から、解読判定できた DNA のすべてがカネヒラであり、水草 PVI が 80-100% の混合 DNA の場合は、すべてがホンモロコ/タモロコであった。

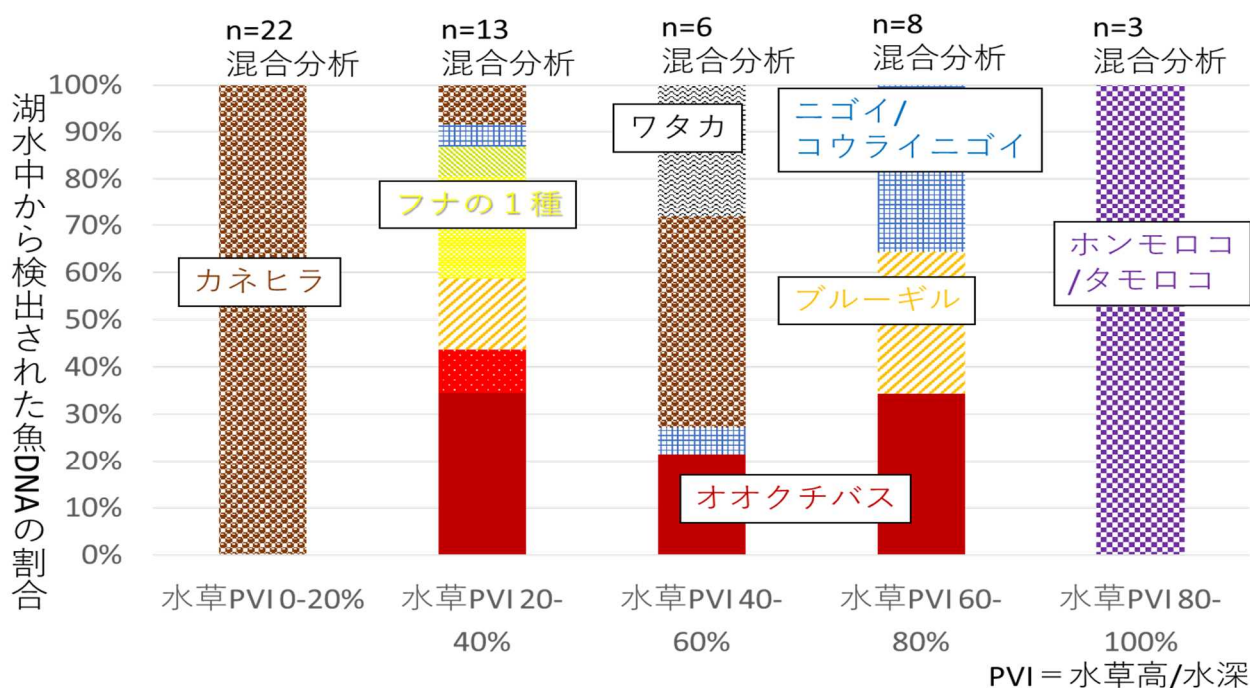


図 4 環境 DNA 手法で底層水から検出された魚類相 (水草 PVI 別)

そこで、水草 PVI が 80-100% の 3 地点 (n=3) から混合サンプルのうち、2 地点 (浜大津沖 St. 9 および雄琴沖 St. 45, 図 3) をそれぞれ同様の方法で再解析したところ、St. 9 からは主にフロリダバスの DNA が検出され、St. 45 からは、すべてコイの DNA が検出された。従って、消去法ではあるが、ホンモロコ/タモロコの DNA は赤野井湾沖の St. 42 によるものであると推察された。

今後更なる解析が必要であるが、今回の結果から、南湖の魚類相の分布は水草の PVI よりも、地点あるいは別の要因に依存した分布である可能性が高く感じられる。また、環境 DNA 手法による場合、PCR (遺伝子増幅) を行うため、種 (遺伝子配列の違い) によって、増幅されやすい種とそうでない種がでてくることが念頭においた解釈が必要になってきた。次年度は、ターゲット種の平面分布を調査する予定である。

また、琵琶湖南湖における水草の繁茂と近年の水草根こそぎ除去が底質に与える影響を明らかにするため、2017 年に採取した 52 地点 (図 3) の底質 (表層 0-5cm) の炭素・窒素・リン量について既存データの整理および追加分析を行い、高い空間異質性があることを示した (図 5)。次年度は 5-10cm 以深のデータについても同様に分析し、水草や除去量との関係について明らかにする。

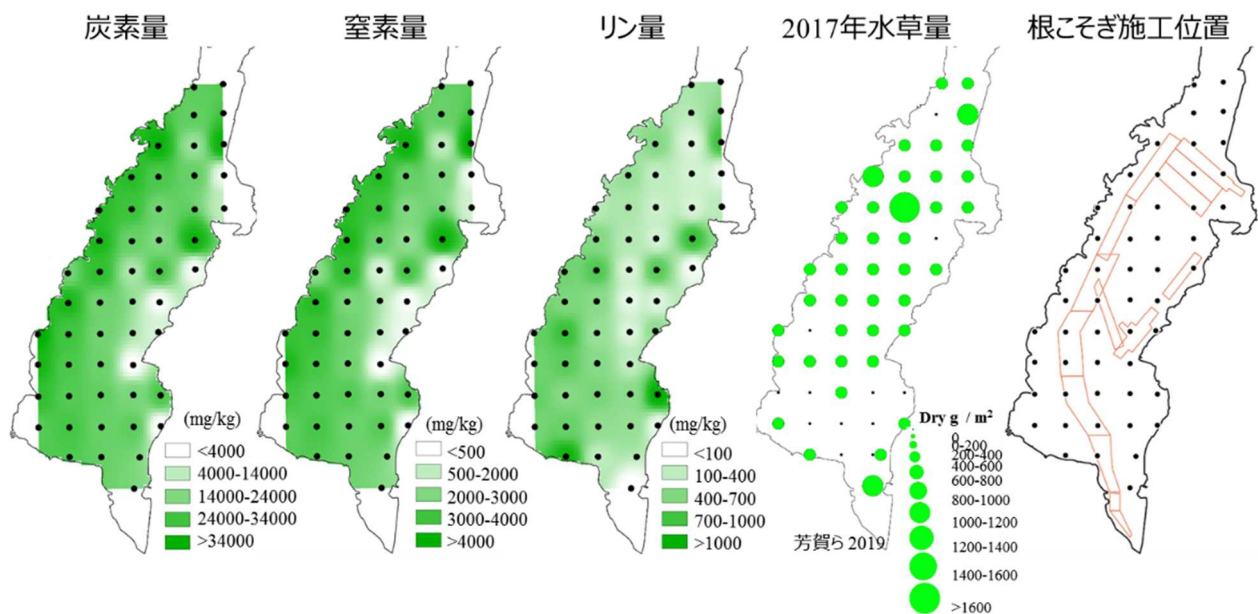


図 5 琵琶湖底質 (表層 0-5cm) に含まれる炭素・窒素・リン量およびそれぞれの地点における水草繁茂量と、近年の水草根こそぎ除去の施行位置図。水草繁茂量は芳賀ら 2019 のデータを用いた。

3. まとめ

- 南湖における貧酸素や無酸素状態の空間分布調査を行い、夏の多地点の湖底では、時々一時的に貧酸素状態になり、多数の深い湖底穴では、夏に長期間無酸素状態になったことが分かった。
- 南湖の流れについて、今までよく分からなかった南湖の流れ空間分布は、超音波流向流速計 (ADCP) で調査でその詳しい 3 次元立体分布パターンが分かった。
- 南湖の魚類相について、環境 DNA 手法を用いて調査し、南湖の在来および外来魚種を含めて 9 分類群が検出できた。また、南湖の水草 PVI (PVI=水草高/水深) により、解読判定できた魚種 DNA は、大きく変わることが分かった。
- 琵琶湖南湖近年の水草根こそぎ除去が底質に与える影響を明らかにするため、底質の炭素・窒素・リン量の分析を行い、高い空間異質性があることが分かった。