

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が確認されている。

また、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。琵琶湖放流量による湖水の滞留時間は、3 日～1 か月であり、南湖の生態系は、物理環境の変化に影響されやすいと考えられる。南湖の物理環境の変化を捉えるためには、流れの分布の特徴の把握が、大変重要である。従来の調査・研究の結果によれば、南湖は、浅く小さい湖であるため、北湖における地衡流の素質を持つ安定な「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、流況は一般に複雑な変動状態を持つ弱流の場合が多い。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なかった。一方、水草の大量繁茂とともに、かつての広大な砂地が、砂利採取によりなくなること、セタシジミなどの底生水生生物にとって生息困難な環境になった可能性がある。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求められてきた。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、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、データロガー付水温・溶存酸素計で溶存酸素濃度（DO）の水平分布および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 手法の適用を行った。2021 年度は、水草量と魚類相の関係について、DNA 抽出および MiFish プライマーを用いた魚類相網羅的解析を行い、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 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・DO 濃度の時間・空間変化の詳しい構造を把握するために、S0～S8（配置図省略）のそれぞれ湖底直上 0.5m において測定精度 $\pm 0.002^{\circ}\text{C}$ の水温計、測定精度 $\pm 1\%$ の DO 計（RBR 社製）各 1 台を設置した。また、2021 年度に、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 TRDI 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、湖底穴 S3（水深 10.1m）において、7 月 23 日～9 月 15 日の約 2 か月間、ほぼ無酸素状態が続いた（図 1B）。その後、9 月 15 日に D0 の回復に伴い、水温も急に上昇した。窪地の湖底穴では、夏に水が成層しているため、湖底穴の水深 6m 以深で D0 と水温が低いと推測される。2020 年の夏は強風がなかったため（図 1A）、弱風により湖底穴から流出した水が周りの水と混合せず、時折 S8 に到達し、D0 を一時的に低下させたと考えられる（図 1C）。

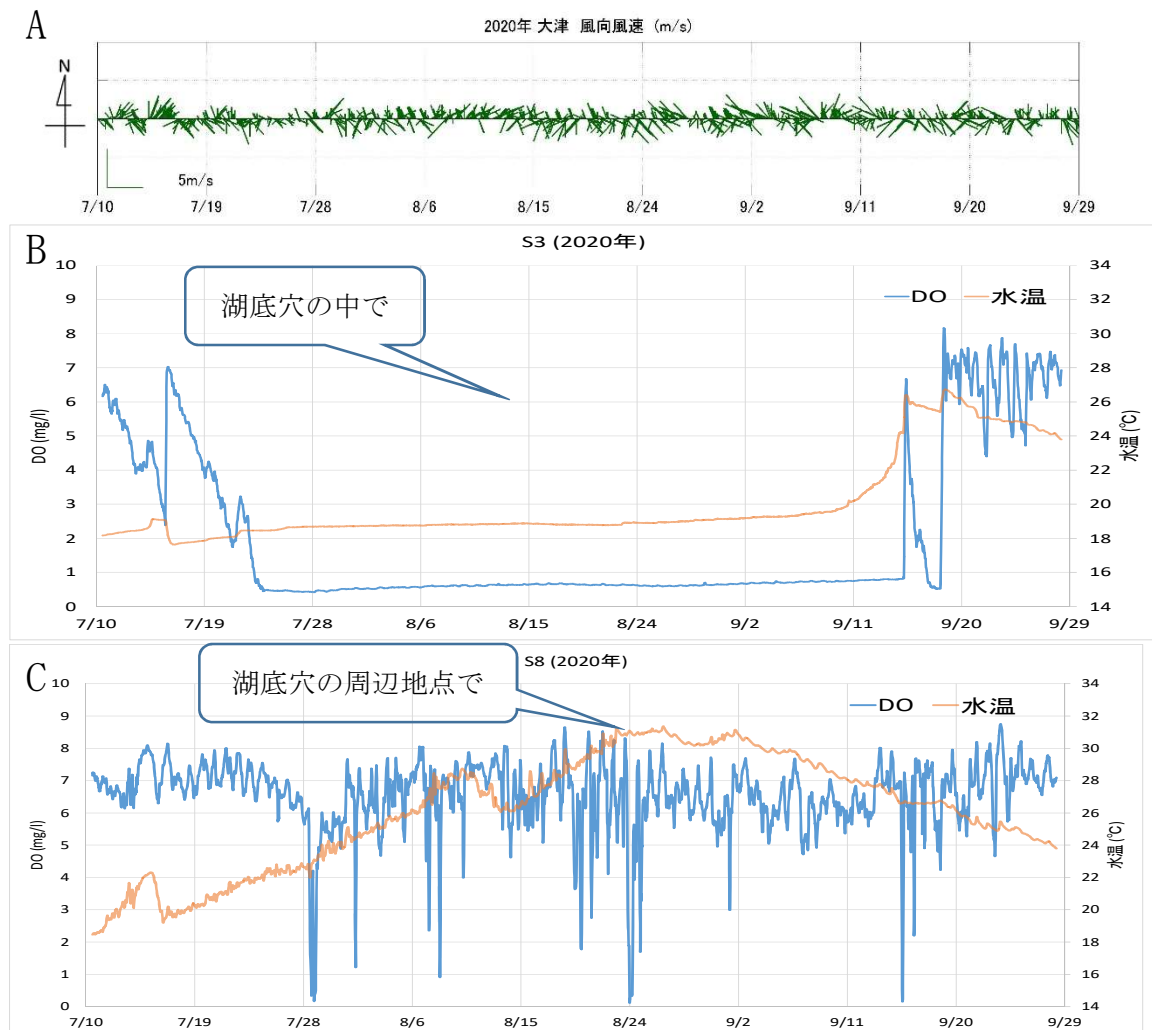


図 1 2020 年 7 月～9 月、A:大津観測場の風のベクトル B:窪地の深い穴である S3（水深 10.1m）の湖底直上 0.5m の水温と DO、C:その湖底穴の周辺地点である S8（水深 5.0m）における湖底直上 0.5m の水温と DO

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（150 m³/s）、北北東風 2.9 m/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 2.0cm/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。

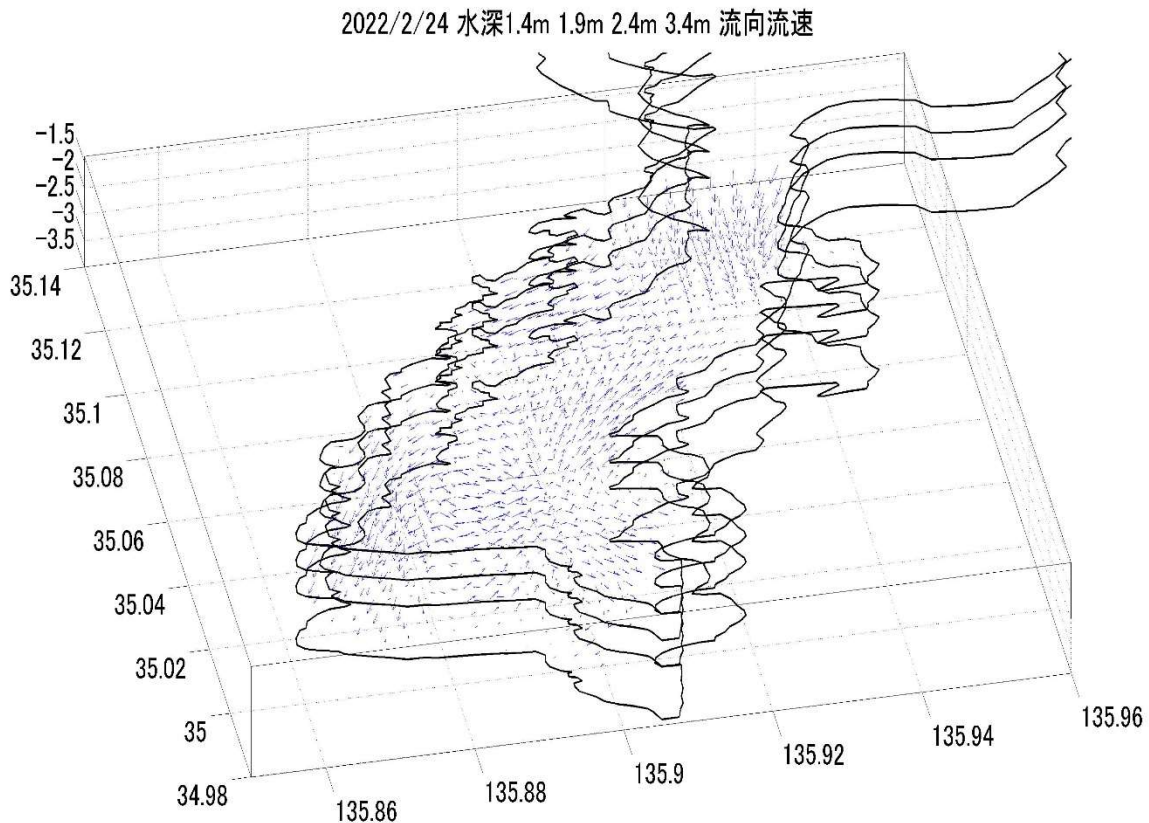


図2 2022年2月24日、超音波流向流速計（ADCP）で測った南湖流れの3次元立体分布図

【サブテーマ2 水草の増減が湖底生態系に与える影響の評価】

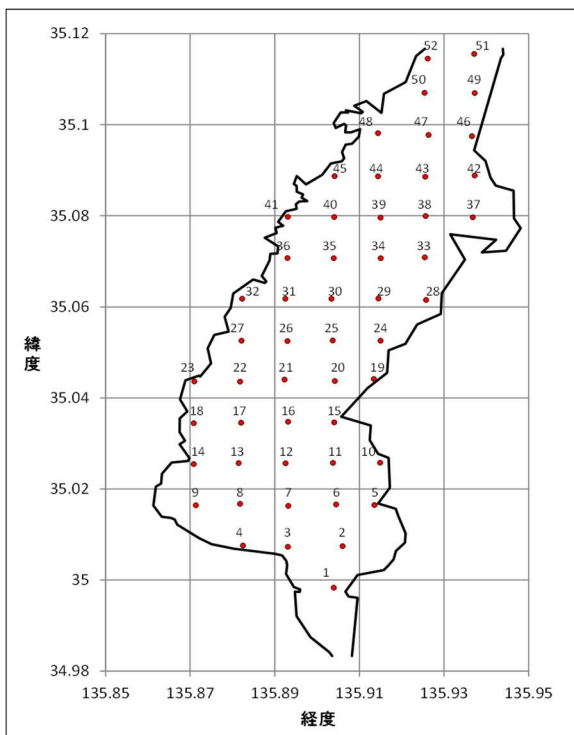


図3 調査地点 南湖52地点

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、2021年度は、近年注目されている環境DNA手法を活用し、南湖水草周辺生物把握のための調査を行った。

① 環境DNA手法を用いた南湖魚類相把握のためのサンプリング地点の検討

南湖52地点(図3)において、2021年4月～9月に、表層湖水1L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。抽出したDNAおよびMiFishプライマーを用いた魚類相網羅的解析を行った。将来のモニタリ

ングを見据えると、52 地点でサンプリングを定期的には実施することは難しい。そこで南湖唯一の流出河川である瀬田川に最も近い地点 st. 1 と 52 地点すべてを等分に混合した抽出 DNA(st-Mix)を作成し、それぞれの DNA から魚類相をターゲットとし、次世代シーケンサーを用いた網羅的解析の結果を比較した。結果は、図 4 に示したとおり、4 月～9 月までの期間に南湖で 12 分類群の魚類の環境 DNA が検出できた。一方、モニタリングに向けての課題も見えてきた。52 地点を Mix した結果と St. 1(南湖流出口) の環境 DNA によって検出される魚類相の結果が異なるということである。Mix の方が検出できる種数が多いが網羅できていない。また、原因は不明であるが 9 月の st. 1 は非検出になりやすいという結果になった。9 月に PCR を阻害する物質が多くなる原因等、今後更なるデータの解析と、モニタリングへの活用方法を検討する予定である。

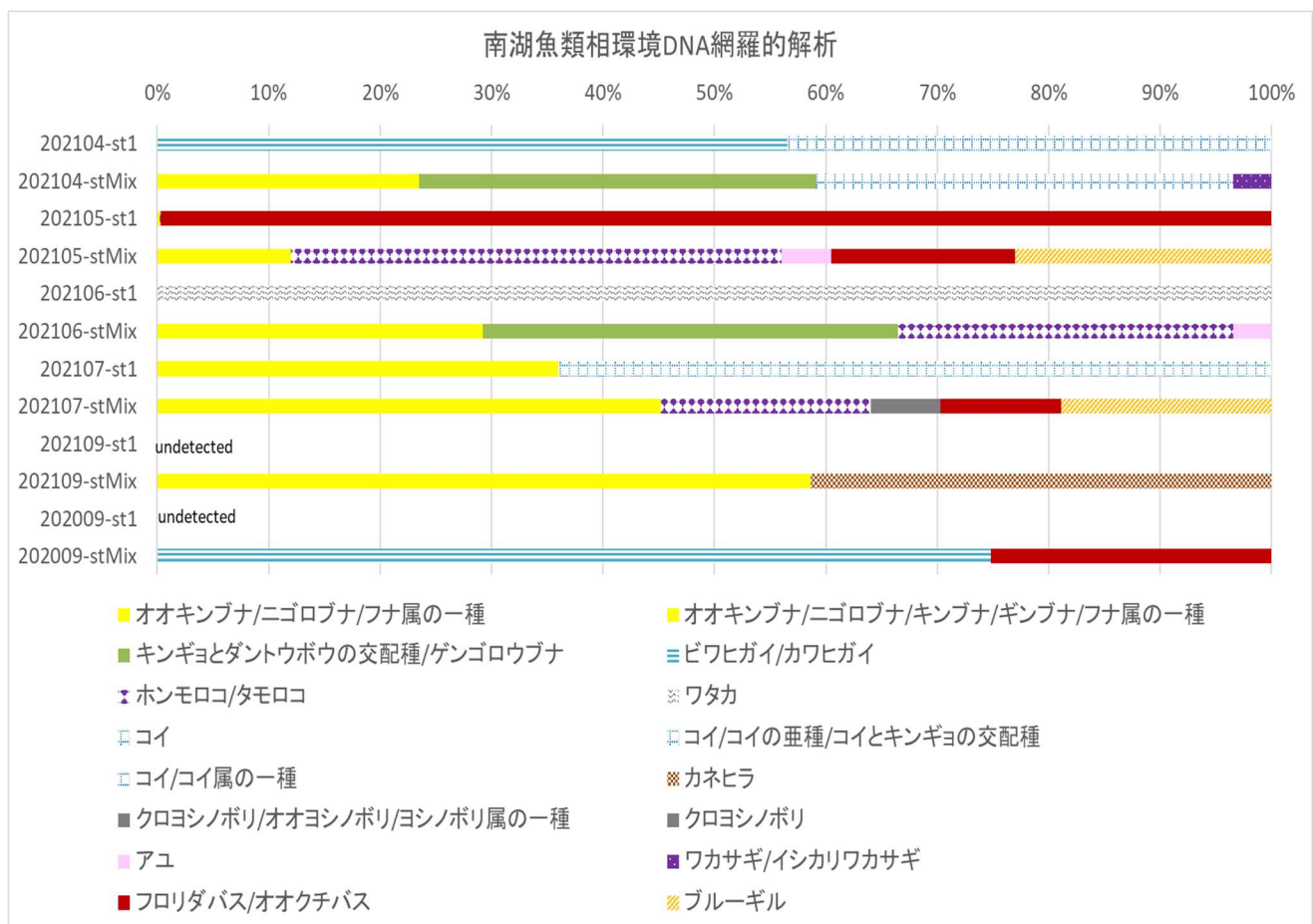


図 4 南湖魚類相環境 DNA 網羅的解析 (2021 年 4 月～2021 年 9 月の表層湖水 1L 採水)

② 特異的プライマーを用いた貝類の検出試験

魚類と同様に、近年南湖の環境を知るための指標生物として注目される二枚貝を検出できるかについて、予備試験を行った。湖水を 1L 濾過し、抽出された DNA に二枚貝をターゲットとしたプライマー(gClam)を用いて(株) 生物技研の委託分析および網羅的解析を行った。しかし、分析過程において DNA の増幅が見られなくなり、分析を中断せざるを得なくなった。原因としては、現在の琵琶湖の湖水中に二枚貝の DNA が少なすぎるものが考えられた。南湖でのシジミやタテボシ等、二枚貝が減少している環境下において、環境 DNA でのモニタリングは容易でないことが示唆されたが、今後、サンプリング方法の検討や DNA の濃縮等、魚類等で行っている通常のプロトコル以上の処理を検討する必要があると思われる。次年

度は、種特異的プライマーを用いた環境 DNA 手法について、試験を行う予定である。

③ 南湖底泥に含まれる炭素・窒素量の空間分布

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、保存していた南湖 52 地点の底泥（表層 0-5cm、5-10cm および 10-15cm）の炭素・窒素量の測定を行ったところ、5cm 以深の深い層においても高い空間異質性があることを示した（図 5）。次年度は引き続き未測定サンプルの測定を行い、各地点における過去の水草量や根こそぎ除去の履歴との関係を検討することで、水草の繁茂と近年の根こそぎ除去が底質に与える影響を評価する。

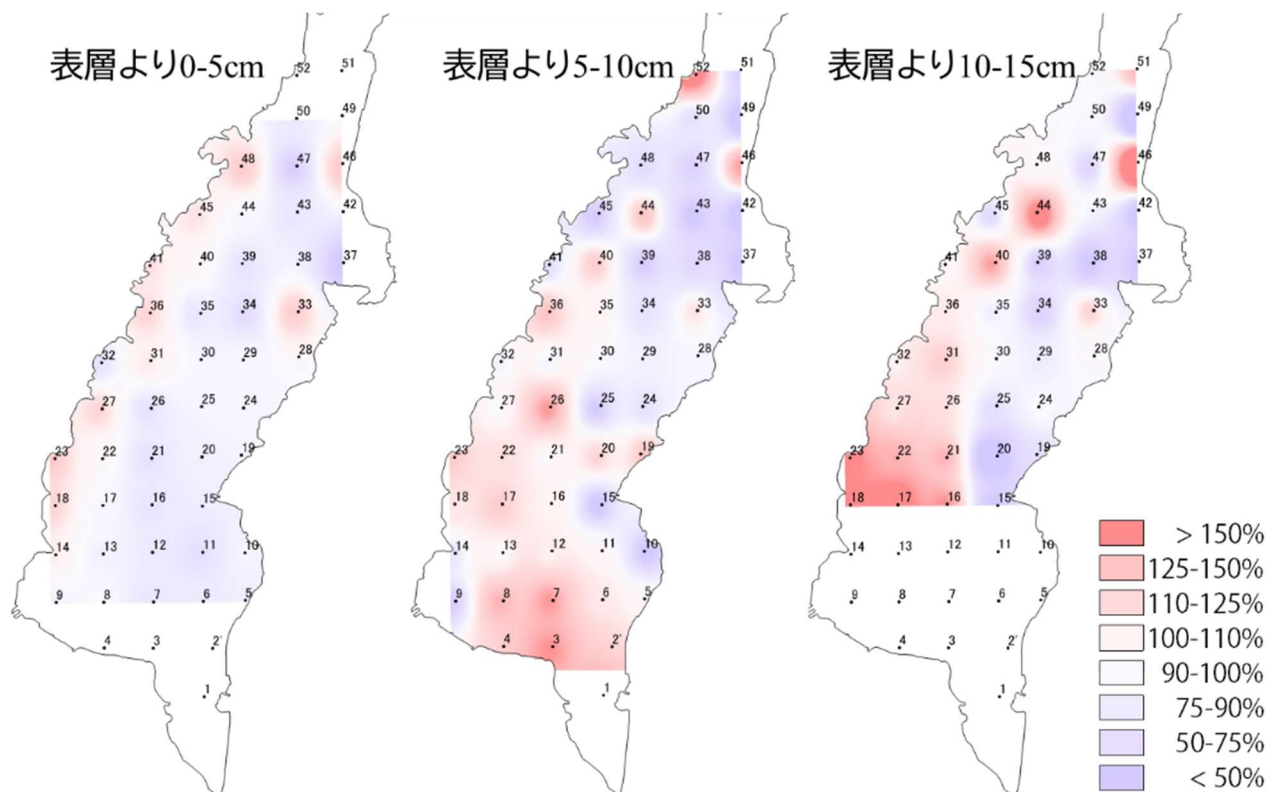


図 5 南湖 52 地点で採集された各深度（0-5cm、5-10cm、10-15cm）の底泥に含まれる炭素の空間分布。100%とは、各深度における測定できた地点の炭素量の平均値である。

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）での調査でその詳しい 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、2021 年も引き続き、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 12 分類群が検出できた。また、検出結果は、多地点のサンプルを混合し分析した場合と単独で分析した場合で結果が異なることが分かった。
- 琵琶湖南湖 52 地点における各深度の底質の炭素・窒素量の測定を行い、表層の 0-5cm 層だけでなく、5-10cm 層および 10-15cm 層にも高い空間異質性があることが分かった。