

新指標（底層 D0）等のモニタリング計画の策定と評価の具体的検討

奥居紳也・古角恵美・岡本高弘・小笠原翔・中村光穂・南真紀・石崎陽平・佐藤祐一

1. 目的

環境基準となった底層 D0（底層溶存酸素量※）について、琵琶湖での底層 D0 を調査し、その面的分布や変動を的確に把握する。また、琵琶湖北湖における底層 D0 の主な消費因子である底泥酸素消費量(SOD)の変動要因を解析する。これらを踏まえて、法定測定計画導入に資するよう、底層 D0 とその評価に必要なモニタリング手法を提示する。

2. 研究内容と結果

【サブテーマ① 琵琶湖における底層 D0 のモニタリング・評価方法の提示】

北湖最深部に位置する第一湖盆（水深約 90m）の底層 D0 の平面分布を把握するため調査を実施した。

令和 3 年度（2021 年度）における今津沖中央定点（17B）の底層 D0 の経月変動を過去との比較と合わせて図 1 に示す。17B の底層 D0 は、年度当初、前年度の全層循環完了を経て過年度平均値並みの 9.3mg/L から始まり、7 月に大きく低下後、過年度平均値を下回る程度で推移した。11 月 15 日には貧酸素状態の目安である 2 mg/L を下回っ

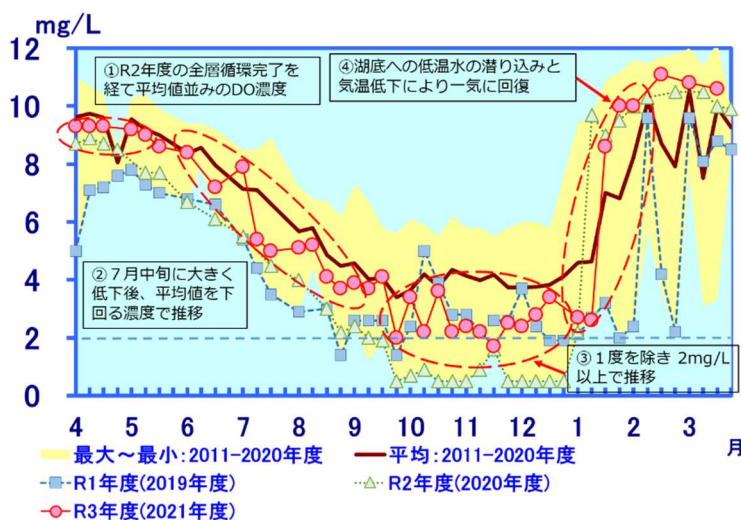


図 1 令和 3 年度における今津沖中央定点の底層 D0 の経月変動

たものの、9 月下旬から 1 月上旬まではおおむね 2 mg/L 以上で推移し、1 月下旬には大雪や水温低下によるとみられる湖底への低温水の潜り込みが認められ、底層 D0 は一気に回復し、全層循環を確認した。

令和元年度（2019 年度）から令和 3 年度（2021 年度）までの北湖第一湖盆における底層 D0 の平面分布の変動を図 2 に示す。令和 2 年度（2020 年度）は、9 月末から 12 月末まで多くの地点で無酸素状態（D0 が 0.5mg/L 未満の状態）を確認した。一方、令和 3 年度（2021 年度）は局所的に無酸素状態が観測されたものの 2 週間後には 0.5mg/L 以上になった。

令和 3 年度（2021 年度）における 17B の底層水質（湖底直上 1 m の全窒素、全りんおよび全マンガン）を図 3 に示す。特徴として、冬季における全窒素の過年度最小値程度までの減少と、秋季における全マンガンの比較的高い濃度での検出が挙げられる。全窒素の減少については、全層循環による全窒素の少ない表層水との混合に加え、表層と底層の全窒素が近年は減少傾向にあることから、結果として、過年度最小値程度まで減少したものと考えられる。全りんについては、年度を通じて過年度平均値程度で推移し、冬季には全層循環により表層水と底層水が混合し、表層から底層まで同程度の濃度になった。全マンガンのについては、底泥に含まれる金属酸化物の還元に伴い、溶出が促進されたことが考えられる。なお、令

※湖底から 1 m 上の溶存酸素量

令和2年度（2020年度）に溶出のあったひ素は、年度を通じて報告下限値未満であった。

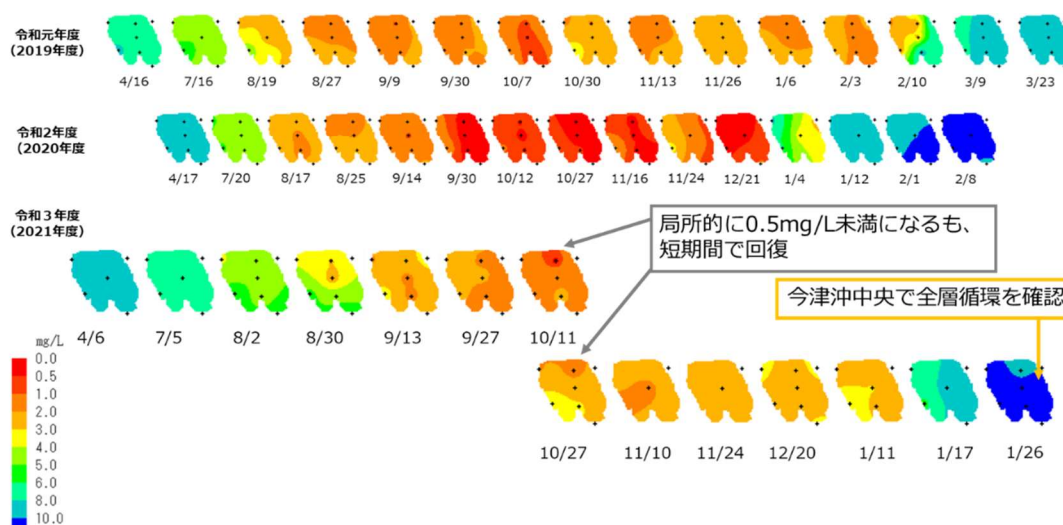


図2 令和元年度から令和3年度までの北湖第一湖盆における底層 D0 の平面分布

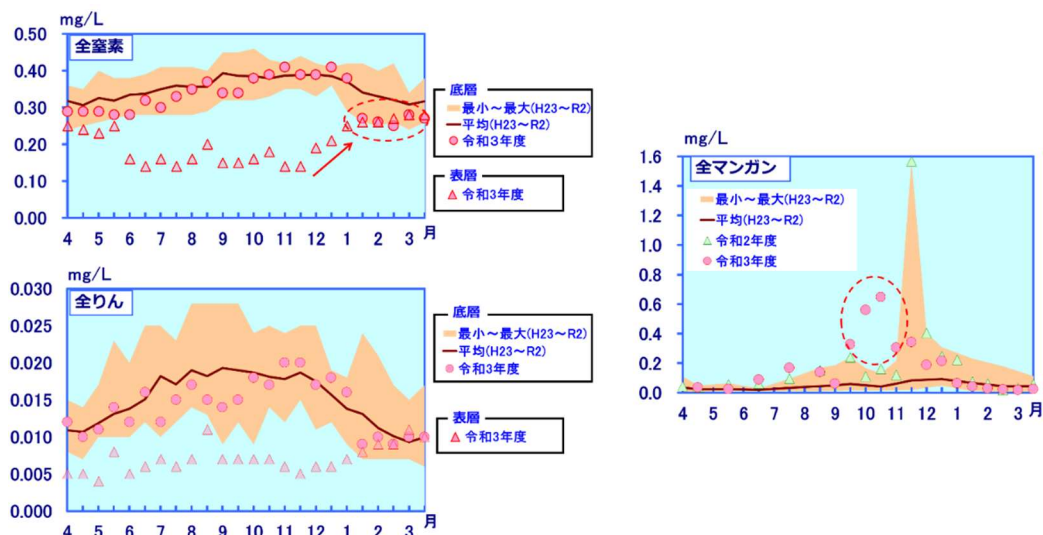


図3 令和3年度における今津沖中央の底層水質（全窒素、全りん、全マンガン）

【サブテーマ② SOD（底層 D0 の消費因子）の評価方法の構築】

琵琶湖北湖における底層 D0 の主な消費因子である SOD について、17B および南比良沖中央定点（12B）でコア法による調査を4回/年（5月、8月、10月、1月）実施した。

令和3年度（2021年度）の SOD 測定結果を図4に、SOD の経時変化を図5に示す。

令和3年度（2021年度）の SOD 年間平均値は、17B が $0.41 \text{ gO}_2/\text{m}^2/\text{day}$ 、12B が $0.44 \text{ gO}_2/\text{m}^2/\text{day}$ であった。17B の SOD 年間平均値は、平成27年度（2015年度）までは $0.3 \text{ gO}_2/\text{m}^2/\text{day}$ 前後で推移していたが、平成28年度（2016年度）以降は上昇傾向にある。令和3年1月の調査で過去最高値（ $0.482 \text{ gO}_2/\text{m}^2/\text{day}$ ）を記録したものの、令和3年度

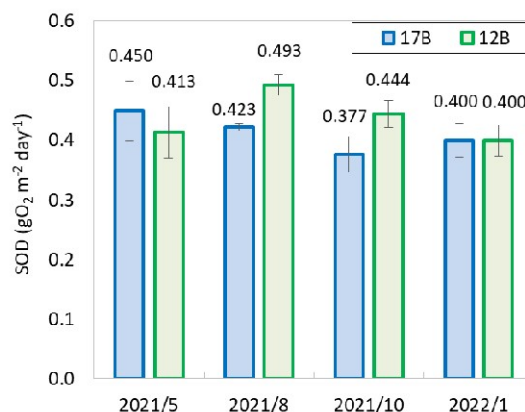


図4 令和3年度における SOD 測定結果
（エラーバーは n=3 の標準偏差を示す）

(2021 年度) は 10 月の調査まで減少を続け、全体としては過年度平均値 ($0.38 \text{ gO}_2/\text{m}^2/\text{day}$) をやや上回る程度であった。12B においては、夏～秋に年度内で最大となり、その後減少した。令和 3 年 8 月も SOD が大きく上昇したが、令和 2 年 9 月の過去最高値 ($0.527 \text{ gO}_2/\text{m}^2/\text{day}$) よりは低かった。

17B と 12B における SOD を比較すると、12B の方が有意に高い値であった。

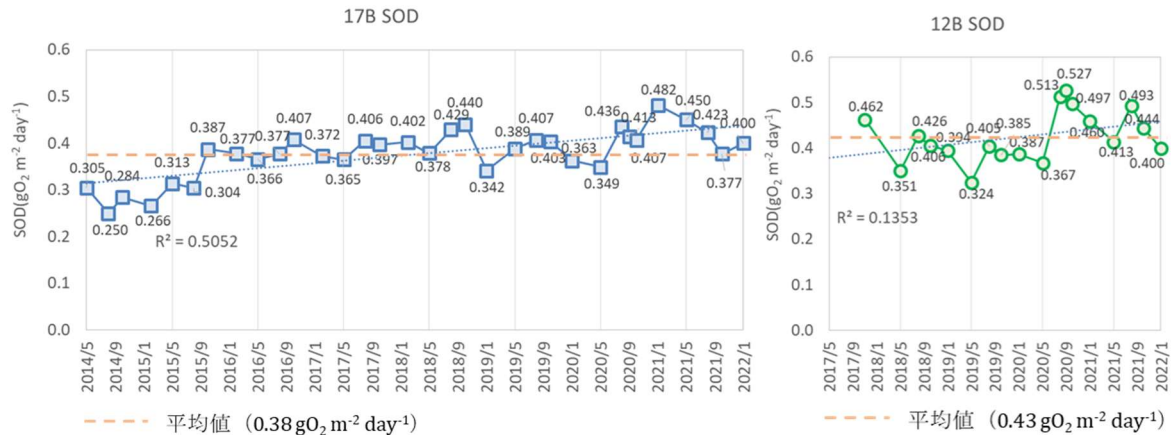


図 5 SOD の経時変化 (左 : 17B、右 : 12B)

SOD の大きさが底層 DO 減少速度に及ぼす影響を調べるため、酸素が消費される春季と夏季の底層 DO 減少速度と、これらの時期の SOD の関係について、平成 25 年度 (2013 年度) から令和 3 年度 (2021 年度) までの 17B と第一湖盆中央 (L 点) のデータをプロットした (図 6)。

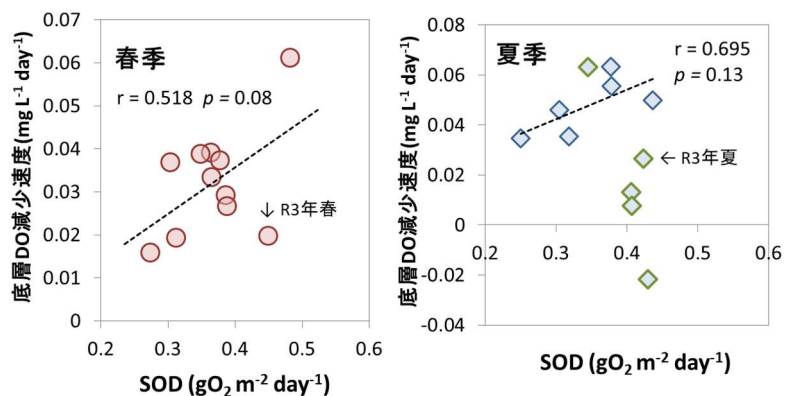


図 6 SOD と底層 DO 減少速度との関係 (平成 25 年度から令和 3 年度まで)

L 点では平成 29 年度 (2017 年度) まで調査を実施しており、その際のデータを使用した。

底層 DO 減少速度は泥採取日の前後 1 か月間の底層 DO 濃度から算出した (春 : 4 ~ 6 月、夏季 : 7 ~ 9 月)。なお、夏季については、対象期間中の DO 濃度の変動が激しかった年 (経過日数と DO 濃度の回帰直線の決定係数が 0.6 以下となる年。緑色) と、それ以外の年 (青色) を区別した。

春、夏ともに、SOD と底層 DO 減少速度の間に、統計的に有意な相関はなかったものの、両者の正の関係性から、SOD が高いほど前後 1 か月の DO 減少速度が速まる傾向が認められた。一般的に、底層 DO 濃度は強風等の気象の影響を受け、成層期であっても、1 か月以上横ばいであったり、一時的に大きく回復したりすることがある。春季・夏季の SOD との関係性の乱れは、こういった現象による底層 DO 減少速度の過小評価により生じていると考えられ、底層 DO が減少するメカニズムの理解を進めるためには、底層の湖水の混合状態等を勘案する必要があると考えられる。

SOD の測定とあわせて、底泥に含有される成分 (T-C・T-N 等) の分析を実施した。SOD の大きさと関係が深いとされる有機物含量の指標である、全炭素量 (T-C) および全窒素量 (T-N) の経年変動 (底泥表層 0 ~ 5 mm 深) を図 7 に示す。

長期的に見ると、17B・12Bともに、T-C・T-N量が増加しており、底泥の有機物量は比較的高い状態が続いている。令和2年度（2020年度）には、各地点でT-C量が過去最高値となった月もあった。一方、令和3年度（2021年度）は5月に比較的低い値となったあと、大きく増加することはなかった。

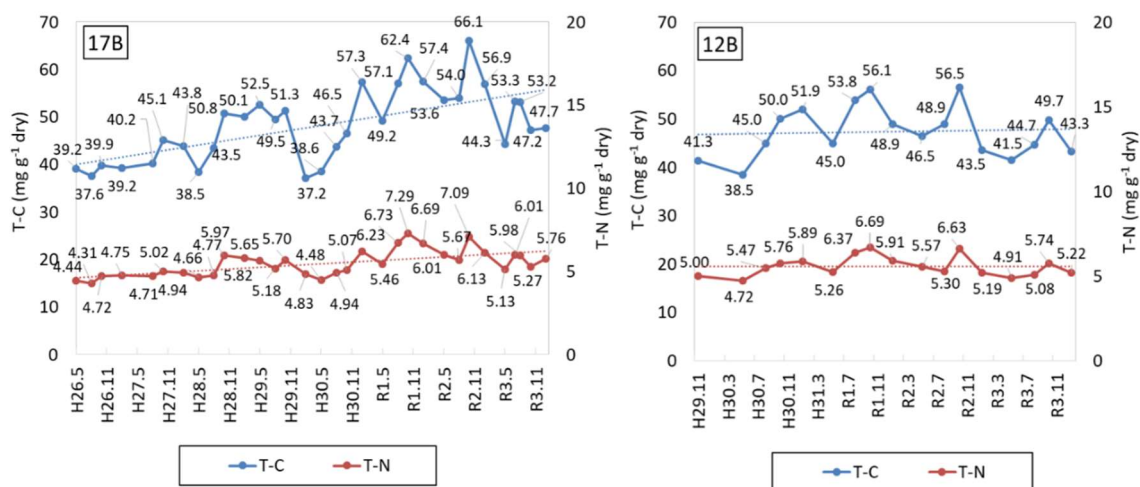


図7 底泥表層（0～5 mm 深）中の全炭素量および全窒素量の経年変動

17B、12BおよびL点におけるT-C・T-N量とSODの関係を図8に示す。T-C、T-N量とも、SODとの有意な正の相関を示した（ $p < 0.01$ ）。このことから、SODの変動要因として、有機物量の変化があげられ、近年のSODの増加も、底泥表面における有機物の蓄積が一因であると考えられた。

一方で、同等のT-C・T-N量でありながらSODが大きく異なる場合もあることから、底泥中の有機物の詳細な分析や、有機物の質的な変化がSODに及ぼす影響について検討する必要がある。

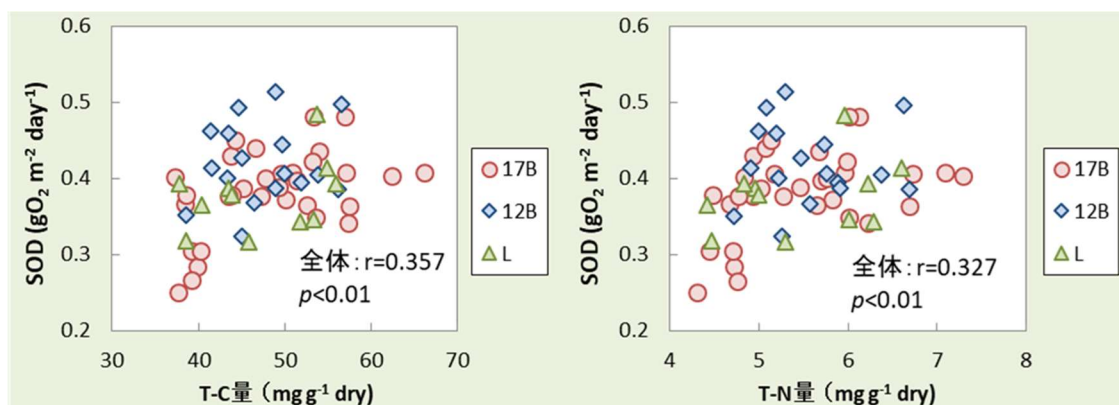


図8 全炭素量・全窒素量（底泥表層0～5 mm 深）とSODの関係

3. まとめ

令和3年度（2021年度）は第一湖盆のほとんどの地点で無酸素状態は観測されず、冬季には全層循環を確認した。しかしながら、気候変動に伴う底層D0の記録的な減少や、底層水質の特異的な変動が生じることが予想されることから、引き続き、琵琶湖の水質変動についての確かつ効果的に監視を続けていく必要がある。

底泥のSODおよび有機物量は近年増加傾向が続いており、底泥成分の分析結果から、SODは表層（0～5 mm 深）の有機物量に影響を受けていると考えられたため、底泥有機物の質的評価についても検討が必要である。