

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

環境監視部門 公共用水域係、生物圏係、化学環境係

執筆担当：藤原直樹・古角恵美・山田健太・小笠原翔・七里将一・中村光穂・南真紀・石崎陽平・

岡本高弘

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。（※底層は湖底から 1m 上の濃度）

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】

北湖の最深部に位置する水深約 90m の第一湖盆の底層 D0 の平面分布を把握した。

令和 2 年度における今津沖中央定点 C 点（17B）の底層 D0（湖底直上 1m）の経月変動を過去との比較とあわせて図 1 に示す。17B の底層 D0 は、年度当初、前年度の全層循環未完了の影響を受け、例年より 1 mg/L 程度低い 9 mg/L 程度から始まり、その後、底層 D0 は比較的速いペースで減少を続け、9 月上旬には「貧酸素状態」と言われる 2 mg/L を下回り、9 月末には「無酸素状態」とされる<0.5 mg/L となった。その後、強風等の影響により一時的な回復は見られたものの、12 月末まで 0.5 mg/L 前後で推移した。1 月上旬には湖底へ低温水の潜り込みと気温低下により、底層 D0 は一気に回復し、平成 29 年度以来、3 年ぶりに全層循環を確認した。

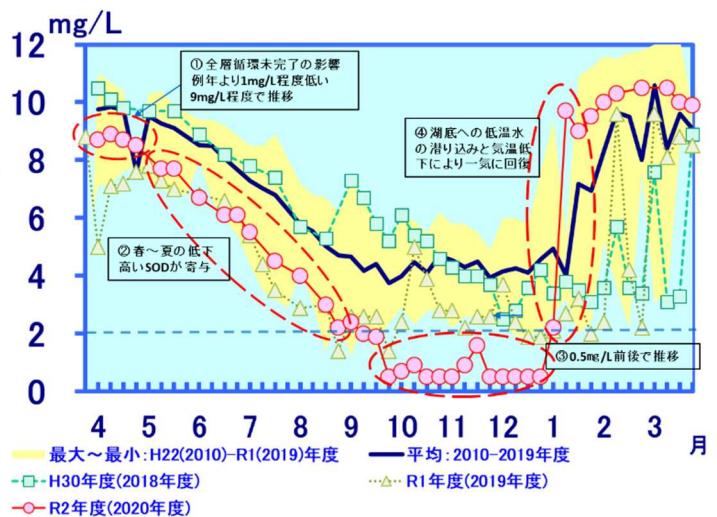


図 1 令和 2 年度における今津沖中央定点の底層 D0 の経月変動

平成 30 年度から令和 2 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。令和元年度は 2 月初旬まで水深 90m 水域の一部での貧酸素状態が観測された一方、令和 2 年度は、C 点と同様に 9 月末の無酸素状態の水域（赤色の部分）は、90m の全域に拡大し、この状態は 12 月末まで継続した。

さらに、貧酸素の水域（オレンジ色の部分）は、11 月には水深 80m の水域に広がり 12 月にはその全域から水深 70m の一部にまで達し、第二湖盆でも観測された。しかしながら、全層循環が未完了だった平成 30 年度、令和元年度とは対照的に、年末年始の強い冷え込みにより、1 月上旬には底層 D0 が回復し始め、2 月 1 日に全層循環を確認した。全層循環を確認した 2 月の底層 D0 は水深 90m 水域のほぼ全域で 10 mg/L 程度まで回復した。

北湖深水層の溶存酸素(DO)の特異的な低下の要因の検討

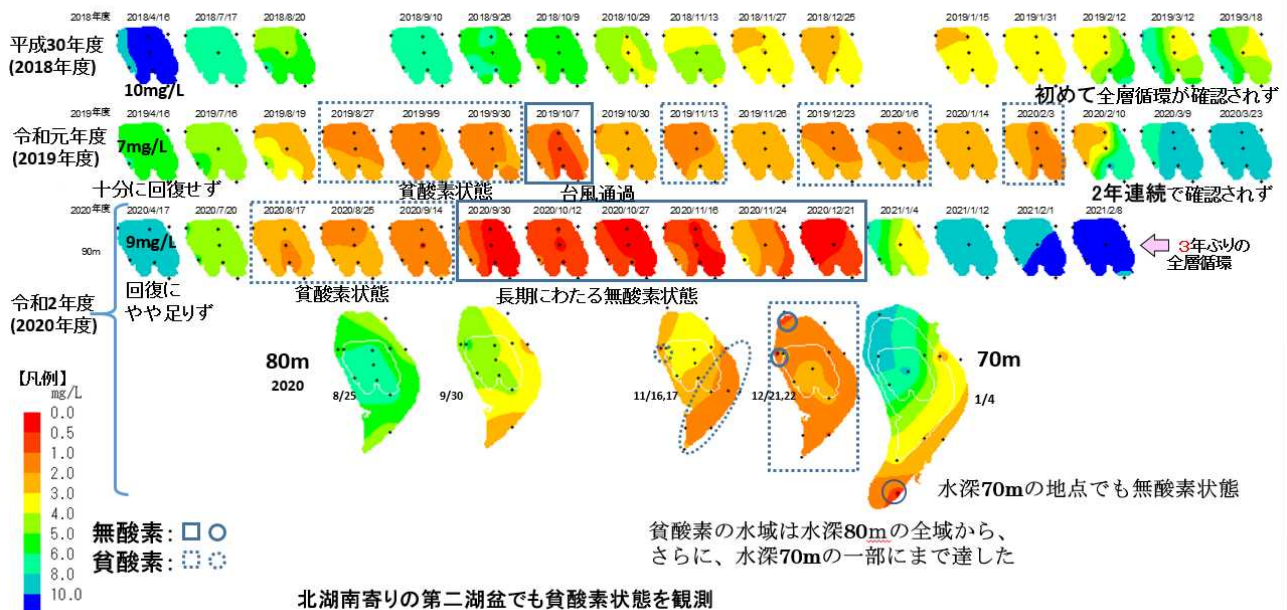
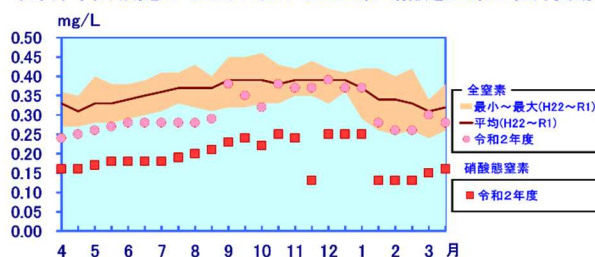


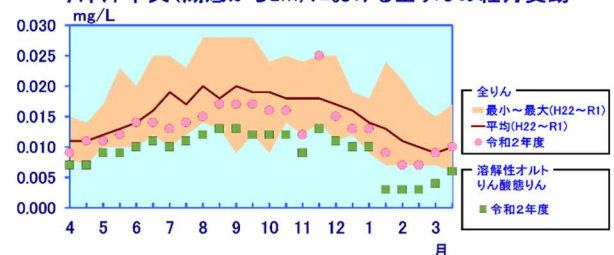
図2 平成30年度から令和2年度までの北湖第一湖盆における底層DOの平面分布

令和2年度における17Bの底層水質(湖底直上1m)を図3に示す。特徴としては、無酸素状態であった11月に硝酸態窒素濃度の減少と全マンガン濃度と全りん濃度の上昇がみられた。硝酸態窒素については、底層DOの低下により還元状態となり、アンモニア態窒素や亜硝酸態窒素に変化していたこと、全マンガンについては、底泥に含まれる金属酸化物の還元に伴い、溶出しやすい化学形態に変化したことが考えられる。一方、全りんについては、りん酸態りんの上昇は見られず、同時期に鉄濃度も上昇していたことや、水深85mでも同様の現象が見られたことから、リン酸鉄の粒子態となっていたことが示唆される。なお、これら物質の特異的な濃度の上昇については、一時的であり、その後12月には平年並みの値となっていることが確認された。

今津沖中央(湖底から1m)における全窒素・硝酸態窒素の経月変動



今津沖中央(湖底から1m)における全りんの経月変動



今津沖中央(湖底から1m)におけるマンガンの経月変動

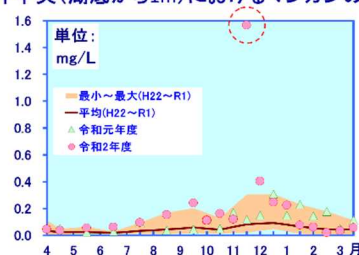


図3 令和2年度における今津沖中央の底層水質(窒素、りん、マンガン)

【サブテーマ② SOD（底層 DO の消費因子）の評価方法の構築】

琵琶湖北湖における底層 DO の主な消費因子である SOD について、今津沖中央定点（17B）および南比良沖中央定点（12B）で 5 回/年（5 月、8 月、9 月、10 月、1 月）調査を実施した。

令和 2 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 2 年度の SOD 年間平均値は、17B が $0.42 \text{ gO}_2/\text{m}^2/\text{day}$ 、12B が $0.47 \text{ gO}_2/\text{m}^2/\text{day}$ 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 年度以降は上昇傾向にあり、令和 3 年 1 月の調査では、過去最高値を記録した。12B においては、令和 2 年 8 月に SOD が大きく増加し、9 月に過去最高値を記録した後、比較的高い値で推移している。

17B と 12B における SOD を比較すると、12B の方が有意に高い値を示していた。

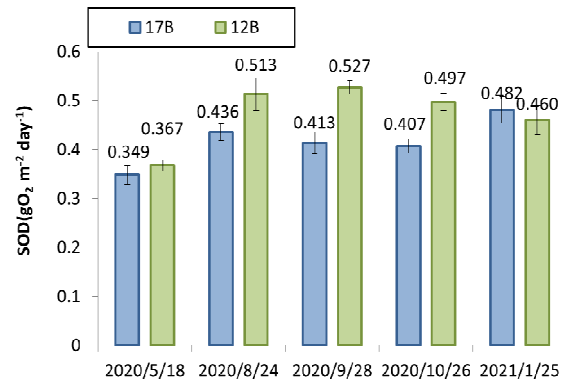


図 4 令和 2 年度における SOD 測定結果
(エラーバーは n=3 の標準偏差を示す)

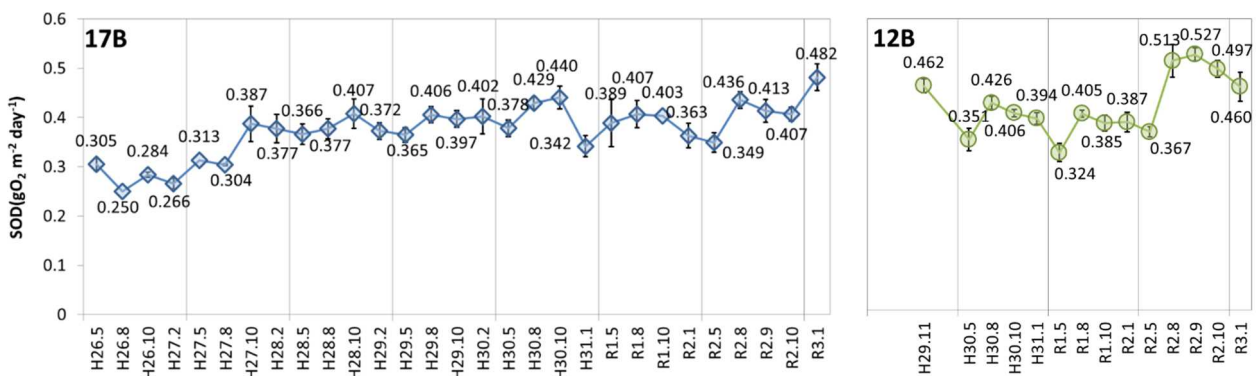


図 5 SOD の経時変化

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 年度から令和 2 年度までの 17B と L 点のデータをプロットした（図 6）。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。

春季については両者に有意な正の相関があった。

一方夏季については、すべての年・地点では有意な

相関はなかったものの、強風等の気象の影響により DO 濃度の上昇が一時的にあった点を除けば、有意な正の相関があった。これらのことから、SOD の高い年・地点では、底層 DO 濃度の減少が速く起こる可能性がある。一方で、気象が及ぼす底層 DO 濃度への影響は無視できない場合があることから、底層 DO が減少するメカニズムの完全な理解には、これらを総合的に勘案する必要があると考えられる。

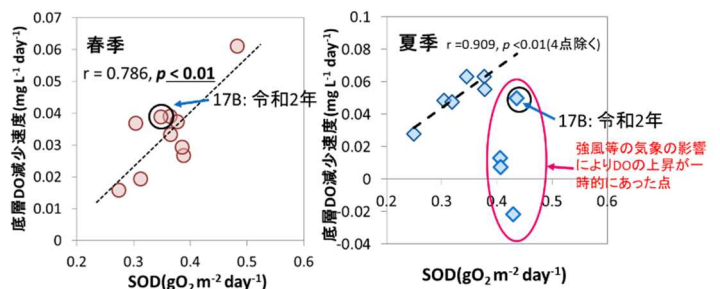


図 6 SOD と底層 DO 減少速度との関係
(平成 25 年度から令和 2 年度まで)

SOD 測定用の底泥の採取とあわせて、底泥に含有される成分（全炭素量（T-C）・全窒素量（T-N）等）の分析用に、底泥を深さ別に採取した（0～5 mm、5～10 mm、10～20 mm の三深度）。これらの分析結果のうち、湖水と直接接触する底泥表層（0～5 mm 深）試料に含まれる、T-C および T-N 量（SOD の大きさと関係が深いとされる有機物含量の指標）の経年変動を図 7 に示す。

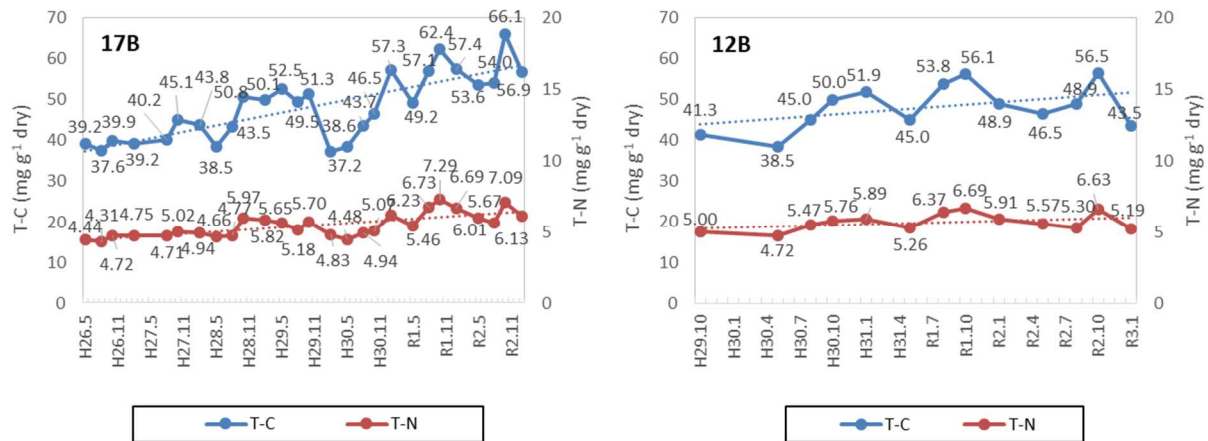


図 7 底泥表層（0～5 mm 深）中の全炭素量および全窒素量の経年変動

長期的に見ると、17B・12B とともに、T-C・T-N 量が増加しており、有機物の湖底への蓄積が続いていると考えられる。令和 2 年度には、各地点で過去最高値となった月もあった。

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 が近年増加している原因は、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り、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と考えられる。

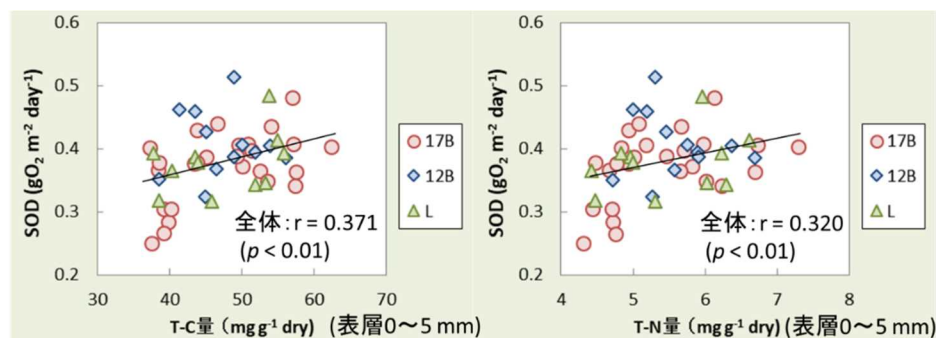


図 8 全炭素量・全窒素量と SOD の関係

3. まとめ

令和 2 年度は長期にわたり湖底が無酸素状態となったが、冬季には全層循環が確認された。しかしながら、今後も気候変動に伴い底層 DO の減少や、特異的な底層水質の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的確かつ効率的に監視を続けていく必要があると考えられる。

また、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 は底泥表層（0～5 mm 深）の有機物量に影響を受けていると考えられることから、底泥有機物の質的評価についても検討をする必要があると考えられる。