

新環境基準項目（底層D0等）のモニタリング手法および 評価手法の構築に関する研究（第2報）

水環境部

平山 大輔¹ 高津 文人² 佐々木 貞幸 齋藤 康司³

(¹ 現工業振興課 ² 国立環境研究所地域環境研究センター湖沼・河川研究室 ³ 都市整備課)

要旨

新環境基準項目である底層溶存酸素量（以下、溶存酸素量を「D0」とする。）のモニタリング手法や評価方法を構築すること及び夏季の底層D0低下の対応策を検討することを目的として、湖内複数地点D0等の連続測定及び還元性物質濃度の調査を行った。その結果、中央及び南側の地点で底層D0が0mg/L近くまで低下しており、湖南部では高濃度の硫化水素（以下、「H₂S」とする。）を含む地下水の湧出による底層D0の低下が示唆された。

キーワード：新環境基準、底層D0、貧酸素、モニタリング、地下水、還元性物質、硫化水素

1 はじめに

平成28(2016)年3月、水域の底層を利用する魚等の水生生物やその餌となる生物の保全等を目的として、水質汚濁に係る環境基準の生活環境項目に底層D0が追加された。底層D0とは底面からおよそ1m以内のD0を表すが、保全対象種の利用水域は面的な広がりを有すること、底層D0は季節的な変化が大きいことなどから、フィールドに即したモニタリング手法や評価方法について検討が必要とされている。

また、湯ノ湖では湖心で夏季に底層D0が低下することが確認されているが¹⁾²⁾、その原因は明らかにされておらず、類型指定の当てはめやその後の対策に資するため、底層D0の低下要因を特定することが必要である。

これら課題の解決を目的として、国立環境研究所と地方環境研究所の共同研究「新環境基準項目（底層D0等）のモニタリング手法及び評価手法の構築に関する研究」に参加し調査を行ったので、その結果を報告する。

平成28(2016)年度調査³⁾では、夏季の湯ノ湖において、水深7～8m以深でD0が2mg/L以下の貧酸素水塊が広がり、底層D0低下の要因として、貧酸素かつ還元性物質を含む地下水の影響が示唆された。

今年度調査では、前年度に引き続き、湖内複数地点でD0を始めとした水質の分布を確認した他、地下水が還元性物質を含む可能性について調査した。

2 調査内容

2.1 調査実施日

平成30(2018)年9月14日(金)

2.2 調査対象項目

調査対象項目は、(1)、(2)のとおりである。湯ノ湖では温泉水の流入が見られることから、H₂Sが含まれる可能性が高く、また、Beat Müllerらの調査⁴⁾よ

り、湖沼底質での酸化による酸素消費量が大きいのがメタン及びアンモニウムイオンとされていることから、これらの物質を還元性物質として想定し、調査を行った。

(1) 現地測定項目

D0、水温、水深、電気伝導度、溶存H₂S、緯度、経度、大気圧、pH、濁度、酸化還元電位(参考)

(2) 実験室測定項目

メタン、アンモニウムイオン

(国立環境研究所で測定)

2.3 調査方法

図1に示す湯ノ湖の19地点においてマルチ水質センサー(ProDSS、YSI)及び溶存H₂S計(H₂S-100、AMT)を湖面から湖底まで降ろしながら、2.2(1)で述べた項目を連続測定した。

また、No.12、No.15、No.17の3地点で表層水及び底層水をバンドーン採水器で採取し、実験室へ持ち帰り、2.2(2)で述べた項目を測定した。メタンはヘッドスペース-GC-FID法、アンモニウムイオンはイオンクロマトグラフ法により測定した。

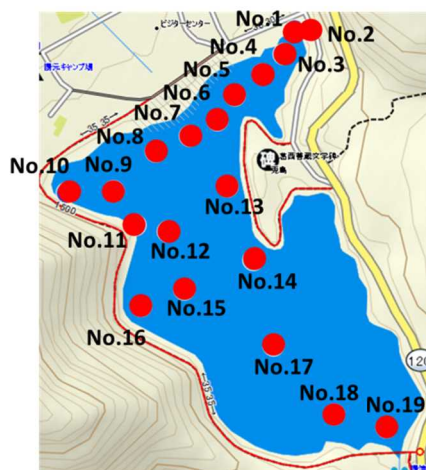


図1 調査地点図

3 結果及び考察

調査地点No. 1～19のうち、温泉水の流入が目視で確認され、その影響が大きいと考えられる地点No. 1～4を北東湾、唯一の流入河川である白根沢や下水処理場排水などの影響が考えられる地点No. 5～13を北部、No. 14～16を中央部、昨年度調査から特に還元性物質の影響が大きいと考えられる地点No. 17～19を南部として、区域別にデータを解析した。

3.1 水深とD0の関係

区域別のD0と水深との関係を図2-1～図2-4に示す。湯ノ湖では、夏季に底層が貧酸素となることが知られており、前年度調査では、全域の水深8m以深のエリアで、貧酸素耐性の高い水生生物が生息できるとされるD0: 2mg/L (類型:生物3) を大きく下回り、ほぼ0mg/Lまで低下していた。しかしながら、今年度の調査では一部の地点を除き、水深8m以深の底層でも貧酸素耐性の低い水生生物が生息できるとされるD0: 4mg/L (類型:生物1) を維持していた。

気象庁で公表している気象データによると、奥日光の平成29(2017)年調査実施週(8月14～18日)の平均気温は17.3℃で、平成30(2018)年度調査実施週(9月10～14日)の平均気温は14.2℃であった。このことから、今年度調査を実施した週は、前年度と比較して気温が低かったため、水温躍層の形成が弱く、循環等により底層に酸素が供給されたものと考えられた。

しかし、このような状況においてもNo. 15、No. 17、No. 18では、水深10m以深の底層においてD0が急激に減少し、ほぼ0mg/Lとなっていた。

3.2 水深と還元性物質等の関係

区域別の溶存H₂S濃度と水深の関係を図3-1～図3-4に、水温と水深の関係を図4-1～4-4に、電気伝導度と水深の関係を図5-1～図5-4に示す。

北東湾水深1m以下の表層で1mg/Lを超える高濃度の溶存H₂Sが確認され(図3-1)、電気伝導度は本調査における表層の平均的な電気伝導度が150～160μS/cmであるのに対し、200μS/cmを大きく超える傾向が見られた(図5-1)。北東湾の岸沿いでは、硫黄泉の流入があり、さらに湖水は硫黄泉由来の白濁がみられることから、表層でのH₂Sは温泉水由来のものと考えられた。

北部については、中間層である水深4～9m付近で溶存H₂S濃度の上昇が見られ、特に4～6m付近では1mg/Lを超える高濃度の溶存H₂Sが確認された(図3-2)。同水深では、No.5及びNo.6で水温の顕著な低下が見られており(図4-2)、No.10を除く各地点で電気伝導度の低下が確認されていることから、地下水のような低温で電気伝導度の低い水が層状に流れ込み、北東部のH₂Sを含んだ湖水を巻き込んでいる可能性が示唆された(図5-2)。

中央部については、底層のD0が0mg/Lまで貧酸素化していたNo. 15では、溶存H₂Sは確認されなかった(図3-3)。一方、底層のD0が4mg/Lを維持しているNo. 16では、水深11mで溶存H₂Sが0.7mg/Lまで上昇し(図3-3)、電気伝導度も200μS/cmを大きく超えて測定された(図5-3)。これらのことから、中央部における溶存D0の挙動には、H₂S以外の要因の影響が大きいことが示唆された。

南部では、No. 17及びNo. 18で水深10m以深における溶存H₂Sの上昇が見られ(図3-4)、特にNo. 18の最深部では1mg/Lを超える高濃度となった。また、電気伝導度についても、200μS/cm近くまで上昇していた(図5-4)。3.1で述べたとおり、水深10m以深ではD0の大幅な低下が見られており、南部の底層D0の低下要因が溶存H₂Sである可能性が高いと考えられた。また、南部における水深約9m以深の水温は、中央部と比べて急激に低下しており(図4-3及び図4-4)、水温躍層の影響以上に低温な地下水の流入が示唆された。これらを踏まえると、南部における底層D0の低下要因は、H₂Sを含む地下水の流入であると推定され、これは、前年度調査で特に南部の水深8m以深で強い貧酸素環境を作り出していた要因と考えられた。

メタン及びアンモニウムイオンの測定結果を表1に示す。両物質とも、底層ではNo. 12< No. 15< No. 17と上昇していた。各地点の最大水深は約11m～12mでほぼ同じ条件であるが、北部のNo. 12はD0が約8mg/Lと好気性環境であった(図2-2)。一方、中央部のNo. 15と南部のNo. 17はD0が0mg/Lまで低下しており(図2-3)、No. 17は加えて溶存H₂S濃度が約0.7mg/Lまで上昇し(図3-4)、より嫌気性環境であると考えられた。このことから、メタン及びアンモニウムイオンはともに、底泥等の嫌気性分解により上昇したものと考えられた。水深がほぼ同じであることから、底泥の組成が一定と仮定すると、No. 17の溶存H₂Sの挙動の違いは、地下水に含まれるなど、何らかの外的供給の影響が示唆された。一方、中央部のNo. 15では、溶存H₂Sの上昇が見られない中で、アンモニア濃度が上昇していることから、底泥等、溶存H₂S以外の要素による酸素消費の影響が大きい可能性が示唆され、更なる調査が必要と考えられた。

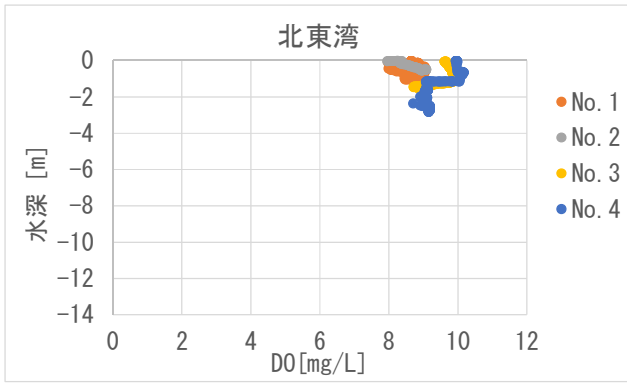


図 2-1 DO と水深の関係 (北東湾)

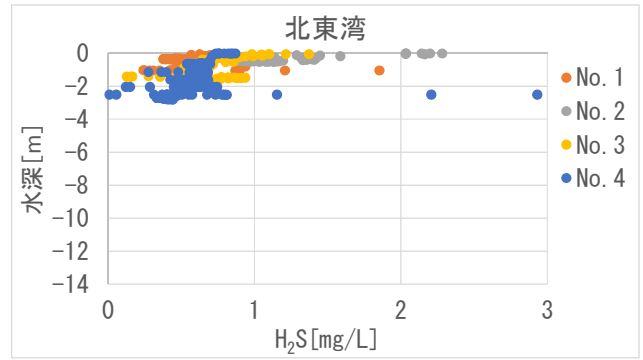


図 3-1 溶存 H₂S 濃度と水深の関係 (北東湾)

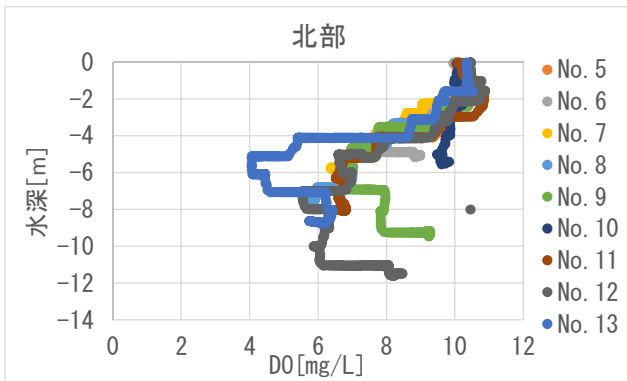


図2-2 DOと水深の関係 (北部)

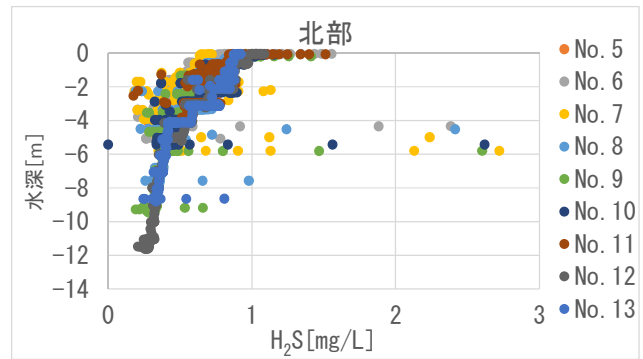


図 3-2 溶存 H₂S 濃度と水深の関係 (北部)

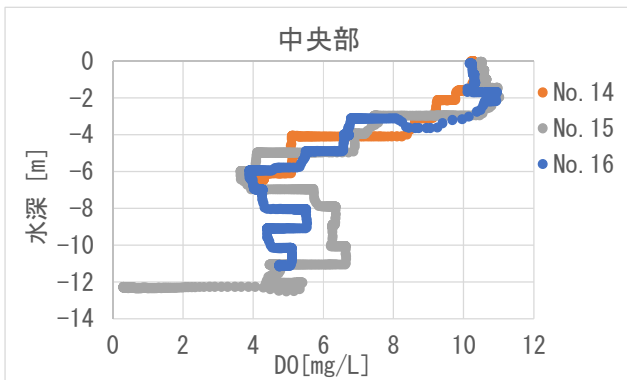


図2-3 DOと水深の関係 (中央部)

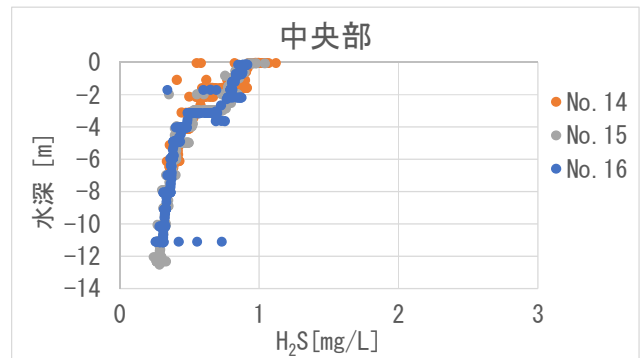


図 3-3 溶存 H₂S 濃度と水深の関係 (中央部)

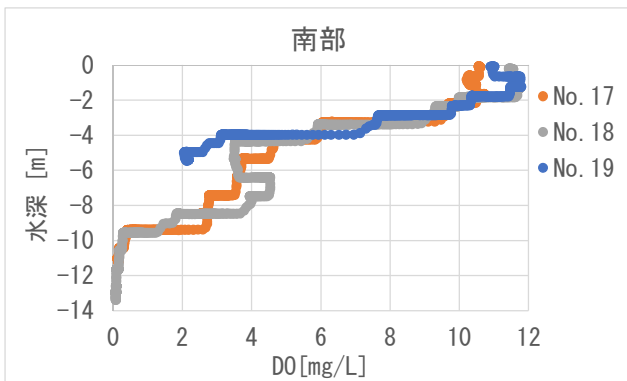


図 2-4 DO と水深の関係 (南部)

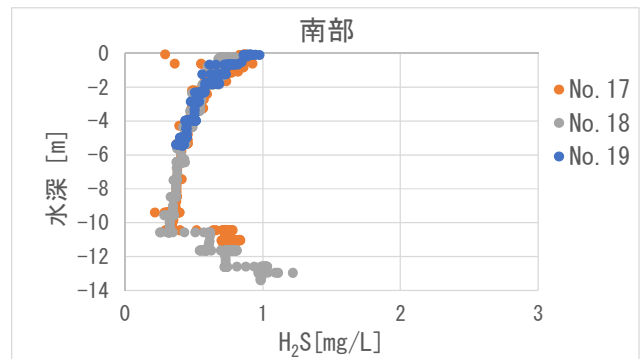


図3-4 溶存H₂S濃度と水深の関係 (南部)

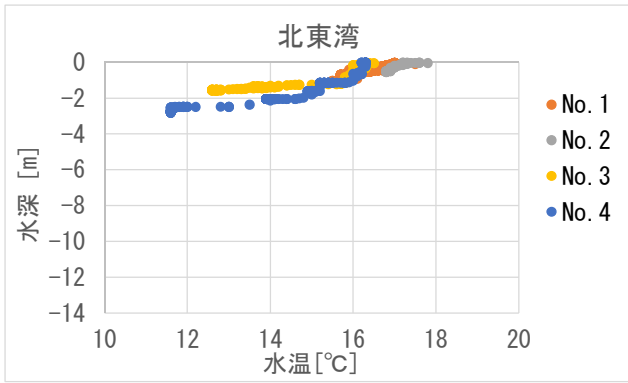


図4-1 水温及び水深の関係（北東湾）

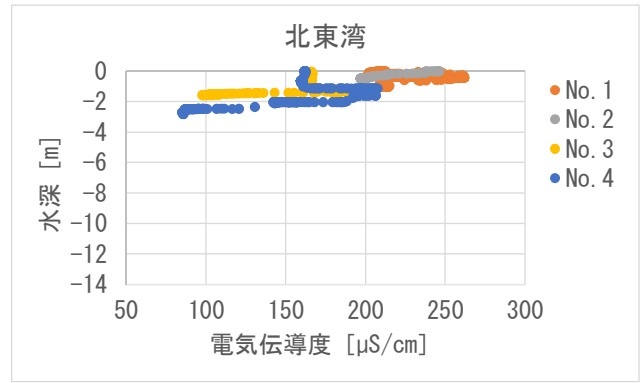


図5-1 電気伝導度及び水深の関係（北東湾）

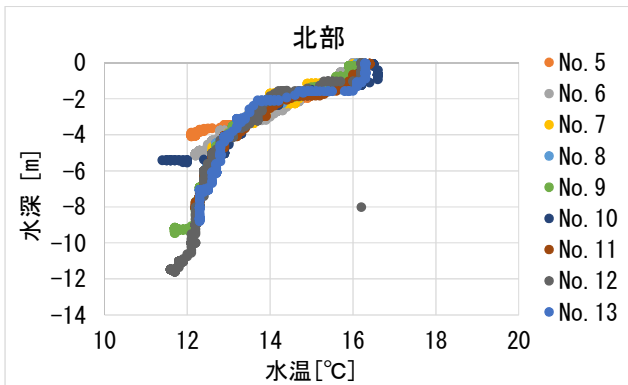


図 4-2 水温及び水深の関係（北部）

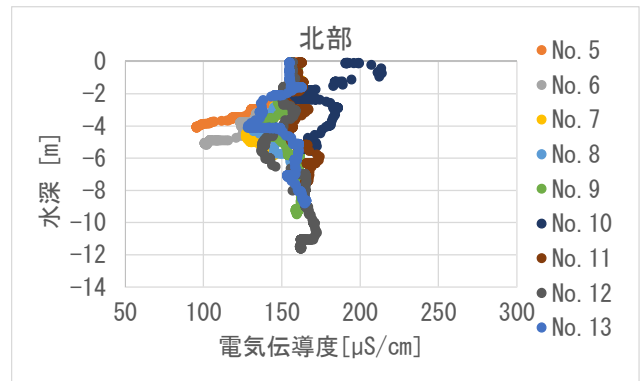


図5-2 電気伝導度及び水深の関係（北部）

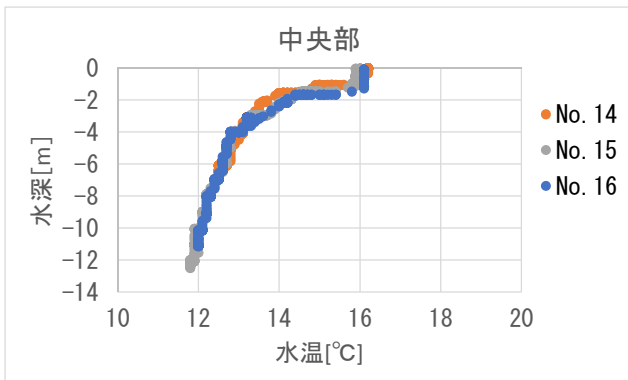


図 4-3 水温及び水深の関係（中央部）

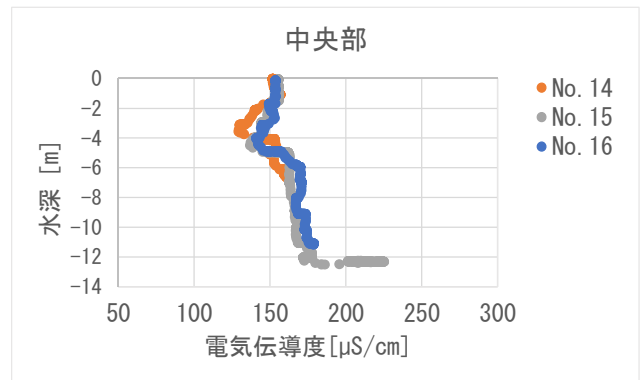


図5-3 電気伝導度及び水深の関係（中央部）

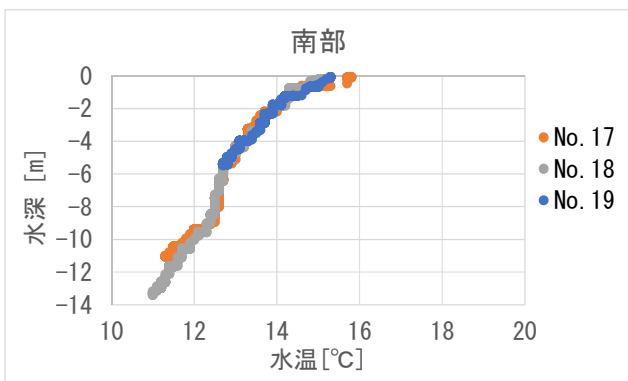


図 4-4 水温及び水深の関係（南部）

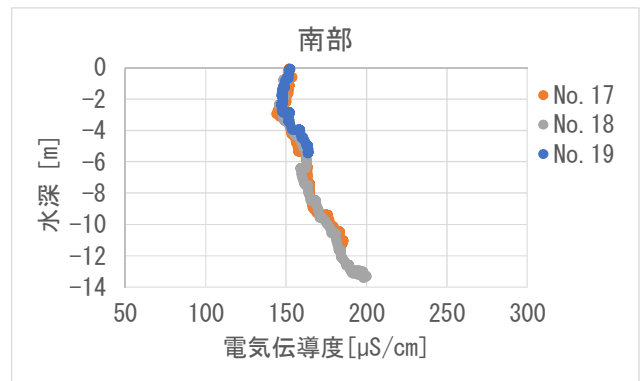


図5-4 電気伝導度及び水深の関係（南部）

表1 表層水及び底層水中のメタン及びアンモニウムイオン濃度

| | 表層 | 底層 | 表層 | 底層 | 表層 | 底層 |
|-------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|------|
| メタン[mg/L] | 0.0079 | 0.0059 | 0.0088 | 0.0082 | 0.0056 | 1.0 |
| NH ₄ ⁺ [mg/L] | 0.016 | 0.059 | 0.014 | 0.13 | 0.014 | 0.50 |

4 まとめ

今年度調査では、昨年度と比べて調査時期の気温が低かったため、水温躍層の形成が弱く、湖水の循環による酸素の供給により、一部の地点を除き、水深8m以深の底層でもDO:4mg/Lを維持していた。一方、このような状況においても中央から南部の一部地点では、水深10m以深で、ほぼDO:0mg/Lの貧酸素環境にあることが確認された。

また、H₂Sの測定結果から、南部底層で高濃度のH₂Sを含む地下水の湧出が示唆された。前年度の調査では、湯ノ湖の底層DOの低下要因は還元性物質を含む地下水と考えられ、特に南部でその影響が顕著という結果であった。今年度の調査結果は、この結果と合致するものであり、湯ノ湖底層での貧酸素環

境を形成する要因が地下水であるという仮説をより強固にする結果となった。他方、中央部では、溶存H₂Sの濃度が低い中で貧酸素化が起こるなど、溶存H₂S以外の要因の影響も示唆されたため、湖水の流動や長期的なDOの変化など踏まえた、更なるデータの集積や検証が必要と考えられる。

5 参考文献

- 1) 塩月智子他、湯ノ湖水環境保全調査（プランクトンの季節変化-水質との関係）、栃木県保健環境センター年報第19号、57-63、2014.
- 2) 塩月智子他、湯ノ湖水環境保全調査、栃木県保健環境センター年報第20号、41-49、2015.
- 3) 中島麻依子他、新環境基準項目（底層DO等）のモニタリング手法および評価手法の構築に関する研究（第1報）、栃木県保健環境センター年報第23号、46-48、2018.
- 4) Beat Müller et al., Hypolimnetic Oxygen Depletion in Eutrophic Lakes, Environmental Science & Technology, 46, 9964-9971, 2012.