

有機汚濁化水域の水底近傍における嫌氣的条件下での水質動態特性 Characteristic of Water Quality Dynamics under the Anaerobic State near the Bottom of an Organic Polluted Reservoir

○西岡尊寿*・原田昌佳**・平松和昭**

Takayoshi Nishioka*, Masayoshi Harada** and Kazuaki Hiramatsu**

1. はじめに

有機汚濁の進行した閉鎖性水域で生じる無酸素化は、栄養塩の溶出や硫化水素の発生、底質のヘドロ化などの更なる水環境の劣化を引き起こす。このような水域の水環境保全を考える上で、無酸素化を要因とする脱窒、鉄還元、硫酸還元などの嫌氣的有機物分解の発生メカニズムの究明は重要な課題である。特に、長期的な無酸素化により強い還元状態となる底質直上では著しい水質悪化が見られるため、水底近傍における水質動態の解明は急務である。本研究では腐植酸による有機汚濁化が顕著な貯水池を対象に水質の鉛直分布に関する定期観測を実施し、水底近傍を中心に無酸素期間中の栄養塩 ($\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$) ならびに硫黄化合物 (S^{2-} , SO_4^{2-}) の変動特性を溶存酸素 (DO) や酸化還元電位 (ORP) と関連付けて定量的に評価した。

2. 対象水域と観測概要

対象水域は森林域を伐採し造成された水面積約 13,800 m^2 、貯水量約 63,000 m^3 、水深約 8 m の調整池である。その周辺に散布された伐採木材チップを由来とする腐植酸の過剰な流入負荷によって貯留水は茶褐色を呈し、寡少な水中光環境下にある。そのため、夏季～秋季に水温成層の形成・発達に起因する無酸素化が生じるなど有機汚濁が顕在化している。この貯水池中心部において有機汚濁・富栄養化関連項目を主とする水質の鉛直分布（水面～水底を 1 m 間隔）を、2014 年 4 月～11 月に約 1 週間間隔で観測した。

3. 無酸素期間の DO, ORP, 栄養塩, 硫黄化合物の動態特性

Fig. 1 に示すように水深 8 m（底質直上）と水深 7 m において、4～5 ヶ月間の無酸素状態が観測された。また、EC の経時変化から明らかなように、無酸素期間での底質からの溶出に由来するイオン物質の増加も顕著であった。そこで、Figs. 2, 3 にまとめる両水深の ORP, 栄養塩, 硫黄化合物の観測結果から嫌氣的条件下での水質動態特性を考察した。

1) 栄養塩 水深 8 m の ORP と $\text{NO}_3\text{-N}$ は、既に水温成層の形成が確認された観測開始時より単調に減少した。この $\text{NO}_3\text{-N}$ の減少は ORP の低下に伴って脱窒が生じたことが要因として考えられる。一方、 $\text{NH}_4\text{-N}$ と $\text{PO}_4\text{-P}$ は ORP が約 -100 mV まで低下した時点より増加し始めた。さらに、この時点は Fig. 1 に示す EC の増加開始時と一致していたことから、電位の低下によって生じた鉄還元やそれに伴う有機物

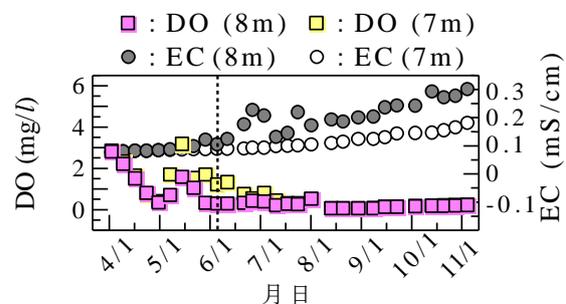


Fig. 1 Observation of DO and EC at water depth of 7 and 8m

*九州大学大学院生物資源環境科学府 / Graduate School of Bioresource and Bioenvironmental Sciences, Kyushu University **九州大学大学院農学研究院 / Faculty of Agriculture, Kyushu University

キーワード：閉鎖性水域、無酸素化、酸化還元電位、硫化物、栄養塩

分解によって、 $\text{PO}_4\text{-P}$ や $\text{NH}_4\text{-N}$ が底質から溶出したと考えられる。また、この増加過程を線形回帰で評価したところ、決定係数が 0.85 の良好な回帰直線が得られた。これより、 $\text{PO}_4\text{-P}$ と $\text{NH}_4\text{-N}$ の濃度増加率は無酸素期間の長さやそれらの水中濃度とは関係なく一定であると考えられる。

水深 7 m の ORP は、 $\text{DO} > 0 \text{ mg/l}$ の好氣的条件下では一定値で推移し、 $\text{DO} = 0 \text{ mg/l}$ と同時に低下し始めた。また、その低下開始と併せて $\text{NH}_4\text{-N}$ と $\text{PO}_4\text{-P}$ の増加を確認でき、ある一定値に漸近するような変化を示した。そこで、両者の経時変化をロジスティック曲線で近似したところ、いずれも Nash-Sutcliffe 係数がおよそ 0.8 の良好な近似式を得た。以上から、水深 7 m と底質直上の水深 8 m における $\text{NH}_4\text{-N}$ と $\text{PO}_4\text{-P}$ の変化特性は異なることが示され、この違いが底質の直接的な影響と捉えられる。

2) 硫黄化合物 水深 7 m, 8 m のいずれにおいても、 S^{2-} は ORP が約 -100 mV かつ $\text{NO}_3\text{-N}$ がほぼゼロの条件下で増加し始め、上昇・低下の上に凸の経時変化を示した。また、 S^{2-} の増加に併せて SO_4^{2-} の顕著な減少が見られたことから、硫酸還元が発生が確認された。さらに、水溶性の S^{2-} は、 FeS や MnS などの不溶性化合物の形成によって減少したものと推察される。ここで、 S^{2-} の最大値以降に、 SO_4^{2-} は一定の値で推移し、かつ ORP の更なる低下が確認されたことから、還元半反応として硫酸還元が終了し、より電位の低いメタン発酵などに移行したことが示唆される。

4. おわりに

本研究より、嫌氣的条件下での栄養塩や硫黄化合物の濃度変化のタイミングは、 DO や ORP と関連付けて説明できることが示された。また、無酸素期間中の $\text{NH}_4\text{-N}$ や $\text{PO}_4\text{-P}$ の濃度変化は、底質直上の地点とそれから離れた地点では異なる特性を示した。さらに、 S^{2-} の増加開始は ORP と $\text{NO}_3\text{-N}$ によって規定され、その変化は増加・減少の二つの過程で示された。今後の課題としては、 S^{2-} や SO_4^{2-} の経時変化のモデル化などが挙げられる。

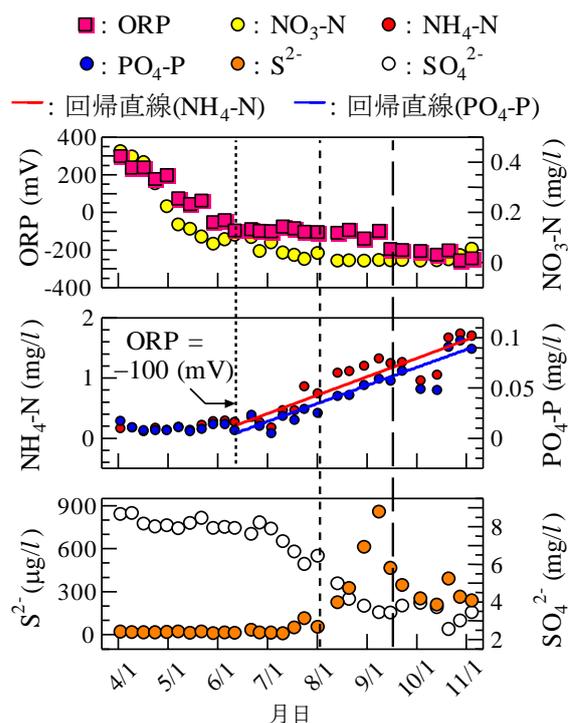


Fig. 2 Observation of ORP, Nutrient and Sulphur compounds at water depth of 8m

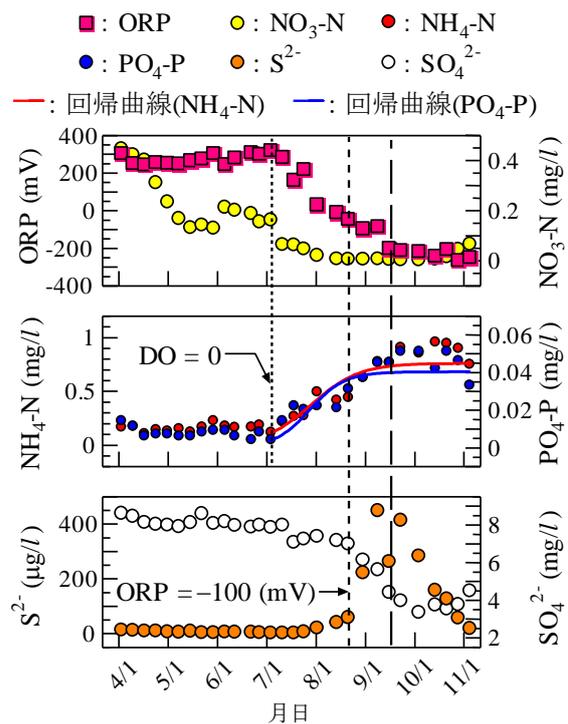


Fig. 3 Observation of ORP, Nutrient and Sulphur compounds at water depth of 7m