

有機汚濁水域の長期的な嫌氣的条件下にある底質直上の水質動態 Water Quality Dynamics above Bottom Sediment under Long-term Anaerobic Condition in Organically Polluted Reservoir

○原田昌佳*・Tran Tuan Thach**・平松和昭*・田畑俊範*

Masayoshi Harada*, Tran Tuan Thach**, Kazuaki Hiramatsu* and Toshinori Tabata*

1. はじめに 有機汚濁水域の無酸素化に起因する水環境劣化の発生メカニズムの解明に向けて、2 年分の定期観測結果に基づき、底質近傍の $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 、硫化物を主とする水質の動態特性を定量的に解析した。本研究では、春季の無酸素化に至った時点での底質表層の酸化還元状態が脱窒、鉄還元、硫酸還元の嫌氣的有機物分解に及ぼす影響の観点から水質動態を考察した。

2. 調査概要 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 の貯水池である。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り貯留水は茶褐色を呈し、その結果として、強固な水温成層に起因する水底近傍の無酸素化など有機汚濁が顕在化している。本研究では、2016 年と 2018 年の 4~12 月に実施した水質鉛直分布の定期観測より得た水底直上のデータを用いた。主な水質項目は水温、DO、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 、硫化物、全鉄イオン (TFe)、E254 である。

ところで、春季の底質表層は (Photo. 1)、2016 年では灰色を呈した還元的状態、2018 年では茶褐色の酸化的状態であった。前者は、暖冬等の影響によって無酸素化が長期化し、底質の好氣的状態の期間が短くなったことに起因する。後者は、秋季に無酸素化が解消され、底質直上の好氣的状態が春季まで長く維持されたことに因る。このような違いを反映した水質データを用いて、嫌氣的条件下の水質動態を検討した。

3. 観測結果と考察 2016 年、2018 年の水質観測結果を Fig. 1 にまとめる。同図中の a の値は、濃度変化に直線近似を当てはめて求めた時間変



(1) 2016

(2) 2018

Photo. 1 Bottom sediment surface in April

化率である。2016 年では 4 月中旬に、2018 年では 5 月中旬に $\text{DO}=0$ となり、両年ともに無酸素状態は 12 月上旬まで継続した。両年の比較を通じて、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 、硫化物、 $\text{NH}_4\text{-N}$ の動態特性を検討した。まず、脱窒による $\text{NO}_3\text{-N}$ の減少開始は、2016 年では $\text{DO}=0$ の時点と一致したが、2018 年では $\text{DO}=0$ から 1 か月後の底質表面の酸化層が消失した時点で確認された。いずれも、 $\text{NO}_3\text{-N}$ の減少のタイミングは、ORP が減少し約 -150mV の最低下値に至った時点である。以上から、底質表層が酸化状態の場合、脱窒菌の活性が抑制されるため、 $\text{NO}_3\text{-N}$ の減少開始に遅れが生じ、脱窒速度も低下したといえる。ただし、春季の $\text{NO}_3\text{-N}$ を比較すると、2018 年は 2016 年の 1/2 程度と小さいため、両年とも 7 月上旬に $\text{NO}_3\text{-N}=0$ となり、その時期に違いはなかった。

$\text{PO}_4\text{-P}$ と全鉄イオンは、2016 年、2018 年ともに、 $\text{NO}_3\text{-N}=0$ に至った時点から増加し始めた。両年ともに、 $\text{PO}_4\text{-P}$ と全鉄は 0.9 以上の高い相関を示したこと、無酸素条件下での TFe の増大は底質からの Fe^{2+} の溶出として捉えられることから、 $\text{PO}_4\text{-P}$ は脱窒終了とともに生じる鉄還元起因して増大すると考えられる。

2016 年と 2018 年の硫化物の増加開始時点と

*九州大学大学院農学研究院 / Faculty of Agriculture, Kyushu University **Faculty of Water Resources Engineering, Thuy Loi University

キーワード：水質観測，閉鎖性水域，無酸素化，溶出，酸化還元反応

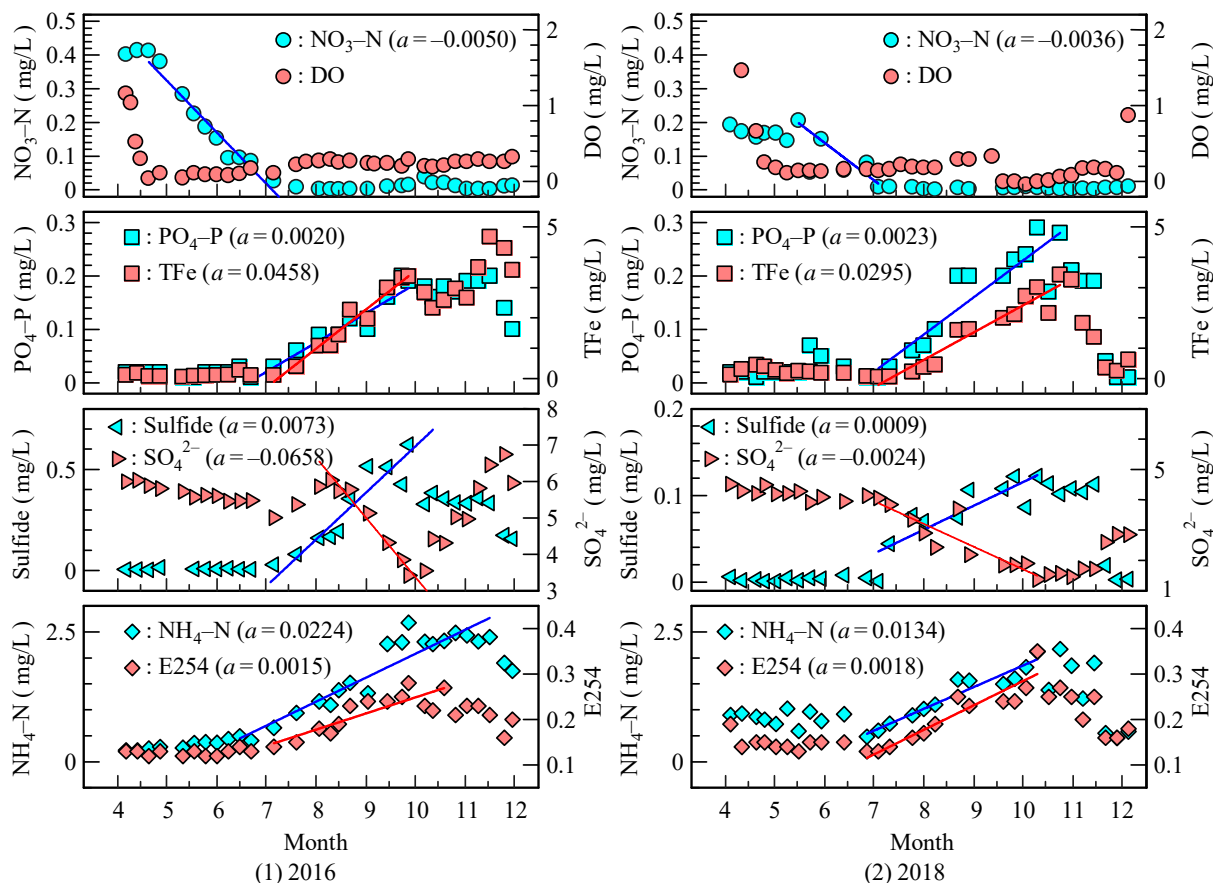


Fig. 1 Seasonal changes of water quality items observed above the bottom in 2016 and 2018

NO₃-N=0 の時点は一致したことから、脱窒終了を起点に鉄還元と硫酸還元が同時に発生したといえる。両年ともに、硫化物は 10 月上旬にピーク値をもつ経時変化を示した。2016 年では、ピーク値以降、無酸素条件下で低下傾向を示したが、これは FeS などの不溶性化合物の形成に因るものと推測できる。両年ともに、硫化物のピーク値以後に、嫌氣的条件にも関わらず SO₄²⁻ の変化は減少から増加に転じた。この増加は硫黄の酸化反応を伴うメタン発酵の発生によるものと推察され、硫酸還元反応から次のステップの嫌氣的有機物分解に移行したと考えられる。

2016 年、2018 年ともに、NH₄-N の増加開始は脱窒の終了と一致した。また、PO₄-P と TFe に対する NH₄-N の相関係数はいずれも 0.9 以上と非常に大きな値を示した。以上より、嫌氣的条件下での NH₄-N の動態は鉄還元によって増大する PO₄-P の動態を通じて説明できる。NH₄-N と DOC の間に良好な相関が確認されたとともに、E254 に対しても高い相関係数 (2018 年 :

0.913, 2016 年 : 0.923) を取った。つまり、長期的な無酸素化は、鉄還元による難分解性の溶存態有機物の内部負荷量を増大させるといえる。

両年で PO₄-P の増加率に違いは見られなかったが、2018 年の TFe の増加率は 2016 年のそれと比較して小さい。すなわち、2016 年と比べて 2018 年では鉄還元の反応速度が小さいといえる。加えて、2018 年の硫化物の増加速度と硫酸イオンの減少速度は 2016 年のそれらと比較して小さい。さらに、NH₄-N や E254 の増加率についても同様な結果を示した。以上から、脱窒菌も含めた嫌氣性微生物の活性が抑制されるという点で、春季の底質の酸化状態が無酸素期間中の水質動態に及ぼす影響は極めて大きい。

4. おわりに 有機汚濁水域の水質観測を通じて、嫌氣的有機物分解に起因する水質動態は、DO 低下時の底質の酸化還元状態の影響を強く受けることを示した。本研究の成果は、暖冬などの気象的要因が有機汚濁水域の水環境に与える影響に関する重要な知見を与えるものと考えられる。