

# 有機汚濁が進む貯水池の嫌氣的条件下における水質環境の定量的評価 Quantitative Estimation of Water Quality Environment under the Anaerobic State in an Organic Polluted Reservoir

○原田 昌佳\*・櫻木 剛\*\*・平松 和昭\*・福田 信二\*

Masayoshi Harada\*, Takeshi Sakuragi\*\*, Kazuaki Hiramatsu\* and Shinji Fukuda\*

## 1. はじめに

閉鎖性水域の有機汚濁によって生じる貧酸素化・無酸素化は、水生生物の酸欠死や硫化物の発生、栄養塩の溶出、底質のヘドロ化などの更なる水圏環境の劣化を引き起こす。このような水域の水環境修復を考える上で、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が重要な課題の一つである。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観測を実施し、無酸素期間の嫌氣的条件下にある酸化還元電位 (ORP) ならびに硫化物、アンモニア態窒素 ( $\text{NH}_4\text{-N}$ )、リン酸態リン ( $\text{PO}_4\text{-P}$ ) の経時変化を定量的に評価した。

## 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  $13,800 \text{ m}^2$ 、貯水量約  $63,000 \text{ m}^3$ 、常時満水時で水深約  $8 \text{ m}$  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。貯水池中心部の水深約  $8 \text{ m}$  において、2012年6月～11月に、定点連続観測および多点定期観測を実施した。前者では水深  $5 \text{ m}$  に設置した多項目水質計により水温、DO、ORP、pHなどを10分間隔でデータ収集した。後者では有機汚濁・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  $1 \text{ m}$  間隔）の観測を約1週間間隔で行った。

## 3. 無酸素期間の ORP の動態特性

定点連続観測結果を Fig. 1 に示す。同図より、無酸素状態に至るまでの ORP は DO の低下に関係なく一定値  $E_{\text{max}}$  で推移したことが分かる。また、無酸素化が生じた7月25日以後、ORP は速やかにかつ滑らかな曲線を描くように  $E_{\text{min}}$  まで低下し、鉛直混合の発達により無酸素化が解消された9月20日までの期間、ORP は  $E_{\text{min}}$  の一定値で推移した。さらに、無酸素期間中の水温や pH はほぼ一定であったことから、これらが ORP の時間的変動に与える影響は極めて小さいと考えられる。そこで、嫌氣的環境下での ORP の動態は無酸素状態が継続した日数（以後、無酸素継続日数） $t$  に依存すると仮定し、ORP の経時変化  $E(t)$  を次式のロジスティック曲線で表した。

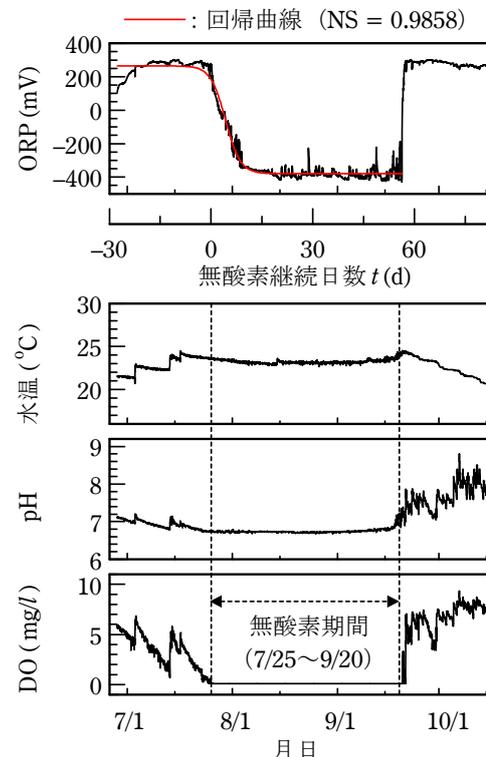


Fig. 1 Continuous observations of ORP, water temperature, pH and DO at water depth of 5 m

\*九州大学大学院農学研究院/Faculty of Agriculture, Kyushu University \*\*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

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

$$E(t) = \frac{E_{\min} - E_{\max}}{1 + \exp(\alpha - \mu \cdot t)} + E_{\max} \quad (1)$$

非線形最小二乗法より  $E_{\min}$ ,  $E_{\max}$  も含めたパラメータ  $\alpha$ ,  $\mu$  を求めた. ロジスティック曲線を Fig. 1 中の赤線で示すように, Nash-Sutcliffe 係数 (NS) が 0.9 を超えるなど良好な回帰曲線を得た. 次に, 水質鉛直分布の定期観測結果から 5, 6, 7 m の各水深に対する ORP の回帰曲線を求めた (Fig. 2). これより, 水深に関係なく無酸素期間の ORP の動態をロジスティック曲線で評価できた.

#### 4. 無酸素期間の硫化物・栄養塩の動態特性

水深 6, 7, 8 m の ORP に対する硫化物,  $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{PO}_4\text{-P}$  の関係を検討したところ,  $\text{ORP} \leq -200$  mV でこれら 3 項目のプロット点が広範囲に渡って分布し, ORP の低下に応じた変化を示さなかった. 本研究では, 水深ごとに, ORP が  $-200$  mV まで低下した時点を基準時間として,  $\text{ORP} \leq -200$  mV かつ  $\text{DO} = 0$  mg/l が維持された状態の経過日数  $t'$  に対する 3 項目の経時変化に着目した. Fig. 3 は, 水深 8 m での定期観測結果を  $t'$  に関して再整理したもので, 図中の直線は点群に対する線形回帰直線である. 同図に示すように良好な相関が得られ, 水深 6, 7 m においても良好な回帰直線が得られた. 図は省略するが, 硝酸態窒素  $\text{NO}_3\text{-N}$  が ORP の低下とともに減少し,  $\text{ORP} = -200$  mV とほぼ同時期に, その濃度がゼロとなることが確認された. このことから,  $t'=0$  のもつ化学的意味として, 脱窒の還元反応が完了し, 次の還元反応である鉄還元や硫酸還元に移行した時点と考えられる (寒川・日色, 1996).

#### 5. おわりに

無酸素継続日数や  $\text{ORP} \leq -200$  mV の還元状態に着目することで, 嫌氣的条件での ORP, 硫化物,  $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{PO}_4\text{-P}$  の経時変化の推定が可能な回帰式を得た. 今後の課題として, 式(1)中のパラメータを化学的・水質学的視点から検討することが挙げられる. 本研究の一部は, 日本学術振興会科学研究費補助金・若手研究(B) (課題番号 23780249) ならびに平成 24 ~ 26 年度日本学術振興会研究拠点形成事業 (B.アジア・アフリカ学術基盤形成型) を受けた. ここに記して感謝の意を表す.

参考文献 寒川喜三郎・日色和夫 (1996): 最新の底質分析と化学動態, 技報堂出版, pp.77-116.

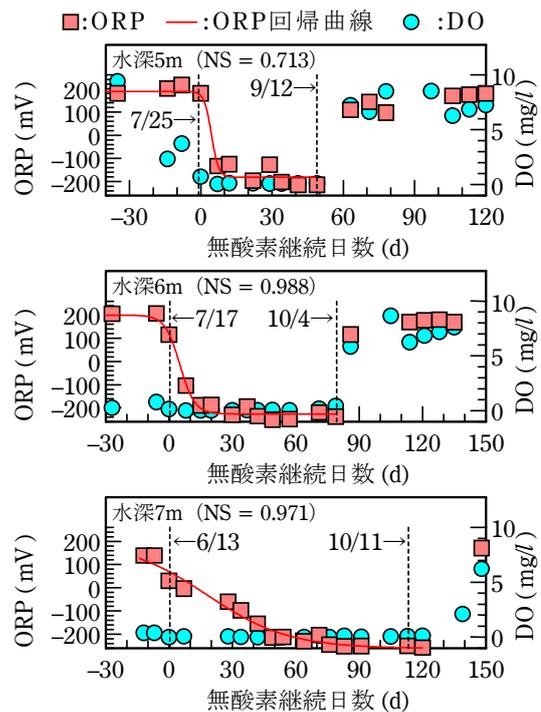


Fig. 2 Function approximations of ORP by logistic curve

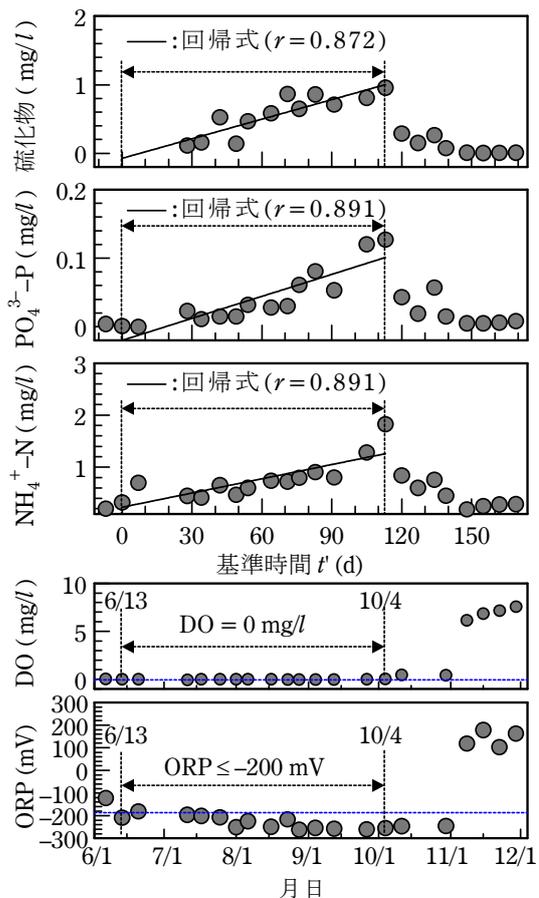


Fig. 3 Linear regression models of  $\text{S}^{2-}$ ,  $\text{NH}_4\text{-N}$  and  $\text{PO}_4\text{-P}$  under the anaerobic state of  $\text{ORP} < -200$  mV at water depth of 8 m