

神戸大学大学院 学生員 ○西口 祐輝
 神戸大学工学部 正会員 道奥 康治
 神戸大学大学院 学生員 佐々木茂太
 神戸大学大学院 学生員 香川 健一

1. はじめに

貯水池などの閉鎖水域においては富栄養の進行によって深水層が貧酸素化し、様々な水質障害が報告されている。本研究で対象とする貯水池においては受熱期の内部生産と有機物の分解によって水中の溶存酸素が消費され貧酸素層が拡大する。これにともない底泥からは多くの溶解性物質が嫌氣的に溶出し、鉄やマンガンなどの重金属が高濃度に検出されている。本研究では、周囲水が貧酸素化したことによる底泥からの金属溶出を考慮した水質モデル解析を実施し、溶存酸素と金属溶出との関係に関して考察する。

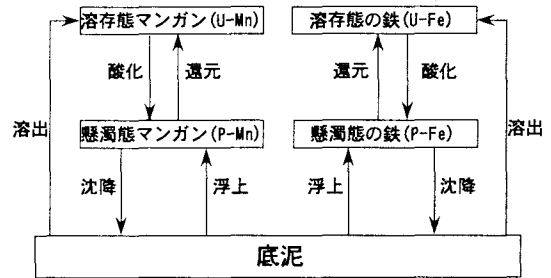


図-1. 金属収支のモデル

2. 金属溶出を再現するための水質モデル

水質モデルは湖底から水面までを体積可変のN層に分割し、各層は一様な水質から構成される鉛直一次元モデルである。有限差分モデルのように固定された計算格子ではなく、質量・水質収支に応じて各層が上下に移動し、拡大・縮小しながら、合体・分割、融合・消散を繰り返す「ラグランジュ型層モデル」である。対象とする金属成分はマンガンと鉄-(Mn, Fe)である。金属成分の保存式に関しては、これまでに室内実験などで検証されてきた水質収支則を参考にしながら富栄養化過程との生産・消滅を再現する水質・生態系モデルを構築した。(Mn, Fe)に関しては図-1のように、「イオン態＝溶存態」、「粒子態＝懸濁態」の2つの形態に対し酸化・還元、底泥との溶脱着、浮上・拡散、沈降の4つの現象を考慮している。

(1) 溶存態マンガン: $UMn(\text{mg/l} \cdot \text{day})$

底泥からの溶出に関しては底泥側の環境条件は考慮せず、各層の「水-底泥堆積層」界面での交換フラックスとして与える。溶出量の制御因子は水体側の溶存酸素濃度DO、水温、pHなどである。

$$S(UMn) = \underbrace{k_{PMn} \cdot f_{PMn}(T) \cdot \frac{K_{PMn}}{K_{PMn} + DO} \cdot PMn}_{\text{還元}} - \underbrace{k_{UMn} \cdot f_{UMn}(T) \cdot \frac{DO}{K_{UMn} + DO} \cdot UMn}_{\text{酸化}} + \underbrace{S_{Mn} \left(\frac{K_{DOS}}{K_{DOS} + DO} + \frac{|pH - 7|}{K_{pH} + |pH - 7|} \right)}_{\text{底泥からの溶出}} \cdot \Delta V_j \cdot (A_j - A_{j-1})$$

ここで、 S_{Mn} は最大溶出濃度フラックス、 K_{DOS} 、 K_{pH} は、DO、pHのミハエリス-メンテン型制御関数における半飽和定数、 k_{PMn} 、 k_{UMn} は還元と酸化率、 $f_{PMn}(T)$ 、 $f_{UMn}(T)$ は20℃を基準とした指数型の温度制御関数、 K_{PMn} 、 K_{UMn} は酸化還元反応の半飽和定数、 PMn 、 UMn は懸濁態・溶存態のマンガン濃度である。

(2) 懸濁態マンガン: $PMn(\text{mg/l} \cdot \text{day})$

浮上・拡散に関しては底面せん断力により駆動される底泥中の懸濁態マンガンの巻き上げを考慮する。沈降速度に関しては w_{PMn} を与える。

$$S(PMn) = \underbrace{k_{PMn} \cdot f_{PMn}(T) \cdot \frac{K_{PMn}}{K_{PMn} + DO} \cdot PMn}_{\text{還元}} - \underbrace{k_{UMn} \cdot f_{UMn}(T) \cdot \frac{DO}{K_{UMn} + DO} \cdot UMn}_{\text{酸化}} + \underbrace{\frac{\alpha_{PMn} \left[\frac{\tau_j - \tau_{rc}}{\tau_{ref}} \right] \left[\frac{PMn_m \cdot \Delta z_j}{K_{PMn} + PMn_m \cdot \Delta z_j} \right]}{\Delta V_j}}_{\text{浮上}} \cdot (A_j - A_{j-1}) + \underbrace{\frac{1}{\Delta V_j} [PMn \cdot w_{PMn} \cdot ND \cdot A_{j-1}^*]}_{\text{沈降}}$$

ここで、 α_{PMn} は再浮上率係数、 τ_j は底面せん断力、 τ_{rc} は限界掃流力、 τ_{ref} は底面せん断力の基準値、 PMn_m は

底泥堆積層の懸濁態マンガン濃度, K_{PMnm} は底泥堆積層からの拡散浮上に関する半飽和定数, ΔV_j は第 j 層の体積, A_j , A_{j-1} は第 j 層の上側, 下側の表面積, ΔZ_j は第 j 層の層厚, ND は1日を秒換算した値である. 鉄に関しても同様に定式化されている.

3. 解析結果

図-2のように対象貯水池では底層付近において一年を通して貧酸素層が存在し, 9~11月にかけて最も貧酸素層が拡大することが確認できる. 解析においても同様の傾向が再現されている. しかし, 受熱期における表層の過飽和状態の傾向が良好に再現されおらず, 内部生産など生物反応に関わるモデル式を再検討することが今後の課題である. 図-3の鉛直分布に見られるように, 底層の貧酸素層において高濃度の金属が存在する傾向が年間を通して良好に再現されている. 図-4で示される金属の形態別の時系列において, 溶存態の年間を通した傾向が貧酸素層の傾向と一致しており, 貧酸素化した周囲水により底泥中から溶存態金属が溶出してくる過程が良好に再現できている. また, 観測値との比較でも表層, 中層, 底層, それぞれについて解析と観測値との一致は良好である.

参考文献

1) Jason Antenucci and Alan Imerito: *The Computational Aquatic Ecosystem Dynamics Model Science Manual* September 25, 2000

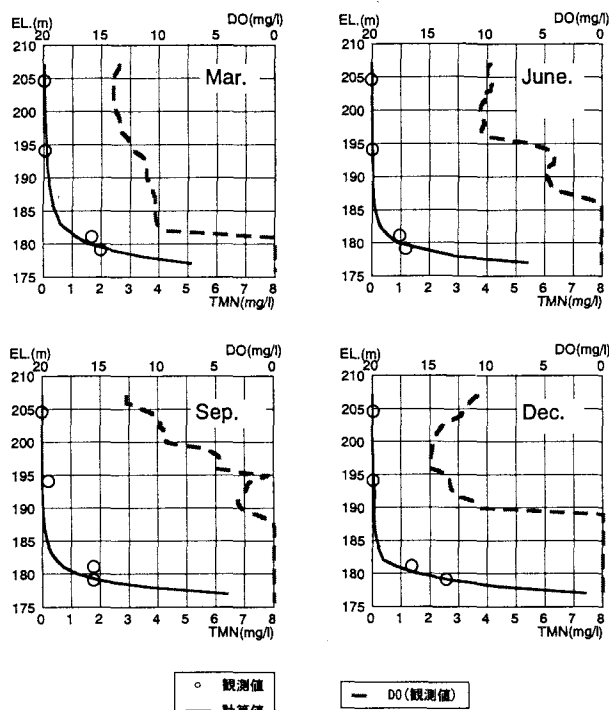


図-3 全マンガン TMn と溶存酸素濃度 DO の鉛直分布
観測値と解析値の比較 (S ダム 1996 年)

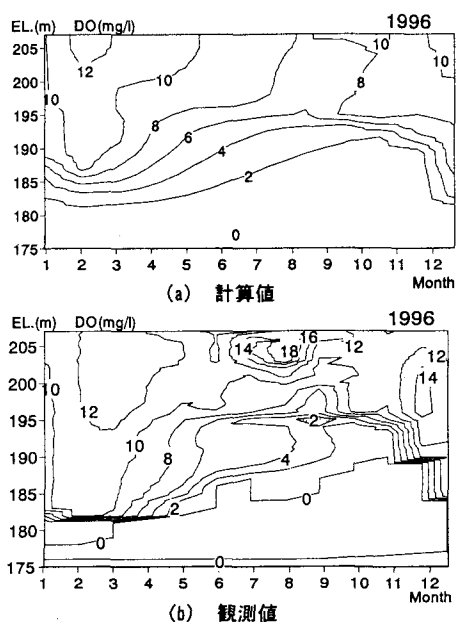


図-2. 溶存酸素(DO)の季節変化

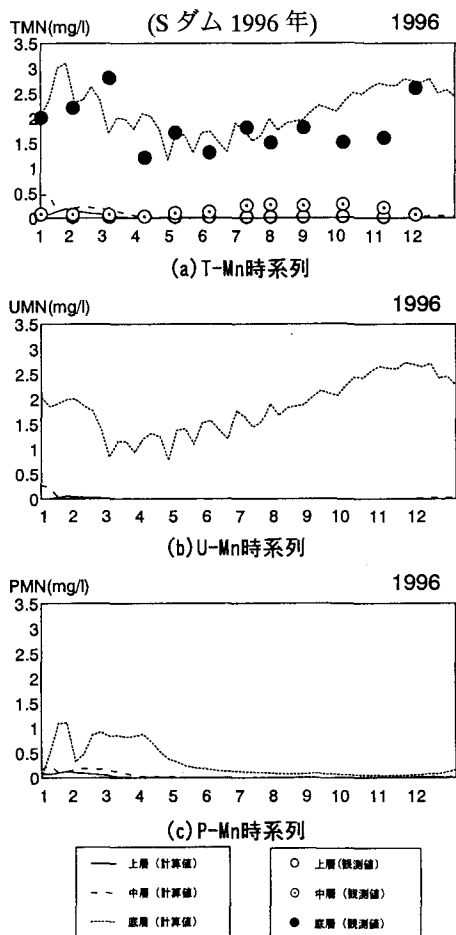


図-4 各形態のマンガン濃度の時系列
(S ダム 1996 年)