

海面上昇に伴う小川原湖の水質変化について

東京工業大学 フェロー会員 ○石川 忠晴
非会員 村上 駿
非会員 安河内 美咲

1. はじめに

小川原湖(図 1)は青森県東北部にある汽水湖(海水と淡水が混じり合う湖)であり、その湖面積は63.2km²、最大水深26mである。南西部には高い栄養塩濃度負荷を示す農業地からの河川流入がある一方で、北東部の高瀬川は小川原湖と太平洋を結び、潮位と湖水位の差によって海水が高瀬川を通じて湖に流れ込む逆流イベントと湖水が太平洋へと流れ出す流出イベントが交互に繰り返される。ここ10年の海面上昇によりその累積侵入量は増加し、それと同時に湖内の高塩分層は拡大している。高塩分層は貧酸素状態にあり有機物は分解され難く栄養塩が高濃度で溶解しているため、混合により湖表層の水質が悪化する。実際に小川原湖表層では塩分濃度が経年的に上昇するとともにCODも上昇しており、塩水侵入イベントが水質悪化に関わっていることがうかがえる。本研究では既往研究の塩分鉛直分布変化の一次元モデルをもとに水質鉛直分布変化のモデル化を行った。

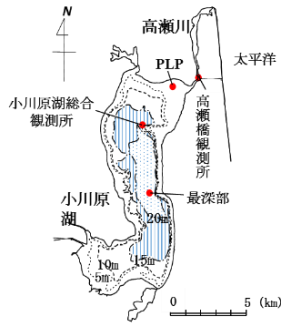


図 1 小川原湖形状

2. 本研究の構成

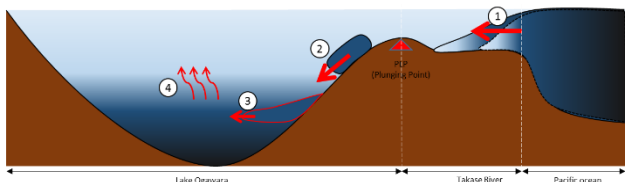


図 2 塩分循環モデル

木下ら¹⁾は小川原湖における塩分循環を①海水が逆流する高瀬川においての塩水遡上過程、②小川原湖傾斜面における傾斜プルームの希釈過程、③湖内塩分分布の変形過程、④鉛直混合過程の4つのプロセス(図 2)でモデル化した。このモデルで高精度

な塩分の鉛直分布の再現が得られているため、本研究ではこのモデルの④鉛直混合過程に水質変数に関する方程式を追加し塩分と同様に水質変化の再現計算を行なった。

3. 水質変化モデル

小川原湖では成層現象が報告されており²⁾、またk-ε乱流モデルによる湖内流動の再現が行われている³⁾。本モデルでは長期的な再現計算のため水平方向に平均化した鉛直一次元モデルによって小川原湖内の流動を再現している。基礎方程式(z:鉛直座標(上向きが正)、t:時間)を以下に示す。

$$\frac{\partial C_\phi}{\partial t} - \frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial z} \left(A v_\phi \frac{\partial C_\phi}{\partial z} \right) - V_\phi \frac{dC_\phi}{dz} - f_\phi \frac{1}{A} \frac{dA}{dz} = G_\phi \quad (1)$$

ここでC_φは物質φの濃度(mg/l)、Aは湖の各水深の水平面積(m²)、v_φはk-εモデル(k:乱流エネルギー、ε:乱流エネルギー散逸率)により導出された物質φの乱流拡散係数(m²/s)、V_φは物質φの沈降速度(m/s)、f_φは物質φの側岸・底泥における溶出または消費フラックス、G_φは物質φの湖内部反応(図 3)による生成項である。

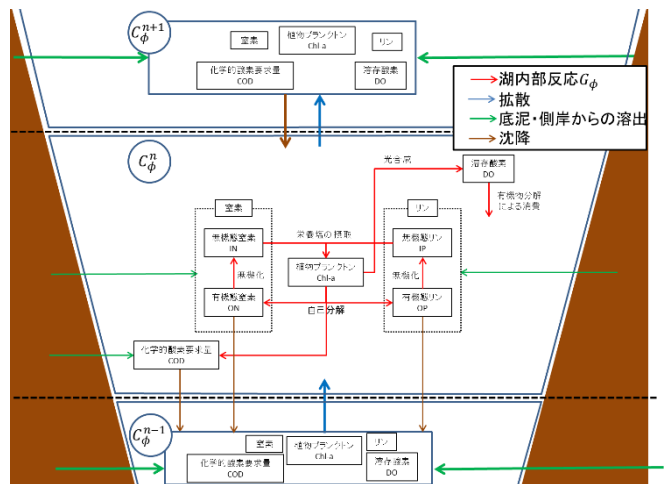


図 3 水質モデル概念図

水深ごとの水平面積Aの差によって各層間での拡散・溶出フラックスの差を考慮するため左辺第2・4項には水平面積Aを与えている。

キーワード : 富栄養化、汽水湖、一次元数値モデル、海面上昇、塩水侵入
連絡先 : 〒226-8502 横浜市緑区長津田町 4259 G5-3 石川研究室 Tel:045-924-5515

また、本研究で扱う水質項目は溶存酸素 DO、水温 T、塩分 S のほかに植物プランクトンの指標であるクロロフィル a(Chl-a)とその栄養塩物質である無機態リン IP および有機態リン OP、COD である。なお一般的にはリンと窒素が栄養塩として考えられるが小川原湖がリン制限を受けていると仮定してリンのみとしている。

4. 再現計算

以上のモデルを用いて 1998 年 5 月 14 日～2011 年 12 月 31 日の長期再現計算を行なった。図 4 に塩分、溶存酸素、無機態リンの鉛直分布変化を示す。海水侵入量増加による高塩分・貧酸素層の拡大とともに高 IP 層も拡大していることがわかる。これは塩分界面が上昇したことにより密度界面も一緒に上昇し、酸素供給されにくい下層の貧酸素層と其中で溶解している高 IP 層がともに拡大したことによる。

図 5 に表層における無機態リンの上向き連行フラックス $Av_{IP} \frac{dC_{IP}}{dz}$ [g/s] と表層での Chl-a および COD の計算結果と観測値について示す。海水侵入量が増加する 2003 年ごろから IP の連行量が増え Chl-a も増加しており 1998 年の $20 \mu\text{g/l}$ から 2008 年には $40 \mu\text{g/l}$ まで増加しており栄養塩がより多く連行され植物プランクトンにとって成長に適した環境へ変化していることが伺える。また COD も同様に増加しており植物プランクトン増加によって有機物量が増えていることがわかる。

5. 結論

本研究では小川原湖の塩水循環における湖内水質変化を再現するために、木下らの塩水循環モデルのうち 4 つ目のイベントである鉛直混合過程に水質変数と水質ごとの保存式を追加し高瀬川流量に応答する水質変化モデルを作成した。その結果塩水侵入量が増加する 2003 年頃から塩水層が拡大し塩分界面が上昇するため貧酸素かつ高栄養塩領域は拡大し表層へのリン供給量が増え Chl-a・COD が上昇し水質悪化が引き起こされていることがわかった。

しかしながら各水質項目の変動の細部については再現性の低い点があるため今後のモデルの改良を図っていきたいと考えている。

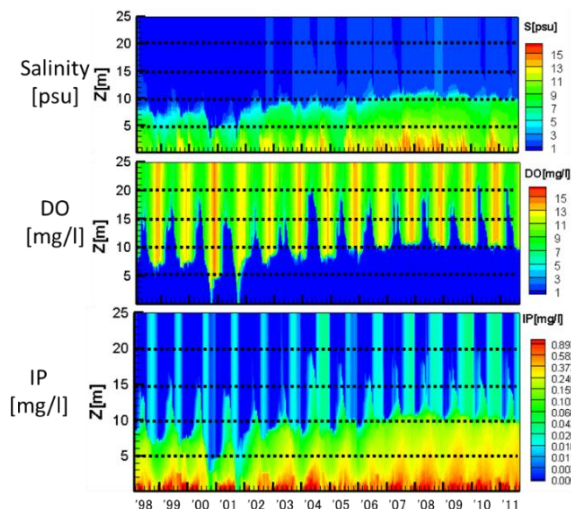


図 4 塩分・溶存酸素・無機態リン鉛直分布変化

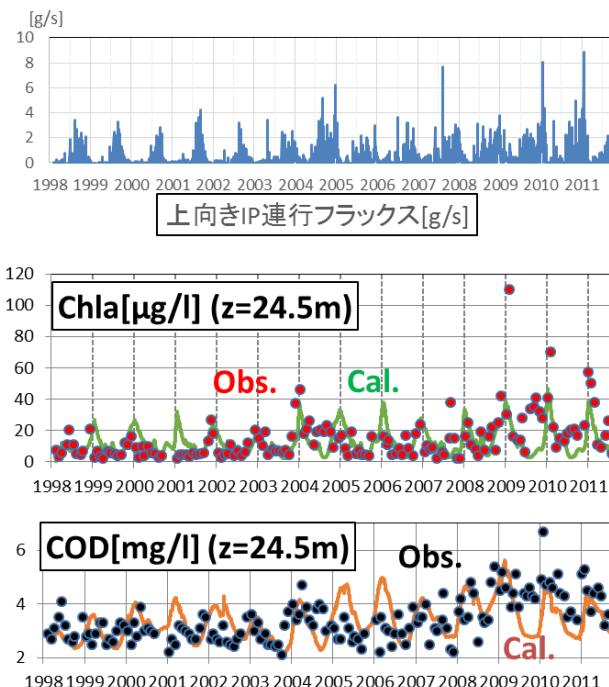


図 5 IP 連行フラックスと Chla・COD 計算結果

参考文献

- 1) 木下隆史, 赤穂良輔, 石川忠晴, 鶴田泰士: 小川原湖の塩分状態変化に関する長期シミュレーション, 土木学会論文集B1(水工学) 第70巻, No. 4, pp. I_1609-I_1614, 2014.
- 2) 湖沼における水理・水質管理の技術 第6章 6.3 小川原湖の水理・水質特性, 湖沼技術研究会, H19
- 3) 笹島悠達, 石川忠晴, 中村恭志, 鶴田泰士, 天野光歩, 遠藤真一: 小川原湖の密度躍層付近における流動混合の構造について, 水工学論文集, 第53巻, pp. 1279-1284, 2009