

## 猪苗代湖の pH の簡易推定モデルの構築とその応用

福島大学共生システム理工学類 蓮沼 遼  
 福島大学共生システム理工学類 横尾善之

### 1. はじめに

猪苗代湖は長瀬川上流の桜原湖，小野川湖，秋元湖と湖周辺を起源とする中性の河川水と，酸川上流に位置する硫黄川の強酸性の河川水が長瀬川に流入し，湖水は硫酸酸性の栄養状態となっている（長林ら，2009）。そのため1990年代前半まで猪苗代湖は pH5.0 程度の酸性状態の湖であった。湖水の水質は化学的酸素要求量（COD）の値が低く，COD の値を比較した公共用水域（湖沼）の水質ランキングで平成14年から平成17年まで4年間連続で水質日本一になるなど猪苗代湖は国内でも有数の水質の良い湖沼として知られてきた。しかし最近の20年間に猪苗代湖の pH が上昇し，平成5年からは湖岸付近で黒色浮遊物の発生が報告され始めた。また，湖岸に打ち上げられる大量の水生植物なども見られている。酸性湖特有の自然の浄化機能が低下し猪苗代湖の中性化が進むと，化学的・生物学的な環境変化が水質を悪化させることが懸念されている。長林ら（2009）は pH 推定式を提案・利用してこれまでの pH 上昇の原因を検討した。菊地ら（2010）は湖水の硫酸イオン，鉄，マンガン，アルミニウムなどの溶存成分濃度の低下が pH の上昇に関係していると考えた。酢谷ら（2013）では安達太良山から湧水する硫酸酸性水の硫酸イオン濃度の将来動向が推定され，将来安達太良山内部の温度が低下すれば硫酸イオン濃度は再び増加する可能性があると考えられた。猪苗代湖水や流入河川水，周辺水域において様々な研究・調査がなされてきた。しかし，現時点では猪苗代湖湖水の pH の将来動向を検討する研究事例がない。本研究では，主要流入河川である長瀬川からの水と硫酸イオンの流入を考慮した猪苗代湖の水収支と硫酸イオン収支を計算し，それを基に pH の簡易推定モデルを作成した。また簡易推定モデルを用いて湖水の将来シナリオの分析を行った。



図-1 猪苗代湖概要図

### 2. 方法

#### 2.1 使用データの収集

図-1に猪苗代湖流域の概要図を示す。本研究では，猪苗代湖における pH の簡易推定式の構築と将来動向の解析のため，福島県水質年報，福島県環境セン

\*Developing a simple model for estimating pH of the lake Inawashiro and its application by Ryo Hasunuma and Yoshiyuki Yokoo

ター，猪苗代湖水環境保全対策調査報告書より 1975 年から 2014 年までのデータを収集し解析に用いた。

## 2.2 水収支の算出

本研究では水収支式は長林ら (2009)の式(1)より，猪苗代湖の流入量と湖面への直接降雨から流出量を引いた値を水収支として月単位で算出した。この時，水温成層期による混合層の変化を表すため，7月から11月までを表層から20mまで混合しているとし，12月から6月までを表層から50mまで混合していると計算を行った。

$$\frac{dV}{dt} = Q_{in} + RA_s - Q_{out} \quad (1)$$

## 2.3 硫酸イオン収支の算出

算出した水収支と長林ら (2009)の式(2)より硫酸イオン濃度を求めた。流入硫酸イオン濃度および酸性雨負荷量は一定値を与えて計算している。

$$\frac{dVS}{dt} = Q_{Nin} S_{in} + L_R - Q_{out} S \quad (2)$$

## 3. 結果

### 3.1 水収支計算結果

水収支式の計算結果を図-2に示す。水収支の推移を見ると長期的な平均値はゼロであるため，本モデルは猪苗代湖の水収支を適切に計算できていることが分かる。1998年に降雨の影響により増減が激しくなっている。

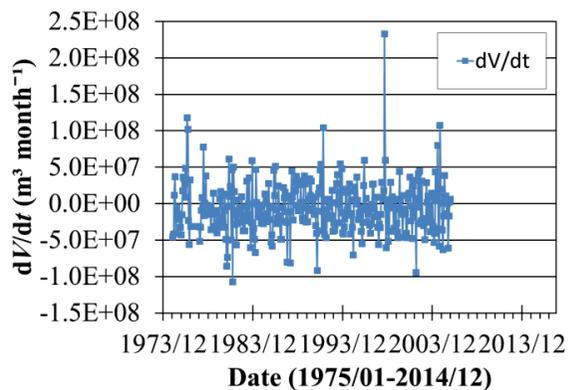


図-2 水収支式の計算結果

### 3.2 硫酸イオン収支計算結果及び pH 推定式の検討

福島県の観測データに基づいて猪苗代湖における pH と硫酸イオン濃度の関係より、pH の推定式を求めた。1975 年から 2012 年までの湖心表層 (0.5 m) における硫酸イオン濃度 (mg/L) と pH のグラフを作成し、累乗近似を行った。硫酸イオン濃度と pH のグラフを図-3 に示す。累乗近似で得られる式は式(3)のようになり、これを推定式として用いた。式(2)より硫酸イオン収支の計算値を式(3)に代入することで pH の値を算出した。湖心表層における実測値と本研究で推定された pH の値と長林ら(2009)の式を用い推定された値を比較した結果を図-4 に示す。

$$\text{pH} = 374.23(\text{SO}_4^{2-})^{-1.218} \quad (3)$$

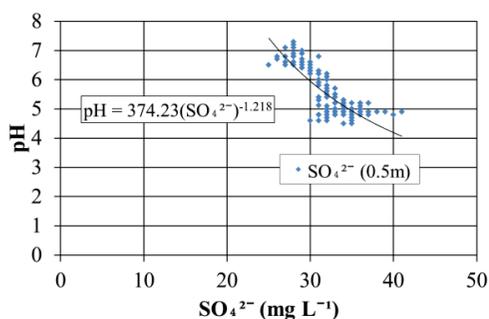


図-3 pH と硫酸イオン濃度の関係

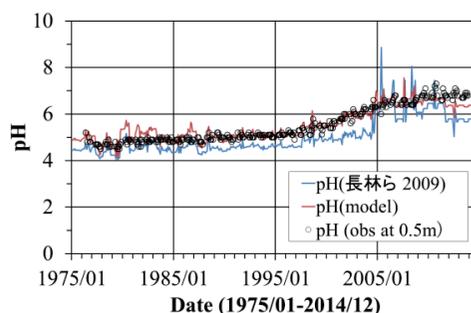


図-4 pH の実測値と計算結果の比較

本モデルは硫酸イオンのみを考慮して計算したが、長林ら(2009)よりも実測値に近づいていることが分かる。また、硫酸イオン濃度と pH の関係を比較した結果を図-5 に示す。

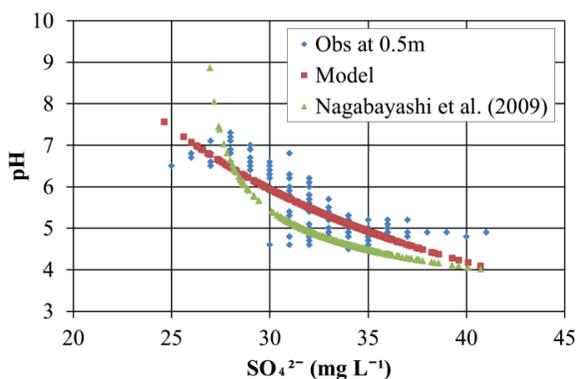


図-5 pH と硫酸イオン濃度の関係の比較

### 3.3 pH シナリオの分析

福島県による過去の硫酸イオン濃度の観測データからグラフを作成し、指数近似を行った。指数近似で得られた式は、減少傾向にある 1975 年から 2012 年までの観測データからは式(4)のように、増加傾向に見られる 2005 年から 2012 年の観測データからは式(5)のように表せた。これらの式(4)と式(5)を時間経過による硫酸イオン濃度の推定式とし、式(3)に代入し pH の推定値を算出する。

$$\text{SO}_4^{2-} = 36.745e^{-0.0006t} \quad (4)$$

$$\text{SO}_4^{2-} = 27.087e^{0.0006t} \quad (5)$$

観測データのグラフを図-6、図-7 に示し、推定値の計算結果を図-8、図-9 に示す。これまでの傾向が続いて硫酸イオン濃度が減少傾向であるとすると、それに伴って pH の値は上昇し続けると推定された。また、2005 年から 2012 年の観測データより増加傾向であるとすると、pH の値は再び酸性化する可能性があると考えられる。

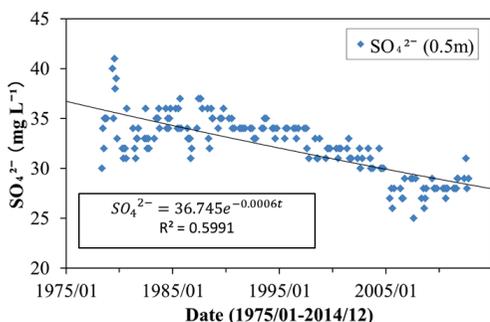


図-6  $\text{SO}_4^{2-}$  の観測値

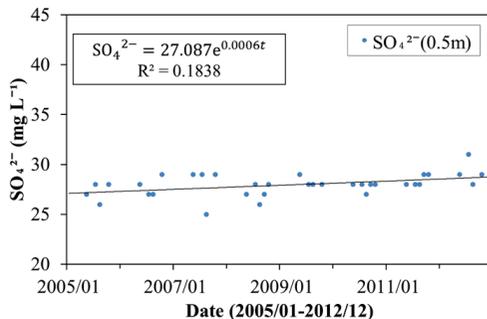


図-7 増加傾向の  $\text{SO}_4^{2-}$  の観測値

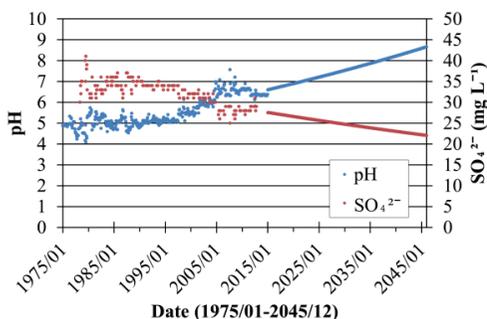


図-8 減少傾向の  $\text{SO}_4^{2-}$  と pH 推定値

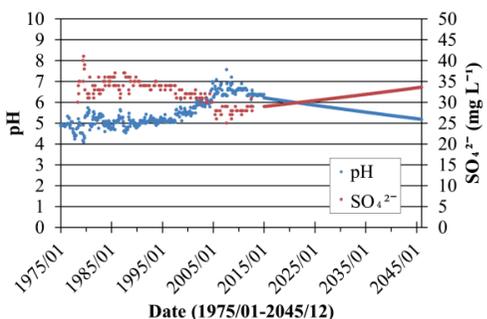


図-9 増加傾向の  $\text{SO}_4^{2-}$  と pH の推定値

#### 4. 考察

本研究と長林ら (2009) の結果では pH の急激な上昇に対し似た傾向の変動は示しているが観測データと差異が生じているのが分かる。これは、図-5 から長林ら (2009) の推定式では硫酸イオン濃度に対し pH の反応が急なのに対し、本研究では観測データに沿うような反応が見られる。このことが違いに影響を及ぼしていると考えられる。また硫酸イオン濃度が 26.5 (mg/L) より低い値になってしまうと長林ら (2009) では計算値が負になり pH が計算不可能となる。本研究の pH 推定モデルでは季節変動について考慮していない。より正確な推定モデルを検討するためには、水収支、流入イオンの変動を生物学的、化学的、降雪等の環境変化の要因を加味したモデルを検討する必要がある。

今後 30 年間の pH のシナリオを硫酸イオン濃度の時間経過による変動を推定し pH を算出したが、この結果の正確性について検討する必要がある。現時点で将来動向についての研究事例は酢谷ら (2013) で安達太良山からの硫酸酸性水の硫酸イオン濃度の将来動向について検討され、安達太良山の内部温度の低下が見られれば硫酸イオン濃度は再び上昇する可能性があると考えられた。それに伴って猪苗代湖に流入する硫酸イオン濃度が増加し、本研究の図-9 に示すような変動を見せる可能性があると考えられる。蓄積されたデータを基に湖内の pH の将来シナリオを推定した点に本研究の意義があるのではないかと考えている。

#### 5. 結論

本研究は猪苗代湖水の pH の簡易的な推定式の構築をすることと、pH 推定式を用いた将来シナリオを分析することを目的として、長林ら (2009) で提案・利用された長瀬川と猪苗代湖における水収支式と硫酸イオン収支式を用いて pH の推定を行った。得られた結果を以下にまとめる。

- ① 猪苗代湖における 1975 年から 2014 年までの福島県による観測データの硫酸イオン濃度と pH の関係から、硫酸イオン濃度に対する湖の pH の推定式を得た。
- ② 本研究では pH の推定を 40 年間で検討することができた。pH の推定式による計算値は長林ら (2009) の結果より実測値に近づいた。
- ③ 猪苗代湖湖心表層 (0.5 m) の観測データより、硫酸イオン濃度の時間経過による硫酸イオン濃度の推定式を得て、それを用いて今後 30 年の pH の将来動向を推定した。

今後は、硫酸イオン濃度の変化だけでなく、水収支の変化が pH の変動にどのように影響するのか検討する予定である。

#### 謝辞

本研究の実施にあたり福島県生活環境部水・大気環境課、福島県環境センターが所有する貴重なデータを活用させて頂きました。ここに謝意を示す。

#### 参考文献

長林久夫・平山和雄・山田泰正 (2009) 猪苗代湖における pH の長期的推移に関する検討, 水工学論文集, 第 53 巻, pp.1327-1332.

菊池宗光・佐藤政寿 (2010) 猪苗代湖における水質の中性化について, 全国環境研究会誌 35(1), pp.33-38.

福島県 (2007) 福島県水質年報/平成 19 年度, 福島県生活環境部, 316p.ほか

渡邊稔・國井芳彦・渡辺俊次 (2012), 流入河川が猪苗代湖に及ぼす影響について, 全国環境研究会誌 37(3), pp.159-165.

酢谷大輔・加藤善盛・内海真生・杉浦則夫 (2013) 安達太良山から湧出する硫酸酸性水の硫酸イオン濃度の将来動向推定, 土木学会論文集 G(環境) Vol.69(7), pp.III\_265-274.