

日本大学大学院 学生員 ○山田 章子  
 日本大学工学部 正員 長林 久夫  
 日本大学工学部 平山 和雄

### 1.はじめに

猪苗代湖は福島県磐梯朝日国立公園に位置し、長瀬川水系上流の桧原湖、小野川湖、秋元湖及び湖周辺からの中性河川の流入と安達太良山山頂付近の硫黄川からの強酸性水の流入により、通年 pH5 前後の硫酸酸性の栄養状態となっている。しかし、ここ 20 年間に pH の上昇が見られ、近年、急激な中性化を示している。このまま湖の中性化が進むと、フロックに吸着して湖底に沈降していたリンが溶出し、水質の悪化が危惧される。そこで本研究は猪苗代湖における pH の長期的推移の機構を検討するために、硫酸イオン負荷と水収支に基づく pH 計算モデルにより 30 年間の pH の推移を検討した。さらに、ここ 20 年間における流域の降水量の増加が中性化の主要な要因であることを示した。

### 2. 流域概要及び湖心における pH の推移

猪苗代湖は最大水深 93.5m、水面積 103.3m<sup>2</sup>、淡水湖で日本 3 位の水面積であり、流域面積は 860Km<sup>2</sup>である。図 1 に猪苗代湖の流域概要図を示す。主な流入河川は長瀬川であり、猪苗代湖の総流入量の 50% を占めている。流出は北西部の小石浜水門からの日橋川である。図 2 に猪苗代湖湖心における pH の推移を示す。ここ 30 年の間にわずかながら pH の上昇が見られ、2000 年からは急激に上昇している。また、1998 年頃に湖内で白色や黒色の浮遊物質が見られるようになり、周辺住民からは湖内の水質悪化の兆候として危惧されている。

### 3. 調査方法

酸川、長瀬川のイオン負荷特性を検討するために現地調査を行った。調査内容は各地点で流量観測を行い、採水した試料をホリバ 24 から pH を、高感度イオンクロマトグラフィー（日立製作所）から陰イオン、陽イオンを、誘導結合プラズマ発光分析装置（ICP-AES Optima4300DV Perking Elmer）から含有元素濃度を測定した。

### 4. 酸川、長瀬川における硫酸イオン負荷量

酸川、長瀬川における主な含有元素の中和反応を考える。 $\text{Ca}, \text{Na}, \text{Mg}, \text{K}$  がすべて  $\text{H}_2\text{SO}_4$  との中和反応によって生じたとすると、pH の推定式は(1)式のように求められる。pH が 4 度程までは実測値と計算値が概ね一致するが、pH4 以上は計算上表せないため、実測値に基づく推定式を構築する。推定式を(2)式に表す。以上の計算結果を図 3 に示す。



図 1 猪苗代湖流域概要

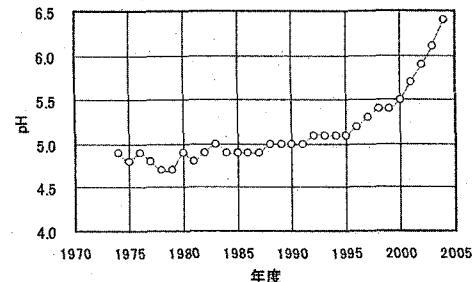


図 2 湖心における pH の推移

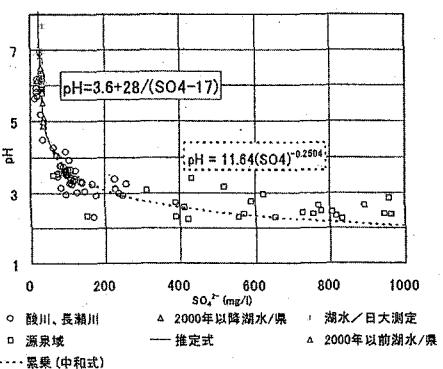


図3 酸川、長瀬川における pH と硫酸濃度の関係

$$pH = -\log \left( \frac{2[SO_4^{2-}]}{96} + \frac{2[Ca^{2+}]}{40} + \frac{[Na^+]}{23} + \frac{2[Mg^{2+}]}{24} + \frac{[K^+]}{39} \right) \times 10^{-3} \quad (1)$$

$$pH = 3.6 + \frac{28}{SO_4^{2-} - 17} \quad (2)$$

硫酸負荷量の変動を検討するため、図4に酸川におけるL-Q式を示す。この図より、次式が得られる。

$$Q < 4.3m^3/s のとき、L_{SO4} = 184.87 \times Q^{1.2803} \quad (3)$$

$$Q \geq 4.3m^3/s のとき、L_{SO4} = 1100 \quad (4)$$

## 5. 湖内 pH モデルの検討

(5)～(7)式に水温成層を考慮したpH計算モデルを示す。

$$\frac{dVS}{dt} = Q_{in}S_{in} + L_R - Q_{out}S_{out} \quad (5)$$

$$V_{i+1} = V_i + (Q_{in} + RA_S - Q_{out}) \Delta t \quad (6)$$

$$S_{i+1} = (V_i S_i + (Q_{in} S_m + L_R - Q_{out} S_i) \Delta t) / V_{i+1} \quad (7)$$

(2)式は湖内における硫酸濃度とpHの推定式である。(3)(4)

式より硫酸負荷量の変動を考慮する。(6)式は湖内水量の保存式である。過去の水温データから季節ごとの交換層厚算定モデルをつくり、水深1mごとにpHを算出する鉛直一次元ボックスモデルを作成した。まず、交換層厚まで1mごとの硫酸濃度を合計し現存イオン量を求め、硫酸負荷量が層内で一様に拡散、希釈するものとして加え、これから流出イオン量を差し引いたものを残存イオン量とし、これを流量で除し硫酸イオン濃度を算出した。交換層厚以下の硫酸濃度は変化しないものとしている。混合層における完全混合は日単位で完了するものとして、計算を行っている。計算結果の一例を図5に示す。10m、50m共に長期的な経年変化を概ね表現しているが、2000年以降のpHの急激な上昇傾向に対しての応答が不十分であるため今後さらに検討が必要である。

## 5. 猪苗代湖におけるpH推移の要因検討

図6に湖の約50年間の平均水位高を、図7に約30年間の流入出量と本流域における降水量の推移のデータを示す。水位高は83年以降513.0mを保っているが、流入出量は70年以降から漸増傾向が見られる。また、図7より降水量も増加傾向を示していることがわかる。これが80年以降の流入出量の増加と対応しており、このことは交換層厚における希釈量の増加を与える、pH上昇の要因となることを示唆している。

## 6. おわりに

本研究では湖の硫酸イオン負荷量からpHの長期的推移を検討したが計算値と実測値が一致しない部分があるので、さらに検討が必要である。また、降雨量の増加による流入出量の増加が湖内のpH上昇の主要な要因であると考えられる。

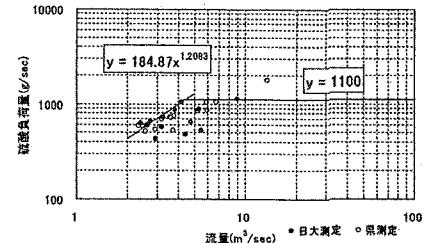


図4 酸川におけるL-Q式

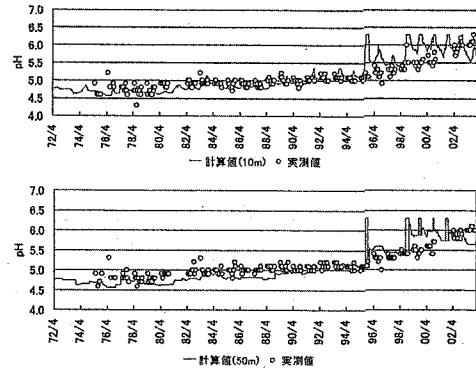


図5 湖内pHの推定結果の検討

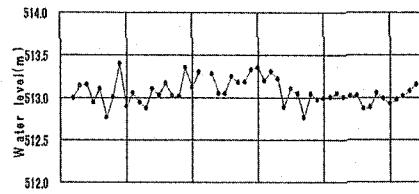


図6 年間水位の推移

