

大阪ガス 正員 ○ 越田哲史
 京都大学防災研究所 正員 池淵周一
 日本気象協会関西本部 正員 友村光秀

1 はじめに 地球温暖化、オゾン層破壊と並んで、最近話題となっている環境問題の1つに酸性雨がある。化石燃料の燃焼の際に発生する NO_x 、 SO_x が降水に取り込まれて地上に降下し、植物に被害を与えるのである。とくに酸性雪の場合は、アシッドショックと呼ばれる融雪期に酸性物質が集中して流出し、河川・湖沼の水質を著しく低下させる現象が観測されている。そこで本研究は、琵琶湖北西部の丹生ダム建設予定地において酸性雪の流出現象を観測するとともに、そのモデル化を試み、河川の水質を評価する。モデル化においては、土壌内化学過程にはILWASモデル¹⁾を用いた。ILWASモデルは流出過程も含んでいるが、できるだけ詳細に積雪・融雪過程を取り込むため、積雪・融雪過程を含む流出モデルは池淵ら²⁾のモデルを用いた。

2 観測 95年の2月から3月の融雪初期～末期の4回にわたって、融雪水と河川水の水質・水量項目を観測した。観測項目はpH、EC、水温、各種イオン濃度(Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ 、 Na^+ 、 NH_4^+ 、 H^+ 、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 Cl^-)である。また、集中観測と平行して河川水の自動観測も行っている。観測項目は、流量、水温、pH、ECである。さらに、流域へのインプットとなる降水の水質(pH、EC、 SO_4^{2-} 、 NO_3^-)も降水0.5mm毎に自動観測している。観測した降水のpHは約3.8～5.0であった。菅並地点での河川流量と河川のpHの変化を図1に示す。また、融雪水量と融雪水のイオン濃度の例を

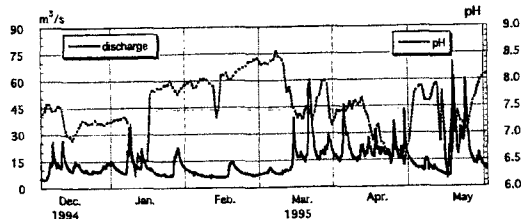


図1：菅並地点での流量とpH

図2、図3に示す。

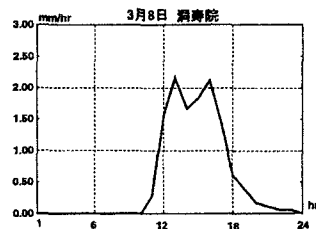


図2：3月8日の観測結果（積雪層下層，融雪量）

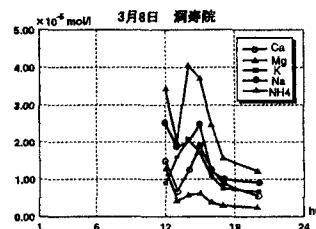


図3：3月8日の観測結果（積雪層下層，陽イオン濃度）

3 陸水酸性化評価モデルの概要

1. 積雪・融雪・流出過程 積雪・融雪・流出モデルの特徴を簡単に示す。

- (a) 積雪・融雪期を通して連続的に計算できる。
- (b) 積雪の冷却・凍結・融解過程がモデルに組み込み、積雪・融雪過程の中で積雪深・積雪密度などの諸量が算出されるため、化学物質濃度の導入が可能である。
- (c) 積雪内貯留過程がモデルに組み込む。
- (d) 流出モデルは、流域全体を1つのタンクとみなす4段タンクモデルである。
- (e) 計算時間ステップは1時間である。

2. 土壌内化学過程 土壌内の化学反応を表現するモデルとして、アメリカ電力研究所によるILWASモデルを用いた。このモデルの特徴は、

- (a) 流域・湖沼の酸性化を総合的に評価するモデルである。

(b) イオン電荷釣合式（次式）と溶質連続式を基礎式とし，陽イオン交換，陰イオン吸着を補助式とする．

$$2[\text{Ca}^{2+}] + 2[\text{Mg}^{2+}] + [\text{K}^+] + [\text{Na}^+] + [\text{NH}_4^+] + [\text{H}^+] = [\text{OH}^-] + [\text{HCO}_3^-] + 2[\text{CO}_3^{2-}] + 2[\text{SO}_4^{2-}] + [\text{NO}_3^-] + [\text{Cl}^-]$$

本研究のモデルでは，化学反応としては次式に示すような Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , NH_4^+ , H^+ の6つの陽イオンの交換反応のみを取り込んでいる．陰イオン吸着は，降水の濃度と河川水の濃度にほとんど差が見られないため，考慮しなくて良いものと考えられる．

$$\begin{aligned} (\text{Ca}^{2+})_{\text{ads}} + (\text{Mg}^{2+})_{\text{soln}} &= (\text{Ca}^{2+})_{\text{soln}} + (\text{Mg}^{2+})_{\text{ads}} \\ (\text{Ca}^{2+})_{\text{ads}} + 2(\text{K}^+)_{\text{soln}} &= (\text{Ca}^{2+})_{\text{soln}} + 2(\text{K}^+)_{\text{ads}} \\ (\text{Ca}^{2+})_{\text{ads}} + 2(\text{Na}^+)_{\text{soln}} &= (\text{Ca}^{2+})_{\text{soln}} + 2(\text{Na}^+)_{\text{ads}} \\ (\text{Ca}^{2+})_{\text{ads}} + 2(\text{NH}_4^+)_{\text{soln}} &= (\text{Ca}^{2+})_{\text{soln}} + 2(\text{NH}_4^+)_{\text{ads}} \\ (\text{Ca}^{2+})_{\text{ads}} + 2(\text{H}^+)_{\text{soln}} &= (\text{Ca}^{2+})_{\text{soln}} + 2(\text{H}^+)_{\text{ads}} \end{aligned}$$

この式で添字 ads は土壌への吸着を示し，soln は土壌水に溶解していることを示す．

4 陸水酸性化評価モデルの実流域への適用 陸水酸性化評価モデルを実流域に適用するにあたり，土壌へ浸透する融雪水の濃度は図3より指数関数的に減少する傾向が見られることから次式で計算する．

$$C = C(t) \cdot A \cdot \exp(-B \cdot T_M) + C(t) \quad (1)$$

$C(t)$ はそのときの積雪層内の平均濃度， T_M は融雪継続時間， A , B はそれぞれ濃度の立ち上がりと減衰を表すパラメータである（図4）．この計算を6つの陽

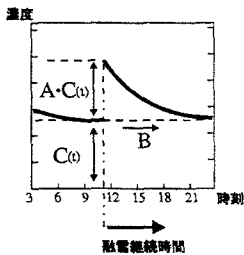


図4：融雪水中イオン濃度計算式

イオンと3つの陰イオン (SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^-) について行い，土壌へのインプットとする．

また，土壌での陽イオン交換反応は非常に早い反応ではあるが，融雪水が大量に土壌に浸透した場合

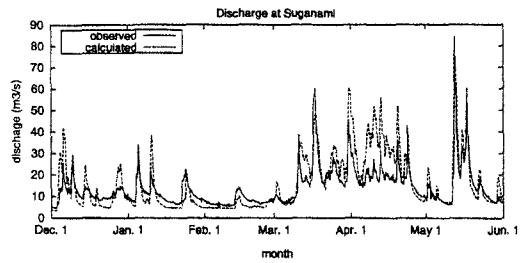


図5：流量計算結果

は，その全てが反応するとは考えにくい．そこで，その反応の上限值を設け，これを陽イオン交換許容率 CEA と定める．本解析においては $CEA = 1.0 \times 10^{-4}$ とした．

これらの項を導入して行った計算の結果を図5と図6に示す．

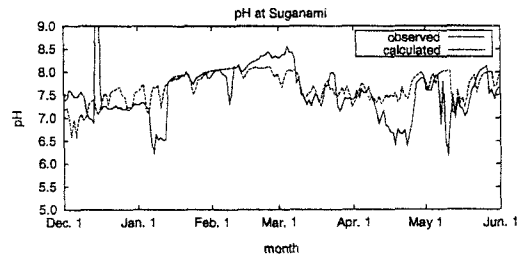


図6：河川水 pH の計算結果

5 おわりに 流出解析については計算結果は積雪期の12月から2月にはやや過小に，融雪期の3月～4月にはやや過大になっているが，観測結果をほぼ再現しているといえる．土壌内化学過程については CEA を用いることにより，河川水の pH を比較的良く再現しているといえるであろう．今後，さらに現地で観測を行い，データを補足することにより，さらに良い解析結果が得られると考える．

[参考文献] 1) Gherini, S. A., et al.: THE ILWAS MODEL: formulation and application., Wat. Air and Soil Pollut. 26, 1985, pp425-459.

2) 池淵，竹林，友村：琵琶湖北部及び全流域の積雪・融雪・流出モデル解析，京都大学防災研究所年報第29号B，1986，pp173-192.