

1 はじめに 地球環境問題のひとつとして「環境の酸性化」が挙げられるが、積雪地帯における酸性雪は、蓄積した酸性物質を一度に放出するアシッドショックなる現象により、河川・湖沼やそこに存在する生態系に大きな影響を及ぼす恐れがある。

このような背景から本研究では種々の地形特性を考慮できる多層型メッシュモデルに土壌内化学反応過程モデルを結合し、森林流域河川における酸性雪が河川に与える影響を分析できる手法を開発する。

2 pH解析手法の基礎的概念 本研究では酸性雪の影響を評価する最終的な指標として、流域内河川水のpHを用いている。一般に、pHはその溶液中の水素イオン濃度（以下 $[H^+]$ で表す）を用いて、

$$pH = -\log_{10}[H^+] \quad (1)$$

で得られる。したがって、河川水のpHを求めるためには $[H^+]$ を追跡していくべきであるのだが、 $[H^+]$ は単純な質量保存則では追跡できない。したがって本研究では $[H^+]$ を解析するために、アルカリ度の概念を用いている。アルカリ度とはある溶液のpHを変化させる、つまり電離している H^+ の濃度を変化させるために必要な酸の量を表すパラメーターであり

$$\begin{aligned} Alk &= [OH^-] + [HCO_3^-] + 2[CO_3^{2-}] - [H^+] \\ &= \frac{K_w}{[H^+]} - [H^+] + \frac{K_1}{[H^+]} \left(1 + \frac{2K_2}{[H^+]} \right) [CO_2(aq)] \end{aligned} \quad (2)$$

で表される。そして河川水のアルカリ度の値は質量保存則により追跡可能なイオンの濃度を用いて

$$\begin{aligned} Alk &= 2[Ca^{2+}] + 2[Mg^{2+}] + [K^+] + [Na^+] \\ &\quad + [NH_4^+] - 2[SO_4^{2-}] - [NO_3^-] - [Cl^-] \end{aligned} \quad (3)$$

でもとめられ、この値を式(2)に代入すれば $[H^+]$ の値が得られる。このように $[H^+]$ は上の各イオン濃度に大きく影響されるので、酸性雪による河川水pHの変化について調べるためには、これらのイオン濃度を追跡していくことが必要であり、本研究で開発するモデルにおいても追跡を行っている。

3 実流域における酸性化現象 図1は本研究が対象としている、滋賀県伊香郡余呉町の丹生ダム流域

を流れる妙理川の1995年12月～1996年4月の流量・pHの観測値である。図1から、融雪による河川水が増大する際にpHが減少、すなわち酸性度が上昇していることがわかる。これは積雪層に蓄積した酸性物質が融雪により一度に放出されることにより生じるアシッドショックと呼ばれる現象である。

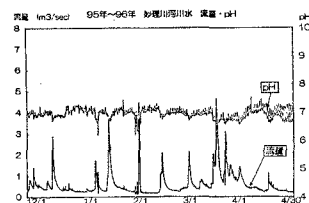


図1: 妙理川流量・pH 1995～1996年

そして、それに加えて融雪が生じていない時にもpHが頻繁に変動していることがみうけられる。この現象は冬季のみならず、一年を通じて起こっているものであり、日中にpHが上昇し夜半にかけて減少する傾向がある。しかし非融雪期における水質観測結果や実験から、

1. 先に述べた $[H^+]$ を左右する $Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^+, Na^+, NH_4^+, SO_4^{2-}, NO_3^-, Cl^-$ の各イオン濃度は一日を通してほとんど変化していない

2. 水温とpHの変化傾向には高い相関があるが両者の絶対値の間にはほとんど関連性が無い

ことが判明した。したがって、以上より

• pHの日内変動の原因は水中藻類の光合成活動による式(2)中の $CO_2(aq)$ の減少によるものである

と結論付けた。しかし、日射と光合成活動による $CO_2(aq)$ の減少量についてはデータ等が存在しなかったため、次で述べる影響評価モデル内では観測日射量の関数として表現した。

4 影響評価モデル 本研究では、酸性雪が流出の際に森林流域河川に与える影響を評価するモデルの構築を目指しており、そのためには積雪・融雪→土壌内浸透→河川流出といった一連の各流出プロセスにおいて水量・水質を追跡することが必要である。また実現象は地形・地質などの空間分布特性の影響をう

けているものと考え、筆者らが従前用いていた、酸性雪の水量・水質変換モデル[1]に、空間分布を考慮できる池淵・久保ら(1990)の多層型メッシュモデル[2]の概念を用いることで、酸性雪の流出プロセスを表現し影響評価モデルを構築する。モデルの全体像を図2に示す。

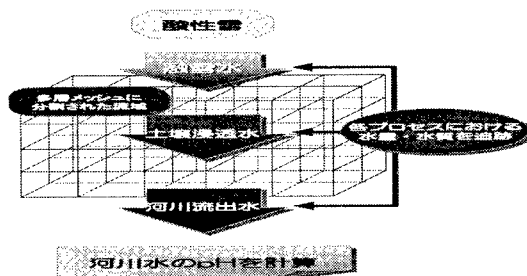


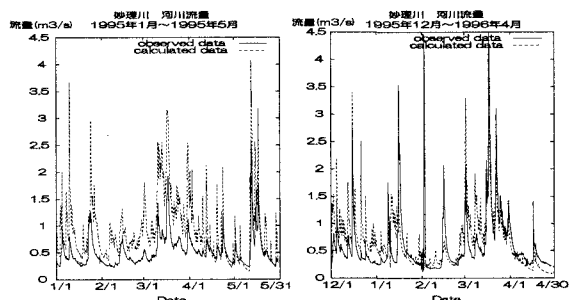
図 2: モデルの全体像

5 実流域への適用結果と考察 上記の影響評価モデルを本研究の対象流域である滋賀県伊香郡余呉町の丹生ダム流域を流れる妙理川の流域に対して適用した。計算は積雪・融雪期の河川水の酸性化を評価するために、1995年1月～1995年5月までと、1995年12月～1996年4月までの2事例に対して行った。なおモデルを適用するにあたって用いたデータはすべて、水資源開発公団丹生ダム建設所と日本気象協会関西本部から戴いたものである。適用結果を図3,図4に示す。

まず流量計算結果についてであるが、両事例とも融雪期における変動傾向はほぼ捉えられている。しかし、95年1月～95年5月の事例において顕著であるが、結果計算値が観測値を全体的に上回っており、また流量が増加する際にはパルス的な立ち上りをみせていることがうかがえる。これらの原因としては水量追跡計算において、水質追跡計算との連動を行うために、地表に溢れ出した水が時間的遅れを伴わず直ちに河道に入るようにしていることが考えられる。

pHに関しては、実現象にアシッドショックが見られ、計算値もその変動は捉えているといえる。また、2で取り入れた日内変動も正確に表現できていると思われる。(図5)しかし1996年の事例についてみると、気温の高くなる4月に近づくにつれ絶対値に開きが出てくるのがうかがえる。この時期には植生活動が活発になってくることから、その影響が要因のひとつとして考えられる。

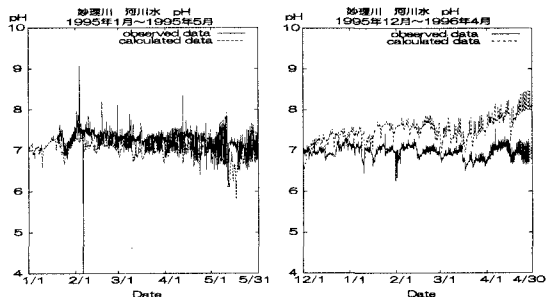
適用結果のまとめとして、対象流域が小さい分、再現することの難しさがあるものの、流量再現性が計算pH値に影響していることはモデルの性質上否めない。その意味でも今後、流量再現の精度を高める必要があるとおもわれる。



(a) 95.1~95.5

(b) 95.12~96.4

図 3: 流量計算結果



(a) 95.1~95.5

(b) 95.12~96.4

図 4: pH計算結果

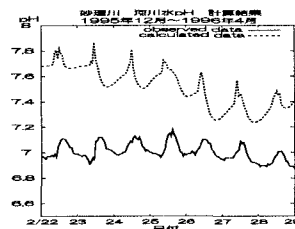


図 5: モデルにおける日内変動

6 おわりに 以上、酸性雪の河川水への影響を変動レベルでは正確に再現できたと思われる。

[参考文献]

- 1) 杉山智治・池淵周一: 森林流域における水量・水質変換モデルに関する研究, 土木学会関西支部年次学術講演会概要, II-14, 1997.
- 2) 池淵周一・久保和幸: 多層メッシュモデルによる流出再現と感度分析, 京都大学防災研究所年報, 第33号 B-1, pp167-192, 1990.