

大阪市

正員 ○田中 尚

京都大学防災研究所 正員 池淵周一

1. はじめに 土壌水の挙動に比較的細かく対応できる、多層メッシュモデルを基に、どの程度綿密にそれにリンクする物質の流れを扱えるかを検証する。水質モデルとしては、多層メッシュモデルの溪流部分のアウトプットのみを用いた集中型モデルと、全体にリンクさせた分布型モデルを構築し、考察を行う。

2. 多層メッシュモデル 池淵等¹⁾は、多層メッシュモデルを開発し、比奈地水文試験地に適用している。本研究はこのモデルをベースに種々の改良を加え、水量のみならず水質評価にも適用できるように拡張したものである。以下、多層メッシュモデルを簡単に記述しておく。

このモデルは、土壌を4層に分け、落ち葉層(A₀)を加えた5層のタンクモデルを、流域を複数のメッシュ(25m×25m)に分割した各メッシュ毎に配したモデルである。現象面から見ると、1. 降雨遮断モデル、2. 地表面浸透モデル、3. 蒸発散モデル、4. 地中流モデル、5. 河道モデル からなる。本モデルの長所は、1. 流域を3次元的に表現できる、2. 分布性を持ったデータをそのまま利用できる、3. 部分的な変化に対応可能であり、短所は、多くのパラメータを内蔵しており、モデルが複雑になることである。

なお、本モデルは扱うデータが1時間単位であるため、全てのモデルにおいてΔtを1時間とする。

3. 対象流域の概要 本研究で対象としている比奈地水文試験地は、名張市の東方約6kmに位置する。流域面積は4.07haである。この流域は最上流であり対象流域に降った雨は全て蒸発するか、観測地点に流出する。

この流域は様々な水文・気象データが取られているばかりでなく、pHや各種イオンなど20数種類の水質項目のデータが観測されている。

4. データを用いた分析 降雨時の溪流の溶存元素濃度は、溶存元素ごとに異なった流出特性を示す。まず、基底流と出水時の増分とに分離しそれぞれを比較することからこの特性を見る。具体的には、以下のような式³⁾から、基底流中と出水時における濃度の相対的な比較を行う。

$$C_2 \cdot Q_2 = C_3 \cdot (Q_1 + Q_2) - C_1 \cdot Q_1 \quad (1)$$

C_2 : 降雨後に増加した流出水濃度

C_1 : 降雨開始時(基底流)の流出水の濃度

Q_2 : 降雨後に増加した流出水の増加流出水量

Q_1 : 降雨開始時(基底流)の流出水の流出水量

C_3 : 降雨時の流出水の濃度

Q_1, Q_2, C_1, C_3 を観測値及び計算値から得ることにより、 C_2 の値を随時出す。そして、出水時中の各時点での C_2 と C_3 の比較を行う。 C_2 の方が大きければ、その時点では基底流より出水時中の方が濃度が高く、 C_2 の方が小さければ逆になる。こうしたことに注意しながら、例えばSSについて見ると、出水時に C_2 の方が大きな値を示し、しかもハイドログラフのピークが2つの場合、先のピークの方が濃度が高くなる。このことは、フラッシング効果を裏付けるものといえる。

5. 集中型負荷モデル 多層メッシュモデルの溪流流出成分のみからモデルを構築する。溪流での溶解性物質量は流量に比例し、粒状体物質は2乗に比例する様であるが、ここでは粒状体物質のSSの濃度Lを以下のように扱う。

$$L = A \cdot S^m \cdot Q_1 \cdot (Q_1 - Q_0) + B \cdot Q_2 + L_0 \quad (2)$$

L : 溪流流出負荷量 (mg) S : 貯留負荷量 (mg) L_0 : 基底流中の負荷量 (mg)

Q_1 : 出水時の表面流の増分 (mm) Q_2 : 出水時の地中流の増分 (mm)

$$S \text{ は文献}^{2)} \text{を参考に } S(t) = S(t-1) + (S_{max} - S(t-1)) \times \left(1 - \exp\left(-\frac{a \times t}{S_{max}}\right)\right) \quad (3)$$

$S(t), S(t-1)$: 時刻 $t, t-1$ での流域内での負荷貯留量(mg) a : 定数
 S_{max} : 流域内の最大負荷貯留量(mg) t : 無効降雨期間(hour)

6. 分布型負荷モデル 次に多層メッシュモデル全体にリンクしたモデルを構築する。本モデルでは土壌中の物質収支及び移動を扱う。対象物質は塩素イオン (Cl^-) および、硝酸態窒素 (NO_3-N)。降水中の負荷は以下のように降水強度の関数 (指数関数) で表す。

$$Cl^- \text{ の場合} \quad L = 7.25 \times \exp(-0.2 \times R_t) \quad (4)$$

L : 降水中の Cl^- 濃度 (mg/l) R_t : 林内雨降雨強度 (mm/hour)

$$A_0 \text{ 層は} \quad L_{s,a} = k_1 \cdot PA \quad (5)$$

$$L_{s,r} = k_2 \cdot S(t)^m \cdot Q_{s,r} \cdot (Q_{s,r} - Q_c) \quad (6)$$

$$S(t + \Delta t) = S(t) + (L_{rain} - L_{s,a} - L_{s,r}) \cdot \Delta t - k_3 \cdot S(t) \quad (7)$$

$L_{s,a}$: A_0 層から A 層へ流出する負荷量(mg/hour) PA : A_0 層から A 層への流出量(l/hour)

$L_{s,r}$: A_0 層から表面流出する負荷量(mg/hour) $Q_{s,r}$: 表面流出量(l/hour)

L_{rain} : A_0 層へ流入する林内雨・樹幹流などに含まれる負荷量(mg/hour) k_1, k_2, k_3, m : 流出係数

Q_c : 表面流出限界掃流量(l/hour) $S(t + \Delta t)$: 貯留負荷量(mg) Δt : 計算時間(hour)

とし、 $A \sim D$ 層は、浸透方向の流入・流出負荷及び流下方向の流入流出負荷をすべて $L = k \cdot Q$ (Eq. (8)) の関数形とし、タンク内の貯留状態を以下のように扱う。これらを多層メッシュモデルにリンクした。

$$S(t + \Delta t) = S(t) + (L_{i1} + L_{i2} - L_{o1} - L_{o2}) \cdot \Delta t - k' \cdot S(t) \cdot \Delta t \quad (9)$$

7. 適用結果 本研究では対象物質として SS, Cl^- , NO_3-N を用いたが、これらの出水時の渓流流出濃度の特徴はそれぞれファーストフラッシュ、希釈、濃度のピークの遅れと遅い減衰である。まず、SS は出水時のしかも初期にかなり高濃度の負荷流出があり、その出水はほとんど表面流出である (Fig. 1)。次に、 Cl^- は出水時には表面流出成分によって薄められているようであり、またその出水はかなり A 層からの成分が多いため、負荷は浸透しやすいことがわかる (Fig. 2)。そしてその比率は水よりも大きい。 NO_3-N は更に浸透しやすく、渓流流出成分に占める地中流の割合は 3 物質中最高である (Fig. 3)。このため、流出までの時間が最も遅く、渓流に現れる。Eq. (1) による解析においてもこれらの特性が明確に現れた。

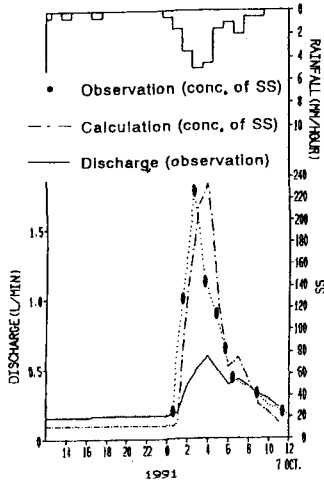


Fig. 1 Calculated concentration of SS

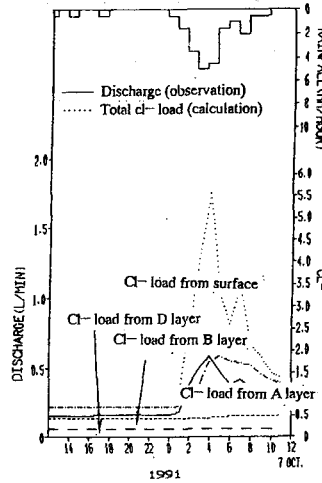


Fig. 2 Calculated Cl^- load from each layer

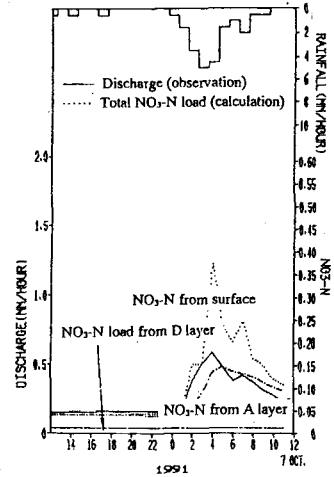


Fig. 3 Calculated NO_3-N load from each layer

8. 今後の課題 分布型モデルに関しては今後化学的効果を取り入れるなど発展性を持つが、降水中の負荷の供給量の観測にばらつきが大きく、その算定が困難である点が今後の課題である。

《参考文献》1) 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 2) 海老瀬潜一：面源負荷の流出に及ぼす水文条件の影響、国立公害研究所研究報告 第95号、p59 3) 塚本良則：森林水文学、文永堂出版、pp231~234、1992