

II-610

山地小流域における陰イオン流出機構のモデル化に関する基礎的検討

徳島大学大学院 学生員 ○ 田村 隆雄
 徳島大学工学部 正 員 端野 道夫
 徳島大学工学部 正 員 吉田 弘

1. はじめに 森林域における水質形成機構を定量的に評価し、渓流水質変化を予測することで、例えばダム貯水池の開発等にもなう水質富栄養化の解析などに有益な情報を提供することが可能になると期待できる。森林土壌内で、物質は雨水とともに移動する過程で生物化学的作用を受けることが知られているが、ここではまず物質移動の基本となる移流過程に焦点を絞ったモデリングを行い、実流域データへ適用した結果について検討を行った。

2. 物質循環モデルの概要 著者らのグループで開発した森林水循環モデル¹⁾を基礎として、森林土壌における雨水流動に物質の動態をリンクした物質循環タンクモデルを構築した（図1）。図中の各タンクは降水の透下能力や保水能力など性質の異なる土壌層を表現しており、異なった流出経路による流出成分の渓流水質形成における寄与の評価が可能となっている。まず各タンク内で逐次、水収支と物質収支の計算を行い、タンク内濃度を算定する。そして各タンクからの流出成分量にそれぞれタンク濃度を乗じて流出成分負荷量を計算し、総流出負荷量を総流出量で除することで最終的に渓流水濃度を算定す

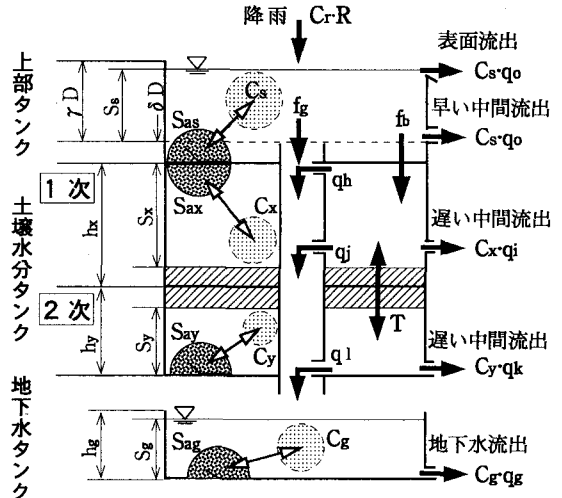


図1 物質循環タンクモデル

上部タンク

$$\begin{aligned} d\{C_s(S_s + \delta D)\} / dt &= C_r \cdot R - C_s(q_o + q_s + f_b + f_g) + v_s(k_s S_{as} - C_s)S_s - \mu_1(C_s - C_x) \\ d\{S_{as}(1 - \gamma - \delta)D\} / dt &= -v_s(k_s S_{as} - C_s) \end{aligned} \quad (1)$$

1次土壌水分タンク

$$\begin{aligned} d(C_x \cdot S_x) / dt &= C_s \cdot f_b - C_x(q_i + q_h + q_j) \mp C_{x,y} \cdot L_T + v_x(k_x S_{ax} - C_x)S_x + \mu_1(C_s - C_x) - \mu_2(C_x - C_y) \\ d\{S_{ax}(1 - f_x) / f_x \cdot h_x\} / dt &= -v_x(k_x S_{ax} - C_x)S_x \end{aligned} \quad (2)$$

2次土壌水分タンク

$$\begin{aligned} d(C_y \cdot S_y) / dt &= \pm C_{x,y} \cdot L_T - C_y(q_k + q_l) + v_y(k_y S_{ay} - C_y)S_y + \mu_2(C_x - C_y) \\ d\{S_{ay} \cdot h_y(1 - f_y) / f_y\} / dt &= -v_y(k_y S_{ay} - C_y)S_y \end{aligned} \quad (3)$$

地下水タンク

$$\begin{aligned} d(C_g \cdot S_g) / dt &= C_s \cdot f_g + C_x(q_h + q_i) + C_y \cdot q_l - C_g \cdot q_g + v_g(k_g S_{ag} - C_g)S_g \\ d\{S_{ag} \cdot h_g\} / dt &= -v_g(k_g S_{ag} - C_g)S_g \end{aligned} \quad (4)$$

ここで、 C_s, C_x, C_y, C_g : 各タンクの溶存態物質濃度 (mg/mm), $C_{as}, C_{ax}, C_{ay}, C_{ag}$: 各タンクの吸着態物質濃度 (mg/mm), C_r : 降雨濃度 (mg/l), R : 降雨強度 (mm/h), $q_o, q_s, q_h, q_i, q_l, q_k, q_l, f_b, f_g, q_g$: 各流出ならびに地下水かん養よう成分強度 (mm/h), L_T : 1次・2次土壌水分交換強度 (mm/h), $C_{x,y}$: 例えば L_T が1次タンクから2次タンクへ向かう場合は1次タンク収支式で $-C_x$, 2次タンクで $+C_x$, 逆の場合はそれぞれ $+C_y$, $-C_y$ をとる, S_s, S_x, S_y, S_g : 各タンク内の貯留高 (mm), γ, δ, f_x, f_y : 各タンクの土壌間隙率, D, h_x, h_y : 各タンクの土壌層厚 (mm), v_s, v_x, v_y, v_g : 溶存態・吸着態物質交換強度係数, k_s, k_x, k_y, k_g : 溶存態・吸着態交換係数, μ_1, μ_2 : 上部・1次タンクならびに1次・2次タンク間の溶存態物質拡散係数 (mm/h)

図2 各タンク内における物質収支式

る。物質収支式を図2に示す。各タンク内における物質収支式は土壌空隙部分の流動しやすい溶存態物質と土粒子構造に取り込まれて動きにくい吸着態物質に関する2つからなっており、雨水流動にともなう移流負荷量、隣り合うタンクとの濃度勾配で移動する負荷量、ならびに溶存態と吸着態との間で交換される量の項を考慮している。モデル計算における溶存態や吸着態物質の初期濃度の設定については、観測で得られた土壌水濃度等を参考にして初期値を与え、未知パラメータとして同定する。また林外雨は樹冠通過雨成分や樹幹流下成分として森林土壌に到達するが、モデル中で用いる降雨濃度(C_r)には最も割合の多い樹冠通過成分の濃度を使用する。各モデルパラメータについては計算渓流水濃度と観測渓流水濃度の誤差を最小にするような値の組み合わせを最適化手法を用いて探索する。

3. モデル計算結果 土壌中における Cl^- は陰イオンの中でも生物・化学的作用を受けにくく、また土壌コロイドに最も吸着されにくい物質とされている²⁾。したがって本研究のように雨水流動にともなう動態を評価する対象としては都合が良い。そこで、1992年9月24日～26日における徳島県白川谷森林試験流域での渓流水 Cl^- 濃度の観測結果³⁾に本モデルを適用し渓流水濃度の経時変化の再現を試みた。図3にその結果を示す。図は上から順に観測ハイトグラフ、渓流水塩素イオン濃度の観測値と物質循環モデルによる計算値、ならびに観測ハイドログラフと水循環モデルによって各流出成分に分離した結果をそれぞれ示している。ハイドログラフの逓減期において本モデルによる渓流水濃度の計算値は観測値より過小評価気味であるが、全般的にみて、渓流水濃度変化を再現できていることが分かる。 Cl^- の他に SiO_2 や SO_4^{2-} についても解析を行ったが、 Cl^- と同じ程度に再現することができた(講演時に発表予定)。したがって本研究で提案するモデルの基本構造の妥当性が示されたと考える。

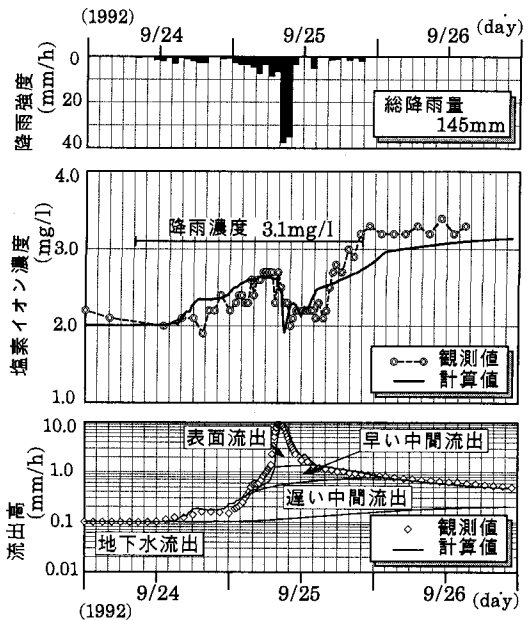


図3 モデル計算結果

4. おわりに 一降雨という短期間のデータを用い、生物・化学的作用を除外した森林土壌中における物質の動態に関するモデリングとその検討を行った。その結果、タンクモデルを基礎とした物質循環モデルを用いて、森林流域における物質動態を評価する方法論としての基本的な見通しが立ったと考える。しかし今回用いた一降雨のデータだけではモデルの細かい点まで十分に検討することができなかった。またモデルの検証材料として、土壌吸着物質量の詳細なデータ収集を行うとともに、境界条件である降雨負荷量の設定方法を検討する必要がある。今後は観測データの蓄積を図り、生物・化学的作用などをモデル中に取り込んだ上で季節変動を考慮に入れた長期間での物質収支を解析する予定である。

参考文献

- 1) 端野道夫ら：森林水循環モデルと水収支の評価, 水工学論文集, 36, pp. 521-528, 1993.
- 2) 中野政詩：土の物質移動学, 東京大学出版会, pp. 54-58, 1991.
- 3) 吉田弘ら：山地小流域での渓流水質形成過程に関する基礎的検討, 水工学論文集, 38, pp. 271-276, 1994.