

降雨遮断過程における溶存物質動態の数理モデル化に関する基礎的検討

徳島大学大学院 学生員 ○廣本 勝昭
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 著者らのグループは森林の有する水質浄化機能を評価するためには、森林土壌内での物質循環機構と溪流への流出機構を定量的に把握する必要があると考え、物質流出タンクモデル¹⁾による定量評価を行ってきた。しかし、物質循環機構を定量評価するためには、土壌への入力負荷量の正確な把握²⁾がその前提条件となる。また、森林樹木自身の水質浄化機能に関しても、ほとんど議論されていないのが現状である。そこで、著者らは降雨遮断過程における溶存物質の移動機構を定量評価する方法論として、物質移動機構の数理モデル化を試みた。ここでは、本モデルを実スケールでの樹木に関する観測データへ適用し、モデルの妥当性について検討する。

2. 学内観測の概要 降雨遮断過程における溶存物質動態の数理モデル化を行うにあたって、各降雨成分の質と量に関するデータを得るため、徳島大学常三島キャンパス内にて1994年10月10日～12月9日の期間に合計5回の降雨イベントで観測を行った。今回は、クスノキ（樹高約12m、胸高直径0.376m）を調査対象樹木に選定し、降雨イベントに関する林外雨、樹冠通過雨、樹幹流の雨量および水質データを得た。

3. 物質移動タンクモデルの概要 本研究では「溶存物質の移動は雨水流動にともなって起こる」という基本仮定のもとにモデリングを試みた。したがって、雨水流動を的確に把握することが物質移動を表現する上での前提条件となる。そこで、著者らのグループが開発した降雨遮断タンクモデル³⁾を基礎として、降雨遮

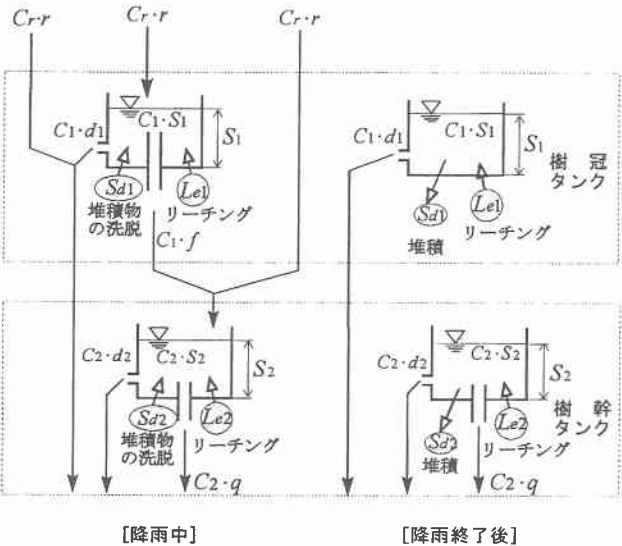


図-1 物質移動タンクモデルの構造

〔樹冠タンク〕

$$\frac{d}{dt}(C_1 \cdot S_1) = \underbrace{C_r \cdot r - C_1 \cdot d_1 - C_1 \cdot f}_{\text{移流成分}} + \underbrace{Le_1 + S_{d1}}_{\text{リーチ 堆積物の溶脱}} \quad (1)$$
$$Le_1 = \beta_1 \frac{S_1}{h_a}$$

〔樹幹タンク〕

$$\frac{d}{dt}(C_2 \cdot S_2) = \underbrace{C_r \cdot r + C_1 \frac{P_1}{P_2} f - C_2(d_2 + q)}_{\text{移流成分}} + \underbrace{Le_2 + S_{d2}}_{\text{リーチ 堆積物の溶脱}} \quad (2)$$
$$Le_2 = \beta_2 \frac{S_2}{h_c}$$

ここに、 r : 降雨強度 ($\text{mm} \cdot \text{hr}^{-1}$)、 S_1, S_2 : 各タンクの貯留水深 (mm)、 d_1, d_2 : 各タンクからの滴下強度 ($\text{mm} \cdot \text{hr}^{-1}$)、 f : 樹冠タンクから樹幹タンクへの流下強度 ($\text{mm} \cdot \text{hr}^{-1}$)、 q : 樹幹流下強度 ($\text{mm} \cdot \text{hr}^{-1}$)、 C_r : 降雨濃度 ($\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$)、 C_1, C_2 : 各タンクの貯留水濃度 ($\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$)、 P_1, P_2 : 樹冠および樹幹部射影面積の規準面積に占める割合、 h_a : 樹冠タンクの滴下発生限界貯留水深 (mm)、 h_c : 樹幹タンクの樹幹流発生限界貯留水深 (mm)、 β_1, β_2 : 各タンクにおける物質溶出係数、 S_{d1}, S_{d2} は1つ前の降雨イベントから繰り越された堆積物質量 (mg) で $t = \Delta t$ の最初のステップでのみ考慮される。

図-2 各タンク内における物質収支式

断過程における雨水流動に溶存物質の移動を連係させた数理モデルを構築した（図-1）。本モデルは森林樹木の枝葉の部分を表す樹冠タンクと幹の部分を表す樹幹タンクの2つで構成されている。また、降雨中の雨滴の衝撃効果による雨水流動の差異を表現するため、降雨中と降雨終了後では構造が異なっている。各タンク内での物質収支式を図-2に示す。本モデルでは、a) 雨水流動にともなう物質の移流、b) 蒸発乾燥にともなう物質の堆積と雨水による洗脱、c) 樹体からの物質の溶出（リーチング）の3つの過程が考慮されている。計算手順としては、まず各タンクでの水収支（詳細は参考文献3）を参照）と(1)、(2)式により計算される物質収支から、タンク内の濃度を逐次計算する。続いて、各タンクからの移流成分にそのタンク内の濃度を乗じることで、その移流成分によって運ばれる物質負荷量を算定する。今回の対象物質には Cl^- と SO_4^{2-} を採用した。各モデルパラメータは、樹幹流濃度の推定誤差として採用した χ^2 誤差⁴⁾を最小にする組み合わせをSIMPLEX法により探索することで同定される。

4. 本モデルの適用結果 イベント1（10月21日）およびイベント2（11月2～3日）における樹幹流 Cl^- 濃度の観測値に本モデルを適用した結果を図-3および図-4にそれぞれ示す。図はそれぞれ上から順にハイトグラフ、樹幹流下強度の観測値とモデル推定値、および樹幹流濃度の観測値とモデル推定値である。

同図より、異なる降雨イベントにおいて樹幹流濃度は良好に再現されている。また、 SO_4^{2-} についても Cl^- と同程度に樹幹流濃度を再現できていることから（講演時に発表予定）、モデルの基本構造の妥当性が示されたと考える。

5. おわりに 降雨遮断過程における溶存物質動態の数理モデル化を行い、モデルを降雨観測で得られた短期間のデータに適用して検証を行った。その結果、 Cl^- と SO_4^{2-} について樹幹流濃度の経時変化を良好に再現できたことから、降雨遮断過程における物質動態の評価法としての基本的な見通しが立ったと考える。したがって、今後はさらに多数の観測データへの適用によってモデル構造を確立するとともに、森林流域で降雨の約7～8割を占めるとされる樹冠通過雨の濃度も再現できるモデルへと展開していく予定である。

参考文献

- 1) たとえば、吉田弘ら：森林流域における物質流出機構の数理モデル化に関する基礎的検討，水工学論文集，39，pp. 1-6，1995。
- 2) Uichiro Matsubayashi et al.：On The Physical and Chemical Properties of Throughfall and Stemflow，水工学論文集，38，pp. 57-62，1994。
- 3) 吉田弘ら：樹幹流データを利用した降雨遮断タンクモデルによる森林蒸発量の推定法，水文・水資源学会誌，6(1)，pp. 19-30，1993。
- 4) 永井明博ら：タンクモデルの最適同定法に関する基礎的検討，京大防災研究所年報，第23号，B-2，pp. 239-247，1980。

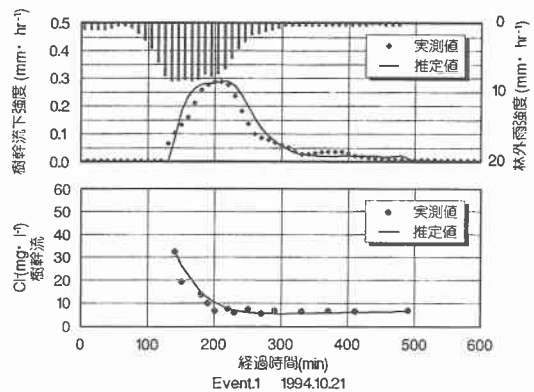


図-3 イベント1におけるモデル計算結果

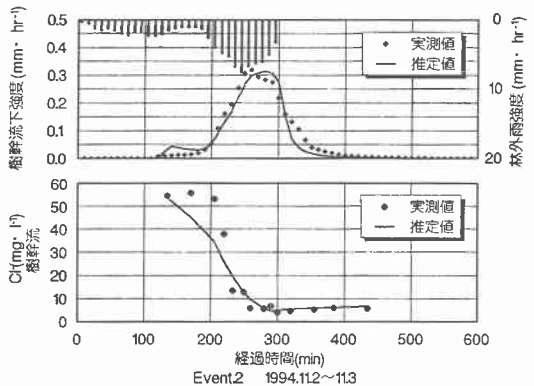


図-4 イベント2におけるモデル計算結果