

タンクモデルを用いた林内降雨の水質特性のモデル化

名古屋大学大学院 学生員 貴家 尚哉
 名古屋大学工学部 正 員 〇松林 宇一郎
 名古屋大学工学部 正 員 高木 不折

1. はじめに

山地小流域における雨水流出現象のモデル化に際してこれまでの多くは森林と土壌層とをまとめたシステムとして扱い、林外雨をそのインプットとして考えてきた。しかしながら降雨は樹木による遮断や集中化を受ける過程において量的及び水質的に変化する。これまでに端野ら(1992)はタンクモデルを用いて森林域の水収支をモデル化している。著者らは1991年より愛知県犬山市にある山地小流域(流域面積17.1ha)の広葉樹林部において樹冠通過降雨(ThF)と樹幹流(SF)について強度、比電気伝導度(SC), pH, イオンの測定を行ってきている。本研究では観測結果を踏まえ、タンクモデルを用いた林内降雨のモデル化を行い、それを基に水質特性についての検討を加える。

2. タンクモデルを用いた林内降雨のモデル化

本研究で用いるタンクモデルの概念図を図-1に、基礎式を式(1)～(2)に示す。 h, h' はそれぞれのタンクの貯留水深である。このモデルは樹冠を表わすタンクAと樹幹を表現するタンクBから構成される。パラメータの意味として、 h_A, h_B はそれぞれ樹冠部と幹における損失水深を表し、林内降雨の時間遅れや降雨の損失量に影響を及ぼすものである。また降雨強度が強いときには樹冠部での貯留限界があると考え、タンクAの水深には上限値 H_A を設定した。一方タンクBではそのような限界を考えない。タンクAからの流出は樹冠通過降雨とタンクBへのインプットに分離されると考えるがその分配率をパラメータ α, β で考える。 k_A, k_B はそれぞれのタンクの流出のし易さを示す係数である。

本モデルは降雨中、降雨後を通じて、各タンクで(1),(2)式に示す三通りの状態をとる。a), a'): 樹冠通過降雨、樹幹流は発生しているがそれぞれの貯留限界を越えない状態。b), b'): 降雨強度が強くそれぞれの貯留限界を越える状態。c), c'): 樹冠降雨、樹幹流が生じていない状態で、降雨の初期や降雨後の状態である。

初期条件は樹木表面が乾燥していると考え、式(3)で表わす。また、今回のモデルでは降雨中の蒸発を無視しているが、無降雨でかつ林内雨が0の時には樹木が1日で乾燥するものとして一定の蒸発量を考えている。

次に林内雨の水質特性をモデル化するために、タンクA、タンクB内の物質のバランスを表わす式(4)を導入する。ここで C_r, C_A, C_B はそれぞれ降雨及び各タンク内の濃度を表し、 S_A, S_B は各タンク内における溶質供給率を示す。この S_A, S_B は、ある基準濃度 C_{A0}, C_{B0} からの濃度差に対し γ_A, γ_B の割合で溶質の供給を行うものとする。

3. モデルによる結果

1993年9月9日の降雨(総降雨量75mm)を対象に先のモデルによる計算を行い、図-2に観測値と計算結果を示す。図中の上部2段は、林外降雨 r と樹冠通過降雨ThFを棒グラフで、樹冠通過降雨強度の計算値を折れ線で示し、図の下部の2段は林外降雨、樹幹流及び樹冠通過降雨のSCと Ca^{2+} の濃度を示しており、観測値を実線で、計算値を破線で表している。林内降雨の遅れ時間は主に樹冠部

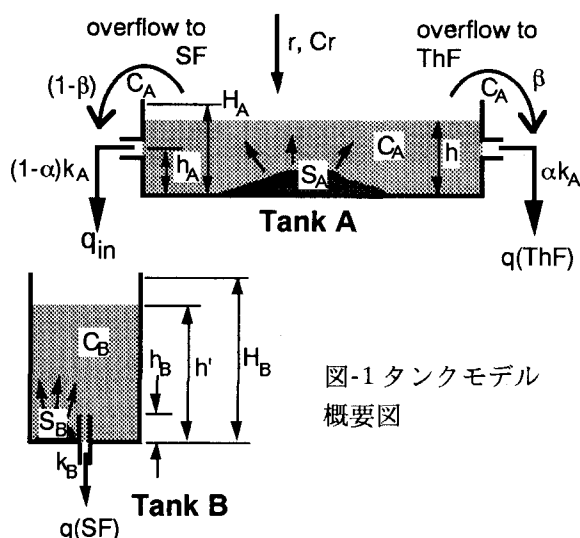


図-1 タンクモデル
概要図

Tank A

$$\begin{aligned}
 & \text{a) } \frac{\partial h}{\partial t} = r - k_A(h - h_A); \\
 & \quad q_{in} = k_A(h - h_A)(1 - \alpha); \quad q(ThF) = k_A(h - h_A)\alpha \\
 & \text{b) } \frac{\partial h}{\partial t} = 0, \quad h = H_A; \\
 & \quad q_{in} = k_A(h - h_A)(1 - \alpha) + (r - k_A(H_A - h_A))(1 - \beta); \\
 & \quad q(ThF) = k_A(h - h_A)\alpha + (r - k_A(H_A - h_A))\beta \\
 & \text{c) } \frac{\partial h}{\partial t} = \begin{cases} r & ; r > 0 \\ -\frac{h_A}{1 \text{ day}} & ; r = 0 \end{cases}; \quad q_{in} = 0; \quad q(ThF) = 0
 \end{aligned}$$

Tank B

$$\begin{aligned}
 & \text{a') } \frac{\partial h'}{\partial t} = q_{in} - k_B(h' - h_B); \\
 & \quad q(SF) = k_B(h' - h_B) \\
 & \text{(2) b') } H_B = \text{large enough} \quad ; \quad q(SF) = k_B(h' - h_B) \\
 & \text{c') } \frac{\partial h'}{\partial t} = \begin{cases} q_{in} & ; q_{in} > 0 \\ -\frac{h_A}{1 \text{ day}} & ; q_{in} = 0 \end{cases}
 \end{aligned}$$

(3) At $t=0$, $h = h' = 0$

$$\begin{aligned}
 & \text{(4) } \begin{cases} h \frac{\partial C_A}{\partial t} = (C_r - C_A)r + S_A; \quad h' \frac{\partial C_B}{\partial t} = (C_A - C_B)q_{in} + S_B \\ \text{where, } S_A = \gamma_A(C_{Ao} - C_A); \quad S_B = \gamma_B(C_{Bo} - C_B) \end{cases}
 \end{aligned}$$

で生じその時間は約10分であるという実測結果よりタンクA,Bの損失水深はそれぞれ h_A は1mm, h_B は0.1mmとした。又 H_A は2.3mmとした。降雨に対する林内降雨の応答の速さから、タンクパラメータは $k_A=2.0$ 及び $k_B=6.0(1/\text{hr})$ とした。またパラメータ α , β については降雨の71%がThFになるということから同定の結果それぞれ0.75及び0.9とし、これらの計算を終えた後、水質の同定を行う中で、パラメータ C_A , C_B はそれぞれ、SCに対して60,60 $\mu\text{S/cm}$, Ca^{2+} に対しては2.0, 2.0ppmとなり、また、 γ_A , γ_B はそれぞれSCに対して0.15, 0.0mm/hr, そして Ca^{2+} に対しては0.25, 及び0.18mm/hr となった。これは、樹冠が幹に比べて表面積が大きく多くのイオン源を持っているためと考えられる。この降雨においては樹幹流強度のデータが欠けているため強度の同定は行っていないが、他の降雨において上のパラメータを用いたところ良好な計算結果が得られている。

4. おわりに

現在、弱い降雨や濃度の低い場合での同定が問題となっており、一方で植生を通した水の化学的性質はいまだ不明な点が多く、 S_A や S_B の定式化を困難にしている。この様な問題点はあるものの、本研究で提案したモデルは林内降雨の物理的・化学的特性の解明に有用であろう。

参考文献 端野 他：森林水循環モデリングと水収支の評価、水工学論文集第36巻pp.521-528.1992.

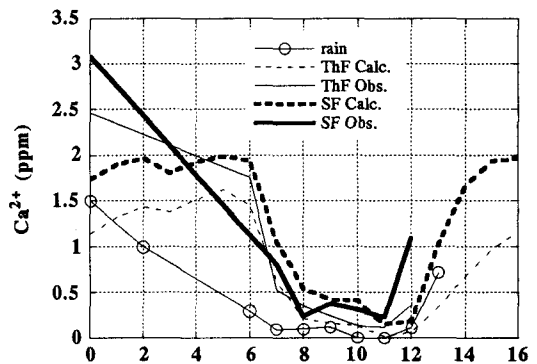
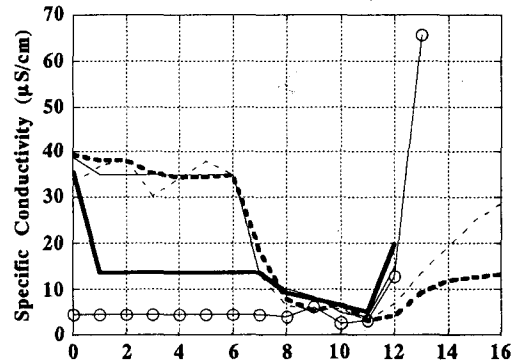
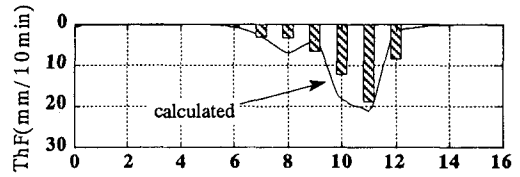
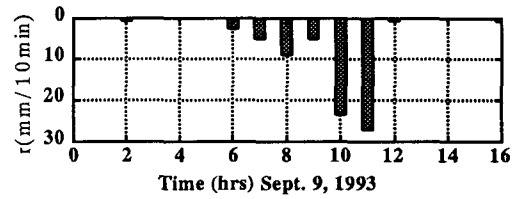


図-2 タンクモデルの計算結果