

## 降雨遮断タンクモデルにおける 蒸発の定式化について

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  
 徳島大学大学院 学生員 中谷 達志  
 徳島大学大学院 学生員 ○木村 誠

1. はしがき： 樹木による降雨遮断機構のモデル化は、森林水収支の解明および水資源開発における重要課題である。本研究は、これまでの研究<sup>1)</sup>により得られた降雨遮断タンクモデルを用いて、降雨遮断量を推定する上で特に重要となる降雨中蒸発量の定式化を試み、その妥当性を比較検討するものである。

2. 降雨遮断タンクモデルとパラメータ同定法： 昨年度までの研究により、実現象を最も適切に表現するタンクモデルとして、樹木を樹冠タンクと流下タンクの2つのタンクで表現するモデル（図-1）を確立した。本モデルでは、図-1に示すように降雨中と降雨終了後ではモデルの各パラメータの値が雨滴衝撃効果の影響により異なると考える。また降雨終了後では、樹冠から幹への水分移動がないものと考え各タンクは互いに独立であるとする。タンクからの流出成分（雨滴落下と樹幹流下）は、降雨中で(1)式、降雨終了後では(2)式を用いて表現する。以上のような特徴を持つ本モデルの水収支式は(3)、(4)式のようになる。

パラメータは図中の下線が施されたものとし、このうち○で囲んだパラメータを最適化手法の変数とする。残りのパラメータはパラメータ間の関係式より求める。樹冠部および幹部の支配面積である $p_1$ 、 $p_2$ は実測値を用いる。最適なパラメータは実測樹幹流下量と差分計算により推定される樹幹流下量の誤差二乗和を評価関数として最適化手法により探索される。

3. 降雨中蒸発量の定式化： 過年度までは、降雨中であれば蒸発量が小さいと考え、(3)、(4)式中の蒸発強度 $E_1$ を便宜的に零としてパラメータ同定を行ってきた。これに対して本研究では、次の3つのタイプのモデルを設定する。

- ①モデルA；降雨中蒸発強度 $E_1$ が降雨期間中一定とするモデル（一定型）

$$E_1 = \alpha \cdot E_{1P}$$

- ②モデルB； $E_1$ が樹冠タンクの貯留水深に比例するモデル（1乗型）

$$E_1 = \alpha \cdot E_{1P} \cdot (S_1 / h_{a2})$$

- ③モデルC； $E_1$ が樹冠タンクの貯留水深の1/2乗に比例するモデル（1/2乗型）

$$E_1 = \alpha \cdot E_{1P} \cdot (S_1 / h_{a2})^{1/2}$$

ただし、 $\alpha$ ：蒸発係数（無名数）、 $E_{1P}$ ：Penman式による可能蒸発強度（mm/hr）、 $S_1$ ：樹冠タンクの貯留水深（mm）である。実森林においては、湿潤な枝葉の面積が大きいほど蒸発量が大きくなると考えられることから、本研究では現象を再現するために、モデルB、Cのように蒸発強度が樹冠タンクの水分量に比例するモデルを設定した。また降雨終了後のパラメータである $h_{a2}$ を用いて $S_1$ を除いたのは、 $\alpha$ を無次元化する

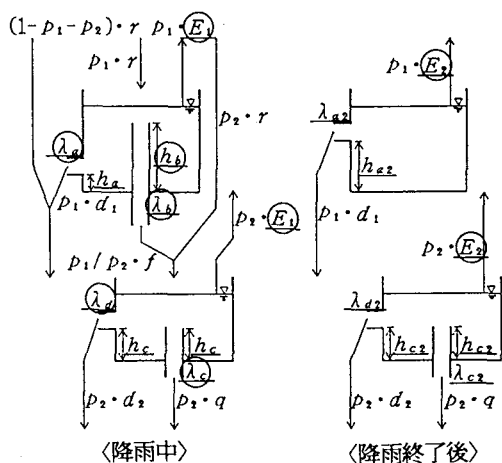


図-1 降雨遮断タンクモデル

$$\left. \begin{aligned} d_1 &= \lambda_a \cdot (S_1 - h_a) & f &= \lambda_b \cdot (S_1 - h_b) \\ d_2 &= \lambda_d \cdot (S_2 - h_c) & q &= \lambda_c \cdot (S_2 - h_c) \end{aligned} \right\} (1)$$

$$\left. \begin{aligned} d_1 &= \lambda_{a2} \cdot (S_1 - h_{a2})^2 & f &= 0 \\ d_2 &= \lambda_{d2} \cdot (S_2 - h_{c2})^2 & q &= \lambda_{c2} \cdot (S_2 - h_{c2})^2 \end{aligned} \right\} (2)$$

$$d S_1 / d t = r - E - d_1 - f \quad (3)$$

$$d S_2 / d t = r - E + p_1 / p_2 \cdot f - d_2 - q \quad (4)$$

ためである。以上の3モデルを用いて実森林データを解析し、比較検討を加える。

4. パラメータ同定に用いた実森林データ： 国立環境研究所筑波森林試験地(図-2)を対象とし、林内雨量と樹幹流下量の時間変化データを観測した。観測地の標高は約270mである。林外雨量の観測地点は標高約200mであり、林内雨量および樹幹流下量の観測地点とは約400mの距離がある。対象とする樹木はスギで樹齢24~27年生、樹高約15m、胸高直径約25cmのものである。林内雨量、林外雨量、樹幹流下量は、転倒マス式自記雨量計で計測され、10分間隔でデータロガーに収録された。林内雨量は雨滴落下開始時刻ならびに終了時刻の決定に用いる。樹幹流下量は単位面積当たりの値(mm/hr)に換算している。

5. 各モデルの比較検討： まずモデルA(一定型)と、モデルB(1乗型)を比較する。蒸発係数 $\alpha$ の値について見ると(表-1)、モデルAではその値のばらつきが大きいモデルBでは、ほぼオーダが揃っている。このことから、降雨中蒸発量を考慮するモデルとしては樹冠タンクの貯留水深に比例するモデルが妥当であると考えられる。つぎにモデルB(1乗型)とモデルC(1/2乗型)を比較する。これらのモデルの比較検討は降雨量とパラメータ同定により得られる推定遮断量(降雨中蒸発量と降雨終了後の蒸発量および樹木の推定付着水分高 $\langle p_1 \cdot h_{a2} + p_2 \cdot h_{a2} \rangle$ の和)の関係に注目して行う。図-3は各モデルを用いて実森林データを解析し、得られた降雨量に対する遮断量の関係を描き、その回帰直線を示したものである。また参考のため、林業試験場(東京、海拔25m、スギ) および妙義山森林測候所(群馬、海拔427m、スギ)における実測データより算定した回帰直線も併せて描いた。この図のように、モデルBとモデルCでは、モデルCによる回帰直線のほうが、若干、参考データ(林業試験場および妙義山森林測候所のデータ)による回帰直線とその傾向が近くなり、一般に知られている降雨量と総遮断量の比例関係を再現している。本モデルの解析対象である筑波森林試験地と前述の参考データの観測地との種々の条件(気象条件、観測期間、観測方法、地形、日照環境、林況)の違いも併せて考慮すれば、蒸発強度 $E_1$ が樹冠タンクの貯留水深に比例するモデルの妥当性が確認できる。

6. あとがき： 降雨中蒸発量を考慮する降雨遮断タンクモデルとしては、蒸発強度が樹冠タンクの貯留水深に比例するモデルが適切であることが明らかになった。今後は、データの蓄積を図り、モデルBとモデルCの傾向をしらべ、最適モデルを決定する。また、蒸発係数 $\alpha$ の季節変化の特性を調べ、降雨遮断モデルの季節変化についての検討も行う。

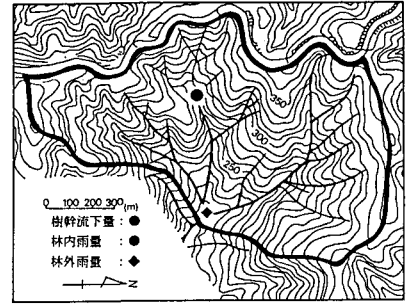


図-2 降雨遮断データの観測値の状況

表-1 主なデータによる蒸発係数 $\alpha$

| DATE  | $\alpha$ (モデルA) | $\alpha$ (モデルB) |
|-------|-----------------|-----------------|
| 1/23  | 0.05653         | 0.53252         |
| 4/19  | 0.00526         | 0.06693         |
| 5/ 7  | 1.42109         | 0.65512         |
| 5/23  | 2.73351         | 0.25739         |
| 7/ 3  | 1.59464         | 0.96142         |
| 8/29  | 0.05812         | 1.61277         |
| 9/25  | 0.00003         | 0.37881         |
| 10/15 | 0.00490         | 0.00704         |

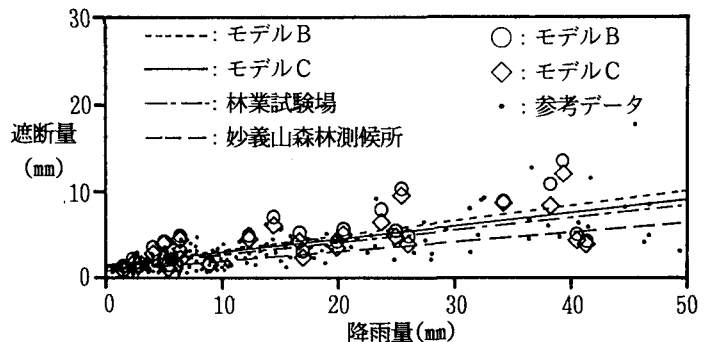


図-3 降雨量と遮断量の関係

[参考文献] 1) 端野道夫・吉田弘・中谷達志; 実森林樹幹流データによる降雨遮断モデルの比較検討 水工学論文集, Vol. 35, pp. 87-92, 1991.