

ヒートパルス速度を用いた実森林蒸散量推定法について

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 ○坂 宏二
 徳島大学大学院 学生員 加藤 徳

1. はじめに：森林流域の水収支を定量的に解明するためには、流域蒸発量、蒸散量の的確な算定が必要である。従来はそれらを分離して評価する方法が確立されていなかったために一まとめにして取り扱ってきたが、これら2つはまったく構造的に異なるのでそれぞれを区別して取り扱う必要がある。そこで、蒸散過程における水移動が樹幹内の樹液の流れとして表れていることに着目し樹液流速の指標であるヒートパルス速度を計測する¹⁾。また一方で実測値の代りに現地の気象データより推定したPenmanの可能蒸発散強度を与え、これら2つの関係を定式化することにより蒸散抑制効果をも含んだ実森林蒸散量の推定方法を提案する。

2. 屋外蒸散実験：基礎的データを得るために図-1に示す透明ビニール製のテント内で9年生のヒノキとサングジュを用いて屋外蒸散実験を行った。図-1のようにヒートパルス速度は土壌面近傍で計測した。(設置位置：表皮より深さ1.0cm、2秒間加熱)したがって、近似的に根系による吸水強度に対応すると考えてよい。蒸散量は試料木と植木鉢全体の重量変化として計測することにし、電子天秤と台ばかりを組み合わせた装置を用いた。また樹冠付近の気象データとの関連性を検討するため、気温、相対湿度、葉面温度および純放射量を同時に計測するとともに、土壌水分の多寡が蒸散過程に与える影響を検討するため、土壌水分張力の計測も併せて行った。

3. 蒸散抑制を含む蒸散量推定モデルの定式化：

本モデルは蒸散モデル²⁾と吸水モデルの2つから構成されている。蒸散モデルは樹体水分の収支式(1)、樹体水分量変化を規定する式(2)ならびに樹液流速の指標であるヒートパルス速度 V_h と吸水強度 E_s との関係式(3)よりなる。これらを整理し水分ストレス S_T に関する二階常微分方程式の解と、水分収支式を連立することで蒸散量推定式が得られる。一方吸水モデルは土壌水分ポテンシャルの減少に伴う蒸散抑制現象の表現をねらいとしている。その検証例として実測吸水量と可能蒸発散量との比(比吸水量と称することにする)と土壌水分ポテンシャルとの関係を図-2に示す。土壌水分が十分にあるとき比吸水量はほぼ一定値を示しているが、土壌水分ポテンシャルがある値以下になると比吸水量もほぼ線形的に減少することがわかる。したがって、これらのことを定式化すると(4)式となる。³⁾

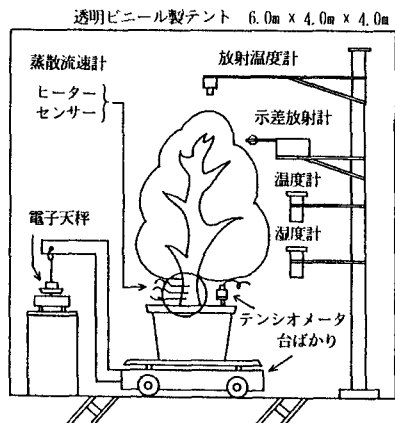


図-1 実験装置の概要

モデルの基礎式

蒸散モデル

$$\text{水収支式: } \frac{dS_T}{dt} = E_T - E_s \quad (1)$$

$$\text{水分ストレス式: } \beta \frac{d(E_T - E_s)}{dt} + \alpha(E_T - E_s) + S_T = \gamma E_T \quad (2)$$

$$\text{ヒートパルス速度と吸水強度の関係式: } V_h = K \cdot E_s^m \quad (3)$$

吸水モデル

吸水強度と土壌水分量との関係式

$$E_s(\psi) = \begin{cases} E_{s\max} & (\psi > \psi_c) \\ E_{s\max} \{m(\psi - \psi_c) + 1.0\} & (\psi_a < \psi < \psi_c) \\ 0 & (\psi < \psi_a) \end{cases} \quad (4)$$

ここに、 $E_{s\max}$: 最大吸水強度、 m : 減少部分の傾き ψ_c : 比吸水量が減少し始める点の土壌水分ポテンシャル、 ψ_a : 任意の土壌水分ポテンシャルである。

評価関数

$$F = \sum_{i=1}^N (E_{s, \text{obs}} - E_{s, \text{est}})^2 \quad (5)$$

ここに、 $E_{s, \text{obs}}$: 実測吸水量、 $E_{s, \text{est}}$: 推定吸水量、 N : データ数である。

4. パラメータの推定方法：基礎式中のモデルパラメータである α 、 β 、 γ 、 K 、 p 、 E_{smax} 、 m 、ならびに ϕ を求めするために(5)式の評価関数 F を定義する。 F を最小にするパラメータを小谷が開発した非線形最小二乗法のプログラムを用い図-3の手順で探索された。

5. 推定結果と考察：図-4は平成3年10月15日のデータにモデルを適用し蒸散量を再現したものである。朝夕は、若干適合度が低く、ピーク時の微妙な変化がうまく表現できていないが、全般的にみれば概ね良好である。Penmanの可能蒸発散強度は植生の生理条件を反映していないという点で必ずしも蒸散量を十分に代表できていないことを考慮すれば、日単位での相対誤差が10%に収まっていることより、実蒸散量推定法の第一段階としてはほぼ妥当な結果が得られたといえる。時間単位での実測値をうまく表現できない理由の一つとして ϕ を一定とおいている点が考えられる。そこで蒸散と吸水のアンバランスに伴う樹体水分量の変化が気孔の開閉に関連することに着目し、水分ストレス S_T と ϕ の関係をまとめたのが図-5である。水分ストレス S_T が増加するにしたがって ϕ は線形的に減少し、水分ストレスがある値以上になると一定値を保つ傾向を示すことがわかる。このようなことを考慮して減少直線の傾きおよび ϕ が一定値をとり始めるときの水分ストレスの値などもモデルパラメータとして取り入れ、その他のパラメータと一括して同定することにより推定精度の向上が期待できる。

6. むすび：本モデルを蒸散実験結果に適用したところほぼ良好な推定結果を得た。今後は、上記のように ϕ と水分ストレスの関係をモデルに組み込むことで時間単位での精度向上を図り、実森林流域への適用を行う予定である。

参考文献 1) 森川：東大農学部演報, vol. 66, pp. 215~297, 1974. 2) 端野・吉田：年講, pp. 104~105, 1991., 3) 例えばFeddes et. al. : J. of Hydrogy, vol. 31, pp. 13~26, 1976.

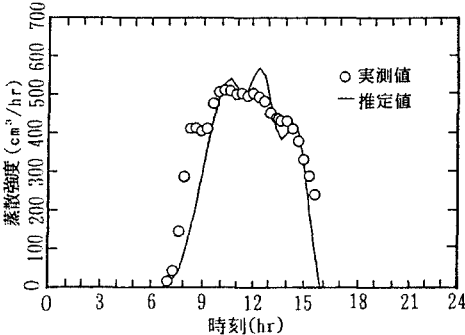


図-4 蒸散量再現結果

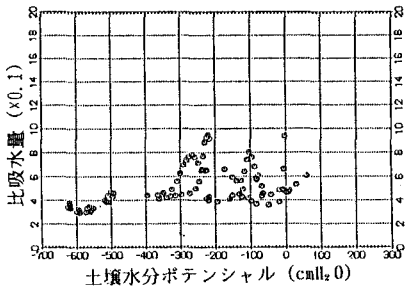


図-2 比吸水量と土壌水分ポテンシャルの関係

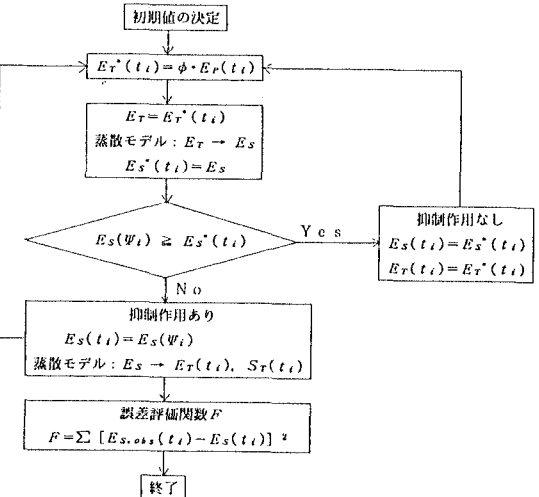


図-3 パラメータ同定の手順

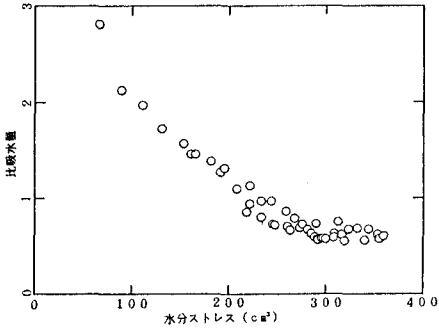


図-5 水分ストレスと比吸水量との関係