

II-322

ヒートパルス速度を用いた数理モデルによる
実森林蒸散量推定法

徳島大学大学院 学生員 加藤 徳
 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

1. はじめに: 土壌・植生・大気連続体(SPAC)をなす森林流域において、蒸散過程はこれら3要素を連結する上で重要な役割を担っている。適正な水資源の開発、管理を行うためには、蒸散過程に独特な環境条件による頭打ちや抑制現象も考慮に入れた流域蒸散量推定法の確立が必要である。本研究では、屋外蒸散実験データで妥当性を検証したヒートパルス速度による蒸散量推定モデル¹⁾を現地観測データへ適用し、実森林流域における蒸散量推定法としての妥当性を検討する。

2. 蒸散量推定モデル: 従来は微気象データから算定される可能蒸発散強度を規準量として、これに経験定数を乗じることで便宜的に蒸散量を推定することが多かった。しかし、こうした方法では植生や土壌の条件を反映されることは困難であり蒸散量推定法として限界がある。一方、本研究では蒸散強度と密接な関係を有する樹液の流れを直接モニタリングしたヒートパルス速度に基礎をおくことから従来の方法よりも有力である。しかし、ヒートパルス速度を利用した既往の研究例では、ほとんどが測定されたヒートパルス速度を直接に樹液流量と結び付けるという方法論を取っている。²⁾ この場合、多段階のキャリブレーションが必要である上に、推定の対象がヒートパルス速度を計測した樹木のみに限定されるという点で流域スケールの推定法としては限界があるといえよう。本研究ではこのヒートパルス速度を間接的な指標と捉え、これと微気象データから算定される可能蒸発散強度との関係を定式化するという立場から蒸散量を推定する数理モデルの構築を行った。本モデルは蒸散過程を表現する蒸散モデルと根系の吸水過程を表現する吸水モデルとから成る。蒸散モデルは樹体水分に関する水収支式(1)、樹体内の水分欠損量(水分ストレス) S_T の式(2)、ならびにヒートパルス速度 V_h と吸水強度 E_s との関係式(3)から成る。これらを整理し S_T に関する2階常微分方程式の解と水収支式を連立することで蒸散量が推算される。過年度の研究で土壌水分量がある値を下まわると、その土壌水分の減少に伴い吸水量もほぼ線形に減少するという現象が確認されたことから、これを吸水モデル(式(4))として組み込み、蒸散抑制効果を考慮に入れた。いうまでもなく実森林において真の蒸散強度は計測不可能であるから、その代わりに微気象データから算定されるPenmanの可能蒸発散強度に適切な定数 ϕ を乗じることににより第1近似的に与えた。したがってモデルのパラメータは $\alpha, \beta, \gamma, K, \rho, \phi, E_{smax}, \psi_c$ および m を加えた9つである。

3. パラメータ同定手順: 図-1に同定手順のフローチャートを示す。まず9つのパラメータの初期値を与

える。次に時刻 t_i の気象条件から計算したPenmanの可能蒸発散強度 $E_p(t_i)$ にある定数 ϕ を乗じ、これを実蒸散強度 $E_T^*(t_i)$ とする。これから蒸散モデルにより推定吸水強度 $E_s^*(t_i)$ を算出する。これとヒートパルス速度から換算した実吸水強度 $E_s(\psi_i)$ を比較し、 $E_s(\psi_i) \geq E_s^*(t_i)$ ならば抑制作用が働いていないとして推定吸水強度 $E_s(t_i) = E_s^*(t_i)$ と決定し蒸散強度を計算する。しかし $E_s(\psi_i) < E_s^*(t_i)$ ならば、抑制作用が働いたとして、

(基礎式)

$$\frac{dS_T}{dt} = E_T - E_s \quad (1)$$

$$S_T = \alpha(E_T - E_s) + \beta \frac{d(E_T - E_s)}{dt} + \gamma E_s \quad (2)$$

$$V_h = K \cdot E_s^p \quad (3)$$

(吸水モデル)

$$E_s(\psi) = \begin{cases} E_{smax} & (\psi_c < \psi) \\ \{m(\psi - \psi_c) + 1.0\} E_{smax} & (\psi_o < \psi < \psi_c) \\ 0 & (\psi < \psi_o) \end{cases} \quad (4)$$

ここで E_{smax} : 土壌水分が十分あるときの吸水量、 E_s : 任意の吸水量、 ψ_c : 吸水量が減少し始める点の土壌水分ポテンシャル (cmH₂O)、 m : 減少直線の傾き、 ψ : 任意の土壌水分ポテンシャル (cmH₂O)

吸水モデルの(5)式から推定吸水強度 $E_s(t_i)$ $= E_s(\Psi_i)$ を算出し、蒸散強度を計算する。こうすることで実際の吸水量に見合った蒸散強度が算定される。ここではヒートパルス速度から換算された吸水強度が真値と見なせるから、全てのステップが終わると、実測吸水強度と推定吸水強度の誤差二乗和を評価関数 F と定義し、これを最小にするようなパラメータの組み合わせを非線形最小二乗法で探索した。なお、計算は平成2年8月の1カ月について行い、別途流出計算より推定された月単位の蒸散量と比較することを念頭において、1カ月を通したパラメータを同定した。

4. モデルパラメータの同定結果：表-1にパラメータの同定結果を示す。なお今回は蒸散抑制に関する m と Ψ_c は残念ながら同定できていない。

表-1 モデルパラメータの同定結果

α	β	γ	K	p	ϕ	E_{Smax}
0.1969	2.7382	0.3194	35.8148	0.6524	0.4588	0.2426

5. 再現計算結果：平成2年8月8日および15日について吸水強度を推定した結果を図-2、3にそれぞれ示す。8日の場合モデルによる推定吸水強度は朝夕を除いてヒートパルス速度から換算した実吸水強度をおおむね良好に再現している。しかし、15日は推定値が実測値を上回る結果となっている。この日は土壌水分のデータより蒸散の抑制されている可能性があって、定数乗じるだけでは過大に評価されたものと考えられる。月蒸散量では37.5 mmとなり別途流出計算より推定された値45mmを約16%下まわる程度で推定できていることから第1歩としてはまずまずと考えている。時間単位での推定がうまくいかない理由には様々なことが考えられる。今回用いた蒸散強度が流域平均値であるのに対してヒートパルス速度が点計測値であること、Penmanの可能蒸散強度が植生の生理条件や土壌水分条件を反映していないということ、すなわち ϕ を一定とおいた点が挙げられる。ヒノキの場合で水分ストレス S_T がある値以下では ϕ と線形関係にあることが屋外実験結果から確認された³⁾ ので、この関係をモデルに取り込むことで推定精度の向上が期待できる。

6. むすび：本蒸散モデルを実森林データへ適用したところ、吸水強度はほぼ良好な再現結果が得られた。月蒸散量についても比較的精度よく推定できた。ただし抑制の作用していると思われるケースでは再現精度がよくなかった。今後は抑制の関するパラメータを同定するとともに、今回定数とおいた ϕ を上記のように水分ストレス S_T の関数で与えた計算を行う予定である。

【参考文献】 1) 端野、吉田：年講概要集Vol. 46, pp. 104-105, 1991.、2) 小南、鈴木：京大演習林報告, 62, pp. 197-207, 1990.、3) 端野、吉田、加藤、坂：中四支部研究発表会概要集, 1992.

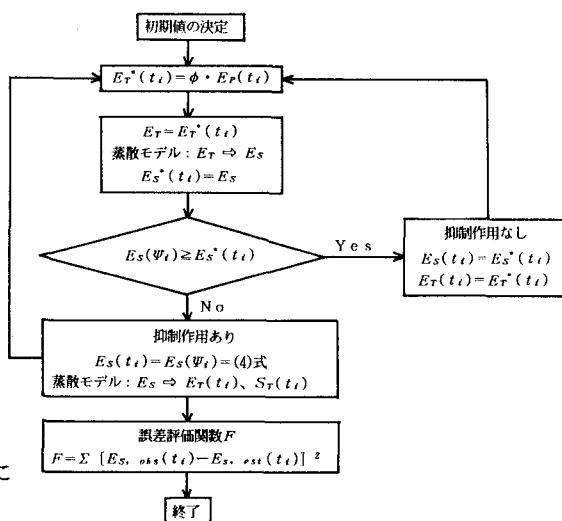


図-1 同定手順のフローチャート

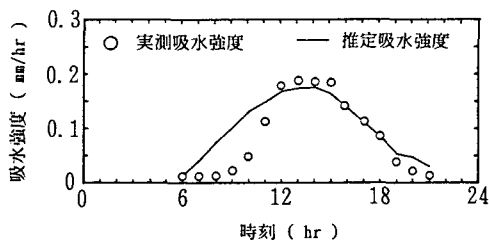


図-2 モデルによる再現結果(8月8日)

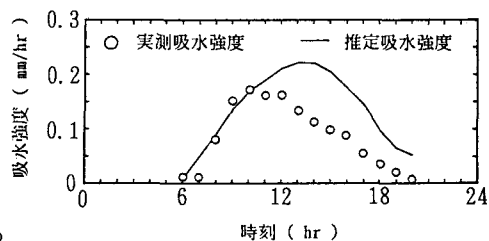


図-3 モデルによる再現結果(8月15日)