

II-396

月平均気象量によるヒートパルス蒸散モデルの一般化

徳島大学大学院 学生員 越智 一直
 徳島大学工学部 正 員 吉田 弘
 徳島大学工学部 正 員 端野 道夫

1.はじめに 樹木の蒸散作用を定量的に評価するために著者らのグループはヒートパルス蒸散モデル¹⁾の開発を行ってきた。モデルには月変化を考慮に入れた4つのパラメータがあり、それらを月毎に同定すれば十分な精度で蒸散量の推定が可能となっている。しかしパラメータの月変化は必ずしも同様ではなく、原則的に各月でパラメータを同定しなくてはならない。そこで本研究では統一的にパラメータの月変化を表現するために、月平均気象量によるパラメータの定式化を行い、モデルの一般化を試みる。

2.ヒートパルス蒸散モデルの構造 本モデルは図-1のように吸水サブモデルと蒸散サブモデルとから構成される。

①吸水サブモデル：土壤水分が十分な条件で蒸散サブモデルにより推定される吸水量 E_s^* と土壤水分が臨界値よりも減少した条件での吸水量 E_s との比 E_s/E_s^* を吸水効率と考えて、それと土壤水分ポテンシャル（吸引圧水頭） Ψ との関係をFeddesら²⁾のモデルを参考に図-2のように仮定する。これを定式化すると(1)式のようなものである。

②蒸散サブモデル：日の出前からの樹木水分 S の減少量を水分ストレス量 S_{TR} とする。樹木水分に関する収支式(2)と水分状態式(3)および樹液流速の指標であるヒートパルス速度 V_h と吸水量 E_s の関係式(4)が本モデルの基礎式である。現地で蒸散量の実測は困難であるため、本モデルでは蒸散量の代替として(5)式のようにPenman³⁾の可能蒸発散量 E_p に蒸散係数 ϕ を乗じた量を採用する。蒸散係数は蒸散効率あるいは気孔開閉度の指標と考えられるもので、水分ストレス量 S_{TR} と飽差 Δe の関数として(6)および(7)式で定式化してある⁴⁾

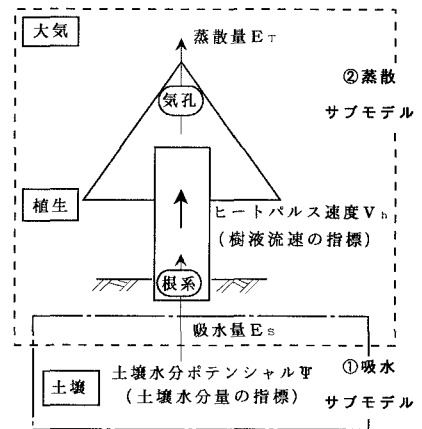


図-1 モデルの概念図

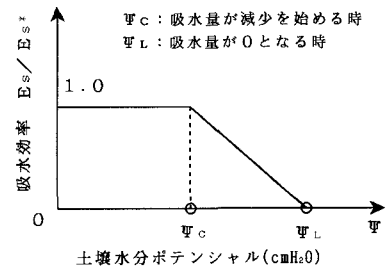


図-2 吸水サブモデルの模式図

$$\frac{E_s(\Psi)}{E_s^*} = \begin{cases} 1.0 & (\Psi_c < \Psi) \\ \frac{\Psi - \Psi_L}{\Psi_c - \Psi_L} & (\Psi_L < \Psi < \Psi_c) \\ 0 & (\Psi < \Psi_L) \end{cases} \quad (1)$$

$$\frac{dS_{TR}}{dt} = E_T - E_s \quad (2)$$

$$\beta \frac{d^2 S_{TR}}{dt^2} + \alpha \frac{dS_{TR}}{dt} + S_{TR} = \gamma E_s \quad (3)$$

$$V_h = K \cdot E_s^p \quad (4)$$

$$E_T = \phi \cdot E_p \quad (5)$$

$$\phi(S_{TR}) = \phi_m \exp(-\zeta \cdot S_{TR}) \quad (\Delta e < \Delta e_{cr}) \quad (6)$$

$$\phi(S_{TR}, \Delta e) = \phi_m \exp(-\zeta \cdot S_{TR} - \eta \cdot \Delta e) \quad (\Delta e > \Delta e_{cr}) \quad (7)$$

$$F = \sum_{i=1}^N (V_{h, obs, i} - V_{h, est, i})^2 \quad (8)$$

ここに、 $V_{h, obs, i}$: 実測ヒートパルス速度、 $V_{h, est, i}$: 推定ヒートパルス速度、 N : データ数である。

本モデルで月毎に同定すべきパラメータは蒸散係数の基本要素であり、樹木の生理作用と密接に関連すると考えられる ϕ_m , ζ , η , Δe_{cr} の4個である。現場で実測可能な真値といえるのはヒートパルス速度のみと考えられることから、推定誤差の評価関数Fを(8)式のように定義し、Fを最小にするようなパラメータの組み合わせをsimplex法で同定した。

3.モデルパラメータの定式化 1991～1994年に徳島県白川谷森林試験流域（流域面積23ha，標高740～1140m，植生はスギと落葉広葉樹）において観測されたデータに本モデルを適用し，月変化を考慮したパラメータ ϕ_m , ζ , η および Δe_{cr} についてまず月毎に同定した。樹木の生理作用は気象条件に支配されていると考えるので，これらのパラメータと気象量との定式化が可能であろう。そこでSTEPWISE回帰法を使って月平均気象量（月平均気温T，月平均飽差 Δe ，月平均純放射量 R_n ，月平均風速 W_s ）を説明変数とした4つのパラメータの重回帰分析を行った。 ϕ_m と ζ はどの気象量とも相関が見られたが中でも月平均純放射量 R_n との相関が格段に高かったため(9)，(10)式のように定式化した。また η および Δe_{cr} と気象量との単相関は弱く，(11)，(12)式のように4つの気象量を用いた場合に最も相関係数rが高くなった。

$$\phi_m = 5.413 R_n + 0.2068 \quad r = 0.8506 \quad (9)$$

$$\zeta = 150.3 R_n - 4.503 \quad r = 0.9120 \quad (10)$$

$$\eta = -0.0054 T + 0.0120 \Delta e + 0.0888 R_n - 0.0271 W_s + 0.0900 \quad r = 0.8774 \quad (11)$$

$$\Delta e_{cr} = 0.0713 T + 0.4586 \Delta e - 7.907 R_n - 0.2690 W_s + 10.50 \quad r = 0.8563 \quad (12)$$

4. ヒートパルス速度の再現結果

月毎の同定パラメータと月平均気象量で定式化されたパラメータを用いて再現されたヒートパルス速度の比較例を図-3に示す。両者はこれ以外のいずれの年でもほぼ一致している。蒸散サブモデルの(2)，(3)および(4)式でヒートパルス速度と蒸散量との関係が定式化されていることから，蒸散量の推定値も妥当と考えられる。

5. 蒸散量の推定結果 2つの方法によるパラメータを用いて推定された蒸散量を図-4に示す。この例では定式化されたパラメータを用いた場合が同定パラメータよりも若干過小評価となっている。しかし両者は概ね一致していることから，今回定式化されたパラメータを用いて推定された蒸散量もほぼ妥当と判断できる。

5.まとめ 月変化のあるパラメータについて月平均気象量を説明変数とした重回帰分析を行い，(9)～(12)式のように定式化できた。月毎に同定したパラメータおよび月平均気象量で定式化したパラメータでそれぞれ再現されたヒートパルス速度を比較したところ，概ね一致した。したがって，月平均気象量によるパラメータの定式化は妥当であると判断できる。今後は飽差や純放射量に変わる指標として气象台やAMeDASから容易に入手が可能な湿度と日照時間を説明変数としたパラメータの定式化を試みる予定である。

参考文献 1) 吉田ら：水文・水資源学会誌，6(3)，pp. 244～253，1993. 2) Feddes, et al. : J. Hydrol. , pp. 31～26，1976 3) 榎根：自然地理学講座③水文学，pp. 94～127，大明堂，1980. 4) 吉田ら：年次講演概要集，II-A41，pp. 82～83，1995.

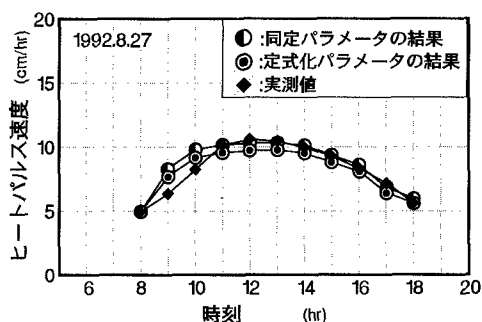


図-3 ヒートパルス速度の比較結果

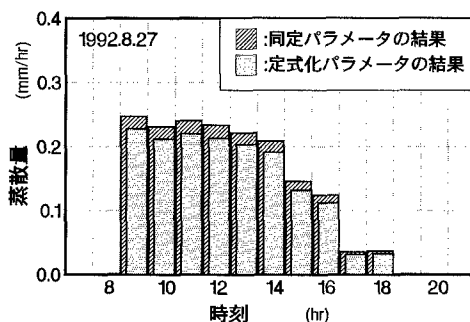


図-4 蒸散量の比較結果