

ヒートパルス速度を利用した土壌水分の減少にともなう蒸散抑制作用の解析

徳島大学大学院 学生員 ○ 越智 一直
 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

1.はじめに 今日の急務ともいえるべき、安定した水資源の確保のためには、貴重な水資源を消費する樹木の蒸散作用を定量的に評価する必要がある。そこで著者らのグループは蒸散量の定量評価を目的として数理モデル(ヒートパルス蒸散モデル)¹⁾の開発を行い、土壌水分が十分にある場合には実用上十分な精度で蒸散量の推定が可能であることを示してきた。しかし一方で渇水時のように土壌水分が減少する場合には、蒸散抑制作用の働くことが知られている。そこで今回は既往のモデルに蒸散抑制のモデルを組み込んで抑制作用の解析を試みた。

2.ヒートパルス蒸散モデルの構造 本モデルでは図-1のように樹木を1つのタンクとみなし、土壌水分が樹木内に吸収される過程を吸水サブモデルで、吸水後に水分が幹の中を樹液として上昇して大気に放出される過程を蒸散サブモデルでそれぞれ表現している。

①吸水サブモデル：土壌水分が十分にある場合に蒸散サブモデルにより推定される吸水量 E_s^* と実際の吸水量 E_s との比 E_s/E_s^* を吸水効率と考えて、それと土壌水分ポテンシャル(吸引圧水頭) Ψ との関係を用いて Peddes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)と水分移動式(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。(2),(3)および

(4)式からヒートパルス速度 V_h と蒸散量 E_T との関係が定式化される。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_r に蒸散係数 ϕ を乗じた量を採用する。この蒸散係数は蒸散効率あるいは気孔開度の指標と考えられるもので、既往のモデルでは(6)式のように定式化されていた¹⁾。しかしながら飽差 Δe (飽和水蒸気圧と実際の水蒸気圧の差)の増大にともなう気孔が閉塞するという報告⁴⁾を考慮して飽差の影響も(7)式のようにして蒸散係数の中に取り入れた。

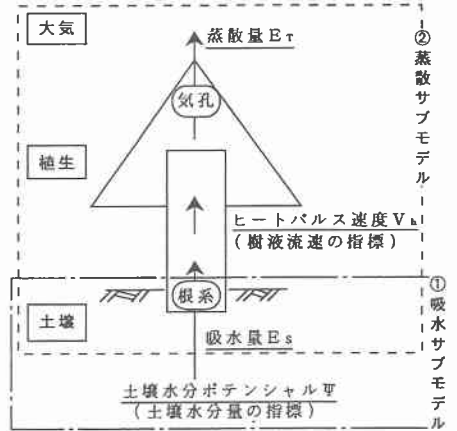


図-1 モデルの概念図

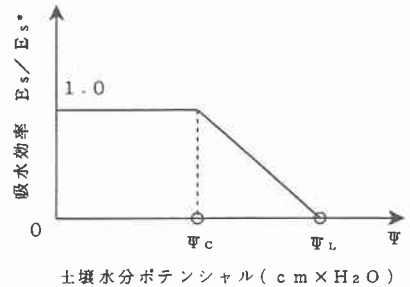


図-2 吸水サブモデルの模式図

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

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

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

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

$$E_T = \phi \cdot E_P \quad (5) \quad \phi(S_{TR}) = \phi_m \exp(-\zeta \cdot S_{TR}) \quad (\Delta e < \Delta e_{cr}) \quad (6)$$

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

ここに、 Ψ_c ：吸水量が減少し始める時の土壌水分ポテンシャル、 Ψ_L ：吸水量が0となる時の土壌水分ポテンシャル、 Δe_{cr} ：抑制が働き始める飽差の下限値である。

本モデルで同定すべきパラメータは α 、 β 、 γ 、 K 、 P 、 ϕ_m 、 ζ 、 η 、 Δe_{cr} 、 Ψ_c および Ψ_L の11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。そこで、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。

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

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。

3. ヒートパルス速度の再現性 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1994年に観測されたデータに本モデルを適用してパラメータを同定した。本モデルによるヒートパルス速度の再現結果を図-3と図-4に示す。図中で実線は推定値、シンボルは実測値である。いずれの月も再現性は良好である。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。

4. 蒸散抑制作用の検証 土壌水分の減少にともなう蒸散抑制作用を検証するために、土壌水分の抑制作用を考慮に入れた場合の蒸散量 E_T と考慮に入れない場合の蒸散量 E_T^* の比 E_T/E_T^* を蒸散抑制度の指標と定義する。これと土壌水分ポテンシャル（吸引圧水頭） Ψ との関係を日平均値について整理した結果を図-5に示す。図より土壌水分の減少にともない、 Ψ_c のあたりから蒸散が抑制され始めること、 Ψ_c と Ψ_L の間で吸水サブモデルと同様に土壌水分の減少にともなう蒸散量はほぼ線形的に減少することが示唆される。

5. まとめ 本モデルを現地観測データに適用した結果、土壌水分が減少した場合であっても現地で実測可能な唯一の真値と考えられるヒートパルス速度が本モデルにより良好に再現された。また土壌水分の減少にともなう蒸散抑制作用も概ね表現できたことから、根系での吸水抑制作用を取り入れた本モデルの妥当性が示されたと考える。今後はモデルの確立を目指して多数のデータへ本モデルを適用し詳細な蒸散抑制作用の検討を行う予定である。

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)服部ら：日林誌，pp. 216-224，1993.

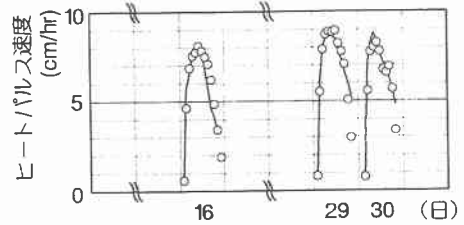


図-3 ヒートパルス速度の再現結果（7月）
（—：推定値，○：実測値）

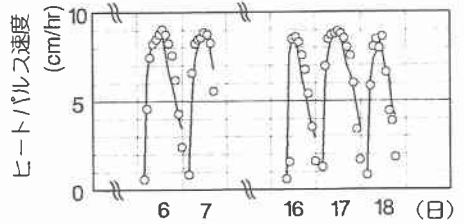


図-4 ヒートパルス速度の再現結果（8月）
（—：推定値，○：実測値）

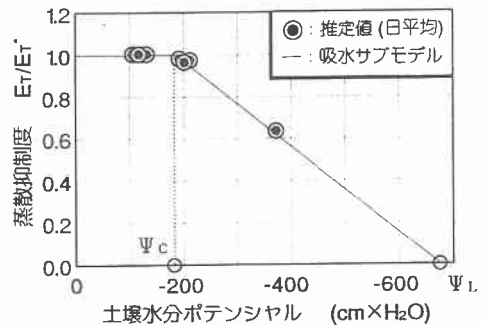


図-5 蒸散抑制度と土壌水分ポテンシャルの関係