

ヒートパルス法による蒸散量推定法 (2)

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 ○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には、今なお不明確な流域からの蒸発散量、とりわけ植生からの蒸散量を正確に推定する必要がある。本研究では、森林流域を土壌・植生・大気連続体（略称SPAC）と捉え、森林水循環過程で重要な役割を担う蒸散量を、これとは全く機構的に異なる蒸発量と分離して推定する手法の開発を目的としている。蒸散過程における水移動が樹液流として表れることに着目し、熱パルスをトレーサーとして樹液流をモニタリングする「ヒートパルス法」¹⁾を用いて樹液流速の指標であるヒートパルス速度を計測し、これと蒸散量との関係を定式化することで蒸散量推定モデルの構築を試みた。

2. 屋外蒸散実験：定式化のための基礎データを得るために透明ビニール製のテント内で、鉢植えの8年生ヒノキを用いて蒸散実験を行った。図-1の

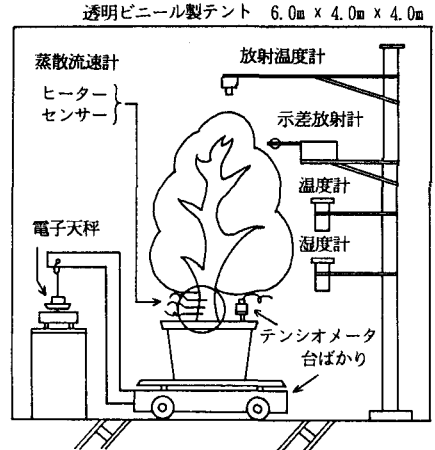


図-1 実験装置

ように土壌面近傍の樹幹の木質部に蒸散流速計を設置してヒートパルス速度を計測した。（設置位置：表皮より深さ1.0 cm、2秒間加熱）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、図-1のように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. 各計測量の経時変化特性：

図-2(a)に平成2年9月1日におけるヒートパルス速度、蒸散強度、純放射量、葉面温度および土壌水分張力の経時変化を示す。1日を通して蒸散強度

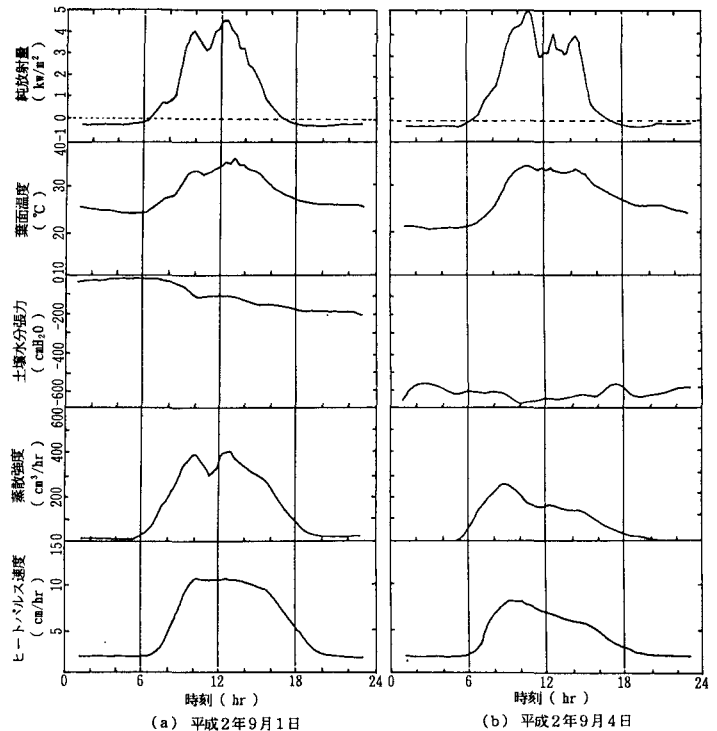


図-2 各計測量の経時変化

に対し、ヒートパルス速度は常に約1時間遅れている。換言すれば、葉面での蒸散過程に対して根系における土壌水分の吸水過程は常に遅れている。一方、図-2(b)は平成2年9月4日のデータで、9月1日と比較してかなり土壌水分量が少ない状態での経時変化例である。気象条件がほぼ同一であるにもかかわらず、9月4日の場合は9月1日の場合に較べて明らかに蒸散強度、ヒートパルス速度のいずれも小さい。これは土壌水分量が不十分なために根系での吸水量が制限された結果、蒸散量も抑制を受けたためと考えられる。このような蒸散抑制効果こそ植生が介することによるSPAC特有の効果である。

4. 蒸散量推定モデルの定式化：蒸散量を E_T 、吸水量を E_S 、樹体水分量を S とすると、 S に関する水収支式は(1)式のように表される。蒸散の開始直前で、樹木が生理活動を行う上で十分な水分量 S_c と任意時刻における水分量 S との差から水分ストレス S_T を定義すると(2)式のようになる。また水分ストレスは、蒸散作用による水分の損失量と吸水作用による水分の補給量に支配されるので(3)式のように仮定する。吸水強度 E_S とヒートパルス速度 V_h は(4)式のようなべき関数で表現する。ここで K 、 p は係数である。(1)~(4)式より蒸散量推定式が(5)式のように得られる。なお水分ストレスの解析解は(6)式のようになる。

5. パラメータの推定法：(5)、(6)式中のモデルパラメータである K 、 p 、 β_1 、および β_2 を求めるために(7)式の評価関数 F を定義する。 F を最小にするパラメータの組み合わせを、小谷が開発した非線形最小二乗法のプログラム²⁾で探索した。

6. 推定結果と考察：図-3は8月2日のデータにモデルを適用して水分ストレス S_T の経時変化を推定したものである。日の出後、午前中は蒸散量が吸水量を上回るために樹体水分が消費されて S_T の値は大きくなる傾向を示す。しかし午後になると、吸水量が蒸散量を上回り水分ストレスが解消されるため S_T の値は小さくなっている。これは通常知られている樹体内の水移動過程と定性的に一致する。図-4は8月2日について蒸散強度の再現性を検討した例である。評価関数 F から計算した標準誤差は、約4%である。実測値と推定値に若干のずれがみられるが、実用上はほぼ妥当な再現結果と考えてよいであろう。

7. むすび：本モデルを蒸散実験結果に適用したところ、良好な推定結果を得た。今後は蒸散強度の急変部分における精度の向上を図るとともに、本モデルを用いてSPAC特有の効果である蒸散の頭打ち現象と抑制効果の定量評価を行う予定である。

《参考文献》

- 1) 森川：ヒノキの樹液の流れ-林分の水収支に関連して-東大農学部演習林報告, Vol. 66, pp. 251~297, 1974.
- 2) 小谷：非線形多変数関数の極小化, 阪大大型計算機センターニュース, No. 32, pp. 27~48, 1979.

基礎式と蒸散量推定式

$$\frac{dS}{dt} = E_S - E_T \quad (1)$$

$$S_T = S_c - S \quad (2)$$

$$S_T = \beta_{1,j} E_T + \beta_{2,j} E_S \quad (3)$$

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

$$E_T = \frac{e^{t/\beta_{1,j}}}{\beta_{1,j}} \cdot \left\{ \int_0^t -\frac{(\beta_{1,j} + \beta_{2,j})}{\beta_{1,j}} \cdot \left(\frac{V_h}{K}\right)^{1/p} \cdot e^{-t/\beta_{1,j}} d\tau + S_{T0} \right\} - \frac{\beta_{2,j}}{\beta_{1,j}} \cdot \left(\frac{V_h}{K}\right)^{1/p} \quad (5)$$

$$S_T = e^{t/\beta_{1,j}} \cdot \left\{ \int_0^t -\frac{(\beta_{1,j} + \beta_{2,j})}{\beta_{1,j}} \cdot \left(\frac{V_h}{K}\right)^{1/p} \cdot e^{-t/\beta_{1,j}} d\tau + S_{T0} \right\} \quad (6)$$

$$F = \sum_{j=1}^N (E_{T,obsj} - E_{T,estj})^2 \quad (7)$$

ここで、 $E_{T,obsj}$ ：実測蒸散強度、 $E_{T,estj}$ ：推定蒸散強度、 N ：データ数、 $dS_T/dt \geq 0$ ： $j=1, dS_T/dt < 0$ ： $j=2$ とする。

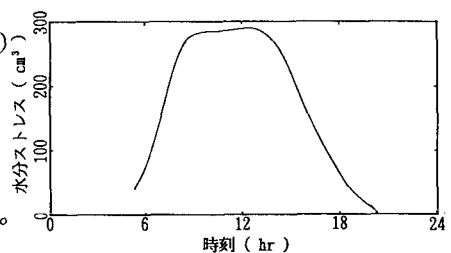


図-3 水分ストレスの経時変化
(平成2年8月2日)

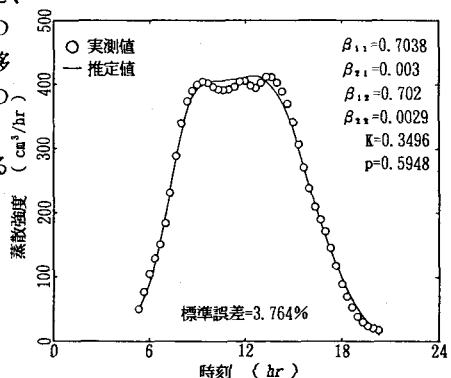


図-4 再現結果(平成2年8月2日)