

ヒートパルス法による蒸散量推定法

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
富士通徳島システム	正員	中西圭司

1. はじめに：長期間にわたる森林流域の水収支を把握するには、樹木の蒸散量を評価することが必要不可欠である。しかし、実森林で蒸散量を直接計測することはほとんど不可能であることから、簡単かつ精度の高い蒸散量推定法の確立が求められている。本研究では、従来法とは異なり蒸発量と蒸散量を分離して蒸散量のための推定を目的としている。蒸散過程において水の移動が樹液の流れとなることを利用して、熱パルスをトレーサーとする『ヒートパルス法』で樹液流速を計測し、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、鉢植えの7年生のヒノキを用いて蒸散実験を行った。樹液流速の計測には『ヒートパルス法』¹⁾を採用した。まず図-1のようにヒーターとセンサーを土壌面に近い、樹幹の木質部に挿入し、ヒーターで熱パルスを与えて樹液を温めた上で、センサーで熱パルスの伝播時間を計測し、ヒーターとセンサーの距離をこれと除して熱パルスの移動速度（以下ヒートパルス速度と称する）を求めるのが本法の原理である。本法によると樹木の傷付けがわずかで済み、長期間にわたる計測が可能である。ヒートパルス速度と樹液流速とは必ずしも一致しないが、両者は比例関係にあることが確認されている。蒸散量の測定は図のように、台ばかりと電子天秤を組合せた装置で計測した。

3. 蒸散量の日変化特性：図-2は晴天日についてヒートパルス速度と蒸散量を基準面積で除して求めた蒸散強度の関係を示したものである。ループを描いていることから、両者の間には2価の関数性が認められる。図-3は蒸散量、ヒートパルス速度および気温の経時変化例である。蒸散強度の変化に対してヒートパルス速度は遅れていることがわかる。土壌面に近い箇所計測していることから、ヒートパルス速度は根系による土壌水分の吸水量に対応すると考えられるので、蒸散量の変化に対して土壌水分の吸水量は遅れていることになる。両者が互いに遅れずに、ある平衡状態にある場合を表現したのが図中の直線である。①の領域は蒸散量の増加過程であり、蒸散量に対して根系による吸水量は平衡状態よりも小さい。一方②の領域は蒸散量の減少過程であり、①とは逆に吸水量の方が蒸散量を上回っている。一般に根系による吸水抵抗はその他の抵抗に比べて大きいので、蒸散量の増加過

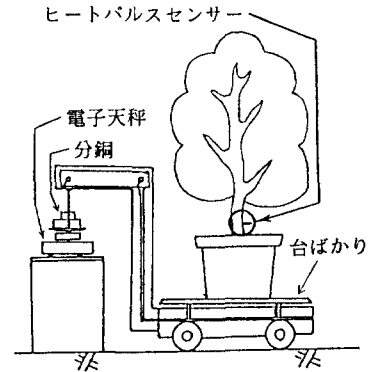


図-1 実験装置

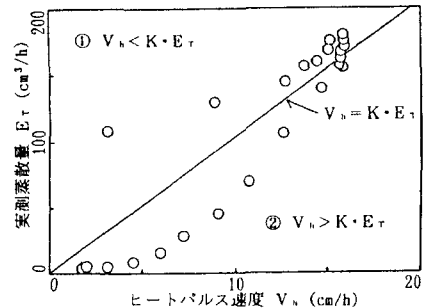


図-2 蒸散強度とヒートパルス速度の関係

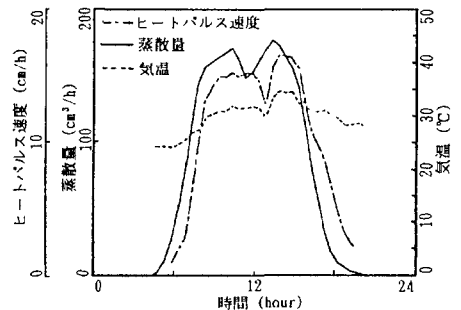


図-3 蒸散強度、ヒートパルス速度、気温の経時変化例

程では吸水量がこれに追従できず、その不足分は樹体水分によって補われる。そのため蒸散量の減少過程では、増加過程で消費した樹体水分を補給するために、蒸散量は減少してもなお根系による吸水が継続するものと考えられる。

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 に関する次の連続式が成立する。

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

蒸散の開始直前に樹木が有する水分量 S_c と任意時間における水分量 S との差から水分ストレス S_T を定義すると次式のようになる。

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

吸水量 E_s については、次式が成立すると仮定する。

$$E_s = \alpha S_T + \beta_1 \frac{dS}{dt} \quad (3)$$

右辺第一項は樹体水分の欠損量（水分ストレス）に起因する項であり、右辺第二項は蒸散に対する吸水の遅れの効果に起因する項である。 β は $dS/dt \geq 0$ の時 ($j=1$) と $dS/dt < 0$ の時 ($j=2$) で異なると考えて使い分ける。ヒートパルス速度 V_h と吸水量 E_s が比例すると仮定すると、次式のように表現できる。

$$V_h = K E_s \quad (4)$$

ここに K は比例定数である。(1)、(2) 及び (3) 式より蒸散量推定式が、次式のように得られる。

$$E_T = \left(1 - \frac{1}{\beta_1}\right) \frac{V_h}{K} + \frac{\alpha S_T}{\beta_1} \quad (5)$$

5. モデルパラメータの推定法：(4) 式におけるモデルパラメータである、 K 、 α 、 β および S_T の初期値 S_{T0} を求めるために次式の評価関数 F を定義する。

$$F = \sum_{i=1}^N (E_{T_{obs,i}} - E_{T_{est,i}})^2 \quad (6)$$

ここに、 $E_{T_{obs,i}}$ ：実測蒸散量、 $E_{T_{est,i}}$ ：推定蒸散量である。 F を最小にするパラメータの組合せは、最適化手法の一つである Fletcher & Powell 法で求めた。

6. 推定結果：図-4 は晴天日のケースについて実測値と推定値を比較したものである。両者には時間単位でみると若干のズレがみられるが、日蒸散量で比較してみると、10パーセント程度の誤差で推定できている。図-5 は同様にして曇天日のケースについて比較したものである。日蒸散量についておよそ2パーセントという高精度で推定できおり本モデルの有効性が検証された。

7. むすび：ヒートパルス速度のみを入力条件とする蒸散量推定モデルを構築し、蒸散実験結果について適用したところかなりの精度で推定しうることが示された。今後は本来、未知である蒸散量にかわる指標として Penman 法による蒸発散量を用いたパラメータの推定法を確立し、実森林でのデータに対しても本モデルを適用する予定である。

【参考文献】

- 1) 森川：ヒノキの樹液の流れ—林木の水分収支に関連して—
東京大学農学部演習林報告, Vol. 66, pp251~297, 1974

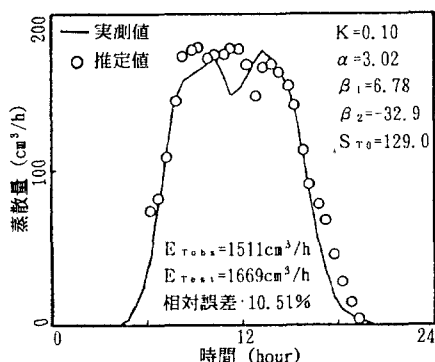


図-4 推定結果(晴天日)

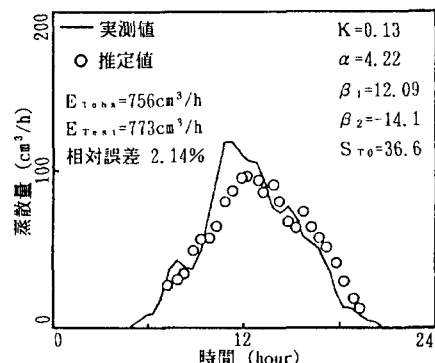


図-5 推定結果(曇天日)