

II-11 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 ○吉田 弘
 徳島大学工学部 正員 端野道夫
 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、樹木の蒸散量を精度良く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り、従来の方によっても、蒸散量のみを分離して評価できない。一方、森林流域の水循環は土壌・植生・大気の間連体 (SPAC) を通して生起することから、それぞれの要素間における水移動を一つのサブシステムと捉えて解析しなければならない。そこで本研究ではSPACのうちで蒸散過程と関連する植生・大気間における水移動サブシステムを取り上げ、簡便かつ高精度な蒸散量推定法の確立を目的として、『ヒートパルス法』¹⁾により樹液流速を計測し、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』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て熱パルスを発生させ、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との距離をこれで除して熱パルスの伝播速度 (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む上に、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。¹⁾ 蒸散量の計測は図のように、台ばかりと電子天秤を組合せた装置を透明ビニール製のテントの中に設置して行った。同時に、モデルパラメータ推定の際にPenman法²⁾による推定蒸発散量を用いるために気温、湿度も計測した。ただし、日照時間については徳島地方気象台で観測された値を用いている。

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との関係を示したものであり、両者の間には2価性の関係が窺える。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。蒸散量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出あり、蒸散量に対して根系によ

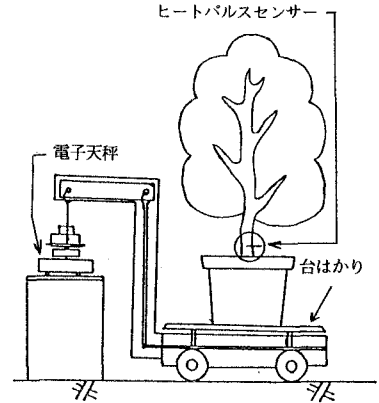


図-1 実験装置

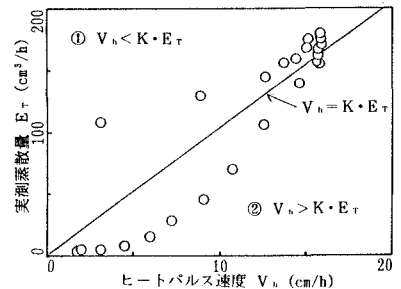


図-2 蒸散量とヒートパルス速度の関係

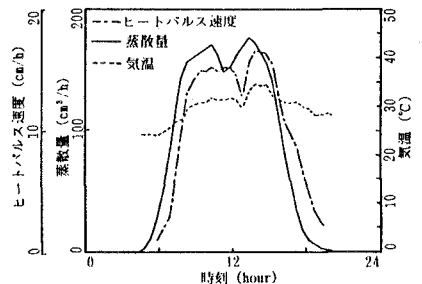


図-3 蒸散量、ヒートパルス速度、気温の経時変化例

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通水抵抗、気孔抵抗に較べて大きいので、蒸散量の増加過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。

$$dS/dt = E_s - E_T \quad (1)$$

蒸散の開始直前に樹木が有する水分量 S_0 と任意時間における水分量 S との差で水分ストレス： $S_T = S_0 - S$ を定義する。根系による土壌水分の吸水量 E_s については、次式が成立すると仮定する。

$$E_s = \alpha S_T - \beta_1 \cdot dS_T/dt \quad (2)$$

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 の関係は $V_h = K E_s$ と仮定する。ここに K は比例定数である。

(1)、(2) 式より蒸散量推定式 (3) が、次のように得られる。

$$E_T = (1 - 1/\beta_1) V_h/K + \alpha S_T/\beta_1 \quad (3)$$

5. モデルパラメータの推定法：(3) 式におけるモデルパラメータである、 K 、 α 、 β_1 および S_T の初期値 S_{T0} を求めるために実蒸散量 E_T 、推定蒸散量 $E_{T_{est}}$ の差の2乗和を評価関数とし、これを最小にするパラメータの推定を行う。 E_T に対して蒸散実験による観測蒸散量 $E_{T_{obs}}$ を用いてパラメータを推定した場合の適合度については既に確認済み³⁾ である。しかし、実森林において蒸散量は未知量であるため、現地に対して適用する場合には、実森林で容易に観測できる気象データを利用してモデルパラメータを推定できると都合が良い。そこでパラメータ推定の際に観測蒸散量 $E_{T_{obs}}$ の代わりにPenman法による推定蒸散量 E_P の利用を考え、 $E_T = m E_P$ が成立するとして気温、湿度、日照時間のデータより1時間当たり蒸散量を与える。ここに m は換算係数であり、蒸散実験結果より日蒸散量について実測蒸散量 $E_{T_{obs}}$ とPenman法による E_P との比から、 $m=1.8$ と定めた。評価関数の値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 $E_{T_{obs}}$ 、Penman法による推定値 E_T ならびにモデルによる推定値 $E_{T_{est}}$ の経時変化を比較したものである。両者を1時間当たりの蒸散量で比較してみると、若干のバラツキが見られるが、日蒸散量で比較すると相対誤差5.94パーセント程度の誤差で推定できており、本モデルの妥当性が検証された。

7. むすび：本研究で構築した蒸散量推定モデルを蒸散実験結果に対して適用したところ比較的精度良く推定しうることが示された。本モデルでは m の値を既知として与えたが、本来、 m もまた1つの未知パラメータである。しかしこれを蒸散モデルによって推定するのは不可能であるため、別途、土壌水分量の収支より求めてから本モデルに適用する必要がある。したがって今後は、土壌水分の変化をうまく表現しうる流出モデルの開発を併せて行い、本モデルとリンクすることによって土壌から植生を経て大気へと向かう水移動過程を解析していきたいと考えている。

〔参考文献〕

- 1) 森川：東大農学部演習林報告，Vol. 66, pp251~297, 1974
- 2) Penman, H. L.: Vegetation and hydrology, Commonwealth Agricultural Bureaux, London, England, 1963
- 3) 端野、吉田、中西：中国四国支部研究発表会講演概要集, 1990

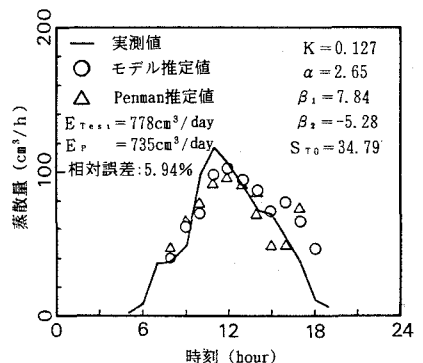


図-4 推定値と実測値の比較