

<論文>

広葉樹林の蒸散量推算への ヒートパルス法の適用に関する研究

奥村 武信*・水中 進一**・前田 浩行***

A Study on the Application of the Heat Pulse Method
to the Evaluation of Transpiration of Broad-leaved Forests

Takenobu OKUMURA*, Shinichi MIZUNAKA** and Hiroyuki MAETA***

Summary

The precise evaluation of transpiration in trees is one of the most important factors for sound comprehension of a forest's influence on water resource conservation. Of the many methods which have been developed to measure factors correlative to transpiration, the heat pulse velocity method has one major advantage since readings are indicative of transpiration from whole live foliages. However, the correlation to the actual transpiration has not been clarified.

In this paper, the correlations are first examined between the heat-pulse velocities in trunks measured and the water uptake from cut butts of *Quercus serrata*. Then, a highly reliable formula is proposed to calculate transpiration from the heat-pulse velocity measured, using some simple tree characteristics, namely, tree height and diameter at breast height. In addition, characteristics of the heat pulse velocity measured from live trees are discussed.

Finally, transpiration calculated by the formula from some live trees is compared to the water uptakes measured in cut trees and to the evapo-transpiration estimated by analyzing the hyeto-hydrograph in a watershed of 48ha in area.

I は じ め に

林木による蒸散量を的確に評価することは、森林の水源かん養機能を論ずるうえで重要な事である。しかし、直接測定が困難である。それゆえ、種々の方法で蒸散量を求める努力が続けられてきた。

* 鳥取大学農学部農林総合科学科生存環境科学講座 : *Dep. of Environmental Sci., Fac. of Agriculture, Tottori University*

** 鳥取大学農学研究科林学専攻 (現在陸上自衛隊) : *Graduate Student at Dep. of Forestry, Self-Defence Officer Cadet at present.*

*** 鳥取大学農学部林学科砂防工学専攻生 (現在徳島県庁) : *Student at Dep. of Forestry, Forest Managing Officer of Tokushima Pref. at present.*

単木あるいは林分の蒸散量を評価する方法としては、一部の枝葉で測定される量に単木あるいは林分の枝葉量を乗ずる方法と、単木の蒸散量を直接測定する方法とがある。切断採取した枝葉の重量変動からその一朵の枝葉の蒸散量を求める迅速重量測定法や、葉の一部の一定面積を囲う極く小さい気室に乾燥空気を送り込み排気が連行する水蒸気量を空気量・温度・相対湿度から求めるポロメーターによる方法などは前者に含まれる。ポロメーターによる方法は生きた枝葉で直接測定できる長所はあるが、高木のさまざまな位置で測定することの困難性と枝葉量の的確な把握の必要性の問題が残る。後者には、全樹体をフレキシブルな透光性テントで覆い気室を作り給・排気の水蒸気量の差から蒸散量を求めるテント法、樹液の移動速度あるいはその指標となるものを測定し蒸散量に結びつける方法、切断した樹体の切断面から給水させその吸水量を蒸散量とする方法等がある。

筆者らが「元口浸漬法」と呼ぶ最後の方法は、実際の吸水量を測定するので測定値の確実性はあるが、吉川らが「切り木測定」と呼んだ¹¹⁾ように、樹体は既に立木では無いという最大の問題をもつ。樹体内の水分移動に大きい影響を及ぼす吸収根における抵抗や根域の土中水分の条件といった制限要因が除去され、切断に対する樹木の生理的な対応に起因する制限が加わってくる。

立木に大した損傷を与えることなく樹液流の見掛けの速度を測定するヒートパルス法は、ほぼ確立された技法であるが、測定される樹液流速はあくまでも移動しない物質を含めた平均の速度である。この速度を樹液流量に換算する手法が必要である。

筆者らは、最近利用頻度の高いこのヒートパルス法を林地の蒸散量推定に適用するに際して最大の課題である、実際の蒸散量との関連付けについて研究した。すなわち、コナラ (*Quercus serrata*) を対象にして、ヒートパルス法により計測される見掛けの樹液流速と元口浸漬法で直接観測した林木の吸水量との関係を調べ、立木において推算される樹液流量の大きさを考察し、林分あるいは山地小流域の蒸散量推定への適用性を検討した。

II 元口吸水量とヒートパルス速度の関係

1. 測定方法

1) ヒートパルス法による樹液流速測定

樹体の一部に付加された熱パルスは、木部の比熱と密度に支配されて拡散すると共に樹液の移動により輸送される。Marshallは、熱パルス付加点から樹液流の下流に x 離れた点で測定される木部温度は次式で表せることを示し⁹⁾、

$$T(x, t) = Q \cdot \exp[-(x - V \cdot t)^2 / 4K \cdot t] / \sqrt{\pi K t} \quad (1)$$

ここに、 T ：温度、 t ：熱パルスを付加してからの時間、 $Q\rho c$ ：与えられた熱量、 ρ ：樹体の密度、 c ：樹体の比熱、 K ：樹体の熱伝導率、 V ：移動物質の見掛けの移動速度

C_{loss} は、熱付加点より樹液流の上流側 x' 離れた点における温度変化

$$T(-x', t) = Q \cdot \exp[-(-x - V \cdot t)^2 / 4K \cdot t] / \sqrt{\pi K t} \quad (2)$$

に着眼し、 $T(x, t) = T(-x', t)$ となる時間 t を測定するだけで移動物質の見掛けの速度が

$$V = (x - x') / 2t \quad (3)$$

と計算されることを示した²⁾。(ただし、 $x > x'$ でなければならない。)これが、ヒートパルス法の原理である。

測定器は既に多く市販されているが、複数の試料木での測定を自動制御しなかったので自作した。装置は、①直径2.3mm、長さ5.6cmのステンレス・パイプに直流9Vチャージャーで加熱されるニクロム線を埋めたヒーター、②直径2.3mm、長さ4.5cmのステンレス・パイプに銅-コンスタンタン熱電対を埋めた温度センサー、③2本の熱電対に発生する微小電圧差を500倍に増幅する直流増幅器、④2本の供試木での測定値を記録する2ペンレコーダー、および⑤レコーダーの起動・停止、複数のヒーター、センサー間のスキャンを制御するステージ式プログラマブルコントローラーと多数のリレーおよび水晶時計で構成される時間制御部から成る。測定装置のブロックダイアグラムおよびタイム・チャートを図1に示す。

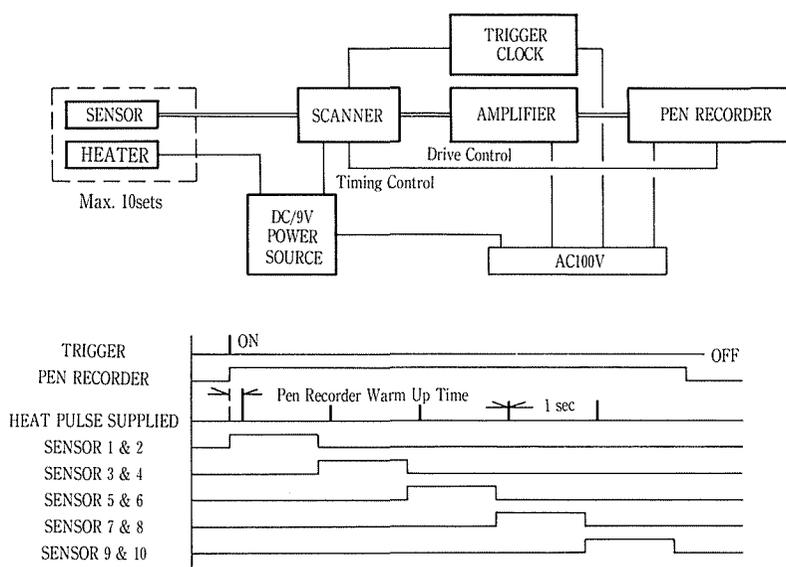


図1 ヒートパルス速度測定装置のブロック・ダイアグラム及びタイム・チャート

ヒーター、センサーは平滑にした樹皮表面から2cmの深さに穿った直径2.4mmの穴に挿入し、ヒーターから上流センサー迄の距離(x)は0.7cm、下流センサー迄(x)は1.0cmとした。また、熱パルスの付加時間は1秒とした。

2) 元口浸漬による吸水量測定

地上60~80cmで切断した樹体を立木姿勢に保持し、その切断面を直径20cm、深さ40cmの鉄製円筒水槽に一定深浸漬し、一定時間ごとに元の水位に復するために補給しなければならなかった水量を計量し、その時間内の吸水量とした⁶⁾。なお文献6に詳しく書いた方法からの改良点は、文末写真に見られるような水槽の樹体への取り付け枠の強化と正確な水位確認のための水位警報機の使用である。これにより吸水量の測定精度を高めることが出来た。

3) 測定地と供試木

測定は、岡山県真庭郡川上村に位置する鳥取大学農学部付属蒜山演習林のコナラを主とする落葉広

表1 試料木の概要

試料木 No	樹 齢	樹 高	胸高直径	胸高断面積	胸 高 部 心材面積	胸 高 部 樹液通導面積
1	57年	9.3m	14.8cm	140.3cm ²	60.6cm ²	77.5cm ²
2	57	7.1	9.5	56.8	28.6	24.6
3	52	8.2	11.0	68.3	28.9	33.3
4	52	12.3	13.0	113.6	66.6	38.0
5	43	9.2	11.0	56.0	24.2	27.1
6	50	13.3	13.0	74.1	37.7	30.4

葉樹二次林内で実施した。

測定は1986年10月14~16日, 1987年 8月28~30日, 9月19~21日の3回, 1期に2本ずつの供試木について実施した。各供試木の特性を表1にまとめ, 測定状況を示す写真を文末に掲げる。

2. 測定結果と考察

元口吸水量とヒートパルス速度の変動曲線の2, 3の例を, 図2に示す。

測定結果から次のことが言える。

①規模の大きな樹木ほど吸水量は多い。ヒートパルス速度も早い。蒸散量を支配する葉面積が木の大きさに支配されるのだから, 前段は簡単に理解できる。ヒートパルス速度が規模の大きい樹木ほど高いことは, 樹液流に寄与できる樹幹内断面積が葉量に見合っていないことの現れである。今回の測定地近傍のコナラ林分での盛夏期の葉量を調べた小笠原らは⁵⁾, 葉重量W_L (kg) について,

W_L=8.286×10⁻⁴(DBH²・H)^{1.0522} (4)

ここに, DBH: 胸高直径cm, H: 樹高m

の関係を高い相関係数で得た。吸水量観測の後に0.05%フクシン水溶液で染色した樹液通導部の胸高部断面積A_{sw} (cm²) を表1に示したが, 危険率1%で

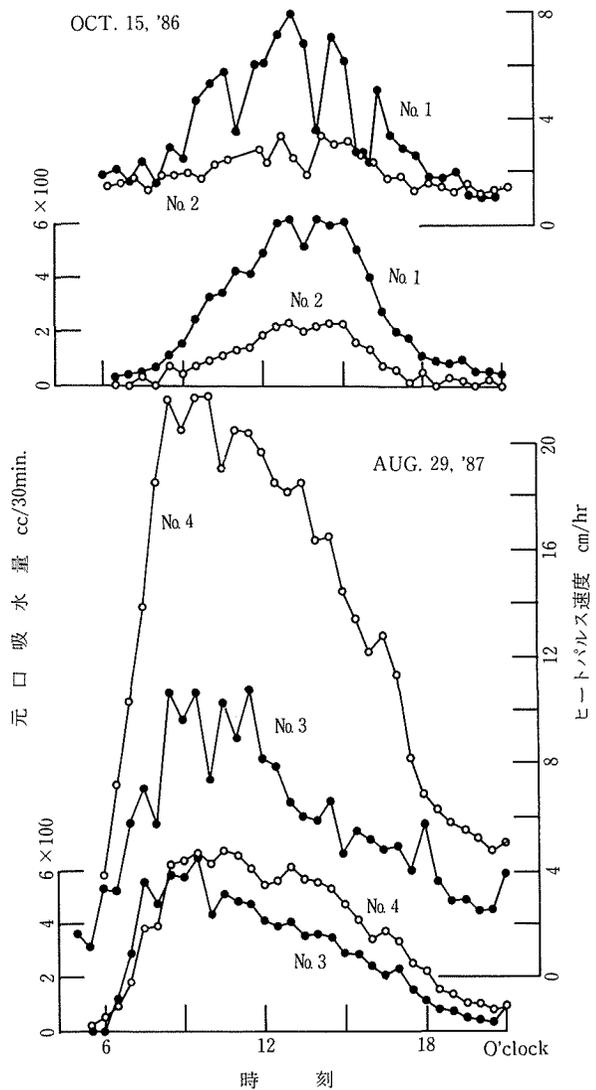


図2 ヒートパルス速度と元口吸水量の時間変動

$$A_{sw} = -57.6256 + 12.789DBH - 5.85835H \quad (5)$$

の関係が認められる。W_Lの場合と同じ関数形をとれば、相関係数0.586で

$$A_{sw} = 14.24 \cdot (DBH^2 \cdot H)^{0.4741} \quad (6)$$

となり、葉重量が葉面積 (A_L) に単純に比例するものとすれば、

$$A_{sw} \propto A_L^{0.4506} \quad (7)$$

の関係を得る。このように単木の葉面積に見合って樹液通導面積が広がるものでないことから、規模の大きい木ほど樹液流速度も早くなる事実が説明できる。

②日照時に葉面で生じた蒸散に伴う水分欠乏は日没後に補償されるが、大きな樹木ほど日没後の吸水は長く続く。ヒノキ (*Chamaecyparis obutsusa* S.et Z.) のポット苗と成熟木との樹液流動の変動パターンの差を研究した森川は、成熟木ほど葉面における水分欠乏の情報が幹下部に伝わるのに時間が掛かり樹液流はより長時間継続するとした⁴⁾が、今回測定した程の樹木でもその継続時間に差の現われることは興味がある。

③測定されるヒートパルス速度は、大きい樹木ほど大きく変動する。森川は上と同じ理由で大きい木ほど幹下部での樹液流速度は平滑化すると述べている⁴⁾ことに反する現象である。本測定の場合樹液流速度の平滑化に関与するはずの根系における吸水抵抗がない事が関係しているだろう。しかし、それが大きい木ほど樹液流速度の変動が大きいことの根拠にはならない。

3. 樹液流量式

30分ごとに測定した元口吸水量と、吸水量測定時及びその30分前のヒートパルス速度の平均値の関係を図3に示す。この場合、環境要因に対応すると思われる以上に高い吸水量となった切断直後のデータは除外した。

各図に示したように、それぞれの供試木に関して、一般に

$$Q = a (HPV)^b \quad (8)$$

ここに、Q：吸水量cc/30min., HPV：ヒートパルス速度cm/hr

の関係が認められる。

係数 a, b が供試木で異なるのは、樹高、胸高直径等の特性値が違うことによる。そこで、これらの係数に樹木の特性値を反映させることを検討する。樹木の蒸散にもっとも影響するのは葉量である。だから葉量をパラメータに採用すべきであろう。しかし立木における葉量測定は困難であり、現実的な式とはならない。葉量をはじめとする樹木各器官の現存量や生産量は、一般に胸高直径と樹高から推定される。コナラについても、前述のように高い有意性のある式が得られる。他の諸器官量が蒸散量に関与するとしても、結局これら2つの量から推定せざるをえないと考える。そこで、胸高直径、樹高をパラメーターとして最適な関数形を求めると

$$a = 10^{2.91526} \cdot DBH^{2.21411} \cdot H^{-4.20455} \quad (9)$$

$$b = 10^{-0.650625} \cdot DBH^{0.40924} \cdot H^{-0.39708} \quad (10)$$

となる。前者は95%の安全率の有意性を認められるが、後者のそれは劣る。他の関数形をとると有意性の高い式を得ることが出来るが、式の説明する傾向は現象に反するようなものであり、この式を最

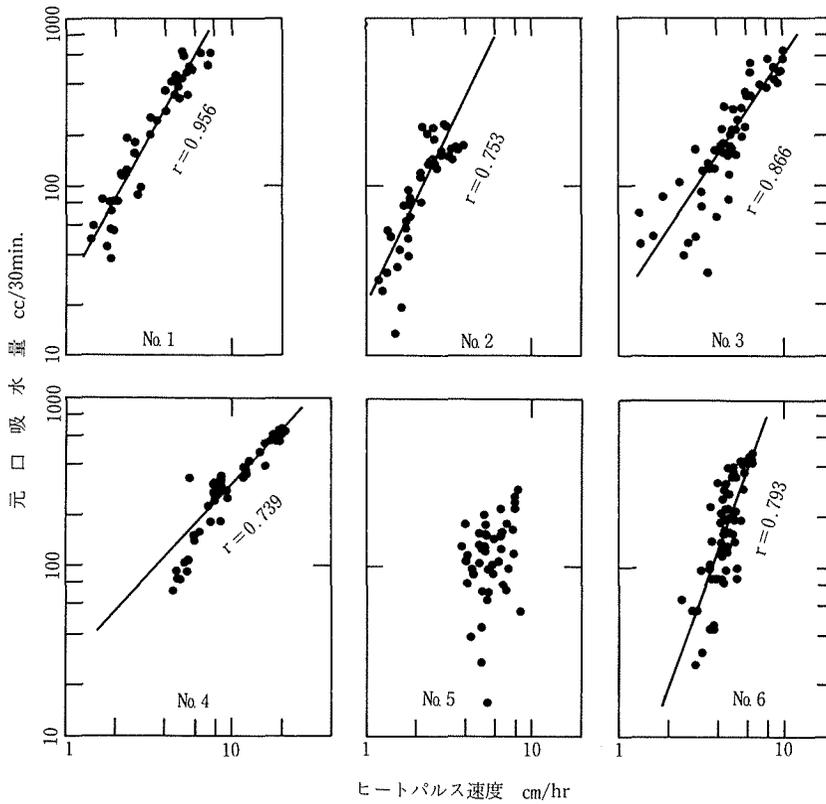


図3 各供試木におけるヒートパルス速度と元口吸水量の関係

良と考える。

(8)式のQを樹液流量と読み替えた式及び(9), (10)式を併せて, 筆者らは「樹液流量式」と呼ぶことにする。

ところで, 樹液流強度は通導断面全体にわたって同一でなく, 単木の蒸散量計算には樹幹表面からの各深さにおけるヒートパルス速度から計算される樹液流フラックスを積分しなければならないことは既に指摘されている^{7,11)}。筆者らも幹表面からの深さによるヒートパルス速度の変動を, 86年11月, 87年5月, 8月に生立木で詳細に観測した。ここで採用した2cm深におけるヒートパルス速度に対して各深さの相対速度は明らかに変動するが, 一定の傾向を見出すことは出来なかった。それで一定深度2cmで観測されるヒートパルス速度を使用することにした。

III 生立木のヒートパルス速度観測による蒸散量の推定

上述の測定は, 根をもたない切断木におけるものであった。切断木の切断面吸水量と生立木の蒸散量とでは, Iで触れたようにもちろん異なるはずである。そこで, 生立木での測定ヒートパルス速度とII. 3で提案した樹液流量式を使い, 生立木の蒸散量の推定を行ない, 2, 3の考察をおこなった。

1. 測定方法

測定は、前述の林分で、1986年11月末から12月初頭の落葉期に10本の立木を対象に、1987年1月末日から2月初頭の積雪期に1本の立木で、そして1987年5月～10月の開葉期の各月にそれぞれ3～5日10本の木を選んで、日の出1時間前から日没後2～3時間、1時間間隔で実施した。開葉期の各月の測定は、同一の立木で実施した。

樹幹における測定位置は、樹幹の南側地上高1.3m、センサー深度2.0cmとし、同一木で連続観測する時は2ヶ月ごとに若干その位置を変えた。これは、繰り返し付加されるヒートパルスが幹細胞を破壊することによる測定ヒートパルス速度の低下⁸⁾を回避するためである。

2. 測定結果と考察

観測値から次のことが言える。

①開葉期のヒートパルス速度は、日射量や気温の変動に類似する変動を示し、とくに日射量が増加し始めると急激に増大する。しかし開葉直後の5月には、他の時期と同様日射量の増加と共にヒートパルス速度は増加するけれども、日中は左程上昇しない。この傾向は1985年5月に観測した⁹⁾元口吸水量の変動にも認められた。気象条件が蒸発に好都合であっても、開葉直後で葉面の気孔数が少なく、また幼葉面に密生する毛による抑制の為、樹木の蒸散が小さいことによると考える。

②似通った供試木が多く選定されたため、固体の大きさとヒートパルス速度に関して明確な関係を見出せなかった。ただ、5、6月にはヒートパルス速度の低い部類であった一番小さい供試木が7、8、9月には一番大きい値を示し、逆に5、6月にヒートパルス速度の速い部類にあった一番大きい供試木が7、8、9月には低い部類に入るといった興味深い、しかし議論を更に進めるうえでは困った変動様相が見られた。

③落葉期のヒートパルス速度は、当然のことだろうが開葉期に比べて低く、変動も少なく、樹液流動が観測される時間も短い。

④積雪期の観測で、樹液流動は気温が0℃を越えると現われることがわかった。この場合の測定はSwansonに倣って¹⁰⁾、II. 3で示したヒートパルス付加点から上・下流センサー迄の距離 $x'=x$ とし、センサー間に温度差が現われることで確認したものである。葉面蒸散を伴わない樹液流動であろうが、積雪期でも樹木は水を消費していることをうかがわせる。

さて、生立木の計算樹液流量と切断木で観測された元口吸水量とを比較検討してみる。

コナラの開葉期に終日観測したヒートパルス速度をもとに先の樹液流量式で計算した積算樹液流量値を表2に示す。また元口浸漬法で今までに計測した吸水量を表3にまとめた。元口吸水量観測のための供試木は、ヒートパルス速度を測定した生立木に比べ規模は小さい。それで、表1中で一番小さい供試木No.3の計算値と、樹高12m以上の樹木での観測吸水量を比較すると、生立木No.3の計算蒸散量全てが元口吸水量より小さい。供試木No.3より小さい樹木で、より多い吸水量になることもあった。樹木切断による傷口には保護組織または癒傷組織すなわちカルスが形成され、樹液流の有効通導面積が小さくなると言われている。もしそうなら生立木よりも切断吸水させた木がより多くの水を吸収す

表2 樹液流量式による算定蒸散量 (m^l)

月 日	供		試			木		No.	
	1	3	4	5	6	7	8	9	10
5/16	198	356	2137	570	418	824	1181	431	3153
17	780	319	1490	623	164	874	1190	276	2632
18	739	271	1792	523	248	1100	1176	285	2506
6/15	—	568	240	—	1942	4886	4168	931	1644
16	—	1053	284	1010	3407	6986	8945	1777	3212
17	—	1171	398	2895	3844	7609	7813	1907	3033
18	—	1473	402	2739	4099	8506	8961	2062	2923
7/11	529	5626	3316	1729	1132	2339	241	547	2543
12	362	3614	786	1342	652	1399	—	168	639
13	412	3203	1766	1161	869	1465	243	345	839
14	80	2249	352	664	400	706	—	165	244
8/21	128	4332	294	3852	2793	3576	6053	1876	22327
22	38	987	—	482	728	190	303	509	8217
23	70	1022	—	1100	874	195	118	679	8122
9/27	384	2193	78	1812	596	290	2315	546	—
28	461	2407	278	2258	438	365	1479	563	—
29	314	1401	482	1257	653	215	1588	436	—
10/7	299	1640	290	2166	873	378	964	788	7949
8	429	1167	150	1514	638	300	838	666	10639
9	385	2042	—	1978	1164	278	880	800	9748
10	544	2133	51	2007	887	311	1076	578	11457
11	427	1882	667	1542	646	228	1235	416	10376
樹高 m	18.6	13.4	17.9	17.6	18.6	18.2	17.4	16.7	15.1
胸高直径 cm	20.0	14.2	22.4	20.0	21.4	23.0	24.0	18.8	25.0

表3 元口吸水量の観測例

観測時期	樹高	胸高直径	吸水量
'85.5.25	9.4m	8.0cm	2200m ^l
~26	7.9	6.8	4570
'85.7.30	10.0	7.3	4690
~31	8.9	7.8	7720
	12.4	9.6	12700
'85.8.27	8.7	10.1	2510
~28	12.6	12.9	6770
	11.6	12.3	5990
'85.10.7	10.1	9.8	9650
~8	9.1	11.2	4050
	9.4	12.1	10720
'86.10.14	9.3	14.8	9597
~15	7.1	9.5	3203
'87.8.28	8.2	11.0	10330
~29	12.3	13.0	14006
'87.9.19	9.2	11.0	6100
~20	13.3	13.0	10959

'85のデータは、(6)による。

るはずはない。だから、この式は樹液流量を過小に推定すると言えるかもしれない。

けれども、切断面での有効通導面積が小さくなくても、ヒートパルス速度測定断面までその影響は及ばないだろう。たとえ吸水断面が小さくなくてもこの観測部での通導面積は不変で、縮小された切断面から吸収された水だけはこの断面中を通過していたはずである。吸水量が減少すれば、測定断面ではそれだけ小さな樹液流速を示すに過ぎない。断面で測定したヒートパルス速度と蒸散量の関係式には何ら影響しないはずである。生立木での測定ヒートパルス速度から算定される樹液流量が切断木より小さくなったのは、それだけ

吸収根における抵抗の大きいことを示すものであると考える。

3. ハイドログラフによる水収支計算との対応

以上のように計算される蒸散量が、どれほどの意味をもつのか示す必要があろう。そこで、図4に示すように前述の測定地を流域のほぼ頂部とする流域で得られた流量ヒドログラフを解析し、その水収支計算とどれほど対応するかを検討し、本方法の適用性を考察する。

鍛冶屋谷試験流域と呼ぶこの流域は、小面積のブナ植栽地、ヒノキ植栽地と作業道に沿ったわずかの伐開地を挟む外は集水面積48.6 haのほとんどがコナラを主とする広葉樹二次林で、林齢もほぼ前述の測定を行なった林分に近い。

計算の総期間は4月30日から量水にトラブルが発生した台風8719号による降雨以前の10月16日までとし、雨量は、基本的に流域内4点で観測されたものの平均値とした。

ヒドログラフの解析は、鈴木が行なった⁹⁾手順にしたがった。すなわち、①各収支計算期間の起日・終日は、当日及び前日、前々日が無降雨で日流出高の相互の差が2%以内の日とする。②この期間内の総雨量と総流出高の収支計算から、その期間の平均日蒸発散量を算出する。複数の日蒸発散量が計算される日は、それらの平均値を日蒸発散量とする。なお、収支計算期間の長さを鈴木は、余りにも変動が大きくなって扱い難いことから最短を8日、また期間が長すぎると季節的変動を見逃してしまうので最長を60日としている。筆者らは最短期間については鈴木に倣い8日とし、最長期間については種々の長さで計算した収支が総期間の収支に最も近くなるもの

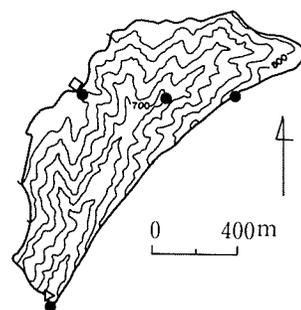


図4 鍛冶屋谷流域

□；ヒートパルス観測林分
▽；量水堰 ●；雨量観測点

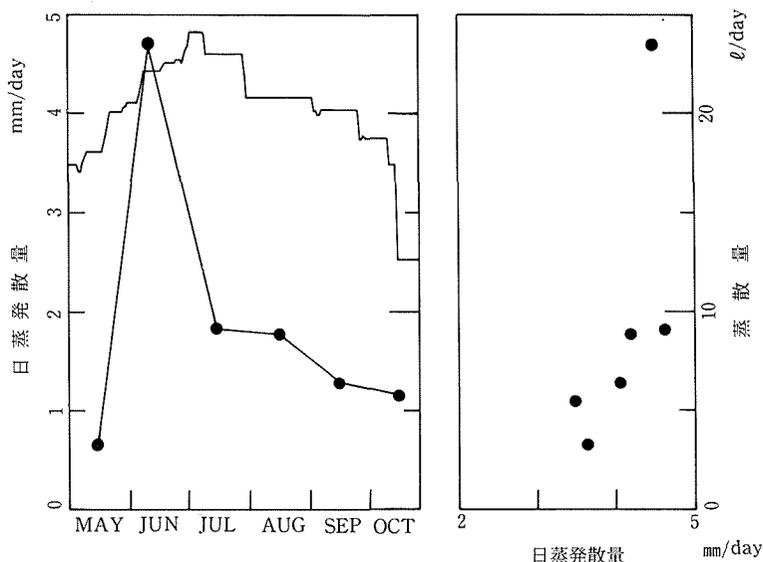


図5 短期水収支法による計算日蒸発散量とヒートパルス法による蒸散量

とした。すなわち、①で選択された全ての計算期間による結果をとることになった。この場合、計算総期間の損失量約770mmに対して積算蒸発散量は約25mmの不足にすぎない。

計算した日蒸発散量変動曲線と、供試木No.3, 5, 6, 7, 8の5本について蒸散量が計算できた日の総計の各月での平均とをあわせて、図5に示した。また図には両者の相関も示した。相関図を見ると、6月の計算値を除いて、5本の立木の計算蒸散量は推定蒸発散量に対してかなり好い対応をすることが解る。両者の回帰直線の相関係数は0.65、6月のデータを除外すると0.86である。ここでは蒸発量の評価がされていないことや、対応性の判断基準そのものが推定値であることから、この程度の対応があれば十分であると考ええる。

ところで、計算された日平均蒸発散量は鈴木が滋賀県湖東に位置する桐生試験地で得た値に比較して若干高くなった。桐生試験地の林相は、アカマツ、ヒノキの混交林である。だから、本流域を被覆する広葉樹林の方が高い蒸発散量を示すことになるとも言える。しかし、蒸発散量に影響する日射量・降雨量・風に関する要因等の的確な評価がない。図5の相関図に対して、前述したように相関係数0.65あるいは0.86の直線回帰式が得られる。その横軸の切片は3.3または2.6mm/dayである。これを単純に、降雨・気温・日射量等の気象要因・土壌水分条件・樹木の生理的季節を捨象して、蒸散の影響のない時の蒸発散量すなわち蒸発量と考えれば、林地面蒸発と蒸散量の相対比が読める。それによると、前者の方がその割合が大きいことになる。それはおかしい。桐生試験地の基盤がかなり堅固な花崗岩であり量水施設の漏水にも相当留意されている⁹⁾のに対し、本流域が花崗岩を基盤に持つけれども厚い火山噴出物におおわれており量水施設基礎での漏水も懸念される。広葉樹林の方が高い蒸発散量を示すといった即断は避けたい。

IV ま と め

樹幹におけるヒートパルス速度観測を広葉樹林地における蒸散量評価に適用する可能性を追求するために、ヒートパルス速度測定装置を自作し、コナラ二次林において2, 3の基礎的な研究を行った。

1. 切断木6本について樹幹の樹皮下2cmにおけるヒートパルス速度(HPV)と元口(切断面)からの吸水量(Q)の同時観測を実施し、一般に $Q = a(HPV)^b$ の関係が高い信頼度で得ることが出来た。また、a, bを樹高・胸高直径といった簡単に計測できる樹木特性値で表せることが出来た。筆者らはこれを樹液流量式と呼んだ。

2. 開葉期にコナラ数本を使って連続測定して得たヒートパルス速度を使いこの樹液流量式で計算した蒸散量と、流域面積約50haの流域で得たハイドログラフを短期水収支法で解析して得た日蒸発散量とは、かなり好い対応を示した。

ところで、チェッコスロバキアのBalekらがドイツトウヒ(*Picea abies*)を材料にして、気象環境要素値からヒートパルス速度を推定できる可能性を示している¹⁾。それが可能であれば気象環境要素の観測と林分調査データから林分蒸散量の評価が簡単に出来よう。筆者らもそれを試みた。しかし、不成功に終わった。先にも触れたように、全ての固体が環境の変動に対して同様の反応を示さなかったことと、落葉広葉樹であるコナラの場合樹木の生理季節という要因が現象を大きく支配するからである

う。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、田中一夫教授には種々討議を願った。測定装置の作製にあたっては、九州大学農学部助教授矢幡 久氏に貴重な資料の提供をいただき、鳥取科学器械(株)の尾崎氏、尾脇電気(株)の尾脇氏に種々指導願った。研究室の専攻生大谷誠一・西園勝憲・滝口善樹・武田 保の諸君には危険で忍耐力の要る観測に多大の助力を願った。ここに記して謝意を表したい。

また、本研究を遂行するため鳥取大学農学部附属広葉樹開発実験室および農学部広葉樹生態情報総合解析設備ならびに文部省科学研究費(研究代表者岸本 潤)からの補助を受けたことを記し謝辞としたい。

文 献

- 1) Balek, J., Pavlik, O. : Sap stream velocity as an indicator of the transpirational process. *J. Hydrol.*, **34** 193-220 (1977)
- 2) Closs, R.L. : The heat pulse method for measuring rate of sap flow in a plant stem. *N.Z.J. Sci.*, **1**, 281-288 (1958)
- 3) Marshall, D.C. : Measurement of sap flow in conifers by heat pulse transport. *Plant Physiol.*, **33** 385-396 (1958)
- 4) 森川 靖：ヒノキの樹液の流れ—林木の水収支と関連して—。東大演報, **66** 251-297 (1974)
- 5) 小笠原隆三ほか：コナラ二次林の現存量及び生産量。広葉樹研究, **4** 257-262 (1987)
- 6) 奥村武信ほか：元口浸漬法によるコナラ、クヌギ単木の蒸散量測定。広葉樹研究, **4** 119-128 (1987)
- 7) 大櫛政行ほか：平地アカマツ林の熱収支・水収支特性について。「霞ヶ浦およびその周辺域の生態系活動に及ぼす人間活動の影響」研究班報告書, (1981)
- 8) 杉田倫明ほか：ヒートパルス速度測定装置の作成とその蒸発散量測定への適用—針葉樹・広葉樹における測定例—。筑波大学水理実験センター報告, **7** 33-38 (1983)
- 9) 鈴木雅一：短期水収支法による森林流域からの蒸発散量推定。日林誌, **67** 115-125 (1985)
- 10) Swanson, R.H. : An instrument for detecting sap movement in woody plants. *Sta. Pap. Rocky Mt. For. Range Exp. Sta.*, **68** (1962)
- 11) 吉川 賢ほか：毛烏素沙地に成育する早柳の樹液流速と蒸散量。緑化研究, **10** 140-166 (1988)



元口吸水のための浸漬槽取付け状況



ヒーター，センサー取付け状況
(これらは，熱放散防止のため脱脂綿，アルミ
フォイルで保護される)