

ヒートパルス速度自記測定装置の作製

An Apparatus for Automatic Measurement of Heat Pulse Velocity

杉田 倫明*・古藤田一雄**

Michiaki SUGITA* and Kazuo KOTODA**

I はじめに

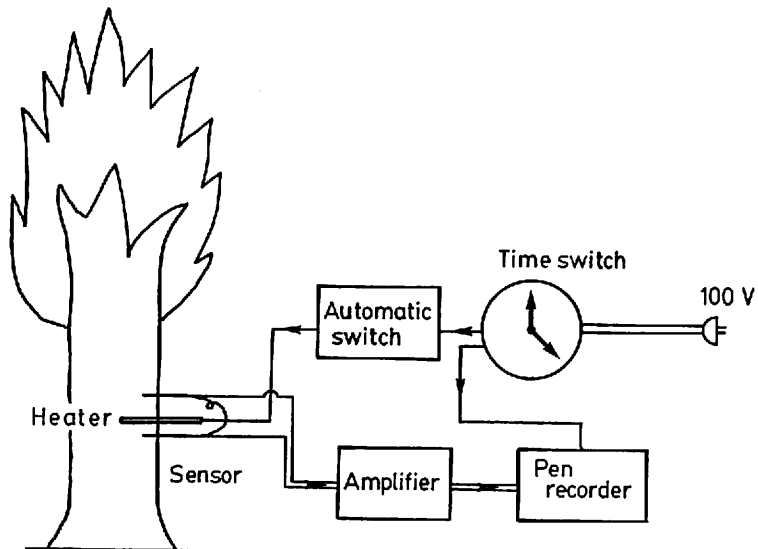
ヒートパルス法は、樹木の幹の内部を流れる樹液流の速度を直接測る方法である。測定の理論および方法は、Merschall (1958), Cross (1958) により確立され、現在では測定装置の市販もなされている。市販品の欠点は、高価なことである。そこで、杉田ほか (1983) は簡単で比較的安価に製作できるヒートパルス速度測定装置を試作し、測定値が十分信頼できるものであることを示した。しかしながら、その後の測定装置の使用の結果、自記測定の必要性を痛感した。というのは、従来のヒートパルス法では、ヒートパルスを与えると

いう操作が測定法に含まれていたため、長期間の測定と連続的な測定という要求を同時に満たすことが困難であったためである。本報では、この様な点を考慮し、ヒートパルス速度自記測定装置の作製を行い、その測定例の一部を示した。

II 理論および装置の概要

1) ヒートパルス法の理論

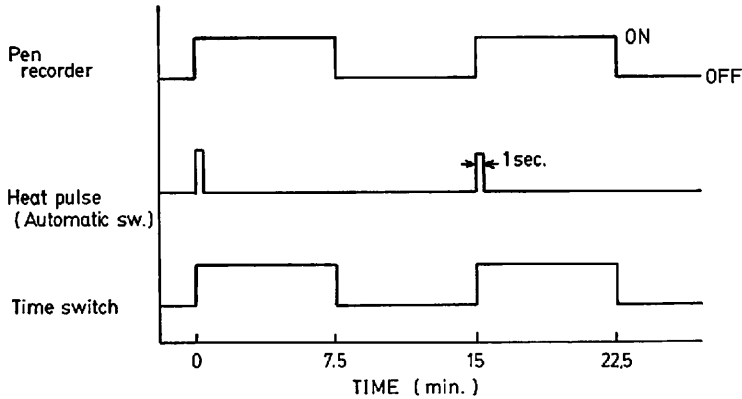
理論の詳細は、杉田ほか(1983)で述べたので、ここでは概要を示す。樹木の幹の一部のO点にヒーターを、それより上方のB点、下方のA点に熱電対を挿入する。O点のヒーターを短時間通電し、ヒートパルスを幹に与えると、幹の上下へ熱



第1図 ヒートパルス速度自記測定装置の構成

* 筑波大学・院・地球科学研究科 **筑波大学水理実験センター

(1984年6月4日受理)



第2図 装置各部のタイムチャート

伝導、樹液流により熱が伝わる。上下への熱の伝わり方、すなわち、A点およびB点での温度変化を測定することによりヒートパルス速度が得られる。

$$HPV = \frac{OB - OA}{2t_0} \quad (1)$$

ここで、 HPV ：ヒートパルス速度、 t_0 ：ヒートパルスを与えてから、B点とA点の温度が等しくなるのに要した時間、 OB 、 OA はそれぞれ2点間の距離をあらわす。

ヒートパルス速度と樹液流速の関係は次式であらわされ、短期間には両者は比例関係にある。

$$u = \frac{\rho_t(Ct + Mt \cdot C_w)}{\rho_w \cdot C_w} \cdot HPV \quad (2)$$

ここで、 u ：樹液流速、 ρ ：密度、 C ：比熱であり、添字 t 、 w はそれぞれ樹木、水をあらわす。また Mt は水分量で、

$$Mt = (\text{生重量} - \text{乾重量}) / \text{乾重量}$$

によってあらわされる。

2) 自記測定装置

測定装置の構成を第1図に示す。全体は、6つの部分からなっているが、これらは3つに大別される。1つは、樹木の幹にヒートパルスを与えるための部分で、オートマティックスイッチとヒーターからなる。1つは、ヒーターの上下の温度変化を記録する部分で、センサー、ヒーター、アンプ、ペンレコーダーからなる。他の1つは、タイ

ムスイッチで、ヒートパルス発生、ペンレコーダー作動をコントロールするものである。

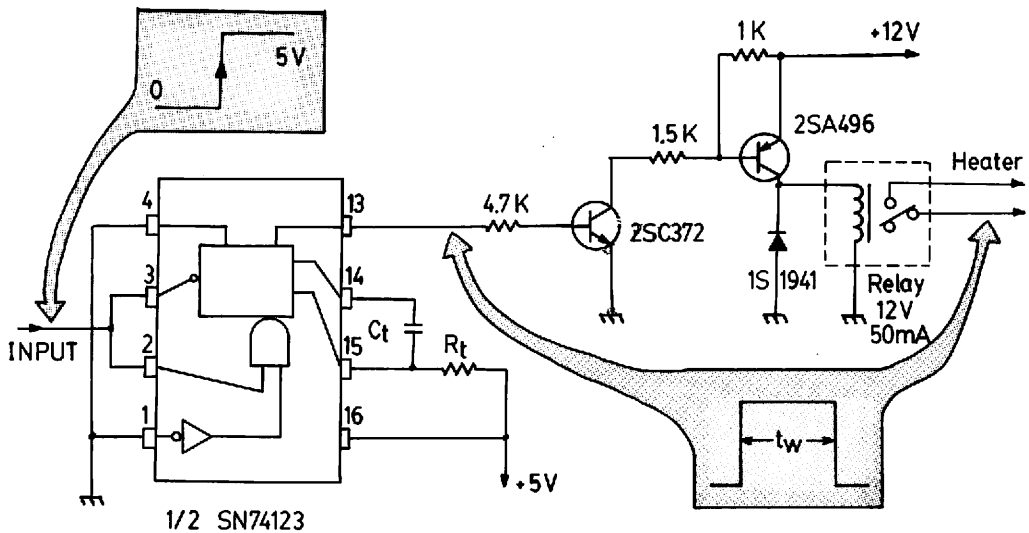
第2図に、各部分の動作のタイムチャートを示す。タイムスイッチは、3.5分ごとに ON-OFF を繰り返す。オートマティックスイッチは、タイムスイッチが ON となると1秒間 ON となり、ヒーターに通電する。ペンレコーダーはヒートパルスが与えられてから7.5分間、センサーからの出力を記録する。ヒートパルス速度は、7.5分ごとに記録されたペンレコーダーの記録紙から(1)式中の t_0 の値を読み取ることで、算出することができる。

本報では、タイムスイッチには機械式のもの(立石電機、STD2型)を使用した。安価であるが、周期(本報では、1周期15分のものを使用)を変えられないのが欠点である。最近、任意に時間設定できる電子式のタイムスイッチも市販されており、自作も容易である。

オートマティックスイッチ部分の回路図を第3図に示す。中心となる IC は、入力がゼロから 5V に変化すると、 R_T 、 C_T により決められた時間幅(t_w)をもつパルスを出力するものである(猪飼, 1980)。時間幅は、次式により決められる。単位は秒である。

$$t_w = 0.28 R_T C_T \left(1 + \frac{700}{R_T} \right) \quad (3)$$

実際には、 $C_T = 100 \mu\text{F}$ とし、 R_T に可変抵抗を



第3図 オートマティックスイッチの回路の一例(久保・一杉(1976)より一部引用)

用いて $t_w = 1$ 秒となるように調節した。回路の残りの部分は、パルスを増幅し、リレーを駆動してヒーターに通電するためのものである。

ヒーターとセンサー部分は、杉田ほか(1983)とまったく同じもので、両者の間隔 ((1)式の \overline{OB} , \overline{OA}) は、 $\overline{OB} = 1.0\text{cm}$, $\overline{OA} = 0.7\text{cm}$ としてある。本装置では、ヒートパルスを与えてからペンレコーダーは7.5分間センサーの出力を記録しているので、(1)式より 1.2cm/h 以下のヒートパルス速度は測定できない。これは、杉田ほか(1983)が示したように、低速度領域ではヒートパルス法の測定精度が著しく低くなることによる。しかしながら、後述するように、この値は蒸散活動の開始をあらわすと考えられ、それ以下の値の測定は必要でない。

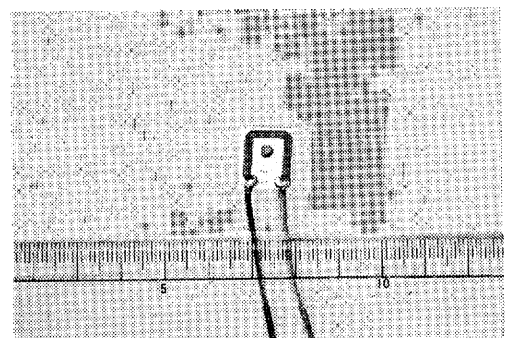
また、センサー出力の増幅には、データロガー(タケダ理研, TR 2731型)の一部を使用した。自記録可能な時間は、本装置の場合ペンレコーダーの記録紙の長さで制約される。ペンレコーダーとして、東亜電波 ERP-152A 型と渡辺測器 WTR 331型を用いたが、前者で2日強、後者で10日程度の連続測定が可能である。

III 野外への適用

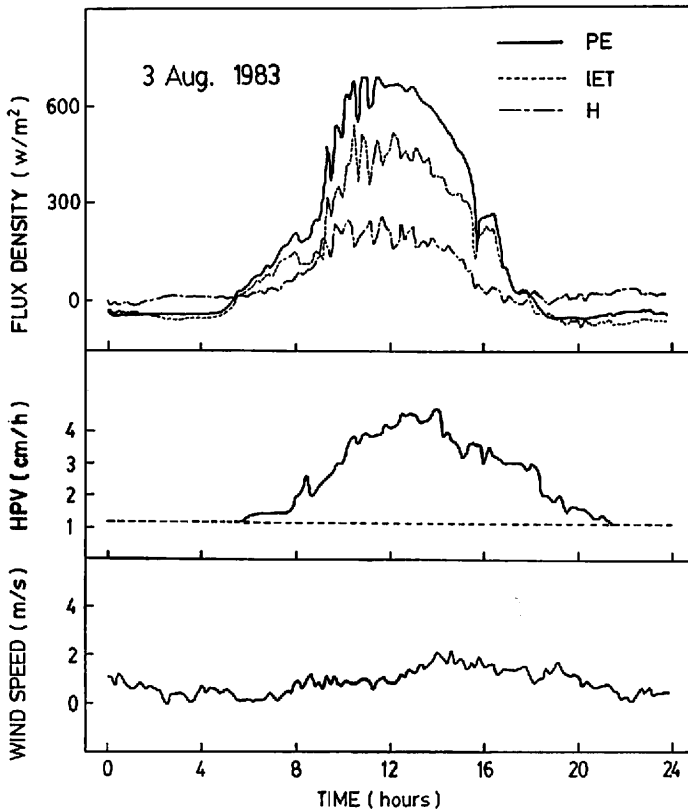
アカマツ林における熱収支・水収支項の集中観測を1983年7月～8月にかけて行った。同時に、ヒートパルス速度をほぼ5週間にわたって連続自記測定した。本報では、その中から若干の興味深い観測結果と問題点を示し考察を加えた。

1) 観測方法

観測地域は、筑波大学水理実験センター南側に位置する平均樹高10mのアカマツ林で、その詳細は、杉田ほか(1983)に示されている。ヒートパルス速度測定装置のセンサーとヒーターは、胸高



第4図 ウェットネスインディケーターの外観。大きさは、 $1.5 \times 1.2 \times 0.15\text{cm}$ 。



第5図 晴天日の変化。PE：可能蒸発量，IET：潜熱フラックス，H：顕熱フラックス，HPV：ヒートパルス速度で風速は地上12.5mでの値である。2段目の破線は HPV 1.2cm/h の値を示す。

直径11.5cmのアカマツの地上5.7mの位置に挿入した。この位置は樹冠直下にあたる。熱収支・水収支項の測定項目・方法は、杉田・古藤田(1984)を参照されたい。

樹冠の濡れの様子を知るために、樹冠各部にウェットネスインディケーター(WI)をセットした。WIは、周囲の相対湿度により大きくその電気抵抗が変化する結露センサー(村田製作所、HOS-003-21型)を用いた(第4図)。相対湿度0~80%で $10^3\text{M}\Omega$ 以上、90%で $10^2\text{M}\Omega$ 以上、100%で $300\text{k}\Omega$ 以下となる性質を持っている。

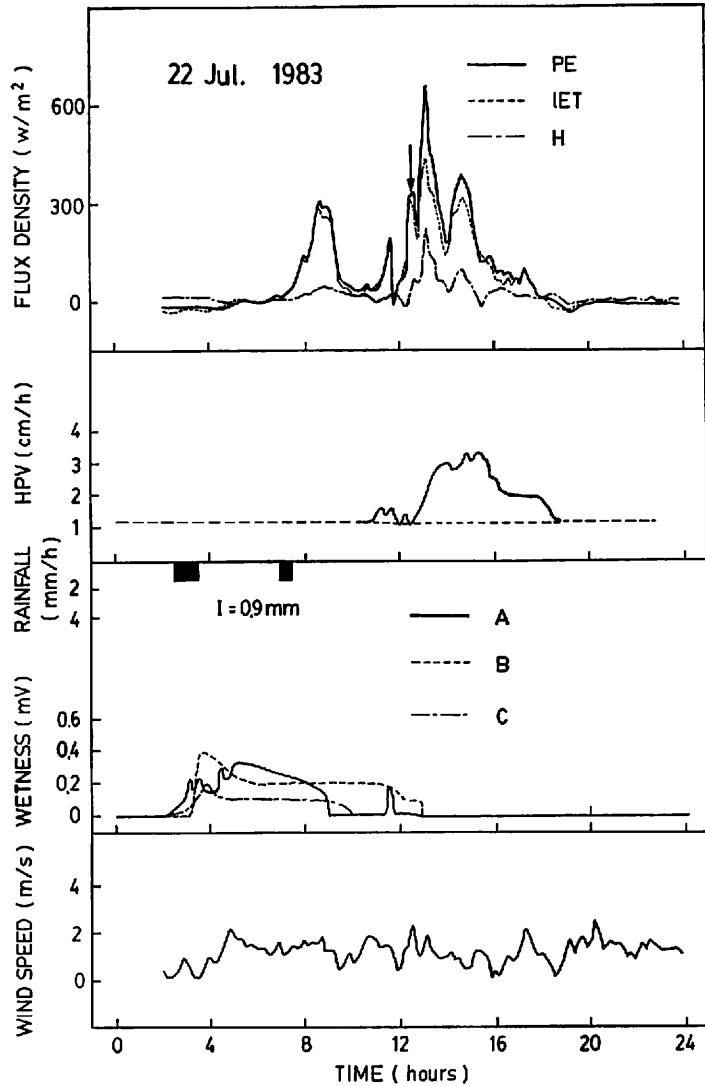
2) 観測結果

晴天日の日変化を、1983年8月3日を例として第5図に示す。樹冠上の潜熱フラックス(IET)とヒートパルス速度(HPV)の日変化を比較すると、早朝IETが正に転じると同時にHPVが1.2

cm/h以上となるのが認められる。早朝、日射の増加に対してHPVの変化がほとんど遅れないという観測事実(出口・田瀬, 1983など)とあわせて、この1.2cm/hという速度は蒸散活動の開始点をあらわすと考えられる。一方、夕方にはHPVは、IETに対して大きな位相の遅れがみられた。

降雨により樹冠が濡れた場合である1983年7月22日の例を第6図に示す。同図3段目の樹冠の濡れは、WIの出力をmV単位で示したもので、値が正の時は樹冠が濡れていることをあらわしている。

2時30分から7時30分にかけて降った2.0mmの降雨は、樹冠部で0.9mmが遮断された。その結果、樹冠は13時まで濡れていた。潜熱フラックス(IET)とヒートパルス速度(HPV)の変化を比較すると、樹冠部が乾いている13時以後では両



第6図 降雨に伴う観測項目の変化。I: 降雨遮断量, A, B, Cはウェットネスインディケータを付けた樹冠の位置をあらわし, Aから順に取り付け位置は下側になっている。他の記号は第5図と同じである。

者の変化はよく対応している。これに対して、樹冠が濡れている9時のIETのピークに対しては、HPVには対応するピークがあらわれていない。これは、樹冠が濡れている場合、蒸散活動が抑制されていることを示している。

3) 問題点

5週間にわたる試用の結果、問題となったのは、ヒートパルスの熱によるアカマツの幹の細胞の破

壊の可能性である。5週間のあいだ、1ヶ月目に1度センサーとヒーターの位置を変えたが、その結果HPVの値が気象条件の変化によると考えられるよりも一日を通して大きくなった。これは、長期間のヒートパルスの繰り返しの結果、アカマツの幹の中の樹液流路が変化してHPVの値が小さくなっていったためと思われる。ただし、センサーとヒーターの位置を変える前でも、HPVは納

得できる日変化を示していた。問題となるのは、蒸散量の日総量を求める場合のように、HPVの絶対値を用いる時であろう。

対策として考えられるのは、HPVの変化のほとんどない夜間にヒートパルスを与えないようにすること、時々ヒーターとセンサーの位置を変えることなどである。

IV おわりに

従来、マニュアル操作が必要だったヒートパルス速度測定を自記で行う装置を作製し、若干の測定例を示した。自記で測定を行うことで、従来解明のなされていない現象が明らかになることが期待されよう。

文 献

猪飼国夫 (1980) : 『最新 TTL IC 規格表'80』CQ 出版社, 335p.

久保大次郎・杉勝 (1976) : 『デジタル回路設計スタディ』CQ出版社, 209p.

杉田倫明・古藤田一雄 (1984) : ボーエン比・熱収支法と渦相関・熱収支法によるアカマツの林冠上の潜熱フラックスの測定. 筑波大学水理実験センター報告, 8号, 83-88.

杉田倫明・出口賢二・古藤田一雄 (1983) : ヒートパルス速度測定装置の作製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号, 33-38.

出口賢二・田瀬則雄 (1983) : 平地アカマツ林における蒸散活動と土壌水の挙動について. 筑波大学水理実験センター報告, 7号, 39-46.

Cross, R. L. (1958) : The heat pulse method for measuring rate of sap flow in a plant stem. *N. Z. J. Sci.*, 1, 281-288.

Merschall, D. C. (1958) : Measurement of sap flow in conifers by heat transport. *Plant Physiology*, 33, 385-396.