

## ヒノキの樹液流速と吸水量の関係

小南 裕志・鈴木 雅一

Measurement of the sap flow and the rate of water  
absorption in a tree of *Chamaecyparis obtusa*

Yuuji KOMINAMI and Masakazu SUZUKI

### 要 旨

ヒートパルス法によって立木からの蒸散量を定量的に求めるために、桐生試験地内の樹高12.6 mのヒノキを測定木として、ヒートパルス法による樹液流速の測定と吸水量の測定を並行して行い、両者の関係について検討を加えた。測定深度を一定にし測定の高さを変えた4本のセンサーのヒートパルス速度間の関係から、①測定した高さによるヒートパルス速度の日変化の時間差が存在しないこと、②ヒートパルス速度の深度分布の日変化が同じ傾向であることが確かめられた。測定深度を変化させてヒートパルス速度の深度分布を測定して、一定の高さでの通過水量を推定し、吸水量との関係を求めたところ一次式で近似可能な関係が見られた。さらに、これによって切断以前の測定木の蒸散量の推定を行った。

### は じ め に

山地流域の水蒸環を明らかにする上で、森林からの蒸散量の正確な測定は重要な課題であり、蒸散量測定のためにこれまで様々な方法が試みられてきた、しかしそのいずれもが間接的な蒸散量の測定法であり、森林からの散量の定量的な評価ということに関しては十分に行われてはおらず、検討の必要があると思われる。

ヒートパルス法は樹幹にヒーターとその上下に温度センサーをいれ、ヒーターに通電してヒートパルスを与えてから2本の温度センサーによって各部分の温度変化を測定する装置で、これによって樹液流速を測定するものであり、原理的に樹幹中の一点での樹液流速を測定するものであるため定量的な蒸散量の測定は通常困難であるとされていた。

そこでヒートパルス法によって定量的な蒸散量の観測を行うためには実蒸散速度あるいは実蒸散量に準ずるものとヒートパルス速度の関係を求める必要があり、このような試みは、Ladefoged (1963), Decker & Skau (1964), 森川 靖 (1972), Cohen & Fuchs (1981), 吉川 賢ら (1988), 等によって行われているが、本実験においては実際の林分中の比較的大型のヒノキにおいてヒートパルス法による測定を行い、それによってセンサーを設置した高さにおける通過水量の推定を行い、これと並行して測定を行った測定木の吸水量との関係について検討を行うこととした。

通過水量を推定するにあたって、ヒートパルス法による測定では1回の測定で1点でのヒートパルス速度しか測定することができないため、

(a) 同一高度での樹幹断面でのヒートパルス速度の速度分布

(b) ヒートパルス速度の速度分布の日変化

についての検討を行い、ヒートパルス速度を流量に換算して、4箇所の樹幹断面についての通過水量の推定を試みた。

## 1. 測定方法と測定木

### 1-1 調査地と測定木

測定は滋賀県琵琶湖南東部にある桐生試験地内のヒノキで行われた。樹高は 12.6 m 地際直径は 14.0 cm 樹冠投影面積は 5.54 m<sup>2</sup> である。測定木周辺の林分はヒノキアカマツ混交林で樹冠は閉鎖されており、樹冠をアカマツによって形成され、その下部にヒノキが存在する 2 段林になっている。

### 1-2 測定方法

ヒートパルス法による測定は 6 本のセンサーを用いて行った。そのうち 1 本はヒートパルス速度の深度分布を求めるために測定深度を変化させて測定を行い（以後 MV-SENSOR という）、残りの 4 本は測定深度を 1 cm に固定して測定を行った。測定深度を固定した 4 本のセンサーのうち 3 本はマニュアル測定とし（以後 CT1, CT2, CT3 SENSOR という）、残りの 1 本は自記測定（以後 A SENSOR という）とした。

センサーが設置された位置、センサー設置部位での樹幹の状態を表 1 に示す。また、測定木の吸水量を測定するために測定木を切断するが、吸水機能の時間的低下をチェックする意味で、測定木の付近のヒノキで自記計によるヒートパルス測定を行った。

測定は 1988 年 10 月 3 日から始められ、自記計はセンサー設置後、連続して測定が行われ、マニュアル測定は、10 月 3, 5, 7 日の日中のみ測定が行われた。測定日時を表 2 に示

表 1 センサーの設置条件  
Condition of  
setting sensors

| SENSOR | Height from<br>the ground(cm) | Radius<br>(cm) | Depth of<br>sap wood(cm) |
|--------|-------------------------------|----------------|--------------------------|
| CT1    | 61.0                          | 4.3            | 1.5                      |
| CT2    | 107.5                         | 3.9            | 1.5                      |
| CT3    | 454.0                         | 3.2            | 1.85                     |
| A      | 73.0                          | 3.8            | 1.3                      |
| MV(1)  | 74.5                          | 4.8            | 1.6                      |
| MV(2)  | 100.5                         | 3.8            | 1.4                      |

表内、MV センサーの (1), (2) は使用したセンサーは同一だが測定位置が異なる

MV(1) sensor is the same sensor as MV(2) sensor, but measured in the different positions.

表 2 測定日時  
Data of  
measurement

| Month october |            |    |    |   |   |    |    |             |   |    |    |   |   |    |            |   |   |    |
|---------------|------------|----|----|---|---|----|----|-------------|---|----|----|---|---|----|------------|---|---|----|
| Date          | 3          |    |    | 4 |   |    |    | 5           |   |    |    | 6 |   |    |            | 7 |   |    |
| Hour          | 6          | 12 | 18 | 0 | 6 | 12 | 18 | 0           | 6 | 12 | 18 | 0 | 6 | 12 | 18         | 0 | 6 | 12 |
| CT1           | 8:13-18:00 |    |    |   |   |    |    | 6:25-18:17  |   |    |    |   |   |    | 8:12-18:17 |   |   |    |
| CT2           |            |    |    |   |   |    |    | 9:00-18:19  |   |    |    |   |   |    | 8:24-18:11 |   |   |    |
| CT3           |            |    |    |   |   |    |    | 9:41-18:12  |   |    |    |   |   |    | 8:35-18:19 |   |   |    |
| A             | 8:20       |    |    |   |   |    |    |             |   |    |    |   |   |    |            |   |   |    |
| MV            | 8:27-17:51 |    |    |   |   |    |    | 10:24-18:14 |   |    |    |   |   |    | 8:42-17:37 |   |   |    |

す。測定インターバルは、自記測定は、5:00~20:00 が約30分、それ以外の夜間が約1時間とし、マニュアル測定は約10分とした。

吸水量の測定については、測定木を地際で切断してこれを鉄パイプで組んだやぐらに固定して切断面を水の入ったポットに漬け、このポットの重量の減少分を測定木の吸水量とした。

同時に測定された気象データは測定木の南東 23 m の位置にある高さ 15 m の鉄塔で測定された林冠上のデータである。

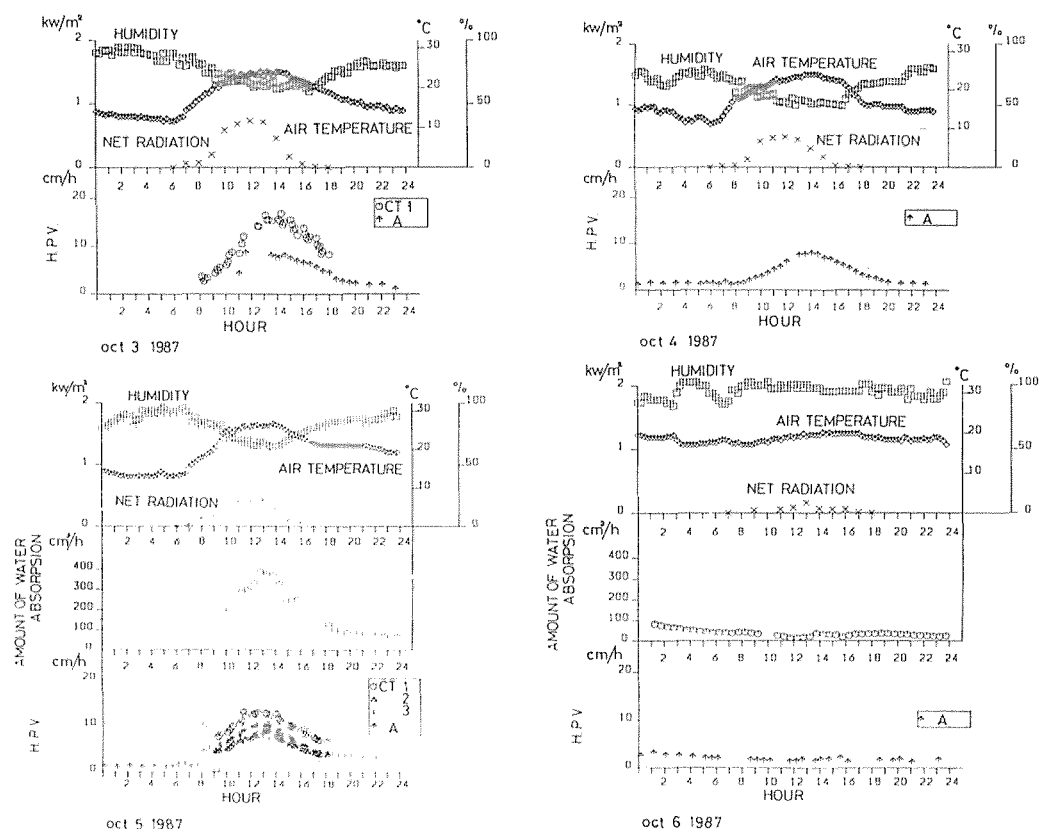
## 2. 測定結果

### 1) ヒートパルス速度及び吸水量の日変化

図 1 にヒートパルス法による測定、吸水量の測定結果を、気象データと共に示す。測定は 8 日以降も行われたが 8 日からは切断後の時間の経過によって測定木の吸水機能が低下し、吸水量が大きく減少し、コントロールのヒノキのヒートパルス速度との差が大きくなったため、測定データは 7 日までのものを用いることとした。

10 月 3, 4 日は切断が行われる前の測定で、ヒートパルス法による測定のみが行われた。測定木の切断は 10 月 5 日の 8:20~9:00 にかけて行われた。測定木の切断に伴うヒートパルス速度の変化はほとんど見られず、10 月 7 日までヒートパルス速度は切断前と同程度の日変化を示した。天候は 10 月 6 日が雨天で、その他の日は晴天であった。

### 2) ヒートパルス速度の深度分布



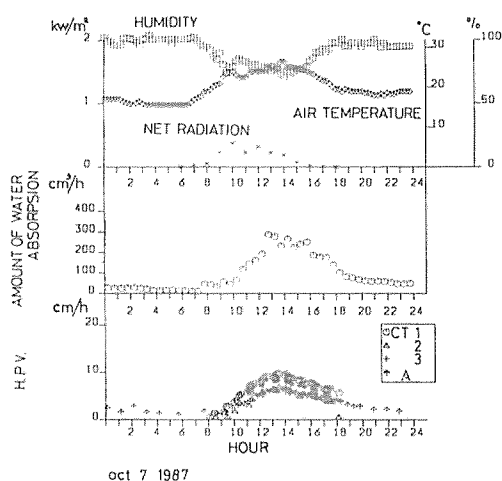


図1 ヒートパルス法, 吸水量および気象の測定結果

Fig.1 The heat pulse velocity, the amount of absorption and the diurnal changes in air temperature, relative humidity and net radiation

図2にヒートパルス速度の深度分布の測定結果とセンサーを設置した位置の辺材部, 心材部厚を示す。ヒートパルス速度の深度分布は, NV-SENSOR の日変化の補正を行うため MV-SENSOR のヒートパルス速度と同時刻の CT-SENSOR のヒートパルス速度との比率  $MV/CT$  をヒートパルス速度の深度分布を示す値とした。

10月の3日から7日までの全ての測定において辺材部と心材部の境界部でピークの値の50~70%程度の値が記録され, さらに心材部の内部においてもヒートパルス速度が測定された。一般に樹液流は樹幹の辺材部を流れるとされており, この測定結果と矛盾する。この原因としては, (a) 実際に心材部においても樹液流が存在する。

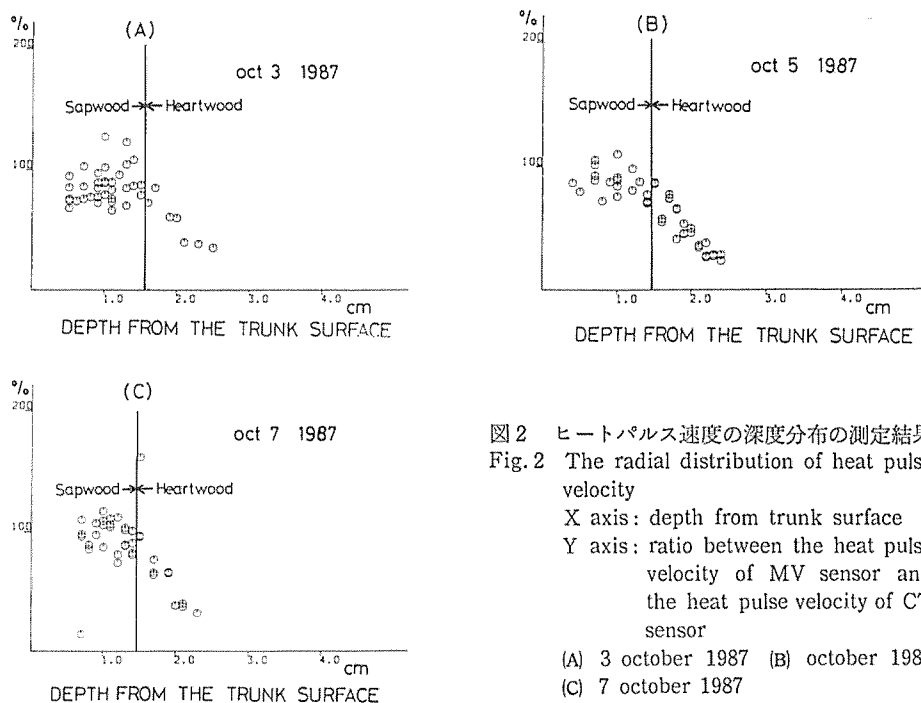


図2 ヒートパルス速度の深度分布の測定結果  
Fig.2 The radial distribution of heat pulse velocity

X axis: depth from trunk surface  
Y axis: ratio between the heat pulse velocity of MV sensor and the heat pulse velocity of CT sensor

(A) 3 october 1987 (B) october 1987  
(C) 7 october 1987

(b) 実際には辺材部にのみ樹液流は存在するが、心材部の測定を行ったときにも辺材部の樹液流による熱の移動の影響でヒートパルス速度が測定される。  
という2つが考えられる。

### 3. 考 察

1) ヒートパルス速度の日変化の測定した高さによる時間差と、ヒートパルス速度の深度分布の日変化

図3に測定の高さを変えた各センサーのヒートパルス速度間の関係を示す。これを見ると、各センサーによるヒートパルス速度間の関係は1次式による近似が可能であると思われる。センサーを設置した高さは61.0 cm から 454.0 cm まで離れているが、このセンサーを設置した高さによって各センサー間のヒートパルス速度の関係がループを形成するということがなく、直線近似

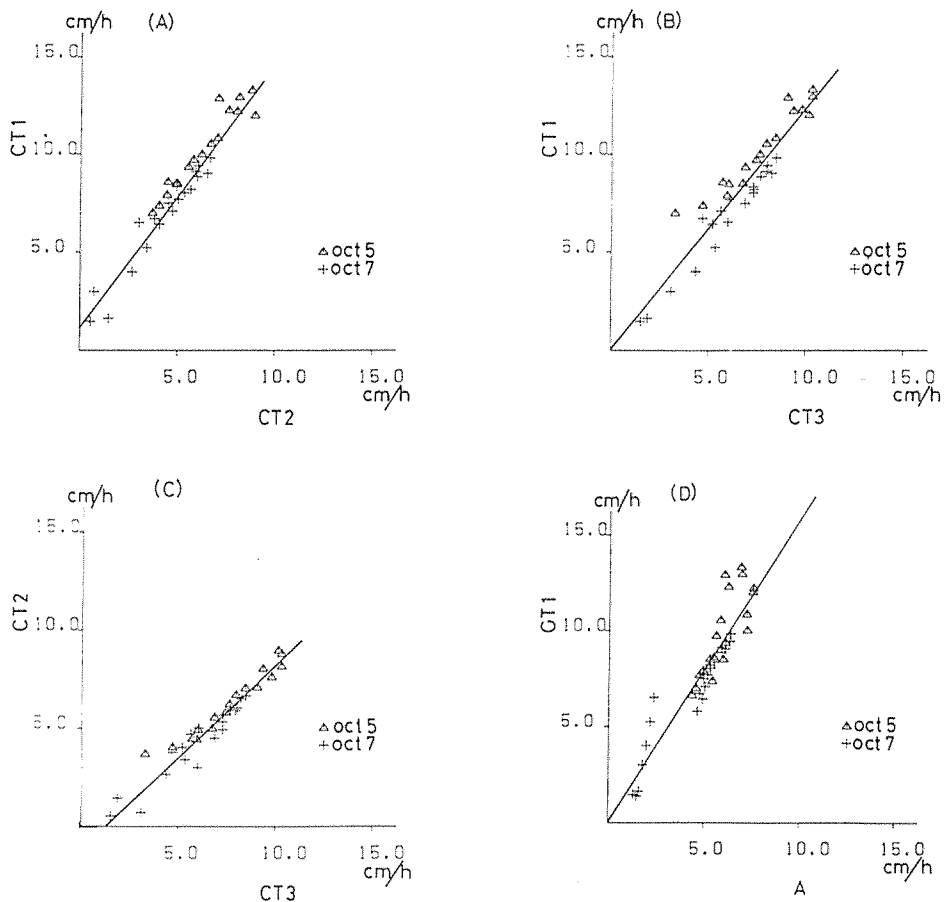


図3 各センサー間のヒートパルス速度の関係

Fig.3 Relationships between the heat pulse velocity of each sensor

(A) X axis CT1, Y axis CT2 regression line  $Y = 1.38X + 1.23$

(B) X axis CT1, Y axis CT3 regression line  $Y = 1.23X + 0.08$

(C) X axis CT2, Y axis CT3 regression line  $Y = 1.05X + 1.30$

(D) X axis CT1, Y axis A regression line  $Y = 1.61X - 0.05$

が可能であることから、ヒートパルス速度を測定した高さによる日変化の時間差はマニュアル測定を行った時間内（6:25～18:19）では存在していないと思われる。また、さらに直線回帰が可能であることと回帰直線の切片が0に近いことからヒートパルス速度の値はそれぞれ異なるが、その日変化の様相は同じ形で変化することになる。

## 2) 推定通過水量と吸水量の関係

通過水量の推定は、樹液流速分布が高さにもかかわらず一定であり、かつ円周方向の深度分布もどこでも同じであると考えて、この深度分布を各々のセンサーを設置した高さでの樹幹半径方向の樹液流速分布として、これを円周方向に積分することによって求めた。この方法による推定通過水量と吸水量の関係を図4に示す。これを見ると両者の関係は1次式による近似が可能であると思われる。

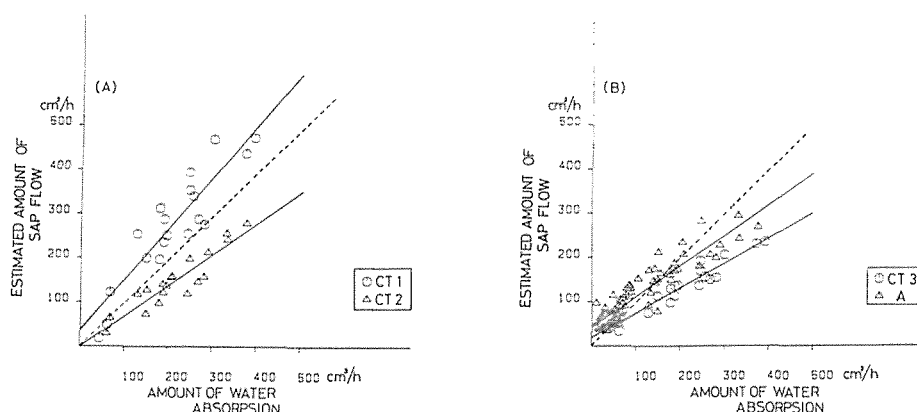


図4 推定通過水量と吸水量の関係

Fig.4 Relationships between the amount of water absorption and the estimated amount of sapflow

(A) CT1 regression line  $Y=1.16X+33.86$

CT2 regression line  $Y=0.70X-2.72$

(B) CT3 regression line  $Y=0.56X+19.92$

A regression line  $Y=0.69X+43.61$

(1)よりヒートパルス速度の日変化の時間差は測定されなかったもので、推定通過水量と吸水量が一致したとき両者の関係は  $Y=X$  となるはずである。そこで、図中点線で示した  $Y=X$  と各回帰直線を比較を行うと、CT1 SENSOR 設置部位では  $Y=1.16X+33.86$  と傾きが1.0よりも大きくなっており、他の3本のセンサー設置部位では傾きは1.0よりも小さく0.56～0.70まで分布していて、各回帰直線は  $Y=X$  を中心にして分布している。

実測吸水量とヒートパルス速度からの推定吸水量が一致しないのは、他の文献でもみられる。一般にはヒートパルス速度からの推定値が実測値よりも少なくなる例が多いようである。この原因は推定の際に一定とした樹液流速度の分布が測定の高さ、半径方向の位置によってかなり異なるためであろう。この点についての検討は今後の課題である。

## 3) 蒸散量の推定

(3)で求めた自記計 (A SENSOR) のヒートパルス速度による推定吸水量と実吸水量の関係式 (図4-B:  $Y=0.69X+43.61$ ) を使って10月3日、4日についての蒸散量の推定を行った。計

表3 切断以前の蒸散量の推定  
The estimated amount  
of transpiration

| Data                                 |                                          | OCT 3   | OCT 4   |
|--------------------------------------|------------------------------------------|---------|---------|
| Estimated amount<br>of transpiration | cc/day                                   | 3131.58 | 2215.34 |
|                                      | mm/day (per crown area)                  | 0.57    | 0.40    |
|                                      | cc/cm <sup>2</sup> /day (per basal area) | 69.03   | 48.83   |

算結果を表3に示す。

樹冠投影面積当りの推定蒸散量は10月3日、4日それぞれ0.47 mm/day, 0.50 mm/day となっており、比較的蒸散量が少ないがこれは測定木が林分中では劣勢木であるためであると思われる。

#### 4. ま と め

ヒートパルス法による立木からの定量的な蒸散量測定を目的として、ヒノキの吸水量とヒートパルス法によって推定した通過水量、および各センサー間のヒートパルス速度の比較検討を行った。測定の高さを変えて設置した各センサーのヒートパルス速度の間には、1次直線で近似可能な関係が見られ、また切片の値も小さいため、ヒートパルス速度の日変化は高さ方向の時間差はないといえる。ヒートパルス速度の深度分布はヒートパルス速度の日変化に対して線形的に変化すると思われる。推定通過水量と実測吸水量の間には1次式で近似可能な関係が見いだされた。

今後の課題としては樹液流の速度分布の樹幹の高さ、半径方向の位置、による差異を明かにし、その法則性を見だし、実測吸水量との誤差を少なくして行くことであろう。

観測に使用した蒸散流速計の一部は京都大学農学部演習林、赤井竜男助教授、および岡山大学農学部、千葉喬三教授からお借りいたしました、深く感謝いたします。

#### 引 用 文 献

- 1) COHEN, Y., FUCHS, M. & GREEN, G. C. : Improvement of the heat pulse method for determining sap flow in trees. *Plant, Cell and Environment* **4**, 391-397, 1981.
- 2) DECKER, J. P., & SKAU, C. M. : Simultaneous studies of transpiration rate and velocity in trees. *Plant, Physiol.* **39**, 213-215, 115-127, 1964.
- 3) LADEFOGED, K. : Transpiration of forest trees. *Physiol. plant.* **16**, 378-414, 1963.
- 4) MORIKAWA, Y. : The heat method and an apparatus for measuring sap flow in woody plants. *Journal of Japanese Forest Science.* **54**, 166-171, 1972.
- 5) 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**, 251-298, 1974
- 6) 吉川 賢, その他: 毛鳥素沙地に生育する旱柳の樹液流速と蒸散量. *緑化研究*. **10**, 140-166, 1988

#### Résumé

In order to estimate the rate of transpiration by a heat pulse method, the actual velocity of Water that was obtained by weighing the amount of water absorbed from cutting section of the stem and heat pulse velocity were measured simultaneously on a tree of *Chamaecyparis obtusa* (height 12.6 m, ground diameter 14.0 cm) in the Kiryu Experimental Watershed. There are no difference in the daily patterns of heat pulse velocities measured by sensors at difference height. The daily pattern of radial distribution of he

at pulse velocity was linear. And the amount of sap flow was estimated by the radial distribution of heat pulse velocity. The relationship between the estimated flow rates of sap flow and the flow rate of absorbed water could be approximate with linear expressions.