

## 樹液流速測定に基づくアカマツ単木の蒸散と吸水の関係

飯田真一（森林総研）・田中 正（筑波大生命環境）

**Abstract:** We measured the water uptake by root system and the transpiration of a Japanese red pine (*Pinus densiflora*) based on the sap flux measurements by Granier method at around breast height and the bottom of tree crown, respectively. And we estimated the daily change in stem water storage ( $\Delta S$ ) as the difference between the water uptake and the transpiration. Negative values of  $\Delta S$  were frequently observed and the stem water storage was consumed by the transpiration from spring to summer (from April to August, 2000). On the other hand, positive values of  $\Delta S$  were often found and the stem water storage was filled by the water uptake during autumn (from September to November, 2000). The stem water storage was consumed by the transpiration during the morning from spring to summer, but the water uptake filled the stem water storage during the daytime in autumn.

**Key words:** Stem water storage, transpiration, water uptake by root system, Japanese red pine

**要旨:** アカマツ供試木を対象として、胸高付近および樹冠直下においてグラニエ法による樹液流速測定を行い、吸水量と蒸散量を測定し、両者の差から樹体内貯留水分の日変化量 ( $\Delta S$ ) を評価した。 $\Delta S$  は春から夏 (4~8月) にかけて負の値を示す場合が多く、樹体内貯留水分は消費される傾向にあった。一方、秋 (9~11月) には正の値が多く観測され、樹体内貯留水分は回復傾向にあった。春から夏にかけての樹体内貯留水分の消費は主として午前中に生じ、秋における樹体内貯留水分の回復は日中を通じて発生していた。

**キーワード:** 樹体内貯留水分, 蒸散, 吸水, アカマツ

### I はじめに

わが国の森林に入力された降水の概ね半分は蒸発散として大気中に戻される (10)。蒸発散を構成する要素として樹木による蒸散、遮断損失、林床面蒸発が考えられるが、一般的に、この中で最も高い割合を占めるものが蒸散である (6)。したがって、森林流域の水循環を理解する上で、樹木による蒸散過程を正確に把握することは必要不可欠な課題である。

樹木による蒸散は、根系から吸水された水分が樹体内の道管ないし仮道管を通して葉に到達し、気孔から蒸発する現象であり、気孔の開き具合や温湿度、土壌水分量などの外部の気象条件によって変化する。特に、植物そのもののふるまいである気孔の開き具合は気孔コンダクタンスと呼ばれるパラメータで表現され、樹木の蒸散に強く影響を及ぼす (1)。このため、気孔コンダクタンスのふるまいをモデル化する試みが数多くなされ、気温や飽差、土壌水分などとの関係が考察されてきた (8)。

一方、樹冠部をチャンバーで覆って測定された単木の蒸散量と樹幹下部の樹液流量、すなわち単木の吸水量は異なることが報告されている (9)。このことは、樹体内

に水が貯留されたり、あるいは樹体内の水が消費されたりすることを示唆している。オレゴン州のダグラスファ

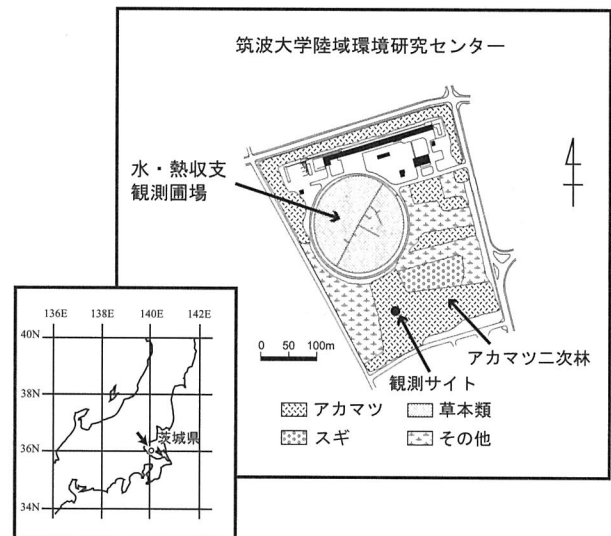


図-1 筑波大学陸域環境研究センターと本研究における観測対象サイトの位置

Shin'ichi IIDA (Forestry and Forest Products Research Institute, 1 Matsunonato, Tsukuba, Ibaraki 305-8687), Tadashi TANAKA (Graduate School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, 1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki 305-8572)  
Relationship between water uptake by root system and transpiration of a Japanese red pine revealed by sap flux measurements

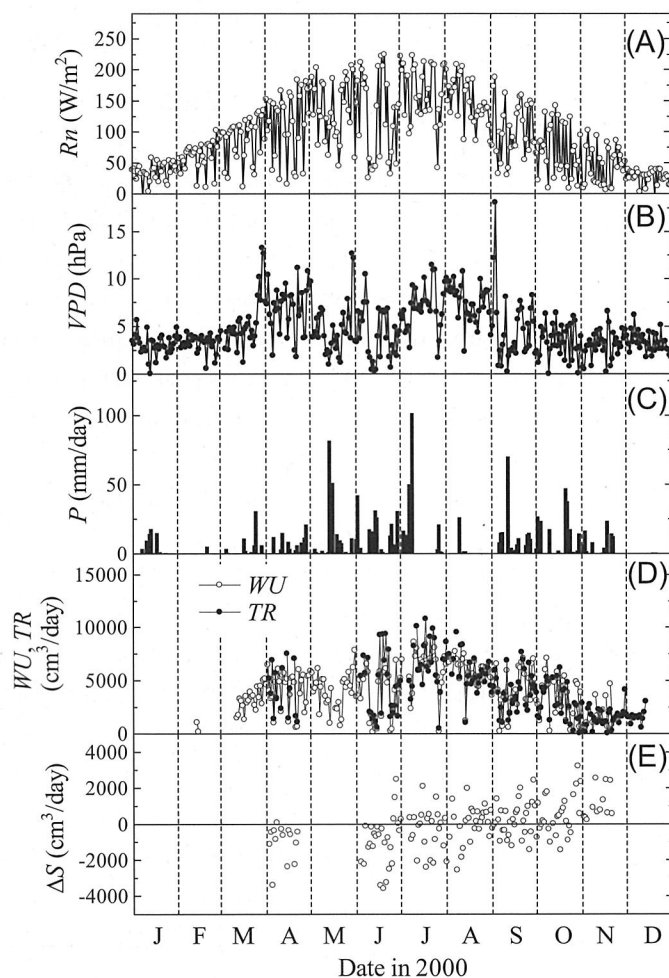


図-2 2000年における各観測項目の時系列図：上段より A) 日平均正味放射量 ( $R_n$ ), B) 日平均飽差 ( $VPD$ ), C) 日林外雨量 ( $P$ ), D) アカマツ供試木の日吸水量 ( $WU$ ) および日蒸散量 ( $TR$ ), E) 樹体内貯留水分の日変化量 ( $\Delta S$ )

一を対象としたコアサンプリングによる木部の含水率の長期測定によれば、樹体内貯留水分は冬季にほぼ飽和し、夏季には50%程度まで減少した(11)。また、樹幹にTDRセンサーを埋設して樹体内貯留水分の変動傾向を測定した結果、蒸散が活発な夏季には樹幹上部から樹体内貯留水分が消費される傾向が報告されている(7)。

この樹体内貯留水分の存在とその蒸散への影響は、葉と土壌水分を直結させたモデルでは考慮できない現象であるため、樹体内貯留水分による蒸散過程への寄与を明らかにし、最終的にはモデルに組み込む必要がある。しかし、わが国では長期的な観測に基づいた吸水と蒸散の関係を検討した事例は極めて少ない。そこで、本研究では、グラニエ法を用いて胸高付近(高度:1m)および樹冠直下(高度:9m)において樹液流速測定を行い、単木の吸水量と蒸散量を評価し、両者の差から樹体内貯留水分の長期変動傾向を把握することを目的とする。また、

両者の日変化傾向に基づいて樹体内貯留水分の消費と回復がどのように生じているのかを明らかにする。

## II 観測方法

1. 研究対象地 筑波大学陸域環境研究センターに隣接するアカマツ二次林を対象として観測を行った(図-1)。林分の詳細については既報(3, 5, 6)を参照されたい。同林分内の代表的なサイズのアカマツ(胸高直径:18.6cm, 樹高:16.1m)を供試木として選出した。

2. グラニエ法による単木吸水量と蒸散量の評価 アカマツ供試木の単木吸水量と蒸散量を推定するために、胸高付近および樹冠直下の部位においてグラニエ法(2)による樹液流速の測定を行った。なお、同手法の詳細については既報(4)を参照されたい。単木吸水量および蒸散量は、胸高付近および樹冠直下で観測された樹液流速から供試木の辺材部の平均的な樹液流速を既報(6)と同様の方法で算出し、各高度における辺材面積を乗じ

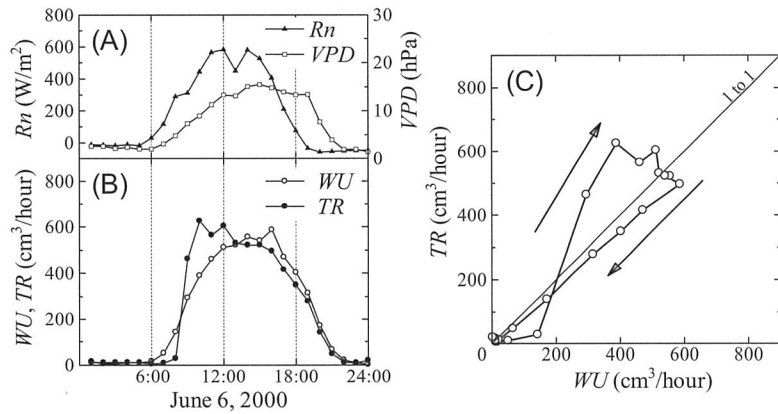


図-3 2000年6月6日におけるA)正味放射量 ( $R_n$ ) と飽差 ( $VPD$ ), B)吸水量 ( $WU$ ) と蒸散量 ( $TR$ ) の時系列, およびC)  $WU$  と  $TR$  の関係

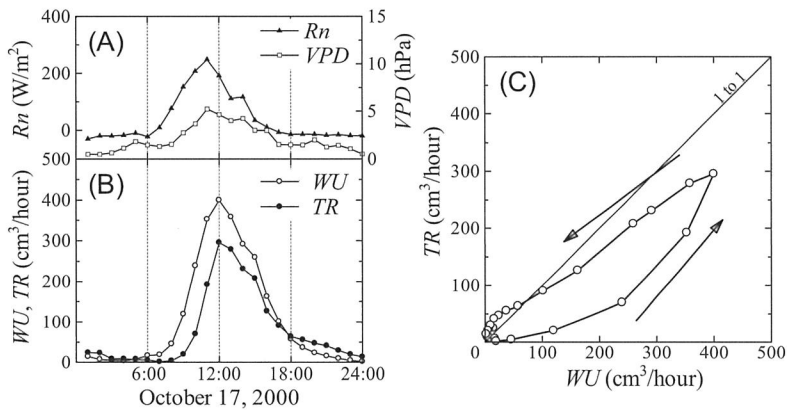


図-4 図-3に同じ。ただし、2000年10月17日におけるデータを示す

ることによって求めた。なお、供試木の胸高付近および樹冠直下における辺材面積はそれぞれ  $168\text{cm}^2$ ,  $104\text{cm}^2$  であった。樹体内貯留水分の変化量 ( $\Delta S$ ) は単木吸水量 ( $WU$ ) と単木蒸散量 ( $TR$ ) の差として、次式で求められる。

$$\Delta S = WU - TR \quad (1)$$

すなわち、 $\Delta S$  が負の場合は樹体内貯留水分が蒸散として消費され、正の場合は吸水によって回復することを意味する。

3. 微気象要素 林内に設置した観測塔を用いて、高度  $18.9\text{m}$  における正味放射量 ( $R_n$ )、高度  $15.5\text{m}$  における飽差 ( $VPD$ ) を測定した。また、筑波大学陸域環境研究センターの観測圃場において収集された公開データセットから、林外雨量 ( $P$ ) を利用した。

### III 結果および考察

1. 蒸散量と吸水量の関係：季節変化 微気象要素（日平均正味放射量、飽差、日林外雨量）および供試木の日吸水量、日蒸散量および樹体内貯留水分の日変化量の時系列を図-2に示す。正味放射量は夏季に最大値を有する

が(図-2A)、飽差は春先および夏季のうち無降雨日が連続する期間で高くなっている(図-2B)。両者が高い場合に、大気側の蒸発要求は大きくなる。日吸水量および日蒸散量はほぼ平行した季節変化傾向を示した(図-2D)。春先の飽差が比較的高い期間、そして梅雨明け後の7~8月の無降雨日に大きな吸水量および蒸散量が観測されている。なお、アカマツの蒸散量は同一の林分における既存の観測例(4)と概ね一致しており(図-2D)、妥当な測定値が得られているものと考えられる。一方、樹体内貯留水分の日変化量( $\Delta S$ )は日吸水量や日蒸散量とは異なる季節変化傾向を示した。春から夏(4~8月)にかけては負の値を示す場合が多く、樹体内貯留水分が蒸散として消費される傾向が強い(図-2E)。そして、秋(9~11月)には正の値となる場合が多く、樹体内貯留水分が回復傾向にあった。この $\Delta S$ の季節変化傾向は、既往の研究例(11)と矛盾しない。また、 $\Delta S$ の絶対値は、ヒートパルス法を用いた評価例(7)と概ね一致している。

2. 蒸散量と吸水量の関係：日変化  $\Delta S$  が負の値を示し

た期間を代表して6月6日における吸水量と蒸散量の関係を図-3に、正の値を示した期間の代表として10月17日の関係を図-4に示す。6月6日においては、午前中の蒸散量の増加に吸水量が追いつかず、樹体内貯留水分が消費されていた(図-3B)。これは同一林分における報告(7)と整合している。一方、午後になると蒸散量は徐々に減少し、吸水量が蒸散量を上回るようになるため、両者の関係にはヒステリシスが見られた(図-3C)。蒸散量が減少を開始した午後の早い時間帯において正味放射量および飽差の顕著な減少は見られず、また吸水量はこの間も増加したことから(図-3A, B)、蒸散量の減少が微気象要素の変化によって生じた可能性は低い。以上のことから、午前中は樹体内貯留水分を消費して蒸散を維持できたものの、午後には消費可能なほどの樹体内貯留水分は存在しなかった可能性が示唆される。

樹体内貯留水分が増加傾向にあった10月17日の例では、日中を通して概ね吸水量が蒸散量を上回る傾向が観測された(図-4B)。春から夏においては主に午前中の限られた時間帯に樹体内貯留水分は消費されていたが、秋に生じた回復は、日中を通じた比較的長い時間帯に生じていることになる。この現象については、本研究が取得したデータをもってその理由を断定することは不可能であるものの、土壌-植物-大気連続系の概念に基づき、以下のような推定が可能である。樹体内の水の流れは土壌-植物-大気連続系によって記述され、木部の水ポテンシャル差と通水抵抗によって決定される(11)。春から夏にかけての樹体内貯留水分の消費(図-2E)は、前述したTDR法による観測結果(7)を参照すると、樹幹上部から発生し、順次、樹幹下部へ拡大した可能性が高い。この場合、樹幹上部の木部の水ポテンシャル差は低くなり、木部の通水抵抗も増大し、蒸散は小さくなる。一方、胸高付近まで樹体内貯留水分が消費されていない限り、水ポテンシャル差はそれほど減少せず、また胸高付近の通水抵抗は相対的に小さい状態となる。このため、吸水が蒸散を上回るものと考えられる。実際に樹冠部、樹冠直下、樹幹地際部の木部の水ポテンシャルを連続測定し、以上の推論を今後検討する必要がある。

#### IV まとめ

アカマツ供試木を対象として、胸高付近および樹冠直下において樹液流速測定を行い、吸水量と蒸散量を測定した。その結果、樹体内貯留水分の日変化量は春から夏(4~8月)にかけて負の値が、秋(9~11月)には正の値が多く観測された。この傾向は、春から夏にかけて樹体内貯留水分が蒸散の一部として消費され、秋には吸水によって回復したことを意味する。蒸散と吸水の日変

化傾向の検討から、春から夏にかけての樹体内貯留水分の消費は主として午前中に発生し、秋に生じた回復は日中を通じて生じていることが明らかとなった。なお、これらの日変化傾向の理由については、木部の水ポテンシャルの実測等を行い、更なる検討を行う必要がある。

#### 引用文献

- (1) CAMPBELL, G. S. and NORMAN, J. N. (1998) An introduction to environmental biophysics. 久米篤・大槻恭一・熊谷朝臣・小川滋 監訳 (2003) 生物環境物理学の基礎. 315pp, 森北出版株式会社, 東京.
- (2) GRANIER, A. (1985) Une nouvelle méthode pour la mesure du flux de sève brute dans le tronc des arbres. *Ann. Sci. For.* **42**: 193-200.
- (3) 飯田真一・濱田洋平・田中 正 (2001) 筑波大学陸域環境研究センターに隣接するアカマツ林の胸高直径と立木密度の変化について. 筑大陸域環境研究セ報, **2**: 1-6.
- (4) 飯田真一・小林義和・田中 正 (2003) Granier法を用いた樹液流速の長期連続測定. 水文学会誌, **16**: 13-22.
- (5) 飯田真一・濱田洋平・安部 豊・田中 正 (2003) 筑波大学陸域環境研究センターに隣接するアカマツ林の下層植生について. 筑大陸域環境研究セ報, **4**: 1-9.
- (6) HIDA, S., TANAKA, T. and SUGITA, M. (2006) Change of evapotranspiration components due to the succession from Japanese red pine to evergreen oak. *J. Hydrol.* **326**: 166-180.
- (7) 小林義和・田中 正 (2001) TDR法による樹幹貯留水分の測定. 水文学会誌, **14**: 207-216.
- (8) MATSUMOTO, K., OHTA, T. and TANAKA, T. (2005) Dependence of stomatal conductance on leaf chlorophyll concentration and meteorological variables. *Agric. For. Meteorol.* **132**: 44-57.
- (9) 森川 靖 (1974) 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.
- (10) 塚本良則 編 (1992) 森林水文学. 319pp, 文永堂出版株式会社, 東京.
- (11) WARING, R. H. and RUNNING, S. W. (1978) Sapwood water storage: its contribution to transpiration and effect upon water conductance through the stem of old-growth Douglas-fir. *Plant, Cell and Environ.* **1**: 131-140.