

Granier法による樹液流測定に基づくヒノキ林における蒸散量の推定：御手洗試験流域における観測例

藤山, 洋介
九州大学大学院生物資源環境科学府

廣瀬, 茂樹
九州大学大学院生物資源環境科学府

大槻, 恭一
九州大学大学院農学研究院

小川, 滋
九州大学大学院農学研究院

<https://doi.org/10.15017/14854>

出版情報：九州大学農学部演習林報告. 86, pp.15-31, 2005-03-27. 九州大学農学部附属演習林
バージョン：
権利関係：

論文

Granier法による樹液流測定に基づくヒノキ林における蒸散量の推定* —御手洗水試験流域における観測例—

藤山 洋介**・廣瀬 茂樹**・大槻 恭一***・小川 滋***

抄 録

九州大学福岡演習林の御手洗水試験流域においてGranier法を用いて8~20本のヒノキ (*Chamaecyparis obtusa*) の樹液流速測定を行い、樹液流速および蒸散量の個体差や微気象条件との関係について検討した。樹液流速の日変化は、流速の立ち上がり時間、ピーク時間および停止時間は各試料木でほぼ変わらず、変動パターンに個体差はなかった。樹液流速は大気飽差 (VPD) に伴って増加する傾向を示したが、VPDが約25hPaを超えると樹液流速の増加が頭打ちになった。このようなVPDに対する樹液流速の応答性に個体差は認められなかった。樹液流速は、晴天日においては胸高直径 (DBH) が大きいほど増加する傾向があったが、曇天日においてはDBHに関わらずほぼ一定だった。辺材面積はDBHが大きいほど広く、両者には高い相関関係 ($R^2=0.78$) がみられた。単木蒸散量は、晴天日、曇天日に関わらずDBHが大きいほど多く、両者に相関関係 (晴天日 $R^2=0.72$, 曇天日 $R^2=0.62$) がみられた。これらのことより、単木蒸散量は、DBHが大きくなると辺材面積が増加するだけでなく、樹液流速も増加するため、両者によって相乗的に増加することを明らかにした。調査期間中の林分蒸散量は、Penmanの可能蒸発量と高い相関関係 ($R^2=0.83$) があり、調査期間中に土壌水分の著しい低下はみられなかったことから、主に微気象条件に依存していることが示唆された。

キーワード：御手洗水試験流域、ヒノキ、Granier法、樹液流速、蒸散量

*FUJIYAMA, Y., HIROSE, S., OTSUKI, K. and OGAWA, S. : Evaluation of transpiration in plantation of *Chamaecyparis obtusa* based on sap flow measurement by Granier method.

**九州大学大学院生物資源環境科学府森林資源科学専攻

**Department of Forest and Forest Products Sciences, Graduate Schools of Bioresources and Bioenvironmental Sciences, Kyushu University, Tsubakuro, Sasaguri, Fukuoka, 811-2415, Japan.

***九州大学大学院農学研究院森林資源科学部門森林生態圏管理学講座

***Division of Forest Ecosphere Science and Management, Department of Forest and Forest Products Sciences, Faculty of Agriculture, Kyushu University, Tsubakuro, Sasaguri, Fukuoka, 811-2415, Japan.

1. はじめに

樹木からの蒸散は森林流域における水収支および熱収支に大きな影響を与えるため、蒸散を定量的に解明することは重要である。樹木からの蒸散は、根から吸水された水が仮道管あるいは道管を通して葉の気孔から蒸発するというプロセスから成ることに着目すると、樹液流測定は樹木の蒸散を評価する方法として極めて有効である。現在最も広く用いられている樹液流測定法は、ヒートパルス法 (Cross, 1958; Marshall, 1958)、茎熱収支法 (Cerm・k *et al.*, 1973) およびGranier法 (Granier, 1985) の3つに大別される。この中でもGranier法は他の測定法と比べて非常に簡易であり、測器が安価であるため、近年広く用いられるようになった (例えばK・stner *et al.*, 1996; Wullschlegel *et al.*, 2001; Pataki and Oren, 2003)。Granier法を用いることにより多数の樹木の樹液流速を同時に測定することが可能となり、蒸散量の定量化を容易に行うことができる。しかし、日本国内におけるGranier法の適用例は少なく (久保田ら, 1999; 山中ら, 1999; 飯田ら, 2003)、Granier法を用いた蒸散量の定量化はほとんど行われていない。本研究では御手洗水試験流域のヒノキ (*Chamaecyparis obtusa*) 8~20本を対象とし、Granier法を用いて樹液流測定を行い、樹液流速および蒸散量の個体差や微気象条件との関係について検討した。

2. 試験地および観測方法

2.1 試験地の概要

本研究の試験地である御手洗水試験流域は、福岡市の東方約15km (33° 38' N, 130° 32' E) に位置する流域面積9.5haの山地小流域である (図1)。谷部から中腹部はヒノキ人工林 (林齢47年)、中腹部から尾根部は常緑・落葉混交二次林で覆われている。本研究ではヒノキ人工林の優占する東向き斜面に試験プロット (10m×40m) を設置して調査を行った。試験プロットにはヒノキ64本 (立木密度1600本ha⁻¹) が生育しており、樹高は8.5~19.0m (平均14.2m)、胸高直径 (DBH) は8.9~27.2cm (平均20.2cm) であった (図2a)。

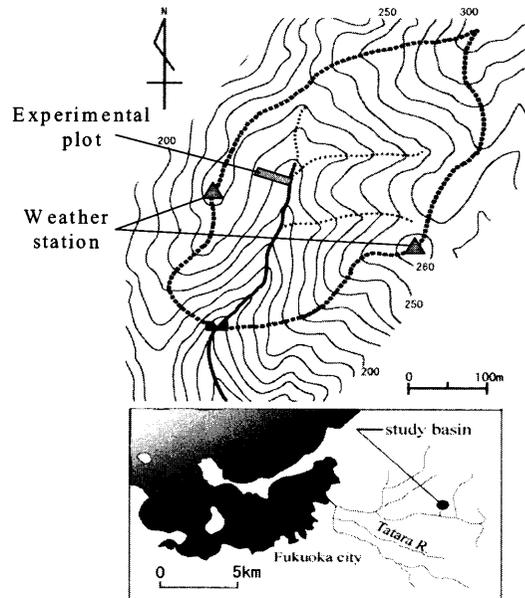


Fig. 1 Location and topography of the Ochozu experimental watershed.

図1 御手洗水試験流域。

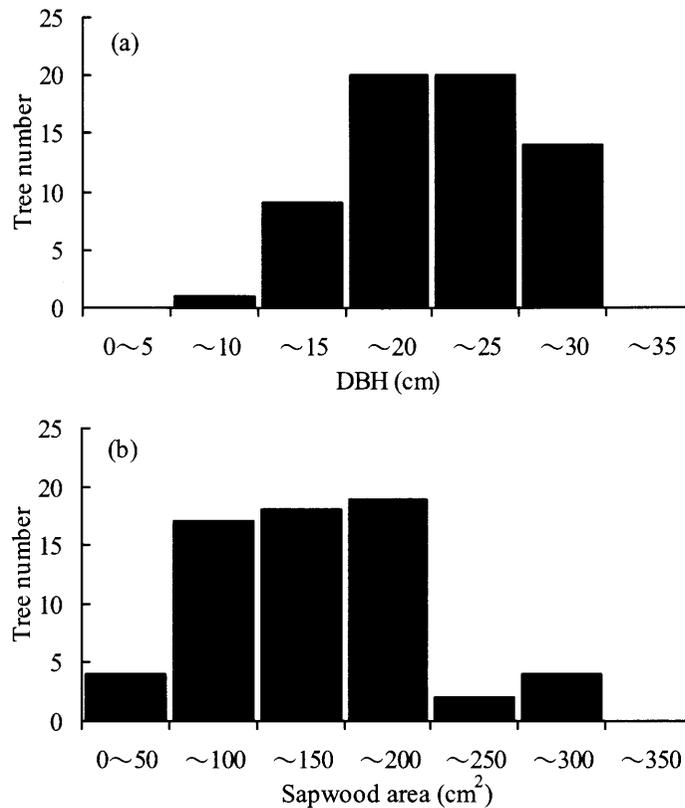


Fig. 2 Distribution of (a) diameter and (b) sapwood area in *C. obtusa* in experimental plot (n=64).

図2 試験プロット内のヒノキにおける (a) DBHと (b) 辺材面積の分布 (n=64)

2.2 Granier法による樹液流測定

Granier法による樹液流速の測定期間は2004年8月4日から9月6日である。ヒノキ8本については測定期間を通して連続測定を行い、9月1日から9月6日の間は個体差比較の反復数を増やすため、さらに試料木12本を加えて合計20本の樹液流速の集中観測を行った。表1に示すように試料木はDBHが偏らないように選んだ。

Granier法は、ヒーターセンサー（以下、HS）およびリファレンスセンサー（以下、RS）からなる2本1組の直径0.2cm、長さ2.0cmの棒状センサー（以下、Granierセンサー）を樹幹に挿入し、熱をトレーサーとして樹液流速を測定する方法である（図3）。HSには熱電対（銅-コンスタンタン）およびヒーター（コンスタンタン）を内蔵し、RSには熱電対のみを内蔵する（<http://homepage1.nifty.com/kumabox/granier2.htm>）。HSから樹体へ一定の熱量0.2Wを常時与えると、日中は樹液流によりHSの熱が運び去られるためセンサー間の温度差（ ΔT ）は小さくなり、夜間は樹液流によるHSの熱の損失がほとんど

表1 樹液流測定を行った試料木の概要.

Table.1 Characteristics of the sample trees for sap flow measurements.

Tree #	DBH (cm)	Height (m)	Sapwood thickness(cm)	Sapwood area(cm ²)
1	15.0	16.0	1.9	71.5
2	21.5	17.0	2.8	154.2
3	26.4	17.0	3.1	225.1
4	11.7	15.0	1.5	42.7
5	26.3	17.0	2.6	183.6
6	16.2	13.5	2.0	72.1
7	19.6	15.0	2.8	138.4
8	25.8	13.5	3.1	199.9
9	25.3	13.5	3.3	222.0
10	19.4	14.0	1.8	81.7
11	14.2	14.0	2.0	78.8
12	15.9	12.0	2.0	94.9
13	27.2	16.0	3.6	273.6
14	20.9	16.0	2.4	141.4
15	25.1	16.5	2.3	147.7
16	17.7	14.5	2.0	93.9
17	17.0	16.0	2.9	143.6
18	12.2	12.5	2.8	87.1
19	21.9	15.5	3.0	162.6
20	25.6	17.5	3.4	250.3

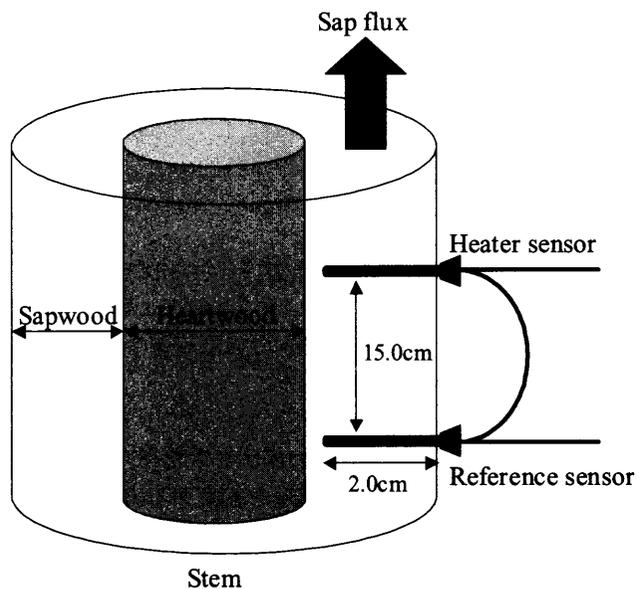


Fig.3 Arrangement of Granier sensor.

図3 Granierセンサーの設置状況.

どないため ΔT は大きくなる。Granier法では、この温度差を測定することにより樹液流速を測定する。Granier (1985) は *Pseudotsuga menziesii*, *Pinus nigra*, *Quercus pedunculata* について樹液流速と温度差との関係を求め、以下の回帰式を得ている。

$$J_s = 1.19 \times 10^{-4} \times \left(\frac{\Delta T_{\max} - \Delta T}{\Delta T} \right)^{1.231} \quad (R^2=0.96) \quad (1)$$

ここで、 J_s : 樹液流速 (m s^{-1})、 ΔT : センサー間の温度差 ($^{\circ}\text{C}$)、 ΔT_{\max} : $J_s=0$ と仮定される時の ΔT である。Köstner *et al.* (1998) はおが屑で作成した人工的な樹幹や *Quercus robur*, *Castanea sativa*, *Prunus malus* でも (1) 式が成り立つことを実験的に確認し、一般性が高いことを示している。このような背景を踏まえ、(1) 式は様々な樹種を対象とした研究で普遍的に適用されており (例えば Granier *et al.*, 1996ab; Wullschlegel *et al.*, 2001; Pataki and Oren, 2003)、針葉樹を対象とした多くの研究でも広く適用されている (例えば Granier, 1987; Köstner *et al.*, 1996; 飯田ら, 2003)。したがって、本研究においても (1) 式を適用して J_s を算出した。

Granierセンサーの長さが2.0cmであることから、実際に樹液が通る幹横断面の辺材幅を測定し、適正に測定が行えるかを確認する必要がある。辺材幅が2.0cmよりも大きい場合は複数本のセンサーを挿入するなどの工夫が必要であり、著しく小さい場合はGranier法による樹液流測定は困難である。本研究では、Granierセンサーを設置したヒノキを含むプロット内の全てのヒノキ64本について、胸高部 (約1.3m高さ) の異なる2方向を生長錐でコアサンプリングし、目視により辺材幅を測定した。Granierセンサーを設置したヒノキの辺材幅は1.5~3.6cm (表1) であり、Granier法による測定が可能な範囲であると考えられる。森川 (1974) はヒートパルス法を用いて、ヒノキの樹幹の方位や樹幹表面からの深度別に樹液流速を測定し、方位や深度による樹液流速の違いはほとんどないことを報告している。また、瀧澤ら (1996) は染色液吸水実験により、ヒノキの樹液上昇速度は古い年輪に至るまでほぼ同一であると報告している。これらのことから、本研究では辺材部分の通水能力は一定であると仮定し、樹幹表面から2.0cmまでの樹液流速をその個体の平均流速として用いた。

Granierセンサーの温度差の測定にはデータロガー (CR10X, CAMPBELL SCIENTIFIC INC.) を用い、30秒おきにサンプリングし、15分平均値を記録した。なお、本研究では自作したセンサーを用いて、HSを樹高1.3m付近に深さ2.0cmで挿入し、RSは熱の影響を受けないようにHSから下方に約15cmの間隔をおいて挿入した (図3)。これらのセンサーは直射日光が当たらないように樹幹の北側に挿入してアルミホイルで覆い、雨天時の樹幹流などによる水分の侵入を防ぐためシリコンで防水加工を施した。本研究では、0~12時における最大 ΔT を ΔT_{\max} として J_s を求めた (飯田ら, 2003)。

2.3 単木蒸散量の推定

単木蒸散量は (1) 式より求めた樹液流速を用いて以下の式より算出した。

$$F = J_s \times A_s \quad (2)$$

ここで、 F : 単木蒸散量 ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)、 A_s : 辺材面積 (m^2) である。本研究では、コアサ

ンプリングにより測定した辺材幅から、樹幹断面を楕円形と仮定して樹幹断面積と心材面積を求め、その差を A_S とした (表1, 図2b)。

2.4 林分蒸散量の推定

林分蒸散量は以下の式で算出した (Granier *et al.*, 1996a ; Pataki and Oren., 2003)。

$$E = J_M \times \frac{A_T}{A_G} \quad (3)$$

ここで、 E : 林分蒸散量 ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$), J_M : プロット内の平均樹液流速 (m s^{-1}), A_T : プロット内の総辺材面積 (m^2), A_G : プロット面積 (m^2) である. 本研究では、プロット内の全てのヒノキ64本の A_S を合計して A_T を算出した. なお、プロット内の辺材面積率は $21.6 \text{m}^2 \text{ha}^{-1}$ であった.

2.5 微気象の測定

試験プロットから約100m離れた尾根西部の露場で微気象の観測を行った. 測定項目は、気温および相対湿度 (HMP45A, VAISALA), 全天日射量 (PYRANOMETER, LI-COR), 風速 (ANEMOMETER, CAMPBELL SCIENTIFIC INC.), 雨量 (気象庁検定雨量計TK-1, 竹田計器) であり、データロガー (CR10X, CAMPBELL SCIENTIFIC INC.) を用いて60秒毎にサンプリングし、10分平均値を記録した.

3. 結果および考察

3.1 単木レベルの樹液流速の日変化

2004年8月10日から8月14日における気温、大気飽差 (VPD), 全天日射量および樹液流速の日変化を図4に示す. なお、樹液流速については平均的なDBH (21.5cm) の試料木 (#2), 平均よりも大きいDBH (26.4cm) の試料木 (#3) および平均よりも小さいDBH (14.2cm) の試料木 (#11) の日変化を示している. この期間は晴天が続いたため、蒸散が活発に行われていたと考えられる. 樹液流速の変動は主に全天日射量の変動に類似していた. いずれの日においても、樹液流速の立ち上がり時間、ピーク時間および停止時間は各試料木でほとんど変わらなかった. したがって、樹液流速の変動パターンについては個体差がないことが明らかになった. 森川 (1974) は大きさが異なるヒノキにおいてヒートパルス速度の日変化はあまり変わらないと報告しており、本研究の結果はこれと一致していた.

3.2 VPDが樹液流速に与える影響

一般的に針葉樹では乖離率 Ω (decoupling coefficient) が小さいため、蒸散はVPDや群落コンダクタンスに依存していると考えられている (小松, 2003). そこでVPDと樹液流速との関係について個体差の有無を検討した. 3.1節と同期間における6:00~24:00の樹液流速とVPDとの関係を図5に示す. #2, #3および#11いずれの試料木においても、ばらつきがあるもののVPDが増加すると樹液流速が速くなる傾向を示し、VPDが約25hPaを

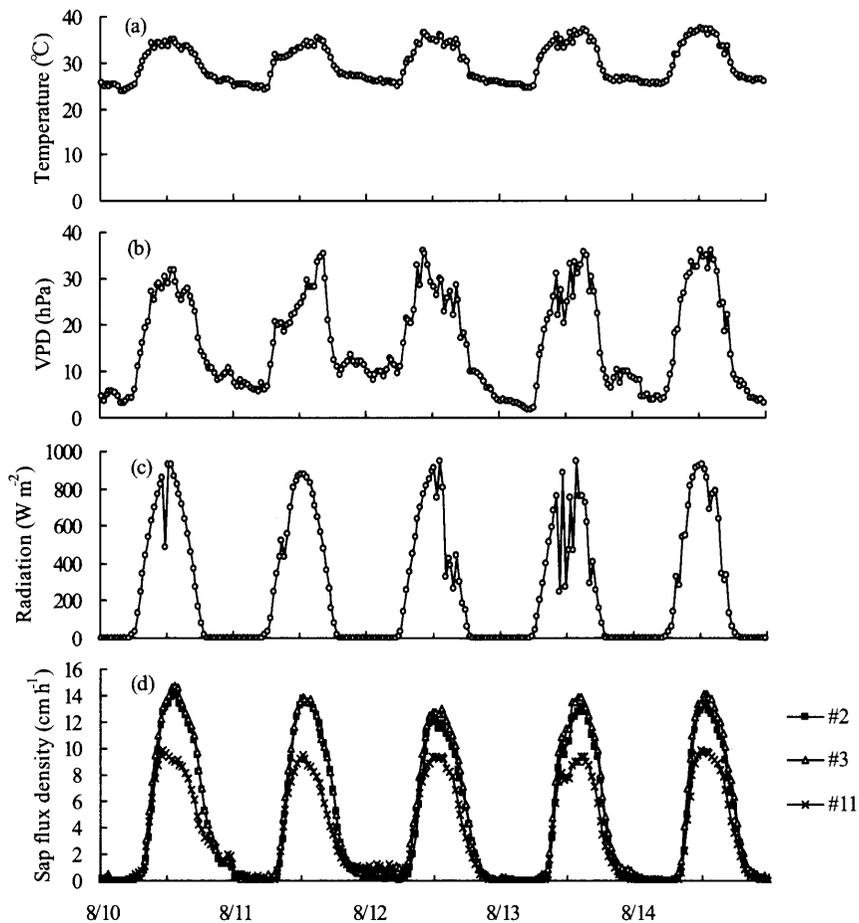


Fig.4 Diurnal pattern of (a)temperature, (b)VPD, (c) solar radiation and (d)sap flux density for average tree (#2), dominant tree (#3) and suppressed tree (#11).

図4 (a) 気温, (b) VPD, (c) 全天日射量および (d) 樹液流速の日変化.

超えると樹液流速の上昇が頭打ちになった. なお, 試料木#2, #3および#11の周辺で測定した土壌50cm深度のマトリックポテンシャルは, 調査期間中で最も乾燥した時期でも約120cmH₂Oであり, 土壌水分の低下による蒸散抑制はなかったと考えられる. また, 他の試料木についてもVPDと樹液流速との関係はほとんど変わらなかったことから, 本林分ではVPDに対する蒸散の応答性に個体差がないことがわかった.

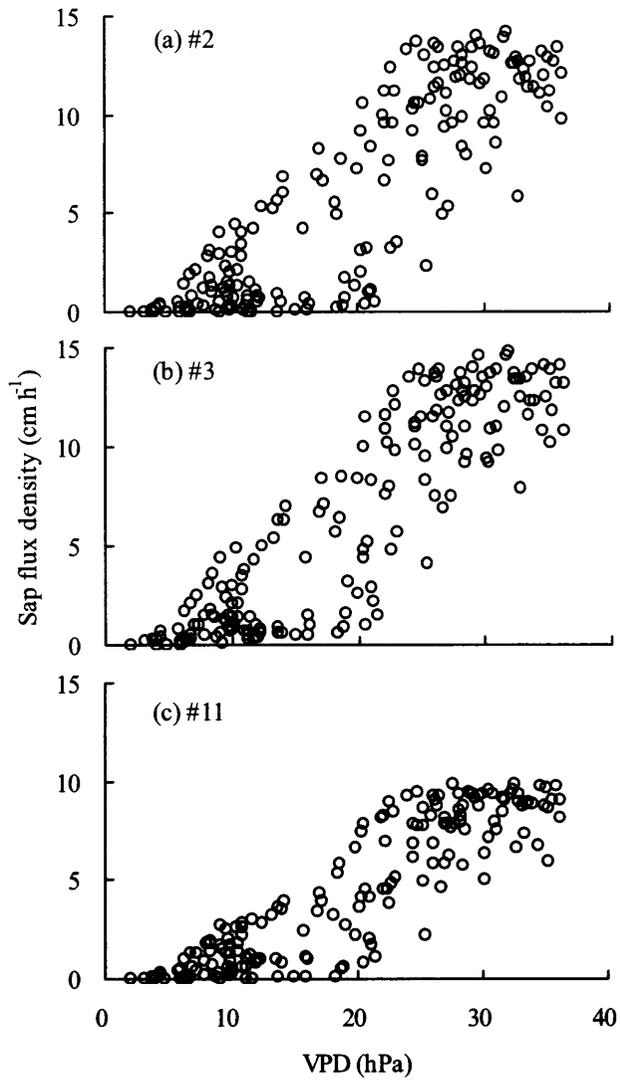


Fig.5 Relationship between VPD and sap flux density for (a) average tree (#2), (b) dominant tree (#3) and (c) suppressed tree (#11).

図5 VPDと樹液流速との関係.

このように、VPDが増加すると樹液流速が速くなる傾向があり、VPDが一定の値を超えると樹液流速が頭打ちになるという現象はこれまでの研究でも数多く報告されている(森川,1974; 服部ら,1993; Granier *et al.*,1996b; Pataki and Oren,2003). これはVPDが一定の値を超えると気孔抵抗が増大するために起こると考えられている. 森川 (1974) は、VPDがホオノキ (*Magnolia obovata*) で約13hPa, アカツツ (*Pinus densiflora*) の幼木で約20hPaを超えると、ヒートパルス速度の上昇が頭打ちになったと報告している. Granier *et al.* (1996b) は *Eperua falcata* や *Eperua grandifolia* など構成される林分において、VPDが約15hPaを超えると樹液流速の上昇が停止したと述べている. Pataki and Oren (2003) は、6樹種について樹液流速とVPDとの関係を調査し、*Liriodendron turipifera* と *Liquidambar styraciflua* では、土壌水分状態によってこの閾値が変化することを報告している. 服部ら (1993) は、ボーエン比法により測定したヒノキの蒸発散量は、VPDが10hPaを超えると抑制されやすくなると報告している. このように、本研究におけるVPDの閾値が他の研究と比較すると大きいのは、本研究では試験プロットから約100m離れた露場におけるVPDを用いていることによる可能性が考えられる. これについては、今後更なる検討が必要である.

3.3 個体の大きさと樹液流速および単木蒸散量との関係

2004年9月3日(晴天日)と9月6日(曇天日)における試料木20本の樹液流速とDBHとの関係を図6に示す. 晴天日においては、樹液流速は個体間のばらつきがあったが(標準偏差28.7, 変動係数30.5%), DBHが大きいほど速い傾向がみられた. 一方、曇天日におい

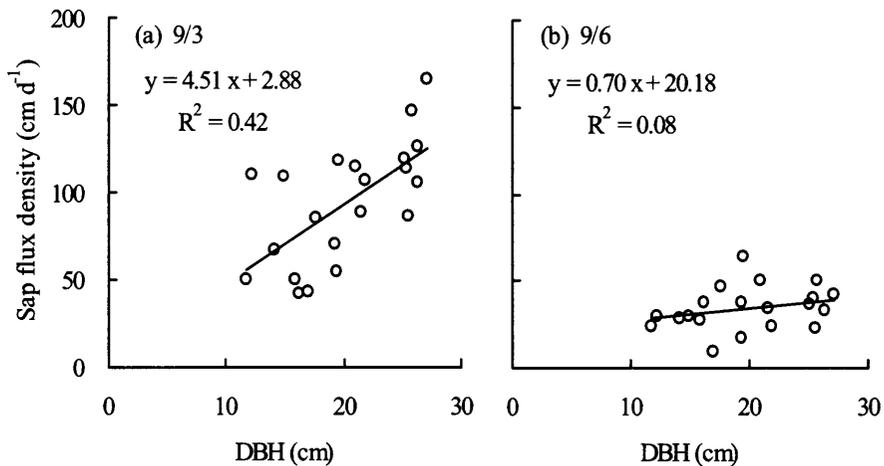


Fig. 6 Relationship between DBH and sap flux density on (a) 3 September (fine day) and (b) 6 September (cloudy day), 2004.

図6 2004年 (a) 9月3日(晴天日)と (b) 9月6日(曇天日)におけるDBHと樹液流速との関係.

ては、樹液流速のばらつきはあったものの（標準偏差9.3, 変動係数27.1%）、DBHの大きさには依存せず、ほぼ一定であった（約35cm d⁻¹）。

プロット内のヒノキ全64本におけるDBHと辺材面積との関係を図7に示す。図中の黒丸はGranierセンサーを設置した試料木を、白丸はそれ以外の試料木を示している。DBHが大きくなるに伴って辺材面積も大きくなっており、両者には高い相関関係（ $R^2=0.78$ ）がみられた。なお、図中の太線は本林分で得られた回帰直線であり、細線はKumagai *et al.* (2005) が九州大学宮崎演習林のヒノキ1226本において得た回帰直線である。本研究の試料木のDBH（8.9～27.2cm）の範囲内では両者は概ね一致している。

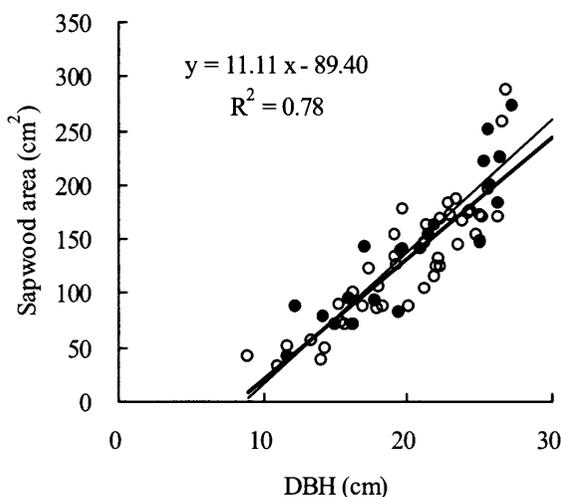


Fig. 7 Relationship between DBH and sapwood area for *C. obtusa* in experimental plot (n=64). Black circle is the sap flow measurement trees and white circle is the others. Thick line is the regression equation of present study ($y = 11.1x - 89.4$, $R^2 = 0.78$) and thin line is the regression equation of Kumagai *et al.* (2005) ($y = 12.2x - 105.3$, $R^2 = 0.79$).

図7 試験プロット内のヒノキにおけるDBHと辺材面積との関係（n=64）。黒丸はGranierセンサーを設置した試料木を、白丸はそれ以外の試料木を、太線は本林分で得た回帰直線（ $y = 11.1x - 89.4$, $R^2 = 0.78$ ）を、細線はKumagai *et al.* (2005) で得た回帰直線（ $y = 12.2x - 105.3$, $R^2 = 0.79$ ）を示す。

2004年9月3日（晴天日）と9月6日（曇天日）における試料木20本の単木蒸散量とDBHとの関係を図8に示す。晴天日、曇天日に関わらず、単木蒸散量はDBHが大きくなるほど多くなる傾向があり、両者には相関関係（晴天日 $R^2=0.72$, 曇天日 $R^2=0.62$ ）がみられた。また、曇天日に比べて晴天日の方がDBHの増加に対する単木蒸散量の増加が大きかった。曇天日においては、樹液流速はDBHの大きさに依存しないが、辺材面積はDBHの大きさに伴って大きくなるため、単木蒸散量は主に辺材面積に依存して大きくなった。一方、晴

天日においては、DBHが大きいほど樹液流速が速くなる傾向があり、さらに辺材面積も大きくなるため、結果として単木蒸散量は両方に依存して多くなった。以上のことより、単木蒸散量の個体差は、DBHの大きさに伴う辺材面積の増加の影響を受けるだけでなく、DBHに対する樹液流速の影響も受けることが明らかになった。このように、蒸散量がDBHの増加に対し相乗的に増加することが明らかになった。

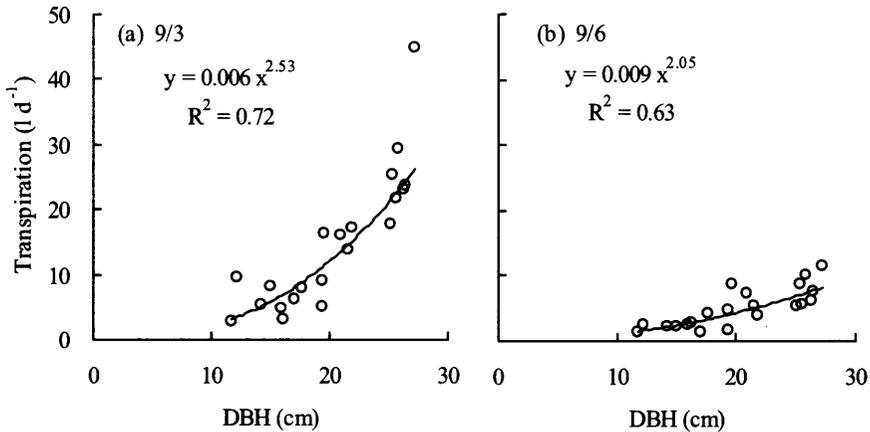


Fig. 8 Relationship between DBH and transpiration on (a) 3 September (fine day) and (b) 6 September (cloudy day), 2004.

図8 2004年 (a) 9月3日 (晴天日) と (b) 9月6日 (曇天日) におけるDBHと単木蒸散量との関係。

森川 (1974) はヒノキ11本において、DBHが大きい木ほど、辺材面積が大きく、日最高ヒートパルス速度および日積算ヒートパルス速度が高くなるため、DBHと樹液流量との間には指数関係が成り立つことを報告している。Granier (1987) は、Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*) 林分において、優勢木は劣勢木に比べて樹液流速が速く、辺材面積が大きいため、両者を反映して蒸散量は著しく多くなることを示しており、本研究の結果はこれと類似した。

3.4 Penmanの可能蒸発量と林分蒸散量との関係

本林分の蒸散と微気象条件との関係を検討するため、測定した微気象データを用いて以下のPenman式 (Penman, 1948) により可能蒸発量 (E_p) を算出した。

$$E_p = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \left(\frac{R_n - G}{\lambda} \right) + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} f(u) D \quad (4)$$

$$f(u) = 0.26(1.0 + 0.537u_2) \quad (5)$$

ここで、 E_p : 可能蒸発量 (mm d^{-1}), Δ : 飽和水蒸気圧曲線の勾配 ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$), γ : 乾湿計定数 ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$), R_n : 純放射量 ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$), G : 地中熱流量 ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$), λ : 水の蒸発潜熱 (MJ kg^{-1}), u_2 : 高度2mの風速 (m s^{-1}), D : VPD (kPa) である. R_n はアルベドを0.05と仮定して全天日射量より推定し, G は0と仮定した.

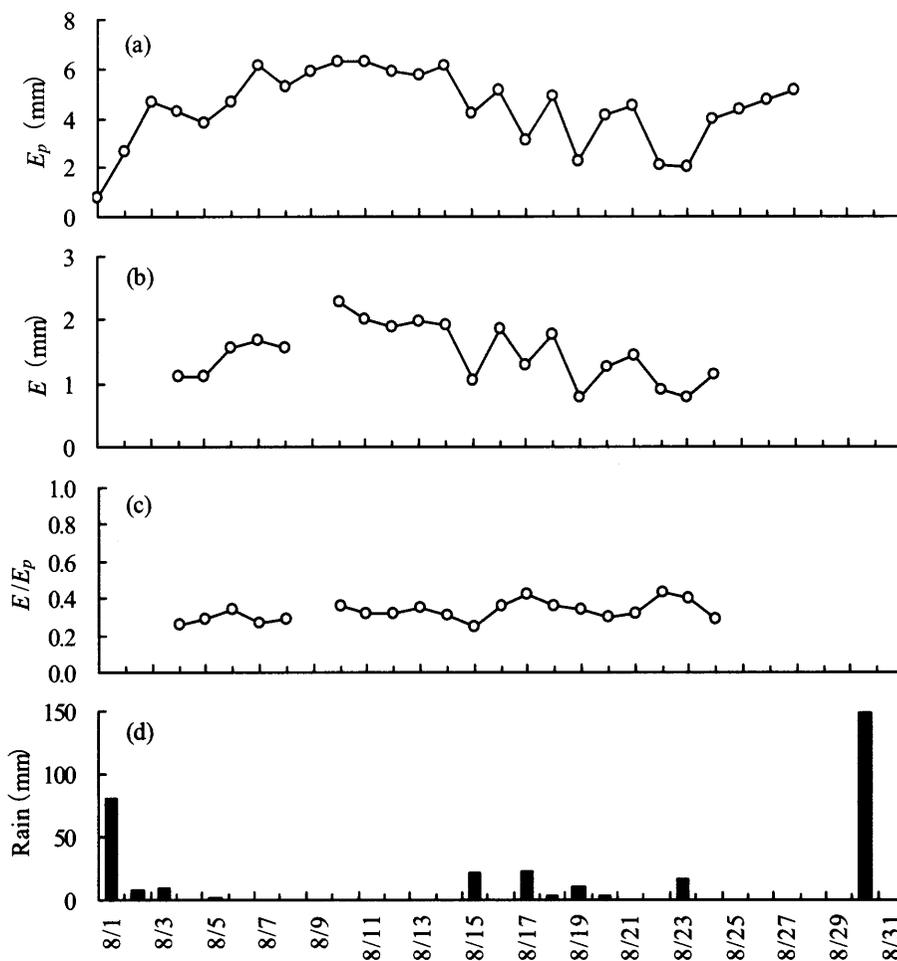


Fig.9 Variation in (a) Penman's potential evaporation, (b) transpiration of the experimental plot, (c) evapotranspiration ratio and (d) rainfall on Aug 2004.

図9 2004年8月の (a) Penmanの可能蒸発量 (E_p), (b) 林分蒸散量 (E), (c) 蒸発散比 (E/E_p) および (d) 雨量の変動.

図9に8月4日から8月24日の試験プロットの蒸散量, Penmanの可能蒸発量, 蒸発散比 (E/E_p) および降雨量の経日変化を示す. 蒸散量と可能蒸発量は調査期間を通して類似した変動傾向がみられた. 蒸発散比は0.25~0.44の変動があり, 調査期間中の平均は0.33

であった。また、この期間の林分蒸散量と可能蒸発量との間には高い相関関係 ($R^2=0.83$) があった (図10)。Granier (1987) はDouglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*) において、土壌が湿潤な時期は蒸散量と可能蒸発量との関係に高い相関関係 ($R^2=0.94$) がみられたが、土壌が乾燥している時期は蒸散が抑制され、この関係に合致しないことを報告している。前述したように、本研究では調査期間中は定期的に降雨があり、土壌水分は常に湿潤だったことから、土壌水分の低下による蒸散抑制は起こらなかったと考えられる。以上のことから、この期間の林分蒸散量は主に微気象条件に依存していることがわかった。

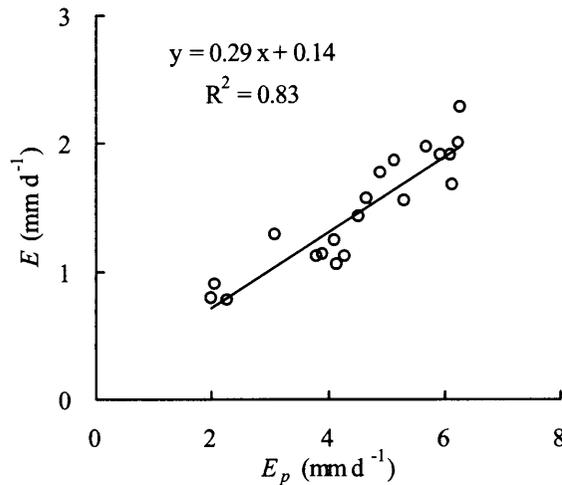


Fig.10 Relationship between Penman's potential evaporation and transpiration of the experimental plot on Aug 2004.

図10 2004年8月におけるPenmanの可能蒸発量 (E_p) と林分蒸散量 (E) との関係。

4. おわりに

本研究では、Granier法を用いて8~20本のヒノキの樹液流測定を行い、樹液流速および蒸散量の個体差や微気象条件との関係について検討した。樹液流速の日変化パターンやVPDの変動に対する樹液流速の応答性に個体差は認められなかった。晴天日においては、DBHが大きいほど樹液流速は増加する傾向があったが、曇天日においては、DBHに関わらず流速はほぼ一定だった。辺材面積は、DBHの大きさに伴って大きくなり、両者には高い相関関係があった。単木蒸散量は、晴天日、曇天日に関わらずDBHが大きいほど多くなった。これらのことより、単木蒸散量は、DBHが大きくなると辺材面積が増加するだけでなく、樹液流速も増加するため、両者によって相乗的に増加することを明らかにした。林分蒸散量はPenmanの可能蒸発量と高い相関関係があり、調査期間中は常に土壌は湿潤だったことから、主に微気象条件に依存していることが示唆された。

今後は、樹冠上の微気象条件を推定し、群落コンダクタンスや乖離率 Ω を求め、林分蒸散量と微気象要因との関係についてより詳しく検討する。

謝 辞

本研究の一部は、平成14～16年度科学研究費補助金（基盤研究B，課題番号14360088）によるものである。本研究を行うにあたって九州大学大学院農学研究院の熊谷朝臣先生からGranier法の作成から解析に関するご指導，ご助言をいただきました。また，九州大学流域環境制御学研究室の学生，院生には野外観測の際に様々ご協力をいただきました。特に東 智洋氏には，観測体制の維持，管理にあたって多大なご協力をいただきました。ここに記して謝意を申し上げます。

引用文献

- Cermák, J., Deml, M. and Penka, M. (1973)** : A new method of sap flow rate determination in trees. *Biol.Plant.* **15** : 171-178.
- Closs, R.L. (1958)** : The heat pulse method for measuring rate of sap flow in a plant stem. *N. Z. J. Sci.* **1** : 281-288.
- 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.
- Granier, A. (1987)** : Evaluation of transpiration in a Douglas-fir stand by means of sap flow measurements. *Tree Physiology.* **3** : 309-320.
- Granier, A., Biron, P., Bréda, N., Pontailier, J.-Y. and Saugier, B. (1996a)** : Transpiration of trees and forest stands : short and long-term monitoring using sapflow methods. *Global Change Biol.* **2** : 265-274.
- Granier, A., Huc, R., and Barigah, S.T. (1996b)** : Transpiration of natural rain forest and its dependence on climatic factors. *Agricultural and Forest Meteorology.* **78** : 19-29.
- 服部重昭, 玉井幸治, 阿部敏夫 (1993)** : ヒノキ林における土壌水分と飽差が蒸発散に及ぼす影響. *日林誌.* **75** : 216-224.
- 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・水資源学会誌.* **16** : 13-22.
- 小松 光 (2003)** : 森林群落で計測される乖離率 (decoupling factor) の値. *水文・水資源学会誌.* **16** : 423-438
- Köstner, B., Biron, P., and Granier, A (1996)** : Estimate of water vapor flux and canopy conductance of Scots Pine at the tree level utilizing different xylem sap flow methods. *Theor Appl Climatol.* **53** : 105-113.
- Köstner, B., Granier, A. and Cermák, J. (1998)** : Sapflow measurements in forest stands : methods and uncertainties. *Ann. Sci. For.* **55** : 13-27.
- 久保田光政, Zimmerman, R., Tenhunen, J.D., 角帳嘉孝 (1999)** : Granier法による樹液流量の測定について. 第110回日本林学会学術講演集. 38-39.
- Kumagai, T., Nagasawa, H., Mabuchi, T., Osaki, S., Kubota, K., Kogi, K., Utsumi, Y., Koga, S and Otsuki, K** : Sources of error in stand transpiration estimates obtained using the relationship between stem diameter and sapwood area for *Cryptomeria japonica* and *Chamaecyparis obtusa*. *Forest Ecology and Management.* **206**:191-195
- Marshall D.C. (1958)** : Measurement of sap flow in conifers by heat transport. *Plant Physiol.* **33** : 385-396.
- 森川 靖 (1974)** : ヒノキの樹液の流れ—林分の水分収支と関連して—. 東京大学農学部演習林報告. **66** : 251-297.
- Pataki, D.E., and Oren, R. (2003)** : Species differences in stomatal control of water loss at the canopy scale in a mature bottomland deciduous forest. *Advances in Water*

Resources. **26** : 1267-1278.

Penman, H. L. (1948) : Natural evaporation from open water , bare soil and grass.
Proc. Roy. Soc. London. A. 194-220

瀧澤英紀, 窪田順平, 塚本良則 (1996) : 幹横断面における樹液流速分布. 日林誌. **78** :
190-194.

Wullschleger, S. D. , Hanson, P. J and Todd, D. E. (2001) : Transpiration from a
multispecies deciduous forest as estimated by xylem sap flow techniques. Forest
Ecology and Management. **143** : 205-213.

山中 勤, 開發一郎, 中谷亜紀, 飯田真一 (1999) : デジタル式ヒートパルスセンサーに
よる樹液流速測定. 地下水学会誌. **41** : 307-318.

(2004年12月 8 日受付 ; 2005年 1 月18日受理)

Summary

Sap flux densities of *Chamaecyparis obtusa* were measured by means of Granier method in the Ochozu experimental watershed of Kyushu University Forest in Fukuoka, Japan. Sap flux densities and transpiration rates were compared among different sized trees and the relationship between transpiration rates and climatic factors were discussed. Although sap flux densities significantly differed among the trees, their diurnal variation patterns, such as rise, peak and down time, were similar.

Each sap flux density increased with vapor pressure deficit (VPD), but leveled off when VPD exceeded 25hPa. Sap flux densities tended to increase with diameter of breast height (DBH) in fine days, whereas they were similar regardless of DBH in cloudy days. Sapwood area in trees increased with DBH, and a high correlation was shown between them ($R^2=0.78$). Transpiration rate from a single tree increased with DBH regardless of weather, and high correlations between them were shown on a fine day ($R^2=0.72$) and on a cloudy day ($R^2=0.62$). These results indicated that transpiration rate from a single tree increased with DBH due to increase in sapwood area and the increase in sap flux density on fine days. Transpiration rate in the experimental plot was linearly related with Penman's potential evaporation ($R^2=0.83$). Since soil moisture was adequate during the experimental period, it could be suggested that the weather condition is mainly responsible for the variation of transpiration rate.

keywords: Ochozu watershed, *Chamaecyparis obtusa*, Granier method, sap flux density, transpiration