

疎林でのグラニエ法を用いた樹液流速測定における樹幹被覆の必要性

岡本榛名（三重大院生資）・齋藤隆実（森林総研）・宮沢良行（九大）
熊谷朝臣（東大院農生）・木佐貫博光（三重大院生資）

グラニエ法は、熱をトレーサーとして用いるため、幹に放射が当たる条件下では正確な樹液流速測定が難しい。このため、疎林や孤立木での樹液流速測定では、幹への被覆物の材質や程度による効果の検討が必要である。疎林に生えるトウヒの幹を対象に、異なる高さの3点で樹幹温度を測定したところ、センサー設置部以下の幹を断熱シートおよび寒冷紗で覆った場合、3点の樹幹温度差は減少し、温度勾配が小さくなった。これに伴って、午前中の樹液流速測定値の急上昇が抑制され、日最大樹液流速値が28.9%減少した。以上から、樹幹温度の放射による影響を緩和する断熱シートおよび寒冷紗による遮光が、より正確な樹液流速測定のために必要である。

キーワード：グラニエ法、樹液流速測定、疎林、樹幹被覆

I はじめに

樹液流速測定に頻用されるグラニエ法は、2つのセンサー間の温度差を樹液流速に変換する方法であり、熱をトレーサーとして用いる(1)。このため、センサー付近の幹に直達光が当たり、樹幹に温度勾配が生じると正確な測定が難しい。これまで閉鎖林の林内で行われた様々な研究の樹液流速測定において、幹への被覆物の設置が行われ、放射による樹幹温度の上昇が抑制されてきた(2, 3, 4, 6, 7)。しかし、被覆物の材質および規模については、センサー設置部をアルミホイルで覆う程度の小さく簡単なもの(2, 3)や、地面からセンサー設置部までを断熱したことの記述があるものの材質については記されていないもの(4, 6, 7)であり、材質の詳細について明記されているものはほとんどみられない。

疎林に生える樹木では、幹に直達光が当たりやすい。特に、日の出後や日没前には幹に直達光が当たりやすくなる。このような光環境にある疎林での樹液流速測定において、閉鎖林の林内での測定の際に設置する樹幹の被覆物と同じでよいのであろうか。

本研究では、幹に直達光の当たる疎林での樹液流速測定において、被覆物の程度による樹幹温度と樹液流速測定値の違いを検討する。

II 調査地と方法

調査地は、奈良県吉野郡上北山村の大台ヶ原(N34°11', E136°06')正木峠防鹿柵内のトウヒ疎林とした。東側に遮るものがないトウヒ成木1個体を対象として、樹幹東側の樹幹温度と樹液流速の測定を2017年9月9日から同28日まで行った。

樹幹用の温度センサー(おんどとり Jr, TR-52)を、グラニエセンサーのヒーターセンサーから水平方向に約3cm離れた場所の辺材部(ヒーター部)、ヒーター部の垂直方向下側に15cm離れた辺材部(下15cm)、同じく下側

30cmの辺材部(下30cm)の3ヶ所にそれぞれ一つずつを深さ1cmに埋設した。樹幹温度は2分間隔で測定し、下記の樹液流速と気象データの平均値の算出方法にあわせて、10分間の平均値と30分間の平均値を算出した。

グラニエ法(1)はヒーターセンサーおよびリファレンスセンサーからなる2本1組のセンサーを使用する。2つのセンサーを原則として地上高約1.3mの辺材部に垂直方向に15cm離して設置した。いずれのセンサーのプロープも長さ20mm、径2mmのアルミパイプで、銅コンスタンタン熱電対を内蔵し、辺材部の温度を計測する。ヒーターセンサーのプロープは銅線のコイルを内蔵しており、常時0.2Wの電力が与えられ発熱する。測定した2つのプロープ間の温度差から、樹液流速(F_d ; ms^{-1})を次の経験式(1)を用いて求めた。

$$F_d = 1.19 \{ (\Delta T_{\max} - \Delta T) / \Delta T \}^{1.23} \times 10^4$$

ΔT は2つのプロープ間の温度差。 ΔT_{\max} は1日の最大の ΔT 。1日のサイクルは午前5時から翌日の午前5時とした。樹液流速は30秒間隔で測定し、30分間の平均値を算出した。

樹幹への被覆物の設置について、9月9日から同15日までグラニエセンサー設置部を縦22cm、横14cm、深さ2cmのアルミカバーで覆った(被覆①)。さらに、9月16日から同28日まで、被覆①の上から高さ1m、厚さ3mmの断熱シートおよび高さ1mの90%遮光寒冷紗の順に覆った(被覆②)。被覆物は下層に繁茂する地上高約80cmのミヤコザサよりも低い位置から設置し、ササに覆われている樹幹下部および根張りについては直達光をほとんど受けけないものとした。

全天日射量、気温の測定は、対象木から約20m離れた露場で行った。全天日射量および気温は10秒間隔で測定し、10分間の平均値を算出した。

III 結果

樹幹温度は、晴天日では日の出後の午前7時から正午まで時間の経過につれて気温に対応して上昇した(図-1b,c)。一方、雨天日では、気温の低下に追従して、10時40分から樹幹温度が低下した(図-1a)。晴天日において、被覆①では午前7時40分以降、樹幹温度が気温を上回った(図-1b)が、被覆②ではほとんどの時間で樹幹温度は気温を下回っていた(図-1c)。

被覆①および②について晴天日と雨天日を含む連続する3日間の全天日射量と気温の日変化を図-2に示した。被覆①の状態は9月12日から14日であり、13、14日は晴天日、12日は雨天日であった。被覆②の状態は9月19日から21日であり、19、21日が晴天日、20日が雨天日であった。雨天日の気温変化は小さかったが、晴天日は午前中に上昇していた。それぞれの測定期間の樹幹温度、ヒーター部より下部の樹幹温度から、ヒーター部の樹幹温度を引いた温度差、および樹液流速の日変化を図-3に示した。被覆①では樹幹温度は気温とほぼ同様の変化パターンを示した(図-2, 図-3a)が、被覆②では、樹幹温度は気温ほど変化が大きくなかった(図-2, 図-3b)。晴天日の被覆①では、9月13日の午前8時40分頃に下15cmでヒーター部での温度よりも約3°C、下30cmで約5°C上回った(図-3c)。しかし、被覆②のとき、ヒーター下部での温度がヒーター部での温度を大きく上回ることはほとんどなかった(図-3d)。また、日最大樹液流速は被覆①よりも被覆②で約28.9%低かった(図-3e,f)。

IV 考察

グラニエ法は、熱をトレーサーとして用いるため、幹に当たる放射を防ぐための被覆物の範囲を検討する必要がある。樹幹東側では晴天日の午前中、ヒーターによる加熱の影響がなく、全く被覆物のない下30cmでの樹幹温度が、アルミカバーで被覆されたヒーターセンサー近くの樹幹温度よりも高くなった(図-3c)。また、下30cmの樹幹温度が気温よりも高くなった(図-1b)。これらのことから、樹幹東側における午前中の樹液流速値の急激な上昇は、樹幹下部が直達光によって熱せられたことで、ヒーターセンサー設置部の樹幹温度よりも高くなったために生じたものと考えられる。Lu *et al.* (2004)によると、マホガニー (*Swietenia mahagoni*) の孤立木において、センサー設置部の上方30cmから下方50cmまでの範囲の樹幹を被覆した状態で樹液流速を測定したところ、早朝に樹液流速の急な上昇がみられた。一方、前述の被覆に加えて、センサー設置部以下の幹全体および根張りについても被覆したところ、早朝における樹液流速の急上昇は認められなくなった(Lu *et al.*, 2004)。本研究においても、断熱シートおよび寒冷紗の設置が、ヒーター部よりも低い位置での放射による樹幹温度の上昇を抑制したと考えられ、早朝から正午にかけての樹液流速の急な上昇がみられな

くなった。このことから、グラニエ法のような熱をトレーサーとするセンサーでは、樹液流速の過大評価を抑制するために、センサー設置部を含めて、より低い幹で放射を遮断することが必要である。

人工林などの閉鎖林冠下の幹とは異なり、林冠ギャップや疎林における樹木の幹、ならびに孤立木の幹では、直達光が照射される時間帯が存在する場合がある。そのような幹でより正確に樹液流速測定を行うためには、閉鎖林の林内で多く用いられるような、2本のセンサーを覆う程度の単なるアルミカバーによる被覆では不十分である。このような幹での樹液流速測定には、断熱シートおよび寒冷紗による幹の被覆を行うことが効果的である。

謝辞

本研究を行う上で、福島大学環境放射能研究所の五十嵐康記博士には野外調査において協力していただきました。環境省近畿地方環境事務所ならびに大台ヶ原ビジターセンターの皆様には、調査に便宜を図っていただきました。ここに厚く御礼申し上げます。

引用文献

- (1) Granier A (1987) Evaluation of transpiration in a Douglas-fir stand by means of sap flow measurements. *Tree Physiology* 3:309-320
- (2) 藤山 洋介, 廣瀬 茂樹, 大槻 恭一, 小川 滋 (2005) 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 -. 九州大学農学部演習林報告 86:15-31
- (3) 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
- (4) Kumagai T, Tateishi M, Shimizu T, Otsuki K (2008) Transpiration and canopy conductance at two slope positions in a Japanese cedar forest watershed. *Agricultural and Forest Meteorology* 148:1444-1455
- (5) Lu P, Urban L, Ping Z (2004) Granier's thermal dissipation probe (TDP) method for measuring sap flow in trees: theory and practice. *Acta Botanica Sinica* 46:631-646
- (6) Tateishi M, Kumagai T, Utsumi Y, Umebayashi T, Shiiba Y, Inoue K, Kaji K, Cho K, Otsuki K (2008) Spatial variations in xylem sap flux density in evergreen oak trees with radial-porous wood: comparisons with anatomical observations. *Trees* 22:23-30
- (7) Tsuruta K, Kume T, Komatsu H, Higashi N, Umebayashi T, Kumagai T, Otsuki K (2010) Azimuthal variations of sap flux density within Japanese cypress xylem trunks and their effects on tree transpiration estimates. *Journal of Forest Research* 15:398-403

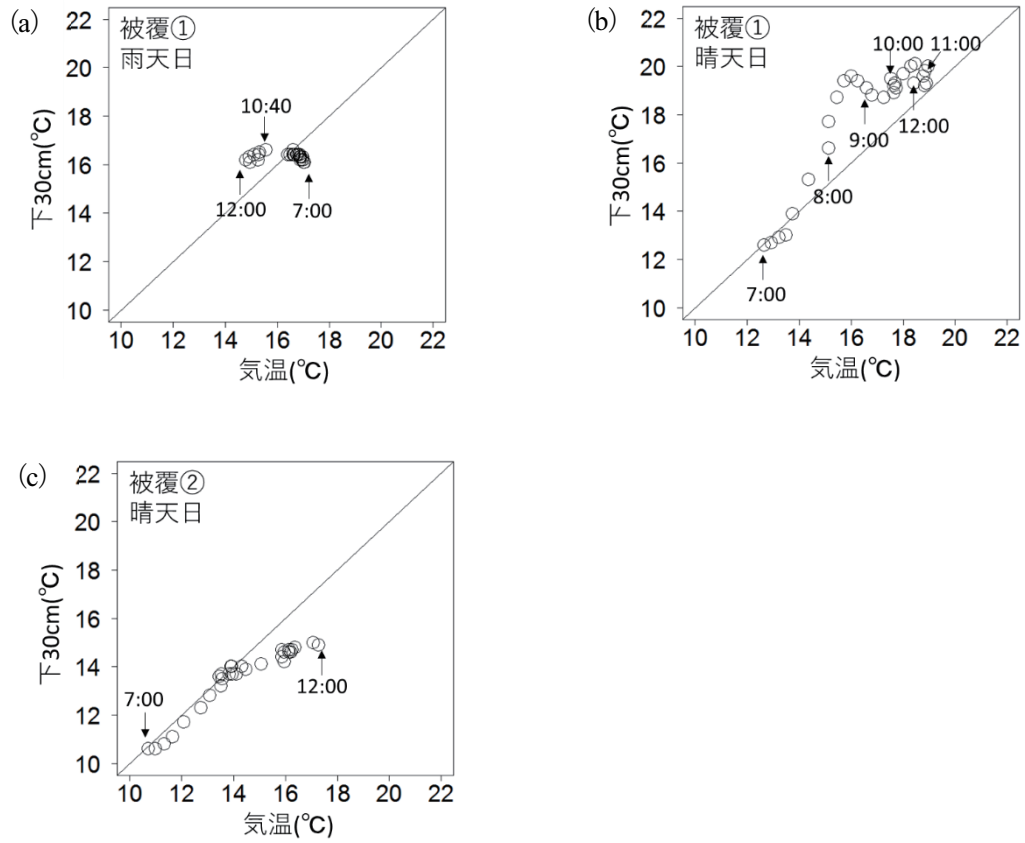


図-1. 午前7時から正午までの気温とヒーター下30cmの位置における樹幹温度との関係

(a) 9月12日, (b) 9月13日, (c) 9月19日

気温は10秒間隔の測定値, 樹幹温度は2分間隔の測定値からそれぞれ算出した10分間隔の平均値。

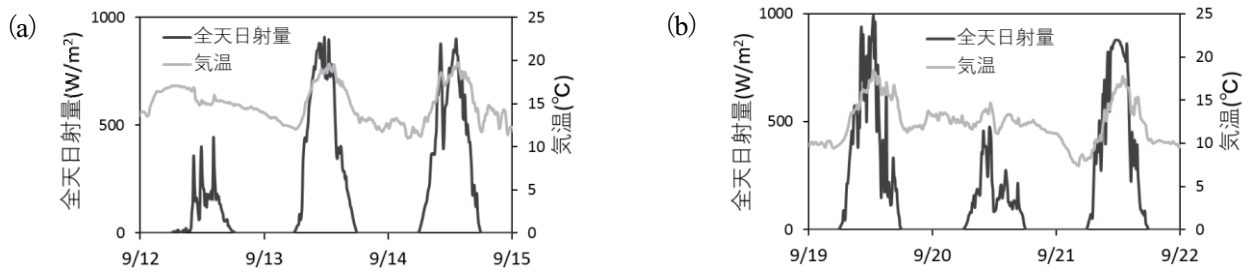


図-2. 全天日射量と気温の日変化

(a) 被覆①: 9月12日から14日, (b) 被覆②: 9月19日から21日
10秒間隔の測定値から算出した10分間隔の平均値。

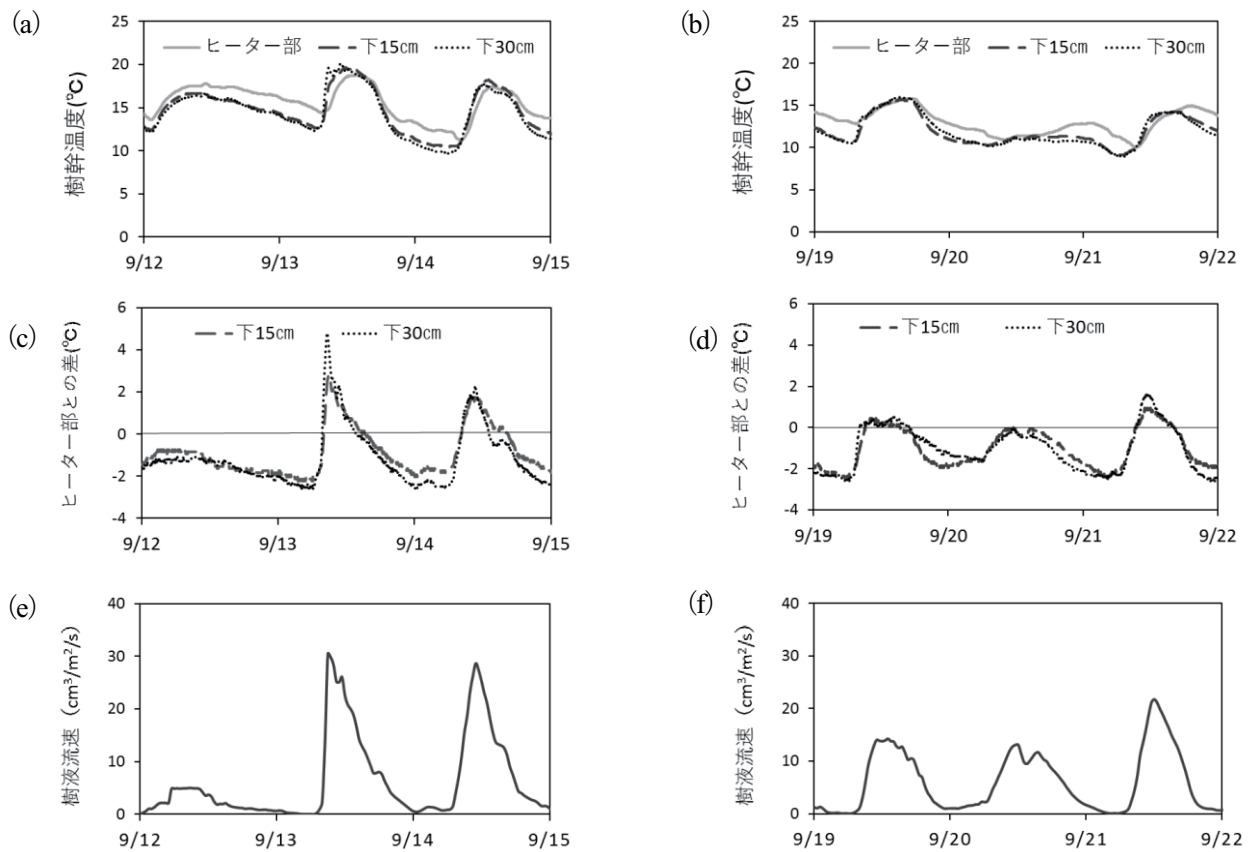


図-3. 樹幹温度, ヒーター部分と樹幹下部の樹幹温度差および樹液流速の日変化

(a), (c), (e) 被覆①: 9月12日から14日, (b), (d), (f) 被覆②: 9月19日から21日
樹幹温度は2分間隔の測定値, 樹液流速は30秒間隔の測定値から算出した30分間の平均値。
ヒーター部分と樹幹下部の樹幹温度差は, 樹幹下部(下15cmまたは下30cm)の樹幹温度から, ヒーター部分の樹幹温度を引いた値。