

平成18年度 公益信託エスベック地球環境研究・技術基金助成研究報告書

久米 朋宣

九州大学農学部附属演習林福岡演習林

ヒノキ人工林の森林管理が下流の水資源量に与える影響評価方法の確立

はじめに

日本の国土の約 65%が森林で覆われているが、戦後の拡大造林政策により、現在ではその半数近くがスギ・ヒノキなどの人工林となった。この時期に植栽された人工林は間伐などの森林管理が必要な時期にきているが、近年の日本林業の急激な衰退に伴い、管理が行き届かない人工林（放棄人工林）が年々増加している（太田・服部 2002）。

放棄人工林における森林管理が下流の水資源量に及ぼす影響を解明するためには、蒸散量を精度よく計測する必要がある。森林の多くが急傾斜地に存在している日本では、精度よく蒸散を計測する手法として単木の樹液流計測が最も有力である。単木の計測から林分蒸散量へスケールアップする際、林分蒸散量は群落平均樹液流速(J_s)と辺材断面積の林分合計値(A_{s_stand})の積で表現されるため（Kumagai *et al.* 2005ab），限られたサンプル木から J_s を精度よく推定することが大きな課題となる。

そこで本研究では、精度よく林分平均樹液流速を推定するために必要なサンプル数を明らかにすることを目的とし、総計 60 本のヒノキを対象に樹液流計測を実施した。

観測方法

九州大学附属福岡演習林内の御手洗水流域試験地のヒノキ人工林（林齢 49 年，立木密度

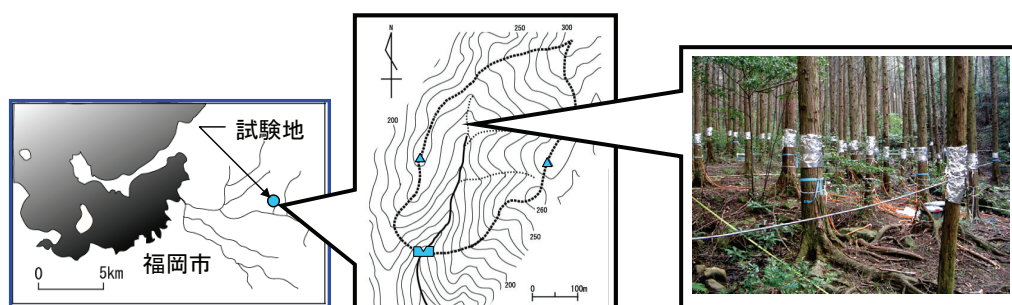


図1 御手洗水試験流域の位置及び流域内の 20m×20m プロット内の全林毎木樹液流計測の様子

約 1500 本 ha⁻¹) を対象とする (図 1). 本試験地のほぼ中央の比較的平坦な場所に 20m×20m のプロットを設定し, その中の全ての木 (60 本) を対象にして, 成長錐を用いた辺材断面面積の計測, 樹液流計測を実施した. 樹液流計測にはグラニエ法(Granier, 1987)を採用し, 直径の小さい個体 (< 25cm) は長さ 2cm のセンサーを北側に 1 本ずつ設置し, 直径の大きい個体 (> 25cm) にはセンサーを 2 本用い, 深さ 4cm までの樹液流速を計測した.

解析方法

群落スケールの蒸散量は, 次の式によって求められる.

$$E = J_s \cdot \frac{As_{stand}}{Ag_{stand}}, \quad (1)$$

ここで, E は群落スケールの蒸散量, J_s は群落平均樹液流速度, As_{stand} は群落の辺材断面面積合計, Ag_{stand} は群落の地表面積である. (1) 式の中で, J_s は次の式によって求められる.

$$J_s = \frac{\sum_{i=1}^n Fd_{ave_i} \cdot As_i}{\sum_{i=1}^n As_i}, \quad (2)$$

ここで, Fd_{ave} は単木の辺材断面面積あたりの平均樹液流速度, As は単木の辺材断面面積, 添え字 i はサンプル数である. なお, 胸高直径 > 25cm の個体では深さ方向の樹液流速のバラツキを考慮して Fd_{ave} を算定した,

本研究では, J_s を精度よく推定するのに必要なサンプル数を明らかにするために, モンテカルロ法を用いた. ここでは, 60 個体で計測された樹液流速データを母集団とし, ランダムサンプリングを 1000 回, それぞれのサンプル数 $n = 2, 5, 10, \dots, 60$ において行い, それぞれのサンプル数に対する平均および標準偏差, 変動係数 (CV) を確率密度分布を利用して算定した.

結果と考察

20m×20m プロット内のヒノキの胸高直径は 8.7cm から 32.6cm の範囲にあり, 平均 20.6cm, 中央値 21.3cm であった (図 2a). 胸高直径と辺材断面面積には直線関係 ($R^2=0.85$, $p<0.0001$) があり, その関係は Kumagai *et al.* (2005a) によって 1226 本のヒノキを対象にして得られた胸高直径と辺材断面面積の回帰式とほぼ同じものとなった (図 2b). 2 つの回帰式から推定されるプロット内の辺材断面面積合計 (As_{stand}) は, 0.82 m², 0.88 m² であり, 実測された As_{stand} の 0.82 m² とほぼ同じ値となった. また, 2 つの回帰式による相対誤差 (RMSE) は, 24 cm², 27 cm² であり, ヒノキ個体の平均辺材断面面積 130 cm² の 17-19%程

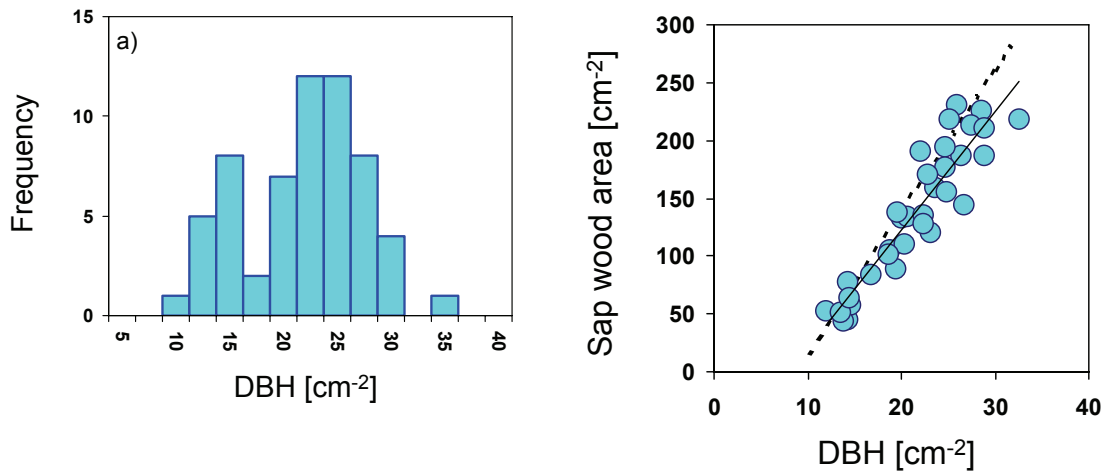


図 2 a) 胸高直径(DBH)の頻度分布. b) 胸高直径と辺材断面積の関係 (n=60). なお, 破線は Kumagai *et al.* (2005b) の回帰式. 実線が本研究の回帰式.

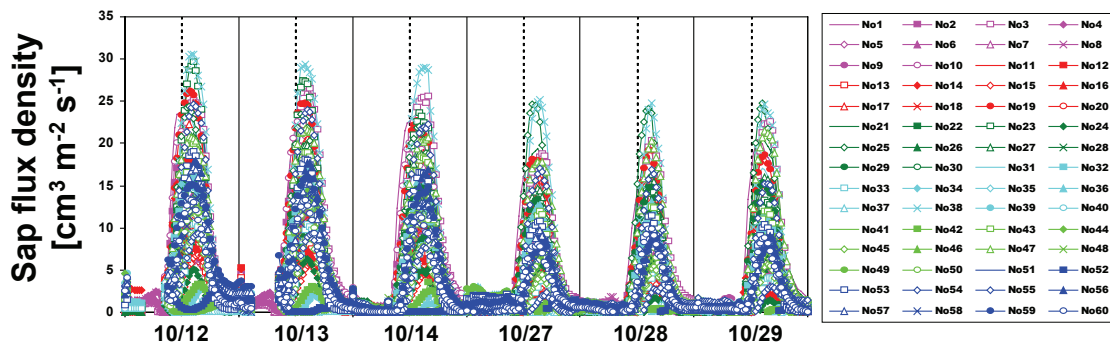


図 3 60 個体で計測された (Fd_{ave}) の日変化.

度であった. これらのことから, ヒノキの辺材断面積は, 本研究で得られた回帰式及び既往の回帰式を用いて, 胸高直径から精度よく推定可能であることが示された.

図 3 には 60 個体のヒノキで計測された樹液流速の日変化を示す. いずれの個体でもヒノキ個体の樹液流速は, 概ね午前 9 時ごろに急激に増加し, 午後 9 時以降に停止するという日変化を示し, 個体間でその日変化パターンに明瞭な差異は認められなかった. 一方, 午後 2-4 時に現れる樹液流速の日変化のピークは, $2-38 \text{ cm}^3 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ と個体ごとに大きく異なり, 本試験地の林分は単純一斉林であるにもかかわらず, 個体ごとに多様な樹液流速を持つことが明らかとなった. なお, 各個体の樹液流速と辺材幅, 胸高直径には明瞭な関係は見られなかった ($mean R^2=0.25, 0.11$). このことは, 本試験地では樹液流速が胸

高直径などの個体サイズに依存しておらず，個体サイズから樹液流速を推定することが困難であることを示している．

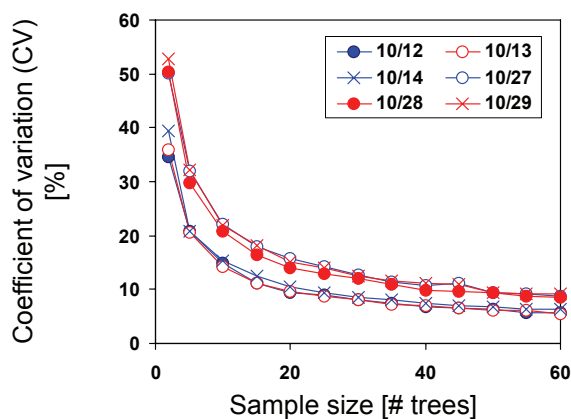


図3 群落平均樹液流速速度 (J_s) の変動係数とサンプル数との関係.

図4は最も樹液流速速度が大きい午後2時–4時までの日中平均樹液流速速度を用いて， J_s の変動係数 (CV) とサンプル数の関係を示したものである．計測日ごとに，各サンプル数に対する CV の大きさが若干異なるものの，概ね 15 本以上のサンプルで，CV は安定し，かつ 15% を下回ることが明らかとなった．このことは，15 本以下の計測本数では， J_s の推定において大きな推定誤差 (>15%) を生む可能性があることを示している．

これまでに，亜寒帯，温帯の様々な森林を対象にして樹液流計測が行われてきたが，既往の論文 57 報において，サンプル木数は 3–26 本の範囲にあり，平均 9 本，中央値 8 本であり，本研究で示したサンプル数を確保するものは 5% 程度であった．

結論

放棄人工林における森林管理が下流の水資源量に及ぼす影響を解明するためには，蒸散量を精度よく計測する実用的な方法を考える必要がある．本研究ではその実用的な方法を確立するために，福岡県内の御手洗水試験流域内のヒノキ人工林において，20m×20m の試験プロットを設定し，プロット内の全木 (60 本) を対象に，グラニエ法による樹液流計測を実施した．その結果，本試験地は，一斉人工林であるにもかかわらず，個体ごとに多様な樹液流速速度が計測され，精度よく群落平均樹液流速速度を推定するために，最低 15 本以上のヒノキで樹液流計測を実施すればよいことを明らかにした．

参考文献

- Granier A. 1987. Evaluation of transpiration in a Douglas-fir stand by means of sap flow measurements. *Tree Physiol.* 3, 309 – 320
- Kumagai T, Nagasawa H, Mabuchi T, Ohsaki S, Kubota K, Kogi K, Utsumi Y, Koga S, Otsuki K. 2005a. Sources of error in estimating stand transpiration using allometric relationships between stem diameter and sapwood area for *Cryptomeria japonica* and *Chamaecyparis obtusa*. *For. Ecol. Manage.* 206, 191-195.
- Kumagai T, Aoki S, Nagasawa H, Mabuchi T, Kubota K, Inoue S, Utsumi Y, Otsuki K. 2005b. Effects of tree-to-tree and radial variations on sap flow estimates of transpiration in Japanese cedar. *Agric. For. Meteorol.* 135, 110-116.
- 太田・服部 2002. 地球環境時代の水と森 どうまもり・はぐくめばいいのか 日本林協調査会