

# スギ生立木の成長に及ぼす水分利用効率の影響

荒木 高宏<sup>1)</sup>, 中井 毅尚<sup>2)</sup>, 中尾 哲也<sup>2)</sup>, 安部 久<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>島根大学大学院総合理工学研究科 材料プロセス工学専攻

<sup>2)</sup>島根大学総合理工学部 材料プロセス工学科

<sup>3)</sup>独立行政法人森林総合研究所

## Effect of the Sap Flow Rate Requirement on the Growth of a *Cryptomeria Japonica* D. Don Standing Tree

Takahiro ARAKI<sup>1)</sup>, Takahisa NAKAI<sup>2)</sup>, Tetsuya NAKAO<sup>2)</sup> and Hisashi ABE<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Master Course of Natural Resources Process Engineering, Graduate school of Science and Engineering, Shimane University

<sup>2)</sup> Department of Natural Resources Process Engineering, Faculty of Science and Engineering, Shimane University

<sup>3)</sup> Forestry and Forest Products Research Institute

### Abstract

On the assumption that water influences the stem growth (volume increase) the three-dimensionally, thickening growth increment of standing Japanese cedars were associated with the values calculated by raising the accumulation quantity of sap flow rate to the one-third. The results showed a close relationship between the values. Roiko-Jokela's relation was applied to mathematically represent the stem morphology by an approximate expression. And the relational expression obtained was integrated to determine the volume of the standing tree. Based on the increased volume (June to July), bulk density, and total sap flow rate (June to July) of the test cedars the sap flow rate requirement for the thickening growth from April to July was calculated to be 470.7 (gH<sub>2</sub>O/g) per dry weight growth of 1 g. Likewise, the sap flow rate requirement for elongation growth (March to May) was calculated to be 276.9 (gH<sub>2</sub>O/g) per dry weight growth of 1 g. Consequently, it was suggested that elongation growth utilized sap flow rate at a 1.7 times higher efficiency than thickening growth.

**Key Words:** thickening growth, accumulation quantity of sap flow rate, sap flow rate requirement, dry weight growth, elongation growth.

## 1. 緒言

樹木は光合成により炭水化物を生産し、成長を繰り返す<sup>1)</sup>。この場合、光合成は、光、温度、CO<sub>2</sub>濃度、水分、および無機養分などの諸要因に大きく影響を受ける。昨年度の研究<sup>2)</sup>では、上記の諸要因のうち特に水分に着目し、水分が樹幹の成長に3次元的に(体積レベルで)影響を及ぼす、という仮定のもと、スギ生立木の肥大成長量と樹液流量の累積量の1/3乗との関係を調べたところ、両者の間には密接な関係が認められた。

そこで本研究では、昨年度に引き続きスギ生立木の肥大成長量と樹液流量の累積量の1/3乗との関係を調べると共に、樹木の体積計算をして、伸長成長、および肥大成長に費やされる、乾物成長1gあたりの水分利用効率の計算も行った。

## 2. 実験方法

### 2.1 供試木

試験木には、島根大学構内の圃場スギ林に生育する樹齢24年生のオキノヤマスギを用いた。後述するステニスワイヤー式デンドロメーターによって測定を開始した2000年1月1日時点での胸高直径は14.3cmであった。

### 2.2 樹液流量測定<sup>3)</sup>

樹液流量の測定は、樹液流量測定装置(TUH-22,(株)ハイドロテック)(図.1;①参照)を、地上高1.2m地点に設置して行った。測定理論は、図.2に示す通りである。すなわち、まず樹幹に帯状ヒーターを巻き、樹液を温める。その周囲に熱電対を設置する。ヒーター周囲に設置

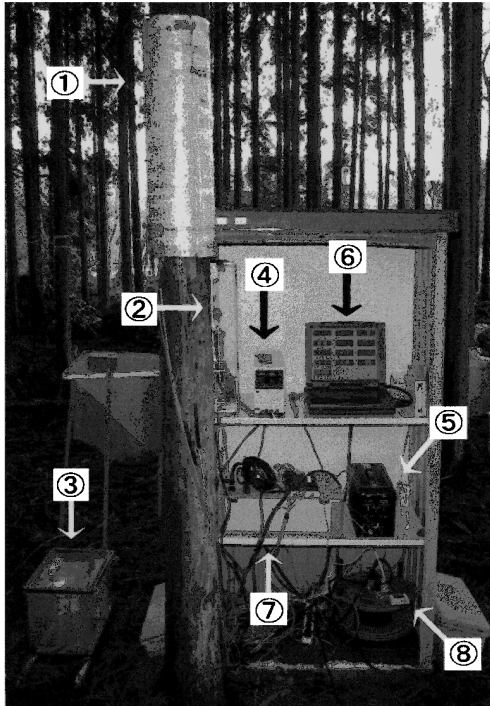


図.1. 本実験で使用した測定装置.

凡例: ① 樹液流量測定装置 (TUH-22), ② 高分解能型LVDTセンサー, ③ 土壌水分圧測定装置 (KDC-S5), ④ 直流安定化電源 (TUH-22), ⑤ 直流安定化電源 (KDC-S5), ⑥ パーソナルコンピューター, ⑦ データロガー, ⑧ 携帯型温度・湿度センサー.

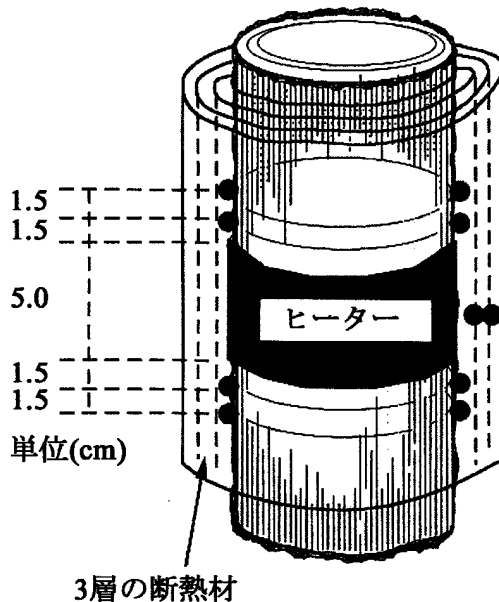


図.2. 熱電対による樹幹内熱量の測定方法.

凡例: ●: 熱電対.

注釈: ヒーターの上下方向に8つ, およびヒーターの外側に2つの熱電対を設置し, それぞれ上下方向の熱量, および外へ逃げる熱量を測定した.

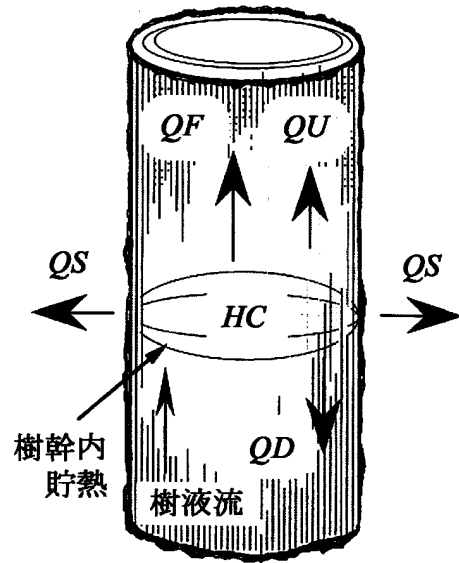


図.3. 樹液流量測定のために取り付けられたプローブによる樹幹の熱量収支.

凡例:  $QU$ ; 幹を伝導して上方向に運ばれる熱量,  $QD$ ; 幹を伝導して下方向に運ばれる熱量,  $QS$ ; 断熱材を放射方向に通過し周囲に逃げる熱量,  $HC$ ; 幹内部の貯熱量の増減に使われる熱量,  $QF$ ; 樹液を暖め, その樹液が移動することにより運ばれる熱量.

した8つの熱電対は, それぞれ樹幹上下方向の熱量, そしてヒーター外側に設置した2つの熱電対は外部へ放出される熱量を, それぞれ測定している. これらの熱電対により, 図.3に示すように, 樹幹表面上下方向へ移動する熱量, および外部へ放出される熱量がえられる. すなわち, 全熱量  $QH$  を次式

$$QH = U + QD + QS + HC + QF \quad (1)$$

により算出した. 式を整理すると樹液の熱量  $QF$  が次式

$$QF = QH - (QU + QD + QS) \quad (2)$$

で表される. なお, 樹幹の熱量  $HC$  は, 本実験の設定条件ではほぼ無視して取り扱うことができるため, 便宜上0とした. (2)式から求めた樹液流の熱量より, 樹液流量  $F$  を次式

$$F = QF / (\delta \theta \times k \times c) \quad (3)$$

より算出した. ここで,  $\delta \theta$ : 樹液がヒーターを通過する前後の温度差,  $k$ : 樹液温度の校正係数, および  $c$ : 樹液の比熱 ( $= 4.186 \text{ J/g/K}$ ) である.

### 2.3 樹幹の膨潤・収縮量測定

ステンレスワイヤーを地上高1.2mの樹幹表面に巻き, 直線変位センサー, および高分解能型LVDTセンサー(メック)(図.1;②参照)を用いて行った. ステンレスワイ

ヤー式デンドロメーターは図.4に示す通り、樹幹が膨潤することにより、ステンレスワイヤーに設置したおもりが上昇し、また、樹幹が収縮することによりおもりが下降するという原理である。このおもりの上下の変動をセンサーにより感知させ測定した。

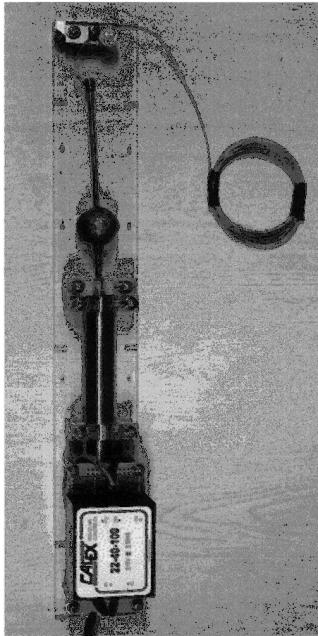


図.4. ステンレスワイヤー式デンドロメーターの外形。  
注釈：樹幹の膨潤・収縮量をおもりの上下方向の変動量によって測定し、その値をセンサーによって感知する。

## 2.4 土壌水分圧の測定

土壌水分圧の測定は、木の生え際に土壌水分圧測定装置 (KDC-S5, コーナシステム(株))(図.1;③参照) を設置して行った。

## 2.5 温度、および湿度などの環境因子の測定

温度および湿度変化は、携帯型温度・湿度センサー (Model2000, サンシステムサプライ(株))(図.1;⑧参照) により測定すると共に、松江地方気象台の地上気象観測原簿、および境港観測所の潮汐観測原簿を参考データとして用いた。

## 3. 結果と考察

### 3.1 肥大成長量と樹液流量の季節変動

肥大成長量と樹液流量の累積量の  $1/3$  乗との関係を図.5に示した。その結果、両者の間には比較的密接な関係が認められた。また、3月の初旬から6月の中旬にかけて両者の傾向が異なっているが、この期間は、肥大成長と同時に、伸長成長が主に行われているため、その影響が表われたと思われる。

### 3.2 樹木の体積計算

成長量に費やされた水分の利用効率を計算するためには、まず樹木の体積を求める必要がある。本研究では、図.6に示したように、樹幹形状を近似表現するために、Roiko-Jokela式<sup>4)</sup>を適用した。Roiko-Jokela式による樹幹直径  $d$  は、次式

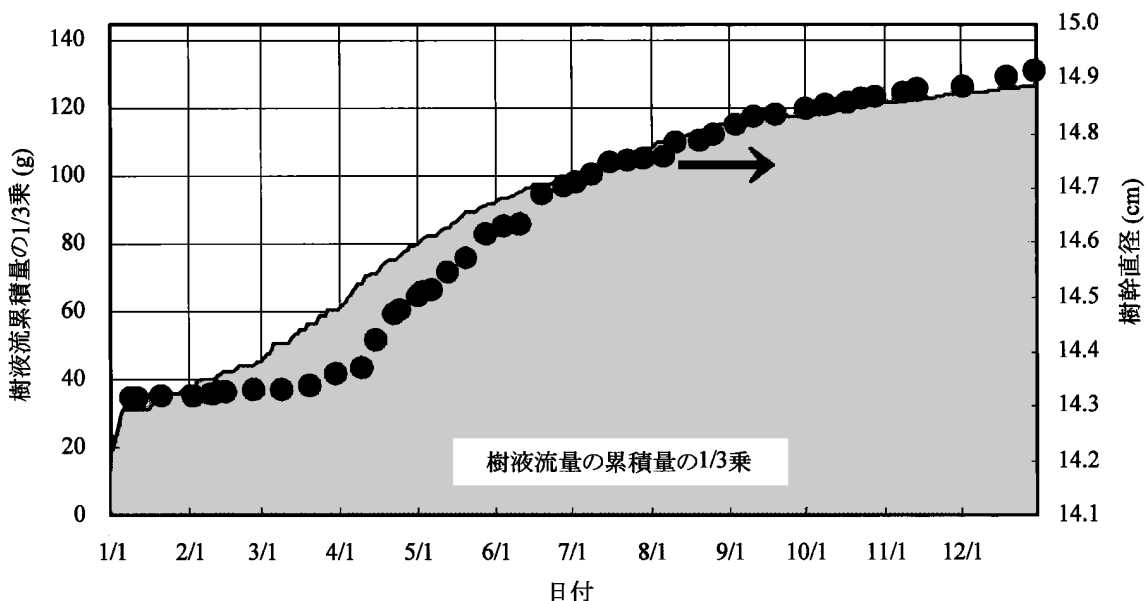


図.5. 樹液流量の累積量の  $1/3$  乗と樹幹直径との関係。  
凡例：領域図；樹液流量の累積量の  $1/3$  乗、●；樹幹直径。

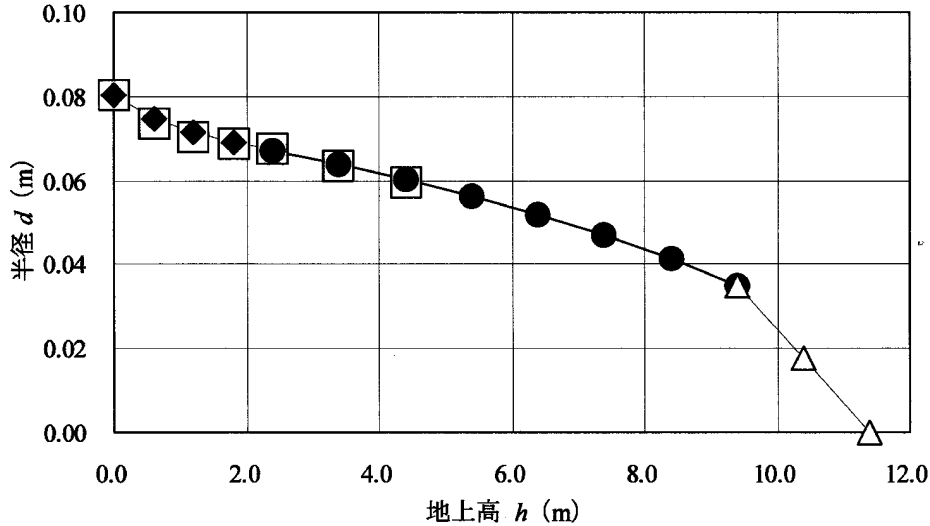


図.6. Roiko-Jokela式による樹幹形状の近似曲線.

凡例: □; 実測値, ◆; 反比例式 ( $d = A + B / (Z + C)$ ), ●; 常用対数式 ( $d = E \ln(z - W + F) + G$ ), △; 直線式 ( $d = d_{h-p} (h - z) / L$ ),  $z$ ; 地上高 (m),  $d$ ; 地上高  $z$  における直径 (m), ( $W, h-p$ , および  $h$ ); 実測値からえられた地上高 (2.4, 9.4, および 11.4) (m),  $A, B, C, E, F, G, L$ ; Roiko-Jokela式中のパラメーター.

表 1. 実測からえられた Roiko-Jokela式に代入したパラメーターの値.

パラメータ 測定月	A	B	C	E	F	G	L
6月	0.058	0.04	1.8	0.0418	4.0	-0.04	2.0
7月	0.058	0.05	2.2	0.0426	4.0	-0.04	2.0

$$d = A + B / (z + C) \quad (0 \leq z \leq W) \quad (4)$$

$$d = E \times \ln(z - W + F) + G \quad (W \leq z \leq h - P) \quad (5)$$

$$d = d_{h-p} \times ((h - z) / L) \quad (h - P \leq z \leq h) \quad (6)$$

で表される. ここで,  $z$ : 地上高(m),  $d$ : 地上高  $z$  における直径(m)である. なお, 上式中の ( $W, h - P, h$ ) = (2.4, 9.4, 11.4) (m)である. また, 各パラメータ ( $A, B, C, E, F, G, L$ ) の値は, それぞれ表 1(供試木 5 本の平均値) に示した通りである. なお, 地上高 5m までは, 脚立を用いてメジャーにより樹幹直径を実測した. また, 地上高を三平方の定理を応用した樹高メーター (BLUME-LEISS, KARL LEISS Co.) で測定したところ, 平均で約 12m であった. 一方, 実験終了後に樹木を伐倒し, メジャーによって実測した樹幹半径と, Roiko-Jokela式から算出した値とを比較したところ, ほぼ一致していることが確認できた. これらの結果からえられた関係式を積分し, 6月, および 7月の生立木の体積を求めたところ, それぞれ平均で  $0.6061(m^3)$ , および  $0.6120(m^3)$  の値がえられた.

### 3.3 成長量に費やされた水分利用効率の計算

乾物成長 1g を生産するために費やされた水分の利用効率を計算するためには, まず乾物重量の増加量を求めなければならない. 乾物重量を次式

乾物重量の増加量 (g)

$$= \text{生立木の増加体積 (cm}^3\text{)} \times \text{容積密度 (g/cm}^3\text{)} \quad (7)$$

より求めた. 6~7月における生立木の増加量は,  $5954.1 (cm^3)$  であり, 容積密度は平均で  $0.31 (g/cm^3)$  であったため, 上式より, 6~7月に増加した供試木の乾物重量は平均で約  $1854.8 (g)$  と計算できた. 乾物成長 1g を生産するために費やされた水分の利用効率は, 次式

水分の利用効率 ( $gH_2O/g$ )

$$= \text{樹液流量の総量 / 乾物重量の増加量} \quad (8)$$

で表わされる. 6~7月における樹液流量の総量は, 実測結果より  $606211.89 (g)$  であったため, この値と, 先の乾物重量の増加量より 6~7月の肥大成長量に費やされた水分利用効率は,  $331.0 (gH_2O/g)$  と計算できた. さらにこの値を基に, 実際の肥大成長の時期, すなわち 4~7月における水分利用効率を, 図.5 にプロットした 6月~7月, および 4~7月における樹幹直径の変動曲線の傾きの比から求めると,  $470.7 (gH_2O/g)$  となった. 一方, 伸長成長に費やされた水分利用効率を算出するために, 上記と同様な作業を 3~5月の実測値に対し施した. この値を基に, 3月~5月の伸長成長に費やされた水分

利用効率の値を算出したところ、乾物成長 1g あたり 276.9(gH<sub>2</sub>O/g)であった。すなわち、伸長成長は肥大成長に比べ約 1.7 倍高い効率で水分を利用していることが、本実験結果から推察できた。通常、C<sub>3</sub>植物では、乾物成長 1g を光合成するために 450～950g の水を必要とする<sup>9)</sup>と報告されているが、本研究ではそれと比較して若干小さな値がえられた。

#### 4. 結論

本研究では、スギ生立木の肥大成長量と樹液流量の累積量の 1/3 乗との関係を調べると共に、成長量に費やされた水分の利用効率の計算を行った。その結果、以下のような結論をえた。

- 1) スギ生立木における肥大成長量と樹液流量の累積量の 1/3 乗との間には、比較的密接な関係が認められた。また、3月初旬から6月の中旬にかけて両者の傾向が異なっているが、この期間は、肥大成長と同時に、伸長成長が主に行われているため、その影響が表われたと思われた。
- 2) スギ生立木の体積計算を行い、乾物成長 1g を生産するために費やされた水分利用効率を計算した。その結果、伸長成長量に費やされた水分の利用効率は 276.9 (gH<sub>2</sub>O/g)であった。また、肥大成長量に費やされた水分の利用効率は 470.7 (gH<sub>2</sub>O/g)であった。すなわち、伸長成長は肥大成長に比べ約 1.7 倍高い効率で水分を利用していると考えられた。

#### 文献

- 1) 古野毅, 澤辺攻編: 木材科学講座 2 組織と材質", 海青社, 大津, p.1-16, 1994.
- 2) 中井毅尚, 中尾哲也, 安部久: スギ生立木の成長量と樹液流との関係, 第 51 回日本木材学会大会研究発表集, 東京, p.36, 2001.
- 3) Takafumi TANAKA, Emi UCHIDA, Taketo YOKOTA, Akio HAGIHARA and Yasuo TAKEDA: Comparison between Water Absorption Rate and Sap-Flow Rate Measured Using the Improved Stem Heat-Balance Method, *Journal of the Japanese Forestry Society*, Vol.76, No.6, November 1994.
- 4) Roiko-Jokela P: Die Schaftformfunktion der Fichte und die Bestimmung der Sortimentsanteile am Stehenden Baum Mitt Eidgenoss Anst Forstl Vers wes, 52, p.43, 1976.
- 5) セルロース学会編: “セルロースの事典”, 朝倉書店, 東京, p.20, 2000.