

# スギ苗木樹幹内における水分の精密測定

村本 健<sup>1)</sup>, 中井 毅尚<sup>2)</sup>, 安部 久<sup>3)</sup>, 中尾 哲也<sup>2)</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> 独立行政法人国際農林水産業研究センター林業部

## Accurate measurement of water in the stem for *Cryptomeria japonica* saplings

Takeshi MURAMOTO<sup>1)</sup>, Takahisa NAKAI<sup>2)</sup>, Hisashi ABE<sup>3)</sup>, and Tetsuya NAKAO<sup>2)</sup>

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

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

<sup>3)</sup> Japan International Research Center for Agricultural Sciences

### Abstract

To clarify the water balance in the stem of three-year-old cloned saplings of *Cryptomeria japonica* D. Don grown in a phytotron with irrigation every day or every 3 days, the accurate measurement of water potential of needle, transpiration rate, sap flow rate, and tangential strain was tried to done. The results obtained are summarized as follows:

1) Water potential, transpiration rate, sap flow rate, and tangential strain on the surface of the inner bark reacted in order to light and darkness immediately. Transpiration rate and sap flow rate exhibited a reaction that followed but opposed the reaction of the water potential. Positive correlations were observed between water potential and tangential strain in all periods.

2) Based on the diurnal changes, sap flow rate rates over 24 hours could be divided into four periods: Zone A<sub>1</sub> began with lights-on, when the sap flow rate increased, and lasted about 2 hours. In the following zone, A<sub>2</sub>, the sap flow rate changed convexly for about 12 hours. In Zone B<sub>1</sub>, the first dark period, the sap flow declined, quickly at first and then more slowly, for about 4 hours, until the start of the second dark period, Zone B<sub>2</sub>, when the sap flow rate became almost constant at 0.05 g/min and remained so for about 6 hours.

3) The total transpiration rate and the sap flow rate during both the light and dark periods were measured. As a result, it was found that the water deficit and the water storage were observed in the periods just after lights-on and lights-off, Zone A<sub>1</sub> and A<sub>2</sub>.

4) As compared with difference between water amount maintained in the stem in Zone B<sub>2</sub> and increased volume of the stem calculated from tangential strain on the surface of the inner bark, both values were almost same.

**Key words:** water balance, three-year-old cloned sapling, phytotron, water potential, transpiration rate, sap flow rate, tangential strain

## 1. 緒 言

樹木における水分の移動は、葉からの蒸散に始まり、樹体内の通水および根からの吸水に伝わる。この過程は、土壌－植物－大気連続体 (soil - plant - atmosphere - continuums: SPAC) として扱われてきた。この通水の過程は、ポテンシャル勾配と通水抵抗、および水貯留により概念的にモデル化されている。このうち、水ポテンシャルの測定には、プレッシャーチャンバー法 (P. F. Scholander, H. T.

Hammel, Edda D. Bradstrsst, and E. A. Hemmingsen, 1965), および枝葉袋かけ法 (D. B. B. Powell., 1974) などが用いられ、通水抵抗や水貯留は、蒸散量や吸水量の測定によって算出されてきた。高木樹木は根表面から葉表面までの距離が長く幹の体積や葉量が大きいため、樹体の水貯留の変動は、蒸散に対する吸水の時間遅れとして観測される。しかし、時間経過による樹体内の水貯留変動のばらつきを精密に測定した例は少なく、その変動の実態は未だほとんど解明されていない。

そこで本研究では、樹幹内の水バランスを把握するための第一段階として、人工気象室内においてプレッシャーチャンバー法による針葉の水ポテンシャルの測定、デジタル式自動天秤を用いた重量法による蒸散量の測定、改良型幹熱収支法による樹液流量の測定 (Tanaka et al., 1994: 村本他, 2003), およびひずみゲージ法 (Okuyama Yoshida and Yamamoto, 1995: Nakai and Abe, 1997, 1998: Abe and Nakai, 1999, 2003: Yoshida et al, 1999, 2000: Hosoo, Y., Yoshida, M., Imai T., and Okuyama, T., 2002, 2003)) による樹幹の接線方向ひずみの測定を行い、スギ苗木樹幹における水分の精密測定を試みた。

## 2. 実験

### 2.1 供試木

供試木には 2 年生, および 3 年生のスギ (*Cryptomeria japonica* D. Don.) クローン苗木 5 本を用い, これらの苗木をバーミキュライトと共にワグネルポットに植え付けた。苗木の試験開始時における高さは, 平均で 122cm, また, 地上高 15cm における樹幹直径は平均で 1.69cm であった。なお苗木は, 栄養水 (N 50.0 ppm, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 25.0 ppm, K<sub>2</sub>O 30.0 ppm, CaO<sub>2</sub> 20.0 ppm, MgO<sub>2</sub> 10.0 ppm, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 2.0 ppm, Cu 0.1 ppm, Mn 0.1 ppm, Zn 0.1 ppm, B 0.2 ppm, Mo 0.1 ppm, 初期 pH : 5.2) を 1 リットルずつ与えながら生育した。

### 2.2 環境条件

実験は環境制御可能な人工気象室 (KG-206SHL-DS, 小糸工業 (株)) 内で行い, Fig. 1 に示したように, 日長は 14 時間 (明運転) / 10 時間 (暗運転) とした。温度・湿度設定は明運

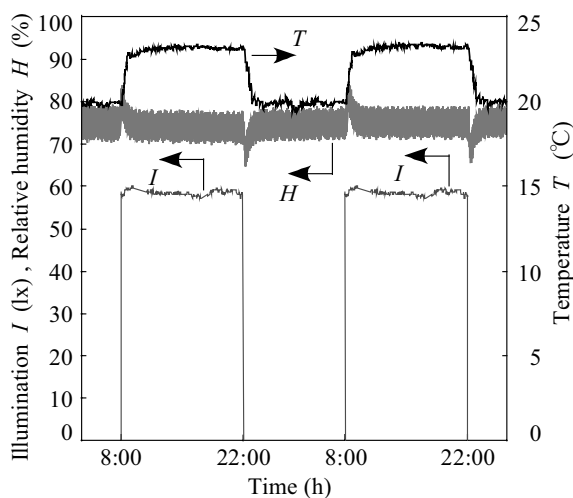


Fig. 1. 人工気象室内における温度, 湿度, および光量の設定条件。

転:  $23 \pm 1.0^\circ\text{C}$ ,  $75 \pm 5.0\% \text{R.H.}$  一定, 暗運転:  $20 \pm 1.0^\circ\text{C}$ ,  $75 \pm 5.0\% \text{R.H.}$  一定とした。室内の人工光源は, 8 灯の水銀ランプ (1kW: HRF-1000X, 松下電器産業 (株)) と, 12 灯の陽光ランプ (400W: D-400, 東芝 (株)) を組み合わせた混合光とした。なおこの場合, 光量は光源から 0.8m の高さにおいて約  $490.0 \pm 5.0 \mu \text{mol} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} / \mu \text{A}$  (曇天時並) であった。

### 2.3 生理活動量の測定

#### 2.3.1 針葉の水ポテンシャルの測定

針葉をカミソリで約 5cm に切り取り, その針葉の水ポテンシャルをプレッシャーチャンバー法で測定した。測定間隔は 2 時間, あるいは 3 時間おきとし, 1 度の測定で 3 箇所から針葉を採取し実測を行った。

#### 2.3.2 蒸散量の測定

デジタル式自動天秤 (HP-100K, エー・アンド・ディ (株)) に, ワグネルポットに植えつけたスギクローン苗木を置き, その重量変化を測定した。なおこの場合, バーミキュライト表面からの水分の蒸発を防ぐために, ワグネルポット上部をサララップでラッピングした (Fig. 2)。

#### 2.3.3 樹液流量の測定

前報同様 (村本他, 2003), 樹液流量の測定には改良型幹熱収支法を適用した樹液流量測定装置 (TUH-22, ハイドロテック (株)) を用いた。設置方法は, まず外樹皮表面の凸凹をナイフにて取り除いて平らにし, その表面にサララップを巻き, 地表から約 15cm の高さに, 幅 5cm のヒーターを樹幹に巻き付け, さらにヒーターの上下に計 8 個の熱電対を取り付けた。その上に断熱材を 3 重に巻きつけ, 1 重目および 2 重目表面に



Fig. 2. 重量法による蒸散量の測定風景。

凡例: ①: ワグネルポットに植えつけた供試苗木, ②: デジタル式自動天秤, ③: ②の制御用パソコン。

外部に逃げる温度を測定するための熱電対1個ずつ計2個を取り付けた。

### 2.3.4 樹幹表面の膨潤・収縮量の測定方法

カミソリで丁寧に外樹皮を剥ぎ、現れた内樹皮表面にひずみゲージ(ゲージ長:5mm, 東京測器(株))を, シアノアクリレート(CN-E, 東京測器(株))接着剤を用いて接線方向に貼付した。この場合, ひずみゲージとリード線との結線方法は, 温度の影響をなくすために1ゲージ3線法とした。なお, ひずみゲージ貼付部近傍の乾燥を防ぐために, その表面からワセリンを塗布した。

## 3. 結果と考察

### 3.1 各生理活動量の日変動

針葉の水ポテンシャル( $P$ ), 蒸散量( $T$ ), 樹液流量( $F$ ), および樹幹の接線方向ひずみ( $\varepsilon$ )の日変動を Fig. 3 に示した。なお図中には, 測定を行った1日目の暗運転から4日目の明運転までの各生理活動量の変動を示した。

$P$  は, 明運転開始から急激に減少し始め, 明運転開始約1時間後には傾きが緩やかな減少傾向に移行していることが認められた。そして, 暗運転開始から急激に増加し始め, 暗運転開始約1時間後には, 傾きが緩やかな増加傾向に移行していることが認められた。

$T$  は, 明運転開始から急激に上昇し始め, 数十分後から山なりの変化に移行していることが認められた。そして, 暗運転開始から急激に減少し始め, 数十分後にはほぼ底値のまま一定であった。なお,  $T$  のプロットが  $F$  のプロットに対して粗いのは,  $F$  の測定精度が最小0.1gであるのに対して, 今回  $T$  の測定に使用した天秤の測定精度が最小1gであったためである。

$F$  は, 明運転開始から急激に上昇し始め, 数時間後から山なりの変化に移行していることが認められた。そして, 暗運転開始から数時間かけて底値まで到達した後, それ以降はほぼ底値のまま一定であった。

$\varepsilon$  は, 明運転開始から急激に減少し始め, 数時間後から若干傾きが緩やかな減少傾向に移行していることが認められた。そして, 暗運転開始から急激に上昇し始め, 数時間後には若干傾きが緩やかな増加傾向に移行していることが認められた。

以上の結果から,  $P$  および  $T$  は, 明暗を切り替えると同時に急激に変化しているのに対し,  $F$  および  $\varepsilon$  は, それらと比較すると変化の傾きが若干緩やかな傾向が認められた。

ここで, 各生理事活動量の日変動をもとに, 一日を明運転時の2区間と暗運転時の2区間の計4区間に分類した。すなわち, 点灯に伴い  $F$  が急激に上昇する区間(Zone A<sub>1</sub>)と,  $F$  が山なりの傾向を示す区間(Zone A<sub>2</sub>), また消灯に伴い  $F$  が急激に減少する区間(Zone B<sub>1</sub>)と,  $F$  がほぼ底値を示す区間(Zone B<sub>2</sub>)である。今回の苗木では, Zone A<sub>1</sub>:約2時間, Zone A<sub>2</sub>:約12時間, Zone B<sub>1</sub>:約4時間, Zone B<sub>2</sub>:約6時間であった。

### 3.2 各生理活動量の相互関係

#### 3.2.1 蒸散量( $T$ )と樹液流量( $F$ )との関係

$T$  と  $F$  との対応関係をさらに詳しく調べるために, Fig. 3 の結果をもとに,  $T$  および  $F$  の一次微分値,  $\frac{dT}{dt}(=T')$  および  $\frac{dF}{dt}(=F')$  を計算し, 時間  $t$  に対してプロットした(Fig. 4)。

その結果,  $T'$  は, 明運転から暗運転に切り替えた直後にシャープなピークが現れ, 約30分後にはほぼ一定値となった。こ

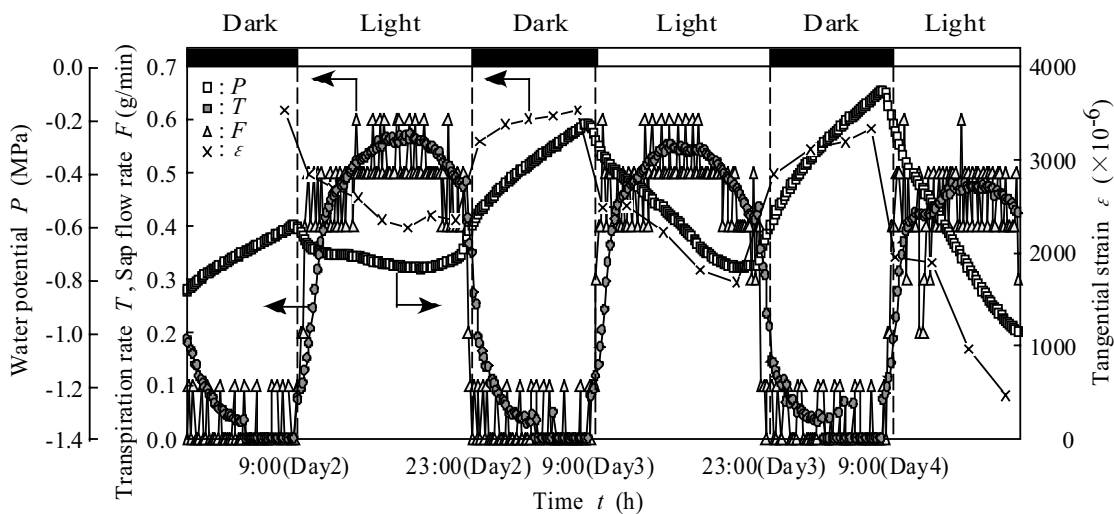


Fig. 3. 水ポテンシャル( $P$ ), 蒸散量( $T$ ), 樹液流量( $F$ ), および接線方向ひずみ( $\varepsilon$ )の日変動。

凡例: 白バー: 明運転(14時間), 暗運転(10時間),  $\varepsilon: k \cdot \varepsilon_t$  ( $\varepsilon_t$ : 真のひずみ,  $k$ : 補正係数)。

れに対して,  $F'$  は, 明運転から暗運転に切り替えた直後にピークは現れたものの  $T'$  ほどシャープではなく, 約 2 時間後には変動も少なくなりほぼ一定値を示した. 同様に, 暗運転から明運転に切り替えた直後では,  $T'$  の変動は, 先の明運転から暗運転への切り替え時同様, シャープなピークが現れ, 約 30 分後にはほぼ一定値となった. これに対して,  $F'$  の変動は,  $T'$  ほどではないが, 先の明運転から暗運転への切り替え時と比べ, よりシャープなピークが現れ, 約 4 時間後には変動も少なくなりほぼ一定値を示した.

以上の結果から, 本研究の条件下では, 蒸散量と樹液流量とでは, 光環境に対する応答に差が認められ, 前者の方がより敏感な反応を示すことが明らかとなった.

### 3. 2. 2 樹液流量( $F$ )と接線方向のひずみの量( $\varepsilon$ )との関係

続いて,  $F$  と  $\varepsilon$  との対応関係をさらに詳しく調べるために, それぞれの一次微分値,  $F'$  および  $\frac{d\varepsilon}{dt}$  ( $=\varepsilon'$ ) を計算し, 先に分類した明運転時と暗運転時の計 4 区間ごとに比較を行った (Fig. 5).

その結果, いずれの区間においても  $F'$  と  $\varepsilon'$  との間には負の相関関係が認められた. 各区間別に詳しく観察すると, Zone A<sub>1</sub>:  $F'$  と  $\varepsilon'$  との間には弱い負の直線関係が認められた. すなわちこの区間では,  $F$  の増加に対応して,  $\varepsilon$  は減少傾向を示すことが分かった. Zone A<sub>2</sub>:  $F'$  と  $\varepsilon'$  との間には比較的良好な負の直線関係が認められた. Fig. 3 を詳しく見ると,  $F$  の増加・減少に対して,  $\varepsilon$  は減少・増加傾向を示すことが分かった. Zone B<sub>1</sub>:  $F'$  と  $\varepsilon'$  との間には, 良い負の直線関係が認められた. すなわちこの区間では,  $F$  の減少に対応して,  $\varepsilon$  は増加傾向を示

すことが分かった. Zone B<sub>2</sub>:  $F'$  と  $\varepsilon'$  との間には非常に弱い負の直線関係が認められた. Fig. 3 から明らかなように, この区間は,  $F$  が零に近いほぼ一定値を示した区間であったが, 詳しく見ると,  $F$  の減少に対して,  $\varepsilon$  は増加傾向を示すことが分かった.

ここでさらに, それぞれの区間の対応関係を調べると, 以下の通りである. 前述の通り, Zone A<sub>1</sub> と Zone B<sub>1</sub> は点灯・消灯直後からしばらくの区間であるが, 両者の回帰直線の傾きは Zone B<sub>1</sub> の傾きの方が Zone A<sub>1</sub> のそれより若干高く現れた. 昨年度の結果 (村本他, 2003) では逆の傾向が現れており, この点については継続課題としたい. 一方,  $F$  がほぼ一定値を示す Zone A<sub>2</sub> と Zone B<sub>2</sub> の区間では, 明運転時の Zone A<sub>2</sub> の傾きの方が Zone B<sub>2</sub> のそれよりもはるかに大きな値を示した. この理由は Fig. 3 から明らかなように, 点灯時の  $F$  および  $\varepsilon$  の変動が消灯時に比べて大きいためである.

### 3. 2. 3 針葉の水ポテンシャル( $P$ )と樹幹の接線方向のひずみ量( $\varepsilon$ )との関係

Fig. 3 の結果をもとに,  $P$  と  $\varepsilon$  との対応関係をさらに詳しく調べるために,  $P$  と  $\varepsilon$  とを両軸にとりプロットした (Fig. 6). その結果, 明運転, 暗運転のどちらの運転下においても,  $P$  と  $\varepsilon$  との間には非常に良い正の直線関係が認められた. 両者の傾きは, 各運転時においてほぼ同等であったが, 2 日目の明運転時における両者の傾きのみ傾向を異にしていた.

### 3. 3 樹幹の膨潤に使われた水分量の推定

前述 3.1 の区間分けに従い, 各区間における蒸散量 ( $T$ ) の総量と, 樹液流量 ( $F$ ) の総量を計算した (Table 1).  $T$  と  $F$  の総

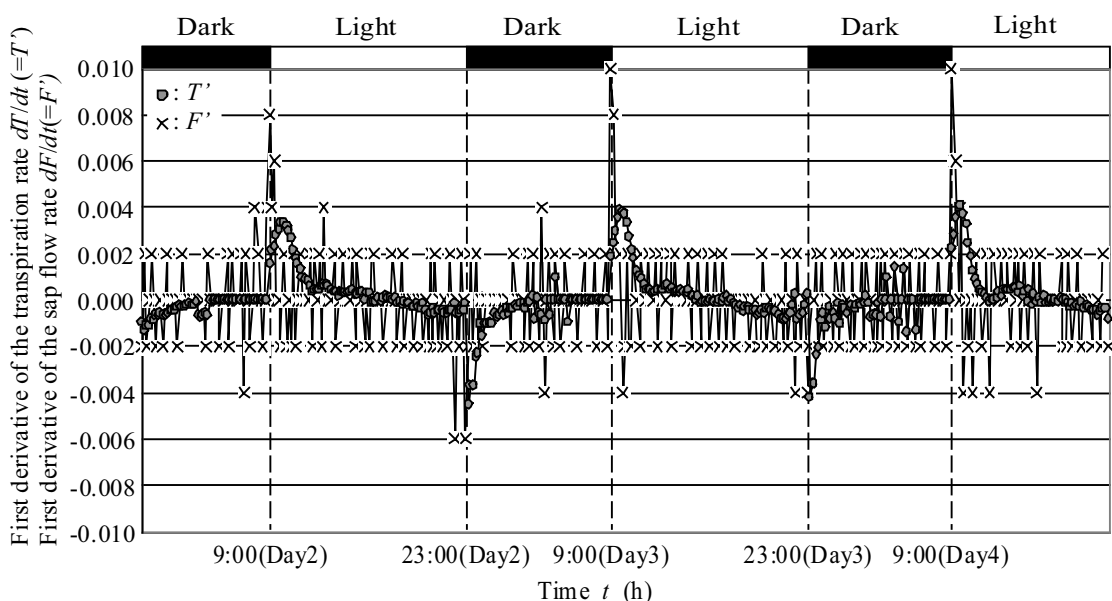


Fig. 4. 蒸散量の一次微分値 ( $dT'/dt = T'$ ) と樹液流量の一次微分値 ( $dF'/dt = F'$ ) との関係.

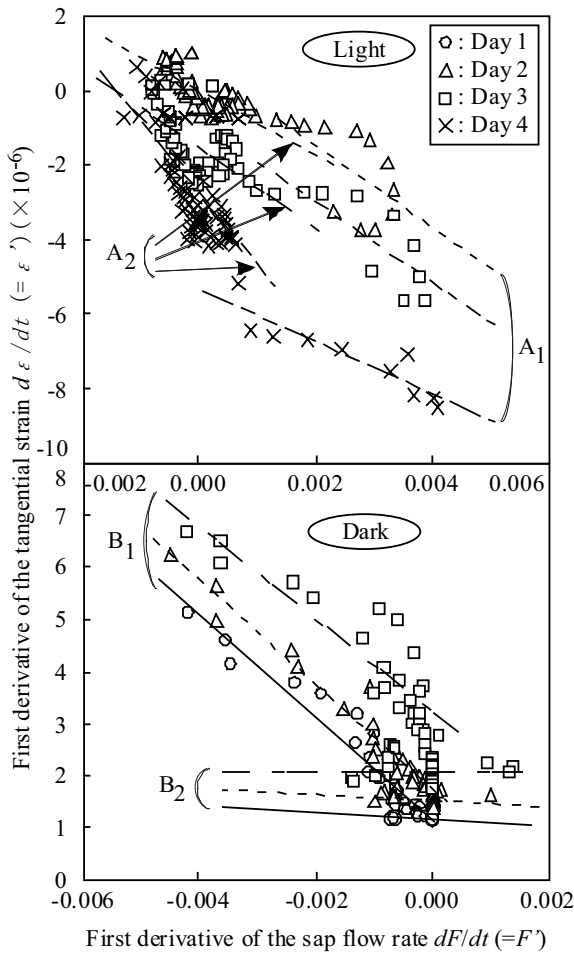


Fig. 5. 樹液流量の一次微分値 ( $dF/dt = F'$ ) と接線方向ひずみの一次微分値 ( $d\epsilon/dt = \epsilon'$ ) との関係。

凡例: 明運転:

破線 (Day 2 の回帰直線):

$A_1: \epsilon' = -1078.9 \cdot F' + 0.6894 \quad R = 0.48,$

$A_2: \epsilon' = -869.07 \cdot F' + 0.0162 \quad R = 0.73,$

一点鎖線 (Day 3 の回帰直線):

$A_1: \epsilon' = -1072.9 \cdot F' - 0.8555 \quad R = 0.79,$

$A_2: \epsilon' = -1067.6 \cdot F' - 1.5169 \quad R = 0.54,$

二点鎖線 (Day 4 の回帰直線):

$A_1: \epsilon' = -696.75 \cdot F' - 5.3192 \quad R = 0.91,$

$A_2: \epsilon' = -1944.8 \cdot F' - 2.7552 \quad R = 0.62,$

暗運転:

実線 (Day 1 の回帰直線):

$B_1: \epsilon' = -986.88 \cdot F' + 1.1525 \quad R = 0.96,$

$B_2: \epsilon' = -45.614 \cdot F' + 1.1637 \quad R = 0.27,$

破線 (Day 2 の回帰直線):

$B_1: \epsilon' = -1000.7 \cdot F' + 1.7467 \quad R = 0.98,$

$B_2: \epsilon' = -80.617 \cdot F' + 1.5589 \quad R = 0.25,$

一点鎖線 (Day 3 の回帰直線):

$B_1: \epsilon' = -888.97 \cdot F' + 3.2223 \quad R = 0.90,$

$B_2: \epsilon' = -43.162 \cdot F' + 2.0667 \quad R = 0.09.$

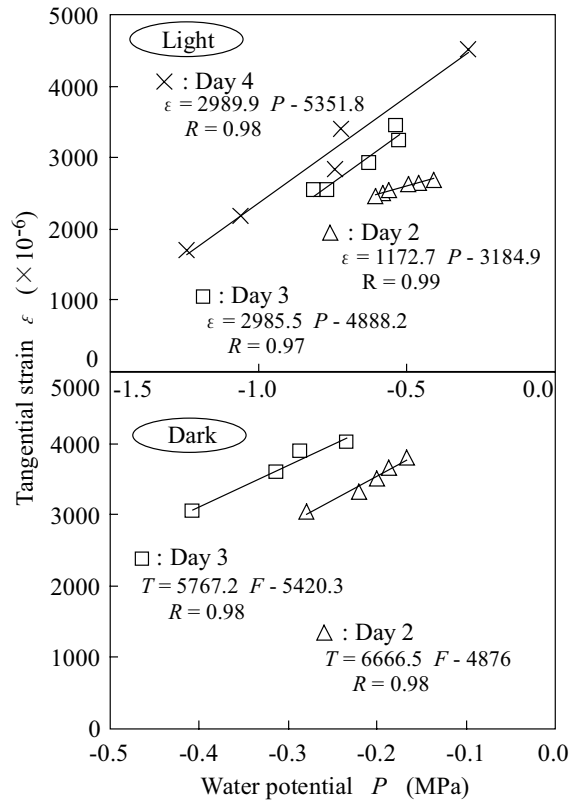


Fig. 6. 水ポテンシャル ( $P$ ) と接線方向のひずみ量 ( $\epsilon$ ) との関係。

凡例: 実線: 回帰直線。

量の算出方法は、Fig. 3 でえられたそれぞれの日変動のグラフを、時間で積分して求めた。なお、樹体内に保持された水分量の値は、マイナスの値を水分欠損量とし、プラスの値を水分保持量とした。

その結果、 $T$  の総量に対する  $F$  の総量は、2 日間の平均で

Zone  $A_1$ : 約 0.65 倍, Zone  $A_2$ : 約 1.07 倍,

Zone  $B_1$ : 約 4.4 倍, Zone  $B_2$ : 約 1.1 倍

であった。Zone  $A_2$  と Zone  $B_2$  のにおける両者の比がほぼ 1 であることから、Zone  $A_1$  で生じた水分欠損量は、Zone  $B_1$  で概ね補給されたと考えられる。

各区分における  $F$  の総量の値を比較すると、暗運転時の  $F$  の総量は、明運転時のそれと比較してそれぞれ約 9.7% (Zone  $B_1$ : 約 8.3%, Zone  $B_2$ : 約 1.4%) であった。すなわち本研究において、消灯後、樹幹の膨潤に使用される  $F$  の総量は、明運転時のそれの僅か 1 割程度であり、逆に言えば、明運転時に樹幹内を流れ、蒸散で消費される  $F$  の総量は、暗運転時に樹幹の膨潤に使われるその約 11 倍と、かなり多いことが明らかとなった。なお、瀧澤ら(1996)の 17 年生スギ生立木を用いた実験では、明運転時の  $F$  の総量に対する暗運転時のそれとの比の値は約 8.5% (夜間前半: 6.1%, 夜間後半: 2.4%) であり、生育年数に関わらず、ほぼ同程度の値がえられた。この点については、今後更にデータの蓄積をする予定である。

上述の結果、および樹体内に保持された水分量と  $\epsilon$  との

関係を考えると, Zone B<sub>1</sub>の保持分は, 樹体が前日の状態にまで復帰するために主に使用され, その後の Zone B<sub>2</sub>の保持分が新たに樹体内に保持された水分量であると推測できる. そこで, Zone B<sub>2</sub>の6時間に着目し, εの変動から, 樹体内に保持された水分量の推測を試みた. 樹幹の横断面を近似的に円とし, また保持された水分により樹幹が同心円状に膨潤したと仮定すると, 樹幹周囲長の増大分 ΔT は次式

$$\Delta T = T \frac{\Delta \ell}{\ell} \dots\dots(1)$$

とかける. ここで, T :膨潤前の供試苗木の周囲長:53.1mm, Δℓ, およびℓ:ひずみゲージの伸び, およびゲージ長(5mm)である. なお, Zone B<sub>2</sub>における樹幹の接線方向のひずみ量(ε<sub>t</sub>)の変動は, 平均で  $\frac{\Delta \ell}{\ell} = \frac{1}{k} 555 \cdot 10^{-6}$  (k:補正係数)

であった. すなわち, 膨潤後の供試苗木の周囲長は T + ΔT となる. 膨潤前, および膨潤後の樹幹半径を R<sub>1</sub>, および R<sub>2</sub> とおき, また樹幹を簡単に円錐近似すると, 地際の樹幹半径 R<sub>1</sub>' , および R<sub>2</sub>' と, R<sub>1</sub>, および R<sub>2</sub> との関係は次式

$$R_1' \text{ (or } R_2') = \frac{H}{H-h} R_1 \text{ (or } R_2') \dots\dots(2)$$

とかける. ここで, H :供試苗木の樹高(122cm), h :ひずみゲージの設置位置(地際から15cmの位置)である.

すなわち, 樹幹の増大体積 V は,

$$V = \frac{1}{3} \left[ \pi \left\{ (R_2')^2 - (R_1')^2 \right\} \right] H \dots\dots(3)$$

とかける. k を 20%, かつ 20°Cにおける水の比重(0.99823)を考慮すると, 上式よりえられた増大体積に相当する水分の量は, 約 0.7g であった. 一方, Zone B<sub>2</sub>における樹体内に保持された水分量は Table 1 より2日間の平均で 0.5g であった.

両結果より, 接線方向ひずみの出力値を用いた推測計算により, 新たな樹体内保持水分量を比較的精度良く推測できると思われる.

#### 4. 結 論

日長を 14 時間(明運転) / 10 時間(暗運転)に設定した人工気象室内で, 光量, 温度, 湿度, 無機養分を制御しながら 2 年生, および 3 年生のスギクローン苗木を生育し, それら苗木の針葉の水ポテンシャル, 蒸散量, 樹液流量, および樹幹の

膨潤・収縮量(内樹皮表面の接線方向のひずみ量)を測定し, それらの対応関係を詳しく調べた.

その結果, 点灯および消灯に対して, 針葉の水ポテンシャル, 蒸散量, 樹液流量, 樹幹の接線方向ひずみの順に反応が認められ, その後数時間の反応は, 前者2つの方が後者2つと比較すると, より応答が鋭敏であった. また, 光環境を切り替えた直後の蒸散量と樹液流量の変化量に, 明確な差が定量的に生じており, これらの区間で主に樹体内の水分欠損, および水分貯留が生じていることが分かった.

また, 消灯後, 樹幹の膨潤に使用される樹液流量の総量は, 明運転時のその僅か1割程度であることが明らかとなった.

さらに, 樹体内に新たに保持された水分量を樹幹の接線方向ひずみ量から計算したところ, 比較的良好な推測値がえられた.

#### 謝 辞

本研究を実施するにあたり, 独立行政法人森林総合研究所内の人工気象室を使用させていただいた. ここに記して謝意を表する.

#### 参 考 文 献

Abe, H. and Nakai, T. (1999): Effect of the water status within a tree on tracheid morphogenesis in *Cryptomeria japonica* D. Don. *Trees*, **14**: 124-129.  
 Abe, H., Nakai, T., Utsumi, Y., and Kagawa, A. (2003): Temporal water deficit and wood formation in *Cryptomeria japonica* *Tree Physiology*, **23**: 859-863.  
 D. B. B. Powell. (1974): Some effects of water stress in late spring on apple trees, *J. hort. Sci.*, **49**: 257-272  
 Hosoo, Y., Yoshida, M., Imai T., and Okuyama, T. (2002): Diurnal difference in the amount of immunogold-labeled glucomannans detected with field emission scanning electron microscopy at the innermost surface of developing secondary walls of differentiating conifer tracheids. *Planta*, **215**: 1006-1012  
 Hosoo, Y., Yoshida, M., Imai T., and Okuyama, T. (2003): Diurnal difference in the innermost surface of the S2 layer in differentiating tracheids of *Cryptomeria japonica* corresponding to a light-dark cycle. *Holzforschung*, **57**: 567-573

Table 1. 一日当たりの蒸散量の総量と樹液流量の総量.

	Day 2				Day 3			
	Light		Dark		Light		Dark	
	9:00~11:00	11:00~23:00	23:00~3:00	3:00~9:00	9:00~11:00	11:00~23:00	23:00~3:00	3:00~9:00
Cumulative transpiration (g)	42	353	9	6	42	343	6	4
Cumulative sap flow (g)	26	377	36	5	29	363	30	6
Maintenance in the sapling (g)	-16	24	27	-1	-13	20	24	2

Maintenance in the sapling = cumulative sap flow - cumulative transpiration.

Kozłowski, T. T. (1972): Shrinking and swelling of plant tissue. In water deficit and plant growth, vol.3, Plant response and control of water balance. Kozłowski, T. T. (ed), 368pp, Academic Press, New York, San Francisco, London, 1-64.

村本健, 中井毅尚, 安部久, 中尾哲也 (2003): スギ苗木の樹液流量と樹幹の膨潤・収縮挙動との関係, 島根大学総合理工学部紀要, **37**: 109-114

Liming, F. G. (1957): Homemade dendrometers. *J. For.*, **55**: 575-577.

Nakai, T., Abe, H. (1997): Measurements of the bioelectrical potential of a Japanese oak (*Quercus crispula* Blume) sapling *Mokuzai Gakkaishi*, **43**: 518-520.

Nakai, T., Abe, H. (1998): Measurements of the bioelectrical potential of a Japanese oak (*Quercus crispula* Blume) sapling: effect of the radial distribution of inorganic within a tree stem on the diurnal change in resting potential *J. Wood Sci.*, **44**: 249-254.

Okuyama, T., Yoshida, M. and Yamamoto, H. (1995): An estimation of the turgor pressure change as one of the factors of growth stress generation in cell walls. *Mokuzai Gakkaishi*, **41**(12): 1070-1078.

Palmer, J. and Ogden, J. (1983) A dendrometer band study of the seasonal pattern of radial increment in kauri (*Agathis australis*). *New Zealand J. Bot.* **21**: 121-125.

P. F. Scholander, H. T. Hammel, Edda D. Bradstrsst, and E. A. Hemmingsen (1965): Sap pressure in vascular plants, *Science*, **148**: 339-346

瀧澤 英紀, 窪田 順平, 小林 達明, 塚本 良則 (1996): スギ樹体の蒸散に関する実験的研究, 日林誌, **78** (1): 66-73

Tanaka, T., Uchida, E., Yokota, T., Hagiwara, A., Takeda, Y. (1994): Comparison between water absorption rate and sap-flow rate measured using the improved stem heat-balance method, *J. Jap. For. Soc.*, **76**(6), November.

Yoshida, M., Yamamoto, O., Tamai, Y., Sano, Y., Terazawa, M., Okuyama, T. (1999): Investigation of change in tangential strain on the inner bark of the stem and root of *Betula platyphylla* var. *japonica* and *Acer mono* during sap season *J. Wood Sci.*, **45**: 361-367

Yoshida, M., Hosoo, Y., and Okuyama, T. (2000): Periodicity as a factor in the generation of isotropic compressive growth stress between microfibrils in cell wall formation during a twenty-four hour period *Holzforschung*, **54**: 469-473