

シラベ前生稚樹の光環境と光合成生産(III)

木部圧ポテンシャルの日変化

Photosynthetic Production in *Abies veitchii* Advance Growths Growing under Different Light Environmental Conditions(III) Diurnal Fluctuation in Xylem Water Potential

松本陽介*

Yoosuke MATSUMOTO*

I はじめに

第 I, II 報 (松本, 1983 a, 1983 b) で用いた S (林内) および I (林縁) 区と, O (皆伐跡天然更新地) 区の代わりに設定した O' 区において, シラベ稚樹の木部圧ポテンシャルの日変化を調べた。木部圧ポテンシャルと照度, 気温などの気象環境要因との関係を検討し, S, I, O' 区に生育するシラベ稚樹の水ストレスが光合成生産にどの程度影響するかを推測した。

II 材料および方法

1. 材 料

O 区は, 周囲に伐採時に切り捨てられた心腐れ木や小径木が多く, 道がつけられないため, 計測装置を短時間に移動させるのが困難である。そこで, 前生稚樹が O 区と同様な生長状態を示し, 移動に便利な場所に新たに O' 区を設け, O 区の代わりとした。

S, I, O' 区でいずれも第 I, II 報 (松本, 1983 a, 1983 b) で用いた材料と似た大きさの稚樹を選び供試稚樹とした。試料は, すべて当年生枝葉で, 樹冠内の位置による違いを調べた場合以外は南側の 1~2 年生枝階から採取した。なお, S 区では, 当年生枝葉の部分だけでは, 計測試料としてやや小さいことがあり, 試料に 1 年生枝葉の一部を含めた場合もあった。

同一供試稚樹からの試料の採取は, 2~4 点を限度とし, 同一時間に計測する試料は, 別々の個体から採取した。供試稚樹数は, 各区ともおよそ 90 個体である。

* 東京大学農学部林学科

Department of Forestry, Faculty of Agriculture, University of Tokyo.

2. 方 法

木部圧ポテンシャルの計測は、プレッシャー・チェンバー法 (SCHOLANDER et al., 1965) によった。

プレッシャー・チェンバー法による計測は、いずれも切断後10秒程度以内に行なった。調べた期間は、1980年7月22日～28日と8月17日～21日の計12日間である。各区とも1日に6～8回程度(雨の日は数回)、毎回3～5試料を用いて日変化を調べた。なお、木部圧ポテンシャルの樹冠位置による違いを調べるため、7月27日と8月18日にO'区で枝階別、方位別の計測を実施した。この両日のSおよびI区の日変化は計測しなかった。

III 結果および考察

1. 樹冠内の位置と木部圧ポテンシャルの日変化

図-1は、O'区の稚樹について、樹冠内の異なる高さから試料を取って木部圧ポテンシャルの日変化を調べた結果である。梢端より1年生枝階までを高位置、3～4年生枝階を中位置、6年生枝階以下を低位置とした。木部圧ポテンシャルの最低値の出現が、7月27日は高位置で11時ごろ、中・低位置では14時ごろであったが、8月18日はいずれも11時ごろであった。日最低値の高さによる差は、7月27日はほとんどなく、8月18日には高位置と中・低位置の間に約1.5barみられた。しかし、同じ高さでの毎回の計測値のバラツキは、たとえば7月27日の11時には、高、中、低位置とも±3barであり、図-1における日最低値の差程度では、有意とはい

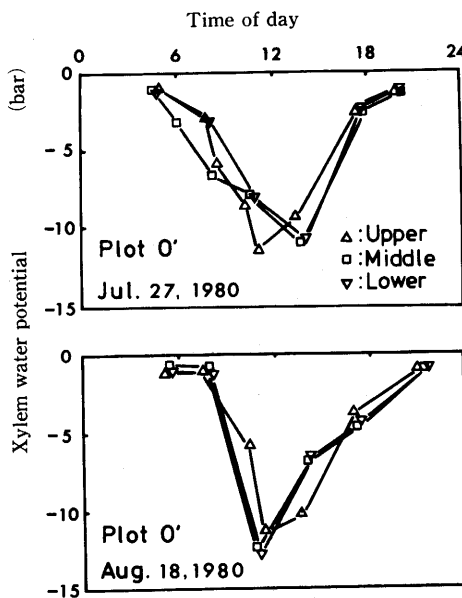


図-1 O'区における樹冠内の高さとも木部圧ポテンシャルの日変化

Fig. 1 Diurnal fluctuations in xylem water potential at different heights of the crown in the open plot (Plot O')

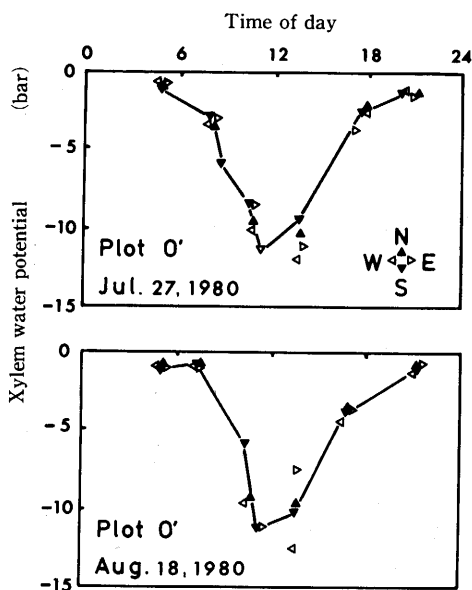


図-2 O'区における樹冠内の方位と木部圧ポテンシャルの日変化

Fig. 2 Diurnal fluctuations in xylem water potential at different directions of the crown in the plot O'

えない。

大きな木での木部圧ポテンシャルの差としては、たとえば SCHOLANDER et al. (1965) が上下差約50mの枝葉で5bar、森川・佐藤 (1976) が上下差4mで2barの例を報告している。ここで調べた上下差80cm程度の稚樹では、木部圧ポテンシャルの高さによる差はあまりないと考えられる。

図-2は、O'区の樹冠内で、木部圧ポテンシャルの日変化の方位による違いを調べたものである。木部圧ポテンシャルの日変化は、方位に関係なく比較的よく一致しており、日最低値もほぼ等しい。

日最低値に達した時刻は、7月27日が南で11時、そのほかの方位で13時半、8月18日が東および南で11時、そのほかで13時半である。8月18日には西が東よりも遅れたが、7月27日にはそうした傾向が見られない。計測の精度や計測値のバラツキを考慮すれば、これらを明確な差として認めることはできないと思われる。

KLEPPER (1968) は、樹冠の東西にある葉の木部圧ポテンシャルの日最低値の時刻に差があることを報告している。また、佐藤・森川 (1976) は、斜面方位の異なるスギ林分で調べた結果から木部圧ポテンシャルの日変化の時間的ズレは、受光の時間的ズレに起因するとしている。ここでの測定対象は、樹高1.5m内外の、樹冠が小さく疎な稚樹なので、樹冠の方位による光環境の差も少なく、木部圧ポテンシャルにも差が生じなかったものと考えられる。

図-1および2に示した結果をまとめると、木部圧ポテンシャルは、シラベ稚樹の樹冠内のどの位置でも、非常によく似た日変化をするといえよう。

2. 木部圧ポテンシャルの日変化と照度

図-3および4は、全測定期間の木部圧ポテンシャル、照度および気温の日変化を示したものである。S、I、O'区とも木部圧ポテンシャルの日変化は、晴れの日大きく、雨の日は小

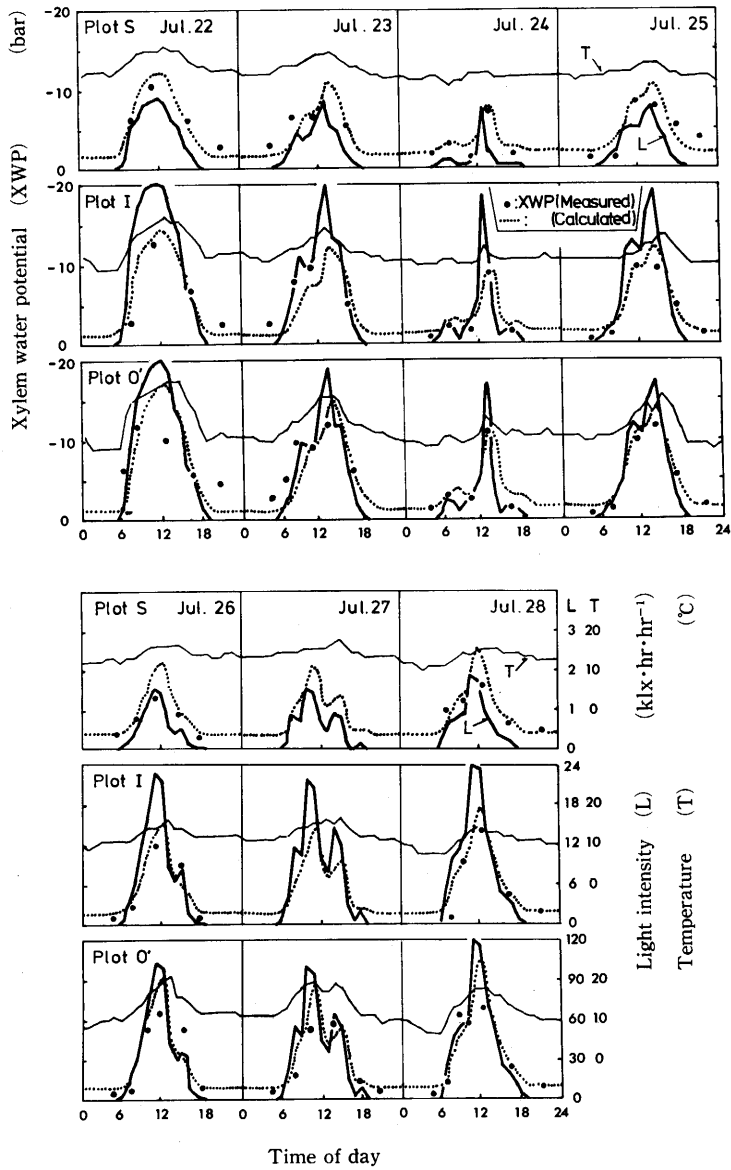


図-3 7月22日から28日までの木部圧ポテンシャルの日変化

Fig. 3 Diurnal fluctuations in xylem water potential in the shaded plot (Plot S), intermediate plot (Plot I), and open plot (Plot O') on Jul. 22 to 28, 1980

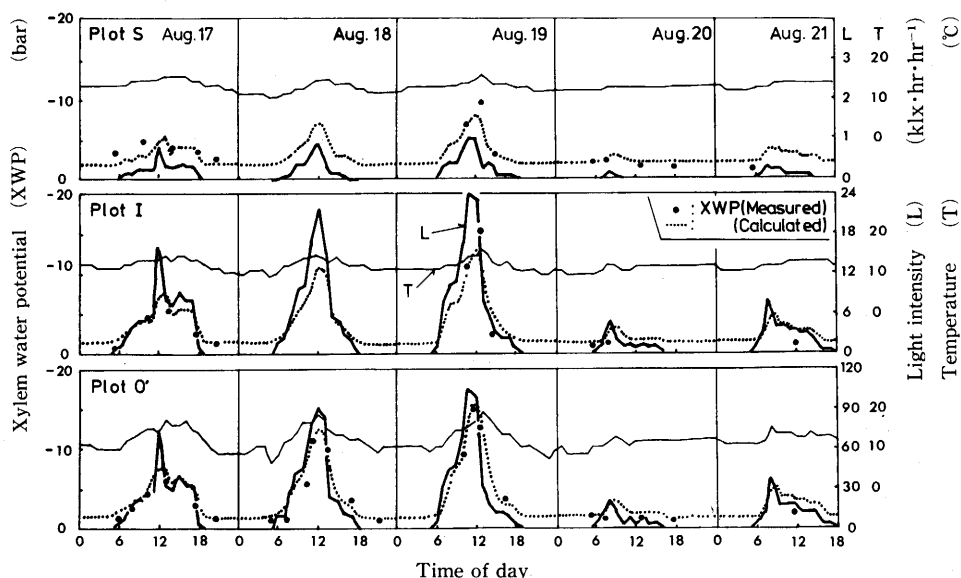


図-4 8月17日から21日までの木部圧ポテンシャルの日変化

Fig. 4 Diurnal fluctuations in xylem water potential in the plots S, I, and O' on Aug. 17 to 21, 1980

さい。図-4の8月20日と21日は、雨のため(表-1参照)木部圧ポテンシャルは終日あまり変化しない。これに対し、たとえば図-3の7月22日は晴れのため、大きく日変化している。晴れまたはくもりの日の木部圧ポテンシャルの一般的な日変化は、低下が日の出とともに始まり、6時~9時にかけて急激になる。正午前後に木部圧ポテンシャルの日最低値に達し、午後にはゆっくり上昇に向う。夜間はさらにゆるやかに上昇を続け、明け方に最高となる。なお、図-3および4では木部圧ポテンシャルの日変化を、照度および気温と対比しやすいように、絶対値の大小で示した。

木部圧ポテンシャルの日変化は、図-3および4に明らかなように、照度や気温の日変化とよく対応した傾向を示し、これらの気象要素との関係が深い。照度あるいは気温は、大気の水蒸気飽差と正の相関関係がある場合が多く、したがって蒸散速度とよく対応する。蒸散によって生じる樹体内の水分欠差と木部圧ポテンシャルは密接な関係があるので、照度や気温は木部圧ポテンシャルの変化に大きな影響をあたえることになる。

たとえば、図-3の7月24日の午前中は、霧から雨の天候であったが、13時ごろから約1時間ほどは晴れて急激に照度が増加した。このため蒸散速度が一時的に急増したと思われ、木部圧ポテンシャルは一時的に低下した。しかしその後、天候はふたたび曇りから雨となり、木部圧ポテンシャルは、数時間のうちに高いレベルに回復した。図-3においては7月19日から晴天が続いたため、7月22日~23日の夜間の最高値は、いずれの区でも低い。7月24日の降雨

表-1 木部圧ポテンシャルの計測時刻と天候

Table 1 Weather conditions and times of measuring xylem water potential

月/日 Month/day	時刻と天候* Time of day and weather condition*							
7/22	6:35	8:30	10:25	13:05	16:45	21:00		
	Clear	Clear	Clear	Fine	Fine	Fine		
7/23	4:25	6:30	8:40	10:35	12:40	16:20	21:30	
	Cloudy	Cloudy	Cloudy	Cloudy	Fine	Fine	Rain	
7/24	4:35	6:55	10:35	13:10	16:30	21:30		
	Cloudy	D. fog	Rain	Fine	Rain	Rain		
7/25	4:25	7:55	11:15	14:00	17:00	21:20		
	Rain	D. fog	Fine	Fine	Fine	Fine		
7/26	4:45	7:30	9:25	10:10	14:55	17:25		
	Fog	Cloudy	Fine	Fine	Cloudy	Rain		
7/27	4:45	8:00	8:30	10:30	11:10	13:40	17:45	20:15
	Rain	Fine	Fine	Cloudy	Fine	Cloudy	Rain	Rain
7/28	4:30	7:05	8:40	10:00	12:10	16:20	20:55	
	Fine	Cloudy	Cloudy	Cloudy	Fine	Cloudy	Cloudy	
8/17	5:10	7:50	10:10	13:00	17:15	20:25		
	Cloudy	Cloudy	Rain	Rain	Rain	Rain		
8/18	5:05	7:35	10:15	11:05	13:30	16:55	21:00	
	Cloudy	Cloudy	Cloudy	Cloudy	Cloudy	Cloudy	Cloudy	
8/19	10:00	11:10	12:30	14:20				
	Fine	Fine	Fine	Rain				
8/20	5:00	7:10	12:15	17:20				
	Rain	Fog	Rain	Rain				
8/21	11:35							
	Rain							

* Clear: 快晴 Fine: 晴れ Cloudy: 曇り
 Fog: 霧 D. fog: 濃霧 (小雨) Rain: 雨
 (Deep fog)

および27日までの霧や小雨の影響を受けて7月24日以降の夜間の最高値は高い。これらのことは、木部圧ポテンシャルが、大気中への蒸散速度と土壌からの吸水速度のバランスによって決まることを示している。

ここで木部圧ポテンシャルの日変化が照度や気温の日変化と比較的よく対応するので、両者の関係を調べた。第I報(松本, 1983a)で明らかにしたように、亜高山帯では、気温は日射(可視光波長帯日射量を照度へ近似変換している)の影響を強く受けて変動する。そこで、照度だけを取りあげて木部圧ポテンシャルの関係を検討する。

O区の7月22日から28日までの木部圧ポテンシャルの全計測値と計測時の照度の関係を図-5に、午前と午後を区別して示した。図-3および4のように木部圧ポテンシャルは、照度の変化に対してわずかな時間的遅れをもった日変化を示している。それゆえ、木部圧ポテンシャルの計測時点の照度との関係では午前と午後の値がわずかではあるが分離する傾向が認め

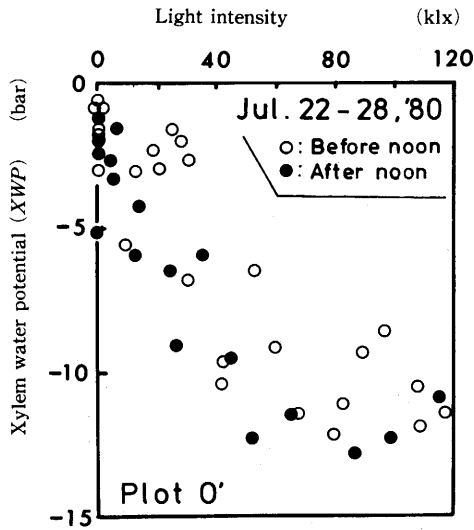


図-5 O'区における計測時の照度と木部圧ポテンシャル

Fig. 5 Xylem water potential in relationship to light intensity measured simultaneously in the plot O' on Jul. 22 to 28, 1980

られ、相関も低い。

図-6は、計測の2時間前からの積算照度と木部圧ポテンシャルを対応させて示したものである。S、I、O'区いずれの調査区でも午前、午後の区別なく比較的高い負の相関関係が認められる。直線回帰式は、

$$S \text{ 区} : XWP = -1.25 \cdot L_{C2} - 2$$

$$I \text{ 区} : XWP = -0.22 \cdot L_{C2} - 1.5$$

$$O' \text{ 区} : XWP = -0.067 \cdot L_{C2} - 1.5$$

ただし、

L_{C2} : 木部圧ポテンシャル計測前2時間の積算照度 ($\text{klx} \cdot \text{hr} \cdot \text{hr}^{-1}$)

XWP : 木部圧ポテンシャル (bar)

である。なお、図-6は横軸の積算照度のスケールに合わせて各図に、他の区の回帰直線を示

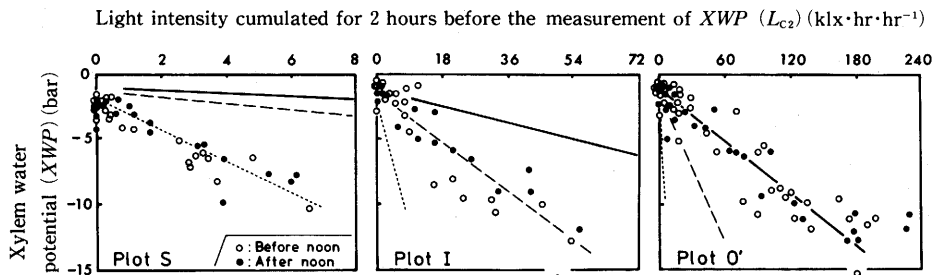


図-6 計測前2時間の積算照度と木部圧ポテンシャル

Fig. 6 Xylem water potential in relationship to light intensity cumulated for 2 hours before the measurement of XWP in the plots S, I, and O' on Jul. 22 to 28 and Aug. 17 to 21, 1980

した。

回帰式のこうばいにも明らかなように、S、I、O'区で木部圧ポテンシャルが1bar低下するときの積算照度の比は、1:5.7:18.6で、大きな区間差がある。

求めた回帰式によって、計測期間中の木部圧ポテンシャルの日変化予測値を計算し、図-3と4に示した。図-6のように回帰式は、積算照度が高くなると過少な値となるが、図-3および4において、計測値と予測値は比較的よく一致している。S、I、O'区の木部圧ポテンシャルの日変化は、比較的短い時間の照度の前歴だけで予測できるといえよう。この場合、照度は、降雨も含めた気象環境全般の指標として有用なばかりか、それぞれの区でシラベ稚樹の蒸散速度と比較的よく対応している可能性をも示すものと考えられる。

3. 生育環境と水ストレス

図-3および4においてS、I、O'区の日中の木部圧ポテンシャルを比べると、O'区が最も低く、以下I区、S区の順になる。しかし、夜間は必ずしもそうでなく、明け方の最高値は逆にS区がやや低い。また、午後の上昇はS区が他に比べゆるやかである。しかし、いずれも大きな差ではなく、S、I、O'区の木部圧ポテンシャルの日変化は、比較的よく似ている。

S、I、O'区的光環境が極端に異なるにもかかわらず、木部圧ポテンシャルの日変化がさほど違わないのは、吸水速度と蒸散速度のバランスがそれぞれの区で違わないということである。暗い区ほど大気の水蒸気飽差が小さいと考えられるので蒸散速度は低く水分欠差は小さいが、蒸散によって失なわれる水分を補給するための吸水の速度は、土壌が湿っていても低い。その結果として、明るい区と同じような木部圧ポテンシャルの値になると思われる。すなわち、生育地の環境が、暗く湿っていると根系が発達していなくてもある程度の吸水ができる。いっぽう明るく乾いていると根系が発達し、吸水能力が増加し、またクチクラ層の発達でクチクラ蒸散がおさえられるというように、それぞれの光環境に生理的機能が順応すると考えられる。

木部圧ポテンシャルが低下すると、光合成速度も低下し、この状況を水ストレスが生じたと言することができる。これまでに、木部圧ポテンシャルを水ストレスの指標と考え、木部圧ポテンシャルと光合成速度の関係を調べたものに、BRIX(1962)、HINCKLEY・RITCHIE(1972)、DYKSTRA(1974)、佐藤・森川(1976)などの研究がある。これらの結果によると、木部圧ポテンシャルが-4~-9barに低下すると、光合成速度が低下をはじめ、-15bar前後まで低下すると光合成速度が0になる。

しかし、松本ほか(1982)が、ブナ成木を対象に自然条件下で両者の関係を調べたところ、これまでの、給水を断って土壤水分を低下させて調べた場合と異なり、木部圧ポテンシャルが-15barに低下しても、光合成速度の低下はわずかであった。

この差は、実験条件の差によって気孔の開度などにちがいがあつたためと思われる。すなわち、

長い期間にわたる土壌の乾燥、吸水の低下、停止によって葉またはその近くの水ポテンシャルが -15bar 程度になるばあいには、光合成速度が気孔の完全閉鎖によってほぼ0にまで低下すると考えられる。しかし、蒸散に対する吸水の遅れから、日変化として起こった -15bar の場合には、土壌からの吸水は続いており、気孔が完全に閉鎖せず、光合成速度の低下も少ないのではなかろうか。したがって、木部圧ポテンシャルを水ストレスの指標として用いる場合、土壌の水分状態を検討に加えなければならないであろう。

本調査地は雲霧帯に位置し、6月～10月の生長の盛んな時期に土壌が極端に乾燥することはない。したがって、S、I、O'区とも日中には -10 数 bar にまで低下することがしばしばあるが、これによる光合成速度の低下は比較的少ないと推測される。さらに、IおよびO'(O)区では、伐採後10年(1980年当時)を経て、すでに、水分消費量の増大にともなう根系の発達、生理的な吸水能力の増強などの順応が進んでいると思われる。これらのことから、各区とも稚樹は水ストレスをあまり受けていないと言えよう。

要 旨

プレッシャー・チェンバー法でS、I、O'区のシラベ稚樹の木部圧ポテンシャルの日変化を調べた。

木部圧ポテンシャルの日変化には、樹冠の上下位置、方位による違いはなかった。

木部圧ポテンシャルは、晴れ、曇りの日にはいずれの区でも -15bar 前後まで低下したが、雨、霧の日には、夜間とほぼ同じ -2bar 前後にしか低下しなかった。

計測前の2時間の積算照度は、木部圧ポテンシャルの日変化に大きな影響をあたえていることがわかった。

引 用 文 献

- BRIX, H. (1962): The effect of water stress on the rates of photosynthesis and respiration in tomato plant and loblolly pine seedlings. *Physiol Plant*, 15: 10-20
- DYKSTRA, G. (1974): Photosynthesis and carbon dioxide transfer resistance of lodgepole pine seedlings in relation to irradiance, temperature, and water potential. *Can. J. For. Res.* 4: 201-206
- HINCKLEY, T. M. & RITCHIE, G. A. (1972): Reaction of mature *Abies* seedlings to environmental stresses. *Trans. Mo. Acad. Sci.* 6: 24-37
- KLEPPER, B. (1968): Diurnal pattern of water potential in woody plants. *Plant Physiol.* 43: 1931-1934.
- 松本陽介・鋤柄直純・角張嘉孝・根岸賢一郎 (1982): 立木の光合成・呼吸速度の計測システムとブナ林での計測例. *日林誌* 64: 149-154
- (1983a): シラベ前生稚樹の光環境と光合成生産(I) 季節的生長、樹冠の発達および純生産. 東大演報

73 : 199-228

—— (1983b) : —— (II) 光合成と呼吸. 東大演報 73 : 229-252

森川 靖・佐藤 明 (1976) : 幹の樹液流速と樹冠部の木部圧ポテンシャル. 日林誌58 : 11-14

佐藤 明・森川 靖 (1976) : ふたつの斜面に生育するスギ林分における木部圧ポテンシャルの日経過. 日林誌
58 : 321-327SCHOLANDER, P. E., HAMMEL, H. T., BRADSTREET, E. D. & HAMMINGSEN, E. A. (1965) : Sap pressure in
vascular plants. Science 148 : 339-346

(1983年5月31日受理)

Summary

Diurnal fluctuations in xylem water potential of *Abies veitchii* LINDL. saplings were investigated in the plots S, I and O' by the pressure chamber method on July 22 to 28 and August 17 to 21, 1980.

Diurnal fluctuations in xylem water potential were not different at any positions or directions in a crown. In each plot, the xylem water potential decreased to -15 bar on fine or cloudy days, but to only -2 bar throughout the day on rainy or foggy days.

The fluctuations in xylem water potential (XWP , bar) were closely related with the light intensity cumulated for 2 hours before the measurement of XWP (L_{C2} , $\text{klx} \cdot \text{hr} \cdot \text{hr}^{-1}$). The relations were represented by the following equations :

$$\text{Plot S} \quad : \quad XWP = -1.25 \cdot L_{C2} - 2.0$$

$$\text{Plot I} \quad : \quad XWP = -0.22 \cdot L_{C2} - 1.5$$

$$\text{Plot O'} \quad : \quad XWP = -0.067 \cdot L_{C2} - 1.5$$