

植生の蒸散過程における気孔開閉および樹体内の水移動

瀧澤英紀*・窪田順平**

Responses of Stomatal Conductance to Environmental Factors and Water Movement in Trees on Transpiration process

Hideki TAKIZAWA*, Jumpei KUBOTA**

* College of Bioresource Science, Nihon University, Fujisawa 252, Japan

** Faculty of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology, Fuchu, Tokyo 183, Japan

Abstract

The responses of stomatal conductance to environmental factors, such as solar radiation, on *Cryptomeria Japonica* in Japan and grasses in Tibetan Plateau were examined. Also, mechanism of water storage in trees with three types of xylem structures; namely, *C. japonica* (coniferous wood), *Magnolia salicifolia* (diffuse-porous wood), and *Quercus serrata* (ring-porous wood) were investigated experimentally.

The effects of environment factors on stomatal conductance varied with its location. The stomatal conductance in *C. Japonica* forest were heavily depend on solar radiation and water vapor pressure difference between atmosphere and the leaf. In the grassland on the Tibetan Plateau, the reaction to the water vapor pressure difference was significant.

The response of water uptake to transpiration differed with the relations between water storage and water potential due to pore structures.

Key words : transpiration, stomatal conductance, water storage, water potential

1. はじめに

水文・気象条件が異なる場所では植生型が異なる。この相互関係は大気-植物-土壌間の熱・水移動と物質移動の特徴である。これらは植物の蒸散と光合成過程で生じており、植物生理作用に支配される葉の気孔開閉によりCO₂とH₂Oの移動が同時に調節される。定性的には、植物は最小の水利用で、かつ葉温を適度に保ち、最適の光合成速度を得るように気孔開閉を制御するという概念がある。

本稿では、土壌から大気への水移動に関する基礎研究として、チベット高原の草地と東京のスギ林分の観測を基に、主な環境要因と葉の気孔開閉について考察する。次に、葉と連続する木部の通水・貯水機構を実験的に調べ、孔隙構造の異なる樹木の水移動特性につき考察する。

2. 気孔の反応およびコンダクタンス

蒸散は気孔内と大気の水蒸気分圧差を駆動力に生じる。気孔開度を決めるのは孔辺細胞の膨圧、すなわち孔辺細胞の膨らみ程度である。主に光合成有効放射(Q)、飽差(D)、温度(T)、細胞間隙CO₂濃度(Ci)、土壌水ポテンシャル(φ_s)、葉の水ポテンシャル(φ_i)により変化することが知られている(小杉, 1995)。単葉の蒸散速度の(1)式と環境因子を用いた気孔コンダクタンスの(2)式を示す。

$$E = \frac{g_{bw}g_{sw}(W_i - W_a)}{g_{bw} + g_{sw}} \dots\dots\dots(1)$$

$$g_{sw} = g_{swmax} \cdot f(Q) f(D) f(T) f(\phi_s) f(Ci) f(\phi_i) \dots\dots\dots(2)$$

ここで、E: 蒸散速度 (mol/m²/s), W_i: 葉面上の飽和水蒸気分圧, W_a: 大気の水蒸気分圧, g_{bw}: 水蒸気拡散の

* 日本大学生物資源科学部 〒252 藤沢市亀井野 1866, ** 東京農工大学農学部 〒183 府中市幸町 3-5-8

キーワード: 蒸散, 気孔コンダクタンス, 水貯留, 水ポテンシャル

葉面境界層コンダクタンス, g_{sw} : 水蒸気拡散の気孔コンダクタンス, g_{stomax} : 最大気孔コンダクタンス, f : 各環境因子の経験的関数であり, 0~1で変化する。

環境要因の内, 気孔を開く方向に働く孔辺細胞の膨圧増加は, 孔辺細胞の葉緑体において光エネルギーをATPに変換してカリウムイオンを孔辺細胞内に取り込む作用により起こる。一方, 他の要因は孔辺細胞の膨圧を変化させて気孔開度の微調節を行うとされる。しかし, すべての環境因子が同程度に気孔反応に関与するのではないため, これまでの研究では寄与の大きい因子の関数を組み合わせて用いることが多い。

2.1 測定方法

本研究では, 二つの地域を対象として環境要因に対する気孔の反応を調べた。第一は低温乾燥域のチベット高原の夏期における草地であり, 観測は8月下旬に行った(瀧澤ら, 1996b)。調査地では植生の種が比較的多く, その中でもよく目についたのは, *Leontopodium nanum* (Hook f. et) Hand.-Mazz. (中国における名称, 火絨草), *Arenaria bryophylla* Fernald (蘚伏雪靈芝), *Cynodon dactylon* (L.) Pers. (狗牙根)である。これらは, 高さ10cmを越えるものはほとんどなく, 直径5~50cm位の小群落で生育する。第二は温帯湿潤域の平均樹高11mのスギ(*Cryptomeria japonica* D. DON)林分であり, 観測は9月初旬の晴天日に行った。本研究では, 植物群落を一枚の大きな葉と仮定して, 蒸散をバルク式または群落コンダクタンス(群落抵抗の逆数)を含む式を用いて潜熱フラックスとして表し, 群落全体の気孔反応をそれぞれ一つのパラメータの変動として求めた。まず, 草地の潜熱フラックスを表す式は以下のバルク式で表した。

$$\lambda E = \frac{\rho C_p}{\gamma} C_H \beta_v U_{50} (e_s(T_0) - e_{50}) \dots \dots \dots (3)$$

ここで, λ : 水の気化熱, E : 蒸散量, ρ : 空気密度, C_p : 空気の定圧比熱, C_H : 顕熱フラックスのバルク係数, U_{50} : 地上50cmの風速, γ : 乾湿計定数, β_v : 蒸発効率(群落の気孔の反応を示すパラメータ), $e_s(T_0)$: 表面温度における飽和水蒸気圧, e_{50} : 地上50cmの水蒸気圧である。

植物群落の蒸散量は, 土壌面をグリースと接着剤で密閉して蒸発面を葉のみにした小型ライシメータ(直径16.8cm, 深さ7cm タッパーウェア)を地表面が周辺と同一になるように埋設し, 重量法よりもとめた。重量測定にあわせて, それぞれの表面温度を放射温度計により, また地上50cmの温度と水蒸気圧をアスマン通風乾湿計により, 日中1時間間隔, 夜間3時間間隔で測定した。風速は, 三杯式風速計を地上50cmに設置し, 10

分間平均値を自記記録した。(3)式の顕熱フラックスのバルク係数はあらかじめ決定し(瀧澤ら, 1996b), 最終的に蒸発効率 β を算出した。

次に, スギ林分の潜熱フラックスは, 地面蒸発が蒸散に比べて極めて小さいものと仮定し, 樹冠上の熱収支(4)式より求め, 群落抵抗(rc)と空気力学的抵抗(ra)を用いて(5)式と表した。群落抵抗はコンダクタンス(gc)と(6)式の関係を持つ。また, 顕熱フラックスと空気力学的抵抗には(7)式の間がある。

$$\lambda E = Rn - H - G \dots \dots \dots (4)$$

$$\lambda E = \frac{\rho C_p}{\gamma} \cdot \frac{(e_s(T_0) - e_{air})}{ra + rc} \dots \dots \dots (5)$$

$$gc = \frac{1}{rc} \cdot \frac{P}{R(T_0 + 273.15)} \dots \dots \dots (6)$$

$$H = \rho C_p \frac{(T_0 - T_{air})}{ra} \dots \dots \dots (7)$$

ここで, Rn : 純放射量, H : 顕熱フラックス, G : 地中熱流量, γ : 乾湿計定数, e_{air} : 樹冠上の大気水蒸気圧, P : 大気圧, R : 気体常数, T_0 : 表面温度, T_{air} : 樹冠上の気温である。

スギ林分の各熱収支項目は, 観測タワーにおいて純放射計と超音波風速計を用いて純放射量および渦相関法による顕熱フラックスを直接測定し, 林床面で地中熱流板で地中熱流量を測定した。なお, 本観測はすべて10分間平均値を自記記録して解析に用いた。樹冠上の気温および水蒸気圧は通風乾湿計により求め, 樹冠の表面温度は放射温度計一カ所と熱電対六カ所より平均して求めた。空気力学的抵抗は(7)式から逆算した。これらより(5), (6)式を用いて, 群落コンダクタンスを算出した。

2.2 環境因子に対する気孔の反応

一般的な植物の気孔コンダクタンスの基礎式は, 日射の増加に対して飽和型の増加曲線を示し, 水蒸気圧差の増加に対して減少曲線形を示す(小杉, 1995)。スギ林分における群落コンダクタンスと光合成有効放射量の関係を図-1Aに示す。なお, ここでは光合成有効放射量の代わりに日射量(Wm^{-2})として表した。温帯湿潤域のスギでは日射の増加に対して $200 Wm^{-2}$ 以上において飽和する曲線形を示した。図-1Bに群落コンダクタンスと大気-葉面の水蒸気圧差の関係について, 日射が $200 Wm^{-2}$ 以上における観測値のみ示した。両者の関係では, 大気-葉面の水蒸気圧差約20hPa程度に変曲点をもつ減少曲線を示した。図中の点線は目安としてそれぞれ飽和曲線と減少曲線を示した。スギでは日射と水蒸気圧差に対して明確な気孔開閉反応があるといえる。図-2に葉の水ポテンシャルと群落コンダクタンスの関係を示す。一般には水ポテンシャルの低下につれてコンダクタ

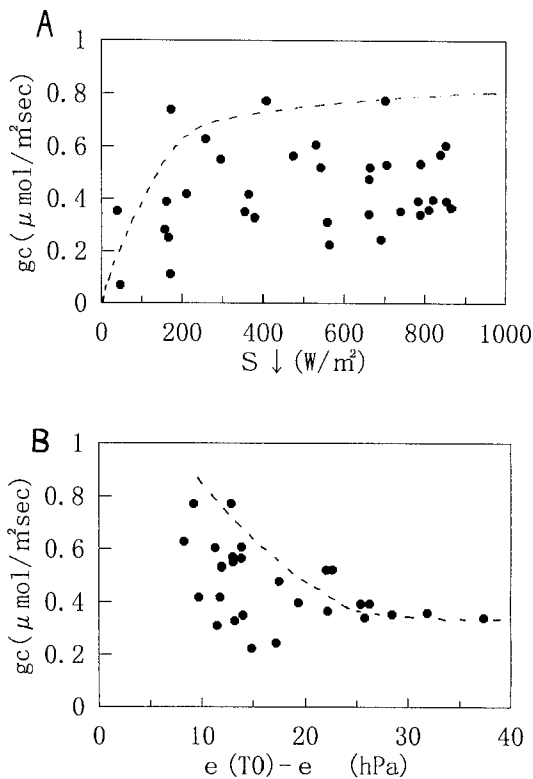


図-1 スギ林分における群落コンダクタンス (g_c) と日射 ($S \downarrow$) (図 A) および大気-葉面の水蒸気圧差 ($e(T_0) - e$) (図 B) の関係

Fig. 1 Relationship between canopy conductance (g_c) and radiation ($S \downarrow$), A, and water vapor pressure difference between atmosphere and the leaf ($e(T_0) - e$), B, in the *C. Japonica* stand.

ンスは減少する傾向を示すはずである。しかし、図からは両者の関係は認められず、両者の関係は極めて小さいと考える。

チベット高原の草地の蒸発効率 β_v と日射および大気-葉面の水蒸気圧差の関係を図-3 A, B に示す。図中の矢印と実線は観測値の順を示し、白抜き四角と点線は付着水分の蒸発と思われる時間帯の観測値を示す。白抜き四角の観測値を除いて結果をみると、日射の増加に対する β_v の増加は明確ではないが、水蒸気圧差の増加に対して β_v は 6~8 hPa と小さな値からすでに減少する傾向が認められる。これらは、気孔開閉が光合成に必要な光要因よりも、水蒸気圧差や飽差などの蒸散を増大させる因子との逆相関の関係が極めて大きいことを示唆している。Kosugi *et al.* (1995) によれば、乾燥域のカザフスタンの *Haloxylon* の林分の群落コンダクタンスは日射より

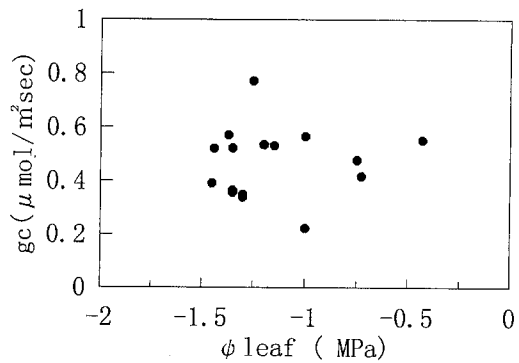


図-2 スギ林分における群落コンダクタンス (g_c) と葉の水ポテンシャル (ϕ_{leaf}) との関係

Fig. 2 Relationship between canopy conductance (g_c) and leaf water potential (ϕ_{leaf}) in the *C. Japonica* stand.

も飽差に伴う変化が大きく、また Kelliher *et al.* (1994) によれば、シベリアの *Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr. の林分でも同様に日射よりも飽差による変化が大きい。したがって、チベット高原の草地植生の β の大気要因に対する応答は、乾燥域に生育する植生の気孔コンダクタンスを表すパラメータにおける特徴の一つと考えられる。これは、低温・乾燥大気条件の調査地の植物にとって、葉温をなるべく高く保つ方向に働く。

このように、地域により植物の気孔開度を決定する環境因子の寄与率が異なり、日射と大気-葉面の水蒸気圧差が大きな影響を持ち、特に水蒸気圧差に対する気孔反応は重要であると考え。さまざまな地域の植生における気孔開閉に関する研究が、環境と植物の関係を明らかにする上で必要であると考え。

3. 樹体の通水・貯水機構の重要性

上述の大気-葉面の水蒸気圧差の増大が葉の水ポテンシャルを低下させずに気孔開度を小さくさせたのは、孔辺細胞に直接に膨圧低下を働きかける反応である。一方、飽差などの増大による蒸散増加が葉の水ポテンシャルを低下させて気孔開度を小さくさせること、また土壌水ポテンシャル低下による吸水抵抗増大が葉の水ポテンシャルを低下させて孔辺細胞の膨圧を低下させることなどは、フィードバック反応である。前者の反応や光合成有効放射、温度、細胞間隙 CO_2 濃度などは気孔のみで生じる反応時間が数分内の時間スケールの短い現象である。一方、フィードバック反応や土壌乾燥過程において生じる気孔反応などは、短期の観測などでは解明できない時間スケールの長い現象であり、かつ、大気-植物-土

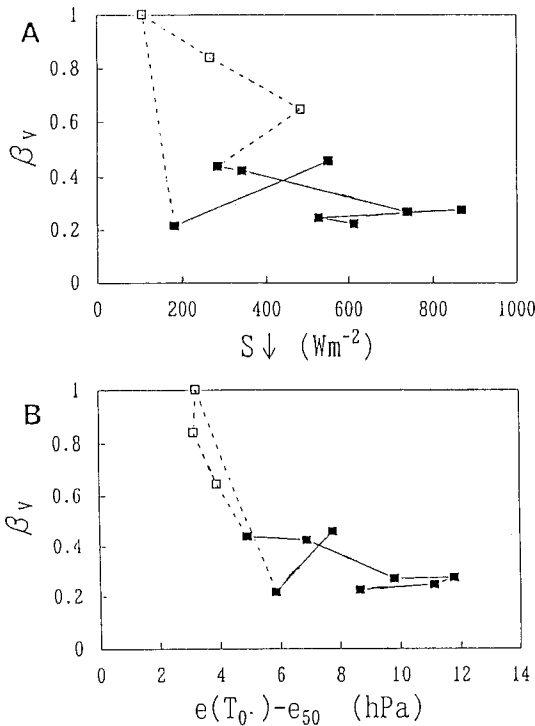


図-3 チベット高原草地の蒸発効率 (β_v) と日射 ($S \downarrow$) (図 A) および葉面と地上 50 cm の水蒸気圧差 ($e(T_0) - e_{50}$) (図 B) の関係

Fig. 3 Relationship between surface moisture availability (β_v) in the bulk transfer equation and radiation ($S \downarrow$), A, and water vapor pressure difference between atmosphere at 50 cm and the leaf ($e(T_0) - e_{50}$), B, in the grassland on the Tibetan plateau.

壤の水移動研究が必要になる。

高木樹木の特徴は、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く、樹体が蒸散過程で果たす役割が草本に比べて大きいことである。そこで、樹体に水貯留機能があるのか、樹体の水ポテンシャルと水貯留にはどのような関係があるのか調べた。

3.1 測定方法

材料は、仮道管を持つスギ、散孔材のタムシバ (*Magnolia salicifolia* Maxim.), 環孔材のコナラ (*Quercus serrata* Murray) とした。試料木の樹体地上部の形状を表-1 に示す。

樹体地上部は葉部、枝部および幹部から構成される。さらに試料木の場合では、幹部は辺材部と心材部に分けられ、枝部は全て辺材部であった。ここで、幹とは主幹およびそれに連続して樹冠頂端まで達する 0 次枝のこと

であり、枝とはそれ以外のシュートをさす。スギ、タムシバの樹体は、葉部、および辺材部だけの幹枝部に分割し、コナラでは葉部、および辺材と心材を合わせた部分の幹枝部に分割し、それぞれ樹体の構成要素、すなわち水貯留場とした (瀧澤ら, 1996c)。

葉部の水分変動は、単葉の水ポテンシャルの日変動を測定し、実験終了後に P-V 曲線法により単葉の水ポテンシャルと含水率の関係を求め、算定した。また、幹枝部の水分変動や水収支は、吊り木水収支法で樹体地上部全体の水分変動を測定して、樹体地上部全体から葉部のそれらを差し引くことにより求めた (瀧澤ら, 1996a)。

実験は 2 日間にわたって行った。図-4 に実験および測定方法の概要を示す。実験 1 日目、日の出前朝 5~6 時の樹液流の最も少ない時刻に試料木を地ぎわで切断して、ロープを用いてヤグラから吊り下げた。ただし、コナラではさらに幹を 1.3 m 切断した。吊り下げ直後に幹下端を水に漬け、最初の切断面から 15~20 cm 上部を水中で再び切断し、さらに水中で吸水ポットを幹下端に取り付けた。実験は朝 6~7 時より開始し、根系部の吸水抵抗を除いた樹体地上部の水分量の日変化を調べた (実験 1)。実験 2 日目は、同様に朝 5~7 時に幹末端の吸水面をワセリンで密閉して蒸散を継続させ、気孔が閉鎖するか、それに近い状態になるまでの樹体水分の減少量を調べた (実験 2)。吊り木水収支法における測定項目は、試料重量、吸水量、葉と幹の水ポテンシャルである。

試料重量は、吸水ポットを幹下端に付けた状態でロードセルゲージにより秤量し、1 時間間隔で 20 g 単位で測定した。

蒸散速度は試料重量の減少量から 1 時間間隔で算定した。

吸水速度は吸水ポットに連結したマリOTTボトルの減水量から求めた。測定間隔は日中は平均 15 分、夜間は平均 3 時間である。

葉の水ポテンシャルはプレッシャーチャンパー法により、ほぼ 1 時間おきに樹冠先端付近の表面葉を 1 つだけ測定した。幹の水ポテンシャルは、試料木の生枝において枝葉袋かけ法により測定した。枝葉袋かけ法は、枝全体を湿った濾紙の入った感光紙保存用の袋で覆って蒸散を抑制した状態にして、葉の水ポテンシャルを測定する方法である。この方法は、蒸散が停止した枝葉の水ポテンシャルは、分枝した位置の幹の水ポテンシャルに等しいと仮定している。幹の水ポテンシャルは、スギの全実験、およびタムシバの実験 2 の期間のみにおいて測定した。スギでは 3 時間おきに、タムシバでは 1 時間おきに測定した。コナラでは樹冠を形成する高さより下で、枝葉袋かけ法に適した枝葉がなかったために測定できな

表-1 試料木の形状
Table 1 Dimensions of sample trees

	<i>C. japonia</i>	<i>M. salicifolia</i>	<i>Q. serrata</i>
Age (years)	17	82	36
D.B.H. (m)	0.10	0.09	0.17
Height (m)	8.8	8.8	11.7
Clear length (m)	4.7	5.0	6.0
Basal area (m ²)	3.95	2.79	18.2
LAI (m ² /m ²)	7.0	3.2	4.2
Height after cut (m)	8.3	8.6	10.2
Foliage			
Total leaf area (m ²)	27.8	9.0	76.3
Dry weight (kg)	1.88	0.64	6.58
Living branches			
Sapwood			
Volume (m ³)	9.1×10^{-3}	8.41×10^{-3}	1.05×10^{-2}
Dry weight (kg)	3.6	4.29	6.58
Stem			
Sapwood			
Volume (m ³)	3.77×10^{-2}	4.23×10^{-2}	7.21×10^{-2}
Dry weight (kg)	17.1	20.63	45.2
Heartwood			
Volume (m ³)	2.0×10^{-3}	—	1.51×10^{-2}
Dry weight (kg)	0.93	—	9.48

D.B.H.: diameter at breast height, LAI: total leaf area/basal area.

かった。

本研究では幹枝部の水分量を相対含水率で表すため、実験終了後に幹枝部の飽和水分量(全孔隙量)を求めた。本研究で用いた相対含水率は、スギ、タムシバでは辺材部だけの幹枝部、コナラは心材部と辺材部の幹枝部の飽和水分量を分母とし、その水分量を分子にとった、0~1の変数である。

3.2 蒸散と吸水の測定結果

各試料木の蒸散と吸水の経時変化を図-5に示す。地上部樹体に水貯留機能がある場合は、蒸散の経時曲線に対して吸水曲線の位相が遅れて生じる。

スギの実験1では、根系に吸水抵抗を持たない樹体地上部の蒸散と吸水の日変化は位相のずれがあり、蒸散速度は11時にピークとなるのに対して吸水速度は12時にピークとなり、1時間の遅れがあった。吸水面を密閉した状態の実験2では、蒸散速度は6時頃から10時頃までは実験1と同程度増加した。また11時頃から気孔閉鎖によると考えられる低下がみられ、15時でほぼ停止した。

タムシバの実験1では、蒸散と吸水の日変化には位相のずれがあり、蒸散速度は12時にピークとなるのに対して吸水速度は14時にピークとなり、2時間の遅れがあった。しかし、それぞれのピーク周辺では、ほぼ同一の速度であり、変化曲線全体と比較すると、吸水は蒸散に対してほぼ1時間の遅れがあった。実験2は吸水面を密閉した状態にもかかわらず、蒸散速度は8時頃から11時頃までは実験1と同程度増加した。また12時頃から気孔閉鎖によると考えられる低下がみられ、16時頃にはゼロではないが、極端に低下した状態となった。

コナラの実験では、実験開始前の夜間に、試料に用いる樹体表面に降雨あるいは結露による水分の付着が観測された。しかし、付着した水分量は明確ではない。このことを考慮しながら、実験の1の結果の特徴を述べる。

実験1の付着水分を含む樹体の蒸発散と吸水の日変化では、実験開始後に蒸発散が増加しても、吸水が直ちに増加することはなかった。また、それぞれのピークは11時に出現し、12時以降になると、蒸発散と吸水はほぼ同一速度で減少した。このことは、午前中の蒸発散は付着

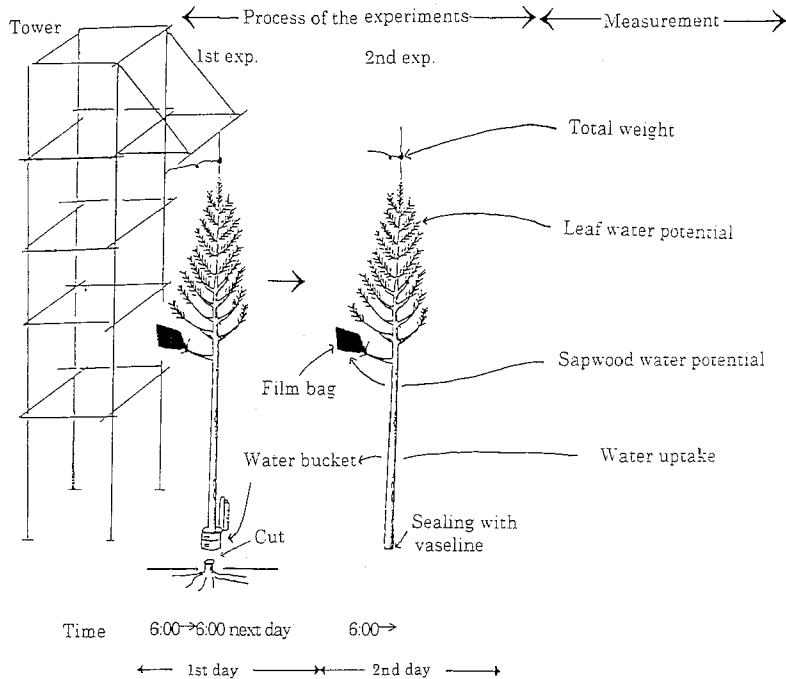


図-4 実験と測定方法

Fig. 4 Illustration of the experiments and methods.

水分の再蒸発を多く含んでおり、また、午後には樹体の付着水分がほぼ完全に消滅したために蒸発散と吸水の変化曲線の関係は明確な時間遅れを示さなかったと考えられる。すなわち、午後の蒸発散成分は蒸散のみを示すものと考えられる。

コナラの実験2は吸水面を密閉した状態にもかかわらず、蒸散速度は6時頃から8時頃までは、実験1と同程度の増加傾向を示した。また9時頃から気孔閉鎖によると考えられる低下がみられ、日中徐々に低下した。

3.3 考察

1) 蒸散に対する吸水の応答

根系部の吸水抵抗を除いた樹体地上部における蒸散に対する吸水の応答は、仮道管を持つスギ、散孔材のタムシバでは、明らかに時間遅れが存在した。一方、環孔材のコナラでは樹体の付着水分の再蒸発がほぼ消失したと思われる時点からは、蒸散と吸水の日変化はほぼ同様なものであり、蒸散に対してほとんど時間遅れなく吸水が生じたことがわかる。すなわち、コナラでは樹体の水貯留量を消失することなく、樹液流が通過していたと言える。

各試料木の最大水分変動量は、蒸散開始前の樹体重量と蒸散が最も盛んになる時の差であるが、スギとタムシバではそれぞれ相対含水率で0.04, 0.03 m³/m³、両者と

も孔隙率がおよそ70%であるから体積含水率で0.03, 0.02 m³/m³であった。この水貯留が蒸散と吸水にタイムラグをもたらしている。

2) 幹枝部の含水率と水ポテンシャルの関係

3樹種の幹枝部における相対含水率と水ポテンシャル($\phi_{s,l}$)の関係を求めた。スギの $\phi_{s,l}$ は幹の水ポテンシャルを用い、タムシバとコナラの $\phi_{s,l}$ は葉の水ポテンシャルである。図-6, A, B, Cにそれぞれスギ、タムシバ、コナラの両者の関係を示した。また、図中の記号は各実験ごとに表示した。両者の関係は、幹枝部で平均化された相対含水率に対するある一点の水ポテンシャルの見かけ上の関係である。両者の関係は土壌に置き換えれば土壌水分特性曲線に相当する。

幹枝部の含水率と水ポテンシャルの関係は、スギでは0~-0.5 MPaまでの範囲で水貯留が大きく変動し、対数曲線的な関係が存在し、タムシバでは0~-0.5 MPa, および-1 MPa以下の範囲で水貯留が大きく変動し、S字曲線的な関係を示す。一方、コナラは-1.35 MPa以上の範囲では水貯留変動が起こらず、それ以下の水ポテンシャルにおいては水貯留が大きく直線的に変動する関係が存在した。

孔隙構造が違っていると幹枝の木部において水ポテンシャルと水貯留の変動関係が異なる。樹体の水ポテンシャルと

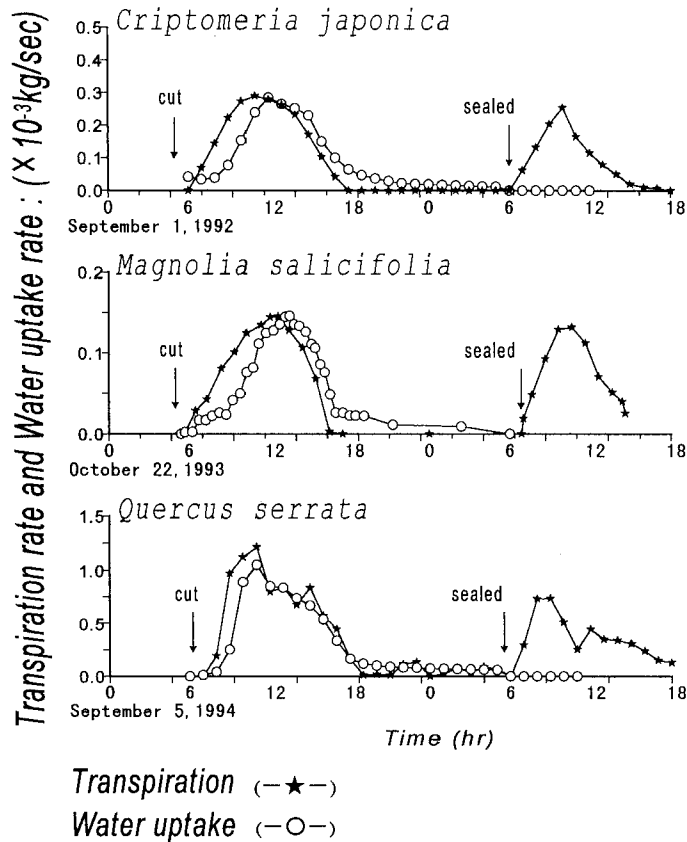


図-5 各試料木の蒸散と吸水の経時変化

Fig. 5 Variations of transpiration and water uptake in sample trees.

運動して水貯留変動が生じるのは明らかであるが、この水が木部のどの孔隙のものか、どの様に脱水して再貯水するのか、このメカニズムについてはこれからの課題であろう。

3) 水ポテンシャル低下による気孔閉鎖

実験2の吸水面を密閉して樹体貯留水のみで蒸散させると、スギとタムシバではそれぞれ-1.68, -1.52 MPa程度まで、コナラでは-3.63 MPa程度まで水ポテンシャルが低下して、気孔がほぼ完全に閉鎖した。これは、樹体にはまだたくさんの水が存在しているが、極端な水ポテンシャルの低下により気孔が閉鎖したと考えられる。これは、気孔反応のうちフィードバック反応にあたる。スギ林分の群落コンダクタンスと水ポテンシャルの関係(図-2)では明確ではなかったが、実験的に水ポテンシャルを低下させるとその反応が顕在化してくる。図-7に5月の晴天日に測定したスギの水ポテンシャルと気孔コンダクタンスの関係について、日射が160 Wm⁻²以上における値のみを示す。この観測では、枝を切断して強制的に水ポテンシャルを低下させた測定値も示した。

図-2では明確ではなかった(2)式の $f(\phi)$ の因子も葉の水ポテンシャルの低下によって気孔コンダクタンスを減少させる傾向が明確に存在する。

土壌水分減少過程では、根の吸水抵抗の増大により葉の水ポテンシャルの低下量は大きくなり、気孔コンダクタンスに対する葉の水ポテンシャルの寄与率は大きくなると考えられる。その際、幹の孔隙構造の違いによる水ポテンシャルと水貯留の変動関係が異なることが、葉の水ポテンシャル変動形態を介して気孔開閉に影響すると考えられる。これは葉だけではなく幹や枝の木部も含めた植物全体の反応であり、葉のみの蒸散研究では解明されない。土壌から大気まで含めた植物の水収支研究が必要である。

4. まとめ

本研究では、低温乾燥域チベット高原の草地と温帯湿润域日本のスギ林分において、日射および大気-葉面の水蒸気圧差などの環境要因に対する植物の気孔開度の関係を調べた。また、孔隙構造の異なる樹木の木部の通

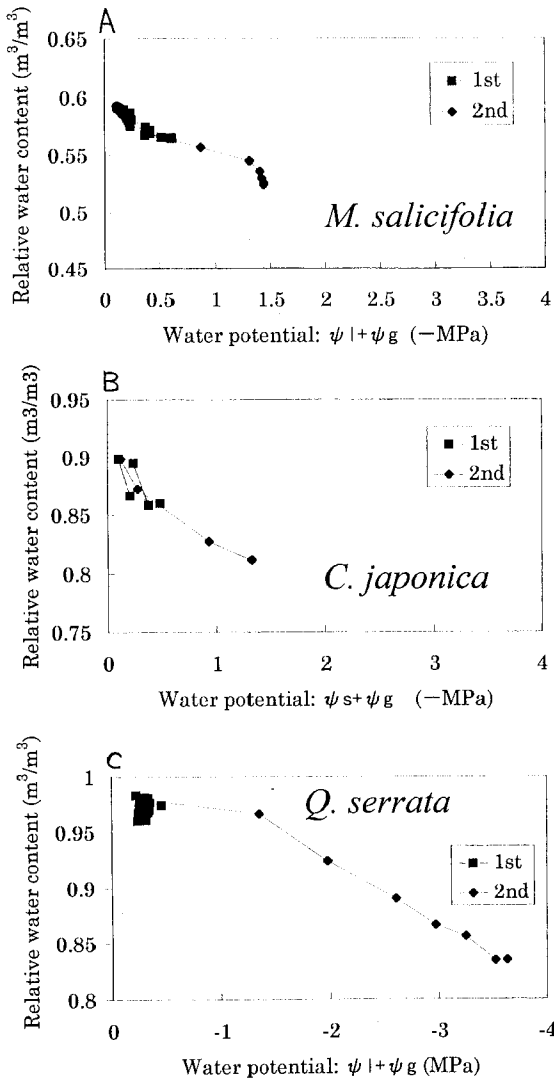


図-6 各試料木における幹枝部の相対含水率と水ポテンシャルの関係

Fig. 6 Relationship between relative water content and water potential in trunks.

水・貯水機構を実験的に調べ、植物の蒸散過程に関して以下のことを明らかにした。

地域により植物の気孔開度を決定する環境因子の寄与率が異なり、日射と大気-葉面の水蒸気圧差が大きな影響を持ち、特に水蒸気圧差に対する気孔反応は重要であると考えられる。

木部の孔隙構造が違う樹木では、蒸散に対する吸水の応答が異なる。それは、木部の水貯留と水ポテンシャルの関係が異なるためである。

スギの気孔コンダクタンスには葉の水ポテンシャルの

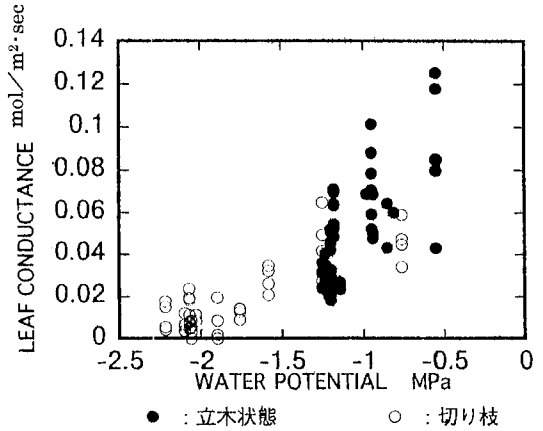


図-7 スギの単葉の気孔コンダクタンスと水ポテンシャルの関係

Fig. 7 Relationship between stomatal conductance in leaf of *C. japonica* and water potential.

減少により低下する関係が、短期間の観測では明確ではないが潜在的に存在しており、土壌乾燥過程では顕在化してくる可能性がある。

引用文献

小杉緑子 (1995) : 気孔コンダクタンスの計測とモデリング, 水文・水資源学会誌, 8 (2) : 221~230.

Kelliher, F.M., D.Y. Hollinger, E-D. Schulze, N.N. Vygodskaya, J.N. Byers J.E. Hunt and T.M. Mcseveny (1994) : Evaporation from an eastern Siberian larch forest, In "Proceedings of the International Symposium on Forest Hydrology", p. 123-130, Tokyo, Japan.

Kosugi, K., K. Nakajima, N. Ishida and Y. Fukushima (1995) : The comparison of Canopy Resistances of Irrigated and Non Irrigated Lands in the Arid District of Central Asia, In "Proceedings of The Second International Study Conference on GEWEX in Asia and Game". p. 319-322, Pattaya, Thailand.

瀧澤英紀・窪田順平・小林達明・塚本良則 (1996 a) : スギ樹体の蒸散による水貯留変動に関する実験的研究, 日林誌, 78 (1) : 66~73.

瀧澤英紀・窪田順平・小池俊雄・大畑哲夫 (1996 b) : チベット高原タングラ山脈北面の永久凍土地帯における夏期蒸発散, 水文・水資源学会誌, 9 (2) : 119~127.

瀧澤英紀・速水啓介・窪田順平・塚本良則（1996c）：蒸散による含水率と水ポテンシャルの変動，日林誌，78（3）：225～230.

受稿年月日：1997年1月10日
受理年月日：1997年3月9日