

資 料 の 部

(研究資料)

森林の全通発量測定の研究(その5)

通発率測定法の吟味*

山 岡 義 人⁽¹⁾

1. 緒 言

通発率の測定には従来いろいろの方法が用いられてきた。すなわち、STAHN²⁹⁾ のコバルト紙法、SCHRATZ²³⁾ および MINCKLER¹⁹⁾ が用いた“GASOMETRISCHE METHODE”秤量法、ポトメーター法等である。これらのうちで筆者はポトメーター法を採用することにした。なぜならば、コバルト紙法は定量測定に適しないし、“GASOMETRISCHE METHODE”は詳細にすぎて測定が煩雑になるからである。また、秤量法は従来この方面の研究者によつてしばしば用いられ、最も理想的な方法の1つであるが、長時間にわたる測定には鉢植の木を用いるの必要があり、鉢植の木を用いると鉢および土質の重量が加わつて、STOCKER³⁴⁾ もいつているように天秤の感度が積載量の増大とともに急速に減少して読み取りのために長時間植物を一定周辺条件下にさらしておく必要があるからである。ポトメーター法は厳密に言えば、枝の切口からの吸水量を測定しているのであつて、葉面からの真の通発量を測定していることにはならないが、もともとこの研究の目的は地面から森林が奪いさる水量を水分学的立場から測定することであるので、その意味からはポトメーター法がかえつて好都合なことになる。それと同時に KNIGHT¹²⁾ 13) も報告しているように、ポトメーターに現われる吸水量と真の通発量との間には大差がないから、ポトメーター法による測定値でもつて通発量を決定しても植物生理学の方面からも大過がないことになるからである。

以上述べてきたような理由で、この研究では鉢植の木を用いて枝切断前後の通発率を比較した場合を除いては、すべてポトメーター法によつたのである。ただ、佐藤²⁷⁾ もスギの切枝について実験的に示しているように、周辺条件を急変した場合等には一時的に切枝内の水分の平衡が破れ、その結果吸水の時間的遅れが生ずると考えられるから、測定値としては吸水率が大体一定になつた後の値を採用するように注意した。

もう一つポトメーター法を採用するにあつて考慮しなければならない重要な問題は、自然木からの枝の切断の影響である。この問題についても従来多くの研究者の報告があり、種々異論のある状態である。たとえば、IWANOFF⁷⁾ は枝を切断すると、水柱の吸引圧力が突然に除去されるので、通発率は一時増大するといひ、実際にも枝切断直後における通発率の上昇は、DARWIN and PERTZ⁴⁾, LAIDLAW and KNIGHT¹¹⁾, KNIGHT¹³⁾, STÄLFELT³⁰⁾ 32) 33), FIRBAS⁵⁾, KAMP⁹⁾ らの実験において現われている。しかし、逆に SCHRATZ²³⁾ のように通発率は枝切断後速やかに下降すると信じている研究者もある。また HUBER⁶⁾, STOCKER³¹⁾ 35), FIRBAS⁵⁾, PISEK and CARTELLIERI²³⁾ 24) 25), BOSIAN¹⁾, 門田³⁾ らは枝切断直後の通発率でもつて切断前の通発率を現わす方法に賛成の立場をとつている。PFLEIDERER²²⁾ はこの問題につい

* 本論文は当場の委託研究によるものである

(1) 山口大学助教授・理学博士

て批判的研究をおこなっているが、個々の測定値に対しては $\pm 20\%$ の差が現われているにもかかわらず、34 回の実験の平均値では僅かに -1.1% の差が現われているにすぎない。このように枝切断直後の通発率の値に対する研究者の学説ならびに実験結果はまちまちである。

また、ポトメーター法に対しても CURTIS²¹⁾ および LIVINGSTON¹⁵⁾ らは枝の切断を含むこの方法に不賛成の立場をとっているが、LLOYD^{16) 17)}, KNIGHT^{12) 13)} らは賛成の立場をとっている。KNIGHT¹²⁾ は鉢植の木と、その枝を切断してポトメーターに装置したものと、両者について通発率並びに気孔開度を比較測定した結果、両者が周辺条件の変化に応じて完全に一致した経過をたどることを示し、ポトメーターに装置した切枝は、時々枝の切口を切つて吸水面を新しくしてやれば、2~3 日間健康な状態で実験に供しうるとまで報告している。

このように枝切断前後の通発率の異同に対し、またポトメーター法に対しては賛否両論があるので、この研究を遂行するにあたってはまずこれらの諸点を一応吟味する必要がある。以下順次筆者がおこなった吟味の結果を報告する。報告中実験期日が相前後したものがあるのは、以前おこなった実験を再実験したり、鉢植の木のように実験資料を準備するのに暇どつたりしたためである。

2. 装置の構造と測定方法

Fig. 1 はこの実験に使用したポトメーターの構造図である。(A) はメスピペットを垂直にしたもの、(B) は水平にしたもので、前者では枝の切口に 8~25 cm の水圧がかかり、後者では終始約 5 cm の一定高さの水圧がかかることになる。これは水圧の変化が通発率に影響を及ぼすかどうかを吟味するために造つたものである。

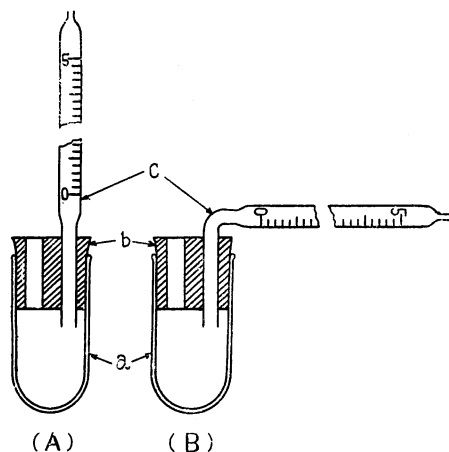


Fig. 1 使用したポトメーターの構造図
(A) メスピペット垂直型, (B) メスピペット水平型 (a) 試験管, (b) ゴム栓, (c) メスピペット。

Diagram of potometers used. (A) Vertical measuring pipette type. (B) Horizontal measuring pipette type. (a) Test-tubes. (b) Rubber stoppers. (c) Measuring pipettes.

両者とも a は深さ約 5 cm, 直径約 2.5 cm の浅いガラス製試験管で、温度変化による水の見掛けの膨張を

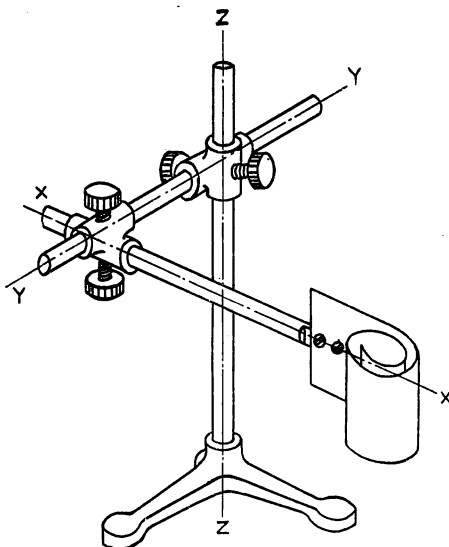


Fig. 2 スタンドの構造図
Diagram of a stand used.

できるだけ小さくするために特別に造らせた小内容積の試験管である。このおかげで水の見掛けの膨張はきわめて小さく、読み取り値を修正する必要はほとんどなかった。bはゴム栓で直径数mmの穴が2箇所あけてあり、その一方にはメスピペットcを挿入し、他方には切枝を挿入するようになっている。使用されたメスピペットの容量は、0~1 cc, 0~2 cc, 0~5 cc の3種類で、切枝の通発率の大小に応じて適宜取り替えて使用した。

自然木から切り取った枝は、直ちに水を充たしたバケツに入れ、切口をさらに5~20 cm水切してからゴム栓の穴に強く押し込み、気泡はいらないように注意してゴム栓を試験管の口に押し込むのである。

Fig. 2 はポトメーターを支持するためのスタンドである。このスタンドは直角座標軸 X, Y, Z 方向の直線移動と、それらの軸のまわりの回転運動との5つの自由度を持たせてあるから、切枝を空間の任意の位置に固定することができる。その上、X軸の一端には、図に示したような薄いブリキ板を螺旋状に巻いた保持具が固定してあるから、ポトメーターをちよつと押し込むだけで簡単に取り付けができ、しかもブリキ板の弾性によつて周囲の衝撃が直接ポトメーターに伝わるのを防いでいる。

メスピペット内の水の補給は医療用の容量5cc注射器でおこなつた。メスピペット内の水柱の高さは普通の場合5分間ごとに読み取つた。また、測定終了後は切枝の直径、葉枚数、その生重量および葉面積等の測定をおこなつた。周辺条件としては気温、関係湿度、気圧、風速ならびに輻射強度を測定した。気温は水銀寒暖計、関係湿度はランプレヒトのポリメーター、気圧は水銀晴雨計、風速は風翼式風速計、輻射強度は線番 B.S. No. 36 の銅—コンスタンタン熱電対を 131 本円筒形の紙の上に並べて造つた熱電対式輻射計を用いて測定した。もちろん、ポリメーターはおおり乾湿球湿度計により、輻射計はロビツチの日射計および銅板輻射計によつて検定して使用した。

3. 枝切断前後の通発率の比較

前述したようにポトメーターに装置した後の切枝の通発率が、自然状態における通発率と同一であるか否かの問題は重要な問題である。そこで1952年11月に山口県林業苗圃場から樹令2年のスギ(*Cryptomeria japonica*) 6本と樹令3年のクスノキ(*Cinnamomum camphora*) 5本とを貰つてきて、あらかじめ十分にパラフィンで防水した植木鉢に移し、1953年8月まで戸外で生育させた後実験に供した。そのうちスギは2本が枯れたので実験には残り4本のうち生育状態のよい2本だけを選んで用いた。クスノキは生育状態がきわめて悪く、5本とも全部葉と枝とが枯れたが、そのうち3本だけが新しく発芽して実験開始期にはかろうじて実験に供しうる程度に生育したので、そのうちから1本だけ選んで実験に供した。このほかに、地上に種をまき約2年間生育させ、その後約1年間鉢植にして育てたヤマガキ(*Diospyros kaki*) 2本を同時に実験に供した。

実験に際しては、鉢の底の穴をゴム栓で塞ぎ、充分に注水した後、上部をパラフィンで煮た木製の蓋で覆い、さらに鉢全体をビニール布で包み、その端を樹幹にしっかりと縛りつけて気密にした。これらの鉢植の木の通発率の測定には、精密天秤を改造し、一方の秤皿を除いて針金を吊り、外箱の底の穴から下方に針金を導き、これに鉢を吊り下げるようにした。かなり精密天秤としては無理であつたが、どうにかこれで±5 mg程度の感度をうることができた。実験は広さ50 m²の実験室を暗室にし、500ワット電球8個を点灯して、その輻射のもとでおこなつた。

鉢植の木は前日から実験室内に放置しておき、実験開始後は2~3時間秤量を続けて通発率がほぼ一定

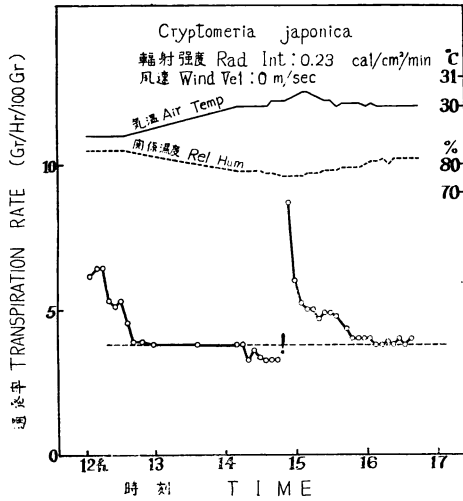


Fig. 3 幹切断前後の通発率の比較, 1953年8月13日測定, 室内実験, !印は幹切断時刻を示す

Transpiration rate before and after the severance of stem. Aug. 13, 1953, laboratory experiment. ! mark shows the instant of severance.

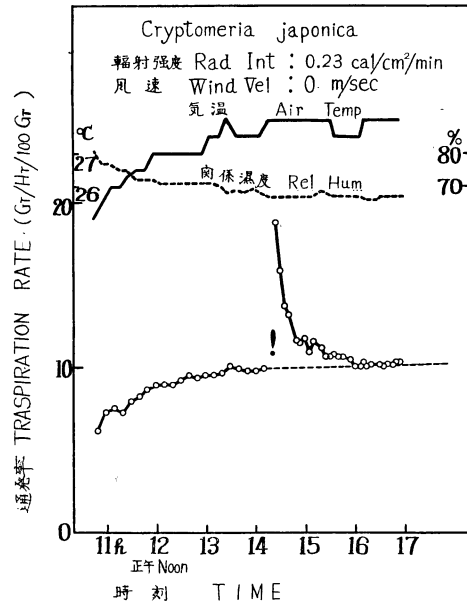


Fig. 4 幹切断前後の通発率の比較, 1953年9月10日測定, 室内実験, !印は幹切断時刻を示す

Transpiration rate before and after the severance of stem. Sept. 10, 1953, laboratory experiment. ! mark shows the instant of severance.

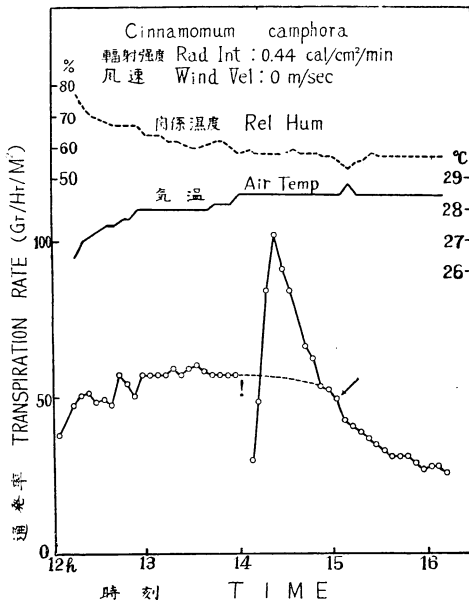


Fig. 5 幹切断前後の通発率の比較, 1953年9月18日測定, 室内実験, !印は幹切断時刻を示す

Transpiration rate before and after the severance of stem. Sept. 18, 1953, laboratory experiment. ! mark shows the instant of severance.

になった後に根元から数 cm の所で幹を切断して、手早く切口を水中に入れ、さらに約 10 cm 水切してからポトメーターに装置した。そして切断された木がちょうどその位置にくるようにポトメーターを固定してから測定を続けた。また幹を切断した後の鉢は、幹の切口に白色ワセリンをぬり、天秤にかけてその水損失率を測定し、後に通発率測定値をこれで補正した。しかし、いずれの場合にもこの水損失率は通発率に比べきわめて僅かであった。このようにして得られた5回の実験結果を Fig. 3 から Fig. 7 までに示した。各図中の!印は幹切断の時刻を示している。

Figs. 3 および 4 はスギについて、それぞれ 1953 年 8 月 13 日および同年 9 月 10 日におこなった実験結果である。Fig. 3 では幹切断後 7 分の後に通発率は幹切断前のそれよりも 163.6 % も高い値を示し、その後急速に下降して 1 時間 23

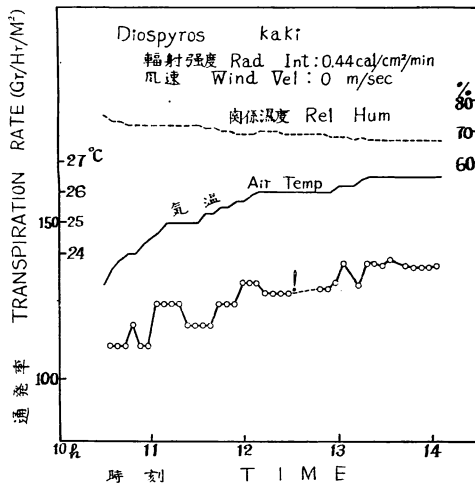


Fig. 6 幹切断前後の通発率の比較, 1953 年 9 月 22 日測定, 室内実験, !印は幹切断時刻を示す

Transpiration rate before and after the severance of stem. Sept. 22, 1953, laboratory experiment. ! mark shows the instant of severance.

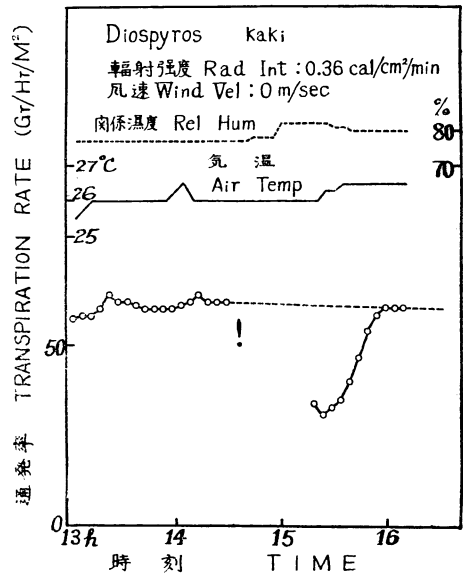


Fig. 7 幹切断前後の通発率の比較, 1953 年 9 月 24 日測定, 室内実験, !印は幹切断時刻を示す

Transpiration rate before and after the severance of stem. Sept. 24, 1953, laboratory experiment. ! mark shows the instant of severance.

分の後 (16 時 10 分) には幹切断直前の通発率に比べればなお 15.2 %高いが, 13 時から 14 時 15 分

までの値とはほぼ一致して安定している。また, Fig. 4 の場合も同様に幹切断後 5 分の後の通発率は, 幹切断前のそれよりも 88 %も高いが, 1 時間 42 分の後 (16 時 00 分) には僅か 1 %高い値を示して一定になっていることがわかる。

Fig. 5 はクスノキについて 1953 年 9 月 18 日におこなった実験結果で, 幹切断後 7 分の時刻に通発率は幹切断前のその 48.2 %低い値を示し, その後急上昇して 21 分後には 78.9 %も高い値に達し, ふたたび急下降して 49 分後にはちょうど幹切断直前の値と一致し, つづいて無制限に下降していった。そして図中矢印で示した 15 時 03 分には切枝が凋萎を開始したことが肉眼で認められた。この点における通発率は幹切断前の通発率より 13.2 %低い。このような時期にすでに凋萎が肉眼で認められたことは, KNIGHT¹³⁾ もいつているように, “凋萎は葉内含水量の僅か 1 %の減少によつてすでに肉眼で観測される” ことを裏づけしている。そして凋萎が認められた場合には, その切枝による通発率は枝切断前の通発率を表わさないことはこの結果から見ても明らかである。したがつて, 凋萎が認められた場合には直ちに実験を中止しなければならない。クスノキがこのように凋萎を開始した原因の一つとして, 苗を鉢に移した際の活着の悪かつたこと, いったん枯死しかけたものをふたたび発芽させて実験に供したことが考えられる。

Fig. 6 および 7 はヤマガキについて, それぞれ 1953 年 9 月 22 日および同年 9 月 24 日におこなった実験結果である。Fig. 6 では幹切断後の通発率は, ポトメーターの読み取りを開始した時からすでに幹切断前の通発率よりも僅か 1.2 %高い値を示し, その後時間とともに徐々に上昇している。このように

通発率が徐々に上昇した原因は、曲線全体の傾向からみて、気温の上昇のためと思われる。また、Fig. 7 では幹切断後の通発率は、15 時 23 分にいったん最下値まで下降しているが、その後急上昇して 15 時 58 分以後は幹切断前の通発率の -2.4% の値にまで接近して一定になっている。

このように幹切断後の通発率は、その過度期においては、幹切断前の通発率よりもはなはだしく大きい場合もあり、等しい場合もあり、また小さい場合もあるが、1～2 時間の後には 5 回の実験のうち 4 回までが、幹切断前の通発率の $\pm 2.4\%$ 以内に接近した値を示している。しかも幹切断前の通発率を示さなかったクスノキは幹切断後 1 時間で凋萎を開始している。このことから考えて、ポトメーターに装置した切枝は、それが凋萎しない限り、枝切断後 1～2 時間経過した後においては、幹切断前の通発率を与えるものと考えて差支えない。

ここで注意を要することは、これらの実験では幹切断後の通発率として、ポトメーターに現われた吸水量から換算した値を用いてあるので、幹切断後の過渡期においてはこの値が真の通発率を与えるかどうかは疑わしいということである。しかし、ここではその問題を論ずるのが目的でないから、便宜上通発率ということばを使用しておいた。

終りにこの実験をおこなうにあたって心よく実験資料を提供された山口県林業苗圃場の方々に感謝の意を表する次第である。

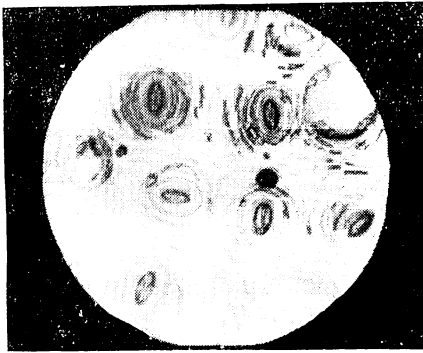
4. 気 孔 の 観 測

古くから気孔開度の観測は多くの研究者によつておこなわれてきた。そしてその観測法にもいろいろの方法がある。すなわち、古くは気孔開度を通発率の大小によつて定めようとして試みられた STAHL²⁹⁾ の cobalt chloride method および DARWIN³⁾ の horn hygroscope method 等があり、その後 LLOYD¹⁶⁾ のアルコール法、DARWIN and PERTZ⁴⁾ の porometer method、顕微鏡下で直接気孔開度を測定する LLOYD¹⁸⁾ の方法、Petroläther, Xylol, Äther, Toluene, Benzol 等を用うる浸潤法^{20) 21) 31)} 等が現われている。

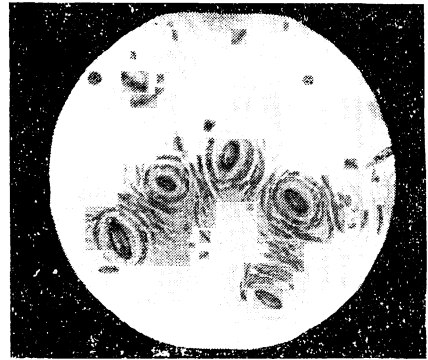
しかし、筆者はスンプ法^{10) 36)}を採用し、40～2250 倍の金属顕微鏡写真装置によつて気孔の拡大写真を撮影することによつて、クロガネモチ (*Ilex rotunda Thunbergii*) の葉の裏面の気孔の観測をおこなうことにした。この方法では一度スンプで型をとった葉の小さな部分は、薬品のために細胞が損ぜられるから、ふたたび同一個所を観測できない欠点はあるが、ある時刻における気孔の開閉状態の型をある面積にわたつて手早くとることができる便がある。すなわち、後になつてゆつくり全面にわたり気孔の状態を調べることができる。しかもこの方法によれば、Photos. 1～3 に示したようにきわめて明瞭な写真を撮影することが可能なのである。

Photos. 1～3 は 1952 年 10 月 9 日に戸外でとつたスンプ板の中の一小部分を拡大撮影した気孔写真である。実験期間中の気温は $25.0\sim 23.7^{\circ}\text{C}$ 、関係湿度は $54\sim 57\%$ 、輻射強度は $0.89\text{ cal/cm}^2/\text{min}$ 、風速は $0.3\sim 1.0\text{ m/sec}$ であつた。

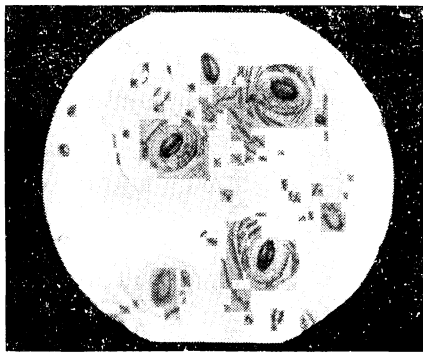
Phot. 1 (A) (B) (C) (D) は全部自然状態の枝の気孔写真、Phot. 2 (A) はすぐそれに隣接した小枝の枝切断前—すなわち自然状態下—の気孔写真である。このように自然状態下では、両方の枝の気孔は完全に開いていることがわかる。このうち Phot. 2 (A) をとつた方の枝を A. M. 11 時 15 分に切断して 2 つに分け、そのうち 1 本をもとの位置に糸で吊して水補給をせず、他の 1 本を直ちに水を入れた試験管内に切口を浸して水補給をした。Phot. 2 (B) および Phot. 3 (A) はそれらの 2 分した枝の枝切断後 15



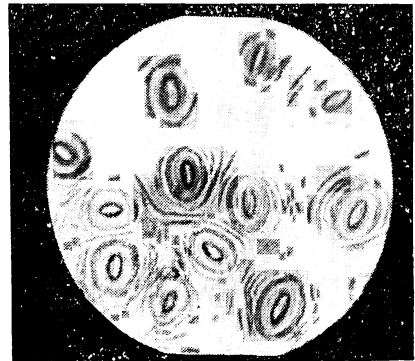
(A) A. M. 11 時 10 分, 自然状態下
(A) A. M. 11 : 10, under natural condition.



(B) A. M. 11 時 30 分, 自然状態下
(B) A. M. 11 : 30, under natural condition.

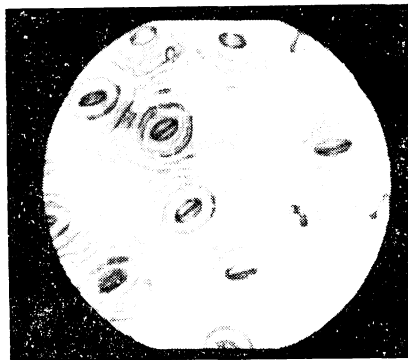


(C) A. M. 11 時 50 分, 自然状態下
(C) A. M. 11 : 50, under natural condition.

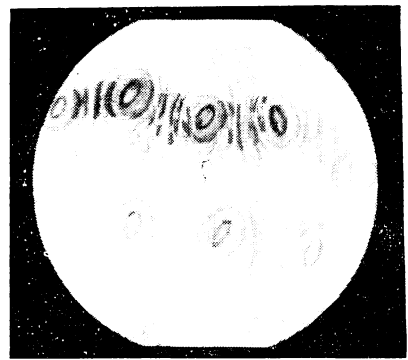


(D) A. M. 12 時 40 分, 自然状態下
(D) A. M. 12 : 40, under natural condition.

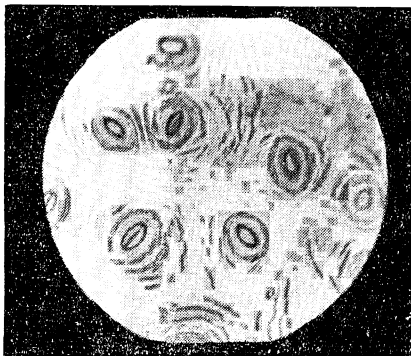
Phot. 1 自然状態下におけるクロガネモチの葉の気孔写真
1952 年 10 月 9 日 (晴) 実験, 戸外実験,
Stomata of a leaf of *Ilex rotunda Thunbergii* under natural
condition. Oct. 9, 1952 (fair), field experiment.



(A) A. M. 11 時 10 分, 枝切断5分前,
自然状態下
(A) A. M. 11 : 10 (5 min. before severance),
under natural condition.

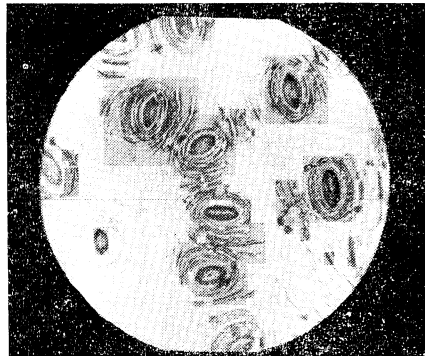


(B) A. M. 11 時 30 分, 枝切断15分後,
水を補給せず
(B) A. M. 11 : 30 (15 min. after severance),
cut shoot without water-supply.



(C) A. M. 11 時 50 分, 枝切断 35 分後,
水を補給せず

(C) A. M. 11 : 50 (35 min. after severance),
cut shoot without water-supply.

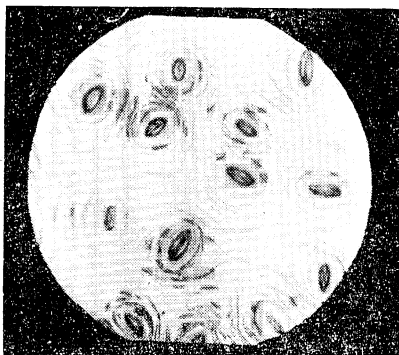


(D) A. M. 12 時 40 分, 枝切断 85 分後,
水を補給せず

(D) A. M. 12 : 40 (85 min. after severance),
cut shoot without water-supply.

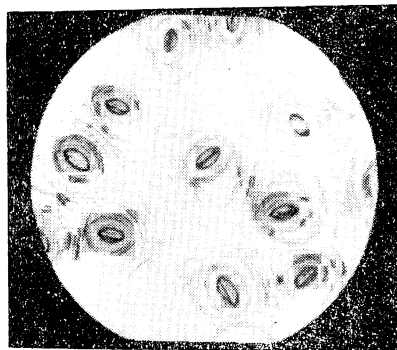
Phot. 2 クロガネモチの葉の気孔写真, A. M. 11 時 15 分
枝切断, 1952 年 10 月 9 日 (晴) 実験, 戸外実験,

Stomata of a leaf of *Ilex rotunda Thunbergii*, Severed at A. M.
11 : 15, Oct. 9, 1952 (fair), field experiment.



(A) A. M. 11 時 30 分, 枝切断 15 分後,
水を補給す

(A) A. M. 11 : 30 (15 min. after severance),
cut shoot with water-supply.



(B) A. M. 12 時 40 分, 枝切断 85 分後,
水を補給す

(B) A. M. 12 : 40 (85 min. after severance),
cut shoot with water-supply.

Phot. 3 クロガネモチの葉の気孔写真, A. M. 11 時 15 分,
枝切断, 1952 年 10 月 9 日 (晴) 実験, 戸外実験,

Stomata of a leaf of *Ilex rotunda Thunbergii*. Severed at A. M.
11 : 15, Oct. 9, 1952 (fair), field experiment.

分における気孔写真, Phot. 2 (C) は水補給をしない方の枝の 35 分後の気孔写真, Phot. 2 (D) および Phot. 3 (B) は 85 分後の気孔写真である。ただし, 水補給をした方の枝では枝切断後 35 分における気孔写真はとらなかつた。また, Phot. 1 (B) (C) (D) はそれぞれの時刻における自然状態下の枝の気孔写真を比較のために示したものである。

これら三者を比較すると, 水補給をしなかつた切枝は Phot. 2 でわかるように, 枝切断後次第にその気孔開度を減じてゆき, 85 分後にはほとんど完全にその気孔を閉じてしまった。この枝については肉眼でも枝切断後 35 分のころにすでに葉が凋萎を開始したことが認められた。これに反して水補給をおこな

つた方の切枝の気孔は、Phot. 3 (A) (B) のように最後まで自然状態の枝 (Phot. 1 参照) と同様に完全に気孔が開いていて健全であることがわかる。

このように、ここでもまた切枝が凋萎を開始しないかぎり、ポトメーターに装置した切枝は健全な状態で実験に供しうることがうかがわれる。

5. 枝切断法の検討

以上述べたように、二、三の注意さえすれば、ポトメーター法は通発率の測定に有効に役立つことがわかった。そこで、次におこってくる問題は、枝を切断してからポトメーターに装置するまでにいかように切枝を取り扱つたら最も簡便かつ有効であるかという問題である。すなわち、枝を水切る必要があるか、空气中で切断したままでよいか、または空气中で切断した切枝をさらに水切る必要があるか、樹種によつてこれらの効果がどのように異なるかの問題である。これを吟味するために、筆者は常潤、落潤および針葉にわけて、ヤマモモ (*Myrica rubra* SIEB. et ZUCC.), ニセアカシア (*Robinia pseudacacia* L.), マキ (*Podocarpus macrophyllus* D. DON.), クロマツ (*Pinus Thunbergii* Parl.) およびスギ (*Cryptomeria japonica* D. DON.) の5種類の樹種を選んだ。そして枝の切断には鋭い剪定鋏を用い、水切、空気中切、空気中切の後水切の3方法による切枝の通発率の異同を同一周辺条件下で比較してみた。Figs. 8 ~13 がその結果である。

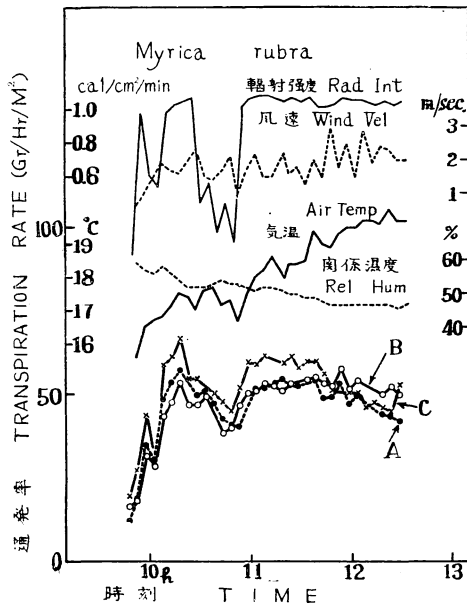


Fig. 8 異なつた枝切断法による通発率の比較, 1952年10月12日(晴時々曇)測定, 戸外実験, Aは水切, Bは空気中切の後水切, Cは空気中切

Transpiration rates of cut shoots treated by different way. Oct. 12, 1952 (fair, occasionally cloudy), field experiment. A, cut under water. B, cut under water after severance in air. C, cut in air.

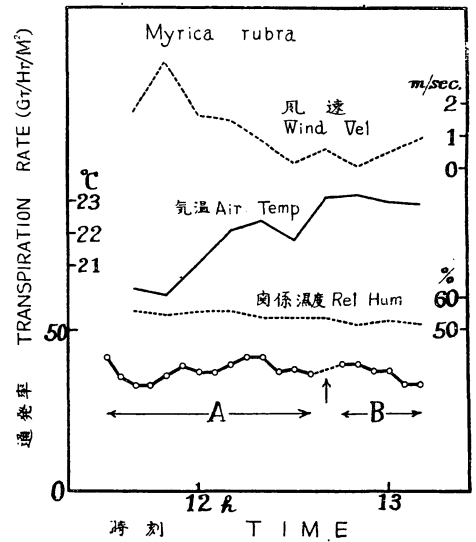


Fig. 9 同一枝について切断法をかえた場合の通発率の比較, 1951年10月31日(晴)測定, 戸外実験, Aの部分は水切, Bの部分は空気中切

Transpiration rate of same cut shoot when treated by different way. Oct. 31, 1951 (fair), field experiment. Part A, cut under water. Part B, cut in air.

Figs. 8 および9は、それぞれ 1952 年 10 月 12 日および 1951 年 10 月 31 日にヤマモモについて戸外でおこなった実験結果である。Fig. 8 の曲線Aは水切したもの、Bは空気中で切断し、1秒後にさらに切口から 6 cm 上方を水切したもの、Cは空気中で切断し、1秒後にそのままポトメーターに装置したものの通発率の時間的経過を示す。一見してわかるように三者の通発率には著しい差が認められない。また、Fig. 9 は水切した切枝をポトメーターに装置し、約1時間通発率の測定を続けてから、矢印の時刻（12 時 40 分）に切口から数 cm 上方を空気中で切断し、切口を1秒間空気中にさらした後にふたたび同一のポトメーターに装置して通発率の測定を継続した結果である。曲線Aの部分の方が前者で、Bの部分の方が後者である。この場合にもまた両部分の通発率の値には著しい差異が認められないことがわかる。また、これと反対に空気中で切断した切枝を、途中で水切した場合にもほとんど差異が認められなかつた。なお、空気中で切断後 10 秒間も経過した切枝でさえ、ポトメーターに装置した後においてなお満足な通発率の値を示すことも認められた。このようにヤマモモの切枝の取り扱い方はきわめて容易であることがわかつた。しかも図より明らかなように、ポトメーターに装置した切枝は、少なくとも 2~2.5 時間健全であり、実際には 5~6 時間健全に保つことは容易であることもわかつた。

Figs. 10~13 は、それぞれ ニセアカシア、マキ、クロマツおよびスギについて戸外でおこなった実験結果である。いずれの図においても曲線Aは水切したもの、Bは空気中で切断し、1秒後にさらに切口の上方数 cm ないし十数 cm の所を水切したもの、CおよびDはともに空気中で切断した後、それぞれ 1 秒

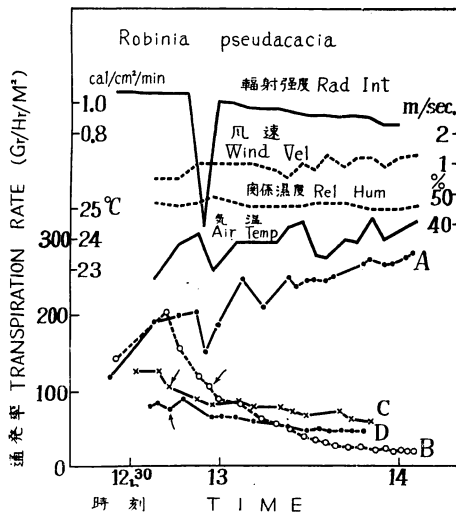


Fig. 10 異なる枝切断法による通発率の比較
1952 年 10 月 28 日（晴時々曇）測定、
戸外実験、Aは水切、Bは空気中切の後
水切、CおよびDは空気中切

Transpiration rates of cut shoots treated by different way. Oct. 28, 1952 (fair, occasionally cloudy), field experiment. A, cut under water. B, cut under water after severance in air. C and D, cut in air.

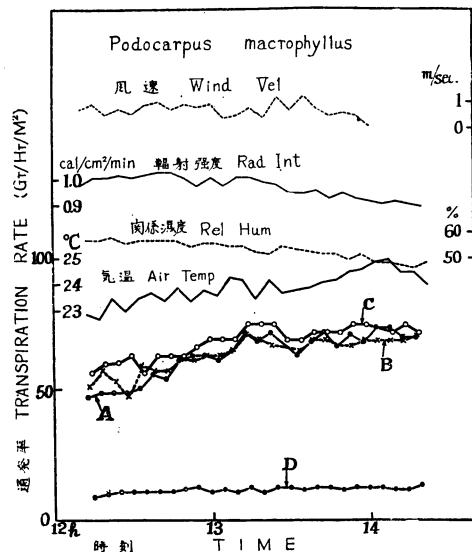


Fig. 11 異なる枝切断法による通発率の比較
1952 年 10 月 20 日（快晴）測定、戸外
実験、Aは水切、Bは空気中切の後水切、
CおよびDは空気中切

Transpiration rates of cut shoots treated by different way. Oct. 20, 1952 (fair), field experiment. A, cut under water. B, cut under water after severance in air. C and D, cut in air.

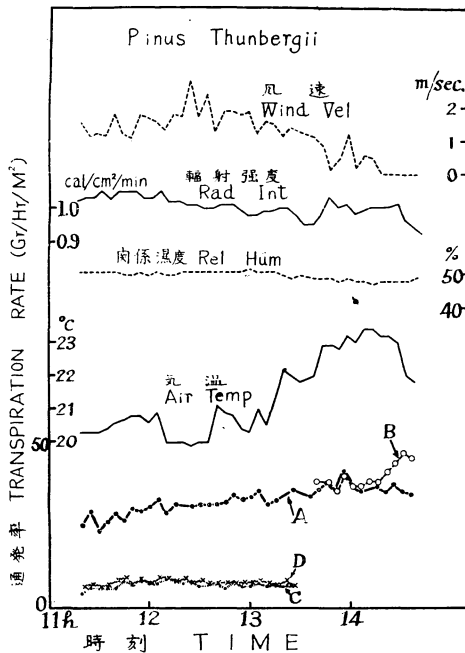


Fig. 12 異なつた枝切断法による通発率の比較
1952年10月18日(快晴)測定, 戸外
実験, Aは水切, Bは空気中切の後水
切, CおよびDは空気中切

Transpiration rates of cut shoots treated
by different way. Oct. 18, 1952 (fair),
field experiment. A, cut under water.
B, cut under water after severance in air.
C and D, cut in air.

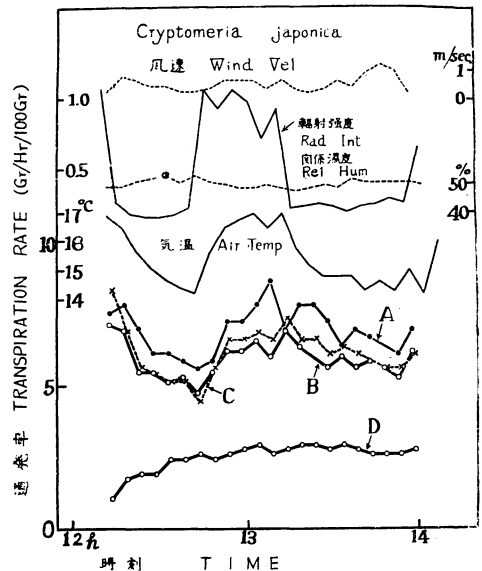


Fig. 13 異なつた枝切断法による通発率の比較
1952年11月19日(晴雲)測定, 戸外
実験, Aは水切, Bは空気中切の後水
切, CおよびDは空気中切

Transpiration rates of cut shoots treated
by different way. Nov. 19, 1952 (clear
or cloudy), field experiment. A, cut
under water. B, cut under water after
severance in air. C and D, cut in air.

間および5秒間切口を空气中にさらしたままのものをポトメーターに装置した場合の通発率の時間的経過を示している。

ニセアカシアの場合には, Fig. 10 のように曲線Aは曲線B, C およびDと全く異なつた経過をたどり, しかも曲線B, C およびDの切枝はそれぞれ図中に矢印で示した時刻に凋萎を開始した。そしてBおよびCは約30分後に, Dは約15分後に完全に枯死してしまった。この場合には水切した切枝Aのみが実験中健全に保たれただけである。ニセアカシアではこのように水切以外の方法は完全に役に立たなかつた。それだけではなく, 数回同一の実験を繰り返した結果から, ニセアカシアの切枝は全面的に太陽輻射を受けた状態下では, 枝切断後1時間以上凋萎させないでおくことは, たとえ水切した場合でもはなはだ困難であることがわかつた。

Fig. 11 はマキの場合で曲線A, B およびCはほぼ同一の経過をたどっているのに反して, 曲線Dは全く異なつた経過を示している。すなわち, この樹種では長時間切口を空气中にさらした切枝は実験に供し得ないが, 少なくとも1秒以内にポトメーターに装置した切枝ならば, たとえ空气中で切断したものでも実験に供しうることがわかる。また, このような切枝ならば少なくとも2時間は健全に保たれることが図からわかる。

Fig. 12 はクロマツの場合で曲線AおよびBはほぼ一致した経過を示しているが、曲線CおよびDは全く異なった経過を示している。したがってこの樹種では枝は水切するか、あるいは空気中で切断したものを1秒間以内に切口をさらに水切しなければならないことになる。しかも曲線Bは、同一方法で4本の枝を処理した内の1本だけが成功したもので、その点から考えると極力水切を採用すべきであることがわかる。そのようにして水切した切枝ならば図のように少なくとも3時間は健全であるといえる。

Fig. 13 はスギの場合で、これはマキの場合と同様に曲線A、BおよびCはほぼ同一の経過をたどっているが、曲線Dは全く異なった経過を示している。すなわち、長時間切口を空気中にさらした切枝は実験に供し得ないことがわかる。しかし、それ以外の切枝は図のように少なくとも2時間は健全であるといえる。

このように切枝をポトメーターに装置するまでの切枝の取り扱い方の難易さは、樹種によつて著しく異なり、ヤマモモのようにきわめて取り扱いの容易な樹種から、ニセアカシアのようにきわめて困難な樹種に至るまで各種各様である。したがってある樹種の切枝をポトメーターに装置して実験に供する場合には、あらかじめその樹種に最も適当した切枝の取り扱い方を吟味した上で測定を開始する必要がある。

6. メスピペット内の水圧変化の影響

切枝の吸水量を測るためにはポトメーターにメスピペットを装置するので、自然その水柱の高さが変わり、切枝の切口にかかる水圧が刻々変化することになる。そこでこの水圧の変化が通発率に影響を及ぼす

かどうかを吟味する必要がある。そのために筆者は、前述の Fig. 1 (A) および (B) に示したような2種類のポトメーターを用意し、同一周辺条件下で両者に装置した切枝の通発率の時間的経過を比較観測してみた。

Fig. 14 はその観測結果の一例で、1951年8月6日にヤマモモの切枝について戸外でおこなったものである。実験期間中は薄曇り、気温は29.5~29.0°C、関係湿度は66~73%、風速は約3 m/secであつた。図中・印および×印はメスピペットを水平にした場合、○印は垂直にした場合の通発率の時間的経過である。図のように両者はよく一致している。すなわち、メスピペット内の水柱の高さの変化は特に著しい影響を通発率に与えないものと考えて差し支えない。

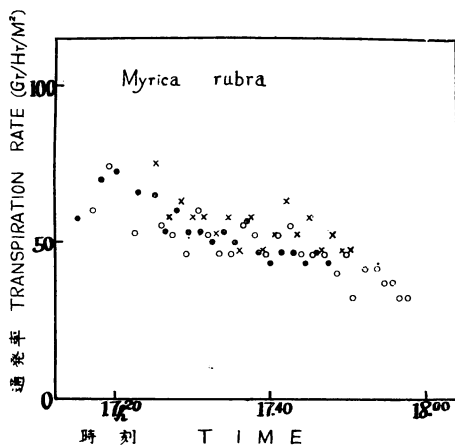


Fig. 14 メスピペット内の水圧をかえた場合の通発率の比較、1951年8月6日(薄曇り)測定、戸外実験、・印および×印はメスピペット水平の場合、○印は垂直の場合

Transpiration rates of cut shoots under different water pressure. Aug. 6, 1951 (fleecy clouds), field experiment. ・ and × marks show the results with horizontal measuring pipette type potometers, ○ mark shows the results with vertical measuring pipette type potometer.

7. 太陽輻射に対する切枝の投影面積の影響

前項までは単位時間中の吸水量を切枝の全葉面

積で割った値で通発率を表わしてきた。しかし太陽輻射に関するかぎり、単なる全葉面積でなく、その輻射の方向への投影面積が問題になるのではないかという疑問が当然おこってくる。そこで、筆者は切枝の太陽輻射に対する向きによつて、通発率がいかに影響されるかを吟味してみた。

Figs. 15 および 16 は、それぞれ 1951 年 10 月 18 日（快晴）および同年 10 月 31 日（快晴）の両日戸外でヤマモモの切枝についておこなった実験結果である。Fig. 15 の曲線 A の部分は、太陽輻射に対する切枝の投影面積が最大になるような方向に切枝を向けた場合の通発率の経過で、曲線 B の部分は、矢印で示した時刻（12 時 49 分）に最小になるような方向に向けた場合の通発率の経過である。両者の通発率はこの場合 0~13 % の範囲変化している。そこで、さらにこれを確認するために Fig. 16 で示した実験をおこなった。使用された切枝は 3 本で各切枝の常数は Table 1 に示したとおりである。表中の記号 A, B, C および D はそれぞれ Fig. 16 の通発率曲線の記号 A, B, C および D に対応している。

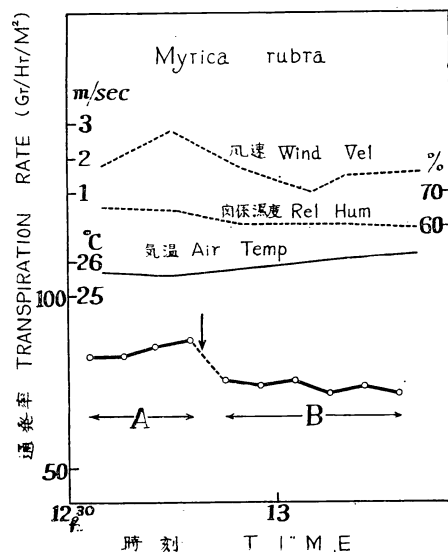


Fig. 15 投影面積をかえた場合の影響，1951 年 10 月 18 日（快晴）測定，戸外実験，A では投影面積最大，B では最小

Effect of projection area against solar radiation upon transpiration rate. Oct. 18, 1951 (fair), field experiment. Part A, projection area maximum. Part B, projection area minimum.

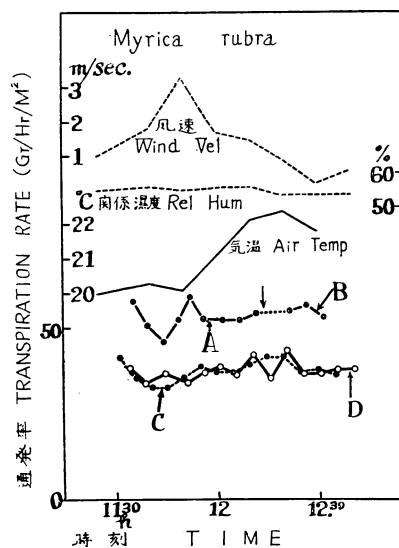


Fig. 16 投影面積をかえた場合の影響，1951 年 10 月 31 日（快晴）測定，戸外実験，投影面積：A は 305 cm^2 ，B は 480 cm^2 ，C は 215 cm^2 ，D は 445 cm^2

Effect of projection area against solar radiation upon transpiration rate. Oct. 31, 1951 (fair), field experiment. Projection area; A: 305 cm^2 , B: 480 cm^2 , C: 215 cm^2 , D: 445 cm^2 .

Table 1. Fig. 16 中の各切枝の諸係数
Constants of shoots in figure 16.

曲線の記号 Curve	直 径 Diameter (cm)	葉枚数 No. of leaves	全葉面積 Total leaf area (cm^2)	投影面積 Projection area (cm^2)	投影面積 全葉面積	備 考 Remarks
					Tot. leaf area	
A	0.56	196	1421	305	0.22	同一枝 Same shoot
B	"	"	"	480	0.34	
C	0.55	46	548	215	0.39	
D	0.50	151	1048	445	0.42	

図中の曲線Aでは、投影面積が 305 cm^2 であるが、矢印で示した時刻に枝の向きをかえたので投影面積が 57.4 %増加して 480 cm^2 になった。また、投影面積と全葉面積との比は 54.5 %増加して 0.22 から 0.34 になった。それにもかかわらず、两部分における通発率には大差が見られない。また、曲線CとDとでは投影面積と全葉面積との比は、Dの方が7.7 %大であるが、両者の通発率は非常によく一致している。さらに曲線AおよびBの通発率は曲線CおよびDのそれに比べて 40 %近くも大であるにもかかわらず、投影面積と全葉面積との比は逆に 15~91 %も小である。このように Fig. 16 の結果では投影面積の影響は全く通発率の大小を説明するのに役立たないようである。

以上の結果から見ると、切枝の通発率は投影面積と全葉面積との比率の大小に応じて必ずしも比例的に増減するとはいえないが、少なくとも 0~13 % 程度の影響がありうることは肯定しなければならない。

8. ポトメーター内の水温変化の影響

ポトメーター内の水温は、気温ならびに輻射によつて著しく影響され、同時にメスピベット内への給水によつても攪乱される。したがつてこの水温の変化が通発率に影響を与えるかどうかを吟味する必要が生じてくる。筆者は実験室内に 500 ワット電球 8 個を点灯し、その輻射のもとに 2 本のヤマモモの切枝を同

型のポトメーターに装置して同一周辺条件下におき、一方の水温を上げた後徐々に冷却せしめて両者の通発率の経過を比較観測してみた。

Fig. 17 はそのようにして 1952 年 2 月 4 日におこなつた実験結果である。図中の曲線 a および b はそれぞれ通発率曲線 A および B の水温を表わしている。切枝 A の水温は最高 38°C から最低 11.2°C まで 26.8°C の範囲変化せしめられた。これに反し切枝 B の水温は、およそ 4 時間の長きにわたる全測定期間中、僅か 2°C 変化したに過ぎなかつた。それにもかかわらず図のように、両者の通発率の時間的経過はほぼ並行しており、通発率の大きさにも著しい差が認められない。特に下降する水温の影響らしい傾向は全く見られない。このことは、ポトメーター内の水が切枝の幹を通つて葉面に達するまでには空気との間の熱伝達によつて水温は気温と等しくなることを物語っているようである。

したがつて切枝の切口から葉に至るまでの距離が、吸収した水の温度を気温と等しくするにた

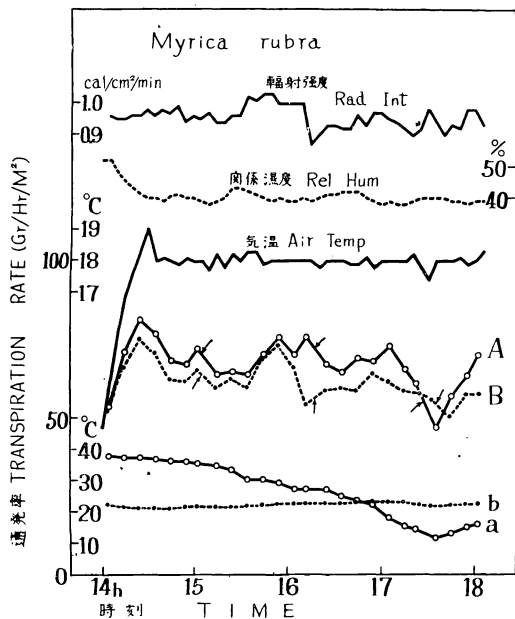


Fig. 17 ポトメーター内の水温をかえた場合の通発率の比較, 1952 年 2 月 4 日測定, 室内実験, a および b はそれぞれ A および B の水温を示す

Transpiration rate of cut shoot under decreasing water temperature in potometer and that of under nearly constant water temperature. Feb. 4, 1952, laboratory experiment. Curves a and b show the water temperature of A and B, respectively.

ろう。

なお図中A, B両曲線のところどころに小さな矢印が合計6箇所記入してあるのは、この時刻に給水したことを示している。このことについては次項において吟味する。

9. メスピベット内への給水の影響

長時間にわたる測定では、どうしても測定中にメスピベット内に水を補給する必要があるのですが、そのために通発率が影響を受けるかどうかを吟味することが必要になってくる。給水のための攪乱作用を大別してみると、大体次の3つの作用が考えられる。

- (1) 急激な水柱圧力の増加
- (2) ポトメートル内の水温の変化
- (3) ポトメートル内の水の動揺

これらのうち、(1)の水圧の影響についてはすでに第6項において、また(2)の水温の変化の影響については第8項において吟味してきた。そしてそれらは通発率に大なる影響を与えないことがわかつている。しかし、(3)の水の動揺についてはまだ吟味していない。そこで測定中における給水の影響についても何回かの実験をおこなったのである。その結果の一例を次に示す。

Fig. 18 はヤマモモの切枝について 1951 年 10 月 18 日(快晴)に戸外でおこなった実験結果である。図中の矢印は給水した時刻(12時20分)を示している。しかし、それによる通発率の変化は、特に問題にするほどの大きさではない。また、このことを確認するために第8項の Fig. 17 には合計6回の給水の時刻を小さい矢印で示しておいた。これを見ると、やはり給水による通発率の変化は小さいことがわかる。また、合計7回の給水のうち6回までが、給水後にいくらか通発率が下降しているのは、給水の影響の性質によるのではなく、たまたま図示された例がそうであつたためである。このことは筆者がおこなった多数の実験結果から確認された。したがって測定中の給水は、ほとんど支障なくおこなうことができるといえる。

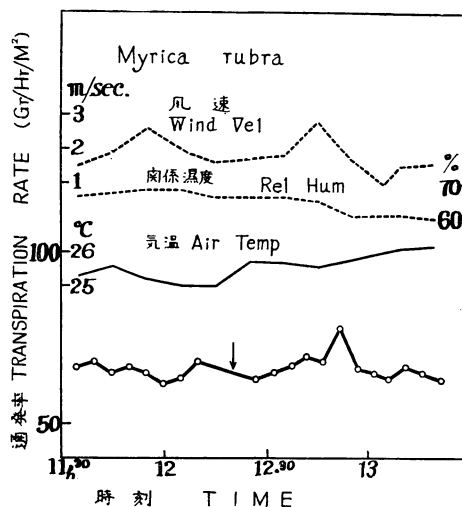


Fig. 18 メスピベット内への給水の影響, 1951年 10 月 18 日(快晴)測定, 戸外実験, 矢印は給水の時刻を示す

Effect of water-supply in pipette on transpiration rate. Oct. 18, 1951 (fair), field experiment. Small arrow head in the figure shows the instant of water-supply.

10. 通発率の決定法

以上吟味してきた結果から、ポトメートル法を通発率の測定に使用することは有効であると同時に、得られた値は自然状態における通発率の値とみなしても大過ないものと考えられる。ただ注意すべきことは、切枝に凋萎の兆候が現われた場合にはその測定値は自然状態の通発率を与えないということと、枝切断後1~2時間は多くの場合自然状態の通発率を示さないから、ポトメートルに装置した切枝は、測定開

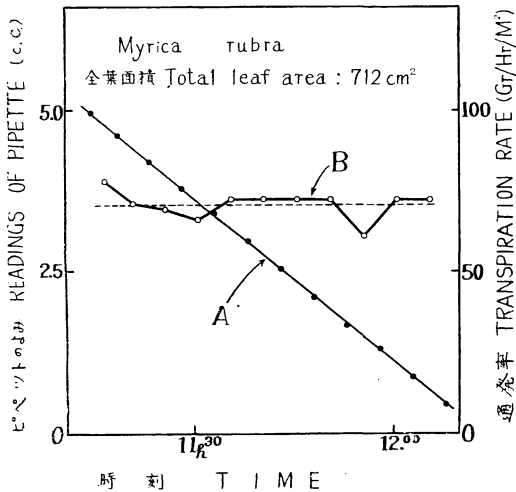


Fig. 19 通気率の定め方の説明図, 1951年10月18日(快晴)測定, 戸外実験, Aはポトメーターの水位減少曲線, Bは5分間ごとの吸水量から換算された通気率曲線

Diagram illustrating the method of determining the transpiration rate. Oct. 18, 1951 (fair), field experiment. A, decreasing curve of water-level in pipette. B, time march of transpiration rate converted from the quantity of water absorption per five minutes.

でおこなった実験結果であるが, それでも曲線Bのように後者の方法によれば多少の変動が見られる。

両方法にはこのように利点と欠点とがあるが, 筆者はこの研究を通じて後者の方法を採用することにし, 普通の場合には5分間の吸水量から $g/hr/m^2$ 単位で通気率を決定することにした。ただしスギのように, 葉面積の測定が困難な樹種については, その生葉重量 100 g 当り毎時の通気率を $g/hr/100g$ 単位で決定することにした。なお, 葉面積としては, 広葉樹ではその片面の面積, 松ではその全部の面積を総計して用いることにした。

終りにのぞんで, 終始御懇切なる御指導を賜わった北海道大学教授中谷宇吉郎博士ならびに東晃博士および故東京大学教授秋葉満寿次博士, 前農林省林業試験場長大政正隆博士に深甚の感謝の意を表する次第である。

文 献

- 1) BOSIAN, G.: Assimilations- und Transpirations-bestimmungen an Pflanzen des Zentralkaiserstuhls. Zeitschr. f. Bot., 26, (1933), p. 209~284.
- 2) CURTIS, C. C.: Some Observations on Transpiration. Bull. Torrey Bot. Club, 29(1902), p. 360. (cited by Knight, 1917)
- 3) DARWIN, F.: Observations on Stomata. Phil. Trans. Roy. Soc., B., 190, (1898), p. 531. (cited by Knight, 1916).
- 4) DARWIN, F., and PERTZ, D. F. M.: On a new method of estimating the aperture of

始前少なくとも1~2時間一定の周辺条件下に放置して, 通気率が安定した後に測定を開始すべきであるということである。

つぎにポトメーターの読み取り値から通気率を定めるには Fig. 19 に示したように2とおりの方法が考えられる。すなわち, 図中Aのようにメスピペット内の水位減少曲線を描いてその傾斜から求める方法と, 一定の時間間隔ごとに読み取った測定値から換算して曲線Bのように短い時間間隔ごとの通気率を定めてゆく方法とである。前者は周辺条件が一定の場合にある期間内の平均通気率を定めるには便利であるが, その期間内における細かい変動を見るには不便である。また, 後者は通気率の時間的変動を見るには便利であるが, 測定誤差が同時に拡大されるのでその点に注意しなければならない。Fig. 19 に示した例は, ヤマモモの切枝について, きわめて平穏な 1951年10月18日(快晴)に戸外

- stomata. Proc. Roy. Soc., B., 84, (1911), p. 136~154. (cited from the reference by Renner, 1912).
- 5) FIRBAS, F.: Untersuchungen über den Wasserhaushalt der Hochmoorpflanzen. Jahrb. f. wiss. Bot., 74, (1931), p. 459~696.
- 6) HUBER, B.: Zur Methodik der Transpirationsbestimmung am Standort. Ber. deut. Bot. Ges., 45, (1927), p. 611~618.
- 7) IWANOFF, L.: Zur Methodik der Transpirationsbestimmung am Standort. *ibid.*, 46, (1928), p. 306~310.
- 8) KADOTA, M.: The transpiration of Japanese black pine. Bull. Physiographical Sci. Res. Instit., No. 4, (1950), p. 41~48. (in Japanese with English summary).
- 9) KAMP, H.: Untersuchungen über den Kutikularbau und kutikuläre Transpiration von Blättern. Jahrb. f. wiss. Bot., 72, (1930), p. 403~465.
- 10) 河倉義安: 金属顕微鏡組織のセルロイド印画法に就て, 機械学会誌, 34, 165 (1931), p. 28~34.
- 11) KNIGHT, R. C.: On the Use of the Porometer in Stomatal Investigation. Ann. of bot., 30, (1916), p. 57~76.
- 12) ————: The Interrelations of Stomatal Aperture, Leaf Water-content, and Transpiration Rate. *ibid.*, 31, (1917), p. 221~240.
- 13) ————: Further Observations on the Transpiration, Stomata, Leaf Water-content, and Wilting of Plants. *ibid.*, 36, (1922), p. 361~383.
- 14) LAIDLAW, C. G., and KNIGHT, R. C.: A Description of a Recording Porometer and a Note on Stomatal Behaviour during Wilting. *ibid.*, 30, (1916), p. 47~56.
- 15) LIVINGSTON, B. E.: The Relation of Desert Plants to Soil Moisture and to Evaporation. Carnegie Instit. Publ., 1, (1906), (cited by Knight, 1917).
- 16) LLOYD, F. E.: The Physiology of Stomata. *ibid.*, 89 (1908), (cited by Knight, 1917).
- 17) ————: The Relation of Transpiration and Stomatal Movements to Water Content of Leaves of *Fouquieria splendens*. Plant World. 15, (1912), p. 1. (cited by Knight, 1917).
- 18) ————: Leaf-water and Stomatal Movement in *Gossypium*, and a Method of direct Visual Observation of Stomata *in situ*. Bull. Torrey Bot. Club, 40, (1913), p. 1. (cited by Knight, 1916).
- 19) MINCKLER, L. S.: A new method for measuring Transpiration. Journ. Forestry, 34, (1936), p. 36~39.
- 20) MOLISCH, H.: Das Offen- und Geschlossensein der Spaltöffnungen, veranschaulicht durch eine neue Methode (Infiltrationsmethode). Zeitschr. f. Bot., 4, (1912), p. 106.
- 21) MONJI, M.: Eine theoretische Betrachtung über die Infiltrationsmethode. The Botanical Magazine, 52, (1938), p. 300~311.
- 22) PFLEIDERER, H.: Kritische Untersuchungen zur Methodik der Transpirationsbestimmung an abgeschnittenen Sprossen. Zeitschr. f. Bot., 26, (1933), p. 305~327.
- 23) PISEK, A., und CARTELLIERI, E.: Zur Kenntnis des Wasserhaushaltes der Pflanzen. I. Sonnenpflanzen. Jahrb. f. wiss. Bot., 75, (1931), p. 195~251.
- 24) ————: Zur Kenntnis des Wasserhaushaltes der Pflanzen. II. Schattenpflanzen. *ibid.*, 75, (1932), p. 643~678.
- 25) ————: Zur Kenntnis des Wasserhaushaltes der Pflanzen. IV. Bäume und Sträucher. *ibid.*, 88, (1939), p. 22~68.

- 26) RENNER, O.: Referat zu Darwin und Pertz 1911. Zeitschr. f. Bot., 4, (1912), p. 142~143.
- 27) SATOO, T.: Factors affecting the change in rate of water absorption by shoots of *Cryptomeria japonica* with respect to the exposure to artificial wind. Journ. Jap. Forest. Soc., 30, (1948), p. 26~32.
- 28) SCHRATZ, E.: Vergleichende Untersuchungen über den Wasserhaushalt von Pflanzen im Trockengebiet des südlichen Arizona. Jahrb. f. wiss. Bot., 74, (1931), p. 153~290.
- 29) STAHL, E.: Einige Versuche über Transpiration und Assimilation. Bot. Zeitung, 52, (1894), p. 117~146.
- 30) STÄLFELT, M. G.: Die Abhängigkeit der Spaltöffnungsreaktionen von der Wasserbilanz. Planta, 8B, (1929), p. 287~340.
- 31) —————: Neuere Methoden zur Ermittlung des Öffnungszustandes der Stomata. Handb. d. biol. Arbeitsmeth., 11, Teil 4, (1929 a).
- 32) —————: Pulsierende Blattgewebe. Planta, 7, (1929 b), p. 720~734.
- 33) —————: Der stomatäre Regulator in der pflanzlichen Transpiration. ibid., 17, (1932), p. 22~85.
- 34) STOCKER, O.: Eine Feldmethode zur Bestimmung der momentanen Transpirations- und Evaporations-grösse. I. Ber. deut. Bot. Ges., 47, (1929), p. 126~129.
- 35) —————: Eine Feldmethode zur Bestimmung der momentanen Transpirations- und Evaporations-grösse. II. ibid., 47, (1929) p. 130~136.
- 36) 鈴木純一: 特許第 88353 号, 「物体の表面を観察すべき透明薄膜, 又は薄版状顕微鏡標本の製作法」

Research materials

Measurement of the Total Transpiration from a Forest. (Part 5)
Examination of the method of measuring the transpiration rate.

Yoshito YAMAOKA

(Résumé)

1. Introduction.

Various methods have hitherto been used in measuring the transpiration, such as Stahl's²⁹⁾ cobalt paper method, "gasometrische Methode" which was employed by Schratz²⁸⁾, and Minckler¹⁹⁾, weighing method, potometer method, and others. From among these methods the author has adopted the potometer method, because Stahl's cobalt paper method is inadequate for measuring the amount of transpiration quantitatively, and also it is unnecessary to go into detail as in Schratz's "gasometrische Methode". Undoubtedly the weighing method is one of the most useful methods for this purpose and has frequently been used by many of the investigators in the past. But this method requires a rather longer period of exposition of the plants under constant environmental conditions in order to take readings when potted plants are used, because of the rapid decrease of the sensitivity of balance according to the unavoidable heavy soil weight in the pot, as has already been mentioned by Stocker³⁴⁾. And also in the case of using cut shoots instead of potted plants, it is no longer indispensable to adopt the weighing method. From such a point of view, the author decided to adopt the potometer method throughout the investigation, except that the weighing method has been employed for the purpose of comparison of the transpiration rates of potted plants with cut shoots.

Strictly speaking, the potometer method does not give the true transpiring rate, but the amount of water absorbed from the cut end of shoot. Nevertheless, the amount of water absorbed from the cut end of shoot almost exactly coincides with the amount of water transpired, and the wilting occurs from only 1% decrease of water-content in a leaf, according to the investigation by Knight¹²⁾¹³⁾. And as it was also our original aim to determine the amount of water absorbed from the ground by a forest, the potometer method will serve satisfactorily. But notice should be taken in case of sudden change in environmental conditions, as Satoo²⁷⁾ has already pointed out in his investigation with respect to the cut shoots of *Cryptomeria japonica*, because the occurrence of momentary disturbances of internal water equilibrium in a cut shoot must be considered, and in consequence the time delay of water absorption will be in danger of coming up. In such a case, readings should be taken after the internal water equilibrium has been completely recovered.

Another difficult problem to be taken into account in the case of using the potometer method is the effect of detaching a branch from its parent tree. Iwanoff⁷⁾ believes that the transpiration rate will rise immediately after the severance by reason of the sudden omission of the suction pressure of the water column in the water-conducting system of a branch, and practically it has been observed by Darwin and Pertz⁴⁾, Laidlaw and Knight¹⁴⁾, Knight¹³⁾, Stålfelt³⁰⁾³²⁾³³⁾, Firbas⁵⁾, Kamp⁹⁾, and others. But, on the contrary, Schratz²⁸⁾ believes that the transpiration rate will descend rapidly after the severance. Furthermore, Huber⁶⁾, Stocker³⁴⁾³⁵⁾, Firbas⁵⁾, Pisek and Cartellieri²³⁾²⁴⁾²⁵⁾, Bosian¹⁾, Kadota⁸⁾, and others, approved of the determination of the transpiration rate under natural state by that of

immediately after the severance. Pfleiderer²²⁾ performed a critical investigation on this problem and showed that the amount of transpiration immediately after the severance agrees with that of the natural state within a small discrepancy of only -1.1% when the mean value of 34 experiments were taken, notwithstanding that the individual values differ by as large an extent as $\pm 20\%$. The theories and the experimental results on this problem are thus contradictory.

Furthermore, another objection lies against the use of the potometer method. Curtis²⁾ and Livingston¹⁵⁾ have taken exception to methods which involve mutilation of the plant, such as detaching a shoot and using it in a potometer, since such treatment is liable to cause the plant to behave in an irregular manner. But Lloyd¹⁶⁾¹⁷⁾ and Knight¹²⁾¹³⁾ appear to have found the potometer satisfactory. Knight¹²⁾ has reported after his investigation on the differences in the rate of transpiration and the stomatal opening between potted plant and cut shoot which has been cut from the same potted plant and mounted in a potometer, that the time marches of transpiration rate and stomatal opening in both cases become quite parallel, about 50 minutes after the shoot is cut, under the same environmental conditions and have continued for as long as 3 days after setting up. A further conclusion reached was that such cut shoot mounted in a potometer could be used as an experimental material in healthy state for some 2 or 3 days after the severance, if the cut end of the stem be only cut off every day in order to provide a fresh absorbing surface.

As the theories and the experimental results on the potometer method and the difference between transpiration rate before and after the severance are thus contradictory, it was necessary to examine these problems one by one before carrying out our investigation. From these points of view, the author has performed the examinations, as follows, on these problems. It should be noted that in this report the dates of experiments are not always in regular sequence, owing to the fact that some experiments were reexamined, and a long period was spent in preparing the potted plants.

2. Apparatus used and the measuring methods.

The structure of the potometer used in this investigation is shown in Fig. 1. (A) shows the vertical measuring pipette type potometer and (B) the horizontal measuring pipette type potometer. In the former type a pressure from 8 to 25 *cm* of water column will be exerted upon the cut end of shoot, and in the latter type a nearly constant water pressure of about 5 *cm* will be exerted upon the cut end of shoot throughout the experiment. These two types of potometers were made for the special purpose of examining the effect of change in water pressure on the transpiration rate.

In Fig. 1, 'a' is a test-tube made of glass, about 5 *cm* deep and about 2.5 *cm* in diameter, and 'b' is a rubber stopper having two holes, 5 or 6 *mm* in diameter, bored parallel to its axis; one is to insert a measuring pipette 'c' and one is to insert a cut shoot. Owing to the small inner capacity of the test-tube, the apparent volume expansion can be preserved in minimum quantity. Three kinds of pipettes, 0—1, 0—2, and 0—5 *cc* in capacity, were employed appropriately according to the amount of transpiration of cut shoot.

Cut end of a shoot which was detached from its parent tree was immediately soaked in water in order to cut again the stem of a cut shoot under water from 5 to 20 *cm* from its end. After this treatment, the cut shoot was forced into a hole bored through the rubber stopper 'b' and this was carefully pressed into the mouth of the test-tube so as to drive out all the air bubbles in the potometer.

A stand for supporting the potometer is shown in Fig. 2. This stand allows a potometer to move along three rectangular axes X, Y, and Z, and also allows it to rotate around them, in order to set the potometer in any desired position. Besides, by the spring action of a spiral tin-plate fixed at the extremity of X-axis, any shock transmitted from the exterior can be minimized, and at the same time the setting of a potometer can be extremely simplified.

In order to supply water to a pipette, an injector such as one used in the medical profession, 0—5 cc in capacity, was employed. And readings of the height of water column in the pipette were usually taken at intervals of 5 minutes. The diameter of stem, number of leaves, total green leaf weight and the total leaf area were measured after the completion of experiment. The air temperature, relative humidity, atmospheric pressure, wind velocity, and the radiation intensity were observed respectively by the usual bulb thermometer, Lambrecht's hygrometer, mercurial barometer, rotating vane type anemometer, and the hand-made thermopile radiometer constructed of 131 thermocouples of B. S. No. 36 copper and constantan wires. Of course Lambrecht's hygrometer was checked from time to time by a standard hygrometer, and also the thermopile radiometer by a pyrliometer.

3. Comparison of the transpiration rate of cut shoot with rooted plant.

It is an important matter to compare the transpiration rate of a cut shoot mounted in a potometer with that of a rooted plant. In order to carry out the examination, the author prepared 6 *Cryptomeria japonica* 2 years old and 5 *Cinnamomum camphora* 3 years old in Nov., 1952, by courtesy of the Miyano nursery station in Yamaguchi district, Japan. These plants were placed in pots previously boiled in paraffin and were grown up in a garden until Aug., 1953. But two of the *Cryptomeria japonica* and all of the *Cinnamomum camphora* withered during this period, but three of the latter were again germinated and grew up to the sizes scarcely usable for our experiment. Among these potted plants the author selected two of the *Cryptomeria japonica* and one of the *Cinnamomum camphora* in good health. In addition, two *Diospyros kaki* grown up in pots for about one year after seeding in 1950 on the ground were selected.

As to the experiment, a hole at the bottom of a pot was sealed with a rubber stopper and plenty of water was supplied to the pot. The pot was then wrapped in a vinyl sheet and its end was tightly tied up to the stem of a plant after a wooden lid which had previously been boiled in paraffin had been placed at the top of the pot. Thus the whole pot was kept water-tight.

In obtaining the transpiration rate of the potted plant by weighing, the left-hand scale pan and its supporting device of an analytical balance were taken off, and a wire hung down through the opening of the bottom of the case to support the potted plant. Indeed it was an over-load to the balance, but the sensitivity of $\pm 5\text{ mg}$ was thus barely obtained. The experiment was carried out in a dark room, 50 square meters in area, under the radiation of 8 electric lamps, 500 watts in each, totaling to 4,000 watts.

By leaving the potted plant to be investigated alone in the laboratory from the previous day, its soil temperature was allowed to approach the room temperature as nearly as possible. And after the commencement of the experiment, weighing of the potted plant was continued until the transpiration rate became nearly constant. After attaining a constant value, the stem of the plant was severed at the height of a few centimeters above its base, and the fresh surface was quickly cut under water again, about ten centimeters above the first cut,

to exclude the air as far as possible from its water-conducting system, and then the cut shoot was mounted in a potometer. There after the potometer was placed carefully *in situ* and the readings were continued.

In order to take into account the rate of water loss from the pot into the value of transpiration rate, the pot was weighed after applying vaseline to the cut surface of the stem. But this rate of water loss was almost negligible when compared with the transpiration rate. Five experimental results thus obtained with respect to three species are shown in Fig. 3 to 7. In every figure ! mark shows the instant of severance of the stem.

Figs. 3 and 4 show the experimental results with respect to *Cryptomeria japonica* carried out on Aug. 13 and Sept. 10, 1953, respectively. In both cases, the transpiration rate has once attained the maximum value, 163.6% higher in Fig. 3 and 88% higher in Fig. 4 than the value before cut, at 7 and 5 minutes after the severance, respectively, followed by a rapid depression. In the case of Fig. 3, the transpiration rate attained the value almost exactly the same as the value between 1:00 P. M. and 2:15 P. M. at 4:10 P. M. (83 minutes after cut), but still 15.2% higher than the value just before cut. And in the case of Fig. 4, it attained a value only 1% higher than that just before cut at 4:00 P. M. (102 minutes after cut).

Fig. 5 shows the experimental result with respect to *Cinnamomum camphora* carried out on Sept. 18, 1953. In this case, the transpiration rate once attained the minimum value 48.2% lower than the value before cut at 7 minutes after the severance, but then began to increase rapidly and attained the maximum value 78.9% higher than the value before cut at 21 minutes after the severance. From then on it turned again to decrease the transpiration rate agreed once with the value just before cut at an instant of 49 minutes after the severance, and this decreasing tendency continued unrestrictedly. The commencement of wilting of cut shoot was observed by the naked eye at 3:03 P. M., the instant shown in figure by a small arrow head. The transpiration rate at this stage was only 13.2% less than the value before cut. This occurrence of wilting during such an early stage seems to confirm the statement by Knight:

“These stages are reached very early in the process, before the water-content of the wilting leaf has decreased more than about 1 per cent.

The commencement of wilting may be inferred from the flaccid condition of the leaves before it is possible to determine experimentally a definite decrease in leaf water-content.”

And it is obvious from the figure that the transpiration rate after cut does not coincide with that before cut in the case of the commencement of wilting. Accordingly, the experimental results obtained during such a stage should not be adopted. As to the cause of the commencement of wilting in the case of this species, the fact that the plant used in this experiment had been once withered and again germinated in the pot should be taken into consideration.

Figs. 6 and 7 show the experimental results with respect to *Diospyros kaki* carried out on Sept. 22 and Sept. 24, 1953, respectively. In Fig. 6, the transpiration rate after cut differs only +1.2% from the value just before cut. The gradually increasing tendency of the transpiration rate with respect to time seems to be due to the increase of air temperature. In Fig. 7, the transpiration rate after cut once reached the minimum value at 3:23 P. M., but after that, increasing rapidly, it approached a value only 2.4% less than the value before the severance, remaining constant after the instant of 3:58 P. M.

Thus the transpiration rate after cut is sometimes much larger or much smaller, and in some cases is equal to the value before cut, but after one or two hours the transpiration rate approaches the value just before cut within the difference of $\pm 2.4\%$, as in 4 cases among 5 experiments. The only one exception was the case of *Cinnamomum camphora*; and in this case the commencement of wilting was observed at the instant of only one hour after the cut. From these examinations, it will be considered that a cut shoot mounted in a potometer will serve satisfactorily our investigation in order to determine the transpiration rate just before the severance, if one or two hours has elapsed after the severance, so long as the commencement of wilting has not occurred.

It should be noted that it is doubtful whether the transpiration rate cited in this paper during the period of transition after the cut of the stem will give the true transpiration rate or not, for the transpiration rate given in this report as that after the cut was calculated from the amount of water absorbed by a cut shoot. But, as it was not our aim to discuss this problem, the word "transpiration rate" was used for the present.

The author is much obliged to Mr. K. KOKO of Miyano Nursery Station in Yamaguchi district, Japan, who gladly offered him the experimental materials used in the investigation.

4. Observation of stomata.

Many of the investigators have been engaged in this field for a long time. And there are various methods of observation of stomata, such as Stahl's²⁹⁾ cobalt chloride method, Darwin's³⁾ horn hygroscope method, Lloyd's¹⁴⁾ alcohol method, Darwin and Pertz's⁴⁾ porometer method, Lloyd's¹⁸⁾ microscope method, infiltration methods³⁰⁾²¹⁾³¹⁾ using various reagents, and others.

The author has applied the "Sump" method¹⁰⁾³⁶⁾ to observe the stomatal openings with respect to *Ilex rotunda* THUNBERGII. A "Sump" plate was pressed against the back of a leaf and the pattern of the stomata was taken. And the pattern was observed under a microscope having the magnification of 40 or 2,250, and the magnified image of the stomata was photographed in succession. This method has an inconvenience in observing the same portion on a leaf because of the tissue injury of a leaf by the solvent in the "Sump", but on the contrary it has a great advantage in obtaining a permanent pattern of stomata covering any small area on a leaf at any instant, and accordingly the observation of stomata over a certain area can be performed in a laboratory without haste. And also it is possible to take a clear, enlarged photograph of the stomata, as shown in Photos. 1 to 3.

Photos. 1 to 3 show the enlarged photographs of stomata patterned from a leaf of *Ilex rotunda* THUNBERGII in full sunlight on Oct. 9, 1952 in the open. Air temperature, relative humidity, radiation intensity and wind velocity during the period of experiment were 25.0—23.7°C, 54—57%, 0.89 cal/ cm² /min and 0.3—1.0 m/sec, respectively.

All of Phot. 1 (A), (B), (C), and (D) show the stomatal openings of a branch under natural state, and similarly Phot. 2 (A) shows the stomatal openings of a branch under natural State just before the severance. It can be seen from these photographs that the stomata of the branches under natural state are full opened. The latter branch was severed at 11:15 A. M. and was divided into two parts. Both parts were hung by a string *in situ*, the one without water-supply and the other with water-supply. The photographs of stomata of these cut shoots 15 minutes after the cut are shown in Phot. 2 (B) (without water-supply) and Phot. 3 (A) (with water-supply), and that of the cut shoot without water-supply 35 minutes after the cut is shown in Fig. 2 (C), but that of the cut shoot with

water-supply was missed. Phot. 2 (D) (without water-supply) and Phot. 3 (B) (with water-supply) show the openings of stomata 85 minutes after the cut.

By comparing these three series of photographs, we can see the openings of stomata of the cut shoot without water-supply cease gradually after the cut, and are almost completely closed at 85 minutes after the cut, as in Phot. 2 (D). The commencement of wilting of leaves on this cut shoot was already observed by direct observation 35 minutes after the cut. On the contrary, the stomata of cut shoot with water-supply was widely open throughout our observation as in Phot. 3 (A) and (B), when compared with that of a branch under natural state (Phot. 1). And the leaves of this cut shoot remained turgid throughout our observation.

Here again, from these observations, we can say that a cut shoot mounted in a potometer can satisfactorily serve our investigation in the healthy state so long as the commencement of wilting does not occur.

5. Examination of cutting process of a branch.

From the examinations described above, a cut shoot mounted in a potometer can be considered useful to our investigation of transpiration if two or three precautions are taken. Subsequently, we have to examine next the cutting process of a branch in order to find out the most convenient and effective way to treat the cut shoots of various species under investigation. For this purpose, cutting processes have been divided into three methods: (1) cut under water, (2) cut under water after the severance in air, (3) cut in air. And in order to examine the effects of these cutting processes, five species namely, *Myrica rubra* SIEB et ZUCC., *Robinia pseudacacia* L., *Podocarpus microphyllus* D. DON., *Pinus Thunbergii* PARL., and *Cryptomeria japonica* D. DON. were selected among; (1) evergreen broad-leaved trees, (2) deciduous broad-leaved trees, (3) acerose trees. Sharp scissors were used to cut the branches. The transpiration rates of cut shoots treated by these three methods were compared under the same environmental conditions with respect to five species mentioned above. Figs. 8 to 13 give the results.

Figs. 8 and 9 show the experimental results in the open on *Myrica rubra* carried out on Oct. 12, 1952 and Oct. 31, 1951, respectively. Curves A, B, and C in Fig. 8 show the transpiration curves of cut shoots treated by different cutting processes as; A: cut under water, B: cut under water at 6 cm above the cut end one second after the first cut in air, and C: mounted in a potometer one second after the cut in air. But there is no remarkable discrepancy among these curves of transpiration rates. Part A of the curve in Fig. 9 shows the transpiration rate of a cut shoot severed under water, and part B shows that of the same cut shoot reset in the same potometer one second after the second cut of the stem at 12:40 A. M. (this instant is shown by a small arrow head) in air at the height of several centimeters above the old cut end. This experiment was carried out in order to compare the transpiration rate of cut shoot severed under water with that in air with regard to the same shoot. Again we can see no remarkable discrepancy, as before, between part A and part B. Furthermore, the author examined the process just opposed to that of Fig. 9, but the result was the same. It was found that a cut shoot of *Myrica rubra* mounted in a potometer after remaining in air for 10 seconds after the cut in air still gives a satisfactory transpiration rate. Thus the cutting process with respect to *Myrica rubra* is extremely simple. And a cut shoot mounted in a potometer remains in a healthy state for at least 2 or 2.5 hours as can be seen in the figures. And also practically, it is an easy matter to maintain a cut

shoot of this species for 5 or 6 hours in a healthy state.

Figs. 10 to 13 show the experimental results in the open on *Robinia pseudacacia*, *Podocarpus macrophyllus*, *Pinus Thunbergii* PARL., and *Cryptomeria japonica*, respectively. In every figure, curves A, B, C, and D show the transpiration curves of cut shoots treated by different cutting processes as; A: cut under water, B: cut under water at about 5 to 15 centimeters above the cut end one second after the cut in air, and C, and D: mounted in potometers 1 and 5 seconds after the cut in air, respectively.

In the case of *Robinia pseudacacia*, curves B, C, and D traced entirely different courses as compared with that of curve A, as in Fig. 10, and the cut shoots B, C, and D had also started to wilt at the instants shown by the small arrow heads in the figure. These cut shoots had completely withered, after 30 minutes in the case of B and C, and after 15 minutes in the case of D. Accordingly, only a cut shoot A had maintained a healthy state throughout the experiment. Thus, the cutting processes other than that of cutting under water failed in the case of *Robinia pseudacacia*. Furthermore, the author found that the cut shoot of this species is very difficult to maintain in a healthy state more than an hour after the cut in full sunlight even when cut under water.

In the case of *Podocarpus macrophyllus*, only a curve D traced an entirely different course as compared with that of curves A, B, and C, as in Fig. 11. Accordingly, the cut shoots other than D which were mounted in a potometer five seconds after the cut in air, can be used in a healthy state in our investigation. And such shoots remain in a healthy state for at least 2 hours as can be seen in Fig. 11.

In the case of *Pinus Thunbergii* PARL., curves C and D traced entirely different courses as compared with that of curves A and B, as in Fig. 12. Accordingly, for this species, a branch has to be cut under water or cut under water within one second after the cut in air. Moreover, it is preferable to adopt the method of cutting under water, for the curve B in Fig. 12 is the only case that succeeded in maintaining the cut shoot in a healthy state among four cut shoots treated by the same process. Provided the branches are cut under water, the cut shoots can be maintained healthy for at least 3 hours as can be seen in Fig. 12.

As regards *Cryptomeria japonica*, curve D traced an entirely different course as compared with that of curves A, B, and C, as in Fig. 13, similarly to the case of *Podocarpus macrophyllus*. Accordingly, the cut shoots other than D, which had its cut end exposed in air for five seconds, can be used in a healthy state for our investigation. And such shoots remain in a healthy state for at least 2 hours as can be seen in Fig. 13.

Thus, the effect of the cutting process on transpiration rate differs widely with different species. *Myrica rubra* was the easiest species and *Robinia pseudacacia* was the hardest species in the cutting process among five species. This being so, it is necessary to ascertain the most convenient and appropriate cutting process with respect to the species to be investigated prior to its application.

6. Effect of change of water pressure in measuring pipette.

It is unavoidable that the water pressure exerted on the cut surface of a shoot varies in accordance with the change of the height of water column in the measuring pipette when using a vertical measuring pipette type potometer. Hence, an examination on the effect of this change of water pressure on transpiration rate becomes necessary. Our examination was performed with respect to cut shoots of *Myrica rubra*, using two types of

potometer previously shown in Fig. 1 (A) and (B).

Fig. 14 shows an example of the experimental results carried out in the open on Aug. 6, 1951 in sunlight through fleecy clouds. Air temperature, relative humidity, and wind velocity during the period of experiment were 29.5—29.0°C, 66—73%, and about 3 m/sec, respectively. In Fig. 14, · mark and × mark show the transpiration rates when using the horizontal measuring pipette type potometer, and ○ mark the vertical measuring pipette type potometer under the same environmental conditions. Fairly good agreement can be seen in both cases as shown in the figure. Consequently, we can conclude that the effect of water pressure change amounting to this extent is not great, and that there is no difficulty in using either type of potometer for our convenience.

7. Effect of projection area of cut shoot against solar radiation.

The transpiration rate has been represented as the amount of absorbed water per hour per unit leaf area of a cut shoot, but so far as radiation intensity is concerned, it is doubtful whether simply the leaf area should be applied or whether the projection area against solar radiation should be applied. Hence, the examination has carried out on the effect of projection area against solar radiation on the transpiration rate.

Figs. 15 and 16 show the results of experiments carried out in the open on Oct. 18 (fair) and Oct. 31, 1951 (fair) with respect to *Myrica rubra*. Part A of the curve in Fig. 15 shows the transpiration curve when the projection area of a cut shoot against solar radiation is at its maximum, but part B shows that when the projection area is at its minimum. A small arrow head shows the instant of changing the direction of a shoot against solar radiation at 12:49 A. M. As the result, the transpiration rate has changed to an extent from 0 to 13% of the former value. In order to confirm the result furthermore, an experiment shown in Fig. 16 was performed. Three cut shoots of *Myrica rubra* were employed. Their various constants are indicated in Table 1. Four signs A, B, C, and D in the table correspond to those in Fig. 16, respectively. The projection area of the first cut shoot was 305 square centimeters in part A of the curve in Fig. 16, but as a result of changing the direction of the cut shoot, it increased to 480 square centimeters, equal to the increase of 57.4 % of the initial value, in part B. And the ratio of projection area to total leaf area increased from 0.22 to 0.34 corresponding to the increase of 54.5 % of the initial value. But there can be seen no remarkable discrepancy of transpiration rate between part A and part B of the curve. Furthermore, the transpiration rates of cut shoots C and D are in good agreement in spite of the fact that the ratio of projection area to total leaf area in cut shoot D is exceeded for 7.7% by C. And the transpiration rates of cut shoots A and B exceed about 40% when compared with those of cut shoots C and D, in spite of the ratios of projection area to total leaf area of cut shoots A and B being smaller than that of C and D to an extent from 15 to 91%. Thus, in Fig. 16, it seems to be useless to explain the discrepancy among the transpiration rates by the projection area against solar radiation.

From these results, we can not say the transpiration rate of cut shoot always increases or decreases in direct proportional relation to the ratio of projection area to total leaf area, but at least we have to affirm the fact that the effect of projection area sometimes attains to an extent from 0 to 13%.

8. Effect of change of water temperature in potometer.

The temperature of water in a potometer depends mainly upon the air temperature and the radiation intensity, and at the same time disturbance by the water-supply in a measuring

pipette. Accordingly, it becomes necessary to investigate whether the change of water temperature affects the transpiration rate or not. The author has examined this effect in the laboratory under the radiation of 8 electric lamps, 500 watts in each, with respect to two cut shoots of *Myrica rubra* mounted in two potometers of the same type. These two potometers were placed in the laboratory under the same environmental conditions, and the water temperature of one of these potometers was first raised to about 40°C, then gradually cooled and the change of transpiration rate observed.

Fig. 17 shows the result of an experiment carried out on Feb. 4, 1952. Curves a and b represent the water temperature corresponding to the transpiration curves A and B, respectively. The water temperature of a cut shoot A varied from its maximum value 38.0°C to a minimum value 11.2°C, ranging to the large extent of 26.8°C. But, on the contrary, the water temperature of a cut shoot B remained nearly constant within $\pm 1^\circ\text{C}$ throughout the period of experiment. In spite of these differences in water temperature, not only are the time marches of transpiration rates in both cases in parallel tendency but the discrepancies between the values of transpiration rates are indistinct. Especially the effect of decreasing water temperature can not be seen at all in the transpiration curve A. It would seem to tell that the temperature of water absorbed in the water-conducting system of the stem of a cut shoot from its cut surface will soon be equalized with the air temperature by heat conduction between the bark of cut shoot and the air before arriving at the leaves. Under such consideration, the transpiration rate of cut shoot would not be affected at all by the change of water temperature in the potometer if the distances between cut end of shoot and leaves is sufficiently long so as to equalize the absorbed water temperature to the air temperature.

It should be noted that the six small arrow heads on curves A and B in Fig. 17 show the instants of water-supply in pipettes for reference. This observation becomes necessary in the next article.

9. Effect of water-supply in pipette.

It is unavoidable to supply water in a pipette in the case of an experiment lasting for a long period. Hence, the examination on the effect of water-supply on transpiration rate becomes necessary. The disturbing actions of water-supply can be roughly divided into three actions as follows.

- (1) sudden increase of water pressure on cut surface of a shoot.
- (2) change of water temperature in a potometer.
- (3) agitation of water in a potometer.

Among these actions, the effects of (1) and (2) on transpiration rate have already been examined in the previous articles 6 and 8, respectively. And it is known that the effects of these actions on transpiration rate are not very remarkable. But regarding the effect of (3), it has not yet been examined. For that reason, the author has carried out several experiments to study the effect of water-supply on transpiration rate. But only one example is shown in Fig. 18.

Fig. 18 shows the experimental result carried out in the open on Oct. 18, 1951 (fair) with respect to *Myrica rubra*. A small arrow head in Fig. 18 shows an instant of water-supply at 12:20 A.M. But the difference of transpiration rate before and after the water-supply is not remarkable. Besides, as noted in the article 8, six small arrow heads in Fig. 17 show the instants of water-supply; but there can be seen almost no detrimental effect arising from the water-supply. A slight decrease of the transpiration rate in 6 among 7

chances of water-supply depends not upon the direct effect of water-supply, but these examples happened to represent such result. This was confirmed by several other results of experiments performed by the author. Thus, the water-supply in the course of experiment can safely be carried out.

10. Method of determining the transpiration rate.

From the results of various examinations described above, it can be considered that the potometer method is useful for the measurement of transpiration rate, and the value obtained from this method has no serious error compared with that of under natural state. But it should be noted that the value obtained from the wilted cut shoot does not agree with that of under natural state. The measurement of transpiration rate should be commenced after leaving a cut shoot mounted in a potometer alone under a certain environmental condition for at least 1 or 2 hours, for the transpiration rate after cut of branch generally does not agree with that of under natural state for 1 or 2 hours.

There are two methods of determining the transpiration rate from the readings of a potometer, as illustrated in Fig. 19. One is to determine the mean transpiration rate during certain period of observation from the mean gradient of the curve representing the decreasing height of the water column in the measuring pipette as in the case of curve A in Fig. 19, and the other is to determine the transpiration rate in a short period of time, in a 5 minute period for example, as shown with the curve B in Fig. 19 which was computed from the rate of water absorption, every 5 minutes, in the curve A. The former method is convenient in obtaining the mean transpiration rate during a certain period of experiment when the environmental conditions are nearly constant, but it is inconvenient in investigating the momentary variation of the transpiration rate during that period. The latter method is convenient for investigating the momentary variation of the transpiration rate during the period of experiment, but notice should be taken on account of the exaggerated experimental errors that unavoidably come into the computed value of transpiration rate *en passant*. An example shown in Fig. 19 is the result of experiment carried out in the open on an extremely calm day, Oct. 18, 1951 with respect to *Myrica rubra*. But, a certain amount of variation in the transpiration rate can be seen, as in the curve B, in applying the latter method.

There is some benefit in each method, but at the same time there is also some defect, as illustrated above. In consequence, the author has adopted the latter method in this investigation, as it is more convenient to investigate the nature of transpiration rate correlating to the various environmental conditions. And generally, the transpiration rate is determined from the amount of water absorbed by a shoot, in every 5 minutes, in grams per hour per square meter. But in the case of *Cryptomeria japonica*, the unit of grams per hour per 100 grams of green leaf weight was adopted, because the measurement of the total leaf area was extremely difficult in this species.

It should be noted that the sum of one-side-areas of leaves was used as the total leaf area in the case of broad-leaved trees, but the whole leaf area was used in the case of pine trees.

In conclusion, the author wishes to express his gratitude to Dr. U. Nakaya of Hokkaido University who kindly took great pains to help the author throughout the research, and to Dr. A. Higashi of the same University and Dr. M. Akiba of Tokyo University. He is also grateful to Dr. M. Ohmasa, the Director of the Government Forest Experiment Station in Tokyo, who kindly led the author in preparing the report.