

針葉樹にはたらく風の力と針葉樹 が捕捉する霧水量

Zyungo YOSIDA, Daisuke KURONWA: The Wind Force on a Conifer
Tree and the Quantity of Fog Water thereby Captured

吉 田 順 五*
黒 岩 大 助*

§ 1. 緒 論

霧をふくんだ風が木にあたると、木は風の力を受けると同時に霧を捕捉する。木がうける力が大きいほど霧の捕捉量も多くなるであろう。ある林の防霧林としての作用を研究するのに、林の木が霧を捕捉する能力が問題となるが、実際には木によつて捕捉される霧の量を直接に測定することが非常にむづかしい。しかし、木にはたらく風の力を測ることに、さほどの困難はないと思われる。それゆえ、もし風の力と霧の捕捉量とのあいだに存在する関係がわかれば、林の木にはたらく風の力を直接にはかつてその木が実際に捕捉する霧の量をきめることができるわけである。以下に述べる研究は高さ 2m の針葉樹（トドマツ）について、それに働く風の力とそれが捕捉する霧の量とを直接に測定し、両者のあいだの関係を求めて、上の問題に対してのひとつの資料にしようとするものである。

§ 2. 木にはたらく力 f の測定

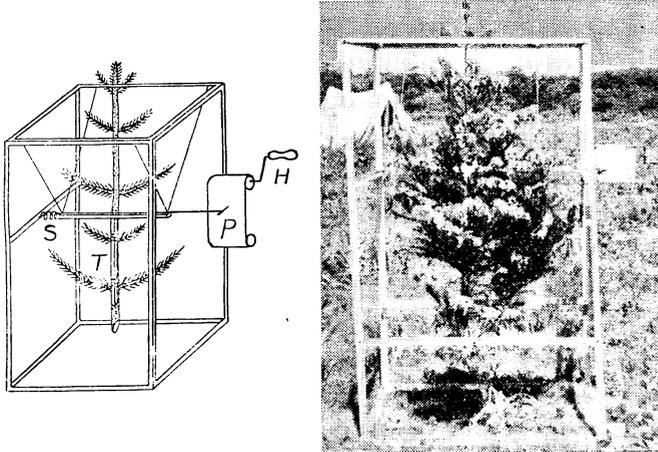
鉄のアンクル材を組んで作った高さ 1.7m、たてよこ 1m の枠に、第1図のように、T 字形の木枠 T を糸で吊し、この T にトドマツの木をしばりつける。T 字枠の面が風の方向と一致するような位置におくと、風の力 f によつて T は右の方に x だけ移動する。風が強くて x があまりに大きくなる時は、図に示したように、T と鉄枠とのあいだにスプリング S をとりつけた。T にはまた、先端に鉛筆をつけた細い棒がとりつけてあるので、それによつて x の値が紙 P の上にしるされる。ハンドル H を手でまわしながら紙を移動させ、風の変動によつておこる x の変化を記録した。かくしてえられた x の記録の一例を第2図に示した。 x は時間とともに相当はげしく変動し、風の力 f の変動のはげしいことを示している。

f と x とのあいだの関係は、吊された木と T 字枠との質量を m 、それにはたらく restoring force の係数を a とすれば、

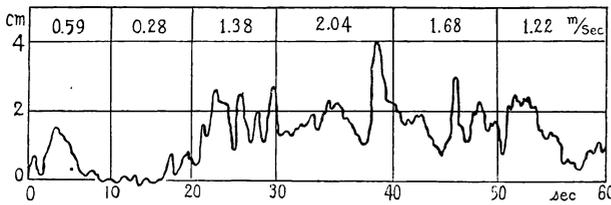
$$m \frac{d^2x}{dt^2} = -ax + f(t) \dots \dots \dots (1)$$

で表わされる。 a の値は、スプリング S をつけないとき 0.06 kg-wt/cm、つけたとき 0.10

* 北海道大学低温科学研究所応用物理学部門



第1図 木にはたらく力の測定装置



第2図 木の変位 x の記録の一部、図の上部の数字は 10 sec 間の平均風速

kg-wt/cm で、 m の値は 3.9 kg であつた。

x と f とは (1) 式によつて結ばれているので、 x が常に f に比例しているわけではない。しかし、ある時間のあいだについての平均値をとることにすれば、(1) 式から

$$a\bar{x} = \bar{f} \dots \dots (2)$$

がえられ、 x 、 f の平均値 \bar{x} 、 \bar{f} のあいだには比例関係が成り立つ。それで、 x の記録から \bar{x} を求めれば、(2) 式によつて \bar{f} を計算することができる。吊された部分は振動体で、その固有週期は $a = 0.06$

kg-wt/cm のとき 1.6 sec、 $a = 0.10$ kg-wt/cm のとき 1.25 sec である。また第2図から x の変動の週期もだいたいこの程度のものである。それで、(2) 式の平均値を作るときの平均時間としては、最小で 10 sec をとつた。10 sec あれば、そのなかに、振子の週期、 x の週期が 5 つか 6 つ含まれることになり、平均値も意味をもちうると考えられる。

§ 3. 木の抵抗係数 C の決定

風速を v 、風の方向に直角な木の断面積、すなわち有効正面積を A 、空気の密度を ρ とすれば、木の抵抗係数 C は

$$f = \frac{1}{2} \rho AC v^2 \dots \dots \dots (3)$$

で定義される。 f は前節とおなじ木にはたらく風の力である。ただし、これは木が土地に生えている場合で、§ 2. の測定の場合には、木が $\frac{dx}{dt}$ の速度をもつて運動しているので、そのときには

$$f = \frac{1}{2} \rho AC \left(v - \frac{dx}{dt} \right)^2 \dots \dots \dots (4)$$

としなければならない。ただし、(4) 式は $v > \frac{dx}{dt}$ の場合だけになりたつ。 $v < \frac{dx}{dt}$ のときは、(4) の右辺に負号をつけなければならない。しかし、 $v < \frac{dx}{dt}$ になる場合は非常に少な

いと考えられるので、常に (2) 式が成立しているものと仮定する。

§ 2. の (1) 式とこの (4) 式とから、

$$C = \frac{2a}{\rho A} [\bar{x}(\bar{v}^2 + \overline{\Delta v^2} + \omega^2 \overline{\Delta x^2})] \dots \dots \dots (5)$$

が導かれる。この式で、 ω^2 は a/m を表わし、 Δv 、 Δx はそれぞれ v 、 x のその平均値からの偏差を表わす。すなわち、 $v = \bar{v} + \Delta v$ 、 $x = \bar{x} + \Delta x$ である。またこの式を導くに当たっては $\overline{\Delta v \Delta x}$ 、 $\overline{\Delta x \Delta f}$ がともに 0 であると仮定した。 Δf は f のその平均値 \bar{f} からの偏差である。

風速は、携帯用の風力計を地上 2m の高さにおいて測定した。風力計の読みを 10 sec ごとにとつたので、10 sec 間の平均風速を測定したわけでこれによつて (5) 式の \bar{v} が与えられる。 $\overline{\Delta v^2}$ は、楢¹⁾が熱線風速計をつかつて測定した。それによると、 $\overline{\Delta v^2}$ と \bar{v}^2 とのあいだに簡単な関係は見出されないが、だいたいにおいて、 $\overline{\Delta v^2}$ を \bar{v}^2 の半分の値にとればよいようである。それで、(5) 式の $\overline{\Delta v^2}$ を $1.5\bar{v}^2$ とおくことにする。 $\omega^2 \overline{\Delta x^2}$ は、 $\overline{\Delta x^2}$ を x の記録から求めて計算すると、 \bar{v}^2 の数十分の一にすぎないのでこれは省略する。それで (5) 式は

$$C = \frac{2a}{1.5A\rho} \cdot \frac{\bar{x}}{\bar{v}^2} \dots \dots \dots (6)$$

とかくことができる。あと、 C の値をだすためには A を知る必要があるが、 A の値は木のようなものについては決定することが非常にむづかしい。それで、木の高さと木の横巾との積で与えられる面積 $A' = 1.5\text{m} \times 1.0\text{m} = 1.5 \times 10^4 \text{cm}^2$ を (6) 式の A の代りにいれて求めた値 C' を計算することとした。 A' と有効正面積の眞実の値 A との比を

$$k = A'/A$$

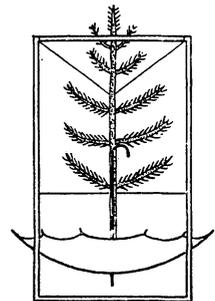
とすれば、眞実の抵抗係数 C は

$$C = kC'$$

で与えられる。

§ 4. 木に捕捉される霧水量の測定

第1図のおなじに作った別の鉄の枠に、第3図に示したように紐で木を吊し、それにコーモリ傘を倒さにしばりつけた。木に捕捉された霧水は幹をつたわるか、枝から直接落ちるかして傘のなかにたまる。1時間ごとに傘にたまつた水の量をメスシリンダーで測つて、その量を1時間のあいだに木が捕捉した霧水の量 q とした。



第3図 木が捕捉した霧水の測定装置

§ 5. 測定 の 環 境

以上の方法により、昭和 27 年 7 月、北海道根室国落石で測定を行つた。海岸に接して広い牧場があり、そこに林業試験場の手で樹高 2m のトドマツの若木の根を切つたものを地面につきさして人工的に雛形林が造られた。この林の奥行は約 13m で、面積 1.95m^2 につき 1 本

の割合で若木が立っている。

第1図、第3図の測定装置は移動が容易なので、これを林の外に置いて独立した木の状態にして測定したり、また、林のなかの木を1本ひきぬきそのあとにこの装置を据え、林のなかの木の状態にしたりして測定を行った。

§ 6. f の測定結果

独立にたつている木と、林のなかにたつている木とはたらく風の力の比較を行うために、第1図の装置をまず林の外、野原のなかにおき、ついでこの装置を林の中央において測定を行った。2つの測定を2つの測定装置で行つたのではなく、1つの装置を、時間をずらして、あいついで使つたのである。第3図に示したように、 x の変動は非常にはげしく風の消長の大きいことを表わしている。したがつて、林の外とうちとでの風の力 f の比較を上のようにして行うとき、両方の場合で風の強さがおなじであるとはいいきれない。しかし、比較的 x の変動が小さいときには、風の状態が両方の場合であまりちがわないと考えてよいであろう。それで実際に行つた測定のうちから x の変動の少ないものを択りだして、約2分間にわたつての f の平均値 \bar{f} を求めて第1表に示した。 \bar{f}_1 は独立の木としての値、 \bar{f}_2 は林のなかの木としての

第 1 表

\bar{v} (m/s)	\bar{f}_1 (kg-wt)	\bar{f}_2 (kg-wt)	f_1 / \bar{f}_2	C'
1.9	0.13	0.04	3.3	0.088
2.1	0.15	0.03	5.0	0.055
5.0	0.46	0.14	3.3	0.045

の値、 \bar{v} は林のそと地上 2m での平均風速である。この表からみて、林のなかの木は、それが独立な木としてあるときにうける風の力のだ

いたい 1/2 から 1/3 の力をうけることがわかる。

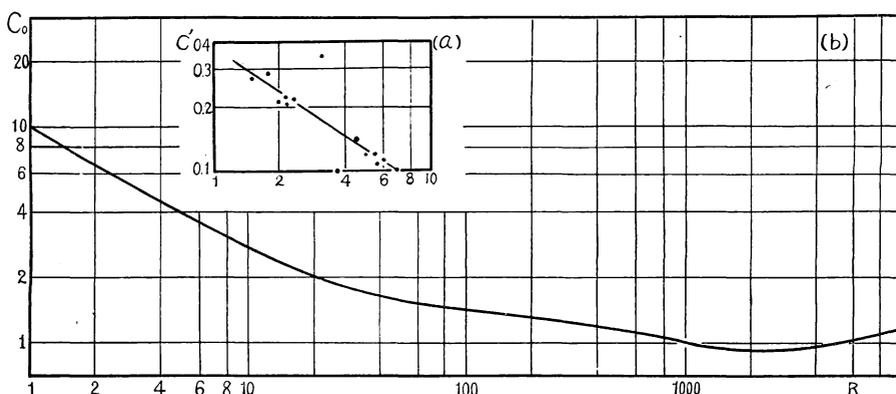
林のなかの木は、1.95m² の面積あたり1本の割合でうえられているので、 $\tau = \bar{f}_2 / 1.95$ は、林の平面 1m² の面積が風によつてひきずられる drag を表わす。P. A. Sheppard²⁾ にならつて

$$\tau = \frac{1}{2} \rho C' \bar{v}^3 \dots\dots\dots (7)$$

とおき、 C' を計算した結果を第1表に示してある。 ρ は空気の密度である。Sheppard はいろいろな状態の地表面について C' の値を計算して出している。それによると、(7) 式の \bar{v} に地上 2m の風速を使つた場合、50cm ほどの草がまばらに生えた土地では $C' = 0.0232$ 、密に生えた土地では $C' = 0.032$ である。したがつて、おなじ風の状態のもとでは、高さ 2m ほどの林があると、そこが草原であつた場合にくらべて、drag τ が2倍ないし3倍にふえるということになる。

§ 7. C の測定結果

§ 3. にのべた方法によつて、独立した木の状態での抵抗係数 C' を決定し、それと地上 2m

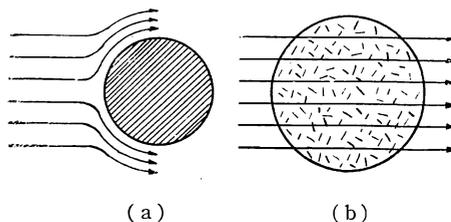


第4図 (a) 木の抵抗係数 C' と風速との関係、横軸は風速を m/sec で表わす
 (b) 円筒の抵抗係数 C_0 とレイノルズ数 R との関係 (Handb. d. Experimentalphys. IV, 2, p. 313 (1932) より)

での平均風速 \bar{v} との関係を対数方眼紙の上に書いたのが第4図(a)である。 \bar{v} は 1.5m/s から 6 m/s の範囲にある。 $\log C'$ と $\log \bar{v}$ との関係はかなりよく直線で表わされる。

他の物体と同様に、木の抵抗係数もレイノルズ数 $R = \bar{v}l/\nu$ の函数であると考えてよいであろう。ここに l は木に固有ななんらかの長さで、 ν は空気分子の動粘性係数である。そして、真実の抵抗係数 C の対数 $\log C$ と $\log R$ との関係が、ただ対数方眼紙の上で $\log C'$ と $\log \bar{v}$ との関係を表わす直線を平行移動させることによつて求められることは明らかである。なぜならば、 C は C' に比例し R は \bar{v} に比例しているからである。かくして、 $\log C$ と $\log R$ との関係は、第4図(a)の直線とおなじ傾斜をもつたある直線で表わされることになる。まづたくおなじことが $\log C$ と $\log \bar{v}$ 、 $\log C$ と $\log R$ とのあいだについてもいわれることは明らかである。

木に働く力 f のメカニズムを考えるための模型として、次の2つのものが考えられるであろう。第1は、木をその枝の平均長さを半径とする円筒とし、風は第5図(a)に示したように、そのまわりをまわつて流れながら力をおよぼすとするものである。第2は、第5



第5図 木に対する風の作用の模型

図(b)に示したもので、木を葉の単なる集合と考え、風はその速度をおとさず葉の集合のなかにはいつて個々の葉に力を及ぼし、それらの力の総和が f になると考えるものである。そして、このうち第2のものの方が事実に近いということが次のようにして証明される。

測定に用いた木の枝の平均の長さはほぼ 30 cm なので、第1の模型によれば、木を直径 D が 60 cm の円筒と考えることになる。すると、レイノルズ数は $R = D\bar{v}/\nu = 4 \times \bar{v} \times 10^4$ (\bar{v} は m/s の単位で表わす) で、第4図の測定での風速範囲 1.5 m/s ~ 6 m/s に対して $6 \times 10^4 \sim 2.4$

$\times 10^5$ の値をもつことになる。第4図(b)に示した曲線は、円筒の抵抗係数とレイノルズ数との関係を示すよく知られた曲線で Wieselsberger が風洞実験によつて求めたものである。この曲線は、右の方レイノルズ数の大きい方にずつと続いているのであつて、第4図の右端から先、レイノルズ数が 10^4 よりも大きいところでは、抵抗係数は常数となり曲線は水平になる。ところで、上の R の値 $6 \times 10^4 \sim 2.4 \times 10^5$ は、この円筒に関する曲線が水平直線になる範囲にある。すなわち、木を第5図(a)のような1本の太い円筒と考えると、風速が $1.5 \sim 6$ m/s の範囲で変化しても抵抗係数 C が変化をうけないはずなのである。しかるに、実際には、 $\log C$ と $\log \bar{v}$ との関係は、第4図(a)の直線とおなじ傾斜をもつた直線で表わされるのであるから、第5図(a)の模型は事実とあわないことになる。

しかしながら、河田三治³⁾が注意したように、レイノルズ数 R のなかにはいつている分子動粘数 ν の代りに渦動動粘性係数を用いることにすれば、 R の値はもつと小さくなり、第4図(b)の曲線がレイノルズ数の増加とともに減少するあたりにくるかも知れない。ただ、この場合に使う渦動動粘性係数としては、木の直径 D にくらべてはるかに小さい乱子のみによつて起るものをとらなければならないわけである。このような渦動動粘性係数がどのような値をもつか筆者には不明なので、この問題についての検討はこれ以上ここでは進めないこととする。

次に、第5図(b)による第2の模型を考える。測定につかつた木は針葉樹のトドマツで、その葉は直径 2mm の円筒と考えられる。すると、1本の葉についてのレイノルズ数 R は、風速 $1.5 \sim 6$ m/s の範囲に対して $210 \sim 840$ となる。第2の模型では、木全体にはたらく風の力を1本1本の葉にはたらく力の総和と考えるのであるから、木全体の抵抗係数 C は1本の葉の抵抗係数 C_0 に比例していなければならない。したがつて、もし $\log C_0$ と $\log R$ との関係が直線で表わされるならば、 $\log C$ と $\log \bar{v}$ との関係もまたおなじ傾斜の直線で表わされることになる。しかるに、第4図(b)の曲線は、レイノルズ数が $210 \sim 810$ の範囲で右さがりの直線をなして、これが $\log C_0$ と $\log R$ との関係を示すものである。そして実測によつて得られた $\log C$ と $\log \bar{v}$ の関係は第4図(a)の直線とおなじ傾斜の右さがりの直線で表わされるのであるから、ここに模型からの推論と実測とが一致したことになる。なお、門田正也、三位道夫⁴⁾が風洞実験によつて松の枝の抵抗係数を測定したところによると、風速 15 m/sec の附近では、風速が変化しても抵抗係数に大きな変化はない。そして、 $\bar{v} = 15$ m/sec では R が 2100 となるが、第4図(b)の曲線はこのレイノルズ数のところでほとんど水平になつている。このことも、木にはたらく風の力が、風がそのままの速度で1本1本の葉におよぼす力の総和であるとする考えを裏がきしている。

ただ、第4図(a)の直線の傾斜は同図(b)のレイノルズ数 $210 \sim 810$ における直線部分の傾斜にくらべるとかなり大きい。このくいちがいはいは次のようにして説明されるであろう。 C は

§ 3. の (6) 式によつて与えられるが、第4図 (a) の直線は (6) 式において有効正面積 A を不変なものとした場合に相当している。しかし、実際には風速 \bar{v} が大きくなるとともに葉は風になびいて、 A は小さくなる。したがつて、 C が \bar{v} の増加とともに減少する実際の度合は、 A を不変としたときの減少の度合よりも小さいのであつて、実際の $\log C$ と $\log \bar{v}$ との関係を示す直線の傾斜は第4図 (a) の直線の傾斜よりは小さくなければならないわけである。ただ、 A が \bar{v} によつて変化する様子がわからないのでこれ以上のことはいわれない。しかし、次に説明するように、第2の模型によつて木全体にはたらく力 f を求めると、それが実測値とだいたい一致するというこゝによつてこの欠陥は補われると考へてよいであらう。

第2の模型によれば、 f は

$$f = \frac{1}{2} \rho C_0 A \bar{v}^2 \dots\dots\dots (8)$$

で与えられる。 ρ は空気の密度、 C_0 は直径 2mm の円筒の抵抗係数、 A は1本1本の葉の有効正面積の総和である。 A の値を求めるために、まず、すべての葉が風向に直角になつてゐるとした場合の総有効正面積 A'' を求める。松井善喜⁵⁾ の測定によると測定を行つた場所の近くにあるトドマツは、木の全重量の4割にあたる葉をつけている。そして、葉の実質の密度は 0.91 である。測定につかつたトドマツの重量は 3kg なので、葉の重量は 1.2kg であり、これを密度でわつて、葉の占める空間容積として $1.3 \times 10^3 \text{ cm}^3$ がえられる。これを葉の断面積 $\pi \times 10^{-2} \text{ cm}^2$ であると、すべての葉の長さの和 $4.2 \times 10^4 \text{ cm}$ となる。これに、葉の直径 0.2 cm をかけた $8.4 \times 10^3 \text{ cm}^2$ が A'' にほかならない。葉は小枝のまわりに放射状についてゐる。そして小枝はまた幹のまわりに放射状についてゐるので、葉はおなじ確率ですべての方向をむいてゐると考へてよいであらう。すると、実際の有効正面積 A は A'' の半分になることが容易に証明される。したがつて A の値は

$$A = 4.2 \times 10^3 \text{ cm}^2$$

となる。この A の値をつかつて、§ 6. の第1表の観測例について、(8) 式による f の計算値を求めたのが第2表であるが、計算値は実測値とかなりよく一致している。

かくして、 f の絶対値においてだいたい実測値と一致する結果を与へ、その上 f の風速による変化の傾向をも正しく与へうということによつ

第 2 表

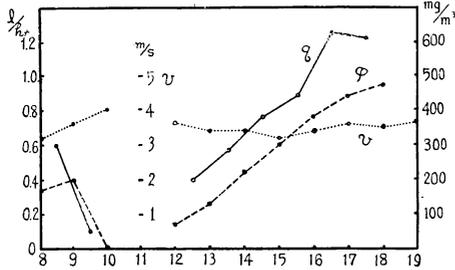
\bar{v} (m/s)	R	C_0	f (kg-wt) (計算)	f (kg-wt) (実測)
1.9	270	1.2	0.12	0.13
2.1	290	1.2	0.15	0.15
5.0	700	1.05	0.70	0.46

て、第2の模型が実際に近いものであると考へてよいであらう。

§ 8. 木が捕捉する霧水量 q の測定結果

第6図に、7月26日の午前8時から午後7時までのあいだに、§ 3. に説明した装置が独立

木の状態で1時間ごとに捕捉した霧水量 q 、地上 1m における風速 v および地上 1m における空気 1m³ 中の霧水量 φ とが示してある。 φ の測定法については黒岩大助、木下誠一⁶⁾ が別に詳しく説明してある。全測定時間にわたつて風速 v はほぼ一定の 3.4 m/s である。 φ と q とはよく比例している。



第6図 空气中的霧水量 φ (mg/m³)、木の捕捉霧水量 q (litre/hr)、風速 v (m/sec) の測定値、横軸は時刻

前節 § 7. でのべたように、風の木に対する作用は、風がもとのままの風速 v で1本1本の葉にあたつてそれによぼす作用の総和と考えてよい。したがつて、木によつて捕捉される霧水量 q も、1本の葉が v なる速度でそれに衝突する空気のみから捕捉する霧水量を全部の葉について加えあわせればよいわけである。

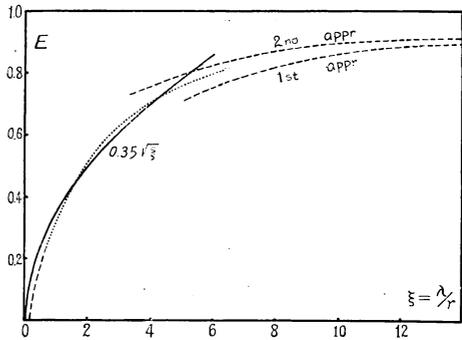
葉は直径 2mm の円筒と考えられる。半径 r 、長さ l の円筒が φ なる霧水量をもつ風速 v の風に直角におかれたとき、それが単位時間に捕捉する霧水量は

$$a \cdot 2rl \cdot v \cdot \varphi \dots\dots\dots (9)$$

で表わされ、 a は捕捉率といわれる 1 より小さい数である。 $2rl$ は円筒の有効正面積にほかならない。 a は、 v 、 r 、霧粒の半径 a の函数で、円筒のまわりの空気の流れをポテンシャル流と仮定して F. Albrecht⁷⁾ がその値を理論的に計算した。そして、さらに、おなじ仮定のもとに今井一郎⁸⁾ が詳しい計算を行つた。第7図は今井の計算の結果である。水の密度を σ 、空気の粘性係数を η とし

$$\lambda = \frac{2}{9} \cdot \frac{\sigma}{\eta} a^2 v \dots\dots\dots (10)$$

と定義すると、捕捉率 a は $\xi = \lambda/r$ の函数となることが示される。今井は ξ の小さい値 ($0 < \xi < 0.7$) および ξ の大きい値 ($4 < \xi$) について第7図の破線で表わされる結果を得た。 $4 < \xi$ に対して2本の破線がかいてあるが、一方は第1近似まで、他方は第2近似まで計算した結果である。 $0.7 < \xi < 4$ の ξ に対する計算はないけれども、 a と ξ の関係は、だいたい図の点線によつて表わされるものと考えてよいであろう。



第7図 円筒の霧水捕捉率 E

小島賢治、大野武敏、山地健次⁹⁾ の測定結果によると、測定を行つた落石での霧粒の半

径 a は 0.01mm 附近のことが非常に多い。それで a を 0.01mm とし、風速を v m/sec とすると

$$\lambda = 1.2 \times v \text{ mm}$$

となる。われわれの取り扱う移流霧に伴う風速は 2m/s~5m/s のことが多いので、 λ は 2.4mm から 6mm の範囲にあるわけである。したがって、測定につかつたトドマツの葉の半径 r を 1mm とすれば、 ξ は 2.4~6 の範囲のものとなる。この ξ の範囲では今井の計算が行われていないのであるが、

$$\alpha = 0.35\sqrt{\xi} \quad 2 < \xi < 6 \dots\dots\dots (11)$$

としてこれを曲線にすると 第7図の実線となり、これは点線の曲線とかなりよく一致している。それで簡単のために、捕捉率 α はこの式で与えられるものと仮定する。

さて、木を直径 2mm の葉の集合として、木全体が捕捉する霧水量は (8) 式の $2rl$ の代りに、前節の終りのところで計算した $A = 4.2 \times 10^3 \text{ cm}^2$ をいれればよいことはあきらかである。かくして、空気中の霧水量を $\varphi \text{ gr/m}^3$ 、風速を $v \text{ m/sec}$ とすると、1時間に木が捕捉する霧水量 q はリットルの単位を用いて

$$q = 0.45 \cdot \varphi \cdot v^{\frac{3}{2}} \text{ リットル} \dots\dots\dots (12)$$

によつて与えられることになる。

第6図の午後5時と6時とのあいだでは、 $\varphi = 0.45 \text{ gr/m}^3$ 、 $v = 3.5 \text{ m/sec}$ であつて、 q の実測値は 1.24 リットルである。この φ 、 v の値を上の式にいれると $q = 1.33 \text{ リットル}$ となり実測値に近い値が得られる。

(12) 式によると φ がおなじならば、 q は $v^{\frac{3}{2}}$ に比例しなければならない。今回の観測で、 φ のおなじ値 0.26 gr/m^3 に対し

て、第3表のような v と q とが異なる2つの場合を得た。これについて $q/v^{\frac{3}{2}}$ を計算すると表に示すような値となり、2つの場合について

第 3 表

φ (gr/m ³)	v (m/s)	q (litre/hour)	$q/v^{\frac{3}{2}}$
0.26	1.4	0.16	0.097
0.26	3.5	0.70	0.107

の $q/v^{\frac{3}{2}}$ の値は非常に近く、 q が $v^{\frac{3}{2}}$ に比例していることが示される。

§ 9. q と f との関係

f は (8) 式

$$f = \frac{1}{2} \rho C_0 A \bar{v}^2 \dots\dots\dots (8)$$

で表わされ、 q は (9) (10) (11) 式によつて

$$q = 0.35 \sqrt{\frac{2}{9}} \sqrt{\frac{\sigma}{\eta}} \frac{a}{\sqrt{r}} \cdot A \cdot v^{\frac{3}{2}} \cdot \varphi \dots\dots\dots (13)$$

で表わされる。ここに

ρ : 空気の密度 A : すべての葉に関する有効正面積 C_0 : 葉とおなじ直径の

円筒の抵抗係数 v : 風速 σ : 水の密度 η : 空気の粘性係数 a : 霧粒の半径 r : 葉の半径 φ : 空気の単位体積中にふくまれる霧水量

である。(8) 式と (10) 式とから

$$q = 0.35 \cdot \sqrt{\frac{2}{9}} \cdot 2^{\frac{3}{4}} \cdot \sqrt{\frac{\sigma}{\eta}} \cdot (\rho C_0)^{-\frac{3}{4}} \cdot \frac{a}{\sqrt{r}} \cdot \varphi \cdot A^{\frac{1}{4}} \cdot f^{\frac{3}{4}} \dots \dots (14)$$

として、 q と f との関係が求められる。 C_0 はほとんど 1 なので $C_0=1$ とし、他のすべての量を c. g. s. 単位で表わすと、(14) 式は

$$q = 3.12 \times 10^3 \cdot \frac{a}{\sqrt{r}} \cdot \varphi \cdot A^{\frac{1}{4}} \cdot f^{\frac{3}{4}} \text{ gr/sec}$$

となる。 a/\sqrt{r} , φ は木の 1 本の葉と霧の性質に関するものである。今、これらは与えられたものとしても、 q は f のみならず A にも関係する。したがって、 q を知るためには f を測定しただけでは不十分で、木についている葉の量をも知らなければならない。

しかし、独立した木と林のなかの木とについての q の比を求めるようなときには、両方の木に関して風速 v がおなじであるとの仮定のもとに、 f の測定だけでその比がきめられる。 v がおなじならば (8) 式によつてあきらかなように、 f は A のちがいでだけによつて変り、 A は f に比例することになる。したがって、(14) 式により q は f に比例する。すなわち、両方の木についての f の比が q の比にひとしい。今回の観測で林のなかと外との木について q の比較を 1 回だけ実測によつてもとめたが、その比は 1:4 であつた。ところが、§ 6. にのべたように、 f の比は 1:2 ないし 1:3 で、 q と f との比の一致はあまりよくない。しかし、これはただ 1 つの実測例についてのものであるから、このことだけから上の式が誤りであるとはいえないであらう。

この場合の林のなかの q の値は 0.23 l/hr であつた。林は 1.95 m² について 1 本の割合で木が植えられているから、林の平面 1 m² についての霧水捕捉量は 0.12 l/m² hr あるいは 3.3 × 10⁻³ mg/cm². sec となる。ただし、林のそと地上 1 m での風速は 3.50 m/s、空気中の霧水量は 450 mg/m³ であつた。

§ 6. で、風が地面に加える drag は林では草地の 2 倍ないし 3 倍になつていることをのべた。drag は風が草や木に加える力によつて現われるのであるから、地面の単位面積に捕捉される霧水量は、drag の大きさに比例するとしてよいであらう。そうすると、林は草地の 2 倍ないし 3 倍の霧粒を捕捉することになる。ただし、ここにいう林は実際の林でなく樹高約 2 m の籐形林である。

§.10. 要 約

高さ 2 m の針葉樹エゾマツの若木を移流霧のなかにおいて、それにはたらく風の力 f と、それが捕捉する霧水量 q とを測定した。針葉樹の葉は、ほぼ円筒形なので、木全体をこれらの円筒の集合とみなす。そして風は、それが木の外でもつている風速 v をもつて個々の円筒に作

用し、個々の円筒に対する作用の総和が木全体についての作用となるとして計算したら、 f も q も実測値とよくあう結果を与えた。この理論によると、風速 v が一定ならば、 q は f に比例することになる。 f の測定は、人工的に作った高さ 2m の雛形林のそととなかとで行つたが、その結果、林のなかでは f の値が外の値の 1/2 ないし 1/3 であることがわかつた。したがつて、林のなかの木は、林のそとにある独立木の 1/2 ないし 1/3 の霧水しか捕捉しないわけである。また、おなじく f の測定の結果により、野原にくらべて林は 2 倍ないし 3 倍の霧水量を捕捉するということが知られた。

この研究にあつては、林業試験場の武田京一博士、低温科学研究所の楠宏学士に測定そのものみならず、ほかの点でもいろいろと非常にお世話になつた。ここにそのことを記して厚く感謝する次第である。

文 献

- 1) 楠 宏：未発表
- 2) Sheppard, P. A. (1947): The aerodynamic drag of the earth's surface and the value of von Karman's constant in the lower atmosphere. Proc. Roy. Soc. London (A), 188, 208—222.
- 3) 河田三治 (1948): 防風林の模型実験はできるか, 林友会青森支部防潮林経営研究録 33~36.
- 4) 門田正也, 三位道夫 (1951, 1952): 防風林の風洞実験, 東大立地自然科学研究所報告, 第 7, 8, 10 号
- 5) 松井善喜 (1952): 落石地方の森林の防霧指数に関する 2, 3 の考察 防霧林に関する研究 2, 301~320.
- 6) 黒岩大助, 木下誠一 (1952): 繫留気球用霧水量計ならびにそれによる霧水量の高度分布の測定 防霧林に関する研究, 2, 185~194.
- 7) Albrecht, Fritz (1931): Theoretische Untersuchungen Über die Ablagerung von Staub aus Strömender Luft und ihre Anwendungen aut die Theorie der Staubfilter. Phys. ZS., 32, 48~56.
- 8) 今井一郎 (1941): 物体による気流中の微粒子の捕捉 気象集誌, 19, 217~226.
- 9) 小島賢治, 大野武敏, 山地健次 (1952): 霧粒の大きさの測定 防霧林に関する研究, 2, 223~234.

Résumé

A short conifer tree without root of 2 meter in height is made to stand in a foggy wind and the wind force upon it as well as the quantity of fog water which it captures are measured. The purpose of the measurement is to find out a relation between these two quantities and to use it for determining the quantity of fog water captured by a grown-up conifer tree by actual measurement of the wind force upon it. A relation between them is deduced by a simple theoretical consideration and it is found to be in accord with the experimental results.