



Title	霧粒の粒径分布の變化より見たる模型林の防霧効果
Author(s)	大喜多, 敏一; OKITA, Toshiichi
Citation	低温科學. 物理篇, 11, 29-38
Issue Date	1953-10-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/17863
Type	departmental bulletin paper
File Information	11_p29-38.pdf



霧粒の粒徑分布の變化より見たる 模型林の防霧効果*

大喜多敏一

(北海道學藝大學旭川分校, 低溫科學研究所 氣象學部門)

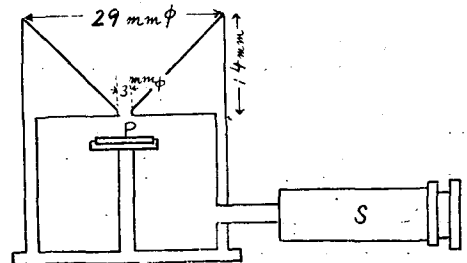
(昭和28年8月受理)

I. 緒言

1952年7月19日より27日にかけて落石で行われた模型林による防霧効果の研究の際に、著者は捕捉器及び顯微鏡寫眞機を用いて林の内部及び前後における霧粒の粒徑分布の變化の模様を調べ、その結果林の防霧効果は捕捉及び蒸發の兩作用の加え合わさつたものである事を見出した。更に地面により捕捉せられる霧粒の數並びに垂直方向における粒徑分布の變化について調べた。

II. 測定方法

霧粒は第1圖に示した様な捕捉器を用いて捕捉した。第1圖においてPに表面にセダー油を塗つたガラス板を置き吸入器Sを引くと霧粒が油の中に捕捉される様になつてゐる。その際捕捉器の捕捉率が問題になるわけであるがその捕捉率は吸入口の形、大きさに關係する。從來の研究に用いられた捕捉器では吸入口の口徑が比較的大きくその爲に小さい粒子を見逃す恐れがあつた。著者の用いたのは圖に示した様に口徑3mmのものであつた。顯微鏡寫眞は、對眼對物レンズの倍率を各々 $\times 10$ 、 $\times 4$ にしてとつたが、上記の口徑では捕捉した霧粒の全粒子が大體顯微鏡の視野一杯に入る様になつてゐる。なお捕捉率については第5節で再び検討する事にする。フィルムを現像した後引畫紙を節約する爲に再び倍率20倍の顯微鏡を用いてフィルムから直接數を読みとつた。



第1圖 霧粒捕集器

III. 林の中及び後における霧粒の數の變化

模型林は第2圖に示した様に南東及び北東に面して各々一箇所ずつつくれ風は測定期間中

* 北海道大學低溫科學研究所業績 第230號

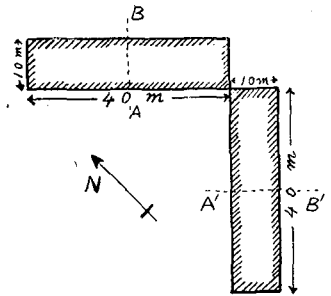
林の面に對して大体直角に吹いていた。それ故に林央を横切つて林の面に直角に基線 AB 又は A'B' を圖に示した様にとり、その線上高さ 60 cm における霧粒の数の減少の割合を調べた。

その結果を第 3 圖に示した。林の効果をわかり易くする爲に霧粒を直径 $5\sim 10\mu$, $10\sim 20\mu$, $20\sim 30\mu$, 30μ 以上の 4 グループに分けその各々の数の變化を調べたもので、縦軸には林の 1 m 前方における霧粒の数を 1 とした場合の各測定點における數、横軸には林の前面から風下に向つてとつた距離を示している。なお直径 5μ 以下の粒子もかなり見出されたが測定した數が不正確な爲に今回は問題にしなかつた。

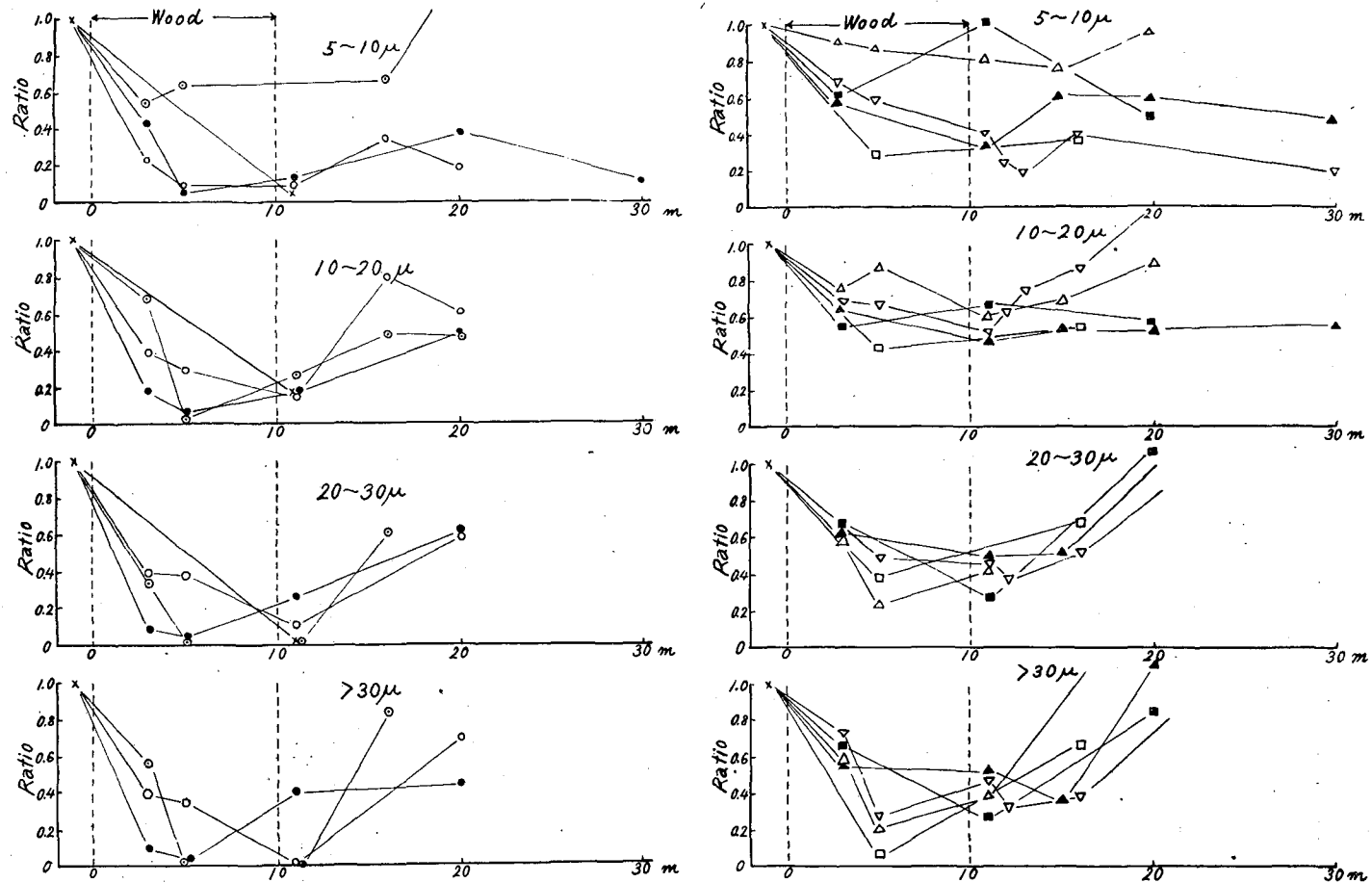
林の中における粒子數の減少の模様を調べて先ず氣のつく事は直径 $5\sim 10\mu$ の粒子の數の減少率の大きい場合 (例 21 日 8 h 53 m—10 h 45 m) と餘り減少していない場合 (例 25 日 3 h 56 m—4 h 37 m) との兩者がある事である。もつともその中間の場合 (例 25 日 5 h 30 m—7 h 17 m) もある。一般に晝間霧の薄い時には減少率が大きく早朝及び霧の濃い場合には小さい。これは晝間は日射により地面附近の氣層が暖められ、特に林の中及び後では亂流によつて熱が上方に奪われる割合が小さい爲に氣溫が高まり、従つて霧粒の蒸發が促進される爲だろうと考えられる。實際に高さ 2 m における林前、林後の氣溫の差を測定して見ると甚だしい時には 1.9°C にも達している。それに反して早朝及び霧の濃い場合には日射量が少なく従つて霧粒の蒸發も少なく、減少は主に捕捉によるものであると考えられる。一方直径 10μ 以上の粒子においては、特に 20μ 以上になると今迄に述べた二つの型に分ける事が一般に難しく大体同様な變化をたどつている。従つてこれらの大きさの粒子は主として林に捕捉されて減少したものであると考える事が出来る。

次に林の後におけるこれらの粒子の變化の模様をたどつて見ると、一般に林の $10\sim 20\text{m}$ 後方で林前の値に戻る様である。併し乍ら蒸發効果の甚だしい時においては小さい粒子は林の相當後でも中々その數が林前の値に回復しない。實際に蒸發効果の著しい場合の林の 20m 後方における氣溫を林前の値と比較すると $0.5\sim 1^{\circ}\text{C}$ も高く従つて蒸發の効果が相當林の後方に迄及んでいる事が分る。

以上に述べたのは風の方向における變化の有様であつたが、一方林の後面に沿つて林後 $1\sim 3\text{m}$ の場所において霧粒の減少率がどの様に變つてゐるかを調べて見た所、林縁の後でも林央の後方と同じ割合で減少している事が分つた。即ち少なくとも林後 3m あたり迄は林縁の後においても林を廻つて入つて來る霧粒の影響を考えなくともよい事が分る。



第 2 圖 離形林



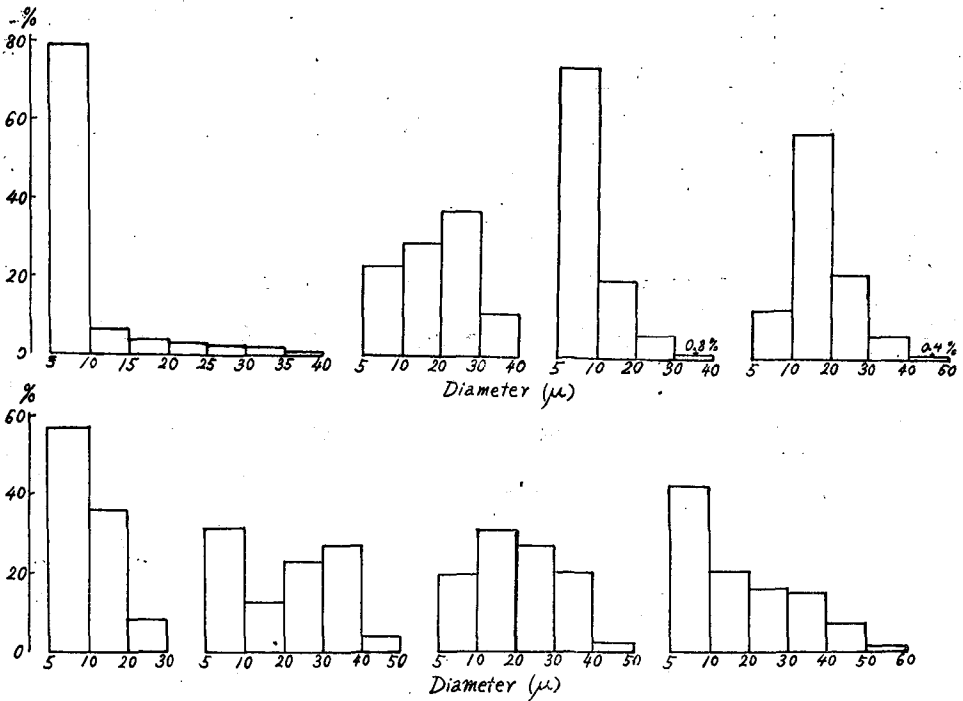
第3圖 測定線AB, A'B'上の霧粒の數, 林の前1mに於ける霧粒の數を標準とし, それに対する比で表わす

- | | | | | | |
|---|----------------------|---|----------------------|---|----------------------|
| × | Jul. 19. 11.51—12.10 | ● | Jul. 22. 13.20—13.41 | ▽ | Jul. 26. 5.07—7.32 |
| ○ | Jul. 21. 8.53—10.45 | △ | Jul. 25. 3.56—4.37 | □ | Jul. 26. 13.06—13.59 |
| ◎ | Jul. 22. 4.35—5.43 | ▲ | Jul. 25. 5.30—7.17 | ■ | Jul. 27. 6.11—7.00 |

IV. 林の蒸發効果と捕捉効果との分離

前節で述べた結果を更につき進んで考察し併せて蒸發効果と捕捉効果とを分離する爲に次の様な計算を行つた。

先ず林の効果を $N = N_0 \varphi_e \varphi_c$ の形で表わした。ここで N_0 , N はそれぞれ林の 1 m 前方及び 1 m 後方における粒子数, φ_e , φ_c は各々蒸發及び捕捉による減少率である。ここで φ_e を計算によつて求めて見た。計算の例として比較的觀測の記録の揃つている 26 日 5 h 07 m—7 h 32 m の霧について調べた。先ず林の 1 m 前方における霧粒の分布は觀測から第 4 圖 (a) で與えられる。



第 4 圖 林の前 1 m での霧粒の大きさの分布。

上段左から下段にかけて順に; 26,0700, 25.4 (7 月 26 日 07 時 00 分, 1 cc 中の霧粒の數 25.4 の略, 以下おなじ); 21,1000, 7.5; 22,0507, 66.8; 22,1320, 6.9; 19,1156, 8.3; 25,0405, 40.1; 26,1333, 14.3; 27,0620, 28.4.

この様な分布を持つた霧粒が林の中を通り抜ける際に蒸發の爲に林の 1 m 後ではどの様に分布が變化するかを計算し, 前に述べた 4 つのグループの各々について林後の數を林前の數で割るとその各グループの蒸發による減少率が求まるわけである。

霧粒の蒸發式としては辻氏¹⁾が多くの研究を綜合して次の式を導いている。

$$-\frac{dr}{dt} = \frac{D}{r} \frac{C_s - C_\infty}{1 + \frac{D}{Kr}} \left(1 + \frac{0.276}{3\sqrt{\sigma}} \sqrt{Re} \right) \dots\dots\dots (1)$$

r : 霧粒の半徑, D : 水蒸氣の擴散係數,
 C_s : 霧粒の溫度に對する飽和水蒸氣密度,
 C_∞ : 空氣中の水蒸氣密度, Re : Reynolds 數,

$$\sigma = \frac{D}{\nu}, \quad K = \frac{\beta}{1-\beta/2} \sqrt{\frac{RT_a}{2\pi M}}$$

β : 凝結係數, T_a : 霧粒の絕對溫度,

R : 氣體恒數, M : 水の分子量;

ν : 空氣の動粘性係數,

單位は C.G.S. 單位を用いる事にする。

現在問題にしている粒子は最大 $r=200 \mu$ であるから (1) の括弧の中の第 2 項は高々 0.085 である。それ故ここでは省略する。

$$-\frac{dr}{dt} = \frac{D}{r} \frac{C_s - C_\infty}{1 + \frac{D}{Kr}} \dots\dots\dots (2)$$

となる。氣溫及び湿度の高さ 1 m における觀測値を第 1 表にあげた。この値を見ると大体氣溫及び湿度は林前から林後にむけて直線的に變化していることが分るから計算においてもこの兩者は直線的に變化するものと假定した。風速としては林前及び林後各々 1 m における觀測値の平均値 1.8 m/sec を用いると T_∞ , C_∞ は各々

第 1 表

測定場所	氣溫 °C	湿度 %
林の前 1 m	15.2	100
林の中央	15.6	99
林のうしろ 1 m	16.2	98

$$\left. \begin{aligned} T_\infty &= 15.2 + 0.15 t \\ C_\infty &= 1.294 \times 10^{-5} + 1.09 \times 10^{-7} t \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3)$$

で表わされる。

氣溫及び湿度が變化すると霧粒の溫度 T_a も變化するが、その變化は

$$\frac{4}{3} \pi r^3 \frac{dT_a}{dt} + 4\pi l D r \frac{C_s - C_\infty}{1 + \frac{D}{Kr}} + 4\pi \lambda r (T_a - T_\infty) = 0$$

で表わされる。

ここで l : 氣化の潜熱, λ : 空氣の熱傳導係數である。第 1 項は他の項にくらべて省略する事が出来るから上の式は

$$l D \frac{C_s - C_\infty}{1 + \frac{D}{Kr}} + \lambda (T_a - T_\infty) = 0 \dots\dots\dots (4)$$

となる。(2), (3), (4) 式を用い先に述べた方法により φ_e を求めると第 2 表の第 1 行の様になる。 $\varphi_{total} = \varphi_e \varphi_s$ は觀測から求まるから従つて φ_s も求められる。 φ_{total} 及びこの様にして求めた φ_s を第 2, 3 行に示した。一方日射の影響の少なかつたと思われる 25 日 3 h 56 m—4 h 37 m の減少

第2表 霧粒数減少の割合 φ_e : 蒸発によるもの, φ_c : 捕捉によるもの.

直 径 (μ)	φ_e	φ_{total}	$\varphi_{c cal.}$	$\varphi_{c obs.}$
5~10	0.44	0.39	0.89	0.80
10~20	0.78	0.49	0.63	0.59
20~30	0.90	0.44	0.49	0.41
>30	0.97	0.46	0.47	0.39

蒸発効果のいずれが大きいかという事が問題になる。それについて我々の観測した霧粒の粒径分布の例を第4圖にあげたが、一般に小さい粒子の数は日中は減少し早朝には多い。即ちこの事は日中には地表面が日射で暖められる爲に林がなくとも霧粒の蒸発が行われている事を示している。それ故に以上の事柄を考え合わせると計算の例に用いた26日5h07m—7h32mの場合の様に蒸発効果の方が大きい場合もあるが、全体として捕捉効果の方が幾分蒸発効果より大きいといえよう。

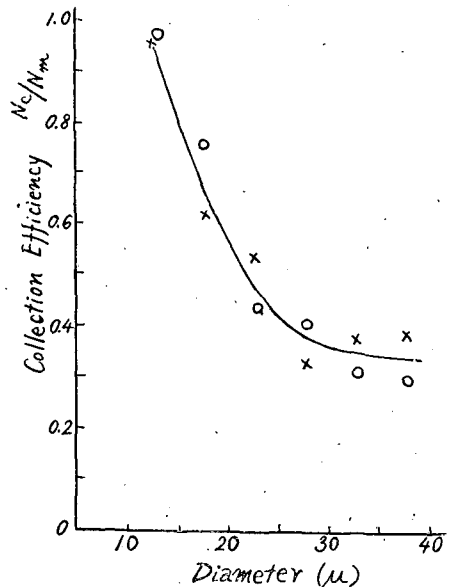
V. 地面による霧粒の捕捉

霧粒が亂流及び重力による落下により地面においてどの程度捕捉せられるかを調べる爲にスライドガラスにセダー油を塗つたものを3~5分間地上に放置し油の中に落下した粒子の数を測定した。測定は26日13h06m—13h59m, 27日6h11m—7h00mの2回行つた。それと同時にそのスライドガラスをおいた地點の眞上の大氣(高さ60cm)中における霧粒の分布を捕捉器を用いて調べた。27日の場合は無風状態で、従つて亂流の影響は考えられない。一方20日の場合には風速5m/secで気温の lapse rate も地面附近では superadiabatic であつたから風の亂れは相當大きかつたと思われる。

先づその兩者について高さ60cmで観測した分布をした霧粒が重力により Stokes の式に従つて落下したのものとしてそれより地面における落下数 N_c を求め、それとスライドガラスから読みとつた値 N_m と比較した。さて各粒径について N_c/N_m を計算して兩方の場合を比較すると第5圖の様になりよく一致する事が分つた。27

率を第4行に示した。これと第3行の値とを比較するとよく一致しており、25日の減少は主として捕捉によるものである事が分る。

なお表から小さい粒子の減少は主として蒸発によるものであり、大きい粒子の減少は捕捉によるものである事が分る。それでは實際には捕捉効果と蒸



第5圖 捕捉器の霧粒捕捉率 N_c/N_m .

○ 7月26日 1306—1359

× 7月27日 0611—0700

日の場合には粒子は Stokes の式に従つて落下したと考えられるから、 N_c/N_m が 1 でない事は捕捉器の捕捉率が 1 でないからであると考へられる。従つて 26 日と 27 日の N_c/N_m が一致した事は 26 日の場合即ち風の亂れの相當ある場合

でも霧粒の地面への落下量は風のない場合と同様に重力による落下だけで説明出来る事を示している。この點は 26 日の場合のスライドガラスへの落下數から Stokes の式を用いてその上の大氣中における霧水量を求めた所、第 3 表に示した様に霧水量計による測定値とよく一致する事によつても支持される。

以上に述べた事柄は風に向けておいた無限大の平面における霧粒の捕捉率が 0 であるという事からも容易に理解されるが、従來安易に取り扱われていた傾向があるのでここで一應注目したわけである。然し實際には地表には草等があつてその爲に捕捉されるものも相當あるだろう。

なおこの觀測から求められた霧粒の地面への落下量は $0.5 \sim 1 \times 10^{-6} \text{g/cm}^2 \text{sec}$ である。一方ピニールを擴げてその上に捕集した量も觀測した。時刻が違ふ爲に比較は出来ないがそのオーダーはよく一致している。

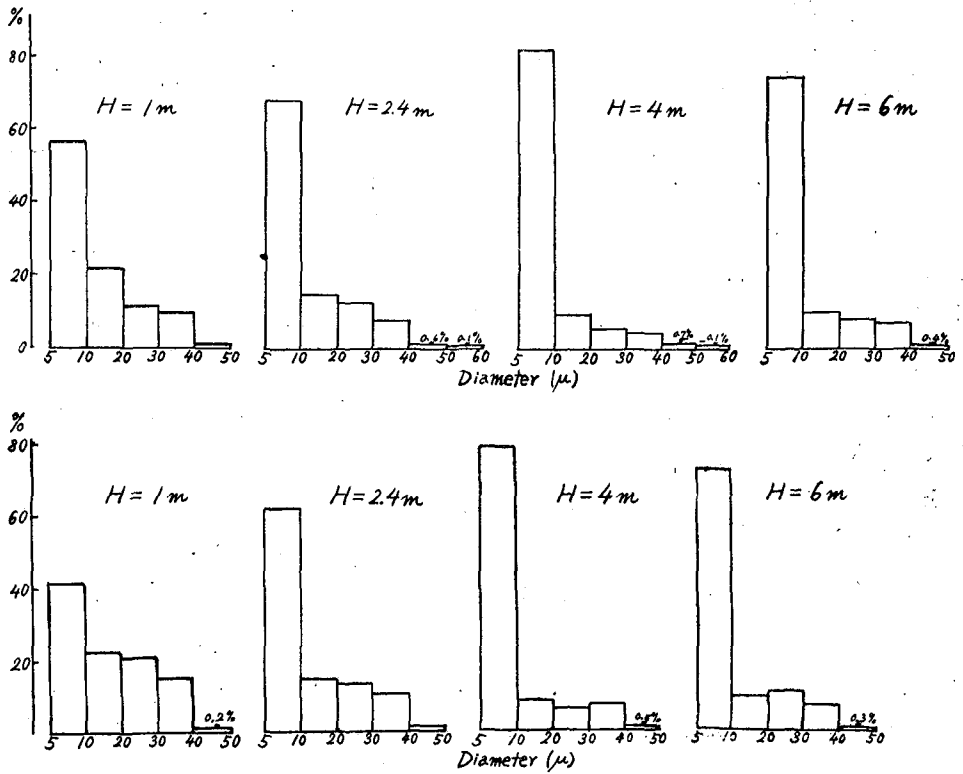
以上の結果の副産物としては捕捉器の捕捉率を求める事が出来る事と地面においたスライドガラスを大氣中の霧粒、その中でも特に大きい粒子の分布の觀測に用いる事が分つた事である。捕捉器の捕捉率はその口の風への向け方、吸入速度等によつて變化しその補正が困難であるし大きい粒子を見落す恐れがある。又捕捉器ではごく少量の大氣中の粒子を捕捉するだけであるから測定毎の變動が大きい。それに対してスライドガラスの方は數分間の平均値を測定するのであるからより正確な値が得られる。

VI. 垂直方向における粒徑分布の變化

霧粒の粒徑分布の高度變化の測定は 22 日 10 h 09 m—11 h 55 m, 26 日 8 h 46 m—10 h 25 m の 2 回行つた。測定は海岸より約 15 m 離れた所にあるやぐらを用い高さ 1, 2, 4, 6 m の各點で測定した。その結果を第 6 圖に示した。圖には頻度分布を示し總數は別に各分布の下に示した。これらの圖から第一に地表近くでは小さい粒子の占める割合が減少している事、第二に高さ 4 m 及び 6 m では分布に大きな違ひが認められない事が分る。第一の點について昨年の觀測の際に小島氏²⁾等も同様な結果を得ている。なおこの測定値より霧水量の垂直分布を求めてみると第 7 圖の様になつて高さと共に直線的に變化している事が分り、霧水量計の觀測から得られた結果と一致する。

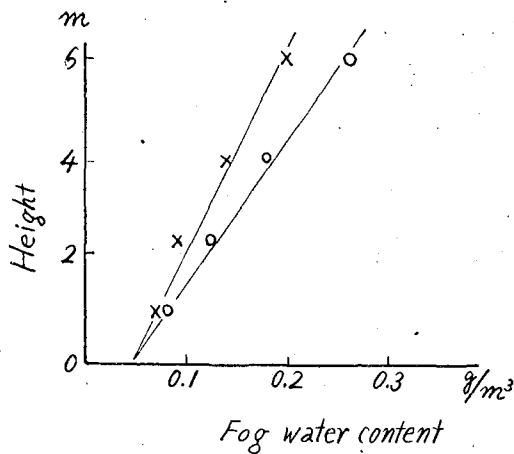
第 3 表 霧水量 (7 月 26 日) g/m^3

測 定 器	測 定 場 所, 林 前		
	20 m	10 m	21 m
霧水量計 (12~13時)	0.097		0.094
霧水量計 (13~14時)	0.137		0.096
スライドガラス (13.06~13時59分)	0.093	0.137	0.109



第 6 圖 地上の高さが異なる点での霧粒の大きさの分布

上段：7月22日10時9分より11時55分まで；1cc中の霧粒の数：左から18.4, 27.7, 74.0, 78.6。
 下段：7月26日8時46分より10時25分まで；1cc中の霧粒の数：左から8.3, 40.1, 14.3, 28.4。



第 7 圖 霧水量の垂直分布

× 7月22日 1009—1155
 ○ 7月26日 0846—1025

VII. 結 語

1. 模型林の前後及び内部で霧粒の粒徑分布の變化の模様を調べ、その結果

(a) 日中は蒸發の爲に林に侵入して來る霧粒の中小さい粒子の数が減少する。

(b) 林の捕捉効果は直徑 10μ 以上の粒子において著しいが一方晝間には林の保溫作用の爲に氣温が林後では林前に比べて 1°C 以上も高く従つて特に直徑 10μ 以下の小さい粒子の蒸發を促進する事が分つた。

2. 地面による霧粒の捕捉數を調べた所、風の亂れの強い場合でもその數は風のない場合と同様に大氣中の霧粒が Stokes の式に従つて落下するとして計算出来る事が分つた。なおその落下量は $0.5\sim 1\times 10^{-6}\text{g/cm}^2\text{sec}$ である。

3. 霧粒の垂直方向における粒徑分布の變化を調べた所、從來の觀測で知られている様に地面附近程小さい粒子の占める割合の小さい事が分つた。又晝間においては霧水量は高さに関して直線的に變化している事を見出した。

最後に色々御助言をいただいた林業試験場の武田京一博士、觀測記録、器材等色々な面でお世話になつた北大低溫研究所並びに林業試験場の方々に厚く御禮を申述べらる。

文 献

- 1) 辻 幹男 1950 水滴の蒸發速度について. 氣象集誌, 2, 28, 119.
- 2) 小島賢治・其の他 1951 霧粒の大きさの測定. 防霧林に関する研究, 2, 223.

Résumé

The author made microscopic observation on the size distribution of fog droplets inside and outside a model forest planted at Ochiishi from July 19 to 27, 1952, in order to investigate the mechanism of the dissipation of fog by the forest. The forest was composed of needle-leaved trees about 2m high.

1. When fog droplets passed through the forest their number was decreased by two causes: evaporation and capture by trees. When the fog was not dense in daylight hours the layer of air near the ground became heated by insolation and since the amount of heat carried out of the layer by turbulence was less inside and behind the forest than in front of it, the air temperature inside and behind the forest became about 1°C higher than that in front of it. Such a temperature rise made fog droplets evaporate inside and behind the forest with the result that small droplets with diameter less than 10μ being more liable to evaporate than larger ones, were almost completely lost. On the other hand, in the early morning or in the case of dense fog when the temperature rise was small, the diminution of the number of droplets was caused mainly by capture on the trees. The effect of capture was predominant for large droplets with diameters larger than 10μ . A theoretical consideration also confirmed the above results.

2. In the rear of the forest the number of droplets increased as the distance from the margin

of the forest increased, being restored to the same value as that in front of the forest at a distance from 10 to 20 m. But when the effect of evaporation was intense the number of small droplets was considerably small even at this distance.

The curves shown in Fig. 3 illustrate the distribution of the number of fog droplets in the vicinity of the forest, each curve relating to the droplets having diameters within the prescribed range.

A plate of glass coated with cedar oil was placed on the ground and the number of fog droplets caught by the oil was counted. It was shown that even when the air was turbulent the droplets were falling just as in the case of calm air. The amount of fog water falling on 1 cm^2 of the ground surface in 1 sec was $0.5\sim 1\times 10^{-6}$.

The vertical change of the size distribution of fog droplets in daytime was studied with the results that, the nearer the ground surface, the smaller became the number of small droplets (Fig. 6) and the amount of fog water contained in unit volume of air changed linearly with height (Fig. 7).