



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	霧粒を捕捉する装置の捕捉率
Author(s)	松村, 信男; MATSUMURA, Nobuo
Citation	低温科学. 物理篇, 11, 67-73
Issue Date	1953-10-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/17867
Type	departmental bulletin paper
File Information	11_p67-73.pdf



霧粒を捕捉する装置の捕捉率*

松村 信 男

(低温科学研究所 海洋学部門)

(昭和28年8月受理)

I. 序 言

昨年の落石に於ける霧の観測 (1951年6月) に於て使用された霧水量計の霧粒捕捉装置の捕捉率の検定に際しては、風の亂れを無視して、しかも風が水平に吹いている場合のみを取扱つた。然し一般に風は亂れを伴つ居り、必ずしも水平に吹くとは限らない。したがつて、この様な亂れのある場について捕捉率を検討して置く必要が生ずる。

本年厚岸に於ける観測 (1952年7~8月) に於て使用された霧水量計の捕捉装置は略々昨年同様であり、捕捉率の測定装置も同様であつたが、以上述べた様な點について二、三の考察を行つた。

II. 霧粒を捕捉する装置

捕捉装置¹⁾は観測點 E, Y₁, Y₂ の檣に地面と平行にとりつけられた板に垂直にとりつけられた。使用した針金の太さは直径 0.12 mm のエナメル銅線で、それを約 1 mm の間隔で圓筒状に張つた。この wire-screen で捕捉された霧粒は銅線を傳わつて下方の漏斗状の受水部に集められ、その中央の小穴及び中空の支持棒を傳わつて下方に導びかれる。

昨年は捕捉された霧粒が一度に落下するのを防ぐため、水が傳わる管の内面に濾紙を挿入して使用したが、細かい塵などのために受水部の中央の小穴がつまり水が溜まることがあつた。今年はこの小穴を大きくし、又出来るだけ管の内径を太くし (直径約 6 mm) して、濾紙は管の内面を一重に覆う様に挿入した。このため今年の如く、水が溜つて落下しないとゆう現象は全く起らなかつた。

今この装置の捕捉率を E , wire-screen の軸を含む斷面積を A m², 風速を v m/s, 霧水量を φ mg/m³ とすると、 dt 時間中に捕えられる水量 dM は

$$dM = \varphi v A E dt \quad \dots \dots \dots (1)$$

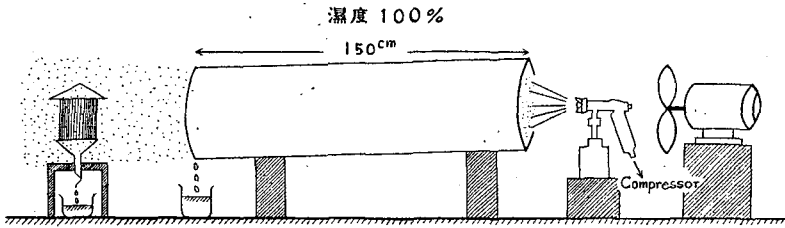
で表わされる。一般にこの装置による霧粒の捕捉率は、霧粒の大きさの分布及び風速の函数で

* 北海道大學低温科学研究所業績 第236號

ある。亂れのある場では(1)式に於て風速が複雑な變化をする。

III. 捕捉率の測定装置

捕捉率を實驗的に求めるために昨年同様第1圖の装置を用いた。實驗を行う部屋は、蒸發の影響をなくするために、アスマン乾濕計の二つの寒暖計の目盛が等しくなる様に保たれた。



第1圖 捕捉率の測定装置

捕捉装置を充分濡らした後、或る時間人工霧を發生させるが、Spray から出た水の量を M_1g 、僅かに傾けた圓筒の左端から落ちた水の量を M_2g 、捕捉された水量を M_3g とし、捕捉装置の捕捉に有効な面積を斷面積 $A m^2$ とすると、

$$\text{捕捉率 } E = \frac{M_3}{M_1 - M_2} \cdot \frac{S}{A} \dots\dots\dots (2)$$

で表わされる。但し、 S は測定に用いた圓筒の斷面積を表わし、 $A = 174 \cdot 10^{-4} m^2$ 、 $S = 711 \cdot 10^{-4} m^2$ であつた。

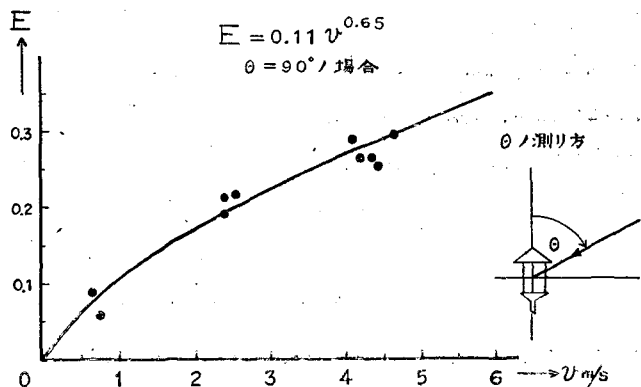
IV. 捕捉される水量

(1) 風が水平に吹いた場合

先ず簡單のために風が殆んど水平に吹いている場合、即ち水平成分に對して垂直成分を無視出来る場合を考える。

前に述べた捕捉装置及び測定装置を用いて、捕捉装置の wire-screen に霧を含んだ風を垂直に當てて種々の風速に對して數回の實驗を行つた。風速を變えるには、モーターの前に種々の金網を置くことにした。

捕捉率は前述した様に霧粒の分布及び風速の函數である



第2圖

ことが考えられる。然し、霧水量は大きな粒によつて大部分を占められており、しかも、その様な大きな粒に對しては、捕捉率は非常に異なることはないと考えられるので、近似的に風速だけの函數と考へた。又人工霧を捕捉装置にあてる時には、一度圓筒の壁にぶつけて、はなはだしく大きな粒を取除く様にし、自然の霧に近づかせた。然し、霧粒の大ききの分布及び霧水量は、實驗を行う度に幾分變化することが認められたが、そのために捕捉率が甚しく變化するとゆうことはなかつた。その結果第2圖に示す結果を得た。即ち、近似的には

$$E = 0.11 v^{0.65} \quad (v: \text{m/s}, 0.5 < v < 7) \quad \dots\dots\dots (3)$$

で表わされる。

實驗は亂れのない風について行つたのであるが、自然の風には必ず亂れが存在することは良く知られている。即ち、風速 $v = \bar{v} + \Delta v$ (\bar{v} は平均風速、 Δv は平均からのずれ) と考へるのが妥當である。

捕捉装置の構造は對稱的なので捕捉率は水平の風の方向には依存しない。従つて v 及び \bar{v} は常に正であると思ふことが出来る。又 Robinson 風力計はどんな風の方向にも順應して廻轉する。

又、實際の觀測によると霧にもむらがあることがわかる。即ち霧水量 φ は微小な變化をなしていることがわかるので、霧水量 $\varphi = \bar{\varphi} + \Delta\varphi$ と考へられる。

したがつて、捕捉率 $E = 0.11 v^{0.65} = 0.11 (\bar{v} + \Delta v)^{0.65}$ で表わされ、1時間中に捕捉された水量 M は(1)式より

$$M = A \int_0^t \varphi v E dt$$

$$M = 0.11 A \int_0^t (\bar{\varphi} + \Delta\varphi) (\bar{v} + \Delta v) (\bar{v} + \Delta v)^{0.65} dt$$

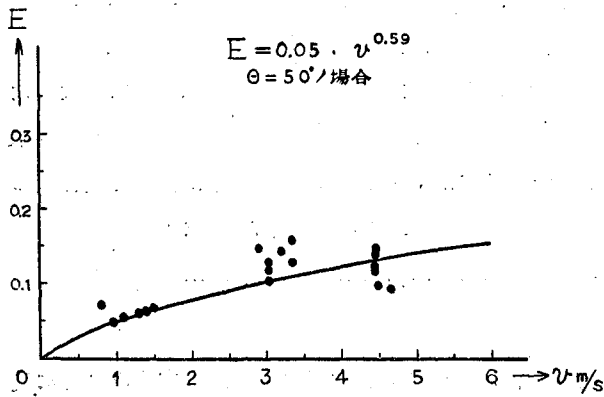
$$M = 0.11 A \bar{v}^{1.65} \bar{\varphi} \int_0^t \left(1 + \frac{\Delta\varphi}{\bar{\varphi}}\right) \left(1 + \frac{\Delta v}{\bar{v}}\right)^{1.65} dt$$

さて、 $\left|\frac{\Delta v}{\bar{v}}\right| < 1$ と考へられるから展開して三次以上の項を省略すると $\int_0^t \frac{\Delta\varphi}{\bar{\varphi}} dt = 0$, $\int_0^t \frac{\Delta v}{\bar{v}} dt = 0$

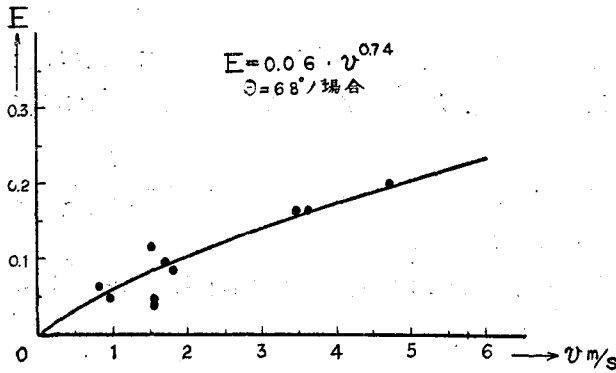
なる故

$$M = 0.11 A \bar{v}^{1.65} \bar{\varphi} \int_0^t \left[1 + 1.65 \frac{\Delta\varphi}{\bar{\varphi}} \cdot \frac{\Delta v}{\bar{v}} + 0.53 \left(\frac{\Delta v}{\bar{v}}\right)^2\right] dt \quad \dots\dots\dots (4)$$

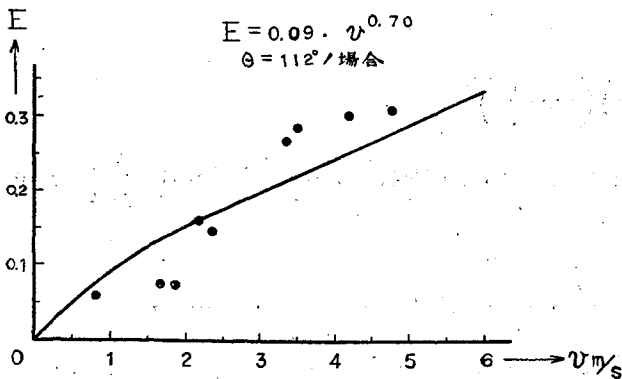
となる。本年厚岸に於て行われた觀測では、木下氏²、藤岡氏等³及び石田・小林・今井氏⁴によつて夫々(4)式の第二項、第三項に相當する量の測定が行われた。即ち、木下氏によると、一例として約80秒間の觀測から求めた霧水量と風速の變化の相關から計算した第二項の値は0.10以下である。藤岡氏等によると、觀測資料から10分間毎に φ と v の相關係數をもとめて平均した値は0.01となつた。従つて10分間以上の時間を問題にするときには、この項は無視し得る値になると思はれる。



第 3 圖



第 4 圖



第 5 圖

第 4 圖の關係を得た。即ち、

$$E = 0.06 \cdot v^{0.74} \dots \dots \dots (6)$$

(イ) $\theta = 112^\circ$ の場合

第 5 圖の關係を得た。即ち、

又、第三項は石田氏等の觀測から計算すると、一例として觀測點 Y_1 の上段では、30 分間の平均の値として、 $\left(\frac{\Delta v}{\bar{v}}\right)^2 = 0.33$ 従つて、 $0.53 \left(\frac{\Delta v}{\bar{v}}\right)^2 = 0.17$ となつた。

(2) 風の垂直成分を無視出来ない場合

次に風の垂直成分を無視出来ない場合、即ち捕捉装置に或る傾斜を持つて風が當る場合について考へてみる。

先ず捕捉率を近似的に風速及び風が捕捉装置の軸と成す角 θ (第 2 圖参照) の函數と考へ、いろいろの風速と角度について實驗を行つて次の結果を得た。但し、角度が變るとそれに従つて捕捉装置の有効面積が變化することが考えられるが、計算の便宜のため一定とし、前述の A の値を用いた。(この假定は明かに正しくないが、その意味は次に明かになる。) 又、風と軸との成す角 θ は捕捉装置の軸の上向きを基準として時計廻りに測つた。

(イ) $\theta = 50^\circ$ の場合

第 3 圖の關係を得た。即ち、

$$E = 0.05 \cdot v^{0.59} \dots \dots (5)$$

(ロ) $\theta = 68^\circ$ の場合

(=) $\theta = 130^\circ$ の場合

第6圖の關係を得た。即ち、

$$E = 0.09 \cdot v^{0.59} \dots (8)$$

角度を變えて實驗をする際は、捕捉装置を傾けたのであるが、捕捉装置の受水部の圓錐が軸と 50° の角をなすのでこれ以上は傾けられなかつた。

更に (3), (5), (6), (7), (8) 式を、横軸に傾きの角度 θ をとり、縦

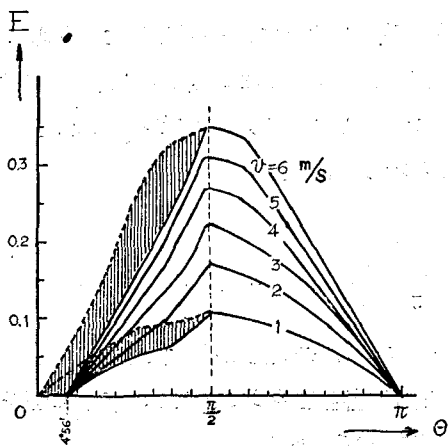
軸に捕捉率 E をとつて圖示すると第7圖の如くなる。捕捉装置は雨よけの傘が上についているので、捕捉率は $\frac{\pi}{2}$ の線の兩側に對稱とならず、又或る角度 ($14^\circ 56'$) 以下は0となる。斜線の部分は、風速が夫々 6 m/s 及び 1 m/s の時に、この曲線が $\theta = \frac{\pi}{2}$ に對して對稱とした時との捕捉率の差を表わしたもので、傘の影響によるものと考えられる。

又、第7圖は近似的に次の式で表わされる。

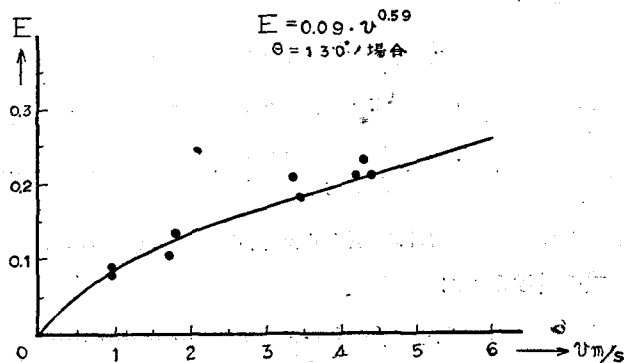
$$\left. \begin{aligned} E &= 0.11v^{0.65} (\sin \theta - 0.35 \sin 2\theta) \\ & \quad 0 < \theta < \frac{\pi}{2} \\ E &= 0.11v^{0.65} \cdot \sin \theta \\ & \quad \frac{\pi}{2} < \theta < \pi \end{aligned} \right\} \dots (9)$$

これらの式で、第二項は傘の影響による項と考えられる。(9) 式を第7圖同様に軸をとり圖示したのが第8圖である。

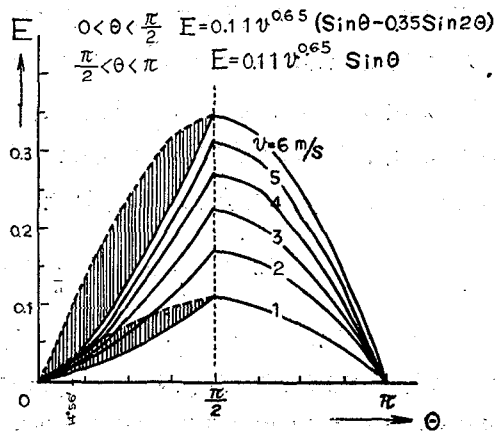
今或る風の水平及び垂直方向の成分を夫々 $u = \bar{u} + \Delta u$, $w = \bar{w} + \Delta w$ とすると (9) 式に於ける



第7圖 風速を變えた時の E と θ との實驗的關係



第6圖



第8圖 (9) 式の圖示

$\sin\theta$ の値は

$$\sin\theta = (\bar{u} + \Delta u) \{(\bar{u} + \Delta u)^2 + (\bar{w} + \Delta w)^2\}^{-\frac{1}{2}}$$

で表わされる。一般に $(\bar{u} + \Delta u) > (\bar{w} + \Delta w)$ と考えられるから此式は近似的に

$$\sin\theta = 1 - \frac{1}{2} \left(\frac{\bar{w} + \Delta w}{\bar{u} + \Delta u} \right)^2 \dots\dots\dots (10)$$

で示される。又實際に捕捉装置に當る風はこれらの二成分の合成されたものと考えられるから (1) 式に於ける v は

$$v = \{(\bar{u} + \Delta u)^2 + (\bar{w} + \Delta w)^2\}^{-\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (11)$$

で表わされる。

従つて、 t 時間中に捕捉される水量 M は (10), (11) 式を (9), (1) 式に代入し、展開して三次以上の項を省略すると、 $\int_0^t \frac{\Delta\varphi}{\bar{\varphi}} dt = 0$, $\int_0^t \frac{\Delta u}{\bar{u}} dt = 0$ なる故次式で表わされる。

$$\left. \begin{aligned} M &= 0.11A\bar{\varphi}\bar{u}^{1.65} \int_0^t \left[1 + 1.65 \frac{\Delta u}{\bar{u}} \cdot \frac{\Delta\varphi}{\bar{\varphi}} + 0.53 \left(\frac{\Delta u}{\bar{u}} \right)^2 + 0.32 \left(\frac{\bar{w} + \Delta w}{\bar{u} + \Delta u} \right)^2 \right. \\ &\quad \left. - 0.70 \left(\frac{\bar{w} + \Delta w}{\bar{u} + \Delta u} \right) \right] dt \qquad 0 < \theta < \frac{\pi}{2} \\ M &= 0.11A\bar{\varphi}\bar{u}^{1.65} \int_0^t \left[1 + 1.65 \frac{\Delta u}{\bar{u}} \cdot \frac{\Delta\varphi}{\bar{\varphi}} + 0.53 \left(\frac{\Delta u}{\bar{u}} \right)^2 + 0.32 \left(\frac{\bar{w} + \Delta w}{\bar{u} + \Delta u} \right)^2 \right] dt \\ &\qquad \qquad \qquad \frac{\pi}{2} < \theta < \pi \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (12)$$

この式を (4) 式と比較すると、第二項は前述した様な理由で無視出来、垂直流に原因する補正項は第四項、第五項であることが分る。垂直流は水平流に比して可成り小さいので、第四項は無視出来る場合が多いであろう。第五項は風が捕捉装置に對して $0 < \theta < \frac{\pi}{2}$ の角度で吹くときの傘の影響による項と考えられる。

1952 年の厚岸に於ける亂流の測定結果及び風向の観測資料を用いて、一例として、測點 Y₁ の上段に於けるこの第四項及び第五項を求めてみた。第四項の大きさは 1% であり、第五項は 10% であつた。従つて第四項は無視出来るが、第五項の大きさは無視することが出来ない。

然し又、傘がなければ補正項の第五項は無視出来ると考えられる。

以上から t 時間中に捕捉される水量 M は

$$M = 0.11A\bar{\varphi}\bar{u}^{1.65} \int_0^t \left[1 + 0.53 \left(\frac{\Delta u}{\bar{u}} \right)^2 - 0.70 \left(\frac{\bar{w} + \Delta w}{\bar{u} + \Delta u} \right) \right] dt \dots\dots\dots (13)$$

で表わされることがわかる。(13) 式の第三項は風が $0 < \theta < \frac{\pi}{2}$ の角度で吹いたとき、傘があるために起る補正項であるが傘が wire-screen の直径と同じ直径を持つていたり、風速の垂直成分が水平成分に比して無視出来る大きさならば省略出来る項である。

以上からこの様な捕捉装置を用いて霧水量を求むるにあつては、水平・垂直兩方向の風速

の變化を同時に、而も同じ場所で熱線又はその他適當な方法^リで測ることが望ましい。

V. 捕捉された水量から霧水量を求めること

霧水量 $\bar{\varphi}$ を求めるには、以上の他更に M , \bar{u} を求めなければならない。

捕捉された水は捕捉装置の下部にとりつけられた舌に導びかれ、舌の先から適當な大きさになつて垂れ下がると金屬の先端との隙が塞がれて記録装置が作用する^リ。舌の先と金屬との間隙は、水滴がその間隙を塞いで記録装置が働く様に加減されたので現地で 100 滴の水滴の量を測つて求めた一滴の大きさは 40.4, 39.7, 41.6, 39.8, 37.5, 40.6 (單位 mg) とゆう値を示した。又、記録紙の読みからは $\bar{u}t = 1000$ m なる關係で \bar{u} が得られる。

終りに臨み、終始有益な助言と協力を與えられた田畑忠司氏、藤岡敏夫氏に、又親切な論議を與えられた堀健夫教授に厚く感謝の意を表する次第である。

文 献

- 1) 田畑・藤岡・松村 1953 自記霧水量計の計數装置. 低温科學, 11, .
- 2) 木下誠一 1953 霧の濃度と風速との時間的關係. 同誌, 11 .
- 3) 藤岡・田畑・松村 1953 厚岸防霧林周邊に於ける霧水量測定結果. 防霧林に關する研究, (北海道廳林務部), 3, .
- 4) 石田・小林・今井 1953 林の周邊に於ける亂流の測定. 同誌, , .

Résumé

It has been pointed out that in the calibration of a fog meter (determination of the capturing coefficient) the turbulent motion of the wind must, in general, be taken into account.

By considering the fluctuation effect of the horizontal as well as vertical components of wind velocity on semi-empirical basis, we obtained the result as shown by the formula:

$$M = 0.11A\bar{\varphi}\bar{u}^{1.65} \int_0^t \left[1 + 0.53 \left(\frac{Du}{\bar{u}} \right)^2 - 0.70 \left(\frac{\bar{w} + Dw}{\bar{u} + Du} \right) \right] dt,$$

where M : amount of captured fog water in. time t ,
 A : sectional area of the wire-screen of a fog-meter,
 $\bar{\varphi}$: mean fog water contents for time-interval t ,
 u : horizontal component of wind velocity,
 w : vertical component of wind velocity,

The last (underlined) term represents the "cap-effect" and should be taken into consideration for winds whose inclination to the axis of the fog-meter lies between 0 and $\pi/2$.

In order to obtain the required quantity $\bar{\varphi}$, the correction terms must be determined by measuring, simultaneously and at the same place, the fluctuations of wind velocity both in horizontal and vertical components, while \bar{u} and M can easily be obtained from the record of a new type recording fog meter.