



# HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	自記霧水量計の研究
Author(s)	田畑, 忠司; TABATA, Tadashi; 藤岡, 敏夫 他
Citation	低温科学. 物理篇, 12, 121-142
Issue Date	1954-03-30
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/17881">https://hdl.handle.net/2115/17881</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	12_p121-142.pdf



## 自記霧水量計の研究\*

田畑忠司 藤岡敏夫 松村信男

(低温科学研究所 海洋学部門 応用物理学部門)

(昭和29年3月受理)

### 緒 言

以前から霧は気象学上の問題として研究の対象になつたばかりでなく、濃い海霧が数多く襲来する地方ではこのために農業、牧畜、林業等が可成りの障害をうけるので、夫々の立場から研究せられて来た。そのためには先ず霧の観測が行われるのであるが、直ちに気がつくことは、霧の要素即ち霧粒の大きさ、単位体積の空気中の粒の數及びそれらの粒を水量として考えた単位体積の空気中の霧水量、視程などは時間的に著しく變動することである。したがつてこれら各種の要素の連続観測が望ましいのであるが適当な自記計器が作られていないので断片的な測定しか行われていない。

しかし霧の要素のうちの霧水量についてはこれを自記させる目的で、福富教授及び筆者の一人田畑によつて2種の自記霧水量計が考案されている<sup>1)</sup>。これらの自記計はいづれも使用は割合に簡単であり、精度の上からも一應實用に役立つものである。

筆者等は1951年夏北海道南東岸落石に於て防霧林に關する研究を行うにあたり、以上述べた2種の自記霧水量計を検討した結果筆者等の目的に使用するにしては2,3の都合の悪い點を見出したので、新たに回數自記器を利用した自記霧水量計を製作した<sup>2)</sup>。この自記計は更に1952, 53年の兩年の夏北海道南東岸厚岸で行われた防霧林に關する研究の際に逐次改良を行つた<sup>3)</sup>。その結果、交流100Vを利用し得る場合でも又さうでない場合にも、夫々に應じて用いる長時間安定な自記霧水量計の製作に成功し、實際に使用して大いに役立つた。

### 第 I 章 原 理

筆者等の製作した自記霧水量計は何れも細い針金で捕えた霧粒を小さな水滴として滴下させ、その水滴數を適當な方法で記録させる方法を用いた。単位体積の空気中の霧水量はこの記録から風速を考慮に入れて求められる。

装置は大別して次の四つの部分から成つている。1) 霧粒を捕える部分とその水を集めて小水滴として落下させるための簡単な仕掛け、2) この水滴の一つ毎に動作する繼電器、3) 記録装置である。この他に後に第II章で述べる様に単位体積の空気中の霧水量を求めるには、同

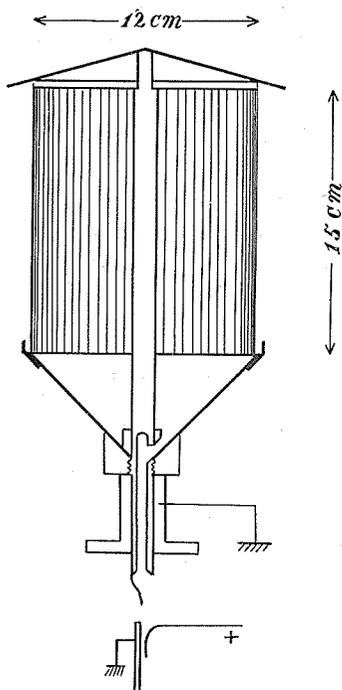
\* 北海道大學低温科学研究所業績 第254號

時に風速を測定することが必要なので、風速を測定するための計器と記録計が必要とされる。筆者等の場合には 1) の部分については現在まで大きな改良が加えられていないが、2) としては水銀接点を用うる方法と真空管継電器を用うる二方法、3) としては回数自記器を利用するものと、新たに製作した同時に 5 臺の霧水量計の値を記録する多元記録計を用いた。又風速の測定は霧粒の捕捉装置の近くに設置したロビンソン風力計によつて行い、その記録は霧水量の記録紙上に霧水量の値と同時に記入させた。

## 第 II 章 霧粒の捕捉装置

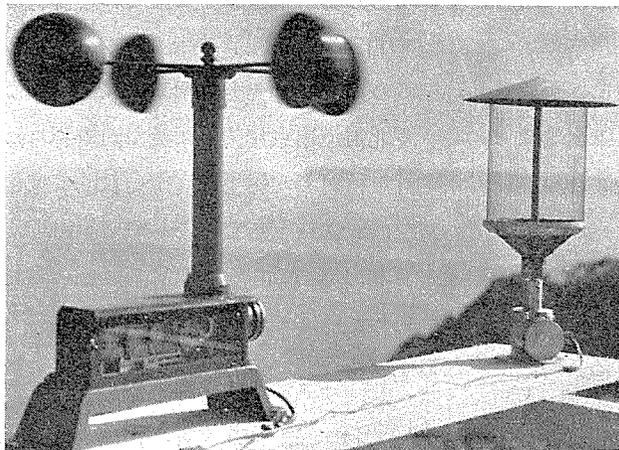
### §1. 捕捉装置

霧粒を捕捉する装置を第 1 圖及び寫眞 1 に示した。この装置は圖及び寫眞からわかる様に、直徑 0.12 mm のエナメル銅線を約 1 mm の間隔に圓筒状に垂直に張つたものである。一本一



第 1 圖 霧粒捕捉装置

本の針金の捕捉率を良くするためには針金が細い程良いことは良く知られているが、取扱上これ以上細い針金を用いることは難かしい。又針金の間隔は広い程隣りの針金による空氣の亂れの影響が少ないことは當然であるが、廣くすることによつて針金の本数が減少して装置全体の捕捉量が



寫眞 1 霧粒捕捉装置

減少するので、針金に附着した水滴同志の凝集力によつて隣りあつてゐる針金があまりくつき合わない最少の間隔として約 1 mm を採用した。この圓筒状の針金の上部にはアルミニウム製の笠を取り付けて雨が捕えられにくい様にしたが、このために後に述べる様に装置全体の霧粒の捕捉率に多少厄介な影響を與える結果となつた。經驗によると、雨の場合には継電器及び記録部分の電源を切ることにしてこの笠はつけない方が良さそうである。

捕捉された霧粒は針金の下部の漏斗の内壁を傳つてその中心部のパイプをとおして下に導

びかれる。この漏斗は内面が油などで汚れていると水の流下がむらになり、甚だしい時には大きな水溜りとなつてしまつて流下しない場合があるから油類の附着は嚴禁である。又漏斗の下のパイプは直径が5mm以上なければ水はなめらかに落ちて行かない。しかしパイプを太くするとパイプの先端から水が流れ落ちてしまいうまく滴下しなくなる。之を防ぐためにはパイプの内壁に薄い濾紙を一重に巻いたものをパイプの長さに切つて挿入すれば非常に効果的である。この濾紙は捕えられた水の中の泥り物によつて汚れるが一月は取替えないで充分使用し得た。濾紙を挿入することによつて集められた水が滴下するまでに時間のをくれが生ずることが考えられるが、この捕捉装置の time constant に比べれば問題にならないであろう。

パイプの下には先端の幅が約3mm、厚さが0.3~0.4mmのブリキ板又は眞鍮板で作つた舌状の導水板を取付けた。パイプの内壁の濾紙を傳つて來た霧水はこの舌の先端からその時々捕捉装置で捕えられた水量に比例した間隔で滴下する。

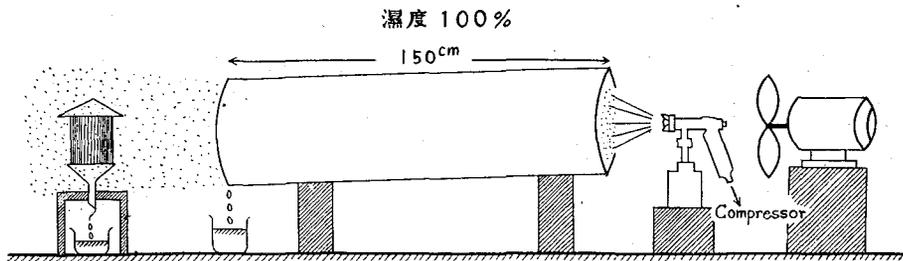
尙この捕捉装置は漏斗の下部にある取付臺によつて任意の場所に垂直に取付ける。

## §2. 捕捉装置に捕えられる水量

一本の針金の場合にはその太さと粒の捕捉率との關係は理論的にも良く知られているが、この様に多くの針金が圓筒状に並んでいる場合には可成り複雑になるので専ら實驗的にその値を求めた。

### I) 捉捕率の測定装置

捕捉率を實驗的に求める爲に第2圖の装置を用いた。要するに簡単な風洞の一端から人工霧を送り込みその反対側に捕捉装置を置いてこの人工霧を捕捉させた。實驗を行う部屋は、蒸發の影響をなくするために相對濕度が100%になる様に留意した。



第2圖 捕捉率の測定装置

暫らく人工霧を Spray から噴射させて捕捉装置及び風洞の圓筒を充分濡らした後に測定を行つた。Spray から出た人工霧の一部は圓筒の壁に附着するから、豫め圓筒を僅か傾斜させてその附着水も集める様にして置く。すると Spray から出た水の量を  $M_1$  g、僅かに傾けた圓筒の一端から流下した水量を  $M_2$  g、捕捉装置で捕えられたとし水量を  $M_3$  g とし、捕捉装置の捕捉に有効な斷面積を  $A$  m<sup>2</sup> とすると

$$\text{捕捉率 } E = \frac{M_s}{M_1 - M_2} \cdot \frac{S}{A} \dots\dots\dots (1)$$

で表わさる。但し  $S$  は測定に用いた圓筒の斷面積をあらわし、 $A = 174 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ ,  $S = 711 \times 10^{-4} \text{ m}^2$  であつた。

この方法によつて風速をいろいろ變化させて捕捉率を測定した。同時に作られた霧粒の大きさの分布も測定して、天然に觀測された粒の分布に近い分布<sup>6)</sup>を示す様に人工霧を調節した。又人工霧を Spray から噴射させる時に、一度圓筒の壁にぶつけることによつて甚だしく大きな霧粒を容易に取除くことが出來た。

## II) 捕 捉 率

充分に細い針金に對しては捕捉率は粒の大きさだけの函數と考えることが出来ることは良く知られている。しかしこの様な形の捕捉装置においては、捕捉率は霧粒の大きさと風速の函數であると考えるのが妥當であろう。しかし、筆者等の場合の様にいろいろの大きさの粒を含んでいる海霧の霧水量を考える場合には、水量は半径の 3 乗に比例するので小さな粒は水量としては極めて小さな役割しか演じていないであろう。したがつてこの捕捉装置の捕捉率を考える場合には、近似的には比較的大きな粒の捕捉率だけに注目することは實用上差支えないと見做される。しかも、その様な大きな粒に對しては大きさの違いによつて捕捉率が非常に異なることはないと考えられることから、捕捉率は近似的に風速だけの函數であると考えた。實際に捕捉率の測定を行つてみた結果、同じ風速に對する捕捉率は以下に示す圖に見られる様にあまり變化しなかつた。霧粒を測定してみた結果は Spray から出る人工霧は測定の度にいくらか——自然の霧粒の分布が各々の霧によつて異なる程度に——變化していたことと照し合わせると、以上に述べた假定は近似的には許されるものと考えられる。

捕捉率を求めるにあつて次のことも注意しなければならない。即ち風の亂れである。このことは筆者等はこの霧水量計を亂流のとりわけ多い梢附近<sup>6)</sup>で使用したことによつて尙更重要性を増す。捕捉装置は捕捉するための針金を圓筒狀に張つたので、風が水平に吹いている限りにおいては方向性は有しない。しかし、梢附近では上昇流、下降流それに水平流が互に合成し合つて風は必ずしも水平に吹くとは限らないし、又平均風として水平流が考えられてもそれは一樣な流れではないと考えるのが妥當であろう。

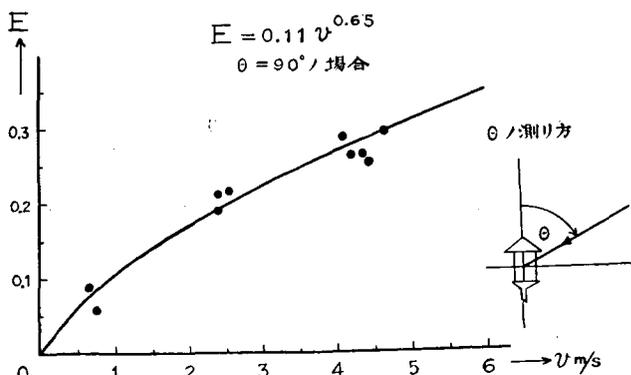
これらの點に注目して捕捉率を求めた結果は次のとおりである。

### a) 風が水平に吹いた場合

今風の吹いて來る角  $\theta$  を、捕捉装置の中心を原點として垂直上方から時計廻りに測ると、 $\theta = 90^\circ$  の場合である。種々の風速に對して數回測定を行つた結果を第 3 圖に示した。

即ち近似的には捕捉率  $E$  は

$$E = 0.11 v^{0.65} \dots\dots\dots (2)$$



第3圖 風が水平に吹いた時 ( $\theta=90^\circ$ ) の  
捕捉率と風速の関係

であらわされる。但し  $v$  は風速 (m/s) である。

実験は亂れの殆んどない風について行つたのであるが、既に述べた様に、自然風の亂れを考慮すると  $v = \bar{v} + \Delta v$  ( $\bar{v}$  は平均風速,  $\Delta v$  は平均からのずれ) であらわされる。

故に (2) 式で現わされる捕捉率は

$$E = 0.11 (\bar{v} + \Delta v)^{0.65} \dots\dots\dots (3)$$

となる。

**b) 風の垂直成分を無視出来ない場合**

次に風の垂直流が可成りある結果捕捉装置に斜めに霧粒がぶつかる場合に對しては、前述した  $\theta$  をいろいろに變へて測定を行つた。但し實驗にあつては捕捉装置をいろいろな角度に傾けて行つた。

イ)  $\theta = 50^\circ$  の場合

第4圖の關係を得た。即ち

$$E = 0.05 v^{0.59} \dots\dots\dots (4)$$

ロ)  $\theta = 68^\circ$  の場合

第5圖の關係を得た。即ち

$$E = 0.06 v^{0.73} \dots\dots\dots (5)$$

ハ)  $\theta = 112^\circ$  の場合

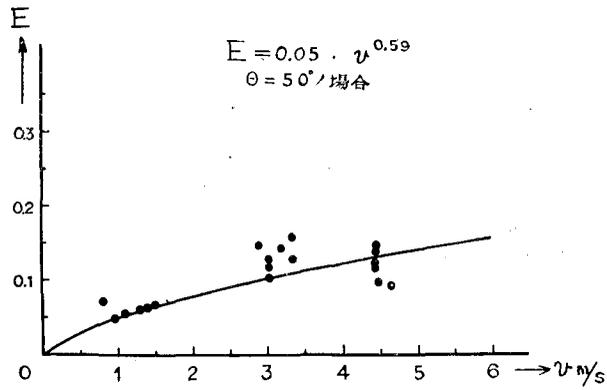
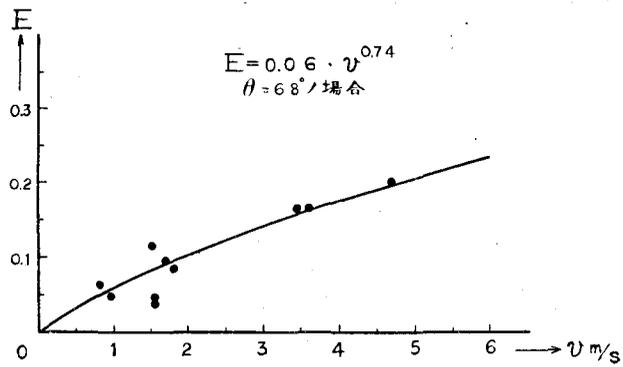
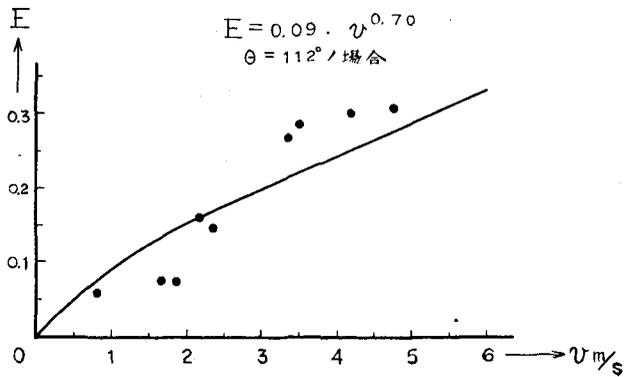
第6圖の關係を得た。即ち

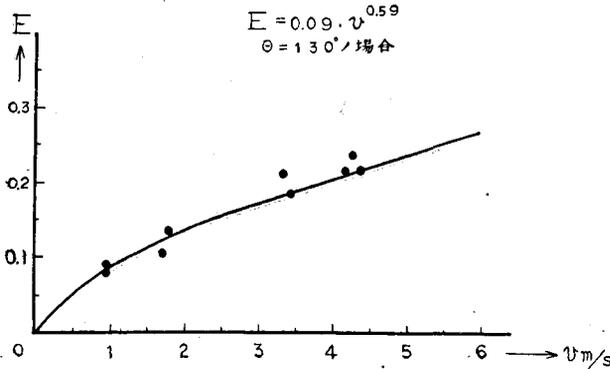
$$E = 0.09 v^{0.70} \dots\dots\dots (6)$$

ニ)  $\theta = 130^\circ$  の場合

第7圖の關係を得た。即ち

$$E = 0.09 v^{0.56} \dots\dots\dots (7)$$

第 4 圖  $\theta = 50^\circ$  の場合第 5 圖  $\theta = 68^\circ$  の場合第 6 圖  $\theta = 120^\circ$  の場合



第7圖  $\theta = 130^\circ$  の場合

以上の (2), (4), (5), (6), (7) 式を横軸に傾きの角度  $\theta$  をとり、縦軸に捕捉率  $E$  をとつて図示したのが第8圖である。此の圖に於て捕捉率が  $\frac{\pi}{2}$  の線に關して對稱にならないのは、捕捉装置の上部に雨よけの傘が附いているためであり、又そのために  $\theta < \pi/12$  に對して  $E=0$  となつてゐる。第7圖の曲線は近似的に次の式であらわされる。

$$E = 0.11 v^{0.65} (\sin \theta - 0.35 \sin 2\theta) \quad 0 < \theta < \frac{\pi}{2} \quad (8)$$

$$E = 0.11 v^{0.65} \sin \theta \quad \frac{\pi}{2} < \theta < \pi$$

上の式の第2項は笠による影響をあらわしている。圖中の斜線の部分はこの笠のためにこれだけ捕捉率が減少したことを示している。

所で、今あ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 (8) 式における  $\sin \theta$  の値は

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

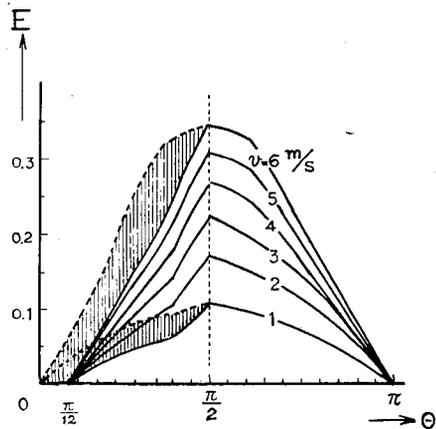
あらわされる。一般に  $(\bar{u} + \Delta u) > (\bar{w} + \Delta w)$  と考えられるからこの式は近似的に

$$\sin \theta = 1 - \frac{1}{2} \left( \frac{\bar{w} + \Delta w}{\bar{u} + \Delta u} \right)^2 \quad \dots \dots \dots (9)$$

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 (8) 式における  $v$  は

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

で表わされる。



第8圖 種々の風速に對する捕捉率と風の傾きとの關係

故に (9), (10) 式を (8) 式に代入して3次以上の項を省略すると, 捕捉率 E は次の式で與えられることがわかる。

$$\left. \begin{aligned} E &= 0.11 \bar{u}^b \left\{ 1 + b \frac{\Delta u}{\bar{u}} + \frac{b(b-1)}{2} \left( \frac{\Delta u}{\bar{u}} \right)^2 + (b-1)c^2 - bc \frac{\Delta u}{\bar{u}} - c \right. & 0 < \theta < \frac{\pi}{2} \\ E &= 0.11 \bar{u}^b \left\{ 1 + b \frac{\Delta u}{\bar{u}} + \frac{b(b-1)}{2} \left( \frac{\Delta u}{\bar{u}} \right)^2 + (b-1)c^2 \right. & \frac{\pi}{2} < \theta < \pi \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

但し  $b = 0.65, c^2 = \frac{1}{2} \left( \frac{\bar{w} + \Delta w}{\bar{u} + \Delta u} \right)^2$  である。

(11) 式において, 始めの式の第5項と第6項は笠があるために生ずる補正項である。

### III) 捕捉される水量

この捕捉装置の wire-screen の軸を含む断面積を A m<sup>2</sup>, 風速を v m/s, 霧水量を φ mg/m<sup>3</sup> とすれば, dt 時間中に捕えられる水量 dM は

$$dM = \varphi v A E dt \quad \dots\dots\dots (12)$$

であらわされる。E は捕捉率である。霧の濃度は観測によつて確められ<sup>7)</sup>, 又視察によつても容易に認められる様に非常にむらがある。即ち霧水量 φ は時間的にも(又空間的にも)絶間なく變動していると考えざるを得ないので φ =  $\bar{\varphi} + \Delta\varphi$  であらわす。更に此の (12) 式に (10), (11) 式を代入して積分すると t 時間中に捕えられる水量を知ることが出来る。

所で,  $\int_0^t \frac{\Delta\varphi}{\bar{\varphi}} dt = 0, \int_0^t \frac{\Delta u}{\bar{u}} dt = 0$  なることは明らかである。又積分すると  $\int_0^t \frac{\Delta u}{\bar{u}} \cdot \frac{\Delta\varphi}{\bar{\varphi}} dt$  なる項即ち霧水量と風速の變化の相關をあらわす項が入つて来る。この項の大きさを検討するために, 1951年の夏の厚岸における霧の観測において霧水量と風速の變化の相關が木下<sup>7)</sup>及び藤岡<sup>8)</sup>等によつて行われた。木下の結果によると, この項の大きさは0.10以下であり後者によると10分間毎にφとvの相關をもとめて平均した値は0.01となつた。故に霧水量と風速の變化の間には殆んど相關がなく, したがつてこの項は無視出来るものと思われる。

それ故に t 時間中に捕えられる水量 M は 次の式であらわされることになる。

$$M = 0.11 A \bar{\varphi} \bar{u}^{1.65} \int_0^t \left[ 1 + 0.53 \left( \frac{\Delta u}{\bar{u}} \right)^2 + 0.32 \left( \frac{\bar{w} + \Delta w}{\bar{u} + \Delta u} \right) - 0.70 \left( \frac{\bar{w} + \Delta w}{\bar{u} + \Delta u} \right) - 1.17 \left( \frac{\Delta u}{\bar{u}} \right) \left( \frac{\bar{w} + \Delta w}{\bar{u} + \Delta u} \right) - 0.70 \left( \frac{\Delta\varphi}{\bar{\varphi}} \right) \left( \frac{\bar{w} + \Delta w}{\bar{u} + \Delta u} \right) \right] dt \quad \dots (13)^*$$

但し此の式において  $0 < \theta < \pi$  の場合には第4項以下は0である。第3項は垂直流による補正項をあらわし, 第4項以下は笠があるために捕えられる水量が笠がない場合より少なくなる量をあらわしている。即ち笠の影響をあらわす。一般に垂直流は水平流に比して可成り小さいので第3項は無視出来る場合が多いであらう。實際に, 1952年の厚岸における亂流の測定結果<sup>9)</sup>

\* 松村は低温科学11輯<sup>9)</sup>において同様の論議を行つているが, その報告中の(12), (13)式には誤りが認められたので本文(13), (14)式の如く訂正する。

を用いて測點 Y<sub>1</sub> の上段におけるこの第3項と第4項以下の大きさを求めてみた結果は第3項の大きさは1%であり、第4項は10%であつた。第5項はわざわざ計算するまでもなく、任意の方向の風  $v$  の垂直、水平二成分  $\bar{w} + \Delta w$  と  $\bar{u} + \Delta u$  の比と  $\Delta u / \bar{u}$  の相関をあらわすので、可成り大きな値になることが期待される所である。果して同じ資料から計算した結果、第5項の大きさは51%であつた。この様に  $\bar{w} + \Delta w / \bar{u} + \Delta u$  と  $\Delta u / \bar{u}$  の間に相當良い相関があるのであるから、第6項において  $\bar{w} + \Delta w / \bar{u} + \Delta u$  のかわりに  $\Delta u / \bar{u}$  をおきかえても近似的には差支えないであろう。すると前に述べた木下及び藤岡等の観測によつて第6項は無視出来るものと見做すことが出来る。

要するに (13) 式において第3項と第6項は無視しても差支えないのである。

以上のことから、筆者等の用いた捕捉装置で  $t$  時間中に捕えられる水量  $M$  は

$$M = 0.11 A \bar{\varphi} \bar{u}^{1.65} \int_0^t \left[ 1 + 0.53 \left( \frac{\Delta u}{\bar{u}} \right)^2 - 0.70 \left( \frac{\bar{w} + \Delta w}{\bar{u} + \Delta u} \right) - 1.17 \left( \frac{\Delta u}{\bar{u}} \right) \left( \frac{\bar{w} + \Delta w}{\bar{u} + \Delta u} \right) \right] dt \quad (14)^*$$

であらわされる。此の式で第3項と第4項は笠の影響をあらわしている。筆者等は既に寫眞に示した様に笠をつけたためにこれらの項が入つて來たのであり、雨よけのために笠をつけたのであるが實際問題としては笠がなくても雨が降つて來た時には、水滴を数える繼電器の電気回路を切れれば良いのであるし、このようにわずらわしい結果になるのを避けるためにも、笠は取除くか或いはエナメル銅線を張つてある圓板の直徑とあまり變らない大きさにした方が良いでしょう。又第3項及び第4項は風速の垂直成分が水平成分に比べて無視出来る大きさならば、省略することが出来る。A の値は  $174 \times 10^{-4} \text{ m}^2$  である。

(14) 式において  $M$  は後に述べる様に水滴の数が記録され、しかもその一滴の大きさは既知なので容易に知り得る値であり、 $\bar{u}$  はロビンソン風力計の記録から知り得る。したがつて、その他の風の變動による項を適當な方法で測定すれば、 $t$  時間中の平均の單位体積の空氣中の霧水量  $\bar{\varphi}$  を求めることが出来る。幸いなことには亂流の測定の結果によると<sup>6)</sup> (14) 式の第2項以下の値は風速によつてあまり變化しない。即ち霧水量計を設置した地點に對しては殆んど常數と見做すことが出来る。故に (14) 式から單位体積の空氣中の霧水量  $\bar{\varphi}$  を求める計算はそう厄介なものではない。

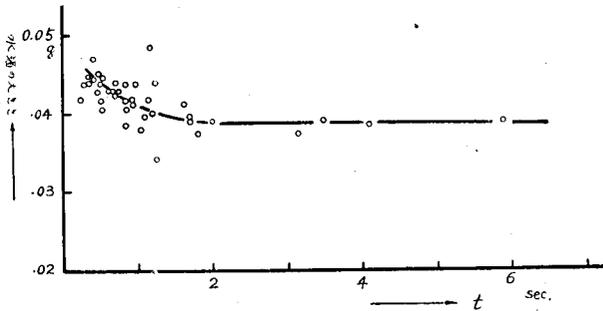
この様にして、得られた記録と風速の測定から空氣の亂流を考慮に入れて單位体積の空氣中の霧水量を求めることが出来る。霧水量の自記計としては、單位体積中の霧水量を直接自記する方が望ましいのは勿論であり、上に述べた様な手数がかかるのはあまり感心しないが、筆者等の多くの地點で簡単な測器で霧水量の連續觀測を行うという必要性は充分満たされたし、又霧水量の自記装置の進歩していない現在では止むを得ないことであろう。

### 第 III 章 水滴を数えるための継電器

#### §1. 水滴の大きさ

既に第 II 章で述べた様に、筆者等は捕捉装置で捕えられた水を捕捉装置の下部から水滴として落下させてその数を記録せしめる方法を用いているので、その落下する水滴の大きさを知る必要がある。この水滴の大きさは温度と滴下する舌の先端の寸法及び滴下する時間間隔で異なることが考えられたので、次の様な測定を行つてみた。

先端が幅 2.95 mm、厚さ 0.35 mm のトタン板の舌についていろいろの温度（但し観測を行



第 9 圖 水滴の落下する間隔と大きさとの関係の一例

う道東地方の気温は観測期間中大凡 5~15°C であることがわかつていたのでその範囲である) で滴下間隔を変えて水滴の大きさを測定した。その結果は第 9 圖に示すとおりで、水滴の大きさはこの程度の温度範囲では温度による違いはあまり見られず、むしろ落下の間隔に影響されることがわかった。即ち間隔が 2 秒以上になれば殆んど等しい大きさ 39 mg になることがわかる。したがつて水滴の間隔が考えられる濃霧に対しても 2 秒以下にならない様に捕捉装置の大きさを設計すれば、記録された水滴の数と捕えられた水量とは直線的な関係になる故、水滴の数から捕えられた水量を知ることは容易である。筆者等の場合にはいろいろの霧について観測した結果、水滴の間隔は 4~5 秒以下になるようなことはなかつたから、この水滴の数と捕えられた水量の直線関係は成り立っているものと見做すことが出来る。なほ捕捉装置の下に取付ける舌の先端を厳密に同じ大きさにすることは困難なので、それぞれの捕捉装置について水滴の大きさを測定した。その結果水滴の大きさは 35~42 mg であつた。

#### §2. 水銀接点式継電器

この継電器は寫眞 2 に示す様に極めて簡単な装置である。トタン板で作つたレバーの一端に水滴を受けるための三角形の受水板をとりつけ、先端より 2 cm 程中心に寄つた所に白金線の接点を付けただけのものである。

この継電器を捕捉装置の直下に取付ける。捕捉装置から落ちて來た水滴が継電器の受水板に移る度にレバーが下り白金接点は水銀溜との間で電氣の回路を閉ぢる。受水板から水滴が落ちるとレバーが上つて電氣の回路は開く。このレバーの重量は約 2.5 g で先端に 30 mg の水滴が乗ると充分確實に働く。レバーには錆びない様にラッカーを塗布し、更に受水板には水が残ら

ない様にするために薄くワセリンを塗つた。又水銀面の酸化を防ぐために流動パラフィンでその上を厚くおおつたが充分ではなく、一週間目位には動作がやや不確實になることがあつたので水銀を取替える必要があつた。しかしこの點は水銀面の酸化を防ぐ効果的な方法があれば問題はない。

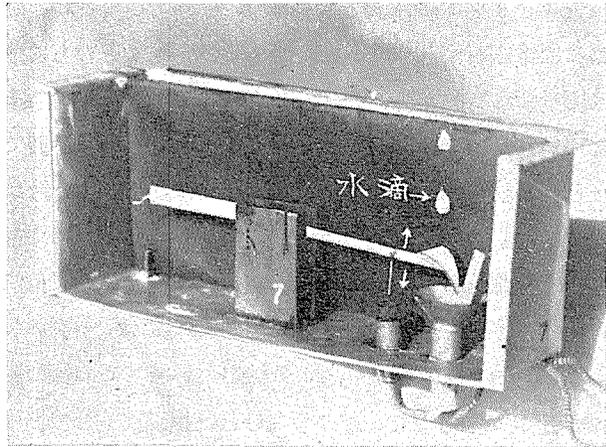


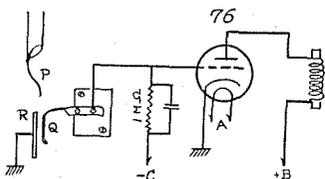
写真 2 水銀接點を利用した繼電器

水滴によつて開閉する電気回路をリチャールの回数自記器の回路にしてをくと、落下した水滴數を極めて容易に記録することが出来る。既に述べた様に、捕えられた水量から、單位体積の空氣中の霧水量を知るためには風速が必要である。そのためにロビンソン風力計を捕捉装置の近くに設置してあるが、風速の記録のために更に回数自記器を用意するのはわずらわしいので、同じ自記筒上に風速も記録させるために次章で述べる様な簡単な改装を回数自記器に施した。

この繼電器を用いる方法は 1951 年の北海道南東岸落石における霧の観測の際に用いた。この繼電器を簡単な檜の上に取付けたのであるが、釘を打ちつけたり亂暴にゆさぶつたりした場合には接點がとじたりした。又接點の水銀は一週間目位に取替えた。しかし製作や保守に殆んど費用を要しない點は強みであり、あまり動かない臺又は檜の上などに取付けて使用する場合には手軽に利用し得るものである。

### §3. 真空管繼電器

水銀接點は檜のゆれで接點が閉ちたり又水銀を屢々取替えるなどのわずらわしさがあるので 1952, 1953 年度の観測には真空管繼電器を用いた。しかし霧の観測の行われる場所では必ずしも交流 100 V が得られるとは限らないので、交流 100 V を用いるものと電池によるものと二種類を製作使用した。先ず前者について説明する。



第 10 圖

真空管繼電器の回路 (A)

A: 6.3 V, B: 150~200 V,

C: 10~15 V

A, B の負の極及び C の極を接地

第 10 圖はその繼電器の回路である。水滴の落ちていない時に真空管 76 のグリッドは高抵抗をへて負の高い電位即ち cut off の電位になつてをり、陽極電流は流れない。捕捉装置の導水管の下部にとりつけられた舌状の金屬 P の下部には 76 のグリッドに連絡する針金 Q 及び接地してある金屬棒 R がある。これは (圖版 I の 1) に見ることが出来る。水滴は P の先から落ちて、Q と R の間を閉ぢるがこ

のときグリッドは水滴と金属棒 R をへて接地され、真空管の陽極電流は急激に増す。陽極回路には電磁石が入っていて、陽極電流が増すとのちに述べる様に、多元式記録計のペンを直接に駆動する。真空管には 76 のほかに 6C6 を三極管接続にしたもの及び ~~76 の~~ 外双極管 6SN7 を用いたが何れでも良好な結果を得た。電磁石は手製でエポナイト棒に直径 0.09 mm のエナメル線を約 3 萬回巻き約 5 mA で安定に動作した。針金 Q はエポナイト板にとりつけて (圖版 I の 1) で見られる様に P 及び金属棒 R の部分も含めて捕捉装置の下部の筒の中に入れた。エポナイトの部分には絶縁を良く保つために珪素樹脂をぬつた。真空管は観測用の櫓の中段に置き針金 R と真空管のグリッドをむすぶ導線には、一對のヨリ線が一諸にゴムで包まれている線もしくはビニールで包まれている線を用いた。この線の長さは場所によつては約 30 m にも及んだが途中で線をつないだりしなければ絶縁は充分であつた。ゴム線又はビニール線の先を Q と R につなぐために一本一本別にする時も筒の中でわかるようにして、裂目が雨や霧にあたらないように注意した。

厚岸の観測では一基の櫓に對して 8 個の真空管繼電器を用いたので、寫眞 3 に示す様に一つのシャーンに組み込んで櫓の中段に取付けた。電源は 8 本の真空管が共通であるが、各真空管が同時に働くことは殆んどなく、真空管のフィラメントの電源は別にして、陽極側の電流容量はせいぜい 2 本同時に働いた場合の 20 mA にとつておけばよい。筆者等の場合には電源としてヒーター・トランスの外側に陽極電流及びグリッドのバイアス用の線を巻き足したものをを用いた。

この繼電器を用いる場合で記録計としてリシャールの回数自記器を利用する時には、76 の陽極回路に入っている電磁石で更に繼電器を働かせこの繼電器の接點を回数自記器の回路に入れておけば容易に水滴の數を記録させることが出来る。筆者等も 1952 年の厚岸における観測ではこの方法を用いた。筆者等の用いた繼電器は手製の簡単なもので、接點には銀を用いた。一週間に 1, 2 回接點の間をすべすべした紙でしごいただけで故障が殆んど起らなかつた。しかし

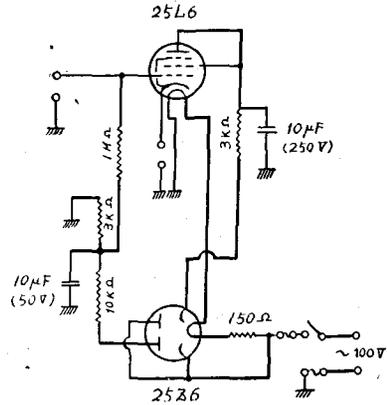


寫眞 3 真空管繼電器

機械的な接點を用うるために故障の機會がいくらか多くなるのは止むを得ない。

真空管繼電器を用いてその陽極電流で直接に回数自記器を動作させることもあまり困難ではない。このために 1950 年度に黒岩、木下によつて使われた真空管繼電器<sup>9)</sup>も用いてみた。この繼電器もやはり霧水量計のために作られたもので、回数自記

器で自記させるかわりに、電話用回数器を動かしてそれを読み取る様になつている。真空管は 25L6 でこの球の陽極とスクリーングリッドの間に電話用回数器、陰極側は抵抗が入っている以外は第 10 圖に似ている。この繼電器から電話用回数器をとりはづして 3 極管接続にし、~~陽極~~ 極抵抗を回数自記器の電磁石におきかえた。第 11 圖にこれを示している。回数自記器は 30 mA で正常に働くから 25L6 で充分で、接点を使わないために故障が少ない點が有利である。ただし幾分高價につき、又ありふれた真空管でない點は不利である。更~~に~~回数自記器の配線殊に端子からマグネット迄の器械の裏側をとる配線は絶縁の不充分なものが多く、真空管の陽極回路を併用するときには回路に 200 V 位の電圧が使われるから思わぬリークで時計が磁化して故障を起しやすいから、絶縁をたしかめてから使用する必要がある。~~元圖のものは~~電磁石が陰極側に入っているため交流 100 V のアース側を充分にたしかめて装置のアース側と同じになるようにすればこの失敗はまぬがれる。



第 11 圖 真空管繼電器の回路 (B)

交流 100 V の得られない地方で用うる場合には、電流の少なくてすむ第 10 圖の場合の方が良い。電源としては陽極側に 90 V 又は 67.5 V の積層乾電池二個を直列にして用い、グリッドには乾電池で 15~20 V の負の電圧をかけておけば、陽極電流は水滴の落ちない時に一つの真空管あたり数  $\mu$ A 程度になる。したがつて霧の来た時丈使うことにすれば経験によると一箇月位の観測には乾電池のとりかえはいらない。但しフィラメント用の小型 6 V の蓄電池は必要である。この場合にはのちに述べる多元記録計は使用出来ないから記録は回数自記器に依ることになり、したがつて更に一箇の繼電器が必要になるのは止むを得ない。

以上述べた真空管繼電器を用うる時には何れの場合にしても、水滴の接点 Q とグリッドを結ぶ電線の絶縁抵抗は、グリッド回路の高抵抗 1 M $\Omega$  より大きくなければならない。市販の電線には往々にして絶縁があまり良くなかつたり又数時間水中に浸すと絶縁の低下するものがある。霧中に永い間さらされてしかも絶縁が悪くならない様な線を用うる様に使用前に充分の試験が必要である。又取付けに際しても、電線を直接にステープルで打ちつれたりしない様にした方が良い。

#### 第 IV 章 記録装置

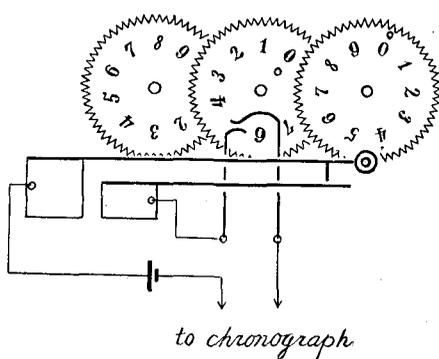
##### § 1. 回数自記器を利用する場合

前章で述べた様に、捕捉装置の下部から滴下する水滴によつて水銀接点を閉ぢるか或いは真空管のグリッド回路を短路せしめれば、装置に多少の相違はあるが、その水滴数を回数自記器

に記録せしめることは容易である。しかも回数自記器はありふれた気象記録器であり、一度調整すれば動作も安定なので利用し易い。しかし捕捉率の項で述べた様に、単位体積の空気中の霧水量を知るためには同時に風速を知らなければならない。そのためにロビンソン風力計を設置してあるが、水滴数を記録せしめている回数自記器に同時に風速も記入せしめる様に、次の様な細工を風力計と回数自記器に加えた。

#### a) ロビンソン風力計に対する工夫

ロビンソン風力計は風程 100 m 毎に接点を閉ぢる様に出来ている。水滴を記録せしめている記録紙に風程 100 m 毎の mark も記入したのではあまりにも混雑するので、風速測定の精度の落ちるのは止むを得ないが風程 1000 m 毎の mark を記入せしめることにした。そのためにロビンソン風力計に加えた工作は第 12 圖の回路に示すとおりである。その工作は既設の



第 12 圖 風力計の風程 1000 m 毎の接點

部分品には出来るだけ手を加えない様に行われた。圖からもわかるように風程 1000 m 毎に得られる mark の接觸時間は 100 m 毎に行われる接觸時間に等しい。又新たに作った接點では電気火花も出ることがないので、うすい眞鍮板を曲げた手細工であり、それを既設の接點用のバネ板を止めてある臺に挟んで止めてあるだけの簡単なものであるが故障は一度も起らなかつた。しかもこの場合 100 m 毎の普通に用いられる接點はもとのままであるからそのまま普通の風速測定用にも用うることも出来る。実際に、1952 年の厚岸の観測では同じ風力計から、風程 1000 m 毎の mark を水滴数と同時に記録せしめ、別の回数自記器に普通に用いられる方法で風速を記録させたことがある。勿論回数自記器を数多く用意出来る場合にはこの様な工作は不必要で、一組の霧水量計として二臺の回数自記器を用うればよい。この風程 1000 m 毎に送られて来る信号を回数自記器に水滴数と同時に記入せしめるために回数自記器に次の様な工作を行つた。

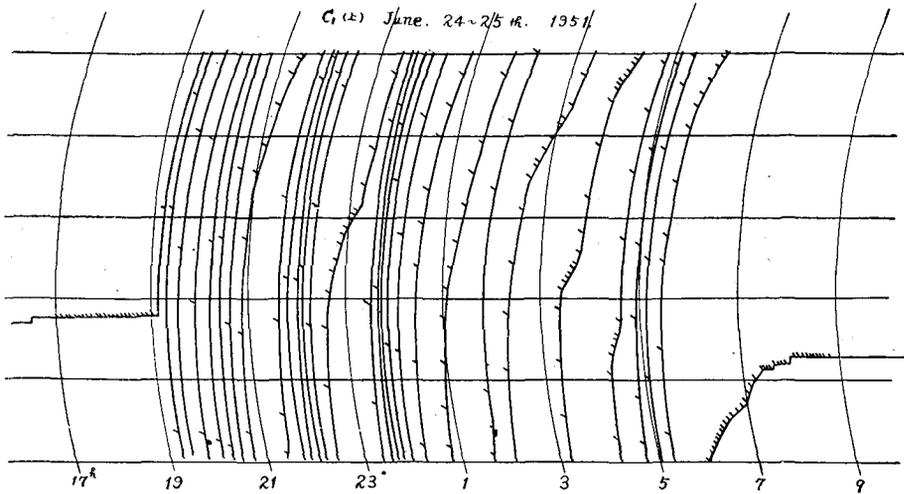
#### b) 回数自記器に対する加工

回数自記器についていろいろと試みた結果、ペンを水平な力でドラムに押しつけると、のちに記録の例第 13 圖に示している様な短線を書かせることが出来ることがわかつた。したがつて、水滴は既設の電磁石によつて上昇する線で記録させ、風速はペンを水平に押しつけてこの水滴とは異なつた印で記録させることにした。そのために(圖版 I の 2)に示す様な工作を行つた。即ち風程 1000 m に達する毎に電磁石 M が作動してペンを押し付けるようにした。ペンを押し付ける棒は細い眞鍮棒で、寫眞の右側に見られるピボットで支えられている。ペンにこの様に無理な力を加えることによる消耗の増大が心配されたが、約一箇月間の観測では取替える必

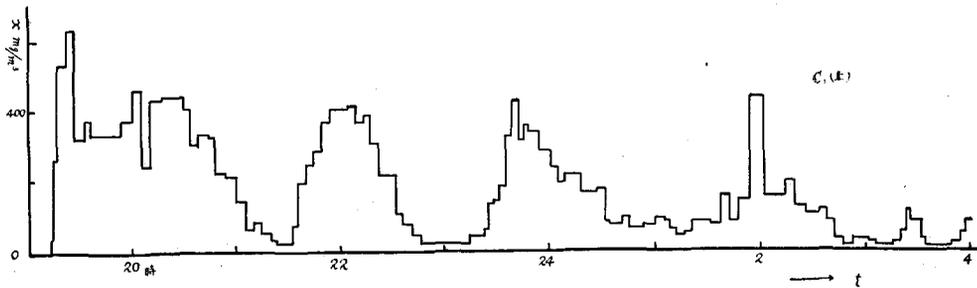
要はなかつた。この電磁石 M は直径 0.33 mm のエナメル銅線を太さ約 1 cm, 長さ 6 cm の軟鉄棒に約 3000 回巻きつけたものを二箇重ねたもので 3 V で十分に働いた。

c) 記録の例

この様にした回数自記器による霧水量の記録の一例を第 13 圖に示した。この記録から前述



第 13 圖 工作した回数自記器による霧水量と風速の記録の一例



第 14 圖 第 13 圖から求めた霧水量 (mg/m<sup>3</sup>) の時間的變化

した方法で算出した単位体積の空気中の霧水量は第 14 圖に示すとおりであつた。霧水量の可成り小さな變化が現われており、又この日は約 2 時間の周期で霧水量が變化しているのがよくわかる。

§2. 多元記録計

前節で述べた様に、若干の工作を施した回数自記器は霧水量計の記録計として十分な精度も實用性を有している。しかし強いて言えば、多くの霧水量計で霧水量を測定する時に多数の回数自記器を用意するのは容易ではない。又各回数自記器の時計が狂いなく又各部分の動作が確實である様に保守することも相當難かしい。筆者等は同時に多くの霧水量計を必要としたので

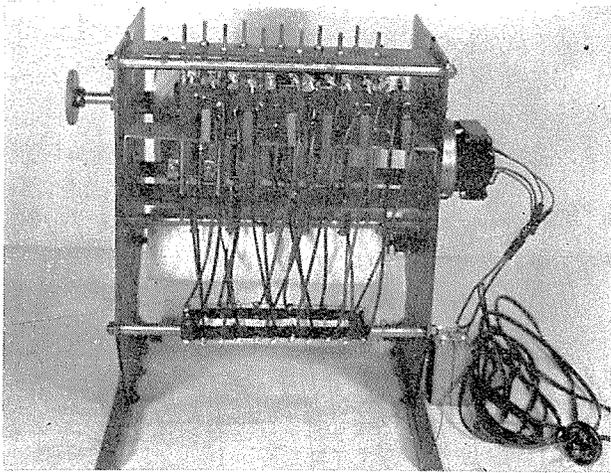


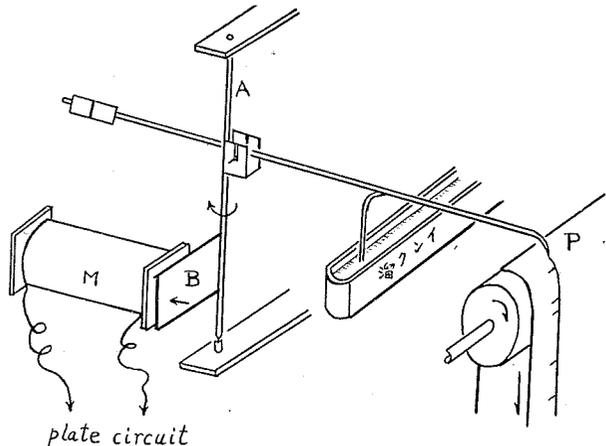
写真 4 多元記録装置(後面)

つてゐる。その原理は第 15 圖に示したとおりである。

この記録装置の記録用紙の幅は 18.5 cm で、同期電動機によつて 1 分間 25 mm の速さでくり出される様になつてゐる。ペン先には普通の記録温度計に使われているガラスのを用いてインクはインク溜から吸い上げている。ペン先 P は圖の様に左右に回轉し得る軸 A に取付けられてをり、ペンの重量は counter weight で調整される。この軸の下の方には鉄片 B がペン軸と略直角になる面内に取付けられている。この鉄片のうしろには電磁石 M が取付けてあり、電磁石は真空管繼電器の真空管の陽極回路の一部をなしている。水滴が落ちてグリッド回路を短絡して陽極回路に電流が流れると、電磁石 M は鉄片 B を引きつける。したがつてペン先 P は圖の矢印の方向に動くことになる。陽極回路に流れる電流がなくなると鉄片 B はスプリングによつてもとの位置に、したがつてペン先 P ももとの位置にもどる。

11 本のペンのうち 1 本は時刻の mark を記入するのに用いた。時計に 10 分毎に接點を得られる様に工作して、前述した真空管繼電器のグリッド回路を 10 分毎に接地せしめた。あらかじめ 3 臺の記録装置の時刻用ペンに附隨する

電磁石の回路を同じ真空管の陽極回路に並列につないでおいたから、各記録装置には同時に時刻の mark が入ることになるのである。



第 15 圖 多元自記装置の圖解

風速の記録は前と異なり、普通の 100 m 毎の接点で行うことが出来る。その電源には 22.5 V の積層乾電池を用いたが 3 臺のロビンソン風力計の記録を連続で記録させても約 20 日間は安定に動作したが電圧が 15 V 以下に下がるとあまり動作が確實でなくなる傾向が見られた。

この装置による記録の一例を圖版 II の 2 に示した。寫眞で左端が時刻の mark、左から 6, 7, 8 番が夫々 19.8 m, 18.2 m, 15 m の高さの霧水量計で捕えられた水の水滴數, 9, 10, 11 番が夫々同じ高さでの風力計の風程 100 m 毎の mark である。残りの 4 本のペンは大浦<sup>10)</sup>が行つた野原で捕えられる水量や梢から滴下する水量などを同様に水滴數で測定するために用いた。

この記録計では同時に 5 組の霧水量計の記録を記録せしめ得る利點があるのと逆に、記録紙の長さが長いので取扱いに稍不便な缺點がある。しかし一臺の製作費は回数自記器をそれ相當數だけ集めるのに比べれば大分安價に出来るし取扱いもさう難かしくはない。但し記録を讀取る時に手間のかかるのは避けられない。

筆者等は 1953 年度の厚岸の霧の觀測では記録計はすべてこの多元記録計を用いたが、なかなか良く作動して極めて多くの資料を得ることが出来た。尙使用の際には觀測櫓の下に設置した組立式觀測小舎の中に取り付けた。したがつて、櫓の中段にある眞空管の陽極回路の長さが約 20 m になつたので電線の絶縁抵抗には充分注意する必要があつた。

## 結 語

筆者等の試作、使用した自記霧水量計についていろいろと述べた。これらの繼電器と記録装置を適當に組合わせることによつて、それぞれの目的と規模の範囲内で霧水量の連続觀測が可能であると考えられるが、尙大方の御批判をいただければ幸ひであります。

ただ、筆者等は單位体積の空氣中の霧水量を直接記録せしめることを目的としていながつたので、得られた記録に對して風速による補正を施す必要がありこの點でわずらわしさは残つてゐる。既に述べた様に捕捉装置の捕捉率は風速の函數と考えられるから、それぞれの風速に應じて捕捉装置の斷面積が變わる様にするとか、その他の工夫を施して記録された値がそのまま單位体積の空氣中の霧水量を示す様にすることも不可能ではないであらう。

筆者等の試作した經驗が更により良い霧水量の自記装置が製作されるたすけともなけば望外のよろこびである。

終りに臨みこの装置の試作に協力された北大低溫科學研究所の工場の人達、札幌管區氣象臺測器課の人々、多元記録計の記録用紙を贈與された北海製紙琴似工場に厚く感謝いたします。又觀測にあたつていろいろと援助を下さつた低溫科學研究所の研究員の方々に厚くお禮申し上げます。

## 文 献

- 1) 福富孝治・田畑忠司 1948 自記霧水量計の試作(第2報). 低温科学, 4, 43.
- 2) 田畑忠司・藤岡敏夫・松村信男 1952 回数自記器を利用した自記霧水量計. 研究時報 4 特別號, 195.
- 3) 同 上 1953 自記霧水量計の計数装置. 低温科学, 11, 63.  
松村信男 1953 霧粒を捕捉する装置の捕捉率. 低温科学, 11, 68.  
藤岡敏夫・田畑忠司・松村信男 1954 自記霧水量計の記録装置. 防霧林に関する研究, 4.
- 4) 今井一郎 1941 物体による氣流中の微粒子の捕捉. 氣象集誌 (2), 19, 217.  
L. Langmuir and K. B. Blodgett 1946 Mathematical Investigation of Water Droplet Trajectories. G. E. Res. Lab. Rep., No. RL, 225.
- 5) 小島賢治・大野武敏・山地健次 1952 霧粒の大きさの測定. 研究時報, 4 特別號, 223.  
小島賢治・山地健次 1953 霧粒の大きさの分布の測定 (II). 防霧林に関する研究, 2, 98.
- 6) 石田完・楠 宏・淺田宏・今井秀雄 1952 亂流の測定及びその分析. 研究時報 4 特別號, 259.  
石田完・小林禎作・今井秀雄 1953 林の周邊における亂流の測定. 防霧林に関する研究, 3, 89.
- 7) 木下誠一 1953 霧の濃度と風速との時間的變動. 低温科学, 11, 55.
- 8) 藤岡敏夫・田畑忠司・松村信雄 1953 厚岸の防霧林周邊における霧水量測定結果. 防霧林に関する研究, 3, 106.
- 9) 黒岩大助・木下誠一 1952 繫留氣球用霧水量計ならびにこれによる霧水量の高度分布の測定 (附草原による霧粒の捕捉). 研究時報 4 特別號, 185.
- 10) 大浦浩文 1954 林による霧の捕捉について (第 III 報). 防霧林に関する研究, 4.

## Résumé

For the studies of natural fogs, the observation of fog water content in unit volume of foggy air is indispensable and it is desirable to record it continuously in a convenient way. Fukutomi and one of the present author, Tabata, constructed two kinds of apparatus some years ago for this purpose. Authors improved them and constructed some new self-recording fog meters that proved to work excellently in the open field. These fog meters are composed of four elements; fog-capturing element, element for counting the droplets which fall from the fog-capturing element, Robinson's cup anemometer and recording element.

Fog-capturing element (Fig. 1 and photo. 1) takes the form of a vertical wire screen stretched between the rim of circular disc and that of the cone and the collected water falls in the form of droplets from the metal spout that is attached to the end of the central pipe of the cone.

For the counting of these droplets, mechanical relay (photo. 2) and electron tube switching circuits (Fig. 10, 11, photo. 3) are used. In the former, droplets fall upon the arm of the relay and close the circuit of a Richard's totalizing chronograph. In the latter, everytime the droplet starts to fall, it connects the grid of an electron tube to the earth, the plate current increased thereby acting on the recording element.

As the recording element, writers used a Ricard's totalizing chronograph or multiple recorder (photos. 4, plate II-1 and Fig. 15) when the Ricard's chronograph was used, the Robinson's anemometer was modified (Fig. 12) so as to send an electric pulse at every 1000 m wind run. By this electric pulse, the electro-magnet M (plate I-2) operates and pushes the arm of a recording pen horizontally along the recording paper, so that a short line is marked along the recorded curve (Fig. 13). Thus the number of droplets and the wind velocity can be recorded on the same recording paper. As seen in plate II-2.

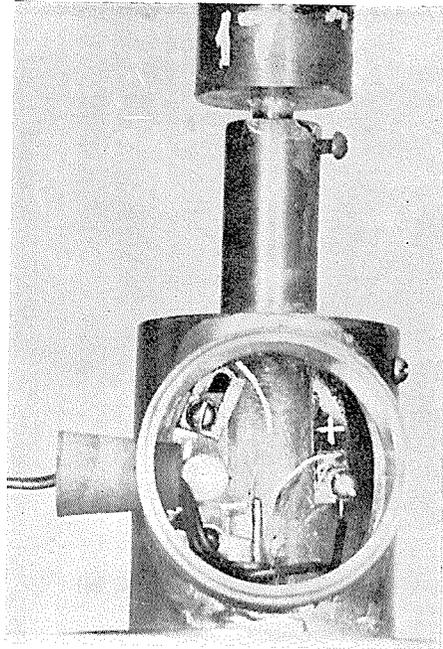
multiple recorder can record a time mark and the record of 5 sets of fog meters on a single sheet of paper.

The amount of captured fog water in time  $t$  is shown by formula 14 in text, by considering the fluctuation of the horizontal as well as vertical components of wind velocity on empirical basis. In this formula,  $M$ : 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  $t$  and lastly,  $u$  and  $w$  represent horizontal and vertical component of wind velocity. The last 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  $\pi/2$ .

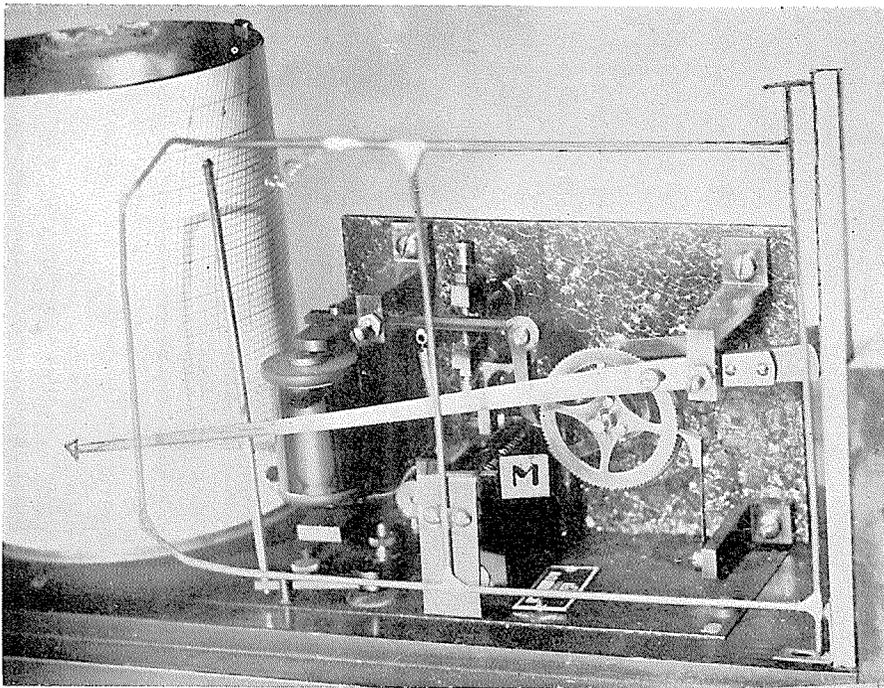
In order to obtain the fog water content in unit volume of foggy air  $\bar{\varphi}$ , the correction terms must be determined by measuring the fluctuations of wind velocity both in horizontal and vertical components simultaneously, while  $u$  and  $M$  can easily be obtained from the record of the recording fog meter.



## 圖版 I.

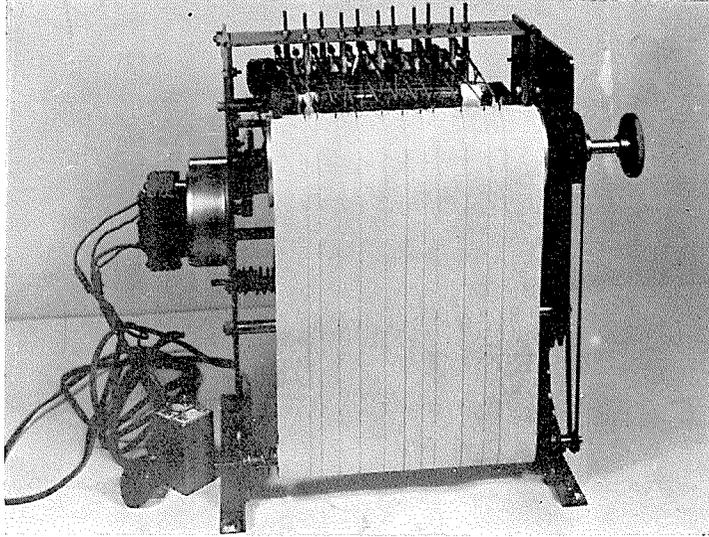


1. 真空管継電器のための水滴の接点

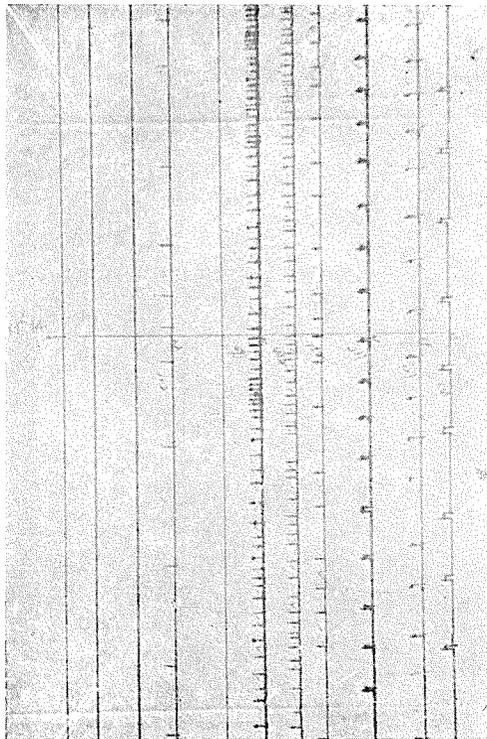


2. 回数自記器を霧水量計の自記装置に適する様に工作した所

圖 版 II.



1. 多元記録装置 (前面)



2. 多元記録装置による記録の一例