



Title	網目に依る霧水量の測定法について
Author(s)	福富, 孝治; 楠, 宏; 田畑, 忠司
Citation	低温科学, 2, 77-83
Issue Date	1949-10-20
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/17402">https://hdl.handle.net/2115/17402</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	2_p77-83.pdf



# 網目に依る霧水量の測定法について\*

福富孝治, 楠 宏, 田畑忠司\*\*

## I. 序 言

単位容積中に含まれる霧水量を知る事は霧や雲の調査研究に缺く可からざる事は申す迄もない。従つて今日迄霧水量を測定する爲に種々の方法が工夫されてゐる。例へば空気中の全含水量と湿度とを測定して霧水量を算出様とする Conrad<sup>(1)</sup>, Wagner<sup>(2)</sup>, 花島助教授の研究, 霧を含んだ空気を熱して全霧粒を蒸發せしめて霧水量を求め様とする Köhler<sup>(4)</sup>, Albrecht<sup>(5)</sup>, 井上助教授の研究, 霧粒の大いさの頻度分布曲線から積分して, 霧水量を求め様とする小口氏の研究等があるが, 此等の方法は霧水量を求めると言ふ點では間接的方法である。

直接的方法としては金網を用ひて霧水を捕捉し様とする Radford<sup>(8)</sup>の方法がある。此の方法は小風洞中に取外し可能の細かい目の金網7枚を張つた枠1個を挿入し電動扇風器により霧の含まれた空気を吸引して金網にて霧粒を捕捉し, 測定前後の金網枠の重量差から霧水量を求め様と試みたものである。金網に依る霧の捕捉率は數割の程度であるからこの補正としてこの重量差に或る係数を乗じなければならぬ。Radfordの装置ではこの係数として $\frac{1}{0.90}$ を用ひてゐる。然し乍ら網目の捕捉率は霧粒の大いさに依つても多少變化するのであるから此等の影響をも考慮に入れなければ正しい霧水量は得られないのである。この爲には測定前後に於ける金網枠1個の重量差だけを測定したのでは不充分である。Radfordの研究ではこの影響は考慮されて居らない。

従つて筆者等は上述の點に留意して Radfordの方法を多少改良して出来るだけ正確に霧水量を求め, 且同時に霧粒最多半径の概値をも求め様と試みた。以下に其の概略を報告する次第であ

\* 北海道大學低溫科學研究所業績 第28號. Takaharu Fukutomi, Kou Kusunoki, Tadashi Tabata: A Method of Estimating the Liquid Water Contents in Natural Fogs by the Seron Method.

\*\* 低溫科學研究所.

(1) V. Conrad: Wiener Denkschr. 7 (1901), 115.

(2) A. Wagner: Sitzb. Akad. Wiss, Wien 117, 2a, 1231 (1903).

(3) 花島政人: 低溫科學, 第2輯 (昭和24年).

(4) H. Köhler: Meddelanden Fran Stratens Meteorologisk-Hydrografiska Anstalt. Bd. 5, (1928), No. 2.

(5) F. Albrecht: Met. Zeits, 42, (1925), 468.

(6) 井上直一: 低溫科學, 第2輯 (昭和24年).

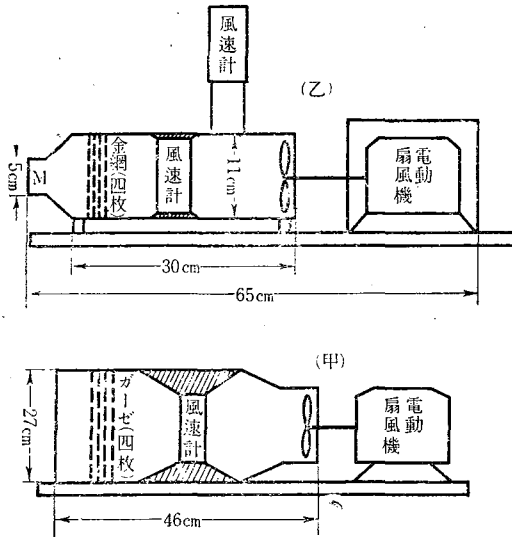
(7) 小口八郎: 低溫科學, 第2輯 (昭和24年).

(8) W. H. Radford: Papers in Physical Oceanography and Meteorology, Massachusetts Institute of Technology and Woods Hole Oceanographic Institution, Vol. VI, (1933), No. 4.

る。

## II. 測 定 装 置

測定装置の概略は第1圖に示した通りである。装置(甲)は口の廣さ 27 cm × 27 cm の木製の小風洞で霧を含んだ空気を口から吸入する爲に後部に電動扇風器が附けてある。風洞の中程には測



第 1 圖 霧水捕捉装置の概略

問題にならない。測定が終れば成る可く早く枠から外して小共口瓶に入れ持歸つて瓶ごと秤量するのである。測定時間は霧の濃淡や風速の大小も多少考慮に入れる必要があるが、大體5分間位で充分である。ガーゼから霧水が流れ落ちる程多量に着水させてはならない。ガーゼが稍濕る程度が良く、本装置のガーゼの大きさでは第1枚目が5~6g位が丁度良い様に思はれる。

装置(乙)は金網枠を4枚用ひた直径11cmの圓筒形の装置でガーゼの装置と殆んど同様であるが次の諸點が異つてゐる。装置全體が常に風向に向き得る様に廻轉軸と矢羽を附けたこと、金網では針金の表面に着水するだけでガーゼの様に絲に吸収される事がないから、網の周圍に受皿が附けてあることと、精密天秤にて計量出来る様直径を11cm位としたこと、又この場合も金網と金網との間隔は1cm位としたこと等である。

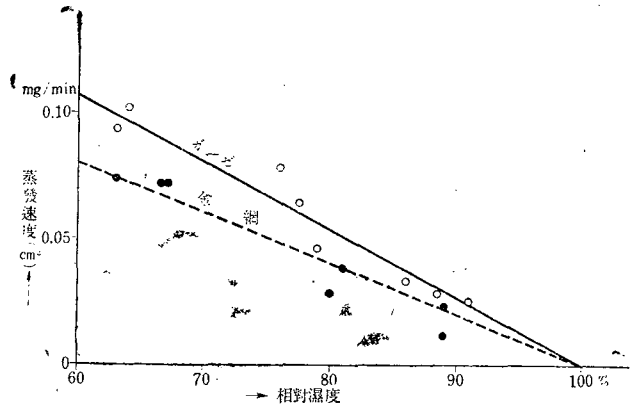
測定中に網目についた水分が風で飛んだり蒸發したりする懸念も一應考へられる所であるが、風洞内の風速は網目の抵抗の爲2m/secを越えないから飛散することも問題にならないし、相對濕度は濕霧の場合は100%、乾霧の場合であつても多くは98%以上であつて網目からの蒸發速度は第2圖に示された如く微小であるから5分間位の測定時間中では問題とならない。測定後秤

定中に通過した空氣量  $V$  を測定する爲に微風速計を設置した。測定の際には小風洞の前口を風上に向け風洞の入口にガーゼを1枚宛張つた木枠を4枚挿入する。ガーゼ間の距離は凡そ1cmである。霧粒が網目を通過する際その幾割かが捕捉せられるので測定の前後のガーゼの重量を精密天秤にてmgの程度迄計量すれば其の重量の差からガーゼへの着水量が求められる。

秤量後測定迄の間に水分を吸収する影響を避ける爲にはガーゼは成る可く湿度の多い部屋に放置して置き、測定直前秤量し、枠に張つて木箱に入れて蓋を閉め現場に携行すれば

量までの間でも蒸發が問題となるが、ガーゼの場合は測定直後枠から外して小共口瓶に入れ其の儘秤量するので問題はない。

金網枠の場合は可成り問題であるが、測定直後小木箱に入れて蓋を良く閉め、窓を明けて外氣の流入を良くした。成る可く相對濕度が90%を越えた濕度の高い秤量室に持つて來て計量を行へば、計量する位の短時間では餘り問題にならない。第2圖は使用せる金網及ガーゼからの蒸發速度と相對濕度との關係を吟味した結果である。



第2圖 單位面積の網目からの蒸發速度と相對濕度との關係

蒸發の影響が問題になる様な場合には、計量中に要した時間と秤量室の相對濕度とから第2圖に依つて補正量を求めて實測値に加へれば良い。

網目としてガーゼと金網とどちらが優れて居るかと云ふに一長一短はあるが、本装置に使用した金網とガーゼでは單位面積に對する蒸發速度は金網の方が少し小さいが、秤量中や運搬中の蒸發の影響はガーゼに關しては問題にならない事や、着水量を比較的多く出来る事や、霧中の大粒子鹽素量測定にも應用出来る點はガーゼの方が優れてゐる様に思はれる。然し乍らガーゼは金網に比較して網目が不整であつて次の項に述べる  $p_0$ ,  $\alpha$ ,  $\delta$  等が個々の場合で多少異ると云ふ點が劣つて居る様に思はれる。

次に風洞の口の問題である。網目の爲に外の風速に比較して中の風速は可成り小となる結果、外の空氣の流線は風洞の口の附近で擴散する。此の場合風洞外に擴散する空氣中の霧粒の一部が慣性や亂流の爲に網目に附着すると云ふ懸念がある。之を避けるには電動扇風器の回轉を早めて風洞内外の風速を等しくすれば良いのであるが、風速が大なる場合には網目に捕捉された霧水が飛去る事も起り得るので風洞内の風速は餘り大にはされない。従つて上の影響を除く爲には網目を風洞の口から少し離して中に置く様にすれば風速が餘り大でなければ問題にならない様である。風速が大で 10 m/sec にも及ぶ場合には第1圖(乙)に示した如く口の先に絞り M を附けた帽子をつけ、M 部分の吸入風速を外の風速と大體等しくなる様に扇風器の廻轉を調節した方が良い結果が得られた様である。

### III. 方 法

#### (1) 空氣單位容積中の霧水量 $x$ の算出

上述の装置を用ひて霧水量を算出する方法は以下の如くである。

網目 1 枚の霧粒の捕捉率は霧粒半径  $r$  の函数であるから之を  $p(r)$  とし、霧水の水量分布も  $r$  の函数であるから之を  $\varphi(r)$  とする。又第 1 枚目、第 2 枚目、第 3 枚目、第 4 枚目の網目の捕捉水量を夫々  $A_1, A_2, A_3, A_4$  とする。網目に依つて単位時間中に半径が  $r$  から  $r+dr$  の間の霧粒が捕捉せられる量は  $p(r)\varphi(r)dr$  であるから  $r$  の全域に對し第 1 枚目の網目の捕捉水量  $A_1$  は次式で表はされる。

$$\int_0^{\infty} \varphi(r)p(r)dr = A_1 \quad (1)$$

$r$  から  $r+dr$  の間で第 1 枚目の網目を通過した水量は  $\varphi(r)\{1-p(r)\}dr$ 、従つて残量が第 2 枚目で捕捉せられる量は  $\varphi(r)\{1-p(r)\}p(r)dr$  である。 $r$  の全域に對する第 2 枚目の捕捉水量  $A_2$  は

$$\int_0^{\infty} \varphi(r)p(r)dr - \int_0^{\infty} \varphi(r)p^2(r)dr = A_2 \quad (2)$$

全く同様に第 3 枚目、第 4 枚目の捕捉水量  $A_3, A_4$  は夫々次の如くなる。

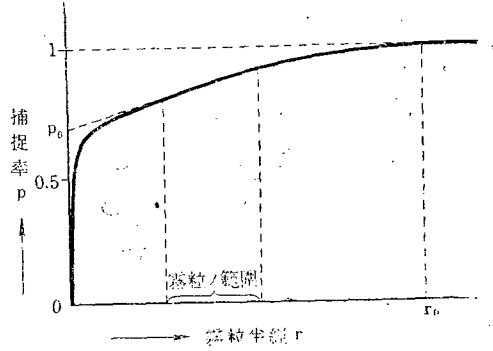
$$\int_0^{\infty} \varphi(r)p(r)dr - 2\int_0^{\infty} \varphi(r)p^2(r)dr + \int_0^{\infty} \varphi(r)p^3(r)dr = A_3 \quad (3)$$

$$\int_0^{\infty} \varphi(r)p(r)dr - 3\int_0^{\infty} \varphi(r)p^2(r)dr + 3\int_0^{\infty} \varphi(r)p^3(r)dr - \int_0^{\infty} \varphi(r)p^4(r)dr = A_4 \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \therefore \int_0^{\infty} \varphi(r)p(r)dr &= A_1 & = A \\ \int_0^{\infty} \varphi(r)p^2(r)dr &= A_1 - A_2 & = B \\ \int_0^{\infty} \varphi(r)p^3(r)dr &= A_1 - 2A_2 + A_3 & = C \\ \int_0^{\infty} \varphi(r)p^4(r)dr &= A_1 - 3A_2 + 3A_3 - A_4 & = D \end{aligned} \quad (5)$$

此の積分方程式を解く爲には  $\varphi(r)$  又は  $p(r)$  の何れかの形が分からなければならない。霧粒の質量分布  $\varphi(r)$  は個々の霧に依つて其の形が異なる筈であるから一般に或る一つの式で表はす事はむづかしいが、兎に角  $r$  が  $0 < r_2 < r_3 < r_0$  である様な  $r_2$  から  $r_3$  の間では  $\varphi(r)$  で、 $r < r_2$  及び  $r > r_3$  の範圍では  $\varphi(r) = 0$  と考へることが出来る。 $p(r)$  は其の網目に固有なものであるから之

は一つの式で大體表はし得る筈である。  $p(r)$  の形は未知であるが  $p(r)$  を縦軸に、霧粒半径  $r$  を横軸に取れば第 3 圖に實線で示した如き形で與へられる筈であり、  $r=0$  では  $p(r)=0$ 、  $r \geq \frac{l}{2} - m$  ( $m$  は網目の絲又は針金の半径、  $l$  はこの間隔である、ガーゼでは平均  $l=864 \mu$ 、  $m=96 \mu$  であるから、  $r_0 = \frac{l}{2} - m$  とすれば凡そ  $r_0=336 \mu$  であり、本装置の金網では  $l=330 \mu$ 、  $m=39 \mu$  であるから凡そ  $r_0=154 \mu$  とする) では  $p(r)=1$  であるべきである。霧粒の半径は數  $\mu$  から數十  $\mu$  の程度であるが此の狭い範圍では近似的に  $p(r)=a+br+cr^2$  の形で表して差支へない筈である。實際に斯く置いて計算を進め實測に使用して見ると、  $a \neq 0$  で  $r_2 < r < r_3$  の範圍では  $c$  は負の量であるから近似的に



第 3 圖 捕捉率と霧粒半径との關係 (略圖)

$$p(r) = p_0(1 + \alpha r - \delta r^2) \tag{6}$$

と置いて計算を進める事にする。此處に  $p_0$  はこの式を  $r \rightarrow 0$  迄延長した時の假想的捕捉率であつて、  $\alpha$ 、  $\delta$  と共に大體網目に固有な常數である。(多少網目を通過する風速にも關係する様にはれる)。

(6) 式を (5) 式に代入し、  $\alpha r$  及  $\delta r^2$  は 1 に対して小なる量であるから  $\alpha \delta r^3$  以上の微小量を見捨てることにし、且つ  $X = \int_0^\infty \varphi(r) dr$ 、  $Y = \int_0^\infty r \varphi(r) dr$ 、  $Z = \int_0^\infty r^2 \varphi(r) dr$  と置けば (7) 式が得られる。

$$\left. \begin{aligned} X + \alpha Y - \delta Z - \frac{A}{p_0} &= 0 \\ X + 2\alpha Y + (\alpha^2 - 2\delta)Z - \frac{B}{p_0^2} &= 0 \\ X + 3\alpha Y + 3(\alpha^2 - \delta)Z - \frac{C}{p_0^3} &= 0 \\ X + 4\alpha Y + 2(3\alpha^2 - 2\delta)Z - \frac{D}{p_0^4} &= 0 \end{aligned} \right\} \tag{7}$$

$$\therefore A p_0^3 - 3B p_0^2 + 3C p_0 - D = 0 \tag{8}$$

$$X = \frac{1}{p_0^3} (3A p_0^2 - 3B p_0 + C) \tag{9}$$

が得られる。  $X$  即ち  $\int_0^\infty \varphi(r) dr$  は測定時間中に風洞を通過した空氣量  $V$  中に含まれる霧水量で

るからあ、空気の単位容積中の霧水量  $x$  は

$$x = \frac{X}{V} = \frac{1}{p_0^3 V} (3A p_0^2 - 3B p_0 + C) \quad (10)$$

で與へられる。

$A, B, C, D$  は (5) 式に示される如く第 1 枚目から第 4 目枚迄の網目に捕捉された霧水量  $A_1, A_2, A_3, A_4$  が判れば直ぐ判る量であるから、(8) 式から  $r=0$  に對する假想捕捉率  $p_0$  は求められ、従つて之等の値と測定せられた通過空気量  $V$  の値を (10) 式に代入すれば空気の単位容積中の霧水量  $x$  は求められるのである。

## (2) 霧粒半径の概値を求めること

本装置によつて霧水量測定の副産物として霧粒半径の概値をも推定することが出来る。即ち、第 1 枚目及び第 2 枚目の網目の捕捉量  $A_1, A_2$  とから  $R = \frac{A_1}{A_2}$  又は  $q = 1 - \frac{A_2}{A_1}$  なる量を求めて置けば  $R$  又は  $q$  に依つて霧粒半径の概値を以下の如く知ることが出来る。

今簡單なる場合として霧粒が一様の半径  $r$  であると假定すれば、網目 1 枚の捕捉率を  $p(r)$  として、第 1 枚目、第 2 枚目の網目の捕捉水量は夫々  $Xp(r), Xp(r)\{1-p(r)\}$  となるから

$$R = \frac{1}{1-p(r)}, \quad q = p(r) \quad (11)$$

で與へられる。 $p(r)$  は第 3 圖の如き形であるから  $R$  又は  $q$  は霧粒半径が大となれば共に増大し、 $r=0$  で  $R=1, q=0$  となり、 $r \geq \frac{l}{2} - m$  では  $R=\infty, q=1$  となる。即ち、 $R$  又は  $q$  の値により霧粒の大小を判定することが出来るのである。

尙霧粒の大きい範囲では  $p(r)$  は近似的に (6) 式で表はされるから、之を (11) 式に代入し  $r^3$  以上の微小項を無視すれば

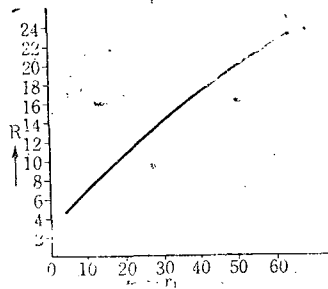
$$\left. \begin{aligned} R &= \frac{1}{1-p_0} \left\{ 1 + \left( \frac{p_0}{1-p_0} \right) \alpha r - \left( \frac{p_0}{1-p_0} \right) \delta r^2 \right\} \\ q &= p_0 (1 + \alpha r - \delta r^2) \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

が得られる。即ち、 $p_0, \alpha, \delta$  が既知であれば  $R$  又は  $q$  の値から霧粒半径  $r$  が判るのである。實際の霧では霧粒は決して一様なものではないが、或る半径に近い霧粒が最も多く、それより半径の大なるものも小なるものも数が減ずるから (12) 式の  $r$  の代りに最多半径  $r_1$  を用ひることにする。 $\alpha_0$  は (8) 式から求められるが個々の霧に依つて多少異りガーゼの時には 0.60~0.75 の範囲であり平均  $p_0=0.684$  である。従つて  $R$  又は  $q$  が測定せられると同時に  $r_1$  が他の方法で測定せられて之等の 2 組以上の値が既知であれば (12) 式から、 $\alpha, \delta$  も決定せられる。ガーゼに對して實測した  $R$  の値と同時に小口八郎氏に依つて實測せられた霧粒の最多半径  $r_1$  の値から  $\alpha, \delta$  の値を決定して見ると凡そ  $\alpha=0.0563, \delta=0.00017$  が得られた。即ち

(9) 前出, (7).

$$R = 3.17 + 0.382 r_1 - 0.001 r_1^2 \quad (13)$$

となる。兎に角 (13) 式により R の値が判れば霧粒の最多半径  $r_1$  の概値は求められるのである。之等の値を求めるのに用いた R と  $r_1$  との同時測定は僅かに數回であつたので、求められた  $\alpha$ ,  $\beta$  の値も大凡の値であり將來多くの資料により再決定しなければならない。第 4 圖は (13) 式によつて R と  $r_1$  との關係を圖示したものである。



第 4 圖 R と霧粒最多半径  $r_1$  との近似的關係

#### IV. 實 例

次にガーゼの裝置を用ひて行つた實測の 3 つの例を示した。

霧の性質	測定値	計算結果
濕霧 (根室) (昭和19年7月)	$A_1 = 6.543 \text{ g}$	$p_0 = 0.757$
	$A_2 = 0.580$	$X = 3.32 \text{ g}$
	$A_3 = 0.253$	$x = 613 \text{ mg/m}^3$
	$A_4 = 0.198$	$R = 11.28$
	$V = 15.18 \text{ m}^3$	$r_1 = 23 \mu$
濕霧 (ニセコ山頂) (昭和19年9月)	$A_1 = 4.356 \text{ g}$	$p_0 = 0.647$
	$A_2 = 0.651$	$X = 6.150 \text{ g}$
	$A_3 = 0.343$	$x = 317 \text{ mg/m}^3$
	$A_4 = 0.320$	$R = 6.69$
	$V = 19.33 \text{ m}^3$	$r_1 = 10 \mu$
乾霧 (根室) (昭和19年7月)	$A_1 = 2.967 \text{ g}$	$p_0 = 0.741$
	$A_2 = 0.507$	$X = 4.50 \text{ g}$
	$A_3 = 0.462$	$x = 33 \text{ mg/m}^3$
	$A_4 = 0.309$	$R = 5.86$
	$V = 13.7 \text{ m}^3$	$r_1 = 7 \mu$

次に参考の爲に、ガーゼ 1 枚又は 2 枚に依つて霧粒を捕捉した場合に、 $A_1$  又は ( $A_1 + A_2$ ) の値から近似的に霧水量  $x$  を求める爲に乘すべき係数を實測から求めて示せば

$$\frac{x}{A_1} = \frac{1}{1.48}, \quad \frac{x}{A_1 + A_2} = \frac{1}{1.23}$$

である。

#### V. 結 語

網目法によつて空氣單位容積中の霧水量を精測する方法、裝置に就いて述べた。又同時に霧粒最多半径の概値を求め得ること

も注意した。

本研究は文部省學術研究會議霧研究班の仕事の一部として、中谷教授の指導の下に行つたものである。

低 温 科 学 第 二 輯 ( 第 一 刷 ) 正 誤 表

(頁)	(行)	(誤)	(正)	(頁)	(行)	(誤)	(正)
目次	20	福島	福富	90	13	写真 12	写真No.30
3	12	$\alpha$	$\alpha d$	94	28	" 7	" No.25
6	第6圖	5 cm	0.5 cm	99	16	示すと	みると
"	20	$\frac{3}{\text{kg/cm}}$	$\frac{3}{\text{kg/cm}^2}$	"	"	写真No.1の如く	トル
24	22	相對温度	相對湿度	"	22,23	写真1に見られる	トル
26	第1表の5	<105	>105	100	2	写真と同様に	トル
27	4	写真 2	写真No.2	101	27,28	写真No.2に示す様に	トル
"	10	" 1	" No.1	101,102	30,1	写真に示す如く	トル
"	14	" 3	" No.3	102	13	第1表及び写真No.2を	第1表を
"	19	F	下	108	26	写真 1	写真No.31
"	30	写真 4,5	写真No.4,5	"	29	" 4	" No.34
28	4	$T_c$	$T_a$	"	29	" 4	" No.34
"	5	$T_c$	$T_a$	109	3	" 4	" No.34
"	23	写真 6,7,8	写真No.6,7,8	"	"	" 5	" No.35
"	29	" 8	" No.8	"	"	" 2	" No.32
29	2	" 9,10,11	" No.9,10,11	112	3	" 3	" No.33
34	10	鐵線があるが	鐵線であるが	113	17	" 6	" No.36
59	第13圖	---細土含有量	---細土含有量	"	18	" 7	" No.37
"	"	-x-粘土含有量	-x-粘土含有量	"	29	" 8	" No.38
70	24	b c	b : c	115	27	" 9	" No.39
71	3	写真No.1	写真No.12	116	4	" 9	" No.39
"	3	" No.2	" No.22,13	120	13	$1.0 \times 10^{-7} V$	$1.0 \times 10^{-2} V$
"	16	" No.1	" No.21,12	121	7	30cm	130cm
74	6	第2圖(A)	" No.14	128	14	3m	4.8m
"	"	" (B)	" No.15	136	第1表の1	左右對線	左右對稱
"	"	" (C)	" No.16	142	1	打點式によつて	自記的に
"	8	写真 (A)	" No.14	159	6	Ag	Aq
"	10	写真 (B)	" No.15	164	25	$\Delta t'g > t_w$	$\Delta t'g > \Delta t_w$
"	18	" (C)	" No.16	166	27	0.001N	0.001/N
"	20	" (A)	" No.14	171	3	9桁	6桁
75	9	第4圖(D)及(E)	" No.17, No.18	"	16	$\frac{T_l}{T_a} Vt$	$\frac{T_l}{T_t} Vt$
"	11	写真 (D)	" No.17	172	2	$R-I = \frac{e}{e_{sat}} 100$	$RH = \frac{e}{e_{sat}} 100$
"	12	" (E)	" No.18	"	22	a), b)	写真No.40, No.41
77	脚註3	Seron	Screen	174	第3表	相對温度	相對湿度
80	11	$\int_0^\infty \varphi(r) d^2(r) pr$	$\int_0^\infty \varphi(r) p^2(r) dr$	180	6	$B_{nap} s$	$B_{napus}$
88	10	写真 1	写真No.19	181	2	<i>Faphanobras-</i> <i>sica</i>	<i>Raphanobras-</i> <i>sica</i>
"	20	" 2	" No.20	182	4	<i>Horde m</i>	<i>Hordecum</i>
89	1	" 3	" No.21	183	13	<i>nap s</i>	<i>napus</i>
"	3	" 4	" No.22	244	19	單位生殖	單爲生殖
"	12	" 5	" No.23	248	15,16	温度氏はでも	湿度でも
"	"	" 6	" No.24	"	16	尙松島	尙松島氏は
"	14	" 4	" No.22	252	13	Schwarkinowa	Schkwarnikow
"	22	" 7	" No.25	257	6	写真1-5	写真No.56の1-5
"	27	" 8	" No.26	259	8	写真4-5	写真No.56の4-5
"	28	" 9	" No.27	260	6	" 6	" No.56の6
90	3	" 12	" No.30				
"	10	" 8	" No.26				
"	11	" 11	" No.29				
"	12	" 9	" No.27				