



Title	全含水量測定について
Author(s)	花島, 政人
Citation	低温科学, 2, 169-175
Issue Date	1949-10-20
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/17413
Type	bulletin (article)
File Information	2_p169-175.pdf



[Instructions for use](#)

全含水量測定について*

花 島 政 人**

§ 1. 緒 言

濕度を測定しようとする空気を一定容積だけ採つて、その中に含まれてゐる水蒸氣を五酸化磷、鹽化カルシウム等の如き吸濕性の物質に吸収させ、その水分の質量を秤つて濕度を測定する方法は古くから行はれ、方法が直接的であるので他の如何なる方法よりも正確なものと考へられて今でも標準法として用ひられる。

この方法は常溫のみならず、零度以下の低溫度に於ても同様に使用することが出來て、雪の結晶の生成條件を調べるのに實際に雪の結晶の生長する場所の過飽和度をこの方法で測定したことに就ては既に報告した⁽¹⁾。

更にこの方法は單に空氣中の水蒸氣のみならず雲や霧の中でも用ひて、その中の全含水量を測定することが出来る。全含水量や霧水量は雲、霧及び着氷の研究の重要な要素の一つであるが、この方法に依つて全含水量を測定し、それより霧水量を出さうといふことは古くは 19 世紀の中頃 Schlaginweit が Monte Rosa で試みたと傳へられ更に後には Conrad, Wagner, H. Köhler⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾ 等に依つて行はれ報告されてゐる。しかしこの吸収法の實際の操作にはかなりの細い注意が必要であつて、Köhler の場合の如くゴム配管などでも誤差が生ずる。それらの憂ひを無くする様な方法で濕度の測定及び霧中での使用を試みた。

§ 2. 装 置

装置は第 1 圖に示す如きもので、從來 Köhler などが行つた方法、即ち豫め眞空にした瓶中に濕度を測らんとする空気を吸入し、それを吸収器を通じてポンプに依り排氣するといふのでなく、吸収器を通じて豫め排氣しておいた瓶中に吸収するやうにした。そのために高い眞空度の必要はなくなり、又配管や吸収瓶の壁に水蒸氣が收着するために起る誤差をなくすることが出来る。

第 1 圖に於て M: 壓力計, C: 吸入速度調節活栓, F: 流速計, T: 溫度計, V_t: 眞空瓶である。

* 北海道大學低溫科學研究所業績 第 42 號。

** 低溫科學研究所。

(1) 花島: 氣象集誌, 第 2 輯, 第 22 卷 (昭和 19 年), 4 號, 121 頁。

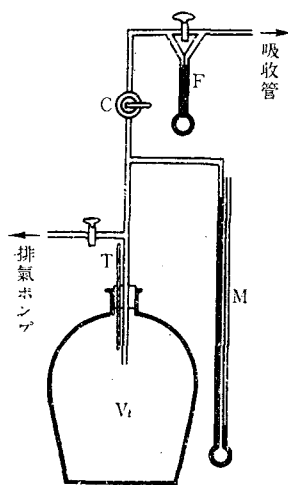
低溫科學研究所業績 第 18 號。

(2) Conrad: Denkschr. d. Kais. Akad. in Wien, 73.

(3) Wagner: Wiener. Sitz-Ber., B. 117 (1908), S. 1281.

(4) H. Köhler: Geofysiske Publikationer., V (1927), No. 1.

真空瓶は容積約 20 l で硫酸の容器を用いた。これは普通竹籠で包まれてゐるので、真空にして置



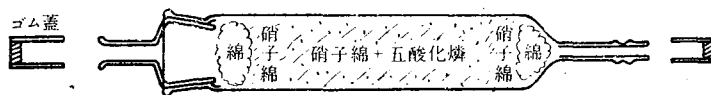
第 1 圖

いた時壊れても硝子片が飛散することなく安全であつた。流速計は油入りのものを用ひ、その柱頭差を豫め流量で校正しておく。そして吸入中（殊に霧中で使用のとき）は一定流量を保つやうにこれを見乍ら活栓 C を調節する。

吸収管は硝子製で第 2 圖の如き形である。吸入口の部分と吸収剤を入れる胴の部分との結合は摺合せのはめ込みになつてゐる。吸収剤は五酸化磷 (P_2O_5) を使用し、これを硝子綿とよくまぶして使用した。

先づ乾燥した青梅綿を、次にその綿が五酸化磷に直接に觸れぬために——觸れると綿を焦す——硝子綿を詰め、そして硝子綿によくまぶした五酸化磷を詰め更に硝子綿、青梅綿の順に填める。

この吸収管の詰め方はゆるすぎると一箇所だけ通り道が出来て完全に水分を吸収出来ず、又かたすぎる時は所要の吸入速度が得られず適當なところは體得するより外はない。その吸収管の前後には第 2 圖にある如きゴム管で作つた蓋をかぶせ、管の外部に附着したものをガーゼで拭ひ五酸化磷を入れたデシケーター中に保有する。



第 2 圖

秤量はゴム蓋を外して行ひ、吸収後はすぐ秤量せずデシケーターで大體元の條件にしてから秤量する。吸収管の取扱ひは化學の炭水素の微量分析のときの吸収管の取扱ひ方に準じ、ガーゼなどをを用ひて直接に手で觸れないやうな注意が必要である。

吸濕劑として、こゝで使用した五酸化磷は化學藥品に依つて達せられる最高のもので、他の一般の吸濕劑に比し頗る強力であるが、その取扱ひが少し面倒である。そして又市販のものでは製造會社によつてかなり吸濕能力に差異があり、白く且細いものが一般に良かつた。更に 200°C 位でこれを昇華精製すれば完全であるが、それ程の必要はなかつた。

五酸化磷は吸収管一本につき約 5 乃至 10 g を詰め、水分を 500 mg までは完全に、即ちこの装置では吸入容積が約 20 l であるので 25 g/m³ 即ち約 25°C で飽和にあるときまで一本で吸収出来て、二本並列に連結しても二本目の重量の増加は認められなかつた。それで普通は一本だけ

* A. A. Morton: Laboratory technique in Organic chemistry, (1938).

第1表 吸収管 No. 24

吸 收 後	36.7279 g
吸 收 前	36.6264
増 量	0.1015

で測定を行つた。

吸収管の重量の秤量は化學天秤を用ひ第1表の如く 1/10 mg まで9桁讀むが、水分を吸収しての重量の増加として計算に使用するところは3桁である。

§ 3. 湿度の測定

今温度を t 、大氣壓を B 、測定する空氣中の水蒸氣の分壓を e とすると、吸収管を通つて水蒸氣を奪られた空氣の分壓は $B-e$ である。タンクの容積を V_t 、吸収前後のそのタンクの壓力差を Δp とすると、吸収した體積 V は

$$V = \frac{\Delta p}{B-e} V_t$$

である。

然し吸濕劑に五酸化磷を使用すると、これは水と反應のとき大きな熱發生を伴ふので、それを通して吸入した乾燥空氣はそのために温められ、その温度は一般に氣温 t よりも高くなる。それで吸入した體積 V が V' になつてゐる。その高くなつた時の温度を t' とすると、この間には

$$\frac{V}{V'} = \frac{273+t}{273+t'} = \frac{T_a}{T_t}$$

なる關係がある。この温度の補正を入れれば、この際の吸入した眞の體積は

$$V = \frac{\Delta p}{B-e} \cdot \frac{T_t}{T_a} V_t$$

となる。 t' はタンクに入れた温度計に依つて測る。

吸収管を秤量し、吸収した體積 V (m^3) の中に m (gr) の水蒸氣があつたとし、又同じ體積中に飽和の状態では $D_{sat} \cdot V$ (gr) の水蒸氣があるとすると

$$\frac{e}{e_{sat}} = \frac{m}{D_{sat} \cdot V}$$

である。

故に前の V の式とこの式より

$$e = \frac{B \cdot e_{sat} \cdot m}{D_{sat} \cdot V_t \cdot \Delta p \cdot \frac{T_t}{T_a} + e_{sat} \cdot m}$$

となる。この式に於て e_{sat} 、 D_{sat} は氣温 t に對する飽和蒸氣壓及飽和水蒸氣量 (gr/m^3) であるから表より求め、 B は氣壓計より、 V_t は瓶の體積で、 m は秤量より求められるから、その温度の蒸氣壓 e が求められる。

* Rândolt-Börnstein: Physikalisch-chemische Tabellen に依つた。

求める空気の相対湿度は

$$RH = \frac{e}{e_{sat}} \cdot 100$$

また e を知れば V が求まり絶対湿度 D は

$$D = \frac{m}{V}$$

である。

測定の一例として独立した吸収装置 3 臺で同時に比較測定をしたものを第 2 表に示す。この時吸収管を 3 本一緒に束ねて使用し、その結果 3 つともよく一致してゐる。同時に通風温湿計で湿度を測定しその値を第 2 表中最後の欄に示してある。これら通風温湿計との比較は温度、湿度の

第 2 表

吸収管 番 号	タンク 番 号	V_i (l)	t (°C)	t' (°C)	Δp (mmHg)	V (l)	m (gr)	m/V (gr/m ³)	D_{sat} (gr/m ³)	相対湿度 (%)	湿球温度	アスマン 相対湿度
28	1	20.83	12.0	17.0	59.35	18.87	0.1776	9.41	10.66	88.3	10.9	88.5
30	2	21.05		18.0	519.0	16.60	0.1562	9.40	10.66	88.2		
29	3	20.92		16.0	440.0	14.09	0.1325	9.40	10.66	88.2		

變動の比較的小なるときを選んで行つたもので、普通晴天の戶外、及び出入のある室内などでは、吸収法の測定に要する 4 分位の間でも湿度の變化は 5% にも及ぶので、そのやうな場合には吸収法に依る 4 分間の平均の湿度と通風温湿計に依るそれとの比較に多少のずれが出てくるわけである。

§ 4. 霧中での使用

上記の方法を空気中の水蒸気、即ち湿度の測定のみを使用するときは問題にならないのであるが雲や霧を構成する微水滴まで完全に吸入して、その雲や霧の全含水量を測定するために、若干の考慮をした。

Köhler の如く吸入方向と風向とが直角であると霧粒の吸入は風速が大であるときは完全に行なはれない。又吸入口を風向に向けても風速の方が管口の流入速度より大だと、吸入されぬ空気中にあつた霧粒の一部も慣性に依つて入つてしまひ誤差の源となる。それで完全に吸ふ爲に吸入口を風向に向け、その管口の吸入流速を少くも風速に等しいが、又はそれ以上にする必要がある。そこの流速を増すために第 2 圖の如く管口部を細くした。

寫眞は吸収管口附近の霧粒の動きの模様で a) は吸入してゐるとき、b) は吸入してゐない時である。この場合この吸収管口の内径は約 3 mm、吸入速度は 5 l/min であるので、管口の流速は約 10 m/sec となり、この程度の風速までは直接に使用した。更に大きな風速の際は簡単な

發散風洞を用ひて風速を落し、適當な風速の位置で吸収するやうにした。

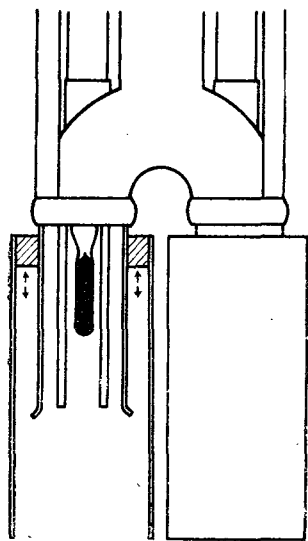
斯くして雲や霧の中に於ても、それが單位體積中に含む全含水量を濕度の測定と同様に測定し得た。

この測定した全含水量より水蒸氣量を控除すれば霧水量が算出されるのであるが、雲や霧中での水蒸氣量（濕度）の測定に大きな問題がある。

霧中で相對濕度が必ずしも 100% になつてゐないことに就ては屢々云はれ、且、種々な報告⁽¹⁾がある。飽和してゐないのは凝結核の問題の外にも、水滴と水蒸氣が平衡状態でなく消散形の霧であると云はれるが、微水滴の蒸發は案外に早い⁽²⁾のであつて、簡單には云へず、この機構には未だ澤山の問題がある。

雲や霧の中で濕度の測定が正確に出来ないのは、毛髮濕度計、通風濕度計、及び電氣濕度計等何れも濡れのため使へなくなるので、何等かの方法で、その空氣には何らの變化も與へず、ただ霧粒だけを除去出来れば、それらの濕度計に依つて測定出来る譯である。その爲にコットレル式電氣分離器で霧粒のみを除去する方法が試みられてゐるが、今のところでは霧粒を完全に除去すると、同時に空氣の溫度上昇を伴つてしまつた。

ところが霧は物體の風蔭に案外に蔭を作り、そこは餘り濡れないので、通風濕度計を使用して見たところ、從來のアスマン型の覆のみでも、視程 300 m 位のとき 10 分間位までは管球部が



第 3 圖

目で分る程濡れなかつた。然し更に濃い所謂濕霧の時などは、この儘では濡れたのでこの上に第 3 圖に示す如きブリキ製の柵をつけた。その結果は中まで濡れることが少く、この如き通風濕度計を霧中の濕度の測定に使用した。もし乾球が少しく濡れたとすると、その結果は濕度を高く指すことになるのであるから、その通風濕度計より出した水蒸氣量を使つて、全含水量より霧水量を算出すると、霧水量を幾分少く出す傾向になるわけである。

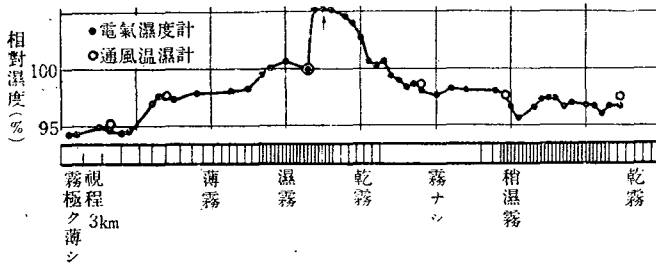
第 4 圖は霧中及び霧のない時の通風濕度計に依る測定値と井上助教授の試作になる電氣濕度計に依る濕度變化測定との比較であつて相當によく一致してゐる。圖中○が通風濕度計に依る測定値で、●が電氣濕度計に依る測定値である。

然し霧水量は水蒸氣量に比し遙かに少いので濕度の誤差は霧

(1) 例へば W. H. Pick: Q. J. Roy. Met. Soc., 56 (1929), 305; 57 (1631), 103.

(2) 萩原: 氣象集誌, 第 2 輯, 第 22 卷 (昭和 19 年), 134.

吉田: 低溫科學研究所業績 第 30 號.



第 4 圖

も 5%にも及ぶのであつて全含水量の測定が4分位の平均であるので、餘り瞬間的な正確な湿度の値は意味がなく、若干の遅差はあるとしても通風湿度計の乾球が帶濕せず、且つ變動が少い時これに依る測定値を使用したのである。その結果の例を第3表に示す。

第 3 表

時刻	吸湿管番號	タンク番號	V_t (l)	t (°C)	t' (°C)	Δp (mm Hg)	V (l)	m (gr)	D (g/m ³)	D_{snt} (g/m ³)	水蒸氣量 (アス→) (g/m ³)	霧水量 (霧粒) (g/m ³)	霧水量 (網目) (g/m ³)	相對湿度 (アス→) (%)	相對湿度 (全含水量) (%)	
05.00	3	3	20.92	8.65	19.0	550.0	17.13	0.1532	8.94	8.63	8.58	0.36	0.52	0.51	99.4	103.6
05.15	4	3	20.92	8.7	19.0	535.0	16.66	0.1513	9.07	8.65	8.65	0.42	0.56		100.0	104.8
05.35	5	3	20.92	8.7	19.0	544.5	16.97	0.1546	9.10	8.65	8.60	0.50	0.52		99.4	105.2
05.45	6	3	20.92	8.9	18.0	526.0	16.44	0.1526	9.27	8.76	8.71	0.56	0.31		99.4	105.8
06.00	7	3	20.92	8.95	18.0	543.0	16.98	0.1535	9.04	8.79	8.74	0.30	0.29	0.31	99.4	102.8

(1) 霧水量の測定に就ては福富教授の研究及び小口八郎氏の研究に論じられてゐるが、福富教授のガーゼに依る直接法は約 10 分間の平均、小口氏の霧粒の勘定に依る方法は約 10 秒間の平均、この全含水量に依る方法は約 4 分間の平均といふことになる。同時刻に同位置で行つた、これ等の方法に依る霧水量の値を第3表に併記した。これは曉方の比較的安定な山霧について行つたもので、この程度の一致を見た。

§ 5. 結 び

従來も行なはれてゐた吸収法に依る湿度測定法に若干の考慮をして全含水量を測定し、湿度、過飽和度の測定及び霧中で使用し霧水量の算出を試みた、吸湿劑として使用した五酸化磷は使用に若干の面倒があるので、吸湿能力は落ちてゐるが反覆使用出来且何等の危険のないシリカゲルを吸湿劑として使用せんと試験中である。

* 通風湿度計よりの湿度計算には Sprung の式を使用した。

(1) 福富： 低溫科學研究所業績 第28號。

(2) 小口： 低溫科學研究所業績 第32號。

終りに御懇篤なる御指導を賜つた中谷宇吉郎教授，吉田順五教授，又電気湿度計に關し井上直一助教授に厚く感謝の意を捧げると共に，測定に協力された孫野長治，元吉良治の諸兄に感謝の意を表す次第である。

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	α	αd	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	$1.0 \times 10^{-7} \text{V}$	$1.0 \times 10^{-2} \text{V}$
"	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-sica</i>	<i>Raphanobras-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	Schwarnikow
"	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				