



Title	体積差法による積雪含水量計の試作
Author(s)	対馬, 勝年
Citation	低温科学. 物理篇, 29, 57-67
Issue Date	1972-03-30
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/18170
Type	bulletin (article)
File Information	29_p57-67.pdf



[Instructions for use](#)

体積差法による積雪含水量計の試作*

対馬勝年

(低温科学研究所)

(昭和46年8月受理)

I. ま え が き

湿った積雪の含水率測定法については、今までに多くの人がいろいろな提案を行ない、提案された原理に従って作った試作器による測定も実際に行なわれた。荘田¹⁾及び古川・黒田²⁾がこれに関してとりまとめた批評を行なっている。最近の解説としては木村³⁾のものがある。このいろいろな含水率測定法のうちに、湿った雪の中の氷を融かしたときに生ずる体積の減少量を利用する体積法⁴⁾がある。

従来の体積差法では、一組のすり合わせ型のガラス容器が用いられた。一方の容器に、湿った雪の試料をとり、もう一方の細い目盛管のついた容器と結合させる。次に両方の容器を氷をとかさな^い0°Cの液体—例えばガソリン—で充填する。最後に、容器内の氷をとかし、体積の減少量を目盛管内のガソリン糸の頭の位置によって定める。しかし、この測定装置には次の4つの欠点がある。

- (1) ガラス容器は壊れ易く、野外では使いにくい。
- (2) すり合わせでは容器の結合が完全でない。容器を動かしたとき充填液が洩れることがある。
- (3) ガソリンは充填液として余り適当でない。温度を0°Cにするのに手間がかかる。
- (4) 充填液を注意してつめたにしても、積雪内の気泡を完全に排除することは難かしい。残留気泡は体積変化に影響を与え、測定失敗のもとになり易い。

これらの欠点を除く目的で、筆者は容器を全て金属製とし、接合部にはO-リングを用いて結合を完全なものにした。充填液としては、最も0°Cにし易い水を用いた。雪を投入してかき混ぜれば、水は簡単に0°Cになる。容器の結合も雪をまぜた水槽の中で行なった。こうすれば、液の充填で試料の雪がとけ、測定操作自体によって含水率が変化する心配もなくなる。残留気泡の問題は、容器に簡単な仕掛をとりつけて解決した。あとで説明するように、この仕掛があれば、気泡があっても体積変化には影響が及ばない。その他の改良点については、第II節以下で述べる。

* 北海道大学低温科学研究所業績 第1139号

II. 測定原理

1 gr の氷が融けて、 0°C の水になると、0.0905 cc だけ体積が減る。それ故、 M gr のぬれ雪の中に m gr の水が含まれていたとすれば、これを融かして全体を 0°C の水にしたときの体積の減少量 V cc は、

$$V = 0.0905 (M - m) \text{ cc} \quad (1)$$

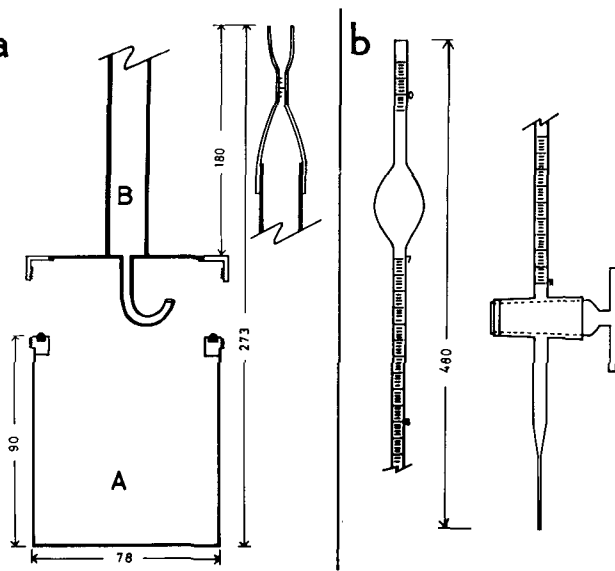
となる。よって V を測定すれば、試料 M gr の中に含まれる水の質量 m を求めることができる。従って含水率 $W = (m/M) \times 100$ は次式で与えられる。

$$W = \left(1 - 11.05 \frac{V}{M} \right) \times 100\% \quad (2)$$

(2) 式を用いて M , V に対する W のダイヤグラム (これを「含水率ダイヤグラム」と呼ぶことにする) を作っておけば、測定された M , V から直ちに含水率を定めることができる。第 6 図が含水率ダイヤグラムである。縦の等間隔平行線が V の線で、 V の値の目盛りは、下縁にそう数字のうちの 7, 8, 9, 10, 11 で与えられている。左上から右下に向かってくだる斜めの等間隔の平行線が M の線である。図の上下右の縁にそってつけてある 80 から 150 までの数字で M の値が表わされる。右あがりの横線が W の線である。 W の目盛りは図の左の縁と右の縁につけた 0 から 30 までの数字で与えられる。 V と M との値が知られたら、それぞれの値をもつ V 線と M 線との交点をみ出す。その交点を通る W 線の値が求める含水率となる。

III. 試作含水量計の構造

第 1 図に含水量計と付属のビュレットを示す。左半分の図 a にある A は銅板製の円筒状容器で、直径は 8 cm、高さは 9 cm である。B は A のふたに当たるもので、中心に長い銅管が立ち、銅管の上端には中央部がくびれたガラスの水位計がはめこまれ、高分子接着剤アラルライトで固定されている。水位計には、体積増減を測定する



第 1 図 体積差法含水量計。A は円筒状容器で、B はふたである。砲金製の結合部以外は銅である。結合部には O-リングが使っている。ふた B の中心には外径 1.8 cm の銅管が立ち、その先端に目盛を刻んだガラス製の水位計がついている。ふた B には、また、下向きに銅の細い曲管がついている。

右半分の図 b はポリプロピレン製のビュレットである。全長 48 cm で上部に 7 cc のふくらみを持ち、7 cc から 11 cc まで 0.02 cc 間隔に目盛が刻まれている。先端には外径 0.13 cm の注射針がついている

ときに使う基準線と、それに平行な線が4本等間隔で刻んである。ふた **B** の全長は 21 cm である。容器 **A** の口は、外側に雄ねじを切った砲金の輪でできていて、輪の平らな上面には太さ 3 mm の O-リングをはめ込む溝が掘ってある。ふた **B** の縁も、内側に雌ねじを切った砲金の輪である。容器 **A** にふた **B** をかぶせねじを合わせてまわすと、O-リングが圧縮されて容器 **A** とふた **B** とは気密に、しかも頑丈につながる。

ふた **B** の中心には下向きに細い銅の曲管を取りつけた。曲管の一方の口はふた **B** に立てた銅管につながり、他方の口は上向きに開いている。この銅の曲管が、まえがきで述べた、気泡の影響を取り除くための仕掛である。

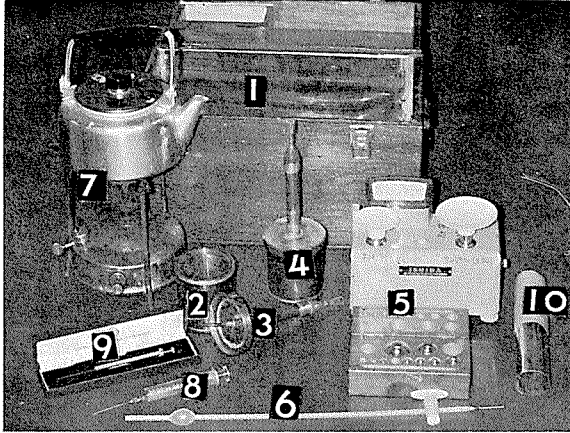
第1図の右半分の **b** 図は半透明のポリプロピレンで特別に作ったビュレットである。全長 48 cm、内径 0.44 cm で上部に 7 cc のふくらみをもっている。目盛は 7 cc から 11 cc まで 0.02 cc 間隔で刻まれている。ビュレットの先端には注射針をとりつけた。ポリプロピレン製のビュレットは多少乱暴に取り扱っても折れることがない。これの用途は次の節で述べる。

IV. 測定操作

まず、雪を混ぜた 0°C の水槽 (大きき $30 \times 60 \times 30 \text{ cm}^3$) を作っておき、これに容器 **A** とふた **B** とを別々にしたままひたす。温度が 0°C になった容器 **A** を取り出し、なかの水を切り、外側を乾いた布でふいた上で質量 M_0 を測る。容器 **A** は、口に砲金の輪がついているから水が切れにくい。それで M_0 は、そのたびごとに測定する必要がある。ついで、容器 **A** に試料のぬれ雪をいれ、質量 M_1 を測定する。 $(M_1 - M_0)$ が試料の質量 M を与える。含水量計の内容積は約 400 cc で、試料の質量は 100 gr 内外である。試料を入れた容器を静かに 0°C の水槽にひたす。このとき容器内及びぬれ雪内の気泡を出来るだけ排除するように気をつける。容器 **A** を水中で横向きに倒し、完全に水中につかった状態でふた **B** をかぶせてまわし、容器 **A** とふた **B** とを気密に結合する。結合を終えたら、全体を立てる。すると、ふた **B** につけた銅管の上部が水面から外に出る。この状態では、銅管の上端のガラス管の口まで水がつまっている。注射器で水を吸い出し、水面が水位計の基準線と一致するように調整する。

調整が終わったら、試料を融かすため容器を温度が 50° ないし 80°C の湯壺に移す。湯壺としては適当なコンロにのせたヤカンを使えばよい。ふた **B** につけた銅管を両手にはさんで揉むと、容器 **A** が左右に回転して試料の雪の融解が促進される。容器内の雪は、ふたから下向きに伸びた銅の曲管にぶつかって「ザー、ザー」という音をだす。この音の消えたときに完全に融けきった時である。頃合いを見はからって、再びもとの 0°C の水槽に戻し、冷却させる。この時も、銅管を手のひらではさんで回転させると、水はよく攪拌され、冷却が非常に促進される。冷却の進行とともに、水位計内の水面は次第にさがり、基準線より下方の或る位置で停止する。ここで、 0°C の水を入れたポリプロピレン製のビュレットで、水面が基準線に達するまで、ガラス管の口から水を注入する。注入した水の量をビュレットの目盛で読みとると、それがちょうど試料のぬれ雪の融解による体積減少分 V になる。ビュレットから水を注入して基準線に水面を合わせる時に、万一目盛線を超えて注入した場合には、マイクロシリンジ (0.01 cc まで読みとることのできる超小型精密注射器) で水を吸い出して過剰分の体積を読み取ればよい。

ふた **B** の裏面に取りつけた銅の曲管は、上のように容器 **A** を回転して内部の水を攪拌するとき役立つ。これも、確かに曲管の大きな効用である。しかし、先にのべたように、この



第2図 含水量計一式。含水量計は2組使う。
1-水槽、2-雪をいれる容器、3-容器のふた、
4-含水量計、つまりふたをつけた容器、5-
石田式天秤 (0.1 gr まではかれる) と分銅、
6-ビュレット、7-やかん (湯壺) と登山用湯
わかし、8-注射器、9-精密注射器、10-採
雪器

曲管を取りつけた第1の目的は、容器 **A** のなかに閉じこめられた気泡の測定値に対する影響をとり除くことにある。曲管がないと、気泡の一部はふた **B** の裏側に付着し、やがてふた **B** に立てた銅管を通して外へ逃げ出るのであろう。すると逃げた気泡の体積もともに測定され、体積減少量の測定値が氷の融解による体積減少量 V より大きいことになる。つまり、逃げた気泡の体積だけの誤差が生ずる。曲管をとりつけておけば気泡は逃げることができない。

第2図は測定に必要な器具一式の写真である。この測定は冷たい水を使っての仕事である。軍手の上にゴム手袋をはめて操作するとよい。

V. 測定結果

試作した体積差法含水量計が正しい値を与えるか否かを試験するため、含水率が既知の値をもつぬれ雪の試料を次のようにして作り、その含水率を含水量計で測定した。

(1) 試料

-3°C の低温実験室に置かれた 0°C の恒温箱の中へ、温度が零下数度の乾いた雪を入れておくと、含水率が 0% で温度が 0°C の雪ができる。これを含水量計の容器に入れ、既知量の 0°C の水を加えると、容器の中の雪は含水率の値が既知のぬれ雪となる。

(2) 測定結果

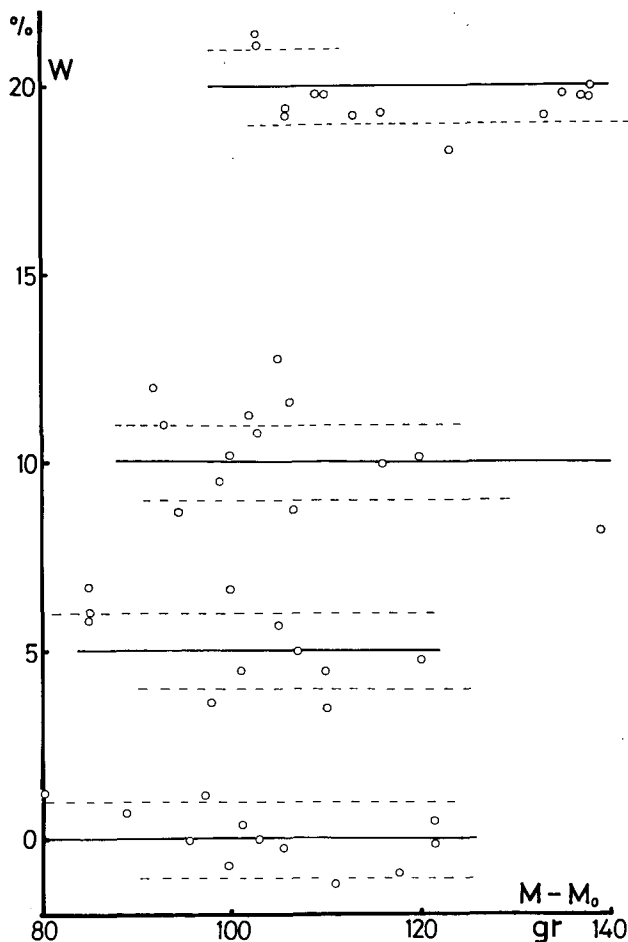
測定は低温実験室の中の机の上で行なった。実験室の床の温度は -3°C、天井の温度は +3°C であった。それで測定は 0°C 付近の温度で行なわれた。

含水率 0, 5, 10, 20% の試料について測定した。試料の質量は色々に変えた。後に述べる理由で測定には 2 個の含水量計を交互に使用した。第3図が測定結果である。縦軸が含水率、横軸が試料の質量で、白丸が測定値である。真の含水率、すなわち試料の既知含水率を太い横線で示した。測定値はこの太線の上に細い帯状をなして均等に分布している。誤差 ±1% の線を太線の上に点線で示した。全部で 51 個ある測定値のうちの 36 個、つまり 7 割までが誤差 ±1% の範囲内にある。これから、この体積法含水量計では含水率を 1% の誤差で測定できると考えることができる。ただし、この誤差は相対誤差ではない。1% といっても、含水率としての 1% という意味である。

第1表に10個の測定結果と測定に関係のある量とを数字で示した。表の第1列が試料の既知含水率である。既知含水率100%は試料が0°Cの水であることを意味する。第4列が実際に測定された含水率である。10個の例のうち9個までが誤差±1%以内にある。

(3) その他の細かいことがら

第1表の第2, 第3列目に試料の質量及びビュレットで添加した水の体積, すなわちぬれ雪のなかの水が融けたために生じた体積減少量を示した。ビュレットには7ccから11ccまでしか目盛っていない。従って試料の質量は, 体積変化がこの範囲内になるように選ぶ必要がある。積雪の含水率を測定する場合, 1回の測定に要する時間が問題になる。含水率は時々刻々に変化する。それゆえあまりに長い時間がかかる測定法は実用的でない。5列目に1回の測定に要する時間を示した。平均15分程度であった。野外での測定の場合には水槽温度, 湯壺温度, 容器



第3図 測定結果。縦軸が含水率(%), 横軸は試料質量(gr)。横の太線は試料の既知含水率, 点線は誤差±1%の範囲を示す。白丸が測定値

第1表 測定結果

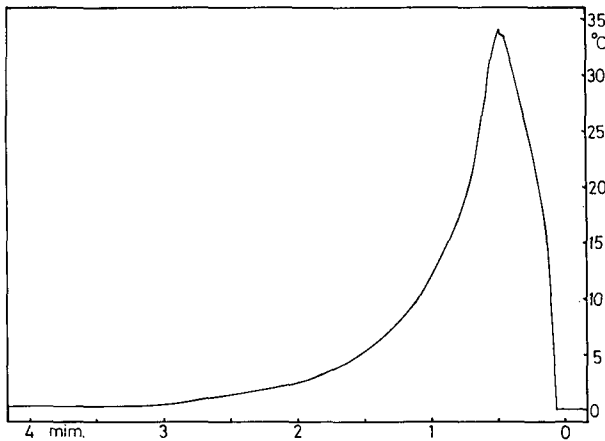
試料の既知含水率 (%)	試料質量 (gr)	体積変化 (cm ³)	測定された含水率 (%)	所要時間 (分)	水槽温度 (°C)	湯壺温度 (°C)	容器内最終水温 (°C)
0	89.0	7.90	0.7	14	0	55	2.0
0	101.1	9.08	0.4	13	0	70	2.5
0	109.9	10.02	-0.7	11	0	57	2.0
5	105.5	9.00	5.7	24	0	88	2.6
5	120.0	10.34	4.8	29	0	80	1.8
10	103.4	8.33	11.0	15	0	80	3.0
10	115.8	9.40	10.0	30	0	85	3.0
20	123.9	9.11	18.3	17	0	70	1.8
20	137.0	9.44	19.7	18	0	55	2.0
100	—	0.02	99.8	15	0	60	2.0

最終水温を測る必要がないから、1回の測定は12分位で終る。2個の含水量計を交互に用いれば、1個の測定に要する時間は半分の6分に短縮される。本節bの項で述べた2個の含水量計を用いる理由とは、この時間の短縮のためだったのである。

水槽の温度が零度になっていないと試料のぬれ雪がとけて、測定含水率が実際の含水率より大きくなる恐れがある。しかし水槽に雪を投入してかきまぜておけば、この心配はない。ぬれ雪の試料をいれた含水量計を水槽のなかに立てておいても、10分位では、含水量計の水位計の水面は殆んど完全に静止したままである。従って試料がとける心配は全くないといってよい。

第1表の右端の列の最終水温は、測定終了後ふたをとってはかった含水量計内の水の温度である。測定が終ったあとの含水量計内の水は、比容が 0°C の水と同じであればよいわけである。 $+8.12^{\circ}\text{C}$ での水の比容は 0°C での比容に等しい。それ故、含水量計内の水の最終温度は 0°C でもよいし $+8.12^{\circ}\text{C}$ でもよい。さらに、水の比容は $+4^{\circ}\text{C}$ で極小値をとるから、 0°C と $+8^{\circ}\text{C}$ との間では温度による比容の変化が甚だ小さい。したがって、最終温度が第1表の右端にあるように $+2^{\circ}\text{C}$ 付近であっても、そのために生ずる測定値の誤差は小さい。充填液としてガソリンなどを使うと、このような利点が失われる。最終温度による誤差については次の節で改めて

考察する。



第4図 容器内水温の温度特性。縦軸が温度($^{\circ}\text{C}$)、横軸は時間(分)。時刻0のところで含水量計を湯壺に入れた。30秒間加熱したあと、直ちに水槽に移し冷却させた

含水率0% 温度 0°C の雪を100 gr 入れた含水量計に熱電対温度計を挿入し、測定操作中におこる含水量計内の水の温度変化を測定した。その結果が第4図である。縦軸に温度を、横軸に右から左へむかって時間がとってある。時刻0で、含水量計を 60°C の湯壺へ移し、直ちに含水量計をまわし始めた。5秒後に温度が上昇し始め、その後は急速に上昇し10秒後には 10°C に達した。この頃から容器の回転に伴って聞えていた「ザー・ザー」という音が聞えな

くなった。容器内の雪が殆んど融けきったわけである。時刻30秒で 0°C の水槽へ移して冷却を開始した。加熱時間はわずか30秒にすぎなかったわけである。水槽に移してからも容器を回転させて攪拌を続けると温度は急速に下がって、時刻3分で 1°C 以下にまで冷却された。このように含水量計内の温度を上げて雪を融かし、再び温度を下げる主要操作には3分あれば充分である。第1表にあげた測定は、実は第4図の温度変化を調べる前に行なった。含水量計を湯壺に入れておく時間を不必要に長くした嫌いがある。

含水量計内には試料の雪に含まれていた空気の一部が気泡として残る。含水量計のふたの裏に銅の曲管をつけ、気泡の逸出による誤差は防いだ。しかし、気泡が水に溶解する為に生ず

る誤差がある。それについては次節で述べる。冷却の終わった含水量計を、水槽内で開き、容器内に残っていた気泡を注射器で吸い出し、その量を測定した。10回の測定結果、気泡の量が2.5 cc ないし 5 cc であることがわかった。平均値は 3.8 cc であった。

VI. 含水量計の誤差

この含水量計には3種類の誤差が考えられる。第1は試料の質量 M 及び体積変化 V の測定から生ずる誤差、第2は容器を完全に 0°C まで冷却しきれないことから生ずる誤差、第3は気泡に関係する誤差である。

(1) 質量及び体積の測定から生ずる誤差

試料の質量 M は M_0 と M_1 との差としてきめられる。それゆえ M の最大誤差は M_0 と M_1 との測定誤差の和となる。使った石田式天秤の精度は ± 0.1 gr であった。従って M の最大誤差 ΔM はその2倍の ± 0.2 gr となる。体積変化 V の測定に用いるビュレットの最小目盛は 0.02 cc である。それで体積測定誤差 ΔV としては ± 0.02 cc をとる。

第6図の含水率ダイアグラムで1%ごとに右あがりに引かれた含水率を示す直線は、右へ進むほど、つまり体積変化 V が増すほど、間隔が広い。また上へ進むほど、つまり質量 M が増すほど間隔が広がっている。 M 、 V の直線は等間隔で引かれているから、同じ M 、 V の微小変化 ΔM 、 ΔV に対しては、含水率を示す直線の間隔が狭いところほど含水率の誤差が大きく、広いほど誤差が小さくなる。含水率の直線はダイアグラムの左下端で一番狭く、右上端で一番広い。従って含水率の誤差は左下端で最大、右上端で最小である。 ΔM 、 ΔV の値として上にあげた数値をつかって、ダイアグラムから W の誤差 ΔW を定めると、

$$\Delta W \text{ の最大値} \quad V = 7 \text{ cc}, \quad M = 77.4 \text{ gr}, \quad \Delta W = \pm 0.54\%$$

$$\Delta W \text{ の最小値} \quad V = 11 \text{ cc}, \quad M = 158 \text{ gr}, \quad \Delta W = \pm 0.24\%$$

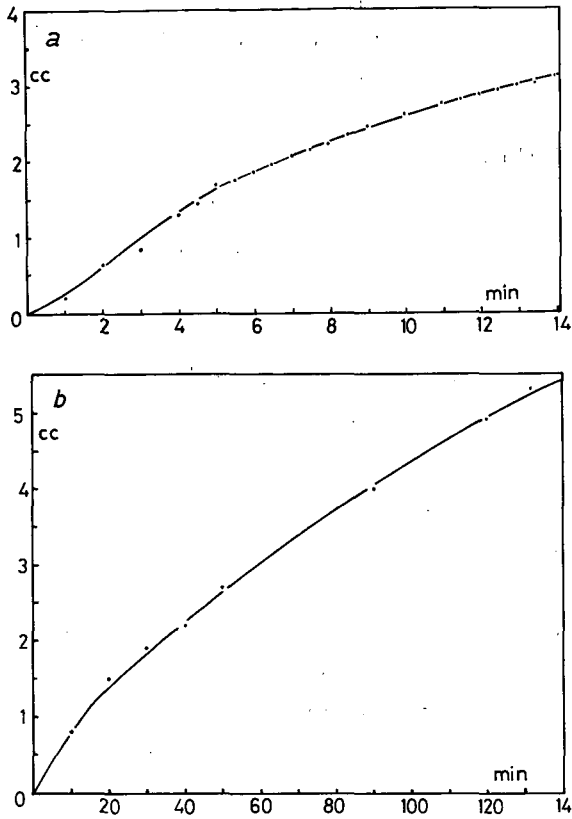
となり、平均値は $\pm 0.39\%$ である。質量 M を多くとるほど含水率の誤差は小さくなる。

(2) 水、容器ならびに気泡の熱膨張による誤差

第1表に示したように容器内最終水温は2ないし 3°C で、平均 2.5°C であった。このように、容器内水温が完全に 0°C まで戻らないことによる誤差を ΔV_1 としよう。

容器の内容積は約 400 cc で、容器の材質の銅の体膨張係数は $6.0 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ である。容器の壁の外側は 0°C で内側は 2.5°C だから、壁の平均温度は 1.25°C である。よって、容器の内容積は 0°C でよりも $5.0 \times 10^{-5} \times 1.25 \times 400 = 0.025$ cc だけ大きい。水の比容は 0°C で 1.0001324 cm^3 、 2.5°C では 1.0000179 cm^3 である。よって容器内の 2.5°C の水は 0°C でよりも $(1.0001324 - 1.0000179) \times 400 = 0.044 \text{ cm}^3$ だけ小さい。従って ΔV_1 は $0.025 + 0.044 = 0.069 \text{ cm}^3$ となる。

残留気泡の量は平均 3.8 cc であった。よって気泡の体積は、 2.5°C では 0°C でよりも $\Delta V = 3.8 \times (2.5/273) = 0.035 \text{ cm}^3$ だけ大きい。それ故、含水量計内の水の最終温度が 0°C でなく、 2.5°C であるために生ずる V の誤差は ΔV_1 と ΔV_2 との差 0.034 cm^3 となる。これは含水率にして僅か 0.04% の誤差しか生ぜしめない。前項(1)の誤差に較べると1桁も小さい。従って水の最終温度が 0°C でないことによる誤差は問題とならない。



第5図 (a) 水からの空気の析出量, (b) 空気の水への溶解量。横軸は時間, 縦軸は析出量又は溶解量

攪拌を開始したら, 空気の溶解が始まった。第5図bが溶解量の変化を示す曲線である。

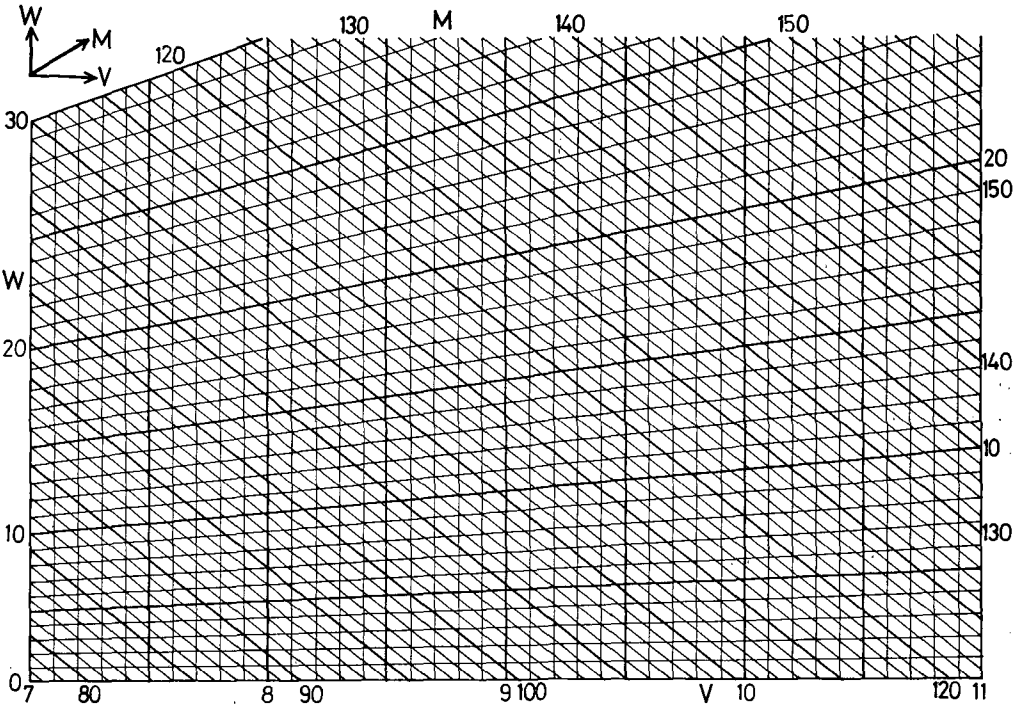
実際の測定では加熱時間は1分, 冷却時間は3分である。第5図aから最初の1分間の空気析出量, 第5図bから最初の3分間の空気の溶解量を読みとると, それぞれ0.20 cc, 0.25 ccとなる。結局, 差引き0.05 ccの溶解である。この溶解によって生ずる V の減少は含水率に -0.55% の誤差を発生させる。(1)項の質量と体積の測定からおこる誤差 0.39% より5割ほど大きい誤差である。しかし, 実際の測定の場合の含水量計を手で左右に回転させておこす攪拌はマグネティックスターラーによる攪拌にくらべれば弱い。このため, 空気の析出速度, 溶解速度はかなり小さくなるであろう。従って, 0.55% より小さく, 0.39% 以下の値にとどまるものと考えられる。

以上をまとめると, 質量及び体積変化の測定から生ずる誤差が最も大きく $\pm 0.39\%$ 。水, 容器の熱膨張による誤差と気泡の熱膨張による誤差とは相互に打ち消しあって, わずか $+0.04\%$ の誤差にしかならない。最後の空気の析出及び溶解による誤差は -0.4% を越えないとしてよい。従って, これらの誤差が相加的に働いたとしても, 含水率 W に生ずる誤差は 1% には達しない。実際, 第2図に示したように, 実測値の大半は 1% 以内の誤差しか示さなかった。

(3) 空気の析出及び溶解による誤差

水に対する空気の溶解度は水温の増加とともに減少する。従って含水量計の加熱過程では空気が水から析出して含水量計のなかに前からあった気泡を大きくし, 冷却過程では気泡の一部が水に溶解して気泡の体積がへる。この空気の析出と溶解とによる気泡の体積の変化が V の誤差のもとになる。

含水量計を空気で飽和した 0°C の水で満し, 37°C まで静かにあたためると, 水は膨張して水位計の上端から溢れでる。しかし加熱の間攪拌を行なわなければ, 空気の析出は殆んど起こらない。水の温度が 37°C になったときマグネティックスターラーで攪拌をはじめたら, 急に空気が析出した。第5図のaに測定した析出量を示した。縦軸が析出量, 横軸が攪拌開始後の時間である。ついで, 40°C の水をみたした含水量計を 0°C まで静かに冷した。 10 cc の空気含水量計内に押しこみ,



第6図 含水率ダイヤグラム。斜め右上りの直線は1%ごとの含水率 W を、斜め右下りの線はぬれ雪の試料の質量 M (g)、縦の直線は体積変化 V (cc) を示す。 M の線と V の線との交点が含水率 W を与える

VIII. ま と め

氷と水との比容の違いを利用する体積差法含水量計 (第1図) を試作した。

(1) 気泡逸出防止用曲管をとりつけたこと、ふたを O-リングによって気密にしたこと、またポリプロピレン製ビュレットを使ったこと等により、従来の体積差法含水量計にくらべはるかに丈夫で操作も簡単な含水量計になった。

(2) 2 個の含水量計を交互に使用すれば、6 分以内で 1 回の測定ができる。

(3) 野外測定でも実験室での測定同様、操作上特別の不便はおこらなかった。ただし気温が零度になると、ビュレット内の水が凍結し、測定が不可能になることがあった。

(4) 含水率既知のぬれ雪を試料としてその含水率をこの含水量計で測定した。その結果、実測値の大部分が既知含水率の値と 1% 以上は変わらないことがわかった。つまり、この含水量計では 1% 以内の誤差で含水率が測定できる。誤差の原因の検討も、ほぼ、この事実と合致する結果を示した。

低温科学研究所の吉田順五教授には論文の推敲にあたって多大の御指導をいただいた。ここに厚く感謝の意を表します。仕事を進めるに当たっては、低温科学研究所の多くの人びとから数かずの有益な援助をうけた。ここに記して感謝の意をあらわす。

文 献

- 1) 荘田幹夫 1952 雪の含水量測定法. 雪氷, **13**, 103-124.
- 2) 古川 巖・黒田正夫 1955 積雪の含水量測定. 雪氷の研究, No. **2**, 1-9.
- 3) 木村忠志 1969 積雪含水率計の小史. 雪氷, **31**, 104-107.
- 4) 高橋敏男・坂 貞雄 1955 体積差による積雪含水量の測定. 雪氷の研究, No. **2**, 31-33.

Summary

The author designed a new type of dilatometer with which the free water content of wet snow can be determined from the decrease in volume caused by the process of melting snow. The figures in the left half of Fig. 1 of the text is the schematic sketch of the dilatometer. Figure A shows the container into which a sample of wet snow is to be put and figure B the cap to the container. Both A and B are made of copper plate. The mouth of container A is made of a ring of gunmetal with male screw and another ring of the same material with female screw is soldered on the margin of cap B. Container A and cap B can be joined watertightly with an O-ring between their gunmetal rings. A straight tube of copper of 18 mm in outer diameter stands at the center of cap B and on top of the tube is attached a glass tube narrowed at the middle which serves as a water gauge. From the center of the underside of cap B descends a narrow bent tube of copper which is connected to the straight copper tube at one end and opened upward at the other. The figures in the right half of Fig. 1 show a burette specially made of polypropylene which is graduated in 0.02 cc and allows to measure the volume of water ranging from 7 to 11 cc. It has at the tip a needle used for injection.

A whole set of instruments needed for measurement in the field is shown in the photograph of Fig. 2 in the text. Two dilatometers are seen in the photograph; time of measurement can be saved by using two dilatometers alternately. One dilatometer is separated into the cap and the container while the other is in the assembled state.

A sample of wet snow weighing about 100 g is put into the container, then the container is immersed in a mixture of water and snow filling the box marked 1 in Fig. 2. The cap is screwed onto the container under the water. When the dilatometer is stood upright, the upper part of the straight copper tube rises above the water. The meniscus of water at the top of the dilatometer is adjusted to the reference line drawn on the water gauge by removing the excess of water. Next, the dilatometer is put into a kettle with hot water of the temperature 60°C or so. The snow in the dilatometer can be melted within one minute, if the dilatometer's straight copper tube is rotated between the palms of both hands onward and backward. In this case the bent copper tube attached to the cap accelerates the melting of snow by agitating the water in the dilatometer violently. The wet snow makes a noise sounding "za-za" as it hits against the bent copper tube and the cease of this noise signals the complete melting of snow. Air trapped in the wet snow is released as air bubbles during the melting of snow, but the bent copper tube prevents them from escaping away from the dilatometer.

The dilatometer is then returned to the box filled with water and snow and is

turned in the same way as before, with the result that the water in the dilatometer is cooled to near 0°C in 3 or 4 minutes. In this final stage the meniscus in the water gauge is positioned at a level lower than the reference line due to the decrease in volume accompanying the melting of snow. If the decrease in volume is denoted by V (in cubic centimeters), the free water content W of wet snow is given by

$$W = \left(1 - 11.05 \frac{V}{M}\right) \times 100\% ,$$

where M (in grammes) is the mass of the sample of wet snow put in the dilatometer. The meniscus is lifted just to the reference line by adding water from the burette of polypropylene and the amount of added water gives the value of V . The value of W % of free water content can be got at once by the use of such a diagram as is shown in Fig. 6.

In order to learn how correctly the measurement can be done with this dilatometer, the author made measurements on samples of wet snow of known free water content. Blocks of dry snow of minus temperature were kept in a thermostat of 0°C over night, and this gave samples of snow which are dry but 0°C in temperature. If m grammes of water at 0°C are added to this dry snow weighing M' grammes, there can be got samples of wet snow of known free water content of $\{m/(m+M')\} \times 100\%$.

Results of measurements are shown in Fig. 3 of the text. In this figure the abscissa and the ordinate give respectively the mass of samples of wet snow and the free water content. The thick horizontal lines show the known values of free water content which the samples had, while the broken lines are drawn at the distances of 1% from the thick ones. Of the fifty-one points representing the measured values, thirty-six lie between these broken lines. From this it can be seen that in most cases the free water content can be determined within the error of 1%. It is noted that this error does not mean a relative error but does mean the absolute one counted in the unit of free water content.