

湿球の過冷却現象について*

高橋喜彦 相馬清二 内田英治 塚田 清**

は し が き

冬期寒冷地方において、湿球の過冷却現象はよく観測される処である。気象観測法に従えば、湿球が零度又はそれ以下の場合には、湿球面が凍っているか否かを区別しなければ不可ない事になっている。その何れかによって計算された湿度の値が異なるからである。処が肉眼で観察して見て、湿球が凍っているか、否か、明らかでない場合が多い。その判定方法を研究する目的で、水と氷との偏光の差異を利用する方法、或いは電気的リケージによる方法等を検討して見たが、何れの方法によっても、判定は容易でないように思われた。

取敢えず、現象を詳細に観察する意味で、氷結前後の湿球の温度変化とか球面の細い温度分布等を詳しく測定して見た処、若干興味ある現象が観測された。これらについて報告する。

1. 測定場所

野外での測定は昭和38年3月上旬に長野県菅平（海拔約1350米）で行われた。乾湿計としては気象庁2号型通風乾湿計が用いられ、積雪面上約70 輝の処で測定された。湿球の凍結の経過を測定した日の天気状態は、最初は曇であったが後半には、小粒の雪が降続き、湿度は、比較的高い方であった。また気温は $-3 \sim -5^{\circ}\text{C}$ であった。

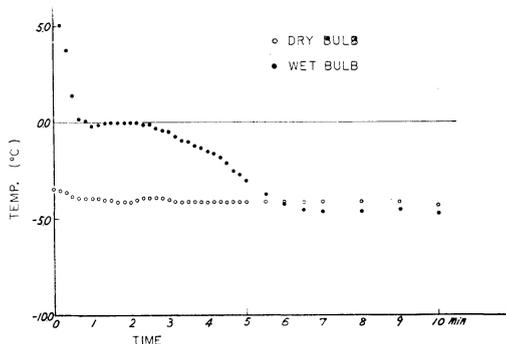
2. 湿球温度の変化の分類

先ず湿球に蒸溜水を浸してから定常状態になる迄の温度を10秒置き位に読みとって、湿球温度の時間的経過を調べた。若し気温が高く、湿球が零度以下になり得ない場合には、この測定は湿球温度計の時定数を調べると云う意味しか持たないが、気温が零度以下の場合には、湿球は氷結とか、過冷却現象の経過をたどる為、その変化は複雑になる。野外での測定回数は全部で15回であるが、夫々変化のパターンが異っている。然し大別して見ると、これらは大体次の三つの型に分けられるようである。

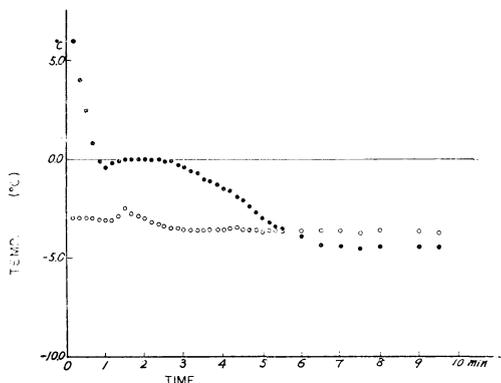
この分類は必ずしも本質的なものでなく、便宜的（特に i と ii の型について）なものである事をあらかじめ断って置きたい。

- (i) 単純な凍結型 4回(第1, 2 図)
- (ii) 過冷却を経て凍結する型 10回(第3~4 図)
- (iii) 過冷却のみで凍結をしない型 1回(第6 図)

夫々の型を詳しく説明しよう。第1の型についてはあらかじめ通風してある湿球に水 ($5 \sim 10^{\circ}\text{C}$) を浸すと冷い気温と蒸発の潜熱の為に、湿球温度は急激に低下し、1分も経たない中に零度となるが、あとは殆んどその温



第1図 乾球及び湿球の時間的变化
(単純な凍結型)

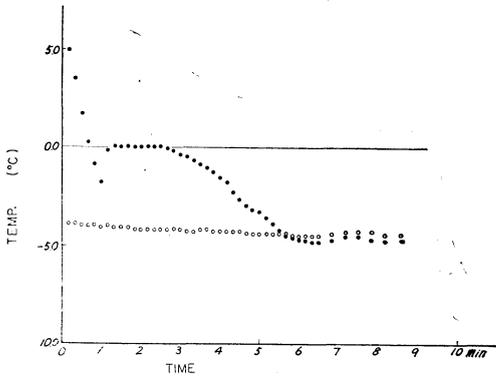


第2図 乾球及び湿球の時間的变化
(単純な凍結型)

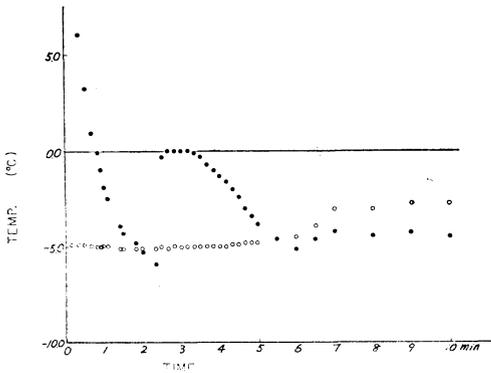
* Super-Cooling of Wet Bulb.

** Y. Takahashi, S. Soma, E. Uchida and K. Tukada (気象研究所)

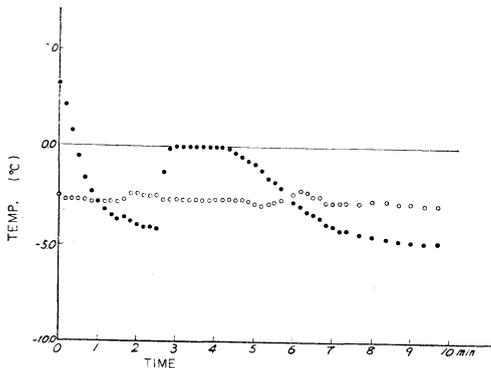
—1964年8月3日受理—



第3図 乾球及び湿球の時間的变化
(過冷却を経て凍結する型)

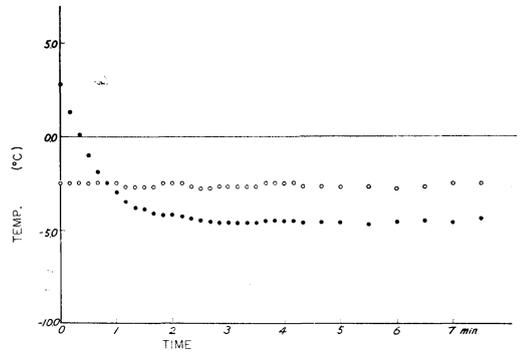


第4図 乾球及び湿球の時間的变化
(過冷却を経て凍結する型)



第5図 乾球及び湿球の時間的变化
(過冷却を経て凍結する型)

度のまま暫らく続き、後に徐々に零度以下に下って行き数分後に所定の湿球温度に落ち着く(第1, 2図)図で温度が零度で constant となっている部分は水が氷に変わりつつある状態にあるのであろう。この観測事例は15回の



第6図 乾球及び湿球の時間的变化
(過冷却のみで凍結を起さない型)

中4回あった。

第2の型は湿球温度が零度の線を素通りして、一旦は過冷却の温度を示すが、或る瞬間に急激に凍結を起し、温度は零度迄上って来る。そして、その後は水と氷の共存状態を経て、次第に凍結し、所定の温度に落ち着く型である(第3, 4, 5図)。若し過冷却度の大小を問わなければこの型に入る例は非常に多く、この観測でも15回の中10回迄がこの型に入っている。そして過冷却度の最も大きいのは 5.9°Cであった。

第3の型は過冷却の状態を何時迄も続ける型で、(第6図)図に掲げられた測定では水をつけてから約8分間も凍結現象を起さず、-4.5~-4.7°Cの過冷却を示し続けた。我々は細い木片で湿球に触って見て、凍結していない状態を確認した。この型に入る例は非常に少なく15回の測定の中1回しかなかった。1回と云う事例はあまり少な過ぎて不安な点もあったが、中野分室における観測で、同じ事例を確認する事が出来た。

尚、この場合について (iii)の型) 若し湿球を凍ったものとして、湿度を計算すると約2%の誤差を生ずる事になる。次頁第1表に菅平での観測データを掲げて置く。

大気中で湿球が過冷却現象を示すのは、珍しい事でない。今回の観測でも15例中11例迄が顕著な過冷却現象を示している。Dorsey が種々な水について過冷却温度を調べた処では

小川の水	-3.0~-12.0°C
井戸の水	-7.0~-17.0°C
水道の水	-5.0~-14.0°C
普通蒸溜水	-6.0~-17.0°C
真空蒸溜水	-8.0~-20.0°C

となって居り、これから見ると湿球温度が-5.0°C以上になったのは驚くに当たらない事かも知れない。然し今回

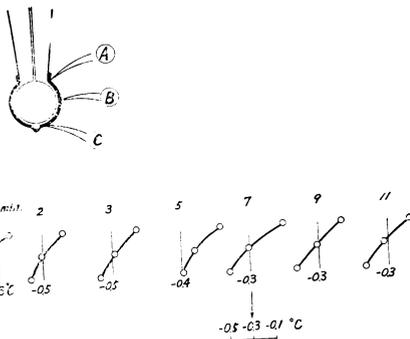
第1表 (菅平に於ける観測, 38. 3. 9. 曇→小雪)

測定番号	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	22	23
過冷却度 (°C)	0.2	0.5	1.1	5.9	4.7	4.2	0.5	0.4	0.2	1.8	0.6	0.6	0.6	0.6	0.4
乾球温度 (°C)	-6.0	-5.7	-5.1	-5.1	-2.5	-2.7	-3.0	-3.4	-4.1	-4.3	-4.5	-5.7	-5.4	-3.9	-5.4
湿球温度 (°C)	-6.9	-6.8	6.3	-6.4	-4.6	-2.7	-4.8	-4.4	-4.6	-4.5	-4.8	-5.9	-5.5	-4.4	-5.4
水素気張力 (mb)	2.94	2.86	2.96	3.67	3.04	3.24	3.14	3.81	3.88	4.08	3.92	3.62	3.8	3.97	3.88
湿度 (%)	75	72	71	84	60	65	64	81	86	92	91	91	93	87	9.5
分類	(i)	(ii)	(ii)	(ii)	(iii)	(ii)	(ii)	(i)	(i)	(ii)	(ii)	(ii)	(ii)	(ii)	(i)

の測定に見られるような 0.5°C から 5.9°C に至る湿球の過冷却度の差がどうして生ずるものであろうか。Dorsey, Piclet, Tammann 及び Büchen 等は彼等の過冷却に関する実験について、その原因を、機械的なショック、交雑物或いは cooling-rate 等に求めている。これらの実験では、ガラス製ビューワ、或いはガラスパイプに水を封入して過冷却を起さしている。この点空气中に露出された湿球の場合とは可成条件が異って居り、どちらかと云えば湿球の方が複雑な条件にあると云い得る。得られたデータの範囲内で気象的に若干の検討を行って見たが、はっきりした結論は得られなかった。偶然な条件も加わる現象なので数多くのデータが必要であると思う。

3. 湿球面の温度分布

湿球面がどの程度の温度の一様性を持っているかを調べる為に、湿球温度計の湿球面の三ヶ所に小さいサーミスターも取付けて温度分布を測って見た。サーミスターの取付けられた位置は第7図に示される。この測定によ

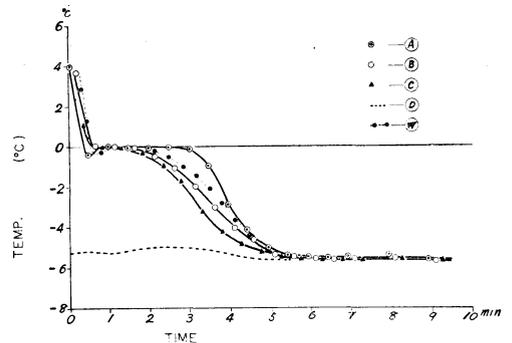


第7図 湿球面の温度分布

ると、湿球面では温度分布は決して一様でなく風上に当る球部の尖端が最も低く上部に向うにつれて高くなる。そして球部の尖端と目盛板の保護管との付根の温度の差は 0.4°C になる事もある(第7図)。この原因は球面上に

形成される境界層内で蒸発速度が異なる事と、温度計の上部から球部の付根を通して、熱の伝導がある為であろう。このような温度分布から考えると湿球温度が零度近辺の場合尖端が凍っていて後の半球面が水であると云う事も考えられる。

尚湿球に水をつけてから、所定の温度に到着く迄の、湿球面の各部の温度の時間的経過を細かく測定した(第8図)。何れも始めの間は零度の処で constant とな



第8図 湿球面の各点における温度の時間的变化し鎖線は乾球温度 ---- は水銀温度計の読取値、鎖線は乾球温度

り、後に徐々に所定の温度に向って降下するが、やはり球部の尖端が最も早く低下し始め、上部に向うにつれて、低下の時刻がおくれているのが見られる。図の黒点で示されたのは水銀温度計から読まれた温度である。

4. 湿球の水分量

湿球を包んでいるガーゼに、どの程度の水を含ませれば湿球温度計として完全に作用するものであろうか。水の補給量を、成る可く正確に測れるように、注射針の尖端に細いパイプをつけた簡単な水補給器を作って、これを調べた。それによると、ガーゼに水が充分に含まれていると見られる状態では 0.21cc であった。これだけ水をつければ、湿球面の全体が水膜に掩われ、湿球温度計として充分に作用するのである。但し、この量は球部の

大きさと関係あるので一般的値と云う事は出来ない。

以上の値を確めた上で湿球の乾き始める時間を調べて見たが、乾き始める徴候を見せるのは、少なくとも通風を行ってから20分以後のようである。それ以内であれば湿球温度が水分不足の為に上昇すると云う事もなく、勿論肉眼で見て乾燥している徴候も見られない。(これも外気の状態異なるが測定の際の気温は6.0°C湿度は60%であった.)

次に湿球が乾燥し出して湿球温度が上昇し始める時の水量を Karl Fischer 法を用いて、定量的に調べた。この方法の概略は、先ず含水量が零である absolute methanol 液を用意し、これに測定しようとする湿球を浸し、水分を充分に吸収させる。そして、速やかに、Karl Fischer 液をマイクロピペットで滴下させ、methanol 液が黄褐色より赤褐色に変化する点を判定し、Karl Fischer の滴下された量から水分量を算出する方法である。Karl Fischer 液の力価即ち水分を検出出来る量は検定の結果次の如くなる。

水量 (cc)	Karl Fischer 液 (cc)
1) 0.012	0.36
2) 0.009	0.77
3) 0.022	0.65
4) 0.024	0.52
5) 0.009	0.50

これらの平均を取って単位量に直すと、その力価は、0.0286cc(水)/cc(Karl Fischer 液)となる。

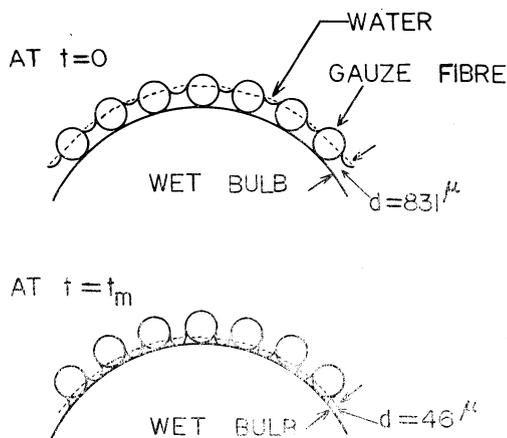
この方法によって、湿球の定常状態から、温度が乾燥の為0.5°C昇温した時の水分量を測定した処では、0.0117ccであった。最初にガーゼに水を湿ませた分量は0.21ccであるから 0.5°C 昇温を生ずる頃には94%の水分は蒸発し終っている訳である。

この実験の際の気温、湿度を下表に掲げる。

乾球(°C)	湿球(°C)	差(°C)	湿度(%)
18.0	13.4	4.6	54

17.2	12.0	5.2	54
17.0	11.7	5.3	53
18.5	12.4	6.1	48

次に試みに湿球に水をつけた当初と、昇温を生じた際の水膜の厚さ (d) を推定して見ると、夫々 831μ 、及び 46μ となる(第9図)(但し湿球の半径を0.45cmとする)。前者の値は繊維の太さとほぼ comparable な値であって、確かに湿球の水分量として充分な値であると思われる。一方 46μ と云う値はあくまで equivalent な値で



第9図 湿球ガーゼ内での含水量の仮想図

あって実際には、ガーゼの繊維内には水分は含まれているが、繊維と繊維との間のガラスの露出部には水は始んどないのであろう。即ち湿球の全面が完全な蒸発面になっていない為に昇温が起るのであろう。

参考文献

1) 今井一郎 (1953): 水の過冷現象, 降水機構コロキウムノート (第1号) 3 p. 28~46.
(この文献には Dorsey その他の研究が詳しく紹介されている)