

雪解けのメカニズムを調べる簡単な実験

宮嶋 衛次

雪解けに関係する気象要素のうちの湿度の影響について、雪が解ける前と雪が解けた後の質量を比較することで調べた。雪面に接する空気の露点が 0°C 以上のときは、大気中の水蒸気が雪面で凝結し、質量が増加する。この質量増加の割合から、雪が吸収する顕熱と潜熱の割合を調べた。

[キーワード] 雪解け 湿度 水蒸気 雪面 生徒実験

はじめに

寒冷地において、雪解けは生活に密着した身近な問題であり、春先にどのような気象条件のときに雪が解けるのかということについての関心は非常に高い。一般的に曇りの日に雪解けが進むということは分かっている。この理由の一つとして、大気中の水蒸気が積雪面へ凝結するときの潜熱の放出が考えられている。ここでは、雪解けにかかわる大気中の水蒸気の凝結量を測定する簡単な実験方法により、雪面と大気との間のエネルギー収支や雪融けのメカニズムについて調べた。また、風速を変えることにより、そのメカニズムが風速に依存するかどうかについても調べた。

なお、計算などを簡単にするため、ここでは温度変化による気体の体積変化を考慮しないこととしている。

1 雪面と大気との間のエネルギーの移動^{*1)}

雪面と大気との間のエネルギーの移動手段として、両者が接することによる大気の顕熱による移動（温度の変化に使われる）と、水蒸気による潜熱の移動（状態の変化に使われる）とがある。

顕熱は必ず暖かい方から冷たい方に伝わる。また、大気中の水蒸気が雪面で水として凝結する場合、水蒸気のもっていた潜熱は大気から雪面へ移動し雪面を暖める。雪面から雪または水が蒸発する場合は雪面から大気中に潜熱が移動

し、雪面を冷却する。

なお、大気と雪面との間のエネルギーの移動手段として、赤外線による放射エネルギーや降雨による雨の顕熱もあるが、ここでは特に考えないこととする。

雪面から雪または水が蒸発するか、大気中の水蒸気が雪面に凝結するかは、雪面の温度を 0°C とした場合、大気の露点に関する。大気の露点が 0°C 以上のときは、大気中の水蒸気が雪面に凝結し、 0°C 以下の場合には雪面から雪または水が蒸発する。表1に気温と飽和水蒸気量、露点が 0°C の場合の湿度を示す。

表1 気温と飽和水蒸気量、露点が 0°C になる湿度^{*2)}

t ($^{\circ}\text{C}$)	V (g/m^3)	h_o (%)	t ($^{\circ}\text{C}$)	V (g/m^3)	h_o (%)
0	4.8	100	15	12.8	38
1	5.2	92	16	13.6	35
2	5.6	86	17	14.8	32
3	5.9	81	18	15.4	31
4	6.4	75	19	16.2	30
5	6.8	71	20	17.3	28
6	7.3	66	21	18.3	26
7	7.8	62	22	19.4	25
8	8.3	58	23	20.6	23
9	8.8	55	24	21.8	22
10	9.4	51	25	23.1	21
11	10	48	26	24.4	20
12	10.7	45	27	25.8	19
13	11.4	42	28	27.2	18
14	12.1	40	29	28	17

t : 気温, V : 飽和水蒸気量,
 h_o : 露点が 0°C になる湿度

2 融雪台の作製

雪を溶かして雪面と大気との間のエネルギー収支を調べる実験を行う場合、雪と大気の間以外の熱の移動をできるだけ少なくしなければならない。このため、図1のような融雪台を考えた。



図1 融雪台

準備

ろうと（口部が円形のもの、プラスチック製、大型；図2）、断熱容器（口部がろうとより小さく円形のもの；カップラーメンの容器を使用）、断熱シート（水を吸収しないもの）、カッター、はさみ、油性ペン

作製方法

(1) ろうとを口部が下になるように立て、その上に断熱容器をかぶせる（図3）。

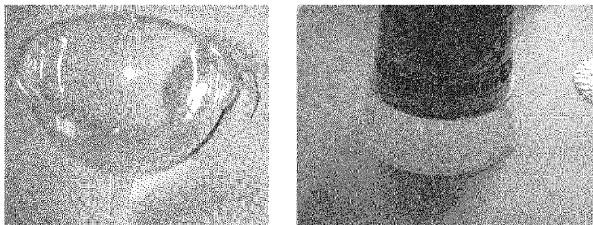


図2 使用したろうと 図3 断熱容器のかぶせ方

(2) 断熱容器の口部を油性ペンでなぞり、ろうとのはみ出している部分に印をつける。

(3) ろうとのはみ出している部分をカッターで切る。

(4) 方法(3)のろうとの口部の大きさに合わせて断熱シートを円形に切った後、図4のように切り込みを入れる。

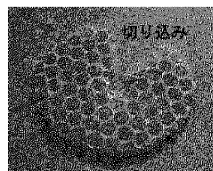


図4 断熱シートの切り込み

(5) 切り込みの両側をセロハンテープでつけて三角錐を作り、中央部に直径1cm程度の穴を

あける。

(6) 断熱容器に方法(3)のろうとを口部を上にして載せ、さらにその上に方法(5)の断熱シートを載せ融雪台を完成させる。

3 実験

準備

雪、カップ（内容量約100cm³；3個）、融雪台（3台）、電子てんびん、扇風機、簡易風速計

実験方法

(1) 扇風機を回し、風下側に2台の融雪台を置き、融雪台の直上での風速を風速計で測る。

(2) 1台の融雪台を同じ室内のほぼ無風のところに置く（図5）。

(3) 3台の融雪台の質量をそれぞれ電子てんびんで測定する。

(4) 3つのカップにほぼ同量の雪を入れる。

(5) 融雪台に方法(4)のカップの雪を載せて、質量を測定する。

(6) 融雪台を元の位置に戻し、断熱シート上に雪がなくなるまでそのまま放置する。

(7) 雪がなくなったら、再度、質量を測定する。

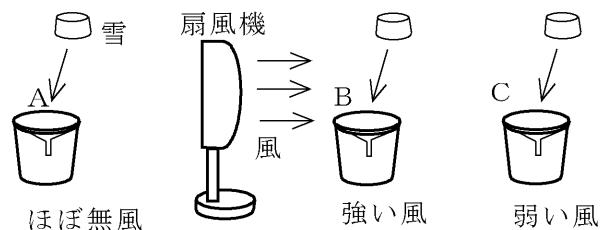


図5 扇風機と融雪台

4 結果

A 大気の気温が0℃以上、露点が0℃以下の場合

(1) 実験条件

実験中の気温13℃～14℃ 平均13℃

湿度37%～39% 平均38%

この平均値からこの大気の露点は-1℃

A点での風速 0m/s（測定不能）

B点での風速 3.2m/s～3.8m/s

平均 3.5m/s

C点での風速 1.8m/s~2.0m/s

平均 1.9m/s

(2) 雪解けの様子

実験開始後20分の雪の様子を図6~8に示す。

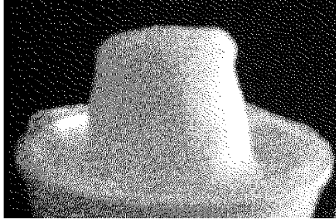


図6 A点に置いた雪の様子（露点-1°C）

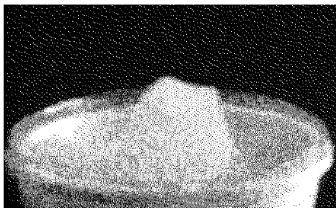


図7 B点に置いた雪の様子（露点-1°C）

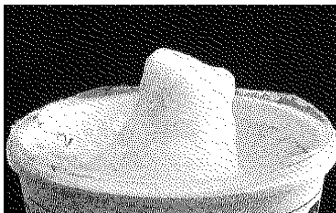


図8 C点に置いた雪の様子（露点-1°C）

A点の雪は、やや小さくなったが、最初の形とほぼ同じである。雪解けが非常にゆっくり進んでいることが分かる。

B点の雪は、かなり小さくなっている。最初の1/4程度の体積になっている。雪解けがかなり進んでおり、雪面に水が浮いている。

C点の雪は、B点での雪ほどではないが、やはりかなり小さくなっている。雪塊の下部の表面に水が浮いている。

(3) 質量の変化

表2 雪解け前後の質量の変化（露点-1°C）

位置	雪解け前の質量	雪解け後の質量	質量の変化
A	34.35 g	34.30 g	-0.19 g (0.6%)
B	33.91 g	34.71 g	-0.10 g (0.3%)
C	33.83 g	34.71 g	-0.12 g (0.4%)

どの地点の雪も、わずかではあるが質量が

減少した。露点がわずかではあるが、0°Cを下回っていたため、雪面からの水分の蒸発が起こったと考えられる。

B 大気の気温が0°C以上、露点が0°C以上の場合

(1) 実験条件

実験中の気温13°C~14°C 平均13°C

湿度71%~74% 平均73%

この平均値からこの大気の露点は8°C

A点での風速 0 m/s (測定不能)

B点での風速 3.3m/s~3.4m/s

平均 3.3m/s

C点での風速 1.9m/s~2.0m/s

平均 1.9m/s

(2) 雪解けの様子

実験開始後20分の雪の様子を図9~11に示す。白鎖線内は残っている雪の範囲。

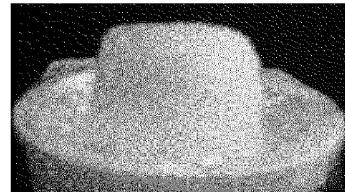


図9 A点に置いた雪の様子（露点8°C）

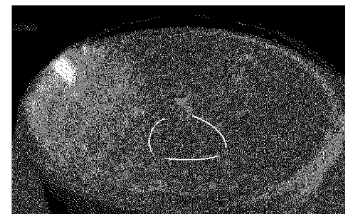


図10 B点に置いた雪の様子（露点8°C）

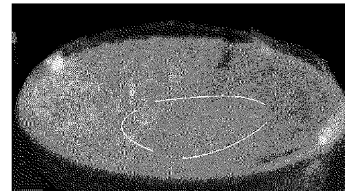


図11 C点に置いた雪の様子（露点8°C）

A点の雪は、やや小さくなった程度である。しかし、B点やC点の雪は底の方に少しだけ残っている状態で、ほとんどが解けてしまっていた。図7、8と図10、11を比較すると、同じ気温でも解け方に明らかな違いが見られる。

(3) 質量の変化

表3 雪解け前後の質量の変化 (露点 8℃)

位置	雪解け前の質量	雪解け後の質量	質量の変化
A	34.88 g	36.03 g	+1.15 g (3.3%)
B	33.61 g	35.25 g	+1.64 g (4.9%)
C	33.24 g	34.82 g	+1.58 g (4.8%)

どの地点の雪も、質量が増加している。これは、大気中の水蒸気が、雪面で冷やされて凝結したためと考えられる。このとき、潜熱を雪面で放出することで雪の解ける速度が増加した。A点の雪で質量の増加率が小さいのは、雪が解けるまでにかかなりの時間(約4時間)がかかったため、断熱シートからもかなりの熱量が雪に移動したためと考えられる。

(4) 大気から入り込んだ顕熱と潜熱の割合

B点の雪解けについて、大気から入り込んだ顕熱(a)と潜熱(b)を求める。

潜熱は雪解けに伴う質量増加(Δm)に凝結熱 $6.0 \times 10^2 \text{ cal/g}$ をかけることで、顕熱は雪の融解に必要なエネルギー(c)から潜熱を引くことで求める。

$$b = 6.0 \times 10^3 / \text{g} \times 1.64 \text{ g} \\ = 9.8 \times 10^2 \text{ cal}$$

cは融解前の雪の質量33.61 gに、雪の融解熱 $8.0 \times 10 \text{ cal/g}$ をかけることで求まる。

$$c = 33.61 \text{ g} \times 8.0 \times 10^2 \text{ cal/g} \\ = 26.9 \times 10^2 \text{ cal}$$

これにより、

$$a = 26.9 \times 10^2 \text{ cal} - 9.8 \times 10^2 \text{ cal} \\ = 17.1 \times 10^2 \text{ cal}$$

これらの値から、雪解けに伴う顕熱と潜熱の割合を表4のように求めることができる。

表4 雪解けに伴う顕熱と潜熱の割合

	融解熱 (c)	顕熱 (a)	潜熱 (b)
(cal)	26.9×10^3	17.1×10^3	9.8×10^2
(%)	100	64	36

C点の雪解けについても、ほぼ同じ値が得られる。

雪解けに必要な熱量のうち、36%が大気中の水蒸気が雪面に凝結する潜熱から得られたことになる。これは、露点が0℃以下のときに比べ、雪解けが速いスピードで進行することと一致する。

気温13℃、湿度73%の大気1 m³が気温0℃、湿度100%の大気になる場合、放出する顕熱(d)は大気1 m³の質量に比熱(0.24 cal/K.g)と温度差13℃をかけることで、潜熱(e)は水蒸気の凝結量3.5 gに凝結熱をかけることで求めることができる。

$$d = 0.24 \text{ cal/K.g} \times 1.23 \times 10^3 \text{ g} \times 13 \text{ K} \\ = 3.8 \times 10^3 \text{ cal}$$

$$e = 3.5 \text{ g} \times 8.0 \times 10^2 \text{ cal/g} \\ = 2.8 \times 10^3 \text{ cal}$$

表5 大気が放出する顕熱と潜熱の割合

	全体	顕熱 (d)	潜熱 (e)
(cal)	6.6×10^3	3.8×10^3	2.8×10^3
(%)	100	58	42

この割合は、表4の値と比較的近いと言うことができる。

おわりに

非常に簡単な実験で、雪解けのメカニズムを調べる実験方法を開発することができた。雪解けには、湿度と風が大きく関係していることが分かった。これにより、曇りの日に雪解けが進むのは、晴れの日に比べて湿度が大きいことと、曇りの日は風が強いことが大きな要因になっていると考えられる。今後は、装置を工夫するなどして、雪解けの速度と湿度、風との関係について定量的に求めていきたい。また、日射のエネルギー量とも比較していきたい。

参考文献

- 1) 近藤純正 身近な気象の科学 融雪 pp.151-160 東京大学出版会 1987
- 2) 図解実験観察大辞典地学 pp.167 東京書籍 1985

(みやじま えいじ 地学研究室長)