



Title	積雪の蒸発の融雪に及ぼす影響についての一実験
Author(s)	小島, 賢治; KOJIMA, Kenji
Citation	低温科学. 物理篇, 25, 119-126
Issue Date	1967-12-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/18065
Type	departmental bulletin paper
File Information	25_p119-126.pdf



積雪の蒸発の融雪に及ぼす影響についての一実験*

小島 賢治

(低温科学研究所 気象学部門)

(昭和42年7月受理)

I. 緒 言

融雪がさかんに起っている時には、蒸発によって失われる積雪の量は、同じ時間内の融雪量に比べれば、殆んど無視出来る程度に僅かである場合が多い。しかし、そのような場合でも、蒸発に消費される熱量は、蒸発速度が或る程度以上になると、融雪熱量に対して無視出来なくなり、特に融雪の初期には、雪面における熱収支の中での蒸発熱の役割は一層重要なものとなる。

雪面に出入する輻射の収支量と大気から伝達される熱量を変化させずに、雪の蒸発だけを抑えることが出来れば、積雪上層部の温度が一様に 0°C である限り、蒸発に消費される筈の熱量はそのまま融雪に消費され、それだけ融雪速度が増す筈である。このような条件を完全に満足する実験を行なうことは困難であるが、試みに、無色透明な薄いビニール板を平滑な雪面におくことによって、その板の下の雪からの蒸発を止めたところ、明らかに融雪量の増大がみとめられた。これと同時に蒸発量 $4v \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}$ も測定し、その蒸発のために必要な熱量 $600 \text{ } 4v \text{ cal}\cdot\text{cm}^{-2}$ が融雪に費される場合の融雪量 $600 \text{ } 4v/80 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}$ と、実際に蒸発を止めたために観測された融雪量増加とを比較した。

これに似た実験は既に前年に大浦¹⁾が母子里で試みたことがある。即ち、アルミ箔を張った厚手のビニール布と透明なビニール布(何れも $270 \times 300 \text{ cm}$)を雪面に敷きつめ、両者の下の融雪を自然雪面の融雪と比較して透明ビニール下では自然雪面より融雪量の多いことを確認した。しかし、実験の目的が日射の融雪効果を調べることにあったため、蒸発量の測定がなされなかった。

ここに報告する実験は、1967年3月に空知郡幾寅(いくとら)で、又、同年4月に雨竜郡母子里(もしり)で低温科学研究所気象学部門が行なった融雪観測の合間に行なったもので、この報告に記載されている気象要素、蒸発量ならびに融雪量の一部は、上記融雪観測についての別の報告²⁾に掲げた観測値に基づくものである。

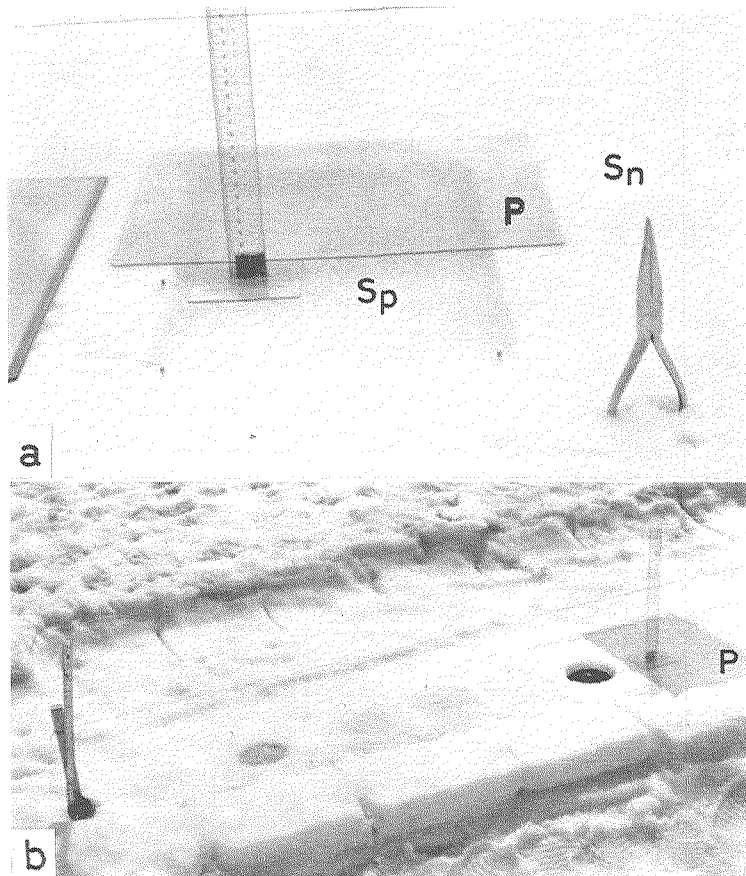
II. 測 定 法

厚さ 1 mm 縦横 $36 \times 25 \text{ cm}$ の透明なビニール板を雪面におき、その下の融雪速度とビニー

* 北海道大学低温科学研究所業績 第834号

ル板に隣接した自然雪面の融雪速度を、夫々の雪面沈下速度と雪の密度とにより測定した。雪面の沈下速度を測るには、別の報告²⁾に述べたように、雪面上約 20 cm に水平に張った糸と雪面との鉛直距離の時間的变化を測定した。ビニール板は糸の真下におき、板の下の雪面の位置を測るときは板を一時外した (第 1 図 (a))。糸にはあらかじめ印をつけて、常に同じ場所の沈下を測ったが、母子里では、凹凸の甚しい雪面で実験を行なったこともあるので、そのような時は、ビニール板の下もその付近も夫々数カ所ずつ沈下を測定し、それらの平均を求めた。母子里の自然雪面は凹凸があるばかりでなく、土の微粒子で汚れていたので、第 1 図 (b) のように表面のざらめ雪層を取去り、汚れのないしまり雪の水平面を作って其処でも実験を行なった。

雪面の沈下速度から融雪速度を求めるには、積雪表面層の密度と含水率を測定して、濡れ雪の水部分のみによる所謂「かわき密度」を求め、これと沈下速度との積を融雪速度とした。



第 1 図 (a) 透明な塩化ビニール板 P により融雪が促進された雪面 S_p と雪面沈下を測るのに用いた物指。この写真では、ビニール板の下の雪面 S_p が周囲の雪面 S_n より凹んでいることを示すため、板 P を実験中の位置からずらしてある。(幾寅における実験)

(b) 母子里の積雪表面層 (汚れたざらめ雪) を取去り、しまり雪の面を作ってその上で実験を行なっているところ。ビニール板は右端

そして、ビニール板をおいたことによる融雪量の増加分は、同じ時間内の板の下の融雪量と付近の自然雪面における融雪量の差によって求めた。

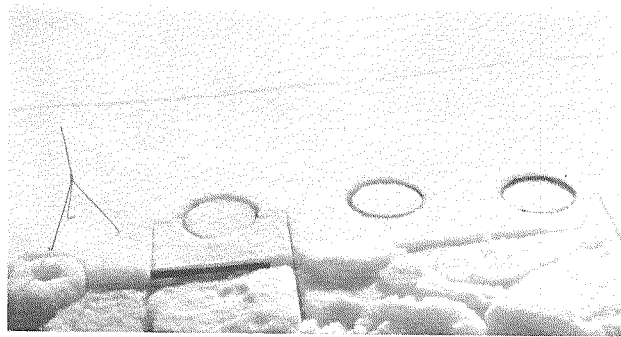
自然雪面における蒸発速度の測定方法は別の報告²⁾に述べてある。即ち、透明なビニール容器(直径14cm、深さ5cm又は6cm)に雪の試料を入れ、この容器が丁度おさまるような丸い穴を雪面に作ってその中に容器を沈め、適当

な時に穴から引上げて容器ごと試料の質量を上皿天秤で測定した。天秤は常に風と日射を防ぐための箱(前面は透明板)の中で使用し、水準器を用いて水平保持に留意した。第2図は2ケの蒸発測定用試料と融雪測定用試料(容器の底が金網)1ケとが雪面に埋められている光景で、場所は幾寅である。この写真の左端にみえる針金製のものは、容器を雪の穴から出し入れするための道具である。母子里で観測を行なった5日間の中のはじめの3日間は、雪面から1mの高さでの湿度が60%以下であったにも拘らず、雪面からの蒸発量は辛うじて測定出来る程度に僅かであった。それで試みに、雪面から1mの高さに試料をおいてその蒸発もあわせて測定した。第3図にE₃と印をつけたのはこの試料である。写真の雪面に見えるのは融雪測定用の試料であるが、蒸発測定用試料も同様の状況でこの左にあった。

III. 測定結果

この実験を行なったのは幾寅で3月20日~22日、母子里で4月24日夕刻~25日夕刻及び27日午前中であるが、幾寅と母子里とで夫々1回測定場所を移動した。それで、実験期間を第1表のように5期間に分け、その各々につきビニール板により蒸発を止めた場所の融雪量

増加と、蒸発量測定値から計算した蒸発熱相当融雪量とを比較した。番号の異なる期間ではビニール板をおいた場所が異なるが期間No.3とNo.4とは同じ場所での継続である。第1表には夫々の期間内の気象要素の平均値、積雪表面層の密度と含水率、雪面の状態等を示した。第2表には、ビニール板の下の雪と自然雪面における各期間内の沈下量及び融雪量、これらの測定



第2図 蒸発測定用試料と融雪測定用試料(左1箇)とが積雪中におかれている様子。左端の3脚型針金は、試料を入れた容器を積雪から引上げたり、秤量後もとへ戻すのに用いた



第3図 母子里での蒸発及び融雪速度の測定。E₃は雪面上1mにおいた蒸発測定用の試料

第 1 表 実験期間中の気象要素の平均値、積雪表面層の密度と含水率ならびに雪面の状況等

期 間 No.	月 日	時 間 (h m)	気 象 要 素 (期間内平均値)*				積雪表面層の密度**	雪面状態等	自然の融雪と 蒸発の多少			
			輻射収支量 Q_R cal·cm ⁻² ·hr ⁻¹	気 温 T_a °C	湿 度 H %	風 速 V m·s ⁻¹				ぬれ密度 ρ_w g·cm ⁻³	含 水 率 W %	乾き密度 ρ_a g·cm ⁻³
1 a	III-20	11.00~16.00	1.8	-0.5	68	2.1	N	0.347	0.0	0.347	雪面平滑	{ 融雪なし 蒸 発 並
1 b	III-21	9.00~15.00	5.7	-2.6	58	3.6					細かいざらめ雪	
2	III-22	10.26~13.55	5.9	0.7	63	4.3	N	0.343	2.9	0.333	同上	{ 融雪僅少 蒸 発 並
							P	0.366	20.0	0.293		
3 a	IV-24	17.00~19.00	-2.9	3.5	(75)	1.5	N	0.426	25.6	0.317	雪面の粗度大	{ 融雪やや多 蒸 発 少 融雪やや多 蒸 発 僅 少 融 雪 多 蒸 発 並
3 b	IV-25	9.00~12.20	33.0	5.0	59	1.1	N	0.431	21.4	0.338	汚れた大粒の	
4	IV-25	12.20~17.30	21.3	7.7	49	1.7	N	0.438	22.1	0.341	ざらめ雪	
5	IV-27	7.44~12.06	28.3 ^Δ	12.1	28	2.6	N	0.476	22.0	0.371	白いぬれしまり雪層の水平断面	
							P					

^Δ……反射率の小さい自然雪面における輻射収支量(正味吸収量)。()……推定値。実験は反射率の大きいしまり雪面を使用(No. 5のみ)

* 気象要素は何れも雪面上1mの高さでの測定値。 ** 雪の密度と含水率は10時または14時の値。

第 2 表 透明なビニール板を雪面においたための融雪量増加と蒸発量測定値から計算した蒸発熱相当融雪量との比較

期 間 No.	雪 面 沈 下 量		融 雪 量		ビニール板 融雪効果 $\Delta m_p - \Delta m_n$ g·cm ⁻²	蒸 発 量 Δv g·cm ⁻²	蒸 発 熱 $L_e \Delta v$ cal·cm ⁻²	相当融雪 $\frac{1}{81} L_e \Delta v$ g·cm ⁻²	雪面とビニール板との 間隙並びに板の下の雪 のとけ方
	ビニール板の下 Δh_p cm	自然雪面 Δh_n cm	ビニール板の下 Δm_p g·cm ⁻²	自然雪面 Δm_n g·cm ⁻²					
1 a	0.0	0.0	0.38	0.00	0.38±0.07	0.043	29*	0.36±0.03	板は沈下せずに周縁で雪に 接触、下の雪面との間に空 隙を生ず。雪は放射融雪で 粗大な組織となる。
1 b	0.60	0.15	0.18	0.05	0.13±0.03	0.020	12	0.15±0.02	
2	4.0	3.8	1.32	1.25	0.07±0.03	0.007	4.2	0.05±0.02	雪面の凹凸のため板と雪と の間に隙き間あり部分的に 接触
3 a	3.2	3.1	1.07	1.04	0.03±0.03	0.002	1.2	0.015±0.02	
3 b	3.0	1.9	1.05	0.70	0.35±0.04	0.017	10	0.13±0.02	

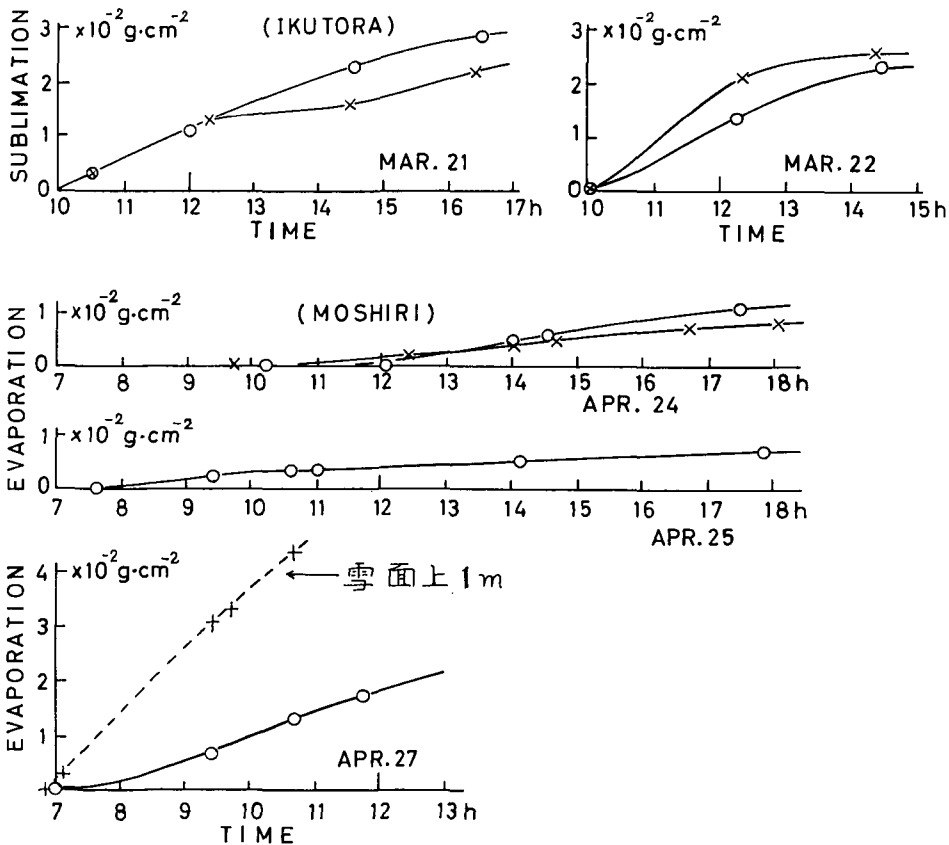
* L_e として氷からの昇華熱 680 cal·g⁻¹を用いた。他の場合は $L_e = 600$ cal·g⁻¹

値から求めたビニール板の融雪効果を示し、蒸発熱相当融雪量と比較した。

測定誤差は最後に比較される二つの量についてだけ示した。期間 No. 1 では自然融雪は皆無であり、期間 No. 2 では極めて僅かな自然融雪が認められたが、蒸発は顕著であった。従ってビニール板の融雪効果も著しく、その量は蒸発量から計算した蒸発熱相当融雪量と誤差の範囲内でよく一致した。このことは、ビニール板の下の融雪(期間 No. 1) 或いは融雪量増加(期間 No. 2) は蒸発が止められたために蒸発熱に相当する熱量が融雪に振り向けられたことを示している。

雪の蒸発が無いか又は非常に少ない場合は、ビニール板の融雪効果も少ない筈である。期間 No. 3 と No. 4 とはこのような場合の例で、板の融雪効果は小さく、誤差と同じ程度であったが、蒸発量も僅かであって、それから計算した相当融雪量とやはり誤差の範囲内で一致した。

期間 No. 5 だけはビニール板の融雪増加量が蒸発熱相当融雪量の計算値と一致せず、その2倍以上になった。これは次の理由によるものと思われる。ここで用いたビニール板は、第1図の写真からもわかるように、完全に無色ではなく、反射率の大きい雪面より日射の吸収が大であるが、期間 No. 1 と No. 2 とでは、ビニール板は殆んど沈下せず下の雪面だけが上部に



第4図 積雪の蒸発時間曲線。3月21日と22日は10時以後、4月24、25日及び27日は7時以後の蒸発量積算値

空隙を残し乍ら沈下したため、ビニール板から雪面への熱伝導が行なわれ難かった。

そしてこれらの期間中は、日射量が少なく、気温が低い上に風も強かったので、板の上面の昇温が殆んど無かったものと思われる。これに反し、No.5では日射量が大きく気温が高く、その上ビニール板は常に雪に密着したまま沈下したため、板からその下の雪への熱伝導による融雪が、蒸発を止めたための融雪量増加に加わったのであろう。No.3とNo.4とでは、もともと雪面に凹凸があったので、板と雪面との間に空隙があり、雪が汚れたざらめ雪であるため、ビニール板をおいた部分と自然雪面との日射の反射率の差がNo.5の場合ほどに著しくなかったのである。

第4図には3月21日及び22日の10時以後の蒸発量と、4月24日、25日、及び27日の7時以後の蒸発量の積算値の時間的变化を示した。×印と○印とこれらに沿う曲線は、2ヶの蒸発計による測定値を示すもので、第2表の蒸発量はこれらの平均によるものである。第4図の4月27日の蒸発曲線のうち、+印を点線で結んだグラフは、雪面上1mにおいた試料(第3図にE₃と記号をつけたもの)からの著しい蒸発を示す。雪面上1mでの相対湿度は、雪面上10cmでの湿度より期間No.3とNo.4とでは平均20%小さく、期間No.5では平均15%小さかった。高さによる湿度の差は、ここでは単に参考として示すに止める。

第5図(a)と(b)とは幾寅と母子里での観測時における雪面の粗度の違いを示す写真である。

(a)は3月18日昼間融けた雪面が16時以後凍結して、いわゆる融解クラストの一種となって鏡のように夕日を反射している光景である。

(b)は4月27日午後の母子里の雪面である。このようなきざぎざ雪は日射融雪が気温融雪より優勢で、雪面が日射を吸収し易い微粒子で汚れている場合に出来る雪面の模様の特徴である。雪面沈下量の測定はこの写真ほど凹凸が著しくない場所を選んで行なった。



(a)



(b)

第5図 (a) 幾寅での融雪観測時における平滑な雪面(3月18日)
(b) 母子里での観測終了時における雪面の様子(4月27日)

IV. 結 語

雪の上層部の温度が 0°C で融雪と蒸発がある場合、雪面における正味の輻射吸収量と大気からの熱伝達を変えずに蒸発を止めれば、その蒸発熱に相当する融雪量の増加があらわれることは当然予想されることである。これを簡単な方法で実現してみることと、上記の条件を満して実験に便利な材料を見出すことが目的であった。

薄いビニール布或いはポリエチレン布は風ではためくので、ここでは厚さ1 mmのビニール板を用いたが、完全に無色ではないので、雪面での熱収支のうち純粋に蒸発熱だけを変えることは出来なかった。しかし、実験期間 No. 2 (3月22日、幾寅)については、気象条件も都合よく、実験結果もほぼ満足すべきものであった。

この実験を含めて行なわれた今回の融雪観測に種々便宜を与えられた旭川営林局幾寅営林署ならびに北大雨竜地方演習林母子里看守所に対し感謝の意を表わす。この報告に引用した気象要素観測値のうち、気温、湿度、及び日射量は低温科学研究所の小林大二助手の測定により、風速、輻射収支量、雪の密度と含水率の測定は主に小林俊一助手が担当した。雪面沈下量の測定の一部も両氏に手伝ってもらった。又、同研究所の大浦浩文教授からは、この報告について種々有益な意見を頂いた。併せてここに謝意を表わす次第である。

文 献

- 1) 大浦浩文, 小林大二, 小林俊一 1967 雪面を被うビニール布およびアルミ箱の融雪に及ぼす影響. 低温科学, 物理篇, **25**, 219-220
- 2) 大浦浩文, 小島賢治, 小林大二, 小林俊一 1967 金山湖及び朱麴内湖附近における融雪の研究. 低温科学, 物理篇, **25**, 99-117

Summary

The heat causing evaporation of snow sometimes forms a significant proportion of various kinds of heat energy related with the heat balance at a melting snow surface, although the amount of evaporation is usually very small. If a melting snow surface is artificially protected from evaporation without changing the heat supply due to radiation and atmospheric transfer, the melting of the snow should be accelerated by consuming the heat required for evaporation. A simple experiment was made to ascertain such an acceleration of snow melt due to stoppage of evaporation.

A transparent plastic plate, 1 mm thick, 25 cm wide, and 36 cm long, was placed on a flat snow surface to cut evaporation and at the same time to allow for the radiation to reach the snow surface without a significant change in its intensity. The melted amount Δm_p of snow beneath the plastic plate and the amount of melting Δm_n for natural snow surface were observed by measuring the lowerings, Δh_p and Δh_n , of these snow surfaces. The densities and the free water contents of the surface layers at the covered and a natural portion of snow were also measured. These were used to calculate the values of

Δm by $\Delta m = \rho_d \Delta h$, where ρ_d is the dry-density of snow. The difference of snow melt ($\Delta m_p - \Delta m_n$) expresses the accelerated melting by the plastic plate, and this is compared, in Table 2, with the melting Δm_p calculated by $600 \times$ (observed amount of evaporation Δv from natural snow surface)/80 for each of five periods, which were 5–15 hours each as shown in Table 1.

A good agreement was found between the accelerated melting ($\Delta m_p - \Delta m_n$) and Δm_p within the error of measurement except for the fifth period, where ($\Delta m_p - \Delta m_n$) was more than twice as large as Δm_p . Such a good agreement, especially in the period No. 1 and No. 2, is considered to verify that the heat of evaporation was converted to heat for melting by stopping the evaporation. The disagreement in the case of the fifth period may be explained as follows: the plastic plate was slightly colored as seen in the photograph of Fig. 1. Thus, because of comparatively strong radiation and high air temperature in this period, the radiation absorbed by the plate could not be insignificant and heat conduction from the plate to snow might cause some additional melting.

During the period No. 3 and No. 4, only minor evaporation was observed and no considerable acceleration of melting was found to be caused by placing the plastic plate on the snow surface.

This experiment was done as a part of general observations of snow melt in Hokkaido for two, five day periods in March and in April, 1967.