



Title	積雪部内にある黒い物体による融雪
Author(s)	吉田, 順五; YOSIDA, Zyungo; 小島, 賢治 他
Citation	低温科学, 5, 101-107
Issue Date	1950-12-25
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/17476">https://hdl.handle.net/2115/17476</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	5_p101-107.pdf



## 積雪内部にある黒い物体による融雪\*

吉田 順五, 小島 賢治

(低温科学研究 応用物理学部門)

(昭和23年5月受理)

積雪の表面にあつた日射はかなりの深さまで積雪のなかにはいるので、積雪のなかに日射をよく吸収する黒い物体があれば、その温度はあがり、ちかくの雪をとくはずである。融雪期になると、融雪をはやめるために積雪の表面に土を撒く。しかし、そのあとで雪が降つて、撒いた土をかくしてしまうことも、さほど珍しいことではない。それに日射があつたとき、土の層がどれほどの働きをするかを知ること必要なことである。そんな意味もあつてこの実験を行つた。

### I. 黒い圓板による実験

(1) 測定方法。厚さ0.5mmの亜鉛板で直径8cmの圓板をつくり、その片側をエナメルで黒くぬつた。黒い面を上にして、一枚は積雪の表面におき、他の一枚を積雪の表面から $d$ cm( $d:1\sim7$ )の深さに埋めた。積雪の表面を $d$ cmの厚さの雪の板にはぎとり、そのあとに亜鉛板をおいて、その上にはぎとつた雪の板をかぶせたのである。表面においた圓板を(I)雪のなかにおいた圓板を(II)と呼ぶことにする。

日射があたると、積雪の表面も圓板もしだいに位置がさがつてゆくが、その沈下速度をはかつて、それに積雪の密度をかければ融雪量が求められる。それで、ふたつの圓板の上に、雪面から1cmほどはなして水平にほそい針金をはり、30minか1hrおきに、針金から積雪面または圓板までの長さを、物さしではかつて沈下速度をきめた。雪のなかの圓板については、スケールをきざんだ細長い鐵板を雪のなかにつきさして、下端を圓板に接觸させて針金と圓板との距離をはかつた。針金は2本の杭を土地にささりこむまでうちこんで、その間にはつたので、積雪がとけるために針金の位置が變ることはない。

沈下速度の測定のほかに風速、氣温の測定も行つた。測定場所は札幌市北大構内で、時期は3月である。なお、日射量の値が必要であるが、これには札幌管區氣象台のロビッチ日射計による値をつかうことにした。

(2) 測定結果。うへにも、ひとことふれておいたが、筆者の実験の結果によれば、空<sup>(1)</sup>

\* 北海道大學低温科学研究所業績 第102號

第 1 表

日 月	時刻(時)	氣 温 (°C)	風 速 (m/s)	密度 $\rho$	I	$v_s$	$\rho v_s \times 10^2$	$v_o$	$v_o \rho \times 10^2$	$w_o' \times 10^2$	$w_o \times 10^2$	$10^2 w_o / I$	$v_d$	$w_d \times 10^2$	$10^2 w_d / I$	d
4/3	11—12	- 3.0	1.15	0.33	58.0	0.03	1.0	0.9	30	0	30	5.2	0.20	6.7	1.15	1.8
	12—13	—	—	—	57.5	—	—	0.6	19	—	—	—	0.42	14.0	2.45	—
5/3	11—12	0.0	1.6	0.32	60.4	0.03	1.0	1.6	52	0	52	8.6	0.19	6.1	1.0	2.2
	12—13	—	—	—	63.3	0.03	1.0	1.4	45	—	—	—	0.22	7.1	1.1	2.1
6/3	11—12	- 1.8	0.6	0.32	54.4	0.03	1.0	1.4	47	0	47	8.6	0.15	4.9	0.9	3.2
	12—13	- 1.3	—	—	57.9	0.03	1.0	1.5	49	0	49	8.5	0.20	6.5	1.1	3.1
	13—14	—	—	—	47.4	0.00	0.0	0.6	20	—	—	—	0.10	3.3	0.7	3.0
8/3	11—12	- 2.2	0.25	0.33	55.6	0.02	0.7	1.1	37	0	37	6.7	0.08	2.7	0.5	6.0
	12—13	—	—	—	51.8	0.04	1.4	2.1	70	—	—	—	0.04	1.4	0.25	—
	13—14	—	—	—	40.1	0.01	0.3	1.6	53	—	—	—	0.03	1.0	0.25	5.9
	14—15	—	—	—	39.4	0.00	0.0	0.4	13	—	—	—	0.00	0.0	0.0	—
17/3	11—12	+ 2.8	1.6	0.40	(69.2)	0.27	10.7	1.6	63	9	54	7.7	0.25	9.9	1.45	2.1
	12—13	—	—	—	(67.3)	0.55	21.6	1.5	60	—	—	—	0.35	13.9	2.05	1.5
18/3	10—11	+ 2.8	1.25	0.34	(77.2)	0.15	5.1	2.1	71	7	64	8.2	0.18	6.1	0.8	4.1
	11—12	—	—	—	(75.8)	0.20	6.8	2.1	70	—	—	—	0.17	5.9	0.8	3.9
24/3	11—12	+ 5.2	0.75	0.20	(68.2)	1.02	20.2	2.8	56	9	47	6.8	0.46	9.1	1.35	4.2
	12—13	—	—	—	(57.1)	1.42	25.0	2.4	49	9	40	6.8	—	—	—	2.8

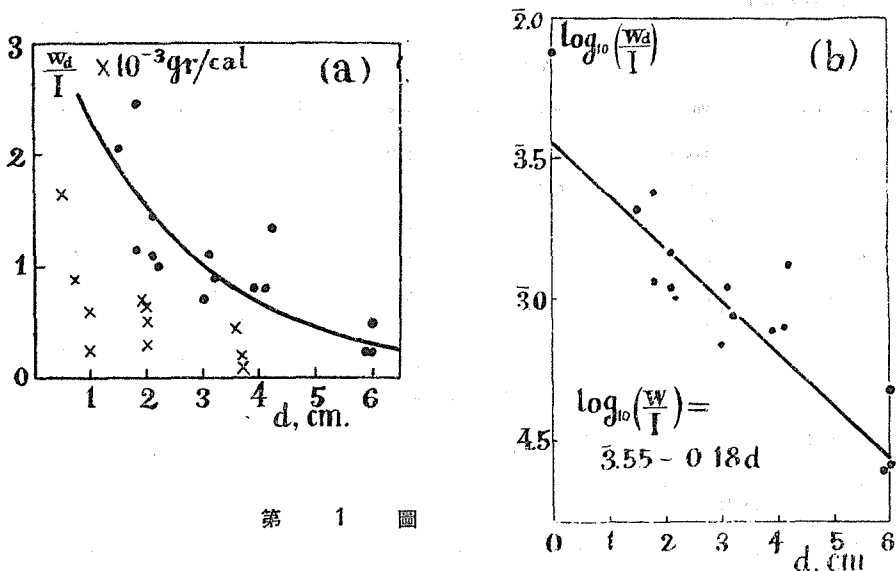
I: 日射量 cal/cm.<sup>2</sup> hr;  $v$ : 沈下速度, cm/hr;  $w$ : 融雪速度, gr/cm.<sup>2</sup> hr. :  $v, w$  の添字  $s, o, d$  はそれぞれ自然積雪面, 積雪面においた圓板, 積雪面から  $d$ cm したの圓板についての量であることを示す。  
 $w_o'$ : 気温による融雪速度 (本文 I の(3)を参照)。

氣から與えられる熱で積雪がとけるときには、積雪の表面の沈下量に密度をかけたものが融雪量にひとしい。こういう場合には、積雪は表面だけでとけているのであるが、日射があたるときは、積雪は内部にはいつた日射のため、内部でもとけるので、かならずしも沈下量と密度との積が融雪量にひとしくはならない。しかし圓板をおくと、日射は圓板で遮られて、その下には入つてゆかないから、圓板の下の雪は圓板からうける熱によつてとけるだけである。それゆゑ、圓板の場合にも、圓板の沈下量と密度との積が圓板の下の融雪量にひとしくなる筈である。それで圓板による融雪量として圓板の沈下量と密度との積を使つた。

第1表に測定結果をまとめてしめした。表のなかの記號の説明は表の關外につけてある。

雪のなかの圓板(II)の融雪速度  $w_d$  は氣温や風速の影響はあまりうけず、積雪表面からの深さ  $d$  と日射量  $I$  とだけできまる。そして  $d$  が一定ならば  $w_d/I$  も一定になるはずで、表でもごくだいたいではあるが、この關係がみたまされてゐる。 $w_d/I$  は積雪の密度によつても影響される筈である。しかし融雪が問題になる融雪期になれば、積雪の密度はそれほどひどく變動しないので、積雪の密度はほゞ一定と考へてよい。

表には、自然積雪表面の沈下速度  $v_s$  と密度との積もあげてあるが、これはうゑにいつた理由によつて融雪量そのままを表わすものとはいえない。しかしだいたひそれに近い値なので参考の爲に置いておいた。表面においた圓板(I)の沈下速度  $v_s$  と密度との積  $v_s \rho$  は、圓板から積雪に與えられた熱による融雪量であるが、圓板は日射のほかは空氣からも熱をうける。それで雪のなかにある圓板(II)による融雪量と關係をつけるためには、圓板(I)が空氣からうける熱による融雪量を  $v_s \rho$  からさしひかなければならない。このさしひきを行つた値は、 $w_d$  で  $d$  が0になつたときの値にあたるので、それを  $w_0$  とすると、 $w_0/I$  は一定の値にな



るはずである。 $w_0$ の求めかたは次の項(3)で説明するが、それによると $w_0/I$ は平均 $7.7 \times 10^{-3}$ となつた。

第1圖(a)に $w_d/I$ と $d$ との關係を圓印で表わした。 $d \neq 0$ の場合は測定點がみなだいたい指數曲線のうえにのるが、 $d=0$ の點 $w_0/I$ だけは、この曲線で與えられる値よりもすこし大きい値をもつている。このことは、 $\log_{10} w_d/I$ と $d$ との關係を示す第1圖(b)によつてはつきりわかる。日射のなかの赤外部の輻射は雪によつて吸収されやすいので、圓板(I)は赤外線を受取るが、雪の中においた圓板(II)には赤外線がとどかないのでその吸収がない。 $w_0/I$ の特別に大きい値は、このためにでたものと思われる。(b)圖の直線は

$$\log_{10} (w_d/I) = 3.55 - 0.18d$$

で表わされ、これから

$$w_d = 3.59 I e^{-0.42d} \times 10^{-3} \text{ gr/cm}^2 \text{ hr.}$$

がえられる。ただし $I$ の単位には $\text{Cal/cm}^2 \text{ hr}$ 、 $d$ の単位には $\text{cm}$ がつかつてある。またこの式は $d < 1 \text{ cm}$ の場合にはなりたくない。

### (3) $w_0$ の求めかた及び圓板(I)の傾き。

前項(2)で、表面においた圓板による融雪速度 $P_v$ から、空氣から圓板につたわる熱の効果による部分をとりのぞいた $w_0$ をつかつたが、それは次の様にしてもとめたのである。

實驗室のなかに、たてよこ $50 \text{ cm}$ 角、厚さ $10 \text{ cm}$ の大きな雪の塊をおいて、中央に圓板をのせ、扇風器で水平にかぜを送つて雪の表面と圓板との沈下量をはかつた。第2表にみるように、ふたつのものあいだにはほとんど差がなかつた。表の $u_0$ は圓板の沈下量で、 $u_{s1}$ 、 $u_{s2}$ は、それぞれ、風向と直角に圓板からすこしはなれた所、及び圓板から風下に少しはなれた所での雪面の沈下量である。 $u_{s2}$ と $u_0$ との一致はあまりよくないが、これは風が雪の面を

第 2 表

時 間	$u_0$	$u_{s1}$	$u_{s2}$	風 速 (m/s)	氣 温 ( $^{\circ}\text{C}$ )
0	0.0cm	0.0cm	0.0cm	2.0	10.5
0.5	0.4	0.4	0.3	2.0	10.5
1.0	0.8	0.8	0.45	1.2	11.0
1.5	1.4	1.4	1.0	1.2	11.0
1.75	1.6	1.7	1.25	1.2	11.0

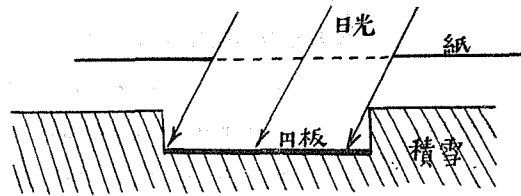
流れるにつれて温度がさがるので、風下ほど融雪がすくなくなるためと考へられる。實驗室内であるから日光はあたらない。それゆゑ、うゑの實驗によつて日光がなければ、黒い金屬板を雪面においても融雪には、かわりがないことがわかつたわけである。この場合の融雪は、空氣から雪に傳達される熱によつておこつてゐるわけで、この種の融雪、すなわち氣温融雪<sup>(1)</sup>については、まえに筆者が、融雪速度と風速、氣温との關係式をもとめてある。

いま、氣温融雪に關しては、圓板を雪の表面においても影響がないことがわかつたのであ

る。それで筆者のもとめた關係式<sup>(1)</sup>によつて、第1表の風速と氣温とから氣温融雪速度  $w_0'$  をもとめ  $v_0^p$  からさしひけば  $w_0$  がえられる。第1表の  $w_0'$  および  $w_0$  はこうして定めたものである。

雪面に圓板をのせておくと、圓板は雪の中に穴をほりながら沈んでゆく。30min 以上もほつておくと、太陽と反對側の端、すなわち圓板の北の端の方が南の端よりも早く沈むようになり、圓板は傾いてくる。それで表面の圓板の沈下量は、30分ごとに新しい雪の表面におきかえてきめた。

第 2 圖



北側が速く沈むのは、圓板がほりあけた穴の北側の壁には日光があたり、南側の壁には日光があたらないからである。それは次の様にしてたしかめられる。白い紙に圓板より少し小さいまいるい孔をあけ、第2圖のように圓板の上にかざして、圓板がほつた穴の壁に日光があたらぬようにしておくと、圓板は深く沈んでも傾くことがない。

## II. 石炭の粉による實驗

第I章の圓板のかわりに石炭の粉をつかう實驗をした。積雪の表面から 20cm×13cm の矩形の雪の板をはがし、そこに直徑約 1mm の石炭の粉をすきまなく撒いて、はがした雪の板をかぶせた。雪の板の厚さは 1cm, 2cm, 3.7cm の三種類である。まえと同様針金をはつて、雪の面の位置を測定したが、この場合の雪の密度は 0.26 でまえの場合の 0.35 にくらべるとよほど小さい。圓板の場合とちがつて、雪がとけるにつれて石炭の粉は部分的によりあつまつて、斑點狀の分布にかわつてゆき、石炭の層の位置もあまり正確に定められる性質のものでないから、この場合にはそうはつきりした結果が出るわけではない。圓板の場合には、物指をさし込むと、その端が圓板でとめられるので圓板の位置がよくわかつたが、こんどの場合にはそうはゆかない。それで、雪のなかの石炭層の沈下速度は次のようにして定めた。石炭層のある部分の雪の表面の沈下速度を  $v_0'$ 、石炭層のないところの雪の表面の沈下速度を  $v_0$  とし、 $v_0' - v_0 = v_0$  を石炭層の沈下速度とした。もし石炭層の上にある雪の層がとけないうちにおなじ厚さをたもつていれば、 $v_0$  と  $v_0'$  とはひとしくなるが、雪の層もとけるので、 $v_0'$  は  $v_0$  より大きくなる。ところで日射による融雪は、積雪の表面に近いある厚さの層にわたつておこるが、筆者の推定<sup>(2)</sup>によると、融雪全體の50%は表面から 1.4cm までのあいだで、90%

は 4.6cm までのあいだで行われる。表面に近いほど融雪は大きいので、石炭層の上の雪の層が厚ければ、その厚さがへる速さは、だいたいにして、石炭層を含まない積雪面の沈下速度  $v_s$  にひとしいと考へられる。それでうえのようにして  $v_0$  をもとめたわけである。

しかし、いちばんうすい 1cm の雪の層をかぶせた場合には、このようにして  $v_0$  をきめるのは少し無理なので、雪の層に小さい孔をあけて直接に石炭層の位置をさだめて  $v_0$  をもとめた。それに、この場合には 3 時間ぐらいたつと、雪の層の厚さが 2mm ほどになつてしまい、雪の層と石炭層とのあいだにすきまができてしまうので、どうしても直接にはかるよりほかなかつたのである。

第 1 圖に、石炭層のうえにある雪の層の厚さ (石炭層の深さ)  $d$  と、 $v_0^p$  によつてきめた融雪速度  $w_0$  を日射量  $I$  でわつたもの  $w_0/I$  との関係を示してある。圓印であらわした圓板の場合の  $w/I$  にくらべると半分ぐらゐの大きさである。日射量  $I$  は積雪の表面の値で、積雪のなかにはいると日射は弱くなるが、その弱まりかたは、大浦浩文の測定結果<sup>(3)</sup>によると、積雪の單位體積のなかの氷の粒の数が多きほど大きい。石炭の粉をつかつたときの雪は比重 0.26 (金屬板のときは 0.35) で比較的新しい雪をつかつたので、氷の粒が小さくて数が多い。それで日射の弱まりかたが激しいので、雪の内部での融雪量が小さくなつたものと思はれる。それに石炭の粉は熱傳導率が小さいし、さきに述べたように、斑點状にかたまると日射の吸収能率がわるくなるから、金屬板の場合にくらべて融雪能率が悪くなるのは當然のことと考へられる。

### III. 要約及び結果の考察

積雪の表面から  $d$ cm の深さに黒くぬつた亜鉛板をおいたり石炭粉 (直徑 1mm) の層を作つたりして、これらの黒い物體が表面から雪のなかに入りこんでくる日射を吸収して雪をかす度あいを測定した。

$w_0$ : 黒い物體が表面にあるとき、すなわち  $d=0$  のときの融雪量を  $w_0$  とする。表面では、空氣からの熱傳達によつても雪はとけるので、直接の測定値から熱傳達によるものをさしひいて  $w_0$  をきめた。それゆゑ  $w_0$  は黒い物體が日射を吸収したためだけによる融雪量である。

$w_d$ :  $d$ cm の深さにある黒い物體が日射を吸収したために起る融雪量。

うゑのように記號を定めると、比重 0.25~0.35 の雪について、 $d=2$ cm では  $w_d$  は  $w_0$  の 5~20%  $d=4$ cm では 2~10%,  $d=6$ cm では 6% 以下という結果になる。(第 1 圖参照) 黒く塗つた金屬の板のような場合は能率がよく、石炭の粉のような場合は能率が悪い。粉の場合には、まいた粉の分量によつて變ることは當然で、うゑの結果は雪をすきまなくかくす程度にまいた場合のものである。

雪の表面にあたる日射のうち可視光の強さを  $I_0$ , 雪のなか  $d$ cm の深さで下むきにすゝ

む光の強さを  $I$  とすると  $I = I_0 e^{-\lambda d}$  の関係があり、 $\lambda$  はいろいろな人によつて測定されている。 $\lambda$  はだいたい  $0.1/\text{cm}$  の程度であるが測定者がちがうと非常なちがひがある。札幌で大浦浩文が測定した結果によると、もちろん雪の性質によつてちがうが、 $\lambda$  は案外に大きく、比重  $0.35$  の雪では  $0.5/\text{cm}$  附近の値を示すことが多い。第 I 章にだした  $w/I$  と  $d$  との関係は  $d=0$  の場合をのぞけば  $e^{-\lambda d}$  の形になつており、 $w$  は光の強さに比例するから、この式の  $\lambda$  も  $I = I_0 e^{-\lambda d}$  の  $\lambda$  と同じ意味を持つている。そして第 1 章の式では  $\lambda = 0.42/\text{cm}$  で大浦の値に近い値を示している。たゞ  $d=0$  のとき、黒い物體に吸収されるのは可視光ばかりでなく赤外線もある。それゆゑ  $d=0$  のときの融雪量だけは、 $e^{-\lambda d}$  の曲線であたえられる値よりも大きくなつたのである。

この研究は文部省科學研究費及び日本學術振興會援助金によつて行つた。

#### 文 献

- (1) 吉田順五, 小島賢治, 青木眞一 (1950) 融雪の實驗的研究 低溫科學 3, 101.
- (2) 吉田順五 (1948) 積雪による日射の吸収 低溫科學 4, 17.
- (3) 大浦浩文 (印刷中) 積雪による光の反射及び透過について I 低溫科學 6,

#### R é s u m é

Circular zinc plates (0.5mm thick) of diameter 8cm. were painted black and were burried at various depths (from 1 to 7cm.) below the surface of a snow cover. When sun beams fell upon the snow surface, the zinc plates gradually descended melting the snow immediately below them. Their descending velocity  $v$  was found to be propotional to the intensity of the sun beams which was determined by a Robitch's pyrheliometer. This fact shows that the melting of snow under the zinc plate was caused by heat absorbed by it from the sun beams which penetrated into the interior of the snow cover.

Snow quantity  $w$  melted for a unit time by the zinc plate is equal to the product  $v \times d$  ( $\rho$ : density of snow). The following relation was found between  $w$  and the depth  $d$  below the snow surface:

$$w = 3.59 I e^{-0.42d} 10^{-3} \text{ gr/cm}^2 \cdot \text{hr}$$

( $I$ , intensity of sun beams in  $\text{cal/cm}^2 \cdot \text{hr}$ ;  $d$  in cm.)

Thin layers of small coal particles were used in place of the black zinc plates and their snow melting power was examined. It was fraction of that of the zinc plate varying according to circumstances.