HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	積雪中に遮蔽物のある場合の光の透過について
Author(s)	小林, 大二; 大浦, 浩文
Citation	低温科學. 物理篇, 30, 65-71
Issue Date	1973-03-05
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/18199
Type	departmental bulletin paper
File Information	30_p65-71.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

Daiji KOBAYASHI and Hirobumi OURA 1972 The Influence of Opaque Obstacles on Transmission of Light in the Snow Cover. *Low Temperature Science, Ser., A 30.* (With English Summary p. 71)

積雪中に遮蔽物のある場合の光の透過について*

小林大二・大浦浩文**
(低温科学研究所)

(昭和47年10月受理)

I. まえがき

積雪の基本的な光学特性としての散乱係数，吸収係数を測定する方法を先に大浦が考案し，その測定方法並びに数種の雪についての測定結果[1]を発表した。その測定方法を要約すると次のようになる。積雪の中に透過率のわかったフィルターを挿入して，フィルターを入れた時の照度と入れない時の照度の比をもってフィルター率を定義し，このフィルター率と光の減衰係数とから，散乱係数と吸収係数を算出する方法である。

今回はその実験の続きとして，積雪中に挿入するフィルターの種類を増やして，フィルターの効果がどのように変わるかを調べた。使用したフィルターは，黒い紙を格子状に並べたものと，小さな球を平面的に並べたものである。それぞれの場合，全遮蔽面積を同じくして，フィルター構成要素の大きさを変えた実験及び全遮蔽面積を変えた実験を行なった。

実験に用いた雪試料は，しまり雪二種類とざらめ雪一種類であった。散乱係数の大きなしまり雪の場合は，それのあまり大きくないざらめ雪に比べて，フィルターの効果は大きかった。フィルターの全遮蔽面積が同じとき，実験の範囲内でのフィルターの構成要素の大きさの違いは，あまりフィルターの効果に差をもたらさなかった。又，フィルターとして小さな球を平面的にならべた場合は，球の厚みのために，紙の格子のフィルターよりも，フィルターの効果が大きくあらわれた。

II. 測定装置及び測定方法

測定装置の略図を第1図に示した。前回の装置との違いは光源部である。前回用いた螢光灯は，熱放射量が少ない点ではすぐれているが，低温室内では光源としての性能が落ちることと，電圧の変動の影響が大きすぎるなどの欠点がある。今回は光源として60 Wの自熱電球を4個用い，その前にオパールガラス3枚を配置して，拡散光源となるようにした。電圧の変動による光源の明かるさの変動を監視するために，光源箱の横の通気孔から出る光を光電池照度計で測定した。

雪試料を入れる箱は前回と同じもので内のり20×20 cmで長さが25 cmの四角筒で，内側には鏡をはってある。これは，雪試料を入れた場合，その厚さを持った無限の広さの積雪に相

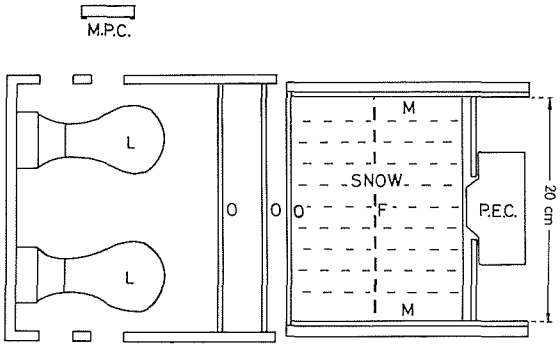
* 北海道大学低温科学研究所業績　第1223号

** 昭和44年3月11日死亡

当する境界条件を得るためである。

実験に用いた雪試料の厚さは 12～14 cm であり，フィルターは試料の中央部，表面から 6～7 cm の所に入れて，フィルター率を測定した。使用したフィルターの種類は次のとおりである。ここでフィルターの透過率とは，フィルムの場合を除いて，隙間の面積比を指している。

	フィルターの種類	透過率
1.	灰色のフィルム	0.79
2.	11 mm 幅の黒い紙の格子	0.79
3.	5.5 mm 幅の黒い紙の格子	0.79
4.	3 mm 幅の黒い紙の格子	0.79
5.	3 mm 幅の黒い紙の格子	0.955
6.	2 mm 径の黒い散弾 50 個	0.996
7.	2 mm 径の黒い散弾 100 個	0.992
8.	2 mm 径の黒い散弾 200 個	0.984
9.	2 mm 径の黒い散弾 400 個	0.968
10.	10 mm 径の黒いプラスチック球 8 個	0.984
11.	10 mm 径の黒いプラスチック球 16 個	0.968



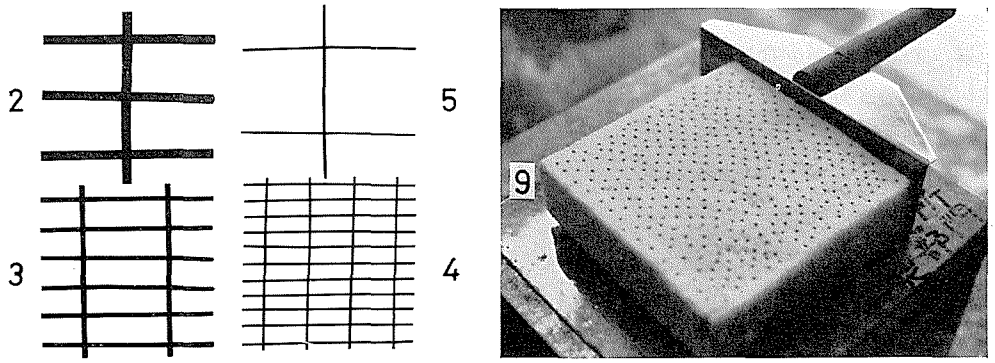
第1図 測定装置

L : 光源
O : オパールガラス
F : フィルター
P.E.C. : 光電管照度計
M.P.C. : 光源監視用光電池照度計

上記のフィルターのうち，番号 2, 3, 4, 5, 9 のフィルターの写真を第 2 図に示す。フィルターを入れたことによって生ずる光源の明かるさへの影響は，測定の精度内では出ないことが，計算によって確められている。

無限の広がりをもつ積雪の表面に，一様な拡散光があたった場合の積雪内の光の減衰の状態を与える方程式，及び，積雪中のある深さに無限の広がりをもつ厚みのないフィルターが入っている場合のフィルター率を求める方程式は前記論文[1]に詳述されているが，ここに結果だけを記すと次ようになる。

積雪表面から x の深さに水平面を考え，その単位面積を上から下へ通過する光の総量を A_x とすれば，深さ h における透過度 T は



第2図 雪試料に挿入したフィルター。数字は本文中に示したフィルター番号

$$T(\mu, s, k, h) = \frac{A_h}{A_0} \fallingdotseq \frac{2\lambda}{s-s\mu+k+\lambda} \cdot e^{-\lambda h} \quad (1)$$

であらわされる。(ここでは $\lambda h > 2.65$ のとき，$e^{-2\lambda h} < 0.005 \ll 1$ となるので，$e^{-2\lambda h}$ の項を省略してある。) 但し，k: 吸収係数，s: 散乱係数 $(=\sqrt{k(k+2s)})$，μ: 底面での反射率とする。

深さ p にフィルターの入った時の深さ h における透過度を T' とすればフィルター率 F は

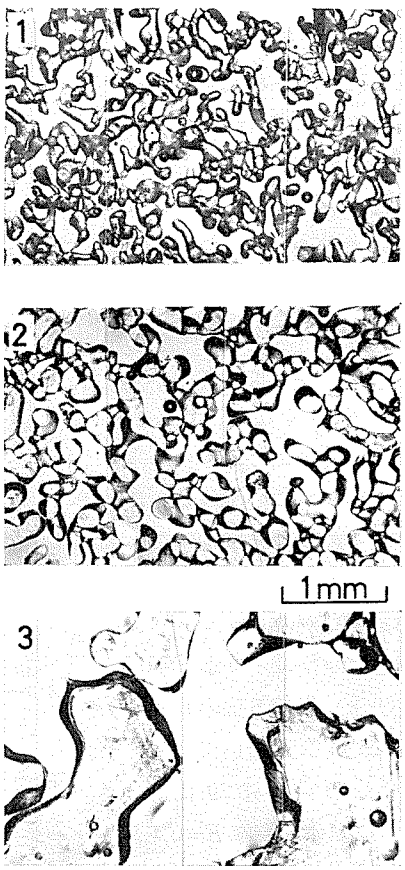
$$F = \frac{T'}{T} \fallingdotseq \frac{2\lambda}{s+k+\lambda-s\cdot\mu_p} \cdot \frac{t}{1-rR'_p} \quad (2)$$

但し，t: フィルター透過率，r: フィルターの反射率，R'_p: フィルターの挿入位置より深い層 $(p \leqq x \leqq h)$ を考えた時，その層の表面 $x=p$ におけるアルベド，μ_p: フィルターより浅い層を考えた時の底面，すなわち，フィルター上面での反射率である。

フィルター率 F とフィルターの透過率 t との関係は (2) 式で示されているが，一つの光線がフィルターを何回通過するかの目安として，放浪指数 w を次式で定義[1] する。

$$F = t^w \quad (3)$$

放浪指数 w は，一般には 1 より大きく，散乱係数が大きく，吸収係数が小さい時程より大きな値をとる。



第 3 図　雪試料の薄片写真

1: 密度 0.277 g/cm³ のしまり雪
2: 密度 0.378 g/cm³ のしまり雪
3: 密度 0.630 g/cm³ の圧縮したざらめ雪

III. 測 定 結 果

測定に用いた雪試料の薄片写真を第 3 図に示す。試料 1, 2 は自然積雪のしまり雪で，密度はそれぞれ 0.277, 0.378 g/cm³ となっている。試料 3 は人工的に圧縮したざらめ雪で密度は 0.630 g/cm³ である。測定結果として，減衰係数 λ，散乱係数 s，吸収係数 k，アルベド R，フィルター率 F，放浪指数 w 等を第 1 表に示した。

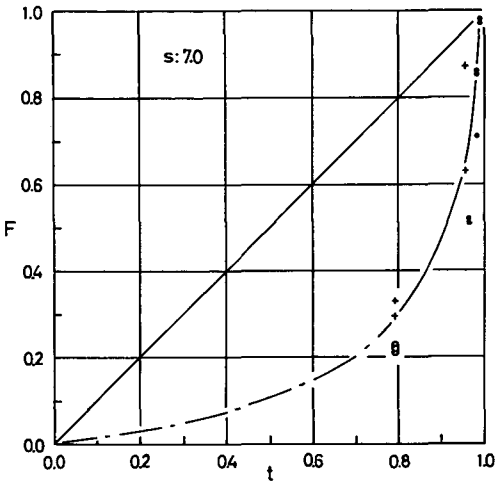
1. 雪質によるフィルターの効果の違い

上記の 3 種の雪試料について，フィルター率 F とフィルターの透過率 t との関係を第 4 図 (試料 1), 5 図 (試料 2), 6 図 (試料 3) の順に示した。それぞれの図の $F=t$ の線は，媒質が透明な

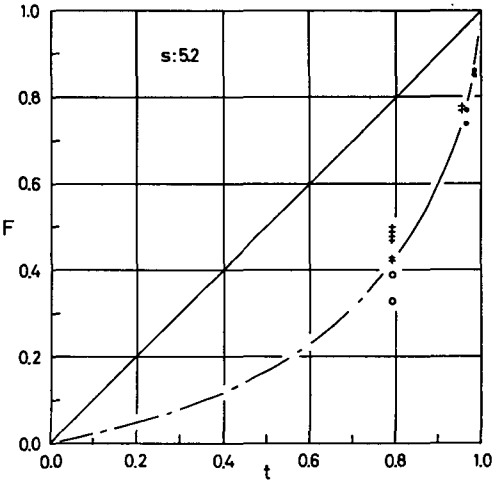
第 1 表

		密度 g/cm³	λ cm⁻¹	s cm⁻¹	k cm⁻¹	R	$F(t: 0.79)$	$w(t: 0.79)$
試料 1	しまり雪	0.277	0.365	7.0	0.010	0.95	0.25	5.3
試料 2	しまり雪	0.378	0.50	5.2	0.024	0.91	0.40	3.6
試料 3	圧縮したざらめ雪	0.630	0.39	2.0	0.038	0.82	0.60	2.0

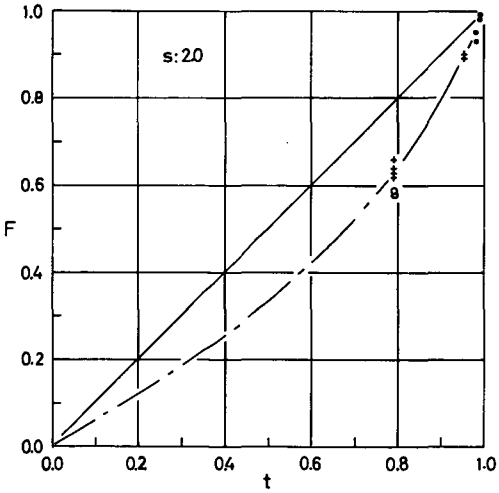
場合を示す。これらの3つの場合を比較してみると，第4図に示された試料1のしまり雪の場合がフィルターの効果が一番大きい，すなわち，フィルター率は$F=t$の線を大きく下まわっている。透過率$t=0.79$の黒紙格子のフィルターの場合，$F=0.25$とフィルター率は小さくなっている。第6図の圧縮したざらめ雪(試料3)についてみると，試料1の場合とは逆にフィルターの効果は小さく，同じ$t=0.79$のフィルターに対してフィルター率$F=0.6$と大きい。第5図のしまり雪(試料2)においては同じフィルター($t=0.79$)に対して，フィルター率$F=0.4$と中間の値になっている。このことは次のように散乱係数sを比較することによって，一応説明される。第1表に示した如く，第4図のしまり雪(試料1)の散乱係数$s=7.0$，第5図のしまり雪の$s=5.2$，第6図の圧縮したざらめ雪(試料3)の$s=2.0$となっており，散乱係数の大きいほどフィルターの効果も大きく，フィルター率が小さくなっていることがわかる。散乱係数が大きい程，一つの光がフィルターを通過する回数が増して，



第4図 フィルター率Fとフィルター透過率tとの関係(試料1)。＋：紙格子のフィルター，●：小球を散布したフィルター，○：灰色フィルムのフィルター



第5図 フィルター率Fとフィルター透過率tとの関係(試料2)



第6図 フィルター率Fとフィルター透過率tとの関係(試料3)

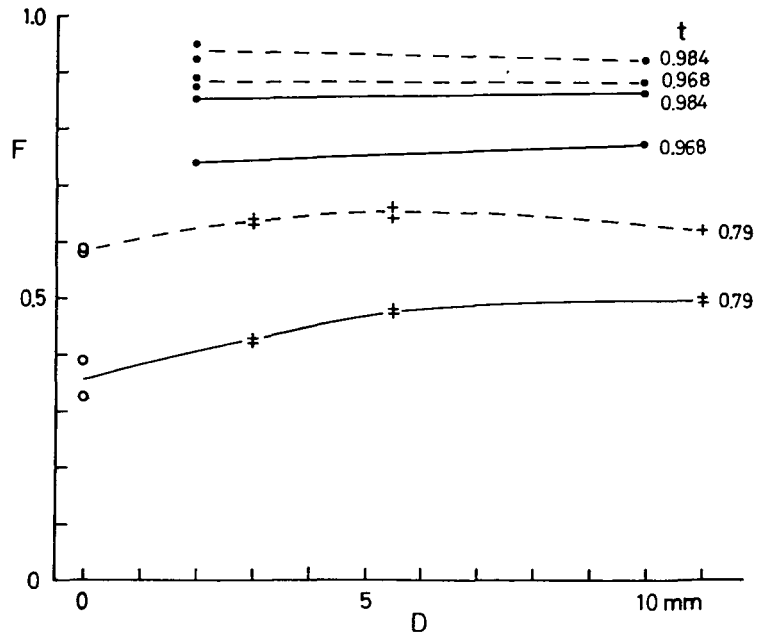
フィルターの効果が大きくなるわけである。

2. フィルターを構成する物体の大きさとフィルター率

フィルター透過率が同じ場合，フィルターを構成している格子の幅や，球の直径の違いが，フィルター率にどのような影響を及ぼすかを調べた結果を示したのが第7図である。横軸には，格子の場合（＋印）はその幅，球の場合（●印）は直径をとり，縦軸にはフィルター率をとってある。第5図のしまり雪（試料2）の場合を実線で示し，第6図のざらめ雪（試料3）の場合を点線で示してある。第7図中の各々の線の横に示した数字はフィルターの透過率 t の値である。しまり雪に透過率 $t=0.79$ の紙の格子フィルターを挿入した場合についてみると，3 mm 幅の格子のフィルター率 $F=0.43$，11 mm 幅の格子のフィルター率 $F=0.50$ となっており格子の幅が狭くなるにつれてフィルターの効果が少し増している。しかるにざらめ雪の場合には，格子の幅が変わってもフィルター率に有意とみられる変化はみられない。散乱係数の大きなしまり雪でフィルターの構成物の大きさの影響がみられて，散乱係数の小さなざらめ雪で，その影響がみられない理由はわからない。

灰色のフィルムをフィルターとして使用した時のフィルター率の値（第7図では○印）をフィルター構成要素の大きさ0の所に記載してある。フィルムの透過率0.79は，あまり拡散されていない光に対する値である。雪の中の拡散光に対してこの透過率が正しいか否かは疑問なのでフィルムの場合のフィルター率は参考データである。

球を平面に散布して作ったフィルターについてみると，第7図にみられるごとく，球の直径が2 mm から 10 mm に変わってもフィルター率の変化はほとんど認められない。強いてい

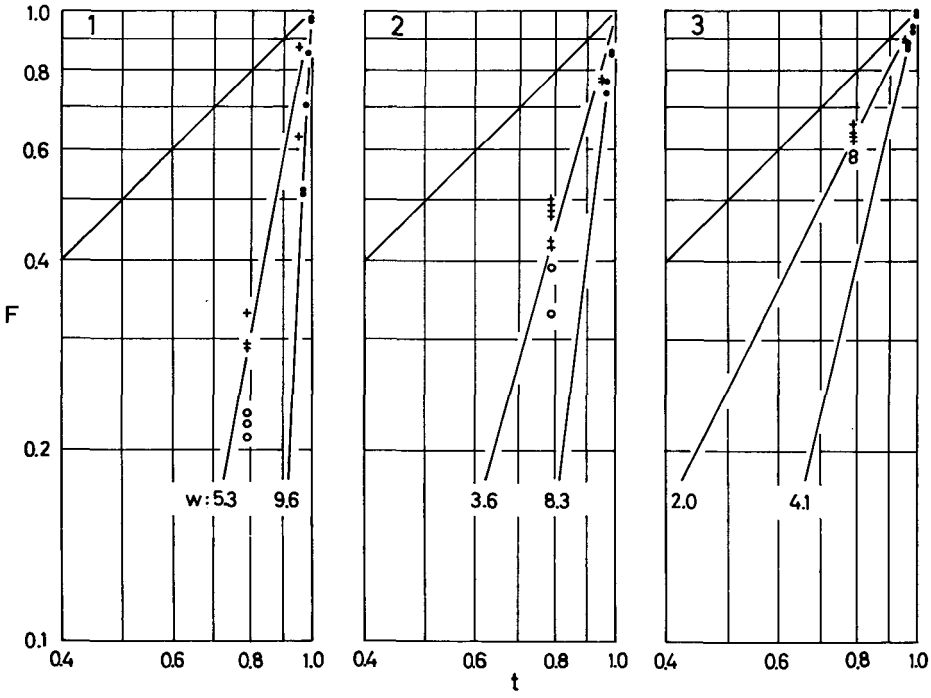


第7図　フィルター構成要素の大きさ D（格子の幅又は球の直径）のフィルター率 F に及ぼす影響。実線は試料2の しまり雪，点線は試料3のざらめ雪。各線につけた数字はフィルターの透過率 t

えば，しまり雪（試料2）の場合わずかに2mmの球のフィルターの方がフィルター効果は大きい。しかし，この差は実験誤差の範囲内である。

3. フィルターの厚みが放浪指数 w に及ぼす影響

今回の実験に使用したフィルターは，厚みのない紙の格子と，小さな球を平面に散布した球の直径の厚みをもつものに大別される。両者のフィルター透過率 t が異なるので直接の比較はできないが，放浪指数 w で比較すると，第8図に示されるように大きな差がある。第8図は，第4, 5, 6図と同じく横軸にフィルターの透過率 t，縦軸にフィルター率 F をとってあるが，両軸を対数尺にしてあるので，式(3)より $t=1$, $F=1$ の点を通る直線の勾配が放浪指数 w の値になる。第8図の1は第4図（試料1）のしまり雪，2は第5図（試料2）のしまり雪，3は第6図（試料3）の圧縮したざらめ雪にそれぞれ対応する。雪試料の散乱係数が小さくなるに従って放浪指数 w も小さくなっていくが，それぞれの試料についてみると，格子のフィルターを挿入した時の放浪指数 w は，球を散布して作ったフィルターの場合の放浪指数 w の約半分の値になっている。このことは，球の厚みが，斜め方向の光を部分的にさえぎりフィルターの効果を増しているためと考えられる。



第8図　放浪指数 w。1：試料1，2：試料2，3：試料3

あ と が き

今回の測定は積雪中にあるごみが，光の透過度に及ぼす影響を調べるための予備的な実験である。今後は，フィルター透過率の範囲を広げることと，3次元的に配置されたフィルターを用いて実験を重ねる必要がある。

この実験に際しては，小林俊一，山田知充の両氏から多大の助力を得たこと，又この論文を書くにあたって小島賢治教授に校閲していただいたことに，あわせて感謝している。

文　献

1) 大浦浩文・小林大二 1965 積雪の光に対する散乱・吸収係数測定法試案. 低温科学, 物理篇, **23**, 87–98.

Summary

A series of laboratory experiments was made to disclose the influence of dust particles upon illumination in the snow cover. Two kinds of filters were used to take the place of dust layers in the snow: the one was a lattice comprising 3～11 mm wide stripes of black paper and the other was made by scattering black spheres of 2 or 10 mm in diameter on a plane (Fig. 2). Suppose that the intensity of illumination at the bottom of a snow layer changes from A_h to A'_h when a filter is inserted in the middle of the layer in parallel with it, then the filter ratio F is defined as $F=A'_h/A_h$. Filter ratios were measured by using a block of snow sample of $20\times20\times14$ cm in a rectangular tube with four mirrors on its inner walls. The following results were obtained: (1) The filter ratio F, as is logically known, decreased as the light scattering coefficient s of snow increased (Figs. 4, 5 and 6); (2) the difference in the size of material of a filter, i.e., the difference in the width of a stripe of a paper-lattice or in the diameter of a sphere, did not bring a remarkable variation in the value of filter ratio (Fig. 7); (3) the ratio F became smaller due to the thickness of spheres, i.e., the wandering index w defined by $F=t^w$ for the filter of spheres was twice the value of w for the paper-lattice filter, where t is the transmissivity or the two dimensional void ratio of a filter (Fig. 8).