# 積雪の固有透過度と比表面積(2)

○荒川逸人<sup>1)</sup>,尾関俊浩<sup>2)</sup>,川田邦夫<sup>3)</sup>,成瀬廉二<sup>4)</sup>,河村俊行<sup>5)</sup>,河島克久<sup>6)</sup>,和泉薫<sup>6)</sup>

1)野外科学株式会社/新潟大学大学院自然科学研究科 2)北海道教育大教育学部岩見沢校 3)富山大学極東地域研究センター 4)NPO 法人氷河・雪氷圏環境研究舎 5)北海道大学低温科学研究所 6)新潟大学災害復興科学センター

#### 1. はじめに

積雪の物性はその微細構造に依存している. 例えば, 積雪の充填構造は力学的性質を支配しており, 雪崩発生機構に関わっている. 一方, 雪質は積雪観測者が積雪の微細構造を判別した結果として付けられる分類名であり, 積雪の構造を表しているといえるが, 定量的評価はされていない. 雪質を定量的に表すことができれば, 主観性が無くなり変態の進行程度などの指標化が期待できる.

荒川(2004)は,固有透過度kと単位質量あたりの比表面積SSAM(Specific Surface Area per unit Mass)によって雪質分類をおこなったが,その測定数は少なく不十分である.

そこで本研究では、(1)自然積雪の固有透過度と比表面積による雪質分類図(荒川,2004)に2005/06 冬期観測結果を追加して更新し、(2)図中の雪質の物理的意味を解明する足掛かりとして、画像解析から求めた粒径や間隙幅が固有透過度、比表面積および硬度とどのような関連性がみられるか整理したので、これらを報告する.

#### 2. 2005/06 冬期観測

表1は2005/06 冬期観測概要である。主にこしもざらめ雪、こしまり雪、しまり雪の測定をすることができた。硬度はプッシュゲージを利用して測定した(竹内ら、2001)。歌登町中央では硬度の測定をおこなっていない。

# 3. 測定方法

固有诱過度 k は通気度 B と 気体の粘性係数

表 1 2005/06 冬期観測概要

k:固有透過度, SSAM:比表面積, H:硬度

場所	観測日	積雪深	主な	測定項目		
		(cm)	雪質	k	SSAM	Н
歌登町 中央	1月18日	88	++	0	0	×
	2月8日	92				
蘭越町 湯本温泉	2月23日	390	// ••	0	0	0
厚真町 幌向	2月24日	65		0	0	0
立山町 室堂	4月21日 4月22日	850	//	0	0	0

 $\eta$ によって次式のように表されるので、Bを測定することによってkを求めることができる.

$$k = B\eta$$
 .....(1)

図 1 は通気度測定の概念図である. Shimizu (1970) と同様の二重椀式通気度計を製作した. これは試料の中心部を測定範囲とし, 試料縁部を測定範囲から除外できる利点がある. バルブ1と2を調整し差圧計1の値を0にすることよって試料外側と内側の気圧差を無くし, 測定領域内の流線を上下に保つことができる.

積雪に通気させた後、流量計から流量 Q ,差 圧計 2 から大気圧との差 $\Delta P$  を読み取り、次式 より通気度 B を得る.

$$Q = BA(\Delta P/Ls)....(2)$$

ここに、A は試料の断面積(測定領域)、Ls は試料の長さである。

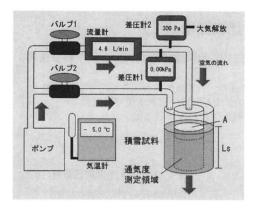


図 1 通気度測定概念図

一方,温度 T における空気の粘性係数 $\eta$  は,ある温度  $T_0$  の粘性係数 $\eta_0$  が既知ならば,Sutherland の式で求められる.空気の場合,Sutherland の定数 C は 117 であり, $T_0$  = 293(K) のとき, $\eta_0$  = 18.2×10<sup>-6</sup>(Pa·s)である.

$$\eta = \eta_0 (T_0 + C)(T + C)^{-1} (T/T_0)^{3/2} \dots (3)$$

比表面積, 粒径, 間隙幅は画像解析によって 求めた. 画像解析をおこなうためには, 片薄片 試料の作成が必要である. 荒川 (2004) に従い, フタル酸ジメチルを用いて積雪を固定し, 片薄 片を作成した. 雪粒子と間隙部分を区別するた めに油性染料のスダンブラック B によって間 隙部分を着色した. 通気度との関連をみるため に, 片薄片は空気の流線に対し垂直な水平面で, 上から面を観察する方向とした.

比表面積の算出は Smith & Guttmann の方法を用いた. 次式のように、単位体積あたりの比表面積 SSAV (Specific Surface Area per unit Volume) は走査線の総延長 L と雪粒子界面との交点の数 N から求められる (成田、1969).

$$SSAV = 2N/L \dots (4)$$

粒径および間隙幅は Run-Length 法によって

求めた. Run-Length 法とはある濃度を持った 直線の出現頻度を走査線の方向毎に求め、単純 なテクスチャ特徴量を算出する方法である(図 2). この方法によって求まる長さの平均値は走 査方向における雪粒子の平均幅となる. これを 間隙に対しておこなえば、平均間隙幅が求まる. これ以降、平均粒径、平均間隙幅をそれぞれ粒 径、間隙幅と呼ぶ.

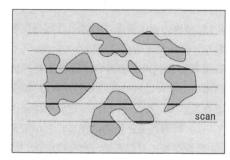


図 2 Run-Length 法

# 4. 観測結果と考察

### 4-1. 雪質分類図の更新

図 3 は、固有透過度と比表面積の測定結果に よる雪質分類図である。 図中の新雪 (+印), こしまり雪・しまり雪 (×印) は、Sommerfeld et al. (1984) のデータを引用した。

図では新雪~しまり雪をひとつの領域とし、こしもざらめ雪、ざらめ雪を区分することができた。この区分によって次のような可能性を考えることができる。 (1)新雪からしまり雪にかけては SSAM の減少に伴い k が減少し、等温変態の過程を表している可能性がある。 (2)また、こしもざらめ雪やざらめ雪は、SSAM の減少に伴い k が増加し、水蒸気輸送や濡れによって、粒子が成長する過程を表している可能性がある。 しかし、(1)(2)とも単一の積雪層の変化を追跡しているわけではないため、今後確認が必要である。

ざらめ雪の領域の下部にある,こしもざらめ 雪としまり雪の2点は,室堂における測定値で 積雪の下方にあったものである.こしもざらめ

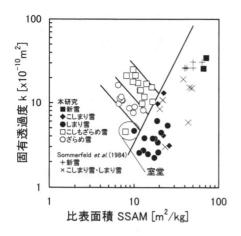


図3 固有透過度と比表面積 SSAM による雪質 分類図. 新雪 (+), こしまり雪・しまり 雪 (×) は, Sommerfeld *et al.*(1984)から 引用.

雪はざらめ雪がこしもざらめ化したものであった. また, しまり雪は k=4.6×10 $^{-10}$ m $^2$ であり, この上方の積雪深 250cm $^{\sim}$ 650cm のしまり雪の k=2.2 $^{\sim}$ 2.7×10 $^{-10}$ m $^2$  よりも大きい値であった. 現地観測時にはわかりにくかったが, こしもざらめ雪化していた可能性が考えられる.

# 4-2. 粒径と間隙幅について

図 4 は画像解析によって求められた粒径と間隙幅の関係を示したものである. 相対的な傾向としては、ざらめ雪は粒径が大きく間隙幅が小さい. こしもざらめ雪は粒径が小さく間隙幅が大きい. しまり雪は粒径, 間隙幅ともに小さい. これらは一般に観測する雪質の傾向と一致する. 一方, 新雪とこしまり雪の粒径はしまり雪よりも小さかった. 現地観測では新雪結晶は枝張りが 2~3mm の樹枝状結晶であったことから, 新雪やこしまり雪の見た目の大きさでなく, 結晶の枝の太さを反映している粒径となっているといえる.

## 4-3. 粒径・間隙幅と物性値との関係について

図 5~10 に粒径・間隙幅と物性値(固有透過

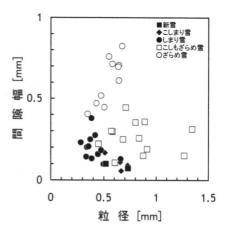


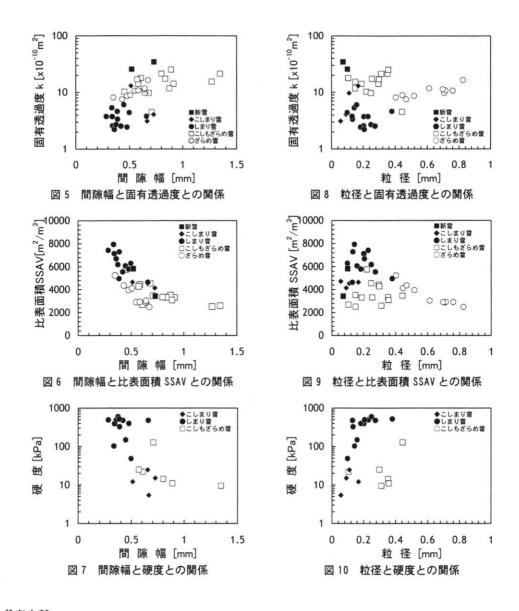
図4 雪質別の粒径と間隙幅との関係

度、比表面積、硬度)との関係を整理した。比表面積はSSAVで比較した。SSAMに比べると、SSAV は単純に表面積の大きさを比較できるためである。固有透過度、比表面積および硬度は、粒径よりも間隙幅の方が雪質によるバラツキが少ない。多孔質体としての形状に依存する固有透過度および比表面積は、間隙幅からの推定が可能であることが考えられるが、測定数が充分でないため今後の課題とする。

# 5. まとめと今後の課題

固有透過度と比表面積による雪質分類図を 更新した. 雪質区分線を物理的意味を解明する ために粒径と間隙幅を求めたところ, 粒径との 比較ではバラツキがみられるが, 間隙幅との比 較では粒径に比べてバラツキが少ない傾向が みられた. これは粒子形状に比べ間隙形状が複 雑でないことが考えられるが, 測定数の充実に よる解析が必要である.

今後は、雪質分類図の未測定領域の測定と、 雪質変態の追跡をおこない、更に解析を進める 予定である.



# 参考文献

荒川逸人, 2004: 積雪の固有透過度と比表面積, 寒地技術論文・報告集, Vol. 20, 108-112 成田英器, 1969: 積雪の比表面積の測定 I, 低 温科学(物理篇), 27, 77-86 Shimizu, H., 1970: Air Permeability of Deposited Snow, Contributions from the Institute of Low Temperature Science, A-22, 1-32 Sommerfeld, R. A. and Rocchio, J. E., 1984:
Permeability Measurement on New and
Equitemperature Snow, Water Resources
Reserch, Vol.29(8), 2485-2490
竹内由香里・納口恭明・河島克久・和泉薫,
2001: デジタル式荷重測定器を利用した積雪
硬度の測定、雪氷 63(5), 441-449