積雪の固有透過度と比表面積(2)

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

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

固有透過度 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

十: 相当	観測日	さの言,/	主た	測定項日		
場所			雪質	k	SSAM	H
歌登町	1月18日	88	++	0	0	×
中央	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

 η 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.

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ΔP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 η は, ある温度 T_0 の粘性係数 η_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, η_0 = 18.2×10⁻⁶(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プラック 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=4.6×10⁻¹⁰m²であり, この上方の積雪深 250cm~650cm のしまり雪のk=2.2~2.7×10⁻¹⁰m²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