



Title	北海道内平地における厳冬期の積雪特性
Author(s)	秋田谷, 英次; AKITAYA, Eizi; 遠藤, 八十一 他
Citation	低温科学. 物理篇, 39, 55-61
Issue Date	1981-03-18
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/18413
Type	departmental bulletin paper
File Information	39_p55-61.pdf



北海道内平地における厳冬期の積雪特性*

秋田谷英次・遠藤八十一

(低温科学研究所)

(昭和55年10月受理)

I. はし が き

積雪中の上下にかさなり合った2つの雪の層の性質は、非常に似ているものもあれば、著しく異り、密度や硬度、雪質などが上下の層で不連続的に変っているものもある。各層の雪の性質はその雪が積った時および、積った後の気象条件によって変ってくる。北海道の厳冬期では雪は殆んど融けることがなく、 0°C 以下の温度の下で、比較的ゆっくりとその性質を変える(寒冷変態)。春先になって雪が融けはじめ、水を含んだ状態での変化は急激で、すべての雪は「ざらめ雪」へと変っていく(温暖変態)。

寒冷変態の中には、次第に丈夫な雪になるしまり雪への変態過程と、もろい雪となるしもざらめ雪への変態過程の二つがある。後者は積雪深はあまり多くはなく、寒さのきびしいところでおこなわれる。北海道の平地では本州の平地に比べて寒さが厳しく、その期間も長いため、しもざらめ雪の発達が特徴的である¹⁾。さきに述べたように、春先になって融雪がはじまると、すべての雪はざらめ雪へと変化し、厳冬期にもっていた雪の特性は消失してしまう。即ち融雪のはじまる前の積雪は、厳冬期のそれまでの気象条件を最も強く反映している訳である。したがってこの時期に積雪の性質を調べれば、それまでの気象状況の予測ができ、反対に一冬の気象状況がわかれば、積雪の特性も予測できることにもなる。

筆者らは1977年冬期から、北海道内の平地積雪の特性を調べるため、雪質とその物理的性質に着目して調査を進めてきた²⁻⁴⁾。雪質の地域的な特徴および年毎の違いを調べるためには、毎年同一時期に全地域の調査をするのが望ましい。しかし我々の調査では、一冬に全地域での調査はできず、4冬期目ではほぼ北海道内の平地の8割程度の調査を終えることができた。ここでは調査結果をもとに、北海道内の乾き雪の特質について述べる。

II. 観測方法とこれまでの調査結果

広い地域の積雪の特性を比較するのに、各地で積雪の層毎の特質を詳しく調べるよりは、その地点の積雪全体の性質又は平均的な性質を調べる方が、時間的にも資料整理の上からも有利である。これまでの調査結果によると、積雪の特性を表わす指標として全積雪水量(又は平均密度)および積算ラム硬度(又は平均ラム硬度)が測定も簡便であり、積雪の特性をあらわすのに有効なことがわかった。前者はスノーサンプラー、後者はラム硬度計で測定される。

* 北海道大学低温科学研究所業績 第2281号

積雪調査の場所は主要道路沿いの20~30 km おきに、障害物のない平坦地で、道路からも十分はなれ、道路除雪の影響のない地点である。調査は毎年1月中旬から3月末までにおこなわれたが、2月中はまだ融雪がはじまらず、乾き雪の状態であった。上に述べたように、融雪前の2月の乾き雪は、北海道の厳冬期の気象を最も反映しているので、この時期の調査に重点をおいた。

これまで3冬期の調査から次のことが明らかになった。

1. 2月中の融雪前の雪質は、1月の気温と積雪深のデータから積雪内の温度勾配を求めることにより推定できる。
2. 乾き雪の平均密度の最大は0.33 g/cm³、ざらめ雪の最大は0.5 g/cm³である。
3. しもざらめ雪やこしもざらめ雪が多く発達した積雪では、平均ラム硬度は8 kg 以下であり、しまり雪が多い積雪では8 kg 以上である。

III. ラム硬度の推定

積雪の特性をあらわすものの一つに硬度がある。雪の硬度を測定するには、いくつかのタイプの硬度計があるが、我々は測定の簡便さからラム硬度計を用いてきた。この硬度計を用いると通常の積雪断面観測のように積雪に穴を掘り、断面を作る必要がないので、測定を短時間に終えることができる。積算ラム硬度と積雪深の関係をみると、積雪深が大きくなるにつれ、硬度も大きくなっている。そこで4冬期の2月中に測定した122点の積算ラム硬度(ΣR)と積雪深(H')の関係を求めると、

$$\log \Sigma R = -1.37 + 2.23 \log H' \pm 0.151, \quad (1)$$

が得られた。ただしこの式はラム硬度を雪の深さのみの関数であらわしたもので、他の気象要素は考慮されていない。

しもざらめ雪が発達すると一般に硬度が小さくなることが知られている。又、しもざらめ雪の発達には雪の中の温度勾配が大きい程著しいので、積算ラム硬度と温度勾配の間には反比例の関係のあることがわかる。結局、積算ラム硬度(ΣR)は温度勾配 $\left(\frac{dT}{dH}\right)$ に反比例し、積雪深(H)に比例するので次の関係が成立つ。

$$\Sigma R \propto f\left(\frac{1}{dT/dH} \cdot H\right) = f(k \cdot H).$$

ただし $k = 1/(dT/dH)$ (温度勾配の逆数)

積雪中の温度勾配は一定の値を保っているわけではなく、同じ場所でも積雪表面からの深さや、測定時刻によって変る。しかし、ある期間内の積雪全体の平均的溫度勾配は、平均気温/平均積雪深であらわされる(平均気温がマイナスなので、温度勾配の値はマイナスとなるが、ここでは簡単のためマイナスの符号をとって扱っている)。

前の報告では(1月の平均気温)/(1月の平均積雪深)で求められた平均温度勾配が0.21°C/cm 以上の場合はしもざらめ雪となっていることを述べた。上の考えは積雪直下の地面が凍っていない場合即ち、地表面が0°Cの場合にはあてはまるが、地面が凍っている場合には成立た

ない。例えば平均積雪深 10 cm, 平均気温 -10°C で地面が凍っていなければ温度勾配は $10^{\circ}\text{C}/10\text{ cm}=1.0^{\circ}\text{C}/\text{cm}$ となる。地面が凍っていて地表面の温度が -6°C であると温度勾配は $(10^{\circ}\text{C}-6^{\circ}\text{C})/10\text{ cm}=0.4^{\circ}\text{C}/\text{cm}$ となる。しもぢらめ雪の発達する地方は一般に雪が少なく、寒さがきびしいところであるから地面が凍っていることが多い。そこで気象データから単純に計算すると、地面が凍っている地方では温度勾配を大きく見積ることになる。

第1図にはたて軸に実測した積算ラム硬度, 横軸に温度勾配の逆数 k と実測した積雪深 H' の積をそれぞれ対数で目盛っている。 k は気象観測所の資料から求めたものであるが次の操作をしてある。

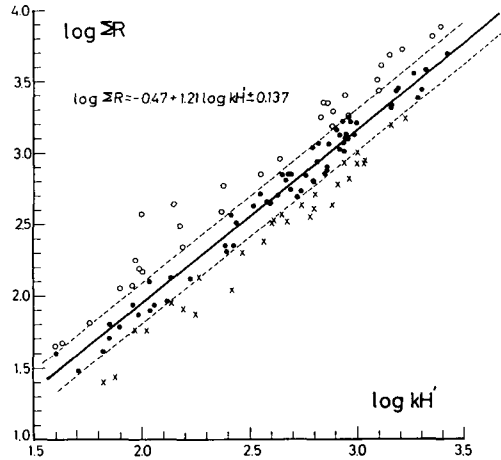
温度勾配は1月1日から積雪調査前日までの日平均気温の総和 ΣT と日積雪深の総和 ΣH から $\Sigma T/\Sigma H$ で求める。気象データから得られる調査日の積雪深 H と我々が実測した調査地点の積雪深 H' とは同じではない。それは両地点の距離がそれ程離れていなくても、積雪深は付近の地形や障害物の影響を著しく受けるからである。一方、積雪調査地点の気温と最寄りの気象観測所で得られた気温とはそれ程大きな差がないと考えられる。したがって積雪調査地点の実際の温度勾配は気象観測所のデータから得られる平均気温を調査地点の平均積雪深で割ったものとなる。しかし調査地点では我々が調査した日の積雪深しか得られていないので、気象データに示されている積雪深を調査地点での値に換算しなければならない。そこで両地点での積雪深の違いは雪の積りはじめから調査日まで、同じ割合であったと仮定すると調査地点での温度勾配 \bar{T}_g は次の式で表わされる。

$$\bar{T}_g = \frac{\Sigma T}{\Sigma H} \cdot \frac{H}{H'}, \quad k = \frac{1}{\bar{T}_g} = \frac{\Sigma H}{\Sigma T} \cdot \frac{H'}{H} \quad (2)$$

ここで ΣT , ΣH は気象データから求めた1月1日から調査前日までの日平均気温と日積雪深の総和, H , H' はそれぞれ調査日の気象データによる積雪深と実測した積雪深である。

上で述べたように、地面が凍結する地域では温度勾配は(2)式で求めた値より小さいはずである。そこで温度勾配の上限の値を0.2, 0.3, 0.35, $0.4^{\circ}\text{C}/\text{cm}$ の4通りの場合を仮定し、 $\log \Sigma R = a + b \log kH'$ なる関係式で最適の上限温度勾配を調べた。たとえば、 $0.2^{\circ}\text{C}/\text{cm}$ の値を上限温度勾配とした場合、 $0.2^{\circ}\text{C}/\text{cm}$ よりも小さい温度勾配はそのままの値をつかい、 $0.2^{\circ}\text{C}/\text{cm}$ 以上の値の温度勾配はすべて $0.2^{\circ}\text{C}/\text{cm}$ の温度勾配とするわけである。

第1表には4通りの上限温度勾配に対して $\log \Sigma R$ の確率誤差と ΣR が1,000 kg の場合の誤差範囲を示した。また最下欄には ΣR が雪の深さ H' だけの関数とした(1)式の場合の確率



第1図 ΣR (積算ラム硬度) と $k \cdot H'$ の関係
(k : 温度勾配の逆数, H' : 積雪深)
2本の破線は確率誤差の範囲を示す

第1表 $\log \Sigma R$ の確率誤差

温度勾配の上限	$\log \Sigma R$ の確率誤差	$\Sigma R=1,000 \text{ kg}$ のときの誤差範囲
0.2 °C/cm	0.142	721~1,387
0.3	0.138	728~1,374
0.35	0.137	729~1,370
0.4	0.139	726~1,377
	0.151*	706~1,416*

$\log \Sigma R = a + b \log k \cdot H'$ で計算 (ΣR ; 積算ラム硬度, k ; 温度勾配の逆数, H' ; 積雪深)

* $\log \Sigma R = a + b \log H'$ で計算した値

誤差も示してある。表から温度勾配の上限は 0.35 が最も精度の良いことがわかる。第1図は温度勾配の上限を 0.35 としたときの ΣR と kH' の関係を示したもので、両者の回帰線は実線で示されており、

$$\log \Sigma R = -0.47 + 1.21 \log kH',$$

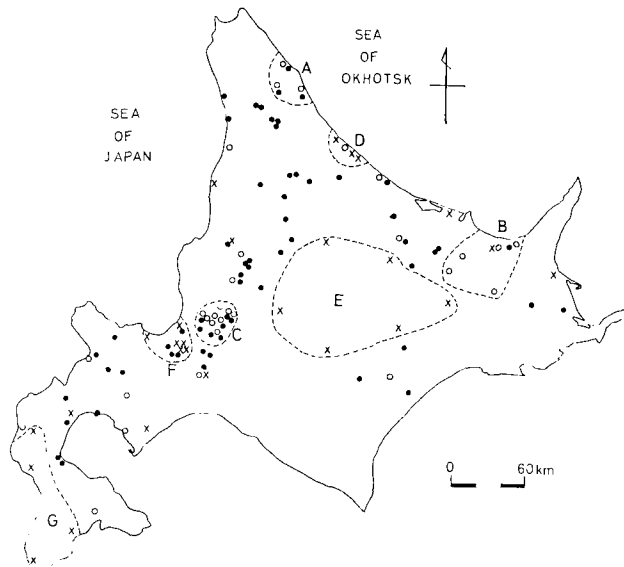
又は

$$\Sigma R = 0.339(kH')^{1.21}, \quad (3)$$

となる。(相関係数 0.941)。

図で確率誤差の範囲を 2 本の破線で示してあるが、4 冬期間で得られた延 122 地点の測定値の半数が、この 2 本の破線内に分布している (●印)。又 ΣR が確率誤差より大きなものを ○印で、小さなものを ×印で示してある。

第2図には第1図に示した 122 の調査地の位置を同じ記号を用いて示してある。即ち●印



第2図 積算ラム硬度の計算結果

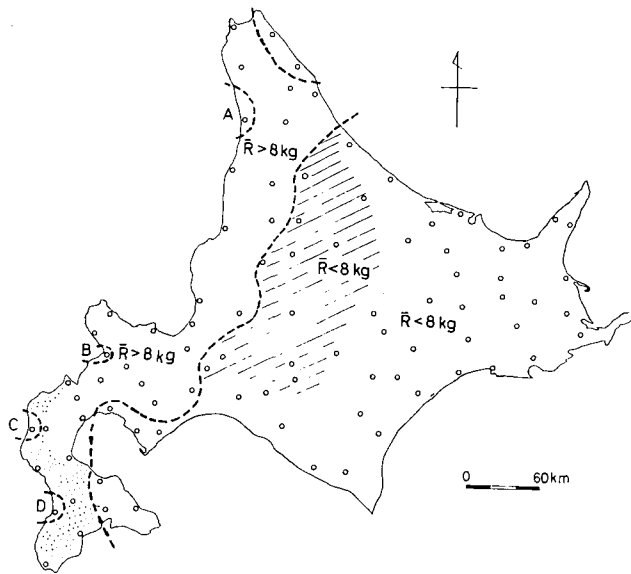
●印; 確率誤差の範囲内のもの, ○印; 確率誤差の範囲より大きくなったもの
×印; 小さくなったもの (第1図参照)

の地点では ΣR の実測値と (3) 式の計算で求めた値とがほぼ等しく (確率誤差の範囲内), \circ 印は実測値の方が大きく, \times 印は実測値が小さなものである。図では比較的 \circ 印の多い地域と \times 印の集中している地域に分かれているので, それらの地域を破線で囲んである。破線で囲まれた地域では, (3) 式で用いた気温と積雪深以外の気象要素で, ラム硬度が大きくなり, 小さくなった地域で風速や日射などの気象要素が関与していると考えられる。ラム硬度が確率誤差の範囲より大きな地域は浜頓別 (A), 斜里 (B), 美唄・岩見沢 (C) の地域で地吹きの多い地方である。反対にラム硬度の小さな地域は雄武 (D), 大雪山周辺 (E), 札幌 (F), 道南の日本海岸 (G) であるが, どのような気象要素がラム硬度を小さくしたかは明らかでない。

IV. 北海道内の積雪特性の推定

III 章では過去 4 冬期に得られた道内のラム硬度の値を気象データから求めることを検討した。その結果, 平均気温と積雪深のデータがあれば, 厳冬期の乾いた雪のラム硬度の予測が可能であることがわかった。また前回までの調査で, しもぞらめ雪の多く発達した積雪の平均ラム硬度 \bar{R} (積算ラム硬度/積雪深) は 8 kg 以下であることを見出している。したがって気象データのみから, 北海道のしもぞらめ雪の分布を知ることができる。過去の積雪調査では一冬に北海道全域をカバーしたことがなく, 毎年限られた範囲内でのしもぞらめ雪の分布しか判っていない。そこで 1979~80 年冬期について, 気象データから北海道全域のラム硬度を推定した。

北海道内の気象観測所の中から, 均等に分布するように 94 の観測所を選び, その 2 月末日のラム硬度を計算で求めた。即ち, 1 月, 2 月の日平均気温と日積雪深から求めた温度勾配 (上限は $0.35^{\circ}\text{C}/\text{cm}$) と 2 月末日の積雪深 (H) を (3) 式に代入すると積算ラム硬度 (ΣR) が, 又

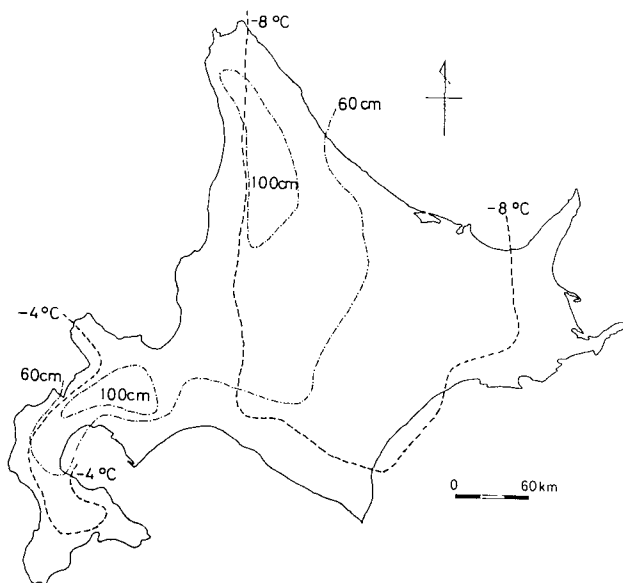


第 3 図 計算で求めた北海道全域のラム硬度の分布
 $\bar{R} < 8 \text{ kg}$ はしもぞらめ雪, $\bar{R} > 8 \text{ kg}$ はしまり雪の地域

$\Sigma R/H$ で平均ラム硬度 \bar{R} が求まる。

第3図の○印はラム硬度を計算した観測地点を示し、破線は平均ラム硬度が8kgの境界である。図によると、日本海岸に沿った地帯では平均ラム硬度 (\bar{R}) が8kg以上でしまり雪地域が多く、それ以外はしもざらめ雪(こしもざらめ雪を含む)の地帯となっている。又A, B, C, Dで示した地域は日本海岸でも局地的に $\bar{R} < 8\text{kg}$ となった地域である。

第4図には1月、2月の平均気温と平均積雪深を示したもので、この図と第3図を比較するとラム硬度と気象条件の間に次のような関係のあることがわかる。



第4図 1980年1,2月の平均気温と平均積雪深

1. $\bar{R} < 8\text{kg}$ の地域では、1,2月の平均積雪深が60cm以下である。ただし北海道南部の渡島半島(第3図の点を打った地域)では60cm以下でも \bar{R} は8kg以上である。

2. 平均積雪深が60cm以上でも平均気温が -8°C 以下の地域は $\bar{R} < 8\text{kg}$ である(第3図の斜線をほどこした部分)。

V. ま と め

過去4冬期にわたる北海道内の積雪調査から、積雪の特性をあらわす指標としてラム硬度が有効であることが判った。このラム硬度の値を気温と積雪深のデータから求める実験式を導くことが出来た((3)式と第1図)。ラム硬度の実測値がこの実験式の確率誤差の範囲より大きなところと、小さなところが特定の地域に集中している。これは雪の硬度には、気温や積雪深以外の気象要素も関与しているためと考えられる(第2図)。更にこの実験式を用いて1980年2月末日の北海道全域のラム硬度の分布を計算すると、おおむね日本海岸に面した地域は平均ラム硬度が8kg以上となり、厳冬期にはしまり雪であり、その他の地域はしもざらめ雪(こしもざらめ雪も含む)の発達する地域であることが判った(第3図)。

終りにこの調査に御協力いただいた雪害科学部門の方々、データ整理の助言と論文を校閲していただいた藤岡敏夫教授に深く感謝いたします。なおこの研究に要した費用の一部は、文部省雪崩特別事業費、北海道科学研究費から支出された。

文 献

- 1) 遠藤八十一・他 1976 石狩・勇払平野における積雪の特性. 低温科学, 物理篇, **34**, 133-145.
- 2) 秋田谷英次・遠藤八十一 1977 石狩・空知地方の積雪調査. 低温科学, 物理篇, **35**, 105-115.
- 3) 遠藤八十一・秋田谷英次 1978 北海道西部の積雪調査. 低温科学, 物理篇, **36-37**, 資料集, 7-10.
- 4) 秋田谷英次・遠藤八十一 1979 北海道の平地積雪の特性 (1977~'79年冬期). 低温科学, 物理篇, **38**, 33-40.

Summary

Characteristics of a snow cover were investigated during four winter seasons from the winter of 1976-1977, with a conclusion that Ram hardness was easily observed and one of the most useful indexes which represented properties of snow. The hardness was also calculated from the meteorological data at the nearest weather station.

Ram hardness is proportionate to snow depth and inversely proportionate to the magnitude of temperature gradient which develops fragile depth hoar in the snow cover. Figure 1 shows a relation between ΣR and kH' at 122 observation points during the past four winters, where ΣR is the observed total Ram hardness, k is the reciprocal of the temperature gradient calculated from the meteorological data at the nearest weather station from the observation site of the snow cover and H' is the snow depth at the site. Two broken lines in the figure represent the range of the probable error of the empirical equation as shown in equation (3).

Figure 2 illustrates the observation site of a snow cover with symbols which were divided into three types according to the magnitude of the difference between observed and calculated values as shown in Fig. 1.

Figure 3 shows the mean Ram hardness, \bar{R} , at 94 weather stations in the end of February, 1980, calculated from the meteorological data, using equation (3). A broken line shows the boundary of 8 kg in \bar{R} . It was reported in the previous paper (Akitaya, 1979) that \bar{R} of a snow cover growing depth hoar was smaller than 8 kg and that of fine grained compact snow was larger than 8 kg.

The mean air temperature and snow depth during January and February are shown in Fig. 4. It was concluded from Figs. 3 and 4 as follows:

1. Fine grained compact snow ($\bar{R} > 8$ kg) was distributed in the district facing on the Sea of Japan where the northwesterly wind prevails in winter.
2. The value of \bar{R} is smaller than 8 kg in the district where the snow depth is smaller than 60 cm.
3. The value of \bar{R} is also smaller than 8 kg in the district where the snow depth is between 60~80 cm and the mean air temperature is lower than -8°C .