HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	温度による積雪の硬度変化
Author(s)	対馬, 勝年
Citation	低温科學. 物理篇, 29, 51-55
Issue Date	1972-03-30
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/18169
Type	departmental bulletin paper
File Information	29_p51-55.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

Katutosi TUSIMA 1971 Hardness of Snow as Dependent on Its Temperature. *Low Temperature Science, Ser. A, 29.* (With English Summary p. 54)

温度による積雪の硬度変化*

対馬勝年
(低温科学研究所)

(昭和46年8月受理)

I. まえがき

硬度は積雪の性質を表わす基本的な量のひとつである。それ故，積雪の硬度の測定は広く野外で行なわれる。積雪の硬度は積雪の密度，温度及び雪粒同志の結合状態すなわち組織によって異なるであろう。同一温度でのしまり雪の木下式硬度 H と密度 G との関係については，木下[1] がそれまでの観測資料を整理して，$H \propto G^4$ の関係式を導いた。しかし，硬度と温度との関係はまだ充分に研究されていない。

氷の硬度は温度の低下とともに増大する[3,4]。氷の粒で構成されている積雪の硬度も氷の硬度と同じ傾向にあるに違いない。従って，組織や密度が異なる雪の硬度を比較するには，同一温度における硬度の値をもってする必要がある。異なる温度で測定された異なる雪の硬度を同一温度での硬度に換算するには温度と硬度との関係が知られていればよい。

以下は，低温科学研究所の低温実験室に保存されている積雪の試料を使って，木下式硬度[1,2] と温度との依存関係を調べた結果である。

II. 試料及び測定

試料として用いたのは札幌から 40 km ほど離れた中山峠の積雪から過去 2，3 年にわたって採取された 30×45×25 cm の四角な雪塊である。1969 年 3 月から 1971 年 3 月までに採取された雪塊で，採取者の目的により，−10°C から −30°C にわたる色々な温度の低温実験室に思い思いに保存されていた。保存条件・保存期間がまちまちなため，保存中に生じた変態は雪塊ごとにちがっていた。しかし，いずれもしもざらめ化したしまり雪であったといえる。密度は 0.33 から 0.47 g/cm^3 の範囲にわたり，粒径は 0.5 mm 以下であった。1971 年以前採取の古い雪塊は内部にくらべ，表面付近のしもざらめ化が著しく，組織が不均一であった。このため同じ温度で硬度を測定しても，雪塊表面上の場所により，測定値がひどくばらついた。

測定は，0°C から −30°C までの間で温度が自由に制御できる低温実験室で行なった。低温実験室の温度を −30°C に 24 時間保ったあと，冷却機の運転をとめると，低温実験室の温度はゆっくり昇りはじめ，2 昼夜で 0°C ちかくになる。低温実験室のなかに置いた試料の雪塊の温度もそれにつれて上昇することは言うまでもない。それで，この 2 昼夜のあいだのいろいろな時点で雪塊の硬度を測定すれば，温度と硬度との関係を知ることができる。2 昼夜ではしま

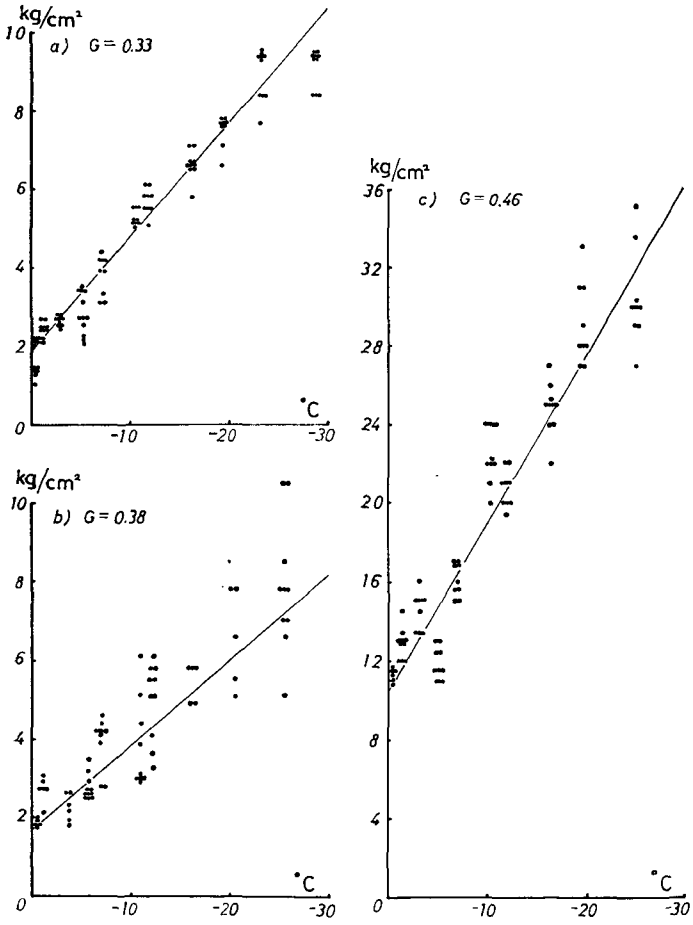
* 北海道大学低温科学研究所業績 第 1138 号

り雪の組織は殆んど変わらない。それ故，こうして得られた温度と硬度との関係は，同一組織の雪についてのものであると言える。

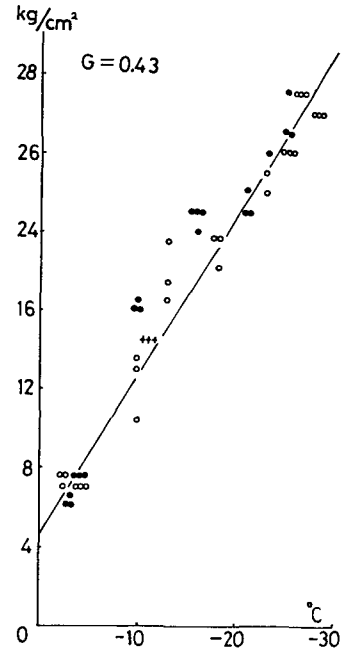
測定には木下式硬度計[1,2]を用いた。試料の雪塊の硬度が大きかったため付属の円板を使う必要がなく，1回の硬度測定で破壊される雪塊の表面は5 cm²にすぎなかった。雪塊の全表面積は1100 cm²もあるから，同一の雪塊について，温度をかえながら100回以上の測定を行なうことができたわけです。

III. 結　　果

測定結果の一部を第1図のa, b, cに示した。縦軸が硬度，横軸が温度である。黒丸で示した測定点はかなりのばらつきを示している。このばらつきは主として，先に述べたような，保存中に生じた試料の組織の不均一によるものと思われる。a, b, cいずれの図でも，硬度の測定点は温度の低下とともに上昇する直線の上下に帯状をなして分布している。それで，この直線で硬度と温度との関係を代表することができる。この直線関係は融解点に近い −0.5°C までも成立する。全部で10個の試料について硬度と温度との関係



第1図 温度による積雪の硬度変化（昇温過程）。縦軸；硬度，横軸；雪温。黒丸が測定値。密度 (g/cm³)；a) 0.33, b) 0.38, c) 0.46



第2図 降温及び昇温過程に於ける硬度の測定結果。試料密度 0.43 g/cm³。＋印は実験開始前の，○印は降温過程での，●印は昇温過程での測定値である

第1表　硬度測定結果の要約

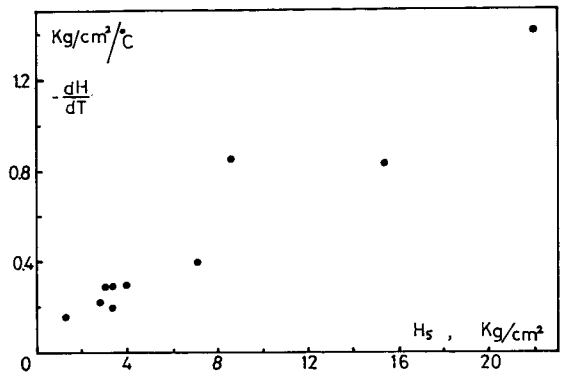
試料番号	密度 (g/cm³)	硬度 (kg/cm²) 0°C	−5°C	−30°C	硬度増大率 ([kg/cm²]/°C)	試料採取年月	備考
1	0.33	1.9	3.4	10.6	0.29	1971. 3	第1図a
2	0.33	1.7	3.3	10.4	0.29	1971. 3	
3	0.35	2.5	4.0	11.4	0.30	1971. 3	
4	0.38	1.7	2.8	8.2	0.22	1971. 3	第1図b
5	0.43	5.0	7.1	17.1	0.40	1970. 3	
6	0.46	11.2	15.4	36.0	0.83	1970. 3	第1図c
7	0.47	15.0	22.0	57.3	1.41	1969. 3	
8	0.33	0.5	1.3	4.4	0.16	1971. 3	
9	0.39	2.4	3.4	8.4	0.20	1971. 3	第2図
10	0.43	4.6	8.6	29.0	0.86	1971. 3	

を求めた。この関係を要約したのが第1表である。表の左端の第2列は試料の密度である。第3, 4, 5列は0°C, −5°C, −30°C での硬度の値で，このうち0°C での値は外挿値である。温度による硬度の変化は非常に大きく，0°C と −5°C とでは硬度が2倍近くも異なる。1°C の温度低下に対する硬度の増分を硬度増大率と名づけ，その値を第6列に示した。試料の雪塊が古いほど，つまり第7列の試料採取年月が古いほど，硬度も大きく硬度増大率も大きい。古い試料ほど保存期間中に大きな変態を起したためと思われる。

これまでは昇温過程における硬度の変化を述べてきたが，硬度の温度による変化には履歴性があるかも知れない。履歴性の有無を確かめるため，次のような実験を行なった。試料を入れた低温実験室の温度を −2°C にし，2日間で除々に −30°C まで冷しながら降温過程の硬度測定を行なった。そのあとは前と同じように低温実験室の冷却機の運転をとめ昇温過程での硬度測定を行なった。第2図がこの測定結果である。白丸印が降温過程での測定値，黒丸が印昇温過程での測定値を表わす。＋字印は，実験開始前，つまり低温実験室の温度を −2°C にあげるまえの測定値である。白丸印と黒丸印との分布はいりまじっていて，降温過程での硬度の値と昇温過程での硬度との値には区別がつかない。つまり，ある温度での硬度の値は，その温度だけできまり，以前に温度が高かったのか低かったのかによらず，履歴性はないことになる。別の2個の試料についても同様な測定をおこない同様な結果をえた。第1表の一番下の3行は，降温昇温実験に供した8, 9, 10番の試料でえた値である。

IV. 論　　議

以上のように，積雪の木下式硬度は0°C と −5°C というわずか5°C の温度差で2倍も違うほど，温度に強く依存する。従って，あるひとつの積雪の硬度を議論するに当っては温度の基準を指定する必要がある。基準温度には0°C をとるのが自然のように思われる。しかし，0°C の積雪は水を含んで湿ることができ，湿りの度合により硬度の変わることが予想される。従って0°C を硬度の基準温度にとると，湿りの度合を定めなければならないという面倒が生ずる。それで著者は，さしあたり，−5°C を硬度を議論するときの基準温度にとることにした。北海



第3図 −5°C での硬度 H_5 と硬度増大率 $-\mathrm{d}H/\mathrm{d}T$ との関係。横軸が H_5，縦軸が $-H\mathrm{d}/\mathrm{d}T$

道の冬の積雪は，多くの場合，−5°C 付近の温度にある。第1表にある−5°C での硬度 H_5 と硬度の増大率 $-\mathrm{d}H/\mathrm{d}T$ とを図に表わしたのが第3図である。H_5 が大きいほど，$-\mathrm{d}H/\mathrm{d}T$ が大きいという傾向にある。つまり硬い積雪ほど温度降下とともに硬くなりやすい。

以上は，低温実験室内に長期保存されて多少しもざらめ雪に転化したしまり雪の温度と木下式硬度との関係を調べた結果である。野外に自然のままにおかれたいろいろな種類の積雪についても同様に調査をする必要がある。また人為的に固めた雪の温度と硬度との関係を知っておくことも，実用上たいせつである。

V. ま と め

多少しもざらめ雪に転化したしまり雪の木下式硬度の温度依存関係を調べた。硬度は温度の上昇とともに直線的に減少する。硬度の変化は −5°C と 0°C とで硬度が2倍も異なるほど著しい。いろいろな積雪の硬度を比較する場合には，ある基準の温度での値に，温度と硬度との関係を使って換算する必要がある。基準温度として −5°C を選んだ。

低温科学研究所の吉田順五教授には論文の推敲にあたって多大の御指導をいただいた。ここに厚く感謝の意を表します。

文 献

1) 木下誠一 1960 積雪の硬度 I. 低温科学，物理篇，**19**, 119–134.
2) 清水 弘 1967 積雪観測法. 北海道大学低温科学研究所，24 pp.
3) Butkovich, T. R. 1954 Hardness of Single Ice Crystals. *SIPRE Res. Rept.*, **9**, 13 pp.
4) 北原武道・河村俊行・小林禎作 1970 氷の硬度の測定 II. 低温科学，物理篇，**28**, 81–95.

Summary

It is well known that snow becomes harder as its temperature lowers, but no experimental study has been made on the quantitative relations which must exist between its hardness and temperature. The author measured the hardness by Kinosita's hardness meter on one and the same sample of snow at various temperatures ranging from 0 to −30°C. The samples used were blocks (30×45×20 cm in dimension) of compact snow which had been kept at −10 to −30°C in the cold rooms of this Institute for one or two years. They were of the grain size smaller than 0.5 mm and their density ranged from 0.33 to 0.47 g/cm³.

Some of the results are shown in the three figures a, b and c of Fig. 1 in the text. In these figures the abscissa and the ordinate give respectively temperature and Kinosita's hardness. Although the dots representing the measured values are scattered to some extent, all of them lie near straight lines as shown in Fig. 1. Therefore, if hardness is denoted by R and temperature measured downward from 0°C is denoted by T, hardness R can be related to T by the equation:

$$R = p + qT .$$

Values of p and q depend upon the density and the other properties of snow as shown in Table 1 of the text. In this Table the values of density, the values of p and q are given in the second, third and sixth columns respectively. In Fig. 3, q, the increasing rate of hardness with temperature, is plotted against the hardness at −5°C. This shows that the harder snow is, the greater value the rate q has.

Two possibilities must be examined: hardness of snow may or may not show a hysteresis. Should it show, it would not have the same value at a certain temperature according to whether the temperature of snow reached that temperature from higher or lower sides. In order to make this point clear, the author measured the hardness of a snow sample by lowering and raising temperatures. The results are shown in Fig. 2. Here the open and dark circles give respectively the hardness in the processes of decreasing and increasing temperature. The open and dark circles are fairly mixed in their positions. This shows that no hysteresis is inherent to the hardness.

As seen from Fig. 1, the hardness of snow grows rapidly as its temperature is lowered; with all the snow samples investigated the value of hardness increased twice as large when the temperature was decreased from the melting point only by a small amount of 5°C. Therefore comparison of hardness of different snows should be done at a definite temperature chosen as the standard. The author recommends −5°C as the standard temperature rather than 0°C, because at 0°C snow can be wet and any change in the degree of wetness causes its hardness to vary.