



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	温度による積雪の硬度変化 II : -5℃から-5.5℃での硬度の測定
Author(s)	対馬, 勝年; TUSIMA, Katutosi
Citation	低温科学. 物理篇, 30, 47-52
Issue Date	1973-03-05
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/18197
Type	departmental bulletin paper
File Information	30_p47-52.pdf



温度による積雪の硬度変化 II*

— -5°C から -55°C での硬度の測定 —

対馬 勝年

(低温科学研究所)

(昭和47年10月受理)

I. 序 論

著者は前報告¹⁾(1971)(報告Iと呼ぶことにする)で、積雪の硬度が、 -0.5°C から -30°C までの温度範囲では、温度の低下とともに直線的に増加すること、及び温度に対し硬度に履歴性がないことを示した。ところで、最近、油川²⁾(1971)は積雪の低周波振動からヤング率を求め、ヤング率が -40°C 付近を境に、これより高い温度では著しい温度依存を示すのに、 -40°C 以下では温度依存がなくなりヤング率が一定になると報告した。

一般にブリネル硬度とヤング率の間には密接な関係のあることが知られている。ここで用いた木下式硬度計^{3),4)}はブリネル硬度計と方式に違いがあるにしても、同じように木下式硬度はヤング率と深い関係をもつことが予想される。

従って、報告Iで報告できなかった -30°C 以下、特に -40°C 近辺で、温度による硬度の変化の様式が変わることが予想される。常識的に考えても、硬度が温度低下とともに無制限に増大することは考え難い。そういうわけで、今回は温度範囲を -55°C まで広げて硬度の測定を試みた。

II. 試料及び測定方法

試料には3種の積雪を用いた。一つは報告Iの測定で用いたのと同じ中山峠の積雪から今年の3月に採取した $30 \times 45 \times 30 \text{ cm}^3$ の四角な雪塊である。試料には、密度が 0.2 ないし 0.4 g/cm^3 、粒径が 0.5 mm 以下の均質なしまり雪を選んで用いた。第2の試料は人工的に作った雪の試料である。この試料は、低温実験室に保存されていた自然積雪をくずして、目の荒さ 0.8 mm の篩にかけ、できるだけ均一に堆積させた雪を、 -5°C に1週間焼鈍させたのち用いた。このようにして作った雪は、低温実験室に保存されていた積雪にくらべると、構造、組織がかなり均一なものになった。報告Iでは密度が 0.33 g/cm^3 以下の雪、及び新雪についての測定を行なわなかった。それで第3の試料として、当研究所の裏庭から採取した密度が 0.2 g/cm^3 以下の新雪についても測定を行なった。

以上3種の試料を用い、 -5°C から -55°C までの温度範囲で硬度の測定を行なった。温度精度は $\pm 1^{\circ}\text{C}$ であった。

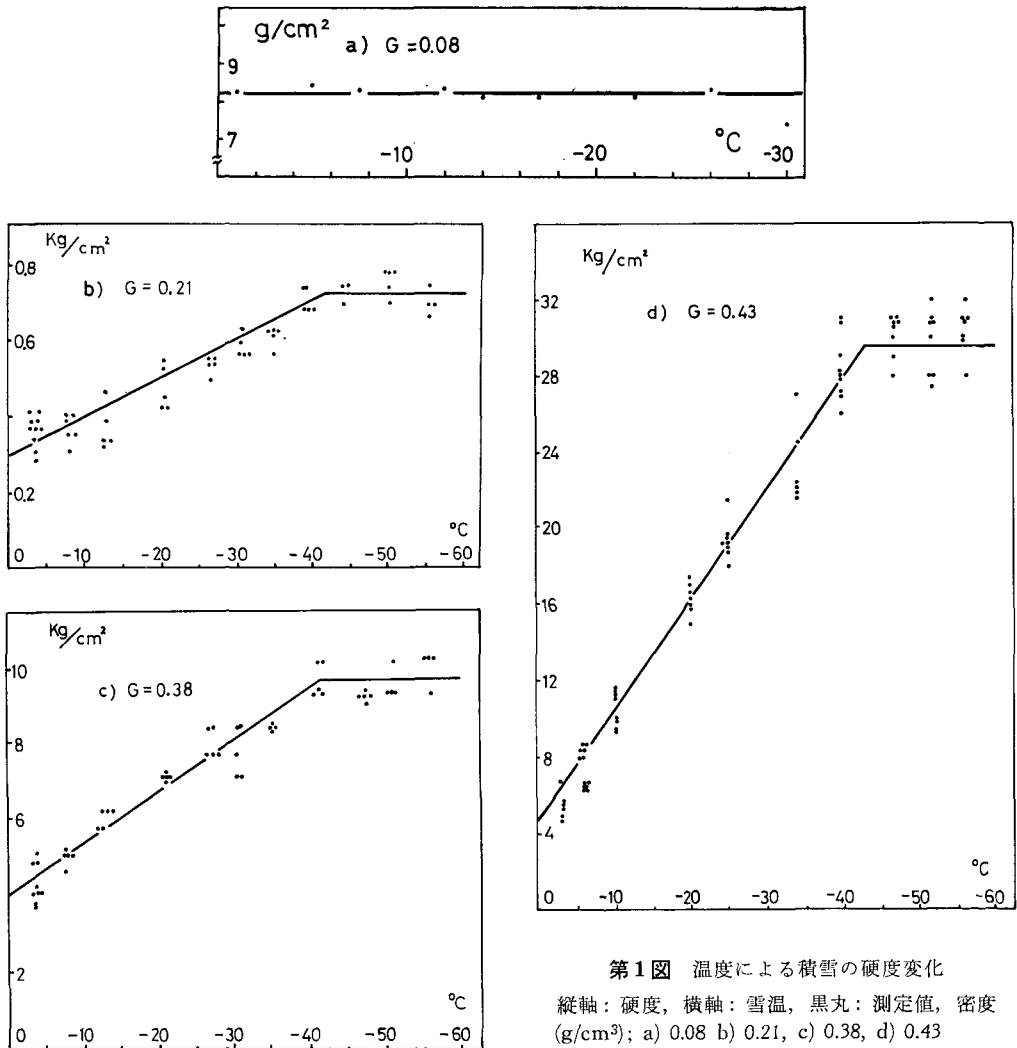
* 北海道大学低温科学研究所業績 第1227号

硬度は主に木下式硬度計^{3),4)}を用いて測定した。ある温度で、ある試料について硬度を測定すると、一般に測定値がばらつく。そこで、通常5回測定を行ない、得られた値の平均値をその温度における硬度とした。硬度が 1 kg/cm^2 以下の積雪には、実験の便宜上、木下式硬度計を小型化した小硬度計を用いた。同一の雪について、小硬度計と木下式硬度計を用いて硬度を比較測定したところ、両者で得られた硬度に大きな違いはなかった。

硬度が 0.1 kg/cm^2 以下の新雪には、通常の木下式硬度計と付属の直径 20 cm の大円板を用いた。このばあい、破壊面積が大きいため各温度で1回ずつしか測定しなかった。

III. 測定結果

測定で得られた代表的な結果を、第1図及び第1表にまとめた。第1図のa, b, c, dは、それぞれ、新雪、こしまりゆき、しまりゆき、及び人工堆雪の例で、縦軸が硬度、横軸が温度、



第1図 温度による積雪の硬度変化

縦軸：硬度，横軸：雪温，黒丸：測定値，密度
(g/cm^3)； a) 0.08 b) 0.21, c) 0.38, d) 0.43

黒丸が測定値である。測定値は、各温度でかなりばらついてはいるが、図の実線にはほのぼのしていると思なせる。

図 a の新雪では、硬度は、 -5°C から -30°C の範囲で、温度に無関係で、一定の値であった。しかし、こしまりゆき (図 b), しまりゆき (図 c), 人工堆雪では、いずれのばあいも、硬度は、 -5°C から -40°C まで温度の低下と共に直線的に増大し、 -40°C 以下の温度ではほぼ一定値になった。

密度が 0.2 g/cm^3 以上のしまりゆき、人工堆雪について行なった他の多数のばあいにも、上と全く同様の温度依存性が認められた。ただし、密度が 0.1 g/cm^3 以下の新雪の硬度は、第 1 図 a に示したように温度に無関係に一定であった。密度が $0.1\sim 0.2\text{ g/cm}^3$ の新雪では、 -30°C まで、温度の低下に伴い、硬度がやや増加する傾向が認められたが、測定値にばらつきが多くて決定的なことはまだ言えない。

第 1 表 硬度測定結果の要約

試料番号	密度 (g/cm^3)	硬 度 (kg/cm^3)			硬度増大率 ($[\text{kg/cm}]/^{\circ}\text{C}$)	備 考
		-5°C	-40°C	-55°C		
1	0.21	0.30	0.69	0.69	0.011	第 1 図 b
2	0.23	0.16	0.45	0.47	0.008	
3	0.23	0.19	0.44	0.48	0.007	
4	0.23	0.31	0.67	0.71	0.010	
5	0.28	1.3	3.4	3.4	0.03	第 1 図 c
6	0.38	4.7	9.3	9.3	0.13	
7	0.43	7.4	28.0	29.5	0.59	第 1 図 d
8	0.08	-5°C	-30°C	/	0.000	第 1 図 a
9	0.15	0.008	0.008		0.002	
10	0.20	0.13	0.18		0.002	

第 1 表の試料番号 1~6 番はこしまりゆき、及びしまりゆき、8~10 番は新雪、7 番は人工的に堆積させた雪である。第 2 列目に密度、3, 4, 5 列目に、それぞれ -5°C 、 -40°C 、 -55°C の硬度の値を示した。こしまり、しまりゆき及び人工堆積では、硬度が -40°C で -5°C の値の 2 倍以上となった。第 6 列目には、 -5°C から -40°C までの、温度低下に伴う硬度増大率を示した。 -40°C と -55°C とでは硬度の値に殆んど差がない。8~10 番の新雪では、第 3, 4 列目に -5°C 、 -30°C での硬度の値を示した。第 6 列目には -5°C から -30°C までの硬度増大率を示した。硬度増大率については議論の項でふれる。

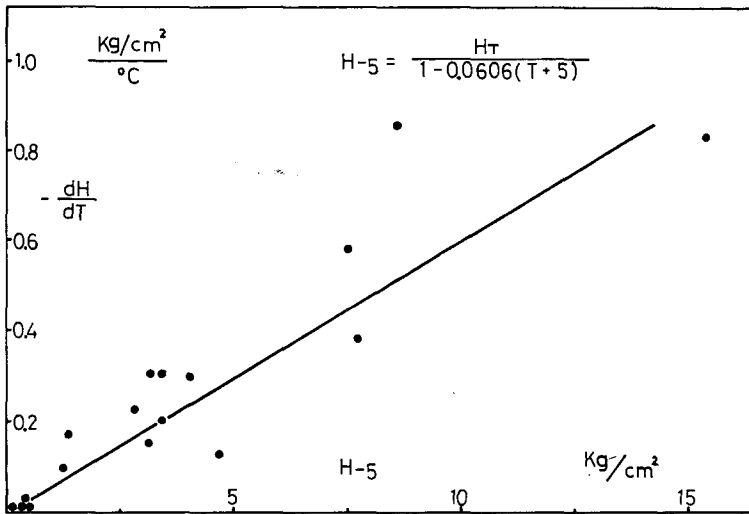
IV. 議 論

以上の測定結果から、積雪の木下式硬度は 0°C から -40°C までは温度の減少とともに、ほぼ直線的に増加するが、 -40°C 以下では温度が低下しても、硬度は殆んど増大しないことが

わかった。この温度による硬度の変化様式は、低周波振動から求めた温度による積雪のヤング率の挙動とも符合するものである。

報告 I では、 -5°C という温度を硬度の基準温度として提案した。しかし、硬度が平地積雪のものに較べかなり大きく、また比較的古い雪であったため、温度に対する硬度の換算式を導くことはしなかった。

今回、低密度の雪及び比較的若い積雪についてのデータを得ることができたので、換算式の導出を試みた。



第2図 -5°C の硬度 H_{-5} と硬度増大率 $-dH/dT$ との関係
縦軸； $-dH/dT$ ，横軸； H_{-5}

第2図は -5°C の硬度 H_{-5} と硬度の温度増大率 ($-dH/dT$) との関係を示したものである。各々の黒丸印は各試料から得られた H_{-5} と $-dH/dT$ の関係で、同図の右上がりの直線の上下に帯状に分布している。それで、この直線で -5°C の硬度と硬度の温度増大率との関係を代表させてさしつかえなからう。この直線関係は 0°C から -40°C にわたって成立する。この直線関係は次式のように表わせる。

$$-dH/dT = 0.0606H_{-5}$$

上式の両辺に dT をかけ、 H_{-5} から H_T まで積分し、 H_{-5} を求めると、

$$H_{-5} = \frac{H_T}{1 - 0.0606(T + 5)}$$

となる。

この式を用いると、任意の温度 (T) で測定された硬度 H_T を -5°C の硬度 H_{-5} に換算することができる。

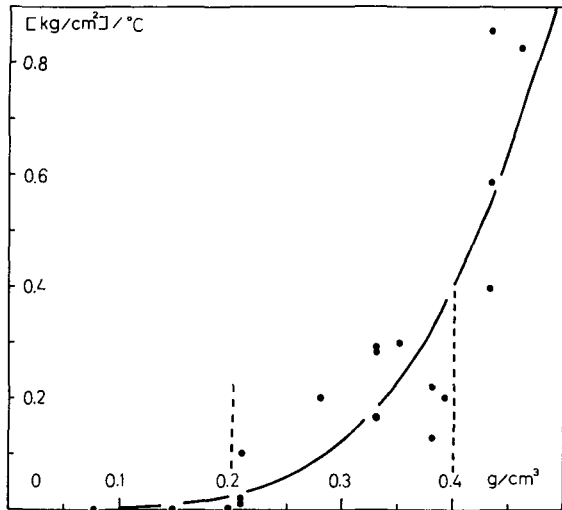
次に、雪の密度と硬度増大率との関係を表わしたのが第3図である。縦軸が硬度増大率、横軸が密度である。密度が 0.2 g/cm^3 以下では、硬度増大率が殆んど0に近く、温度依存はあまり認められない。密度が $0.2 \text{ (g/cm}^3)$ から 0.4 にかけては密度の増加と共に、硬度増大率も大

きくなり、密度が0.4を超えると、急に大きな値をとるようになっている。一般に、雪の木下式硬度は密度の4乗に比例することが知られている³⁾。それで、図には実線で $H \propto \rho^4$ (ρ : 密度) の曲線を示した。黒丸はほぼこの関係を満していることがわかる。

同一密度でもいろいろの硬度増大率を示すのは、積雪の組織構造の違いによるものと思われる。

V. ま と め

報告Iで未測定となっていた、新雪及び若い雪について硬度の温度変化を測定し、また人工的に堆積させた雪についても同様の測定を行なった。温度範囲を報告Iの0°Cから-30°Cを



第3図 密度と硬度増大率との関係。縦軸；硬度増大率，横軸；密度，実線； $H \propto \rho^4$ (ρ ；密度) の曲線

-55°Cまで広げて測定したところ、硬度は-40°Cまでは報告I同様直線的に増加するが、-40°C以下では硬度の増大がみられなくなり、硬度が一定値になることがわかった。

報告Iで提案した基準温度(-5°C)と任意の温度(T)で測定された硬度(H_T)との間の換算式を導き、

$$H_{-5} = \frac{H_T}{1 - 0.0606(T + 5)}$$

となることを示した。

最後に、密度0.2(g/cm³), 0.4を境に、0.2以下では硬度増大率は小さく、殆んど密度依存はないが、0.2~0.4では密度の増加とともに硬度増大率も増し、0.4以上では硬度増大率が急に大きな値を示すことを述べた。

低温科学研究所の若浜五郎教授には論文の推敲にあたって多大の御指導を受けた。ここに厚く感謝の意を表します。

文 献

- 1) 対馬勝年 1971 温度による積雪の硬度変化. 低温科学, 物理篇, **29**, 51-55.
- 2) 油川英明・吉田順五 1971 二重振子による積雪の低周波ヤング率の測定. 低温科学, 物理篇, **29**, 37-49.
- 3) 木下誠一 1960 積雪の硬度 I. 低温科学, 物理篇, **19**, 119-134.
- 4) 清水 弘 1967 積雪観測法. 北海道大学低温科学研究所, 24 pp.

Summary

The present author reported in his previous paper¹⁾ that the hardness of snow measured by Kinosita's hardness gauge linearly increased when the temperature of

snow was lowered from -0.5°C down to -30°C , and no hysteresis was inherent to the hardness.

In order to study the hardness of snow in a lower temperature range, measurements were carried out in a cold laboratory at different temperatures down to -55°C . Four kinds of snow were prepared for the study: they were (1) fresh snow of density less than 0.2 g/cm^3 , (2) very fine grained snow of density ranging from 0.2 to 0.3 g/cm^3 , (3) fine grained old snow of density more than 0.3 g/cm^3 , and (4) artificially prepared snow by crushing and re-depositing.

The results of the measurements are tabulated in Table-1, some of which are diagrammatically drawn in the four figures a, b, c and d of Fig. 1 in the text. In these figures the abscissa and the ordinate give respectively temperature and Kinoshita's hardness, and the decimale such as 0.21 or 0.43 attached to each curve are densities of snow in the unit of g/cm^3 . As seen in three figures b, c and d, the hardness of snow of density more than 0.2 g/cm^3 linearly increases with decreasing temperature from -5°C to -40°C , and it is kept constant at temperatures from -40°C down to -55°C . The fresh snow of density less than 0.2 g/cm^3 did not follow this as shown in Fig. 1-a, in which the hardness is constant throughout the temperature range from -1°C to -30°C .

Recently, Aburakawa²⁾ found that the low frequency Young's Modulus of snow measured by the "Double Pendulum Method" linearly increased with the decreasing of temperature until it reached around -40°C , and was kept at a constant value from -40°C down to -60°C . Young's Modulus of snow may closely be correlated with the hardness of snow so that the hardness may be expected to have a similar temperature dependence to that obtained in Young's Modulus. The results obtained in the present study show just the same temperature dependence as was exactly expected.

It was suggested by the present author in his previous paper that the hardness of snow should be normalized to a specified temperature for the sake of comparison of hardness of snow measured in different temperatures. -5°C was proposed as the standard temperature. In Fig. 2, the increasing rate of hardness of snow with decreasing temperature, $-dH/dT$, is plotted against the hardness H_5 at the standard temperature -5°C . This shows that the harder the snow is, the greater value the rate has. The linear relation between the rate and the hardness yields the formula for the hardness H_T of snow at a given temperature ranging from 0°C to -40°C :

$$H_T = \{1 - 0.0606(T+5)\} \cdot H_5.$$

Kinosita³⁾ found that the hardness H of snow increases in proportion to the fourth power of the snow density ρ . This implies that the increasing rate, $-dH/dT$, is also connected with the density of snow. Plotted in Fig. 3 are values of the rate, namely, $-\frac{dH}{dT}$, versus density ρ , in which the solid line derived from Kinosita's power law is shown. The increasing rate in hardness of snow whose density is less than 0.2 g/cm^3 is practically zero as seen from this figure. This means that the hardness of snow is almost independent on temperature of snow, which explains the fact that the hardness of fresh snow is independent on temperature as shown in Fig. 1-a.