

新庄における積雪の密度の雪質別出現頻度

阿部 修

防災科学技術研究所新庄雪氷防災研究支所

Frequency Distributions of Densities for Four Types of Snow in Shinjo

By

Osamu Abe

Shinjo Branch of Snow and Ice Studies, National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, No. 1400, Tokamachi, Shinjo-shi, Yamagata-ken, 996, Japan

Abstract

The frequency distributions of densities for four types of snow are statistically analyzed with snow pit data in Shinjo during fifteen winter seasons (1973/74-1987/88). The types of snow are new (N), partly settled (S_1), settled (S_2) and granular (G) snow. Their average densities are 0.092g/cm^3 (N), 0.161g/cm^3 (S_1), 0.307g/cm^3 (S_2) and 0.397g/cm^3 (G). The ranges of densities are also $0.03\text{-}0.22\text{g/cm}^3$ (N), $0.09\text{-}0.38\text{g/cm}^3$ (S_1), $0.13\text{-}0.52\text{g/cm}^3$ (S_2) and $0.17\text{-}0.64\text{g/cm}^3$ (G).

The average densities do not change widely every year for new snow and granular snow. For settled snow, however, the average density increases significantly in the winter of heavy snow and cold weather. Its range is, consequently, twice as large as those for new snow and granular snow.

Key words : Density of snow, Type of snow, Snow cover, Shinjo

キーワード : 積雪の密度, 雪質, 積雪, 新庄

1. はじめに

雪質が変わるときには、その密度も変化する。そのため、積雪の密度は、雪質ごとに異なった出現頻度分布を示すはずである。しかし、これまで積雪の密度の雪質別出現頻度に関する調査例は見あたらない。そこで、1973年12月から1988年4月までの15冬期における、新庄(標高127m, 東経140°19', 北緯38°47')での積雪の密度の雪質別出現頻度分布について、観測データに基づく調査を行った。このような調査がほかの地域でも行われて相互比較がなされれば、積雪の地域的な特徴がより定量的に明らかになると考えられる。

2. 方 法

(1) デ ー タ

防災科学技術研究所新庄雪氷防災研究支所構内で10日ごと(定期観測日:原則として毎月5日,15日,25日)に行われた積雪断面観測のデータを用いた(東浦ほか:1975,東浦ほか:1978,東浦ほか:1982,阿部ほか:1988)。これらのデータは全てパーソナルコンピュータのフロッピーディスクに格納され,任意に検索できるようになっている。データの入力形式を付表に示した(1981年1月14日の例)。ここで用いた密度データは,箱型スノーサンプラーによって切り出された 100cm^3 (厚さ3cm,幅6cm,奥行5.56cm)の積雪小ブロックについて測定されたものである。なお,本解析には濡れ密度(水を含んだ密度)を用いた。ただし,水がしみ込んでシャーベット状になった雪は除いた。

(2) 雪 質

対象とした雪質は,新雪,こしまり雪,しまり雪およびざらめ雪の4種とした。当地では,しもざらめ雪もまれにみられるが,出現回数が少ないので除外した。日本雪氷学会(1970)によれば,ここで用いたこしまり雪としまり雪は大分類のしまり雪をさらに2つに分けた小分類を指す。

(3) 検 索 方 法

単一の雪質で構成される積雪層に含まれる密度測定箇所のみを検索した。これを雪質別に,密度を $0.01\text{g}/\text{cm}^3$ ごとの階級に区分し,それぞれの出現頻度を数えた。当支所では,密度の測定箇所(地上高)は積雪の層構造に着目して選定している。そのため,ある程度の厚さがある(少なくともサンプラーの厚さである3cm以上の)積雪層には密度測定箇所が1ヶ所以上存在することが多い。観測上の制約から,厚さが3cm以上の積雪層でも密度測定箇所が存在しない場合や,雪質が異なる積雪層にまたがって密度を測定せざるを得ない場合もあったが,これらは除外した。また,同じ高さの積雪層の中に2種類以上の雪質が混在する場合も,密度測定値がどちらの雪質に相応するのかわからないので除外した。

3. 結 果

(1) 雪質別密度出現頻度

全期間における雪質別密度出現頻度を図1に示す。同図には,それぞれの平均密度とサンプル数も示してある。総サンプル数は1410個であった。この中で,こしまり雪のサンプル数

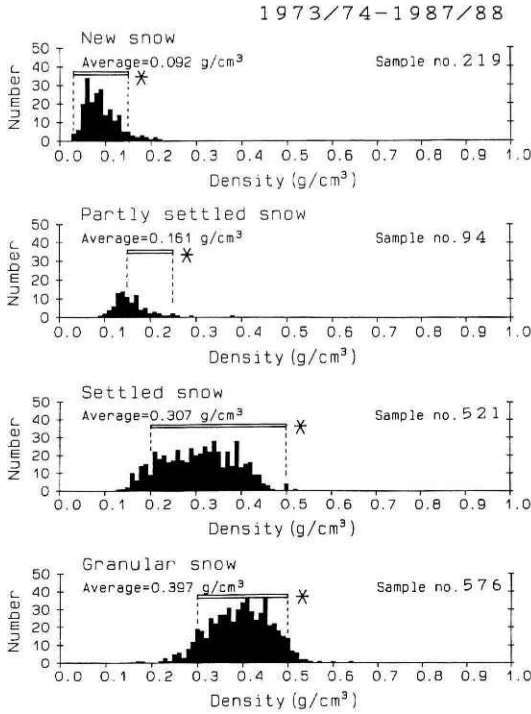


図1 雪質別密度出現頻度(1973/74年～1987/88年, 15冬期)。*印は日本雪氷学会(1970)によるおおよその範囲。

Fig. 1 Frequency distributions of densities for the four types of snow. *: General ranges by the Japanese Society of Snow and Ice (1970).

が94個と他の雪質と比べて少ないのは、こしまり雪が新雪からしまり雪への変態過程の途中の段階であることと、小分類のこしまり雪は大分類でいえばしまり雪に含まれるが、用いたデータの中には雪質を大分類でしか分類しなかったものがあるので、見かけ上こしまり雪の観測数が減少したことによる。しかし、図1におけるしまり雪はあくまでも小分類のしまり雪のことである。

図1によれば、密度はいずれの雪質においても広い範囲に分布しており、しかも、それぞれの雪質の重複範囲がかなり広く存在することが分かる。出現頻度分布の形は、新雪とこしまり雪以外は、ほぼ対称形をしている。なお、同図には、積雪の分類名称(日本雪氷学会, 1970)におけるおおよその密度範囲を横線(*印)で示した。表1に雪質別の出現密度範囲および平均密度を示す。平均密度は、積雪が新雪、こしまり雪、しまり雪およびざらめ雪へと変態が進行するにしたがって増加しており、新雪からこしまり雪およびこしまり雪からしまり雪への寒冷変態過程(若浜, 1978)ではそれぞれ1.75倍および1.91倍で増加した。また、温暖変態過程(若浜, 1978)でできたざらめ雪の平均密度は 0.397g/cm^3 であった。

(2) 雪質別密度出現頻度の経年変化

雪質別密度出現頻度の経年変化を図2に示す。この図は、各冬期における新雪、しまり雪(こしまり雪を含む)およびざらめ雪の最高、最低密度から求めた出現範囲とそれぞれの平均

表1 雪質別の密度サンプル数, 出現範囲および平均密度.
Table 1 Sample numbers, ranges and averages of densities for the four types of snow.

Type	Sample No.	Range (g/cm ³)	Average (g/cm ³)
N	219	0.03~0.22	0.092
S ₁	94	0.09~0.38	0.161
S ₂	521	0.13~0.52	0.307
G	576	0.17~0.64	0.397

N : New snow
 S₁ : Partly settled snow
 S₂ : Settled snow
 G : Granular snow

密度の経年変化を表したものである。これによれば、しまり雪の平均密度の変動幅が新雪およびざらめ雪の場合に比べて大きいことが分かる。表2にそれぞれの全期間平均値に対する標準偏差を示す。しまり雪の標準偏差は、新雪およびざらめ雪のものの2倍である。

(3) 雪質別層厚構成比

融解を伴わないときの積雪の密度は、粘性圧縮によって増大し、その積雪層にかかる荷重が大きいほど、またそれが長期にわたるほど大きくなる(小島, 1955, 1956)。特に、寒冷変態過程での、新雪からこしまり雪を経てしまり雪に変わるときの密度変化は、圧縮粘性理論によって良く説明できることが知られている。そこで、各雪質ごとの層厚の変化に関する調査を行った。積雪の密度が積雪層ごとに異なるため、層厚を直ちに荷重に変換することはできないが、それでも雪質ごとの層厚により、各冬の荷重の程度を比較することはできよう。

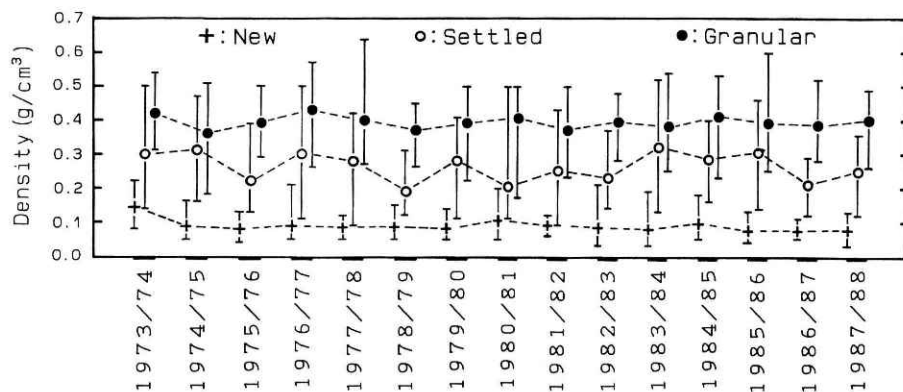


図2 雪質別密度の出現範囲および平均値の経年変化。(1973/74年~1987/88年, 15冬期)

Fig. 2 Time variations of the average densities for the three types of snow.

表 2 平均密度の全期間平均値に対する標準偏差。

Table 2 Averages and standard deviations (S. D.) of densities for the three types of snow during fifteen winter seasons.

Type	Average (g/cm ³)	S. D. (g/cm ³)
N	0.09	0.02
S	0.27	0.04
G	0.39	0.02

N : New snow

S : Settled snow (S₁ and S₂ in Table 1)

G : Granular snow

図 3 は、各観測日における雪質別の層厚積算値(雪質ごとの層厚を積算したもの)を求め、それらの積雪全層の厚さ(積雪深と等しい)に対する比(これを雪質別層厚構成比と呼ぶ)を表したものである。それぞれの横棒の右側に積雪深(HS)、左側に日付を示した(例えば、D15 は12月15日を意味する。同様に先頭のアルファベット文字は J : 1月, F : 2月, M : 3月, A : 4月を意味する)。これによれば、雪質別層厚構成比は毎年異なった様相を示すが、全般的には、初冬に多い新雪が、真冬にはしまり雪にとって変わり、さらに融雪期に入るとざらめ雪で占められることが分かる。また、積雪深が小さい冬にはざらめ雪の層厚構成比が大きくなり、新雪やしまり雪のそれが小さくなることも分かる。

ここで、粘性圧縮の影響を最も強く受けるしまり雪の層厚積算値と密度の関係を図 4 に示す。この図は、各冬ごとの 2 月 25 日におけるしまり雪の層厚積算値とその冬と同雪質の最高、最低および平均密度(図 2 参照)の関係を表したものである。しまり雪が最も発達するのは当地では融雪期に入る直前の 2 月下旬であるので、この時期におけるしまり雪の層厚積算値をとったのである。図 4 によれば、最高および平均密度は層厚積算値が増大すると大きくなる傾向があるが、最低密度に関してはそのような傾向がないことが分かる。

4. 議 論

(1) 雪質別の密度出現範囲

図 1 に示した積雪の分類名称(日本雪氷学会, 1970)におけるおおよその密度範囲と本調査結果とを比較すると、新雪およびざらめ雪の出現密度範囲については、今回の調査結果とほぼ一致するが、こしまり雪としまり雪の出現頻度分布には、片寄りが見られる。特にこしまり雪の分布では、本調査結果は低密度側に大きく片寄っている。これらの中には新雪の密度が混入したということも考えられる。新雪とこしまり雪は、厳密には雪結晶の外形が残されているか否かで判別するが、これにはルーペや顕微鏡を用いる必要がある。しかし、野外で

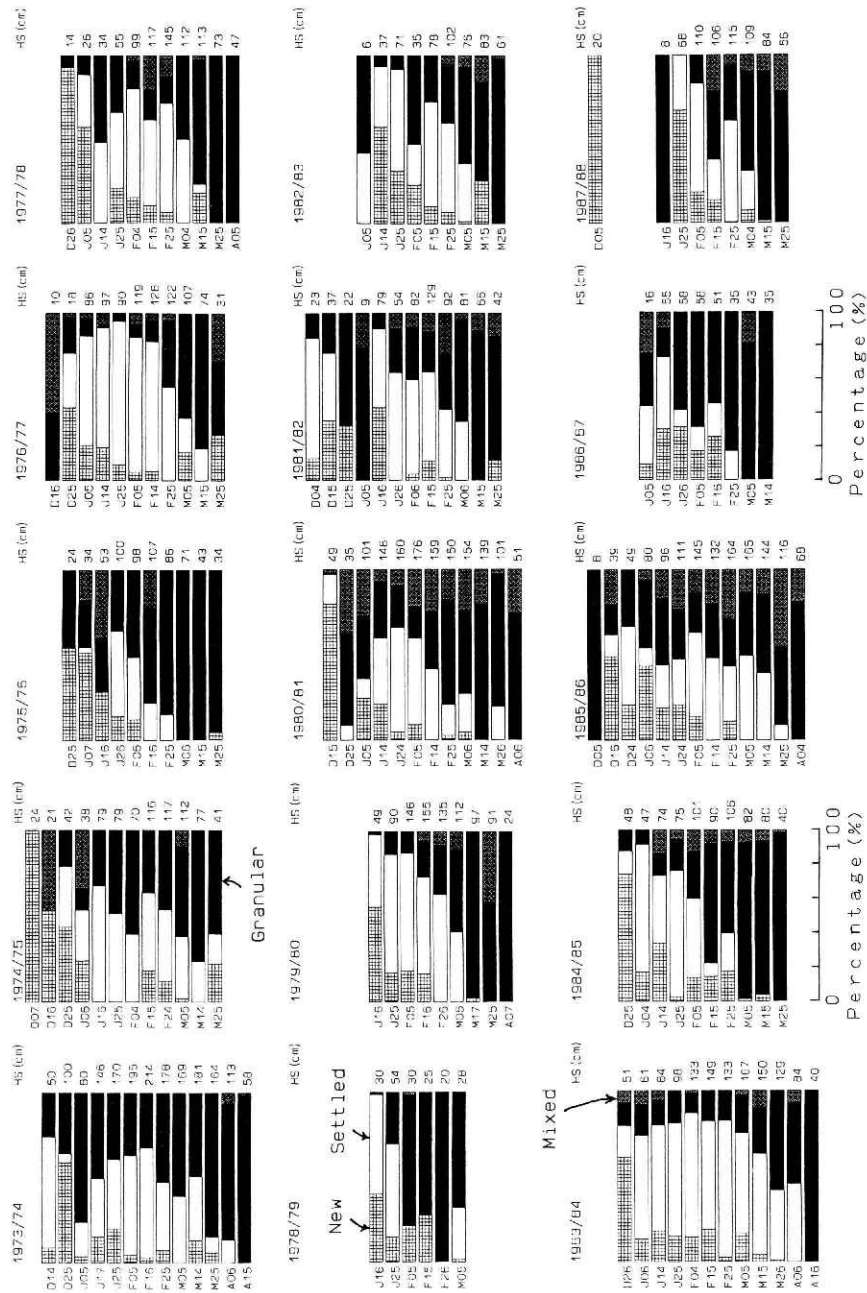


図3 雪質別層厚構成比。左：日付，右：積雪深(HS)。
 Fig. 3 Ratios of total thickness of the same type of snow layers to the snow depth. Left: hand side: date, Right: hand side: snow depth (HS).

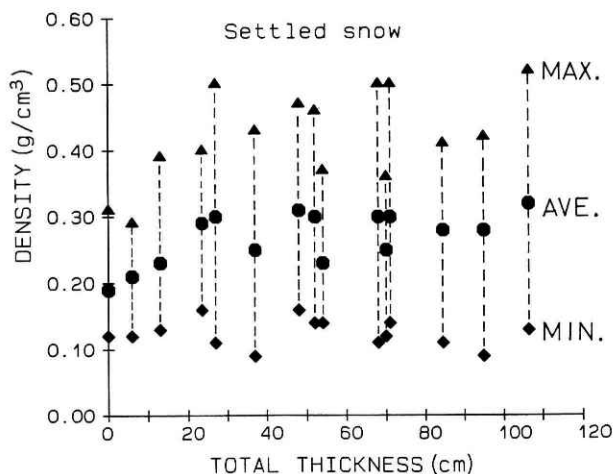


図4 しまり雪の2月25日の層厚積算値とその冬の同雪質の最高、最低および平均密度との関係。

Fig. 4 Relations of the total thickness of settled snow layers at 25 February and the maximum, minimum and average densities of settled snow in the same winter season.

はそれらの使用がしばしば困難になることから、当支所では目視観察により判断している。それゆえ、中には両者を混同したのもあったと思われるのである。

一方、しまり雪も低密度側に片寄っているが、これには二つの要因が考えられる。一つは上と同様に、より低密度のこしまり雪をしまり雪として判別したことがあげられる。こしまり雪の定義は、新雪からしまり雪に変態する時の中間的な過程とあり(日本雪氷学会, 1970)、明確なものではない。もう一つは、当地においては、高い密度のしまり雪が出現する機会が元々少なかったことがあげられる。すなわち、平年値の最大積雪深が1.5mの当地では、しまり雪が高密度になる前に、融雪期を迎え、ざらめ雪に変化するためである。図1によれば、しまり雪の密度が 0.45g/cm^3 を超えたのは数例にすぎない。当地におけるしまり雪の最大密度は1983/84年冬に記録した 0.52g/cm^3 であった。

いずれにしても、ここで見られた片寄りが、観測者の個人差によるものか、あるいは地域的な特性によるものかを判断するのは、今後の他の地域での解析を待つ必要がある。

(2) 雪質別平均密度の経年変化

雪質別の平均密度の経年変化において、新雪とざらめ雪の変動幅が小さいのは、これら2種の雪質の密度が、積雪の多寡や、その冬の寒暖の程度に余り左右されないことを意味する。新雪は、いずれこしまり雪やざらめ雪などに移行するため、新雪としてとどまる期間は限ら

れており、そのためある密度以上の新雪は存在し得ない。表1によれば、新雪の最高密度は $0.22\text{g}/\text{cm}^3$ であった。一方、新雪の最低密度は $0.03\text{g}/\text{cm}^3$ であり(同表)、その密度範囲は他の雪質に比べて狭いといえよう(図1参照)。新雪は、融解や風による圧密を受けないときに最も低い密度となるが、和泉(1984)はその値を約 $0.02\text{g}/\text{cm}^3$ と報告している。ざらめ雪については、その構成粒子の形が球状であることと平均密度の変動幅が小さいこととは関連があると思われるが、密度範囲としては広いにもかかわらず、なぜその平均密度が毎冬ほぼ同様になるのかは今後の課題である。

これらに対して、こしまり雪を含めたしまり雪の密度の変動幅が大きいのは、前述したようにこしまり雪からしまり雪にかけての密度は粘性圧縮によって増大するので、積雪の多寡やその存在期間の長さによって大きく左右されるためである。例えば、暖冬年は新雪あるいはしまり雪が直ちにざらめ雪に変化するので高密度なしまり雪が存在し得ないし、また少雪年は荷重が小さいので高密度化しにくい。逆にいえば、寒冷・多雪年に高密度のしまり雪が存在することになる。同様のことが図4に示した、融雪期直前のしまり雪の層厚積算値と密度の関係にも表れている。すなわち、層厚積算値が増大すると最高密度は大きくなるので、しまり雪層が発達した冬にはその平均密度も高くなるのである。事実、しまり雪の平均密度の最大は、しまり雪の層厚積算値が最も大きい1983/84年冬に現れており、最小はしまり雪の層厚積算値が最も小さい1978/79年冬に現れている。このように、しまり雪の密度には年によって大きく変動する要素がある。

(3) 雪質の判別における個人差について

ところで、密度の測定は、観測者によって個人差が生じることはないが、雪質の判別は定性的なものであるから、観測者によって判断が多少異なると思われる。特に、先に述べたように、新雪とこしまり雪、こしまり雪としまり雪の判別では、観測者の個人差が生じ易いと考えられる。このため、新雪の高密度側とこしまり雪の低密度側、およびこしまり雪の高密度側としまり雪の低密度側においては、それぞれの雪質の密度が混在している恐れがある。これに対して、ざらめ雪は、雪粒の形状などから割合容易に判別できることから、ほかの雪質が混在することは少ないと考えられる。

5. ま と め

新庄における積雪の密度を、新雪、こしまり雪、しまり雪およびざらめ雪に区分し、それぞれの密度出現頻度について、統計的な調査を行った。それぞれの平均密度は、新雪 $0.092\text{g}/\text{cm}^3$ 、こしまり雪 $0.161\text{g}/\text{cm}^3$ 、しまり雪 $0.307\text{g}/\text{cm}^3$ およびざらめ雪 $0.397\text{g}/\text{cm}^3$ となった。

密度出現範囲としては、日本雪氷学会の積雪の分類名称のものと、新雪、ざらめ雪ではほ

ば一致したが、こしまり雪としまり雪は、より低密度のものが多数存在した。

密度の経年変化では、しまり雪(こしまり雪を含む)の年変動幅が新雪およびざらめ雪に比べ、標準偏差で2倍もあった。これは、しまり雪が積雪の多寡や寒暖によって、圧密の程度が大きく左右されるためである。これに対して新雪は、密度のとりうる範囲が限定されているため、変動幅が小さい。また、ざらめ雪の場合の変動幅が小さいのはその構成粒子の形状が丸いことと関連があると考えられるが、断定はできない。今後はざらめ雪に変態する過程における密度変化に注目する必要があるだろう。

密度の測定は観測者によって個人差が生じることはないが、雪質の判別は定性的なもので、判別が比較的容易なざらめ雪を除いて観測者の個人差が生じ易いと考えられる。このため、雪質別の密度出現頻度にもこの影響が入り込んでいる恐れがある。今後の他地点での同様の調査結果に待つところが大きい。

謝 辞

当研究所新庄雪氷防災研究支所の木村忠志支所長、沼野夏生雪氷防災第1研究室長および長岡雪氷防災実験研究所の中尾正義第2研究室長より本報告について有益な御助言を得ました。ここに記して謝意を表します。

引 用 文 献

- 1) 阿部 修・中村秀臣・沼野夏生・東浦將夫・佐藤篤司・中村 勉(1988):新庄の平地における積雪断面観測結果(1980/81年~1987/88年8冬期). 防災科学技術研究資料, No. 131, 1-138.
- 2) 東浦將夫・阿部 修(1975):新庄の平地積雪断面観測(昭和48~49年冬期). 国立防災科学技術センター研究速報, No. 13, 37-54.
- 3) 東浦將夫・阿部 修・中村 勉・中村秀臣(1978):新庄の平地における積雪断面観測(昭和49年~50年冬期). 防災科学技術研究資料, No. 33, 1-26.
- 4) 東浦將夫・阿部 修・沼野夏生(1982):新庄の平地における積雪断面観測—(1975年~1980年)5冬期—. 防災科学技術研究資料, No. 70, 1-103.
- 5) 和泉 薫(1984):新潟における新積雪の密度と電気電導度. 新潟大学積雪地域災害研究センター年報, No. 6, 103-109.
- 6) 小島賢治(1955):積雪層の粘性圧縮I. 低温科学, 物理篇, No. 14, 77-94.
- 7) 小島賢治(1956):積雪層の粘性圧縮II. 低温科学, 物理篇, No. 15, 117-136.
- 8) 日本雪氷学会(1970):積雪の分類名称. 雪氷の研究, No. 4, 31-38.
- 9) 若浜五郎(1978):氷河の科学. NHKブックス, No. 319, 52-54.

(1990年8月20日原稿受理)

付表 積雪断面観測結果のデータ入力形式。

Appendix Format for the physical properties of snow cover in SSIS, NIED (14 January 1981).

年月日 積雪深 積雪相当水量 全層平均密度 天気 気温(時刻) 風速(時刻) 測定時刻
 1981. 1.14 145cm 375mm 0.258g/cm³ ○ -6.0°C(11:00) 0.5m/s(11:00) 10h15m-12h10m
 測定場所: 防災科学技術研究所新庄雪氷防災研究支所構内*1 測定者: OA, NN (MO)

地上高, H (cm)	雪質: F, 粒度: D		雪温 T (°C)		密度 ρ (g/cm ³)		含水率 W (%)		木下硬度 KR (gf/cm ²)			ラム硬度 RR (Kgf)	
	F	D	H	T	H	ρ	H	W	H	h*2 (cm)	KR	H	RR
146-115	N		146	-6.8	145-142	0.049	54-51	3	145	6.3	4.3	144-87	1
115-88	SI	a	140	-5.3	138-135	0.054	48-45	10	133	2.3	12.7	87-84	6
88-87	G	a, b	130	-4.4	132-129	0.078	33-30	9	118	1.0	72	84-79	12
87-86	G	a	120	-2.7	125-122	0.107	18-15	11	104	1.6	98	79-74	10
86-84.5	G	b, a	110	-2.2	118-115	0.134	13-10	2	96	2.3	120	74-68	12
84.5-55.5	S 2	a	100	-1.3	109-106	0.155	5-2	8	82	1.1	400	68-64	12
55.5-53	G	b	90	-0.6	103-100	0.168			75	1.8	370	64-58	12
53-48	G	b	80	-0.2	97-94	0.181			67	2.0	430	58-49	7
48-46	G	a, b	70	-0.2	91-88	0.170			61	2.3	380	49-42	6
46-38	G	a, b	60	-0.2	88-85	0.296			52	2.0	240	42-39	10
38-27	G, S 2	b	50	-0.1	83-80	0.276			46	1.4	320	39-28	5
27-26	G	b	40	0.0	75-72	0.238			40	1.0	420	28-24	8
26-15	G	b	30	0.0	68-65	0.294			30	1.1	600	24-20	8
15	I	3	20	0.0	62-59	0.257			23	1.9	460	20-13	9
15-14.5	G	b, c	10	0.0	59-56	0.242			11	1.7	380	13-7	7
14.5-10	G	b	0	0.0	55-52	0.367						7-0	6
11.5	I	2			51-48	0.404							
10-6	G	c			44-41	0.364							
6-3	G	c			39-36	0.370							
3-0	G	c			33-30	0.405							
					25-22	0.415							
86	J 8				18-15	0.448							
81.5	J 6				9-6	0.395							
37.5	D29				4-1	0.341							
4.5	D15												
					145-88	0.129							
					88-84.5	0.344							
					84.5-55	0.271							
					55-15	0.395							
					15-0	0.339							
					145-0	0.258							

*1: 標高127m, 北緯38°47', 東経140°19'

*2: h は円板沈下量を表す