

ラムゾンデによる積雪の水平方向の非一様性の観測

納 口 恭 明 *

国立防災科学技術センター雪害実験研究所

Observation of Horizontal Variations of Snow Type by Rammsonde

By

Yasuaki Nohguchi

*Institute of Snow and Ice Studies,
National Research Center for Disaster Prevention,
Nagaoka, Niigata-ken, 940*

Abstract

The horizontal distributions of the penetration depth of rammsonde were measured at some points in Niigata Prefecture to know those of different snow types.

A rammsonde was dropped into snow cover from its surface at intervals of 10 cm along a measuring line 10 m in total length.

Fig. 3 shows the typical distributions of the penetration depth, and Fig. 7 shows the time variation of the standard deviation of the distribution, which increases at first and then decreases with the progress of melt-freeze metamorphism of snow.

These results indicate that the progress of melt-freeze metamorphism is not necessarily uniform in Niigata Prefecture.

1. まえがき

北陸地方のような温暖な多雪地帯では、一冬期間に何度かの多量の降雪をもたらす期間が存在する一方で、それらの期間にはさまれた冬型のゆるんだ期間には気温が上昇し、しばしば激しく雨の降る場合さえある。

* 第1研究室

雨水や融雪水の浸透により、新雪・こしまり雪・しまり雪はざらめ雪に変化する。とくに、多量の降雪のあとに雨が降ると、雪えくぼと呼ばれる無数のくぼみが雪面上に現われる。

雪えくぼの中心部には浸透水が集中しており、この部分を中心として雪質はざらめ雪に変化する。したがって雪えくぼの形成は雪質の非一様な分布をもたらす。

一方、雪面模様のまったくないような平地の積雪の場合にも、その内部のざらめ雪の層の中にしまり雪が塊りとなって残されているような層を発見するのは、真冬においても北陸地方ではごく普通である（五十嵐・清水・監物，1967. Yamada and Ikarashi, 1980）。むしろ完全に一様な層のみからなっている積雪の方が例外的である。

このように、北陸地方においては積雪の水平方向の非一様性がひとつの特徴といえるのだが、これまでのところの非一様性にのみ注目した報告はない。

1982年と1983年の2冬、主に新潟県長岡市の雪害実験研究所構内を中心として、ラムゾンデを積雪表面から落下させたときの貫入量の水平分布から、積雪の水平方向の非一様性を観測した。本論文では、この結果を報告する。

2. 観測方法

ラムゾンデは本来、積雪の鉛直方向の貫入抵抗の分布を測定するもので、積雪内の弱層の発見などに使われる。ラムゾンデの先端は60°の円錐形をしており、長さ1mの棒を積雪の深さに応じて何本かつないで使用する。

このラムゾンデを、ひとつの測線上を等間隔に、積雪表面から落下させたときの貫入量を測定する（図1）。このとき、ラムゾンデの先端が通過した積雪層の貫入抵抗が水平方向に一樣でないなら、この非一様さは貫入量の変動として現われてくる。

一般にしまり雪は密度の増加につれて貫入抵抗は大きくなるが、ざらめ雪に変わると急に小さくなる。図2は積雪断面の雪質分布とラムゾンデの貫入深さを示した例である。雪質の非一様さがラムゾンデの貫入量の変動として現われているのが図からわかる。

観測では主として、地形や降雪による非一様な効果を受けないような平地の積雪を対象と

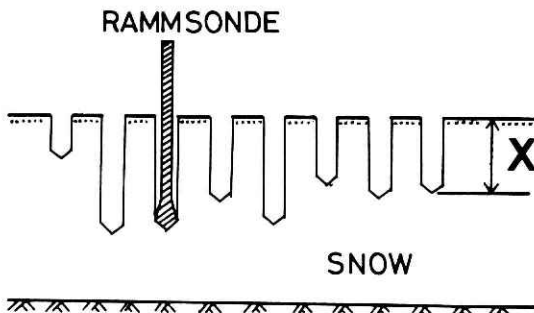


図1 測定方法。Xはラムゾンデの貫入量。
Fig. 1 Scheme of measurement. X: the penetration depth of ramsonde.

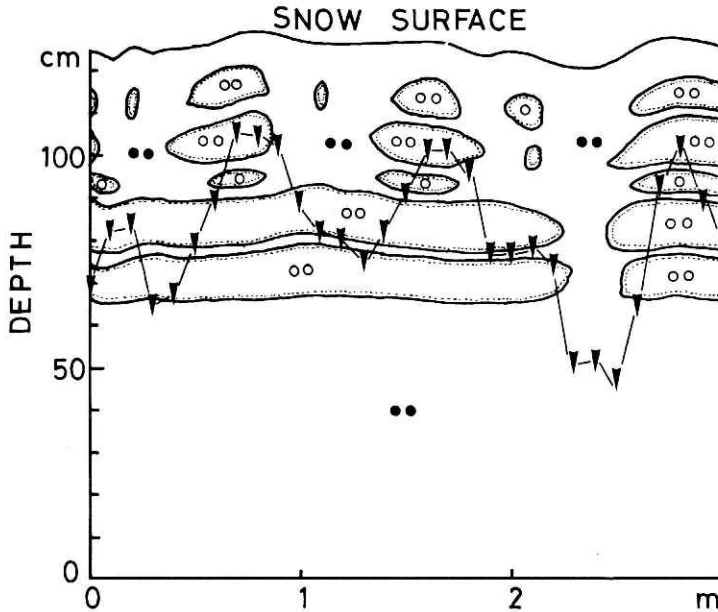


図2 積雪の鉛直断面の雪質分布とラムゾンデの貫入位置。白丸印はしまり雪，黒丸印はざらめ雪。
Fig. 2 The distribution of snow types and the penetration depth of rammsonde. The open circles represent Settled snow, the solid circles Granular snow.

し、測線の長さを10m程度、ラムゾンデを落下させる各測点の間隔を10cmとした。したがって1回の測定につき約100回ラムゾンデを積雪中に貫入させており、これに要する時間は5～10分間である。

また、観測場所は雪害実験研究所構内が中心であるが、他に新潟県内の数カ所でも観測を行なった。観測は、1982年と1983年の2冬おこない、1982年は主に非一様な変動についての予備的な観測をし、1983年は雪害実験研究所構内で1冬期にわたる連続した観測を行なった。

なお、本論文ではラムゾンデの貫入量自体の物理的な解釈はせず、ただ単に変動の様子の方に注目する。その際に貫入量の意味としては、非一様層に到達しているかどうかということである。

ラムゾンデの貫入量の調整は、積雪表面から落下させるときのラムゾンデの棒の数を変えることによって行なった。ここでは棒の数としては1本だけのもの、さらに1本つないで2本にしたもの、同じく3本にしたものの3種類を用いた（それぞれ1本ラム、2本ラム、3本ラムと呼ぶことにする）。1本ラム、2本ラム、3本ラムの重量は、それぞれ1.0 kg、1.8 kg、2.7 kgである。

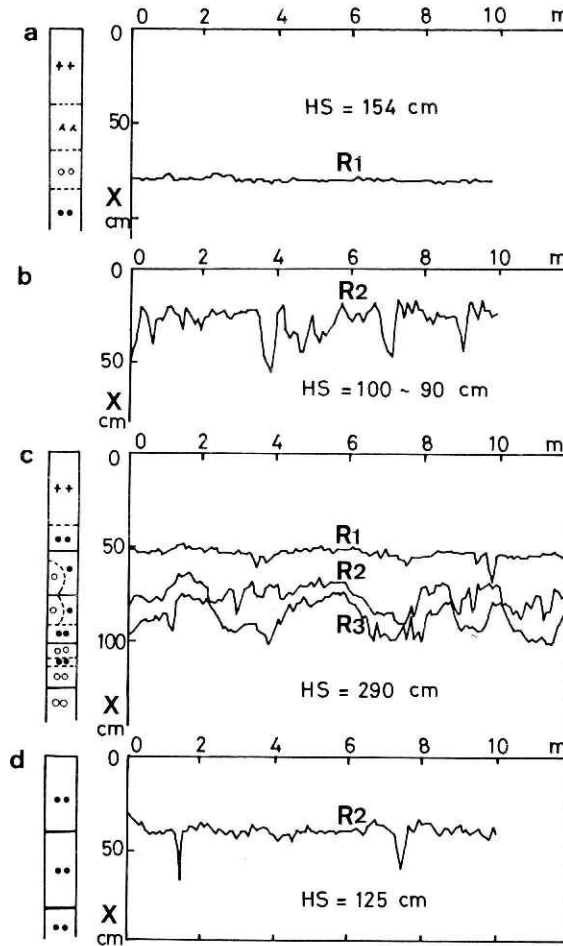


図3 ラムゾンデの貫入量の変動の代表的な例。R₁, R₂, R₃ は1本ラム, 2本ラム, 3本ラムを表わす。
 a: 長岡1983年2月12日, b: 長岡1982年2月18日, c: 大白川1982年3月3日, d: 小出1982年3月2日。
 HSは積雪の深さを表わす。左側に雪質の分布を示す(記号の意味は清水弘(1965)参照)。

Fig. 3 Typical distributions of the penetration depth of rammsonde. R₁: 1 shaft, R₂: 2 shafts, R₃: 3 shafts. a: Nagaoka, 1983. 2. 12, b: Nagaoka, 1982. 2. 18, c: Ooshirakawa, 1982. 3. 3, d: Koide, 1982, 3. 2.

3. 観測結果

3.1 代表的な観測例

3.1.1 ざらめ雪に変化する前の一様な積雪層

図3(a)は1983年2月12日の雪害実験研究所構内での1本ラムによる測定結果である。この日は2月8日以前のはぼざらめ化した旧雪の上に、それ以降に降り積った新しい積雪が86cm

あり、雪質は一樣な新雪、こしまり雪、しまり雪である。

1本ラムの貫入の深さは平均79.9 cmであり、すべてこの一樣層の内部で止まっている。また標準偏差は0.9 cmであり、標準偏差にして1 cmのばらつきを一樣さの判断基準と考えることにする。

3.1.2 雪えくぼが形成された場合

図3(b)は1982年2月18日長岡での2本ラムによる測定結果である。この日の雪面には雪えくぼができており、くぼみの個数は、100 m²あたり約90個である。また積雪は約100 cmあり、雪えくぼによる雪面のでこぼこの振幅は約10 cmである。

図中において深く貫入している部分はくぼみの部分であり、その下の雪はざらめ雪となっている。くぼみとくぼみの間には、しまり雪が残されており、この雪質のちがいが貫入量の変動として現われている。

3.1.3 雪面は平らだが内部に非一樣層がある場合

図3(c)は1982年3月3日新潟県入広瀬村大白川での測定結果である。この地区はとくに多雪地帯であり、このときの積雪の深さは290 cmである。

表面40 cmは一樣な新雪層であり雪面模様はなく、積雪表面は平らである。この層からさらに10 cm下までが一樣なざらめ雪層になっており、そのざらめ層の下端は氷板になっている。そしてこの下の約40 cmのざらめ雪の層内に、しまり雪が塊りようになって残されている。

図中のR₁、R₂、R₃はそれぞれ1本ラム、2本ラム、3本ラムの測定結果を表わす。1本ラムはまだこの非一樣層にまで到達していないので、あまり変動はみられない。ところが2本ラムと3本ラムはちょうどこの非一樣層内に貫入しており、約3 m程度の波長の変動が見られる。

なお、1本ラム、2本ラム、3本ラムの各測線は、10 cmずつずらして平行にとってある。したがって2本ラムと3本ラムに同じような形の変動が現われている。

3.1.4 氷板が形成されている場合

図3(d)は1982年3月2日新潟県小出町での2本ラムによる測定結果である。このとき積雪の深さは125 cmであり、表面から40 cmのところ比較的強固な氷板が形成されている。この氷板の上下は、一樣にざらめ雪となっている。

氷板の場合、一樣に同じ強度をもっているわけではなく、弱部がところどころ存在する。氷板のすぐ下のざらめ雪は一般にもろくなっており、弱部を貫通したラムゾンデはさらに深くまで達する。

氷板の形成時には、この図のようにところどころで角をつき出したような変動を示す。平らな部分と角をつき出したような部分はそれぞれ、氷板で止められた所と弱部をつき破った所に対応している。

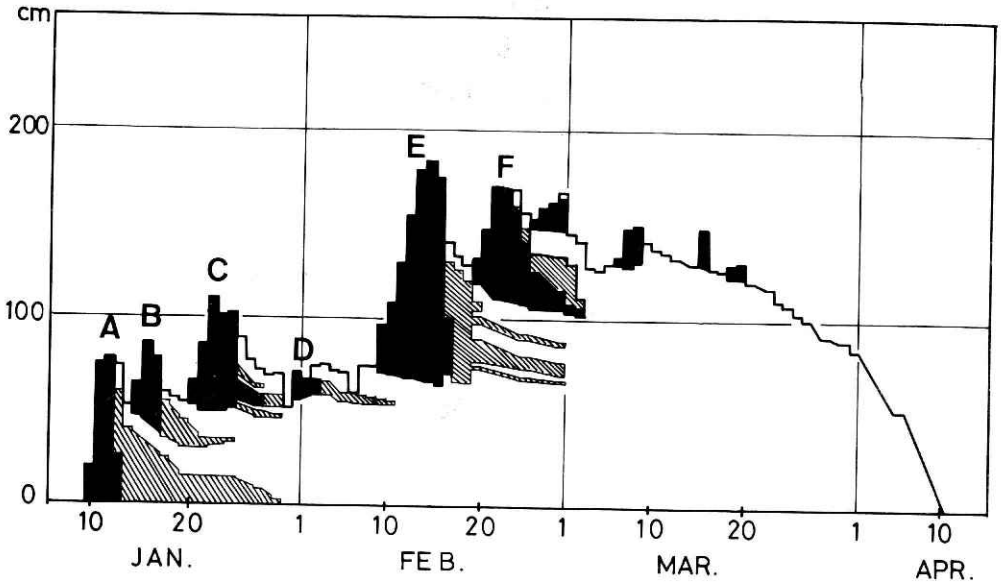


図4 1983年の積雪の深さと雪質の変化。黒い部分は新雪・こしまり雪・しまり雪の一樣層，斜線部は非一樣層，白い部分はざらめ雪の一樣層。

Fig. 4. Time variation of vertical profile of snow cover (1983).
Black: horizontally uniform snow layer of New snow or Settled snow, slant lines: snow layer which is not uniform, white: snow layer of Granular snow.

3.2 1983年雪害実験研究所構内での観測

3.2.1 1983年の積雪

図4は、1983年雪害実験研究所構内における積雪の深さと、その内部の雪質の構成を示したものである。観測場所はラムゾンデの貫入を測定している地点のすぐ横であり、雪害実験研究所が毎年おこなっている積雪観測の露場とは約100m離れており、積雪の深さは一般にやや大きめの値である。

図の黒い部分はざらめ雪になる前の一樣な層で、新雪やこしまり雪やしまり雪から成っている。一方斜線部はざらめ雪に変化してしまった部分とそうでない部分が水平方向に非一樣に分布している領域を表わす。それ以外は完全にざらめ化（氷板も含める）した層を表わす。

1983年は図のA～Fで示されるように主な降雪期間が6回程度あった（今後、これらの降雪によってできた積雪層を積雪層A～積雪層Fと呼ぶことにする）。しかもこれらの場合すべて降雪後に雨が降り、雪面上に雪えくぼが発生した。

雨水の浸透と雪えくぼの発生に伴い、積雪表面の近くの層は一樣にざらめ雪に変化するとともに、内部に雪質の非一樣な分布をする層ができる。この非一樣な層は、次の降雪ならびにその積雪層内の非一樣な領域の形成まで存在することもある。たとえば1月17日から24日までの積雪層AとBや、1月25日から29日までの積雪層AとC、2月23日から28日までの積

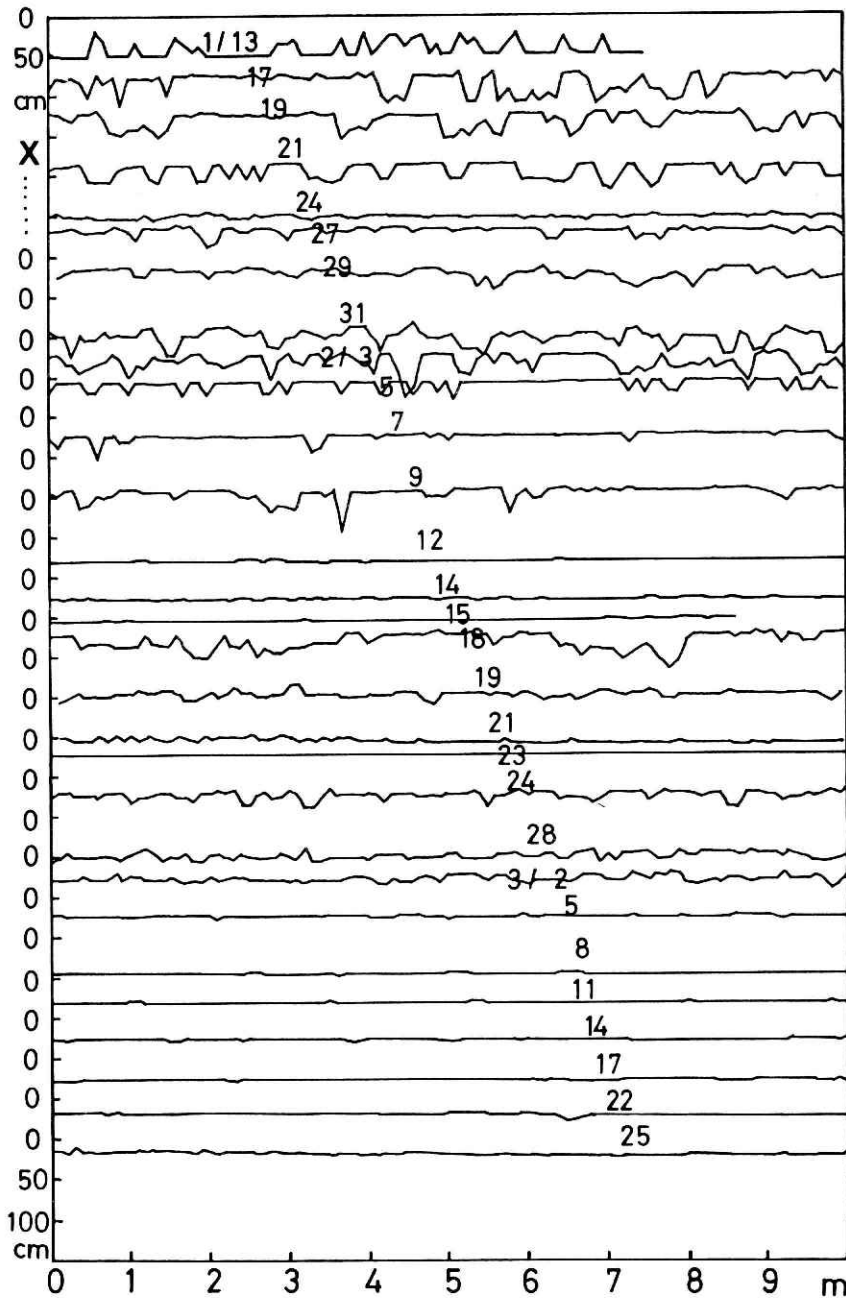


図5 1983年の1本ラムの貫入量の変動の推移(長岡). 図中の数字は口付を表わす. 各変動曲線のゼロ点は等間隔にずらしてあり, 縦軸の1目盛は50cmである.

Fig. 5 The distributions of the penetration depth of 1-shaft ramsonde (Nagaoka, 1983).

雪層EとFのように、同じ時期に2種類の非一様層が存在する。

非一様層中のざらめ化してない部分（新雪・こしまり雪・しまり雪）は上下ならびに前後左右から徐々にざらめ雪に変化してゆき、最終的には完全にざらめ雪となる。

しかし3月以降のいわゆる融雪期においては、降雪があってもすぐに融けるかざらめ雪になるかしてしまい、非一様な領域は出現しなかった。その後融雪は順調に進行し、4月10日に積雪はゼロとなった。

3.2.2 1本ラムによる1冬期の観測

図5は1本ラムによる1冬期間の観測結果をまとめたものである。図から、一様な積雪層が非一様に変化する過程が何回かくり返えされている様子がわかる。

1月12日以前は、積雪の貫入抵抗が弱く、1本ラムはすべて地面にまで到達してしまったので図には示していない。

1月13日の変動は積雪層Aの非一様な部分の影響を受けたものである。

1月17日、19日、21日の変動は積雪層Bの非一様な部分の影響を受けたものである。

1月24日は、1本ラムはすべて一様な積雪層Cの中で止まっていて変動はないが、1月27日と29日の変動は、積雪層Cの中に発生した非一様な部分の影響を受けたものである。

2月3日の変動は積雪層Dの非一様な部分の影響を受けたものである。2月5日、7日、9日の変動は積雪層Dの上（5日の場合）と下（7日と9日の場合）にできた氷板によるものであり、氷板形成時に特徴的な、ところどころに角をつき出したような変動となっている。

2月12日から19日までは、1本ラムはすべて積雪層Eの中で止まっている。このときは、15日・16日に雨が降り、それを境にして変動が生じている。

2月21日から3月25日までは、1本ラムはすべて積雪層Fの中で止まっている。このときは23日に雨が降り、それを境にして変動が現われている。しかしこの変動も、積雪層Fの非一様部分にしめるざらめ雪の割合が大きくなるにつれて小さくなり、完全にざらめ雪となった段階で消えてしまう。このときの1本ラムの静止位置は積雪層Fの下端にできた非常に強固な氷板の上である。

その後は、表面からの融雪が進み、非常に固い層のみとなった。したがって1本ラムの貫入量が少なすぎて意味のある変動がとらえられないため図には示していない。

以上から、貫入量の変動が顕著なのは1、2月のいわゆる降雪期においてであることがわかる。

なお、各月日の貫入量のゼロ点は等間隔にとってあるので、変動曲線がつまってくると貫入量は減少したことになり、逆の場合は増加したことになる。このような面から見ると、1月、2月は降雪のために各変動曲線の平均値の変化も大きい。

3.2.3 積雪層Fについての詳細な観測

降雪Fは1983年の大きな降雪のなかではいちばん最後のものであり、1本ラムは2月21日

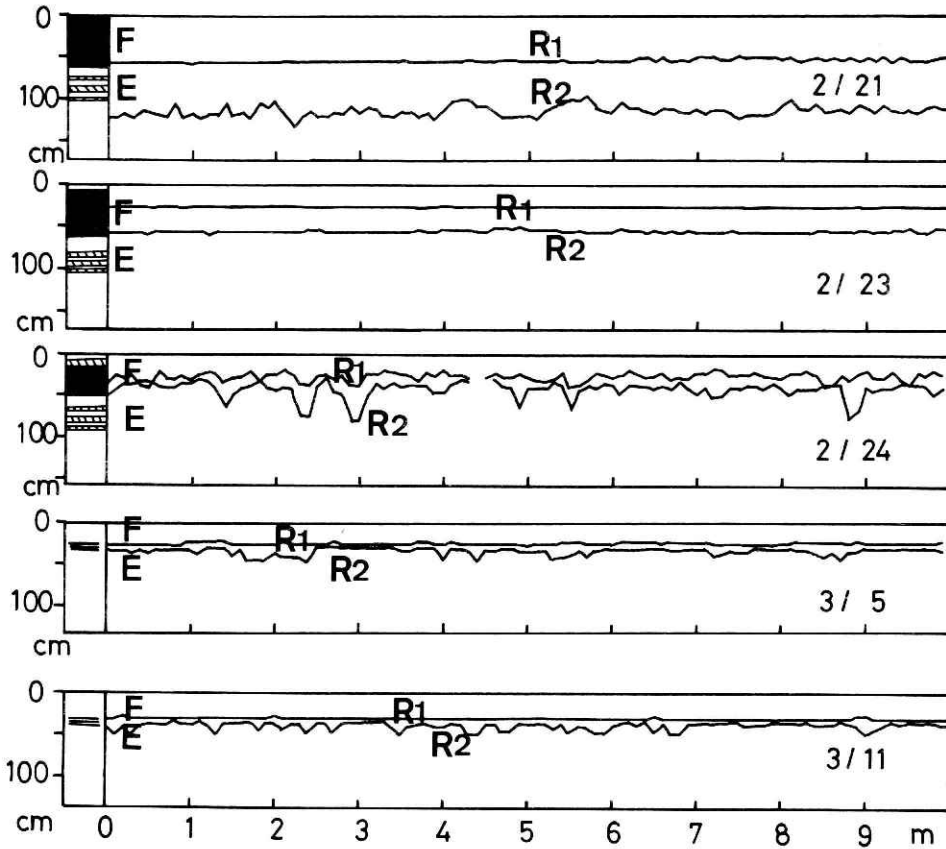


図6 2月21日から3月11日までの1本ラムと2本ラムの貫入量の変動の推移(長岡)
 Fig. 6 The distributions of the penetration depth of 1- and 2-shaft ramsonde (Nagaoka, 1983, 2. 21 - 3. 11).

から3月末にいたるまで長く積雪層Fの中で止まっている。そこで、積雪の一様性の変化のひとつの典型的な過程として、積雪層Fにおける貫入量の変動の推移を追ってみる。

図6は、この期間の1、2本ラムの貫入量の変動と積雪断面の雪質の構成とを対比して示している。なお黒い部分と斜線部等は図4と同じ意味であり、実線は氷板を意味する。

2月21日

1本ラムは一様な積雪層Fの中で止まっているため変動はないが、2本ラムは非一様な積雪層Eを貫通しているために変動が生じている。

2月23日

続く降雪によって積雪層は量を増し、密度が増加したため、1、2本ラムともこの一様な積雪層内で止まってしまい、変動はない。

2月24日

2月23日に雨が降り雪えくぼが発生した。このため積雪層Fの上部の雪質が一様で

なくなってしまう、1、2本ラムともこの部分を通過しているので変動が生じている。
3月5日

積雪層Fの下端部に、ごく近接した3層の氷板が形成されており、その上は完全にざらめ雪となっている。1本ラムはこれらの氷板によって完全に止められており変動は見られないが、2本ラムはところどころで角をつき出したような、氷板形成時に特有な変動となっている。

3月11日

雪質、変動の様子とも3月5日の場合とまったく同じである。

この期間の1本ラム貫入量の標準偏差の変化を図7に示す。この期間、1本ラムはすべて積雪層Fの中で止まっており、1本ラム貫入量の標準偏差の変化によって積雪層Fの一様性の変化の過程を追うことができる。

この図から3つの期間—(1)ざらめ雪に変化する前の一様な期間、(2)非一様な分布となっている期間、(3)一様にざらめ雪となっている期間—と2つの変化の過程—(1)一様層が雪えくぼの発生で非一様になる過程、(2)非一様層が一様なざらめ雪になる過程—を見ることができる。すなわち一様な降雪が一様なざらめ雪に変化する間に非一様な分布の期間を経ていることがよくわかる。

次に23日の雨によって非一様層が現われてくる過程を、もっと細かく時間を追ってみる。図8は23日から24日にかけての1本ラムの変動の記録である。

23日は朝から小雨であったが、10:30と12:30の観測では雪面にくぼみはできてなく、1本ラムの変動もこの積雪層が一様であることを示している。

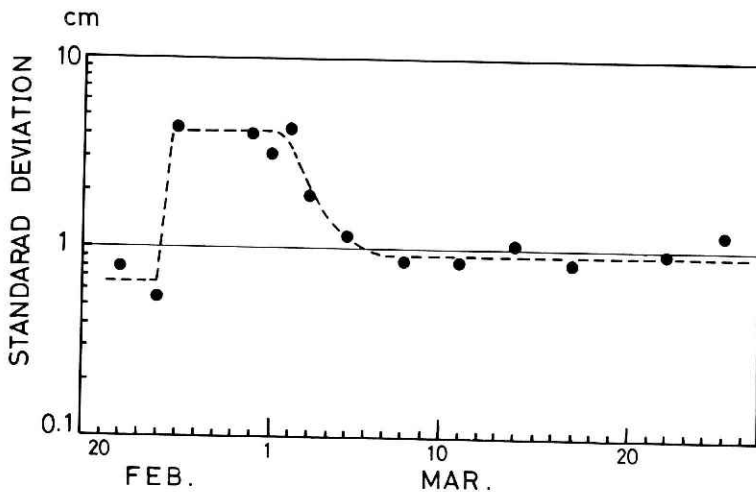


図7 積雪層F内での貫入量の標準偏差の変化。
Fig. 7 The standard deviations of the distributions of the penetration depth in snow layer F.

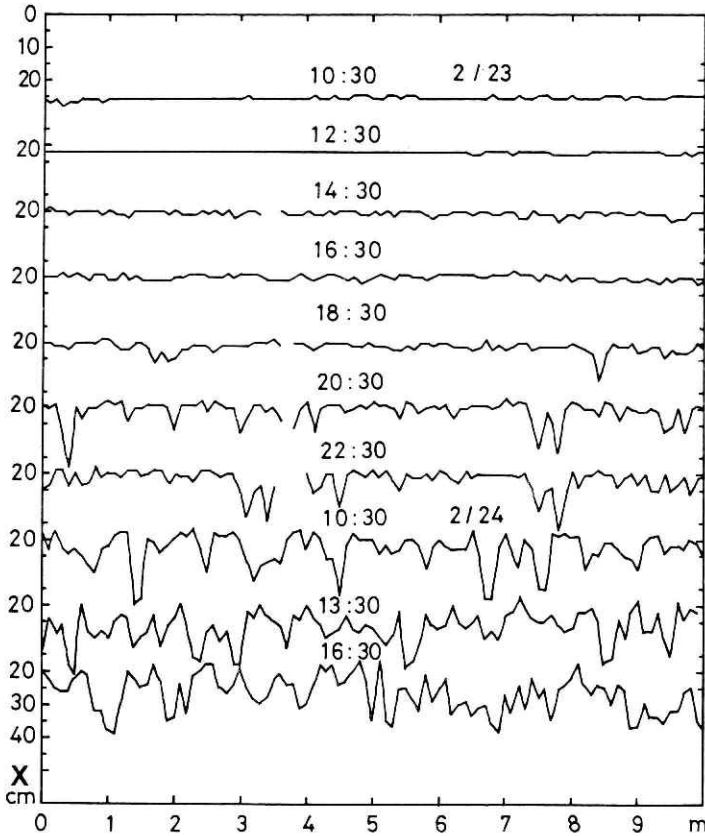


図8 2月23日から2月24日までの1本ラムの貫入量の変動の推移。

Fig. 8 The distributions of the penetration depth of 1-shaft rammsonde (2. 23 - 2. 24).

13:00から14:00にかけて突如雪面に雪えくぼが発生した。しかし14:30の観測ではまだ非一様を示す変動とはなっていない。このとき雪えくぼの中心部には浸透水が集中しているが、まだざらめ雪にはなっていない。

その後、時間の経過につれてこのくぼみ部分の雪のざらめ雪化が進行し、変動は大きくなってきた。そして翌日には変動もほぼ安定した。

図9はこの間の貫入量の標準偏差の時間変化を示したものである。一様な状態から非一様な状態への変化は、16:30から20:30くらいまでの約4時間もっとも激しい。また非一様な状態が、このような時間スケールにおいてはある種の安定状態であることがわかる。

雪えくぼの発生を非一様の核の発生と考えることにすると、実際に雪質が安定した非一様状態になるためには、核発生から数時間以上を要することになる。

なお図10は24日の17:00から17:30に測定した雪面の起伏である。くぼみの部分が尖って

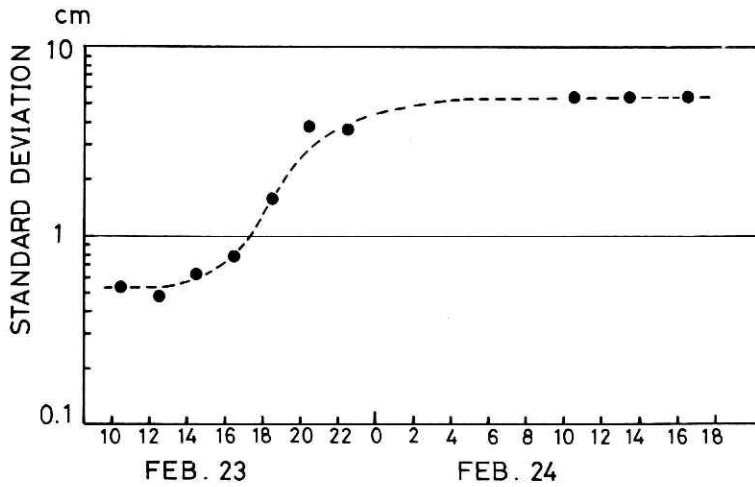


図9 雪えくぼの形成にともなう貫入量の標準偏差の変化。
Fig. 9 The change of the standard deviations (2.23 - 2.24).

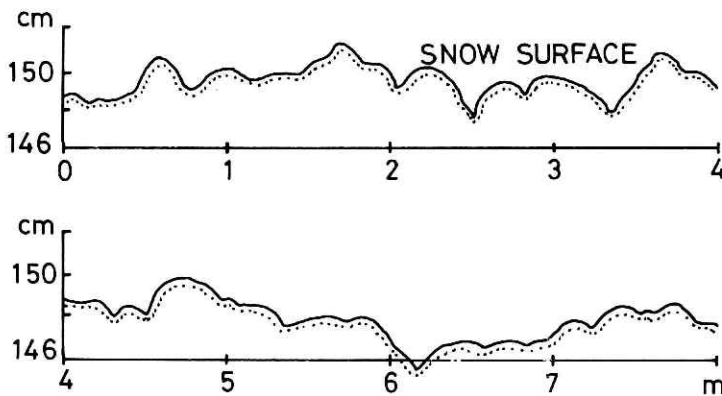


図10 2月24日の雪面の形。縦軸は積雪の深さ。
Fig. 10 The configuration of the snow surface (2.24).

いるのは雪えくぼの特徴である。このときのくぼみの空間密度は15個/m²である。

3.3 変動の2次元的な観測

3.3.1 氷板形成時

図11は1982年3月11日雪害実験研究所構内での2次元的な観測である。このとき積雪は70cmであり、地面から35cmのところから氷板ができている。その上はすべてざらめ雪である。

2本ラムは、ほとんどこの氷板のところまで止められるが、ところどころ弱部をつき破って下へ貫入するような、氷板形成時に特有な変動を示す。

観測は、この弱部の2次元的な分布の観察を目的として、格子間隔を20cmとし、1辺の長

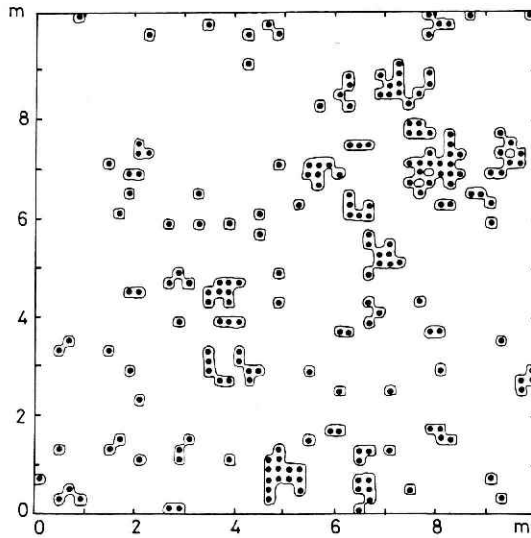


図11 貫入量の変動の2次元的な観測(長岡1982年3月11日). 黒丸印は深くまで貫入している点を表わす.

Fig. 11 The two-dimensional distribution (Nagaoka, 1982. 3. 11). The solid circles represent the points where ramsonde penetrated the ice plate in the snow cover.

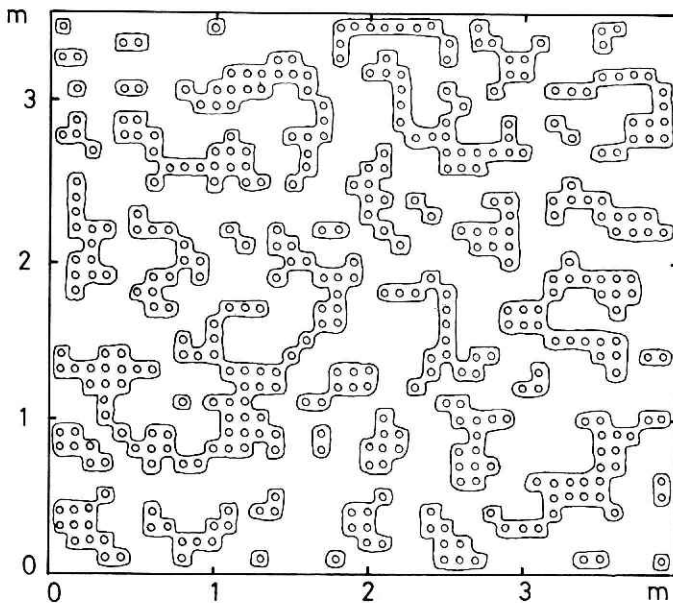


図12 貫入量変動の2次元的な観測(長岡1983年1月13日). 白丸印の点の貫入量は小さい. この下にはしまり雪がある.

Fig. 12 The two-dimensional distribution (Nagaoka, 1983. 1. 13). The open circles represent the points where ramsonde was prevented by Settled snow from penetrating deeply.

さが10mの正方形の平面内で行なった。

図中黒丸印で示しているのは氷板をつき破って貫入した点である。

この図から、弱部はある程度かたまりをもった分布のしかたをしているのがわかる。

3.3.2 雪えくぼ形成時

図12は1983年1月13日雪害実験研究所構内の1本ラムによる2次元平面上の観測結果である。1月12日に雨が降り、降雪Aの表面に雪えくぼが発生した。13日の積雪の深さは53cmであり、地面から40cmのところまでざらめ雪としまり雪が非一様に分布している。

1本ラムは、しまり雪のところでは止まるが、ざらめ雪のところでは地面にまで達する。

観測では格子間隔を10cmとし、測定範囲を4m×3.5mの面内とした。図中の白丸印は地面にまで到達せずに積雪中で止まった場合を示す。

この図からしまり雪とざらめ雪の非一様な形態が、比較的均質な空間分布をしている様子がわかる。すなわちこれは雪えくぼの空間形態の特徴でもある。

4. あとがき

主に雪害実験研究所構内で、ラムゾンデによる積雪の水平方向の非一様性の観測を行なった。

ラムゾンデの貫入量の変動は、ラムゾンデの先端が通過した積雪層の一様性を反映する。とくに、ざらめ雪としまり雪などが非一様に分布する層が存在する場合や、氷板が形成されている場合に、それぞれ特徴的な変動が現われてきた。

ざらめ雪としまり雪などの非一様な分布の形成は雪えくぼと関係しており、それに伴う変動の発生は、いわゆる降雪期において著しいことがわかった。

雪えくぼの発生には、多量の降雪と雨水あるいは融雪水の存在が必要条件であり、北海道などの寒冷地では真冬に雪えくぼができることはない。その意味で、いわゆる降雪期の非一様に進行するざらめ雪への変態は、温暖多雪な北陸地方の特徴といえる。

なお本論文ではラムゾンデの貫入量の変動の波長についてはふれなかったが、これは主に雪えくぼの形成と関係している。現在のところ雪えくぼの空間形態形成についての明快な説明はなく、その解明ならびにこのような非一様層ができることによる影響等については今後の課題である。

おわりに、観測などの面でお世話になった雪害実験研究所第1研究室の山田穰室長と五十嵐高志技官に感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 五十嵐・清水・監物 (1967) : 北陸地方平野部における雪質に関する調査 (II), 雪害実験研究所報告, 昭和42年, 29-70.
- 2) 清水弘 (1965) : 積雪観測法. 日本雪氷学会, 28pp.
- 3) Yamada, Y and T. Ikarashi (1980) : Study on the snow cover stratigraphy in the Uono basin by rammsonde. *Report of the National Research Center for Disaster Prevention, No 23*, 215-229.

(1983年 6月 9日 原稿受理)