



Title	積雪内の弱層形成に関する観察事例
Author(s)	秋田谷, 英次; AKITAYA, Eizi; 清水, 弘 他
Citation	低温科学. 物理篇, 46, 67-75
Issue Date	1988-03-10
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/18548">https://hdl.handle.net/2115/18548</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	46_p67-75.pdf



## 積雪内の弱層形成に関する観察事例\*

秋田谷英次・清水 弘

(低温科学研究所)

(昭和62年10月受理)

### I. ま え が き

春先に多い全層雪崩は、その前兆として積雪にクラックができたり、こぶ状起伏が現れることが多い。したがって、全層雪崩の場合は斜面の積雪状況から、雪崩の危険をある程度予知することができる<sup>1,2)</sup>。一方表層雪崩の場合は、一般に、前兆が見られず予知はむずかしい。

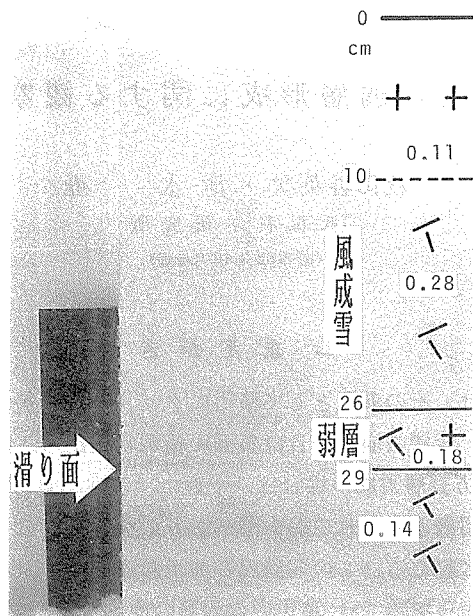
表層雪崩は積雪内に弱層と呼ばれる弱い層があり、弱層上に積もった雪の斜面分力が弱層の剪断強度を越えたときに起こる。この弱層内の剪断破壊をした面は表層雪崩の滑り面と呼ばれている。冬山登山やスキー場等では、積雪内の弱層の検知や剪断強度の測定を行い、表層雪崩の危険性の判定に用いている<sup>3)</sup>。この報告は、弱層の形成機構を観察事例をもとに述べている。

### II. 静かに積もった新雪からなる弱層

1987年3月6日正午頃、北海道幌加内町添牛内で無線中継所の保守のため、吹雪の中をスキーで登山中の3名が表層雪崩にあい埋められたが無事救助された。雪崩はおよそ長さ150m、最大傾斜35°の南向き斜面の中腹で発生した。2日後の3月8日、雪崩斜面下の平地で積雪の断面観測を行った。第1図に積雪断面の写真と観測結果を示した。積雪の特徴を述べると、表面から10cmまでは密度の小さい新雪、表面下10~26cmの間には密度の大きな、硬い層があり、その下に密度の小さい弱い層がみられた。密度の大きな層は降雪結晶の破片からなる小さな粒子で、地吹雪をともないながら積もった、いわゆる風成雪であることが判る。第1図の写真は積雪断面の3cmあまり奥に、断面に平行にカラートタンの板を入れたもので、後ろのトタンの色が透けて層状に見えるところがある。表面下26cmと29cm付近の薄い層(図の矢印)には、雪粒のついていない、大きな広巾六華の結晶が多く見られた。このことから、この二つの薄い層は風のない時に静かに積もったことが判る。

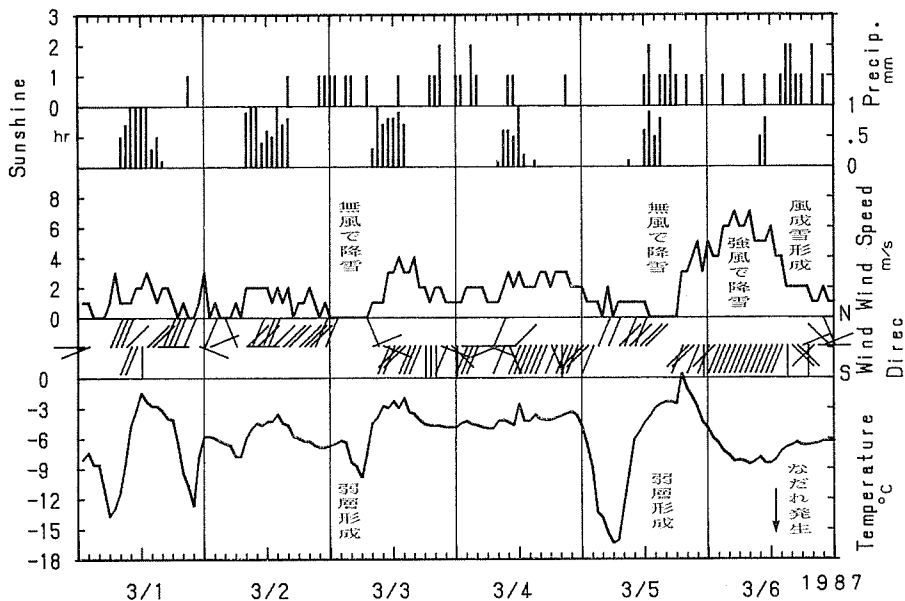
シャベルテスト(雪べらを使った滑り面を検知する方法)によると、29cm付近の薄層が最も弱いことが判ったので、この面の剪断強度の測定をおこなった。剪断試験にはアメリカで用いられている断面積250cm<sup>2</sup>の剪断棒(シアーフレーム)を使用した<sup>4)</sup>。剪断強度は12.0g/cm<sup>2</sup>(21回の平均)、この面にかかる雪による上載荷重は6.02g/cm<sup>2</sup>であった。斜面傾斜を35°として積雪の安定度<sup>5)</sup>(stability index: SI, 剪断強度/(上載荷重・sin 35°)を求めるとSI=3.5となり、雪崩の危険ありの範疇にはいる。次にこの弱層の形成条件を気象データから調べてみる。

\* 北海道大学低温科学研究所業績 第3095号



第1図 積雪断面と層構造

北海道幌加内町添牛内の雪崩現場付近，数字は表面からの深さと密度 (g/cm<sup>3</sup>)，記号は雪質 (日本雪氷学会の分類)



第2図 幌加内町朱鞠内のアメダスデータ

第2図は、雪崩現場から約20kmはなれた。朱鞠内のアメダスデータである。雪崩の前日の3月5日夜半から風が強まり、翌6日の正午過ぎまで強風が続いている。この間、引続き降雪が有るので、前述の弱層上の風成雪はこの時に形成されたと考えられる。一方、3月3日

早朝と5日正午過ぎの2回、数時間、無風で降雪がある。26, 29 cm 付近の二つの弱層はこの時に積もったものと考えられる。また、雪崩の滑り面と考えられる下方(29 cm 付近)の弱層は、より気温の低い3日の降雪で形成された可能性が高い。

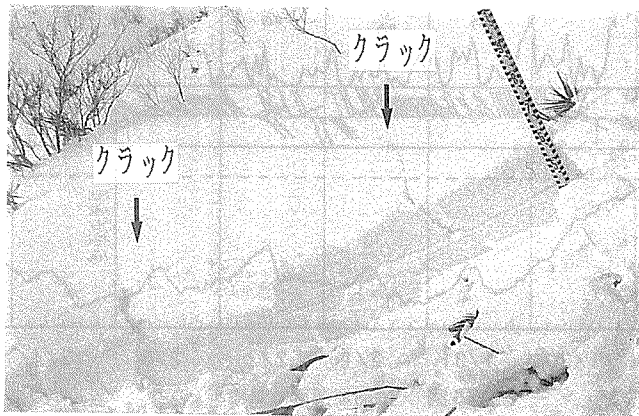
### III. 表面付近で形成されたしもざらめ雪からなる弱層

1987年2月5日午前11時頃、北海道大学低温科学研究所、雪崩観測所(幌延町問寒別、北海道大学天塩地方演習林)の南斜面尾根近くを歩行中、足元からクラックが発生した(第3図)。クラック地点の積雪観測結果を第4図に示した。表層13 cm あまりは、硬い密度の大きな雪、その下に厚さが1 cm に満たない薄い弱層があり、この層が滑り面となってクラックが発生していた。第4図に示した雪粒写真から表層の硬い雪は、風で運ばれ再堆積した風成雪、その下の弱層はしもざらめ雪であることが判る。表面の風成雪は尾根近くにのみ分布していたため、クラックが発生しただけで、雪崩にはいたらなかったものと考えられる。

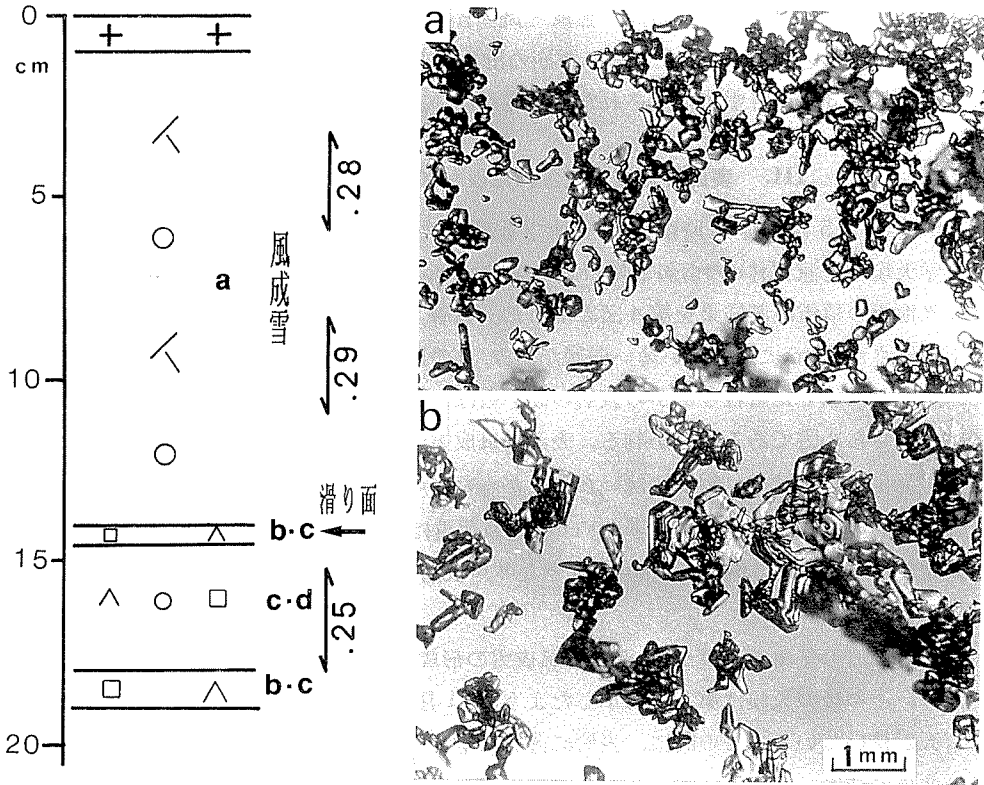
なお、この弱層の剪断強度は  $4.6 \text{ g/cm}^2$ 、上載荷重は  $3.64 \text{ g/cm}^2$ 、斜面傾斜は  $30$  度なので積雪の安定度(SI)は  $4.6/(3.64 \cdot \sin 30) = 2.5$  となり、表層雪崩発生の危険な状態であったことになる。

雪崩観測所の気象データから、弱層と風成雪の形成条件を調べた(第5図)。1月29日に降雪があり、その後の天候は第5図に示したように、1月31日から2月2日の3日間は低温、弱風で晴天が続いている。この間に、表層に薄いしもざらめ雪の層が形成され、その後、2月3, 4日の北東の強風で、降雪はなかったが、風上側の北斜面の雪が削られて飛ばされ、南斜面尾根直下に堆積したことになる。

積雪表層にしもざらめ雪が形成された理由は、次のように考えることができる<sup>6)</sup>。低温、弱風で晴天の気象条件のもとでは雪の表面を透過した日射は浅いところで吸収され、雪の内部の温度は上昇することが知られている<sup>7)</sup>。一方、雪の表面は低温の外気と接し、また長波放射のため温度の上昇は少なく、表面の薄い層の中で温度勾配が生じる。この温度勾配は上に述べた気象条件のもとでは大きく、次に述べるように短時間でしもざらめ雪が発達するものと思われる

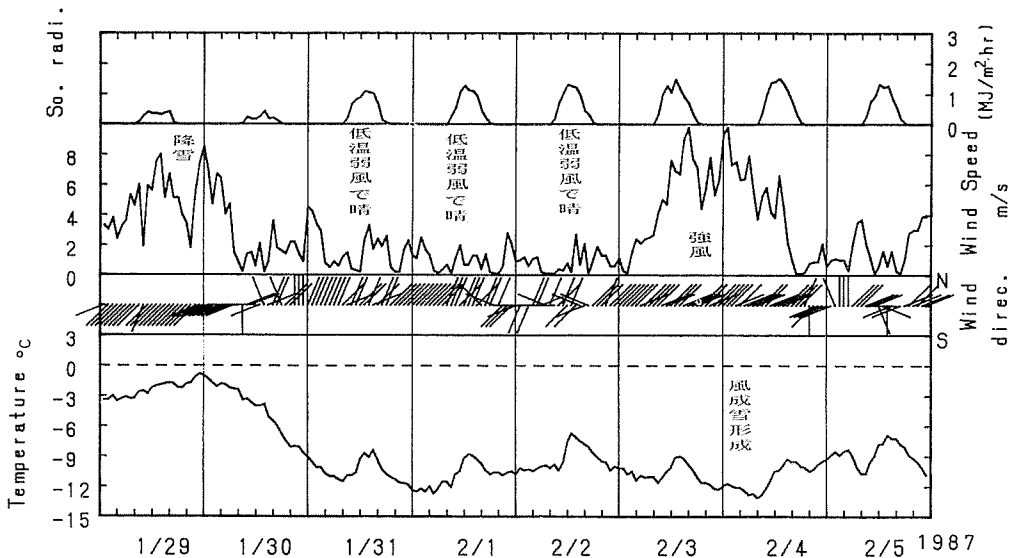


第3図 走行中に発生したクラック、問寒別雪崩観測所の南斜面



第4図 積雪層構造と雪粒写真

数字は表面からの深さと密度 (g/cm<sup>3</sup>), 写真 a は風成雪, b は滑り面の雪粒写真 (しもざらめ雪)



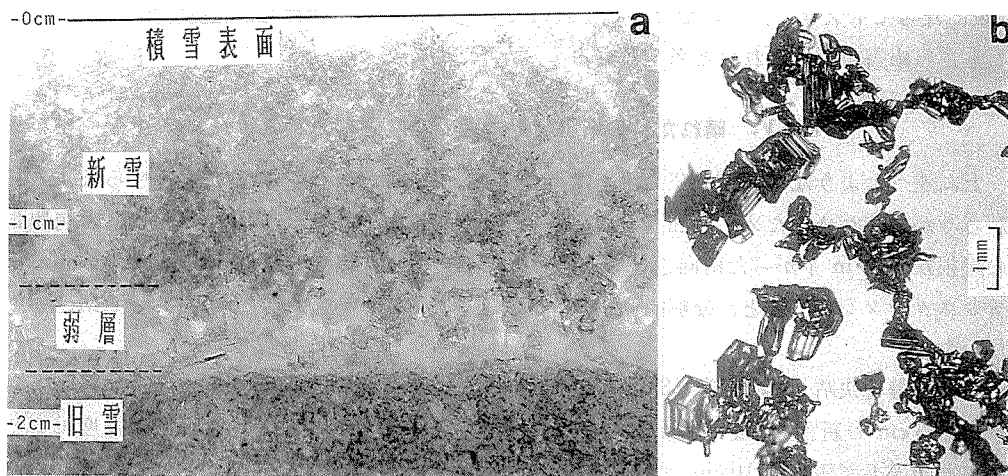
第5図 雪崩観測所の気象データ

1/31~2/2の低温, 弱風, 快晴の気象条件で表層にしもざらめ雪が形成された

る。寒冷で雪の多くない地方では、積雪の中、下層にしばしば、厚い層のしもざらめ雪が見られるが、この場合は、底が地熱のため温度が高く、表面は低い外気温で冷却されるため、しもざらめ雪の発達には長期間を要する。

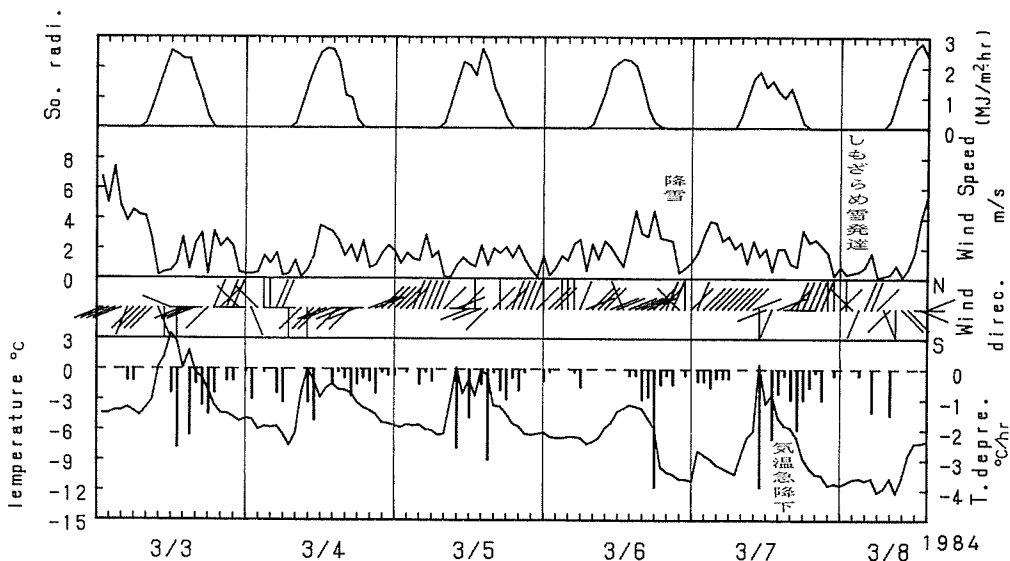
IV. 表面直下に短時間でしもざらめ雪が発達した例

1984年3月8日昼頃、上に述べた雪崩観測所付近で、新雪表面の約1cm下方に、厚さ数mmのしもざらめ雪層がみられた。第6図は表面付近の断面の接写と雪粒の顕微鏡写真である。図から明かなように、新雪とその下の硬い旧雪との間に、大粒で空隙のある、しもざらめ



第6図 急速に発達したしもざらめ雪

- a: 積雪表面付近の断面、新雪と旧雪の間にしもざらめ雪からなる弱層がある
- b: 弱層の雪粒写真



第7図 雪崩観測所の気象データ

3/6~3/7にかけて積もった新雪が3/7午後の急激な気温降下でしもざらめ雪に変わった

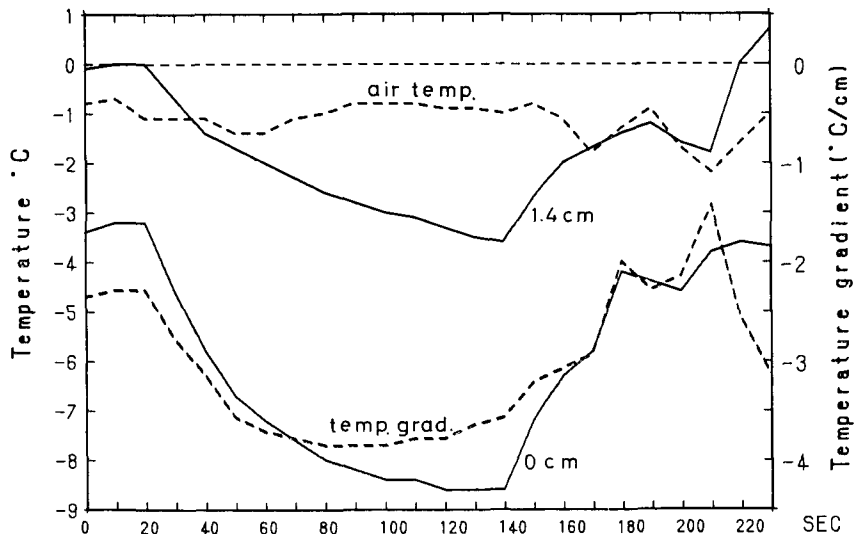
雪の薄層がある。5日前からの観測所での気象データを第7図に示した。

3月6日まで晴天が続き新たな降雪はなかった。気温の高い日が続いたため積雪表面は硬くなっていたと推定される。6日夜から7日の朝にかけて気温が低下し、2 cm あまりの新雪が積もった。7日もほぼ晴天で日の出とともに気温が上がり、正午頃にはプラスになった。その後、気温は急に低下し、夜中には  $-12^{\circ}\text{C}$  に達した。図には気温降下率 ( $^{\circ}\text{C}/\text{hr}$ ) を示してあるが、7日午後がこの6日間で一番大きい。表面の新雪を透過した日射の多くは、その下の旧雪面で吸収され、温度上昇があったと推定される。午後になると、気温低下で表面の温度は低下し、日射で暖められた旧雪面とのあいだに大きな温度勾配が生ずる。また、旧雪の熱容量が大きいいため、夜になっても大きな温度勾配は持続されたと考えられる。このため、一晩で数 mm の厚さのしもぎらめ雪が形成されたと考えられる。

### V. 晴れた日の新雪表面付近の温度分布の測定

上に述べたような積雪および気象条件のときに、急速にしもぎらめ雪が発達する条件になるかどうかを確かめるため、表面近くの温度分布を実測した。1987年2月6日午前、雪崩観測所の尾根から数 m 下がった南向きのゆるい斜面で測定した。温度測定には、直径 0.1 mm の銅—コンスタンタン熱電対と、分解能  $0.1^{\circ}\text{C}$  のデジタル記録計 (安立データコレクタ, AM, 7001) を用いた。

天気は静穏快晴 (平均風速 0.3 m/s, 日射  $1 \text{ MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$ ) で、積雪の表面には夜中につもった、厚さ 3 cm の新雪 (密度  $0.06 \text{ g}/\text{cm}^3$ ) があり、その下には、硬い旧雪があった。温度センサーは気温用として雪面上 10 cm, 雪温用として表面と表面から 1.4 cm 下の新雪中に設置した。サンプリングの時間間隔は 10 秒で、測定を開始してから、感温部に日射が当たるとのを防ぐため、雪ベラで日射を遮断した。測定結果を第8図に示した。日陰の雪面上 10 cm の気温は  $-1 \sim$



第8図 新雪表面付近の温度分布

20~140 秒の間温度センサーに当たる日射をさえぎった (1987, 2. 6, 8:40)

-2°Cで推移し、直射を受けている表面温度は-3°C、1.4 cm下の雪温は内部昇温で0°Cになっている。これらの値は熱電対感温部も日射を吸収して加熱されているので、正しい雪温ではない。そこで20秒後に、日射を遮断すると雪温は低下し、2分後には表面で約5°C、内部の温度は約3°C低下し、それぞれ-8°C、-3°C以下になった。この間、雪温測定範囲内(表面から1.4 cmの間)の温度勾配は-3.7°C/cmに達している。この値は、北海道で普通に見られる積雪の中、下層に発達するしもざらめ雪の場合の10倍以上の大きさである<sup>8)</sup>。140秒後に日射を遮っている板を取り除くと、感温部が日射で暖められ、温度はふたたび急上昇している。

日射の遮断は温度センサーの鉛直上方ではなく、太陽日射の射す斜め上方なので、積雪表面から鉛直上方への長波放射は妨げられない。したがって、短時間の日射遮断の方が実際の雪温分布に近い値が得られるものと考えられる。

## VI. ま と め

表層雪崩の滑り面となる弱層の雪質として、あられ、表面霜(surface hoar)、しもざらめ雪、特殊な降雪結晶等が知られているが、その詳しい形成過程は調べられていない。弱層の形成過程が判れば、気象データから表層雪崩の予知も可能になる。実際に発生した表層雪崩と表層にできたクラックの滑り面を調べ、これと気象データを対比して弱層の形成過程を検討した。その結果次のことが明かとなった。

1. 風のないときに積もった雪粒の付着していない、大きな広巾六華の混じった新雪は弱層となる。この様な結晶は積もった時の密度が小さく、また、大きな結晶ほど変態が遅く、密度や強度の増加が小さいためである。

2. 気温が低く、晴れた日の新雪表面付近では、日射による内部昇温と新雪の小さな熱伝導のため、大きな温度勾配が生ずる。その結果、1日程度でも表面直下にしもざらめ雪を形成し薄い弱層となる。

雪崩が発生するためには、これらの弱層の上に、弱層の強度を上回る量の雪が積もらなければならない。今回観測した2例はいずれも風をともなって堆積した風成雪であった。

観測には北海道大学天塩地方演習林の御協力をえた。積雪の内部昇温について融雪科学部門、石川信敬助教授の有益な助言を得た。また添牛内の雪崩に関し朱鞠内警察官駐在所、佐藤巡査の現地案内と状況説明を受けた。あわせて感謝の意を表します。なおこの研究に要した費用の一部は雪崩事業費から支出された。

## 文 献

- 1) 遠藤八十一・秋田谷英次 1976 斜面積雪の挙動の研究 VI. —「こぶ」状起伏の形成とその機構—。低温科学, 物理篇, **34**, 99-110.
- 2) Yasoichi Endo 1983 Glide Processes of a Snow Cover as a Release Mechanism of an Avalanche on a Slope Covered with Bamboo Bushes. Contr. Inst. Low Temp. Sci. A, **32**, 39-68.
- 3) Perla, R. I. and M. Martinelli Jr. 1978 Avalanche Handbook, U.S. Dep. Agric., Agric. Handb. 489, 254 pp.
- 4) R. A. Sommerfeld 1984 Instructions for Using the 250 cm<sup>2</sup> Shear Frame to Evaluate the

- Strength of a Buried Snow Surface. USDA Forest Service, Research Note RM-466, 6 pp.
- 5) 清水 弘・秋田谷英次 1987 日勝峠の雪崩. 低温科学, 物理篇, **46**, 77-90.
  - 6) R. L. Armstrong 1981 Some Observations on Snow cover Temperature Patterns. Proceedings of Avalanche Workshop. Technical Memorandum No. **133**, Associate Committee on Geotechnical Research. NRC Ottawa, 66-81.
  - 7) 吉田順五 1960 日射による積雪の内部融解. 低温科学, 物理篇, **19**, 97-110.
  - 8) 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**, 105-110.

### Summary

A mechanically weak layer existing in a snow cover, called a sliding surface, plays an important role in a slab avalanche release. Study on the weak layer is useful for prediction of this avalanche release. The following are the results of such a study conducted in 1984 and 1987.

A vertical section of a snow cover at an avalanche site where a small slab avalanche was released in a snowstorm on the previous day is shown in Fig. 1. A layer between the depths of 10 cm and 26 cm below the snow surface consisted of dense wind packed snow deposited by the snowstorm. Two thin weak layers were observed at the depths about 26 cm and 29 cm under the snow surface, and they were composed of calmly deposited large new snow crystals with broad branches without rime. Meteorological data at a weather station 20 km far from the avalanche site is shown in Fig. 2. It was presumed from the meteorological data that the dense slab was deposited during the snowstorm from the afternoon of the 5th to the morning of the 6th March, and the two weak layers were formed under the windless conditions on the 3rd and 5th of March 1987.

When the author was walking on a south slope near a mountain ridge of the avalanche observatory in Toikanbetsu, cracks started breaking out from under his feet extending across the hard slab 13 cm thick and the slab slid a little distance on the sliding surface. Shown in Fig. 4 are snow pit data and the picture of the snow grains of the hard slab and the sliding surface. It is clear from the snow grains and densities that the hard slab consisted of wind packed snow and the thin weak layer thinner than 1 cm consisted of depth hoar. From the meteorological data at the observatory shown in Fig. 5, it was presumed that the weak layer of depth hoar developed at a level just beneath the surface during calm and cold sunny days between the 31st January and the 2nd February, and the wind packed hard slab snow during the snowstorm from the 3rd to the 4th February.

Regarding the formation of a weak layer of depth hoar, the quick growth of this layer in a surface new snow was observed, as shown in Fig. 6. Weather conditions of this case are given in Fig. 7. In the late night of the 6th March, 1984, snow fell under windless conditions and deposited a new snow layer 2 cm thick on the old hard snow surface. On the 7th, air temperature rose up to 0°C under calm sunny weather in the daytime, and dropped down to -12°C at night. On the morning of the 8th, growth of the depth hoar crystal layer was clearly observed at the bottom level of the new snow layer, about 1.5 cm beneath the surface (Fig. 6).

Observation was made of temperature distribution in the surface new snow layer under calm sunny weather, with the result obtained as shown in Fig. 8. The sunshine to the thermocouples was screened obliquely with a small board from the upper side of the snow

surface to prevent it from being overheated during a period between 20 and 140 seconds from the start. Temperature at the surface dropped rapidly down to  $-8.5^{\circ}\text{C}$ , while that at the depth 1.4 cm below the surface gradually fell down to  $-3.5^{\circ}\text{C}$ . As a result, a large temperature gradient of  $-2 \sim -4^{\circ}\text{C}/\text{cm}$  appeared in the surface new snow layer under such a condition. It was considered that such a large temperature gradient resulted in quick growth of a thin layer of depth hoar at the new snow surface layer.