



Title	しもざらめ雪層の急速形成過程の観測
Author(s)	福沢, 卓也; FUKUZAWA, Takuya; 秋田谷, 英次 他
Citation	低温科学. 物理篇, 50, 1-7
Issue Date	1992-03-25
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/18598">https://hdl.handle.net/2115/18598</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	50_p1-7.pdf



## しもざらめ雪層の急速形成過程の観測\*

福 沢 卓 也・秋田谷 英 次

(低温科学研究所)

(平成3年11月 受理)

### I. 緒 言

積雪底面付近で観察されるしもざらめ雪は、 $0.2^{\circ}\text{C}/\text{cm}$  程度の小さな温度勾配のもとで長時間かけて生成される<sup>1)</sup>。これに対して積雪表面付近では、雪温は大きく摂動するため、大きな温度勾配があらわれ、しもざらめ雪が急速に成長する可能性がある<sup>2)</sup>。一般に、しもざらめ雪からなる層はその角張った構造のため、せん断強度が小さい。そのため、表層にこの層が形成された後、さらにその上に雪が堆積すると、この層を滑り層として表層雪崩が発生する可能性が指摘されている<sup>3)</sup>。本研究では、このしもざらめ雪層の急速形成の可能性を検証するために、実際に野外で雪温を測定するとともに、雪粒の接写を行いその変態過程を観察した。その結果、晴天日の日没後に  $2^{\circ}\text{C}/\text{cm}$  という大きな温度勾配が現れ、新雪からしもざらめ雪へと急速に変態してゆく過程が観察された。ここでは、1月と3月の観測例を示す。

### II. 観測および粒径解析

#### 1. 観測地点および観測方法

北海道北部の間寒別, 北大付属天塩演習林内にある雪崩観測室近くの南向き斜面において、積雪表層の雪温を測定するとともに雪の変態過程を観察した。観測期間は、1989年12月から1990年3月までの間の計50日間である。雪温測定は、熱電対を用いて日射の影響のない夜間に行われた。積雪表面から8cmの深さまで2cm毎に10分インターバルで雪温を測定した。熱電対には0.32mm径の単線でテフロン被覆を施したものを用い、データロガーには安立AM-7001を使用した。また、少なくとも日没時および日の出時には、雪温測定地点の近傍から雪をサンプリングし、顕微鏡を用いて雪質の観察を行った。1cmの深さから注意深く試料を取り出し、ガラス板の上に適当にばらして接写を行った。

#### 2. 平均粒径の解析方法

上記の方法で接写した写真をもとに、画像解析機を用いて粒径の解析を行った。画像解析機には、ADS, pip-4000を使用した。粒径の表わし方はいろいろあるが、ここでは円相当粒径の平均を平均粒径( $\bar{d}$ )と定義して解析を行った。ひとつひとつの粒子の輪郭が明確なものを解析対象と限定し、100個程度の雪粒子についてその平均粒径を調べた。

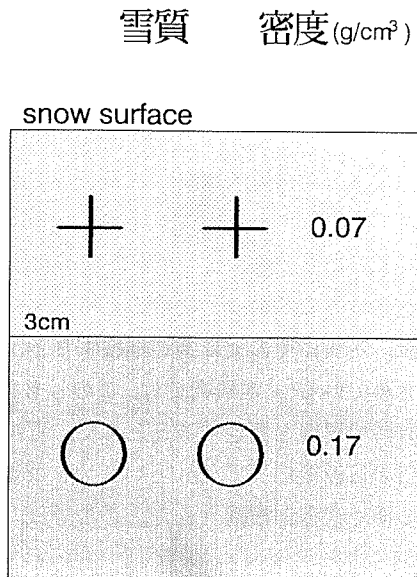
\* 北海道大学低温科学研究所業績 第3506号

### III. 観測結果

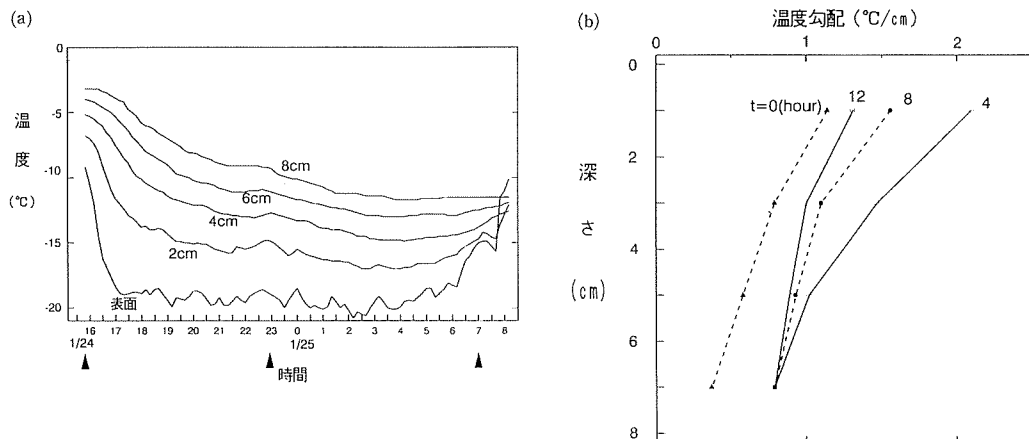
#### 1. 1月の観測例

1990年1月23日,日没時(15:50)の表面付近の構造は,密度( $\rho$ ) $0.17(\text{g}/\text{cm}^3)$ のしまり雪の層の上に $\rho=0.07(\text{g}/\text{cm}^3)$ ,厚さ3cmの新雪層が積っている2層構造であった(第1図)。1月24日夜間の温度および温度勾配プロファイルの時間変化を第2図に示す。測定期間の平均雪面温度は $-18^\circ\text{C}$ で,大きな温度勾配が夜間持続していることがわかる。特に,表層の新雪層は,12時間以上, $1\sim 2^\circ\text{C}/\text{cm}$ の非常に大きな温度勾配下におかれている。

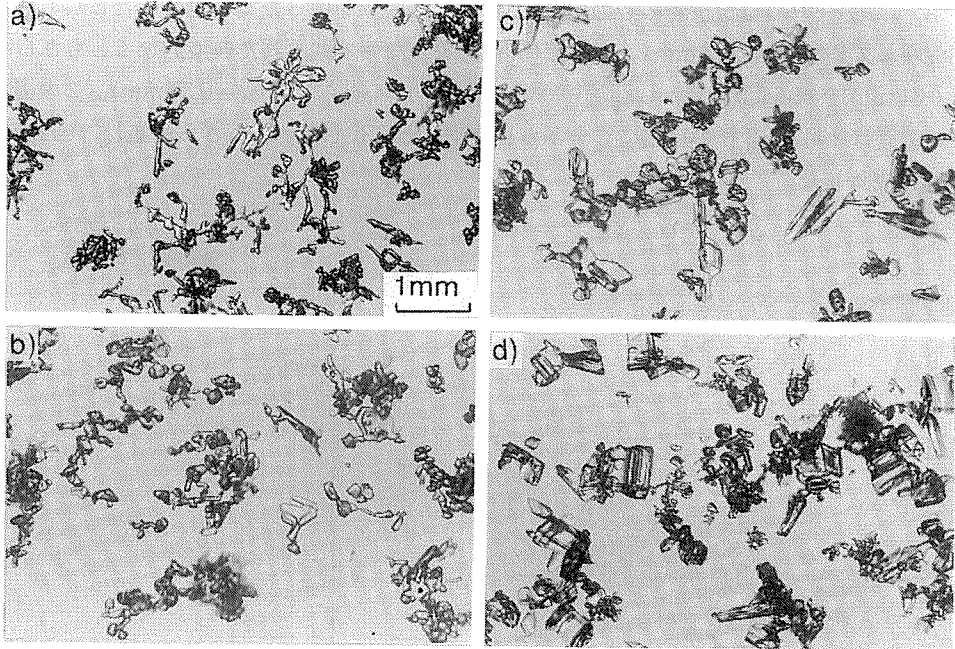
この間の雪の変態を調べるために試料の接写を行った。第3図(b)は,温度測定開始時の試料の顕微鏡写真である。23日に見られた新雪結晶(第3図(a))は少なく,むしろ小さな( $\bar{d}=0.20\text{mm}$ )角張った結晶が見られることから,表面付近はこのときまでにある程度の温度勾配下にあったことが推察できる<sup>3)</sup>。しかし,23-24日夜間の温度測定が欠測のため詳しいことはわからない。第3図(c)は,その約7時間後のものである。サイズも幾分大きくなり( $\bar{d}=0.24\text{mm}$ ),角張った形のこしもざらめ雪へと変態が進行している。さらにその8時間後の第3図(d)を見ると,骸晶状のしもざらめ雪へと変化し( $\bar{d}=0.29\text{mm}$ ),中には1mm程度の粒径を持つものもみられる。この例で,新雪層は23-24,24-25日の2夜を経過してしもざら



第1図 1990年1月23日,日没時(15:50)における積雪表面付近の層構造(+:新雪, O:しまり雪)



第2図 1990年1月24-25日夜間,表面付近2cm毎の(a)温度と(b)温度勾配プロファイルの時間変化(矢印はサンプリング時刻を示す)



第3図 深さ1 cmの雪の顕微鏡写真  
 (a) 1月23日 15:50, 新雪  
 (b) 24日 15:50, 小さなこしもざらめ雪( $\bar{d}=0.20$  mm)  
 (c) 23:00, こしもざらめ雪( $\bar{d}=0.24$  mm)  
 (d) 25日 7:00, しもざらめ雪( $\bar{d}=0.29$  mm)

め雪層へと変化した。また、その平均粒径の変化は、実験値とよく一致している。

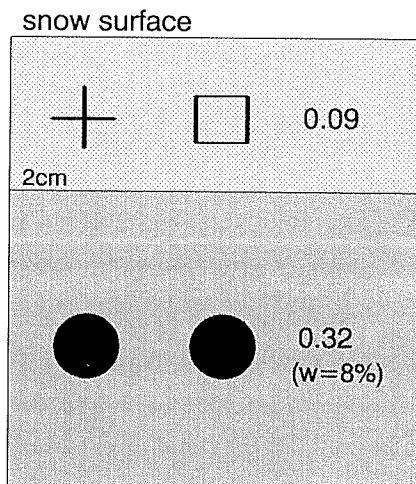
23日夕方から25日朝にかけて晴天が続き風速は平均1.0 mと穏やかであった。

## 2. 3月の観測例

第4図は3月2日、日没時(16:20)の表面付近の層構造を示している。上層がおもに新雪からなる厚さ2 cmの層( $\rho=0.09$  g/cm<sup>3</sup>)、下層が含水率( $w$ )8%のざらめ層( $\rho_{wet}=0.32$  g/cm<sup>3</sup>)という二層構造であった。これは、濡れたざらめ雪の上に新雪が積もったものである。3月2-3日夜間の温度および温度勾配プロファイルの時間変化を第5図に示す。測定期間の平均雪面温度は-9°Cで、大きな温度勾配が夜間持続している。特に、表層には非常に大きな温度勾配が現れている。

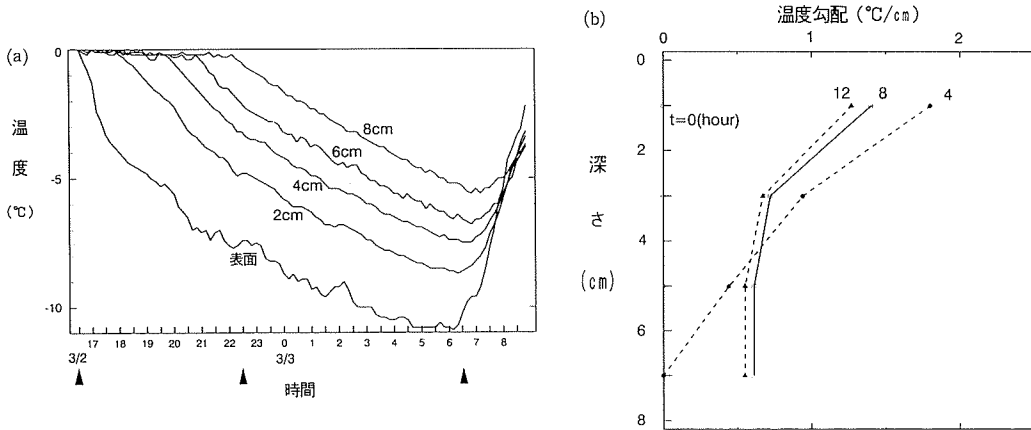
このときの深さ1 cmの雪試料顕微鏡写真を第6

## 雪質 密度(g/cm<sup>3</sup>)

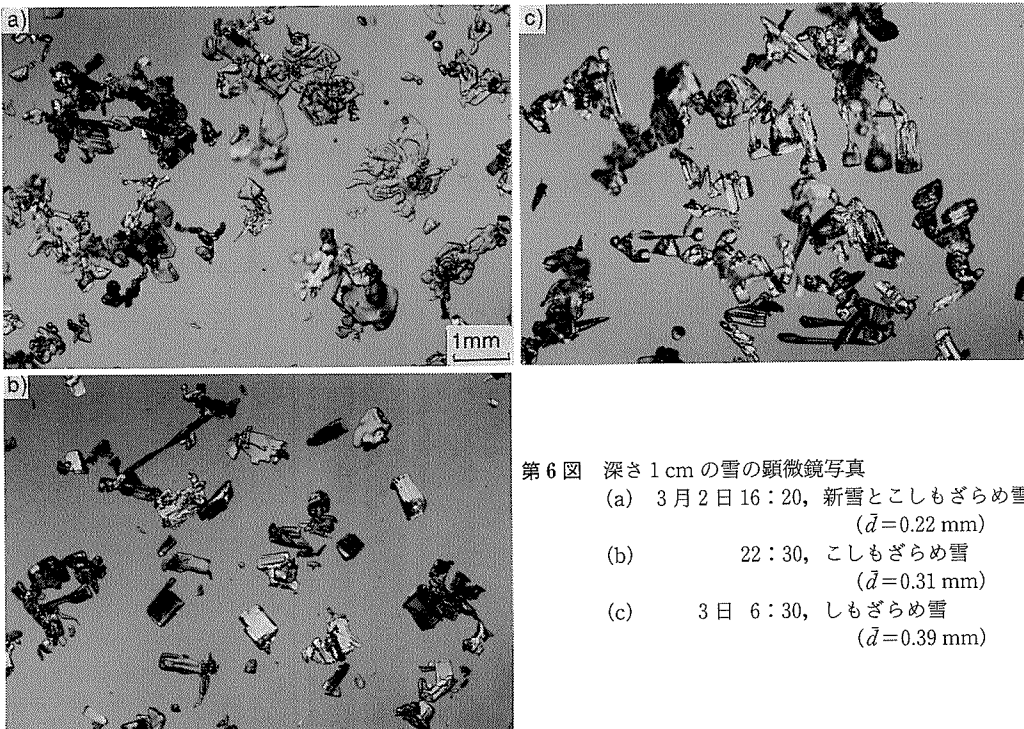


第4図 1990年3月2日、日没時(16:20)における積雪表面付近の層構造(+ : 新雪, □ : こしもざらめ雪, ● : ざらめ雪)

図に示す。第6図(a)は日没時のもので、まだ新雪の結晶形を保った雪と角張ったこしもざらめ雪が混在している( $\bar{d}=0.22$  mm)。第6図(b)は、平らな面で囲まれた典型的なこしもざらめ雪( $\bar{d}=0.31$  mm)、第6図(c)は、しもざらめ雪の結晶が多く見られる( $\bar{d}=0.39$  mm)。この例の場合、新雪層は3月2—3日の夜間にしもざらめ雪層へと変化した。しもざらめ雪は、1月の例より急速に成長した。



第5図 1990年3月2-3日夜間、表面付近2 cm 毎の(a)温度と(b)温度勾配プロファイルの時間変化 (矢印はサンプリング時刻を示す)



第6図 深さ1 cm の雪の顕微鏡写真

- (a) 3月2日 16:20, 新雪とこしもざらめ雪 ( $\bar{d}=0.22$  mm)
- (b) 22:30, こしもざらめ雪 ( $\bar{d}=0.31$  mm)
- (c) 3日 6:30, しもざらめ雪 ( $\bar{d}=0.39$  mm)

3月2日昼から3日朝にかけては晴天で、昼間は日射により積雪内部は暖められていた。夕方以降、徐々に負の放射収支量が大きくなり、雪面温度が次第に低下したものと考えられる(第7図)。また、終日微風で、平均風速は0.8 m/sであった。

以上のようなしもざらめ雪層の急速形成過程は、50日の観測期間のうち10日について観測された<sup>5)</sup>。これらの観測から、積雪表面付近では大きな温度勾配のもとでももざらめ雪層が急速に形成されることが確かめられた。

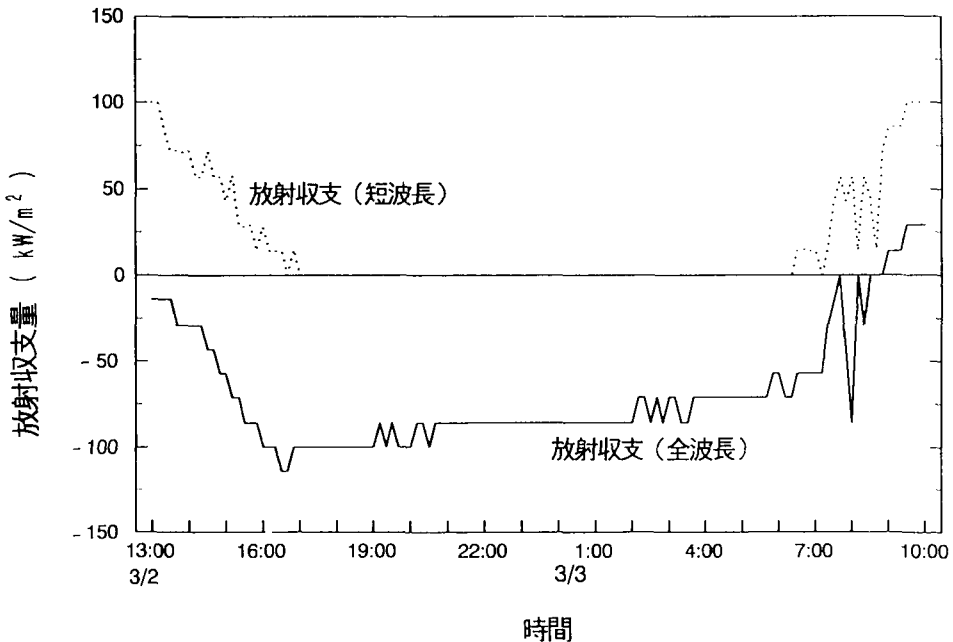
### V. 考 察

第5図(a)の中で、2 cm以下の積雪は日没後もしばらく0°Cに保たれている。これは、下層がもともと濡れていたことに加え、昼間日射による内部融解<sup>6)</sup>が起こり見かけの熱容量が増したためである。日没以降、表面では上向きの長波放射が卓越し表面温度は徐々に低下しているが、内部では相変化が終了するまで雪温は0°Cに保たれ、その後熱伝導により積雪内部は冷やされる。しかし、新雪層は低密度で熱拡散率が小さいため、表層部に大きな温度勾配が現れる。このように、下層が濡れていると見かけの熱容量が増し、表層での温度勾配を増大させる効果がある。

しもざらめ雪の成長速度、 $\dot{a}$ (cm/s)を

$$\dot{a} = \frac{d(\bar{d}/2)}{dt}$$

と、定義すると、1月24-25日夜間におけるしもざらめ雪の成長速度が、 $\dot{a}_{jan} = 0.82 \times 10^{-7}$ (cm/



第7図 1990年3月2-3日、積雪表面における全波長(実線)と短波長(点線)の放射収支量。積雪がエネルギーを得る方向が正

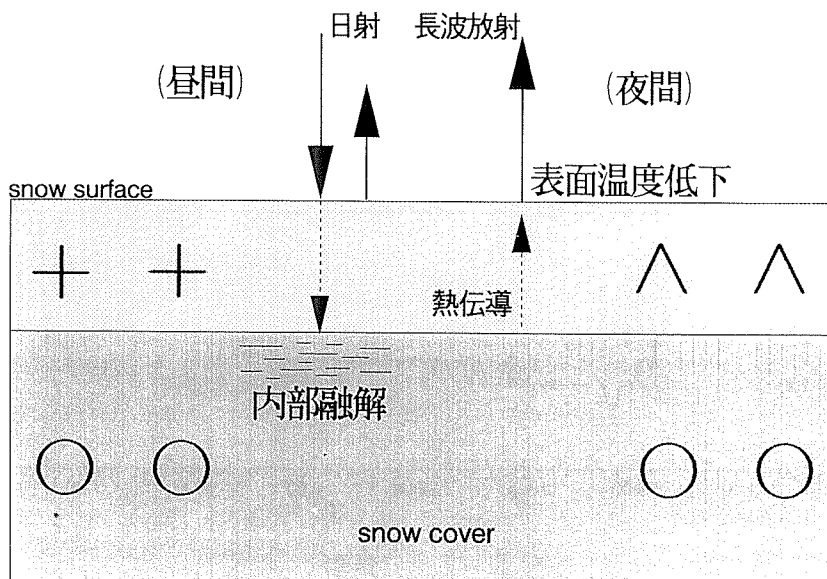
s)であるのに対し、3月2-3日のそれは、 $\dot{a}_{mar}=1.67 \times 10^{-7}$ (cm/s)と約2倍の値を示している。これは、両期間における温度のちがいを反映している。温度勾配は両者で大きく違わないが、雪温をみると後者の方が $10^{\circ}\text{C}$ 程度高い。その結果、表層での水蒸気拡散がより促進され、大きな成長速度が現れたと考えられる。

## VI. ま と め

積雪表層においてしもぎらめ雪が急速に成長するという可能性を確かめるために、雪面付近の温度測定と雪質の観察を行った。観測の結果、夜間表層で現れる大きな温度勾配の下でしもぎらめ雪層が急速に形成されることが明らかになった。そのときにみられた温度勾配は平均 $1.5^{\circ}\text{C}/\text{cm}$ 程度で、しもぎらめ雪の成長速度( $\dot{a}$ )は $10^{-7}$ (cm/s)程度であった。すべての観測事例にみられた共通の条件は、次のとおりである。

- ①旧雪の上に低密度の新雪が数cm( $\leq 3$  cm)載っている2層構造であった。
- ②南向きの斜面積雪が、昼間日射により内部昇温していた。
- ③夜間は、晴天微風で雪面から上向き長波放射が卓越していた。

これらのことから、しもぎらめ雪層の急速形成機構として次のことが考えられる(第8図)。南向きの斜面積雪は、昼間効率良く日射を吸収し昇温する。夜間、上向きの長波放射が卓越し雪面は冷やされ、熱拡散率の小さい表層に大きな温度勾配が現れる。その結果、表層での昇華・凝結が盛んになりしもぎらめ雪層が急速に形成される。また、下層が含水して見かけの熱容量が増せば、更に大きな温度勾配が現れるとともに表層の温度が下がりにくくなるので、表層における水蒸気拡散が促進される。その結果、成長速度がさらに増大することになる。



第8図 しもぎらめ雪層の急速形成機構模式図

しもぞらめ雪は、せん断強度が小さいため、しばしば雪崩の滑り層となる。表層において形成されたしもぞらめ層の上に、降雪・吹雪等によってさらに雪が堆積すると、斜面の積雪は潜在的に不安定な状態となり<sup>7)</sup>、雪崩の危険性が大きくなると考えられる。

おわりに、この研究を行うに当たって、多くのご指導をくださった成瀬廉二助教授に対し深く感謝いたします。また、北海道大学天塩地方演習林内で観測を行うに際して、多大の便宜をはかってくださった演習林の方々に、厚くお礼申し上げます。なお、この研究に使用した費用は、文部省雪崩事業費から支出された。

## 文 献

- 1) Akitaya, E. 1974 Study on depth hoar. Contr. Inst. Low Temp. Sci., A, **26**, 67pp.
- 2) 秋田谷英次・清水 弘 1987 積雪内の弱層形成に関する観察事例. 低温科学, 物理編, **46**, 67-75.
- 3) Armstrong, R. L. 1981 Snow observation on snowcover temperature patterns. In Proc. Avalanche Workshop 1980 Vancouver, B. C.
- 4) 福沢卓也・秋田谷英次 1991 大きな温度勾配の下でのしもぞらめ雪成長実験(1). 低温科学, 物理編, **50**, 9-14
- 5) 福沢卓也・秋田谷英次 1991 積雪表層における温度変化と変態過程(1989-1990). 低温科学, 物理編, 資料集, **50**, -
- 6) 吉田順五 1960 日射による積雪の内部融解. 低温科学, 物理編, **19**, 97-110.
- 7) 秋田谷英次・清水 弘・成瀬廉二・福沢卓也 1990 ニセコ雪崩(1991. 1)の積雪と気象条件からみた発生機構. 低温科学, 物理編, **46**, 15-23.

## Summary

The quick formation of a layer of depth hoar crystals was observed just beneath the snow surface on a south-facing mountain slope in northern Hokkaido. When the weather becomes clear after the deposition of a thin (less than 3cm) new snow layer on denser and older snow (Figs. 1 and 4), the temperature of the older snow rises under calm sunny weather with the absorption of solar radiation during the day time. After sunset, the surface temperature drops rapidly due to radiative cooling as shown in Figs. 2, 5 and 7. A large temperature gradient (1.0-2.0/cm) appears in the new snow layer. This large temperature gradient occurring overnight results in quick growth of depth hoar in the surface layer as shown in Figs. 3 and 6.

The quick formation of the depth hoar layer described above was observed in 10 out of the 50-days observation period. These observations showed that depth hoar crystals were produced in the surface layer over one or two night period under the conditions shown schematically in Fig. 8.

The first condition illustrated is a stratigraphy in which a low density layer of several centimeters thick overlays older and denser snow with more radiation absorptivity.

The second condition is an internal temperature increase or internal melting within the snow cover on the south-facing slope due to diurnal solar radiation, or a timely snowfall on warmer old snow.

The third condition is surface temperature decrease due to upward long-wave radiation under calm and clear weather conditions during the night.