



# HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	日勝峠雪崩の発生機構
Author(s)	清水, 弘; SHIMIZU, Hiromu; 秋田谷, 英次 他
Citation	低温科学. 物理篇, 46, 77-90
Issue Date	1988-03-10
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/18549">https://hdl.handle.net/2115/18549</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	46_p77-90.pdf



## 日勝峠雪崩の発生機構\*

清水 弘・秋田谷英次

(低温科学研究所)

(昭和62年11月受理)

### I. ま え が き

昭和62年1月29日午前11時ごろ、北海道日高山脈を横断する国道274号線の日勝トンネル十勝側坑口の上部斜面で面発生乾雪表層雪崩が発生した。雪崩は自然発生の小型なものであったが、たまたま雪崩斜面およびトンネル坑口付近で電力線補修作業が行なわれていたため、死亡1、負傷7、および車輛大破2の災害を引き起こした。この雪崩を日勝峠雪崩(昭62.1.29)と呼ぶことにする。

その後、同年3月16日に同じ場所で雪崩が発生し、また、昭和56年3月3日にも同じ場所で雪崩のあったことが判った。この二つの雪崩は何れも(昭69.1.29)雪崩と同型、同規模のものであり、又これら三つの雪崩の発生条件には幾つかの共通点があってこの場所固有のものと考えられたので、当時の雪氷・気象観測資料に基づいて日勝峠雪崩の発生機構を考察した。

### II. 日勝峠雪崩

日勝峠付近で、昭和48年以降に発生した雪崩を(第1表)に示す。峠付近での雪崩発生はすべて十勝側斜面で、日高側で発生した記録はない。これによると、資料の少ない(昭48.3.25)雪崩を除くと、日勝トンネルの十勝側坑口上部斜面で発生した三つの日勝峠雪崩はすべて発生域、走行路が同一で、雪崩規模も同程度の面発生乾雪表層雪崩であった。更に、これらは何れも自然発生雪崩であり、その発生時の滑り面はしもざらめ雪、又はこしもざらめ雪の弱層であったこと、前日は日高側から十勝側に激しい吹雪が吹いたこと等、多くの類似点を具えている。

#### II.1 日勝峠雪崩(昭56.3.3)

昭和56年3月3日午後3時半ごろ、日勝トンネル十勝側坑口の上部斜面で自然発生の面発生乾雪表層雪崩が観察された。発生前の4~5日間は北西風の地吹雪が続いたが、雪崩発生時は殆ど無風快晴であった。

観察者達は日高側から国境稜線に登り、稜線付近で積雪観測を行なった。終了後、観察者達が日高側斜面を移動している時に、十勝側斜面の稜線直下から雪崩が発生した。それまでの観察者達の行動は雪崩発生域の範囲外であり、その行動が不安定積雪に力学的刺激を直接与え

\* 北海道大学低温科学研究所業績 第3096号

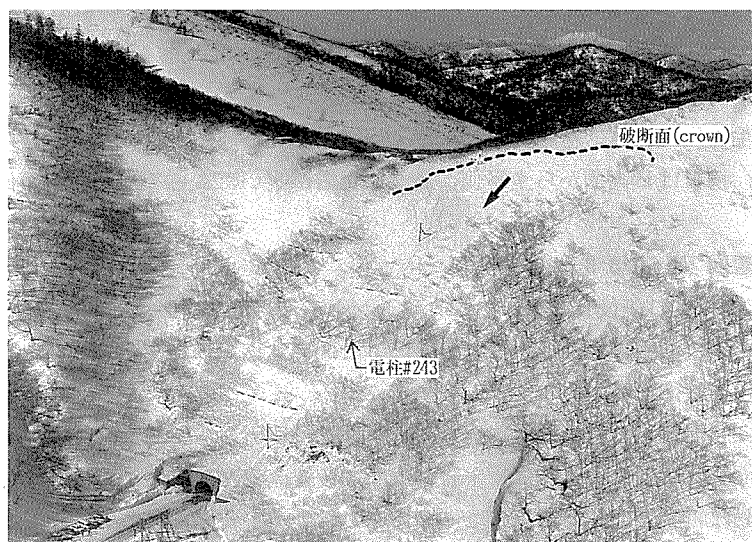
第1表 日勝峠付近で発生した雪崩(昭和48年以降)

日勝峠付近の雪崩 (十勝側, 昭和48年以降)							
発 生 年・月・日 時	昭48.3.25 (1973) 8:25	昭49.4.11 (1974)	昭50.3.21 (1975) 15:00	昭54.4.2 (1979) 14:00	昭56.3.3 (1981) 15:30	昭62.1.29 (1987) 11:00	昭62.3.16 (1987) 10:00
場 所	トンネル 上部		8合目	トンネル 左沢	トンネル上部	トンネル上部	トンネル上部
種 類	表層雪崩	全層雪崩	表層雪崩		表層雪崩	表層雪崩	表層雪崩
発生機構, 積雪構造			自然発生 (雪庇崩落)		自然発生 弱層: しもざらめ (4cm厚)	自然発生 弱層: こしもざらめ	自然発生 弱層: こしもざらめ 広幅六花
当日の天気			吹雪	雪	快晴(弱風)	快晴(無風)	吹雪
前日の天気					猛吹雪	猛吹雪	猛吹雪
災 害	なし	なし	除雪センター 建物一部倒壊	なし	なし	死1, 傷7, 車損2	なし
観 測 者			藤岡他		小林	清水, 秋田谷	清水, 秋田谷

たとは考えられない<sup>2)</sup>。従って、自然発生雪崩と判断された。人身事故、物損事故はなかった。

## II.2 日勝峠雪崩(昭62.1.29)

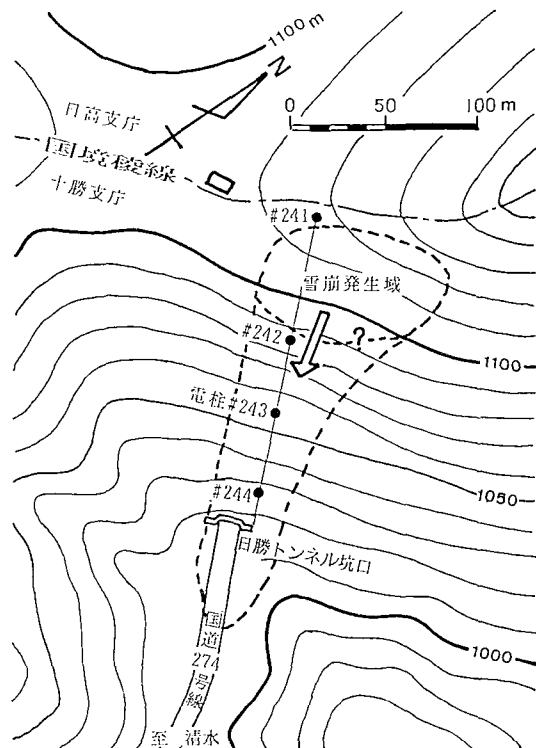
昭和62年1月29日午前11時ごろ、日勝トンネル十勝側坑口の上部斜面で面発生乾雪表層雪崩が発生した。雪崩の発生域および走行路は(昭56.3.3)雪崩と同じであった。雪崩斜面は平均傾斜約35度、斜面長約170mの南東斜面でダケカンパの疎林が散在し、下部斜面では雪崩防止柵の頭部が雪面上に露出していた。雪崩の前日および前々日は強い北西風による激しい吹雪であったが、雪崩発生当時は無風快晴で、峠付近の気温は $-6^{\circ}\text{C}$ 程度であった。



第1図 日勝峠雪崩(昭62.1.29)の現地。(帯広開発建設部, 昭和62年2月4日撮影)

雪崩は国境稜線直下、標高1,100 m 付近で発生し、流下した雪崩のデブリは国道をトンネル坑口から延長60 m にわたって平均60 cm (最高90 cm) の厚さで埋め、一部は国道東側の沢に落下していた(第1, 2 図)。雪崩は質量階級 M. M. = 2.8, ポテンシャル階級 P. M. = 5.8 程度の小型のものであった<sup>3)</sup>。

この時、電力線補修作業のため3名の作業員がこの雪崩斜面の243号電柱付近を登行していた。1名はダケカンバの立木の蔭に避難し、雪崩雪にも埋まらず無傷であった。他の2名は雪崩に流され、斜面下方の雪崩防止柵で停止したが、1名は死亡し1名は重傷を負った。またトンネル入口東側の除雪用空き地に居た7名は、1名がデブリに埋没して重傷を負い、5名が軽傷、1名は無傷であった。全体では、死亡1名、重傷2名、軽傷5名、無傷2名であった。なお、小型トラック2台が除雪用地で大破した。



第2図 日勝峠雪崩(昭62.1.29)の概要図

「雪崩が稜線直下で発生した時、3名の登行者はまだ発生域のかなり下方にいた。」という複数の証言が得られた。3名が行動していた243号電柱付近はダケカンバの疎林であり、その上部斜面には雪崩防止柵や電柱が露出している(第1図)。雪崩発生のかげはこの様な場所では起き難く、この証言は此処の地理条件と矛盾しない。即ち、この雪崩は登行者の行動で誘発されたものではなく、更に上方の発生域で自然発生したものと考えられる。

### II.3 日勝峠雪崩(昭62.3.16)

昭和62年3月16日午前10時ごろ、(昭61.1.29)雪崩の半分程度の量の面発生乾雪表層雪崩が同じ場所で発生した。現地は前日来の猛吹雪が峠を越して、国道274号線の通行止め(石山～千栄間)が午前9時に解除されて間もなくの吹雪中であった。当時雪崩地域内は無人があり、自然発生雪崩と判断された。人身・物損事故はなかった。

### III. 面発生表層雪崩の発生条件

面発生表層雪崩が発生するためには、

- 1) 積雪内部に、雪崩発生時の滑り面となり得る弱層が存在すること、
- 2) 不安定積雪の周縁破断を引き起こすきっかけ(引き金)となる局部破壊が上載積雪内に発生すること、

が必要と考えられる。

### III.1 弱 層

降雪によってできた成層構造をもつ積雪内に特に剪断強度の小さい雪層があるとき、これを弱層と呼ぶ。弱層はしばしば面発生表層雪崩発生時の滑り面となる。

弱層には、その形成過程と構造により、次のような種類がある<sup>4)</sup>。

- i) 降水によって積雪表面に一旦形成され、その後の降雪に埋没して積雪内部に長期間保存される弱層：
  - ・(静かに積もった) 広幅六花の降雪結晶層,
  - ・あられ層,
  - ・表面霜層。
- ii) 雪の変態によって積雪内部(又は表面)に形成される弱層：
  - ・しもざらめ雪層, こしもざらめ雪層,
  - ・ぬれざらめ雪層<sup>5)</sup>。
- iii) 雪質の不連続境界面：
  - ・堅い旧雪面上に新雪が積もった時の境界面。(これは降雪によって形成されるものであるが、構造的に層ではなく、滑り面となり得る寿命も前二者に比べて遥かに短いので区別しておく。)

弱層は積雪内部に潜在するため、表面観察でそれを検知することはできない。しかし弱層の形成は主に気象条件に支配され、かなり広範囲に分布しているから、斜面の特性(斜面方位、地形、傾斜、植生など)に注意して、問題とする斜面近くの安全な場所で自然積雪の断面観測を行なえば、問題斜面の積雪内の弱層の有無や、雪崩発生危険度をかなり良く推定することができる。

積雪にたて穴を掘り、その雪壁の背後側にシャベルか雪べらを上からつきさして軽くこじる等の力学的な刺激を与えると、雪は弱層で破断して鋭く切れ落ちるから容易に検知できる。この方法は shovel test と呼ばれる。テストは、壁面観察によって予め弱層の目安をつけておき、上方から小刻みに行なう。

### III.2 弱層の剪断強度指数 *SFI*

積雪の力学的性質は歪速度によって大幅に変化するから、積雪の力学的実験を行なう場合は、その目的に応じた歪速度を与えなければならない。しかし斜面積雪の歪速度は一般に  $10^{-3}$ /day 程度であり<sup>6)</sup>、積雪の破壊強度試験をこの様な小歪速度で短時間に行なうことは不可能である。そこで、規格化された大歪速度の破壊試験によって弱層の強度指数を求め、これを用いた斜面積雪の安定度を実際の雪崩現象と対応して数値化する実用的な方法 shear frame test が Roch<sup>7)</sup> によって考案され、Perla<sup>8)</sup>、Sommerfeld<sup>9)</sup> らによって更に研究が進められている。この方法は理論面ではまだ明らかでない点があるが簡便な実用性がある。弱層の強度指数 *SFI* (shear frame index, gw/cm<sup>2</sup>) の測定試験は次のように規格化され、使われている。

- 1) shear frame は、第3図に示すような寸法の断面積 250 cm<sup>2</sup>、2枚の仕切り板付きのものを標準型とする。

- 2) 測定は、注目する弱層の上載積雪を shear frame の枠の高さより僅かに厚く残して取り除き、弱層の剪断破壊が3秒以内に起きるような速度で行なう。
- 3) 一弱層について21個の測定をし、その中央値を  $SFI$  とする。

### III.3 弱層上の積雪の安定度 $SI$

弱層上の斜面積雪は底面支持力が小さく、しばしば面発生表層雪崩を起こし易いので不安定積雪と呼ぶことにする。不安定積雪による鉛直荷重を  $W$  (gw/cm<sup>2</sup>) とすると、弱層に作用する剪断応力  $\tau$  (gw/cm<sup>2</sup>) は、

$$\tau = W \sin \theta \quad (1)$$

である。ここで、 $\theta$  は弱層の傾斜角である。Roch は弱層を含む斜面積雪の安定度  $SI$  (Stability Index) を、

$$SI = SFI/\tau \quad (2)$$

と定義し、野外測定の結果から、

$$SI < 4$$

ならば、不安定積雪は雪崩発生の危険状態にあると評価した。

Perla は世界各国の雪崩の発生破断面付近の  $SI$  実測値 205 個を統計処理して、最大値 6.4、最小値 0.19、平均値 1.66、標準偏差値 0.98 を得た<sup>9)</sup>。また Sommerfeld は shear frame の面積効果実験の結果から、250 cm<sup>2</sup> frame を使った場合の臨界値は  $SI=1.5$  であるとしている<sup>9)</sup>。

カナダの Rogers 峠では、道路管理のための雪崩発生予知規準に、

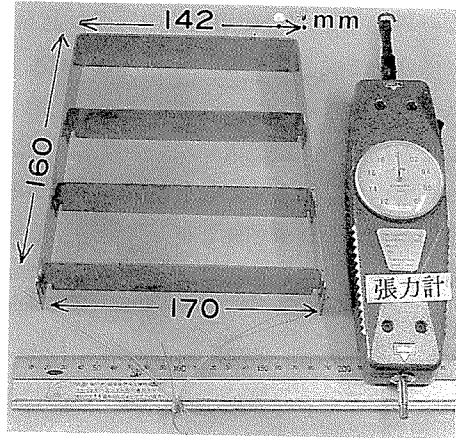
$$SI < 1.5$$

を雪崩発生危険値としている<sup>10)</sup>。

### III.4 雪崩発生の引金

雪崩発生機構については、これまで「重力の斜面分力が不安定積雪の支持強度を上回ると雪崩が発生する。」と概念的に言われてきた。

実際の斜面積雪は一様ではなく、雪崩発生の際の破壊機構はまだ殆ど解っていない。しかし、何らかの原因で張力域の不安定積雪の或る部分に局所的な破壊が起きると応力集中によってその破壊が伝播成長し、不安定積雪の周縁が破断して、面発生雪崩が発生するモデルが定性的に考えられ、これを裏付ける観察事例は少なくない。この場合には、重力による雪崩駆動力が不安定積雪の破壊強度を下回っていても、周縁破壊の引金が引かれれば(局所的破壊の発生)



第3図 250 cm<sup>2</sup> shear frame. frame を弱層直上の雪に押し込み、弱層に沿った方向に引っ張って弱層の剪断強度を測定する剪断破壊が3秒以内に起きるよう引っ張ることが規格化されている (Sommerfeld<sup>9)</sup>)

雪崩は発生し得る。冬山登山における雪崩遭難事故は必ずしも高率のものではないが、雪崩事故の90%以上が登山者自身の行動が誘発した雪崩によるという統計結果も、このモデルによれば容易に説明できる。

このように人間の行動によって発生した雪崩を人為雪崩、それ以外のものを自然雪崩と呼ぶことにする。自然雪崩の引金は雪庇崩落、強い風圧、樹木からの落雪、動物の行動などが知られている。これらに対して特別な引金がなく、上載積雪荷重が増大した結果、重力による駆動力が積雪の破壊強度を越して発生する雪崩をアメリカでは Climax avalanche と定義しているが、その発生過程は詳述されていない。

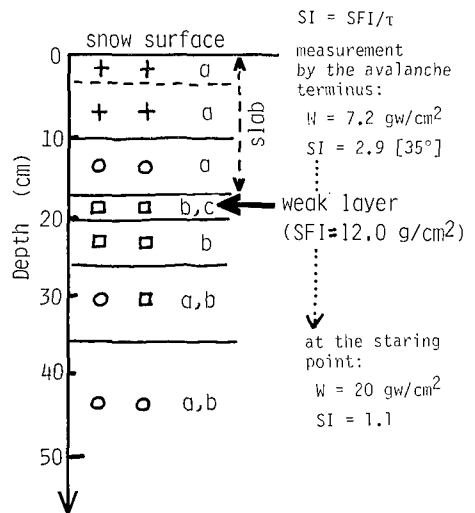
#### IV. 日勝峠雪崩調査

前記三つの日勝峠雪崩が発生した翌日、積雪観測が雪崩地付近でそれぞれ行われた。

##### IV.1 積雪断面観測 (昭 62. 1. 30, 08:00)

日勝峠雪崩 (昭 62. 1. 29) が発生した翌朝、トンネル坑口西側で自然積雪の断面観測が行われた。その結果を第4図に示す。

これによると、表面下18~20cm付近に  $SFI=12.0 \text{ gw/cm}^2$  のこしもざらめ雪の弱層があり、その上載積雪の鉛直荷重は  $W=7.2 \text{ gw/cm}^2$  であった。この積雪構造に雪崩斜面の平均傾斜35度を与えた時の安定度は  $SI [35^\circ]=2.9$  である。しかしこの観測地点は雪崩末端付近の疎林内で、雪崩発生点付近とは積雪状況にかなり差があると考えられる。後からの調査資料によれば、滑落した不安定積雪は、発生点で約50cmの厚さの非常に堅い風成隆であった。従って発生点付近での弱層の上載荷重は少なくとも  $W=20 \text{ gw/cm}^2$  はあり、不安定積雪の安定度は  $SI=1.1$  程度であったと推定される。このことから、国境稜線から十勝側の斜面積雪は、雪崩発生危険度が非常に高い状態にあったと考えられる。



第4図 積雪断面観測 (日勝トンネル十勝側坑口, 雪崩末端付近の疎林内: 昭 62. 1. 30, 08:00)

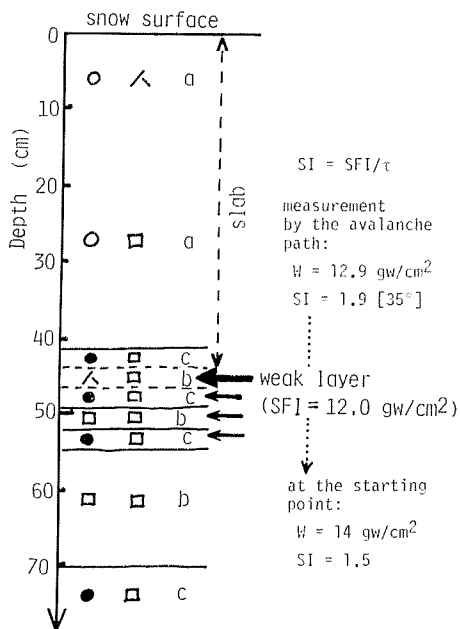
は  $SI=1.1$  程度であったと推定される。このことから、国境稜線から十勝側の斜面積雪は、雪崩発生危険度が非常に高い状態にあったと考えられる。

##### IV.2 積雪断面観測 (昭 62. 3. 17, 11:00)

日勝峠雪崩 (昭 62. 3. 16) が発生した翌日、坑口上部の雪崩走路脇で自然積雪の断面観測が行われた。その結果を第5図に示す。

すなわち、積雪表面下44~55cm付近に広幅六花の降雪結晶とこしもざらめ雪の混在した4枚の弱層群があり、その最低強度はいちばん上層の  $SFI=12.0 \text{ gw/cm}^2$  であった。この弱層の上載積雪の鉛直荷重は  $W=12.9 \text{ gw/cm}^2$  であり、斜面積雪の安定度は  $SI [35^\circ]=1.9$  であった。

雪崩発生点の積雪断面を第6図に示す。図中に、第5図と対応する四枚の弱層が見え、一番上の弱層が雪崩発生時の滑り面になったことが判る。この場所の弱層上載荷重は  $14 \text{ gw/cm}^2$



第5図 積雪断面観測（日勝トンネル十勝側坑口上部，雪崩走路脇：昭62.3.17，11:00）



第6図 日勝峠雪崩（昭62.3.16）の発生点の積雪断面。矢印は弱層：最上層の弱層が滑り面になったことが判る。（昭和62年3月17日撮影）

で、安定度は  $SI=1.5$  であった。この  $SI$  値も、雪崩発生の危険度が十分高かったことを示している。

### IV.3 積雪断面観測（昭56.3.4）

日勝峠雪崩（昭56.3.3）が発生した翌日、雪崩地周辺の4地点で積雪断面観測が行なわれた。それによると、雪崩発生域付近の観測点では、表面から44 cmの深さに、厚さ4 cmの「野帳がすんなり入るほど脆弱なしもざらめ雪層」が観察され、これが雪崩発生の滑り面になったことが確かめられた。他の観測点でも、表面から26～41 cmの深さに、厚さ数 cmのよく発達したしもざらめ雪層がそれぞれ観測された。

弱層の剪断強度や、斜面積雪の安定度は測定されなかったが、よく発達したしもざらめ雪の弱層がこの地域に広く存在しており、斜面積雪の安定度は低かったと推定される。

## V. 日勝峠雪崩の発生機構

### V.1 しもざらめ雪の急速成長

以上の観測結果から、この三つの日勝峠雪崩は、発生時の滑り面が何れもしもざらめ雪またはしもざらめ雪の弱層であったという特徴が見られる。

しもざらめ雪、こしもざらめ雪は積雪内部に上低下高の負の温度勾配が持続するとき、水蒸気の蒸発・凝結による温度勾配変態によって積雪内で成長する。自然積雪内部に発生する温

度勾配は通常は絶対値が  $0.3^{\circ}\text{C}/\text{cm}$  程度以下であり、秋田谷<sup>11)</sup>の実験では  $-0.3^{\circ}\text{C}/\text{cm}$  の温度勾配下で、約一週間でもごらめ雪の成長が観察された。また初期密度が  $0.35\text{ g}/\text{cm}^3$  以下の雪は、温度勾配変態によって機械的強度の低いしもごらめ雪になり、弱層を形成しうることも明らかにされた。

しかし最近、或る特殊な条件下でもごらめ雪が極めて短時間内に成長することが、野外観測から確かめられた<sup>12)</sup>。即ち、堅い旧雪面上に薄く積もった新雪層が無風快晴の気象条件下で日射に曝されると、

- i. この新雪層内の雪温は融点付近まで上昇し、一方雪面温度は雪面付近の気温よりも低く現われ、層内には異常に大きい負の温度勾配 ( $-2\sim-4^{\circ}\text{C}/\text{cm}$  程度) が発生した。
- ii. この様な条件に、夕刻以降の低温が引きつずいて現われた時、新雪層の底部付近にしもごらめ雪の薄層が極めて短時間内 (40 時間以内) に形成された。このしもごらめ雪の薄層は、面発生雪崩の発生滑り面に十分なり得るものであった。

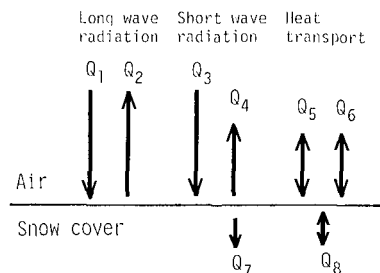
ここでこの様な積雪・気象条件と、しもごらめ雪の急速成長の関係を考察してみよう。まず、無風快晴で日射がある時の、積雪表面付近の熱に関するエネルギー収支を考えてみる。

長波放射に関しては、雪面から見て大気放射  $Q_1$  の入射と、雪面の絶対温度  $T$  によって決まる雪面放射  $Q_2$  の放射がある。短波放射に関しては、日射  $Q_3$  の入射と、その反射  $Q_4$  がある。更に、雪面と空気の温度差による顕熱輸送  $Q_5$ 、雪面に於ける蒸発、凝結による潜熱輸送  $Q_6$  などが雪面での熱エネルギー収支に関する (第7図)。

このうち、大気放射量は大気の状態や特に雲の有無によって大きく変わる。例えば、曇天の時は  $Q_1 - Q_2 \approx 0$  であり、晴天乾燥時の  $Q_1$  は小さく、雪面放射  $Q_2$  の効果が卓越して現われる。雪は長波放射に対しては殆ど黒体であるから、雪面での長波放射エネルギー収支に関して、大気放射  $Q_1$  の量を強く支配する天気の影響は大きい。

他方、短波放射に対して雪は反射体に近く、特に新雪のアルベードは  $80\sim90\%$  と高い。しかし、 $Q_3 - Q_4$  は僅かずつながら積雪内部に入って吸収され、熱となって雪温を上昇させ<sup>12,13)</sup>、屢々積雪の内部融解を起こす。積雪の密度が一様な場合は、吸収エネルギー量は雪面で最も大きく、深さに対して指数関数的に減少する。また、密度分布がある場合は、密度の高い場所の吸収率が高い。

雪面でのエネルギー収支の測定を行っていないので、例えば長波長、短波長の放射収支  $Q_1 - Q_2$  と  $Q_3 - Q_4$  の大小を、ここで量的に論議することはできない。また、放射場における雪温測定の方法についても問題が残っている。しかし、この野外観測結果<sup>12)</sup>に基づいて考えれば、堅い旧雪面上に薄く積もった新雪層が無風快晴の気象条件下で日射に曝された場合、この



第7図 雪面付近の熱に関するエネルギー収支。  $Q_1$  大気放射 (atmospheric radiation),  $Q_2$  雪面放射 (terrestrial radiation),  $Q_3$  日射 (solar radiation),  $Q_4$  反射 (reflection),  $Q_5$  顕熱輸送 (sensible heat transport),  $Q_6$  潜熱輸送 (latent heat transport),  $Q_7$  日射 (penetrated solar radiation),  $Q_8$  雪の熱伝導 (thermal conduction in snow)。

新雪層内の温度場について、次のような形成機構が定性的に考えられる。

- 1) 新雪層の内部、特に旧雪面の直上部の雪温は日射の吸収によって融点またはその近くまで容易に上昇する。
- 2) 雪面では長波放射が卓越して、温度が降下する。
- 3) 顕熱輸送  $Q_s$ 、潜熱輸送  $Q_e$  も雪面温度の上昇・下降に関与する。
- 4) その結果、熱伝導度の低い新雪薄層内には大きな負の温度勾配が発生する。
- 5) 無風快晴の気象条件が持続すると日没後は日射エネルギーが0となり、雪面放射  $Q_2$  の効果が支配的になって所謂放射冷却現象が起き、雪面温度が著しく降下する。一方、日中温められた新雪層内の温度は、雪の熱容量と低い熱伝導度によって降下が遅れ、更に大きな負の温度勾配が発生する。(但しその持続時間についてはまだ測定がない)。

野外観測で確かめられたしもざらめ雪薄層の急速成長は、その気象条件を検討すると、上記のような機構によって生じた大きな温度勾配下で進行したものと考えられる。但し、日中の温度勾配 4) と日没後の温度勾配 5) の寄与率など、量的なことはまだ解らない。

## V.2 日勝峠雪崩の弱層と不安定積雪の形成

前記三つの日勝峠雪崩の滑り面はいずれもしもざらめ雪或いはこしもざらめ雪であったこと、不安定積雪の厚さが略々 50 cm 前後であったことに基づいて、それらの形成過程を気象、地形状態から推定した。

雪崩斜面は傾斜約 35 度の南東斜面で、日射の影響を十分受ける。また同斜面は日高山脈主稜の国境稜線の東側にあつて北西の季節風に対しては風背斜面にあたり、吹雪の場合は吹溜まりを作りやすい。これらの条件を考慮して、弱層と不安定積雪の形成過程について以下のようなモデルを考えた。

A. 弱層の形成 [積雪表面層内に大きな負の温度勾配を発生させ、しもざらめ雪の急速成長を促進する気象要素]:

1. 無風降雪 [低密度、低熱伝導度の表面層の形成],
2. それに続く無風晴天と、低温および大きな温度降下率 ( $-^{\circ}\text{C}/\text{hr}$ ) [表面層内の温度上昇と、表面雪温降下による大きな負の温度勾配の発生→しもざらめ雪の急速成長].

B. 不安定積雪の形成:

北西風による吹雪または飛雪 [十勝側斜面上部に風成雪を堆積].

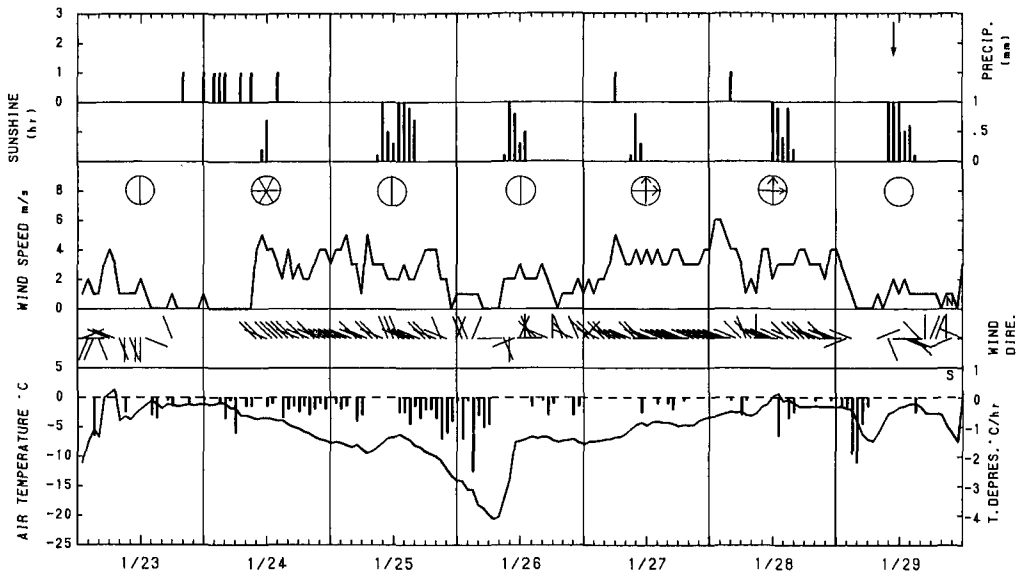
そして各雪崩の発生以前の気象条件の推移の中で、このモデルが成立し得るかどうかを調べた。使用した気象記録は、新得地点(日勝峠北東 12 km)の AMeDAS 記録、帯広開発建設部道路テレメーター・ステーション(日勝峠十勝側八合目)および同道路パトロールの気象記録である。

## V.3 日勝峠雪崩(昭 61.1.29)

昭和 62 年 1 月 23~29 日の期間の日勝峠付近の気象状況を第 8 図に示す。これによると、

- A.1 新得では、1 月 23 日深夜から 24 日午前にかけて、7 cm の無風降雪があり、日勝峠では 14 cm の降雪があった。
- A.2 25~26 日は晴天で、正午を挟んで合計約 9 時間の日射があった。気温は  $-7^{\circ}\text{C}$  から

## SHINTOKU 1987/1/23-1/29



第8図 日勝峠付近の気象状況〔昭和62年(1987)1月23~29日〕。降水, 日照, 風向, 風速, 気温は新得地点 AMeDAS 記録。天気は日勝峠付近の開発建設部気象記録(○快晴 clear, ⊙晴 fine, ⊗雪 snow fall, ⊕地吹雪 blowing snow)。↓: 雪崩発生

-20°Cに降下し, 最大 -2.5°C/hr に達する大きな気温降下率が現われた。

以上により, 1月25~26日の期間にこしもざらめ雪の弱層(第5図)が表層内に形成されたと考えられる。

B. 1月26日午後から気温が上昇して北西風が強まり, 27~28日は日勝峠付近は激しい地吹雪が日高側から十勝側に吹き続けた。

これによって, 国境稜線風下側の十勝側斜面上部では, 雪面直下に形成された弱層上に多量の飛雪が吹溜って, 不安定積雪を形成したと考えられる。

この雪崩を発生させた弱層・不安定積雪の形成過程は, V.2で与えたモデルの典型的な例といってよい。すなわち, こしもざらめ雪弱層の急速成長と, 北西風地吹雪による不安定積雪の堆積が効率的に組み合わせられた場合といえる。

#### V.4 日勝峠雪崩(昭62.3.16)

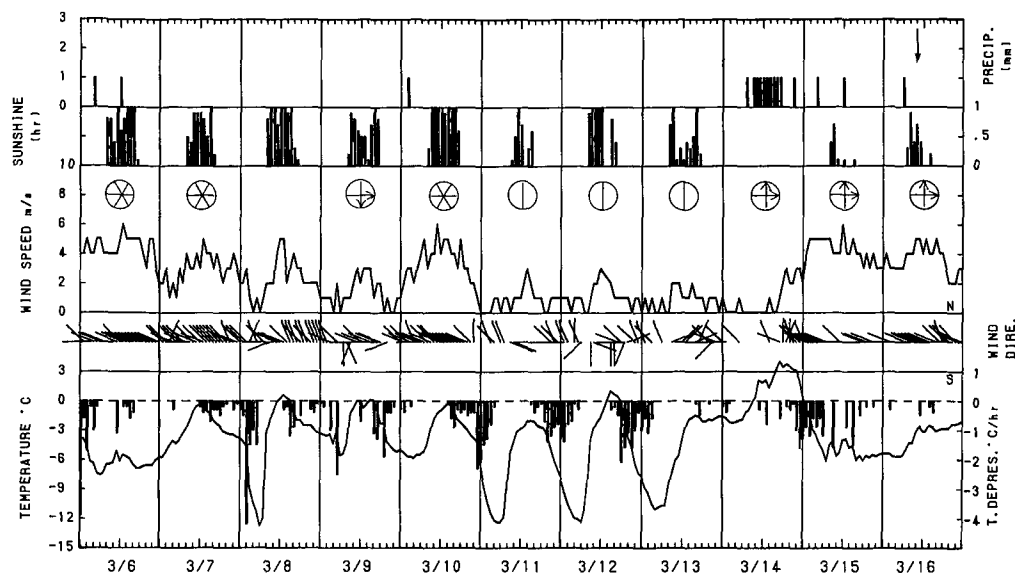
昭和62年3月6~16日の期間の日勝峠付近の気象状況を第9図に示す。これによると,

A.1 3月6~7日に, 新得では2~6 m/sの風を伴って2 cm, 日勝峠では3 cmの降雪があった。

A.2 6~13日は概ね晴天で毎日数時間の日射があった。この期間, 気温は日中は融点付近から夜間は-12°C前後までの広い範囲を周期的に変動し, 午後には最大 -3.5°C/hr に達する大きな気温降下率が頻繁に現われた。

以上の気象状況から考えると, この場合は最初に低密度新雪表層が形成された可能性は小さい

SHINTOKU 1987/3/6-3/16



第9図 日勝峠付近の気象状況〔昭和62年(1987)3月6~16日〕。降水、日照、風向、風速、気温は新得地点 AMeDAS 記録。天気は日勝峠付近の開発建設部気象記録 (○快晴 clear, ⊙晴 fine, ⊗雪 snow fall, ⊕地吹雪 blowing snow)。↓: 雪崩発生

ようである。むしろ、連日繰り返し現われた気象条件 A. 2 により、大きな負の温度勾配が雪面直下に繰り返し現われ、こしもざらめ雪の弱層が形成されたと考えられる。

B. 3月14日は、新得で11 cm、日高町で27 cm、日勝峠で10 cmの降雪があったが、夜半から北西風による激しい吹雪となり、吹雪は16日まで続いた。この激しい吹雪のため国道274号線は交通停止になった。

この吹雪により、国境稜線風下の十勝側斜面上部ではこしもざらめ雪弱層上に多量の飛雪が吹溜って、不安定積雪を形成したと考えられる。

V.5 日勝峠雪崩(昭56.3.3)

昭和56年2月18日~3月3日の期間の日勝峠付近の気象状況を第10図に示す。これによると、

A.1 2月19~20日は風弱く、新得で9 cm、日勝峠で7 cmの降雪があり、その後も21~26日にかけて微弱な降雪が屢々あった。

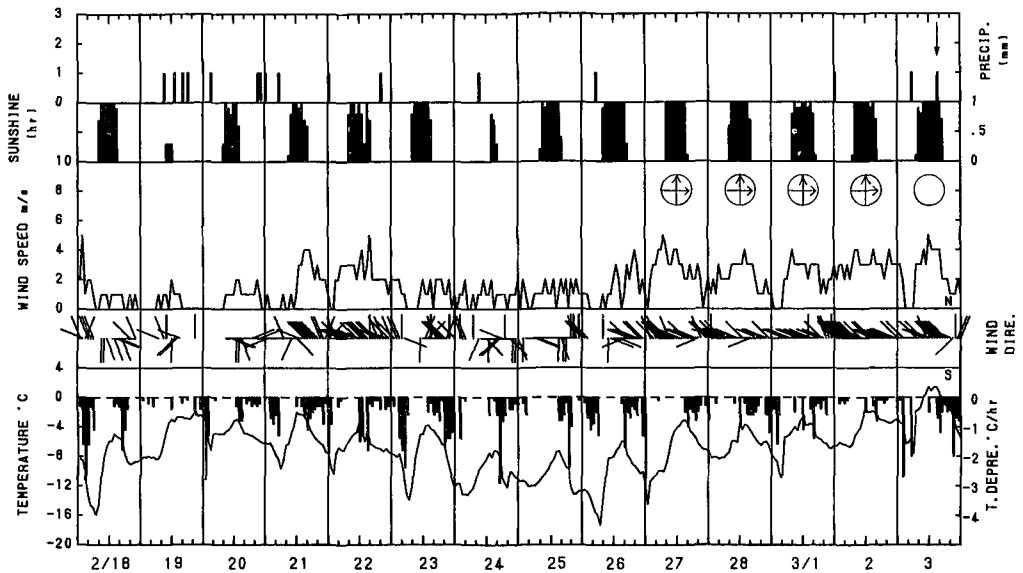
A.2 2月18~26日の期間、微風を伴った晴天が続き、毎日数時間の日射があった。気温は平均 $-8\sim-12^{\circ}\text{C}$ 前後であったが、 $-2\sim-18^{\circ}\text{C}$ の範囲を日変動し、 $-3^{\circ}\text{C/hr}$ に達する大きな気温降下率も現われた。

この期間に雪面下部によく発達したしもざらめ雪層が形成されたと考えられる。

B. 2月26日後半から北西の風が強まり、3月2日頃まで時々地吹雪を起こした。

この地吹雪により、日勝峠付近では十勝側斜面上部に飛雪が堆積してゆき、不安定積雪を形成

## SHINTOKU 1981/2/18-3/3



第10図 日勝峠付近の気象状況〔昭和56年(1981)2月18日～3月3日〕。降水、日照、風向、風速、気温：新得地点 AMeDAS 記録。天気は日勝峠付近の開発建設部気象記録<sup>1,2)</sup> (○快晴 clear, ⊕地吹雪 blowing snow)。↓：雪崩発生

したと考えられる。

この三つの日勝峠雪崩について、V.2で与えたモデルは基本的に成立していると言ってよい。但し、雪面冷却に関して風がある時の顕熱輸送、潜熱輸送の寄与を更に考えなければならない。

## VI. あとがき

国道274号線日勝トンネル十勝側坑口の上部斜面で発生した日勝峠雪崩(昭62.1.29)の調査をきっかけとして、同じ場所で起きた日勝峠雪崩(昭62.3.6)、(昭56.3.3)の調査と検討を行なった。その結果、これら三つの雪崩はいずれも同型、同規模の面発生乾雪表層雪崩であり、殊に滑り面はいずれもしもざらめ雪或いはこしもざらめ雪で、この場所固有の形成機構によるものと思われた。

最近、或る特殊な条件下で、積雪表面にある新雪層内に大きな負の温度勾配が発生し、しもざらめ雪が極めて短時間で成長することが、野外観測から確かめられた。この機構を雪面付近のエネルギー収支から定性的に考察し、しもざらめ雪の急速成長のモデルを作った。各雪崩の発生以前の気象状況を調べてみると、その推移の様子は基本的にこのモデルに対応していた。しかしこのモデルの正当性を確かめるには、雪面付近のエネルギー収支の実測、雪温分布とその変化およびしもざらめ雪の成長状況の更に明細な観測が必要である。

今回の雪崩調査に際して、多くの方々の御協力を頂いた。北海道開発局帯広開発建設部か

らは調査に積極的なご協力と気象資料、航空写真などの提供を頂いた。シン航空写真 K.K. の小林茂夫技師からは日勝峠雪崩(昭 56. 3. 3)について明細な談話を頂いた。また当時現場に居られた NTT 北海道ネットワーク支社、北海道電気保安協会および牧野電気 K.K. の方々からは、この雪崩の発生、運動に関する貴重な情報をいただいた。新得警察署には調査一般についてお世話になった。ここに記して、感謝の意を表わす。最後に、日勝峠雪崩(昭 62. 1. 29)で亡くなられた石畑文雄氏に哀悼の意を表す。

この調査研究は文部省雪崩事業費によって行われた。

## 文 献

- 1) 帯広開発建設部 1981 昭和 55 年度調査一連業務報告書(一般国道 274 号), pp. 93.
- 2) 小林茂夫 1987 個人談話.
- 3) Shimizu, H. 1967 Magnitude of avalanche. *In Physics of Snow and Ice*, (H. Ôura, ed.) Vol. 1, Part 2, 1269-1276.
- 4) 秋田谷英次 1976 積雪内のすべり面の観察. 低温科学, 物理篇, **34**, 241-244.
- 5) Izumi, K. 1987 Studies on the hardness of wet snow and its decrease due to solar radiation. (in press).
- 6) 藤岡敏夫他 1978 斜面積雪の歪速度と応力(昭和 46 年冬~昭和 52 年冬). 低温科学, 資料集, **36-37**, 39-69.
- 7) Roch, A. 1966 Les declenchements d'avalanches. *Int. Ass. Sci. Hydrol. Publ.*, No. 69, 182-195.
- 8) Perla, R. 1977 Slab avalanche measurement. *Can. Geotech. J.* **14**, 2, 206-213.
- 9) Sommerfeld, R. A. 1984 Instruction for using the 250 cm<sup>2</sup> shear frame to evaluate the strength of a buried snow surface. US Dept. Agr. Forest Service. Res. Note RM-446, pp. 6.
- 10) Perla, R. I. and Martinelli, M. Jr. 1976 Avalanche Handbook. US Dept. Agr. Forest Service. Agr. Hdbk. No. 491, pp. 204.
- 11) Akitaya, E. 1974 Studies on depth hoar. *Contr. Inst. Low Temp. Sci., A*, **26**, 1-67.
- 12) 秋田谷英次, 清水 弘 1987 積雪内の弱層形成に関する観測事例. 低温科学, 物理篇, **46**, 67-75.
- 13) 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**, 97-107.

## Summary

On January 29, 1987, a small-sized dry snow slab avalanche, with Mass Magnitude M.M. = 2.8 and Potential Magnitude P.M. = 5.8<sup>9)</sup>, was naturally released at the Nissho Pass, Central Hokkaido, Japan and resulted in casualties of one killed and seven injured. It was found that three avalanches of the same type and size were released at the same site during the last six years, but no other type of avalanche were released at all there, and moreover all of the sliding surface of the slab of them were depth hoar. From these facts, mechanism of an avalanche release, principally formation of a weak layer and an unstable snow slab at this particular site was studied by the use of the meteorological data in this district.

An ordinary magnitude of negative temperature gradient appearing inside a natural snow cover is  $-0.3^{\circ}\text{C}/\text{cm}$  or so at the most, and it takes a week or so for depth hoar to grow sufficiently under such a condition<sup>11)</sup>. Recently, it was found that depth hoar grew very quickly, within a day or so, under some special meteorological condition<sup>12)</sup>. It appeared when a surface

snow layer with low density and low thermal conductivity was exposed under calm and fine weather with sunshine. Under such a condition, the surface snow layer is heated easily up to the melting point by solar radiation<sup>10)</sup>, while the snow surface is cooled by negative balance of long wave radiation at the snow surface, between atmospheric radiation and terrestrial (snow) radiation, which results in formation of a large magnitude of negative temperature gradient in the thin surface layer. Sensible heat transport from the snow to the air caused by low air temperature and/or quick drop of it works also to cool the surface. An extraordinarily large negative temperature gradient, up to  $-4^{\circ}\text{C}/\text{cm}$ , and very quick growth of depth hoar, within a day or so, were observed at a level just beneath the snow surface under such a condition in the field. It was also confirmed that such a thin layer of depth hoar provided an initial sliding surface for a slab avalanche, if a snow slab was formed on it and an appropriate trigger action was applied.

A model of formation of an unstable snow slab was made as follows :

- A. A thin depth hoar layer is quickly formed, within a day or so, in a thin surface new snow layer of a snow cover, when it was exposed under a meteorological condition of fine and calm weather with sunshine, together with a low air temperature and/or a large air temperature drop.
- B. An unstable snow slab is formed above the depth hoar layer by deposition of drifting snow by a NW snow-storm/blowing-snow.

Possibility of formation of such an unstable snow slab in the case of these three Nissho Pass avalanches was studied respectively by the use of the hourly meteorological record at Shintoku station of AMeDAS, Automated Meteorological Data Acquisition System, 12 km NE of the pass, together with the supplemental weather record in this district.

It was reasonably presumed by the model that the depth hoar layer which was to work as the sliding surface of respective avalanche was formed 2~6 days before the release, and an unstable snow slab was formed in the following few days by a NW snowstorm/blowing-snow, as seen in Figs. 8, 9 and 10. A shear frame test by a  $250\text{ cm}^2$  frame made on two of the avalanches showed Stable Index of the slab as  $\text{SI}=\text{SFI}/\tau=1.1$  and 1.5, respectively, which indicated that the snow slab was very unstable for both cases. All these avalanches were released naturally without any artificial trigger, and mechanism of the initial failure of the unstable slab was not clear.