

1990年1月15日ニセコスキー場の雪崩

A Study on the Mechanism of Avalanche Release at the Niseko Ski Area of 15 January 1990

北海道大学低温科学研究所

秋田谷英次・清水 弘・成瀬 廉二・福沢 卓也

The Institute of Low Temperature Science,

Hokkaido University

Eizi AKITAYA, Hiromu SHIMIZU, Renji NARUSE and Takuya FUKUZAWA

Abstract

On January 15, 1990, two avalanches were released at the Niseko ski area, Hokkaido, Japan and 15 skiers were buried and two of them were killed. These avalanches were started at an elevation of 600 ~ 700 m in two steep valleys, out of normal ski courses in the ski area. The type of these avalanches were dry slab avalanche triggered by the skiers.

Observations on snow conditions near starting zone of the avalanches were carried out on January 16. A thin weak layer considered as a sliding surface of the avalanches was found under a wind slab layer about 40 cm thick. It was concluded from the AMeDAS data and type of snow crystals as follows :

1. The weak layer is quickly formed depth hoar under the condition of calm weather with a low air temperature from the afternoon 11 to the morning 12, January.
2. An unstable wind slab is formed above the weak layer by deposition of heavy snow storms during 12 and 15, January.
3. The additional weight of the skiers on the unstable snow releases the avalanche.

キーワード : 1990年1月15日ニセコスキー場の雪崩, 表層雪崩, 弱層, シアフレームインデック
ス, スタビリティーインデックス, しもざらめ雪

1. 雪崩事故の概要

北海道後志地方ニセコアンヌプリ（標高1,309m）には、ひらふ・アルペン・東山・アンヌプリの大規模スキー場があり、道内はもとより、本州からも大勢のスキーヤーが訪れる北海道の代表的スキーリゾート地帯である。各スキー場のリフトは頂上付近まで伸びていることから、雪崩や山岳遭難事故が懸念されていた。平成2年1月15日午後2時ごろ、東山スキー場付近の通称「水野の沢」で雪崩が発生し、沢の中を滑っていた2つのグループの9人が巻き込まれ2名が埋没した。1名は間もなく救助されたが、3時間後に死亡し、他の1名は翌日遺体で発見された。さらに、同日午後3時半頃、ひらふスキー場のアルペンコース付近の通称「春の滝」付近の沢でも雪崩が発生し、スキーヤー6人が巻き込まれ、このうち、2人は首まで雪に埋まったが、午後6時40分までに全員が救助された。雪崩の規模は前者は幅50m、長さ500m、後者は幅30m、長さ100mで、発生点の標高は600m～700m付近と推定され、いずれも表層雪崩であった。また、2つの雪崩とも正規のコースからはずれた滑降禁止区域内で発生したもので、立ち入り禁止を無視して危険地帯で滑っていて、雪崩を誘発したものである。図1にニセコスキー場と雪崩の位置を示した。

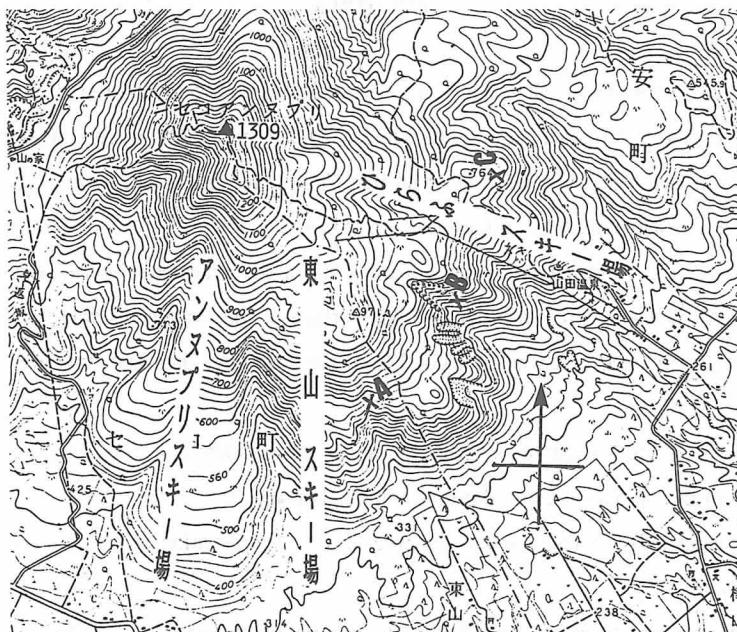


図1 ニセコスキー場と2つの雪崩事故現場

A : 水野の沢（雪崩に9名巻き込まれ2名死亡），

B : 春の滝（雪崩に6名巻き込まれたが全員救助），

C : 積雪観測地点.

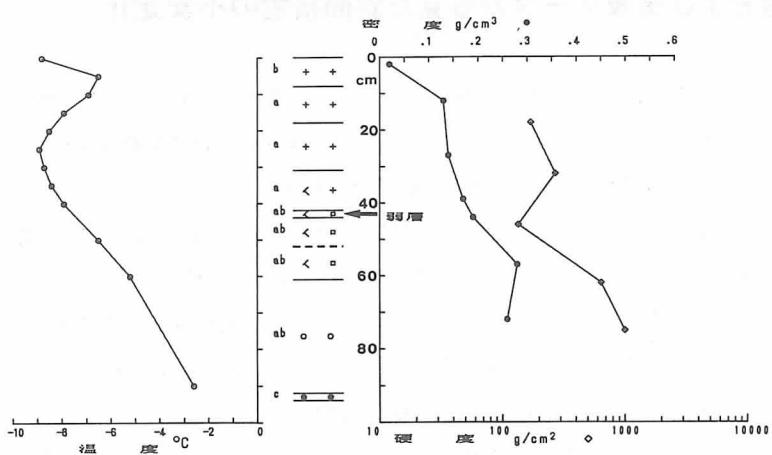


図2 ニセコ高原ゴンドラ山頂駅付近での積雪観測結果

表面を0 cmとした。矢印：弱層テストから判定した雪崩の滑り面

++ : 新雪, << : こしまり雪,

○○ : しまり雪, ●● : ざらめ雪, □□ : こしもざらめ雪

2. 積雪調査結果

雪崩の翌日、1月16日現地に入って積雪観測を行い、雪崩発生の原因を調べた。観測は、ひらふスキー場のニセコ高原ゴンドラ山頂駅付近の標高約700m地点で行った。観測点は2つの雪崩の発生点と標高、斜面方位（南東）がほぼ等しいので、雪質や成層構造は雪崩発生点と大きくは変わらないと考えられる。積雪観測結果を図2に示した。調査は雪穴を堀った一般の断面観測と弱層テスト、さらに雪試料を研究所へ持ち帰って雪粒子の顕微鏡観察を行った。断面観測用の雪穴は約1 mの深さまで堀ったが地面までは達していなかった。雪崩のすべり面となるような弱い層を見いだすために、手やシャベルによる弱層テストを試みたが、いずれも上から40 cm付近が弱く、容易にせん断破壊を起こした。この弱層が今回の雪崩の破壊面と考えられるので、深さ1 mまでの断面観測で十分と考えた。図2に示した断面観測結果によると、吹雪中に積もったと考えられる表面から約40 cmの層の下に、約2 cm厚さの弱い雪（弱層）があるのが特徴であった。この弱層についてはせん断強度を測定し、4章の安定度の推定に用いた。また、翌1月17日に行った東山スキー場「水野の沢」での雪崩発生点付近の成層構造は図3に示した。ここでは表面から20 cmまでは雪崩後の降雪によるもの、20 cmから弱層テストでせん断破壊した63 cmまでの層が雪崩になった積雪と推定された。

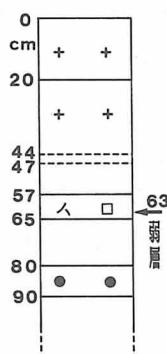


図3 東山スキー場の雪崩発生点付近での積雪層構造
表面から20 cmまでの雪は雪崩の後に積った積雪、20~60 cmまでの雪が雪崩になったと考えられる

3. 積雪および気象データから見た斜面積雪の不安定化

弱層テストによると、雪崩のすべり面は図2に示した表面から40cm余り下の厚さ2cmの層と考えられる。この弱層を含んだ雪のブロックを研究所に持ち帰り詳細な観察を行った。

雪ブロックから、鉛直面に沿って厚さ約2cmに雪を板状に切り、下から光をあてて透過光で撮った写真を図4に示した。白い帯状の部分が弱層で、雪粒が上下の層より大きく密度が小さいため、光を多く透過するので明るく見える。反対に弱層以外の部分は、粒子が小さく密度が大きいので、光は透過しにくいので暗く見える。弱層部分で雪質が不連続的に変わっているのがわかる。弱層とその上の層の雪粒のばら写し、およびアニリン法で作った薄片の顕微鏡写真を図5に示した。弱層部分は大きな粒子の降雪結晶と、温度勾配の影響を受けて角ばった、いわゆる「こしもざらめ雪」に変態したものが見られる。弱層の上の層は丸みのある小さな粒子で、風で運ばれて堆積した風成雪であることがわかる。これらの雪粒子の形態変化に着目すると、雪が積もった時、およびその後の気象の推移を推察できる。すなわち、弱層内には降雪結晶が破壊されずに形をとどめていることから、あまり風速が大きくなく、大きな降雪結晶が静かに積もったと考えられる。また、しもざらめ化した結晶が見られることから、この層が表面にあるとき、特に夜には、放射冷却で積雪表面がかなり低温になったと推定できる。そのため、表面付近には大きな温度勾配が形成され、急速なしもざらめ化が起こる。もし、晴れて日射があると、日射は積雪内部で吸収され、表面直下が昇温するので、日没後の温度勾配はさらに大きくなり、より一層、しもざらめ化は進行する。表面の積雪がしもざらめ化した後、風を伴った降雪があり、弱層の上に多量の積雪が形成されている。風速が大きい程、また風向が北西風であると風下の南東斜面には多量の雪が積もることになる。この雪はいわゆる、風成雪といわれ、粒子が小さく密に堆積するためかなり硬いのが特徴である。

図6にはスキー場に一番近い俱知安のアメダスデータを示した。さらに図にはひらふスキー場ゴンドラ山頂駅での気温と風速、およびひらふスキー場での天候も示した。図によると1月10日から11日には吹雪でまとまった降雪があり、11日午後からは雪も止み、風速も弱くなり、晴れて日も射している。このため日没後には気温が急に低下している。アメダス地点（標高174m）とゴンドラ山頂駅（標高720m）の気温を比較すると、この時だけアメダス地点の気温が山頂駅より4℃あまり低く、放射冷却による気温の逆転があったことが推察できる。午後からの日射による内部昇温と日没後の放射冷却により、積雪表面に大きな温度勾配が生じ、しもざらめ化が進行し積雪は脆弱になったと考えられる。その後、12日午後から雪が降りはじめ、13、14日には吹雪となり、山頂駅では10m/s以上の風速となっている。また、13日には北西～北北西の風向で雪崩のあった南東斜面には多量の風成雪が形成されたであろう。すなわち、新雪がしもざらめ化した弱層の上に比較的短期間に多量の風成雪が形成されたため、斜面積雪は不安定な状態であった。

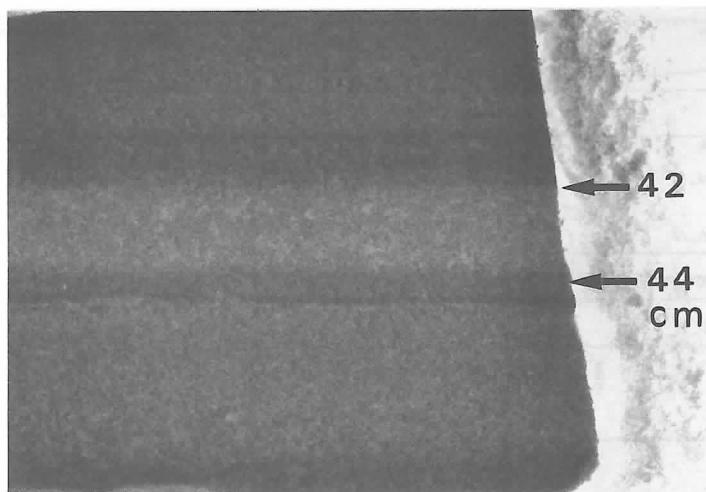


図4 弱層を含んだ積雪の層構造

厚さ約2cmの雪板に下から光を当てたもの、数値は表面からの深さ

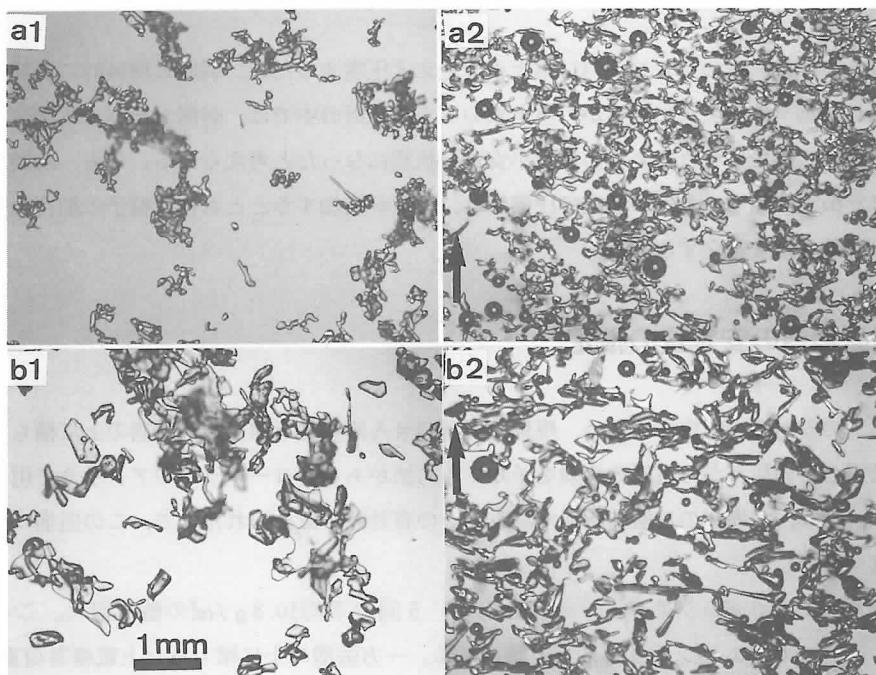


図5 雪粒子の顕微鏡写真

上段：弱層上の風成雪 a 1 はばら写し, a 2 は鉛直薄片

下段：すべり面となった弱層 b 1 は粒のばら写し, b 2 は鉛直

薄片, 薄片の矢印は鉛直上方

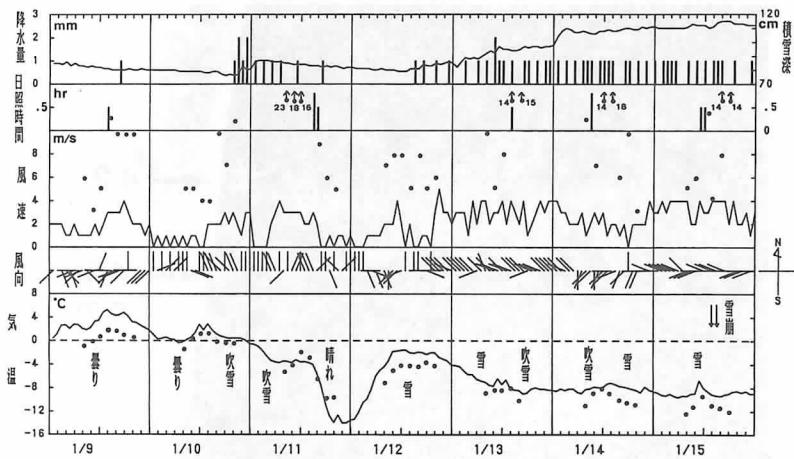


図6 俱知安のアメダスデーターとスキー場での風向・風速と天候
黒丸はひらふスキー場ゴンドラ山頂駅での値、黒丸と矢印及び数値は風速の値

と思われる。スキー場のゲレンデ内は雪上車で絶えず圧雪するため、弱層は機械的に破壊・圧縮されるため積雪全体は丈夫になるが、雪上車の入らない沢の中では、弱層がそのまま保存され、その上に風成雪が積もったため、かなり不安定な状態になったと考えられる。なお、時間が経つと弱層はその上に積もった雪の荷重で圧縮され、密度が増加するとともに雪粒子の結合も強固になり、斜面積雪は安定化する。

4. 斜面積雪の安定度の推定

斜面積雪の安定度を推定するため、現場で弱層のせん断強度を測定し、弱層の上に積もっている上載積雪と斜面傾斜から雪崩の危険を予知する方法がある。ヨーロッパやアメリカで用いられているが、近年、北海道の日勝峠雪崩で試み、その有効性が認められたので、この雪崩についても安定度を計算した。

せん断強度は 250cm^2 のシアーフレームを用い、5回の平均 10.8g/cm^2 の値を得た。この値はSFI（シアーフレームインデックス）と呼ばれる。一方弱層の上に積もった上載積雪荷重Wは 5.50g/cm^2 であった。傾斜を θ とおくと、定義により安定度SIは次の式で求められる。

$$SI = SFI / (W \times \sin \theta)$$

一方、表層雪崩発生と SI 値との間には次の関係が得られている。

SI < 4 : 表層雪崩発生の危険が大

SI < 2 : 表層雪崩発生の危険が非常に大

この値はアメリカやヨーロッパにおける、205個の自然および人為雪崩（スキーヤーなど人間の行動で雪崩を誘発したもの）での観測結果から統計的に求められた値である。

なお、この SI 値の基準をいくつにするかは、研究者や国により多少異なり、カナダでは SI が1.5で自然発生雪崩の危険が大とし、大砲による人工雪崩実施の基準としている。

観測地点の斜面傾斜20度を用い安定度 SI を求めると6.9となり、ここでは雪崩の危険は全くない結果となった。なお傾斜を35度にすると SI は3.75となり「雪崩発生の危険が大」の範囲に入る。

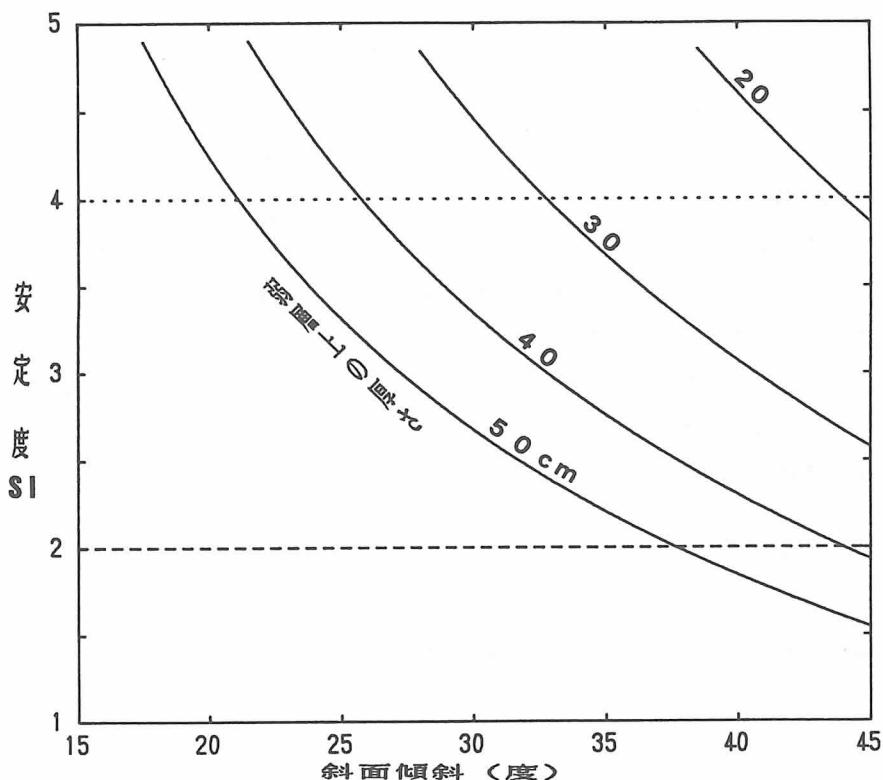


図7 弱層上の雪層の厚さと傾斜角から計算した積雪の安定度

ひらふスキー場（標高700m付近）での観測値をもとに、雪層の密度を0.14、せん断強度（SFI）を10.8として計算した。安定度2以下では「雪崩の危険が非常に大」といわれている

さらに、図3に示した東山スキー場・水野の沢の雪崩発生点付近の積雪成層構造から、雪崩雪の厚さが43cm、(20~63cmまで)、その層の密度とSFI(シアーフレームインデックス：せん断強度)をひらふスキー場の実測値と同じ 0.14 g/cm^3 、および 10.8 g/cm^2 と仮定し、傾斜を35度とすると、上載荷重Wは $7.34 (=43 \times 0.14 / \cos 35)$ となり、SIは $2.56 (=10.8 / (7.34 \times \sin 35))$ となり、かなり危険な状態であったと推定される。なお、水野の沢の雪崩走路の平均傾斜は28度、最大傾斜は約40度である。

図7には、弱層上の風成雪の密度と弱層のせん断強度(SFI)を実測値と同じ 0.14 g/cm^3 、 10.8 g/cm^2 としたときの、雪層の厚さと、傾斜角により安定度SIの変化する様子を示した。風成雪の厚さが40~50cm、傾斜が35度以上では安定度が2程度まで低下し「表層雪崩の危険が非常に大」の範囲に入り、スキーヤー等の刺激で雪崩の発生する危険が大きいことが判る。また、東山スキー場では捜索中に2度の小さな表層雪崩が発生し、雪崩の危険度が非常に大きくなったことを裏付けている。

5. まとめ

今回の雪崩事故は、同一スキー場内の近接した2つの沢でほぼ同時刻に発生した表層雪崩によった。両雪崩は不安定積雪をスキーヤーが刺激した誘発雪崩であるが、当時の斜面積雪は不安定であり、この不安定化の要因は数日間の降雪や気象条件に依存すると考えられる。気象データの解析結果、吹雪のあとに弱い風速下で降雪があり、その後晴れて放射冷却により積雪表面が冷やされ、しもざらめ化が進行し、弱層が形成された。その後の3日間は雪または吹雪の天候で、弱層上に多量の風成雪が形成された。この気象経過が斜面積雪の不安定化を招き、スキーヤーの刺激が雪崩を誘発したと考えられる。

終わりに本調査に協力頂いた、ニセコひらふスキー場、東山スキー場の方々、調査に同行された森林総合研究所新田隆三氏、またアメダスデータの入手に関してお世話になった気象協会北海道本部の植松孝彦氏に対し、ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 清水弘・秋田谷英次(1987). 日勝峠雪崩の発生機構. 低温科学, A, 46, 77-90.
- 清水弘・秋田谷英次(1987). 日勝峠雪崩(昭62. 1. 29)の発生機構. 雪氷, 49, 139-145.
- 清水弘・秋田谷英次(1987). 昭和61年度雪氷災害の概要. 北海道地区自然災害資料センター報告, 1, pp.

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, A, 46, 67-75.

清水弘・秋田谷英次 (1989). 北海道の雪氷災害—昭和62, 63年度の北海道内の雪崩発生事故と日勝峠地域の雪崩発生機構—. 北海道地区自然災害資料センター報告, 4, 115-118.