



Title	ニセコ雪崩（1990. 1）の積雪と気象条件からみた発生機構
Author(s)	秋田谷, 英次; AKITAYA, Eizi; 清水, 弘 他
Citation	低温科学. 物理篇, 49, 15-23
Issue Date	1991-03-01
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/18591">https://hdl.handle.net/2115/18591</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	49_p15-23.pdf



## ニセコ雪崩(1990.1)の積雪と気象条件 からみた発生機構\*

秋田谷英次・清水 弘・成瀬廉二

(低温科学研究所)

福沢卓也

(北海道大学大学院理学研究科)

(平成2年10月受理)

### I. はじめに

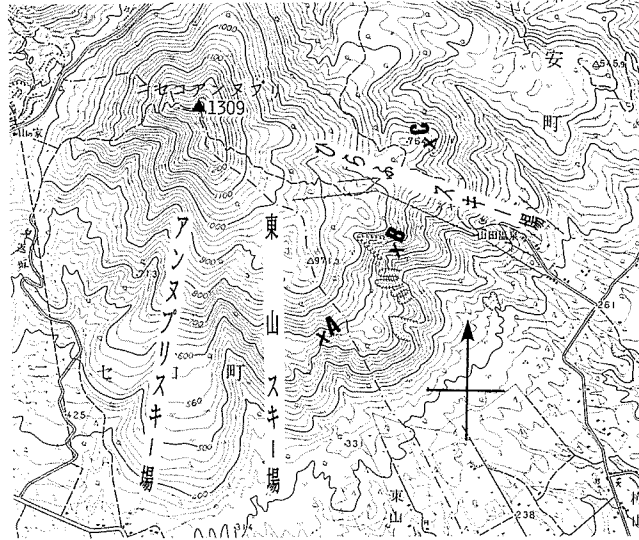
北海道の代表的スキーリゾート地の一つに、後志地方のニセコスキー場がある。この地域にはニセコアンヌプリ(標高1,309 m)を中心に、ひらふ・アルペン・東山・アンヌプリ等の大規模スキー場があり、スキー場のリフトは頂上付近まで伸びている。同地域には過去にもいくつかの雪崩の記録があるため、特に雪崩の危険な斜面は立ち入り禁止区域とし、ロープ・標識等で指定されている。しかし、リフトが整備されると、多くの人々が訪れ、それらの中には立ち入り禁止を無視して危険地に入り込み、雪崩事故に遭う恐れがある。これまでも立ち入り禁止区域に、スキーヤーが入り込むことがあったが、大きな雪崩は発生しなかった。しかし今回は、ほぼ同時に2箇所でも雪崩が発生し大きな事故に至った。調査の結果、事故当時の斜面の積雪は特に雪崩の起きやすい状態であったことが明らかとなったので報告する。

### II. 雪崩事故の概要

1990年1月15日午後2時ごろ、ニセコ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人が巻き込まれた。1名は間もなく救出されたが、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、ひらふスキー場に隣接するアルペンコース付近の通称「春の滝」の沢でも雪崩が発生し、スキーヤー6人が巻き込まれ、この内2名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50 m、長さ500 m、後者は幅30 m、長さ100 mで、発生点の標高は600 m~700 m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離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危険地帯で滑っていて、雪崩を誘発したものである。第1図にニセコスキー場と雪崩の位置を、第2図に写真を示した。

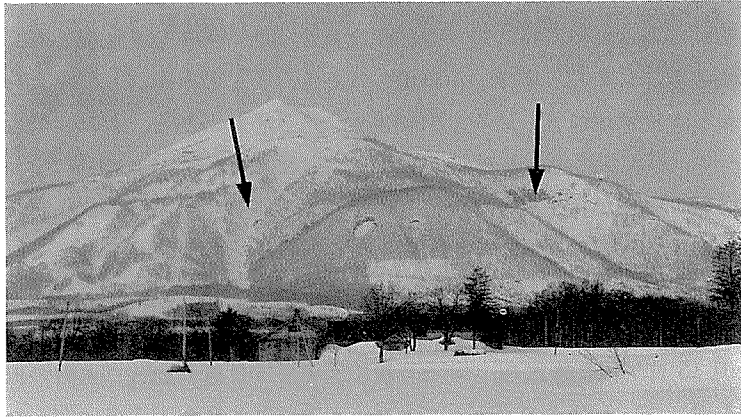
---

\* 北海道大学低温科学研究所業績 第3401号



第1図 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



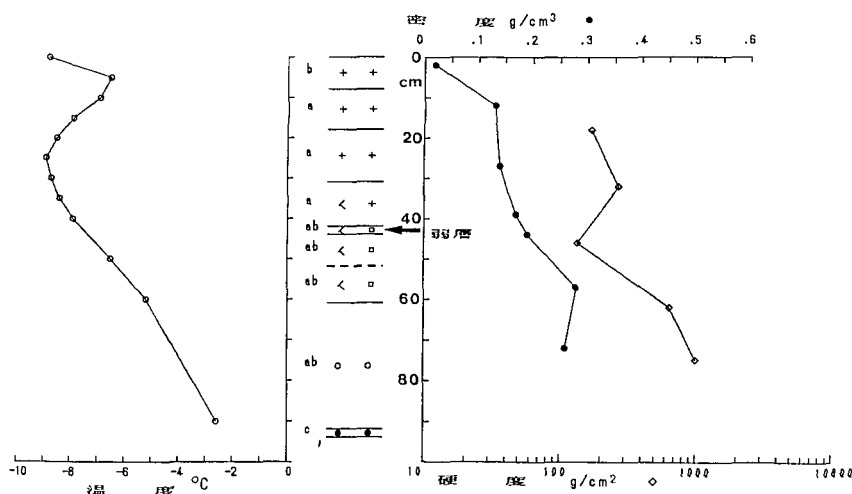
第2図 ニセコアンヌプリと2つの雪崩地点

左矢印: 水野の沢, 右矢印: 春の滝

### III. 積雪調査

#### 1. 雪崩発生点付近の積雪調査

雪崩発生の日1月16日に、現地で積雪観測を行い、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。調査は雪穴を掘った一般の断面観測のほか、雪崩のすべり面を検知するための弱層テストを実施した。また、雪試料を低温科学研究所へ持ち帰り、低温室で積雪層構造と雪粒子の顕微鏡観察を行った。



第3図 ひらふスキー場 Gondola 山頂駅付近における積雪観測結果

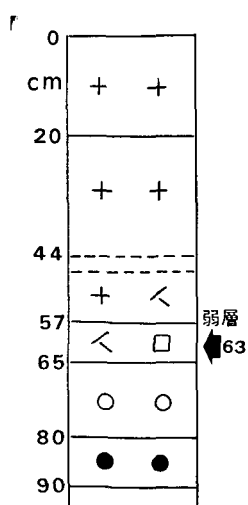
積雪表面を 0 cm とした。矢印：弱層テストから判定した雪崩の滑り面，+：新雪  
 <：こしまり雪，O：しまり雪，●：ざらめ雪，□：こしもざらめ雪

積雪断面観測にさきがけて、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数カ所で試みた。その結果、いずれも表面から 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すべり面（せん断破壊面）と考えられたので、深さ 1 m までの積雪断面観測で十分と判断した。積雪観測結果を第 3 図に示す（雪穴の底は地面までは達していない）。図に示した観測結果によると、雪崩発生前の吹雪中に積もったと考えられる表面から約 40 cm の新雪層の下に、厚さ約 2 cm 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、IV 章で詳しく述べる。また、この弱層のせん断強度を測定し、V 章の安定度の推定に用いた。なお、深さ 60 cm より下は、密度約 0.25 g/cm<sup>3</sup>、硬度 0.7~1.0 kg/cm<sup>2</sup> の比較的強固なしまり雪であった。

翌日 1 月 17 日には、東山スキー場「水野の沢」の雪崩発生点付近で自然積雪を観測した。そこでの積雪成層構造を第 4 図に示した。表面から 20 cm までの新雪は雪崩発生後の降雪によるものである。弱層テストによると、表面から 63 cm の深さに弱層があり、容易にせん断破壊が起こった。第 4 図と第 3 図（1 月 16 日のひらふスキー場）の積雪断面結果を比較すると、弱層の位置と雪質はほぼ同じで、2 つの雪崩は同じ気象条件で形成された積雪内の弱層破壊が原因と考えられる。

## 2. 雪崩のデブリ調査

1 月 17 日、「水野の沢」雪崩のデブリ末端付近で簡単な積雪調査を行った。雪崩の走路は、全長約 500 m、平均斜度 28 度、最



第4図 水野の沢の雪崩発生付近における積雪層構造

表面から 20 cm までの雪は雪崩の後に積もった新雪、20~63 cm までの雪が雪崩になったと考えられる

第1表 ハンドテストによる雪の硬さの指標

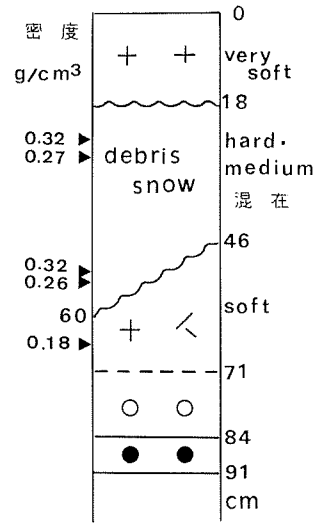
呼 び 名	操 作
非常に軟らかい (very soft)	にぎり拳が入る
軟らかい (soft)	指4本が入る
中 程 度 (medium)	指1本が入る
硬 い (hard)	鉛筆が入る
非常に硬い (very hard)	ナイフが入る

ハンドテストは手袋をつけた状態による。

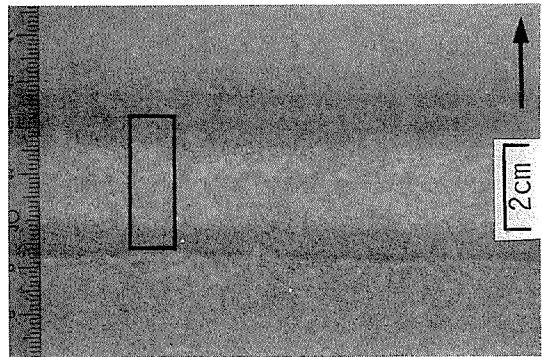
大斜度40度であった。デブリの末端付近で、雪崩の翌日16日午後、1名の遺体が発見されたが、深さ2mの雪の中に頭を下に仰向けになって埋まり、死因は胸部圧迫による窒息死であった(北海道新聞, 1月17日)。表層雪崩の埋没者の捜索時にデブリが非常に硬くしまっていたという報告は多くあるが、密度や硬度を実際に測定した例は少ないので簡単な積雪断面観測を行った。測定場所は標高約430mのデブリ末端付近で、一帯は遭難者の捜索活動のためにあちこち掘り起こされていたが、その中で雪面があまり乱されていない場所を選んだ。密度は100cm<sup>3</sup> サンプラーで、硬度はハンドテストによった。ハンドテストの基準は第1表に示した。

第5図に観測結果を示す。観測時刻は雪崩発生後2日弱である。デブリの上には雪崩の後に積もった新雪層が約20cmあった。ここでのデブリの厚さは20~40cmと一様ではなく、硬い雪の塊とその間を埋める比較的軟らかい雪からなっており、成層構造を持たないので自然に積もった雪とは区別できる。デブリの密度は0.3g/cm<sup>3</sup>前後で、その下の自然積雪の密度0.18g/cm<sup>3</sup>よりはかなり大きい。硬さも「中程度」から「硬い」の範囲にあり、同じ深さの自然積雪よりはるかに硬く、また、この硬さは同密度の自然積雪より大きな値である。

第4図と第5図とを見比べると次のことが分かる。発生点では深さ20から63cmの新雪層が雪崩となり、滑走中に走路の新雪を取り込みつつ、雪崩下流端で停止時には深さ18cmから46~60cmの圧密された硬いデブリとなった。第5図のしまり雪の上面(深さ71cm)の層境界は、第4図の弱層(深さ63cm)と同一時期に形成されたものと考えられる。



第5図 水野の沢の雪崩デブリ末端付近の積雪断面  
深さ18cmから46~60cmの雪が雪崩のデブリ



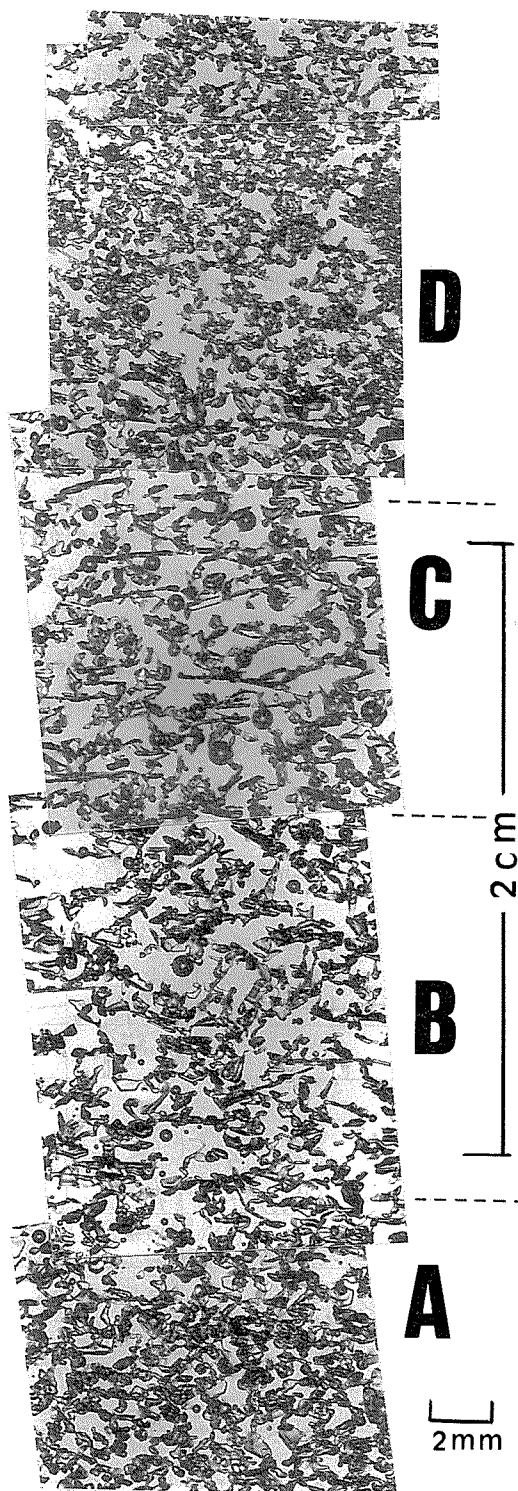
第6図 弱層を含んだ積雪の層構造  
厚さ約2cmの雪板に下から光を当てたもの。中央の水平な帯状の部分が弱層、枠で囲んだ範囲は第7図の薄片の位置、矢印が鉛直上方

#### IV. 積雪および気象データから みた弱層の形成過程

第3,4図の積雪層構造に示されたように、2つの雪崩発生点付近ではいずれも、積雪内に容易にせん断破壊する構造の弱層があった。したがって、これらの弱層は同じ時期に同じ気象条件下で形成され、そのため雪崩発生当時の積雪はかなり不安定な状態にあったと考えられる。この弱層の形成過程を調べるため、第3図に示した積雪から弱層を含んだ雪のブロックを切り出し、低温実験室に持ち帰って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、背後から光をあてて透過光で撮った写真を第6図に示した。中央の水平な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、光は透過しにくく暗く見える。弱層部分で雪質が不連続的に変わっているのがわかる。

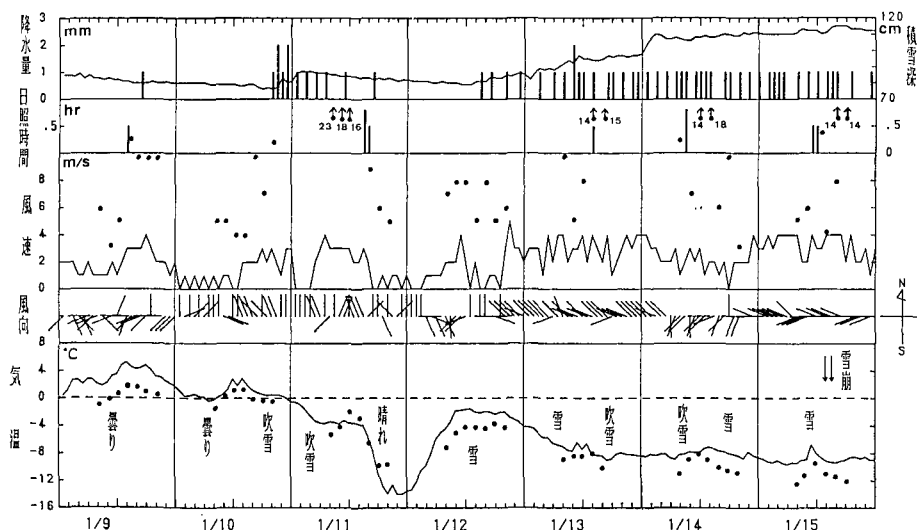
さらに、弱層の微細構造を調べるため、第6図の枠で囲んだ範囲の鉛直薄片を作り、顕微鏡観察を行った。その写真を第7図に示す。弱層直下(A)には小さな粒子が網目状に連結した丈夫な構造が見られる。弱層下部(B)には大きな粒子の降雪結晶と、温度勾配の影響を受けて形成された、角ばった、いわゆるこしもざらめ雪に変態したものが見られる。弱層上部(C)には水平な細長い結晶が見られる。これは斜面に平行に積もった大きな新雪結晶である。弱層の直上(D)は丸みのある小さな粒子で、風で運ばれて堆積した風成雪であることが



第7図 弱層近傍の積雪鉛直薄片写真(アニリン法)  
B, Cが弱層部, A: 弱層直下の丈夫な雪, B: しもざらめ化した雪粒(角ばった粒子), C: 水平に並んだ新雪結晶(横長の粒子), D: 弱層直上の風成雪(小さな丸い粒子)

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り、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(B)、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。その結果、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<sup>1)</sup>。もし、前日の昼間が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し、日没後は表面の温度が急に下がるので温度勾配がさらに大きくなり、しもざらめ化が著しく進む。また、表層のしもざらめ化した雪の上に、無風に近い状態で静かに雪が積もり、大きな降雪結晶が斜面に平行に積もったことがわかる(C)。平行に積もった結晶のせん断強度が小さいことは、薄片の構造から想像できる。その後、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(D)。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。

次に弱層の形成過程と気象条件との対応を調べた<sup>2)</sup>。第8図には、スキー場に一番近い倶知安のアメダスデータ、およびひらふスキー場 Gondola 山頂駅での気温と風速、ひらふスキー場での天候を示した。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。このため日没後は気温が急に低下している。アメダス地点(標高174 m)と Gondola 山頂駅(標高720 m)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 $4^{\circ}\text{C}$ 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、積雪表層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



第8図 倶知安のアメダスデータ(降水量・積雪深・日照時間), およびひらふスキー場での気温・風向・風速と天候

黒丸は Gondola 山頂駅での値, 10 m/s 以上の風速は数値で示した

の後、12日午後から雪が降りはじめたが、最初は気温が高くアメダスでは風も弱い。この時、新雪結晶が雪面に平行に積もると、これも弱層となり得る。雪はその後連続して降り、13、14日には吹雪となり、山頂駅では14~15 m/s以上の風速となっている。また、13日は北西~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、新雪の「しもざらめ化」と「雪面に平行に堆積」してできた弱層の上に、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と思われる。スキー場のコース内は雪上車で頻りに圧雪するため、弱層は機械的に破壊・圧縮されるため積雪全体が丈夫になる。一方、雪上車の入らない沢の中では、弱層がそのまま保存され、その上に吹雪等で短時間に大量の雪が積もると、斜面の雪は不安定な状態になり雪崩の危険が増す。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、斜面積雪は安定化し雪崩の危険性は減少する。

## V. 斜面積雪の安定度の推定

斜面積雪内部のある層のせん断強度の値を  $SFI$  (シアーフレームインデックスとよばれる)、その層の上に積もっている上載積雪荷重を  $W$ 、斜面傾斜を  $\theta$  とおくと、定義により積雪の安定度  $SI$  は次の式で求められる。

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

この示標はヨーロッパやアメリカでは道路やスキー場の安全管理に利用し、安定度がある値以下になると雪崩制御（人工雪崩を発生させて事故を防ぐ手法）を行っている。

表層雪崩発生と安定度  $SI$  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）の観測結果から統計的に求められた値である。実際に雪崩制御を開始する  $SI$  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特に大とし、大砲による人工雪崩をおこなっている。

$SI$  の算出を、近年北海道の日勝峠で発生した雪崩で試み<sup>3~6)</sup>、北海道の積雪についてもその有効性が確かめられたので、ニセコ雪崩についても安定度を求めた。

### 1. 「春の滝」の積雪安定度

第3図に示したひらふスキー場の弱層のせん断強度は、250 cm<sup>2</sup>のシアーフレームを用い、5回測定の平均値10.8 g/cm<sup>2</sup>を得た。一方、弱層の上に積もった上載積雪荷重  $W$  は5.05 g/cm<sup>2</sup>であった。さらに春の滝の最大傾斜 ( $\theta$ ) 35度を前式に代入すると、 $SI$  は3.75となり「雪崩発生の危険が大」の範囲に入る。

### 2. 「水野の沢」の積雪安定度

第4図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構造から、雪崩雪の厚さが43 cm (20~63 cm まで)、その層の密度と弱層のせん断強度  $SFI$  をひらふスキー場の実測値と

同じ  $0.14 \text{ g/cm}^3$ , および  $10.8 \text{ g/cm}^2$  と仮定し, 最大傾斜  $40$  度を用いると,  $SI$  は  $2.14$  となり, 春の滝の斜面よりも安定度がかなり小さく雪崩の危険性が高い状態であったことになる。

## VI. ま と め

今回の雪崩事故は, 同一スキー場地域内の近接した2つの沢でほぼ同時刻に発生した表層雪崩による。両雪崩とも, 不安定積雪をスキーヤーが刺激した誘発雪崩である。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, 吹雪の後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, 表層付近でもざらめ化が進行し, 弱層が形成された。さらに, 翌日には弱い風速で降雪があり, 雪結晶は斜面に平行に積もって別な弱層を形成した。その後の3日間は雪または吹雪の天候で絶え間なく雪が積もり, 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。この様なスキー場の雪崩事故の再発を防ぐためには, スキー場側の雪崩危険地の安全管理, 立ち入り禁止区域へは立ち入らないというスキーヤーのマナーの向上のほか, 雪崩に対する知識の普及と, 積雪や気象情報から雪崩の危険を予知し, 危険な時のみ立ち入り禁止の措置をとること等が考えられる。

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, 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。なお, この調査研究は文部省雪崩事業費による。

## 文 献

- 1) 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.
- 2) 秋田谷英次・清水 弘・成瀬廉二・福沢卓也 1990 1990年1月15日ニセコスキー場の雪崩. 北海道地区自然災害科学資料センター報告, **5**, 93-101.
- 3) 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.
- 4) 清水 弘・秋田谷英次 1987 日勝峠雪崩(昭62. 1. 29) 発生機構. 雪氷, **49**, 139-145.
- 5) 清水 弘・秋田谷英次 1988 日勝峠地域の雪崩発生機構 II—日勝峠十勝側八合目雪崩の発生機構一, 低温科学, **A**, **47**, 35-44.
- 6) 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一. 北海道地区自然災害科学資料センター報告, **4**, 115-118.

## Summary

Two dry slab avalanches occurred in two different troughs at Mt. Niseko, Hokkaido, on January 15, 1990. A total of 15 skiers were caught in the accidents and two of them were killed. On January 16 and 17, research on the structures and properties of snowcover was carried out near the avalanche release sites. Weak snow layers were found by shovel/hand tests at depths from 40 to 60 cm. Detailed studies of snow texture were also made on the thin sections of the weak layer. The results show that the weak layer consisted of solid-type depth hoar (faceted grains) and also

horizontally deposited dendrite/plate snow crystals. Examinations based on meteorological data observed at and around Niseko revealed that the faceted grains were formed under a large temperature gradient in the surface snow layer caused by radiative cooling from January 11 to 12. During the period from the afternoon of 12 to 15, a large amount of snow was deposited on the weak layer. Thereby the snowcover on the slope was transformed into a considerably unstable condition on January 15. The stability index of the snow estimated as 2.1 to 3.8. Finally, skiers who were skiing on the dangerous steep slope in a stormy and cold temperature condition caused slab avalanches.