

1986年能生町雪崩災害現地調査報告

目 次

| | |
|--------------------------|----------------|
| はじめに | i |
| 能生町雪崩災害の被害・発生状況の概要 | 山田 穰 1 |
| 雪崩災害地の積雪断面観測 | 五十嵐高志 13 |
| 表層雪崩の堆積層について | 山田 穰 27 |
| あとがき | 33 |

はじめに

1986年1月26日深夜、新潟県西頸城郡能生町の権現岳から大規模な表層雪崩が発生し、雪崩による民家の被害としては戦後最大の犠牲者をだした。

この翌日新潟県は、1月11日に設置した豪雪対策本部を豪雪災害対策本部に切り替えた。1月28日には、雪害政府調査団が能生町の雪崩現場を視察した。国立防災科学技術センターでは、1月27～28日および2月1日～2日の2回の現地調査を行った(表)。この調査は、表層雪崩の被害・発生状況・現地の積雪および堆積状況等の概要を目的として行った。

この報告は能生町雪崩災害の調査・研究の速報としてまとめたもので、目次にあるように現地調査で重点をおいた3つの章から構成されている。第1章では被害・発生状況の概要を第2章では雪崩災害地の積雪観測結果を、そして第3章では表層雪崩の堆積層の予備的解析結果についてそれぞれ報告してある。

能生町雪崩災害については、文部省・農林水産省・建設省・気象庁・新潟県砂防課等でも同時に調査が実施されている。

本報告では、表層雪崩発生時の積雪層構造の観測に重点をおき、自然積雪と雪崩堆積層の積雪断面観測結果の比較により、発生区の雪崩層の性質を明らかにした。また、今回の雪崩災害地は昭和22年に大規模に滑動した柵口地すべり地にも位置しており、今後雪崩と地すべりとの関係も重要でありあとがきにおいて両者の関係を検討した。

現地調査一覧表

| 調査者 | 調査区域 | 期間 | 調査内容 |
|---------------------------------|------------------|--------------------|---------------------------|
| 山田 稔 五十嵐 高志 納口 恭明 林 与一 | 新潟県西頸城郡 能生町柵口 | 昭和61年 1月27日～28日 | 発生地点調査, 被害等災害調査 積雪断面観測 |
| 山田 稔 | 〃 | 2月1日～2日 | 走路調査, デブリ観測(再測) |

謝 辞

現地調査を行うにあたって、能生町災害対策本部には種々ご協力を頂いた。ここに記して感謝の意を表す。また、本報告とりまとめにあたっては、新潟県砂防課、国際航業株式会社坊城智広氏からは貴重な資料を引用させていただいた。これに対して深く感謝の意を表す。新潟大学農学部遠藤治郎教授からは能生町の各種の地形図を送付していただき、新潟大学積雪地域災害センター小林俊一教授からは情報の交換・資料の提供を、建設省国土地理院

宇根寛技官からは雪崩空中写真の判読指導をいただいた。これらの先生方に対して心から感謝の意を表す。

(昭和61年3月2日 雪害実験研究所 山田 穰 記)

能生町雪崩災害の被害・発生状況の概要

山田 稜*

国立防災科学技術センター雪害実験研究所

Outline of the Nou Catastrophic Avalanche Disaster

By

Yutaka Yamada

Institute of Snow and Ice Studies, National Research Center for Disaster Prevention, Nagaoka, Niigata - ken, 940

Abstract

The largest avalanche disaster in Japan after the world war II occurred at 23:10, January 26, 1986 at Maseguchi, Nou-machi, Nishikubiki-gun, Niigata-Ken. Eight houses were completely destroyed. Casualties were the thirteen dead and the eight wounded.

Investigation of damages and conditions of occurrence such as starting point, track and meteorological condition was carried out in the day after the release of avalanche.

The avalanche type was a mixed type of flow and snow dust-soft slab surface avalanche. Starting point was directly under the summit of Mt. Gongen (1,108 m).

1. はしがき

1986年1月26日深夜、新潟県西頸城郡能生町の権現岳（標高1,108 m）から雪崩が発生し、家屋の全壊8戸、半壊2戸、死者13名、重軽傷8名の犠牲者がでた。これは、民家を襲った被害として戦後最大の規模である。

発生直後の1月27日・28日の両日、発生状況・被害の概要把握を目的として現地調査を行った。この研究資料では現地調査の際行った観測、その後の資料収集にもとづき能生町^{マセグチ}柵口の雪崩災害についての概要を報告する。

* 第1研究室

2. 雪崩発生状況の概要

この雪崩の発生時刻は、1986年1月26日午後11時10分頃である。雪崩は能生町柵口の南西約2kmの急峻な権現岳（標高1,108m）の山頂付近の東斜面から発生し、屈曲して北西に向かい柵口の民家を襲った（図1）。

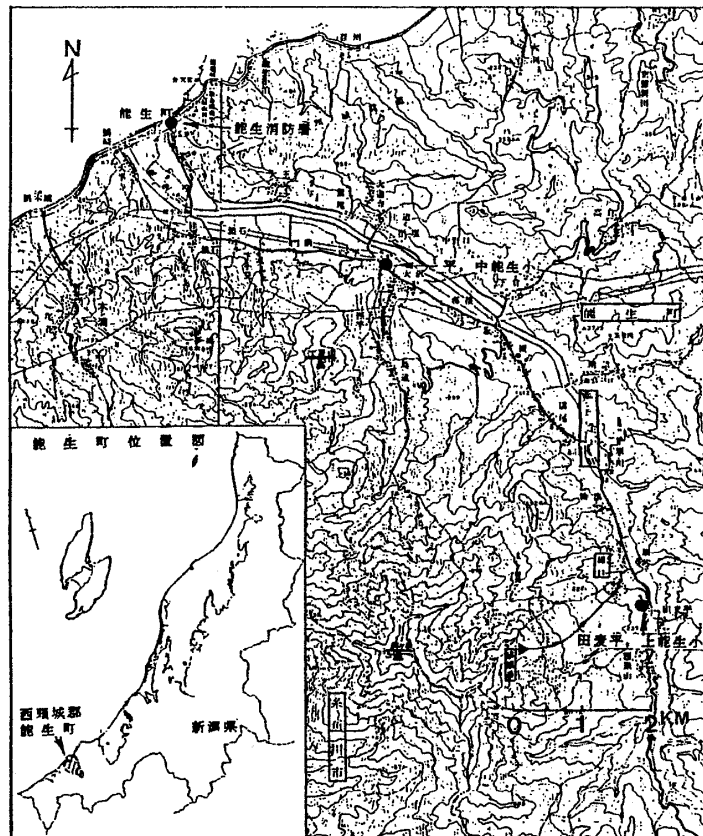


図1 雪崩発生地と能性町の気象観測所位置図

能生地方は昭和2年にも豪雪があり大雪害を受けた。昭和2年2月8日午後8時西頸城郡能生村大字西平鳥帽子岳東北支脈能野山（旧地名のまま。鳥帽子岳は現在江屋岳，標高517mで図1の平の南西約2km）より大雪崩が発生し、3戸全壊，埋没者15名中11名が死亡している。その他各地で雪崩災害が発生している（高田新聞刊，「昭和2年大雪譜」）。

2.1 雪崩の発生区・走路・堆積区

権現岳は、標高1,108mで、柵口からは見上げるような急峻な山塊であるが走路は長く屈曲しており、一見雪崩が到達するとは思えない。現地観測によると、権現岳右側には大きな沢が入っておりその沢頭（標高850～900m）には、右から斜め下に走る長さ約150mの明瞭な破断面が見られた（図2のA1）。同じような破断面は権現岳から鉾ヶ岳（標高1,316m）にかけての北



写真1 権現岳 (1,108m)

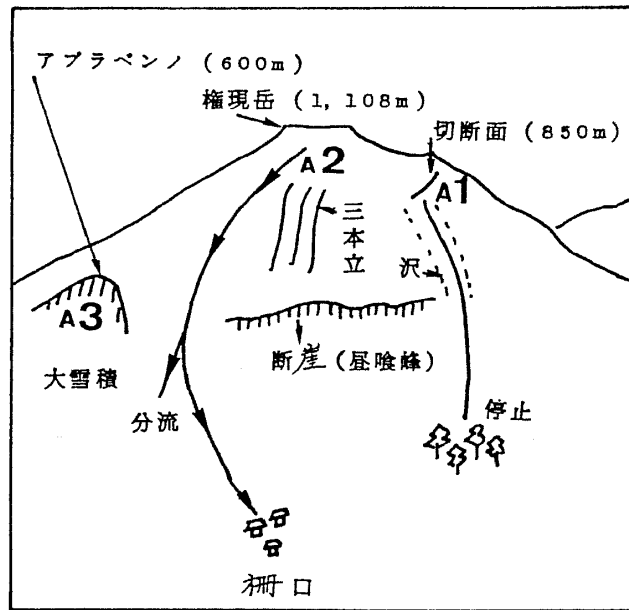


図2 権現岳見取り図

西斜面で少なくとも3箇所観察された。このことから、能生雪崩災害発生時には、同時期に多数の面発生乾雪表層雪崩が発生したと考えてよい。ただし、権現岳の沢頭から発生したこの表層雪崩は標高400m付近の林の手前で停止していたという(地元山本菊治氏談)。また、権現岳左側標高約600mにはアブラペンの(図2のA3。ペンのは岩盤を意味する方言、すなわちつるつるした岩盤の意)と呼ばれる断崖から、稀な連続降雪により雪が着き雪崩が発生したという説も地元であったが、被災地点からの見通し角は 14° であり通常の雪崩の到達範囲外にある。なお、この下には「大雪積」という地名の万年雪がある。権現岳中央山腹には三本立と呼ばれる数本の小尾根があり、前述の右の沢と三本立の間には点発生状の表層雪崩が多数観察された。結論として現地観測では権現岳山頂下(A2)から発生したものと一応判断した。この判断はこの地点には明瞭な破断面が見られなかったが、1) 権現岳山頂から左稜線にかけ、雪底が発達し部分的に崩落した箇所が見られる。2) 山頂直下山腹(特に900m

付近)の積雪は周辺に較べ薄く感じられた。3)前記山本氏によると、ここから発生し途中で止まる表層雪崩が過去にあった。4)前述の発生箇所(A1, A3等)を消去し、被災地点を襲う雪崩の地形的検討などによる。

我々は、走路の調査は行ったが、発生区、走路、堆積区の範囲決定のための詳細な地上踏査は行わなかった。したがってこれらと堆積量については詳しい資料を得ていない。ただ、雪崩の主流が標高500m付近で左へ分流したことを第2次調査(2月1~2日)で確認した。図3に、新潟県砂防課(1986)の地上踏査結果、国際航業株式会社の空中写真判読結果による雪崩の範囲を示した。

雪崩は標高1,100m付近で発生し、平均勾配45°斜面長約800mの急斜面を滑落し、ついで平均勾配10°斜面長約1,600mの緩斜面を通過して柵口の民家を襲った。被災地点(デブリ)末端の標高は240mであった。この雪崩の見通し角は23°である。この値は表層雪崩の限界の見通し角18°の範囲内にある。

写真2~5に、雪崩による樹木の被害状況を示した。樹木の被害は、a)倒木、b)枝折れが見られた。倒木は、カミソリで切ったような剪断的破壊による倒木はなく、曲げ破壊によるもので切断された樹木と変形した樹木がある(写真4,5)。枝折れ、雪崩による樹木へ

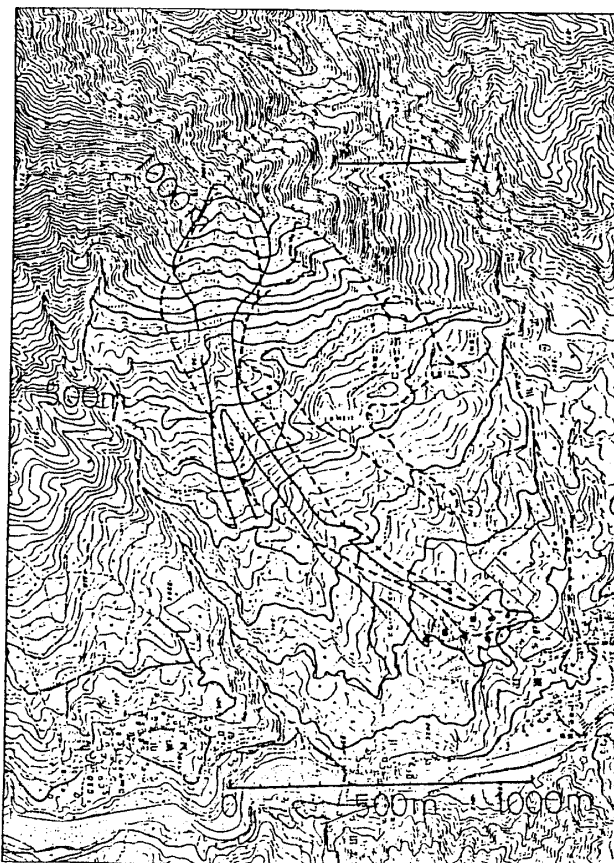


図3 雪崩発生範囲(実線は新潟県砂防課, 1986の地上踏査, 点線は1月30日撮影の空中写真判読図で国際航業株式会社資料による)



写真2 雪崩による枝折れと樹木への着雪
(標高約300m)



写真3 雪崩による枝折れ(標高約400m)



写真4 雪崩による杉の倒伏(標高320m)



写真5 左岸へ分流した雪崩による倒木
(標高約450m)

の着雪の状況を写真2, 3に示した。枝折れの高さは雪面上5m前後、着雪は7m以上であった。なお、広葉樹の枝折れ上部2mには実の落ちた部分があるという(新潟県砂防課, 1986)

2.2 雪崩の種類

雪崩による堆積層中の小雪塊の存在(本資料の別報告「表層雪崩の堆積層について」参照)新潟県砂防課資料の写真集による家屋内に浸入したデブリが小雪塊状であることから流れ型*

* 流れ型とは雪塊が流れるように積雪が斜面上を滑落していく雪崩。煙り型とは雪が煙りを上げながら滑落するもので、新雪からなる大規模な乾雪表層雪崩に多い。

の特徴がある。一方、枝折れ、雪崩による樹木への着雪は5～7 mあり、これは煙り型の特徴である。したがって、雪崩の運動形態は煙り型・流れ型の混合型と推定される。

また、発生区には明瞭な破断面は見られなかったが、周辺で発生した雪崩の種類から推測すると面発生表層雪崩と考えられる。

結論として、能生の災害を引起した雪崩は「混合型面発生乾雪表層雪崩」である。

3. 被災状況の概要

被災状況の概要を表1に示す。人身に関する被害は、埋没者33名中死亡13名、重傷5名、

表1 能生町柵口雪崩災害被害状況一覧

| 世帯主 | 住家の損壊 | 死亡 | 重傷 | 軽傷 | 無傷 | 備 考 |
|-----------|----------|----|----|----|----|----------------------------------|
| 1. 土田 孝 | 木造2階全 壊 | 1 | 0 | 0 | 3 | 小屋約5cm右岸へ移動。柱傾むくがタンス上の人形ケース移動せず。 |
| 2. 土田勘太郎 | 〃 一部損壊 | 0 | 0 | 0 | 1 | 天井付近まで小雪塊デブリあり。 |
| 3. 白石 由民 | 〃 全 壊 | 3 | 1 | 2 | 0 | 屋根がはげで流される。 |
| 4. 白石 源作 | 木造1階 〃 | 0 | 2 | 0 | 0 | |
| 5. 土田 重忠 | 木造2階 〃 | 3 | 0 | 0 | 0 | かやぶき屋根約20m流される。 |
| 6. 白石 昭二 | 〃 〃 | 2 | 1 | 0 | 0 | 飛散家具最大60m |
| 7. 白石 与 | 〃 〃 | 3 | 0 | 0 | 0 | |
| 8. 山本 芳雄 | 〃 〃 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2階が約20m流される。 |
| 9. 山崎 清治 | 〃 〃 | 0 | 0 | 0 | 6 | 外観上全壊と見えないが雪が侵入 |
| 10. 土田 順三 | 〃 一部損壊 | 0 | 0 | 0 | 3 | 2階の窓から雪が入る。 |
| 計 | 全壊8戸半壊2戸 | 13 | 5 | 3 | 14 | |

注) 世帯主の番号は図4の番号に対応

(本表は主として新潟県災害対策本部資料によるが、備考欄は新潟県砂防課資料による)

軽傷3名、無傷で救出されたもの14名である。住家の損壊は全壊8戸、半壊2戸である。その他非住家の被害として附属家7戸、スキーハウス1戸(標高320m)があった。死亡の原因は不明であるが、重軽傷者のほとんど全員が全身打撲であり、1名が木片刺傷であった。軽度の被災家屋(2, 3, 9, 10)では、1名死亡した以外には重大な人身の被害は発生していない。2階に在居していた死亡者8名、1階に在居していた死亡者5名で、2階での死者数が多い。しかし、発生当時の1, 2階別の在居数は不明なので死亡率は求めることができなかった。

能生町柵口の被災範囲の家屋の破壊・移動状況を新潟県砂防課(1986)の資料をもとに合

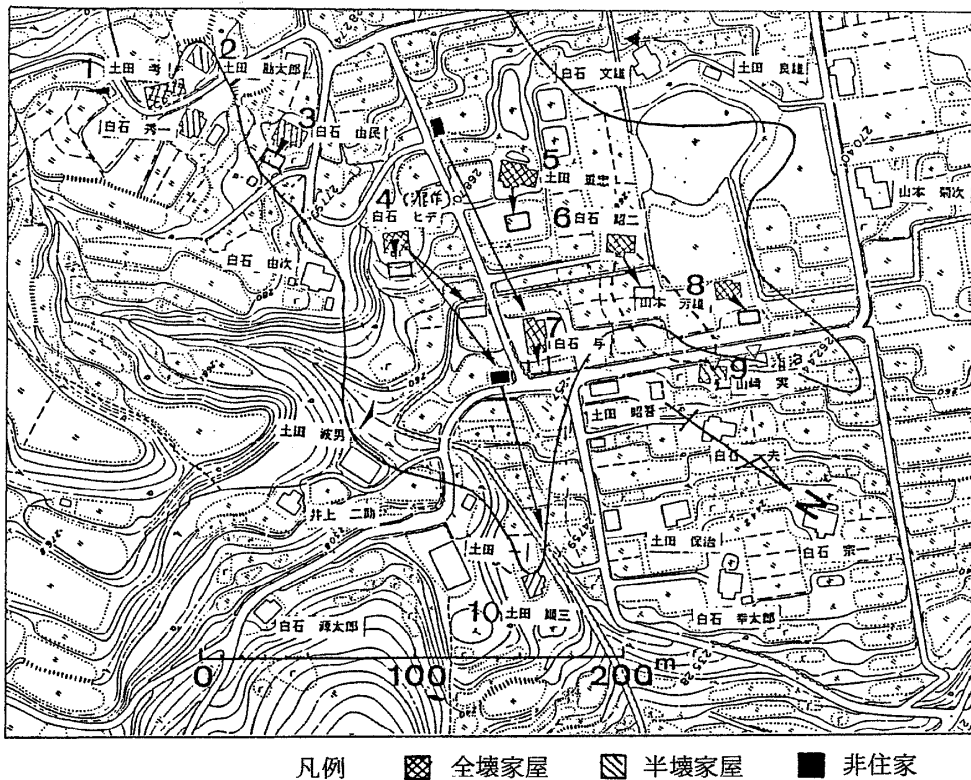


図4 能生町柵口の被災範囲と家屋の破壊・移動状況（新潟県砂防課資料により合成作図）

成作図した（図4）。矢印は家屋の移動方向・距離を示している。特に、被災範囲の中央部に近い位置にある5，6，8の移動が激しく，5，6では2階のかやぶき屋根が約20 m，8では2階が約20 m流されている。家屋4の屋根のトタンの一部は30～60 m下流に流され，家屋6のタンス・茶箱等の家具の飛散範囲は約40 m最大60 mまで飛散していた。非住家では家屋5の左上方の附属屋が下方約80 m流された（これについては標高320 mのスキーハウスが約200 m流されたという説もあるという）。また，家屋7左下の附属屋は約60 m下方に流されている。

一般に，被災範囲中央部での家屋の全壊・移動が激しく死者も多いが，周辺部および末端では窓からの雪の浸入，一部損壊等が主な被災内容で負傷者も少ない。また，家屋の飛散方向より推定される雪崩の流れの方向は，全体に一定しておらず，どちらかといえば周辺に拡散したような方向となっている。雪面上の露出率が高い2階建家屋の被害が多いことは，守門村雪崩災害でもみられたことであり，大規模な雪崩予防施設の他に家屋付近での防護施設を計画する場合一考すべきであろう。また，山側の窓構造も雪の浸入に対して重大な要素となろう。最後に図示された被災外でも軽度な被害が発生していることをつけ加えておく。例えば，図4の右上方の白石文雄宅（冬期間空家）では窓からの雪の浸入があり，家屋1の左側にある附属家は約5 cm左側へ移動していた。

4. 気象・降積雪

4.1 新潟県の気象概況と警報・注意報

本節では、新潟地方気象台（1986）の速報にもとづき、気象経過と今冬の大雪の特徴について述べる。

上述の報告によると、

- (1) 1月上旬の後半と下旬に冬型の気圧配置が強まり大雪のピークが2度あった。
- (2) 今冬の大雪の特徴は、1月4日から14日までに降った地域と21日から29日までに降った地域がほぼ同じ地域であったため、能生町周辺の積雪が短期間に平年の150～200%となったことである。

4.1.1 気象経過

1月4日夜、顕著な気圧の谷の通過後冬型の気圧配置が強まり、7日から8日にも気圧の谷が通過し、再び冬型が強まり13日まで続いた。この間、西寄りの季節風が強く、上中越地方を中心に激しく雪が降り、高田では10日09時から11日09時までの24時間に140cmの降雪を観測した（注：これは12時間降雪量の積算値である。なお、雪害実験研究所（長岡市）の24時間降雪の深さは1月9日に111cmを記録している。この雪害実験研究所の降雪の深さは昭和39年12月の開所以来の最大値である）。

16日と19日には低気圧が日本海側と太平洋側とを通過し、暖気が入り気温が上昇した。新潟や高田では17～18日、20日に雨を観測した（雪害実験研究所での気象観測によると17～18日に23.5mmの雨量が観測された）。

21日に気圧の谷が通過、再び冬型の気圧配置が強まった。22日09時輪島上空約5,500mには -41°C と今冬一番の強い寒気が入って大雪となり、22日16時20分に今冬4度目の大雪警報が発表された。24日には冬型が一時的に緩んだが、25日以降再び冬型が強まり、この状態は29日早朝まで続いた。松代では25日09時までの24時間に110cmの降雪を観測した。また、積雪の深さは27日09時松代で456cmとなり、1月31日現在県内の最深積雪となっている。

4.1.2 今冬の大雪の特徴

1月4日から14日までの降雪は、能生・高田・松代・小出・入広瀬を結ぶ線に多かった。特に中越地方の山沿いで300cmを越える積雪となった。また、1月21日から29日までは21日から29日の降雪量は500cmを越えたが、この間、特に松代・塩沢で日降雪量100cm以上が2日もあった。1月31日までの最深積雪は上中越の山沿い地方で多く、松代で456cm、入広瀬で375cm、小出325cmとなっている。これに対し、下越地方は比較的少なく新潟では平年並みの45cmであった。

1月31日までの各地の最新積雪の平年比は、上越地方の能生を中心として200%の地域が

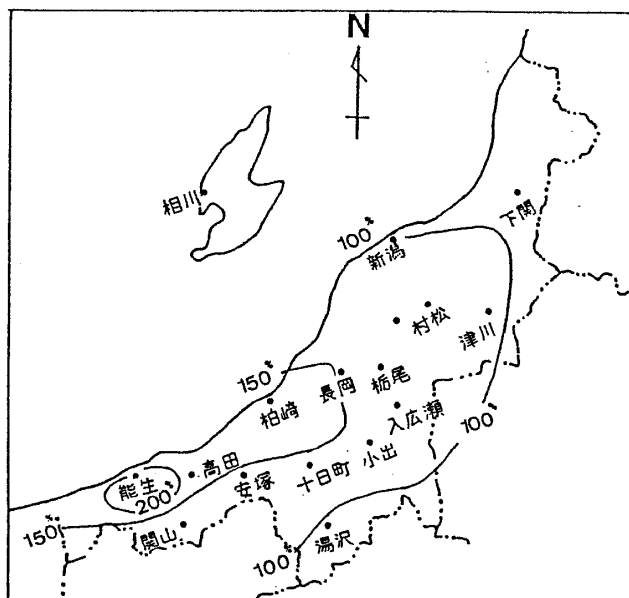


図5 新潟県の1月27日現在の最深積雪の
 平年比（新潟地方気象台資料による）

あり、下越地方で平年値以下の所があるが、その他では、平年値を越えている（図5）。

4.1.3 新潟地方気象台で発表された注意報・警報

1月20日以降では、大雪警報が1月22日、23日、25～27日に発表され、大雪注意報は1月21日から1月28日まで、前述の大雪警報を除く日に発表されている。また、強風・波浪注意報も1月29日までの殆んどの日に発表された。なお、なだれ注意報は1月20日から29日まで全期間連続した。

4.2 能生町の気象・降積雪

能生町にある気象観測所（指定観測所）の位置は前に図1に示してある。

能生町能生の能生消防所は標高約5m、能生町平の中能生小学校は能生町中心部から約4km南東標高55mに位置し「アメダス能生」の設置されている地点である。また、能生町田麦平の上能生小学校は能生町中心部から約10km、標高220mに位置し、雪崩災害のあった能生町柵口から上流約500m離れ、発生地点の積雪に最も近い（上能生小学校は、気象観測届出観測所、整理番号54-155であり、昭和44年12月1日から観測開始されている）。

4.2.1 能生町の雪崩発生に至る気象・降積雪

能生町の雪崩発生に至る1月の降積雪の変化を図6に示した。能生、平、田麦平の3ヶ所の観測地点は能生川沿いに設置され、日本海沿岸から田麦平（標高220m）まで約10kmである。雪崩が発生した1月26日現在で、積雪の深さは、それぞれ約1m、2m、4mであり、内陸へ向かい標高が高くなるにつれて急激に降積雪が増加している。

1月10日頃を中心に強い降雪があり、田麦平では1月12日に積雪の深さ280cmに達した。その後14日から20日までは降雪はなく、21日から50cm前後の強い降雪があり、雪崩発生日

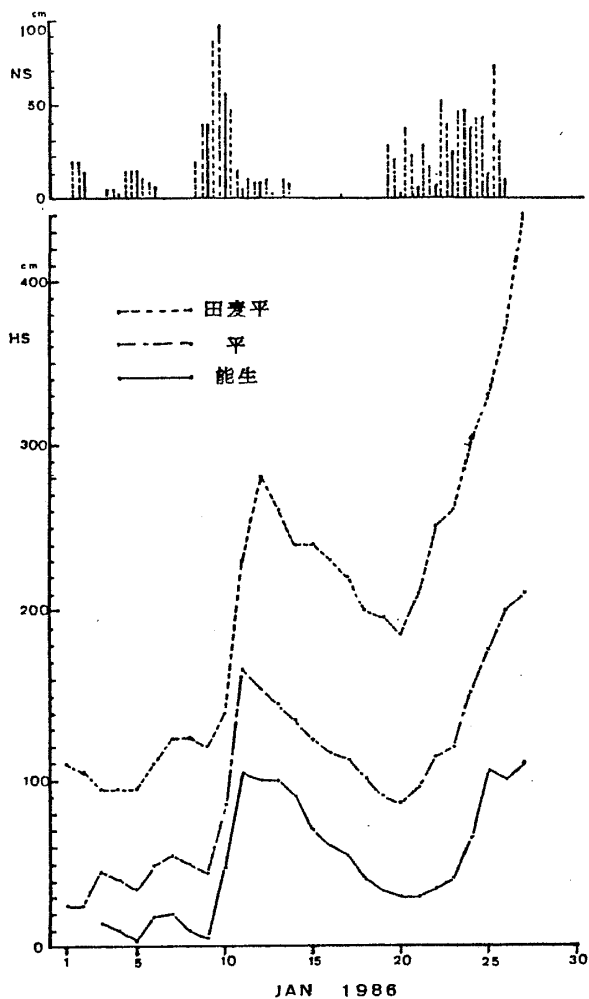


図6 能生町の降積雪の推移 (新潟県災害対策本部資料により作図。HSは積雪の深さ、NSは降雪の深さ)

である1月26日9時には田麦平で370 cmを記録した。その後も降雪が続き発生当日の降雪の深さは70 cmであった。1月20日以前の積雪が旧雪層であり、1月21日以降の積雪が新雪層である。新積雪層を形成した降雪の深さの1月21日から27日までの積算値は320 cmであった。能生地区では、前述のように1月27日現在の積雪の深さの平年比は200%である。五十嵐

(1986)によると長岡と能生の新雪層を比較すると、能生の旧雪層の量は長岡と殆んど同じであるが能生の新雪層の厚さは2倍、積雪重量は3倍であるという。この比較から能生地区では雪崩発生1週間前後に降雪が集中したことが判る。なお、2月6日夕方から2月8日の間に権現岳から2度目の表層雪崩が発生している。(新潟県砂

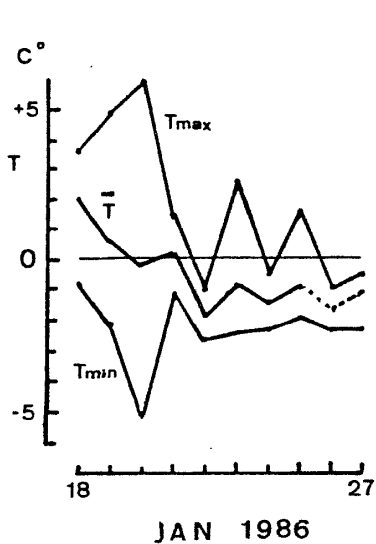


図7 雪崩発生に至る気温変動 (新潟地方気象台, 1986により作図)

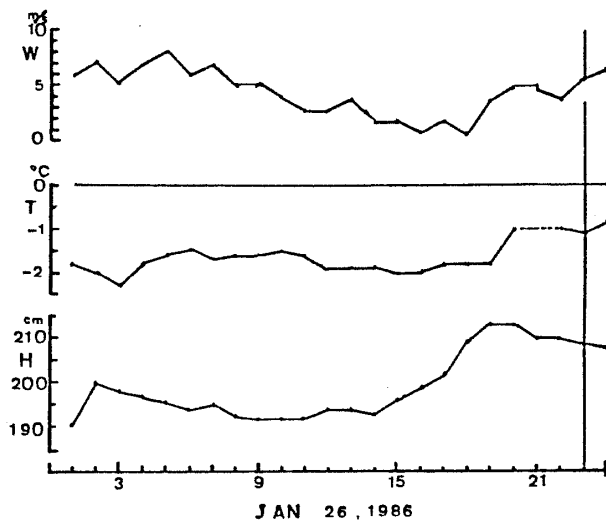


図8 能生アメダス (平) の発生当日の気象時系列: W: 風速, T: 気温, H: 積雪の深さ (新潟地方気象台, 1986により作図)

防課資料による)。1月26日の第1回雪崩発生以降29～30日にかけて降雨があり、旧雪面となった(山田, 1986の図1参照)。1月31日の積雪の深さは360 cmであり、以降再び強い連続降雪があり、2月7日には600 cmに達した。この間の積算降雪の深さは約300 cmである。すなわち、権現岳の2度の表層雪崩発生前にはいずれも1週間前後の間に降雪の深さの積算値が300 cm前後を記録している。権現岳においてはこれが表層雪崩発生の1つの目安となるの

| 冬 期 | 最高積雪深(cm) | 起 時 |
|---------|-----------|---------------|
| S 51/52 | 370 | S 52. 2. 4 |
| 52/53 | 275 | 53. 2. 25 |
| 53/54 | 不 明 | — |
| 54/55 | 318 | 55. 2. 18 |
| 55/56 | 400 | 56. 2. 28 |
| 56/57 | 185 | 57. 2. 15 |
| 57/58 | 291 | 58. 2. 14 |
| 58/59 | 490 | 59. 3. 1 |
| 59/60 | 520 | 60. 1. 31 |
| 60/61 | 600 | 61. 2. 7 |
| ” | (370) | (S 61. 1. 26) |

表2 能生町田麦平の過去10冬期の最高積雪深と起時

観測場所：(上能生小学校, 標高220 m
気象観測施設届出観測所 整
理番号54-155 昭和44年
12月1日から)

ではなかろうか。

図7に田麦平の気温を示した。21日降雪後平均 $-1 \sim -2^{\circ}\text{C}$ の低温が続いている。

図8に能生町平, 上能生小学校町に設置されている「能生アメダス」の雪崩発生当日の気象時系列を示した。積雪の深さは発生4時間前から増加傾向でなく、積雪の深さの1時間増加量5 cm程度の激しい降雪時に発生する表層雪崩とは異なった変化を示している。気温は -1.2°C であるが、標高差による気温てい減率を考慮すると発生区では -6°C 位であろう。風速は発生前4時間前から強まり発生時の1時間平均風速は5m/secである。これらを総合すると、低温・強風で短時間につもった積雪状況で雪崩が発生したものであろう。

表2には、能生町田麦平の過去10冬期の最高積雪深とその起時を示した。今冬は2月7日に積雪の深さ600 cmに達しており過去10冬期で最高値である。過去の雪崩発生の記録はなくまた詳しい検討をまたなければならないが、58/59, 59/60年冬期には柵口の民家には達しない表層雪崩が発生していたものと推測される。

5. おわりに

大規模な表層雪崩は50年～100年に一度程度発生するとみられる。このような大規模雪崩の危険度予測や危険度予測図の作成は困難である。しかし、これらの研究を進める必要性を現地で痛感した。

引 用 文 献

- 1) 新潟地方気象台 (1986年2月5日) : 災害時気象速報・昭和61年1月21日から29日にかけての新潟県の大雪と能生町の雪崩. 新潟地方気象台, 災害時自然災害報告書 1986年第1号, 18 pp.
- 2) 新潟県砂防課 (1986年2月21日) : 柵口雪崩災害概要, 中間報告, 10 pp.
- 3) 新潟県豪雪対策本部 (1986年1月28日) : 能生町柵口地区内雪崩災害の概要, 14 pp.

(1986年6月17日原稿受理)

雪崩災害地の積雪断面観測

五十嵐高志*

国立防災科学技術センター雪害実験研究所

Profile Observation of Snow Cover at the Place Damaged by Avalanche

By

Takashi Ikarashi

*Institute of Snow and Ice Studies, National Research Center for Disaster
Prevention, Nagaoka, Niigata-ken, 940*

Abstract

A large-scale avalanche occurred at midnight (about 23:00) on January 26, 1986 at Maseguchi (Nou-machi, Nishikubiki-gun, Niigata-ken) and caused a large disaster.

Profile observation was carried out at one point of the site of the avalanche debris and two points on natural snow cover areas undisturbed by the avalanche.

The observation items are weather, air temperature, snow depth, condition of snow layers, snow temperature, grain size of snow, snow density, Rammsonde hardness, Canadian gage hardness, full depth average density, and structure of snow layers. The results of the observation are summarized in Tables 1, 2 and 4 and Figs. 3 and 4.

From comparison on the observation data at the Institute of Snow and Ice Studies in Nagaoka, it is found that the snow cover formed before January 20 at Maseguchi had the same depth and weight with that in Nagaoka, however, that the snow cover formed after January 20 was two times in depth and three times in weight of that in Nagaoka.

1. はじめに

1986年1月26日夜(23時頃), 新潟県西頸城郡能生町柵口(ませぐち)で, 大規模な雪崩が発生して, 大災害を引き起した。この災害現場で, 積雪の状態を測定して, 災害時の積雪

* 第1研究室

の性質を明らかにするため、自然状態の積雪と雪崩が運んできたデブリ（堆積）の積雪の断面観測を行なった。

2. 観測の方法

観測は、「積雪の観測法（清水 弘，1965）」および「積雪の分類名称（日本雪氷学会，1967）」、「地上気象観測法（気象庁編，1971）」に準拠した。

2.1 使用計測器・道具

観測に用いた計測器・道具は、以下の通りである。

- (1) スコップ：アルミ製角型スコップにパラフィンを塗って使用した。
- (2) 雪べら：ステンレス製で平面部の周縁には、雪を切るための刃をつけたものを使用した。
- (3) 雪尺：3 mの伸縮式アルミ製測量用スタッフ（箱尺）を使用した。
- (4) 秤：雪の重量測定用に、アイコーエンジニアリング(株)製作の秤量2 kg，最小単位1 gのデジタル式プッシュプルゲージ（型式7002 N）を使用した。
- (5) 採雪器：雪層の密度測定には、北大低温研式ステンレス製角型100 cc（採雪部の大きさは、長さ5.5 cm，幅6.0 cm，厚さ3.0 cm）のスノーサンプラーを使用した。また、積雪全層の平均密度測定には、アルミ製神室型スノーサンプラー（採雪面積20 cm²，1 m3本継ぎ）を使用した。
- (6) 硬度計：積雪の硬度測定には、カナディアンゲージを使用した。この硬度計（写真1）は、2種類の本体（測定範囲0～1 kgおよび0～10 kg）と7種類のアタッチメント（測定面積10 cm²，5 cm²，1 cm²，0.5 cm²，0.4 cm²，0.2 cm²，0.1 cm²）からなり、それらの組合せによって、硬い雪から軟らかい雪まで測定が可能である。
- (7) 温度計：雪温の測定には、サーミスタ温度センサ2本付属の携帯型温度計を使用した。

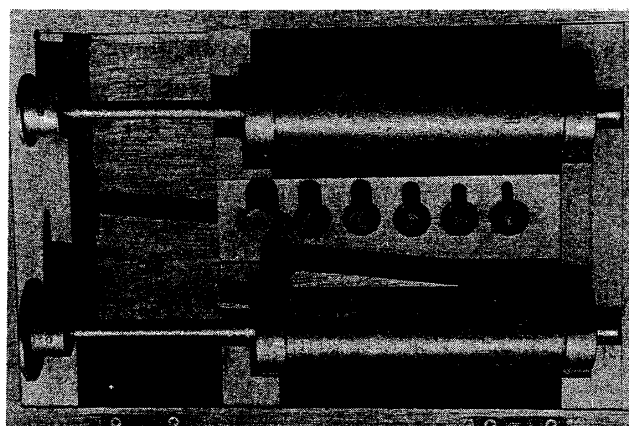


写真1 カナディアンゲージ（積雪硬度計）

この温度計は、小型軽量で測定範囲 $-43.2^{\circ}\text{C}\sim+120.7^{\circ}\text{C}$ 、分解能 0.1°C 、4桁液晶表示などの機能を備えている。

- (8) ラムゾンデ：先端角度 60° のステンレス製ラムゾンデで、1本1m 1kg 5本組を使用した。この組には重り0.5kg、1kg、2kgと重りのガイド棒1m 1kgが付属している。

2.2 観測方法

観測場所は、乱されていない自然積雪については雪崩のデブリ先端から約50m下方の平坦地、また、デブリの積雪については、最上部の被災家屋の上方50m付近の雪崩のデブリ左側である。

観測は、現地で作業員3人を雇い、幅3m、奥行き7mの断面観測用の穴を階段状に掘った。この穴掘りに4人で9時20分～10時30分までかかった。この穴の南側の面、すなわち北面している鉛直面を観測用断面とした。

観測は、自然積雪については10時35分～12時30分、デブリの積雪については13時～14時10分に実施したが、デブリの観測用断面は、自然積雪の観測中に作業員3人で掘った。また、デブリの積雪断面観測は、デブリの積雪のみで、デブリ以下の自然積雪についての断面観測は行なわなかった。

図1に積雪の断面観測の観測項目と測定位置を示した。観測項目および方法を、観測順序

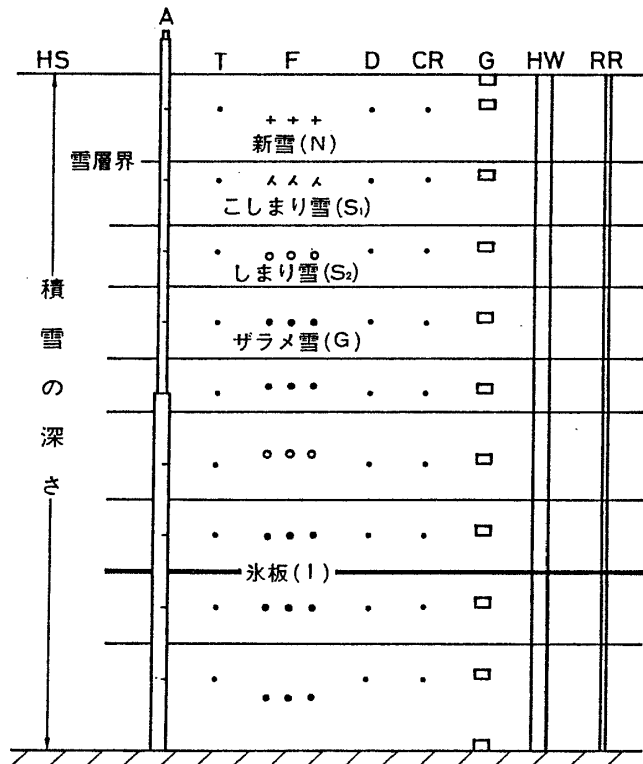


図1 積雪断面観測の順序、項目、位置
 HS: 積雪の深さ(cm) A: 雪尺(cm)
 T: 雪温($^{\circ}\text{C}$), F: 雪質, D: 粒度 (p.21 本文 a, b, c, d)
 CR: カナディアン硬度(kgf/cm^2)
 G: 密度 (g/cm^3) HW: 積雪相当水量 (kg/m^2 , g/cm^3) RR: ラム硬度 (kgf)

に従って示すと、以下の通りである。

- (1) 雪温 (T) : 断面に沿って10 cmごとに温度計のセンサを、雪壁の中に水平に15~20 cm 差し込み、数分間おいて読みとる。
- (2) 雪質 (F) : 断面の小さな凹凸は雪べらで削り、鉛直な平面に仕上げる。この断面から「積雪の分類名称」に基づいて雪質を目視観測、雪層界を雪尺から読みとった。
- (3) 粒度 (D) : 10 cm間隔で測定するとともに、薄い雪層に関しては、それぞれの雪層の粒度も測定した。
- (4) 硬度 (CR) : 測定はほぼ10 cm間隔で、雪層に応じて測定した。

写真1にカナディアンゲージを、また、図2に測定方法を示す。

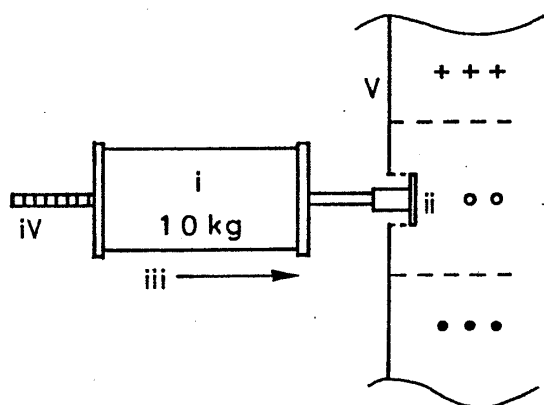


図2 カナディアンゲージの測定法
 i : カナディアンゲージ本体
 ii : 測定用アタッチメント
 iii : 押し込む方向
 iv : 抵抗値読みとりスケール
 v : 積雪の断面 (鉛直面)

測定方法は図2に示したように、カナディアンゲージ本体 (i) に適当なアタッチメント (ii) を接続し、測定しようとする雪層壁面 (v) に、アタッチメントの平面部を密着させて、静かに矢印方向 (iii) へ押し込む。雪層壁面をアタッチメントが突き破った時の指示値を、抵抗値読みとりスケール (iv) で読みとる。この読みとり値を使用したアタッチメントの面積で除して、測定した雪層壁面の雪の硬度 (kgf/cm²) を求めた。

- (5) 雪層の密度 (G) : 測定の間隔は約10 cmで、すべての雪層の密度 (g/cm³) を求めた。
 しかし、スノーサンプラーの厚さ (3 cm) の制約により、少数ではあるが薄い雪層の場合は上下の雪層を含めて測定した場合もある。
- (6) 積雪相当水量 (HW) : 積雪の表面から地面までの積雪を、神室型スノーサンプラーで採雪して、採雪した雪の重量を測定して HW (mm) を求めた。また、採雪した雪の深さ、つまり積雪の深さから、積雪全層の平均密度 (g/cm³) を求めた。
- (7) ラム硬度 (RR) : 積雪表面から地面までの積雪のラム硬度 (kgf) を、5 cm沈下を目安に測定した。

表1 自然積雪の断面観測値（新潟県西頸城郡能生町柵口）

| 61年1月28日 積雪の深さ 天気 気温 観測時刻 | | | | | | | | | |
|-----------------------------|-------------------|----------|--------|----------|-----|----------|-----------------------------|----------|---------------------------|
| 406 cm * 0.5℃ 10時35分～12時30分 | | | | | | | | | |
| 雪質 | | 雪温 | | 雪粒の大きさ | | 密度 | | 硬度 | |
| 位置 cm | 名称 | 位置 cm | T ℃ | 位置 cm | D | 位置 cm | ρ g/cm ³ | 位置 cm | CR kgf/cm ³ |
| 406～366 | N | 400 | -0.0 | 406～366 | bc | 403 | 0.070 | 400 | 0.012 |
| 366～336 | S ₁ | 390 | -3.3 | 366～336 | b | 400 | 0.110 | 390 | 0.012 |
| 336～313 | S ₁ | 380 | -3.5 | 336～313 | a | 390 | 0.100 | 380 | 0.022 |
| 313～297 | S ₂ | 370 | -3.3 | 313～297 | a | 380 | 0.110 | 370 | 0.040 |
| 297～282 | S ₂ | 360 | -3.2 | 297～282 | a | 370 | 0.120 | 360 | 0.060 |
| 282～278 | S ₂ * | 350 | -3.2 | 282～278 | a | 360 | 0.120 | 350 | 0.060 |
| 278～262 | S ₂ | 340 | -3.3 | 278～162 | a | 350 | 0.120 | 340 | 0.065 |
| 262～255 | S ₂ | 330 | -3.3 | 262～255 | a | 340 | 0.120 | 330 | 0.070 |
| 255～251 | S ₂ * | 320 | -3.3 | 255～251 | a | 330 | 0.130 | 320 | 0.080 |
| 251～208 | S ₂ | 310 | -3.1 | 251～208 | a | 320 | 0.140 | 310 | 0.130 |
| 208～206 | G | 300 | -3.1 | 208～217 | a | 310 | 0.160 | 300 | 0.100 |
| 206～180 | S ₂ | 290 | -3.0 | 207～180 | a | 200 | 0.150 | 290 | 0.110 |
| 180～178 | G | 280 | -2.8 | 180～178 | b | 290 | 0.160 | 280 | 0.130 |
| 178～167 | S ₂ | 270 | -2.8 | 178～167 | a | 280 | 0.170 | 270 | 0.250 |
| 167～155 | G | 260 | -2.6 | 167～155 | d | 270 | 0.200 | 260 | 0.300 |
| 155～116 | G, S ₂ | 250 | -2.4 | 155～116 | a～d | 260 | 0.200 | 250 | 0.150 |
| 116～115 | I | 240 | -2.3 | 116～115 | i | 250 | 0.190 | 240 | 0.400 |
| 115～95 | G, S ₂ | 230 | -2.0 | 115～95 | a～c | 240 | 0.230 | 230 | 0.350 |
| 95～64 | G | 220 | -1.7 | 95～64 | d | 230 | 0.220 | 220 | 0.400 |
| 64～19 | G | 210 | -1.4 | 64～19 | c | 220 | 0.220 | 210 | 0.400 |
| 19～0 | G* | 200 | -1.5 | 19～0 | | 210 | 0.210 | 200 | 0.700 |
| | | 190 | -1.1 | | | 200 | 0.260 | 190 | 0.600 |
| | | 180 | -0.9 | | | 190 | 0.230 | 180 | 0.800 |
| | | 170 | -0.7 | | | 180 | 0.250 | 170 | 0.700 |
| | | 160 | -0.4 | | | 170 | 0.230 | 160 | 0.800 |
| | | 150 | -0.0 | | | 160 | 0.420 | 150 | 0.400 |
| | | 140 | -0.0 | | | 150 | 0.390 | 140 | 0.400 |
| | | 130 | 0.0 | | | 140 | 0.420 | 130 | 0.500 |
| | | 120 | 0.0 | | | 130 | 0.430 | 120 | 1.000 |
| | | 110 | 0.0 | | | 120 | 0.430 | 110 | 1.600 |
| | | 100 | 0.0 | | | 110 | 0.370 | 100 | 0.800 |
| | | 90 | 0.0 | | | 100 | 0.430 | 90 | 0.800 |
| | | 80 | 0.0 | | | 90 | 0.330 | 80 | 0.600 |
| | | 70 | 0.0 | | | 80 | 0.400 | 70 | 1.100 |
| | | 60 | 0.0 | | | 70 | 0.430 | 60 | 0.800 |
| | | 50 | 0.0 | | | 60 | 0.430 | 50 | 1.200 |
| | | 40 | 0.0 | | | 50 | 0.430 | 40 | 1.400 |
| | | 30 | 0.0 | | | 40 | 0.430 | 30 | 1.000 |
| | | 20 | 0.0 | | | 30 | 0.470 | 20 | 1.200 |
| | | 10 | 0.0 | | | 20 | 0.490 | | |
| | | 0 | 0.0 | | | | | | |

注) S₂* はアラレ混りのしまり雪層, G*は水中.

表2 雪崩のデブリ(堆積)の積雪の断面観測値
(新潟県西頸城郡能生町柵口)

| 61年1月28日 | | 積雪の深さ 470 cm | | 天 気 * ℃ | | 観測時刻 13時00分~14時00分 | | | |
|-----------|-----|-----------------|--------|------------|---|-----------------------|-----------------------------|-----------|---------------------------|
| 雪 質 | | 雪 温 | | 雪粒の大きさ | | 密 度 | | 硬 度 | |
| 位 置 cm | 名 称 | 位 置 cm | T ℃ | 位 置 cm | D | 位 置 cm | ρ g/cm ³ | 位 置 cm | CR kgf/cm ² |
| | | 467 | -0.6 | | | 467 | 0.09 | 465 | --- |
| | | 460 | -1.5 | | | 460 | 0.11 | 460 | 0.012 |
| | | 450 | -3.5 | | | 450 | 0.12 | 450 | 0.025 |
| | | 440 | -3.6 | | | 440 | 0.11 | 440 | 0.022 |
| | | 430 | -3.5 | | | 430 | 0.15 | 430 | 0.075 |
| | | 420 | -3.5 | | | 420 | 0.16 | 420 | 0.070 |
| | | 410 | -3.5 | | | 410 | 0.23 | 410 | 0.160 |
| | | 400 | -3.5 | | | 400 | 0.24 | 400 | 0.350 |
| | | 390 | -3.5 | | | 390 | 0.26 | 390 | 0.450 |
| | | 380 | -3.4 | | | 380 | 0.28 | 380 | 0.850 |
| | | 370 | -3.4 | | | 370 | 0.27 | 370 | 1.300 |
| | | 360 | -3.4 | | | 360 | 0.26 | 360 | 1.200 |
| | | 350 | -3.3 | | | 350 | 0.25 | 350 | 1.000 |
| | | 340 | -3.3 | | | 340 | 0.24 | 340 | 0.600 |
| | | 330 | -3.3 | | | 330 | 0.24 | 330 | 0.700 |
| | | 320 | -3.3 | | | 320 | 0.23 | 320 | 0.600 |
| | | 310 | -3.3 | | | 310 | 0.23 | 310 | 0.600 |
| | | 300 | -3.2 | | | 300 | 0.23 | 300 | 0.500 |
| | | 290 | -3.2 | | | 290 | 0.21 | 290 | 0.600 |
| | | 280 | -3.1 | | | 280 | 0.21 | 280 | 0.400 |
| | | 270 | -3.0 | | | 270 | 0.21 | 270 | 0.600 |
| | | 260 | -2.8 | | | 260 | 0.23 | 260 | 0.600 |
| | | 250 | -2.6 | | | 250 | 0.22 | 250 | 0.500 |
| | | 240 | -2.4 | | | 240 | 0.24 | 240 | 0.600 |
| | | 230 | -2.2 | | | 230 | 0.23 | 230 | 0.600 |
| | | 220 | -1.9 | | | 220 | 0.24 | | |
| | | 以下測定せず | | | | 以下測定せず | | 以下測定せず | |

注) --- は雪が軟らかくて測定不可

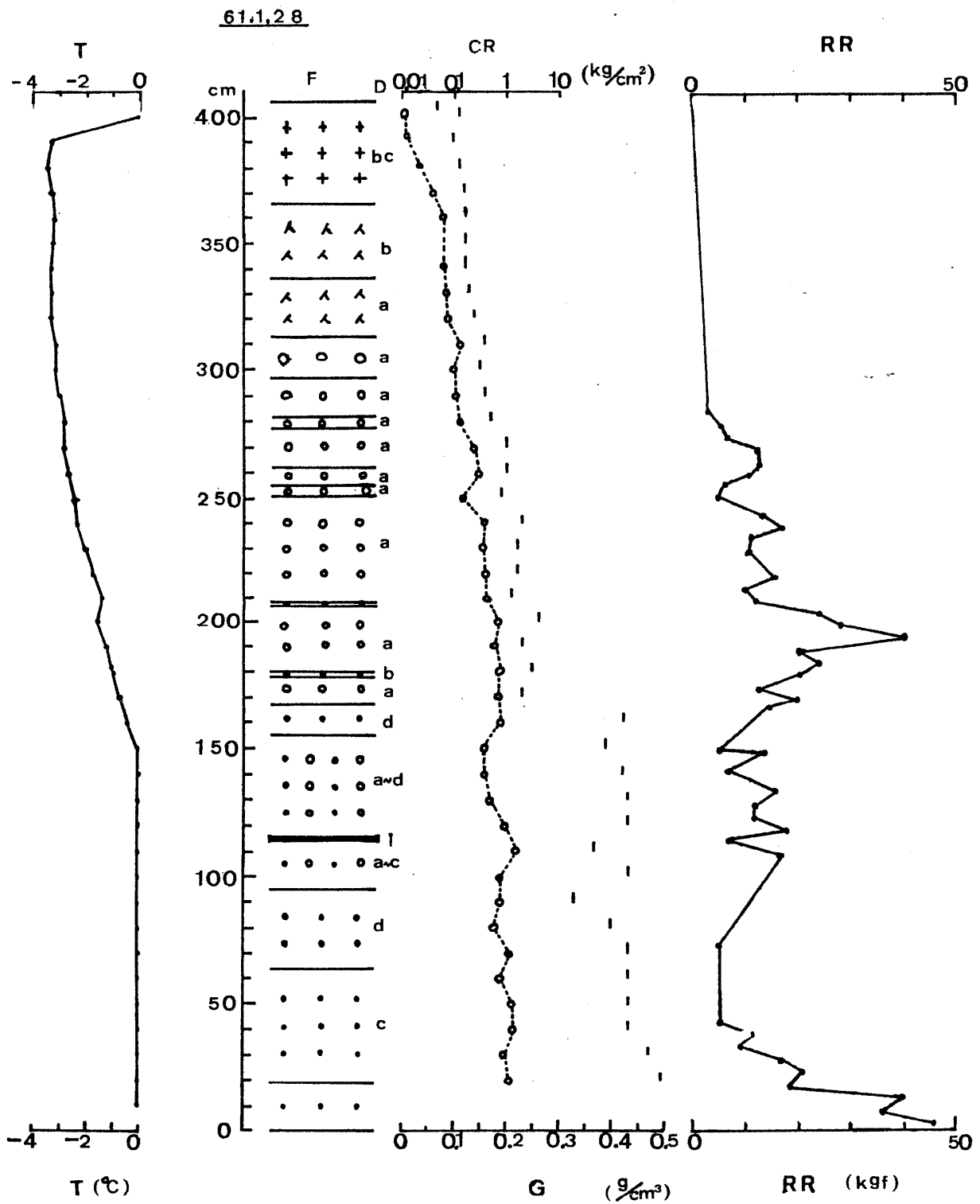


図3 雪崩災害現地の自然積雪断面観測図

T: 雪温, F: 雪質, D: 粒度, G: 密度, CR: カナディアン硬度,
RR: ラム硬度

観測日時: 1986年1月28日10時35分~12時30分

観測者: 五十嵐高志 納口恭明

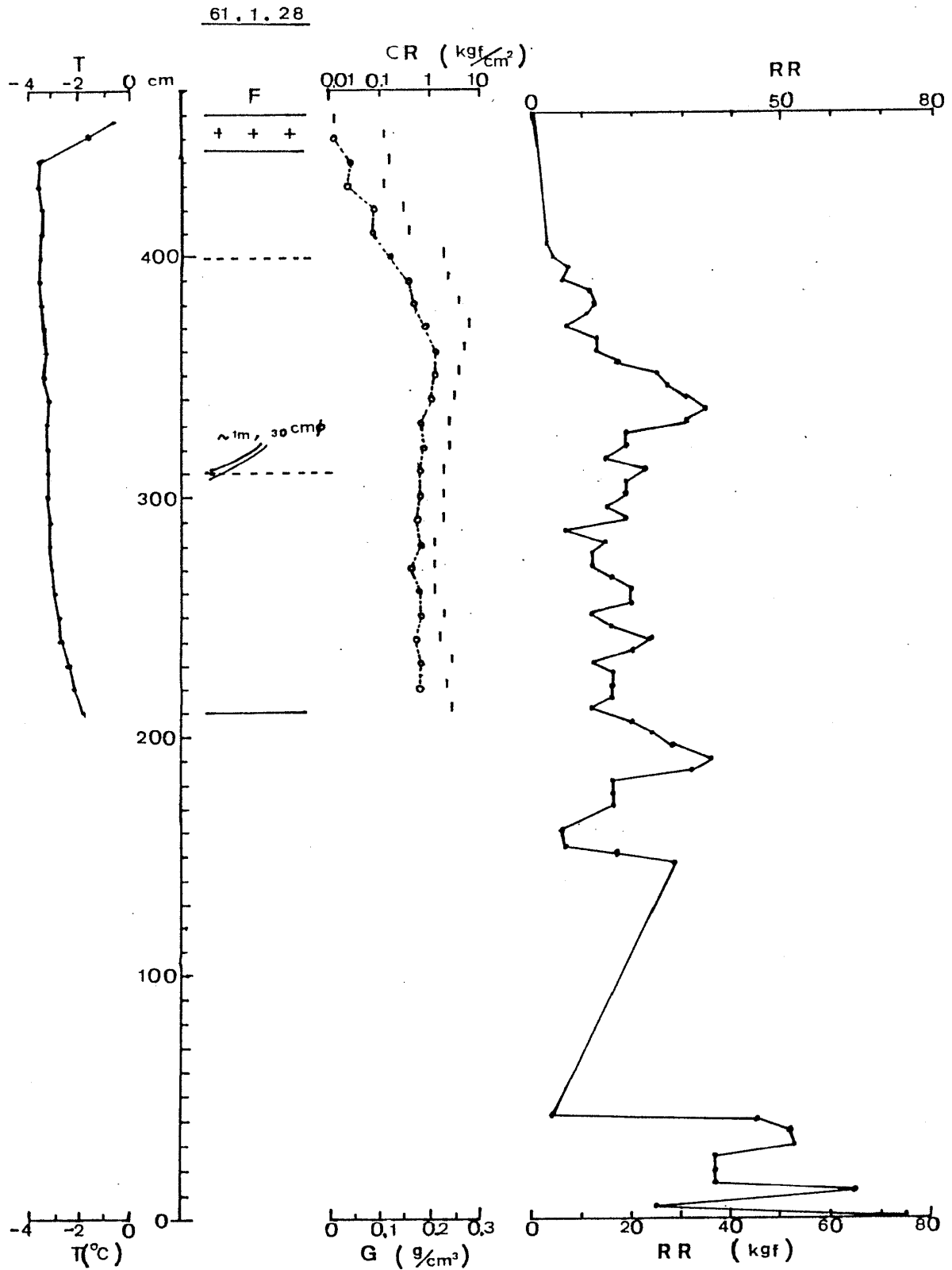


図4 雪崩のデブリ(堆積)の積雪断面観測図
 T: 雪温, F: 雪質, G: 密度, CR: カナディアン硬度, RR: ラム硬度
 観測日時: 1986年1月28日13時00分~14時10分
 観測者: 五十嵐高志 納口恭明 山田 穰

3. 観測結果

3.1 積雪断面観測

積雪の断面観測結果は表1に自然積雪，表2にデブリの積雪，図3に自然積雪，図4にデブリの積雪を示した。表1，表2は過去に報告された「長岡における積雪断面観測資料（1984～1985），（五十嵐・1985）」の形式を用いた。

図3，図4は，前述の「積雪観測法」に基づいて表示してある。

表1～表3および図3～図5で使った記号および符号を，まとめて表示し簡単な説明を付記しておく。

記号の説明

| | | | | | | | |
|------------------------------|-------|---|-------|-------------------------|----|---|----|
| 天気 | | 雪 | : | * | 吹雪 | : | *→ |
| F-雪質 | | 新雪 | : | Nおよび+++ | | | |
| | | こしまり雪 | : | S ₁ および人人人 | | | |
| | | しまり雪 | : | S ₂ および。。。 | | | |
| | | ざらめ雪 | : | Gおよび・・・ | | | |
| | | しまり雪 ざらめ雪 | } 混合: | S ₂ Gおよび。。。。 | | | |
| | | 氷板 | : | I および i | | | |
| D-粒度 | | a | : | 0.5 mmより小さい | | | |
| | | b | : | 0.5～1.0 mm | | | |
| | | c | : | 1.0～2.0 mm | | | |
| | | d | : | 2.0～4.0 mm | | | |
| | | e | : | 4.0 mmより大きい | | | |
| T-雪温 (°C) | | 図3，図4，図5では実線でつないだ黒丸 | | | | | |
| G-密度 (g/cm ³) | | 図3，図4，図5では縦の短い棒，それぞれの棒は密度の測定区間を表し，測定場所は棒の下端である。表1～3では9. | | | | | |
| CR-硬度 (kgf/cm ²) | | 図3，図4，図5では破線でつないだ白丸 | | | | | |
| H-位置 (cm) | | 地面からの距離を表し，雪質および雪粒の大きさは上限，下限の範囲を示した。 | | | | | |

注) 図3，図4，図5の雪層境界は，氷板のある場合とない場合を区別して，前者を細かい—，後者を太い—で表した。

3.2 積雪相当水量および積雪全層密度

自然積雪の深さ (HS)，積雪相当水量 (HW) および積雪全層平均密度 (\bar{G}) の観測結

表3 積雪の断面観測値 (雪害実験研究所構内の積雪観測露場)

| 61年1月27日 | | 積雪の深さ | | 天気 | | 気温 | | 観測時刻 | |
|----------|----------------|----------|--------|----------|---------|----------|-----------------------------|--------------|---------------------------|
| | | 263 cm | | * | | -3.2℃ | | 9時55分~12時05分 | |
| 雪質 | | 雪温 | | 雪粒の大きさ | | 密度 | | 硬度 | |
| 位置 cm | 名称 | 位置 cm | T ℃ | 位置 cm | D mm | 位置 cm | ρ g/cm ³ | 位置 cm | CR kgf/cm ³ |
| 263~246 | N | 260 | -2.4 | 263~163 | cd | 260 | 0.050 | 260 | --- |
| 246~218 | N | 250 | -3.1 | 163~119 | a | 250 | 0.068 | 250 | 0.002 |
| 218~163 | S ₁ | 240 | -3.3 | 119~101 | a | 240 | 0.075 | 240 | 0.005 |
| 163~145 | S ₂ | 230 | -3.3 | 101~86 | c | 230 | 0.089 | 230 | 0.007 |
| 145~119 | S ₂ | 220 | -3.2 | 86 | i | 220 | 0.094 | 220 | 0.011 |
| 119~101 | G | 210 | -3.0 | 86~55 | cd | 210 | 0.098 | 210 | 0.022 |
| 101~86 | G | 200 | -3.0 | 55~54 | i | 200 | 0.131 | 200 | 0.041 |
| 86~55 | G | 190 | -2.9 | 54~49 | cd | 190 | 0.118 | 190 | 0.042 |
| 55~54 | I | 180 | -2.6 | 49~30 | a | 180 | 0.130 | 180 | 0.050 |
| 54~49 | G | 170 | -2.2 | 30~20 | cd | 170 | 0.140 | 170 | 0.070 |
| 49~30 | S ₂ | 160 | -1.8 | 20~14 | c | 160 | 0.200 | 160 | 0.140 |
| 30~20 | G | 150 | -1.3 | 14~7 | cd | 150 | 0.158 | 150 | 0.090 |
| 20~14 | G | 140 | -0.9 | 7~0 | c | 140 | 0.183 | 140 | 0.140 |
| 14~7 | G | 130 | -0.6 | | | 130 | 0.253 | 130 | 0.350 |
| 7~0 | G | 120 | -0.2 | | | 120 | 0.225 | 120 | 0.400 |
| | | 110 | 0.0 | | | 115 | 0.352 | 110 | 0.300 |
| | | 100 | 0.0 | | | 110 | 0.336 | 100 | 0.350 |
| | | 90 | 0.0 | | | 100 | 0.430 | 90 | 0.250 |
| | | 80 | 0.0 | | | 90 | 0.434 | 80 | 0.300 |
| | | 70 | 0.0 | | | 80 | 0.427 | 70 | 0.400 |
| | | 60 | 0.0 | | | 70 | 0.445 | 60 | 0.500 |
| | | 50 | -0.0 | | | 60 | 0.472 | 50 | 1.200 |
| | | 40 | -0.0 | | | 50 | 0.374 | 40 | 1.400 |
| | | 30 | 0.0 | | | 40 | 0.355 | 30 | 1.200 |
| | | 20 | 0.0 | | | 30 | 0.452 | 20 | 0.700 |
| | | 10 | 0.0 | | | 20 | 0.473 | 10 | 0.600 |
| | | 0 | 0.0 | | | 10 | 0.438 | | |
| | | | 0 | | | 0 | 0.477 | | |

注) --- は雪が軟らかくて測定不可

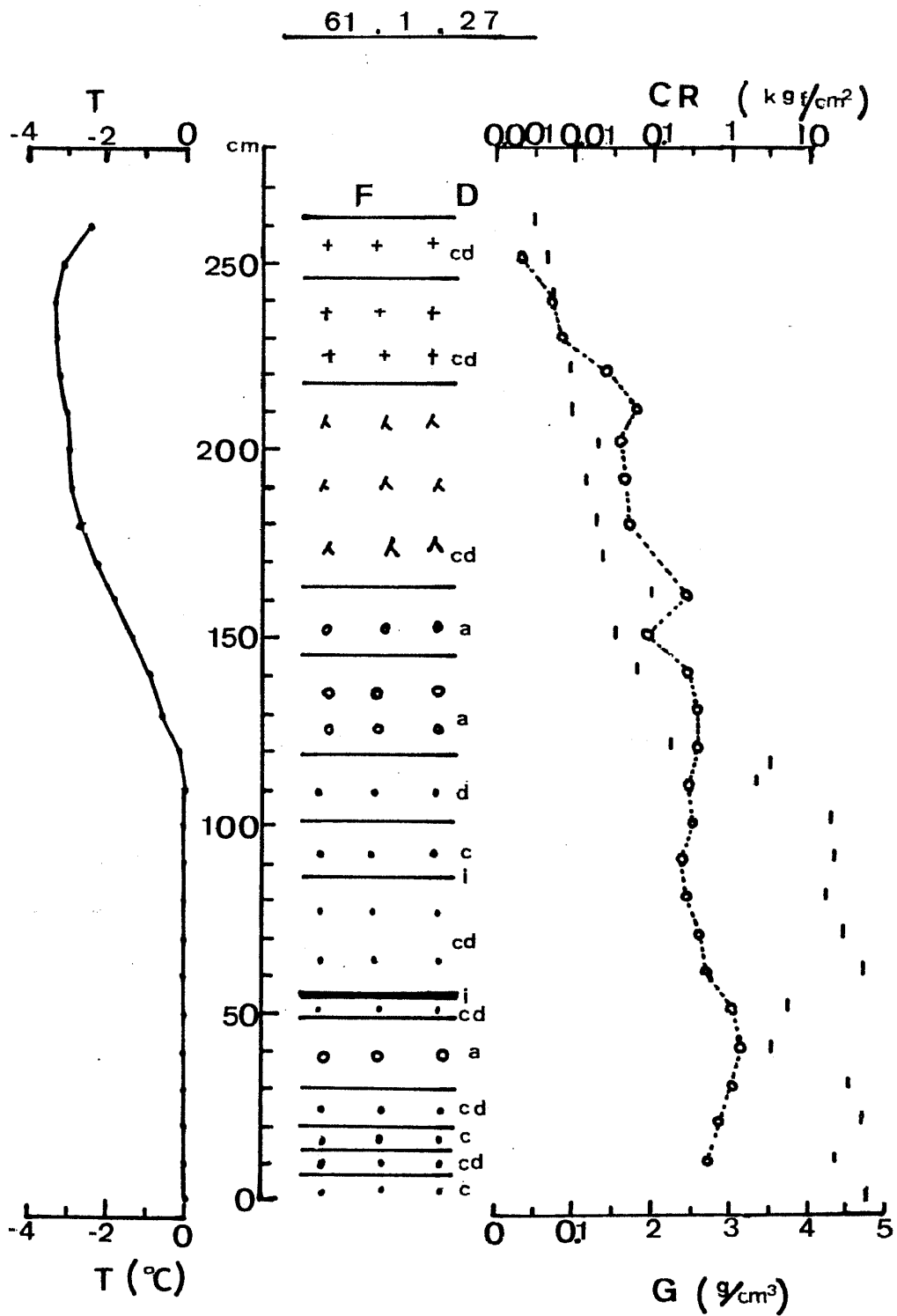


図5 長岡の積雪断面観測図

T : 雪温, F : 雪質, D : 粒度, G : 密度, CR : カナディアン硬度

観測日時 : 1986年1月27日9時55分~12時5分

観測者 : 五十嵐高志

果は、それぞれ 384 cm, 114 mm, 0.297 g/cm³であった。測定場所が水田の中だったため、下部約 20 cmは水中で採雪ができないため測定しなかった。

4. 積雪断面観測値の比較

能生町と長岡市の積雪状態を比較するため、表3に雪害実験研究所構内の積雪観測露場で1986年1月27日に行なった積雪断面観測結果を、また、図5に積雪断面を示した。表1および図3と表3および図5を比較した結果を表4に示した。表4でA層、B層と分けた積雪層は、A層が1月20日以後の積雪でB層が1月20日以前の積雪である。積雪の深さの全体でA層の積雪が占める深さの割合は、能生が58.9%、長岡が54.8%であった。また、積雪の重量の全体でA層の積雪が占める重さの割合は、能生が36.8%、長岡が19.0%であった。

図3および図5、また、表4に示した通り積雪層構造、雪温、密度、硬度、粒度は大きな違いはなかった。連続降雪による積雪の深さA層が能生では239 cm、長岡では144 cmで、長岡より能生が95 cmも厚かった。

表4 積雪断面観測値の比較

| 項 目 \ 場 所 | | 能生町柵口 | 長 岡 市 |
|---------------|-----|-------------------------|-------------------------|
| 観 測 日 | | 61. 1. 28 | 61. 1. 27 |
| 積 雪 の 深 さ | | 406 cm | 263 cm |
| 積 雪 の 平 均 密 度 | | 0.30 g/cm ³ | 0.27 g/cm ³ |
| 積 雪 の 重 量 | | 1.218 kg/m ² | 710 kg/m ² |
| A層とB層の層界位置 | | 167 cm | 119 cm |
| A 層 の 厚 さ | | 239 cm | 144 cm |
| B 層 の 厚 さ | | 167 cm | 119 cm |
| A 層 の 重 さ | | 416 kg/m ² | 141 kg/m ² |
| B 層 の 重 さ | | 715 kg/m ² | 602 kg/m ² |
| A 層 の 平 均 密 度 | | 0.17 g/cm ³ | 0.098 g/cm ³ |
| B 層 の 平 均 密 度 | | 0.42 g/cm ³ | 0.51 g/cm ³ |
| A 層 の 雪 温 | 最 低 | -3.5 °C | -3.3 °C |
| | 平 均 | -2.4 °C | -2.3 °C |

A層は連続降雪で増加した積雪層、B層は連続降雪以前の積雪層を示す。長岡の観測場所は、雪害実験研究所構内の積雪観測露場

長岡の積雪断面観測値と比較すると、連続降雪以前の積雪はほとんど同じであるが、連続降雪で積もった積雪は、厚さで約2倍、重さで約3倍であった。

積雪断面観測結果の比較から、連続降雪で積もったA層の積雪は、1) 雪の温度が低く乾いていた。2) 平均密度 0.17 g/cm^3 の雪が 239 cm もあり、硬度については長岡と同程度であったことが判明した。

5. おわりに

積雪の断面観測は、積雪の研究過程で、積雪の基礎的諸要素の観測であり、また、積雪の性質、積雪現象の変化および積雪の変態などの解明には欠くことのできないものである。このような観点からしても、積雪災害や雪崩災害現地の積雪断面観測結果は、災害時の積雪状態の記録として重要である。

参 考 文 献

- 1) 五十嵐高志 (1985) : 長岡における積雪断面観測資料 (1984 ~ 1985)。防災科学技術研究資料, 第 102 号. 86 pp.
- 2) 五十嵐高志 (1985) : 昭和 59 ~ 60 年冬期の積雪に伴う被害 — 新潟県・長野県・他 —。防災科学技術研究資料, 第 104 号. 109 pp.
- 3) 気象庁編 (1971) : 地上気象観測法. 266 pp. 101 - 104. 141 - 157.
- 4) 日本雪氷学会 (1967) : 積雪の分類名称, 雪氷の研究. No. 4 (1970), 日本雪氷学会, 東京, 57 pp. 31 - 50.
- 5) 清水 弘 (1965) : 積雪観測法. 雪氷の研究, No. 4 (1970), 日本雪氷学会, 東京, 57 pp. 1 - 28.

(1986年6月17日 原稿受理)

表層雪崩の堆積層について

山田 穰*

国立防災科学技術センター雪害実験研究所

On the Characteristics of Fresh Avalanche Debris

By

Yutaka Yamada

*Institute of Snow and Ice Studies, National Research Center for Disaster
Prevention, Nagaoka, Niigata-ken, 940*

Abstract

A large-scale surface avalanche occurred midnight on January 26, 1986 at Maseguchi, Nou-machi, and catastrophic disaster occurred with the 13 deads. After 38 hours of the avalanche release, profile observation of snow debris was carried out at the deposit zone of the avalanche. By the preliminary analysis following results were obtained.

- (1) Temperature of snow debris of 110cm in thickness was homogeneous (mean temperature gradient; $0.2^{\circ}\text{C}/\text{m}$) and lower than natural snow cover by $-0.6^{\circ}\text{C}/\text{m}$.
- (2) Profile of snow density showed inverse layer with maximum density at the middle of the debris layer. Mean density of debris was $0.24\text{g}/\text{cm}^3$ and the mean density of corresponding natural snow cover was $0.12\text{g}/\text{cm}^3$.
- (3) By comparing the weight of natural snow cover and debris layer, natural snow cover graded by avalanche was estimated at 50cm of new snow.

1. はじめに

雪崩は、発生区・走路・堆積区に分けられる。雪崩の堆積層は、走路に散在することもあるが、主として堆積区にあり、雪崩の用語では簡単にデブリ (debris) と呼ばれる。雪崩は動的な現象であるが、雪崩の流動の結果堆積し、静止したデブリの観測から、雪崩に伴って流動した積雪の性質、量、堆積区の範囲そして雪崩の運動形態すなわち流れ型・煙り型・混合型等が推定できる。

* 第1研究室

この報告では、1986年1月26日深夜11時頃に新潟県西頸城郡能生町柵口（ませぐち）の権現岳（1,108 m）から発生した表層雪崩のデブリについて、雪崩発生後38時間後に行った現地観測結果の予備的解析結果について述べる。大規模な表層雪崩の発生直後の観測報告例は稀であり、表層雪崩のデブリについて多くの知見が得られた。

2. 雪崩の堆積層の推定

能生町柵口の自然積雪層およびデブリを含む堆積層の観測結果については、この報告書中の「雪崩災害地の積雪断面」（五十嵐、1986）で詳しく報告されている。このうち、堆積層の観測では、1月19日以前の旧雪層までの観測は、吹雪・雷等の悪天候のため実施されなかった。また、デブリ層は樹枝混入層90cmを含む約250cmとした。これは目視観測による積雪断面では樹枝混入層の他は層構造が観察されなかったこと、旧雪層まで観測が行われなかったためである、しかしながら、他機関との情報交換によるとそれほどデブリ層は厚くないのではないかとのことであった。そこで、デブリについてのみ再観測を行った。

デブリの再観測は2月1日15時30分から約1時間、前回の観測位置から雪崩流の中心部へ約3 m（北西方向）離れた場所で行った。観測項目は、積雪層構造・密度・雪温の3項目である。積雪層構造ははけによるブラッシング法で行なった。デブリの再観測結果を図1に示す。

図1から、観測時の積雪の深さ400 cm、1月19日以前の旧雪層の厚さ150 cmである。前回観測時より雪温は上昇し、密度は圧密のため増加している。雪温は330～340 cmから旧雪層までは、圧密したものの乾いており、雪崩発生時の雪質を保っている。

平面に仕上げた自然積雪断面をはけで水平方向にブラッシングすると、肉眼では見られない細かい層構造が現われる。このブラッシング法によって層構造の現われない部分がデブリ層である。ブラッシングを行った結果、断面から233～305 cmの72 cm層がデブリであることが判明した。ただし、295～305 cmの間は（図1の点線部分）は微細層構造が部分的にあり、自然積雪とデブリの境界が不明瞭であるが、ここでは305 cmまでをデブリの上限とした。また、ブラッシングによるデブリの下限の233 cmと245 cmの位置には凍結した厚さともに約5 mmのざらめ雪層がある。この凍結ざらめ層は、雪崩運動の際摩擦により融解しその後再凍結したため形成されたものであろう。なお、デブリ中には樹枝および最大10 cmの小雪塊が含まれていた。

このようにして決定したデブリの厚さは72 cm、積雪重量は 221 kg/m^2 である。ところで、1月28日に行なったデブリの樹枝混入層の厚さは90 cm、積雪重量 184 kg/m^2 である（五十嵐1986）。したがって、これらの比較により1月28日デブリ観測の樹枝混入層がデブリの主体であり、その上・下層を多少含んでいたものと考えてよい。これについては次章で更に

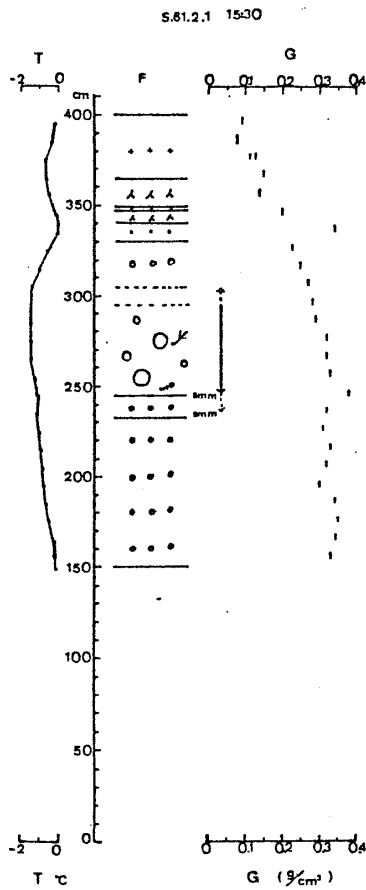


図1 堆積区の積雪断面(再測)

この図で自然積雪層は添字 n で、デブリは d を用いた。デブリ中の樹枝混入層は雪面下 60 ~ 150 cm にあり、図中では点線で示してある。これらの観測値の比

述べる。

3. 自然積雪層と雪崩による堆積層の比較

前章での検討でデブリの厚さ、積雪重量がおおよそ推定できたので、五十嵐(1986)による発生 38 時間後の自然積雪層とデブリの比較を行い、デブリの特徴について述べるとともに、その過程で更にデブリの厚さについて検討することとする。

3.1 雪崩による堆積層の検討

五十嵐(1986)による自然積雪の観測は堆積区末端付近、デブリの観測は最上部被災家屋(土田勘太郎宅)の約 70m 斜左上流側で実施され、この間の距離は約 300 m である。したがって、両地点の降積雪はほぼ同じと考えてよいであろう。以下の比較はこの仮定の下で行なう。

図 2 には、雪面を基準点にとり、自然積雪層と雪崩による堆積層の雪温 (T)、密度 (G) および硬度 (R) の比較を示した。

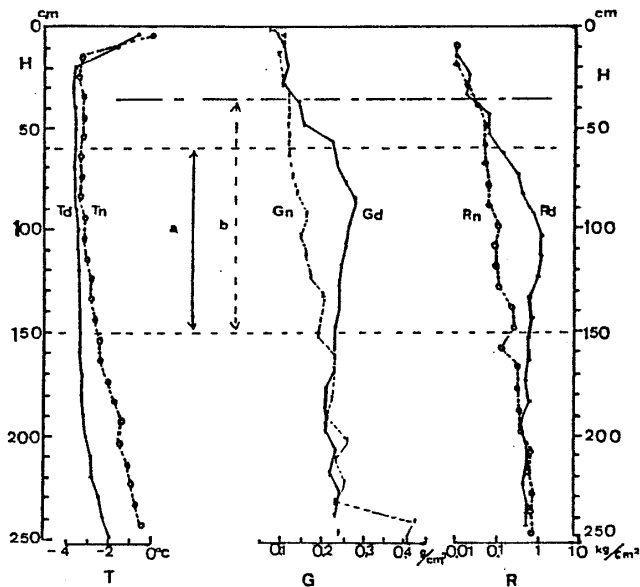


図 2 自然積雪層と雪崩による堆積層の雪温 (T)、密度 (G) および硬度 (R) の比較 (n は自然積雪、d はデブリを示す。また a は樹枝混入層、b は推定された全デブリ層である)

較, 特に密度の比較を行うと, 樹枝混入層上層数 10 cm の区間で, 自然積雪層に較べ堆積区の層の密度が大きくなっている. この事実から, デブリの上限を雪面下 37 cm までと新たに推定した. 樹枝混入層の下層 10 数 cm でも堆積区の層の密度・硬度が自然積雪層より大きい, これは雪崩流動中の運動に伴う圧力による圧縮, デブリ層自体の密度したがって重量が大きいため粘性圧縮がより速やかに進行したため等の機構によるものと考えられる. したがって, デブリの下限は樹枝混入層の下限と一致すると考えて大差ないと思われる. この結果デブリ層は雪面下 37 cm から 150 cm の厚さ 113 cm, 積雪重量 263 kg/m^2 である. このデブリ積雪重量は, 再測によるデブリ積雪重量 221 kg/m^2 より大きいので, 実際はこれよりデブリ厚さが薄かった可能性があるが, 以下では, デブリ層の厚さ 113 cm として, 諸量の比較を行う. 今後, 粘性圧縮理論によりデブリ層の厚さの検討・裏付けを行う予定である.

3.2 雪崩の堆積層の特性

図 2 の自然積雪層の雪温 T_n とデブリの雪温 T_d を比較すると, デブリの雪温分布は, 自然積雪に較べ一様で全体に低いことが判る. このデブリの雪温分布の一様性をデブリの平均温度勾配で示すと $0.2 \text{ }^\circ\text{C/m}$ であり, デブリに対応する自然積雪層の温度勾配 $0.7 \text{ }^\circ\text{C/m}$ の $1/3$ 弱である. また, デブリの平均雪温, 最低雪温はそれぞれ $-3.3 \text{ }^\circ\text{C}$, $-3.5 \text{ }^\circ\text{C}$ であり, 対応する自然積雪の平均雪温, 最低雪温は $-2.9 \text{ }^\circ\text{C}$, $-3.3 \text{ }^\circ\text{C}$ である. 堆積区の雪温分布はデブリと見られる層の上・下層でも低い. これはデブリ層の雪温が上・下層に拡散されたためであり, 雪崩発生時のデブリの平均雪温は観測時の平均雪温 $-3.3 \text{ }^\circ\text{C}$ より数度低かったものと考えられる.

上述のデブリの雪温の低さは, 標高の高い発生区の滑り面より上部の雪温が低いことを反映したものである (堆積区と発生区の標高差 700 m, 気温てい減率 $0.6 \text{ }^\circ\text{C}/100 \text{ m}$ とすると, 発生区の気温は堆積区の気温より $4.2 \text{ }^\circ\text{C}$ と低いことになる). また, デブリの雪温分布の一様性は, 温度勾配を持った発生区の積雪が, 雪崩運動中に乱流的に混合し平均化されたためであろう.

次に, 自然積雪層の密度 G_n とデブリの密度 G_d を比較すると, デブリの密度 (平均密度 0.24 g/cm^3) は自然積雪層の密度 (平均密度 0.12 g/cm^3) より 2 倍大きい. また, 自然積雪層の密度分布が, 一般にそのような傾向を示すように, 下層の密度が上層の密度より大きいのと較べ, デブリでは中間層で最大密度を持つ特異な密度分布, いわゆる密度の逆転層を持つことが判る. このデブリの密度分布は, 雪崩運動の何らかの特性を反映したものであると考えられるが, その堆積機構の詳細は不明である.

自然積雪層の硬度 R_n とデブリの硬度分布 R_d との関係および鉛直分布は上述の密度の関係と同様である.

3.3 堆積区において雪崩運動によって削られた自然積雪層の厚さの推定

堆積区におけるある基準積雪面、地面でもある特定の層境界でもよい、からデブリ下限までの積雪重量が判り、かつ自然積雪層の同じ基準面から雪崩発生時の雪面、いいかえればデブリ上限に相当する位置までの積雪重量が測定されていれば、後者から前者を差引いた量は雪崩によって削られた積雪重量を示す。

図1のデブリの積雪断面観測図では、新雪・旧雪境界面からデブリ下限までの密度分布が

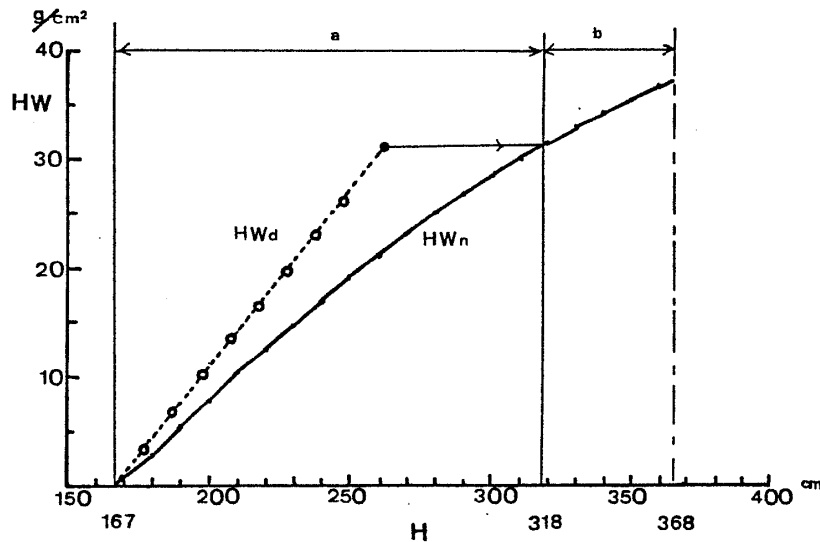


図3 新・旧雪境界面からの積区の積算重量 (HWd) と自然積雪層の積算重量 (HWn)。ただし、HWd はデブリ下限まで、HWn は雪崩発生時の雪面まで。

測定されており、自然積雪層については五十嵐 (1986) により、新雪・旧雪境界面から雪崩発生時の雪面 (前章の議論から、地面から 368 cm の層) までの密度分布が測定されている。

図3では、自然積雪層の新・旧雪境界面 (地面から 167 cm) を基準積雪面にとり、密度分布から積算重量をプロットしたものである。堆積区の積算重量は 31.0 g/cm^2 であり、これを横軸である積雪の深さに平行に引いた線が自然積雪層の積算荷重曲線と交わる点の積雪の深さ 317 cm が、堆積区において自然積雪として残された上限であり、そこから、雪崩発生時の雪面までが、雪崩によって削られた自然積雪層である。図3から、雪崩によって削られた自然積雪層は、318 cm から 368 cm の 50 cm、積雪重量にして 63 kg/m^2 である。

4. おわりに

能生町で発生した大規模表層雪崩は、雪崩による堆積層いわゆるデブリ中に散在する最大

10cmの小雪塊が多数あることから、雪崩運動の2つの形態すなわち流れ型・煙り型の混合型であったと推定される。

雪崩の堆積区については、詳しいデブリ分布、樹枝破壊分布調査を行なわなかったので詳細は不明である。これらは、今後、他機関で行なわれた調査報告によってその全貌が明らかとなろう。我々の調査は大規模表層雪崩発生直後のデブリ、および自然積雪の観測を詳細に行ったことに特色があり、これにより表層雪崩に関して部分的であるが多くの知見が得られた。

特に表層雪崩の現地調査で問題となるのは、これまで多くの場合標高の低い被災地点での自然積雪の積雪観測によってしか議論されていない点にある。しかし、今回の調査から、発生直後の新鮮なデブリ調査によって、発生区・運動の様子等をおよそ推測できる点を示した。例えば、本報告中で述べた雪温分布から発生区の積雪の熱的性質が推測できる可能性等である。今後、本報告で不明確な点は更に詳しい解析を行ない補足する予定である。

(1986年6月17日 原稿受理)

あとがき

この雪崩は、人家、集落を襲った雪崩災害として戦後最大の被害をもたらした。雪崩そのものの規模としても最大級であった（標高差700～800 m, 走路長 2.4 km）。雪崩の種類は、日本雪氷学会の分類によると、面発生乾雪表層雪崩であり、運動型は煙型と流れ型の混合型であった。

表層雪崩の発生機構と運動機構については科学的に未知の面が多く、したがって防災上の対策についても、全層雪崩ほど明確ではない。表層雪崩解明の第一歩としては、雪崩発生後できるだけ速やかに現地の積雪状態を観測し、データを蓄積し解明することが重要であると考えられる。この現地調査でも積雪状態の把握を、発生斜面、運動状態および被害と同じウエイトで調査した。

面発生乾雪表層雪崩の機構について一般に認められている定説は、積雪中に雪崩の滑り面と成る弱層または異質な雪の境界面の存在を前提とし、動力と支持力の均衡が破れた時に発生するといわれている。能生町の雪崩発生の原因は動力の増加すなわち降雪量があまりに急速に増加したため、支持力即ちせん断強度を越えたことにより発生したと考えられる。逆に動力がほとんど変化せず、支持力が低下する事もあるが、これは能生町のケースにはあてはまらない。能生町雪崩災害では積雪の深さは平年値の約200%に達していたし、1月20日以降の積雪重量は長岡の3倍であったことは本文で述べた。

北陸地方の雪崩の滑り面は北海道、東北地方、北米、スイスアルプスなどの寒冷地と異なる事がこれまでの観測から判明した。すなわち寒冷地における代表的な滑り面はしもざらめ雪からなる層である。しもざらめ雪とは寒冷でしかも小雪の地方で積雪層内の温度勾配が大きいために積雪層内で形成された霜である。北陸地方では温暖かつ多雪でありしもざらめ雪は特別な地域に稀にしか発生しない。そのかわり、北陸地方では厳冬期の1～2月でも降雪期間がすぎると0℃以上になり、雪が多量に融けたり雨が降るので積雪内部に局所的にぬれざらめゆき層が形成され、これが滑り面と成ることを指摘した*。この局所的0℃層言い替えるとぬれざらめ雪層はその後の多量の降雪期間に積雪層内で凍結することがある。これは積雪の内部凍結である。これらの北陸地方で特異と思われる表層雪崩の滑り面は能生のほか守門村（S.56）、湯沢町（S.59）など最近新潟県内で発生した大雪崩災害でいずれも現地観測で確認された。

積雪断面観測の結果旧積雪層と新積雪層はその物理的性質例えば、密度の差が歴然としており、また新積雪層内に数層の薄いざらめ雪層が見られたが、滑り面がどれかは特定出来なかった。能生町の場合には全層が0℃以下であり内部凍結が起っていた。これは守門村、湯

* 山田 穰（1981）：56年豪雪となだれ災害。日本雪氷学会昭和56年度秋期大会シンポジウム『56年豪雪』p.26-29.

沢町の場合に濡れていたのと異なっている。濡れているにしても乾いているにしても弱層あるいは滑り面のせん断強度の大きさが問題であり、今後これについて系統的組織的に研究する事が必要であろう。

雪崩発生地点の確認には航空写真と並んでモデルに依るシミュレーションも有効である。特に能生町のように被災地点が明確で発生斜面が特定出来ない場合には有力な補助手段である事が判明した。今後このようなシミュレーションを更に発展させて、正確なパラメーターを究明することが必要であろう。

雪崩のデブリの観測の結果、予想されていたようにデブリの雪塊は発生地点の雪質を反映保存していることが確認された。また、デブリの密度、硬度は特異な逆転層型の分布を示していた。雪崩のデブリには煙型を示す様な雪質と流れ型を示すブロック状の雪が混在していた。また、樹木への雪崩ゆきの付着から雪崩流の高さは堆積区付近で約7m前後と推定された。雪崩の運動形態には煙型と流れ型に分類されているが、理想的な煙型の雪崩は存在するのであろうか。おそらく、乾雪表層雪崩では二つの型が混在して流れるのが普通なのではなかろうか。雪崩全体の流れに対するこのような性質はどのような雪の条件に依って決まるのであろうか。雪崩の運動、規模は運動後の雪の取り込み量に依って影響される。この場合も、新雪量や密度、硬度などの物理的な性質が取り込み量にどのように影響するのであろうか。雪崩発生が予測される場合、次いで重要なのは何処まで到達するかということが対策のために重要である。従って、積雪の性質から運動の規模を推定することも今後の重要な課題であろう。これは表層雪崩の減勢工、よう壁工などの防止工事にも関連する課題である。

能生町の今回の雪崩災害発生地域は昭和22年5月19日に発生した柵口地すべりに移動堆積・被災域が重複する。そこで雪崩と地すべりの関係について考えられる3つの場合について検討しておきたい。

1) 雪崩の発生・流動に対する地すべり地形の影響

地すべりは移動停止中のものでも、急傾斜の滑落崖と緩かな移動・堆積斜面からなるのが一般である。したがって、雪崩が滑落崖面上で発生したかどうかが問題になる。今回の雪崩発生地点は権現岳屋根直下と推定されており、この推定が正しければ、発生地点は昭和22年の地すべりの滑落崖ではなく、これよりも比高で450m、斜距離で500m後方にあたる。次の問題は雪崩発生地点と目される権現岳東側急斜面の位置づけであろう。この斜面は、昭和22年の地すべり変動範囲を囲む古期地すべり地形の滑落崖がその後の小崩落、表層を削剥する全層雪崩などにより部分的に侵蝕した急斜面である。この点において、今回の雪崩発生地点と加速領域は古期地すべり地形と関係があったとみなされる。

2) 地すべり運動の雪崩発生に及ぼす影響

前項前半により雪崩発生地点が昭和22年変動域の遙か後方であること、及び昭和61年には柵口地すべりは移動していないことから、地すべり運動が今回の雪崩発生に関係したと

は考えられない。

なお、雪崩発生後被災地域下方で積雪の中にクラックが発見され雪崩の発生あるいは積雪下の地すべり地の再活動も懸念された問題がある。積雪層のクラックについては以下の場合が考えられる。(i)積雪層内のみのクラックでは、a)積雪層のグライドによる場合、破断面は斜面に垂直で山側に傾斜し、b)クリープによる場合、破断面は斜面に垂直で山側に傾斜する。a)、b)いずれの場合も開口量が加速する場合には雪崩発生の危険性がある。(ii)地すべりの亀裂が積雪下で発生する場合には、雪中のクラックは(i)a)と同様に斜面に垂直に発生し、開口量の増加とともに、地表面の亀裂が表われてくる。新潟大学を中心とした調査グループにより、今回の柵口地区の場合は積雪層中のクリープによるもので、かつ減速していると判定され、それまで出されていた避難勧告が解除された。

3) 雪崩の地すべりに及ぼす影響

今回の雪崩が柵口地すべりに与えた影響は認められていない。柵口地すべりの質量に対する今回の雪崩の質量比は約 $1/10^4$ に過ぎない、また、急斜面から地すべり緩斜面への雪崩による雪量の移動は、その地すべり地の集水域内での移動にすぎず、水収支上は増減がない。これら2点が柵口の場合のみならず、従来、雪崩が地すべり発生に直接的影響を与えていない理由であろう。

今回の雪崩は厳冬期の表層雪崩であったために、上に考察した3点がいずれも該当しなかったと考えられる。融雪期には地すべり地は一層活動しやすい状態になっていると考えられ、これに加えて全層雪崩が発生する場合には両者の関係はより密接になる可能性もあり、今後の重要な課題となるであろう。

(山田 稔・大八木規夫記)