

土木研究所資料

大規模表層雪崩実態調査

昭和63年1月

建設省土木研究所
新潟試験所

「Copyright © (1988) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W. R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。」

大規模表層雪崩実態調査

— 幕ノ沢大雪崩の例 —

新潟試験所	所 長	是沢 一樹
	主任研究員	下村 忠一
	研 究 員	酒井 洋一
		中島 久男

要 旨

大規模雪崩が発生した場合、現地で詳細な調査を行う必要がある。しかし、調査の方法や結果等を具体的に示したものがなく、重要な調査項目が欠落していたり、調査自体が行われないこともある。

本報告書は、昭和58年度冬期に新潟試験所雪崩観測地の幕ノ沢で発生した大規模な表層雪崩を例として、雪崩の調査方法や各種項目の推定結果等について述べたものである。

キーワード：雪崩，表層雪崩，雪崩調査，雪崩予知，積雪観測

* (現) 道路研究室

はじめに

昭和58年度冬期（昭和59年）は、各地で大雪に見舞われ地域によっては戦後最大のところもいくつかあった。このため、この年は雪崩による被害も数多く発生している。ここで述べる新潟県上越地方で発生した幕ノ沢の大雪崩も例外ではなく、幸い人的被害はなかったが雪崩の規模は樹木の倒れかたなどから判断すると、十数年あるいは数十年に1回のもものと推定できる。

幕ノ沢では、昭和45年3月に今回同様の大雪崩が発生した。このときはスキーリフト（当時幕ノ沢は、スキー場として利用されていた。）を直撃し、死者2名を出した。地元の話では、この程度の規模の雪崩は10～15年に一度の割合で発生しているらしいということである。

そこで、この十数年～数十年に1回といわれる大雪崩の状況をこの付近における積雪等の定点観測結果（妙高雪崩観測小屋で毎日計測している気象観測、写真測定および積雪断面観測）と昭和59年5月22日、6月1日、14日の現地測定（被害状況、雪崩量、流路等）から、幕ノ沢の大雪崩（雪崩発生時期、量、被害等）を推定したものである。

大規模表層雪崩実態調査

目次

はじめに

第1章 概 説	1
1. 1. 雪崩発生地点（幕ノ沢）の概要	1
1. 1. 1. 地点概要	1
1. 1. 2. 幕ノ沢の地形・植生概況	3
1. 1. 3. 幕ノ沢付近の気象概況	4
1. 1. 4. 過去事例との比較	9
1. 2. 昭和58年度冬期（昭和59年）の状況	9
1. 2. 1. 気象状況	9
（1）気温状況	9
（2）積雪状況	11
（3）その他	12
1. 2. 2. 災害の状況	13
（1）雪崩災害	13
（2）その他の災害	14
（3）法的措置	14
第2章 現地調査	15
2. 1. 調査目的	15
2. 2. 調査方法	15
2. 2. 1. 調査日	15
2. 2. 2. 調査項目および方法	15
（1）調査項目	15
（2）調査方法	17
2. 3. 調査結果	17
2. 3. 1. 雪崩範囲	17
2. 3. 2. 地形的考察	17
2. 3. 3. 森林被害状況	19
（1）発生区	19
（2）走路	19

(3) 堆積区	-----	19
2. 3. 4. その他	-----	20
第3章 雪崩発生時の状況推定	-----	21
3. 1. 雪崩発生日の推定	-----	21
3. 1. 1. 定時自動撮影写真による推定	-----	21
(1) 撮影方法	-----	21
(2) 推定結果	-----	21
3. 1. 2. 積雪層構造による推定	-----	23
(1) 積雪観測方法	-----	23
(2) 推定方法	-----	24
(3) 推定結果	-----	24
3. 1. 3. 気象状況による推定	-----	29
(1) 気象観測方法	-----	29
(2) 推定結果	-----	29
3. 1. 4. 被害木による状況推定	-----	30
3. 1. 5. 雪崩発生日の推定結果	-----	30
3. 2. 雪崩発生予測結果による検証	-----	32
3. 2. 1. 予測方法	-----	32
3. 2. 2. 予測式の作成	-----	32
3. 2. 3. 予測検証結果	-----	33
3. 3. 雪崩発生形態の推定	-----	33
3. 3. 1. 雪崩発生量	-----	33
3. 3. 2. 雪崩速度	-----	34
3. 3. 3. 雪崩規模 (マグニチュード)	-----	34
3. 3. 4. 雪崩シミュレーションによる検討	-----	35
第4章 まとめ	-----	44
あとがき	-----	45
参考文献	-----	46
付属資料	-----	47

第1章 概 説

1. 1. 雪崩発生地点（幕ノ沢）の概要

1. 1. 1. 地点概要

今回、雪崩が発生した幕ノ沢は新潟県の上越地方に位置し、新井市から南南西に約20 [km]・妙高山から東北東に約4 [km] の地点にある。沢上流は神奈山に向かい、沢の全長は約5～6 [km] である。なお、所在地および位置図の諸元は表1-1に示す。（図1-1, 1-2）

表1-1 所在地および位置図

所在地	新潟県中頸城郡妙高村大字関山字妙高山幕ノ沢地内		
位置図	図面名称	発行者	規 格
	地形図	建設省国土地理院	1/50,000 妙高(NJ-54-35-15) 1/25,000 赤倉(NJ-54-35-15-2)
	経営基本図	農林省前橋営林局	新潟県中頸城郡妙高村大字関山妙高山国有林 高田事業区 第18, 20, 21, 22, 23, 25 林班

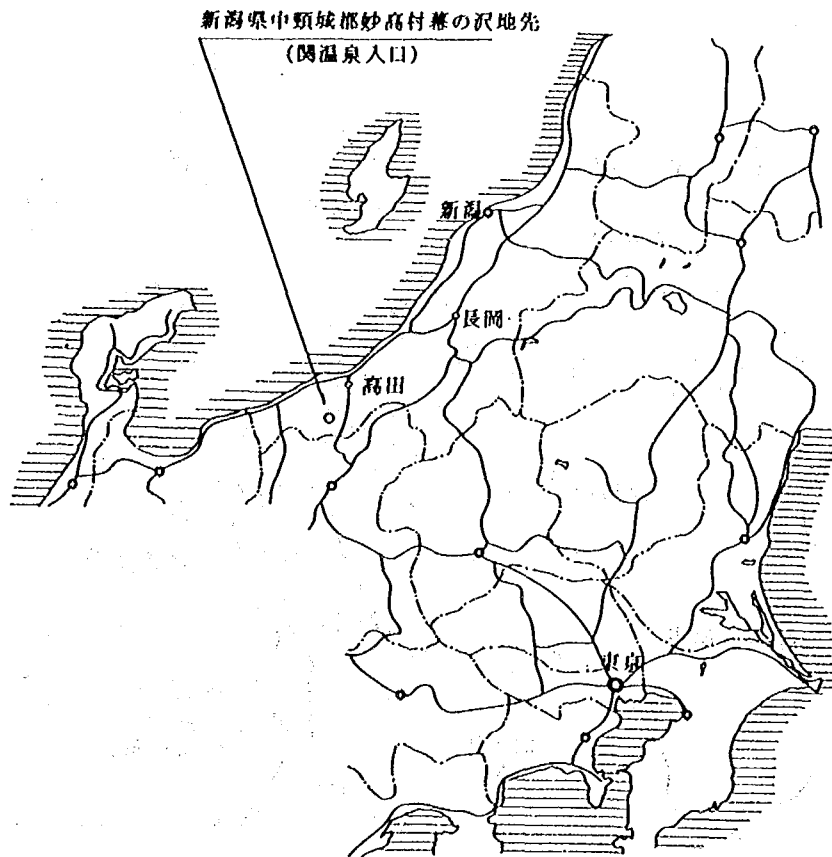


図1-1 雪崩発生所在地図(1)

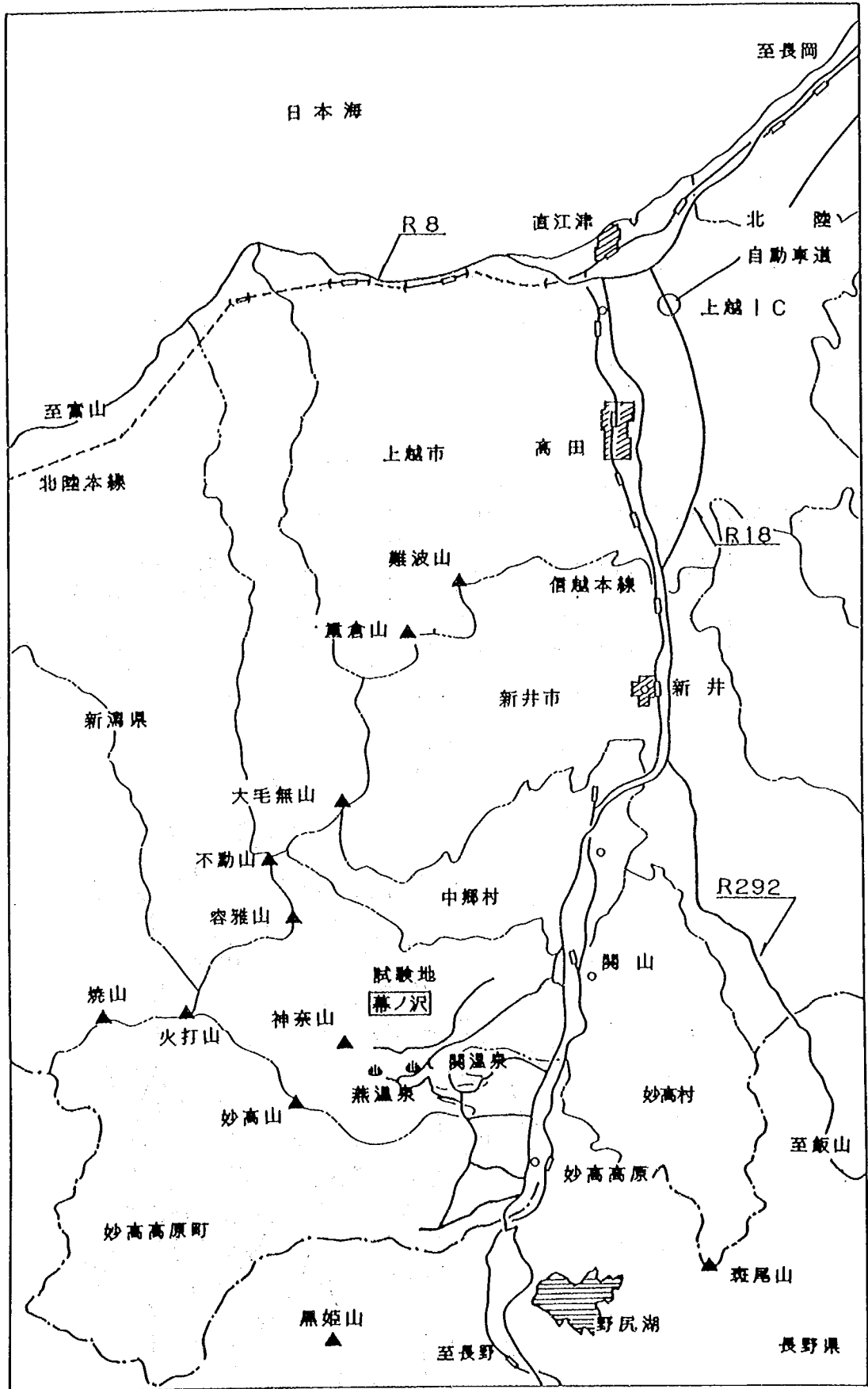


図1-2 雪崩発生所在地図(2)



図1-3 幕ノ沢平面図

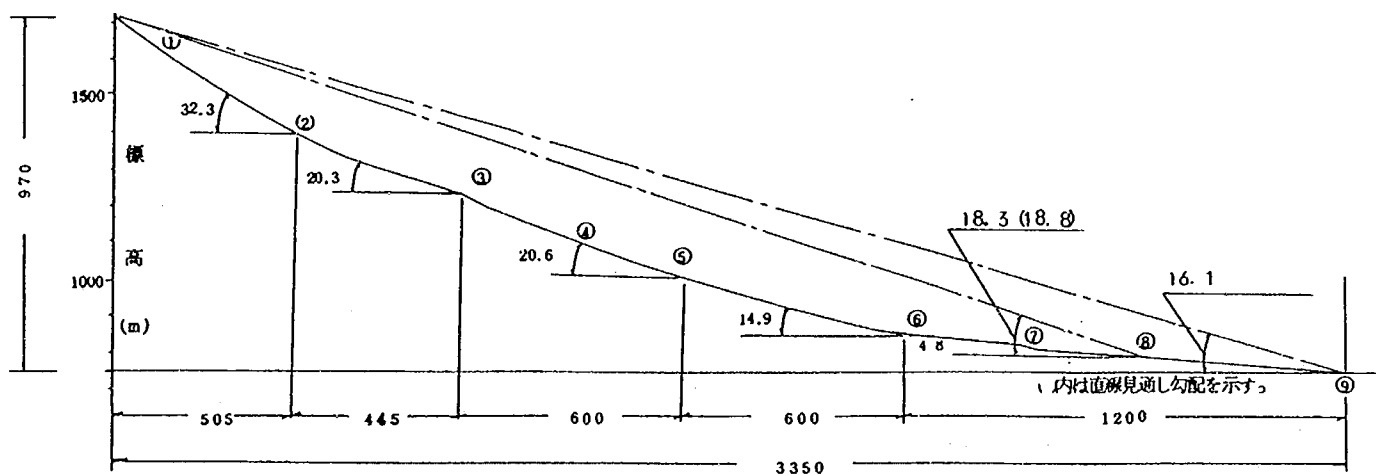


図1-4 幕ノ沢縦断図

1. 1. 2. 幕ノ沢の地形・植生概況

図1-3、1-4は、幕ノ沢の平面地形図と沢中央での縦断図である。図1-4の1で示した部分が雪崩の発生区の最先端と推定される。この付近は、30度以上の斜度であるが、その長さは比較的短く、浅い谷地形となっている。沢の北側斜面で1から2までの間は、一部岩場があるもののなだらかな斜面で、高さ数[m]の樹木が密集していることなどから、一般的には雪崩の発生地点になりにくいと考えられる。しかし、この地点は北西の季節風が吹くと雪庇の張り出し易い地形をしているため、雪庇の滑落等が雪崩の発生源になる可能性があるものと考えられる。一方、沢の南側斜面で1から4までの間は、30度程度の

急斜面が続き、その植生も1~2[m]前後の雑木がまばらに生えている程度で、雪崩の発生しやすい地形になっている。沢沿いでは、3地点に落差10[m]程度の滝があり、流下から谷が急峻となっている。さらに4付近はS字カーブとなっており、5の右岸側に比較的平坦な場所がある。ここから下流は、谷全体の幅が広くなり、沢筋の勾配も緩やかである。雪崩の堆積区での傾斜角は5°前後となっている。また、全体的にみると、総延長3[km]強・高低差1000[m]弱でその平均勾配は16~17度である。

なお、図中の8は土木研究所新潟試験所の雪崩実験斜面で、9が観測小屋である。

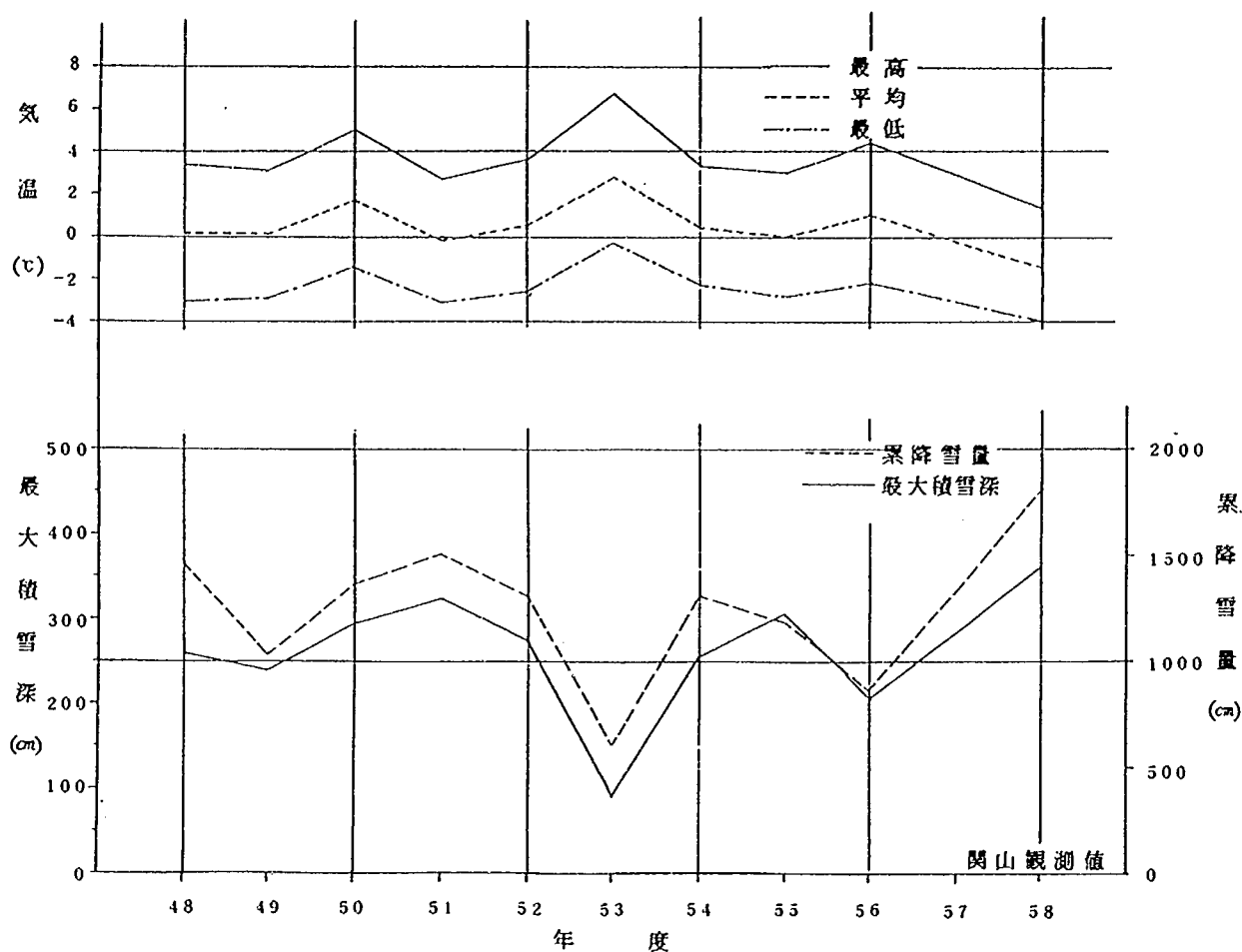


図1-5 気象経年変化図(気象庁関山観測地)

1. 1. 3. 幕ノ沢付近の気象概況

新潟県中頸城郡妙高村幕ノ沢は、北陸地方でも有数の豪雪地帯である。図1-5は幕ノ沢の近く(妙高村関山の気象庁観測所)で観測された過去最近10年間の気象データを示したものである。これによると、昭和53年度冬期を除けば、平均気温が0[°C]前後、積雪深が3[m]以上、累計降雪深が10[m]以上、消雪日が一般的に遅く4月上旬~中旬となっている。また、豪雪は昭和50, 51, 55, 58年度と3~4年おきになっている。これらのことから、この地域は多雪地帯であることがわかる。

一方、幕ノ沢では、関山の気象庁観測所に比べて積雪深・降雪深が1.5~2.0倍、気温も平均で3~4[

防寒具がアタ 避難屋らむ 野沢二人の



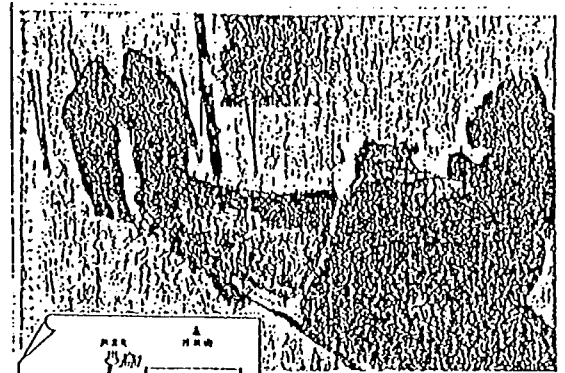
なだれの音気づかず？
白魔の下から無残な姿で



昭和45年(1970)3月7日 (日)



野放しの危険箇所
効果なかった段切り



四人生き埋め二人死亡
関温泉スキー場でなだれ

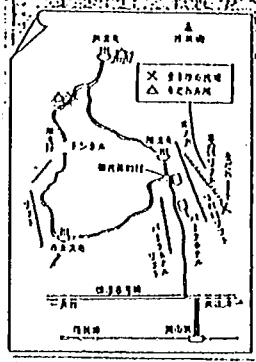


図1-6 昭和45年3月7日幕ノ沢大雪崩新聞記事 (S45.3.8)

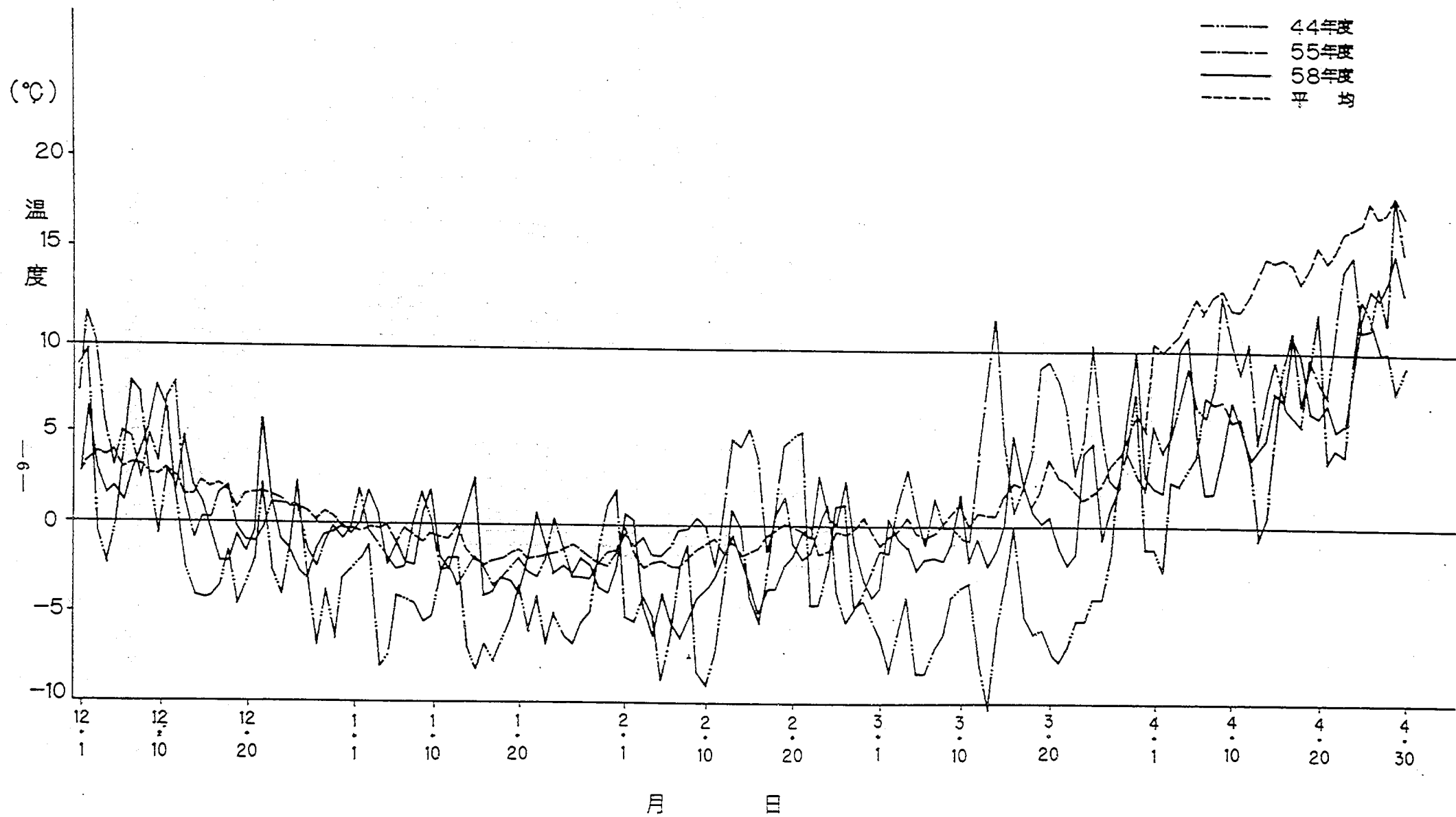


図1-7 气象变化图(气温) 气象庁関山観測地(S44.赤倉)

〈積雪深〉

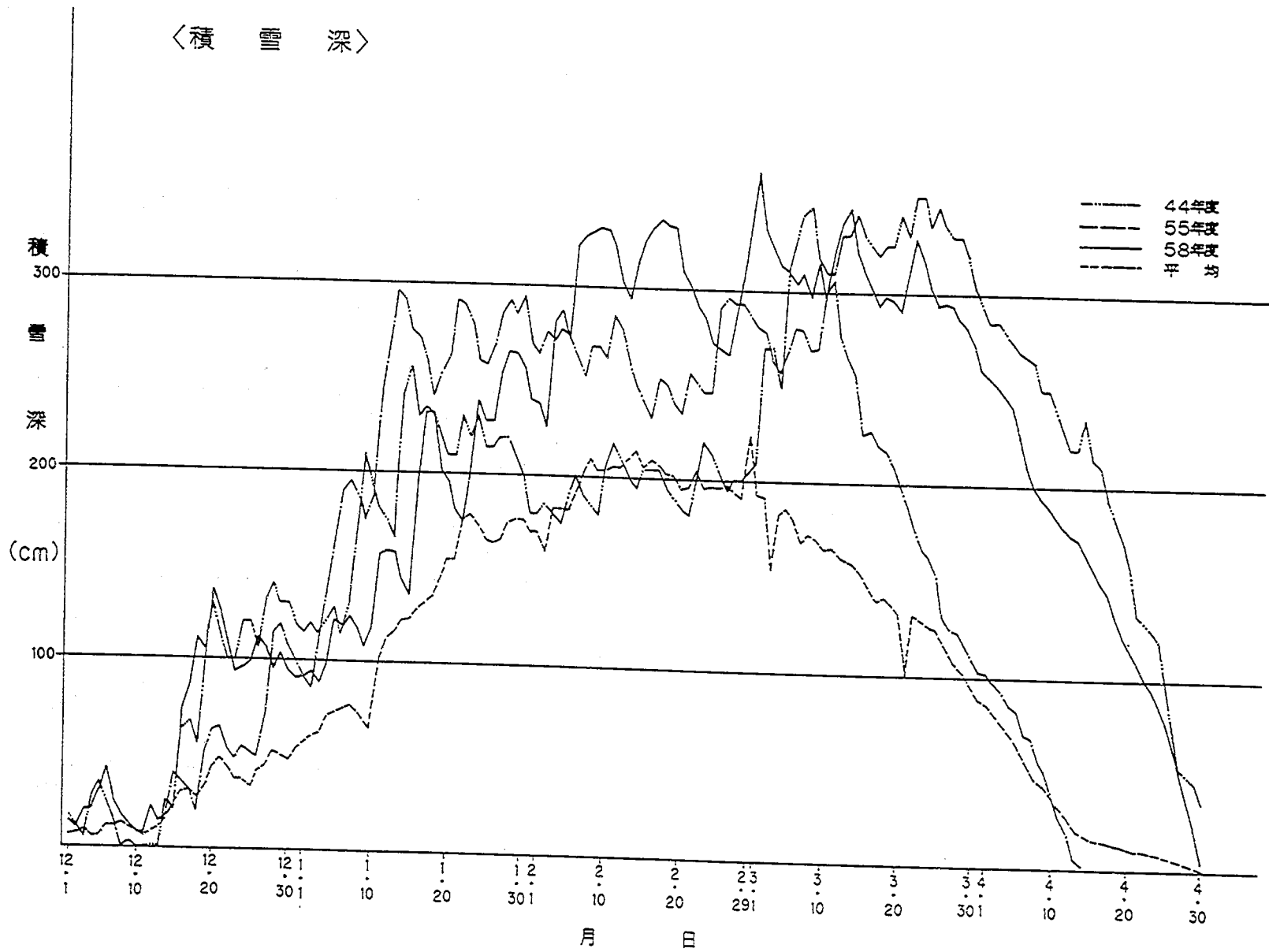


図1-8 気象変化図(積雪深) 気象庁関山観測地

〈累計降雪深〉

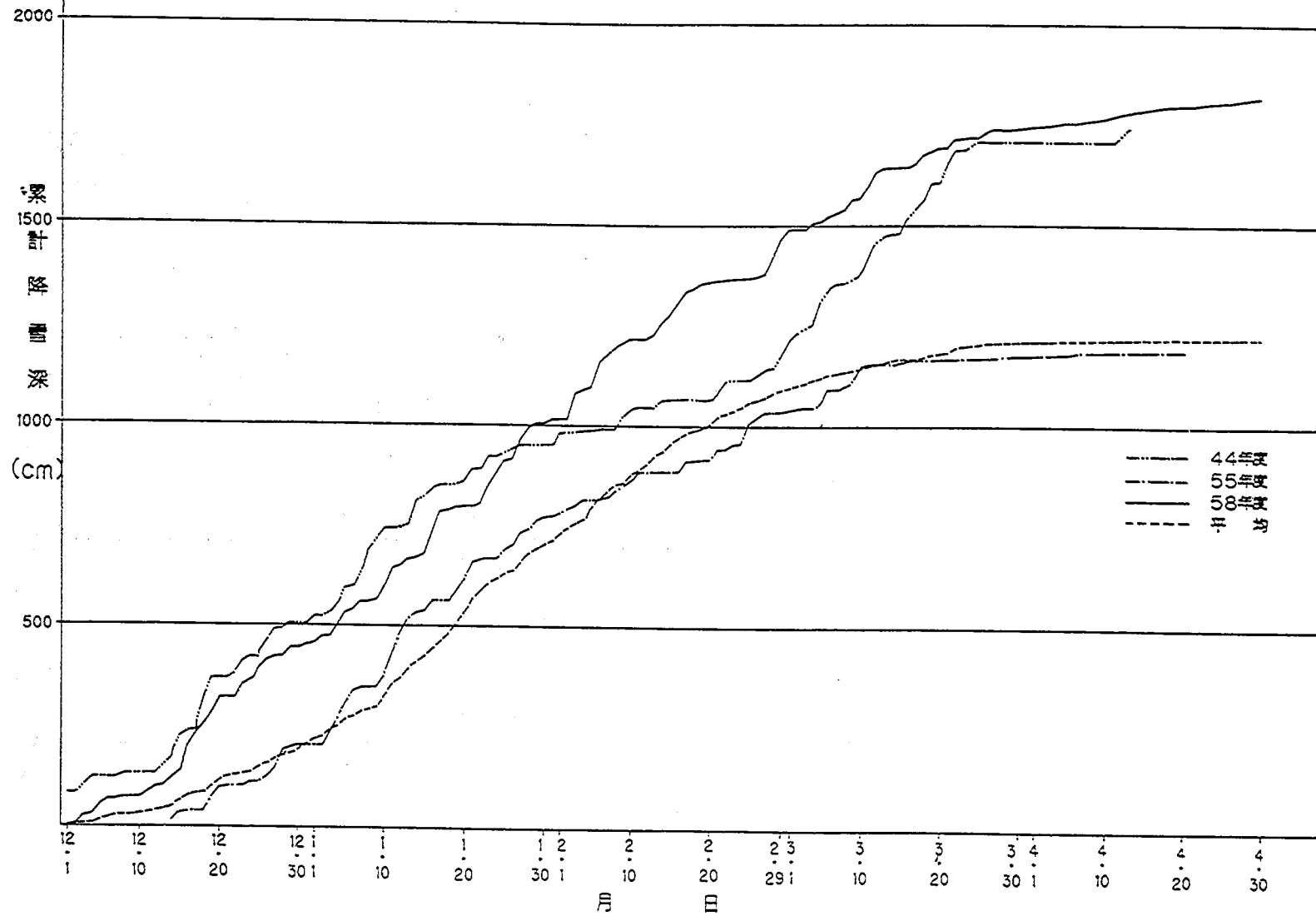


図1-9 気象変化図 (累計降雪深) 気象庁関山観測地

℃] 低く、関山よりさらに厳しい気象条件下にある。また、隣接した関温泉スキー場は、毎年全国のスキー場の積雪深で1・2位を争っている場所である。

1. 1. 4. 過去事例との比較

前回の幕ノ沢大雪崩は、約15年前の昭和45年3月7日(図1-6 新潟日報切抜)に発生し、関温泉妙高国民休暇村スキー場の幕ノ沢リフトを直撃し、4人が巻き込まれ、2人が死亡した。この雪崩は神奈山の下で巾100[m]にわたって発生し、約2[km]下のリフトを直撃したもので、今回の雪崩とほぼ同等の大雪崩であったと思われる。前回の雪崩では雪崩の豪音を聞いた人がいたが、今回は近くの旅館の人も雪崩音に気付かなかったそうである。これは、前回の雪崩が昼間に発生したことによると考えられ、したがって今回の雪崩は夜間に発生したものと考えられる。尚、幕ノ沢リフトは、昭和45年の雪崩以来、廃止されている。

次に、気象状況(図1-7~9)を比較してみると、積雪深が3月になっても多いことや、累計降雪深が2月の下旬になっても横ばい状態にならないこと等、非常によく似た傾向を示していることがわかる。さらに気温についても例年に比べて低温であった。したがって、このような状況下で大雪崩が発生しやすいものと考えられる。

1. 2. 昭和58年度冬期(昭和59年)の状況

1. 2. 1. 気象状況

(図1-10~11 天気図参照)

(1) 気温状況

昭和58年12月初旬の気温は新潟県全般に平年並みであったが、中旬に入り北海道上空5000[m]に-40[℃]を下回る強い寒気団が入り込み、17日には平均気温が県下全域で氷点下(新潟0.0[℃]、高田-0.5[℃]、相川-0.3[℃]、長岡-2.3[℃])となり、平年に比べて4~6[℃]下回った。また、下旬も依然として低温であり、特に31日早朝は夜半から快晴であったため、放射冷却により観測史上5番目の12月最低気温を記録した。

年明けの1月上旬は、比較的穏やかな日が続いたが11日~12日にかけて能登半島上空に-30[℃]以下の寒気団が入り、さらに15日頃新潟上空に強い寒気団が流れ込んだため、16~18日にかけては日中も0[℃]以上に気温が上らず真冬日を記録した。また、21日は冬型が崩れて晴れたため、厳しい冷え込み新潟-8.3[℃](平年-0.8[℃])、長岡-9.7[℃](-2.0[℃])、相川-3.6[℃](0.0[℃])、高田-4.7[℃](-1.3[℃])となった。1月は月平均気温で1.5[℃]以上下回り、7年ぶりの低温となった。

2月に入っても依然として寒さは変わらず上旬は、沿海州上空5000[m]に-40[℃]以下の強い寒気

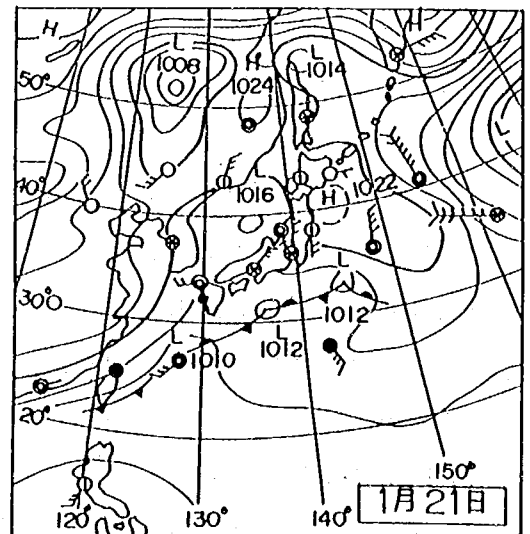
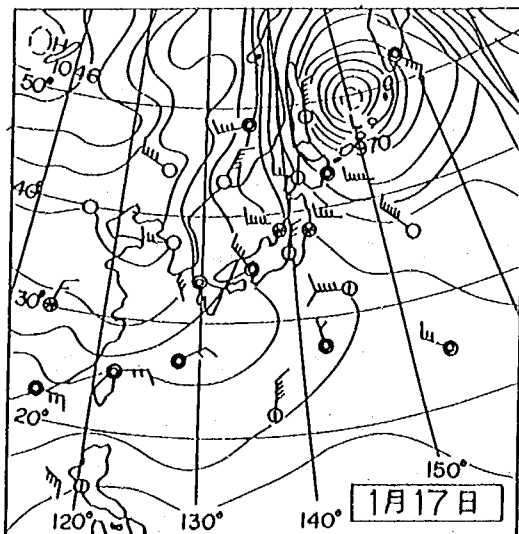
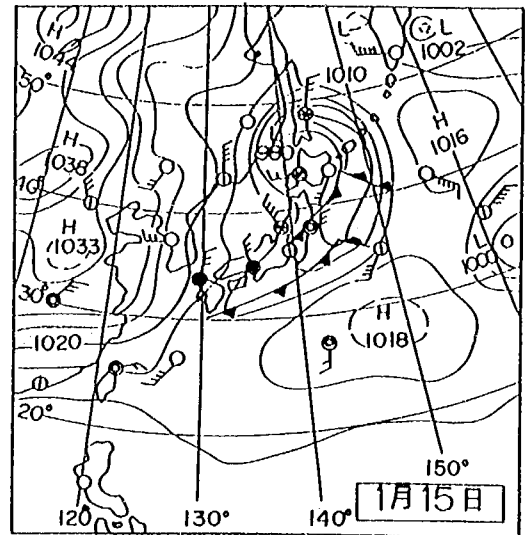
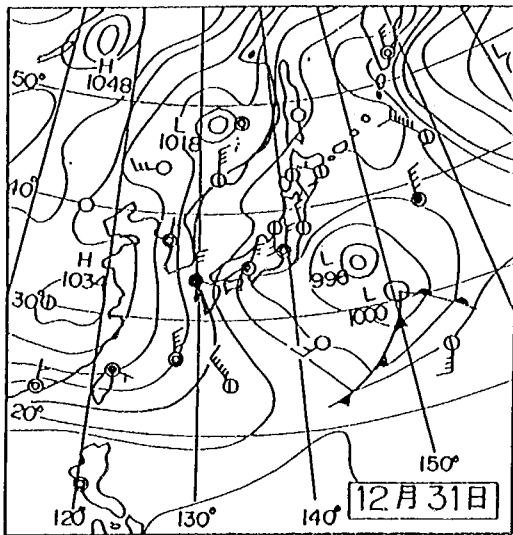
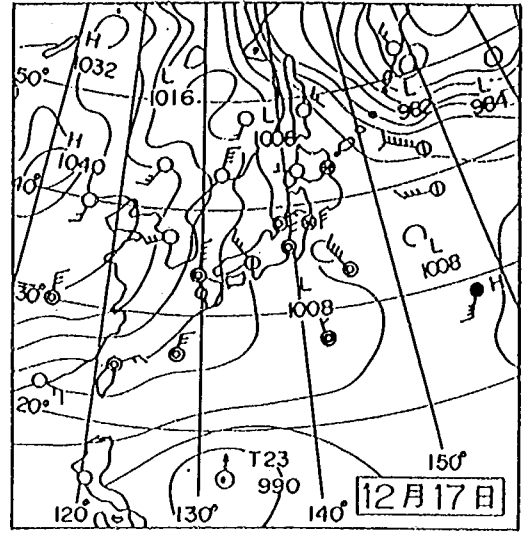
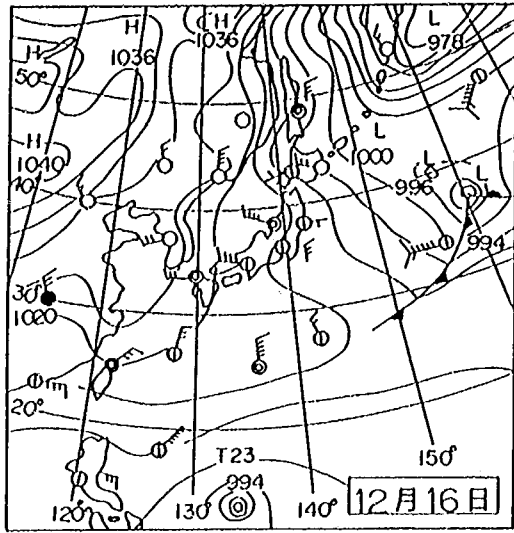


图 1-10 昭和58年度冬期天气图 (1)

団が居すわったため、次々と日本付近に寒気が入り込み、3日から8日にかけての6日間に各地で真冬日を記録した。中旬も引き続いてかなり低温で上旬・中旬と引き続いて平年を $2.3\sim 3.9$ [°C] 下回り、下旬はおだやかであったものの月平均で $2\sim 3$ [°C] 下回った。

3月に入り、寒気団による冷え込みは弱くなったが冬型の気圧配置が崩れなかったため、月平均で 2 [°C] 以上下回り、観測史上3番目の異常低温となった。

4月上旬は、突発的に暖かい日があったが、その後下旬までは平年を 2 [°C] 以上下回る低温が続き、4月の平均気温は観測史上最低を記録した。

気象庁関山観測所の気温変化図(図1-7)をみると昭和58年度冬期の気温は過去10年平均をかなり下回っており、その傾向は12月から4月まで継続している。とくに2月上~中旬、3月上旬、4月中旬は低温傾向が著しく、2月7日に最高気温が -5 [°C] 以下になったのをはじめとして、最高気温が軒並みに 0 [°C] を下回った。また、妙高・関地区も他地区と同様に異常低温下であった。

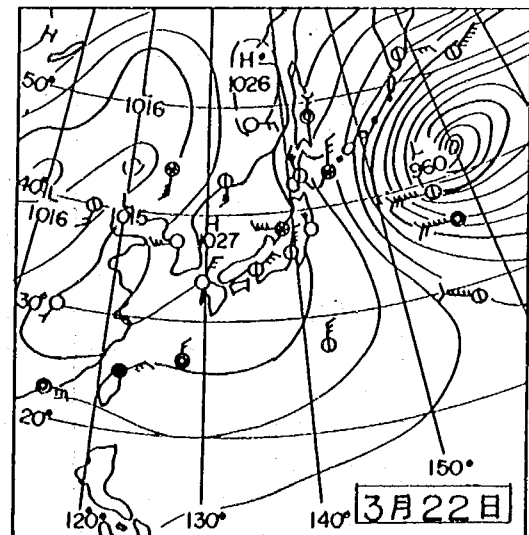
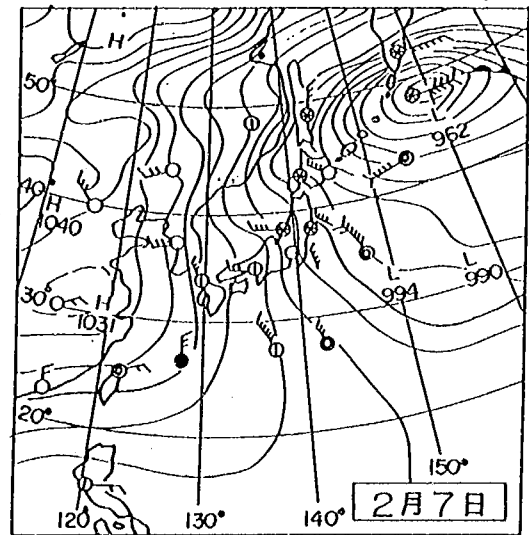
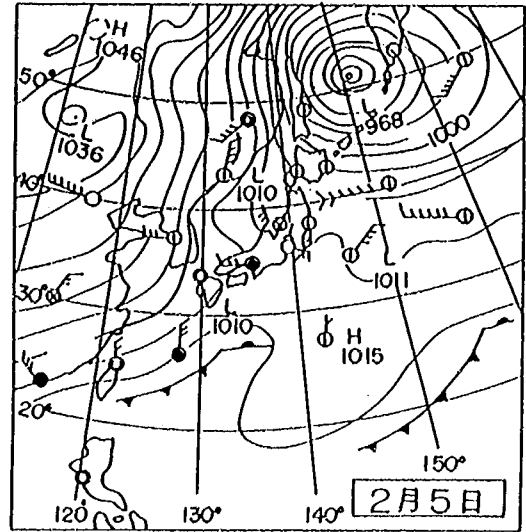


図1-11 昭和58年度冬期天気図(2)

(2) 積雪状況

根雪日が平年に比べ記録的に早く、12月中旬までに平野部でも根雪(長期積雪)となり山沿いでは積雪が 1 [m] を超えた。12月中は、ほぼ西高東低の気圧配置が続き、大雪はなかったものの雪が毎日降り続くことが多かった。

1月上旬の降雪は、間断なく降り続き、山沿いでは積雪が 2 [m] を超え、中旬はさらに冬型の気圧配置が強まり大雪となった。下旬は当初冬型がゆるんだが、23日頃から再び強まり25日には高田で 96 [cm]、新潟 46 [cm] の降雪を記録し、平野部での積雪深が58豪雪を上回った。さらに月末にかけて降雪が続き山沿いでは、積雪深が $300\sim 4$

00 [cm] に達した。

2月に入っても依然として降雪は弱まらず、上空に入り込んだ寒気団と強い冬型の気圧配置により、風雪模様になり5日には高田で54 [cm] の降雪深を記録し、2月7日前後の大雪により上越市を含む新潟県内26市町村に災害救助法が適用され、さらに10日には13市町村が追加された。中旬は、初め小康状態となったが、14～16日に再度大雪に見舞われた。下旬に入り高気圧が本州付近を覆い曇り時々晴れのおだやかな日が続いたが、月末西高東低の強い冬型となったため大雪となり、28日～29日にかけて各地で50 [cm] 以上の降雪が観測された。

さらに3月に入っても冬型の気圧配置が続き、上旬は雪模様で5日には40～50 [cm] の大雪となった（2日には新潟市で3月の最深積雪を記録した）。この後は、10～20 [cm] の降雪はあったものの大雪にはならなかった。しかしながら、3月の降雪日数は20日を超え、平年を大きく上回った。

消雪日は、高田で約1ヶ月遅れの4月29日（平年3月28日）になったのをはじめとして各地で3週間～1ヶ月程度遅れた。

関山気象観測所における積雪状況（図1-8、1-9）をみると、積雪深・降雪量ともに56豪雪時を上回っている。また、積雪深は2月に入ってから増加し続け、融雪期を大幅に遅らせていることがわかる。降雪量については、10年平均値および56豪雪時等に比べて群を抜いており、59豪雪の異常さを示している。

(3) その他

昭和58年度冬期は、記録的な豪雪（当時戦後最大）と異常低温であったため、気象台で発令した警報も非常に多かった。表1-2に新潟地方気象台が発令した警報を示す。

表1-2 警報一覧

警報名（雪関係のみ）	発令日時	解除日時	警報時間
大雪警報	1月11日13時30分	1月12日5時40分	16時間10分
大雪波浪警報	1月16日9時10分	1月18日8時20分	47時間10分
大雪警報	1月25日8時50分	1月28日11時15分	74時間25分
大雪警報	2月3日9時45分	2月4日9時40分	23時間55分
大雪警報	2月5日19時10分	2月6日16時30分	21時間20分
大雪波浪警報	2月6日16時30分	2月8日9時40分	41時間10分
暴風雪波浪警報	2月26日19時30分	2月27日10時45分	15時間15分
大雪関係の警報発令総日数	15日		239時間25分

1. 2. 2. 災害の状況

(1) 雪崩災害

昭和58年度冬期（昭和58～59年）に新潟県下で発生した、主な雪崩災害を表1-3に示した。

表1-3 昭和58年度冬期の主な雪崩災害一覧表

日 時	内 容	種 別
昭和59年1月19日 早 朝	中頸城郡妙高村樽本で雪崩が発生 同地区約80戸が一時孤立	表層
昭和59年1月26日 午前5時頃	東頸城郡大島村下達で約1500[m]の雪崩が発生 農家物置が倒壊	
昭和59年1月30日 午前9時頃	中頸城郡清里村赤池で雪崩が発生 2人が生き埋めとなり、1人救出、1人死亡	
昭和59年2月9日 午後5時	中魚沼郡中里村清津峡温泉で大規模雪崩が発生 旅館2軒全壊、民宿3軒一部損壊 7人が生き埋めとなり、1人脱出、1人救出、 1人救出後死亡、4人は遺体で発見（計5人死亡）	表層
昭和59年2月17日 午前11時40分	小千谷市南部の下野川護岸工事現場で雪崩が発生 3人が生き埋めとなり、2人救出、1人死亡	
昭和59年3月6日 午後7時すぎ	南魚沼郡湯沢町三俣で約20[m]の雪崩が発生 大島地区12戸が一時孤立	
昭和59年3月7日 午後11時頃	北魚沼郡広神今泉で幅100[m]長さ50[m]の雪崩が発生 県道50[m]にわたり埋没	全層
昭和59年3月18日 午後1時10分	小千谷市山本の国道117号約300[m ²]の雪崩が発生 ワゴン車が巻き込まれたが運転者救出	
昭和59年3月27日 午後6時半頃	新発田市上赤谷の国鉄赤谷線で約60[m ²]の雪崩が発生 国鉄赤谷線一時不通（赤谷線は現在廃止されている）	
昭和59年4月29日 午後2時すぎ	十日町市下組で幅5[m]長さ3[m]厚さ1[m]の雪崩が発生 1人巻き込まれ死亡	

表1-4 昭和58年度冬期の主な被害一覧表（雪崩以外）

日 時	内 容
昭和58年12月19日午前8時	西頸城郡名立町平谷で雪おろし中1人転落死
昭和58年12月19日夕刻	十日町市下条で雪おろし中1人転落死
昭和59年3月8日朝	十日町市河内町で自動車整備工場の鉄骨平屋建て （180[m ²]）が雪の重みで倒壊

(2) その他の災害

昭和58年度冬期（昭和58～59年）に新潟県下で発生した、雪崩以外の主な災害を表1-4に示した。

(3) 法的措置

昭和58年度冬期（昭和58～59年）に新潟県内に発令された主な法的措置について表1-5に示した。

表1-5 昭和58年度冬期の法的措置一覧表

日付	内容
昭和59年1月26日	新潟県が14時に新潟県豪雪対策本部を設置
昭和59年2月7日	国が上越市をはじめとする新潟県内29市町村に対し災害救助法適用
昭和59年2月10日	小千谷市をはじめとする新潟県内13市町村に対し災害救助法適用(追加)
昭和59年2月11日	国土庁長官を団長とする政府調査団が視察
昭和59年4月27日	豪雪による森林災害に激甚災害法適用を閣議決定 (新潟県内57市町村が適用)

第2章 現地調査

2. 1. 調査目的

本調査は、幕ノ沢大雪崩の発生実態を把握するための基礎資料を収集することを目的として実施したものである。

2. 2. 調査方法

2. 2. 1. 調査日

幕ノ沢大雪崩の発生実態調査は、下記の日程で実施した。

第1回調査	昭和59年5月22日
第2回調査	昭和59年6月1日
第3回調査	昭和59年6月14日

2. 2. 2. 調査項目および方法

(1) 調査項目

1) 発生区	発生区の推定 (範囲・位置)
	地形条件 (勾配・形状)
	植生調査
	被害状況 etc.
2) 走路	走路の推定 (範囲)
	地形条件 (勾配・コース)
	被害状況 etc.
3) 堆積区	堆積区の推定 (範囲・位置)
	地形条件 (勾配・形状)
	植生調査
	被害状況 etc.
4) その他	積雪層構成調査
	見通し勾配
	被害木の観測 etc.

The first part of the document discusses the importance of maintaining accurate records of all transactions. It emphasizes that every entry should be supported by a valid receipt or invoice. This ensures transparency and allows for easy verification of the data.

In the second section, the author details the various methods used to collect and analyze the data. This includes both manual and automated processes, highlighting the challenges of data integration from multiple sources.

The third section provides a comprehensive overview of the results obtained from the analysis. It shows a clear trend of increasing activity over the period, with specific data points and percentages provided for each category.

Finally, the document concludes with a series of recommendations for future work. These include the need for more frequent data updates and the implementation of advanced analytics tools to better understand the underlying patterns in the data.

Appendix A: Data Summary

Category	Q1 2023	Q2 2023	Q3 2023	Q4 2023
Category A	120	150	180	200
Category B	80	90	100	110
Category C	50	60	70	80
Category D	30	40	50	60
Category E	20	25	30	35
Category F	10	15	20	25
Category G	5	7	9	11
Category H	3	4	5	6
Category I	2	3	4	5
Category J	1	2	3	4

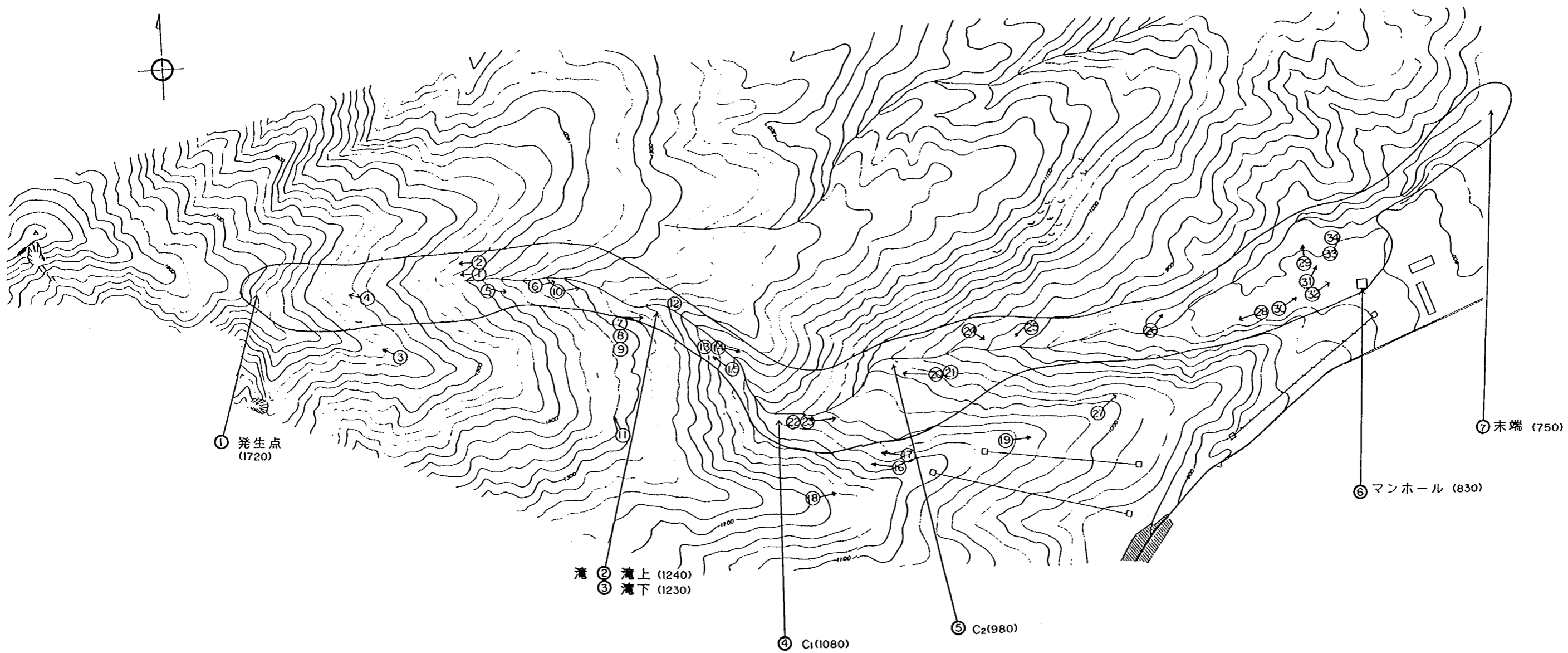


図 2 - 1 幕ノ沢大雪崩調査結果集成図

(2) 調査方法

上記の各項目について現地踏査により観測を行った。各区の範囲の推定は現地での観察により決め、位置・形態等について調査を行った。地形条件・見通し勾配等については、森林基本図上での読み取りおよび現地での測量により計測を行った。植生調査・被害状況は、各地において植生の概略を地図上に記入し、被害木の種類・径・倒壊方向についての観測を実施した。

2. 3. 調査結果

2. 3. 1. 雪崩範囲

3回の現地調査結果から幕ノ沢大雪崩は、全長約3 [km]、高低差約1000 [m]、幅約50~100mにわたって発生していることが判明した。雪崩総面積は約250,000 [㎡]以上で、図2-1はその雪崩範囲を示したものである。図中の○番号は資料編の写真集に示した写真番号を、→印はカメラの向けた方向を示している。なお、これらの写真(付属資料参照)は現地調査時に撮影したものである。以下に各部の雪崩範囲の特徴を述べる。

沢上流部は、雪崩の発生区であるがこのあたりは雪崩の幅も100 [m]程度あったと考えられる。また、6月の調査時点では土砂等を含んだ雪が表面を覆っていたが、これは4月下旬に発生した全層雪崩によるものと考えられる。発生区から滝まではほぼ直線的に雪崩が進み、滝下で左岸に衝突し、一部は左岸のこぶを乗り越えて右岸側の急斜面に激突し、その下の平坦な箇所(高台)を越えて沢下流部へなだれていったと考えられる。このS字カーブ付近では、雪崩の幅も狭まり20~30 [m]程度であったと考えられる。

沢下流部は、高台から滑り落ちてきてから国民休暇村の裏手の森林まで直線的に流れてきたものと考えられ、幅も徐々に広がり堆積区では100 [m]に達したものと考えられる。また、実験斜面下の沢本流上を通過したものは、約20 [m]の幅でさらに200 [m]下流まで達したと考えられる。なお、この堆積区近辺は、過去(昭和45年3月)にスキーリフト小屋が雪崩に巻き込まれた場所である。

2. 3. 2. 地形的考察

図1-4(第1章)の縦断図をみると、沢本流上の平均勾配は、 16.1° である。発生区は、勾配が 30° 前後で、北側斜面は北西の季節風で雪庇が張り出し易く、非常に雪崩の発生しやすい斜面である。また、堆積区は、 5° 前後の勾配で、森林がなければ雪崩観測小屋近くまで達したと考えられる。全体的にみてもS字カーブで多少スピードは減衰するものの大雪崩の発生しやすい条件が整っている沢と考えられる。見通し勾配は 16.7° で、一般にいわれている $17\sim 18^{\circ}$ を下回っている。これは、幕ノ沢に雪崩の発生しやすい例外的な条件があるものと考えられる。

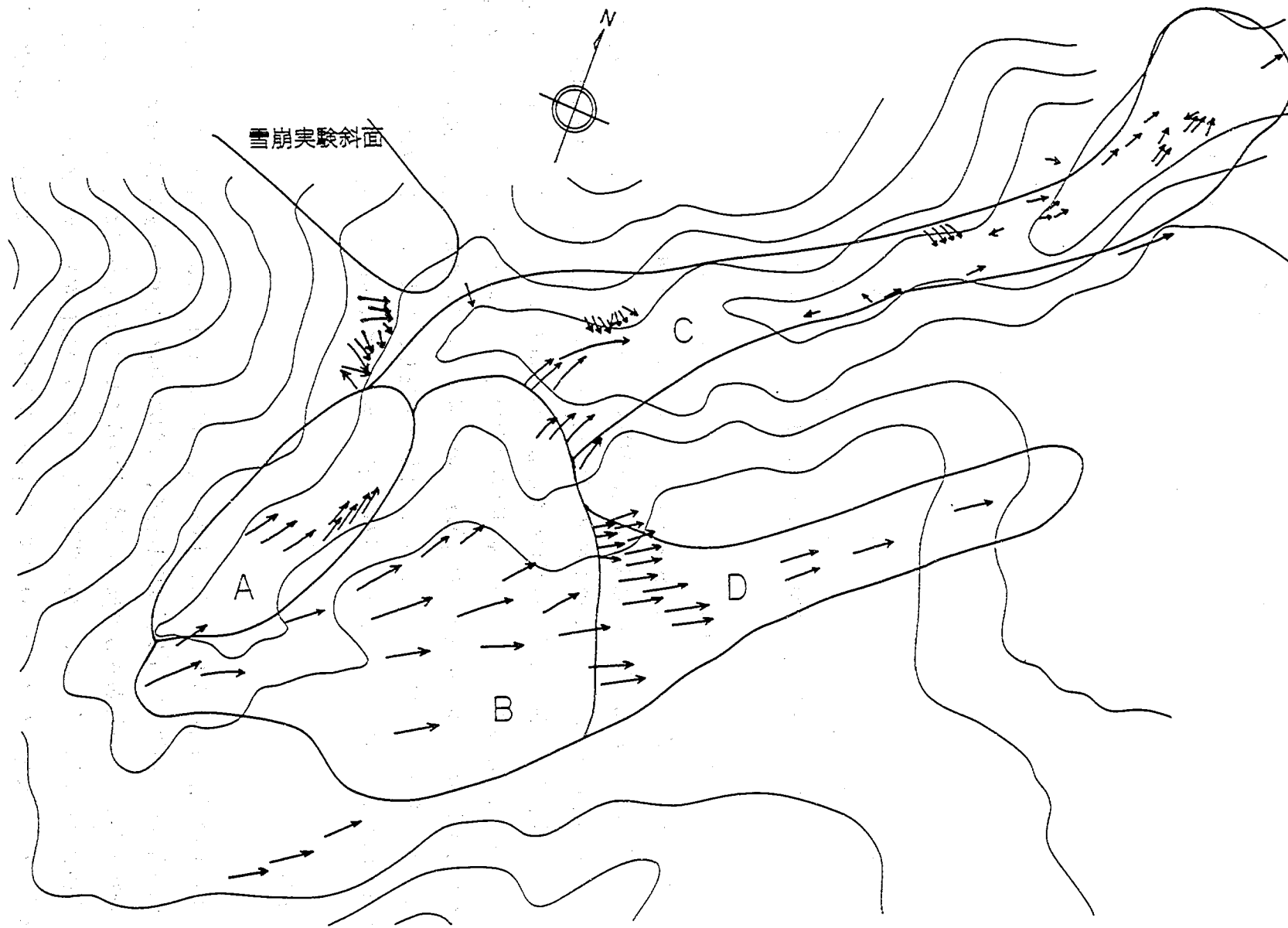


图 2-2 雪崩堆积区状况图

2. 3. 3. 森林被害状況

(1) 発生区

発生区付近は、谷筋で笹・低木が、谷の両側の斜面では尾根に近くになるにつれて高木が植生している。調査時は、笹が長期間積雪下に置かれていたため、かなりの面積にわたって枯れていた。高木には、多少折れているものがあったが大きな被害を受けたものはなかった。また、高木で被害のあったものは、周辺の木々より高く突き出ているものがほとんどであった。低木はグライドによる影響で傾いているものはあったが、折れたり掘り起こされているものはなかった。これは、今回の雪崩が表層雪崩であったため、低木に直接的な被害が及ばなかったものと考えられる。

(2) 走路

走路では、両側斜面の中腹にある高木が折れていた。これらの被害木の端を結んだものが大まかな雪崩範囲であると考えられる。S字カーブでは、雪崩流が右に曲がり切れずに左岸側のコブを乗り越えたため、コブ付近の高木に被害があった。また、右岸側の植生の乏しい斜面では、高木が弧を描くような形で倒されていた。これは、雪崩流がかなりの高さまで駆け上がったものと考えられる。

(3) 堆積区

図2-2は、堆積区の森林被害状況である。実験斜面下の杉林を中心として150[m]四方にわたって被害があり、そこから細長く下流方面に被害区域が伸びていた。図中の矢印は、主な倒木の倒れた方向を示している。A地区では、沢方向に巨木が切断されたり折れ曲がったりしていた。これらの巨木は、大きいもので直径は50[cm]以上あり、樹齢は50年程度と推定される。破壊されている木の種類は沢ぐるみ等かなり靱性の強い木であった。この地域には他に木が少なく、巨木が一手に雪崩の力を受けたものと考えられる。B地区は最も被害木の多い杉林であるが、倒木の方法は扇形に広がる形状を示している。これらの杉は、直径30~40[cm]で戦後植林されたものである。また、堆積区であるため折れた木は押し流されずに雪崩の流下方向に沿って倒れていた。C地区は、A地区を通過した後にまわり込んだものとB地区の余波が沢本流上を通過したものであるが、この辺では大小の流木が多量に散在していた。末端近くでは、木が倒れていたり、雪面上に斜めに立っていたりした。また、枝は沢の下流側を除いてもぎとられていた。D地区は、B地区で比較的木の少ない南側を通過した余波が杉林の中へ細長く入り込み杉が将棋倒し状になったと考えられる。入り込んだ長さは200[m]程度にまで達していることから、雪崩流にかなりの余力があり、集中的に作用したものと推定される。これらの杉は、直径30[cm]程度で、樹齢は20~30年である。杉の外見や樹齢からみても、今回の大雪崩が15年確率以上の大雪崩であることが推定できる。また、林業試験所・営林署による被害調査結果によると森林の被害総額は、2,500万円に達するそうである。

2. 3. 4. その他

雪崩本流上の転石は、S字カーブ付近に多くみられることから、この付近で雪崩のエネルギーがピークに達したものと考えられる。最も大きな転石のサイズは、直径が1.5[m]以上で、重量が5[t]（推定）以上であった。これらのことから、雪崩の衝撃力が巨大であったと考えられる。また、大量の流木が下流まで押し流されていることから、雪崩の速度はかなり高速であったと考えられる。

第3章 雪崩発生時の状況推定

3. 1. 雪崩発生日の推定

幕ノ沢の大雪崩は、その豪音等を聞いた人や雪崩を見た人がいなかったため、発生日等を直接確定することは不可能である。そこで、本調査では、以下の4つの観点から間接的に発生状況を推定した。

- 1) 妙高雪崩観測小屋からの実験斜面定時自動撮影写真による推定
- 2) 堆積区の積雪断面からの積雪層構成による推定
- 3) 気象状況による推定
- 4) 被害木の状況による推定

3. 1. 1. 定時自動撮影写真による推定

(1) 撮影方法

雪崩の発生日を確認するために雪崩観測小屋に35mmカメラを設置して、1日に2~3回自動的に幕ノの雪崩実験斜面を撮影しているものである。撮影機器(写真3-1)の概要は表3-1に示す。

(2) 推定結果

観測斜面では、比較的大規模な雪崩が毎年3~4回程度発生している。昭和59年1月から5月の間に、雪崩観測小屋から撮影した写真(写真3-2)により確認されている観測斜面の雪崩発生回

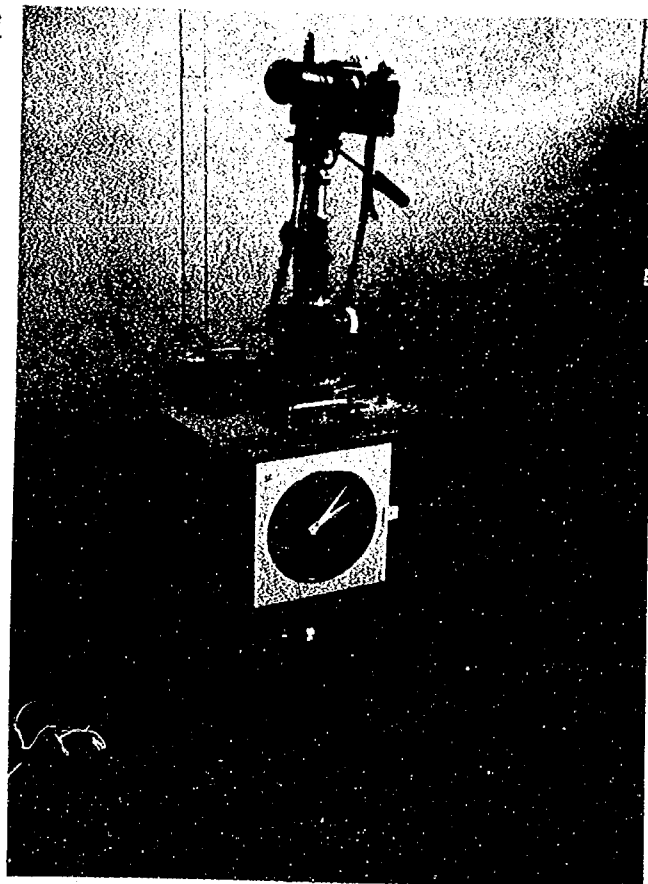


写真3-1 雪崩斜面自動写真撮影装置

表3-1 写真撮影機器一覧表

項目	規格
カメラ	ペンタックスMEスーパー
レンズ	80~210 mm望遠レンズ
撮影時間設定	24時間制で撮影時刻設定を行う。
撮影装置	AC電源でタイマー・シャッターおよびモータードライブを駆動させ、毎日定時刻にカメラのシャッターを切ることができるものである。



(S59. 2.20 15:00 撮影)



(S59. 3.14 15:00 撮影)



(S59. 4.27 10:00 撮影)

写真3-2 自動撮影装置による撮影写真（雪崩確認のもの）

数は3回で、日付は2月20日、3月14日、4月27日である。今回の雪崩は積雪深等を考慮すると、2月20日、3月14日のどちらかであると考えられる。但し、これらの日は雪崩跡の確認日で実際にはそれ以前3～4日程度の間には雪崩が発生しているものと考えられる。

3. 1. 2. 積雪層構造による推定

(1) 積雪観測方法

積雪断面観測とは、雪崩の発生機構解明や積雪層構造を定量的に捉えるために、積雪断面を掘削し各々の層の物理諸元について観測を行うものである。

観測方法は、まず積雪断面を掘削し掘削断面に赤インクを吹きつけて各層境界の確認を行い、写真撮影(写真3-3)を行う。そして、各々の層について密度や一面剪断抵抗力等(写真3-4)の測定を行う。なお、物理観測の内容および方法については表3-2に示した。



写真3-3 積雪断面観測状況

これらの観測は冬期間縦続的(2～3日ごと)に実施している。

表3-2 積雪の物理観測方法

物理観測項目	計測方法
剪断抵抗力	10 [cm] × 10 [cm] = 100 [cm ²] の一面剪断抵抗力 各積雪層境界上に写真3-4に示す構造の測定器を設置し 力量計によりその層境界の抵抗力を測定するものである。
密度	各層の積雪密度を測定したものである。
硬度	各層の積雪硬度(抗力)を木下式硬度計により測定するものである。
含水率	積雪内部の含水率を熱量計または秋田谷式含水率計により測定するものである。
雪質	各層の雪質を観察により判定するものである。
層構成	積雪層境界の縦方向位置および層厚をメジャー(箱尺)等により測定するものである。

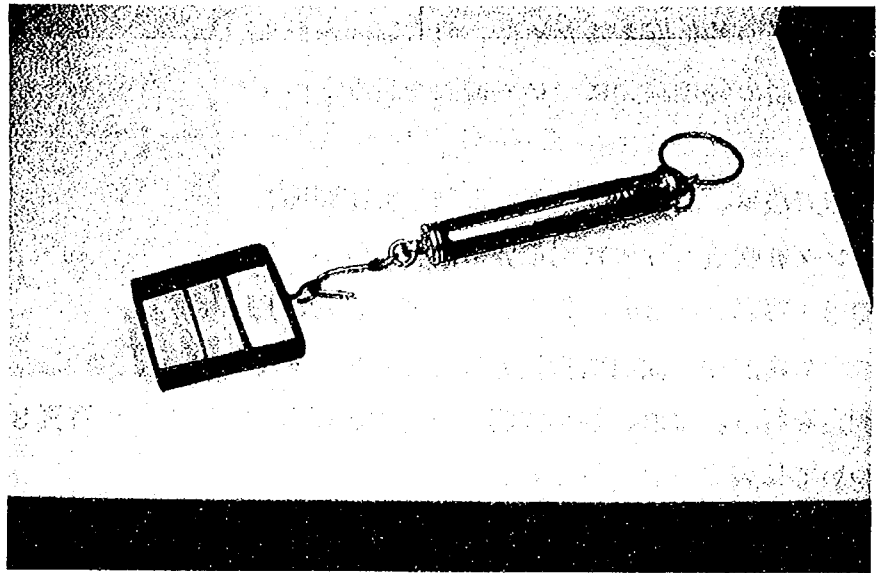
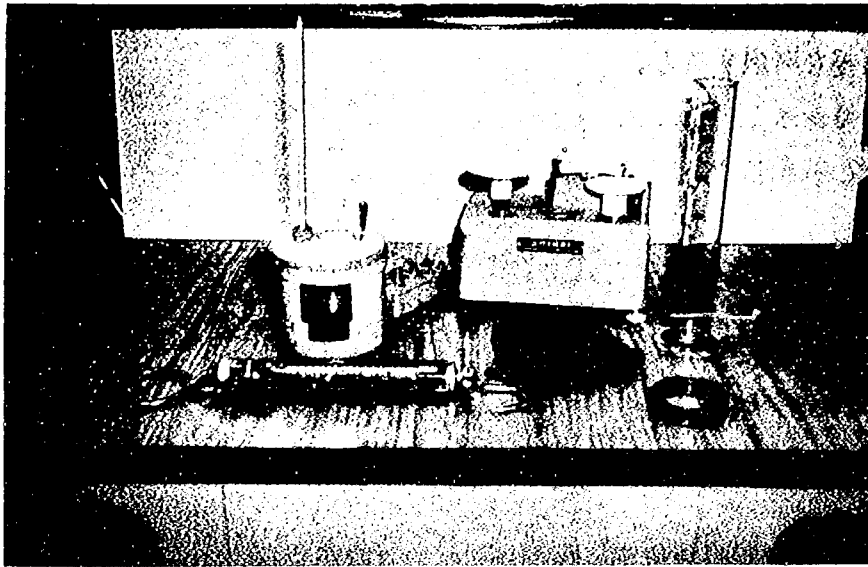


写真3-4 積雪断面物理観測用測定器材

(2) 推定方法

堆積区の積雪層構成から発生日を推定するために以下の手順により行った。

- 現地調査時のデブリ層を含む断面の写真により、層構成の把握する。
- 昭和58年度冬期の積雪断面観測のデータ（雪崩堆積区より約50[m]地点）と対比する。
- 積雪層対比によるデブリ層の層位置の把握する。
- デブリ層形成日の推定する。

(3) 推定結果

積雪層構成は、堆積区の積雪断面を観測した結果から判断した。図3-1は積雪断面（写真3-5）を図化したものである。さらに層構成を単純な柱状モデルにして図3-2に示した。

それぞれの積雪層を表3-3のように規定し、積雪断面観測データとの対比を行った。また、各層の

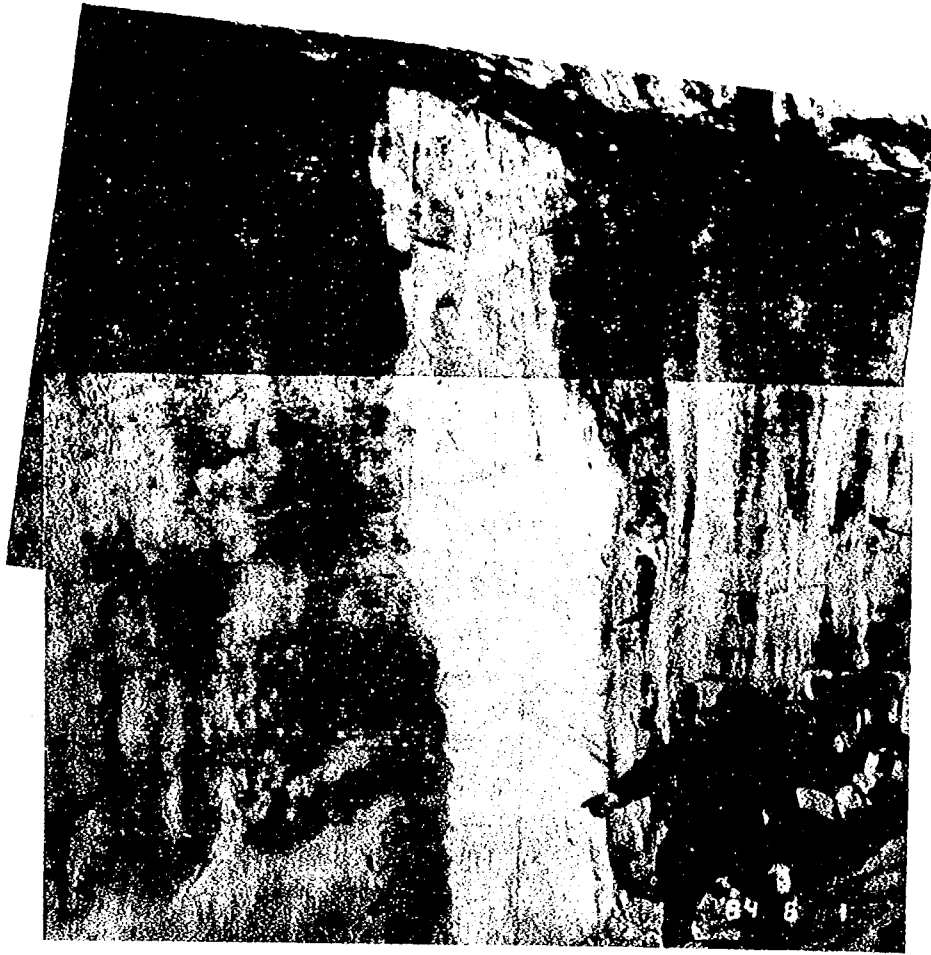


写真3-5 雪崩実験斜面下での積雪断面写真 (S59.6.1)

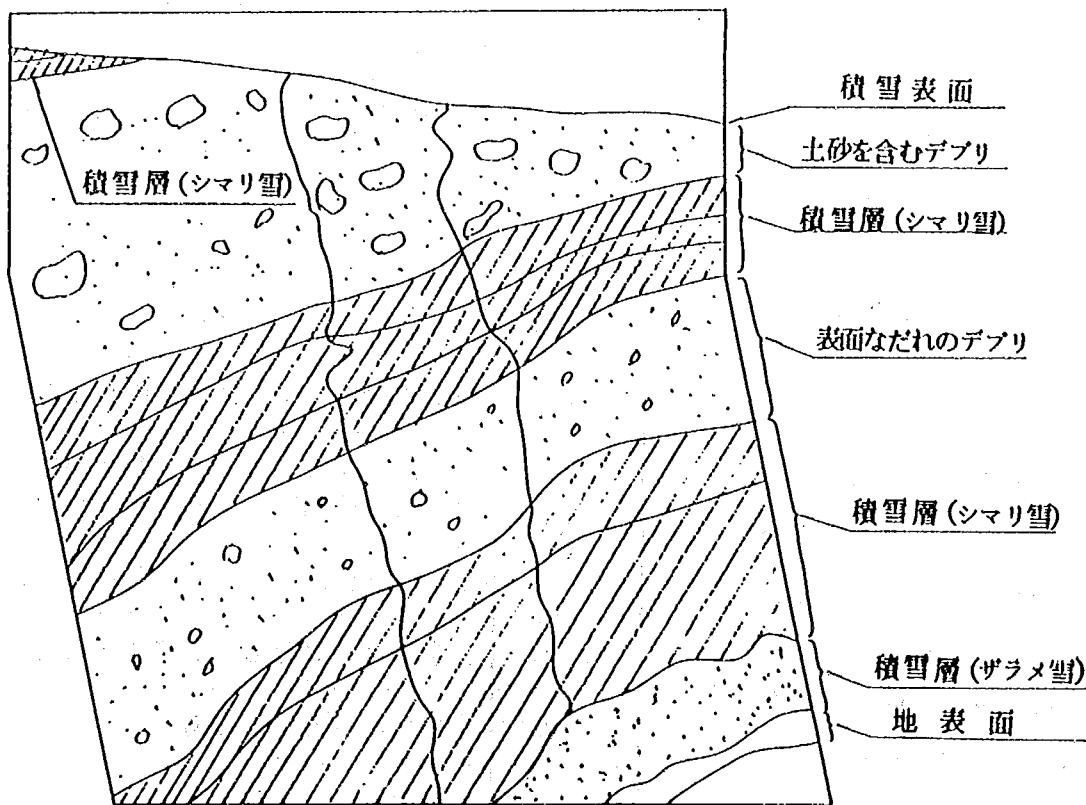


図3-1 写真3-5のスケッチ

特徴をみると表3-4のような傾向がみられる。

現地調査時の積雪層構成と断面観測地の積雪層構成を比較(図3-2)してみると、デブリ層を除いた層構成が非常に近似している。これによると、G層は粒径も大きくザラメ化していることから断面観測層の4層以下と考えられる。

S3層は20~30[cm]程度の層が重なっており、断面観測層の6~7層が非常に薄いこと等から4層~12層の間と推定できる。S2層は、中央部にはっきりとした境界があり、その上下に厚い層があることから、断面観測層の15層をはさんだ層と考えることができる。またS1層は、層境界が密で中央部にザラメ層が存在していること等の特徴があり、断面観測層の17層~21層の間であると考えられる。

デブリ層についてみると、上下の層の関係から次のようなことがいえる。D1層(デブリ層)は15層~17層の形成される間にできたもので、16層がザラメ層であること等から、16層形成後の降雪により雪崩が発生したものと考えられる。また、S1層の境界が不明瞭であることから、16層前後がすべり面と考えられる。D2層は、12層~15層の形成される間にできたもので、15層下の層厚がかなり厚いことや13~14層に該当する層がないこと等から、14層形成後の比較

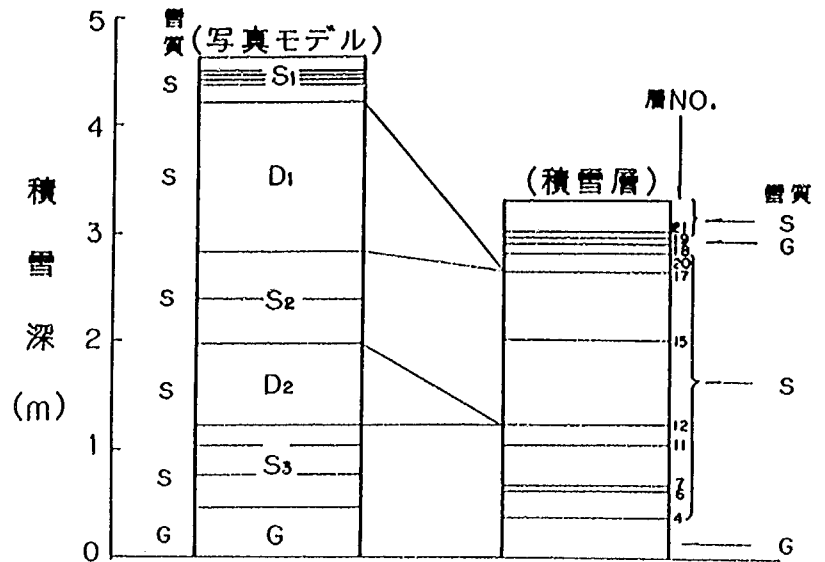


図3-2 積雪断面モデル図

表3-3 積雪層記号

層の種類	層記号
最上部の積雪層	S1層
上部のデブリ層	D1層
中央部の積雪層	S1層
下部のデブリ層	D2層
下部の積雪層 (シマリ部分)	S3層
最下部の積雪層 (ザラメ部分)	G層

表3-4 積雪層の特徴

層記号	層の特徴
S1層	層構成が密で中央に氷板化した層がある。
S2層	中央部にかなりはっきりした層境界があるが、その他には明瞭な境界がなく層厚はかなり厚い。
S3層	2~3層程度はっきりした境界がある。
G層	完全にザラメ化しており黒ずんでいる。
D1層	土砂等を含んで層厚も厚い。
D2層	土砂等を含まず層厚も薄い。

縱方向剪断抵抗力圖

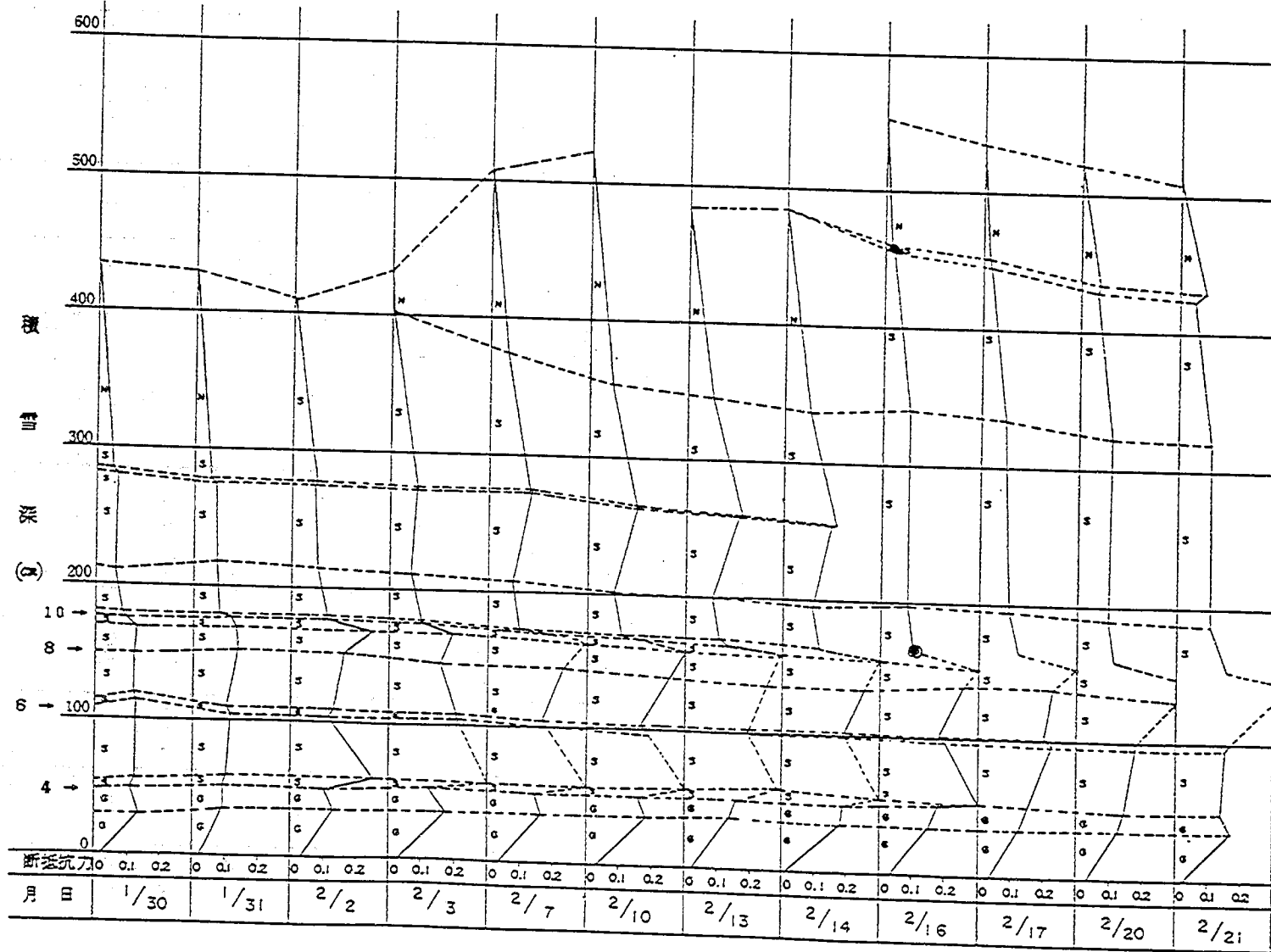


圖 3-3 剪断抵抗力變化圖

的早い時期に雪崩が発生したものと考えられる。したがって、D 1層は2月14日～2月17日の間、D 2層は、1月20日～2月2日の間に雪崩が発生し形成されたものと推定できる。大雪崩によるデブリ層は、デブリ量・質からみてD 1層が相当すると考えられる。

暮ノ沢の大雪崩の発生したと推定される時期の積雪機構を示したものが図3-3である。これによると、全体的なせん断抵抗力分布の形状は似ている。また、地表面から50 [cm] (4層)と170 [cm] (10層)前後の位置に相対的に弱い層(以下、相対弱層という)があり、その間は強い層となっている。この相対弱層は、積雪内の下層の方に位置しており、強度も外的な要因(気象要因等)に左右されず一定である。そこで、2月16日の積雪構成をみると、1 [m]近い新雪が表面を覆い積雪深が急増している。このため各層の上載荷重が増加したが、せん断抵抗力に大きな変化がないことから、相対弱層上で上載荷重とせん断抵抗力のバランスが悪くなると考えられる。そこで、積雪の安定を考えるための尺度として以下の式を定義し、バランスの検討を行った。

$$SFI = \tau / P \quad \dots\dots\dots (式3-1)$$

SFI : 積雪安全率 (Shear Frame Index)

τ : せん断抵抗力

P : 上載荷重

表3-5 積雪層別せん断抵抗力・上載荷重表 (断面観測結果)

層 No.	2月13日			2月14日			2月16日			2月17日		
	τ g/cm ²	P g/cm ²	τ/P	τ g/cm ²	P g/cm ²	τ/P	τ g/cm ²	P g/cm ²	τ/P	τ g/cm ²	P g/cm ²	τ/P
11	100	107	0.94	108	118	0.92	99	166	0.59	102	143	0.71
10	128	108	1.19	162	119	1.37	149	167	0.89	160	144	1.11
9	-----	110	-----	-----	121	-----	-----	169	-----	-----	148	-----
8	250	120	2.09	250	133	1.89	250	178	1.41	224	156	1.44
7	200	137	1.46	182	150	1.21	188	196	0.96	200	177	1.13
6	200	139	1.44	202	152	1.33	200	199	1.01	224	179	1.25
5	-----	159	-----	-----	173	-----	-----	223	-----	-----	-----	-----
4	162	162	1.00	186	176	1.05	182	224	0.81	150	202	0.62

このSFIは絶対的な値ではないが、1.00以下になると危険側で、1.00以上になると安全側であることを示している。測定精度の関係から厳密に1.00を境界にすることはできないが、一般的には1.00を下回ると危険な状態であると考えられる。表3-5は上載荷重とせん断抵抗力を示したものである。これによると、16日と17日のSFIが全体的に低い値を示し危険な状態である。そこで特に危険な相対弱層である4層のSFIについてみると、16日が0.81、17日が0.62となり、雪崩発生のすべり面となり得る状態であったと考えられる。

3. 1. 3. 気象状況による推定

(1) 気象観測方法

雪崩観測小屋に設置した自動記録装置により、各種気象データを収録しているものである。観測項目は表3-6に示した。

また、気象庁の観測所が観測小屋から約6km離れた地点にあり、気温・積雪等について観測を行っている。

表3-6 気象観測項目一覧表

気象観測項目	測定範囲	測定機器
風向	16 [方位]	プロベラ式風向風速計
風速	2~60 [m/sec]	プロベラ式風向風速計
気温・地温・雪温	-50~50 [°C]	白金抵抗式温度計
日射	0~1400 [w/m ²]	示差幅射式日射計
降雪パルス	255 [パルス/10min]	反射式赤外線ビームセンサー

(2) 推定結果

前項により推定された発生時期の妙高雪崩観測小屋気象データを表3-7に示す。これによると、全体的に気温が低く、積雪深が5[m]前後で、雪が降り続くなど非常に表層雪崩の発生しやすい状況下に置かれていた。特に、16日の平均気温は、表層雪崩の発生しやすいといわれている-5[°C]以下になっている。また、風についてみると、17日に南西の風が吹くまで、北から西の強い季節風が吹き、16日には突風の10[m/s]近い風が吹いている。さらに14日から16日にかけて1[m]程度の降雪によ

る積雪深の急激な増加などを考慮すると、16日に発生した確率が高いと考えられる。

気象庁関山観測所のデータ(表3-8)をみても気温・積雪状況について同様の傾向を示し、新潟県下各地で雪崩が多発していることなどからも、裏付けられているものと考えられる。

3. 1. 4. 被害木による状況推定

堆積区の被害木の切断状況(写真3-6)を観察してみると、被害木のうち7割程度が地上3~4[m]、2割程度が4~5[m]、残り1割程度が2~3[m]の高さでそれぞれ切断されていた。これらのことから、今回の大雪崩の滑走面は、地上4[m]程度の高さであったと考えられる。また、これらの切断高さの異なる木は混在して分布していた。したがって、切断高さの違いは2回以上の雪崩によってできたのではなく、1回の雪崩で流厚の変化等によりできたものと考えられる。さらに、切断高さが異なった理由としては、雪崩流の空間密度が局所的・瞬間的に変化したことや、積雪内部で折れたこと等が考えられる。

3. 1. 5. 雪崩発生日の推定結果

各種検討結果をまとめると以下のようになる。(日付は2月)

- 積雪層構造による推定で、D1層が14~17日に形成されたことがわかっている。
- 積雪の物理観測結果で、16・17日の4層のSFIが1.00以下で危険性が非常に高かった。
- 写真撮影による推定で、20日に観測斜面の雪崩が確認されている。
- 気象状況による推定で、15~16日にかけて積雪が増加し気温が低く風が強い等表層雪崩の発生しやすい条件が揃っている。

これらのことから、この時期(15~20日)に雪崩が発生したことはほぼ確実と考えられる。特に、16日

表3-7 気象観測データ(雪崩観測小屋)

日付	2/14	2/15	2/16	2/17
平均気温 [°C]	-2.4	-4.4	-5.4	-4.1
最高気温 [°C]	-0.3	-2.9	-4.5	-3.3
最低気温 [°C]	-4.2	-6.0	-6.7	-5.5
最多風向	W	WNW	WNW	SE
平均風速 [m/s]	1.65	1.78	1.46	1.58
最大風速 [m/s]	5.92	3.25	9.68	4.39
積雪深 [cm]	481	520	553	535
天候	曇/雪	雪	雪	曇/雪

表3-8 気象観測データ(関山観測地)

日付	2/14	2/15	2/16	2/17
平均気温 [°C]	-2.1	-3.8	-5.2	-3.9
最高気温 [°C]	0.6	-1.7	-3.9	-2.8
最低気温 [°C]	-3.8	-6.9	-6.6	-4.8
最多風向	NE	NE	SSW	SSW
平均風速 [m/s]	1.4	2.3	2.3	1.2
最大風速 [m/s]	3.0	4.0	4.0	4.0
積雪深 [cm]	314	325	332	336
降雪深 [cm]	33	15	33	24

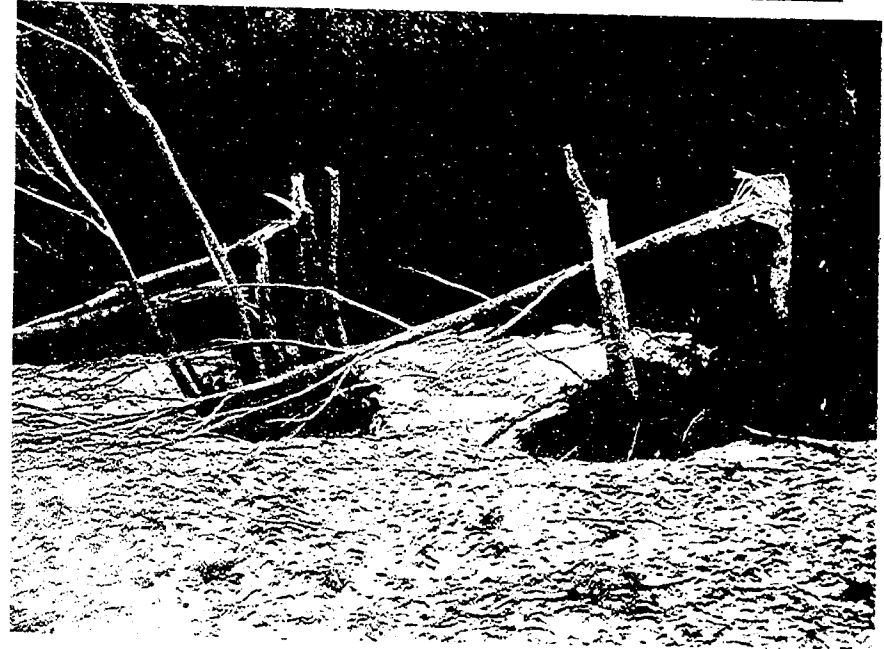
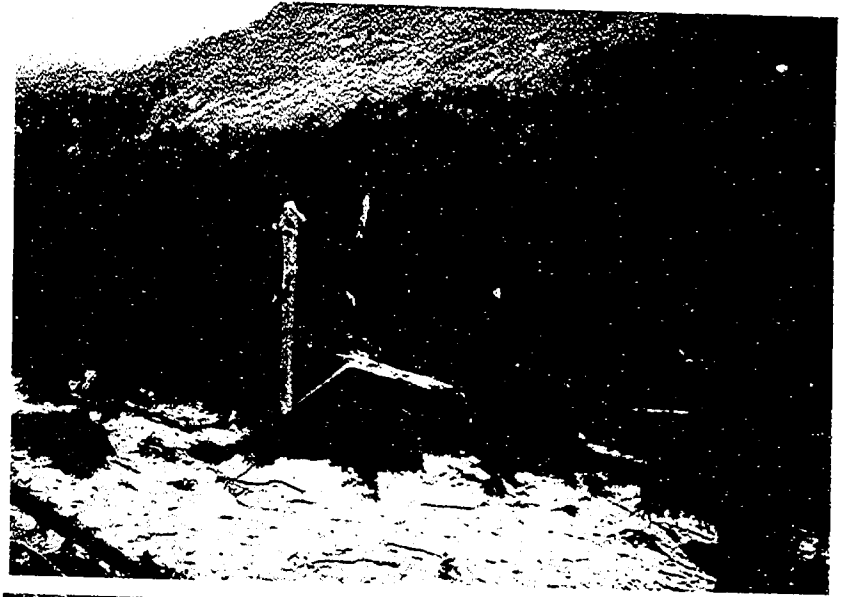
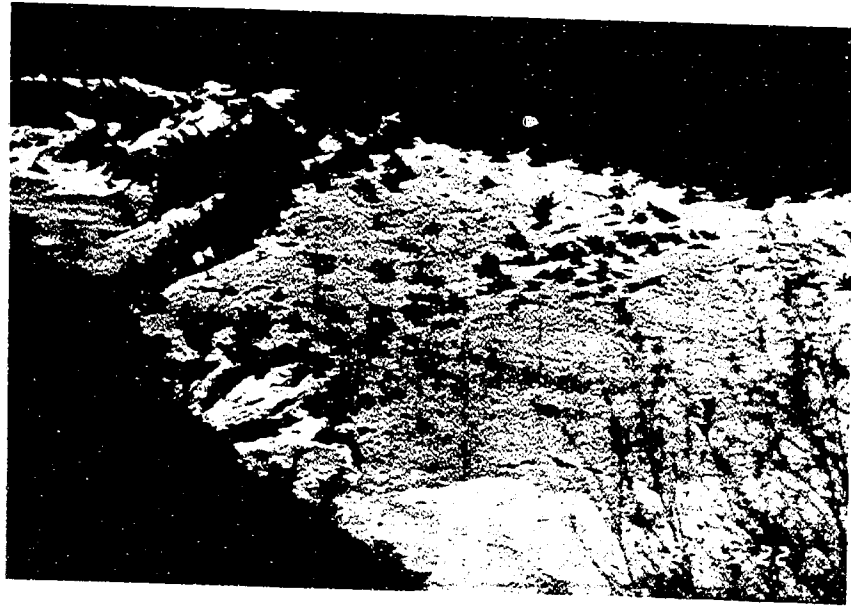


写真 3 - 6 森林被害状況写真

は全ての検討項目で危険と評価され、雪崩が発生した可能性が高いと考えられる。

3. 2. 雪崩発生予測結果による検証

3. 2. 1. 予測手法

雪崩発生予測は統計的な解析によるものと積雪内部の脆弱化現象から推定するものがある。ここでは、後者について検討したものである。

一般的に雪崩の発生は気象状況に大きく左右される。そこで、雪崩発生時の気象状況を収集し、気象要因からみた雪崩発生予測式を作成した。解析手順は、以下に示すとおりである。

- 雪崩発生事例及び発生日までの気象データ収集
- 気象データの分類
- 主成分・因子分析による各因子の特性把握
- 判別分析による雪崩発生判別式を作成

使用したデータは、北陸地方建設局管内で昭和55年度冬期に採取したものである。

3. 2. 2. 予測式の作成

雪崩発生予測式を作成するために収集された雪崩発生事例について、表層雪崩と全層雪崩に分類し解析を行った。まず、雪崩発生に寄与すると考えられる要因を抽出し、主成分分析を行った。そして雪崩発生に高い寄与率を示すものを抽出し、判別分析を行った。その結果、以下に示す雪崩発生予測式が得られた。なお、分析に使用した要因は表3-9・10に示した。

表3-9 表層雪崩分析要因

要因	内 容
X ₁	発生前日・前々日間の降雪深の和
X ₂	発生前日の降雪深
X ₃	発生日の降雪深
X ₄	発生日の積雪深
X ₅	発生日を含む前3日間の平均気温
X ₆	発生日を含む前2日間の平均気温
X ₇	発生日の平均気温
X ₈	発生前々日の最高気温
X ₉	発生前日の最高気温
X ₁₀	発生日の最高気温
X ₁₁	発生日を含む前3日間の最高気温の和
X ₁₂	発生前々日の最低気温
X ₁₃	発生前日の最低気温
X ₁₄	発生日の最低気温
X ₁₅	発生日を含む前3日間の最低気温の和
X ₁₆	発生日を含む前3日間の平均風速
X ₁₇	発生日を含む前2日間の平均風速
X ₁₈	発生日の平均風速

(表層雪崩)

$$Z = -1.045 + 0.005X_2 + 0.010X_4 + 0.143X_5 + 0.187X_6 - 0.147X_7 - 0.115X_{10} - 0.074X_{11} + 0.072X_{12} - 0.004X_{13} - 0.060X_{15} - 0.074X_{16} + 0.032X_{17} - 0.095X_{18} \dots\dots\dots (式3-2)$$

(全層雪崩)

$$Z = 1.379 + 0.010X_1 - 0.009X_3 - 0.006X_4 + 0.274X_7 - 0.126X_{11} - 0.004X_{16} \dots (式3-3)$$

3. 2. 3. 予測検証結果

判別分析により作成した式に観測小屋で測定した2・3月の気象データの値を代入し、Z値を求めグラフ化したものが図3-4である。この図でZ値が大きいほど雪崩の発生確率が高いことを示している。図中の←印で示したところが、発生したと推定される時期である。これによると、他の時期と比較して高い値を示していることがわかる。その他に3月中旬にも高い値を示しているが、この時期には実験斜面方向からの雪崩が発生している。

したがって、雪崩が発生したと推定された時期と判別式により予測した時期がほぼ一致していることがわかった。

表3-10 全層雪崩分析要因

要因	内 容
X ₁	発生日を含まない前2日間の降雪深の和
X ₂	発生前日の降雪深
X ₃	発生日の降雪深
X ₄	発生日の積雪深
X ₅	発生日を含まない前2日間の平均気温
X ₆	発生前日の平均気温
X ₇	発生日の平均気温
X ₈	発生日を含まない前2日間の最高気温の和
X ₉	発生日を含まない前2日間の平均気温
X ₁₀	発生前日の平均気温
X ₁₁	発生日の平均気温

3. 3. 雪崩発生形態の推定

雪崩の発生状況を考えるために雪崩発生量等の雪崩に関する物理諸元を推定した。

3. 3. 1. 雪崩発生量

幕ノ沢上流部の雪崩発生区は、長さ 500 [m] : 幅 100 [m] 程度と推定され、厚さ 2~4 [m] で雪崩が発生したと考えると、その発生量は約100,000~200,000 [m³] となる。また、雪崩発生区域の密度を 0.20程度とすると、発生重量は約20,000~40,000 [t] に達する。さらに、雪崩総量は200,000~400,000 [m³] を超えるものと考えられる。

3. 3. 2. 雪崩速度

雪崩流の速度は、流水の径深が大きくなると速度が増すという考え方から一般に次式で表されることが知られている。

$$V = \sqrt{\xi h (\sin \phi - \mu \cos \phi)} \quad \dots\dots\dots \text{(式 3-4)}$$

ξ : 500 [m/sec]

μ : $\gamma/2$

h : 積雪深 (表層雪崩の場合)

γ : 雪崩流の密度

ϕ : 斜面勾配

上記の式で、推定積雪深を10 [m]、斜面勾配を17°、雪崩流の密度を0.20 [g/m³]として計算すると、以下のようなになる。

$$V = 31.36 \text{ [m/sec]} = 112.90 \text{ [km/h]}$$

斜面勾配を平均勾配で計算したため正確とはいえないが、最大で100 [km/h]以上の速度で雪崩が流下していったものと推定できる。

3. 3. 3. 雪崩規模 (マグニチュード)

雪崩のエネルギーは雪崩現象の前後の位置エネルギーの差によって定まる。したがって、雪崩の量と落差によりエネルギーを表すことが可能である。さらにエネルギーを対数表示したものが規模である。そして微少な項を無視して雪崩の規模を定義したものが下記に示す式である。

$$M_a = 1 + \log_{10} \Delta Z + \log_{10} M$$

ΔZ : 落差 [m]

M : 質量 [t]

上式で、落差 1,000 [m]・質量40,000 [t]としてマグニチュードを求めると、

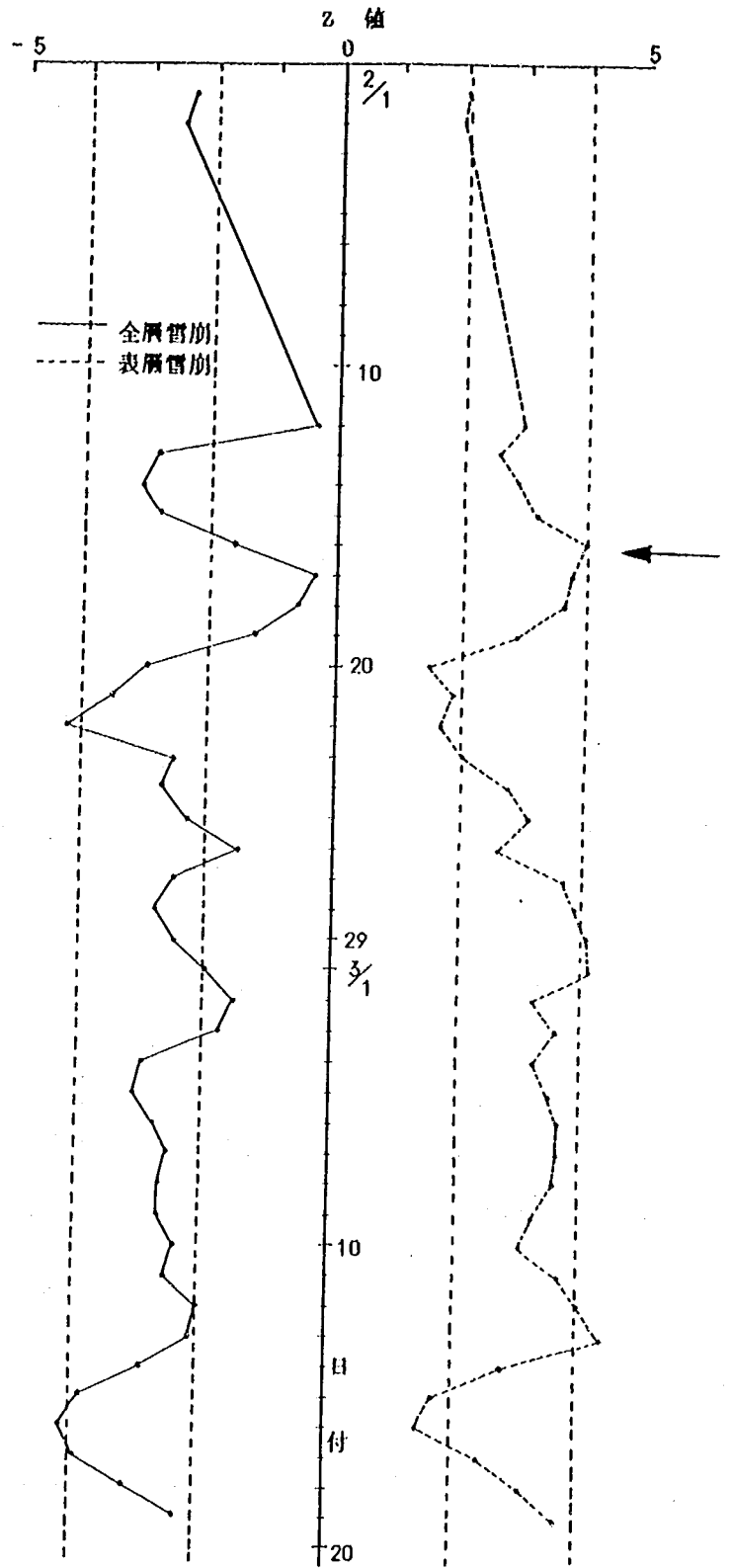


図3-4 雪崩発生判別式 (S59.2.1~ 3.20)

……… (式 3-5)

Ma = 8.6

となる。通常の雪崩は3~7を示すのに対し、かなり大規模であることがわかる。

3. 3. 4. 雪崩シミュレーションによる検討

表3-11 雪崩走出モデル一覧表

モデル	特徴	モデル名	基礎方程式
流体モデル Navier-Stokes	自由表面をもつ非圧縮性流体の2次元流をモデル化したもの	AVALANCHE	$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = g_x - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \nu \nabla^2 u$ $\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = g_y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + \nu \nabla^2 v$ $\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0$
Voellmyモデル	物体流の粘性境界層の理論によるもの	ACCELL	$a = g (\sin \theta - \mu \cos \theta) - \frac{D}{M} v^2$
		BIEQ	$a = g (\sin \theta - \mu \cos \theta) - \frac{\nu}{h^3} v^2$
		VOELLMY	$a = g (\sin \theta - \mu \cos \theta) - \frac{g}{\xi h} v^2$
3次元モデル	任意の地形上を運動する物体の運動方程式を解くもの	3次元	$\frac{d u}{d t} = - \frac{f_x}{1 + f_x^2 + f_y^2} g' - \frac{R}{m} \frac{u}{V}$ $\frac{d v}{d t} = - \frac{f_y}{1 + f_x^2 + f_y^2} g' - \frac{R}{m} \frac{v}{V}$ $R = \mu N + m \delta V^2$
カンドールモデル	雪をボールの集合体として衝突・離散により運動するもの	離散ボール	$m_i \dot{u}_i + c_i u_i = \sum f_{ij}^x + m_i g_x$ $m_i \dot{v}_i + c_i v_i = \sum f_{ij}^y + m_i g_y$

幕ノ沢雪崩についてシミュレーションモデルを用いて解析を行った。なお、各モデルの概要は表3-11に示した。しかし、雪崩シミュレーションについては現在確立されたものがなく、各種係数の決定方法も定式化されていないのが現状である。したがって、ここでは各種モデルについて数例の計算を行うことにした。計算に際しては三次元モデルにより雪崩の走路を決定し、その走路上を雪崩が通過したものとしてその他の解析を行った。

表3-12および図3-5は三次元モデルによる解析結果である。この結果から雪崩範囲に最も近似していると考えられる MU=0.03, DELTA=0.003の走路を選択した。

表3-12~17および図3-6~11は各種モデルによる解析結果を示したものである。モデルにより速度等が異なっているが今後の研究により修正されるものと考えられる。なお、離散ボールモデルは計算時間が長時間になるため走出距離を2 [km] までとした。これは他のモデルが1 [km] 前後で最大速度を記録しているためである。

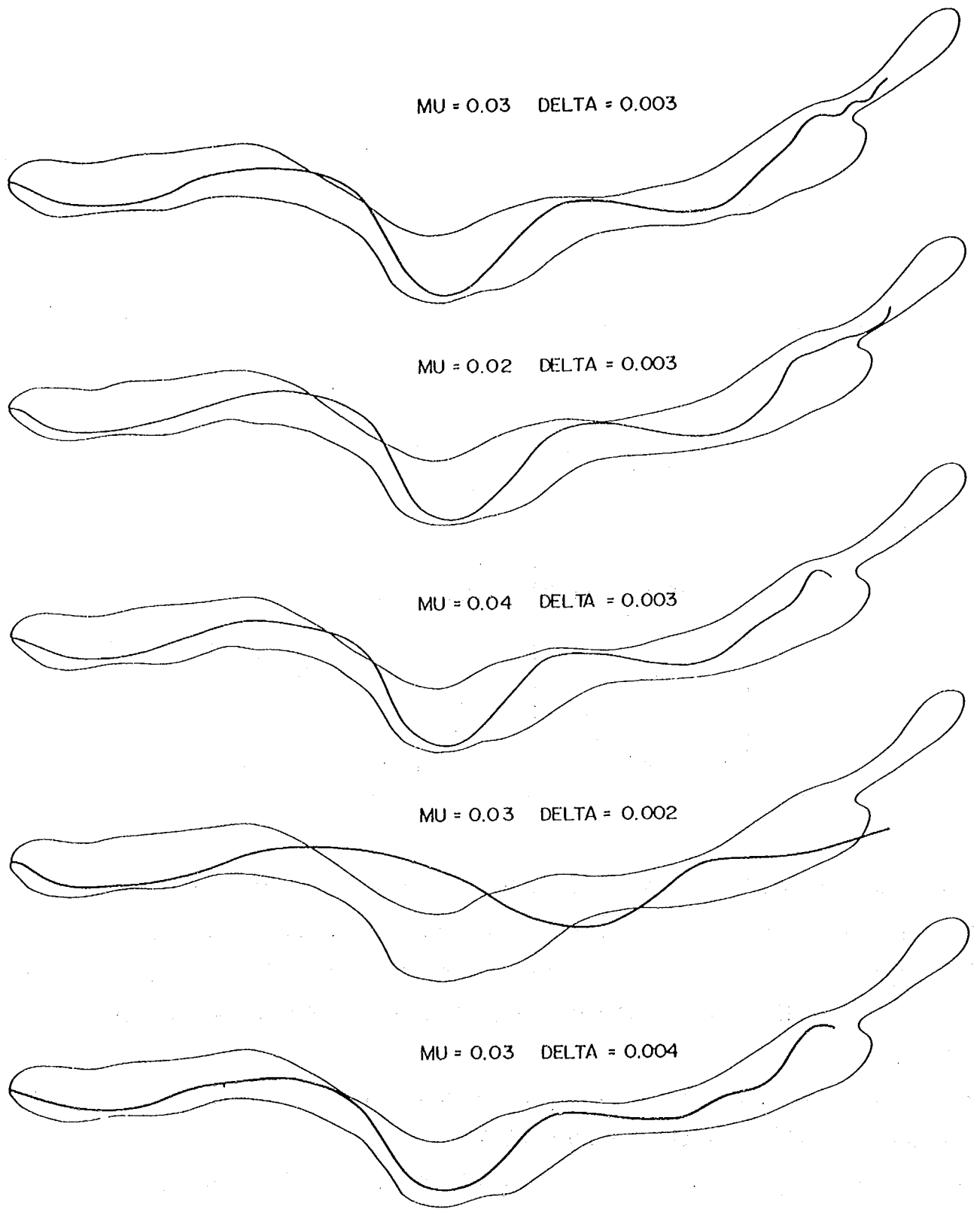


図3-5 雪崩走路シミュレーション結果(三次元モデル)

表3-12 雪崩シミュレーション結果 (3次元モデルプログラム)

摩擦係数 μ (MU)	抵抗力係数 δ (DELTA)	最大速度 V_{max} [m/s]	最小速度 V_{min} [m/s]	最終速度 V_{end} [m/s]	走路判断
0.03	0.003	33.2 (885.9)	3.3 (4373.7)	15.2 (4637.2)	◎
0.02	0.003	33.6	9.5	15.5	○
0.04	0.003	32.7	2.3	2.3	△
0.03	0.002	41.7	13.2	14.3	×
0.03	0.004	29.3	8.3	2.6	△

※ () 内は距離 [m]

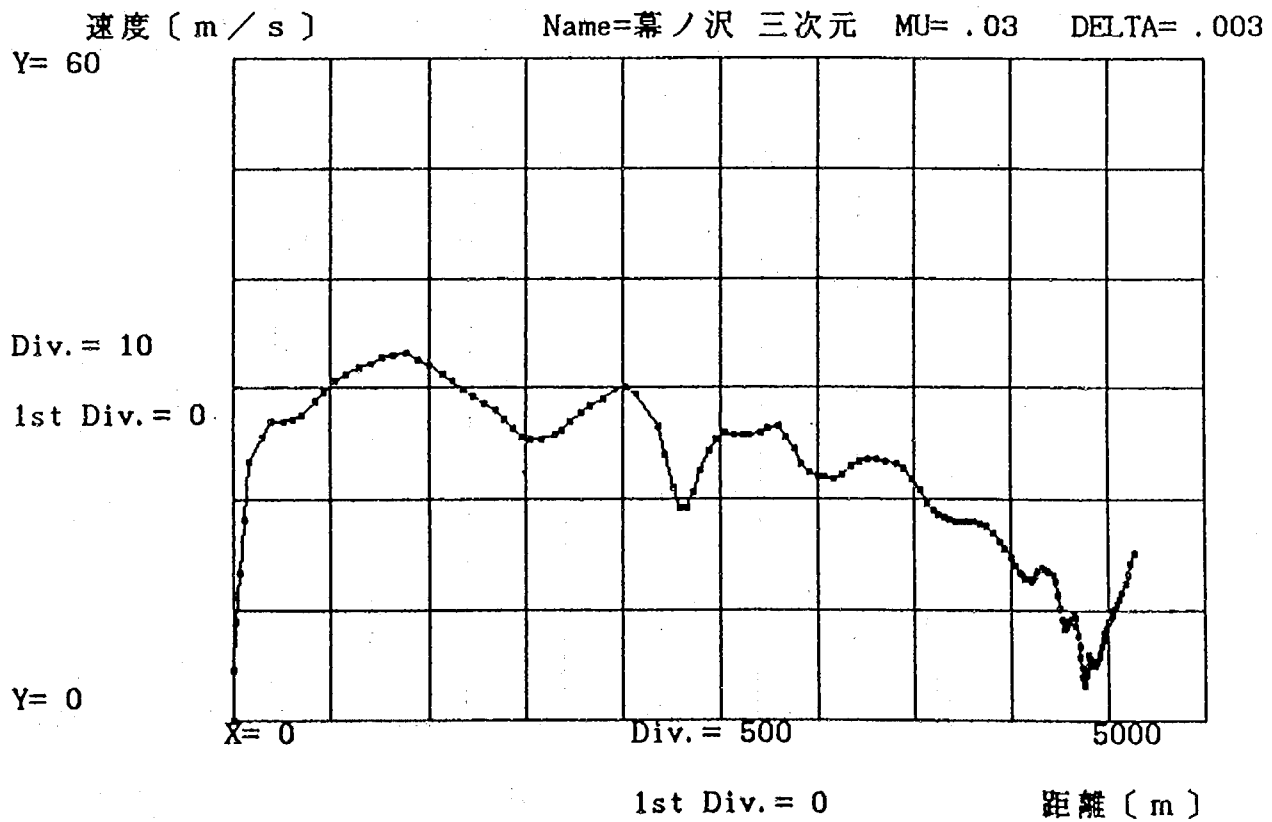


図3-6 雪崩シミュレーション結果 (三次元モデル)

表3-13 雪崩シミュレーション結果 (AVALANCHEモデルプログラム)

摩擦係数 μ (FK)	動粘性係数 ν (MU)	最大速度 V_{max} [m/s]	最小速度 V_{min} [m/s]	最終速度 V_{end} [m/s]	備考
0.125	0.80	53.6 (1220.0)	13.9 (4437.2)	18.1 (4637.2)	
0.100	0.80	60.5 (2260.0)	27.6 (4637.2)	27.6 (4637.2)	
0.150	0.80	49.0 (1220.0)	2.2 (4380.0)	2.2 (4380.0)	
0.125	0.70	57.1 (2260.0)	22.6 (4600.0)	22.8 (4637.2)	
0.125	0.90	50.7 (1220.0)	8.8 (4380.0)	8.8 (4380.0)	

※ () 内は距離 [m]

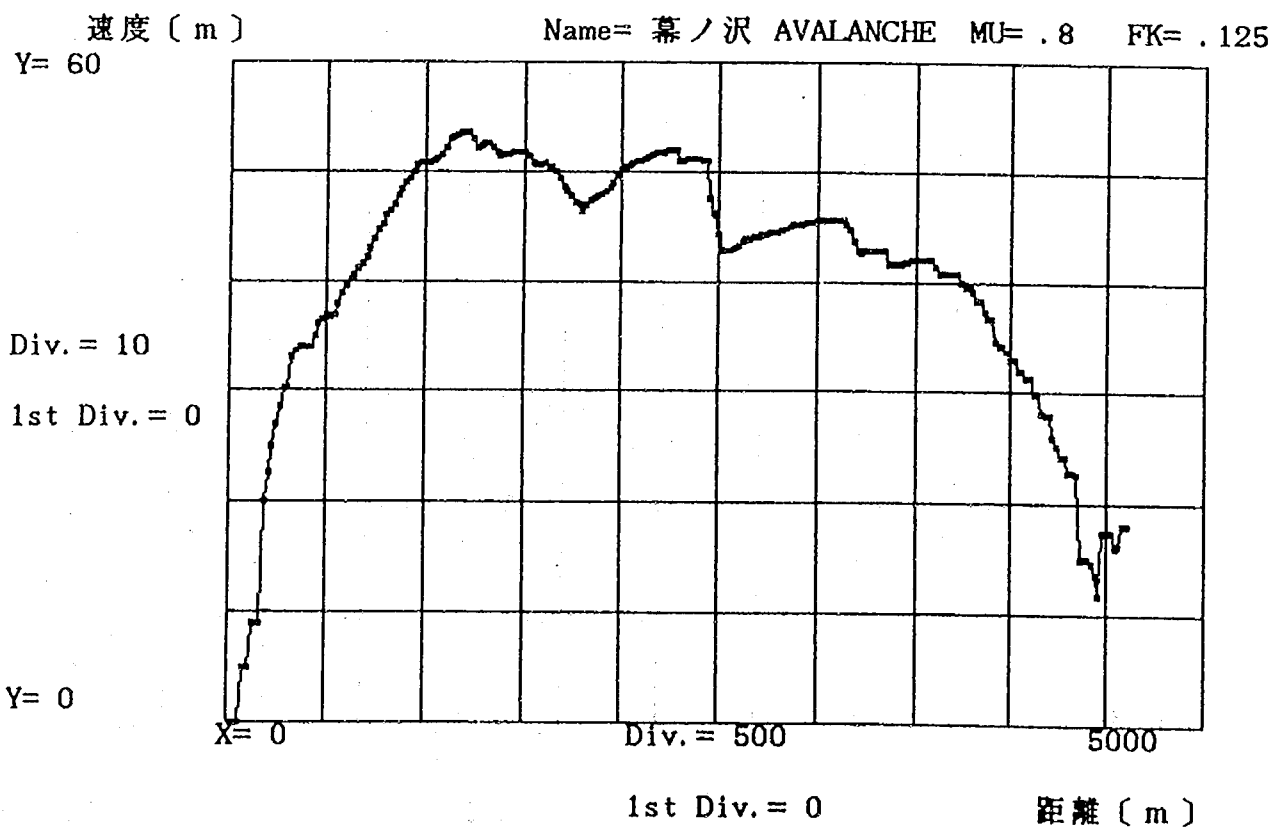


図3-7 雪崩シミュレーション結果 (AVALANCHEモデル)

表3-14 雪崩シミュレーション結果 (ACCELLモデルプログラム)

摩擦係数 μ (MU)	牽引力係数 M/D (m) (MD)	最大速度 V_{max} [m/s]	最小速度 V_{min} [m/s]	最終速度 V_{end} [m/s]	備考
0.05	1200	51.6 (1175.6)	9.6 (4468.2)	19.6 (4637.2)	
0.04	1200	52.3 (1175.6)	13.5 (4325.8)	21.7 (4637.2)	
0.06	1200	50.8 (1175.6)	1.4 (4468.2)	17.3 (4637.2)	
0.05	800	46.0 (1175.6)	4.8 (4468.2)	4.8 (4637.2)	
0.05	1600	55.1 (1175.6)	17.3 (4468.2)	23.9 (4637.2)	

※ () 内は距離 [m]

*** AVALANCHE RUNOUT PREDICTION ***

--- VELOCITY-TIME CURVE ---
(ACCELL MODEL)

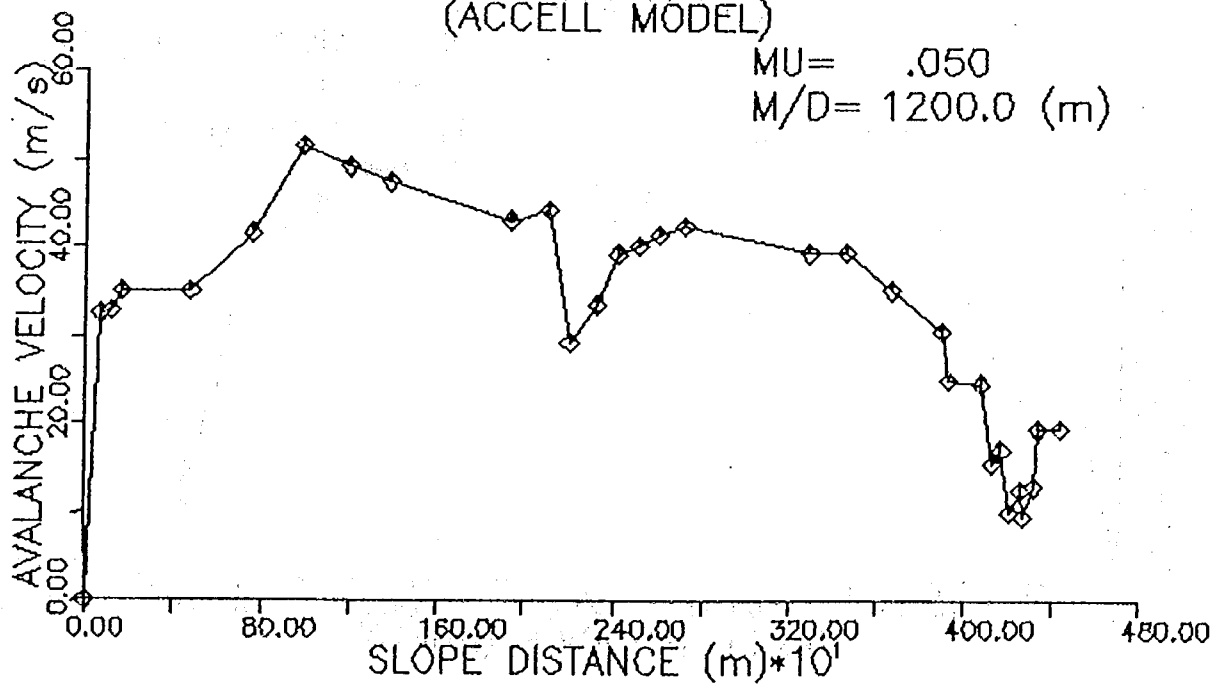


図3-8 雪崩シミュレーション結果 (ACCELLモデル)

表3-15 雪崩シミュレーション結果 (BIEQモデルプログラム)

摩擦係数 μ (MU)	粘性係数 ν_0 (NU)	最大速度 V_{max} [m/s]	最小速度 V_{min} [m/s]	最終速度 V_{end} [m/s]	備考
0.05	0.003	51.7 (1578.2)	8.8 (4468.2)	17.9 (4637.2)	
0.04	0.003	54.3 (1578.2)	20.4 (4468.2)	25.5 (4637.2)	
0.06	0.003	48.9 (1175.6)	5.8 (4325.8)	8.0 (4348.4)	
0.05	0.002	56.7 (2296.0)	23.2 (4468.2)	27.2 (4637.2)	
0.05	0.004	49.0 (1175.6)	9.6 (4325.8)	11.5 (4359.7)	

※ () 内は距離 [m]

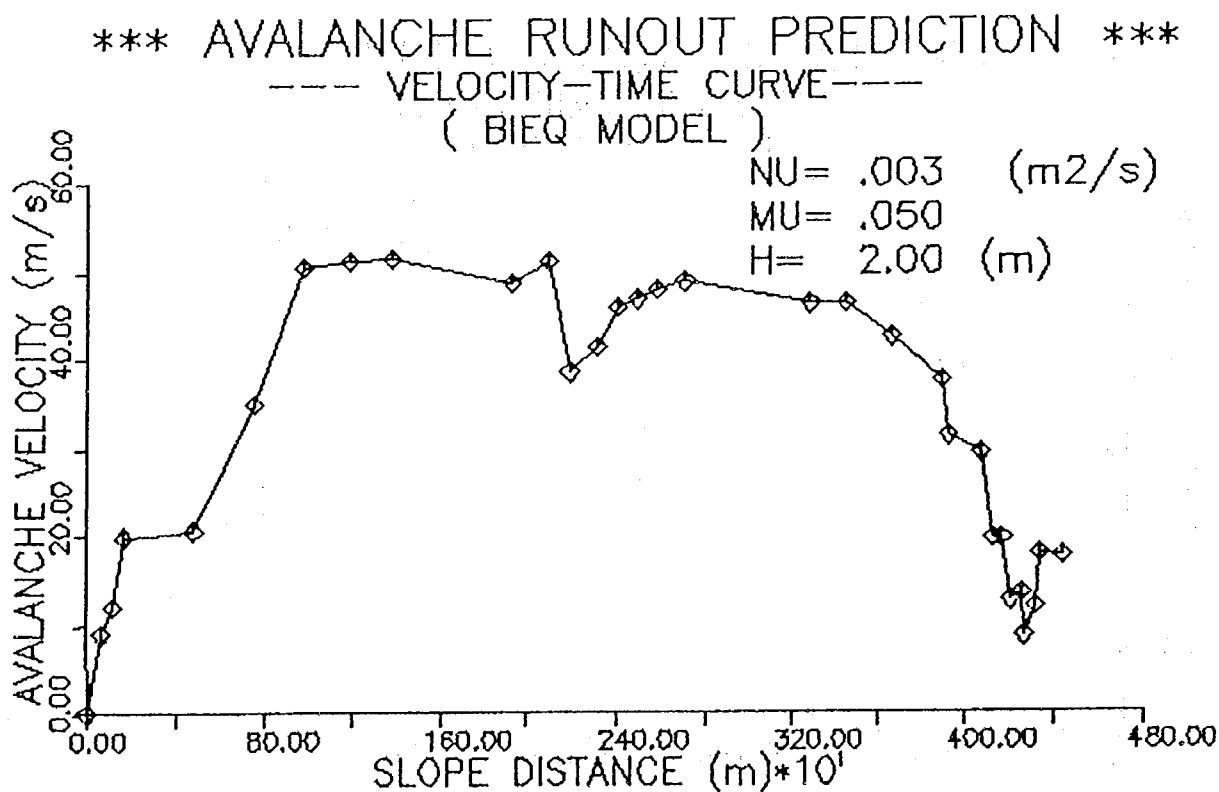


図3-9 雪崩シミュレーション結果 (BIEQモデル)

表3-16 雪崩シミュレーション結果 (VOELLMYモデルプログラム)

摩擦係数 μ (RMUS)	牽引力係数 ξ (m/s ²) (KSI)	最大速度 V_{max} [m/s]	最小速度 V_{min} [m/s]	最終速度 V_{end} [m/s]	備考
0.05	3000	43.4 (1175.6)	11.7 (4125.7)	13.7 (4637.2)	
0.04	3000	44.1 (1175.6)	14.0 (4125.7)	15.8 (4637.2)	
0.06	3000	42.7 (1175.6)	8.9 (4125.7)	11.9 (4637.2)	
0.05	2000	37.1 (1175.6)	6.3 (4125.7)	10.2 (4637.2)	
0.05	4000	47.9 (1175.6)	16.9 (4125.7)	16.7 (4637.2)	

※ () 内は距離 [m]

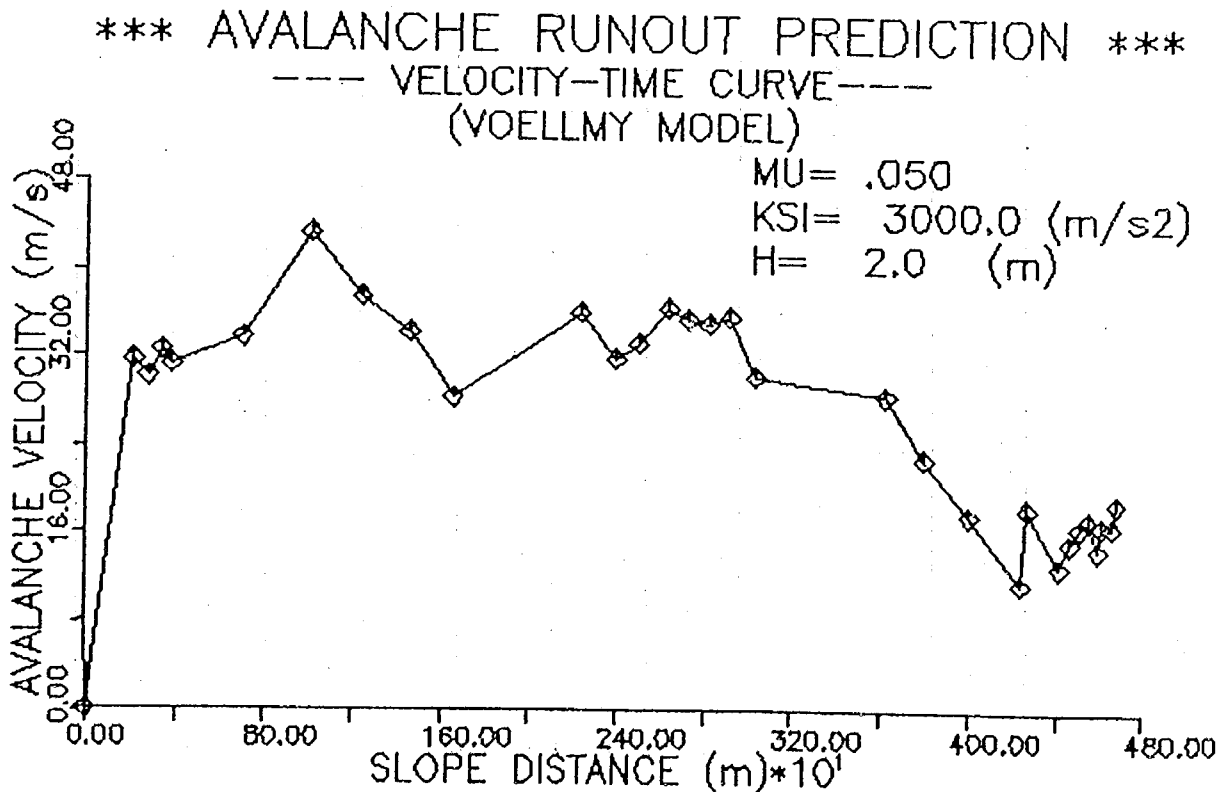


図3-10 雪崩シミュレーション結果 (VOELLMYモデル)

表3-17 雪崩シミュレーション結果 (離散ボールモデルプログラム)

摩擦係数 μ (AF)	粘着力 c(kgf) (AC)	最大速度 V_{max} [m/s]	最小速度 V_{min} [m/s]	最終速度 V_{end} [m/s]	備考
0.025	10	40.4 (1024.2)	27.5 (1633.2)		走行距離 2 km迄
0.050	10	37.4 (1033.2)	21.8 (1626.2)		走行距離 2 km迄
0.100	10	30.4 (1020.2)	5.4 (1739.2)		走行距離 2 km迄

※ () 内は距離 [m]

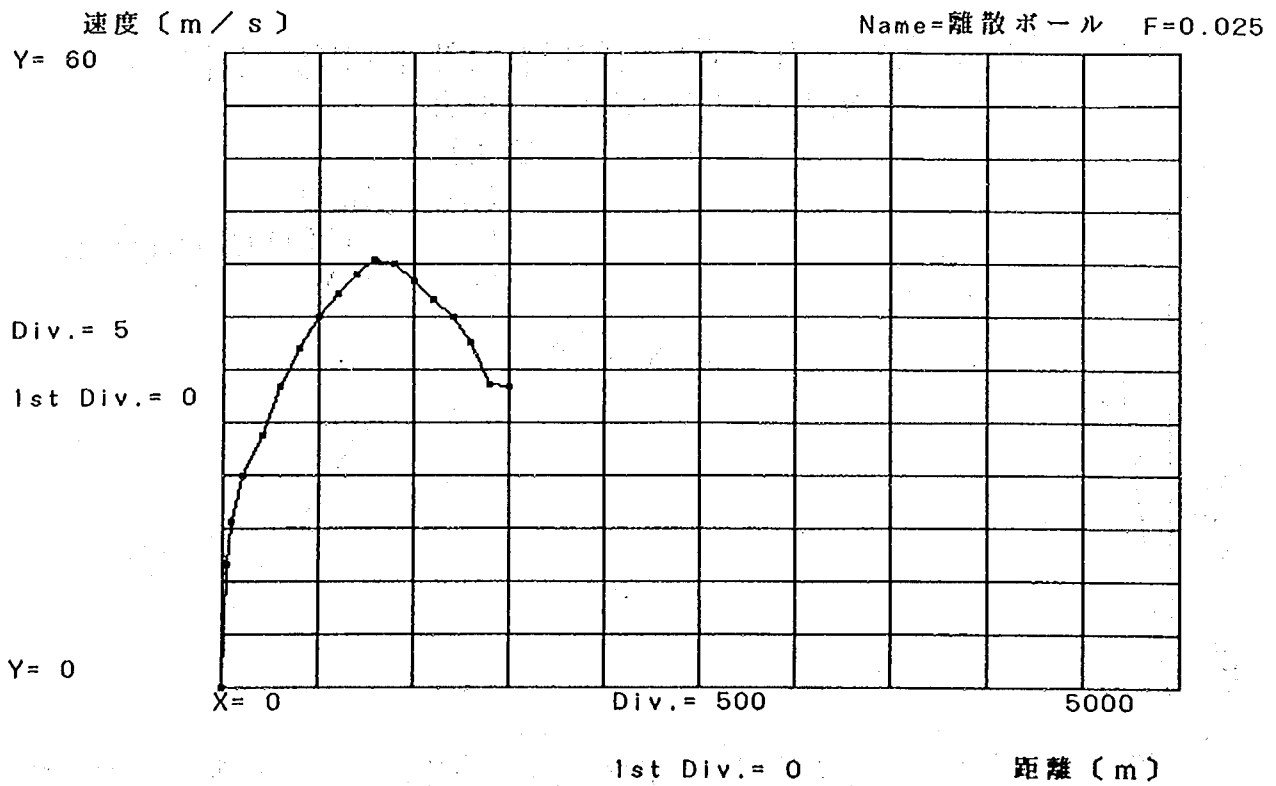


図3-11 雪崩シミュレーション結果 (離散ボールモデル)

表3-18は各モデルの結果を抜粋したものである。これによると、各モデルとも最大速度が 30 [m/sec] 以上で、3次元モデルを除いては40 [m/sec] 以上の値を示した。したがって、これらの解析により幕ノ沢の雪崩が非常に高速であることが裏付けられた。また、摩擦係数をみると各モデルとも非常に小さな値を示している。これは幕ノ沢で長大な雪崩が発生しやすいことを示しているものと考えられる。

モデルの特性についてみると、3次元モデルが第2係数に、流体モデルが摩擦係数に、Voellmyモデルが摩擦・第2の両係数に、カンドールモデルが摩擦係数に依存する度合いが高い傾向を示した。

表3-18 雪崩シミュレーション結果まとめ

モデル名	摩擦係数 μ	第2係数	最大速度 V_{max} [m/s]	備考
3次元	0.03	0.003 抵抗力係数	33.2 (885.9)	走路選択 モデル
AVALANCHE	0.125	0.80 動粘性係数	53.6 (1220.0)	
ACCELL	0.05	1200 牽引力係数	51.6 (1175.6)	
BIEQ	0.05	0.003 粘性係数	51.7 (1578.2)	
VOELLMY	0.05	3000 牽引力係数	43.4 (1175.6)	
離散ボール	0.025	10 粘着力	40.4 (1024.2)	走行距離 2 km迄

※ () 内は距離 [m]

第4章 まとめ

幕ノ沢大雪崩の調査結果をまとめると以下のとおりである。

雪崩発生日	昭和59年2月16日		
雪崩発生日の天候	雪		
平均気温	-5.4	[°C]	
最高気温	-4.5	[°C]	
最低気温	-6.7	[°C]	
最多風向	WNW		
平均風速	1.46	[m/sec]	
最大風速	9.68	[m/sec]	
積雪深	553	[cm]	
雪崩発生量	100,000~200,000 [m ³] 程度		
雪崩総量	200,000~400,000 [m ³] 程度		
雪崩速度 (平均的速度)	31.36	[m/sec]	(=112.90 [km/h])
最大速度 (シミュレーション結果)			
3次元モデル	33.2	[m/sec]	
AVALANCHEモデル	53.6	[m/sec]	
ACCELLモデル	51.6	[m/sec]	
BIEQモデル	51.7	[m/sec]	
VOELLMYモデル	43.4	[m/sec]	
離散ボール	40.4	[m/sec]	
雪崩規模	8.6		
堆積区森林被害面積	30,000	[m ²] 以上	
雪崩総面積	250,000	[m ²] 以上	

上記のように数字だけみても非常に大きな雪崩であることがわかる。また、特に昭和58年度冬期は低温・多雪で大規模表層雪崩の発生しやすい条件が揃っていたと考えられる。さらに、幕ノ沢には地形的にも大規模な雪崩が発生しやすい条件があるものと考えられる。

あ と が き

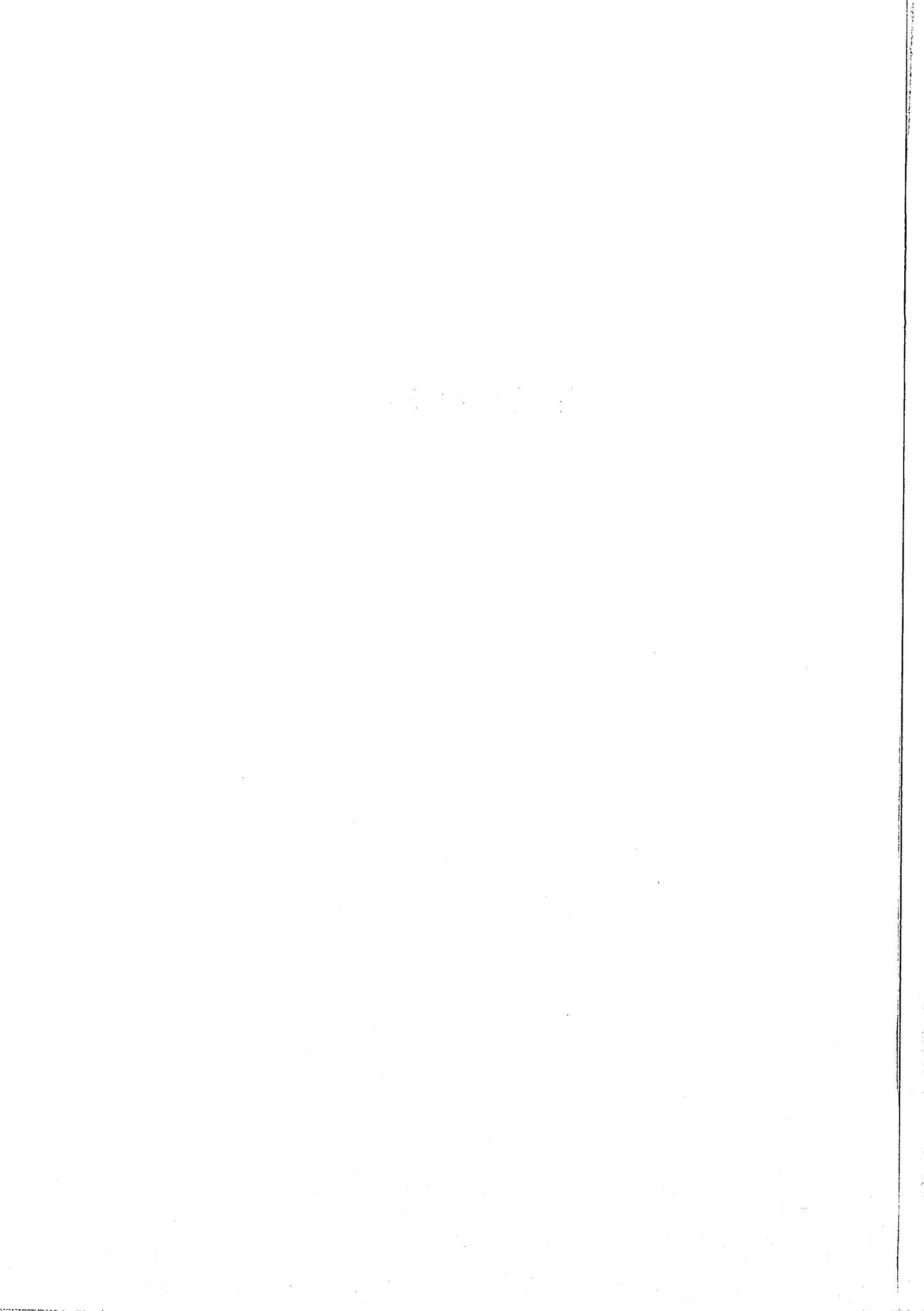
今回の現地調査結果により、幕ノ沢大雪崩の全容を捉えることができた。今後このような雪崩が発生した場合にも同様の観測を行うことにより雪崩の実態を把握することが可能であると考えられる。また、本報告書が今後の雪崩調査や雪崩対策を考える上での基礎資料となれば幸いである。

最後に、現地調査で協力していただいた林業試験場新田隆三室長をはじめ高田営林署の方々に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 新防雪工学ハンドブック 森北出版
- 2) モデル地形における雪崩の運動走路
納口恭明 国立防災科学技術センター研究報告第31号 昭和58年11月
- 3) 雪崩走出予知用コンピュータープログラム
THEODORE E. LANG 国立防災科学技術センター研究速報第59号 昭和59年3月

附 属 资 料



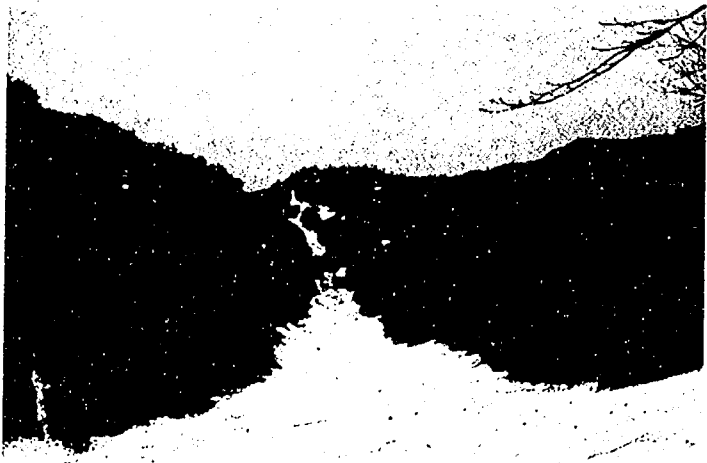


写真 付-1



写真 付-2



写真 付-3



写真 付-4

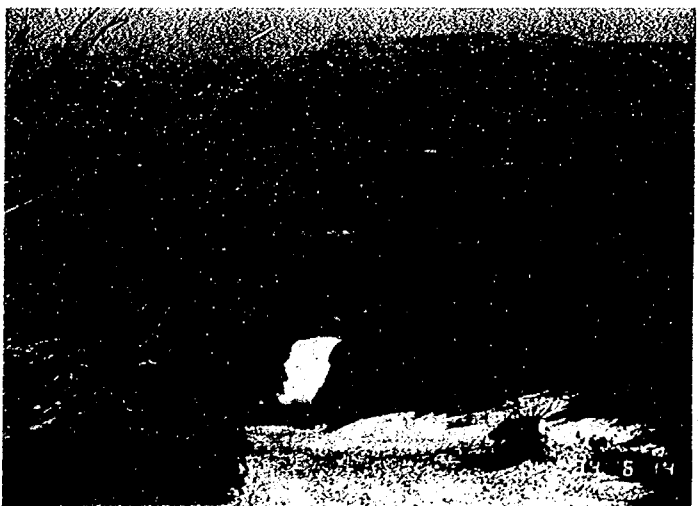


写真 付-5

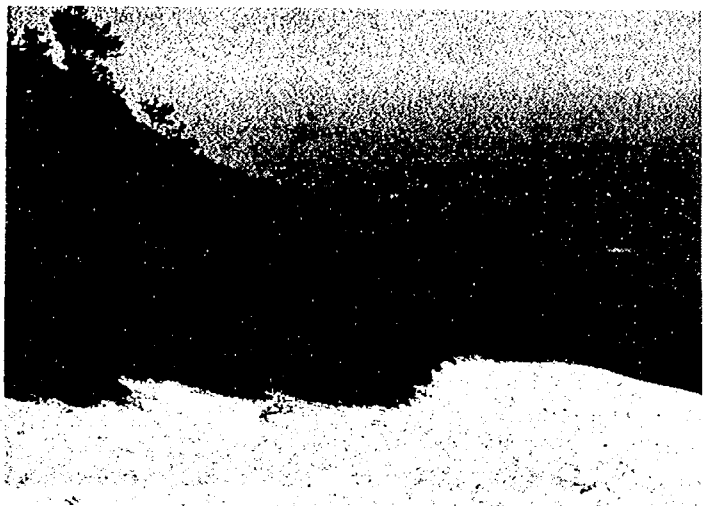


写真 付-6

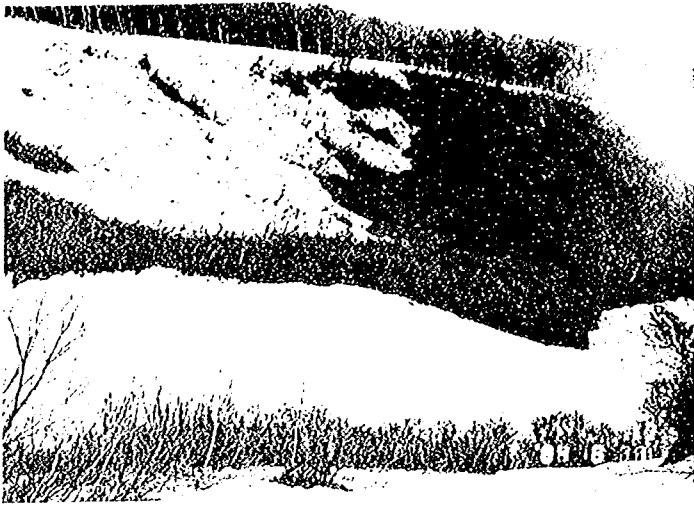


写真 付-7



写真 付-8



写真 付-9

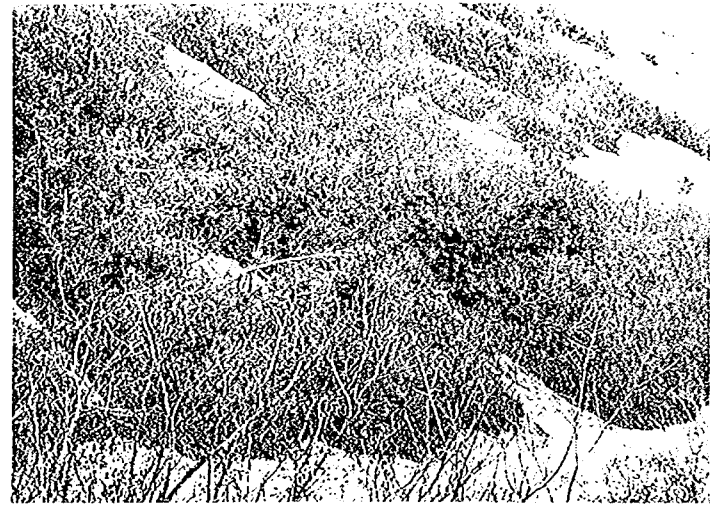


写真 付-10

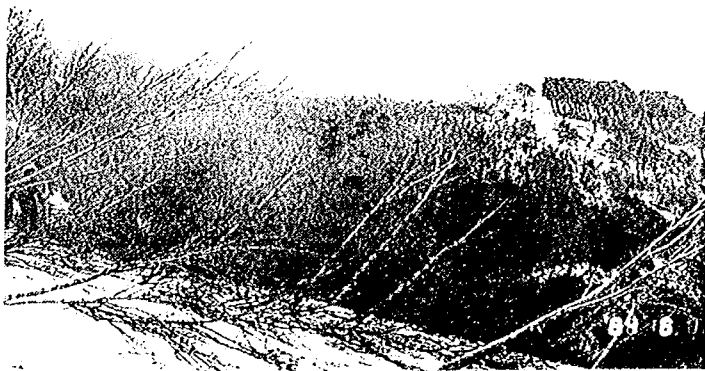


写真 付-11



写真 付-12



写真 付-13



写真 付-14



写真 付-15

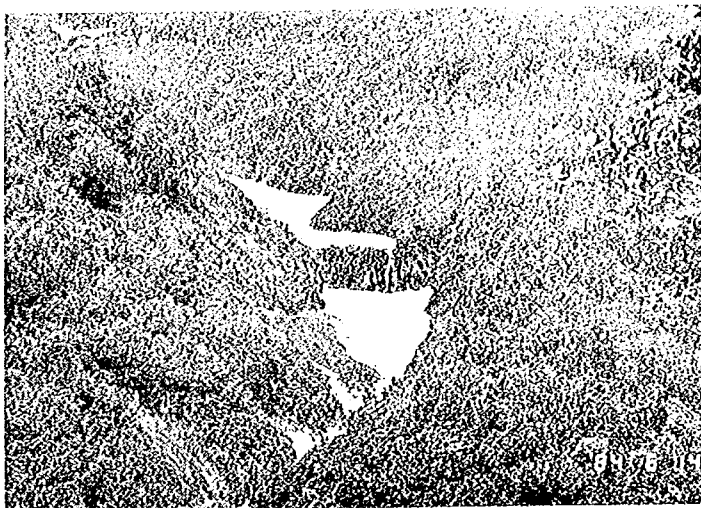


写真 付-16



写真 付-17



写真 付-18

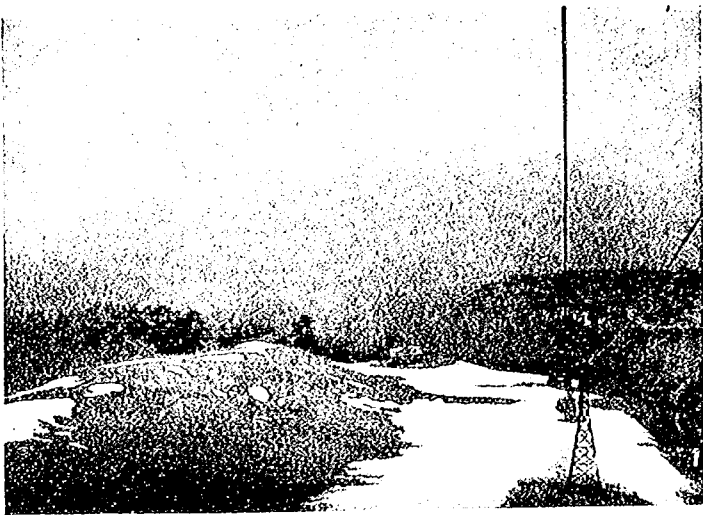


写真 付-19



写真 付-20



写真 付-21



写真 付-22



写真 付-23



写真 付-24



写真 付-25



写真 付-26



写真 付-27



写真 付-28



写真 付-29



写真 付-30



写真 付-31



写真 付-32



写真 付-33



写真 付-34

大規模表層雪崩実態調査

ISSN 0386-5878
土木研究所資料 第2618号
昭和63年1月 (1988)

新潟試験所 是 沢 一 樹
 下 村 忠 一
 酒 井 洋 一
 中 島 久 男

要旨

大規模雪崩が発生した場合、現地で詳細な調査を行う必要がある。しかし、調査の方法や結果等を具体的に示したものがなく、重要な調査項目が欠落していたり、調査自体が行われないこともある。

本報告書は、昭和58年度冬期に新潟試験所雪崩観測地の落ノ沢で発生した大規模な表層雪崩を例として、雪崩の調査方法や各種項目の推定結果等について述べたものである。

キーワード：雪崩、表層雪崩、雪崩調査、雪崩予知、積雪観測

郵便はがき

9 4 4 - □ □

四十円切手
はって下さい。

新潟県新井市錦町

二丁目六番八号

建設省土木研究所

新潟試験所 御中

No. 12

土木研究資料第2618号

部

上記のとおり受領しました。

所属(住所)

氏名

印