



# HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	北海道日高の雪崩調査報告
Author(s)	吉田, 順五; YOSIDA, Zyungo; 藤岡, 敏夫 他
Citation	低温科学. 物理篇, 21, 75-94
Issue Date	1963-03-10
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/17997">https://hdl.handle.net/2115/17997</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	21_p75-94.pdf



## 北海道日高の雪崩調査報告\*

吉田順五・藤岡敏夫

木下誠一・若浜五郎

(低温科学研究所 応用物理学部門)

(昭和37年9月受理)

### まえがき

昭和36年(1961)の4月4日夜から5日朝にかけて、北海道の日高山脈地帯に、広範囲にわたる雪崩がおこった。当時、日高山脈の西側では水力発電所建設工事がすすめられていて、溪谷ぞいに多くの工事用建物また工事要員の宿舎がたっていた。この宿舎のうちの4棟が、2箇所、上記の雪崩におそわれ、33名が死亡し12名が負傷するという事故がおこった。筆者らは、北海道労働基準局の要請により、4月8日から10日までの3日間、事故をおこした雪崩の調査にあたった。以下にその調査の結果を報告する。なお、発電所建設工事は昭和36年から37年にかけての冬も続けられることとなり、筆者らは、宿舎背後の斜面の雪崩を防止する方法について、工事関係者から意見をもとめられた。その意見によって雪崩防止施設が実際につくられたので、筆者らは数回現地におもむいて、防止効果の観察にあたった。このことについての報告もくわえる。

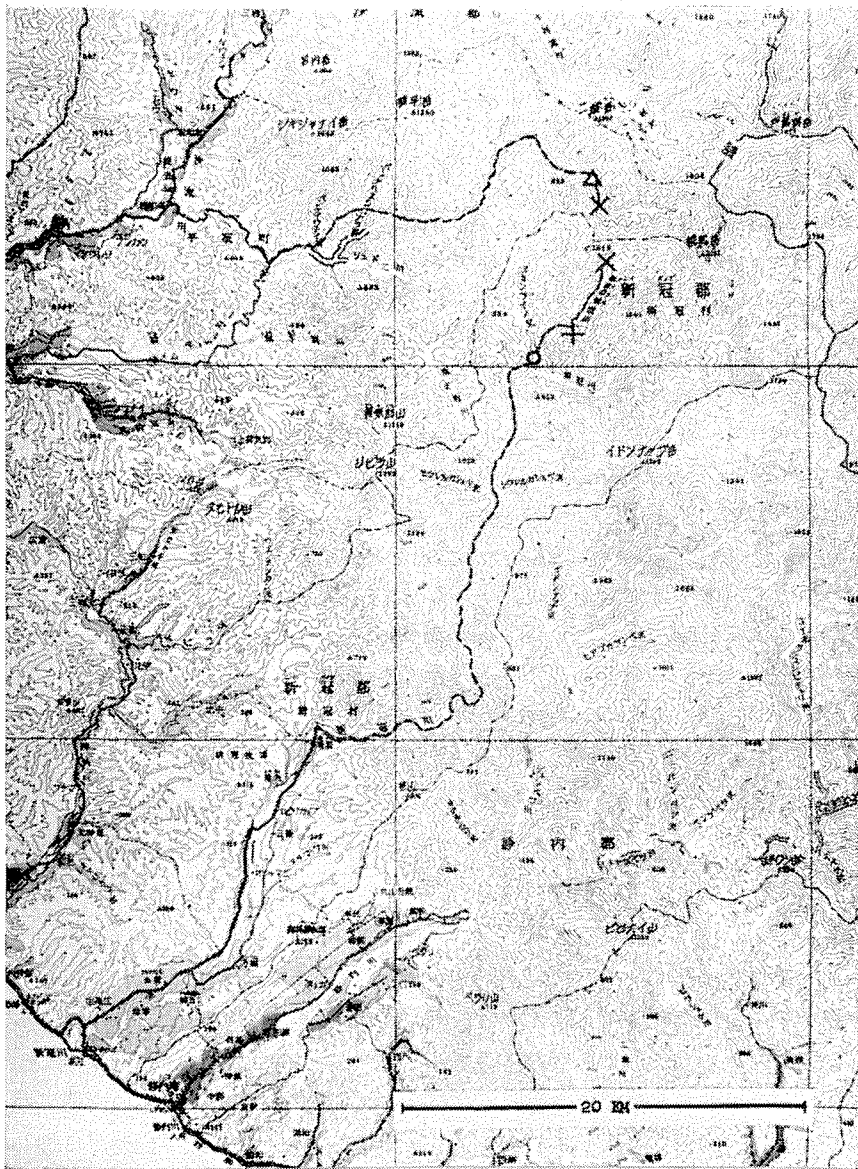
### I. 全山なだれ

1. 事故なだれの位置。第1図の地図の×印が事故をおこした雪崩(以後単に「事故なだれ」という)の地点をしめす。日高山脈の主脈から西にわかれた標高1,400 mの枝尾根の南北のふもと、尾根をはさんで3 kmはなれた標高800 mの2地点である。42°43'N, 142°38'Eのあたりで、第1図の左下隅に見える太平洋岸からは50 kmほどはなれている。

2. 全山なだれ。筆者らは、まず新冠(にいかつぶ)川、プイラルベツ川にそって南の事故なだれの地点に達し、ついで、海岸までひきかえしてから、額平(ぬかびら)川にそって北の事故なだれの地点におもむいた。どちらのばあいにも、事故なだれ地点の手前8 kmあたりから、川の両岸の斜面のほとんど全部に雪崩のあとがみられた。ジープでゆく路の両側には、いたるところ、雪の高い壁がそそりたっていた。なだれで路を埋めた雪を除雪自動車で押しつけたあとである。このことから、なだれは、日高山脈一帯にわたって無数におこったとみてよいであ

\* 北海道大学低温科学研究所業績第638号

ろう。事故なだれは、そのうちの、ふたつにすぎない。新冠川でも額平川でも、その兩岸の斜面の勾配は  $40^\circ$  前後で、統計資料によると、もっとも雪崩のおこりやすい角度である。しかし、なだれの発生点は、斜面の頂にではなく、それよりはるか下の、斜面のふもとから 200 m ないし 300 m 斜面にそってのぼったあたりにあった。樹木はよく成育していたが、なだれた雪は



第1図 北海道日高地方の地図。×印，事故なだれの地点。+印，調査した沢なだれ（黒なだれ）の地点。○印，発電所建設工事本部。△印，なだれ防止施設をしたところ。破線，筆者らの通った路。

樹木のあいだをぬって落ち、なだれのために倒された樹木は極めて稀であった。なだれて雪のなくなったあとの斜面には熊笹がみられた。

この日高山脈一帯にわたる大規模な全山なだれが発生しはじめた時刻は明らかでない。ただ、筆者らは、ひとつの雪崩が4月4日の午後7時に、すでにおこっていたと聞くことができた。事故なだれの時刻は5日の午前5時と7時半とである。したがって、全山なだれを構成する個々のなだれは、12時間以上にわたって、つぎつぎに発生したと考えてよいであろう。

川の両岸の斜面のところどころにある細い急峻な枝沢にも、ほとんど例外なく「沢なだれ」がおこっていた。枝沢にたまった雪が落ちた雪崩である。沢なだれと、うえに述べた「斜面なだれ」とでは、おなじく雪崩であるとしても状況がかなり違うが、いまのばあい、殊にいちじるしい差異がみられた。それは、沢なだれが全部「黒なだれ」であったことである。枝沢の出口あたりに小山をなして堆積した雪は、茶褐色にそまって、図版 II-7 の写真のように、くろくろと見えた。斜面なだれには、黒なだれは見当らなかつた。

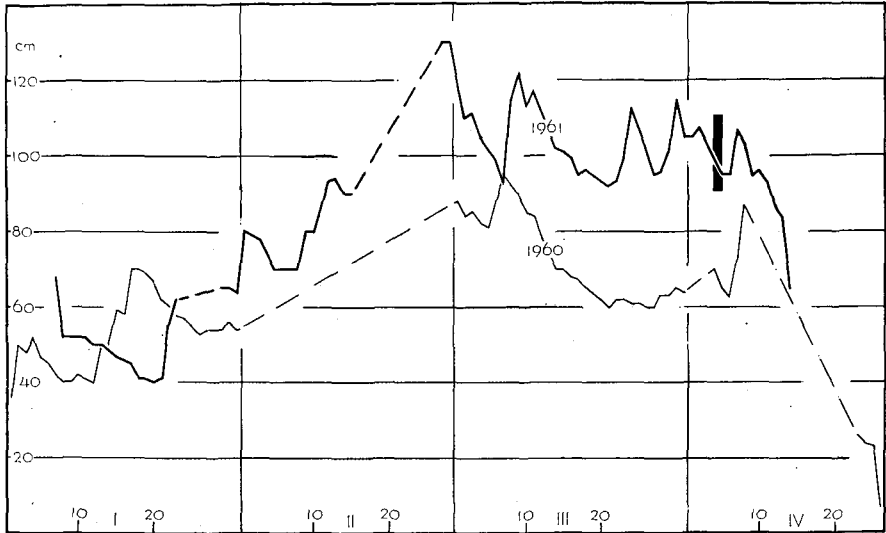
**3. 積雪深。**第1図の地図の白円印の点に発電所建設工事の本部があつた。ここは、ヌカンライノ沢とプイラルベツ川とが新冠川に合流するところで、比較的ひろい平地になっている。第2図は、ここで観測された積雪深の記録をもとにして書いたものである。なだれ事故のあつた昭和36年と、その前年の35年との積雪深が1月から4月なかばにわたって示されている。

山地の積雪深は、場所場所でいちじるしくちがうので、第2図の積雪深そのまま、すべての斜面や枝沢の積雪深にひとしいとはいわれない。だいたいのところ、事故なだれのあつた当時の斜面の積雪深は、斜面の上部では70 cm ないし90 cm、下部では1 m 以上、ところによっては2 m をこえていたとしてよいであろう。これは、事故なだれのあつた斜面で実際に測定した積雪深にもとづいて得た判断である。斜面の上部と下部とで積雪深がこのようにちがうのは、勾配40°という急斜面のため、常時、雪が斜面を落下しては斜面の下部にたまるからである。事故なだれのあつた翌年(昭和37年)の春に観察していたら、風が吹くたびに雪が極めて小規模な雪崩となって斜面をすべりおちるのがみられた。落ちた雪は、すこし開いた扇をたくさん、要を上にして並べた形に斜面の下部に蓄積され、要をつらねる線は水平に走って、かなりはつきり、みわけられた。前項2でのべたように、昭和36年の事故なだれをふくむ全山雪崩は、斜面の下部200 m ないし300 m の範囲内でおこつた。それは、このようにして、その範囲に多量の雪が蓄積されていたからにちがいない。

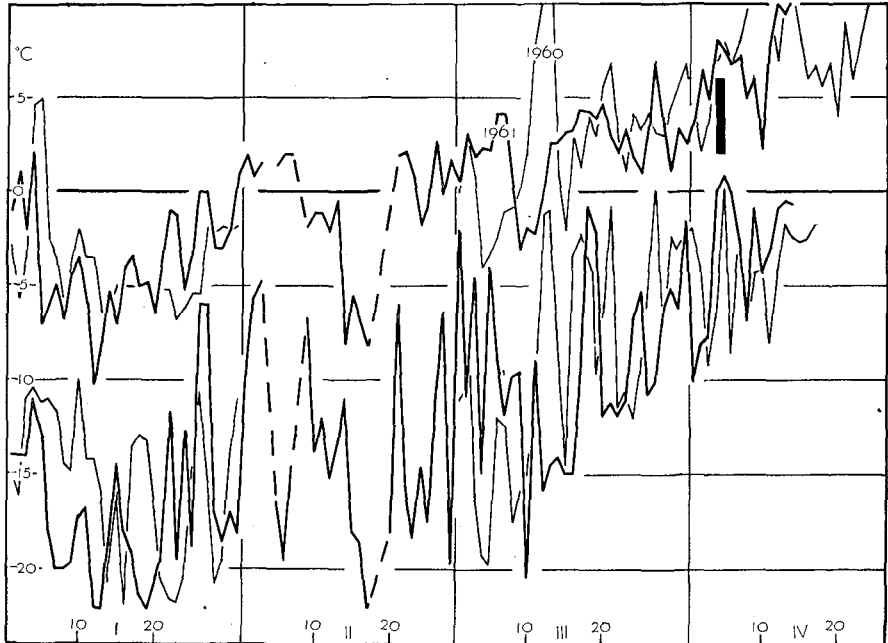
山の頂に発達し、くずれ落ちては、しばしば雪崩の原因となる雪庇は、双眼鏡で下から見たかぎり、はつきりとは認められなかつた。雪庇が全然できていなかったとは考えられないが少なくとも、崩落によって雪崩を誘発するほどには発達していなかつたと思われる。

なな、雪崩のあつた4月のはじめには、里の雪は消えていた。海岸ちかくの平野にはもちろん、多少山にかかっても海岸から20 km あたりまでの所には、ほとんど雪がみられなかつた。

**4. 異常気象。**第2項でのべたように、昭和36年4月4日夜から5日朝にかけての雪崩

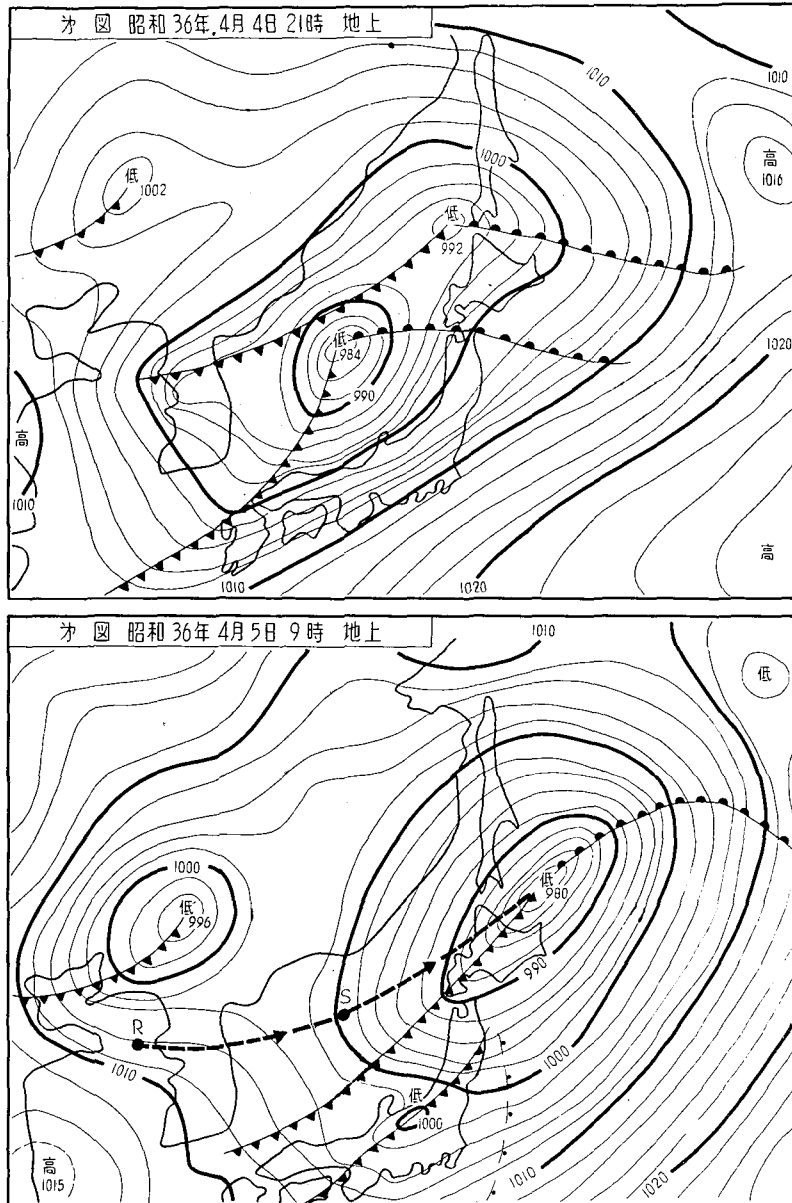


第2図 第1図白円印の地点における積雪深。事故なだれのあった昭和36年(1961)の1月から4月にかけての積雪深の変化を太い線で、前年(1960)同期のものを細い線であらわしてある。前年2月は欠測。たんざく形の黒い印は事故なだれの日を示す。



第3図 第1図白円印の地点における最高最低温度。事故雪崩のあった昭和36年(1961)の1月から4月にかけての最高最低温度の変化を太い線で、前年(1960)同期のものを細い線であらわしてある。前年2月は欠測。たんざく形の黒い印は事故なだれの日を示す。

は日高山脈一帯にわたっておこった大規模なものである。事故なだれはそのうちの特別なふたつにすぎない。そして、ちょうどそのとき、北海道は異常な気象状態にあったのである。



第4図 昭和36年4月4日午後9時および5日午前9時の地上天気図。5日の天気図には低気圧の進路がかきいれてある。R点、S点は、それぞれ、4日午前9時および午後9時における低気圧の中心位置を示す。(札幌管区気象台異常気象報告81による。)

4月4日夜から5日の朝にかけて、北海道の北部を発達した低気圧が通過し、北海道の各所に異常高温と集中降雨とをもたらした。札幌管区気象台で、これにつき、異常気象報告を4月10日にだしている。そのなかに「4月3日、4日は、両日とも、北海道西南部の気温が異常にたかく、3日は平年より4ないし5度、4日は6ないし7度、ところにより10度も高くなった。日高山地の雪崩は、このような異常高温のおわる直前の5日朝方に発生した」と書いてある。第3図は、第2図とおなじ地点での、昭和35年と36年との最高最低気温のグラフである。太い線のグラフが36年のもので、全山雪崩のおこった4月4日から5日にかけては、最高気温も最低気温も、その前後にくらべて異常にたかい。

第4図は、上記異常気象報告にでている4月4日午後9時、4月5日午前9時の地上天気図である。

## II. 事故なだれ、黒なだれ

筆者らの調査の目的は事故なだれにあったので、これについて、なだれた雪の範囲、なだれた雪の量、なだれるまえの雪の層構造などをしらべた。この章でその調査結果を説明する。事故なだれは、南と北との両方とも、斜面なだれで、その大きさを一般の斜面なだれのなかで格付けするとすれば、中程度以下のものであった。安全と工事上の便宜のため、事故なだれにおそわれた宿舎の位置は選定をうけていた。したがって、事故なだれにある程度の特長性のあることは否めない。しかし、他方、事故なだれは日高山脈一帯におこった全山なだれに属している。そのことから、一般の斜面なだれとのあいだに多くの共通点をもつともいえるであろう。

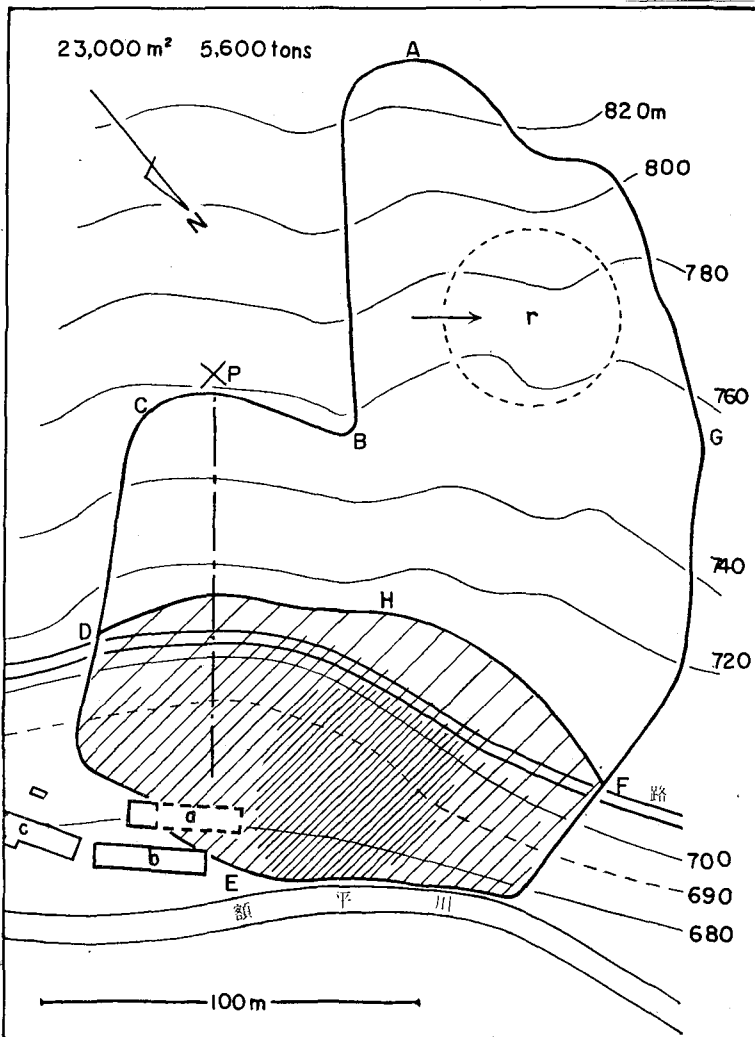
事故とは無関係なものではあったが、ひとつの枝沢におこった黒なだれを調査することができた。事故なだれの調査結果につづいて、この黒なだれの調査結果をくわえる。

1. 北の事故なだれ。第1図にあるふたつの×印のうちの上方の×印の地点で、昭和36年4月5日午前5時に発生した。第5図がこの雪崩の見取図である。図のABCDHFGA内の雪が全層なだれて、斜線をほどこしたDEFHDの範囲に堆積した。斜線がつんでいる所ほど堆雪した雪は厚い。三棟の木造宿舎a, b, cのうち、aだけが押しつぶされた。斜面は平均40°の傾斜で、北東の方向に額平川にむかっておちている。なだれた雪の面積ABCDHFGAは23,000 m<sup>2</sup>である。平均積雪深を80 cm、平均の雪の密度を0.3 gr/cm<sup>3</sup>とすると、体積18,400 m<sup>3</sup>重量5,600トンの雪がながれたことになる。

なだれ範囲の最高点は標高830 mのA点(第5図)であるが、斜面はA点よりさらに高く、1,200 mから1,300 mの高さまでつづいている。このなだれの落下した距離は、長い斜面のふもとの200 mぐらいである。A点からうえの斜面には、数年前の台風でたおされた直径30ないし50 cmの風倒木がおりかさなっていた。図版I-1の写真は、第5図の点線でかこんだrのあたりを矢印の方向にみたところである。数本のたおれた木がみえるが、これは雪崩で倒れたのではない。風倒木である。なだれのあった4月5日から、ここを調査した10日までのあい

だに降った雪のため、手前の方では斜面にはえた熊笹がかくれて見えない。しかし、遠方では熊笹が顔をだしている。四手井と高橋とは、十年ほどまえの夏、北海道のなだれ発生地を調査した。そして、なだれ斜面といわれる所は、ほとんど、山火事があってそのあとに熊笹の生えた斜面であると述べている<sup>2)</sup>。日高山脈地帯のばあい、熊笹の生えたのが山火事のためか否か詳かにしないが、さきにも述べたように、なだれたあとの斜面には、ほとんど例外なく、図版 I-1 の写真のような有様で、熊笹をみとめた。

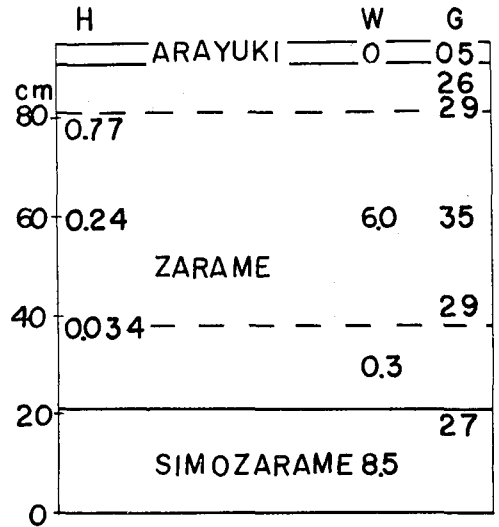
第5図の B 点から C 点にかけては、なだれずに残った積雪の下縁が図版 I-4 の写真のよ



第5図 北の事故なだれの見取図。斜面の平均傾斜 40°。(昭和 36 年 4 月 5 日午前 5 時に発生した雪崩。死者 12, 負傷者 6) (調査日時, 4 月 10 日午前, 午後。気温, -0.2°C)

うになっていた。雪崩がおこるまえ、BC線にそって雪に割目がいっていたに相違ない。A点附近の下縁も同様であった。また、B点から20mほどのぼった所には残った積雪のなかに長い割目が1本はいつていた。

なだれた雪のなだれる前の層構造は、斜面の上になだれずに残った雪の層構造と、ほぼ同じであったにちがいない。それで、第5図の×印のP点で雪に穴をほり、その壁について、雪質、密度G、含水率W、硬度H、を測定した。第6図がその結果である。最下層の20cmは霜ざらめ層で、指でさわるとぼろぼろとこぼれおちた。その上の50cmの厚さはざらめ雪である。表面層は、なだれのあとでつもった、厚さ5cmの新雪層であった。密度Gは表面からしだいに増して、地上60cmで $0.35 \text{ gr/cm}^3$ に達しているが、それからは、深くなるほど減少している。含水率Wも同様な傾向にある。ただ、最下層のしもざらめ層にいたって、8.5%というかなり



第6図 第5図P点の積雪断面。G, 密度 ( $\times 10^{-2} \text{ gr/cm}^3$ )。W, 含水率(%)。H, 硬度 ( $\text{kg/cm}^2$ )。

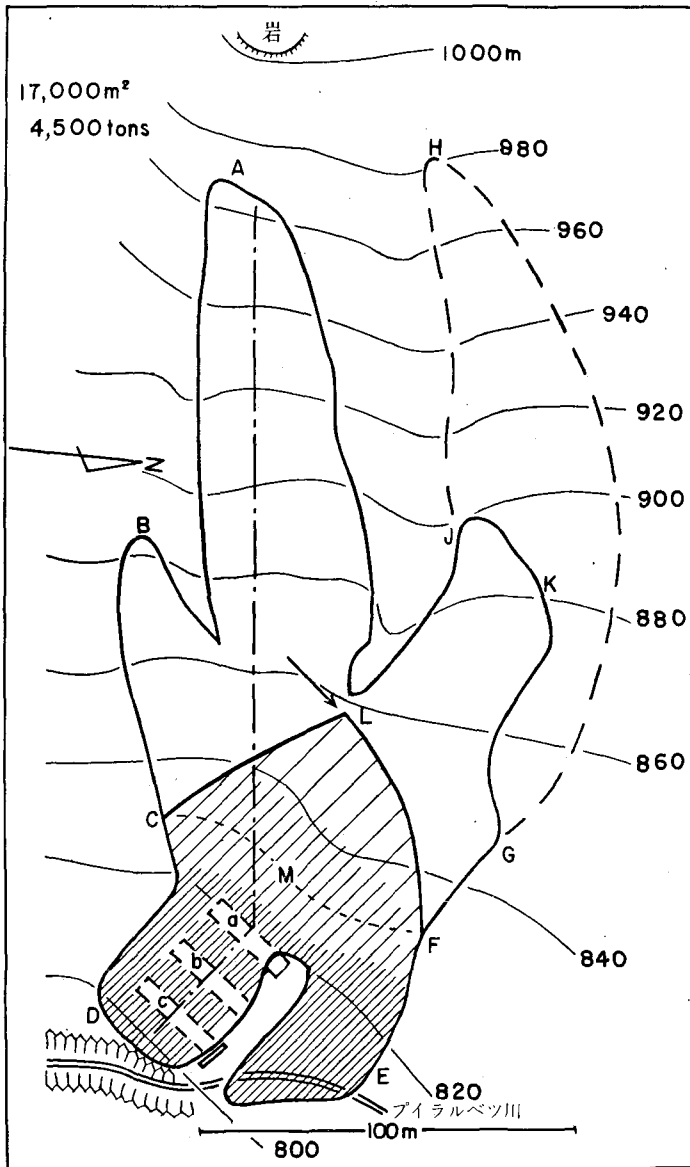
大きな値に回復している。硬度Hは、硬度が測定できないほど弱い表面の新雪層を別にすれば、深くなるほど速かに減少する傾向にある。第3図のグラフが示すように、このあたりでは、1月2月の最高気温は $-5^\circ\text{C}$ あたりに、最低気温は $-15^\circ\text{C} \sim -20^\circ\text{C}$ にある。このような低温が、下層になるほど密度も硬度も小さくなる不安定な構造を積雪にあたえたのに相違ない。なお、ここにいう積雪の硬度Hとは、木下の測定器<sup>3)</sup>ではかったものである。含水率Wは結合熱量計<sup>4)</sup>で測定した。

第5図のH点と額平川との中間、堆積した雪のいちばん厚いところで2mの深さの穴をほった。しかし地面には達しなかった。穴の壁にインクをかけてみたが、部分的にもしろ、層構造の痕跡すら現われなかった。非常にかたい雪で、密度測定用の採雪器はつかえない。雪を立方体にけずって目方をはかり密度を定めたら $0.7 \text{ gr/cm}^3$ とでた。二度おこなった硬度測定の結果は $8.0 \text{ kg/cm}^2$ ,  $18.2 \text{ kg/cm}^2$ であった。

2. 南の事故なだれ。第1図の下の×印の地点で昭和36年4月5日午前7時半に発生した。第7図がこの雪崩の見取り図である。図のABCMFGKJLAの範囲の雪が全層、破線でかこんだHJKGHの範囲の雪が上半層なだれ、斜線をほどこした部分に堆積した。平行にならんだ三棟の木造宿舎a, b, cが三棟とも押つぶされた。斜面は平均傾斜 $37^\circ$ で、東の方向、新冠川の支流であるプイラルベツ川にむかっただっている。全層なだれの範囲は面積 $14,000 \text{ m}^2$ 、半層なだれの範囲は面積 $6,000 \text{ m}^2$ である。全層なだれでは厚さ90cm密度0.3

gr/cm<sup>3</sup>の雪が、半層なだれでは厚さ45cm 密度0.26 gr/cm<sup>3</sup>の雪が落下したとすれば、全体で体積15,300 m<sup>3</sup> 重量4,500トンの雪がなだれたことになる。

北の事故なだれのばあいと同様、このばあいにも、斜面は第7図に示された範囲より遙か



第7図 南の事故なだれの見取図。斜面の平均傾斜37°。(昭和36年4月5日午前7時半に発生した雪崩。死者21, 負傷者6) (調査日時, 4月8日午後。気温, +3.9°C。調査中に雨がふりだした。) 図の左上隅のなだれ面積17,000 m<sup>2</sup>は、半層なだれの部分の面積を半分にかぞえ、なだれ全体を全層なだれとしたときの面積である。

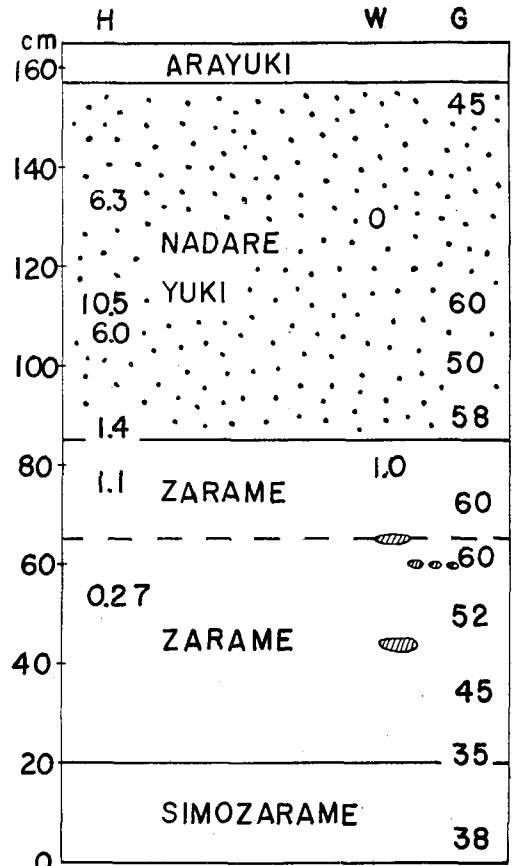
うえの方までつづいている。雪崩は、この長い斜面のふもと近くだけでおこったのである。第7図のA点附近のなだれずに残った積雪の下縁は、図版I-4の写真と同じようになっていた。図版I-2の写真は、第7図のL点附近を矢印の方向にみたところである。なだれのあとで雪がふり、5 cm ほどの厚さにつもっている。ここでも斜面は熊笹におおわれている。

第7図のM点よりすこし下のところで穴を掘り、雪の層構造をしらべた結果が第8図である。地面から85 cmの高さまでには明瞭な層構造がみられたが、それからうえ表面までには層構造が全くなかった。これから、この場所にもとからあった雪は動かなかったこと、そしてその上になだれてきた雪が堆積したことがわかる。もとからあった雪の層構造は、なだれた雪がなだれる前にもっていた層構造とほぼ同じにちがいないが、この層構造は、また、北の事故なだれのばあいのものと、ほとんど変わらない。

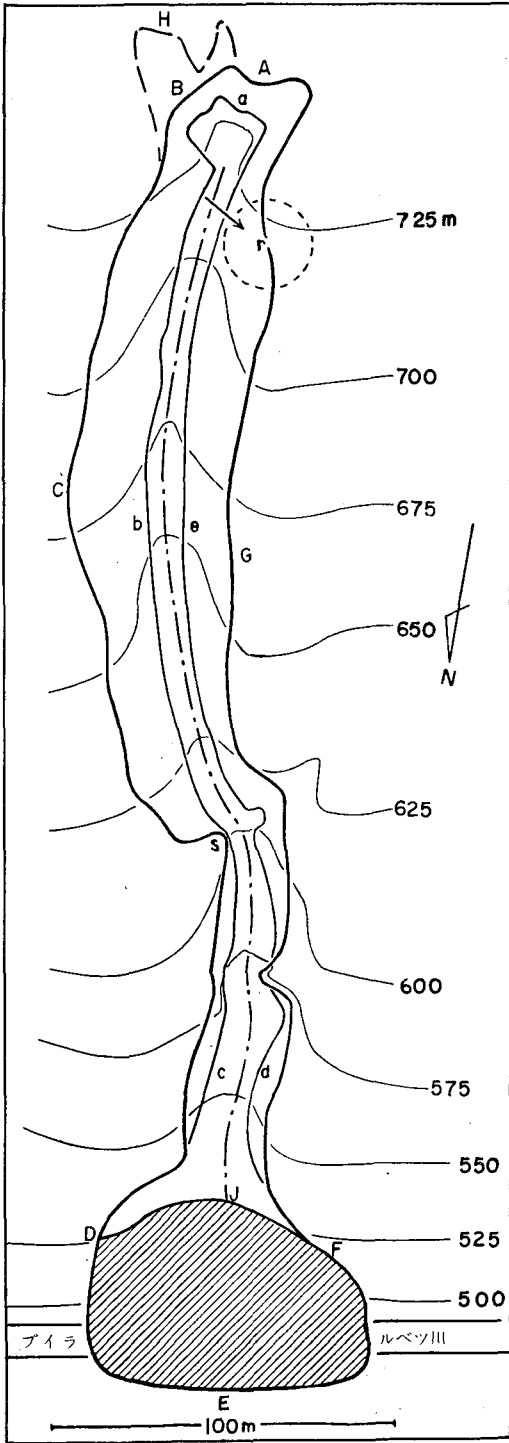
第8図の斜線をほどこした斑点のところに熊笹の葉や茎がみえた。これは、熊笹が倒れふしていなかったこと、すなわち、この場所にもとからあった雪はあまり匍匐もしていなかったことを示している。

3. 一号沢の黒なだれ。第1図の+印のところにある「一号沢」という名の枝沢におこった黒いなだれである。正確な発生時刻はわからないが、4日から5日にかけての夜のあいだにブイラルベツ川をせきとめて氾らんさせ、道路や橋をこわさせた。したがって、全山なだれの一員であることに間違いない。

一号沢は北向きの長い枝沢で、そこに蓄っていた雪の下部400 mがなだれおちた。第9図がその見取図である。沢の中心線の平均勾配は $32^\circ$ であるが、中心線の両側は $45^\circ$ の急勾配斜面をなしている。この両側の斜面の雪が、中心線から10 mないし25 mへだたったところで切り取られていた。第9図のABCDFGAの太い線が、その切り取りの線である。細い線abcdeaの内部が雪崩の路で、そこには、図版II-8の写真の左下四半分にみられるように、20 cmほどの大きさの茶褐色にそまった雪の塊りが散在していた。この写真は第9図のs点のあたり、切り取り線が強く屈曲したところをとったものである。図版II-6は第9図の点線でか



第8図 第7図のM点よりすこし下の積雪断面。  
G, 密度( $\times 10^{-2}$  gr/cm<sup>3</sup>)。W, 含水率(%)。  
H, 硬度(kg/cm<sup>2</sup>)。



第9図 一号沢の黒なだれ見取図。沢の中心線の平均勾配32°。(調査日時4月9日午前。気温+0.2°C)

こんだ部分 r を矢印の方向にうつした写真で切り取り線にそう積雪の切断面がみえる。積雪切断面はまっ白で、多少とも黒くそめられた形跡もない。切り取り線から手前、すなわち、切り取り線のうちがわ雪崩路までのあいだは、この写真が示すように完全に地面が露出していた。第9図上端の波線 H でかこまれた部分の雪も、図版 II-5 の写真のような有様で、白いままなだれていた。B 点から H 点の方向に、下から見あげた写真である。

ところが、雪崩路の下端からながめると、この雪崩は全く黒い。図版 II-7 の写真は、第9図の下端、堆積した雪を示す斜線部分の中心あたりから沢をみあげたところである。手前の堆積した雪は茶褐色にそまっているし、沢の奥にむかって、黒い雪の塊りがなだれ路にそって散在している様子もみえる。

堆積した雪に深さ 2 m の穴を掘ってみたが、穴の壁もやはり、図版 I-3 の写真のように、茶褐色であった。雪をこのように染めているのは土としか考えられない。染まった雪をとかして水とし、濾紙でこして残渣を顕微鏡でしらべたら、茶褐色のこまかい土の粒子であった。濾紙につけたまま風乾した残渣をけずりとして重さをはかり、水 1 リットルにつき 0.35 gr の土がふくまれていたことを知った。

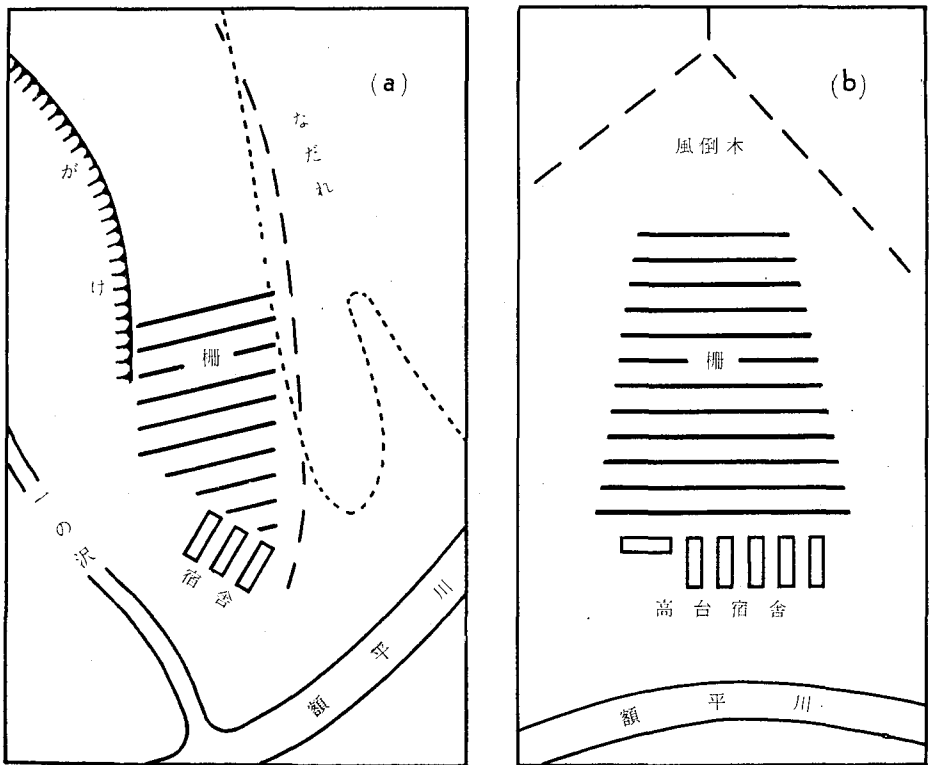
穴の壁の上部 1 箇所、中部 2 箇所、下部 1 箇所で含水率をはかったところ、6.4, 6.5, 7.1, 8.7% の値をえた。雪の密度は 0.6

gr/cm<sup>3</sup> 以上であった。

黒なだれは異常暖気のもと、異常に多量の降雨があったとき、ふだんはなだれない場所に発生するといわれる。今回の日高山地の全山なだれの成員である黒なだれも、ほぼ、その条件をみたしている。全山なだれのとき気温はたしかに異常に上昇したし、全山なだれの翌年みたところでは、枝沢のなだれは数も少ないし黒くもなかった。ただ、全山なだれのときに多量の降雨があったという明確な証拠がない。筆者らが、全山なだれの当時現地をいたひとびとに聞いたところでは、それほどひどい雨ではなかったという。しかし山の峰では強い雨がふり、枝沢に集って雪を押しながしたのかも知れない。それにしても、どんな機構で、なだれおちた雪だけが、うえに述べたように、一様に土でそまったのかの説明はむずかしい。

### III. なだれ防止柵、雪ふみ

以上のべたような大規模な全山雪崩にあいわしたが、発電所建設工事は、つぎの冬も、冬季中断をおこなわずに続けられることになった。そして秋には、第1図の地図の△印のところ



第10図 なだれ防止柵配置図。昭和36年秋設置。(a)一の沢宿舎。川下にむかって額平川の右岸にある。破線は尾根。昭和37年3月点線でかこまれた範囲に雪崩があり、柵の右上端部が破壊された。(b)高台宿舎。川下にむかって額平川の左岸にある。破線は尾根。

に3箇所がえらばれ、そこに新たに工事要員用の木造宿舎をたてることがきめられた。このあたりで宿舎をたてる条件をそなえた場所としては、雪崩にたいして最も安全と考えられる箇所である。

**1. 新しい宿舎。**第1の宿舎の位置は、額平川にせまる断崖のましたの河原である。洪水にたいしては危いが、なだれの危険は非常にすくない。断崖自体には、なだれるべき雪が蓄積されないし、断崖の上端よりさらに上の方でなだれても、断崖の右か左かの斜面へそれてしまうからである。

第2の宿舎は第10図(a)に示した地勢のところへえらばれた。「一の沢」という枝沢と額平川との合流点にあるので、この箇所は単に「一の沢」とよばれた。一の沢には、すこしのぼった所にひどい屈曲があつて、春の全山なだれのときにこの枝沢におこつた黒なだれも、そこでとまった。それで沢なだれにおそわれる心配はかなり少ないと考えられる。第10図(a)の破線は尾根すじである。全山なだれのとき、尾根すじの右側の広い斜面の雪はなだれたが、左側のせまい斜面には雪崩がなかつた。しかし、このことは、全山なだれよりまゝに、このせまい斜面に雪崩がなかつたことを必ずしも意味しない。それで、図に示した長さ70m幅40mの範囲になだれ防止用の柵を設けることにした。柵の上縁から先は、かなり密度のたかい林である。斜面の傾斜角は32~35°である。

秋にこの柵をつくり、春になったら、3月に、尾根すじの右の斜面、第10図(a)の点線でかこんだ範囲にわたつて、かなり大きな雪崩がおこつた。なだれは尾根をこえて右の斜面にもはいりかけた。しかし、柵の右上角をすこし破壊するだけに止まつた。

第3の宿舎は第10図(b)に示したような三角形の、比較的短い斜面(長さ約300m)を、額平川からすこしあがつたところで地ならしして建てることにきめられた。斜面の傾斜角は35°である。川ぞいの工事用道路より更に高い位置になるので「高台」とよばれた。この三角形の斜面にも、全山なだれのとき、雪崩はおこらなかつた。しかし、なだれ発生危険は大きいので図のように長さ130m、幅80mの範囲にわたつて雪崩防止柵を設けることになつた。柵の上縁から上には風倒木がたくさん転がっている。風倒木には雪崩防止のうゑで、柵と同等な効果があるものと考えられる。

三角形斜面の峰よりさらに上でおこる雪崩は左右の斜面にむかつておちるであろう。実際全山なだれのとき、左側の斜面には大なだれがおこつた。また、たとえ左右の斜面のなだれが縁を三角形斜面にかけることがあるとしても、三角形斜面の雪を柵で動かないように押えておけば、大事にいたることはあるまい。

**2. なだれ防止柵。**傾斜角 $\theta$ の斜面上の平均密度 $\rho$ 、厚さ $d$ の積雪は、斜面の単位面積あたり

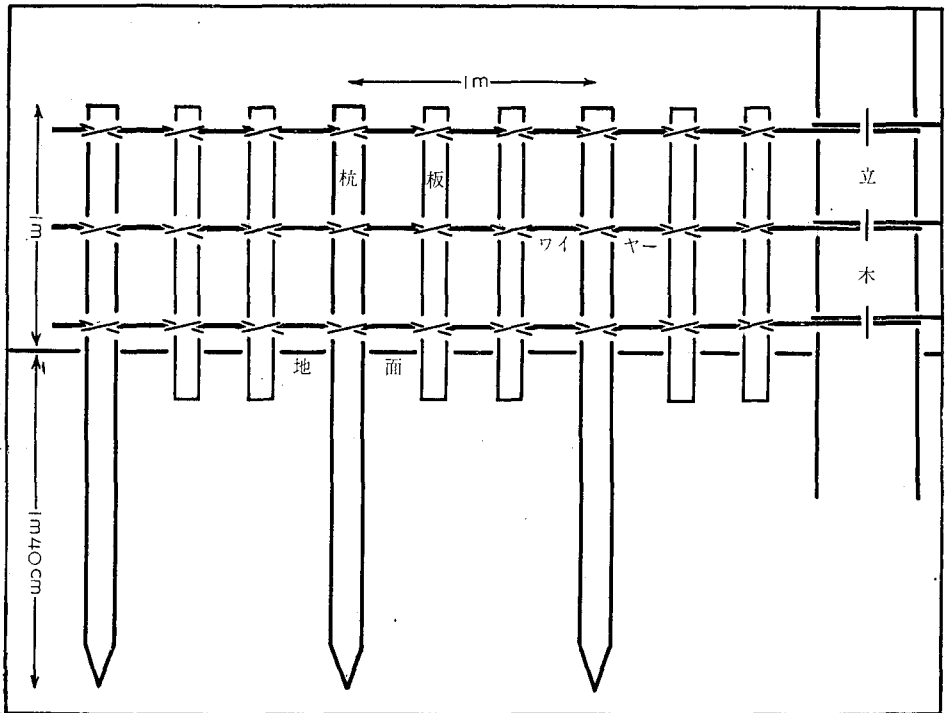
$$f = \rho d g \sin \theta$$

の重力成分を斜面の方向にうけてすべりおちようとする。一の沢、高台の宿舎の背後の斜面で

は  $\theta = 35^\circ$  である。積雪は、鉛直方向の厚さで 1 m に達する程度であるから、斜面に垂直な厚さ  $d$  が 1 m をこすことは、まずあるまい。平均密度  $\rho$  は  $0.3 \text{ gr/cm}^3$  としてよいであろう。すると、斜面の  $1 \text{ m}^2$  についての  $f$  は、 $d = 1 \text{ m}$  として計算した

$$f = 0.17 \text{ ton/m}^2$$

以上にはならないことになる。雪をおとそうとするこの重力成分を柵で打消して、雪がなだれるのを防ごうとするわけである。



第 11 図 なだれ防止柵

第 11 図が実際に設けた雪崩防止柵の図である。直径 10 ないし 15 cm、長さ 2 m 30 cm 以上の杭を、斜面の等高線にそって 1 m 間隔に、地上に 1 m をのこすまで、鉛直にうちこむ。杭は 3 本のワイヤーでむすびあわせ、杭と杭とのあいだに 2 枚ずつ、板をワイヤーに結びつける。適当な立木があれば、ワイヤーをそれにまわす。このような柵を、斜面ぞいに間隔 7 m で図版 III-9, 10 の写真のように、第 10 図の柵と印した範囲内に平行にならべた。杭の間隔は 1 m、柵の間隔は 7 m であるから、1 本の杭には 上記の  $f$  の 7 倍、すなわち 1.2 トンの重力成分がはたらくことになる。

杭の中央部に綱をかけ斜面に平行に引張って強度試験をおこなったら、斜面の中央部では 1.1~1.2 トンの強度があったが、斜面の下部では 0.5~0.8 トンしかない。それで、最下部の 3

列の柵の杭には、皿板をつけた支柱を下からそえることにした。そうしたら、強度は1.4トンにしました。杭を綱でひっぱると、杭は除々に傾きをまし、ついに土からぬけそうになる。上にのべた杭の強度とは、そのぬけそうになるときの力である。したがって、実際に、雪のために1.2トンの重力成分がかかり、それが長時間にわたれば、柵はもたないであろう。しかし、積雪の下面と斜面とのあいだには摩擦があるから、実際に杭にかかる重力成分は1.2トンよりはかなり小さいはずである。また上記強度試験は、まだ土が凍っていない10月5日におこなったものである。冬になって地面が凍れば、強度はますにちがいない。実際、翌年の1月18～19日、土が30 cmの深さまで凍結したときに同じ方法で強度試験をおこなったら、1.7～1.9トンの力で、わずかに傾きはじめるというほどに、杭は強くなっていた。そのご3月20～25日には鉛直積雪深が130 cmにも達したが、数本をのぞけば、傾きが認められるほどの杭はあらわれなかった。

**3. 雪ふみ。**昭和37年1月10日釧路市でひらかれた日本雪氷学会北海道支部の談話会で雪をふみつけると雪崩発生を防ぐのに効果が多いという話をきいた。北海道の石狩と十勝との国境にある狩勝峠の鉄道線路は、毎年、なだれにおびやかされる。釧路鉄道管理局新得保線区の片山は、鉄道線路のうえの斜面の雪を等高線にそってふみかためて雪の階段をつくり、雪崩をふせいできた<sup>9)</sup>。この話によって、われわれの雪崩防止柵を設けた斜面にも、雪踏みを試みることにした。

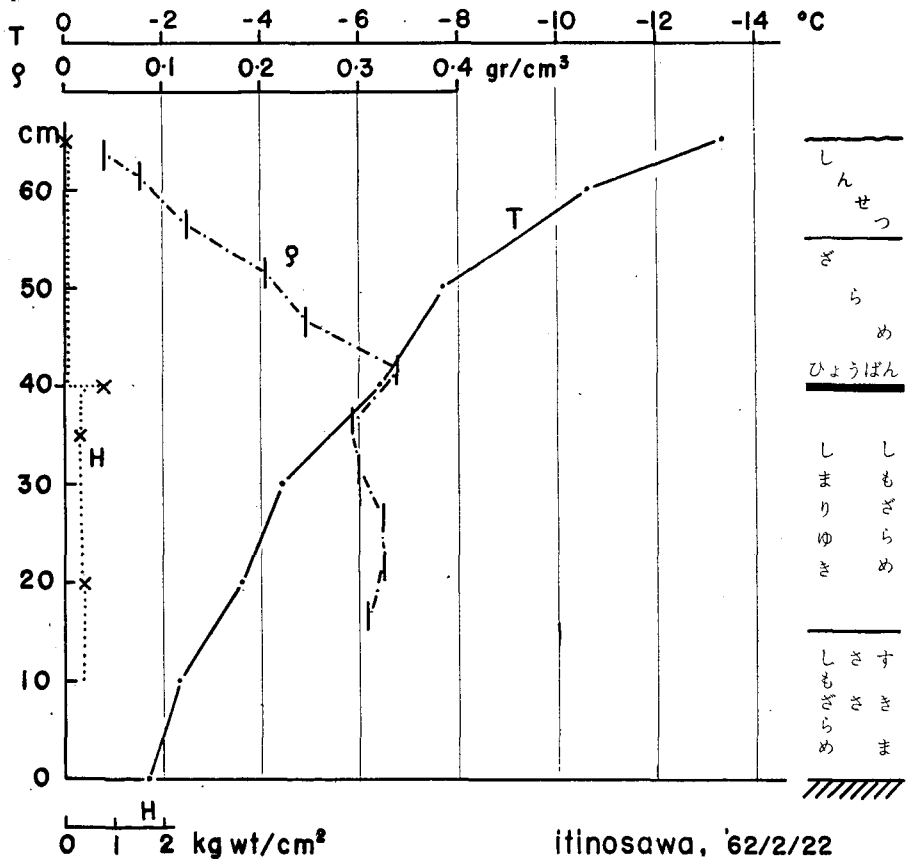
第6図、第8図に示したように、積雪の最下層は、厚さ20 cmほどの霜ざらめ層となる。霜ざらめ層の発生は、寒さのきびしい北海道では通例のことである。霜ざらめはまことに脆いので、これを最下層にもつ斜面積雪がなだれやすいことは言うをまたない。ところで、このような構造の積雪のうえを歩くと、足は、図版 III-11 の写真のように、最下層の霜ざらめもつぶしてしまう。写真は、ひと足ふんだあと、雪を鉛直に切断してインクを吹きかけた有様である。つぶされた霜ざらめはこなごなになって熊笹の葉や茎のあいだのすきまを充填するが、もしそのままならば、積雪の底の強度はたいして増さない。しかし、つぎの章で説明するように、粉になった霜ざらめの氷の粒は、昇華現象によって固く連結しあい、非常に丈夫な組織をつくることになる。そうなれば、熊笹は雪と緊密にからみあい、雪のすべりをほとんど完全にとどめ、底なだれの発生を防ぐであろう。

図版 III-10 の写真に、なだれ防止柵に平行に人があるいて雪踏みをしたあとの様子がつづいている。こうしてできた雪の階段を切断してインクを吹きかけたところが図版 III-12 の写真である。雪は層構造をうしない、非常にかたい。新雪も、写真のように階段にかかって積るので、表層なだれをおこすこともないであろう。

第12図は、なだれ防止柵の範囲外の踏まない自然のままの積雪に穴をほり、穴の壁にそって層構造をしらべ、温度、密度、硬度をはかった結果である。たて軸は地面からの鉛直高度をあらわす。地面から15 cmまでは霜ざらめ層である。熊笹がはいりこんで、すきまがたくさんある。霜ざらめ自体が脆い雪であるうえ、このようにすきまが多くては、よほど弱い層であ

ると考えなければならない。地上 15 cm から 40 cm までは、霜ざらめに移行しようとしているしまり雪である。曲線  $H$  が示すように、硬度は最大で  $0.3 \text{ kg-wt/cm}^2$  しかない。密度は  $0.3 \text{ gr/cm}^3$  である。これに反し、なだれ防止柵のあいだの、ふみつけられて切断面が図版 III-12 の写真のようになった雪では、硬度  $H$  が第 13 図のように大きい。第 12 図では、たかだか  $0.3 \text{ kgwt/cm}^2$  にすぎなかったのに、地面から 55 cm までのふみつけられた雪の硬度は、その 20 ないし 40 倍の  $5\sim 11 \text{ kg-wt/cm}^2$  に達している。しかし、密度は、第 12 図の  $0.3$  から  $0.4$  に増しただけで、たいした変化は示していない。密度の変化は小さいのに、硬度がこのように増大するのは、次章でのべるように、まったく、雪の顕微鏡組織のちがいによるのである。

雪ふみは 10 日に 1 度、それから、新雪がつもるごとに、柵の範囲全体におこなった。かくして柵の効果もあって、斜面の雪は気づかれるほどの移動さえみせず、3 箇所の宿舎全部が



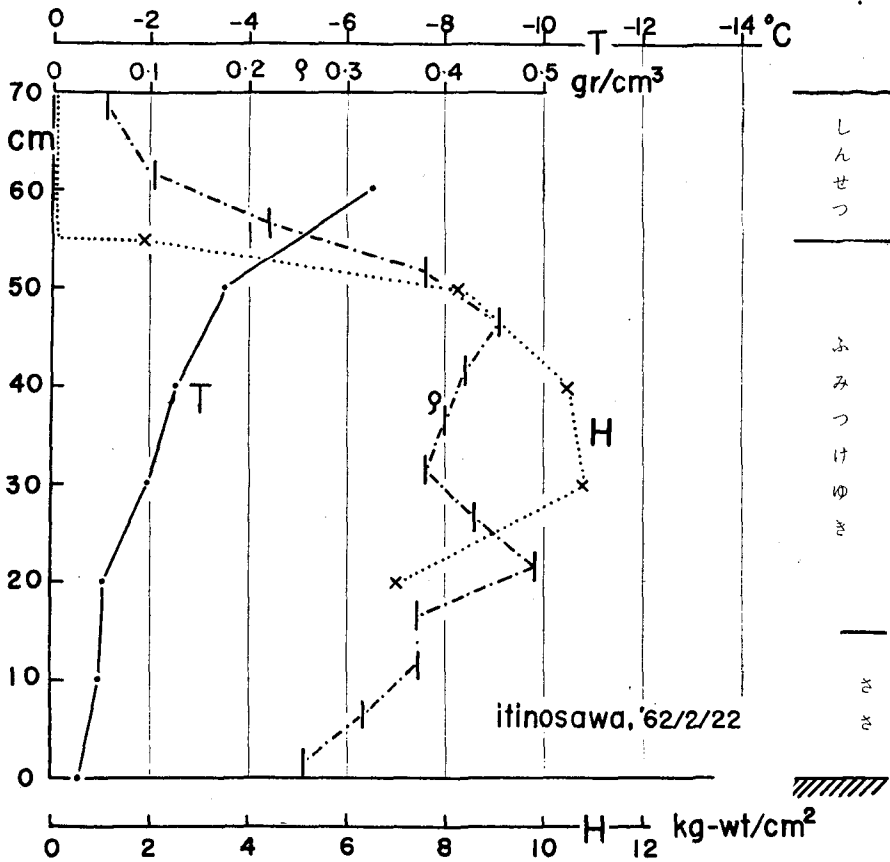
第 12 図 ふみつけない雪の内部の温度  $T$ 、密度  $\rho$ 、硬度  $H$  の鉛直分布。たて軸は地面からの鉛直高さ。 $H$  は木下式硬度<sup>3)</sup>。熊笹の入りこんだ最下層の雪はあまりに脆くて、硬度も密度もはかれなかった。(昭和 37 年 2 月 22 日。一の沢)

無事に冬をすごした。

IV. 積雪の顕微鏡組織

筆者らは、なだれ防止柵また雪ふみの状態を観察するため、昭和37年1月から4月まで月に1回ずつ、札幌と現地とのあいだをシープで往復した。そのたびに、積雪の試料を札幌の低温科学研究所にはこび、顕微鏡観察用の積雪薄片をアニリン法<sup>9)</sup>によって製作した。図版IV, Vの写真は、その薄片の一部の顕微鏡写真である。薄片は、すべて、現地での位置として鉛直方向に切った。薄片の上下方向は写真につけた番号数字の上下方向と一致する。薄片の厚さは0.3~0.4 mmである。

積雪試料はスチロポールで断熱した木箱におさめ、塩化カルシウムと雪とをつめた病人用



第13図 ふみつけた雪の内部の温度  $T$ 、密度  $\rho$ 、硬度  $H$  の鉛直分布。積雪表面(地上70 cm)の温度は  $-15.9^{\circ}\text{C}$ 。最下層の雪の硬度は、入り組んだ熊笹に邪魔されて測定できなかった。しかし、非常に硬く、 $10 \text{ kg/cm}^2$  の硬度はあろうと思われた。(昭37年2月22日。一の沢)

のゴム製氷枕をいれて運搬した。こうすれば、2、3日雪はとけない。

図版 IV の写真は、3枚とも、積雪がもっとも深くなった頃にあたる3月19日の積雪顕微鏡組織である。試料は高台宿舎ちかくの踏みつけられない自然のままの積雪からとった。写真13は地上45cmのしまり雪層の組織を示す。氷の粒は小さく、互にかなり強固に連結している。雪は丈夫である。しかし、このしまり雪の層も、下にむかって次第に霜ざらめへの移行の傾向をあらわし、地上30cmでは写真14の組織となっていた。氷の粒子は大きくなるとともに、霜の結晶に似た輪廓をとるところどころで示している。写真13のしまり雪に比べれば、粒子同志の連結はかなり弱い。写真15は地上15cmでの組織で完全にちかい霜ざらめ組織である。北海道の積雪は、下層で温度がたかく上層でひくい。この温度勾配のため水蒸気が絶えず積雪のなかを下から上にむかって拡散しつつ、途中で凝結しては霜の結晶をつくる。拡散する水蒸気は下層の雪の昇華によって供給されるので、下層は、同時に隙間の多い組織となる。積雪下層に発達する霜ざらめ層はこのようにして作られると説明されるが、写真15の組織もたしかに隙間が多い。また、写真の右側中央よりすこし上には、下むきに成長した四角形の大きな霜の結晶もみえる。霜ざらめは、指でさわるとぼろぼろ崩れるほど脆いが、このような組織であればそれも当然である。

第6図、第8図に示したように、前年事故なだれのあった当時の積雪も、その最下層の20cmは霜ざらめであった。当時は積雪薄片をつくる余裕がなかったが、そのときの霜ざらめも、図版IV-15のような組織であったにちがいない。日高の山全体が、下層がこのように弱い組織の積雪でおおわれているところへ異常気象がみまったため、事故なだれを含めてあのように大規模な全山雪崩となったと考えて差しつかえないであろう。

図版Vの写真は、両方とも、4月17日の組織写真で、図版IVのときより1箇月あとのものである。写真16は、写真15とおなじく、自然のままの積雪の地上15cmでの組織である。霜ざらめの程度が非常にすすみ、粒は大きくなったばかりでなく、そのほとんど全部が霜の結晶の輪廓をそなえている。隙間もたいへん広くなった。ところが、写真17の、踏みつけた雪の組織は非常にちがう。粒は霜ざらめのよりむしろ大きい。霜の結晶の様相はなく、互に太く短い氷の柱で連結している。第12図、第13図で、ふみつけた雪の強度 $H$ が、ふみつけられない雪の20~40倍もあることを示したが、写真16と17とを比較すれば、このような大きな強度の差異も理解にかたくない。踏みつけられて粉々になった積雪最下層の霜ざらめは、そのご、熊笹の葉や枝をはさんだまま、昇華現象によって、写真17のような丈夫な組織をもつようになるのである。

## む す び

第I章、第II章で昭和36年4月4日、5日に北海道日高山脈一帯におこった全山なだれについてのべた。自然現象としてみれば、事故をおこした雪崩も、全山なだれの成員のうちのふたつにすぎない。全山なだれは、積雪の最下層が脆弱な霜ざらめ層になっていたところへ異

常気象が襲来したためにおこったのである。異常気象がなかったならば、半昼夜のうちに全山がなだれるというようなことはなかったに相違ない。しかし、日高山脈地帯は雪崩をうながす要素をたくさんそなえている。水力発電所建設工事関係のひとびとは、事故がないかぎり雪崩についての関心がうすい。それで、正確な情報はあたえてくれなかったが、それにしても、ふだん相当頻繁になだれるように想像させる言葉であった。昭和37年には、前年のような全山なだれはなかった。しかし、筆者らが1箇月おきに現地にくたびに、雪崩のあったと思われる箇所はふえていた。あとから積る雪がかくすので雪崩のあとは見分けにくいけれども、この判断に誤りはないと思う。しかし、そのような雪崩のあとを全部あわせても、昭和36年の全山なだれのときの雪崩あとの数には及びもつかなかった。

第III章、第IV章では、昭和36年秋に設けた宿舎背後斜面の雪崩防止柵、昭和37年1月末からはじめた雪崩防止のための雪ふみについてのべた。このような防止策を講じなかったとしても雪崩はなかったかもしれないから、防止策に実効があったか否かの判定はできない。しかし、一の沢で、となりの斜面におこった雪崩が柵の一角を破壊するほど近ずいたのに、宿舎背後の雪が動きもしなかったことは、防止策が有効であったことを、すくなくとも、ほめかしはする。

なだれの調査、また、なだれ防止施設の観察にあたっては、関係のひとびとが、筆者らを非常に親切にあつかつてくれた。希望することは、ほとんど全部かなえてもらった。ここに記して感謝の意をあらわす。

#### 文 献

- 1) 札幌管区気象台 1961 風雨融雪速報。異常気象報告, **81**, 昭和36年第4号。
- 2) 四手井綱英・高橋喜平 1951 なだれ防止に関する所見。旭川営林局管内雪崩地調査復命書, 寒帯林附録。
- 3) 木下誠一 1960 積雪の硬度, I。低温科学, 物理篇, **19**, 119-134。  
1961 積雪観測法(II)。雪氷, **23**, 184-189。
- 4) 吉田順五 1959 積雪含水率測定用熱量計。低温科学, 物理篇, **18**, 17-28。  
1960 積雪の物理学(5)。雪氷, **22**, 99-106。
- 5) 片山新助 1962 狩勝峠のなだれ防止雪ふみについて, 雪氷, **24**, 59。
- 6) 木下誠一・若浜五郎 1959 アニリン固定法による積雪の薄片。低温科学, 物理篇, **18**, 77-96。雪氷, **21**, 75-78。

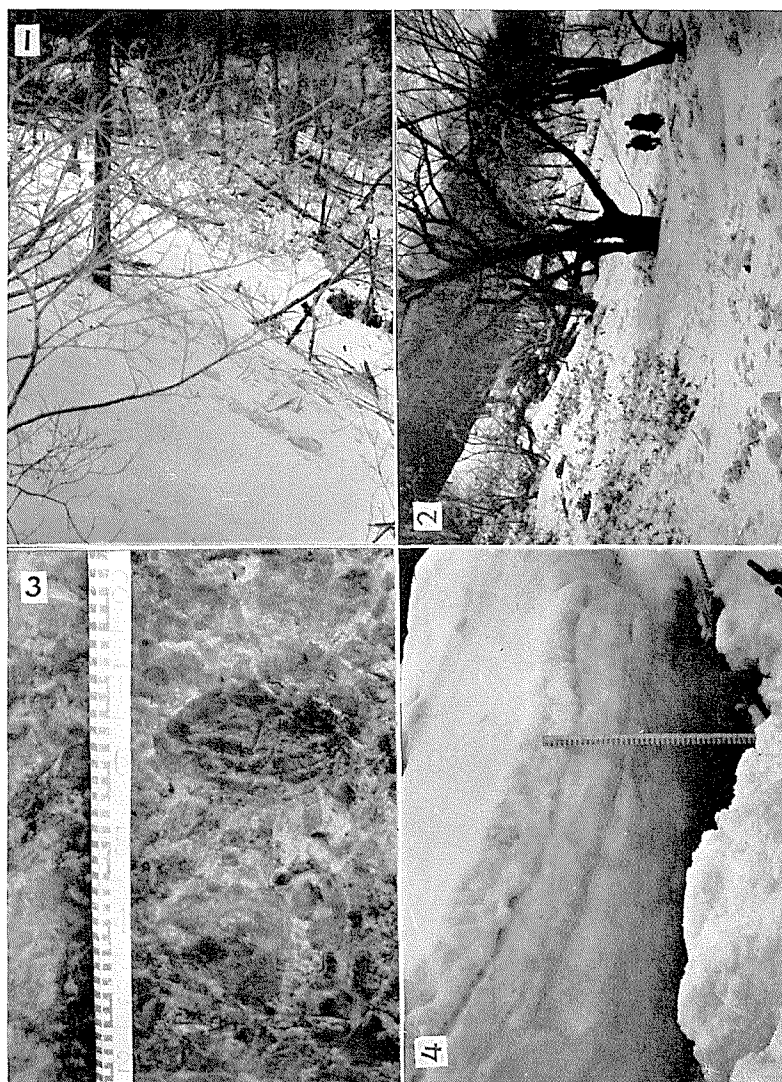
#### Résumé

On April 4th, 1961, a spell of unusual weather brought to Hokkaido high temperature and heavy rain which caused many snow avalanches to occur throughout the mountainous area of Hidaka-district, Hokkaido. At water power plants under construction in that area thirty-three workers were killed by two of the avalanches. Those parts of snow cover about 1 m deep enclosed by thick lines ABC... of Figs. 5 and 7 of the text fell down the slopes and piled up on the hatched areas, crushing the houses indicated by rectangles.

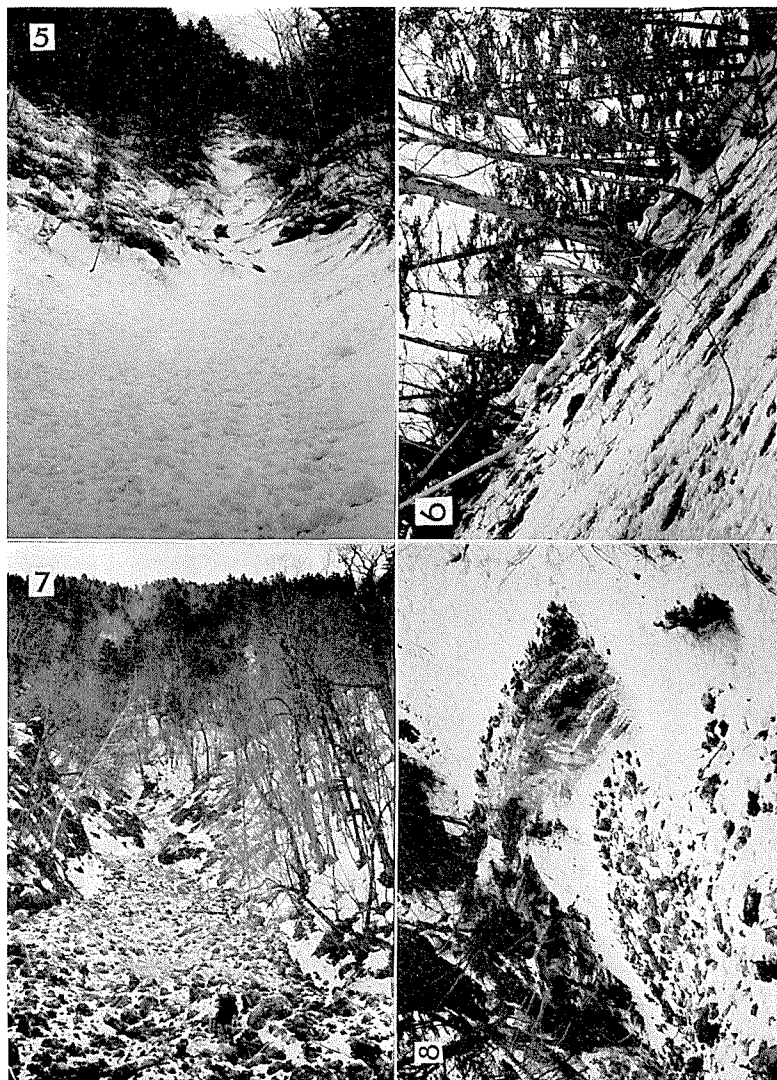
The snow cover left unfallen on the upper parts of the slopes was found to have on its bottom a very fragile layer of depth hoars 20 cm thick. The development of that layer of depth hoars and the visitation of the unusual weather must have together provided the causes of the avalanches.

At the end of every side valley was seen a large heap of debris of snow avalanche. It was stained brown with soil without exception as shown in Photo. 7, Pl. II.

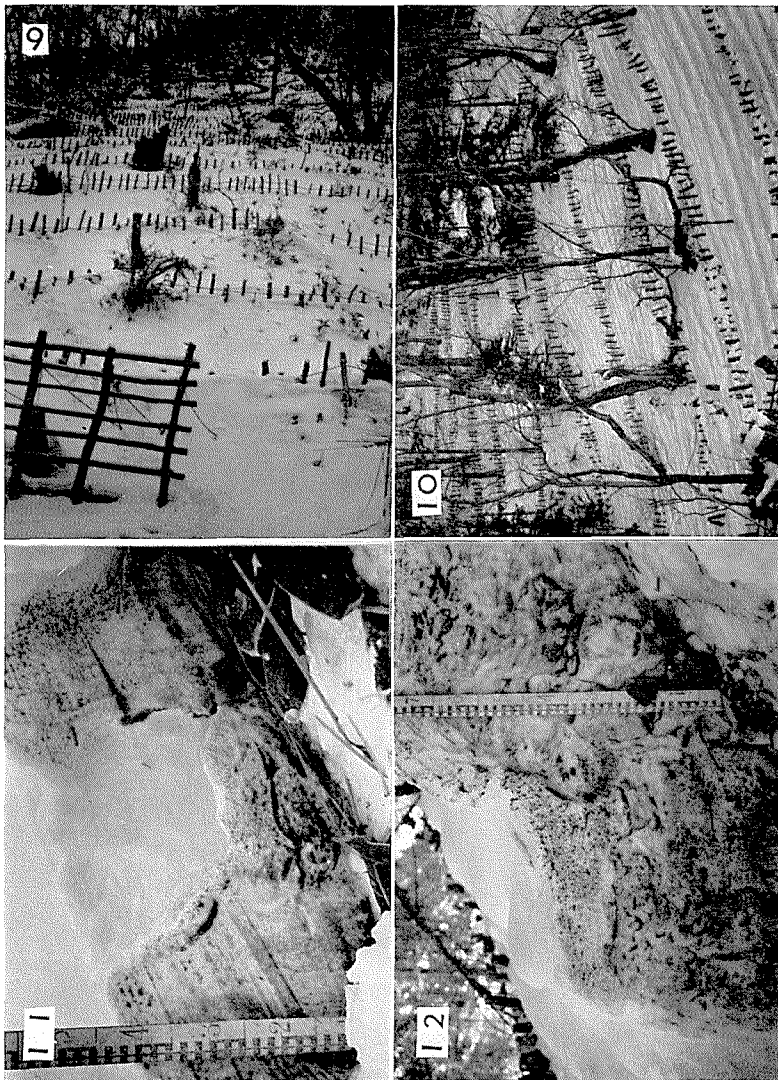
In the next winter many rows of fences were planted on slopes and the snow cover upon them was stamped down by foot to prevent avalanches. Photo. 10 of Pl. II illustrates the fences and the stamped snow on a sloping ground extending behind some houses. The lowest layer of depth hoars was crushed by stamping and the crushed hoars filled the spaces between leaves or stems of the dwarf bamboo covering the ground. The separate ice granules of the crushed depth hoars united themselves afterwards to make a strong sheet of snow entangled with the bamboo; the snow cover thus became firmly fastened to the ground. The two photographs of Pl. V show the difference of microscopic texture between the unstamped (Photo. 16) and the stamped (Photo. 17) depth hoars. The connections between ice granules are incomparably firmer in the stamped snow than in the unstamped. The above preventive measures were effective with no avalanches toward the houses while many occurred on unprotected slopes.



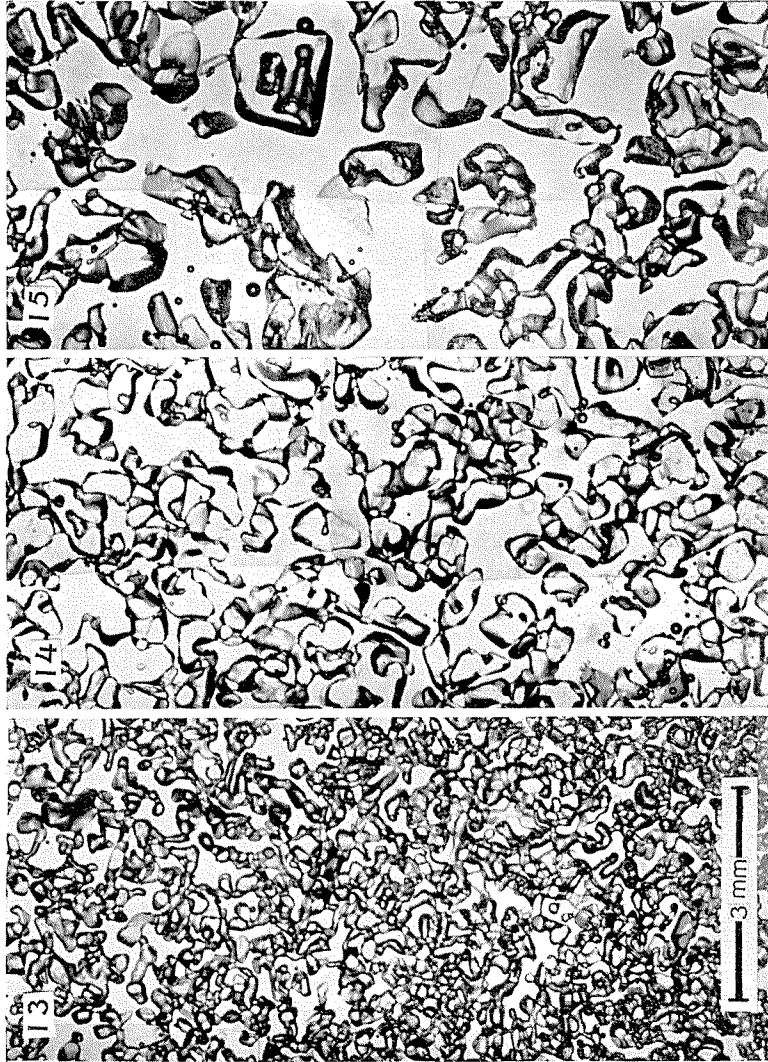
1. 北の事故なだれの斜面。第5図の円形範囲 r. 2. 南の事故なだれの斜面の下部。第7図の L 点附近。3. 黒なだれで堆積した雪に掘った穴の壁。茶褐色にそまっている。穴は第9図の斜線部分の中央にある。4. なだれずに残った積雪の下縁。第5図 P 点のすぐ下。



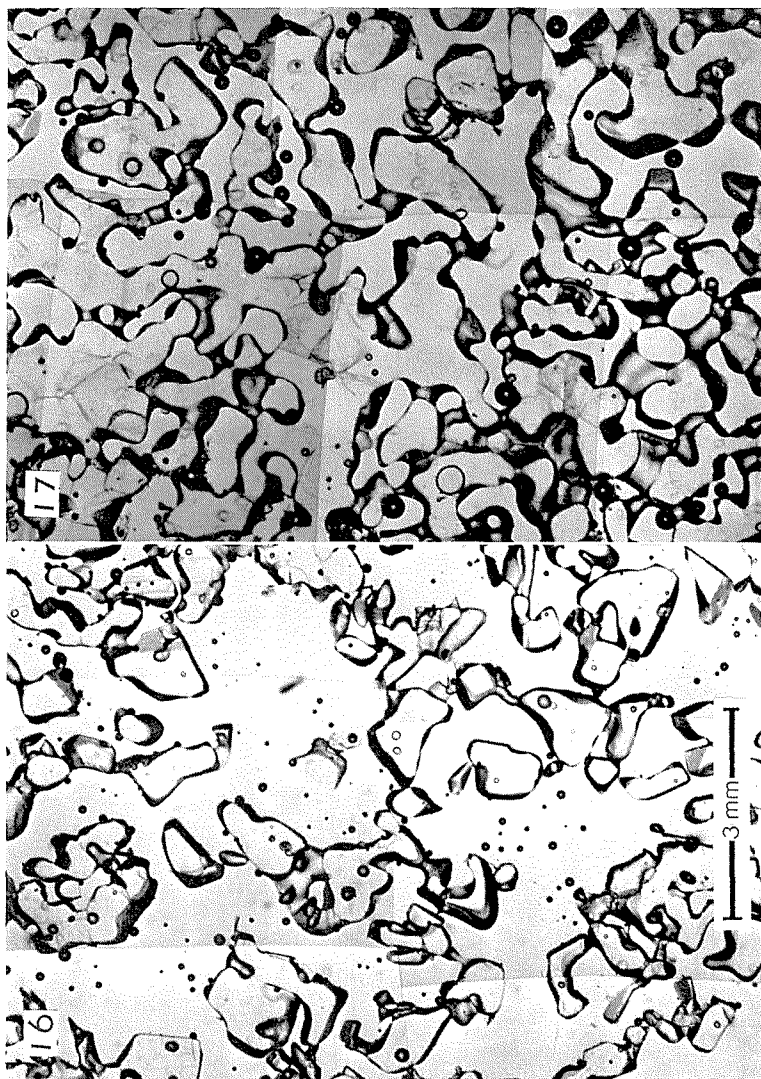
5. 一号沢黒なだれの上端。第9図のB点とH点とのあいだ。 6. 黒なだれ路の側斜面。第9図の円形範囲r。 7. 黒なだれを下端から見あげたところ。 8. 黒なだれの路に着色した雪塊の散在している有様。第9図S点。



9. 高台のなだれ防止柵(昭和37年1月18~19日)。10. 一の沢のなだれ防止柵。雪ふみを行なったあと。(昭37年2月21~22日)。11. 雪を踏むと、最下のしもざら層も、たしかにつぶれる。12. 雪踏みの結果できた雪の階段の断面。



斜面の雪の顕微鏡組織 (高台, 昭和 37 年 3 月 19 日)。13. 地上 45 cm。しまりゆき。14. 地上 30 cm。しまりゆきと霜ざらめとの中間組織。15. 地上 15 cm。しもざらめ。(倍率はみなおなじ)。



踏んだ雪と踏まなかった雪の顕微鏡組織。(一の沢。昭和37年4月17日)。  
16. 踏まなかった雪。地上15 cm。しもざらめ。17. 踏んだ雪。地上30 cm。  
粒子が丈夫につながりあっている。(両写真とも倍率はおなじ)