



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	黒部峡谷高速なだれの研究 V : 昭和50~51年、51~52年冬期
Author(s)	清水, 弘; SHIMIZU, Hiromu; 藤岡, 敏夫 他
Citation	低温科学. 物理篇, 35, 117-132
Issue Date	1978-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/18331
Type	departmental bulletin paper
File Information	35_p117-132.pdf



Hiromu SHIMIZU, Tosio HUZIOKA, Eizi AKITAYA, Hideki NARITA, Masayuki NAKAGAWA and Kunio KAWADA 1977 Study on High-Speed Avalanche in Kurobe Canyon. V. Winters of 1975-1976 and 1976-1977. *Low Temperature Science, Ser. A*, **35**. (With English Summary p. 131)

黒部峡谷高速なだれの研究 V*

— 昭和50~51年, 51~52年冬期 —

清水 弘・藤岡敏夫
秋田谷英次・成田英器
(低温科学研究所)

中川正之・川田邦夫
(富山大学・理学部)
(昭和52年10月受理)

まえがき

黒部峡谷に於ける高速なだれの研究は、高速なだれの諸現象の明細な観測、測定から、まずその様相、特質をできるだけ詳しくしらべ、段階を追ってその発生機構、運動、構造、付随現象などの研究を進め、その特異な実体を総合的に明らかにすることを基本方針として行なってきた。この研究は昭和46~47年冬期以来6冬を経過し、第4冬までの研究結果は既に報告されている^{1)~5)}。これらの研究結果に基いて、第5、第6冬(昭和50~51年, 同51~52年冬期)の観測が志合谷を中心として行なわれた。

第5冬はやや暖冬寡雪であり、第6冬は全国的に寒気が厳しく里雪型降雪の冬であった。明らかに測定を逸したなだれが両冬ともひとつづつあったが、それ以外の記録されたなだれは現地としては小規模なものであった。

第5冬から、自然なだれの速度測定に手がかりを得はじめたが、それによるとひとつのなだれの中にもかなり広範な速度分布が存在し、中には100 m/sを越すものと推定された。また、第6冬には高速なだれの通過によって惹起された気圧変動の波形が、始めて記録された。しかし、これらの現象の機構はまだよくわからない。

I. 観 測

第5、第6冬のなだれ観測を第1、2表にまとめた。

II. 気象、積雪状態となだれ発生状況

1. 第5冬(昭和50~51年)

第5冬の気象、積雪状態を第1図に示す。気温は平年より高く、積雪量は少なめであった。

* 北海道大学低温科学研究所業績 第1863号

第1表 黒部峡谷に於ける第5冬(昭和50~51年)のなだれ観測

観測項目		観測方法	場所	摘要
気象	気温	サーミスター自記温度計	志合谷 人見平	
	気圧	アネロイド自記気圧計		
	天気	(定時観測)*		
積雪	新積雪	スノーカメラ, (定時観測)*	志合谷 人見平	
	積雪深			
なだれ	衝撃力	ロードセル→データレコーダー 圧痕計	志合谷 鐘釣, ウド谷	2つの三角マウンドによるなだれの速度測定
		ザイル, スチールワイヤー	志合谷	破断試験
	気圧変動	アネロイド自記気圧計	志合谷	

* 定時観測: 黒3ダム堰堤事務所における関西電力株式会社の業務資料

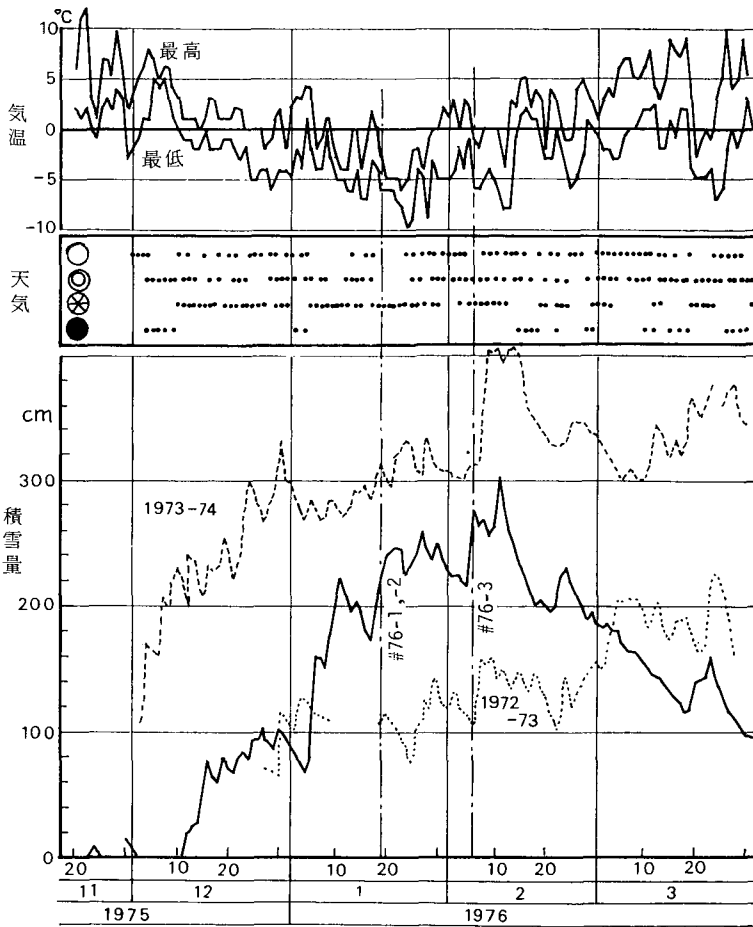
第2表 黒部峡谷に於ける第6冬(昭和51~52年)のなだれ観測

観測項目		観測方法	場所	摘要
気象	気温	サーミスター自記温度計	志合谷 人見平 志合谷	
	気圧	アネロイド自記気圧計		
	天気	(定時観測)*		
積雪	新積雪	スノーカメラ, (定時観測)*	人見平 志合谷	志合谷では8ミリカメラの駒撮りによる積雪記録が一冬連続して行なわれた。
	積雪深			
なだれ	衝撃力と速度	ロードセル→データレコーダー 圧痕計	志合谷	
	気圧変動	アネロイド自記気圧計 差圧計→データレコーダー		
	映像記録	8ミリカメラ(2台)		

* 定時観測: 1. 黒3ダム堰堤事務所に於ける関西電力株式会社の業務資料。
2. 昭和52年1月27日~2月14日の期間, 観測者が志合谷横坑に常駐した。

観測されたなだれの発生状況を第3表に示す。

- i) 昭和51年1月19日(雪): 1月17日以来の新積雪が19日朝までに55cmに達した。この朝, なだれ#76-1, -2が約40分の間隔をおいて志合谷宿舎跡に襲来した。
- ii) 同2月6日(雪): 前日からの降雪が朝までに約60cmの新積雪をもたらした。正午すぎ, なだれ#76-3が志合谷宿舎跡に襲来し, 屋上のカメラマウンド(高さ2.5m, 重さ約2.5tの鉄筋コンクリート台: 但し, アンカーボルトは殆ど利いていなかった)を谷に吹飛ばした。この時データレコーダーは調整中で, 記録はとれなかった。
- iii) 日時は不明であるが, 黒部峡谷下流部の鐘釣温泉美山荘になだれ#76-4が襲来した。なだ



第1図 黒部峡谷に於ける第5冬(昭和50~51年)の気温、天気と積雪量。
 関西電力株式会社の業務による観測結果(気温、天気)を含む。天
 気は、○快晴または晴、◎くもり、⊗ゆき、●雨

第3表 第5, 第6冬に観測されたなだれ(黒部峡谷)

なだれ番号	#76-1	#76-2	#76-3	#76-4	#77-1	#77-2	#77-3	#77-4	
発生	年	1976				1977			
	月/日	1/19	2/6	?	1/5	2/2	2/21	22/2	
	時刻	08:21	08:58	12:45	?	17:24	19:15	22:28	22:05
場所	志合谷	志合谷	鐘釣	鐘釣	志合谷	人見平	志合谷	志合谷	
襲来方位	S12°W (屈曲点)	—	S21°W (対岸の沢)	—	S12°W (屈曲点)	(ガラ谷)	S28°W (屈曲点)	—	
最大衝撃力*(t/m ²)	19~24	16~28	—	—	—	—	12~19	13~23	
圧痕計値(t/m ²)	—	—	—	12.8	101,226	—	24, 37	—	
速度(m/s)	32~150	33~64	—	—	—	—	34~133	40~83	
気圧変動 (mb)	差圧計	—	—	—	-5.3~+4.2	—	-2.5~+2.5	-3.4~+2.1	
	アネロイド	-12~+2	-15~+3	—	-10.5以上	—	-2.6~+2.5	-5.8~+3.7	
摘要	—	—	カメラマウンド吹飛ぶ	黒部川からの吹上げ	風速計塔の屈折	—	風圧による硬化雪生成	—	

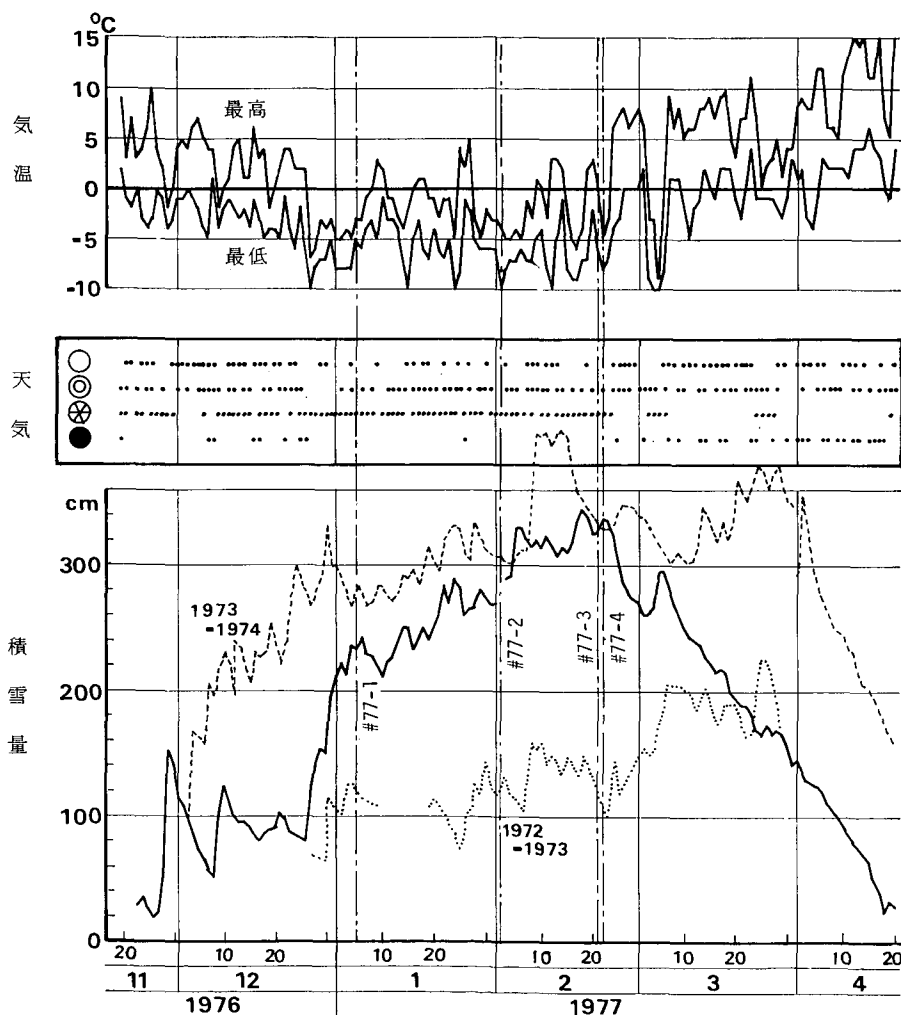
* 最大衝撃力: ロードセル値

れは黒部川右岸の沢を落下し、河原に衝突して左岸に吹上げ、約 50 m 崖上の美山荘を襲った。ここもなだれ常習地のひとつであるが、この時の被害は前回 (昭和 49 年)³⁾ に比べると軽微で、黒部川を見下ろす窓が数枚、雪囲い板を通して壊されたのみであった。窓の下側の壁 (鉄筋コンクリート) に、45 度下向きにとりつけた圧痕計は 12.8 t/m^2 の荷重強度を記録していた。

2. 第 6 冬 (昭和 51~52 年)

第 6 冬の気象、積雪状態を第 2 図に示す。全国的に寒冷な冬であり、降雪は里雪型であったが、現地の積雪量はほぼ平年並であった。観測されたなだれの発生状況を第 3 表に示す。

- i) 昭和 51 年 1 月 5 日 (雪): 12 月 26 日以来低温下で降り続いた雪が 150 cm 余りに達した後、なだれ #77-1 が志合谷宿舎跡を襲った。データレコーダーの衝撃力回路が作動しなかったため衝撃力の記録はとれなかったが、差圧計による気圧変動が始めて記録された。圧痕計は



第 2 図 黒部峡谷に於ける第 6 冬 (昭和 51~52 年) の気温、天気と積雪量。関西電力株式会社の業務による観測結果 (気温、天気) を含む。天気は、○快晴または晴、◎くもり、⊕ゆき、●雨

101 および 226 t/m^2 を記録した。このなだれにより宿舎跡屋上の風速計塔 (直径 6.05 cm, 肉厚 3.8 mm, 地上高 5 m の炭素鋼パイプ) が基部から屈折し, ベーンは谷に吹飛ばされた。(このパイプを折り曲げるために必要な短期均等荷重は 1 t/m^2 程度である)。

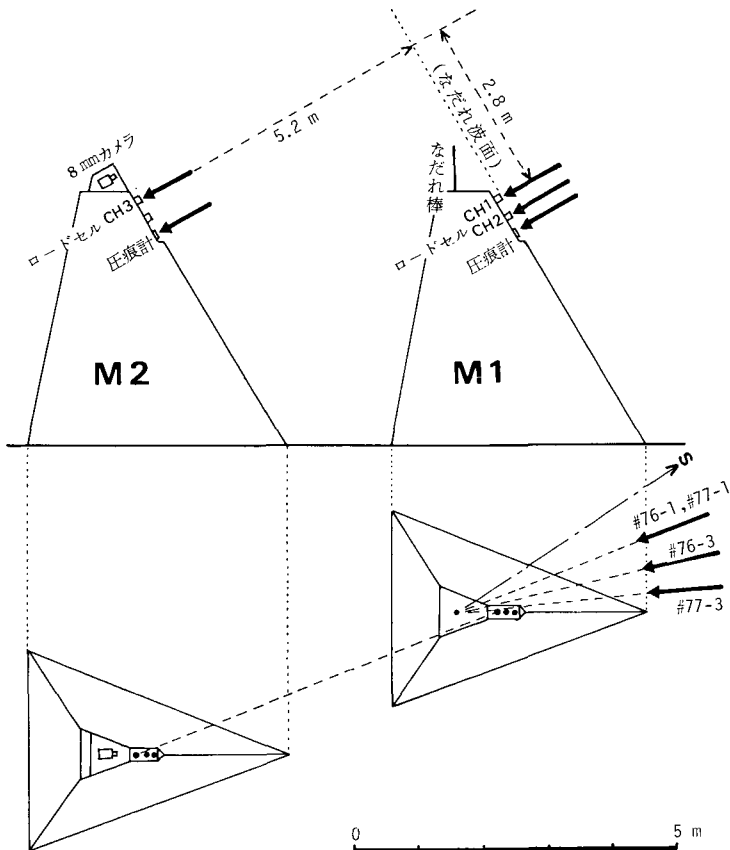
ii) 同 2 月 2 日 (雪): 19:15 ごろ, 人見平に小規模なハウ雪崩 (爆風を発生するなだれ) # 77-2 が来襲し, 黒 3 ダム左岸の堰堤事務所付近に風圧による硬化雪を作った。1 月 27 日ごろ最高気温が $+5^\circ\text{C}$ まで上昇し, その後の低温期に約 30 cm の新雪が積もった。クラスト上に積もった新雪の滑落によるなだれと思われる。

iii) 同 2 月 21 日, 22 日 (雪): この冬の最大積雪深 (340 cm) に達した時期であるが, ドカ雪の形跡は全くない。2 月 20 日に最高気温が $+3^\circ\text{C}$ まで上昇し, その後の一時的な低温下でなだれ # 77-3, -4 が発生した。

第 5 冬までのなだれ発生はいずれも高温の後, 低温下でかなりの降雪があった時に記録されている。なだれ # 77-2 ~ -4 の場合は, 少なくとも人見平の記録では多量の降雪のなかった点が特異である。

III. なだれの運動と付随現象

第 5 冬を迎えるとき, 志合谷宿舎跡屋上に三角マウンド (高さ 4 m) M1, M2 を第 3, 4 図



第 3 図 三角マウンド

のように増設し、これらに測定器をとりつけてなだれの観測を行なった。

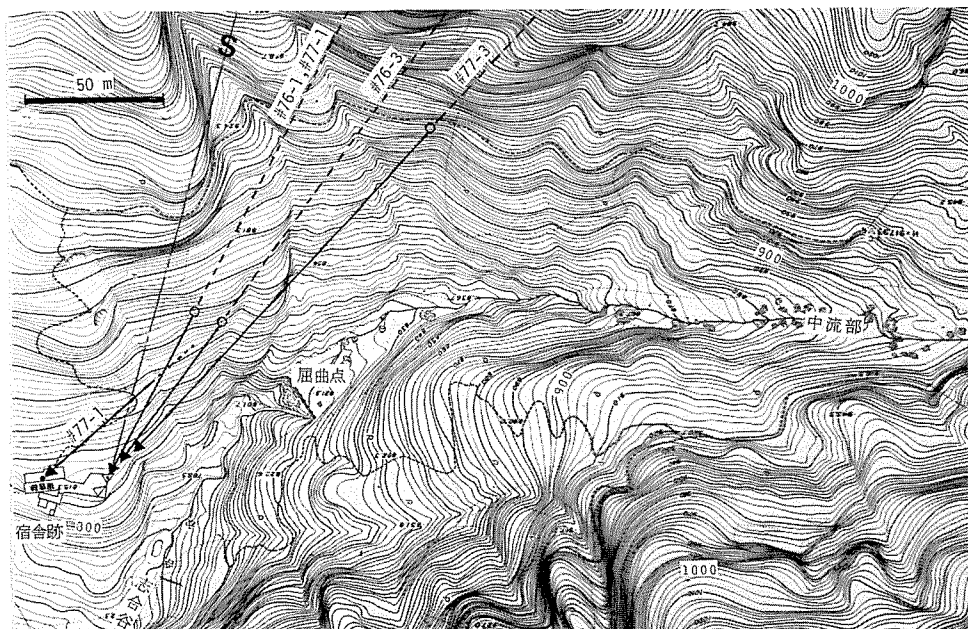
1. なだれの襲来方位

三角マウンド M1 の上になだれ棒を設置した。なだれ棒は外径 6 mm, 肉厚 1 mm, 長さ 40 cm 位の銅の円管で、マウンド上面の孔にさしこんで直立させた。なだれが襲来すれば銅パイプは基部から屈折し、屈折方位からなだれの襲来方位を知ることができる。棒の回転を防ぐために棒の基部と孔を角型にしてかみ合わせ、なだれ棒の交換は容易に行なえるようにした。



第4図 三角マウンド。左後方は対岸尾根，志合谷は画面外左下方（昭和52年2月）

なだれ棒の記録から推定したなだれの襲来方位を第3表と第5図に示す。図中の白丸はマウンド M1 から、なだれの襲来方向、仰角 30 度の地点である。この地点の意味は、なだれの落下角度を 30 度（宿舎跡上流部の志合谷の平均勾配）と仮定したとき、宿舎跡を直撃するなだれの放射点である。実際には、冬期間の深い積雪や古いなだれのデブリの影響で、白丸の位置はもっと宿舎寄りになるであろう。また、積雪やデブリは沢や凹地を埋めるから白丸は更に宿舎寄りとなり、全体として、志合谷屈曲点付近にかなり集まってくると考えられる。現地の地形を観察すると、なだれが襲来方位線の延長上（破線部分）から来ることは考えられない。直線の



第5図 なだれ棒で測定したなだれの襲来方位。白丸は放射点（本文参照）

な志合谷中流部を落下してくるなだれのうち、十分高速なものが屈曲点右岸の壁に衝突し、そこから宿舎跡を直撃するように思われる（第6図）。

2. なだれの衝撃力 (impact force)

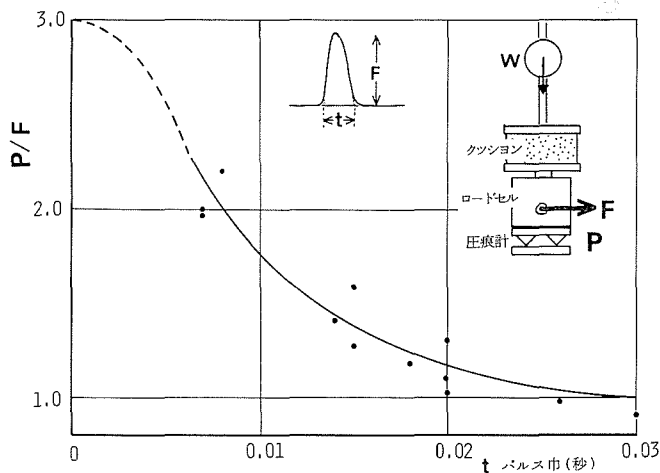
なだれの衝撃力を測定するために、三角マウンド M1, M2 の頭部前面に2個のロードセルと、1組の圧痕計がそれぞれとりつけた（第3,4図）。ロードセルは、データレコーダーの併用によってなだれの動荷重を記録することができる。圧痕計は取扱いが簡便なため、なだれの衝撃力測定によく使われている。一般に、圧痕計の読取りには静荷重による検定値をそのまま使い、衝撃力、荷重強度などの名称を与えているが、動荷重に対する記録の内容は明確でない。

頂角90度の鋼鉄円錐が、静荷重 P によってアルミニウム板に深さ r だけめりこんで止ったとき、アルミニウム板の反抗力を $f(r)$ とすると、

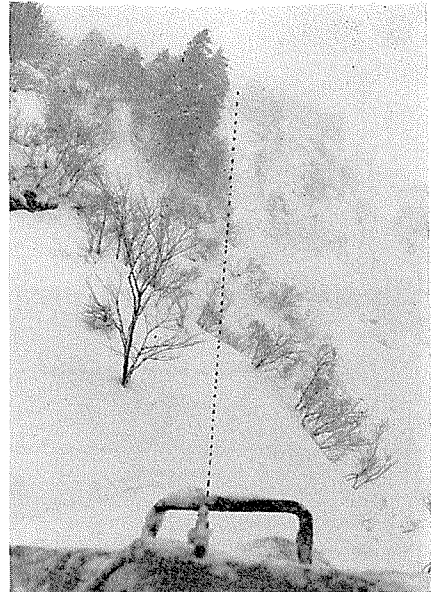
$$\begin{aligned}
 f(r) &= P \propto S^{0.96} \\
 &\doteq kS \\
 &= k\pi r^2
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

であることが実験的に確かめられた。ここで S はアルミニウム板の表面に於ける圧痕断面積である。

また、同じ円錐が動荷重 F によってアルミニウム板に深さ r までめりこんで停止したとする。このとき、力 F のなした仕事は、



第7図 衝撃力のパルス幅と、圧痕計値及びロードセル値の関係

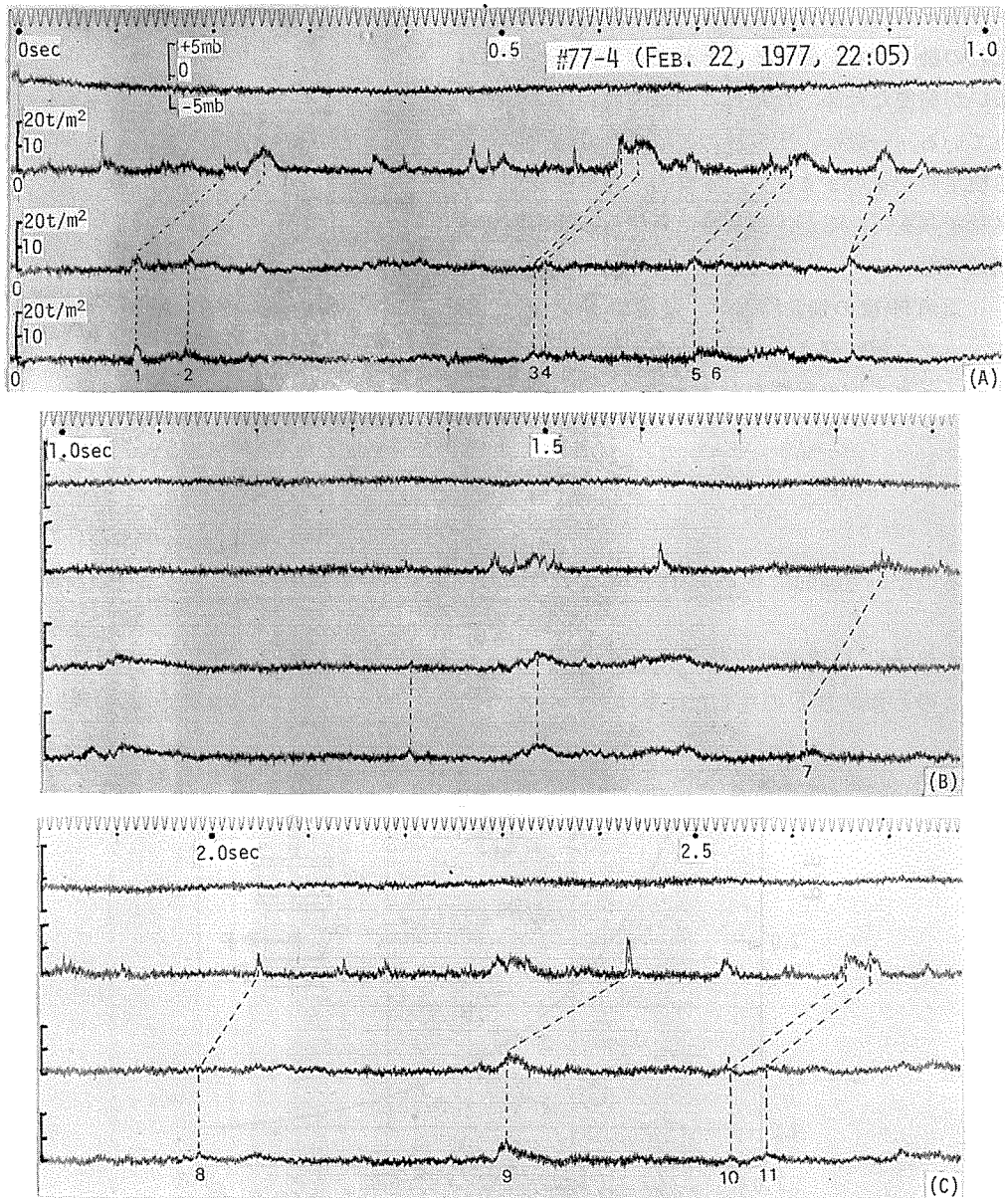


第6図 なだれ襲来方位の見通し線(点線)。画面中央下端に、手前に曲ったなだれ棒が写っている

$$\begin{aligned}
 Fr &= \int_0^r f(r) dr \\
 &= \int_0^r k\pi r^2 dr \\
 &= \frac{1}{3} k\pi r^3
 \end{aligned}$$

従って

$$F = \frac{1}{3} k\pi r^2, \quad (2)$$



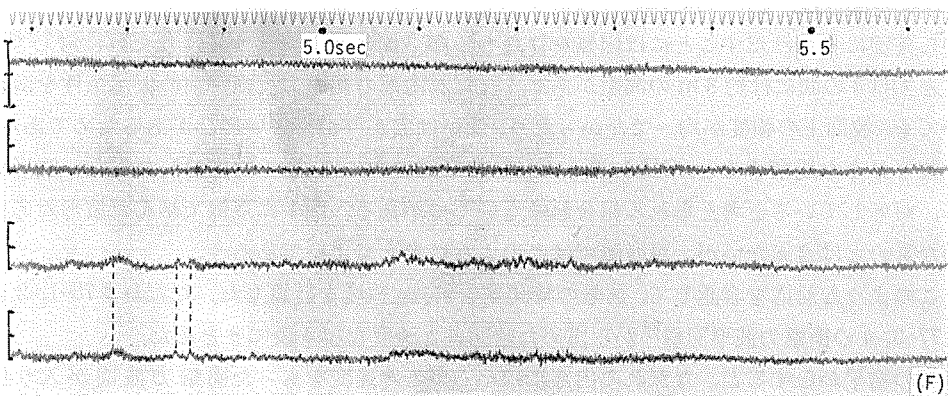
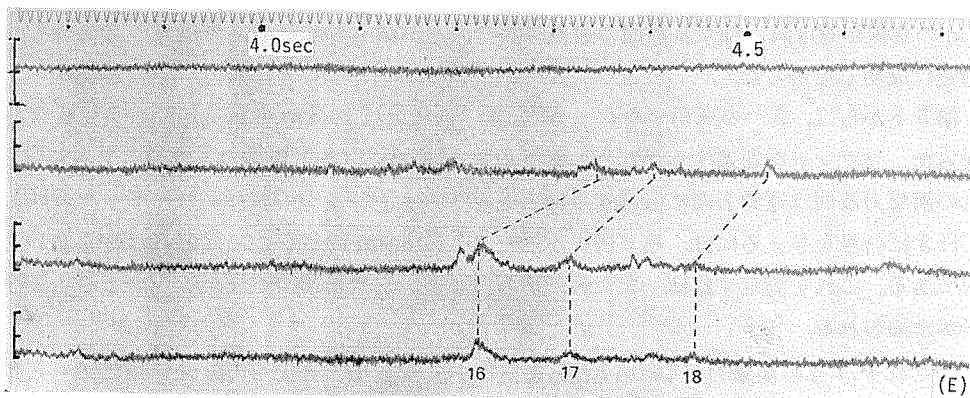
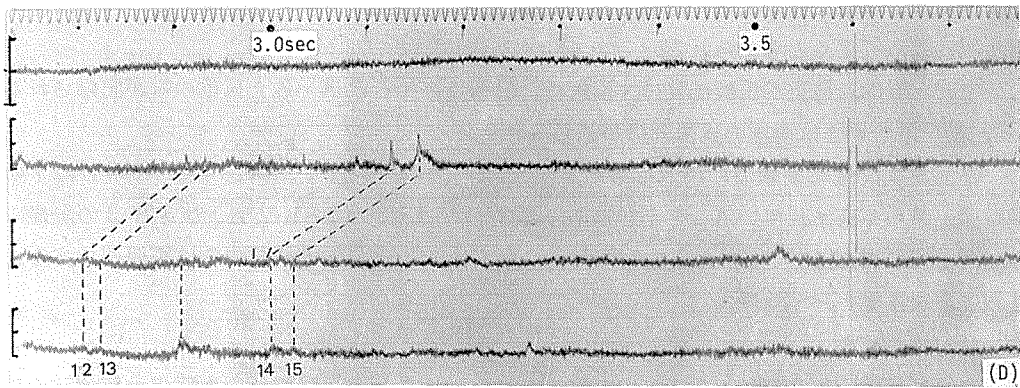
第8図 なだれ#77-4の衝撃力と気圧変動(最上列は100 Hzのタイマー

であり、式 (1), (2) から

$$F = P/3 \quad (3)$$

となる。つまり、静荷重 P による圧痕と等径の圧痕が、動荷重 $F = P/3$ によって作られるわけである。この結果は、なだれによる圧痕を解釈する場合、なだれ荷重が静的であるか動的であるかを確かめておく必要性を示唆している。

そこで、荷重の種類 (静的, 動的) と大きさを変えて、圧痕値とロードセル値の変化の様子



ク、第 2 列は気圧変動、第 3, 4, 5 列はロードセル CH 3, 2, 1 の荷重記録)

を実験的にしらべた。実験は、圧痕計の上にロードセルを直列にのせ、直上から重錘を落下させて行なった。重錘とロードセルの間に種々の緩衝材をはさむことにより、衝撃力の波幅を変えた。(ここでは、衝撃力波形の基底部の長さをパルス幅 t 秒とした。)

実験結果を第7図に示す。横軸にパルス幅 t (秒) をとり、縦軸に圧痕の静荷重換算値 (荷重強度) P とロードセルの最大動荷重値 F の比 P/F をとった。この結果をみると、パルス幅が 0.025 秒より長くなると P/F の値が近似的に 1 となり、圧痕計値を動荷重のピーク値としてよいことがわかる。また、パルス幅が 0.025 秒より短い動荷重に対しては、圧痕計値は実際の動荷重のピーク値よりも大きく記録され、式 (3) を考慮すると、パルス幅の減少につれては P/F は次第に 3 に近づくと考えられる。

また、繰返し荷重が圧痕に及ぼす影響は、静荷重の場合は単一最大荷重のみが記録されるが³⁾、動荷重の場合は荷重の累積効果が認められた。

なだれ #77-4 の衝撃力の波形を第8図に示す。これを見ると、パルス幅が 0.025 秒以下の衝撃力が数多く含まれていることがわかる。これは、なだれ #76-1, 2 および #77-3 の記録についても同じである⁶⁾。このようななだれについては、圧痕計値の情報内容は不明確であると言わざるを得ない。

3. なだれの速度

志合谷に於けるなだれの速度測定は第3冬から始められた。最初は、岩稜点—宿舍跡の約 100 m の基線が選ばれ、なだれ前面の通過時間の測定が試みられたが、岩稜点の立地条件が悪く測定は成功しなかった。

第5冬からは、2つの三角マウンド M1, M2 を使って約 5 m の短基線による速度測定を行なった。マウンドを通過するなだれの落下角度を 30 度 (宿舍上流側の志合谷の平均勾配)、なだれの衝撃力波面は運動方向に直角な平面と仮定すると、ひとつの波面がロードセル CH 1, 2 と CH 3 に信号を与えるには、第3図に示したように 5.2 m の行程差に対応した時間差が生ずる筈である。これを測定すれば、なだれの前面および内部の衝撃力波面がここを通過する時の速度が求められる。

なだれ #77-4 の衝撃力波形 (第8図) をしらべてみると、隣接して設置されたロードセル CH 1, 2 の記録は、同時刻に類似の波形を示しているが、これらに対応する波形を CH 3 の記録から確実に見付け出すことには困難を伴なう。第3図に示したように、なだれに対して CH 1, 2 と CH 3 の間には約 3 m の高距があり、なだれ内部の衝撃力波面が前の仮定条件を満たしていても、波面上の強度が均一でなかったり、或いは広がり小さい場合があるためであろう。

波形分布を観察すると、CH 1, 2 と CH 3 の記録の中には、全く対応のわからない波形もあるが、対応していると考えられる組み合わせもいくつかある。図中に点線で結んだ波形対応は決定的なものとは言えないが、現段階ではこのように考えてよいであろう。

このような対応を容認して、信号の時間差を求め、速度を計算した。なだれ #76-1, 2 および #77-3, 4 の衝撃力波形記録⁶⁾ から求めた時間差と速度を第4表にまとめた。

この結果からすると、なだれの内部にはいろいろな速度をもった衝撃力波面が入り乱れて存在し、時にはその速度分布が 30~150 m/s に及んでいる場合もあることになる。なだれ

第4表 なだれの速度。第1列の衝撃力の No. は対応すると考えられる
衝撃力波形の番号を示す。(第8図参照)

衝撃力	な だ れ							
	#76-1		#76-2		#77-3		#77-4	
	Δt (sec)	v (m/s)	Δt (sec)	v (m/s)	Δt (sec)	v (m/s)	Δt (sec)	v (m/s)
No. 1	0.091	57	0.150	35	0.080	65	0.090	58
2	0.082	63	0.145	36	0.142	37	0.072	72
3	0.055	95	0.155	33	0.154	34	0.090	58
4	0.129	40	0.120	43	0.073	71	0.094	55
5	0.162	32	0.128	41	0.070	74	0.080	65
6	0.146	36	0.152	34	0.104	50	0.080	65
7	0.115	45	0.136	38	0.090	58	0.078	67
8	0.040	130	0.125	42	0.044	118	0.063	83
9	0.035	150	0.100	52	0.039	133	0.124	42
10			0.122	43	0.140	37	0.122	43
11			0.082	64	0.136	38	0.106	49
12					0.142	37	0.101	52
13							0.106	49
14							0.125	42
15							0.130	40
16							0.118	44
17							0.086	61
18							0.072	72

($v=5.2 \text{ m} \div \Delta t$)

#76-1, #77-3 は速度分散が大きく, #76-2, #77-4 は小さい。

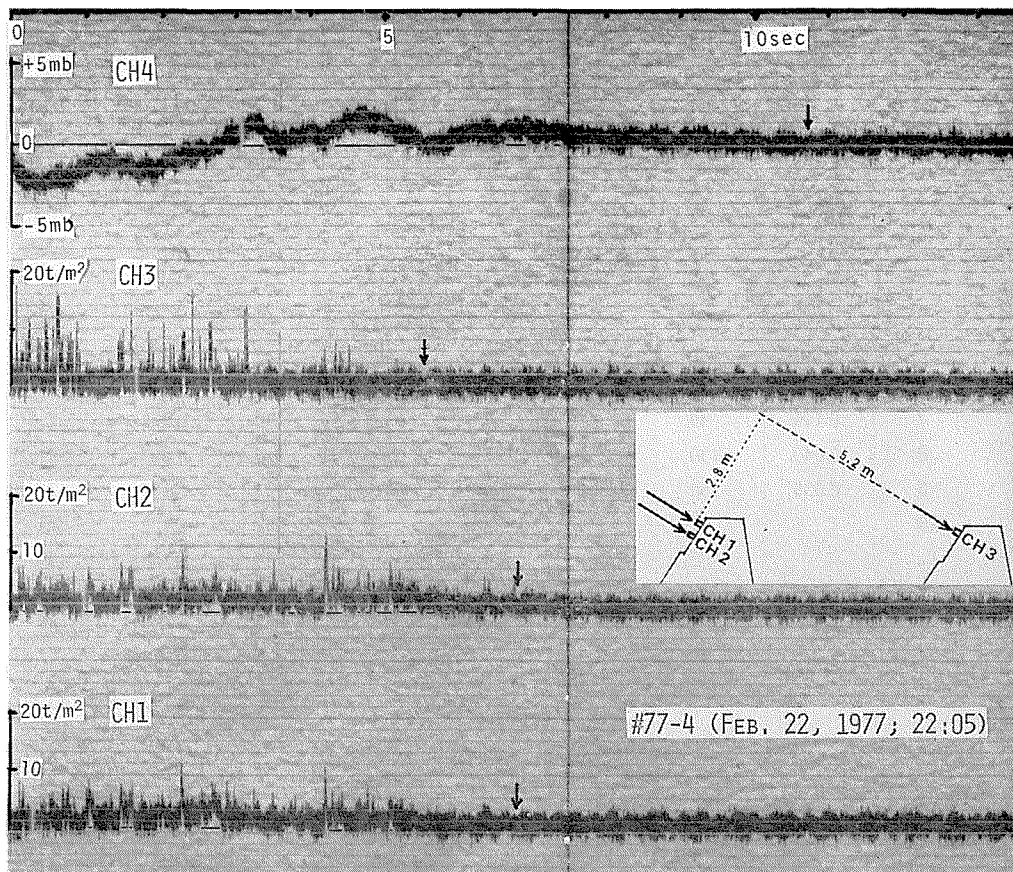
この方式によるなだれの速度測定は, 対応する衝撃力の選び方に任意性があるが, 1回のなだれの中に様々な速度をもつ波が存在することは確かである。

4. 気圧変動

高速なだれが通過するとその付近でかなり大規模な気圧の変動が起り, 時には災害を惹起す場合もあると言われている。まず, この現象自身を確かめるために, 第3冬から観測を始めた。

アネロイド自記気圧計による, なだれ時の気圧変動は第3冬以降毎冬得られて居り, 最大25 mbの気圧降下と, 2.5 mbの上昇の記録がある³⁾。しかし, アネロイド自記気圧計は記録紙の送りが極度におそいため気圧変動の波形は全く判らない。

差圧計=データレコーダーによる気圧変動の記録は第6冬に始めてとることができた。それによると, 第9図に示すように, 気圧変動はなだれの襲来と同時に始まり, なだれの通過後もしばらく続いた。変動はまず気圧低下から始まり, 変動を伴いながら上昇し, 後半はゆるやかに大気圧に復帰している。第9図はなだれ#77-4の場合であるが, 第10図に示すように, #77-1, 3の場合も変動は同じ基調を示している。



第9図 なだれ#77-4の衝撃力と気圧変動 (CH 1, 2, 3はロードセル, CH 4は差圧計)

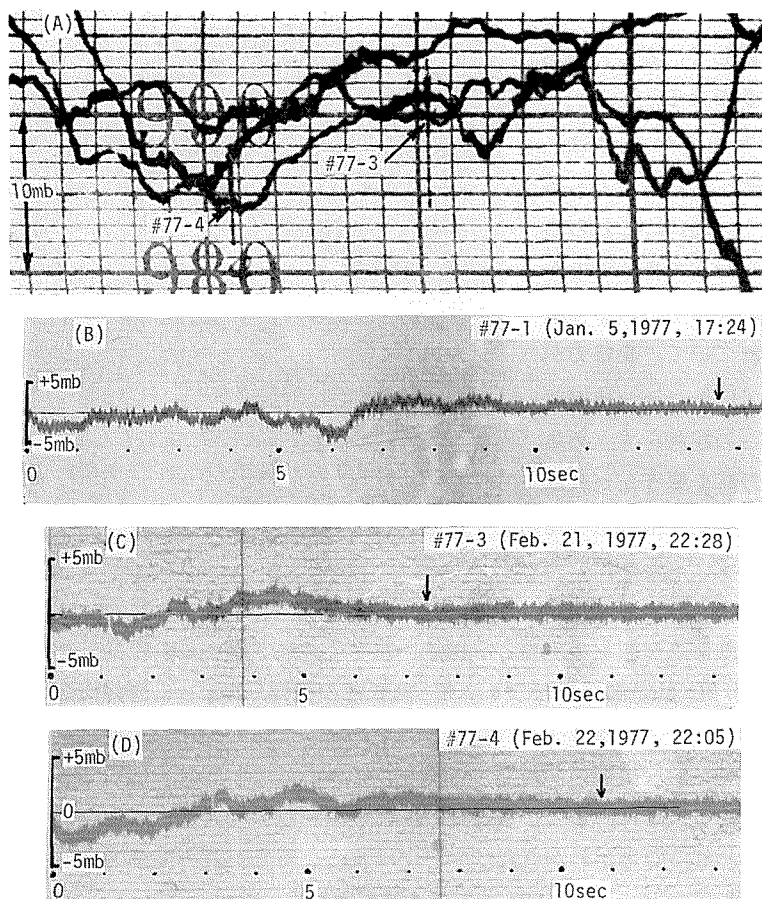
5. なだれの運動構造

第5, 第6冬に記録されたなだれの衝撃力波形はすべて、パルス幅0.05秒以下の撃力型であって、連続的な雪の奔流の形跡は見られなかった⁶⁾。

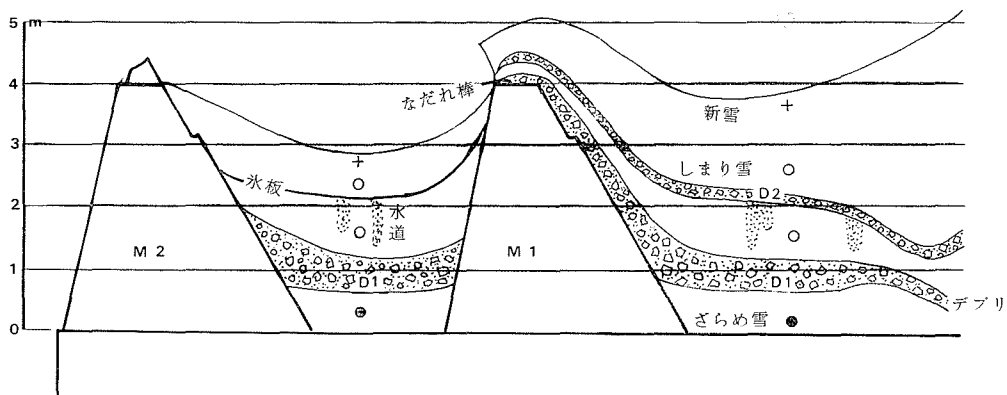
なだれ#77-1は、衝撃力の記録(ロードセル値)はとれなかったが、第3表に示したように圧痕計値、気圧変動量からみて、第6冬中最も大きななだれであったと考えられる。しかし、このなだれがもたらしたデブリは第11, 12図に見られるように著しく少なかった。同じ傾向がなだれ#76-3の場合に観察された。

この2つの事柄は、これらのなだれが固体密度の稀薄なものであることを裏付けている、と考えてよいであろう。

第9図の図中の小矢印は変動の終結点を指している。ロードセルCH3を通過するなだれは約5.5秒間で終結し、CH1, 2を通過するなだれは約6.8秒間継続している。また第8, 9図に見られるように、最初の4.5秒間に現われる衝撃力はCH3の方が大きく、それ以後はCH1, 2の方が大きい。これは、なだれ#77-4の例であるが、類似の傾向が#77-3の場合にも見られる⁶⁾。このような記録は、この2つのなだれの運動形態が、最初に飛行型 (air-borne type) の



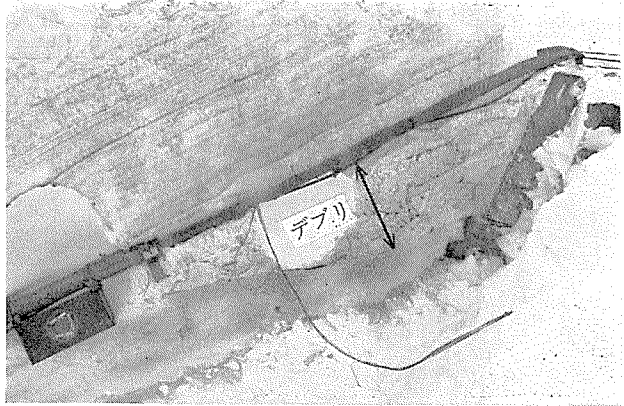
第10図 高速なだれの通過時に発生した気圧変動。(A) はアネロイドの自記気圧計記録。矢印はそのときの大気圧を指す。(B)~(D) は差圧計による気圧変動の記録(差圧計→データレコーダーによる)



第11図 志合谷宿舎跡屋上のデブリ観測。デブリ D1 はなだれ#77-1のものであるが、D2 をもたらしたなだれは不明(昭和52年2月観測)

部分が先行し、雪面を走行する部分がこれに追従していることを示唆しているようである。

なだれ #76-1, 2 の場合は、CH 3 の衝撃力が、CH 1 よりも殆ど常に大きい⁶⁾。これは、これらのなだれ全体が飛行型であったのか或いは CH 1 が最初からある程度の雪に埋められていて、衝撃力が常に弱められていたためかは不明である。これらの観察をまとめると、志合谷宿舎跡を襲うなだれは



第12図 なだれ #77-1 によって屈折した志合谷宿舎跡屋上の風速計ポール。矢印はデブリの厚さ(昭和52年2月)

固体密度が低く、高速飛行型の運動をするもののように思われる。

む す び

なだれ等の動荷重を測定する場合、鋼鉄円錐=アルミニウム板の圧痕計を用いたとき、圧痕値(静荷重換算値)は、衝撃力のパルス幅(基底部の波幅)によって情報内容の変わることが実験的に確かめられた。パルス幅が0.025秒より長い衝撃力に対しては、圧痕値は動荷重ピーク値にはほぼ対応するが、短い衝撃力に対してはパルス幅に応じて、ピーク値の3倍までの大きな静荷重換算値を与える。また、このような幅のせまい動荷重の場合は、繰返し荷重によって圧痕に累積効果の現われることがわかった。ロードセルによるなだれの衝撃力波形を見ると、黒部峡谷の高速なだれは、パルス幅0.001秒以下の衝撃が数多く含まれている。このようななだれに対して、圧痕計値の与える情報はかなり不明確なものであると言わざるを得ない。

なだれの速度は、2基の三角マウンドにとりつけたロードセルをもちいて測定された。しかし、この方法の最も基本的な問題点は、基線の両端で記録された衝撃力波形の正しい対応を見つけ出すことである。この問題点は、なだれの速度測定および運動構造の解析上早急に解決する必要がある。

第6冬から、なだれの映像自動記録を始めた。志合谷宿舎跡の三角マウンド上部と、屈曲点右岸の崖の上に8ミリカメラを設置し、なだれの通路と思われる所に遠隔スイッチを取り付けた。第6冬の映像記録は、屈曲点右岸の沢から落下したけむり型なだれ一例だけで、これは宿舎跡を襲うようなものではなかった。なだれの映像記録は、なだれの運動解析上きわめて重要な役割を果す。第6冬の試行で技術的な見通しがついたので、今後は、カメラおよびスイッチの数、設置場所を検討して、映像記録を収集して行く計画である。

この報告に掲載できなかった第5、第6冬の資料(圧痕計値、衝撃力波形)は低温科学資料集⁶⁾に収録する予定である。

本研究は、文部省科学研究費自然災害科学特別研究費によって行なった。この観測活動の

設営、輸送に関して関西電力株式会社北陸支社の好意的な御配慮を終始戴いたこと、登攀用ザイルについては東京製綱株式会社の御援助を戴いたこと、また夏期間の宿泊を始め現地での行動に於て黒部峡谷阿曾原温泉小屋主人原田義春さんの心暖まる御好意を戴いたこと、更に観測に関しては富山大学理学部物理学教室の水島俊雄技官をはじめ学生諸君の積極的な御協力を戴いたこと、これらの方々の御好意、御協力があってはじめて本研究を進めることができた。これを併記して深く感謝の意を表わす。

文 献

- 1) 清水 弘・他 1972 黒部峡谷志合谷のなだれ研究 I, 一志合谷のなだれ予備調査一. 低温科学, 物理篇, **30**, 103-114.
- 2) 清水 弘・他 1973 黒部峡谷高速なだれの研究 II. 低温科学, 物理篇, **31**, 179-189.
- 3) 中川正之・他 1973 黒部峡谷の積雪と気温観測 I. 低温科学, 物理篇, **31**, 資料集, 6-18.
- 4) 清水 弘・他 1974 黒部峡谷高速なだれの研究 III. 低温科学, 物理篇, **32**, 11-127.
- 5) 清水 弘・他 1975 黒部峡谷高速なだれの研究 IV. 低温科学, 物理篇, **33**, 109-116.
- 6) 清水 弘・他 1978 黒部峡谷高速なだれの観測資料 (未発表) 低温科学資料集の予定.

Summary

Observations of high speed avalanches which frequently broke out in Kurobe Canyon, the North Alps of Japan, were carried out in the winters of 1975-76 and 1976-77 on the basis of the results of observations conducted in the previous winters since 1971¹⁾-75).

Three avalanches assaulted the observation site at Shiai-Dani Valley, Kurobe Canyon, for each winter, namely #76-1, #76-2 and #76-3 in the winter of 1975-76, and #77-1, #77-3 and #77-4 in that of 1976-77.

1. General condition of the winter: The winter of 1975-76 was fairly warm with a less snow depth than normal, while that of 1976-77 was very cold with a normal snow depth, as shown in Figs. 1 and 2.
2. Wave pattern of impact forces: The wave pattern of impact forces of the avalanches #76-1 and -2, and #77-3 and -4, entered in Table 3, were recorded. All clearly showed series of pulsive impact forces, e. g. as shown in Fig. 8, indicating that the avalanches had no continuous torrent of snow.
3. Maximum impact force of avalanches: As shown in Table 3, most of the avalanches recorded in these winters, except #77-1, were fairly small ones ranging in 12-28 t/m² of the maximum impact force, in load-cell values. The avalanche #77-1 recorded 101 and 226 t/m² in penetrometer values, though any load-cell value was not obtained because of an instrument trouble. A series of experiments was carried out to check correspondence of a load cell value F and a penetrometer value (calibrated by static loading) P . As shown in Fig. 7, the followings were experimentally confirmed that:
 - i) P appears approximately equal to F , for a static force and a dynamic force of which wave width is longer than 0.025 sec. (Wave width was measured at the base of a pulse.)
 - ii) P appears bigger than F , up to three times, when a dynamic force, of which wave width is shorter than 0.025 sec, was applied.
 - iii) On penetrometer, only a single maximum static force was recorded when static

forces were repeatedly applied, while a cumulative effect was observed for repetition of dynamic forces.

As shown in Fig. 8, a load-cell record of #77-4 contains a number of big impact forces, of which wave widths are less than 0.01 sec. Meaning of a penetrometer record for such an avalanche is obscure.

4. Correspondence of wave pattern: Three load-cells, CH-1, -2 and -3, were mounted on two trigonal pyramids made of reinforced concrete of 4 m high, M-1 and M-2, with a 5.9 m interval along the avalanche path at the observation site, as shown in Figs. 3 and 4. A clear correspondence of the impact forces were observed between the records of CH-1 and CH-2 on M-1, but it was difficult to find a definite correspondence among those of CH-3 on M-2 and CH-1 or -2. Comparing wave patterns of CH-1, -2 and -3, a reasonable correspondence of remarkable impact forces was figured out, as given in Fig. 8. Assuming that the avalanche ran down with an inclination of 30°, which is the general inclination of Shiai-Dani Valley upstream of the observation site, and that the avalanche had flat wave fronts perpendicular to the motion, velocities of internal wave fronts of the avalanche were figured out, as given in Table 4.
5. Structure of avalanches: The structure of the avalanches #76-1 and -2 and #77-3 and -4 were presumed, from the correlation between the wave patterns of CH-1, -2 and -3. The impact forces of CH-3 are much bigger than those of CH-1 and -2 in the former period of the avalanche, while much smaller in the later period, e. g. as seen in Figs. 8 and 9. This fact would suggest that the principal body of the avalanche proceeded in an air-borne motion in the former part dragging a subordinate part sliding on the snow surface.

Avalanches which assaulted the observation site brought only a small amount of snow debris, as shown in Figs. 11 and 12, even with the largest recorded impact force, 226 t/m² in penetrometer value. This would also be a significant evidence for an air-borne type avalanche.

6. Change of atmospheric pressure: A remarkable change of atmospheric pressure ranging -15 and +4.2 mb was recorded both by an aneroid barometer and a transducer-data recorder system when an avalanche assaulted the observation site, as shown in Figs. 8 and 9 and Table 3. A general pattern of the change was as follows: The atmospheric pressure dropped as soon as an avalanche assaulted, then rose further above the original reading, and finally returned gradually to the original pressure, taking a longer time than that of the avalanche transit.