

## カナダ・ロジャース峠における雪崩の観測

小林 俊一\*・秋田谷 英次\*\*・P. A. SCHAEERER\*\*\*  
D. M. McCLUNG\*\*\*・P. ANHORN\*\*\*・C. WHALLEY\*\*\*

Observations on Avalanche at Rogers Pass, British Columbia, Canada, in 1989

by

Shun'ichi KOBAYASHI, Eiji AKITAYA, P. A. SCHAEERER,  
D. M. McCLUNG, P. ANHORN and C. WHALLEY

(Abstract)

Most large disasters caused by avalanches in Japan are large scale powder avalanches. However, owing to the experimental difficulties under full-scale conditions, there is a scarcity of usable data regarding the impact pressures and speeds of those avalanches. So the observations of real avalanches were made using a 8 mm video camera at Rogers Pass, British Columbia, Canada.

We succeeded to take 12 examples of good pictures of various avalanches. From these pictures a few suggestions to make a model for a typical avalanche are proposed.

Key words : Avalanche, Avalanche impact pressure, Debris

キーワード : 雪崩, 雪崩衝撃力, 雪崩堆積物

### I ま え が き

雪崩災害研究の目的は、大別して雪崩発生予知と雪崩運動研究の二つに絞られる。前者は事前に雪崩発生の危険を察知して住民を安全な場所へ避難させるのに役立ち、後者は雪崩の到達距離の予測と雪崩衝撃力の評価に関係し、危険区域の選定と構造物の設計に役立てられる。この二つの研究が進展してこそ雪崩災害の防止に効果が発揮される。しかし、わが国の雪崩研究者は、特に表層雪崩の実際の雪崩運動を見る機会が少ない。その理由として、表層雪崩についてはドカ雪や吹雪時や夜間といった視界の悪い状況で発生することが多く、自然発生の表層雪崩の運動を観測することができない。また、人工雪崩実験についても村落が山麓に迫っているために危険が多く容易に実行できないのが現状である。

著者らの一人(小林)は、昭和63年度日本学術振興会特定国派遣研究者としてカナダに10ヶ月間滞在する機会に恵まれたので、雪崩の常習地のロジャース峠(図-1)で自然雪崩の観測を行ったのでその結果について報告する。

### II ロジャース峠における雪崩発生状況

カナダ・ブリティッシュコロンビア州にあるロジャース峠(標高1,330m)は、1910年3月4日発生した雪崩により62人の鉄道関係の労務者が死亡するというカナダ雪崩災害史上最大の事故として広く知

\*新潟大学積雪地帯災害研究センター, \*\*北海道大学低温科学研究所,  
\*\*\*カナダ国立科学院(National Research Council of Canada)



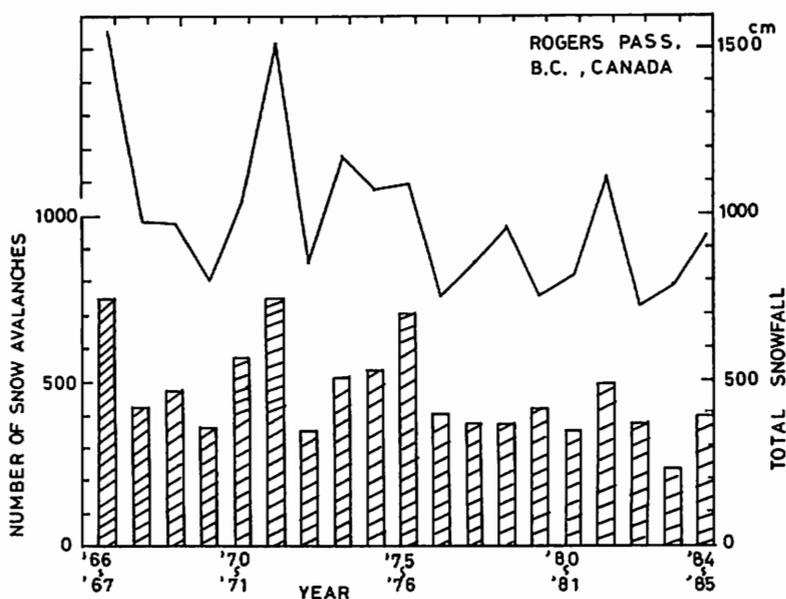


図-2 ロジャース峠における雪崩発生と積算降雪量の年々変化  
 Fig. 2 Annual number of avalanches and total snowfall at Rogers Pass

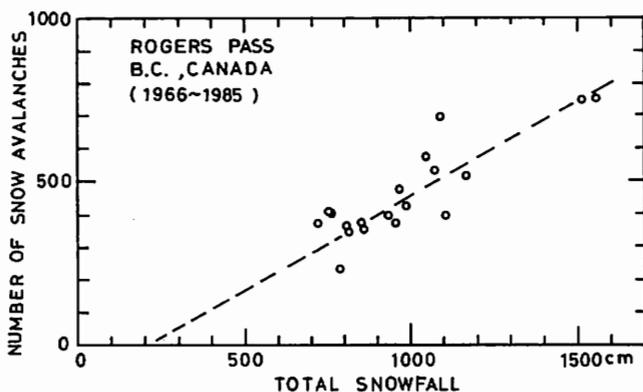


図-3 雪崩発生頻度と積算降雪量の関係  
 Fig. 3 The relation of number of avalanches to total snowfall

### Ⅲ 自然発生雪崩のビデオカメラによる観測

#### 1. 観測方法

1988年から1989年の冬にかけて8mmビデオカメラ(ソニー, CCD-F330)により自然発生の雪崩の運動の観測を行った。最初はタイムインターバル方式で行い、後でジョフオンによるトリガー方式に変えて観測した。夫々の制御システムを以下に説明する。

##### (A) ソニー8mmビデオCCD-F330用タイマー

この方式は著者の一人(秋田谷)により作られた。その配置図及び結線図と撮影時間間隔を図-4に示す。ここで、 $T_1(X_1)$ は撮影休止時間を決め、 $T_1$ は5分以内である。撮影(録画)は $T_4 - T_3$ (秒)だけおこなう。ただし5秒以上にできない。したがって、 $T_3, T_4, T_5$ は撮影時間を設定するタイマーであるが、必ず $T_3 < T_4 < T_5$ となるように設定しなければならない。したがって、この方法では5秒以

上の録画ができないので次にはジオフォーンによりトリガーをかけて録画する方法について述べる。

(B) トリガー方式

この方法は著者の一人 (Whalley) により作られた。そのインプットとアウトプットの関数形を図-5に示す。用いたジオフォーンは4 Hzと395オームの特性をもつもので地下面30cmの所に埋められてある。雪崩の来ない時の通常のカメラの作動待ち時間は4分で1.5秒の作動をくりかえす。雪崩が発生してトリガーがかかるとそのシグナルは0.5秒以内で5分録画して自動的に録画を中止する。ただし図-5の時間スケールは任意の大ききで示してある。

2. 観測地点の積雪状況

カナダ国立科学院建設研究所雪崩研究センターでは1971年以来、ロジャース峠の東側のTupper No 1 (図-6) で雪崩衝撃力の測定を続けている (Schaerer and Salway, 1989; McClung and Schaerer, 1985)。ここは雪崩の発生地点は草の斜面であるが、標高1,800と2,300mの間には絶壁があり、雪崩はそこを落下すると幅25m、長さ500mの岩の谷を通過して高速道路上のスノーシェッド上かまたはそ

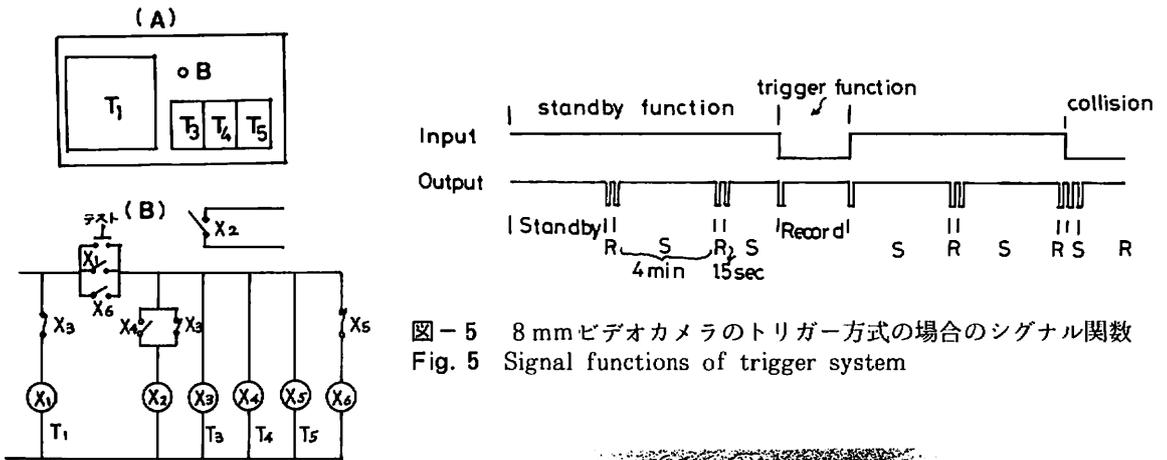


図-5 8 mmビデオカメラのトリガー方式の場合のシグナル関数  
Fig. 5 Signal functions of trigger system

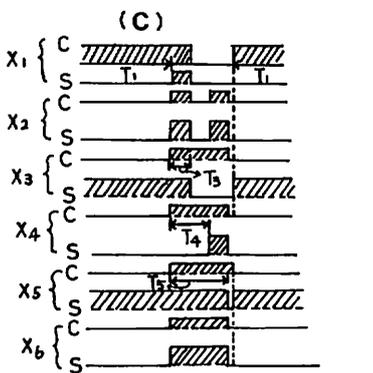


図-4 8 mmビデオカメラのインターバル撮影の作動図  
(A)スイッチの配置図,  
(B)結線図,  
(C)シグナル関数

Fig. 4 Interval system for 8 mm video camera



図-6 Tupper No 1の雪崩みち  
Fig. 6 Avalanche path at Tupper No 1 of Rogers Pass

れを越えて谷の方へ堆積する。雪崩の高度差は約1,000 mで勾配は32°と35°の間である。一冬の雪崩の発生状況は55%が乾雪雪崩でデブリの密度は平均で330kg/m<sup>3</sup>, 24%がやや湿った雪崩でデブリの密度は420kg/m<sup>3</sup>で, 残りの21%が濡れた湿雪雪崩で密度が500kg/m<sup>3</sup>である。デブリの密度は180~590kg/m<sup>3</sup>に変化する (McClung and Schaerer, 1985)。

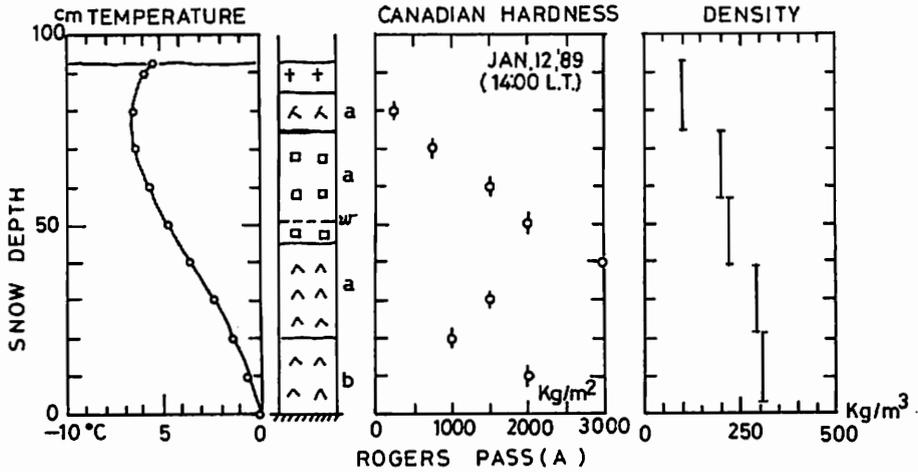


図-7 自然積雪の断面観測 (1月12日)  
Fig. 7 Pit observation of natural snow cover at Rogers Pass

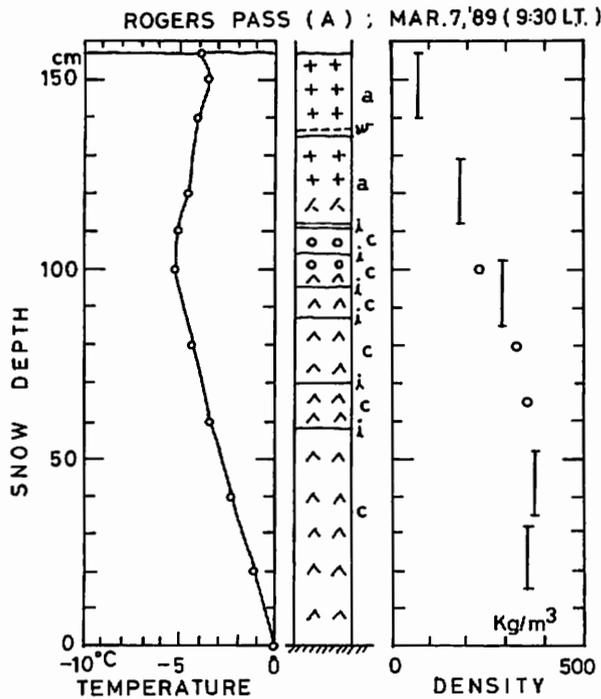


図-8 自然積雪面の断面観測 (3月7日)  
Fig. 8 Pit observation of natural snow cover at Rogers Pass

この地点で1988～1989年の冬に積雪の断面観測を行った。図-1の(A)地点は国立公園の宿舎のある所での自然積雪状態の所であり、(B)地点はTupperNo.1からの雪崩によるスノーシェッド上のデブリ地点での積雪状況を示すことになる。(A)地点では1989年1月12日と3月7日の2回断面観測を実施した(図-7, 8)。(B)地点では1989年1月13日の1回実施した(図-9)。この地点は何時雪崩が発生するかわからない危険な状態の場所のため十分な調査を実施できなかった。1月には大きな雪崩が発生しなかったとみえ、あるいは煙り型の雪崩であったためか、断面観測からは顕著なデブリ層はみられなかった。

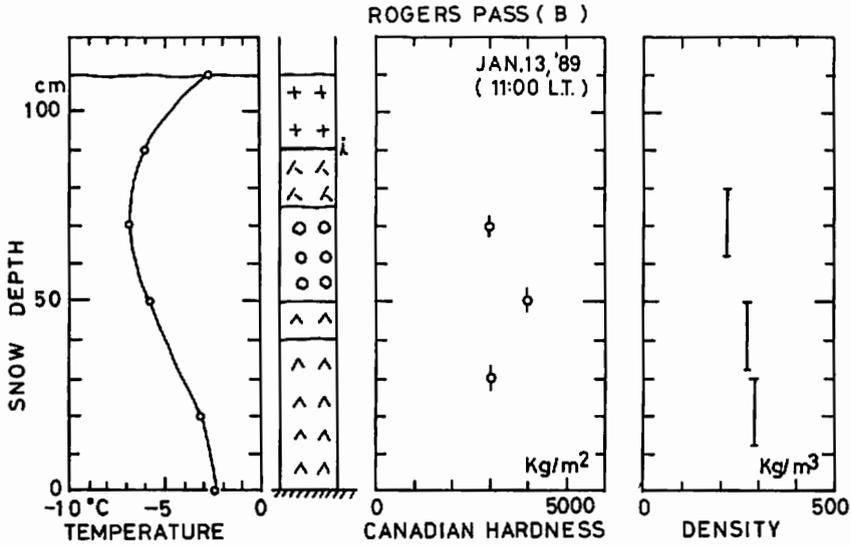


図-9 デブリ地点の断面観測(1月13日)  
Fig. 9 Pit observation of debris snow cover at Rogers Pass

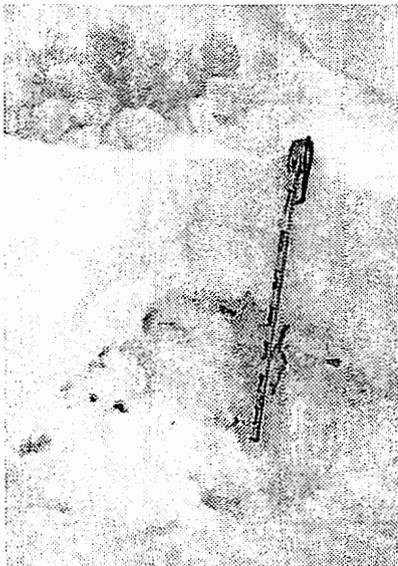


図-10 デブリ中に含まれていた小雪塊  
(3月7日)  
Fig. 10 Small snow balls in the debris

3月7日に(B)地点の断面観測を試みたが、途中暖気による雨と2月の寒波等により、デブリ層は硬く断面観測は実施できなかったが、デブリ層の中にはたくさんの雪塊が含まれており(図-10)その大きさの頻度分布を測定することができた。その結果



図-12 ビデオカメラの設置状況  
Fig. 12 Video camera box at observation site

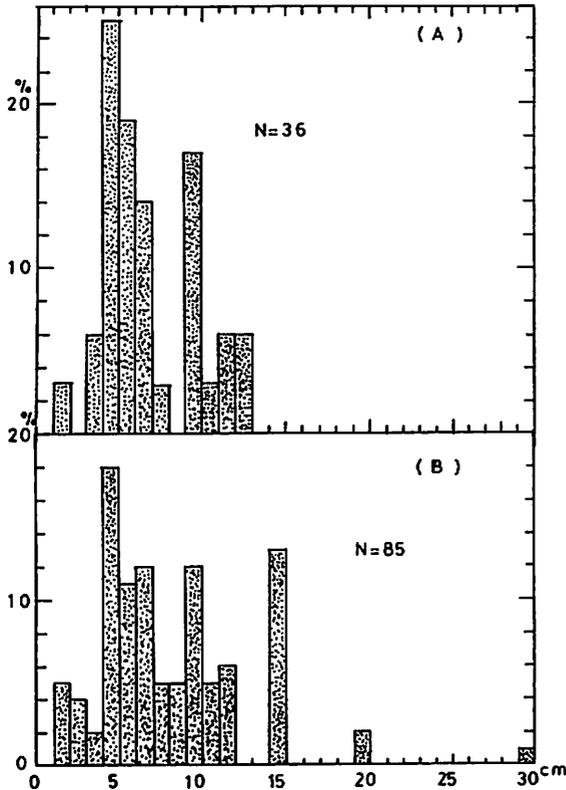


図-11 雪塊のひん度分布  
 (A)デブリ末端周辺部, (B)デブリ末端中央部  
 Fig. 11 Size distribution of snow balls in the debris  
 (A) from circumference of debris  
 (B) from central of debris

を図-11に示す。これまでに煙り型雪崩の中には大小の雪塊が含まれていることが報告されている。例えば、雪崩の底部及び中心付近では直径2~4 mのものも含まれているのではないかと推測されているが(中川, 1979), 周辺の雪煙部は数cm程度のものが多いようである(佐藤他, 1986; 成田他, 1989)。今後、複雑な煙り型雪崩の運動モデルとしては、これら雪塊同士の相互作用や雪塊と雪煙の相互作用を考慮したものが必要となるであろう。

著者等は1988年から1989年の冬にかけて8mmビデオカメラによる自然発生の雪崩の運動の観測を行ったが、この冬は例年と違い雪の積り方が異常であった。カメラの設置状況を図-12に示した。また、この冬の積雪深と最低・最高気温の変化を図-13に示した。図中には1965年から1976年にわたる平均積雪深の変化をも示した(点線)が、これと比較してみてもこの冬の雪の積り方は例年と違い前半は少雪で後半に雪が多い傾向を示した。また2月には寒波

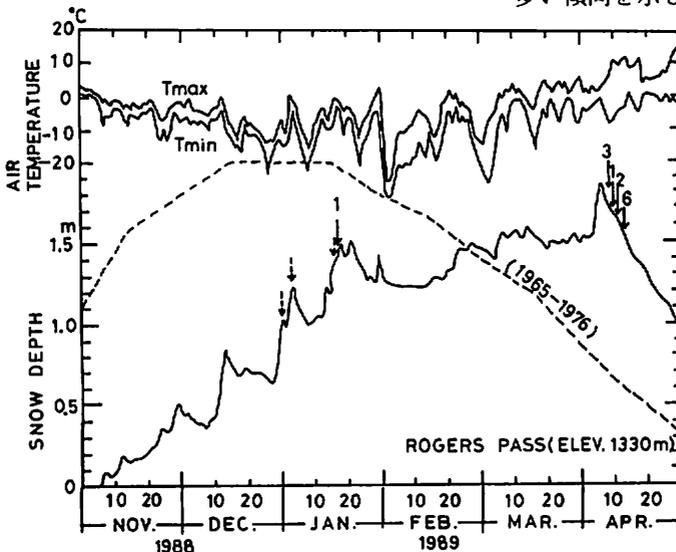


図-13 ロジャース峠での積雪深と最高及び最低気温の変化  
 Fig. 13 Meteorological data at Rogers Pass

がきて雪はほとんど降らずに表層雪崩は少なかった。図中の積雪深の変化を示す実線のところにある矢印と数字はビデオカメラによる雪崩の撮影成功回数である。この観測については3月までは、タイムインターバル方式で観測し、4月には、ジオフォンによるトリガー方式で観測した。これらの観測の電源は、いずれもスノーシェッド内に設置された発電機によるAC電源を使用した。

#### IV 観 測 結 果

ビデオカメラによる雪崩の運動の撮影は日中の天気の良い時に制限されるという欠点がある。成功の確率は大変少ないが今回は幸いにして大小の雪崩の運動を13例撮影することができた(表-1)。その中比較的大きい雪崩の運動の写真を二、三例示す。1月3日には夜間に煙り型雪崩が発生し、ビデオカメラが雪崩風によって飛ばされたが幸いにカメラボックス内に小型電波発信機(商品名:SKADI)を入れてあったので容易に回収することができた。そこで最初のスノーシェッド上地点から更に1月10日上流の丘の上にカメラを移動した(図-12)。その後1月17日10時06分に煙り型雪崩が発生し約5秒間の映像を撮ることができた。現場の距離測定とビデオのインターバル写真(図-14)からこの雪崩の速度は約50m/sであった。この時の雪崩のデブリは乾き雪でその密度は300kg/m<sup>3</sup>であった。またロードセル(直径25cm)による雪崩の衝撃力は最高値で48kpa、平均値で19kpaで継続時間は26.0秒であった(表-2)。図中の記号Sが雪崩衝撃用の鉄骨柱で高さ5mあり、この時期は積雪深が約1mであったので4mが雪面上にある。

表-1 雪崩の発生状況(1989年カナダロジャース峠)  
Table 1 Observed avalanches at Rogers Pass

発生日	地方時間	雪崩の規模	備 考
1月16日	09:34	大規模煙り型	映像不良
1月17日	10:06	大規模煙り型	
4月9日	13:39	中規模流れ型	} デブリの密度 600kg/m <sup>3</sup>
"	14:09	中規模流れ型	
"	14:52	小規模流れ型	
4月10日	15:07	小規模流れ型	
4月11日	13:46	中規模煙り型	} デブリの密度 640kg/m <sup>3</sup>
"	15:02	中規模流れ型	
4月13日	12:44	大規模煙り型	
"	13:45	大規模流れ型	
"	13:46	大規模流れ型	
"	13:56	小規模流れ型	
"	14:40	小規模流れ型	

表-2 雪崩衝撃力の測定例(1989年カナダロジャース峠)  
Table 2 Examples of avalanche pressure measurements at Rogers Pass

測定日	地方時間	最高値(kpa)	平均値(kpa)	継続時間(秒)	備 考
1月16日	10:00	120	37	20.7	煙り型雪崩 デブリ密度 350kg/m <sup>3</sup>
1月17日	06:00	48	7	13.7	小規模雪崩
"	10:00	48	19	26.0	煙り型雪崩 デブリ密度 300kg/m <sup>3</sup>
1月30日	06:00	221	55	12.4	湿雪雪崩 デブリ密度 600kg/m <sup>3</sup>

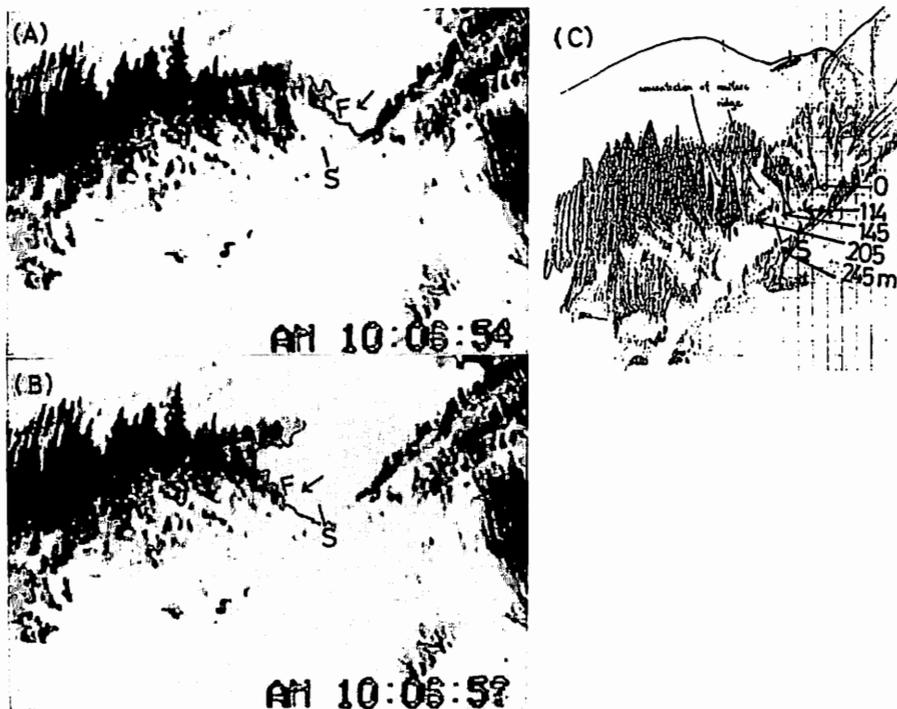


図-14 1月17日10時06分に発生した煙り型雪崩

(A)10時06分54秒 (B)10時06分56秒

(C)画面の距離を示すスケッチ図 (WhalleyとAnhornによる)

Fig. 14 Powder avalanche (Jan.17)

また、図-15には4月13日13時46分に発生した湿雪の流れ型の表層雪崩で、雪崩の速度は約50m/sであった。衝撃力の値は得られなかったが表-1の例をみると煙り型の乾雪雪崩より大きいことが予想される。雪塊の飛散や雪崩内部の構造が一瞬みることができて大変興味深い。

更に平均的な雪崩衝撃力は、 $P = k\rho U^2$ で表わされるから、 $k = 1$ とすれば衝撃力と雪崩の速度の実測から一般に測定困難な雪崩内の密度 $\rho$ を知ることができる。1月17日の煙り型雪崩でみると、 $\bar{\rho} = 8 \text{ kg/m}^3$  (平均)  $\rho_{\text{max}} = 19 \text{ kg/m}^3$  (最大)と推定できる。

最後に、ここTupperNo.1の雪崩発生状況を見ると(表-1参照)同じ日に幾つかの雪崩が発生している。したがって発生点は1ヶ所ではなく数ヶ所あるように思える。4月に入ってからの傾向が著しい。その中、4月14日と4月13日に発生した比較的大規模な雪崩の写真を3例図-16に示した。特に4月13日には大小の雪崩が発生し、4月には珍しく煙り型の雪崩が発生した。しかも雪崩周辺部及び中心部にも多くの小雪塊が含まれているのがみられる。

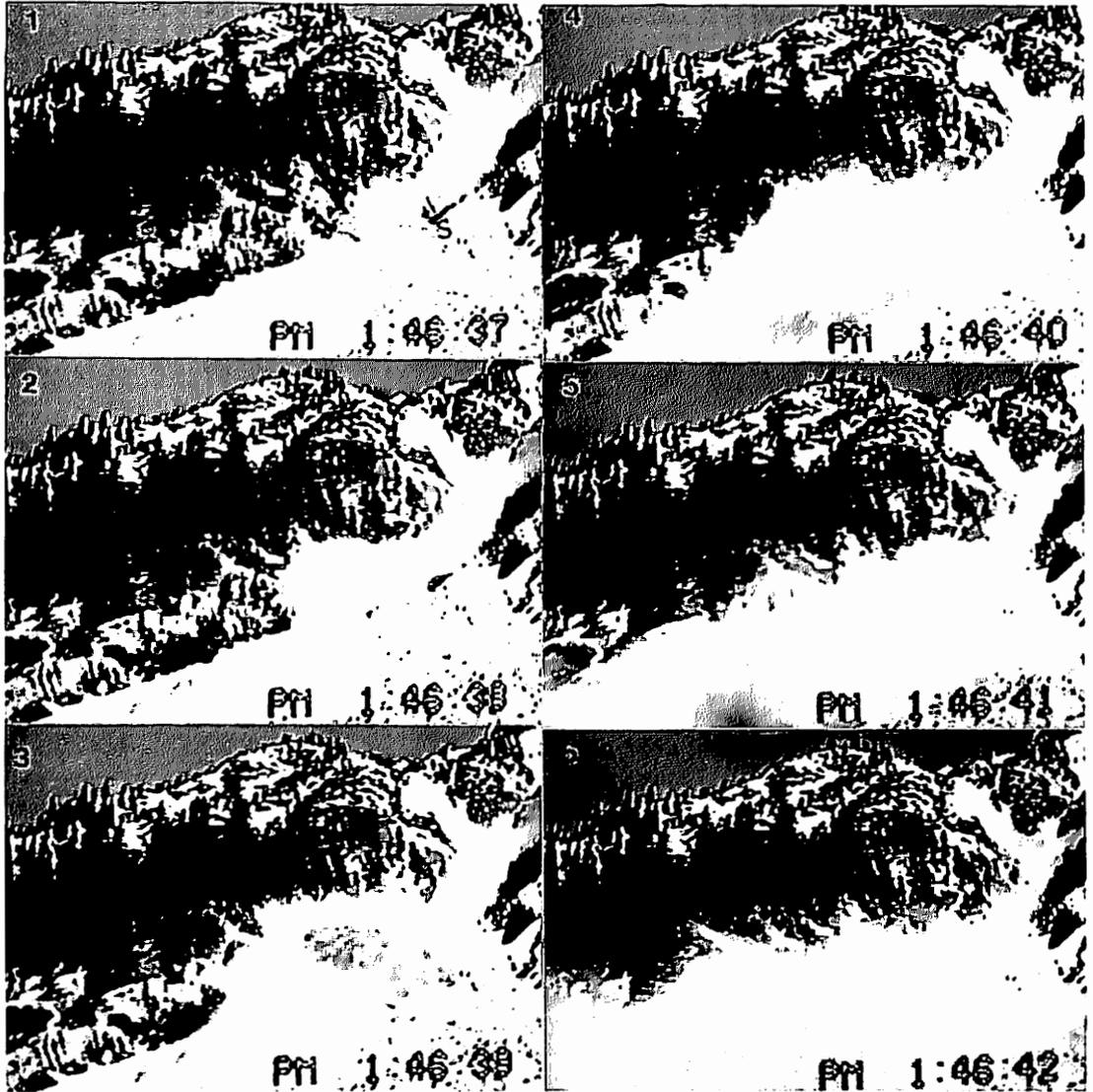


図-15 4月13日13時46分に発生した各1秒毎の流れ型雪崩の運動  
 Fig. 15 Flow avalanche (Apr.13)

#### V 考 察

8mmビデオカメラによる自然発生雪崩の監視撮影に成功したが、煙り型雪崩も流れ型雪崩もいずれもその内部構造が複雑である。今後これらの内部構造の複雑性は、雪崩衝撃力を評価する際に雪崩の運動モデルの中にとり入れなければならない。すなわち、次の点を考慮する必要がある。

- (1) 雪崩内部に含まれる雪塊同士の相互作用と雪塊と周辺の雪煙との内部摩擦の効果
- (2) 雪崩内部の乱流構造とそれによるせん断力の評価
- (3) 空気のとり込みと積雪からの雪のとり込みによる雪崩の運動エネルギーの評価
- (4) 爆風の発生するメカニズム
- (5) 衝撃力の三次元構造

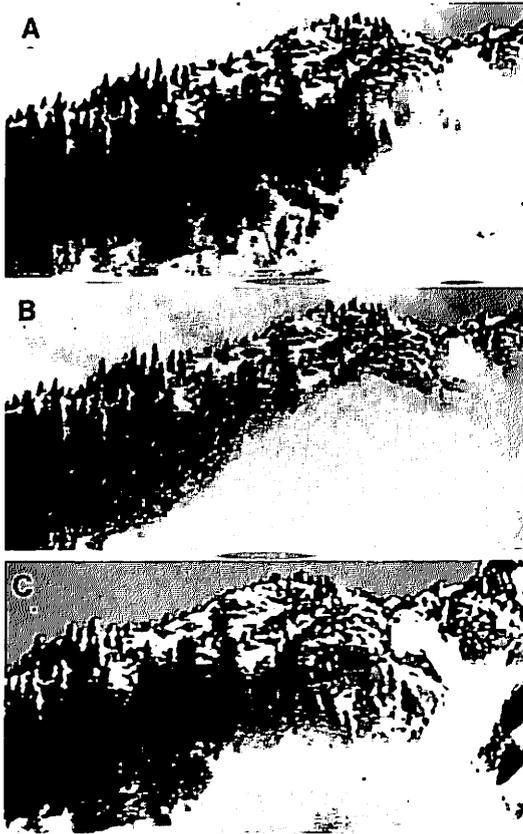


図-16 4月に発生した大規模な雪崩  
 (A) 4月11日13時46分 (B) 4月13日12時44分  
 (C) 4月13日13時45分  
 Fig. 16 Large scale avalanches occurred  
 in April.  
 (A) Apr.11, 13:46 (B) Apr.13, 12:44  
 (C) Apr.13, 13:45

以上のことを考えると図-17のような雪崩の運動モデルがえがける。この図は、Perla and Martinelli, Jr. (1976) と Tesche (1986) を参考にしてえがいたものである。複雑な雪崩内部の衝撃力の構造が解明されれば、雪崩の衝突に耐える構造物の設計に役立つであろう。

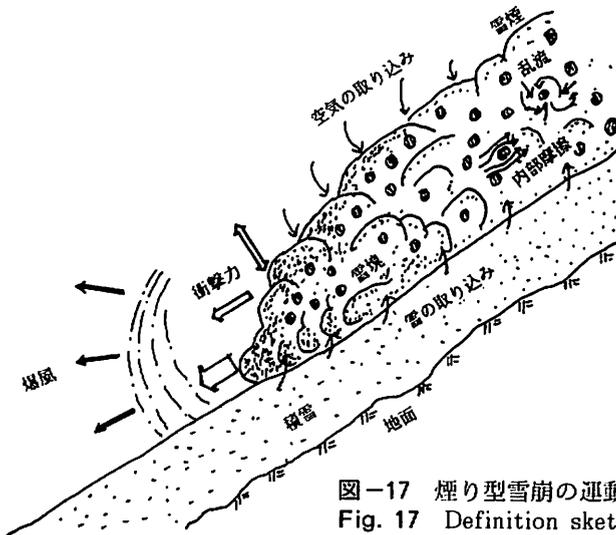


図-17 煙り型雪崩の運動モデル  
 Fig. 17 Definition sketch for the powder avalanche model

## VI あ と が き

雪崩の映像と雪崩衝撃力の変動の詳しい解析を行うべきであったが、現在の所、上記データの同時性をもつ衝撃力のデータを入手していないので、本報告は概要的な記載に終わってしまった。しかし、チャンネルの少ない自然発生雪崩の撮影に成功したことは、今後の表層雪崩の研究に期待がもたれるといえる。

カナダでの観測を支援していただいたカナダ国立科学院と滞加の機会を与えていただいた日本学術振興会に心から感謝いたします。また、滞在中、日本から種々の情報を提供してくれた当センターの和泉薫助教授にも深く感謝いたします。この論文を故大草重康教授に捧げます。

## 文 献

- McClung, D. M. and P. A. Schaerer (1985) : Characteristics of flowing snow and avalanche impact pressures. *Annals of Glaciology*, 6, 9-14.
- 中川正之 (1979) : 高速なだれの破壊力の研究. 文部省科学研究費自然災害特別研究成果, №A-53-2, pp62.
- 成田英器・和泉 薫・西村浩一 (1989) : 雪崩堆積物 (デブリ) の構造. *Contributions to Mountain Sciences*, 富山大学, №2, 45-49.
- Perla, R. and Martinelli, Jr., M. (1976) : *Avalanche handbook*. Agriculture Handbook, 489, U. S. Dep. of Agriculture, Forest Service, pp238.
- 佐藤和秀・川田邦夫・矢野勝俊・西村浩一・和泉 薫・小林俊一 (1986) : 柵口表層雪崩の構造と規模. 新潟県能生町表層雪崩災害に関する総合的研究, 文部省自然災害特別研究突発災害研究成果, №B-60-8, 23-28.
- Schaerer, P. A. and A. A. Salway (1980) : Seismic and impact-pressure monitoring of flowing avalanches. *Journal of Glaciology*, 26 (94), 179-187.
- Schaerer, P. A. (1987) : *Avalanche accidents in Canada*, IRC paper №1468, National Research Council of Canada, 1-13.
- Schaerer, P. A. (1988) : The yield of avalanche snow at Rogers Pass, British Columbia, Canada. *Journal of Glaciology*, 34 (117), 188-193.
- Tesche, T. W. (1986) : A three dimensional dynamic model of turbulent avalanche flow. *International Snow Science Workshop, Lake Tahoe, California*, 111-137.