

## 雪崩の到達範囲の実態

○国際航業株式会社 松田 宏  
建設省土木研究所 武士俊也  
綱木亮介

### 1. はじめに

高橋(1960)は雪崩の最大到達距離を表層雪崩は18度、全層雪崩で24度までとした。以後、わが国では雪崩の最大到達距離を求める目安としてこの見通し角が使われている。

ところで、雪崩が発生して停止にいたる過程において、雪崩の持つ位置エネルギーが運動エネルギーに変換され斜面を流下する間に消費されるとすれば次式が成立する。

$$dE = dM + dW$$

$$W = -\alpha \int (H/L) dL$$

ここで、Eはポテンシャルエネルギー、Mは雪崩の質量、Wは仕事、Hは落差、Lは区間の長さ(経路の長さ)、 $\alpha$ は定数である。したがって、到達距離を考えるには、位置エネルギーを表す落差Hとそのエネルギーが運動エネルギーとして消費される実走距離Lを対象とすべきである。このような視点から筆者らは冬期の空中写真から雪崩を判読し、その実走距離と落差との関係を分析した。

### 2. 使用したデータ

建設省が昭和38年から平成5年までに撮影した冬期空中写真を判読して雪崩を抽出した。抽出した雪崩は地形図に図化し、発生点、経路、到達点を把握した。規模については大中小それぞれが含まれるように注意した。これらの雪崩はすべて谷や構造物などの障害物の影響を受けずに自然停止したものである。空中写真は主に道路やダム、砂防施設等の建設および管理のために撮影されたものであり、地形図はそれぞれの事業のために作成された精度の高いものである。表1にデータの諸元を示した。

### 3. 地形データの計測

図1のように雪崩の主経路を傾斜の変換点や、平面的な屈折点によっていくつかの区間に分割し、経路の実走距離(各区間の斜距離の合計値)と落差(発生点標高と到達点標高の差)、見通し角を求めた。

### 4. 雪崩規模の実態

図2に表層雪崩、全層雪崩の実走距離と見通し角の分布図を示した。これによると、両者にはデータの多少による絶対量の違いは見られるが、分布には大きな差異がないことがわかる。また、全層雪崩では見通し角が20度以下の値も見られる。

これらのデータからは表層雪崩と全層雪崩では規模には大きな差はなく、長さなどの規模という外見だけに限れば両者を区別する必要がないと言える。

表1 空中写真収集地域等の諸元

地域	総数	表層	全層	備考 (写真撮影年)
青森県 秋田県 岩手県	55	24	31	S40, S43
山形県	16	-	16	S61, S62
新潟県	80	62	18	S56, S59, H1
群馬県	27	19	8	S38, S42, S43
富山県	89	89	-	S63
長野県	68	56	12	S59
岐阜県	108	108	-	S61
石川県	8	-	8	S56
福井県	13	13	-	S60, H5
滋賀県	102	54	48	S56, S59
合計	566	425	141	

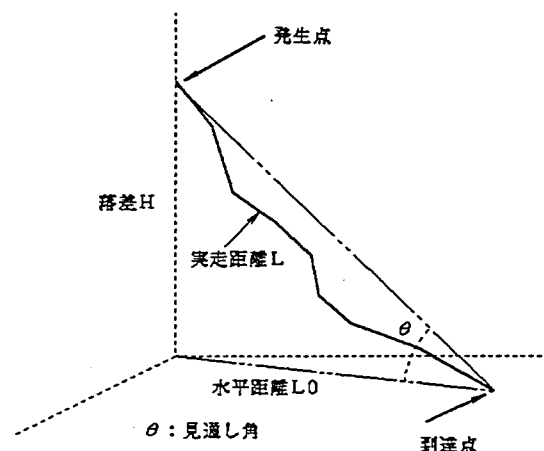


図1 雪崩経路の概念図

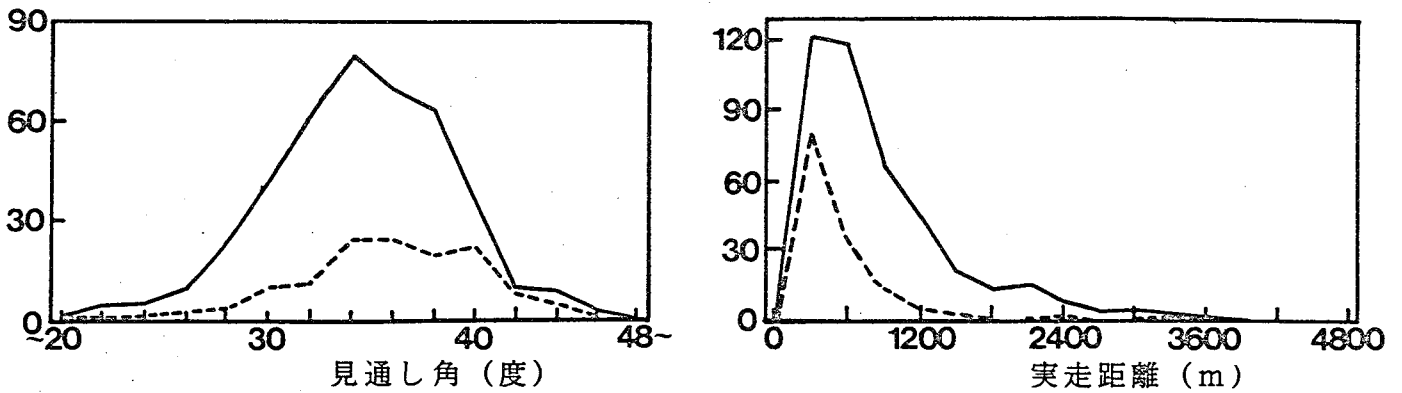


図2 見通し角と実走距離の度数分布図 (…; 全層、—; 表層、縦軸は度数)

### 5. 到達距離に寄与する地形要因

到達距離に関係すると思われる、発生区傾斜（25度以上の平均傾斜）・標高（最上端）、縦断凹面量、堆積区傾斜、落差と実走距離との関係を分析した。発生区傾斜は傾斜25度以上の斜面における斜距離による加重平均値である。縦断凹面量は縦断形が凹状になっている区間における上部斜面と下部斜面の傾斜の差（累計値）で定義する。この値が大きいほど曲率が大きい斜面（下に凸）である。堆積区傾斜は傾斜が25度以下の斜面の斜距離による加重平均値である。落差は発生点と到達点の比高である。図3に表層雪崩におけるこれらの地形要因（落差を除く）と実走距離との関係を示す。これによると、傾斜に関しはていずれも有意な関係はみられない。縦断凹面量と発生点標高にはある程度の相関があり、いずれも正の相関がある。すなわち、縦断凹面量が大きいほど（緩やかなスロープほど）雪崩は遠くまで到達する。また、発生点標高が高ければより遠くまで到達する傾向が見られるが、これは標高が高いほど積雪が多く、雪崩発生量も多くなるためと考えられる。これらの傾向は、全層雪崩にも見られた。しかし、いずれもあまり明瞭な傾向ではない。

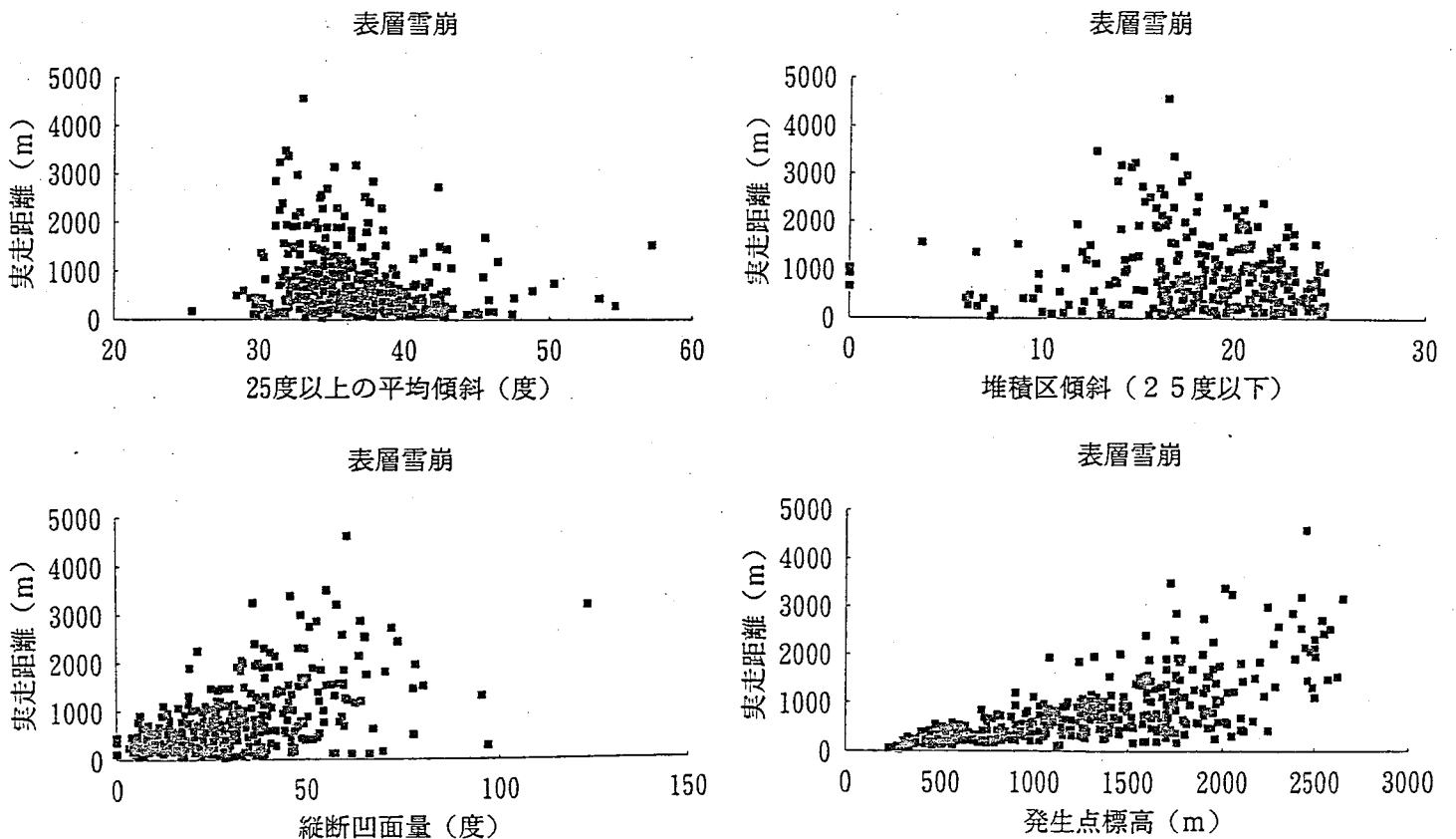


図3 地形要因と実走距離の関係

図4のように、実走距離と最も良い相関を示した要因は落差であり、落差と実走距離との単純な回帰分析によって原点を通る傾きを求めると、表層雪崩で  $L = 2.1 H$ 、全層雪崩では  $L = 2.0 H$  となり、ともに  $L = 2 H$  の関係で近似できる。相関係数はともに0.96であった。したがって、表層・全層を区別せずに落差が決まれば実走距離はその2倍で定義できることになる。

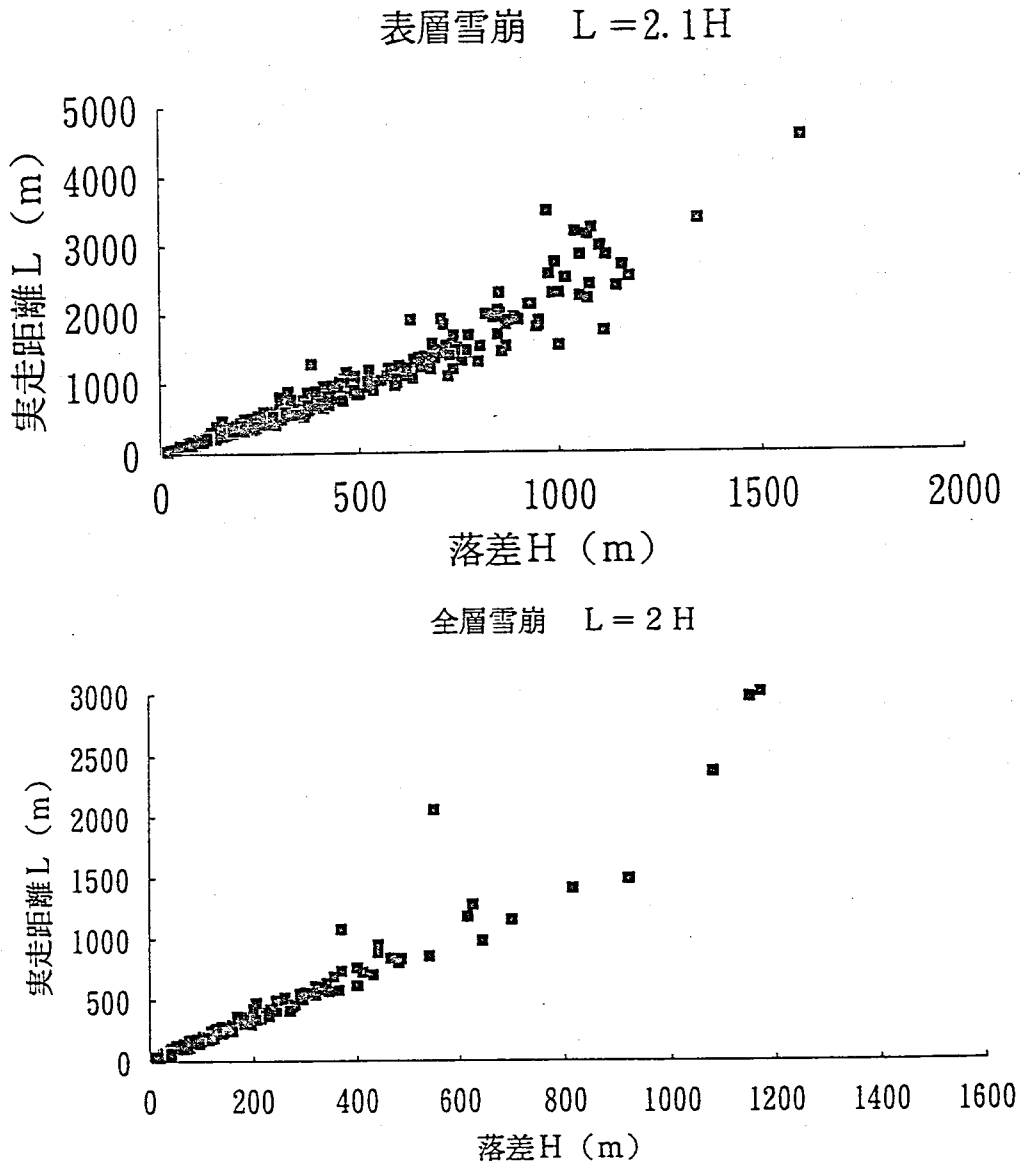


図4 落差と実走距離の関係

## 6. 考察

はじめに予想したように実走距離と落差に1次の強い相関があることは、一方では両者の比が雪崩の規模によらず一定ということであり、雪崩現象はその規模によらず互いに相似であることを示している。

図5に Gubler(1987)と McClung(1990) が分析した雪崩の速度の実測値をもとに筆者らが作成した経路に沿った速度分布の模式図を示す。これによると a、b ふたつの雪崩の規模が距離にしてそれぞれ約2400m、1200mと大きく異なるにもかかわらずその速度分布はほとんど一致している。この事実は雪崩の運動が相似であることを支持している。

一般に、粘性を持つ流体の現象においてはレイノルズ数  $Re$  が等しければ流れの様子が相似になることが知られている。雪崩のレイノルズ数は密度  $\rho$ 、層厚  $h$ 、速度  $U$ 、粘性係数  $\eta$  として、

$$Re = \frac{\rho h U}{\eta} \dots\dots\dots (1)$$

で表わされる。したがって、個々の雪崩において密度・層厚・速度及び粘性が異なってもそれらの比であるレイノルズ数は一定である可能性がある。また、レイノルズ数が大きいほど流体は流れやすくなることから任意の雪崩経路の実走距離Lと落差Hを考えると、kを定数として、

$$\frac{L}{H} = \frac{L_1}{H_1} = \frac{L_2}{H_2} = \dots = \frac{L_n}{H_n} = k Re \dots\dots (2)$$

とおけば、式(1)より雪崩の実走距離は、

$$L = k Re H = k \frac{\rho h U}{\eta} H \dots\dots (3)$$

となることが予想される。前述のように表層雪崩・全層雪崩ともにほぼ等しいL/H比を有することは、流れの形態も相似であり到達距離を考えた場合には表層雪崩と全層雪崩を区別する必要がないことが示唆される。図4において落差が大きいデータのなかに直線から上に外れるものが現れるが、表層雪崩の場合には式(3)のhが通常の雪崩よりも大きくなったために、また、全層雪崩の場合には降雨の後にみられる水分を多く含んだ流動性の高い一種のスラッシュ雪崩と考えれば式(3)のρが大きくなったために、それぞれ実走距離が異常に大きくなったものと考えることができる。

### 7. まとめ

本研究は落差を与えれば雪崩の実走距離はほぼその2倍であり、一義的に到達距離を決定することが可能であることを示したものである（一部の大規模な雪崩については個別の検討が必要である）。また、雪崩の規模によらず実走距離と落差との比が一定であることは経路全体を平均的に見ればこれらの雪崩の運動が相似であることを示しており、粘性体の運動として雪崩を見たとき、ほとんどの雪崩におけるレイノルズ数がほぼ一定であることが予想される。さらに、到達距離を考えた場合には表層雪崩と全層雪崩を区別する必要がないことが示唆される。

### 文献

高橋喜平, 1960:雪崩の被害、雪氷、22、1、7-9.  
 Gubler, H., 1987:Measurements and modeling of snow avalanche speeds.  
 Avalanche formation, Movement and Effects  
 (Proceedings of the Davos Symposium, September 1986)  
 IAHS Publ.no.162,1987,405-420.  
 McClung, D.M.,1990:A Model for scaling avalanche speeds.  
 Journal of glaciology, 36, 123, 188-198.

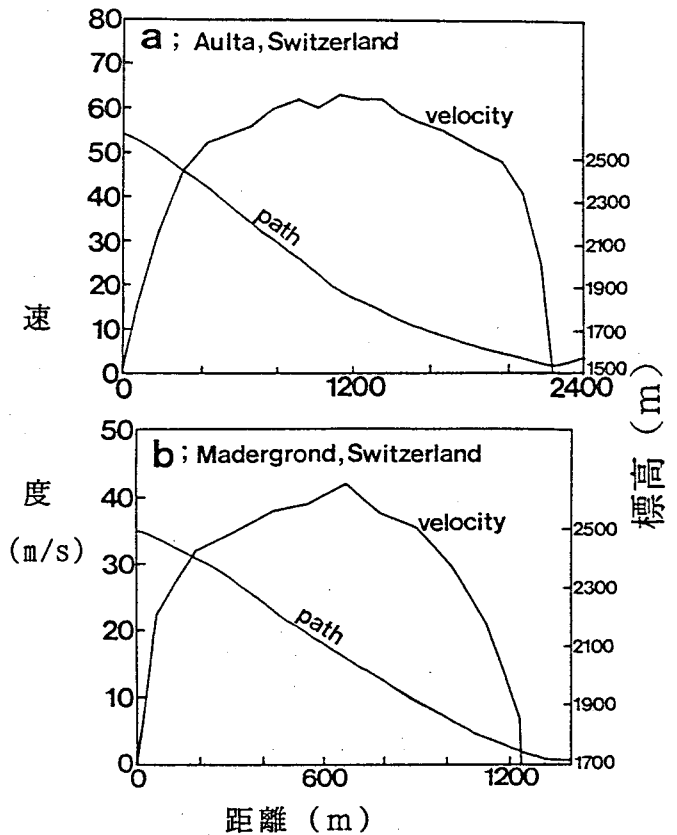


図5 雪崩速度の経路沿いの実測値