

# 高密度DEMデータを用いた 積雪深分布の把握と雪崩の動態解析

伊藤陽一\* 花岡正明\*\* 岩崎和彦\*\*\* 石井靖雄\*\*\*\*

## 1. はじめに

雪崩対策を講じるためには、雪崩発生時の現地の降積雪・気象状況や雪崩の流下・停止過程における挙動を把握し、発生・運動機構を明らかにしていくことが重要である。このため著者らは新潟・長野県の雪崩頻発地区において雪崩現地観測を実施しているが、斜面の積雪深などを広範囲にわたって現地で調査することは困難であった。

しかし、近年様々な分野での活用が著しい航空機搭載型レーザープロファイラによる1~2 mメッシュの詳細な地形データ（以下、高密度DEM（Digital Elevation Model）データと記述）を用いた積雪深分布の把握が可能となってきている。そこで、ここでは積雪期と無雪期の高密度DEMデータを比較することによる雪崩危険斜面の積雪深分布の把握とともに、観測された雪崩映像を高密度DEMデータを用いて分析し、雪崩の幅や高さなどを計測する試みを行った結果について報告する。

## 2. 雪崩現地観測

雪崩の発生や挙動の把握には、発生状況や流下状況を実際に観測することが有効である。そこで、過去に雪崩の発生事例がある新潟県糸魚川市柵口および寒谷地区、長野県白馬村八方尾根地区の3箇所ですべて雪崩現地観測を現在実施している。

例として、白馬八方尾根地区の雪崩観測の概要を図-1に示す。対象としている平川左支崩沢では過去に雪崩により砂防施設が被災している。ここで発生する雪崩を観測するため以下のような機材を設置している。

- ・ビデオカメラ（映像観測）－対岸に設置されたカメラの映像から、雪崩発生状況の把握と、発生した雪崩の速度等の解析を行う。
- ・地震計（振動観測）－発生区および走路に設置した地震計により、雪崩によって誘起される地面



図-1 白馬八方尾根地区における雪崩観測

の振動を計測し、雪崩の発生検知に使用するほか、振幅等から規模の推定を行う。

- ・圧痕計（衝撃圧計測）－崩沢下流部の砂防堰堤に設置した圧痕計により、雪崩衝撃圧を計測する。
- ・気象測器（気象観測）－発生区近傍に気象測器を設置することで、発生時の気象・積雪状況を把握することが可能となる。さらに、発生区まで八方尾根スキー場を経由して到達できるので、発生区の積雪層構造を観測して雪崩発生の原因となる弱層の有無を確認できるほか、気象・積雪データから弱層形成過程を推定することも可能である。

## 3. 雪崩観測地の積雪深分布

雪崩発生斜面における積雪深の把握は、雪崩の発生条件の分析や、雪崩対策工の計画・設計上、施設の配置や規模に大きく影響するため非常に重要である。これまでは、面的な積雪深の計測は容易ではなく、限られた観測地点のデータしかなかったため、斜面の積雪深を近傍の複数の観測地点の積雪深をもとに、標高だけをパラメータにした関係式から求めてきた。しかし、近年は積雪期および無雪期に計測された高密度DEMデータの差分をとることで、広域の積雪深分布を得ることが可能となっている<sup>1)</sup>。

図-2は現地観測を実施している白馬八方尾根地区において、平成18年2月と11月に計測されたデータから得られた積雪深分布である。尾根部分

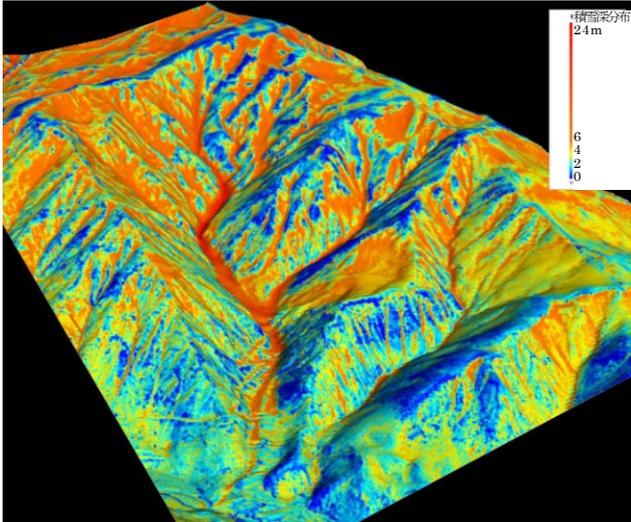


図-2 白馬八方尾根地区崩沢の積雪深分布 (2006年2月25日)

は風に吹き払われ積雪深は少ない一方、沢沿いには雪崩等により最大約25 mの雪が堆積していることがわかる<sup>2)</sup>。なお、計測データの検証は、既存の地上建築物等を利用して行っている。このように、実際の積雪深分布は沢や尾根といった地形条件等によって大きく異なっており、標高をもとにした積雪深の推定だけでは不十分であることがわかる。今後は、上述のデータ等をもとに、従来の積雪深と標高の関係式に、斜面傾斜や凹凸などの地形条件等を考慮することで斜面の面的な積雪深分布を精度よく推定できるモデルが作成可能と考えられる。

## 4. 高密度DEMデータを活用した雪崩動態解析

### 4.1 解析手法

雪崩の流動状況を把握するとき、これまではビデオ映像等から雪崩先端位置の時間変化を判読し、地形図やオルソフォト上にトレースすることによって雪崩経路および速度等の情報を得てきた<sup>3)</sup>。しかし、この方法では雪崩の幅・高さ等の定量的な把握は難しい。そこで、高密度DEMデータを用いて、撮影された雪崩映像と同じ視点の鳥瞰図を作成し、経路・速度・幅・流下範囲等の解析を行う手法を試みており、その解析手法と結果について述べる。

本解析方法では、高密度DEMデータを基に作成した雪崩映像と同じ視点の鳥瞰図が使用される(図-3 ①)。次に、一定時間毎の雪崩映像の静止画上で雪崩の位置をトレースし、鳥瞰図上に合成していく(図-3 ②)。鳥瞰図を平面図に変換し、トレースの位置座標を求めることにより、従来では困難であった雪崩の幅・面的な流下範囲等の判読が可能となる。また、一定時間毎の座標のずれから速度が求められる。さらに、鳥瞰図内には奥行きに応じて縮尺を設定することが可能であるため、仮想のポールを雪崩の先端部にあわせ、雪崩の高さを解析することも可能である(図-3 ③)。

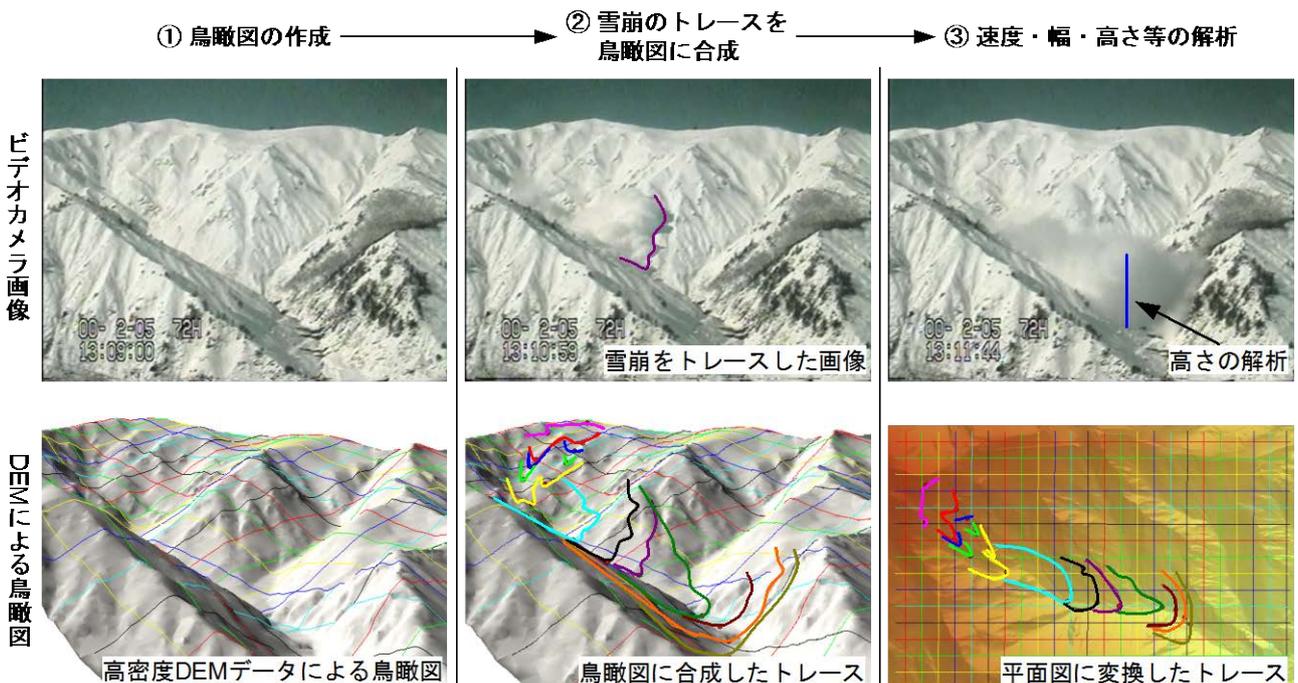


図-3 高密度DEMデータを用いた雪崩映像解析手法の流れ



図-4 2000年2月5日に白馬八方尾根地区で発生した面発生乾雪表層雪崩（煙型雪崩）



図-6 2002年4月18日に柵口地区で発生した面発生湿雪全層雪崩（斜面下方でやや雪煙を伴う流れ型雪崩、点線部）

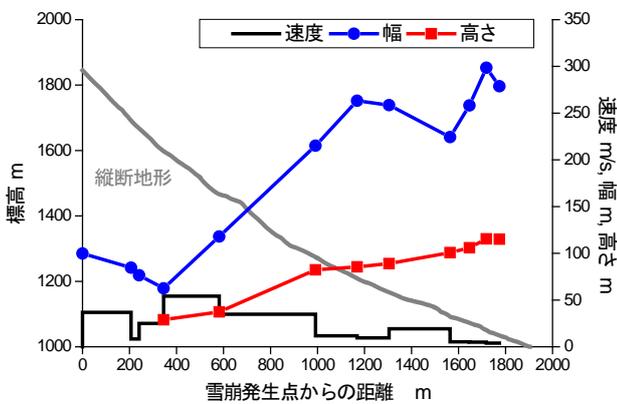


図-5 雪崩流下にもなう速度（黒線）・幅（青線）・高さ（赤線）の変化

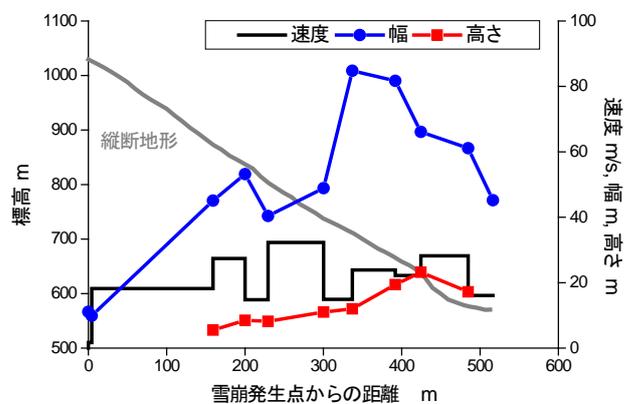


図-7 雪崩流下にもなう速度（黒線）・幅（青線）・高さ（赤線）の変化

#### 4.2 白馬八方尾根地区における解析結果

上述した高密度DEMデータを用いた雪崩映像解析の事例を以下に述べる。2000年2月5日に白馬八方地区で発生した面発生乾雪表層雪崩（図-4）の映像から計測された雪崩の諸元は以下のとおりである。

- ・発生標高：1,845 m
- ・停止標高：1,035 m
- ・流下距離：2,666 m

図-5に雪崩の速度・幅・高さの変化を示す。なお、図-4からもわかるように、この場合は煙型の雪崩であり、雪崩の高さは雪煙を含めたものである。流下距離200 m付近で開けた斜面から谷地形に雪崩が流入したことにより雪崩の幅が小さくなった。また流下距離500 m付近から、流下に伴い雪崩の幅や高さが増加する一方、速度が低下する様子が確認された。これは、雪崩全体の密度が減少することによるものと考えられる。

#### 4.3 柵口地区における解析結果

つぎに、柵口地区で観測された雪崩映像の解析結果を示す。柵口地区は1986年1月26日に雪崩災

害が発生しており、現在その発生箇所である権現岳東斜面を中心とした現地観測を実施している。

2002年4月18日に発生した面発生湿雪全層雪崩（図-6）の映像から計測された雪崩の諸元は以下のとおりである。

- ・発生標高：1,029 m
- ・停止標高：571 m
- ・流下距離：697 m

図-7に雪崩の速度・幅・高さの変化を示す。高さの変化は図-5に示した白馬八方尾根での乾雪表層雪崩と同様にほぼ単調に増加している。一方、速度と幅は大きく変動する傾向がみられるが、両者に明瞭な相関はみとめられない。

ここで、2つの性質の異なる雪崩の違いに着目して分析を行った。雪崩は雪粒子と空気が混然一体となって流下する「重力流」とみなせることから、着色した塩水など密度の大きい流体を水槽に流す重力流実験<sup>4)</sup>で求められた速度・幅・高さなどの変化と比較することができる。そこで、高さの成長率  $dh/dx$  ( $h$ : 雪崩の高さ、 $x$ : 流下距離) を計算したものを水槽実験で求められた値と比べ

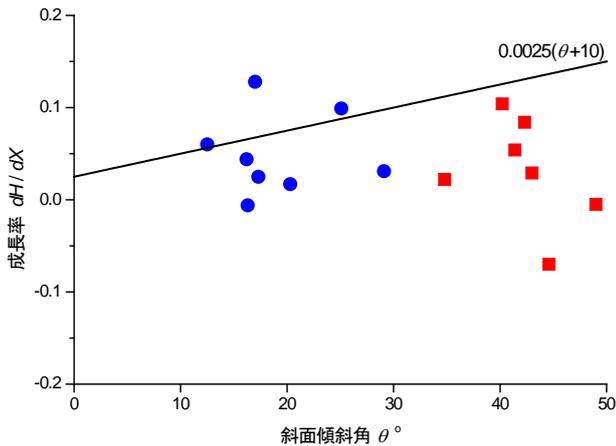


図-8 雪崩の高さの成長率と斜面傾斜角の関係 (● : 白馬八方尾根地区の乾雪雪崩、■ : 柵口地区の湿雪雪崩、実線 : 塩水を用いた水槽実験で得られた関係)

てみた (図-8)。白馬八方尾根で観測された乾雪雪崩は水槽実験で得られた結果に比較的近い範囲に分布しているが、柵口で観測された湿雪雪崩は全般に実験値より小さく、乾雪雪崩より小さい高さの成長率で流下していることがわかる。

同様の解析をほかの解析結果に適用していくことで、湿雪雪崩の高さの推定式などを雪崩観測結果から求めることも可能になると考えられる。また、現在の雪崩対策で用いられている運動シミュレーションは単純な質点モデルが用いられているが、将来的に雪崩を連続体として取り扱うなどシミュレーション手法の高度化をはかる場合には、今回得られたような実測データを用いて検証することで、より実態に即したものになると考えられる。

## 5. まとめ

高密度DEMデータを用いることで、従来は計測が困難であった雪崩観測地における積雪期の面

的な斜面形状を把握することが可能となる。

また、雪崩映像解析に高密度DEMデータを活用することによって、雪崩の動態を定量的に明らかにすることができる。今後は、雪崩映像をさらに収集・解析し、得られた雪崩の幅・高さ等の解析結果を蓄積することで、雪崩運動シミュレーションの検討への活用も期待できる。

## 謝 辞

積雪深計測データについては、国土交通省北陸地方整備局松本砂防事務所にデータ提供をいただいた。映像解析および観測では、株式会社アルゴスにご協力いただいた。白馬八方尾根地区の観測では、八方尾根開発株式会社および株式会社白馬フォーティセブンにご協力いただいた。ここに記して感謝します。

## 参考文献

- 1) 岩男忠明・寺田秀樹・金子正則・松田宏・織茂郁・本間信一：積雪深計測への航空機搭載型レーザープロファイラの適用性検討、2001年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集、p.181、2001
- 2) 長谷川賢市・岡嶋康子・吉田克美・小川紀一朗・佐野寿聰：航空レーザー計測による雪崩と積雪深分布特性、2007年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集、P.214、2007
- 3) 秋山一弥・武士俊也：雪崩の流下映像による動態解析、寒地技術論文・報告集、第20巻、pp.284-291、2004
- 4) Pierre Beghin・Xavier Olagne：Experimental and theoretical study of the dynamics of powder snow avalanches, Cold Regions Science and Technology, Vol.19, pp.317-326, 1991

伊藤陽一\*



独立行政法人土木研究所  
つくば中央研究所土砂管理研究グループ雪崩・地すべり研究センター 研究員  
Yoichi ITO

花岡正明\*\*



株式会社高速道路総合技術研究所 (前独立行政法人土木研究所つくば中央研究所土砂管理研究グループ雪崩・地すべり研究センター 上席研究員)  
Masaaki HANAOKA

岩崎和彦\*\*\*



応用地質株式会社 (前独立行政法人土木研究所つくば中央研究所土砂管理研究グループ雪崩・地すべり研究センター 交流研究員)  
Kazuhiko IWASAKI

石井靖雄\*\*\*\*



独立行政法人土木研究所  
つくば中央研究所土砂管理研究グループ雪崩・地すべり研究センター 上席研究員  
Yasuo ISHII