

## 論文の内容の要旨

論文題目 LIDARデータの雪氷防災への適用  
積雪相当水量の推定と雪崩発生危険度の評価  
Application of LIDAR data to Snow Disaster Prevention  
Estimation of snow water equivalent volume and avalanche risk

氏 名 秋 山 実

### 1. はじめに

2004年10月23日に発生した新潟県中越地震と2004-2005年冬季の大雪は、雪氷防災行政にも新たな課題を投げかけた。この地震により形成された河道閉塞(天然ダム)では、応急対策工により当面の二次災害が防止されたが、春季の融雪出水の影響が懸念される状況となり、積雪相当水量の推定が緊急課題となった。また地震時に地すべりや斜面崩壊が発生した斜面では、雪崩が大量に発生し、雪崩危険度評価の精度向上が望まれた。

一方、近年利用が進んできた航空レーザ測量(LIDAR)は、地形や積雪上面を面的に測定できるため、積雪深分布の計測や斜面傾斜角の面的把握に適している。

そこで本研究では、雪氷災害の中でも特に重要な融雪出水と雪崩を取り上げ、LIDARデータにより、積雪相当水量の推定を高精度化するとともに、雪崩の発生危険度に対する各説明変数の寄与を分析して、より定量的な説明が可能な、新たな雪崩発生危険度評価手法を提案することを目的とした。

### 2. 研究対象地区と初期データの作成

新潟県中越地震で大きな被害を受けた旧山古志村(長岡市山古志)芋川流域では、地震の被害把握やその後の河道閉塞対策、豪雪対策などの目的で、空中写真やLIDARデータの取得が繰り返し実施され、積雪量の計測や雪崩の判読なども面的に実施され、雪崩実績図が作成されるなど、本研究に必要な原データや評価用データとして利用可能であった。そこで、積雪相当水量の推定と雪崩発生危険度の推定に共通のデータを用いることとし、5mグリッドデータとして整理した。

### 3. 積雪相当水量の推定

積雪前のLIDARデータから地表面のDEMデータを作成し、積雪後のLIDARデータから積雪

上面のDSMデータを作成した。両データの差分から、積雪深グリッドデータを算出した。芋川流域全体の平均積雪深は2.84m、積雪総量は108.6百万m<sup>3</sup>と推定された。次に対象地域5ヶ所でスノーサンプルを採取し、雪密度を計測した。5点における雪密度の平均値とそのばらつきから、流域全体の雪密度を456.43±46.88kg/m<sup>3</sup>と推定した。積雪総量と雪密度から、流域全体の積雪相当水量は49.1±5.1百万m<sup>3</sup>、東竹沢河道閉塞の集水域では23.9±2.5百万m<sup>3</sup>と推定された。この結果は、国土交通省河川局に報告するとともに、2005年3月4日に記者発表し、融雪出水対策の基礎資料として活用された。

LIDARデータを用いた積雪深分布の計測と積雪相当水量の推定は、近年いくつか研究的に実施されてきたが、実際の融雪出水対策に活用され、その有効性が確認されたことから、手法としてほぼ確立できたと考えられる。今後は積雪期のダム管理にも広く活用されることが期待される。

#### 4. 雪崩発生危険度の推定

雪崩発生危険度の推定については、積雪前のLIDARデータから作成した地表面DEMデータからの斜面傾斜角グリッドデータ、積雪前の空中写真データの画像分類による土地被覆グリッドデータ、積雪前の空中写真から雪崩の発生に関連の強い筋状地形と崩壊地形を判読した地形的特徴グリッドデータの3種のデータを入力データとした。

一方、長岡雪氷防災研究所（現(独)防災科学技術研究所雪氷防災研究センター）が積雪後の空中写真から判読した「雪崩実績図」をグリッドデータ化し、評価・分析用の正解データとして利用した。

通常、積雪深は雪崩の発生に直接関係する要因であるが、LIDAR計測日における積雪深分布は、すでに雪崩によって積雪が移動してしまった結果を示しており、積雪深データは、なだれの発生要因としてよりは、雪崩の結果としての積雪深分布を示しているため、説明変数から除外した。

従って、説明変数としては傾斜角、土地被覆、地形的特徴の3つを用いることとし、それぞれの雪崩発生率への寄与を分析した。この3つの説明変数のうち、まず唯一の定量的変数である傾斜角と雪崩発生率との関係を調べた。傾斜角と、雪崩発生率とのグラフを図1に示す。

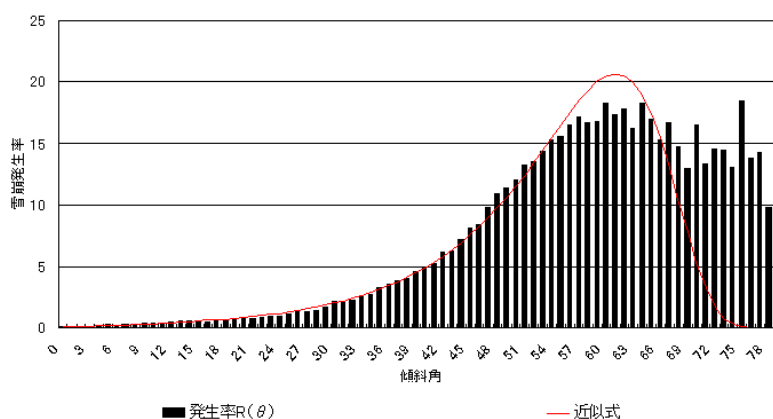


図1 傾斜角対雪崩発生率と近似モデル

雪崩を地表と積雪との境界面もしくは積雪層間の境界面におけるすべり現象と捉えると、斜

面傾斜角を  $\theta$ ，動摩擦係数を  $\mu'$ ，最大静止摩擦係数を  $\mu_s$  とするとき，雪崩発生の条件は， $\mu' < \tan \theta < \mu_s$  で表される。そこで，傾斜角  $\theta$  に対する雪崩の発生率  $R$  を表すモデルとして，次式のように摩擦係数  $\tan \theta$  を変数とする正規分布関数を仮定した。

$$R(\theta) = \frac{A}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left\{-\frac{(\tan \theta - \mu_0)^2}{2\sigma^2}\right\} , \text{ ここで, } A/\sqrt{2\pi}\sigma \text{ はグラフのピークにおける発生}$$

率， $\mu_0$  はピークの傾斜角を  $\theta_0$  としたときの摩擦係数  $\tan \theta_0$ ， $\sigma^2$  は正規分布の分散にそれぞれ相当する。このパラメータを，図 1 の棒グラフを近似するように最小二乗法で求めると，

$$R(\theta) = 20.7 \times \exp\left\{-1.53 \times (\tan \theta - 1.81)^2\right\} \text{ となり, これを傾斜角による雪崩発生率の関数}$$

として採用した。近似関数のグラフを図 1 に示す。この近似関数で各グリッドの危険度を評価し，評価点と雪崩発生率との相関をとると，相関は 0.991 となった。

次に定性的説明変数である土地被覆クラスと地形的特徴クラスについて，それぞれのクラス毎に傾斜角と雪崩発生率のグラフを作成したところ，各グラフは全データのグラフとほぼ相似で，比例的な関係にあると推定された。従って，それぞれのクラスは全データに対応するグラフに倍率を掛ける形で寄与していると推定された。既往研究におけるこれまでの評価式では，定性的説明変数である土地被覆クラスや地形的特徴クラスについても，それらを経験に基づいて点数化し，それらを加算した総合得点で危険度を評価していた。これに対して，今回の分析からは，定性的説明変数の寄与は加算的ではなく，乗算的であるという結論が得られた。すなわち，雪崩発生危険度評価得点を  $R$ ，積雪深得点を  $Sd$ ，傾斜角得点を  $Sl$ ，土地被覆得点（係数）を  $Lc$ ，地形的特徴得点（係数）を  $St$  とすると，これまでの評価式では， $R = Sd + Sl + Lc + St$  であったのに対して，新たな評価式では， $R = Sl \times Lc \times St$  となる。

各クラスの寄与率としては，雪崩発生危険度評価得点と雪崩発生率との相関を最大とする値を採用した。このときの相関は，0.9942 という高い値が得られた。土地被覆クラスでは，本

来雪崩が発生しやすいと思われる草地・灌木クラスの係数が，雪崩発生に抑制的と思われる森林クラスよりも小さい係数となるなど，さらに分析を要する結果もあるが，算出される危険度は雪崩発生率に対応したものとなり，対策工の優先度付けなど，行政上の対策立案にも利用しや

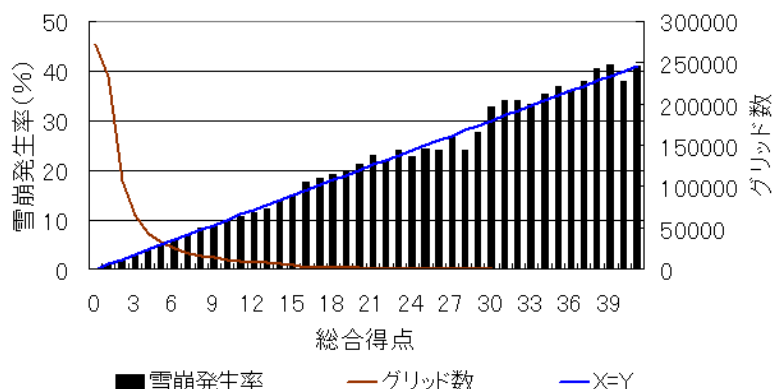


図2 雪崩発生危険度評価得点と雪崩発生率

すいものが得られたと考えられる。図2に雪崩発生危険度評価得点と雪崩発生率の関係を示す。

評価式を推定したデータと独立なデータで、評価式の有効性を検証するため、対象地域を南北に二分し、一方のデータで推定した評価式を他方に適用し、相関を求めた。その結果、0.96及び0.92という高い相関が得られ、本手法の有効性が検証された。

本研究で新たに作成した「雪崩発生危険度図」を図3に示す。この図で危険度が高いとされた赤色の地区は、黒色で示した雪崩実績と非常によく重なっており、危険度の高い斜面と低い斜面のメリハリもよく、雪崩防災対策の優先度付けにも十分寄与できるものと期待される。



図3 雪崩の発生危険度評価図