

第6章

山岳域雪崩リアルタイムハザードマップの試作

地形条件・樹林条件からなる雪崩ポテンシャル箇所抽出の検討
Extraction of avalanche potential sites based on
topographical factor and vegetation factor.

阿部 直樹¹⁾, 中村 一樹^{1,2)}, 上石 勲^{1,2)}
N. Abe¹⁾, K. Nakamura^{1,2)}, I. Kamiishi^{1,2)}

¹⁾ 防災科学技術研究所 気象災害軽減イノベーションセンター

¹⁾ *Innovation Center for Meteorological Disaster Mitigation, National Research Institute for earth Science and Disaster Resilience*

²⁾ 防災科学技術研究所 雪氷防災研究センター

²⁾ *Snow and Ice Research Center, National Research Institute for earth Science and Disaster Resilience*

Abstract: In order to create avalanche hazard maps for all Japan, we tried to extract avalanche potential sites automatically by factors for topography and vegetation in Mt. Nasu area. The topographic factors are evaluated from the gradient classification from 5 m DEM maintained by the Geographical Survey Institute. For vegetation factors, high resolution satellite image is processed and evaluated from the DSM based on the forest height and coverage.

The evaluation method by combining these two factors was applied to Mt. Nasu area (Tochigi Prefecture), and a place with high avalanche potential was extracted.

Key words: avalanche potential sites, topographical factor, vegetation factor, GIS, satellite image,

1. はじめに

2017年3月27日に栃木県那須町的那須ファミリースキー場近傍で雪崩が発生し、春山登山研修中の高校生と教員が巻き込まれ、8名が死亡するなど甚大な被害が発生した。このような雪崩災害の防止・軽減には、雪崩が発生するポテンシャルが高い箇所をあらかじめ抽出し、雪崩ハザードマップの整備によって対策を講じることや、実際の積雪深に応じた特定の斜面の雪崩発生危険度を知らせるリアルタイムハザードマップの整備など、雪山の状況を捉え広く伝えることが必要である。

一方、雪崩ポテンシャル箇所の抽出には、地形条件ならびに樹林条件の把握が必要となる。一般に地形情報や樹林情報の現況を把握するためには、航空機レーザーによる測量が有効であるが、全国の雪崩ポテンシャル箇所を抽出するために新たに航空機レーザー測量を実施するためには、多大な費用が必要となることから、全国的な雪崩ハザードマップの整備は困難となっている。

そこで、本研究では、比較的安価に整備が可能な衛星画像を用いて、今回の雪崩発生箇所を含む茶臼岳を中心とした100平方キロメートル範囲について雪崩ポテンシャル箇所の抽出を試行し、検討を行った。

2. 解析方法

本研究では、まず地形条件として基盤地図情報の5mメッシュ数値標高モデル(DEM)を利用して、対象範囲の傾斜度を算出した。また、樹林条件として衛星画像による数値表層モデル(DSM)を利用して、対象範囲の植生区分と樹林高さ、植生被覆率を算出した。

次に雪崩が発生するポテンシャルが高い箇所を評価因子により得点設定し、傾斜区分図と樹木高さ別の植生被覆図から、対象エリアの傾斜評価と植生被覆率評価を統合し、雪崩ポテンシャルの高い箇所として評価した。

なお、それぞれの値の抽出と区分図および被覆図の作成には、GIS(Geographic Information System)を用い、10mメッシュ図に評価得点の埋め込み処理をおこなった。

2.1 傾斜区分の算出

那須茶臼岳を中心とした 100 平方キロメートル範囲の数値標高モデル (DEM) 5m メッシュデータの標高値に基づき、GIS を用いて 3×3 メッシュ間の変化率を計算し、各メッシュの傾斜角を算出した。図-1 に GIS を用いて傾斜区分を色分けして地図化した結果を示す。なお、当該範囲の数値標高モデルは、2009 年 6 月 2 日から 2010 年 3 月 20 日までに撮影された成果から作製されたものである。

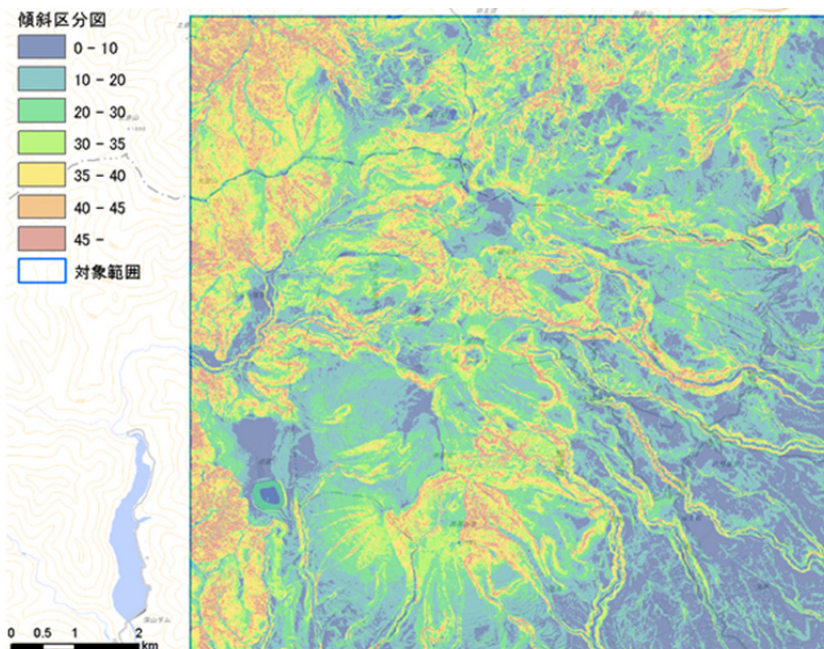


図-1 傾斜区分図

2.2 植生区分と樹林高さの算出

衛星画像による数値表層モデル (DSM) は、米国 Digital Globe 社の World View 衛星等の画像を元に作製された「AW3D 高精細版地形データ」を利用した。AW3D は市販されている衛星数値表層モデルの中でも高精細かつ網羅性に優れており、2m の解像度を有している。なお、今回使用した数値表層モデルの元となった衛星画像は、2014 年 10 月 24 日から 2015 年 12 月 9 日の撮影成果によるものである。

この数値表層モデル (DSM) と前項の数値標高モデル (DEM) との差分をとり、樹木を含む地物の高さ (樹冠高さモデル: DCHM) を作製した (図-2)。DCHM のうち 2m 以上を評価対象の植生とした。また、対象の植生から樹高別に、2m 以上 4m 未満 (低木相当)、4m 以上 8m 未満 (中木相当)、8m 以上 (高木相当) と植生を区分した。

各樹高による植生区分において、処理対象から半径 10m の円内に含まれる植生に該当する面積を算出し、円の面積から割り戻すことで植生の被覆率を算出した (図-3)。図-4 に GIS を用いて樹高区分別の植生被覆率により色分けして地図化した結果を示す。

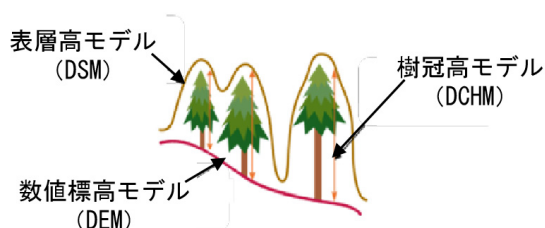


図-2 DCHM の概念図

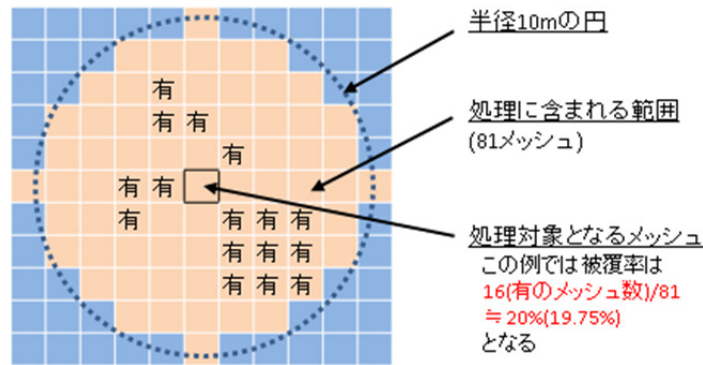


図-3 半径 10m の森林被覆率の算出概念図

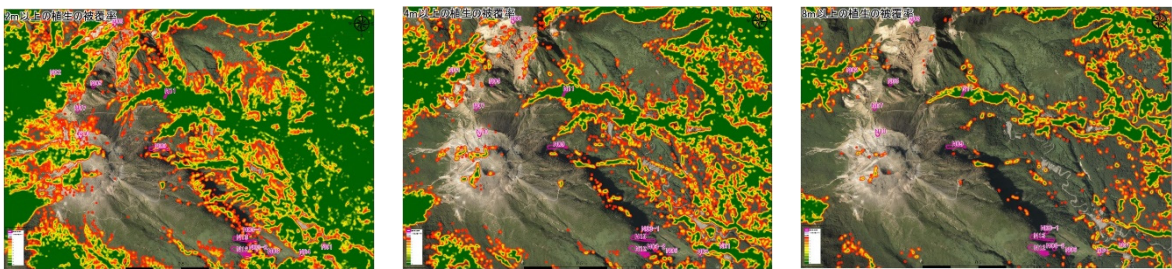


図-4 植生被覆図（左から樹高 2m 以上，4m 以上，8m 以上）

2.3 評価因子別の得点設定

雪崩が発生するポテンシャルが高い箇所を評価因子により得点設定するにあたり，雪崩防災対策調査報告書（建設省，1983）の「危険度分級基準」を参考に評価得点設定を行った（表-1）．それぞれ地形の傾斜度や樹高の高さ，植生の被覆率によって得点化されていることから本得点評価表を参考とした．さらに，傾斜区分評価得点と植生被覆率評価得点を合計した値から総合危険度評価得点表（表-2）を設定し，雪崩ポテンシャルとして危険度を評価することとした．なお，雪崩防災対策調査報告書の「危険度分級基準」の得点は傾斜・植生に加え，積雪深の評価得点を合計して雪崩の危険度を評価しているが，本評価では傾斜と植生の2項目を用いて雪崩のポテンシャルを評価する．

表-1 傾斜区分と植生区分の評価得点表

要因	階級	データとの対応	得点
傾斜	30° 未満	地形データより傾斜度30° 未満の箇所	4
	30° ~40°	地形データより傾斜度30° 以上40° 未満の箇所	7
	40° 以上	地形データより傾斜度40° 以上の箇所	10
植生	裸地、草地、樹高2m未満の灌木、樹冠疎密度20%未満	森林データより樹高2m未満または被覆率20%未満の箇所を抽出	10
	疎密度20%~100%の低木 または疎密度20%~50%の中木	低木条件(森林データより樹高2m以上4m未満かつ被覆率20%以上)または中木条件(森林データより樹高4m以上8m未満かつ被覆率20%以上50%未満)を満たす箇所	9
	疎密度50%~100%の中木 または疎密度20%~50%の高木	中木条件(森林データより樹高4m以上8m未満かつ被覆率50%以上)または高木条件(森林データより樹高8m以上かつ被覆率20%以上50%未満)を満たす箇所	7
	疎密度50%~100%の高木	高木条件(森林データより樹高8m以上かつ被覆率50%以上)を満たす箇所	4

雪崩防災対策調査報告書（第8巻 雪崩対策 建設（1983））

表-2 総合危険度評価得点表

危険度	得点	評価
A	18 以上 20 以下	雪崩発生の起こりやすさが大
B	15 以上 17 以下	雪崩発生の起こりやすさが中
C	13 以上 14 以下	雪崩発生の起こりやすさが小
D	13 未満	雪崩発生の起こりやすさが極めて小

3. 評価結果

3. 1 雪崩ポテンシャル箇所の抽出

傾斜区分と植生区分の評価得点表を元に、傾斜区分図と植生被覆図について評価得点による色分類を行った（図-5、図-6）。なお、図-6の植生被覆率評価図については、樹高2m, 4m, 8mの被覆図をGISで空間的に統合し、1メッシュごとの評価を行うために10mメッシュ図に評価得点値の埋め込みを行った。

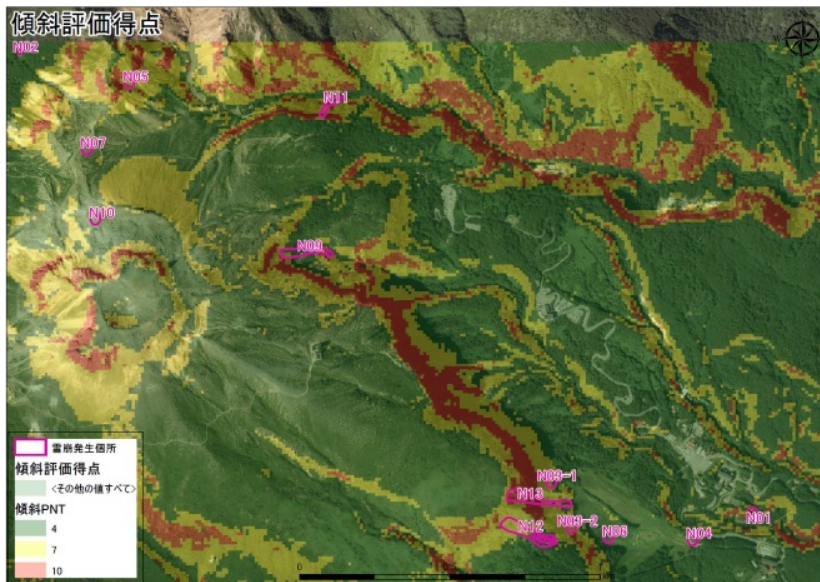


図-5 傾斜区分評価図

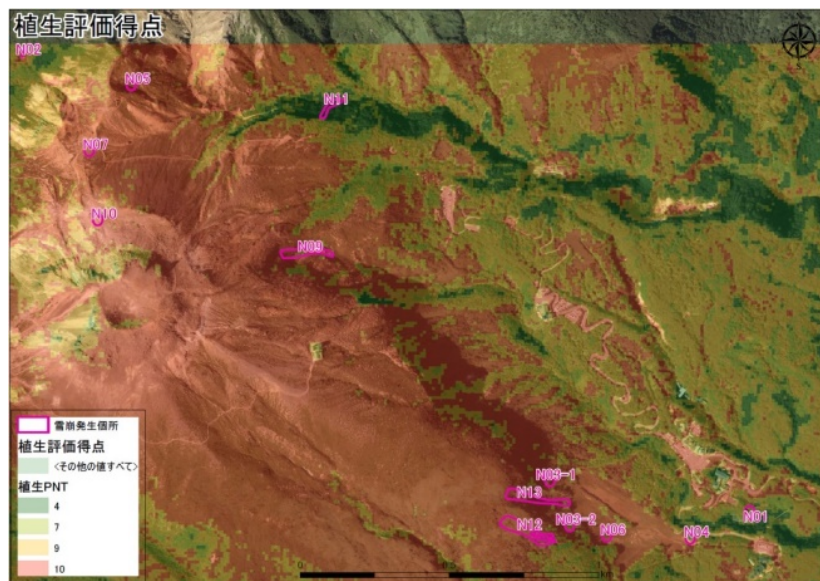


図-6 植生被覆率評価図

次に作成した傾斜評価と植生被覆率評価を統合した（図-7）。

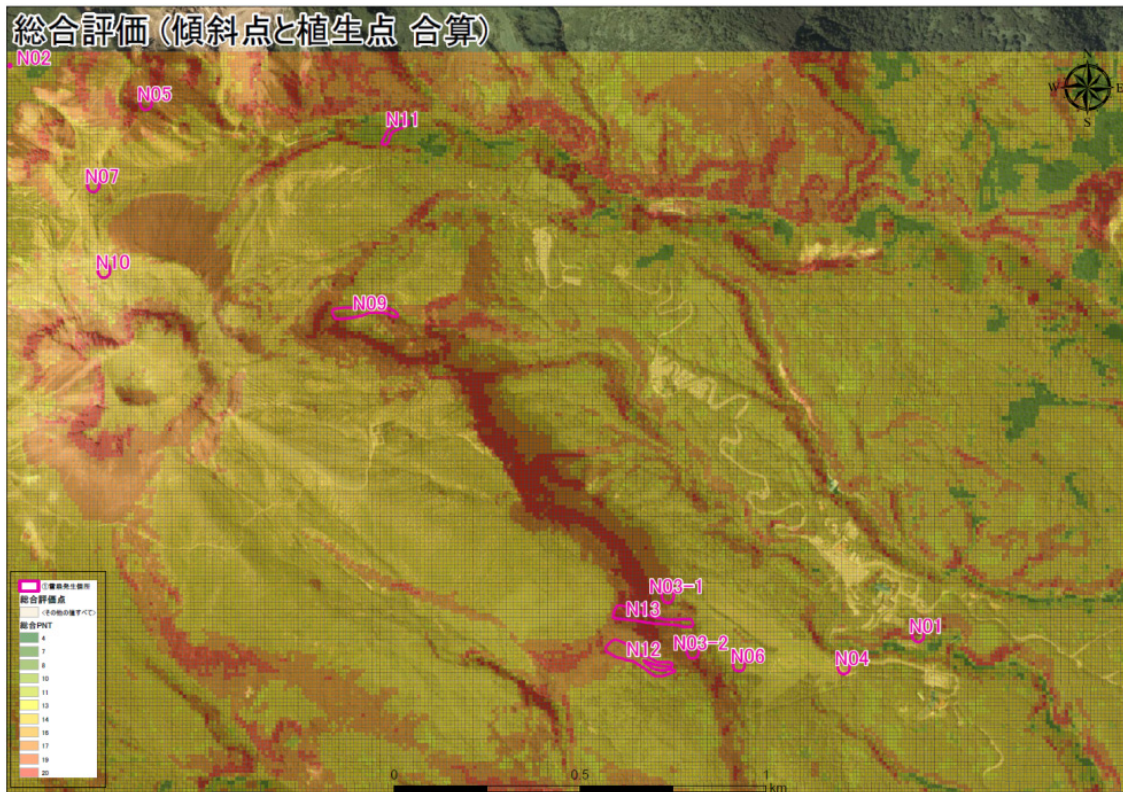


図-7 植生被覆率評価・傾斜評価統合図

統合した傾斜評価結果と植生被覆率評価結果を表-2の総合危険度得点表に従いランク化し、雪崩ポテンシャル評価図を作成した（図-8）。

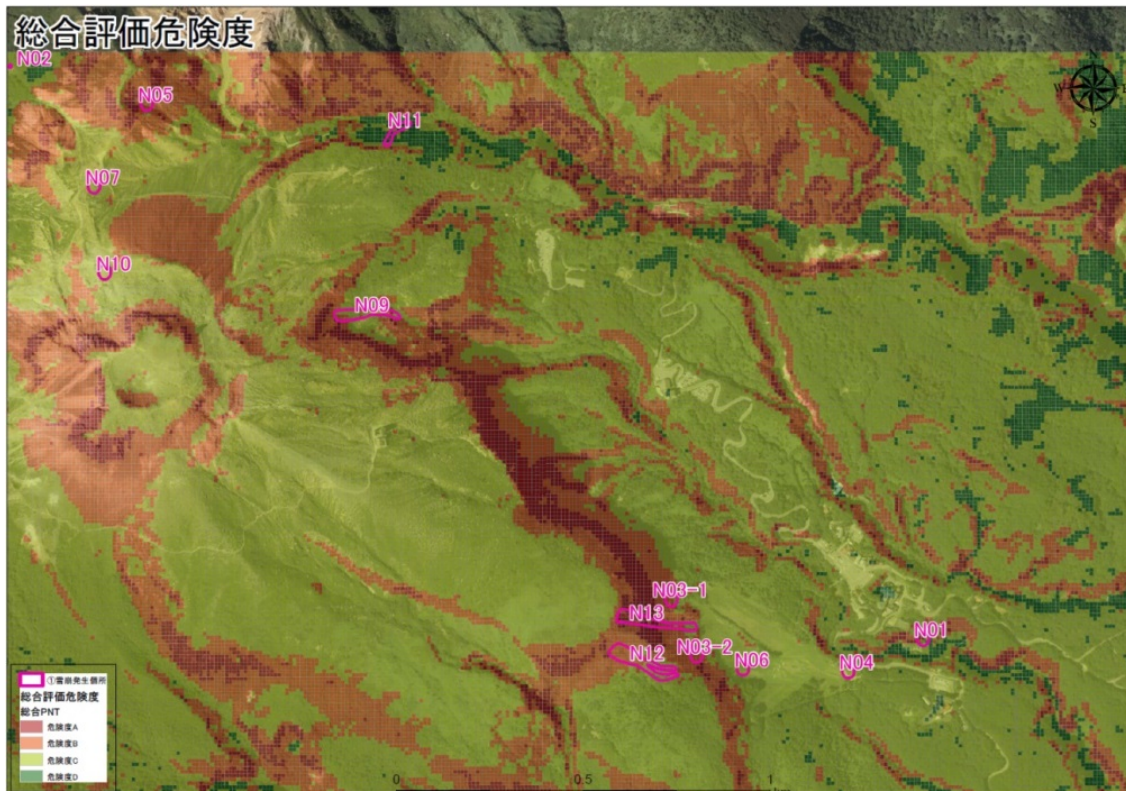


図-8 雪崩ポテンシャル評価図

3. 2 雪崩ポテンシャル箇所抽出結果の考察

当該地域における雪崩発生事例と地形情報・植生情報から雪崩の発生ポテンシャルについて整理を実施した（表-3）。雪崩発生箇所の地形（傾斜度）・植生（樹高と植生疎密度）をGISの空間解析機能により雪崩発生箇所ごとの比較を行ったところ、傾斜や植生疎密度に関してはほぼ同一の危険度評価結果が得られた。

表-3 雪崩発生箇所別評価結果

番号	発生日	精度	傾斜評価点数	植生被覆評価点数	総合評価点数
N01	1938年3月7日	おおよそ	10	10	20
N02	戦前	代表点	4	10	14
N03-1	1969年2月9日	明確	7	10	17
N03-2	1969年2月9日	明確	7	10	17
N04	1969年3月5日	おおよそ	4	10	14
N05	1972年4月10日	明確	10	10	20
N06	1973年1月12日	明確	4	10	14
N07	1980年代	おおよそ	4	10	14
N09	2000年3月27日	明確	10	10	20
N10	2009年4月2日	おおよそ	4	10	14
N11	2009年4月4日	明確	4	10	14
N12	2017年3月27日	明確	10	10	20
N13	2017年3月28日	明確	10	10	20

4. まとめ

本研究では2017年3月に雪崩が発生した栃木県那須町茶臼岳を中心に、衛星画像の活用による地形・植生要因を指標とした雪崩ポテンシャル箇所の抽出方法を提案した。本研究では、地形の傾斜状況、植生の植生疎密度状況の評価因子としたが、地形条件には発生区の傾斜・斜面形（縦断形状・横断形状・平面形状）・斜面規模・標高・方位があり、植生条件には樹種・樹高・疎密度・配置があることから、今後、評価因子と雪崩発生との相関が明らかにされることで、より多面的な評価による雪崩ポテンシャル箇所の抽出が実現すると考える。

引用文献

- 建設省，1983：雪崩防災対策調査報告書（第8巻 雪崩対策）．
 鈴木 比奈子，内山 庄一郎，中村 一樹，2017：災害事例の文献調査と地図化を通じた那須岳周辺の雪崩災害の発生傾向の調査．雪氷研究大会（2017・十日町）講演要旨集，77．

太平洋側地域に適用可能な雪崩発生危険度の評価方法

A Method for Evaluating Avalanche Starting Risk Applicable to the Pacific Side Area of Japan

吉川 知里¹⁾, 河島 克久²⁾, 松元 高峰²⁾
C. Yoshikawa¹⁾, K. Kawashima²⁾, T. Matsumoto²⁾

¹⁾ 新潟大学 理学部

¹⁾ Faculty of Science, Niigata University

²⁾ 新潟大学 災害・復興科学研究所

²⁾ Research Institute for Natural Hazards and Disaster Recovery, Niigata University

Abstract: A simple method for evaluating avalanche starting risk was developed by using data of snow avalanches observed in Yamanashi Prefecture and Tokyo metropolitan area in February, 2014, with the object of application to the Pacific side area of Japan where extratropical cyclons cause heavy snowfall in general. In this method, the avalanche starting risk is determined according to the combination of slope angle factor and vegetation factors, and is expressed in seven levels in 10-meter grid square. The application of the method to Hayakawa region (Yamanashi Prefecture) and Mt. Nasu (Tochigi Prefecture) confirmed its relevance.

Key words: avalanche starting risk, Pacific side area of Japan, vegetation factor, GIS

1 はじめに

普段は積雪の少ない太平洋側の地域でも南岸低気圧の影響により大雪となり、雪崩が発生することがある。例えば、2014年2月14日～16日に関東甲信地方を中心として広範囲に大雪となった結果、山梨県や埼玉県の間山部などで雪崩が頻発し、集落が孤立する事例が多数見られた。また、2017年3月27日には栃木県那須町で雪崩が発生し、48名もの死傷者を出した。このような雪崩災害を防止・軽減するためには、雪崩発生危険度の高い斜面を特定し、対策を講じる必要がある。

日本海側の多雪地域では倉島(1985)や新山ら(2003)が、傾斜・植生・積雪深の3要因から雪崩発生危険度を定量的に評価する方法を提案している。しかし、この評価方法をそのまま太平洋側地域に適用することはできない。なぜなら、日本海側では植生が雪崩の抑制に大きな効果を発揮するため、樹林帯での雪崩は通常発生しにくい。太平洋側では、2014年関東甲信大雪の際に秋山ら(2015)が指摘しているように、密な樹林内でも雪崩が発生する事例が多数みられるためである。そこで、本研究では太平洋側の地域に適用可能な雪崩発生危険度の評価方法を確立することを目的とする。南岸低気圧により太平洋側で降る雪はサラサラとして崩れやすい性質を持っていることが多いため(中村ら, 2014)、積雪深が少なくても雪崩が発生することがある。このことから、積雪深は必ずしも良い指標とはならないので、本研究では積雪深を除いた傾斜と植生に基づいて、潜在的な雪崩発生危険度の評価方法を検討する。

2 解析方法

本研究では、まず2014年2月14日～16日の大雪イベントにおける雪崩発生地点と非発生地点について、傾斜要因と植生要因(樹高、樹冠密度、植生種類)を新山ら(2003)を参考にして求める。次に発生・非発生の標本分布に基づき各要因の階級を区分し、数量化二類を適用して雪崩発生への影響度を表すスコアを求める。得られたスコアを用いて、10mメッシュで雪崩発生危険度を定量的に評価する方法を提案する。

2.1 雪崩の発生地点及び非発生地点の特定

2014年2月の関東甲信大雪時の山梨県と東京都の雪崩調査結果(和泉ら, 2014)に基づき、雪崩発生地点44か所を特定した。また、その近傍において非発生地点44か所を選んだ。本作業ではデジタル空中写真も用いた。

2.2 傾斜と植生の算出

特定した地点について、国土地理院の航空レーザ測量データを用いて GIS (Geographic Information System) 上で傾斜と植生を算出した。まず、航空レーザ測量データから、樹木や地上構造物を含んだ地表面形状を表す 2 m メッシュの DSM と、地盤標高を表す 1 m メッシュの DEM を作成した。DEM から四近傍法により 1 m メッシュの傾斜を求めた後、発生地点もしくは非発生地点を含む 10 m メッシュの平均傾斜を求めた。樹高は DSM と DEM の差から 2 m メッシュ毎に算出した後、10 m メッシュの平均をとることで求めた。また、2 m メッシュ毎の樹高が 2 m 以上であった場合に「樹木あり」とし、10 m メッシュ内に「樹木あり」のメッシュが存在する割合を樹冠密度として算出した。植生種類については環境省の植生区分図から判断した。

2.3 階級区分と数量化二類の適用

発生地点と非発生地点の各要因の標本分布に基づき、傾斜要因と植生要因を階級区分した。次に数量化二類による判別分析を行うことで、雪崩発生・非発生を傾斜と植生に基づいて予測するためのスコアを得た。

3 解析結果

3.1 発生・非発生地点における各要因の分布の特徴

算出した各要因の標本分布を図-1 に示す。傾斜要因は、発生地点では 35~45° に集中しており、非発生地点では 20° 未満の緩斜面から 60° 以上の急斜面まで幅広く分布していた。一方、植生要因には、樹高 8 m 以上の高木では雪崩が発生しにくいという特徴が見られた。また、樹冠密度は、非発生地点では 90% 以上にほとんど集中しており、0~100% の間に広く分布する発生地点とは大きく異なる。さらに、落葉樹では発生の割合が多く、常緑樹では非発生の割合が多いことが分かった。これらの特徴に基づいて、数量化二類で用いる階級区分を表-1 のように設定した。

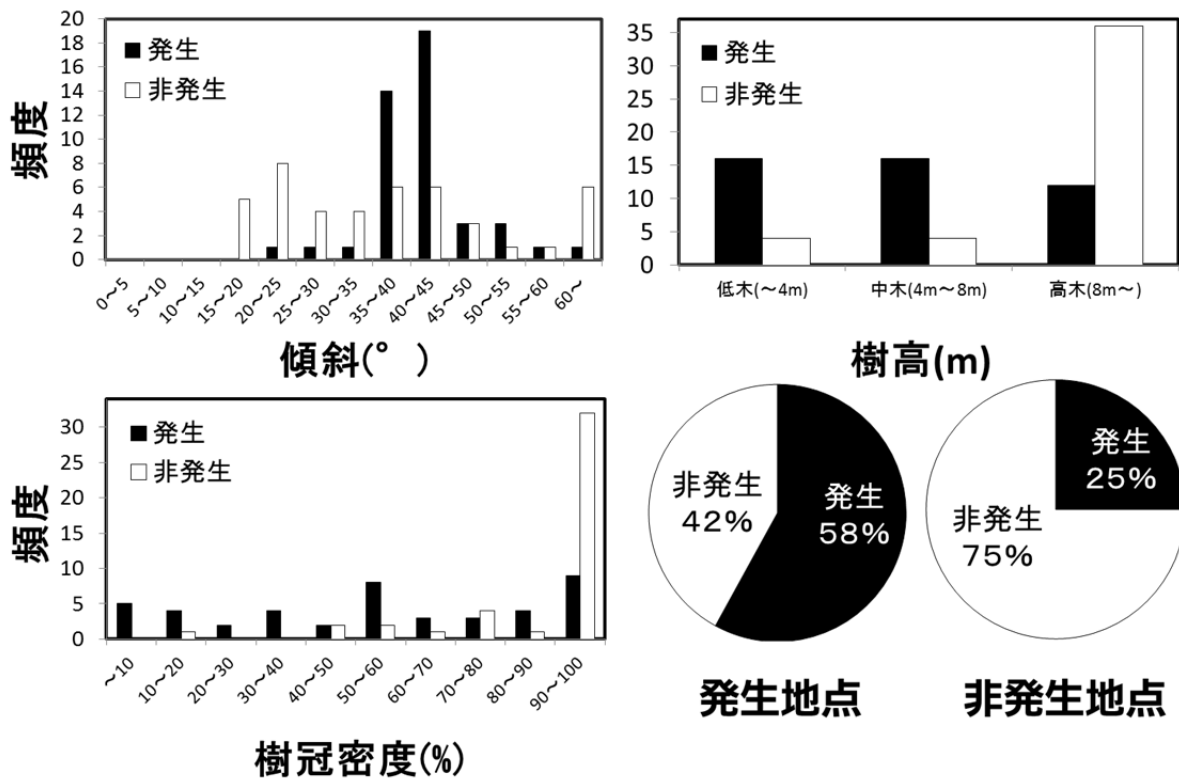


図-1 傾斜要因と植生要因の標本分布.

表-1 雪崩発生に寄与する要因と階級区分及びスコア

要因	階級	スコア
傾斜	20°未満または60°以上	-0.9302
	20°以上かつ35°未満	-0.6013
	35°以上かつ45°未満	0.7037
	45°以上かつ60°未満	0.212
植生	樹冠密度80%以上の高木	-0.493
	樹冠密度80%以上の中低木 樹冠密度80%未満の常緑樹	-0.0434
	樹冠密度80%未満の落葉樹 草地、裸地	0.6244

表-2 本研究で提案した雪崩発生危険度の評価方法

植生	傾斜			
	~25°,60°~	25°~35°	45°~60°	35°~45°
樹冠密度80%以上の高木	-1.423	-1.094	-0.281	0.211
樹冠密度80%以上中低木 樹冠密度80%未満の常緑樹	-0.974	-0.645	0.170	0.660
樹冠密度80%未満の落葉樹 草地、裸地	-0.306	0.023	0.836	1.328

■ ~ -1.25
 ■ -1.25~-0.75
 ■ -0.75~-0.25
 ■ -0.25~0.25
 ■ 0.25~0.75
 ■ 0.75~1.25
 ■ 1.25~

低 ←————— 雪崩危険度 —————→

3.2 数量化二類により得られたスコアと評価方法

数量化二類による解析から、表-1のようなスコアが得られた（的中率 88%）。雪崩発生危険度は傾斜・植生要因の各スコアを足し合わせることで行い評価し、合計スコアがプラスで大きくなるほど危険度が高いことを意味する。例えば、ある地点において傾斜が 20°かつ樹冠密度 80%以上の中木の植生が存在している場合、合計スコアは-0.6447 となり、合計スコア<0 であるので雪崩発生危険度は低いと評価される。傾斜が 4 階級、植生が 3 階級あるので、12 通りの合計スコアが出現する。本研究では、この 12 通りの合計スコアを 0.5 間隔で 7 段階に分けて雪崩危険度を評価することとした（表-2）。

4 妥当性の検証

本研究で確立した評価方法を山梨県早川町の 1 km 四方の領域に適用し、図-2 及び図-3 のような雪崩発生危険度マップを作製した（10 m メッシュ毎）。図-2 において、北西側の斜面は植生が少ないため危険度が高いと評価される地点が多いが、南東側の斜面は植生が密かつ樹高も大きい急な斜面であっても危険度が低いと評価されている。図-3 で↓印を付けた地点は空中写真から 2014 年 2 月 14 日~16 日の大雪イベントで雪崩が確認された地点である。この 2 地点は、7 段階で 2 番目に高い雪崩危険度のメッシュに位置しており、実際に雪崩が発生したことを考慮すると妥当な評価がなされていると言える。また、栃木県那須町の那須岳周辺に適用した結果を図-4 及び図-5 に示す。那須岳においても、過去に雪崩が発生した 5 地点（図-4 の×印、図-5 の↓印）全てが雪崩危険度が最も高いメッシュに位置していることがわかる。以上から、本研究で提案した雪崩発生危険度の評価方法は、山梨県、栃木県などように、降雪が主に南岸低気圧によってもたらされる太平洋側地域に広く適用できる可能性が示唆された。

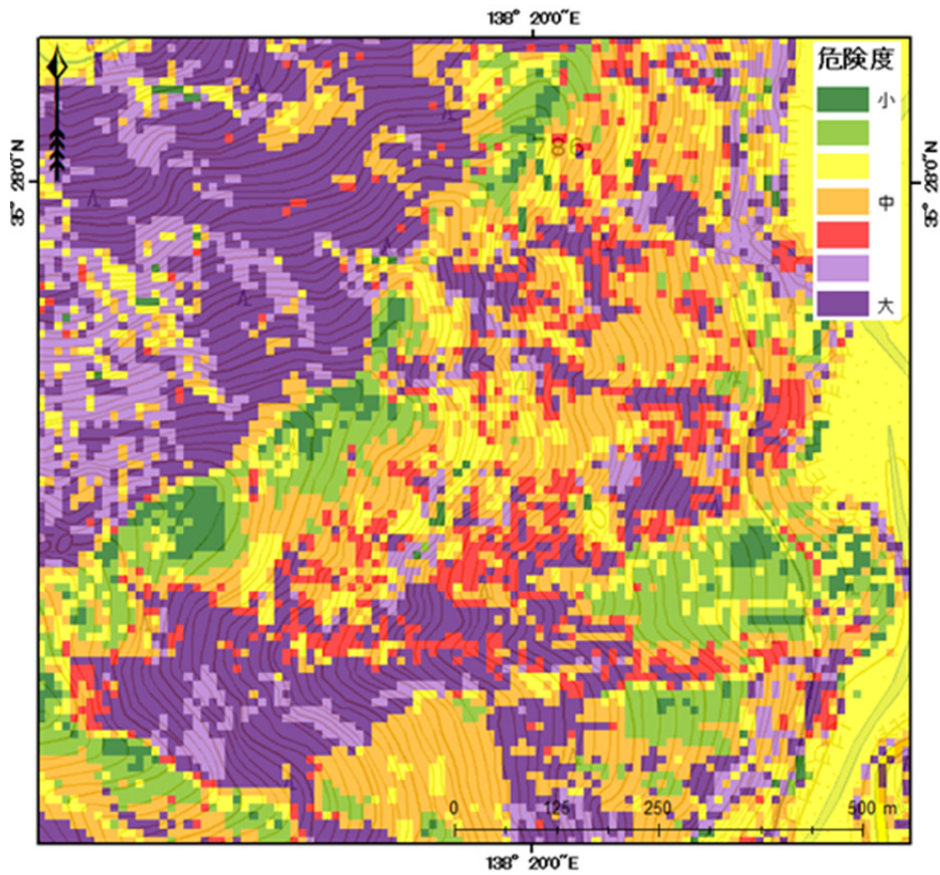


図-2 山梨県早川町への適用結果（雪崩発生危険度マップ）

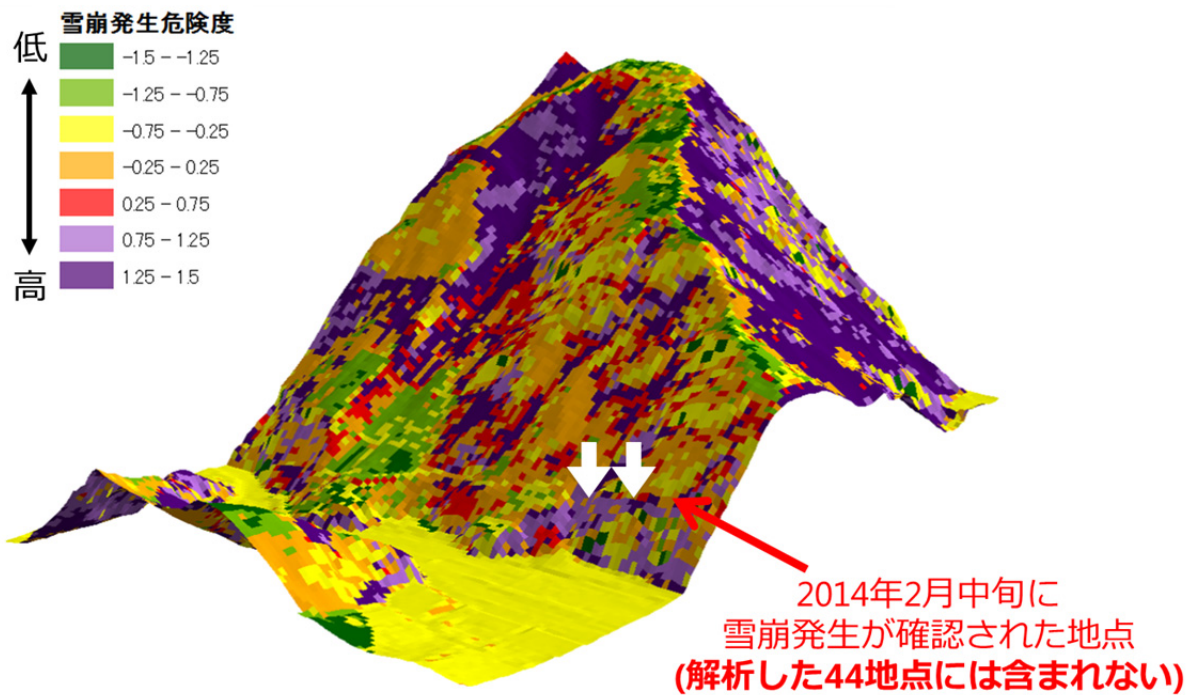


図-3 山梨県早川町への適用結果（3D表示）

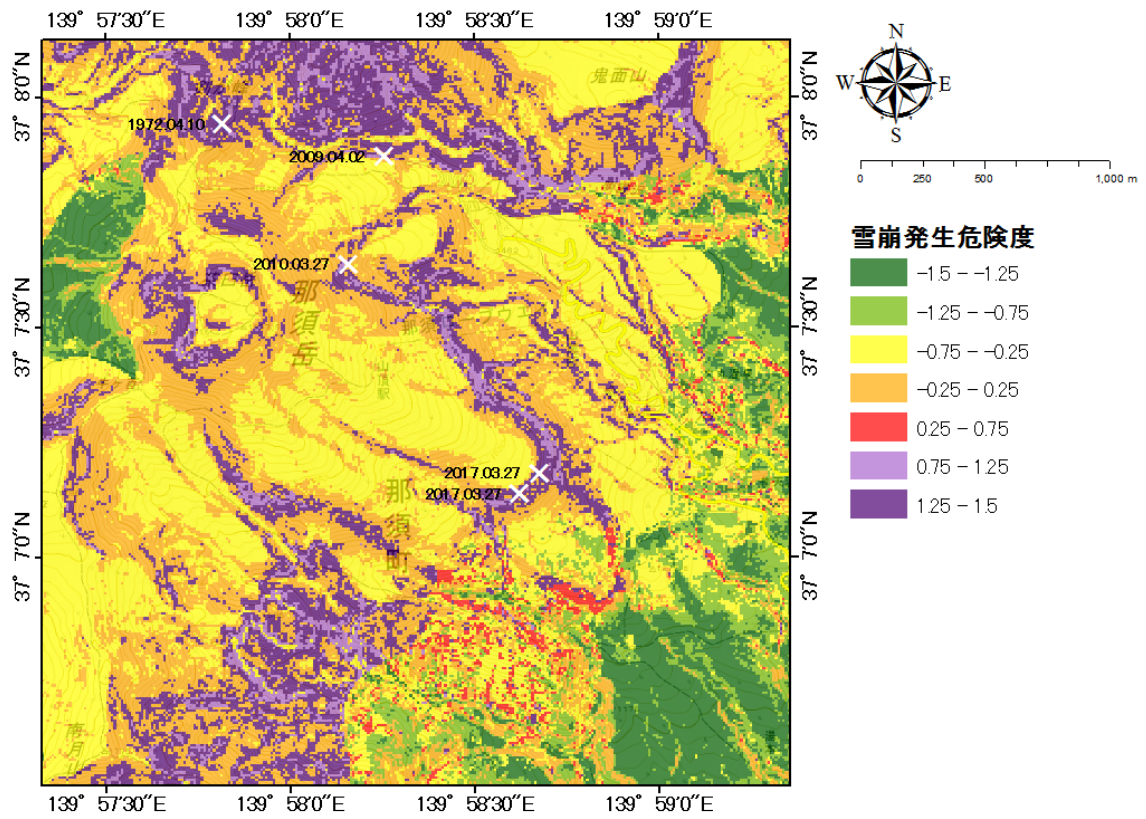


図-4 栃木県那須町（那須岳周辺）への適用結果

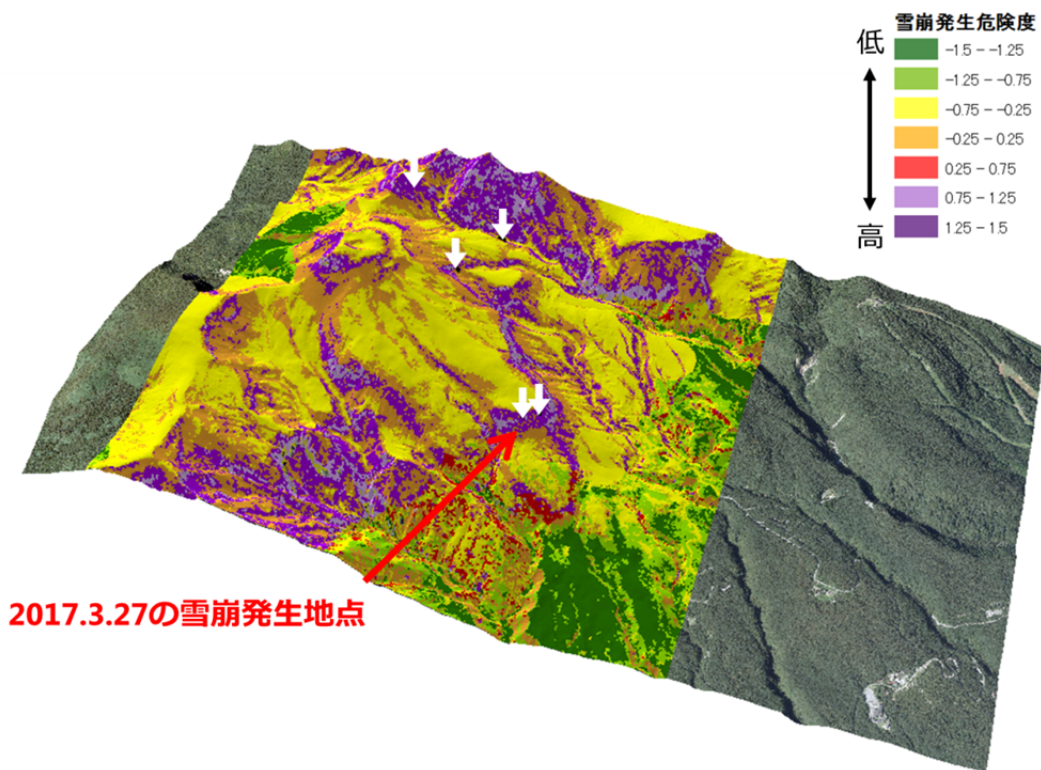


図-5 栃木県那須町（那須岳周辺）への適用結果（3D表示）

5 まとめ

本研究では2014年2月の関東甲信大雪時の雪崩調査結果に基づいて、地形・植生要因を指標とした雪崩発生危険度の評価方法を提案した。この方法の妥当性を検証した結果、2014年2月の山梨県での雪崩発生地点と2017年3月の栃木県での雪崩発生地点等が適正に評価されており、評価方法の妥当性が確認でき、太平洋側地域に広く適用できる可能性が示唆された。

謝辞

本研究を実施するに当たり、国際航業株式会社の佐藤匠氏及び松田宏氏から貴重なご意見を頂いた。また、本研究の解析では、国土交通省国土地理院が管理する航空レーザ測量データを利用させていただいた。上記の関係各位に心からお礼申し上げます。なお、本研究はJSPS 科研費 17K18453 の助成を受けて実施された。

引用文献

- 秋山一弥, 関口辰夫, 池田慎二, 2015 : 2014年2月の大雪によって山梨県の早川周辺で発生した雪崩の特徴. 雪氷, **77**, 47-57.
- 和泉薫, 河島克久, 伊豫部勉, 松元高峰, 2014 : 2014年2月中旬の大雪による雪崩災害の発生状況と特徴. 2014年2月14-16日の関東甲信地方を中心とした広域雪氷災害に関する研究(課題番号 25900003), 平成 25-26 年度科学研究費助成事業(科学研究費補助金)(特別研究促進費) 研究成果報告書(研究代表者: 和泉薫), 111-118.
- 倉島収, 1985 : なだれ発生斜面の発生危険度の判定基準モデルについて. 交通工学, **20**, 9-23.
- 中村一樹, 上石勲, 阿部修, 2014 : 2014年2月の低気圧の降雪による雪崩の特徴. 日本雪工学会誌, **30**, 106-113.
- 新山純一, 松田宏, 飯倉茂弘, 河島克久, 藤井俊茂, 2003 : 東北新幹線盛岡・八戸間のなだれ危険度評価とその工学的意義. 日本雪工学会誌, **19**, 91-101.