

平成17年度科学技術振興調整費

**2005-06 冬期豪雪による雪害対策
に関する緊急調査研究**

(研究期間:平成18年2月～3月)

成果報告書

平成18年11月

(独)防災科学技術研究所(代表機関)
信州大学・(独)土木研究所・新潟大学

本報告書は、文部科学省の科学技術総合研究委託費による委託業務として、独立行政法人 防災科学技術研究所が実施した平成17年度「緊急に対応を必要とする研究開発等 2005－06冬期豪雪による雪害対策に関する緊急調査研究」の成果を取りまとめたものです。

従って、本報告書の複製、転載、引用等には文部科学省の承認手続きが必要です。

まえがき

今冬期、我が国は記録的な低温と大雪に見舞われ、気象庁は 1963 年の 38 豪雪以来 43 年ぶりに、この冬の大雪を「平成 18 年豪雪」と命名した。雪崩による災害も 92 件を数え、死者 1 名、負傷者 37 名、住家被害 8 件が報告されている（3 月 10 日現在）。雪崩発生の危険で生活道路が通行止めになり孤立した集落は 11、指示や勧告により避難をした世帯は 17 世帯にのぼり、560 名以上の人の生活に影響を与えた。このような状況の中で平成 17 年度科学技術振興調整費「2005-06 冬期豪雪による雪害対策に関する緊急調査研究」が行われた。

本研究では、この平成 18 年豪雪に伴って雪崩発生危険度が高まり長期間通行規制が続いた国道 405 号線沿いの新潟県・長野県の県境付近（秋山郷地域）と、2005 年 12 月末に大規模な表層雪崩が発生した土樽を含む新潟県の湯沢地域を対象とし、雪崩発生予測システムの検証と精度向上を試みた。

高精度の雪崩予測システム構築にあたっては、積雪深の面的な分布の情報の取得が必要不可欠となる。本研究では、航空機から地上に向けてレーザーを照射し、地上から反射してくるレーザーの時間差で地物の高さを計測するレーザープロファイラーを用いて、積雪期の表面高度の測量を実施した。また、同地域を対象に航空写真撮影を行い、この空中写真から雪崩発生状況を判読した。その結果、秋山郷では 262 箇所、湯沢地区においては 161 箇所雪崩の発生が確認された。現地においても、積雪構造と雪崩発生状況の現地調査が随時行われたほか、秋山郷の逆巻、栃川の 2 地点には新たに気象観測点を設置し、温湿度、積雪深、風向・風速のデータを収録した。

こうして観測された気象データと当該地点のデジタル標高データに基づいて、気温、風速、日射量などの気象要素を 10 m 分解能で算出し、レーザープロファイラーで求めた積雪深分布とともに「積雪変質モデル」に入力することで、雪質、密度などの積雪構造とそれに基づく強度が求められた。さらに対象地点での積雪による上載荷重と傾斜角から、積雪の安定度、つまり雪崩発生危険度が算出された。予測結果は雪崩発生地点のマッピングデータと現地調査の結果を用いて比較検証が行われた。その結果、秋山郷地域の前倉で雪崩の発生により車輛が谷に押し流された 12 月 24 日の積雪安定度は前日および翌日に比べ著しく低下した、秋山郷地域の見玉で発生が確認された雪崩の発生箇所は積雪安定度が低く雪崩発生危険度が大きい領域にほぼ対応するなど、雪崩発生予測システムの精度の向上が確認され、今後の本システムの実用化に向けて大きな進展があった。

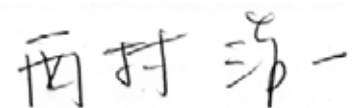
また 2006 年 3 月末には、行政、研究機関、自治体関係者からなる検討会を開催し、本研究成果の報告に加え今後行政や地方自治体等における雪氷防災対策に反映させる上での施策と問題点等について検討が行われた。

本報告書は以上述べた研究成果や検討会の状況を平成 18 年 5 月 20 日に作成した評価のための資料を基に、修正・加筆したものである。今後は本研究において形成された国交省を含む関連諸機関、自治体と研究機関との接点を活用し、雪崩予測システムの実用化に向けた研究の発展を目指す必要がある。本報告書が今後の雪氷災害の軽減のために何らかの参考になれば幸いである。

研究代表者

新潟大学（元 防災科学技術研究所長岡雪氷防災研究所）

西村 浩一



目 次

研究の概要	1
1．研究計画の概要	1
2．研究成果の概要	6
3．所要経費	9
4．使用区分	10
5．研究成果の発表状況	11
研究成果の詳細報告	12
1．広域積雪分布の把握と雪崩発生予測システムの開発	12
1．1 積雪深広域分布図の作成	12
1．2 雪崩発生分布図の作成と解析（秋山郷地域）	19
1．3 雪崩発生分布図の作成と解析（湯沢地域）	26
1．4 積雪構造、雪崩発生状況の現地調査（中越地域）	33
1．5 積雪構造、雪崩発生状況の現地調査（長野県北部地域）	43
1．6 雪崩発生予測システムの構築と検証	49
2．雪氷防災技術の対策への反映方策に関する検討	60
成果の発表等	68

・研究の概要

1. 研究計画の概要

■ プログラム名

緊急に対応を必要とする研究開発等（事後評価）

■ 研究課題名

2005-06 冬期豪雪による雪害対策に関する緊急調査研究

■ 研究代表者名(所属研究機関名・役職)

西村浩一((独) 防災科学技術研究所 雪氷防災研究部門・総括主任研究員)

■ 研究期間及び研究総経費（金額単位:百万円）

研究期間:1 年, 研究総経費:25 百万円

■ 研究規模

サブテーマ数:7, 個別課題数:7, 延べ研究機関:4, 延べ研究者数:25

■ 研究の趣旨

今冬期、我が国は記録的な低温と大雪に見舞われ、気象庁 339 地点の観測点のうち実に 23 地点で観測開始以来の最深積雪の記録を更新した。この大雪による死者は 151 名、負傷者は 2136 名にのぼり(2006 年 3 月 31 日現在、消防庁)、気象庁は 1963 年の 38 豪雪以来 43 年ぶりに、この冬の大雪を「平成 18 年豪雪」と命名した。雪崩による災害も 3 月 10 日までに 92 件を数え、死者 1 名、負傷者 37 名、住家被害 8 件が報告されている(国土交通省)。雪崩発生の危険で生活道路が通行止めになり、孤立した集落は 11 集落、避難指示、避難勧告がでて避難をした世帯は 17 世帯、560 名以上の人の生活に影響を与えた(消防庁)。

気象庁から発令される「雪崩注意報」は、一般に広域を対象としており、その基準も気温と積雪深もしくは降雪深の値を用いた比較的単純なものである。このため、今冬のような場合は長期間にわたって注意報が解除されないなどの問題があり、地方自治体、道路、スキー場管理者等からはよりきめこまかな発生予測手法の確立が切望されている。

こうした背景を踏まえ、本研究では(独)防災科学技術研究所、(独)土木研究所、新潟大学、信州大学の関係 4 研究機関が連携して広域にわたる精密な積雪深分布と雪崩の発生状況に関するデータを収集するとともに、こうした情報を活用して(独)防災科学技術研究所が独自に開発を進めている「雪崩発生予測システム」の高精度化に取り組むことを目的とする。また行政を含む専門家からなる検討会を開催し、本研究結果を今後の雪崩対策等に活かすこととする。

■ 研究計画と成果の概要

研究対象領域を、今冬の豪雪に伴って雪崩発生の危険度が高くなり長期間通行規制が続いた国道 405 号線沿いの新潟県・長野県の県境付近 35 km²(秋山郷領域)と、2005 年 12 月末に大規模な表層雪崩が発生した土樽を含む新潟県の湯沢領域 22 km²に定め、以下の要領で研究を計画、実施した。

1. 広域積雪分布の把握と雪崩発生予測システム開発

高精度の雪崩予測システムを構築するためには、積雪深の面的な分布の情報の取得が必要不可欠となる。本研究では、航空機から地上に向けてレーザーを照射し、地上から反射してくるレーザーの時間差で地物の高さを計測するレーザープロファイラーを用いて、積雪期の表面高度の測量を実施した。2006 年 2 月 25 日に研究対象領域である秋山郷領域 35 km²と、湯沢領域 22 km²で計測を実施し、この結果と既存の数値地図(10 m 分解能)の標高値の差から、対象領域の積雪深分布を算出した。

また、同じ領域を対象にレーザープロファイラーの計測を行った 1 週間後の 3 月 4 日に航空写真撮影を行って、この空中写真から雪崩発生状況を判読した。秋山郷の対象領域内では 262 箇所、また湯沢領域内においては 161 箇所です雪崩の発生が確認された。

現地では、随時積雪構造と雪崩発生状況の現地調査を行うとともに、秋山郷の逆巻、栃川の 2 地点に新たに気象観測点を設置し、温湿度、積雪深、風向・風速の収録を行った。

現地での気象観測の値、デジタル標高データなどの地理情報システムに基づいて、気温、風速、日射量などの気象要素を 10 m 分解能で算出し、これらをレーザープロファイラーで求めた積雪深分布とともに「積雪変質モデル」に入力することで、雪質、密度などの積雪構造とそれに基づく強度が求められた。さらに対象地点での積雪による上載荷重と傾斜角から、積雪の安定度、つまり雪崩発生危険度の算出が行われた。予測結果は、3 月 4 日の航空写真撮影による雪崩発生地点のマッピングデータ、さらには研究対象領域で随時実施された現地調査の結果を用いて比較検証が行われた。その結果、秋山領域の前倉で雪崩の発生により車輛が谷に押し流された 12 月 24 日の積雪安定度は前日および翌日に比べ著しく低下した、秋山郷領域の見玉で発生が確認された雪崩(システムの計算結果から 22 日に発生したと推定される)の発生箇所は積雪安定度が低く雪崩発生危険度が大きい領域にほぼ対応するなど、雪崩発生予測システムの精度の向上が確認された。今後の本システムの実用化に向けて大きな進展があった。

2. 雪氷防災技術の対策への反映方策に関する検討

行政、研究機関、自治体関係者からなる検討会を組織し、2006 年 3 月 30 日に砂防会館(東京都)において会議を開催した。当日は、本研究成果の報告が行われた後、国会議員、国交省北陸地方整備局の道路管理者、新潟県や長野県の自治体関係者、JR、高速道路の担当者から、雪崩対策等の現状報告があり、今後本研究成果を行政、地方自治体等における雪氷防災対策に反映させる上での、施策、問題点等についても検討が行われた。

■ 実施体制

研 究 項 目	担当機関等	研究担当者
1. 広域積雪分布の把握と雪崩発生予測システム開発		
1-1 積雪深広域分布図の作成	(独)防災科学技術研究所 (独)防災科学技術研究所 (独)防災科学技術研究所 (独)防災科学技術研究所	○山口 悟(研究員) 西村 浩一(総括主任研究員) 根本 征樹(特別研究員) 平島 寛行(特別研究員)
1-2 雪崩発生分布図の作成と解析(秋山郷領域)	(独)防災科学技術研究所 (独)防災科学技術研究所 (独)防災科学技術研究所 (独)防災科学技術研究所 (独)防災科学技術研究所 (独)防災科学技術研究所	○小杉 健二(主任研究員) 佐藤 威(総括主任研究員) 阿部 修(総括主任研究員) 山口 悟(研究員) 平島 寛行(特別研究員) 西村 浩一(総括主任研究員)
1-3 雪崩発生分布図の作成と解析(湯沢領域)	(独)土木研究所 雪崩・地すべり研究センター	○花岡 正明(所長)
1-4 積雪構造、雪崩発生状況の現地調査(中越領域)	新潟大学 積雪領域災害研究センター 新潟大学 積雪領域災害研究センター 新潟大学 積雪領域災害研究センター	○和泉 薫(教授) 河島 克久(助教授) 伊豫部 勉(研究員)
1-5 積雪構造、雪崩発生状況の現地調査(長野県北部領域)	信州大学理学部	○鈴木 啓助(教授)
1-6 雪崩発生予測システムの構築と検証	(独)防災科学技術研究所 (独)防災科学技術研究所 (独)防災科学技術研究所 (独)防災科学技術研究所 (独)防災科学技術研究所 (独)防災科学技術研究所 (独)防災科学技術研究所 (独)防災科学技術研究所	西村浩一(総括主任研究員) 中井 専入(主任研究員) 山口 悟(研究員) 平島 寛行(特別研究員) 岩本 勉之(特別研究員) 小杉 健二(主任研究員) 阿部 修(総括主任研究員)
2. 雪氷防災技術の対策への反映方策に関する検討	(独)防災科学技術研究所 (独)防災科学技術研究所 (独)防災科学技術研究所	○佐藤篤司(総括主任研究員) 西村 浩一(総括主任研究員) 石坂 雅昭(総括主任研究員)

代表者

- サブテーマ責任者

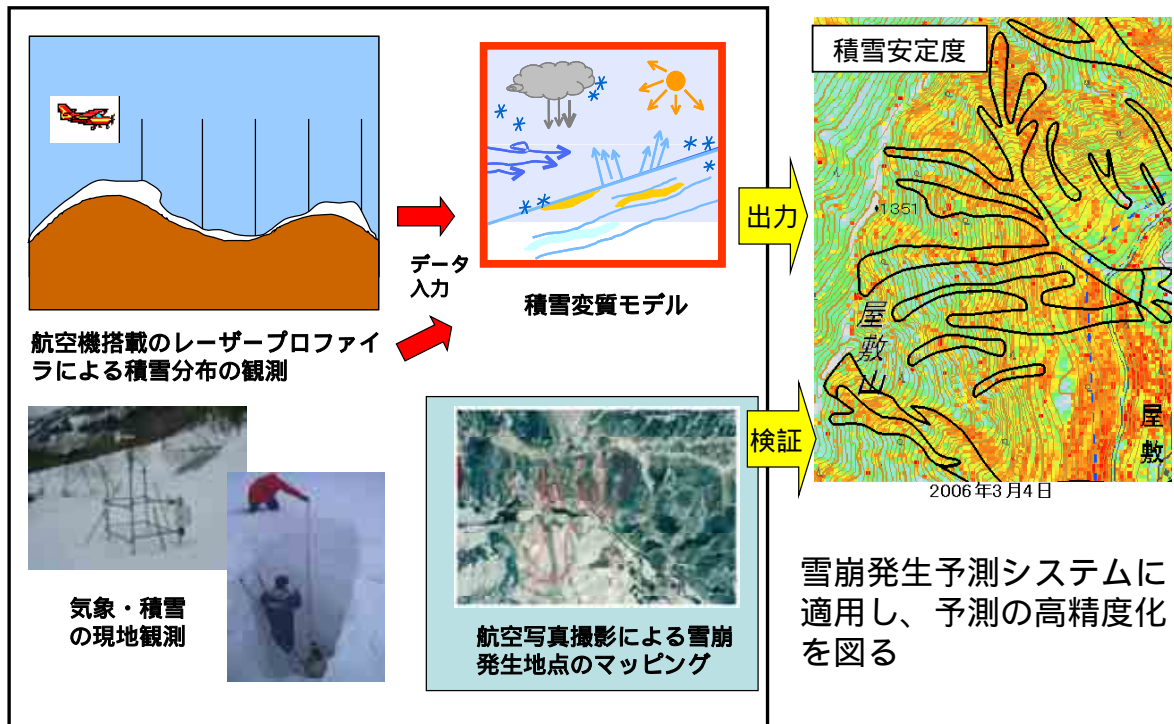
■ 研究運営委員会

氏 名	所 属
上村 清隆	新潟県 南魚沼郡 湯沢町 町長
小林 三喜男	新潟県 中魚沼郡 津南町 町長
田口 直人	新潟県 十日町市 市長
高橋 彦芳	長野県 下水内郡 栄村 村長
河野 幹男	長野県 下高井郡 野沢温泉村 村長
木内 正勝	長野県 飯山市 市長
和泉 薫	新潟大学 積雪領域災害研究センター 教授
鈴木 啓助	信州大学 理学部 教授
花岡 正明	(独)土木研究所 雪崩・地すべり研究センター 所長
沼野 夏生	東北工業大学 工学部 教授
佐藤 篤司	(独)防災科学研究所 雪氷防災研究部門 総括主任研究員
石坂 雅昭	(独)防災科学研究所 雪氷防災研究部門 部門長
西村 浩一	(独)防災科学研究所 雪氷防災研究部門 総括主任研究員

研究運営委員長

「2005-06冬期豪雪による雪崩対策に関する緊急調査研究」

(防災科研、新潟大、信州大、土木研究所)



2. 研究成果の概要

■ 研究成果の要旨

航空機搭載のレーザープロファイラーを用いて、積雪期の表面高度の測量を実施した。対象領域は、今冬の豪雪に伴って雪崩発生の危険度が高くなり長期間通行規制が続いた国道 405 号線沿いの新潟県・長野県の県境付近 35 km² (秋山郷領域)と、2005 年 12 月末に大規模な表層雪崩が発生した土樽を含む新潟県の湯沢領域 22 km² である。2006 年 2 月 25 日に計測を実施し、この結果と既存の数値地図 (10 m 分解能) の標高の値の差から、対象領域の積雪深分布の算出を行った。また、同じ領域を対象に 3 月 4 日に航空写真撮影を行って雪崩発生状況を判読した結果、対象領域内では計 423 箇所 で雪崩の発生が確認された。

現地での気象観測の値、デジタル標高データなどの地理情報システムに基づいて、気温、風速、日射量などの気象要素を 10 m 分解能で算出し、これらをレーザープロファイラーで求めた積雪深分布とともに「積雪変質モデル」に入力することで、雪質、密度などの積雪構造とそれに基づく強度が求められた。さらに対象地点での積雪による上載荷重と傾斜角から、積雪の安定度、つまり雪崩発生危険度の算出が行われた。予測結果を航空写真撮影による雪崩マッピングデータや現地調査の結果と比較検証を行った結果、雪崩発生日の積雪安定度は前日および翌日に比べ著しく低下した、雪崩発生箇所は積雪安定度が低く雪崩発生危険度が大きい領域にほぼ対応するなど、システムの精度の向上が確認された。

2006 年 3 月 30 日には砂防会館 (東京都) において、行政、研究機関、自治体関係者からなる検討会が実施され、本研究成果、雪崩対策等の現状報告に加え、今後本研究成果を行政、地方自治体等における雪氷防災対策に反映させる上での、施策、問題点等について検討が行われた。

■ 研究目標

航空機搭載のレーザープロファイラーを用いて、研究対象領域 (秋山郷領域 35 km² と、湯沢領域 22 km²) の広域積雪深分布を正確に把握する。

同じ領域を対象に航空写真撮影を行い、この空中写真から雪崩発生状況を把握する。

レーザープロファイラーによる積雪深分布と現地での気象観測データを用いて対象領域の雪崩発生危険度を予測システムにより 10 m 分解能で算出する。この出力を雪崩マッピングデータや現地調査の結果と比較検証を行うことでシステムの精度向上を図る。

行政、研究機関、自治体関係者からなる検討会を実施し、本研究成果を今後の行政、地方自治体等における雪氷防災対策に反映させる。

■ 目標に対する結果

研究対象とした秋山郷領域 35 km² と湯沢領域 22 km² において 2006 年 2 月 25 日に航空機搭載のレーザープロファイラーにより計測を実施し、積雪期の表面高度の分布を算出した。レーザープロファイラーによる積雪期の表面高度計測結果と市販の数値地図 (無積雪期) を用いて、当該領域の積雪分布を 10 m 格子 (分解能) で算出した。研究対象とした秋山郷領域 35 km² と湯沢領域 22 km² において 2006 年 3 月 4 日に航空写真撮影を実施し、この空中写真から雪崩発生状況判読を行った。さらに、新潟大学、信州大学、防災科学技術研究所等による現地調査結果を加え、両対象領域の雪崩分布図を作成した。

レーザープロファイラーで求めた積雪深分布に加え、現地での観測値と地理情報システムに基づいて算出した 10 m 分解能の気温、風速、日射量などを「積雪変質モデル」に入力し、雪質、密度などの積雪構造とそれに基づく強度 (せん断強度) を求めた。さらに対象地点での積雪による上載荷重と傾斜角からせん断応力を計算し、積雪の安定度 (せん断強度とせん断応力の比)、つまり雪崩発生危険度の分布を求めた。予測結果は、2006 年 3 月 4 日の航空写真撮影で求めた雪崩発生地点のマッピングデータ、さらには研究対象領域で随時実施された現地調査の結果を用いて比較検証が行われた。その結果、(1) 秋山郷領域の前倉で雪崩の発生により車輛が谷に押し流された 12 月

24 日の積雪安定度は前日および翌日に比べ著しく低下した、(2)秋山郷領域の見玉で発生が確認された雪崩の発生箇所は、積雪安定度が低く雪崩発生危険度が大きい領域にほぼ対応するなど、雪崩発生予測システムの精度の向上が確認された。

2006 年 3 月 30 日に、東京の砂防会館において、行政、研究機関、自治体関係者からなる検討会を実施した。会議では、本研究成果の報告に続いて、国会議員、国交省北陸地方整備局の道路管理者、新潟県や長野県の自治体関係者、JR、高速道路の担当者から、雪崩対策等の現状報告があり、今後本研究成果を行政、地方自治体等における雪氷防災対策に反映させる上での、施策、問題点等について検討が行われた。

■ 科学的・技術的価値

厳冬期の表層雪崩は、これまでの調査・研究により、災害発生後にはその原因の推測が可能となったが、それが将来予測に必ずしも適用できないのが現状であった。国内ではスキー場が独自の基準をもとに雪崩警戒基準を設けている場合もあるが、気象庁の「雪崩注意報」の発令基準をより厳密なアルゴリズムに従って再検討する取り組みは行われていない。一方、海外では、フランス、スイス、アメリカ、カナダなどで、研究機関、行政、ユーザーが連携した予報が発令されている。こうした現況を踏まえ、防災科学技術研究所においては、5 年前より広域の雪崩発生予測モデルの開発に着手した。本研究はその成果に基づき、航空機搭載のレーザープロファイラーを用いて計 57 km² という広範囲の積雪分布を直接測定し、この結果と気象観測点の情報から 10 m という高分解能で積雪安定度(雪崩危険度情報)を求め、空中写真による雪崩発生図により比較検証を行うという世界的にも例の無い組織的な試みである。最近、スイスでも地上設置型のレーザープロファイラーを用いた雪崩予測手法の改良を行っているが、その範囲は数 km² 程度にとどまっている。我が国の当該分野の研究はいわゆる雪崩先進国の後塵を拝する感があったが、本研究により一挙に世界の最先端へと進み出る形となった。

■ 科学的・技術的波及効果

本研究では、航空機搭載のレーザープロファイラー計測により広域の積雪深分布が求められた。積雪深は対象地点の降雪量、吹雪・吹きだまり形成による再配分量、融雪量などに規定されるが、各々の効果を定量的に見積もり、その広域分布を推定することは、検証データの不足もあって困難であった。今回のレーザー計測と高密度の気象観測結果を活用することで、山岳地に代表される複雑地形上の積雪分布特性を求めるアルゴリズムが開発されると、雪崩発生予測などの雪国の住・交通環境の改善にとどまらず、積雪再配分に基づく寒冷領域の水循環の解明と地球温暖化に伴う変動など、よりグローバルで地球科学的な研究課題への適用も可能となる。また、現在の雪崩発生予測システムでは、スイスで開発された積雪変質モデル(SNOWPACK)が用いられているが、元来ヨーロッパアルプスの高山域を対象としているため、日本を含む温暖積雪領域、特に融雪期の積雪構造の適用にあたっては、氷板・水みちの形成過程など未だ改良すべき課題も多い。本研究での多岐にわたる観測とモデル出力の比較と全体成果は、我が国独自の非定常積雪モデルの構築にもつながるもので、雪崩の予知からグローバルな領域を対象とした GCM、流出予測、領域気候モデルへの組み込みまで、その応用範囲は広大である。

■ 社会的・経済的波及効果

「平成 18 年豪雪」では、雪崩による災害は 92 件を数え、死者 1 名、負傷者 37 名、住家被害 8 件が報告されている。生活道路が通行止めで孤立した集落は 11 集落、避難指示等を受けた世帯は 17 世帯、560 名以上の生活に影響を与えた。この他、冬山での雪崩による死傷者も相次いだ。気象庁発令の「雪崩注意報」は、広域を対象としており、その基準も気温と積雪深(降雪深)を用いた比較的単純なものである。このため、長期間にわたり注意報が解除されないなどの問題があり、関係者からはよりきめの細かい予測手法の確立が切望されている。地方自治体、道路、鉄道管理者は一般に人命最

優先の立場から通行規制を早期から徹底して実施するが、早期解除を望む住民との間で苦慮するケースも多い。通行規制、交通機関の運休、スキー場の閉鎖、さらには風評被害に至るまで、雪崩災害がもたらす経済的損失は甚大である。被害の軽減には、雪崩防止柵、スノーシェッド等の施設構築が望まれるが、末端の自治体では財政的に難しいのが実状である。こうしたハード的対策に代わるのが、「雪崩発生予測システム」を活用したソフト的防災手段であり、高分解能で精度の高い予測が可能になると、通行規制の区間、期間ともに限定できるなど、社会的・経済的な貢献度は極めて大きいと期待される。

■ 研究計画・実施体制

2ヶ月という短い研究期間であったが、当初の研究計画に基づきその目標をほぼ達成できたと思う。ただし、今冬の豪雪は2005年12月から2006年1月にかけての低温と大雪が大きな特徴で、大規模な雪崩発生もこの期間に集中し、2月と3月は多量の積雪が残ったものの降雪は小康状態に落ち着いた。緊急研究という性格上、研究立ち上げが災害発生以降とならざるを得ないが、1ヶ月程度早期に研究が開始できていればという感は払拭できない。また研究期間が冬期に限定されたため無積雪期のレーザープロファイラー計測が実施できず、積雪深の算出には既存の数値標高データを用いざるを得なかった。今後、無積雪期に再測が可能となれば、今回の研究成果とその意義も飛躍的に向上し、もたらされる波及効果も大きいと考える。研究期間中は、それぞれの分担事項の遂行に追われ、各研究機関の担当者が一堂に会した全体会議の開催は困難であったが、電子メール等の活用で密な情報の交換と共有化が行われた。積雪断面観測、気象観測等も、航空機観測や雪崩発生の情報等を受けて、中核機関である防災科学技術研究所を中心に、随時連携して機動的に実施された。

■ 今後の発展方向、改善点等

本研究においては、航空機搭載のレーザープロファイラーにより当該領域の標高分布を直接測定し、これと数値地図の標高値の差から積雪深分布を求め、「雪崩発生予測システム」の入力データとして用いた。その結果は、航空機による空中写真撮影や現地調査などにより得られた雪崩発生分布と空間的にも時間的にも比較的良く一致した。

しかし、今後本システムの実用化を目指すにあたっては、レーザープロファイラーを利用して積雪分布を求めるという手法は、コスト面だけでも現実的とはいえない。積雪分布を含めた気象要素の広域分布を正確に求めるための新たなアルゴリズムを確立し、レーザープロファイラーによる測定結果が無くとも精度良く雪崩の発生危険度を予測できるシステムの開発が不可欠である。そのためには、本研究で実施した測量結果が貴重な参照データとなる。仮に本研究領域において無積雪期にレーザープロファイラーの計測を再度行うことができると、今回の冬期の測量結果との差を求めることで、精度、分解能ともに極めて高品質の積雪深分布が求められ、今後のシステム開発と改良に向けて大きな意義を持つと確信する。

また、雪質や密度と強度の関係に関する既存の測定結果はバラツキが大きく、その結果は積雪の安定度つまり雪崩発生危険度の算出結果にも大きな影響を与える。野外や低温実験室でより多くのデータを集積し、安定度の計算精度を向上させることも大きな課題である。

システムの実用化にあたっては、ユーザの求める精度との調整も必要となる。今回開催した検討会で国交省を含む関連諸機関、自治体などとの接点を形成することができた。今後こうした機関と調整を進めながら5年後の実用化を目指す予定である。また予測結果を雪崩注意報、警報などの形で情報を発信するにあたっては気象業務法との調整も必要となるため、予測手法の検討も含めて気象庁との連携を計っていきたいと考える。

3. 所要経費

研 究 項 目	担当機関等	研 究 担当者	所要経費		
			H17 年度	H 1 8 年度	合計
1. 広域積雪分布の把握と雪崩発生予測システム開発					
1-1 積雪深広域分布図の作成	(独) 防災科学技術研究所	山口 悟	11		11
1-2 雪崩発生分布図の作成と解析(秋山郷領域)	(独) 防災科学技術研究所	小杉 健二	2		2
1-3 雪崩発生分布図の作成と解析(湯沢領域)	(独) 土木研究所	花岡 正明	2		2
1-4 積雪構造、雪崩発生状況の現地調査(中越領域)	新潟大学	和泉 薫	1.2		1.2
1-5 積雪構造、雪崩発生状況の現地調査(長野県北部領域)	信州大学	鈴木 啓助	1		1
1-6 雪崩発生予測システムの構築と検証	(独) 防災科学技術研究所	西村 浩一	1		1
2. 雪氷防災技術の対策への反映方策に関する検討	(独) 防災科学技術研究所	佐藤 篤司	0.3		0.3
所 要 経 費 (合 計)			18.5		18.5

(単位：百万円)

4. 使用区分

	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	2	計
設備備品費				0.7	0.7	0.3		1.7
試作品費								
消耗品費				0.3		0.2		0.5
人件費								
その他	11	2	2	0.2	0.3	0.5	0.3	16.3
計	11	2	2	1.2	1	1	0.3	18.5

(単位：百万円)

5. 研究成果の発表状況

■ 研究発表件数

	原著論文による発表 (査読付き)	左記以外の誌上発表	口頭発表	合 計
国 内	0 件	2 件	7 件	9 件
海 外	2 件	0 件	1 件	3 件
合 計	2 件	2 件	8 件	12 件

■ 特許等出願件数

該当なし

■ 受賞等

2006 年度日本雪氷学会 技術賞 受賞

■ 主な原著論文による発表

海外誌

- 1) Nishimura, K., Hirashima, H., Yamaguchi, S., Kosugi K., Sato, A., Izumi, K., Suzuki, K., Hanaoka, M. and M. Lehning : 「Development of Snow avalanche forecasting system in Japan」, Proc. of INTERPRAEVENT International Symposium 2006, "Disaster Mitigation of Debris Flows, Slope Failures and Landslides", Vol.1 2006. 267-274. (2006).
- 2) Hirashima, H., Nishimura K., Yamaguchi, S., Sato, A., Lehning, M.: 「Avalanche forecasting in a heavy snowfall area using SNOWPACK model」, Cold regions science and technology (投稿中)

■ 情報発信

- 1) 一般公開セミナー: 「雪を科学する -襲ってきた雪害-」, 長岡商工会議所, 2006. 2. 11
- 2) 一般公開セミナー: 「雪を科学する -雪崩予知に挑む-」, 長岡商工会議所, 2006. 2. 18
- 3) 防災科学技術研究所 雪氷防災研究センター一般公開: 「平成 18 年豪雪特集」, 雪氷防災研究センター, 2006.4.21-22
- 4) 防災科学技術研究所一般公開: 「ミニ講演会-平成 18 年豪雪-」, 防災科学技術研究所, 2006.4.23
- 5) Web 上での情報公開, 防災科学技術研究所 雪氷防災研究センターweb 上, 2006.9.1. ~
- 6) 巡検: 「国道 405 号線沿いの雪崩地形巡検」, 新潟県津南町秋山郷周辺, 2006.9.29
- 7) シンポジウム: 「平成 18 年豪雪を振り返る」, 新潟県津南町文化センター, 2006.9.30
- 8) 講演会: 「2006 年度雪氷防災研究講演会」, 福井県勝山市 勝山ニューホテル, 2006.10.31

・研究成果の詳細報告

1. 広域積雪分布の把握と雪崩発生予測システム開発

1.1. 積雪深広域分布図の作成

(独)防災科学技術研究所雪氷防災研究部門

山口 悟、西村 浩一、根本 征樹、平島 寛行

■ 要 旨

高精度の雪崩予測システム構築にあたって必要不可欠となる積雪深の面的な分布の情報を取得する目的で、航空機搭載のレーザープロファイラーを用いて、積雪期の表面高度の測量を実施した。対象領域は、今冬の豪雪に伴って雪崩発生の危険度が高くなり長期間通行規制が続いた国道 405 号線沿いの新潟県・長野県の県境付近の秋山郷領域(35 km²)と、2005 年 12 月末に大規模な表層雪崩が発生した土樽を含む新潟県の湯沢領域(22 km²)である。2006 年 2 月 25 日に計測を実施し、この結果と既存の数値地図(10 m 分解能)の標高の値の差から、対象領域の積雪深分布を算出した。

■ 目 的

(独)防災科学技術研究所が開発を進めている「雪崩発生予測システム」では、積雪変質モデルという数値モデルを使用している。ここで言う積雪変質モデルとは、各地点の気象条件を入力データとして、時々刻々変化していく積雪の内部構造を数値計算によって求めるものである。そのために今回のような広い対象範囲わたって適用するにあたっては、少ない気象観測データを山域にわたって拡張する必要がある。積雪変質モデルに入力する気象要素のうち、気温は高度減率から、また長波・短波放射は地理情報システム(GIS)の利用によりある程度の精度で推定が可能であるが、地形に基づく風速の変化(分布)は、吹きだまり分布の形成、つまり積雪深の変化に大きく寄与する。これまでは、GIS(50 m メッシュの地形データ)と、グリッドの傾斜と曲率にもとづいて風速変化を記述する単純な近似式を用いて計算を行い、吹雪量と吹きだまり量(積雪深)を求めてきたが、その精度は定性的にしか確認されていないのが現状である。雪崩発生危険度は、当該地点の積雪の強度と上載過重による応力の比から計算されるが(後述)、積雪深は両者に関与する重要な要素でその精度が雪崩発生危険度の精度を左右するといっても過言ではない。

そこで、本研究では航空機搭載のレーザープロファイラーを用いて、対象領域である新潟県・長野県の県境付近 35 km²(秋山郷領域)と、新潟県の湯沢領域 22 km²において積雪期の表面高度を直接測量し、これと既存の数値地図(10 m 分解能)の標高の値の差を算出することで、広域にわたる積雪深分布を求め、以後の雪崩発生予測手法の高度化に資することを目的とする。

■ 目 標

高精度の雪崩発生予測システム構築のために必要な積雪深の面的な分布の情報を取得するために、対象領域において航空機搭載のレーザープロファイラーを用いた計測を行い高精度な積雪分布図を作成する。

■ 目標に対する結果

研究対象とした秋山郷領域 35 km²と湯沢領域 22 km²において 2006 年 2 月 25 日に航空機搭載のレーザープロ

ファイラーにより計測を実施し、積雪期の表面高度の分布を算出した。レーザープロファイラーによる積雪期の表面高度計測結果と市販の数値地図(無積雪期)を用いて、当該領域の積雪分布を 10 m 格子(分解能)で算出した。

■ 研究方法

レーザープロファイラーによる計測ならびに表面高度の算出

高精度の雪崩発生予測システム構築のために必要な積雪深の面的な分布の情報を取得するために、航空機から地上に向けてレーザーを照射し、地上から反射してくるレーザーの時間差で地物の高さを測るレーザープロファイラーを用いて積雪期における表面高度の測量を行う。

積雪深の面的分布の算出

レーザープロファイラー計測量結果を既存の数値地図と比較し表面高度の差を求めることにより、対象領域の面的な高精度の積雪深分布の算出を行う。

■ 研究成果

(1) レーザープロファイラーによる計測と表面高度の算出

航空レーザー計測の概要

航空レーザー計測の概念図を図 - 1 に示す。航空機から地上に向けてレーザーパルスを照射し、地上から反射してくるレーザーとの時間差より、航空機と地上の距離を計算する。また、地上基準局と航空機の 2 台の GPS を使用する連続キネマティック測量を行うことで航空機の正確な位置を随時計測し、さらに IMU(Inertial Measurement Unit 慣性計測装置)によって航空機の 3 軸の姿勢(ω , φ , κ)及び加速度を 1 秒間に 200 回の高分解能で記録する。レーザー測距による航空機と地上のレーザーパルスが反射した地点の距離、GPS による航空機の正確な位置、IMU による航空機の 3 軸の姿勢(ω , φ , κ)及び加速度の 4 つのデータを解析することにより、1 パルスごとの地表の 3 次元情報つまり(X,Y,Z)の計測が可能となる。このレーザーパルスを 1 秒間に最大 1 万 5 千回照射することによって、地表面の(X,Y,Z)の計測を行う。データ間隔は進行方向で最大約 2.5 m、横断方向で平均 2.0 m ではある。航空機に搭載されたレーザー本体とその制御装置をそれぞれ図 - 2 と図 - 3 に示す。

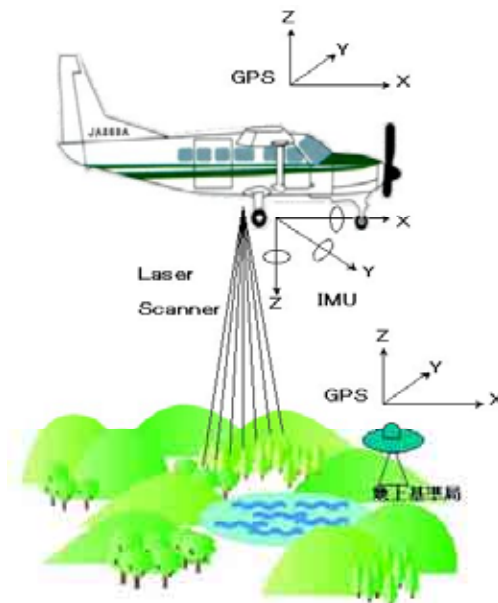


図 - 1 航空機搭載レーザープロファイラー測量の概念図



図 - 2 レーザー本体



図 - 3 制御装置

レーザープロファイラー計測と解析作業の流れ

航空機搭載のレーザープロファイラーによる対象領域の計測と解析作業の流れの概要を図-4 に示す。

地上 GPS 基準局は、連続キネマティック測量による航空機の位置を確定する上で基準となる点であり、精度向上のためには極力計測地区から近い地点に設置できるよう選点した。また GPS のアンテナは仰角 5 度以上の視界が必要であり、サイクルスリップを防ぐためにも、樹木・構造物・電波障害等のない基準点を選点した。

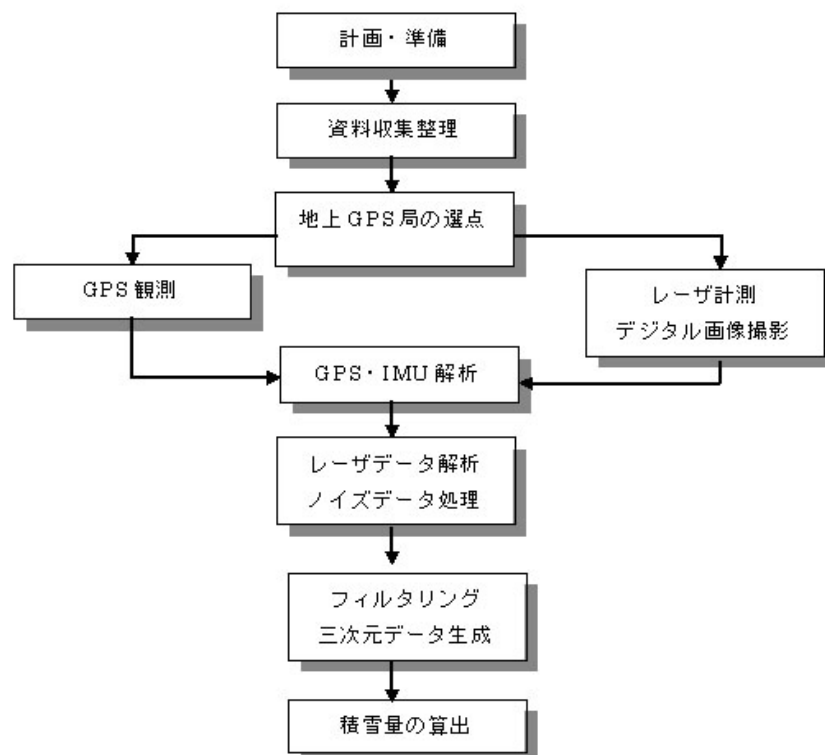


図 - 4 レーザープロファイラー計測と解析作業の流れの概要

2006年2月25日に航空機搭載のレーザスキャナーにより研究対象領域(秋山郷領域 35 km²と湯沢領域 22 km²)を計測し、モノクロデジタルカメラにより、ステレオ撮影を行った。レーザによる測距データ、航空機に搭載する GPS データ (X,Y,Z)、IMU による航空機の姿勢情報 (ω , ϕ , κ)、画像データはハードディスクおよび PC カードに記録した。レーザ計測時には航空機に搭載された計測用デジタルカメラで空中デジタル写真撮影も行った。これにより、レーザデータの解析時に、地形の画像データとの比較でノイズ処理、フィルタリング処理後のデータ点検が容易となるほか、計測範囲全域を表現できるオルソフォトデータの作成も可能となる。また上記のレーザ計測・デジタル画像撮影時には、地上 GPS 基地局及び航空機に搭載した GPS 観測装置を用いた GPS 観測を行い航空機の位置を決定した。

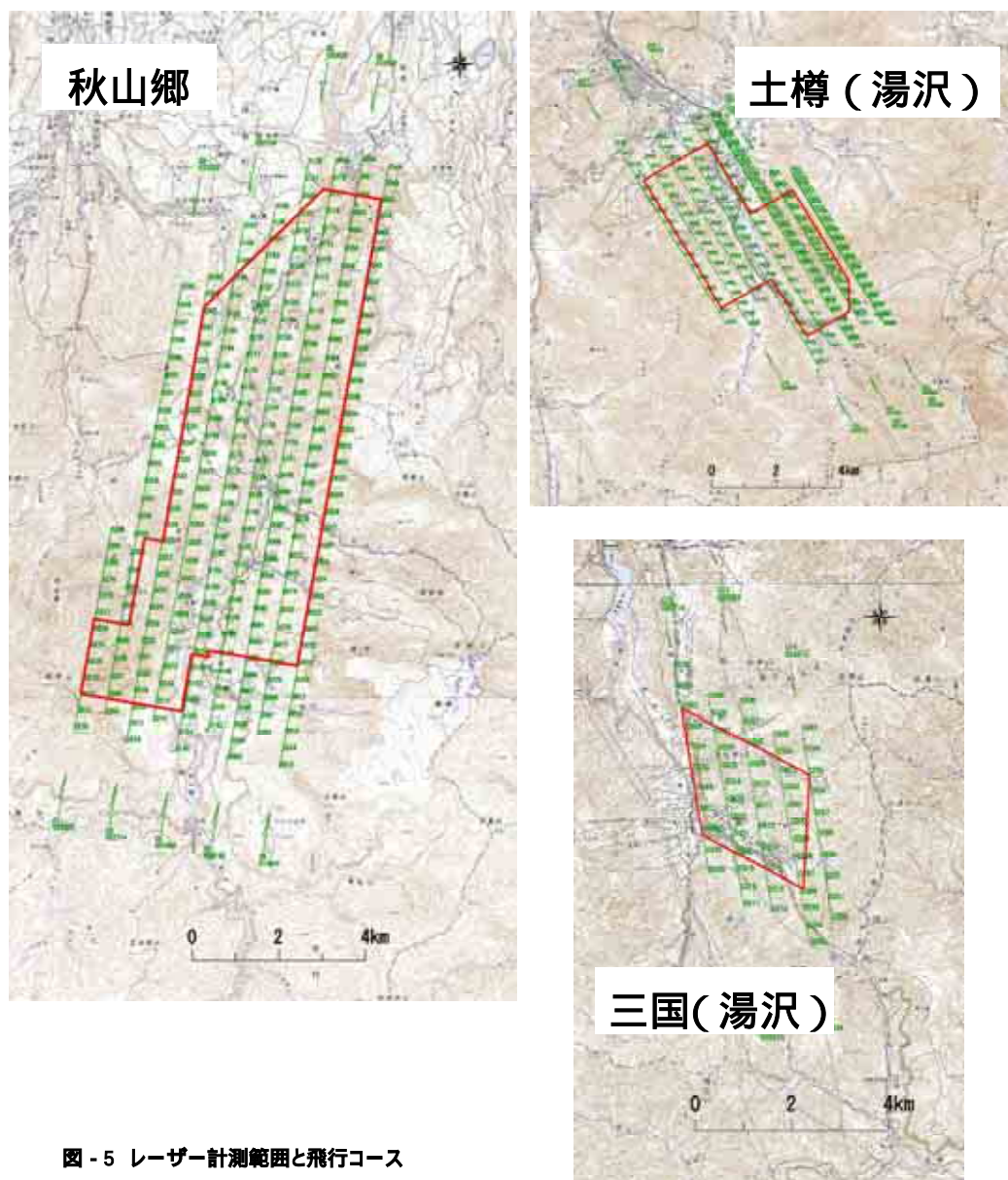


図 - 5 レーザ計測範囲と飛行コース

撮影高度は秋山郷領域が 4085 m、湯沢領域は三国が 1450 m、土樽が 3485 mで、飛行速度は 110 kt、飛行時間は全体で 4 時間 45 分(離陸 09 時 30 分、着陸 14 時 15 分、基地 = 調布)であった。レーザ計測範囲と飛行コースを図 - 5 に示す。

レーザによる測距データは、IMU (Inertial Measurement Unit 慣性計測装置) で解析した航空機の位置姿勢データとともに、平面直角座標と標高に変換された。レーザデータ解析には、Ener Quest 社の Post Processor Ver2.4 を、また標高の算出には、国土交通省国土地理院作成のジオイドモデルがそれぞれ用いられた。さらに計測場所での最高標

高以上、最低標高以下の点をすべて除去する作業を行った。これにより、空中のちり、雲等により反射された点、建物や樹木に数回バウンドして距離が長くなった点などがデータから除かれた。

上記のフィルタリング処理により樹木又は地物、構造物の除去が施されたレーザーデータ(ランダムポイント)は X、Y、Z の座標をテキストファイルへ変換した後、CAD ソフトに読み込み三角網モデルである TIN(Triangulated Irregular Network) データファイルに変換され、最後に内挿処理を行って地表面の 2 m グリッドデータが作成された。

図 - 6 に研究対象領域における積雪期(2006 年 3 月 4 日)の標高分布を可視化して示す。図中では、標高が高いほど赤色となるように彩色されている。

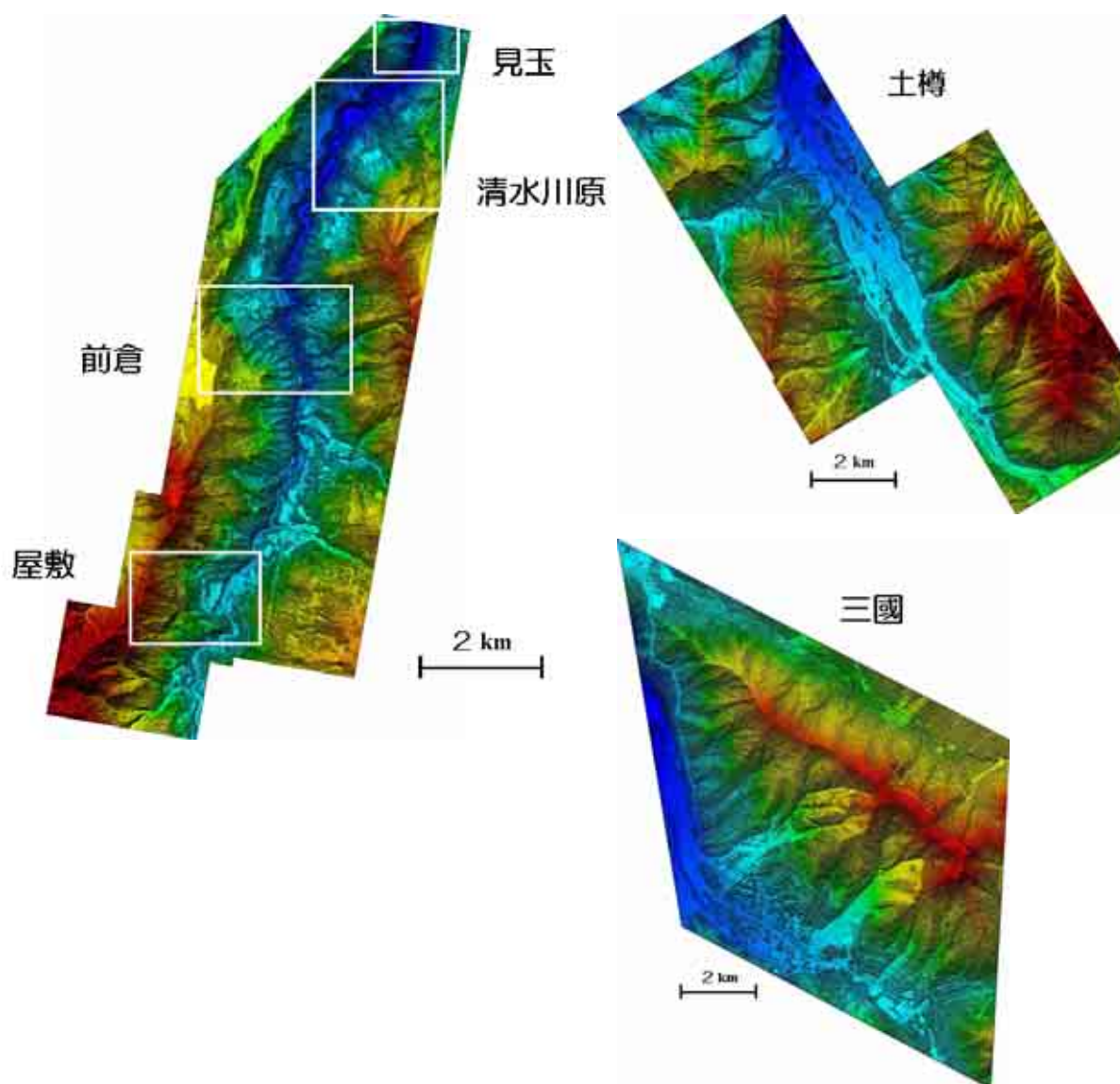


図 - 6 レーザープロファイラーにより計測された積雪期(2006年3月4日)の標高分布。
標高が高いほど赤色となるように彩色されている。

積雪深の面的分布の算出

積雪深の分布は、今回得られた標高と無積雪期の値との差を求めることで得られる。しかし本研究対象領域については、現時点では無積雪期にレーザープロファイラーによる計測結果が存在しない。そこで、無積雪期のデータとしては、国土地理院発行の 2 万 5 千分の 1 地形図の 10 m 間隔等高線から作成した 10 m 格子のデジタル標高データ(GISMAP Terrain、北海道地図(株))を用いた。図 - 7 には秋山郷の屋敷(図 - 6 参照)の領域について、冬期の標高データの可視化図、モノクロの陰影図、等高線図、さらには上述の手法で求めた、積雪深の分布を示す。

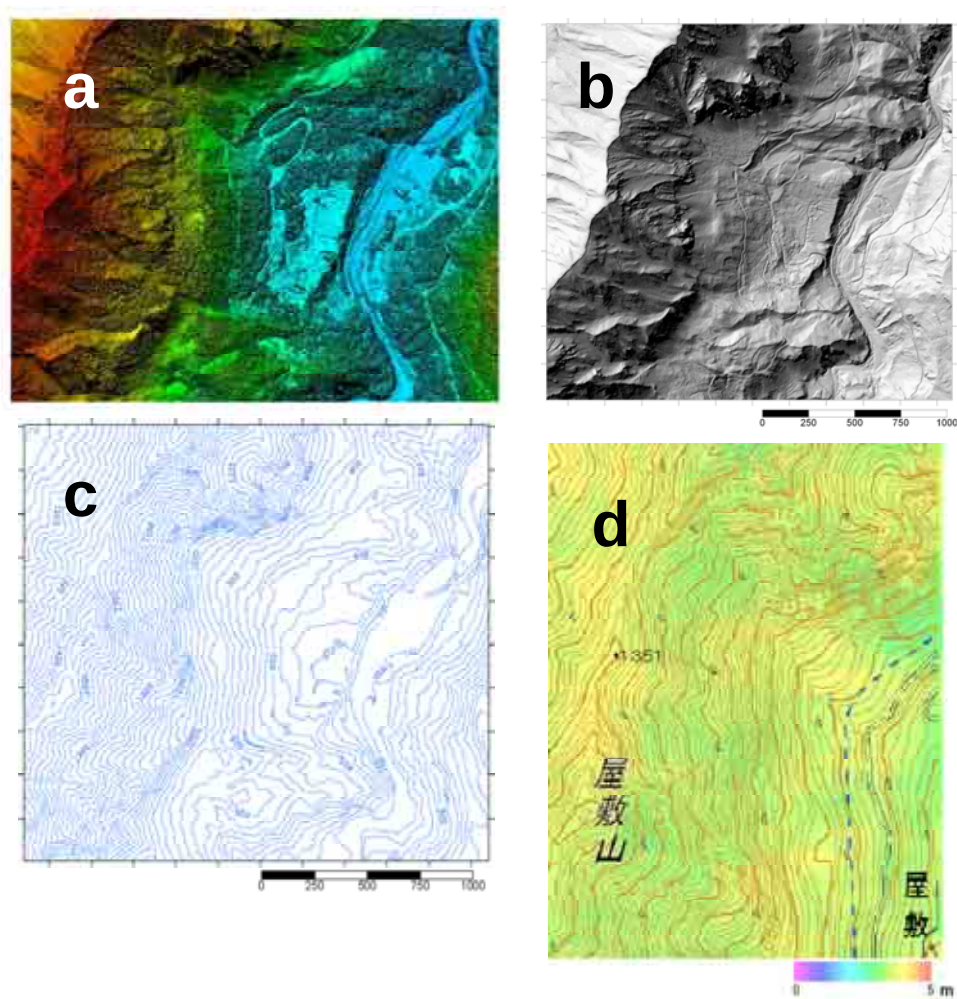


図-7 冬の標高データの可視化図:a、モノクロの陰影図:b、等高線図:cと、無積雪期標高データの差から算出された積雪深分布:d(屋敷、秋山郷領域)

■ 考 察

秋山郷領域の国道 405 号線沿線においては、レーザープロファイラー計測を実施した翌日の 2006 年 2 月 26 日に、新潟大学と防災科学技術研究所が共同で約 2 km 毎に積雪深分布の測定を行った。この結果とレーザープロファイラーによる値を比較したものが表 1 である。

表-1 レーザープロファイラー計測により算出された積雪深と実測値の比較

地点 No.	位置		高度 m	積雪深 cm		
	北緯	東経		測定値	レーザープロファイラー	差
1	36度57.449分	138度40.140分	545	348		
2	36度57.285分	138度39.929分	515	319		
3	36度56.933分	138度39.844分	475	358		
4	36度56.209分	138度39.578分	460	311	334	-23
5	36度55.989分	138度39.093分	550	301	256	45
6	36度55.481分	138度38.720分	472	287	341	-54
7	36度55.120分	138度38.205分	580	326	344	-18
8	36度54.662分	138度38.056分	655	308	333	-25
9	36度53.974分	138度37.803分	724	326	308	18
10	36度53.274分	138度38.139分	739	329	356	-27
11	36度52.868分	138度38.329分	711	387	270	117
12	36度52.575分	138度38.306分	721	294	267	27
13	36度51.899分	138度38.104分	784	265	282	-17
14	36度51.250分	138度37.199分	758	290	332	-42

11 箇所のうち 3 点を除いては、両者の差が 30 cm 以内に収まっていることから、比較的高い精度で対象領域内の積雪分布を得ることができたと結論できる。大きな差があったものは、実測値が点の測定であるのに対して、レーザーによる値は面(ある領域を代表する)の平均値であること、また無積雪期のデータとして市販の 10 m 格子のデジタル標高データを用いた点が考えられる。これらの評価については、今後、無積雪期のレーザープロファイラーによる計測と、その結果を用いた積雪深分布の結果を待ちたい。

■ 今後の発展方向、改善点等

考察の部分でも述べたが、今後、本研究領域を対象とした無積雪期のレーザープロファイラーによる計測が実施されると、今回の冬期の測量結果との差を求めることにより、精度、分解能ともに極めて高品質の積雪深分布が求められると期待される。現在、防災科学技術研究所が開発を進めている「雪崩予測システム」の実用化を目指すにあたっては、レーザープロファイラーの測定が無い場合でも高い精度で雪崩の発生危険度を予測できるシステムの開発が不可欠であり、そのため、本研究で実施した測量結果が貴重な参照データとなると確信する。

■ 参考(引用)文献

該当なし

■ 関連特許

該当なし

1.2. 雪崩発生分布図の作成と解析(秋山郷領域)

(独)防災科学技術研究所雪氷防災研究部門

小杉 健二、佐藤 威、阿部 修、山口 悟、平島 寛行、西村 浩一

■ 要 旨

航空機搭載のレーザープロファイラーの計測結果を用いて積雪深分布を算出した新潟県・長野県の県境付近の秋山郷領域(35 km²)を対象に航空写真撮影を行い、対象領域内の雪崩発生状況を判読し、詳細なマッピングを行った。撮影はレーザー計測を実施した1週間後の3月4日に行われ、対象領域内では262箇所雪崩発生が確認された。発生域の傾斜角は35度を中心とした正規分布を、また流下距離は400 m以下のものが90 %以上を占めたが、1800 mに達したものも検出された。

■ 目 的

航空機に搭載したレーザープロファイラーで積雪深の測定を実施する新潟県と長野県の県境付近の国道405号沿い(秋山郷領域:35 km²)を対象として、航空写真撮影を行うことにより、本研究対象領域内での雪崩発生状況について詳細なマッピングを実施する。

雪崩発生域とレーザープロファイラーの計測により作成された精度の高い積雪深データとの関係を解析し、さらには雪崩発生予測システムにより求められる雪崩発生危険度と実際の雪崩発生状況の比較検討を行うことにより、システムの高度化に資することを目的とする。

■ 目 標

雪崩発生分布図の作成(秋山郷領域)

レーザープロファイラーで積雪深の測定を実施する新潟県と長野県の県境付近の国道405号沿い(秋山郷領域:35 km²)と同じ範囲を対象に、航空写真撮影を実施し、この空中写真から雪崩発生状況を判読する。

雪崩発生分布域の解析(秋山郷領域)

上記の航空写真の判読結果と現地調査の結果を踏まえ、本研究領域内での詳細な雪崩分布図を作成する。

■ 目標に対する結果

研究対象とした秋山郷領域35 km²において2006年3月4日に航空写真撮影を実施し、この空中写真から雪崩発生状況判読を行った。

上記の航空写真の判読結果に加え、新潟大学、信州大学、防災科学技術研究所による現地調査結果を加え、秋山郷領域35 km²を対象とした雪崩分布図を作成した。

■ 研究方法

秋山郷領域 35 km²において 2006 年 3 月 4 日に航空写真撮影を実施した。空中写真の標定図を図-1 に示す。

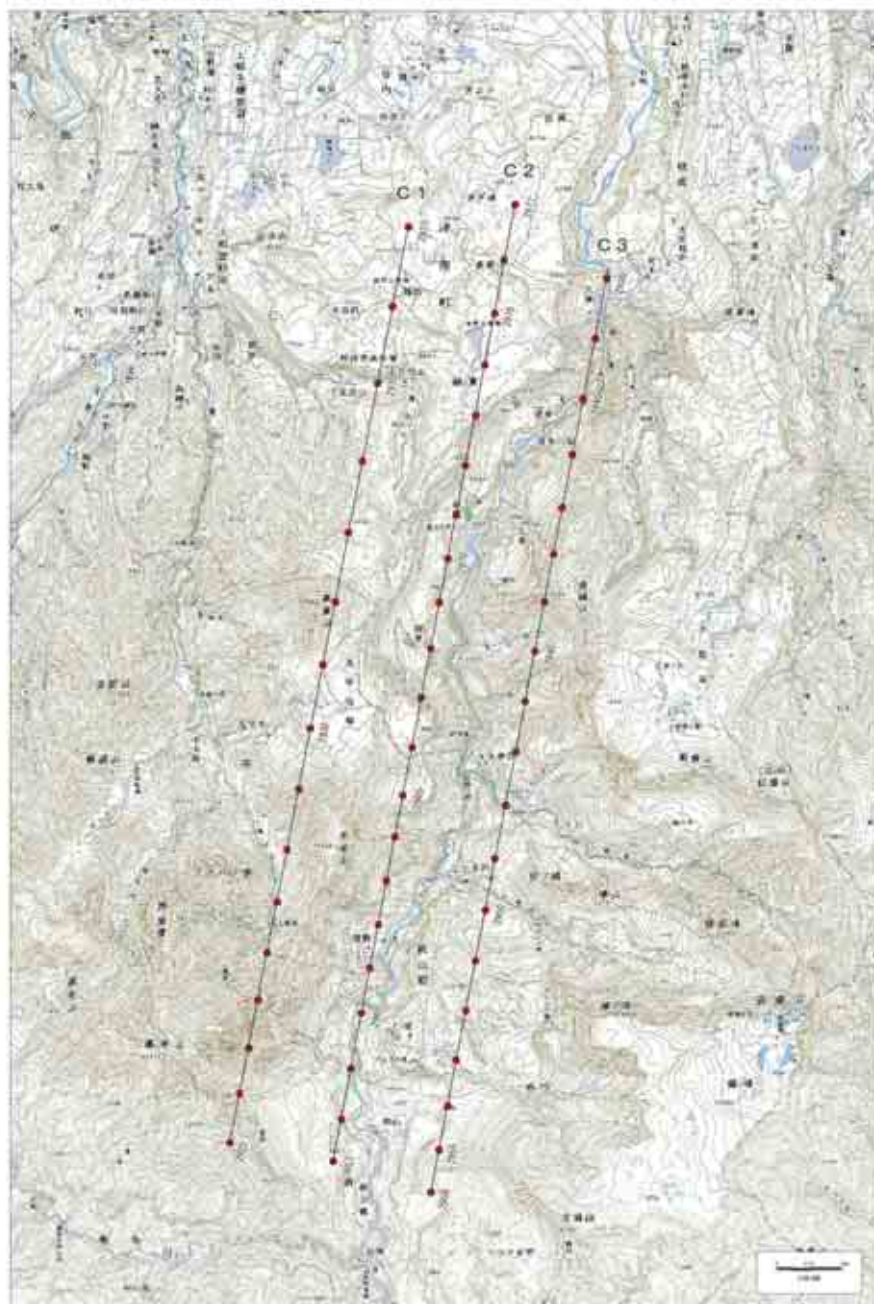


図 - 1 空中写真の評定図(秋山郷)

また、空中写真の諸元は下記のとおりである。

撮影年月日

平成 18 年 3 月 4 日

撮影縮尺

1/10,000

撮影高度

C1: 3180 m 基準面高度 = 1650 m

C2:2430 m 基準面高度 = 900 m

C3:2630 m 基準面高度 = 1100 m

たとえば、C1 では地上標高 1650 m が縮尺 1/10,000 になるように撮影高度を 3180 m に設定している。

使用カメラ、レンズ

RC - 30、F = 152.72 mm

フィルム

KODAK COLOR

計器速度

160ML/H

飛行時間

3 時間 30 分 (離陸 09 時 20 分、着陸 12 時 50 分、基地 = 調布)

撮影枚数

C1:2922 ~ 2937、16 枚

C2:2957 ~ 2977、21 枚

C3:2938 ~ 2956、19 枚

合計 56 枚

上記の諸元のもとに撮影された空中写真は、目視でステレオ投影立体視し、地形図と写真上の雪崩などの位置を比較、照合した上で地形図上に移写した。空中写真から判読できる現象は発生地の形、すべり面の位置である。表層雪崩の場合は、一般的に発生区、走路、堆積区ともに白く見えるが、走路や堆積区では積雪が流動化したことによりデブリの堆積表面は通常の積雪面よりも色調が異なって見える。また、デブリに雪塊などが含まれる場合は凹凸があるため、通常の積雪面との区別は容易である。発生からある程度日時が経過した雪崩は、一見すると全層雪崩のようにも見えるが、斜面上部の残雪状況やデブリ独特の堆積形状・凹凸などから表層雪崩のデブリと判読が可能である。

■ 研究成果

秋山郷領域の 35 km²を対象に、2006 年 3 月 4 日に撮影した空中写真から雪崩発生状況判読を行った。さらに、新潟大学、信州大学、防災科学技術研究所による現地調査結果を加え、雪崩分布図を作成した。判読の結果、3 月 4 日の時点において秋山郷領域では 262 箇所雪崩発生が確認された。発生している雪崩はそのほとんどが表層雪崩で、一部に全層雪崩の発生も確認されたが、撮影時点(3 月 4 日)ではまだ規模は小さく、数も少なかった。領域全体にわたる雪崩発生状況を図-2 に、また全体から見玉、清水川原、屋敷の領域を切り出し、空中写真上にプロットしたものを図-3 にそれぞれ示した。判読図を見る限りでは、通行規制がなされた国道 405 号の津南側(新潟県側)よりも、むしろ標高の高い山河区域が周辺に存在する長野県の栄村の方が規模の大きな雪崩が発生している様子がわかる。ただし、見玉領域では、国道のスノーシェッド上と近傍を何例も規模の大きな雪崩が通過しており、今冬の雪崩発生危険度が非常に高く通行規制が妥当であったことが改めて認識された。秋山郷南部の長野県下水内郡栄村屋敷では、2 月 5 日の 7 時半頃に発生した雪崩で人家の玄関が損壊し、車 1 台が雪に埋まる事故があったが、約 1 ヶ月に撮影された空中写真からもその発生域と流路、堆積域がはっきりと確認できる(図-3)。

上記の雪崩判読結果を数値標高データと組み合わせ、それぞれの雪崩に対して、発生地の標高の最高地点から最低地点までの水平距離と高度差から発生地の傾斜角を、また発生地の標高の最高地点と堆積地の末端が雪崩の流下距離を求めた(図-4)。図-5 には、こうして求めた発生傾斜角と流下距離の分布を示す。発生傾斜角は約 35 度を中心とした正規分布を示しているが、これは McClung and Schaere(1993)が約 300 例の表層雪崩に対して解析した結果とほぼ等しい。全層雪崩の場合は、一般に表層雪崩より発生傾斜角が大きくなり、40 ~ 45 度付近にピークがあると報告されている(宮崎: 1950、荘田:1968、平島ほか:2005)。一方、当該地区で発生した雪崩の流下距離は、図-5 のように 400 m 以下のものが

90 %以上を占めたが、なかには 1800 m に達したものも検出された。

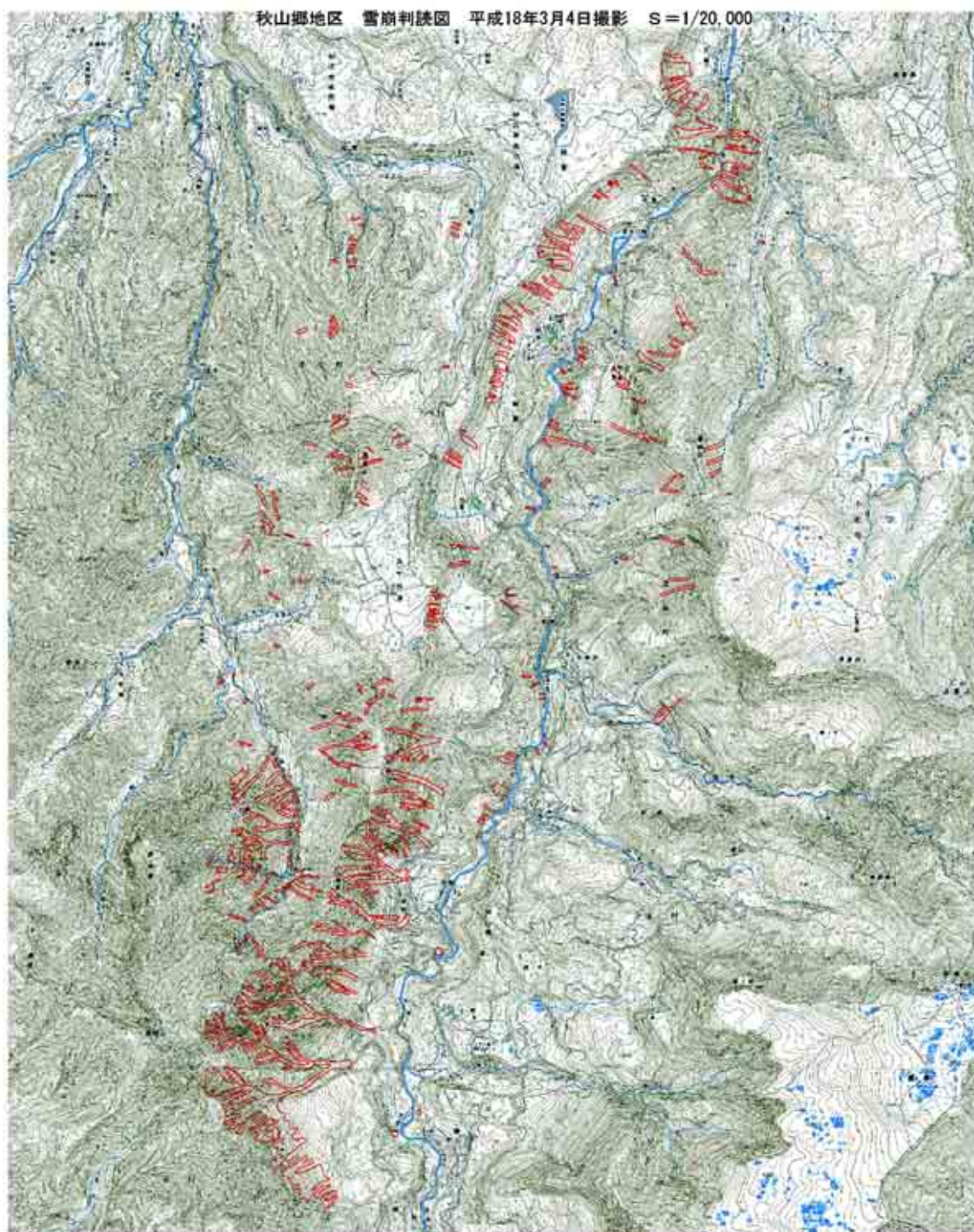


図 - 3 雪崩判読図(2006 年3月4日、秋山郷領域)

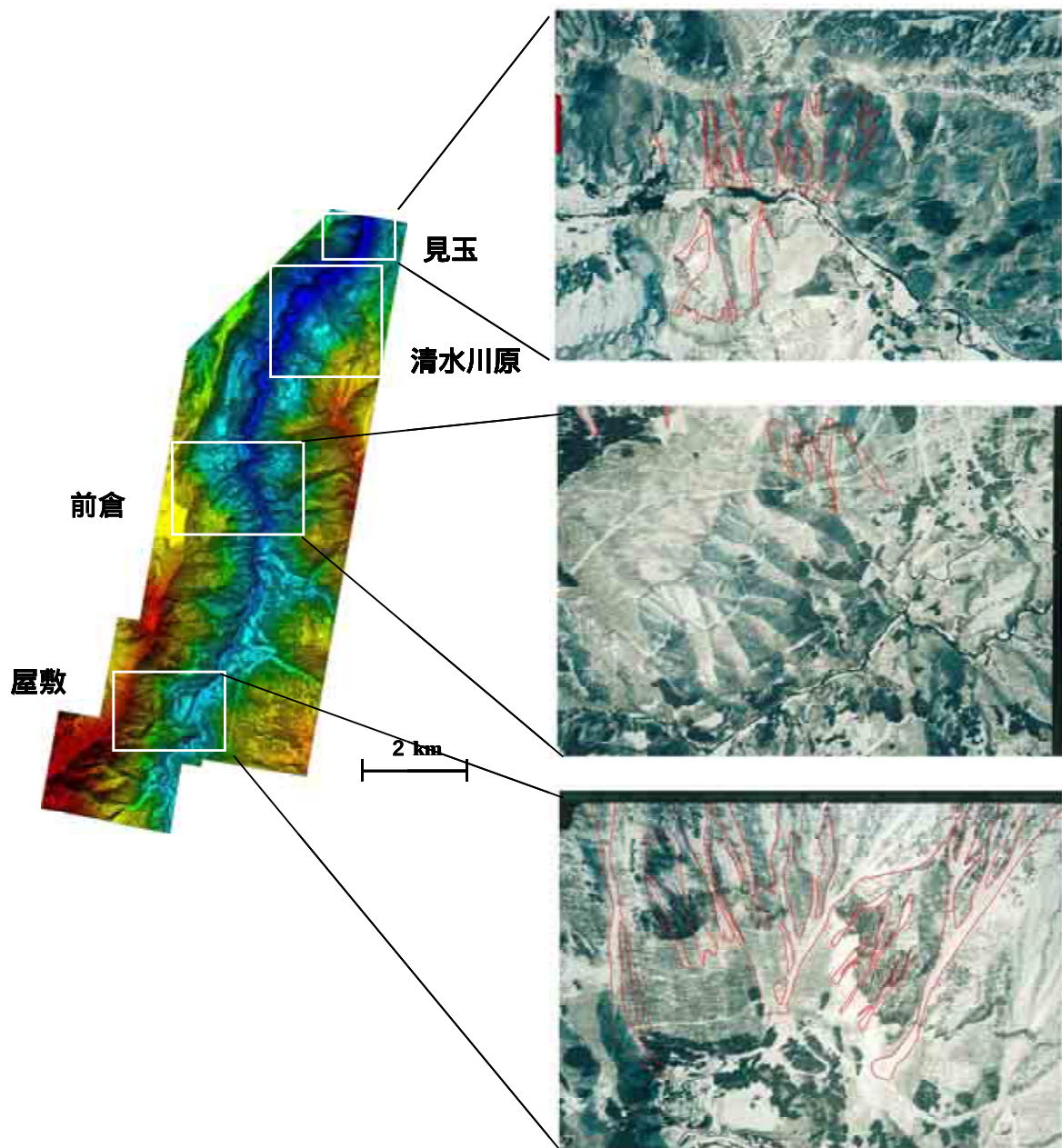


図-3 雪崩判読の結果(上から見玉、清水川原、屋敷の領域を、空中写真上にプロットした)

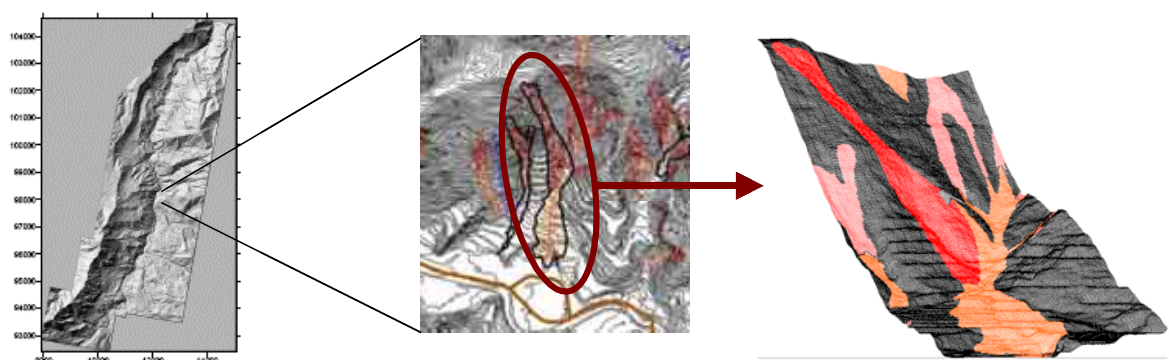


図-4 雪崩判読結果と数値標高データを組み合わせて発生域の傾斜角、流下距離を求める概念図

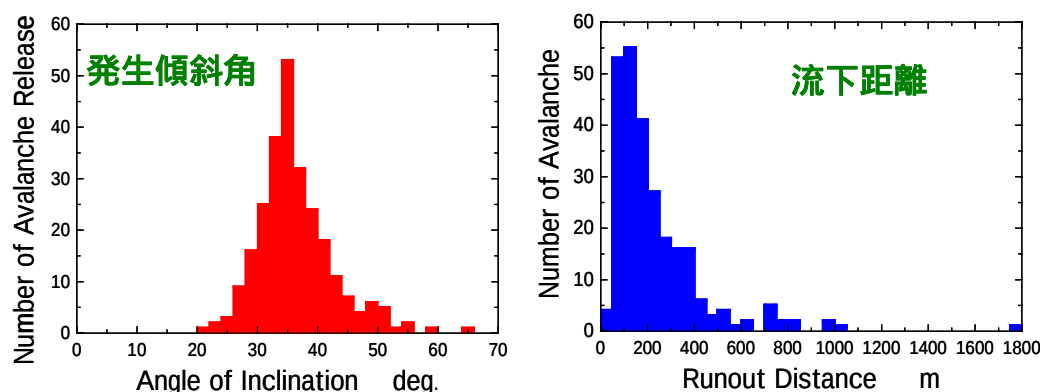


図 - 5 雪崩発生域の傾斜角と流下距離の統計結果(秋山郷、2006 年 3 月 4 日、雪崩総数:256)

■ 考 察

秋山郷領域 35 km² において航空写真撮影を実施し、この空中写真から雪崩発生状況判読し、雪崩分布図を作成するという本研究の目標は達成された。雪崩総数も当該区域で 256 を数え、統計をとる上でも十分有意なデータ数となった。地上からの観測では到底得られない貴重な雪崩発生分布図が得られたものとする。

■ 今後の発展方向、改善点等

上記の考察の項でも述べたように、航空写真撮影結果から 2006 年 3 月 4 日の時点で確認可能な雪崩発生分布図を作成するという当初の目的は十分に達成することができた。ただし、256 の雪崩発生について、その発生日時の把握ができたものは、屋敷山から発生した 2 月 5 日(7 時半)の雪崩や、本研究プロジェクトの参加メンバーが現地調査を行うことで確認もしくは推定が可能であった一部にとどまる。雪崩発生予測結果の検証を行うにあたっては、それぞれの雪崩発生日時の特定は非常に重要であるため、今後の研究計画の策定にあたっては、研究期間中に複数回のフライトを実施することも考慮に加える必要があろう。

今冬は 12 月から 1 月中旬までが低温と豪雪のピークであったという気象経過を振り返ると、最低でも本研究が 1 ヶ月前から開始できていればという悔いは残らざるをえない。今回の教訓を生かし、各機関の研究協力・分担項目を踏まえ、いかに迅速に初動体制を組織するかについても、今後議論を要すると思われる。

積雪の多い冬には、厳冬期の表層雪崩に加えて、その後の融雪期の全層雪崩、融雪水の浸透に起因した土砂災害の発生も懸念される。今回のフライトで検出された雪崩はほとんどが表層雪崩であったが、時期の遅い 3 月下旬から 4 月上旬にかけて航空写真撮影を行い、空中写真の判読により全層雪崩や土砂崩れ分布図を作成するという研究プロジェクトの立ち上げも災害防止という観点で必要不可欠であろう。

■ 参考(引用)文献

McClung, D. and Schaere, P.: 「Avalanche Handbook」, 272pp., (1993)

宮崎健三: 「雪崩と斜面」, 雪と生活, No.6, 1-8, (1950)

莊田幹夫: 「なだれ研究の傾向」, 雪氷, 30(6), 20-27, (1968)

平島寛行、西村浩一、山口 悟、佐藤篤司: 「中越地震による崩壊斜面と全層雪崩の発生」, 寒地技術論文・報告集, Vol.21, 308-312, (2005)

■ 関連特許

該当なし

1.3. 雪崩発生分布図の作成と解析(湯沢領域)

(独)土木研究所 雪崩・地すべり研究センター
花岡正明

■ 要 旨

航空機搭載のレーザープロファイラーの計測結果を用いて積雪深分布を算出した新潟県の湯沢領域 22 km²を対象に航空写真撮影を行い、対象領域内の雪崩発生状況を判読し、詳細なマッピングを行った。撮影はレーザー計測を実施した1週間後の3月4日に行われ、対象領域内では161箇所(土樽:156、三国:5)で雪崩発生が確認された。発生した雪崩の標高差は50 m以上250 m未満のものが、70 %以上を、また水平距離は400 m以下のものが80 %以上を占めた。

■ 目 的

航空機に搭載したレーザープロファイラーで積雪深の測定を実施する新潟県の湯沢領域 22 km²を対象として、航空写真撮影を行うことにより、本研究対象領域内での雪崩発生状況について詳細なマッピングを実施する。

雪崩発生域とレーザープロファイラーの計測により作成された精度の高い積雪深データとの関係を解析し、さらには雪崩発生予測システムにより求められる雪崩発生危険度と実際の雪崩発生状況の比較検討を行うことにより、システムの高度化に資することを目的とする。

■ 目 標

雪崩発生分布図の作成(湯沢領域)

レーザープロファイラーで積雪深の測定を実施する新潟県の湯沢領域 22 km²と同じ範囲を対象に、航空写真撮影を実施し、この空中写真から雪崩発生状況を判読する。

雪崩発生分布域の解析(湯沢領域)

上記の航空写真の判読結果と現地調査の結果を踏まえ、本研究領域内での詳細な雪崩分布図を作成する。

■ 目標に対する結果

研究対象とした新潟県の湯沢領域 22 km²において2006年3月4日に航空写真撮影を実施し、この空中写真から雪崩発生状況判読を行った。

上記の航空写真の判読結果に基づいて、湯沢領域 22 km²を対象とした雪崩分布図を作成した。

■ 研究方法

新潟県の湯沢領域 22 km²において2006年3月4日に航空写真撮影を実施した。空中写真の標定図を図-1に示す。



図-1 空中写真の評定図(湯沢領域)

また、撮影した空中写真の諸元は下記のとおりである。

撮影年月日

平成 18 年 3 月 4 日

撮影縮尺

1/10,000

撮影高度

土樽地区

C4: 2530 m 基準面高度 = 1000 m

C5: 2330 m 基準面高度 = 800 m

C6: 2430 m 基準面高度 = 900 m

三国地区

C7:2730 m 基準面高度 = 1200 m

C8:2530 m 基準面高度 = 1000 m

たとえば、C4 では地上標高 1000 m が縮尺 1/10,000 になるように撮影高度を 2530 m に設定している。

使用カメラ、レンズ

RC - 30, F = 152.72 mm

フィルム

KODAK COLOR

計器速度

160ML/H

飛行時間

3 時間 30 分 (離陸 09 時 20 分、着陸 12 時 50 分、基地 = 調布)、秋山郷領域の撮影も含む

撮影枚数

C4:2978 ~ 2989、12 枚

C5:3003 ~ 3015、13 枚

C6:2990 ~ 3002、13 枚

C7:3016 ~ 3025、10 枚

C8:3026 ~ 3035、10 枚

合計 58 枚

上記の諸元のもとに撮影された空中写真は、目視でステレオ投影立体視し、地形図と写真上の雪崩などの位置を比較、照合した上で地形図上に移写した。空中写真から判読できる現象は発生形の形、すべり面の位置である。表層雪崩の場合は、一般的に発生区、走路、堆積区ともに白く見えるが、走路や堆積区では積雪が流動化したことによりデブリの堆積表面は通常の積雪面よりも色調が異なって見える。また、デブリに雪塊などが含まれる場合は凹凸があるため、通常の積雪面との区別は容易である。発生からある程度日時が経過した雪崩は、一見すると全層雪崩のようにも見えるが、斜面上部の残雪状況やデブリ独特の堆積形状・凹凸などから表層雪崩のデブリと判読が可能である。

■ 研究成果

湯沢領域の 22 km²を対象に、2006 年 3 月 4 日に撮影した空中写真から雪崩発生状況判読し雪崩分布図を作成した。その結果、3 月 4 日の時点において湯沢領域では 161 箇所(土樽:156、三国:5)で雪崩発生が確認された。発生している雪崩はそのほとんどが表層雪崩で、一部に全層雪崩の発生も確認されたが、撮影時点(3 月 4 日)ではまだ規模は小さく数も少なかった。土樽と三国それぞれの領域での雪崩発生状況を図-2 に示す。湯沢領域では 2005 年 12 月 28 日午前 9 時 10 分頃、JR 土樽駅北側にある荒沢山(1303 m)で雪崩が発生し、魚野川を越えて県道土樽 - 越後中里停車場線を長さ約 200 m にわたって塞いだ。この雪崩により道路が通行止めとなり集落が孤立したほか、電柱の倒壊により 17 戸で停電となった。発生後に撮影された写真と雪崩の流路を図-3 に示す。このほかにも 2006 年 1 月 3 日には、ルーデンス湯沢スキー場(南魚沼郡湯沢町土樽)で発生した雪崩で従業員 4 名が雪崩に巻き込まれたほか、GALA 湯沢スキー場では客 2 名が、苗場スキー場(湯沢町三国)リフト降り場付近で従業員 3 名と客 4 名が負傷するなどの雪崩事故が相次いで発生した。さらに 1 月 3 日から 4 日にかけて国道 17 号の火打から三俣の区間の 3 箇所でも雪崩が発生し、20 年ぶりに全面通行止めとなった。土樽の雪崩については、約 1 ヶ月に撮影された空中写真からもその発生域と流路、堆積域がはっきりと確認できる(図-2)。

湯沢領域で確認された 161 箇所(土樽:156、三国:5)の雪崩のうち、標高差は 50 m 以上 250 m 未満のものが 70 % 以上を、また水平距離は 400 m 以下のものが 80 % 以上を占めた。また湯沢領域と秋山郷両領域を合計した 423 箇所の雪崩について流下した水平距離の統計をとると、100 ~ 500 m が 70 % と大半を占め、100 m 未満のものが 20 %、500 ~

1000 m が 9 % と続いた(表-1、図-4 参照)。1000 m 以上に達した大規模な雪崩も 5 箇所で確認されており、それぞれの発生域から堆積区にいたる標高差と、平均傾斜などを表-2 にまとめた。

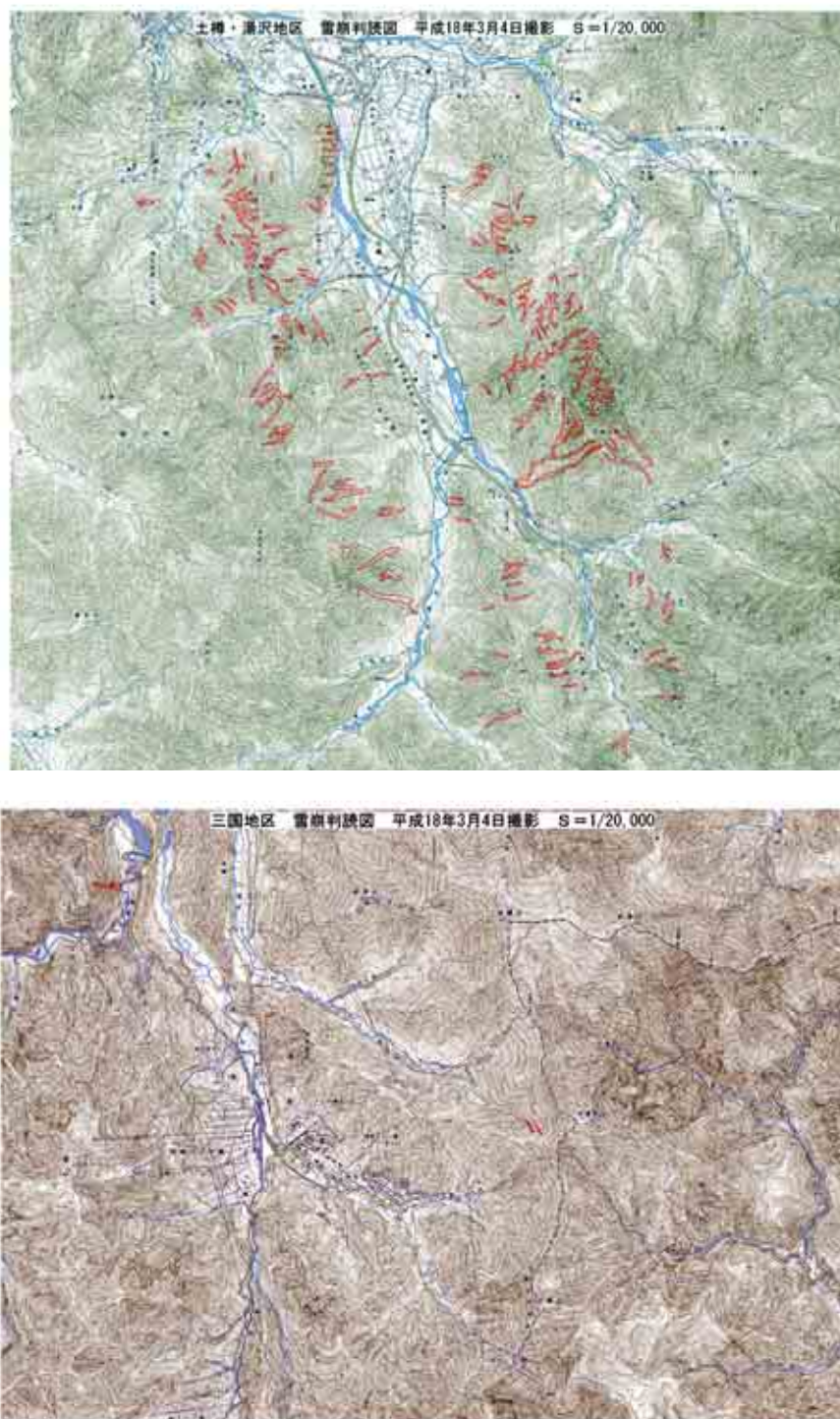


図 - 2 雪崩判読図(2006 年3月4日、湯沢領域)
上:土俵地区、下:三国地区



図 - 3 土樽の荒沢山(1303 m)で2005年12月28日午前9時10分頃に発生した大規模な表層雪崩

表 - 1 雪崩が流下した水平距離と発生個数
(秋山郷、湯沢両領域を含む)

雪崩水平距離	雪崩個数
100m未満	84
100～500m	297
500～1000m	37
1000m以上	5

表 - 2 流下距離(水平距離)が1000 m以上の雪崩の詳細

地区	位置	発生上端標高 [m]	停止標高 [m]	標高差 [m]	雪崩水平距離 [m]	平均傾斜 [°]
秋山郷	上原対岸斜面	1750	790	960	1780	28.3
土樽・湯沢	土樽駅対岸斜面	1250	585	665	1490	24.1
土樽・湯沢	土樽駅対岸斜面	1300	584	716	1390	27.3
土樽・湯沢	毛渡沢左岸斜面	1190	700	490	1040	25.2
秋山郷	屋敷地区	1450	780	670	1030	33.0

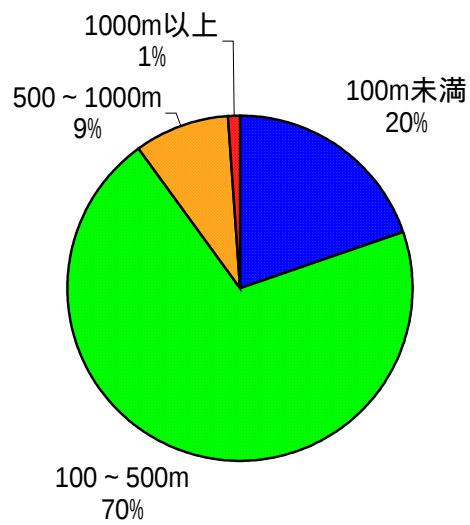


図-4 雪崩流下距離(水平距離)の出現分布
秋山郷、湯沢両領域を含む

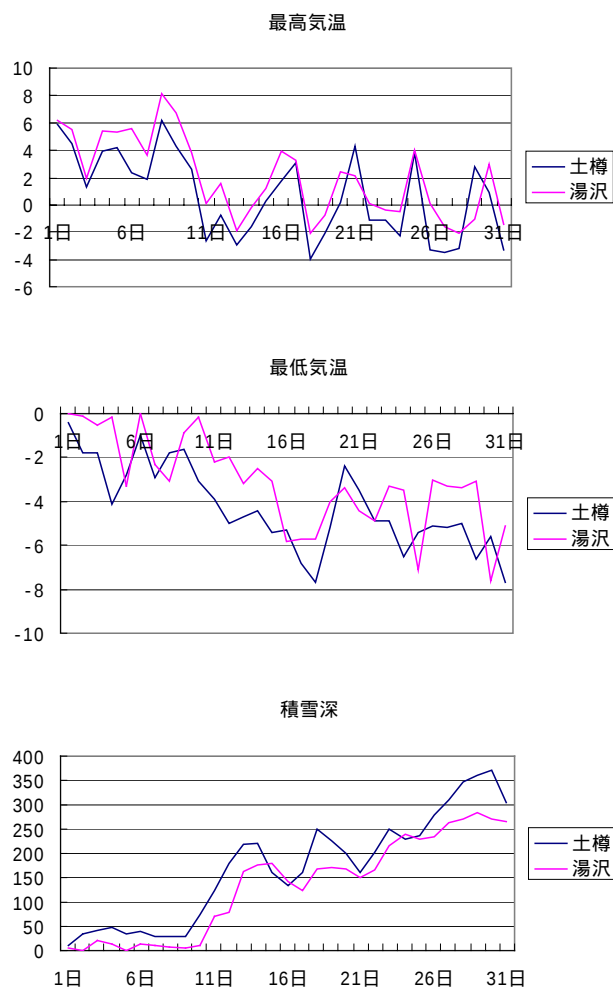


図 - 5 湯沢アメダスと土樽(東日本高速道路株式会社)における気象データの比較 (2005 年 12 月)

本研究対象領域に最も近いアメダス観測地点は湯沢(北緯: 36 度 56.5 分 東経: 138 度 48.6 分 標高: 340 m)であるが、たとえば 2005 年 12 月 28 日に雪崩が発生した土樽とは約 10 km の距離がある。一方、土樽においては、当該地点を走る関越自動車道を管理する東日本高速道路株式会社によって気象観測が実施されている。この土樽での気象データと湯沢アメダスの値を 2005 年 12 月について比較した結果を図-5 に示す。最高気温は平均して 1℃、最低気温は 3℃程度、ともに土樽の方が低く経過している。積雪深も湯沢アメダス地点に比べ土樽の方が多く、特に大規模な雪崩が発生した 12 月 28 日は、両者の差が 50 cm 以上にも達している。雪崩の発生原因を気象データから究明する際や、以降の「雪崩発生予測モデル」の適用にあたって、湯沢アメダス地点のデータを使用する際は、上記の点について注意が必要となる。

■ 考 察

湯沢領域 22 km²において航空写真撮影を実施し、この空中写真から雪崩発生状況判読し、雪崩分布図を作成するという本研究の目標は達成された。20 年ぶりに通行止めとなった国道 17 号線を含む三国で確認された雪崩発生は 5 箇所と少なかったが、土樽地区を含めた雪崩総数は 167、さらに秋山郷領域を加えると 423 を数え、流下距離などの統計をとる上でも十分有意なデータ数となった。地上からの観測では到底得られない貴重な雪崩発生分布図が得られたものとする。湯沢アメダスと 10 km 離れた土樽の気象データを比較したところ気温や積雪深に大きな相違があり、雪崩発生予測を行う上で、広域の気象条件を正確に把握することの重要性が改めて認識された。

■ 今後の発展方向、改善点等

上記の考察の項でも述べたように、航空写真撮影結果から 2006 年 3 月 4 日の時点で確認可能な雪崩発生分布図を作成するという当初の目的は十分に達成することができた。ただし、167 件の雪崩発生について、その発生日時の把握ができたものは、土樽の荒沢山から発生した 12 月 28 日の雪崩など一部にとどまる。雪崩発生予測結果の検証を行うにあたっては、それぞれの雪崩発生日時の特定は非常に重要であるため、今後の研究計画の策定にあたっては、研究期間中に複数回のフライトを実施することも考慮に加える必要がある(この点は秋山郷での調査結果も同様である)。

■ 参考(引用)文献

該当なし

■ 関連特許

該当なし

1.4. 積雪構造、雪崩発生状況の現地調査(中越領域)

新潟大学積雪領域災害研究センター

和泉 薫、河島 克久、伊豫部 勉

■ 要 旨

対象領域内に位置する国道 405 号線(新潟県津南町)において積雪深の測定と GPS による位置計測を行うとともに周辺の斜面において雪崩発生状況の調査を行い、その位置、雪崩分類、規模等を記録した。調査範囲内では、特に見玉～清水川原間において、国道 405 号線の通行止めの原因となった雪崩危険斜面から大規模な雪崩が多数発生していることが認められ、今冬長期間にわたって通行止めせざるを得なかったこの区間の雪崩危険性が明らかにされた。

秋山郷北部に位置する津南町逆巻地区(標高 560 m)に温湿度計・積雪深計・風向風速計・太陽電池パネル・データ収録装置からなる自動気象観測装置を設置し、10 分間隔で気温・湿度・積雪深・風向・風速のデータを取得した。得られたデータを気象庁のアメダス津南のデータ等と比較したところ、逆巻とアメダス津南の変動には高い相関が認められた。

■ 目 的

本業務の目的は次の 2 点である。

秋山郷北部(新潟県津南町)において、積雪深や積雪構造、雪崩発生状況の現地調査を行い、防災科学技術研究所が実施する「レーザープロファイラーによる積雪深分布測定」に対してグランドトゥースデータを提供すること。

秋山郷北部にはアメダス等の既設の気象観測点がないことから、津南町に新たに温湿度計・積雪深計・風向・風速計・太陽電池パネル・データ収録部から構成される自動気象観測装置を設置してデータを収集し、防災科学技術研究所雪氷防災研究部門が実施する「雪崩発生予測システムの構築と検証」に対して、予測精度の検証や向上等に資するデータを提供すること。

■ 目 標

秋山郷北部(新潟県津南町)において、国道 405 号線沿線の積雪深分布及び雪崩発生箇所を地上調査から明らかにする。

秋山郷北部(新潟県津南町)において、積雪断面観測(層構造、雪質、雪温、密度、硬度、含水率等の測定)を行い、当該領域の積雪構造を明らかにする。

秋山郷北部(新潟県津南町)において、自動気象観測装置を設置し、気温、湿度、積雪深、風向、風速のデータを連続的に取得する。

■ 目標に対する結果

秋山郷北部(新潟県津南町)において、レーザープロファイラー計測が行われた翌日の 2006 年 2 月 26 日と 3 月

18日に国道405号線沿線において約2 km毎に積雪深分布の測定を行うと共に、随時、雪崩発生箇所の写真撮影と記載を行った。

秋山郷北部(新潟県津南町)において、積雪断面観測を防災科学技術研究所と共同で約1週間毎に実施し、当該領域の積雪構造とその時間変化を明らかにした。

逆巻温泉(北緯36°56'1.92" 東経138°39'7.45"、標高:560 m)に自動気象観測装置を設置し、気温、湿度、積雪深、風向、風速のデータを10分毎に連続して収集した。

■ 研究方法

積雪深分布及び雪崩発生箇所の調査

防災科学技術研究所雪氷防災研究部門がレーザープロファイラー計測を実施する際に、計測対象領域内にある国道405号線(新潟県津南町)において、国道沿いに約2 km間隔で観測ポイントの平均的な積雪深を測定すると共に、その位置情報をGPSを用いて記録する。また、当該領域において地上から確認可能な雪崩発生箇所を調査し、その位置情報、雪崩分類、規模等を記録する。

自動気象観測装置による気象データの収集と解析

秋山郷北部(津南町)に温湿度計・積雪深計・風向・風速計・太陽電池パネル・データ収録装置から構成される自動気象観測装置を設置して、10分間隔で気温、湿度、積雪深、風向、風速のデータを取得する。得られたデータは信州大学により秋山郷南部(長野県栄村)に設置される自動気象観測装置のデータやアメダスデータ(津南)と比較・解析し、防災科学技術研究所雪氷防災研究部門が実施する「雪崩予測システムの構築と検証」への適用化を図る。

■ 研究成果

(1) 積雪深分布の調査

レーザープロファイラー計測が行われた翌日の2006年2月26日と3月18日の2回にわたり、国道405号線沿線において、防災科学技術研究所と共同で約2 km毎に積雪深分布の測定を行った。測定箇所の位置(緯度、経度情報はGPSによる)と観測された積雪深の値を図-1と表-1に示す。観測点番号5は逆巻温泉(新潟大)、16は栃川高原(信州大)に設置された気象観測点に対応する。国道405号を南下するにつれて標高は増加するが、積雪深の値の変化傾向は一樣ではなく複雑な様相を示している。1回目の測定を行った2月26日から3月18日にかけて積雪深は全体に低下しているものの、その変化量は積雪深と同様に10 cmから80 cmと場所によって大きく異なることがわかる。

表-1 積雪深の測定位置と結果

	位置		高度	2月26日積雪深				積雪深 平均値	3月18日積雪深				積雪深 平均値
	北緯	東経	m	cm					cm				
1	36度57.449分	138度40.140分	545	341	352	351		348					
2	36度57.285分	138度39.929分	515	323	318	315		319					
3	36度56.933分	138度39.844分	475	363	365	345		358	270	257	292	305	281
4	36度56.209分	138度39.578分	460	303	315	315		311	283	287	280		283
5	36度55.989分	138度39.093分	550	297	303	303		301	360	361	363		361
6	36度55.481分	138度38.720分	472	287	287	288		287	248	241	237		242
7	36度55.120分	138度38.205分	580	326				326	292				292
8	36度54.662分	138度38.056分	655	305	311	307		308	263	272	272		269
9	36度53.974分	138度37.803分	724	310	335	350	310	326	300	304	312		305
10	36度53.274分	138度38.139分	739	315	330	340	330	329	305	287	312		301
11	36度52.868分	138度38.329分	711	384	386	392		387	352	353	350		352
12	36度52.575分	138度38.306分	721	300	305	286	285	294	238	242	249		243
13	36度51.899分	138度38.104分	784	265				265	222				222
14	36度51.250分	138度37.199分	758	283	291	297		290	266	287	286		280
15	36度50.396分	138度37.333分	874						245	263	240		249
16	36度49.584分	138度37.580分	997						181	173	165	187	177



図-1 積雪深観測を行った地点(秋山郷)

(2) 積雪断面観測による積雪構造の観測

津南のアメダス地点(北緯 $36^{\circ}59.8'$ 、東経 $138^{\circ}41.0'$ 、標高:452 m)において、防災科学技術研究所と共同で積雪断面観測を6回(1月25日、2月2日、2月10日、2月20日、2月27日、3月5日)実施し、積雪構造とその変化状況を調査した。観測項目は積雪の層構造、雪質、雪温、密度、硬度、含水率などである。図-2 には断面観測の様子を、また図-3 には観測結果のうち雪質の変化状況を示した。当該地点は2005年12月から2006年1月中旬にかけて記録的な低温と大雪に見舞われ、2月5日には観測開始以来最大の積雪深である416 cmを記録した。図-3の積雪構造を見ると、2月上旬までは、表層付近は30~80 cmと層厚の変動はあるものの、「新雪」と「こしまり雪(新雪からしまり雪に移行段階のもの)」が占め、それより以深は約50 cmの厚さの「ざらめ雪」(水を含んで粗大化した丸い粒や、水を含んだ雪が再凍結した大きな丸い粒が連なったもの)をはさんだ「しまり雪」(こしまり雪がさらに圧密と焼結によって丸みをおび、互いに網目状につながったもの)から構成されている。その後2月中旬以降は、「しまり雪」と「ざらめ雪」の互層となり、時間の経過と共に次第に後者の占める割合が増加した。積雪深と積雪水量(水当量)から算出した全層の平均密度は2月中旬までは 400kg/m^3 以下であるが、下旬にかけて $470\sim480\text{kg/m}^3$ に増加し、3月になると 500kg/m^3 以上となった(表-2)。

後述する逆巻温泉の気象観測点では、積雪深と積雪水量の調査を実施した。両者の値とそれらから求められる全層平均密度は、それぞれ2006年3月9日は300 cm、1587 mm、 529kg/m^3 、また4月28日は146 cm、832 mm、 570kg/m^3 (いずれも3回の測定値の平均)であった。3月9日の測定値を5日の津南アメダス地点の値(表2)と比較すると、積雪深は12 cm 小さいのに対し、全層密度はやや大きめとなっている。



図 - 2 積雪断面観測の様子

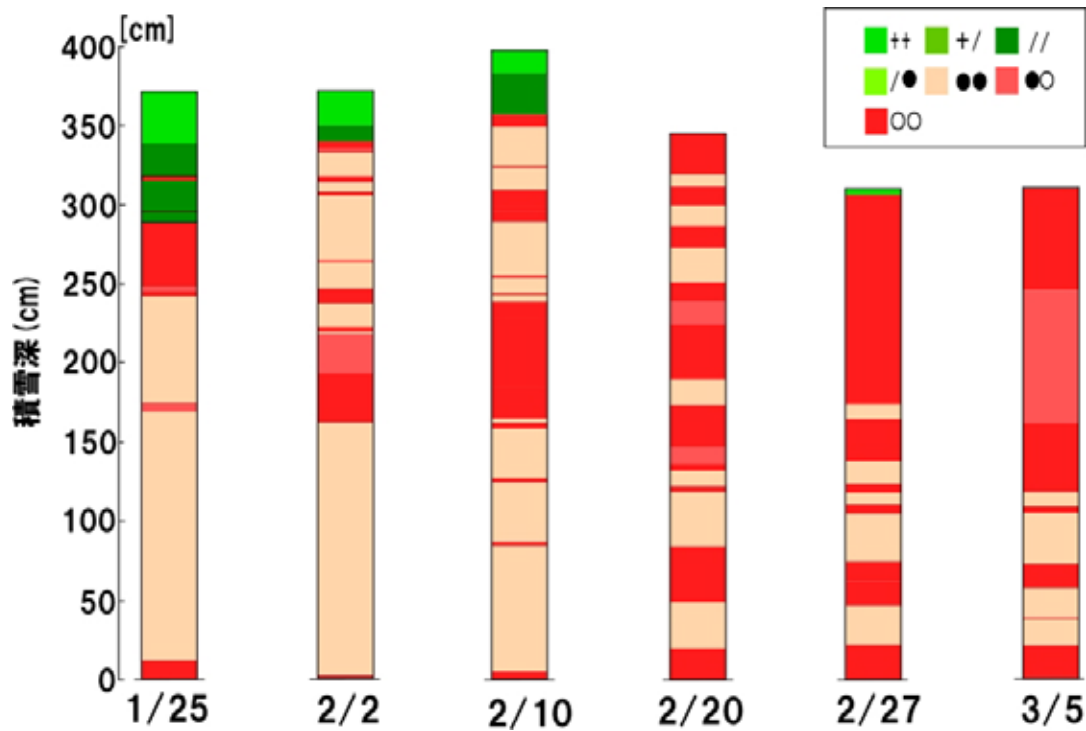


図 3 津南アメダス地点での積雪断面観測の結果（雪質）
+：新雪、/：こしまり雪、●：しまり雪、○：ざらめ雪

表 2 津南アメダス地点の積雪深、水当量と全層平均密度

	積雪深 cm	水当量 g	平均密度 kg/m ³
1月25日	372	1297.1	349
2月2日	380	1442.5	380
2月10日	400	1560	390
2月20日	340	1662.5	489
2月27日	327	1540	471
3月5日	312	1610	516
3月16日	308	1575	511
3月22日	286	1545	540

(3) 自動気象観測装置による気象データの収集と解析

北緯 36°56'1.92" 東経 138°39'7.45"、標高:560 m の逆巻温泉(図-1 の)に温湿度計・積雪深計・風向・風速計・太陽電池パネル・データ収録装置から構成される自動気象観測装置を設置して、10 分間隔でデータを取得した。図-4 に装置の設置状況を、また、図-5 には 2006 年 3 月 8 日から 4 月 28 日までの記録を示す。3 月一杯は、気温がほぼ零度を中心に-10 ～+10 の間で変動しているが、4 月以降は最低気温もプラスとなった。積雪深は 3 月 14 日から 3 月 29 日にかけて 2 週間ほぼ単調に減少しているが、3 月 31 日の降雪により、50 cm 以上一気に増加し期間中の最深値を記録した。これ以後は減少傾向を辿り、4 月末には 150 cm 以下となった。4 月 11 日から 12 日にかけての積雪深の急激な融雪の進行は、南よりの強風と高温による。これを含めた 4 月の 3 期間を除くと、平均風速はほぼ 4 m/s 以下(最大風速も 5 m/s 程度)と比較的風は弱い。特に 3 月 13 日、14 日、31 日に代表される強い冬型の気圧配置のもとでも、ほぼ静穏に近い状況で積雪深が増加しているのが特徴である。



図 - 4 逆巻温泉(北緯 36°56'1.92"東経 138°39'7.45"、標高:560 m)に設置された自動気象観測装置

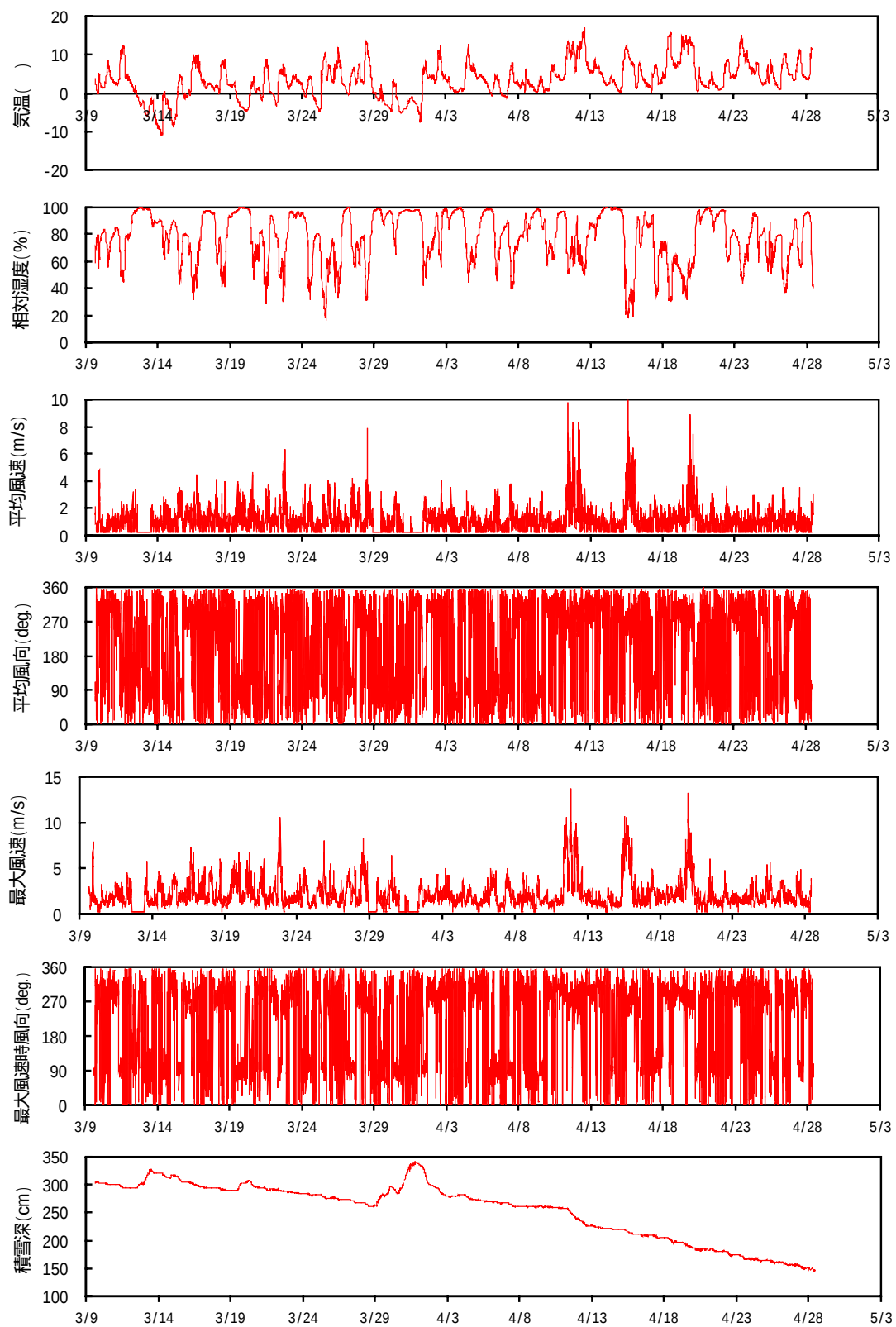


図 - 5 逆巻温泉における気象変化(2006 年 3 月 8 日 ~ 4 月 28 日)

(4) 雪崩発生状況の現地調査

国道 405 号線沿線において、随時、周辺の雪崩発生箇所の写真撮影と記載による観測を行った。主な雪崩発生状況の写真を図 6 に、またそれぞれの写真に対応する位置を空中写真を用いて作成した雪崩判読図と対応させて図 7 に示す。



図 - 6 - 1 秋山郷領域における雪崩の発生状況

発生位置は図 7 の雪崩判読図に示す。 、 、 は 2006 年 3 月 1 日、 、 、 は 3 月 10 日にそれぞれ撮影された。



図 - 6 - 2 秋山郷領域における雪崩の発生状況
発生位置は図 7 の雪崩判読図に示す。 、 、 、 、 は 2006 年 3 月 10 日、 は 4 月 28 日にそれぞれ撮影された。

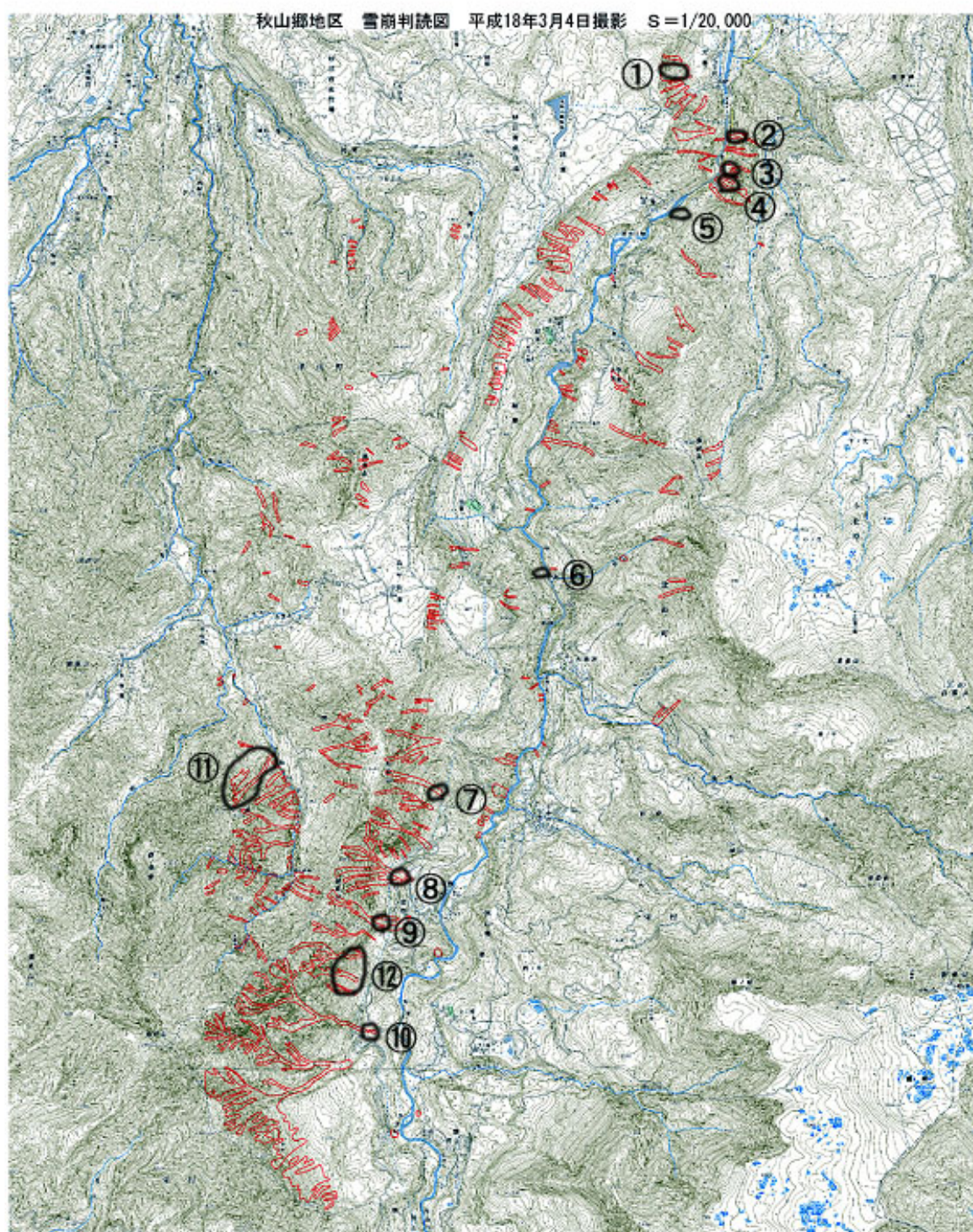


図7 現地調査で撮影された雪崩発生状況写真(図6- 、)の位置

■ 考 察

秋山郷北部(新潟県津南町)の国道405号線沿いで約2 km 毎に行われた積雪深分布の測定からは、南下に伴って標高は増加するが、積雪深の変化は決して一様ではなく複雑な様相を示していることが示された。これは延長約15 km の沿

線上空の降雪雲分布を反映した降雪量そのものの違い、風による再配分、標高、斜面方位等に基づく融雪量の相違を反映していると推定される。雪崩発生予測の実用化にあたっては、こうした気象の領域特性とそれに基づく積雪深分布の正確な把握が不可欠であり、そのアルゴリズムの開発が急務であろう。延長 15 km 津南のアメダス地点で行われた約 4 m 深の積雪断面観測からは、2 月上旬から 3 月にかけての雪質、密度等の変化に関わる情報が蓄積された。雪崩予測に用いる積雪変質モデル「SNOWPACK」は、本来ヨーロッパアルプスなどの高山領域の積雪を対象に開発されたものである。日本のとりわけ湿雪地帯に適用するにあたっては、今回得られた積雪構造とその経時変化のデータを最大限活用し、多雪、温暖、湿潤領域におけるモデル精度の検証と向上を図ることも重要な課題である。

■ 今後の発展方向、改善点等

雪崩発生予測手法の開発とその高精度化に向けて、今回取得された気象および積雪データを今後有効に活用することの意義はすでに述べた。気象観測に関しては、第一義の目的であった対象領域内の気象分布特性を把握し、雪崩発生予測モデルの計算に資するという目的は十分に達せられたと考える。しかし機器の整備等に時間を要し、信州大学による栃川高原での気象観測と同様、観測の開始がレーザープロファイラー観測と空中写真の撮影以降となってしまったのは、やや残念であった。

■ 参考(引用)文献

該当なし

■ 関連特許

該当なし

1.5. 積雪構造、雪崩発生状況の現地調査(長野県北部領域)

信州大学理学部

鈴木啓助

■ 要 旨

長野県北部領域の下水内郡栄村栃川高原において気象観測を行い、積雪の変態過程を生起させる気温や降水量を計測した。さらに同所において積雪断面観測を3回行い、積雪全層にわたる雪質の変化過程を追跡した。

その結果、2月下旬には多くの層でザラメ化していたなど、融雪過程における気象条件と雪質との関係に関するデータを取得でき、今後の雪崩災害等に活用することが期待できる。

■ 目 的

本研究対象領域のうち、秋山郷南部(長野県北部領域)において、積雪深や積雪構造、雪崩発生状況の現地調査を行うことを目的とする。秋山郷南部にはアメダス等の既設の気象観測点がないことから、栄村に新たに温湿度計・積雪深計・風向・風速計・太陽電池パネル・データ収録部から構成される自動気象観測装置を設置してデータを収集してデータの収集を実施する。

■ 目 標

航空機によるレーザープロファイラー計測と雪崩発生域の調査が行われる秋山郷南部(長野県北部領域)の気象状況の正確な把握が可能となる。得られたデータ(気温、積雪深、風向、風速)は、雪崩発生予測システムの予測結果の検証に用いる。なお、別途、新潟大学により設置される秋山郷北部の気象観測装置のデータと合わせることで、秋山郷の全領域をカバーすることができる。

■ 目標に対する結果

秋山郷南部の下水内郡栄村栃川高原(北緯 $36^{\circ} 50.396'$ 、東経 $138^{\circ} 37.333'$ 、標高:995 m)に自動気象観測装置を設置し、気温、湿度、積雪深、風向、風速のデータを10分毎に連続して収集した。また同地点で積雪断面観測を3回(2006年2月24日、3月10日、3月24日)実施し、当該領域の積雪構造とその時間変化を明らかにした。

■ 研究方法

現地調査及び気象観測装置の設置

秋山郷南部(長野県北部領域)において、積雪深や積雪構造、雪崩発生状況の現地調査を行うとともに、自動気象観測装置を設置する。

■ 研究成果

(1) 自動気象観測装置による気象データの収集と解析

秋山郷南部の下水内郡栄村栃川高原(北緯 $36^{\circ}50.396'$ 、東経 $138^{\circ}37.333'$ 、標高:995 m)に自動気象観測装置を設置し、気温、湿度、積雪深、風向、風速のデータを10分毎に連続して収集した。図-1に観測装置の設置状況を、また、図-2には2006年3月10日から3月24日までの記録を示す。期間中の気温は寒暖の差が大きく、およそ $-10 \sim +10$ の間で変動した。日較差も15程度に達する日が複数あり、3月14日の早朝には期間中の最低気温を記録した。積雪深は3月19日までは漸減の傾向を示したが、千島近海で低気圧が急激に発達して北日本が強い冬型となった3月19日~20日には約25 cm増加した。これ以後は一日あたり5 cm以上の割合で雪面は低下している。相対湿度は、好天日の日中を除くと90%以上と高い。風速は低気圧が発達しながら本州を通過して全国的に強風が吹き荒れた17日と冬型で降雪があった3月19日~20日を除くとほぼ4 m/s以下と比較的穏やかに経過している。

図-3は栃川温泉の気象経過を津南のアメダス地点と比較したものである。天気の良い日中の気温は両者がほぼ等しいが、夜間から早朝にかけては一般に栃川高原の方が低温で、その差は5以上に達する場合もある。風速は栃川高原の方がやや弱い傾向があるが、強い冬型となった20日の夜から21日の早朝にかけては両者の関係は逆転している。栃川高原の積雪深は津南に比べて変動が小さい。特に強い冬型となって黄海、東シナ海、日本海を寒気に伴う対流雲が覆い山陰~北陸にかけて50 cm/24h以上の降雪となった13日は、栃川高原に比べ約20 km北側に位置する津南の方が約50 cm多く増加している。このように本研究の対象領域である秋山郷程度のスケールにおいても降雪雲の分布に相違があり、それが積雪深変化に違いをもたらされることが明らかになった。雪崩の発生を予測するにあたっては、積雪深分布の正確な把握が重要な要素となるが、吹雪等による積雪の再配分に加えて、降雪量そのものの非一様性についても考慮が必要で、あることが示された。なお20日以降は、両地点の積雪深はほぼ同一となった。



図 - 1 栃川高原(北緯 $36^{\circ}50.396'$ 、東経 $138^{\circ}37.333'$ 、標高:995 m)に設置された自動気象観測装置

(2) 積雪断面観測による積雪構造の観測

栃川高原の気象観測地点において、積雪断面観測を2週間毎に計3回(2006年2月24日、3月10日、3月24日)実施した。積雪構造とその時間変化を図-4に示す。航空機搭載のレーザープロファイラー計測の前日である2月24日は、積雪深が270 cmで「しまり雪」と「ざらめ雪」の層が交互に分布している。一方、空中写真撮影の約1週間後の3月10日になると積雪深は240 cmに減少し、「ざらめ雪」の占める割合が約3分の2と増加した。さらに2週間後の3月24日は主に20日前後の降雪で、積雪深は再び267 cmまで増加した。「ざらめ雪」の割合は一層増加しているが、この時点でも表面から1 m以深には「しまり雪」が占める割合が大きい厚さ50~60 cmの部分が2層残っている。

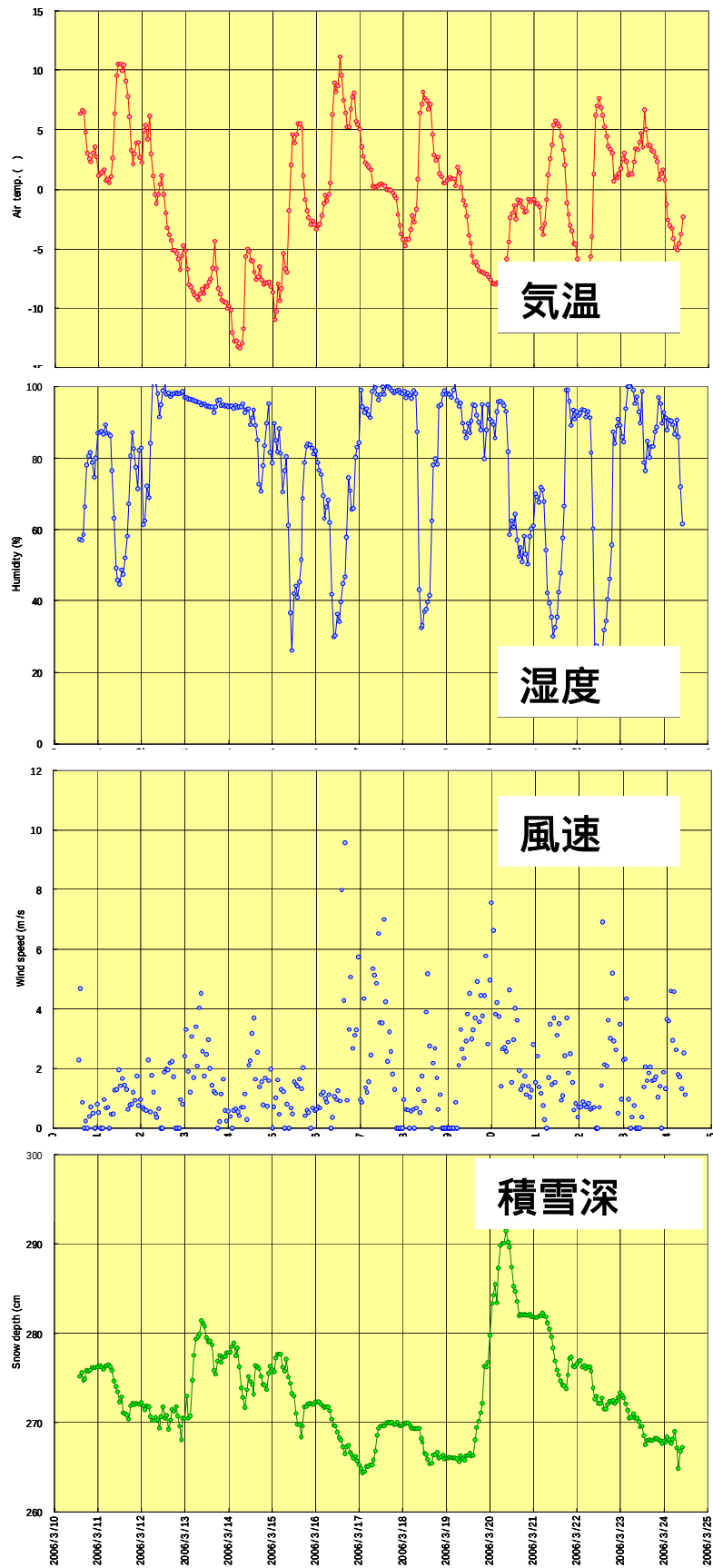


図 - 2 栃川高原での気象観測結果(2006年3月10日から3月24日)

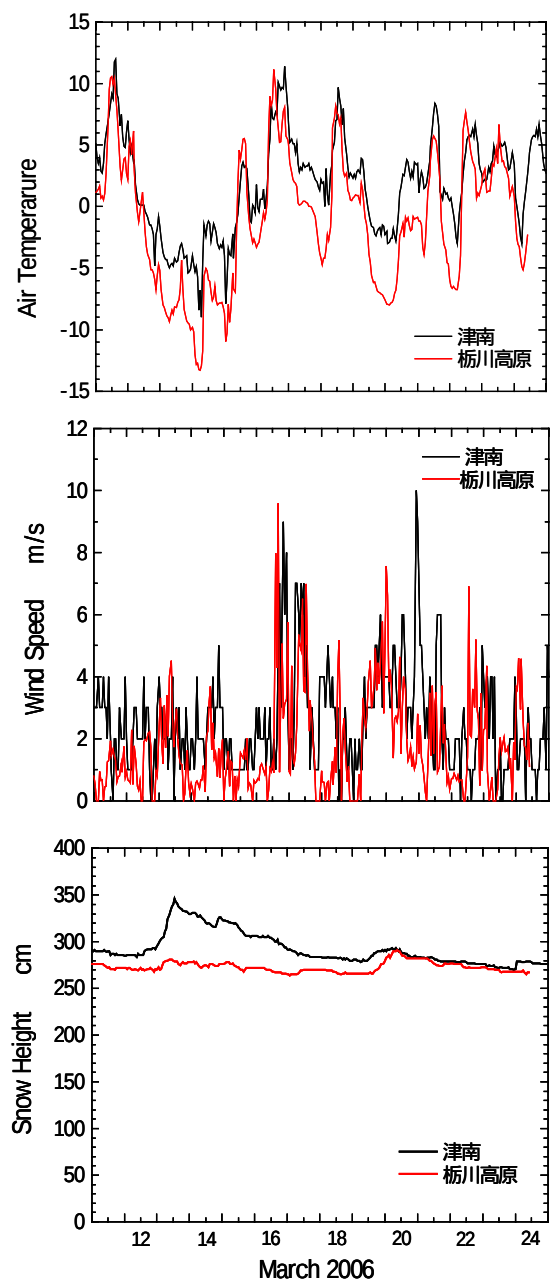


図 - 3 津南アメダス地点と栃川高原の気象比較

A				B				C			
層位	積雪深	雪温	密度	層位	積雪深	雪温	密度	層位	積雪深	雪温	密度
cm	cm		g/cm ³	cm	cm		g/cm ³	cm	cm		g/cm ³
2006/2/24 10:30-13:00	○ ○	0	-0.1	2006/3/10 10:30-13:00	○ ○	0	-0.1	2006/3/24 10:30-13:00	+	267	0.0
	○ ○	3	-0.1 0.330		○ ○	3	-0.1 0.305		○ ○	264	0.0 0.295
	○ ○	6	-0.1 0.340		○ ○	6	-0.1 0.380		○ ○	266	0.0 0.355
	○ ○	9	-0.1 0.340		○ ○	9	-0.2 0.385	260cm氷板	○ ○	260	0.0 0.310
	○ ○	12	-0.1 0.380		○ ○	12	-0.2 0.405		○ ○	255	0.0 0.342
	○ ○	15	0.0 0.360		○ ○	15	-0.2 0.393	252cm氷板(厚さ1cm)	○ ○	252	0.0 0.355
	○ ○	18	0.0 0.410		○ ○	18	-0.2 0.425	汚れ層(252-251cm)	○ ○	249	0.0 0.330
	● ●	21	0.0 0.410	粒径大(2mm以上)	○ ○	21	-0.2 0.420		○ ○	246	0.0 0.330
	● ●	24	-0.2 0.360		○ ○	24	-0.2 0.473		○ ○	243	0.0 0.340
28cm氷板(厚さ1cm)	● ●	28	-0.2 0.380		○ ○	27	-0.2 0.445	241cm氷板(厚さ1cm)	○ ○	241	0.0 0.342
	● ●	29	-0.2 0.400		○ ○	30	-0.2 0.445		○ ○	237	0.0 0.368
	● ●	33	-0.2 0.410		○ ○	33	-0.2 0.450	粒径大	○ ○	234	0.0 0.330
	● ●	36	-0.2 0.370	35cm氷板(厚さ1cm)	○ ○	35	-0.2 0.465		○ ○	230	0.0 0.380
	● ●	39	-0.2 0.360		○ ○	36	-0.2 0.395		○ ○	228	0.0 0.390
	● ●	42	-0.2 0.370		○ ○	42	-0.2 0.430		○ ○	225	0.0 0.385
	○ ○	45	-0.2 0.390		○ ○	44	-0.2 0.445	粒径小	○ ○	222	0.0 0.380
	○ ○	47	-0.2 0.420	48cm氷板	○ ○	48	-0.2 0.435	220cm氷板(厚さ1cm)	○ ○	220	0.0 0.420
	○ ○	50	-0.2 0.350		○ ○	51	-0.2 0.445	218cm氷板(厚さ1cm)	○ ○	218	0.0 0.460
	○ ○	54	-0.2 0.360	粒径小(水を含む)	○ ○	54	-0.2 0.485		○ ○	213	0.0 0.360
	○ ○	57	-0.2 0.320		○ ○	57	-0.2 0.500		○ ○	210	0.0 0.400
	○ ○	60	-0.2 0.360	59cm氷板	○ ○	59	-0.2 0.460		○ ○	207	0.0 0.378
	● ●	63	-0.2 0.400	水を含む	○ ○	62	-0.2 0.525		○ ○	204	0.0 0.400
	● ●	66	-0.2 0.400		○ ○	66	-0.2 0.510	200cm氷板(厚さ1cm)	○ ○	200	0.0 0.490
	● ●	69	-0.2 0.390		○ ○	69	-0.2 0.505		○ ○	198	0.0 0.465
	○ ○	73	-0.2 0.450		○ ○	72	-0.2 0.485	濡れているザラメ層	○ ○	195	0.0 0.402
	● ●	75	-0.2 0.490		○ ○	75	-0.1 0.470		○ ○	192	0.0 0.798
	○ ○	77	-0.2 0.480		○ ○	78	-0.1 0.450	190cm氷板	○ ○	190	0.0 0.410
	○ ○	81	-0.2 0.460		○ ○	81	-0.1 0.415		○ ○	186	0.0 0.490
	○ ○	85	-0.1 0.410		● ●	84	-0.1 0.420		○ ○	183	0.0 0.442
	● ●	88	0.0 0.400		● ●	87	-0.1 0.405		○ ○	180	0.0 0.507
	○ ○	90	0.0 0.430		● ●	90	-0.1 0.415	178cm氷板	○ ○	178	0.0 0.490
	○ ○	93	0.0 0.370		● ●	93	-0.1 0.420		○ ○	174	0.0 0.490
	○ ○	96	-0.2 0.380		● ●	96	-0.1 0.425		○ ○	171	0.0 0.348
	○ ○	99	-0.2 0.390		● ●	99	-0.1 0.425		○ ○	168	0.0 0.402
	○ ○	102	-0.2 0.370		● ●	102	-0.1 0.450		○ ○	165	0.0 0.385
	○ ○	105	-0.2 0.390		● ●	105	-0.2 0.395		○ ○	162	0.0 0.380
	○ ○	108	-0.2 0.400		● ●	108	-0.2 0.445	160cm氷板	○ ○	160	0.0 0.408
	○ ○	110	-0.2 0.390		● ●	111	-0.1 0.440		● ●	156	0.0 0.458
	● ●	114	-0.2 0.380	(氷板)	○ ○	114	-0.1 0.475		● ●	153	0.0 0.390
	● ●	117	-0.2 0.400		○ ○	115	-0.1 0.435		● ●	150	0.0 0.415
	● ●	120	-0.2 0.380		● ●	120	-0.1 0.460		● ●	147	0.0 0.400
	● ●	123	-0.2 0.390		● ●	123	-0.1 0.420		● ●	144	0.0 0.410
	● ●	126	-0.2 0.380		● ●	126	0.0 0.450		● ●	141	0.0 0.410
	● ●	129	-0.2 0.390		● ●	129	0.0 0.415		● ●	138	0.0 0.460
	● ●	132	-0.2 0.400		● ●	132	0.0 0.430	しまり優占	● ●	135	0.0 0.410
	● ●	135	-0.2 0.380		● ●	135	0.0 0.485		● ●	132	0.0 0.485
	● ●	138	-0.2 0.420		○ ○	138	0.0 0.445		● ●	129	0.0 0.460
	● ●	141	-0.2 0.430		○ ○	141	0.0 0.485		● ●	126	0.0 0.465
	● ●	144	-0.2 0.420		○ ○	144	0.0 0.465		● ●	123	0.0 0.500
	● ●	147	-0.2 0.420		○ ○	147	0.0 0.425		● ●	120	0.0 0.500
	● ●	150	-0.2 0.420		○ ○	150	0.0 0.460		● ●	117	0.0 0.500
	● ●	153	-0.2 0.430		○ ○	153	0.0 0.480		● ●	114	0.0 0.510
	○ ○	156	-0.2 0.430		○ ○	156	0.0 0.460		● ●	111	0.0 0.450
	○ ○	159	-0.2 0.440		○ ○	159	0.0 0.475		○ ○	108	0.0 0.490
	○ ○	163	-0.2 0.440		○ ○	162	0.0 0.530	105cm氷板	○ ○	105	0.0 0.530
	○ ○	165	-0.2 0.420		○ ○	165	0.0 0.545		○ ○	102	0.0 0.498
	○ ○	167	-0.3 0.470		○ ○	168	0.0 0.545		● ●	99	0.0 0.507
	○ ○	172	-0.2 0.470		○ ○	171	0.0 0.540		● ●	96	0.0 0.530
	● ●	174	-0.2 0.470		○ ○	174	0.0 0.540		● ●	93	0.0 0.535
	● ●	177	-0.2 0.520		○ ○	177	0.0 0.515		● ●	90	0.0 0.510
	● ●	180	-0.2 0.470		○ ○	180	0.0 0.510		● ●	87	0.0 0.525
	● ●	183	-0.2 0.540		● ●	183	0.0 0.520		● ●	84	0.0 0.520
	○ ○	186	-0.2 0.470		● ●	186	0.0 0.520		● ●	81	0.0 0.535
190cm氷板	○ ○	189	-0.2 0.520		● ●	189	0.0 0.510		● ●	78	0.0 0.528
	○ ○	192	-0.2 0.500		● ●	192	0.0 0.510		● ●	75	0.0 0.520
	● ●	195	-0.2 0.500		● ●	195	0.0 0.525		● ●	72	0.0 0.555
	● ●	198	-0.2 0.520		○ ○	198	-0.1 0.530		● ●	69	0.0 0.500
	● ●	201	-0.2 0.510		○ ○	201	0.0 0.500		● ●	66	0.0 0.560
	● ●	204	-0.2 0.510		○ ○	204	0.0 0.565		● ●	63	0.0 0.570
	● ●	207	-0.2 0.520		○ ○	207	0.0 0.565		● ●	60	0.0 0.575
	● ●	210	-0.2 0.480		○ ○	210	0.0 0.580		● ●	57	0.0 0.565
	○ ○	213	-0.2 0.470		○ ○	213	0.0 0.560	しまり優占	● ●	54	0.0 0.565
	○ ○	216	-0.2 0.460	粒径大	○ ○	216	0.0 0.540		● ●	51	0.0 0.535
	○ ○	219	-0.2 0.540		○ ○	219	0.0 0.525		● ●	48	0.0 0.550
	○ ○	223	-0.2 0.490		○ ○	222	0.0 0.515		● ●	45	0.0 0.560
	○ ○	225	-0.2 0.490		○ ○	225	0.0 0.515		○ ○	42	0.0 0.550
	○ ○	228	-0.2 0.470		○ ○	228	0.0 0.520		○ ○	39	0.0 0.552
	○ ○	231	-0.3 0.490		○ ○	231	0.0 0.510		○ ○	36	0.0 0.570
	○ ○	234	-0.2 0.490		○ ○	234	0.0 0.510		○ ○	33	0.0 0.570
	○ ○	237	-0.2 0.520	粒径小	○ ○	237	0.0		○ ○	30	0.0 0.555
	○ ○	240	-0.2 0.500	水		240	0.0		○ ○	27	0.0 0.510
	○ ○	243	-0.2 0.480						○ ○	24	0.0 0.542
	○ ○	246	-0.2 0.470						○ ○	21	0.0 0.540
	○ ○	249	-0.2 0.500						○ ○	18	0.0 0.560
	○ ○	252	-0.2 0.490						○ ○	15	0.0 0.560
	○ ○	255	-0.3 0.480						○ ○	12	0.0 0.558
	○ ○	258	-0.3 0.480						○ ○	9	0.0 0.505
小粒ザラメ	○ ○	261	-0.2 0.480						○ ○	6	0.0 0.505
	○ ○	264	-0.2 0.490						○ ○	3	0.0 0.545
	○ ○	267	-0.3 0.440						○ ○	0	0.0
	○ ○	270	0.0						水		-

図 - 4 栃川高原(北緯 36 ° 50.396 '、東経 138 ° 37.333 '、標高:995 m)での積雪断面観測の結果
図中の●はしまり雪を、○はざらめ雪を示す。

■ 考 察

秋山郷南部の栃川高原の気象経過を、北部にある津南のアメダス地点と比較した結果、夜間から早朝にかけては一般に前者が低温で、その差が 5℃以上となる場合もあった。風速は栃川高原の方がやや弱い、強い冬型の際には両者の関係が逆転する。一方、積雪深は栃川高原の方が標高は高いものの、13日は津南の方が約 50 cm 多く増加するなど、秋山郷程度のスケールにおいても降雪雲の分布には相違があり、それが積雪深変化の違いをもたらすことが示された。雪崩の発生予測にあたっては、積雪深分布の正確な把握が不可欠であるが、吹雪等による積雪の再配分に加えて、降雪量そのものの非一様性についても考慮が必要であることが示された。防災科学研究所が開発を進めている「雪氷災害発生予測システム」においては、非静力学モデル(NHM)等の領域気象モデルの予測結果が、雪崩、吹雪、道路雪氷など個別の災害を予測するモデルの入力値として用いられる。雪崩予測にあっても 2 km 分解能で予測された降雪分布が用いられているが、その予測精度はまだ実用化のレベルには至っていないと聞く。当面は本研究のように対象領域の気象観測点の密度を高め、かつ気象レーダー等による降雪雲の情報も併用することで、雪崩発生予測の精度向上を行っていくのが現実的であるかもしれない。

■ 今後の発展方向、改善点等

新潟大学による逆巻温泉と同様、気象観測開始の時期がやや遅れたものの、他の観測点のデータと比較検討を行うことで、対象領域内の気象分布特性を把握し、雪崩発生予測モデルの計算に資するという目的は十分に達せられたと考える。栃川高原で観測された積雪構造とその時間変動は、津南アメダス地点と定性的に一致する結果が得られた。ただ両者とも平坦な場所であったことを考慮すると、今後は積雪変質に及ぼす日射等の寄与を見積もる目的で、斜面方位の異なる地点での断面観測の実施も計画に組み込む意義は大きいであろう。

■ 参考(引用)文献

該当なし

■ 関連特許

該当なし

1.6. 雪崩発生予測システムの構築と検証

(独)防災科学技術研究所雪氷防災研究部門

西村浩一、中井 専入、山口 悟、平島 寛行、岩本 勉之、小杉 健二、阿部 修

■ 要 旨

秋山郷領域と湯沢領域を対象に、現地での気象観測値、デジタル標高データなどの地理情報システムに基づいて、気温、風速、日射量などの気象要素を 10 m 分解能で算出した。これらのデータをレーザープロファイラーによる積雪深分布とともに積雪変質モデルに入力することで、雪質、密度などの積雪構造とそれに基づく強度が求められた。さらに対象地点での積雪による上乗荷重と傾斜角から、積雪の安定度、つまり雪崩発生危険度の算出が行われた。本予測結果は、3 月 4 日の航空写真撮影による雪崩発生地点のマッピングデータ、さらには研究対象領域で随時実施された現地調査の結果を用いて比較検証が行われた。

■ 目 的

今冬期、我が国は記録的な低温と大雪に見舞われ、各地で大きな被害が生じた。特に雪崩災害は 92 件を数え、死者 1 名、負傷者 37 名、住家被害 8 件が報告されている(2006 年 3 月 10 日まで、国土交通省調べ)。雪崩発生の危険で生活道路が通行止めになり孤立した集落は 11、避難指示、避難勧告がでて避難をした世帯は 17 世帯、560 名以上の人の生活に影響を与えた(消防庁)。しかし、現在の雪崩発生予測手法では的確な被害回避が困難であり、住民の生活等において過度の支障が生じている可能性がある。

本研究では、2005/2006 冬期に新潟県ならびに長野県を襲った豪雪災害のうち特に雪崩災害に着目し、秋山郷領域(35 km²)と湯沢領域(22 km²)を対象に実施した航空機搭載のレーザープロファイラーによる積雪深分布の計測と、航空写真による雪崩発生状況のデータを活用して、より高精度な雪崩発生予測システムを構築することを目的とする。

■ 目 標

雪崩発生予測システムの構築

レーザープロファイラーによる積雪深の実測値と気象庁非静力学モデル(NHM)とデジタル標高データなどの地理情報システムに基づいて 10 m 格子間隔で求めた、気温、風速、日射量などの気象要素を積雪変質モデルに入力し、雪質、密度、雪温、強度などの積雪構造を求める。上記の積雪構造に基づく強度とその上の積雪の重量、対象地点の傾斜角から、積雪の安定度つまり雪崩危険度分布を算出する。

雪崩発生予測システムの検証

航空写真撮影による雪崩発生地点のマッピングデータ、さらには研究対象領域の現地調査結果を用いて予測結果を検証し、システムの精度の向上を目指す。

■ 目標に対する結果

レーザープロファイラーで求めた積雪深分布に加え、現地での観測値と地理情報システムに基づいて算出した 10

m分解能の気温、風速、日射量などを「積雪変質モデル」に入力し、雪質、密度などの積雪構造とそれに基づく強度（せん断強度）を求めた。さらに対象地点での積雪による上載荷重と傾斜角からせん断応力を計算し、積雪の安定度（せん断強度とせん断応力の比）、つまり雪崩発生危険度の分布を求めた。

予測結果は、2006年3月4日の航空写真撮影で求めた雪崩発生地点のマッピングデータ、さらには研究対象領域で随時実施された現地調査の結果を用いて比較検証が行われた。その結果、(1)秋山郷領域の前倉で雪崩の発生により車輛が谷に押し流された12月24日の積雪安定度は前日および翌日に比べ著しく低下した、(2)秋山郷領域の見玉で発生が確認された雪崩の発生箇所は、積雪安定度が低く雪崩発生危険度が大きい領域にほぼ対応するなど、雪崩発生予測システムの精度の向上が確認された。

■ 研究方法

防災科学技術研究所雪氷防災研究部門では、平成13年度から雪氷災害予測システムの構築に向けたプロジェクトを5ヵ年計画で実施している。本システムは、領域気象モデルにもとづく気象要素と降雪分布の予測、冬期の雪氷路面状況の予測、積雪変質モデル(SNOWPACK)を併用した雪崩や吹雪の発生予測というサブシステムから構成される。このうち本研究で用いられる「雪崩発生予測システム」に組み込まれた「SNOWPACK」は、スイスアルプスでの雪崩予報を目的に構築されたもので、気温、相対湿度、風向風速、積雪表面温度、短波放射量、積雪深等の入力から積雪表面の熱収支と質量収支を計算し、積雪層構造の変化を算出する。雪温、熱伝導率、上載荷重、粘性、密度、雪質等が時系列データとして出力される(Bartlett et al., 2002; Lehning et al., 2002a, 2002b)。本研究では、まず津南のアメダスにおける気象観測データを入力して当地点で実施した積雪断面観測の結果との比較を行い、どの程度積雪構造の表現が可能かについて検討を行った。ただし、津南のアメダスではSNOWPACKの計算に必要な日射量ならびに下向きの長波放射量の測定が行われていないため、日射量は新潟県高田測候所の測定値を、また長波放射量は長岡雪氷防災研究所で得られた長波と気温、日照時間の関係式に津南での気温、日照時間の値を入力して求めた値を用いた。一方、雨量計は一般に風の影響で捕捉率が低下する。本研究では、津南のアメダス地点で測定した全積雪水量とアメダスで測定された降水量の積算値を比較して得られた、実際の降水量と雨量計による計測値との関係を用いた。また雨・雪判別の気温は0.6度に設定した。

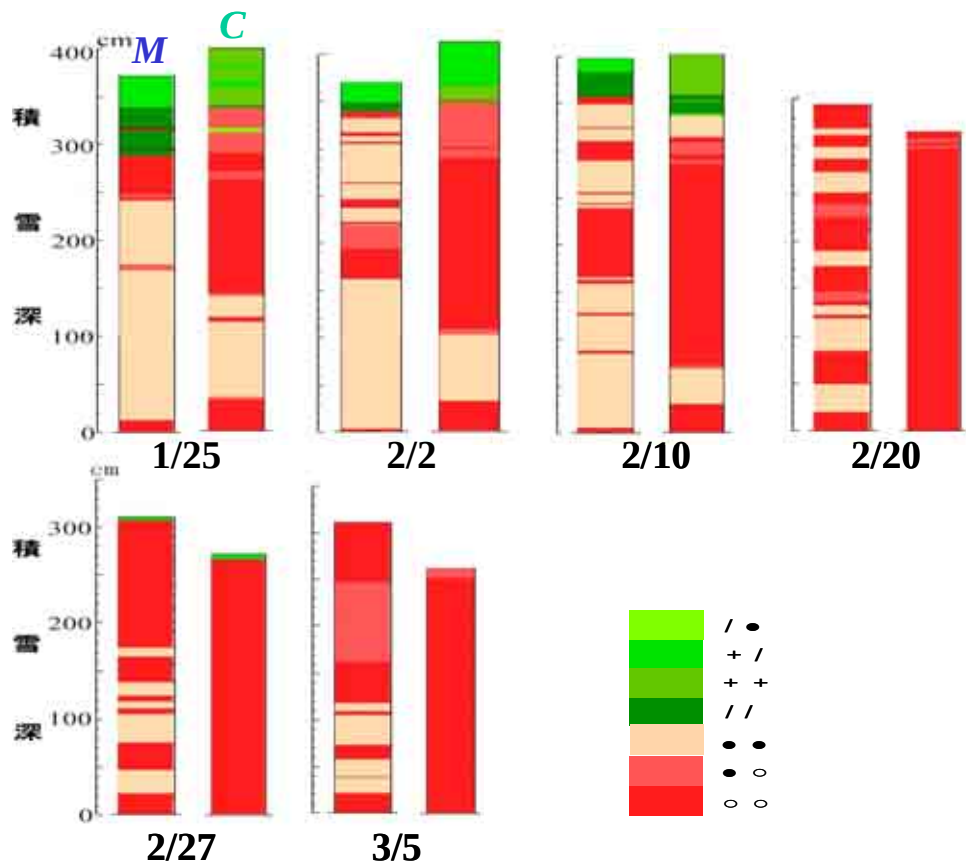
仮に積雪構造がモデルにより十分な精度で再現されると、計算された雪質と密度分布から積雪内各層での「せん断強度」が求められる(Yamanoi and Endo: 2002, Abe et al.: 2005)。この結果を上載荷重(積雪重量)と対象地点の斜度から得られる「せん断応力」と比較することにより、雪崩発生危険度の推定が可能となる。

上記の推定手法を本研究が実施されたような広い領域にわたって適用するにあたっては、1点もしくは数点での気象観測データを山域にわたって拡張する必要がある。積雪モデルに入力する気象要素のうち、気温は後に述べるように高度減率から、また長波・短波放射は地理情報システム(GIS)の利用により日照時間を計算し推定を行った。

一方、地形に基づく風速の変化(分布)は、吹きだまり分布の形成、つまり積雪深の変化に大きく寄与する。これまでは、GISのグリッドの傾斜と曲率にもとづいた単純な近似式を用いて風速分布と吹きだまり形成を推定してきたが、実測による検証が困難なこともあって、精度の議論およびアルゴリズムの改良がままならない状況にあった。当然、この積雪深を用いて算出された雪崩発生危険度も現時点では実用化のレベルに至っていない。本研究では、上記の問題点を克服するため、レーザープロファイラーで直接求めた広域積雪深分布をシステムに入力し、雪崩発生危険度の分布を10m格子で計算した。さらにこの結果を航空写真による雪崩判読図や現地調査の情報と比較して、計算結果の検証を行った。

■ 研究成果

図-1と図-2に津南のアメダスでの積雪断面観測と積雪変質モデル「SNOWPACK」による計算結果の比較を示す。図-1は層構造と雪質の比較を行ったものである。計算結果は観測された雪質や層構造とその変化を比較的高い精度で再現



図—1 津南のアメダス地点の雪質分布。観測結果:左側の柱状図 *M*、SNOWPACK の計算結果:右側の柱状図 *C*

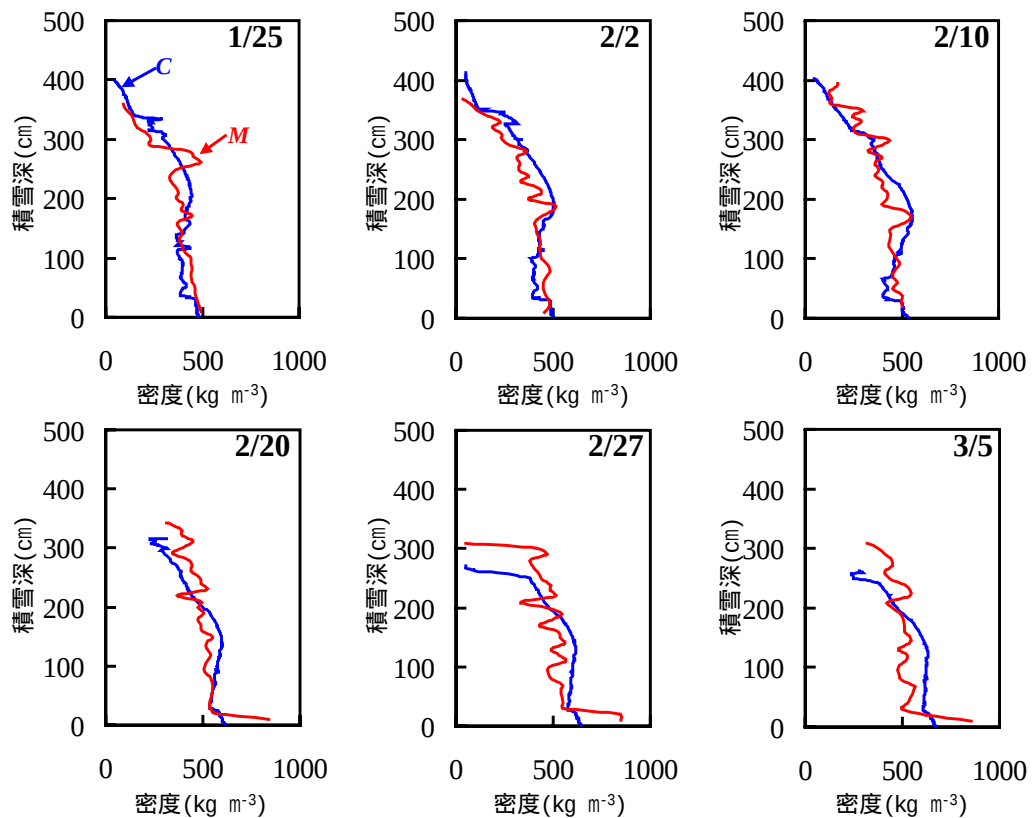


図 - 2 津南のアメダス地点の積雪密度分布、(赤:測定値、青:SNOWPACK の計算結果)

していることがわかる。ただし、観測では「ざらめ雪」と「しまり雪」の互層構造が3月5日まであらわれているのに対し、モデルでは2月20日以降はほぼ全層が「ざらめ雪」となっている。モデルでの融解プロセスが現実より過大評価されていることを示しているが、これは日射量ならびに下向きの長波放射量の入力の実測値でない点に起因しているものと考えられる。図-2に示した密度分布に比較によると、厳冬期は両者が良く一致しているが、2月27日や3月5日など融雪期に入ると相違が大きくなる。これは Yamaguchi et al.(2004)が指摘しているように、SNOWPACK では積雪内部の含水率の再現性に問題があり、融雪期の圧密過程がうまく表現されないためであると思われる。このように検討すべき課題もいくつか残るが、融雪期を除けば SNOWPACK は当該領域の積雪状態を高い精度で再現可能であることがわかる。

一方、SNOWPACK を用いた積雪構造の推定手法を本研究対象の全域にわたって適用するためには、アメダス地点(秋山郷領域は津南、湯沢領域は湯沢)、もしくは今回新たに設置した逆巻、栃川など数点の気象観測データを使って山域全体の気象(気温、日射、長波放射、積雪深など)を推定する手法の検討が必要となる。図-3は、津南アメダス、逆巻(温泉)、栃川(高原)で2006年3月に観測された気温、風速、積雪深を比較したものである。気温は標高(津南:452 m、逆巻:544 m、栃川:997 m)の増加と共に低くなっており、特に気温が低下する夜間から朝方にかけてその傾向が顕著である。風速は津南と栃川に比べ逆巻が弱い。積雪深は標高の高い栃川が絶対値、降雪の深さともに他の2地点に比べ小さいが、期間の後半にはその差は減少している。図3に現れた気温と標高の関係は、津南アメダス、前倉(新潟県道路情報システム)、結東(津南町)における2005年12月から2006年3月の観測結果にも認められる(図-4、観測点の位置は図-3参照)。図-5は津南アメダス(452 m)と前倉(726 m)における冬期間4ヶ月の結果を比較したものであるが、直線回帰を行うと前者が後者に比べ約1.6℃高温であることがわかる。標高差が274 mであるから、100 mあたりの気温変化は0.6℃となり、自由大気中の気温減率(0.65℃/100m)にほぼ等しい。そこで本研究では、積雪モデルに入力する気温分布は、0.65℃/100mを用いて算出することとした。長波・短波(日射)放射量は、地理情報システム(GIS)を利用して10 m分解能の格子点毎に日照時間を計算し、先に述べた気温と日照時間の関係から推定を行った。

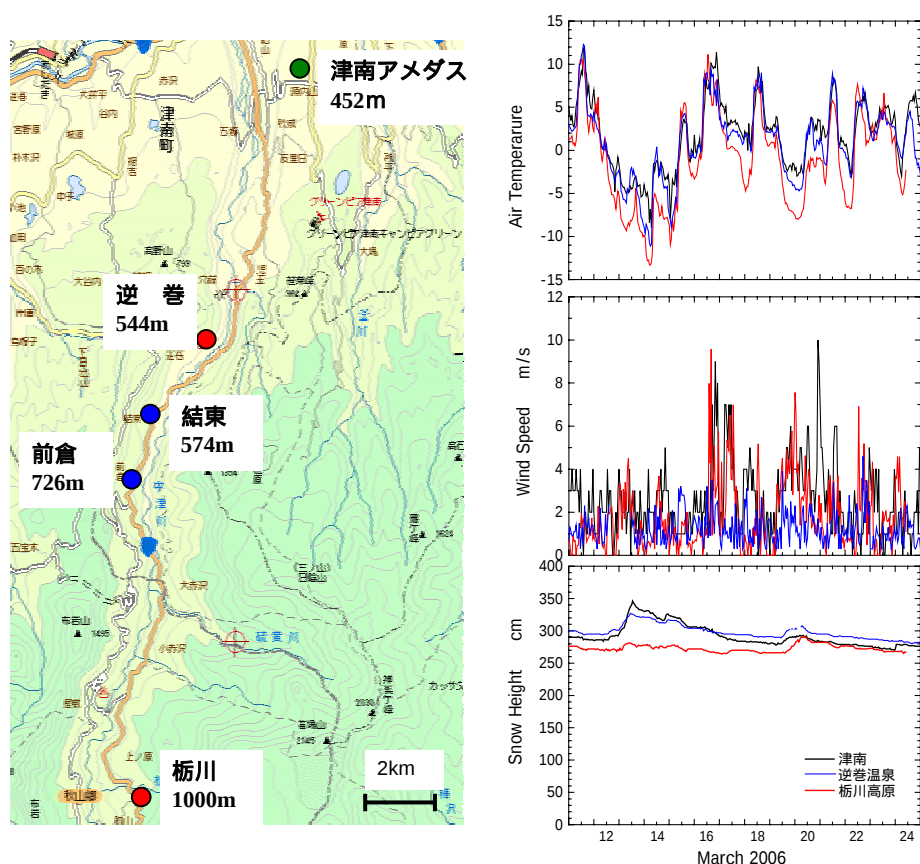


図-3 秋山郷領域の気象分布
(上から気温、風速、積雪深、観測点は津南アメダス、逆巻温泉、栃川高原、2006年3月)

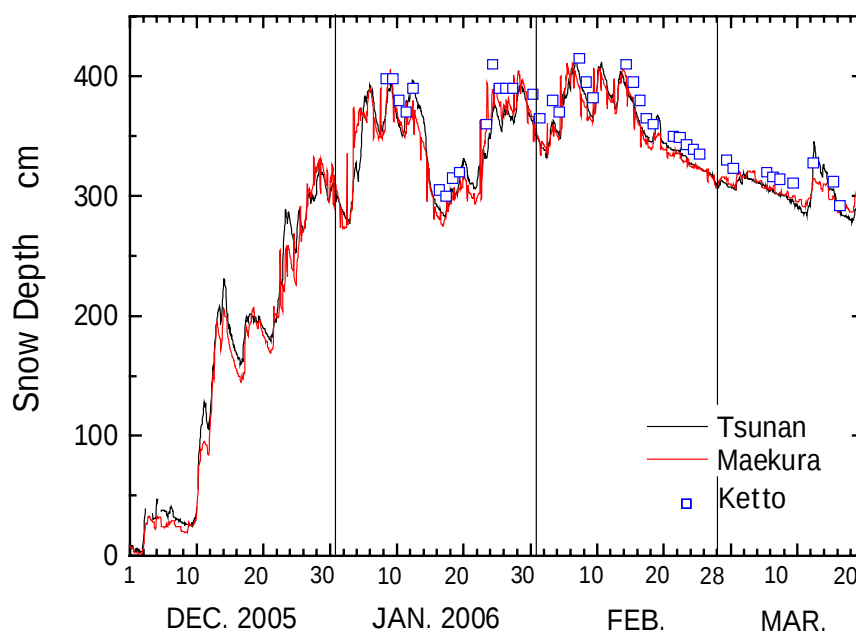


図-4 津南アメダス、前倉(新潟県道路情報システム)、結束(津南町)における気温変化(2005 年 12 月～2006 年 3 月)

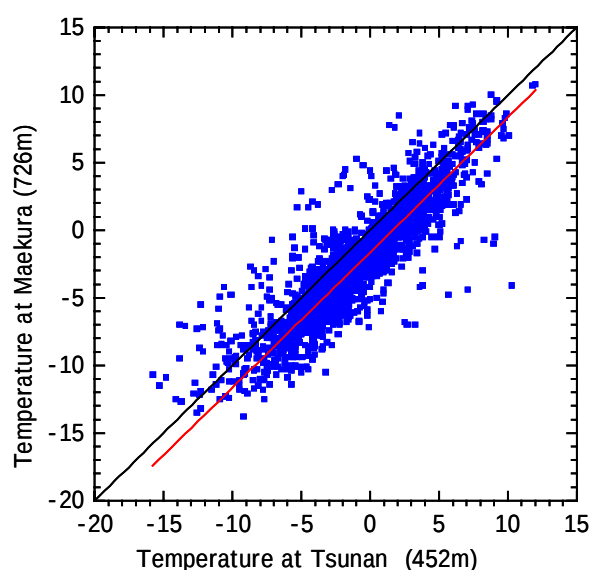


図-5 津南アメダス(標高 452m)と前倉(726m)の気温比較(2005 年 12 月～2006 年 3 月)。赤線は両者の回帰直線

一方、風速は、図-3 にも示したように地形等の影響を受けて、場所によって大きく変化する。そしてこの結果が吹雪による吹きだまりの形成、つまり積雪深の変化と分布に大きく寄与する。これまでの研究では、GIS の標高データからグリッドの傾斜と曲率を求め、その値にもとづいた単純な近似式を用いて風速分布と吹きだまり形成を推定した(西村他:2003、平島他:2004、Nishimura et al.:2005)。しかし実測による検証が困難なこともあって、精度の議論およびアルゴリズムの改良は進んでいない。そこで、本研究では、航空機搭載のレーザープロファイラーにより直接測量した広域積雪深分布を用いて、以下の作業を実施した。

SNOWPACK モデルに積雪深を含む気象データを入力し、積雪構造が計算されると、雪質、密度、含水率から積雪内各層での「せん断強度」が求められる(Yamanoi and Endo: 2002, Abe et al.: 2005)。この「せん断強度」を積雪全層にわ

たって計算し、それぞれの層の上載荷重(積雪重量)と対象地点の斜度から得られる「せん断応力」との比を求めることで、雪崩発生危険度の推定が可能となる。せん断強度/せん断応力 を積雪安定度(SI: Stability Index)の計算を行い、積雪層内の一番小さいSIを求めるが、これまでの研究からSIが1.5より小さくなると雪崩発生の危険が高いとされている。

なお、レーザープロファイラーにより測定された積雪深分布は2月25日時点での値であり、雪崩発生危険度を冬期間全体にわたり計算するためには、計測された積雪深を参照データとして過去の積雪深もしくは2月25日以降の深さを推定する手法が必要となる。SNOWPACK では降水量を入力することで積雪深が計算される。そこで津南アメダスで観測された降水量にある係数 α を掛け合わせ、対象地点の降水量とすることにした。 α は各地点別に2月25日の積雪深の観測結果との誤差が2%以下になるよう繰り返し計算を行って決定された。

秋山郷領域の見玉地区(660 m × 1210 m)を対象に、2006年2月22日の積雪安定度SI(雪崩発生危険度)を10 m 格子点ごとに計算した結果を図-6に示す。雪崩の発生域は3月4日に撮影された空中写真に基づくが、2月26日の地上からの現地観測の時点でも発生が確認されており、それ以前の気象と安定度の変化状況から2月22日の予測結果と比較するのが妥当と判断された。図-6からは、雪崩の発生箇所は、積雪安定度が低く雪崩発生危険度が大きい領域にほぼ対応している様子がわかる。

図-7には同じ秋山郷領域の前倉(1150 m × 970 m)における積雪安定度:SI (雪崩発生危険度)の変化を2005年12月23日から25日にかけて示した。この場所では、12月24日の午前9時40分ごろ大赤沢付近で雪崩が発生し(図中の矢印)、親子連れ2名が乗車したワンボックスカーが巻き込まれて中津川側の谷に約30 m 押し流されるという事故があった(図-7)。図-6によると前日および翌日に比べ著しく低下しており、予測結果が妥当であったことを示している。図-8に現場周辺のSNOWPACKの計算結果を示す。SIの小さい層は新雪の部分に位置しており、12月24日に発生した雪崩は、前日から降った大量の新雪が崩れ落ちたものであると結論される。

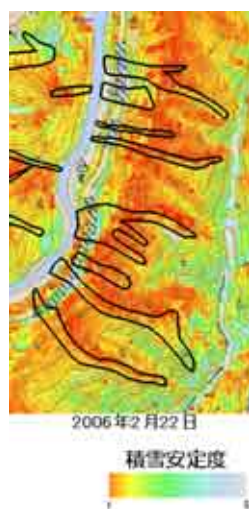


図-6 雪崩発生危険度の分布と航空写真による雪崩判読結果 (見玉、秋山郷:660m x 1210 m)

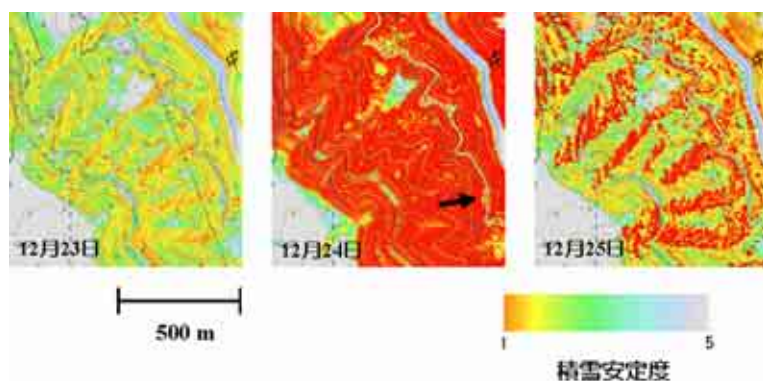


図-7 雪崩発生危険度分布と航空写真による雪崩判読結果(前倉、秋山郷:1150m x 970 m)



図-8 大赤沢(前倉、秋山郷)で2006年12月24日午前9時40分頃に発生した雪崩

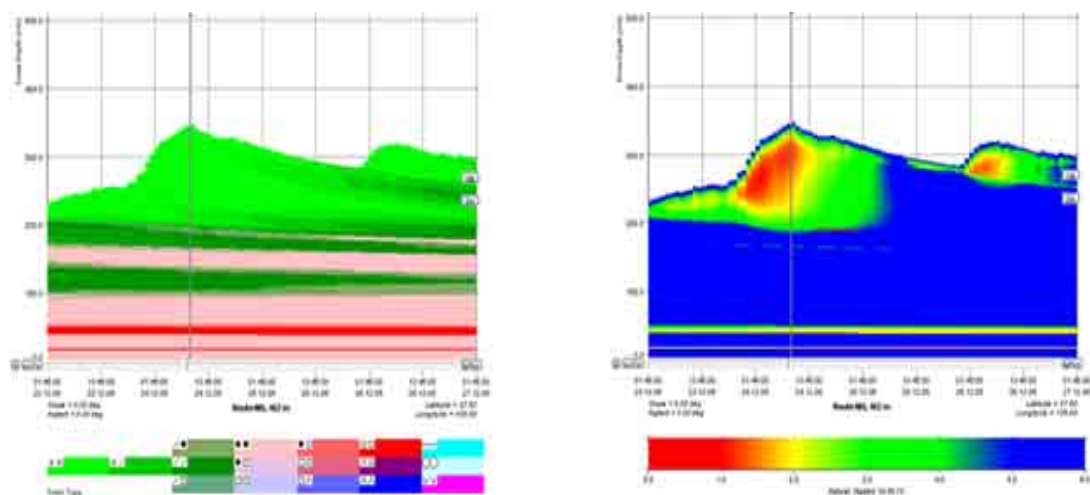


図-9 雪崩発生地点近傍の雪質とSIの時間変化

秋山郷の南部、屋敷地区(1310 m × 900 m)の積雪安定度:SI (雪崩発生危険度)の変化を、2005年12月1日から2006年3月6日まで10 m 格子間隔で計算し、図-10 に5日ごとに示した。3ヶ月強の期間にわたって、安定度が時間的にもまた空間的にも大きく変動していることがわかる。この領域では、2月5日の7時半頃に屋敷山の山頂付近から雪崩が発生し、人家の玄関が損壊し車1台が雪に埋まる事故があった。図-11には当日の安定度の計算結果と3月4日の空中写真から判読された雪崩の発生域と流路、堆積域を示した。領域全体で見ると、雪崩発生危険度は12月16日、26日や1月5日、15日の方が高いと予測されているが、2月も4日から9日にかけては安定度が低下し(図-10)、当日の5日も雪崩の発生域に着目すると、安定度が1.5以下を示しており(図-11)、予測の結果がある程度妥当であったことが示された。

これまでは、秋山郷を対象とした議論であったが、図-12には湯沢地区(土樽:1180 m x 1500 m)の積雪安定度:SI (雪崩発生危険度)を2005年12月1日から2006年3月6日まで10 m 格子間隔で計算し5日ごとに表示した。計算は湯沢アメダスの気象観測値を基本とし、降雪量は対象域に近い東日本高速道路(株)による土樽の観測結果を、さらに2月25日にレーザープロファイラーにより計測した積雪深分布を用いて、秋山郷とほぼ同様の手順に従って行った。秋山郷の屋敷の状況(図9)と同様に、安定度が時間的にもまた空間的にも大きく変動していることがわかる。この領域では、2005年12月28日午前9時10分頃に荒沢山(1303 m)から雪崩が発生し、魚野川を越えて県道土樽 - 越後中里停車場線を長さ約200 m にわたって塞ぐという事故が発生した。図-13には発生当日の12月28日を含む3日間の積雪安定度と3

月 4 日の空中写真から判読された雪崩の発生域(12 月以降に発生した雪崩も含まれる)を示した。雪崩が発生した 12 月 28 日の雪崩発生危険度が前日および翌日に比べ著しく高くなっており、図-7 の前倉(秋山郷)の場合と同様、雪崩発生危険度の予測結果が実際の雪崩発生と一致したことを示している。

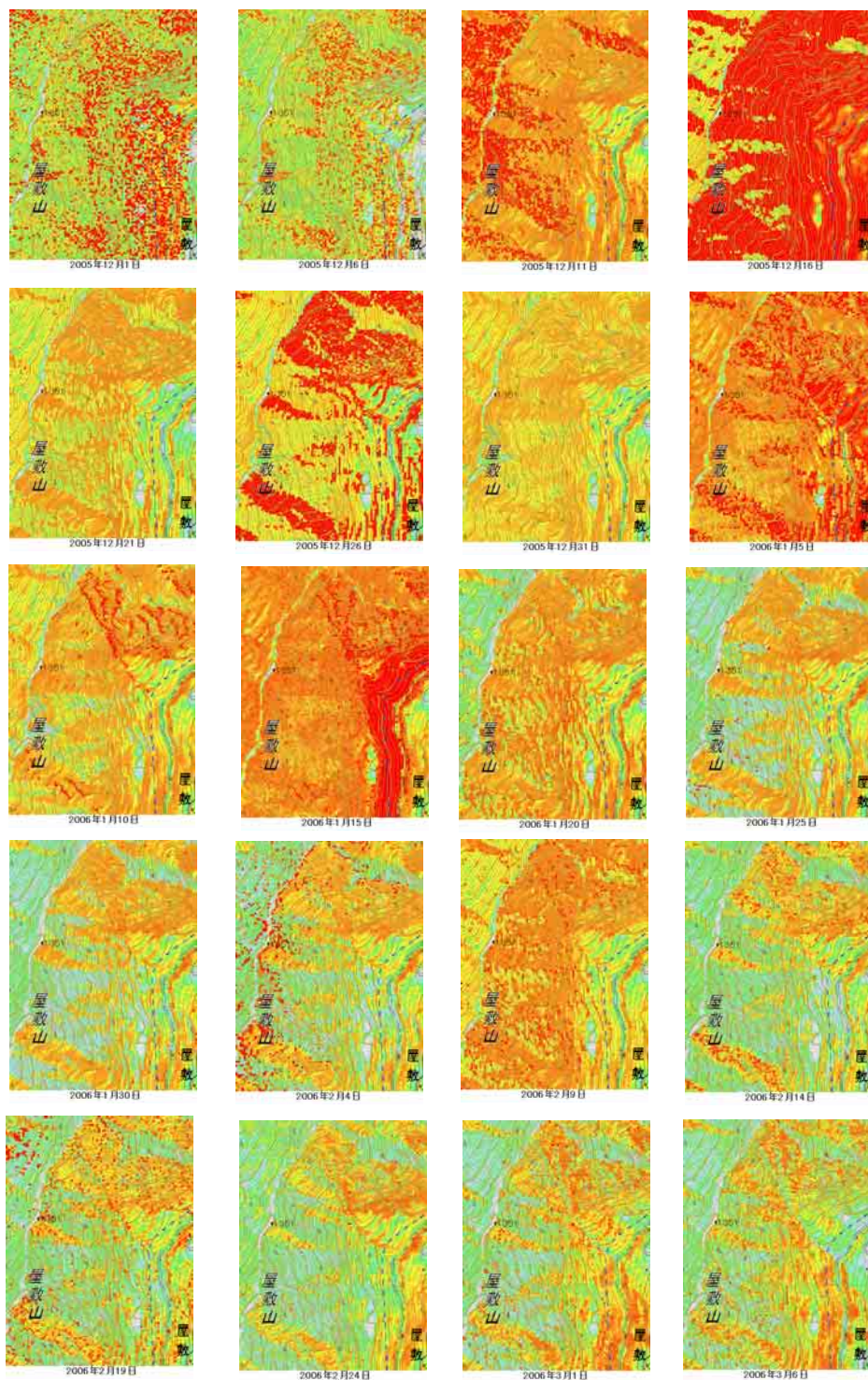


図-10 屋敷地区(秋山郷、1310 m × 900 m)における積雪安定度: SI (雪崩発生危険度) の変化
2005 年 12 月 1 日から 2006 年 3 月 6 日までの計算結果を 5 日ごとに示した

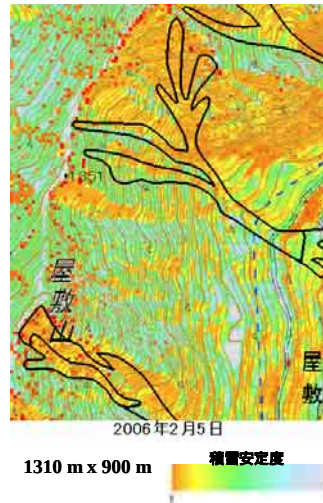


図-11 雪崩発生危険度の分布と航空写真による雪崩判断結果（屋敷、秋山郷:1310 m × 900 m）

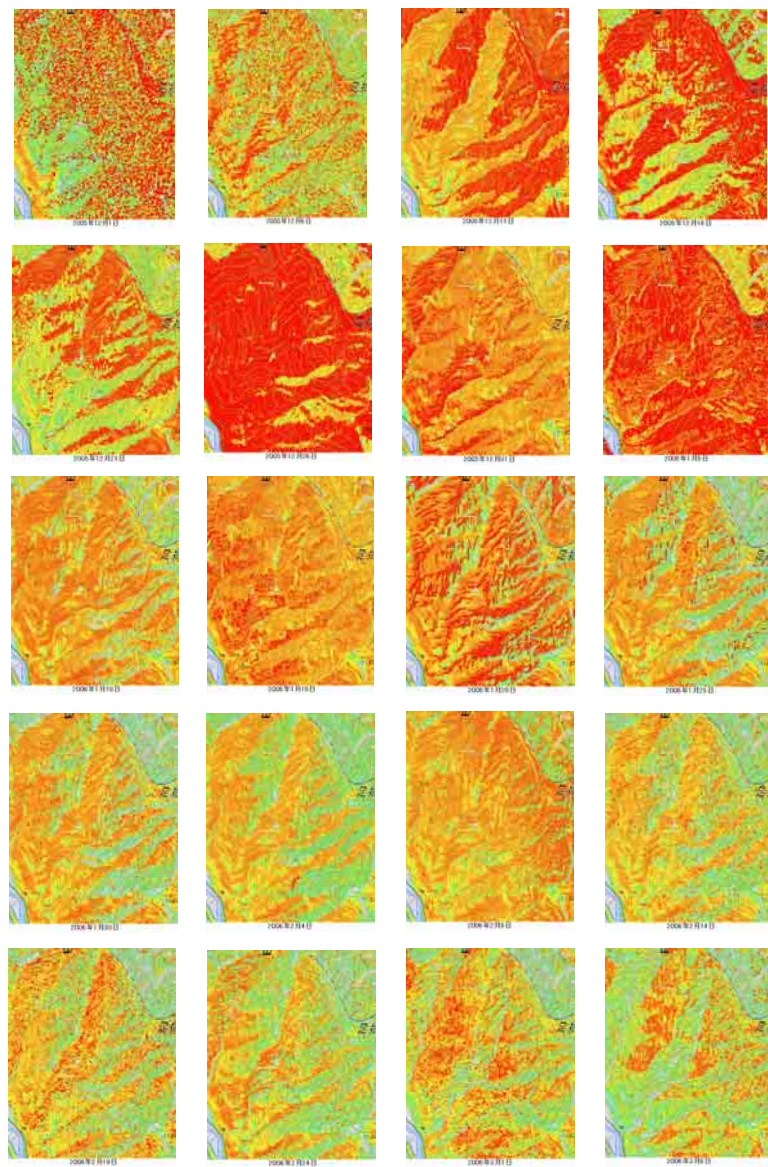


図-12 土樽地区(湯沢、1180 m × 1500 m)における積雪安定度:SI(雪崩発生危険度)の変化
2005年12月1日から2006年3月6日までの計算結果を5日ごとに示した

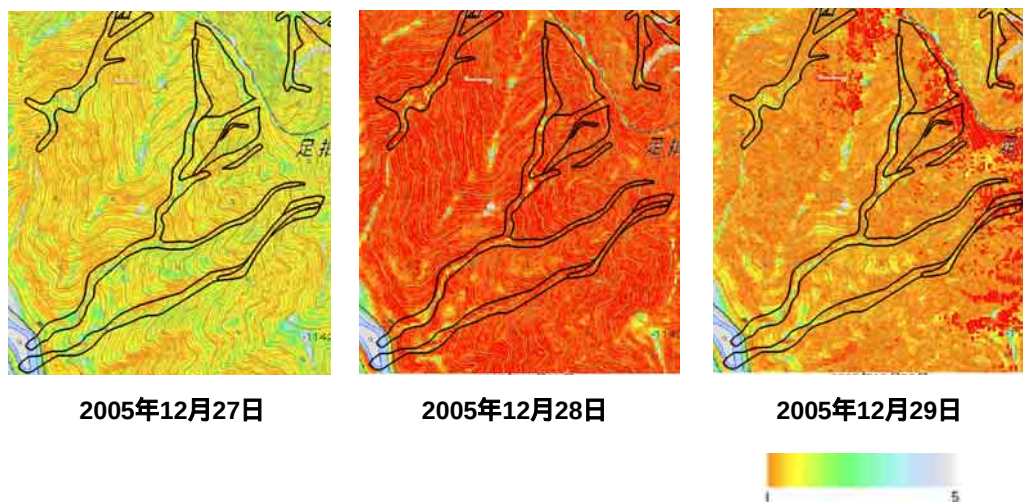


図-13 土樽(湯沢地区:1180 m × 1500 m)における雪崩発生危険度分布と航空写真による雪崩判読結果
緑の矢印は、2005年12月28日午前9時10分頃に荒沢山(1303 m)から発生した雪崩

■ 考 察

レーザープロファイラーで求めた積雪深分布と、現地での気象観測と地理情報システムに基づいて算出した10 m分解能の気温、風速、日射量などを「積雪変質モデル」に入力し、雪質、密度などの積雪構造とそれに基づく強度(せん断強度)を求めた。さらに対象地点での積雪による上載荷重と傾斜角からせん断応力を計算し、積雪の安定度(せん断強度とせん断応力の比)、つまり雪崩発生危険度の分布を求めた。予測結果は、空中写真をもとに作成した雪崩発生分布図、現地調査の結果などを用いて比較検証が行われた。その結果、(1)秋山郷領域の前倉や湯沢の土樽などでは、雪崩が発生した当日の積雪安定度は前日および翌日に比べて著しく低下した、(2)秋山郷領域の見玉では雪崩の発生箇所は、積雪安定度が低く雪崩発生危険度が大きい領域にほぼ対応するなど、雪崩発生状況とシステムによる予測結果は高い精度で一致することが確認された。なお、研究当初は、気象庁非静力学モデル(NHM)による気象要素の予測値を入力データとして用いることも検討したが、降雪量などモデルの出力の精度が現時点では十分ではないことから、今回はアメダスを含む現地での気象観測結果を用いることとした。

■ 今後の発展方向、改善点等

本研究においては、航空機搭載のレーザープロファイラーにより当該領域の標高分布を直接測定し、これと数値地図の標高値の差から積雪深分布を求め、「雪崩発生予測システム」の入力データとして用いた。雪崩発生危険度の予測結果は、航空機による空中写真撮影や現地調査などにより得られた雪崩発生分布と空間的にも時間的にも比較的良好一致した。

しかし、今後システムの実用化を目指すにあたっては、レーザープロファイラーを利用して積雪分布を求めるという手法は現実的ではない。積雪分布を含めた気象要素の広域分布を正確に求める新たなアルゴリズムを確立し、精度良く雪崩の発生危険度を予測するシステムの開発が不可欠である。そのためには、本研究で実施した測量結果が貴重な参照データとなる。是非、無積雪期にレーザープロファイラーの最測を実施し、今回の冬期の測量結果との差から精度、分解能ともに高品質の積雪深分布を求めたいと希望する。

また、雪質や密度と強度の関係に関する既存の測定結果はバラツキが大きく、その結果は積雪の安定度つまり雪崩発生危険度の算出結果にも大きな影響を与える。野外や低温実験室でより多くのデータを集積し、安定度の計算精度を向上させることも今後の大きな課題である。

■ 参考(引用)文献

- Bartlett, P. and M. Lehning: 'A physical SNOWPACK model for the Swiss avalanche warning. Part I. numerical model', *Cold Reg. Sci. Technol.*, 35(3), 123-145, (2002)
- Lehning, M., P. Bartelt, B. Brown, C. Fierz, P. Satyawali: 'A physical SNOWPACK model for the Swiss avalanche warning. Part II. Snow microstructure', *Cold Reg. Sci. Technol.*, 35(3), 147-167, (2002a).
- Lehning, M., P. Bartelt, B. Brown, C. Fierz: 'A physical SNOWPACK model for the Swiss avalanche warning. Part III. meteorological forcing, thin layer formation and evaluation', *Cold Reg. Sci. Technol.*, 35(3), 169-184, (2002b).
- Yamanoi, K. and Endo, Y.: 'Dependence of shear strength of snow cover on density and water content', *Seppyo*, 64(4), 443-451.(2002)
- Abe, O., Mochizuki, S., Yamaguchi, S., Hirashima, H. and Sato, A.: 'Shear strength of depth hoar snowlayers', *Proc. of 2005 Cold Region Technology Conference*, 21, 249-252, (2005).
- Yamaguchi, S., Sato, A., and Lehning, M. : 'Application of the numerical snowpack model (SNOWPACK) to the wet snow region in Japan', *Ann. Glaciol.*, 38, 266-272, (2004).
- 西村浩一、馬場恵美子、平島寛行: '雪崩発生予測手法の開発'、寒地技術論文・報告集、Vol. 19、264-269、(2003).
- 平島寛行、西村浩一、佐藤篤司、松村恵美子、Lehning, M.: '雪崩発生予測手法の開発 2'、寒地技術論文・報告集、Vol. 20、274-277、(2004).
- Nishimura, K., Baba, E., Hirashima, H. and Lehning, M.: 'Application of the snow cover model SNOWPACK to snow avalanche warning in Niseko, Japan', *Cold Reg. Sci. Technol.*, 43, 62-70、(2005).

■ 関連特許

該当なし

2. 雪氷防災技術の対策への反映方策に関する検討

(独)防災科学技術研究所雪氷防災研究部門

佐藤篤司、石坂雅昭、西村浩一

■ 要 旨

2006年3月30日には砂防会館(東京都)において、行政、研究機関、自治体関係者からなる検討会が実施された。会議では、本研究成果の報告が実施された後、国会議員、国交省北陸地方整備局の道路管理者、新潟県や長野県の自治体関係者、JR、高速道路の担当者から、雪崩対策等の現状報告があり、今後本研究成果を行政、地方自治体等における雪氷防災対策に反映させる上での、施策、問題点等についても検討が行われた。

■ 目 的

行政、研究機関、自治体関係者からなる検討会を開催し、本研究成果から得られた知見等をもとに、雪氷防災研究の成果をいかにして地方自治体等の雪氷防災に反映すべきかについて検討を行い、今後の対策に反映させることを目的とする。

■ 目 標

2006年3月末に、東京において行政、研究機関、自治体関係者からなる検討会を開催する。会議では、本研究成果の報告が行われるとともに、今後これらの成果を行政、地方自治体等における雪氷防災対策に反映する際の施策、問題点等について検討を行う。

■ 目標に対する結果

2006年3月30日に、東京の砂防会館において、行政、研究機関、自治体関係者からなる検討会を実施した。会議では、本研究成果の報告に続いて、国会議員、国交省北陸地方整備局の道路管理者、新潟県や長野県の自治体関係者、JR、高速道路の担当者から、雪崩対策等の現状報告があり、今後本研究成果を行政、地方自治体等における雪氷防災対策に反映させる上での、施策、問題点等について検討が行われた。

■ 研究方法

2006年3月30日に、東京の砂防会館において行政、研究機関、自治体関係者からなる検討会を開催した。当日の議事次第と出席者名簿を表-1と表-2に示す。

表-1 検討会の議事次第

資料 1

～ 2005 - 06 冬期豪雪による雪害対策に関する緊急調査研究～
雪氷防災技術の対策への反映方策に関する検討会

< 議 事 次 第 >

1. 日時 平成18年3月30日(木) 14:00～16:40

2. 場所 砂防会館 別館3F 霧島
(東京都千代田区平河町2-7-5)

3. プログラム < 敬 称 略 >

御挨拶 衆議院議員 長島忠美 14:00～14:10

研究報告

- ・ 本緊急研究に関する成果報告 防災科学技術研究所 西村浩一 14:10～14:30
- ・ 豪雪をもたらした大気 防災科学技術研究所 中井専人 14:30～14:40
- ・ 生活関連雪害 東北工業大学工学部 沼野夏生 14:40～14:50
- ・ 18 豪雪の雪崩災害の特徴 土木研究所 花岡正明 14:50～15:00

休憩 (15分)

行政等機関より(今期雪害に関する報告と雪氷防災研究に対する期待)

- ・ 国土交通省北陸地方整備局企画部防災課 課長 五十嵐 晃 15:15～15:25
- ・ 新潟県土木部 技監 植木昭一 15:25～15:35
- ・ 新潟県南魚沼郡湯沢町 町長 上村清隆 15:35～15:40
- ・ 新潟県 中魚沼郡津南町 助役 瀧澤秀雄 15:40～15:45
- ・ 新潟県十日町市 市長 田口直人 15:45～15:50
- ・ 長野県下水内郡 栄村 村長 高橋彦芳 15:50～15:55
- ・ 長野県 下高井郡 野沢温泉村 村長 河野幹男 15:55～16:00
- ・ 東日本旅客鉄道(株)新潟支社 設備部工事課 課長 森島啓行 16:00～16:05
- ・ 東日本高速道路(株)新潟管理局湯沢管理事務所 所長 岡 米男 16:05～16:10

総合討論・まとめ 司会 防災科学技術研究所 佐藤篤司 16:10～16:40

表-2 検討会出席者名簿

資料3

雪氷防災技術の対策への反映方策に関する検討会出席者名簿

< 敬称略 >		
	所属・役職	氏名
	衆議院議員	長島 忠美
	内閣府 政策統括官付 社会基盤・フロンティア推進グループ 上席政策調査員	山脇 栄道
	文部科学省 研究開発局 地震・防災研究課 課長	西尾典眞
	文部科学省 研究開発局 地震・防災研究課 防災科学技術推進 室 室長	藤井 隆
	文部科学省 研究開発局 地震・防災研究課 防災科学技術推進 室 室長補佐	中川弘之
検討会委員	国土交通省北陸地方整備局企画部防災課 課長	五十嵐 晃
検討会委員(代理)	新潟県土木部 技監	植木 昭一
検討会委員	新潟県南魚沼郡湯沢町 町長	上村 清隆
検討会委員(代理)	新潟県 中魚沼郡津南町 助役	瀧澤 秀雄
検討会委員	新潟県十日町市 市長	田口 直人
検討会委員	長野県下水内郡 栄村 村長	高橋 彦芳
検討会委員	長野県下高井郡 野沢温泉村 村長	河野 幹男
検討会委員	東日本旅客鉄道(株) 新潟支社 設備部工事課 課長	森島 啓行
検討会委員	東日本高速道路(株) 新潟管理局湯沢管理事務所 所長	岡 米男
検討会委員	新潟大学 積雪地域災害研究センター 教授	和泉 薫
検討会委員	信州大学理学部 教授	鈴木 啓助
検討会委員	東北工業大学工学部 教授	沼野 夏生
検討会委員	土木研究所 雪崩・地すべり研究センター 所長	花岡 正明
検討会委員	防災科学技術研究所 雪氷防災研究部門長	石坂 雅昭
検討会委員	防災科学技術研究所 長岡雪氷防災研究所長	佐藤 篤司
検討会委員	防災科学技術研究所 長岡雪氷防災研究所 総括主任研究員	西村 浩一
研究報告者	防災科学技術研究所 長岡雪氷防災研究所 主任研究員	中井 専人

■ 研究成果

検討会における発言内容の概要を以下に記す。(以下、敬称略)

長島忠美(衆議院議員) :非常に早い雪の訪れの中、長期間にわたり豪雪と格闘されてきた行政関係者に深く敬意を表する。19 年間続いた暖冬により雪寒対策費が圧縮されてきた中での豪雪であったが、特別交付金、補助金等を交付することで何とか対処することができたと思う。しかし市町村を預かる方々は、経済的心配のない状況で除雪対策にあたりたいと考えていらっしゃると思う。今冬は新潟県と長野県県境を代表とした中山間地の豪雪の問題が浮き彫りとな

った。自分の身は自分で守るのが基本であるが、10 数回の雪下ろしは、体力も経済的にもついていけないのが実態である。その点を踏まえ、国、県、市町村などの行政機関による、安心・安全につながる雪に強い街づくり、道路づくりが重要であり、私自身もその実現に向けて努力を続けていきたい。



図 - 1 雪氷防災技術の対策への反映方策に関する検討会



図 - 2 長島忠美 衆議院議員

研究報告

西村浩一(防災科学技術研究所)：レーザープロファイラーによる広域積雪深分布の計測、航空写真撮影による雪崩発生分布図の作成、雪崩発生予測システムの計算から成る本研究成果の概要と、今後システムを実用化するにあたっての課題について報告を行った。

中井専人(防災科学技術研究所)：2005 年は 12 月として過去 50 年間で最もモンスーンが強く、これが平成 18 年豪雪の主要因と考えられる。12 月から 1 月上旬にかけての寒気の南下は非常に強く、38 豪雪に次ぐ規模のものであった。熱帯からの影響で、中国南部の対流圏上層に 12 月では過去 50 年で最大となる非常に強い高気圧が形成され、それが寒気の南下を強化した。その寒気南下に伴い、筋雲に加えて強い降雪をもたらす渦状降雪雲が多く発生し、特

に山沿いで平年より多くの積雪深となった。領域によって、水相当で 300 mm を越える降雪が何回もたらされた。これは寒気の持続と積雪山地地形の効果により、降雪(雪雲)の集中が継続したためと考えられる。

沼野夏生(東北工業大学)：今冬の雪害による死者(交通事故などを除く)の圧倒的多数(3/4)は雪処理作業中またはそれに関連した状況で発生しており、その比率は 56 豪雪時(1/2)に比べて増加している。死者の高齢化も極めて顕著で、全体の 2/3 を占める(後期高齢者が 1/3)。高齢者が雪処理に従事せざるを得ず事故につながるという図式が読み取れる。雪害死者、特に雪処理事故は休日に比較的多く発生し、平日に比べてわずかながら非高齢者の比率が高まる。56 豪雪に比較し、家屋の倒壊による死者が目立つ。老朽家屋に住む高齢者が被害にあうという構造も伺えるほか、除雪機事故の増加も注目される。

花岡正明(土木研究所 雪崩・地すべりセンター)：新潟県内の主な気象台観測点の最大積雪深と、雪崩発生件数の推移を踏まえ、平成 18 年豪雪に伴う雪崩災害の紹介があった。集落雪崩の発生数は 38 豪雪に次ぐもので、12 月と 1 月に災害が集中したことが大きな特徴であった。また土木研究所による柵口(糸魚川市)、八方尾根(白馬村)での雪崩観測システムとこれまでの研究成果の紹介があったほか、今回の研究で空中写真の判読から得られた雪崩を対象に実施された流下距離などの統計結果を示した。

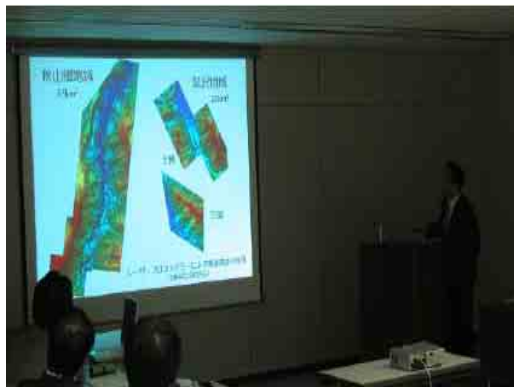


図 - 3 研究報告から



図 - 4 ポスター展示による研究紹介

行政等機関より(今期雪害に関する報告と雪氷防災研究に対する期待)

五十嵐 晃(国土交通省北陸地方整備局)：北陸地方整備局により実施された平成 18 年豪雪への対応状況について、河川内雪捨て場を新たに 25 箇所増設、信濃川水系魚野川から水量の少ない市街地を流れる与越川及び旧与越川に消流雪用水を供給することによる生活道路の確保、長岡国道事務所管轄の除雪総延長は 210 km(8 号：72 km、17 号：104 km、116 号：34 km)に及び、そのうち最も積雪の多い湯沢・小出維持出張所の除雪体制は常時、作業員 190 名、除雪機械台数 55 台体制で除雪を実施しているが、今冬の記録的な豪雪対応として、増員 8 名、増強機械 4 台を配置、新潟県中越地震被災地(長岡市、小千谷市)や記録的豪雪に見舞われた十日町の県道の除雪支援、一般国道 17 号新潟県湯沢町火打地内の火薬処理工法による雪底処理などについて説明があった。

植木昭一(新潟県土木部)：新潟県の今冬の積雪の推移について津南と湯沢を例に紹介された後、国道 117 号、290 号、252 号などの県管理道路の積雪と除排雪の状況と新潟県豪雪対策本部の集計による被害の発生状況が報告された。人的被害は 316 件(死亡者 30 人)、建物被害が 328 棟を数え、雪崩発生による通行規制箇所は延べ 56 箇所、人命最優先という立場から発生危険による事前通行規制も述べ 80 箇所にのぼった。通行規制に関しては解除の難しさを痛感している。新潟県では十日町、妙高市、湯沢町、南魚沼市、小千谷市をはじめ 11 市町に災害救助法が適用され、各市町村は 1 月初めに豪雪災害対策本部等を設置して対応にあたった。今後の融雪災害の発生、昨年の地震災害もあって風評被害についても危惧される。雪害対策への国からの予算が減少していることも今後の施策を実行する上でも大きな問題となっている。

上村清隆(新潟県南魚沼郡湯沢町)：今冬の12月は、降雪日は24日、降雪深の合計は5m 81cm、積雪深は253cmに達し、前年の10日、147cm、56cmに比べると著しく大きい。12月20日過ぎには防災計画の基準値を超えたため、1月3日には豪雪災害対策本部の立ち上げ、6日には災害救助法が適用される事態となった。避難場所等の確保を行うなか、3日には町内のスキー場4箇所では表層雪崩が発生した。大きな被害はなかったものの、マスコミ等で大きく取り上げられ客の減少を招いた。スキー場は各種の雪崩対策を講じるとともに、行政も観光関係者やマスコミを通じて安全を訴えた。自衛隊215名による学校等公共施設、県内の消防団員359名による保育所、要援護世帯の除雪援助に感謝したい。日ごろからの災害対策マニュアルの整備と共有化が必要なことを痛感すると共に、多くのスキー場を抱える観光地として、雪崩危険箇所の注意、点検、周知が必要と考える。今冬は幸いにも豪雪に伴う死者はなかったが、今後は防災マップの作成、町内会の連携強化などに努めていきたい。

瀧澤秀雄(新潟県中魚沼郡津南町)：本検討会での貴重な情報提供に感謝したい。今冬は12月中に津南のアメダスの積雪深が3mを超え、1月8日からは秋山郷に通じる国道405号線が通行止めとなってマスコミが多数駆けつけ、津南が豪雪を代表するような形でメディアに取り上げられた。雪崩による死者はなかったものの、落雪等で2名が命を落とした。405号の通行止めは、人命最優先の立場で適切な判断であったが、雪が落ちついてくると、住民サイドからは再開の要望が高まりジレンマに苦しんだ。秋山郷は観光地であるため、今冬の風評被害は甚大で、現在、回復に向けたキャンペーン等を実施している。新潟県からの機械除雪機種の貸与は、孤立した領域の家屋の周辺の除排雪に極めて有効で、今後の豪雪対策に反映していきたいと考える。当該領域は未だに2mを超える積雪があり、今後の消雪遅延による農業被害の対策に追われている状況である。



図-5 行政機関より(今期雪害に関する報告と雪氷防災研究に対する期待)

左から国土交通省北陸地方整備局 五十嵐課長、新潟県土木部 植木 技監、湯沢町 上村町長、新潟県中魚沼郡津南町 瀧澤助役

田口直人(新潟県十日町市)：十日町の豪雪状況はあまりマスコミ等では取り上げられてこなかったが、松之山では最深積雪が4m 42cm、4mを超えた日が22日を数えた。津南に報道が集中し、風評被害が少なかったことは幸いであった。新潟県からの機械(除雪用)の貸与はこちらでも大変有用であった。一方、市道(生活道路)の中には2年続けて雪崩の危険により通行止めとなった場所がある。斜度は30から35度、高さは50mほどで延長は約200mある。実際には雪崩は発生していないという住民からの抗議があるが判断は容易ではない。雪崩柵は一基500～600万円と高価であるため恒久対策は難しい。間伐材等を利用した簡易な雪崩防止用施設等の開発を是非研究機関は考えて欲しい。

高橋彦芳(長野県下水内郡栄村)：今冬の雪害状況は、除雪作業中の死者が2名、けが人が6名、建物の全壊が8棟、半壊6棟、一部損壊が30棟あった。栄村秋山郷の生命線である国道405号は、24時間通行止めが7日、断続的なものが5日間、夜間通行止めは81日間にも及んだ。JRも戸狩野沢温泉から十日町までの全面運休が21日間続いたほか、バスも長期間にわたる運行規制があった。今後の融雪災害が懸念されている。雪害のうち自然災害は2月5日に屋敷で発生した表層雪崩1件である。標高1400m付近から発生した雪崩は森林を通り抜け、除雪されていた道路が溝の働きをしたため家屋に被害を及ぼさなかった。社会的災害の特徴は家屋の損壊が多かった点である。これは集中豪雪が断続的にあったためと考えており、是非、正確な降雪の予測を期待したい。

河野幹男(長野県下高井郡野沢温泉村):平成17年12月3日から平成18年1月7日の36日間に降雪累計が10 m 44 cmと初冬の短期間に集中的な多量の降雪があり、過去に経験のない記録的な積雪となった。家屋・道路除雪等々村民生活に重大な影響をもたらす多大な心労と出費を招いたが、災害救助法の適用と全国からの災害ボランティアの応援を得、大きな犠牲を出すことなく難局を乗り切ることができた。雪による被害は家屋・道路除雪を除くと、過去には12月から4月の5ヶ月間、毎年雪崩により除雪車両の乗り入れができず16世帯が孤立していたが、昭和56年に全長700 mの洞門が完成し、孤立集落が解消された、その後山林の一部を倒壊する雪崩が発生しているが、近年は小康状態が続いている。



図 - 6 行政機関より(今期雪害に関する報告と雪氷防災研究に対する期待)
左から十日町市 田口市長、栄村 高橋村長、野沢温泉村 河野村長

森島啓行(東日本旅客鉄道(株)新潟支社): JR東日本の雪崩対策の現状と課題について報告があった。国鉄における雪崩災害としては、昭和15年3月5日に米坂線横根山T坑口で雪崩が列車を直撃し、死傷者63名を出したほか、磐越西線や上越線でも雪崩災害があった。鉄道建設のため木材を使用したためか林地はなく、裸の斜面で雪崩は多発していたと思われる。上越線でも戦後の荒廃期に林地斜面の樹木が切られ、その影響で雪崩が多発した。JRの雪崩対策としては、設備は、鉄道林(雪崩防止林:684 ha、吹雪防止林:174 ha、土砂崩壊防止林他:112 ha)と 雪崩止柵、雪崩止擁壁、雪崩止杭、雪崩覆(スノーシェッド)、雪崩誘導堤、雪崩割がある。この他、地上巡回やヘリコプターによる雪崩危険箇所点検、点検(斜面の亀裂、デブリ、スノーボールなどの状態、稜線の雪底の状態、柵、誘導堤の機能、雪崩防止林の機能、積雪量)が行われている。今冬は豪雪を受けてヘリによる点検を1月9日から3月24日にかけて4線区で40回実施したほか、地上巡回による点検を30日(2回/週)行った。課題としては、雪崩発生の予知・予測技術が未解明、雪崩災害防止技術の技術的評価が不明確、雪崩災害関連の技術者が少ないなどの点を挙げる事ができる。

岡 米男(東日本高速道路(株)新潟管理局湯沢管理事務所):新潟管理局では関越自動車道の小千谷ICから水上ICに至る87.8 kmを管轄している。平成17年度は12月に降雪が集中して積雪が増加し、平成18年1月8日には土樽スノーシェッド付近で肌落ち、雪堤の崩れが発生した。雪崩対策は、昭和56年、59年豪雪を想定して設置されており、雪崩発生の実績に基づき、関越トンネル北側の土樽付近にスノーシェッド、階段工、雪崩防止柵、雪崩防止林が施工されている。巡視員による雪崩点検は毎日60箇所で行われており、積雪や積雪の断面観測も定期的に行われている。この結果に基づいて、雪底、雪堤崩しなどの対策を行う。なお関越道の計画にあたっては、当該領域の積雪深や雪崩発生状況の綿密な調査が行われ、当初の土合から土樽に抜けるルートは雪崩危険箇所を避けられないと判断して現在の路線が選定された。

■ 考 察

2006年3月30日に、東京の砂防会館において、行政、研究機関、自治体関係者からなる検討会を実施した。会議では、本研究成果の報告に続いて、国会議員、国交省北陸地方整備局の道路管理者、新潟県や長野県の自治体関係者、

JR、高速道路の防災担当者から、雪崩対策等の現状報告があり、今後本研究成果を行政、地方自治体等における雪氷防災対策に反映させる上での、施策、問題点等について検討が行われた。時間の制約もあって必ずしも十分な検討と意見交換が行われたとは言い難いが、研究機関からは雪氷防災研究の現状が、行政サイドからは直面している問題点と雪崩予測を含めた雪氷防災研究に対する具体的な要望が数多く提言され、全体としては実りの多い検討会となったと考える。



図 - 7 行政機関より(今期雪害に関する報告と雪氷防災研究に対する期待)

左: 東日本旅客鉄道新潟支社 森島課長、右: 東日本高速道路新潟管理局湯沢管理事務所 岡 所長

■ 今後の発展方向、改善点等

今回の検討会は時間の制約もあったため、研究機関と行政サイドがそれぞれの現状紹介を行うことに力点があかれ、具体的な課題に関する詳細な意見交換と今後の方向性に関する検討は次回に持ち越された。会議では、行政機関より豪雪に伴う風評被害の問題、さらには雪崩発生の危険性にとまなう道路の通行規制に関して、人命最優先の立場に立った行政サイドと早期解除を期待する住民サイドの狭間で両者のジレンマに苦慮している旨が報告された。また、市町村レベルでは、雪崩予防柵等の高価な恒久的施設の設置は経済的に困難であるとの指摘もなされた。簡易な施設の開発や間伐材も含めた植生の利用、さらには「雪崩予測システム」に代表されるソフト的対策の重要性が認識された。雪崩発生予測システムの実用化にあたっては、ユーザの求める精度との調整も必要となる。今後は、今回の検討会において形成された国交省を含む関連諸機関、自治体と研究機関との接点を活用し、同様の検討会を定期的に催してニーズとシーズの調整を進めながら実用化に向けた研究の発展を目指す必要がある。雪崩発生に関する予測情報を雪崩注意報、警報などの形で発信するにあたっては、気象業務法との調整も必要となる。雪崩発生予測手法そのものの検討も含め、気象庁との連携も計っていきたいと考える。

■ 参考(引用)文献

該当なし

■ 関連特許

該当なし

■ 参考(引用)文献

該当なし

■ 関連特許

該当なし

・ 成果の発表等

(成果発表の概要)

1. 原著論文による発表(査読付き)	2 報 (筆頭著者:2 報)
2. 原著論文による発表(査読なし)	該当なし
3. 原著論文以外による発表 (レター、レビュー、出版等)	国内誌:3 報
4. 口頭発表	応募講演:8 回
5. 特許出願	該当なし
6. 受賞件数	学会賞 1 件
7. 講演会等の開催	巡検 1 件 講演会 2 件
8. その他	研究所一般公開 2 件 web 上での情報公開 1 件

1. 原著論文による発表(査読制度のある雑誌への投稿)

- 1) Nishimura, K., Hirashima, H., Yamaguchi, S., Kosugi K., Sato, A., Izumi, K., Suzuki, K., Hanaoka, M. and M. Lehning: 「Development of Snow avalanche forecasting system in Japan」, Proc. of INTERPRAEVENT International Symposium 2006, "Disaster Mitigation of Debris Flows, Slope Failures and Landslides", Vol.1 2006. 267-274. (2006)
- 2) Hirashima, H., Nishimura K., Yamaguchi, S., Sato, A., Lehning, M.: 「Avalanche forecasting in a heavy snowfall area using SNOWPACK model」, Cold regions science and technology (投稿中)

2. 原著論文による発表 (査読制度のない雑誌への投稿)

3. 原著論文以外による発表(レター、レビュー、書籍出版等)

国内誌(国内英文誌を含む)

- 1) 佐藤篤司: 「平成 18 年豪雪」, 自然災害科学, 25-1, 71-81, (2006).
- 2) 平島寛行, 西村浩一, 山口悟, 佐藤篤司, Michael Lehning: 「新潟県津南町国道 405 号線周辺における雪崩予測」, 雪氷北信越, 第 26 号, 38, (2006)
- 3) 西村浩一, 平島寛行, 山口 悟, 小杉健二, 佐藤篤司, 和泉 薫, 河島克久, 鈴木啓助, 花岡正明: 「広域積雪分布の把握と雪崩発生予測システムの開発」, 雪氷北信越, 第 26 号, 39, (2006).

国外誌

書籍出版

4. 口頭発表

主催・応募講演

- 1) 平島寛行, 西村浩一, 山口 悟, 佐藤篤司, Michael Lehning:「新潟県津南町国道 405 号線周辺における雪崩予測」, 日本雪氷学会北信越支部研究発表会, 2006.5.13.
- 2) 西村浩一, 平島寛行, 山口 悟, 小杉健二, 佐藤篤司, 和泉 薫, 河島克久, 鈴木啓助, 花岡正明:「広域積雪分布の把握と雪崩発生予測システムの開発」, 日本雪氷学会北信越支部研究発表会, 2006.5.13.
- 3) 平島寛行:「雪崩はいつ、どこでおこるか -雪崩発生予測に挑む-」, 防災科学技術研究所成果発表会, 2006.6.13.
- 4) Hirashima, H., Nishimura K., Yamaguchi, S., Sato, A., Lehning, M.:「Avalanche forecasting in a heavy snowfall area using SNOWPACK model」, International Snow Science Workshop, 2006.10.1.
- 5) 花岡正明, 金子正則, 本間信一, 上石勲, 池田慎二:「平成 18 年豪雪における雪崩災害」, 2006 年度日本雪氷学会全国大会, 2006.11.15.
- 6) 平島寛行, 山口 悟, 佐藤篤司, 西村浩一, Michael Lehning:「雪崩発生予測モデルを用いた豪雪時の雪崩予測」, 2006 年度日本雪氷学会全国大会, 2006.11.16.
- 7) 西村浩一, 平島寛行, 山口悟, 小杉健二, 佐藤篤司, 和泉 薫, 河島克久, 鈴木啓助, 花岡正明, Michael Lehning:「広域積雪分布の把握による雪崩発生予測」, 2006 年度日本雪氷学会全国大会, 2006.11.16.
- 8) 佐藤篤司, 平島寛行, 山口 悟, 小杉健二, 西村浩一, 和泉 薫, 河島克久, 鈴木啓助, 花岡正明, Michael Lehning:「航空写真による雪崩発生調査」, 2006 年度日本雪氷学会全国大会, 2006.11.16.

5. 特許等出願等

該当なし

6. 受賞等

本研究で実施した成果も含めて、2006 年度日本雪氷学会 技術賞 受賞
(独) 防災科学技術研究所 雪氷防災研究センター
「雪氷災害発生予測システムの構築」

7. 講演会等の開催

- ・ 2006 年 9 月 29 日 新潟県津南町国道 405 号雪崩地形巡検
- ・ 2006 年 9 月 30 日 新潟県津南町 「シンポジウム 平成 18 年豪雪を振り返る」
- ・ 2006 年 10 月 30 日 福井県勝山市 「2006 年度雪氷防災研究講演会」

8. その他

- ・ 2006 年 4 月 21 - 22 日 雪氷防災研究センター一般公開「平成 18 年豪雪特集」
- ・ 2006 年 4 月 23 日 防災科学技術研究所一般公開 「ミニ講演会-平成 18 年豪雪-」
- ・ 2006 年 9 月 ~ 防災科学技術研究所 雪氷防災研究センターの web 上での情報公開