

那須雪崩災害の現地調査

The field investigation of an avalanche disaster at Mt. Nasu

中村 一樹¹⁾, 上石 勲¹⁾, 根本 征樹¹⁾, 小杉 健二¹⁾, 山口 悟¹⁾, 伊藤 陽一¹⁾,
平島 寛行¹⁾, 本吉 弘岐¹⁾, 佐藤 研吾¹⁾, 安達 聖¹⁾, 阿部 修¹⁾, 内山 庄一郎²⁾,
鈴木 比奈子²⁾, 飯田 肇³⁾, 西村 浩一⁴⁾, 河島 克久⁵⁾, 松元 高峰⁵⁾, 渡部 俊⁵⁾,
伊豫部 勉⁶⁾, 阿部 幹雄⁷⁾, 阿部 直樹⁸⁾, 竹内 由香里⁹⁾, 勝島 隆史⁹⁾, 近藤 伸也¹⁰⁾
K. Nakamura¹⁾, I. Kamiishi¹⁾, M. Nemoto¹⁾, K. Kosugi¹⁾, S. Yamaguchi¹⁾, Y. Ito¹⁾,
H. Hirashima¹⁾, H. Motoyoshi¹⁾, K. Sato¹⁾, S. Adachi¹⁾, O. Abe¹⁾, S. Uchiyama²⁾, H. Suzuki²⁾, H. Iida³⁾,
K. Nishimura⁴⁾, K. Kawashima⁵⁾, T. Matsumoto⁵⁾, S. Watabe⁵⁾, T. Iyobe⁶⁾, M. Abe⁷⁾, N. Abe⁸⁾,
Y. Takeuchi⁹⁾, T. Katsushima⁹⁾, S. Kondo¹⁰⁾

¹⁾防災科学技術研究所 雪氷防災研究センター

¹⁾*Snow and Ice Research Center, National Research Institute for earth Science and Disaster Resilience*

²⁾防災科学技術研究所 社会防災システム研究部門

²⁾*Integrated Research on Disaster Risk Reduction Division, National Research Institute for earth Science and Disaster Resilience*

³⁾立山カルデラ砂防博物館

³⁾*Tateyama Caldera Sabo Museum*

⁴⁾名古屋大学大学院 環境学研究科

⁴⁾*Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University*

⁵⁾新潟大学 災害・復興科学研究所

⁵⁾*Research Institute for Natural Hazards and Disaster Recovery, Niigata University*

⁶⁾京都大学大学院 工学研究科

⁶⁾*Graduate School of Engineering, Kyoto University*

⁷⁾日本雪氷学会北海道支部雪氷災害調査チーム

⁷⁾*The investigation of Snow Damage Research Team in Hokkaido Branch of JSSI*

⁸⁾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

⁸⁾*Innovation Center for Meteorological Disaster Mitigation,
National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience*

⁹⁾森林総合研究所 十日町試験地

⁹⁾*Tohkamachi Experimental Station, Forestry and Forest Products Research Institute*

¹⁰⁾宇都宮大学 大学院工学研究科

¹⁰⁾*Graduate School of Engineering, Utsunomiya University*

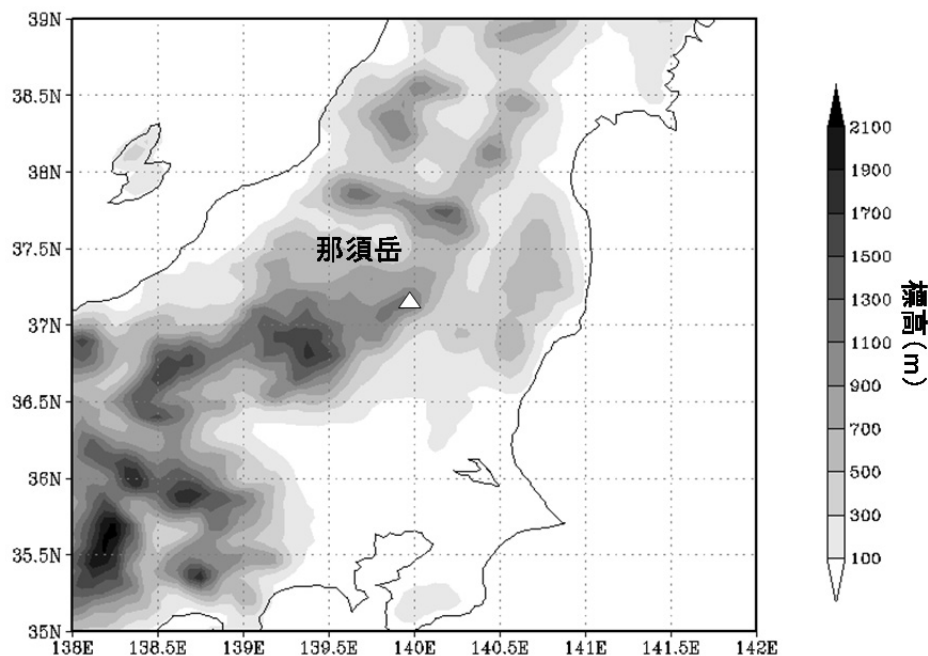
Abstract: An avalanche disaster occurred at Mt. Nasu in Tochigi pref. on 27, March 2017. Seven high school students and one supervising teacher were killed and 40 persons including seven high-school students other high school students and supervising teacher were injured by an avalanche. The field investigations for this avalanche disaster were started on March 28. As results of snow observation, the avalanche was caused by the weak layer of no rimed falling snow crystals which fell form in the front area of a low-pressure system. This observation result led to analyses for a snowpack model and meteorological characteristics. The hearing investigation from a person of a rescue team for an avalanche disaster, many important matters for an avalanche accident were provided.

Key words: avalanche disaster, weak layer, hearing investigation

1. はじめに

2017年3月27日に栃木県那須町的那須岳で発生した雪崩災害では7名の高校生、1名の教師が亡くなり、40名の方が重軽傷となる大きな被害をもたらした(図-1参照)。発生直後の3月28日から複数回の現地調査を行い、雪崩の発生状況を調査した。3月28日の調査では、雪崩停止箇所より若干下がった地点での積雪断面観測を行い、表面から23~25cmに降雪結晶からなる層を確認した。この層を弱層として表層雪崩が発生したものと推定され、今後の雪崩発生の解析に結

び付いている貴重な観測データとなっている。また、4月2日の現地調査では、雪崩の発生源破断面や積雪表面のデブリは確認できなかったが、積雪の断面観測によって雪崩の痕跡を数か所で確認することができた。その後、数回の現地観測では、樹木の枝折れや関係者の所持していた登山用具も発見され、雪崩発生個所、流下範囲について、ある程度把握することができた。さらに、救助隊の方や雪崩に遭遇した方に聞き取り調査を行い、当日の状況に関する貴重な証言を頂いた。



図－1 那須岳の位置（中心付近の△）

2. 現地調査

今回発生した雪崩直後から、現地の安全性を確保しながら上空からの調査と連動し、表－1に示す通り、積雪が残る4月下旬までに5回の現地調査を行い、雪崩の発生状況、規模等について明らかにした。なお、表－1に示した日時以外にも、個別のチームで現地調査を実施している場合がある。それぞれの調査の内容を2.1～2.5節に示す。

表－1 現地調査項目と実施日（○：実施日）

調査項目\調査実施日	2017/3/28	4/2	4/13	4/19	4/25
写真撮影	○	○	○	○	○
積雪深観測	○	○		○	○
積雪断面観測	○	○			
雪崩痕跡調査		○		○	○
無人航空機による空撮		○		○	○

また、現地の関係者（救助に当たった山岳救助隊、学校関係者）を対象に、雪崩災害当日の気象状況や移動箇所、雪崩発生状況並びに埋没箇所、深さや被害状況について聞き取り調査を実施中である。聞き取り調査については、今後も個別に継続して丁寧に調査を行い、調査結果がまとまった段階で公表したいと考えている。

2.1 写真撮影

雪崩発生斜面、積雪深観測、積雪断面観測、雪崩痕跡の調査地点等の写真を撮影し、撮影地点の GPS 情報を記録した。4 月 13 日は、スキー場センターハウス付近から那須岳の斜面の撮影のみを実施した。その他の調査日は、それぞれの調査地点の写真撮影を実施した。

2.2 積雪深観測

積雪深測定用の目盛り入りのプローブにて測定し、測定箇所の GPS 情報を記録した。積雪断面観測地点や雪崩痕跡調査地点の積雪深を確認するという目的のほかに、2.5 節で示す無人航空機空撮から求められる積雪深分布を検証するために積雪深データを取得した。

2.3 積雪断面観測

積雪の内部の状態を把握するために、積雪を掘削して実施した。観測項目及び方法は以下の通りである。

層構造・雪質：目視による。

気温・雪温：小型サーミスタセンサーデジタル温度計（表示分解能 1/100℃）による。

雪粒子：3 月 28 日に実施した積雪断面観測での雪粒子撮影は、透過光型で倍率が 10 倍の雪結晶撮影装置とデジタルカメラを用いて現地で実施した。

硬度：デジタルフォースゲージ（表示分解能 0.001kg，円板直径 15mm）による。

密度：100 cm³ の角型密度サンプラーを使用し、採取した積雪試料の重量を計測して求めた。

2.4 雪崩痕跡調査

トレンチ掘削によって積雪表層の断面を確認し、雪崩による積雪層の乱れの有無を確認した。また、樹木の枝折れ、倒木の有無の確認を実施した。それらが発見された場合、写真を撮影し、GPS で場所の緯度、経度を記録し、調査日時、その場所の積雪深、積雪表面から折れた箇所までの高さを記録した。

また、拾得物も雪崩の流路を検討する材料になることから、発見した場合、写真を撮影し、GPS で場所を記録した。

4 月 2 日と 19 日は、標高 1,385m 付近の救出活動地点を含む標高 1,300～1,420m の調査を実施した。また、4 月 25 日は、同様の調査を実施したが、通称天狗の鼻大岩の直下の標高 1,490m 付近の斜面まで範囲を広げた。なお、3 月 28 日や 4 月 2 日には雪崩発生の危険が考えられたため、この天狗の鼻大岩直下の斜面へは立ち入らなかった。

2.5 無人航空機による空撮

無人航空機による空撮は、雪崩発生推定箇所を含む範囲を対象として実施した。これにより、撮影日時点での積雪状況および雪面標高データを取得し、今後行われる雪崩の発生解析や運動シミュレーション等に活用可能となる。また、今後積雪が消失した時期にも同様に空撮を行い、撮影日時点での斜面上の積雪深分布を求めることが可能である。なお、4 月 19 日は、風や雲等の天候の影響で、低空での撮影しかできなかった。無人航空機による空撮調査の詳細については次節（内山ら）を参照されたい。

3. 調査結果

図-2 に 2017 年 4 月 2 日に無人航空機で撮影した那須岳雪崩発生地全景を示す。写真の中央から右の下部の樹林がないエリアは、那須温泉ファミリースキー場のゲレンデである。斜面 A は、標高約 1,515m の通称天狗の鼻大岩の直下に位置し、2017 年 3 月 27 日に大きな被害をもたらした雪崩が発生したと推定される斜面である。4 月 2 日の現地調査では、斜面 A の下方に標高 1,385m 付近に人為的に掘削された直径数 m の穴が 2 つ確認された。この穴は 3 月 27 日の雪崩発生直後に救出活動で掘削されたものであると考えられ、救出活動地点として図-2 に示した。3 月 28 日に断面観測を実施した地点は、この救出活動地点と同じ沢のさらに下方の標高 1,350m に位置する。また、3 月 28 日午前には、スキー場センターハウス付近から、斜面 B の位置に表層雪崩のデブリや流下の後が確認できた。このデブリはスキー場のゲレンデまで達していた。

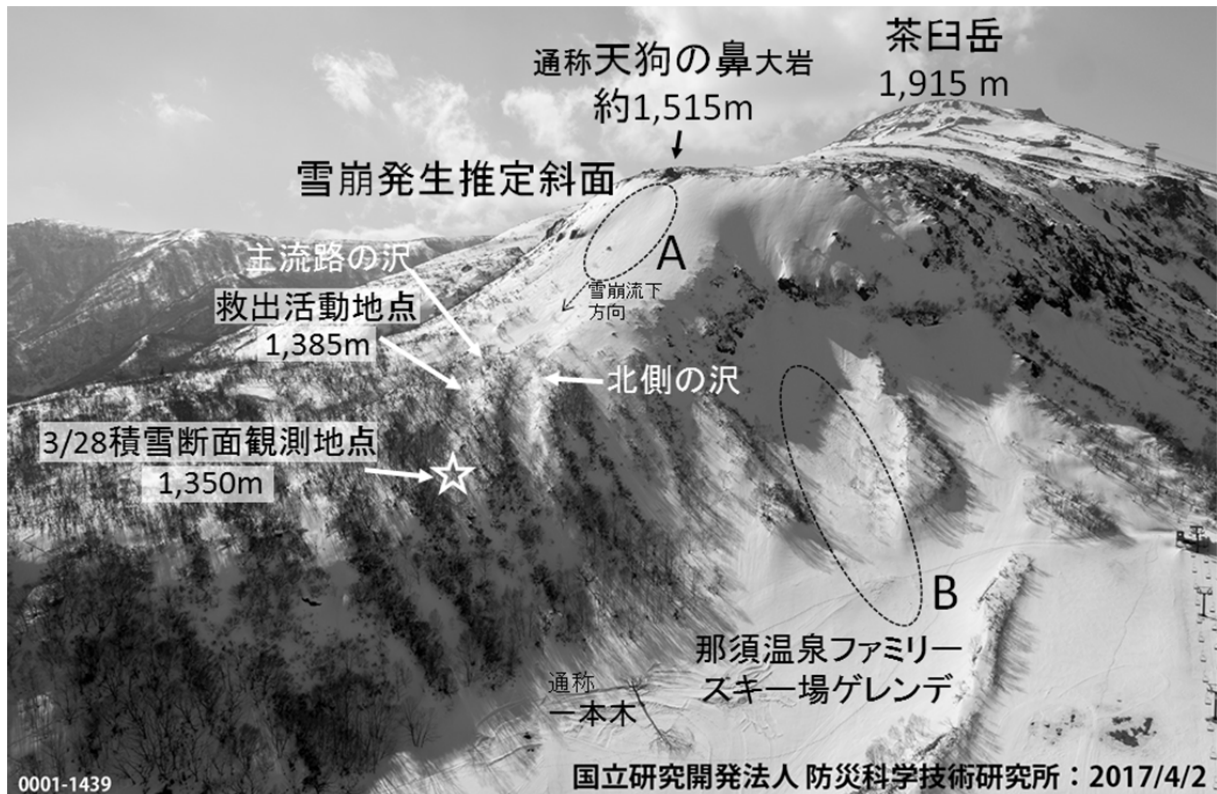


図-2 那須岳雪崩発生地全景（2017年4月2日防災科学技術研究所無人航空機撮影，
☆：3/28積雪断面観測地点，A：3/27事故雪崩発生推定斜面，
B：3/28に別の雪崩の痕跡を発見した斜面）

3.1 積雪断面観測結果と考察（2017年3月28日実施）

表-2と図-3に3月28日13時50分～16時20分に積雪内部の状態を把握するために実施した積雪断面観測結果を示す。現地で救出活動に当たった消防隊員から情報を得て、2017年3月28日午後に、雪崩が流下して事故があったとされる沢をスキー場のゲレンデから登り、図-2に示す標高1,350m付近で積雪断面観測を実施した。理想的には図3の斜面Aの雪崩発生区付近で積雪断面観測を実施したかったが、27日の雪崩発生後も3月28日の調査日まで降雪が続いており、調査時においても雪崩発生リスクがあると判断されたため、救出活動地点の下方の樹林帯の中にある5～10m四方位程度の開けた斜面を観測地点に選定した。選定した積雪断面観測地点は、斜面Aの上端にある通称天狗の鼻大岩までの直線距離は約350mと近く、標高差も約165mと小さいため、雪崩発生区と降雪の状況がほとんど変わらない地点であると判断した。斜面Aの向きは南東（方位角135°）から東南東（方位角112.5°）であり、その下部の沢に位置する積雪断面観測地点の斜面の向きは東（方位角90°）である。傾斜角は斜面Aでは30～38度、積雪断面観測地点では35度であり、いずれも最も表層雪崩が発生しやすい傾斜角35～40度の範囲（McClung and Schaerer, 2006）を含む斜面である。この積雪断面観測地点の積雪深は305cmであった。積雪断面観測は、発生した雪崩に関係すると考えられた積雪表面から深さ約100cmまでの積雪表層部分を対象に実施した。

積雪表面から深さ100cmまでの雪温は、最高-0.6℃、最低-1.3℃であり、これらの深さでは全層氷点下であった。深さ0～1.5cmに硬度が32kPaとやや硬いクラストが確認されたが、この部分は、積雪断面観測を実施した3月28日日中の日射により形成したと考えられる。深さ1.5～9cmは、新雪あるいは新雪からこしまり雪に変態している層に該当する。この層は35kPaとやや硬く、密度は97kg/m³と直下の層よりもやや大きく、強風の影響をうけて再配分されている可能性も考えられる。深さ9～35cmも新雪あるいは新雪からこしまり雪に変態している層である。密度は48～94kg/m³と小さく、硬度は0.8～3.5kPaと小さい。特に、深さ22～25cmは弱層を形成すると考えられ、硬度0.8kPa、密度56kg/m³であった。深さ35～37cmにはざらめ雪層があり、深さ35～38cmの密度は170kg/m³と大きく、硬度は82kPaと硬かった。なお、このざらめ雪層と直上の新

雪・こしまり雪層の結合は弱くなく、雪の一部のこしもざらめ雪への変化も認められなかった。深さ 37～41cm と 41～49cm はしまり雪層、49～62cm はこしまり雪としまり雪が混在する層、それより深い層は、ざらめ雪としまり雪が交互に存在した。ざらめ雪の直下の 37～41cm のこしまり雪、しまり雪層の密度は 66 kg/m^3 とやや小さく、硬度は 8.8 kPa とやや小さかった。それより下の層は、密度は $93 \sim 201 \text{ kg/m}^3$ 、硬度は $12 \sim 220 \text{ kPa}$ であった。

表-2 積雪断面観測結果 (2017 年 3 月 28 日実施)

年 月 日	積雪深	測定時刻			天気	気温(時刻)	
2017.03.28	305 cm	13h50m - 16h20m			晴れ	-2.6 °C(13h40m)	
緯度	経度	標高	傾斜角	方位角	座標軸	測定者	
37° 07'06.2"	139° 58'49.0"	1350 m	35 °	90 °	D	KK.MN.KN	

雪質F			雪温 T(°C)		密度 ρ (kg/m ³)		硬度 PR(kPa)		
深さ, D (cm)	F	雪質 備考	D	T	D	ρ	D	*1 ϕ (cm)	PR
0 - -1.5	▽	hard	0	-0.6	0 - -3	69	-1.5	1.5	32
-1.5 - -9	+		-10	-0.4	-6 - -9	97	-7.5	1.5	35
-9 - -35	/		-20	-1.3	-12 - -15	94	-13.5	1.5	2.4
-35 - -37	○		-30	-1.3	-17 - -20	57	-18.5	1.5	1.1
-37 - -41	●		-40	-1.1	-22 - -25	56	-23.5	1.5	0.8
-41 - -49	●		-50	-1.0	-27 - -30	52	-28.5	1.5	1.5
-49 - -62	/●		-60	-0.9	-32 - -35	48	-33.5	1.5	3.5
-62 - -69	○		-70	-0.9	-35 - -37	170	-38	1.5	82
-69 - -75	●		-80	-0.9	-37 - -40	66	-38.5	1.5	8.8
-75 - -86	○		-90	-0.8	-42 - -45	104	-43.5	1.5	70
-86 - -88	●		-100	-0.8	-52 - -55	93	-53.5	1.5	12
-88 - -305					-62 - -65	125	-63.5	1.5	160
					-72 - -75	154	-73.5	1.5	30
					-77 - -80	111	-78.5	1.5	90
				-92 - -95	201	-93.5	1.5	220	

雪質凡例

+ : 新雪

/ : こしまり雪

○ : ざらめ雪

● : しまり雪

▽ : クラスト

備考									
----	--	--	--	--	--	--	--	--	--

雪質凡例
 +:新雪
 /:こしまり雪
 ○:ざらめ雪
 ●:しまり雪
 ▽:クラスト

*1: ϕ は円板径を表わす。

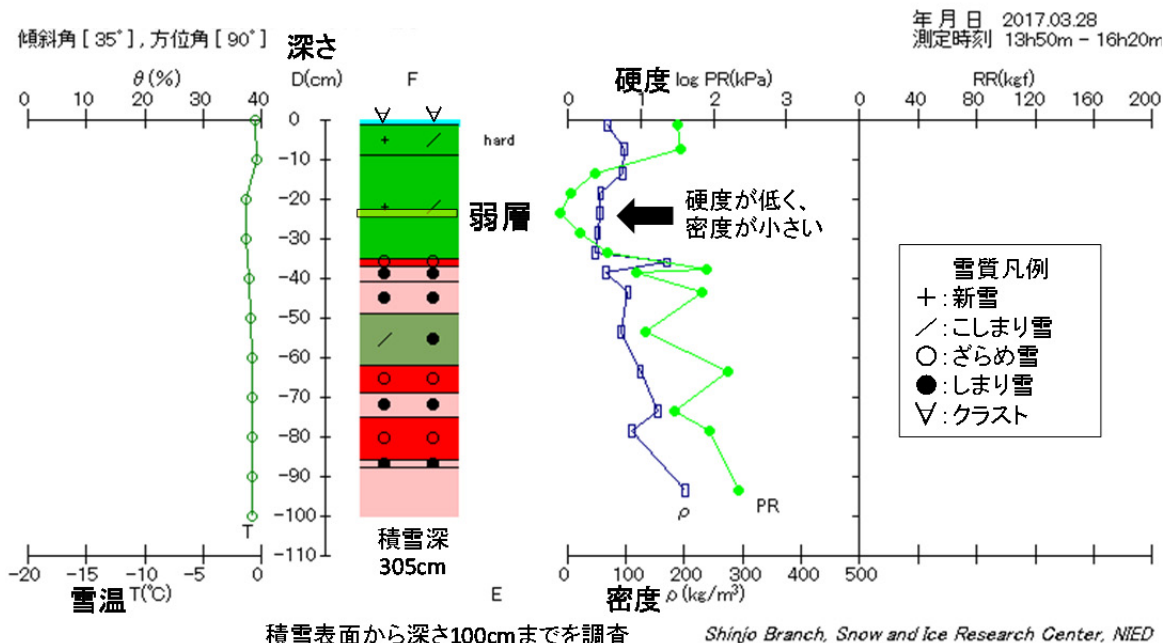
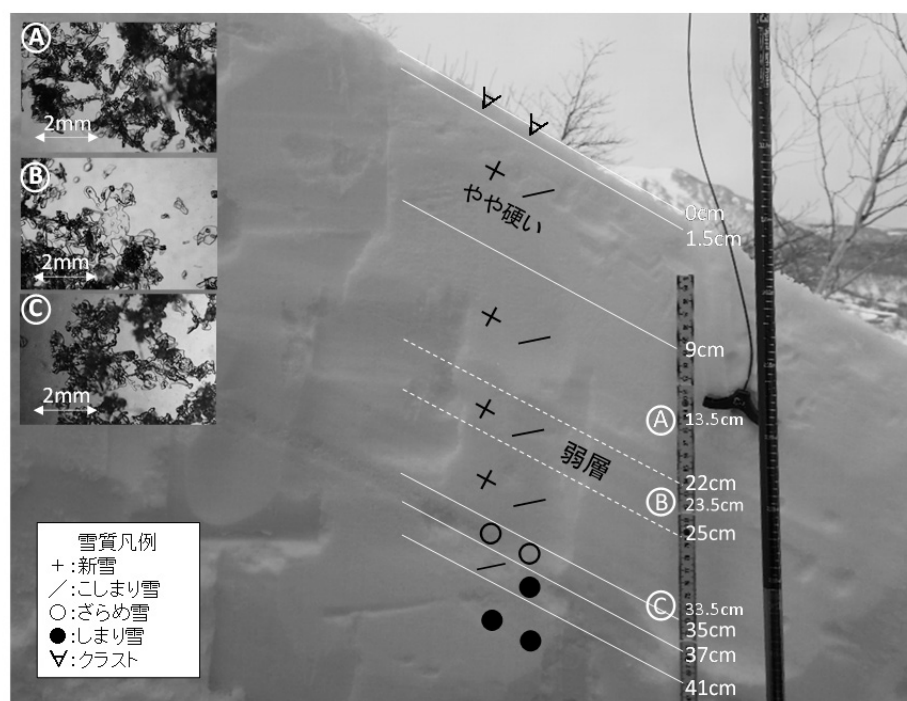


図-3 積雪断面観測結果 (2017 年 3 月 28 日実施)

図-4 に、2017 年 3 月 28 日に観測した積雪断面と雪粒子の写真を示す。雪粒子は、弱層に該当する B の位置 (深さ 23.5cm) とその上下の層の A (深さ 13.5cm) と C の位置 (深さ 33.5cm)

から採取して撮影した。雪粒子の写真と比較すると、A と C の雪粒子よりも B の雪粒子の粒径の方が大きく、B の粒径が 2mm 以上の雪粒子は、雲粒が付着していない板状結晶であると判断できる。A も C も雲粒は少ないが粒径は小さく、板状結晶ではない。したがって、弱層を形成する主な粒子は、雲粒付着なしの板状結晶であり、雪が降ってくる時の形状が弱層形成に関係している雲粒付着がない（あるいは少ない）降雪結晶の弱層であると考えられる。



図－4 2017 年 3 月 28 日に観測した積雪断面と雪粒子の写真

図－5 に気象庁那須高原アメダスの 3 月 24 日～28 日の気象経過を示す。那須高原アメダスは、3 月 28 日の積雪断面観測地点から東に約 5 km に位置し、標高 749m である。表－2 と図－3 に示した 3 月 28 日の標高 1,350m 地点での積雪断面観測より、積雪表面から深さ 100cm までの積雪は全て氷点下の乾雪であることが確認されている。対流圏の平均的な気温減率は $-0.65^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ であるから、図－5 で示した標高 749m の那須高原アメダスより標高が 751m 高い発生区付近の標高 1,500m では、気温が那須高原アメダスより約 4.9°C 低くなると考えられる。したがって、図－5 の那須高原アメダスの気温の観測結果を基に標高 1,500m 付近の気温を推定すると、3 月 27 日～28 日は氷点下が維持されていると推定できる。したがって、雪崩が発生した 3 月 27 日には、雪崩発生区と考えられる標高 1,500m 付近の表層の積雪は、氷点下の雪温の乾雪であったと考えられる。

図－5 より、3 月 25 日の那須高原アメダスの最高気温が 6.9°C であるから、積雪断面観測地点では約 2.0°C と推定される。したがって、表－2 と図－3、図－4 に示した積雪表面から 35～37cm の深さのざらめ雪層は、気温がプラスになった 3 月 25 日に形成されたと推定される。図－5 の降水量の観測値より、図－3 及び図－4 の積雪表面～深さ数 cm の積雪は 28 日に降った雪が形成した積雪であると考えられるが、それ以下の深さ 35cm までの積雪（深さ 22～25cm の弱層を含む）は、3 月 26 日から 27 日にかけて通過した低気圧（図－6 参照）に伴う降雪が積もって形成されたと判断される。

3 月 28 日の調査時にスキー場ゲレンデから雪崩発生区と考えられた通称天狗の鼻大岩の下斜面（図－2 の斜面 A）を観察したが、破断面の痕跡は見つからなかった。図－5 に示すように、27 日の雪崩発生後も降水があり、先に示したように、標高 1,500m では、3 月 27 日～28 日は氷点下であるから乾雪が積もったことが考えられる。また、風速は 27 日 3 時 00 分～10 時 20 分まで欠測であるが、27 日 11 時以降は、例えば 27 日 12 時 00 分に平均風速 5.8m/s、最大瞬間風速 10.6m/s、28 日 7 時 30 分に平均風速 5.6m/s、最大瞬間風速 10.7m/s を記録するなど風がやや強くなっている。

例えば新雪が積もっている場合、気温が 0℃では風速約 8m/s 以上、-5℃以下では、風速約 5m/s 以上で低い地吹雪が発生する（竹内ら，1986）ことから、27 日 8 時 30 分頃の表層雪崩発生後も風雪が続き地吹雪が生じ、28 日の観測時には破断面などの表層雪崩発生の痕跡は分かりづらくなってしまうことが考えられる。

破断面等の直接的な積雪上の証拠は無いが、図-4 で示したように、積雪内に雲粒なし板状結晶の弱層が存在し、積雪内に弱層を伴い非常に不安定な状態になっていたと推定される。したがって、3 月 27 日 8 時 30 分頃に発生した雪崩は、面発生乾雪表層雪崩である可能性が高いと判断される。

図-6 に気象庁地上天気図と気象衛星赤外面像（宇都宮气象台, 2017），及び解析雨量を示す。図-5 と図-6 の気象の状況より、図-4 の深さ 22~25cm の弱層は、本州の南岸を北東に進む低気圧に伴う 3 月 26 日~27 日の降雪中に、降雪の結晶の形状が雲粒の付着の少ない比較的大型の板状結晶が多い時間帯があり、その結晶が積もることによって形成されたと推定された。さらに、弱層となる板状結晶の層が積もった後に、同じ低気圧からもたらされた 27 日未明の比較的短時間に強く降った雪が上載積雪となって積雪が不安定になり、面発生乾雪表層雪崩が発生したと推定された。

3 月 28 日午前のスキー場ゲレンデからの観察によって、図-2 に示した斜面 B では、自然発生と考えられる表層雪崩のデブリや流下の後が確認できた。表-2 と図-3 に示した積雪断面観測結果とこの斜面 B の自然発生の表層雪崩の痕跡から、那須岳付近の積雪は不安定な状態にあったと判断される。これらの状況から、平成 29 年 3 月 27 日那須雪崩事故検証委員会報告書（2017）に示されているように、現時点では、3 月 27 日に大きな被害を生じた図-2 の斜面 A の表層雪崩は、不安定な積雪の斜面から自然発生した可能性と、不安定な積雪の斜面に人が入り込んだために発生した可能性の両方があると考えられる。

雪崩発生時の状況の検討については、現在も調査を継続中である。2018 年度に進める予定である聞き取り調査の結果と本報告書で明らかになった現地調査結果から、今後さらに検討する予定である。

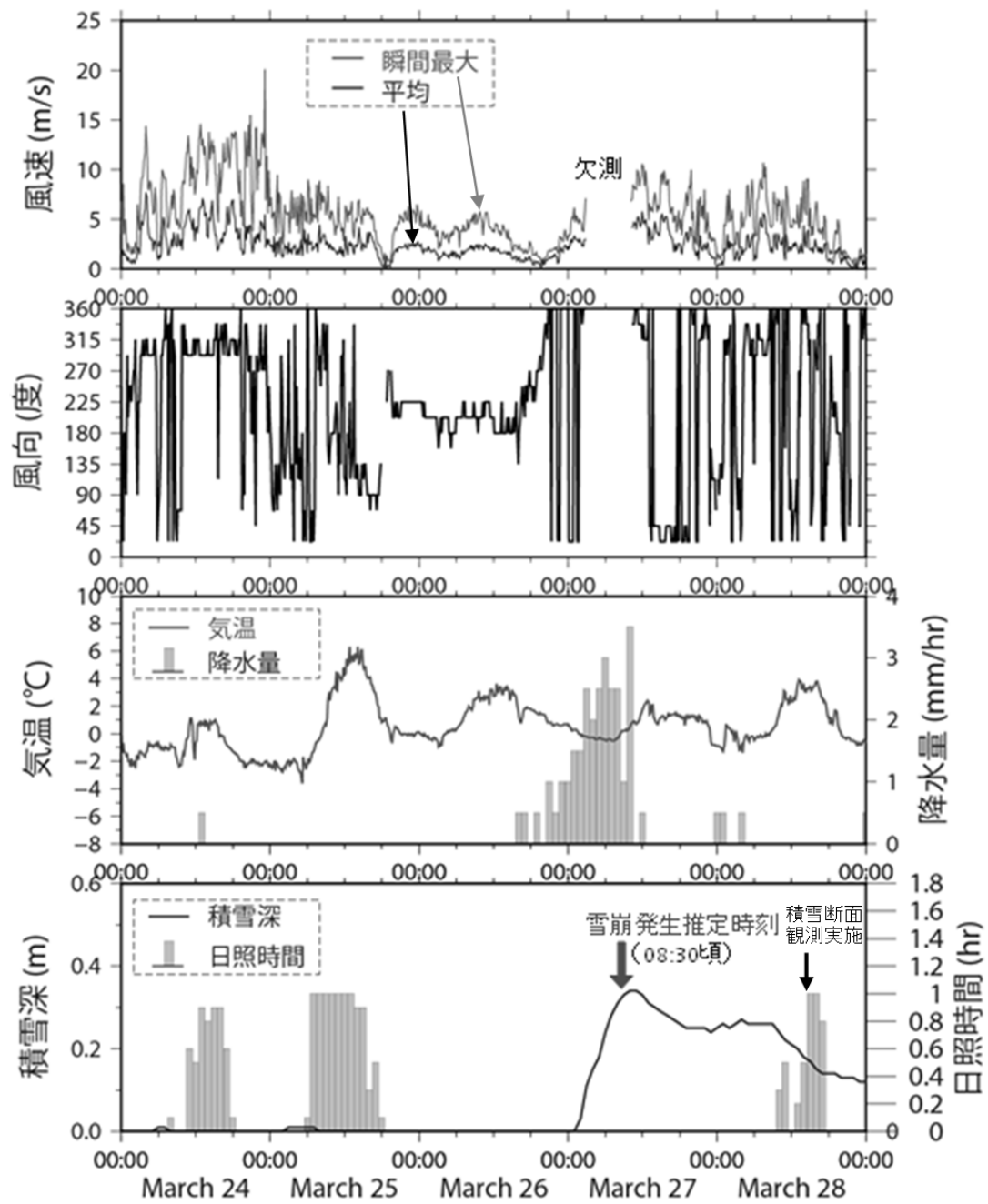
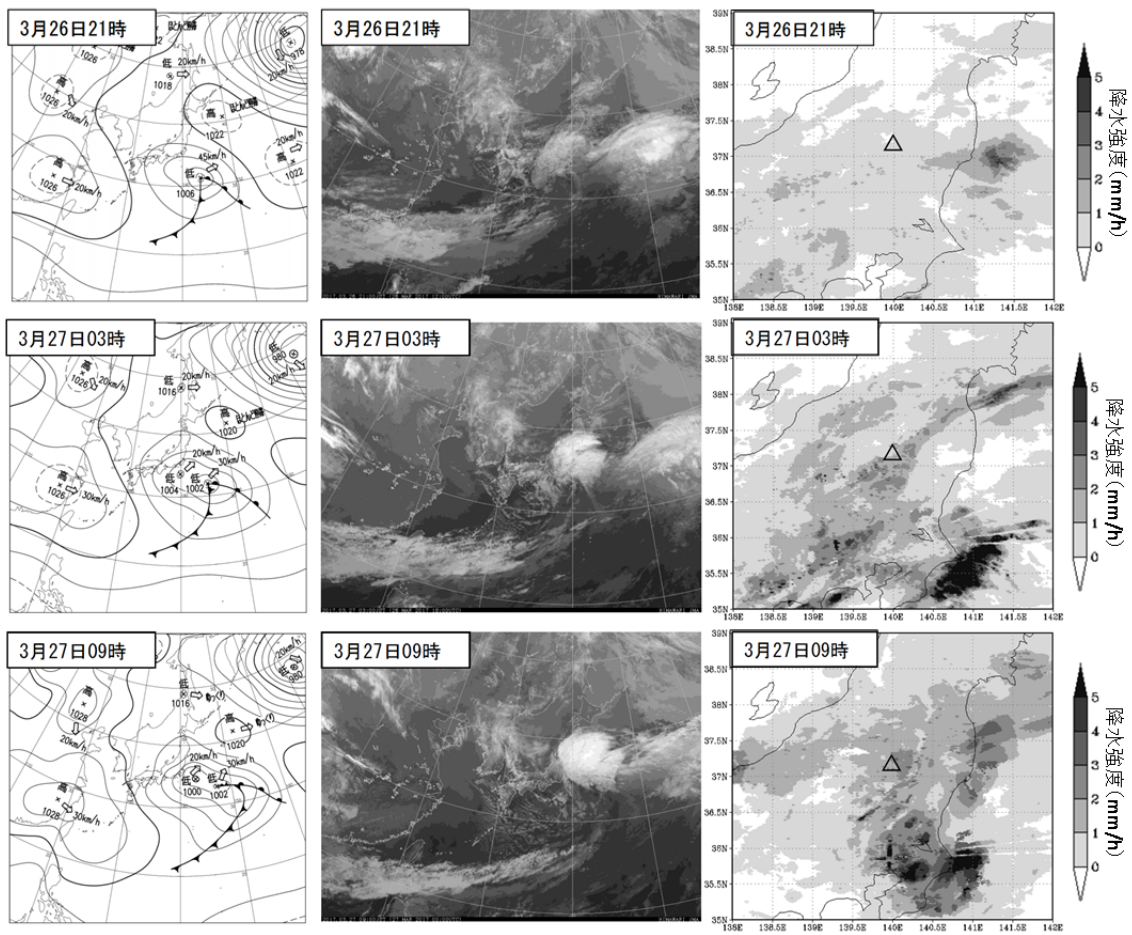


図-5 気象庁那須高原アメダスの3月24日～28日の気象経過
 (那須高原アメダス：3/28 積雪断面観測地点から東に約5 km，標高749m，
 風向：90度：東，180度：南，270度：西，360度：北)



図－6 気象庁地上天気図と気象衛星赤外画像（宇都宮気象台，2017），
及び解析雨量（中心の△は那須岳の位置，GRADS にて作図）

3.2 雪崩痕跡調査結果と考察（4月2日、19日、25日実施）

雪崩痕跡を確認するため、4月2日に、3月28日積雪断面観測地点の上流側を森林限界の標高1,420m付近まで調査を実施した。図-7に示す2つの位置で行ったトレンチ掘削によって積雪表層の断面を確認した。また、図-7に示すポイント①～③の地点で雪崩による積雪層の乱れの有無を確認し、各標高の踏査中に樹木の枝折れ、倒木の有無の確認を実施した。4月19日の調査では、ポイント①～③や標高1,385mの救出活動地点を含む標高1,300～1,420mの樹木の枝折れ、倒木の有無の確認を実施した。また、4月25日の調査では、19日と同様の調査を実施したが、通称天狗の鼻大岩の直下の標高1,490m付近の斜面まで到達し、写真撮影を実施した。

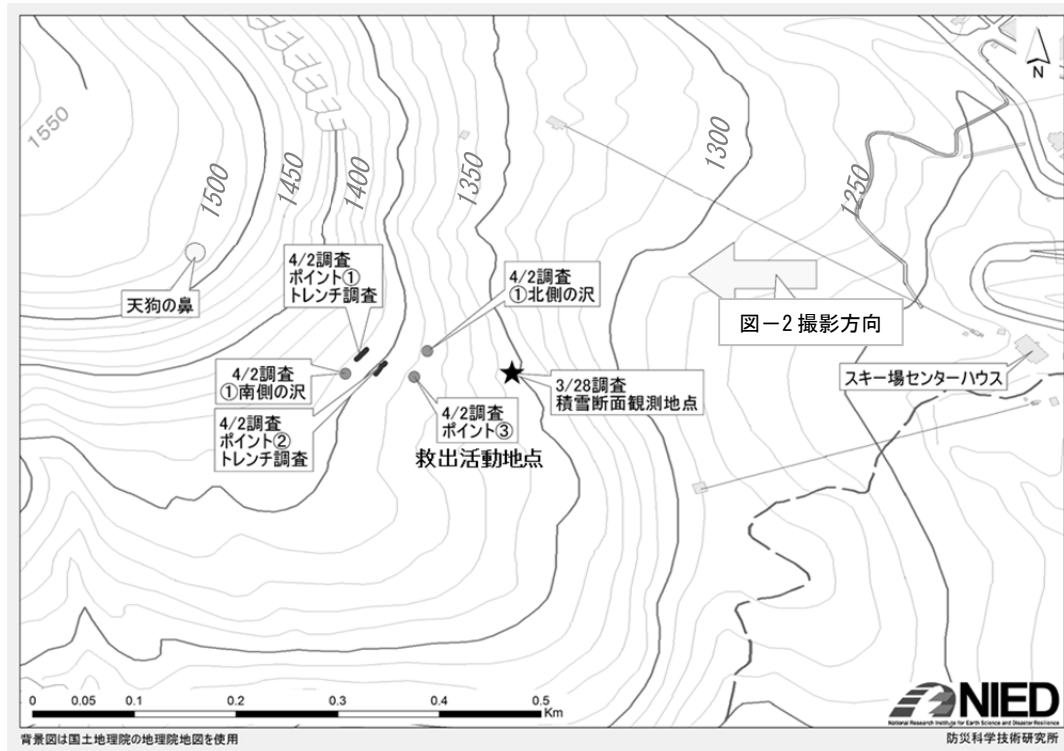


図-7 現地調査地点 ※背景図は国土地理院の地理院地図を使用

3.2.1 ポイント①（2017年4月2日）

ポイント①トレンチ調査地点では沢を横断する形でトレンチを掘削した。同地点の積雪深は2mであった。図-8にポイント①のトレンチの積雪の状態を示す。ポイント①のトレンチでは、3月28日の積雪断面観測の際に、積雪表面から35～37cmの位置に観測されているざらめ雪層と同一と考えられるざらめ層が確認でき、その上に30～50cm程度のしまり雪とこしまり層が観測された。積雪層は通常平行であるべきであるが、図-8に示すように、層の不整合の現象が確認された。この原因として、雪崩流下の削剥が考えられる。また、図-9にポイント①のトレンチの積雪内の樹木の状態を示す。上記ざらめ層の上部の積雪に、雪崩の流下に伴って下流側に押し倒されたと推定される樹木の枝が確認された。これも雪崩が通過した際の痕跡のひとつと考えることができる。

図-10にポイント①北側の沢地点（図-7参照）の積雪の状態を示す。上記ざらめ層の上に周辺の同じ位置の積雪層よりもやや硬い積雪が確認され、雪崩が流下した可能性が高いと判断された。なお、北側の沢ではブロック状の塊のデブリは無かった。図-11にポイント①南側の沢地点（図-7参照）の積雪の状態を示す。南側の沢では積雪層の乱れが確認できず、雪崩の痕跡は確認されなかった。



図-8 積雪の状態 (図-7 ポイント①トレンチ, 2017年4月2日撮影)



図-9 積雪内の樹木の状態 (図-7 ポイント①トレンチ, 2017年4月2日撮影)



図-10 積雪の状態 (図-7 ポイント①北側の沢, 2017年4月2日撮影)



図-11 積雪の状態 (図-7 ポイント①南側の沢, 2017年4月2日撮影)

3.2.2 ポイント② (2017年4月2日)

ポイント②でも、ポイント①と同様に沢を横断する形でトレンチを掘削した。図-12にポイント②トレンチでの積雪の状態を示す。図-11に示すように、ポイント①と同様のざらめ雪層の上に平らではない積雪層が確認され、その一部はざらめ雪層も削剥していることが確認できる。したがって、この積雪の乱れも雪崩の流下跡と推定される。

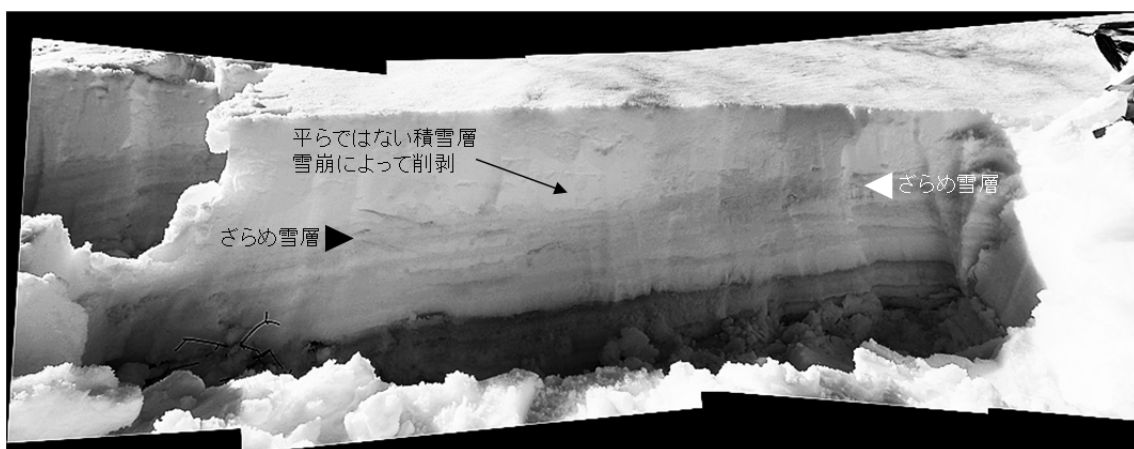


図-12 積雪の状態 (図-7 ポイント②トレンチ, 2017年4月2日撮影)

3.2.3 ポイント③（2017年4月2日）

図-13 に示すようにポイント③では積雪中に樹木の枝の混入が確認され、また、図-14 に示すように笹などの植生が折れた痕跡などが確認された。これらは雪崩が流下した際の痕跡の一つと考えることができる。図-15 と図-16 に示すように、ポイント③は、上流から見て沢が左側に屈曲している箇所であり、周辺よりも積雪の量が多くなっていた。また、人的に掘り返した痕跡が見られ、救出活動地点であることが推定された。ポイント③周辺では、雪崩が左方向に屈曲したため速度が低下して堆積し、デブリの堆積量が多くなっていたと推定される。なお、ポイント③でもブロック状の塊のデブリは無かった。



図-13 発見した樹木の枝(図-7 ポイント③, 2017年4月2日撮影)



図-14 発見した折れた笹(図-7 ポイント③, 2017年4月2日撮影)

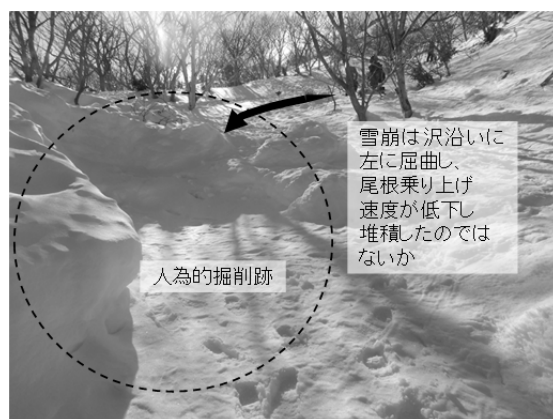


図-15 雪崩の堆積状況 (図-7 ポイント③, 2017年4月2日撮影)



図-16 雪崩の堆積状況 (図-7 ポイント③, 2017年4月2日撮影)

3.2.4 樹木の枝折れ痕跡及び傾斜角調査（2017年4月19日と25日）

図-17 にポイント②の上部から上流の通称”天狗の鼻”大岩、及びポイント①方向を撮影した写真を示す。また、図-18 にポイント②の上部からポイント③（救出活動地点）方向を撮影した写真を示す。図-17 の A の樹木には雪崩流下の痕跡であると考えられる枝折れを確認した。また、図-18 の B と C の樹木にも、同様に雪崩流下の痕跡であると考えられる枝折れを確認した。ポイント③の救出活動地点から天狗の鼻大岩までは、現地でのレーザー式距離計での測定により直線距離（斜距離）で 241 m、見通し角 31.0 度と計測された。また、ポイント①から③にかけては傾斜角 15～18 度程度であり、天狗の鼻付近からポイント③の救出活動地点までの実際の地形に沿った距離は約 290m と推定された。

図-19 に雪崩の主流路と考えられる沢の樹木の枝折れの状況を示す。いずれも折れた枝の断面の色より、折れてからあまり時間が経過していないと考えられた。枝が斜面下方に落下していたことや枝の折れ方より、斜面上方からの力が枝に加わったと考えられ、3月27日に発生した雪崩の影響で折れた可能性が高いと判断した。左の写真は図-17 に示した A に該当する。また、右

の写真は図-18 に示した C に該当する。両方とも折れた枝は、直径 7cm 程度であった。雪崩の主流路と考えられる沢では、その他の地点も含めて、それより太い枝の折れや倒木は発見できなかった。図-20 に北側の沢の樹木の枝折れの状況を示す。左の写真の枝（図-22 の D）の直径は 1.5cm 程度、右の写真の枝（図-22 の E）の直径は 1.5cm 程度である。北側の沢では、その他の地点も含めて、折れている枝の直径は 2cm 程度が最大で、それより太い枝の折れや倒木は発見できなかった。

図-21 に通称天狗の鼻大岩の直下の 2017 年 4 月 19 日の状況を示す。図-21 に示すように、樹木がない急傾斜の斜面であり、傾斜角は最大 38 度程度である。図-2 と図-7 より、茶臼岳山頂より続く緩斜面がこの天狗の鼻大岩付近で急傾斜に変化し、雪崩の主流路となった沢や北側の沢へ落ち込んでいることが分かる。なお、天狗の鼻大岩直下の斜面の向きは南東から東南東であり、南西～西～北西～北～北東の強風の場合に斜面に雪が吹き溜まる可能性が考えられる。



図-17 図-7 ポイント②上部から上流の通称“天狗の鼻”大岩、及びポイント①方向を撮影（A の樹木には枝折れを確認した、2017 年 4 月 2 日撮影）



図-18 図-7 ポイント②上部からポイント③（救出活動地点）方向を撮影（B と C の樹木には枝折れを確認した、2017 年 4 月 2 日撮影）



図-19 雪崩の主流路と考えられる沢の樹木の枝折れの状況
（左：図-17、22 の A、右：図-18、22 の C、2017 年 4 月 19 日撮影）



図-20 北側の沢の樹木の枝折れの状況
(左：図-22 の D, 右：図-22 の E, 2017 年 4 月 19 日撮影)

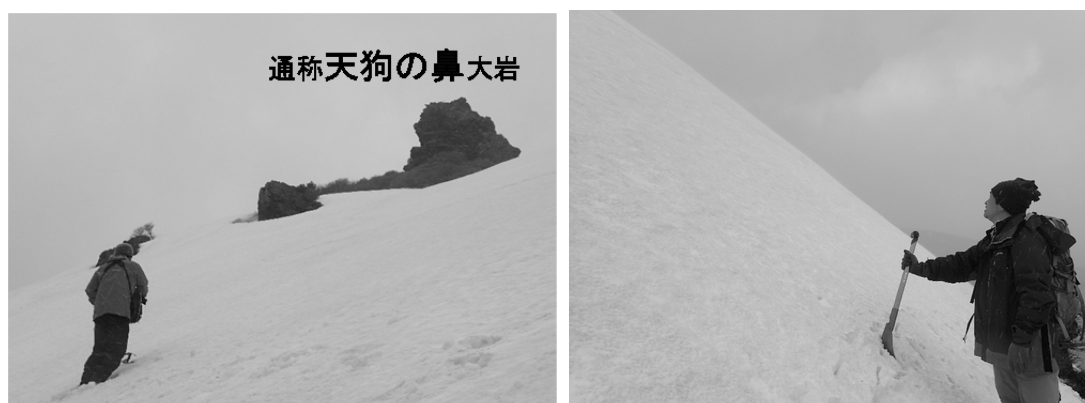


図-21 通称天狗の鼻大岩の直下（標高 1,490m 付近）の状況（2017 年 4 月 19 日撮影）

3.3 雪崩流路に関わる考察

図-22 に雪崩痕跡とその地形縦断図を示す．なお，この図には，樹木の枝折れの雪崩痕跡のほか，ストック，ピッケル，サングラスの拾得物も雪崩の痕跡の証拠としてプロットした．図-22 に示した現地調査結果と国土地理院基盤地図情報 5m メッシュ標高データより，雪崩が発生したと考えられる斜面は，樹林帯を抜けた標高 1,420m 付近から通称天狗の鼻大岩（標高約 1,515m）の間の傾斜角が 30 度～38 度程度の平滑な急斜面で，植生も無く，雪崩の発生しやすい条件を満たしていることが分かる．また，特に標高 1,500m 前後や標高 1,470m 前後は，傾斜角が 38 度前後を示しており，特に急傾斜であることが分かった．図-22 の最も上流側に位置する枝折れの樹木にダメージを与えるためには，ある程度の標高差を流下する必要があることから，雪崩は天狗の鼻大岩下の斜面で発生したと考えられる．3 月 28 日の調査時には，発生区と考えられる天狗の鼻大岩下の斜面は全層の雪が流下して地面が見えるような状態ではなく，積雪が多く残っていたことから，3.1 節で示したように，発生した雪崩の種類は表層雪崩だと推定される．

以上の現地調査結果からおおよそ推定された雪崩到達範囲を国土地理院地図（図-22）に記入した．また，那須岳雪崩発生地全景（図-23）に点線で記入した．天狗の鼻大岩下の発生区では弱層の破壊をきっかけに，弱層の上に降り積もった上載積雪となった新雪が，斜面の傾斜方向に流下したと推定される．さらに，雪崩は，図-22 のポイント①，②を含む沢（主流路の沢）地形を流れ下り，流下中に弱層の下の新雪・こしまり雪層も巻き込んで（図-8 と図-10 のトレンチ調査結果参照）雪崩の質量が大きくなることで流下速度が上昇したと推定される．流路の途中では，雪崩は，ざらめ雪層も巻き込みながら流下した（図-12 のトレンチ調査結果参照）と考えられる．沢地形の幅が狭くなり左に屈曲しているポイント③地点付近で雪崩の速度が低下した堆積区では，ブロック状の塊ではなくサラサラの粒子状のデブリとして堆積したと推定される．図-22 の枝折れ痕跡と拾得物の位置により，主流路の沢では，少なくとも標高 1,380m 付近までは流下したことが確認された．また，発生した表層雪崩は図-22 に示すように北側の沢にも流下し

たとえられる。図-22 の枝折れ痕跡と拾得物の痕跡により、北側の沢では、表層雪崩は少なくとも標高 1,370m 付近までは流下したことを確認できた。

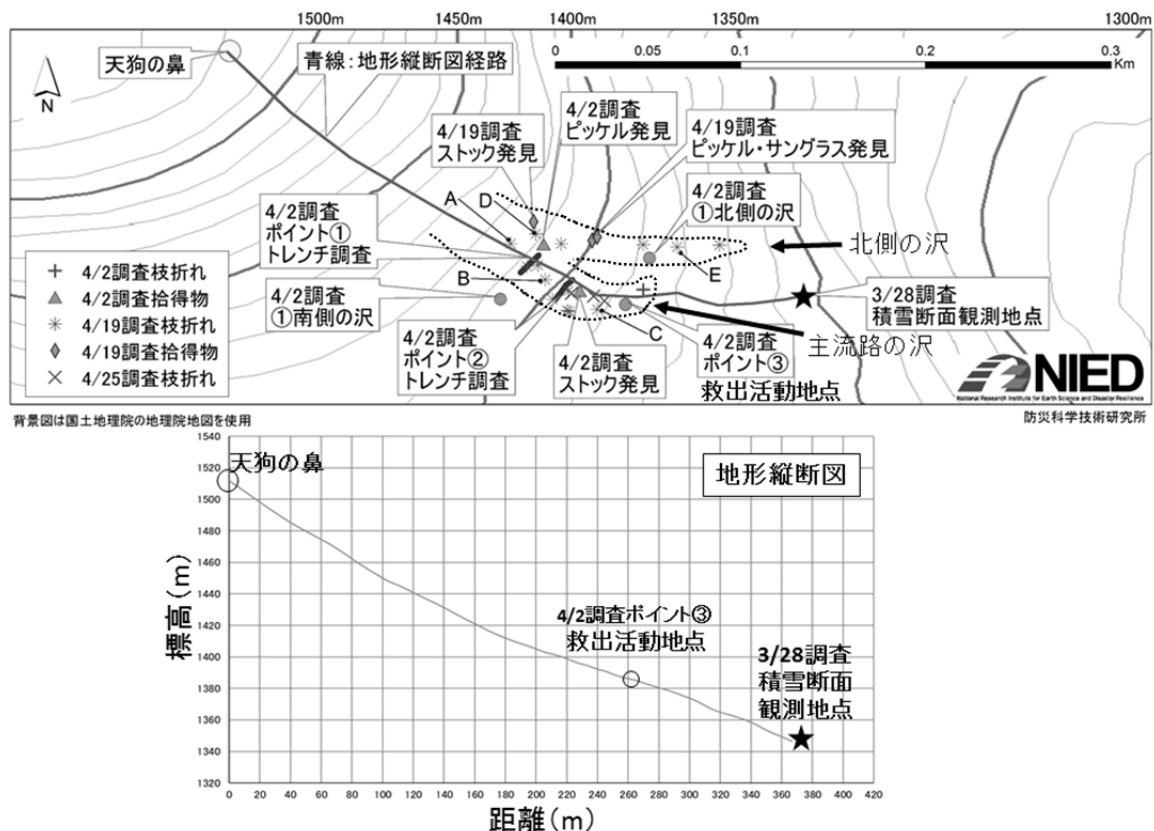


図-22 雪崩痕跡とその地形縦断面図（点線はおおよその雪崩到達範囲，A～E は図-17～図 20 に示した枝折れが認められた樹木の位置）
（国土地理院基盤地図情報 5m メッシュ標高より）

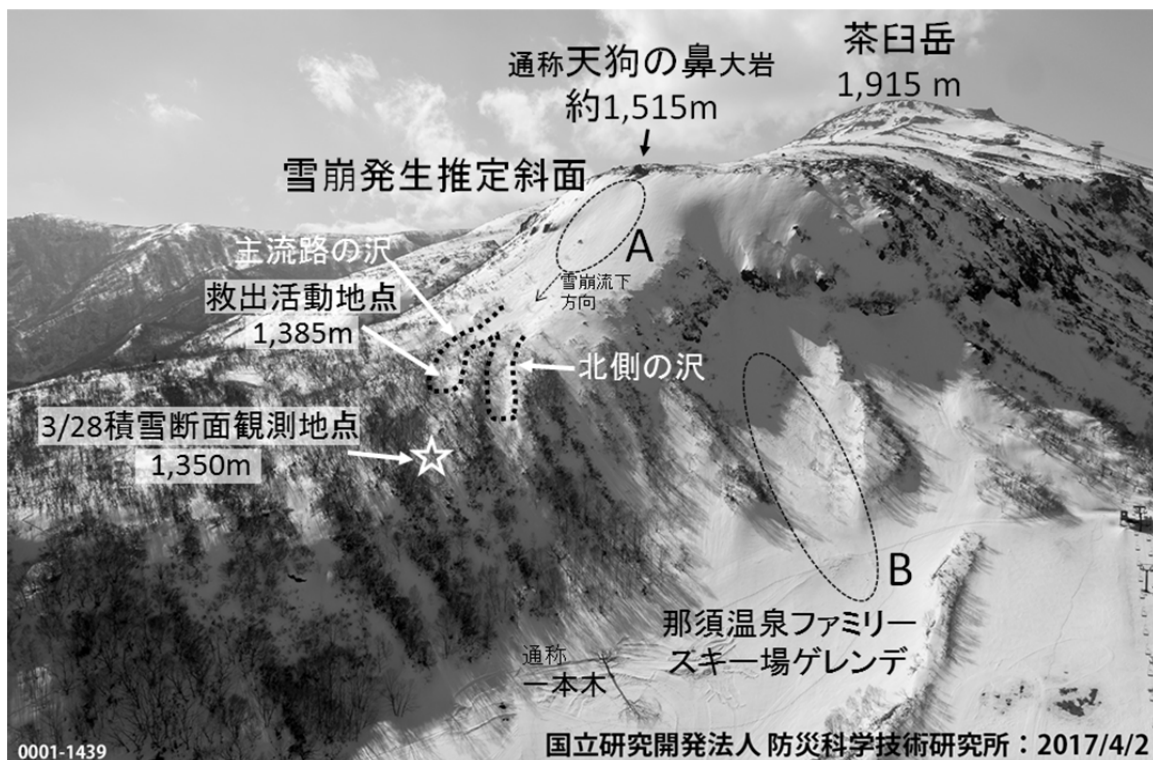


図-23 那須岳雪崩発生地全景（図-2 に点線で示したおおよその雪崩到達範囲を記入）

3.4 聞き取り調査

那須山周辺の雪崩発生状況に詳しく、事故当日に救助活動を行った那須山岳救助隊副隊長に聞き取り調査を行った。また、当日雪崩に遭遇した一部の生徒への聞き取り調査も2017年10月から開始しているが、現時点ではまだ不十分であるので、今後も継続して調査を実施し、結果がまとまった段階で公表する予定である。

3.4.1 那須山岳救助隊副隊長に対する聞き取り調査

1) 実施日

那須山岳救助隊副隊長への聞き取り調査を2017年7月8日と2018年2月10日の2回実施した。

2) 聞き取り結果

2017年3月27日の救助活動の状況について聞き取りを実施した。当日の救助活動の状況を以下の3つのフェーズ及びその他の事項に分けて整理した。

【第1フェーズ：那須町の自宅から那須温泉ファミリースキー場のヒュッテまで】

9:40頃 那須山岳遭難防止対策協議会（以下遭対協）メンバーから「スキー場で雪崩があり2〜3名が巻き込まれた」という電話があった。すぐに遭対協の連絡網に従い電話で連絡を回した。2〜3分後、那須山岳救助隊隊長から電話があり、出動要請があった。

10:00前頃 10分くらいで支度をして、自分の四輪駆動車に乗って自宅を出た。自宅付近でも雪が降って真っ白になっていた。標高が高くなるほど雪が多くなっていた。

10:30〜35頃 スキー場下の鉄の階段がある県道脇の駐車場に車を止めた。スキー場は営業期間を終了し除雪されていないので、何度も前後に車を動かし駐車スペースを確保した。この時は、山に向かって右側のスキー場内の斜面（時々雪崩が到達する場所）まで雪崩が到達して、スキー愛好家がゲレンデで数名巻き込まれた程度だと思っていた。高校生が巻き込まれたとは思っていなかった。そこに高校生や引率の先生が50名程度もいることは知らなかった。

【第2フェーズ：スキー場ヒュッテから救出活動地点到達まで】

10:30〜35頃 すでにヒュッテに隊長がいた。遭難場所は、ゲレンデではなくて、ゲレンデ内の一本木付近（図-2及び図-23参照）からゲレンデ外の斜面を上がった所のことだった。救助隊員として、ヒュッテには、自分と同じ役割のもう一人の那須山岳救助隊副隊長がいた。その他に、警察の方が5〜6名程度、消防の方が5〜6名程度いた。吹雪で、膝くらいまでの新雪があるから、スキー場の圧雪車でゲレンデ内を圧雪してもらい、その後を歩くようにした。圧雪車を動かすまで5〜10分位かかった。那須山岳救助隊は2名、警察の方3名程度、消防の方2〜3名程度とともに、現場に出動した。警察と消防の方はやや遅れ気味であった。吹雪でやや視界が悪かった。隊長は本部の役割としてヒュッテに残った。なお、毎年遭対協として、山岳救助隊、警察、消防の訓練を実施しており、2017年は3月2日に実施したばかりであった。遭難の対応の場合は、事前の取り決めにより3者で動くことにしている。また、連絡手段として、無線（と携帯電話）を持参した。この時点で遭難場所がはっきり分からないので、本部の隊長と無線で随時連絡を取りながら行動した。足の速い我々山岳救助隊が先頭で、次に消防の方、その後警察の方の順に進んだ。警察の方は遅れていたから、話をしても吹雪で聞こえないくらいだった。高校生達のトレースは吹雪で消えていたようだった。遭難のポイントは分からなかったが、一本木を目指してまっすぐに行くように本部の隊長から指示をうけていた。ただ隊長もこの時点では遭難場所ははっきり分かっておらず、無線で、右や左に行くようにと指示を受けた。ゲレンデ外の斜面を登り始めて、笛を吹き、声を出したが、何の反応もなかった。遭難していると思われる沢を大声で呼びかけながら登っていくと、

吹雪中でぼやっと人が手を振っているのが見えた。これを見て遭難はこの沢の上で起こったことで間違いないと確信した。

【第3フェーズ：救出活動地点での救出活動から終了まで】

11:45頃以降 救出活動地点に到着すると、雪に半分埋まっている3名くらいの人が見えた。また、さらに上の斜面に放心状態で座っている人が3~4名程度見えた。おそらく雪の中から這い出したか、仲間や先生に救助され、木を背中にして斜面の下を向き座っているような状態であった。遭難して助かった先生や高校生達の中で、スコップを持っている人はスコップを使って自分達でできる範囲の救出のための雪の掘り出しをやっていたようだった。雪は硬くなく、固まったブロック状ではなく、サラサラであった。したがってスコップで掘りやすい雪ではあった。斜面の上方を見て右上の15~20mほど離れた救出地点の沢と2班が流された北側の沢の間の尾根状の地点に7,8名の人が避難しているのが見えた。最初に、体が半分出ていた3名を掘り出した。唇が真っ白で心肺停止の状態のように見えた。その作業をしていたら、3名が埋まっていた場所の少し上側の雪の中から「うー」とか「おー」という、うめき声が聞こえた。斜面の上方に向かって左側に頭があり、右側に足があるような埋まり方であった。その人を掘り出したら、唇に血の気があった。声をかけたが無反応であった。苦し紛れに声を出していたような感じであった。まずは、この人を優先的に下山させようという方針を決定した。手袋が脱げていたが、手を握った状態で力が入っており、手袋が入りづらかった。眠らないように声をかけたり、ほっぺたをたたいたりしながら、ブルーシートに包んで下山させる準備作業をした。作業しているうちに、他の救助隊員も到着した。山岳救助隊、消防、警察の3者で協力して、この生存者を一番目に下山させた。引き続き付近を掘ると、それまで見つかった4名も含めて10m四方前後くらいのエリアで埋まっている人が次々と見つかった。その付近は、雪がたまりやすいところだったように感じる。頭が斜面の上方や下方、右向きや左向きにのようにはばばらの方向を向いて埋まっており、だいたい1~2m弱くらいの深さに埋まっていたように思う。血の気があったのは、うめき声があった人一人だけであった。残りの8名は血の気はなかった。引率の先生だと思われる方に何度もこれで全員なのか確認した。次に、自力で下山することができない重傷者を下山させることにした。ブルーシートで重傷者を包んでロープを使って4点確保で下山させた。包んでいるときに、足や胸が痛いなどと言っていたのを聞いている。重傷者が先生なのか生徒なのか分からなかった。4番目の重傷者を包んで、私（聞き取り調査をした山岳救助隊副隊長）がこの重傷者を搬送しながら下山したのは、14時前くらいだった。この時にはすでにヒュッテ1階に医者に来ており、重傷者を引き渡した。私（副隊長）が下山後も何人かをこの方法で下山させていた。怪我をした人のうち、最後の人が下山したのは、15時頃だった。ゲレンデまではブルーシートを引っ張り、ゲレンデ内は、スノーボードに乘坐代えて、スノーモービルで引っ張って搬送した。そのうち、自衛隊の方なども到着した。掘り起こしの救出活動は終了していたため、その後の8名の搬送などは自衛隊の方などに任せようということになった。8名の搬送完了は17時過ぎだった。遭対協のヒュッテでの活動が終わって解散となったのは17時20分頃だった。帰りは、車のパワーウインドが凍っていたくらい寒かった。

【その他の事項】

- ・雪崩遭難発生個所は雪崩の発生しやすい危険斜面であり、周辺にも数か所の雪崩発生、事故の記録がある。
- ・これらの記録を整理して今後の事故防止に役立てるのがよいと考える。
- ・雪崩発生が8時30分頃であるから、助かった一人は、3時間以上雪の中にいて、よく無事だったと感じる。

- ・救助活動を行っていた時は、視界があまり無かったが、天狗の鼻大岩が見えていたかどうかは分からない。
- ・一本木は、昔、この木の付近まで流れてきた雪崩で一人が亡くなったこと忘れないという目的で、伐採しないでゲレンデ内に残している。

3.4.2 聞き取り調査から整理した救出活動時の位置関係

第3フェーズ救出活動に関わる聞き取りから、2017年3月27日の救出活動時における救出活動地点付近の位置関係を図-24～図-26に整理した。

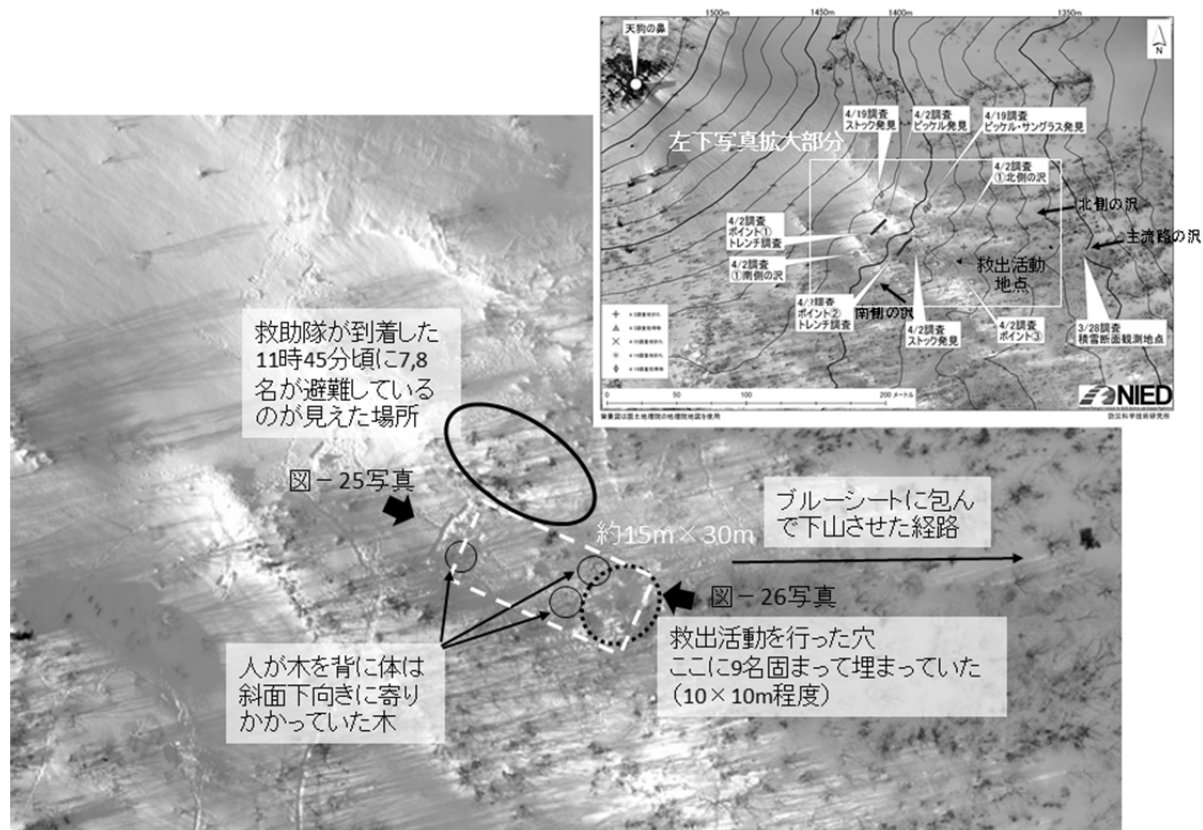


図-24 那須山岳救助隊副隊長への聞き取り調査から作成した救出活動地点付近の位置関係
(ベースの空中写真は2017年4月2日に無人航空機にて防災科研が撮影)



図-25 那須山岳救助隊副隊長への聞き取り調査から作成した救出活動地点付近の斜面上方から見た位置関係 (ベースの写真は2017年4月2日に防災科研が撮影)



図-26 那須山岳救助隊副隊長への聞き取り調査から作成した救出活動地点付近の斜面下方から見た位置関係 (ベースの写真は2017年4月2日に防災科研が撮影)

3.5 まとめと今後の課題

3.5.1 まとめ

2017年3月27日8時30分頃(推定時刻)、栃木県那須郡那須町的那須岳で雪崩が発生した。当該山岳地にて春山登山研修中の高校生と教員が雪崩に巻き込まれ、死亡8名、重症2名、中等症・軽症38名の被害となった。

現地の雪崩跡および積雪が時間経過とともに変質する前に現地調査を行い雪崩の状況を明らかにすることを目的として、3月28日午後に、雪崩が流下して事故があったとされる沢をスキー場のゲレンデから登り、遭難地点近くの標高1,350m、傾斜角35度の東向き斜面で積雪断面観測を実施した。その結果、積雪表面から22~25cm下の新雪・こしまり雪層中に雲粒の付着の少ない板状等の降雪結晶の弱層が検出された。弱層の密度は50kg/m³前後、硬度は1.0kPa前後(最低0.8kPa)であった。地上天気図や近隣の那須高原アメダス等の気象観測データを用いて、積雪断面観測結果を考察した。その結果、この弱層は、本州の南岸を北東に進む低気圧に伴う3月26日~27日の降雪中に、降ってくる結晶の形状が雲粒の付着の少ない比較的大型の板状結晶により形成されたと推定された。さらにその後、同じ低気圧からもたらされた比較的短時間に強い降雪が上載積雪となって積雪が不安定になり、表層雪崩が発生したと推定された。

表層雪崩発生後も風雪が続き地吹雪が生じ、28日の現地観測時には破断面などの表層雪崩発生の際の痕跡は分かりづらくなってしまったことが考えられる。破断面等の直接的な積雪上の証拠は無いが、積雪内に雲粒なし板状結晶の弱層が存在し、積雪内に弱層を伴い非常に不安定な状態になっていたと推定され、3月27日8時30分頃に発生した雪崩は、面発生乾雪表層雪崩である可能性が高いと判断される。

2017年4月2日、13日、19日、25日にも現地で積雪調査(積雪深、積雪断面観測)、雪崩の痕跡調査、無人航空機による空撮等を行った。また、当日現地で救助を行った那須山岳救助隊副隊長への聞き取り調査を2017年7月8日と2018年2月10日の2回実施した。その結果、表層雪崩は樹林帯よりも上部のオープンな斜面に位置する通称「天狗の鼻」大岩(標高約1,515m)の下の斜面(傾斜角30~38度)で発生し、少なくとも樹林帯に位置する2つの沢に流下したことが推定された。また、雪崩の堆積区では、ブロック状の塊ではなくサラサラの粒子状のデブリとして、少なくとも厚さ1~2m程度は雪崩の雪が堆積したと推定された。

図-2に示した斜面Bでは、自然発生と考えられる表層雪崩のデブリや流下の後が確認できた。積雪断面観測結果とこの斜面Bの自然発生の表層雪崩の痕跡から、2017年3月27日の那須岳付近の積雪は不安定な状態にあったと判断される。これらの状況から、平成29年3月27日那須雪崩事故検証委員会報告書(2017)に示されているように、現時点では、3月27日に大きな被害を生じた図-2の斜面Aの表層雪崩は、不安定な積雪の斜面から自然発生した可能性と、不安定な積雪の斜面に人が入り込んだために発生した可能性の両方があると考えられる。

平成29年3月27日那須雪崩事故検証委員会報告書(2017)の各班の行動の調査結果と本報告の調査結果を合わせて考察すると、主流路の沢では、天狗の鼻大岩の下の斜面を登坂していた1班のメンバー、北側の沢では2班のメンバーが雪崩に巻き込まれたものと推定された。一方、1~4班の被災位置や被災状況については、さらに検討が必要であると判断された。

3.5.2 課題と今後の予定

現地調査、聞き取り調査等で雪崩の概要が明らかになってきたが、雪崩発生区の間所と発生直後の雪崩の流路、そして被災位置や雪崩発生のトリガーの詳細は未だ課題である。そのため、雪崩発生時の状況の確認については、現在も調査を継続中である。

本調査を進める中で、これらの課題を明らかにするには、雪崩の特徴と現地の特徴を理解する者が、直接雪崩に遭遇した方へ聞き取りを行う調査が不可欠と判断するようになった。そのため、2017年度途中から一部の聞き取り調査を開始している。2018年度に進める予定のさらなる聞き取り調査の結果と本報告書で明らかになった現地調査結果から、雪崩発生区の間所と発生直後の雪崩の流路、そして雪崩発生の詳細について慎重に検討し、公表する予定である。

謝辞

聞き取り調査を行わせていただいた那須山岳救助隊副隊長ならびに事故遭遇者の方には貴重な証言を頂いた。また、平成29年3月27日那須雪崩事故検証委員会の戸田芳雄委員長や委員の

皆様，及び栃木県教育委員会には，栃木県の気象及び積雪観測データなど関係資料の収集でご配慮を頂いた．また，ほかの多くの皆様にも調査にご協力いただいた．ここに感謝申し上げます．

引用文献

- 1) McClung D. and Schaerer P., 2006 : The avalanche handbook 3rd ed., The Mountaineers Books, Seattle, WA. 271pp.
- 2) 竹内政夫・石本敬志・野原他喜男・福沢義文，1986：降雪時の高い地吹雪の発生臨界風速，昭和 61 年度日本雪氷学会全国大会予稿集，pp.256.
- 3) 宇都宮气象台，2017：平成 29 年 3 月 26 日から 27 日にかけての大雪に関する栃木県気象速報，http://www.jma-net.go.jp/utsunomiya/img/20170327sokuhou_ooyuki.pdf（最終閲覧日 2018 年 3 月 11 日）．
- 4) 平成 29 年 3 月 27 日那須雪崩事故検証委員会，2017：平成 29 年 3 月 27 日那須雪崩事故検証委員会報告書，http://www.pref.tochigi.lg.jp/m01/documents/20171015_houkokusyo.zip（最終閲覧日 2018 年 3 月 11 日）．