

# 富士山周辺で発生するスラッシュ雪崩の 発生予測手法の検討

中川 達也<sup>1</sup>・荒木 孝宏<sup>2</sup>・小川 紀一朗<sup>3</sup>

<sup>1</sup>富士砂防事務所 調査・品質確保課（〒418-0004 富士宮市三園平1100）

<sup>2</sup>富士砂防事務所 調査・品質確保課（〒418-0004 富士宮市三園平1100）

<sup>3</sup>アジア航測株式会社（〒215-0004 川崎市麻生区万福寺1-2-2）

富士山で発生するスラッシュ雪崩は、洪水や土石流災害の契機となる現象の一つである。本検討は、当該地域の土砂災害防止のため、スラッシュ雪崩の発生を予測し、防災情報を提供することで、地元住民等の安全・安心の向上を図ることを目的に実施した。今回の調査から、スラッシュ雪崩の発生は気象条件に深く関係し、高層の気象状況に特徴があることがわかった。また、現地調査や映像解析により、スラッシュ雪崩の実態について把握した。これらの結果をもとに、スラッシュ雪崩発生予測手法について検討をおこない、気象条件から予測のための判断指標を定めることの見通しをたてた。

キーワード スラッシュ雪崩、気象特性、発生予測、現地調査、映像解析、PIV解析

## 1. はじめに

富士山では、古くからスラッシュ雪崩とよばれる現象がたびたび確認されている。スラッシュ雪崩は、富士山周辺に洪水や土石流災害を引き起こす現象の一つであり、平成19年にも発生が確認された。そのため、地元住民等の安心・安全の向上のために、スラッシュ雪崩の発生を予測し、防災情報を提供することは、大変有効であると考えられる。また、スラッシュ雪崩に関して、その現象が調査された事例は少なく、その実態は、未解明な部分が多い。

そこで、スラッシュ雪崩発生の予測を検討目的に、過



写真-1 3月25日発生したスラッシュ雪崩

去のスラッシュ雪崩の発生と当時の気象状況等との関係について整理し、発生の特徴を把握した。また、スラッシュ雪崩発生時の危険箇所について特徴を整理することを目的に、平成19年3月25日に発生したスラッシュ雪崩を対象として、広範囲に流下痕跡調査を実施し、その特徴について整理した。また、大沢川流域に設置されたCCTVのうち、大沢源頭部調査工事現場（標高：2,095m）CCTVで、わが国で初めて、スラッシュ雪崩を映像として捉えることができた（写真-1）ことにより、スラッシュ雪崩の流速や流下状況等を把握した。これらの調査・解析結果を踏まえて、気象状況の整理から防災情報を公表するための方策について検討を行った。今回は、調査結果と予測・公表するための検討内容について報告する。

## 2. スラッシュ雪崩とは

スラッシュ雪崩とは、大量の水を含んだ雪が流動する雪崩として定義されている<sup>1)</sup>。富士山では、融雪時期にしばしば発生する現象である。急激な温度上昇による融雪や降雨により積雪層内に多量の水が供給される一方、地盤凍結による難透水層の存在により、供給された水が積雪層内に貯留し、この貯流水が斜面の積雪を不安定化させて、スラッシュ雪崩を引き起こすとされている<sup>2)</sup>。

### 3. 調査・解析概要

#### (1) 現地調査・映像解析の対象

平成19年3月25日に発生したスラッシュ雪崩の調査対象は、富士山山麓の南西野溪を中心とした地域（図-1）であり、現地調査は29沢（7溪流）で実施した。また、映像解析では、大沢源頭部調査工事現場のCCTVが捉えたスラッシュ雪崩の全映像（第1波～第6波）を対象としたが、そのうち、規模の大きかった第1波（AM.8:01頃）、及び第2波（AM.8:46頃）を中心に行った。

#### (2) 調査・解析方法

##### a) 気象情報、発生条件の整理

平成19年3月25日のスラッシュ雪崩発生当時の気象・水文条件及び、過去の主なスラッシュ雪崩の発生事例も含めて、その特徴を整理した。気象条件は、スラッシュ雪崩の発生域である御中道観測所（標高2,350m）等のデータを用いた。

##### b) 現地調査

スラッシュ雪崩等の雪氷に関わる現地調査による痕跡調査は、時間が経過すると雪氷そのものの痕跡が残らないため技術を要する。また、富士山の地形的な特徴から現地位置確認が非常に困難である。このことから、本調査では、以下の点に着目し、標高1,500～2,000mを中心

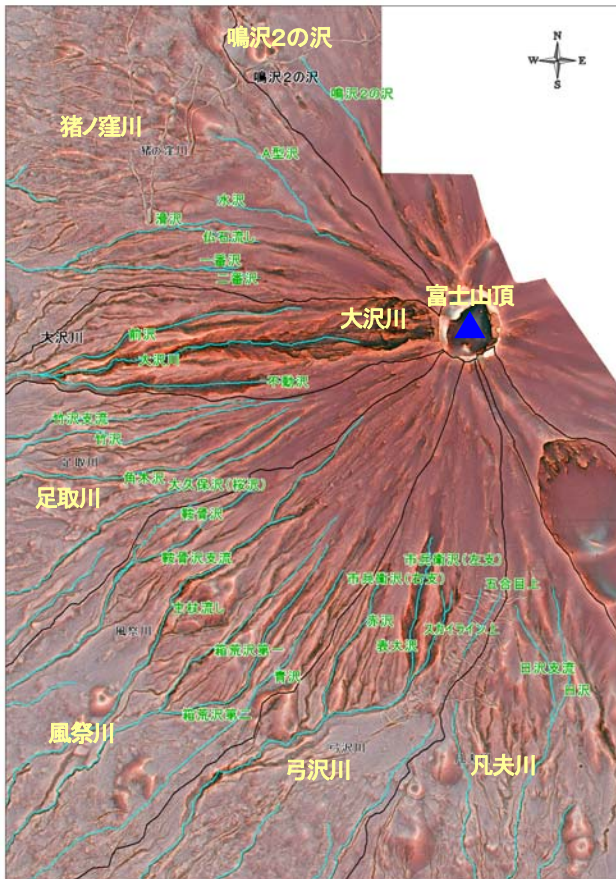


図-1 調査対象範囲

に痕跡調査を実施した。

- ① 事前に、3月25日のスラッシュ雪崩発生直後のヘリコプターによる調査、空中写真判読をもとにスラッシュ雪崩の流下範囲（発生、流下、堆積）を確認。
- ② GPS、赤色立体地図を用いて、極力正確な位置を把握。
- ③ スラッシュ雪崩が発生・流下・堆積したことによる周辺植生への影響に注目し、倒木、枝折れ、樹幹のキズ、草本の乱れ、植生の生育状況の違い等からスラッシュ雪崩の流下範囲（発生、流下、堆積）を確認。
- ④ スラッシュ雪崩の流下・堆積のメカニズムに着目し、特徴的な堆積形態（スコリア等の礫が、普通堆積しにくい根曲がりした樹幹や巨礫上等に堆積するなど）により、スラッシュ雪崩の流下・堆積範囲を確認。

なお、スラッシュ雪崩は、発生域では表層雪崩に近い状態から、下流域ではほぼ泥水の状態で流下するが、どの状態までをスラッシュ雪崩とするか、明確な基準が無い。このことから、本調査では、流動体に十分な積雪が含まれていると想定される状態をスラッシュ雪崩と仮定し、到達範囲を整理した。また、過去の主なスラッシュ雪崩についても既往文献等に基づき、発生域を整理した。

##### c) 映像解析

撮影された映像データに対して、画像解析により、定量的な解析を実施した。とくに、流速についてはPIV（Particle Image Velocimetry）解析（粒子画像流速測定法）を含めて、複数の手法を用いることにより、精度向上に努めた。

### 4. 調査・解析結果

#### (1) 調査結果

##### a) 気象情報、発生条件の整理

平成19年3月25日のスラッシュ雪崩発生時の700hPa高

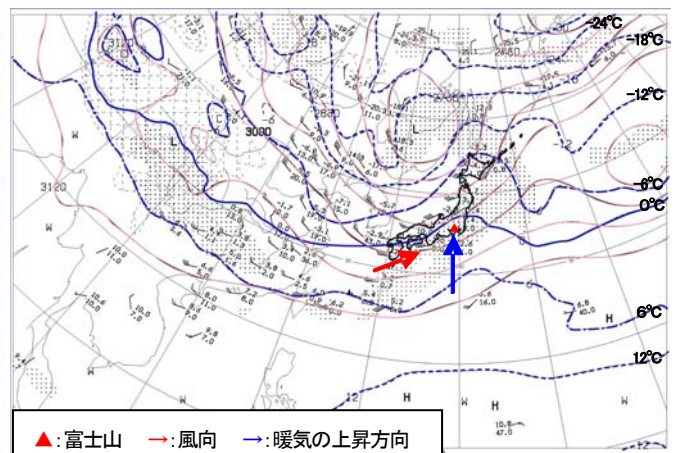


図-2 700hPa高層天気図

層天気図（標高3,000m付近の気象状況を示す）の様子を図-2、気象・水文状況について図-3に整理した。また、平成19年3月25日を含めた、過去の主なスラッシュ雪崩発生事例（23事例、700hPa高層天気図については4事例）の気象条件について表-1に整理した。

b) 現地調査

平成19年3月25日に発生したスラッシュ雪崩の発生・

到達範囲等について表-2に整理した。また、過去の主なスラッシュ雪崩の発生域も含めて図-4に整理した。7溪流20沢でスラッシュ雪崩が発生していたことが確認できた。

c) 映像解析

スラッシュ雪崩の速度解析を実施した。PIV解析では、スラッシュ雪崩発生にともなう先端部の雪の巻揚げやそ

表-1 過去の23事例から推定したスラッシュ雪崩発生時の気象条件

気象値	気象特性	気象値	気象特性
発生時期	融雪期における発生事例が多いものの、初冬や厳冬期における発生も見られる。このことは、スラッシュ雪崩が、凍土層の形成や積雪層内における水分貯留に起因するためであると考えられる。	気温	【地上観測】 発生当日の気温から前日の気温を差し引いた値をみると、9割弱の事例で温度上昇の傾向がみられることから、気温の上昇は、スラッシュ雪崩発生誘因と考えられる。また、気温の上昇が見られない事例においても、平均気温がマイナスである事例は1事例のみであり、気温の高い(融雪する)状態がスラッシュ雪崩の発生に関係するものと考えられる。 【高層天気図】 700hPa高層天気図：富士山付近に0°Cの等温線が到達する。 850hPa高層天気図：富士山付近に6°Cの等温線が到達する。
気圧配置	【地上天気図】 寒冷前線の通過により、スラッシュ雪崩が発生している事例が多く、降雨、気温の上昇を伴っている。 【高層天気図】 等温線が日本列島の中心付近、及びその東側で上昇していること、西から東に移動する日本海に中心のある狭い同心円状の等高線の下側に富士山があることが特徴的である。	風向	【地上観測】 南寄り(南東～南西)の風が卓越しているものの、それ以外の風向も見られる。 【高層天気図】 南西～西からの強風が吹く。
降雨量	【地上観測】 20事例の内、14事例がスラッシュ雪崩発生当日にまとまった降雨があり、降雨は、スラッシュ雪崩発生誘因と考えられる。なお、雪崩発生当日の降雨量は、一連続雨量でみると75mm～388mmの範囲である。 【高層天気図】 湿潤域が富士山付近にかかる	風速	スラッシュ雪崩発生日の風速は、15m/sを越す強風が多く発生事例でみられる。しかし、時系列的にみると、発生前日も当日と同様に強風となっている場合が多く、その他の誘因も加わり、スラッシュ雪崩が発生したものと考えられる。なお、強風により、雪底や吹きだまりの形成を助長していることは考えられる。
地温	地温データのあるスラッシュ雪崩発生事例が少ないため、地温とスラッシュ雪崩発生との関係は、現状では明確ではない。なお、地温データの揃っている2007年3月5日と3月25日とをみると、地温はスラッシュ雪崩発生前後より低い値を示している。		

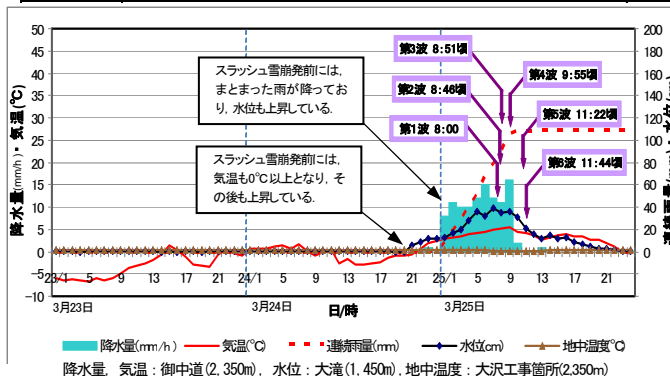


図-3 平成19年3月25日のスラッシュ雪崩発生時の気象・水文状況

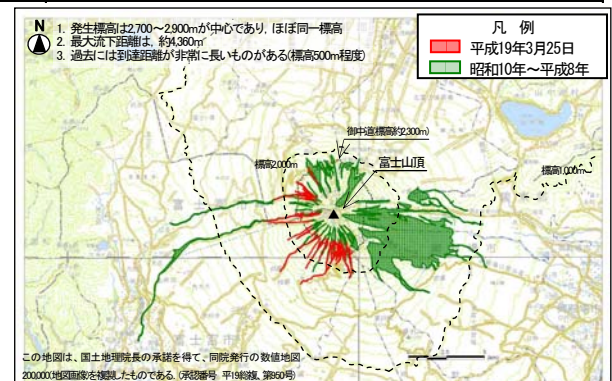


図-4 現地調査、既往文献等による発生域図

表-2 平成19年3月25日のスラッシュ雪崩の発生・達成範囲

溪流名	沢名等	発生標高(m)	到達標高(m)	比高(m)	流下距離(m)	見通し角(°)	発生勾配(°)	停止勾配(°)
凡夫川	日沢	2,900	1,850	1,050	2,500	23	30	18
	日沢支流	2,980	1,960	1,020	1,970	27	30	16
	五号目上(立堀沢)	2,920	2,110	810	1,730	25	33	22
弓沢川	(スカイライン)	2,660	2,210	450	920	26	31	26
	市兵衛沢(左支)	2,860	1,510	1,350	4,360	17	31	13
	市兵衛沢(右支)	2,900	1,510	1,390	4,220	18	34	13
	表大沢	2,840	1,830	1,010	2,100	26	34	13
	赤沢	2,900	2,060	840	1,520	29	32	19
風祭川	青沢	2,880	1,740	1,140	2,480	25	34	17
	箱荒沢第二	2,770	1,900	870	2,180	22	33	24
	主杖流し	2,900	1,380	1,520	3,930	21	35	7
足取川	大久保沢(桜沢, 左支)	2,700	2,110	590	1,110	28	27	18
	大久保沢(桜沢, 右支)	2,830	1,870	960	1,950	26	26	15
大沢川	不動沢	2,870	1,470	1,400	3,200	24	30	6
	大沢川	3,140	1,470	1,670	3,830	24	34	6
猪ノ窪川	仏石流し	3,050	2,410	640	1,150	29	25	22
	滑沢	2,880	1,750	1,130	2,750	22	32	18
	名無し沢	3,010	2,300	710	1,530	25	25	10
	A型沢	2,810	2,300	510	1,370	20	20	15
鳴沢2の沢	鳴沢2の沢	2,760	2,230	530	1,420	20	26	15

表-3 PIV解析によるスラッシュ雪崩の流速

	時刻 継続時間	先頭部 最大 最小	備考
第1波	8:01:01 98秒	12.9m/s 39.0m/s 0.2m/s	23.5m/s以下の速度 が全体の約90% 約70%が3~24m/s
第2波	8:46:33 50秒	14m/s 34.1m/s 4.3m/s	平均速度を中心とした 約80%が6~20m/s 約97%が4~25m/s

れに続く雪・土石等の混合流などの動きを可視化トレーサとして計測した。解析結果（第1波、第2波）について表-3に示す。

また、画像解析による方法では、CCTV映像のコマごとの映像を画像として出力し、各コマにおける同一流下物の位置を同定し、その距離を計測することにより、スラッシュ雪崩の流下速度を計測した。図-5に解析結果（PIV解析結果含む）を示す。

## (2) 考察

### a) スラッシュ雪崩発生予測の検討

気象情報、発生条件の整理から、以下の気象条件の場合に発生する傾向があることがわかった。

- ・積雪(凍土層)がある。(11月~6月頃)
- ・寒冷前線の通過
- ・気象上昇
- ・激しい降雨
- ・富士山山頂付近の気温が0℃以上

以上から、スラッシュ雪崩の発生は、気象条件に深く関わっていることがわかり、気象条件から発生予測が可能であるということが考えられる。

### b) スラッシュ雪崩発生時の危険箇所の検討

現地調査の結果から、発生標高 2,700~2,900m、到達標高 1400~2,000m 程度と高標高である。発生地点の勾配は 30° 以上が多く、到達地点から発生地点を見通した仰角(見通し角)は 17~29° の範囲にあった。また、過去には到達距離が非常に長くなるものも確認されている。このことから、スラッシュ雪崩の発生が予測される場合には、山林の中に入ることや、下流域においても溪流に近づくことは危険であることが考えられる。

さらに、映像解析から、スラッシュ雪崩先頭部の速度は約25m/s(90km/h)となり、発生標高から到達標高までの到達時間が短いことが推測され、発生前に十分な対策を講じる必要があると考えられる。

## 5. 気象台との連携

スラッシュ雪崩に対して、地元住民等の安全・安心の

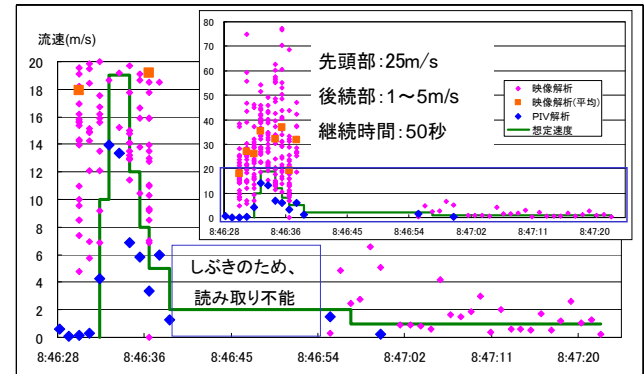
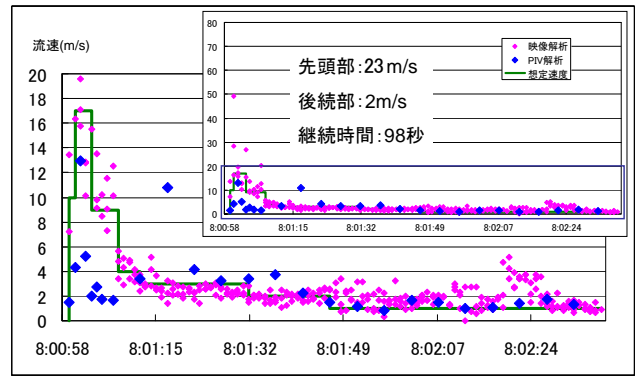


図-5 想定流下速度（第1波：上と第2波：下）

向上のため、防災情報を提供することを目的に、静岡地方気象台、甲府地方気象台と合同勉強会を実施した。4 (2) 考察の内容をもとに、情報共有を図り、公表の方法について検討をおこなった。

勉強会では、スラッシュ雪崩に関する防災情報提供向け、情報を共有し、地域の安全に資することで考えが一致した。また、気象条件の整理を進めることで、予測のための判断指標の具体化が期待できることが示唆された。さらに、気象台にスラッシュ雪崩発生に関する気象情報がリアルタイムで伝えられれば、気象情報の補完情報として取り入れることも検討できることが示された。

## 6. まとめ

本調査により、スラッシュ雪崩の発生について、気象情報からその予測の可能性が示唆された。また、スラッシュ雪崩に関する運動形態や発生範囲を把握し、スラッシュ雪崩発生時の危険箇所を推定することができた。

今後、気象台とさらなる連携を図り、スラッシュ雪崩発生予測の判断指標の具体化、公表の内容や表現方法について検討を進め、精度の高い防災情報を提供し、地域住民等の安全・安心の向上を図りたい。

## 参考文献

- 1) 雪崩の分類（日本雪氷学会「積雪・雪崩分類」（1998）
- 2) 安間 荘：富士山で発生するラハールとスラッシュラハール、富士火山、山梨県環境科学研究所，pp.285-301，2007