

大規模噴火を想定した場合の緊急調査手法の考え方

(一財) 砂防・地すべり技術センター ○藤井直也 藤沢康弘 福池孝記 河野元
国土交通省 九州地方整備局 九州技術事務所 矢野敦久 井上遙

1. はじめに

火山噴火に起因して重大な土砂災害（降灰後の土石流）が急迫している状況において、土砂災害が想定される土地の区域及び時期を明らかにするため、国土交通省は土砂災害防止法に基づく緊急調査を実施する必要がある。緊急調査の実施要件としては、河川の勾配が10度以上である区域の概ね5割以上に1cm以上の降灰等が堆積している溪流かつ、概ね10戸以上の人家に被害が想定される場合とされ、主に火山山麓への降灰を想定した内容となっている。

一方、近年では内閣府の中央防災会議において、「大規模噴火時の広域降灰対策検討WG」等が開催され、富士山の宝永噴火をモデルケースとして大規模噴火時の広域降灰を想定した対策検討を行い、令和7年3月には「首都圏における広域降灰対策ガイドライン」が策定された。本ガイドラインでは、富士山の大規模噴火による降灰の影響が首都圏等（火山災害警戒地域外の遠隔地域）に及ぶ場合の降灰対策を想定して取りまとめられており、降灰厚の違いによる住民等の基本的な行動についても記載がされている。なお、大規模噴火時に想定される被害の一つとして「降灰後の土石流」についても記載がある。

大規模噴火時の降灰後の土石流に対して、迅速で効果的な対策や避難支援を行うためにも、広域に降灰が及んだ場合の緊急調査に関して、どのような問題や課題があるのかを把握することが重要となる。河野ら（2024）は、大規模噴火時における火山からの距離や降灰厚に着目し、全国の火山での噴火活動履歴から広域降灰実績図を作成した。また、降灰厚の違いによる緊急度や防災対応行動の違いから優先度を検討し、火山山麓の地域と火山遠方の地域で異なる調査手法の検討が重要としている。

本発表では、気象庁の噴火警戒レベル等の資料を参考に地域性を踏まえて、一般的に大規模噴火と言われるプリニー式噴火の実績等がある5火山（樽前山、北海道駒ヶ岳、十和田、浅間山、阿蘇山）を選定し、大規模噴火時に想定される降灰範囲や分布の特徴を把握することを目的に降灰シミュレーションを実施した。また、その結果を基に広域に降灰が及んだ場合の緊急調査の考え方、実施優先度及び調査手法の組合せについて検討したので報告する。

2. 大規模噴火に伴う降灰範囲の検討

2.1 広域降灰分布図の作成

火山噴火による降灰は噴火規模や気象条件によって、その範囲や降灰厚が大きく異なる。樽前山、北海道駒

ヶ岳、十和田、浅間山、阿蘇山について、移流拡散モデルである Tephra2 による降灰シミュレーションを実施した。

対象規模は、大規模噴火に相当する VEI4 とし、感度分析的な検討のため、1億 m^3 、5億 m^3 、10億 m^3 の3ケースで実施した。なお、樽前山1739年噴火の噴出総量は40億 m^3 であるが、複数のフォールユニットから推定される1回の噴火による噴出量は約4.3億 m^3 、阿蘇山30ka噴火の場合は、噴出総量約23.9億 m^3 に対し、1回の噴火による噴出量は約4億 m^3 である。

2.2 大規模噴火時の降灰分布の特徴

降灰シミュレーションの結果より、大規模噴火時の降灰分布の特徴を整理した。降灰分布の特徴として、噴火規模が大きくなるにつれ、降灰の到達範囲の拡大とともに山麓付近の降灰厚は増加する。例えば、浅間山の事例（図1）では、降灰厚1cm以上となる降灰範囲が噴出量1億 m^3 では約75kmに対し、噴出量10億 m^3 では約200km以遠まで拡大し、降灰厚10cm以上の範囲は約50kmにも及ぶ。

また、夏季は火口からの降灰軸（東方向）に対して南北に降灰厚が増大し、冬季はより降灰軸方向に降灰厚が増大し、その到達距離も伸びる傾向があり、季節による風向・風速の違いを反映した結果となっている。

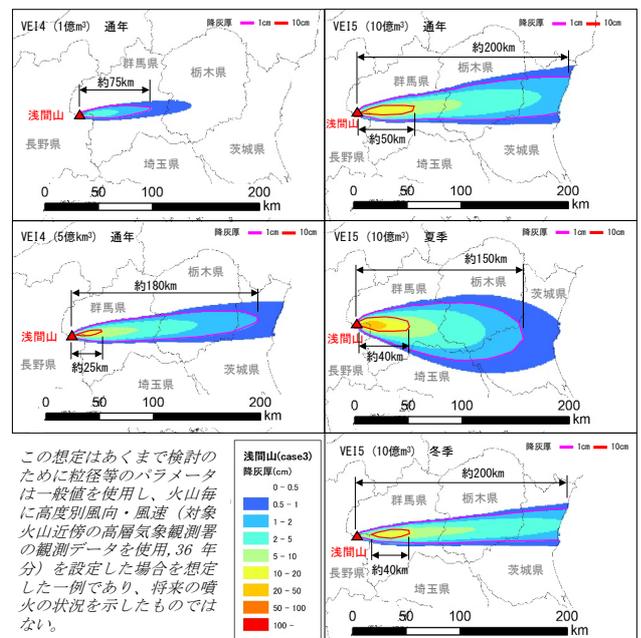


図1 降灰シミュレーションの一事例（浅間山）

3. 大規模噴火時の緊急調査の考え方

3.1 降灰厚からみた調査範囲と実施優先度

大規模噴火による降灰は、火山山麓のみに降灰する小規模噴火と比べて遠方まで降灰が及ぶことから、緊急調査の実施要件となる降灰厚 1cm 以上の範囲に含まれる溪流数が膨大となる。

一方、「首都圏における広域降灰対策ガイドライン」では、降灰による被害の様相を便宜的に区分するため、「ステージ 1~4」という名称を用い、降灰厚と避難行動の関係を示している。住民の基本行動は、ステージ 4 (降灰厚 30cm 以上) は原則避難、ステージ 2~3 (降灰厚 3cm 以上 30cm 未満) は自宅での生活継続である。降灰後の土石流については、降灰厚 30cm 未満であっても被害が想定される地域では命の危険があるため、原則避難と記載がある。

ステージ 4 に該当する地域では、降灰後の土石流が発生しやすい状況かつ緊急調査の対象溪流が膨大となることは明白であるが、人命・生活等への影響から原則避難地域であり、緊急調査の実施優先度は低いと考えられる。一方、ステージ 2~3 は、生活継続地域であり、人命・財産を守るために土石流発生の危険性を迅速に示す必要があるため、緊急調査の実施優先度が特に高い地域である。

3.2 降灰厚からみた調査手法の組合せ

降灰厚 10cm 以上の範囲は車両走行不能となるため、現地に立入っての人力による調査が困難だが、航空機や UAV 等による降灰の調査は可能である。また、降灰の厚さを正確に把握するためには、新技術の活用にあたり事前に機器を設置しておくなど、降灰厚の違いによる調査手法や組合せを決めておくことが重要となる。広域降灰時の調査手法の適用範囲と組合せのイメージを図 2 に整理した。

事項	ステージ4 降灰厚30cm以上 被害が比較的大きい	ステージ3 降灰厚3cm~30cmで 被害が比較的小さい	ステージ2 降灰厚3cm~30cmで 被害が比較的小さい	ステージ1 降灰厚1cm以下
調査手法と適用範囲	1m以上	数10cm	1~10数cm	1cm以下
降灰後の土石流の危険性・頻度	比較的長期・高頻度	←	→	比較的短期・低頻度
■衛星SAR	衛星SARによる広域把握 (2週間以上で数km単位で調査可能)	(一度以上の降灰厚の範囲に限られる)		
■ヘリ	ヘリによる火山灰堆積範囲の点的把握 (地形の把握)	(火山灰堆積の影響が小さい地域に限られる)		
■UAV	UAVによる火山灰堆積範囲の点的把握・降灰厚の点情報の取得 (数km単位)	(降灰前にLPデータがある場合に限られる)		
LP計測	調査機材分析により、面と点情報を把握 (数cm~数10cm)	(降灰前に事前設置した場合に限られる) (1cm~3cm程度) ※2		
降灰マーカー		(降灰前に事前設置した場合に限られる) (数cm~数10cm) ※2		
調査ユニット		(降灰前に事前設置した場合に限られる) (数cm~数10cm) ※2		
降灰厚計測デバイス		(降灰後でも計測可能) (2cm程度)		
■地上踏査	降灰厚10cm以上は車両走行不可により困難 (数km) ※3			

※1: 「火山噴火緊急減災対策的緊急対応ガイドライン (別冊) 火山噴火時に立入困難となる区域を調査するための技術手法に関するマニュアル」より
 ※2: 1回の噴火で経過した場合
 ※3: 降雨時の場合は、降灰厚3cmで車両走行不可となる。

図 2 広域降灰時の調査手法の適用範囲と組合せ

3.3 大規模噴火時の緊急調査の考え方

2.2 に基づき、大規模噴火を想定した降灰シミュレーションと広域降灰時の調査手法の組合せより、大規模噴火時の緊急調査の考え方を検討した。

表 1 緊急調査実施フロー

STEP1	大規模噴火直後の調査 (1cmの外周線を把握)	ヘリ調査
STEP2	降灰厚の把握 (概略的な面情報の取得)	ヘリ調査、衛星SAR、UAV調査
STEP3	降灰厚の把握 (点情報の取得)	ヘリ調査、衛星SAR UAV調査 (降灰マーカー、調査ユニット、降灰厚計測デバイス) 地上調査
STEP4	降灰厚の把握 その他調査の開始	ヘリ調査、衛星SAR UAV調査 (降灰マーカー、調査ユニット、降灰厚計測デバイス) 地上調査 (堆積状況調査、物性調査、浸透能調査等)

STEP1. 大規模噴火直後の調査 (降灰厚 1cm 範囲を把握)
土砂災害防止法に基づく緊急調査の実施要件の一つ

である 1cm 以上の降灰等が堆積している溪流を包括する範囲を迅速に調査するため、まずは降灰厚 1cm 以上の堆積範囲を把握する。調査手法は、準備期間が他手法と比較して短いヘリ調査 (即日~1 日程度) が適当と考えられる。しかし、上空から地形判読が可能で地形図や対象物から降灰状況の調査が可能となるよう平常時からの準備や訓練が必要であり、また、飛行時の安全管理も重要とある。

STEP2. 降灰厚の把握 (概略的な面情報の取得)

降灰の分布を面的に把握して、概略的な等層厚線図を作成し、緊急調査の実施優先度が高いステージ 2~3 に該当する地域や溪流を抽出する。なお、大規模噴火時の調査には、膨大な人的・物的リソースが必要になることから、広域性が高く昼夜問わず観測可能な衛星 SAR などの調査手法を活用するなど、効率的に実施することが重要となる。

STEP.3 詳細な降灰厚の把握 (点情報の取得)

降灰厚の点情報を取得し、STEP2 で作成した等層厚線図の精度を向上させ、より土石流発生の危険性が高い地域・溪流の絞り込みを行う。点情報の取得にあたっては、最新技術を活用した UAV 調査や地上調査に加えて、国土交通省の各事務所への降灰厚の情報提供の呼びかけや SNS 等を活用して網羅的に降灰厚を把握するなどを行う。

STEP4. 緊急情報の提供・その他調査の開始

緊急調査を優先的に実施する必要がある自宅で生活を継続する地域で、降灰後の土石流の発生危険性が高く、甚大な被害が想定される地域を中心に調査を実施し、降灰後土石流による被害が想定される区域及び時期の提供を行う。

大規模噴火の場合、降灰が厚く堆積して長期的な監視・観測が必要となるため、調査員の人命に影響を与えないようモニタリングできる手法を適用する。

4. おわりに

プリニー式噴火は大量の軽石を噴出する特徴がある。粒径が粗い軽石主体の場合、厚く堆積していても顕著に浸透能が低下しない。一方、粒径の細かい火山灰主体で厚く堆積している場合は浸透能が著しく低下するため、降灰後の土石流の急迫性が高まる。そのため、火山灰の厚さだけでなく、火山灰特性 (粒径や形態等) に着目した判断が重要である。

また、降灰後の土石流は一回の降雨で発生するものではなく、複数回の降雨経験で発生することが多いため、その後の降雨経験による土石流発生域での火山灰表面の状況や火山灰を含む土砂移動状況の継続監視も重要である。

本検討では、あくまで降灰厚に着目した緊急調査手法について検討したが、大規模噴火時の噴出物の分布や火山灰特性、降雨経験による土砂移動状況に着目した緊急調査の実施や運用の議論が必要である。

参考文献

河野ら (2024) : 大規模噴火に伴う広域降灰時における緊急調査に係る課題、砂防学会研究発表会概要集