

D

火山災害対策技術の開発

【事業責任者】 国立研究開発法人防災科学技術研究所 火山研究推進センター 特別研究員 中田 節也

本研究課題では、火山災害に対応するため、リアルタイムで噴火の状況を把握するとともに、そのデータを迅速に解析し、その後の推移予測とハザード・被害評価、さらには対策に資する情報の提供までを一連で行う技術を開発しました(図1)。

火山噴火が発生した場合、活動状況を迅速に把握・評価し、それに基づいた的確な防災対応が行われるためには、火口付近の状態や噴出物の広がりについて、詳しい情報をできるだけ早く取得することが重要です。しかし、火口付近の状態把握には安全上などの様々な縛りがあるために、すぐに接近できないという事態が起こり得ます。かつての火山噴火予知連絡会総合観測班では、噴火の状況を総合的に判断するために、火山研究者が噴火時においても観測や調査の目的で、安全を確保しながら規制区域に入ることができました。しかし、その場合でも、総合観測班は立ち上げに時間を要し、噴火で破壊された火口近傍の観測点がなかなか復旧できなかったことや、火口や噴出物の状況把握を含めて噴火の初期情報に欠け、迅速な判断ができなかったことがしばしばありました。

これを補うために本プロジェクトでは、火山噴火の予兆が把握された場合や噴火が発生した場合に火山噴火緊急観測を迅速に実施するための仕組みを検討しました。すなわち、課題D1では、噴火発生前後からドローンなどの無人機を用い

て火口付近の地形や噴出物に関するリアルタイムの災害情報を取得する技術を開発し、それによって取得した情報や解析の結果を、ハザードシミュレーションを行う課題などと共有できるようにしました。また、噴火の規模によらず、火山灰の浮遊・降灰は火山現象の中で最も広範囲に影響を及ぼす災害です。近い将来に想定される富士山の噴火においても首都圏の広い範囲への降灰が深刻な課題となります。そのため、噴火に伴う火山灰の浮遊や降灰に関するモデルやシミュレーションを用いた、噴火前や噴火時の観測に基づく、リアルタイム降灰予測情報が重要になります。課題D2では桜島火山を対象として、噴火前の観測データや気象情報から、予想される噴火に伴う火山灰の移動拡散・浮遊・降灰を事前に予想し、それを災害対策に活かす研究を進めました。そこでは、噴火に先立って蓄積される地震エネルギーや山体の膨張量から噴火の規模を推定し、現場の気象情報から降灰予測モデルを準備しました。さらに、噴火によって放出された火山灰について、MPレーダーやディストロメータなどの最新の技術を活用して、その挙動を捉えリアルタイム降灰予測情報を高度化する仕組みを整えました。これらの観測や予測情報は、課題A*が整備したプラットフォーム(JVDN)を用い、防災関係者(自治体や火山防災協議会に参加する専門家)が入手できるとともに、彼らが、火山噴火や火山災害に対する知識

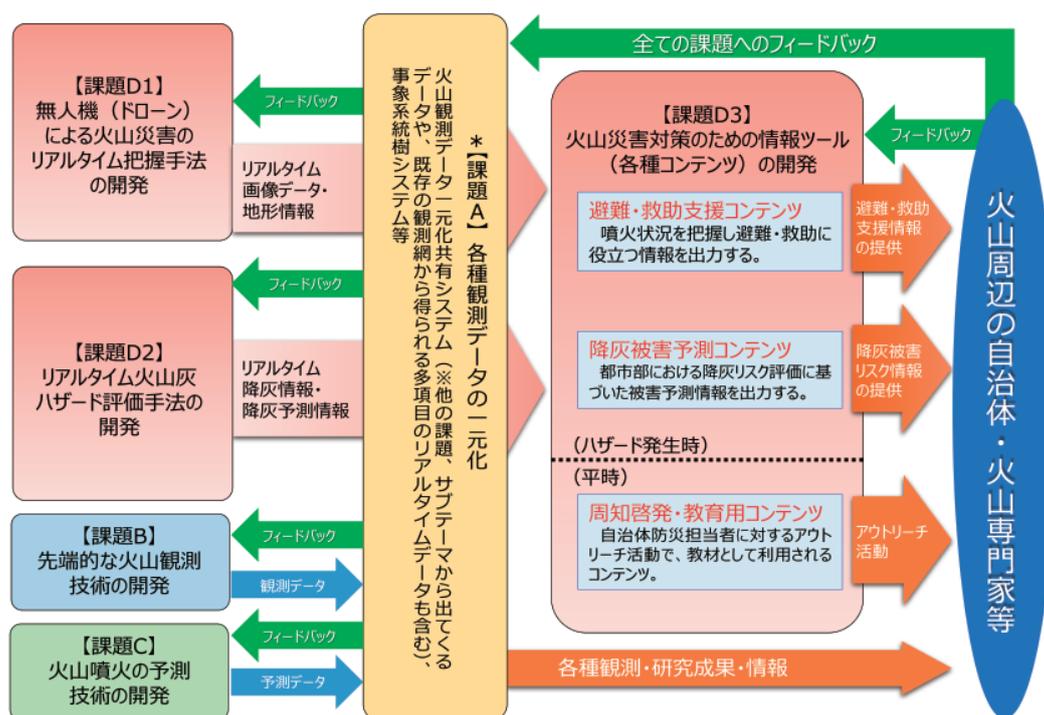


図1 課題D サブテーマ間およびプロジェクト全体の連携を示す図

を得ることができる情報ツールを課題 D3 において開発しました。

現状、火山現象の予報は気象庁が行っており、気象庁以外の者が予報業務を行うことについては気象業務法による高いハードルが存在しています。このような縛りのある背景であっても、大学や国立研究開発法人などの火山噴火に関わる研究者は、火山災害の軽減のために火山噴火予測技術の高度化を目指して研究を進めてきており、かつての火山噴火予知連絡会に参画するとともに、気象庁が行う火山現象の予報業務に活用する予測技術の向上に貢献してきました。2014 年の御嶽山の火山災害を経験して、活動的な火山の火口近傍に観測点が整備されました。火口近傍に観測点があった方が様々な異常を捉えられるに違いありません。しかし、より多くの異常が捉えられるということと、噴火予測が高度化できるということとは別ものです。御嶽山噴火においては、異常が噴火の約半月前から捉えられていましたが、その意味が解釈され始めたのはずっと後になってからです。

一方、日本では火山観測研究が始まってから、まだ規模の大きな噴火を、常時観測している陸上火山で経験したことはありません。また、それに対する噴火警報を出したこともありません。それに対して、観測技術や研究が日本に比べて発展途上であるインドネシア共和国においては、日本では最近観測したことのないいくつかの大噴火において、噴火警報をタイムリーに上げ下げし災害を最小限に抑えてきた経緯があります。このインドネシアの実績を考えると、観測網整備と火山警報のタイムリーな出し方とは必ずしも直結しないことが分かります。インドネシアだけでなく、活火山を持つ諸外国と日本の火山防災体制を比べると、日本以外では研究機関と火山防災担当機関が一体化しており、観測から情報発信までの速さと決断力などに関して、日本とは大きな違いがあるように見えます。このような不具合は、令和 6 年 4 月に文部科学省に設置された火山調査研究推進本部が一元的に火山調査研究を推進することになったので、今後、改善されるはず

です。また、日本では、2009 年に導入された噴火警戒レベルに応じた避難行動などの対策を、それぞれの火山防災協議会が、当該火山のハザードマップや火山専門家等の意見を考慮してあらかじめ定めています。しかし、ハザードマップや噴火警戒レベルの多くは過去の噴火事例に依存しており、噴火のハザードやリスク評価は十分ではありません。本来は、火山周辺の住民や登山者への安全や利益を守るために、観測さ

れる噴火現象ごとに、リスク評価を経た上で対策をとるのが好ましいと思います。課題 C や D で実施している研究開発は、噴火警戒レベルと対策とのギャップを埋めることに繋がるものと考えられます(図 2)。そのため、本研究が目指す観測データを一元化するとともに、観測から予想される現象や被害をいち早く把握・予測し、分かりやすい情報を防災機関や火山防災協議会に関係する火山専門家に提供し、防災対策に生かすという速やかな連携が重要になります。さらに、噴火の観測・予測結果から、現状が当該火山の噴火事象系統樹のどこに位置するのか、今後どのように現象が展開するのか、その過程でどのような被害が起こりうるのかも含めて、情報提供することが重要であり、そのための情報ツールを開発する必要があります。この部分は課題 D の目的であったと同時に、本プロジェクト全体のアウトプットとしても極めて重要な部分を占めています。

次世代火山研究推進事業においては、火山観測データの一元化が大きなテーマとなっていました。その目的は観測データを「一元化」することだけではありません。一元化されたデータを活用して全国の火山コミュニティの研究が促進され、緊急時に、自治体や火山防災協議会に参加する専門家などに必要とされる情報が分かりやすく迅速に提供され、それによって有効な救援や避難対策が取れるようになることこそが、本プロジェクトが目指したところ。さらに、火山調査研究推進本部と連携して、本事業が目指した研究開発は引き続き行われます。

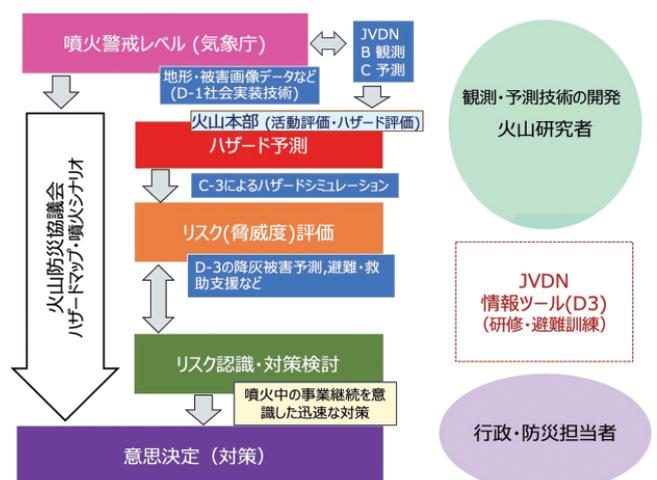


図 2 噴火発生時の火山情報の流れと各研究課題の研究位置を示す図。課題D-2は、桜島火山においてこれら全体を網羅したケーススタディを行った。「火山本部」は火山調査研究推進本部。

* 課題 A は、令和 6 年度から火山調査研究推進本部に関する取組として移管されましたが、JVDN システムは本プロジェクトのプラットフォームとして引き続き開発を行っています。

無人機(ドローン等)による火山災害のリアルタイム把握手法の開発

【分担責任者】 アジア航測株式会社 衛星事業推進室 室長 佐々木 寿

火山が噴火した際には、適切な防災判断を行うために、既設の観測機器による観測に加えて、火口の内部や周辺の様子、噴出物の分布状況などをいかに早く把握できるかが重要となります。

これまで、火山噴火の状況把握には、航空機やヘリコプターなどの有人機から撮影した画像が用いられてきました。しかし、突発的な噴火の発生時の回避や、飛行が日中に限られること、有人機の手配など、さまざまな課題がありました。そこで本サブテーマでは、無人機(ドローン)を活用して火山噴火の状況を機動的に撮影し、撮影した画像を解析することで状況の変化をリアルタイムに把握し、安全かつ迅速に防災対策に役立てるための体系を開発しました。

自動飛行・自動撮影による空中定点観測

有人機による繰り返し観測では、毎回同じ場所から同じ画角で撮影することが困難であったため、多時期の画像比較ができませんでした。ドローンを利用することで、あらかじめ設定した定点を自動で飛行・撮影できるため、同じ場所から同じ画角で撮影した画像を取得し、日中と夜間の画像や多時期の画像を比較することが可能となりました。これまで地上から実施していた定点観測と同様の精度で、「空中定点観測」を行うことができるようになりました(図1)。

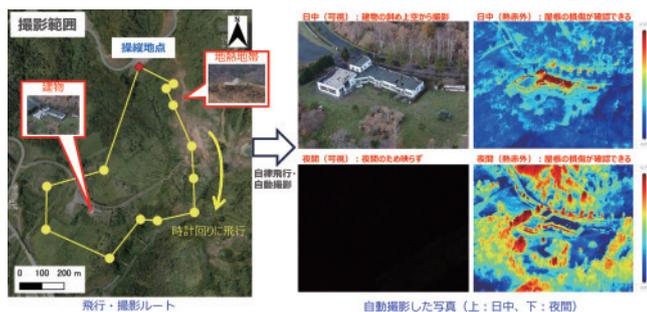


図1 日中と夜間にドローンによる自動飛行・自動撮影を実施した事例(有珠山)

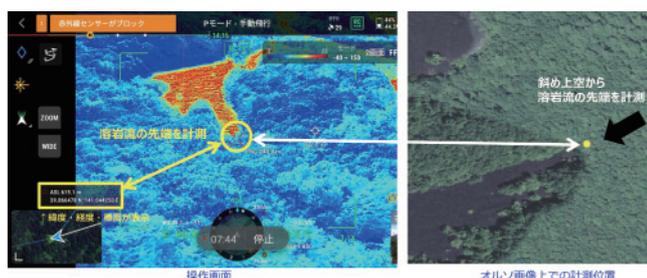


図2 ドローンから溶岩流の先端位置を計測した事例(岩手山)

映像のリアルタイム共有およびリアルタイム位置計測

ドローンの映像は、これまで操縦者の手元のコントローラーでしか見ることができませんでしたが、新型コロナウイルス感染症対策により急速に普及したWEB会議を利用することで、現地からの中継を容易に行うことが可能となりました。また、近年ではレーザー測距を搭載したカメラが開発され、1~3km程度離れた地点から位置を計測できるようになったため、火口の形成位置や溶岩流の先端などを安全に計測することができます。そのため、遠隔地にいる火山学者の指示によるドローンの飛行や、中継映像を通じた火山活動等の状況確認、レーザー測距を利用した火口や溶岩流の位置の計測などを実施し、関係者とリアルタイムに情報を共有できる仕組みを構築することができました。(図2)。

火山現象の自動抽出

ドローンで得られた画像から火山現象(噴気、噴石および溶岩流)を自動抽出する技術の開発を行いました。ここでは、溶岩流の例を紹介します。溶岩流の到達位置や分布範囲は、避難などの防災対策のほか、噴出率の推定などに必要な基礎的な情報となります。本研究では、オープンソースのOpenCVを利用した画像処理によって溶岩流の輪郭を自動抽出し、GISデータとして出力できるツールを構築しました。図3は伊豆大島の事例であり、ドローンで撮影した大量の画像を連結して簡易的なオルソ画像を作成し、このオルソ画像を用いて溶岩流の分布範囲の自動抽出を行いました。この一連の作業にかかる時間は約2分と高速であり、迅速な情報提供が可能となりました。

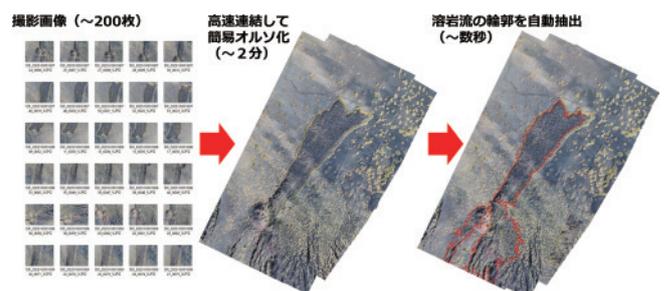


図3 ドローンで撮影した画像を用いて溶岩流の輪郭を自動抽出した事例(伊豆大島)

リアルタイムの火山灰ハザード評価手法の開発

【分担責任者】 国立大学法人京都大学防災研究所 教授 中道 治久



写真1 桜島南岳から東に降下する多量の火山灰



写真2 桜島の火山灰をとらえるライダーのレーザー光線

火山噴火によって放出される火山灰は、農林水産業や健康への被害、交通網の停止を引き起こし、さらに噴火活動静穏化後も降雨時の土石流や泥流の発生といった二次災害を引き起こす要因ともなります。

桜島では1955年以降、南岳や昭和火口における爆発活動により降灰の被害が深刻化しており、今後想定される大正噴火級の大規模噴火では、火山周辺に極めて深刻な被害をもたらすだけでなく、その影響範囲は東日本にまで及びます。火山灰の被害に対処するには、火山灰の拡散と降灰の状況をリアルタイムで把握し、拡散と降下について即時的に、なおかつ高精度に予測することが求められます。本サブテーマは、これまでの火山観測技術に、気象学・流体力学の技術と知見を融合させて、京都大学、鹿児島大学、筑波大学、神戸大学、東北大学、東京大学、国立環境研究所、日本気象協会などが以下の技術開発に取り組み、降灰量の予測精度を $-50\% \sim +200\%$ とすることを目指しました。

- ① レーダー、ライダーなどの様々な観測機器を駆使して火山灰量を求める技術開発を行いました。
- ② 噴火発生に伴う地震と火山体の収縮から火山灰噴出率を見積ることにより火山灰の予測の高速化を図りました。
- ③ 複雑な火山地形上の風の場合、火山灰の粒形分布を考慮して、火山灰予測の高精度化を図りました。
- ④ 常に変わる火山灰噴出率と風の場合を評価しつつ、長時間続く噴火の火山灰を継続的に予測するシミュレータを開発し、稼働させています。
- ⑤ 噴火発生前の火山体の膨張をとらえ、噴火発生予測と火山灰の拡散予測を結合させて、噴火発生前の段階で複数シナリオで予測計算する確率的な降灰予測を行うシステムを開発し、稼働を開始しました。

この技術開発は、降灰量をリアルタイムで情報提供できるだけでなく、その予測手法は気象庁の降灰予報や地域防災計画の更新や実施に貢献することができます。また、予測データは自治体の災害対策や交通機関での運用に活用することが期待されます。そのために、降灰予測システムの自治体向け表示方法を開発し、庁舎において降灰予測システムによる結果の表示を可能にしました。

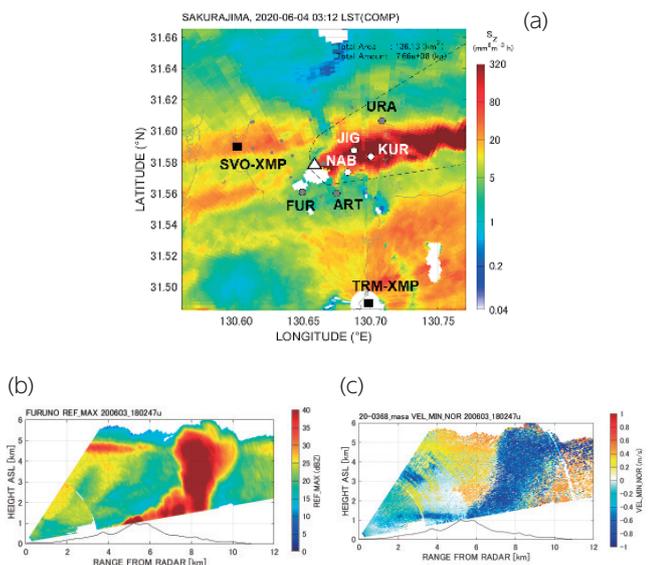


図1 桜島火山観測所のXバンドMPレーダが捉えた降雨中の桜島南岳の爆発的噴火(2020年6月4日)。降雨中を東進する噴煙が高度4.5 kmにある融解層(0°C層)を突き抜け高度6 kmまで達していることが分かります。(a)反射強度の平面図。(b)反射強度の鉛直図。(c)ドップラー速度の鉛直図。

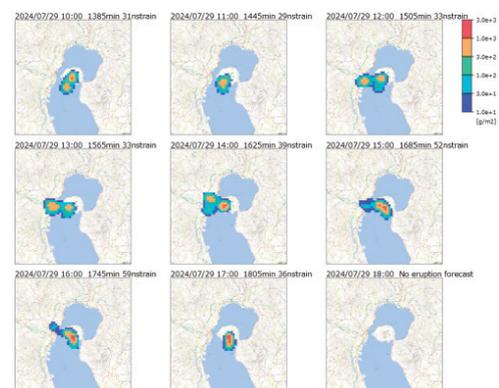


図2 2024年7月29日の噴火発生前(10:00時点)において自動的に計算された1時間から8時間後までの降灰量分布予測。噴火は16:46に発生しており、17:00の予測(下段中央)と比較すると予測の火山灰分布と実際の噴煙流下方向が一致している。

火山災害対策のための情報ツールの開発

【事業責任者】 国立研究開発法人防災科学技術研究所 火山研究推進センター 特別研究員 中田 節也

観測、予測、そして対策

これまでの火山研究は、火山活動を観測し、噴火を予測する研究を中心に進められてきました。噴火を予測することで火山災害による被害を減らすことが期待されますが、気象災害などとは異なり火山災害は低頻度のため、ほとんどの自治体で防災担当者等は火山災害対応の経験がなく、また明瞭な前兆がなく突如噴火する場合、現象とそれに伴う災害が多様であるために十分に被害を想定して対応するためには、様々な分野の知識が必要となります。

一方、これまでの火山に関わる地域防災計画は地域住民への対策が中心でしたが、2014年御嶽山噴火災害によって、観光客や登山客への対策も重要であることが明らかになりました。

また、火山災害の一つである降灰は、視界を奪うだけでなくわずかな堆積層厚で交通を始めとする生活基盤に影響を与えます。特に、多くの都市部では降下火山灰の経験がほとんどなく、今後検討しなければならない課題は多いと考えられます。

さらに、平時においても火山災害の状況を具体的にイメージできるようにすることで、自治体の防災担当者の適切かつ迅速な初動対応につなげることができます。

そこで本サブテーマでは、このように「観測・予測」と「対策」をつなぎ、適切な防災対応に活用できる情報ツールの開発を行いました。

火山災害対策のための情報ツール

本サブテーマで開発する情報ツールは、3つのコンテンツから成ります(図1)。

(1)「避難・救助支援コンテンツ」を高度化するために登山者動態データ可視化ツールの改修を行いました。そこでは、御嶽山、那須岳、十勝岳で実施した登山者動向把握実験結果に、ハザードマップなどの情報を重ねて表示することによって、登山者の暴露評価が可能となりました。噴火時に本システムが実装されている場合には、登山者動向把握が迅速に行え、避難指示や救助・捜索活動のための情報を提供できます。これらの結果は、登山者数の把握、避難者の捜索・救助・搬送、そのルートや救護拠点などの



写真1 降灰試験後のプレフィルタ(左)と中性能フィルタ(右)

検討に活用することができます。

(2) 都市部に降灰が及んだ際に、災害対応で重要拠点となる病院等の重要施設がどのような影響(被害)を受けるかを把握するための「降灰被害予測コンテンツ」の開発を進めました。降灰実験等を通して建築物や付帯設備への影響の定量的評価をしました(写真1)。また、降灰密度や粒径、風向・風速、さらには市街地構造を考慮した降灰についてシミュレーションを実施し、建物・付帯施設やインフラへの影響を検討しました。さらに、降灰ハザード評価するため、降灰調査データから分布や量を求めるシステムも開発しました。

(3) 対策に従事する自治体関係者や専門家が、火山災害に関する知見を深め、平時の備えや災害の具体的なイメージ化を支援するための「周知啓発教育用コンテンツ」の開発を進めました。火山災害及び火山防災について手軽に学べる動画や資料等にアクセスすることができる、総合的なポータルサイトを開発しました。本ポータルサイトを全国の自治体防災担当者に使用してもらい、その感想や要望を反映させたアップデートをしました。火山災害の実例や富士山麓で実施した火山灰上走行実験の動画(写真2)をコンテンツとして加えました。

さらに、これらの情報コンテンツに関して発信を含めた利活用のあり方について、社会学者やライフライン機関と検討を重ね、より効果的で誤解のない情報発信を目指しています。



図1 情報ツールの概念図



写真2 富士山北麓で山梨県が2021年に実施した火山灰上車両走行実験