



火山の未来を観る

次世代火山研究・人材育成 総合プロジェクト

Integrated Program for Next Generation Volcano Research and Human Resource Development



Japan
Volcanological
Data Network



文部科学省

MINISTRY OF EDUCATION,
CULTURE, SPORTS,
SCIENCE AND TECHNOLOGY-JAPAN



目次

はじめに	3
ご挨拶	3
プロジェクトの概要	5
プロジェクト参加機関一覧	5
課題A 各種観測データの一元化*	6
【事業責任者】国立研究開発法人防災科学技術研究所 地震津波火山ネットワークセンター 火山観測管理室長 上田 英樹	
課題B 先端的な火山観測技術の開発	9
【事業責任者】国立大学法人東京大学地震研究所 教授 大湊 隆雄	
課題B サブテーマ1 新たな技術を活用した火山観測の高度化	11
【分担責任者】国立大学法人東京大学地震研究所 教授 田中 宏幸	
課題B サブテーマ2 リモートセンシングを活用した火山観測技術の開発	12
【分担責任者】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 上席研究員 小澤 拓	
課題B サブテーマ3 地球化学的観測技術の開発	13
【分担責任者】国立大学法人東京大学先端科学技術研究センター 教授 角野 浩史	
課題B サブテーマ4 火山内部構造・状態把握技術の開発	14
【事業責任者】国立大学法人東京大学地震研究所 教授 大湊 隆雄	
課題B2-2 火山観測に必要な新たな観測技術の開発**	16
位相シフト光干渉法による多チャンネル火山観測方式の検討と開発	
【事業責任者】国立大学法人京都大学防災研究所 教授 中道 治久	
【分担責任者】白山工業株式会社 基盤開発部長 平山 義治	
課題C 火山噴火の予測技術の開発	17
【事業責任者】国立大学法人北海道大学大学院理学研究院 特任教授 中川 光弘	
課題C サブテーマ1 火山噴出物分析による噴火事象分岐予測手法の開発	19
【分担責任者】国立大学法人東京大学地震研究所 教授 安田 敦	
課題C サブテーマ2 噴火履歴調査による火山噴火の中長期予測と噴火推移調査に基づく噴火事象系統樹の作成	20
【分担責任者】国立大学法人北海道大学大学院理学研究院 教授 栗谷 豪	
課題C サブテーマ3 シミュレーションによる噴火ハザード予測手法の開発	21
【分担責任者】国立研究開発法人防災科学技術研究所 火山防災研究部門長 藤田 英輔	
課題D 火山災害対策技術の開発	22
【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	
課題D サブテーマ1 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	24
【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	
課題D サブテーマ2 リアルタイムの火山灰ハザード評価手法の開発	25
【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	
課題D サブテーマ3 火山災害対策のための情報ツールの開発	26
【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	
火山研究人材育成コンソーシアム構築事業	27
コンソーシアム代表機関実施責任者 国立大学法人東北大学大学院理学研究科 教授 西村 太志	

* 課題 A：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、JVND 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。

** 課題 B2-2：令和 5 年度で完了しました。

課題 B2-1（火山観測に必要な新たな観測技術の開発－空中マイクロ波送電技術を用いた火山観測・監視装置の開発）は令和元年度で終了し、事業の一部は課題 B サブテーマ 4 に統合され、令和 2 年度で完了しました。

表紙写真：写真上：御嶽山 噴火から約3週間後（2014年10月16日）、写真左下：冬の草津白根山・殺生河原噴気地帯における火山ガス採取（2019年3月8日）、写真右下：有珠山実習巡検 銀沼火口縁から小有珠および有珠新山を観察（2025年9月16日）

はじめに

次世代火山研究・人材育成総合プロジェクトは、平成26年9月に発生した御嶽山の噴火等を踏まえ、我が国の火山研究を飛躍させ、火山噴火に対する減災・防災対策に貢献するために実施してきた文部科学省の10か年のプロジェクトです。本プロジェクトは、「観測・予測・対策の一体的な火山研究及び火山観測データの一元的流通の推進」と「広く社会で活躍する火山研究人材の裾野を拡大するとともに、火山に関する広範な知識と高度な技能を有する火山研究者となる素養のある人材の育成」を目指しており、令和7年度で最終年度を迎え、研究面、人材育成面ともに、数多くの成果を創出することができました。また、文部科学省では、令和6年4月に発足した火山調査研究推進本部の方針に基づき、次の10年に向け、令和8年度より新たに火山ハザード対策に向けた研究・人材育成プロジェクトを開始します。この10年間のプロジェクトで獲得した科学的知見を踏まえ、火山防災に関わる関係者の皆様の御協力を頂きながら、火山研究及び防災・減災に向けた取組を加速してまいります。

文部科学省研究開発局地震火山防災研究課

ご挨拶

次世代火山研究・人材育成総合プロジェクト
プロジェクトリーダー 藤井 敏嗣

本プロジェクトが発足したきっかけは2014年に戦後最大の火山災害犠牲者数を記録した御嶽山噴火でした。このような火山災害を引き起こさないように火山研究を進展させるとともに、将来にわたって火山の調査・研究を担う人材の育成を目指して、国の計画としては比較的珍しい10年計画で本プロジェクトが進められることになりました。今年度がその最終年度にあたりますが、この間多くの成果を上げることができました。

御嶽山噴火で特に指摘されたのは水蒸気噴火に関する研究の遅れでしたから、このプロジェクトでも水蒸気噴火が卓越する各地の火山の研究を重点的に行いました。その結果、水蒸気噴火を起こす火山の地下の状況についての理解が格段に進み、水蒸気噴火がどのようにして起こるかについて新しい考えも成立しました。また、本プロジェクトでは、ボーリングやトレンチ調査といった重機を用いた地質調査を積極的に行い、いろいろな火山での噴火履歴の詳細を明らかにすることもできました。他にも多くの分野でさまざまな研究成果を上げました。具体的な内容は各研究課題のまとめをご参照ください。

本プロジェクトで開発・改良された調査研究の手法の一部は、火山ハザードの予測やリスクの調査研究には欠かせないものであることが明らかになり、2024年に発足した政府機関である火山調査研究推進本部（火山本部）での基礎情報調査、機動観測や観測データの収集・共有体制に組み込まれ、活用されることになっています。

火山の調査・研究を担う人材の育成は、将来にわたっても発生が予想される火山噴火に対応するためには不可欠です。特に我が国では最近100年間、広域に被害をもたらすような大規模噴火を経験していませんから、今後そのような噴火にも対応できるような人材の育成が欠かせません。この10年間の、大学の枠を超えて行った本プロジェクトの人材育成の仕組みは、多くの修了者が研究機関や気象庁に採用されるなど、大変有効な仕組みであることが明らかになりました。火山本部のもとで行われる調査研究や気象庁による火山監視などを今後も支えるとともに、火山研究をさらに推進するためには、本プロジェクトで開発した人材育成の仕組みをこれからも継続・活用していくことが重要です。

本プロジェクトは今年度で終了しますが、この成果を受け継ぎ、火山ハザードの軽減に向けた研究をさらに進展させることが重要だと考えます。

ご挨拶

次世代火山研究・人材育成総合プロジェクト 総括プロジェクトアドバイザー

中川 和之

自然災害も担当する科学記者でありながら、阪神・淡路大震災が起きて初めて、郷里の六甲山が地震で高くなった山だったことを知り、地震と火山の学会で地球科学の知識を子どもたちと共有する活動を継続。多くの火山地域もある日本のジオパークの展開にも携わりました。防災関係の研究プロジェクトの委員なども務めた経験を活かし、藤井プロジェクトリーダーとともに、このプロジェクトの仕上げと、次への引き継ぎのお手伝いをする役割をいただきました。

たった1年余りでしたが、改めてさまざまな分野の研究の大切さと共に、いろんな組織や分野の方々が共に進めることの大切さを再確認しました。観測、予測、対策、データ一元化という課題でスタートしていましたが、すぐに予定になかった「課題内連携研究」が立ち上がっていました。分野横断的に火山を観測し、現象を読み解く連携研究は、そのまま次世代研究人材が学ぶ場にもなりました。10年間続けるプロジェクトだからこそ、見直しながら成

果を出せたのです。地震研究では当たり前になっていたボーリングやトレンチ調査で多くの成果が上がり、この「露頭を作る」手法を使った調査が火山本部の事業として行われることにもなりました。

もちろん、まだ積み残した研究課題が多くあります。理学中心の研究だけでなく、工学を含めた社会の仕組みにもっとコミットする研究も必要になります。研究を継続したことで、より分かってくる研究課題があるのです。

そこでは、このプロジェクトの最も大きな成果である次世代火山研究人材が大いに活躍してくれるでしょう。既に研究や対策に関わる官民の組織に、幅広い視野を持った次世代人材たちが参画しています。研究だけでなく、政策、対策、知識普及などの最前線で、時に立場を変えながら、第一線の研究成果の知識を持ち、さらに深めて、火山国日本で火山との共存にチャレンジし続けてくれることを確信しています。広く防災人材の育成にも、この次世代人材育成コンソーシアムの手法が広がることも願っています。

次世代火山研究・人材育成総合プロジェクト リスクコミュニケーション担当プロジェクトアドバイザー

関谷 直也

次世代火山研究・人材育成総合プロジェクトのリスクコミュニケーション担当プロジェクトアドバイザー（リスク担当PA）をさせていただきました関谷と申します。

まずは、10年間、次世代火山研究・人材育成プロジェクトが多くの成果を上げられたこと、無事研究が進みましたことを心より喜び申し上げます。この10年間で、多くの火山の観測が進み、火山の地下構造の理解、観測システムの技術開発、機器開発が進みました。また火山に関する人材育成が進み、若手研究者が増え、気象庁を始め、火山の専門家が増えてきていることは、代えがたい極めて重要な成果と思います。

今後、火山活動の評価手法の「標準化」とリアルタイムのハザード把握・予測は、火山災害が起こった場合の復旧、災害対策に極めて重要となってくると思います。火山調査研究推進本部も設置され、内閣府でおこなわれている火山防災対策も、今後は防災庁において進められるものと思います。火山防災対策につなげるため、火山研究を防災に活かす機運はたかまっております。これらの地球物理・地質・化学などそれぞれの面で火山活動のメカニズムの理解が進むこと、観測手法、機器の開発、緊急観測など様々な観測が高度化されていくことは、今後も引き続き重要です。これらの研究を進化していただければと思います。

私は、心理学の立場から、地震・津波、原子力災害など大規模災害の研究、避難の研究をしておりますが、この10年、20年で、技術的には、ブレインテックなどの技術的な進歩、脳の観測

や統計技法の進展、ソーシャル・モニタリングが多いに進んでいます。ナッジなどの技法の工夫もなされています。AI、LLM（大規模言語モデル）は大量の社会心理現象の理解の進展につながっています。しかし、それらを人の生き死にに直結する防災に应用するという立場からすれば、特段、何も進展はしていません。人を避難させる技術は、ほとんど進展していません。

災害を避けるための、人の避難を促すメカニズムという防災の究極的な目標を前にしたときに、「大規模災害」それにそなえた「防災」という数十年、数百年に1度の現象への対処という意味でいうと、何も進んでいないというのが実際のところかと思えます。

火山研究の進展は、自然への理解という意味でそれ自体が素晴らしく、また防災の基礎として、これからも研究を十分に進めていただかなくてはなりません。しかし、究極の目標である、防災、人が火山で犠牲にならないようにする、噴火による社会的影響を軽減することに結びつくまでには、まだまだ困難があると思います。是非、将来的に火山災害対策に資するための研究を進めていただければと思います。

また、この次世代火山研究・人材育成プロジェクトは、国家として責任をもって進めるべき研究分野それ自体をどう育成していくかのモデルケースであり、この成功は極めて重要な意義をもっていると思います。是非、防災研究など国家として進めるべき他の研究分野への横展開をお願いできればと思います。

プロジェクトの概要

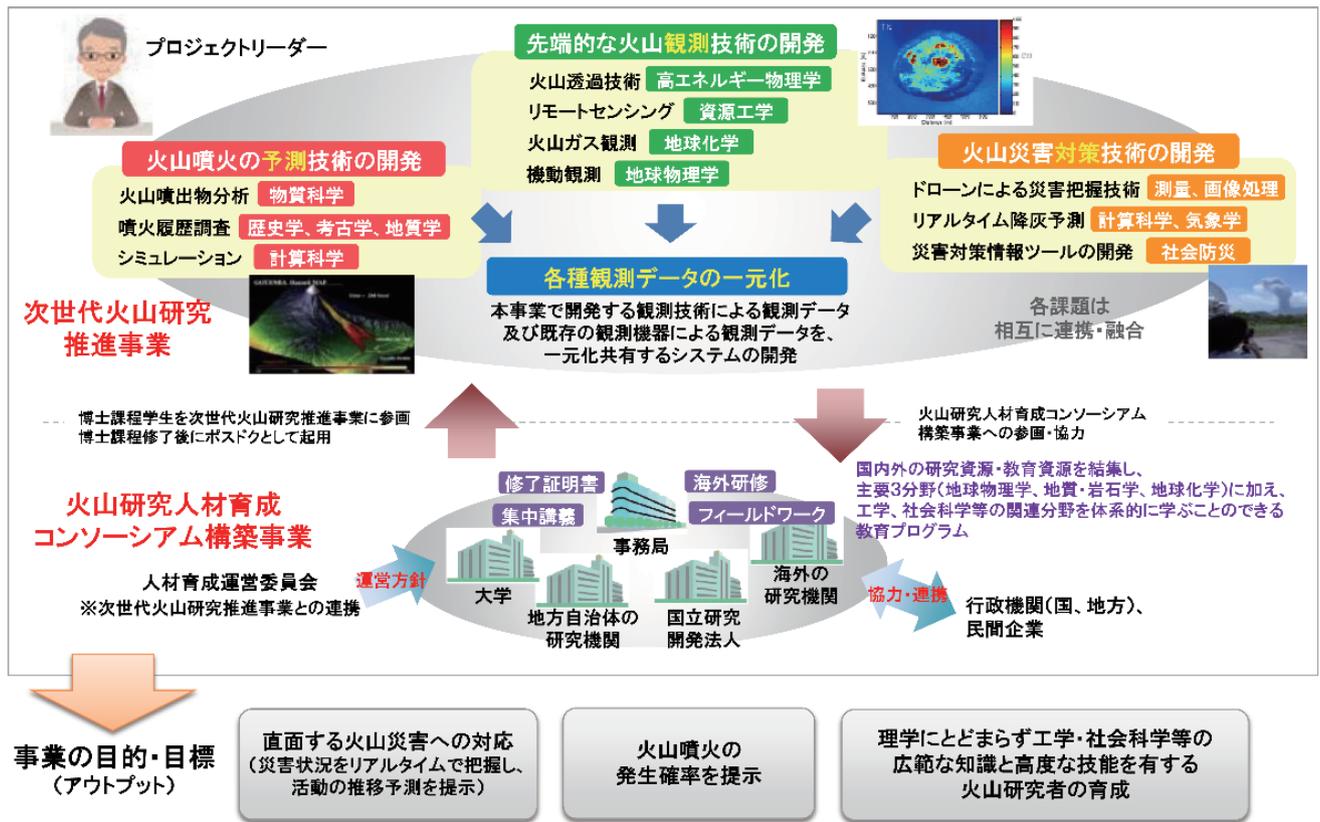
次世代火山研究・人材育成総合プロジェクトは、「火山研究の推進」と「人材育成」を通して、火山災害の軽減への貢献を目指すプロジェクトです。

「次世代火山研究推進事業」⇒「観測・予測・対策」の一体的な火山研究および火山観測データの一元化流通を推進

「火山研究人材育成コンソーシアム構築事業」⇒ 火山に関する広範な知識と高度な技能を有する未来の火山研究者を育成

委託先機関：大学、国立研究開発法人等

事業期間：平成 28 年度～令和 7 年度



プロジェクト参加機関一覧

課題 A*：各種観測データの一元化	
課題責任機関	防災科学技術研究所
課題 B：先端的な火山観測技術の開発	
課題責任機関	東京大学
共同実施機関	防災科学技術研究所
参加機関	北海道大学
参加機関	東北大学
参加機関	東京科学大学
参加機関	名古屋大学
参加機関	神戸大学
参加機関	九州大学
参加機関	鹿児島大学
参加機関	東海大学
参加機関	神奈川県温泉地学研究所

*課題 A：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。

**課題 B2-2：令和 5 年度で完了しました。

課題 B2-1 (火山観測に必要な新たな観測技術の開発 - 空中マイクロ波送電技術を用いた火山観測・監視装置の開発) は令和元年度で終了し、事業の一部は課題 B サブテーマ 4 に統合され、令和 2 年度で完了しました。

課題 B2-2**：位相シフト光干渉法による多チャンネル火山観測方式の検討と開発	
課題責任機関	京都大学
共同実施機関	白山工業株式会社
課題 C：火山噴火の予測技術の開発	
課題責任機関	北海道大学
共同実施機関	東京大学
共同実施機関	防災科学技術研究所
参加機関	東北大学
参加機関	秋田大学
参加機関	山形大学
参加機関	富山大学
参加機関	茨城大学
参加機関	静岡大学
参加機関	山口大学
参加機関	熊本大学
参加機関	鹿児島大学
参加機関	早稲田大学
参加機関	日本大学
参加機関	福岡大学
参加機関	産業技術総合研究所
課題 D：火山災害対策技術の開発	
課題責任機関	防災科学技術研究所
共同実施機関	アジア航測株式会社
共同実施機関	京都大学
参加機関	山梨県富士山科学研究所

参加機関	株式会社大林組
参加機関	東京大学
火山研究人材育成コンソーシアム構築事業	
コンソーシアム代表機関	東北大学
コンソーシアム参加機関	北海道大学
コンソーシアム参加機関	山形大学
コンソーシアム参加機関	東京大学
コンソーシアム参加機関	東京科学大学
コンソーシアム参加機関	名古屋大学
コンソーシアム参加機関	京都大学
コンソーシアム参加機関	神戸大学
コンソーシアム参加機関	九州大学
コンソーシアム参加機関	鹿児島大学
コンソーシアム協力機関	秋田大学
コンソーシアム協力機関	茨城大学
コンソーシアム協力機関	信州大学
コンソーシアム協力機関	広島大学
コンソーシアム協力機関	東京都立大学
コンソーシアム協力機関	早稲田大学
コンソーシアム協力機関	富山大学
コンソーシアム協力機関	大阪公立大学
コンソーシアム協力機関	気象庁
コンソーシアム協力機関	国土地理院
コンソーシアム協力機関	防災科学技術研究所
コンソーシアム協力機関	産業技術総合研究所

各種観測データの一元化

【事業責任者】 国立研究開発法人防災科学技術研究所 地震津波火山ネットワークセンター
火山観測管理室長 上田 英樹

*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。

はじめに

課題A「各種観測データの一元化」では、JVDNシステム（火山観測データ一元化共有システム）の開発と運用を行ってきました。JVDNシステムとは、日本国内の研究機関、大学、行政機関などが調査や観測を行って集めたデータ、本プロジェクトで新たに得たデータを集約し、提供するシステムです。提供するデータの活用を通じて、研究分野や組織を超えた共同研究を促進し、火山研究の発展と火山防災へ貢献することを目指しています。

本課題は、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。JVDNシステムは、火山観測や研究を一元的に進める火山調査研究推進本部を支える重要なインフラとしてだけでなく、本プロジェクトのプラットフォームとして引き続き防災科研が運用し、利用者の要望を聞きながら開発を行っています。

JVDNシステム（火山観測データ一元化共有システム）

JVDNとは Japan Volcanological Data Network の略で、各機関が所有しているデータのネットワークです。JVDNシステムには、ポータルWEBサイト (<https://jvdn.bosai.go.jp>) からアクセスできます（図1）。このポータルサイトにアクセスすれば、どなたでもデータを見ることができます。

JVDNシステムでは、火山観測点の情報、地震計やGNSS(Global Navigation Satellite System / 全球測位衛星システム)、傾斜計などの観測機器の生データおよび震源データなどの処理済みデータを提供しています。また、降灰量データなどのフィールドデータ、合成開口レーダなどのリモートセンシングデータも提供しています。デジタルデータをダウンロードできるほか、GISで地図上に表示したり（図2）、グラフなどで時系列データを表示できます。地震計などの一部のデータは、リアルタイムで表示できます。データをダウンロードするには、ユーザ登録をしてログインする必要があります。表示だけであれば、ログインする必要はありません。

The screenshot shows the JVDN portal website. At the top left is the logo for Japan Volcanological Data Network. To the right are language options (日本語 / English), utility links (リンク, サイトマップ, お問い合わせ), and font size settings (大, 中, 小). Below this is a navigation menu with items like 'JVDNについて', '火山観測データを見る・探す', '利用できる火山観測データ', '利用のしかた', and '登録ユーザー用ページ'. The main content area features a large photograph of a volcanic crater. Below the photo is a '新着記事' (New Articles) section with a list of recent updates from October 2020 to July 2021. To the right is a '関連サイト' (Related Sites) section featuring logos for '防災科研 NIED' and '次世代火山研究・人材育成総合プロジェクト' (Next-Generation Volcano Research and Human Resource Development Comprehensive Project) under the '文部科学省' (Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology Japan).

図1 火山観測データ一元化共有システム(JVDNシステム)のポータルサイト

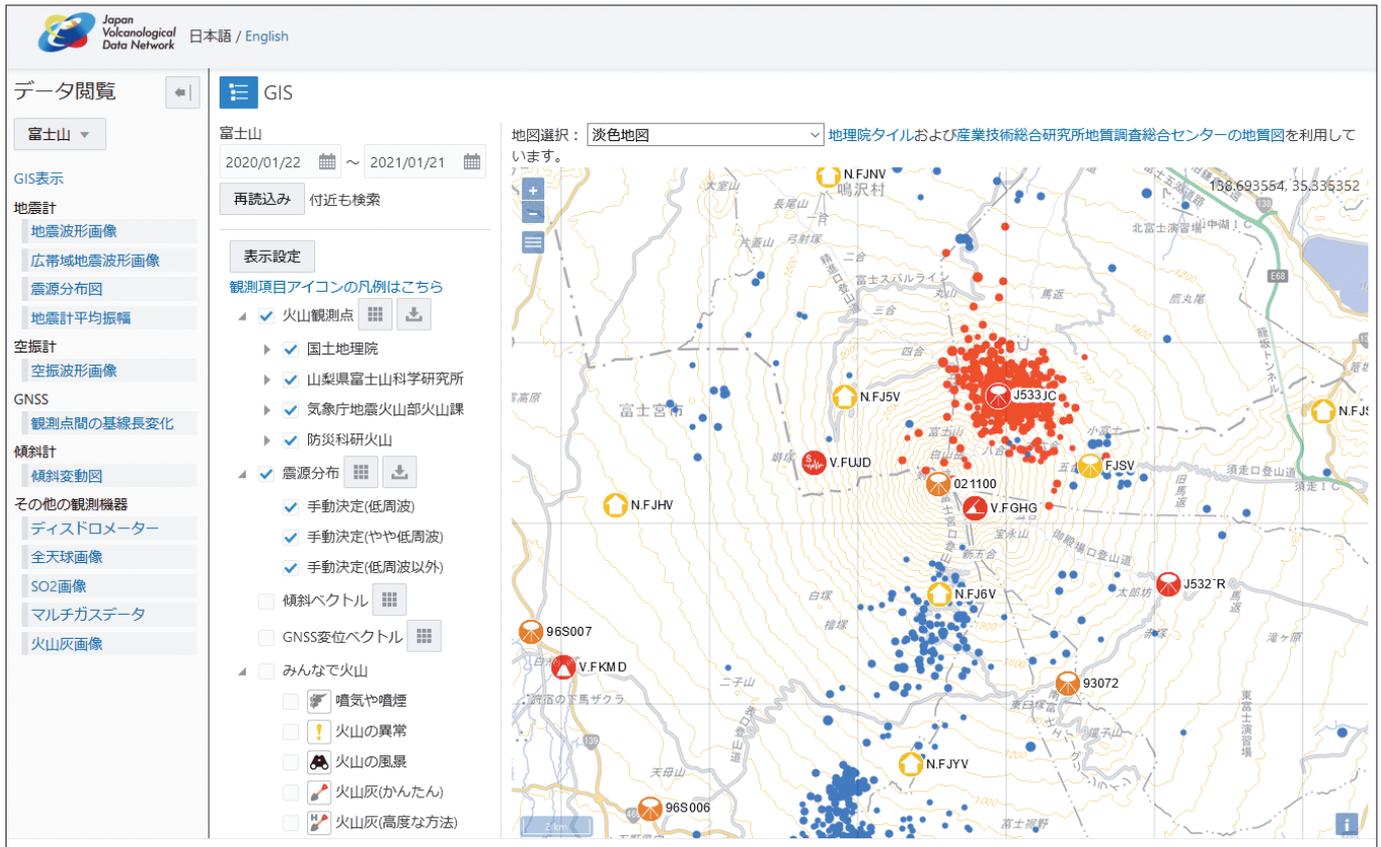


図2 JVDN システムのデータ閲覧画面

ん。その他にも、グラフを作成する機能や、降灰量データや写真データを共有する機能、任意の電子ファイルを登録して共有する機能などがあります。詳しくは、ポータルサイトで公開している利用ガイド (<https://jvdb.bosai.go.jp/portal/ja/archives/3633>) を参照してください。

すでに 480 名以上の方が JVDN システムにユーザ登録し、研究等に活用しています。火山噴火が起こった際に行われる降灰調査のデータ共有にも JVDN システムが使われています。

JVDN システムを活用した研究分野や組織を超えた連携による火山研究

火山分野は、地震学や測地学、地球化学、地質学などの複数の分野からなる研究分野です。それぞれの分野では扱うデータが異なります。これまで火山の研究は、主にそれぞれの分野ごと、火山ごと、組織ごとに手分けして行われてきました。JVDN システムを活用すれば、これまで行われてきた研究だけでなく、多くの火山の多種類の観測データを使った、分野や組織を超えた連携による研究も可能になります。火山の一般的な性質を明らかにするためには、分野や組織を超えた連携による研究が必要です。わかりやすく説明するために人に例えると、例えば A さんの研究を行うと、A さん個人の理解はできるかもしれませんが、ホモサピエンスという生物種の理解

ができるわけではありません。また人間の血液を研究したとしても同様です。ホモサピエンスという生物を理解するためには、多くの人から多くの種類のデータを集め、分野や組織を超えた研究を行う必要があります。同様に、火山を総合的に理解するには、多くの火山から多くの種類のデータを集め、地震活動と火山ガスの関係や異なる火山同士を比較するなど、分野や組織を超えて火山が持つ一般的な性質の研究を行う必要があります。

状態遷移図の提案

このような研究をするためには、火山を研究分野ごと、火山ごとの要素にバラバラに分けて考えるのではなく、つながりを持ったシステムとして考える必要があります。そのために課題 A* では状態遷移図で火山活動の推移を表すことを提案しています。状態遷移図とは、システムの振る舞いを表す設計図として使われている図です。霧島山新燃岳の状態遷移図を図3に示します。この図では、火山活動の推移を火山の状態の遷移で表現しています。

JVDN システムに保存されているデータは専門的で膨大です。データを使い慣れている人でも、火山活動の全体像を把握したり、データに含まれる様々な変化の関係を見出すのは簡単ではありません。使い慣れていない他分野のデータであればなおさらです。この図を使うことによって、霧島山

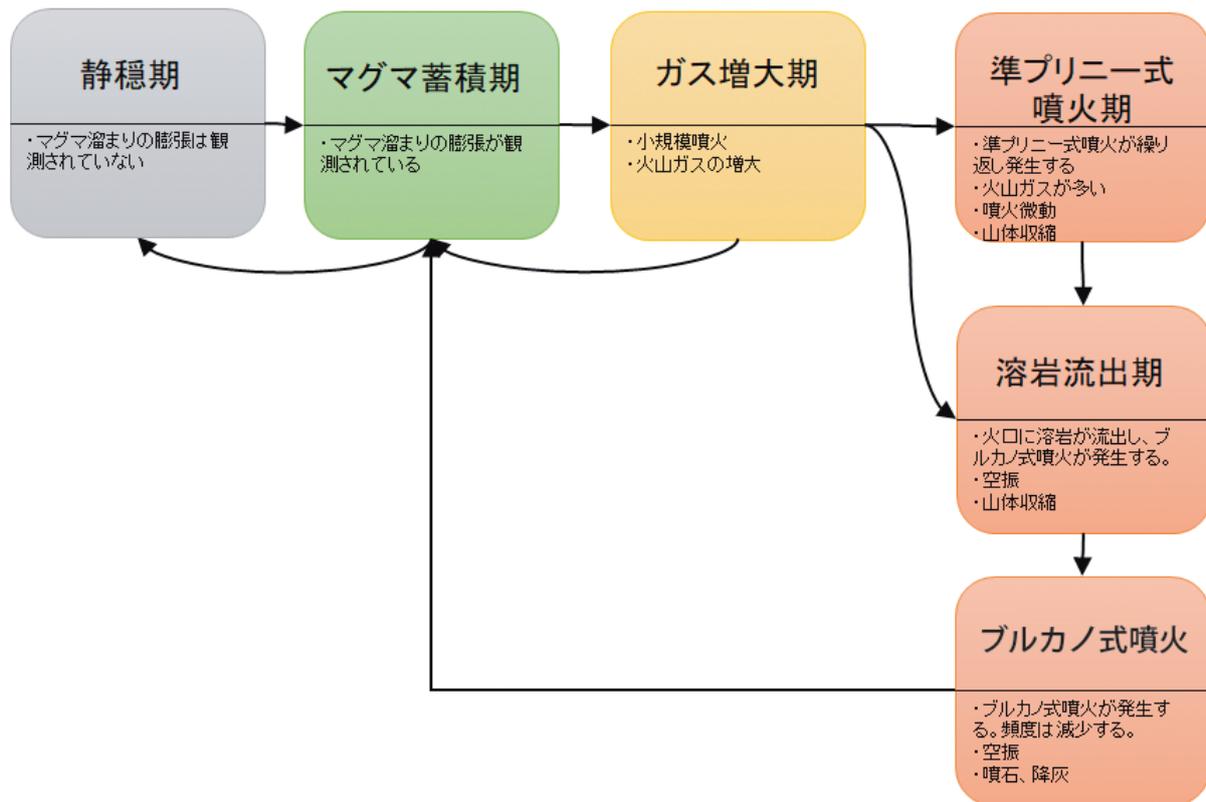


図3 霧島山新燃岳の状態遷移図

新燃岳の火山活動の変化や異常の関係を分野を問わず俯瞰的に見ることができます。JVNDN システムのデータとこの図を見比べれば、火山が現在どの状態で、過去にどの状態に変化したのかがわかります。それが分かれば、今後どの状態に変化するのかの参考になります。さらに、この図は設計図ですので、誰でも理解できます。研究分野や組織を超えた連携がしやすくなり、火山専門家と非専門家のコミュニケーションにも役に立ちます。

さらに多くの火山について状態遷移図を作成すると、異なる火山でも状態は似た遷移をする傾向があることが分かります。火山同士の比較研究から共通する特性がわかり、共通する特性から火山活動の推移を予測できるようになると考えています。状態遷移図の状態とは季節のようなものです。季節は、1年周期で変化する気候の変化を、気温や日射量、動植物の活動などから、いくつかの期間に区分したものです。季節はカレンダーを見て判断することもあります。桜の開花や紅葉、降雪、結氷など、自然を観察して集めた様々なデータから判断します。場所や年が異なっても、季節の変化は毎年似た傾向をたどり、過去の経験から我々は春夏秋冬と順番に季節が巡ってくることを知っています。状態遷移図とは、火山活動の「季節」である状態が、過去にどのように推移したかを表しています。過去の火山活動の変化を表した状態遷移図を比較すると、季節と同様に、異なる火山でも同じ

火山でも状態の変化は似た傾向をたどることが分かります。ただし火山の場合は季節のようにかならずしも順番に変化するわけではなく、戻る場合もあります。状態遷移図からは、静穏な状態と判断された火山が、突然大噴火することが無いことが読み取れます。また、火山ガスが急増した場合、マグマ噴火が起こる可能性があることを示しています。さらに多くの火山を調べることによって、火山の共通する特性がわかり、より詳しく火山活動の推移を予測できると考えています。

災害時に発生する状況を想定してあらかじめ共有しておくタイムライン（防災行動計画）というものがあります。タイムラインはいわゆる防災システムの設計図です。火山のシステム設計図である状態遷移図にあわせて作っておくことで適切な防災対策を作ることができます。また設計図であることは関係者との情報共有に使いやすく合意形成に役立ちます。

おわりに

JVNDN システムは運用を開始してから7年がたち、ユーザと活用事例が徐々に増えています。今後、JVNDN システムを活用した分野や組織を超えた連携による研究の成果も出てくることが期待できます。そのような研究成果が出てくれば JVNDN システムで共有されるデータや利用者がさらに増えるだろうと考えています。

先端的な火山観測技術の開発

【事業責任者】 国立大学法人東京大学地震研究所 教授 大湊 隆雄

課題 B2-1 (火山観測に必要な新たな観測技術の開発 — 空中マイクロ波送電技術を用いた火山観測・監視装置の開発) は令和元年度で終了し、事業の一部は課題 B サブテーマ 4 に統合され、令和 2 年度で完了しました。

1. 火山災害軽減への取り組み

岩盤 (プレート) が地下深部に沈み込むことによる火山活動で造りあげられた日本の国土では、火山噴火と巨大地震の発生は必然で、国民は常にこれらの自然災害と向き合って生活することを強いられています。私たちは風光明媚な火山の姿を愛でるなどの豊かな自然の恩恵を享受すると同時に、火山噴火に適切に準備して対処する必要があります。

火山災害は局所的で、頻度が低いため、火山のそばに住んでいる人以外は関心が低く、知識が少ないと思います。それが極めて悲惨な結果となったのが 2014 年御嶽山噴火でした。登山客の多くは、身近に噴火災害が発生する可能性について意識することなく登山し、突然噴火に出会って被災されました。この噴火を受けて、活動火山対策特別措置法が改正され、国は図 1 のような体制を全国の活動的な火山に整備して、住民だけでなく登山客や観光客を火山災害から守ることにしました。

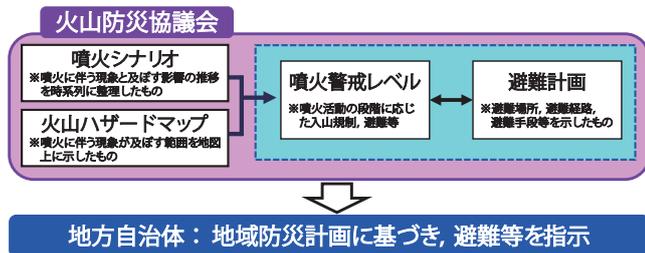


図 1 活動火山対策特別措置法の概要の一部抜粋

これを簡単に説明すると、それぞれの火山で噴火が発生するとどの地域にどのような火山災害が及ぶかを事前に想定 (ハザードマップの作成) し、あわせて火山噴火の危機が迫った時にはどのような噴火活動の推移をたどるかの事前検討 (噴火シナリオの作成) も進め、現実には噴火が始まりそうな時にこの両者を利用して住民避難等の対策を実施するというものです。実際の運用では気象庁が発表する「噴火警戒レベル」が重要な役割を担うことになっています。もし噴火警戒レベルが、天気予報やそれに基づく大雨洪水警報並みに確実で、しかも災害発生までに十分な猶予時間があるうちに発表されれば、当面の備えはできていると言えます。しかし、現実には、噴火警戒レベルの引き上げが噴火前でなく噴火後になる事例や、レベルを引き上げたものの噴火しなかった事例も少なからず起きています。これは、火山噴火の科学的な予測が技術的にまだ完成していないことが主な原因です。つまり、現行の制度をうまく機能させ、火山噴火による災害を減らすには、火山噴火予測の精度向上に結び付く研究開発が大変重要なのです。

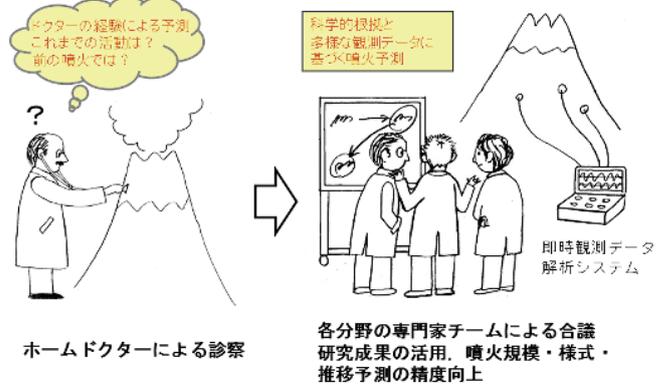


図 2 火山噴火予測と医療の対比

2. 観測に基づく火山噴火予測

少し乱暴ですが、話を分かりやすくするために、火山噴火予測を多くの人のなじみ深い医療と対比させてみましょう。医療が今ほど発達していなかった頃は、お医者さんは体温計や聴診器などの簡単な医療機器だけを頼りに診断をしていました。その際、一人ひとりの患者さんの病歴が非常に重要な情報でした。少し前までの噴火予測はこれと同様であったろうと思います (図 2 左)。それぞれの火山を詳しく研究を続けてきた研究者 (火山ホームドクター) が、その火山の過去の噴火の様子 (噴火履歴) や、前回の噴火の際の観測事例 (前兆現象) を参考に、数少ない観測機器から現在の火山の活動状況を判断し、噴火予測に有用な情報を提供していたと言えます。一方、現在の医療現場では、近代的な医療機器による「検査」が重要な位置をしめるようになってきました。さらに、規模の大きな病院では、先進的な医学の知識を土台として、内科、外科、麻酔科などの色々な専門医たちと、様々な医療機器の検査技師が力をあわせて治療にあたります (図 2 右)。火山噴火予測も色々な研究分野の研究者がそれぞれの分野の科学的な知識を集め、新たな観測機器やデータ解析手法を駆使して、噴火予測の精度向上を目指す必要があります。次世代火山研究推進事業の「課題 B : 先端的な火山観測技術の開発」では、まさにその部分を担うことを目指しました。つまり、火山噴火予測に有用な新たな観測機器の開発や、現在の火山活動評価技術や解析方法等を高度にし、噴火予測の高精度化を目指したのです。ちなみに、課題 C はハザードマップや噴火シナリオの高精度化を目指したものと考えることができ、課題 D は避難計画の高度化を念頭に置いていると言えます。つまり、次世代火山研究推進事業は、科学技術によって火山防災体制の高度化を応援することを事業全体の大きな目標としたのです。

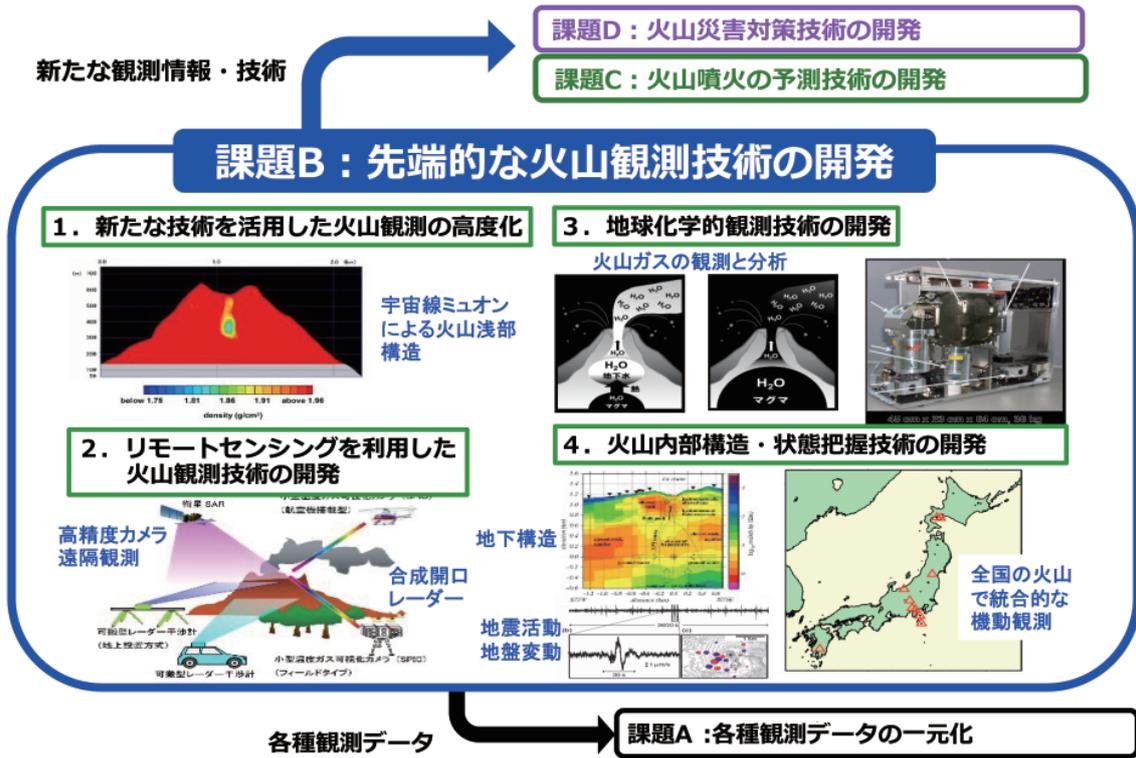


図3 課題Bの実施内容

3. 「先進的な火山観測技術の開発」で目指すこと

火山噴火は地下にある溶けたマグマや高温の水蒸気や火山ガスが突発的に地表から噴出する現象です。噴火までには地下で色々な現象が起こり、それが地表でどのように観測されるかは、科学により少しずつ明らかにされつつあります。しかし、目に見えない地下の状態を知ることは簡単ではなく、噴火が迫っていても、観測データには僅かな異常しか現れないのが実情です。噴火予測の精度向上は、このような異常の検知能力の向上が不可欠です。そのためには、個々の観測手段の高精度化を進め、多くの観測手段により火山の変化を捉えること、平時の火山の状態や地下構造等の特徴を知り、平時とは異なる観測量が現れたときに、迅速かつ適切に評価する仕組みを作る必要があります。

つまり、①多種類の微弱な観測事象として現れる噴火先行現象を精度よく捉えるため、新たな観測手法を開発してより多くの情報を得る。②新たな観測手法も含め、既存の装置・データを総動員して、現時点における各火山の活動状況・切迫性評価の基準となる基盤的なデータを蓄積し、噴火先行現象を即時的に判断する各種ツールを開発する、という2つの方向が必要で、課題Bでは、この2つの方向に沿った技術開発を行いました。

具体的には、4つのサブテーマに分けて事業を進めました(図3参照)。

サブテーマ1は、宇宙線ミュオンによる火山浅部の透視像と火山活動の相関を見出すために、画像をデータベース化し、実

際の火山活動比較して新たな火山活動評価手法の開発を進めました。

サブテーマ2は、リモートセンシング技術(地上設置型合成開口レーダーの開発、分光スペクトル画像計測装置の小型化)を高度化し、局所的で微小な地殻変動の検出や、火山ガスの遠隔測定を行いました。

サブテーマ3は、火山ガス同位体分析技術の高度化を行い、地表で採取された火山ガスがマグマから出たものか、地下水が熱せられて出たのかを即時的に判断する手法の開発を進めました。

サブテーマ4は、全国の活動的な火山を計画的に精密機動観測し、火山の構造や既存の観測点からだけではわからない微弱な火山活動を捉えることを目指しました。そこで得た観測データは火山が活発化する兆しがあった時の比較の基準となります。また、観測データの即時処理を行うツールの開発も進めました。

4. おわりに

課題Bでは、上記の方針に沿って様々な観測技術の開発とデータの蓄積を行い、令和6年からは文部科学省に設置された火山調査研究推進本部と連携しつつ事業を進めました。10年計画を終えた今、当初の期待を超える成果が得られたと自負しております。課題Bで開発された観測手法・技術の一部は、今後も火山調査研究推進本部が進める事業で活用される見込みです。

新たな技術を活用した火山観測の高度化

【分担責任者】 国立大学法人東京大学地震研究所 教授 田中 宏幸

我が国は世界に先駆けて素粒子ミュオンによる火山浅部の透視(ミュオグラフィ)を成功させ、火口近傍領域には限られるものの、これまでにない解像度で火山浅部の内部構造を画像化しました。例えば、浅間山では2004年の噴火で放出され、現在では固結している溶岩の下にマグマ流路の上端部が可視化されました(図1左)。また、薩摩硫黄島ではマグマ柱上部部に発泡マグマが可視化されました。これらはすべて静止画像ではありますが、2009年の浅間山噴火前後の火口底の一部に固結していた溶岩の一部が噴火により欠損した様子が透視画像の時系列変化として可視化されました(図1右)。また最近では2013年の薩摩硫黄島の小規模噴火においてマグマの上昇下降を示唆する透視映像も取得されました(図2)。

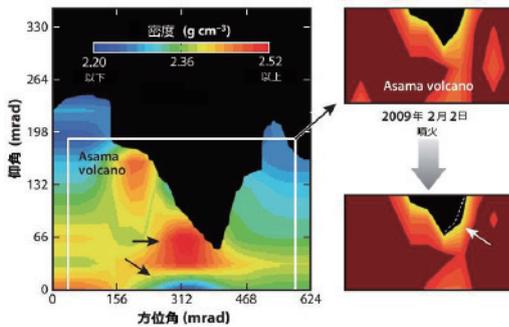


図1 浅間山で撮影されたミュオグラフィ透視画像。赤い部分は密度が高く青い部分は密度が低い(右)。2009年の浅間山噴火前後で撮影されたミュオグラフィ透視画像。上が噴火前で下が噴火後に取得された画像。噴火前の火口底の位置に点線を入れた。

これらの成果は、ミュオグラフィが火山浅部の動的な構造を把握し、噴火様式の予測や、噴火推移予測に情報を提供できる可能性を示しています。しかし、本事業開始当時はミュオグラフィデータ解析に時間がかかり、仮に数日間の観測で十分な統計精度のミュオグラフィデータが得られたとしても、そのデータを即透視画像として提供する事が出来ていませんでした。また、全ての火山学者が透視画像にアクセス出来る状況にもありませんでした。もし、火山学者による透視画像の解釈が進み、火山活動とミュオグラフィ透視画像の関連について系統的に評価することができるようになれば、火山噴火に対する理解も一層深まるに違いありません。そこで、本サブテーマでは、ミュオグラフィデータを自動的に処理して即透視画像として提供できる自動処理ソフトウェアを開発し、その結果出力される火山体透視画像をオンラインデータベース化する事により、リアルタイムで火山学者が閲覧したい期間の透視画像を自由に取り出せる環境整備を行ってまいりました。加えて、より詳細な火山体浅部の構造を把握するために、ミュオグラフィ観測装置の高解像度化を図りました。図3に示すのが本研究開発で完成した高精細ミュオグラフィ観測装置

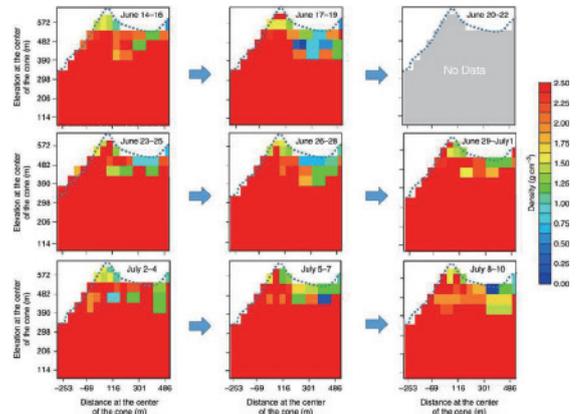


図2 薩摩硫黄島で撮影された時系列的ミュオグラフィ透視画像。赤い部分は密度が高く青い部分は密度が低い。2013年6月16日と30日に火映が観測された。

を用いて撮影された桜島の高解像度画像の推移です。これまでの透視画像(図2)と比較すると格段に解像度が向上していることがわかります。噴火後活発だった火口の下にプラグを示唆する高密度構造が生成されたことがわかりました。更に自動処理された連続透視画像を機械学習することにより、噴火を予測した結果、実際の噴火の有無の一致を示す正答率が70%を超えました。医療分野では透視写真を機械学習して自動診断に活用する技術が進んでいます。本成果は東京大学病院との連携により、医療技術を火山ミュオグラフィ透視画像に組み合わせた結果です。このように、これまでのミュオグラフィ技術では難しかった噴火様式の予測や噴火推移予測に解釈を与えられるところまで発展してきました。加えて、ミュオグラフィの正しい理解を社会に伝える活動を実施いたしました。

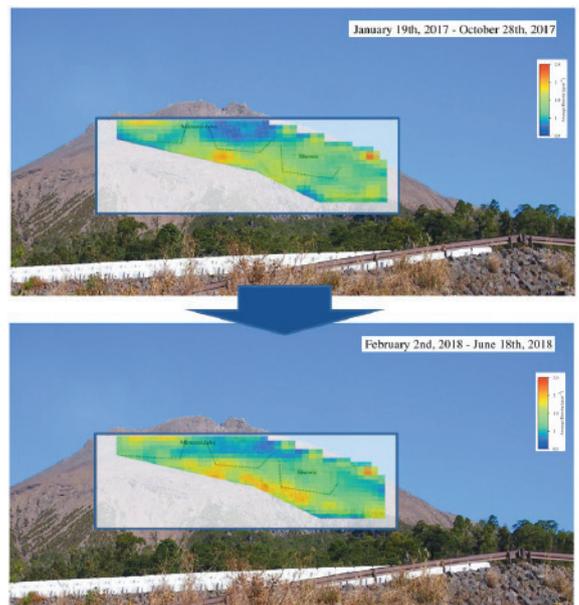


図3 桜島昭和火口の噴火終焉に伴い形成されたプラグ

リモートセンシングを活用した火山観測技術の開発

【分担責任者】 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
上席研究員 小澤 拓

火山災害の軽減においては、火山活動に伴う諸現象を詳細に把握し、確度の高い火山活動予測につなげることが重要です。従来の観測に加え、現地観測が困難な火口周辺で生じる現象も把握できれば、より詳しく火山活動を把握できるようになります。そこで、本サブテーマにおいては、遠隔地から火口周辺の地殻変動や熱的活動、火山ガス等を計測するリモートセンシング技術についての研究開発を進めました。

地殻変動は地下におけるマグマ等の挙動を推定できる重要な観測項目の一つであり、衛星搭載型合成開口レーダー（衛星SAR）を用いることによって、その地殻変動情報を稠密に捉えることができます（桜島における検出例を図1 (a) に示す）。GNSS等の観測網から得られる高精度地殻変動情報や

地震等の他の観測情報と合わせて用いることによって、より詳細な火山研究や火山活動把握への貢献が期待されます。そこで、本サブテーマにおいては、そのような有用な地殻変動情報を、誰でも容易に利用できるようにすることを目的として、衛星SAR から得られる地殻変動データのデータベース化を進めました。

一方、衛星SAR による地殻変動データの時間分解能は人工衛星の回帰周期に制限されるという短所があります。その短所を補うため、本サブテーマにおいては、機動的に地上からのレーダー観測を行い、遠隔地から高頻度に地殻変動を計測することが可能な可搬型レーダー干渉計（センサー名：SCOPE）の開発を進めました（SCOPEを車両に搭載した例を図1 (b)、SCOPEにより観測された吾妻山の火山活動による地殻変動を図1 (c) に示す）。

火山の地熱温度分布、火山ガス、火山灰等の計測は、火山の活動度や火山災害の状況把握に役立つ重要な情報を得ることができます。それらを計測する技術の一つとして、様々な波長帯域（バンド）の光を計測する光学的リモートセンシング技術が活用されています。近年においては、航空機等に搭載する多バンドの光を計測できる分光装置を用い、観測対象の光学的特性（光のスペクトル）を計測することにより、多様な表面現象（温度、ガス濃度、物質等の分布）に関する情報を取得できるようになりました。この技術は火山の多様な表面情報を取得できるという長所がありますが、装置が大型で専用の観測機を必要とするため、一般的に広く普及させることは困難という問題があります。一方、近年は、手持ちが可能な可搬型のカメラ型装置（可視・赤外カメラ）が普及してきました。この装置はヘリコプターや地表から火山の表面温度を容易に把握できるという長所がありますが、単一バンドの計測の為、SO₂ ガスの計測や正確な温度推定はできないという問題があります。以上の技術の長所を合わせ持つ実用的な装置を実現するため、本サブテーマにおいては、可搬型のカメラ型装置に大型の分光装置の多バンド計測技術を組み込む研究開発を進め、多バンド赤外カメラ：SPIC を実現しました（SPIC-C、SPIC-UCと阿蘇中岳噴煙試験観測結果を図2に示す）。

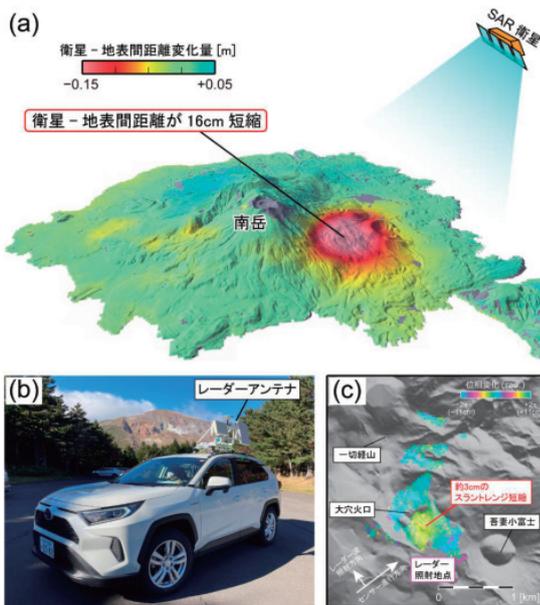


図1 (a) 衛星SAR(だいち2号のPALSAR-2)データを解析して得られた桜島の地殻変動。色は2015/8/10から2015/8/24の期間に生じた、衛星-地表間距離の変化を示します。(b) 可搬型レーダー干渉計(SCOPE)の車載方式。(c) SCOPEにより検出された吾妻山の火山活動に伴う地殻変動(2021年10月29日から2022年11月11日の期間に生じた、レーダー照射地点からの距離の変化)。

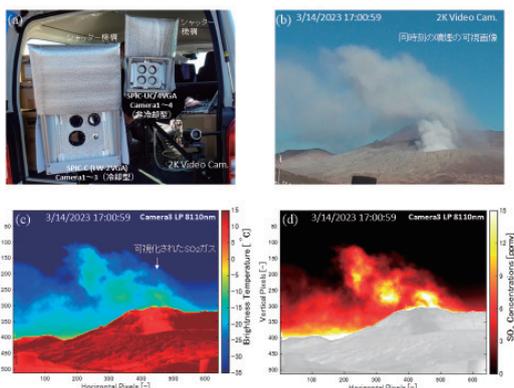


図2 (a) 温度とガスを可視化する多バンド赤外カメラ：SPIC-C (LW-2VGA) (赤外波長域の3つの波長帯域を計測する2台の非冷却型の赤外カメラ：Camera1、2と1台の冷却型赤外カメラ：Camera3で構成)とSPIC-UC/4VGA (赤外波長域の4つの波長帯域を計測する4台の非冷却型の赤外カメラ：Camera1～4で構成)設置の様子(阿蘇中岳噴煙試験観測：2023/3/14、草千里展望所より)。(b) 観測時の阿蘇中岳付近の可視画像。(c) SPIC-C(LW-2VGA)のCamera3(観測波長域8.11～9.5 μm)の温度画像。SPIC-C(LW-2VGA)はCamera3でSO₂ガスの赤外線吸収特性(8-9 μm付近)の強度をSPIC-UC/4VGAよりも高感度で計測し可視化します。(d) 放射伝達シミュレーションにより温度から推定したSO₂ガス濃度分布。

地球化学的観測技術の開発

【担当責任者】 国立大学法人東京大学先端科学技術研究センター 教授 角野 浩史

火山が噴火すると、火口から大量のガス（火山ガス）が放出されます。その大部分は水蒸気で、他に二酸化炭素や二酸化硫黄、硫化水素、水素、ヘリウムなどが含まれます。火山ガスは静穏時にも、噴気地帯の噴気や、マグマの熱で温められた地下水（温泉）に溶け込んだ温泉ガス、土壌ガスなどとして放出されています。ただしこれらには、マグマ起源の成分だけでなく、火山活動に関係のない、大気や天水、生物、岩石などに由来する成分も含まれています。

噴火前にマグマの活動度が高まると、火山ガス中のマグマ成分の割合が変動することがあります。このような地球化学的指標は、従来の地球物理学的観測とは全く異なる知見を与えるため、火山観測に導入すれば、噴火の切迫性評価の精度を格段に上げられると期待されます。しかし火山ガス中のマグマ成分の寄与率を定量的に評価することは困難です。

そこで本サブテーマでは、従来観測されていた化学成分の割合に加えて「同位体比」を用います。元素には化学的な性質は同じでも、質量が異なる「同位体」があり、それらの個数の比が同位体比です。ヘリウムの同位体比（ $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比）や二酸化炭素の炭素同位体比（ $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比）は、マグマや地殻の岩石、大気、土壌で異なるために、火山ガス中のヘリウムや炭素の同位体比から、マグマ成分の含まれる割合が分かります。また噴気中の水蒸気を構成する水素の同位体比（D/H比）や酸素の同位体比（ $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ 比）も、水蒸気噴火かマグマ噴火かといった噴火タイプや、噴気の温度を反映する、火山観測に有用な地球化学的指標です。

これまで同位体比の測定には、化学成分の分離・精製操作と大型の分析装置が必須で、火山近傍でのその場（オンサイト）分析ができず、ダイナミックな火山活動を時々刻々追跡

するのは困難でした。そこで本サブテーマでは、最先端の分光分析技術と質量分析技術を取り入れ、火山ガス中の化学成分とマグマ起源ヘリウムの濃度や、二酸化炭素の $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比、水蒸気のD/H比および $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ 比を、可搬型の装置で計測する技術を開発し、オンサイトでマグマ成分の放出率の推移を調べ、噴火の切迫性評価の高度化と、噴火タイプの迅速な判別に貢献することを試みてきました。開発した可搬型の質量分析計を観測船に持ち込み、沖縄近海の海底火山で潜水艇を用いて採取した熱水（温泉）の $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比を船上で分析し、熱水中のヘリウムのほとんどがマグマ起源であることをオンサイトで明らかにしました（図1）。またドローン等を用いて噴煙を採取し、水素・酸素同位体比から噴火タイプを判別したり噴気孔温度を求める、噴火中の火山にも応用可能な遠隔測定法も開発しました（図2）。2025年6月の霧島新燃岳の噴火では、この装置を用いて噴煙をいち早く採取・分析し、噴煙中の水蒸気にマグマ起源の成分が10%程度含まれていたことを示しました。

一方で、火山は生きており、新しい技術の実用化まで待つてはくれません。そこで現在の火山活動度と、周辺の火山ガスの上昇状況を把握するべく、従来の手法による試料の採取と分析も定期的実施してきました（図3）。それぞれの火山でどの化学成分比が活動度の変化をよく反映するかという、将来のモニタリングの指針となる知見が得られています。

地球化学的視点から火山を研究する人材の不足はとくに深刻です。そこで高度な分析手法を習得し、新たな技術開発もできる、将来の火山化学の担い手を育成することにも力を注いできました。本サブテーマで火山ガスの研究手法を学んだ人材が、大学や研究所等で活躍するようになっていきます。

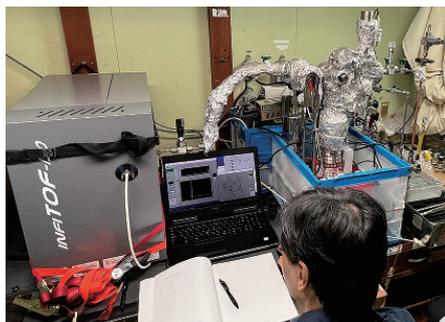


図1 火山ガスや温泉水の $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比測定用の可搬型質量分析計（左）と真空ライン（右）。深海で採取した熱水中のヘリウムを、船上でいち早く分析します。



図2 ドローンを用いた噴煙採取の様子（2021年11月15日、阿蘇中岳）。ドローン直下の採取装置が噴煙を自動判別し、下方に伸びたチューブから噴煙を吸引・採取します。



図3 箱根山における火山ガス採取の様子。黄色の物質は自然硫黄。火山ガスを毎月採取し、化学組成と同位体比を分析しています。

火山内部構造・状態把握技術の開発

【事業責任者】 国立大学法人東京大学地震研究所 教授 大湊 隆雄

1. 噴火切迫性評価に必要な多項目・精密観測

火山噴火は頻度の低い現象ですが、一旦噴火が発生すると大きな被害をもたらすことがあります。2014年には御嶽山において多くの方の生命を奪う噴火が発生しました。この噴火の約1ヶ月前から地震活動にわずかな変化が見られていましたが、それが噴火につながる「前兆」だとは気づかなかったことが大きな被害を防ぐことができなかった理由の一つだと言えます。火山噴火から国民の生命を守るためには、常時精密な観測をして火山の状態を良く知り、わずかな異常をいち早く知ることが理想ですが、そのような観測を長期にわたり継続することは非常に難しいのが現状です。そのため、通常行っている火山活動監視・異常検知のための観

測に加えて、それを補う精度の高い観測・調査を定期的に行い、噴火が近づくと火山のどの場所にどのような異常が現れるのかを知り、それを先験的な情報として用いることにより異常な状態を検知する能力を向上させる必要があります。つまり、健康診断にたとえると定期的な通院に加え、計画的に人間ドックを受診して身体の状態を把握し、異常が見つかった場合は即座に精密検診をすることが重要です。このサブテーマで実施している内容はだまかにいえば人間ドックや精密検診に相当します。機動的に観測を強化し、多項目で精度の高い観測データを取得し、それらを用いて火山活動の変化や噴火の切迫性を総合的に判断する手法を開発することを目指しました。

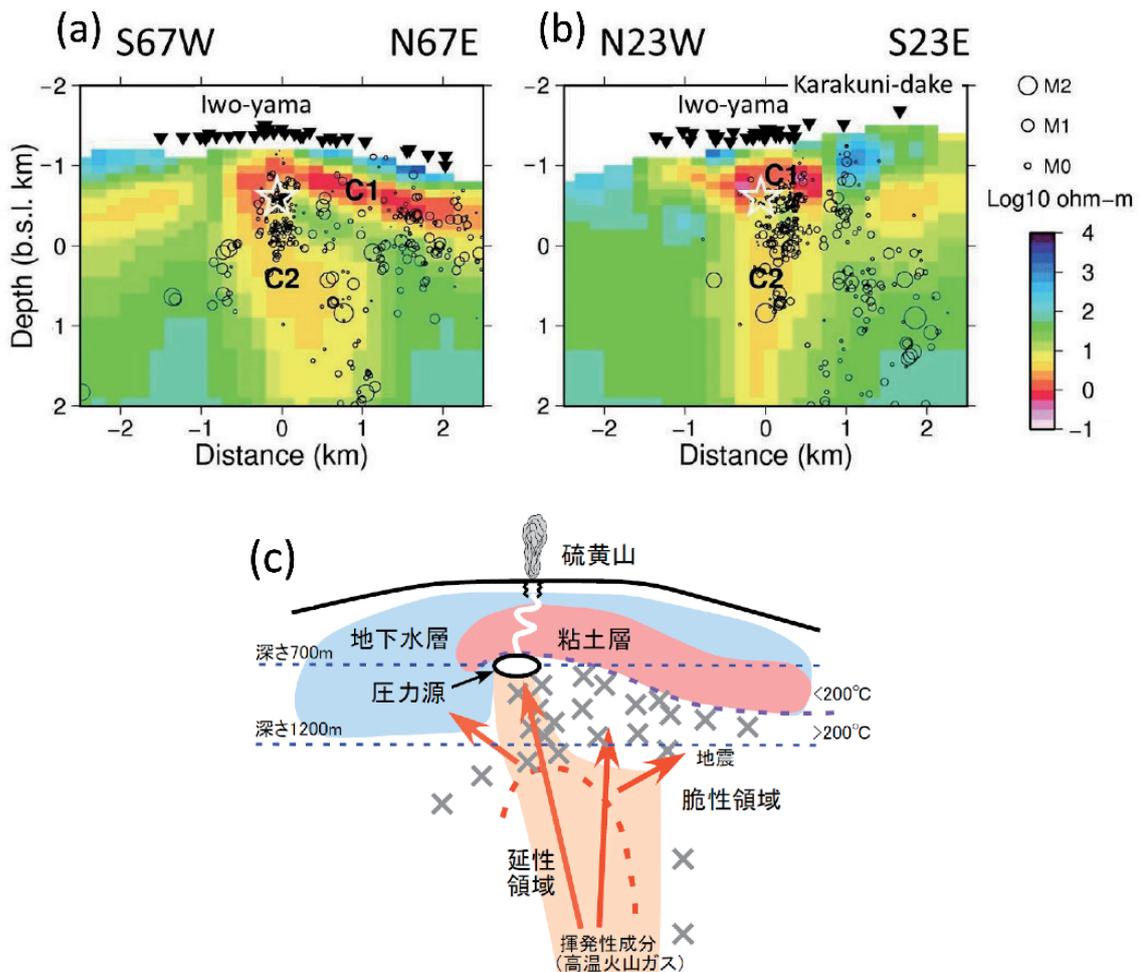


図1 霧島山硫黄山の構造と地震活動、地盤変動の圧力源

(a) 地下比抵抗構造と震源分布 (N67E—S67W 方向の断面) 色は比抵抗値を示す赤い色は電気を通しやすい領域。黒丸は震源の分布。★は圧力源の位置。

(b) (a) と同様の図、但し、(a) と直交する断面。

(c) (a) 及び (b) から推定される霧島山硫黄山周辺の地下構造の模式図。深部から高温の火山ガスが上昇し、浅部では粘土層 (不透水層) に阻まれて高圧の蒸気溜まりができていた。蒸気溜まりが高圧になるに従い、周辺の地震活動が活発化した。

表 1 機動観測実施火山

実施火山	機動観測の主たる狙い
霧島山	水蒸気噴火の可能性調査
箱根山	熱水を供給するマグマ溜まりの推定
倶多楽	水蒸気噴火の原因の熱水系の探査
三宅島	開放系になった火道でのマグマ蓄積
草津白根山	熱水構造とそれを作るマグマ溜まり
蔵王山	マグマ供給系と地震活動の現状
伊豆大島	マグマ蓄積と噴火準備過程
有珠山	マグマ蓄積と噴火準備過程
新潟焼山	比抵抗構造による熱水系の探査
富士山	熱水系と火山ガスの関連

2. 定常観測を補完する機動観測の重要性

機動的な観測強化の重要性を実例で示します。図1は本サブテーマの最初の観測対象として、事業開始時から平成30年度までMT法による電磁気探査、地震観測、地盤変動観測等の多項目機動観測を実施した霧島山硫黄山周辺（えびの高原）の地下構造と精密な震源を示したものです。霧島山硫黄山では2018年4月19日に水蒸気噴火が発生しましたが、電磁気探査の結果から、ここでは地表近くに電気を良く通す層（水を通しにくい粘土層と想定される）が横たわり、噴火を起こした硫黄山の下ではそれがお椀を伏せたような形状となっていることがわかりました。このお椀状の形状は、深部のマグマから上昇した高温の火山ガスが溜まりやすい構造と考えられています。このことから、水蒸気噴火に先立つ火山性地震・微動活動の活発化や硫黄山周辺の地盤の上昇は火山ガスが地下から上昇し、地下水を熱してできた多量の水蒸気が地下に蓄積したことが原因であることが明らかになりました。水蒸気噴火の発生機構を理解し、噴火切迫性を評価するために必要かつ重要な情報が得られたこととなります。全国には水蒸気噴火を起こす可能性の高い火山が多数あります。霧島山で行ったこのような多項目の調査をそれらの火山においても計画的に実施し、想定される火口の位置を推定するとともに、想定火口の近くに地震計や傾斜計などの観測装置を設置して、水蒸気噴火の切迫性の評価に利用できる情報を継続的に取得することが重要です。本サブテーマでは、それぞれの火山のどこでどのような観測を強化すれば噴火の切迫性評価にとって有効な情報が得られるかを明らかにするとともに、JVDNシステムを活用してそ

の情報を火山監視や火山防災にあたっている気象庁、地元自治体や、令和6年4月に設置され、火山調査研究を一元的に推進する火山調査研究推進本部等に提供しています。

3. サブテーマ4での具体的な計画と実施内容

上記のような機動観測を活動的な火山を対象に計画的に実施し、正確で詳細な火山活動の情報を事前に集積することが重要です。このサブテーマでは、全国の大学の研究者が中心となって、表1に示す10火山での機動観測を実施しデータ解析を進めています。また、機動観測に加えて、火山性微動の検出、地震活動評価、地下の電気の通しやすさの指標となる比抵抗構造を精密に推定するなど、いくつかのデータ処理・解析ツールの開発やドローンを利用した観測方法の開発も行いました。

4. おわりに

サブテーマ4では、対象火山すべての観測を予定どおり行い、切迫性を判断する基準となる非噴火時の基礎データの蓄積も進んでいます。実施した機動観測により、火山噴火の発生場となる火山浅部の詳細な構造を把握するとともに、噴火切迫性の指標となる特徴的な構造も明らかになりつつあります。開発された観測手法の一部は火山調査研究本部の事業で活用できる水準に達しています。また、開発された切迫性の評価に資する各種ツールは、各火山で得られたデータの解析に活用されており、火山噴火の切迫性評価に資する新たな知見を生みつつあります。

火山観測に必要な新たな観測技術の開発

位相シフト光干渉法による多チャンネル火山観測方式の検討と開発

【事業責任者】 国立大学法人京都大学防災研究所 教授 中道 治久

【分担責任者】 白山工業株式会社 基盤開発部長 平山 義治

**課題B2-2は、令和5年度で完了しました。

本課題では、火山観測用にレーザー光を使った新しい振動センサーシステムである「位相シフト光干渉法を用いた振動観測システム」を構築するとともに検証観測を重ね、新しい観測システムを実用的なものに育ててきました。

火山研究も火山防災も基本は現地における観測です。火山性地震や火山性微動としてとらえられる地震波は、火山の地下で今起きていることを知らせてくれる貴重な情報です。この地震波をとらえる振動センサー（地震計）は、火山の内部で今起きていることをとらえるための「耳」の役割をします。直接目に見えない火山活動の異常をより早く検知しようとするれば、腐食性の火山ガスが充満する場所や高温にさらされる場所、雷常襲地の火山の山腹などにこそ「耳」であるセンサーが必要です（図1）。このような場所でこそ光センサーシステムは大きなアドバンテージを持ちます。

本課題で取り扱う光センサーシステムはセンサー部に電気回路を持ちません。そのため、光センサーは高温と腐食性ガスにも耐え、さらには雷サージのような電気ショックにも耐えることができます。光センサーシステムでは地震波による地面の動きをとらえた振り子の振幅の変化をレーザー光の位相差として検出します（図2）。光センサーシステムでは、センサーで検出された位相差を光信号として光ファイバーで直接、図1の光信号処理装置に送ることができます。

平成30年度に火山観測に適切な固有振動数が約25Hzのコンパクトなセンサーを作成しました。令和元年度は作成したセンサセットを使用し、京都大学桜島火山観測所ハルタ山観測点での長期観測を行ない、約半年間の長期連続観測と、実観測環境下での耐雷性の検証を行い、良好な

センサー内光回路

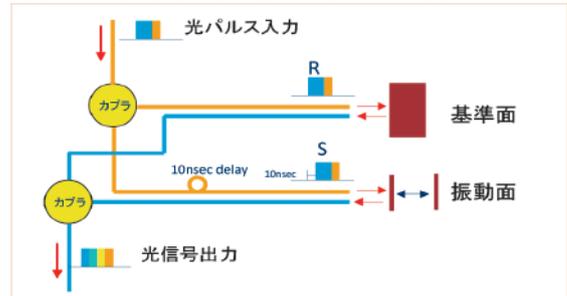


図2 光センサーシステムにおける振動検出概念図



図3 高温対応光センサーシステムの地震計の大深度観測井への設置作業風景

結果を得ました。令和2年度は高温対応のセンサー及び筐体を作成し、令和4年度には新潟工科大の観測井の深さ2000m地点にセンサーを設置し、2年間連続して高温実証試験を行いました（図3）。本課題で開発された光センサーシステムは「いち早く火山現象を捉える実用的なセンサー」で、火山研究および火山防災の高度化に貢献していきます。



図1 光センサーシステムによる火山観測概念図

C

火山噴火の予測技術の開発

【事業責任者】 国立大学法人北海道大学大学院理学研究院 特任教授 中川 光弘

課題の概要

課題Cでは国内の主要な活火山を対象に噴火履歴の解明と噴火事象の解析を行い、得られた情報を数値シミュレーションで解析することによって火山噴火の予測技術を開発しました。そして事象分岐判断基準が伴った「噴火事象系統樹」を整備するとともに、噴火発生確率の算出に向けた検討を行いました。

本課題は、C-1：「火山噴出物分析による噴火事象分岐予測手法の開発」、C-2：「噴火履歴調査による火山噴火の中長期予測と噴火推移調査に基づく噴火事象系統樹の作成」、C-3：「シミュレーションによる噴火ハザード予測手法の開発」の3つのサブテーマからなり、互いに密に連携しながら進めていきました（図1）。

各サブテーマの概要

C-1：火山噴出物分析による噴火事象分岐予測手法の開発

本サブテーマでは、国内の代表的な活火山を対象に、噴火の過程が記録されている噴火について、深度（圧力）・温度・含水量といったマグマ溜りの状態、噴火に先立つマグマ混合から噴火までの時間スケール、マグマの上昇開始から噴火開始までの時間スケールを噴出物の解析から明らかにするとともに、実際の噴火現象との対比を行いました。本研究で新たに得るデータに加えて既存の研究成果も適宜参照して、火山噴出物から噴火事象分岐予測を行う基準を検討しました。計画期間内に11火山について研究を行うとともに、C-2と連

携して噴火履歴調査で収集した試料の一部の解析も行いました。さらに、より多くの火山噴出物の分析データを収集し噴火事象分岐予測に役立てるため、分析・解析プラットフォームを整備し、広く火山研究者や学生に開放するための利用環境を整えました。

C-2：噴火履歴調査による火山噴火の中長期予測と噴火推移調査に基づく噴火事象系統樹の作成

本サブテーマでは、国内の活火山のうち、活動的であるとともに噴火した際の社会的影響が大きい火山を重点火山として選定し、主として地質学および物質科学的手法に基づいて長期的な噴火履歴を明らかにし、さらに個々の噴火の様式とその推移を可能な限り詳細に解明しました。また特に重要な火山を最重点火山とし、ボーリング掘削やトレンチ調査を集中的に実施して、より高精度に噴火履歴を解明しました。そして、各対象火山について高精度のマグマ噴出量階段図を作成するとともに、噴火履歴に対応する噴出物の物質科学的解析に基づいたマグマプロセスの解明を行い、個々の火山で中長期噴火予測、および分岐確率の入った噴火事象系統樹の作成を目指しました。

C-3：シミュレーションによる噴火ハザード予測手法の開発

本サブテーマでは、数値シミュレーションにより事象分岐判断手法の開発を行いました。本事業の7年目までは、個別の事象（例えば地下のマグマの移動など）についてのモデル

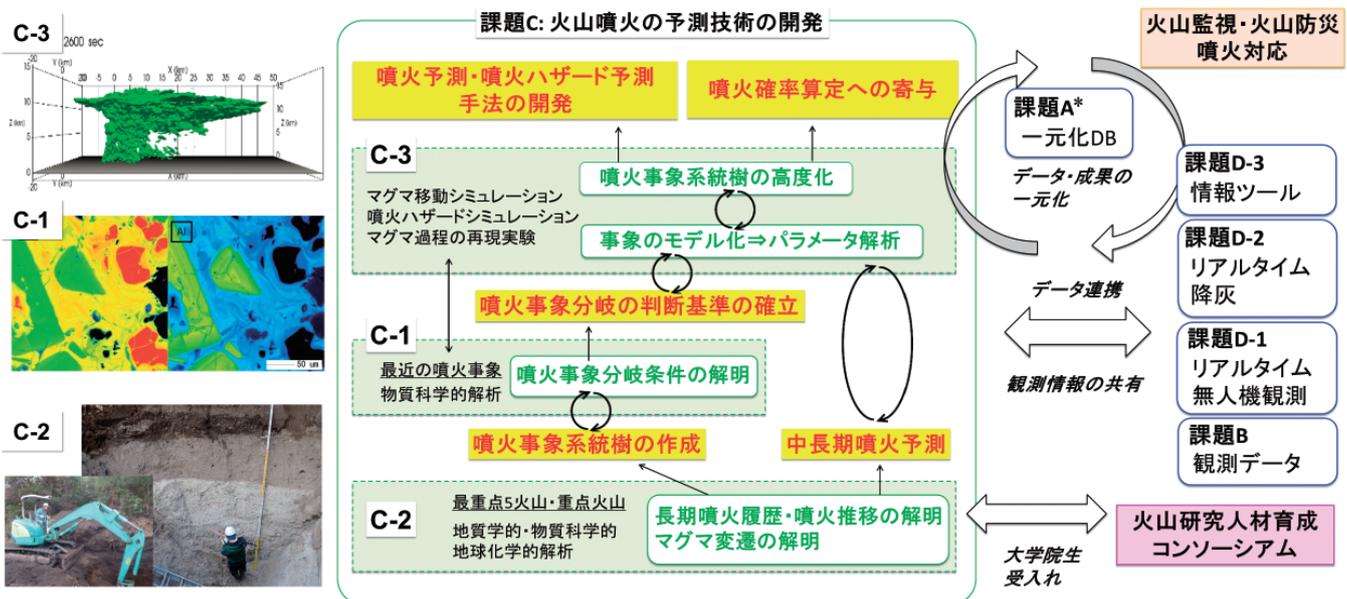


図1 課題Cの実施内容の相関関係と他課題・火山研究人材育成コンソーシアム構築事業との関係

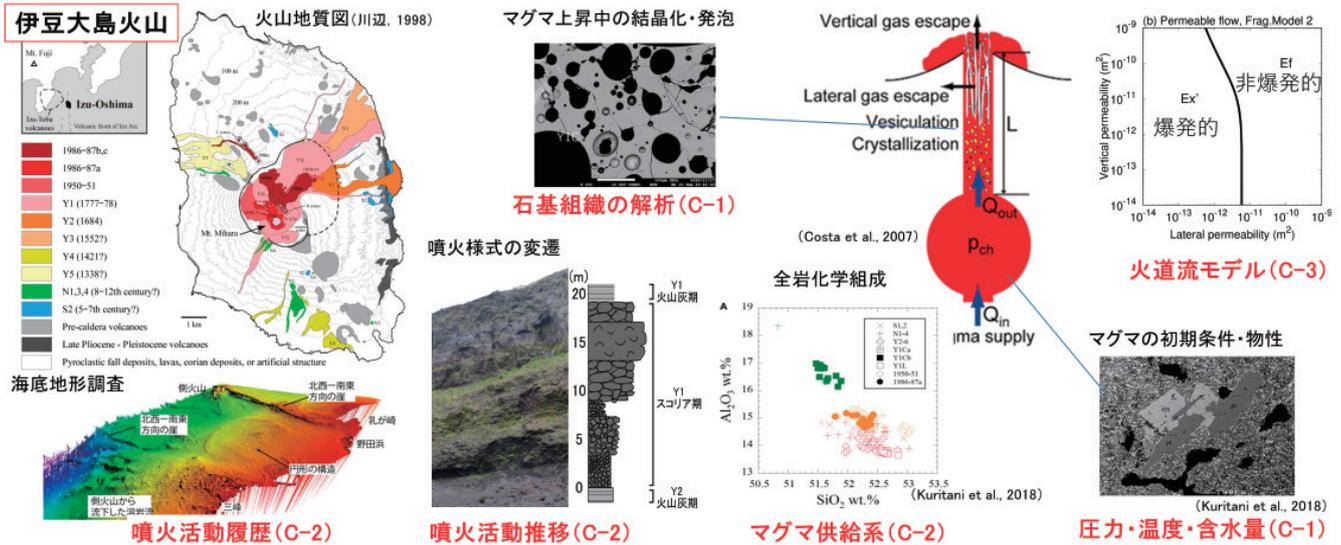


図2 課題C内連携研究の概要

化と数値シミュレーション技術を開発しました。その際、それぞれの事象を支配するパラメータの洗い出しと、その感度解析を行いました。これには実験的手法による物性モデルの開発を併せて進め、その成果を数値シミュレーションに取り込み、高度化を図りました。本事業の8～10年目では、各事象の発生・分岐条件を踏まえた火山ハザード評価システムおよびマグマ移動過程評価システムを開発しました。また、多パターンの数値シミュレーションを実施し、それに基づき事象分岐確率を提示することを目指しました。

課題内連携研究や他課題等との連携

課題Cでは、他課題との連携にも取り組みました。例えば、課題A*にはJVDNシステムのデータベースに様々なデータを提供しました。課題Dとは、リアルタイムハザード予測に必要な観測情報について課題D-1との共有、メソスケールでの降灰予測技術について課題D-2との連携、ハザード情報の表現手法の取り扱いや噴火発生確率などについて課題D-3との連携、などを行っていました。またC-3では特に国内外の他分野との連携・融合を重視していました。例えば計算科学分野から最新のアルゴリズムの知見を、さらに物性モデルや破壊過程などの知見を材料工学・物性物理学から導入しました。一方、本課題は人材育成の場としても利用されました。特にC-1やC-2で行う地質調査や物質科学的解析は、地質・物質科学分野の大学院生の研究課題として適しています。その意味で「人材育成事業」においての特に地質・物質分野の教育・訓練の大きな部分を、本課題が担ってきました。

また、課題内だけではなく他課題と連携することを目的とし、伊豆大島火山と霧島火山を対象として連携研究を企画しました。連携研究では、各火山においてこれまでの研究成果を基に構築されたマグマ供給系モデルと噴火事象系統樹(噴火シナリオ)をたたき台とし、次の噴火を念頭に議論を進め

ました。その際、静穏期・Unrest期・噴火開始期という3つのステージを想定し、それぞれについて以下の論点を検討しました。

- ・静穏期：記録や地質調査によって得られる過去の噴火様式や推移は、将来予測に有効か。
- ・Unrest期：観測や地球化学データの蓄積を踏まえ、どのように噴火シナリオを修正できるか。
- ・噴火開始期：現行の体制で、迅速にマグマ供給系を把握し、予測を更新できるか。

そして、令和4年度には伊豆大島、6年度には霧島で研究集会と現地検討会を実施し、上記の論点で活発な議論が行われ、現時点での研究の到達点と今後の課題が明確化されました。これにより、マグマ供給系モデルと噴火事象系統樹の精緻化が進み、次の噴火への備えにつながることを期待されます。

社会的意義

課題Cの目標である噴火予測技術は、火山の監視、防災対策、噴火対応等で必要とされ、広く社会で活用されることが期待されます。このうち主要な成果である各対象火山の「中長期噴火予測」および「噴火事象系統樹」は、気象庁や火山防災協議会での噴火シナリオの検討、避難計画などの防災対策、令和6年4月に設置された火山調査研究推進本部が行う火山活動の総合的な評価に不可欠な基礎資料となるはずで。また、地元住民を対象とした各火山の研究成果や中長期噴火予測についての普及講演を毎年行うことを計画しており、火山研究への理解と火山防災への意識の向上を図っていきます。さらに火山ハザード評価システムの実現は、噴火時の対応だけでなく、火山防災対策への活用も期待されます。

課題Cホームページ：<https://www.kadai-c.com/>

*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。

火山噴出物分析による噴火事象分岐予測手法の開発

【分担責任者】 国立大学法人東京大学地震研究所 教授 安田 敦

本課題では、「噴火事象」の予測をどうやって実現するかについて、物質科学の観点から検討しました。ひとたび噴火の発生を予想させるような事象が観測された際に、噴火の発生、噴火様式と規模、噴火の推移について様々な判断を迅速に行えるように、物質科学的データを集め、それらの指し示す事柄を読み出し、情報を整理・統合して、噴火予測につなげられるようにすることが本課題の目的です。

火山噴出物を解析して得られるデータは多種多様ですが、私たちは事業期間内に 11 座の火山についての最近の火山噴出物分析を通じて、噴火事象予測に重要と思われる要素を検討してきており、その結果、以下のようなことが明らかになってきました。まず、噴火の様式（爆発的か非爆発的か）を決める主要因はマグマの組成（とりわけ含水量）とマグマの温度、および、マグマの噴出量（流量）です。このうち、マグマの組成や温度は、過去の噴出物から将来を類推することができます。マグマの流量も、過去の噴火事例、特にマグマ上昇速度などを集めるとともに火道形状などの個々の火山に固有な制約要素をある程度絞り込むことで、範囲の予想が可能になるでしょう。次に、噴火推移の推定には、噴火直前にマグマがどのような状態や場にあったかということが、非常に重要ということもわかってきました。例えば、大規模噴火の発生前には、通常よりも浅い場所にマグマの蓄積が起きていた事例が見つかっています。また、深部からのマグマの供給によって浅部マグマ溜まりが流動化して噴火発生に至った事例がいくつかの火山で確認されています。噴火前のマグマ溜まりの状態、とりわけ温度と結晶量や深部マグマとの混合量の違いによって、噴火様式が変わることも明らかになってきました。これらの知見は、過去の噴火事例や噴出物を丹念に調べるとともに、リアルタイムでマグマの状態や位置を知ることが、噴火様式や噴火推移の予測には必要なことを示しています。

したがって、噴出物から迅速に情報を読み出す体制の確立も重要です。EPMA による噴出物分析の自動化と熱力学計算環境を整備によって、噴火発生時に遅滞なくマグマ供給系の情報を得られるようになりました。また、データベースを整備して過去の分析・解析の成果に素早く参照できる体制も整いつつあります。噴火発生時に噴出物の特徴を素早く分析しマグマの状態や噴火活動推移を把握するための火山灰粒子色相分析法も開発されました。

「予測」を行うためにはモデル化は欠かせません。上で述べたような噴火を特徴づける様々な要素を盛り込んだ物理モデル（図 1）を使って、どのような状態の際にはどのよう

な現象が追従するのかを計算から予測します。ただし、火山噴火は破壊を伴う現象ですから、確定的予測を行うことは困難です。それをふまえた上で、様々な不確定値について値を振ったシミュレーションを行い噴火の確率を計算するというアンサンブル予測という方法が最も予測の実現に適していると考えました。加えて、火山噴火は前駆活動から噴火発生までの間に様々な観測事象を得られるので、それらをリアルタイムに参照しながらプレアナリシスで予測された確率を時々刻々と修正していくという方法を提案するに至りました（図 2）。

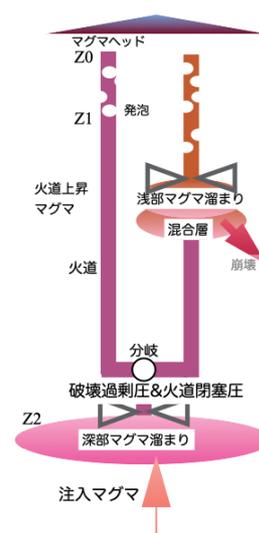


図 1 モデルの概略

マグマの注入や分化による密度変化によってマグマ溜まりの過剰圧が閾値をこえるとマグマの移動が起き、火道閉塞圧とのバランスによって噴火に到ったり途中で停止したりする。プロジェクトで得た噴火に影響する要素を入力に組み込んで時間発展計算を行い、さらに入力値を振った多数の計算を行い、それらのアンサンブル平均を使って現象発生率の確率を計算する。

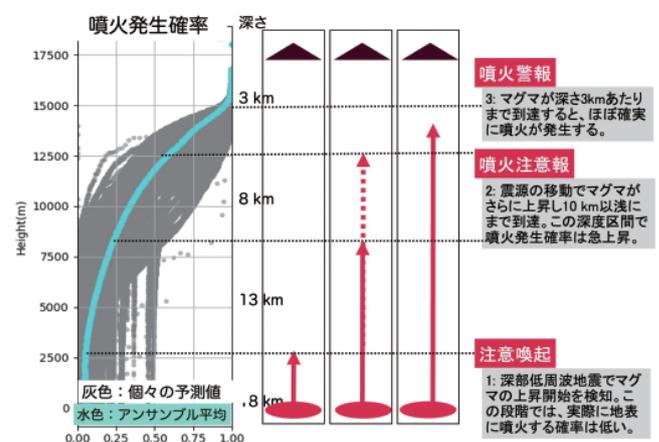


図 2 計算結果の応用例

マグマヘッドがある深度まで上昇した際に、最終的に噴火に至るかどうかを確率の形で表現した例。マグマが上昇するにつれ噴火に至る確率が急速に高まる。マグマヘッドの動きを観測で捉えることによって、注意報や警報の発令にもつなげられる可能性がある。

噴火履歴調査による火山噴火の中長期予測と噴火推移調査に基づく噴火事象系統樹の作成

【分担責任者】 国立大学法人北海道大学大学院理学研究院 教授 栗谷 豪

「火山噴火の予測技術の開発」を行うためには、噴火の準備過程から噴火の開始～終了までの種々の観測データが必要なことはもちろんですが、個々の火山の噴火履歴や個々の噴火の推移などの地質学的情報、そして過去の噴火における火山内部のプロセスを記録した物質科学的情報を得ることが重要です。これらのデータが得られると、噴火準備の場とプロセス、噴火様式の変化の要因、噴火終了に至った条件などが解明される可能性があります。このような事例研究を多数蓄積することにより、火山噴火予測技術が確立されると期待されます。

本サブテーマでの研究対象として、活動的であること、噴火した際の社会的影響が大きいこと等を考慮し 26 の重点火山を、さらにボーリングやトレンチ調査を集中的に実施する最重点火山として、摩周・雌阿寒・鳥海山・伊豆大島・阿蘇山の 5 火山を選定しました。これらの火山の他に、2018 年の本白根噴火のようなノーマークの噴火を防ぐために、活動的ではないと考えられている火山や活動域も研究対象としました。本サブテーマでは時間と手間のかかる地質調査や噴出物の物質科学的解析を基盤とするため、多くの機関からの専門家を結集しています。また、高度な物質科学的解析を行う場として「マグマ変遷解析センター」を北海道大学に設け、参加機関の研究者・大学院生に開放し、高精度かつ多種類のデータの蓄積を図ってきました(図 1)。

各対象火山においては、主として地質学的・物質科学的手法

に基づいて、個々の火山における高精度な噴火履歴の解明、個々の噴火における噴火推移の復元を行ってきました。地質調査においては、従来の地表踏査に加え、人力・重機によるトレンチ掘削調査やボーリング掘削調査を重視しました。それらの結果を踏まえ、個々の噴火において時系列で採取された噴出物を対象に物質科学的解析を行うことで、各噴火ステージのマグマプロセスと長期のマグマ変遷を解明してきました。そして、これらの手法を用いて研究対象の各火山について、過去数万年間あるいはそれ以上の時間軸でマグマ噴出量階段図を作成し、それに対応したマグマ変遷の情報も完備させてきました。これらの情報をもとに中長期噴火予測手法を開発し、噴火活動の中長期予測を作成・公表するとともに、活動履歴をもとにした噴火事象系統樹を整備してきました。さらに火山毎の噴火の特徴やその共通点を明らかにして、噴火事象のモデル化に必要なパラメータ、例えば噴出量、噴火推移、マグマ物性(組成、斑晶量、温度)などを、特に C-1 や C-3 課題に提供し連携研究を展開してきました。

本サブテーマは多数の火山を研究対象とするために、研究成果を火山の地元に戻元することが重要になります。本研究で期待される成果を地元の自治体、火山防災協議会、そして住民と共有し、それらが長期のインフラ整備計画、火山防災および住民教育に活用されることを最終的な目標としています。



図1 課題C-2の対象火山と主な取り組み事例

シミュレーションによる噴火ハザード予測手法の開発

【分担責任者】 国立研究開発法人防災科学技術研究所 火山防災研究部門長 藤田 英輔

本サブテーマでは、火山活動や火山災害の予測の評価のための分岐判断の指標の作成に取り組んでまいりました。観測量から物理モデルを介在し、いろいろな要素を予測することになります。火山活動評価では、地震活動度やガスなど観測量に対し、火道流モデル、岩脈貫入モデル、地殻変動モデルを支配するパラメータで再現性を定量化し、噴火・噴火未遂などの予測につなげます。火山ハザード評価では、観測量に対し、降灰・噴煙柱モデルなどのハザードモデルを介して、ハザードの時空間情報を予測し、対策につなげる情報を提供します。活動の今後の推移には複数の可能性があります、そのいずれの分岐に向かうのかを判断し、火山の状況を把握できれば対策をとることが可能となります。

火山噴火とそれに伴う火山災害は、複雑な物理的・化学的な要素の組み合わせにより発生し、その現象は、溶岩流、火砕流、噴煙・降灰、噴石など多岐にわたります。また、噴火予知のために地下におけるマグマの動きを把握することも重要です。このような複雑な現象のメカニズムを明らかにし、火山災害の発生を予測するため、火山観測データや実験データから得られる情報と理論を踏まえ、より高度で精度の高い

モデルをつくり、数値シミュレーションを行い、予測につなげる技術開発を実施しました。

1) 地下におけるマグマ移動シミュレーションでは、地下におけるマグマの移動過程、気液二相系としての流動様式と噴火様式についての解釈を行い、噴火に至るまでの事象分岐の判断基準について体系的に整理しました。火道流モデルでは火道の形状や浅部におけるプラグの形成も含めてモデル化し、これらから期待される物理観測量を提示しました。岩脈貫入シミュレーションでは噴火・噴火未遂の分岐の判断指標が提供できました。2) 噴火ハザードシミュレーションの開発・高度化では噴火発生時における溶岩流・降灰・噴煙・火砕流・噴石などの多様な火山現象に対してまとめて評価ができるように整理し、噴火ハザードを高精度で評価可能なシステムを作成しました。特に降灰については、3次元噴煙シミュレーションの数値計算結果を降灰モデルの初期条件として利用することにより、降灰シミュレーションの高度化を実施しました。さらに、降灰シミュレーションと脆弱性データベースの融合によるリスクの定量評価にまで踏み込んだ取り組みを実施しており、防災対策への活用へ発展できる情報を提供しています。

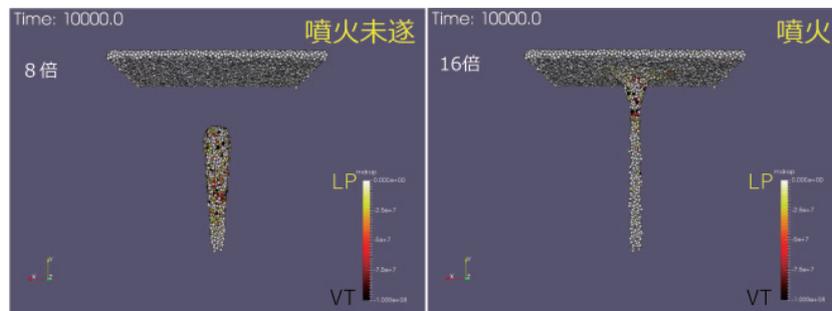


図1 岩脈貫入シミュレーションの例。噴火未遂では低周波地震がある一定の深さで継続的に起こるが、噴火に至る場合は火山性地震が浅いところに移動して発生する。

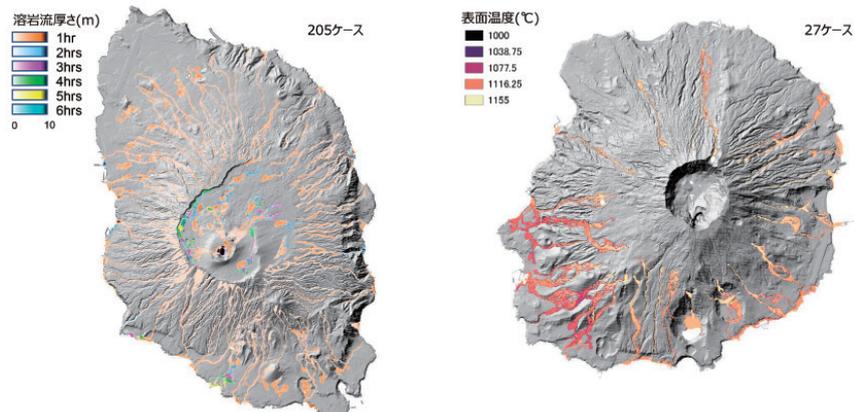


図2 溶岩流シミュレーションの事例。伊豆大島(左)・三宅島(右)の高精度(5mメッシュ)シミュレーションにより、溶岩流の厚さ、表面温度を表現。GISで利用できるデータとして提供。

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

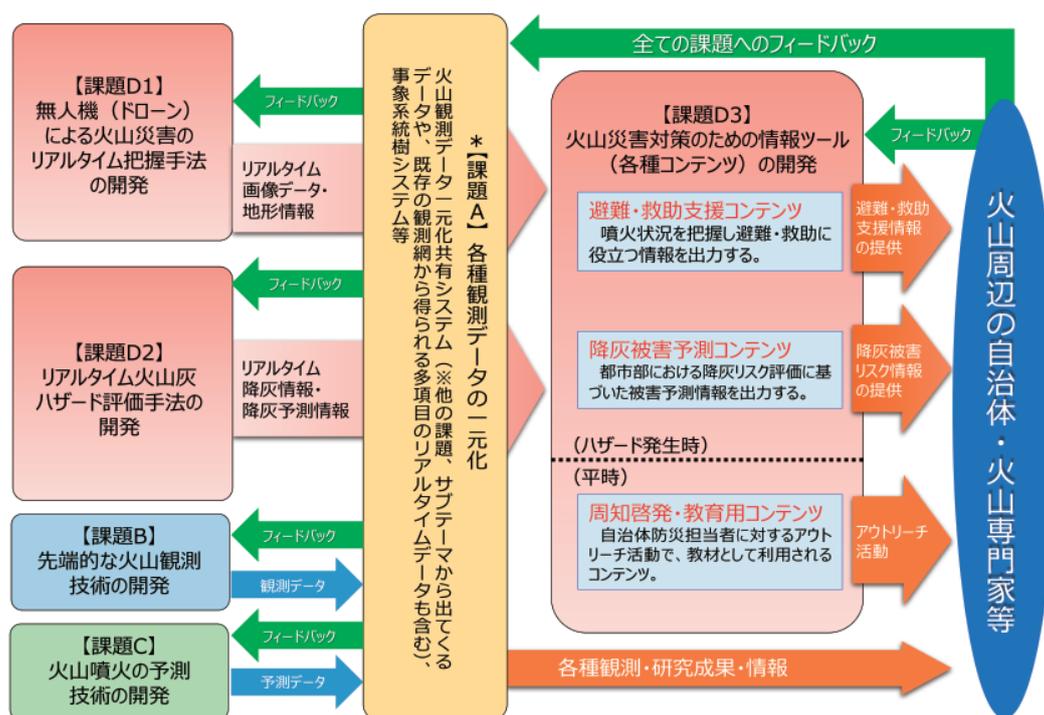


図1 課題D サブテーマ間およびプロジェクト全体の連携を示す図

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。

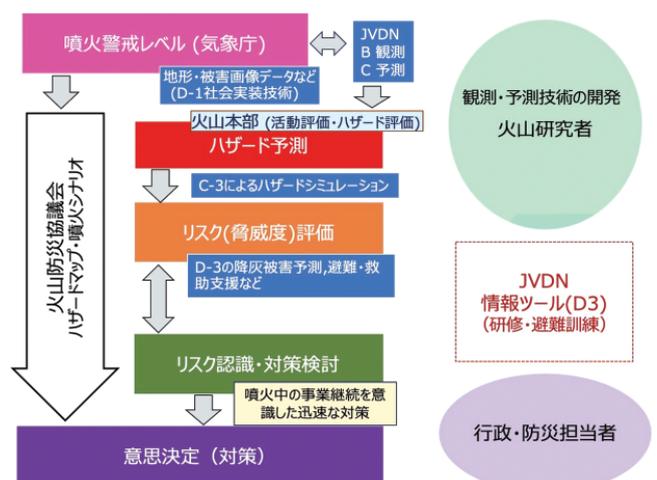


図 2 噴火発生時の火山情報の流れと各研究課題の研究位置を示す図。課題 D-2 は、桜島火山においてこれら全体を網羅したケーススタディを行った。「火山本部」は火山調査研究推進本部。

* 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)。

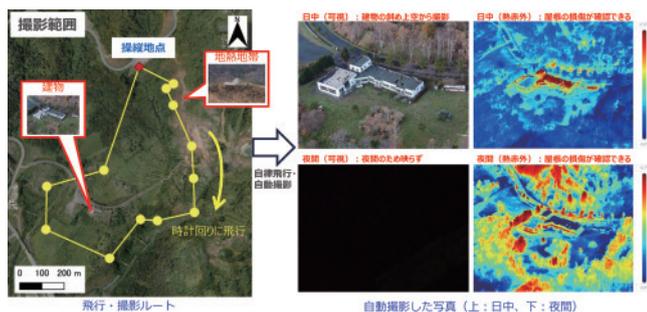


図1 日中と夜間にドローンによる自動飛行・自動撮影を実施した事例(有珠山)

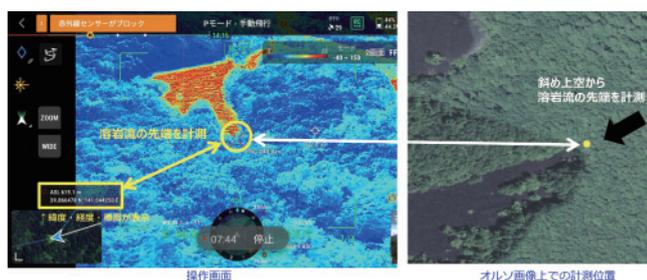


図2 ドローンから溶岩流の先端位置を計測した事例(岩手山)

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。

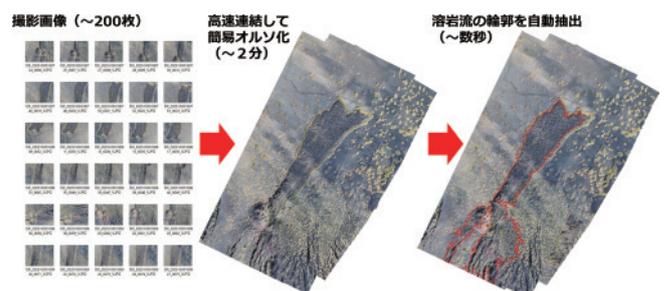


図3 ドローンで撮影した画像を用いて溶岩流の輪郭を自動抽出した事例(伊豆大島)

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。

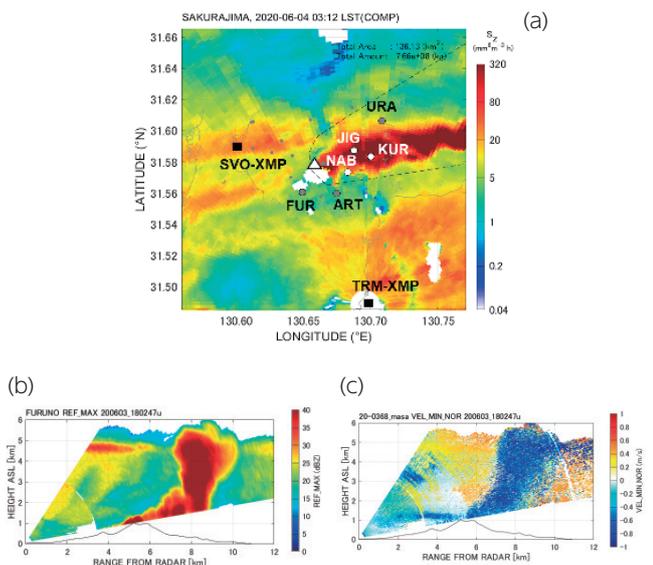


図1 桜島火山観測所のXバンドMPレーダが捉えた降雨中の桜島南岳の爆発的噴火(2020年6月4日)。降雨中を東進する噴煙が高度4.5kmにある融解層(0°C層)を突き抜け高度6kmまで達していることが分かります。(a)反射強度の平面図。(b)反射強度の鉛直図。(c)ドップラー速度の鉛直図。

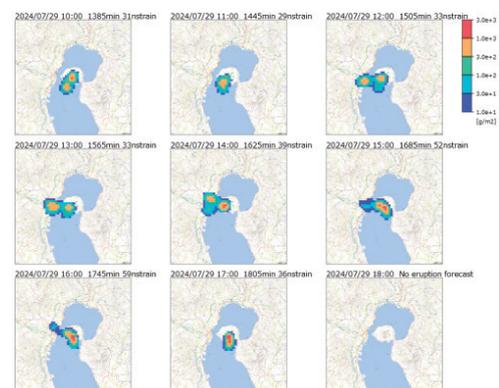


図2 2024年7月29日の噴火発生前(10:00時点)において自動的に計算された1時間から8時間後までの降灰量分布予測。噴火は16:46に発生しており、17:00の予測(下段中央)と比較すると予測の火山灰分布と実際の噴煙流下方向が一致している。

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

火山研究人材育成コンソーシアム構築事業

コンソーシアム代表機関実施責任者 国立大学法人東北大学大学院理学研究科 教授 西村 太志

火山研究人材育成コンソーシアム構築事業は、最先端の火山研究を実施する大学や研究機関、火山防災を担当する国の機関や地方自治体、また、それらをサポートする民間企業からなるコンソーシアムを構築し、学際的な火山学を系統的に学べる環境を整えることで、次世代の火山研究者を育成する取り組みです。

コンソーシアム構築の目的

火山に関する研究を行う学生はこれまで、所属する各大学の専攻を中心にして火山学の勉強を進めてきました。しかし、各大学の火山研究者の人数は限られるため、所属する大学で学ぶことのできる内容はどうしても限られてしまいます。一方で近年、観測調査技術の向上と合わせ、マグマ動力学の理論モデルの構築も進み、火山現象の理解および火山活動の予測に関する研究分野では、火山学の主要3分野と呼ばれる、地球物理学、地質・岩石学、地球化学の分野の融合が始まっています。また、社会からは噴火災害の軽減への期待も大きく、災害科学のひとつとして火山学が位置づけられるようになっていきます。

そこで、火山研究人材育成コンソーシアムでは「次世代火山研究者育成プログラム」を実施し、大学や研究機関の枠を超えて、学際性を伸ばしながら研究を進めるといった新たな選択肢を提供してきました。これにより、多様な火山現象の理解の深化、国際連携を強めた最先端の火山学研究を進めるとともに、高度社会の火山災害軽減を図る災害科学の一部を担うことのできる、次

世代の火山研究者を育成することを目指しました。

コンソーシアム参加機関・協力機関

(2026年2月現在)

●参加機関

東北大学 (代表機関)、北海道大学、山形大学、東京大学、東京科学大学、名古屋大学、京都大学、九州大学、鹿児島大学、神戸大学

●協力機関

防災科学技術研究所、産業技術総合研究所、気象庁、国土地理院、信州大学、秋田大学、広島大学、茨城大学、東京都立大学、早稲田大学、富山大学、大阪公立大学

●協力団体

地方自治体：北海道、宮城県、神奈川県、長野県、岐阜県、長崎県、鹿児島県、群馬県、山梨県、大分県
民間企業：アジア航測株式会社、NTTドコモビジネス株式会社、東京電力ホールディングス株式会社、九州電力株式会社、株式会社建設技術研究所、日本電気株式会社
海外機関・学協会：日本火山学会、日本災害情報学会、イタリア大学間火山学コンソーシアム

次世代火山研究者育成プログラムの授業科目等

火山研究人材に求められる資質	基礎コース 修士1年	応用コース 修士2年	発展コース 博士課程
基礎・専門知識の習得	大学院専門科目(主要3分野) 課題研究		研究PJのRA
広範な知識や技術の力	火山学セミナー(最先端研究など)		
観測・調査方法の習得	国内フィールド実習		
研究の実践		海外フィールド実習	火山研究特別研修
研究成果を社会へ還元する力		学会発表	
社会防衛的な知識力		インターンシップ	火山防災特別セミナー
	火山学セミナー(社会科学・工学・防災)		
	修了証の発行		

授業科目は単位化し、必須科目の取得及び取得単位数をもとに基礎コース・応用コース・発展コースの修了証を授与。

次世代火山研究者育成プログラムの内容

■受講生の対象

- 基礎コース（修士1年相当） 14名程度 / 年 計 183名
- 応用コース（修士2年相当） 14名程度 / 年 計 125名
- 発展コース（博士院生相当） 6名程度 / 年 計 19名

■提供する主な授業科目

A. コンソーシアム参加機関の大学で開講されている授業科目

- 地球物理学、地質・岩石学、地球化学、防災学、自然災害科学に関連する大学院の学生対象の授業
一大学では難しい他分野の多様な講義を受講可能です。
Web会議システムを利用した遠隔授業を導入しました。

B. コンソーシアム等が開講する授業科目

●火山学実習

a. 火山における実習（フィールド実習）

国内の活動的な火山で計測、調査技術の実習を約5日間で行います。

b. 次世代火山研究推進事業が実施する観測・調査研究プロジェクトで実施する観測調査に参加し、最先端の観測研究技術を学びます。



有珠山における実習の様子（2025年9月）

●火山学（特別）セミナー

- 最新の火山学研究の分野
- 工学・農学等の火山計測、防災に関する分野
- 人文・社会科学等の自然災害に関する分野

最新の火山学はもちろん、工学、社会科学、火山防災に関連した分野の特別講義・セミナーも実施し、災害軽減への貢献を視野に入れる次世代の火山研究者を養成します。



穂高火山学（火山砂防）セミナー（2025年7月）

●インターンシップ

コンソーシアム参画機関等でのインターンシップを提供し、社会との接点を意識して研究を行うことの必要性を学びます。

●海外研修・海外特別研修

国内の火山と類似点のある海外の代表的な活火山において、海外著名研究者の協力の下にフィールド実習や研修を行い、国内外の火山災害軽減に貢献するための研究を実践する若手研究者の育成を図ります。

●火山研究特別研修

国内外の研究者による最先端の研究に関する講演を聴講するとともに、受講生自身が進めている研究を口頭あるいはポスター発表します。

●火山防災特別セミナー

国の機関や地方自治体で実施されている火山防災・火山活動監視の業務に関する内容を学びます。



福島火山防災特別セミナー（2025年10月）

こうした授業科目を単位化し、単位取得の必要要件を満たすことで基礎・応用・発展の各コースの修了としました。

■アドバイザーボード・キャリア開発支援

受講生が研究の進め方、キャリアパス、就職活動等についてアドバイスを受けられるよう、コンソーシアム参加・協力機関の担当者等による支援体制を設けました。また、学会等での研究発表を奨励しました。

■テキストの作成

火山学および火山防災に関するテキストや、火山のフィールドのテキストを作成しました。専門性を深化させるためだけでなく、他分野の受講生が予習 / 復習、自主学習ができるテキストを目指しました。

■特別聴講生

正規の受講生のみならず、国の機関や地方自治体の職員および火山研究を進める大学院生等も、本プログラムによる授業科目等を受講できるようにしました。火山現象の多様性や火山活動把握技術の現状について学ぶ機会を提供し、それらの知見が火山防災や活動監視に活用されることを目指しました。

■海外機関との連携

Asian Consortium of Volcanology, イタリア大学間火山学コンソーシアム (CIVULC) などと連携し、諸外国で火山研究を志す大学院生や火山監視業務等に当たる機関の研究者等と連携した教育プログラムを用意しました。

■事業の実施体制

コンソーシアムに参画している機関の実施責任者などからなる人材育成運営委員会において、本プログラムの実施方法などを検討してきました。

また、研究開発を実施する「次世代火山研究推進事業」と連携し、受講生に最先端の研究に触れる機会を提供しました。

事業を円滑に進めるため、代表機関のある東北大学に事務局を設立しました。本プログラムの実施内容、状況、開講される授業科目等のシラバスが、受講生のほか火山学に関心をもつ社会人等（特別聴講生となる方）にもわかるように、ホームページを開設しました。

●火山研究人材育成コンソーシアム構築事業ホームページ

<http://www.kazan-edu.jp>

本事業の成果および発展性

将来的な国の火山防災体制の強化に貢献

- 気象庁、国土地理院を含む機関や企業で防災関連業務に修了生計 74 名が従事

- 火山防災特別セミナーには、毎年、受講生 10 名程のほか、6～8 の地方自治体、3～6 の民間企業から 20 名ほどが参加し、火山現象や防災の知識の習得、課題共有や解決策を議論

- 火山学セミナー等のテキストの作成およびビデオアーカイブの構築

- 火山学や防災に関する専門的知識を有した約 130 名の大学院生が国や地方公共団体、民間企業に就職

基礎コース修了後1年以内の就職状況（2025年6月末時点）

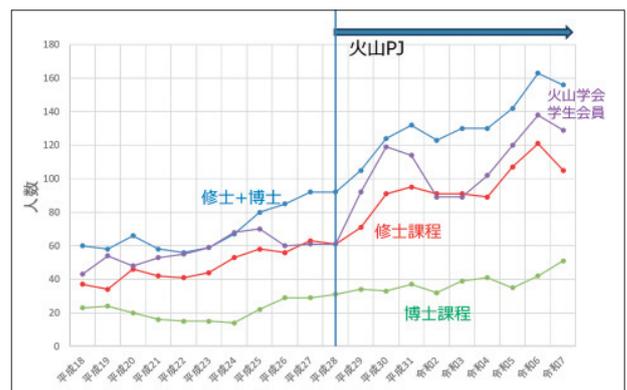
就職先	大学	防災科学技術研究所等	気象庁	国土地理院	文部科学省	国の機関	地方自治体	教員	民間（防災・地球科学）	民間（情報・材料他）	合計
就職者数	16	4	22※	3	2	4	7	2	34	38	132

※研究員・民間企業経験等を経た者も含めると24名

若手研究者の育成を促進

- プロジェクト開始後、火山研究を行う大学院生が約 2 倍に増加

コンソーシアム参画大学で火山研究を行う大学院生数の変化



- 大学・研究機関等に計 20 名の研究者を輩出、受理済み論文 44 本 (2025 年 10 月時点)

- 火山活動や噴火予測、防災対策に関する技術開発の進展、海外機関との連携を通じた人材・知見の供給を推進

火山災害の軽減に資する、次世代に向けた研究の革新と高度人材を育成する

平成 28 年度



平成 29 年度



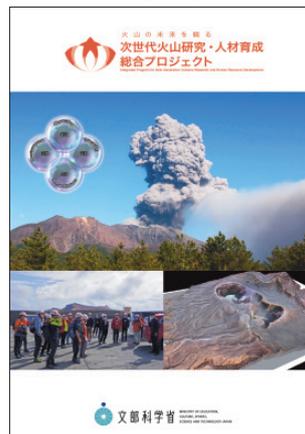
平成 30 年度



令和元年度



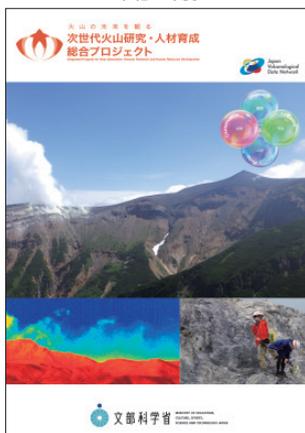
令和 2 年度



令和 3 年度



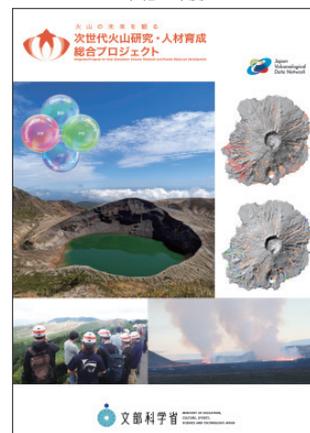
令和 4 年度



令和 5 年度



令和 6 年度



■発行年月：令和8年4月

■発行者：文部科学省 研究開発局 地震火山防災研究課
〒100-8959 東京都千代田区霞が関3-2-2
電話 03-5253-4111 (代表)

■『次世代火山研究・人材育成総合プロジェクト』のホームページ

<https://www.kazan-pj.jp/>



■『次世代火山研究・人材育成総合プロジェクト』公式SNS



https://twitter.com/kazan_pj/



<https://www.facebook.com/kazanpj/>



検索ワード

火山プロジェクト

検索



文部科学省

MINISTRY OF EDUCATION,
CULTURE, SPORTS,
SCIENCE AND TECHNOLOGY-JAPAN