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

文部科学省
MINISTRY OF EDUCATION,
CULTURE, SPORTS,
SCIENCE AND TECHNOLOGY-JAPAN

目　次

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

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　森田　裕一

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　研究統括　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大学院総合文化研究科　准教授　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　森田　裕一

課題B2-1　火山観測に必要な新たな観測技術の開発 …… 15
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
【事業責任者】国立大学法人九州大学大学院理学研究院　准教授　松島　健

課題B2-2　火山観測に必要な新たな観測技術の開発 …… 17
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　准教授　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 …… 18
【事業責任者】国立大学法人北海道大学大学院理学研究院　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 …… 20
【分担責任者】国立大学法人東京大学地震研究所　准教授　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 … 21
【事業責任者】国立大学法人北海道大学大学院理学研究院　教授　中川　光弘

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 …… 22
【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　副センター長　藤田　英輔

課題D　火山災害対策技術の開発 …… 23
【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長　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 …… 25
【分担責任者】アジア航測株式会社先端技術研究所　室長　千葉　達朗

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 …… 26
【分担責任者】国立大学法人京都大学防災研究所　教授　井口　正人

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 …… 27
【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長　中田　節也
【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　研究統括　宮城　洋介

火山研究人材育成コンソーシアム構築事業 …… 28
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

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いる文部科学省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促進」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」を目指しています。火山防災に関わる関係者の皆様の御協力を頂きながら、本プロジェクトを強力に進めていきたいと考えています。

文部科学省研究開発局地震・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**

わが国のように多くの火山をかかえ、将来にわたって火山噴火が想定される国では、火山噴火の時期や場所、その様式、規模、さらにはその推移を把握することが重要です。そのため、1974 年以来、細々とではありますが、火山噴火予知計画が推し進められてきました。大学・研究機関による基礎研究が主体ですが、得られた成果が気象庁による火山監視に活用されてきたこともあり、2014 年 9 月の御嶽山噴火までは突然の噴火による犠牲者の数はあまり多くはありませんでした。

1991 年の雲仙普賢岳噴火では火砕流によって 44 名の犠牲者が発生しましたが、火砕流災害が予想されて立ち入り規制が行われていた区域内にいた人々が犠牲になったものでした。一方、御嶽山噴火では、噴火発生が想定されておらず、したがって、立ち入り規制も行われていなかった領域で 63 名が犠牲となったものです。御嶽山噴火のような小規模な水蒸気噴火は、持続性が短いこともあり、研究が困難であるとして、これまでの火山噴火予知計画では中心課題としては取り上げられませんでした。しかし、今後、御嶽山噴火のような犠牲者を生じさせないためにも、火山の基礎研究に加えて、明確に火山災害の軽減を目指した火山研究も推進することが喫緊の課題であることがあらためて認識されました。

火山噴火としては、御嶽山噴火はごく小規模なものでした。たとえ小規模であっても、噴火地点の近傍にいれば大惨事に見舞われることが示されたわけですが、規模の大きな噴火の場合には火口近傍だけでなく、居住地にまで大きな災害をもたらすことになります。この百年ほどの間、わが国では大規模噴火を経験していません。このこと自体は幸運だったわけですが、前の大規模噴火は地震計など近代的観測装置が開発されて間もない時期であったために、噴火が発生する前にどのような前駆現象が捉えられるのかなどが必ずしも明確になっていません。今後は噴火の切迫度を測る手法の開発も含め、大規模噴火を想定した研究も急務です。

さらには、火山研究を担う人材を育成しなければ、将来にわたって予想される火山噴火に対応できません。また、活動火山対策特別措置法の改正により、全国の 49 の火山に火山専門家を配置した火山防災協議会が設置されましたが、このような任務を担える火山専門家の数も十分ではありません。火山防災協議会の専門家は、地質、地球化学、地球物理学という火山学を担う広い分野の理解に加え、情報の伝達や避難のあり方を含め火山との関わり方そのものを取り扱う社会科学や人文科学の考え方も理解できることが望まれます。ところが、現在、火山研究に従事している教員は各大学では少数ですし、分野も限られます。このため、各大学で独自に火山研究者・専門家を育成することは効率的ではなく、全国に散らばる火山研究者がコンソーシアムを構成し、大学の枠を超えて、火山人材教育を行うことが重要です。

以上のような観点から、本プロジェクトが当面 10 年の計画として進められています。社会が期待する火山防災への貢献を目指して、我が国の火山観測研究の水準を飛躍的に引き上げるとともに、広範な知識を有する火山研究人材を育成していきます。

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　**西垣　隆**

次世代火山研究・人材育成総合プロジェクトの総括プロジェクトアドバイザー（総括PA）をさせていただいています西垣と申します。観測・予測・対策の一体的な総合研究としての火山研究を実施して我が国の将来の火山研究を担う研究体制を確立し、その飛躍的な発展をもたらすとともに、広く社会で活躍する火山研究人材を育成します、この総合プロジェクトの実施にあたり、総括PAはプロジェクトリーダー（PL）とご相談しつつ、助言者として総合的な観点から実施研究者の種々のご相談に乗り、プロジェクトの円滑な展開と優れた成果の獲得を図ることが務めです。

高く掲げています目標の達成に向けて、本プロジェクトは多数の機関・広く異なる分野の研究者が共同で実施します我が国初と言えます画期的な取組みです。従いましてその推進に向け、プロジェクト展開のご様子を実施研究者の皆様からお伺いしてご相談に乗りつつ、緊密な連携によるスムーズな展開のお手伝いに努めています。加えて、共同活動・共同研究の推進にはその基盤となります仕組み作り、システム作りが有効であり重要ですので、そうした仕組作りを推進しています。

本プロジェクト、開始して4年度目にあたります本年度に実施された中間評価におきまして、実施者の方々のご努力と連携展開によります其の進捗状況と成果より、優れた実施状況との評価が示されました。この４年間において、プロジェクトが着実に立ち上がり、実施基盤が構築されたものと捉えられます。

このように構築された研究基盤・教育基盤をもとに、プロジェクトはさらなる発展に向けた第二期に進みます。実施課題間の連携をさらに推進しつつ、実施研究者の、そして火山防災に関わられています関係者の皆様のご協力をいただいて、微力ながら我が国の火山研究の発展と人材の育成に、そしてその波及として火山防災にお役に立つことができればと思います。

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（リスコミ担当 PA）をさせていただきます関谷と申します。私は 20 年近く、災害時の情報伝達、火山や水害など自然災害や人為災害時の心理、社会現象に焦点をあてて防災研究を行ってきました。

私たち防災研究では、危機的な現象（Hazard）と、そのあとの災害（Disaster）を区別します。人体を研究する「基礎医学」だけで人々が健康に暮らすための「医療」が成立しないのと同様、火山現象の研究、火山観測だけでは火山防災は成り立ちません。自然現象の理解はもちろん必要不可欠ですが、それと社会における災害被害を減らすこと、防ぐことは別のことだからです。

火山噴火における減災・防災のためには火山現象の研究、火山観測、対策技術開発を強化・推進していくとともに、火山周辺住民、メディア、関係省庁、防災関係機関、国民全体が火山研究の現状を理解したうえで、協働して火山に対するかかわり方そのものを考え、火山防災に取り組んでいく必要があります。また火山専門家が、災害関連の法律、制度、災害に関する周辺領域の研究を理解するというだけではなく、防災に関係する研究者・実務家と火山災害についての共通認識を持ち、総力を挙げて火山の減災・防災対策の仕組みそのものを考えていく必要があります。

このプロジェクトでは火山現象の研究、火山観測、対策技術開発の推進および次世代の火山研究者の育成の周辺部分でそれらコミュニケーションや関係づくりのお手伝いをするのが私の仕事と考えています。微力ながら本プロジェクト実施者の皆様に伴走させていただき、我が国の火山防災に貢献していきたいと考えています。

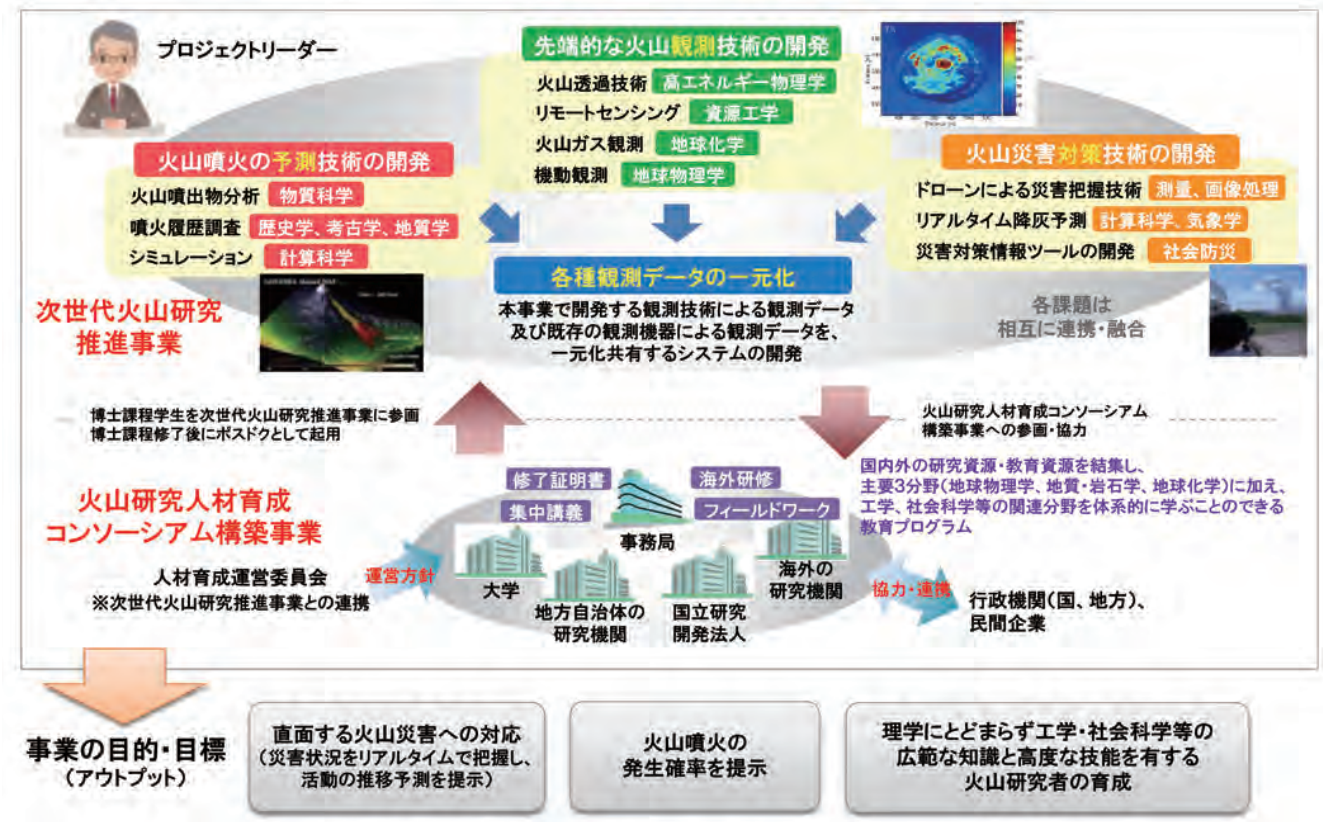
プロジェクトの概要

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	東京工業大学
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 B2-1：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	
課題責任機関	九州大学
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	熊本大学
参加機関	早稲田大学
参加機関	日本大学
参加機関	常葉大学
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	鹿児島大学
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

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	東京工業大学
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	首都大学東京
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	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

課題 A

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

はじめに

課題A「各種観測データの一元化」は、国立研究開発法人防災科学技術研究所（以下、防災科研）が課題責任機関を担当しています。防災科研は、「災害に強い社会の実現」を目標に掲げ、防災科学技術に関する基礎研究や基盤的研究開発等を業務としています。また、火山観測網などの施設・設備の整備や共用促進、他機関との連携・協力等を通じて大学、民間事業者など他機関の研究開発成果も含めた我が国全体としての研究開発成果を最大化することが求められています。これらの使命を踏まえ、課題Aは、火山研究の活性化や関係機関の連携の促進を通じて火山災害による被害の軽減に資するため、主に火山観測データを共有するしくみなどの研究の基盤となるシステムの開発を進めています。

火山観測網とその役割

防災科研は、全国の16の活火山に55カ所の火山観測施設を設置して、火山観測を行っています（**写真1**）。この観測施設には、深さ100～200mの井戸の底に設置した高精度の地震計や傾斜計、地上にはGNSS(全球測位衛星システム)という観測装置が設置されており、24時間リアルタイムで観測データを収録しています。これらの観測装置は、噴火前にマグマが地下に蓄えられることによって生じる火山のわずかな膨らみや、噴火直前に地下でマグマが岩盤を割って押し広げながら上昇する時に発生する小さい地震、地面のわずかな傾きなどを捉えることができます。

観測データを詳しく分析することによって、マグマの動きを推定することができるので、観測データは、火山噴火の仕組みを解明するための研究に使われたり、リアルタイムで気象庁に伝送されて火山監視に利用されたりしています。火山噴火による重大な災害が起こる恐れがある場合は、観測データの分析などに基づき、気象庁から噴火警報が発表され、各市町村から避難勧告などが発表されます。このように観測データは、火山研究や火山防災にとって、非常に重要なものとなっています。

写真1　岩手山の火山観測施設

観測データの一元化とは

火山観測を行っているのは、防災科研だけではありません。気象庁は全国の50の活火山で火山観測を行っていますし、大学、国土地理院、産業技術総合研究所、地方自治体など、多くの組織が観測を行っています。1つの火山を複数の組織が観測している例も多数あります。この観測データをお互いに交換すれば、より詳しくマグマの動きを推定したり、これまで気付かなかった現象が見つかったりする場合があります。また、観測データと同時に知見や経験も共有することで、より高度な研究や火山監視を行うことができるようになります。そこで、各組織間で協定を結んで、お互いにデータを交換したり、共同研究や火山活動に関する情報交換をしています。また、防災科研はホームページ（http://www.vnet.bosai.go.jp/）を通じて、データを提供しています。これにより火山観測を行っていない大学の研究者なども研究などの目的に利用することができます。

しかし、現在行われているデータの共有は、一部の組織や研究者、データも一部の種類に限られており、誰がどこで何の観測を行っているかという情報も十分に共有されていないのが現状です。さらに、このデータ共有の方法は、これまで火山研究に関わったことのない人にとっては、使いにくいものになっています。火山観測によって火山防災に貢献するためには、従来の火山研究だけでなく、他の研究分野、業界、民間企業、地方自治体などとの連携がますます重要となっています。誰でもデータを提供でき、また誰でも利用できる環境があれば、これまで火山観測に関わってきた人にとっても、関わって来なかった人にとっても利用しやすいものになります。これが「観測データの一元化」です（**図1**）。

システム開発

火山観測データの一元化を進めるにあたって、平成29年度に16の関係機関の18名の委員から構成される「データ流通ワーキンググループ（以下、データ流通WG）」を設置し、火山分野でのデータ流通の仕組みについて集中的に検討を行いました。データ流通WGでは、この観測データ一元化は

図1　「観測データの一元化」のイメージ

単にデータを共有すること自体にとどまらず、火山研究の活性化、観測データの研究や防災への利活用の促進、研究分野間・組織間の連携の強化、火山防災への貢献、人材育成に資することを目指すことを確認しました。そして、**図2**のようなイメージを基本としてデータ流通を進めていくことで合意しました。

　この方針を踏まえて、平成30年度末に、データ登録やダウンロード、GISやグラフツール等でデータ表示ができる火山観

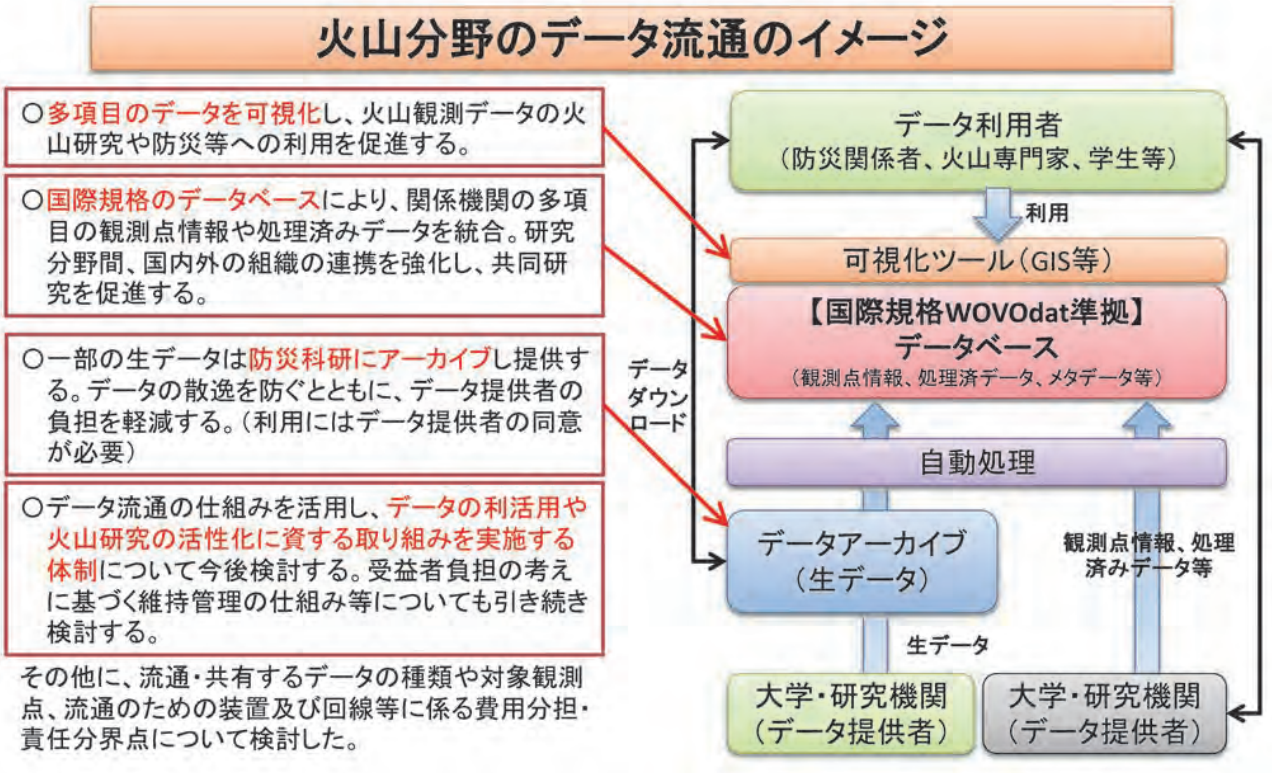


図2　火山分野のデータ流通のイメージ

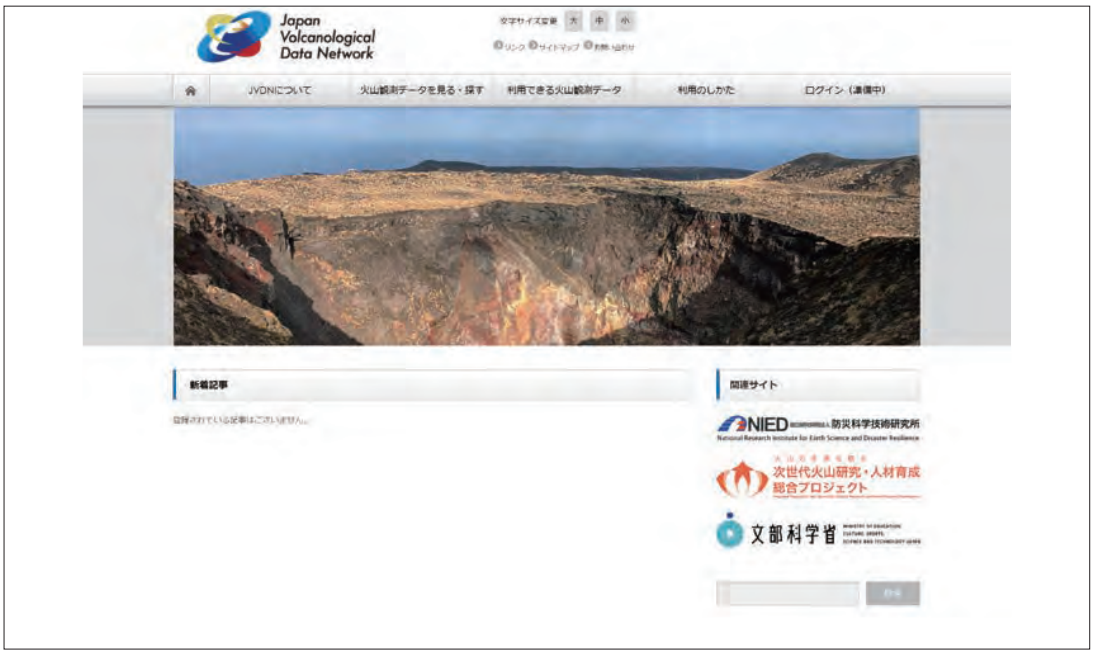


図3　火山観測データ一元化共有システム(JVDN システム) のポータルサイト

測データ一元化共有システム(JVDNシステム) を開発し、ポータルサイト(https://jvdn.bosai.go.jp)の運用を開始しました（**図3**）。JVDNとは、Japan Volcanological Data Networkの略です。

火山研究の活性化や火山防災等への貢献

JVDNシステムを活用することによって、これまでよりもデータの活用、研究分野間・組織間の連携、共同研究が進めやすくなります。ただし、このシステムを構築するだけで火山研究が活性化するわけではありません。JVDNシステムは、まずは次世代火山研究・人材育成総合プロジェクトの参加者が中心になって活用していきますが、プロジェクト参加者以外の研究者や研究者以外の防災関係者等にも利用者を広げていくことが望まれます。そのためには、課題Aが他の課題とも連携して、この仕組みを活用した共同研究や取り組みを促進していく必要があります。

その一つが「定量的なハザード評価やリスク評価手法の開発」です。定量的なハザード及びリスク評価手法とは、観測データを活用して、いつ、どこでどのような火山災害がどのくらいの確率で起こりそうかを予測する技術のことです。この手法の開発は、各国の研究機関が進めていますが、大変困難で、まだ実用可能な技術はどこも実現できていません。この情報を、適切なタイミングで、分かりやすく国民や防災機関等に伝えることができれば、効果的な防災対策や防災対応の判断に役に立ち、火山災害による被害の軽減に大きく貢献できると考えています。

定量的なハザード及びリスク評価手法の開発には、大きく分けて2つの技術開発が必要です。一つは火山噴火の定量的な予測です。この技術の実現のためには、まず火山噴火がどのような仕組みで起こるのかを理解することが必要です。このためには、多項目の観測データの解析や、分野間連携の研究、海外の研究機関とも連携し多くの火山の比較研究が必要となります。JVDNシステムは、このような研究を行うために必要不可欠な仕組みになるはずです。もう一つは、火山災害の予測です。火山災害を予測するためにも、火山災害がどのような仕組みで起こるのかを理解する必要があります。そして、リアルタイムの観測データから素早く噴火規模や噴火地点等を把握して、数値シミュレーションにより予測する技術開発が必要です。さらに、このような予測情報を地方自治体や防災機関、研究者と共有し、防災に活用していくためには、可視化することが必要です。JVDNシステムはこの情報共有のためにも活用できますし、どのように情報を伝えたらよいかについての研究も課題D-3と連携して進めていきます。いずれの技術開発も簡単なことではありませんが、次世代火山研究推進事業が進めているこうした「観測・予測・対策」の一体的な火山研究において、課題Aが開発する仕組みを有効に活用し、それによって火山研究の活性化や火山防災への貢献につながると確信しています。

おわりに

課題Aは、平成30年度末にJVDNシステムの運用を開始し、引き続き関係機関の調整しながらデータの登録と公開を進めています。JVDNシステムを広く普及させ、活用していくことにより、火山研究の活性化や防災への貢献など、社会の期待に応えられる成果を目指していきます。

課題 B

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　森田　裕一

1．火山軽減への取り組み

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。

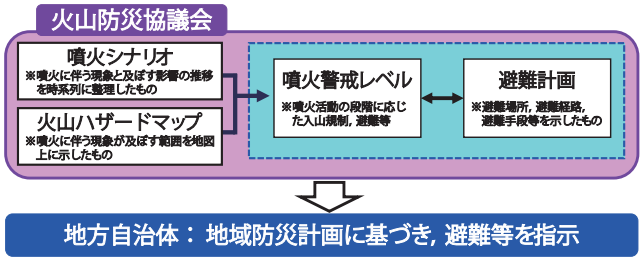


図1　活動火山対策特別措置法の概要の一部抜粋

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、現実には多くの問題があります。例えば、2014 年8 月に水蒸気噴火、翌2015 年5 月に爆発的なマグマ噴火が発生した口永良部島では、噴火警戒レベルはこれら2つの噴火の前にではなく、噴火の直後に引き上げられました。これまでも多くの火山で同様の例があります。一方で、レベルを引き上げたものの噴火しなかったことも度々あります。これは、気象庁に責任があるのではなく、天気予報とは違って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であると言えます。

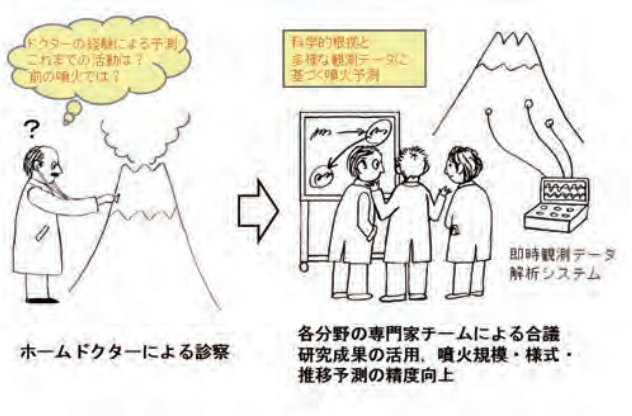


図2　火山噴火予測と医療の対比

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ています。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

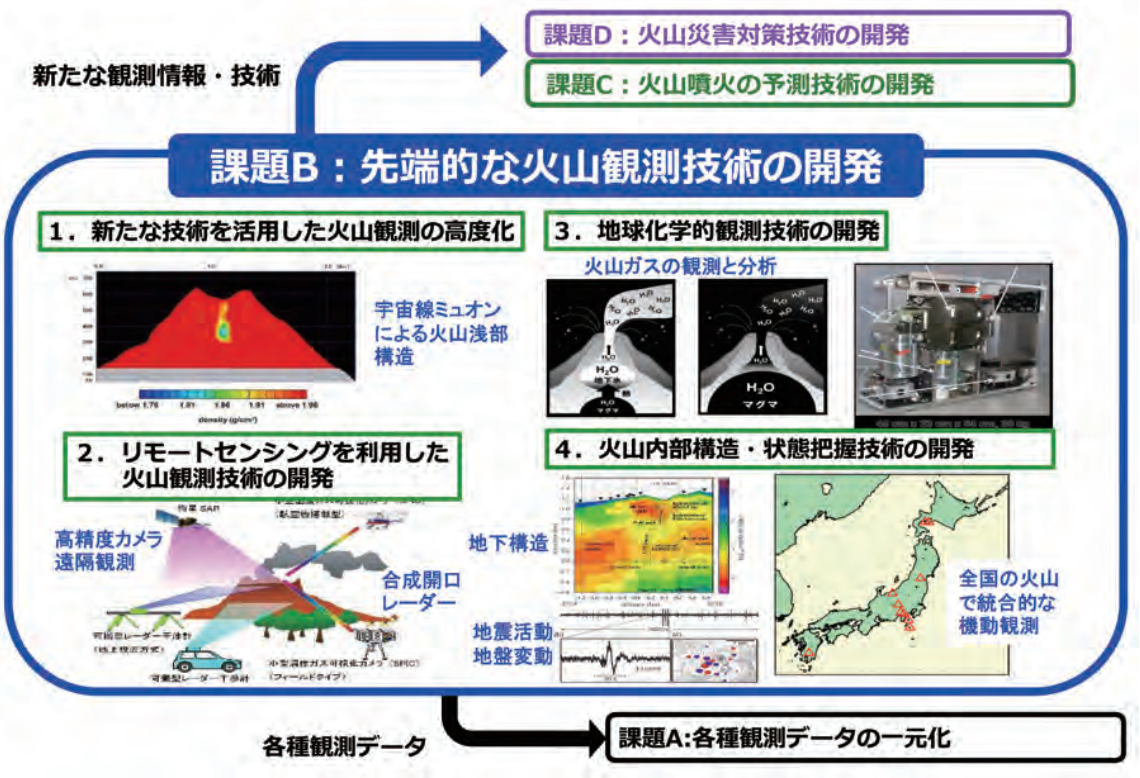


図3　課題B の実施内容

化を目指します。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ています。

3.「先端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、噴火前に色々な観測事象（地震の発生、地盤の変形、噴気の変化、地表温度など）で、ほんの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欠かせません。そのためには、個々の観測手段の高精度化を進めると共に、できるだけ多くの観測手段から火山の状態変化を捉えること、そして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、その異常がどのようなものかを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・切迫性を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。の2つの方向が必要で、課題Bでは、この2つの方向から火山災害の軽減に資する技術開発を行います。

具体的には、4つのサブテーマに分けて事業を進めます（**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、実際の火山活動と比較し、新たな火山活動評価手法の利用を目指します。

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）の高度化を通して、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目指します。

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を開発します。

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ています。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に用います。また、観測データの即時処理を行うツール開発を目指します。

課題 B

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端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**）。

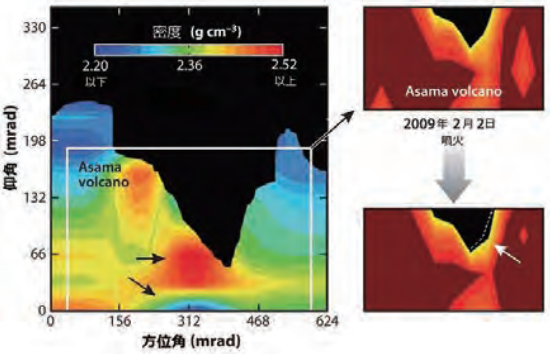


図1　浅間山で撮影されたミュオグラフィ透視画像。赤い部分は密度が高く青い部分は密度が低い（右）。2009 年の浅間山噴火前後で撮影されたミュオグラフィ透視画像。上が噴火前で下が噴火後に取得された画像。噴火前の火口底の位置に点線を入れた。

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、現状で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。また、現状では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。これは、解析により生成された透視画像が、ミュオグラフィ研究者グループの計算機内に保存されており、他の火山学者がそれを閲覧することができないからにほかなりません。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

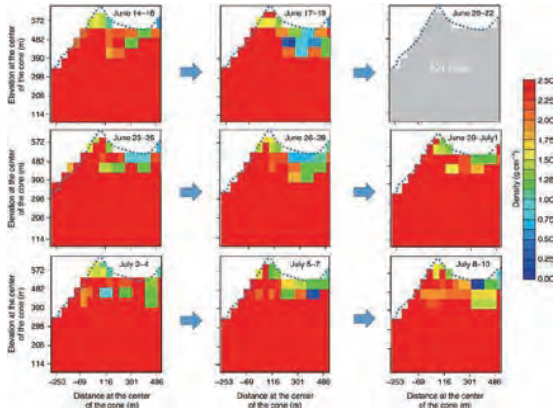


図2　薩摩硫黄島で撮影された時系列的ミュオグラフィ透視画像。赤い部分は密度が高く青い部分は密度が低い。2013 年6 月16 日と30 日に火映が観測された。

視画像を自由に取り出せる環境整備を行います。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す。**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構造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。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。今後も引き続きこれらに関する情報を提供することを目指します。さらに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します。

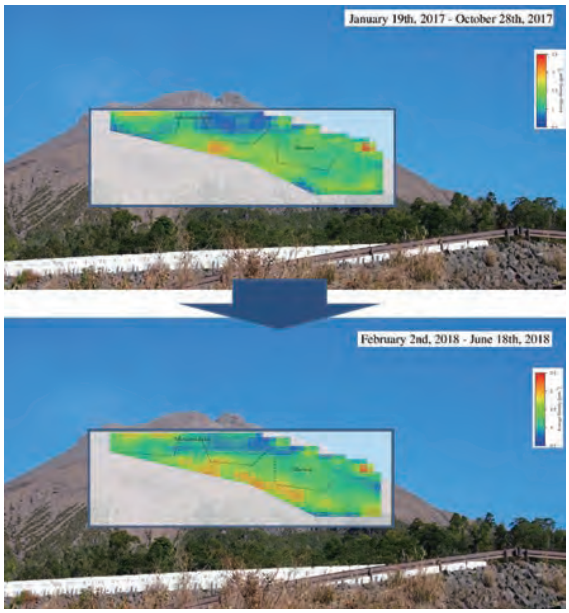


図3　桜島昭和火口の噴火終焉に伴い形成されたプラグ

課題 B

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
研究統括　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す。

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ています。

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、地上からレーダー波を照射して、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の開発を進めています（開発中の実験機を**図1(b)**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波長の光を計測できる大型の分光装置を用い、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）に関する観測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、最近では、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。しかし、単一波長の計測の為、SO_2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。これら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波長計測技術を組み込む研究開発を実施しています（**図2**）。

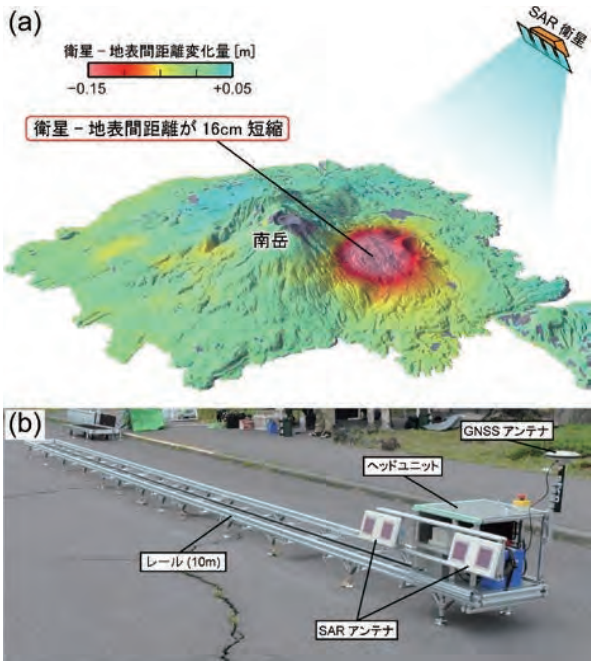


図1　(a) 衛星SAR（だいち2 号のPALSAR-2）データを解析して得られた桜島の地殻変動。色は2015/8/10 から2015/8/24 の期間に生じた、衛星－地表間距離の変化を示します。
(b) 開発中の可搬型レーダー干渉計実験機。

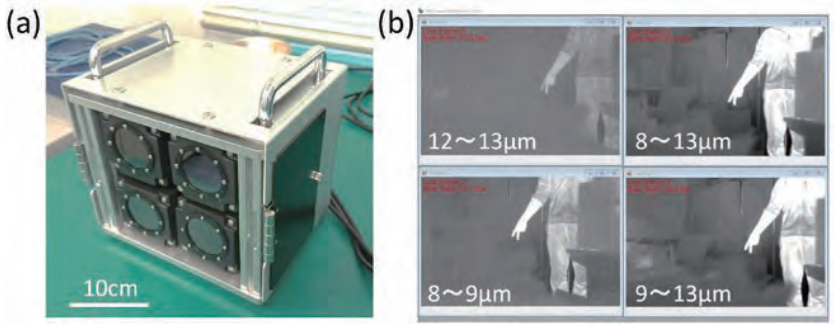


図2　(a) 2019 年に試作した温度とガスを可視化するカメラ（SPIC-UC）(赤外波長域の４つの異なる帯域（バンド）を計測する4 バンド型の赤外カメラ。重さ:5kg)
(b) SPIC-UC の４つの異なる赤外波長帯域の試験計測画像。8 ～9 μm の帯域を計測するカメラで SO_2 ガスの赤外線吸収特性をとらえ可視化する性能を有します。今後、SPIC-UC を用い、火山の噴煙の実験観測を行う予定です。

課題 B

地球化学的観測技術の開発

【分担責任者】国立大学法人東京大学大学院総合文化研究科　准教授　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容易ではありません。

そこで本サブテーマでは、「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}He/^{4}He比）とヘリウムとネオンの比（^{4}He/^{20}Ne比）は、マグマと地殻の岩石、大気で異なるため、火山ガスの^{3}He/^{4}He比と^{4}He/^{20}Ne比からマグマ成分の含まれる割合が分かります（**図1**）。同様に二酸化炭素の炭素同位体比（^{13}C/^{12}C比）からも、その起源を知ることができます。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}O/^{16}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ため、火山観測に有用な地球化学的指標です。

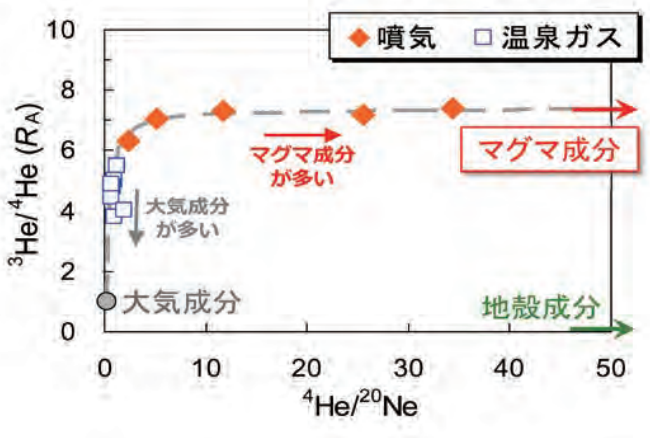


図1　草津白根山の噴気と温泉ガスの^{3}He/^{4}He比と^{4}He/^{20}Ne比。^{3}He/^{4}He比は大気中ヘリウムの持つ値（R_A = 1.4×10^{-6}）を1として表記。試料のデータはマグマ成分と大気成分の混合線（図中の破線）上の、両者の混合率を反映した位置にプロットされています。

図2　火山ガス採取の様子

これまで同位体比の測定には、化学成分の複雑な分離・精製操作と大型の質量分析計が必須だったため、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、最先端のレーザー計測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}C/^{12}C比、水蒸気や水素のD/H比および^{18}O/^{16}O比を、可搬型の装置で計測する技術の開発を進めています。そして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目指しています。

一方で、火山は生きており、新しい技術の実用化まで待ってはくれません。そこで将来オンサイト観測の対象となり得る火山で、従来の手法による試料の採取と分析も定期的に実施し、現在の火山活動度と、周辺の火山ガスの上昇状況を把握しようとしています（**図2**）。また航空機を用いて採取した噴煙の水素・酸素同位体比から噴気孔温度を求める、新しい遠隔測定法の確立も進めています。海底にある火山からの熱水やガスの放出は船舶の航行の安全を脅かします。そこで陸に近い海底火山で水・ガス試料を採取・分析する技術の開発も行っており、継続的な観測を可能にすることを目指しています。

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、さらに自ら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います。

課題 B

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　森田　裕一

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、2014 年の御嶽山噴火のように発生すると被害が大きくなる場合があります。火山噴火の予測には、常時精密な観測をして火山の状態を良く知っていることが理想ですが、なかなかそれができない現状では、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、異常検知能力の向上や火山活動の現状を正確に捉える必要があります。つまり、健康診断にたとえると定期的な通院を基本として、計画的に人間ドックを受診することや通院で異常と言われた時に即座に精密検診をすることが重要です。ここで実施していることは人間ドックや精密検診に相当し、機動的に観測を強化して多項目で高精度の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の開発を目指しています。

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**は本事業の開始時から昨年度まで 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 日に水蒸気噴火を発生しましたが、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、硫黄山の下ではそれがお椀を伏せたような形状で、深部からの高温の火山ガスが溜まりやすいことがわかりました。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に蓄積したことが原因であることが明らかになり、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で重要な情報が得られました。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、霧島山で行ったこのような調査をそれらの火山においても実施し、想定火口の位置や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。

表 1　機動観測実施予定の火山

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

3. サブテーマ4での具体的な計画

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 火山で機動観測を実施します。また、それと同時に火山性微動を検出する、地震活動を評価する、地下構造を精密に推定する等のいくつかのデータ処理解析ツールも作成します。

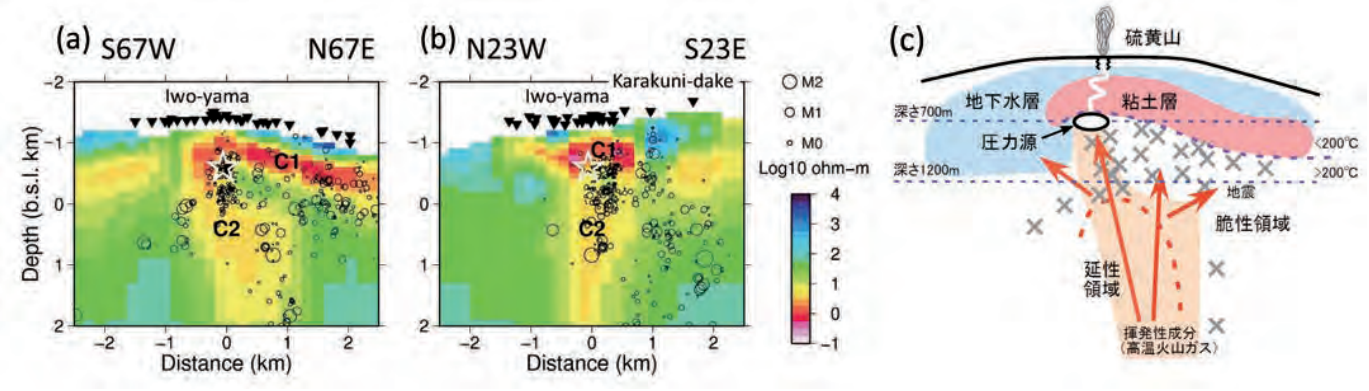


図1 霧島山硫黄山の構造と地震活動、地盤変動の圧力源
(a) 地下比抵抗構造と震源分布（N67E—S67W方向の断面）色は比抵抗値を示す赤い色は電気を通しやすい領域。黒丸は震源の分布。★は圧力源の位置。
(b) (a)と同様の図、但し、(a)と直交する断面。
(c) (a)及び(b)から推定される霧島山硫黄山周辺の地下構造の模式図。深部から高温の火山ガスが上昇し、浅部では粘土層（不透水層）に阻まれて高圧の蒸気溜まりができていた。蒸気溜まりが高圧になるに従い、周辺の地震活動が活発化した。

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

【事業責任者】国立大学法人九州大学大学院理学研究院　准教授　松島　健

日本全国に 111 ある活火山のうち、地震計や傾斜計、監視カメラ等を使って常時火山活動の監視対象になっているのは約 50 火山であり、残りの活火山は常時監視対象にはなっていません。これは活火山地域においては機器観測に必要な商用電源や電話回線が得にくいことが一つの大きな理由となっています。また活火山の火口周辺に設置した観測機器は、その主電源を太陽電池パネルに求め、データ送信も携帯電話通信等の無線通信に依存しています。このため、ひとたび大きな噴火活動が火山で発生すると、太陽電池パネルが火山弾で破損したり、火山灰が積もって電源が失われたりして、重要な噴火時の観測データの回収が不可能になります。

そこで我々は最近著しく技術開発が進んでいる自律型無人飛行機（ドローン）を使い、上空からマイクロ波送電装置を使って地上の観測機器に電力を送電するとともに、観測機器内に残っている貴重な火山観測データを回収する装置を開発しています。

マイクロ波送電技術は、たとえば宇宙空間に超大型の太陽電池パネル衛星を配置し、そこからエネルギーをマイクロ波に変換して地上の装置に電力を送る「宇宙太陽発電所」構想の基幹となっている技術で、日本では世界トップレベルの研究が行われています。

そこでこれまで交流がなかった、各分野でトップを走る無人航空機の開発技術者、マイクロ波送電技術の専門家、火山観測研究者が協働し、次世代の火山研究に不可欠な「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」に向けて取り組んでいます。

マイクロ波送電技術

非接触で電気エネルギーを伝送する方法には、携帯電話の充電に使われるような電磁誘導方式やコイルとコンデンサーの共振現象を使う電磁界共鳴方式などもありますが、いずれも近接間のみの伝送となり、アンテナの位置合わせが重要になります。それに対して電気エネルギーを一度電磁波に変換し、アンテナを介して送受信するマイクロ波送電方式は、距離が離れていても、大容量の電気エネルギーを伝送することが可能です。

自律型無人航空機開発

火山から放出される火山灰は、航空機のエンジンに悪影響を与えるため、ひとたび火山噴火が発生すると、その火口周辺は航空機の飛行制限がかかります。このため活火山の観測には農薬散布用に作られた産業用無人ヘリコプタが流用されてきました。近年は電動で複数の回転翼を持つ無人飛行機（いわゆるドローン）の技術が急速に発展してきました。また座標をあたえると自動的に障害物を回避しながら目的地に到達する「自立航法技術」の発展にも著しいものがあり、火山の火口内など操縦用の電波が届かないところでの観測も可能になりつつあります。

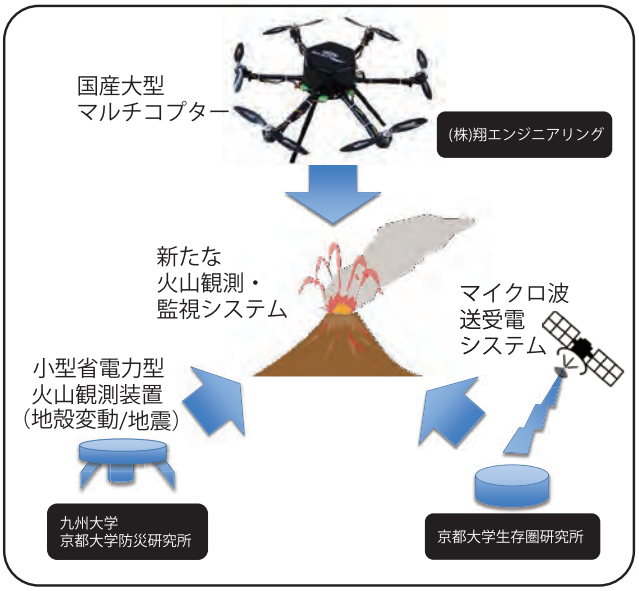


図1　空中マイクロ波送電技術を用いた火山観測・監視装置開発組織

低消費電力の火山観測機器の開発

活火山においては、地震・地殻変動・電磁気などのセンサーを用いて火山活動を測定しています。現在は太陽電池や携帯電話回線などを使って電力供給やデータ回収を行っていますが、火山活動が活発になると電源が失われ、データ回収が難しくなります。そこで九州大学と京都大学では空中マイクロ波送電によるわずかな電力でもデータ送信を行い、貴重な観測データを回収することができる観測装置の開発を進めています。また機器を火口周辺に多数展開するため、機器の価格や開発費もなるべく安価にする必要もあります。そこで既存の火山観測機器に接続し、無線 LAN 装置を内蔵したデータ回収ホスト装置を作成して、上空からの自動データ回収ができる仕組みを検討しています。またなるべく小型でかつ低損失のマイクロ波受電用アンテナ（レクテナ）の作成も重要な機器開発ポイントとなっています。

写真1　16 翅大型無人航空機の飛翔実験。10kg の荷物を積載して7 分間飛行することができます。飛行時間を延ばすために、積載機材の軽量化も不可欠です。

本研究課題の最終目標

自律飛行型無人航空機にマイクロ波送電装置を搭載し、2 ～ 3m 上空から地上に設置した火山観測機器に電力を供給すると同時に、観測機器のデータを無線通信で回収する装置を開発します。また開発した装置を、室内実験で試験するとともに、実際に火山地域（桜島火山等）で無人航空機を飛翔させ、電力送電およびデータ回収実験を実施します。そして送信技術や無人航空機の安定飛行への改良を続けることで送受信効率 10% 以上を達成させ、近い将来において「空中マイクロ波送電技術」の実用化を目指します。

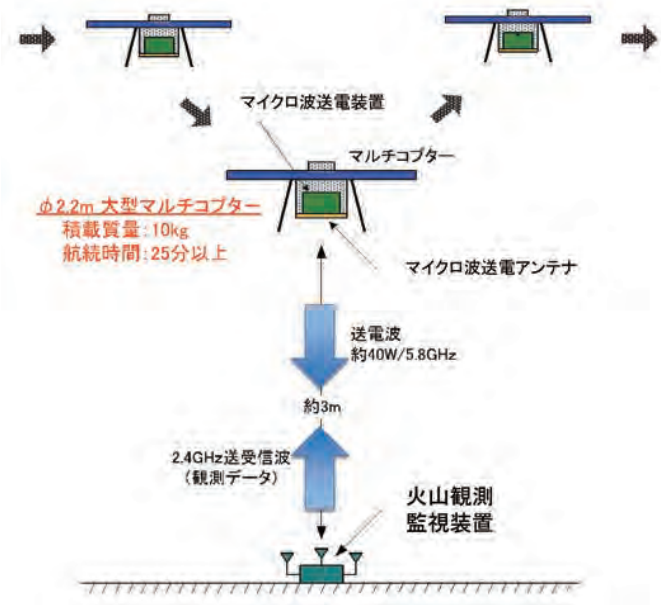


図2　無人航空機（マルチコプター）を用いたマイクロ波送受電および観測データ回収システムの模式図

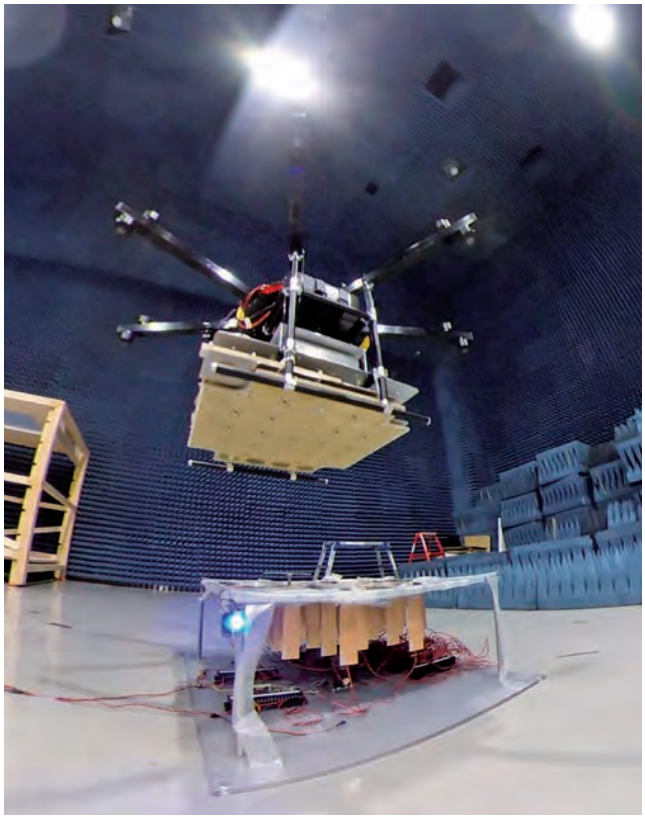


写真2　電波暗室内における電力の送受電実験。上空に飛来した大型ドローンの下部に取り付けられた32 素子のアンテナから 2.4 GHz 50W のマイクロ波を送信し、地上の37 素子アンテナで受信して、電力に変換します。

課題 B2-2

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　准教授　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

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」の試作機（以下、「光センサーシステム」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ます。

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（**図3**）。令和元年度は作成したセンサーセットを使用し、京都大学桜島火山観測所

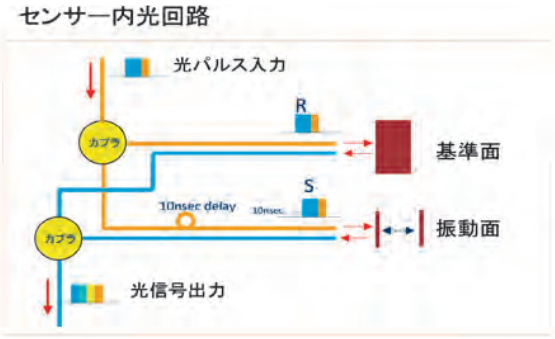


図2　光センサーシステムによる振動検出概念図

図3　光センサーシステムの3 成分センサー格納筐体
（大きさは12 cm ×15 cm ×9 cm）

ハルタ山観測点での長期観測を行い、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っています。本課題では今後新たな検証機を製作しその実証試験を繰り返し行うことで、光センサーシステムを「いち早く火山現象を捉える実用的なセンサー」に育て、火山研究および火山防災の高度化に貢献します。

図1　光センサーシステムによる火山観測概念図

課題

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　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す。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す。

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す（**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す。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す。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す。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・解析プラットホームを整備し、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す。

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、全国の活火山のうち、活動的で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、主として地質学的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す。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す。そして、各対象火山について高精度の時間－噴出物量図（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す。

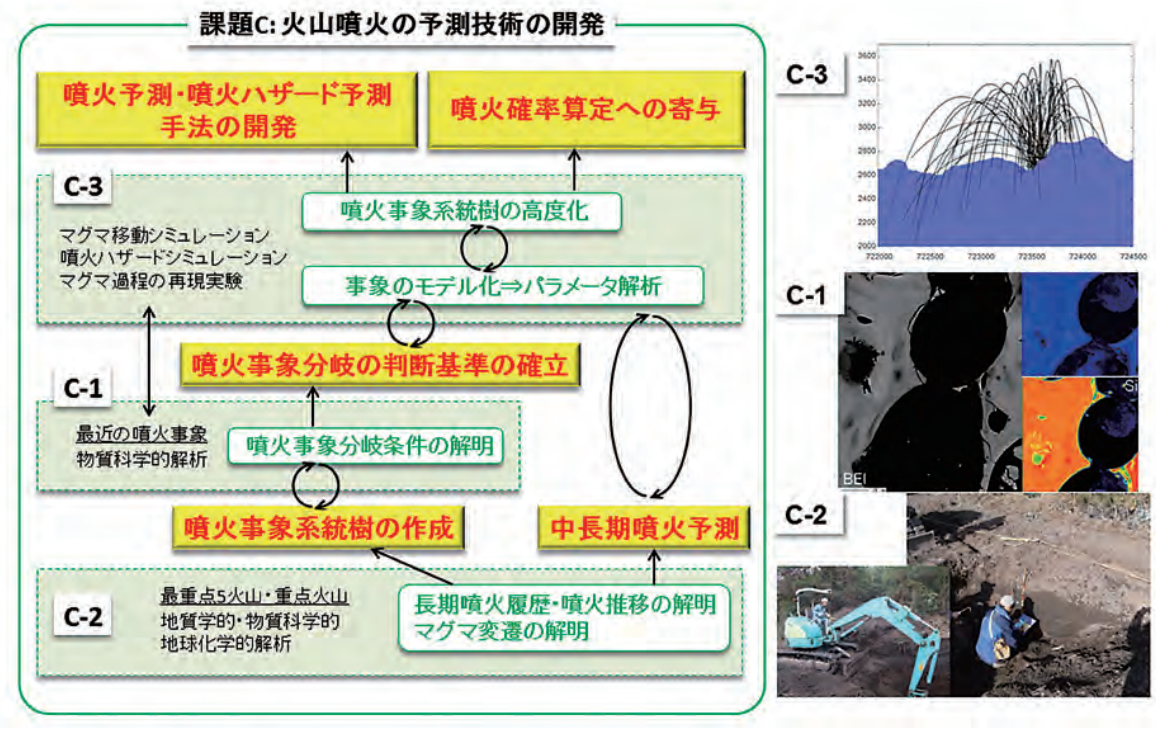


図1　課題C の実施内容の相関関係と各サブテーマのイメージ

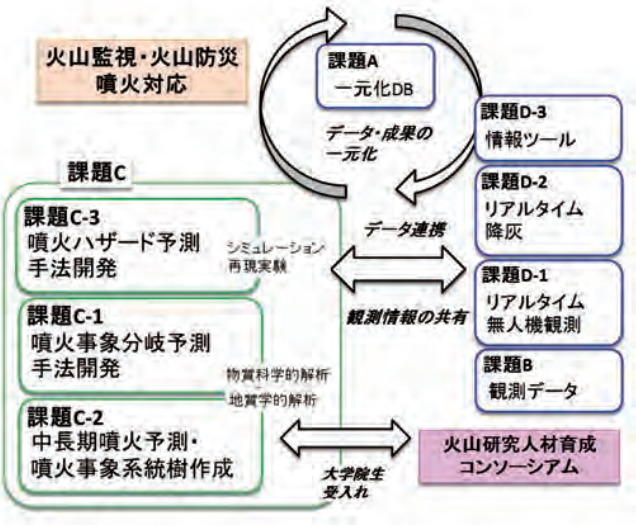


図2　課題C と他課題・火山研究人材育成コンソーシアム構築事業との関係

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す。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）についてのモデル化と数値シミュレーション技術を開発します。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す。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、高度化をはかります。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す。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す。

他の課題や他分野等との連携

課題C は、C-1 ～3 のサブテーマ間だけでなく、他の課題、外部の研究機関、および人材育成コンソーシアム事業と深く連携しながら実施します（**図2**）。課題C 内では、C-2 から提供される各火山における過去の噴火推移や噴火規模のデータを用い、C-1 で噴火事象系統樹作成のための分岐条件の検討を行います。一方、C-1 から提供される最新の火山深部情報は、C-2 で行われる噴火予測手法開発に活かされます。また C-1 から提供されるマグマ溜り深度や上昇速度の情報、C-2 から提供される噴出量、噴出率、火口位置などの地質データは、C-3 で実施されるシミュレーションに活かされます。

課題A により利用可能となる多くのデータ、課題B の観測成果・観測パラメータも、本課題のシミュレーションに活かされます。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、などを行います。

C-3 では特に他分野との連携・融合を重視しています。例えば数値シミュレーションやハザード評価システムの開発にあたり、計算科学分野から最新のアルゴリズムの知見を導入します。また物性モデルの構築、岩脈貫入における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す。特に火山噴火確率の検討にあたり、統計学の知見を導入した検討を行います。C-2 やC-3 では、海外の研究機関と情報交換や連携をとって研究を進めます。特にC-1 で得られた組成分析のデータベースは海外の分析データ公開の主要な運営サイトと連携する予定です。

本課題の研究成果は火山研究人材育成コンソーシアム構築事業での講義・演習に活用されます。また、本課題は人材育成の場としても利用されます。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。さらにそれぞれの分担機関が大学院生を受け入れ、地質調査や化学分析の訓練を行うことも想定しています。その意味で「人材育成事業」においての地質・物質分野の教育・訓練の大きな部分を、本課題が担うことになるでしょう。

社会的意義

本事業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。本事業の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や避難計画などの防災対策に不可欠な基礎資料となるはずです。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平成30 年度以降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。また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

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　准教授　安田　敦

本課題では、「噴火事象」がどのような推移をたどるかを「予測」する手法の開発を目指し、火山噴出物の解析を実施しています。火山体の地下で何らかの異常が観測された際に、それが実際の火山噴火に到るのか、それとも噴火未遂で終わるのか。あるいは、噴火は穏やかな溶岩流噴火として開始するのか、それとも火砕物を広範囲に飛散させる爆発的噴火で始まるのか。噴火は短期で収束するのか、それとも長期間にわたって継続するのか。こうした判断を行うことが「噴火事象分岐予測」です。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、その後の噴火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ていつでも使えるように情報を整理することが、本課題の主目的です。

火山噴出物を解析して得られるデータは多種多様です。どのようなデータが噴火事象分岐予測に対して有効であるかは、まだ十分には明らかになっていません。そこで私たちは、観測や歴史記録によって噴火の様子や推移について知ることができる比較的最近の噴火について、マグマの状態や運動がそれらの火山噴出物にどのように記録されているかを調べることにしました。特に、(1) 斑晶組成、(2) 斑晶量、(3) メルト組成（+ 含水量）、(4) 石基組織と組成、(5) 斑晶累帯構造に着目しています。

(1)-(3) からは、噴火前のマグマの状態がわかるので、爆発性のあるマグマか否かを判断することができます。加えて、マグマの組成、温度や粘性といった諸量は、課題C-3 で実施されるシミュレーションで初期値や物性値として活用することができますし、マグマの位置（深さ）情報は、物理観測でのターゲットの絞り込みに役立ちます。(4) は、マグマの上昇速度を記録していると考えられており、連続的な試料採取と分析によって過去の噴火推移の類型化を行い、将来の噴火推移の予測に繋げられる可能性があります。(5) は、マグマの注入が噴火の引き金となる場合を想定して、斑晶内部の元素拡散プロファイルを基に、マグマ注入から噴火に到るまでの時間を推定しようというものです。ある火山で特徴的な時間スケールが得られれば、将来、マグマの注入が推定されるイベントが物理観測で得られた際には、その一定期間内は噴火発生の厳重警戒として火山監視を強化し、もし何事も無ければ警戒解除とする、といった噴火対応もできるようになるかもしれません。

さて、私たちは事業期間内に11 の火山について上記のようなデータを集め、火山噴出物分析が噴火事象分岐予測に有効かどうかを検討します。このためには、大量の火山噴出物試料を効率的かつ精度良く分析しなければなりません。そこで、火山噴出物試料を高効率・高精度で分析できる環境（分析・解析プラットホーム）を構築しています（**図1**）。ここで得られた様々な分析・解析データは、データベースに保存され、火山ごとの噴出物と噴火の特徴が一望できるオンラインカタログ（**図2**）としてまとめられ公開される計画です。

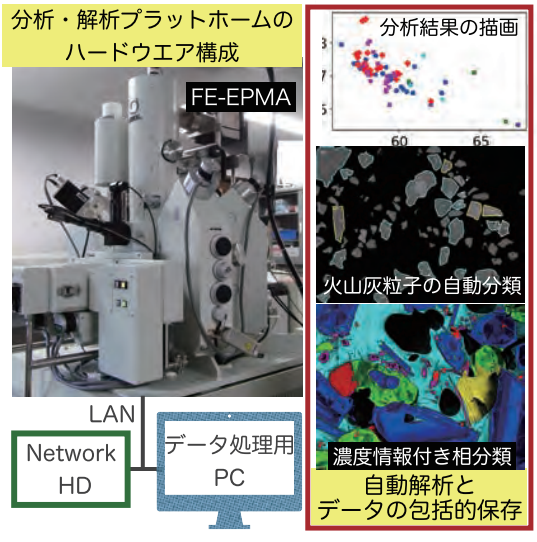


図1　分析・解析プラットホームの概略

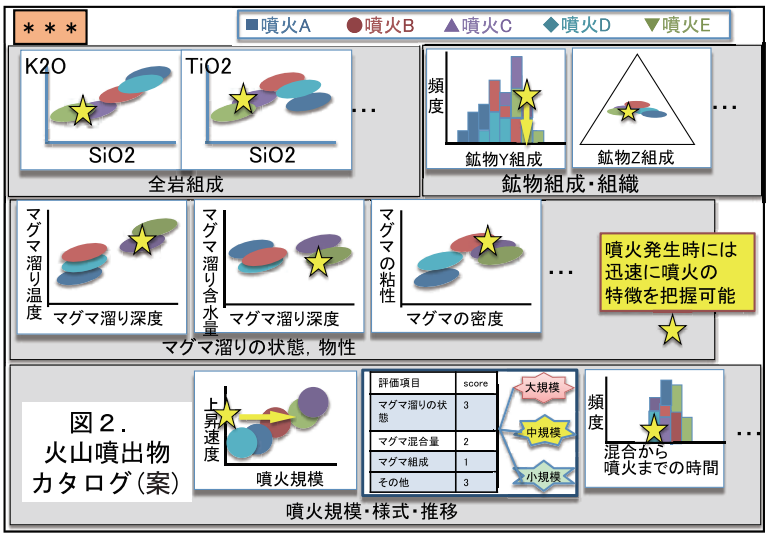


図2　火山噴出物カタログのイメージ

課題 C

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

【事業責任者】国立大学法人北海道大学大学院理学研究院　教授　中川　光弘

「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や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。そしてそ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。

そこで本サブテーマでは、複数の活火山を対象に、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います。そして、これらの成果に基づいて高精度の時間－噴出物量階段図を作成します。また、噴火履歴に対応する噴出物の物質科学的解析を行うことでマグマプロセスを解明します。そして特に階段図とマグマプロセスの長期変遷の情報をもとに中長期噴火予測手法の開発を行い、個々の火山で中長期噴火予測を行います。また個々の噴火推移の情報をできる限り多く蓄積することで、分岐確率の入った噴火事象系統樹の作成を目指します。さらに火山毎における噴火事象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課題に提供します（**図1**）。

本サブテーマにおける重点的な調査対象として、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て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・鳥海山・浅間山・阿蘇山・鬼界の5火山を選びました。また令和元年度からは、重点火山を見直すとともに、雌阿寒岳・伊豆大島を新たな最重点火山として加えています。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はかります。

最終的には、研究対象とする各火山について、過去数万年間あるいはそれ以上の時間軸で時間－噴出物量階段図を作成し、それに対応したマグマ変遷の情報を完備させます。そして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ます。最終的には、これらが地元の自治体、火山防災協議会、および住民に周知され、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目標としています。

図1　課題C-2 の研究手法と期待される成果、および関連課題・火山研究人材育成コンソーシアムとの関連

課題 C

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　火山研究推進センター　副センター長　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に「噴火事象系統樹」を作成します。これは、火山活動が平常な状態から、活発化が認められ、噴火に至る過程において、その切迫性、噴火様式、可能性のあるハザードの種別、我々の生活や社会活動に与える危険性など、多くの可能性を体系化してツリー状に示したものです。活動の今後の推移には複数の可能性がありますが、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。この分岐判断の基準をシミュレーションにより検討します。

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ていきます。

本サブテーマでは、1）火山噴火予知・推移予測に資する地下におけるマグマ移動シミュレーション、および、2）火山災害軽減のための噴火ハザードシミュレーションの開発・高度化を実施します。1）では、地下におけるマグマの移動過程（**図1**）、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す。また、室内実験を実施し、マグマ移動過程に影響を与える物性についてのモデルを構築し、シミュレーション化する数値モデルの高度化を行います。2）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す。これらの成果により、火山活動から火山災害発生までの事象系統樹の分岐を評価するパラメータを与えることを目指しています。

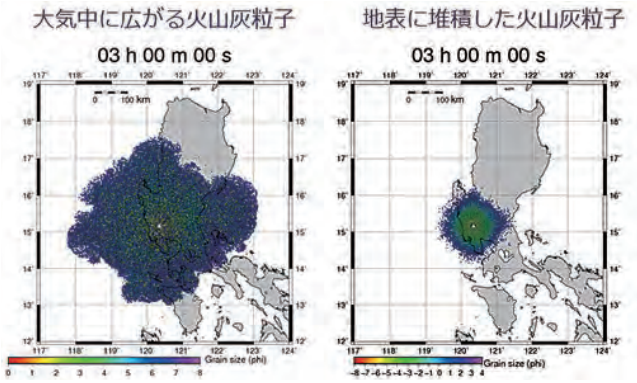


図2　SK- 3D モデルを用いた噴煙柱・降灰大規模シミュレーションの例。ピナツボ1991 年噴火事例の再現計算。

数値シミュレーションの結果から被害予測を行うための噴煙柱ダイナミクスモデルの開発の事例として、SK- 3D モデルによる噴煙柱・降灰大規模数値シミュレーションの事例を示します（**図2**）。数値シミュレーションでは時々刻々変化する状況を示しながら、被災建物数や避難などに使える道路の情報などを提供することができ、火山活動の推移に応じた防災対策への活用が期待されます。

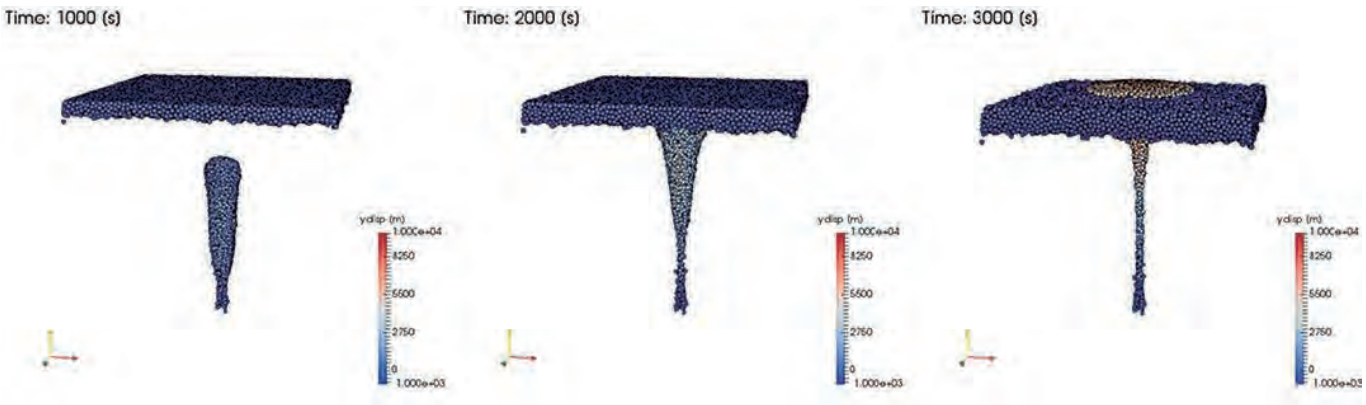


図1　岩脈貫入シミュレーションの例。10km ×10km ×10km の領域を直径約100m の粒子100 万個で表現している。その中央、地下5km に岩脈の先端をセットし、過剰圧を静岩圧の32 倍とした場合で、噴火に至る様子が見られる。およそ静岩圧の10 倍程度の初期過剰圧が噴火・噴火未遂の閾値であることが分かった。

課題 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長　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す（**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。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す。しかし、その総合観測班は立ち上げに時間がかかったために、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過去に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準備しています。それと同時に、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共有できるように準備しています。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は首都圏への降灰が大きな課題となります。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、噴火前からの観測に基づくリアルタイム降灰予測情報が重要になると考えられます。課題 D2 では桜島火山をケーススタディとして、噴火の前の観測データや気象情報から、予想され

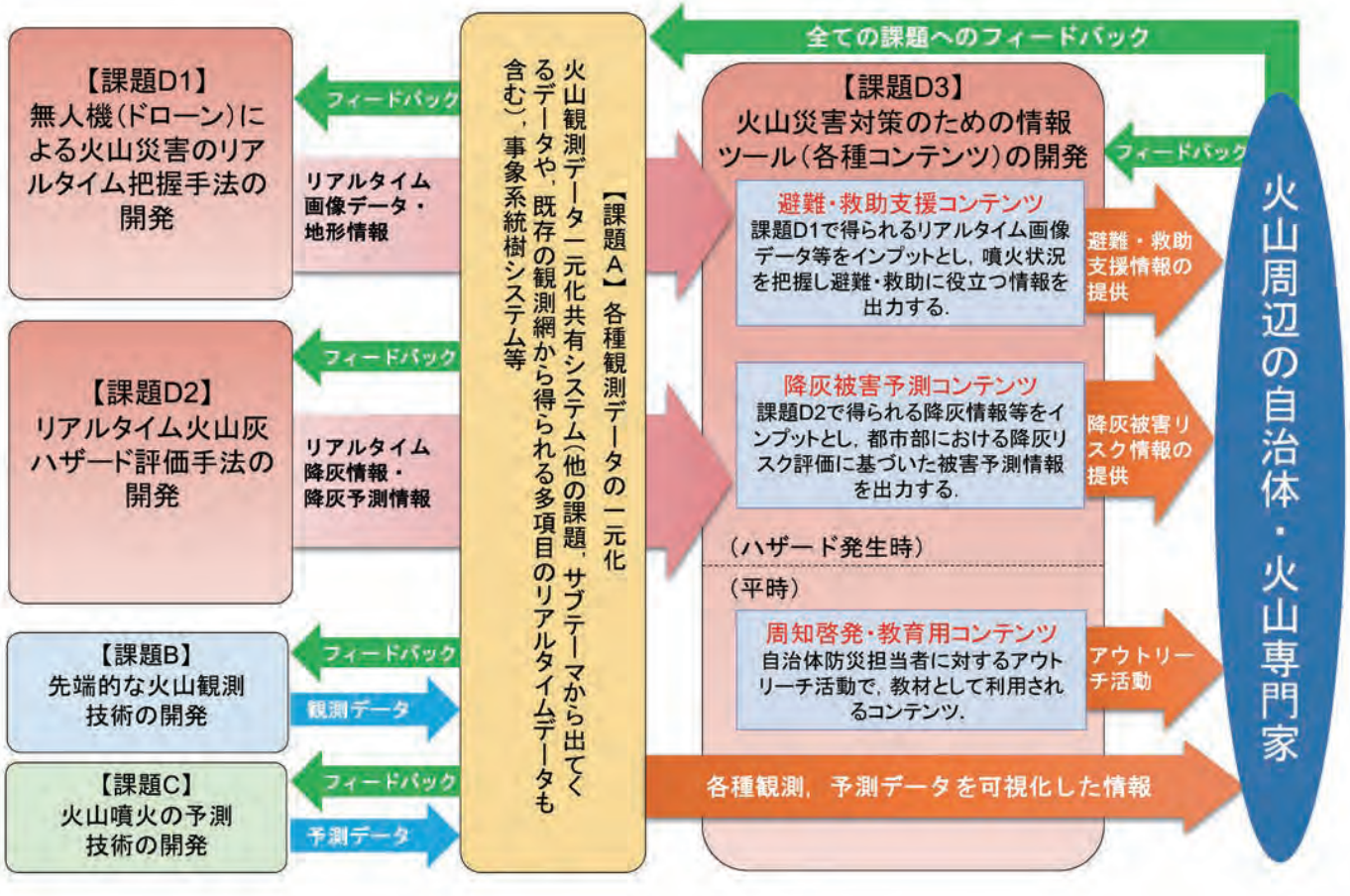


図 1　課題D サブテーマ間およびプロジェクト全体の連携を示す図

る噴火に伴う火山灰の移動拡散・浮遊や降灰のリスクを事前に予想し、それを災害対策に活かす研究を進めています。そこでは、噴火に先立って蓄積される地震エネルギーや膨張量から噴火の規模を推定し、現場で取得する気象情報から降灰予測モデルを準備します。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 GNSS 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準備が整いつつあります。これらの観測や予測情報に加えて、課題 A で整備するプラットフォームを用い、防災関係者（自治体や火山防災協議会に参加する専門家）が必要とする火山ハザードやリスク情報や、火山噴火に対する知識を提供するためのツール開発を課題D3で行っています。

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、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です。御嶽山噴火においても、異常は噴火の約半月前から捉えられていましたし、その意味がようやく解読され始めた段階です。

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はありません。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。インドネシアの実績との比較で考えると、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を示しているようにも見えます。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。

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、この噴火警戒レベルは火山の監視観測に基づく火山活動度の評価であって、想定される噴火のハザードやリスクを考慮した被害評価ではありません。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、噴火ごとに、被害評価を経た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。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、噴火の観測結果や予測結果から、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、今後どのように展開するのか、その過程でどのような被害があ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もあります。この部分は課題 D の目的であると同時に、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すが、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ーの研究が促進され、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でき、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ていることなのです。

課題 D

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先端技術研究所　室長　千葉　達朗

火山が噴火した際、適切な防災判断を行うためには、既設の地震計などの観測機器による観測に加えて、火口の内部・周辺の様子や噴出物の状況等を可視画像や地形データ取得によりいかに早く把握できるかが重要です。

しかし現在は、火口や噴出物の状況の把握は、噴火後に天候や噴火活動状況を遠目に見ながら、わずかなチャンスに期待して飛行機に乗った専門家や報道機関等が撮影した映像から経験的に類推しているのが現状です。そこで本サブテーマでは、ドローンを活用して火口等の状況を機動的に撮影し、画像を解析して状況の変化を自動認識し、安全かつ迅速に防災行動に役立つ形で提供する体系を開発します（**図1**）。

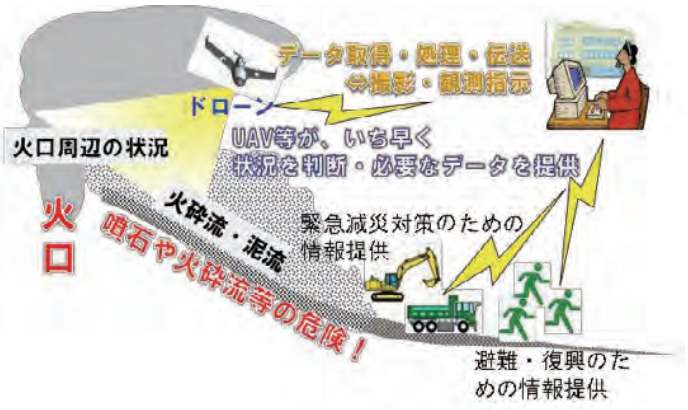


図１　危険箇所の状況を迅速に把握する技術の開発

取り組む課題①：噴火後の詳細情報取得の迅速化

安全上の問題から、噴火直後の火口周辺の細部把握や地形情報取得には時間を要します。時間ロスを極力減らして、噴石・溶岩流等の特徴や経時変化を予測シミュレーションや防災行動に役立つ形で提供するため、ドローン等で取得した画像を活用する技術開発を行います（**写真1**）。

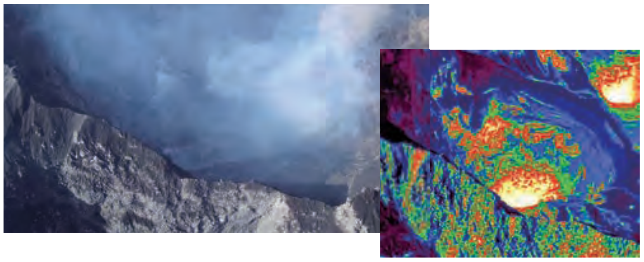


写真1　ドローンで撮影した桜島の南岳B火口（左：可視光での撮影画像、右：熱赤外線による撮影画像）

取り組む課題②：画像解析技術の高度化

撮影画像の解像度が高いほど得られる現地情報の精度は高くなりますが、その分時間がかかります。災害時の時間変化に応じて必要な場面で必要な精度の情報を提供していくための技術開発を行います（**図 2**）。

なお、本研究期間中に噴火が起きた場合には、検討中の内容をふまえた空域からの写真取得や詳細地形データ作成等を行い、迅速に情報提供する予定です（**図 3**）。

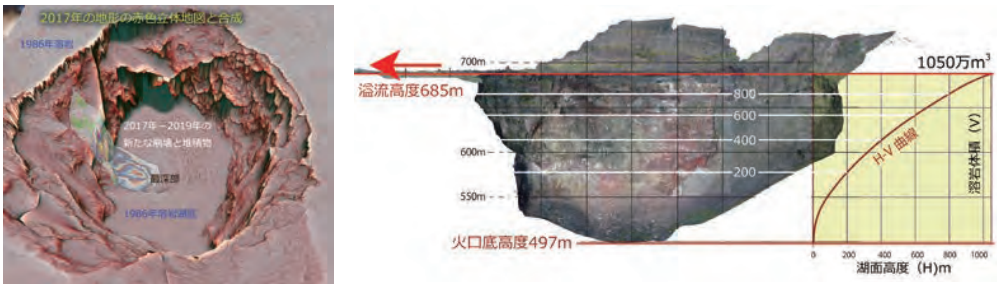


図2　ドローンによる伊豆大島計測（左：３次元モデル、右：三原山火口メスシリンダー表現）

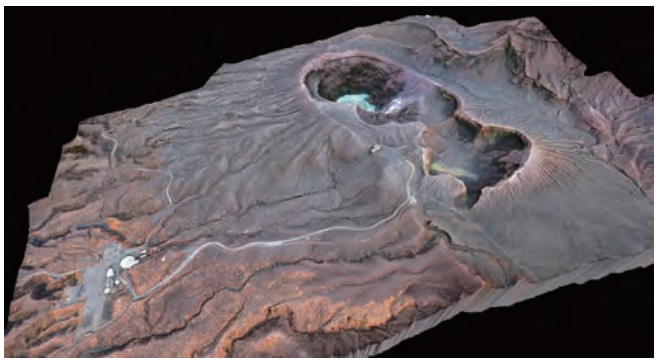


図3　阿蘇山2016 年10 月噴火の状況をドローンから緊急撮影し、作成した3 次元モデル

課題 D

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　井口　正人

写真1　桜島の南岳から上昇する噴煙

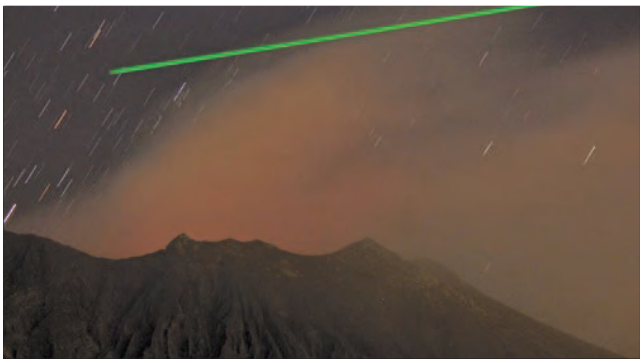


写真2　桜島の火山灰をとらえるライダーのレーザー光線

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 年以降の南岳や近年の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、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％～＋200％とすることを目指します。

① レーダー、GNSS 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す。
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もり、これを活用して火山灰の予測の高速化を図ります。
③ 複雑な火山地形上の風の場や、火山灰の粒形分布などを考慮して、火山灰予測の高精度化を図ります。
④ 観測されている降灰のデータも逐次活用しながら、長時間続く噴火の火山灰を継続的に予測します。
⑤ 噴火発生前の火山体の膨張をとらえ、火山噴火発生予測手法と火山灰の拡散予測手法を結合させて、噴火発生前に確率的な降灰予測を行います。

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。

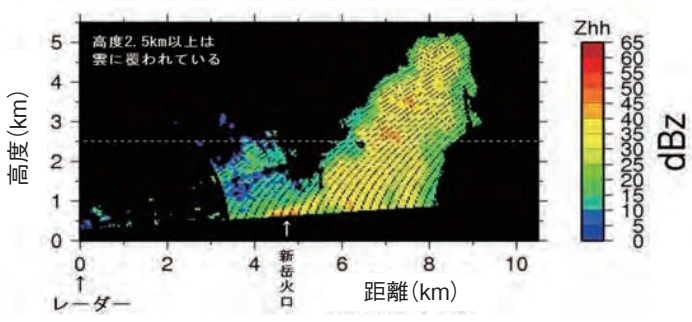


図1　レーダーで捉えた2018 年12 月18 日の口永良部島噴火の噴煙。雲の中の噴煙も見ることができます（噴煙濃淡を色で表現）。

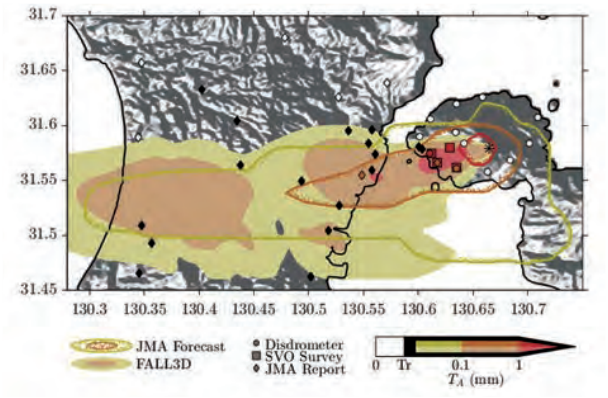


図2　2018 年6 月16 日の桜島噴火後の降灰量の予測。高解像度の風と正確な噴出速度により、予測を改善することができます。

課題 D

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長　中田　節也
【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　研究統括　宮城　洋介

観測、予測、そして対策

これまでの日本の火山研究は、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(**写真1**)。

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(**写真2**)。

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す。

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)平成29、30年度に引き続き富士山における登山者動向把握実験である「富士山チャレンジ2019」で取得した登山者の動態データをインプットデータとし、地図上で可視化することで平時には自治体等が避難計画を作成する際に、また噴火発生時には登山客や観光客などの避難・救助に活用するといった防災利用をするためのコンテンツの開発を進めています。

(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す。日本建築学会とも連携しながら、降灰実験等を通して建築物等への影響の数値化を目指しています。

写真１　富士山吉田口の観光客及び登山者

写真２　2016年阿蘇山噴火によるクーラー室外機付近の降灰状況

(3)火山災害の知見を深め、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・教育用のコンテンツの開発を進めます。全国の自治体防災担当者へのヒアリング調査及びアンケート調査から得られたニーズを踏まえ、火山災害及び火山防災について手軽に学べる教科書や資料等にアクセスできる総合的なポータルサイトとして開発中です。

これら3つのコンテンツを組み合わせて、平時及び災害時に防災担当者や火山専門家が容易に利用できるツールにする必要があります。このため、開発に際して火山を有する自治体や火山専門家に協力をいただきながら、さらに火山専門家と防災担当者との知識や経験、コミュニケーション等のギャップを埋めるためのツールとなるよう利用者視点で開発を進めていきます。

最後にこの情報ツールは、本サブテーマで開発するコンテンツのみならず、観測・予測・対策研究を一体的に進めていくための機能も有します。観測情報の把握と予測研究の成果を取り込み、刻々と変化していく火山災害状況を把握するためにWEBGISなどにより随時閲覧することができ、防災担当者や火山専門家が火山防災協議会などで状況認識を統一するために利用できるツールとなることを目指します。

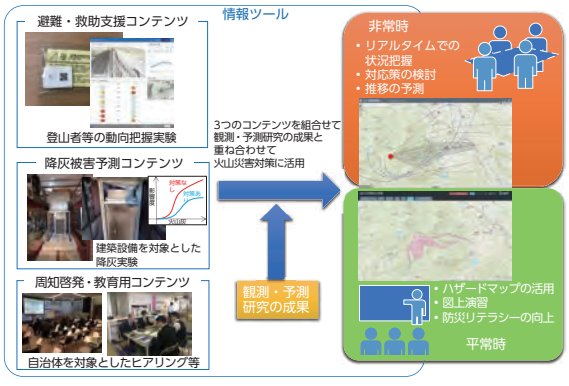


図１　情報ツールの概念図

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う新たな選択肢を提供しています。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ています。

コンソーシアム参加機関・協力機関

（2020 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、東京工業大学、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、首都大学東京、
早稲田大学

●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
民間企業：アジア航測株式会社
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内容

■受講生の対象

おもに大学院修士課程の大学院生。毎年 11 月頃に募集を行う予定です。

●基礎コース（修士 1 年相当）　14 名程度 / 年
●応用コース（修士 2 年相当）　14 名程度 / 年
●発展コース（博士院生相当）　6 名程度 / 年

■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修士課程の学生対象の授業
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ています。

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。

コンソーシアム機関、役割

参加・協力機関、協力団体	主な役割
大学	火山学関連の講義・実習 課題研究指導 フィールド実習（国内外） テキストの作成
国立研究開発法人 国の機関	学生研究指導（共同研究など） データ・施設の提供 インターンシップ（火山防災業務、研究開発） セミナー（研究成果、業務事例） テキストの作成
国・地方自治体の機関	インターンシップ（防災訓練、防災施策・業務） セミナー（業務事例）
民間企業	インターンシップ セミナー（計測技術、防災関連開発
そのほか	フィールド実習、巡検 研究セミナー（最先端火山学）

樽前山における実習の様子（2019 年9 月）

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。

●火山学（特別）セミナー
a. 最新の火山学研究の分野
b. 工学・農学等の火山計測、防災に関する分野
c. 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。

●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。

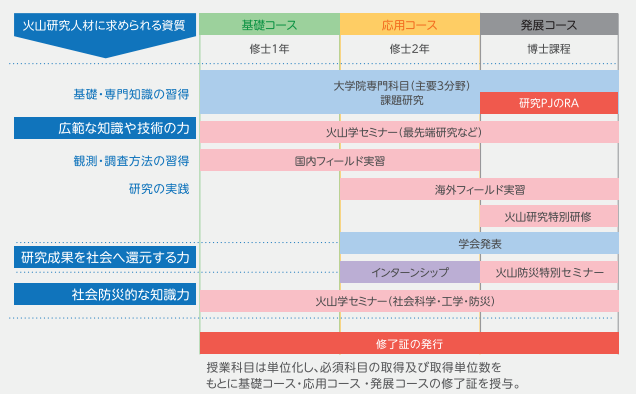
こうした授業科目を単位化し、単位取得の必要要件を満たすことで基礎・応用・発展の各コースの修了とします。

■アドバイザリーボード・キャリア開発支援

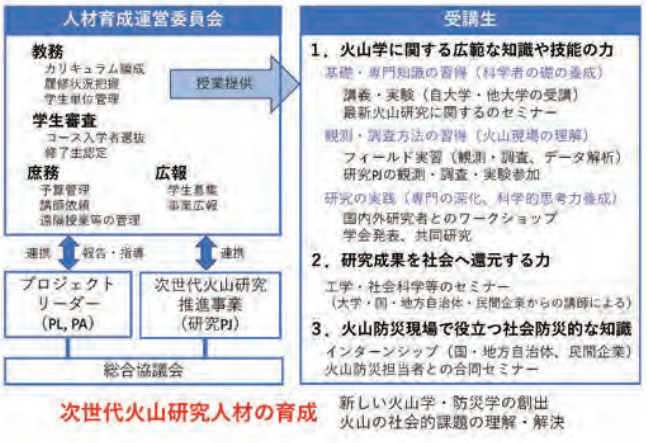
受講生が研究の進め方、キャリアパス、就職活動等についてアドバイスを受けられるよう、コンソーシアム参加・協力機関の

海外特別研修（International School of Volcanology @ストロンボリ火山（イタリア））

次世代火山研究者育成プログラムの授業科目等



次世代火山研究者育成プログラムの内容



担当者等による支援体制を設けます。また、学会等での研究発表を奨励しています。

■テキストの作成

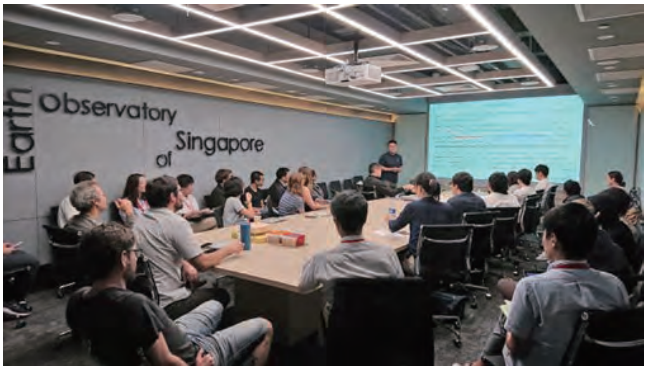
火山学および火山防災に関するテキストや、火山のフィールドのテキストを作成します。専門性を深化させるためだけでなく、他分野の受講生が予習 / 復習、自主学習ができるテキストを目指しています。

■特別聴講生

正規の受講生である大学院生のみならず、国の機関や地方自治体の職員等も、本プログラムによる授業科目等を受講できます。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ています。

■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 (CILVULC) 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あ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ています。



火山研究特別研修の様子（2019 年10 月シンガポール南洋理工大学）

■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います。

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ています。

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置しています。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ています。

●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

本事業の発展性

将来的な国の火山防災体制の強化に貢献します

●火山防災協議会へ、火山学、防災に関する基礎知識を有した専門家を派遣
●国・自治体職員が、火山災害の基礎知識や防災に関する将来ビジョンを獲得
●国・自治体職員と火山研究者の、災害対策に関する課題の共有、人的資産の形成による、効率的な防災対応施策の実行
●海外機関との連携により、防災体制の人材・知見を相互に供給

若手研究者の育成を促進します

●火山研究の魅力の上昇
●複雑多様な火山現象を多角的な視点で捉える研究者の増加
→火山活動や噴火に関する新たな研究成果
→火山噴火予測に関する技術開発の進展
→防災対策に関連した研究分野が発展

■**発行年月**：令和２年２月
■**発　行　者**：文部科学省　研究開発局　地震・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**

http://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

令和２年２月