



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



文部科学省

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

目 次



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C 火山噴火の予測技術の開発	15
【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	17
【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	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	19
【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	20
【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	22
【分担責任者】アジア航測株式会社総合研究所 技師長 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	23
【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	24
【分担責任者】国立研究開発法人防災科学技術研究所 研究統括 宮城 洋介	
課題E1 火山観測に必要な新たな観測技術の開発	25
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E2 火山観測に必要な新たな観測技術の開発	27
位相シフト光パルス干渉法を用いた振動観測システムの総合的評価	
【事業責任者】国立大学法人秋田大学国際資源学部 准教授 筒井 智樹	
【分担責任者】白山工業株式会社 基盤開発部長 平山 義治	
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院 教授 西村 太志	

ご挨拶

文部科学省研究開発局地震・防災研究課長 谷 広太

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されるプロジェクトです。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」を目指して今年度から開始しました。火山防災に関わる関係者の皆様の御協力を頂きながら、本プロジェクトを大いに盛り上げていきたいと考えています。

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火山噴火予知の実現は重要です。そのため、1974年以来、細々とではありますが、火山噴火予知計画として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も活用されてきましたこともあり、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。しかし、御嶽山噴火では、噴火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ます、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は、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噴火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50の火山に火山専門家を配置した火山防災協議会を設置することが決まりましたが、このような任務を担える火山専門家の数は十分ではありません。このような専門家は、地質、地球化学、地球物理学という火山学の広い分野の理解に加え、火山防災という視点からは自然科学に留まらない、社会科学や人文科学の考え方も理解できる必要があります。ところが、現在、各大学で火山研究に従事している研究者はそれほど多くありません。そのため、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年の計画として発足しました。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 総括担当プロジェクト・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担当プロジェクト・アドバイザー（総括担当 PA）をさせていただいている西垣と申します。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、総括担当 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。

多数の機関のそして広く多くの異なる分野の研究者が、高く掲げています目標の達成に向けて共同で実施します、我が国初と言えます画期的な取組みですので、まずはプロジェクト開始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、皆様の緊密な連携によるスムーズな取組み立ち上げのお手伝いに努めています。この 10 年余りにわたって多数のプロジェクトの推進に関わさせていただいた経験を活かしつつ、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に、火山防災に、お役にたてればと思います。

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

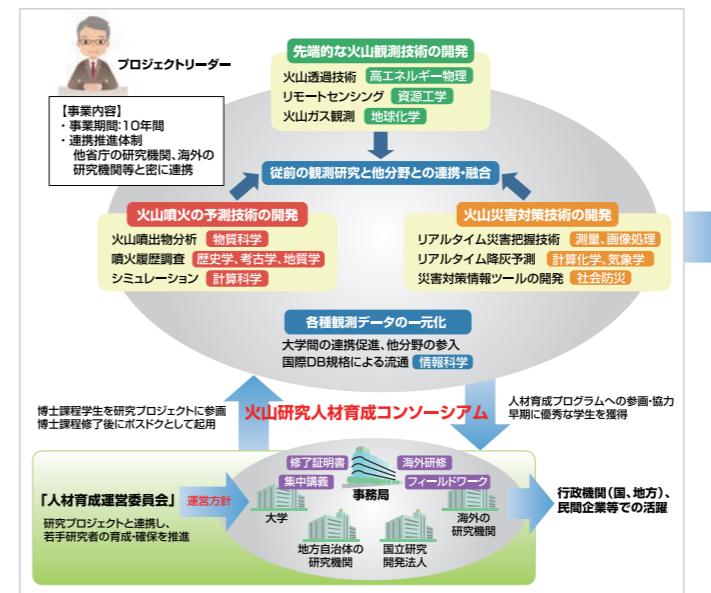
次世代火山研究・人材育成総合プロジェクトのリスクコミュニケーション担当プロジェクト・アドバイザー（リスク担当 PA）をさせていただきます関谷と申します。私は 20 年近く、災害時の情報伝達、火山や水害など自然災害や人為災害時の心理、社会現象に焦点をあてて防災研究を行ってきました。

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



火山災害の軽減に貢献するため、他分野との連携・融合を図り、「観測・予測・対策」の一体的な研究と火山研究者の育成・確保を推進するため、下記2事業により構成

①「次世代火山研究推進事業」⇒ 従前の観測研究に加え、「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化流通の推進

②「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火山研究者となる素養のある人材を育成

事業期間: 平成28年度～平成37年度 (10年間)

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 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	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
課題 E1 : 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 E2 : 位相シフト光パルス干渉法を用いた振動観測システムの総合的評価	
課題責任機関	秋田大学
共同実施機関	白山工業株式会社

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
コンソーシアム協力機関	九州大学
コンソーシアム協力機関	気象庁気象研究所
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

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」という。）が課題責任機関を担当します。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一元化するしくみなどの研究の基盤となるシステムを開発します。

火山観測網とは

防災科研は、火山研究の進展と火山防災への貢献を目的として、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。

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行っています。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います。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、地方自治体などの連携がますます重要となっています。データを1か所に集め、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、関わって来なかつ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というものです（図1）。

例えると、観測を行っている研究所や大学は、観測データを生産している「農家」です。現在は、研究などの目的のためにデータを使いたい人は、「農家」をあちこち訪ね歩き、直接契約してデータを手に入れる必要があります。そうではなく、「スーパー・マーケット」に色々な観測データがずらりと並び、誰でも手に取って見比べて手に入れることができます。もっと使いやすくなり、多くの人が訪れるのではないかでしょうか。また、その「スーパー・マーケット」で新しい発見があったり、新しい発想や成果が生まれたりする可能性があります。

海外との連携

火山観測は、フィリピンやインドネシア、イタリア、アメリカなど、海外の火山国でも行われています。噴火災害は、日本国内に限ると他の災害に比べて頻度が低いですが、世界全体で見ると大きな噴火災害が毎年どこかで発生しています。ただし、その1つ1つの火山は、数十年か数百年に1度の頻度でしか大きな噴火を起しません。近代的な火山観測が行われるようになってから100年程度しかたっていないため、それぞれの火山観測所で担当する火山の観測データを見ているだけでは、いざ火山が活発化したときに、大規模な噴火に至るのか小規模な噴火で済むのか、どのような災害が起るのか予測ができません。世界には約1500の活火山が知られており、その中にはよく似た性質の火山があります。データを交換して他の火山の過去の噴火事例を多数集めて、それらと比較し研究することによって、観測データが限られている火山でも噴火活動の予測ができる可能性があります。シンガポール南洋理工大学のEOS（Earth Observatory of Singapore）では、WOVODatデータベースという、世界中の火山の活発化時の観測データを収集し、各国で共有するプロジェクトを進めています（<http://www.wovodat.org/>、図2）。防災科研は、2007年からWOVODatプロジェクトに参加しており、課題Aでも海外との連携を進めています。

情報公開

防災科研のホームページでは、防災科研の火山観測データをほぼリアルタイムで公開しています（http://vivaweb2.bosai.go.jp/viva/v_index.html、図3）。このページは、専門家だけでなく、地方自治体及び防災機関の関係者や一般市民も見ることができます。現在は、1時間分の地震計データを1枚の画像にしたものなど、加工されていない生に近い観測



WOVODatは、火山噴火による災害を予測するためのデータベースです。火山噴火の前兆や活動を理解するためのデータを収集し、分析することで、より正確な予測が可能になります。

A lack of standardization in data formats and database architectures has made it nearly impossible to do comparative studies of volcanic unrest, or to search data for analogues to any current unrest. WOVODat fills this gap by translating and compiling this myriad of data into common formats with the goal to make them freely web-accessible, for reference during volcanic crises, comparative studies, and basic research on pre-eruptive processes.

図2 WOVODat データベース

データを自動で画像に変換して公開しているため、専門家以外にとっては多少わかりにくいものになっています。しかし、経験を積めば誰でも火山活動の状態を把握して自分や地域の安全に関わる情報として利用できますので、なるべくわかりやすく工夫して公開することを計画しています。

また、情報公開は、リスクに関する情報を発信する側と受け取る側との間との信頼関係のためにも重要です。観測データは、主に研究者が書く論文や気象庁から発表される火山情報という形に変えて社会に提供されています。これらは情報提供者の考え方や判断が含まれた二次情報です。加工されていない生データは、人間の考え方や判断が含まれていない一次情報です。しかし、これには火山による変動だけでなく、気象や人工的なノイズが含まれている場合があります。また、機器のトラブルによりデータが停止したり、異常なシグナルが含まれている場合もあります。このようなデータは、国民に誤解や不安を与えるため公開すべきでないという意見があります。また、生データはわかりにくいため、そもそも公開する必要がないという意見もあります。しかし、我々は、一次情報も含めて公開することが火山専門家と社会との信頼関係の構築に必要だと考えており、正確でわかりやすい説明を付けて誤解や不安を与えないよう出来る限り努力して公開していきたいと思います。

観測データを活用した研究開発と社会への価値の提供

一元化された観測データは、だれでも利用することができます。火山専門家は火山に関する研究、行政機関は行政サービス、民間企業は企業活動等に利用することができ、国民の暮らしの向上など、より良い社会を作るために活用できるようになります。しかし、専門家以外の多くの人にとって、加工されていない生データを扱うのは困難だと思います。そこで必要となるのが、観測データを加工して付加価値を付けて提供するための研究開発です。この研究は、他の課題や組織、人材育成事業と連携して行います。

火山観測データに付加価値を付けて社会に提供するため



図3 防災科研のデータ公開用ホームページ

には、主に3つのことを行わなければならないと考えています。1つは、観測データを噴火予測や防災等に使える情報に加工する「レシピ」を開発することです。この「レシピ」の1つが噴火事象系統樹です。噴火事象系統樹とは、複数の噴火シナリオを1つの系統樹にまとめたもので、その系統樹の分歧の判断に観測データを利用します。これは、課題BやCと連携して行います。2つ目は、専門家の育成です。観測データを読み解いて行政などに助言を行なったり、火山の仕組みを解明する研究などを行ったりする専門家の育成が必要です。防災への貢献だけでなく、火山専門家が知る火山の魅力や火山研究の面白さも専門家が社会に提供できる価値です。こちらは火山研究人材育成コンソーシアム構築事業と連携して行います。3つ目は、観測データや防災に関する情報を国や社会にわかりやすく提供し、防災のための行動を促すような情報提供方法の開発です。公式には気象庁から火山情報という形で発表され、民間企業を通じて社会に提供されるため、気象庁や民間企業と連携して研究を行う必要があります。この研究はこれまであまり行われてこなかったこともあります。現在は必ずしも必要な時に適切な情報が得られるわけではありません。わかりやすい情報提供の方法など、課題Dと連携して研究開発を行います。

連携の強化

課題Aでは、一元化を通じて、多くの人の協力関係や連携

を強化することを目指しています。特に火山防災に関しては、国や防災機関、火山専門家だけが努力して実現できるものではありません。火山に関わる人や組織が、お互いに情報を共有し、情報共有に支えられた信頼に基づく協力関係の下、それがそれぞれの役割を果たしてこそ成し遂げられるものです。課題Aが新たに作る一元化の仕組みが、それに貢献することを目指します。

おわりに

以上のように、課題Aは、単に観測データを研究者の間だけで共有しようとするものではありません。火山が持つ価値や、火山研究によって新たに生み出される価値を研究者に限らず国民全体で共有し、ともに火山からの恵みを享受することを目指すものです。平成26年に発生した御嶽山の噴火災害では、58名の方の命が失われ、未だ5名の方が行方不明になっています。この災害の後、多くの課題が指摘されました。これらの課題の根底は、噴火災害の頻度がほかの災害に比べ低いことも相俟って、火山研究者の多くが火山に関心はあるが社会にはあまり関心がなく、社会も火山や火山研究に無関心になっていることにあると考えています。課題Aでは、これらの価値を研究者と社会で十分に共有できていない現状を打開し、火山災害による被害の軽減と火山研究の発展に貢献していきたいと考えています。

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

太平洋の下にある岩盤（プレート）が、地下深部に沈み込むことによってでき上がった日本列島では、火山噴火と巨大地震が発生することは必至です。そのため、私たちは美しい火山のある風景などの豊かな自然の恩恵を享受する同時に、火山噴火に適切に準備して対処する必要があります。

一般的に、そばに火山のない地域に住んでいる人は低頻度の火山災害に対する関心が低く、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、突然噴火に会って被災されました。

この御嶽山噴火を受けて、活動火山対策特別措置法が改正され、図1のような体制を整備して、住民を火山災害から守ることになりました。

これを簡単に説明すると、それぞれの火山についてどの地域にどのような火山災害が及ぼかを事前に想定し、火山噴火の危機が迫った時に住民に避難を促すというものです。この時の判断に使われることになっているのが、気象庁の発表する「噴火警戒レベル」です。これが確実で、猶予時間が十分ある時に発表されるのが理想です。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した口永良部島では、噴火警戒レベルは両噴火が始まった直後に引き上げられました。これまで多くの火山で、同様の例があります。一方で、レベルを上げたが、噴火しなかったこともあります。これは、気象庁だけに責任があるのではなく、科学的な噴火予測の技術が完成しておらず、今後も技術開発が必要であると捉えるべきです。

2. 観測に基づく火山噴火予測

上述のように、火山災害の軽減のためには、噴火予測の精度を上げる技術開発が極めて重要です。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、新たな観測技術や解析方法等を開発し、噴火予測の高精度化を目指します。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ます。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、科学技術面で火山防災体制の高度化を目指すのが目的です。

3. 観測に基づく火山噴火の予測

火山噴火に至るまでの過程を説明し、どのような戦略で噴火予測の精度向上を目指すかを説明します。

火山噴火は、地下にある溶融した岩石（マグマ）が地表に達し、空中や地表に放出される現象です。マグマは地下100km付近で沈み込むプレートとともに地下深部に運ばれた水成分と、周辺の岩石が反応して溶融し、周辺の固体の岩石よりも密度が低いことから浮力で徐々に上昇します。その後、周囲の岩石の密度が等しくなる深さで一旦停滞します。それがマグマ溜まりで、活動的な火山の下にはマグマ溜まりがあると考えられています。マグマ溜まりに蓄積されたのち、マグマは徐々に冷却して融点の高い成分から固化し、融点の低い成分は融けたままで。水成分は液相に濃集する性質があり、水を含む液相は周辺の岩石より密度が小さくなり、再度浮力で上昇します。

マグマが地表近くまで来ると、周囲の岩石から押される圧力が低下し、マグマに溶けている火山ガスの素は発泡してガスになります。ガスは液相よりも軽くて変形しやすい

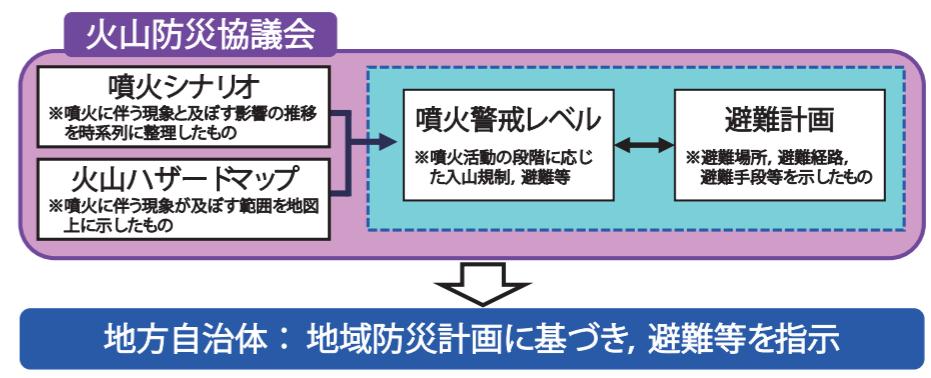


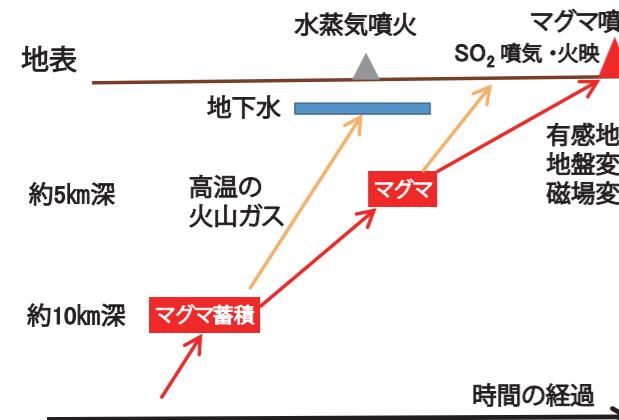
図1 活動火山対策特別措置法の概要の一部

ので、岩石の小さな隙間を通り、マグマより早く地表に到達します。液相に取り残された火山ガスの素も、マグマが上昇するにつれて、マグマの中で更に発泡し、全体の密度が低下するとともに、体積の増加で周辺の岩石を押す圧力が増え、周辺の岩石を破壊して地震を引き起こし、上昇が加速します。最終的に、地表に達して噴火に至ります。

このような過程（図2）の中で、噴火前に地表で色々な現象が観測されます。マグマや火山ガスの上昇で、地震が発生したり、地表が変形したり、火山ガスが地表で観測されたり、高温の火山ガスが地表に運ばれてくることで、地表直下の温度が上昇し、地磁気の変動が観測されます。また、高温の火山ガスが地下水を急激に熱すると、沸騰して蒸気噴火に至ることになります。噴火予測は、観測によってマグマや火山ガスの上昇を捉えることが基本です。

2015年5月29日に発生した口永良部島の爆発的マグマ噴火は、この図によく当てはまる噴火でした。この噴火では、約10ヶ月前の水蒸気噴火後、火山ガス（SO₂等）の濃度上昇、山体膨張（地盤変化）、地震活動の上昇、火映現象と続き、爆発的なマグマ噴火に至りました。つまり、この図で描かれている観測事象が時間を追って発現しました。このように、色々な観測事象を考え合わせて、地下で起こっていることを推定することが、噴火予測の基本です。この時、より精度の高い、より多種類の観測情報がある方が、予測精度の向上が見込めます。

図2で示したのは、噴火に至るまでの多数あるシナリオの一つです。例えば、火道（マグマの上昇経路）の発達した火山では、顕著な山体膨張や地震活動を示すことなく噴火に至る場合があります。つまり、どのようなシナリオで噴火に至るかを予測することも重要です。それぞれの火山がどのようなシナリオで噴火に至るかを知るために、その火山の平常時の地震活動、地殻変動、地下構造などの情報を得て、火山内部状態を把握しておくことが重要です。



4.「先端的な火山観測技術の開発」を目指すこと

マグマの上昇のプロセスは複雑で、マグマの粘性、マグマに含まれる火山ガスの素となる成分量、火道が開放系であるか閉鎖系である等の条件や火山内部状態によって異なります。そのため、できるだけ多くの観測手段から、火山の状態の微小な変化を捉え、それを適切に評価する必要があります。また、マグマの上昇を示す観測量は微小であることが多いため、容易にはマグマ上昇を捉えられません。そのため、通常の火山監視に利用している観測点に加えて多数の観測点で測定する必要があります。火山噴火の可能性を十分な猶予時間を持って精度よく推定するためには、新たな観測手法を開発し、これまでにない観察方法で火山を見ることがや、微小な観測量を適切に抽出するために、噴火前の観測データを事前に取得し、それからの異常時のわずかな差異を推定する技術を高める必要があります。

課題Bでは、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・データも活用して、現時点における各火山の活動状況・切迫度を評価の基準となる基盤的なデータを蓄積し、噴火に先行する現象を即時に判断する各種ツールを開発する。という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、次の4つのサブテーマに分けて事業を進めます。

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となるように目指します。

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Radarの開発、分光スペクトル画像計測装置の小型化）の高度化を目指し、局所的に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の判断手法を開発します。

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。

この課題で得た結果は、他の課題と協力して、図1で示した活動火山対策特別措置法をより良く機能させるための研究開発として推し進められる予定です。

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）。

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。ミュオグラフィ研究者グループ外の研究者が画像を閲覧するためには論文出版等を待つ必要がありますが、必ずしも火山学者が要求する観測期間において生成された透視画像とは限らないの

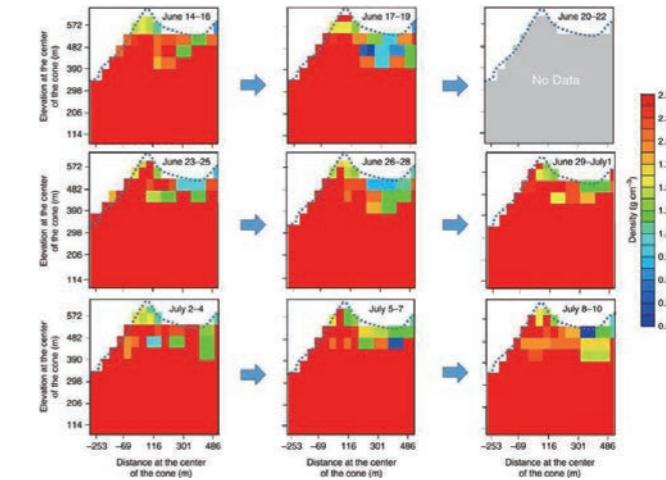


図2 薩摩硫黄島で撮影された時系列的ミュオグラフィ透視画像。赤い部分は密度が高く青い部分は密度が低い。2013年6月16日と30日に火映が観測された。

です。このような事情から、透視画像を論文出版するだけでは、火山学者の要求に十分に答えられているとは言えません。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。フルハイビジョンから4Kへの飛躍のように、従来の4倍を超える画素を提供する事で、より鮮明な火山透過画像を提供できるようになります。この2つの研究開発を組み合わせ、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。

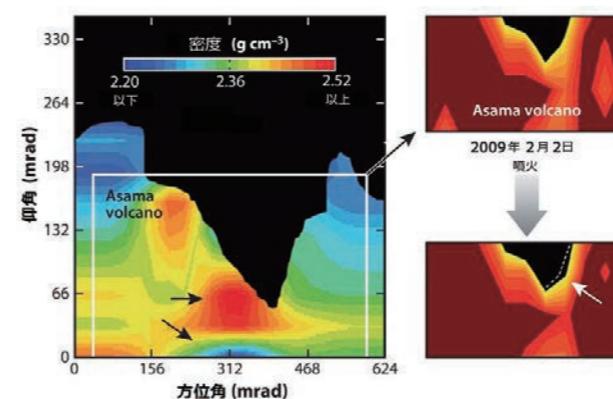


図1 浅間山で撮影されたミュオグラフィ透視画像。赤い部分は密度が高く青い部分は密度が低い（右）。2009年の浅間山噴火前後で撮影されたミュオグラフィ透視画像。上が噴火前で下が噴火後に取得された画像。噴火前の火口底の位置に点線を入れた。

サブテーマ 2

課題 B 先端的な火山観測技術の開発

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、多くの火山で高精度な観測網が構築されています。しかし、火山活動の全容を把握するためには、より稠密な観測が必要です。そこで、より稠密な地殻変動情報を得ることが可能な衛星搭載型合成開口レーダー(衛星SAR)が用いられます。衛星SARはレーダーを用いてメートルレベルの空間分解能を有する地表画像を取得します。さらに、異なる時期に取得した画像と比較することにより、その期間に生じた地表変動を検出することができます(桜島における検出例を図1に示す)。この解析には専門的な知識・技術を要するため、その利用は一部の専門家に限られています。そこで、本サブテーマにおいては、衛星SARデータを火山研究や火山活動評価に使用しやすい地表変動データに変換し、データベース化を進めます。一方、衛星SARによる地表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。よって、火山活動が活発化した場合に生じる、数日で

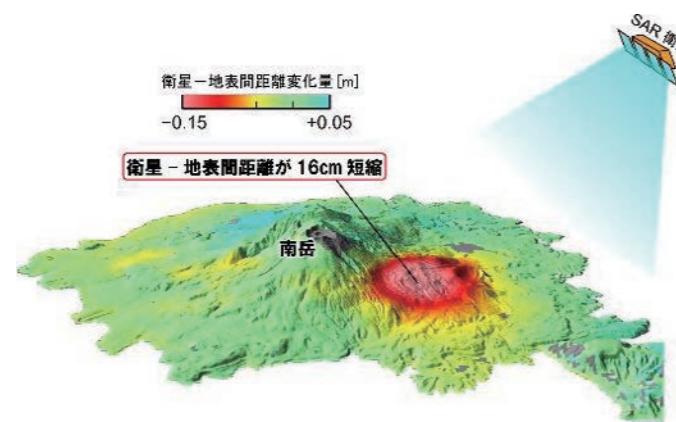


図1 衛星SAR(だいち2号のPALSAR-2)データを解析して得られた桜島の地殻変動。色は2015/8/10から2015/8/24の期間に生じた、衛星-地表間距離の変化を示します。

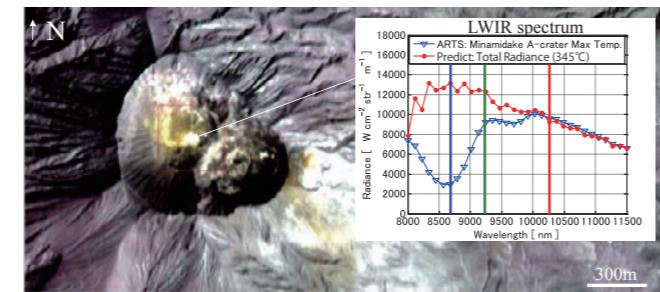


図2 航空機搭載型分光画像センサ(ARTS)で取得した桜島南岳A火口、昭和火口付近の擬似カラー画像(R/G/B = 10260/9243/8678nm)。SO₂ガスの赤外吸収帯は8670nm付近に存在するため、黄色に発色した部分(青(B)が弱い)がSO₂ガスの存在を示します。グラフは火口内のある点の赤外線スペクトルを示します。

進行するような地殻変動を検出するためには、新たな観測技術の開発が必要です。そこで、本サブテーマにおいては、場所を選ばずに、どこでも高精度に地殻変動を観測可能な、可搬型レーダー干渉計の開発を進めます。その計測原理は衛星SARとほぼ同様ですが、地上から観測するため、高頻度な観測が可能という利点があります。

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(桜島における観測例を図2に示す)。このように、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、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。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技術を組み込む研究開発を行います。

サブテーマ 3

課題 B 先端的な火山観測技術の開発

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

火山の噴火時には、火口から大量のガス成分(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、塩化水素、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)に溶け込んだ温泉水溶存ガス、火山体表面の土壤ガスなどとして放出されています。ただしこれらには、マグマ起源のガス成分だけでなく、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。これは従来の地球物理学的観測とは全く独立の地球化学的知見であるため、新たな指標として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(³He/⁴He比)とヘリウムとネオンの比(⁴He/²⁰Ne比)は、マグマと地殻の岩石、大気で異なるため、火山ガスの³He/⁴He比と⁴He/²⁰Ne比を調べれば、マグマ成分の割合が分かります(図1)。同様に二酸化炭素を構成する炭素の同位体比(¹³C/¹²C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(¹⁸O/¹⁶O比)も、水蒸気爆発かマグマ爆発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。

しかしこれまで同位体比は、実験室に持ち帰った試料について、複雑な分離・精製操作を施した後、大型の質量分析計を用いて測定されてきたため、火山近傍のフィールドにおけるその場(オンサイト)分析ができず、火山活動のようなダイナミックな現象の追跡への応用には限界がありました。そのため噴火の先駆現象かもしれない同位体比変動が事後にしか判明しないことも多々あり、防災に活用できませんでした。

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(水蒸気、二酸化炭素、二酸化硫黄、硫化水素、塩化水素など)とマグマ起源ヘリウムの濃度や、二酸化炭素の¹³C/¹²C比、水蒸気や水素のD/H比および¹⁸O/¹⁶O比を、可搬型の装置

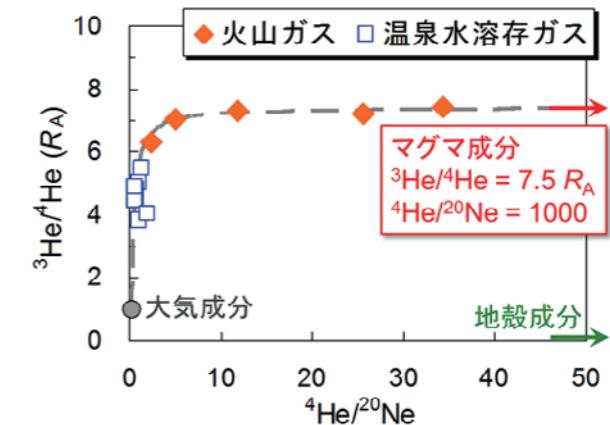


図1 草津白根山の火山ガスと温泉水溶存ガスの³He/⁴He比と⁴He/²⁰Ne比。³He/⁴He比は大気中ヘリウムの持つ値(RA = 1.4 × 10⁻⁶)を1として表記。マグマ成分と大気成分の混合線上にプロットされる試料のデータが、各々の成分にどれだけ近いかを調べることで混合率が得られます。

で計測する技術を開発します。そして火山ガスの放出が明確な火山でのオンサイト観測により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ます。

しかし火山は生きており、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を行う箱根山、草津白根山、伊豆大島、桜島などの火山で、従来の手法による試料の採取と分析も実施し、現在の火山活動度と、火山体周辺の深部起源ガスの上昇状況を把握します。また航空機を用いて採取した噴煙の水素・酸素同位体比の高精度分析から、噴気孔における火山ガスの温度を求める、新しい遠隔測定法を確立します。火山は海底にもあり、それによる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の水・ガス試料の採取・分析技術も開発し、継続的な観測を可能にします。これらのため実験室で行う分析にも、高スループット化や高精度化を施します。

最後に、地球化学に立脚して火山研究に携わる人材の不足はとくに深刻ですので、本サブテーマへの参加を通して高度な分析手法を習得しただけでなく、自ら新たな分析技術の開発もできる、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きます。

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. 噴火発生確率に必要な多項目・精密観測

日本における火山噴火予測は、1910年の有珠山噴火に遡ります。洞爺湖畔で地震観測をしていた東京帝国大学大森房吉教授は、噴火前に微小な地震が多発することに気づきました。その後、色々な火山での観測研究が進み、地震活動が高まつたのち噴火する例が多数見つかりました。一方で、噴火しないで活動が終息する実例も多くあることがわかりました。例えば、1970年代後半から活動が始まった伊豆東部火山群（静岡県伊東市沖）では、約50回の群発地震活動のうち、噴火したのは1989年7月の海底噴火の1回だけです。

地震活動の増加で噴火の確率を推定すると、統計学的には、以下のように記述できます。

Prob(噴火 | 火山性地震)

$$= \text{Prob}(\text{火山性地震}) * \text{Prob}(\text{火山性地震} | \text{噴火})$$

ここで、Prob(噴火 | 火山性地震)は火山性地震が発生した場合に噴火に至る確率、Prob(火山性地震 | 噴火)は過去の噴火の際に火山性地震が発生していた確率、Prob(火山性地震)は火山性地震が発生している確率です。例えば、これまでの噴火の例から有珠山は、Prob(火山性地震 | 噴火)が1に近く、伊豆東部火山群はこの30年間の平均で0.02程度であると推定できます。Prob(火山性地震 | 噴火)を決めるには多くの事例を集める必要があります、地道にデータを積み上げる必要があります。大変時間がかかることで、今後の課題と言えます。

一方、Prob(火山性地震)の項に注目すると、火口近傍に十分な観測点があり、極めて小さな火山性地震も観測できる場合は、Prob(火山性地震)は0か1のいずれかですが、実際には限られた観測点のデータしかないため、噴火に結び付く火山性地震がどれ位発生しているかは確率的に評価するしかありません。

つまり、噴火確率の精度を上げるには、観測の精度を上げる必要があります。そのため、火山が活発化の兆しがある時に、機動的に観測を強化して観測の精度を上げること、更に、火山性地震以外の他の観測結果も考慮して総合的に判断する必要があります。

2. 定常観測を補完する機動観測の重要性

機動観測の重要性を実例によって示します。図1は2008年末ごろから噴気が増加し、火山性微動が頻発するようになった吾妻山（福島県）で発生している微小地震の震源を推定したもので、この火山には、山頂から5km以内に監視目的に3点の地震観測点（左図黒+）があります。これらから推定された震源分布を左図の赤丸で示します。一方、東北大学が機動観測を実施し、山頂付近に地震計を3点（右図青+）追加して観

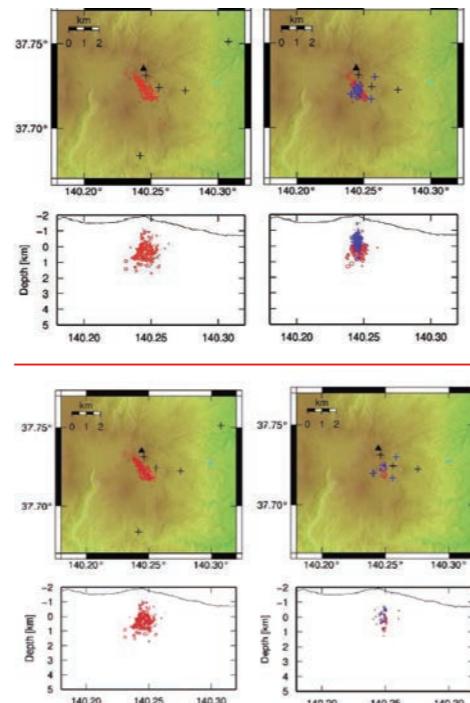


図1 吾妻山機動観測による震源情報の改善

測したところ、右図のように震源は、これまでの推定よりも浅く、山頂南側でほぼ鉛直に分布していることがわかりました。この震源の分布の違いは、今後の火山活動の推移を予測するため重要な情報です。

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、火山性微動を検出する、地下比抵抗から火山内部状態を評価する等のいくつかの処理ツールも作成します。

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
霧島硫黄山	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
俱多楽	水蒸気噴火の原因の热水系の探査
三宅島	開放系になった火道でのマグマ蓄積
草津白根山	热水構造とそれを作るマグマ溜まり
藏王山	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	比抵抗構造による热水系の探査
富士山	热水系と火山ガスの関連

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中長期噴火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つのサブテーマの研究が並行して、かつ密に連携しながら実施されます（図1）。

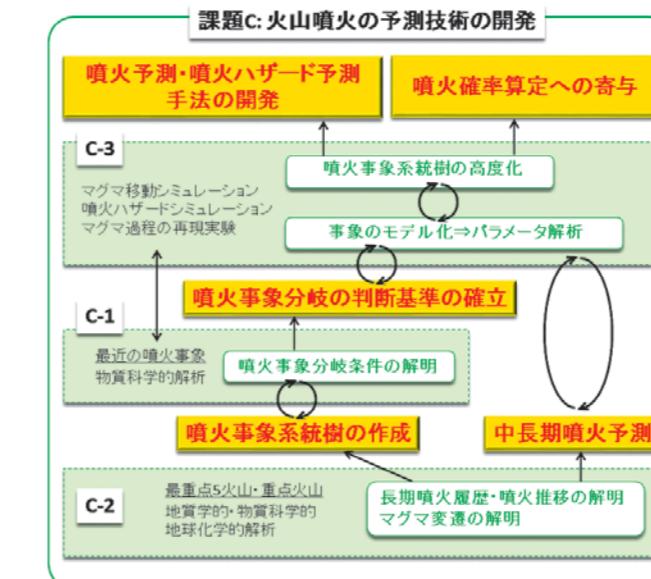


図1 課題Cの実施内容の全貌

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について（図2）、噴火の過程が既知である歴史時代の噴火の噴出物の解析を行い、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明らかにします。この際、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判断を行う基準を検討します。計画期間内



図2 課題Cで対象とする火山 (C-1 およびC-2)

に10火山について研究を行うとともに、それ以外に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資するため、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の整備を行います。

C-2:噴火履歴調査による中長期噴火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、活動的であることや噴火した際の社会的影響が大きいこと等を考慮して選定した26火山を対象に、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。また当初の5年間は、最重点火山として摩周・鳥海山・浅間山・阿蘇山・鬼界（薩摩硫黄島）の5火山を選定し、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。

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、火山噴火発生確率の定量化に向けて、演绎的（決定論的）手法による確率計算手法の開発を行います。本事業の7年目までは、火山噴火予知・火山災害評価のための個別の事象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。なお、特に火山現象を直接的に支配する物性パラメータの把握が不十分であるため、実験的手法を用いて物性モデルの開発も行い、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、各事象の発生条件について、感度解析の結果を踏まえて、もっともらしいパラメータ範囲での事象発生条件を抽出し、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の実施を踏まえた、事象分岐確率の提示を行い、一元化システムでの運用に移行します。

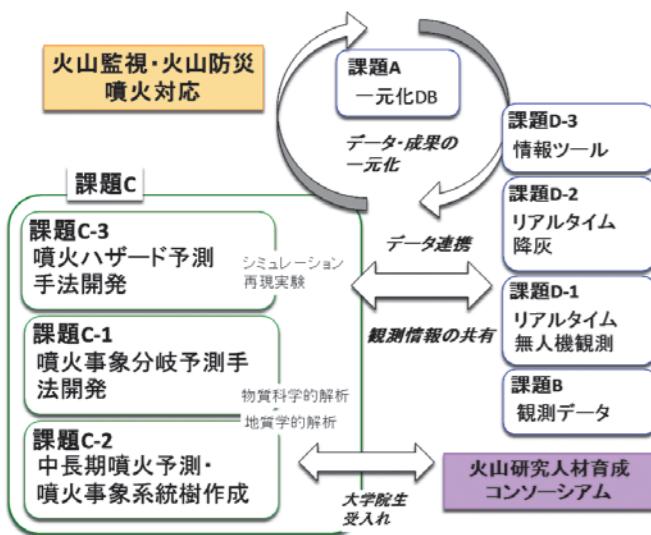


図3 課題Cと他課題・火山研究人材育成コンソーシアム構築事業との関係

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（A, B, D）、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されます（図3）。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が行われます。一方、C1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・形状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, B, Dとは、火山噴火発生確率の検討における課題Aの帰納的手法と本課題の演绎的手法との密接な連携、課題Bの観測パラメータと本課題のシミュレーションパラメータとの連携、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、などが行われます。

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。そして溶岩流シミュレーションのベースを原子力工学から導入し、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、また火山研究人材育成コンソーシアム構築事業における人材育成の場として本課題は利用されます。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と考えています。

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。また主要な成果物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年度からは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に役立つと考えられます。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、火山防災対策へ活用されることが期待されます。

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 准教授 安田 敦

火山噴出物の解析に際しては、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、(5)斑晶累帯構造に着目して分析を行います。(1)-(3)は、噴火前のマグマの状態を示す量であり、マグマの爆発性や、噴火を継続する能力の指標になると考えられます。(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、もし過去の噴火においてマグマの上昇速度と噴火様式との間に良い対応関係が得られれば、次の噴火においても、物理観測等から読み出したマグマの移動速度をこの対応関係にあてはめて、噴火様式の予測ができるかもしれません。(5)は、地下における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解析から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。仮に、ある火山の過去数回の噴火において、マグマ注入から噴火発生までの時間がほぼ一定であるとわかっているとします。すると、未来の噴火で観測からマグマの注入が推定された際には、その一定期間内は厳重警戒として火山監視を行い、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でしょう。

さて、私たちは事業期間内に10程度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判断に有効かどうかを検討します。このためには、かなり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。したがって、10年計画の1年目と2年目は主として火山噴出物試料を高効率・高精度で分析できる分析・解析環境の構築を行います。その後、次第に火山噴出物を分析してデータ収集することに重点を移してゆき、10年計画の終了時には、分析対象とした火山については噴出物の特徴を一望できるオンラインカタログ（図2）を作成して噴火予測に貢献するとともに、次世代の火山研究者に実用的な分析・解析環境を引き継いでいく計画です。

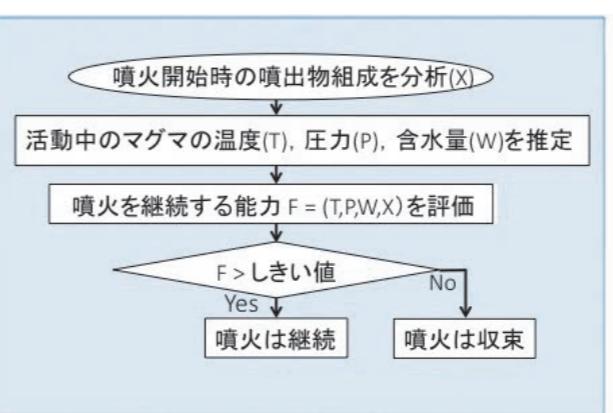


図1 噴火事象分岐判断の一例

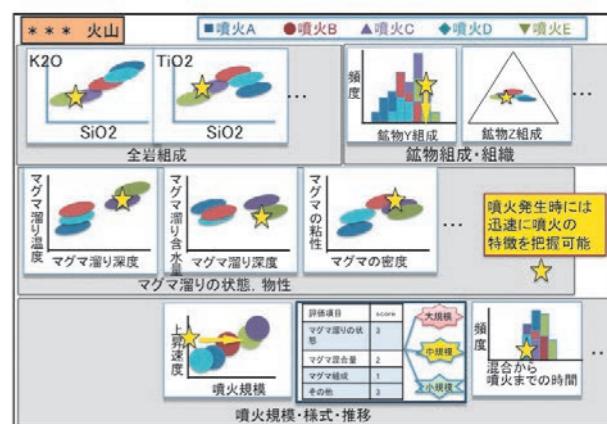


図2 火山噴出物カタログ（案）

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

課題 C の最終目標である「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、および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、噴火様式の変化を支配した現象、そして噴火が終了するに至った条件などが実証的に解明される可能性があります。そして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、主として地質学的および物質科学的手法に基づいて複数の活動的火山を対象に研究を開発し、(1) 個々の火山における高精度な噴火履歴の解明、(2) 個々の噴火における噴火推移の復元、(3) 1 と 2 の成果に基づいた高精度の時間-噴出物量図の作成、(4) 噴火履歴・推移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、を行います。そして特に(3)の階段図と(4)の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。また個々の噴火についても噴火推移を高精度で明らかにし、それらの情報を各火山で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、および共通する事象を明らかにして、火山噴火事象のモデル化に必要なパラメータ、例えば噴出量と噴火推移（噴出率変化）やマグマ物性（組成、斑晶量、温度）などを、連携する課題、特に C-1 や C-3 課題に提供します（図 1）。

本課題における重点的な調査対象として、活動的であること、噴火様式が卓越すること（カルデラ噴火、爆発的噴火など）、噴火した際の社会的影響が大きいこと等を考慮



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

し、26 火山を選定しました（図2）。さらにその中からボーリングやトレンチ調査を当初の 5 年間に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（薩摩硫黄島）の 5 火山を選びました。本課題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、プロジェクトの開始時点において 7 大学および産総研から 21 名で分担する体制となっています（図 2）。そして特に、火山噴出物の高度な全岩化学組成分析・微小領域化学組成分析を行う場として「マグマ変遷解析センター」を課題責任機関である北海道大学に設け、参加機関の研究者・大学院生に開放して、高精度かつ多種類のデータの蓄積をはかります。

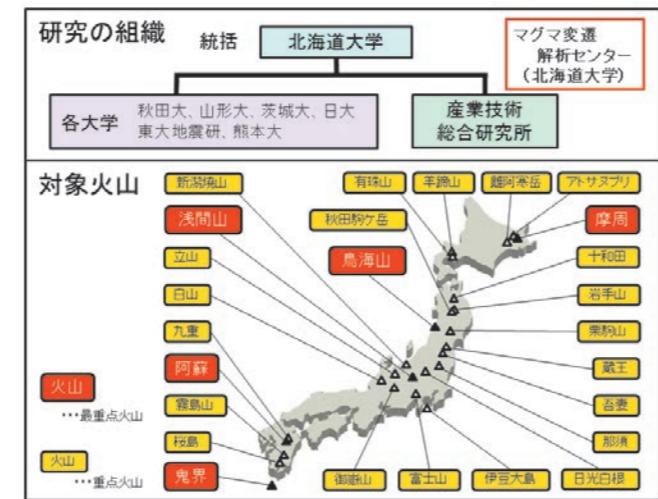


図2 本課題の研究組織、および対象とする火山

最終的には、本課題で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。

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

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。現象が進むにつれて複数の可能性が出てきますが、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ます。火山活動の原因となるマグマは、液体だけでなく、火山ガスのような気体や冷えて固まった固体などが混ざり合ったもので、複雑な動きになります。また、マグマは地表に噴出するときには約 1000°C もの高温ですが、温度の変化により粘性が変化するなど物性も変わります。このため、災害をもたらす火山噴火の現象としても、溶岩流、火碎流、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。

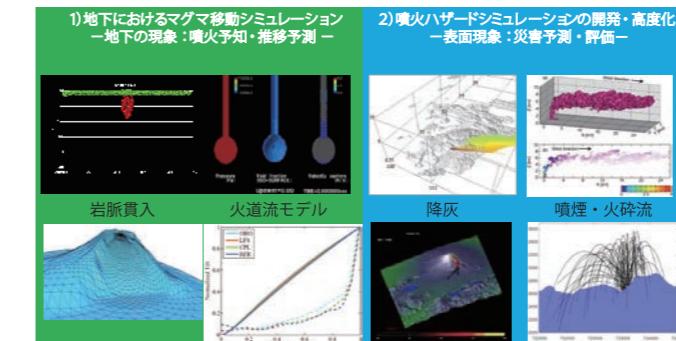


図1 火山現象の数値シミュレーション例

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、数値シミュレーションは有効な手段です（図 1）。それぞれの火山の現象がどのように起こり、どのように災害をもたらすのかについて、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、予測につなげたいと考えています。

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、

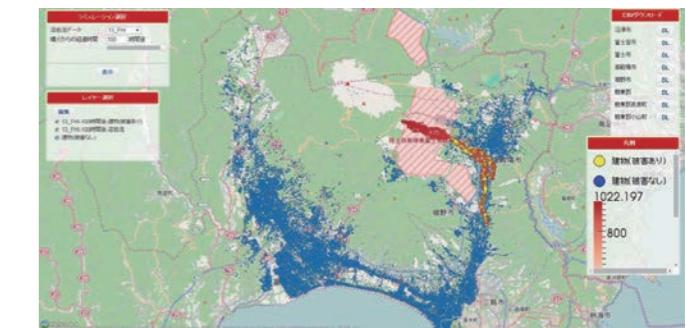


図2 富士山における仮想溶岩流による建造物被害推定シミュレーション

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、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) では噴火発生における溶岩流・降灰・噴煙・火碎流・噴石などの多様な火山現象に対して一元的に定量化を行い、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、火山噴火発生確率の算定に貢献することを目指しています。

数値シミュレーションの結果から、被害予測を行う一例として富士山周辺で溶岩流が発生した場合におけるハザード予測を可視化したものを示します（図2）。この図では、数値シミュレーションにより計算された溶岩流の到達範囲が赤で示されており、建物（青）に被害を及ぼした場合に黄色で示されています。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ます。本プロジェクトでは、今後、首都圏における降灰被害予測などを対象として実施してまいります。

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リスク・クライシス評価、さらには対策技術の提供までを一連で行う技術を開発します（第1図）。

噴火の発生と同時に、火口付近の状態や噴出物の広がりについて、できるだけ詳しい情報を取得することが重要です。最近の噴火においては、安全上などの様々な縛りがあり、火口付近に接近できないという事態がしばしば起こりました。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りすぐには入域不能であったり、立ち上がっても火口に接近できない事態もありました。そのため、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ることや、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いことがしばしばありました。これを補うためには、総合観測班を噴火の前兆が現れた時点で立ち上げることと同時に、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、その情報の迅速な提供や解析データの共有が重要になってきます。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。富士山の次の噴火においても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て、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であると考えられます。本課題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ることにしています。そこでは、浮遊する火山灰については MP レーダーや GNSS などの最新の技術を活用して、火山灰の挙動を捉え降灰モデルに反映するというリアルタイム予測情報を提供する予定です。これらの観測や予測情報に合わせて、課題 A で整備するデータベースの活用を行い、災害に関する関係者（自治体や火山災害協議会に参加する専門家）が必要とする情報や知識を提供するための情報ツールを開発します。

気象業務法においては、地震や火山噴火に関する地象の予報は気象庁が行うこととなっており、気象庁以外の者が予報業務を行おうとする場合は気象庁長官の許可を受けなければならないと気象業務法で明記されています。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する研究者は、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にこれまで進めてきており、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、より弱い異常が捉えられるということと、噴火予測が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1ヶ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ています。インドネシアでは小噴火の予測は難しいのかもしれません、観測網整備と火山警報の効率的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見えます。インドネシアの日本との違いを見ると、火山噴火の研究機関と防災機関が一体化していること、観測から情報発信までの速さと決断力などについて、日本との大きな違いがあるように見えます。インドネシアに限らず、主な火山国において、日本だけが火山研究と火山防災の担当機関が別々になっています。そのため、日本においては本研究が目指すように、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災害をいち早く把握・予測し、防災対策に生かすという速やかな連携が重要になると考えられます。日本では気象業務法による縛りはありますが、観測されたデータをできるだけ分かりやすい解説をつけてリアルタイムで見せる工夫をするとともに、それらが対象火山の噴火事象系統樹のどこに位置するのか、どのような災害が起こりうるかなどを含めて、噴火に関係する関係者に必要とする情報をリアルタイムで提供するツールを開発する必要があります。この部分は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。このプロジェクトの目的は観測データの「一元化」にあるのではなく、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推進され、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、彼らが有効な救援や避難の対策が取れるようになることです。

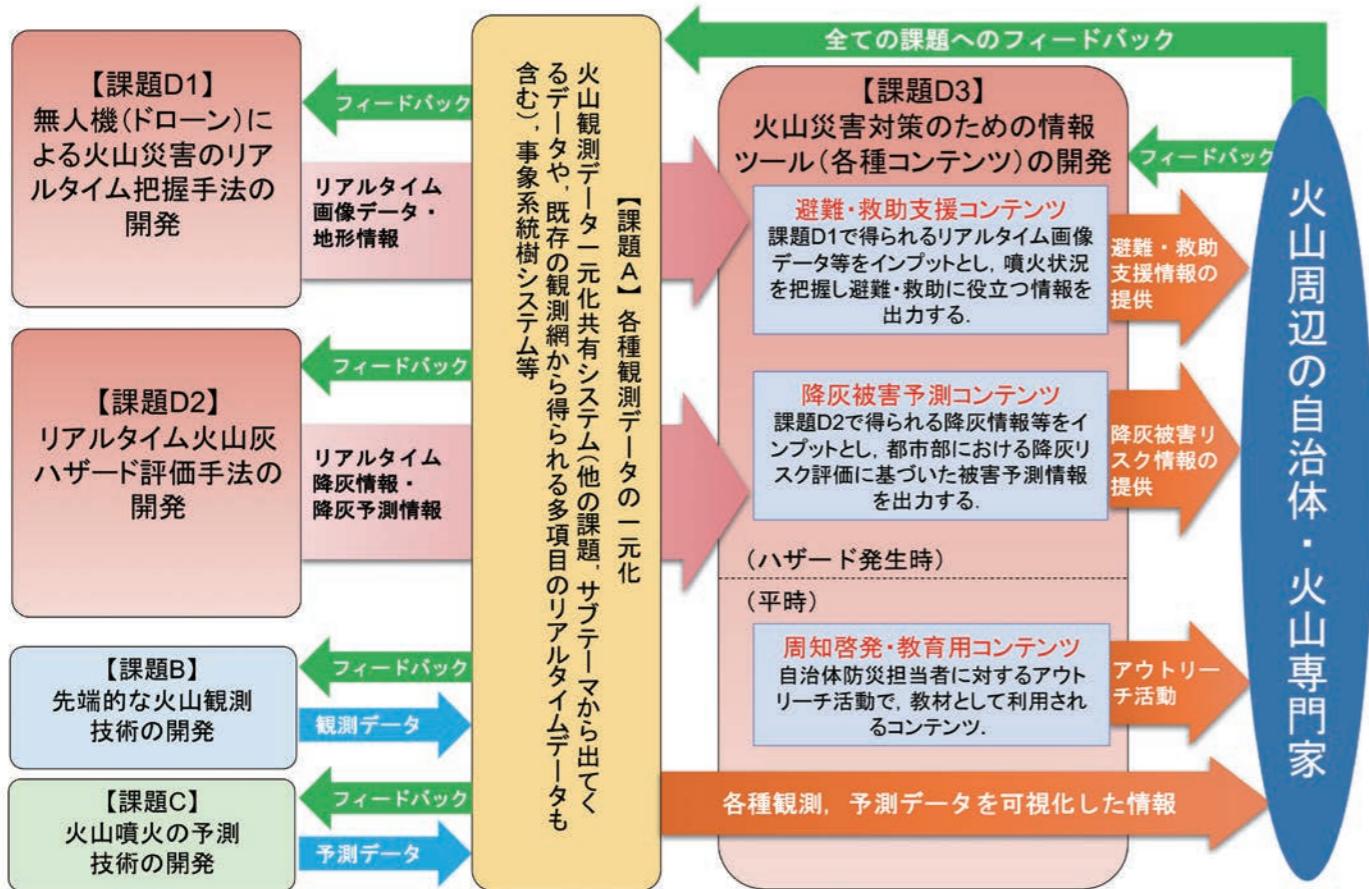


図1 課題D サブテーマ間およびプロジェクト全体の連携を示す図

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総合研究所 技師長 千葉 達朗

本サブテーマでは、人が容易に近づけない噴火後の火口周辺に対してドローンや遠望カメラ等を適用し、発生現象の把握や防災行動に資する映像の解析ならびに地形情報作成を迅速に行う技術を開発します（図1）。

防災行動を判断するために必要な現地情報には、地震やひずみ等の計器観測データのほか、可視画像ならびに熱映像等があります。現時点では、噴火後に飛行機に乗り、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部分のシステム化が目的です。

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。本研究では、“24時間以内”に、火山技術者を通じて噴石・溶岩流等の特徴や経時変化状況に関して情報提供するためのシステムを開発することを目標に設定します。

取り組む課題②：画像解析技術の高度化

ドローンの技術は最近数年間で飛躍的に進展していますが、防災に役立つアウトプットを作るまでの一連の流れの検討は遅れています。そこで、無人機の技術進展に期待しつつ、取得データの処理・解析速度や精度を向上させることと遠隔から取得できるデータの活用方法の開発、マッピング技術の応用等も考慮して、出来る限り迅速に情報提供する仕組みを検討します。

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。

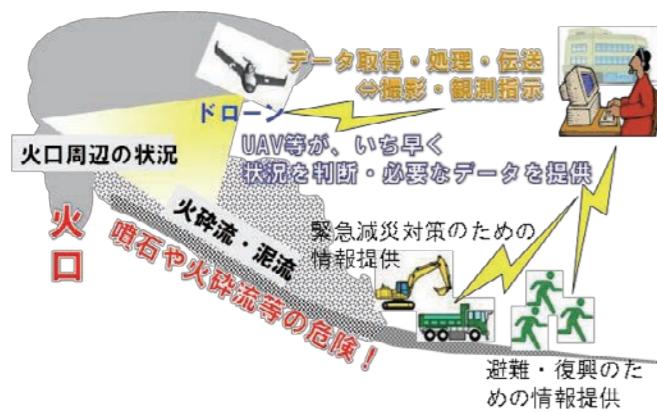


図1 危険箇所の状況を迅速に把握する技術の開発

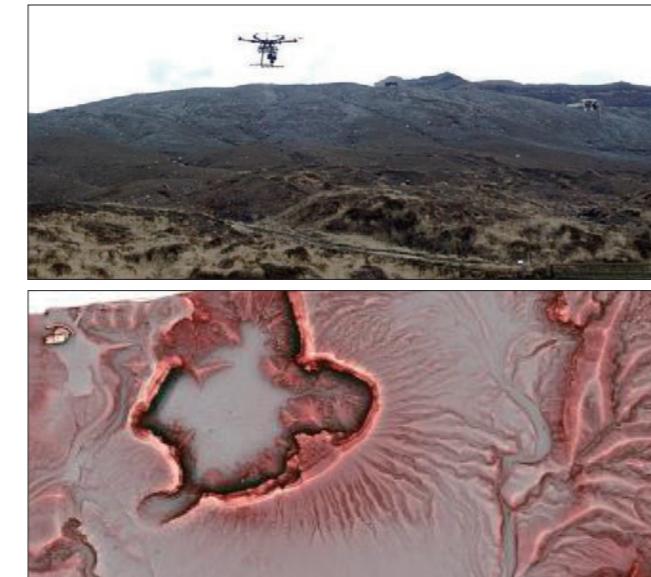


図2 H28 阿蘇山噴火後に実施したドローン撮影と3Dモデル

平成28年度は以下の通り研究を進めています。

①噴火時の無人機による観測手法の検討

噴火時における防災・対策分野でのドローン等の活用事例を収集・整理するとともに、現実に起こりえる噴火発生シナリオを設定します。シナリオにそって、立ち入り可能範囲や現時点で実現できる無人機等を使った観測・撮影可能条件、支障となる事項を洗い出して、対応計画を立案します。

②無人機による現地実証実験の検討

現時点で直ちに適用可能な条件で、目的を満足するための無人機や搭載装置、遠望観測機器、観測設定条件などの組み合わせや機能・仕様を検討します。初年度は写真画像から3Dモデルを作成する際の各種条件の違いにより得られる精度等を検討するための実験計画を立案します。

③阿蘇山火口の撮影

本プロジェクトの開始前でしたが、平成28年10月に阿蘇山が噴火しました。本研究においては、モデル検討として12月9日に阿蘇山火口周辺を無人機により撮影し、状況把握に資する地形データ作成とその可視化に取り組みました。

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 桜島の昭和火口から上昇する噴煙

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、さらに噴火活動静止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、今後想定される大噴火級の大規模噴火では、極めて深刻な被害を火山周辺にもたらしますが、その影響範囲は東日本までに及びます。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、拡散と降灰について即時的な、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 Xバンドレーダー、ライダー、GNSSなどにより噴煙を観測し、地上降灰量やドローンを用いた大気中その場観測と比較することにより、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、噴出率から火山灰の予測を行うことにより高速化



写真3 桜島の火山灰をとらえるレーダー



写真2 降灰下の鹿児島市街地

を図ります。

③ 火山灰予測シミュレーションでは複雑な火山地形上の風の場を考慮します。気象モデルを用いて、複雑地形上の風の場を再現し、ドローンやドップラーライダーで風を観測して予測値を検証します。また、火山灰の粒径分布や落下速度を予測手法に組み込みます。

④ 噴出率や風向・風速が変わる長時間続く噴火に対しては、降灰量からデータ同化を行い、シミュレーションを継続できるシステムを作ります。

⑤ 噴火発生前の火山体の膨張を高精度でとらえ、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。さらに、高精度の風のデータは火山灰以外の発散物の拡散にも応用可能で、山頂付近での降灰量の予測は土砂災害対策にも貢献できます。



図1 火山灰拡散予測のイメージ

火山災害対策のための情報ツールの開発

【分担責任者】国立研究開発法人防災科学技術研究所 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、主に観測研究と予測研究を中心となって進められてきました（図1上）。これらは火山活動に起因する様々なシグナルを捉えてそのメカニズムを理解するために、またその成果は噴火予測に繋がる大変重要な研究です。そこで得られる成果や情報は、火山災害による被害を減らすことを目的として利用されてきました。しかし、火山災害に関わる人達（※火山専門家、自治体、住民、登山者、企業、マスコミ等。以下「ステークホルダー」という。）の間での適切な情報伝達についての議論や、平時からの防災教育を含む周知啓発活動等、社会実装に係る部分で残念ながら不十分だった面があります。本サブテーマで進める、観測・予測研究に対する「対策研究」とは、専門家の中でも情報の受け手に近い立ち位置で行われる研究であり、先述した観測・予測研究から得られる成果の社会実装を実現するために進められる研究です。

対策研究の重要性はこれまででも認識されてきましたが、とりわけ2014年9月27日に発生した御嶽山噴火災害がきっかけとなり改めてその重要性がクローズアップされました。このような災害による被害を減らすためには、水蒸気噴火の直前予測に繋がる観測研究と予測研究のより一層の充実が重要なことは言うまでもなく、火山災害に関するステークホルダー間のコミュニケーション不足を解消するために、観測・予測研究と対策研究を一体的に進めて行くことが必要となります（図1下）。

●火山災害対策のための情報ツール

本サブテーマの最終的な目標は、火山災害に関するステー

クホルダーが、噴火発生時に適切な初動対応及び防災対応を行い、適切な情報を発信した受け取れるようになります。本サブテーマで開発する「火山災害対策のための情報ツール（以下「情報ツール」という。）」とは、これらを実現するために、観測・予測・対策研究を一体的に進めていく上で利用されるツールのことです。例えば、全国の火山防災協議会において、火山専門家が地方自治体等へ助言する際や、地方自治体を始めとするステークホルダー自らが、災害予防及び被害拡大防止に必要な行動をとるための科学的根拠に基づく情報を得るために利用されることを想定しています。ユーザーインターフェースにはWebGISを用い、観測・予測研究で得られた成果や情報がWebGIS上に表示され、ステークホルダーに提供されます。

本ツールの開発に当たって重要なことは、我々専門家だけではなく、他のステークホルダーと一緒に開発を進めていく点です。火山災害に関して普段から情報交換・情報共有を行い、それらの意見を反映させた形の情報ツールの開発を目指します。このように、ステークホルダー間、特に火山の専門家と非専門家の間のギャップを明らかにし埋める努力をすることも、本サブテーマのテーマの一つです。

この情報ツールは、様々なコンテンツからなります。コンテンツの種類は、アウトリーチ活動で使用される教材や、災害発生時の避難・救助支援コンテンツ、そして都市部における降灰被害予測コンテンツ等があります。これらコンテンツを利用した実証実験や実際の利用を通して得られたフィードバックを基に、コンテンツのさらなる高度化も行って参ります。

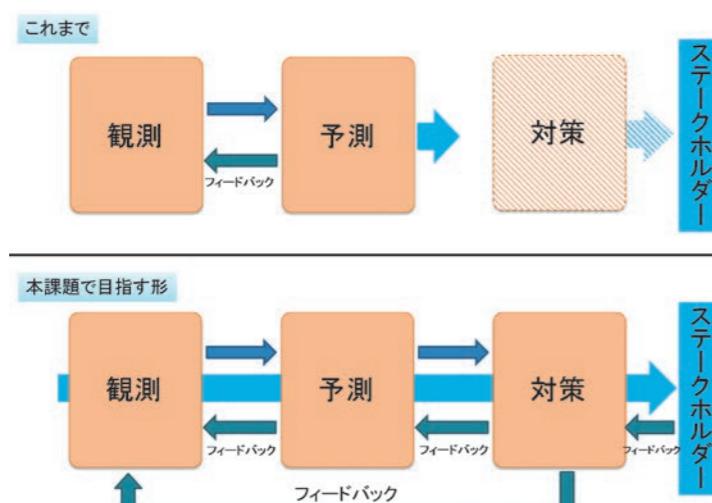


図1 観測、予測、対策研究とステークホルダーの関係。

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110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う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。

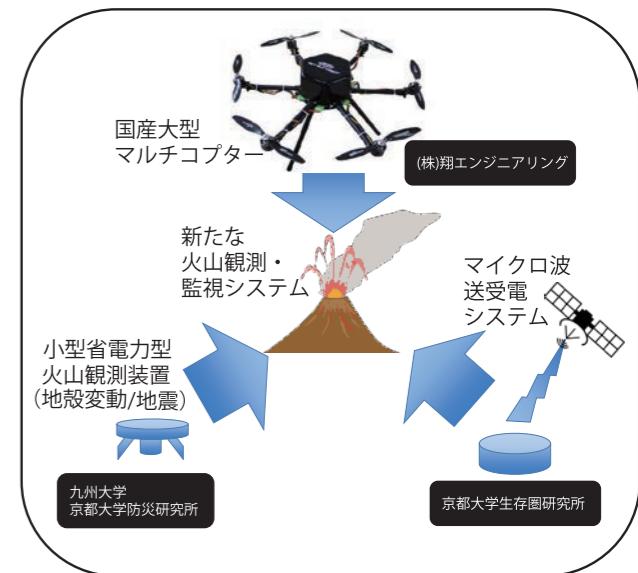
マイクロ波送電技術は、たとえば宇宙空間に超大型の太陽電池パネル衛星を配置し、そこからエネルギーをマイクロ波に変換して地上の装置に電力を送る「宇宙太陽発電所」構想の基幹となっている技術で、日本では世界トップレベルの研究が行われています。

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できます。

京都大学生存圏研究所の篠原研究室はこのマイクロ波電力送電技術開発の世界的拠点であり、低損失・高精度な機器の開発や前述の宇宙太陽発電所ほか様々な分野で応用実験を行っています。またマイクロ波は電波法が適用される電磁波であるため、安全なマイクロ波周波数・電波強度の



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

研究も行っています。

○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ました。

本研究の協力機関である（株）翔エンジニアリングでは、複数の無人飛行機メーカーとマイクロ波送電装置搭載に適切な飛行体の開発を進めています。高高度における空気密度の減少にともなう飛行能力の低下や強風の影響なども、火山地域を飛行する場合には解決すべき重要な機器開発ポイントとなっています。

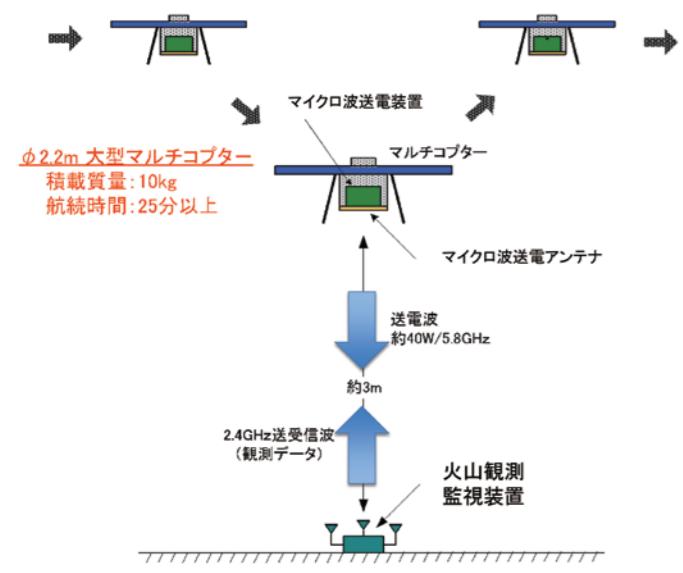
○低消費電力の火山観測機器の開発

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。普段は太陽電池や携帯電話回線などを用い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



伊豆大島における空中マイクロ波送受電およびデータ回収実験

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



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

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があります。そこで既存の火山観測機器の記録媒体に Wi-Fi 機能内蔵の SD カードを用いることにより、小規模な改造で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送電用アンテナ（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。

○本研究課題の最終目標

自立飛行型無人航空機にマイクロ波送電装置を搭載し、2 ~ 3 m 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（伊豆大島火口原や桜島火山等）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。

火山観測に必要な新たな観測技術の開発

位相シフト光パルス干渉法を用いた振動観測システムの総合的評価

【事業責任者】国立大学法人秋田大学国際資源学部 准教授 筒井 智樹
【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「位相シフト光パルス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と呼びます）を投入して、新システムのフィージビリティスタディを行います。

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火山の地下から発せられる地震波や火山の地下を通ってくる地震波は、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をとらえるためには、なにか変わったことが起きていないかどうか、この「耳」を常に働かせておく必要があります。火山地帯で「耳」を常に働かせるためには、「耳」が高温や雷、腐食性ガスなどにも耐えるタフなものである必要があります。



図1a

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（図1a）。光センサーシステムでは地震波による地面の動きをレーザー光の位相差として検出します（図1b）。これに対して従来から使われてきている地震計は、地面の動きを内蔵されたコイルに発生する電圧の変化として検出しています。光センサーシステムではセンサーで

センサー内光回路

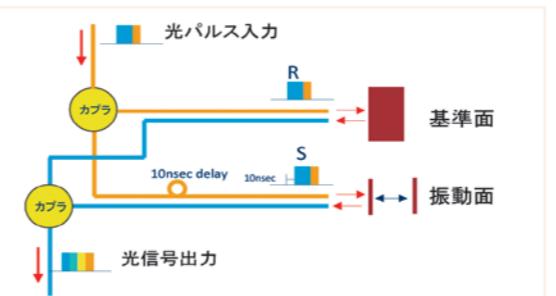


図1b



図2

検出された位相差を光信号として光ファイバーで直接送ることができます。光センサーは従来システムにつきまとう接触不良、絶縁破壊などの電気的トラブルとは無縁です。したがって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。

火山観測システムの中でセンサーは一番厳しい環境に置かれます。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（図2）。腐食性の火山ガスが充満する場所、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センサーが必要です。より早く異常を検知しようとすればするほどセンサーを取り巻く環境条件は厳しくなります。このような場所では従来のセンサーの寿命が極端に短くなってしまったり、あるいは落雷による焼損が頻繁に発生するからです。さらに光センサーシステムはセンサーへの給電が不要なことから、海底火山や火山島周辺などにおける海底観測にもアドバンテージを見いだすことができそうです。

現在、光センサーシステムはまだ火山観測の実績がない試作機です。本事業ではシステムを実際の火山観測に投入して一定期間運用することにより、観測データを得ると同時に能率良く確実な設置作業をするためのノウハウを蓄積します。観測で得られたデータに解析を施して火山観測に供しうる品質であることを確認するとともに、今回の観測で得られたノウハウを整理し実用化に向けた今後の試作へのフィードバックを可能にすることを狙っています。今回のフィージビリティスタディを通して、光センサーシステムを「いち早く火山現象を捉えるセンサー」に育てることで火山防災の高度化に貢献したいと考えています。

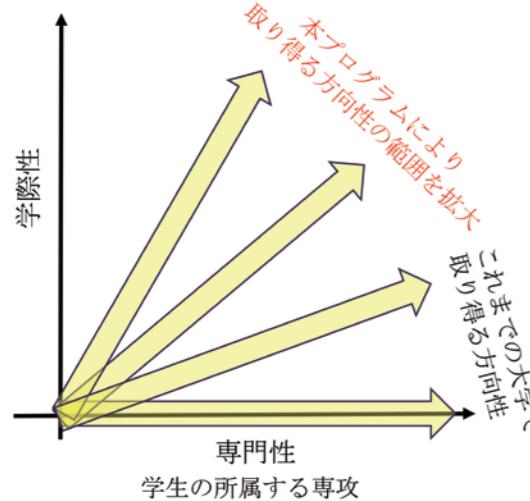
火山研究人材育成コンソーシアム構築事業

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

コンソーシアム構築の目的

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的とする。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た。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た。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。

これにより、これまで学生は所属する各大学の専攻を中心に専門性を高める勉強および研究活動を進めていたが、学際性を伸ばしながら研究を進めるという新たな選択をして火山研究を進めることができる（下図）。



○コンソーシアム参加機関・協力機関

（2016年10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

●協力機関

防災科学技術研究所、産業技術総合研究所
気象庁気象研究所、国土地理院
※参加予定
鹿児島大学、神戸大学、東海大学、信州大学

●今後の募集予定

国や地方自治体（インターンシップ等）
民間企業（インターンシップ・講演等）
海外機関・学協会（実習等の共同実施）

コンソーシアム機関、役割

参加機関・協力機関	主な役割	機関名
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	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 +公募（1～2年目から）
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	気象研究所、産業技術総合研究所、防災科学技術研究所、国土地理院 +公募（1～2年目から）
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）	公募（1～2年目から） ※例え、火山防災協議会を通じて
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）	公募（1から2年目から）
その他	フィールド実習、巡検 研究セミナー（最先端火山学）	NPO法人日本火山学会（内諾済み） 学協会公募（1から2年目から） 海外大学等（参加研究者から依頼）

※初年度開始時 8大学（参加機関）、4研究開発法人等
コンソーシアムの規約等作成後、公募予定

受講生の対象

大学院修士課程の大学院生。火山研究に意欲ある学部4年生及び博士課程の大学院生。

- 基礎コース（修士1年相当） 14名/年
- 応用コース（修士2年相当） 14名/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に。
Web会議システムを利用した遠隔授業を導入。

B. コンソーシアム等が開講する授業科目

- 火山学実習



平成29年3月に火山学実習を行う霧島

a. 火山における実習

国内の活動的な火山で計測、調査技術の実習を約5日間で行う。

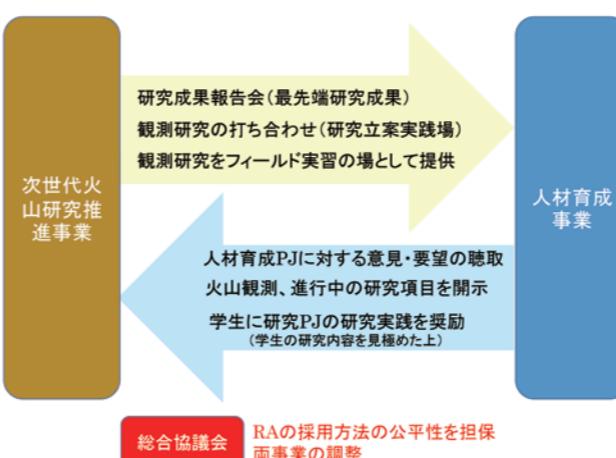
博士課程進学希望者には国内の火山と類似点のある海外の活火山における実習を提供。

世界有数の活火山における実習を海外著名研究者の協力の下に実施。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る。

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ぶ。

次世代火山研究推進事業との連携

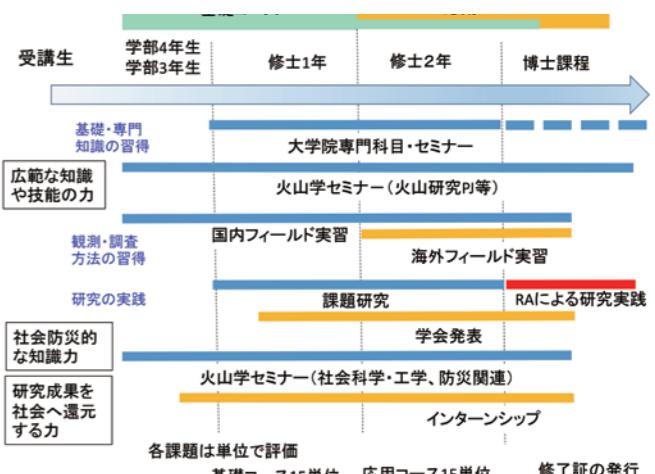


●火山学セミナー

- 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

社会科学、工学等の分野の特別講義・セミナーを実施する。
火山防災に関連したセミナーやインターンシップを提供し、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する。

以上の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コースおよび応用コースの修了とする。



○アドバイザリーボード

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る。

○キャリア開発支援

- キャリアパス意識啓発を行うために、コンソーシアム参加・協力機関による説明会等の実施
- 学会等での研究発表の奨励
- リサーチアシスタント制度の活用

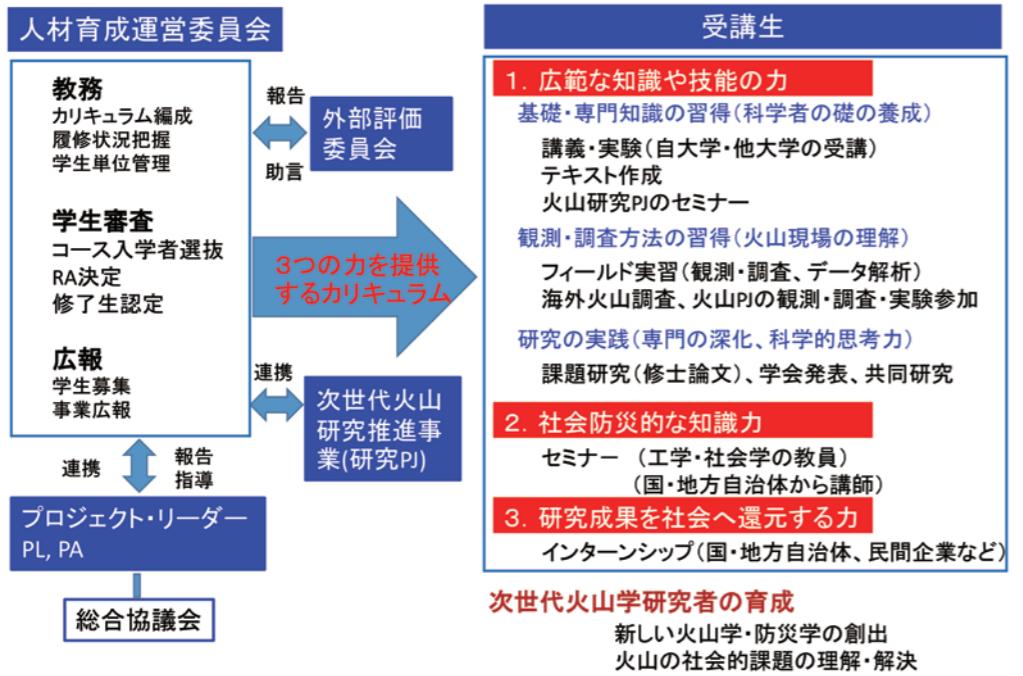
○テキストの作成

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する。専門性を深化させるためだけではなく、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す。

○カリキュラムの受講

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るようなカリキュラムを設計する。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、それらの知見をもとにした、火山防災や活動監視の実施への活用を促す。

火山人材育成プログラムの内容



○海外機関との連携

Asian Consortium of Volcanology, イタリア火山コンソーシアム (CIRVOLC) などと連携しアジア諸国をはじめとする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作成する。

人材育成運営委員会

人材育成運営委員会を設置し、本プログラムの実施方法を検討し、実行する。学生教育の実施方法や体制、コースの修了認定及び修了証明書の交付などについて検討し、実施する。また、コンソーシアム参加機関（以下「参加機関」という。）及びコンソーシアム協力機関（以下「協力機関」という。）の追加に関して、審査承認を行う。

委員会は、コンソーシアム代表機関の実施責任者、参加機関の実施責任者、協力機関の実施責任者などから構成する。また、委員会に委員長を置き、委託事業を実施する代表機関の実施責任者をもって充てる。

事業を円滑に進めるため、代表機関のある東北大学に、教員および事務員からなる事務局を設立する。人材育成プログラムの実施内容、状況、また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する。

○本事業の発展性

将来的な国々の火山防災体制の強化に貢献する

- 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

若手研究者の育成の促進

- 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

○次世代火山研究推進事業との連携

本プログラム（人材育成事業）は、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

○受講生の募集時期

毎年11月頃を予定

○ホームページの開設

2017年3月を予定。

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

■発行年月：平成29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/>

検索ワード 次世代火山研究 検索