

## 1. 研究概要の説明

現在の火山学においては、個々の火山現象の概念的・定性的な理解は徐々に進んできており、観測データの残る過去の噴火と類似の活動であると、定性的な噴火予測が可能なこともある。これによって、火山噴火に対する様々な防災対策が講じられているのが現状である。しかしながら、噴火に至る過程、爆発的か非爆発的かと言う火山噴火の様式や噴火活動の推移や活動停止までの機構は完全には解明されていない。その理由は、火山噴火現象が極めて複雑な現象であることと、ひとたび発生すると大きな被害を及ぼす火山噴火であってもその発生頻度は少なく、噴火を挟んだ十分な期間の観測データがなかなか得られないことにある。特に、噴火前や噴火終息期の観測データの多くは、活発な噴火中の観測データに比べて注目されることが少なく、解析事例も少ない。火山活動に関わる現象の多くは、マグマの上昇運動やそれに伴う岩石の破壊等の物理現象と、マグマに含まれる成分の結晶化や火山ガスの相変化などの化学現象が絡み合う極めて複雑な現象である。このような現象の複雑さに加え、噴火までの多くの過程が直接観察できない地下で長期にわたって起こることから、観測データの蓄積が十分ではなく、また観測データの理解に必要な知見も十分とは言えず、火山活動の最中であっても現実に地下で何が起きているのかを正確に把握できない状況に直面することも多い。つまり、火山現象の包括的な理解に至るまでの道のりは長く、当面はどのような火山に対しても利用できる科学的な噴火予測を実現できるようになるとは考えられない。

一方で、多くの火山を有するわが国では、2014年御嶽山噴火で多くの犠牲者を出したことをはじめ、これまで多くの火山災害に見舞われてきた。火山現象の包括的な理解を目指す研究を進めることももちろん重要であるが、既存の知見や技術の延長によって火山災害を少しでも軽減する研究開発を推進することは火山学の使命の一つと言える。これまでも、例えば2000年有珠山噴火のように、過去の噴火時の観測事例が残され、火山周辺の観測設備が進んでいる火山では、現在の火山学の知見を活用した、概念的な火山噴火モデルと精度の高い観測データから、火山噴火及びそれに起因する災害が発生する切迫性を知り、その情報を有効に活用し、火山災害を軽減することができた。このような切迫性評価で要となるのは、これまで色々な火山において噴火前に現れた前兆現象や火山噴火の概念モデルから予測される噴火前の発生事象に基づき、対象とする火山での観測データによって火山内部の状態を把握することが最も重要なことである。その際、これまでになかった新技術を用いることや、噴火切迫性の比較対象となる高精度の観測データを平時から取得しておき、火山活発化の際の比較の材料となるデータを蓄積することが重要である。また、火山噴火様式は火山内部構造にも大きく依存するため、平時から火山内部の構造を解明しておくことも必要である。特に、水蒸気噴火により新たに火口ができる場合には、火山内部の構造は新火口の位置の推定に重要な情報を与える。

この課題では、噴火切迫性評価の高度化を目指す4つのサブテーマからなり、それぞれのサブテーマで、①新たな火山観測手法や火山体の内部状況の変化の即時的な把握を支援するツールを開発するとともに、②将来噴火する可能性の高い火山または噴火した際に大きな被害が予想される火山において、地下構造や平時の地殻活動を詳細に解析し、切迫性

評価の基準となる基本的な情報を集積し、その時点での活動状況を把握する。と言う、2つのアプローチを行っている。各サブテーマとその概要は、以下のとおりである。

サブテーマ1「新たな技術を活用した火山観測技術の高度化」では、火山構造を知る新たな手法である宇宙線ミュオンを用いた火山透視技術の時間分解能を上げ、地表で観測される火山現象と火山体透視画像との対応を見出し、火山内部の透視像の時間変化から噴火切迫性を評価する新たな技術の開発をおこなう。

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」では、噴火発生時には火口周辺に近づけないことを考慮し、遠隔から火山の状況を捉える2つの装置・手法の開発を行う。サブテーマ2-1「可搬型レーダー干渉計と衛星 SAR（合成開口レーダー）による精密地殻変動観測技術の開発」では、噴火推移の予測に有用な地盤変動を観測する可搬型レーダー干渉計を開発し、現用の衛星 SAR 解析結果と連携を図り、マグマ蓄積等の火山内部状態を把握する新たな技術を開発する。サブテーマ2-2「火山表面現象遠隔観測技術の開発」では、噴火時に噴出する火山ガス・噴煙・溶岩流を遠隔から色々な波長で観測し、噴火の状況を把握するのに有用な小型温度ガス可視化カメラを開発する。

サブテーマ3「地球化学的観測技術の開発」では、地下の状態変化をいち早く示す、噴気孔から噴出する火山ガスや温泉水溶存ガスのうち、マグマ起源の成分を定量するための同位体比測定をフィールドで可能にする装置を開発する。また、海底火山から放出される火山ガスの分析技術を構築する。

サブテーマ4「火山内部構造・状態把握技術の開発」では、近い将来に噴火する可能性の高い活動的な火山や噴火した際には大きな災害を引き起こすと考えられる約10火山において機動的な観測を実施し、平時の火山活動の精度の高い評価や詳細な地下構造を明らかにするための情報を取得する。また、その際に取得された観測データを用いて、火山体内部状態を即時的に把握することを支援するいくつかのツールを作成する。

この課題で得られた観測データや解析結果は、データベースとして保存するため次世代火山研究推進事業（以下、「本事業」という）の課題Aの課題責任機関に提供し、本事業の他課題にも広く活用していただき、火山災害軽減のために有用な技術の開発を協力して推進する。また、本事業の他の課題とも連携を取り、火山研究の推進を図り、個々の成果の深化に努める。さらに、火山研究人材育成コンソーシアムと連携をはかり、次世代の火山観測研究の担い手の育成に協力する。

上記のように、研究課題間だけでなく研究と人材育成の連携を進め、研究成果を火山災害の軽減に活かせるようにすることを目的として本事業を進める計画である。

## （1）研究者別の概要

### (a) サブテーマ1「新たな技術を活用した火山観測の高度化」

所属機関・部局・職名	氏名	分担した研究項目及び研究成果の概要	研究実施期間	配分を受けた研究費	間接経費
東京大学・地震	田中 宏幸	①ミュオグラフィ技術の高度化に関わる研究開発 a. 新たな技術を活用した火山観測の高度化に関わる技術開発 b. 技術検討	R3.4.1 ～ R4.3.31	25,603,000	5,908,384

<p>研究所 教授</p>		<p>会の実施②ミュオグラフィ観測のデータ処理の自動化に関わる研究開発 a. ミュオグラフィ観測のデータ処理の自動化に関わる研究開発 b. 技術検討会の実施</p> <p>③次世代火山研究・人材育成総合プロジェクトの総合推進 a. 課題B「先端的な火山観測技術の開発」の包括的な推進 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」の推進 ④ミュオグラフィの正しい理解の社会への普及活動 a. ミュオグラフィの正しい理解展 b. 大阪市立科学館普及啓発 c. 公開講演会 d. ミュオグラフィの正しい理解の社会への普及活動 e. WEB等を活用した情報発信</p> <p>①a)自動処理システムの高速度化、大容量化を進めた。2019年、昭和火口から南岳火口への噴火推移のタイミングで昭和火口の下にプラグ様の高密度物質が形成されていることが分かった。更に、口径を拡大することで時間分解能を上げた結果、桜島において、噴火が収束する度に、火口底の下の密度が高くなっていることを確認した。このような現象が過去に複数回繰り返されたことを確認した。活発化した桜島南岳火口近傍におけるテフラマスの増減モニタリングに成功した。 B)技術検討会を実施した。 ②a)日毎のミュオグラフィ画像データ（高解像度画像）を機械学習（CNN）することで噴火判定を導出する技術（MuNET-2）を開発した。その結果、判定性能が向上した。AUC 0.726→0.761。更に噴火が昭和火口から南岳火口へと推移したことに合わせて、AUCも逆転したことを確認した。</p> <p>（2016年～2017年データ）南岳火口 AUC=0.678 昭和火口 AUC=0.726 → （2019～2020年データ）南岳火口 AUC=0.761 昭和火口 AUC=0.704 活動度の低い隣の火口でも比較的高いAUC値が出ていることから何らかの形で連動していることが想定された。 B)技術検討会を実施した。 3)本課題の分担責任者会議を開催した。 4)ミュオグラフィの正しい理解の社会への</p>			
-------------------	--	---	--	--	--

		普及活動 a) ミュオグラフィの正しい理解展を実施した。B) 大阪市立科学館でミュオグラフィ観測装置並びに解説パネルを引き続き展示した。C) 一般向け公開講演会を大阪府にて実施した。D) ポスター制作などを行い、展示した。E) WEB 等やバーチャルギャラリーを活用した一般への情報発信や普及啓発を行った。			
東京大学・医学部 特任教授 同上 特任准教授	林 直人 吉川 健啓	②ミュオグラフィ観測のデータ処理の自動化に関する研究開発 a. ミュオグラフィ観測のデータ処理の自動化に関する研究開発 b. 技術検討会の実施。	R3. 4. 1 ～ R4. 3. 31	—	—
関西大学・総合情報学部 教授	林 武文	④ミュオグラフィの正しい理解の社会への普及活動 a. ミュオグラフィの正しい理解展 b. 大阪市立科学館普及啓発 c. 公開講演会 d. ミュオグラフィの正しい理解の社会への普及活動 e. WEB 等を活用した情報発信	R3. 4. 1 ～ R4. 3. 31	—	—
ハンガリー科学アカデミー・ウィグナー物理学研究センターグループリーダー	Varga Dezso	①ミュオグラフィ技術の高度化に関する研究開発 a. 新たな技術を活用した火山観測の高度化に関する技術開発 b. 技術検討会の実施	R3. 4. 1 ～ R4. 3. 31	—	—

(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」

所属機関・ 部局・職名	氏名	分担した研究項目 及び研究成果の概要	研究 実施 期間	配分を 受けた 研究費	間接 経費
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	サブテーマ2の業務主 任者を務めるととも に、可搬型レーダー干 渉計と衛星 SAR による 精密地殻変動観測技術 の開発において、火山 観測用可搬型レーダー 干渉計の開発と計測実 験、衛星 SAR 自動解析 システムの開発を担当 した。	R3. 4. 1～ R4. 3. 31	80, 678, 000	18, 618, 000
同 主任研究員	實淵哲也	サブテーマ2の火山表 面現象遠隔観測技術の 開発の業務とりまとめ を行うとともに、SPIC- UC、SPIC-C、ISH、 SPIC-SS の開発とスペク トル推定用データベー ス構築のためのスペク トル計測を担当し、各 装置のフィールドタイ プの開発、SPICプロト タイプによる火山試験 観測、各装置の小型化 に関する概念設計作 業、画像分光用小型干 渉計の設計製作、斜め 観測データによる、地 熱地帯の温度分布、地 形情報を推定する手法 の開発及び大型試料ス キャンステージの検 討、構築、スペクトル 計測を行った。			
同 主任研究員	三輪学央	サブテーマ2の火山表 面現象遠隔観測技術の 開発のスペクトル推定 用データベース構築の ためのスペクトル計測 を分担し、大型試料ス キャンステージの検 討、構築、スペクトル 計測を行った。			
同 契約研究員	長井雅史	サブテーマ2の火山表 面現象遠隔観測技術の 開発のスペクトル推定 用データベース構築の ためのスペクトル計測 を分担し、大型試料ス キャンステージの検			

同 契約研究員	姫松裕志	<p>討、構築、スペクトル計測を行った。</p> <p>サブテーマ2の研究テーマのうち、可搬型レーダー干渉計と衛星 SAR による精密地殻変動観測技術の開発を行い、蔵王山、吾妻山の衛星 SAR データ解析事例の結果を得たほか、可搬型レーダー干渉計の計測実験、可搬型レーダー干渉計による観測結果のシミュレーション手法に関する検討を行った。</p>			
同 契約研究員	河野裕希	<p>サブテーマ2の研究テーマのうち、可搬型レーダー干渉計の開発に係る GNSS 観測の精度評価手法についての検討を行った。</p>			
国立大学法人東京大学・地震研究所・准教授	青木陽介	<p>サブテーマ2の研究テーマのうち、衛星 SAR による精密地殻変動観測技術の開発に関する担当責任者を務めるとともに、PIXEL で共有している PALSAR、PALSAR-2 データを本課題で利用するためのストレージサーバの運用を担当した。</p>	R3. 4. 1～ R4. 3. 31	4, 291, 000	990, 000
気象庁気象研究所・主任研究官	奥山 哲	<p>サブテーマ2の研究テーマのうち、衛星 SAR による精密地殻変動観測技術の開発に関して、PIXEL グループの代表者として、本課題との連携、および、PIXEL で共有している PALSAR、PALSAR-2 データを本課題で利用するためのストレージサーバの運用を担当した。</p>	R3. 4. 1～ R4. 3. 31	—	—

## (c) サブテーマ3 「地球化学的観測技術の開発」

所属機関・ 部局・職名	氏名	分担した研究項目 及び研究成果の概要	研究 実施 期間	配分を 受けた 研究費	間接 経費
東京大学 大学院総合文化 研究科 教授 同 助教 同 特任研究員 同 大学院生 大学院理学系研 究科 准教授	角野浩史 日比谷由紀 小長谷智哉 服部佑樹 森 俊哉	【サブテーマ3】 サブテーマ3の研究テーマのうち「火山ガス中マグマ起源成分観測技術の開発」を行い、各火山における平常時の火山ガス放出状況に関する知見を蓄積するとともに、オンサイトヘリウム・二酸化炭素同位体比分析のための技術開発を進展させた。	R3. 4. 1～ R4. 3. 31	16, 676, 520	3, 848, 427
東海国立大学機 構名古屋大学 大学院環境学研 究科 教授 同 パートタイ ム勤務職員 同 パートタイ ム勤務職員	角皆 潤 伊藤昌稚 三歩一孝	【サブテーマ3】 サブテーマ3の研究テーマのうち「水蒸気同位体比分析」を行い、噴煙中の水蒸気の水素・酸素同位体比から、火山ガス中のマグマ起源の水と地下水の混合比を明らかにするとともに、ドローン等に搭載して自動で噴煙を採取する装置の開発を進めた。	R3. 4. 1～ R4. 3. 31	8, 157, 913	1, 882, 595
東海大学 理学部 教授 大学院総合理工 学研究科 特定 研究員 理学研究科 大 学院生	大場 武 沼波 望 豊島誠也	【サブテーマ3】 サブテーマ3の研究テーマのうち「活火山の地球化学的モニタリング」を行い、箱根山、霧島硫黄山、草津白根山等において、従来の手法による火山ガスの採取・分析を繰り返し実施し、地震活動などに見られる火山活動の盛衰とともに火山ガス組成が変動することを明らかにした。	R3. 4. 1～ R4. 3. 31	7, 017, 400	1, 619, 400
気象庁・気象研 究所 火山研究部第三 研究室 室長 同 主任研究官	菅野智之 谷口無我	【サブテーマ3】 サブテーマ3の研究テーマのうち「火山ガス中マグマ起源成分観測技術の開発」と「活火山の地球化学的モニタリング」において、各火山における火山ガス採取に協力した。	R3. 4. 1～ R4. 3. 31	—	—
大阪大学 大学院理学研究 科 教授	豊田岐聡	【サブテーマ3】 サブテーマ3の研究テーマのうち「火山ガス中マグマ起源成分観測技術の開発」において、可搬型ヘリウム同位体比分析装置の開発にかかる助言を行った。	R3. 4. 1～ R4. 3. 31	—	—

神戸大学 海洋底探査セン ター 教授	石橋純一郎	【サブテーマ3】 サブテーマ3の研究テーマのうち「火山ガス中マグマ起源成分観測技術の開発」において、霧島山硫黄山における試料採取に協力した。	R3.4.1～ R4.3.31	—	—
スペイン・カナ リア諸島火山 研究所 主任研究員	Pedro Antonio Hernández Pérez	【サブテーマ3】 2021年9月に噴火が発生したスペイン領カナリア諸島のラパルマ島において採取した温泉ガス試料を提供したほか、草津白根山湯釜火口湖で過去に得られた二酸化炭素とヘリウムの同位体比を解析し、火口湖からの二酸化炭素拡散放出量が火山活動度のよい指標となることを示した。			

(d) サブテーマ4「火山内部構造・状態把握技術の開発」

所属機関・ 部局・職名	氏名	分担した研究項目 及び研究成果の概要	研究 実施 期間	配分を 受けた 研究費	間接 経費
東京大学・地震 研究所・教授  同・准教授  同・助教	大湊 隆雄  行竹 洋平  小山 崇夫	サブテーマ4の伊豆大島機 動観測の準備を行った。また、 伊豆大島の比較対象である 三宅島の地下比抵抗構造解 析を進め熱水系の詳細構造 を得た。火山性地震活動総 合解析システムの開発を進 め、地震種別の自動判別に に向けた機械学習手法の開 発を進めた。事業を円滑に 進めるために火山機動観測 に必要な観測機器を計画通 り導入した。また、課題B 及びサブテーマ4の総括・ 他を行った。	R3.4.1～ R4.3.31	29,631,508	6,838,040
北海道大学・理 学研究院・教授  同・教授  同・助教	橋本 武志  青山 裕  田中 良	サブテーマ4の有珠山機 動観測を行い、地震活動、 地盤変動、電磁気構造、土 壌ガス分布を調査した。ま た、地下比抵抗・熱水流動 解析システムの開発を東工 大と共同で進めた。	R3.4.1～ R4.3.31	11,323,000	2,613,000
東北大学・理学 研究科・教授  同・准教授  同・助教	三浦 哲  山本 希  市來 雅啓	サブテーマ4の蔵王山機 動観測を行い、地下比抵抗 構造、地震活動、地盤変動 等の調査を実施し噴火切迫 性評価に資する情報を得た。 また地震波動場連続解析シ ステムの開発を進めた。	R3.4.1～ R4.3.31	18,269,715	4,216,088
東京工業大学・ 理学院・准教授  同・講師	神田 径  寺田 暁彦	サブテーマ4の草津白根山 機動観測を行い、地下比抵 抗構造、地震活動、地盤変 動等の調査を実施し、噴火	R3.4.1～ R4.3.31	2,736,000	631,384







① 可搬型レーダー干渉計 と衛星SARによる精密 地殻変動観測技術の開 発												
	←											→
a. 可搬型レーダー干 渉計による火山性地殻 変動検出に関する技術 開発												
b. 衛星SARによる火山 性地殻変動データベー スに関する技術開発	←											→
② 火山表面現象遠隔観測 技術の開発												
	←											→
a. SPIC-UC、SPIC-C、 ISH、SPIC-SSの開発												
b. スペクトル推定用 データベース構築のた めのスペクトル計測	←											→

(c) サブテーマ3 「地球化学的観測技術の開発」

研究実施内容	実 施 日 程											
	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
①火山ガス中マグマ起源 成分観測技術の開発												
	←											→
a. プロジェクトの総合推 進												
b. マグマ起源ヘリウム・ 二酸化炭素測定に関わる 技術開発	←											→
②水蒸気同位体比分析												
	←											→
a. 噴煙試料の水蒸気同位 体比分析に関わる技術 開発												
b. 自動噴煙試料採取装置 の製作	←											→

③活火山の地球化学的モニタリング	←												→
------------------	---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	---

(d) サブテーマ4 「火山内部構造・状態把握技術の開発」

業務項目	実 施 日 程												
	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	
機動的な観測及び電磁気構造探査による高精度な火山内部構造・状態の把握													
a. 蔵王火山における機動観測	←												→
b. 有珠火山における機動観測	←												→
c. 伊豆大島における機動観測準備	←												→
d. 草津白根山における機動観測	←												→
e. 霧島火山における機動観測	←												→
f. 箱根火山における機動観測	←												→
火山噴火切迫度評価に有用な各種ツールの開発													
a. 地震計アレイデータ解析システムの開発	←												→
b. 地下比抵抗・熱水流動解析システムの開発	←												→
c. 火山性地震活動総合解析システムの開発	←												→
d. 遠隔熱情報解析システムの開発	←												→
e. 地震波動場連続解析システムの開発	←												→
③ プログラムの総合推進													

a. 課題「先端的な火山観測技術の開発」の包括的な推進										△		
b. サブテーマ「火山内部構造・状態把握技術の開発」の推進										△		
c. 機動的な観測に利用する観測機材の整備	←											→
d. 課題Aで取り組むデータ一元化への協力	←											→