

即戦力となる火山人材育成プログラム

異分野研究者による共同研究

令和7年度 共同研究報告書

1.共同研究採択状況

	前年度継続件数	新規応募件数	新規採択件数	共同研究費合計（千円）
共同研究	11	7	7	23,312

2.共同研究一覧

整理番号	研究課題名	年度	研究代表者	所属機関	東北大担当者	頁
202401	顕微ラマン分光分析による微小領域含水量・結晶量分析技術の火山噴出物への応用	2024 2025	山本 順司	九州大学大学院地球惑星科学部門	中村 美千彦	4
202402	中性子イメージングを用いたマグマ中の含水量測定法の開発	2024 2025	坂巻 竜也	東北大学理学研究科	奥村 聡	6
202403	機械学習による自動粒子識別機能の火山噴出物への応用	2024 2025	下司 信夫	九州大学大学院地球惑星科学部門	中村 美千彦	8
202404	磁気測定 of 最新技術を用いた火山岩石磁気学研究的開拓	2024 2025	佐藤 雅彦	東京理科大学理学部第一部物理学科	中村 美千彦	10
202405	火山噴火が建築物の機能維持に及ぼす影響	2024 2025	吉敷 祥一	東京科学大学総合研究院	市來 雅啓	11
202406	スーパーハイブリッド重力測定による火山地下の密度変化の検出	2024 2025	今西 祐一	東京大学地震研究所	三浦 哲	13
202407	マイクロフィルムに収録された歴史地震記象に潜む火山性振動現象を検出するための深層学習器の開発	2024 2025	長尾 大道	東京大学地震研究所	廣瀬 郁	15
202408	蔵王山のラハール堆積物の分布範囲の解明	2024 2025	伴 雅雄	山形大学理学部	宮本 毅	17

整理番号	研究課題名	年度	研究代表者	所属機関	東北大担当者	頁
202409	火山噴煙内部の乱流, 電化, および雷発生	2024 2025	Pablo D. Mininni	Univ. Buenos Aires, Physics Department	西村 太志	19
202410	光ファイバーケーブルを用いた超高密度観測から解明する桜島の爆発地震の波動場と火道付近の短波長不均質構造	2024 2025	江本 賢太郎	九州大学大学院理学研究院	廣瀬 郁	21
202411	音響探査技術, 有機地球化学, 陸水学的手法による, 静穏な火口湖の活動調査	2024 2025	山崎 新太郎	京都大学防災研究所徳島地すべり観測所	後藤 章夫	23
202501	火山岩中のクラックの生成による地震波速度と電気比抵抗の変化	2025 2026	片山 郁夫	広島大学大学院先進理工系科学研究科	奥村 聡	25
202502	高度変成岩中の岩脈群解析によるマグマ貫入に伴う地殻破壊の規模とその地震波観測可能性の解明	2025 2026	宇野 正起	東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻	奥村 聡	27
202503	斑晶角閃石を用いた西南日本弧第四紀マグマの起源とその供給系	2025 2026	柴田 知之	広島大学大学院先進理工系科学研究科	伊藤 順一	29
202504	微動観測と地下水情報の比較を通じた別府地域における火山性熱水分布推定の試み	2025 2026	吉光 奈奈	京都大学大学院工学研究科	西村 太志	31
202506	火山防災におけるリスクコミュニケーションの研究—主体間連携の可能性と課題を探る	2025	齋藤 さやか	東北大学大学院理学研究科・理学教育研究支援センター	西村 太志	33
202507	考古学と火山地質学とのマッチングによる浅間山活動史・社会災害史の復元と火山防災	2025	堤 隆	明治大学黒耀石研究センター	中村 美千彦	35

3.成果報告書

令和7年度 東北大学「即戦力となる火山人材育成プログラム」共同研究報告書

研究代表者・所属機関	山本順司・九州大学大学院地球惑星科学部門
整理番号	202401
研究課題名	顕微ラマン分光分析による微小領域含水量・結晶量分析技術の火山噴出物への応用
研究期間	令和6年度～令和7年度

(研究目的・実施状況・成果)

【研究目的・背景】

本研究課題は、斑晶に含まれるメルト包有物の含水量を顕微ラマン分光分析法で測定し、その精度向上を図ることを目的としている。メルト包有物に含まれる水はホスト鉱物の晶出圧力を反映するため、他の化学組成データと組み合わせることで、マグマの化学的進化や貯留深度を理解する重要な手がかりとなる。

これまでメルト包有物の含水量測定には主にFT-IR法が用いられてきたが、この手法では試料の両面研磨が必要であり、正確な測定には直径数10 μm 以上の透過領域が求められる。反射FT-IR法による微小領域分析も試みられているものの十分な信号強度を得ることが難しく、またNano-SIMSによる揮発性成分分析でも信頼性の高い測定には直径10 μm 程度の分析領域が必要となる。そのため、火山噴出物に一般的に含まれる数 μm 径の微小メルト包有物の含水量測定には、新たな分析手法の確立が求められている。

そこで本研究では、高い空間分解能を有する顕微ラマン分光分析法によるメルト包有物の含水量測定に着目した。本手法ではラマンスペクトルに現れるOH振動とSiO振動のピーク面積比(OH振動/SiO振動)を測定し、これを含水量へ換算する。この方法は合成ガラスでは有効性が示されている(Behrens et al., 2006; Di Genova et al., 2017)が、天然試料への応用例は限られている。その主な理由は、透明なメルト包有物では励起レーザーが内部を透過して直下のホスト鉱物に到達し、そのラマン信号が包有物のスペクトルに重なるためである。この影響は特に微小なメルト包有物で顕著となり、天然試料への応用の大きな障壁となってきた。

【研究の方針】

この問題に対し、本研究課題では以下の二つの方策を検討した。

1. 偏光子の導入：顕微ラマン分光分析装置に偏光子を組み込み、ホスト鉱物由来のラマン信号を軽減させる。
2. 空間分解能の向上：高い開口数の対物レンズを使用し、周囲のホスト鉱物からのラマン信号を低減させる。

二年度にわたる本研究課題の一年目に当たる令和6年度には「1. 偏光子の導入」の効果を検証し、偏光子の利用によってホスト鉱物由来ラマンスペクトルを軽減でき、

微小メルト包有物の含水量測定に有効であることが示された。ただし宿主鉱物の種類や結晶方位によって効果が変わる可能性があるため、令和7年度には「2. 空間分解能の向上」の効果を検証した。

【研究成果】

研究代表者らが所有する複数の対物レンズを用いて深さ方向の空間分解能と開口数の関係性を評価した。空間分解能はシリコンウェハのラマンピーク強度が最大となる焦点位置を基準とし、そこから焦点をずらしてピーク強度が最大値の半分となる位置との差として定義した。その結果、開口数0.90の100倍対物レンズを用いた場合、深さ方向の空間分解能は約1 μm であることが確認された。

そこで、表面から底まで約35 μm の厚さを持つメルト包有物を用い、薄片表面から1 μm 刻みで焦点位置を変化させながらラマンスペクトルを取得した。その結果、深さ約15 μm 付近から宿主鉱物由来の信号が現れ始め、約21 μm 付近から含水量指標（OH振動ピーク面積/SiO振動ピーク面積）にも影響が現れることが確認された。

この結果は、薄片表面から底まで約14 μm 以上の厚さ（直径約30 μm 以上）を持つメルト包有物でなければ、本手法による含水量測定が困難であることを示している。しかしこのような大きさのメルト包有物は天然試料では必ずしも一般的ではない。

そこで、宿主鉱物由来の信号が観測されている条件下で、含水量指標と宿主鉱物干渉指標（宿主鉱物振動ピーク面積/SiO振動ピーク面積）の関係性を調べた。その結果、両者の間に明瞭な正の線形相関が存在することが明らかとなった。この相関関係を利用することで、宿主鉱物由来信号の寄与を補正できる可能性が示された。

以上の結果から、顕微ラマン分光分析法によるメルト包有物含水量測定では宿主鉱物由来信号の干渉が重要な制約となるものの、本研究によりその影響を補正できる可能性が示された。この補正手法が確立されれば、小型のメルト包有物にも本手法を適用できるようになり、火山噴出物中に広く存在する微小メルト包有物の含水量評価を通じて、マグマの貯留深度や進化過程の理解に新たな制約を与えることが期待される。

【謝辞】

東北大学「火山研究人材育成等支援事業（即戦力となる火山人材育成プログラム）」による助成に心より御礼申し上げます。また、本研究課題を遂行するにあたり、松本恵子氏（産業技術総合研究所）にはメルト包有物を含む貴重な斑晶をお貸し戴いた。他にも、伝田真子氏、柿迫翔太氏、平山恵健氏、井上裕貴氏（九州大学）には測定に際し多大な支援を賜った。ここに深く感謝の意を表す。

令和7年度 東北大学「即戦力となる火山人材育成プログラム」共同研究報告書

研究代表者・所属機関	坂巻竜也・東北大学理学研究科
整理番号	202402
研究課題名	中性子イメージングを用いたマグマ中の含水量測定法の開発
研究期間	令和6年度～令和7年度

(研究目的・実施状況・成果)

<研究目的>

火山噴火の爆発性を支配する主要因は、マグマに溶存する揮発性成分、特に水の析出に伴う発泡である。そのため、噴火前のマグマがどの程度の水を含んでいたかを定量し、噴火の爆発性や噴出様式と関連づけて議論することは極めて重要である。また、マグマ中の水の溶解度則を利用すれば、マグマだまりの深度推定にもつながり、地球物理観測と統合することでマグマ供給系の三次元的理解を大きく前進させることができる。

しかしながら、マグマ中の水を非破壊かつ高精度に定量する手法は限られている。特に、放射光 X 線は電子と相互作用するため、原子番号の小さい水素の検出には不向きであり、ケイ酸塩ガラス中の水を X 線イメージングで識別することは困難である。一方、中性子は原子核と相互作用し、水素に対して高い感度を持つため、含水鉱物・含水メルトの研究に極めて有効である。研究代表者はこれまで、大強度陽子加速器施設 J-PARC 内の物質・生命科学実験施設 MLF において高温高压条件下での中性子回折・中性子イメージング実験を実施し、含水ケイ酸塩メルトの構造解析や溶融鉄中の水素量推定などの成果を挙げてきた。これらの経験から、中性子ビームは高压地球科学のみならず、火山学分野においても革新的な分析手法となり得ると確信している。

本研究では、中性子イメージングを用いたマグマ中の含水量推定法を新たに確立し、火山噴出物の非破壊分析に中性子実験を導入することを目的とする。特に、火山ガラス中の水分布の可視化や、メルト・流体包有物の三次元的解析など、従来手法では困難であった情報の取得を可能にし、火山噴火プロセスの理解に新たな視点を提供する。

<実施状況・成果>

茨城県東海村の大強度陽子加速器施設 J-PARC 内の MLF の BL22「螺鈿」において、火山噴出物を対象としたエネルギー分散型中性子イメージング実験を実施した。まず、メルト包有物の含水量を推定するために必要となる検量線を構築する目的で、含水量既知の複数のガラス標準試料について中性子イメージングを取得し、吸収コントラストと含水量の相関関係を定量化した。

次に、含水量未知の輝石斑晶（メルト包有物のホスト鉱物）について中性子イメージングを行い、得られた吸収コントラストを検量線と比較することで、包有物の含水

量推定に成功した。これは、中性子イメージングを用いたメルト包有物の非破壊含水量分析の実証として重要な成果である（図 1, 2）。

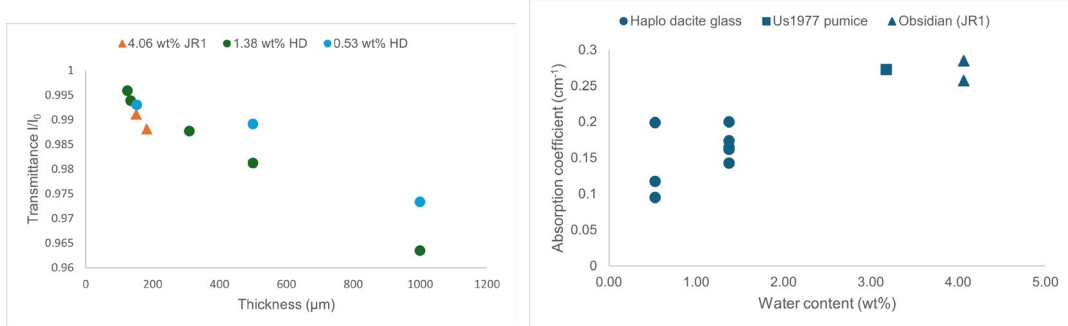


図 1 (左) : 透過率と試料厚みの関係

図 2 (右) : 吸収係数と含水量の関係

さらに、中性子 CT を用いて黒曜石内部の三次元的な水分分布を非破壊で可視化することにも成功した（図 3）。この結果は、黒曜石形成過程における水の挙動を直接的に示す初めての観察例であり、黒曜石の成因解明に向けた新たな知見を提供するものである。これらの成果は、中性子イメージングが火山噴出物研究において強力な分析手法となり得ることを示すものであり、学術的意義は大きい。

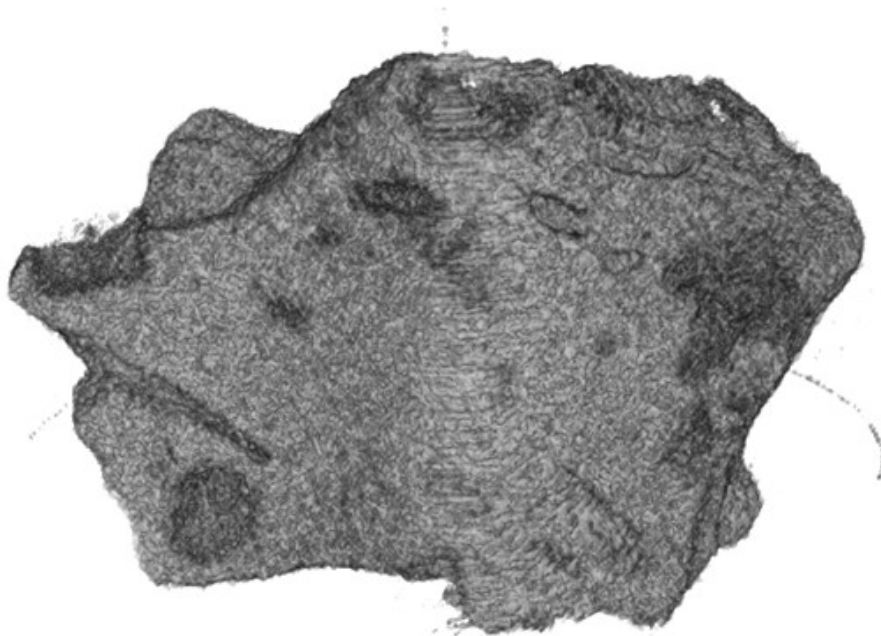


図 3: 黒曜石の 3 次元 CT 画像

令和7年度 東北大学「即戦力となる火山人材育成プログラム」共同研究報告書

研究代表者・所属機関	下司信夫・九州大学大学院地球惑星科学部門
整理番号	202403
研究課題名	機械学習による自動粒子識別機能の火山噴出物への応用
研究期間	令和6年度～令和7年度

(研究目的・実施状況・成果)

研究目的

噴出物の構成粒子やその構成比、またその時間変化は噴火メカニズムの特定や噴火推移の把握にとって基本的なデータである。従来、火山灰構成粒子の分類は顕微鏡下での肉眼による粒子の光学的特徴による区分に基づいて行われている。そのような区分方法では鑑定者間で判定基準を具体化・定量化して統一することが困難なため、粒子区分の客観性や再現性に問題がある。また、どれほど習熟した観察者による分類でも鑑定速度や処理できる試料数には限界がある。そのため、噴火推移把握や推移予測に資する即時性の高いデータとして構成粒子の特徴や粒子比の変化を追跡することが困難であった。このような問題を解決するため、近年飛躍的に進歩している機械学習による画像自動識別技術が火山灰粒子の分類にも応用されつつある。しかし、画像解析に基づく自動分類技術を具体的な火山噴出物に応用するためには、分類区分の決定や標本データの整備、あるいは火山噴出物に特化した分類方法の開発などさまざまな課題が存在する。

そこで本研究では、宮川ほか(2024)による畳み込みニューラルネットワーク法を利用した深層学習による画像自動識別・分類アプリケーションを用いて、噴火推移の変化の把握に有効な粒子の結晶度や発泡度、破断組織、類質物の熱水変質程度などを粒子の光学顕微鏡画像上の特徴から識別し、任意の粒子群に分類することを目指した。

実施状況

本研究では、噴火推移の把握の上でしばしば注目される「新鮮で発泡した火山ガラスからなる本質物質粒子(軽石粒子)」の自動抽出を目指した。

粒子の自動分類の試験には桜島火山の2024年～25年にかけて噴出した火山灰を用いた。水洗・乾燥・ふるい分けを行った火山灰試料から、250～355 μm にふるい分けした粒子群を試験に用いた。まず、これらの火山灰試料から自動抽出したい種類の粒子を数100～1000粒子程度、実体顕微鏡下でハンドピックにより収集し、それらの実粒子の「標本」を作製した。実粒子の標本は「軽石粒子」のほか、桜島の火山灰に特徴的に含まれるち密な黒色ガラス光沢粒子や、遊離した斑晶斜長石結晶、赤色酸化岩片などをあわせて作成した。

次に、適切な撮像条件(使用する顕微鏡、倍率、レンズ、照明条件)を設定し、それらの「標本」粒子を撮像することにより、深層学習に提供する教師データとなる画像群を取得した。粒子は平坦な透明ガラス板上に粒子が重ならないように散布した状態で撮

像した。撮像領域はおおよそ 6.2×3.6 mmで、散布状態にもよるが1画像あたり100～200粒子程度が分布している。標本粒子を適度に転がすことにより、粒子をさまざまな方向から撮像した画像を多数取得することが可能であり、一つの「標本粒子群」から多数の教師画像の取得を実現した。

本研究では粒子の重なり合いや接触による粒子切り分けの誤判定が粒子数の計測にもたらす影響を排除するために、粒子画像をグリッド化し、そのグリッド画像を自動判定する手法を導入した。撮像した画像を約 $200 \mu\text{m}$ 四方の400枚のグリッド画像に分割した。分割されたそれぞれのグリッド画像のうち、標本粒子が写っているグリッド画像を教師データとした。こうして、分類する粒子種類ごとに800～2000枚の教師画像を作成した。これらの教師画像を宮川ほか(2024)の機械学習アプリケーションにより学習し、分類モデルを作成した。

成果

本研究による画像解析モデルでは、噴火を特徴づける粒子が写っているグリッド画像を高確率で抽出することに成功した。たとえば、軽石粒子が多量に含まれていた2025年5月15日の噴出物の画像からは、多数のグリッド画像を「軽石粒子画像」として抽出できたのに対し、ほとんど軽石粒子が含まれていない2025年6月1日の火山灰試料の画像からは、「軽石粒子画像」はほとんど抽出されなかった。画像解析により抽出された軽石の割合は、実際に人間が計測した割合とほぼ一致した。また、1試料当たり4000枚の画像を分類するのに要した時間は数分程度であり、人間による分類に比べて圧倒的に短い時間で分類することに成功した。

これらの成果を、実際の火山噴火のモニタリングを想定して、桜島2025年5月15日の連続灰噴火試料に適応した。連続採取された試料から10試料を選定し、1試料から5枚の画像を撮像し、合計2万枚のタイルに分割したものを同一基準で分類した。その結果、分析所要時間は約40分で、10試料を自動分類できた。その結果、噴火の推移にそって13時過ぎの試料から軽石が急増する時間変化をとらえられた。

「軽石粒子」など噴火を特徴づける粒子を確実に自動抽出させるためには、標本粒子の作成や画像撮像条件の最適化、分類モデルの高度化など課題は残るが、本研究で開発する自動識別・分類アプリケーションは、噴火推移の把握に有効な粒子群の抽出を支援し、人間による最終的な判断を支援するツールとしての有効性を示すことができた。今後、複数の火山に応用できるより一般的なモデルの構築を目指したい。

令和7年度 東北大学「即戦力となる火山人材育成プログラム」共同研究報告書

研究代表者・所属機関	佐藤雅彦・東京理科大学理学部第一部物理学科
整理番号	202404
研究課題名	磁気測定 of 最新技術を用いた火山岩石磁気学研究の開拓
研究期間	令和6年度～令和7年度

(研究目的・実施状況・成果)

目的 鉄チタン酸化物は強磁性鉱物であり、班晶・石基中・包有物など多様な形態で火山岩中に普遍的に含まれている。本研究では、申請者たちが技術開発を進めてきた磁気測定 of 最新技術である、(1) 低温磁気マッピングと (2) ケイ酸塩単結晶磁化測定を火山岩試料に適用することで、最先端 of 火山岩石磁気学研究 of 開拓に取り組む。そして、低温磁気マッピングとケイ酸塩単結晶磁化測定から得られる新たな知見と顕微鏡観察などに基づく火山岩石学的な知見を合わせることで、噴火時における地表近傍過程について詳細な検討を行う。

実施状況・成果 項目(1)に関して、霧島新燃岳 2011 年噴火イベント of 噴出物(4 試料) of 測定データ of 詳細解析およびその検討を行った。新燃岳 2011 年試料では、噴火時系列に対応して噴出物中に含まれる強磁性鉱物種(粒径および組成) of 明瞭な変化が確認され、SEM・TEM 観察から得られた細粒鉄チタン酸化物 of 産状と保磁力-残留磁化消磁温度空間における分布で明確な対応関係を得ることに成功した。

項目(2)に関して、神奈川県と静岡県 of 富士山周辺で、富士山宝永噴火降下スコリア(須川橋およびジダンゴ山)、御殿場岩屑なだれ堆積物、馬伏川岩屑なだれ堆積物、足柄層群生土火砕流 of 露頭調査と磁気測定試料 of 採取を実施した。また、北海道伊達市 of 洞爺湖周辺で、洞爺火砕流堆積物、善光寺岩屑なだれ堆積物 of 露頭調査と磁気測定試料 of 採取を実施した。宝永噴火降下スコリアについては、1cm 以下 of スコリア試料単粒子および単粒子を細分化して段階熱消磁測定を行った。その結果、宝永火口から 20 km of 遠隔地において、定置時 of 温度が最高で 275°C 程度であったという新知見が得られた。善光寺岩屑なだれ堆積物については、なだれイベント of のち過去 2~3 万間 of 粘性残留磁化を獲得していると期待される。全岩試料 of 段階熱消磁を実施した結果粘性残留磁化成分 of 検出に成功した一方で、最高消磁温度が 350°C 程度までと高温なっており粘性残留磁化を使った磁気年代推定に用いることが難しかった。そこで全岩試料を破碎して斜長石と輝石を採取して単結晶磁気測定を行った結果、輝石試料では 150°C 程度となり正確な磁気年代推定が可能となった。洞爺火砕流については、1~10 cm 程度 of 火砕流粒子 of 段階熱消磁測定を行った。洞爺カルデラから 6 km of 地点において、定置時 of 温度が 250°C から 600°C 以上という結果が得られた。1 cm 以上 of 粒子については定置時温度と粒径の間に明確な関係性は確認されず、より細粒な流体的振舞いをするマトリックス中を、異なる冷却履歴を持つ粒子として運動していたと考えられる。

令和7年度 東北大学「即戦力となる火山人材育成プログラム」共同研究報告書

研究代表者・所属機関	吉敷祥一・東京科学大学総合研究院
整理番号	202405
研究課題名	火山噴火が建築物の機能維持に及ぼす影響
研究期間	令和6年度～令和7年度

(研究目的・実施状況・成果)

建築分野において、災害時、特に大地震時にも建築物が倒壊して人命を喪失することのない十分な耐震性能等を確保させることは必要最低限の要求性能である。しかし、近年では災害時にも機能を維持し、社会活動を維持し続けられる、住み続けられることが要求されるようになってきている。本研究課題では、災害として火山噴火を想定し、建築物の機能維持に及ぼす影響について検討する。本研究課題では、まず電力供給源として利用が盛んな太陽光パネルを対象とし、火山噴火に伴う降灰による発電量の減少について検討を行った。

初年度は、『大規模噴火時の広域降灰対策について－首都圏における降灰の影響と対策－』にて公表されている閾値に着目して検討を行った。具体的には、既往の研究成果に基づいて降灰量が $50\text{g}/\text{m}^2$ (約 0.05mm 厚) で発電量が半減、 $300\text{g}/\text{m}^2$ (約 0.3mm 厚) で発電量がゼロになること、また降灰量が同じでも、粒径が細くなると低下率が大きくなるとしている。本研究課題では、9枚の太陽光パネルを都城高専 建築学棟屋上に水平設置し、降灰量をパラメータとした実験を行った。実験では火山灰として、新燃岳 (平均粒径 0.7mm)、桜島・垂水 (平均粒径 0.15mm)、および垂水 S (平均粒径 0.075mm 以下に調整) を用い、 0.5mm ～ 30mm までの降灰による堆積厚をパラメータに選定した。実験の結果より、いずれの太陽光パネルも発電できないことが明らかとなった。すなわち、この結果は、太陽光パネルが火山灰によって完全に覆われる場合には、堆積厚が 0.5mm でも発電できないことを意味している。換言すれば、先に示された降灰量の基準値は、太陽光パネルに疎らに火山灰が堆積している状態を表しているものと考えられる。

次いで、以上の仮説に基づき、それぞれの火山灰の単位体積重量 [g/cm^3] を算出し、太陽光パネルの面積 [cm^2] と目標とする堆積厚 [cm] を設定し、重量 [g] にて降灰量を制御した実験を行った。例えば、平均粒径より堆積厚が小さい場合、つまり疎らに火山灰が堆積している状態では、太陽光パネルは発電できる結果が得られた。また、これらの結果は、既往研究における傾向と合致するものである。さらに本実験の範囲では、平均粒径の $1/4$ に相当する堆積厚であれば、通常時の発電量の半分程度以上は期待できる結果が得られた。

最終年度では、太陽光パネルにおける開口率 (=露出面積/全面積×100) に着目した検討を継続した。建材の一つであるパンチングメタル(均等に孔があいている薄鋼板)を用いて理想的な開口率を再現して発電量を確認した。様々な孔寸法のパンチングメタ

ルを敷き詰めた結果、電力比（＝発電量／開口率 100%の発電量×100）は、開口率の 2 乗に比例する結果が得られた。これは、初年度に得られた「平均粒径の 1/4 に相当する堆積厚で通常時の発電量の半分程度以上となる」について、開口率が約 75%の 2 乗が 56%程度であること合致する。一方、太陽光パネルの一部（例えば 1/4 部分など）がパンチングメタルで覆われた場合についても検討した。この場合には全体としてみた開口率に期待できる発電比より小さな発電量しか得られないことがわかった。すなわち、部分的に火山灰が覆っている場合には、予想される発電量を発揮できないといえる。これは、「開口率 75%で発電比が 50%となる」との結論に対し、「均一に積灰していること」の条件を付与する必要があることを表している。

令和7年度 東北大学「即戦力となる火山人材育成プログラム」共同研究報告書

研究代表者・所属機関	今西祐一・東京大学地震研究所
整理番号	202406
研究課題名	スーパーハイブリッド重力測定による火山地下の密度変化の検出
研究期間	令和6年度～令和7年度

(研究目的・実施状況・成果)

2024年11月に東大地震研・浅間火山観測所へ移設した超伝導重力計 iGrav #003 は、問題はあるものの、この地点における重力変化の連続データを生産し続けている。問題というのは、重力信号に重畳したノイズであり、たとえば松代（長野県）の同型機と比較して mHz 帯域で 3-4 桁、ノイズレベルが高くなっている。ノイズの発生が冷凍機コンプレッサの運転と関係していることは判明しているが、その原因が電源まわりに関係するのか、建物などの振動に関係するのか、あるいはそれ以外の要因なのか、いまだに特定するに至っていない。

こうした問題にもかかわらず、稼働開始以来 1 年 4 か月分のデータの潮汐解析によって得られる長期的なトレンドからは、明瞭な季節変化が現れてきた。本共同研究の R6 年度の報告書に記した 2024-2025 年の冬季の顕著な重力減少は、2025-2026 年の冬季にもほぼ同様に記録され、これが重力計のドリフトなどではなく真の重力変化であることがはっきりした。現在は火山活動が活発ではないので、平常時の重力変化を見ていることに相当すると考えられるが、その特徴として、夏季には増大し冬季には減少するという傾向が明瞭である。年間の重力変化の振幅は 15-20 μ Gal 程度である。このような変化の主な原因は、陸水であると考えられる。観測所敷地内に設置した雨量計のデータによれば、とくに 5 月ごろから 10 月ごろまでが降水が多く、年間トータルの降水量は山麓のアメダス軽井沢観測点よりもかなり多くなっている。降水によってもたらされる地下水の山体内での流動を精密にモデリングし、平常時の重力変化を精度良く再現することが重要である。こうした目的のため、観測所に近い谷の湧水地点に浅井戸を設置し、地下水位の観測を開始した。

本研究で掲げている重要なテーマの一つは、火山におけるスーパーハイブリッド重力測定である。相対重力測定の精度を実効的に 1 桁向上させるこの手法は、超伝導重力計との並行観測によるドリフト検定が十分な精度で行われることが条件だが、浅間観測所の iGrav #003 は上述のようにノイズレベルが高いので、現状では最良の効果が期待できない。そこで本研究では、変則的な形となるが、松代の iGrav #028 をベースとして、松代-浅間-松代というルートで CG3M 重力計による測定を試行した。2つの地点の直線距離は約 30km である。2 日間にわたって同じルートでの測定を行ったところ、2 地点の重力差を 3 μ Gal の精度で推定することができた。このことは、30km という長距離でもこの手法が有効であることを示すものである。

iGrav #003 の機械的なドリフトは、2024 年まで稼働していた蔵王観測点において、絶対重力測定との比較から、およそ $9.3\mu\text{Gal}/\text{year}$ (重力増加) と推定されていた。しかし、浅間観測所に移設する前に 4 か月間のテスト観測をしていた富士山科学研究所では、ドリフトレートが有意に異なっているように見えた。浅間観測所においても、長期的な重力変化と機械的なドリフトとを識別するため、定期的に絶対重力測定を実施する必要がある。2025 年 11 月に、その第 1 回目にあたる測定を実施した。2026 年 4 月以降に、第 2 回目の測定を実施する予定である。

令和7年度 東北大学「即戦力となる火山人材育成プログラム」共同研究報告書

研究代表者・所属機関	長尾大道・東京大学地震研究所
整理番号	202407
研究課題名	マイクロフィルムに収録された歴史地震記象に潜む火山性振動現象を検出するための深層学習器の開発
研究期間	令和6年度～7年度

(研究目的・実施状況・成果)

火山噴火の推移を理解し、将来の監視や予測の精度を高めるためには、地震活動の時系列変化を把握することが重要である。地震活動は、噴火前後における火山内部状態の変化を反映する代表的な観測量の一つであり、火山システムが現在どの段階にあるかを解釈する手がかりを与える。しかし、火山噴火は頻繁に発生する現象ではないため、現代的な観測網による限られた記録だけでは、長期的な噴火サイクルや多様な先行現象を十分に検証することは難しい。そこで本研究では、過去の火山活動を記録した煤書き地震記録に着目し、これを深層学習によって自動解析することで、火山活動理解の時間的幅を拡張することを目指した。

本研究で対象とした吾妻山の古記録は、1965年から1994年までの長期間にわたり取得されたものであり、有史以来の噴火に伴う地震活動を捉えた貴重な資料である。これらの記録は、12時間分の3成分波形を多数の行に分けて記録した画像で構成されており、その中には地震や火山性微動が含まれている。しかし、画像中からイベントを目視で検出し、さらにそれらを地震と微動に分類する作業には膨大な時間と労力を要する。このため、古記録を大規模に活用するには、自動的にイベントを抽出・分類する仕組みの構築が不可欠である。

この課題に対して、本研究では煤書き記録画像を対象とし、地震波形の存在位置を特定すると同時に、その種別を分類する深層学習モデルの開発を進めた。特に、近年地震学分野で高い成果を上げている深層学習手法を応用し、火山性イベントの検出を物体検出問題として扱った。これにより、「画像中のどこにイベントがあるか」という位置の推定と、「それが地震・微動・背景のどれに相当するか」という分類とを同時に行うことを目指した。

ただし、煤書き記録をそのまま学習データとして用いるには、大きく二つの課題があった。第一に、ラベル付きデータが不足していることである。古記録では、イベントの種類や正確な位置情報が十分に整理されておらず、教師データとして利用しにくい。第二に、画像1枚あたりのデータ容量が非常に大きいことである。吾妻山の原画像は約6300×2100ピクセルに達し、そのままでは計算コストが高い。そこで本研究では、2018年から2023年に取得された現代的な火山観測波形を用いて、煤書き記録に似た擬似画像を生成し、学習用データセットを構築した。さらに、原画像を縦方向に3分割し、2100×2100ピクセルの非重複タイルとして入力することで、計算負荷の軽減を図った。

学習モデルには DETR (Detection Transformer) を採用した。DETR は、画像中の対象物の位置検出と分類を統一的に扱える手法であり、本研究の目的に適している。実験の結果、地震イベントについては高い精度で検出・分類できることが確認された。一方で、微動についても一定の性能は得られたものの、地震と比べると検出・分類の難易度が高いことが明らかになった。この結果は、火山性微動が波形形状や継続時間の点で地震より多様であり、識別が難しいことを示唆している。

微動の精度が相対的に低かった主な原因として、学習データに含まれる微動イベント数の少なさが挙げられる。火山月報に記載された利用可能な波形を収集しても、地震に比べて微動の数は大幅に少なく、データ不均衡が生じていた。こうした問題を補うため、本研究の第二の課題として、微動波形そのものを生成する拡散モデルの開発に取り組んだ。具体的には、Denoising Diffusion Probabilistic Model (DDPM) に基づく拡散モデルを用いて、微動スペクトルの生成を試みた。

さらに、検出モデルの学習に利用しやすいデータを得るため、信号が存在してほしい時間帯を条件として与える条件付き拡散モデルも導入した。この手法では、例えば「50 秒から 250 秒の間に信号が存在する」といった条件をマスク関数として与えることで、その条件に対応したスペクトルや波形を生成できることを確認した。これは、単に微動データの数を増やすだけでなく、検出モデルにとって有用な形で学習データを設計できる可能性を示している。

一方で、生成データの評価では、実データと比較して分布の多様性が十分ではない兆候も認められた。これは、条件づけや誘導を強くしすぎた結果、生成データが特定のモードに偏った可能性を示している。そのため、今後は生成結果の多様性をどのように確保するかが重要な課題となる。生成モデルの性能向上には、条件づけの与え方や学習データの設計、評価指標の見直しなど、多方面からの検討が必要である。

以上のように、本研究では、煤書き記録から火山性イベントを自動検出する深層学習基盤を構築するとともに、不足する微動データを補うための生成モデルの可能性を示した。前者により、これまで人手に大きく依存していた古記録解析の自動化に道筋を与え、後者により、データ不均衡という実用上の大きな課題に対する解決策の一端を提示した。今後は、両者を統合的に発展させることで、歴史記録を活用した長期的な火山活動解析の実現が期待される。これにより、噴火前後の火山活動推移をより長期的・包括的に捉えることが可能となり、火山監視や将来予測の高度化に貢献すると考えられる。

令和7年度 東北大学「即戦力となる火山人材育成プログラム」共同研究報告書

研究代表者・所属機関	伴雅雄・山形大学理学部
整理番号	202408
研究課題名	蔵王山のラハール堆積物の分布範囲の解明
研究期間	令和6年度～令和7年度

(研究目的・実施状況・成果)

研究目的：ラハール（火山性土石流・泥流）が火山災害の主要な発生要因の一つであることは広く認識されている。1985年のネバド・デル・ルイス山や1929年の十勝岳の事例がよく知られているように、標高のある程度高い活火山では、どの火山でもラハール発生の危険性が存在する。蔵王山もその代表例であり、将来的なラハール発生が懸念されている。このような火山においては、過去のラハール堆積物の分布や規模を明らかにしておくことが、災害軽減の観点から重要である。本研究では、露頭調査に加えてボーリング調査やトレンチ掘削を実施し、蔵王山における過去のラハール堆積物の分布範囲と規模を解明することを目的とする。蔵王山のような成層火山では、ラハール堆積物の分布域に露頭が乏しく、調査が困難である場合が多い。そのため、本研究は貴重な事例研究として重要な意義を持つと考えられる。

実施状況：先行研究により、蔵王山から東方へ流下する濁川の標高約350～450m付近において、約8～6千年前の5層、約4～3千年前の10層、約千年前以降の12層のラハール堆積物が確認されている。一方、地形解析の結果、約8～6千年前のいくつかの層は、濁川—松川（濁川は標高約320m付近で松川に合流）の北方に広がる火山麓扇状地から松川沿いに分布する高位段丘にまで広がっている可能性が示唆されている。もし実際に火山麓扇状地～高位段丘の地下からラハール堆積物が確認されれば、それらは蔵王山東麓における大規模ラハールであった可能性が高い。また、広範囲の地点でラハール堆積物が検出されれば、残存体積の推定も可能となる。

令和6年度には、上記火山麓扇状地の中央部でボーリング掘削を実施し、ラハール堆積物を含む地層の観察を行った。さらに、先行研究で報告されていた濁川沿いの露頭を再調査し、得られた層序とボーリングによる層序との対比を行った。加えて、他事業経費により高位段丘の一地点でトレンチ掘削が行われ、そこで得られた層序についても同様に対比を実施した。

令和7年度には、令和6年度に他事業でトレンチ掘削を行った高位段丘地点から約3km下流の地点で新たにトレンチ掘削調査を行った。また、そのトレンチ掘削地点の近く及び約8km下流の高位段丘における蔵王町関連事業の掘削現場において地層観察の許可が得られたため、その2地点でも観察を実施した。さらに、松川沿いでは植生が少ない時期を選んで再調査を行い、新たに1か所の露頭を確認した。令和7年度に得られた層序と令和6年度の層序を対比した結果、広域に分布する複数の層を認定し、それら

の残存体積の概算も行うことができた。

なお、対比には、層序、ラハール堆積物の上位下位の古土壌試料あるいはローム層試料の¹⁴C年代測定、ラハール堆積物の粒度及び構成物特性によって行われた。

成果：各地点で得られた層序を対比した結果、約6～8千年前の2層のラハール堆積物が高位段丘の地下に広く分布していること、また約3～4千年前の2層のラハール堆積物は主に中位段丘の地下に分布するものの、一部は高位段丘面の表層付近にも分布していることが明らかになった。前者の残存体積は 10^6m^3 オーダー、後者は 10^5m^3 オーダーと推定された。これらはいずれも現在残存している堆積物量に基づく推定であるため、発生当時の体積はさらに大きかった可能性が高い。前者については、十勝岳の1929年の大正泥流に匹敵する規模であった可能性がある。なお、これらのラハール堆積物について粒度特性および構成物解析を行った結果、いずれも粘着性土石流堆積物であることが判明した。

上記に加え、以下の新たな知見が得られた。第1点として、先行研究によって認められていたラハール堆積物のうちの最下位のものの年代が約9千年前～1万年前の遡る可能性が示された。令和7年度のトレンチ掘削地点および蔵王町関連の掘削地点において、上記ラハール堆積物と対比される可能性のある堆積物が発見され、それらの下位にはローム層が存在しており、堆積物直下のローム層試料の¹⁴C年代値が上記のように求められたためである。なお、当該ラハール堆積物は、粒度および構成物特性から、粘着性土石流堆積物であると考えられる。この堆積物については高位段丘の深部に存在するため、高位段丘面形成時のものかどうか検討する必要があるため、体積は推定していないが、約6～8千年前の堆積物と同規模である可能性はある。第2点として、ボーリング掘削深度12～13.5 mにおいてラハール堆積物が確認された。粒度および構成物特性から、粘着性土石流堆積物であると考えられる。年代は約3万年前と見積もられる。この堆積物の上位および下位には厚い礫岩層が分布しており、上位層は下位層に比べて花崗岩礫の割合が明らかに多い。蔵王山では約3万年前に山体崩壊が発生したことが推定されている。したがって、このラハール堆積物はその山体崩壊に関連して形成された可能性がある。山体崩壊によって上流部の基盤岩が広く露出し、その結果として礫岩中の花崗岩礫の割合が増加した可能性が考えられる。なお、この堆積物は地下深部に存在するため、現時点では当該ボーリング地点においてのみ確認されている。今後さらにトレンチ調査を実施することにより、8千年前以前のラハール活動に関する新たな知見が得られる可能性がある。

令和6年度 東北大学「即戦力となる火山人材育成プログラム」共同研究報告書

研究代表者・所属機関	Pablo D. Mininni・ブエノスアイレス大学
整理番号	202409
研究課題名	火山噴煙内部の乱流、電化、および雷発生
研究期間	令和6年度～令和7年度

(研究目的・実施状況・成果)

火山雷の観測データは、噴火の規模や推移を把握するための情報の一つとして、近年注目を集めている。特に、2022年1月15日にトンガ王国の海底火山で発生した大規模噴火においては、観測史上最大の頻度で火山雷が発生し、リング状の構造を作って噴煙の中を複数回拡がる様子が見られた。観測情報の限られたこの噴火においては、複数回の爆発の発生やその規模を推定する重要な情報となっている。本研究は、流体力学・乱流・大気科学・火山学・地球電磁気学の専門家により、この現象の物理を明らかにし、火山噴火監視に役立てることを目的としている。本研究グループの主要メンバーによる先行研究(Ichihara et al., 2023, Comms. Earth Env.)では、乾燥大気中の熱プルームによる粒子輸送のシミュレーションを実施し、乱流による粒子のクラスタリング効果により、リング状の構造ができることを示した。火山雷の発生は、噴煙中の粒子が互いに衝突することによって電化することが原因であるため、このシミュレーションは観測されたリング状雷の本質的なメカニズムを説明しているものと考えている。本プロジェクトでは、このモデルを発展させるため、(1)噴煙中および大気の水の影響を取り入れることと、(2)粒子のクラスタリングと電化の関係を定量化することを目的とする。また、(3)日本の流体力学・乱流・大気科学の研究者を火山学に引き入れるため、研究集会等を開催することを計画した。そして、昨年度は、Moist Convection モデル(Marsico et al., 2019, J. Atm. Sci.)を噴煙プルームに応用するためのプログラムと開発、理論構築、試作版の計算を行った。また、海外の研究チーム参加者を招聘し、国内でのセミナーや研究集会を開催した。

今年度は、系統的な数値計算を行い、論文を完成させた(1,2)。我々が開発したモデルでは、二つの無次元数によって、周囲大気の水の量(湿度)と、噴煙ソースの水の寄与を自在に設定できる。これまでの火山噴煙研究では、後者の寄与は重要であると認識されていたが、前者の効果は、到達高度の低い小さい噴煙に限られると考えられてきた。我々は、HTHH 噴火のように、多量の水を成層圏に持ち込むような海底火山噴火において、後発的な噴火が極度に湿度の高い環境で発生することを指摘し、その場合、周囲大気の水の影響は無視できないことを示した。そして、本研究が注目している火山雷の発生源と考えられる粒子および渦度の高いリング構造は、水の量の増加により、高度が高くなり、半径が小さくなることが分かった。また、火山の噴煙高度やリング構造は、一定の噴出率においても振動するが、水の効果により、その変動がより激しくなることも示された。

上記は、本課題の主たる研究成果であるが、昨年度の研究集会等での議論も反映し、研究チームのメンバーがそれぞれ進めていた関連する研究についても、論文が完成した(3,4)。本共同研究により、火山学・地球電磁気学・気象学・物理学の専門家の間での議論が進み、物理モデルに基づく火山噴煙の定量化に向けて新たな展開があった。

1. Zapata, F., Mininni, P.D., Ravichandran, S. et al. Turbulence and particle dynamics in volcanic clouds in humid atmospheres. *Sci Rep* 16, 8111 (2026). <https://doi.org/10.1038/s41598-026-39193-0>
2. 市原美恵・Florescia Zapata・Pablo D. Mininni・S. Ravichandran・Corrado Cimarell (2025). 高湿度大気中の火山噴煙における乱流と固体粒子挙動, 日本火山学会秋季大会, https://doi.org/10.18940/vsj.2025.0_88
3. Kumar, S., Kumar, S., & Ichihara, M. (2025). D - region changes and wave activity detected from unusually strong VLF anomalies associated with the January 2022 Tonga volcanic eruption. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 130(11), e2024JA033464.
4. Shimizu, H., Ishihara, Y., Vaiomounga, R., & Kula, T. (2025). Magnetic field variations in Tongatapu caused by Hunga Tonga–Hunga Ha’apai volcanic activity in January 2022. *Earth, Planets and Space*, 77(1), 188.

令和7年度 東北大学「即戦力となる火山人材育成プログラム」共同研究報告書

研究代表者・所属機関	江本賢太郎・九州大学大学院理学研究院
整理番号	202410
研究課題名	光ファイバーケーブルを用いた超高密度観測から解明する桜島の爆発地震の波動場と火道付近の短波長不均質構造
研究期間	令和6年度～令和7年度

(研究目的・実施状況・成果)

本課題では、光ファイバーケーブルを用いた DAS (分散型音響計測) を桜島で実施し、爆発地震の波動場を時空間的に捉え、爆発地震による地震波励起プロセスを解明することを目的として研究を進めた。この目的に向け、(1) 爆発地震の検出、(2) 振幅を用いた爆発地震の震源決定、(3) 構造の短波長不均質を考慮した波動場の解釈、(4) 大規模波動伝播シミュレーション、(5) 震源間の相互相関、(6) 爆発地震による地震波励起過程の解明の6つのテーマに関して、メンバーで協力・分担しながら進めた。

まず、上記テーマの解析の基礎となる観測データを安定的に取得するために、計測装置を設置している桜島砂防出張所で高速インターネット通信ができるように整備を行った。これにより、2024年9月から現在まで継続的にデータを取得している。活動的火山でのこのような長期にわたる DAS 観測は国内では唯一であり、世界的にみても稀である。

テーマ(1)に関して、テンプレートマッチングによる爆発地震の検出を行った。例えば、鹿児島地方気象台が発表した4つの爆発地震をテンプレートとして1ヶ月間のデータに、Hirano and Naoi (2025)のテンプレートマッチング手法を適用すると、時空間波動場の似た118個のイベントを検出できた。この解析をリアルタイムで行うために、現地に解析用PCの設置も行った。また、連続的な地震波形記録から火山由来の振動を抽出するため、観測波形に対しウェーブレット散乱変換を行い、得られた散乱係数を元にクラスタリングを行った。これにより、連続波形の中に含まれる、微動や調和振動、BL型やBH型の地震を検出できた。これにより、火山活動様式の時間的変遷をモニタリングできる可能性がある。テーマ(2)と(6)に関して、Nishimura et al. (2025)の複素主成分分析法を時空間データに適用し、振幅や到達時刻差を用いた爆発地震、噴火微動、調和型振動の波の到来方向を調べた。調和振動や噴火微動は、火口方向から連続的に波が到来していることがわかったが、周波数によりスローネスが異なっていた。一方、爆発地震の場合は周波数依存性を示さず、浅部に励起源が推定された。調和振動・噴火微動と爆発地震では発震機構が異なると考えられる。また、観測される振幅に影響を及ぼす局所的な地震波の増幅についても調べた。増幅率の周波数依存性に基づきクラスター分析したところ、溶岩と堆積物の領域では、それぞれ異なる増幅を示すことが明らかになった。テーマ(3)に関して、光ファイバーケーブルの近くで地面を叩いて励起した地

震波から, Weak Localization という多重散乱を示唆する現象を捉えることに成功した. この現象から, 地中の不均質具合を示す散乱係数を推定した. これは, DAS による超高密度観測の特徴を活かした手法である. また, DAS で観測される歪が, 不均質媒質中においてどのような成分分配になっているのかを理論的に考察した. その結果, 地中の不均質により多重散乱が卓越している状況において, Rayleigh 波の寄与は深さとともに減少し, 深部では SH 波と SV 波の寄与が卓越することが明らかになった.

今回の研究期間内において, テーマ (4) と (5) に関しては十分に進めることができなかったが, 上述の通り, 計測を継続してデータを蓄積することで, DAS ならではの超高密度な地震観測という特徴を活かし, 時空間的な波動場を基にした地球物理学的な解析から, 火山の構造把握や活動把握に対する有用な知見を蓄積することができた. 今後, テーマ (4) や (5) を行うデータは十分に揃っているため, さらなる火山性地震の発生メカニズム, 火山特有の不均質構造による波動伝播への寄与を明らかにすることで, DAS を用いた火山のリアルタイム監視にもつながる成果を得ることができた.

令和7年度 東北大学「即戦力となる火山人材育成プログラム」共同研究報告書

研究代表者・所属機関	山崎新太郎・京都大学防災研究所徳島地すべり観測所
整理番号	202411
研究課題名	音響探査技術, 有機地球化学, 陸水学的手法による, 静穏な火口湖の活動調査
研究期間	令和6年度～令和7年度

(研究目的・実施状況・成果)

研究目的

下北半島の中央部に位置する火口湖・宇曾利山湖は、現在は噴火活動の静穏期にあると考えられている。しかし、その湖底においては今なお噴気活動や熱水噴出の存在が推察されており、水面下に隠された火山活動の実態把握は、火山防災および地球科学的視点から極めて重要な課題である。

本研究課題は、音響探査、有機地球化学、陸水学という異なる専門分野を融合させた多元的なアプローチにより、宇曾利山湖の湖底地形および熱水活動の詳細を解明することを目的とした。本プロジェクトには、後藤章夫（東北大学・火山学）、山崎（京都大学・応用地質学）、知北和久（北海道大学・陸水学）、安藤卓人（秋田大学・生物地球化学）の各氏が参画し、石井徳幸氏（京都大学防災研究所・技術補佐）の支援のもと、分野横断的な調査体制を構築した。

実施状況

2025年度においては、計3回にわたる現地調査を実施したほか、金沢大学環日本海域環境研究センターにおいて合同検討会を1回開催し、採取試料の分析およびデータの統合的解釈を行った。

【第1回現地調査（6月2日～6日）】

サイドスキャンソナー搭載型 GNSS エコーサウンダーを用いた湖底地形図の作成に着手した。湖北西部の一部水域を対象としたが、天候不順による作業の中断に加え、想定を上回る浅水域の広がりによって観測が制限され、この時点での成果は限定的なものに留まった。併せて、主要地点における水温および流量観測を実施し、基礎データの収集に努めた。

【第2回現地調査（8月18日～22日）】

第1回の課題を踏まえ、詳細な湖底探査を継続した。サイドスキャンソナーによる地形図作成に加え、サブボトムプロファイラ（SBP）を用いた堆積構造の探査、および水中ドローン（ROV）による深部調査を実施した。その結果、以下の重要な成果が得られた。

地形解明： 湖北西部における詳細な湖底地形図を完成させた。

火口状地形の発見： 急深な窪地を少なくとも3カ所以上確認し、これらが過去または現在の火口である可能性が高いことを突き止めた。

直接観察： 水中ドローンを用いた撮影により、活発な熱水噴出活動および水底に広範囲に堆積する硫黄を確認した。

試料採取： 該当地点付近でのコアリングに成功し、硫黄層を含む成層した湖沼堆積物を採取した。これは過去の噴出履歴を解明する貴重な試料となる。

さらに、湖内への係留系設置および流量観測も予定通り完遂した。

【第3回現地調査（10月21日～24日）】

設置していた係留系の回収を行うとともに、継続的な流量観測を実施し、季節変動に伴う湖内の動態データの補完を行った。水質観測として、第2回調査で設定した最深点、湖心、湖東点を中心に多項目水質プロファイラーを投下し、水温・電気伝導度・溶存酸素・濁度の垂直分布を得た。これにより、最深点付近を中心とした熱活動がどのように湖内に波及されているのかを知ることができた。

【年代測定及び合同検討（3月27日～29日）】

金沢大学環日本海域環境研究センターにて実施した合同検討では、採取した堆積物コアの鉛年代測定を行い、近年の堆積速度および火山活動履歴の定量化を試みた。現在、詳細な分析結果を待機している段階であるが、地質学的時間スケールにおける最新の活動史が明らかになることが期待される。

成果のまとめ

本調査により、静穏に見える宇曾利山湖の水面下には、依然として活発な熱水系と複雑な火口地形が隠されている実態が明らかとなった。特に、北西部において確認された硫黄噴出を伴う温泉活動は、本火山の潜在的な活動性を示す直接的な証拠である。

音響探査、化学分析、物理観測を組み合わせた多元的監視手法の有効性が実証された今後は、得られたデータを統合し、火口湖における火山活動のモニタリングモデルとして発展させていく予定である。

令和7年度 東北大学「即戦力となる火山人材育成プログラム」共同研究報告書

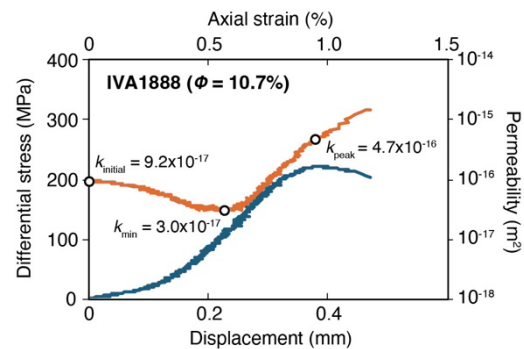
研究代表者・所属機関	片山郁夫・広島大学大学院先進理工系科学研究科
整理番号	202501
研究課題名	火山岩中のクラックの生成による地震波速度と電気比抵抗の変化
研究期間	令和7年度～令和8年度

(研究目的・実施状況・成果)

火山地域では、マグマの移動や供給に伴う応力変化により、地震波速度や電気比抵抗などが変化することが知られている（例えば、Nishimura et al. 2005）。岩石の地震波速度や電気比抵抗は、クラックの生成やクラックを通じた流体の移動に敏感な特徴を持つため、火山活動に伴う物理性質の変化は、地下での応力変化によるクラックの生成が原因の一つと考えられている（例えば、青木 2017）。そこで本研究では、火山岩を用いた三軸変形実験中に地震波速度や電気比抵抗を連続計測し、クラックの生成に伴ってこれらの物理特性がどのように変化するかを調べることを目的とした。今年度はその前段階として、岩石中の空隙やその連結度に敏感な特徴をもつ浸透率を変形中に連続測定した。

岩石試料は桜島において共同研究者の奥村氏とサンプリングした安山岩溶岩を用い、これらの初期空隙率は4.3%から23%であった。試料を円柱形に整形しポリオレフィンジャケットで覆ったものを試験機に設置し、圧力20MPa室温条件下のもと変形実験を行った。変形速度は 10^{-6} s^{-1} 程度の歪み速度で行い、圧力容器内に侵入する载荷ピストンの体積分はシリンジポンプで補償することで圧力一定での実験を行った。浸透率はダルシーの法則に基づき、試料上端と下端にかける間隙流体圧差（最大で1MPa程度）をもとに駆動される流体移動をシリンジポンプの体積変化から求めた。なお、クラックの閉鎖や生成に関わる体積変化は、間隙流体上流側と下流側両者のシリンジポンプで同時測定を行うことで補正した。

変形序盤では、初期空隙の閉鎖による浸透率の低下が見られ、変形終盤からクラックの生成による浸透率の増加が見られ、岩石が破壊に至り断層が形成される際に浸透率が最も上昇した。そのような傾向は、初期空隙率に関わらずいずれの試料でも同様の傾向が見られた。浸透率の変化幅は初期空隙率によるが、多くの試料で一桁以上の浸透率の変化が確認された。砂岩を用いた先行研究では、初期空隙率の増加に伴い脆性的な変形から破砕的な流動に変形機構が移行し、前者では浸透率の上昇が後者では浸透率の連続的な低下が見られると報告されているが、火山岩ではそのような空隙率依存の特徴は見られなかった。今後は X 線 CT 観察による試料内部の



図：桜島溶岩の変形中の浸透率変化の一例
オレンジの線は浸透率を青の線は応力値を表す。

クラックの形状や分布の検証に加え、地震波速度や電気比抵抗などの物理特性を測定することで、火山地域での変形と流体移動の側面から、火山地域でのモニタリング観測に応用できる基礎データを構築することを目指したい。

令和7年度 東北大学「即戦力となる火山人材育成プログラム」共同研究報告書

研究代表者・所属機関	宇野正起・東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻
整理番号	202502
研究課題名	高度変成岩中の岩脈群解析によるマグマ貫入に伴う地殻破壊の規模とその地震波観測可能性の解明
研究期間	令和7年度～令和8年度

(研究目的・実施状況・成果)

本研究では、マグマ貫入に伴う中下部地殻における地殻破壊の実態を明らかにすることを目的とし、2025年度は東南極セール・ロンダーネ山地のメイフェル地域およびブラットニーパネ地域を対象として、岩脈の画像解析、岩石熱力学解析、および応力解析を実施した。

メイフェル地域では、中下部地殻を構成するグラニュライト相の変成深成岩中に、数百 m 規模の花崗岩質マグマ溜りが形成されており、その周囲には幅数 mm～数 m、長さ数十～数百 m に及ぶ多数の岩脈群が発達している。一方、ブラットニーパネ地域では、同様のグラニュライト相岩中に、幅数 cm～数 m、長さ数十～数百 m の岩脈群が比較的一定の走向をもって分布している。両地域において、岩脈周囲には含水鉱物からなる反応帯が形成されており、含水マグマからの流体放出を記録している。これらの反応帯の形成条件は、熱力学解析により約 0.5–0.8 GPa、670–750 °C と制約されており、中下部地殻条件下でのマグマ貫入に伴う地殻現象である。

これらの露頭について 100～200 m スケールのドローン空撮画像から三次元モデルを構築し、岩脈の方位解析を行った。その結果、マグマ溜り周囲では二方向の卓越方位をもつ岩脈群が認められたのに対し、マグマ溜りから離れた領域では単一方向の卓越方位が支配的であった。これらの方位データに古応力インバージョン法を適用した結果、マグマ溜り周囲では σ_1 と σ_3 が入れ替わる二つの応力場が検出され、一方、離れた領域では単一の応力場が支配的であることが明らかとなった。

また、岩脈周囲の反応帯に含まれる燐灰石、角閃石、黒雲母の塩素濃度を測定したところ、岩脈壁から母岩に向かって単調に減少する濃度プロファイルが得られた。このプロファイルに反応輸送方程式を適用し、拡散距離から流体活動時間を推定した結果、反応帯形成に関与した流体の活動時間は、短いもので約 4 時間、長いもので 100～250 日程度と見積もられた。さらに、マグマ溜り周囲の二方向の岩脈および鉱物脈群は互いに切り合う関係にあり、それぞれ極めて短時間の流体活動を示すことから、局所的な応力場が繰り返し反転していた可能性が示唆される。

以上の結果から、中下部地殻条件下におけるマグマ貫入に伴う地殻破壊について、その物質移動過程、流体活動時間スケール、および応力状態の特徴が明らかになりつつある。今後は、岩脈群のサイズ分布および変位量の解析に基づくマグニチュード評価を

進めるとともに、岩脈方位と流体活動時間を統合することで、マグマ貫入に伴う地殻破壊が地震波速度構造に与える影響を定量的に評価し、その観測可能性を検討する予定である。

令和7年度 東北大学「即戦力となる火山人材育成プログラム」共同研究報告書

研究代表者・所属機関	柴田 知之・広島大学大学院先進理工系科学研究科
整理番号	202503
研究課題名	斑晶角閃石を用いた西南日本弧第四紀マグマの起源とその供給系
研究期間	令和7年度～令和8年度

(研究目的・実施状況・成果)

1. 研究目的

角閃石斑晶 (Hbl) の主成分・微量元素組成から、結晶化条件 (温度・圧力) や平衡メルト組成を推定する手法が、高温高压実験に基づき確立されている。本研究グループはこの手法を用い、由布岳安山岩において共存する非平衡 Hbl の分析から、混合した2つの端成分マグマの定量化に成功した。さらに大山デイサイトでは、Hbl の化学組成が4グループに分類され、それぞれ異なる微量元素パターンをもつ平衡メルトが推定された。その結果、アダカイト、高 Nb 玄武岩、地殻再溶融マグマ、地殻同化マグマの4つが端成分であり、異なる深度で存在していたことが示された。特に1試料中に4種類の Hbl が共存することから、4成分マグマ混合の証拠が得られた。

本研究では、東から、大山 (鳥取)、三瓶山・青野山 (鳥根)、姫島・両子山・鶴見岳・由布岳・九重山 (大分) の8つの西南日本弧第四紀火山を対象とする。これら火山の、全岩の主成分・微量元素組成および Sr-Nd-Pb 同位体組成 (以降、全岩データ) のデータベースを完成させることと、斑晶 Hbl の主成分・微量元素組成を測定することの二つを作業目標とする。

2. 実施状況

2-1. 三瓶山と青野山の試料採取

三瓶山から溶岩・火砕流堆積物全5試料、青野山火山群に加え小青野山および山口県周南市までに分布する単成火山から11試料を採取した。

2-2. 角閃石の主成分元素組成の測定

角閃石の主成分10元素 (SiO₂, Al₂O₃, Ti₂O, CaO, Na₂O, K₂O, FeO, Cr₂O₃, MnO, MgO) の組成を、広島大学自然科学研究支援開発センター設置の電子プローブマイクロアナライザー (EPMA) で測定した。岩石は薄片に加工、未固結の火砕流堆積物は粉体から角閃石の斑晶を分離し、スライドガラスにマウントした状態に加工したのち、測定を行った。現段階では、三瓶山・青野山・姫島・両子山・鶴見岳・由布岳・九重連山の全32試料に含まれる計655粒の測定が完了している。

2-3. 九重連山の溶岩試料の採取

これまでに採取できていなかった、九重連山に属する大船山の試料採取を行った。

3. 成果

3-1. 三瓶山と青野山の第四紀マグマの温度・圧力条件

角閃石の主成分元素組成から計算されるカチオン数を変数として、斑晶晶出時の平衡メルトの温度・圧力を計算した（温度: Putirka, 2016, 圧力: Ridolfi & Renzulli, 2012）。三瓶山では、690~940°C, 15~490 MPa, 青野山火山群では、870~980°C, 150~490 MPaの温度・圧力範囲を示した。どちらも明瞭な正の相関を示し、三瓶山は3つのクラスターを示した。

3-2. 三瓶山と青野山の角閃石と平衡だったメルトの主成分元素組成

温度・圧力同様、角閃石のカチオン数から端成分マグマの平衡メルトの主成分元素組成を計算した（Zhang et al., 2017）。平衡メルトのSiO₂は、三瓶火山で63~86 (wt.%)、青野山火山群で60~71 (wt.%)であった。また、SiO₂を横軸に、他の主成分元素（MgO, FeO, CaO, Al₂O₃, TiO₂）を縦軸に取ったハーカー図から、2つの火山は一連の結晶分画作用およびマグマ混合を示唆するトレンドを示した。

3-3. 大山から九重連山にかけての西南日本弧第四紀マグマ中の角閃石と平衡だったメルト組成の水平変化

大山・三瓶山・青野山・姫島・両子山・鶴見岳・由布岳・九重連山の各平衡メルト中のSiO₂をはじめとする主成分元素組成は、各火山直下のスラブの沈み込み角度・上面深さ、および火山の経度との間に、島弧横断・縦断方向のいずれにおいても明瞭な変化傾向を示さなかった。これは、各火山の端成分マグマのうち、スラブの影響を最も直接的に反映すると考えられる高温高压の未分化な端成分マグマであっても、その化学組成が直下のスラブの角度・深度・温度と系統的に対応していない可能性を示唆する。すなわち、当該地域は、どの火山においてもマグマ生成条件の中立点には大きな違いが無い可能性がある。今後、レーザーアブレーション誘導結合プラズマ質量分析計（LA-ICP-MS）を用いて角閃石の微量元素組成を測定し、平衡メルトの微量元素組成を計算する（Shimizu et al., 2017; Humphreys et al., 2019）。これにより、マグマの組成について、広域的な変化傾向が明らかになる可能性が期待される。

3-4. 九重火山群のマグマの岩石学・地球化学的解析

KVG火山岩は、Ol-g, Hbl-g, Opx-gの3群に分類される。Opx-gおよび一部のHbl-gは非平衡組織からマグマ混合を示すが、地球化学的特徴は単純な分別結晶作用や二成分混合では説明できず、複数のマグマ過程を反映する。YおよびSr/Y比は、Hbl-g1・g3のスラブメルト起源と、Hbl-g2およびOpx-gにおけるスラブメルトとマン托ルの相互作用を示唆する。同位体組成は、KVGマグマがマン托ル、スラブ堆積物、地殻物質の混合に由来することを示す。Th-Nb関係およびマスバランス計算から、多くのマグマはスラブメルトとマン托ルメルトの混合で説明され、スラブメルト寄与率の変化が化学的多様性を支配する。Opx-gには高Nb玄武岩起源や地殻混染の影響も認められる。

令和7年度 東北大学「即戦力となる火山人材育成プログラム」共同研究報告書

研究代表者・所属機関	吉光奈奈・京都大学大学院工学研究科
整理番号	202504
研究課題名	微動観測と地下水情報の比較を通じた別府地域における火山性熱水分布推定の試み
研究期間	令和7年度～令和8年度

(研究目的・実施状況・成果)

観測ネットワークの構築と環境モニタリング

弾性波動を用いた地下モニタリングにおいて、地下の不均質性やその時間変化を精密に検出・評価するため、大分県別府市の京都大学別府キャンパスを対象フィールドに選定した。当該地域は亀川断層や堀田-朝見川断層が近接し、温泉開発に伴う地下水位変動や火山地域特有の群発地震活動が活発である。すでに微動を用いた自己相関解析による既往研究において、2007年ごろの群発地震に伴う地震波速度の低下が報告されており (Maeda et al., 2010)、本研究でも同様の变化検出が期待される。

地震観測体制の拡充

2025年1月より計4地点 (B00X, B10X, B20X, B30X) に、3成分速度型地震計 (近計システム社製 KVS-300) を順次設置した。各観測点は約30mの間隔で配置され、地震観測用ロガー (HKS-9700) を用いて200Hz サンプリングによる連続収録を行っている。また、受動的観測に加え、より精緻な透過波計測を行うための能動震源装置についても、名古屋大学との協働により設計・組み立てを進行中である。

環境モニタリング

弾性波データと環境変動を対比させるため、接点式水位計による定期的な水位計測を実施した。観測の結果、水位は冬季の地表下60.6mから夏季にかけて61.6mへと低下し、9月には地表下70mに達する著しい変動を記録した。九州地方の既往研究に照らせば、この深さでの変動は不圧地下水ではなく、不透水層で隔てられた被圧地下水の変化を反映していると考えられる。併設した雨量計 (CTKF-1) の記録では8-9月に降水量が急増していたが、地下水位と直接の相関が見られない点は、被圧帯への雨水浸透のタイムラグを考慮すると合理的である。なお、現在は連続計測を可能にするため、300mポアホール内に水圧式水位計を導入している。

2025年の地下構造変化の背景

解析に先立ち、2025年の地震活動を気象庁一元化震源から調査した。別府地域では約4~5年周期で群発地震が発生する傾向にあり、2025年には4月18日に集中的な活動が確認された。また、6月3日には豊後水道 (観測点からの距離50km) を震源とするM4.2の地震が発生した。これらを踏まえると、2025年は「4月の群発地震 (深さ5-10km)」「6月の豊後水道地震 (距離50km)」「9月の被圧水位変動 (浅部)」という、異なる深度での構造変化が生じた可能性がある。

地震波干渉法による解析と考察

観測された微動ノイズに対し、ランダム波形の自己相関関数 (ACF) を計算することで疑似的な反射波 (Green 関数) を抽出する地震波干渉法を適用した。1 時間ごとの波形に 0.5-1, 1-3, 2-4Hz のバンドパスフィルタと 1 ビット化処理を施し、24 時間分をスタックして日ごとの ACF 波形を得た。

ストレッチング法による速度変化の定量化では、浅部地盤 (100m 以浅) に対応する初期動付近 (1-5s) で顕著な速度変化は見られなかった。しかし、ACF 波形の目視観察により以下の有意な兆候を確認した。

高周波帯 (1-3Hz) : 2 秒付近の位相に擾乱が見られ、4 月の群発地震の影響を示唆。

低周波帯 (0.5-1Hz) : 10 秒以降の波形において、6 月を境に位相の先鋭さが変化しており、豊後水道地震との関連を示唆。

未詳の変化 : 4.5-5.5 秒付近に見られた位相の乱れについては、現在のところ対応するイベントが不明であり、今後の精査が必要。

課題と今後

本年度の観測により、微動データから地下構造変化を捉えられる可能性が示されたが、課題も明確になった。特に、目視で確認できる変化を定量的に安定して自動検出するアルゴリズムの改良が必要である。また、調子の悪い観測点があることから、次年度早期に改善を試みる。

令和7年度 東北大学「即戦力となる火山人材育成プログラム」共同研究報告書

研究代表者・所属機関	齋藤さやか・東北大学大学院理学研究科・理学教育研究支援センター
整理番号	202506
研究課題名	火山防災におけるリスクコミュニケーションの研究—主体間連携の可能性と課題を探る
研究期間	令和7年度

(研究目的・実施状況・成果)

・研究目的

火山防災を進めていく上で、自治体、住民、メディア、科学者等の関係主体が、火山のリスクや防災に関する情報を的確に認識し、それぞれの立場で対応を取ることが求められる。こうした「リスクをめぐる情報の共有」、すなわちリスクコミュニケーションが効果的に実践された事例として、2000年有珠山噴火時の早期避難の例が挙げられている(近藤誠司,2016,「リスクコミュニケーション」,『災害情報学事典』pp.242-243)。

一方で、主体間でいかにコミュニケーションが図られ、防災や危機管理が実現されたについて、具体的に検証された研究は必ずしも多くない。

そこで本研究では、2015年に噴火した箱根山を対象とし、噴火警戒レベルの引き上げ過程において、各主体がどのように行動し、議論し、対応を行ったのかを明らかにする。災害リスクとともに観光に関わるリスクに対して、各主体がどのように対応したのか、社会調査(ヒアリング調査、アンケート調査)を通して分析することを目的とする。

・実施状況

2025年6月より、研究メンバー(日本大学・秦康範、東京大学・安本真也)と議論を重ね、8月から12月にかけてヒアリング調査を6件、2月にアンケート調査を1件実施した。

調査対象として、箱根火山防災に関わる主体である自治体(神奈川県、箱根町)、メディア(神奈川新聞)、科学者(温泉地学研究所、気象庁)、住民(箱根強羅観光協会)に対してヒアリング調査を行った。方法は質問項目を用いた半構造化インタビューとし、各回約1時間半から2時間程度で実施した。調査では主に「2015年箱根火山噴火の対応およびそれ以降の取組」について聞き取りを行い、防災において機能した行動やコミュニケーション、そこでの課題について整理した。得られた内容は詳細な年表として、時系列で整理している。さらに、観光協会へのヒアリング調査をふまえ、地域の観光事業者の方たちを対象とした、火山防災など危機管理に関するアンケート調査を実施した。

・成果 2026年3月14日に開催された、日本災害情報学会第32回学会大会(地震・火山セッション)において「箱根火山防災とリスクコミュニケーション—2015年にお

ける噴火対応とその後」とのタイトルで、口頭発表を行った。発表では、ヒアリング調査に基づく分析から得られた知見を整理し、防災的な側面及び観光的な側面のいずれにおいても、情報発信の一元化が重要視されていた点を示した。

令和7年度 東北大学「即戦力となる火山人材育成プログラム」共同研究報告書

研究代表者・所属機関	堤 隆・明治大学黒耀石研究センター
整理番号	202507
研究課題名	考古学と火山地質学とのマッチングによる浅間山活動史・社会災害史の復元と火山防災
研究期間	令和7年度

(研究目的・実施状況・成果)

■ 研究目的

本研究は、過去の浅間山活動期の噴火イベントを放射性炭素年代によって精緻に把握し、また当時の古環境を復元し、あわせて古代集落遺跡の考古学的調査によって浅間山活動期の地域社会像を描き出し、究極的には、過去事例から将来への火山防災へとつなげることを目的とする。

ことに考古学と火山地質学の協働による意義は、噴火イベントと社会災害イベントそれぞれの年代や影響を相互検証し、両者の整合性を図ることで、より正確な災害像の復元を可能とする点にある。

■ 実施状況

浅間山南麓（長野県側）における①考古遺跡の発掘調査、②地質・古環境調査、③噴火イベントの年代測定、この3点を主軸として実施し、以下に内容を述べる。

①考古遺跡の発掘調査

長野県佐久市岩村田に所在する枇杷坂遺跡群円正坊遺跡の発掘調査を実施した。枇杷坂遺跡群は、弥生時代から奈良・平安時代の複合遺跡であるが、今回の調査では弥生時代後期の竪穴住居1軒を発掘した。

② 佐久市瀬戸および浅間山南麓御代田町地積の地質・古環境調査

佐久市瀬戸では、小諸第一軽石流の露頭調査を実施し、その堆積構造と年代測定、樹種同定用のサンプルを採取した。

また、浅間山南麓御代田町地積の地質調査を実施し、テフラ堆積層序を確認した。

③ 噴火イベントの年代測定

小諸第一軽石流の露頭調査により採取した7点の炭化材の放射性炭素年代測定を実施した。

■ 成果について

①考古遺跡の発掘調査

長野県佐久市の枇杷坂遺跡群円正坊遺跡の発掘調査により検出した弥生時代後期の竪穴住居から、銅製のブレスレットである銅釧、磨製石鏃、箱清水式土器などが出土。銅製のブレスレットの出土は、一定の社会的地位の人物の居住を想起させる。磨製石鏃

の出土は、稲作を主たる生業とする弥生時代にあつて、長野県のような高地では一定の狩猟にも比重が置かれていたことを示す点で重要である。浅間前掛活動期の古代集落の生活様相や地域社会像の一端を明らかにできた。

② 佐久市瀬戸および浅間山南麓御代田町地積の地質・古環境調査

浅間南麓御代田地積のトレンチ調査においては、テフラ層序を確認し、Dグループとされる縄文時代相当の軽石層を検出、D軽石は、キーテフラとして今後縄文文化編年に益するものと考えられる。また、佐久市瀬戸の露頭から検出した炭化材の多くはトウヒ属・モミ属であり（表1）、最終氷期末の寒冷な古環境の復元の一助となった。

③ 噴火イベントの年代測定

佐久市瀬戸の小諸第一軽石流の露頭より検出した炭化材の放射性炭素年代測定7点を実施した結果、16,000calBP前半代の年代を得た（表1）。これは考古編年という縄文時代スタート直前の年代を示すものである。

小諸第一軽石流については、従来数少ない点数での年代議論がなされていたが、まとまった点数によりより確実な噴出年代が把握できた。旧石器から縄文時代の移行期に起きた軽石流災害が、文化変化にどのように関与したか、この課題を解くための年代基軸となるものと考えられる。

表1 放射性炭素年代測定に基づいた較正年代と同定樹種

試料番号	BETA番号	方法	較正年代	同定樹種
1	789660	Standard AMS	16590 - 16243 cal BP(95.4%)	モミ属
2	789661	Standard AMS	16577 - 16228 cal BP(95.4%)☒	トウヒ属
3	789662	Standard AMS	16173 - 15796 cal BP(95.4%)	モミ属
4	789663	Standard AMS	16821 - 16374 cal BP(95.4%)	不可
6	789664	Standard AMS	16040 - 15701 cal BP(95.4%)☒	トウヒ属
7	789665	Standard AMS	16257 - 15884 cal BP(95.4%)☒	トウヒ属
8	789666	Standard AMS	16542 - 16184 cal BP(95.4%)☒	モミ属
※ 試料番号5は測定不可				