

1（4）火山

「火山」計画推進部会長 中道治久

（京都大学防災研究所）

副部会長 前野 深

（東京大学地震研究所）

火山の噴火災害を軽減するためには、火山噴火の発生の場所・規模・時期を予測することおよび火山噴火現象に対応する噴火災害の推移を予測することが重要である。またこれらの予測のためには、火山噴火現象を解明することも重要である。「火山」計画推進部会では、「火山活動の事象分岐の条件・論理を明らかにし、火山活動推移モデルを構築し、発災の原因である火山噴火を予測すること」を上位目標にすえ、低頻度で大規模な現象を含む火山現象の解明とモデル化、火山活動を支配する場の解明とモデル化、中長期的な火山活動の評価、観測手法の開発および体制の整備に関する研究を5年間にわたり推進してきた。ここでは、5年間の成果の概要を述べたのちに、令和5年度の成果を詳述する。

〔1〕5年間の成果

1. 5年間の国内の火山活動と成果の概要

この5年間においては、人的被害が出た噴火はなかったが、離島や海域における噴火が顕著であった。まず、この5年間における国内の噴火について述べる。2013年から2015年、2017年に噴火した西之島は2019年から2023年においては断続的に噴火を繰り返してきた。南硫黄島付近の福岡ノ場の海域から2021年8月13日に大規模噴火が起こり、8月15日には噴火と新島の存在が確認されるとともに、大量の軽石が北西方向に60 kmに蛇行して浮遊していることが確認された。この浮遊軽石は2021年の秋に沖縄や奄美の海岸に漂着して、港湾設備に被害が生じた。南西諸島の離島である諏訪之瀬島では2019年4月～2024年3月の期間において噴火が発生しており、特に2020年12月下旬から2022年10月中旬までの期間は月に20回から多い時は550回を超える頻度で爆発があった。2023年は2月と3月は50回を超える頻度で爆発があったが、その後は頻度が急激に減少した。桜島は2017年11月から南岳山頂火口にて噴火活動があり、2019年と2020年は400回程度噴火しており、2021年は150回弱、2022年は240回弱、2023年は215回の噴火があった。1970年代や80年代の南岳山頂火口の噴火と比べると頻度は少ないが、それ以上に降下火山灰量が1桁少ない。したがって、噴火が頻発している桜島であっても過去と比べると噴火活動が高いわけではないため、陸域の噴火活動は低調であったと言える。

このような全国の火山活動が発生している期間において、「火山」計画推進部会では、噴火予知を目指す観測研究を継続し、「火山噴火の先行現象から噴火、そして噴火の終息までを一連の現象として捉えた火山活動推移モデルを構築し、噴火事象における分岐・論理を明らかにし、火山活動推移モデルによる火山噴火予測をすること」を上位目標にすえ、低頻度大規模噴火を含めた火山現象の解明とモデル化、マグマ供給系・熱水系の構造解明、中長期の火山活動の評価について比較研究と、観測・解析技術の開発をもとにし

た研究体制の整備を推進してきた。また、課題の成果を災害誘因予測のための研究や防災リテラシー向上のための研究につなげることも意識して研究を進めてきた。

以下では、まず5年間になされた主要な成果を紹介し、つぎに令和5年度の成果を述べる。

2. 5年間になされた主要な成果

2. 1 マグマ溜まりの時間発展と噴火様式との関連性

将来の噴火の様式や規模が物質科学的に予測できるか否かは、(1)マグマ供給系の連続性が担保されていること、(2)噴火様式がマグマの性質によって支配されていることの2点に強く依存している。そこで、比較的単純なマグマ供給系が想定され、かつ爆発的噴火も非爆発的噴火も回数が多い富士火山での噴火に焦点を絞り、上記2点が実際の火山で成立しているか否かが検討された。マグマ供給系の連続性については、山頂・山腹からの爆発的噴火が断続的に発生する約3,500年前以降の降下火砕物について、全岩・斑晶化学組成、石基組織などの分析を行った結果、上記の期間中にマグマ供給系が2回ほど大きく変化するもののそれ以外は数百年にわたってマグマや斑晶の組成が連続的に変化していることが確認された。また、噴出物の特徴から浅部マグマの影響をほとんど受けずに深部マグマ溜まりから直接的に地表に噴出する噴火が主体であった時期の存在が確認された。そこで、単純なマグマ供給系モデル(深部マグマ溜まり単独)にあてはめてその時代の噴出物量や噴火間隔のデータの再現を試みたところ、マグマ溜まりの実効的な大きさに対して制約が得られた。さらに噴出量が数桁にわたり変化していることを考慮すると、噴火未遂により地表に到達しないマグマが多量に存在することが示唆され、いかにして噴火未遂量を評価するかが、今後の噴火予測の精度向上のための課題であることも明らかになった。噴火様式とマグマの性質との関連については、マグマの含水量はある程度は噴火様式に影響を与えることは確かだが、それ以外の要因(火道の広がり、上昇速度など)もまた噴火様式に影響を与えている可能性が高く、単純にマグマ溜まりでのマグマの性質だけには帰着できないこともわかった。

2. 2 極小規模噴火を含めた草津白根火山の噴火履歴の解明と噴火ポテンシャル評価

草津白根火山の最近の活動場である本白根火砕丘群、逢ノ峰火砕丘群、白根火砕丘群について、山頂域に分布するマグマ噴火噴出物の層序が解明され、噴出量・全岩化学組成がほぼ明らかになった。これにより本火山のマグマ噴出物に関する地質学的岩石学的知見が大幅に刷新された。また、積算マグマ噴出量階段図が完成し、各火砕丘群の噴火ポテンシャルの評価が可能になった。マグマ噴火噴出物についての物質科学的解析も進められ、最近の3つの活動場でのマグマ噴火が、共通するデイサイト質マグマとそこへ噴火毎に供給された苦鉄質マグマの混合により開始されたことが明らかになった。山頂域から山麓に分布するテフラ調査、¹⁴C年代測定、粒子構成比分析、XRD分析に基づき、完新世のテフラ層序も確立され、白根火砕丘群は約16,000~3,800年前にマグマ噴火、約7,600年前~明治時代まで水蒸気噴火を10回以上発生したこと、本白根火砕丘群は約11,000~1,400年前までマグマ噴火、約4,800~400年前には水蒸気噴火を発生したことがわかった。これにより両火砕丘群がマグマ噴火主体の活動から水蒸気噴火主体の活動へ推移したこ

とが明らかとなった。

2. 3 大規模噴火に伴う諸現象とそれを駆動するマグマ溜まりー火道システムの解明

伊豆大島については、18世紀安永噴火など大規模噴火の噴火様式およびその推移と、それらを駆動したマグマの蓄積場や上昇過程の描像が明確になった。とくに大規模噴火の際に時間とともに斜長石斑晶量が増加するという推移パターンが明らかになり、大規模噴火の推移予測や伊豆大島の噴火シナリオの改訂に繋がる成果が得られた。また、一回の大規模噴火の推移で見られる斜長石斑晶量の増加と同様に、中規模噴火から小規模噴火へと数十年かけて推移していく過程で、斜長石斑晶量がしだいに増加していることも明らかになった。斜長石斑晶量、噴火規模、時間の関係性が見出されたことは、伊豆大島の噴火の中長期予測に貢献する。西之島の噴出物の物質科学的研究では、2019-2020年噴火における噴火様式や化学組成の劇的変化が、より深部に由来する苦鉄質マグマの上昇に起因することが明らかになった。伊豆大島と西之島の大規模噴火の推移における共通点として、年単位の断続（継続）的かつ弱い活動の後に、それまでとは異なるマグマによる高噴出率の爆発的活動が続くことが挙げられるが、このような噴火様式の急変の原因として、苦鉄質マグマに特徴的な芋づる式のマグマ供給系の構造が関係している可能性を提案した。浅間山については18世紀天明噴火の噴出物の物性、化学組成および発泡組織等のデータの解析に基づきマグマ上昇過程について考察し、火砕流由来の噴出物で気泡数密度が顕著に大きな値を示すことから、噴火様式遷移がマグマの減圧率（上昇速度）に強く影響を受けた可能性を提案した。霧島火山群については、近年の小中規模噴火（2017-2018年新燃岳）および歴史時代の大規模噴火の噴火様式と推移、噴出物の特徴、マグマ上昇過程が明らかになり、霧島火山群全体における噴火推移パターンが整理された。近年と歴史時代の噴火やマグマ供給系モデルにもとづき霧島火山群全体に対する火山活動推移モデルも作成された。

2. 4 大規模噴火に関わるマグマプロセスの時間スケールの解明

火山岩試料を対象としたU-Th放射非平衡分析法の立ち上げが行われた。白頭山10世紀噴火の噴出物に適用することにより同火山のマグマ供給系の時間発展が明らかにされ、U-Th放射非平衡分析法の有用性が確認された。また、支笏・屈斜路・洞爺・始良・十和田の噴出物に適用した結果、支笏カルデラにおいてはカルデラ噴火に関わった一部の珪長質マグマについて具体的なマグマ生成率（約15 km³/万年）が推定された。始良カルデラについてはカルデラ噴火に至る珪長質マグマ系の時間発展が明らかになるなど（Kuritani, 2023）、U-Th放射非平衡分析法を用いたマグマプロセスの時間スケール情報の抽出が実現された。

2. 5 多項目観測データに基づく噴火過程の解明とモデル化

火口近傍の多項目観測が引き続き行われるとともに、ドローンや衛星データの活用がより積極的に行われた。噴火に前駆した微動振幅の増加がいくつかの火山において観測された。例えば、霧島山では新燃岳の2018年噴火に前駆してバックグラウンド微動の振幅の加速的増大が見られ、阿蘇山では2014年11月の噴火に前駆して長周期微動の振幅増

大が観測された。これらの振幅増大はマグマの上昇に対応していると考えられ、噴火過程の解明に示唆を与えた。

ドローンや無人ヘリによる空中磁気測量とデータ解析から、伊豆大島、三宅島、霧島山の浅部の詳細な構造推定と、繰り返し観測による構造の時間変化の検出に成功した。2019年から2020年の西之島の活動について、マルチ衛星観測によって、地形・噴出物分布状況の変化、熱異常からの噴出率変化、溶岩と火砕物の割合の変化、二酸化硫黄放出率の変化、変色海域の把握を行うことにより噴火プロセスを推定した。

2. 6 霧島山新燃岳の溶岩ドームにおける爆発条件、噴火遷移、帯磁率変化の推定

霧島山新燃岳の2011年噴火の岩片試料の分析から、溶岩ドーム形成過程において、ナノライトの結晶化により、メルトとマグマの粘性が上昇したことが分かり、この粘性上昇により気泡過剰圧が溶岩ドームの破砕強度を超えることで、爆発が発生することが分かった。マグマ水蒸気爆発からマグマ噴火に遷移した新燃岳の2018年噴火の火山灰試料の帯磁率の測定により、噴火活動の推移と帯磁率の増加の対応が見られ、帯磁率が相対的に低い粒子の量比がマグマ噴火に近づくにつれて低下することが分かった。

2. 7 草津白根火山の精緻な地下構造推定と2018年本白根山噴火と流体移動との関係

稠密および広域の観測によって、より精緻で広域までカバーされた草津白根火山周辺の比抵抗構造が推定された。推定された構造と、各種観測から推定された流体流動の情報をもとに2018年本白根山噴火と unrest の関係の議論が進んだ。比抵抗構造からは、白根火砕丘の地下浅部に釣鐘状に広がる cap rock のほか、その下の海拔0から海拔4 km程度の広い範囲に流体貯留域、およびマグマ溜まりに対応する領域が見いだされた。2018年本白根山噴火に関しては、火口直下において繰り返し開閉する鉛直開口クラックが見いだされたほか、噴火前後の流体移動と構造との関係が議論された。さらに、湖水や火山ガスの化学的特徴を解析する手法が新提案され、マグマガスと地下水循環の時間変動が示された。

2. 8 鬼界海底カルデラにおけるマグマ供給系の構造・進化の解明

鬼界カルデラのマグマ供給系の構造を正確に把握するために、地球物理学的な長期観測とデータの解析が進められた。地磁気観測データの3次元解析によりカルデラ下の深さ1-5 kmに低比抵抗領域、地震波トモグラフィー解析によりカルデラ下の深さ10-20 kmに低速度領域が存在することがそれぞれ示唆された。反射法地震探査により得られた層構造と噴出物との対比からは、2回の大規模火砕流噴火に相当する堆積物が海底に厚く堆積していることが明らかになり、鬼界アカホヤ噴火に相当する地層の空間分布をもとに堆積物総量が71 km³以上と推定された。また、海底堆積物の層厚や粒度、構成物、化学組成の水平変化から、水中での火砕流の流動過程が議論された。噴出物の岩石記載、全岩、斑晶、石基、メルトインクルージョンの主要および微量元素組成分析からは、(1) 3回の大～中規模の火砕流噴火においてマグマ組成変化が見られ、マグマの起源物質および地殻内分化過程の変化が起きたこと、(2) 鬼界アカホヤ噴火では広い組成幅のマグマが噴出したがそれらは下部地殻の部分溶融により生成したマグマであること、(3) 鬼

界アカホヤ噴火直後には、アカホヤ噴火の出残りマグマが活動し、その後に岩石学的性質の異なる新たな珪長質マグマと苦鉄質マグマが浅部でマグマ供給系を作り、この供給系が巨大溶岩ドームや薩摩硫黄島の活動を引き起こしていること、(4) 鬼界アカホヤ噴火後のマグマの変化は、マグマ溜まりに残された結晶に新たなマグマが混合することにより起こった変化であることなどが明らかになった。

2. 9 富士山の事象系統樹を精緻化するための噴火履歴の研究

富士山の噴火履歴を精緻化するための噴出物層序の確立、年代測定（古地磁気年代、放射性炭素年代）、富士山のマグマ組成の特徴を把握するための噴出物の化学組成分析（全岩化学組成分析、LA-ICP-MS分析）、および既存文献をもとにした噴出物データベースの作成が行われた。これらの結果、年代未詳であった溶岩流・火砕流堆積物やテフラ層の年代、宝永山の形成過程が明らかになるとともに、湖底堆積物を用いた年代測定手法が確立された。

2. 10 火山活発化指数VUIを用いた客観的火山評価の試行

複数火山において観測によるモニタリングを継続するとともに、定期的に研究集会を行って、観測研究成果を共有してきた。それにより火山活発化指数（VUI）の試験的導入の取り組みが進んだ。とくに十勝岳、阿蘇山、吾妻山、草津白根山、雌阿寒岳についてVUI基準の試作を通じて、ノウハウの蓄積が進んだことにより、作成手順の標準化作業が進んだ。これによって、他の火山へのVUIの導入を円滑に進めることが可能となった。VUIの利点として、観測データのみに基づくため客観性が高いこと、そして多項目データを統合するため特定の観測項目に評価が偏重しないこと、単純な論理であるため基準を定義することで自動化が容易であることが挙げられる。この特徴は火山活動の確率的評価・予測に取り組む際に有用であると言える。

2. 11 多項目観測データと物質科学的データからの火山活動推移モデル化と事象分岐判断

多項目観測データの解析結果や物質科学的データの分析結果を整理して、火山活動推移のモデル化や噴火事象系統樹の分岐判断指標の作成や、分岐判断にとって重要な事象の解析を進めた。地震、地殻変動、磁場変動、熱などのデータを用い、吾妻山と十勝岳の浅部の力学源の時空間分布に基づく火山活動の理解とモデル化、マグマ挙動の理解に基づく噴火に前駆する地震や地盤変動の理解、および噴火発生との関係の評価を行った。また、火口湖の熱・物質収支モデルの構築、噴出物の全岩化学組成や斑晶量などの物質化学的データおよび噴出物量や岩脈分布などのデータから噴火様式や推移の特徴抽出を行った。さらに、多孔媒質の熱流体モデルの数値計算から、複数のシナリオにおける地球物理学的観測量の時空間変化を求め、火山活動推移モデルの検討を行った。

2. 12 火山活動推移の事象分岐理解のための桜島火山における噴火過程、および脱ガスが卓越する南岳噴火活動と昭和火口再噴火の前駆現象の解明

過去の地震火山観測研究計画によって行われた人工地震探査によって得られた地震波

速度構造を用い、初動解析および波形インバージョンによって爆発地震の震源再決定が行われた。その結果、爆発的噴火の励起源が火口底から数100 mといった従前の研究よりもかなり浅部に推定された。また、桜島の爆発的噴火に伴う地震、空振、傾斜データの解析から、爆発的噴火の励起源は南岳A火口、B火口および昭和火口のそれぞれの火口底直下にあることと、マグマ供給源は共通して南岳A火口直下にあることが明らかになった。また、ミュオグラフィ観測から噴火頻度が高い火口直下では密度が高くなることが明らかになった。これらの結果から、精度の高い地下構造の情報を加味することで、噴火活動や噴火過程の理解が格段に進むことがわかった。一方、空気振動を用いることで災害誘因である火山岩塊の最大到達距離を評価できる可能性を見出した。これは、災害誘因予測に寄与し、噴火災害の軽減に繋がる成果と言える。

2017年秋から現在までの南岳山頂火口の噴火活動期においては、二酸化硫黄放出率が高く、火山灰降下量が2015年前半までの昭和火口噴火期に比べて少ないという特徴がある。現在の南岳噴火活動期において桜島中央部の沈降が見出された。また、この期間において、桜島における重力増加が継続していることが明らかになった。始良カルデラおよび桜島の起震応力場には時間変化がみられず、GNSS観測結果から始良カルデラのマグマ蓄積の増加率はほぼ一定である。そして、桜島直下の圧力源は減圧傾向にあり、その一方で質量増加していることから、噴火活動においては脱ガスの卓越が継続していることが明らかになった。全体として、桜島の噴火活動は低調で、安定したマグマ供給、深部マグマ停滞と脱ガスが卓越する一方で、間欠的なマグマ上昇があったと推察される。また、2023年2月から8月の昭和火口の噴火活動に前駆した2023年1月からの火口からの活発な噴気活動と顕著な火山性微動は、火道浅部への新しいマグマ上昇とガスだまりの形成と振動を示唆し、噴火開始後に微動が消滅したことからガスだまりが破壊されたと解釈されるなど、噴火事象分岐の理解が進んだ。このことから火山活動推移モデルの構築と予測に対する重要な知見が得られたと言えよう。

2. 13 堆積物に基づく噴火物理化学パラメータ推定手法の高度化と事象分岐判断への活用

霧島火山群 2017-2018 年噴火について、噴火時の調査・観察と火山灰の全岩化学組成分析、軽石の物性および組織分析にもとづき、表面現象や噴火様式推移の詳細が明らかになった。この研究は噴出物組織の迅速な解析の重要性を示すとともに、安山岩質マグマの噴火様式多様性の原因の理解に貢献した。また、霧島火山の噴火推移パターンの抽出、近年と歴史時代の観測・観察事例の整理、マグマ供給系のモデル化が行われ、火山活動推移モデルが作成された。浅間、阿蘇、諏訪之瀬島、榛名、硫黄島等においては代表的な噴火の噴出物の構成物、組成、組織の時系列変化を明らかにする研究が進められた。浅間山の2019年極小規模噴火では、降灰調査、噴出量推定、火山灰構成物解析に基づく噴火様式の推定が課題参加機関で協力して実施された。2021年阿蘇中岳噴火の際の降灰調査では、火山データ共有システムであるJVDNを活用した複数機関による連携調査がはじめて実施され、降灰分布や噴出量の迅速な推定が行われた。即時的な噴火現象の把握及び調査の実践として、西之島2019-2020年噴火の噴出物採取や地形データの取得が関係機関の協力により実施された。アクセス困難な地域の試料採取や地形調査の迅速な実施

においてドローンの活用が有効であることが示された。福德岡ノ場 2021 年噴火については、遠隔観測・観察を活用した噴火様式や推移の把握、定常一次元モデルを用いた噴出率等の噴火パラメータ推定、化学分析にもとづくマグマの特徴把握や SO_2 収支推定などが行われ、噴火の全体像と浅海でのマグマと海水との相互作用のプロセスが明らかになった。

〔2〕令和 5 年度の成果

1. 地震・火山現象の解明のための研究

（1）地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析

ウ. 地質データ等の収集・集成と分析

長期間における火山現象とそれに伴う災害を正確に把握するためには、地質データ等を収集して調査・分析を行い、データベースを整備・拡充することが重要である。そこで、マグマの性質と噴火の爆発性の関連性を調べるために、富士火山の溶岩およびスコリアを対象として、かんらん石斑晶と斜長石斑晶とメルトとの平衡からマグマの温度と含水量を算出し噴火様式との関連を調べた（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_02]）。その結果、噴火前のマグマ含水量が高い方が爆発的な噴火となる傾向が見えた。 t 検定では溶岩噴火がスコリア噴火に比べて噴火前のメルトが低含水量という仮説が支持された。さらに、噴出物組成や噴出量、噴火間隔の時間発展についてマグマ供給系モデルをもとにして検討した結果、マグマ溜まりの実効的な大きさについて制約が得られたほか、実際の噴火で噴出量が 2-3 桁に渡り変化していることを説明するためには、マグマが上昇途中で固化し噴出できない場合や、マグマ溜まりの粘弾性変形によるマグマと周辺物質の密度差の浮力への変換によりマグマの上昇力が維持される場合を考慮する必要があることが示唆された（図 1，東京大学地震研究所[課題番号：ERI_02]）。約 7,600 年前の摩周カルデラ形成期の降下軽石と火砕流堆積物中の軽石を対象に $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ を検討した結果、火砕流の軽石の $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ 比は降下軽石のそれと比較して低い傾向があることを見出した。そして、 $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ 比の変化は噴火時の噴煙の温度を反映し、火砕流堆積物中の軽石の $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ 比は火砕流発生時の噴煙の温度低下を記録している可能性があることを指摘した（公募研究[課題番号：KOB021]）。本白根火砕丘群、逢ノ峰火砕丘群、白根火砕丘群のマグマ噴火噴出物の層序確立、各マグマ噴火噴出物の年代測定、QGIS を用いた噴出量推定に基づく各火砕丘群の積算マグマ噴出量階段図作成を行った（図 2，富山大学[課題番号：TYM_01]，石崎・他，2023）。これにより各火砕丘群のマグマ噴火ポテンシャルの評価が可能となった。草津白根火山全体を見ると、約 5,000 年前の殺生溶岩の噴火後は活動が低調化したこと、約 2,000 年前には白根火砕丘群と本白根火砕丘群が相次いでマグマ噴火を起こしたこと、約 1,200 年前には本白根火砕丘群と逢ノ峰火砕丘群が相次いでマグマ噴火を起こしたことが明らかになるなど、火砕丘群間でマグマ噴火の連動があったことを窺わせる知見が得られた。将来噴火する可能性の高い活火山の中長期的活動評価と予測のため、活動的火山の地質図作成を進めた（産業技術総合研究所[課題番号：AIST03]）。秋田焼山・御嶽山・雌阿寒岳の火山地質図の取りまとめを進め、秋田焼山については完新世噴火史を論文として公表した（産業技術総合研究所[課題番号：AIST03]，南・他，2023）。伊豆大島では沿岸部水深 400 m 程度までをカバーする陸海シームレス赤

色立体地図を作成し、火口位置と噴火履歴を盛り込んだ噴火口図を作成した。また、阿蘇カルデラ阿蘇4火砕流堆積物分布図、阿蘇カルデラ阿蘇3火砕流堆積物分布図を整備した(星住・他, 2023)。日本列島の火山の地質情報を最新の知見に基づいて収集・整理し、日本の火山データベースを更新・拡充した(産業技術総合研究所[課題番号:AIST03])。

(2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明

低頻度で大規模な火山噴火現象の発生履歴、規模等を解明するためには、史料・考古データ、地質データ等の分析を着実に進める必要がある。そこで、浅間山16 ka大規模珪長質噴火の一連の活動のうち、2つのプリニー式噴火(YP, YPk)の噴火推移やマグマ溜まり条件を明らかにした(東京大学地震研究所[課題番号:ERI_03])。火砕物の粒径変化と異質岩片量変化の関係からは、YP噴火では火道壁の破壊と共に噴火強度が減少した一方、YPk噴火では火道径を拡大しながら噴火強度が増していった可能性が示された。

霧島火山群については、新燃岳、御鉢、えびの高原硫黄山、御池の起源マグマの共通性を明らかにするために、全岩主要、微量元素、Sr-Nd-Pb同位体比組成分析を行った。その結果、前三者は同位体3元素それぞれについてほぼ同様の組成比を有することから共通の起源物質に由来すること、御池は異なり、地殻物質の混染の影響を強く受けた起源物質に由来することなどを明らかにした(東京大学地震研究所[課題番号:ERI_03])。

十和田カルデラ噴出物の基礎分析およびU-Th放射非平衡分析と、桜島完新世噴出物の試料採取および基礎分析を実施した(北海道大学[課題番号:HKD_02])。その結果、十和田火山Episode QからAでは時代とともに $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比が上昇および $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 比などが減少する傾向が見られ、Episode L(カルデラ噴火)直後のEpisode KからFにかけてはその傾向が乱れることが確認された。このことから、カルデラ噴火によりマグマ系がリセットされ、5千年ほどの時間をかけてマグマ系の再構築が行われていたことが示唆された。桜島北岳と南岳の噴出物については、主要元素・微量元素組成のみならずSr-Nd-Pb同位体比でも両者が明瞭に区別されることが明らかとなった。鬼界カルデラにおいて、複数回の研究航海により取得した地球物理学的観測データの解析と、掘削とピストンコア、ドレッジおよび陸上で採取された試料の岩石学的、地球化学的・地質学的解析を進めた(神戸大学[課題番号:KOBEO1])。観測データの解析より、鬼界カルデラ下深さ10-20 kmに低速度領域が存在することなど地殻・マントル構造を推定した。反射法地震探査のデータ解析と試料分析により鬼界アカホヤ噴火の噴出物と認定した堆積層の厚さ変化を明らかにし、堆積物量や火砕流の流動堆積過程について議論した(神戸大学[課題番号:KOBEO1], Shimizu et al., 2024)。堆積物・岩石試料について、微量元素や揮発性成分など物質科学的分析を進めることで、鬼界アカホヤ噴火とその後に活動した溶岩ドームのマグマ供給系の変遷過程について考察した。また、大規模火砕流堆積物については、化学組成分析、古地磁気測定による定置温度の推定などを進め、海面および海底を流動する火砕流の運搬堆積様式および冷却過程について検討を行った。

(4) 火山現象の解明とモデル化

ア. 火山現象の定量化と解明

多様な火山現象を理解するためには、多項目の観測を行い、進行する火山現象を時空

間的に定量化するとともに、火山噴出物の分析、マグマの物理・化学的な実験および数値モデルによる理論解析を行う必要がある。霧島火山の地震・空振観測データから、衛星を含めた多項目データと先行結果とあわせて新燃岳と硫黄山の活動を検討したところ、2017年噴火の半年前から新燃岳火口近傍にて発生する振幅が小さく常時発生しているバックグラウンド微動の振幅に加速的増大がみられ、硫黄山の噴火活動との連動が見出された。また、新燃岳の2018年噴火に前駆してバックグラウンド微動の振幅の加速的増大が見られ、微動源の移動ののち、2018年4月の硫黄山噴火が発生した（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_07]，Ichihara et al., 2023）。微動の震源の移動や振幅の加速的増大が噴火に先行して見られたことから、微動の活動把握が噴火発生予測に有用であることを示している。調和的な火山性微動の発生モデルによる震源時間関数とグリーン関数をたたみ込み積分することで、箱根火山の深部低周波微動の観測波形を説明することに成功した（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_07]，Ozaki et al., 2023）。桜島の爆発的噴火に伴う地震・空振・傾斜の解析と噴出物の物質科学分析の結果、および火道流モデルにもとづく数値計算結果から、爆発的噴火は火口底から下0.5-1 km付近の数十mの領域における増圧によって開始され、噴出時に南岳A火口直下が減圧し、大きな噴火の場合は減圧が深さ数kmにまでおよぶことが明らかになった（東北大学理学研究科[課題番号：THK_03]，Nishimura et al., 2024）。

海底火山活動中に発生する顕著な現象の一つに、変色海水がある。岩石-酸性化海水反応実験を行い組成変化と火山活動との関係を考察し、火山活動の活発化に伴って生成される熱水はFeの割合が高く、沈静化に伴ってFeとAlの割合が低くなり、Siの割合の高い熱水が生成されることがわかった（東京工業大学[課題番号：TIT_01]）。

弥陀ヶ原火山の地獄谷にて水準測量を毎年行い、2020年以降の地盤隆起を水平開口割れ目で説明することができた（富山大学[課題番号：TYM_02]，堀田・他，2023）。

イ. マグマ溜まりと火道内過程のモデル化

噴火事象の分岐は、火道上昇中のマグマの発泡・脱ガス現象の起こり方の違いに起因すると考えられる。溶岩ドームの爆発が起こるためには、溶岩ドーム内でのガスによる過剰圧の増加が必要であり、それを引き起こす原因として溶岩ドーム内のマグマで多孔質組織が形成されることが知られている。再現実験により、多孔質組織が、ソリダス近傍の水飽和条件下において4日から8日で形成されることが明らかになった（東北大学理学研究科[課題番号：THK_04]，Sakurai et al., 2024）。

（５）地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ウ. 火山噴火を支配するマグマ供給系・熱水系の構造解明

火山地域において、地震波速度・減衰構造や比抵抗構造等を明らかにすることで、火山活動を支配する場のモデル化を進める必要がある。地震波形の相関解析から御嶽山の山頂から深さ5 km付近までの地震波速度構造と反射面を推定し、マグマ溜まり上面や低透水層の境界面に対応する反射面が見出され、震源分布との対応から火山性流体や熱輸送に関する描像が得られた（東北大学理学研究科[課題番号：THK_08]，Maeda and Watanabe, 2023）。鹿児島湾奥に存在する海底火山である若尊カルデラにおいて、定期的

にヘリウム観測を行い、熱水性ヘリウムのフラックスの推定を行ったところ、2015年の桜島の火山活動活発化の時期において若尊カルデラの活動度が変化していなかったことを明らかにした（東京大学大気海洋研究所[課題番号：AORI02]，公募研究[課題番号：KOB032]，Nakajima et al.，2024）。稠密MT観測から2018年に噴火した本白根火砕丘の浅部には白根火砕丘のような釣鐘状cap rockが発達していないことが明らかとなった（東京工業大学[課題番号：TIT_03]，Honda et al.，2023）。2018年本白根山噴火に伴う地震波解析から鉛直開口クラックの上の浅部にシル状の圧力変動源が求まった。このことは、開口クラックを通じて上昇してきた流体の一時的な停留を示唆していることが分かった（東京工業大学[課題番号：TIT_03]，Yamada et al.，2023）。鬼界カルデラ周辺にて行われた反射法地震探査のデータ解析と研究航海にて採取された火砕物堆積物や岩石試料の分析によって、鬼界アカホヤ噴火の噴出物であると認定した堆積層の厚さの変化が、噴出の給源からの積算面積に対して指数関数的に減少すること、そしてその減少の係数が極めて小さいことが明らかになった（神戸大学[課題番号：KOB01]，Shimizu et al.，2024）。また、この研究は、火砕物が希薄な密度流を形成して拡散したこと、巨大噴火により発生した火砕流が、水深が十分ある海中に入ると、水中では希薄な密度流を形成して拡散していくことを初めて明らかにした（神戸大学[課題番号：KOB01]，Shimizu et al.，2024）。

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

（4）中長期的な火山活動の評価

ア. 火山噴火の長期活動の評価

火山噴火の長期活動については、火山ごとに噴火の特徴と履歴を明らかにするとともに、年代測定精度の向上や階段ダイアグラムの高精度化、物質科学的解析に基づいて評価を行う必要がある。そこで、富士山のマグマ全体の化学的な特徴を把握するために、文献などから計1,417の噴出物の全岩主要元素組成を収集し、このデータセットに対しk-平均法クラスターリング解析（KCA）および主成分分析（PCA）を行った（山梨県富士山科学研究所[課題番号：MFRI_01]）。PCAの結果からは、4つの主成分で全体の95%以上を、6つの主成分で全体の98%以上を説明できることが判明した。第1主成分はマグマの分化過程あるいはマグマ溜まりの違いを反映し、第2主成分は活動期ごとのマグマの系統的な組成変化・違いを反映している。また、詳細なテフラ層序を確立するため、富士山の北麓から東麓で地表露頭調査およびトレンチ調査を実施し、山中湖の堆積物コア試料も活用して地層対比を行った結果、北東麓には指標テフラであるZuとHoの間に比較的規模の大きなテフラ層が6枚あることが明らかとなり、これらの噴火年代の推定も行った（山梨県富士山科学研究所[課題番号：MFRI_01]）。伊豆大島、浅間山、霧島山において、過去数100年の噴火を対象とした噴出物の地質調査を行い、テフラ層の区分や特徴の明確化と、岩石鉱物化学組成・組織など物質科学的情報の収集を進めた（東京大学地震研究所 [課題番号：ERI_03]）。伊豆大島では、歴史時代大規模噴火の噴出物の物性、化学組成、組織分析を行い、大規模噴火に共通する性質および、噴火推移やマグマ溜り条件に制約を与える研究を進めた。とくにY1噴火については噴火様式と噴火推移、マグマの関係を明らかにした成果を論文として出版した（東京大学地震研究所 [課題番号：ERI_03]，

Ikenaga et al., 2023)。高分解能で噴火履歴を解明し、中長期的活動評価と予測を行うために、御嶽火山・秋田焼山等の岩石試料を対象とした感度法K-Ar及びAr/Ar年代測定を実施し、10万年前より若い火山噴出物の噴火年代を明らかにした（産業技術総合研究所[課題番号：AIST03]）。

イ. モニタリングによる火山活動の評価

火山活動の数ヶ月から数年の中期的な時間スケールについては、多項目の地球物理学的・地球化学的なモニタリングにより火山の状態を把握することで、火山現象と噴火の関係を定量的に明らかにする必要がある。人工衛星と地上トラバースによって十勝岳の二酸化硫黄放出率の観測を行った。そして、冬期における1,000トン/日を超える高い放出率の原因を検討した結果、風速の過剰見積りに起因する誤差、積雪時の反射率が適切に考慮されていないことによる誤差、積雪と雲の誤認に起因する誤差にて冬期放出率の過剰な見積りの大半を説明できることが分かり、これらの誤差に対する補正をすることで、冬期においても高頻度かつ高確度の二酸化硫黄放出率データを得ることができるようになった（図4，北海道大学[課題番号：HKD_04]，東京大学理学系研究科[課題番号：UTS_06]，Yamaguchi et al., 2023）。

雌阿寒岳，十勝岳，樽前山，倶多楽，有珠山および北海道駒ヶ岳において、地球化学的・地球物理学的モニタリングを継続して行ったが、明らかな活動の活発化を示唆する変化は確認されなかった。また、雌阿寒岳の温泉・噴気観測の結果から熱水系の概念モデルを構築した（北海道立総合研究機構[課題番号：HR0_01]，Takahashi et al., 2023）。

（5）火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測

噴火事象系統樹をさらに発展させ、火山噴火に先行する現象、噴火発生、噴火規模や様式の時間変化、終息までを一連の現象として捉えた火山活動推移モデルを構築する必要がある。そこで、観測データの解析結果や物質科学的データの分析結果を整理して、火山活動推移のモデル化や噴火事象系統樹の分岐判断指標の作成、分岐判断に重要な事象の解析を進めた（東北大学理学研究科[課題番号：THK_11]）。

例えば、十勝岳では浅部の地殻変動源の膨張収縮とマグマからの熱および物質供給の関係を、阿蘇山では噴火前駆地震と噴火様式および規模との関係を議論し、吾妻山では長周期地震からの深部からの流体収支推定が行われた（東北大学理学研究科[課題番号：THK_11]）。さらに、御嶽山や草津白根山については数値モデリングによって、それぞれ高圧流体による火山構造的な地震活動活発化や、湖底熱活動の評価が行われた（東北大学理学研究科[課題番号：THK_11]）。また、日本国内外の噴火に関連する火山活動の推移について、1）噴火前駆過程において地殻変動のみが起こる非破壊性マグマ貫入から、火山構造的な地震を伴う破壊性マグマ貫入への移行、2）マグマ貫入速度と噴火の爆発力が比例、3）古い噴出物を排出して新鮮なマグマを放出、4）マグマ噴火は揮発性成分が卓越する噴火から脱ガスしたマグマ物質が卓越する噴火へ移行するという4段階からなる基本的なモデルを提示した（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI06]）。

桜島において地震、地殻変動などの連続観測と、海底地震観測、水準測量、重力測定などのキャンペーン観測を実施した（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI07]）。2023年2

月には約5年ぶりに桜島昭和火口で噴火が再開したが、噴火に前駆して噴気が増加し、火山性微動の活動が活発化した。地震計アレイ解析の結果、火山性微動は実体波もしくは表面波からなり、時間的に変化しない火口下の極浅部を震源としていたことが分かった。火山性微動は昭和火口の噴火発生によって消滅したことおよび、振動のピーク周波数と周波数半値幅の時間変化から、火山性微動の震源域と想定される火口直下にあったガスポケットが噴火によって破壊されたと推察した（図5，京都大学防災研究所[課題番号:DPRI07]）。

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

（2）地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

ウ. 火山噴出物による災害誘因の即時予測手法

噴火発生直後に火山噴出物などの災害誘因を高精度かつ即時的に予測する手法を開発することは重要である。そこで、堆積物解析手法の高度化と、噴出物時系列解析・分析手法の高度化を目指し、霧島、阿蘇、諏訪之瀬島、榛名、硫黄島、福岡ノ場等の活動的火山で研究を進めた（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_17]）。

霧島新燃岳については、2017-2018年噴火の表面現象・噴火様式推移を、噴火時の調査観察（踏査およびドローン）と火山灰の全岩化学組成分析、軽石の物性および組織分析にもとづき詳細を明らかにした。その結果、観測された噴火様式とその変遷は、山頂火口直下の地質構造とマグマ上昇速度の影響を強く受けたこと、爆発と溶岩ドーム形成を同時に発生するハイブリッド噴火により、2011年噴火には認められない高結晶度の軽石が生じたことなどがわかった。高結晶度の軽石は、準プリニー式噴火には至らない程度のゆっくりとしたマグマ上昇速度を反映した噴出物と考えられ、ハイブリッド噴火特有の噴出物の可能性がある。この研究は、噴出物組織の迅速な解析の重要性を示すとともに、安山岩質マグマの噴火様式多様性の原因について理解を進めることに貢献する（Maeno et al., 2023）。さらに霧島火山群全体については、完新世の噴火履歴を整理するとともに、一回の噴火の規模や噴火様式の変化の共通性等を考慮し、噴火推移パターンを7タイプに分類した。そして、この噴火推移パターンと近年や歴史時代の観測・観察事例、マグマ供給系モデルにもとづき、霧島火山群全体に対する火山活動推移モデルを作成した。また、各噴火事象の発生頻度をもとに分岐確率についての評価も行った（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_17]）。

5. 研究を推進するための体制の整備

（1）推進体制の整備

火山災害の軽減するためには、火山活動の推移を把握し、必要に応じて発生しうる火山災害への対策を講じる必要がある。新たな体制となった火山噴火予知連絡会において、2023年7月と2024年2月に定例会が開催され、全国の火山活動の状況について取りまとめられた（気象庁[課題番号：JMA_08]）。また、口永良部島では、約200年噴火が発生していない古岳火口で火山活動が活発化したことを受けて、火山活動評価検討会の地域会合を開催し、火山活動の総合的判断を行った（気象庁[課題番号：JMA_08]）。この会合は火山噴火予知連絡会の新たな体制において初めての地域会合である。さらに、火山調

査研究検討会設立に向けた準備会では、火山噴火に伴うハザードの評価も行う噴火災害特別委員会について、緊急時に機能するための方策を検討した（気象庁[課題番号：JMA_08]）。

（３）研究基盤の開発・整備

火山現象の解明と予測のための研究を進め、災害関連情報の迅速な発信や、火山活動評価の高度化をするためには、観測基盤を維持・整備するとともに、必要に応じて観測体制の強化をする必要がある。全国50火山を対象に地震計、空振計、GNSS、監視カメラ等による連続監視観測を継続した（気象庁[課題番号：JMA_12, JMA_15]）。全国の活火山についてGNSS繰り返し観測、熱観測等の調査的な機動観測を計画的に実施した（気象庁[課題番号：JMA_12, JMA_15]）。阿蘇山や桜島等のガス放出が継続している火山において、二酸化硫黄ガス放出率観測を繰り返し実施し、倶多楽、吾妻山、弥陀ヶ原、口永良部島にてドローンによる可視・熱赤外観測を実施し、火山活動評価に活用した（気象庁[課題番号：JMA_12]）。観測結果については噴火警報、火山の状況に関する解説情報、火山活動解説資料や気象庁ホームページなどにて公表した（気象庁[課題番号：JMA_12, JMA_15]）。光計測技術を用いた重力計と地震計の開発を引き続き実施した。重力計については落下装置の改良を行い、地震計については観測坑道にて性能評価を行い、遠地地震等を観測できる性能を有することを確認した（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_20]）。桜島の南岳火口と昭和火口の両方についてミュオグラフィ観測データを解析し、噴火活動のある火口と火口底下の密度に相関を見出し、南岳火口の噴火時期に南岳火口下の密度が高く、昭和火口の噴火時期に昭和火口下の密度が高いことが明らかになった（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_21]）。航空機による南方諸島および南西諸島における海域火山の定期巡回監視観測を実施した（海上保安庁[課題番号：JCG_04]）。西之島と硫黄島については監視体制を強化し、月1回程度の監視観測を実施した。鳥島近海については、測量船による海域火山基礎情報調査を2024年1月に実施した（海上保安庁[課題番号：JCG_04]）。

これまでの課題と今後の展望

この5ヶ年の観測研究計画において、前述の通りいくつかの重要な成果が得られた。その中には、今後の研究に繋がる芽がいくつかある。例えば、非爆発的噴火から爆発的噴火への遷移について溶岩ドームにおける爆発的噴火を支配する指標が得られる可能性がある。VUIの複数の火山への適用に代表されるように、火山活動の定量的評価に関する試みが行われた。火山活動の定量的評価における様々な課題を解決しつつ、火山活動の定量的評価を進め、火山活動推移モデルに基づく予測の試行と検証が次期研究計画において遂行されることを期待する。予測の試行と検証においては、火山体構造推定によって得られた火山現象発生場の理解を進めると同時に、比較的単純なマグマ供給系モデルで噴出量と噴出物組成の時間変化の検討を進めるという方向性がでてきた。噴火活動推移のモデル化をさらに進めることによって、火山災害の推移を事前に検討することができるようになる。これらの課題に対して着実に成果を出すことにより、次期研究計画がより噴火災害の軽減に貢献するものとなる。

成果リスト

- Conway, C.E., L. R. Pure and O. Ishizuka, 2023, An assessment of potential causal links between deglaciation and eruption rates at arc volcanoes, *Front. Earth Sci.*, 11, 1082342, doi:10.3389/feart.2023.1082342.
- Honda, A., Kanda, W., Koyama, T., Takakura, S., Matsunaga, Y., Nishizawa, T. and Ikezawa, S., 2023, Shallow resistivity structure around the 2018 craters of Mt. Motoshirane of Kusatsu-Shirane Volcano, Japan, revealed by audio-frequency magnetotellurics, *Earth Planets Space*, 75, 43, doi:10.1186/s40623-023-01799-3.
- 星住英夫・宝田晋治・宮縁育夫・宮城磯治・山崎 雅・金田泰明・下司信夫, 2023, 阿蘇カルデラ 阿蘇4火砕流堆積物分布図. 大規模火砕流分布図, 産総研地質調査総合センター, no., 3.
- 堀田耕平・高橋秀徳・本田裕也・剣持拓未, 2023, 水準測量から明らかになった立山火山地獄谷の再隆起—2020年9月～2021年9月—, *火山*, 68, 2, doi:10.18940/kazan.68.2_83.
- Ichihara, M., Kobayashi, T., Maeno, F. et al., 2023, The sequence of the 2017-2018 eruptions and seismo-acoustic activity at Kirishima volcano group, *Earth Planets Space*, 75, 144, doi:10.1186/s40623-023-01883-8.
- Ikenaga, Y., F. Maeno and A. Yasuda, 2023, Temporal change in eruption style during the basaltic explosive An'ei eruption of the Izu-Oshima volcano, Japan: insights from stratigraphy and chemical composition analyses, *Front. Earth Sci.*, 11, 172615, doi:10.3389/feart.2023.1172615.
- 石崎泰男・沼田和佳子・亀谷伸子, 2023, 草津白根火山のマグマ噴出量階段図, 防災科学技術研究所研究報告, 500, 61-69.
- Kuritani, T., 2023, Geochemical constraints on the evolution of the magmatic system leading to catastrophic eruptions at Aira Caldera, Japan, *Lithos*, 450-451, 107208, doi:10.1016/j.lithos.2023.107208.
- Maeda, Y. and Watanabe, T., 2023, Seismic structure and its implication on the hydrothermal system beneath Mt. Ontake, central Japan, *Earth Planets Space*, 75, 115, doi:10.1186/s40623-023-01870-z.
- 前野 深・池永有弥, 2023, 伊豆大島のマグマ噴出量階段図, 防災科学技術研究所研究資料, 500, 71-77.
- Maeno, F., S. Shohata, Y. Suzuki, N. Hakanishi, A. Yasuda, Y. Ikenaga, T. Kaneko and S. Nakada, 2023, Eruption style transition during the 2017-2018 eruptive activity at the Shinmoedake volcano, Kirishima, Japan: surface phenomena and eruptive products, *Earth, Planets and Space*, 75, 76, doi:10.1186/s40623-023-01834-3.
- 南 裕介・伊藤順一・草野有紀・及川輝樹・大場 司, 2023, 秋田焼山火山における過去6000年間の爆発的活動による降下火砕物の層序, 年代, 化学的特徴. *火山*, 68, 39-57, doi:10.18940/kazan.68.2_39.
- Nakajima, M.T., Takahata, N., Obata, H., Kagoshima, T. and Sano, Y., 2024, An easier approach from helium isotope flux estimation in submerged caldera, *Geochemical J.*, doi:10.2343/geochemj.GJ24004.

- Nishihara A., Y. Tatsumi, K. Kaneko, J. Kimura, Q. Chang, N. Geshi, T. Miyazaki, B. V. aglarov, H. Hinata and K. Suzuki-Kamata, 2024, Voluminous magma formation for the 30-ka Aira caldera-forming eruption in SW Japan: contributions of crust-derived felsic and mafic magmas. *Front. Earth Sci.*, 11, 1283844, doi: 10.3389/feart.2023.1283844.
- Nishimura, T., Kozono, T., Matsumoto, A., Nakagawa, M., and Iguchi, M., 2024, Vulcanian eruptions at Sakurajima Volcano: geophysical data, numerical modeling, and petrological evidence, *Bull. Vol.*, 86, 27, doi:10.1007/s00445-024-01722-y.
- 及川輝樹・池上郁彦・渡部将太, 2023, 多量の漂流軽石を発生させる噴火-南西諸島における軽石の漂着記録とその給源火山の活動から. *火山*, 68, 171-187, doi:10.18940/kazan.68.3_171.
- Ozaki, T., Yukutake, Y., and Ichihara, M., 2023, Linking the flow-induced tremor model to the the seismological observation: application to the deep harmonic tremor at Hakone volcano, Japan, *Earth Planets Space*, 75, 111, doi:10.1186/s40623-023-01865-w.
- Sakurai, R., Nakamura, M., Okumura, S., Mujin, M. and Nakatani, T., 2024, Vapor-phase crystallization from a hydrous silicate melt: an experimental simulation of diktytaxitic texture, *Contrib. Mineral Petrol.*, 179, 23, doi:10.1007/s00410-024-03105-4.
- Shimizu, S., Nakaoka, R., Seama, N., Suzuki-Kamata, K., Kaneko, K., Kiyosugi, K., Iwamaru, H. Sano, M. Matsuno, T., Sugioka, H. and Tatsumi, Y., 2024, Submarine pyroclastic deposits from 7.3ka caldera-forming Kikai-Akahoya eruption, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 448, 108017, doi:10.1016/j.jvolgeores.2024.108017.
- Takahashi, R., Ogino, T., Ohmori, K. and Murayama, Y., 2023, Chemical and thermal changes in hot spring waters and fumarolic gases related to volcanic unrest at Meakandake volcano, Japan: Results of long-term geochemical monitoring from 1986 to 2022, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 443, 107934, doi:10.1016/j.jvolgeores.2023.107934.
- Yamada, T., Terada, A., Noguchi, R., Kanda, W., Ueda, H., Aoyama, H., Ohkura, T., Ogawa, Y. and Tanada, T., 2023, The onset, middle, and climax of precursory hydrothermal intrusion of the 2018 phreatic eruption at Kusatsu-Shirane volcano, *J. Geophys. Res Solid Earth*, 128, e2023JB026781, doi:10.1029/2023JB026781.
- Yamaguchi, K., Tanaka, R., Morita, M., Mori, T. and Kazahaya, R., 2023, Sulfur dioxide flux measurement at Mount Tokachi, Japan, with TROPospheric Monitoring Instrument, *Front. Earth Sci.*, 11, doi:10.3389/feart.2023.1145343.
- Yamamoto, S., Kametani, N., Yoshimoto, M., Miyairi, Y., Yokoyama, Y., 2023, Eruptive history of Mt. Fuji over the past 8000 years based on integrated records of lacustrine and terrestrial tephra sequences and radiocarbon dating, *Quaternary Science Advances*, 100091, doi:10.1016/j.qsa.2023.100091.
- 安田 敦, 2023, 推移予測にはどのような物質科学的データが必要か, 間に合うか, 防災科学技

術研究所研究資料，487，114-118.

安田 敦・亀谷伸子・嶋野岳人・吉本充宏・田島靖久，2023，類似したテフラを識別・対比する定量的な方法の数学的な取り扱いについて，月刊地球，45，55-64.

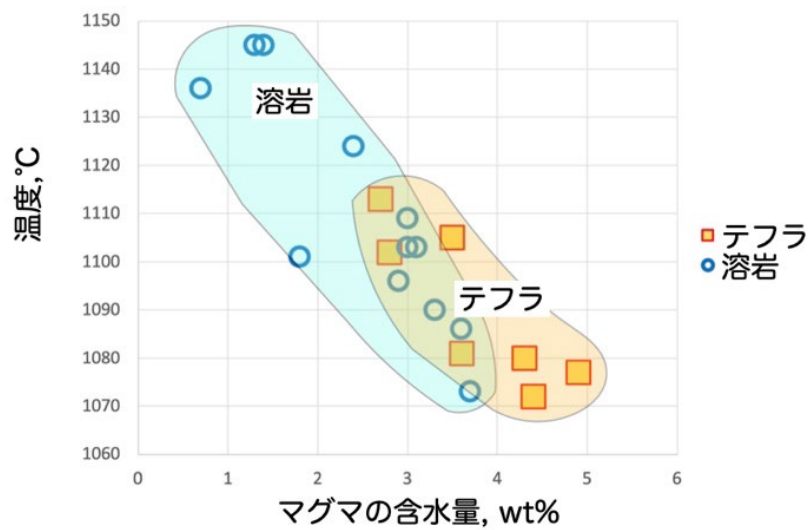


図1．富士山の溶岩試料とスコリア試料の含水量と温度（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_02]）
含水量が高いと爆発的な噴火をする傾向が見て取れるが、爆発的噴火と非爆発的噴火の範囲は重なっており、含水量と温度以外に噴火様式を制御する要因があることが示唆される。

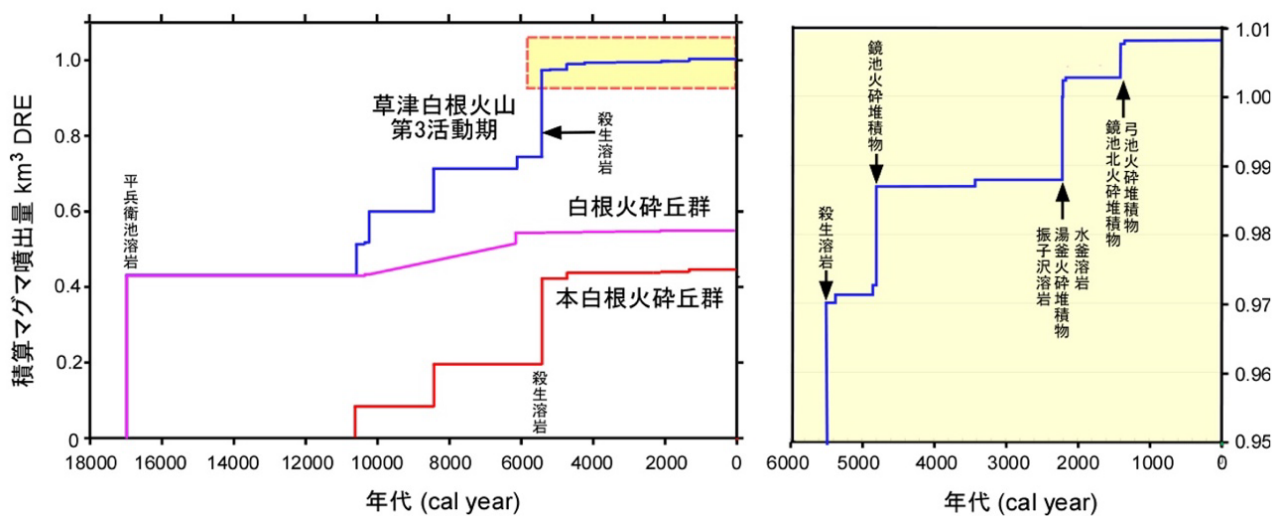


図2．草津白根火山のマグマ噴出量階段図（富山大学[課題番号：TYM_01]）
最近18,000年間の階段図（左）と最近6,000年間の階段図（右）。逢ノ峰火砕丘群の噴出量は白根火砕丘群と一括して示した。第3活動期とは平兵衛池溶岩の噴出から始まる草津白根火山の最新の活動期のことである。

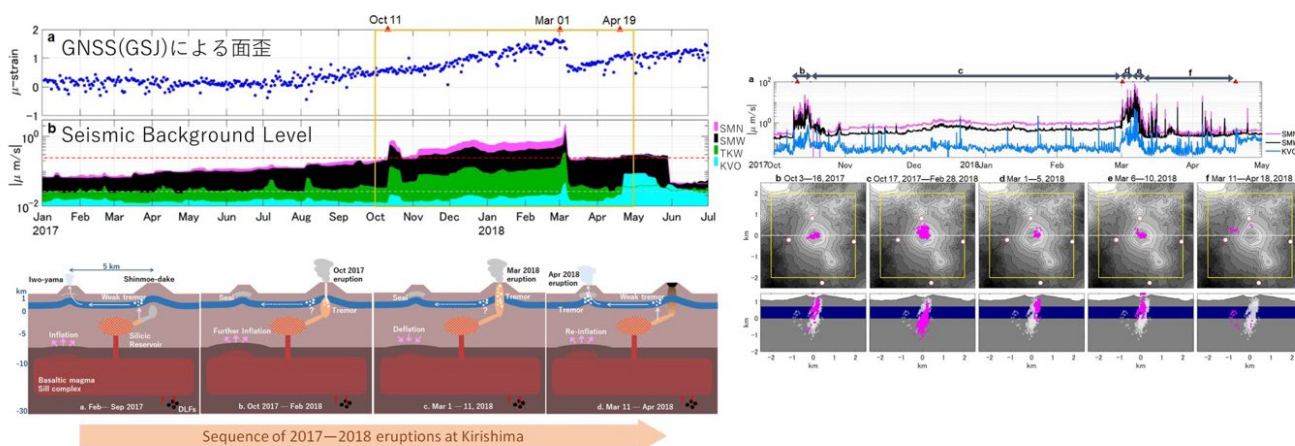


図 3．多項目データから見た霧島火山の2017年～2018年噴火の推移（東京大学地震研究所〔課題番号：ERI_07〕）

GNSSによる面積歪と霧島火山周辺の観測点におけるseismic background leve (SBL)の時間変化（左上）。新燃岳と硫黄山の膨張とSBLが連動していることを示す模式図（左下）。左上図の黄色で示す枠内の期間における連続微動の振幅（右上）。振動源の位置（赤丸）の推移と全期間における微動源の位置（白丸）（右下）。

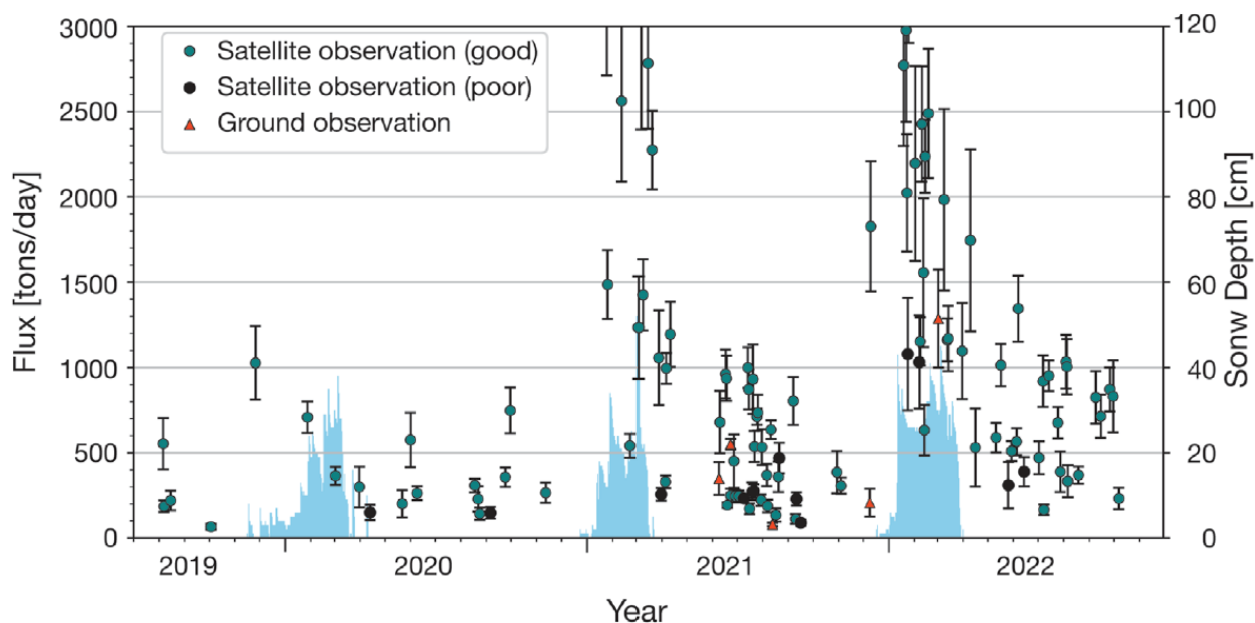


図 4．十勝岳の火口から放出された二酸化硫黄放出率の推移（北海道大学〔課題番号：HKD_04〕）人工衛星データ（OMI, TROPOMI）を利用することで、従来は夏季に限られた放出率データが通年で使えるようになった。背景の水色の棒グラフは積雪高を示す。

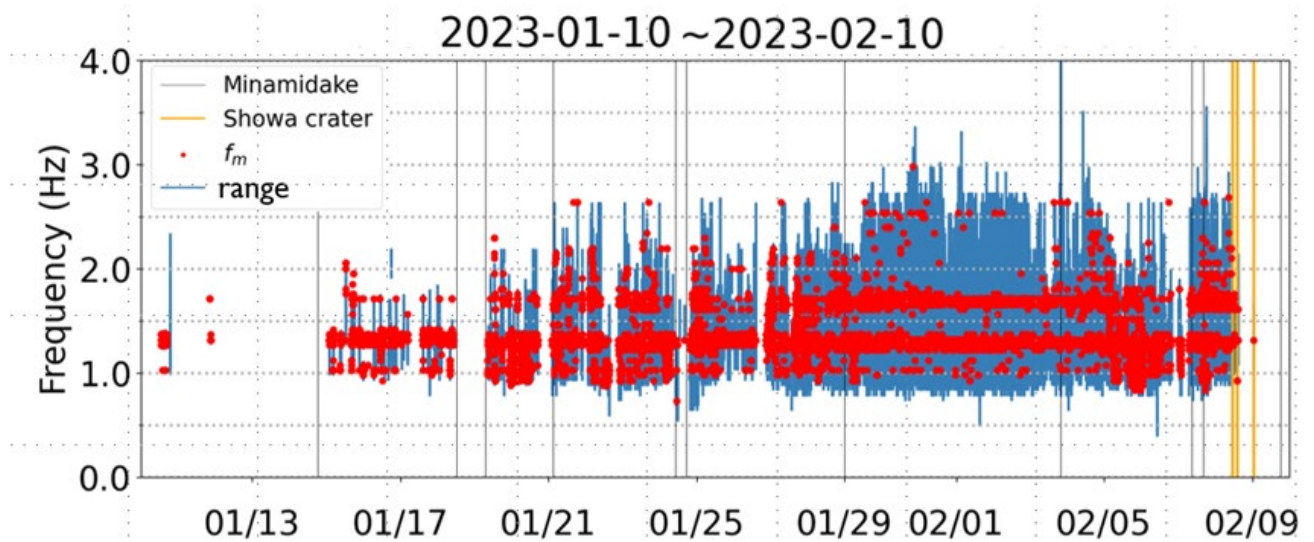


図 5．桜島の昭和火口噴火に前駆した火山性微動のピーク周波数と周波数半値幅の変化（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI07]）

赤丸がピーク周波数を示し，青の縦実線が周波数半値幅を示す。黒色とオレンジの縦実線はそれぞれ南岳山頂火口と昭和火口の噴火・爆発の時間を示す。