

2 (5) 大規模火山噴火

大規模火山噴火総合研究グループ長 中道治久
(京都大学防災研究所)

大規模火山噴火の想定に基づき広域避難計画が立案されつつある桜島及び富士山を主対象として、現象解明から避難や帰還に関わる課題までを視野に入れた総合的研究を行う。大規模火山噴火の予測に重要なマグマの移動と蓄積を捉えるため、各種の観測・調査に基づくマグマ供給系の理解を深化させるとともに、活動推移モデルの構築を進める。噴火規模の予測と噴火発生直後の噴出物の即時把握を軸とした災害誘因予測の研究を進展させる。大規模火山噴火時の観測手法・通信手段の開発、広域避難時の自治体間連携や、避難後の被災地への帰還や移住のための意思決定のあり方などの研究に取り組む。なお、本研究で対象とする大規模火山噴火は、VEIで4から5程度を想定している。

本総合研究グループには8の研究課題があり、上記の研究について以下の項目毎に研究課題の成果の概要を述べる。

1) マグマ供給系の理解と活動推移モデルの構築

マグマが地下に蓄積して、上昇し、噴火に至るまでの現象の理解を進めるとともに、それに伴って火山活動が推移していくパターンから活動推移モデルの構築が必要である。そのために、火山活動と噴火機構の解明とモデル化、また火山噴火を支配する地下構造の解明を行う必要がある。

桜島では2022年12月以降に振幅の大きな火山性微動の発生が継続し、2023年1月には昭和火口において噴気が増大した。そして、2023年2月から8月には南岳山頂火口および昭和火口の双方の噴火が発生した。このような噴火活動の分岐現象を理解するには、双方の火口の下におけるマグマの挙動の理解が欠かせない。そこで、昭和火口の噴火が始まる前のミュオグラフィデータの解析を行い、2023年2月の噴火前に昭和火口直下の火道内の密度の上昇を明らかにし、マグマが昭和火口近傍に上昇してきたと解釈した(東京大学地震研究所[課題番号:ERI_19], Oláh et al., 2024)。また、南岳山頂火口直下の密度が高い時には昭和火口直下の密度が低く、南岳山頂火口直下の密度が低い時には昭和火口直下の密度が高くなっていることも分かった(東京大学地震研究所[課題番号:ERI_19], Oláh et al., 2024)。

桜島の火山活動を評価するために各種観測データを整理した。2022年から2024年はそれ以前よりも火山構造成地震の頻度が増えていること、そしてGNSSおよび伸縮計の記録から、桜島へのマグマ供給の増加が示唆される。そして、2022年から2024年は南岳山頂火口の活動期であり、噴火回数および火山灰量ともに昭和火口噴火期(2009年~2016年)および2017年~2021年の南岳山頂火口噴火期より1桁少ないが、火山ガス量は同程度を維持していることから、マグマからのガス放出が卓越していることが分かった(京都大学防災研究所[課題番号:DPRI11])。

桜島において、多項目の定常的およびキャンペーンの観測を及びデータ解析を行った(京

都大学防災研究所[課題番号：DPRI11])。2014年以降に継続的に海底地震観測を行っており、震源とメカニズム解の精度の向上が確かめられた。また、2024年8月8日の日向灘地震(M7.1)直後に、若尊カルデラ域で群発地震が確認された。毎年秋に桜島で水準測量と重力測定を行っており、2007年頃から桜島中央部にて顕著な地盤沈降とともに重力増加が継続していることから、年間約 10^{10} kgの質量増加が推定された(京都大学防災研究所[課題番号：DPRI11], 八木・他, 2024, 風間・他, 2024)。また、噴火に前後する地盤変動と二酸化硫黄放出量の関係を精査することによって、噴火直前の単純な閉塞・ガス圧上昇モデルでは説明しきれず、深部からのガス供給や閉塞過程を含めた複雑なシステムの検討が必要であることが分かった(京都大学防災研究所[課題番号：DPRI11])。

マグマの蓄積、上昇そして噴火を理解するためには、マグマ溜まりから火口までにかけての地下構造の情報を知る必要がある。そこで、桜島島内35地点において広帯域MT観測を実施し、比抵抗構造を精緻に得るための高品質のデータを収集した(京都大学防災研究所[課題番号：DPRI11])。

大規模火山噴火を駆動するマグマの蓄積条件や上昇過程およびそれらと地表面象の対応関係に着目し、大規模噴火における噴火様式遷移の支配要因を明らかにする研究を進めている。浅間山天明噴火の噴出物の物性分析、組成分析、岩石組織の解析、そして石基ガラスの含水量の定量を行い、マグマ上昇過程と地表面象との対応関係を考察した。そして、火砕流由来の噴出物で気泡数密度や石基ガラス含水量が顕著に大きな値を示すこと、すなわちマグマの減圧率が増加し破砕深度が増加した可能性を示し、噴火様式遷移がマグマの減圧率(上昇速度)や脱水プロセスに強く影響を受けていることを見出した(東京大学地震研究所[課題番号：ERI_18])。

富士山の噴火事象系統樹を精緻化するために、詳細な噴火履歴およびマグマ供給系の描像が必要である。富士山において、テフラ層序を精緻化するために、馬伏川岩屑なだれ堆積物の調査から、堆積物の中にある多数の埋もれ木(木片を伴う空洞)の存在を明らかにし、方位分布から岩屑なだれの流下および定置における木片の集積プロセスを推定した(東京大学地震研究所[課題番号：ERI_18], 山梨県富士山科学研究所[課題番号：MFRI02])。

富士山の想定火口域は広域であるため、実際の噴火に前駆するマグマ貫入を検知することは重要である。そのため、多角的な地球物理学的観測を行っている。今年度は、超伝導重力計と絶対重力計の並行観測、相対重力計の検定観測、深部低周波地震の波形クラスタリング解析を実施した(東京大学地震研究所[課題番号：ERI_18], 山梨県富士山科学研究所[課題番号：MFRI03])。

2) 火山災害誘因ハザード評価手法の高度化

災害誘因となる火山噴出物の把握と予測を行うことは、火山噴出物による災害軽減に必須である。そこで、降下火砕物による土石流の把握手法の開発のために、2024年の梅雨期に桜島の野尻川と有村川においてDAS観測を実施し、土石流監視に用いられているワイヤーセンサーにて検知されるよりも多くの土石流を検知することに成功した(京都大学防災研究所[課題番号：DPRI11])。富士山を対象にして噴火口の即時特定のために空振アレイ観測を開始した(東京大学地震研究所[課題番号：ERI_18], 山梨県富士山科学研究所[課題番号：MFRI03])。

3) 火山災害誘因とリスク認識向上と避難意思決定あり方検討

1955年以降の桜島の噴火データにもとづいて、将来発生しうる大規模噴火シナリオを推測し、火山灰の輸送・拡散シミュレーションから、火山灰降下リスク評価を行った（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI11]，Rahadianto et al., 2024）。桜島火山観測所の一般公開参加者アンケート調査から火山観測施設が有する希少性と非日常性が参加者の興味を引きつけることを指摘した（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI11]，Nakamichi, 2024, Sakamoto and Nakamichi, 2024）。

4) 火山噴火災害に伴う大規模広域避難に関する研究

大規模火山噴火に伴う避難は必然的に大規模広域避難となることが予想される。そして、桜島や富士山では大規模広域避難に関する研究は喫緊の重要課題となっている。火山噴火時の大規模広域避難に関する意思決定に伴うジレンマについて、地域住民が主体的に学ぶことができるゲーム型の教材「クロスロード（富士山噴火版）」のパイロット版を作成し、富士山北麓地域の学校などで施行した（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI12]）。また、桜島の大規模噴火を想定しての大規模広域避難に関わる住民の意思決定を支援するためのガイドブックを、複数回実施してきた住民ワークショップの成果をもとにして作成し公開した（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI12]）。

大規模火山噴火が発生した時に、複数の自治体が連携して広域的な対応が求められる政策課題について、桜島大正噴火の文献調査により検討した（兵庫県立大学大学院減災復興政策研究科[課題番号：HYG_02]）。その結果、噴火中に発生した桜島地震（M7.1）と毒ガス発生デマ情報によって、鹿児島市街地でパニックが起これり約2万人が広域避難し、災害対応が困難な状況になったことが分かった。また、深刻な被害のため鹿児島県が中心となり国と近隣県との調整によって移住政策が進められたことが分かった。日本では近年は大規模噴火が発生していないため、海外の大規模噴火事例としてインドネシアのレウオトビ・ラキラキ火山噴火を事例として、関係省庁と自治体の連携による災害対応について聞き取り調査をした（兵庫県立大学大学院減災復興政策研究科[課題番号：HYG_02]）。そして、事前の防災計画に定められている機能別に関係機関が連携して対応し、災害対応情報はダッシュボードを活用して共有されていることが分かった。

火山噴火災害を軽減するには火山ハザードの理解とリスク認識が必要である。そこで、登山者のハザード理解とリスク認識を定量化するための標準的質問紙調査表を設計して、富士山の日本人と外国人の登山者を対象に質問紙調査をおこなった（山梨大学[課題番号：YAM_01]）。そして、火山情報を事前に確認していた登山者は日本人で14%、外国人で19%であり、噴火警戒レベルという用語を日本人の7割、外国人の5割が認知していたことが分かった。

5) 大規模火山噴火時の通信手段の開発

大規模火山噴火といった広域に影響のある災害時には、商用通信が途絶する可能性が高い。そこで、自前で災害時においても利用可能な通信手段を持つことは、大規模火山噴火時において観測を継続するためには欠かせない。今年度は、桜島において通信実験を行い、低軌道衛星通信（Starlink）および920MHz無線LAN（Wi-Fi HaLow）は大規模災害

時の通信・データ伝送手段として実用化できる可能性があることを確認した（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI11]）。

これまでの課題と今後の展望

今年度から開始された観測研究計画において、はじめて大規模火山噴火総合研究グループが結成された。これまで10年の観測研究計画では、前身の総合研究グループは桜島を主対象としていた。しかし、国内外の火山の大多数が大規模火山噴火が起こる可能性のある火山であり、大規模火山噴火の研究対象は桜島だけではない。一方、大規模火山噴火に対する観測研究や災害対応における課題の抽出には、具体的な対象火山を設定することは重要である。そのため、大規模火山噴火への対応が社会的に検討されている桜島と富士山を対象とすることに意義がある。桜島および富士山では主に研究を実施してきた研究機関や研究者が異なるだけでなく、大規模火山噴火で想定されている噴火のタイプおよび対応が異なっている。さらに言うと、活発に噴火が継続し、そして地下でのマグマの蓄積が継続している桜島と、特段の表面現象はなく、地下へのマグマの蓄積の増加を示唆する観測結果のない富士山とは大きく状況が異なる。

そこで、桜島と富士山におけるこれまでの研究と課題を共有し、今後5ヶ年の展望をするために研究集会を2回実施した。1回目は2024年9月中旬に山梨大学にて8つの研究課題の担当者と富士山を研究テーマとしている研究者が集まって2日間にて研究集会を行った。大規模火山噴火における主要な災害誘因は桜島は大量軽石火山灰降下であるが、富士山は溶岩流であるため、桜島は噴火の事前避難が必須で、富士山は噴火口が判明してからの避難という大きな相違点を参加者間で共有した。一方、大規模火山噴火は両方の火山がともに山腹噴火が想定されており、事前に噴火口が不明であることが共通しており、いかに早期に噴火口を把握するかが共通課題であることが参加者間で共有した。

2回目の研究集会を2024年12月中旬に鹿児島市にて研究課題担当者と桜島を研究テーマとしている研究者が集まって2日間にて研究集会を行った。この研究集会には、大規模火山噴火研究を総合的に進めるため、前の観測研究計画の研究集会と同様に、次世代火山研究推進事業の課題D「火山災害対策技術の開発」と京都大学防災研究所の火山防災連携研究ユニットのメンバーが参加した。

成果リスト

今西祐一・西山竜一・本多 亮・丸藤大樹・名和一成，2024，松代における絶対重力測定との比較による超伝導重力計CT#036およびiGrav#028の感度検定， 測地学会誌， 70， 13-25， doi:10.11366/sokuchi.70.13.

風間卓仁・山本圭吾・岡田和見・大島弘光・大柳 諒・小濱瑞希・竹中悠亮・井口正人，2024，桜島における繰り返し相対重力測定（2023年10～11月および2024年3月）， 京都大学防災研究所年報， 67B， 66-78.

南沢 修・秦 康範，2024，火山災害の総括支援チームの創設について， 地域安全学会梗概集， 54.

望月祐洋・西田純二・大西正光・水野真由己・丸山佳子・小林潔司，2024，スマートフォンプロブデータによる能登半島地震における交通状況モニタリング， 自然災害科学， 43， 3， 459-470.

- Nakamichi, H., 2024, Open-door events of the Sakurajima Volcano Observatory, Kyoto University in the last ten years, *Journal of Disaster Research*, 19, 1, 147-153, doi:10.20965/jdr.2024.p0147.
- Oláh L., G. Hamar, T. Ohminato, H.K.M. Tanaka, and D. Varga, 2024, Branched conduit structure beneath the active craters of Sakurajima volcano inferred from Muography, *Journal of Geophysical Research Solid Earth* 129, 9, e2023JB028514, doi:10.1029/2023JB028514.
- Rahadianto, H., M. Iguchi, and H. Tatano, 2024, Designating areas with debris flow potentials as secondary evacuation zones anticipating massive ash fallout from a large volcanic eruption, in “Proceedings of IP 2024: Natural hazards in a changing climate - How to manage risks under global warming?” ed. by Schneider et al., International Research Society INTERPRAEVENT.
- Sakamoto, M. and H. Nakamichi, 2024, Open science initiatives by Sakurajima Volcano Observatory, *Journal of Disaster Research*, 19, 1, 154-158, doi:10.20965/jdr.2024.p0154.
- 八木優明・風間卓仁・山本圭吾・大柳 諒, 2024, 桜島火山東部における局所沈降の定量化と物理的解釈, *京都大学防災研究所年報*, 67B, 55-65.
- 矢守克也, 2024, 火山災害からの避難に関する考察—桜島と富士山とフィールドにして—, *地区防災計画フォーラム第47回・第48回研究会資料*, 71-74.