

2 (5) 高リスク小規模火山噴火

「高リスク小規模火山噴火」総合研究グループリーダー 大湊隆雄
(東京大学地震研究所)

目的

火山では、噴気地帯や山頂火口近傍に、多くの観光客や登山客が訪れたり、観光施設が設けられている場合が多く、平成 26 年の御嶽山噴火や平成 30 年の草津本白根山噴火のように、噴火規模が小さくても人的・物的被害等が生ずる場合がある。また、小規模な噴火は発生頻度が相対的に高いことから、観光客や登山客等の災害リスクの低減という観点から重要な研究対象である。そこで、噴火災害に関する資料の収集、地質調査による水蒸気爆発等の噴火履歴調査、各種観測による活動把握、災害誘因である噴石や土石流などの予測研究、災害情報の発信に関する研究等を実施する。これらの成果を総合的に検討し、研究の課題や方向性を明らかにする。

実施方法

(1) 既存課題の成果を活用

- ・噴火災害資料の収集、災害発生状況の整理、災害発生時の火口からの距離等の文献調査、災害関連学会での情報収集
- ・地質調査による水蒸気爆発等の噴火履歴調査
- ・地球物理・地球化学的各種観測による活動把握
- ・比抵抗調査等による熱水系の構造探査による水蒸気噴火ポテンシャルの評価
- ・災害情報の発信に関する研究の活用（御嶽、本白根の事例研究など）

(2) 建議の研究の枠外（社会科学、災害科学分野など）の成果を活用

- ・災害関連学会等からの情報収集
- ・社会科学、災害科学分野等の研究者に、火山分野への応用を検討してもらうための方策（集会・セミナー等）の検討

(3) 既存研究成果を精査し、研究分野の過不足の有無を洗い出し、あらたな研究課題や研究の方向性の提案につなげる。

(4) 上記に関連する研究集会の企画

本年度の実施内容

本研究グループに関連する課題は大きく次の 5 つの項目に分類することができる。1) 災害情報の発信に関する研究、2) 小規模噴火の発生する場の把握、3) 観測による火山の活動把握、4) 噴火の予測に関する研究、5) 小規模噴火災害の資料収集。

今年度は 2024 年 2 月 26 日にオンラインで研究集会を実施し、関連課題代表者による研究成果発表および議論を行った。表 1 に研究集会での発表一覧を示す。以下では、研究

集会における報告を中心として各項目毎の成果を紹介する。各課題の成果はその課題が属する部会集会でも報告されており、内容的に重なる部分もあるが、本総合研究グループの目標への寄与という視点に立って紹介する。

1) 災害情報の発信に関する研究

北海道大学からは、前年度に引き続いて、予測可能性とリスク評価に関する提言がなされた。本総合研究の名称にある「高リスク」とはどの程度のリスクを指すか、という問いに対し日本ではまだ答えが無いことを念頭に置き、ニュージーランドにおいて、研究者のフィールドワーク実施可否判断に実際に使用されている VoLREst (Volcano Life Risk Estimator) というリスク評価ツールを紹介した。このツールの運用のやり方、ツールの限界などから判断して、登山者や作業者の安全確保を目的とする短期的リスク評価を行うためには、ハザード評価が必須であり、そのためには観測データに基づいて噴火確率をもとめるプロトコルが不可欠との提案があった。また、御嶽山への適用事例がある噴火確率評価ツール HASSET も紹介された（北海道大学[課題番号：HKD_06]）。

名古屋大学は、御嶽山地域の火山防災に関する知識の効果的普及・啓発や火山と共生する地域のすばらしさを内外に伝える役割を持つ御嶽山火山マイスターの活動を支援し、御嶽山火山マイスター制度の向上に資するため他火山における火山防災に関する先進的な取り組みとの比較を進めている。今年度はこれまでの成果の総括を行い、比較調査を行った全ての地域において、火山防災啓発の対象として地元小中高生を重視して出前授業や講師派遣などを行っており、子供への啓発がその親である地域住民への啓発にもつながっていること、また、地域外からの小中高生への啓発活動として、修学旅行や野外見学などを行っていることなどがわかった。各地域の火山防災啓発における課題と各地域の対応をわかりやすい図にまとめた（図1，名古屋大学[課題番号：NGY_07]）。

東京工業大学は、高リスク小規模噴火に関する様々な課題に対する解決策や方向性を示すこと自体が容易ではないことを踏まえ、その前段階として研究者と社会が問題点を共有する場としてシンポジウムを活用することを試みた。研究者と地元自治体等の協力の下で実施されたシンポジウムにおいては、研究者側は火山研究や防災の状況を伝え、社会側は地域社会での防災への取り組みや課題・要望を紹介し、事後アンケートによりシンポジウムの開催効果を評価した。その結果、シンポジウムは関係者のコミュニケーション改善に貢献できること、研究者側の講演内容と参加者の要望が必ずしも一致しない場合があるが、それは参加者が火山現象そのものを理解したいのではなく火山研究の成果がどのように役立つかを知りたいからであり、説明の工夫で改善可能であること、視覚に訴える工夫された図を活用することで参加者の理解度が大きく向上すること、研究者と地元関係者を結ぶ存在として地元の研究所の存在が大きいこと、大学の「社会貢献」をアピールする場として活用できるメリットが大きいこと、などがわかった（東京工業大学[課題番号：TIT_03]）。

京都大学は、2021年10月に阿蘇山で発生した水蒸気噴火の際、登山道閉鎖が遅れたために火口周辺に10人以上の登山者が取り残されたという重大インシデントに関し、阿蘇市及び阿蘇警察からの情報提供と研究者自身の体験に基づいてその発生過程を時系列に沿って整理し、いくつかの問題点を明らかにした。一つは、この噴火においては火山活動

活発化の情報が段階的に気象庁から出されていたものの、速やかで効果的な登山道閉鎖につながらなかった点である。受け手による情報の理解度を検証する必要がある。もう一つは、登山届を提出していた登山者が少なく警察による安否確認に支障が出た点である。活火山での登山における努力義務に関する啓発活動が重要である（京都大学理学研究科[課題番号：KUS_03]）。

また、火山活動に関する正確な知識を観光客に伝達するうえでの課題を検討するため、観光客の火山防災に関する意識調査を東北大学と共同で実施した。その結果、観光客の情報入手方法としては、現地での注意喚起看板や放送が最も効果的であること、噴火の影響が直感的に理解できる噴石跡が防災行動につながりやすいことなどが明らかになった（京都大学理学研究科[課題番号：KUS_03]）。

東北大学は、箱根において観光と火山防災に関するアンケート調査を実施した。旅行者の6割は旅先での災害を想定せず、火山噴火に関する情報を自発的に収集する割合は3割程度と低い。現地のリスク喚起媒体としてはチラシより看板が効果があり、避難場所の認知は4割以下と低かった。また、リスク喚起が観光地のイメージダウンにつながると考える人は35%程度であった。これらの情報は、観光客に対する情報発信における基礎的な情報となる（東北大学[課題番号：THK_11]）。

兵庫県立大学からは、噴火警戒レベルに基づく災害対策に関する報告があった。行政の災害対応は噴火警戒レベルに基づいて行われるため、噴火警戒レベルの引き上げが間に合わないと考えられる水蒸気噴火に対しては、噴火警戒レベル以外の情報に基づく災害対応体制を整備することが必要である。御嶽山噴火についてのアンケート調査から、噴火に至らない可能性があってもデータに異常が見られたら知らせたい、という回答が圧倒的多数であることから、地域住民による異常発見情報を積極的に活用することが有望と考えられる。火山の異常に関する情報の発見とその伝達には地域住民の役割が重要であり、いくつかの自治体では住民からの情報をくみ上げ、それを伝達する仕組みが地域防災計画に明確に定義されている。また、住民からの情報が防災体制立ち上げの基準の一つとなっている自治体もある。さらに、得られた情報を伝達する仕組みにも地域ごとに工夫が見られる。これらを全国的な仕組みにするためには、国の防災基本計画の中で市町村が住民情報をくみ上げて活かす仕組みを具体的に示すことが有効であろう（兵庫県立大学[課題番号：HYG_01]）。

2) 小規模噴火の発生する場の把握

今年度は、本項目に関する報告は無かった。

3) 観測による火山の活動把握

富士山研は、富士山周辺での重力観測網の構築とその活用に関する研究を進めている。標高 1029 m の富士山研と標高 2298 m の 4 合目観測点の間には 1270 m の標高差により 294 mGal もの大きな重力差がある。この 2ヶ所で重力の差分観測を行うことにより、火山性でない擾乱シグナルの除去や、マグマの貫入・上昇に伴う重力差の変化を捉えられる可能性がある。また、2点の標高差を活かした観測により、重力測定において重要となる重力計固有の重力値への換算係数（スケールファクター）を精度よく決定できる可能

性がある。その他にも、富士山研は重力測定精度向上のため、絶対重力計の個体差の検定や重力の鉛直勾配精密測定などに取り組んでおり、他機関による富士山の重力観測の拠点にもなっている。更に、標高 510 m の都留文化大学に新たな基準点を設け、観測網の拡大を進めている（山梨県富士山科学研究所[課題番号：MFRI_02]）。

京都大学は、阿蘇山における多項目観測を継続しており、2019 年と 2021 年の噴火活動について、前兆現象と分岐指標の整理を行った。両者の活動において水蒸気噴火が発生したが、その発生前に共通して見られる事象として、マグマ溜まりを挟む基線長の伸び、浅部の昇温、長周期微動の増加、火山ガスの増加、短周期微動振幅の増大が挙げられる。また、水蒸気噴火後にマグマ噴火に移行した 2019 年噴火では長周期微動の振幅増加が見られたが、マグマ噴火に移行しなかった 2021 年噴火では微動振幅の増大が見られなかったことがわかった。また、2021 年水蒸気噴火前には地殻変動と微動振幅変化の対応が詳細に捉えられた（京都大学理学研究科[課題番号：KUS_02]）。

富山大では弥陀ヶ原火山において、活動状態を把握するための多項目地球物理観測を継続して実施している。観測項目は、弥陀ヶ原火山全体の活動状況把握を目指す広域地震観測、地獄谷における浅部熱水・ガスだまりの活動推移の把握を目指した水準測量・GPS 観測、噴気活動の定量化を目指す微動観測、熱水流動経路の把握を目指す熱活動観測などである。地殻変動観測結果を説明する収縮膨張源モデルは観測期間によって異なっており、長期にわたる変動を統一的に説明するモデルの構築には更なるデータ蓄積やパラメタ化の工夫、新たな観測項目の導入などが必要であろう。多項目観測の継続により、地盤変動と熱活動の定性的な対応の発見や、噴気音観測による噴気活動の定量的評価の試みなど、新たな成果が得られつつある（富山大学[課題番号：TYM_02]）。

4) 噴火の予測に関する研究

東北大学は、地震・噴火の国際的なデータベースを調べることで、大地震と火山噴火の関係を統計的に評価した。その結果、火山が大地震の影響で 0.5μ strain 以上の静的膨張場に晒されると VEI2 以上の噴火発生確率が 2 倍に増加する、大地震発生後に火山性地震活動が活発化しその影響が 1 年以上続く火山がある、噴火発生前に地震活動が活発化しているとは言えない、等の知見が得られた（東北大学[課題番号：THK_11]）。

富山大学は、極小規模噴火を含めた見逃がしのない「真の噴火履歴」解明を目指した取り組みを進めている。平成 30 年草津本白根山噴火など VEI1 クラスの小規模噴火では、火口近傍を除いてテフラは地表からほぼ消失し、噴出物は地表に地層として残らないため、そのような噴火は存在しなかったと見なされることになる。このように、地表露頭のみを観察からは把握できない小規模噴火が多数存在し「真の噴火履歴」の解明はほぼ不可能である。火口内や火口近傍の湖沼堆積物に噴火堆積物が保存されている可能性があり、微小な噴火の新たな情報源として有望である。弥陀ヶ原で令和 4 年に実施した予備調査に続き令和 5 年度は本調査を実施して縞状硫黄層と縞状粘土層のサンプル 2 m を 3 ヶ所で採取した。高知コアセンターの TATSCAN での分析ではテフラ層の化学的特徴を持つ層が複数見出された。さらに ITRAX を用いた測定間隔 0.2 mm の高分解能分析の実施を予定している。次期計画では、草津白根山や志賀火山で同様の調査を行うことを計画している（富山大学[課題番号：TYM_01]）。

5) 災害発生状況の調査・整理

今年度は、本項目に関する報告は無かった。

5か年の主な成果

本総合研究グループと関連する各分野の連携を整理するための連携図を作成するとともに、関連分野の成果の取り入れ方や研究の過不足等について検討を進め、本総合研究で取り組むべき研究項目とその進捗状況を以下の様に整理した。

研究項目	進捗
1) 災害情報の発信に関する研究	→ 関連する研究課題はあるが問題点の整理がまだ必要な段階
2) 小規模噴火の発生する場の把握	→ 関係各課題で実施中
3) 観測による火山の活動把握	→ 関係各課題で実施中
4) 噴火の予測に関する研究	→ 関係各課題で実施中
5) 災害発生状況の調査・整理	→ 未実施

以下では、それぞれの研究項目毎に特筆すべき成果をまとめた。

1) 災害情報の発信に関する研究

特筆すべき成果の一つとして、VUI (Volcano Unrest Index, 火山活発化指数) を日本の火山に適用するための具体的な試みが大きく進展したことを挙げるができる。VUIは各種観測データから、噴火前における火山活動の活発化の度合いを客観的に評価する試みであり、この5年間に、十勝岳、吾妻山、阿蘇などにおいてVUIを求めるために必要となるワークシートの試作が進んだ(北海道大学[課題番号: HKD_04], 東北大学[課題番号: THK_08], 京都大学理学研究科[課題番号: KUS_02])。

火山防災において有効な火山情報発信とはどのようなものか、という問題に関する知見の蓄積が進んだ点も重要である。火山の観測情報はそのまま伝えれば良いというものではなく、例えば吾妻山での観測情報に関しては、大学から現地の関係者に直接活動状況を伝えることもあるが情報過多気味であり、伝えるべき情報を工夫する必要があることが分かっている(東北大学[課題番号: THK_08])。

アンケート調査などを通じ、火山に関する情報を非専門家に伝える際に、どのような情報をどのような形で伝えることが効果的であるか、が少しずつ明らかになってきている。例えば、非専門家の火山に関する知見は、専門家が期待するよりもはるかに限られている場合があり、専門家の発信する情報が非専門家である受け手にはあまり伝わらないということが往々にして起きる。情報の発信側は受け手をよく理解し、適切な内容・タイミング・方法での発信に努める必要がある。

阿蘇山を訪れる観光客を対象としたアンケートからは、阿蘇が活火山だと認知していた観光客は7割に過ぎないこと、警戒レベルの理解度は火山毎に違うことがわかった。また、安全確認行動を促進するためには看板の設置、噴火の痕跡を残すことや気象庁に

よる噴火警戒レベルの情報提供，火口周辺の掲示板・音声ガイダンスが有効であることが分かった。（京都大学理学研究科[課題番号：KUS_03]，東北大学[課題番号：KOB024]）。

箱根における観光と火山防災に関するアンケートからは，旅行者は旅先での災害をあまり想定しておらず，火山噴火に関する情報を自発的に収集することは少なく，避難場所の認知度も低いなどの情報が得られている。（東北大学 [課題番号：KOB024] ）。

2021年10月に阿蘇山で発生した水蒸気噴火の際，登山道閉鎖が遅れたために火口周辺に10人以上の登山者が取り残されたという重大インシデントが発生した。これに関し，阿蘇市及び阿蘇警察署からの情報提供と研究者自身の体験に基づいてその発生過程を時系列に沿って整理し，いくつかの問題点を明らかにした点は火山防災に関する情報発信を考える上で極めて重要である（京都大学理学研究科[課題番号：KUS_03]）。

名古屋大学は，御嶽山地域の火山防災に関する知識の効果的普及・啓発や火山と共生する地域のすばらしさを内外に伝える役割を持つ御嶽山火山マイスターの活動を支援しており，御嶽山火山マイスター制度の向上を目指して他火山における火山防災に関する先進的な取り組みとの比較調査を進めている。この調査を通じて得られた火山防災に関する知識不況・啓発に関する様々な知見は重要である。例えば，頻度の低い噴火現象だけでなく毎年のように発生する土石流災害など砂防という観点から防災意識を高めることが重要であること，火山地域は観光が主たる収入源であることから啓発・教育において火山の恵みも伝えることが必要であること，子供を対象とすることが効果的であること，ボランティアではなく有償化により責任を持たせることでガイドの質を担保することが必要であること，などが挙げられる（名古屋大学[課題番号：NGY_07]）。

東京工業大学が行った研究者と社会が問題点を共有する場としてシンポジウムを活用する試みも災害情報の発信に関する研究において重要である（東京工業大学[課題番号：TIT_03]）。

外国人（観光客あるいは在留外国人）への火山に関する情報提供方法の検討においては，団体客か個人客かによって避難情報の入手経路が異なることや，観光客へは英語あるいは多言語による情報提供が効果的だが在留外国人に対してはやさしい日本語が効果的であることなど，多様な対応が求められることが分かった。また，火山災害発生時の市町村による災害対応におけるボトルネックの検討結果も重要である。マンパワーに限られる小規模な市町村では多岐にわたる事項すべてに対応することが難しい場合があり，噴火の影響範囲の拡大に応じて「市町村」→「県」→「国」と対応主体を拡大するという考え方では必ずしも対処できないことや，噴火の影響が複数の「市町村」にまたがる場合，自治体間の連携をどこがコントロールすべきかも課題として挙げられた。また，行政の災害対応は噴火警戒レベルに基づいて行われるが，噴火警戒レベルの引き上げが間に合わないと考えられる水蒸気噴火に対しては噴火警戒レベル以外の情報に基づく災害対応体制の整備が求められており，これに対しては地域住民による異常発見情報を積極的に活用する方策の検討などが有望と考えられる（兵庫県立大学[課題番号：HYG_01]）。

防災科学技術研究所は，火山災害軽減のためのリスクコミュニケーションに関する研究の一環として，自治体における噴火時対応タイムラインの作成と訓練及び研修の実施を進めているが，これも災害情報の発信に関する研究において重要な取り組みと言える（防災科学技術研究所[課題番号：NIED_01]）。

2) 小規模噴火の発生する場の把握

東工大は、小規模噴火発生場の把握に関する先進的な取り組みとして、草津白根湯釜において土壌ガスに基づく側噴火リスク評価を試みている。土壌ガスとは地下起源のガスが破碎帯などの透水係数の高い領域を通過して地表に達するものであり、地下の熱水貯留域に存在する火山性流体は破碎帯を通路として上昇すると考えられる。地下の熱水貯留域は水蒸気爆発の発生場となり得ることからマグマ起源ガスが含まれる土壌ガスの放出域を把握することは将来の噴火発生場所の予測につながる。草津白根山の湯釜周辺では高い土壌ガスフラックスを示す場所が複数見つかっており、その中にマグマ起源ガスが多い場所と少ない場所があることが分かった。マグマ起源ガスが卓越する場所は破碎帯であり、かつそれがマグマから分離したガスの上昇経路と接続していることを示唆しており、将来の側噴火の可能性が比較的高い場所だと考えられる。(東京工業大学[課題番号：TIT_03])。

広帯域MT観測により検出される浅部の低比抵抗層は水蒸気噴火と関係の深いキャップロック構造の存在を示唆しており、水蒸気噴火が発生する火山の多くで観測されている。湯釜直下から本白根山にかけても深さ 1-3 kmに広がる低比抵抗域が検出されており、水蒸気噴火発生場の詳細と噴火ポテンシャル評価に寄与する重要な成果と言える(東京工業大学[課題番号：TIT_03])。

富山大は本白根火砕丘群の山頂域に分布する小火口の活動年代を検討し、各火口を形成した水蒸気噴火の発生年代を推定するとともに、水蒸気噴火の発生場として国内外に有名な白根火砕丘群の形成史の解明のため地質図の試作と各火砕丘の活動年代推定を実施した。これは地質学的手法による発生場把握の試みとして特筆できる成果である(富山大学[課題番号：TYM_01])。

3) 観測による火山の活動把握

多項目観測による火山の活動把握が多くの火山で進められている。

東北大学は、火山活動の中心と観光の対象が 1 km 程度と至近距離にある吾妻山を観測の対象としている。観測データから、吾妻山の活動は、深さ 10~15 km の深部における膨張が先行し、深さ 4 km の地殻変動源での膨張加速、浅部地震活動や浅部地殻変動・熱・ガスの変化という経緯をたどること、また、地震波形には流体の関与を示唆する特徴があることが分かった(東北大学[課題番号：THK_08])。

伊豆大島においては、人工電流源による地下比抵抗連続モニタリング(ACTIVE)と直流法による比抵抗モニタリングが実施されているが、いずれも顕著な変動は認められていない(東京工業大学[課題番号：TIT_03])。

草津白根火砕丘周辺では多項目観測を継続しており、活動の低下傾向を示す様々な観測的事実が得られている。本白根山 2018 年噴火時に発生した火山性微動の発生位置から、噴火に関与した流体が北方由来であること、および、噴火発生時の傾斜変動と噴火噴煙放熱量の比較から、噴火に関与した熱水が比較的低温であった可能性が示唆されている(東京工業大学[課題番号：TIT_03])。草津白根山ではさらに、側噴火によるリスク軽減を目指した地球化学的観測の試行として、土壌拡散気体である水銀の検出、希ガスの同

位体分析，光ファイバー温度計を用いた熱異常の検出などによるモニタリングが開始された（東京工業大学[課題番号：TIT_03]）。

弥陀ヶ原火山においては，活動状態を把握するための多項目地球物理観測を開始した。弥陀ヶ原火山全体の活動状況把握を目指す広域地震観測，地獄谷における浅部熱水・ガスだまりの活動推移の把握を目指した水準測量とGNSS観測，噴気活動の定量化を目指す微動観測，熱水流動経路の把握を目指す熱活動観測を実施している。これまでの観測に比べて観測項目数や観測密度が格段に向上したことから，活動状況に関する重要な基礎データの蓄積が進み，地盤変動と熱活動の定性的な対応の発見や，噴気音観測による噴気活動の定量的評価の試みなど，新たな成果が得られつつある（富山大学[課題番号：TYM_02]）。

富士山周辺での重力観測網の構築とその活用に関する研究の進展も重要である。富士山研は，標高差を活かした複数観測点による広域重力観測網の構築を進めている。また，重力測定精度向上のため，絶対重力計の個体差の検定や重力の鉛直勾配精密測定などにも取り組んでおり，他機関による富士山における重力観測の拠点の役割も果たしている（山梨県富士山科学研究所[課題番号：MFRI_02]）。

京都大学は，阿蘇山における多項目観測を継続しており，2019年と2021年の噴火活動について，噴火に先行する現象と分岐指標の整理を行った。両者の活動において水蒸気噴火が発生し，その発生前に共通して観測された事象として，マグマ溜まりを挟む基線長の伸び，浅部の昇温，長周期微動の増加，火山ガスの増加，短周期微動振幅の増大を挙げることができる。一方，2つの噴火で異なる観測量もあった。長周期微動の振幅は，水蒸気噴火後にマグマ噴火に移行した2019年噴火では振幅増加が見られたが，マグマ噴火に移行しなかった2021年噴火では振幅増大が見られなかった。（京都大学理学研究科[課題番号：KUS_02]）。

防災科学技術研究所は多項目観測データによる火山現象・災害過程の把握のための研究を進め，基盤的火山観測網（V-net）等のJVNDシステムに集約されたデータの活用を進めている（防災科学技術研究所[課題番号：NIED_01]）。国土地理院は火山活動の監視および現象の理解等に必要となる基礎資料を提供するため，熊本において絶対重力観測を実施した。また，富士山において全磁力連続観測を実施した（国土地理院[課題番号：GSI_06]）。気象庁は，小規模火山噴火に関する研究の推進にむけて火口近傍の観測体制の充実を図っており，活火山の常時監視体制の継続や，地震計や監視カメラの増強を進めている（気象庁[課題番号：JMA_12]）。

本課題で想定する小規模水蒸気噴火は，地震・地殻変動・空振などの既存の地球物理的観測手段では見落とされるおそれがあり，新たな噴火検出手法の開発に大きな期待が寄せられている。東北大学は噴火の早期検知手法として空中電界変動を活用する手法の開発を行っており，桜島，阿蘇山，浅間山，霧島山での観測を行っている。桜島での観測からは，爆発的噴火だけでなく地震・空振をあまり励起しない灰噴火も検出可能であることが判り，他の観測項目と合わせることにより，噴火の検知能力が上がるのが期待される。阿蘇山では2021年10月噴火に伴う電界変動を検出した（東北大学[課題番号：THK_03]）。

4) 噴火の予測に関する研究

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することで、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が進んだ。吾妻山や十勝岳を対象とした火山性地震発生域や膨張・収縮源、低比抵抗領域、活動様式についての比較研究の進展、十勝岳の熱水系を念頭においた熱水流動シミュレーションによる地下熱水系の評価、湖水の熱・化学パラメータの数値的検討に基づいた火山活動に対する火口湖の応答評価など、噴火予測に資する基礎的な知見が増した。十勝岳の地質学的調査からは、マグマ噴火は約1800年前までであり、その後は水蒸気噴火および小規模な山体崩壊が散発的に発生していることがわかったものの、小規模噴火の発生については不確実性が高く、現在活発な活動を示す火口以外も対象として、調査・評価する必要があることが改めて示唆された（東北大学[課題番号：THK_11]）。

噴火・災害ポテンシャル評価のためのモデリング研究の一環として、水蒸気噴火を駆動した熱水量の見積を行った。また、火道を上昇するマグマの振る舞いを調べるため、高粘性流体中の発泡シミュレーション手法の開発も進めている。このような、噴火ポテンシャル評価を目指す研究の成果は、小規模水蒸気噴火においても活用できると考えられる（防災科学技術研究所[課題番号：NIED01]）。

富山大学が進める、極小規模噴火を含めた見逃がしのない「真の噴火履歴」解明を目指した取り組みも重要な成果である。平成30年草津本白根山噴火などVEI1クラスの小規模噴火では、火口近傍を除いてテフラは地表からほぼ消失し噴出物は地表に地層として残らないため、従来の露頭調査などからはそのような噴火は存在しなかったと見なされることになる。このように、地表露頭のみでの観察からは把握できない小規模噴火は多数存在するため、「真の噴火履歴」の解明は極めて難しい。火口内や火口近傍の湖沼堆積物に噴火堆積物が保存されている可能性があり、微小な噴火の新たな情報源として有望である。弥陀ヶ原で実施した調査で得た縞状硫黄層と縞状粘土層のサンプルからはテフラ層の化学的特徴を持つ層が複数見出された（富山大学[課題番号：TYM_01]）。

5) 小規模噴火災害の資料収集

ドローンの小型化、高性能化とともに、災害発生時の被害情報把握へ応用するための研究が進められている。ドローン調査により得られる「噴出物の飛散範囲等の動的情報」と「人・家・施設等の静的情報」を組み合わせ、被害情報を迅速に把握することが期待される。ドローンの飛行範囲や運用コストは、本研究のターゲットである小規模噴火に対し、過大でも過少でもない適度な規模であり、将来的な活用が期待される（富山大学[課題番号：TYM_03]）。

これまでの課題と今後の展望

・これまでの課題

火山活動による人的被害の程度は必ずしも噴火規模に依らない。噴火が発生する場所からの「距離」が人的被害の規模を大きく左右する。大規模噴火であっても十分な距離まで避難できれば人的被害は生じない。逆に小規模噴火であっても近くで発生すれば人的

被害はまぬがれない。

マグマ噴火等の大規模噴火の場合はほとんどの場合明瞭な先行現象があり、噴火前に避難し人的被害が少ない場合が多い。また、噴火規模が大きくても周囲に人がいなければ被害が無い。これに対し、水蒸気噴火、ガス噴出、ガスの滞留等の比較的規模の小さい火山活動については、先行する現象が弱いあるいは無いために事前把握が難しく、危険性がわかりにくい。噴気地帯などはそのまま観光スポットになっていることも多く、観光客や登山客が危険性がわからないまま接近し、被害が出る場合がある。

小規模噴火にもかかわらず高リスクである理由の一つは、上記で述べたように発生場所や時期が予測困難だという点である。また、高リスクであるもう一つの理由として社会的要因も考えられる。各自治体が発行する防災マップや、噴火に関する情報発信を担う気象庁が設定している噴火警戒レベルを見ると、防災マップの多くは噴火がある程度予測できることを前提とした記述となっており、高リスク小規模噴火に関する記述はほとんど見られず、危険性の存在が周知されにくい。噴火警戒レベルについても、非専門家が正確にその内容を理解しているとは考えにくく、専門家と非専門家の認識が大きく乖離している可能性がある。例えば、レベル1であれば安全であると考え、火口付近に無防備に接近して突発的な噴火に巻き込まれるという事が起こり得る。

・今後の展望

5か年の研究を総括すると、1) 災害情報の発信に関する研究に関しては、問題点の整理がある程度進み、火山の活動段階をわかりやすく示す指標の作成も進んでいる。しかしながら、いずれも更なる研究が必要な段階に留まる。2) 小規模噴火の発生する場の把握に関しては、様々な調査・研究により水蒸気噴火の発生場の構造に関する理解が大きく進み、発生場を特徴づける構造が見えつつあり、今後も研究の継続が望まれる。3) 観測による火山の活動把握に関しては、観測項目の増加と噴火事例の積み重ねにより、小規模噴火につながる活動状態の変化の特徴が捉えられてきている。この項目についても研究の長期的な継続を期待したい。4) 噴火の予測に関する研究は、観測データの増加と比較研究の進展により、火山活動推移のモデル化や分岐判断指標の作成が進んでいる。また、噴火現象の背後にある物理機構を数値シミュレーションなどによって理解するための研究も進められている。5) 災害発生状況の調査・整理に関しては、本総合研究内では十分に進展したとは言い難い。

個々の研究課題はそれぞれ重要な成果を出しており、課題間の連携もうまく行っていると見えるが、火山研究における学術的成果と火山防災の実現について社会が求める情報との乖離はまだ非常に大きい。高リスク小規模火山噴火の研究においては、社会がどのような情報をどのような形で受け取りたいのかを知る努力がますます必要とされており、そのためには情報の出し手と受け手の関係構築が必須である。最終年度には、研究者と社会が問題点を共有する場としてシンポジウムを活用する試みが行われたが（東京工業大学[課題番号:TIT_03]）、これは情報の出し手と受け手の関係構築において非常に有効な手段の一つと考えられる。令和6年度から始まる新たな5か年計画においては、このような試みの更なる発展に期待したい。

成果リスト

関係各課題が属する部会報告において報告されているため、本報告では特に挙げない。

