

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、近年の中小規模噴火（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. 1 3 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理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：K0BE01]，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：K0BE01]，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：HRO_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成地震活動活発化や，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，火山構造成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、福德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. Hokanishi, 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.

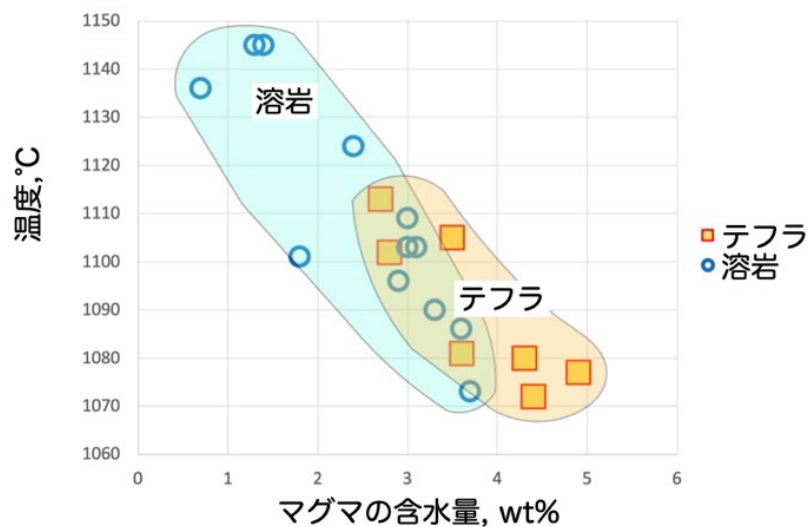


図 1．富士山の溶岩試料とスコリア試料の含水量と温度（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_02]）
含水量が高いと爆発的な噴火をする傾向が見て取れるが、爆発的噴火と非爆発的噴火の範囲は重なっており、含水量と温度以外に噴火様式を制御する要因があることが示唆される。

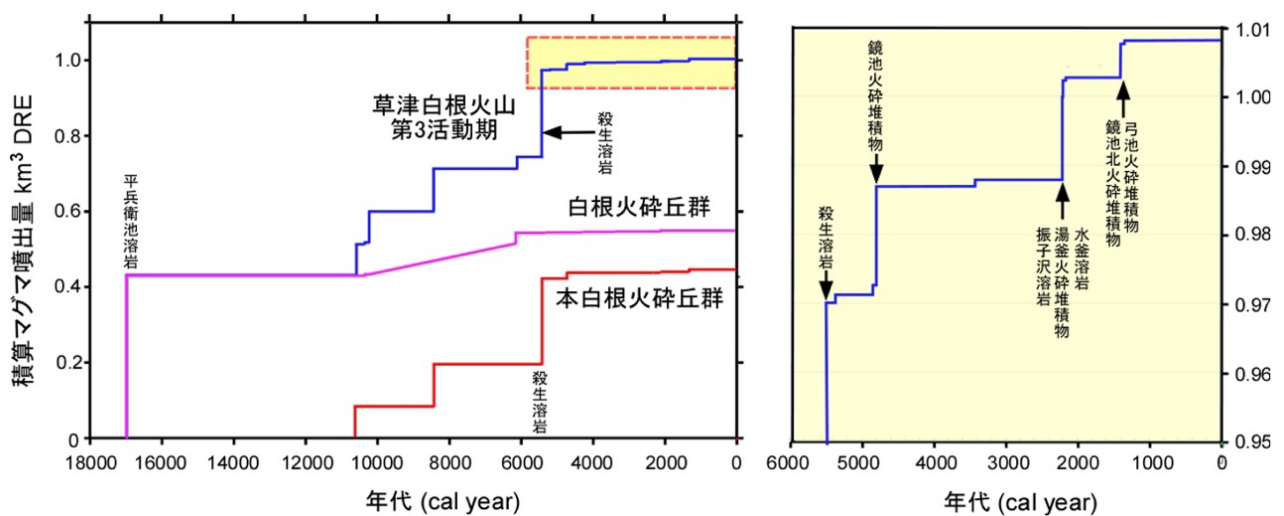


図 2．草津白根火山のマグマ噴出量階段図（富山大学[課題番号：TYM_01]）
最近18,000年間の階段図（左）と最近6,000年間の階段図（右）。逢ノ峰火砕丘群の噴出量は白根火砕丘群と一括して示した。第3活動期とは平兵衛池溶岩の噴出から始まる草津白根火山の最新の活動期のことである。

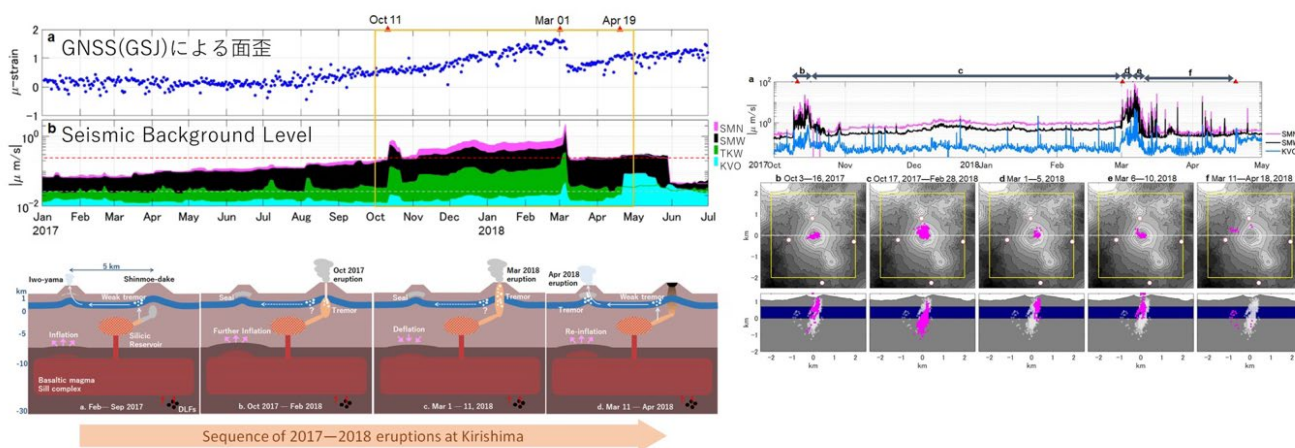


図 3. 多項目データから見た霧島火山の2017年～2018年噴火の推移（東京大学地震研究所〔課題番号：ERI_07〕）

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）。

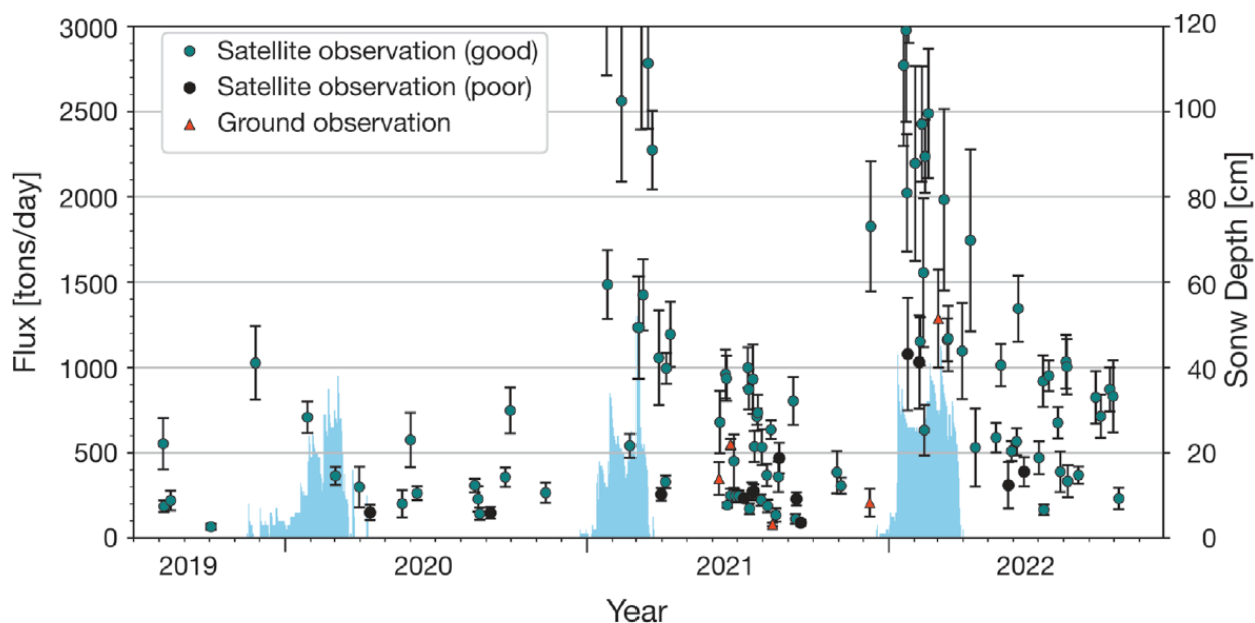


図 4. 十勝岳の火口から放出された二酸化硫黄放出率の推移（北海道大学〔課題番号：HKD_04〕）人工衛星データ（OMI, TROPOMI）を利用することで、従来は夏季に限られた放出率データが通年で使えるようになった。背景の水色の棒グラフは積雪高を示す。

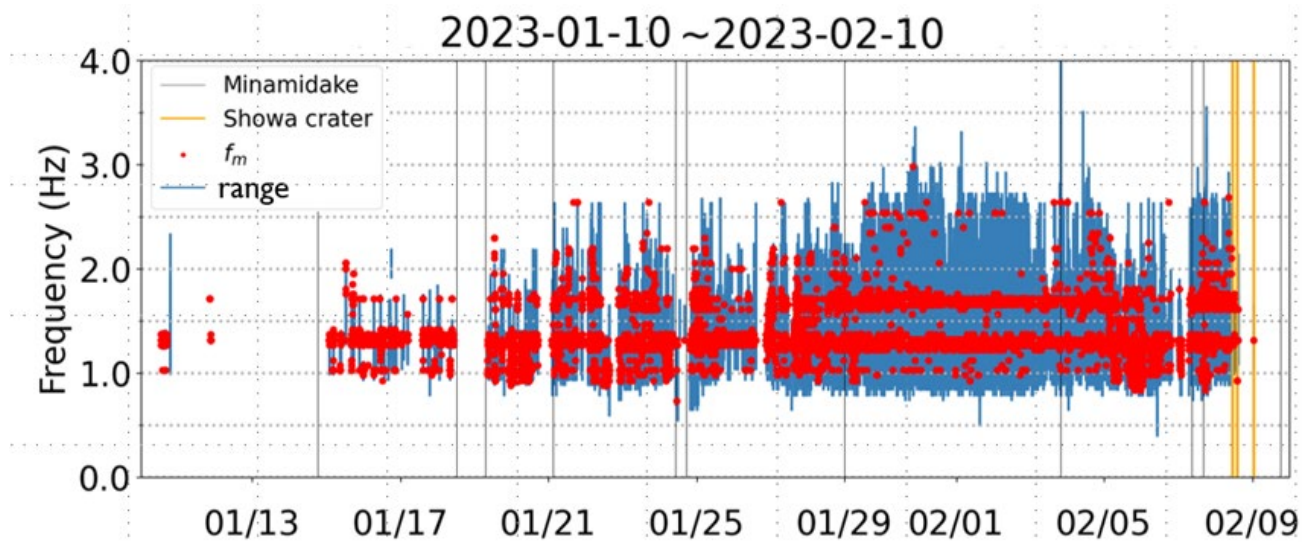


図 5．桜島の昭和火口噴火に前駆した火山性微動のピーク周波数と周波数半値幅の変化（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI07]）

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。

1 (5) 災害誘因評価・即時予測

「災害誘因評価・即時予測」計画推進部会長 太田雄策

(東北大学大学院理学研究科)

副部会長 為栗 健

(京都大学防災研究所)

はじめに

地震・火山噴火という自然現象が引き起こす地震動、津波、火山噴出物、斜面崩壊等の災害誘因は自然や社会に潜在的に存在する脆弱性等の災害素因に働きかけ、これらの相互作用に応じて様々な規模の災害が発生する。すなわち災害誘因評価の高度化は、災害軽減を果たすために有効な手段である。こうした観点から、「災害誘因評価・即時予測部会」では災害誘因や災害リスクを事前に高い精度で評価する手法を開発する「地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化」ならびに地震や火山噴火が発生した直後に高精度かつ即時的に災害誘因を予測する手法を開発する「地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化」を推進するとともに、それら災害誘因予測を効果的に防災対策の推進に結びつけるための「地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究」を進めた。

5 年間(令和元年-5 年度)の成果

5 年間の成果概要

本部会では、事前予測については強震動および斜面崩壊、また土石流や火山噴火にともなう火砕流等を、即時予測については強震動や津波、火砕流等をその対象として研究を推進してきた。その結果、いずれの項目についても、災害軽減に資する重要な成果が得られた。以下、大学が実施した研究の5年間の成果のうち、代表的なものをまとめる。

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

ア. 強震動の事前評価手法

広帯域強震動予測の高度化のため、強震動予測のための震源断層モデルや広帯域地震動特性に強く関係する浅部・深部地盤構造モデルの検証と改良を目的とし、大阪・京都・奈良盆地の地盤構造モデルに対して、対象地域の各機関の強震観測波形データを収集し、地震動シミュレーションを実施して観測記録と比較することにより、モデルの妥当性の検証や改善点の洗い出しを実施した。また、モデル構築時に用いられていない探査データを取り入れる方法を開発し、モデルの修正を行った。また、強震記録を用いたスペクトルインバージョン法により、静岡県及び北陸地域における強震観測点のサイト増幅特性を求めた(京都大学防災研究所[課題番号:DPRI08])。

計画期間中に発生した顕著な地震の震源過程を、強震記録を用いて求め、その特徴をこれまでの解析で進めてきている強震動予測のための震源断層モデルの統計的特徴と比較することにより、モデル設定の妥当性やばらつきを評価するとともに、極大地震動の特徴

について震源過程や地盤構造の観点から検討し、それらのモデルの高度化に必要な要素を抽出した。具体的には 2018 年北海道胆振東部地震 (M6.7), 2023 年能登半島北部の地震 (M6.5), そして令和 6 年 (2024 年) 能登半島地震 (M7.6) の分析を進め、例えば 2018 年北海道胆振東部地震 (M6.7) では強震記録をもちいた断層破壊過程を推定して、すべりの特徴を分析するとともに、広帯域地震動シミュレーションにより、強震動生成域 (SMGA) の位置を求め、従来の強震動予測のための震源断層モデルの考えが妥当であることを示した。地盤構造の観点からは、例えば、2024 年能登半島地震において、微動や小地震での卓越周期が 1 秒程度である地点で長周期化が起き、一般家屋でより厳しい周期の地震動が長時間続いたことで被害が拡大した可能性があることを指摘した (京都大学防災研究所 [課題番号: DPRI09])。

2000 年鳥取県西部、2016 年鳥取県中部の地震など西日本の地殻内地震で観測され、変位振幅から推定する M_j の過大評価の原因となる、周期 6~20 秒の Love 波パルスの生成メカニズムを、地下構造と Love 波の群速度の分散曲線との特徴から説明した (東京大学地震研究所 [課題番号: ERI_14])。深発地震で太平洋岸での震度が大きくなる異常震域に対し、2013 年オホーツク海深発地震 (610 km, M_w 8.3) では、稚内や秋田など日本海側の震度が大きな、通常と逆の震度分布となった。Hi-net 波形解析と地震波伝播シミュレーションにより、この原因が、1) 上部/下部マントル境界での S 波の caustics, 2) 地表での sP 変換波と sPL 波, 3) 地表での sS 反射波であることを確認した (東京大学地震研究所 [課題番号: ERI_14], Kennett and Furumura, 2019)。地震波伝播シミュレーションオープンコード (Open SWPC; Maeda et al., 2017) の国内外からのフィードバックを受けて機能拡張を行った (東京大学地震研究所 [課題番号: ERI_14])。

常時微動を用いて建物振動特性を把握するため、複数台の地震計による同時観測から、並進およびねじれ振動を分離し、人力加振によらずとも減衰特性を抽出できる RD 法の導入により、簡易判定に必要な固有周期と、減衰および地盤に対する振動倍率を評価するルーチンを確立した (鳥取大学 [課題番号: TTR_01])。

熊本地震の際の建物被害を分析し、地表地震断層から百メートルの範囲に集中すること、被害率と断層距離との間に負の相関があること、またその原因を地盤効果等で説明できないことを明らかにするとともに、地下 2 km 以深にのみ震源断層モデルを想定する従来の手法では地表変位や地震動を説明できないことを明らかにした。さらに、地表地震断層と深部の震源断層モデルを接合させる手法を検討し、新たな強震動発生モデルの検討を進めた (名古屋大学 [課題番号: NGY_05])。

イ. 津波の事前評価手法

巨大地震に伴う海底斜面崩壊による津波の数値計算手法を開発し、1929 年 Grand Banks Tsunami の再現実験に適用した。海底斜面崩壊による津波の励起の数値計算は Tsunami Square の手法を改良し、海底斜面崩壊と津波を同時に計算した。その結果、Halifax (カナダ) の検潮記録と海底ケーブルの切断時間を再現できる海底斜面崩壊モデルを推定する事に成功した。火山島の山体崩壊による津波の即時予測手法の開発も行い、2018 年アナクラカトア火山噴火 (インドネシア) による地すべりを念頭に、クラカトアの周辺の諸島に 6 つの仮想観測点での津波波形が得られるものとして、これらの地点での波形を用いて、ジャワ島西岸やスマトラ島東岸での津波を予測する手法を開発した (北海道大学 [課題番号:

HKD_05]]。

ウ．大地震による災害リスク評価手法

シナリオ地震の強震動評価として、日本で開発された強震動予測手法を国際的なプラットフォームに実装すると共に、確率論的地震動評価に役立つ、地震動予測式の非エルゴード性の定量化を行った。これにより、世界複数国の重要構造物の入力地震動に検討される可能性が生まれた(東京大学地震研究所[課題番号：ERI_16])。

エ．地震動や火山活動による斜面崩壊の事前評価手法

崩壊発生場の抽出に関する成果として、主に南海トラフ巨大地震時の深層崩壊を念頭に置き、過去の斜面崩壊に共通する地質的特徴の洗い出し、高密度航空レーザーデータや国土地理院による干渉 SAR 解析画像を用いた危険斜面の抽出、地震時に斜面崩壊を発生するテフラの分布図(東日本版)を作成した(京都大学防災研究所[課題番号：DPRI10])。地すべり発生地の空間的に多様な地震動特性の抽出、地すべり変位の地震直前の安全率依存性、盛土材質による間隙水圧応答特性の違い、粘土鉱物ハロイサイトの構造の違いとせん断特性などについて明らかにした(京都大学防災研究所[課題番号：DPRI10])。地震地すべりの先行降雨の影響を見積もるため、および、強震後の長期的な斜面の変形を明らかにするため、傾斜計・間隙水圧計・インターバルカメラを 2016 年熊本地震で崩壊した熊本県南阿蘇村のテフラ斜面上方に設置し、令和 3 年度から観測を継続し、年間 0.005 度程度の傾斜変化を伴う定常的な変形が現在も進行していることを確認し、さまざまな降水イベントに対する土壌水分の時間変化を捉えた(京都大学防災研究所[課題番号：DPRI10])。

山間部での地すべりや氷河計測を対象とした GB-SAR データを活用し、大気誤差補正アルゴリズムを提案した。特に、屈折率の変化が InSAR の位相に与える影響を統計的に表し、補正手法に組み込むことで、山間部などの大気の状態変化が著しい場所でも高精度に変位を計測できることを実証した(東北大学災害科学国際研究所[課題番号：IRID03])。

オ．火山噴出物による災害誘因の事前評価手法

火砕流の発生予測に関して、地盤変動、火山性地震、空気振動、火山ガス、映像等の観測データを収集し、火砕流発生に関わる物理パラメータを明らかにした。火砕流を伴う噴火は長期的に収縮傾向の脱ガスが進んでいる際に発生し、噴火直前に見られる地盤変動の膨張時間、前駆地震の発生頻度と振幅の上昇から火砕流の発生危険度のリアルタイム予測の検討を行った(京都大学防災研究所[課題番号：DPRI11])。火砕流の発生危険度および、流下予測をリアルタイムに判定し描画するシステムの構築を実施した。発生危険度については、前駆する群発地震活動と地盤変動の膨張・停滞の変化から、危険度を上げて危険度を色表示し、地盤変動膨張量からその時点で噴火が発生すると、火砕流としてどの程度流下するかをリアルタイム表示するシステムを作成した(京都大学防災研究所[課題番号：DPRI11])。

(2)地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

ア．地震動の即時予測手法

鳥取県内を中心に、微動および重力探査を実施し、地盤震動特性および地下構造を把握

し、Web-GIS としてとりまとめた。対象としては、地震被害に影響する厚い堆積層を有する地域を均一に測定することを主としつつ、地すべり地形、切盛造成地、地表地震断層ごく近傍など、山間部での地震被害が懸念される領域にも広げた（鳥取大学[課題番号：TTR_01]）。鳥取県内 34 計測震度観測点からの 1 秒パケットでリアルタイム震度を表示する Web 公開（クローズ・ネットワーク）するシステムを構築した（鳥取大学[課題番号：TTR_01]）。

強震観測波形データと地震波伝播シミュレーションのデータ同化に基づく、未来の時刻の揺れの広がりや長周期地震動の即時予測に向けた研究開発を行なった。2007 年新潟県中越沖地震や 2011 年東北地方太平洋沖地震の K-NET, KiK-net 強震波形と東京大学情報基盤センターの Oakforest スパコンの超並列（2048CPU）計算により、都心で強い揺れが発生する数十秒前に揺れの波形予測の実現性を確認した（Furumura et al., 2020）。さらに、即時予測の高速化に向けて、同化地点から予測地点の揺れの伝播を、伝達関数（グリーン関数）を用いて瞬時に予測する手法改良を行った（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_14], Oba et al., 2019）。

同化波動場からの地震波の逆伝播計算により、震源イメージングを行う新たな手法開発を行なった。KiK-net データを用いて 2004 年新潟県中越地震と 2008 年茨城県沖の地震の震源イメージングを実行し、従来の Back Projection 法や Time Reversal 法に比べて粗い（20 km 程度）観測点配置でもシャープな震源モデルが得られることを確認した（東京大学地震研究所 [課題番号：ERI_14], Furumura & Maeda, 2021）。

イ．津波の即時予測手法

リアルタイム GNSS による震源断層即時推定における不確実性の定量評価をマルコフ連鎖モンテカルロ法（MCMC）で行うための技術開発を行い、単一の矩形断層モデルをリアルタイム GNSS による永久変位場から推定する Real-time automatic UNcertainty Estimation of the coseismic single rectangular fault model based on GNSS data (RUNE) を開発した。RUNE の精度評価を実施し、2022 年 3 月 16 日に発生した福島沖の地震の断層モデルを自動推定することに成功した。これらの結果を受け、RUNE は次期の REGARD 内の 1 枚矩形断層推定のメインアルゴリズムとして実装・運用されることが決定した（東北大学[課題番号：THK_12]）。ハミルトニアンモンテカルロ法（HMC 法）を用いた 1 枚矩形断層モデル推定アルゴリズムの開発を行い、メトロポリスヘイスティングス(M-H)と比較して数%程度の連鎖数で必要な事後確率分布が得られることを明らかにした（東北大学[課題番号：THK_12]）。

ソフトバンクが運用する独自 GNSS 観測網データを用いて、2021 年 2 月 13 日に福島沖で発生した M7.3 の地震による地震時地殻変動場を検出することに成功した。「ソフトバンク独自基準点データの宇宙地球科学用途利活用コンソーシアム」を設立し、地震学・火山学を含む幅広い地球科学用途でのデータの利活用に道筋を付けた（東北大学[課題番号：THK_12]）。

最適内挿法に基づくデータ同化による津波即時予測の応用と、次世代に向けた高精度な手法の開発とその準備を進めた。具体的にはグリーン関数型津波データ同化手法の実観測記録への活用や、データ同化手法と組み合わせることを前提とした経験的モード分解法に基づく津波検知手法の開発（令和元年度）と実応用、地震動や海底の動的変動まで含んだ

より現実的な数値記録合成法の開発等を通じて、データ同化による津波即時予測における基礎技術を確立した（弘前大学[課題番号：HRS_02]）。

ウ．火山噴出物による災害誘因の即時予測手法

火山防災上重要な2つの現象，すなわち火山灰堆積後の降雨による土石流・泥流の発生および噴火時の融雪型火山泥流の発生に関して，その危険度や規模を予測する手法の確立を目的とし，桜島火山，焼岳火山，メラピ火山等の火山を対象に観測と予測モデル開発を行った。時間的に変化する泥流・土石流の発生危険度や規模を予測する手法を検討するとともに，融雪型火山泥流の発生に関する従来の研究をさらに進展させた（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI12]）。

（3）地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究

過去約110年間の世界の地震カタログを用いて，M8クラスの地震が近傍で連発する確率（半割れケース），M7クラスの地震のあとに近傍でM8クラスの地震が発生する確率（一部割れケース）の評価を行った。南海トラフにおける過去の歴史研究や地質学の研究の文献を系統的にレビューし，過去の南海トラフ地震発生履歴における連発の有無や可能性について再評価した。その結果を用い，南海トラフの固有性を考慮したM8クラス地震の連発確率を評価した。また，半割れ地震が起こったあとの後発地震による津波リスクの評価手法も検討した（東北大学災害科学国際研究所[課題番号：IRID04]）。

地震学・火山学の成果として可視化・定量化・精緻化されてきている災害情報が，市民・社会の防災対策の推進に必ずしもつながっていないのではないかと問題意識にもとづき，地震学・火山学におけるシーズと社会の側のニーズが一致していないこと，地震学者・火山学者と社会の間にコミュニケーションギャップが存在することを明らかにした。例えば，地震調査研究推進本部が作成している地震動予測地図では「30年確率」を用いているが，受け手側の年代によって対策の必要性の意識が高まる「x年確率」の値が異なることが明らかになった（東京大学情報学環[課題番号：III_01]）。

令和5年度の成果概要

3．地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

（1）地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

ア．強震動の事前評価手法

京都盆地及び奈良盆地内を対象に，国立研究開発法人防災科学技術研究所，気象庁，京都市，京都府及び奈良県の強震観測点・震度観測点の波形記録を収集，整理，解析した。収集した波形記録に対し，直達波部分のTransverse成分の自己相関関数を計算し，多数の記録の自己相関関数をスタックすることで得られる盆地基盤面での反射SH波の往復走時を読み取った。スタックにはPhase Weighted Stack法を用い，震央距離と震源深さ，入射角による地震記録選択条件を与えた。その結果，奈良盆地の多くの地点では観測往復走時と理論往復走時の差異は20%以内であるが，山科盆地と京都盆地の境界付近の狭窄部や基盤形状急変部などでは顕著な差異がみられ，より詳細な調査が必要と考えられる地点が見出された（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI08]）。

2023 年 5 月 5 日能登半島北東部の地震 (M6.5) の震源過程および強震動生成モデルを推定した。M6.5 の地震の震源過程については、能登半島周辺の強震波形 (速度, 0.1-1 Hz) を用い、マルチタイムウィンドウ線形波形インバージョン法によって推定した。その結果、破壊開始点 (約 12 km) より北の浅部に向かって、主として破壊が進行したと推定された。すべり方向は逆断層すべりが卓越し、最大すべり量は約 1.0 m, 平均すべり量は約 0.3 m と推定された。また、M6.5 の地震の震源断層は、2022 年 6 月 19 日の M5.9 と同じ断層面 (南東に下がる断層面) に位置し、2022 年 6 月 19 日の M5.9 の地震よりも浅い部分を破壊したことが示唆された。M6.5 の断層破壊過程モデルを参照し、震源近傍の観測点の広帯域シミュレーションに基づく強震動生成モデルを求めた。波形からは初期破壊過程があることがわかっていることから、震源から離れたところに強震動生成域の推定を行った。その結果、震源より浅い場所に 3 km 四方の強震動生成域をおくことで、広帯域波形の再現ができた。この位置は波形インバージョンによるすべりの大きい領域に対応する (図 1, 京都大学防災研究所[課題番号: DPRI09])。

地表付近の強震動計算の高度化に資するため、とくに震源断層浅部の破壊進展を新たにモデル化して強震動を試算した。具体的には、2016 年熊本地震を対象として、すべり時間関数形状・すべり量・ライズタイムについて複数の手法に基づきモデル化に必要なパラメータやそれぞれのモデルの特徴を整理した。続いて、震源断層が地表に達する断層モデルを想定し、断層浅部のモデル化におけるすべり時間関数、すべり量、破壊伝播速度についてパラメータスタディを行って断層近傍強震動の計算結果に与える影響を調べた (名古屋大学[課題番号: NGY_05])。

イ. 津波の事前評価手法

前年度までに実施してきた 1929 年 Grand Banks の津波の再現実験を完成した。オリジナルの Tsunami Square 数値計算手法は海底斜面崩壊に対応できるよう改良した。斜面崩壊は地震によりトリガーされたとし、震源近傍の急斜面で最初に発生し、その崩壊が徐々に深海域へと進展するモデルを開発する事で、海底ケーブルの断線時刻を再現し、さらに崩壊量は Halifax (カナダ) の検潮記録を再現することで推定した。崩壊量は 540 立方 km と推定された (図 2)。火山性の山体崩壊の津波の即時予測手法の開発においては、駒ヶ岳山体崩壊に津波について実施した。まず、1640 年駒ヶ岳山体崩壊による津波の再現実験を実施し、津波堆積物調査結果や崩壊地形などを再現できる山体崩壊のモデルを推定する事に成功した。さらに、将来発生するであろう山体崩壊による津波の特性を数値実験により明らかにし、将来噴火湾沿岸の津波を予測するための手法開発への基礎的知見を得る事に成功した (北海道大学[課題番号: HKD_05])。

ウ. 大地震による災害リスク評価手法

強震動による地震災害誘因の分析に必要な、国内外の地震に対する強震動記録の分析や強震動予測を進めると共に、地震動予測式の非エルゴード性に関する日米比較を取り入れた国際共同研究を行った。その結果、国際的に構築された沈み込み帯の地震動フラットファイル NGA-Subduction に比べ、日本の強震観測網による地震動フラットファイル NIED flatfile が不確実性を排除するために非常に有効であることを定量的に確認した (東京大学地震研究所[課題番号: ERI_16])。

鳥取市鹿野町に立地し、1943 年鳥取地震を経験した伝統的木造建築物（文久年間 1861-1863 建築）において実施した微動観測結果に整合するように稠密にモデル化し、個別要素法による震動実験をおこなった。その結果、現在の住宅に適用される、固有振動数と減衰および地盤に対する応答倍率から評価される簡易判定よりも高い耐震性を有することが示唆された（図 3，鳥取大学[課題番号：TTR_01]）。

エ．地震動や火山活動による斜面崩壊の事前評価手法

四国・九州内における過去の災害履歴を検討し、付加体地域内に分布する砂岩領域において地すべり・深層崩壊が多発していることを明らかにした。砂岩が顕著に崩壊を発生させることはこれまで知られていなかったが、特に砂岩地域の中でもメラングジュと呼ばれる変形帯の砂岩は深部まで亀裂が形成されており、さらには断層破碎作用によって中小角礫化している場所も分布していることを明らかにした。また、2022 年 12 月 31 日に融雪による間隙水圧の上昇で発生したと考えられる山形県鶴岡市の斜面崩壊について、2019 年 6 月 18 日の山形県沖の地震時に崩壊しなかった理由について現場で採取した試料に対してリングせん断試験を実施することで明らかにした（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI10]）。

インドネシアのメラピ火山は、過去に溶岩ドームの崩落が頻繁に発生し、大規模な被害を引き起こしてきた。2020 年頃から、メラピ山の溶岩ドームの一部が十数メートル変位しており、将来的には崩落し火砕流を引き起こす危険性が懸念されている。この背景から、GB-SAR 高精度化アルゴリズムを用いた溶岩ドームの計測を提案し、令和 5 年度は、その実現に向けた準備を進めた（東北大学災害科学国際研究所[課題番号：IRID03]）。

オ．火山噴出物による災害誘因の事前評価手法

昨年度に構築した地盤変動、火山性地震、空気振動、火山ガス、映像等の観測データから火砕流の発生危険度をリアルタイム判定するロジックを高度化し、過去の火砕流発生時の前駆現象から危険度を判定するパラメータのチューニングを行い、より適切な火砕流発生危険度を評価可能にした（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI10]）。

（２）地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

ア．地震動の即時予測手法

鳥取平野を対象に、鳥取県の地震被害想定（2018 年度）に用いられた地下構造モデルを新たな視点で更新した。平野内の地震観測点において拡散波動場理論を介して地震基盤までの地下構造モデルを推定して物性の標準値を設定し、微動大アレイ観測点での位相速度分散曲線と微動 H/V の卓越周期を満足するよう標準値に基づく地下構造を推定した。これら地震波速度に基づく層境界と面的に実施されている重力異常に基づく密度層境界の対応を吟味して、重力異常の形状を用いた RBF 法（CG における点群補間に活用されている）による面的補間をおこなうことで、対象領域で実施された微動観測を満足する 3 次元地下構造モデルを構築した（鳥取大学[課題番号：TTR_01]）。

2 観測点間の地震波伝播を表す伝達関数を、2 観測点の強震波形データのデコンボリューション（逆畳み込み）から予め求めてデータベース化し、大地震の強震観測記録に伝達関数をコンボリューション（畳み込み）することで、遠地の地点の揺れを即座に予測する手法の有効性を検討した（Enari and Furumura, 2023；江成, 2024）。具体的には 2007 年

新潟県中越沖地震（M6.7）の際の横浜地点の長周期地震動の予測を行った結果、観測された長周期地震動の波形と良く一致することを確認した（図4，東京大学地震研究所[課題番号：ERI_14]）。

イ．津波の即時予測手法

アジョイント方程式に基づく波動場現況推定手法の定式化をさらに拡張し、波動方程式に類する一般の方程式に対して、その時間発展を支配する微分方程式から、アジョイント方程式を最適制御理論に基づいて導出するための一般的な方法論を検討した。その応用として、津波のみならず、地震波を記述する弾性体の運動方程式と、異方性を含む一般的な線形構成関係式に対するアジョイント方程式も導出した（前田，2023a）。津波の場合と同様、運動方程式と構成関係式に形式上等価な量（アジョイント変数）に関する方程式を、終端0条件から時間逆方向に解いた初期値時間における解が、観測と予測の間の2乗残差を最小化する目的関数の、初期条件場に対する勾配に関係することが示された。ただし、アジョイント変数が実空間の速度応力にそのまま対応するのではなく、特に応力テンソル相当のアジョイント変数は、弾性コンプライアンステンソルを介して実空間の応力テンソルの更新に寄与することが明らかになった。これは、これまでの津波方程式のアジョイント方程式に数学的に等価な地震波のSH波の方程式系に対して、応力相当のアジョイント変数は剛性率で除すことで、実空間の応力に変換していたことを一般化するものである（弘前大学[課題番号：HRS_02]）。

国土地理院で運用しているREGARDへと技術移転した1枚矩形断層推定をMCMC法によってリアルタイムで実現するアルゴリズム “Real-time automatic uncertainty estimation of the coseismic single rectangular fault model based on GNSS data (RUNE)” の精度評価を継続した。2024年1月1日に発生した能登半島地震発生時に、RUNEによって断層モデルを自動推定することに成功した。推定された地震規模はMw7.4であり、地震規模はおおよそ正確に推定することに成功した。データの欠落等により能登半島内で使用できた観測点が減少したことから、断層の傾斜角を過小評価するなどの課題も確認できた（東北大学[課題番号：THK_12]）。

令和4年度に構築した「ソフトバンク独自基準点データの宇宙地球科学用途利活用コンソーシアム」（図5）の活動を活発化させ、3300点超の全データを専用線経由でソフトバンクから東北大学大学院理学研究科地震・噴火予知研究観測センターに集約し、それらをコンソーシアム加盟機関に提供する枠組みを構築するとともに、それらデータのルーチ的な日座標解析のシステム構築を実現した（東北大学[課題番号：THK_12]）。

ウ．火山噴出物による災害誘因の即時予測手法

焼岳火山北西の足洗谷流域を対象として、土砂動態シミュレーションモデルSimHiSを用いて土石流発生ポテンシャルの変動に関する検討を行った。足洗谷流域では、凍結・融解作用で基岩が土砂化し、河道に不安定土砂として供給される。過去の観測により、河床に堆積した土砂が豪雨によって土石流化すると示唆されている。そのため、本研究では土石流の起源となりうる源頭部河道での河床堆積物の厚さを土石流ポテンシャルの指標とした。土石流が2019、2020年に発生した2支流（白水谷、黒谷）での土石流発生ポテンシャルを検討した。毎年の凍結・融解作用で生産された土砂により河床堆積土砂が増加し、

ポテンシャルが、ある程度高まった状態で豪雨を受けると土石流が発生し、堆積物が全て流出することでポテンシャルは0となり、また経年的にポテンシャルが増加していく、というサイクルを再現することができた（図6，京都大学防災研究所[課題番号：DPRI12]）。

（3）地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究

高知県において、南海トラフにおける M8 クラスの地震の連発の発生確率等に関する成果報告をするとともに、南海トラフ地震臨時情報の実効的活用に向けた課題に関する意見交換を行った。その結果、市民の理解不足や興味不足の課題が浮かび上がり、今後も臨時情報の啓発等のために連携を継続していく方針を確認した。また、静岡県とも連携し、臨時情報に関する啓発セミナーの講師を務めるなど社会発信をしつつ、自治体やメディア関係者等と意見交換を行った（東北大学災害科学国際研究所[課題番号：IRID04]）。

首都直下地震に関する認知体系について、都民に対するアンケート調査をもとに明らかにした。その結果、そもそも国（内閣府）や東京都の公表している被害想定の内容に対する認知が低く、信頼性に課題があること、また、それらを住民が認知したとしても、その内容に沿った地震対策が行われるわけではないということが実証された。かつ、「都民の考える被害想定」も地震対策に結びついていないわけではないことが明らかになった（東京大学情報学環[課題番号：III_01]）。

今後の展望

5か年の研究計画における最終年として、それぞれの個別課題において既往研究成果の高度化が順調に進展するとともに、特に地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究については、新規課題として新しい成果を得た。今後は、さまざまな手段で推定される災害誘因予測の情報をよりの確に災害情報につなげるための研究を加速させるとともに、事前・即時予測技術のさらなる底上げが重要になると考える。

成果リスト

- 荒井紀之・山崎新太郎・土井一生，2023，三波川帯における深層崩壊斜面の地震動計測－高知県大豊町トウジ山の地すべりを事例として－，日本地すべり学会誌，60，6，doi:10.3313/jls.60.265.
- Asano, K. and T. Iwata, 2023, Rupture Process and Strong Ground Motions of an M6.5 Earthquake in a Long-lasting Earthquake Swarm in the Northeastern Noto Peninsula, Japan, AGU 2023 Fall Meeting, S13D-0383.
- 浅野公之・岩田知孝，2023，強震波形記録による2023年5月5日石川県能登地方の地震（M6.5）の震源過程，日本地震学会2023年秋季大会，S22-08.
- 浅野公之・岩田知孝・関口春子，2024，不均質震源断層モデルのすべり角のばらつき，地震第2輯，76，287-294，doi:10.4294/zisin.2023-14.
- 浅野公之・岩田知孝・関口春子，2023，不均質震源断層モデルのすべり角のばらつきの特性化，日本地球惑星科学連合2023年大会，SCG60-P02.
- 浅野公之・関口春子・岩田知孝，2023，強震記録の自己相関関数を用いた京都－奈良盆地深部地盤構造モデルの検証，第16回日本地震工学シンポジウム，DDay1-G417-15
- 地頭菌隆，2023，諏訪之瀬島の降灰状況および土石流発生の危険性確認調査報告，令和5年度鹿児島

島県土砂災害対策アドバイザー会議

- 土井一生・釜井俊孝, 2023, 谷埋め盛土における地震時の過剰間隙水圧の振る舞いー横浜市内における観測データからの結果ー, 日本地すべり学会誌, 60, 2, doi:10.3313/jls.60.72.
- 土井一生・釜井俊孝, 2023, 谷埋め盛土における稠密常時微動観測, (公社) 日本地すべり学会第62回 (2023年度) 研究発表会, 2-8.
- 土井一生・松浦純生・大澤光・岡本隆・柴崎達也・土佐信一, 2023, 稠密地震観測から推定される地すべり内の地震波伝播の不均質性 (その2), Japan Geoscience Union Meeting 2023, SSS07-P02.
- 江成徹平・古村孝志, 2023, 強震波形記録による伝達関数を用いた長周期地震動の即時予測の数値実験, 日本地震学会2023秋期大会, S15-02.
- 江成徹平・古村孝志, 2023, 長周期地震動の即時予測に向けた地震波干渉法によるグリーン関数の活用, 日本地球惑星科学連合2023大会, SSS09-15.
- ERSOZ, T. and Y. GONDA, 2024, Investigation of different lahar types with rainfall intensity duration curves in Arimura river basin of Sakurajima volcano, International Journal of Erosion Control Engineering, 17(1), 1-14, <https://doi.org/10.13101/ijece.17.1>.
- Ersöz, T., K. Haneda, A. Kuribayashi, Y. Gonda, 2023, Temporal changes in lahar sediment run-off characteristics and run-off coefficients in the Arimura River basin of Sakurajima volcano, Japan, Earth Surface Process and Landforms, 48(14), 2682-2703, <https://doi.org/10.1002/esp.5654>.
- Ersoz, T., K. Haneda, A. Kuribayashi, Y. Gonda, 2023, Temporal Change of Lahar Runoff Coefficient in Arimura River Basin of Sakurajima Volcano, Proceedings of INTERPRAEVENT 2023, P2-5.
- 福島洋, 2023, 「南海トラフ地震臨時情報」を知り地震によりよく備える, 第153回ふじのくに防災学講座.
- 福島洋・中鉢奈津子・栗山進一, 2023, 行動変容に着目した地震防災の取り組みの試行的体系整理と地震警戒・注意情報の有効活用へ向けた検討, 第16回地震工学シンポジウム.
- Furumura, T. and BLN Kennett, 2023, Distinctive seismic reflections from the subducting Pacific slab for earthquakes in the Ryukyu arc, Geophys. J. Int., 233, 1213-1228, <https://doi.org/10.1093/gji/ggac514>.
- 古村孝志, 2023, 物理情報ニューラルネットワーク (PINN) を用いた津波伝播評価, 日本地球惑星科学連合2023大会, SCG55-P14.
- 古村孝志・大石裕介, 2023, 深層学習に基づく長周期地震動の即時予測実験 (その2) 高層ビルの揺れの予測, 日本地震学会2023秋期大会, S15P-10.
- 羽田京香・権田豊・Timur Ersoz, 2023, 桜島有村川流域における土石流の流出解析モデルの改良～表層の浸透過程の再検討～, 令和5年砂防学会研究発表会, 401-402.
- 林能成・高橋浩晃・元吉忠寛, 2023, 北海道における北海道・三陸沖後発地震注意情報の認識状況とその地域差, 社会安全学研究, 14.
- Hayashi, Y., 2023, Correction of Applied Equations used to Assess the Amplification between Offshore and Coastal Tsunami Heights, Journal of JSCE・土木学会, 11, 23-17036, [10.2208/journalofjsce.23-17036](https://doi.org/10.2208/journalofjsce.23-17036).

- Hayashi, Y., 2023, Examining the reliability of historical teletsunamis reaching Japan using literature review, 第28回国際測地学地球物理学連合総会 (IUGG2023), JP05p-084, 10.57757/IUGG23-0802.
- 林 豊, 2023, 1780年ウルップ島地震による日本への津波到達に関する真偽の検証, 歴史地震・歴史地震研究会, 38, 1-14, <http://histeq.jp/kaishi.html>.
- 林 豊, 2023, 文献調査による日本への歴史遠地津波の真偽の検証, 第40回歴史地震研究会, P-14.
- Hayashi, Y., M. Kiyomoto, G. Tange, K. Noguchi, S. Harada, and Y. Nishimae, 2023, Modifying the pre-computed tsunami database for real-time tsunami forecasting after the 2016 off-Fukushima earthquake by an unpredicted mechanism, 第28回国際測地学地球物理学連合総会 (IUGG2023), IUGG-0781, 10.57757/IUGG23-0781.
- Hayashi, Y., M. Kiyomoto, G. Tange, K. Noguchi, S. Harada, and Y. Nishimae, 2023, Modification of the pre-computed tsunami database for real-time tsunami forecasting by the JMA: Response to the 2016 off-Fukushima earthquake by the unexpected mechanism, 11th International Conference on Asian and Pacific Coasts 2023, Paper 148.
- 日高一・香川敬生・野口竜也, 2023, 微動観測による鳥取県第2庁舎の振動特性の把握, 第75回2023年度(令和5年)土木学会中国支部研究発表会, I-6.
- 日野亮太・久保田達矢・近貞直孝・太田雄策・大塚英人, 2023, 地殻変動検知に向けたS-net海底水圧データのノイズレベル評価, 日本地球惑星科学連合2023年大会, SSS12-P05.
- Hirata, k., R. Hino, H. Otsuka, Y. Ohta, N. Usui, 2023, Revisiting seafloor pressure records prior to the 2011 Tohoku earthquake, AGU Fall Meeting 2023, G43B-0492.
- 平田京輔・日野亮太・大塚英人・太田雄策・碓氷典久, 2023, 2011年東北沖地震以前の海底水圧データの再解析, 日本地震学会2023年度秋季大会, S43-07.
- Hoshiba, M., 2023, Does moment magnitude matter for earthquake early warning in the near-fault region?, 5th International Conference of Earthquake Early Warning
- Hoshiba, M., 2024, Overview of the 2024 Noto peninsula earthquake, 2024 Northern California Earthquake Hazards Workshop.
- Hoshiba, M., 2024, Review of nationwide earthquake early warning in Japan: 15 years' operation by JMA, 2024 Northern California Earthquake Hazards Workshop.
- 飯沼卓史・木戸元之・福田達也・太田雄策・富田史章・プラターマルティネス ライムンド・日野亮太・高橋浩晃・堀高峰, 2023, ウェーブグライダーを用いたGNSS-音響測距結合方式の改定地殻変動観測(その4), 地球惑星科学連合2023年大会, SSS12-P01.
- 今井俊輔・高橋浩晃, 2023, 応力条件を拘束したインバージョン法による千島海溝南部プレート間固着状況, 日本地震学会2023年秋季大会, S03-06.
- Ishii, K., M. Hayashi, H. Ishimoto, and T. Shimbori, 2023, Prediction of volcanic ash concentrations in ash clouds from explosive eruptions based on an atmospheric transport model and the Japanese meteorological satellite Himawari-8: A case study for the Kirishima-Shinmoedake eruption on April 4th 2018, Earth Planets Space, 75, 37, doi:10.1186/s40623-023-01790-y.
- 岩城麻子・森川信之・先名重樹・藤原広行・鈴木康弘, 2023, 活断層の詳細位置形状を取り入れた断層近傍の強震動予測, 第16回日本地震工学シンポジウム論文集, G417-13.
- 岩田知孝, 2023, 観測地震動に学んだ, 第51回地盤震動シンポジウム論文集, 35-42.

- Iwata, T. and K. Asano, 2023, Estimation of Rupture Velocities of the Amonos Segment during the 2023 South-Eastern Türkiye Earthquake of Mw 7.8, AGU 2023 Fall Meeting, S13C-0362.
- 岩田知孝・浅野公之, 2023, Strong Ground Motion Characteristics of the 2023 South-Eastern Turkey earthquake of Mw 7.8, 日本地球惑星科学連合2023年大会, SCG60-02.
- 岩田知孝・浅野公之・宮本英, 2023, 能登半島北東部の群発地震によるK-NET正院の地震動特性と地下構造, 日本地震学会2023年秋季大会, S22-10.
- Izumi, Y. and M. Sato, 2023, Evaluation of Atmospheric Phase Correction Performance in 79 GHz Ground-Based Radar Interferometry: A Comparison with 17 GHz Ground-Based SAR Data, Remote Sensing, 15, <https://doi.org/10.3390/rs15163931>.
- Izumi, Y., O. Frey, M. Sato, S. Baffelli, G. Nico, I. Hajnsek, 2023, A Novel Atmospheric Phase Correction Based on Kriging Incorporating Temporal Phase Evolution for Ground-Based SAR, 2023 8th Asia-Pacific Conference on Synthetic Aperture Radar (APSAR), doi:10.1109/APSAR58496.2023.10388907.
- Izumi, Y., R., Saito, A. S. Abd El-Hameed, J. Fujiwara, M. Sato, 2023, Evaluation of Atmospheric Phase Screen in 79 GHz MIMO Radar Interferometry, IGARSS 2023, doi:10.1109/IGARSS52108.2023.10281709.
- 香川敬生・末久由香子・野口竜也, 2023, 1927年北丹後地震で現れた郷村断層近傍の震動特性と地盤構造, JpGU 2023, SSS09-P13.
- Kodera, Y., 2023, Automatic unsupervised classification of tectonic tremor signals in continuous seismic records, 第28回国際測地学地球物理学連合総会 (IUGG2023), S04p-320, 10.57757/IUGG23-4852.
- 小寺祐貴, 2023, 機械学習から推定した伝播方向を用いた地震動即時予測: 距離減衰を導入したPLUM法の改善, 日本地震学会2023年度秋季大会, S15P-11.
- 小寺祐貴, 2024, 機械学習による単独観測点からの波動伝播方向推定およびPLUM法への応用, 東京大学地震研究所共同利用研究集会「固体地球科学的諸現象の即時解析・即時予測とその活用: 更なる高度化と新たな展開」, (13).
- 前田拓人, 2023a, 地震・津波波動場の時空間状態を推定するためのアジョイント方程式の導出, 日本地球惑星科学連合2023年大会, SSS07-P17.
- 前田拓人, 2023b, アジョイント方程式に基づく津波波動場推定の数値実験, 日本地震学会2023年秋季大会.
- 前田拓人, 2023c, アジョイント法による地震・津波波動場の把握: 最適制御理論に基づく導出と即時予測に向けた数値実験, 東京大学地震研究所共同利用研究集会「地震波形解剖学3.0」-高密度観測・高周波数地震動で見る地殻・マントル不均質構造
- Maeda, T., 2023d, Forward/inverse problems and data assimilation in earthquake seismology, 日本地球惑星科学連合2023年大会, MGI26-05.
- Minami, M., 2023, Comparison of the Friction Term in Difference Equation of Non-linear Long-wave Equation - Which Method is Superior, the Semi-implicit Method or the Fully Implicit Method?, 11th International Conference on Asian and Pacific Coasts 2023, Paper 128.
- 南雅晃, 2023, 津波数値計算における正確な減衰を表現するための新たな摩擦計算の検討, 日本

地震学会2023年度秋季大会, S17-06.

南雅晃, 2023, 津波数値計算における正確な減衰を表現するための新たな摩擦計算の検討, 第13回 巨大津波災害に関する合同研究集会, 2-4.

Miyake, H., J. J. Mori, D. J. Wald, H. Kawase, S. Toda, and P. M. Mai, 2023, Introduction to the Special Section for the Centennial of the Great 1923 Kanto, Japan, Earthquake, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 113, 1821-1825, 10.1785/0120230200.

宮本 英・浅野公之・岩田知孝, 2023, 強震動生成メカニズムと動的パラメータとの関係ー平成28年熊本地震を例にー, 日本地震学会2023年秋季大会, S15-09.

Miyata, S., Nonaka, M., Kubo, S., Fukunaga, K., Ando, S., Fujita, M., 2023, A novel approach to measuring pore fluid sediment concentrations of debris flows in a volcanic torrent, 8th International Conference of Debris Flow Hazard Mitigation, 100.

宮田秀介・野中理伸・藤田正治・安藤詳平・久保世紀, 2023, 桜島における土石流間隙流体土砂濃度の観測, 令和5年砂防学会研究発表会, P-111.

森田寅靖・古村孝志・前田拓人, 2023, アジョイント方程式に基づく, 2次元P-SV波動場及び震源推定の試み, 日本地震学会2023秋期大会, S01-10.

永田秀尚・山崎新太郎, 2023, 付加体に発達するスラストをすべり面とする熊本県宮目木谷地すべりと2020年7月豪雨による崩壊, 日本地すべり学会誌, 60, 6, doi:10.3313/jls.60.259.

Nakagaki, T., and Y. Tanioka, 2023, Numerical Simulation of Submarine Landslide Tsunami due to the 1946 Aleutian Tsunami Earthquake, APAC 2023, 14-17 Nov., Kyoto, Japan.

中里友輔・堤大三・宮田秀介・山野井一輝・井口正人, 2023, 火山噴出物の飛来・積雪層貫入・融雪を組み込んだ融雪型火山泥流の解析, 令和5年砂防学会研究発表会, R8-4.

西田良平・香川敬生・池本美緒・横山展宏・村瀬謙介・櫻井修, 2023, 鳥取の震災-あの日から80年過去から学び備える今-, (一社)鳥取市社会教育事業団.

野上風馬・野口 朗・隈元 崇, 2023, ETAS 地震発生シミュレーションによる背景地震の規模別頻度分布評価, 2023年日本活断層学会学術大会.

野口恵司・溜渕功史・林元直樹・小寺祐貴, 2023, 緊急地震速報の震源推定手法のIPF法への一本化, 日本地震学会2023年度秋季大会, S15-01.

野口竜也・河野勝宣, 2023, 微動観測に基づく地すべり地域ー島根県多伎町ーの地盤震動特性と地盤構造, 日本地震学会2023年度秋季大会, S16P-04.

野口竜也・黒岩綾香・今津慶大・西村武・香川敬生, 2023, 稠密微動観測に基づく堆積層の急変地域における地盤構造の推定, JpGU 2023SSS09-P03, SSS09-P03.

野口竜也・西村武・香川敬生, 2023, 1943年鳥取地震における吉岡断層近傍の地盤振動特性と地盤構造, 第16回日本地震工学シンポジウム, G417-21.

緒方夢顕・浅野公之・岩田知孝, 2023, 熊本県地域の強震記録のS波自己相関関数を用いた堆積層ー基盤岩速度境界面の検出, 日本地球惑星科学連合2023年大会, SSS09-20.

Ogiso, M., 2023, Estimation of high-frequency source radiation energy of small earthquakes in Japan using seismogram envelopes considering the heterogeneous seismic structure, 第28回国際測地学地球物理学連合総会 (IUGG2023), S03p-063, 10.57757/IUGG23-0642.

Ogiso, M., 2023, Depth dependency in high-frequency source radiation energy of small earthquakes in Japan estimated from full seismogram envelopes, Asia Oceania

Geosciences Society 20th Annual Meeting (AOGS2023), SE17-A007.

小木曾仁, 2023, 地震動エネルギーの逆伝播を用いた面的震度分布の事後推定, 第16回日本地震工学シンポジウム, Day1-G417-26.

小木曾仁, 2023, 不均質な地下構造の影響を考慮した地震波エンベロープを利用した震源放射エネルギーの推定, 東京大学地震研究所共同利用研究集会「地震波形解剖学 3.0」- 高密度観測・高周波数地震動で見る地殻・マントル不均質構造 -, S23-P03.

小木曾仁・対馬弘晃, 2023, 海洋波のグラディオメトリ解析(2): 振幅項に着目した2022年トンガ津波の伝播過程, 日本地震学会2023年度秋季大会, S17-05.

小木曾仁・対馬弘晃, 2024, 海洋波のグラディオメトリ解析: 津波即時予測への活用へ向けた検討, 東京大学地震研究所共同利用研究集会「固体地球科学的諸現象の即時解析・即時予測とその利活用: 更なる高度化と新たな展開」, (20).

大熊祐里英・隈元 崇, 2024, 文禄五年閏七月九日の伊予・豊後地震に関する特性化震源モデルを用いた中央構造線活断層帯の断層パラメータの検証, 文明動態学, 3, 21-40, Doi 10.18926/66189.

Ohta Y., 2023, A review of the contribution of real-time GNSS to disaster prevention and mitigation in Japan, 28th IUGG General Assembly, IUGG23-1032.

Ohta Y., K. Ohno, S. Abe, T. Miyazaki, N. Takamatsu, S. Kawamoto, 2023, Development of a fault model estimation method based on real-time MCMC and its implementation to a real GNSS network, 28th IUGG General Assembly, IUGG23-0751.

大野圭太郎・太田雄策・高松直史・宗包浩志, 2023, 推定の不確実性を定量化した圧力源モデルリアルタイム推定手法の開発, 日本測地学会第140回講演会, 27.

Oprsal, I., H. Sekiguchi, T. Iwata, and J. Burjanek, 2023, Influence of low-velocity superficial layer on long-period basin-induced surface waves in eastern Osaka basin, Earth Planets Space, 75, 287-294, doi:10.1186/s40623-023-01804-9.

大澤光・土井一生・荒井紀之・東良慶・渡壁卓磨・山川陽祐, 2023, 線状凹地を有する地すべり地における地盤構造の推定, Japan Geoscience Union Meeting 2023, HDS10-02.

大澤光・土佐信一・松浦純生・柴崎達也・土井一生・岡本隆, 2024, 大変位高速地すべりのための高分解観測システムの開発とその観測事例, 日本地すべり学会誌, 受理済み.

Otsuka H., Y. Ohta, R. Hino, T. Kubota, D. Inazu, T. Inoue, N. Takahashi, 2023, Non-tidal oceanographic fluctuation characteristics recorded in DONET ocean-bottom pressure time series using principal component analysis, Earth Planets Space, 75, 112, 10.1186/s40623-023-01862-z.

Otsuka H., Y. Ohta, R. Hino, T. Kubota, D. Inazu, T. Inoue, N. Takahashi, 2023, Evaluation of the ability to extract crustal deformation signal from ocean bottom pressure time series using principal component analysis, 28th IUGG General Assembly, IUGG23-1390.

大塚英人・太田雄策・日野亮太, 2023, OBPデータに対するPCA適用によるSSE検出能力の事例研究ーヒクランギ沖, アラスカ半島沖の場合ー, 日本地震学会2023年度秋季大会, S43-08.

大塚英人・太田雄策・日野亮太, 2023, 海底水圧計に主成分分析を適用した非定常地殻変動検出の試み, 日本測地学会第140回講演会, 04.

大塚英人・太田雄策・碓氷典久・日野亮太・久保田達矢, 2023, MRI.COM-JPNモデルを用いた日本近海における海底水圧記録の海洋変動低減効果の定量評価, 日本地球惑星科学連合2023年大

会, SSS12-07.

- Ratnasari, R.N., Y. Tanioka, Y. Yamanaka, and I. E. Mulia, 2023, Development of early warning system for tsunami accompanied by collapse of Anak Krakatau volcano, Indonesia, *Frontiers in Earth Science*, 11, 1-13, doi:10.3389/feart.2023.1213493.
- Ratnasari, N. R., Y. Tanioka, and Y. Yamanaka, 2023, Development of Real-Time Forecasting Method for Anak Krakatau Volcanic-induced Tsunamis, Indonesia, IUGG 2023, 11-20, Berlin, Germany.
- Ratnasari, N. R., Y. Tanioka, Y. Yamanaka, and I. E. Mulia, 2023, Development of Real-Time Forecasting Method for Anak Krakatau Volcanic-induced Tsunamis, Indonesia, APAC 2023, 14-17 Nov., Kyoto, Japan.
- 齋藤さやか・安本真也・関谷直也, 2024, 震動予測地図における確率表現のリスク認知ー全国意識調査をもとに, 東京大学大学院情報学環紀要 情報学研究・調査研究編, 40, 査読無, (印刷中)
- Satake, K., 2023, History and improvements of the Japanese tsunami warning system, 20th Annual Meeting of Asia Oceania Geosciences Society, OS06-A001.
- 佐藤英一, 2023, 二重偏波気象レーダーによる火山灰の定量的推定について, 日本地球惑星科学連合大会, MIS23-P05.
- 佐藤英一, 2023, 二重偏波気象レーダーによる火山噴煙の観測と応用について, 日本火山学会, A1-03.
- 関口春子・浅野公之・吉見雅行, 2023, 浅層ボーリングデータを用いた大阪盆地地盤構造モデルの修正, 京都大学防災研究所年報, 66B, 1-4.
- 関谷直也, 2023, 関東大震災の社会的影響, 大正関東地震100年シンポジウム.
- 新堀敏基・林 昌宏・石元裕史, 2023, 気象衛星による大規模噴煙解析ー2022年1月15日トンガ海底火山噴火の事例ー, 験震時報, 87, 2,
https://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/kenshin/vol87_2.pdf.
- 新堀敏基・橋本明弘・石井憲介・林 洋介, 2023, 移流拡散モデルによる再飛散火山灰予測, 日本火山学会, A3-26.
- 染矢真好・古村孝志, 2023, Physics-Informed Neural Network (PINN) による地震波伝播の予測: 2次元音響場での数値実験, 日本地震学会2023秋期大会, S01-P06.
- 末久由香子・香川敬生・野口竜也, 2023, 微動探査から推定される郷村断層(京都府京丹後市)近傍の地盤構造, 第75回 2032年度(令和5年)土木学会中国支部研究発表会, I-5.
- Sung, C.-H., H. Miyake, N. Abrahamson, and N. Morikawa, 2024, Nonergodic Ground-Motion Models for Subduction Zone and Crustal Earthquakes in Japan, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 114, 10.1785/0120230258.
- 高松直史・宮崎隆幸・大野圭太郎・村上真亮・小代知波・太田雄策, 2023, リアルタイム GNSS 測位におけるノイズ特性ー地殻変動の即時把握の高度化に向けてー, 日本測地学会第140回講演会, 26.
- 武田歩真・田中 良・中島悠貴・村上 亮・鈴木敦夫・山口照寛・青山 裕・太田雄策, 2023, 有珠山におけるマルチGNSS観測データのリアルタイム解析に向けてーキネマティック測位の精度検証ー, 日本地球惑星科学連合大会, SVC31-P03.
- 溜渕功史, 2023, 地震識別手法の高度化に基づく地震動即時予測の改善と特異な地震活動の解明,

日本地震学会2023年度秋季大会, S20-04.

為栗健・井口正人, 2023, 火砕流のリアルタイム流下予測, 令和4年度京都大学防災研究所研究発表講演会, A302.

Tanioka, Y., and Y. Yamanaka, 2023, Recent progress in research on source processes of great earthquakes using tsunami data, *Prog. Earth Planet. Sci.*, 10, 61, doi:10.1186/s40645-023-00593-9.

田屋大輝・古村孝志, 2023, 畳み込みニューラルネットワークによる長周期地震動予測, 日本地球惑星科学連合2023大会, SCG55-13.

Taya D. and T. Furumura, 2023, A forecast of long-period ground motions by using a convolutional neural network, IUGG The 28th General Assembly, Berlin, IUGG23-2681.

Taya S. and T. Furumura, 2023, Real-time forecast of long-period ground motions by Green's function obtained from seismic interferometry, IUGG The 28th General Assembly, Berlin, IUGG23-2334.

Tsushima, H., 2023, Capability of inversion of dense offshore tsunami measurements to constrain spatio-temporal evolution of tsunami source process, 第28回国際測地学地球物理学連合総会 (IUGG2023), JP05p-097, 10.57757/IUGG23-3548.

Tsushima, H., Y. Hayashi, and T. Yamamoto, 2023, Impact of tsunami measurements from dense offshore network on modeling of tsunami source and propagation, 第28回国際測地学地球物理学連合総会 (IUGG2023), IUGG-1610, 10.57757/IUGG23-1610.

対馬弘晃・山本剛靖, 2023, 環太平洋で発生する津波の顕著後続波の可能性: 津波伝播数値計算による試算, 日本地震学会2023年度秋季大会, S17P-02.

対馬弘晃・山本剛靖, 2023, 環太平洋で発生する津波の顕著後続波の可能性: 津波伝播数値計算による試算, 第13回 巨大津波災害に関する合同研究集会, 1-1.

Tsushima, H., Y. Hayashi, and T. Yamamoto, 2023, Impact of Tsunami Measurements from Dense Offshore Network on Modeling of Tsunami Source and Propagation: A Case Study of the 2016 Mw 6.9 Off-Fukushima Earthquake, 11th International Conference on Asian and Pacific Coasts 2023, Paper 146.

戸松 誠, 竹内慎一, 川村 壮, 今井崇嗣, 小野塚仁海, 2023, 日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に係る被害想定及び防災対策効果に関する研究, 地方独立行政法人北海道立総合研究機構 建築研究本部 北方建築総合研究所調査研究報告, 434.

富田史章・木戸元之・飯沼卓史・太田雄策・日野亮太・大園真子・高橋浩晃・プラターマルティネ・ライムンド・野徹雄・中東和夫・中村恭之, 2023, 日本海溝・千島海溝沿いにおける GNSS音響海底測地観測とその成果, 日本地震学会2023年秋季大会, S03-05.

G. Wang, S. Wu, I. Doi, G. Furuya, N. Watanabe, 2023, A translational deep-seated bedrock landslide triggered by the 2018 Hokkaido Eastern Iburi Earthquake, XIV IAEG Congress 2023, B621.

王功輝・巫昇山・土井一生・古谷元・渡部直喜, 2023, On the initiation and movement of a deep-seated bedrock landslide triggered by the 2018 Hokkaido Eastern Iburi Earthquake, Japan, Geoscience Union Meeting 2023, HDS05-P19.

Yamada, M., K. Tamaribuchi, S. Wu, and D.Y. Chen, 2023, IPFx: extended integrated particle filter method for earthquake early warning and application to the international

networks, AGU Fall Meeting 2023, NH13C-0691.

Yamada, T. and Y. Ohta, 2023, Evaluation of self-similarity of a coseismic slip by estimating a correlation length in von Karman autocorrelation, AGU Fall Meeting 2023, T33E-0240.

Yamada, T. and Y. Ohta, 2023, Development of the simultaneous estimation method of slip distribution and its correlation length based on the assumption of self-similarity, 28th IUGG General Assembly, IUGG23-0630.

山田太介・太田雄策, 2023, すべり分布推定における相関距離の同時評価とその適用, 日本測地学会第140回講演会, P27.

山田太介・太田雄策, 2023, 自己相似性を仮定したすべり分布推定における相関距離の同時推定, 日本地球惑星科学連合2023年大会, STT44-03.

山崎新太郎, 2023, 特徴的な変形作用を受けた結晶片岩で発生する四国山地の深層崩壊, 日本地球惑星科学連合2023年大会, HDS10-03.

山崎新太郎, 2023, 砂岩の変形と風化がもたらした深層崩壊の集中的発生場, 日本地質学会第130年学術大会, G3-0-1.

山崎新太郎, 2023, 四国山地の斜面災害発生場の特徴と徳島県・有瀬地すべりについて, 砂防学会中四国支部 2023年シンポジウム.

山崎新太郎, 2023, 付加体メランジュの砂岩地域における深層崩壊の多発, 日本地すべり学会第62回研究発表会, 2-5.

山崎新太郎, 2024, 国土地理院・干渉SAR時系列解析結果を用いた四国山地の斜面変動推定領域の抽出, 日本地すべり学会誌, 受理済み.

山崎新太郎・渡邊達也, 2023, 砂岩の風化した断層破碎帯を素因とする破壊的流動性崩壊, 日本地すべり学会誌, 60, 6, doi:10.3313/jls.60.274.

山下日和・鈴木康弘・向山 栄・室井翔太・山下久美子・福場俊和・村木昌弘・杉本 惇・小俣雅志, 2023, 2016 年熊本地震の地表地震断層周辺における地表変形特性の分析, 2023年日本活断層学会学術大会.

安本真也, 2023, 大規模災害時における情報の課題—地震と流言・避難—, 第13回災害コミュニケーションシンポジウム (DCS2023) ～関東大震災から100年目の災害情報処理とは～.

安本真也・葛西優香・富澤周・内田充紀・関谷直也, 2023, 地震防災における感情的アプローチの可能性—ドラマ「パラレル東京」による認知の変化についての追加分析—, 日本災害情報学会第27回学会大会.

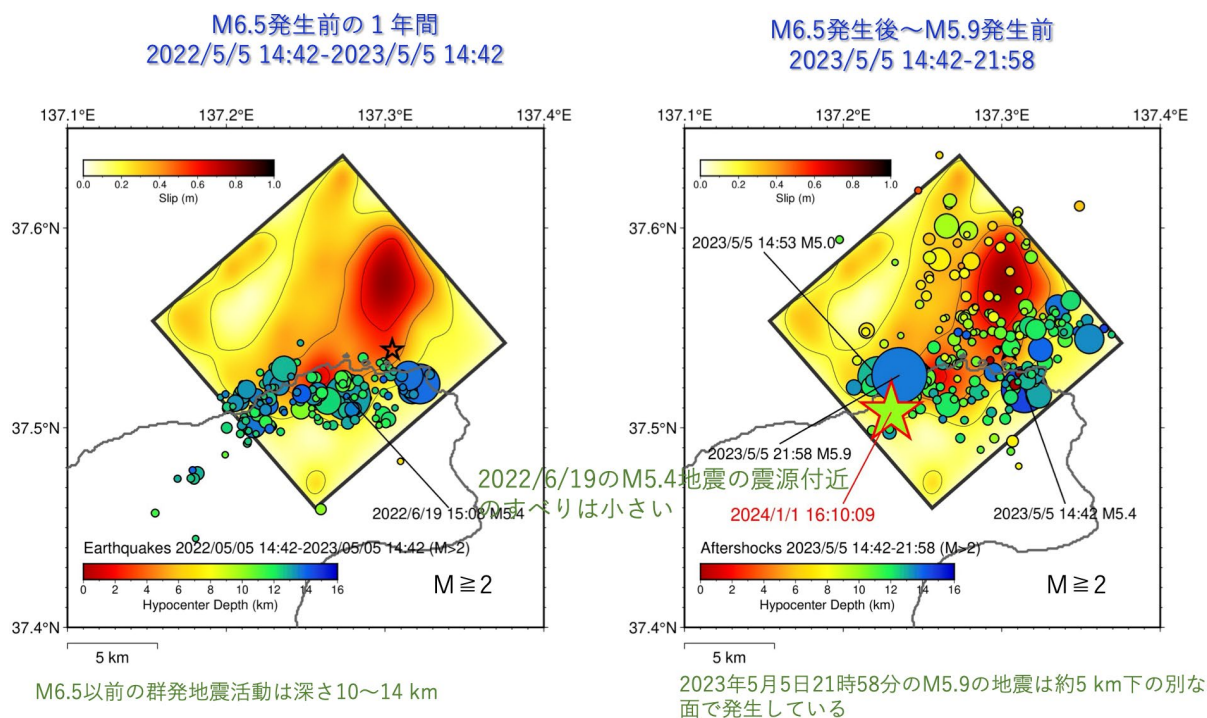


図1. 2023年5月5日能登半島北東部の地震M6.5のすべり分布モデル（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI09]）。

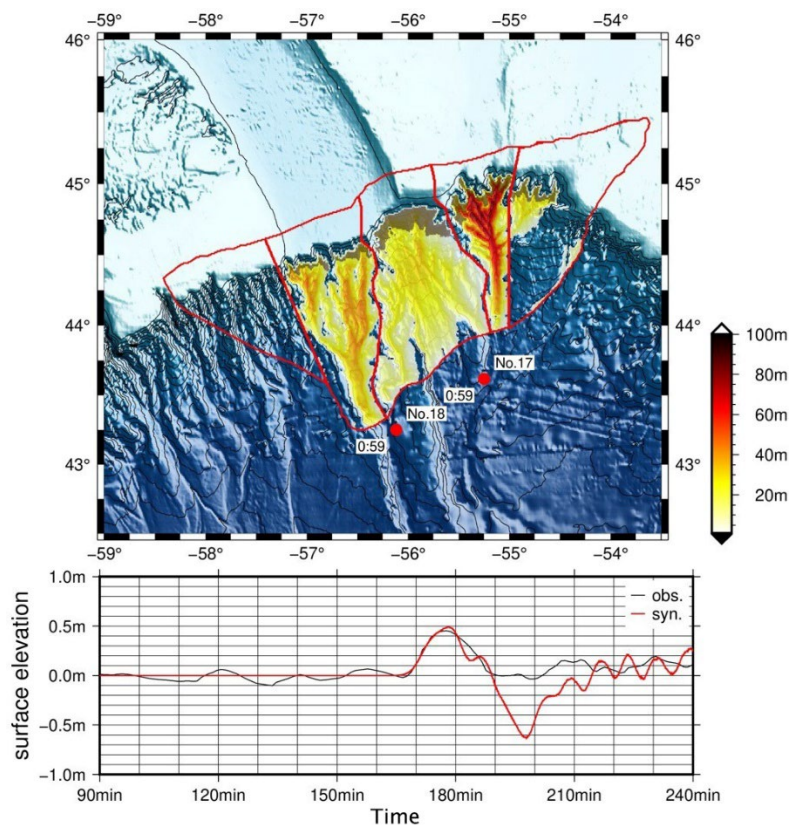


図2. 1929年Grand Banksの海底斜面崩壊による津波の再現実験の結果。上)斜面崩壊の層厚分布、下)Halifaxの検潮記録と計算記録の比較（北海道大学[課題番号：HKD_05]）。

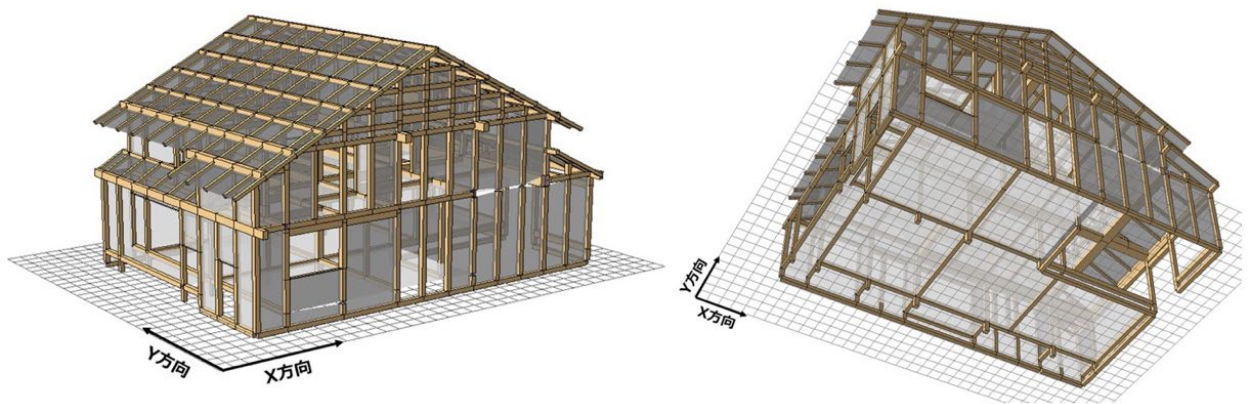


図 3. 1943 年鳥取地震を経験した伝統構法建築物のモデル（左：北東側から，右：基礎側から）（鳥取大学[課題番号：TTR01]）。

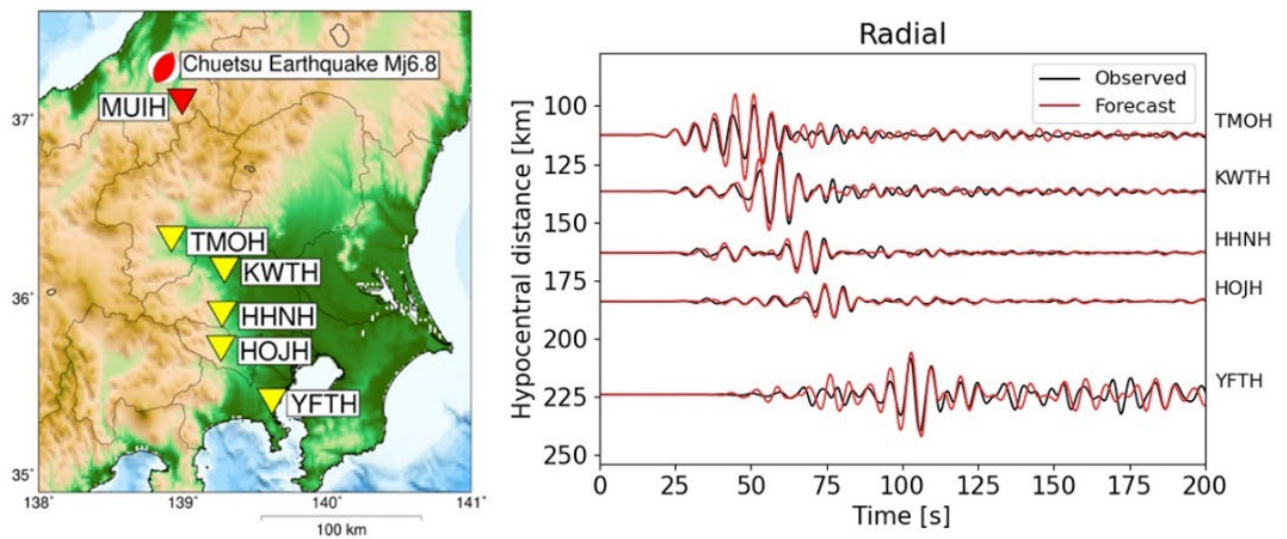


図 4. 伝達関数を用いた長周期地震動の予測例。2004 年新潟県中越地震における予測地点（黄色▽）の地震動の予測結果（赤線）と実際の観測波形（黒）の比較。赤▽は入力地点を表す（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_14]）。

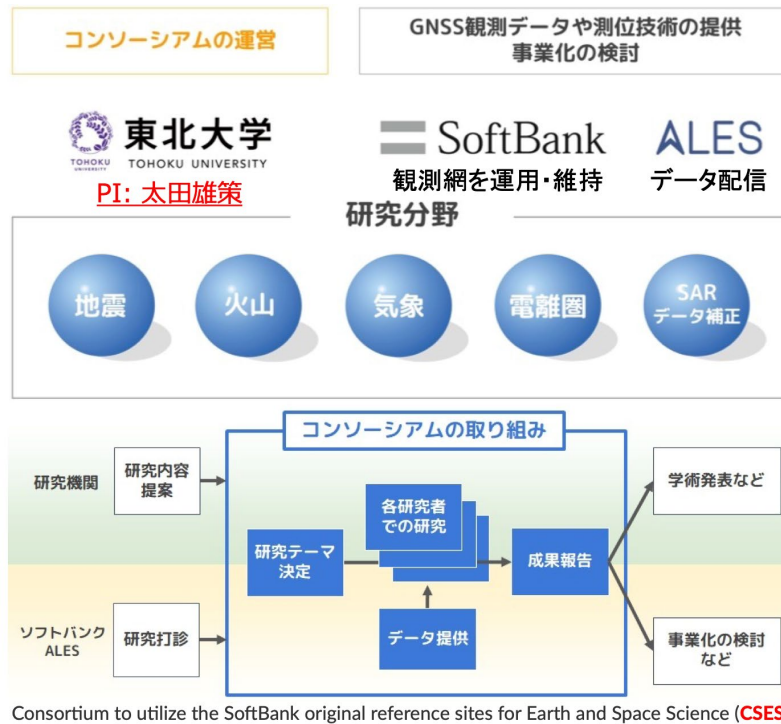


図 5. ソフトバンク独自基準点データの宇宙地球科学用途利活用コンソーシアムの枠組み（東北大学[課題番号：THK_12]）。

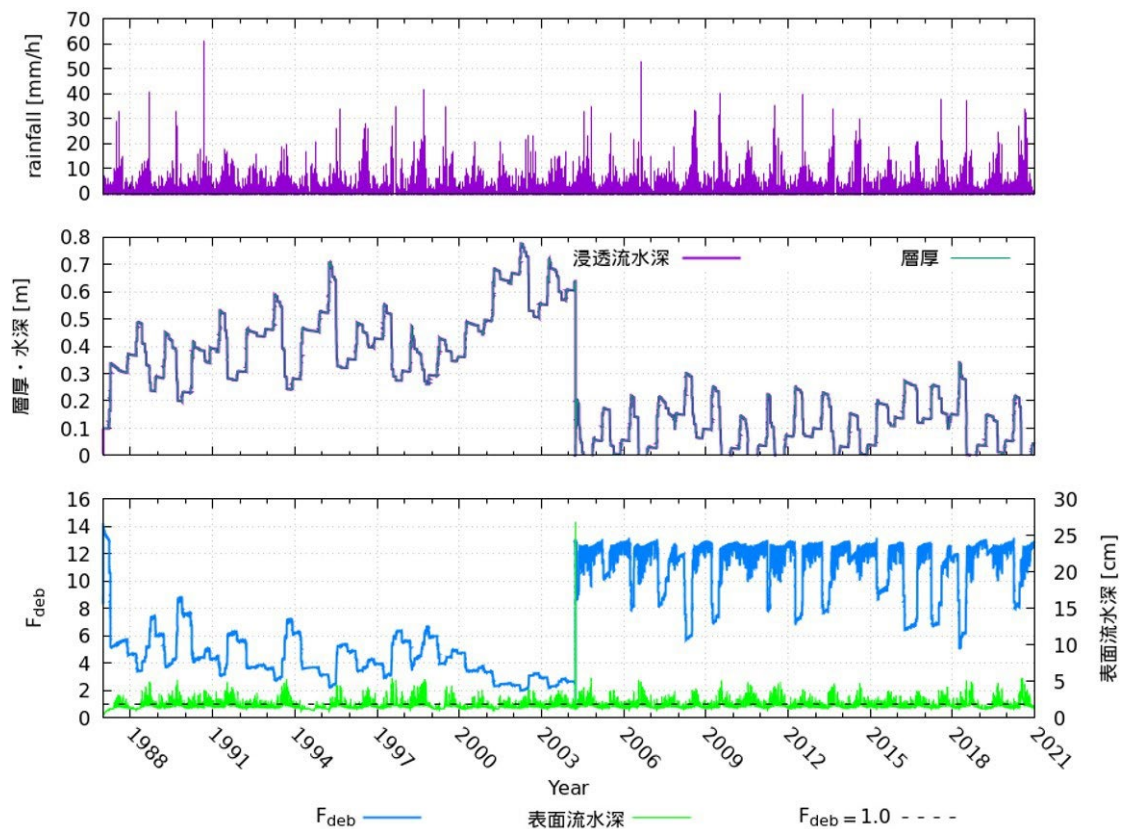


図 6. 白水谷源頭部河道のシミュレーション結果。層厚は河道堆積土砂厚（＝土石流ポテンシャル）， F_{deb} は河床堆積物の安全率を示し， $F_{deb} < 1$ のときに河床堆積物が起源となった土石流が発生する（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI12]）。

1 (6) 防災リテラシー

「防災リテラシー」計画推進部会長 高橋 誠

(名古屋大学大学院環境学研究科)

副部会長 井ノ口 宗成

(富山大学都市デザイン学部)

地震・火山噴火現象の理解・予測を災害の軽減につなげるためには、地震・火山噴火といった自然現象に起因する災害誘因（外力）だけでなく、地形・地盤などの自然環境や、人間の持つ特性や社会の仕組みといった災害素因（自然素因と社会素因）を理解し、地震・火山噴火による災害の発生機構を総合的に解明することが必要であり、また、それらの研究成果を社会に対して適切に還元することが求められる。そのためには、社会が地震・火山噴火災害による被害の発生を抑止したり軽減したりするために必要とされる知識体系を明らかにすることが必要である。

現時点における研究成果に鑑みると、災害誘因としての自然事象に関する理解や予知・予測、災害誘因と災害素因との結び付きによって災害が発生する要因や機構に関する理解から、被害が発生した場合の対応にかかわる方策を得ることによって、災害の軽減を図ることが目指されている。とりわけ災害素因については、構造物や土地利用にとどまらず、人間の認知や行動、企業やコミュニティなどにおける脆弱性の理解といった災害予防の側面に重点が置かれる。また、過去の地震・津波・火山災害事例の被害・応急・復旧・復興といった災害過程、あるいは、将来の地震・火山噴火災害への備えに焦点を当てた研究が行われている。一方、社会における防災リテラシーの実態やニーズに関する調査に基づいてその向上のために必要とされる知識要素を探り、研修プログラムや教材の開発につなげるような実践的な試みも行われている。その際、大学の研究施設のみならず、行政機関や地域社会、広く市民社会との連携も試みられている。

防災リテラシー部会は、基本部分を前計画における地震・火山災害部会から引き継ぎながら新たに設置された。防災・減災に対する社会の要請を意識し、理学・工学・人文社会科学の研究者が連携することによって、災害事例に基づき、災害の発生要因を災害誘因と災害素因とに関連づけて解明する研究を従前どおり推進する。また、マイクロジオデータやオープンサイエンスの手法なども活用し、産業界や行政機関、一般市民などのステークホルダーとの連携を深めつつ、社会における防災リテラシーの実態調査や災害軽減に効果的な知識体系要素の探求などを通して、地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究を行うものである。

5年間の成果の概要

第2次の観測研究計画では、地震・火山噴火現象の理解・予測を災害の軽減につなげるための災害科学の確立を目標として、防災・減災に対する社会の要請を意識しながら、全国の大学における理学・工学・人文社会科学の研究者が連携することによって、地震・火山噴火の災害事例による災害発生機構の研究と、地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究を実施してきた。

具体的に、地震・火山噴火の災害事例による災害発生機構の研究においては、近世・近

代の史料を批判的に検討し、1855年安政江戸地震や1640年北海道駒ヶ岳噴火など、災害の具体像を復元するとともに社会の対応を分析した。また、東日本大震災などの近年の災害を事例にしながら、災害復興や防災対策、防災教育などの社会対応の課題に関する検討を蓄積してきた。とりわけ、自治体の応急対応や防災計画に加え、企業やコミュニティが南海トラフ地震などの将来の災害に備えるための課題に関する示唆を得た。地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究に関しては、GISなども利用しながら、災害の社会素因である脆弱性を個人レベルで評価・可視化する手法を開発するとともに、様々な地域や集団を対象に社会の防災リテラシーの実態把握を蓄積した。オープンサイエンスやリスクコミュニケーションなど新しい手法を取り入れ、行政機関や一般市民などと連携しながらリスク認知能力を涵養したり知識レベルを向上させたりする取り組みを展開し、具体的に研修プログラムの体系化を行い、教材コンテンツを作成した。これらの取り組みの中では、人文社会科学の研究者が地震学や火山学の研究者と連携して研究を進め、地域住民や観光客等、様々なステークホルダーに応じて行政機関や地域の学習・研究施設などと協働する仕組みを整えた。以上の成果の一部は、それぞれ著書や論文として発表したほか、Journal of Disaster Research (Vol.19, No.1, 2024年)において、「Literacy for Disaster Resilience: Building a Societal Capacity for Reducing Disasters Due to Earthquake and Volcanic Eruption」と題する特集号（論文10篇、調査報告5篇を収録）として刊行した。

今後は、本計画における研究による知見をもとに、次期計画等において、「防災リテラシー」の概念を中軸に、さらなる検証や体系化・理論構築を図っていくことが重要である。地震・火山噴火の災害事例による災害発生機構の解明においては、近年の地震・津波・火山災害を中心に自然災害事例を蓄積し、とりわけ土地利用や地域社会の脆弱性と結び付けて災害発生機構の理論を洗練させ、効果的な防災政策や計画手法として実装化を目指す。また、人間のリスク認知や行動特性に関して、心理・脳科学に加え行動経済学のアプローチを導入し、災害の予測や予防、災害対応にかかわる知識要素と結び付けて検討することによって実践的な防災リテラシーを獲得する。地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究においては、これまで把握してきた防災リテラシーの実態やニーズに基づき、他の計画推進部会や総合研究グループと連携しながら、防災リテラシーを高めるために必要とされる知識・技能要素の整理と体系化を図り、評価尺度や方法を検討しながら、地震や火山噴火の自然科学的特性を踏まえた防災教育・研修プログラムの開発を継続する。その際、行政やコミュニティ等の様々なステークホルダーとの協働、情報技術やGISなどの新しい手法の活用を進めることが重要である。

令和5年度の成果の概要

4. 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害事例による災害発生機構の解明

地震・火山噴火災害の発生機構を理解するためには、災害事象を、それが生じる場所や地域の歴史的・地理的・社会的特性と関連づけて分析することが重要である。

近代以前に発生した地震・火山災害については、1640年北海道駒ヶ岳噴火と同時代の史料の調査・分析から噴火の推移を再検討し、7月31日の噴火以前にも火山活動がみられた可能性があることなどの知見を得た。また、地震後の調査をまとめた史料をもとに、

1855 年安政江戸地震において怪我人が出た状況について整理し、「江戸大地震之図」にも同様の描写があることを確認するとともに、地震対策となる地震口がその後の 1910 年代にも東京で採用されていた事例（図 1）を検討した。東京帝国大学では、1923 年大正関東地震に伴う火災によって図書館等の多くの蔵書が焼失したが、貴重書としての史料の保管場所が、震災時の搬出に不便な位置であった点が災いしたことなどを明らかにし、史料の防災対策の難しさを指摘した（東京大学史料編纂所[課題番号：UTH_02]）。

津波災害はとりわけ地形環境とその変化に大きく影響を受ける。前年度まで復原を進めてきた岩手県宮古市の歴史地形の痕跡や、2011 年の東日本大震災における被害状況を確認するために、フィールドワークを実施した。その結果、岩手県宮古市の市街地の南岸を流れる閉伊川の河口に前近代まで存在した砂州が埋め立てられ陸地化した状況や、宮古市街地を流れる山口川で前近代の流路が変更され、旧河道が暗渠化されている現状を確認した。東日本大震災においては、かつての砂州を埋め立てた場所に建設されていた当時の宮古市役所庁舎が津波で被災し、また市街地にも山口川の旧河道に沿って津波が侵入しており、歴史地形と 2011 年の津波被害の間に明確な因果関係があることを確認した（東北大学災害科学国際研究所[課題番号：IRID05]）。

東日本大震災については、復興後の被災地の防災力は強化されたのかという問題について、宮城県女川町を事例に検証を行った。高台への居住地移転や低地の土地利用規制などによって津波からの安全性は向上したが、その過程において人口の著しい流出がもたらされ、結果として、震災前と比較して世帯の分解・縮小が顕著に進んだこと、コミュニティの近隣関係・地域活動・生活条件は顕著に衰退・悪化したこと、地域の防災活動も著しく停滞した状態にあることなどを明らかにした。南海トラフ地震対策に関する高知市の調査も踏まえ、ハザードに対する科学的な理解や制御と、こうした社会的な観点に立った災害・防災の捉え方とを組み入れた防災計画の必要性を指摘した（名古屋大学[課題番号：NGY_06]）。

南海トラフ地震によって大規模な被害が発生した場合、避難生活の長期化が予測される。兵庫県による南海トラフ地震の被害想定から、被害想定ของ小さい兵庫県北播磨地域において被災者受け入れの意向を把握し、広域避難に伴う問題点を検討した。その結果、空き家活用特区制度について、かなり前向きな意見が多く、とりわけ人口減少・高齢化・空き家増加が課題となる地区において、平時の地域活性化の仕組みとしてこの制度に対する期待が高いことが明らかになった。ただ、都市部から人が流入する際の懸念に関しては特に高齢世代について高く、たとえば二地域居住（図 2）といった、平時からの実験的な取り組みを通じて関係構築を進めておかないと、新規居住者と旧来からの住民との間に軋轢が生じる可能性も明らかとなった（兵庫県立大学[課題番号：HGY_02]）。

2021 年の阿蘇山噴火は災害にまでは至らなかったが、噴火発生時に火口から 1~2 km の登山道に 10 名を超える登山者がおり、一歩間違えば人的被害に繋がっていた可能性のあるインシデントである（図 3）。そこで、これまでの阿蘇山での火山活動とそれによる災害、防災対策、火口周辺の利活用などに関する文献調査を行うとともに、このインシデントの発生過程を現地調査に基づいて整理した。その結果、火山活動の活発化にともない、気象庁からの情報は段階的に発表されていたが、それが速やかで効果的な登山道閉鎖には繋がらなかったこと、また、登山者の火山情報収集にも課題があった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]）。

（２）地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

社会における防災リテラシーの実態の把握については、本年度も、応急期を想定したシナリオに基づいて、個人および集団レベルにおけるリスク認知や避難行動の量的分析を行う研究が蓄積された。

北海道太平洋沿岸部の津波浸水想定区域の更新に伴う津波避難の課題を抽出するために、これまでの分析を継続しつつ、本年度は自治体・住民組織を対象とした災害関係の情報流通に関する分析を行った。ここでは、防災・減災の対策を、各種避難警報やハザードマップなどを要素とした情報の流通に関して検討し、災害リスクを軽減させるために国・地方自治体・住民組織・住民個人の間で、どのような情報流通を行う必要があるかを明らかにした。また、この情報流通を加速させる手段について、自治体と協力し実証実験を行った。ここでは、自宅から避難場所までの住民行動を総合的に扱い、避難開始や避難場所選定などに関する住民の意思決定についてはファジーAHPなどの手法で分析した。また、避難移動に関しては現実空間の模擬避難実験と仮想空間の避難シミュレーションを統合して分析した（北海道大学[課題番号：HKD_07]）。

災害情報が被害の発生抑止・軽減に資する過程を明らかにするために、行動実験データと、これを用いて行った脳活動計測実験のデータの詳細分析を行った。とりわけ後者については、平均課題脳反応と「感情制御」得点の負相関が感情反応領域（両側島皮質・前帯状回）で、感覚課題脳反応とリスク感受性の負相関が感情反応領域（前帯状回）で、数値課題脳反応とリスク精査傾向の正相関が記憶関連領域（右海馬）でそれぞれ見られた（図4）。これらの結果から、リスクに関わらず「まず避難」する意思決定特性（リスク感受性）や、これと正相関する「感情抑制」特性は、脳内の感情反応領域の抑制と関連し、一方、避難意思決定にあたってリスクを精査する傾向は記憶参照過程と関連することが示唆された（東北大学災害科学国際研究所[課題番号：IRID06]）。

ひとたび災害が発生すると被災者は様々な財産を失う一方で、生活再建にかかる公的な支援策が多岐にわたるために、被災自治体にとって被災者ニーズを的確にとらえることが迅速な復興に向けた課題となる。本年度は、避難行動に特化しハザードの理解および建物構造、家族構成、避難方法についての理解を深め、防災リテラシーの向上に資する仕掛けとしてタイムライン作成支援ツールの開発と検証を実施した。また、生活再建支援に焦点を当て、相談対応に関するデータ分析を実施し、対話型での相談対応システムの基礎を整備した（図5）。2024年1月1日に能登半島地震が発生したことを受け、富山県内でも家屋の被害が多数発生し、特に被害が集中した氷見市をフィールドとして、これまでに蓄積された住家被害認定調査・罹災証明書交付にかかる知見をもとに、現場支援のあり方について実地研究を実施した（富山大学[課題番号：TYM_03]）。

2014年に深刻な御岳山噴火被害を経験した長野県木曽地域のように、日本の多くの火山地域では、登山客や観光客を対象とした防災・減災策が課題となっており、併設されるジオパーク・博物館・ビジターセンターの学習施設としての役割が期待されている。これまで実施してきた各火山地域における観光施設の調査データを分析し、各火山地域に共通する主な課題として「噴火災害経験の継承」、「地域住民への火山防災啓発」、「登山者・観光客への火山防災啓発」、「観光と防災の両立」の4つを指摘した上で、御嶽山火山マイスター制度を、火山防災意識を持続し、噴火災害経験を継承していく仕組みであると結

論づけた（名古屋大学[課題番号：NGY_06]）。

日本の火山地域の中でも、桜島には大学の観測研究施設が所在し、地域の火山防災に対する基幹的な役割が期待されている。京都大学防災研究所附属火山活動研究センター桜島火山観測所では、一般公開行事として、観測施設を巡るバスツアーを年1回の頻度で行い、そのつど参加者へのアンケート調査を行ってきた。本年度実施したアンケート調査データを分析した結果、バスツアーを知ったきっかけとして知人や家族の紹介が最も多く、新聞掲載が重要だった10年前の調査と比較すると、毎年開催されることによってイベントの認知度が上がったことがうかがわれた。また、参加者が最も関心を持った展示や施設は観測坑道（図6）であり、そこに立ち入ることについての希少性と非日常性が理由であると考えられた（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI13]）。

また、地震火山観測に関する科学的知見を、事前復興や防災リテラシーに生かすための方策について、桜島火山観測所による観測データの公開や施設公開等のオープンサイエンスの実践から検討した。さらに、市民参加による火山観測の仕組み構築の実践に取り組んだ歴史的事例として、有珠山噴火（1910年、1944年、1977年）の取り組みを調査した。明治時代から昭和初期にかけては、火山防災の専門家の数が限られていたことから、観測に市民の参画を得る形で火山研究の取り組みが進められた歴史がある。桜島火山観測所と桜島で活動する団体との連携が深まるにつれて、科学的な研究を伝える活動が市民（非専門家）に対してより開かれたものになっていることが明らかになった（兵庫県立大学[課題番号：HYG_01]）。

京都大学防災研究所阿武山観測所は、科学者と一般市民との連携手法としてオープンサイエンス手法（市民参画型科学，市民参画型データ収集・管理）を取り入れながら先端的な取り組みを行ってきた。本年度においても、（1）サイエンスミュージアム「阿武山地震観測所」の運営による地震リテラシーの向上，（2）地震・津波避難訓練支援ツール「逃げトレ」の導入による市民参画型地震・津波訓練の推進，（3）自然災害に関する歴史資料の解説を行う「みんなで翻刻」プロジェクトの推進，（4）内陸地震観測「満点計画・0.1満点計画」によるオープンサイエンス型地震学の試行の4つの研究を継続実施した。主な成果として、（1）については制度的基盤としてNPO法人による運営を開始した。

（2）については、高知県等のテストフィールドでの実証実験を行い、パイロット版をフル版へと向上させた。（3）についてはシステム運用を継続し、さらに参加者、解析文献数を増加させた。（4）については、これまでの結果を踏まえて新たに開発した教育ツール「満点地震計ボックス」を完成させた（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI14]）。

最後に、本部会の重点課題として、地震・火山噴火災害における被害軽減のために利活用可能な要素・知識体系の整理・検証を進めてきた。これまでに仮説化された理解枠組みである、育成したい人材の特性、能力、態度、貢献の諸点において観測研究計画の成果を活用して研修プログラムを構築し、研修プログラムの実装環境を整え、研修体系の整備を進めた。また、関東地震100周年を契機として開催されるイベント等の機会をとらえ、これまでの観測研究計画において同定された知見を整理し、（1）現象と被害，（2）地震の過去と未来，（3）新たな研究について啓発コンテンツを開発し発信につとめた。特に関東地震と南海トラフ地震の共通性と独自性を整理することで、地震現象の理解枠組みの整理を実施した（図7）。併せて、2024年1月1日に発生した能登半島地震において、これまでの理解枠組みと研究コンテンツ開発の技術を活かし、応援職員の研修コンテン

ツの整備と実装を行った（新潟大学[課題番号：NGT_02]）。

成果リスト

- Ebina E., D. Sugawara, 2024, Reconstructing historical terrain to elucidate the causes of disaster occurrence and improve disaster prevention literacy, J. Disaster Res., 19, 38-49, doi:10.20965/jdr.2024.p0030.
- Fukada H., Y. Hashimoto, M. Oki, Y. Okuno, 2023, Proposal and evaluation of tsunami disaster drill support system using tablet computer, International Journal of Information Technology, 15, 4029-4039, doi:10.1007/s41870-023-01465-7.
- 橋本雄一編著, 2023, 「地理総合」とGIS教育：基礎・実践・評価, 古今書院.
- 橋本雄一, 三橋浩志, 大塚孝泰, 石橋生, 栗山絵理, 田中隆志, 森泰三, 木村圭司, 塩崎大輔, 2023, 「地理総合」とGIS教育：教育の実践・評価および教員養成, E-journal GEO, 18(2), 442-445, doi.org:10.4157/ejgeo.18.442.
- Horii, M., K. Yamaoka, H.-Y. Kim, S. Takewaki, T. Kunitomo, 2024, Comparative study of literacy enhancement on volcanic disaster reduction for the residents and visitors in Mt. Ontakesan and other volcanic areas, J. Disaster Res., 19, 159-172, doi:10.20965/jdr.2024.p0159.
- 井ノ口宗成, 2023, 被災者生活再建支援を見据えたマイタイムライン策定支援ツールの提案, 電子情報通信学会信学技報, 123(31), 52-57.
- 井ノ口宗成, 2023, 生活再建を中心とした共起ネットワークの年次変化の把握：東日本大震災に関する新聞記事を事例として, 情報科学技術フォーラム講演論文集, 22, 359-362.
- Inoguchi, M., 2024, Development of cloud-based support tools for effective evacuation focusing on time-phase from pre-registration to post-incident response to improve literacy for disaster resilience, J. Disaster Res., 19, 56-71, doi:10.20965/jdr.2024.p0056.
- 工藤由佳, 橋本雄一, 2023, 路面状況と道路ネットワーク途絶を考慮した積雪寒冷地における津波避難困難地域の推定：千島海溝地震による津波の浸水想定事例, 地理学論集, 97(1), 1-12, doi.org:10.7886/hgs.97.1.
- 宮崎太良, 井ノ口宗成, 2023, 参画型リスクマップ作成システムにおける実証実験の自由記述データの分析：取得情報の自立化をめざして, 電子情報通信学会信学技報, 123(218), 6-11.
- Muroi, K., 2024, Literacy for disaster resilience from "Downstream": From a case study of the Nankai Trough earthquake countermeasures in Kochi City, J. Disaster Res., 19, 113-123, doi:10.20965/jdr.2024.p0113.
- Nakamichi, H., 2024, Open-door events of the Sakurajima Volcano Observatory, Kyoto University in the last ten years, J. Disaster Res., 19, 147-153, doi:10.20965/jdr.2024.p0147.
- 中道治久, 阪本真由美, 2023, 桜島火山における2020年6月の火山岩塊落下を受けて実施した火山情報に関する住民意識調査, 京都大学防災研究所年報, 66B, 111-120.
- 奥野祐介, 橋本雄一, 2023, 千島海溝沿岸自治体における津波防災対策の現状と課題：北海道釧路市を例として, 地理情報システム学会講演論文集, 32, D6-02.
- Ohkura, T., 2024, Vulnerability of Aso Volcano's disaster mitigation system, as

revealed by the phreatic eruption of October 20, 2021, J. Disaster Res., 19, 50-55, doi:10.20965/jdr.2024.p0050.

小野塚仁海, 橋本雄一, 2023, 携帯電話データを用いた災害発生直後の都市における人口分布に関する地理学的研究, 地理情報システム学会講演論文集, 32, F5-02

Sakamoto, M., H. Nakamichi, 2024, Open science initiatives by Sakurajima Volcano Observatory, J. Disaster Res., 19, 154-158, doi:10.20965/jdr.2024.p0154.

Sawada, M., T. Sato, 2024, The possibility of wide area evacuation in the event of natural disasters: a survey in Amagasaki City, Hyogo Prefecture, J. Disaster Res., 19, 105-112, doi:10.20965/jdr.2024.p0105.

塩崎大輔, 橋本雄一, 2023, GPSを用いた非日常空間における津波避難行動に関する空間分析, 情報処理学会研究報告, 2023-IS-165(15), 1-6.

Shiozaki, D., Y. Hashimoto, 2024, System development for tsunami evacuation drill using ICT and tsunami inundation simulation data, J. Disaster Research, 19, 72-80, doi.org:10.20965/jdr.2024.p0072.

Sugimori, R., 2024, Damage by the 1855 Edo earthquake and response to the disaster: study based on Edo Ohjishin no Zu (Picture Scroll of the 1855 Edo earthquake), J. Disaster Res., 19, 38-49, doi:10.20965/jdr.2024.p0038.

Takubo, M., M. Sugiura, R. Ishibashi, N. Miura, A. Tanabe-Ishibashi, 2024, A Risk-scrutinizing attitude is independent of risk-sensitive attitude and may hamper a proper protective Response: a tsunami simulation experiment, J. Disaster Res., 19, 81-93, doi:10.20965/jdr.2024.p0081.

Takubo, M., M. Sugiura, R. Ishibashi, N. Miura, A. Tanabe-Ishibashi, 2024, How disaster prevention videos contribute to tsunami evacuation: subjective motivation and risk-sensitive attitude in a simulation experiment, J. Disaster Res., 19, 94-104, doi:10.20965/jdr.2024.p0094.

Tanaka, T., 2023, The 2011 Great East Japan earthquake and tsunami: the highest casualties and largest reconstruction funds - characteristics of major disasters and future challenges in developed countries, Japanese Journal of Sociology, 32(1), 7-24, doi:10.1111/ijjs.12147.

田中重好, 2024, 「復興の優等生」は復興の最適解か: 宮城県岩沼市を事例にして, 名古屋大学社会学論集, 44.

Xu, J., M. Takahashi, W. Li, 2024, Identifying vulnerable populations in urban society: a case study in a flood-prone district of Wuhan, China, Natural Hazards and Earth System Sciences, 24, 179-197, doi:10.5194/nhess-24-179-2024.

Yamori, K., 2024, Open science for fostering seismologic science literacy, J. Disaster Res., 19, 139-146, doi:10.20965/jdr.2024.p0139.

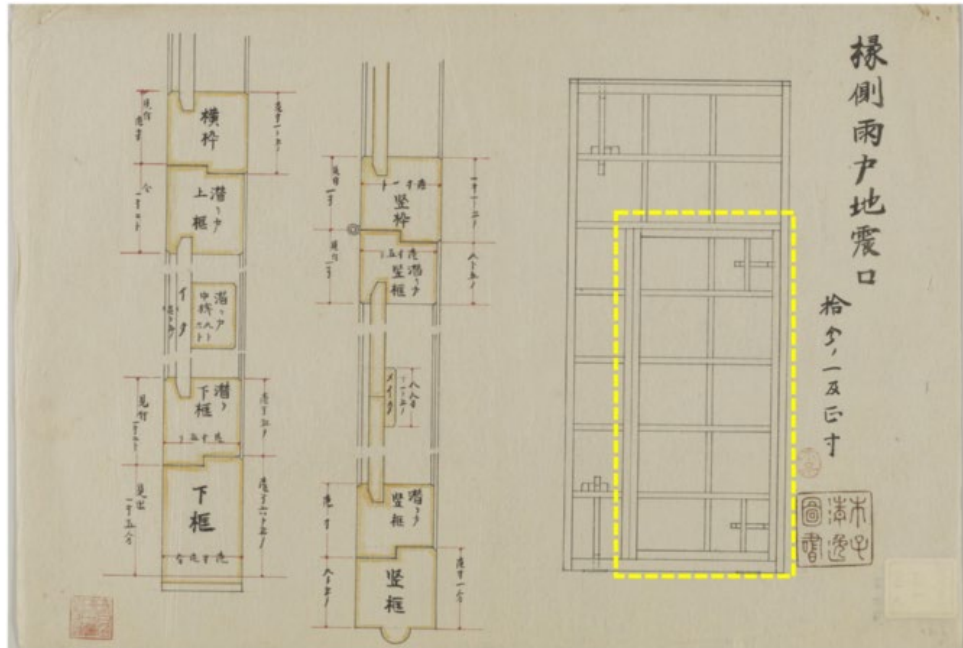


図1．雨戸に設置された地震口の図（1917年小石川・山田邸，黄色の破線は杉森による）
（Sugimori, 2024：東京大学史料編纂所[課題番号：UTH_02]）

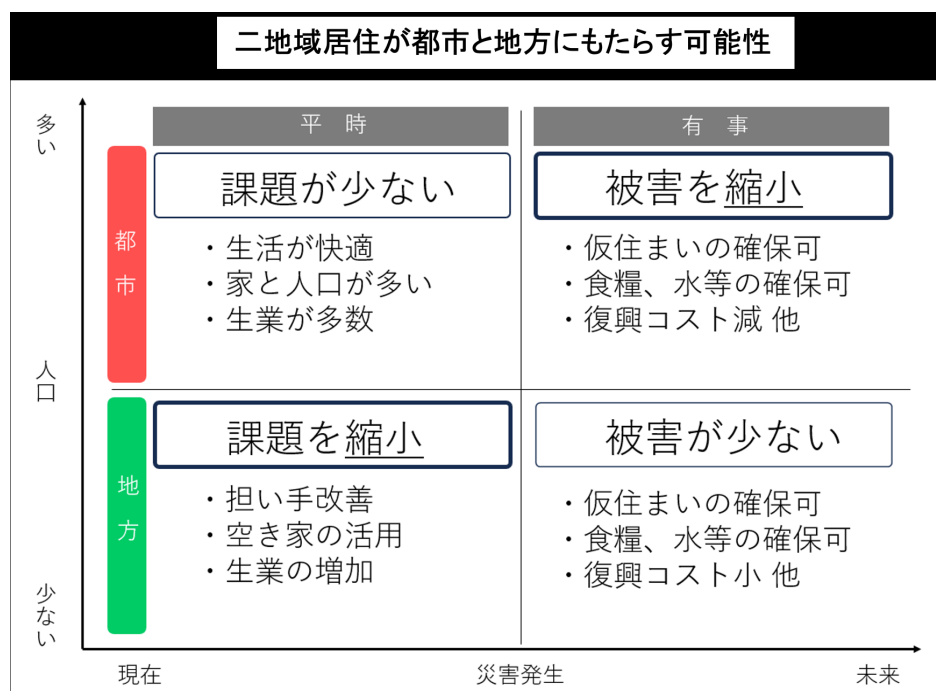


図2．二地域居住がもたらす都市と地方の効果（兵庫県立大学[課題番号：HGY_02]）

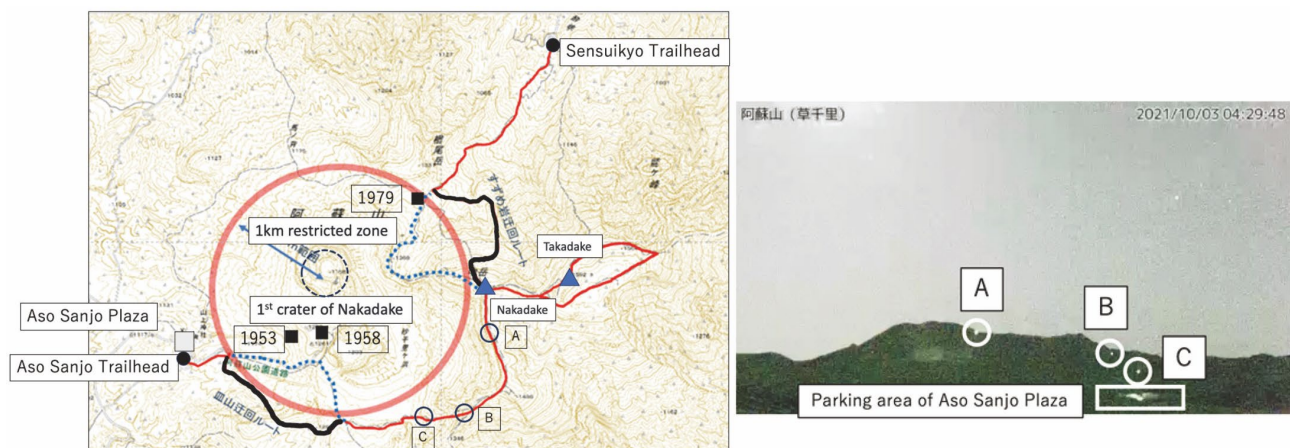


図3．阿蘇山河口付近の登山ルートと入山規制区域，過去の噴火時における死者発生地点（黒四角：左図），2021年噴火時に気象庁の監視カメラに写り込んだ登山者（A～B地点：右図）（京都大学理学研究科[課題番号：KUS_03]）

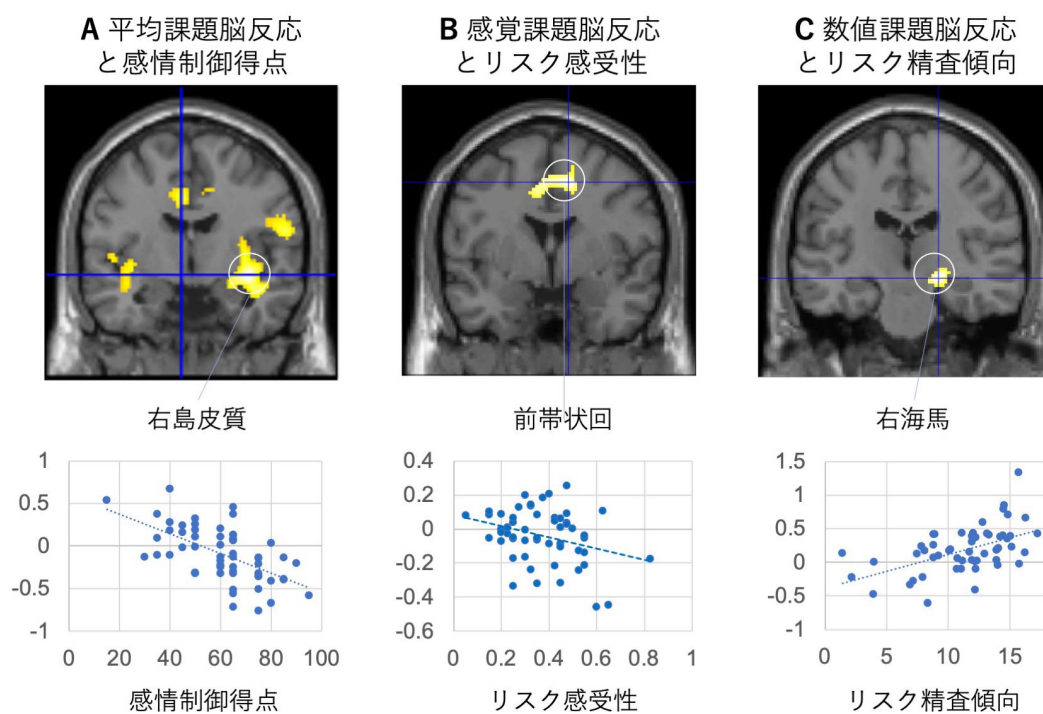


図4．脳活動計測実験データの分析結果（A：平均課題脳反応と「感情制御」得点の負相関が有意な領域，B：感覚課題脳反応とリスク感受性の負相関が有意な領域，C：数値課題脳反応とリスク精査傾向の正相関が有意な領域）（東北大学災害科学国際研究所[課題番号：IRID06]）

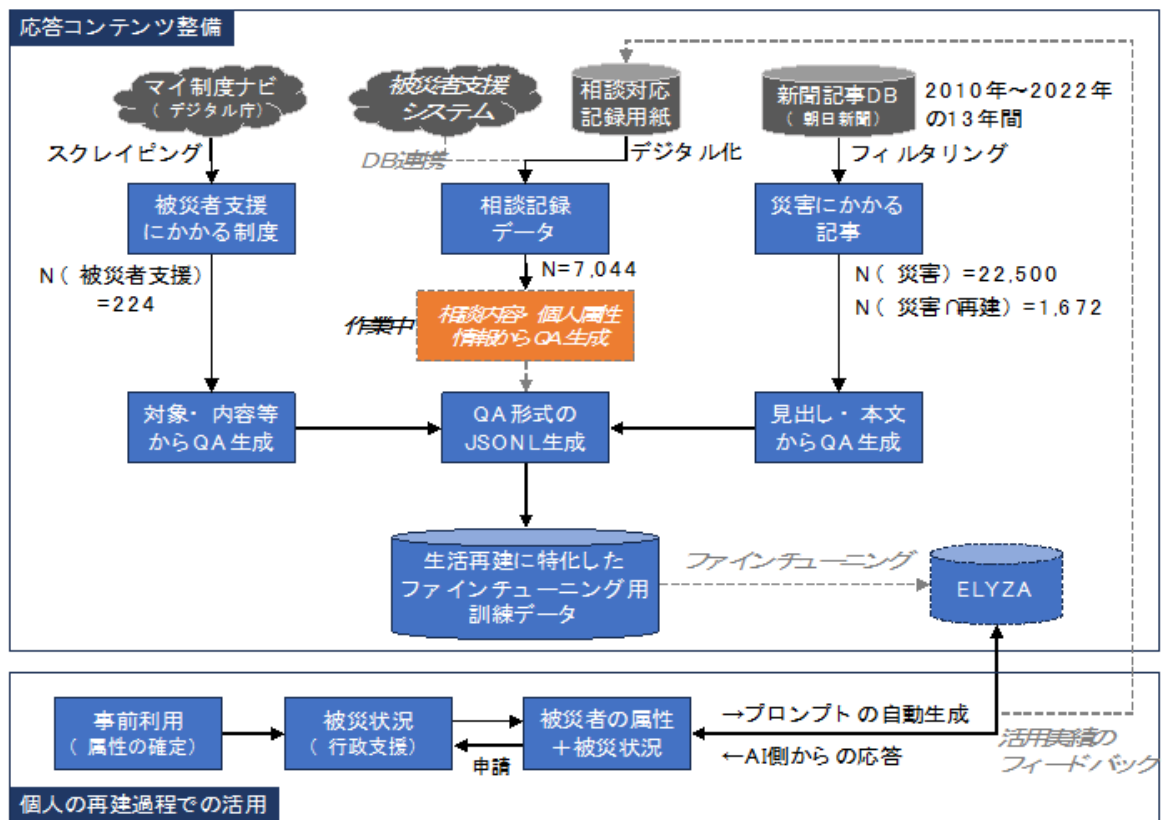


図 5．生活再建相談支援ツールの応答コンテンツ整備にかかるデータセット準備と活用方法
(富山大学[課題番号：TYM_03])



図 6．桜島火山観測所の観測坑道による歪み・傾斜観測（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI13]）



図 7．関東地震100周年を契機とした，地震火山噴火観測研究計画からの理解枠組みの発信事例（新潟大学[課題番号：NGT_02]）

1 (7) 史料・考古

「史料・考古」計画推進部会長 蝦名裕一

(東北大学災害科学国際研究所)

副部会長 山中佳子

(名古屋大学大学院環境学研究科)

日本列島において近代的な観測機器による地震観測が開始されたのは明治時代前期以降であり、それ以前に発生した地震・火山噴火現象、またはそれらによる災害に関する知見を得るためには、史料や考古資料に基づく地震や火山噴火のデータが必要不可欠である。そのため、日本における地震火山関連史料の収集・編纂とそれらを用いた地震や火山噴火の研究は、明治時代後期より実施されており、各種の地震史料集や火山噴火史料集が刊行されている。

史料や考古資料に基づく地震火山関連のデータは、人間の感覚による記録や地中に残された痕跡に基づくデータであるために、近代的な観測機器を用いた地震・火山の観測データと比較して、その精度が格段に劣るのは当然である。そこで重要になってくるのが、歴史学の手法を用いた史料とその記述の正確な分析・解読や、地質学的な手法を活用した考古遺跡における災害痕跡の分析といった、これまでの地震・火山噴火の研究において積極的に用いられてこなかった手法の導入である。地震・火山噴火関連の史料データ・考古データのデータベースの構築や統合とともに、これらのデータを活用した新たな研究手法の検討や利用も重要な研究課題である。このような新たな研究への取り組みは、史料や考古資料に関する読解や分析が十分とは言えなかった従来の研究手法を改善し、それぞれの分野の学術研究に裏打ちされた精度と確度の高い研究を目指すものである。この取り組みによって、地震学や火山学の分野から信頼性が問題視されてきた史料・考古データや、それらに基づく研究成果について、これまで以上の信頼性を確保できると考える。

5 年間の成果の概要

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

ア. 史料の収集とデータベース化

・地震火山関連史料の収集・分析とデータベースの構築・公開

高精度OCRによるテキスト化の方式を導入することにより、本計画期間中に既刊地震史料集全28巻(計22,771頁)全ての全文デジタルデータ化が完了し、地震史料集テキストデータベース(<https://materials.utkozisin.org/>)として公開した。公開に際しては利用の便宜のために、用語・年月日による基本検索のほかに、(1)年月ごとの地震史料数の一覧表から検索する方法、(2)史料の所在地名から検索する方法、(3)理科年表掲載の歴史地震名から検索する方法を整備した(東京大学史料編纂所[課題番号:UTH_01],東京大学地震火山史料連携研究機構[課題番号:HMEV01])。

既刊地震史料集の校訂作業について、作業負担の軽減化と効率化を図った。現在、予定している全10冊のうち、5冊については史料校訂が終了し、データ修正と公開の準備を進めているところである。2冊については史料校訂が6割程度進捗している（東京大学史料編纂所[課題番号：UTH_01]）。

史料と史料に登場する地名の関係を、Web GISベースのシステムを介して可視化（地図上に表示）するために、自然言語処理を専門家とする情報工学研究者と連携して、AIによる史料中の地名表現の自動抽出、および地名表現のマークアップに取り組んだ。期間地震史料集4冊を対象に、学習データの追加、および実践的な自動地名付与を行った（東京大学史料編纂所[課題番号：UTH_01]）。

史料調査を実施し、地震史料集テキストデータベースに収録されているデータの校正および追加収録するデータの収集を行うとともに、日記史料有感地震データベース（<http://www.eic.eri.u-tokyo.ac.jp/HEVA-DB/>）に追加収録するデータの整理を行った（東京大学史料編纂所[課題番号：UTH_01]）。新たに見つかった安政東海・南海地震、安政江戸地震について書かれている大沢家本願寺関係文書（岐阜市・大沢喜久氏蔵）について史料調査を行い、それらの翻刻と目録作成を行った。また、災害かわら版（公益社団法人全国市有物件災害共済会蔵）、鳥羽御城石垣御修復一件（鳥羽藩士による安政東海地震・津波での鳥羽城の被害と石垣修復に関する記録）、違変記（福岡藩士による災害等の記録の集成）の翻刻を進めた。また、災害かわら版については、その解説書を出版するとともに、各種防災イベント等におけるワークショップに活用している（名古屋大学[課題番号：NGY_01]）。

これまで構築してきた地震史料検索システム高速化のため、データベースの再構築、更新を行い、検索後の表示方法などシステムの改良も行った。またこれとは別に宇佐美龍夫氏が収集整理してきた日本歴史地震総表2020についてもWEB上で検索できるシステムを新たに構築した（名古屋大学[課題番号：NGY_01]）。

・日本海沿岸地域を中心とした地震・火山現象の解明のための史資料調査と解析

地震による家屋倒潰率と一軒当たり死亡者数について、1751年越後高田地震、1804年象潟地震、1828年三条地震、1854年東海地震の被害事例を分析し活断層や震源域との位置関係を調べた。1891年濃尾地震では一軒当たり死亡者数が0.20人以上の村の分布により震源域の範囲を把握できることを示した。各地に残る年代記を史料学的に検討し、その信憑性を評価した。また1454年享徳地震が陸奥のみならず関東でも「大地震」と認識される地震であったことや、1498年東海地震に先行する1493年12月7日に京都～遠江の広範囲大地震が発生したことを示した。1611年会津地震で形成された山崎新湖について、先行研究による復原図より小さいことを明らかにした。1847年善光寺地震の被害について、地震本来の被害、地震後の火災や犀川水害、5日後の高田地震被害それぞれの実態を明らかにした。1828年越後三条地震について多くの史料を収集精査し紹介するとともに、豪雨・台風の被災と大飢饉の中で発生した多重複合災害であったこと明らかにした。1854年安政南海地震の被害について、徳島県海陽町の「宍喰浦荒図面」や和歌山県立文書館所蔵「津浪之由来」について分析し、信頼性や社会経済的要因との関係性を示した。1855年江戸地震の被害境界について四ツ谷通り下町の割から中野宿（中野区）まで辺りになると明らかにした。その他、1961年長岡地震、1923年関東地震に関して史料の収集・分析を行った。

(新潟大学[課題番号：NGT_01])。

・東北地方における地震・津波・火山情報に関する歴史資料の所在調査とデータ収集

1804年象潟地震について、由利郡関村伝来文書を継続的に調査し、地震発生当時の集落の様子を文書や絵図から再現し、同地における象潟地震の被害の詳細を解明した。陸前高田市図書館所蔵『古新集鑑』を調査し、同史料に収録される1611年慶長奥州地震津波、1856年安政八戸沖地震津波の情報や、1896年明治三陸地震津波における死者数に関する新たな数値を得た。先行研究においてしばしば指摘されてきた元和二年(1616)仙台地震における津波の存在について、その発端が大槌地方の史料における1611年慶長奥州地震津波の年代の誤記であり、これが1935年に刊行された『宮城県昭和海嘯誌』において元和二年津波と混同され、さらに『増訂大日本地震史料』(1951)に引用されたことによって定着した偽津波であることを明らかとした(東北大学災害科学国際研究所[課題番号：IRID01])。

・史料を地震研究に活用する方法についての検討

寺院の建物被害を用いた歴史を通じて地震の揺れの強さを示す指標の検討やフリーGISのe-コミマップを用いた南海トラフ巨大地震史料の見える化を行った(名古屋大学[課題番号：NGY_01])。地震火山史料のGISデータ化と分析、およびオープンデータとしての公開を実施した(東京大学地震火山史料連携研究機構[課題番号：HMEV01])。

・研究コミュニティの構築・教育・市民への普及

長岡市立中央図書館文書資料室との共編で『災害史研究とチラシ・ポスター・絵葉書の資料学』を刊行した。歴史学・地理学・考古学の成果を報告する研究会を年1回計5回開催し、共同研究メンバーの成果を発表する『災害・復興と資料』を年1回5号分刊行した(新潟大学[課題番号：NGT_01])。2021年に1611年慶長奥州地震津波410周年シンポジウムを開催し、同地震津波について文系・理系双方からの最新の研究成果を報告した(東北大学災害科学国際研究所[課題番号：IRID01])。地震史料シンポジウムII「災害史料研究が拓く歴史学の新たな方法」を開催した。東京大学教養学部前期課程において、学術フロンティア講義「歴史資料と地震・火山噴火」を開講した(東京大学地震火山史料連携研究機構[課題番号：HMEV01])。古文書解読のための定期的な勉強会や合宿形式の勉強会を継続的に開催した。参加者の解読技術の向上をはかるとともに、これまで歴史地震研究に関わっていなかった研究者や学生、あるいは市民の方々に研究を普及する機会となった。みんなで翻刻に登録した地震や火山噴火に関連する資料を含む多様な資料を分析した(東京大学地震研究所[課題番号：ERI_01])。

イ. 考古データの収集・集成と分析

・考古・文献資料からみた歴史災害情報の収集とデータベース構築・公開ならびにその地質考古学的解析

考古発掘調査に伴って検出される災害痕跡を主体に集成した「歴史災害痕跡データベース(Historical Disaster Evidence Database: HDE-GISdb)」の一般公開を開始した。さらに、東京大学史料編纂所の有する災害史料データベースとの連携検索システムを構

築するために、「歴史災害痕跡データベース」に歴史資料データ表示機能を搭載した。また、API機能も搭載し、前述の災害史料データベースに加え、様々なデータベースとのリレーションを行える準備をした。歴史災害痕跡データベースを構成するデータは、地震痕跡については奈良県および京都府を中心に年間8千～1万件のデータを、火山噴火災害については約5千件のデータを蓄積した。全国で年間8千件を上回る発掘調査が行われるなか、データベースの全国化を促進するためのデータ入力体制についての課題が残るが、災害痕跡データを蓄積する方針が一律化した成果は大きい。全国の発掘調査現場に赴き、担当者とともに調査を実践したり、奈良文化財研究所が開催する文化財調査担当者に対する研修において調査法の普及に努めたりするなど、災害痕跡調査法を積極的に情報発信した（奈良文化財研究所[課題番号：NAB_01]）。

・縄文時代前期の東北・関東両地方における大規模地震の検討

縄文時代中期の三陸地震津波について岩手県山田町浜川目沢田1・2遺跡、仙台市上野遺跡など集落遺跡を分析し、大木8-9式期に宮古・山田・大槌湾岸や仙台湾岸まで東日本太平洋岸に広く及んだことや、集落の被災・復興・移転を明らかにした。縄文時代後期の三陸海岸津波の年代について検討し、海浜集落の衰退から、縄文時代後期前葉の崎山弁天1式期と後期中頃の浜川目沢田式期の直後時期に巨大津波が発生した可能性が高いとした。高精度の土器編年に基づく考古学データを使う方法を提示した（新潟大学[課題番号：NGT_01]）。

令和5年度の成果の概要

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

史料や考古資料の分析に基づいて、近代的な機器観測が開始される前に発生した低頻度で大規模な地震・火山噴火やそれらによる災害を調査・研究することは、今後発生するそれらの現象や災害の様相を予測し、その被害の軽減に貢献できると考えられる。百数十年から数百年の期間において同一地域で発生する低頻度大規模地震や火山噴火は、明治時代に開始された近代的な機器観測を用いて、それぞれ数回の事象に関して観測データが取得されているのみである。しかし、低頻度の現象や災害は機器観測の開始以前にも発生しており、機器観測によるデータは皆無であるが、歴史学や考古学で用いられる史料や考古資料には、地震や火山噴火に関連した記述や災害痕跡が含まれている。このような史料や考古資料について地震学や火山学の研究に役立てるためには、従来のような史資料の収集・編纂のみに止まらず、観測データとの比較・検討を目的としたデジタルデータ化とデータベースの構築が必要になってくる。これによって、地震学や火山学の研究に史料や考古資料を活用する際の利便性が向上するだけでなく、信頼性の高い史料・考古データをデータベース化することで、歴史地震や火山噴火の研究における信頼性を高めていけると考える。

ア. 史料の収集とデータベース化

・地震火山関連史料の収集・分析とデータベースの構築・公開

地震史料集テキストデータベースの原典による史料校訂、およびデータ修正の作業を進めた（東京大学史料編纂所[課題番号：UTH_01]）。『新収日本地震史料』の編纂時の資料（史料写真）をデジタル化した（東京大学地震火山史料連携研究機構[課題番号：HMEV01]）。

史料中に記された地名を地図上に表示させるシステムを構築するために、自然言語処理を専門とする情報工学研究者と連携して、AIによる史料中の地名表現の自動抽出や地名表現のマークアップに取り組んだ。今年度は『新収日本地震史料』第3巻と第4巻を対象に、学習データの追加、および実践的な自動地名付与を行った（東京大学史料編纂所[課題番号：UTH_01]）。『日本歴史地名大系』地名項目データセットの活用手法を検討した（東京大学地震火山史料連携研究機構[課題番号：HMEV01]）。

安政東海・南海地震、安政江戸地震について書かれている大沢家本願寺関係文書の翻刻を行った。また「鳥羽御城石垣御修復一件」（鳥羽藩士による安政東海地震・津波での鳥羽城の被害と石垣修復に関する記録）、「違変記」（福岡藩士による災害等の記録の集成）の翻刻を進め、前者についてはその翻刻と解説集を発行した（名古屋大学[課題番号：NGY_01]）。

・日本海沿岸地域を中心とした地震・火山現象の解明のための史資料調査と解析

日本海沿岸地域を中心とした地震・火山現象を解明するため、各地の史料保存機関に所蔵される史資料の調査と分析、既刊の地震・火山噴火史料集に所収される史料の原本調査に基づく校訂作業を実施した。成果を年代順に記す。（1）年代記の史料学的検討により、1561年に上野国（現群馬県）で成立し1606年に書写された『新選和漢合図』の1442～1598年の地震関連記事8件（とくに浅間山噴火記事6件）、武蔵国埼玉郡（現熊谷市）伝来の『龍淵寺年代記』の1556～1598年の地震関連記事5件は信憑性が高いことを確認した。（2）1751年越後高田地震の名立小泊村の被害を記す文書の原本調査を行い、先行研究の誤りを確認し、山抜・築埋は80軒、家屋全壊率92.3%を導き出した。（3）1828年越後三条地震について永青文庫、京都府立京都学・歴彩館、新発田市立歴史図書館等の所蔵史料原本を精査し、同年春以降繰り返す豪雨・台風の被災と大飢饉の中で発生した三条地震の被災は多重複合災害であり復興に多年を要したことを立体的に明らかにした。

（4）1714年信濃小谷地震に関わる史料調査により高井郡東江部村山田家文書、松代藩『家老日記』に新史料を確認した。1804年出羽象潟地震の出羽庄内藩被害報告書（茨城県立歴史館鹿島（則）家文書）の原本調査を行い、既刊史料集の未読文字等を明らかにした。1858年飛越地震・大町地震関係を中心に長野県大町市の櫻井家文書・清水家文書の原本調査を行った。（5）新潟地方気象台所蔵の『管内地震報告』（1915～36年の新潟測候所分2冊、1923～1937年の高田測候所分2冊）を調査した。管内各地で（1）発震時刻と震動時間、（2）震度・性質に大きな差異があり、各観測所の観測体制に留意し地域差を考慮する必要があるが見られた（新潟大学[課題番号：NGT_01]）。

・東北地方における地震・津波・火山情報に関する歴史資料の所在調査とデータ収集

1611年慶長奥州地震津波における関東地域の地震動について、『言緒卿記』の記述の分析を行った。『言緒卿記』では慶長十六年十月二十八日（1611年12月2日）条「辰刻大

地振」，翌二十九日条に「至夜地動」と記されているが，この地震の規模についてはこれまで詳しい分析はされず，震度3程度とみる見解などもある。『言緒卿記』の中に記される地震記事は合計16回，そのうち「大地振」「大地震」と記されているのは，慶長奥州地震津波と，伝聞で聞いた慶長会津地震の記事，慶長十九年十月二十五日（1614年11月26日）の京都での地震の3回であった。『言緒卿記』では，未刻に「大地震」があったため，作者・山科言緒は二条城に滞在していた徳川家康に面会，その後院に参内し，地震被害の見回りを行っている。この地震による京都周辺の被害について，他史料の記述をみると，『当代記』・『慶長日記』（米沢市図書館所蔵）などは二条城周辺には家屋倒壊はなかったものの，天水桶が落下する被害があった。一方，後代の史料となるが『難波戦記』には家屋の転倒，『徳川実紀』では二条城周辺で被害がなかったものの，地震によって死者2名，けが人370人余があったと記される。ここから山科言緒の「大地震」の記述には，震動によって落下物や建物被害が生じる程度，震度4以上の地震動のことであるということができる（東北大学災害科学国際研究所[課題番号：IRID01]）。

・史料を地震研究に活用する方法についての検討

e-コミマップを使った南海トラフ巨大地震史料の見える化を行った。昨年度までの三重県の歴史地震史料の可視化によって，過去の南海トラフ地震の比較検討が可能であることがわかり，史料の可視化の重要性，有効性を示すことができた。そこで今年度は静岡県，和歌山県，高知県に対して史料の可視化を行うため，入力史料の収集を行うとともに一部e-コミマップへの入力を行った。また，南海トラフ巨大地震の前に発生した内陸被害地震の1つである安政伊賀上野地震についても可視化を行い，表層地盤と被害の関係を確認した。今後南海トラフ巨大地震の破壊過程を考える上で参考になる津波堆積物調査の結果も，このe-コミマップで合わせて見られるよう入力を行った。作業を行っている中で，三重県および和歌山県の一部の地域では，地震後浜に集まって評議するといった特徴的な避難行動があることもわかった（名古屋大学[課題番号：NGY_01]）。

国会図書館の次世代デジタルライブラリーで公開されているテキストデータを活用して，『賀茂社記録』から「地震」をキーワードとして検出された記述を分析し，これまで知られていなかった地震記述を発見した。また，地震被害のマルチスケール要因分析に関する書籍を出版した（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_01]）。

・研究コミュニティの構築・教育・市民への普及

2023年11月18日に第11回歴史地震史料研究会をオンラインにて開催し，本課題研究者メンバーを中心とした歴史学者13人・考古学者1人・地理学者1人による研究発表・討議を行った（参加者36人）。共同研究メンバーの昨年度の成果を発表する『災害・復興と資料』15号を刊行した（新潟大学[課題番号：NGT_01]）。

古文書解読のための定期的な勉強会（週1回，京都とつくばの2か所，オンラインまたはハイブリッド）を継続的に開催している。また，合宿形式の勉強会（2023年8月24日～26日ハイブリッド，2024年3月21日～23日ハイブリッド）を開催した（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_01]）。

イ．考古データの収集・集成と分析

・考古・文献資料からみた歴史災害情報の収集とデータベース構築・公開ならびにその地質考古学的解析

全国の考古発掘調査に伴って検出される災害痕跡を集成した「歴史災害痕跡データベース (Historical Disaster Evidence Database: HDE-GISdb)」の一般公開 (<https://hde-gis.nabunken.go.jp/>) を開始した (図 1)。また公開に向けて、研究成果を下記内容についてまとめ、反映させた。a) データベース・レコードを構成するデータ項目を決定した。b) 災害痕跡の表示マーカーについて、デザイン開発を行いデータベース表示に反映させた。デザインについては、Webアンケート調査を用いてデザイン理解度や視認性を調査し、形状や表示色、表示方法の有効性の調査研究成果に基づき決定した。c) 「歴史災害痕跡データベース」の有効性の検証を進めた。長岡京跡 (京都府) および周辺域や、奈良盆地北部の災害痕跡データの拡充を進め、その分布の特徴について調査を進めた。その結果、地震痕跡が既知の活断層 (檜原断層や光明寺断層など) の延長域に分布する傾向や、これまで認識されていなかった軟弱地盤域での分布の集中傾向が明らかとなった。d) 遺構や遺物、放射性炭素年代測定による災害痕跡の形成時期の特定から、災害発生時期の検証を進めた。その結果、長岡京跡周辺で検出された地震痕跡は、大きく A) 縄文時代晚期中葉～末、B) 弥生時代前期末～弥生時代後期末、C) 古墳時代、D) 平安時代初頭～中世末、E) 近世初頭～現代であることが明らかとなった。また、「歴史災害痕跡データベース」のなかで、災害に関わる史料データを表示する機能を搭載した (図 2, 奈良文化財研究所 [課題番号: NAB_01])。

・縄文時代前期の東北・関東両地方における大規模地震の検討

縄文時代前期 (7050-5415 calBP) に本州東部で発生した地震活動について、縄文集落の分析から考古年代の特定等の基礎的な検討を行った。神奈川県小田原市羽根尾貝塚での活動を終焉させた地震を伴う隆起活動 (房総半島先端部の隆起と連動した相模トラフ地震の可能性が高い)、および三陸の海岸低地帯の集落動向からよみとれる津波を伴う大地震は、いずれも考古年代前期後葉の 3 - 諸磯 a 式古段階の時期であると推測した (新潟大学 [課題番号: NGT_01])。

(2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明

近代的な機器観測による観測データ取得開始以前に発生した地震・火山噴火について知るためには、歴史学や考古学で用いる史料や考古資料に基づいて、調査・研究を実施していく必要がある。これらの史料や考古資料をデータベース化し、位置情報や時間情報を付与して被害分布図等を作成することによって、近代的な機器観測に基づく観測データとの比較・検討が可能になる。このような被害分布図等を活用して、前近代に発生した低頻度大規模地震や火山噴火現象とそれらによる災害の実態を解明することは、長期的な災害対策の策定に寄与できると考える。

・史料を用いた地震・火山現象の分析

1800 年から安政東海・南海地震に至るまでの期間の九州を中心とした西日本における記録を調査した。(1) 山口県文書館では毛利家文庫「浦日記」は既刊史料集に部分的に

採録されているが、未採録の記事について調査をすすめ展既刊史料集に示された記主の所在地(震動の記録された場所)について多数の要訂正箇所があることが判明した。(2) 公益財団法人宇和島伊達文化保存会では「宇和島伊達家文書」・「桜田家文書」を調査し、天保十四年三月二十六日に蝦夷地で起こった地震津波に関する松前藩士山田三郎(三川)の六月二十六日(天保十四年)付書状を発見した。(3) 佐伯市歴史資料館では「佐伯藩郡方町方御用日記」を調査し、既刊史料集未採録の嘉永七年(安政元年)十一月四日・同五日・同七日の東南海地震に関する佐伯藩におけるまとまった記録を確認した。(4) 熊本博物館では肥後国玉名郡の住人坂本淳蔵が著した「東海道地震記録」や「加賀山家文書」のうち「日録」を調査した。その他、熊本大学附属図書館寄託「永青文庫史料」・同館所蔵「古閑家文書」、および鹿児島大学附属図書館所蔵「肝付家文書」の調査を行った(東京大学史料編纂所[課題番号: UTH_01])。1729年8月1日(享保十四年七月七日)に発生した M6.6~7.0 と推定される地震について、複数の史料に記載された被害と有感地震数について再検討し、被害については Web マップを作成した(東京大学地震火山史料連携研究機構[課題番号: HMEV01])。

成果リスト

・論文・報告書等

- 榎原雅治・水野嶺・加納靖之, 2023, 19世紀前半九州中南部における地震記録—天保・弘化の「大地震」—, 歴史地震, 38, 37-49.
- 蝦名裕一, 2023, 東北地方太平洋沿岸における歴史津波の評価をめぐって, 第2回 日本災害・防災考古学会研究会資料・予稿集, 2, 138-145, doi.10.24484/sitereports.132325.
- 減災古文書研究会, 2024, 『鳥羽御城石垣御修復一件』翻刻.
- 原直史, 2023, 大名留守居廻状と災害情報の共有—文政11年三条地震を中心に, 災害・復興と資料, 15, 11-19.
- 原田和彦, 2023, 渡辺敏と善光寺地震研究, 災害・復興と資料, 15, 56-72.
- 石川寛, 2023, 「安政東海地震における尾張徳川家の救済活動」, 愛知県公文書館研究紀要, 創刊号, 101-107.
- 片桐昭彦, 2023, 中世関東の災害記録としての年代記—『年代記配合抄』・『赤城神社年代記』—, 災害・復興と資料, 15, 27-37.
- 片桐昭彦, 2023, 中世武蔵国における地震と年代記, 多摩のあゆみ, 192, 14-23.
- 栗畑光博・水野嶺, 2023, 中世における桜島火山噴火の年代と災害, 第2回日本災害・防災考古学界研究会資料・予稿集, 40-47.
- 名古屋大学減災連携研究センター古文書勉強会, 2023, 西尾市教育委員会所蔵 田中長嶺『尾濃震災図録』翻刻.
- 大邑潤三, 地震被害のマルチスケール要因分析, 小さ子社.
- 杉森玲子・榎原雅治, 2023, 歴史資料から読み解く大地震, 「関東地震」「南海トラフ地震」に備える(予知協), 6-7.
- 山中佳子, 2023, 「高知県神社明細帳」にみる南海トラフ地震, 中部「歴史地震」研究年報, 11, 149-157.

・学会・シンポジウム等での発表

- 蝦名裕一，2023，東北地方太平洋沿岸における歴史津波の評価をめぐって，第2回日本災害・防災考古学会，10.
- 原直史，2023，文政11（1828）年複合災害の様相—豪雨・飢饉・台風・地震—，第11回歴史地震史料研究会，9.
- 原田和彦，2023，安政江戸地震と松代藩の対応，第11回歴史地震史料研究会，13.
- 平井敬，2023，減災古文書研究会の活動紹介，関西歴史災害研究懇談会.
- 加納靖之・山本宗尚・橋本雄太・青池亨・中西一郎・大邑潤三・濱野未来，みんなで翻刻「賀茂社関係文書翻刻プロジェクト」から得られた地震記事，第40回歴史地震研究会，P-15.
- 加納靖之・大邑潤三，2023，地震史料集テキストデータベース中の地理情報，日本地球惑星科学連合2023年大会，MIS22-P05.
- 片桐昭彦，2023，『新選和漢合図』にみる地震・噴火，第40回歴史地震研究会（小田原大会），0-28.
- 片桐昭彦，2023，明応4年8月15日の「洪水」は地震津波か，第11回歴史地震史料研究会，4.
- 水野嶺・榎原雅治，2023，19世紀前半の阿蘇山火山活動履歴の再構築，京都大学火山研究所・熱学研究施設セミナー.
- 中村元，2023，1920・30年代地方測候所の地震調査について—新潟測候所の事例に即して—，第11回歴史地震史料研究会，15.
- 小野映介・小岩直人・柴正敏・高橋未央，2023，津軽平野中部における完新世の堆積環境変遷と地形変化，日本地理学会2023年秋季学術大会，P012.
- 小野映介，2023，平安京左京南部における地形環境変遷と地盤環境，第11回歴史地震史料研究会，2.
- 齋藤瑞穂・鈴木正博，2023，縄文三陸地震津波研究（6）—縄文時代最後の地震・津波は弥生化をどのくらい妨げたか？—，第11回歴史地震史料研究会，1.
- 山中佳子，2023，南海トラフ巨大地震解明に向けた史料の見える化 その2，中部『歴史地震』研究懇談会.
- 矢田俊文，2023，八戸藩における1843年・1858年の地震による津波被害，第11回歴史地震史料研究会，10.

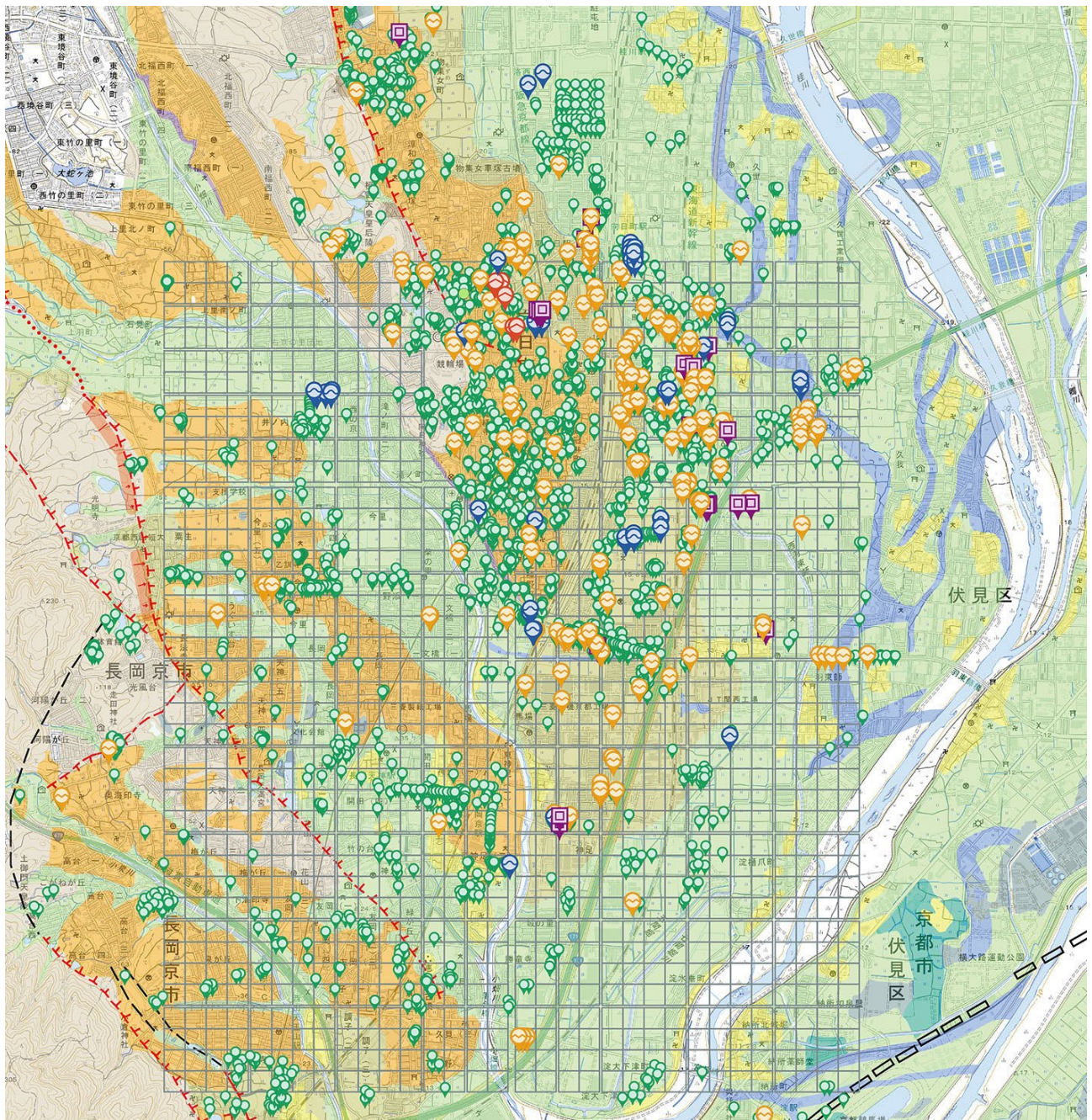


図1．歴史災害痕跡データベースの画面例（奈良文化財研究所[課題番号：NAB_01]）

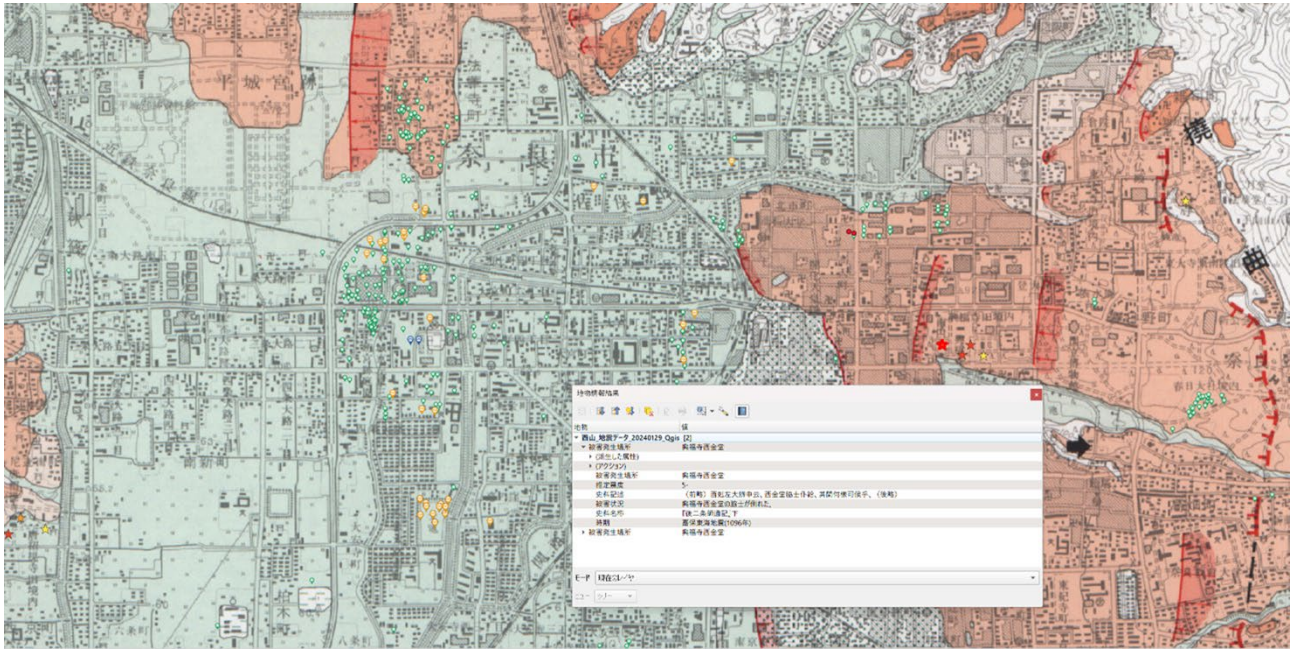


図 2. 歴史災害痕跡データベースでの史料データの表示例（奈良文化財研究所〔課題番号：NAB_01〕）

1 (8) 観測研究基盤

「観測研究基盤」計画推進部会長 鶴岡 弘

(東京大学地震研究所)

副部会長 松島 健

(九州大学)

観測研究基盤部会のミッションは、地震火山観測研究にとって不可欠である観測データを安定的かつ継続的に取得するために、日本全国に展開されている陸域および海域の地震、地殻変動、津波、潮位、電磁気、重力等の観測基盤を維持すること（観測基盤の整備）、さらにこれらの観測データの解析技術等の開発・高度化（観測・解析技術の開発）を進展させること、観測データをリアルタイムに効率的に流通する基盤（地震・火山現象のデータ流通）を維持するとともに、観測データの公開や研究成果を共有するシステムの開発（地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開）である。以下に令和5年度の成果の概要と本計画における簡潔な成果の概要をまとめた。

令和5年度の成果の概要

5. 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

防災科学技術研究所においては、陸海統合地震津波火山観測網(MOWLAS)及び首都圏地震観測網(MeSO-net)の安定した運用により得られたデータを集約・公開するとともに、被害地震等の発生に際してはその活動状況のモニタリング結果を地震調査委員会・地震予知連絡会等またはWebを通して随時提供した。石川県能登地方において2023年5月5日14時42分にMj6.5、同日21時58分にMj5.9の地震が発生した。これらM5を超える地震は、2021年夏ごろに活性化した地震活動の北側で発生し、M5を超える地震を含めた地震活動は2021年夏ごろ以降の地震活動域と重なるが、さらに北(海)側にも分布していることを示した。DD法を用いた震源分布から、余震は北東-南西に15 km程度、北西-南東に10 km程度の領域内に南東傾斜で分布していること、最大余震は本震の断層面よりも深部で発生したことがわかった。また、本地震発生と15時間の高周波エネルギー輻射量について調べたところ、本震のエネルギー輻射量に対する余震からの積算エネルギー輻射量の割合は42%であった。2023年10月9日午前5時～6時半頃に鳥島近海においてM4～5地震が10回以上発生し、関東から沖縄の広い範囲で津波が観測された。F-net広帯域地震計の記録は、2～6 Hzの帯域では直達波に比べてTフェーズが顕著であるという特徴を持つことを示した。DONET及びS-netでは地震規模から予想されるよりも大きな振幅の水圧変動が記録された。能登地方における5月5日Mj6.5の地震以降の活発な地震活動は時間の経過とともに発生数が減少していたが、2024年1月1日に能登半島地震(Mj7.6, 最大震度7強)が発生し、その後の地震活動が北東-南西方向約160 kmにわたって分布していることがわかった。発生当日には強震観測網サイトより令和6年能登半島地震による強震動ページを公開し、その後数日以内にMOWLAS特集ページ、能登半島版強震モニタを公開した。

また、1月2日の地震調査委員会臨時会及び11日の地震調査委員会1月定例会には、詳細震源分布、F-netによるメカニズム解、強震動、震源過程、高周波エネルギー輻射量について資料を提出し、直ちにWebで公開した。また、この地震の発生により大規模な停電が発生したが、リモート監視により観測点の状況を随時確認し、停電した10観測点の保守作業を複数回実施することにより観測網の維持管理に努めた。N-netにおいては、沖合システムと沿岸システムの2つのシステムのうち、沖合システム18台において製造を終え、積込み前に観測機器とケーブルを接続した状態でのシステムアセンブリ試験を実施した上で、10月よりケーブル敷設船に積込み、海底への敷設を実施した。また串間および室戸ジオパーク陸上局内に陸上部機器を設置しシステムの動作確認をし、海底からのデータ取得が可能になった（防災科学技術研究所[課題番号：NIED05]）。

気象庁は地震観測網や地殻変動観測網などの観測基盤を維持し、関係機関の地震観測データの一元的処理結果の関係機関への提供を行った。顕著な地震活動や地殻変動観測結果について、定期・臨時に情報発表・記者会見等を行うとともに、南海トラフ沿いの地震に関する評価検討会や地震調査委員会において報告を行った。震源データを日々更新するとともに、2022年9月までの精査後の震源データ(確定値)を公開した（気象庁[課題番号：JMA_09]）。

国土地理院は、全国において、GNSS連続観測点を維持し、観測を継続した。また、新たに国際GNSS事業(IGS)解析センターの認定を受け、GNSS精密暦の提供を開始した。加えて、地殻変動監視において必要となる「電子基準点日々の座標値」の算出を着実に継続した。また、GEONETによる日本列島全域の地殻変動・火山活動のモニタリングを着実に実施し、令和5年5月5日と令和6年1月1日に発生した石川県能登地方の地震活動に伴う地殻変動を検出した。さらに、2019年春頃から四国中部、2020年夏頃から紀伊半島西部・四国東部や九州南部、2022年初頭から静岡県西部・愛知県東部で発生したプレート間ゆっくりすべり(スロースリップ)現象に伴う非定常的な地殻変動、硫黄島の火山活動に伴う地殻変動等を検出するなど、防災や地震発生・火山活動のメカニズムに関する研究等に寄与した。これらのモニタリング結果は、速やかにホームページなどで公表するとともに、地震調査委員会、火山噴火予知連絡会等に報告した(国土地理院[課題番号：GSI04])。全国の電子基準点を対象とした電子基準点リアルタイム解析システム(REGARD)を引き続き運用した。令和6年能登半島地震において、輪島で水平約1.3mの地殻変動をリアルタイムに検知し、「電子基準点日々の座標値」による後処理解と概ね整合する結果を得た。得られた地殻変動は国土地理院ホームページで公表するとともに、関係機関に断層モデルを含め情報提供を行った。REGARDにおけるMCMC法による断層推定の本格運用に向けて、関係機関との調整を実施した。また、PPPによる測位の本格運用に向けて、令和4年度に構築したプロトタイプシステムの冗長系を構築した。REGARDの信頼性向上を目的として導入したリアルタイム測位解の品質に着目した異常値判定の仕組みを引き続き運用した。千葉県房総半島に設置している小型で機動性に優れたGNSS観測装置計30点について、前年度に引き続き観測を継続した。観測データを用いてF5準拠の座標値を日々更新することにより、当該地域について、稠密のGNSS観測および解析を実現した(国土地理院[課題番号：GSI_08])。ALOS-2のSARデータを使用して北方四島を含む国土全域を対象に定常的にSAR干渉解析を行った。また、ALOS-2の蓄積された観測データを用いた干渉SAR時系列解析を国内の火山を対象として行ったほか、全国の地盤・地殻変動を把握するため、全国

を対象とした干渉SAR時系列解析を実施した。さらに、国内外で発生した地震や火山活動に伴う地殻変動を検出するため、緊急観測データを用いて解析を実施した。国内で発生した地震では、2023年5月5日に発生した石川県能登地方の地震、2024年1月1日に発生した令和6年能登半島地震において、地震に伴う地殻変動が検出された。特に、令和6年能登半島地震では能登半島北部の広い範囲で隆起が検出され、輪島市西部では約4 mもの隆起が検出された（図1，国土地理院[課題番号：GSI_07]）。

大学は、地震観測データ流通網JDXnetの安定的な運用を継続し、令和6年3月26日にデータ流通ワークショップを開催した（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_19]）。高知大学においては、実験のため上限500 Hzサンプリングでの観測と微動アレイ解析、HVSAR解析を実施し、半径2 m以内というごく局地的な範囲であっても地震動として観測可能なコヒーレントな信号は概ね20 Hzまでの範囲に限定される結果を得た（高知大学[課題番号：KOC_01]）。

気象庁、国土地理院及び海上保安庁は、潮位連続観測を継続した（気象庁[課題番号：JMA_10]，国土地理院[GSI_05]，海上保安庁[JCG_02]）。気象庁は、柿岡、女満別、鹿屋及び父島での地磁気4成分観測を実施し、陸域、海域での磁気測量をはじめ、大学等による電磁氣的観測研究あるいは幾つか提案されている日本域における標準的な全磁力磁場モデルの算出方法の検証・改良を進めるために、高精度の地磁気基準値を提供した。火山活動起源のシグナルを抽出するために用いられる「参照データとの差を求めて局所的な磁場変動だけを取り出す」という手法に加え、地域によって変化の大きさ、傾向が異なることに対処する上で必要となる地域毎の基準値の観測精度を維持するため、地磁気観測点への車両や建築物等による人工的な磁気擾乱の監視観測を維持し、異常値の検出・補正処理を施した（気象庁[課題番号：JMA_11]）。国土地理院は、重力測量において、全国の航空重力測量を完了した。得られた重力データを利用して、精密重力ジオイドの計算を実施した。地磁気測量については、測地観測所等（鹿野山測地観測所，水沢測地観測所及び全国10か所に設置している地磁気連続観測装置）において、地磁気連続観測データを取得するとともに、地磁気絶対観測等を実施した（国土地理院[課題番号：GSI_06]）。

山梨県富士山科学研究所は、重力観測網の拡充及び、前年度より継続したキャンペーン観測を実施した。これまではスバルラインの起点付近の富士山科学研究所点と終点の5合目点において絶対重力測定が実施できる環境を整備し、中間各点を相対重力計によって測定してきた。富士山から距離のある都留文科大学の図書館内の一室に新たな基準点を設け絶対重力測定を実施した（山梨県富士山科学研究所[課題番号：MFRI02]）。

北海道立総合研究機構地質研究所は、雌阿寒岳，十勝岳，樽前山，倶多楽，有珠山及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い、火山活動の変化を捉えるためのデータの蓄積を行った。いずれの火山においても、明らかな活動の活発化を示唆する変化は認められなかった。得られたデータについては、気象庁や大学，地元自治体と随時情報を共有し，各火山の監視や防災対策に活用された。十勝岳や雌阿寒岳での長期間にわたる温泉・噴気観測の結果をまとめ，温泉や噴気の変化と火山活動との関係を検討した（北海道立総合研究機構地質研究所[課題番号：HR0_01]）。

気象庁は，大学や防災科学技術研究所等関係機関の協力の下，火山噴火予知連絡会で中長期的な火山監視体制の強化が必要とされた50火山の連続的な監視観測を継続した。これらの観測成果は，噴火警報等の防災情報の発表や火山解説資料の作成に利用すると

ともに、地震火山月報(カタログ編)や火山年報に取りまとめて公表した(気象庁[課題番号: JMA_12])。

イ. 観測・解析技術の開発

東京大学地震研究所は、高信頼性を保ち、大規模展開に適した対費用効果をあげるケーブルシステムの開発、研究の進展に伴い観測高度化可能なシステム、GNSS/A や海底孔内観測システムなどと統合できるシステムの開発については、既設の三陸沖海底光ケーブル式地震津波観測システムおよび新規開発した海底光ケーブル式地震津波観測システムの両方を用いた併行観測を継続しており、両システムの保守および改良を引き続き実施した。分散型音響センシングなどの最新技術を取り入れたケーブルシステムの開発として、三陸沖光ケーブル式海底地震・津波観測システムの予備光ファイバおよび新潟県粟島周辺に設置されている海底ケーブル地震観測システムのファイバに、DAS 計測を適用することによって、空間的に高密度の海底地震観測を実施した(東京大学地震研究所[課題番号: ERI_22])。

東北大学では、広域火山観測網について、全キャリアが圏外となる2点以外について全点を冗長化した4G携帯回線化した。観測・伝送装置を低消費電力化・DC駆動に切り替えたことで、非常時においても蓄電池で長時間の観測継続が可能となった。また、稼働状況についてzabbixで一括監視できるようになった。低速サンプリングデータについては、920MHzLoRaでの通信試験を引き続き実施した。さらにStarLink衛星通信を用いたデータ伝送の試行を行い、WINシステムを用いた地震観測データの伝送に問題ないことを確認した。ただし、消費電力等が大きいことや着雪の影響については今後の課題とした。また、能登半島北東部で2022年より実施した臨時地震観測データを用いて、群発地震震源域のS波スプリッティングと地震波速度構造を推定することができた。令和4年度に構築した「ソフトバンク独自基準点データの宇宙地球科学用途利活用コンソーシアム」の活動の一環として、RTCM形式でのソフトバンク独自基準点のリアルタイムGNSSデータ数点の提供を受け、その地殻変動観測観点からの精度評価を開始した(東北大学[課題番号: THK_13])。名古屋大学においては、試作機のテスト運用、評価を実施した。改良を施した現用機(3G通信)を御嶽山山頂の試験観測地10点に配置し、通年地震テレメータ観測の実地試験を継続した。改良以降、電力供給量が低下する冬季の運用成績が改善された。試作機は大きな問題を発生することなく、保守負担の少ない安定した運用が実現され、完成度の高い観測機器として評価できた(名古屋大学[課題番号: NGY_08])。

情報通信研究機構においては、機械学習を用いてPi-SAR観測データから浸水領域を抽出するモデルを構築するなど、データ解析手法の開発を行った。また、CSAR(Circular SAR)の机上検討を行った。Pi-SAR X3の観測では、能登半島地震の被災エリアの15cm分解能での観測を実施した(情報通信研究機構[課題番号: NICT01])。

ウ. 地震・火山現象のデータ流通

北海道大学は、地殻変動等多項目データの全国流通・一元化・蓄積・公開を行うデータサーバーを安定的に運用し、大学・気象庁等関係機関データの充実を図った。長期間データの簡易解析の機能拡張として、ひずみ解析及び、ひずみストリーミング解析機能に対し、4成分ひずみ計の場合には成分を選択できる機能を付与した。学部生・大学院生を対

象とした地殻変動観測技術の研修を実施した（北海道大学[課題番号：HKD_08]）。

東京大学地震研究所は、試作してきた次世代の対話検出処理ソフトウェアに、ランニングスペクトルの表示(図2)や波形の選択部分のスペクトルの表示機能を追加した。これにより、例えば火山で観測されるような波形やノイズを含んだ波形などの周波数解析が容易に可能である。また、伝送系システムの仕様について検討した（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_24]）。高知大学においては、WIN波形データ伝送プロトコルの内容整理および次世代における波形フォーマットや伝送プロトコルの策定・提言を行なった（高知大学[課題番号：KOC_02]）。

エ．地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開

東京大学地震研究所では機関リポジトリ(UTokyo Repository)に外部で公開しているデータベース等のメタデータを登録できる。東京大学地震研究所は、いくつかのデータをこのリポジトリに登録し、DOI付与も実現した。機関リポジトリを通じて「データカタログ横断検索システム」やGoogle Dataset Searchなどにも登録された。さらに、防災科学技術研究所のMOWLASの観測網に付与されているDOIを用いて、データの引用状況について分析した（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_18]）。

気象庁は、地震カタログ(震源、発震機構)を令和3年4月から令和5年3月まで作成し、地震月報(カタログ編)として気象庁ホームページに公開した。震源過程解析については、令和6年能登半島地震のM7.6のイベント含む国内外の地震について解析を行い断層すべり分布を推定し、解析結果を気象庁ホームページに公開した（気象庁[課題番号：JMA_14]）。定常観測点の4地点(柿岡、女満別、鹿屋、父島)に、調査観測点の祓川を加えた5観測点における地磁気4成分連続観測データを、月毎に地磁気観測所データベースに登録、公開するとともに、定常観測点のデータを国際的なデータセンターに提供した。また、今年度の地磁気アナログ記録のデジタルデータ化は、女満別(1962年)、鹿屋(1962～1963年)の地磁気アナログ記録をデジタル画像化したほか、女満別・鹿屋(1967年)のデジタル画像を高時間分解能のデジタルデータへ変換した。さらに、柿岡(1958年)の変換が困難だった顕著現象について、デジタルデータへ変換した(気象庁[課題番号：JMA_13])。常時観測火山に選定された全国の50活火山について、東京の火山監視・警報センター、札幌、仙台、福岡の地域火山監視・警報センター、及び鹿児島地方気象台において、地震計、空振計、GNSS等の観測データを常時収集するとともにデータの解析を行い、それらの成果の蓄積を進めた（気象庁[課題番号：JMA_15]）。

産業技術総合研究所は、火山関連データベースとして、大規模噴火の特徴・推移、中長期的前駆活動を取りまとめた大規模噴火データベースの構築を進め、新たに屈斜路カルデラ、鬼界カルデラの情報を収集し、これまでの摩周・支笏・洞爺・濁川・十和田・始良・阿多・池田カルデラと合わせて合計10つのカルデラ火山の詳細情報を取りまとめた(図3)。目撃事例のある火砕噴火の中長期的・短期的前駆活動、噴火推移情報を取りまとめた噴火推移データベースについても構築を進め、新たに北海道駒ヶ岳1929年噴火、アグン1963年噴火等を追加し、合計18の噴火の詳細情報を取りまとめた(図4)。日本国内外の噴火で噴出した火山灰粒子の実体顕微鏡画像などの情報を収録した火山灰データベースでは、新たに噴出年代別の検索機能を追加するとともに、桜島・スメル・新島・諏訪之瀬島・浅間山・伊豆大島等のデータを追加し、合計の試料数1,144、火山灰粒子の画像デ

ータ等のコンテンツ数11,949となった(図5)(産業技術総合研究所[課題番号:AIST11])。

国土地理院は、令和4年度に作成した「北海道駒ヶ岳」「白山」「鶴見岳・伽藍岳」「九重山」(くじゅう連山)の火山基本図を刊行するとともに、数値データを公開した。また、令和4年度に調査を実施した「蔵王山」の火山土地条件図を刊行するとともに、画像データを公開した。「アトサヌプリ」「樽前山」「三宅島」「青ヶ島」の火山基本図及び数値データの作成、並びに「焼岳」の火山土地条件調査を実施した。長町-利府線断層帯とその周辺「松島」、会津盆地西縁・東縁断層帯とその周辺「田島」、長野盆地西縁断層帯とその周辺「坂城」、伊那谷断層帯とその周辺「満島」、屏風山・恵那山断層帯及び猿投山断層帯とその周辺「師崎」、弥栄断層とその周辺「浜田南部」「益田南部」、糸魚川-静岡構造線断層帯とその周辺「韭崎 改訂版」の8面について1:25,000活断層図を公開した。また、雫石盆地西縁-真昼山地東縁断層帯、北上低地西縁断層帯、柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯及び湖北山地断層帯、釜戸断層、鹿野-吉岡断層、上町断層帯、有馬-高槻断層帯及び六甲・淡路島断層帯を調査した(国土地理院[課題番号:GSI_10, GSI_09])。

研究成果共有システムの運用について運用責任は戦略室とし、戦略室が中心となってポリシーの検討、コンテンツの調整、課題や部会への関係情報収集や依頼、周知広報を継続して実施した。実際のシステム運用は、企画部の学術専門職員と戦略室教員及び課題担当者にて継続して行った。課題間連携及び部会間・総合研究グループ間連携で必要となるメタ情報を中心としてデータの収集を行なった。部会内や部会間・総合研究グループ間連携を促進するための共有オンラインストレージ(Nextcloud)を継続して運用した。令和4年度における観測や開発したソフトウェア等のメタ情報を整理して研究成果共有システムにて公開を行なった(東京大学地震研究所[課題番号:ERI_25])。

本計画における成果の概要

本計画期間内において、日本付近で発生した被害地震は、令和6年1月1日に発生した能登半島地震(M7.6)を筆頭におよそ25地震であり、マグニチュード7を超える地震は、令和6年1月1日に発生した能登半島地震(M7.6)および令和4年3月16日の福島県沖(M7.4)、令和3年2月13日の福島県沖(M7.3)の3地震であった。これらの地震観測データは、防災科学研究所、気象庁、国土地理院、海上保安庁、産業技術総合研究所、大学等により管理・運用されている日本全国の陸域・海域に展開された地震、地殻変動、津波、潮位、電磁気等の観測基盤により取得され、本計画において高度化された解析技術により調査がなされ、解析結果は、地震調査委員会、地震予知連絡会やWebなどに随時提供された。防災科学研究所は、陸海統合地震津波火山観測網(MOWLAS)および首都圏地震観測網(MeSO-net)の安定的な運用に加え、南海トラフ海底地震津波観測網(N-net)の整備を進めた。気象庁は、関係機関の地震観測データを一元的に処理するEPOS(Earthquake Phenomena Observation System:地震活動等総合監視システム)およびREDC(Regional Earthquake Data Center System:地域地震センターデータ処理システム)の更新を実施し、一元化処理による震源カタログについては、令和5年3月までが作成された。また、一元化処理においては、令和2年9月から海域観測網(S-net, DONET2)のデータの活用が開始され、自動震源決定の際にノイズとなるエアガン起源のシグナルの除去ロジックについても令和3年7月から適用された。東京大学地震研究所においては、DAS計測やGNSS/Aや海底孔内観測システムなどと統合できるシステムの開発が進められた。国土地

理院においては、電子基準点リアルタイム解析システム(REGARD)の高度化が進められ、MCMC法による断層推定、測位解の品質による異常値判定、PPP(精密単独測位)に基づく解析が実装された。さらに、汎用的なGNSS機器を用いた小型GNSS観測装置の開発なども進められた。また、ALOS-2の後継機であるALOS-4による高頻度観測データを用いた解析を可能とするための解析手法の高度化やシステム構築が進められた。情報通信研究機構では、Pi-SAR X3による15 cm分解能での火山観測に成功し、新たな火山の観測体制が整備された。山梨県富士山科学研究所においては、重力観測網の構築により火山のモニタリング体制が整えられた。北海道立総合研究機構においては、継続的な地球物理学的・地球化学的モニタリングが実施され、気象庁や大学と共有するとともに、地元自治体等へ情報を提供された。地震データ流通においては、大学等により運用されている観測データ流通網(Japan Data eXchange network) JDXnetの運用が安定的に行われた。北海道大学では、地殻変動連続観測等の多項目観測データの全国流通・一元化によりデータの蓄積・公開が実施され、気象庁のひずみ計観測網データのリアルタイム流通が実現した。東京大学地震研究所においては、全国規模のデータ流通及びデータ処理で広く用いられているプログラム(win)について、その近代化と機能向上が着実に進められるとともに、伝送プロトコルの検討が高知大学においても進められた。東北大学においては、免許帯である400 MHz帯のほか、2012年の電波法の改正に伴って新設された920 MHz帯の利用等の検討が進められた。名古屋大学においては、小電力・小型・携帯テレメータ地震観測装置の改良開発が進められ、令和4年2月からの御嶽山の火山活動の活発化の際には、リアルタイムデータ取得に活用され現象の把握に貢献した。

データベースの構築と利活用・公開については、東京大学地震研究所において、Digital Object Identifier(論文等の永続的識別子)としてよく知られるDOIの適切な利用の検討が進められ、データジャーナルやデータリポジトリの活用の事例や可能性についても提示された。また、以下に本計画で開発・公開されたデータベースやDOIをリストアップした。

- 大規模噴火データベース <https://gbank.gsj.jp/volcano/ledb/>
- 噴火推移データベース <https://gbank.gsj.jp/volcano/esdb/>
- 火山灰データベース https://gbank.gsj.jp/volcano/volcanic_ash/
- 火山ハザード情報システム <https://volcano.g-ever1.org/>
- アジア太平洋地域地震火山ハザード情報システム
<https://ccop-gsi.org/gsi/geohazard/>
- 潮位観測データ <https://cais.gsi.go.jp/cmdc/centerindex.html>
- 地磁気観測所が公開する各種データ資料
https://www.kakioka-jma.go.jp/info/kmo_datadoi.html

最後に、研究成果共有システムの構築については、戦略室によりそのデータフォーマットやポリシー等が検討され、観測や開発したソフトウェア等のメタ情報が令和3年度以降の一覧が<http://evrrss.eri.u-tokyo.ac.jp/database/index.html> から閲覧可能となっている。

次期計画への展望

観測研究基盤については関係機関による不断の努力によって適切に維持がなされ、質の高いデータが着実に蓄積されている。また、データ流通基盤も同様に柔軟な運用がなされリアルタイムかつ連続での集配信が実現できている。解析システムについても粛々と高度化がなされ整備が進んだ。また、個々のデータベースについても着実に整備が進められている。さらに、研究成果についても戦略室による方針のもと運用が昨年度より開始され、本計画において取得されたデータや開発されたソフトウェアの公開が進んだ。次期計画に向けては、これらの公開をさらに進めるとともに、データ連携やデータベースの統合化、並びに研究成果共有システムのさらなる構築が求められる。

成果リスト（令和5年度分）

- Aoi, S. T. Takeda, T. Kunugi, M. Shinohara, T. Miyoshi, K. Uehira, M. Mochizuki, N. Takahashi, 2023, A new seafloor cable-type observation network in the western half of the anticipated Nankai Trough earthquake source area: N-net, IUGG, IUGG23-1127
- Miyoshi, T., T. Takeda, S. Aoi, M. Shinohara, 2023, Nankai Trough Seafloor Observation Network for Earthquakes and Tsunamis (N-net): Contribution to Early Detection of Seismic Waves and Tsunamis, IUGG, S02p-126
- Takamatsu, N., S. Abe, K. Ohno, S. Kawamoto, K. Akiyama, 2023, Precise orbits determination results for GNSS using MADOCA, IUGG 2023 Berlin
- Takamatsu, N., K. Ohno, S. Abe, T. Miyazaki, Y. Takei, S. Murakami, and S. Kawamoto, 2023, Improving REGARD: real-time finite fault estimates with dense GNSS CORS network in Japan, IUGG 2023, Berlin
- Kobayashi, T., H. Munekane, M. Kuwahara, H. Furui, 2023, Insights on the 2023 Kahramanmaraş Earthquake, Turkey, from InSAR: Fault Locations, Rupture Styles, and Induced Deformation, Geophysical Journal International, 236, 1068-1088, <https://doi.org/10.1093/gji/ggad464>
- Takagi, Y., M. Ishigaki, T. Nakakuki, H. Yoshifuji, M. Honda, K. Mori, and Y. Sato, 2023, Status of the Ishioka Geodetic Observing Station, EVGA Meeting 2023, P-23
- Ueshiba, H., H. Yoshihuji, M. Honda, and K. Kokado, 2023, Status report of Tsukuba VLBI Correlator, 15th DiFX Users and Developers meeting
- Matsumoto, S., H. Furui, H. Yoshifuji, H. Ueshiba, A. Suzuki, M. Honda, K. Kumagai, T. Kobayashi, and K. Kokado, 2023, The 2023 Local-tie surveys conducted by GSI, The 13th General Meeting of the International VLBI Service for Geodesy and Astrometry
- Kokado, K., M. Honda, H. Ueshiba, H. Yoshifuji, M. Ishigaki, H. Furui, and A. Suzuki, 2023, Activities of GSI on VLBI operation and monitoring, The 13th General Meeting of the International VLBI Service for Geodesy and Astrometry
- Ishigaki, M., K. Le Bail, M. Mouyen, R. Haas, and T. Nilsson, 2023, How does station position modelling affect the VLBI scale in ITRF2020, The 13th General Meeting of the International VLBI Service for Geodesy and Astrometry
- M. Nakashima・T. Ogawa・Y. Sugawara・K. Sakai・C. Kato・K. Ichimura・K. Matsuo, 2023, Nationwide airborne gravity surveys for developing a new precise gravimetric

geoid model in Japan, AGU Fall Meeting 2023, G33A-0531

今西祐一・西山竜一・本多亮, 2023, 絶対重力計を用いた重力鉛直勾配の測定, 測地学会誌, 69, 8-17

Takahashi, R., T. Ogino, K. Ohmori and Y. Murayama, 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, doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2023.107934

Shinohara, M., S. Aoi, M. Mochizuki, K. Uehira, T. Yamada, T. Kunugi, T. Takeda, R. Noda, S. Iwai, 2023, Field evaluation of newly developed MEMS technology silicon resonant sensor for seafloor pressure observation, IUGG, S02p-133

Shinohara, M, 2023, Development of ICT seafloor cable observation system and its operation, New Technology-Enabled Discoveries To Understand Earth' s Seafloor for Hazards and Sustainability

Shinohara, M, 2023, Continuous monitoring of earthquakes and tsunamis for seven years by ICT seafloor cable observation system in Japan, SMART Cables, Science and Society Workshop

Takeda, T., S. Aoi, T. Kunugi, M. Shinohara, T. Miyoshi, K. Uehira, M. Mochizuki, N. Ta, 2023, System Design of Nankai Trough Seafloor Observation Network for Earthquakes and Tsunamis (N-net) and its Long-Term Reliability, IUGG, S02p-135

Yin, J., W. Zhu, J. Li, E. Biondi, Y. Miao, Z. J. Spica, L. Viens, M. Shinohara, S. Ide, K. Mochizuki, A. L. Husker, and Z. Zhan, 2023, Earthquake magnitude with DAS: A transferable data-based scaling relation, Geophys. Res. Lett., 50, e2023GL103045, <https://doi.org/10.1029/2023GL103045>

Masanao SHINOHARA, 2023, Pioneering Seafloor Seismic Observations Using Distributed Acoustic Sensing Technology, Twenty-eighth International Conference on Optical Fiber Sensors (OFS-28), Plenary Session III

Okada, T., Savage, M.K., Sakai, S., Yoshida, K., Uchida, N., Takagi, R., Kimura, S., Hirahara, S., Tagami, A., Fujimura, R., Matsuzawa, T., Kurashimo, E., Yoshihiro, 2024, Shear wave splitting and seismic velocity structure in the focal area of the earthquake swarm and their relation with earthquake swarm activity in the Noto Peninsula, central Japan, Earth, Planets Sp., 76, 24, doi:10.1186/s40623-024-01974-0

Y. Maeda, T. Watanabe, 2023, Seismic structure and its implication on the hydrothermal system beneath Mt. Ontake, central Japan, Earth, Planets and Space, 75:115

児島 正一郎 他, 2023, DeepLab v3+を用いたPi-SAR2画像からの浸水被害地域の抽出解析, 土木学会論文集, 79, 1, <https://doi.org/10.2208/jscej.23-17199>

Gocho, M., 2023, Sparse Reconstruction and Resolution Improvement of Synthetic Aperture Radar Using Deconvolution ISTA, IEICE TRANSACTIONS ON COMMUNICATIONS, 106, 1363, <https://doi.org/10.1587/transcom.2023CEP0013>

Kojima et al., 2023, DEVELOPMENT STATUS OF NICT' S NEW X-BAND AIRBORNE SAR (PI- SAR X3), IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium

Tamaribuchi, K., F. Hirose, A. Noda, K. Iwakiri and H. Ueno, 2021, Noise classification for the unified earthquake catalog using ensemble learning: the enhanced image of seismic activity along the Japan Trench by the S-net seafloor network, Earth, Planets and Space, 73, doi:10.1186/s40623-021-01411-6

宝田晋治・Bandibas, J.・河野裕希・金田泰明・米谷珠萌・長田美里, 2023, 火山ハザード情報システムの構築., 地質調査総合センター速報, 84, 153-161

宝田晋治・Bandibas, J.・滝口亜紀・元島温子, 2023, 火口地形のデジタル化と閲覧検索システムの構築., 地質調査総合センター速報, 84, 49-53

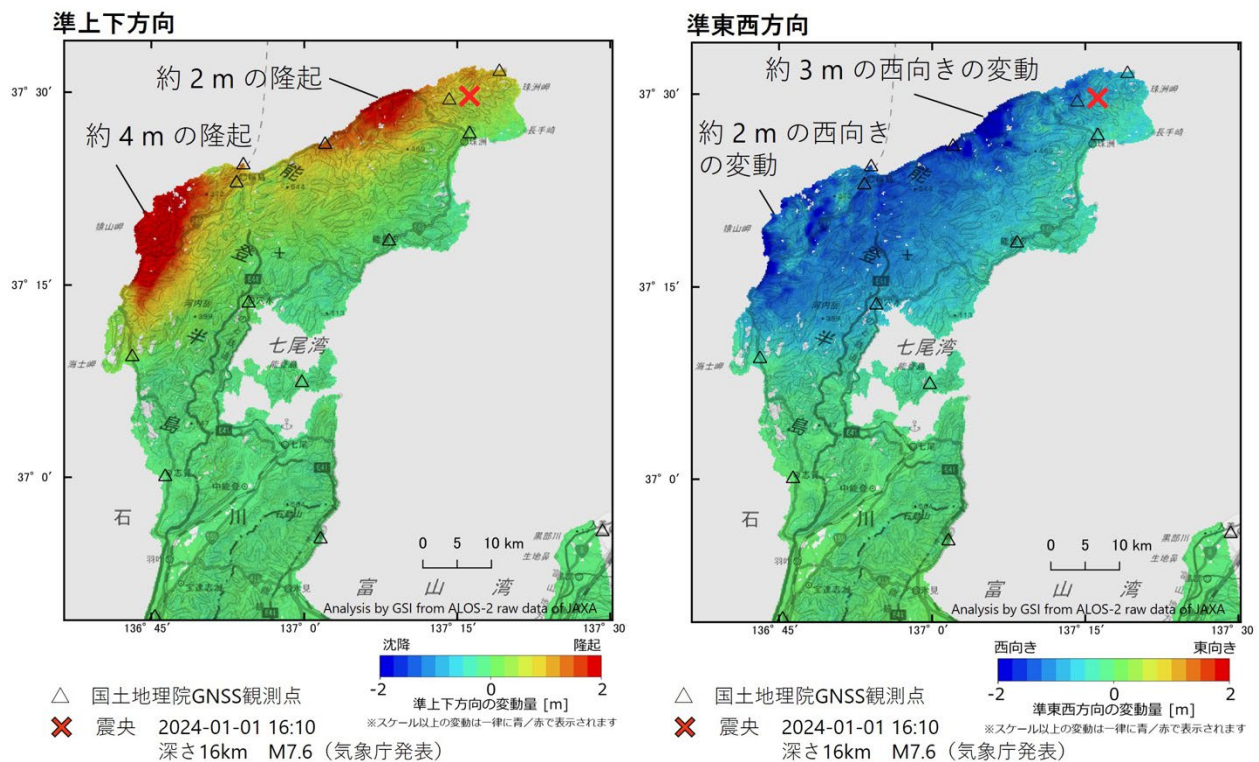


図1. ALOS-2観測データを用いた2.5次元解析による令和6年能登半島地震に伴う地殻変動(左: 準上下方向, 右: 準東西方向の変動分布) (国土地理院[課題番号: GSI_07])

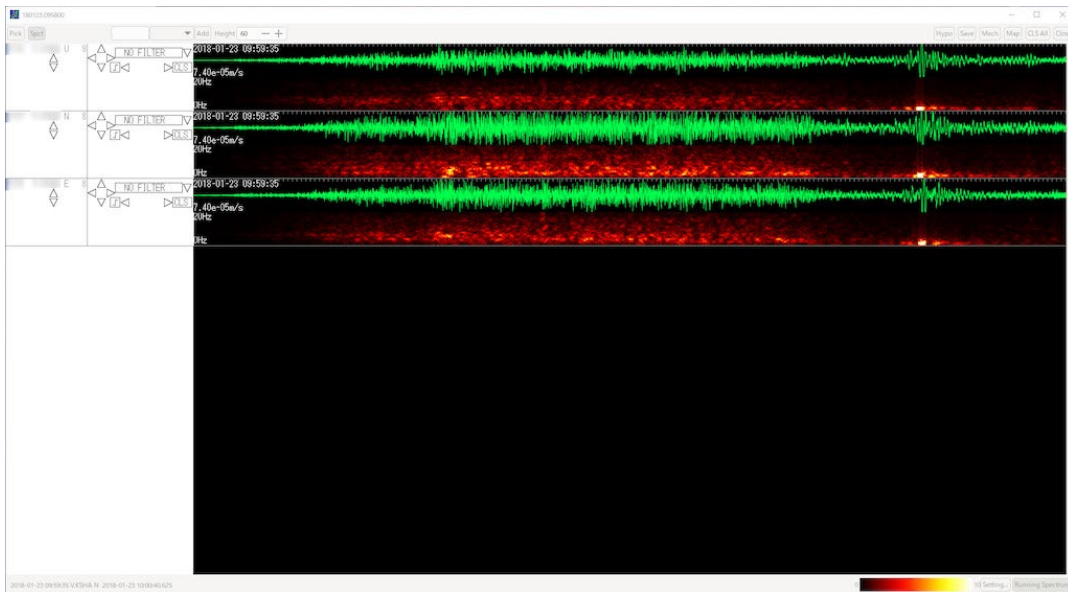


図 2．ランニングスペクトルの表示例（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_24]）

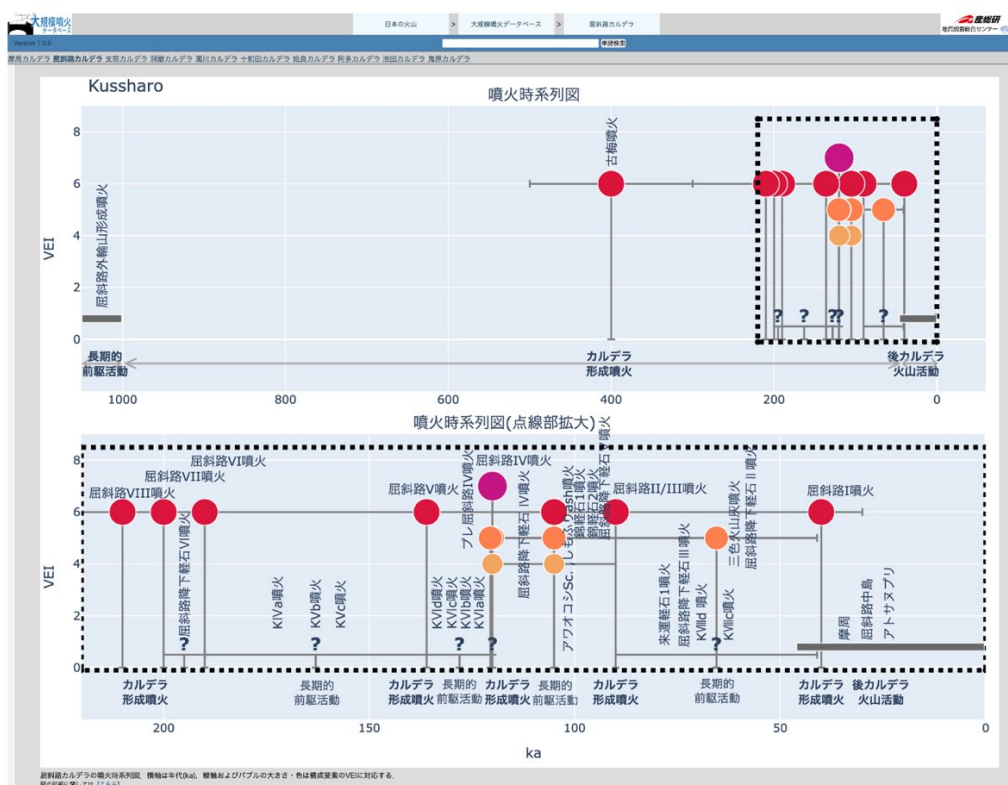


図 3．大規模噴火データベース

屈斜路カルデラ火山の噴火時系列図（産業技術総合研究所[課題番号：AIST11]）

