

(1) 実施機関名：

東北大学理学研究科

(2) 研究課題（または観測項目）名：

集中地震観測による火山体構造・火山現象発生場の解明

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(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・熱水系の構造の解明

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(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

イ. マグマ溜まりと火道内過程のモデル化

(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

エ. 地震発生と火山活動の相互作用の理解

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

イ. モニタリングによる火山活動の評価

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

オ. 高リスク小規模火山噴火

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

近年、高精度の多項目火山観測の拡充により、噴火に先行する中長期的なマグマだまりの変動や、噴火直前の火山体浅部における諸火山現象が検出・解明されつつある。このような一連の火山現象を支配するやや深部から浅部までのマグマ供給系・熱水系を含む火山体構造を明らかにすることは、現象の理解・噴火活動の推移予測（噴火事象系統樹の分岐過程）の基礎情報となるとともに、噴火事象系統樹・噴火活動推移モデルにおける時間発展の把握・理解にとって不可欠である。

これまでの噴火予知計画や地震火山観測研究計画においては、人工地震を用いた火山体構造探査が全国の活火山で継続的に行われ、その結果、火山浅部の詳細な地震波速度構造が明らかになり、火山現象の理解の進展に貢献してきた。しかしながら、浅部に低速度構造をもつ火山体構造故に、マグマだまりが存在するやや深部（～地下10 km弱）の構造の理解は十分とは言い難い。一方で、近年の地震波干渉法等の地震波伝播理論・解析手法の発展により、やや深部の地震波速度構造、さらには構造異方性を推定できる可能性が示されつつある。

そこで本研究課題では、マグマだまり及び浅部の両者において火山活動に伴う変動が見られている蔵王山及び箱根山をテストフィールドとして、それぞれ約2年間の集中地震観測を全国連携で実施し、やや深部から浅部にかけての地震波速度構造を推定することで、火山性流体の分布・供給路を明らかにし、噴火活動推移のモデル化に資する基礎情報を得ることを目指す。具体的には、地震波干渉法に

よる表面波解析により速度構造及び異方性の推定を行うとともに、既存データも併用して自然地震トモグラフィの分解能向上を図り、火山体やや深部構造の推定方法の確立を目指す。また、想定火口域近傍に観光客等が訪れる両火山において観測研究を進めることにより、防災対策に必要な中長期的な噴火ポテンシャルや切迫度の評価のための科学的情報を取得し、火山災害軽減に資することを旨とする。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

やや深部（～約10 km）から浅部までの火山体構造推定のために、蔵王山及び箱根山の周辺約30 km四方に臨時地震観測点20～30点を展開する。それぞれの火山において約2年間の連続観測を実施し、地震波干渉法解析・自然地震トモグラフィに必要なデータを取得し、既設地震観測点のデータも用いて火山体構造推定を行う。箱根山における観測は、神奈川県温泉地学研究所の支援を受けつつ実施する。

両火山においては、地震学的・電磁気学的な広域構造等についての既往研究結果があるため、これらの結果と本研究課題で得られた構造との統合的な解釈を進め、火山性流体の分布を明らかにする。また、各手法によって推定した構造の比較を行い、火山体構造推定の高度化に向けた検討を進める。各年度では、以下のように研究を実施する。

2019年度：既存データ・既往研究結果をもとにした予備解析を進めるとともに、観測・解析の事前シミュレーションを行い、観測点配置等の検討を行う。

2020年度：蔵王山周辺に観測点を展開し、地震観測を開始する。得られたデータをもとに構造解析に着手し、観測データの質のチェック・予備解析を行う。

2021年度：蔵王山における観測を積雪期前まで継続し、解析データの蓄積を行う。年度後半に箱根山周辺に観測点を展開し、地震観測を開始する。

2022年度：蔵王山で得られたデータを用いて構造解析を進めるとともに、得られた構造を用いた震源再決定等を行い、火山現象とその発生場の関連を検討する。また、観測期間中の構造時間変化の抽出を行う。また、箱根山における保守作業において回収したデータを用いた構造解析に着手する。

2023年度：箱根山における観測を継続するとともに、箱根山の構造解析を進める。両火山で得られた構造をもとに、火山性流体の分布形態・供給路の推定を行い、火山活動評価に資する情報の抽出を行う。

(8) 令和5年度及び計画期間中（令和元年度～5年度）の成果の概要：

・今年度の成果の概要

本課題では、蔵王山（令和3年から）及び箱根山（令和3年から令和5年）において臨時地震観測網を展開し、構造解析に必要なデータの蓄積を進め、火山体構造の推定を進めてきた。令和5年度には、前年度に引き続き、両火山で取得したデータに地震波干渉法を適用し、表面波解析を進めるとともに、蔵王山については山頂域周辺の既設観測点のデータも含めた解析を進めた。蔵王山については、火山体周辺部で推定された広域の基盤的構造の上に中央部では数百mの薄い山体構造が重なる特徴的な構造とともに、想定火口域（馬の背カルデラ）を中心として深部から浅部につながる低速度領域が存在することが明らかになった。この低速度領域は、蔵王山の火山活動活発化時に観測された地殻変動や長周期地震の発生源を含むものであり、蔵王山直下のマグマ・熱水供給系を反映していると考えられる。箱根山については、一部期間のデータを用いて前年度に予察的な解析を行ったが、全期間のデータを用いた解析結果においてもカルデラ内の浅部低速度構造や丹那・平山断層を境とする東西の構造差異が確認できた。また、カルデラ南東側にのびる低速度領域が認められた。これらの構造は、震源分布などを基に先行研究（例えば、Yukutake et al., 2011）で指摘されている中央火口丘直下の地震発生領域内（深さ6 km以浅）の破碎帯に起因するものと考えられる。このような浅部の構造は、定常観測網等を用いた自然地震トモグラフィでは十分な解像が困難であるため、火山活動を支配する流体供給系の分布形態や供給路の解明に本課題で実施したような集中観測や解析が有用であることを示す。また、蔵王山・箱根山に加えて、御嶽山や阿蘇山でもやや深部から浅部にかけての構造推定を進め、火山性流体の分布・供給路についての知見を蓄積した。御嶽山では、山頂域の機動観測点及び周辺域の定常地震観測網のデータを使用し、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、マグマだまり上面の可能性のある反射面、流体移動に対してバリアの役目を果たす低浸透率層の境界面、その層を貫通する準鉛直の震源分布（流体供給路と推定）などがイメージングされ、流体・熱輸

送に関する描像が得られた。阿蘇山においては、熊本地震余震観測の臨時点を含む稠密観測網のデータを使用し、自然地震トモグラフィを行うことで深さ約6 kmのマグマだまりから地表につながる低速領域をイメージングした。

・計画期間中（令和元年度～5年度）の成果の概要

本課題では、蔵王山と箱根山における臨時地震観測と地震波干渉法を中心とした解析を行い、火山活動推移を支配するやや深部から浅部の火山体構造の推定を進めた。また、火山噴火予知計画で実施された人工地震火山体構造探査のデータを活用して複数の火山における地震波散乱係数を系統的に推定し、地震波モード変換と多重散乱についてモデリングを行うことで地震波干渉法の理論的背景となる雑微動の等方性やエネルギー等分配についての知見を蓄積した。また、それらの知見を背景として、雑微動や自然地震のコーダ波を用いた自己相関関数（疑似反射断面）を求め、磐梯山や御嶽山の山体内反射構造の推定を行うなど、従来の人工地震構造探査や自然地震トモグラフィとは異なる観点から火山体構造推定を行う手法の検証と適用を行うことができた。

また、得られた火山体構造を用いた震源再決定なども行い、各種の火山現象発生領域と火山体構造の関係の理解が進んだ。さらに、研究期間中に課題参加者による研究集会を実施し、各自が研究対象とする火山における火山体構造と火山現象の関係などについて情報交換と意見交換を行い、研究の方向性などについて議論を行った。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

火山体構造の推定と火山現象の関係の理解は、1（5）ウ「火山噴火を支配するマグマ供給系・熱水系の構造の解明」の目標に直接的に関係するものであるが、従来と異なる地震波干渉法解析や自己相関関数解析による構造推定とその基礎となる知見の蓄積を進めたことは建議項目に一定の貢献をするものであると考えられる。課題参加者の多くは観測に基づく火山活動推移のモデル化も進めており、火山現象発生場と火山活動推移の関係を整理できたこともできた。また、地震波干渉法解析等による異方性構造も含めた火山体構造推定のような火山現象理解の深化と火山活動推移のモデル構築や予測試行に結び付く今後の研究方向性も検討することができた。本課題で臨時地震観測を実施した火山はいずれも観光地でもあり、小規模の火山活動でも火山災害に結び付くリスクのある火山でもある。そのような両火山において、火山活動を支配する場の情報を蓄積していくことは、災害軽減のために必要となる火山活動の正確な把握と評価にも資すると思われる。今後も本課題で得られた知見をさらに継承・発展させ、火山現象発生場の理解を通じた火山活動推移の予測試行やその検証へつなげていくことが重要であると考えられる。

(9) 令和5年度の成果に関連の深いもので、令和5年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Maeda, Y. and T. Watanabe, 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, 査読有, 謝辞有

山本 希, 2023, 多項目観測による火山活動推移の把握と現象理解, 防災科学技術研究所研究資料, 487, 75, 査読無, 謝辞無

・学会・シンポジウム等での発表

山本希・秋山翔希・青山裕・大湊隆雄・寺田暁彦・前田裕太・大倉敬宏・松島健・中道治久・本多亮, 2023, 箱根山における臨時地震観測と地震波干渉法を用いた表面波解析, 日本地球惑星科学連合2023年大会, SVC31-P07

池谷拓馬・山本希, 2023, 蔵王山における深部低周波地震のダブルカップル・非ダブルカップル成分の継続時間, 日本火山学会2023年度秋季大会, P47

(10) 令和5年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

項目：地震：地震：短周期地震観測

概要：蔵王山周辺における臨時地震観測

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：宮城県蔵王町蔵王山 38.1199 140.4525
調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定
公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：地震：地震：短周期地震観測
概要：箱根山周辺における臨時地震観測
既存データベースとの関係：
調査・観測地域：神奈川県箱根町箱根山 35.8617 138.9785
調査・観測期間：昨年度より継続-2023/6/
公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

(11) 次期計画における課題名：

同様のアプローチの研究課題として「地震及び測地観測によるマグマ供給系・熱水系構造の推定（代表機関：東北大学）」が挙げられる。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

山本 希（東北大学大学院理学研究科）,岡田知己（東北大学大学院理学研究科）,高木涼太（東北大学大学院理学研究科）,西村太志（東北大学大学院理学研究科）

他機関との共同研究の有無：有

青山裕（北海道大学大学院理学研究院）,大湊隆雄（東京大学地震研究所）,寺田暁彦（東京工業大学理学院）,前田裕太（名古屋大学大学院環境学研究科）,大倉敬宏（京都大学大学院理学研究科）,松島健（九州大学大学院理学研究院）,中道治久（京都大学防災研究所）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：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
電話：022-225-1950
e-mail：zisin-yoti-aob@grp.tohoku.ac.jp
URL：www.aob.gp.tohoku.ac.jp

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：山本 希
所属：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