様式 B-4

2025 年度 共同利用実施報告書（研究実績報告書）
（特定共同研究(B)）

１．課題番号　　2025-B-03

２．研究課題名（和文、英文の両方をご記載ください。）

和文：　マルチスケール重力観測に基づく活動的火山内部の質量時空間変動の包括的理解

英文：　Comprehensive understanding of spatiotemporal mass variations in active volcanoes based on multiscale gravity observations

３．研究代表者　所属・氏名　　京都大学大学院理学研究科　・　風間　卓仁
（地震研究所　担当教員名）　　今西　祐一

４．研究組織の詳細（研究代表者を含め、当課題に参加した全ての研究者を記載し、必要に応じ行を追加してください。）

氏名	所属	職名	担当
（代表者）			
[01] 風間　卓仁	京都大学・理学研究科	助教	観測・解析・議論・総括
（当初参加者）			
[02] 大園　真子	北海道大学	教授	観測・解析・議論・総括
[03] 高橋　浩晃	〃	教授	観測・解析・議論・総括
[04] 岡田　和見	〃	技術専門職員	観測・観測・議論・総括
[05] 岡　　大輔	北海道立総合研究機構	主査	観測・観測・議論・総括
[06] 三浦　哲	東北大学	学術研究員	観測・解析・議論・総括
[07] 名和　一成	産業技術総合研究所	研究グループ長	観測・解析・議論・総括
[08] 後藤　宏樹	〃	主任研究員	観測・解析・議論・総括
[09] 堀川　卓哉	〃	研究員	観測・観測・議論・総括
[10] 池田　博	エスケーサービス	研究支援員	観測・観測・議論・総括
[11] 田中　愛幸	東京大学・理学系研究科	准教授	観測・観測・議論・総括
[12] 新谷　昌人	東京大学・地震研究所	教授	観測・観測・議論・総括
[13] 市川　隆一	情報通信研究機構	研究マネージャー	観測・観測・議論・総括
[14] 関戸　衛	〃	研究マネージャー	観測・解析・議論・総括
[15] 安部　祐希	神奈川県温泉地学研究所	主任研究員	観測・解析・議論・総括
[16] 本多　亮	山梨県富士山科学研究所	主任研究員	観測・観測・議論・総括
[17] 堀田　耕平	富山大学	助教	観測・観測・議論・総括
[18] 伊藤　武男	名古屋大学・環境学研究科	准教授	観測・観測・議論・総括
[19] 松廣　健二郎	名古屋大学・全学技術センター	技師	観測・解析・議論・総括
[20] 大柳　諒	京都大学・理学研究科	大学院生	観測・観測・議論・総括
[21] 若林　環	〃	大学院生	観測・観測・議論・総括
[22] 小田　雄大	〃	大学院生	観測・観測・議論・総括

［23］西上　直志	京都大学・理学研究科	大学院生	観測・観測・議論・総括
［24］小濱　瑞希	〃	大学院生	観測・観測・議論・総括
［25］舩津　圭汰	〃	大学院生（進学予定）	観測・観測・議論・総括
［26］吉川　慎	京都大学・火山研究センター	技術室長	観測・解析・議論・総括
［27］山本　圭吾	京都大学・防災研究所	助教	観測・観測・議論・総括
（地震研担当教員）			
［28］今西　祐一	東京大学・地震研究所	准教授	観測・観測・議論・総括
（2025 年 5 月追加）			
［29］西山　竜一	東京大学・地震研究所	助教	観測・観測・議論・総括
［30］成田　翔平	東京科学大学	助教	観測・解析・議論・総括
［31］長縄　和洋	神奈川県温泉地学研究所	技師	観測・解析・議論・総括
（2026 年 2 月追加）			
［32］五味　彩奈	早稲田大学	学部生	観測・観測・議論・総括
［33］宮北　大	京都大学・理学部	学部生	観測・解析・議論・総括

５．研究計画の概要（800 字以内でご記載ください。計画調書に記載した「研究計画」から変更がある場合、変更内容が分かるように記載してください。）

本研究は、活動的火山において多項目の重力観測を同時並行で実施し、広帯域の時空間スケールで火山内部の質量変動を理解することを目的とする。具体的には、本研究に参画する研究機関が複数のタイプの重力計（絶対重力計・超伝導重力計・バネ式相対重力計など）を持ち寄り、活動的火山において同時並行で重力観測を実施する。この際、絶対重力計による多点の絶対観測、超伝導重力計やバネ式相対重力計による連続観測、およびバネ式相対重力計による広域キャンペーン観測を組み合わせ、火山体周辺における時空間的にマルチスケールな重力変動を取得する。その後、得られた重力データに陸水擾乱補正やインバージョン解析を適用し、火山内部の質量時空間分布を得る。さらに、得られた質量時空間変動を他の火山学的観測データとも比較し、対象火山の活動を質量変動の観点から包括的に評価する。

本研究で重力観測を実施する対象火山は、本研究課題の参加者間で議論して決定する。研究計画時点において観測対象として想定される火山は、近年活発な活動が確認されている阿蘇山・霧島・桜島や、過去に重力観測が実施されてきた浅間山・箱根山・富士山などである。

6．研究成果の概要（図を含めて 1〜2 頁で記載してください。）

キーワード（3〜5 語程度）：重力変化・地殻変動・火山・マグマ・密度変化

【主な研究活動】

火山活動に伴う重力変化を把握するため、我々は各火山において 2025 年度に以下のような研究活動を実施した。

- 草津白根山では、近年の活発な火山活動を監視するために、2025 年 7 月に相対重力キャンペーン測定を実施した。測定に使用したのは京都大学所有の相対重力計 LaCoste-G534 で、この重力計が草津白根山で重力測定を実施したのはこれが初めてであった。草津白根山では山上部周辺の計 12 地点で相対重力値を測定し、例えば湯釜に最も近い重力点 Shelter における相対重力値（草津白根火山観測所 KSVO-RG を基準とする）は-203.721 mGal と決定された。草津白根山では今後も毎年 7 月頃に相対重力キャンペーン測定を実施し、山頂部周辺の重力時間変化を把握していく予定である。
- 浅間山では、火山活動や陸水変動に伴う重力変化を監視するため、2024 年度より浅間火山観測所で超伝導重力計 iGrav-003 による重力連続観測が実施されている。2025 年度においては、この iGrav 重力計のメンテナンスを定期的に実施した。また、2025 年 11 月には iGrav の器械ドリフト検定を主な目的として、浅間火山観測所で絶対重力測定を実施し、絶対重力値 979 528 025 microGal を得た。浅間火山観測所では今後も超伝導重力の連続観測や定期的な絶対重力測定を継続し、質量変動の把握や iGrav の器械ドリフト推定を進める予定である。
- 浅間山では、火山地下水流動をはじめとした陸水変動を把握するため、2025 年 7 月に不圧地下水モニタリング用の浅井戸を設置した。井戸を設置したのは浅間火山観測所の南約 1 km に位置する湯川および千ヶ滝の上流部で、塩ビパイプを用いた浅井戸を 2 か所に設置し、この井戸の中に水圧計を設置することで地下水位の連続観測を開始した。2025 年 12 月にはこの井戸のメンテナンスを実施し、7 月〜12 月の期間で問題なく水位変化が取得されていることを確認した。2026 年度以降も定期的に地下水位データの回収を行い、得られたデータは陸水変動の把握や陸水重力擾乱のモデリングに利用する予定である。
- 立山の地獄谷では、近年の活発な噴気活動・地表変位を監視するために、2025 年 9 月に相対重力キャンペーン測定を実施した。測定に使用したのは京都大学所有の相対重力計 LaCoste-G534 で、この重力計が立山地獄谷で重力測定を実施したのはこれが初めてであった。地獄谷では旧遊歩道沿いの計 7 地点で相対重力測定を実施し、例えば水準点 BM26 の相対重力値（天狗平山荘の金属標 TNG を基準とする）は-3.665 mGal と得られた。立山地獄谷では今後も定期的に相対重力キャンペーン測定を実施し、重力時空間変動を把握した上で、水準測量に基づく上下変位時空間変動を比較していく予定である。
- 桜島では、火山活動に関連する質量変動を把握するために、2025 年 10 月と 2026 年 3 月に相対重力キャンペーン測定を実施した。このデータを 1998 年以降に取得された相対重力データと統合して解析した結果、桜島中央部では最大 5.4 microGal/yr の経年的な重力増加が発生していることが分かった。この重力増加を定量的に説明するには地殻変動だけでは不十分であり、桜島直下で約 $1.4 * 10^{10}$ kg/yr の（体積変化・地殻変動を付随しない）質量増加が必要である。このほか、桜島のハルタ山では 2025 年 10 月に絶対重力測定を実施し、絶対重力値を取得した。
- 富士山および阿蘇山では、例年通り絶対重力および相対重力の繰り返し測定を実施し、各種重力データを取得した。次年度以降も定期的に重力測定を実施する予定である。

研究成果の概要（続き）

【主な研究成果】

本研究課題に関連し、2025 年度に出版・受理された論文は計 5 件であった。このうち、一部の論文の概要を以下に示す。

- Oyanagi et al. (2026)は、1975 年から 1992 年の相対重力と水準測量のデータを用い、桜島火山下のマグマ供給系の質量・体積変化を定量化した。彼らは、観測された重力増加が地殻変動に基づく体積膨張だけでは説明できないことを示し、浅部マグマだまりの中でマグマ密度が増大していることを指摘した。このマグマ密度の増大は、火道内対流マグマの脱ガスに伴ってマグマが高密度化し、この高密度マグマが浅部マグマだまりに蓄積していることを反映していると考えられる。さらに彼らは、桜島直下のマグマ供給系におけるマグマ質量収支を計算し、$5 * 10^{10}$ kg/yr のマグマが継続的に地下深部から供給されていたと結論付けた。本研究は、重力と地殻変動の統合解析が、従来の測地学的モデルでは捉えきれないマグマの動態や蓄積状態を評価する上で極めて有効であることを実証した。
- 今西ほか(2025)は、据え置き型の iGrav 超伝導重力計を、超伝導球を浮上させたまま運搬することで可搬型相対重力計として運用する実証実験を行った。彼らは蔵王・富士・浅間の 3 地点間で移動観測を実施し、感度の低い「ストロングフィードバック」モードでの計器校正を通じて重力差を推定した。その結果、絶対重力値との比較において誤差は約 1 mGal、相対誤差は 1～2 %に留まり、過去の試みと比較して精度を大幅に改善させた。彼らは、誤差要因として運搬時の機械的衝撃やセンサーの非線形性の可能性を指摘し、iGrav を活用した重力差測定の実用化に向けた課題を提示した。
- 風間ほか(2025)は、2018 年から 2025 年の 7 年間にわたり、箱根火山の大涌谷周辺等においてバネ式相対重力計による移動観測を実施した。彼らは、最大 70 microGal に達する相対重力の時間変化に主成分分析を適用し、全地点に共通する季節変動を抽出した。さらに彼らは、線形の水文学的重力応答モデルを構築して、観測された重力変化を約 10 microGal の精度で再現した。ただし、実際の陸水流動は非線形的流動を伴うため、降水に対する重力の非線形応答をより正確にモデル化することが今後の課題であると指摘した。本研究の期間中には有意な火山性信号は検出されなかったものの、高度な水文モデルにより陸水変動の寄与を重力データから精緻に補正することで、将来の火山活動に伴う微細な質量移動の検知が可能になると期待される。
- 小濱・風間(2026)は、有限要素法（FEM）を用い、火山の三次元的な地形を考慮して地上重力変化を精緻に計算する新手法を提案した。この手法においては、まず FEM で地殻変形を算出し、質量分布に伴う万有引力について変形前後の差を取ることで重力変化を計算する。本手法を 2015 年桜島ダイク貫入イベントに適用したところ、地形の影響により、従来の解析解よりも約 1 microGal 大きな重力減少が算出された。これは観測点より高標高な山体表面の隆起が上向きの引力を生じさせるためである。彼らは、この計算結果に基づいてダイク内の密度を推定し、地形を考慮しない場合と比較して最適密度が約 1000 kg/m^3 大きくなることを示した。本研究は、火山動態の正確な把握には地形効果の厳密な評価が不可欠であることを実証した。

（研究集会が開催された場合は以下についても記載してください。）

７．研究集会名（集会名の英訳もご記載ください。）

和文：　2025 年度重力研究集会

英文：　Gravimetry Meeting in FY2025

８．開催日：　2026 年 3 月 16 日～17 日

９．開催場所：　京都大学吉田キャンパス および オンライン

１０．研究集会参加者の詳細（研究代表者を含め、当課題に参加した全ての研究者を記載し、必要に応じ行を追加すること。）　　参加者の詳細については、非公開とします。

１１．延べ参加人数、研究集会の概要（100 字程度、共同利用・共同研究拠点実施報告書に掲載します。）

延べ参加人数　22　名

本研究集会では、各参加者が各自の研究の進捗状況を発表し（発表件数：10 件）、その内容について参加者同士で議論を行った。また、本課題に関連する次年度の観測予定についても話し合ったほか、研究集会の会場でもある京都大学において、測地学に関連した地点を回る見学会を実施した。なお、本研究集会の詳細情報は以下に掲載されている。
https://sites.google.com/kyoto-u.ac.jp/erib-grav-fy2025/

１２．研究実績

※所外の課題代表者は、所内担当教員に必ず実績について地震研業績 DB への登録依頼をしてください。

● 国際学会発表（招待講演）

（学会発表かつ招待講演の場合、講演者名、タイトル、学会名、開催地、発表年（西暦）、招待について記載してください。

記載例：K.Obara, Meaning and prospect for science of slow earthquakes, IAG-IASPEI, Kobe Japan, 2017 (invited))

- Yoshiyuki Tanaka, Yoshiaki Tamura, Takaaki Jike, Natsuki Kikuchi:
  Report on the continuous observation by the superconducting gravimeter at Mizusawa.
  ENIGMA Collaboration Workshop on Astrophysics and Geophysics, Jeongsun, Korea, 2025 (invited)

● 国際学会発表

（学会発表の場合、講演者名、タイトル、学会名、開催地、発表年（西暦）について記載してください。

記載例：K.Obara, Meaning and prospect for science of slow earthquakes, IAG-IASPEI, Kobe Japan, 2017 ）

- Ichikawa R, Honda R. and Tanaka Y.:
  Impact of the Earth Tide Models on Reducing Uncertainties of the Optical Atomic Clocks in Continuous Clock Operation.
  IAG Scientific Assembly 2025 (2025/09/02)

● 論文

（下記表の項目について記載してください。）

#	論文情報（著者、論文タイトル、雑誌名、巻、頁、出版年、DOI）	査読の有／無	出版年月	著者に地震研所員を含む／含まない	謝辞の有／無
記載例	Kazushige Obara, Aitaro Kato, Connecting slow earthquakes to huge earthquakes. Science 353, 253-257 (2016). DOI:10.1126/science.aaf1512	有	2016.7	含む	無
1	R. Oyanagi, T. Kazama, R. Kazahaya, I. Miyagi, K. Yamamoto, M. Iguchi: Magma mass increase under Sakurajima Volcano, Japan, inferred from campaign relative gravity and leveling data from 1975 to 1992: An interpretation from volcanic gas studies. Earth Planets Space, 78, 45, 2026. doi:10.1186/s40623-026-02365-3	あり	2026/02	含まない	あり
2	Ichikawa R, Honda R. and Tanaka Y.: Impact of the Earth Tide Models on Reducing Uncertainties of the Optical Atomic Clocks in Continuous Clock Operation. Geodesy for a Changing Environment: Proceedings of the 2025 IAG Scientific Assembly, 2026, in press.	あり	未定	含まない	なし
3	今西祐一, 池田博, 本多亮, 三浦哲, 名和一成, 西山竜一, 風間卓仁, 若林環, 山本圭吾: iGrav超伝導重力計を可搬型相対重力計として用いる試みについて. 測地学会誌, 71, 34-42, 2025. doi:10.11366/sokuchi.71.34.	あり	2025/10	含む	あり
4	風間卓仁, 田中優稀斗, 安部祐希, 長縄和洋, 大柳諒, 岡田和見: キャンペーン相対重力測定で得られた箱根火山の重力時空間変化（2018年7月～2025年3月）. 神奈川県温泉地学研究所報告, 57, 1-20, 2025.	あり	2026/03	含まない	あり
5	小濱瑞希, 風間卓仁: 有限要素法を用いた地上重力変化の数値計算：2015年桜島ダイク貫入イベントを例に. 火山, 2026, in press.	あり	未定	含まない	あり

１３．外部資金の申請・採択状況（任意、本紙提出後に採択の際にはメールでお知らせください。）

【採択】

今西祐一（研究代表者）, 2台の超伝導重力計による火山内部の密度変化の検出－浅間山をフィールドとして. 科研費, 基盤研究(B)一般, 2026年度～2028年度.