

令和 5 年 6 月 16 日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K04093

研究課題名（和文）北海道東部カルデラ火山地域の精密重力モニタリング

研究課題名（英文）Precise gravity monitoring in and around the Kussharo Caldera at eastern Hokkaido, Japan

研究代表者

名和 一成（Nawa, Kazunari）

国立研究開発法人産業技術総合研究所・地質調査総合センター・研究グループ長

研究者番号：20262082

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：カルデラ火山地域の地下水やマグマなど地殻内流体の状態把握を目指して、屈斜路カルデラ地域をフィールドとして複数の重力計を駆使した重力モニタリングを実施した。弟子屈での超伝導重力計連続観測の結果、可搬型相対重力計では検出が困難な長期間の微弱な重力時間変化を見出した。その変化は毎年積雪期に減少し融雪期に増加する傾向を繰り返していた。その変化は積雪と土壤水分量変化の影響でほぼ説明できることがわかった。経年変化の検討には、地下水位や地殻変動、機械的ドリフトによる重力変化の推定が重要になる。マイクロガルレベルで面的重力変化を把握するために、重力データの取得と補正・処理における課題が明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

プレートの沈み込み帯に位置する我が国には多くの活火山が存在しており、噴火/推移予測の観点から火山の地下の状態把握/解明は重要である。地殻内マグマの静的及び動的な状態を常時把握することは、噴火/活動推移の把握に直接つながる。重力は地下の密度変化に敏感な観測量であり、地下水やマグマなど地殻内流体の状態把握に非常に有効なため、超伝導重力計・絶対重力計・可搬型相対重力計を組み合わせた長期の重力モニタリングを実施した。本研究で取得したデータは、今後も関連分野の研究者が利用できるように、インターネットからアクセス可能なデータベースに登録した。

研究成果の概要（英文）：To investigate the state of crustal fluids such as groundwater and magma in the caldera volcano area, we conducted gravity monitoring using multiple gravimeters in the Kussharo caldera area as a field. As a result of continuous observation by the superconducting gravimeter at Teshikaga, we found long-term weak temporal changes in gravity that are difficult to detect with a portable relative gravimeter. The gravity time variation decreased during the snow accumulation period and increased during the snowmelt period every year. The changes were found to be mostly explained by the effects of snow cover and changes in soil moisture content. Estimation of apparent gravity change due to groundwater level, crustal movement, and mechanical drift is important to elucidate the secular gravity changes. In order to understand areal gravity changes at the microgal level, issues in gravity data acquisition and correction/processing were identified.

研究分野：地球物理学

キーワード：道東 地殻変動 マグマ活動 セイシュ 地下水 土壤水分量 積雪 重力計

1. 研究開始当初の背景

重力は地下の密度変化に敏感な観測量であり、地下水やマグマなど地殻内流体の状態把握に非常に有効である。プレートの沈み込み帯に位置する我が国には多くの活火山が存在しており、噴火/推移予測の観点から火山の地下の状態把握/解明は重要である。これまでの重力観測によって火道を昇降するなどのマグマの短期的活動の把握には成功している。しかし、長期的な火山活動と密接に関係している深部からのマグマの供給過程の解明には至っていない。地殻内マグマの静的及び動的な状態を常時把握することは、噴火/活動推移の把握に直接つながるので、近年の噴火予測に対する社会的要請に具体的に答えていくことにもなる。

2. 研究の目的

重力測定によって火山活動をモニターする試みはいくつかあるが、活発な活動時(とその前後)に短期的に生じる空間的スケールが小さい山体内の密度変化が主なターゲットとなっていた。本研究は、これまで長期間連続的に状態を把握することが困難だった広域なカルデラの深部までをターゲットとして、重力場の時間変化データを長期安定的に取得できる観測方法を確立する。そして、重力以外の原理の観測機器で取得されたデータから得られる結果も合わせて説明できるモデル構築を目的としている。

3. 研究の方法

本研究では、コアツールとして高精度かつ高時間分解能で測定可能な超伝導重力計を導入して、2つの新たな観測手法を北海道東部のカルデラ地域に適用する。1つは連続観測する超伝導重力計を基準とした広域重力構造探査・重力場変動モニタリング手法(いわゆる、スーパー・ハイブリッド重力測定)であり、もう1つはカルデラ湖水の水面振動(セイシュ)を利用した新しい地下構造探査手法である。

スーパー・ハイブリッド重力測定の有効性は、最近の石垣島の重力観測で示された。石垣島では数km四方のフィールドへの適用であったが、数十km四方の拡がりを持つ道東カルデラ地域への適用は初めての試みである。カルデラ湖水の振動(セイシュ)による地下構造探査については、米国のイエローストーンにおいて、セイシュに伴う地殻変動を検出してマグマ溜まりの位置を推定した事例があるものの、日本列島のカルデラ地域では試みられたことがない、その新しい手法の適用を試みる。屈斜路湖のセイシュの周期は30分程度であることが知られているが、本研究で用いる超伝導重力計は数十分の振動・重力変化が検出可能な周波数特性を持つ。

4. 研究成果

観測装置の展開とデータの取得

2018年11月に弟子屈観測所において iGrav 型超伝導重力計(#017)による連続観測を開始して以降、毎年冷凍機交換等の保守作業を行い、2022年8月の観測終了・撤収まで順調に観測を継続した。超伝導重力計のスケールファクターとドリフト検定を目的として絶対重

力計 FG5 との並行観測を 2019 年から 2022 年まで毎年実施した。スプリング式の gPhone 重力計は 2021 年末に弟子屈観測所に移設し、超伝導重力計撤収まで並行観測を実施した。超伝導重力計撤収後も gPhone 重力計による弟子屈での連続観測を継続した。重力データの補正・解釈に利用するため、弟子屈観測所における微気圧、雨量・土壌水分量観測、積雪観測および屈斜路湖（北端、南端の 2 箇所）の水位（水圧）データを継続して収集した。面的な重力変化を検出する目的で、仁伏観測所・屈斜路観測所でのスプリング式重力計による連続測定を実施するとともに、シントレックス CG-5 重力計を用いた重力点間の結合観測を実施した。仁伏観測所においても高精度微気圧計による観測を継続した。

北海道大学弟子屈観測所における超伝導重力計連続観測の成果

2018 年 11 月から 2022 年 8 月までの超伝導重力計（iGrav#17）データを解析した。潮汐、大気圧変化、極運動の補正を行なったのちの残差重力データは、期間通して ± 10 マイクロガル程度の変化に収まっていること、とりわけ各年の冬から春にかけて特徴的な季節的な重力変化を示すことがわかった。雪の積もりが増える期間には徐々に重力が減少し、雪解け期に急激に増加するというものである。観測開始から終了まで 4 回の冬を経験したが、雪解け期の重力増加率は観測前期と後期で異なり、後期の 2021 年と 2022 年は、前期の 2019 年と 2020 年よりも小さく、積雪期に減少した重力の回復に時間を要した。

山佳・名和(2020)および丸藤ら(2023)は、降水量、積雪、融雪による土壌水分量の変化とそれに伴う重力変化を推定するために、G-WATER [1D]ソフトウェア(Kazama et al., 2012)を使用した。初期 2 年間の観測データを使用して山佳・名和(2020)によって推定されたパラメータを用いて計算された重力変化では、2019, 2020 年の変化パターンと 2021, 2022 年の変化パターンの差異を説明することができなかった。融雪水の浸透過程と土壌の飽和透水係数に関連する最適なパラメータを試行錯誤で探索した結果 1-2 桁大きな透水係数を持つ土壌特性を仮定することで、積雪期から融雪期に観測される 4 回の季節的な重力変化を説明できることがわかった。

しかしながら、これは観測された残差重力変化が全て陸水重力変化で説明できるという前提条件のもとで得られた結果であり、経年変化を明らかにするために、超伝導重力計の機械的ドリフト成分や実際の地殻変動（上下変位）に対する応答成分の分離・抽出が課題として残る。

マイクロガルオーダーで面的重力場を把握するために

超伝導重力計を設置した北大弟子屈観測所を基点として、屈斜路カルデラ周辺の重力点との結合観測を実施した。以前、石垣島の超伝導重力計を基点としたシントレックス重力計による相対測定（いわゆるスーパー・ハイブリッド測定）と同様に、超伝導重力計データとの差分を取ることに由来する共通成分（潮汐応答・気圧応答ほか）の高精度な補正を試みた。しかしながら、石垣島(Imanishi et al., 2018)とは異なり重力点間の距離が遠いため、超伝導重力計データとの単純な差分では適切な重力差が得られないことがわかった。それぞれの観測点での重力補正量の正確な見積もりとともに、シントレックス重力計の長距離移動に伴う短期的機械ドリフトの適切な見積もりとその効果の除去・補正も必要である。マイクロガルオーダーで議論可能なデータ取得のために、移動先の重力点での観測時間を長くすることが考えられるが、観測可能な重力点数とのトレードオフであるため、検出を目的とす

る変動源の時間スケール・空間スケールに応じた観測計画が必要である。本研究期間中にそのガイドライン的な指標を提示するには至らなかった。

データの流通・共有化

本研究で取得した重力連続データおよび微気圧データについて、研究者が閲覧・利用できるように北海道大学地殻変動データベースに登録した。インターネットブラウザを使ってデータの品質確認等ができるように、日々の重力変化時系列・スペクトログラム画像を作成し、産総研重力観測データ集としてまとめた。

参考文献

- Kazama, T., Y. Tamura, K. Asari, S. Manabe and S. Okubo, 2012. Gravity changes associated with variations in local land-water distributions: Observations and hydrological modeling at Isawa Fan, northern Japan, *Earth Planets Space*, 64, 309-331
- Imanishi, Y., K. Nawa, Y. Tamura, H. Ikeda, R. Honda, T. Okuda and M. Okubo, 2018. Combined use of a superconducting gravimeter and Scintrex gravimeters for hydrological correction of precise gravity measurements: a superhybrid gravimetry, *IAG Symposia*, 149, https://doi.org/10.1007/1345_2018_31

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 丸藤 大樹、名和 一成、高橋 浩晃	4. 巻 86
2. 論文標題 超伝導重力計で観測された重力季節変化のモデル化	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 北海道大学地球物理学研究報告	6. 最初と最後の頁 13～21
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.14943/gbhu.86.13	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 山佳 典史、名和 一成	4. 巻 66
2. 論文標題 2年間の超伝導重力計観測データから推定される道東・弟子屈の 季節的・経年的重力変化	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 測地学会誌	6. 最初と最後の頁 16～22
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11366/sokuchi.66.16	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 今西祐一、西山竜一	4. 巻 95
2. 論文標題 弟子屈における絶対重力測定（2019年および2020年）	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 地震研究所彙報	6. 最初と最後の頁 9-13
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 名和 一成、今西祐一、池田博、本多亮、岡大輔、白川龍生、大井拓磨、高橋浩晃、大園真子、青山裕、岡田和見、山口照寛
2. 発表標題 道東・屈斜路カルデラとその周辺で観測される短期的重力変化
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2022年大会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 名和一成
2. 発表標題 重力計・地震計で観測されたフンガトンガ火山噴火で生じた共鳴振動：大気固体地球結合振動および大気ラム波通過後のセイシュの増幅
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2022年大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 今西祐一、名和一成、田村良明、池田博、三浦哲
2. 発表標題 2022年1月15日トンガ火山の噴火にともなう大気擾乱の通過時に日本の超伝導重力計観測点で記録された重力変化について
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2022年大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 本多亮、丸藤大樹、岡田和見、岡大輔、名和一成
2. 発表標題 屈斜路カルデラ周辺地域の重力点結合観測
3. 学会等名 日本測地学会第138回講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 名和一成、山崎雅、宮川歩夢、高橋浩晃、大園真子、青山裕、岡田和見、山口照寛、岡大輔、岡崎紀俊、今西祐一、西山竜一、本多亮、池田博、白川龍生、大井拓磨
2. 発表標題 道東屈斜路カルデラ地域における精密重力モニタリング（2020年～2021年）
3. 学会等名 日本測地学会第136回講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 今西祐一、西山竜一、名和一成
2. 発表標題 弟子屈における絶対重力測定 (2019年および2020年)
3. 学会等名 JpGU Meeting 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 名和一成、山崎雅、宮川歩夢、山佳典史、高橋浩晃、大園真子、岡田和見、山口照寛、岡大輔、岡崎紀俊、今西祐一、西山竜一、本多亮、池田博、白川龍生、大井拓磨
2. 発表標題 道東屈斜路カルデラ地域における精密重力モニタリング
3. 学会等名 日本測地学会第134回講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山佳典史、名和一成
2. 発表標題 超伝導重力計 (iGrav#017) 観測で得た道東・弟子屈の約2年間の重力時間変化
3. 学会等名 日本測地学会第134回講演会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	大園 真子 (Ohzono Mako) (10623837)	北海道大学・理学研究院・准教授 (10101)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	今西 祐一 (Imanishi Yuichi) (30260516)	東京大学・地震研究所・准教授 (12601)	
研究分担者	本多 亮 (Honda Ryo) (70399814)	山梨県富士山科学研究所・その他部局等・研究員 (83501)	
研究分担者	岡 大輔 (Oka Daisuke) (70733640)	地方独立行政法人北海道立総合研究機構・産業技術環境研究本部 エネルギー・環境・地質研究所・研究主査 (80122)	
研究分担者	白川 龍生 (Shirakawa Tatsuo) (50344552)	北見工業大学・工学部・准教授 (10106)	

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	池田 博 (Ikeda Hiroshi)		
研究協力者	高橋 浩晃 (Takahashi Hiroaki)		
研究協力者	岡田 和見 (Okada Kazumi)		

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	山口 照寛 (Yamaguchi Teruhiro)		
研究協力者	岡崎 紀俊 (Okazaki Noritoshi)		
研究協力者	大井 拓磨 (Oi Takuma)		
研究協力者	山崎 雅 (Yamasaki Tadashi)		
研究協力者	宮川 歩夢 (Miyakawa Ayumu)		
研究協力者	山佳 典史 (Yamaga Norifumi)		
研究協力者	丸藤 大樹 (Marufuji Taiki)		

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------