

(1) 実施機関名：

北海道大学

(2) 研究課題（または観測項目）名：

（和文）測地・地下構造データに基づく内陸地震・火山活動地域の地殻変形のモデル化

（英文）Crustal deformation modeling in inland seismic and volcanic areas based on geodetic and subsurface structural data

(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

エ. 地震発生と火山活動の相互作用の理解とモデル化

(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

(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

イ. 内陸地震

5 分野横断で取り組む地震・火山噴火に関する総合的研究

(3) 千島海溝沿いの巨大地震

(4) 内陸で発生する被害地震

6 観測基盤と研究推進体制の整備

(1) 観測研究基盤の開発・整備

イ. 観測・解析技術の開発

(5) 本課題の5か年の到達目標：

稠密かつ複合的測地観測による詳細な地殻変動場の時空間把握と、地球電磁気(MT)観測、地震活動把握等による詳細な地下構造推定を行い、実際の地下構造、実測された地表変動に基づいて当該地域の力学モデルの構築を行う。モデルから応力・ひずみ集中のメカニズムや火山性変動源の挙動を定量化し、内陸地震活動と火山活動の個々の現象理解に加え、地震と火山のテクトニックな相互作用について検討する。また、広域変動場に含まれるこれらの影響を定量的に推定することで、千島海溝沿いプレート間固着の推定精度の向上にも貢献し、あわせて沈み込み帯における長期的なプレート収束と火山フロント周辺部の内陸変形の関係についても検討を試みる。

(6) 本課題の5か年計画の概要：

5年間継続して行う観測の計画として、時空間的な地殻変動の把握を行うためには継続的な測地観測が必要である。そのためGNSS、重力、水準測量による多項目測地観測を年に1回程度、繰り返し観測として実施し、少なくとも1年間毎の高空間分解能での地殻変動場の把握を行う。周辺で連続観測を行っているGNSS、水位、地震観測を継続し、高時間分解能での地殻活動を監視する。これらの観測結果は構築していくモデル化の中で随時取り入れる。あわせて、過去に阿寒・屈斜路地域で行ってきたMT探査を拡張し、個別に行われてきた周辺の探査地域とのギャップを埋める観測を実施することで、より広域の地下比抵抗構造を把握し、地震活動や地殻変動と比較する。

1年目の令和6(2024)年度は、広域・大局的な変形モデルの構築を行う。外力は太平洋プレートの収束、プレート間固着の影響を測地データから見積もる。先行研究等を参考に、前弧、火山フロント、背弧といった大まかな地下構造の不均質性を与え、屈斜路カルデラでひずみ集中域の形成に必要なバ

ラメータについて検討する。

2年目の令和R7(2025)年度は、大まかなモデルでは説明しきれない地殻変動について、有限要素法を用いてより細かい空間スケール、つまりカルデラ特有、火山地域特有の地下構造の不均質分布を考慮した説明を試みる。地下構造の設定には、MT観測、地震活動の情報を用いる。また、独立して火山性地殻変動源の存在・活動を仮定したモデルによる地殻変動についても見積もり、それぞれ時空間発展を含めてどのように振る舞うか確認する。

3年目の令和R8(2026)年度は、実際の地形やより細かい地下構造（粘弾性構造）が、どれくらい地表変位や地下のひずみ、応力分布に影響を与えるのかを見積もり、どの程度考慮が必要なのか、具体的には剛性率や粘性係数などの物性についてのパラメータ値の振れ幅や、空間分解能の感度の範囲などを検討する。また、これまでの計算で得られたひずみ・応力分布が、他の内陸地震発生域、活火山地域と同程度かどうか、先行研究の情報などを元に検討する。

4年目の令和R9(2027)年度は、2021年後半から2023年中頃まで発生した膨張の非定常地殻変動について火山性変動源を仮定したモデル化を行い、その説明を試みる。またそれが定常変動時のどの部分に変化して、非定常変動を発生しているのかについても検討する。

最終年度であるR10(2028)年度は、これまでの計算結果をまとめ、定常時のひずみ集中の原因、現在のひずみ・応力分布、また非定常地殻変動の様子を明らかにし、構築した力学モデルから今後のこの地域のひずみ集中および火山活動の推移、地震と火山の相互作用について検討する。

(7) 令和7年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

【北海道東部火山地域周辺の地殻変動場の理解】

これまでの観測結果から、2024年初期ごろから屈斜路カルデラ周辺は完全に収縮変形に戻っていることが明らかとなった。今後もこの収縮変形の時空間発展を捉えることで、地下のマグマ溜まりや粘弾性領域の分布や物理特性の拘束が期待できる。

GNSS観測：屈斜路カルデラでは2021年半ばから2023年半ば頃まで、非定常的な膨張イベントが発生したことを報告した (Ohzono et al., 2025)。2023年半ば以降、連続GNSS観測点のデータが蓄積されてきたことから、この非定常変動以降の地殻変動場が以前の状況に戻っているかどうかを確認するため、地殻変動解析を実施した。東北大学のルーチン解析による国土地理院のGEONET、ソフトバンク独自基準点のGNSS日座標データを用いて時系列を確認し、非定常変動前（2019.90年～2021.66年）、非定常変動中（2021.66年～2023.97年）、非定常変動後（2023.97年～2025.55年）の3期間の地殻変動場を確認した。その結果、近年の非定常変動後の変動場が非定常変動前の期間の地殻変動場に概ね戻っており、定常的な地殻変動場として扱えそうであること、屈斜路カルデラ周辺で再び収縮ひずみが発生していることが明らかになった（図1）。

水準測量：2023年から毎年9月に屈斜路湖沿いで水準測量を実施している。2023年から2024年にかけては膨張源近傍で最大約4mmの隆起を確認した。今年度の水準測量により、2024年から2025年にかけての観測結果が得られ、前年度の隆起の空間パターンを反転させたようなかたちで沈降が発生していることを確認した。沈降量として、非定常イベント時の膨張源近傍で最大約1cmを捉えた（図2）。

繰り返し相対重力観測：阿寒カルデラ周辺で毎年7月頃に、屈斜路カルデラでは毎年9月頃に相対重力観測を実施している。長期的なモニタリングにより、屈斜路カルデラでは大きな変化は捉えられていない。

【有限要素法を用いた変形モデルの構築】

火山下の不均質構造の存在に起因する地殻変形モデルを構築するため、アドバンスソフト社製FrontSTRによる有限要素法を用いたモデル計算に着手した。屈斜路カルデラを対象とし、地下の構造については、電気比抵抗探査から報告されているカルデラ地下5 kmから20 kmに存在する低比抵抗領域の分布から、それをマグマ溜まりまたは流動的な領域を設定し、そこに低粘性領域を設定した。周辺は弾性体としているが、深さに応じて粘性領域を与えるなど、変化させて検討している。また外力は、太平洋プレートとオホーツクプレートの収束速度（9cm/yr）で領域の南東側から強制的に変形を与えることとした。不均質構造を与えた領域の周辺では異なるひずみ、応力の分布が生じることは確認したが、定量的な理解、観測事実との対比は来年度以降実施する。

【謝辞】 本研究では国土地理院のGEONETデータを使用しました。本研究で使用したソフトバンクの

独自基準点の後処理解析用データは「ソフトバンク独自基準点のデータの宇宙地球科学用途利活用コンソーシアム」の枠組みを通じて、ソフトバンク株式会社およびALES株式会社より提供を受けたものを使用しました。RUNEは「火山活動監視のための観測データ及びGNSSリアルタイム解析技術の相互利用に関する協定」で使用しているものです。記して感謝申し上げます。

・「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

多項目測地観測の実施、データの蓄積、また各現象に対する地殻変動解析も順調に進んでおり、2年目の目標も概ね達成している。阿寒カルデラから屈斜路カルデラにかけての電気比抵抗探査の観測結果もまとまってきており、今後実施する力学モデルの構築にそれらの情報を活用する予定である。火山地域周辺の地下の粘弾性構造の把握、その構造に起因するひずみ・応力蓄積過程、内陸地震活動についての理解を深めることで、地震と火山の相互作用について、災害の軽減に貢献するための、現象解明が進むと期待できる。

(8) 令和7年度の成果に関連の深いもので、令和7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

Ohzono, M., Takahashi, H., Ohta, Y. Ohno, K. (2025) Transient inflation event at Kussharo caldera, eastern Hokkaido, Japan in 2021–2023 captured by multiple GNSS observation networks. *Earth Planets Space* 77, 4. doi:10.1186/s40623-025-02173-1, 査読有, 謝辞有

・学会・シンポジウム等での発表

田上綾香, 高橋浩晃, 大園真子, 岡田知己, 名和一成, 藤村遼太郎, 内田晴海 (2025) 北海道東部の浅部地殻の応力場. *JpGU2025, SSS12-14*

藤村遼太郎, 岡田知己, Savage Martha, 田上綾香, 内田晴海, 大園真子, 高橋浩晃 (2025) 北海道東部の上部地殻におけるS波偏向異方性. *JpGU2025, SCG61-09*

田上綾香, 高橋浩晃, 大園真子, 岡田 知己 (2025) 北海道北部の浅部地殻の応力場. *日本地震学会2025年度秋季大会, P09-16*

中屋晟, 高橋浩晃, 大園真子, 岡大輔, 鈴木隆広, 岡崎紀俊, 秋田藤夫 (2025) 北海道屈斜路カルデラ周辺の地下温度構造. *日本地震学会2025年度秋季大会, S05-02*

大園真子, 高橋浩晃 (2025) 稠密連続GNSS観測網による北海道東部屈斜路カルデラ周辺の定常・非定常地殻変動場. *日本測地学会第144回講演会, P31*

Nakaya S, Takahashi H, Ohzono M, Oka D, Suzuki T, Okazaki N, Akita F (2025) The relationship between the hypocenter concentration and the geothermal structure in the Kussharo caldera, Hokkaido, Japan. *International Symposium on Earthquake Forecasting to Commemorate the 50th Anniversary of the 1975 Haicheng M7.3 Earthquake, Liaoning, China, S12-20P*

(9) 令和7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：地殻変動：GNSS観測

概要：屈斜路カルデラ周辺においてキャンペーンGNSS観測を実施した。

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：北海道弟子屈町屈斜路カルデラ周辺

調査・観測期間：2025/9/11-2025/9/22

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：地震：地殻変動：水準測量

概要：屈斜路カルデラ湖畔沿いにおいて水準測量を実施した。

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：北海道弟子屈町屈斜路カルデラ周辺
調査・観測期間：2025/9/15-2025/10/10
公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：地震：地殻変動：重力測定
概要：道東地域において繰り返し相対重力観測を実施した。
既存データベースとの関係：
調査・観測地域：北海道弟子屈町，釧路市，厚岸町等
調査・観測期間：2025/7/16-2025/9/5
公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

(10) 令和8年度実施計画の概要：

2年目に引き続き、北海道東部の火山地域周辺のひずみ集中を説明するための有限要素法による変形モデルの構築を進める。パラメータスタディとともに、観測事実と地下の不均質構造の特徴を捉えつつ、モデル計算により、ひずみ・応力集中のメカニズムを普遍的に理解できる方法を検討する。
地殻変動モニタリングのための多項目測地観測（GNSS、水準、相対重力など）を継続して実施する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

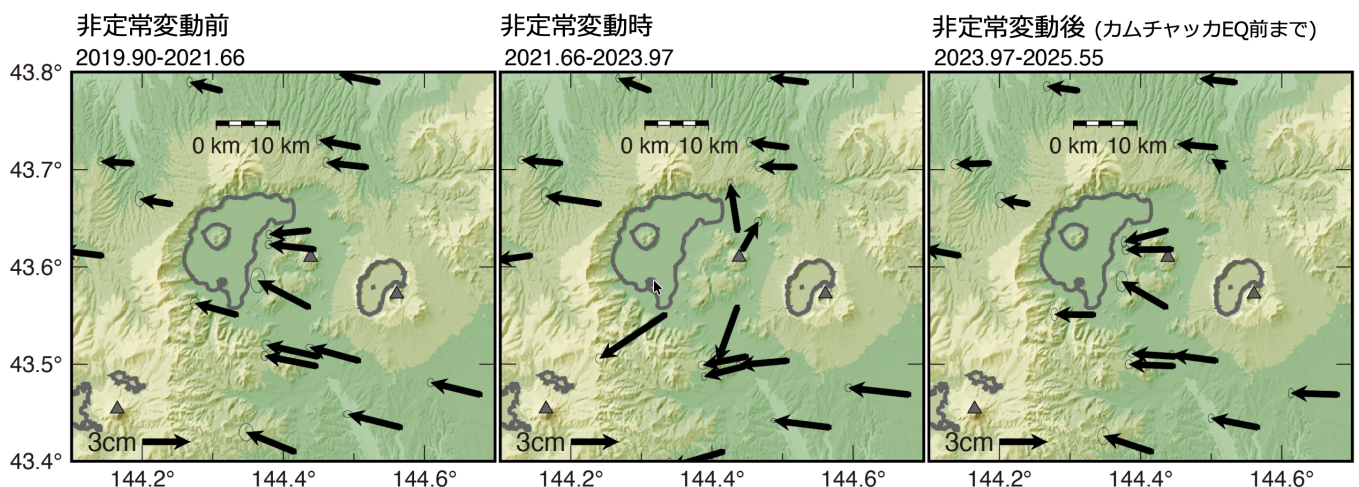
大園 真子（北海道大学大学院理学研究院），高橋 浩晃（北海道大学大学院理学研究院），橋本 武志（北海道大学大学院理学研究院）
他機関との共同研究の有無：有
岡 大輔（北海道立総合研究機構エネルギー・環境・地質研究所）

(12) 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：北海道大学大学院理学研究院
電話：
e-mail：m.ohzono@sci.hokudai.ac.jp
URL：

(13) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：大園真子
所属：北海道大学大学院理学研究院

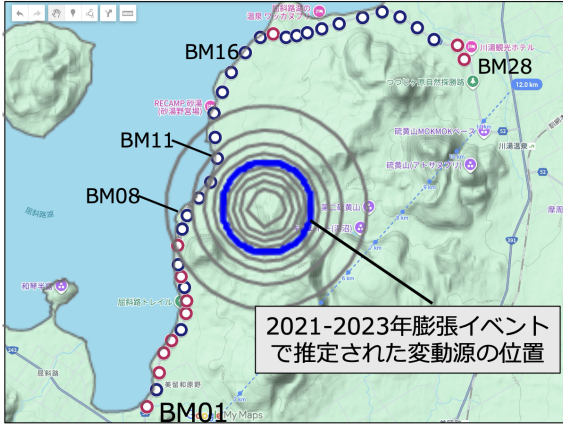


GNSS観測による地殻変動の時空間変化

GNSS連続観測網の日座標値から推定した非正常変動前（2019.90年～2021.66年）、非正常変動中

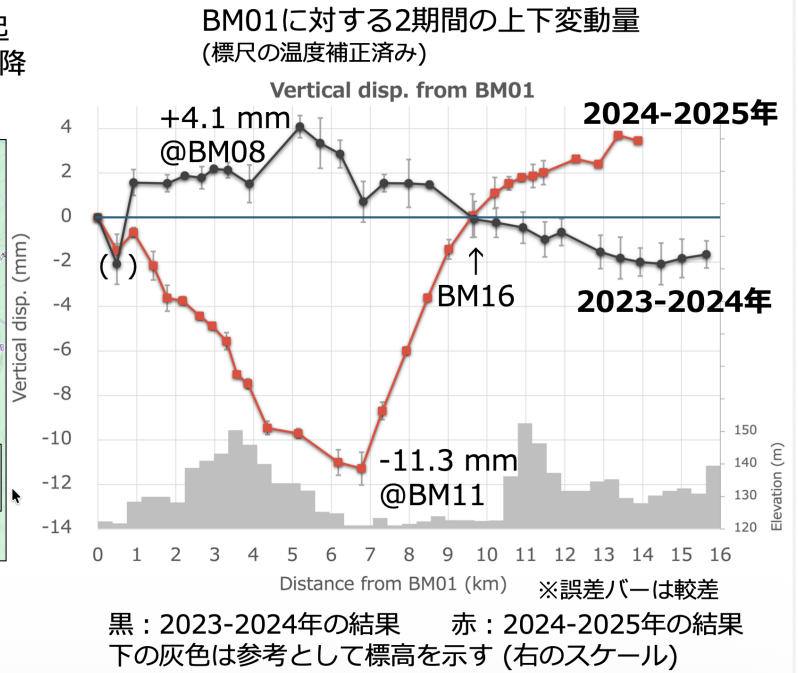
(2021.66年~2023.97年)、非定常変動後(2023.97年~2025.55年)の3期間の水平地殻変動場。

- 2023年から毎年水準測量を実施
 - 2023-2024年: 最大 ~4 mmの隆起
 - 2024-2025年: 最大 ~11 mmの沈降
- パターンが逆転



水準観測路線:

○ 水準点 (色の違いはベンチマークの仕様の違い)



水準測量結果

水準測量から得られた屈斜路湖沿いの上下変動分布。左図は測量した点と、非定常変動の膨張源の位置を示す。右上の黒は2023年から2024年、赤は2024年から2025年にかけての変動を示す。いずれも南端のBM01を基準としている。