

地形・地下構造を考慮した地殻変動の分析に関する研究（第4年次）

実施期間 平成 28 年度～令和元年度
地理地殻活動研究センター
地殻変動研究室 小林 知勝 山田 晋也

1. はじめに

本研究課題は、数値シミュレーションによる火山性地殻変動計算手法を高度化し、より正確にマグマ等の位置や挙動を推定可能とすることで、噴火の危険度評価に貢献することを目的に、実地形や不均質な地下構造を組み込んだ地殻変動計算を基にした効率的かつ高精度な力源推定技術を開発し、実利用可能な解析システムを構築することを目標とした特別研究課題である。

技術開発は主として、1) 有限要素法を用いた地殻変動計算システムの開発、2) 力源の位置や膨張/開口量を推定するための最適技術の開発を中心に行う。さらに、開発したシステムを用いて、地形や地下構造が及ぼす影響の定量的評価や過去の火山活動の際に得られた観測データへ適用して地殻活動の再評価を行うことも目標とする。

2. 研究内容

有限要素法により実地形や不均質な地下構造を組み込んだ地殻変動計算を可能とするシステムを開発する。自動メッシュ生成機能や無限要素等を取り込んだ計算機能を実装させて操作性の向上や計算コストの低減を図り、効率的かつ高精度な火山性地殻変動計算及び力源推定のための技術開発と解析システムの構築を行う。令和元年度は、平成30年度に開発した地殻変動解析システムの改造を実施し、計算条件に関するデータベースの構築とデータベースを用いた地殻変動計算を可能にした。また、2016年末から2017年にかけて発生した雄阿寒岳の火山活動や2015年8月に発生した桜島の火山活動に伴い観測された地殻変動計算を通して、地形や地下構造を考慮した場合の力源推定への効果を調べた。

3. 得られた成果

3.1 解析システムの改造

有限要素法により実地形や不均質な地下構造を組み込んだ地殻変動計算をグラフィカルユーザインタフェース（GUI）操作で行うシステムの改造を実施した。今年度の主な改造は、データベースを利用した力源探索機能の追加である。ユーザーが指定した計算範囲、メッシュ分割、力源パラメータ等の計算条件を基に複数の地殻変動を一括に計算してデータベース化し、さらにそれを基に観測値を最も説明する最適な力源パラメータを求める機能を実装した。力源推定の際には、昨年度開発した圧力変化量及び開口量の線形逆推定の機能も利用できる。本機能の追加により、有限要素法による地殻変動計算から力源推定までを統合的に処理できるシステムのプロトタイプが完成した。図-1は、開発したシステム内の処理の流れと構成を示している。

3.2 地形を考慮した地殻変動計算の効果

北海道・雄阿寒岳で実際に観測された地殻変動の解析を通して、地形を考慮した計算の効果について示す。雄阿寒岳では2016年末に干渉 SAR 解析によって地殻変動が検出された。地殻変動は、山腹に局所的に分布しており、力源がごく浅部に位置することが予想された。従来法（解析解）は、力源

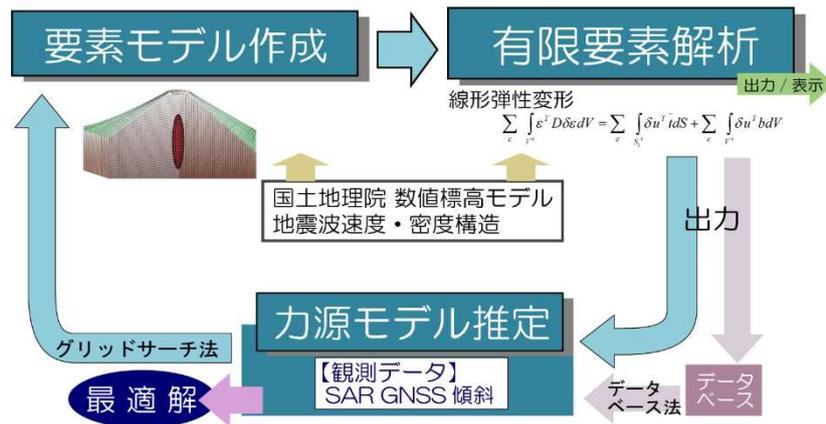


図-1 解析システムの構成.

より低い位置の地表変動が理論上計算できないため、力源が山体内に貫入している場合は適切な地殻変動計算ができず、ひいては力源推定も困難になる。そこで実地形を考慮して有限要素法による力源推定を行った。本計算では、変動分布の特徴を参考に、北西-南東走向の走向を持つ垂直なクラック開口を仮定した。山頂直下においた力源の、深さ、クラック長、クラック幅、開口量を探索し、観測値を最も説明する最適解を求めた。なお、開口量については、線形最小二乗法により推定した。有限要素法の計算では、雄阿寒岳を中心とする水平方向 10×10 km、鉛直方向 5km の計算領域を 50m の要素サイズに分割して計算を行った。さらに力源近傍においては 25m のサイズに分割することで、力源近傍における応力集中部の変形も十分な精度で計算できるようにした。図-2 は、横軸にクラックの上端位置、縦軸に観測値との残差をとった残差分布である。図が示すように、力源の上昇に従い残差は小さくなっていく。しかし、従来法では山体内部での計算はできず探索は山体の基部（標高約 400m）で終了せざるを得ない。一方で、有限要素法では、深部の探索だけでなく山体内部の計算も可能である。残差は力源の位置が山体内に貫入しても小さくなり続け、標高 900m で最適解を得ることがわかる（図-3）。有限要素法で求められた最適解で得られた力源位置を、従来法によるものと比べると、その深さに 500m もの差が生まれる。これはこの火山の比高（標高約 1,400m）の 50%に相当する。有限要素法の適用により、従来の手法では困難であった山体内部の力源による変形が計算可能となり、適切な力源が推定されたことがわかる。

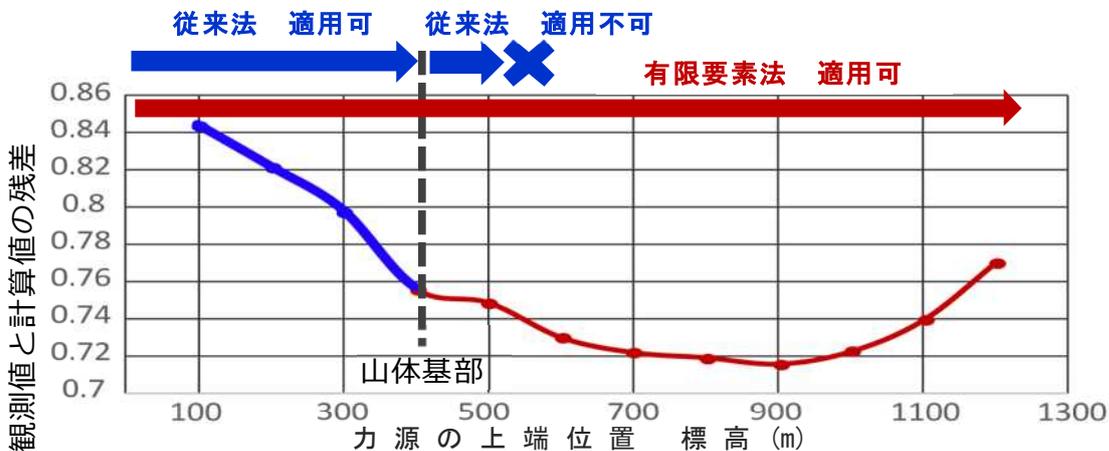


図-2 力源探索における残差分布。横軸と縦軸はそれぞれ、力源上端の位置と残差を示す。

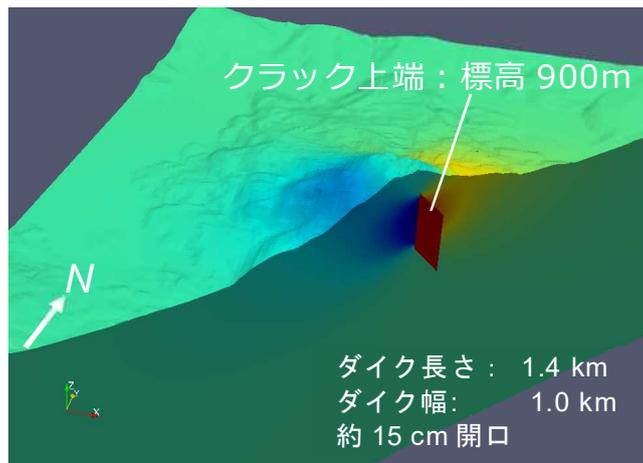


図-3 力源探索により求められた最適解におけるクラックの位置.

3.3 地下構造を考慮した地殻変動計算の効果

次に、2015年の桜島のマグマ貫入イベントの地殻変動解析を通して、地下構造を考慮した計算の効果について示す。桜島では2015年8月15日の火山活動に伴い、干渉SAR解析により最大約15cmの地殻変動が観測されている (Morishita et al., 2016)。桜島では地震波探査による山体の詳細な地下構造がわかっていることから、ここではMiyamachi et al. (2013)で得られている地下構造を参考に、図-4(a)に示す不均質構造を仮定して、有限要素法による計算を行った。前節の計算同様、桜島を囲む計算領域を50mサイズの要素に分割し、さらに力源周辺を25mサイズの要素に細密化して変動を計算した。図-4(b)は、横軸にクラックの開口量、縦軸に観測値との残差をとった残差分布である。なお、探索の結果、力源の位置や形状に大きな差は生まれなかった。黒線及び赤線はそれぞれ、均質媒質の構造を仮定する従来法 (解析解) と、図-4(a)で示す地下構造を考慮した有限要素法による計算から得られた残差である。赤色で示す有限要素法による解析結果が、従来法のものより小さい残差を示す。地震波探査により得られた、より現実的な地下構造を考慮した計算の方が、観測値をよりよく説明できるようになり、力源推定が改善されたことがわかる。

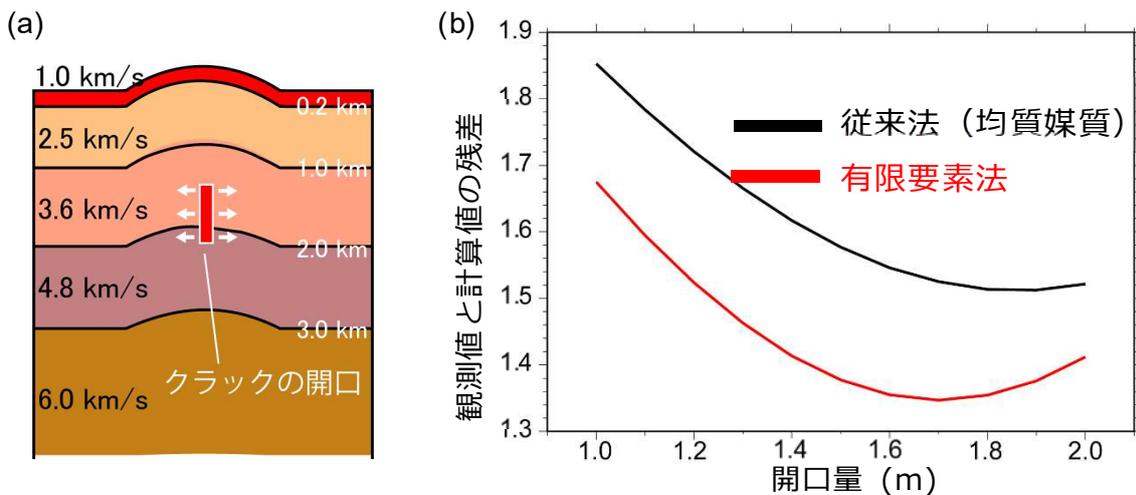


図-4 (a) Miyamachi et al. (2013)を参考に仮定した地下構造. (b) 力源探索における残差分布. 黒線及び赤線はそれぞれ、均質媒質の構造を仮定する従来法 (解析解) と(a)で示す不均質な地下構造を考慮した有限要素法による計算結果を示す。横軸と縦軸はそれぞれ、クラック開口量と残差を示す。

4. 結論

平成30年度に開発した地殻変動解析システムに、データベースを利用した力源探索機能を実装する等の改造を施した。また、2016年末から2017年にかけて発生した雄阿寒岳の火山活動に伴う地殻変動解析や2015年の桜島の解析を通じて実地形や不均質な地下構造を考慮した際の力源推定の効果について調べた。地形を考慮することで、従来法では対応が困難であった山体内部の力源推定が可能になった。また、地震波探査による地下構造データを組み込んだ変動計算により、より適切な力源推定が可能になったことが示された。

参考文献

- Miyamachi H. et al. (2013): Shallow Velocity Structure Beneath the Aira Caldera and Sakurajima Volcano as Inferred from Refraction Analysis of the Seismic Experiment in 2008, *Bull. Volcanol. Soc. Japan*, 58, 227-237.
- Morishita Y., T. Kobayashi, and H. Yarai (2016): Three-dimensional deformation mapping of a dike intrusion event in Sakurajima in 2015 by exploiting the right and left-looking ALOS-2 InSAR, *Geophys. Res. Lett.*, 43, 4197–4204, doi:10.1002/2016GL068293.