

熊本地震はなぜ阿蘇カルデラ内で止まったのか？： 測地観測と数値計算で探る破壊の終焉（第4年次）

実施期間

平成30年度～令和3年度

地理地殻活動研究センター

宇宙測地研究室 小林 知勝 松尾 功二

地理情報解析研究室 中埜 貴元

1. はじめに

地震のすべりの始まりについては、破壊核の形成に関する理論、実験、数値シミュレーション等が発達し、その理解が深められている。一方、断層面上のすべりがなぜ止まるのかについては限定的な理解にとどまっているのが現状である。このような背景の下、本研究は、内陸地震の断層破壊が火山体内部に進展した様子を捉えた平成28年（2016年）熊本地震の地殻変動データを足がかりに、地殻内構造の不均質が断層すべりの終焉にどのように関わっているのかを理解することを目的とする。なお、本研究は科学研究費補助金（研究課題番号：18K03810）により実施されるものである。

2. 研究内容

本研究では、SARによる地殻変動データ解析から断層すべりの空間分布を、重力データ解析から地下構造の不均質を推定し、本震時の断層運動と内部構造の関係を明らかにする。さらに、これら解析に基づき得られた断層形状と不均質構造の情報を組み込んだ動的破壊の数値シミュレーションにより、断層すべりの終焉がどのような物理条件に制御されたのかを検討する。令和3年度は、初年度に実施したSARによる地殻変動解析及び令和2年度に実施した阿蘇カルデラ内の内部構造のインバージョン解析の高度化を行い、断層運動と密度構造の位置関係を精査した。

3. 得られた成果

3.1 SARによる3次元変動場と断層運動を示唆する変位不連続

ALOS-2 衛星の SAR データを用いた SAR 解析を行い、断層付近を含む震源域の地殻変動を取得した。今年度は、従来の解析で用いた標準的な InSAR 法とピクセルオフセット法に加えて、レンジ及びアジマス成分の周波数を帯域分割して干渉処理する SBI 手法を適用した。アジマス成分に関する処理は MAI 法として知られているが、本手法を適用することにより、標準的な InSAR では大きな変位勾配のために干渉性が低くなる震源域近傍においても、空間的に詳細な変位を取得できた。標準的な InSAR では変位計測できなかった領域に SBI 法で得られた変位を補間することで、震源領域全体における完全な変動場を獲得できた。さらに、複数の軌道データから得られた変動データを用い、最小二乗法により上下、東西、南北3成分の地殻変動を得た。図-1は得られた3次元変動場を示す。地殻変動の解析から、断層運動起因と推定される変位境界が、布田川断層の東部延長上に伸展して、阿蘇カルデラ西縁部で主に2方向に分岐していることが認められる。1つは布田川断層の東部延長上に右横ずれを伴いながら南東側の地盤が沈降する変動を（F1）、もう1つはほぼ東西及び北西－南東方向に左横ずれを伴いながら北側の地盤が沈降する変動を示している（F4）。さらにF1とF4に挟まれた領域内に長さ1kmから2kmの局所的な変位不連続が明瞭に認められる（F2, F3）。ともに右横ずれを示し、F2は南東側の地盤が沈降する変動を示す。これらの変位境界・急変帯は比較的広範囲に広がり、

かつ直線的に分布することから断層運動起因であることが強く示唆される。

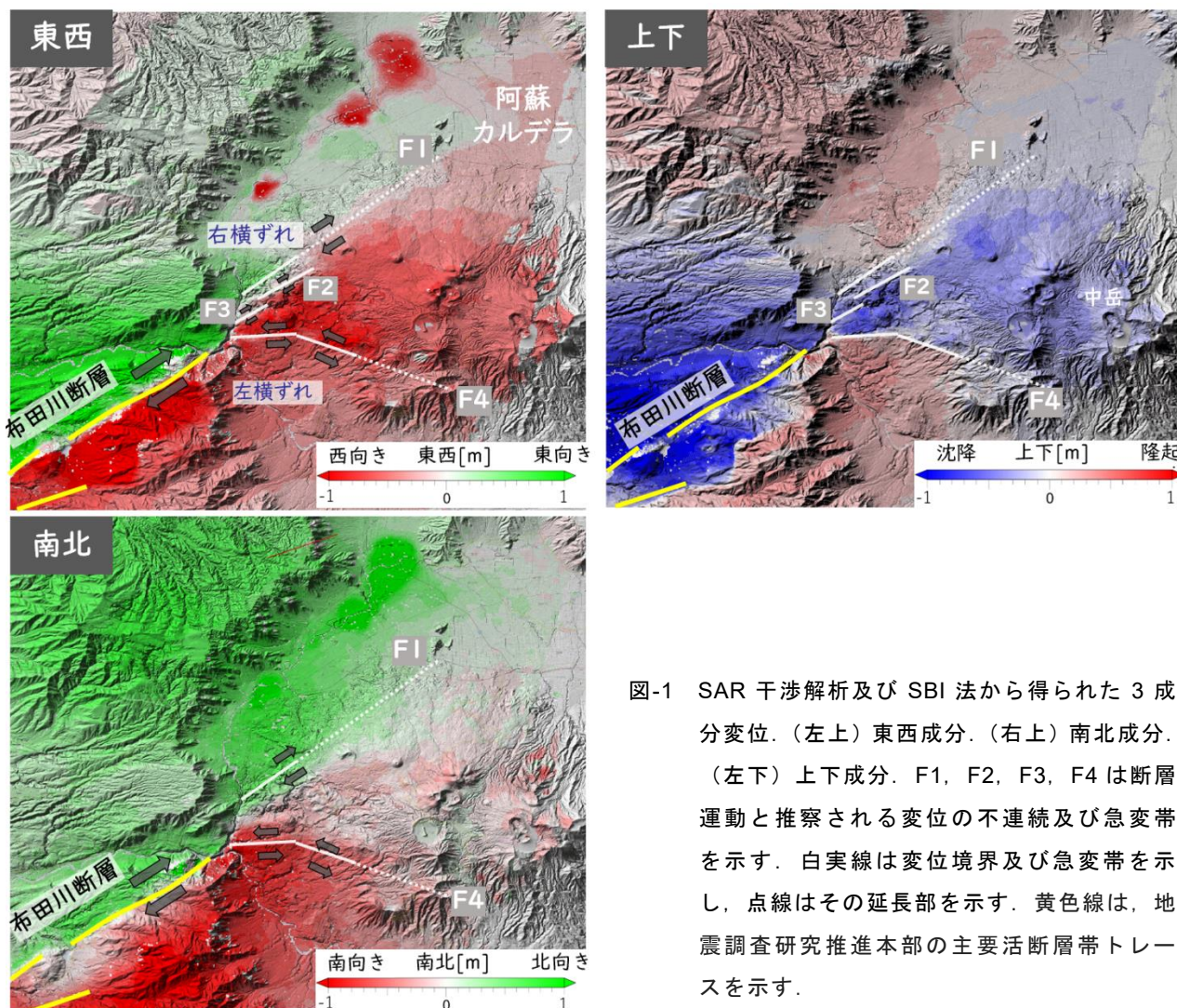


図-1 SAR 干渉解析及び SBI 法から得られた 3 成分変位。(左上) 東西成分。(右上) 南北成分。(左下) 上下成分。F1, F2, F3, F4 は断層運動と推察される変位の不連続及び急変帯を示す。白実線は変位境界及び急変帯を示し、点線はその延長部を示す。黄色線は、地震調査研究推進本部の主要活断層帯トレースを示す。

3.2 重力インバージョンによる阿蘇地区の地下密度不均質構造

火山の地殻内密度は一般的な値より低いことが予想される。令和 2 年度では一般的な地形密度である 2670kg/m^3 を初期密度として与えて計算したが、令和 3 年度は火山地域であることを考慮し、Komazawa (1995) 等を参考にして、前年度使用した一般的な地形密度より小さい 2300kg/m^3 を与えて計算した。図-2 は推定された地下密度不均質構造(密度コントラスト)の結果である。ここでは、地下 1km から 4km における密度コントラストの水平断面を示す。暖色が周囲よりも密度が高い領域を表し、寒色が周囲よりも密度が低い領域を表す。密度が高い領域には周囲よりも重く堅い物質、密度が低い領域には周囲よりも軽く柔らかい物質が存在することを示唆する。注目すべきは、深さ 1km から 3km において、カルデラ西縁部に低密度領域が分布していることである。さらに、地殻変動分布から得られた断層運動を示唆する変位の不連続及び急変帯(白実線)の東端部は、その低密度体の縁辺部で重なっている。F4 においては、カルデラ西縁部に位置する長さ 2km の断層運動の東端部で低密度域と重なると、その断層運動は向きを変え南東方向に延び、その延長上で低密度域と重なる。なお、この空間的特徴は初期密度を変えても同じである。本研究で得られた低密度域は、S 波速度構造(Huang et al., 2018)と比較すると、S 波速度が小さい(2km/s)領域と重なる。この領域では比抵抗

も小さいことが最近の研究で明らかにされている (Matsushima et al., 2020). 火山性流体を含む熱水系が発達していることが示唆されており、温度が高い地殻内環境にあることが推察されることから、この領域では脆性破壊を起こしにくい可能性が考えられる。西から進展してきた断層破壊が、脆性破壊の能力を失うこの領域に到達したことで、東への進行が終了したのかもしれない。

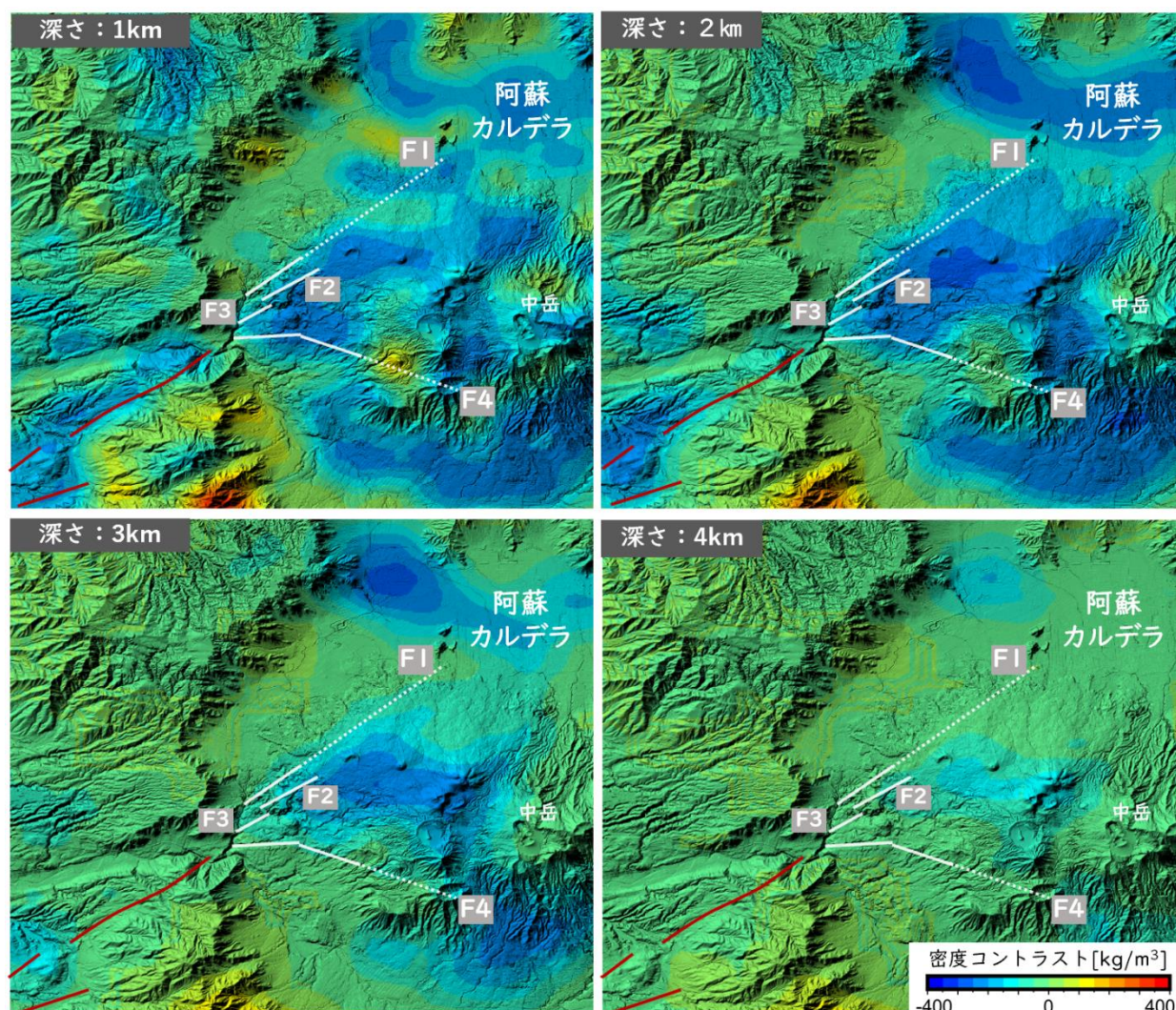


図-2 重力インバージョンによって推定された阿蘇カルデラ西縁周辺の地下密度不均質構造。赤色が周囲よりも密度が高い領域を表し、青色が周囲よりも密度が低い領域を表す。赤線は、地震調査研究推進本部の主要活断層帯トレースを示す。

4. 結論

令和3年度は、SARによる地殻変動解析及び重力インバージョン解析による密度コントラスト構造の推定の高度化を行った。これにより、断層運動と密度構造の詳細が明らかになり、両者の位置関係を高い空間解像度で比較検討できるようになった。両者の位置関係を精査した結果、阿蘇カルデラ西端部で分岐した断層運動は、その東端部で低密度域に重なることが分かった。また分岐断層の一部は、低密度域に重ると断層運動の向きを南東方向に変えて進展する様子も捉えられた。今後は、断層のすべり分布モデルを推定し、地下における断層すべりと低密度帯の関係を3次的に精査する予定である。

参考文献

- Huang, YC., Ohkura, T., Kagiya, T., Yoshikawa S., Inoue H. (2018): Shallow volcanic reservoirs and pathways beneath Aso caldera revealed using ambient seismic noise tomography, *Earth Planets Space*, 70, 169.
- Jiang, H., Feng, G., Wang, T., Bürgmann, R. (2017): Toward full exploitation of coherent and incoherent information in Sentinel-1 TOPS data for retrieving surface displacement: Application to the 2016 Kumamoto (Japan) earthquake, *Geophysical Research Letters*, 44(4), 1758-1767.
- Komazawa, M. (1995): Gravimetric analysis of Aso volcano and its interpretation, *J. Geod. Soc. Jpn.*, 41:17-45.
- Matsushima, N., Utsugi, M., Takakura, S. Yamasaki T., Hata M., Hashimoto T., Uyeshima M. (2020): Magmatic–hydrothermal system of Aso Volcano, Japan, inferred from electrical resistivity structures, *Earth Planets Space* 72, 57.