

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2年次）

実施期間 平成30年度～令和2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 松尾 功二
中埜 貴元

1. はじめに

地震の滑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、断層面上の滑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滑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、ALOS-2衛星の干渉SAR解析及びピクセルオフセット解析による地殻変動データ解析から断層滑りの空間分布を、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、断層滑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。平成30年度は、阿蘇カルデラ内及びその周辺のSARデータの解析による地殻変動を詳細に分析するとともに、ブーグ重力異常の予備的解析を実施している。令和元年度は、阿蘇カルデラ内の稠密重力観測を実施し、精密な完全ブーグ重力異常図を作成した。

3. 得られた成果

3.1 重力観測

本研究の対象とする領域は、平成28年（2016年）熊本地震の布田川断層沿いの破壊が阿蘇カルデラ西縁部で分岐した北東延長部と東延長部である。阿蘇カルデラ及びその周辺は、これまでの研究（他機関）で多数の重力データが獲得されているが、上記領域に重点的な観測をすることで、対象領域の構造推定の空間解像度を高めることを目指した。重力観測は令和元年11月25日（月）から11月28日（木）にかけて実施した。観測には、CG-5 相対自動重力計（以下「CG-5」という。）を用いた。図-1に観測点を示す。観測点は、SARで得られた変動分布を参考にして変位不連続が観測された領域近傍及びその周辺に配置した。先行研究で観測されていない領域を選定し、計60点での観測を行った。観測では、観測行程の初め（1日目）と終わり（4日目）に、東海大学のキャンパス内にある基準重力点において観測を行った。CG-5によって、基準重力点と各観測点との間の相対的な重力値を計測し、最終的に、相対的な重力値に基準重力点における絶対重力値を加えることで各観測点の絶対重力値が得られる。また、各観測日の観測開始時、昼、観測終了時に、観測点G31にて観測を行いドリフト等の対策を行った。

3.2 データ解析

観測された重力データから地球内部の不均一構造を推定するためには、様々な重力補正を施す必要がある。まずは、外力による物理的な重力擾乱の影響を補正した。ここでは「大気圧補正」「固体潮汐補正」「海洋潮汐補正」を施した。大気圧補正は、観測点上空の大気と理論的な標準大気のずれを補正するもので、現地で計測された大気圧データをもとに算出した。固体潮汐補正は、月と太陽の潮汐力によるポテンシャル変化と地球変形によって生じるもので、固体潮汐補正プログラム「ETGTAB」を用いて算出した。海洋潮汐補正は、海の満ち引きによるポテンシャル変化と地球変形によって生じるもので、海洋潮汐補正プログラム「GOTIC2」を用いて算出した。今回の観測では、物理的な重力擾乱として最大で 0.1mGal の重力変化が確認された。続いては、ドリフト補正を施した。これは、重力計内蔵のバネの弾性定数や電気回路特性の経年変化によって生じる。ドリフトは時間経過に対してほぼ線形的に生じることから、ここでは、観測点 G31 で観測された複数期間の重力データをもとに時間に対する線形フィッティングによってドリフト補正量を計算した。その結果、1 時間当たり 0.003mGal のドリフトが確認され、3 日間の観測で 0.2mGal のドリフト補正量であった。最後に、器械高補正を施した。これは、重力計内で計測された重力値を地表面上の重力値に換算（化成）する処理であり、現地で計測した器械高をもとに算出した。その大きさは 0.05mGal 程度であった。

観測された重力データに「物理擾乱補正」「ドリフト補正」「器械高補正」を施すことで、地球の質量構造を反映した重力値が得られた。これに、「正規重力補正」「フリーエア補正」「ブーゲ補正」「地形補正」を施すことで、地球内部の不均一構造を反映した完全ブーゲ重力異常が得られる。正規重力補正は、観測された重力値から平均成分（J0 項）と力学的扁平成分（J2 項）を除去する処理で、地球楕円体 GRS80 の地球パラメータを用いて計算した。フリーエア補正は、観測点の幾何的な高さ変化によって生じる重力変化を補正するもので、観測点の標高と GRS80 の重力鉛直勾配を用いて計算した。ブーゲ補正と地形補正は、地形の質量によって生じる重力を補正する処理で、10m メッシュの数値標高モデルを用いて平面地球近似の式を用いて計算した。なお、地形の密度として、 $2,670\text{kg/m}^3$ の一定の値を仮定した。

3.3 阿蘇地区における完全ブーゲ重力異常

観測された重力データに様々な重力補正を施すことで、阿蘇地区における完全ブーゲ重力異常の分布を計算した。なお、完全ブーゲ重力異常の計算には、本研究に観測された重力データに加え、産業技術総合研究所等による先行研究で観測された重力データも併せて使用した。図-2 に阿蘇地区の完全ブーゲ重力異常図を示す。阿蘇カルデラ内では、 -50mGal に及ぶ顕著な負のブーゲ重力異常が見られる。これはカルデラ表層の低密度な堆積層の影響と、カルデラ内部の質量不均一の影響を反映しているものと考えられる。堆積層の影響を除去するためには、地形補正において地形密度の不均一の効果を考慮する必要がある。これは次年度に実施する予定である。

図-2 の左に、今回稠密重力観測を行った地域の完全ブーゲ重力異常図を示す。この地域は、西から東に向かって、ブーゲ重力異常が正の値から負の値へと遷移する領域と一致しており、特に重力の空間変化が顕著である。しかしながら、ブーゲ重力異常では空間分布が滑らかであり、微細な質量不均一構造を議論することが難しい。その解決策として、ブーゲ重力異常の鉛直・水平勾配の計算が効果的であると考えられる。重力勾配を計算することで、重力異常の短波長成分を強調されるため、より微細な質量構造の議論が可能となる。重力勾配の正確な計算には、稠密な重力データが必要となるが、今回の観測により当該地域で約 250m 間隔の重力データを獲得したことから、高精度な重力鉛直勾配の計算が可能と考えられる。次年度は、重力勾配をもとに議論を発展させるとともに、インバージョン解析による内部密度構造の推定にも取り組む予定である。

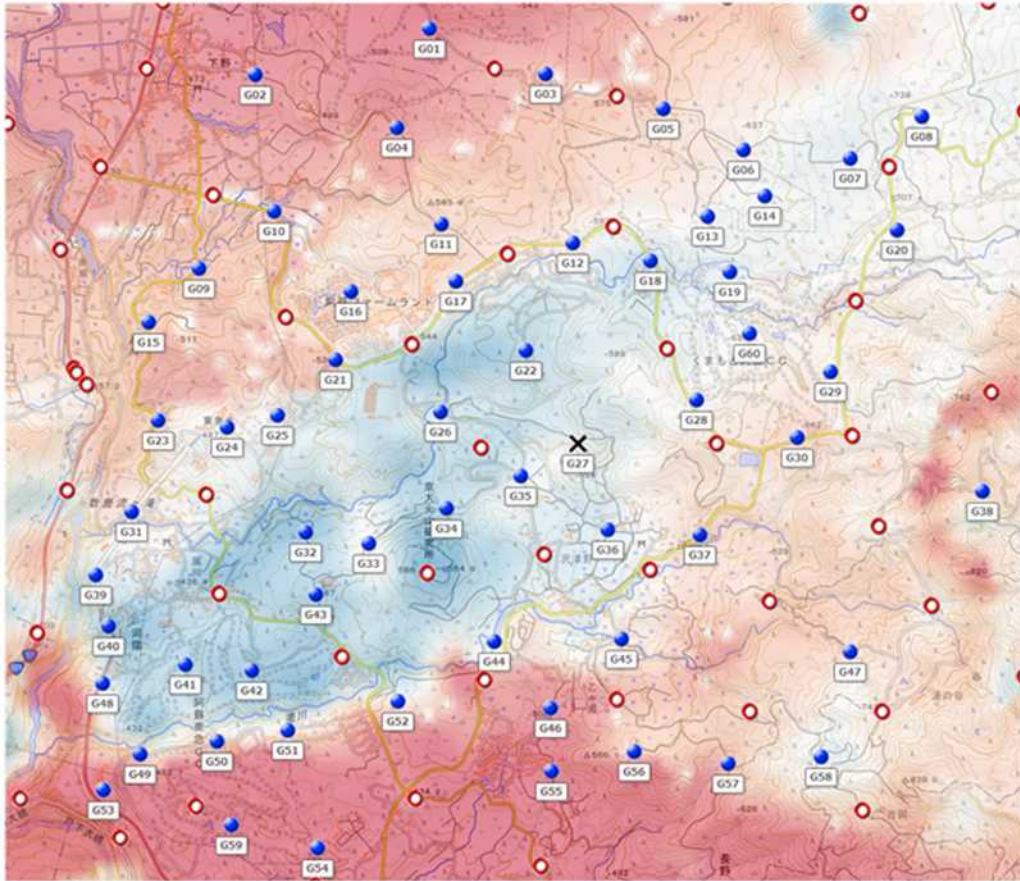


図-1 重力観測点（青丸）の配置。背景は SAR 解析による上下変位で、赤が隆起、青が沈降を示す。赤丸は先行研究における観測点位置を示す。

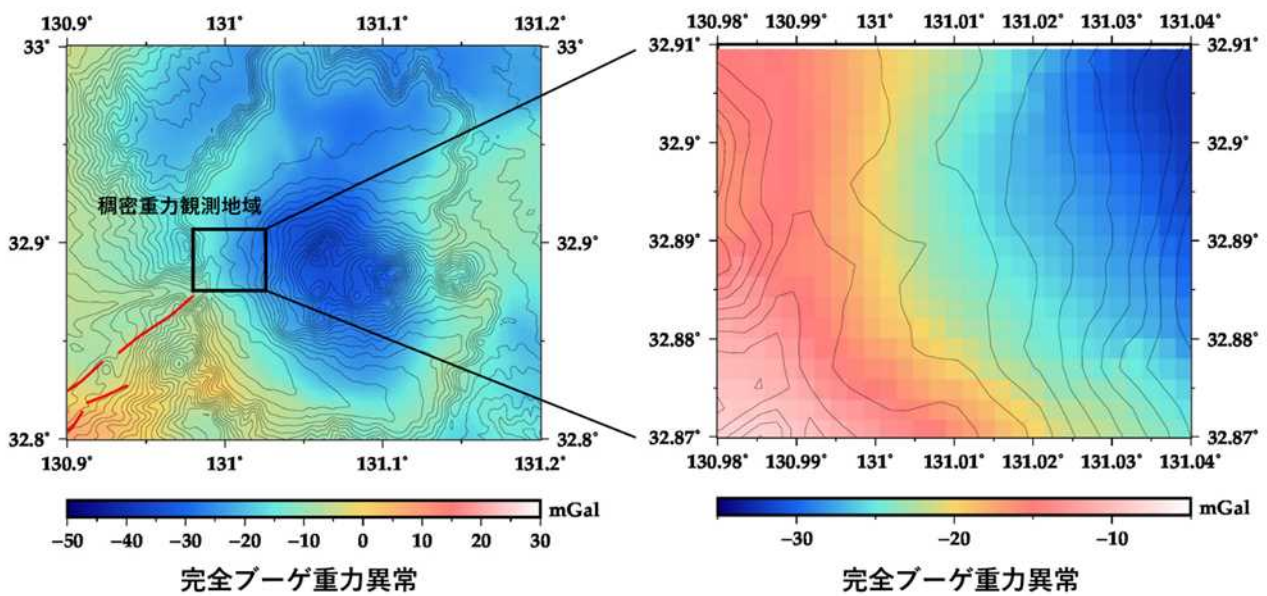


図-2 (左) 本研究の稠密重力観測データと先行研究の重力観測データを用いて計算された阿蘇地域の完全ブーゲ重力異常図。等高線は 50m 間隔の標高を表す。(右) 稠密重力観測地域を拡大して表示した完全ブーゲ異常図、等高線は 50m 間隔の標高を表す。

4. 結論

令和元年度は、阿蘇カルデラ内にて稠密重力観測を実施し、完全ブーゲ重力異常図を作成した。令和2年度は、地形密度の不均一の影響を考慮することで、より正確な完全ブーゲ重力異常の導出に取り組む。また、ブーゲ重力異常の空間勾配を計算することで、精微な質量構造を明らかにするとともに、インバージョン解析によって内部密度構造の推定にも取り組む予定である。さらに、第2年次までに得られた知見を基に、データ解析から得られた断層形状と構造を組み込んだ断層滑りの数値シミュレーションを実施し、断層滑りの挙動を制御する物理パラメータについて考察する予定である。