

#小林知勝, 松尾功二, 安藤亮輔, 中埜貴元

キーワード: 熊本地震, 地殻変動, 密度構造, 断層破壊末端部

はじめに

本研究の目的は、断層破壊の終端部及びその周辺に特徴的な地殻構造が存在するかを調べ、断層破壊の終焉を制御する要因について議論することにある。この目的のために、本研究では、2016年熊本地震を対象に、SARによる地殻変動から推定される断層運動の詳細と重力によって推定される地殻構造との間の空間的関係を調査した。

データと解析

まず初めに、ALOS-2衛星のSARデータを用いたInSAR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。本研究では、標準的なInSAR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手法(SBI法)も適用した。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。さらに得られた地殻変動データを用いて断層モデルの推定を行った。日奈久断層、布田川断層沿いに加えて阿蘇カルデラ内に見られる断層運動と推察される変動に対応した断層面を設定し、計9枚の断層面の傾斜やすべり量を推定した。まず初めに、Simulated Annealing(SA)法により断層面の形状を推定し、さらにSA法で得られた断層面を基に各断層面の滑り分布を推定した。

これに加えて、重力データを用いた地殻構造の推定を行った。解析には、後述する布田川断層の破壊終端部周辺を中心にキャンペーン重力観測(60点)を行い、これらデータと既存の重力データを用いたインバージョン解析により地下の密度構造を推定した。地球の質量構造に起因しない重力の影響を除去し、ブーゲ補正や地形補正等を施して地球の内部不均質構造を反映する完全ブーゲ重力異常を得た後、重力インバージョン解析によって地下の密度不均質構造を推定した。密度不均質構造は、平行六面体の質量塊の引力を応答関数とし、密度コントラストを推定パラメータとする重み付き最小二乗法により3次元的に推定した。解析では、初期値として与える密度を様々なパターンで計算することで、初期値依存性を把握・考慮しながら、信頼性の高い解を得るようにした。

結果

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た。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、もう1つはほぼ東西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。両断層に挟まれえる領域内には、長さ数kmの右横ずれの局所的な変動も見られる。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。ここで得られた地殻変動データを基に、断層面を推定したところ、布田川断層の東部延長上の断層運動は、傾斜角50度程度の南傾斜の断層面上での右横滑りが、もう1つの東西走向の断層運動は、傾斜角50度程度の北傾斜の断層面上での左横滑りが推定される。局所的な変動に対応する断層運動はほぼ90度の傾斜角を持った高角の断層面上の右横ずれ滑りを示し、これらで構成される断層系はいわゆるFlower Structureの構造を示唆している。

一方、重力データから推定された密度構造の結果は、阿蘇カルデラの中心部に比較的広い低密度領域が分布していることを示す。さらに西側に注目すると、その低密度領域の西方向の浅部延長上に、阿蘇カルデラ西部の浅い部分(深さ約1~2km)にくさび形の低密度体が存在することが分かった。注目すべきは、SARによって推定された分岐断層が、その局所的な低密度体の側面に沿って位置しており、断層面を構成する何かしらの物理境界を示している可能性がある。一方、局所的な変動に対応する断層運動は、浅部の低密度領域と重なる付近でその滑りを終えている。本研究で推定された低密度領域は、低速度域や低比抵抗域に対応して

いる。このことは、断層滑りが脆性破壊の困難な領域に突入したことで、その進みを止めたことを示唆するのかもしれない。

謝辞

本報告で使用したALOS-2データの所有権は、JAXAにあります。これらのデータは、国土地理院とJAXAの間の協定及び地震予知連絡会SAR解析ワーキンググループの活動に基づいて、JAXAから提供されたものです。本研究はJSPS科研費JP18K03810の助成を受けたものです。

Spatial relation between fault motions and density structures at the terminus of fault rupture for the 2016 Kumamoto earthquake

#Tomokazu Kobayashi, Koji Matsuo, Ryosuke Ando, and Takayuki Nakano

Keywords: 2016 Kumamoto Earthquakes, Crustal deformation, Density contrast structure, terminus of fault rupture

Introduction

The purpose of this study is to clarify what kind of characteristic crustal structure exists at and around the terminus of fault rupture, and is to discuss what possibly controls fault ruptures in the final stage. For the purpose, we here explored the spatial relationship between the SAR-derived fault motions and the crustal structure inferred by gravity. The target seismic event is the 2016 Kumamoto earthquake in Japan.

Data analysis

First, we conducted split-bandwidth interferometry for both range and azimuth components in addition to conventional InSAR analyses using ALOS-2 SAR data, and obtained the crustal deformation over the source region including nearby the faults. We further estimated the full 3D displacement field by a least squares method, using the derived displacements with multiple view angles. Next we estimated the fault parameters for nine faults in total, including the Hinagu and the Futagawa faults. We estimated each fault parameter using the Simulated Annealing (SA) method, and then we estimated the slip distribution on each fault plane which is estimated by the SA analysis.

Next, we inverted the campaign data and pre-existing gravity data to estimate the density contrast structure under the ground. First, the complete Bouguer gravity anomaly reflecting the internal heterogeneity of the Earth was obtained by removing the influence of gravity not caused by the Earth's mass structure and applying Bouguer correction and topographic correction. The 3D density contrast was estimated by the weighted least squares method, using the gravity of parallelepiped masses as the response function. In the analysis, the density given as the initial value was calculated in various patterns to obtain a reliable solution while considering the dependence on the initial value.

Result

The mapped crustal deformation shows that the displacement boundary, which is presumed to be caused by fault movements, extends on the eastern extension of the Futagawa fault and bifurcates mainly in two directions at the western margin of the Aso caldera. One is a right lateral displacement on the eastern extension of the Futagawa fault accompanied with subsidence on the southern side, and the other is a left lateral displacement with subsidence on the northern side. We can find that localized displacement boundaries of several kilometers in length with right lateral motion are also observed. These boundaries are linearly distributed, which strongly suggests that they are caused by fault movements. The modeling analysis shows that the fault movement on the eastern extension of the Futagawa fault is a right lateral slip on a south-dipping fault plane, and the other fault has a left lateral slip on a north-dipping fault plane. Both of them have dip angles of about 40–50 degrees. The faults corresponding to the local deformations show right lateral slip on a nearly vertical fault plane. The fault system composed of these faults suggests the structure

of the so-called flower structure.

The estimated density contrast structure shows that a wedge-shaped low-density body exists at the shallow part in the western part of Aso caldera. The striking point is that the bifurcated main faults are located along the side of the low-density body, possibly suggesting that the ruptures propagated along some physical boundary featured by the anomalous density structure. Further, the rupture terminus for the local faults almost overlaps the low-density body, maybe suggesting that there exists some ductile material that terminates the brittle ruptures.

Acknowledgements

ALOS-2 data were provided from the Earthquake Working Group under a cooperative research contract with Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA). The ownership of ALOS-2 data belongs to JAXA. This study was partly supported by the Japan Society for the Promotion of Science (JSPS) KAKENHI grant program (Grant Number JP18K03810).