

始良カルデラ周辺の地盤変動に関する有限要素法モデルを用いた圧力源形状の検討  
 Investigation of Pressure Source Geometries Using Finite Element Method  
 for Ground Deformation at Around Aira Caldera

○味喜大介・筒井智樹・井口正人

○Daisuke MIKI, Tomoki TSUTSUI, Masato IGUCHI

We calculated the ground deformation due to differently shaped rotational ellipsoidal pressure sources beneath the Aira caldera using a FEM model. The area of crustal deformation is narrower when the pressure source has a vertical shape. On the other hand, the vertical pressure sources seem to be more consistent with the observed data, but the difference in oblateness is small. This may be due to the fact that there are no observation points near the pressure source.

### 1. はじめに

始良カルデラおよび桜島周辺では、GNSS や水準測量などによる地盤変動観測が行われ、それぞれの観測結果から始良カルデラ中央部の深さ約 10km に圧力源の存在が示されており、これは始良カルデラ下のマグマだまりにおけるマグマの蓄積過程を反映していると考えられている。我々は、昨年の本講演会において GNSS 測位による水平変位と水準測量による鉛直変位を統合する形で圧力源解析を行って圧力源における体積変化量を推定した結果を報告した。これらの研究においては圧力源として茂木モデルを用いている。一方、地震学的な研究からは始良カルデラ周辺の地下構造に関する知見が蓄積されつつある。茂木モデルは均質媒質中の球形圧力源を仮定したものであるが、始良カルデラ地下の圧力源モデルに、非球形の圧力源形状や媒質の非均質性を導入することは、圧力源における体積変化量の推定精度の向上が期待できることから、始良カルデラ下におけるマグマの供給・蓄積過程を把握するうえでの課題となっている。

今回、我々は、始良カルデラ地下に扁平率の異なる回転楕円体圧力源をおいたときの地表の変位量を有限要素法を用いて算出することを試みた。

### 2. 有限要素法モデル

有限要素法の計算には FlexPDE7 を用いた。計算領域は、水平方向は始良カルデラ中央部から東西南北に 60km、深さ方向は海拔-50km までとした。モデル上端の形状は、陸域と鹿児島湾内について

は地形データを用いそれ以外の領域では海拔 0 km とした。節点数は、最大の節点間隔を 4 km とし FlexPDE7 の自動分割機能を使用し、2 万程度であった。圧力源にある体積変化を生じさせるような内部圧力を与え、Hooke の法則に従って節点の変位を算出した。

まず、媒質としてポアソン比 0.25、剛性率 30 Gpa の均質弾性体を仮定したモデル計算を試みた。圧力源の中心位置として、始良カルデラ中央部の深さ 11.2 km および桜島南岳直下の深さ 3.6 km を仮定した。これは、2017 年から 2019 年までの GNSS 測位による水平変位と水準測量による鉛直変位から茂木モデルを用いたグリッドサーチによって得られたものである。今回の有限要素法モデルでは、桜島南岳直下の圧力源については、半径 200 m の球形で体積変化量  $-0.8 \times 10^6 \text{ m}^3$  とし、始良カルデラ下の圧力源を水平半径 500 m の回転軸が鉛直な回転楕円体とした。始良カルデラ下の圧力源の鉛直半径／水平半径比が 0.5-5 までのいくつかの場合について、FlexPDE7 の最適化機能を用いてモデル計算による変位と観測値の残差二乗和が最小になる体積変化量を探索した。

### 3. 結果と考察

図 1 に地表変位の残差二乗和と圧力源の縦横比の関係を示す。圧力源形状が扁平から鉛直半径／水平半径比が 1.5 程度にかけて残差二乗和が急激に小さくなるが、その後は緩やかに増加する。つまり、圧力源の形状が扁平や球体よりもやや縦長

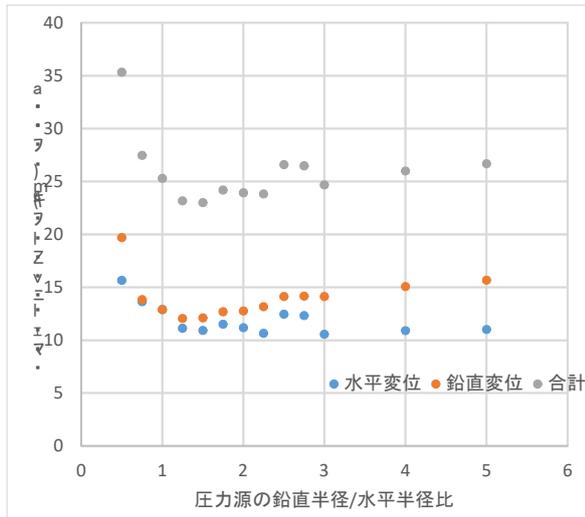


図1. 地表変位の観測値と有限要素法モデルによる計算値の残差二乗和と圧力源の縦横比の関係

(鉛直半径/水平半径比が 1.5 程度)の方が観測値をよりよく説明できると考えられる。しかし、鉛直半径/水平半径比がそれより大きくなると、残差二乗和や個々の観測点の残差の出現パターンはほとんど変化せず、最適な扁平率を判断することは難しい。モデル計算の結果からは、圧力源の鉛直半径/水平半径比が大きくなるほど地表の変位が顕著な範囲は狭くなっており、変位のパターンが大きく変化する範囲が主に鹿児島湾北部の海域で地盤変動観測点が存在しないことも要因になっていると考えられる。図2は残差二乗和を最小にする圧力源の体積変化量と圧力源形状の関係を示したもので、鉛直半径/水平半径比が大きくなるほど減少する。圧力源が球体の時の体積変化量や残差二乗和は茂木モデルを用いたグリッドサー

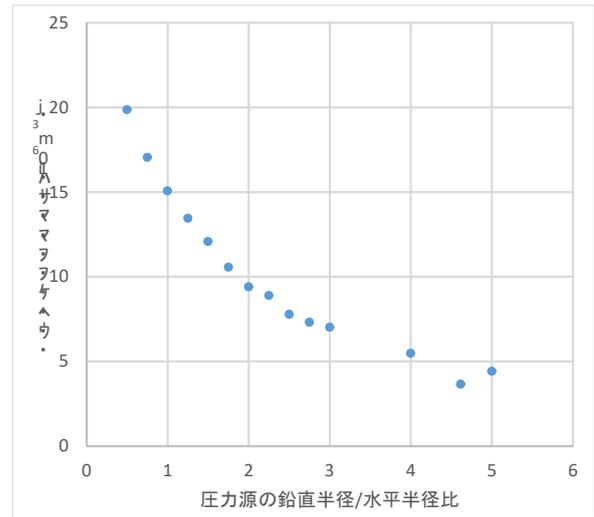


図2. 有限要素法モデルによる圧力源の体積変化量と圧力源の縦横比の関係

チ法で求めたものとよく一致する。圧力源の鉛直半径/水平半径比を 1.5 にとると体積変化量は球体の場合より 2 割程度小さくなる。

今回のモデル計算からは、始良カルデラ下の圧力源は球体よりもやや縦長な形状を用いた方が適していると考えられるが、形状の違いによって推定される体積変化量が異なっており、今後、媒質の物性や圧力源の位置や大きさに地震学的な知見を反映させるような形で圧力源モデルの改良をさらに進める必要がある。

謝辞：本講演は、原子力規制庁令和3年度原子力施設等防災対策等委託費(火山性地殻変動と地下構造及びマグマ活動に関する研究)の成果の一部です。記して感謝いたします。