

始良カルデラ下の S 波低速度領域の形状を模した圧力源による地盤変動モデルの検討
 Investigation of a Ground Deformation Model With a Pressure Source
 Resembling the Shape of the Low S-wave Velocity Region Beneath the 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 a polyhedron pressure source resembling the geometry of the low S-wave velocity region beneath the Aira caldera, using a FEM model. This model is considered to be more compatible with recent seismological findings than conventional models such as the Mogi model. Calculated displacements are consistent with GPS and leveling survey observations as well as would be expected from the Mogi model. The area of crustal deformation is narrower when the pressure source has a vertical shape. On the other hand, the estimated magma supply to the Aira caldera, using the polyhedral pressure source model, is 10-20% larger than that assuming the Mogi model.

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、茂木モデルを用いた圧力源解析の結果、始良カルデラ中央部の深さ数 km から 10 数 km に圧力源の存在が示されている。一方、最近の地震学的な研究からは始良カルデラの地下に低 S 波速度領域や S 波反射面の存在が示されており、始良カルデラ下の 10 数 km より深い領域にメルトの存在が示唆されている。始良カルデラ下の地盤変動圧力源モデルを地震学的なマグマだまりのイメージに近づけることは、始良カルデラ地下におけるマグマの供給・蓄積量をより精密に推定するうえでの課題となっている。

これまでに我々は、為栗ら (2022) が示した低 S 波速度領域の形状を模した多面体を始良カルデラ下の地盤変動圧力源 (図 1) としたモデル計算を行い、2017 年から 2019 年の期間について地表変位を説明可能であることを示した。今回、2019 年 11 月以降の地表変位を用いて、同じモデルによるモデル計算を行い、茂木モデルによる圧力源解析結果と比較した。使用した地表変位データは、水準測量による上下変位 126 点と、水準路線近傍の GNSS による水平変位 60 点である。

2. 圧力源モデル

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。媒質には深さにより剛性率の異なる水平成層構造を用いた。

始良カルデラ下の圧力源 (以下、LS) には、為栗ら (2022) の深さ 10、15 および 20 km の S 波速度を按分して 2.45 km/s 以下の領域を抽出し、極端な凹凸を平滑化した多面体を用いた。また桜島南岳直下の深さ 7.8km に半径 200 m の球形で体積変化量 $-3.9 \times 10^6 \text{ m}^3$ の圧力源 (以下、S) をおいた。有限要素法の計算では、これらの圧力源の表面にある内部圧力を与え、Hooke の法則に従って節点の変位を算出した。

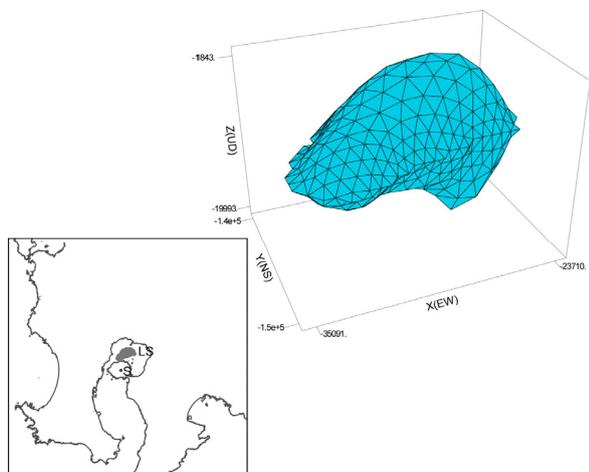
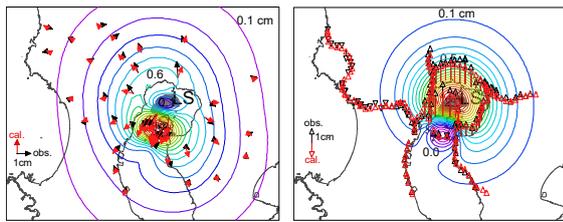


図 1. 有限要素法モデルに使用した圧力源の水平位置 (左下) と LS 圧力源の形状 (右上)



水平変位 上下変位

図 2. 有限要素法モデルによる地表変位の計算結果

そのうえで、FlexPDE7 の最適化機能を用いてモデル計算による地表の変位と観測値の残差二乗和が最小になる圧力源 LS の内部圧力を探索し、その時の体積変化量と地表変位を求めた。観測値は、2019 年から 2022 年までの GNSS 測位による水平変位 60 点と水準測量による鉛直変位 121 点を用いた (図 2 の黒矢印)。また、同じ観測データを用いて 2 つの球状圧力源を仮定した茂木モデルによる圧力源解析を行った。圧力源のうち 1 つは位置および体積変化量を未知、もう 1 つは水平位置を桜島南岳直下として深さおよび体積変化量を未知とし、グリッドサーチによって残差二乗和が最小となるパラメータを決定した。

3. 結果と考察

上記のモデル (以下、LS モデル) によって計算された地表変位を図 2 に示す。計算された地表変位は、水平変位・上下変位とも圧力源 S の影響が大きい桜島南部を除いて全体的には等値線が茂木モデルによる圧力源位置を中心とする同心円に近いパターンを示すが、始良カルデラ近傍では等値線がやや東西につぶれた形状を示している。モデル計算値 (図 2 の赤矢印) の観測値 (図 2 の黒矢印) に対する二乗平均平方根残差は LS モデルが水平変位について 5.0mm、上下変位について 2.8mm であり、茂木モデルから得られた水平変位について 4.2mm、上下変位について 2.3mm とほとんど異ならず、2019 年 11 月以降の観測期間についても観測値を概ね再現できることがわかった。また、

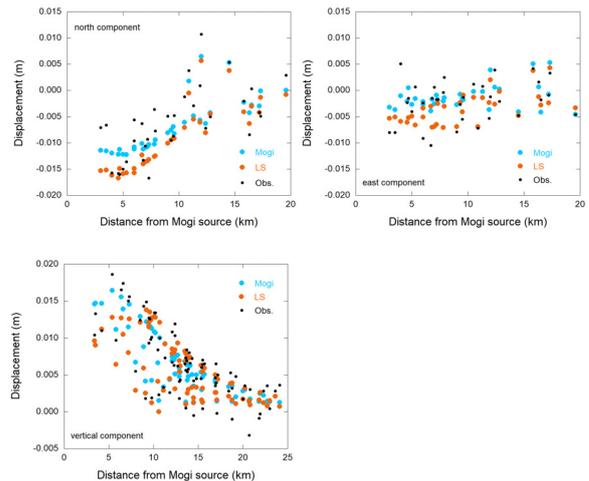


図 3. LS モデルおよび茂木モデルによる地表変位の計算値と観測値の比較

圧力源 LS の体積変化量は $18.9 \times 10^6 \text{m}^3$ と求められ茂木モデルから推定される $15.7 \times 10^6 \text{m}^3$ より約 20% 大きい。

LS モデルから得られた地盤変動観測点における予測変位は、茂木モデルによるものと類似しているが、圧力源に近い桜島北部では水平変位において観測値により近く、始良カルデラ周縁部の上下変位ではカルデラの南北方向と東西方向で変位量が異なる傾向が再現されている (図 3)。茂木モデルと比べ、LS モデルは観測値との二乗平均平方根残差はわずかに大きいものの、圧力源近傍において観測値をよりうまく再現できているように見える。圧力源 LS は地震学的にメルトの存在が示唆される領域の位置や形状を模したものであり、今後、媒質の物性に始良カルデラの三次元地下構造に関する知見を反映させるなど改良を加えることで、始良カルデラ周辺の地盤変動をより詳細に説明できる可能性がある。

謝辞：本講演は、原子力規制庁令和 5 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。