

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（続報）
 Investigation of Pressure Source Geometries Using Finite Element Method
 for Ground Deformation at Around Aira Caldera II

○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、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約 10km 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周辺の地下構造に関する知見が蓄積されつつある。為栗ら（2022）は地震波トモグラフィから始良カルデラ下の深さ 15km に低 S 波速度領域の存在を明らかにした。また、始良カルデラ中央部の深さ 13.6km に地震波の反射面の存在が示唆されている（筒井ら，2021）。これらの研究では、深さ 10km 付近には顕著な低地震波速度領域や反射面はみられず、地盤変動観測から得られた圧力源の深さと必ずしも一致しない。始良カルデラ地下の圧力

源モデルを地震学的な地下構造の特徴と整合性の高いものにすることは、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課題となっている。

これまでに我々は、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し、深さ 15km 付近に水平方向に長軸をもつ扁平な回転楕円体圧力源によっても観測された地表変位を説明できることを示した。今回、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としたモデル計算を行ったので報告する。

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（図 1 左下図の範囲）、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（図 1 右上図）を用いた。また桜島南岳直下の深さ 3.6km に半径 200 m の球形で体積変化量 $-0.8 \times 10^6 \text{ m}^3$ 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

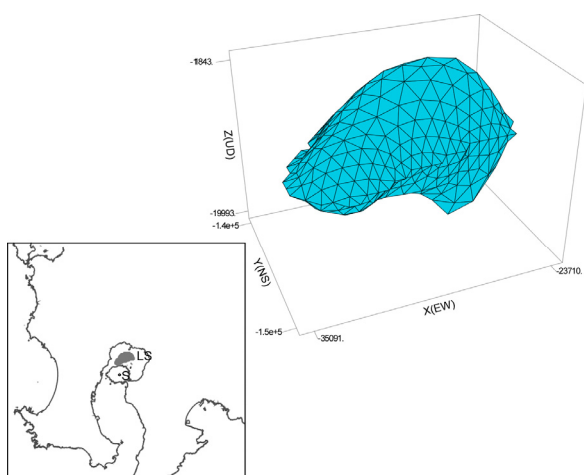


図 1. 有限要素法モデルに使用した圧力源の水平位置（左下）と LS 圧力源の形状（右上）

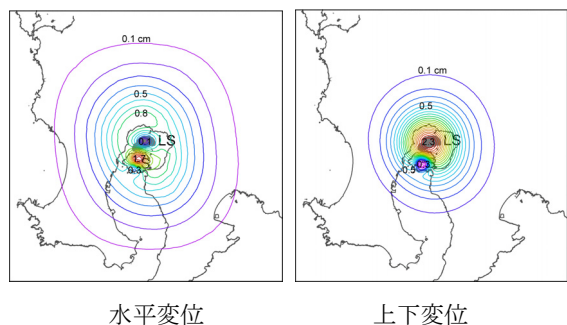


図 2. 有限要素法モデルによる地表変位の計算結果

に従って節点の変位を算出した。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、2017 年から 2019 年までの GNSS 測位による水平変位 49 点と水準測量による鉛直変位 130 点を用いた。

3. 結果と考察

上記のモデルによって計算された地表変位を図 2 に示す。桜島南部に圧力源 S の影響が認められるが、全体的には水平変位・上下変位ともにやや南北に伸びたほぼ同心円状のパターンを示し、茂木モデルや扁平な回転楕円体圧力源から得られるものと大きく異ならない。また、圧力源 LS 直上に出現する変位のピークの水平位置は同じ観測データから茂木モデルによって求めた圧力源の位置とほぼ一致する。

図 3 に地表変位の計算値と観測値の比較を示す。水平変位・上下変位ともに計算値と観測値はおおむね合致しており、地表で観測される地盤変動を説明可能なことが示された。計算値と観測値の残差二乗和は、茂木モデルや扁平な回転楕円体圧力源から得られるものとほぼ同じ値をとる。

圧力源の体積変化量は、 $18.2 \times 10^6 \text{ m}^3$ と求められた。この値は茂木モデルから推定されるものより 2 割程度大きい。

今回のモデル計算は始良カルデラ下の低 S 波速度領域全体が圧力源として作用することを想定したものであり、茂木モデルなど従来のモデルより

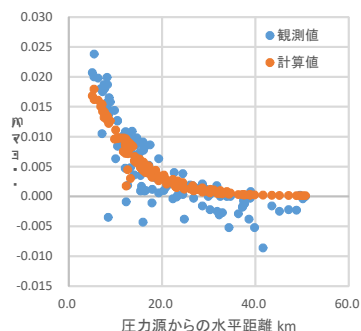
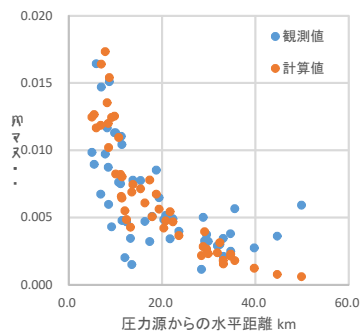


図 3. 有限要素法モデルによる地表変位の計算値と観測値の比較

最近の地震学的知見との整合性は高いと考えられるが、計算値と観測値の残差二乗和は茂木モデルや扁平な回転楕円体圧力源から得られるものと同程度であり、どのモデルが適しているかを観測値との比較によって判断することは現状では難しい。

一方で圧力源の体積変化量はモデルによって異なっており、今回のモデルを用いると、始良カルデラ下のマグマ蓄積量は茂木モデルを仮定した場合より 2 割程度大きく推定されることになる。

今後、媒質の物性にも最近の地震学的な知見を反映させるなどの形で圧力源モデルをより現実的なものにする試みを続ける必要がある。

謝辞：本講演は、原子力規制庁令和 4 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。