

相対重力および水準データを用いた 1970~1990 年代の桜島質量変動モデルの推定  
 Mass Variation Model of Sakurajima Volcano from the 1970s to the 1990s,  
 Estimated from Relative Gravity and Leveling Data

○平良真純・風間卓仁・山本圭吾・福田洋一・井口正人

○Masumi HIRAYOSHI, Takahito KAZAMA, Keigo YAMAMOTO, Yoichi  
 FUKUDA, Masato IGUCHI

Gravity measurement is one of the most powerful methods to detect spatiotemporal mass variations in volcanoes. In Sakurajima Volcano, relative gravity values have been repeatedly measured since 1975, and significant long-term gravity variations of about +200 microGal at a maximum were observed from the 1970s to the 1990s, along with the ground subsidence of up to -13 cm (Yamamoto et al., 1998). However, a possible cause of the long-term gravity decrease has not been discussed enough, while crustal deformation has been often modeled using the so-called Mogi model (e.g., Hotta et al., 2016). We were therefore motivated to model the long-term gravity increase observed in Sakurajima Volcano, to reveal mass redistribution processes in the volcano. We found that the spatial pattern of the gravity decrease can be explained by a point mass increase of  $3.0 \times 10^9$  kg/yr located at 31.58 degree latitude, 130.53 degree longitude, and 1300 m below the sea level.

### 1. 桜島火山における繰り返し相対重力測定

重力観測は火山活動に伴う地下質量の時空間変化を検出するのに有効な手法の 1 つである (e.g., Furuya et al., 2003; Kazama et al., 2015)。桜島火山周辺の測地基準点では 1975 年から LaCoste 型相対重力計による繰り返し相対重力測定が開始され、2007 年までに計 10 回の集中観測が実施されてきた (山本ほか, 2008)。それ以降はほぼ毎年秋に集中的に相対重力測定が実施され、2017 年 10 月にも 16 点で相対重力データが収集されている (風間ほか, 本講演会)。

一方、桜島では地殻変動観測も古くから続けられており、地下の圧力源推定に利用されている。例えば、Mogi (1958) は大正噴火前後の地表上下変位を球状圧力源の収縮によって説明し、この圧力源が始良カルデラ直下の海拔下約 10 km に位置していることを示した。Mogi (1958) の球状圧力源に伴う地殻変動モデルは「茂木モデル」とも呼ばれ、最近では複数の球状圧力源を組み合わせることで地殻変動観測データを再現する研究が行われている (e.g., Hotta et al., 2016)。

ところで、球状圧力源の膨張/収縮は以下の効果に伴う重力変化を生じる：①地表上下変位に伴うフリーエア効果、②地表上下変位に伴うブーゲー効果、③媒質密度の時空間変化、④圧力源内部の密度変化。これらの効果は萩原(1977)によって

定式化されており、4 つの効果を合算した重力変化は上下変位量に比例し、かつその比例係数はフリーエア勾配 ( $-3.086 \mu\text{Gal}/\text{cm}$ ) とブーゲー勾配 (密度  $2.67 \text{ g}/\text{cm}^3$  の媒質の場合  $-1.967 \mu\text{Gal}/\text{cm}$ ) の間の値を取る。

しかしながら、桜島の地殻変動・重力変化は上記の重力勾配では十分説明できないことが知られている。図 1 は桜島西麓の重力点 S16 を基準としたときの桜島西山腹 BMSV0 の上下変位 (横軸) および重力変化 (縦軸) であり、1975 年を原点に取っている。S16 に対する BMSV0 の上下変位は 1975 年以降沈降を続け、その変動量は 20 年間でおよそ  $-13 \text{ cm}$  である。一方、この期間の重力変化量は約  $200 \mu\text{Gal}$  の上昇であり、フリーエアやブーゲーよりも大きな勾配で変動している。このような大きな重力変化の要因には桜島浅部の質量増加が想定されているものの (山本ほか, 2008)、この重力変化の定量的な議論は未だ十分になされていない。

そこで本研究は、1970 年代~1990 年代に桜島火山で観測された相対重力データを取りまとめ、この時期の重力変化速度を説明しうる質量変動モデルを以下の通り見積もった。

### 2. 相対重力データの取りまとめ

本研究はまず、これまで桜島で測定された相対重力の生データを収集し、報告書 (山本ほか,

1998) に記載されている重力平均値と比較した。収集できた生データは過去に測定された全ての重力データの約 1/3 程度であったが、型番 G458 の重力計については 1970 年代～1990 年代の全データを収集することができた。G458 の重力生データと報告書記載の重力平均値を比較したところ、この期間内の重力変化速度を今後議論する上では両者のデータの違いは小さいことが分かった。

図 2 は報告書 (山本ほか, 1998) 記載の重力値から得られた 1970 年代～1990 年代の重力変化率 (S16 基準) とその標準偏差である。なお、いくつかの重力測定点では金属標移設に伴いステップ的な重力変化を含んでいたため、そのような測定点に対しては重力変化率だけでなく重力ステップ変化量も最小二乗法によって推定した。重力変化率は桜島島内の多くの測定点で正であり、特に西側山腹で大きな重力上昇 (最大+8  $\mu$  Gal/yr) を示している。

### 3. 地表上下変位を説明する球状圧力源

観測された重力変化には球状圧力源の収縮に伴う重力変化が含まれていると考えられる。そこで本研究は、1970 年代～1990 年代に観測された水準データを用いて球状圧力源の位置と体積変化量をグリッドサーチ法により推定した。この際、各水準点の標高を球状圧力源の深さに足し合わせることで、地形の影響を経験的に補正した。その結果、球状圧力源は緯度 31.59 度、経度 130.67 度、海拔下 1800 m に位置し、体積変化量は  $-1.2 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yr}$  と得られた。また、この球状圧力源の内部密度を  $2.67 \text{ g/cm}^3$  と仮定すると、球状圧力源の収縮に伴う重力変化は最大+3.5  $\mu$  Gal/yr と見積もられた。

### 4. 重力変化を説明する点質量源

観測された重力変化から球状圧力源に伴う寄与を差し引くと、重力変化は最大+6  $\mu$  Gal/yr となった。補正前に比べて重力変化量は小さくなったものの、地殻変動では説明しきれない重力変化が残っていることが分かる。そこで本研究は、補正後の重力変化を説明可能な点質量変動源をグリッドサーチ法により見積もった。この計算では点質量の位置に元々空洞があったものと仮定し、地殻変動を伴わずに質量が空洞を満たしていく状況を想定した。その結果、点質量源の位置は緯度 31.58 度、経度 130.63 度、海拔下 1300 m に位置し、質量変化率は  $+3.0 \times 10^9 \text{ kg/yr}$  と得られた。

以上のことから、1970 年代～1990 年代の桜島火山では、山頂直下の海拔下 1800 m 付近における球状圧力源の収縮によって山体の沈降が起き、同時に西側山腹直下の海拔下 1300 m 付近で地殻変動を伴わない質量増加が起きていたと考えられる。この時期桜島は南岳火口からの噴火活動が活発であったため、深部の圧力源収縮はマグマの外部への放出を、浅部の質量増加は火山内部空隙へのマグマの充填を示唆していると考えられる。

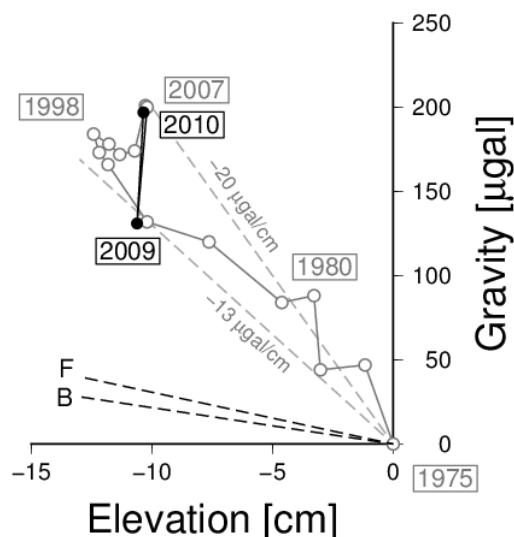


図 1: S16 を基準とした BMSVO の上下変位および重力変化。1975 年を原点としている。

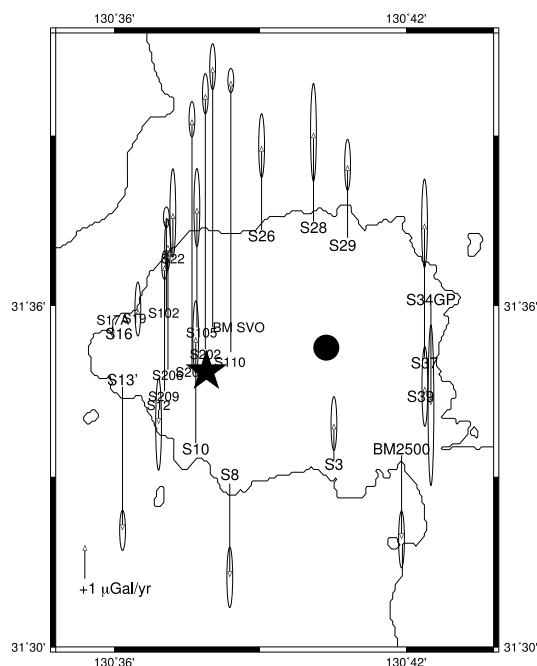


図 2: 本研究で得られた 1970 年代～1990 年代の重力変化速度の観測値。●は球状圧力源、★は点質量源の位置を示している。