

1975年～1992年の相対重力データで明らかになった桜島火山直下の質量増加：
火山ガス観測データに基づく考察

Magma Mass Increase Under Sakurajima Volcano during the Eruptive Period from 1975 to 1992,
as Revealed by Repeated Relative Gravity Measurements:
An Interpretation from Volcanic Gas Studies

○大柳諒・風間卓仁・風早竜之介・宮城磯治・山本圭吾・井口正人
○Ryo OYANAGI, Takahito KAZAMA, Ryunosuke KAZAHAYA, Isoji MIYAGI,
Keigo YAMAMOTO, Masato IGUCHI

Temporal variations of volume and mass in the magma chambers of Sakurajima Volcano were modeled using leveling and relative gravity data collected around the volcano during the eruptive period from 1975 to 1992, to reveal a physical mechanism for the excessive gravity increase observed at the volcano. Two deflation sources and a point mass increase were estimated under the volcano from the leveling and gravity data. The estimated rate of the mass increase was 4.5×10^{10} kg/yr, and the position of the point mass agreed with that of the shallower deflation source within its error range. This result suggests that the shallower magma chamber gained mass despite the chamber deflation during the 1975-1992 eruptive period, and can be quantitatively explained by the accumulation of degassed magma in the shallower chamber. The magma supply to the deeper chamber was calculated to be $+5.39 \times 10^{10}$ kg/yr from the gravity and leveling data, which is six times greater than that calculated from the leveling data only.

1. 繰り返し相対重力測定から明らかになった桜島火山直下の質量増加

桜島火山では1975年～1992年の南岳火口噴火活発期に最大17.9 mm/yrの沈降が水準測量で観測されており、この沈降は始良カルデラ深部と桜島直下浅部におけるマグマだまりの収縮によって再現できることが知られている(江頭ほか, 1997)。一方、同時期に測定された相対重力データによると、桜島島内における重力増加量は最大15.8 microGal/yrであり、地殻変動の寄与を補正したとしても依然として最大12.5 microGal/yrの重力変化が桜島中央部で残ることが分かっている。このことは、桜島直下において地殻変動を伴わないような質量増加が起きていたことを意味している。

大柳ほか(2020)は、地殻変動補正後の重力経年変化(1975年～1992年)のデータを用いて質量増加の位置やその増加速度を推定した。その結果、質量増加速度は 4.5×10^{10} kg/yrであり、かつ質量変動源の位置は桜島直下の浅部マグマだまりの位置とほぼ一致することが分かった(図1)。一方、同時期の浅部マグマだまりは -7.25×10^5 m³/yrの収

縮を示していたので、浅部マグマだまりでは収縮しながら質量増加が発生していたことになる。これを単一の物理メカニズムによって説明するには、例えば火道内マグマ対流に伴う脱ガスマグマの高密度化(Shinohara, 2008)が想定される。しかし、現時点においてこのモデルの定量的な解釈は不十分であり、測地データと独立したデータに基づく裏付けが不足していた。そこで我々は、桜島火山の岩石や火山ガスのデータに基づいて桜島直下の質量増加量を別途見積もることで、桜島直下の質量増加が脱ガスマグマの蓄積によって説明可能かどうかを検証する。

2. 脱ガスマグマの蓄積に伴う質量増加量

脱ガスマグマの蓄積に伴う質量増加量 ΔM は以下のように定式化できる。

$$\Delta M = V \times \Delta \rho = (M \div \rho) \times \Delta \rho$$

ここで、 V は脱ガスマグマの体積、 M は脱ガスマグマの質量、 ρ は脱ガスマグマの密度、 $\Delta \rho$ は脱ガスで生じるマグマの密度差である。すなわち、 M 、 ρ 、 $\Delta \rho$ が分かれば質量増加量 ΔM を算出できる。

まず我々は、Rhyolite-MELTS (e.g., Gualda et al., 2012) という計算ソフトウェアを用いて、脱ガスマグマ密度 ρ と脱ガスで生じるマグマの密度差 $\Delta\rho$ を見積もった。この際、昭和溶岩全岩組成 (Yanagi et al., 1991)、地上火山ガス組成比 (Shinohara et al., 2020)、およびメルトインクルージョン (MI) サンプル (Araya et al., 2019) の情報を用いた。その結果、 $\rho = 2634 \sim 2641 \text{ kg/m}^3$, $\Delta\rho = 355 \sim 427 \text{ kg/m}^3$ と得られた。

次に我々は、脱ガスマグマの質量 M を見積もった。この際、火山ガス (SO_2) 放出率 (Mori et al., 2013) をガス組成比 (Shinohara et al., 2020) を用いて火山ガス (H_2O) 放出率に変換し、Rhyolite-MELTS から計算したマグマ中の H_2O 重量比で割ることで、脱ガスマグマの質量 M を見積もった。また、マグマ質量の一部は火山灰や火山ガスとして外部に放出されているので、 M を算出する際これらの影響を差し引いた。その結果、 $M = (1.04 \sim 2.82) \times 10^{11} \text{ kg/yr}$ と得られた。

以上の結果より、岩石や火山ガスのデータに基づく質量増加量は $\Delta M = (1.40 \sim 4.56) \times 10^{10} \text{ kg/yr}$ と計算できる。この値は、重力データから推定されていた質量増加量 $4.5 \times 10^{10} \text{ kg/yr}$ およびその 95% 信頼区間 $3.70 \sim 5.25 \times 10^{10} \text{ kg/yr}$ と誤差範囲内でよく一致している。つまり、1975 年～1992 年に重力データから桜島火山直下に推定された質量増加は、火山ガスデータから想定される脱ガスマグマの蓄積の結果として定量的に解釈できる。

3. ガス放出量に伴うマグマ収縮量と浅部マグマだまり収縮量の比較

ところで、脱ガスに伴うマグマの高密度化はマグマ体積の収縮を意味する。マグマ体積の収縮量は Kazahaya et al. (2015) に基づいて計算することができ、南岳活発期の桜島火山については $-(6.1 \sim 20.7) \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yr}$ と見積もられる。一方、水準測量データから得られた浅部マグマだまりの収縮量は $-7.25 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{yr}$ であり、ガス観測から予想されるマグマ体積収縮量より 1 桁以上小さくなっている。このことは、「脱ガスに伴う収縮の大

部分が深部からのマグマ供給によって相殺されていた」ことを示しており、「深部から浅部マグマだまりに大量に供給されたマグマ質量が質量増加・重力増加を引き起こした」と解釈することもできる。また、浅部マグマだまりの体積が減少しながらその内部のマグマ質量が増加していた点に着目すると、本研究の結果は、地殻変動ソースの体積変化量とマグマ収支を直接結び付けることが困難であるという近年の研究 (e.g., Rivalta and Segall, 2008) をさらに裏付けることになる。

実際に、重力および水準データを用いて桜島火山への深部からのマグマ供給を計算してみると、 $5.39 \times 10^{10} \text{ kg/yr}$ となり、水準データのみから計算した場合の 6 倍程度の供給量になった (図 1)。この結果は、火山へのマグマ供給量を把握するには、地殻変動観測に加えて重力測定を行うことが重要であることも示している。

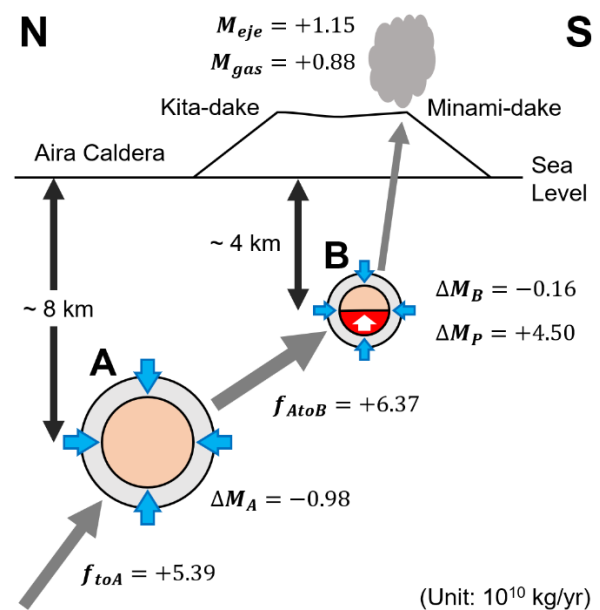


図 1: 1975 年～1992 年の桜島火山におけるマグマ供給系の概念図。単位は 10^{10} kg/yr 。A は始良カルデラ直下深部マグマだまり、B は桜島火山直下浅部マグマだまり。浅部マグマだまり B では、収縮に伴う質量減少 (ΔM_B) と脱ガスマグマ蓄積による質量増加 (ΔM_P) が進行している。