

桜島ブルカノ式噴火にともなう地盤収縮時間関数の検討
 Time Function of Ground Deformation Associated with Vulcanian Explosions
 at Sakurajima Volcano

○石井杏佳・井口正人
 ○Kyoka ISHII, Masato IGUCHI

The eruptive activity of Sakurajima volcano is characterized by frequent Vulcanian explosions. The ground inflation and deflation associated with each explosion are typically observed. It allows us to forecast the eruption occurring. The most important parameter we should constrain for the effective forecast is Mass Eruption Rate (MER). MER can be converted from the time function of deflation volume calculated from ground deformation. Therefore, we investigated the feature of the time function of deflation volume and tried to create the empirical expression of ground deflation. The multiple pressure source model was also considered to explain the time function of strain data.

1. はじめに

噴火にともなう火砕物の噴出率は、噴火様式や噴火のダイナミクスを支配する極めて重要な物理量である。たとえば、火山灰の噴出率は噴煙高度と関連することが知られており、噴煙高度は噴出率の1/4乗に比例するという経験式(いわゆる“1/4乗則”)が多くの火山噴火に当てはまるとされている。したがって、噴出率の予測が可能になれば噴火様式やそれにとともなうハザードの予測がより高い解像度で実現できると期待される。

現在我々は桜島において事前降灰予測システムの実装に取り組んでいる。これは噴火に前駆する地盤変動を用いて噴火規模や時刻を予測し、その結果を踏まえた降灰シミュレーションを行うというものである。これまで、過去に発生した噴火の地盤変動記録を統計的に解析し、噴火に前駆する山体膨張の継続時間や体積の頻度分布を説明できる確率モデルを推定した。これによって、噴火発生前に噴火の発生時刻と噴火規模(ここでは噴火にともなう地盤の収縮体積)を確率的に制約できるようになった(Ishii & Iguchi, submitted)。しかし、降灰シミュレーションの入力値として必要になるのは火山灰の噴出率であり、これが噴煙高度を決め火山灰の移流・拡散プロセスに強く影響する。そこで我々は、地盤収縮の時間関数を適切に予測して噴出率を制約することを目指して、いくつかの検討を行った。まず、単純な関数で地盤収縮体積の時間変化を近似し、簡単な経験式の構築を試みた。また、より正確な噴出率を推定す

るために、地盤変動モデルの検討も行った。本発表ではこれらの結果について報告する。

2. 地盤収縮関数の経験式

経験式の検討には過去噴火の伸縮計記録を用いて収縮体積の時間変化を推定した後、指数関数でフィッティングして、定数パラメータを決めるという方針をとった。用いたデータは有村観測坑道伸縮計データである。火口直下の球状圧力源を仮定してひずみの総変動量から圧力源深さを推定し(Iguchi et al., 2013)、噴火発生中に圧力源深さが変わらないとして直交方向成分のひずみ変動量から体積変化を算出した。2017-2020年に発生した爆発(空振最大振幅 >10 Pa)のうち、噴火発生にともなう地盤収縮が読み取れた792イベントを用いた。フィッティング関数には $A(\exp(-Bt)-1)$ の形を仮定した。ここで t は膨張開始からの時間(min)である。 $A(\text{m}^3)$ は総収縮体積とし、変動の時定数である $B(1/\text{min})$ を推定した。

推定した B の分布を図1に示す。イベントによって値のばらつきがある。総収縮体積が大きいイベントは、比較的 B が小さくなる傾向にあるものの、総収縮体積と B の間に明瞭な関係性はみられなかった。頻度分布をみると、0.6-1付近に B が推定されるイベントが多くなった。したがって、全イベントの残差総和が最も小さくなる $B=0.85$ を採用して、暫定的な経験式とした。

3. 複数圧力源を考慮した収縮時間関数

桜島のブルカノ式噴火にともなう地盤変動は、基本的に1つの球状圧力源の収縮として解釈できる。しかし、一部の噴火では複数の圧力源の関与が示唆される伸縮計記録が得られている。噴火開始直後にはおよそ3 kmより浅い圧力源の収縮と解釈される変動がみられるが、数分後に火口方向成分の変動が大きく反転し、より深い位置の圧力源の収縮と考えられる変動に変わる。このような変動が観測されるのは、南岳で規模の大きな噴火が発生した場合に多い（例えば、Hotta & Iguchi, 2021）。2017-2020年に発生した爆発では、少なくとも全体の5%程度がこの特徴を示した。このようなイベントの噴出率を正しく評価するには、地盤変動を適切なモデルで解析する必要がある。そこで、深さの異なる2つの球状圧力源を仮定して、観測されたひずみ変化を再現できるかを検討した。

圧力源はいずれも噴火開始直後から指数関数的に収縮すると仮定した。2つの圧力源の変動量、変動時定数、深さに相当する計6つのパラメータをグリッドサーチで推定した。その結果、2つの圧力源では観測されたひずみ変化を十分に説明できないことがわかった。特に火口方向成分の急激な反転を再現できなかった。そこで、Hotta & Iguchi (2021)で火口直下の膨張圧力源の存在が指摘されていたことを踏まえて、指数関数的に膨張する球状圧力源を加えると、よくデータを再現できるようになった（図2）。

膨張圧力源をどのように解釈するのかについては議論の余地があるが、ひとつの可能性として、地盤の粘弾性効果によって見かけ上の膨張変動がみえていることが考えられる。球状圧力源の周囲に粘弾性シェルを置いたモデル (Segall, 2016) を仮定すると、マグマだまり内のマグマの圧縮性が低い場合、噴火にともなう急激な収縮の後に粘弾性緩和によって膨張のようにみえる変動が生じる。仮に、このモデルを用いて観測された変動の時定数を再現するには、シェル部分の粘性が $10^{12-13} \text{ Pa} \cdot \text{s}$ である必要があることがわかった。

4. 今後の課題

噴出率の経験式の作成にあたって、今回は簡単のため変動の時定数である B を一意に決定した。しかし、実際には B はイベントによらず一意の値をとるわけではなく、ばらつきが存在していることを無視してしまっている。今後は B の分布を収縮

関数の予測誤差として反映させることが望ましいと考えられる。

圧力源モデルについては、地盤の粘弾性緩和の影響を考慮すれば深さの異なる2つの球状圧力源の変動によってデータを説明できる可能性があることを指摘した。しかし、この結果は観測データを説明できる可能性のある考え方の一つに過ぎず、現時点では他の可能性を否定するものではない。今後、より詳細な解析が必要である。同時に、複数圧力源が関与する場合とそうでない場合の条件等も整理していく必要がある。

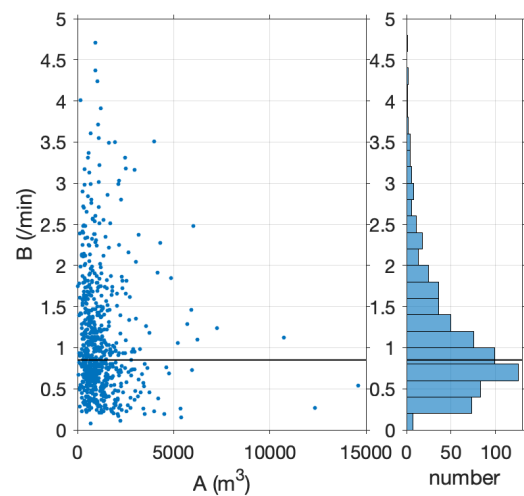


図1 総収縮量 A と時定数のパラメータ B の分布。横黒線が暫定値として採用した $B=0.85$ を指す。

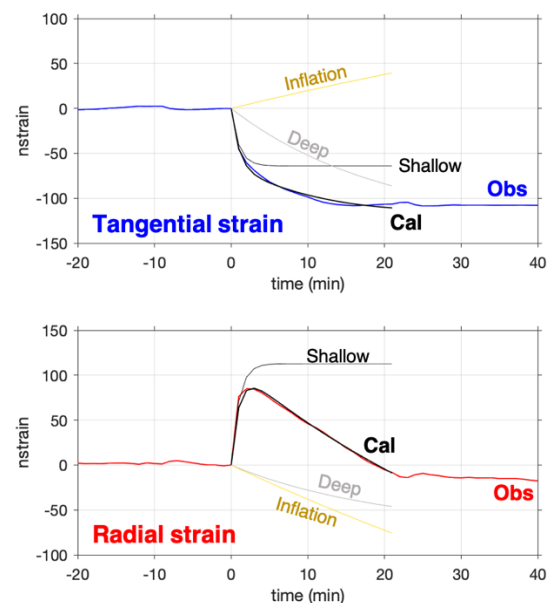


図2 深さの異なる収縮源2つ (Deep, Shallow) と膨張源によって再現された伸縮計記録。上が直交方向成分、下が火口方向成分。