

地盤変動データベースを用いた桜島ブルカノ式噴火の確率的噴火予測
 Probabilistic Eruption Forecasting of Vulcanian Explosions at Sakurajima Volcano Using Ground Deformation Database

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

Probabilistic forecasting of the timing and size of the eruption is essential to assess volcanic ash fall hazards. In order to obtain the eruption probability, we investigate the statistical feature of ground inflation prior to Vulcanian explosions at Showa and Minami-dake crater of Sakurajima volcano. The duration and volume of the ground inflation for both craters follow a log-logistic distribution, which implies that the inflations are controlled by the balance between the pressurization due to magma intrusion and the process of canceling the pressure increase. In addition, it is suggested that an increase in the magma supply rate can generate stability in recurrent explosions.

1. はじめに

火山噴火による降灰ハザードを予測するには、「どのくらいの噴火が（噴火規模）いつ起こるのか（噴火時刻）」を予測する必要がある。予測した規模の情報を噴煙高に、時刻の情報を気象場（風速場）に反映して降灰シミュレーションを実施することで、具体的な降灰量や降灰領域の評価が可能になる。したがって、噴火の規模と時刻の確率分布を噴火発生前に得ることが重要な課題となる。

桜島火山では年間数百回を超える噴火が発生し、充実した噴火データベースが存在する。特に、ブルカノ式噴火の発生前には観測坑道に設置された伸縮計・傾斜計で山体膨張が捉えられることが知られており（Ishihara, 1990; Iguchi et al., 2008）、この地盤変動データを用いた噴火予測の試みもなされている（Kamo & Ishihara, 1989）。そこで、本研究では噴火確率をより定量的に評価するために、桜島で発生した噴火にともなう地盤変動データの統計解析を行う。そして、その統計的特徴を踏まえて、噴火時刻と規模の確率的予測を目指す。

2. 使用データと解析手順

使用したデータは、南岳火口から約2 kmに位置する有村観測坑道(AVOT)に設置された伸縮計記録（火口方向・直交方向）である。この記録から噴火に前駆する膨張変動の(A)継続時間と(B)膨張体積を読み取り、それぞれのデータベースを作成した。解析対象とした噴火イベントは、2009年2月

～2015年9月に昭和火口で発生した爆発イベントと2017年11月～2020年12月までに南岳火口で発生した爆発イベントである。ここで、爆発イベントとは気象庁及び桜島火山観測所で検出した噴火のうち、特定の観測点で空振が10 Paを超えるものを指す(Iguchi et al., 2022)。火口直下に球状圧力源を仮定し、火口方向・直行方向のひずみ比を用いて推定した圧力源での体積変化量(Iguchi et al., 2013)を膨張体積とした。解析には、変動が明瞭で体積変化量を算出できたイベント（昭和:4303例、南岳:630例）を使用した。

次に、得られた(A)継続時間と(B)膨張体積の頻度分布を再現する確率分布モデルを検討した。Log-logistic分布、Weibull分布、指数分布の3モデルを仮定して、モデルパラメータを最尤推定で決めたのちに、最適モデルをAICで評価した。

3. 結果

膨張の(A)継続時間の頻度分布は、昭和火口、南岳火口ともにLog-logistic分布が最適モデルとなった(図左)。このとき、Log-logistic分布のモデルパラメータ(μ :中央値、 k :形状パラメータ)は、火口によらず同程度であった。また、(B)膨張体積の頻度分布も昭和火口、南岳火口ともにLog-logistic分布が最適モデルとなった(図右)。膨張体積の中央値 μ は南岳の方が大きく、形状パラメータ k はわずかに昭和火口の方が大きくなった。このとき、 k が大きいほど、分布のピークが明瞭で現象の規則性が高いことを意味する。

また、最適モデルの時間変化を調べるために、前から順に100イベントずつ最適モデルを推定した。その結果、(A)継続時間、(B)膨張体積ともに過半数を超える時間窓でLog-logistic分布が最適モデルとなった。特に、2011年10月～2012年3月ごろと2019年11月～2020年2月ごろには、Log-logistic分布のモデルパラメータkが(A)継続時間、(b)膨張体積ともに大きくなった。また、(A)継続時間と(b)膨張体積の頻度分布のモデルパラメータkには正の相関がみられた。

4. 議論

最適モデルとなったLog-logistic分布は、ブルカノ式噴火の噴火間隔の分布として、多くの研究で採用されている(たとえば、Watt et al., 2007; Dominguez et al., 2016)。さらに、Log-logistic分布は、競合する二つのプロセス(たとえば、マグマの貫入にともなう増圧過程と脱ガスにともなう減圧過程)の存在を表すといわれる(Connor et al., 2003)。つまり本研究の結果は、ブルカノ式噴火の噴火準備過程が火道内の増圧・減圧のバラ

ンスに支配されていることを示唆する。さらに、Log-logistic分布のモデルパラメータの時間変化は、マグマ供給の時間変化を反映している可能性がある。モデルパラメータkが大きくなった時期は、長期的な地盤変動から示唆されるマグマ貫入期に相当しており(井口・ほか, 2019; Iguchi et al., 2022)、貫入によるマグマ供給の増加が安定した繰り返し噴火を引き起こすと考えられる。

得られた確率密度関数を用いると、ある時刻における噴火確率と噴火規模の確率分布を算出できる。長期的なマグマ供給量の変化や噴火前にリアルタイムで得られる膨張速度(=膨張体積/膨張時間)に応じて関数形を変えれば、より噴火の切迫性を評価した予測が可能となる。ただし、火山灰噴出量と直接関連するのは地盤の収縮量である。噴火に前駆する膨張に対して、噴火後にどの程度収縮したかを表す収縮率は、1付近に中央値をもつLog-logistic分布でよく近似できることがわかっている。この収縮率の分布を掛け合わせることで、より現実に即した噴出量の確率分布を得られることが期待される。

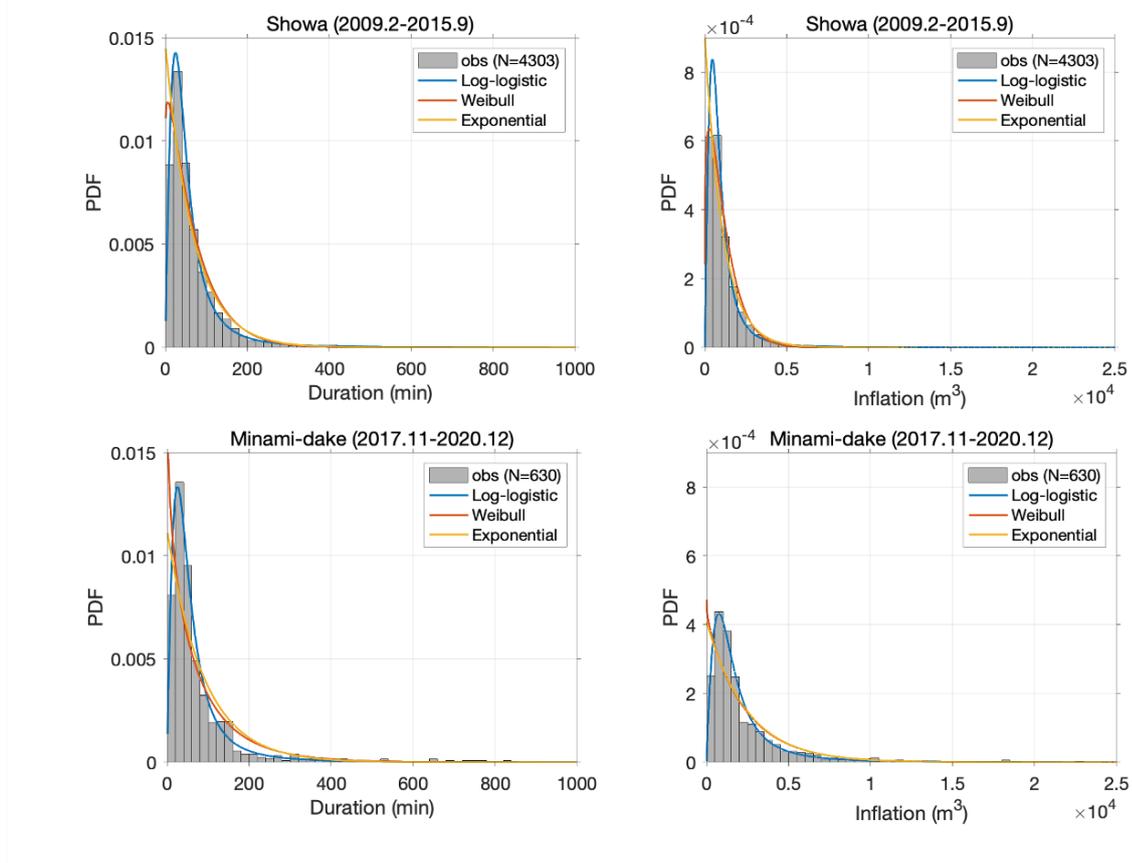


図: ブルカノ式噴火に前駆する地盤変動(伸縮計記録)の継続時間(左側)と膨張体積(右側)の頻度分布。上段が昭和火口の噴火イベント、下段が南岳火口の噴火イベントを示す。色付き線で3つのモデル関数(Log-logistic分布、Weibull分布、指数分布)を示す。