

振動観測を用いた火砕物放出における噴出密度評価の試み
 Evaluation of the bulk density of pyroclastic emissions by seismo-acoustic observation

○山田大志・井口正人

○Taishi YAMADA, Masato IGUCHI

The bulk density of pyroclastic emission (ρ) is critical in emission amount estimates and volcanic activity evaluations. Based on the previous study model that the infrasound and seismic power ratio (η) can represent the ρ value changes, we hypothesize that pyroclastic emission rate Q is expressed with ρ , the exit velocity v , vent area S , where ρ is assumed as $\rho=A/\log(\eta)$. We validate this idea by examining seismic and infrasound data accompanying volcanic ash emission activity at Sakurajima volcano. Although the results agree with theoretical considerations, the ρ value evaluation by η does not work properly with significant gas emission events characterized by infrasound pulses.

1. はじめに

火山噴火に伴い放出される軽石やレキ、火山灰などの火砕物の量や噴出率、物理的性質は、噴火の規模や誘発される災害の評価に直結する指標である。桜島火山の南岳山頂火口における噴火活動では、山腹に設置された観測坑道における高精度な地盤変動と地震動の観測によって、放出火山灰量を精度良く推定できることが示されている (Iguchi, 2016)。しかし、噴火現象は火砕物と同時に火山ガスを放出し、その量比は常に一定とは限らない。2017年以降の南岳火口での噴火活動では、それ以前の昭和火口での活動と比べると火山ガス放出が卓越する特徴が観測記録から見出されている (Iguchi et al., 2022)。ここでは、火砕物と火山ガスの量比を反映する指標として火口における噴出流体密度 ρ (kg/m^3) に着目し、放出火山灰量と同時に評価することを試みる。

火砕物の噴出率 Q (kg/s) は火口の断面積 S (m^2)、噴出流速 v (m/s)、 ρ の積で表現できるはずである。噴出流速の情報は、大気中を伝搬する圧力擾乱として空気振動観測から抽出できることが期待される。噴出密度の増減は、単位時間当たりの地震動と空気振動の振幅パワー比 η に反映される可能性がある (Johnson and Aster, 2005)。噴出流体密度が高ければ、火道内上昇中の壁面との抵抗が増加することでより地震動励起の方が卓越することが期待される。上記をまとめると、以下のような関係性で表すことができる。

$$Q = \rho v S, \quad \rho = A / \log(\eta)$$

この関係が成り立つとすれば、係数 A が実際の放

出火山灰量と観測量の対応から決定できるものと思われる。そこで、桜島南岳の2021年以降の噴火活動を対象にこの仮説の検証を試みた。

2. 振動観測と信号の検出

桜島での火山灰放出に伴う火山性微動は、3-4 Hz の帯域の信号が最も放出火山灰量との対応関係が良い (Iguchi, 2016)。この結果に従い、有村観測坑道における上下動短周期地震記録の 3-4 Hz の成分を火山性微動の検討に用いる。空気振動は励起源からの信号減衰の影響を低減するため、南岳山頂火口域から西側に約 2 km 離れた権現観測点における観測記録を用いる。南岳の火山灰放出に伴う空振記録は 1 Hz 以下の帯域にも優位な信号を有するが (山田・他, 2022)、数 10 m 程度の規模と想定される火口での噴出に伴う信号の抽出という目的から、より波長の短い 1-7 Hz の帯域の信号を対象とする。ダイポールモデル (例えば、Delle Donne and Ripepe, 2012) に基づき火口半径を 10 m と仮定すると、観測振幅から期待される平均的な流速は概ね ~ 50 m/s となる。爆発に伴う衝撃波の影響を避けるため、換算された流速が 100 m/s 以下の時間窓のみを検討の対象とする。火山灰放出の流速のオーダーとしては矛盾がないと思われるが、妥当性について別途の検証が必要である。

噴火起源の信号の検出は、同一地点における地震動と空気振動の相互相関 (Ichihara et al., 2012) に基づいて検討する。まず権現における空気振動と上下動地震記録の相互相関関数に基づき、噴出に起因する振動の励起時間を検出し、空振記録と

地震動記録の振幅を用いて時間窓での単位時間毎の η と v を計算する。

3. 結果の概要

権現で観測を開始した2021年4月から2024年12月までの期間を対象に、上記の方法で455イベントの噴出に伴う時間窓を検出した。空気振動で優位に信号が励起されている時間窓内では、 η は10-100程度に分布しながら推移する。 η の計算に用いる波形記録にはバンドパスフィルターによる処理を行っているが、背景で発生する火山性地震や風の影響の除去が不十分である場合もある。

期間全体の傾向を調べるため、イベント時間窓内の η を積算して得られる $VSAR$ (Volcano Acoustic-Seismic Ratio) の比率の時系列を図1に示す。イベント毎に数桁程度の幅があるものの、その分布上限が徐々に上昇する傾向にある。2022年10月以降の $VSAR$ が1000を超えるイベントには、南岳火口と一時的に活動が再開した昭和火口のイベントの双方が含まれており、火山ガス放出が卓越する桜島の活動状況を反映している可能性がある。

次に、鹿児島県が計測している月別降下火山灰量との対応関係を検討し、係数 A が現実的な値として推定可能であるかを検証した。月毎の全イベ

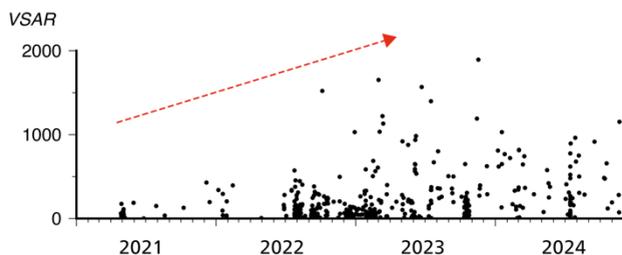


図1. $VSAR$ の時間変化

ントの $vS/\log(\eta)$ 積算値の総和と降灰量の関係を図2に示す。一部の月(図2灰色、2022年9月、2023年10月、2024年7月)では、空振パルスが頻発するイベントが積算値に大きく寄与することがある。空振パルスの連続的な発生は火山灰ではなく火山ガスの放出が卓越する現象を反映しており、 η ではこうしたイベントの噴出流体密度が適切に評価できていないことになる。よって、それらイベントは積算値から除外した(灰色矢印)。図2には、 η が10-100程度の幅を持つ場合に、流体力学的に期待される火砕物と火山ガスのおおよその混合流体密度($\sim 10 \text{ kg/m}^3$, 小屋口, 2008)を説明する A の範囲(10-20)も併せて示す。大まかには期待される A の範囲を仮定することで月別降灰量を説明することができるが、一部に著しく逸れている月もあり、細かな検証が必要である。また対象としている期間が依然限られていることから、現在の南岳の活動が始まった2017年やそれ以前の昭和火口の活動期に拡張し、上記の関係性をさらに検証する必要がある。

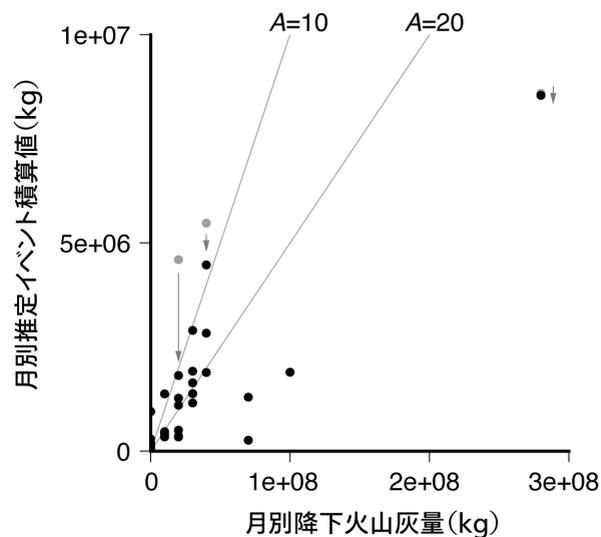


図2. 降下火山灰量との比較