

桜島での落下速度観測に基づくブルカノ式噴火の噴煙からのテフラ粒子の分離重量分布の鉛直プロファイル

Vertical profiles of tephra segregation from Vulcanian eruptions on Sakurajima volcano, Japan, based on settling velocity observations

○瀧下恒星・井口正人

○Kosei TAKISHITA, Masato IGUCHI

We investigate vertical profiles of tephra segregation from Vulcanian eruptions on Sakurajima volcano, comparing mass load data of tephra on 17 disdrometer sites, with values calculated by an advection-diffusion model under three-dimensional and temporally variable meteorological field with three components of wind velocity and air density. Among 39 eruptions in 2018 and 2019 (plume heights ranging from 1000m to 4700m above the vent), we obtain bimodal profiles from many eruptions with precise estimation and unimodal profiles from moderate estimations. Few particles are estimated to segregate around the plume top because the calculation ignored ash fingering and fine particles are not analyzed here. Eruptions with weak wind have difficulty estimating profiles precisely. (111 words)

1. はじめに

火山噴火による降灰量は、風速場と火山灰粒子の粒径から推定される終端速度に基づいて、移流拡散モデルを用いた研究により予測されてきた。このモデルは、火山灰の供給源である噴煙から火山灰粒子が分離して地表に到達するまでの移流、拡散、降下の各過程を考慮して降灰量分布を計算するモデルである。入力パラメータのうち、噴煙高度、火山灰の総重量、風速場、粒径などは観測に基づいて与えられる。

火口周辺の高精度な降灰予測を行うには、観測に基づいた噴煙の高度方向の不均質性に関する知見が不足している。噴煙の高度方向の不均質性を表すパラメータは噴煙から分離するテフラ粒子の重量分布の鉛直プロファイル（以下「鉛直プロファイル」）である。これまで理論的には Suzuki (1983) による関数モデルや Woods (1988) による解析的なモデルが提案され、従来の降灰予測にも使われてきた。観測に基づく先行研究はいずれも大規模なプリニー式噴火を対象としており、事例研究にとどまっている（たとえば、伊豆大島 1983 年噴火 (Mannen, 2014, JVGR)）。小規模なブルカノ式噴火は、高頻度で法則性を研究するのに適しているにもかかわらず、観測手法の限界から対象とされてこなかった。瀧下・ほか (2020, 防災研講演会) は、ディストロメータによる降灰観測に

基づいて、桜島の 6 回のブルカノ式噴火のいずれも上下に 2 つのピークを持つバイモーダルな鉛直プロファイルを推定した。鉛直プロファイル上部のピークは噴火開始直後に爆発的に形成されたきのこ型の噴煙柱上部の傘の部分に、下部のピークはプリニー式噴火でも見られる準定常的に噴出した柄の部分に相当し、噴煙フェーズの変化を反映すると示唆された。本研究では、事例数を増やし、より一般的に示唆される事象なのか検証した。

2. ディストロメータによる観測

使用するディストロメータは OTT 社製の Parsivel2 (Löffler-Mang and Joss 2000, JAOT; Tokay et al. 2014, JAOT) である。粒径と落下速度の検知範囲はそれぞれ 0.25-26mm, 22.4m/s 以下で、それぞれ 30 区間, 32 区間に分けられ、区間の組み合わせごとの粒子数を 1 分毎にサンプリングする。2018 年から 2019 年にかけて、桜島の島内 17 地点において連続的に観測されたデータを使用する。観測結果は線形回帰により得られた経験的な換算式 (Takishita et al., 2022, JVGR) により、落下速度ごとの降灰重量に換算された。また、噴火ごとの噴出量の計算には島内の有村観測坑道で計測された地盤変動の観測結果を用いた。

3. 移流拡散モデルによる計算

計算には移流拡散モデル Tephra2 (Bonadonna et al., 2005, JGR-SE) を改良した粒子群追跡型の移

流拡散モデル Tephra4D (Takishita et al., 2021, Atmosphere) を実装して用いた。Tephra2 は、火山灰粒子の粒径と分離高度を離散化した上で、均質な鉛直プロファイルをもつ噴煙から分離した粒子群を水平一様な風速場において、粒子が落下時に終端速度を取ると仮定して、粒径から見積もられる終端速度を考慮して粒子群重心を追跡し、粒子群の拡散を水平方向へのガウス分布で確率的に与える。筆者らはこれを、粒径分布を観測量である終端速度分布におき替えたうえで、地形を考慮して空間三次元の不均質性と時間変化に対応する気象場（風速場 3 成分、大気密度）および任意の分離高度分布を与えるモデルに発展させた。

4. 解析対象の噴火と解析方法

観測期間中に発生した噴火のうち、降雨がなく噴煙高度が既知で、3 地点以上で降灰が検知された 39 回の噴火を解析対象とする。噴煙高度は鹿児島地方気象台が可視画像から測定した値か、桜島火山活動研究センターがレーダーにより測定した値を用いた。プロファイルの推定にあたり、Suzuki (1983) が提案した分布関数に最大到達高度、鉛直分散パラメータをそれぞれ 5 種類ずつ組み合わせた 25 通りのプロファイルを用意した。さらに、これらから最大到達高度の異なる 2 種類を組み合わせたプロファイルも用意した。これらのプロファイルそれぞれについて、観測点ごとに降灰量を計算し、観測値に対する計算値の比の対数の平均が最小なプロファイルを最適なプロファイルとした。プロファイルは、0.4 から 4m/s までの落下速度区

間を 4 つに区分してそれぞれ推定された。

5. 結果

約 3 分の 2 の噴火で、観測された降灰の検知範囲とおおよそ一致する計算結果が得られた。最も高精度に求められた噴火での結果を図に示す。残差は噴煙高度に依存しない。観測結果との残差が小さく求められた噴火では、バイモーダルな鉛直プロファイルを示す事例が多かった。残差が中程度の噴火では噴煙の中央付近に一つのピークを持つ鉛直プロファイルが目立った。

6. 議論

推定された鉛直プロファイルは、残差の大小に関わらず、噴煙頂近くから分離する粒子は多くなく、本研究の結果からは、先行研究にて示唆された爆発的な噴煙の傘の部分、直接的には捉えられなかったことが示唆された。これは本研究で計測された粒子の落下速度区間と観測点分布が、噴煙の上部ほど多い (例えば、Woods, 1988, BullVol; Costa et al., 2006, EPSL) 細粒粒子を対象としていないことや、粒子の空間濃度が高いときに下降風を形成し、噴煙からカーテン状に高濃度な粒子群が分離する (Freret-Lorgeril et al., 2020, EPSL) 現象を計算にて考慮していないためだと考えられる。間接的な検証のための課題には、落下速度と分離高度分布の関係や、推定可能な高度区間の検討が挙げられる。また、残差が中程度だった事例の多くは、火口付近の風速が小さく、過剰に広がる計算結果を示したため、今後拡散係数を小さくすることで高精度化を目指す。

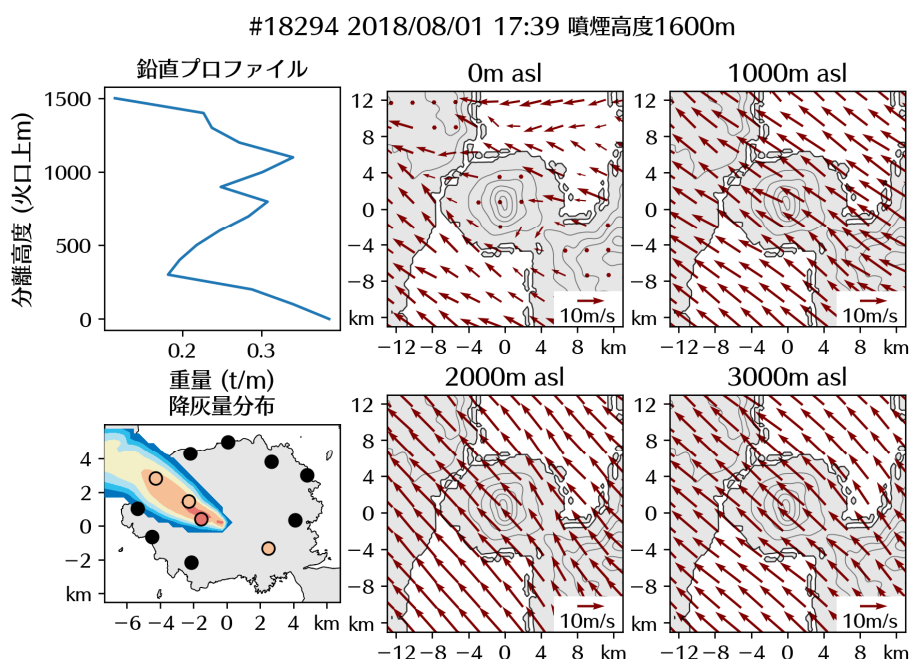


図 2018 年 8 月 1 日 17:39 噴火で推定された分離高度分布、降灰量分布、噴火時の風速場