

桜島火山でのディストロメータによる降灰量のリアルタイム観測 In-Situ Measurement of Tephra Deposit Load Based on the Disdrometer at Sakurajima Volcano

○瀧下恒星・井口正人・Alexandros P. POULIDIS
○Kosei TAKISHITA・Masato IGUCHI・Alexandros P. POULIDIS

In recent years, disdrometers have been used to observe tephra deposit in vulcanian eruptions, but the method to obtain the tephra deposit load by disdrometers has not been determined based on observations. In this study, tephra deposit was simultaneously observed by sample collection and disdrometer measurement, and an empirical conversion formula for the tephra deposit load by disdrometer observation was obtained by comparing the two. Using samples collected during 44 periods, the tephra deposit load per particle for each combination of diameter and settling velocity classified by the disdrometer was calculated by linear regression. The tephra deposit load was obtained by classifying particles with low and high effective densities with the same accuracy as the tephra deposit load based on theoretical particle density with high temporal resolution (127 words).

1. はじめに

ディストロメータは水平方向にレーザーを照射し、照射部を通過した粒子の粒径と落下速度を計測する機器である。自動で時間分解能の高い粒子計測ができるため、小規模なブルカノ式噴火でも1回の噴火の時系列の降下火山灰を計測することが可能であり、近年実地観測が試みられている (Freret-Lorgeril et al., 2019; Kozono et al., 2019 など)。しかし、ディストロメータで降灰量を求める手法は観測に基づいた検証がされていない。そこで本研究では、桜島での降灰サンプル採取の結果に基づいて、ディストロメータの検知結果から降灰量を求めるための経験式を求める。

2. 観測手法

使用するディストロメータは OTT 社製の Parsivel²(Löffler-Mang and Joss 2000; Tokay et al. 2014)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。桜島の島内 13 地点において、ディストロメータの連続観測がされ、そこから 30m 以内の距離でサンプル採取が 2017 年 5 月から 2020 年 6 月にかけて 44 回行われた。

3. 観測結果

44 個のサンプルを 0.25mm のふるいにか

0.25mm 以上が優勢なイベント、0.25mm 以下の粒子が優勢なイベントを抽出した。それぞれの粒子数の粒径-落下速度分布を図 1 に示す。2 つの分布は検知される粒径の最頻値が共通する一方、粒径ごとの落下速度の最頻値には違いが見られ、ディストロメータの粒径区分がサンプル採取における粒径区分とは整合しないことが示唆された。

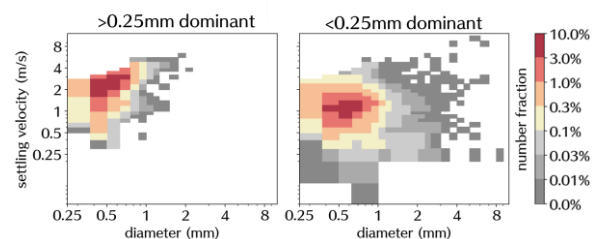


図 1 全てのイベントにおける累計の粒子数の粒径-落下速度分布。

ディストロメータの分類する粒径-落下速度の組み合わせそれぞれにおける粒子重量からなるベクトル θ_s を、まず回転楕円体近似(Suzuki, 1983)により計算した。粒子の体積は粒径ごとに一定とされ、粒子の形状や空隙による重量の差異は実効密度の差異として扱われる。44 回の累計の降灰重量の実効密度分布は、2 つの対数正規分布の足し合わせで近似できた(図 2)。実効密度の高い粒子群、低い粒子群をそれぞれ粒子群 A, B とすると、A はサンプルにおいて 0.25mm 以上と分類され、ディストロメータでもほぼ同じ粒径として検知される

空隙のない粒子で、**B** はサンプルにおいて **0.25mm** 以下と分類される粒子だと考えられる。ディストロメータが仕様上検知しない細粒粒子が検知されたのは、**0.25mm** 以上の凝集粒子として降下した後に着地して崩壊したり、個々の粒子は独立しつつ高濃度で降下した粒子群が一つの粒子と判定されたりしたためだと考えられる。

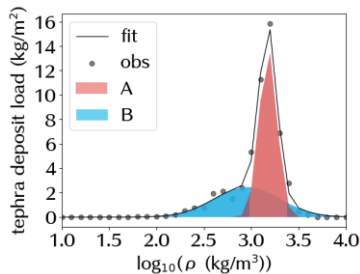


図 2 全イベントにおける累計の粒子重量の実効密度分布と、その対数正規分布による近似。

4. 換算式の導出方法

粒子群 **A**, **B** に対応する降灰量の換算式をそれぞれ求める。各イベントの降灰量からなるベクトル S_{Aj} , S_{Bj} は、ディストロメータの分類する粒径—落下速度の各組における各イベントの粒子数からなる行列 N_{Aij} , N_{Bij} と各組の粒子重量からなるベクトル θ_{Ai} , θ_{Bi} の積で表せる：

$$S_{Aj} = N_{Aij} \theta_{Ai}, \quad S_{Bj} = N_{Bij} \theta_{Bi}$$

ただし、添字 **A**, **B** は粒子群に対応する。この式に観測量として、 S_A , S_B にふり分けられた **0.25mm** 以上、以下の降灰量を、 N_{Aij} , N_{Bij} にディストロメータの観測値を代入し θ_A , θ_B を求める。なお、計算に考慮される組み合わせは、(1) 全イベントにおける累計の粒子数が全体の **0.1%** を超え、(2) 実効密度が図 2 の対数正規分布の **1.5 σ** の範囲内という 2 つの条件を満たす **21 組(A)**, **77 組(B)** である。

5. 求められた換算式と精度の検証

求められた θ_A , θ_B の粒径—落下速度分布を θ_S に対する比として図 3 に示す。 θ_A/θ_S , θ_B/θ_S はそれぞれ最大 **5.7**, **20** となった。ともに計算対象から外れた粒子や濃度が十分でなく検知されなかった細粒粒子の重量を補完するため、 θ_S より大きくなったと考えられる。粒子数分布と比べると、**A** は粒径依存性がより大きく、**B** はおおよそ似た分布となった。**B** において **0.5mm** 以上の粒子の粒径が大きくなるほど倍率が小さくなるのは、高濃度粒子群の濃度が粒径の 3 乗に比例せずより小さく増加するためだと考えられる。

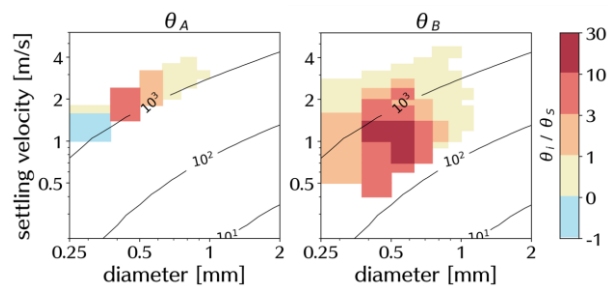


図 3 θ_i の θ_S に対する比。

S_A と S_A+S_B はほぼ全て **10 倍以内** の精度で求められた一方、 S_B は **10 倍以上** の過大事例が目立った。計算値と観測値の対数をとって比較する、二乗平均平方根対数誤差 **RMSR** による残差評価では、 S_A+S_B の計算精度は θ_S に基づく降灰量 S_S と同程度だった(図 4)。検知されない **1g/m²/min** 未満の降灰が長時間続いた場合や、計算対象外である **1.125mm** 以上の粒子が降下した場合に誤差が大きくなることが示唆された。

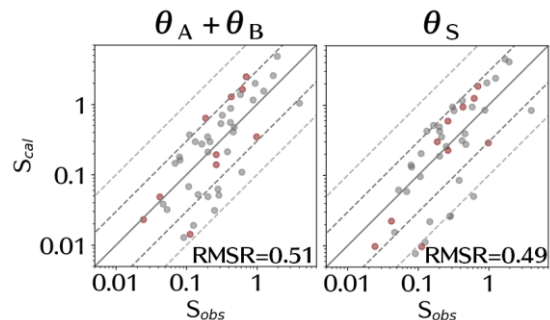


図 4 $\theta_A+\theta_B$ と θ_S からそれぞれ求められた降灰量 (S_{cal}) とサンプルから求められた降灰量 (S_{obs}) の関係。黒点は θ の導出に使われたイベント。

6. 時系列降灰量の計算例

換算式から求められた降灰量を、2 回の降灰イベントにおいて 5 分から 15 分おきのサンプル採取により検証した結果を図 5 に示す。2 回のイベントの降灰量はそれぞれ観測値の **2 倍以内**, **5 倍以内** の精度で求まり、実効密度の低い凝集粒子や高濃度な細粒粒子と実効密度の高い単一粒子を区別しつつ、より高時間分解能に計測できることが示された。

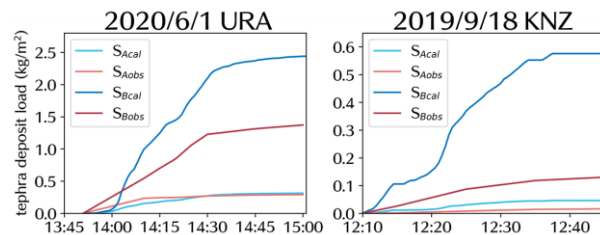


図 5 時系列での降灰量の観測例。