

粒子の凝集を考慮した定量的降灰量推定
Quantitative Radar Ash Fall Estimation Considering Particle Aggregation

○真木雅之・井口正人

○Masayuki MAKI, Masato IGUCHI

The parameters related to weather radar ashfall estimation are investigated using past literature and disdrometer data acquired from Sakurajima volcanic eruptions. It is shown that there are at least two types of terminal velocities of ashfall particles, and therefore the estimation formula for ashfall intensity is different. The difference in the terminal velocity of the ashfall particles may be due to the aggregation of the ashfall particles. Specifically, it is thought that changes in the shape and density of particles due to aggregation change the terminal velocity. In this annual meeting, the effect of aggregation obtained from the statistical analysis of observation data over a period of five years will be introduced.

1. はじめに

111 の活火山を抱え、火山近くに都市が形成されている我が国では、噴火により放出される噴出物は様々な形の被害をもたらす。噴火後、大気中に漂う火山灰は航空機の操縦席窓ガラスへの付着やエンジンの停止を引き起こし重大な事故の原因になる。市街地への降灰は鉄道などの陸上交通を麻痺させ日常生活や経済活動に影響を及ぼす。さらに、呼吸器疾患などの人体への被害をもたらす可能性がある。火山灰によるこのような被害を防ぐためには、噴火現象を監視することに加えて、放出される火山灰の分布をモニターし予測する技術が求められる。

近年、国内外の研究から気象レーダによる降灰モニタリングの有効性が示されて、その多くは降灰粒子を固体粒子と仮定して導き出されたレーダ反射因子 Z_A と降灰強度 R_A の関係式、いわゆる Z_A - R_A 関係式が用いられている。しかしながら、実際の降灰粒子は小さな火山灰粒子が静電気や水によってくっつき合った凝集粒子であることが多い。このため、これまで提案されている Z_A - R_A 関係式は降灰強度を過大評価する。本研究は凝集粒子を考慮した場合の定量的降灰量推定式を求める事である。

2. 凝集粒子の物理特性

(1) 誘電ファクター

気象レーダは、アンテナから大気中に電波を射出し照射したターゲット粒子から受信機に帰って

くる微弱な電力を測定することにより、ターゲット粒子のレーダ反射因子を推定する。そのときに用いられる式がレーダ方程式である。レーダ方程式は様々な前提のもとで導出されている。そのうちのひとつが誘電ファクターで水の値 (0.93) を仮定している。ターゲット粒子が固体の火山灰粒子の場合には誘電ファクターは 0.345 である。粒子が火山灰 (固体) と水の凝集粒子の場合、誘電ファクターは $|K_m|^2 = (0.2366 + 0.7277x)^2(\rho_m)^2$ で表される。ここで、 x は体積含水率、 ρ_m は凝集粒子の密度である。

(2) 積分パラメータ

降灰粒子の空間密度、降灰強度、反射因子は PSD の積分パラメータと呼ばれる。積分パラメータは PSD のモーメントで表される。ディストロメータなどで PSD のデータが得られる場合、PSD の積分パラメータは以下の式で定義される。

$$\text{空間密度: } C_A = \frac{\rho_p \pi}{6} \int_0^{D_{\max}} D^3 N(D) dD$$

$$\text{降灰強度: } R_A = \frac{\rho_p \pi}{6} \int_0^{D_{\max}} D^3 v_t(D) N(D) dD$$

$$\text{反射因子: } Z_A = \int_0^{D_{\max}} D^6 N(D) dD$$

上式からわかるように各種の積分パラメータは粒径分布 $N(D)$ 、粒子の密度 ρ_p 、落下速度 v_t から理論的に計算される。過去の文献から固体の火山灰粒子の密度を 2.51 gcm^{-3} とし、落下速度としてディストロメータの測定から得られた実測値を用いれば積分パラメータ間の関係式を容易に導き出すこ

とができる。しかしながら、火山灰粒子が凝集粒子の場合は密度や落下速度が凝集の程度によって変化することを考慮する必要がある。

(3) 密度

凝集粒子を固体粒子と水との凝集体とすると $\rho_m = \rho_p(1-x) + \rho_w$ である。ここで、 ρ_m 、 ρ_p 、 ρ_w はそれぞれ凝集粒子、固体火山灰粒子、水滴の密度である。凝集粒子中の水が蒸発し空隙が生じたとすると、 x を空隙率として、 $\rho_m = \rho_p(1-x)$ である。

(4) 終端速度

図1はディストロメータで観測された火山灰粒子の二つのタイプ（便宜上、タイプAとタイプBと呼ぶ）の粒径毎の終端速度の頻度分布である。図中の曲線は最小2乗法で求めた終端速度-粒径の回帰曲線である。参考のため理論上考えられる上限と下限の回帰曲線および雨滴の終端速度と粒径の関係曲線も示す。タイプBの落下速度はタイプAの固体粒子の落下速度の約1/2から1/3である。

(5) 降灰量推定式

図2は粒径分布と落下速度から求めたタイプAとタイプBの降灰量推定式である。 Z_A が小さいほどタイプAとBの降灰強度の比が大きいく。 Z_A が10から1600 (mm^6m^{-3})の範囲でタイプAの R_A はタイプBの R_A に比べて約7倍から4倍大きい。

3. まとめ

本研究では、レーダ降灰量推定に関するパラメータについて、過去の文献とディストロメータの観測データを用いて調べた。降灰粒子の終端速度には少なくとも二つのタイプがあり、このために降灰強度の推定式が異なることが示された。降灰粒子の終端速度の違いは降灰粒子の凝集によるものであろう。具体的には凝集による粒子の形状の変化と密度の変化が終端速度を変化させていると考えられる。本稿では典型的な事例についての解析結果を示したが、年次研究発表講演会では5年間の観測データの統計解析から得られた凝集の効果について紹介する。

謝辞

本研究は文部科学省「次世代火山研究・人材育成総合プロジェクト」JPJ005391の助成を受けたものです。

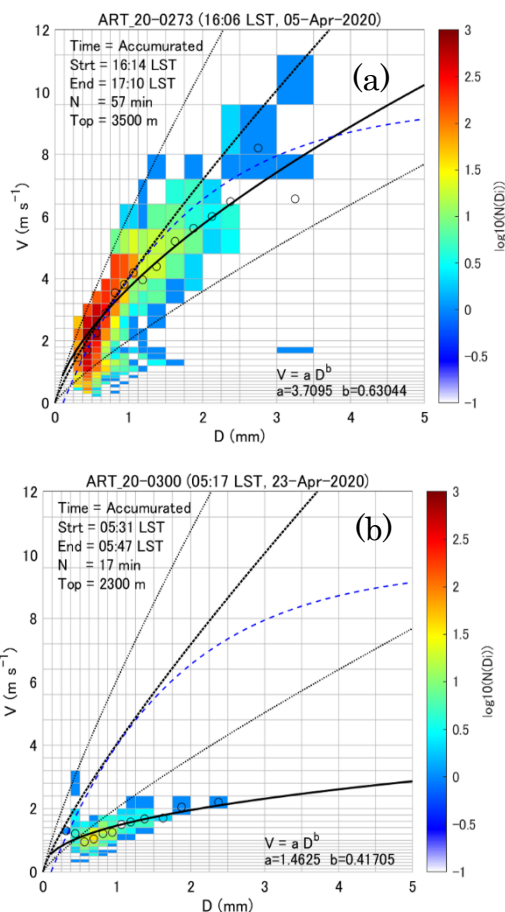


図1 火山灰粒子の終端速度の頻度分布と終端速度-粒径曲線。(a)タイプA（噴火事例：2020年4月5日）、(b)タイプB（噴火事例：2020年4月23日）。観測点は有村坑道。

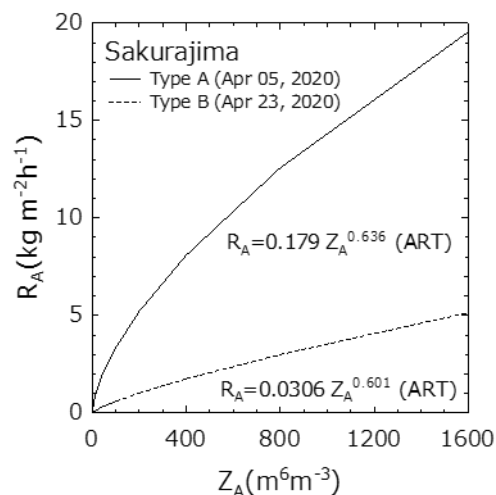


図2 二つのタイプの Z_A - R_A 関係式：(a)タイプA（噴火事例：2020年4月5日）、(b)タイプB（噴火事例：2020年4月23日）。観測点はいずれも有村坑道。