

## パーシベルを用いた桜島産火山噴出物の落下速度に関する実験的測定

### Experimental Measurement on Falling Velocity of Volcanic Ash from Sakurajima Volcano by Using PARSIVEL Disdrometer

三輪学央<sup>(1)</sup>・真木雅之<sup>(2)</sup>・小園誠史<sup>(3)</sup>・藤田英輔<sup>(1)</sup>・棚田俊收<sup>(1)</sup>・井口正人

Takahiro MIWA<sup>(1)</sup>, Masayuki MAKI<sup>(2)</sup>, Tomofumi KOZONO<sup>(3)</sup>, Eisuke FUJITA<sup>(1)</sup>, Toshikazu TANADA<sup>(1)</sup>  
and Masato IGUCHI

(1) 防災科学技術研究所

(2) 鹿児島大学地域防災教育研究センター

(3) 東北大学大学院理学研究科

(1) National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, Japan

(2) Research and Education Center for Natural Hazards, Kagoshima University, Japan

(3) Graduate School of Science, Tohoku University, Japan

### Synopsis

We performed large scale experiment to measure the falling velocity of volcanic material from Sakurajima volcano by using PARSIVEL. The PARSIVEL is laser-optical based disdrometer and measures size and falling velocity of the grains. Volcanic materials from Sakurajima volcano were fallen from 16 m of height, and their size and falling velocity were measured by the PARSIVEL. The experimental results provide the relation between the size and falling velocity as  $v = 5.900D^{0.530}$ . This equation well replicates the experimental results than that in previous studies.

**キーワード:** 火山噴煙, 火山灰, 落下速度, PARSIVEL, 粒度分布, レーダー

**Keywords:** Volcanic cloud, volcanic ash, falling velocity, PARSIVEL, Grain size distribution, Rader

### 1. はじめに

爆発的噴火に伴う火山噴煙の内部では, 様々な粒度の噴出物が様々な速度で動き回り, 巨視的な火山噴煙の挙動を支配している. 従って, 火山噴煙に含まれる噴出物の粒度や落下速度を調べることは, 火山噴煙現象のメカニズムやその後の火砕堆積物形成過程を推定する上で重要である.

気象レーダーによる火山噴煙観測から, 噴煙現象のメカニズムの理解する試みが行われてきた(e.g., Harris and Rose, 1983; 真木・他, 2014). レーダーを

用いることで噴煙内部の噴出物粒度分布を測定することが期待されるが, その場合, 粒度と落下速度の関係式が必要となる. しかし, 火山噴出物の粒度-落下速度の関係を明らかにした研究は少なく, 且つ火山によってその関係が変化することも示唆されてきた(e.g., Harris and Rose, 1983; Wilson and Huang, 1979; Dellino et al., 2005). 従って, 特定の火山を対象とする場合, それに対応した粒度-落下速度の関係を解析に用いることが好ましい.

桜島火山では2006年以降, 昭和火口から活発な噴煙活動を継続している. また, Kaバンドレーダによ



Fig. 1 (Right) Schematic image of the experiment, (Middle) Photo of the experiment, and (Left) PARSIVEL.

る噴煙観測が2014年3月19日から5月24日まで行われるなど(真木・他2014), 桜島火山はレーダーを用いた噴煙観測のテストケースとして有望視されている。

本研究は気象観測に用いられるパーシベル粒度計を応用し, 桜島火山産噴出物の落下速度を実験的に調べる。実験的に得られた粒度-落下速度の関係式は, レーダーによる噴煙内での噴出物粒度分布測定や噴煙現象のメカニズム解明に向けた基礎データとなる。また, 本稿ではパーシベルを用いた降下火山灰の地上リアルタイム粒度観測の可能性も議論する。

## 2. パーシベル

パーシベル(PARSIVEL: OTT社製)は波長780nmのレーザーを利用した粒度分布測定装置であり, 降雨・降雪等の野外気象観測で使用されてきた機器である(e.g., Battaglia et al., 2010)。パーシベルには180mm×30mmの水平平板上のレーザーセンサが設置され, 降下粒子がそのレーザーセンサを通過した際に発生する電圧降下とその継続時間に基づいて, 降下粒子の粒度と落下速度を測定する。パーシベルでは, 粒子の粒度・速度をそれぞれ0.062~24.5 mm, 0.05~20.8 m s<sup>-1</sup>の範囲で, 32クラスに区分して測定するが, 有意な最小検出限界は粒度約0.2 mm, 速度約0.2 m s<sup>-1</sup>である。

パーシベルで得られる粒度-落下速度からは, 試料の粒度分布を調べることが出来る。単位体積・単位サイズ当たりを通過する任意のサイズ区間に含まれる粒子数, すなわち粒子数濃度は以下で計算される。

$$NDat = \frac{n}{v \delta S \delta t \delta d} \quad (1)$$

ここで,  $n$ はあるサイズ区間に含まれる粒子の数,  $v$ は落下速度,  $\delta S$ はレーザーセンサの面積,  $\delta t$ は測定時間,  $\delta d$ はサイズ区間幅である。粒度分布はこの粒

子数濃度 $NDat$ をそれぞれのサイズ区間で計算し, 組み合わせることで計算される。

## 3. 実験方法

防災科研・大型降雨実験施設内において, 約16mの高さから火山灰サンプルを落下させ, パーシベルで火山灰粒子の粒度・落下速度を測定した(Fig. 1)。試料落下の際には, カップ半分程度の試料を約30秒掛けて落下させ, 粒子の分散を促した。測定間隔は1分間とし, 粒子が十分に落下したことを確認した後に次の測定を行った。

測定実験には桜島火山産の火山灰試料を用いた。あらかじめ篩掛けを行い6段階の粒度(0.125~0.25, 0.25~0.50, 0.50~1.0, 1.0~2.0, 2.0~4.0, 及び4.0~8.0 mm)に分けた13個の噴出物試料(粒度既知試料)について3~4回, 計45回の測定実験を行った。

## 4. 結果・議論

既知粒度試料に関するパーシベルでの代表的な測定結果を示す(Fig. 2)。いずれの粒度でも既知粒度を良く反映しているが, 粒度0.125~0.25 mmの試料のみ, 既知粒度よりも若干大きくなる結果となった。これは, パーシベルの有意な最小検出限界が粒度約0.2 mmであるため, 粒度がそれ以下の粒子については上手く検出できていないことに起因する。したがって, 本研究の結果から, パーシベルでは0.2 mm以上の粒子であれば桜島火山産噴出物の粒度を測定可能だと結論できる。Battaglia et al. (2010)は, 粒子形態がパーシベルの測定結果に影響を及ぼすと指摘した。桜島火山産火山灰はブロック状粒子に富み(Miwa et al., 2013), 形態が球形から大きくかい離していないことも, パーシベルでの粒度測定を可能にしている一つの要因であろう。

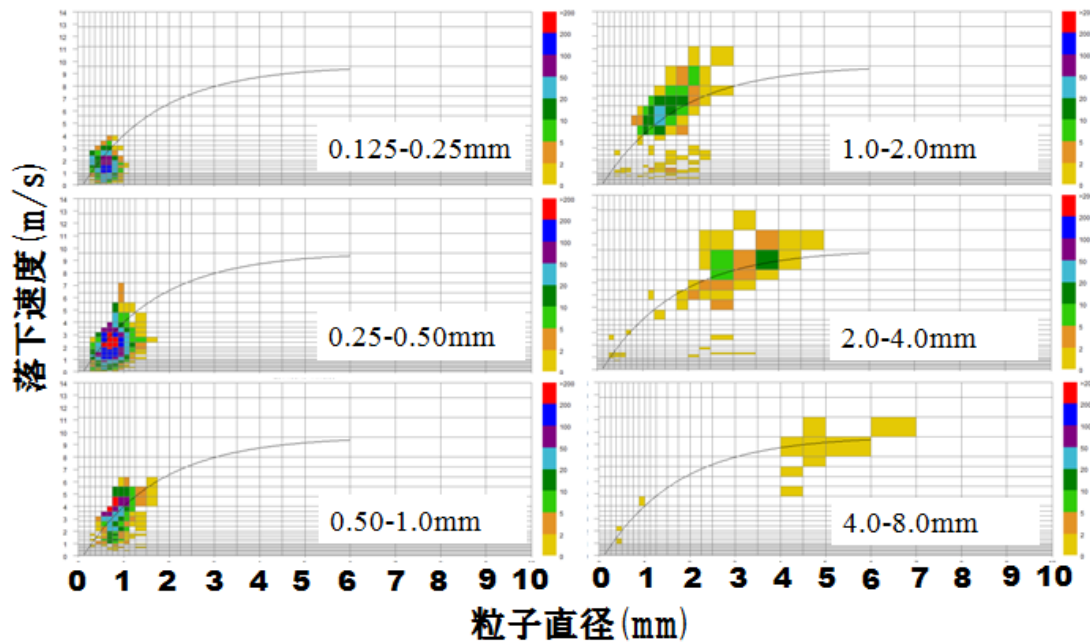


Fig. 2 Representative results of the experiment for grain-size known volcanic materials. Color contour represents number of particles which is included in ranges of size and velocity.

パーシベルの測定結果に基づいて、粒度と落下速度の関係を表す経験式を求めた。まず、粒度 0.125 ~ 0.25 mm の既知粒度試料による実験を除いた測定結果それぞれについて、粒度と落下速度の平均値と標準偏差を計算した。次に、その平均値に基づいた最小二乗法から、粒度-落下速度を表す経験式を求めた。計算の際には、先行研究に従ってべき乗関数を仮定した(e.g., Harris and Rose, 1983)。その結果、以下の経験式が得られた。

$$v = 5.900D^{0.530} \quad (2)$$

この式②と先行研究で得られた火山灰の落下速度式(Harris and Rose, 1983)を比較したところ、式②は粒子の落下速度に関して実験結果をより良く再現できる

ことが分かった(Fig. 3)。また、雨滴粒子に関する Atlas et al. (1973)の経験式と測定結果を比較すると、測定結果の方が速い落下速度を示すことが分かった。これは、桜島火山灰の密度(約 2000 kg m<sup>-3</sup>)が雨滴の密度(約 1000 kg m<sup>-3</sup>)よりも高いことに起因する。

式(1)と本研究による落下速度の式(2)を用いて、粒度既知試料の粒度分布を計算した(Fig. 4)。パーシベルで得られた粒度分布は、既知の粒度をよく反映している。ただし、既知粒度が 0.125 ~ 0.25 mm の試料と 0.25 ~ 0.5 mm の試料で粒度分布のピークがほぼ同じ粒度にある。これは、パーシベルの最小検出限界により、0.125-0.25 mm の試料に含まれるはずの 0.20 mm 以下の粒子を数え落としているためであろう。

以上から、粒度 0.20 mm 以上の粒子が多くを占める試料ならば、天然の降下火山灰においてもパーシ

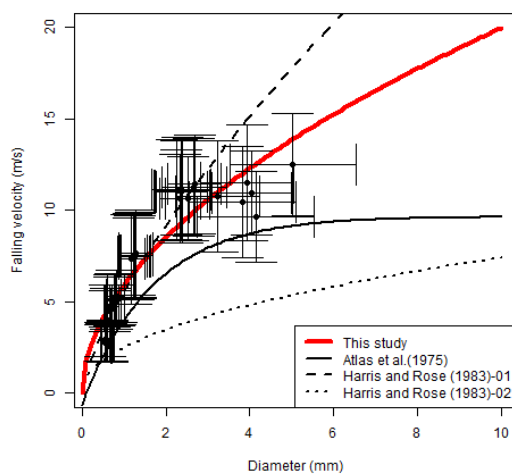


Fig. 3 Grain size and falling velocity

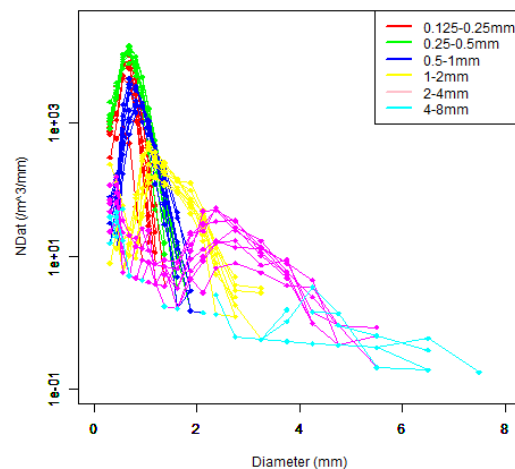


Fig. 4 Grain size distributions

ベルによる粒度解析が有効であると言える。これは、パーシベルが地上での火山灰粒度観測に有用であることを示唆している。

## 5. おわりに

本研究は桜島産火山噴出物の落下速度をパーシベルを用いて実験的に測定した。その結果、 $v = 5.900D^{0.530}$ という関係式が得られた。また、得られた落下速度式から既知粒度試料の粒度分布を調べたところ、パーシベルによる測定結果は既知粒度と調和的であった。野外での粒子観測の実績と、本研究の結果から、パーシベルを用いた地上リアルタイム粒度観測の可能性が示唆される。

## 謝 辞

実験の遂行にあたっては、日本気象協会の皆さんに協力していただいた。また、本研究の遂行にあたって、京都大学防災研究所一般共同研究費（課題番号：25G-11）、防災科学技術研究所運営費交付金を使用した。記して感謝の意を表す。

## 参考文献

真木雅之・井口正人・藤田英輔・前坂剛・出世ゆかり・小園誠史・桃谷辰也・山路昭彦（2014）、気象レーダによる桜島火山噴煙の観測、日本火山学会2014年秋季大会講演予稿集、C1-09。  
Atlas, D., Srivastava, R. S. and Sekhon, R. S.

(1973): Doppler radar characteristics of precipitation at vertical incidence, *Rev. Geophys. Space Phys.*, Vol. 11, pp.1-35.

Battaglia, A., Rustemeier, E., Tokay, A., Simmer, C. and Blahak, U. (2010): PARSIVEL snow observations: A critical assessment, *J. Atmos. Oceanic Technol.*, Vol. 27, pp. 333-344.

Dellino, P., Mele, D., Bonasia, R., Braia, G., La Volpe, L., and Sulpizio, R. (2005): The analysis of the influence of pumice shape on its terminal velocity, *Geophys. Res. Lett.*, Vol. 32, L21306, doi:10.1029/2005GL023954.

Harris, DM., and Rose, WI. (1983): Estimating particle sizes, concentrations, and total mass of ash in volcanic clouds using weather radar, *J. Geophys. Res.*, Vol. 88, pp. 10969-10983.

Miwa, T., Geshi, N., and Shinohara, H. (2013): Temporal variation in volcanic ash texture during a vulcanian eruption at the Sakurajima volcano, Japan, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, Vol. 260, pp. 80-89.

Wilson, L., and Huang, TC. (1979): The influence of shape on the atmospheric settling velocity of volcanic ash particles, *Earth Planet. Sci. Lett.*, Vol. 44, pp 311-324.

（論文受理日：2015年6月11日）