

パーティクルカウンティングライダーによる浮遊火山灰の遠隔粒径分布計測

清水 幸樹, 阿保 真

東京都立大学システムデザイン研究科 (〒191-0065 東京都日野市旭が丘 6-6)

Remote measurements of volcanic ash size distribution using the particle counting lidar

Kouki SHIMIZU and Makoto ABO

Tokyo Metropolitan Univ, 6-6 Asahigaoka, Hino, Tokyo 191-0065

Abstract: The numerical simulation for volcanic ash diffusion prediction requires an assumption of the ash particle size distribution as a default value, but the current particle size distribution measurement of volcanic ash is limited to ground measurement. In this study, we developed the particle counting lidar for remote measurement of the particle size distribution of fallen volcanic ash. This lidar can count large particle number remotely comparing the received single shot signal with 10-shots averaged signal. We succeeded in measuring the particle size distribution of volcanic ash released from Sakurajima volcano.

Key Words: lidar, volcanic ash, particle counts, size distribution

1. はじめに

火山の噴火によって放出される火山灰は広範囲に拡散し、航空機、農業、人体に影響を与える。これらの影響への事前・事後の対策が行えるように、火山灰の拡散シミュレーションによる予測が行われているが、これには初期値として粒径分布の仮定を必要とする¹⁾。しかし、火山灰の粒径分布計測はパーティクルカウンタやディストロメータなどの地上計測に限られているため、浮遊火山灰の情報は得られない。そこで、本研究ではパルスレーザを用いた浮遊火山灰の粒径分布の遠隔計測を目的とし、本研究室で提案しているパーティクルカウンティングライダー方式²⁾での運用が可能で可搬型ライダーを開発し、桜島において実際の降下火山灰の観測を試みた。

2. パーティクルカウンティングライダーの原理

一般的なミー散乱ライダーは一定時間の受信信号強度の平均値をとることで体積後方散乱係数を求めている。測定体積中に粒子径の異なる多くの粒子が存在するため、粒子の個数密度を推定するためにはその粒子の粒径分布の仮定が必要となる。一方、本研究で用いたパーティクルカウンティングライダーでは、高繰り返しパルスレーザを用いて、Fig.1 に示すようにその受信信号波形を1ショットずつ記録し、直前10パルスの平均値を大きく超えるスパイク状の信号(図の500m付近)をカウントする。スパイクの信号強度から粒子の大きさの情報が得られるためカウントした粒子数を測定体積と測定パルス数で割り、信号強度に対してヒストグラム化することによって粒子個数密度の粒径分布が得られる。

パーティクルカウンティングライダーでは距離 r にある粒子1つからの受信エネルギー $E_p(r)$ は以下のライダー方程式で与えられる。

$$E_p(r) = C \frac{1}{r^2} \frac{\sigma_p(r, \lambda)}{S(r)} \tau(r)^2 \quad (1)$$

ここで、 C は装置定数、 σ_p は粒子の散乱断面積、 $S(r)$ はレーザビームの断面積、 $\tau(r)$ は大気透過率である。受信強度は粒子散乱断面積とビーム断面積の比で決まり、ビーム断面積を小さくすると一般的なミー散乱ライダーに比べて個々の粒子からの信号が大きくなるという特徴がある。

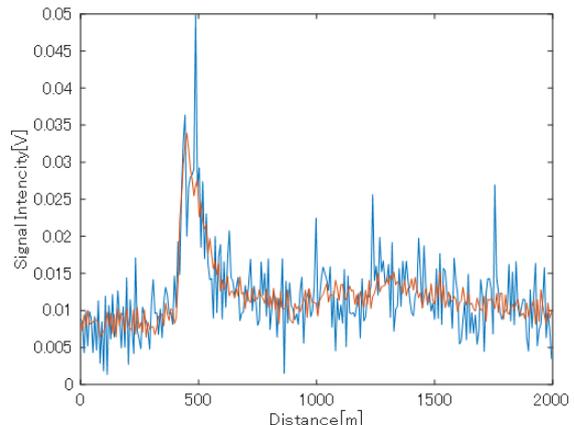


Fig.1 Example of single shot signal (blue) and 10-shots averaged signal (red) detected by the particle counting lidar.

3. 可搬型パーティクルカウンティングライダー

開発した可搬型パーティクルカウンティングライダーの主な仕様を Table.1 に示す。検出器には APD を用い、12bit のデジタルオシロスコープで電圧値を記録する。また装置は、ポータブルバッテリー並びに発電機で動作可能で、Fig.2 に示すようにバン型自動車に積載して移動可能なため、火山灰の観測では当日の風向に合わせた観測地を選ぶことができる。

本装置を用いて 2020 年 3 月 13~15 日、鹿児島県桜島において観測を行った。観測場所は Fig.3 に示す火口から約 3km の地点で、火山より放出された降下火山灰粒子からの信号の測定に成功した。

Table.1 Parameters of the particle counting lidar

Wavelength	1064 [nm]
Single pulse energy	0.5 [mJ]
Pulse repetition frequency	22 [kHz]
Beam diameter	7.5 [mm]
Telescope diameter	20 [cm]
Range resolution	7.5[m]



Fig.2 Developed portable particle counting lidar.



Fig.3 A map of Sakurajima volcano showing the lidar site and the observation direction. ³⁾

4. 火山灰の粒径分布の導出

Fig.4 に 3 月 13 日の実際の観測によって得られたデータの平均値の一例を示す. 4.3km 付近に存在するスパイク状の信号は山の斜面からの信号である. 観測は噴煙の根元の火口方向に向けて仰角約 15° で行った. この日の観測では火口より黒色の噴煙が断続的に放出されており, 観測地点でも目に見える降灰が確認できた.

粒子からの散乱信号の検出は, 直前 10 パルスの平均値より 15mV 以上大きなスパイク状の信号をカウントし, 距離 2 乗補正を施して散乱断面積に比例する量を求めた. 粒子を多く含む距離 457.5~825m の範囲のカウント数をヒストグラム化した結果を Fig.5 に示す. 測定時間は 5 秒間で, 110 万ショットのデータをカウントしている. 個数密度はカウント値を測定した総体積 (観測体積 × 測定回数) で割ることで求め, 横軸の粒径は事前に本学(東京都日野市)で行った雨滴のライダー計測結果とディストロメータのデータとの対応から求めた補正係数を用いた.

5. まとめ

本研究では, 火山灰の粒径分布を遠隔に計測する可搬型パーティクルカウンティングライダーを開発し, 桜島火山での降下火山灰の粒径分布計測に成功した. しかし, ビーム広がりによる測定距離の限界や信号とノイズとの分離, 信号強度と火山灰の粒径の対応補正値の検討などの課題が残っている. 今後, 測定体積を小さくし測定感度を上げるためのビーム集光や, ディストロメータによる火山灰の計測値との比較を行う予定である.

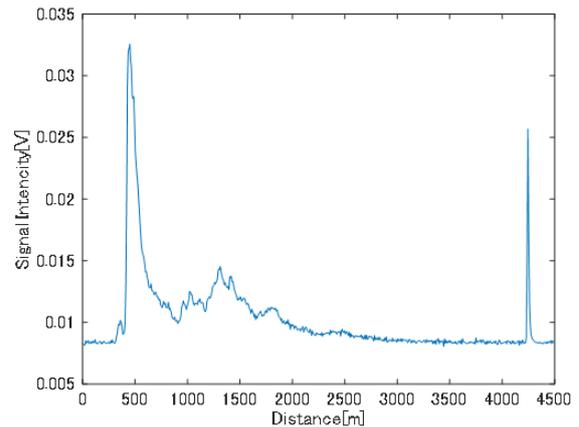


Fig.4 Averaged lidar signal at 15° elevation. A narrow peak at 4.3km is backscattering from rock face. (2020/3/13 11:50-11:55)

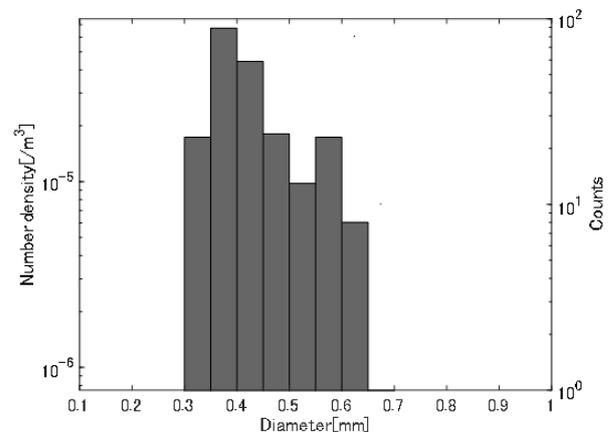


Fig.5 Calibrated size distribution of number density (left axis) and counts of volcanic ash (right axis) observed by the particle counting lidar. Count range is 457.5~825m. (2020/3/13 11:50-11:55)

謝辞

本研究は JSPS 科研費 (18K18925) の助成を受けた.

参考文献

- 1) 新堀 敏基:エアロゾル研究, **30** (2015) 168.
- 2) 茂木 達也, 阿保 真:日本火山学会講演予稿集 **2014** (2014) 123.
- 3) 国土地理院ウェブサイト, 地理院地図 (<http://maps.gsi.go.jp/>) を加工して作成.