

ドローンを用いた上空の火山灰および気象場の観測 Observation of Volcanic Ash and Atmospheric Fields Using Drones

○山路昭彦・呉映昕・井上実・佐々木寛介

○Akihiko YAMAJI, Ying-Hsin WU, Minoru INOUE, Kansuke SASAKI

In recent years, drones have been utilized in observing atmosphere aloft for various purposes. This study reports our 2-year observation campaigns using drones and Doppler LiDAR in Sakura-jima Volcano to measure temporal vertical profiles of volcanic smoke as well as to evaluate the observability of wind turbulence. The results show that the SO₂ concentration reach 3 ppm in the lower atmospheric layer, and the volcanic ash concentration has maximum values in the altitude from 600 to 900m that implies the flowing of volcanic smoke down from the volcano crater by southerly wind. The wind turbulence intensity derived by drone observation is in good agreement with the one by LiDAR. Observing turbulence intensity was confirmed to be possible by drones with hover of about 3 minutes.

1. はじめに

近年、ドローンは様々な分野での活用が期待されており、ドローンを用いた上空の大気観測についても研究が進んでいる。本研究ではこれらの成果を踏まえドローンによる火山噴煙の立体観測と風の乱流強度の観測可能性の検討を行った。

2. 観測方法

観測に使用したドローンは、6枚のプロペラを有するマルチコプター (SPIDER CS-6; ルーチェサーチ) である。機体の中心上部に高さ45 cmのアルミポールを設置し、その上端に超音波風向風速計 (FT-205 ; FT TechnologyまたはTriSonica Mini ; Anemoment) を、直下にPMセンサ (Pocket PM2.5 Sensor ; ヤグチ電子工業) を搭載した。また、温湿度センサ (iMet-XQ2 ; InterMet Systems)、ガスセンサ (QRAE3 ; RAE Systems)、データロガー及びバッテリーをドローン上面に装着したアルミ製のデッキに収納した (表1、図1)。フライト方法には観測地点の直上の指定高度で一定時間ホバリングして計測する方法と指定速度で上昇または下降しながら計測する方法の2通りを採用した。フライト高度は最大で1000 mまで、1回のフライトは15~25分間である。計測要素は、気圧、気温、湿度、風向風速、ガス濃度 (SO₂、H₂S)、PM_{2.5}、PM₁₀で、計測間隔は、風向風速が0.1秒、その他が1秒である。

ドローンで計測された風向風速と比較するため、ドップラーライダー (DIABREZZA W ; 三菱電機) を離着陸地点に設置し、上空45~330 mを15 m間隔

表1 ドローンの諸元

項目	内容
外形寸法	950×950×400 mm
機体重量	3800 g
ペイロード	4000 g
プロペラ枚数	6
飛行可能時間	最大 25 分間
運用可能高度	1000 m 以上



図1 ドローンの外観

表2 観測期間及び観測内容

観測期間	フライト数		火山灰 ガス	LiDAR
	ホバリング	上昇・下降		
2021/9/27~30	18	3	—	○
2021/11/15~18	18	6	—	○
2022/6/28~29	0	11	○	—

で 20 高度、2 秒間隔で風向風速の計測を行った。

観測地点は鹿児島県桜島の火口の東西南北 4 か所の候補の中から観測日の風向等からその都度選定した。観測期間と内容は表 2 に示すとおりで、2021 年はドップラーライダーとの風速場の比較、2022 年は火山ガス、火山灰の計測を主に実施した。

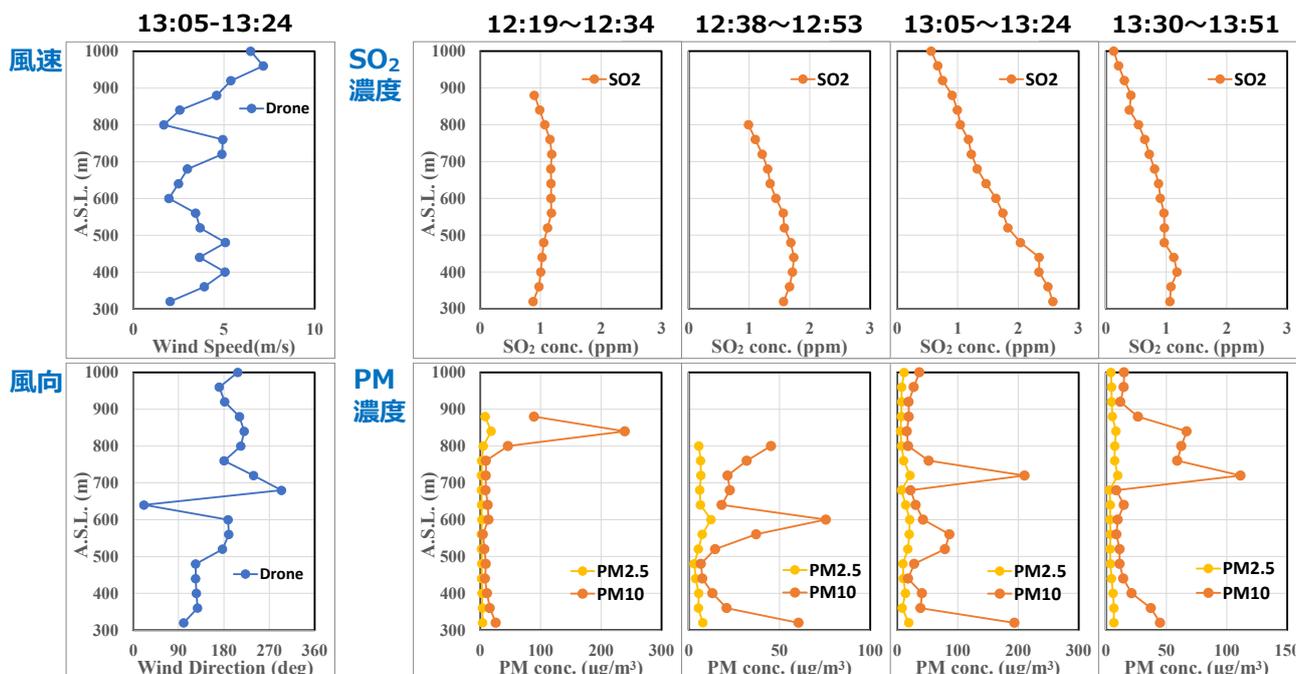


図2 風向風速、火山ガス（SO₂濃度）及び火山灰（PM濃度）の鉛直プロファイル（2022年6月28日）

3. 観測結果

(1) 火山ガス及び火山灰の観測結果

火口の北側にあたる松浦地点（標高318 m）において2022年6月28日に観測された風向風速、火山ガス及び火山灰の鉛直プロファイルを図2に示す。この日は午前1時過ぎに噴火が発生し、地上には火山灰が数センチ堆積していた。図は上昇時のドローンの観測値を高度40 m毎にその上下20 mの平均値を算出してプロットしたものである。

風速は最大で5 m/s程度、風向は南～南東となっており、SO₂濃度は上層まで1 ppmでほぼ一定だった期間初めの状況から13時頃まで地上側を中心に3 ppm程度に増加しその後減少した。H₂Sは検出限界の0.1 ppm以下であった。火山灰濃度（PM₁₀）は、標高600～900 mで極大となっており、南風によって火口から噴煙が流入したものと考えられる。

(2) 平均風速及び乱流強度の観測結果

ドップラーライダーの観測を行った2021年のホバリング事例（36事例）を対象として風速の比較を行った。ホバリング時間は3～10分間でまちまちであることから、ここでは3分間に揃えて平均風速、乱流強度を求めた。乱流強度は風速の標準偏差を平均風速で除したものである。参考文献よりドローンの風速値については旋回風のバイアス値を+0.5 m/sとして補正した。結果は図3に示すとおりで、平均風速はドップラーライダーとよく一致し、乱流強度も概ね一致した。3分間程度のホバリングで乱流強度の観測が可能であると考えられる。

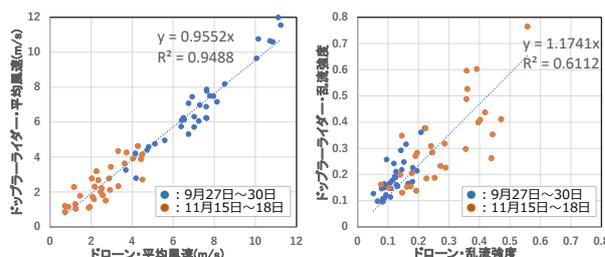


図3 ドローンとドップラーライダーによる風速の比較（左図：平均風速、右図：乱流強度）

一方、上昇・下降しながら計測した9事例では、平均風速の鉛直プロファイルの変化傾向は概ね一致したが下降時には過大となった。乱流強度は傾向が大きく異なる事例がみられた。

4. まとめ

ドローン観測により火山ガス濃度、火山灰濃度の鉛直プロファイルの時間変化を捉えることができた。また3分程度ホバリングすれば乱流強度を概ね観測できることが確認できた。今後は噴火時を含む観測データの蓄積と精度の評価が必要である。

参考文献

佐々木寛介・志村智也・井口正人・井上実 (2020): ドローンによる上空の風観測手法の検討, 京都大学防災研究所年報, Vol.63(B), pp.282-290.

謝辞

本研究は文部科学省の次世代火山研究・人材育成総合プロジェクトの助成を受けて実施しました。ここに謝意を表します。