

桜島における連続化降灰予測シミュレータの運用 Operation of continuously operable simulator for forecasting deposition of volcanic ash at Sakurajima

○井口正人・瀧下恒星

○Masato IGUCHI, Kosei TAKISHITA

At Sakurajima volcano, Vulcanian eruptions have been frequently repeated at the summit crater of Minamidake since 1955. We propose a simulator of advection-diffusion-fallout of volcanic ash emitted continuously. The integrated value of the volcanic ash deposition on the ground obtained from each individual simulation is used to estimate the value of the ash fallout. We confirmed that an individual simulation can be completed within a few minutes of iteration interval time, using FALL3D-8.0 as on a general-purpose PC. We implemented the continuously operable simulator to volcanic eruption of Sakurajima volcano.

1. はじめに

桜島火山では1955年以降、南岳の山頂火口あるいはその東の昭和火口の山頂域においてブルカノ式噴火が繰り返されている。また、ストロンボリ式噴火や連続噴火の発生も見られる。これらの噴火様式は火山灰の放出を主体とする噴火活動であり、1970年代から1990年代初頭には年間1000万トンを超える火山灰が放出された。桜島の周辺においては降灰による被害が発生し、農業被害額は年間50億～90億円に達した。また、交通インフラへの影響は道路、鉄道、航空路に及んだ。

桜島においては、従来、瞬間的に噴煙を放出するブルカノ式噴火の発生が注目されてきたが、ブルカノ式噴火後にも火山灰が長時間にわたり噴出することもあること、爆発的ではないものの数時間以上にわたり火山灰を放出する連続噴火はより多量の火山灰の放出することから、火山灰の移流・拡散・降下の予測には、火山灰の噴出率を連続量として取り扱い、火山灰の移流・拡散・降下のシミュレータを連続的に稼働させる必要がある。本稿では、火山灰の火山灰の移流・拡散・降下予測の連続化のための設計とそれを桜島の噴火活動に対して実装した結果について述べる。

2. 連続化シミュレータの設計

火山灰の移流・拡散シミュレータは様々なパラメータを含むが、降下火山灰量の空間分布に最も大きな影響を与えるのは、火山灰の噴出量と風速場である。準リアルタイムで連続的にシミュレー

タを稼働させるためには、火山灰の噴出量と風速場を連続的に与え続ける必要がある。風は大気の循環であるので、元々、風向・風速は連続量である。一方、火山灰量は噴火イベントごとの量として扱われてきた。これを連続量とするため、Iguchi (2016) の手法により火山性微動および地盤変動データを単位時間当たりの噴出量の時間関数に変換した。

火山灰移流拡散の連続化シミュレーションシステムの概要を図1に示す。このシステムでは、移流拡散シミュレーションのエンジンとしてFALL3D-8.0 (Folch et al., 2020) を用い、計算を一定間隔で繰り返す。そのために、噴出率の時間関数をシミュレーションの繰り返し時間間隔で離散化した値を噴出率として扱い、継続時間はシミュレーションの繰り返し時間間隔とする。個々

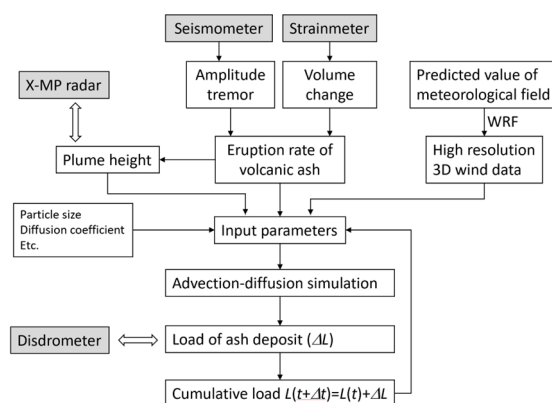


図1 火山灰移流拡散の連続化シミュレーションシステム

のシミュレーションから算出される降灰量を位置毎に加算して、降灰量積算値の空間分布を求める。

火山灰噴出率の時間関数は、有村観測坑道（南岳山頂から 2.4 km）における地震動と火口方向および直交方向のひずみ変化から計算される 1 分ごとの火山灰放出量である。火山灰放出量から噴煙高度を経験式により算出し、火口直上から噴煙頂部の高度まで火山灰を配置する。噴煙の拡散効果を考慮しつつ、風速場の予測値をもとに移流と火山灰粒子の重力降下を計算し、地上降灰量を求める。

シミュレーションにより得られた地上降灰量は、ディストロメータによる火山灰粒子のカウントと照合できる。ディストロメータは粒径・落下速度クラスごとの火山灰粒子数を観測でき、これらのデータから降下火山灰重量を見積もることができる (Takishita et al., 2021)。ディストロメータは降灰量の連続観測を可能とするので、シミュレーションにより得られた降灰予測値の検証に用いることができる。桜島においては 21 台のディストロメータが稼働しており (図 2)、あらゆる火山灰の流向に対して対応できる。

3. 噴煙高度

有村観測坑道において、5 ナノストレイン以上のひずみ変化が検知され、ひずみ変化の継続時間が 5 分以上続いた爆発は 4763 回発生している。圧力源モデルとして微小球状圧力源を仮定して、南岳火口方向とそれに直交する方向のひずみ変化から圧力源の深さと体積変化量を求めた。体積変化量を質量に換算し、ひずみ変化の継続時間で割ったものを平均噴出率とした。噴出率と噴煙高度との間には正の相関が認められる。噴煙高度 (H) には噴出率 (\dot{M}) に依存する上限が認められ、上限の直線は以下のように決められる。

$$H = 400\dot{M}^{1/4} \quad (2)$$

4. 風速場

火山近傍の風速場は、地形の影響を強く受けることが知られている (Poulidis et al., 2017)。これに倣い、領域気象モデル WRF Version 4 (Skamarock et al. 2019) を用いて気象モデルから高精細化した風速場を用いた。WRF モデルの計算において、一番外側の領域を Domain 1、内側に

Domain 2 をネストさせて領域設定した。Domain 1 と 2 の水平格子幅は、それぞれ 2000 m および 500 m とし、これらの計算領域での乱流混合のパラメタリゼーションには境界層スキームを用いた。また、鉛直方向の格子間隔は下層ほど細かくし、上層ほど粗くした。このようにして、2018 年から 2019 年の JMA メソ気象モデルから WRF によって高精細化したデータベースを作成した。連続シミュレーションにおいては、リアルタイムで得られる風速場予測値と最も類似した過去風速場を検索し、それに対応する高精細化風速場を用いた。

5. 連続化シミュレータの運用結果

連続化シミュレータの画面を図 2 に示す。シミュレーションは 6 分ごとに繰り返され、指定した時間内の予測降灰量を自動的に表示し、噴火活動の推移に応じて、予測降灰量を更新していく。また、ディストロメータ観測から得られた降灰量との比較も可能としている。

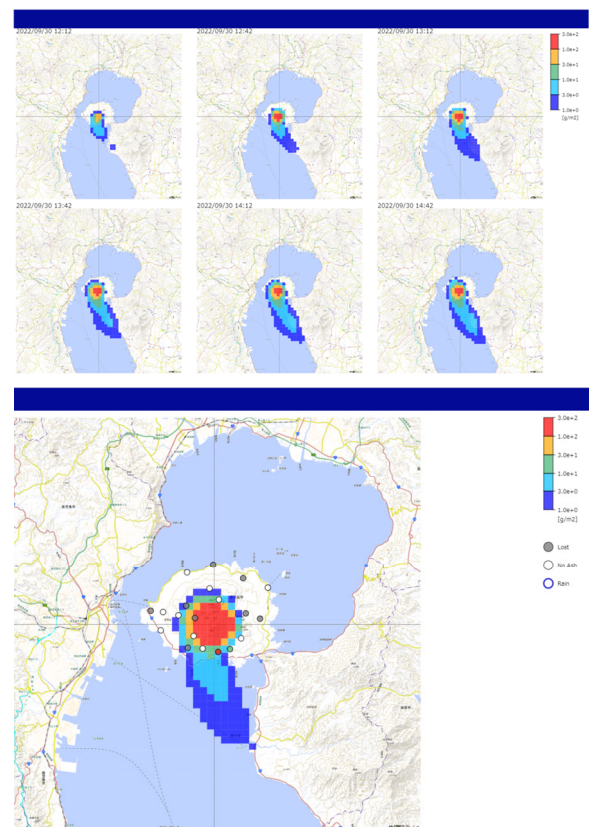


図 2 連続化シミュレータの画面。上図は降灰量予測の時系列、下図はディストロメータ観測から得られた降灰量との比較。○はディストロメータの位置を示す。