

桜島ブルカノ式噴火の確率的噴火予測における検証と改良
Validation and Improvement of Probabilistic Eruption Forecast
for Vulcanian Explosions at Sakurajima Volcano

○石井杏佳・井口正人

○Kyoka ISHII, Masato IGUCHI

Vulcanian explosions at Sakurajima volcano have caused ashfall in residential areas around the volcano. Therefore, it is necessary to forecast ashfall based on the forecasts of volcanic explosions and wind fields. We are trying to validate a probabilistic method to predict the timing and size of the repetitive explosions using ground deformation data. We applied the method to an explosion that occurred on Feb 14, 2024, and extracted the existing issues of our forecast method. The most noteworthy issue is that it is challenging to constrain the timing of an explosion in the case that precursor ground deformation lasts longer than the typical duration (~ one hour). We also report the additional analysis of ground deformation data to improve time prediction accuracy.

1. はじめに

桜島では活発なブルカノ式噴火にともなう降灰が住民にとって身近なハザードであるため、噴火予測や降灰予測のニーズが高い。Ishii & Iguchi (2024, JVGR) では、ブルカノ式噴火に前駆したマグマの貫入による地盤変動記録を精査し、その統計的性質を用いて、噴火の時刻と規模を確率的に予測する手法を提案した。これは、噴火前の膨張継続時間や膨張量の分布が Log-logistic 分布で近似できることを利用して、噴火確率を算出するものである。膨張が検知され始めたら、噴火の時刻と規模を予測し、さらにその予測値をインプットとして降灰シミュレーションを行うことで、噴火発生前の降灰予測が可能になる。しかし、予測の信頼度を十分なものにするには、まだ課題が残る。本発表では、本手法を 2024 年 2 月 14 日に桜島で発生した噴火の地盤変動記録に適用した例を紹介し、課題の抽出を行う。また、手法改良へ向けた地盤変動記録の再解析についても報告する。

2. 噴火予測手法の検証例

噴火予測は、以下の手順で行う。桜島島内にある有村観測坑道のひずみ記録において、膨張が検知され始めた場合、膨張継続時間の確率関数を用いて、現時刻以降の 4 時刻で噴火する確率を求める。リアルタイムで得られるひずみ記録を各時刻まで外挿して膨張体積を算出し、その 1/5, 1/2, 1, 2, 5 倍が噴火時の収縮体積と仮定する。これら 5 ケースの発生確率を収縮率 (=収縮体積/膨

張体積) の確率関数から計算し、噴火時刻 4 ケースの確率と掛け合わせて計 20 ケースの確率を得る。膨張検知システムの仕様上、ひずみの直交成分の総変動量が 13 nstrain 以上でなければ検知されないため、今回はこの条件を満たす過去事例 (2017 年 11 月~2020 年 12 月の南岳爆発) のみを用いて確率関数を推定し、予測を行った。

例として 2024 年 2 月 14 日に南岳 (B 火口) で発生した噴火について、膨張開始時刻からの予測結果を追跡した。この噴火は、2021 年以降の噴火の中では最高となる 5000 m の噴煙高度を記録した。噴火発生の約 1 日前の 2 月 13 日 17 時過ぎから膨張し始め、翌 14 日 6:59 に噴火 (噴煙高度 2000 m、A 火口) をするものの、膨張は解消されず 14 日 18:33 に噴火が発生した。膨張開始から 6 分ごとに噴火確率を計算したところ、噴火による収縮体積はやや過小評価ながらもオーダーとしては概ね予測できていた。一方、噴火時刻は、膨張開始以降のほとんど全ての時間で「今すぐ噴火する確率が最も高い」状態にあった。このため、結果的には噴火発生直前の予測が当たったが、1 日近く切迫度の高い状態が続いたことになる。

3. 現予測手法の課題

上記の結果より課題として大きく次の 2 点が挙げられる。まず、噴火による収縮体積の予測が過小評価になっている点である。これは、今後検証事例を増やしつつ、収縮率の確率分布を調整することで、ある程度解消可能であると考えられる。

2 つ目は噴火確率の最も高い時刻が常に現時刻になってしまう点である。これは、典型的な噴火の膨張継続時間が1時間未満であるために、今回取り上げたような膨張継続時間の長い噴火になるとうまく評価できなくなってしまうことが原因である。降灰量が多く規模の大きな噴火は膨張継続時間が長いことが多いため、この課題は見逃げせない。しかし、現在の手法を用いる限り解決は難しく、別の評価指標を取り入れる必要がある。したがって、以下では予測時刻の高精度化のために、地盤変動記録の特徴を再解析する。

4. 予測時刻の高精度化に向けた地盤変動解析

4.1 噴火直前のひずみ変化の停滞

桜島のブルカノ式噴火直前の地盤変動の特徴として、噴火直前に山体の膨張が停滞（あるいは収縮）することがこれまでに報告されている(Iguchi et al., 2013; Tameguri & Iguchi, 2019)。したがって、ひずみの変化率をモニタリングし、変動が停滞し始めたら噴火が近いと評価できる可能性がある。そこで、有村観測坑道のひずみ記録（直交成分）に着目し、膨張開始から噴火までの変動がどのような関数であるかを調査した。関数形状の判定指標として、面積比ARを導入した。これはひずみデータの時間積分値と[膨張継続時間×ひずみの総変動量/2]の比として定義される。ARが1を超えるとひずみ変動の関数形は上に凸、1未満だと下に凸であることを簡易的に判定できる。2017年11月～2020年12月までに南岳で発生した噴火のうち、膨張継続時間が1時間を超えるイベントに対して判定処理をした結果、76%のイベントで上に凸を示した。つまり、多くのイベントでひずみが加速度的に増加することはなく、噴火の発生が近づくにつれて徐々にひずみの変化率が低下していくと考えられる。ここで、ひずみの変化率が0.1 nstrain/min以下であれば変動が停滞していると定義すると、およそ3分の1のイベントで噴火前に停滞状態になり、その後100分未満で噴火が発生していることがわかった。したがって、停滞判定になった場合に、より噴火の切迫度が高いと評価できる。

前項で取り上げた2024年2月14日の噴火に対して、ひずみの変化率を計算すると、噴火前には停滞判定を示していた。しかし、膨張開始から88%の時間で停滞判定が出ており(1516分中1333分)、

必ずしも噴火発生直前だけではなかった。ただ、噴火発生直前のひずみ変化率は-0.1 nstrain/min未満に達しており、この値にまで小さくなるのは噴火直前の9分間を含む79分間（全膨張時間の5%）だけであった。したがって、噴火の切迫性の評価の基準とするひずみ変化率の値を適切に決定することができれば、もう少し噴火時刻の予測精度が向上する可能性がある。

4.2 平均膨張レートと膨張継続時間の関係

次に噴火開始から噴火までの平均膨張レートと膨張継続時間の関係を調べた。平均膨張レートと膨張継続時間は対数軸上で緩やかな正の相関があり、膨張レートが大きいほど早く噴火する傾向にあった。ただし、同程度の膨張レートでも継続時間にはある程度のばらつきがあり、これは確率的に評価すべき点かもしれない。

また、平均膨張レートの値は時期によって変化しており、活動度の高い（噴火回数が多い、降灰量が多い）時期には膨張レートが大きくなる傾向が見られた。したがって、活動度に応じて膨張継続時間の確率関数を変えることで、時刻予測精度が改善されると考えられる。現在確率関数として使用しているLog-logistic分布は μ （分布の中央値）と k （分布のばらつき）の2つのパラメータによって分布が決まるが、活動度が高い時期ほど μ が小さく k が大きくなる傾向にある(Ishii & Iguchi, 2024)。前述の2024年2月14日の噴火は比較的活動が低調な時期のイベントであったため、現在の確率関数では膨張継続時間を過小評価している可能性がある。

5. まとめ

本研究では、地盤変動データの統計的性質を用いた確率的噴火予測手法の簡易的な検証と課題抽出を行った。現手法では、特に噴火時刻予測に課題があり、膨張継続時間が長い噴火の場合、常に「今すぐ噴火する」と予測し続けてしまう。解決策として、噴火直前にひずみの変化率が停滞することを利用すれば、噴火の切迫性をより適切に評価できる可能性がある。また、火山の活動度に応じて確率関数を変えることも予測精度の改良につながると考えられる。今後は、検証事例数を増やしていくと同時に、地盤変動データの精査を継続し、よりロバストな手法構築を目指す。