

## 別紙 4

報告番 ー	※ ー	第
----------	--------	---

## 主 論 文 の 要 旨

論文題目 噴火微動の高周波地震波の震源振幅に基づいた噴火過程の理解と噴煙高度推定システムの開発に関する研究

(Understanding eruption processes and the development of an eruption plume height estimation system based on high-frequency seismic source amplitudes of eruption tremor)

氏 名 森 亜津紗

## 論 文 内 容 の 要 旨

噴火時に噴出量や噴煙高度を迅速に把握し伝達することは、火山周辺住民や航空機の安全確保において重要である。迅速な噴火の発生の伝達を目的として、日本では気象庁によって噴火速報が運用されているが、この速報には噴煙高度や噴出量、噴石、火砕流の有無といった噴火の規模や状況に関する情報は含まれていない。これは、噴火中に噴火規模を推定する手法が確立されていないことに起因する。

噴火規模の指標としては、一般的に噴出量または噴煙高度が利用される。噴煙高度は画像情報を基に推定されるが、悪天候時や夜間の噴火では正確な噴煙高度を把握できない場合が多い。噴出量は地質調査による推定が基本であり、正確な推定値は噴火終息後に公開されることがほとんどである。また噴火が連続して発生した場合、1 回ごとの噴火に対応する噴出量を見積もることが難しいといった問題もある。一方、火山では一般的に火山活動の監視を目的として地震観測網が展開されており、噴火に伴い様々な地震波が観測される。爆発的かつ定常的な噴火であるプリニー式噴火に伴い発生する噴火微動については、その振幅の大きさが噴煙高度や噴出率と、振幅の累積値が噴出量と相関を持つことが個別の火山において報告されている。上記の結果からは、安定した観測が可能な地震波振幅に基づいて、噴火継続中に噴煙高度や噴出量を即時的に推定できる可能性が示唆される。しかしながら、上記の噴火微動振幅と噴火規模の関係について、その普遍性を検証する研究は行われていない。よって、複数の火山で発生した噴火データを比較し、噴火微動と噴火規模の関係について系統的に調査する必要がある。

火山は強い不均質構造を有しており、それによって特に高周波帯(5-10 Hz)において地震波が

強く散乱され、 $S$ 波の放射パターンが等方的になることが知られている。よって 5–10 Hz 帯に着目すれば、 $S$ 波の等方輻射の仮定に基づいて、各火山の噴火微動の振幅を簡便な手法で定量化し、系統的に比較することが可能となる。そこで本研究では、 $S$ 波の等方輻射の仮定が成立する 5–10 Hz 帯に着目し、高周波地震波の振幅に基づいた噴火規模推定手法の確立を目的とした。この目的を達成するために、本研究では(1)噴火規模と地震振幅の関係性の系統的調査、(2)得られた噴火規模と地震振幅の関係をを用いた噴煙高度推定システムの開発の 2 つの段階を経た。まず(1)の目標を達成するために、桜島、口永良部島、霧島新燃岳、御嶽山とエクアドル・トゥングラワ火山、コロンビア・ネバドデルルイス火山の噴火微動、爆発地震の 5–10 Hz の高周波地震波について解析を行い、震源振幅( $A_s$ )と累積震源振幅( $I_s$ )を推定した。そして、 $A_s$ 、 $I_s$ と噴煙高度( $H$ )、噴出率、噴出量( $V$ )の関係を調べた。 $A_s$ は 5–10 Hz のエンベロープ波形に対し最大振幅を含む 10 秒窓での平均振幅を求め、震源距離と非弾性減衰の効果を補正し全観測点で平均した値で、震源での最大振幅の大きさに相当する。 $I_s$ は上記の減衰効果の補正を行ったエンベロープ波形を継続時間で積分し、全観測点で平均した値で、噴火期間全体の振幅の累積値に相当する。

$I_s$ は  $A_s$ と、 $H$ は  $A_s$ 、 $I_s$ それぞれとべき乗関係にあり、どの場合においても、その関係性は噴火微動と爆発地震では異なっていた。特に噴火微動では  $H$ が  $A_s$ の関数として表され、かつその関係が  $A_s$ の値に応じて  $H=6$  km を境に変化することが分かった。さらに噴火微動では、 $A_s$ は噴出率と比例関係にあった。したがって、 $A_s$ の積分値である  $I_s$ は  $V$ と比例関係にあると考えられ、 $V$ が微動の継続時間( $T$ )に依存することが示唆される。そこで次に、 $A_s$ と  $V$ および  $T$ の関係を調べた。

上記で推定した霧島とトゥングラワの  $A_s$ と  $I_s$ の値からエンベロープ幅( $p$ )を算出し、 $p$ と  $A_s$ および  $I_s$ を比較した。 $p$ は  $I_s$ と  $A_s$ の比として定義されており、地震波エンベロープ波形の継続時間を表す指標として用いることができる。結果として、 $p$ は  $A_s$ および  $I_s$ それぞれの 0.4 乗に比例することが分かった。また上記のようなべき乗関係が成り立つとき、噴火微動のエンベロープ波形の形状は高さ  $A_s$ 、底辺を  $T$ 、面積を  $I_s$ とする台形によって近似が可能であった。さらに、各エンベロープ波形に対してフィッティングした台形の上底と下底の比がおおよそ一定であったことから、 $p$ と  $T$ は比例関係にあるといえる。上記の  $p$ と  $I_s$ 、 $V$ と  $I_s$ 、 $p$ と  $T$ の関係に基づくと、 $T$ は  $V$ の 0.4 乗に比例することが導出できる。本研究の結果から導出した  $V$ と  $T$ のべき乗関係は、先行研究によってまとめられた世界中の主要なプリニー式噴火のデータと整合的であった。したがって、本研究で示した噴火微動の継続時間と噴出量のべき乗関係は、プリニー式噴火については幅広い規模の噴火に対して成り立つといえる。

上記の結果は、本研究で得られた関係式を用いれば、各時刻の  $A_s$ から対応する噴煙高度を推定し、噴火活動の推移を把握できることを示唆している。さらに  $A_s$ を継続的に推定していけば、その時点までの  $A_s$ の累積値から、現時点で予測されるおおよその噴出量および継続時間を算出することができる可能性がある。特に噴煙高度は降灰分布予測の初期値として利用されるため、より迅速かつ正確な推定が求められる。よって段階(2)として、本研究では段階(1)で得られた結

果に基づいて、 $A_s$ を用いた噴煙高度推定システムを開発した。このシステムでは1分毎に地震波形データを取得し、 $A_s$ と $H$ の推定を自動で行う。霧島、阿蘇、ネバドデルルイスの噴火データを用いて、本システムのテスト運用を行ったところ、観測値と推定値に誤差はみられたものの、ほとんど場合において実際の噴煙高度をおおむね再現することができた。したがって、本推定システムはリアルタイムでの噴火情報の提供に十分貢献できるものといえる。ただし推定精度を保つためには、噴火微動と爆発地震を区別し、それぞれの場合に対して適切な関係式を用いる必要があるだろう。