

(続紙 1)

京都大学	博士 (理学)	氏名	石井 杏佳
論文題目	阿蘇火山 2014-2015 年活動期におけるマグマヘッドの深さの時間変化		
<p>(論文内容の要旨)</p> <p>本論文は、噴火活動期のマグマヘッドの深さを推定する新たな手法を提案したものである。そして、同手法を阿蘇火山の2014-2015年活動期の地震動・空振データに適用することで、半年間にわたるマグマヘッドの深さおよび火道形状の変化を明らかにし、これをふまえて噴火活動の変遷事由を推察した。</p> <p>近年、火山噴火ダイナミクスや噴火活動推移を理解するために、空振観測結果を利用したさまざまな研究が進んできている。そのなかの一つに、火道最上部のマグマヘッドの深さを推定することが挙げられる。マグマヘッドの変動は、マグマ供給率の変化を直接反映するものであり、爆発的な噴火活動の直前に急速なマグマヘッドの上昇があったことが数多く報告されている。マグマヘッド深さの推定には、これまで主に二つの手法がとられてきた。一つは空振ピーク周波数を用いて深度情報に変換するものであり、もう一つは地震波・空振の到着時間差を利用するものである。しかし、いずれの方法も火道内音速を仮定しなければならず、正確な深度推定をすることは難しいとされてきた。</p> <p>本論文では、到来時間差とピーク周波数を統合解析することで、マグマヘッドの深さと火道内音速の両方を同時に推定する新しい手法を提案した。そして、阿蘇火山の2015年4月下旬のデータに適用し、同手法の妥当性を検討した。使用した阿蘇火山のデータは地震動・空振シグナル到来時間差が大きくばらつき、また、空振のスペクトル構造に明瞭な複数のピークがみられた。これらの特徴から、ストロンボリ式噴火がマグマヘッド表面のさまざまな位置で発生していることや、火道形状は深くなるほど径の大きくなる円錐台型であったことが明らかになった。このような噴火発生環境をふまえてマグマヘッドの深さを推定したところ、火口底から60-190 mという値が見積もられた。この値は、従来手法の一つであるシグナル到来時間差だけを使用した場合よりも狭い範囲に集中し、確度の高いものであった。また、別の従来手法である、単純な円筒火道を仮定して空振卓越周波数から推定された深さよりも有意に浅くなり、より現実的な値を示す結果となった。一方で、火道内音速は300-780 m/sと見積もられ、計算想定範囲からさらに精度よく制約するには至らなかった。</p> <p>提案した推定新手法を、阿蘇火山2014-2015年活動期全体の地震動・空振データに適用して、マグマヘッド深さの時間変化を見積もった。その結果、2014年末の噴火活動開始直後は深さ200 m程度に位置していたマグマヘッドが、2015年1月ごろから120 m 付近の浅い領域に移動したことが明らかになった。同時期の地盤変動データや噴出火山灰粒子の特徴を合わせて考えると、新しいマグマの貫入によってマグマ供給率が増加したと解釈される。また、このマグマヘッド上昇にともなって、火道形状が円筒</p>			

型から円錐台型へと変化したこともわかった。このような形状変化は、貫入マグマの熱によって火道壁が熱され、壁面が劣化・崩落したことが原因だと考えられる。その後は、小規模なマグマ供給が何度か繰り返され、噴火活動の終息までマグマヘッドは浅い領域にとどまっていた。活動期間をとおして、火道最上部マグマの気泡含有率が増減する様子も推測され、ストロンボリ式噴火や灰噴火の発生様式が時間経過とともに変化していったという解釈につながった。噴火活動が終息する数日前には、ドレインバックによってマグマヘッドが50 m低下したことも明らかになった。比較的小規模なドレインバックであったにも関わらず、直後に火口底陥没が誘発されたのは、円錐台型という物理的に不安定な形状のまま火道内空間が成長し続けたためであったと結論づけた。

(論文審査の結果の要旨)

噴火活動期におけるマグマヘッドの深さは、マグマ供給率を示す指標の一つであり、噴火活動推移を理解するための重要なパラメータである。ところが、マグマヘッド深さを推定したこれまでの研究では、単純な火道内音速や火道形状などを仮定していたため、正確な値を見積もることができていない。そこで、本論文では、地震動・空振の到来時間差と空振ピーク周波数を用いた二つの手法を統合し、また、多量の観測データの統計解析を行うことで、深さと音速の両方を同時にかつこれまで以上に精度よく推定することに成功した。世界中のほとんどの火山では噴火活動期にマグマヘッドを直接観測することが困難であるため、本手法の持つ有用性は高く、今後の火山活動モニタリングや噴火ダイナミクス研究においてスタンダードなものになる可能性がある。

本論文では、空振ピーク周波数比を用いて火道形状を推定する新しい試みも行われた。数値シミュレーションによって、空振の周波数構造が火道形状の違いにどう影響を受けるのか詳細に検討し、阿蘇山の観測データを解析した。その結果、これまで、火道の一般形状は円筒型であると暗黙的に考えられてきたが、時期によっては、底面の方が大きい円錐台型であったことを見出した。このような、噴火活動中の火道形状に関する新しい知見は、噴火ダイナミクスの研究にも大きなインパクトを与えるものであり、火山学的にも高く評価できる。

さらに、提案する統合推定手法を阿蘇火山2014-2015年活動期のデータに適用し、半年間にわたるマグマヘッドの深さの時間変化も明らかにした。この解析によって、マグマヘッドの上昇にともなって火道形状が円筒型から円錐台型に成長していたことがわかった。また、複数回のマグマ貫入があったことも明らかになった。2014-2015年活動期は火口底陥没によって終息したが、これは、マグマドレインバックによってマグマヘッドが約50 m深くなったことと、そのときの火道形状が不安定な円錐台型であったことの両方が要因となり発生した可能性が高い。このことは、本論文によって阿蘇火山の噴火メカニズムに対する総合的な理解が深まったと評価できるだけでなく、マグマヘッド深さおよび火道形状を把握することのいずれもが、噴火活動推移や終息過程を理解する上で重要であることを意味する貴重な結果である。

マグマヘッドの深さ推定にあわせて、火道最上部マグマの地震波伝播速度や気泡含有率が増減する様子も明らかにされた。これにより、活動期間をとおしてストロンボリ式噴火や灰噴火などの噴火様式が変化した理由を、脱ガスマグマ層の形成・消滅の観点から説明することに成功した。脱ガスマグマ層の形成・消滅過程を地震動・空振観測データから明らかにしたのは世界で初めてであり、独自性の高い成果と評価する。現段階ではこれらの詳細な物理プロセスを解明するまではできていないものの、マグマの破碎過程や噴火ダイナミクス解明につながる重要な研究となる。

本論文では全編にわたって、空振波形特徴にもとづくクラスター解析などのよう

な多量の観測データの解析作業や、手法検証のための数値シミュレーションなど、広範かつ緻密な分析作業が行われている点も高く評価できる。よって、本論文は博士（理学）の学位論文として価値あるものと認める。また、令和4年1月18日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

要旨公表可能日： _____ 年 _____ 月 _____ 日以降