

(続紙 1)

京都大学	博 士 (理 学)	氏名	VICO LUTHFI IPMAWAN
論文題目	Intrusion and Effusion Processes of Andesite Magma in the 2010-2018 Activities at Sinabung Volcano, Indonesia, Based on Seismic Analyses (地震解析に基づくインドネシア シナブン火山の2010-2018年の活動における安山岩マグマの貫入と噴出プロセス)		
(論文内容の要旨)			
本論文はインドネシアのシナブン火山における2010-2018年の安山岩マグマの噴火活動について、火山構造的 (VT) 地震と低周波成分を含むハイブリッド (HB) 型地震の活動が活発な前マグマ期 (2010～2013年) と溶岩ドーム形成と火砕流噴火が活発なマグマ期 (2014～2018年) の2つの期間に分け、主に地震記録を用いた時間分解能の高い解析を行うことで、前マグマ期のマグマ貫入過程とマグマ期のマグマ噴出量と噴火様式の変化を詳細に明らかにしたものである。 前マグマ期で発生したVT地震とHB型地震について震源と1次元地震波速度構造を反復して推定するJHD法を用いて精密な震源決定を行い、震源パラメータの時間変化を調べ、マグマ貫入過程を明らかにした。VT地震の震源は主に山頂の北から北西の深さ1～10kmに位置し広範囲で発生していた。2013年7月から12月中旬にかけて発生したVT地震活動末期には地震モーメントと断層破壊の長さが一時的に増加し、震源の山頂方向への移動などが見られた。2013年12月中旬にVT地震活動からHB型地震の群発活動に変化した。HB型地震は波形の相似性が高い6つの地震ファミリーに分けられ、それぞれのファミリー内の地震活動は同じ場所で同じメカニズムで繰り返し発生している特徴がある。HB型地震は高周波成分と低周波成分を含み、VT 地震に比べて地震モーメントが小さく、震源は山頂直下の浅い場所 (-0.5～1.5 km) に集中していた。HB型地震は山頂直下にマグマが貫入し、流体で満たされた亀裂が頻繁に繰り返し破壊されたために群発的に発生したと考えられる。溶岩ドームの出現前にHB型地震の応力降下量が増加し、その後にわずかに減少しており、マグマの貫入過程で震源域の応力状態が徐々に変化したことを反映している可能性がある。前マグマ期の地震活動として、深部マグマ溜まりの圧力増加を受けて火山体の広範囲においてVT地震が発生し破壊による応力の開放過程が生じ、その後に流体が関与する浅部の局所的破壊の繰り返しに進んだと解釈される。 マグマ期において、繰り返し発生する火砕流噴火とブルカノ式噴火の噴出量について、地震記録を用いた解析を行うことで、それぞれ噴火ごとの噴出量を推定し噴火活動期間全体の噴出量の時間変化を詳細に明らかにした。火砕流噴火、溶岩ドームの崩落、ブルカノ式噴火の地震エネルギーを見積り、火砕流の流下シミュレーション、噴火の噴煙高度データを参照し個々の噴火イベントの噴出量の推定を行った結果、火砕流噴火による噴出量はブルカノ式噴火のものより多量で、累積噴出量で約10倍となる結果が得られた。火砕流噴火を繰り返す頻発時期の前には、溶岩ドームが成長し不安定になった一部が崩落する現象が多発していること、ブルカノ式噴火が減少することを明らかにした。マグマ貫入速度の上昇によって火道内の古いマグマが新しいマグマに置き換わり、溶岩ドームの体積増加と崩落が多発し、火砕流噴火の頻発が引き起こされると考えられる。噴火期間を通しての噴出量は指数関数的に減少する中で、火砕流噴火の頻発によって噴出量の一時的な変動が見られることを明らかにした。これらの結果から、マグマはビンガム流体の振る舞いをしており、マグマの過剰圧力が降伏強度よりも低くなると噴出が停止し、火道上部が凝固してガスポケットが形成され、そのガスポケットの破裂によるブルカノ式噴火が発生すると解釈した。			

(論文審査の結果の要旨)

火山噴火は地下のマグマの蓄積、浅部へのマグマの貫入、その後のマグマ噴出によって発生する。一般的に、溶岩ドームを形成するような粘性の高いマグマが噴出する噴火においてはマグマの蓄積・貫入は長期に渡り、噴出過程においても長期間継続することが多く、噴火の推移を予測することが難しい。火山噴出物量が噴火規模の指標となるが、一般的には噴火後の堆積物の調査から噴出物量を推定することが多く、即時把握が困難である上、小規模な噴火の繰り返しにおいては詳細な噴出物量や噴火様式の時間変化の情報を得るのは難しい。申請者はインドネシアのシナブン火山における2010-2018年の安山岩マグマの噴火活動について、地震記録を用いた時間分解能の高い解析を行うことで、マグマ貫入過程とマグマ噴出量と噴火様式の時間変化を詳細に明らかにした。

申請者は、マグマ貫入期における地震活動から火山構造成地震とハイブリッド (H B) 型地震の震源位置と震源パラメータの時間変化を明らかにし、波形の相似性の解析から地震群をファミリーに分けて発生過程の解析を行った。山頂部に最初の溶岩ドームが出現する前にHB型地震が多発したこと、応力降下量の増減からマグマ貫入過程で火山下の応力状態が徐々に変化していたことを示した。HB型地震は流体が関与し、火山浅部の局所的破壊を繰り返していることを明らかにした点は、溶岩ドームを形成するような長期に渡るマグマの蓄積・貫入過程の最終段階を予測する上で重要な現象であることを示唆しており、申請者の解析結果は評価できる。

申請者は、地震記録を使用することで、火砕流噴火、溶岩ドームの崩落、ブルカノ式噴火の個々のイベントによる噴出量を定量的に推定し、噴火活動末期までの噴出量の時間変化を詳細に明らかにした。長期間に渡るマグマ噴出を行う火山においては、溶岩流出から山頂部における溶岩ドーム形成と崩落に加えてブルカノ式噴火を行うなど推移が複雑で予測が非常に困難である。申請者は噴出量の高時間分解能の解析からそれらの噴火様式の時間変化を明らかにし、特に、噴出量が減少し既存の堆積量調査などから噴出量を評価できない段階においても地震記録の解析から噴出量を推定することにより、詳細な噴出量の変化を検出できることを示した点は大きい評価できる。

また、申請者は、得られた結果からマグマが降伏強度をもつビンガム流体であることを仮定し、噴出量の時間変化と噴火様式の推移を説明することを試みた。溶岩噴出は降伏応力よりも十分大きい圧力を持つ際に発生し、溶岩ドーム形成の繰り返しは、圧力が降伏応力と釣り合う状態になり、マグマの上昇と停止を繰り返す。さらに、ブルカノ式噴火は停止時間が長期化することによる火道上部のガス溜まりの形成と破裂によって生じ、マグマが再び連続体のビンガム流体に置き換えられて火砕流噴火の頻発が発生するモデルを提唱した。噴出量の時間変化の解析結果とモデル化によって、比較的観測が容易で連続的にデータが得られる地震記録を用い、マグマ噴出量の推定から噴火様式の推移予測ができる可能性を示した点は、意義が大きい。

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6年8月1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