

カルデラにおけるマグマ蓄積形態と蓄積速度 —地下における3次元弾性定数と熱プロセスの考慮の重要性—

国立大学法人京都大学防災研究所の井口正人教授、中道治久准教授とブリストル大学地球科学科のジェームス・ヒッキィ博士（現エクセター大学講師）、ジョアチム・ゴッツマン准教授の研究グループは、鹿児島湾北部に位置する始良（あいら）カルデラ周辺の地殻変動観測データの解析から、始良カルデラ直下のマグマ蓄積の場所と形態、マグマ蓄積速度の推定に成功しました。

人々の生命や財産を脅かすような大規模噴火は数十年から数百年間隔で発生しています。噴火の源となる地下のマグマの現在の蓄積量が分かれば、噴火間隔を考慮することで大規模噴火がどの程度差し迫っているかを評価することができます。

桜島は始良カルデラの南部に位置する活動的な火山で、15億立方メートルのマグマが放出される大規模噴火だった大正噴火の際は住民が島外避難をしました。その後の観測により始良カルデラにおけるマグマの再蓄積が進行していることが明らかになっています。

マグマの蓄積に伴う火山の変形をモデリングするには場所により弾性的性質が変わらないような均質な岩石の中でのマグマ溜まりの膨張収縮を反映したモデルが長年用いられてきましたが、本研究では地中の弾性が箇所によって異なることを考慮し、膨張収縮源（圧力変化源）としてラグビーボールのような回転楕円体を仮定してGPSを利用した基準点の観測データを解析しました。その結果、扁平楕円体の圧力変化源が始良カルデラ北東部の深さ13kmに位置することが分かりました。そして、熱プロセスを考慮することにより年間1150万立方メートルの速度でマグマが始良カルデラに蓄積されていることが分かりました。この蓄積速度は熱プロセスを考慮しない従来の推定速度の倍程度です。おおよそ130年で大正噴火の際に放出したマグマ量に達しますが、この年数は大正噴火と安永噴火（1779年）との間隔にほぼ相当します。なお、大正噴火から現在まで既に102年が経過しているため、現在は大規模噴火発生のパテンシャルが高まってきている状態と言えます。

本研究成果により、従来求められたマグマの蓄積速度より2倍大きい値が求められ、マグマの蓄積速度の推定方法に一石を投じました。一方、切迫性については、人々の生活の感覚からずれているものであるため、公共の利用に適した切迫度を評価するための研究がさらに必要です。

本研究成果は、英国Nature Publishing Groupの*Scientific Reports*に日本時間9月13日18時にオンライン公開されました。

1. 背景

人々の生命や財産を脅かすような大規模噴火は1つの火山で数十年から数百年間隔で発生しております。噴火の源となる地下のマグマの現在の蓄積量が分かれば、噴火間隔を考慮することで大規模噴火発



噴火を繰り返している桜島と鹿児島市街地

生の切迫性を評価することができます。

桜島は鹿児島湾（始良カルデラ）の南部に位置する噴火が頻繁に発生する火山で、大規模噴火としては1779年安永噴火、1914年大正噴火、1946年昭和噴火が発生しました。大正噴火で当時2万2千人の住民が島外避難をしました。この噴火で15億立方メートルのマグマが始良カルデラから放出されました。大森房吉（当時東京帝国大学教授）が明らかにした大正噴火による地盤の沈降から、茂木清夫（東京大学名誉教授）が1958年に世界で初めて半無限均質媒質内の等方圧力源モデル（Mogiモデル）にて地盤沈降量分布を説明することに成功しました。その後、水準測量により、始良カルデラにおけるマグマの再蓄積が進行していることが明らかになっていましたが、多くの火山で行われてきた既存の解析手法（Mogiモデル）では始良カルデラのマグマ蓄積量の定量的評価は不十分でした。

そこで、本研究では、火山の地下の弾性定数と温度の3次元分布を取り入れ、回転楕円体圧力源モデルを用いて始良カルデラ周辺のGPS観測データ解析を行いました。

2. 研究手法・成果

マグマの蓄積に伴う火山の変形のモデリングでは、モデルのシンプルさと適用範囲の広さからMogiモデルが長年世界中の火山で用いられてきました。しかし、マグマ蓄積過程の詳細や蓄積速度を定量的に評価するには不十分でした。そこで、本研究では、始良カルデラ周辺および直下の3次元地震波速度構造から地下の弾性定数の3次元分布を求め、地形の効果も考慮したGPSの3次元変動のモデリング解析を行いました。Mogiモデルと同様の等方圧力源ならびに回転楕円体（扁長楕円体と扁平楕円体）圧力源を仮定しました。1996年～2007年のGPSデータ解析から、始良カルデラ北東部の深さ13kmが扁平楕円体の圧力変化源の中心に位置することが分かりました。扁平楕円体の大きさは赤道半径7.2km、極半径2.4kmで、楕円体の地表投影面積は始良カルデラの面積の約3分の1になり、始良カルデラの北東部一帯を占めています。この場所は海底火山である若尊（わかみこ）があり噴気活動が活発な場所であり、この直下はカルデラ内の地震活動の活発な領域でもあります。また、扁平な形状はこれまで地質学・岩石学研究から考案されてきたカルデラ内のマグマ蓄積モデルと整合的です。

南九州の標準的な地熱勾配にマグマによる熱勾配を考慮したカルデラ直下の熱構造モデルを用いて有限要素法にてGPSを利用した基準点の上下変動をモデリングしたところ、年間1千百50万立方メートルのマグマが始良カルデラに蓄積されていることが分かりました。大正噴火にて放出したマグマ量になる年数はおおよそ130年で、この年数は大正噴火と安永噴火（1779年）との間隔におおよそ相当します。なお、大正噴火から現在は102年が経過しており、大規模噴火発生時のポテンシャルが高まっていると言えます。また、桜島の噴火による噴出速度を考慮しますと、年間1千4百万立方メートルのマグマが始良カルデラに供給されていることが分かりました。この体積は東京ドーム11杯分に相当し、このような大量のマグマが現在も始良カルデラに供給され続けていることが明らかになりました。

3. 波及効果、今後の予定

火山の変動を解析するための世界標準モデルMogiモデルが、世界で初めて確立された研究対象が始良カルデラでした。本研究成果により、従来求められたマグマの蓄積速度より2倍大きい値が求められ、マグマの蓄積速度の推定方法に一石を投じました。一方、切迫性については、人々の生活の感覚からずれているものであるため、公共の利用に適した切迫度を評価するための研究がさらに必要です。また、噴火

によるマグマ噴出量の測定技術の向上も必要です。

4. 研究プロジェクトについて

本研究は欧州委員会の VUELCO プロジェクト, ブリストル大学の国際戦略基金, 文部科学省による「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」により援助されました。

<論文タイトルと著者>

タイトル: Thermomechanical controls on magma supply and volcanic deformation: Application to Aira Caldera, Japan

著者: James Hickey¹, Joachim Gottsmann¹, Haruhisa Nakamichi², Masato Iguchi²

掲載誌: *Scientific Reports*

<http://www.nature.com/articles/srep32691>

所属: 1. ブリストル大学, 2. 京都大学防災研究所

<イメージ図>

