

( 続紙 1 )

京都大学	博士 ( 理学 )	氏名	奥村 翔太
論文題目	Groundmass pyroxene analyses based on growth anisotropy for estimating magma ascent history in volcanic conduit (火道上昇履歴の推定に向けた結晶成長の異方性に基づく石基輝石分析法)		
(論文内容の要旨)			
<p>マグマの上昇履歴は、噴火様式が火道内でどのように変化するかを理解する上で重要であり、それらは減圧脱水により晶出する石基結晶に記録されている。噴火時の火道上昇中に物理化学的パラメータが急速に変化するため、石基結晶の晶出は様々な大きさの実効過冷却度 (<math>\Delta T_{\text{eff}}</math>) のもとで進行する。先行研究により、造岩鉱物の形状は <math>\Delta T_{\text{eff}}</math> の増大に伴って伸長することが明らかにされており、さらに単斜輝石結晶の各結晶面の前進速度の相対関係は <math>\Delta T_{\text{eff}}</math> によって変化することが知られている。そのため、輝石の成長異方性およびその <math>\Delta T_{\text{eff}}</math> 依存性は、噴火時のマグマ上昇環境を解明する手掛かりになると期待される。そこで本研究では、幅1 <math>\mu\text{m}</math>以下のサイズを含む石基輝石結晶について、その成長異方性に着目し、噴火噴出物の石基組織に対する分析手法を結晶学の観点から発展させた。</p> <p>本論文の第一章では、結晶サイズ分布 (crystal size distribution, CSD) の表現手法の改良に取り組んだ。CSDとは結晶数密度の対数を結晶サイズ (通常、長軸長L) に対してプロットしたグラフであり、その傾きから結晶化カイネティクスやマグマ上昇履歴を推定できる。一方で、結晶サイズの定義がCSDに及ぼす影響については議論が不十分だった。そこで、異なる噴火様式で生じた軽石中の石基輝石結晶について、放射光X線CTと電界放出形走査電子顕微鏡 (FE-SEM) を用いた観察を行った。噴火様式で比較すると、短軸長Sに対するCSD (S-plot CSD) の傾きは、L-plot CSDの傾きよりも顕著に異なり、火道浅部におけるマグマ上昇履歴の違いを反映した。これらの結果から、従来の表現手法 (L-plot CSD) ではマグマ上昇ダイナミクスの誤った解釈につながる危険性があること、そして短軸長 (S) が石基結晶のCSDに最適なサイズ定義であることが実証された。</p> <p>一方で、CSDなど結晶数密度に基づく解析手法は、結晶の核形成速度が <math>\Delta T_{\text{eff}}</math> とともに増加することを前提としているため、石基結晶に乏しい軽石を生じる爆発的噴火には適用できない。そこで数密度ではない、マグマ上昇環境の新たな指標として、石基輝石結晶の晶相に着目した。第二章では、含水条件で桜島デイサイトマグマの減圧結晶化実験を行い、石基輝石の晶相と減圧条件の関連性を検討した。その結果、<math>\Delta T_{\text{eff}}</math> が高くなるにつれて、輝石晶相は {100} 面、{010} 面を順に失うことで八角柱から六角柱、四角柱へと変化した。この傾向は、結晶構造に起因した、各結晶面の相対成長速度によって説明される。</p> <p>第三、四章では、以上の結果をもとに新燃岳2011年噴火と桜島大正噴火のマグマ上昇履歴を検討した。軽石中の石基輝石結晶を FE-SEM と透過電子顕微鏡 (TEM) で分析した。晶相ごとに測定したCSDは、噴火時の火道上昇中の結晶化カイネティクスを包括的に描写し、さらに結晶内部の成長縞は個々の結晶が経験した上昇履歴を記録していた。新燃岳のケースでは、マグマがサブプリニー式噴火では加速的上昇を、ブル</p>			

カノ式噴火では浅部停滞を経験しており、火道浅部で噴火様式が分岐したことが示唆された。また、桜島のケースでは、軽石組織の多様性は火道壁からの距離に応じたマグマ上昇履歴の違いに起因しているという説を裏付ける結果が得られた。すなわち、結晶に乏しい白色軽石は火道中央を急速に上昇したマグマであり、気泡の断熱膨張による冷却も寄与して高い $\Delta T_{\text{eff}}$ を経験した。一方、結晶に富む暗色軽石は恐らく火道壁付近を上昇したマグマであり、結晶化の開始時は高い $\Delta T_{\text{eff}}$ が生じていたものの、結晶化の潜熱放出や剪断加熱により $\Delta T_{\text{eff}}$ が低下した。

これらの応用例から、晶相分析が、著しく速いマグマ上昇によって生じたガラス質な噴出物にも適用可能であり、噴火時の火道上昇履歴をより詳細に明らかにできるアプローチであることを示した。

(続紙 2 )

(論文審査の結果の要旨)

本学位申請論文は、噴火噴出物中の石基輝石結晶について、その成長異方性に着目し、噴火噴出物の石基組織に対する分析手法を、結晶学の観点から発展させたものである。さらにこの分析手法を新燃岳2011年噴火および桜島大正噴火に適用し、噴火時の火道上昇履歴をより詳細に明らかにできるアプローチであることを示したものである。

第一章では、噴火時のマグマ上昇履歴の推定に向け、結晶数密度の対数を結晶サイズ、通常は結晶の長軸長に対してプロットし、その傾きから結晶化カイネティクスやマグマ上昇履歴を推定できる結晶サイズ分布 (crystal size distribution, CSD) の表現手法の改良を行った。すなわち、通常結晶の長軸長を用いるCSDを、短軸長を用いるCSDへと変換することにより、火道浅部におけるマグマ上昇履歴の違いをより反映することに成功した。

第二章では、爆発的噴火の場合のマグマ上昇環境の新たな指標として石基輝石結晶の晶相に着目した研究を行った。含水条件下で桜島デイサイトマグマの減圧結晶化実験を行うことにより、実効過冷却度が高くなるにつれて、輝石の晶相は{100}面、{010}面を順に失うことにより、八角柱から六角柱、さらには四角柱へ変化することを見出した。

第三、四章では、第一、二章の結果をもとに新燃岳2011年噴火と桜島大正噴火のマグマ上昇履歴について検討を行った。噴火軽石中の石基輝石結晶を電子顕微鏡で観察、分析することによって得た晶相ごとのCSDは、噴火時の火道上昇過程における結晶化カイネティクスを包括的に描写していること、さらに結晶内部の成長縞は個々の結晶が経験した上昇履歴を記録していることを示した。新燃岳2011年噴火のケースでは、マグマがサブプリニー式噴火では加速的上昇を、ブルカノ式噴火では浅部停滞を経験しており、火道浅部で噴火様式が分岐したことを示唆した。また、桜島大正噴火のケースでは、軽石組織の多様性が火道壁からの距離に応じたマグマ上昇履歴の違いに起因している説を裏付ける結果を示した。すなわち結晶に乏しい軽石は火道中央を急速に上昇したマグマであり、気泡の断熱膨張による冷却も寄与して高い実効過冷却度を経験し、一方結晶に富む軽石は恐らく火道壁付近を上昇したマグマであり、結晶化の開始時は高い実効過冷却度が生じていたものの、結晶化の潜熱放出や剪断加熱により実効過冷却度が低下したことを示した。これらの適用例が示すように、結晶学の観点から発展させた噴火噴出物の石基組織に対する本分析手法は、著しく速いマグマ上昇によって生じたガラス質な噴出物にも適用可能であり、噴火時の火道上昇履歴をより詳細に明らかにできるものである。

よって、本論文は京都大学大学院理学研究科の博士(理学)の学位論文にふさわしい内容と独創性を備え、学位論文として価値あるものと認める。また、令和5年1月13日に論文内容とそれに関連した事項について口頭試問を公開で行った結果、合格と認めた。なお、公表方法は、出版予定があるため要約公表です。

要旨公表可能日：                      年                      月                      日以降