

Theoretical study of coalescence of bubbles in magma

丸石, 崇史

<https://hdl.handle.net/2324/6787419>

出版情報 : Kyushu University, 2022, 博士 (理学), 課程博士
バージョン :
権利関係 :



氏 名	丸石 崇史			
論 文 名	Theoretical study of coalescence of bubbles in magma (マグマ中の気泡合体の理論的研究)			
論文調査委員	主 査	九州大学	教授	寅丸敦志
	副 査	九州大学	准教授	吉田茂生
	副 査	九州大学	准教授	町田正博

論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

マグマの発泡過程は、地下深部でケイ酸塩メルトに溶け込んでいた揮発性成分がガス相として析出する現象であり、析出したガスによるマグマ（メルト、結晶、ガスの混合物）の密度の低下とガスの膨張が、火山噴火の原動力となる。マグマの発泡過程は、気泡の核形成、成長、膨張、合体、変形等の複数の素過程を含む複合過程であり、どの素過程が支配的かによって、噴火様式は異なることが予想されおり、火山噴火過程の根幹にかかわる重要な過程である。このような複雑な発泡過程は、地表に噴出するマグマの固結物である火砕岩に、岩石組織として記録されている。近年、岩石組織から、噴火の仕組みや法則性を解明する試みが活発に行われているが、その複雑さ、特に気泡合体過程の取り扱いの難しさのために、岩石組織を包括的に解釈する方法論は確立していない。

丸石氏は、気泡合体過程を物理モデル化することによって、複雑な問題を整理し、系統的な理解を得ることを試みた。彼は、まず、気泡の接近過程が、気泡サイズに依存した浮力による上昇速度の違いである場合、すなわち、粘性流体中を上昇する 2 気泡の合体過程を流体力学的に定式化した。これは、低粘性の玄武岩質マグマにおいて起こりうる。その定式化は流体力学的相互作用と気泡の変形を含む一般的なもので、2 気泡の軌跡をたどることで気泡の合体断面積を計算することが出来る。定式化した方程式に対する近似解と数値計算から、表面張力と浮力の比である **Bond** 数と気泡サイズ比が、合体様式を支配していることを突き止め、合体断面積を、**Bond** 数と気泡サイズ比の関数として理論的に導くことに成功した。これまで、限られた条件での実験的経験式であった合体断面積について、広い条件下で応用できる理論式を得た意義は大きい。さらに、この式は、これまでの実験結果よく説明できることも示した。

次に、導いた断面積を用いて、一般的な合体方程式である **Smoluchowski** 方程式を数值的に解き、気泡サイズ分布の時間発展を明らかにした。さらに、浮力による上昇とは異なる気泡の接近過程、すなわち気泡の拡散成長、減圧成長、せん断流れの場合について、物理的考察から、合体断面積を導出し、それらについても、気泡サイズ分布の時間発展を計算した。その結果、いずれの接近過程でも、中間サイズでは、気泡サイズ分布はべき分布を取り、そのべき指数が、気泡接近過程によって異なることを理論的に厳密に導いた。また、最小及び最大気泡の時間発展を理論的に導き、複雑かつ多様な合体過程について包括的な理解を定量的に得ることに成功した。

こうした結果を、実際の火山噴火に応用し、玄武岩質の低粘性マグマの噴火では、気泡合体が卓越し、玄武岩特有のハワイ式やストロンボリ式噴火になりやすく、流紋岩質の高粘性マグマでは、気泡の合体が限定的にしか起こらないことを見出した。また、低粘性マグマと高粘性マグマでは、気泡サイズ分布が異なることを理論的に初めて明らかにした。

以上のように、丸石崇史氏が行った、マグマ中での気泡の合体断面積について物理モデルの構築と、合体による気泡サイズ分布の時間発展の包括的かつ理論的理解は、火山噴出物の解析方法の発展に重要な貢献をすると考えられる。この研究成果は、丸石氏が、複雑な自然現象からの問題抽出、物理モデルの定式化、数値計算スキル、理論結果の自然現象への応用において非常に卓越した研究能力を有していることを示している。よって、本研究者は博士（理学）の学位を受ける資格があるものと認める。