



Magma ascent processes inferred from microlite and vesicle textures of the ejecta from the 1914–1915 eruption of Sakurajima volcano

中村, 敬介

(Degree)

博士 (理学)

(Date of Degree)

2006-03-25

(Date of Publication)

2012-06-05

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲3542

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1003542>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



【 260 】

氏 名・(本 籍) 中村 敬介 (静岡県)
博士の専攻分野の名称 博士(理学)
学 位 記 番 号 博い第304号
学位授与の 要 件 学位規則第5条第1項該当
学位授与の 日 付 平成18年3月25日

【 学位論文題目 】

Magma ascent processes inferred from microlite and vesicle
textures of the ejecta from the 1914-1915 eruption of Sakurajima
volcano
(桜島1914-1915年噴火噴出物におけるマイクロライトと気泡組織から
見たマグマ上昇過程について)

審 査 委 員

主 査 教 授 佐藤 博明
教 授 中村 昇
教 授 田結庄 良昭
教 授 宇都 浩三

火成岩中の結晶のサイズと数の関係は、結晶化が生じる際の温度、圧力履歴、物理的な変化等を反映している。第二章では、これまでの結晶サイズ分布（以下 CSD）の研究のレビューを行い、結晶サイズと結晶数の関係を決める要因を（1）マグマ混合、（2）オストワルト成長、（3）メルト組成の変化、（4）冷却速度の変化、（5）結晶核生成率の変化、（6）メルト中の水の溶離によるリキダス温度の上昇による結晶化の 6 つのパターンに分類した。この中で（6）の脱ガスによるリキダス温度の上昇による結晶化は、火山噴火で噴出する噴出物に特有の要因であり、CSD の切片の値が大きく、勾配の急な CSD、つまり多くの細粒な結晶、マイクロライトの晶出で特徴付けられる。マイクロライトの結晶化の成因を調べることは、噴火メカニズムの解明につながることを示唆している。そこで、桜島 1914-1915 年噴火で噴出したプリニアン降下軽石、3 度にわたって流出した溶岩流（それぞれ以下、大正 1、大正 2、二次溶岩）の、石基組織、気泡組織の解析を行い、火道上昇に伴うメルト中の水の溶離、脱ガスとそれに伴うマイクロライト結晶化の過程、火道上昇プロセスをについて調べることを研究の目的にした。

第三章では、噴火の概要を知るため、地質調査を行った。プリニアン降下堆積物の Isopleth 図と軽石 350 個の平均密度（凡そ 770kg/m^3 ）から、Carey and Sparks (1986)の方法を用い、噴煙柱高度凡そ 15-18km を得た。Isomach 図の層厚と囲まれる領域の面積から Hayakawa (1985)の関係式を用いると、噴出量は 0.29 km^3 (DRE)となる。推定される噴出時間は凡そ 11 時間（実際は 34 時間ほど）になる。南岳から東に 4km の層厚 2m のプリニアン降下堆積物の露頭で採取した軽石の密度を測定したところ、露頭下部では、 700kg/m^3 の高発泡度の白色軽石が、露頭上部では更に 1000kg/m^3 を超える低発泡度の灰色軽石も得られた。

噴出物の石基組織、気泡組織から、マグマ上昇過程を比較、議論するうえで、マグマの化学的特長を知る必要があるため、第四章では岩石記載を行った。噴出物中に含まれる斑晶鉱物は、斜長石、単斜輝石、斜方輝石、磁鉄鉱で、大正 2、二次溶岩にはカンラン石が含まれる。すべての噴出物の全岩化学組成は SiO_2 が 62-59wt.% の範囲に収まる。斜長石斑晶の組成は An_{85} と An_{50} にピークをもつバイモーダルな分布を示し、大正 2、二次溶岩には rim に汚濁帯を持つ斜長石も晶出している。斜方輝石は、低 $\text{Mg}\#(\text{cpx Mg}\#<69, \text{opx Mg}\#<66)$ で、rim で逆累帯構造を示すもの、高 $\text{Mg}\#(\text{cpx Mg}\#>69, \text{opx Mg}\#>66)$ で、rim で正累帯構造を示すものの 2 種類に分類、単斜輝石は低 $\text{Mg}\#(\text{cpx Mg}\#<69, \text{opx Mg}\#<66)$ で、rim で逆累帯構造を示すもの、高 $\text{Mg}\#(75>\text{cpx Mg}\#>69, \text{opx Mg}\#>66)$ で、rim で正累帯構造を示すもの大正 2、二次溶岩に含まれる更に高 $\text{Mg}\#(\text{Mg}\#>75)$ の 3 種類に分類される。大正 2、二次溶岩中には、rim で顕著な逆累帯構造を示す単斜輝石も含まれる。又、大正 2、二次溶岩で晶出しているカンラン石は、大正 2、二次溶岩に含まれる最も高い $\text{Mg}\#$ 値を持つ輝石としか平衡に共存できない。以上から大正噴火で噴出した噴出物は、噴火前に十分なマグマ混合を起していたことが分かる。低温端成分は、 An_{50} 前後の斜長石と低 $\text{Mg}\#$ を示す、単斜、斜方輝石を含む。一方、高温端成分は、 An_{85} の斜長石、高 $\text{Mg}\#$ の単斜、斜方輝石を含み、さらに未分化な高温端成分マグマはカンラン石も含む。噴火初期には、低温端成分と高温端成分マグマが混

合したマグマが噴出するとともに、マグマだまりでは、高い $\text{Mg}\#$ を示す単斜輝石、カンラン石を含む更に高温の端成分マグマが貫入、混合し、rim で汚濁帯を持つ斜長石、顕著な逆累帯構造を持つ単斜輝石が形成され、噴火後期にかけ流出したと考えられる。ガラスの組成と石基鉱物の組成から見積もった噴火前のメルトの組成は、噴火初期から中期、プリニアンから大正 1 溶岩流出までの間は、 SiO_2 が 70 wt.% 前後の比較的均質な組成を示し、噴火後期にかけて新たなマグマの供給によるマグマ混合の影響によりメルト組成が苦鉄質になっていく。従って、白色軽石から大正 1 溶岩までの組織変化は、マグマの減圧速度の違いに起因している。

白色軽石は、発泡度が高く、石基斜長石の結晶度、数密度ともにサンプルごとに大きく変化する。灰色軽石は、発泡度が低く、石基斜長石の結晶度が白色軽石より高く、結晶数密度が最も高い。溶岩流サンプルは、結晶度が最も高い一方、結晶数密度は白色軽石の一部と同じ程度を示す。CSD 解析から、低結晶度、低数密度の白色軽石サンプルは $30\mu\text{m}$ 以下の狭いサイズ分布を示す一方、比較的高結晶度、高数密度の白色軽石、灰色軽石、溶岩流サンプルは $30\text{-}100\mu\text{m}$ の広いサイズ分布を示す。以上から、発泡度、石基斜長石組織から、噴出物を分類すると、発泡度が高く ($>60\text{vol.}\%$)、低結晶度 ($<1.0\text{vol.}\%$)、低数密度 ($<10^{14}\text{m}^{-3}$) の白色軽石 (type-1)、発泡度が低く ($25\text{-}50\text{vol.}\%$)、結晶度が白色軽石より高く ($8\text{-}16\text{vol.}\%$)、結晶数密度が最も高い ($5\text{-}20 \times 10^{14}\text{m}^{-3}$) 灰色軽石 (type-3)、その中間的な発泡度が高く ($>55\text{vol.}\%$)、比較的結晶度、数密度の高い ($1.0\text{-}11\text{vol.}\%$ 、 $1\text{-}10 \times 10^{14}\text{m}^{-3}$) 白色軽石 (type-2)、結晶度が最も高く ($>16\text{vol.}\%$) type-2 と同程度の結晶数密度の溶岩流の 4 種類に分類できる。

流紋岩質サンプルを用いたこれまでの減圧結晶化実験の結果から、減圧量、減圧速度が石基斜長石組織に大きく関与し、減圧速度に比例して、結晶数密度が大きくなることが分かっている。減圧量に比例して、一度、結晶数密度大きくなるが、更に増加すると、減少に転じる。減圧量の増加とそれに伴う結晶数密度の増加には、時間差が生じる。これらの実験結果を考慮すると、白色軽石で結晶数密度が小さくなるのは、減圧速度が速いため結晶核生成が、不十分な形で進行したためと考えられる。type-3 軽石は、比較的早い減圧速度のため、効果的な核生成が生じ高い結晶数密度となる。溶岩流は、最も結晶度が高く、結晶数密度が type-3 軽石に比べ低くなることから、結晶化の要する時間が長く、効果的な結晶成長が生じたことが示唆される。

一方、プリニアン降下軽石の含水量は軽石の type によらず $0.4\text{ wt.}\%$ 前後であることから、type-1 から type-3 軽石にかけて、脱ガスが効果的に生じていたことが分かる。脱ガス効率は、マグマの減圧速度の減少に伴って増加することから、type-1,2 軽石に比べ、type-3 軽石がより、減圧速度が低かったと考えられる。

以上、石基組織、気泡組織の解析から、type-1, 2 白色軽石が噴出するプリニアン噴火の初期から中期にかけ、マグマの減圧速度が最も大きかったと思われる。プリニアン噴火の後期には白色軽石に加え、type-3 軽石も噴出することからマグマの減圧速度が減少していったことが分かる。Type-3 軽石では発泡度の減少とともに結晶数密度が減少し、大正 1 溶岩

のもっとも結晶数密度の高いものと同じ程度になることから、プリニアン後期から大正 1 溶岩流出にかけて減圧速度が連続的に減少していったと思われる。プリニアン噴火初期から中期にかけての type-1 と type-2 の違い、後期の type-1、2 と type-3 の軽石の組織の違いの成因は、火道中央と縁でのマグマの速度勾配の変化、それに伴う、結晶化に要する時間の違いによると考えられる。大正 2 溶岩、二次溶岩はメルト組成が他に比べ苦鉄質になるため一概に比較はできないが、桜島大正噴火の噴出物に関しては、メルト組成の変化による石基組織の変化の影響はないと思われる。

第六章では、閉鎖系で石基斜長石組織が時間変化とともにどのように変化するかを、富士山 1707 年の噴火で噴出したスコリアを用いて実験を行った。一気圧下、1200°C、1220°C、1227°C、1235°C で一時間保持した後、常温に急冷したサンプル及び、1120°C、1170°C まで急冷 (凡そ 8 分)、様々に時間を変えて保持急冷したサンプルの石基斜長石組織を解析したところ、常温まで急冷したサンプルに比べ、1120°C、1170°C まで急冷したサンプルは、結晶度、結晶数密度は急激に増加していくことが分かった。CSD は時間変化とともに最初は、細粒な結晶が急激に増加することにより切片が増加、その後、結晶核生成率が減少するとともに、核生成した結晶が成長していくことで、切片が減少、勾配が緩やかになっていく。これらの結果は、石基斜長石は結晶核生成の後、結晶がサイズに依存して成長していく、または結晶成長速度に分散が生じることで組織変化していくことを示唆している。

(別紙 1)

論文審査の結果の要旨

氏名	中村 敬介		
論文 題目	Magma ascent processes inferred from microlite and vesicle textures of the ejecta from the 1914-1915 eruption of Sakurajima volcano (桜島 1914-1915 年噴火噴出物におけるマイクロライトと気泡組織から見たマグマ上昇過程について)		
審査 委員	区 分	職 名	氏 名
	主 査	教 授	佐藤 博明
	副 査	教 授	中村 昇
	副 査	教 授	田結庄 良昭
	副 査	教 授	宇都 浩三
	副 査		
要 旨			
<p>本論文は火山噴火過程を噴出物の岩石組織から読み取ることを試みたものであり、特に結晶サイズ分布 (Crystal size distribution; CSD) についてのこれまでの研究データをとりまとめ、今回分析をおこなった桜島 1914-1915 年噴火噴出物のマイクロライトの CSD データの解釈をおこない、噴火過程の理解について有用な貢献をおこなった。</p> <p>第一章は論文全体の構成について述べている。第二章では、特にこれまでの CSD に関する研究のレビューをおこなっている。結晶サイズ分布、結晶数密度を決める要因として、(1) マグマ混合、(2) オストワルド成長、(3) メルト組成の変化、(4) 冷却速度の変化、(5) 結晶核生成率の変化、(6) メルトの発泡脱ガスに伴うリキダス温度の上昇による結晶化、の 6 つの場合についてこれまでの研究例を紹介し、それぞれの CSD の変化様式について述べている。</p> <p>第三章～第五章は、桜島 1914-1915 年噴火についての地質学的、岩石学的、および岩石組織に関する検討結果について述べている。第三章では 1914 年 1 月のプリニー式噴火噴出物のアイソプレス (等粒度線) を野外調査で求め、さらに軽石、石質岩片の密度測定から、Carey & Sparks (1986) の方法によって噴煙柱高度として 15-18km、平均風速として 20-30m/s を見積もった。さらに、Sparks のモデルから噴出率として $5 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{s}$ を推定した。同じ噴出物についてのアイソパック (等層厚線) から Hayakawa(1985) の関係式から総噴出量として 0.72 km^3 (DRE では 0.21 km^3) と見積もった。一定強度で噴火が継続したとすると、継続時間は約 12 時間となり、実際の継続時間 (34 時間) とほぼ矛盾のない値である。また、プリニー式堆積物中の粒度は下部でより粗粒、低密度であり、噴火初期に大きな噴出率であったことが推定された。これらの噴出率の変動は第五章での CSD の解析結果からの推定と一致する。この章ではまた、Mastin & Ghiorso(2000) の Conflow ソフトウェアを用いて、噴出率を説明する火道径をおよそ 25m と見積もっている。</p> <p>第四章では、噴出物の岩石学的、鉱物学的分析結果について述べている。全岩主成分化学分析、モード分析、鉱物組成分析等をおこない、マグマの温度、メルト組成、等を求めている。噴出物に含まれる斑晶鉱物は、斜長石、単斜輝石、斜方輝石、磁鉄鉱で、大正 2 溶岩と二次溶岩にはかんらん石が含まれる。全岩組成はプリニー式噴出物、大正 1 溶岩は SiO_2 が 61-63wt%、大正 2 溶岩は 60-62wt%、二次溶岩は 60-61wt% と、噴火経過と共に若干塩基性に変化している。斜長石斑晶は An85 と An50 にピークを持つバイモーダルな組成分布を示し、大正 2 溶岩、二次溶岩では汚濁帯を持つものが含まれる。斜方輝石、単斜輝石も #Mg 値に其々 2、3 種類の頻度ピークが認められ、マグマ混合を示唆している。輝石温度計から、低温端成分マグマの温度は 990-1040°C、高温端成分マグマの温度は 1050-1080°C と見積もられた。ガラス組成と石基鉱物組成から見積もった噴火前のメルトの組成は、プリニー式噴火～大正 1 溶岩までは SiO_2 が 68-70wt% 程度で均質であるが、噴火後期の大正 2 溶岩、二次溶岩では SiO_2 が 65-63wt% と、マグマ混合により苦鉄質に変化していることが示された。</p>			

氏名 中村 敬介

第五章では、1914-1915年噴出物の岩石組織の解析結果について述べている。二次後方散乱電子像、X線面分析像から斜長石、輝石、磁鉄鉱等の結晶サイズ分布(CSD)、結晶数密度、気泡のサイズ分布(VSD)と発泡度を求め、さらに同じ試料について密度、含水量等求めている。これらの結果、噴出物を4つのタイプに区分している。タイプ1は低結晶度(<1体積%)、高発泡度(62-75%)の白色軽石で、斜長石の結晶数密度は $2 \times 10^{13} - 1 \times 10^{14} \text{ m}^{-3}$ と低い。タイプ2は相対的に中結晶度(1-11%)、高発泡度(54-74%)の白色軽石で、斜長石の結晶数密度は $10^{14} - 10^{15} \text{ m}^{-3}$ とやや高い。タイプ3は相対的に高結晶度(8-17%)、低発泡度(24-50%)の灰色軽石で、斜長石の結晶数密度は $5 \times 10^{14} - 2 \times 10^{15} \text{ m}^{-3}$ と高い。タイプ4は溶岩流で、高結晶度(16-41%)、低発泡度で、斜長石の結晶数密度は $1.7 \times 10^{14} \text{ m}^{-3}$ とやや高い。タイプ4の中では、斜長石数密度は大正1溶岩、大正2溶岩、二次溶岩の順に小さくなる傾向が認められた。タイプ1と2の白色軽石はプリニー式堆積物の下部から上部を構成するが、タイプ3の灰色軽石は上部にのみ産する。気泡サイズ分布は、いずれの軽石タイプも緩やかに下に凸の特徴を有する。10ミクロン付近の小気泡の数密度はタイプ1, 2, 3の順に小さくなる傾向がある。斜長石マイクロライトの結晶サイズ分布もいずれも緩やかに下に凸の分布を示す。噴出物の含水量はタイプによらず、0.2-0.6wt%の範囲に広がる。これらの結果を解釈するために、近年行われた減圧実験結果のデータから斜長石マイクロライト数密度と減圧速度、あるいは減圧量との関係性を求め、マイクロライト数密度が減圧速度と強く正相関することを示した。桜島1914-1915年噴火では、プリニー式噴火の初期の白色軽石は斜長石マイクロライトの数密度は低い、軽石粒度から見積もった噴出率は大きく減圧速度が大きかったために結晶核生成が不十分な状況で噴出したものと解釈される。より大きなプリニー式噴火の軽石では全くマイクロライトが晶出しな場合があり、この解釈が妥当であることを示唆する。これらのマグマの初期含水量は3-4wt%と推定されており、噴出物の含水量と発泡度から考えると噴出物はある程度上昇途中で脱ガスを経ていると考えられた。

第六章では、天然で観察された斜長石マイクロライトの下に緩やかに凸な結晶サイズ分布が形成された要因を検討するために、富士火山1707年玄武岩を用いた一気圧溶融・結晶化実験の結果を纏めている。実験は縦型炉を用い、雰囲気は $\text{CO}_2/\text{H}_2=50$ でNNOパuffersの酸化状態でおこなっている。いずれもキダス付近でまず1時間溶融し、それから8分で冷却し、過冷却した状態で一定時間保持した後、水中へ試料を落下・急冷している。試料の斜長石結晶サイズ分布を計測し、結晶数密度、平均サイズ等を求めた。この実験では初期に大きな過冷却を課しておりその時に大半の結晶核生成が生じると考えられる。実際、結晶核密度は時間経過に対して殆ど変化していない。得られた結晶サイズ分布はいずれも緩やかに下に凸な特徴を有しており、これは天然のマイクロライトのサイズ分布と類似する。これまで、直線状の結晶サイズ分布は、開放定常系のモデルや、指数関数的な核生成速度の増加モデル(Marsh, 1998)で解釈されることが多かったが、今回の実験は閉鎖非定常系で、かつ短時間の核生成でも類似の分布が得られることを初めて示したもので、その要因として、結晶成長のサイズ依存性、成長速度の分散等が重要であることが示唆された。

第七章は、以上の研究結果をとりまとめている。主要な結論としては、(1)桜島1914-15年噴火の初期プリニー式噴火では初期～中期にみられる白色軽石は発泡度が高く、結晶度の低いタイプ1のものが多く、後期では発泡度が低く結晶度の高い灰色軽石が見られることから、マグマ上昇速度(減圧速度)が初期ではより大きく後期で小さくなったと考えられる。これは堆積物の粒度変化からも支持された。(2)いずれの噴出物でも斜長石マイクロライトの結晶サイズ分布は緩やかに下に凸な分布を示すが、これは実験でおこなったステップ状冷却によっても形成され、従来の考えとは若干異なり結晶成長速度のサイズ依存性や分散によると考えられた。

以上のように、本研究は、桜島1914-1915年噴火について、噴出物の岩石組織解析をおこない、実験データを用いてその噴火様式の変遷と結びつけて解釈をおこなったもので、当該分野に重要な知見を得たものとして価値ある集積であると認める。よって、学位申請者の中村敬介は、博士(理学)の学位を得る資格があると認める。