

論文内容要旨 (和文)

令和2年度入学 大学院博士後期課程

理工学研究科地球共生圏科学専攻地球科学分野

氏 名 佐藤 初洋



論文題目 Magmatic processes of Okama pyroclastics of Zao volcano, northeastern Japan: Constraints from mineral textures and chemical compositions (東北日本、蔵王火山における御釜火砕岩類のマグマプロセス：鉱物組織・化学組成からの制約)

火山の地下に存在するマグマがどのように噴火するのかを解明することは火山学の中心的課題である。近年の物質科学的研究の進展に伴い、火山岩に含まれる鉱物の組織・組成を詳しく解析することで、結晶中に保存されたマグマプロセスに関する情報を読み解き、さらにプロセスの時間スケールを制約することが可能になりつつある。本研究では東北日本で最も活動的な火山のひとつである、蔵王火山の歴史時代活動（御釜火砕岩類、以下 Okp）をもたらしたマグマプロセスの解明を目的に、斑晶鉱物の組織・組成の詳細な解析と検討を行った。

Okp は御釜火口の活動に由来する噴出物で、小規模な (VEI 1-2) マグマ水蒸気噴火による火砕サージ堆積物とスコリア質の火山弾からなり、地質学的特徴から Okp-1-6 の 6 つのサブユニットに細分される。このうち本質物と考えられる火山弾を採取し解析に用いた。

噴出物は中間カリウム・カルクアルカリ系列の玄武岩質安山岩または安山岩 (~57 wt% SiO₂) に属する。斑晶鉱物として、すべての試料に斜長石・直方輝石・単斜輝石・鉄チタン酸化物鉱物が観察され、Okp-5 から採取された一部の試料には少量のカンラン石も含まれる。

BSE 像の観察から、斜長石は多様な結晶組織が認められた。BSE 像上で明暗の縞を繰り返す波動累帯構造、明るい領域と暗い領域が不規則に分布し、主に四角形～不定形のガラス主体の包有物を含むパッチ状組織、細粒 (数 μm スケール) なガラスと鉱物の包有物からなる汚濁帯、汚濁帯よりやや粗粒 (10 μm スケール) で、丸いガラスまたは鉱物の包有物からなる篩状組織などが観察された。パッチ状組織は低 An 領域主体の p-1、高 An 領域主体の p-2、骸晶組織が観察される p-3 に細分された。An 組成について、波動累帯構造およびパッチ状組織の暗い領域では An₆₅、明るい領域では An₇₇ にピークが認められた。汚濁帯と篩状組織はそれらと比較して An に富む (An₇₄₋₉₂)。これらの結晶組織は斜長石結晶中にしばしば複合して観察される。斜長石斑晶はコア組織をもとに、Type 1、均質；Type 2、波動累帯構造；Type 3、パッチ状組織；Type 4、篩状組織の 4 タイプに分類された。

直方輝石はコア Mg# 組成に基づいて、Type 1, Mg# 68-76；Type 2, Mg# 62-68；Type 3, Mg# 55-62 の 3 種類に分類された。コアの外側において、type 1 は正累帯、type 2 は正累帯、均質、逆累帯のいずれか、type 3 は逆累帯構造を示す。タイプに関わらず、大部分 (60-70%) の結晶リム付近において Mg# が増加する領域、high-Mg band が認められる。High-Mg band は幅の違いから narrow high-Mg band (<10 μm) と broad high-Mg band (~30 μm) に分類される。Broad high-Mg band は一部の結晶で、narrow high-Mg band の内側に観察される。Narrow/broad high-Mg band の Mg# は type 1 のコアに類似する。タイプにかかわらず、最外縁リム組成は Mg# 63-68 を示し、type 2 コアと重複する。

岩石学的特徴から、噴出物は複数のマグマの混合によって形成されたと考えられる。直方輝石の Mg#

はメルト組成を反映することから、type 1-3 の直方輝石を結晶化させたマグマを、それぞれ M_1 - M_3 と定義した。各々のマグマについて物理化学条件を鉱物-メルト間の元素分配、地質温度・圧力・含水量計、相平衡計算 (rhyolite-MELTS) を組み合わせて検討した結果、 M_1 は 300–400 MPa, $\sim 1120^\circ\text{C}$, ~ 2.0 wt% H_2O , ~ 50 wt% SiO_2 , M_2 は ~ 200 MPa, $\sim 980^\circ\text{C}$, ~ 2.0 wt% H_2O , ~ 60 wt% SiO_2 , M_3 は >150 MPa, $<980^\circ\text{C}$, 60–63 wt% SiO_2 と制約された。

斜長石の鉱物組織を検討した結果、波動累帯構造とパッチ状組織 (p-1), 汚濁帯は浅部マグマ溜まり (M_2 と M_3) における深部からのマグマ注入と混合を、篩状組織とパッチ状組織 (p-2 および p-3) は注入するマグマ (M_1) の混合による冷却を記録していると考えられる。また、直方輝石の Mg#ゾーニングを系統解析し、各マグマがどのように相互作用するか検討した結果、 M_1 と M_2 間の混合が最も支配的であること、 M_3 はマグマ溜まり周縁部を構成し、 M_1 とは直接混合していなかったことが明らかになった。

マグマプロセスの時間スケールを制約するために、斜長石の NaSi–CaAl, Mg, 直方輝石の Fe–Mg 拡散モデリングから、結晶の滞留時間を推定した。斜長石 NaSi–CaAl では 2–300 年, Mg ではリム側で 0.3–8 年, コア側では完全に平衡に達しており >70 年の時間スケールが得られた。一方、直方輝石 Fe–Mg では narrow high-Mg band からは 1 日未満–3 年 (多くの計算結果は 3 ヶ月以内に集中), broad high-Mg band からは 3–10 年の時間スケールが得られた。それぞれの滞留時間を比較検討すると、マグマ注入は噴火のおよそ 10 年前から開始し、数か月前から数日前にかけて活発化していたと考えられる。それ以前の注入は 100 年以上前から休止していたが、これは Okp の噴火間隔 (10 年程度) と比較して大幅に長い。したがって、噴火直前のマグマ注入は浅部マグマ溜まり全体を活性化させるには至らず、局所的なものにとどまっていたと推測される。Okp をもたらした活動は、700 年間ほぼ一定の規模・組成のマグマを噴出し続けていたことが地質学的証拠から示されているが、このような局所的な浅部マグマ活性化は定常的なマグマプロセスに関連している可能性がある。

論文内容要旨 (英文)

令和2年度入学 大学院博士後期課程

地球共生圏科学専攻 地球科学分野

氏 名 佐藤 初洋



論文題目 Magmatic processes of Okama pyroclastics of Zao volcano, northeastern Japan: Constraints from mineral textures and chemical compositions

Textures and chemical compositions of volcanic crystals preserve the information on magmatic processes during their crystallisation histories. Observations from these crystal records can constrain the processes within the plumbing system. In this study, we examined the volcanic crystals (plagioclase and orthopyroxene) from the Okama pyroclastics (Okp) of Zao volcano, one of the representative active stratovolcanoes in northeastern Japan, in order to explore the nature and temporal evolution of the magma plumbing system beneath active volcanoes. Plagioclase and orthopyroxene phenocrysts in the Okp samples exhibited a wide range of compositions, disequilibrium textures, and complex zoning patterns. These features indicate repeated multiple injections of mafic magma and mixing with shallow magma reservoirs. At least three magmatic environments (MEs) were identified beneath Zao volcano. M_1 (300–400 MPa, $\sim 1120^\circ\text{C}$, 2.0 wt% H_2O , and ~ 50 wt% SiO_2), M_2 (~ 200 MPa, $\sim 980^\circ\text{C}$, 2.0 wt% H_2O , and ~ 60 wt% SiO_2); M_3 (< 200 MPa, $< 980^\circ\text{C}$, and 60–65 wt% SiO_2). These MEs interacted with several connection pathways. Connections between M_1 and M_2 actively interacted during the entire period resulting in the formation of Okp. Diffusion of Na–Si–Ca–Al interdiffusion and Mg in plagioclase, as well as Fe–Mg interdiffusion in orthopyroxene phenocrysts, were modelled to constrain timescales from the interactions with different magma environments to the eruption. In comparison with timescale results from different elements and phases, new magma recharge and mixing processes between M_1 and M_2 started ~ 10 years before the eruption and were active from a few months to a few days before the eruption. Before that, the injection had been dormant for more than 100 years, which is significantly longer than the eruption interval of Okp (~ 10 years). Therefore, the new magma recharge partially activated the shallow magma reservoir. According to the geological evidence, the Zao volcano for Okp erupted at a constant volume. The local activation of the shallow magma reservoir may be associated with the steady-state magmatic processes.

学位論文の審査及び最終試験の結果の要旨

令和5年2月7日

理工学研究科長 殿

課程博士論文審査委員会

主査 伴 雅雄



副査 湯口貴史



副査 並河英紀



副査

印

副査

印

学位論文の審査及び最終試験の結果を下記のとおり報告します。

記

論文申請者	地球共生圏科学専攻・地球科学分野 氏名 佐藤 初洋		
論文題目	Magmatic processes of Okama pyroclastics of Zao volcano, northeastern Japan: Constraints from mineral textures and chemical compositions (東北日本, 蔵王火山における御釜火砕岩類のマグマプロセス: 鉱物組織・化学組成からの制約)		
学位論文審査結果	合格	論文審査年月日	令和5年1月18日～ 令和5年1月26日
論文公聴会	令和5年1月26日	場 所	理学部A202教室
最終試験結果	合格	最終試験年月日	令和5年1月26日

学位論文の審査結果の要旨 (1,000字程度)

本論文は、蔵王山の最新の噴出物である御釜火砕岩類をもたらしたマグマ供給系について地球物質科学的研究を行ったものである。第1章では、研究背景と目的、すなわち、地球物質科学的な発展し、噴出物の物質科学的研究によってマグマ供給系の構成、噴火に至るマグマプロセス及びタイムスケールが精度良く解明されるようになってきたという背景の下、蔵王山、御釜火砕岩類を対象にそれらを解明するということが述べられている。第2章では蔵王山の地質概要と御釜火砕岩類の地質学的特徴が詳述されている。第3章では試料の観察と化学分析方法が説明されている。第4章では試料の組織、全岩化学組成、鉱物組織・化学組成の特徴が詳述されている。第5章では、蔵王山の御釜火砕岩類をもたらしたマグマ供給系について考察されている。まず、全岩・鉱物化学組成を基に地球物質科学的温度・圧力計を用いることによってマグマ供給系の基本構造が解明された。それは地下約8 km付近に存在する浅部安山岩質マグマ溜りと約10~12 kmに存在する玄武岩質マグマ溜りからなるものである。また、斑晶鉱物の組成累帯パターンを解析することにより噴火に至るマグマプロセス、すなわち深部から玄武岩質マグマが浅部安山岩質マグマ溜りに注入し、形成された混合マグマが噴火したということが解明された。さらに、混合マグマ中で斑晶鉱物の化学組成が拡散によって変化した時間を求めることによって、注入から噴火までのタイムスケールを推定した。その結果、注入は噴火の約3~10年前から起り始め約3か月前から活発化したこと、またそれ以前の注入は噴火の70年以上前であったこと、すなわち浅部マグマは噴火の直前に局所的に活性化されたことが示された。第6章では本論で得られた知見がまとめられている。

本研究結果の主要部分は国際誌に掲載済みであり、学位論文の審査の条件を満たしている。また、国際学会3件、国内学会5件を通して研究成果を公表し国内外の研究者から、専門性が高く興味深い成果であるとの評価を得てきた。本論文で得られた結果は、活火山のマグマ供給系の構造、噴火に至るマグマプロセス及びタイムスケールを精密に解明した点において他火山の同様の研究に波及効果が高く、また噴火予測を行う際に重要な情報となる。このように本研究は学術的価値のある知見を有しており、また論理的に書かれ、テーマに沿った結論を得、構成や体裁も整っており、博士学位論文として十分な価値があるとして合格と判定した。なお、本論文は、研究倫理又は利益相反等に係る学内規則に基づく手続きは必要ありません。

最終試験の結果の要旨

学位論文の内容を要約した口頭発表及び質疑応答を最終試験とした。研究のテーマ及び研究方法是、当該分野の博士論文として適切なものであり、また、データの質と量、考察内容、結論は博士論文として十分なレベルに達していると判断された。質疑応答の過程では、該当分野の専門知識、技能、および考察力を有していると判断された。さらに、研究の展望や波及効果についての意見も有している。以上から課程博士として十分な資質が認められ、最終試験を合格と判定した。