

## 大隅降下軽石にみる大規模火砕流噴出の前駆噴火プロセス Precursory eruption for a large ignimbrite eruption; example of Osumi pumice fall deposit from Aira caldera

下司 信夫<sup>1\*</sup>; 宮縁 育夫<sup>2</sup>  
GESHI, Nobuo<sup>1\*</sup>; MIYABUCHI, Yasuo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>産総研 活断層・火山研究部門, <sup>2</sup>熊本大学教育学部

<sup>1</sup>Inst Earthquake Volcano Geology, Geological Survey of Japan, AIST, <sup>2</sup>Kumamoto University

カルデラ陥没とそれに伴う大規模火砕流の噴出は、それに至る前駆噴火過程を伴っている。前駆噴火過程におけるマグマ噴出がマグマ溜りの減圧をもたらし、その結果マグマ溜りの天井の破壊陥没が生じる。始良カルデラから 29calBP に発生した大規模噴火は、九州島南部の大部分を覆った入戸火砕流を噴出し、この噴火によって現在の始良カルデラの構造が形成されたと考えられている。この噴火の初期には、見かけ体積約 100 立方 km に及ぶ大規模な大隅降下軽石の噴出があった (Kobayashi et al. 1983)。この大規模な降下軽石の噴出によってマグマ溜りの減圧が進行し、カルデラの陥没と大規模な火砕流の噴出をもたらしたと考えられる。我々は、大隅降下軽石の層序に沿った岩相変化を解析することで、巨大火砕流噴火に至るマグマシステムの理解を目指している。大隅降下軽石は、Kobayashi et al. 1983 ですでに報告されているように、全体として上方粗粒化し、その上位を妻屋火砕流や入戸火砕流に直接おおわれる。給源と推定される始良カルデラ南部の桜島付近から分布軸上に約 15km 離れた垂水市大野原林道では層厚は約 10m である。基底から約 2m はやや細粒であり、また基底から約 4.5m に細粒の薄層が挟まれるが、全体としては顕著な堆積ユニットは認められない。基底部では軽石の最大粒径 (MP: 5 個平均) は 3cm、最上部では 8cm に達する。また、石質岩片 (異質岩片) の含有量は約 5% である。異質岩片は、基盤を構成する四万十帯の堆積岩 (頁岩と少量の砂岩) およびごく少量の花崗岩、それを覆っていた先カルデラ火山からもたらされたと考えられる流紋岩~デイサイト溶岩と、安山岩溶岩・スコリア片からなる。基底から上部に向かって、基盤岩由来の岩片に対して表層部に分布していた火山岩類の岩片の比率が上昇する。これらの観察事実から、大隅降下軽石の噴出過程において火道の拡大が進行し、火道の断面の増加による噴出率の増加が大規模な降下軽石の噴出とそれによるマグマ溜りの減圧を促し、カルデラ陥没と大規模火砕流の噴出に至ったと考えられる。

キーワード: 大規模火砕流, カルデラ噴火, 始良カルデラ, 噴火

Keywords: Ignimbrite eruption, caldera-forming eruption, Aira caldera, Eruption

## 始良カルデラ噴火におけるマグマの混合・端成分・起源 Mixing, end-member components and origin of felsic and mafic magmas erupted by Aira caldera-forming eruption

日向 宏伸<sup>1\*</sup>; 巽 好幸<sup>1</sup>; 鈴木 桂子<sup>1</sup>; 谷 健一郎<sup>2</sup>; 木村 純一<sup>3</sup>; 常 青<sup>3</sup>  
HINATA, Hironobu<sup>1\*</sup>; TATSUMI, Yoshiyuki<sup>1</sup>; SUZUKI-KAMATA, Keiko<sup>1</sup>; TANI, Kenichiro<sup>2</sup>;  
KIMURA, Jun-Ichi<sup>3</sup>; CHANG, Qing<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 神戸大学大学院理学研究科, <sup>2</sup> 国立科学博物館地学研究部, <sup>3</sup> 海洋研究開発機構地球内部物質循環研究分野  
<sup>1</sup>Department of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Science, Kobe University, <sup>2</sup>Department of Geology and Paleontology, National Museum of Nature and Science, <sup>3</sup>Department of Solid Earth Geochemistry, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

Aira caldera, located in southern Kyushu, is a collapse caldera with ~20 km in diameter and was formed by a caldera-forming eruption occurred at ~29 ky ago. The Aira eruption effused voluminous white pumices basically formed from homogeneous felsic magma. They show the following disequilibrium petrographic features: (1) dark pumice (Arakawa et al., 1998) and banded pumice erupted along with the white pumice, and (2) cores of the plagioclase phenocrysts possess wide compositional range in both An content and Sr isotope composition. These suggest that the Aira eruption was caused not only by the felsic magma but also by the mafic magma, generated from different sources.

The An content of the plagioclase cores ranges from An<sub>33</sub> to An<sub>88</sub>. These phenocrysts can be divided into two types such as high-An (type-A: An >70), low-An (type-B: An <60) based on An contents of their cores and rims. Sr isotope ratios of the type-A and B phenocrysts coincide with those of the dark pumice and the white pumice, respectively. These values are distinct from Shirahama basalt which is assumed to be derived from upper mantle and basement rocks such as the Shimanto sedimentary rocks and the Takakumayama granite. Therefore, the mafic and felsic magmas which crystallized type-A and type-B plagioclase are not simply derived from upper mantle and basement rocks, respectively.

U-Pb dating of the zircon crystals in the white pumice shows concordant ages ranging from 249 to 2517 Ma. The age range is identical to those of the zircons from the basement rocks (Shimanto sedimentary rocks). However, no older zircons in white pumice show overgrowth structure. It is thus likely that older zircon is not source material but one of end-member components.

End-member components for magmas were estimated using element partitioning data (Bindeman et al., 1998; Bindeman and Davis, 2000). The mafic magma (SiO<sub>2</sub> = 59 wt.%, Sr = 391, <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr = 0.7066) which crystallized the type-A plagioclase can be derived from mixing between the basement rocks (Shimanto sedimentary rocks) and the basaltic magma (Shirahama basalt) derived upper-mantle. The felsic magma (SiO<sub>2</sub> = 75 wt.%, Sr = 103, <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr = 0.7060) which crystallized the type-B plagioclase was derived from the middle-lower crustal rocks based on the Sr isotope ratio. The composition of the dark pumice in the Ito ignimbrite can be explained by mixing between the mafic and the felsic magmas. Therefore, it is possible to propose that a cryptic magma should contribute to felsic magma production in association with Aira eruption.

キーワード: 始良カルデラ, カルデラ噴火, マグマ混合, 端成分, ジルコン, 斜長石

Keywords: Aira caldera, caldera-forming eruption, magma mixing, end-member components, zircon, plagioclase

## 桜島火山安永溶岩中苦鉄質包有物の組織解析に基づく苦鉄質マグマ冷却過程 Cooling process of mafic magma by texture analysis of mafic inclusions in An-ei lava, Sakurajima volcano

山下 俊介<sup>1\*</sup>; 寅丸 敦志<sup>2</sup>  
YAMASHITA, Shunsuke<sup>1\*</sup>; TORAMARU, Atsushi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>九州大学 大学院理学府 地球惑星科学専攻, <sup>2</sup>九州大学 大学院理学研究院 地球惑星科学部門  
<sup>1</sup>Department of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Sciences, 33 Kyushu University, <sup>2</sup>Department of Earth and Planetary Sciences, Faculty of Sciences, 33 Kyushu University

苦鉄質包有物は、苦鉄質成分マグマがほぼ組成の均質化をおこすことなく、周囲のマグマに包有されたものであり、マグマ混合過程での苦鉄質マグマについて多くの情報を保持していると考えられる。本研究対象の桜島火山では、Yanagi et al.(1991)によって15世紀以降の噴出物中の斜長石斑晶コアがバイモーダルな組成分布を示すことなどの根拠により2端成分マグマ混合が示唆されており、また1779年安永噴火の溶岩中に苦鉄質包有物が存在することが知られている。したがって、桜島火山マグマ混合による苦鉄質包有物の冷却過程を解明することを目的として、1779年安永噴火の溶岩中の苦鉄質包有物の試料記載・岩石記載・組織解析を行った。

苦鉄質包有物は一般に10~20cm程度の楕円形状をしており周囲の母岩と明瞭な境界を持っていた。また、斑状組織をもち斑晶鉱物は斜長石・斜方輝石・単斜輝石・磁鉄鉱・少量のかんらん石で、マイクロライトは斜長石・斜方輝石・単斜輝石・磁鉄鉱から構成される。一方、母岩の安永溶岩も斑状組織を有し、斑晶鉱物は斜長石・斜方輝石・単斜輝石・磁鉄鉱で、マイクロライトは斜長石・斜方輝石・単斜輝石・磁鉄鉱から構成される。また、苦鉄質包有物と安永溶岩中の斜長石斑晶は、大きなパッチ状包有物を含むような構造の有無により二種類に分類できる。包有物を有する斜長石は、高An部(An75-90)と低An部(An55-70)が1つの斑晶中に不均質に分布している特徴が見られた。また、包有物を有しない斜長石斑晶は、コアは清澄で1つの結晶での組成幅は小さいが、個々の斑晶は明確に異なる2つの組成グループ(An60程度, An85程度)に属し、苦鉄質包有物は高Anグループの割合が多い。苦鉄質包有物中の斜長石・輝石マイクロライトは著しく伸張しており、母岩中の両マイクロライトは~50 μmであるのに対し苦鉄質包有物中では~300 μmであった。

マイクロライト数密度(MND)から冷却速度を定量的に見積もるため、MND組織解析を行った。その結果、冷却速度は $0.19\text{-}4.18 \times 10^{-4} \text{ K/s}$ と求まった。また、斜長石マイクロライトのコア・リム組成から晶出開始・終了温度を見積もり、その結果、一定の冷却速度を持つと仮定すると苦鉄質包有物中の斜長石マイクロライトの結晶化に要した時間スケールは数日~数十日ということが分かった。さらに、このマイクロライトについて結晶サイズ分布(CSD)解析を行った。そのCSDは片対数で直線的であり、マイクロライトは焼き鈍しを経験していない、もしくは焼き鈍しの効果が影響的ではなかったことを示し、結晶化が終了してから噴火までの時間は無視できるほど短いと考えられる。したがって、苦鉄質包有物中のマイクロライトの結晶化が開始してから噴火までの時間スケールは数日~数十日程度ということが分かった。

キーワード: 桜島火山, 苦鉄質包有物, 組織解析, マイクロライト数密度, マグマ混合過程, マグマ冷却過程

Keywords: Sakurajima volcano, mafic inclusion, texture analysis, microlite number density, magma mixing process, magma cooling process

## 霧島火山群，甕岳火山の発達史—小型成層火山の形成過程— Eruptive history of Koshikidake Volcano of the Kirishima volcanic group - A study on growing stratovolcanoes-

田島 靖久<sup>1\*</sup>  
TAJIMA, Yasuhisa<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 日本工営  
<sup>1</sup> Nippon Koei Co., Ltd.

霧島火山群は、多様な形態の火山から構成される火山群であり、火山体の分類を行うのに良好なフィールドとなる。山頂を中心に裾野が広がる成層火山と似た形態の高千穂峰、御鉢は、井ノ上 (1988)、筒井・他 (2007) によって急成長した発達過程が明らかにされている。この様な推移について、霧島火山群の他の火山においても起きているのか検討をする必要がある。霧島火山群では、飯盛山、甕岳、丸岡山がこれらに近い成層火山の特徴を有しており、高千穂峰、御鉢との比較検証が可能と考えられる。この中でも甕岳火山はテフラと溶岩の関係を明らかにすることができたため、その発達過程について示し火山体形成の比較議論を行う。霧島火山群を起源とするテフラ層の中で、韓国岳—小林テフラ (Kr-Kb) と入戸火砕流堆積物の間に、降下スコリア層があることが知られている。この降下スコリア層は、飯盛山に向かい層厚を増すことより、飯盛山スコリア層と呼ばれていた (遠藤・小林ローム研究グループ, 1969)。一方、Imura (1992) は、同層の等層厚線図より韓国岳が給源であると推定し、韓国岳スコリアと改称した。同層の等層厚線、粒径が甕岳火山に向かい増加することを示し、甕岳-白鳥下湯 1~10 テフラ (Ks-Ss1~Ks-Ss10) と再定義した。次に、甕岳火山を起源とする溶岩は、霧島火山群の北域に広く分布しており (沢村・松井, 1957; 井村・小林, 2001)、火口からの到達距離は 7 km を超える。甕岳溶岩の表面積は約 30 km<sup>2</sup> となり、安山岩溶岩としては規模の大きなものである。2011 年 11 月から始まった西之島において大量の溶岩噴出が継続している現在、大規模な溶岩噴出例としてもその噴火推移を示す必要がある。甕岳火山の活動は、初期に小~中規模のブルカノ式噴火の活動から始まった。Ks-Ss1~Ks-Ss5 は小~中規模の噴火活動を行っていたが、Ks-Ss6 の時に急に大量の溶岩と降下火砕物を噴出する噴火活動に変化した。Ks-Ss1~Ks-Ss6 では噴火毎に短い静穏期があったと考えられるが、Ks-Ss1~Ks-Ss6 間の土壌発達には貧弱であり静穏期間は長くなかったと推定される。城ヶ崎では Ks-Ss7a~Ks-Ss8 間に泥炭層、湖成層が認められることより、数百年以上の静穏期があったと考えられる。その後、Ks-Ss8~Ks-Ss9 は比較的短時間の活動を行い、Ks-Ss10 のブルカノ式噴火で成長を止めた。御鉢火山では、約 1300 年前から活動を開始し、500 年後に山体を成長させた高原スコリア噴火を発生させた (筒井・他, 2007)。高千穂峰の複合火山も、古高千穂—蒲牟田テフラの噴出から 1000 年以内に主たる活動が生じ、高千穂峰—王子テフラでほぼその活動を終えたと考えられている (井ノ上, 1988)。最初期の小~中規模の活動から、前期の急激に山体を成長させる活動に至った。初期の相対的な小規模な活動を経て、急激に成長する火山体の発達過程は、これらの火山に共通した特徴と言え、成層火山の成長には急激に噴出率が上がる時期があると考えられる。

キーワード: 霧島火山群, 甕岳火山, 成層火山, 溶岩, 古加久藤湖

Keywords: Kirishima volcanic group, Koshikidake volcano, strato volcano, lava, Ko-Kakuto lake

## 南島原玄武岩の起源

# The genesis of the Minami-Shimabara basalts erupted at the pre-stratovolcao stage of Unzen

眞島 英壽<sup>1\*</sup>

MASHIMA, Hidehisa<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 明治大学黒耀石研究センター

<sup>1</sup>Center for Obsidian and Lithic Studies, Meiji University

Hydrous components derived from the subducting slab, such as aqueous fluids and hydrous melts, are generally believed to play an essential role in subduction zone magmatism. From the viewpoint of this petrologic concept, the genesis of the Unzen magmatism in west Kyushu, southwest Japan is an enigma. The Wadachi-Beniof Zone beneath Kyushu indicate that the subducted Philippine Sea Plate does not extend to Unzen, which indicates that petrologic models emphasizing the role of slab-derived hydrous components cannot explain the genesis of the Unzen magmatism. In other words, the Unzen magmatism gives us new insights into our understanding of the subduction zone magmatism. The petrogenesis of Unzen, however, has not been well understood yet, since the modern Unzen volcanism is dominated by eruptions of dacite and is devoid of primitive basalt lavas. It is, therefore, impossible to constrain physicochemical conditions of primitive magma genesis using petrologic observations for present magmatic products there. The Minami-shimabara basalts (MSBs) distributed at the southern foot of Unzen erupted at the pre-stratovolcao stage from 4.6 to 1.0 Ma. The genesis of the MSBs would give us some insights into our understanding of the Unzen magmatism.

The MSBs do not show meaningful correlations on the major element oxide vs. MgO diagrams, indicating that magmatic processes the MSBs experienced were complicated. The behaviors of compatible elements such as Ni and Cr, however, indicate that magmatic processes in the mantle would have played essential role in the compositional features of the MSBs. The Mg-Fe-Ni compositions indicate that the MSBs could have been in equilibrium with Fe-rich mantle olivines with Fo = 80 -87. On the normative olivine-quartz-Jd+Ca diagram, the MSB are plotted parallel to the adiabat of melting anhydrous peridotite. These features indicate that multi-stage partial melting at 1.5-0.5GPa would essentially have formed compositional variations of the MSBs. The low pressure where the primitive melts were last in equilibrium with the source mantle is consistent with seismic observations of Unzen suggesting that crustal thinning occurs there.

The normative compositions also indicate that the source mantle would have had relatively low temperature ( $T_p \approx 1300$  °C). The estimated low potential temperature indicates the MSB magmatism would have caused by a passible upwelling induced by the subsidence of the Shimabara Basin. Forcal mechanisms and GPS displacements indicate that dextral transtensional strain of the Amakusa-nada Graven controls these geologic phenomena.

キーワード: 南島原玄武岩, 多段階部分溶融作用, テクトニクス, 右横ずれ

Keywords: the Minami-Shimabara basalts, multi stage partial melting, tectonics, dextral

## 斜長石およびメルト包有物組成からみた阿蘇-4火砕流マグマ溜りの層構造 Zonal structure of Aso-4 magma reservoir as estimated from compositions of plagioclase and melt inclusions

山崎 秀人<sup>1</sup>; 長谷中 利昭<sup>1\*</sup>; 安田 敦<sup>2</sup>  
YAMASAKI, Hideto<sup>1</sup>; HASENAKA, Toshiaki<sup>1\*</sup>; YASUDA, Atsushi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 熊本大学大学院自然科学研究科, <sup>2</sup> 東京大学地震研究所

<sup>1</sup> Graduate School of Science & Technology, Kumamoto University, <sup>2</sup> Earthquake Research Institute, The University of Tokyo

日本における最大規模の噴火である阿蘇-4火砕噴火は、噴出物の層序学的関係が多くの研究者によって明らかにされており、巨大火砕噴火の推移を研究するのに適している。阿蘇-4火砕噴火第1サイクルの小谷軽石流堆積物(以下、小谷)、肥猪火山灰流堆積物(以下、肥猪)、八女軽石流堆積物(以下、八女)、弁利スコリア流堆積物(以下、弁利スコリア、軽石)の斜長石斑晶、および斑晶鉱物に含まれるメルト包有物の組成をEPMAによって測定し、小谷、肥猪のメルト包有物の含水量をFT-IRによって測定した。

軽石中に含まれる斜長石の組成分布は、単一ピーク(肥猪)から二山ピーク(小谷、八女)に変化し、また単一ピークになる(弁利軽石)。斜長石の組成幅はより時間推移とともに広くなり弁利軽石、スコリアで最大になる。最大ピークの中央値は、An = 35% (肥猪), An45% (小谷, 八女, 弁利軽石), An90% (弁利スコリア)であるが、すべての試料にAn55%組成の斜長石が少量含まれる。コアとリムの組成に顕著な違いは見つからなかった。

軽石の全岩化学組成は肥猪、八女ではSiO<sub>2</sub>=68~70%、小谷はSiO<sub>2</sub>=67~70%、弁利軽石はSiO<sub>2</sub>=66~67%であった。しかし、斜長石、斜方輝石斑晶に含まれるメルト包有物のガラスでは、分析した肥猪と小谷の間で明瞭な違いが認められた。肥猪のメルト包有物はSiO<sub>2</sub>=73~74%の狭い組成領域に分布するが、小谷のメルト包有物は肥猪の組成領域を含み、SiO<sub>2</sub>=71~74%のやや広い組成範囲を示す。椎原(2014)が、カルデラ東方のAso-4Aテフラで同様の関係をもつ2種のガラス組成、すなわちGroup1(SiO<sub>2</sub>=73-74%)、Group2(SiO<sub>2</sub>=71-72.5%)を報告しており、それぞれ肥猪と八女の火砕流堆積物のガラスに対応すると議論した。椎原(2014)の肥猪と八女ガラスが、本論の肥猪および小谷メルト包有物とほぼ同じ組成を示すことから、両者はそれぞれ、同じメルトを代表することが推定された。すなわち、西方に流れた小谷火砕流と東および北西方向に流れた八女火砕流は、ほぼ同じマグマ供給系由来である可能性がある。

含水量は肥猪のメルト包有物は4%以上、シリカにやや乏しい小谷ガラス包有物は2~4%であった。塩素濃度は肥猪のメルト包有物の方が小谷より高いが、硫黄はシリカに乏しい小谷の方がやや高い含有量を示す。

以上をまとめると、肥猪は1つのマグマ液相を、小谷、八女、弁利軽石は2つのマグマ液相を代表すると考えられる。わずかな量のAn55組成の斜長石と平衡なややマフィックなマグマは検出されていないが、噴火前の混合過程の端成分であったことが示唆される。さらに第1サイクルの最後のステージで弁利スコリア(斜長石はAn90)に代表される最もマフィックなメルトが出現した。阿蘇-4の成層マグマ溜りは上部から肥猪メルト、小谷・八女メルト、"An55"メルト、弁利スコリアメルトがあったことが、岩石学的につきとめられた。これらのデータを最も説明しやすいモデルは成層マグマ溜りの上層からの段階的なマグマ混合、排出であろう。

キーワード: 阿蘇-4火砕流, マグマ溜り, メルト包有物, 斜長石

Keywords: Aso-4 pyroclastic flow, magma reservoir, melt inclusion, plagioclase

## 0.4Ma以降における富士火山および隣接する諸火山のマグマ供給系とテクトニクスの進化 Evolution of magmatic plumbing system and tectonics of Fuji and adjacent volcanoes since 0.4Ma.

高橋 正樹<sup>1\*</sup>; 鶴川 元雄<sup>1</sup>  
TAKAHASHI, Masaki<sup>1\*</sup>; UKAWA, Motoo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 日本大学文理学部

<sup>1</sup>College of Humanities and Sciences, Nihon University

0.4Ma以降の富士火山および隣接する愛鷹, 先小御岳, 箱根, 伊豆東部(天城)などの諸火山のマグマ供給系の進化は, フィリピン海プレート北端部における島弧衝突テクトニクスと密接な関係を有しているものと考えられる。0.4Ma以降の富士火山およびこれらの隣接する諸火山のマグマ供給系の進化史は, Stage-1 から Stage-3 の3期に区分される。Stage-1 (0.40~0.27Ma) では, 玄武岩質~安山岩質の愛鷹, 先小御岳, 箱根, 天城などの成層火山が形成されたが, このステージではフィリピン海プレートは, 駿河トラフと神縄断層からの沈み込み運動を続けていた。Stage-2 (0.27~0.13Ma) では, 丹沢ブロック上に形成された愛鷹および先小御岳の両成層火山の活動がみられ, その下には駿河トラフから沈み込むフィリピン海プレートが沈み込みを続けていた。このステージの箱根火山は, 成層火山群の形成から, 大規模珪長質噴火活動とカルデラの形成, および安山岩質~珪長質の独立単成火山群とそれに関連した平行岩脈群の活動へと変化しており, NNW-SSE 方向に伸びた地溝帯がそれに直交する方向の引張テクトニクス場の下に形成されていた。このステージには, 箱根火山を載せたフィリピン海プレート北端部で丹沢ブロックとの衝突・固着化が進み, 沈み込み運動はほぼ停止していたらしい。そのために, 駿河トラフから西方への沈み込みによって生じた歪は, 箱根火山における地溝帯の形成によって解消されていた可能性が高い。Stage-3 (0.13~現在) に入ると, フィリピン海プレート北端部と丹沢ブロックとの固着化はさらに進行し, 箱根火山地域には, 地溝帯に代わって箱根火山の中心部を縦断するように左横ずれ断層系(丹那・平山断層)が発達するようになり, そのブルアパート部に中央火口丘火山群が形成された。一方, 丹那・平山断層系の東方ブロックは北上するように移動し, そのために天城火山地域は引張テクトニクス場におかれて伊豆東部単成火山群が形成された。神縄断層での固着化が進んだため, 駿河トラフから西方に沈み込むフィリピン海プレートによって生じた歪は, 富士火山直下の深部に開口性割れ目が発達することで解消されるようになった。このことが, 富士火山で大量の玄武岩質マグマが噴出する原因となったものと考えられる。

キーワード: 富士火山, マグマ供給系, テクトニクス

Keywords: Fuji volcano, magmatic plumbing system, tectonics

## 草津白根火山殺生溶岩の斑晶化学組成と微細構造から推定されるマグマ混合と安山岩形成プロセス Multistage magma mixing determined by phenocryst composition and zoning of the Sessho lava, Kusatsu-shirane Volcano

岡本 直也<sup>1</sup>; 押尾 和喜<sup>1</sup>; 上木 賢太<sup>2\*</sup>; 乾 睦子<sup>1</sup>; 野上 健治<sup>3</sup>  
OKAMOTO, Naoya<sup>1</sup>; OSHIO, Kazuki<sup>1</sup>; UEKI, Kenta<sup>2\*</sup>; INUI, Mutsuko<sup>1</sup>; NOGAMI, Kenji<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 国土館大学, <sup>2</sup> 独立行政法人海洋研究開発機構, <sup>3</sup> 東京工業大学火山流体研究センター

<sup>1</sup>Kokushikan University, <sup>2</sup>Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, <sup>3</sup>Tokyo Institute of Technology

本研究では、草津白根山殺生溶岩の斑晶組成と微細構造を用いて、草津白根山の安山岩マグマの形成・結晶化プロセスの考察を行った。本研究の対象とした草津白根火山は群馬県に位置し、約 57 万年前に活動を開始した活火山である(早川・由井、1989)。殺生溶岩は約 5000 年前に本白根山から噴出したと推定されている(吉本ほか、2013)、SiO<sub>2</sub> 含有量 60?63 wt. %の安山岩溶岩である(上木・寺田、2012 など)。本研究では、噴火前の単独のマグマだまりの物理化学環境を制約するために、明らかに一連のイベントで噴出したことが明確であり、噴出時期が明らかになっている殺生溶岩を対象として、一連の噴出物の微細構造の分析を行った。

殺生溶岩に含まれる斑晶鉱物は、斜長石+単斜輝石+斜方輝石+磁鉄鉱土かんらん石であった。かんらん石の Fo 値は 80 前後と、母岩とは非平衡な組成を示し、反応縁を持っていた。このかんらん石と同一のサンプルから、磁鉄鉱と斜方輝石のラメラ状組織を持つシンプレクタイトが確認された。このシンプレクタイトは一般的には、かんらん石の急激な酸化によって生成されると推定されている(たとえば Goode、1974)。このシンプレクタイト内の斜方輝石は、通常の斜方輝石より屈折率が低い特徴を示した。

単斜輝石と斜方輝石ペアのリム組成と輝石温度計(Lindsley、1983)を用いて推定した温度は、700~800 °Cおよび 1000 °Cとなった。1枚の薄片の中でも異なる温度を示す輝石のペアが見られた。1000 °Cを示した斜方輝石と単斜輝石の全主要元素を他の輝石と比較した結果、1000 °Cを示す輝石のリム部分は Al 含有量などで他の輝石とは異なる組成を示す一方、コア部分は低温の輝石とほぼ同じ値を示した。このことから、高温の輝石は、マグマ噴出直前まで温度も化学組成も周囲の輝石とは異なるマグマ内で成長したことがわかる。

EPMAによる組成累帯構造の分析、SEMと偏光顕微鏡による構造と外形の観察に基づいて、斜長石は4種類に分類された。タイプ1の斜長石は自形で An 値が 55?65 のクリアなコアを持つ。タイプ2の斜長石は自形で、An 値が 50?80 のオシラトリーゾーニングを示すコアを持つ。タイプ3の斜長石は汚濁帯からなる An 値が 80?90 のコアと、丸みを帯びた外形を持つ。タイプ4の斜長石は An 値が 55?80 のオシラトリーゾーニングを示すクリアなコアを、汚濁帯からなる An 値が 80?90 のマントル部が取り囲む構造を示す。すべての斜長石は厚さ~50 μm で An 値が 60~80 のリムを持つ。このリムは石基の微斑晶斜長石と同様の組成を持っており、噴火時の急冷減圧で結晶化した部分だと推定される。タイプ3とタイプ4の汚濁帯部分は他の部分やタイプ1、2と比べて高い MgO と FeO 含有量を持ち、これらの元素の含有量が高いマグマから結晶化したことを示す。タイプ1とタイプ2の斜長石の長軸の長さは~1.5 mm であり、タイプ3、4(~1mm)と比べて大きかった。結晶サイズ分布(CSD)を測定した結果、この境界付近に変曲点が存在することから、タイプ1、2とタイプ3、4の斜長石は異なる物理条件で結晶化したことが示唆される。クリアな斜長石(タイプ1)は低温で分化したマグマでの結晶化を、汚濁帯からなる斜長石(タイプ3)は高温で比較的未分化なマグマでの結晶化を表していると推定される。オシラトリーゾーニング(タイプ2)やダスティなマントル部(タイプ4)、高温の輝石のリムの存在は、高温マグマとこれらの斑晶が直接反応していたことを示すと考えられる。

これらの斑晶に基づく観察から、草津白根山の殺生溶岩をもたらしたマグマだまりでは複数回のマグマ混合プロセスが起きていたことが示唆される。結晶化が進んだマグマだまりに、かんらん石や高 An 値の斜長石を含む高温マグマが複数回貫入することで、不均質で、結晶に富んだ安山岩質マグマが生成されたと考えられる。

キーワード: 溶岩, 輝石温度計, 結晶サイズ分布, 安山岩, 噴火, 活火山

Keywords: lava flow, two pyroxene geothermometry, crystal size distribution, andesite, eruption, active volcano



## 水蒸気噴火で発生する低温火砕流 - 焼岳大正池噴火 (1915) とその類例 - Low tempter Pyroclastic flow (pyroclastic density current) from phreatic eruption

及川 輝樹<sup>1\*</sup>  
OIKAWA, Teruki<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>産総研 活断層・火山研究部門  
<sup>1</sup>GSJ/AIST

水蒸気噴火に伴って発生する低温な火砕流は、それほど珍しい噴火現象ではない。19世紀末以降の我が国においても、磐梯山1888年噴火、安達太良山1990年噴火、十勝岳大正泥流噴火(1926年)、焼岳大正池噴火(1915年)、御嶽山2014年噴火と少なからずの噴火が知られている。そのうち、焼岳大正池噴火の推移を記録や新たに発見した古写真などから復元を行う。

焼岳大正池噴火は、焼岳火山の1907-39年にかけての一連の水蒸気噴火の活動中盤ごろに発生した噴火である。1907-39年の噴火は、山頂部の複数の火口から度々水蒸気噴火を発生したが、大正池噴火は新たに山腹に割れ目火口を開裂して発生した噴火である。噴火は、1915年6月6日の7時35分頃発生した。噴火前、30分くらい地震動が上高地で感じられた。その後7時33分頃に上高地、白骨で特別強い振動を感じ、7時35分頃噴火が発生した。噴火は、南東側山腹に新たに開裂した長さ1kmばかりの割れ目火口から噴煙が横殴りに噴出し、その後上方へ上昇した。横殴りの噴煙が通過した範囲は、樹木の幹枝が折れた激しい損木域となっており、横殴りの火砕サージが発生したのは明らかである。ただし、写真や文字記録から樹木の燃えた痕や炭化は認められないため、比較的低温の火砕サージ(低温火砕流)であると判断される。この火砕サージは、火口から1kmほど走り下り、山麓の梓川まで達した。噴火は、30~40分間続いて段々弱くなり1時間続いた。火砕サージの発生とほぼ同時に、火口からラハールが発生し山腹の各沢を流れ下った。噴火時には降雨などが認められないことから、このラハールは火口からあふれ出た熱水などを起源とするラハールと考えられる。このラハールうち、中堀沢、下堀沢を流れ下ったラハールは、梓川沿いに1kmほどの長さでせき止め、その上流1.9kmほどの長さに達する堰止湖を形成した。ラハールの一部は梓川を流れくんだり、島々(約30km下流)に9時半に達した。約29km下流の梓川用水の堰堤には粉碎された大小(大:径1尺5~6寸、長さ9尺、小:屋根埃くらい)さまざまな樹木片が6日午前10時から午後にかけて多量に流れ着いた。上高地(五千尺ホテル)にて小豆大の火山礫(ラピリ)が降下。上高地に1寸(3cm)ほど降灰。細池尻に3~4寸(9~12cm)降灰したが、遠方への降灰はそれほど顕著でない。同様に低温の火砕流が発生した御嶽山2014年噴火も、テフラの分布は火砕流堆積物を含む火口近傍で厚く、遠方の降下テフラが薄い(少ない)といった傾向が認められる。そのため、火口付近で特異的に厚く分布する水蒸気噴火堆積物は、その噴火の際、低温火砕流が発生した可能性がある。

19世紀末以降に低温火砕流が発生した水蒸気噴火は、噴火の初期にそれが発生している。また、山体崩壊を伴うものもそうでないものに大別される。山体崩壊を伴わないものは、新たな火口形成を伴う爆発的な噴火に伴って発生している。これらの傾向から、低温火砕流の発生は、新たな火口形成に伴い多量の低温の岩片が含まれることで浮力を獲得できない噴煙が重力に引きずられて流れ下ったモデルが想起される。

キーワード: 焼岳, 水蒸気噴火, 大正池, 低温火砕流, 火砕物重力流, 1915

Keywords: Yakedake, phreatic eruption, Taishoike, Low tempter pyroclastic flow, pyroclastic density current, 1915

## 遠方におけるラハール堆積物の堆積相変化 - 鳥海火山の例 - Sedimentary facies changes of lahar deposits in distal area, Chokai volcano, NE Japan

南 裕介<sup>1\*</sup>; 大場 司<sup>2</sup>; 林 信太郎<sup>3</sup>; 片岡 香子<sup>4</sup>

MINAMI, Yusuke<sup>1\*</sup>; OHBA, Tsukasa<sup>2</sup>; HAYASHI, Shintaro<sup>3</sup>; KATAOKA, Kyoko S.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 秋田大学大学院工学資源学研究科, <sup>2</sup> 秋田大学国際資源学部, <sup>3</sup> 秋田大学教育文化学部, <sup>4</sup> 新潟大学災害・復興科学研究所  
<sup>1</sup>Graduate School of Engineering and Resource Science, Akita University, <sup>2</sup>Faculty of International Resource Science, Akita University, <sup>3</sup>Faculty of Education and Human Studies, Akita University, <sup>4</sup>Research Institute for Natural Hazards and Disaster Recovery, Niigata University

Chokai volcano is an andesitic stratovolcano in northeast Japan. The sector collapse of the volcano occurred about 2,500 years ago. The Kusakata debris avalanche deposit was formed by the collapse to the northern foot of Chokai volcano (Ohsawa *et al.*, 1982). The post-collapse fan (partly volcanoclastic apron) deposits, largely distributed in the northern foot of the volcano, overlies the Kusakata debris avalanche deposit. From geological survey in the proximal area, Minami *et al.* (2015) reported that the post-collapse fan deposits accumulated by a series of debris flows and hyperconcentrated flows, and then concluded that the deposits are originated from several lahar events. However, change in sedimentary facies in the distal area was not well studied. Furthermore the depositional processes changes between the proximal and distal areas of these lahar deposits have not been well understood. This study aims to understand transition of depositional processes with distance, and relationship between geomorphology formed by these lahar deposits and their depositional processes. The volcanic fan can be topographically subdivided into four areas; the steeply-sloping area, the moderately-sloping area, the gently-sloping area, and the very-gently-sloping area. We trenched and cored (by handy geoslicer; Takada *et al.*, 2002) in the distal of volcanic fan (gently sloping area, and very gently sloping area) at a total of 12 sites. Each set of trench and core by the depth of one to two meters from the surface were observed. In the distal area, the lahar deposits are composed of debris flow, hyperconcentrated flow and streamflow facies. These flows are mostly originated from lahar events. The facies variation with distance implies that lahars flowed down as debris flows in proximal areas. Then, they transformed into hyperconcentrated and stream flows, although some reached to the distal area as debris flow. Some lahar reached to the coastline that is 20 km distant from the volcanic edifice as stream flow, where highly populated towns are distributed.

キーワード: ラハール, 鳥海火山

Keywords: Lahar, Chokai volcano

## 本質物質の全粒度分析から見る珪長質マグマ噴火-マグマ水蒸気噴火形態と破碎度の関係

### Relationship between eruptive style and fragmentation derived from the all grain size analysis for juvenile fragments

広井 良美<sup>1\*</sup>; 宮本 毅<sup>1</sup>

HIROI, Yoshimi<sup>1\*</sup>; MIYAMOTO, Tsuyoshi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東北大・東北アジア研セ

<sup>1</sup>CNEAS, Tohoku Univ.

#### 1. はじめに

発泡破碎した珪長質マグマが外来水と接触するようなマグマ水蒸気噴火の噴火様式として、水蒸気プリニー式噴火がある。水蒸気プリニー式噴火はこれまで有史における観測例がなく、その噴火様式の認定は噴出物の特徴から判断されている。その代表的な特徴として、マグマ水蒸気爆発による本質物質の爆発破碎のために噴出物が細粒火山灰に富むことが挙げられている (Self and Sparks, 1978)。これに対し、マグマ噴火であるプリニー式噴火噴出物の場合にも遠方に飛散するため堆積物として保存されにくい、細粒火山灰の噴出量は水蒸気プリニー式噴火の場合と大差ないとする主張もある (Hayakawa, 1985; 山元, 1994)。

この2つの噴火形態の相違を示唆する特徴について、複数の噴火事例において噴出物の全粒度分析による細粒火山灰の含有量が求められているが、両者を比較しても一致はしないが明瞭な差異ともとれず、現在まで結論は得られていない (Walker, 1980; 1981 等)。しかしながら、これまで行われて来た全粒度分析は噴出物全てに対して行われており、特に石質岩片と一緒に扱われていることは各噴火毎のマグマの破碎状態を正確に反映しているとはいえず、細粒火山灰の生産量を議論するには問題がある。

よって本研究では、発泡破碎した珪長質マグマにおけるマグマ噴火とマグマ水蒸気噴火との両方が一連の噴火イベント中に起きている噴火事例について、噴出物中の本質物質のみを抽出し、全粒度分析を行うことによって、マグマ噴火とマグマ水蒸気噴火における細粒火山灰の生産量の比較を行った。

#### 2. 研究対象及び手法

今回研究対象とした十和田火山平安噴火は十和田火山における最新の活動で、マグマ噴火とマグマ水蒸気噴火を繰り返しながら火砕流の流出に至る、1日程度で終止した噴火である (広井・宮本, 2010)。平安噴火では噴火を通じて均質な珪長質マグマを噴出しており、噴出物はよく発泡した軽石が主体である。細粒火山灰中にも塊状の火山ガラスがほとんど含まれないことから、マグマは外来水と接触する以前に既に発泡破碎していたことがわかる。

今回マグマ噴火からマグマ水蒸気噴火へ連続的に推移した例として、大湯降下火砕堆積物-1 (OYU-1) 及び大湯火砕堆積物-2b (OYU-2b) について分析を行った。マグマ噴火ユニット OYU-1 は平安噴火における最初の噴出物であり、プリニー式降下軽石堆積物である。給源から南西方向の分布軸を持ち、80km 以遠まで分布が確認できる。噴出量は約 0.21km<sup>3</sup> と見積もられ、石質岩片を多く含むゴマシオ状の噴出物であるが、噴出率は一定で均一な層相を示す。一方マグマ水蒸気噴火ユニット OYU-2b は、OYU-1 の後少量の降下火山灰堆積物を挟んで噴出したベースサージ堆積物である。分布は十和田カルデラリムが低くなる南側に顕著であり、給源から 30km 以内に堆積が確認できる。噴出量は OYU-1 と同程度の 0.27km<sup>3</sup> と見積もられる。

本研究では十和田火山における詳細な調査を行い、OYU-1 及び OYU-2b の isopach 図を作製した。得られた図から複数地点を選び、試料を採取後ふるいわけを行い、SPT 重液及び実体顕微鏡を用いて本質物質、類質-異質岩片、遊離結晶に分離し、各構成物質毎の粒度分布を得た。分離が困難な 250 μm 未満の細粒粒子については測定された粒度分布からそれぞれの含有量の推定を行った。本質物質及び遊離結晶について各粒度毎に等重量線図を作製し、噴出重量を算出した。また結晶法 (Walker, 1980) を用いて飛散・欠損した細粒火山灰量を推定し、本質物質のみの全粒度分布を得た。

#### 3. 結果及び考察

結晶法の結果から、現在欠損していると判断される細粒本質物質量は、それぞれ OYU-1 において現存する本質物質量の約 6 倍、OYU-2b において約 2 倍と見積もられ、総本質物質噴出量に占める 1mm 未満の細粒粒子量はどちらも約 89% と算出された。この結果からは、マグマ噴火とマグマ水蒸気噴火噴出物とで生産される細粒本質物質量はほぼ等量であると言える。発泡破碎した珪長質マグマにおいてマグマ水蒸気爆発により細粒粒子が大量生産されるとする特徴は否定されるべきとする山元 (1994) の主張を支持する。また先述の Hayakawa (1985) による、マグマ水蒸気噴火噴出物は外来水の凝集効果によって細粒粒子が近傍に保存されやすいために細粒粒子に富む層相を示すとする主張とも整合的である。降雨を受けたプリニー式噴火であるセントヘレンズ山 1980 年噴火の噴出物はマグマ水蒸気噴火噴出物と同様に細粒粒子に

SVC47-11

会場:303

時間:5月26日 12:00-12:15

富んでおり (Carey and Sigurdsson,1982), これらの主張及び本研究の結果を裏付ける重要な噴火事例であると言える。

キーワード: マグマ噴火, マグマ水蒸気噴火, 破碎度, 全粒度分析

Keywords: magmatic eruption, phreatomagmatic eruption, extent of fragmentation, all grain size analysis

## 火山噴火と地震活動の同時表示の試み その1：日本 Try to draw the volcanic eruptions and earthquake activity in the same figure around Japan Part 1: in and around Japan

石川有三<sup>1\*</sup>  
ISHIKAWA, Yuzo<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>産総研

<sup>1</sup>Geological Survey of Japan, AIST

### 1. はじめに

地震活動の解析はいろいろな公開されたツール(例えば Seis-PC)や個人でのソフトも活用されている。これは一般に使える地震カタログ(例えば、気象庁震源カタログ、米国地質調査所の PDE、国際地震センターの地震カタログなど)が流通していることが大きな要因である。一方、火山噴火については文章記載的なものは公開されているが、時空間で活動を表示できるようなデジタル化されたデータはない。ここでは、地震活動と火山噴火の関連性を調べるため、両者を同じ図に表示できるような火山噴火データの作成を試みた。

### 2. データについて

地震活動のデータについては、理科年表の被害地震の表、宇津カタログ、気象庁一元化震源などを使用した。火山噴火については、米国スミソニアン研究所のホームページ (<http://volcano.si.edu/>) に掲載されている噴火履歴の表からデータを作った。

採用した噴火は、噴火年の記載があり、「Confirmed」とされているものだけで、噴火年にプラスマイナスが年のものは不採用とした。月、日の記載が無いものは、噴火開始は1月1日、噴火終わりは12月31日とした。月は記載されているが、日の記載が無いのは、噴火開始は1日、噴火終了は月の末日を代用した。噴火の終わりの記載されていない場合は、噴火開始日だけにした。噴火開始日と終了日の記載のある場合は、その間の期間の毎日噴火したとして扱った。こうすると実際の噴火があった日より多くなる可能性が高いが、噴火日を漏らさないという方針で行った。

時刻は、噴火時刻が不明な場合はすべて0時0分とした。同じ日に複数の火山で噴火があった場合は、Seis-PCでは同じ時刻のイベントは最初の一つしか採用しないため、二つ目以降の噴火には、時刻を1秒毎増やして全てを表示できるようにした。位置情報は、火山の位置を使用し、火口が別に分かっている場合もそれは採用せず、火山の位置のままにした。標高は10m単位でマイナス表示。例えば、富士山の3776mは「-378」としてmの単位は四捨五入した。海底火山で深さが水深で示されている場合はプラスで入力した。マグニチュードは、火山爆発指数 volcanic explosivity index (VEI) を使用した。VEIの記載が無いのは、「ブランク」とした。

火山噴火データは、多量にあるので、第一歩として日本周辺の主な火山を入力した。スミソニアンのデータベース検索で「japan」で検索できた火山を対象として過去の噴火データを入力した。総噴火件数として15万6千件余りになった。

震源については、歴史地震の多くは深さが示されておらず、通常は「0km」として扱われることが多い。しかし、今回は深さが「0km」とすると海底火山の水深より浅くなり深さで火山噴火と震源が区別できなくなる。そのため、震源の深さが示されていない歴史地震や震源の深さが「0km」とされているものは人為的に深さ「9km」と変更した。

### 3. 結果

869年貞観の地震の前後では、870年に富士山、871年に鳥海山が噴火している。1700年からの10年間では、まず1700年に富士山、1702年に白頭山、1703年に浅間山が噴火し、1703年元禄地震が発生。浅間山の噴火は1709年まで断続的に続き、1706年始良火山、1707年支笏火山が噴火し、1707年の宝栄地震発生と続いている。その後、よく知られた富士山噴火が続き、1709年には阿蘇も噴火している。このように地震発生と火山噴火を同時に表示できれば、広域の時系列を簡単に把握できる。今回のデータの中では、沖縄の1922年 M7.6の地震のあとに起きた1924年宮古島近海での VEI 4の噴火は、この地域ではどちらも唯一の最大規模の現象であり、関連性に興味を持たれる。

キーワード: 火山, 噴火, 地震, 時系列

Keywords: volcano, eruption, earthquake, database

## 周期的にマグマが供給されるマグマ溜まりに対して果たす玄武岩質下部地殻の役割 Roles of Basaltic Lower Crust for a Periodically Refilled Magma Chamber

柳 喙<sup>1\*</sup>  
YANAGI, Takeru<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>九州大学大学院理学研究科地球惑星科学教室  
<sup>1</sup>Department of Earth and Planetary Sciences, Kyushu University

周期的にマグマが供給されるマグマ溜まりの中の結晶作用で、マントルから供給される玄武岩質マグマは、カルクアルカリ岩系列のマグマを経て、大陸地殻の平均組成を持つマグマに変わると見られる。その様な機能を持つ機械的な仕組みの一つに、組になったマグマ溜まり (Coupled magma chambers) がある。それは、地殻の下部にある下位マグマ溜まりと、地殻の中程にある上位マグマ溜まりで構成される。この機械仕掛の中で進む結晶作用は、カルクアルカリ岩系の火成岩や大陸地殻の起源をうまく説明すると言う意味で重要な機構ではあるが、しかし、その存在が確かめられているわけではない。存在が認知されるためには、今後も、機構の化学的な検討と同時に、物理学的検討を進め、証拠を確実に積み上げていく必要がある。

証拠をもたらす物は火山岩であると分かりながらも、分化機構が複雑であるため、火山岩に対して具体的にどのような調査をすればよいか、その見通しは容易ではない。それを助ける1つの方法は、単純化した系についての簡単なシミュレーションで、マグマ組成の特徴やその分化傾向を予測することである。

ここでは、水を含まない、アルカリ元素の少ないマグマや下部地殻を想定し、マグマ溜まりを地殻の下部に起き、攪拌状態にあるマグマの温度とマグマ溜まりの位置、大きさの時間変化を調べた。この時マグマと地殻との間の熱伝達係数と地殻の融点、厚さを変数として扱い、マグマ溜まりの温度や位置、規模がどう変化するか調べた。その結果について次の4点を挙げる。1. マグマ溜まりの体積が成長するためには、融点の高い下部地殻が必要であること、2. 結晶作用でできる結晶の床への沈殿・堆積と、天井地殻の同化とによって、マグマ溜まりは地表に向かって上昇すること、3. 時間に対し鋸歯状に変化をする温度の各ステップの上下限は、伝達係数と地殻の融点、地殻の厚さに依存するが、重要な点は、下限が、地殻の融点が高い程、また地殻が薄い程、ステップを重ねる毎に上昇し、遂には一定となること、それに対応する変化が、火山岩の組成に確認されること、4. マグマ溜まりの上に乗る地殻が余りに薄くなると、地殻の同化は停止すること、対応する変化は、火山成長の後期の火山岩のストロンチウム同位体比の低下として確認されることである。

キーワード: 再充填マグマ溜まり, カルクアルカリ火山岩, 大陸地殻, マグマ溜まりの熱的進化  
Keywords: refilled chamber, calc-alkaline volcanic rocks, continental crust, thermal chamber evolution

## 有珠山・外輪山溶岩のマグマプロセス Magmatic processes for somma-lavas from Usu Volcano

栗谷 豪<sup>1\*</sup>; 田中 真弓<sup>2</sup>; 横山 哲也<sup>3</sup>; 中川 光弘<sup>1</sup>; 松本 亜希子<sup>1</sup>  
KURITANI, Takeshi<sup>1\*</sup>; TANAKA, Mayumi<sup>2</sup>; YOKOYAMA, Tetsuya<sup>3</sup>; NAKAGAWA, Mitsuhiro<sup>1</sup>; MATSUMOTO, Akiko<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 北海道大学大学院理学研究院, <sup>2</sup> 京都市役所, <sup>3</sup> 東京工業大学大学院理工学研究所  
<sup>1</sup>Graduate School of Science, Hokkaido University, <sup>2</sup>Kyoto City Office, <sup>3</sup>Graduate School of Engineering, TITECH

有珠火山の主要な山体は、今から1~2万年前に活動した玄武岩~安山岩質の外輪山溶岩によって形成された。そしてその後の長い休止期を経て、1663年以降、珪長質な火山活動が断続的に起きている。有珠山のマグマプロセスについては、例えば Tomiya and Takahashi (1995) や Matsumoto and Nakagawa (2010) などによって歴史時代の珪長質マグマを対象とした研究は数多く行われている一方で、外輪山溶岩については、有珠火山のマグマ供給系やその変遷の理解に重要であるにもかかわらず、あまり検討されていない。これらの中で、大場 (1964) や Fujimaki (1986) はマグマプロセスについての検討を行い、結晶分化作用が支配的であったと結論づけている。しかしながら、これらの研究では解析試料数が限られており、また放射性同位体の制約に基づく検討はほとんど行われていない。そこで本研究では、外輪山溶岩を対象として岩石学的・地球化学的解析を詳細に行うことにより、マグマプロセスを明らかにすることを目的とする。

本研究では、外輪山から約90個の試料を採取して全岩主要元素組成の分析を行い、さらにそれらのうちの約40試料、および下部地殻物質として新たに一ノ目瀉から採取した角閃石岩試料について、微量元素濃度分析と鉛同位体比分析を行った。外輪山試料の全岩 SiO<sub>2</sub> 量は 49.6-54.9 wt.% であり、それらは大きく玄武岩組成 (SiO<sub>2</sub> < 52.0 wt.%) のものと安山岩組成 (SiO<sub>2</sub> > 52.4 wt.%) のものに分けられる。斑晶量は 10-35% 程度であり、玄武岩と安山岩試料の斑晶組み合わせは、それぞれカンラン石+単斜輝石+斜方輝石+斜長石、および単斜輝石+斜方輝石+斜長石である。鉛同位体比は一部の試料を除いて P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> に代表される液相濃集元素の濃度と負の相関がある。また、一ノ目瀉の下部地殻捕獲岩の鉛同位体比は、有珠山の外輪山溶岩よりも有意に低い <sup>206</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb 比や <sup>208</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb 比をもつ。

まず、マグマの進化においてどのようなプロセスが関与していたのかを検討するため、外輪山溶岩の全岩主要元素組成の全データを対象に、主成分分析 (PCA) を行った。その結果、PC1 では SiO<sub>2</sub> や P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> などを含む複数の元素が重要な要素である一方、PC2 では Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> と CaO の2元素のみが支配的に重要な要素となっていた。PC1 と PC2 の寄与率はそれぞれ 58%、24% であり、この2成分で 80% 以上を占める。PC1 は鉛同位体比や La/Yb 比と非常に良い正の相関を示す。PC2 は鉛同位体比とは有意な相関を示さないが、斜長石の斑晶量と非常に良い相関を示す。これらのことから、PC1 は鉛同位体比の異なった2つの端成分物質の混合プロセスを、PC2 は斜長石斑晶の分離や集積といったプロセスを反映していると考えられる。

PC1 は P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 量や鉛同位体比と良い相関を示すことから、低 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 量側の端成分としては、相対的に未分化な玄武岩質マグマが考えられる。もう一方の端成分は、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 量が高いという分化した特徴をもちながらも、<sup>206</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb や <sup>208</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb 比が低いという特徴をもつことから、下部地殻の部分溶融メルトが有力である。このことは、実際に一ノ目瀉の下部地殻物質の鉛同位体比が、鉛同位体の組成空間内において、外輪山溶岩が示すトレンドの低 <sup>206</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb 側への延長線上にほぼプロットされることと調和的である。

以上の検討結果から、有珠山外輪山溶岩のマグマは、まずモホ面、もしくは下部地殻内において相対的に未分化な玄武岩マグマと下部地殻の部分溶融メルトが混合し、その後さらに結晶分化作用と斜長石を主とする斑晶の分離・集積が起きながら進化したと考えられる。

キーワード: 有珠山, 外輪山溶岩, マグマプロセス, 下部地殻  
Keywords: Usu Volcano, Somma lava, Magma process, Lower Crust

## 北海道中央部大雪火山群, 旭岳火山の形成史とマグマ変遷 Formation history and magma evolution of Asahidake Volcano of Taisetsu volcanic field, central Hokkaido, Japan

石毛 康介<sup>1\*</sup>; 中川 光弘<sup>1</sup>ISHIGE, Kosuke<sup>1\*</sup>; NAKAGAWA, Mitsuhiro<sup>1</sup><sup>1</sup> 北海道大学大学院理学院自然史科学専攻<sup>1</sup> Department of Natural History Sciences, Graduate School of Science, Hokkaido University

大雪火山群は北海道中央部, 北東 - 南西方向に延長 80 km に達する大雪 - 十勝火山列の北方に位置する第四紀火山である。その噴火活動は複数の活動期に分けられ, 100 万年前から現在に至るまで安山岩・デイサイトからなる約 20 以上の成層火山や溶岩ドームを形成した (勝井ほか, 1979)。約 3 万年前に大雪火山群の中央に直径 2km のお鉢平カルデラを形成して以降, 主な火山活動はカルデラ南西部で始まり, 熊ヶ岳・後旭岳・旭岳の山体を形成した (勝井ほか, 1979)。このうち活火山である旭岳は, 形成史やマグマ供給系の研究 (例えば, 佐藤・和田, 2007) が活発に行われてきた。しかしながら, これらの研究では熊ヶ岳や後旭岳など周辺火山との層位関係は不明であり, 地質情報に基づいた岩石学的研究は十分に行われてはいる。筆者らは熊ヶ岳・後旭岳を含む旭岳火山の地質学的・岩石学的研究を行い, 本火山の形成史及びマグマの時空変遷の再検討を進めている。

旭岳 (標高 2,291m) は御鉢平カルデラの南西に位置する成層火山で, 西側に多数の溶岩流を流出しているほか標高 1600 m からは火砕丘 (比高 700 m, 直径 3km) を形成している。火砕丘の西側には地獄谷火口と呼ばれる馬蹄形の爆裂火口があり, 現在でも活発な噴気活動がおこっている。旭岳山頂部から東に 1km には熊ヶ岳 (2,210m) の火砕丘と後旭岳 (2,216m) の溶岩円頂丘があり, いずれも旭岳の噴出物に覆われている。旭岳火山の活動は, 山体の違いによって熊ヶ岳活動期, 後旭岳活動期, 旭岳活動期の 3 つに大別される。熊ヶ岳活動期は, 直径 600 m の複合火口をもつ火砕丘を形成した時期で, 溶岩及び降下スコリアからなる噴出物は, 火口の違いによって 3 つのユニットに細分される。噴出量は 0.35km<sup>3</sup> と見積もられる。後旭岳活動期は南麓に溶岩流を流下させた後, 山体上部に分厚い溶岩円頂丘を形成した時期である。噴出量は 0.33km<sup>3</sup> と見積もられる。

旭岳活動期は主にマグマ噴火を行った前期と主に水蒸気爆発を行った後期に区分される。前期噴出物は被覆関係とマグマタイプを基に上部ユニットと下部ユニットに細分される。各ユニットの噴出物は被覆関係および全岩化学組成の差から, 下部ユニットは L-1~L3 噴出物, 上部ユニットは U1~U5 噴出物に細分される。下部ユニットは旭岳山体の下部を構成し, 南麓から西麓にかけて多数の安山岩質~デイサイト質な溶岩を流出した後に火砕流を発生させた。上部ユニットは旭岳山体の上部を構成し, 溶岩流を西麓に流出した後に火砕噴火が卓越する噴火に移行した。旭岳の最新のマグマ噴火は約 5000 年前と考えられている (奥野, 2005)。噴出量は下部ユニットが 4.50km<sup>3</sup>, 上部ユニットが 0.99km<sup>3</sup> と見積もられる。旭岳活動期の後期は本質物質をほとんど噴出しない水蒸気爆発を主とした活動期で, 地獄谷火口が形成した時期である。最新の噴火は 250 年前以降に発生した水蒸気爆発と考えられている (和田, 2003)。

旭岳及び熊ヶ岳, 後旭岳を構成する岩石は, 斑晶として斜長石, 単斜輝石, 斜方輝石および鉄チタン酸化物を含み, 一部の岩石では少量のカンラン石, 角閃石斑晶を含む安山岩~デイサイトであり, しばしば苦鉄質包有物を含む。旭岳火山の岩石の SiO<sub>2</sub> 量は母岩で 54.7-65.4wt.%, 苦鉄質包有物で 54.0-59.0wt.% であり, 中カリウム系列のカルクアルカリ系列に分類できる。デイサイトは旭岳火山全活動期を通して記載岩石学的特徴及び全岩化学組成にほとんど変化が見られなかった。しかしながら, これらの岩石は特に苦鉄質側岩石の組成で, 山体および活動期間で区別できる。熊ヶ岳活動期の岩石は苦鉄質側で高い Ni 含有量かつ低い Cr 含有量を持つことで, 他の活動期の岩石と明瞭に区別できる。後旭岳活動期と旭岳前期の下部ユニットの岩石の全岩化学組成は類似したトレンドを示し, 苦鉄質側の低 Ni・Cr 含有量で特徴付けられる。旭岳前期上部ユニットは苦鉄質側の岩石は多様である。U-4 火砕岩類の岩石は全活動期を通して特徴的に高い TiO<sub>2</sub> 含有量及び FeO\*/MgO 値を示す。また, U-5 火砕岩類の岩石は玄武岩質安山岩が母岩として出現し, 層序的上位になるにつれて苦鉄質側で Ni・Cr 含有量が増加していく特徴がある。

旭岳の活動では, 従来の研究で指摘されているようにマグマ混合が支配的プロセスである。今回の検討によって, 山体 (火口) および山体での活動期毎に, 特に苦鉄質端成分が変化していることが明らかになった。

キーワード: 旭岳, 形成史, マグマ変遷, 地質学, 岩石学, 大雪火山群

Keywords: Asahidake, Formation history, Transition magma, geology, petrology, Taisetsu volcanic field



## 高 Mg 玄武岩—安山岩から制約するカムチャツカ北東部のスラブとマンツルの温度構造 Slab-mantle thermal structure beneath northeast Kamchatka Peninsula constrained from high-Mg basalts and andesites

西澤 達治<sup>1\*</sup>; 中村 仁美<sup>2</sup>; Churikova Tatiana<sup>3</sup>; Boris Gordeychik<sup>4</sup>; 石塚 治<sup>5</sup>; 岩森 光<sup>2</sup>  
NISHIZAWA, Tatsuji<sup>1\*</sup>; NAKAMURA, Hitomi<sup>2</sup>; CHURIKOVA, Tatiana<sup>3</sup>; BORIS, Gordeychik<sup>4</sup>;  
ISHIZUKA, Osamu<sup>5</sup>; IWAMORI, Hikaru<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東京工業大学地球惑星科学専攻, <sup>2</sup> 独立行政法人海洋研究開発機構, <sup>3</sup> ロシア科学アカデミー極東支部火山地震研究所, <sup>4</sup> ロシア科学アカデミー実験鉱物学研究所, <sup>5</sup> 独立行政法人産業総合研究所地質調査総合センター

<sup>1</sup>Department of Earth and Planetary Sciences, Tokyo Institute of Technology, <sup>2</sup>Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, <sup>3</sup>Institute of Volcanology and Seismology, FED, RAS, <sup>4</sup>Institute of Experimental Mineralogy, RAS, <sup>5</sup>Geological Survey of Japan, AIST

カムチャツカ半島は、太平洋プレートの北西端の沈み込みに対応する巨大な火山弧である。カムチャツカ半島北部は以下の顕著な特徴がある (I) 太平洋プレートの北端で三重会合点が位置し (II), そこに天皇海山列が沈み込んでいる。その結果、世界で最も活発で巨大な火山群 (Kliuchevskoy Volcanic Group; KVG) と、最長の島弧横断幅 (~ 400 km) が形成され、スラブエッジ付近に産するアダカイトを含め、系統的空間的な火山岩タイプ・組成の変化がみられる (Portnyagin and Manea, 2008; Bryant et al., 2011)。本研究は、火山フロントの北方延長上、半島北東端に分布する単成火山群とその初生的な溶岩を研究することによって、カムチャツカ半島北部直下の物理的-化学的状態を明らかにすることを目的とする。

我々は、Eastern Volcanic Front (EVF) の北部延長上の Kumroch Range 上に分布する単成火山群 (East Cones; EC) の調査とサンプリングを行った。EC はスラブ深度 50-80 km の上に分布し (前弧域) (Gorbatov et al., 1997), スラブエッジから 60-100 km 離れている。海岸線に沿って ~ 60 km の範囲に、約 15 の単成火山が分布する。8 の単成火山において調査・サンプリングに成功し、この地域においては初となる主要-微量-同位体組成、K-Ar 年代データセットを得た。

EC に含まれる鉱物組み合わせは共通であり：かんらん石、単斜輝石、斜長石、磁鉄鉱である。SiO<sub>2</sub>, MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含有量に基づきそれらを 5 つの岩石タイプに分類した：高マグネシア玄武岩 (HMB), 高アルミナ玄武岩 (HAB), 高マグネシア安山岩 (HMA), 玄武岩 (B), 玄武岩質安山岩 (BA)。HAB を除き、EC 溶岩は初生的組成を保持していた (FeO/MgO < 1, Mg# > 0.63)。

全 EC 溶岩は沈み込み帯特有の特徴 (例, LILE に富む一方, HFSE に乏しい) を示し、水の重要な役割を示す。HMB と HMA の含水溶融実験に基づき (Tatsumi, 1982), 初生メルト中の含水量を以下のように見積もった：HMB: 2 wt.%, HAB: 4 wt.%, HMA: 4-7 wt.%, B: 2.6 wt.%, BA: 3.3 wt.%. HREE 組成と上の含水量に基づき、含水溶融関係 (Iwamori, 1998) を用いると、マンツル (1.5 GPa) におけるそれら初生メルトの部分溶融温度は、1100-1200 °C と見積もられた。この溶融温度は、数値計算モデルによる沈み込み帯における平均温度構造と同等である (Iwamori and Zhao, 2000; Manea and Manea, 2007)。これらのデータと、先行研究で求められた付近の地域メルト生成温度-圧力条件をあわせると、先行研究で示唆されているようなスラブエッジからの水平な熱の流れ (大まかに北から南への流れ) (Yogodzinski et al., 2007) を支持しない結果となった。また、スラブ表面温度について、H<sub>2</sub>O/Ce 温度計 (Cooper et al., 2012) を用いて求めた。推定されたスラブ表面温度は 620 ~ 730 °C であった。微量元素・同位体組成と共に、求めたマンツル溶融温度とスラブ表面温度を統一すると、以下のようなモデルが考えられる：沈み込んだ海山による局所的な温度異常がスラブ起源流体 (非スラブメルト) の脱水を強め、前弧域において高マグネシア安山岩、玄武岩を生成するフラックス溶融をもたらした。

キーワード: マンツル温度構造, 島弧火山, 高マグネシア安山岩, スラブ, 海山の沈み込み

Keywords: mantle thermal structure, arc volcano, high-Mg andesite, slab, subducting seamount

## カメルーン北西部, ニオス火山の噴火史 Eruption history of Nyos volcano, northwestern Cameroon

長谷川 健<sup>1\*</sup>; 宮縁 育夫<sup>2</sup>; 小林 哲夫<sup>3</sup>; Aka Festus<sup>4</sup>; Boniface Kankeu<sup>4</sup>; Issa<sup>4</sup>; Miche Linus<sup>4</sup>; Fils Salomon<sup>4</sup>; 金子 克哉<sup>5</sup>; 大場 武<sup>6</sup>; 日下部 実<sup>7</sup>; Gregory Tanyileke<sup>4</sup>; Joseph Hell<sup>4</sup>; HASEGAWA, Takeshi<sup>1\*</sup>; MIYABUCHI, Yasuo<sup>2</sup>; KOBAYASHI, Tetsuo<sup>3</sup>; AKA, Festus<sup>4</sup>; BONIFACE, Kankeu<sup>4</sup>; Issa<sup>4</sup>; MICHE, Linus<sup>4</sup>; FILS, Salomon<sup>4</sup>; KANEKO, Katsuya<sup>5</sup>; OHBA, Takeshi<sup>6</sup>; KUSAKABE, Minoru<sup>7</sup>; GREGORY, Tanyileke<sup>4</sup>; JOSEPH, Hell<sup>4</sup>

<sup>1</sup>茨城大学, <sup>2</sup>熊本大学, <sup>3</sup>鹿児島大学, <sup>4</sup>カメルーン地質調査所, <sup>5</sup>京都大学, <sup>6</sup>東海大学, <sup>7</sup>富山大学

<sup>1</sup>Ibaraki University, <sup>2</sup>Kumamoto University, <sup>3</sup>Kagoshima University, <sup>4</sup>IRGM, <sup>5</sup>Kyoto University, <sup>6</sup>Tokai University, <sup>7</sup>Toyama University

カメルーン北西部のニオス湖では1986年に二酸化炭素の大量噴出が発生し、1746名の犠牲者を出した。災害再発の可能性が危惧される中、湖水爆発のメカニズム解明や防災管理体制の確立・人材育成を目的としたSATREPS「カメルーン火口湖ガス災害防止の総合対策と人材育成プロジェクト」が2011年から開始した。本研究はその一環として、ニオス湖の噴火史を火山地質学的に解明することを目的としている。

ニオス湖周辺の基盤岩は先カンブリア紀の花崗岩類で構成され、これらは主にN-SおよびN70E方向の断層によって切られる。これら基盤岩類はニオス湖岸で絶壁をなして露出する。ニオス湖は、長径約2km、短径約1.2kmの南北に伸びたマールである。北東方約1.5kmには底径約700m比高約150mのスコリア丘が存在する。本研究ではこれらを総称してニオス火山と呼ぶ。本火山の年代は地形的な新しさから完新世と考えられるが、いまだ有力な年代値は得られていない。

まず、ニオス湖西岸の基盤岩中に2枚の岩脈を発見した。貫入面はいずれも垂直でN70Eを示す。緑色で変質度が高いことからニオス火山よりも相当古い時代の貫入岩と考えられる。ニオス湖北～東岸では、基盤岩を覆う噴出物が確認できる。下位から凝灰角礫岩(UnitA-1)、スコリア層(UnitA-2)、溶岩(UnitA-3)、ベースサージ(UnitA-4)である。これらの間に再堆積物や土壌層は認められない。UnitA-1は層厚3m以上。基質支持で角礫の石質岩片に富む。急冷縁を持ち発泡の悪い玄武岩のほか、花崗岩、カンラン岩片を多く含む。北岸で欠き東岸で観察できることから給源をその近傍に求められる(火口1)。UnitA-2は、東岸よりも北岸で厚く、最大層厚10m。礫支持で分級のよいスコリアからなる。本層には急冷縁を持つ玄武岩質の石質岩片も含まれる。UnitA-3は、湖岸での最大層厚7mの玄武岩質溶岩である。東岸では湖面水準に露出し、北岸では湖面から20mほどの高さにある基盤岩およびUnitA-2を覆うことから、その噴出口はニオス湖岸北部の高まりに推定できる(火口2)。UnitA-3は、ニオス湖より北～北東方向へ続く谷に沿って10km以上の分布が確認できる。UnitA-4は、シルトサイズ以下の細粒物に乏しく、斜交層理が発達するベースサージ堆積物で、北～東岸で厚く堆積し(>30m)、火口2の周縁約1kmの範囲に堆積面を形成する。より遠方では基底部に火山豆石を含み、平行葉理の発達した降下火砕物様の堆積物として認められ、広い分布域を示す。本質物質は、発泡が悪い亜角～亜円礫の玄武岩が大部分を占め、遊離結晶も多量に含まれる。花崗岩、カンラン岩片も多く認められる。

スコリア丘(Fon's scoria cone)からの噴出物(スコリア層)は、ニオス湖周辺の複数露頭でUnitA-4を覆う。それゆえこのスコリア丘はニオスマールの活動終了後に活動を開始したと判断できる。単純な円錐形のコーンではなく、複雑な形状を持つ。主部は東西に分裂し、南斜面に崩壊地形が認められる。崩壊物と思われる流れ山も南～南西麓に散在する。主部の北東側には、明瞭な火口地形が、主部の構造を一部切るようにして存在する(スコリア丘北東火口)。スコリア丘の噴出物は、スコリア層(UnitB-1)、火山弾(UnitB-2)および溶岩(UnitB-3)が確認できる。UnitB-1の層厚および粒径は、スコリア丘に向かって増加し、分布主軸は西南西である。著しく発泡のよい玄武岩からなる。UnitB-2は、スコリア丘の周縁約500mの範囲内に散在する玄武岩質の火山弾である。UnitB-1を押しつぶすように定置するのが認められる。火山弾には捕獲岩に著しく富む含むものとそうでないものがあり、前者はスコリア丘北東火口近傍で多産することから給源を同火口に求められる。後者は直径数mに及ぶものが主部近傍や上記流れ山上に認められることから主部由来と思われる。UnitB-3は、スコリア丘主部の分裂部から、南西方へ数百m程度流下した塊状溶岩である。

UnitAには急冷縁を持つマグマ片や火山豆石が認められることから、ニオス湖形成噴火ではマグマ水蒸気噴火が起こっていたことが分かる。UnitA-1から-3(火口1から2)へと、火道はwetからdryで安定した状態へと推移したが、最終的にはUnitA-4で多量のマグマと水が接触して破局的ベースサージを発生し、ニオス湖を形成した。その後噴火中心はスコリア丘に移行し、UnitB-1で主部を形成したが、後に崩壊・分裂し、分裂部からの溶岩流出やスコリア丘北東火口の活動で一連の活動が収束した。噴火を通じて火口域が北東方へと移動し、それに伴って多様な噴出物・噴火様式を見せた火山と結論できる。

キーワード: ニオス湖, 噴火史, マール, スコリア丘, マグマ水蒸気爆発

Keywords: Lake Nyos, Eruption history, Maar, Scoria cone, Phreatomagmatic eruption

## インドネシア、リンジャニ火山の岩石学的研究：マグマ変化から見た西暦1257年カルデラ形成噴火およびその準備過程について

### Petrology of Rinjani volcano, Indonesia: The magmatic processes before and during AD 1257 caldera-forming eruption

中川 光弘<sup>1\*</sup>; 高橋 良輔<sup>1</sup>; 宮坂 瑞穂<sup>1</sup>; 栗谷 豪<sup>1</sup>; Wibowo Haryo<sup>1</sup>; 古川 竜太<sup>2</sup>; 高田 亮<sup>2</sup>  
 NAKAGAWA, Mitsuhiro<sup>1\*</sup>; TAKAHASHI, Ryosuke<sup>1</sup>; AMMA-MIYASAKA, Mizuho<sup>1</sup>; KURITANI, Takeshi<sup>1</sup>;  
 WIBOWO, Haryo<sup>1</sup>; FURUKAWA, Ryuta<sup>2</sup>; TAKADA, Akira<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 北海道大学地球惑星科学, <sup>2</sup> 産総研地質調査総合センター

<sup>1</sup>Department of Earth & Planetary Science, Hokkaido University, <sup>2</sup>Geological Survey of Japan

カルデラ噴火のような大規模噴火では、その噴火準備過程を明らかにすることは、火山深部プロセスを理解するうえで重要なだけでなく、低頻度・大規模噴火災害に対する監視・観測体制を備えるためにも重要である。その際に国内のカルデラだけではなく、異なるテクトニクス場にある海外でのカルデラ噴火事例と比較することは重要な研究手法のひとつである。そのような観点から我々はインドネシアのリンジャニ火山のAD1257年のカルデラ噴火について検討している。このカルデラは大型成層火山が形成後、VEI6クラスの巨大噴火により形成されており、先行する大型成層火山体が存在しない後期更新世からの日本のカルデラ火山とは別のタイプである。

リンジャニ火山は Central Lombok Volcanic Complex(CVL)を覆って、10万年前頃から活動している。その活動は大きく、成層火山活動期、低活動期(先カルデラ期)、カルデラ形成期および後カルデラ期の4つに分けられる。成層火山形成期では0.6km<sup>3</sup>/kyの噴出率であったが、完新世になって低活動期になり0.15km<sup>3</sup>/kyと低下し、約5000年前にはPropok軽石を噴出し、Lembah溶岩を流出している。AD1257年のカルデラ形成期では、プリニー式噴火の後に火砕流が流出して、山頂部に6X7kmのカルデラを形成した。総噴出量はDREで10km<sup>3</sup>以上と見積もられている。カルデラ形成後、カルデラ内で後カルデラ期の活動が継続している。CLVおよび成層火山活動期の岩石はSiO<sub>2</sub> = 44.8~63.7%の組成幅を示すが、玄武岩~玄武岩質安山岩に富む。これらの岩石では玄武岩ではかんらん石、安山岩では輝石が主要なマフィック斑晶であり、デイサイトではわずかに角閃石を含むことがある。低活動期からは岩質が大きく変化し、角閃石デイサイトが主体となり、カルデラ期では角閃石の他にマフィック斑晶として輝石も含まれる。SiO<sub>2</sub>量は低活動期が63.8~66.7%で、カルデラ形成期が62.1~66.2%であり、両者を比較すると低活動期の方がSiO<sub>2</sub>に富んでいる。後カルデラ期はSiO<sub>2</sub> = 55%でかんらん石と輝石をマフィック斑晶として含んでいる。全岩化学組成で見ると、成層火山活動期および後カルデラ期の玄武岩~安山岩、そして低活動期およびカルデラ形成期のデイサイトに2大別できる。両者はハーカー図上において、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、MgO、FeO、CaO、K<sub>2</sub>Oなどの主成分元素、そしてV、Rb、Y、Zr、Nb、Ba、Thなどの微量元素で、異なる組成変化経路を描くことで区別できる。また液相濃集元素比やSr同位体比などでも、成層火山活動期・後カルデラ期と低活動期・カルデラ形成期は異なっている。これらのことから、リンジャニ火山に産する玄武岩質マグマの単純な結晶分化では、デイサイト質マグマを生成することはできず、地殻の部分熔融やAFCプロセスが必要である。

低活動期とカルデラ形成期を比較すると、両者は類似した角閃石デイサイト質マグマであるが、ハーカー図で見ると、全ての元素で両者はともに直線的に変化する2つの別のトレンドを描くことで明瞭に区別できる。液相濃集元素のうちK<sub>2</sub>O、RbやBaなどのLIL元素はSiO<sub>2</sub>に対して正の相関を示し、2つの活動期の噴出物はそれぞれ平行な異なる2つのトレンドを描く。同じSiO<sub>2</sub>で比べた場合、カルデラ形成期マグマの方がLIL元素に乏しい。一方、Nb、ZrおよびYなどのHFS元素では、カルデラ形成期の試料はSiO<sub>2</sub>と正の相関をするのに対して、低活動期のそれは負の相関を示す。そのため、珪長質側で両者は類似したNb・Zr濃度を示すが、安山岩に近い組成では低活動期噴出物のNb・Zr濃度は、カルデラ形成期のそれと比べて著しく高くなる。このHFS元素の高いデイサイトは、他のリンジャニ火山噴出物の作る組成分布と大きく異なり、リンジャニ火山では特異な組成を示すといえる。これらの低活動期とカルデラ形成期のデイサイトの化学組成の差を考えると、マグマは共通の初生マグマからの結晶分化や単純な混成作用によって生成されたマグマではない。この解明のためには同位体比のデータが不可欠であり、Sr、NdおよびPbの同位体について現在、分析中である。

リンジャニ火山の更新世末からの噴火推移・様式やマグマの変化を考慮すると、低活動期がカルデラ噴火の準備過程とみなすことができるであろう。この時期には噴出率が低下し、カルデラ形成期と類似のデイサイト質マグマが活動していることも、準備過程にふさわしいであろう。しかしながら低活動期のデイサイトはカルデラ形成期のマグマとは別である。このことから、準備過程ではカルデラ形成期と同じマグマが徐々に生産・蓄積されていくのではなく、時間とともにマグマ組成が変化するプロセスによりデイサイトマグマが蓄積されていたか、あるいは低活動期とは別のプロセスで比較的短期間にマグマが生産・蓄積されたかのいずれかであると考えられる。

# Japan Geoscience Union Meeting 2015

(May 24th - 28th at Makuhari, Chiba, Japan)

©2015. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



SVC47-18

会場:303

時間:5月26日 15:45-16:00

キーワード: カルデラ, カルデラ形成噴火, マグマプロセス, 珪長質マグマ, リンジャニ火山  
Keywords: caldera, caldera-forming eruption, magma process, silicic magma, Rinjani volcano

## 広域テフラ対比に基づく日本列島の前期更新世～鮮新世火山噴火史 The history of volcanic eruption based on widespread tephra correlation at Pliocene and early Pleistocene in Japan

田村 糸子<sup>1\*</sup>; 山崎 晴雄<sup>1</sup>  
TAMURA, Itoko<sup>1\*</sup>; YAMAZAKI, Haruo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 首都大学東京大学院 都市環境科学域 地理  
<sup>1</sup> Dep. Geography, Urban Environmental Sc. Tokyo Met. Univ.

はじめに：日本列島における巨大噴火の発生頻度や規模の推定は、長期的地質変動の予測において重要な課題のひとつである。後期更新世における巨大噴火史の復元は、火山近傍の火砕流堆積物と遠方まで分布する広域火山灰との対比・編年により検討されてきた（例えば、30kaの入戸火砕流堆積物とAT火山灰との対比：町田・新井，1974など）。過去12.5万年間では、VEI 6クラスが8回、VEI 7クラスが9回発生し（町田・新井，2003）、日本列島における巨大噴火は、およそ7000～8000年に1回の頻度であることが明らかにされている。しかしながら、さらに時代を遡ると侵食が進み、多くは火山体やカルデラなどの地形が消失し、噴出源の特定ができず、噴火の規模や時期の評価が困難である。

広域火山灰の同定・識別：テフロクロノロジーにおいて、1990年代から、従来の鉱物組成、岩相や層位データに加えて、火山ガラスの主成分元素（Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K, P）の化学組成分析に基づくテフラの同定・対比が行われるようになった。その結果、より古い年代の大規模火砕流堆積物と遠隔地のテフラとの対比精度が向上し、恵比須峠-福田テフラ（1.75Ma：吉川ほか，1996）や大峰-Sk110テフラ（1.65Ma：長橋，1998）などの存在が明らかとなり、前期更新世以前の広域テフラ対比が進み、巨大噴火の情報が得られるようになってきた。また、吉川（1990）は火山ガラスの主成分組成が類似するテフラでもLa, Ba, Sr, Yなどの微量成分特性の違いから識別できることを示し、さらに水野（2001）は大規模火砕流堆積物の火山ガラス微量成分特性から、広域火山灰の噴出源を中部山岳、九州、東北地域とある程度限定できることを示した。筆者らは2000年頃から、各地の鮮新-更新統中の指標テフラの火山ガラスの微量成分分析を行い、その特性に基づいて中央日本の鮮新-更新統の指標火山灰の対比・編年を検討してきた。また火山体が残されていないテフラでも、火山ガラスの主成分微量成分化学組成の特性や各地でのテフラ粒子の粒度傾向などから、噴出源を検討した（田村・山崎，2004；田村ほか，2005；Tamura et al., 2008；Tamura and Yamazaki, 2010など）。本発表では、多くの研究者によって報告されてきた広域テフラ情報に独自のデータを加え、今までに微量成分分析を行った5Ma～1Maの36枚の広域テフラについて、テフラの岩石学的特徴と推定される噴火規模、噴出源、噴出年代を報告する。なお、北海道や2Maより古い東北の鮮新-更新世大規模火砕流に関しては、研究が遅れており対比に有効な分析値が得られていないため、今回は扱っていない。

前期更新世～鮮新世の火山噴火史：36枚の広域テフラのうち、La/Yが0.5以下でBa/Laが30以上という東北起源（水野，2001）の可能性が高いテフラは、下位のものより、In1-B25テフラ（3.1Ma：田村ほか，2014）、TmgR4-HSCテフラ（2Ma：下釜・鈴木，2006）、Kry I-HSAテフラ（1.9Ma：田村ほか2006）、Kd44-Nkテフラ（1.9Ma：鈴木・中山，2007；田村ほか，2008）、Kumado-Kd22Uテフラ（村田・鈴木，2011）、Akai-Kd18テフラ（村田・鈴木，2011）、Ashino-Kd8-CH13テフラ（1.3Ma：村田・鈴木，2011；田村ほか，2011）、Ysm-CH3テフラ（1Ma：田村ほか，2011）の8枚である。堆積年代は2Ma～1Maに集中している。火山ガラス化学分析値（La/Yが1前後、Ba/Laが20～30）と粒径傾向から九州起源と推定されるテフラは、下位よりHbt1-MT2テフラ（2.8-2.9Ma：富田・黒川，1999）、Ass-Tmd2テフラ（2.6Ma：Tamura et al, 2008）、Skt-Kd16テフラ（1.4Ma：水野，2007）、Ss-Pnkテフラ（1.02Ma：町田・新井，2003）の4枚である。Trb1-Ya4テフラ（4.2Ma：田村・山崎，2004）やKsg-An77テフラ（4Ma：田村・山崎，2004）はテフラ粒子の粒度傾向から両白山地起源の可能性が高い。特異な火山ガラス化学組成を示し、噴出源不明なテフラは、Sk-Ya 5テフラ（4.1Ma：田村ほか，2005）、OK3-OM1テフラ（2.15Ma：田村・山崎，2010）である。上記以外の20枚が中部山岳起源と推定されるテフラで、多くが黒雲母を含み、K<sub>2</sub>Oが4%を超え、La/Yが1以上、Ba/Laが20-30という特徴を示す。中部山岳起源のテフラが出現し始めるのは、およそ3.6MaのHgs-An129テフラ（Satoguchi and Nagahashi, 2012）からである。また3Ma～1.5Maの間に16枚と集中している。

今後の課題：九州や東北、北海道などには、遠隔地のテフラとの対比が検討されていない前期更新世～鮮新世の大規模火砕流堆積物の存在が知られている。高精度な火山噴火史の構築に向けての今後の課題は、特に情報の少ない北海道や2Maより古い東北地域のテフラ編年を進めることである。

キーワード: 広域テフラ対比, 鮮新世, 前期更新世, 火山噴火史, 日本列島

Keywords: Widespread tephra correlation, Pliocene, early Pleistocene, History of volcanic eruption, Japanese Islands

## 阿蘇-4 火砕噴火直前に活動した高遊原溶岩の定置過程 Emplacement processes of Takayubaru lava flow which activated before Aso-4 pyroclastic flow

椎原 航介<sup>1\*</sup>; 長谷中 利昭<sup>1</sup>; 森 康<sup>2</sup>  
SHIHHARA, Kousuke<sup>1\*</sup>; HASENAKA, Toshiaki<sup>1</sup>; MORI, Yasushi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 熊本大学大学院自然科学研究科, <sup>2</sup> 北九州市立自然史・歴史博物館  
<sup>1</sup> Graduate School of Science and Technology, <sup>2</sup> Kitakyushu Museum of Natural History and Human History

阿蘇-4 火砕噴火直前にカルデラの西方 5 km で、大峰火山の噴火、高遊原溶岩の流出が起こり、比高 200 m の火砕丘と厚さ約 100 m、表面積 28 km<sup>2</sup> の塊状溶岩 (block lava) からなる溶岩台地が形成した。阿蘇-4 軽石と高遊原溶岩は共にデイサイトで似通った組成であるが、前者が爆発的な噴火を起こしたのに対し、後者は流出的な噴火を起こした。

熊本河川国道事務所 (1994) のボーリングコアのデータから高遊原溶岩の断面図を作成したところ、大峰火砕丘の基底 (標高 200 m) から西方向 3 km (標高 15 m) まで溶岩流出前の地形面が傾斜し、この地点には窪地が存在していることがわかった。高遊原溶岩の厚さは窪地で最大 140 m となり、そこから西方に向かって減ずる。溶岩の表面は全域でほぼ平らな地形になっており最西端 (標高 85 m) での溶岩の厚さは 10 m である。南北方向の断面図から、地表面が南に傾いていることが確認できた。すなわち南北 3.5 km で南が 50~100 m 低くなっている。この傾きは布田川断層による傾動によるものである。

ボーリングコアは上から土壌、阿蘇-4 テフラ、土壌を挟まないで高遊原溶岩の自破碎部 (中心部で 15 m)、塊状部 (同 80 m)、自破碎部 (同 2 m) があり、その下に布田層が観察できた。塊状部は均質で、間に自破碎部を挟んでいなかった。鉱物モード組成では上部から下部にかけて顕著な違いが見られなかった。気泡は、溶岩の先端のコアではほぼ全て確認されたが、中心部、根元のコアでは上部と底部にしか見られなかった。溶岩の先端部、中央部、根元、全ての全岩化学組成は SiO<sub>2</sub> で約 2wt.% の組成幅におさまった。鉛直方向で見ると、特に塊状部ではほとんど変化はなかった (SiO<sub>2</sub> < 1%)。斜長石は方向性を示すが、方向性の角度のばらつきには鉛直方向の変化はなかった。高遊原溶岩に含まれる斜長石斑晶は顕著な虫食い状の溶融組織を示す。斜長石の溶融の度合いを鉛直方向で比べると、上部の溶融度が高いことがわかった。以上の観察結果は、高遊原溶岩が複合溶岩流ではなく単一の溶岩流であることを強く示唆している。

単一の溶岩流の長さ L と流出率 Q の関係式  $L=10^3 \cdot 1.1 E^{0.47}$  (Calvari & Pinkerton, 1998) を用いて高遊原溶岩の流出率を求めた。高遊原溶岩は長さ 7.5 km であるので、流出率は約 42 m<sup>3</sup>/s であると求められた。また、高遊原溶岩の体積は約 2 km<sup>3</sup> であることから、高遊原溶岩の流れた期間は約 1.4 年と計算された。速度一定と仮定すると、約 0.6 m/hr である。

キーワード: 阿蘇, 大峰火山, 高遊原溶岩, 流出率

Keywords: Aso, Omine volcano, Takayubaru lava flow, Effusion rate

## 山口県における阿蘇4火砕流堆積物縁辺部の産状および粒度特性 The occurrence and grain-size characteristics of distal facies of Aso-4 ignimbrite in Yamaguchi Prefecture

辻智大<sup>1\*</sup>; 池田 倫治<sup>1</sup>; 古澤 明<sup>2</sup>; 中村 千怜<sup>3</sup>; 西坂 直樹<sup>4</sup>; 大西 耕造<sup>4</sup>  
TSUJI, Tomohiro<sup>1\*</sup>; IKEDA, Michiharu<sup>1</sup>; FURUSAWA, Akira<sup>2</sup>; NAKAMURA, Chisato<sup>3</sup>; NISHIZAKA, Naoki<sup>4</sup>; ONISHI, Kozo<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 株式会社四国総合研究所, <sup>2</sup> 株式会社古澤地質, <sup>3</sup> 愛媛大学, <sup>4</sup> 四国電力株式会社  
<sup>1</sup>Shikoku Research Institute Inc., <sup>2</sup>Furusawa Geological Survey Inc., <sup>3</sup>Ehime University, <sup>4</sup>Shikoku Electric Power Company Inc.

Aso-4T ignimbrite is a low-aspect ratio ignimbrite which distributed widespread from Aso caldera via Seto Inland Sea to Yamaguchi Prefecture. Though the mechanisms of transportation and deposition of that are important issue of volcanology, the fundamental data such as the depositional distribution and grain-size characteristics were not studied enough. Then we surveyed geologically and analyzed the grain-size of Aso-4T ignimbrite in Yamaguchi Prefecture in addition to Aso-4A ignimbrite and Aso-4 ash-fall in the other localities for its comparison.

Aso-4T ignimbrite distributes widespread in central to western region of Yamaguchi Prefecture with relatively thin (2-3 m) thickness in contrast with Aso-4A ignimbrite which fills valley to a thickness of more than 40 m in Oita Prefecture. Aso-4 ash-fall deposits as 15 cm-thick and partially modified by water current and resedimented at Miyoshi city in Tokushima Prefecture.

Aso-4T ignimbrite is significantly altered and rich in clay. Oppositely, Aso-4A ignimbrite is coarse, poorly sorted and includes small amount of clay. Aso-4 ash is fine, relatively sorted and rich in clay. The maximum size of pumice in Aso-4T at 130-160 km from the source caldera is 1.0 to 1.2 cm, that in Aso-4A at 50-70 km is 20-30 cm and that in Aso-4 ash-fall at 314 km is 5 mm. The maximum length of hornblende in Aso-4T at 50 km and 130-160 km is 3.8 mm and 2.8-3.1 mm. That in Aso-4A at 50 km is 3.4 mm and in Aso-4 ash-fall at 314 km and 680 km is 2.5 mm and 0.9 mm.

The aspect ratio of hornblende in Aso-4T is 1.6-8.0, that in Aso-4A at 50-70 km is 1.5-8.0 and that in Aso-4 ash-fall at 314-682 km is 1.0-6.0.

Hornblende is resistant to alteration so that it suites to the study of grain-size characteristics of significantly altered ignimbrite such as Aso-4T. We recognized the tendency of the grain-size characteristics as follows:

- 1) the grain-size of hornblende in Aso-4A ignimbrite is slightly larger than that in Aso-4T ignimbrite
- 2) longitudinal variations of maximum size of hornblende in Aso-4A and 4T ignimbrites are relatively homogeneous than that in Aso-4 ash-fall
- 3) aspect ratios of hornblende in both ignimbrites are high than that in Aso-4 ash-fall.

キーワード: 阿蘇4火砕流, 山口県, 粒度特性

Keywords: Aso-4 ignimbrite, Yamaguchi Prefecture, grain-size characteristics

## 九重火山地質図 -噴火史の高精度化とマグマ噴出率の再検討- Geological Map of Kuju Volcano; More accurate eruptive history and magma eruption rate

川辺 禎久<sup>1\*</sup>; 星住 英夫<sup>1</sup>; 伊藤 順一<sup>1</sup>; 山崎 誠子<sup>1</sup>  
KAWANABE, Yoshihisa<sup>1\*</sup>; HOSHIZUMI, Hideo<sup>1</sup>; ITOH, Jun'ichi<sup>1</sup>; YAMASAKI, Seiko<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 産業技術総合研究所地質調査総合センター  
<sup>1</sup> Geological Survey of Japan, AIST

産総研地質調査総合センターでは、活動的な火山の噴火史を明らかにし、火山活動の評価、火山防災の基礎資料として火山地質図の整備を続けてきた。今回、「九重火山地質図」を出版したので紹介する。

九重火山は九州・大分県西部に位置する活火山で、1995年に九重火山中部、星生山北東で（マグマ）水蒸気噴火が発生している。最新のマグマ噴火（1.6ka）では、黒岳溶岩ドームが形成された。九重火山の噴火史は、小野（1963）、太田（1991）、鎌田（1997）などにより明らかにされていたが、今回の九重火山地質図では、溶岩およびテフラの層序の再検討および記載岩石学的な対比を行ったほか、K-Ar及び<sup>14</sup>C年代測定を多数行ったことで、これまでより高精度な噴火史を再構築した。

九重火山は、玄武岩質安山岩からデイサイトの小型の成層火山や溶岩ドームの集合体から構成される。おおそ西側に古い火山体があり、東側には新しい火山体が分布する。九重火山の周囲には、小規模な火山岩塊火山灰流堆積物や岩屑なだれ堆積物、土石流堆積物などからなる火山麓扇状地が広がっているほか、九重火山由来の宮城、下坂田、飯田の3つの大規模火砕流堆積物が分布する。

九重火山地質図では、200～54kaの第1期、飯田火砕流噴火が発生した第2期（54ka）、九重火山中部で主に活動した第3期（54～15ka）、東部での苦鉄質マグマの噴出で特徴づけられる第4期（15ka以降）に区分した。第4期についてはこれまでより詳細なテフラ記載を行い、マグマ噴火のみならず、比較的小規模な（マグマ）水蒸気噴火についても記載を行っている。

多数の年代測定を行い、各山体、地質ユニットの時空分布がより詳細に明らかになったことから、54ka以降の第3期、第4期のマグマ噴出率について再検討を行った。第4期の噴出物量（マグマ換算）は約0.45km<sup>3</sup>/1000年であり、第3期の約0.29km<sup>3</sup>/1000年から増加している。

キーワード: 活火山, 火山地質図, 九重火山, 噴火史, 年代測定, 噴出率

Keywords: active volcano, Kuju volcano, eruptive history, geological map of volcano, eruption rate, dating



## 小笠原硫黄島火山の形成史 Volcanic History of Ogasawara Ioto (Iwo-jima)

長井 雅史<sup>1\*</sup>; 小林 哲夫<sup>1</sup>  
NAGAI, Masashi<sup>1\*</sup>; KOBAYASHI, Tetsuo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 防災科学技術研究所 地震・火山防災研究ユニット,<sup>2</sup> 鹿児島大学理学部  
<sup>1</sup>National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, <sup>2</sup>Kagoshima University

硫黄島は伊豆-小笠原弧南端部の火山フロント上に位置する火山島で、比高 2000m 程度の大型の火山体の中央部にある直径 10km 程の海中カルデラの南西縁と中央火口丘の部分から構成されている。活発な地熱活動や隆起変動で有名であり、カルデラ内の浅所にマグマが貫入する再生ドーム形成活動がおこなわれていると認識されている。しかし海域の火山ということもありカルデラの形成機構や形成時期を含め、火山形成史の詳細は明らかになっていない。今回、防災科学技術研究所の火山活動観測研究の一環として地質調査と岩石の分析をおこなった。特に先行研究時には海面下に没していたが近年陸化した部分を新たに観察することができた。それらの結果は以下のようにまとめられる。

先カルデラ火山体噴出物は後カルデラ期と同様の粗面安山岩-粗面岩質マグマの活動で形成され、一部は陸上で形成した。カルデラ西縁の溶岩から 0.07-0.08Ma 頃の K-Ar 年代を得たが、これらの値は大気混入率が高く誤差が大きい。カルデラの形成時期はまだわかっていないが、2700 年前頃には浅海の堆積盆として既に存在していた。また、植生に覆われた小さな火山島が存在した可能性が高い。

カルデラ中央の現在の元山付近で約 2700 年前に起きた粗面岩質マグマの噴火(元山噴火)では、初めに発泡したマグマによって水蒸気マグマ噴火が生じ火山島を破壊しつつ火砕流が噴出し、水中堆積の溶結凝灰岩からなる日出浜火砕流堆積物が形成された。続いて元山溶岩が流出し、厚いマッシュピな中心部と枕状溶岩やシート状溶岩の周縁部から構成されるドーム状の水中溶岩流が形成された。日出浜火砕流堆積物や元山溶岩がまだ高温のうちに元山溶岩東部が崩壊し、金剛岩火砕堆積物となって堆積した。続いて再び発泡したマグマによる水蒸気マグマ噴火が起き、水中火砕流によって元山火砕堆積物が形成された。これらは先に生じた堆積物が完全に冷却する前に次の堆積物が生じており、一連の活動の産物と推定される。全体の見かけ体積は島内堆積分だけで約 1.2 km<sup>3</sup> となる。このように規模の大きい噴火であるので、噴火中にカルデラ底の沈降変動を伴った可能性がある。

その後、南西部の播鉢山で 3 回の粗面岩質マグマの噴火活動が生じた。最初の活動では発泡したマグマによって水蒸気マグマ噴火が生じ水中火砕流が発生し播鉢山下部火砕堆積物が形成された。播鉢山下部火砕堆積物の再堆積物が元山火砕堆積物と元山の比較的上位の海成段丘(X 段丘; 貝塚ほか、1983)の堆積物の間にあるので、これらの推定年代から約 2700 年前以降、500 年前程度までの間の期間に噴火と引き続く再堆積作用が生じたと推測される。

次の活動ではまず水蒸気マグマ噴火で播鉢山中中部火砕堆積物が形成され、続いて播鉢山溶岩が流出した。播鉢山溶岩は下部が水中、上部が陸上で固結した特徴を示す。最後の活動では播鉢山上部火砕堆積物が形成した。これは陸上の水蒸気マグマ噴火による成層した凝灰岩とストロンボリ式噴火によるスコリア層の互層からなる火砕丘堆積物で、現在と同じような姿で 1779 年の絵図に描かれていることから約 200 年前にはすでに形成されていたと考えられる。

元山を中心とする再生隆起ドームの形成開始時期は明らかでないが、着生したサンゴ礁の <sup>14</sup>C 年代より遅くとも 500 年頃には海面上に現れたとされている。近年も隆起活動に伴い島内外の各所で小規模な爆発的な噴火が起きているが、採取された噴出物には本質物質と判断できる粒子は含まれておらず、水蒸気爆発と考えられる。

キーワード: カルデラ, 水中火砕流, 水中溶岩流  
Keywords: caldera, subaqueous pyroclastic flow, subaqueous lava

## 伊豆大島火山におけるカルデラ形成以降のマグマ変遷の解明 Investigation into transition magma after Caldera forming, Izu-Oshima Volcano, eastern Japan

山口 粹<sup>1\*</sup>; 中川 光弘<sup>1</sup>; 栗谷 豪<sup>1</sup>

YAMAGUCHI, Azusa<sup>1\*</sup>; NAKAGAWA, Mitsuhiro<sup>1</sup>; KURITANI, Takeshi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 北海道大学理学院理学研究院自然史科学専攻

<sup>1</sup> Department of Natural History Science, Graduate school of Science, Hokkaido University

伊豆大島は伊豆-小笠原諸島の最北に位置し、伊豆-マリアナ弧に属する火山島である。伊豆大島火山の活動は、先カルデラ期・カルデラ形成期・後カルデラ期に分けられる。伊豆大島は約1500年前のカルデラ形成噴火以降は12回にわたる中規模噴火を発生させており、これらの噴火による噴出物は新期大島層群と呼ばれている(Nakamura, 1964)。伊豆大島火山におけるマグマの変遷については、これまで主に記載岩石学的特徴や全岩主成分化学組成について調べられ、その結果、たとえばカルデラ形成以降の噴出物の全岩化学組成では、Mg#の値がほぼ単調に減少していることが報告されている(藤井ほか, 1988)。そして、カルデラ形成以降の噴火噴出物は、新たなマグマの注入をほとんど受けずに継続的に分話が進行した、基本的に単一のマグマ溜まりに由来していると考えられている(川辺, 1991)。そこで本研究では、カルデラ形成以降のマグマプロセスの変遷についてさらに詳細に検討するため、新期大島層群の噴出物を対象に地球化学的解析を行う。今回はその第一段階として、岩石記載および全岩化学組成から新期大島層群の噴出物の変遷についてまとめ、特に火口列との関係に着目しながらマグマシステムについて考察する。

伊豆大島の火山地質図(川辺, 1998)をもとに、新期大島層群の12ユニットに加えて、1950年および1986年噴出物から、合計44試料採取した。採取した試料は溶岩およびスコリアであり、斑晶量1.5~10wt.%の玄武岩~玄武岩質安山岩である。斑晶組み合わせは斜長石、単斜輝石、斜方輝石であり、一部は磁鉄鉱微斑晶を含む。これらの試料は磁鉄鉱微斑晶を多く含むタイプ1、斜長石集斑晶を多く含むタイプ2、そのどちらも含まないタイプ3に分けられる。全岩化学組成で見ると噴出物はSiO<sub>2</sub>=52~58wt.%の範囲に分布しているが、1986年山腹噴火の噴出物を除くと、SiO<sub>2</sub>=52~54.5wt.%の狭い範囲に収まる。タイプ2の噴出物においてAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>量の変化が見られるものもあるが、大部分の噴出物については斜長石の斑晶量に関わらずAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>=14~15wt.%と狭い範囲に分布している。また、Ba/Zrなどの液相濃集元素の濃度比はほぼ一定である。斜長石斑晶のコア部のAn値は、分析したどの噴火ユニットにおいてもAn=90付近にピークを持っていた。一方、斜長石斑晶のリム部については、噴火年代が新しくなるに従ってAn値のピークが減少する傾向が見られた。また、カルデラ形成期の噴出物には逆累帯構造を示す斜長石斑晶が多く見られたが、その後の噴出物ではあまり見られなかった。

まず、全岩の液相濃集元素の比がほぼ一定であったことから、新期大島層群の噴出物は、基本的には単一の初生マグマ由来であることが示唆された。また、逆累帯構造をもつ斜長石斑晶が特にカルデラ形成期の噴出物に多く見られることから、カルデラ形成期にはマグマ混合が支配的であった一方で、それ以降は新たな高温のマグマの注入などはほぼ行われていないものと考えられる。さらに、伊豆大島では北西-南東方向に2列の顕著な側火口列が分布し、1986年噴火によって開いた側火口群はちょうどこの2列の間に開口しているように見えるが、この3つの火口列とそれからの噴出物の全岩化学組成を比較すると、火口列ごとに組成差が見られることが分かった。これらのことから、伊豆大島火山下には、ほぼ単一の初生マグマに由来しつつも、火口列ごとに異なった程度に進化した別々のマグマ溜まりが存在している可能性が示唆される。

キーワード: 伊豆大島, 岩石学, 火山学, マグマ供給系

Keywords: Izu-Oshima, petrology, volcanology, magma-plumbing system

## 草津白根火山香草溶岩のマグマ混交: ボーリングコア試料分析の予察的結果 Magma mingling of the Kagusa lava in the Kusatsu-Shirane volcano: preliminary results from analyses of a boring core

潮田 雅司<sup>1\*</sup>  
USHIODA, Masashi<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 東工大・火山流体  
<sup>1</sup> Volcanic Fluid Research Center, Tokyo Tech

東京工業大学の草津白根火山観測所は3つのボアホール型地震・傾斜計を草津白根山湯釜付近に設置している。この中で、湯釜北東観測井は香草溶岩の流域直上から掘削されており、厚さ50m以上の香草溶岩を貫通している(宇都・他, 2004)。香草溶岩は、およそ7ka頃に水釜付近を火口とし、東麓の大沢川の谷に流下した(早川, 1983)。早川(1983)や宇都・他(1983)、高橋・他(2010)などで地表試料の分析が行われており、SiO<sub>2</sub>が58-65wt.%の安山岩からデイサイトであると記載されている。特に、宇都・他(1983)は、一枚の溶岩流の中で安山岩質のものとデイサイト質の部分が縞状(数十cmおき)に重なり合っているところがあるとしており、マグマが混ざりながら溶岩が流出したと言及した。50mもの長さのコアを調べ、香草溶岩噴出時のマグマ混合(混交)の空間・時間スケールを理解することは、マグマ混合が頻繁に起こっていると考えられている島弧の安山岩が主体の火山を理解することに繋がる。本研究では、宇都・他(2004)のコア記載をベースに、数mおきに試料を採取し全岩主成分元素組成を測定した。

コアからマグマが混ざり縞状になっていない箇所を切り出し、それぞれ粉末にした。また、一部コア試料において複雑に混ざり合った箇所については、それ全体を粉末にした。分析は、東京工業大学設置のXRF(RIGAKU RIX2100)を用い、11倍希釈のガラスビード法により行った。結果は、多くのサンプルがSiO<sub>2</sub>でおよそ65wt.%のデイサイト、60wt.%の安山岩組成の2つのグループに分類でき、全体の傾向を見ると中間の組成をもつサンプルは、その2つを端正分としたマグマ混合によるものだと見なすことができる。上部(およそ深さ35m)まではデイサイトが主体であり、それよりも下部においては密な安山岩が主体であり、宇都・他(2004)による記載と整合的である。また、最下部においてもデイサイトとの混合が見られる。これらの結果から、組成で見て2種の混ざり合ったマグマが、均質になるまでの時間を経ずに溶岩が流出したと考えることができる。これらを踏まえ、タイムスケールの議論をしていくために、詳細な岩石記載を行い、特に2種のマグマの境界部で斑晶のゾーニングプロファイルを詳細に見ていきたい。

キーワード: マグマ混交, マグマ混合, 草津白根火山  
Keywords: magma mingling, magma mixing, Kusatsu-Shirane volcano

## 蔵王火山地質図 Geological map of Zao volcano

伴 雅雄<sup>1\*</sup>; 及川 輝樹<sup>2</sup>; 山崎 誠子<sup>2</sup>  
BAN, Masao<sup>1\*</sup>; OIKAWA, Teruki<sup>2</sup>; YAMASAKI, Seiko<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 山形大学理学部地球環境学科, <sup>2</sup> 産業技術総合研究所 地質調査総合センター  
<sup>1</sup>Dept. Earth&Environmental Sci. Yamagata Univ., <sup>2</sup>Geological Survey of Japan, AIST

産総研の火山地質図シリーズとして蔵王火山地質図が完成したので紹介する。

東北日本弧火山フロントの中央部に位置する蔵王火山は、東北地方の中で噴火記録が最多の活火山である。1894～97年には最新の噴火活動があり、山上の火口湖である御釜を噴火口とする複数回の噴火が発生し、噴火と同時に湖水が溢れてラハールも発生した。1939～1943年には、噴火に至らなかったが、火口湖の御釜の底から火山ガスが湧出し、湖水変色、湖面が硫黄で覆われるなどの活動が起こった。さらに2013年1月からは火山性微動が断続的に観測されており、今後の活動を注視すべき火山である。

蔵王火山については古くから多数の地質学的研究が行われてきた。1990年前後に行われた比較的新しい研究では、その活動は3ないし4つのステージに分けられていた。今回、それらの先行研究を踏まえた上で、蔵王山の活動全体を通して層序の再検討を行い、各時期の噴火様式・形成された山体・マグマの特徴に注目して6つの活動ステージに区分した。また、新たな層序に基づく既存年代値の再検討と系統的な年代測定を行った。さらに、最新活動期（活動期VI）については、地質調査、古記録の解析を詳細に行い、従来に比べ噴火史を格段に精度高く明らかにした。この地質図は、それらの成果に基づき蔵王火山の地質と噴火活動史をまとめたものである。

キーワード: 蔵王, 火山, 地質図

Keywords: Zao, Volcano, Geological map

東北日本、蔵王火山の熊野岳アグルチネートにおけるマグマ供給系の進化とマグマ混合の時間スケール  
Magma evolution and time scales of magma mixing of the Kumanodake agglutinate of Zao volcano, northeastern Japan

武部 義宜<sup>1\*</sup>; 廣上 千尋<sup>1</sup>; 伴 雅雄<sup>1</sup>  
TAKEBE, Yoshinori<sup>1\*</sup>; HIROKAMI, Chihiro<sup>1</sup>; BAN, Masao<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 山形大・理

<sup>1</sup> Faculty of Science, Yamagata Univ.

To understand the evolution of magma system for the activity of newest stage (c. 33 ka to present) of Zao volcano in north-eastern Japan, we have investigated the eruption products of the Komakusadaira activity (c. 33 ka to 12 ka). In this study, we will infer the evolution of magma system based on detailed petrological features of the Kumanodake agglutinate which was formed during initial period of the activity.

The Kumanodake agglutinate drapes the summit area of Mt. Kumanodake whose inner part is comprised by the older stage products. This unit piles up successively without any unconformity or secondary deposits. The succession is ca. 30 m thick, comprising stratified pyroclastic layers (agglutinate, agglomerate, tuff breccia, and lapilli tuff). The layers include various amount of black scoriae (~1m), gray andesitic bombs (~20cm), and subordinate amounts of gray andesitic lapillus to volcanic block in the matrix of reddish brown scoriaceous ash. The explosivity is inferred to have increased over time because the abundance of the scoriae increased. Furthermore, the large scoriae are usually found in the top part.

The rocks are mixed medium-K calc-alkaline olv-cpx-opx basaltic-andesite (55.2-56.2% SiO<sub>2</sub>, 0.82-0.85% K<sub>2</sub>O). From the base to the top, SiO<sub>2</sub> and Zr contents decreased gradually, whereas the CaO and MgO contents increased.

Based on petrologic features, we deduced the products were formed by magma mixing of felsic magma and mafic magma. The estimated felsic magma (59-62% SiO<sub>2</sub>, 956±17 degrees Celsius in the lower part and 967±22 degrees Celsius in the upper part) with orthopyroxene (Mg# = 60-69), clinopyroxene (Mg# = 65-71), and An-poor plagioclase (An<sub>ca.60-70</sub>) was stored in a shallower region. The mafic magmas are further divisible into two types: less and more differentiated, designated respectively as mafic magma-1 and mafic magma-2. The less differentiated mafic magma-1 was olivine (Fo<sub>84</sub>) basalts (ca. 49-51% SiO<sub>2</sub>, 1110-1140 degrees Celsius). The differentiated mafic magma-2 was basalt (1070-1110 degrees Celsius) having olivine (Fo<sub>ca.80</sub> with reverse zoned part of Fo<sub>84</sub>) and An-rich plagioclase (An<sub>ca.90</sub>) phenocrysts was the basalt formed occasionally at 3-6 km depth. The mafic magma-1 was the dominant mafic magma because of Fo<sub>81-84</sub> olivine phenocrysts are more common than Fo<sub>76-80</sub> ones.

We estimated the time scales from magma mixing to the eruption on the basis of zoning analysis of olivine (Fo<sub>84</sub>) phenocrysts rim (~50 μm from phenocrystic optical edge) and diffusion calculations. The zoning analysis revealed that a significant mixing process occurred 250 days to 3.5 years before the eruption in the lower part, while 15 to 130 days in the upper part. In the lower part, up to 40% An-poor plagioclase and orthopyroxene phenocrysts in the same thin section have multiple dusty zones or oscillatory zoning part inside the phenocrystic rim. The abundance of those phenocrysts decreases 15% up-section. These phenocrysts are antecrysts formed by injection of mafic magma prior to the eruption. Thus, the duration of the time scale correlates to the amount of antecrysts. Consequently, in the early part of the activity, the erupted magmas had more antecrysts.

The erupted magma composition became more mafic, which reflects increased percentage of mafic magma involved in mixing. At the beginning of the activity, the mafic magma also acted as a heat source for activation of the cold felsic magma chamber, thereby suppressing the volume percentage of mafic magma in the mixing, and also resulted in longer residence time before the eruption. As the activity proceeded thereafter, the shallow felsic chamber would become more mobile, consequently the mafic would be able to mix with felsic magmas more easily, resulted in higher percentage of the mafic magma in the mixing, and prompt eruption.

Keywords: Magma evolution, Magma mixing, Time scale, Kumanodake agglutinate, Zao volcano, NE Japan

## 蔵王火山, 御釜-五色岳火山体形成初期噴出物の岩石学的特徴 Petrologic characteristics of early part of the Okama-Goshikidake activity of the Zaovolcano.

西 勇樹<sup>1\*</sup>; 伴 雅雄<sup>2</sup>; 及川 輝樹<sup>3</sup>; 山崎 誠子<sup>4</sup>

NISHI, Yuki<sup>1\*</sup>; BAN, Masao<sup>2</sup>; OIKAWA, Teruki<sup>3</sup>; YAMASAKI, Seiko<sup>4</sup>

<sup>1</sup>山形大学, <sup>2</sup>山形大学, <sup>3</sup>産業技術総合研究所, <sup>4</sup>産業技術総合研究所

<sup>1</sup>Yamagata Univ, <sup>2</sup>Yamagata Univ, <sup>3</sup>GSJ, AIST, <sup>4</sup>GSJ, AIST

### ・はじめに

蔵王火山は東北日本火山フロントの中心に位置する第四紀成層火山であり, 約 1Ma から現在まで活動を続けている。五色岳はその中央付近に位置し, 蔵王火山の中で最も新しく形成された小規模の山体である。本火山では, 2013 年以降, 火山性微動が繰り返し観測されるなど火山活動の高まりが認められている。

これまでの研究によって, 本火山体は約 2 千年前に活動を開始したと, 噴出物は主に火砕サージ堆積物とアグルチネートからなること, 噴出物は 5 つの地質ユニット (ユニット 1~5) に大きく分けられることが報告されている。本研究では本火山体形成初期のユニット 1 を対象として, より詳しい層序と記載岩石学的特徴を明らかにしたので, その結果を報告する。

### ・御釜-五色岳火山体形成初期噴出物

御釜-五色岳火山体形成初期噴出物は, 振子滝溶岩, 五色岳南方溶岩及び火砕岩類, 五色岳南部火砕岩類, 五色岳東部火砕岩類に細分類される。振子滝溶岩は, 現在の五色岳山頂から約 250m 北方の, 五色岳山体底部付近から流出した溶岩流が固結したものである。流下距離は約 750m で幅およそ 20~30m の細長い形状を示し沢に沿って分布している。五色岳南方溶岩及び火砕岩類は, 五色岳の南の濁沢を挟んだ対岸の一部に分布している。下部は凝灰角礫岩, 上部が水冷破碎岩からなる。下部の凝灰角礫岩はハイアロクラスト様の岩相を示す。上部の水冷破碎岩は概ね垂直方向の粗めの節理に加え, その節理から垂直方向に細かめの節理が多数伸びているのが認められる。偽枕状溶岩状の形状を有している部分も認められる。溶岩の発泡度は低い。五色岳南部火砕岩類は火砕サージ堆積物と火道角礫岩からなり, 五色岳山頂の南方約 500m 付近に見られる。火砕サージ堆積物は火山弾を少量含む火山礫凝灰岩~火山角礫岩からなる。多数のラミナが見られ, その多くは側方方向に連続性が悪い。層厚は約 10m である。火道角礫岩は全部で三本あり, 幅 2~8m で高さ 5~8m である。その伸長方向は概ね北東-南西方向でほぼ垂直に火砕サージ堆積物を切っている。いずれも淘汰の悪い凝灰角礫岩であり, 外形が丸い~20cm の火山弾がある程度含まれる。五色岳東部火砕サージ堆積物は五色岳の東部に点々と認められる。層厚の変化が激しく厚いところで約 35m, 薄いところで約 6m である。成層構造が発達した凝灰岩~火山礫凝灰岩~凝灰角礫岩を主体としていて, 火山弾も認められる。

### ・岩石学的特徴

いずれの噴出物も普通輝石-斜方輝石安山岩である。斜長石斑晶はパッチ状構造や汚濁体を持つものが多い。但し, 振子滝溶岩と五色岳南方溶岩及び火砕岩類では, 汚濁体を持つものはほとんどない。斜方輝石斑晶と単斜輝石斑晶は自形性の強いものが多く, その半数はコア部にまばらにガラス包有物を含む。なお, 単斜輝石斑晶は融食形を示すものも見られる。また, 五色岳南部火砕岩類の火道角礫岩に含まれる火山弾のみ他の噴出物に比べて単斜輝石の割合が高い。輝石斑晶の組織にユニット毎の差異は認められない。

本噴出物は全て, 中間カリウム, カルクアルカリ系列に属する。全岩 SiO<sub>2</sub> 量は 56~58wt% と変化幅が狭い。SiO<sub>2</sub> 組成変化図では, どのユニットも概ね一連のトレンドに乗る。より詳細に見ると, 振子滝溶岩と五色岳南方溶岩は SiO<sub>2</sub>=57.5~58wt% にまとまっている一方で, その他の噴出物は 56~57.7wt% である。また, 五色岳南部火砕岩類の火道角礫岩中の火山弾のみ, 他の噴出物に比較して FeO, TiO<sub>2</sub> 量などがやや低く MgO 量などがやや高い傾向を示す。

振子滝溶岩と五色岳南方溶岩及び火砕岩類の斜方輝石のコアの組成は Mg#64~65 であり, 五色岳東部火砕岩類は Mg#65 前後である。また, 五色岳南部火砕岩類の火道角礫岩に含まれる火山弾は Mg#62~69 と組成幅が広い。単斜輝石のコアの組成は全てのユニットで Mg#64~70 である。斜長石のコアの組成は An62~92 と組成幅が広い。振子滝溶岩と五色岳南方溶岩及び火砕岩類では An68~70 と An78 前後にピークを持ち, また An90 程度に小ピークが見られる。五色岳東部火砕岩類では An64~66 と An76~78 前後にピークを持ち, An90 程度に小ピークが見られる。五色岳南部火砕岩類の火道角礫岩中の火山弾では An62~66 と An 74~76 にピークが認められる。

キーワード: 蔵王火山, 安山岩質溶岩, 火砕サージ, アグルチネート, カルクアルカリ系列

Keywords: zao volcano, andestic lava, pyroclastic surge, agglutinate, calc-alkaline

## 東北日本, 鳥海山, 1800-1804年噴出物の岩石学的特徴 Petrological characteristics of rocks from Chokai A.D.1800-1804 activities, NE Japan

神谷 知佳<sup>1\*</sup>; 伴 雅雄<sup>2</sup>; 林 信太郎<sup>3</sup>; 大場 司<sup>4</sup>; 佐藤 昂徳<sup>5</sup>

KAMIYA, Chika<sup>1\*</sup>; BAN, Masao<sup>2</sup>; HAYASHI, Shintaro<sup>3</sup>; OHBA, Tsukasa<sup>4</sup>; SATO, Takanori<sup>5</sup>

<sup>1</sup>山形大学大学院理工学研究科, <sup>2</sup>山形大学理学部地球環境学科, <sup>3</sup>秋田大学教育文化学部地学研究室, <sup>4</sup>秋田大学工学資源学部地球資源学科, <sup>5</sup>AIST

<sup>1</sup>Graduate School of Science and Engineering, Yamagata University, <sup>2</sup>Department of Earth and Environmental Sciences, Faculty of Science, Yamagata University, <sup>3</sup>Department of Earth Sciences, Faculty of Education and Human Studies, Akita University, <sup>4</sup>Department of Earth Science and Technology, Faculty of Engineering and Resource Science, Akita Univ., <sup>5</sup>AIST

鳥海山は山形県と秋田県の県境に位置する第四紀成層火山である。活動は大きく3ステージに分けられている。各々の活動期は、ステージⅠが60万年-16万年前、ステージⅡが16万年-2万年前、ステージⅢが2万年前-現在である。歴史時代の噴火活動は、少なくともマグマ噴火を2回、水蒸気噴火ないしマグマ水蒸気爆発を4回繰り返している(植木, 2001)。871年のマグマ噴火は、869年に起きた貞観地震の2年後に噴火をしており、地震と火山の関係性が示唆されている(林, 2001)。2011年に東北地方太平洋沖地震が発生後、蔵王山や吾妻山のような火山性活動の高まりは観測されていないが、今後も噴火する可能性があるため注視しておく必要がある。歴史時代噴出物の分布と区分は現地踏査や岩石記載、古文書の解析を用いて検討されてきた(たとえば林, 1984; 佐藤, 2014)。しかし、歴史時代を通じた岩石記載は行われていないが、ユニットごとの詳細な記載は行われていない。よって本研究の目的は、東鳥海カルデラ内に分布する歴史時代噴出物の中でも最も新しいマグマ噴火である1800年-1804年噴出物に焦点を絞り、噴出物の分布と区分を検討し、マグマ供給系を詳しく検討することとする。

1800年-1804年の噴出物は下位から新山溶岩(SL)、新山降下火砕堆積物(SPDF)、新山溶岩ドーム(SLD)にわけられた。新山溶岩ドームから半径500mの範囲に火山弾が多数見られるが、詳細な噴出時期は不明である。露頭観察で幾つかの火山弾は新山降下火砕堆積物の上位でも見られたため、この火山弾は新山降下火砕堆積物の一部とする。新山溶岩は新山溶岩ドームの南方と北方にロープ地形を確認できる。層厚は北で最大25m、南で50m、体積は約 $7.3 \times 10^{-3} \text{km}^3$ である。ロープはブロック状溶岩で構成されているが、大部分は転石で覆われている。また溶岩は苦鉄質包有岩を含む。新山降下火砕堆積物は新山溶岩ドームの南から東にかけて分布する。層厚は露頭によって異なるが、新山溶岩ドームの麓の層厚から平均30cmと仮定した場合、体積は $9.0 \times 10^{-7} \text{km}^3$ である。この層は主に平均粒径が4cmで、一部は表面に光沢がある石質岩片からなり、平均粒径が5cmの軽石を含むことがある。石質岩片は垂角礫で淘汰は良いが、軽石は垂角礫-垂円礫で淘汰は悪い。マトリックスは粗粒火山灰-細礫である。今回新山降下火砕堆積物に含めた火山弾は、約50cm-数mのパン皮状火山弾と角礫状火山弾がある。パン皮状火山弾は主に安山岩質で苦鉄質包有物を含むが、稀に苦鉄質溶岩からのみなるものもある。角礫状火山弾は数十cm-1mの角礫と、角礫が細かく砕かれたような小さな岩片が弱溶結したマトリックスからなる。角礫の縁はガラス質になっているものがある。新山溶岩ドームは現在の鳥海山の山頂部を形成している部分である。ドームの比高は50m、体積は $9.0 \times 10^{-4} \text{km}^3$ である(林, 1984)。溶岩ドーム内部は柱状節理と板状節理がよく発達している。また、苦鉄質包有岩も見られる。

1800-1804年噴出物の一部の包有岩を除き、中間-高カリウムのカルクアルカリ系列に属する。斑晶組み合わせは斜長石、単斜輝石、斜方輝石、不透明鉱物土かんらん石、角閃石である。斜長石は清澄なものよりも、汚濁帯や蜂の巣状構造といった溶融組織を持つものが卓越する。斜方輝石とかんらん石は反応縁を伴うものが認められるが、角閃石には認められない。母岩の中でも新山溶岩は斑晶を多量に含む(48-50vol.%)が、その他の斑晶量は26-36vol.%である。苦鉄質包有岩の斑晶量は20-30vol.%である。母岩の石基組織はハイアロオフィティック組織、包有岩の石基組織はディクチャキシティック組織である。ただし、ディクチャキシティック組織中のマイクロライトの大きさは試料によって異なる。

噴出物のSiO<sub>2</sub>量は、母岩で約60-62wt.%(SL, 60.7-60.8 wt.%; SPDF pumice 60.7-61.2 wt.%; SPDF lithic fragments, 60.8-61.1 wt.%; SPDF volcanic bomb, 60.5-61.5 wt.%; SPDF breccia bomb, 60.7-61.0 wt.%; SLD, 61.2-62.2 wt.%)、包有岩で約52-57 wt.%(SL 53.3 wt.%; SPDF lithic fragments, 54.2 wt.%; SPDF volcanic bomb, 56.5 wt.%; SPDF breccia bomb, 52.6-54.8 wt.%; SLD 54.0-55.8wt.%)である。母岩と包有岩は角礫状火山弾の包有岩を除き直線的なトレンドをなす。それぞれのSiO<sub>2</sub>量は新山溶岩ドームの母岩も包有岩もSiO<sub>2</sub>量はほかの噴出物に比べてやや高い。新山降下火砕堆積物中の軽石と石質岩片のSiO<sub>2</sub>量はほぼ同じである。

キーワード: 鳥海火山, 噴火史

Keywords: Chokai volcano, eruption history

## 南西北海道、クッタラ火山の最新の大規模噴火 (Kt-1 期) の噴火推移とマグマ変遷に関する研究 Eruptive sequence and magma system of the latest large silicic eruption of Kuttara volcano (Kt-1), southwestern Hokkaido

西岡 宏高<sup>1\*</sup>; 中川 光弘<sup>1</sup>  
NISHIOKA, Hirotaka<sup>1\*</sup>; NAKAGAWA, Mitsuhiro<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 北海道大学大学院理学院自然史科学専攻

<sup>1</sup>Department of Natural History Sciences Hokkaido University

南西北海道に位置するクッタラ火山群は、約 8 万年前より活動を開始し、49ka~45ka の成層火山形成期を挟んで複数回の大規模珪長質噴火を繰り返している。そして 42ka の大規模珪長質噴火である Kt-1 期の噴火により現在の直径約 2.5km のクッタラカルデラが形成されたと考えられている (山縣,1994; 森泉,1998)。クッタラ火山群の総噴出量は 100km<sup>3</sup> を超え、近隣の支笏、洞爺カルデラ火山に匹敵するが、なぜクッタラ火山では複数回の噴火により大量のマグマが噴出したのかについては議論されていない。そのためにはクッタラ火山群の個々の大規模噴火の推移とマグマ系の構造、およびその変遷を明らかにすることが必要であり、我々は地質学的岩石学的研究を行っている。今回は最新の大規模珪長質噴火である Kt-1 期の噴火推移とそれに対応するマグマ変遷について報告する。

森泉 (1998) は、Kt-1 期テフラとして降下火砕物、火砕流および火砕サージ堆積物を認識した。降下火砕物は、降下スコリア層 (Kt-1sfa) を境に下部 (Kt-1pfa1) と上部 (Kt-1pfa2) に区分され、下部は角閃石斑晶含有の軽石を含むが、上部には含まれないとした。また、火砕流堆積物中の降下軽石には角閃石斑晶が含まれないことから、火砕流は Kt-1pfa2 と同時に発生したとした。

本研究の野外調査では Kt-1sfa を発見できなかったが、噴火の時間間隙を示すと考えられる、表面が風化した軽石層を基準に、降下火砕物を下位から Kt-1A~Kt-1E 層の 5 枚のフォールユニットに区分した。Kt-1A~Kt-1C 層では角閃石斑晶を含む白色軽石が見られるが、Kt-1D 層より上部では見られない。よって Kt-1A から Kt-1C が Kt-1pfa1 に、Kt-1D から Kt-1E が Kt-1pfa2 に対応すると考えられる。それとは別に火砕流および火砕サージ堆積物を確認した。

降下火砕物層中には白色軽石と縞状軽石、火砕流堆積物中には白色軽石、縞状軽石、スコリアがみられる。Kt-1 期の噴出物の岩石は斑晶として、石英、斜長石、斜方輝石、単斜輝石、不透明鉱物を含む。また、Kt-1A 層中の白色軽石と、Kt-1B、Kt-1C 層の一部の白色軽石は斑晶として角閃石を含む。

Kt-1 期の岩石の全岩 SiO<sub>2</sub> 量は 59.2~74.1wt % であり、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> や MnO、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> などの多くの元素のハーカー図上で、4 つの組成トレンドが認識できる。その全岩化学組成トレンドと斑晶鉱物組み合わせから、Kt-1 期の本質物質を 4 タイプに分類した。角閃石斑晶を含み最も流紋岩質のものを Type1、角閃石斑晶を含まない流紋岩~デイサイト質のものを Type2、角閃石斑晶をわずかに含むデイサイト質のものを Type3、角閃石斑晶を含まず、安山岩質~流紋岩質のものを Type4 とした。Type1、Type2、Type3 はハーカー図上で、珪長質からマフィックまで互いに収束することのないトレンドとして識別できる。一方、Type4 は珪長質側において Type2 に収束するが、マフィック側で発散するトレンドを描く。

降下火砕物における本質物質タイプの時間変化を見ると、Kt-1A 層では Type1 と Type3 の両者が認められ、一方 Kt-1B および C 層では Type2 と Type3 が共存する。そして Kt-1D および E 層では Type2 のみが認められる。このように降下火砕物では Type1~Type3 が認められ Type4 は認められない。一方、火砕流堆積物では Type4 のみが認められ、それ以外の本質物は認められない。従来、火砕流は、Kt-1D および E の時期 (Kt-1pfa1) に発生したと考えられてきたが、本質物質のタイプが異なることから、火砕流は降下火砕物とは異なる時期に発生したことを指摘できる。Kt-1D および E の時期の Type2 軽石は、全岩化学組成において珪長質側で Type4 と類似することから、Kt-1E の後に火砕流が発生した可能性が高い。

本研究では森泉 (1998) と同じく、降下火砕物層下部に角閃石含有軽石が特徴的に見られ、降下火砕物層上部および火砕流には角閃石含有白色軽石が見られないことを確認した。しかし本研究では降下火砕物は 3 タイプの本質物質からなり、さらに火砕流堆積物が降下火砕物とは別タイプの本質物質から構成されることを明らかにした。つまり Kt-1 は 4 つのマグマタイプからなるということである。これら 4 タイプは噴火の進行に伴って、順次活動をしており、そのことから Kt-1 噴火前のマグマ系の構造とその噴火変遷が明らかになった。現在はガラス組成および鉱物組成の分析を進めており、マグマプロセスと噴火推移の関連をさらに解明する予定である。

キーワード: クッタラ火山, カルデラ火山, カルデラ形成噴火, 珪長質マグマ, 岩石学的特徴, マグマ組成

Keywords: Kuttara volcano, caldera volcano, caldera-forming eruption, silicic magma, Petrological features, magma chemistry



## 北海道南西部・支笏火山先カルデラ噴出物（社台火砕流）に関する岩石学的研究： カルデラ形成噴出物との比較 Petrology of pre-caldera eruption of Shikotsu volcano (Shadai pyroclastic flow), South- western Hokkaido

宮坂 瑞穂<sup>1\*</sup>; 中川 光弘<sup>1</sup>; 長谷 龍一<sup>1</sup>

AMMA-MIYASAKA, Mizuho<sup>1\*</sup>; NAKAGAWA, Mitsuhiko<sup>1</sup>; HASE, Ryuichi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 北大・理

<sup>1</sup>Sci., Hokkaido Univ.

支笏火山は約6万年前に大規模噴火を開始し、スコリア質の降下火砕物とスコリア流堆積物(社台火砕流)を堆積した。その後数千年ごとに爆発的な噴火を繰り返し、1万年前後の休止期において、約4万年前にカルデラ形成噴火が開始した。山縣(1994)によると、噴出体積は先カルデラ噴出物で50km<sup>3</sup>未満、カルデラ形成噴出物で400km<sup>3</sup>程度である。本研究では、支笏湖畔南方約5km地点で掘削したボーリング試料(JMA-V05)から約6万年前の社台火砕流噴出物を連続的に採取してその岩石学的特徴を明らかにし、カルデラ形成期噴出物と比較した。

ボーリングコア試料は、地表面から深度1.80mまでは土壌混じりの表土、深度1.80m-2.60mまでは再堆積物、深度2.60m-3.40mまでは社台火砕流堆積物、深度3.40m-4.25mまでは再堆積物、深度4.25m-18.15mまでは社台火砕流堆積物、深度18.15m-19.90mまでは再堆積物、深度19.90m-101.00mまでは社台火砕流堆積物から構成されその下限は確認されていない(宝田・古川,2010)。社台火砕流堆積物は、深度18.15m以浅では溶結度が比較的低く、本質物質はスコリアと白色軽石からなる縞状軽石が大部分を占めるが白色軽石も存在する。深度19.90m以深では深度ごとに溶結度が変化するが、深度53.40m-72.00mと80.90m以深は溶結度が高い。本質物質はスコリアと縞状軽石が大部分を占めるが白色軽石も認められ、強溶結部ではレンズ状の形態を示す。

社台火砕流噴出物の本質物質はSiO<sub>2</sub>=53-62wt%の安山岩～デイサイトからなる。斑晶量は20-40vol%程度、斑晶鉱物は斜長石、斜方輝石、単斜輝石、不透明鉱物からなり、かんらん石斑晶が認められることもある。縞状軽石は鏡下でも不均質で石基部分の発泡度や結晶度、石基ガラスの色が異なる。これらの本質物質は、主要元素・微量元素のハーカー図において連続的な直線トレンドを示し、白色軽石はSiO<sub>2</sub>=60wt%以上、スコリアは大部分がSiO<sub>2</sub>=56wt%以下である。深度ごとに見ると、深度18.15m以浅ではSiO<sub>2</sub>=60-62wt%とSiO<sub>2</sub>に富む岩石のみが認められるが、深度19.90m以深ではSiO<sub>2</sub>に乏しい岩石が次第に増加する。深度53.40m-72.00mではSiO<sub>2</sub>=53wt%以下の岩石が多く認められるようになり組成幅が最大となるが、深度72.00m以深ではSiO<sub>2</sub>=55-62wt%にやや収束する。希土類元素組成はいずれもSiO<sub>2</sub>の増加とともに増加するが、コンドライトで規格化した希土類元素パターンは軽希土類元素側でやや発散しており、MREE/LREE、HREE/LREEはSiO<sub>2</sub>の増加とともに減少する。同様の傾向はY/Rb、Zr/Rb、Ba/Rbなどでも認められる。また、Sr、Nd同位体比は、SiO<sub>2</sub>含有量に関わらずほぼ一定の値を示す。

縞状軽石が存在し鏡下でも不均質が認められること、全岩化学組成トレンドが直線状であることなどから、社台火砕流噴出物は苦鉄質マグマと珪長質マグマとの混合作用によって生成されたと考えられる。深度による全岩化学組成幅の違いは、両者の混合比が変化していたことを示している。また、本質物質の同位体比が一定であることから、これらの端成分マグマの起源物質は単一である可能性が高い。しかしながら、SiO<sub>2</sub>の増加に伴うMREE/LREE、HREE/LREEやY/Rb、Zr/Rb、Ba/Rbの減少は単純な結晶分化作用では説明することができず、同一の地殻物質からの部分溶融度の違いによって生じた可能性を示唆している。

最後に、支笏火山カルデラ形成噴出物と比較する。4万年前のカルデラ形成噴火はマグマ水蒸気噴火で始まり、プリニー式噴火から大規模火砕流へと移行している。その本質物質は、斑晶量5wt%以下のデイサイト質～流紋岩質のAタイプ(SiO<sub>2</sub>=74-78wt%)と斑晶量7-45wt%の安山岩質～デイサイト質のPタイプ(SiO<sub>2</sub>=57-72wt%)の大きく2つに分類され、Aタイプはカルデラ形成噴火を通して噴出し続けるが、Pタイプは噴火の末期に発生した火砕流堆積物の上部ユニットにのみ認められる(Nakagawa et al., 2013)。斑晶鉱物組み合わせはいずれも斜長石、斜方輝石、単斜輝石、角閃石、不透明鉱物からなる。Aタイプ、Pタイプともにマグマ混合作用の証拠が認められるが、その端成分マグマはそれぞれ異なると考えられている。中川ほか(2010)では、社台火砕流噴出物の珪長質マグマがカルデラ形成噴火のPタイプデイサイトに類似していることを示し、それがSr同位体比の低い苦鉄質マグマと混合した可能性を示している。しかしながら、今回カルデラ形成噴出物の希土類元素組成、同位体対比組成を合わせて測定した結果、社台火砕流噴出物はカルデラ形成噴出物に比べてわずかにSr同位体比が低くNd同位体比が高いこと、また特にNd同位体比では両者がほぼ平行なトレンドを示すことが確認された。このことは、両者の起源物質がそもそも異なっており、先カルデラ噴火後に新たなマグマが生成されたことを示唆している。

キーワード: 社台火砕流, 先カルデラ噴火, カルデラ形成噴火, マグマ混合, マグマの起源

---

SVC47-P13

会場:コンベンションホール

時間:5月26日 18:15-19:30

Keywords: Shadai pyroclastic flow, pre-caldera eruption, caldera-forming eruption, magma mixing, origin of magmas

## カルデラ南方の支笏カルデラ形成噴火堆積物のテフラ層序：特に構成物解析からみた噴火推移について The sequence of caldera-forming eruption of Shikotsu caldera inferred from component analysis

富島 千晴<sup>1\*</sup>; 中川 光弘<sup>1</sup>  
TOMIJIMA, Chiharu<sup>1\*</sup>; NAKAGAWA, Mitsuhiro<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 北海道大学大学院理学院自然史科学専攻

<sup>1</sup>Department of Natural History Sciences, Graduate School of Science, Hokkaido University

支笏火山は北海道南西部に位置し、約4.2万年前に起こった大規模珪長質噴火により支笏カルデラを形成した。この大規模噴火は、初期にマグマ水蒸気爆発を発生し、次にプリニー式噴火を行い、降下軽石堆積物(spfa-1)を堆積させ、その後噴煙柱の崩壊が起こり、大規模火砕流の噴出へと移行した(勝井, 1959)。その後、Yamagata (1992)はカルデラ南東部とカルデラ縁より半径10 km以内の火砕流堆積物中にはラグプレッチャを特徴的に含むことを明らかにし、プリニー式噴火時から火砕流噴火時には火道が移動したことを示唆した(Yamagata, 1992)。その後、中川・ほか(2006)はカルデラ形成時のマグマタイプの多様性を示し、火砕流噴出時の後半に複数のマグマタイプが共存することを示した。このように、カルデラ形成噴火において、噴火様式や火道・火口の拡大・移動、およびマグマタイプの時間変化が指摘されているが、それらの詳細と、それをもとした噴火推移・過程は明らかではない。我々は支笏カルデラ形成噴火の詳細を地質学および物質科学的手法で検討している。ここでは最近になって出現した好露頭での地質記載と構成物解析により明らかになった噴火推移について報告する。

本研究で取り扱う露頭は、苫小牧市覚生川流域で大規模に出現した露頭である。ここでは支笏火山初期の噴出物である社台火砕流から、表層部の樽前降下軽石まで約6万年間の層序が観察できる。支笏カルデラ形成に関連したテフラは多数の地層単位に区分できるが、それらを噴火・堆積様式の変化に注目して、大きく5つの噴火フェーズに分類した。フェーズ1は最初期の活動であり、断続的に繰り返したマグマ水蒸気噴火による産物である。これらは、ベースサージと判断できる火山豆石を含む火山灰層、降下軽石層の互層からなる。この後はマグマ噴火に推移し、プリニー式噴火からなるテフラをフェーズ2とした。まずプリニー式噴火により厚い降下軽石層が堆積後、サージ堆積物と降下軽石層の互層が堆積し、その後にラグプレッチャを含む火砕流堆積物が堆積している。このようにフェーズ2では、大規模なプリニー式噴火による降下軽石卓越層から、噴煙柱が断続的に不安定となり火砕流堆積物卓越層へと移行している。これらの間には顕著な時間間隔は観察されていない。その後、侵食間隔を挟んで、大規模で高エネルギーな火砕流を連続的に噴出した(フェーズ3)。最下部の火砕流は、ここでは層厚8 mを越える大規模なもので、フェーズ2の堆積物を捕獲ブロックとして取り込んでいる。これらを覆って、フェーズ4の火砕流が堆積している。この火砕流は大規模な厚い岩片濃集層が最下部にある。この岩片濃集層と下位のフェーズ3の火砕流の境界は不規則に波打っており、短時間のうちに両者が堆積したことを示す。その後、噴火規模を急減して薄いサージ堆積物と降下軽石層が互層している(フェーズ5)。

岩相の変化に注目して40の層位から構成物分析用の試料を採取した。今回の解析結果は以下の通りである。石質岩片含有率はフェーズ2とフェーズ4の岩片濃集層では70 wt. %以上であり、通常30wt. %以下で、多くても40wt. %程度である。各ユニットを構成する石質岩片は堆積岩(頁岩・砂岩)、火山岩(両輝石安山岩)、変質岩からなり、まれに深成岩片や鉱物片を含む。下位から岩片のタイプに注目すると、噴火推移に伴う変化が認められる。フェーズ1は堆積岩に比べ、火山岩の含有率が高いことで特徴づけられるが、フェーズ2のプリニー式噴火前期における噴出物中では、堆積岩の含有率は概ね50wt. %と高くなり、噴煙柱が不安定になりだしたフェーズと思われるプリニー式噴火中期では、堆積岩にかわって火山岩の含有率が高くなる。これは、フェーズ1からフェーズ2にかけて火口が移動しプリニー式噴火が起こり、その後に火口が拡大することにより噴煙柱が不安定になったと考えられる。そしてフェーズ2後期になると堆積岩の含有率はおよそ20wt. %まで低下し、火山岩・変質岩の含有率が高くなり、また岩片量が70wt. %に達するユニットも存在する。したがってフェーズ2後半で火口の拡大・移動が大規模に起こったと考えられる。フェーズ2後半の岩片種はその後に続くフェーズ3でもみられる特徴であり、フェーズ3の火砕流発生にかけて大きな火口移動・拡大はなかったと考えられる。フェーズ5の70wt. %以上の岩片を含む岩片濃集層は本露頭では最も大規模であり、またこれまでみられなかったタイプの火山岩が認められる。これは、新たな火道からの活動、また火口の拡大が大規模に起こったことを示しており、この時期がカルデラ形成の最盛期であったと考えられる。今後は、カルデラ形成噴火における噴出プロセスに併せて詳細なマグマ変遷の解明を試みる。

キーワード: カルデラ噴火, テフラ層序, 構成物解析, 噴火推移

Keywords: caldera-forming eruption, tephrastratigraphy, component analysis, eruption sequence

## 大雪火山, 御蔵沢溶岩のマグマ混合過程と苦鉄質包有物の成因 Magma mixing processes and origin of mafic inclusions for the Mikurasawa lava in the Taisetsu volcano, Hokkaido, Japan

馬場 輝<sup>1</sup>; 和田 恵治<sup>1\*</sup>BABA, Hikaru<sup>1</sup>; WADA, Keiji<sup>1\*</sup><sup>1</sup> 北海道教育大学旭川校<sup>1</sup> Hokkaido University of Education at Asahikawa

大雪火山、御蔵沢溶岩は御鉢平カルデラ南東の緩斜面上から噴出した1枚の溶岩流である。御蔵沢溶岩の大部分が安山岩質溶岩 ( $\text{SiO}_2=57.3\text{-}60.6\text{wt.}\%$ ) からなるが、一部でデイサイト質溶岩 ( $\text{SiO}_2=62.4\text{-}63.6\text{wt.}\%$ )、安山岩質とデイサイト質からなる縞状溶岩が見られる。また、安山岩質溶岩中には苦鉄質包有物 ( $\text{SiO}_2=51.3\text{-}58.0\text{wt.}\%$ ) が見られ、御蔵沢溶岩は1つの溶岩流に縞状溶岩と苦鉄質包有物が共存する稀有な溶岩流である。本研究では、御蔵沢溶岩を噴出させたマグマ供給系におけるマグマ混合過程と苦鉄質包有物の成因を岩石学的手法で明らかにした。

御蔵沢溶岩を構成する安山岩質溶岩は、縞状構造や苦鉄質包有物の存在、異なる組成を持つ斑晶の共存、斜長石斑晶の逆累帯構造からマグマ混合によって形成されたと考えられる。また安山岩質溶岩中の斜長石斑晶の多くはコアに溶融組織、リムに逆累帯構造を持つ。これは御蔵沢溶岩が複数回のマグマ混合で噴出したことを示しており、初期の混合から噴出までの時間が元素拡散速度からおおよそ60-600年と見積もられた。また御蔵沢溶岩に含まれる斑晶はコアの組成からType-A斑晶群、Type-B斑晶群に分けられる。各タイプの斑晶は同じタイプ同士で集結晶を形成していることから、それぞれ同じマグマから晶出したと考えられる。Type-A斑晶群は高An斜長石、高Mg斜方輝石、高 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 単斜輝石、カンラン石からなり、これらの斑晶は苦鉄質マグマ由来である。Type-B斑晶群は低An、低MgO斜長石、低Mg斜方輝石、低 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 単斜輝石からなり、これらの斑晶は珪長質マグマ由来である。苦鉄質マグマと珪長質マグマの温度を輝石温度計を用いて推定した結果、それぞれ約1000℃、900℃という温度が得られた。

御蔵沢溶岩の苦鉄質包有物は結晶のサイズが細粒~粗粒で組織が多様である。これらを斜長石のサイズ(長径/短径比)で分類し、Type-1(2?12)、Type-2(1?7)、Type-3(1?4)の3種類に分類した。Type-1苦鉄質包有物は細長い針状の斜長石が多い。Type-2苦鉄質包有物は柱状の斜長石が大部分を占める。Type-3苦鉄質包有物は他の苦鉄質包有物よりも斜長石の結晶サイズが大きく、多くが斑晶サイズ(210-960 $\mu\text{m}$ )のものからなる。

各苦鉄質包有物の成因を組織的・組成的に考察した。Type-1苦鉄質包有物は細粒な石基組織であること、鉱物組成が安山岩質溶岩中の微斑晶と似ていることからマグマ溜まり内の苦鉄質マグマと珪長質マグマの境界にあるハイブリッド層マグマが急冷固結したものであると思われる。Type-2苦鉄質包有物は粗粒で高結晶度の石基組織を持つこと、鉱物組成がデイサイト質溶岩中の鉱物組成と一致していること、マスバランス計算でデイサイト質溶岩の化学組成に一致することから、このタイプは珪長質マグマのクリスタルマッシュ層が噴出時に破碎されて安山岩マグマ中に包有されたものと思われる。Type-3苦鉄質包有物は、含まれる結晶の多くがType-A斑晶群と同一であることから注入した苦鉄質マグマそのものが安山岩マグマ中に取り込まれたものと思われる。

上述した岩石学的データを基に、御蔵沢溶岩のマグマ溜まりにおけるマグマ混合モデルを次に示す。はじめ、クリスタルマッシュ層を有する珪長質マグマ溜まりに苦鉄質マグマが注入した。この注入により、珪長質マグマの斜長石斑晶は溶融され、結晶内部に不均質な組織を形成した。また、注入した苦鉄質マグマと珪長質マグマの境界層では、マグマ混合により玄武岩質安山岩~安山岩マグマのハイブリッド層を形成した。初期の注入から60-600年後、苦鉄質マグマの再注入によって噴火が引き起こされた。噴出時、苦鉄質マグマと珪長質マグマは混合して安山岩マグマを形成した。苦鉄質マグマの影響を受けなかった珪長質マグマはデイサイト質溶岩や安山岩質溶岩との縞状溶岩を形成した。ハイブリッド層マグマ及び苦鉄質マグマは安山岩マグマに取り込まれ、それぞれType-1苦鉄質包有物、Type-3苦鉄質包有物を形成した。噴出時に火道へのマグマ上昇で破碎された珪長質マグマ溜まり上部のクリスタルマッシュ層は安山岩マグマに取り込まれてType-2苦鉄質包有物を形成した。

キーワード: マグマ混合, 苦鉄質包有物, 大雪火山, 御蔵沢溶岩, 斜長石斑晶

Keywords: magma mixing, mafic inclusion, Taisetsu volcano, Mikurasawa lava, plagioclase phenocrysts

## TTT図の応用による黒曜石ガラスの形成過程 The formation process of obsidian; Insights from the application of TTT diagrams to Tokachi-Ishizawa obsidian

佐野 恭平<sup>1\*</sup>; 寅丸 敦志<sup>2</sup>; 和田 恵治<sup>3</sup>  
SANO, Kyohei<sup>1\*</sup>; TORAMARU, Atsushi<sup>2</sup>; WADA, Keiji<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 遠軽町役場, <sup>2</sup> 九州大学大学院理学研究院 地球惑星科学部門, <sup>3</sup> 北海道教育大学旭川校

<sup>1</sup>Engaru Town Hall, <sup>2</sup>Department of Earth and Planetary Sciences, Faculty of Sciences, Kyushu University, <sup>3</sup>Hokkaido University of Education at Asahikawa

Why obsidian contains low crystal amount, namely mostly glass, though it experiences the effective undercooling and long crystallization time during magma ascending and cooling, has been a big problem in volcanology. In generally speaking, glass can be formed because of a high effective undercooling and a short cooling time. However, ascent rates of obsidian lava eruption are expected to be relatively small.

In order to evaluate the development of glass formation in obsidian lava eruption, we applied Time- Temperature- Transformation (TTT) diagram for natural obsidian lava, and estimated critical cooling rate to form the obsidian. The TTT diagram has been used to predict the cooling rate to form the glass (Uhlmann, 1982; Weinberg and Uhlmann, 1989; Rao 2002). The TTT diagram is a contour map of crystallized volume fraction as function of crystallization temperature and time. A contour line for a given crystallization fraction has the cone shape with its “nose” which corresponds to a minimum time and a temperature required for the time. We simulated the 2 types of situations; decompression-induced crystallization and cooling-induced crystallization after decompression. The nucleation and growth rate were calculated based on the classical theory (James, 1985; Hammer, 2004; Rao, 2002). The crystallized fraction, under the assumption that nucleation and growth rate are constant for time, is given by the Avrami-Johnson-Mehl equation. We applied TTT diagram for Tokachi-Ishizawa obsidian lava, and estimated the critical cooling rate. Based on the calculation results, critical cooling rates are highly dependent on interfacial energy and the pre-exponential factor of nucleation rate.

We compared estimated critical cooling rates with cooling rates estimated from the microlites number density (Sano et al., 2015). Our calculation results show that obsidian glass can be formed during decompression and cooling, especially under the high interfacial energy. We investigated the glass forming conditions based on parameters such as interfacial energy and pre-exponential factor, and suggest that obsidian can be formed although it experienced the low effective undercooling and long crystallization time during eruption.

キーワード: 黒曜石溶岩, ガラス, 岩石組織, 北海道, 白滝

Keywords: obsidian lava, glass, rock texture, Hokkaido, Shirataki

## ハイアロクラスタイトの形成条件—水底溶岩流の破碎を支配する要因について Factors governing fragmentation of submarine lava - mechanism of hyaloclastite formation

梅澤 優美<sup>1\*</sup>; 海野 進<sup>1</sup>; 金山 恭子<sup>1</sup>; 草野 有紀<sup>1</sup>  
UMEZAWA, Yumi<sup>1\*</sup>; UMINO, Susumu<sup>1</sup>; KANAYAMA, Kyoko<sup>1</sup>; KUSANO, Yuki<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 金沢大学理工研究域自然システム学系  
<sup>1</sup>Department of Earth Sciences, Kanazawa University

Hyaloclastite is produced by fragmentation of lava when stress accumulates on solid lava faster than it relaxes and ultimately reaches the mechanical strength of the lava. Thermal stress, shear stress and tensile stress accumulating on the lava crust are relaxed by viscous flow of lava, which is governed by viscosity. Therefore, fluid basalt lava tends to form coherent flows without fragmentation, whereas viscous lava such as andesite and dacite tends to form hyaloclastite. Hyaloclastite with a wide compositional range spanning from andesite to rhyolite is associated with pillow flows and dikes in the Eocene submarine volcanic strata on Chichijima, Ogasawara Archipelago (Umino and Nakano, 2007). These volcanic ejecta are ideal to assess the effect of varying lava composition on the factors that govern the fragmentation of lava.

Quenched glass from chilled margins of pillow and hyaloclastite were collected and analyzed by EPMA for major elements and by SIMS and FTIR for water contents. The amount of primary, magmatic water was discerned from secondary hydration by differential thermal analysis. Eruption temperatures were estimated by the clinopyroxene-liquid geothermometer of Putirka (1999). Crystal number densities of groundmass plagioclase and clinopyroxene were determined on COMPO images and modal abundance of constituent minerals was determined on elemental distribution maps of EPMA. Bulk viscosity of lava was estimated by the methods of Giordano et al. (2008) and Pinkerton and Stevenson (1992).

Andesite consists of clinopyroxene, orthopyroxene, plagioclase and magnetite as phenocrysts set in a groundmass of clinopyroxene and plagioclase microlites, magnetite and glass. In Nagasaki, pillow lava coexists with hyaloclastite. In transition zones from pillow lava to hyaloclastite, pillow lobes are scattered in hyaloclastite. Hyaloclastite is higher in crystal number density, mode of groundmass plagioclase and vesicle number density than the associated pillow lava. Hyaloclastite glass is lower in Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> than associated pillow glass, indicating plagioclase fractionation. However, the cpx-saturated melt temperatures show little difference between pillow lava and hyaloclastite. Water contents in glass were determined by using FTIR, which are almost identical in pillow and hyaloclastite. However, primary water contents estimated by differential thermal analysis are lower in pillow lava than in hyaloclastite. Therefore, degassing either within the conduit or during flowage through lava tubes induced plagioclase crystallization that raised the bulk viscosity of lava and stress relaxation time, resulted in the formation of hyaloclastite. However, higher water contents in hyaloclastite suggest that the hyaloclastite was formed by spalling off of chilled margin glass from pillows.

Dacite has phenocrysts of clinopyroxene, orthopyroxene, plagioclase and magnetite in the groundmass of clinopyroxene and plagioclase microlites, magnetite and elongate or spherical vesicles. The dacite shows little difference in melt composition, eruption temperature, crystal number density between pillow lava and hyaloclastite. In Ogamiyama and north of Manjūmizaki, lower water contents in hyaloclastite indicate fragmentation occurred due to degassing and increase in bulk viscosity. On the other hand, in Zonahanasaki and Sakaiura, dacite pillow lava has lower water contents than the associated hyaloclastite, which may have formed by spalling off of chilled margins or by fragmentation of pillow lava crust due to higher shear stress.

キーワード: ハイアロクラスタイト, 粘性, 水底溶岩流, 小笠原群島父島  
Keywords: hyaloclastite, viscosity, submarine lava, the Bonin Islands Chichijima

オフリッジ巨大海底溶岩流の組成変化と固化過程：オマーンオフィオライト V3 溶岩原の岩石学・地球化学  
Emplacement and solidification process of off-axis large submarine lava field from the Oman Ophiolite

大塚 遼<sup>1\*</sup>; 草野 有紀<sup>1</sup>; 海野 進<sup>1</sup>; 金山 恭子<sup>1</sup>  
OTSUKA, Ryo<sup>1\*</sup>; KUSANO, Yuki<sup>1</sup>; UMINO, Susumu<sup>1</sup>; KANAYAMA, Kyoko<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 金沢大学大学院自然科学研究科自然システム学専攻地球環境学コース

<sup>1</sup>Earth Science Course School of Natural System, College of Science and Engineering, Kanazawa University

Large submarine lava flows more than 100 m in thickness and a volume exceeding a few cubic kilometers are not uncommon volcanic constructs of mid-ocean ridges and Hawaiian volcanoes, yet details of the physical processes of emplacement of such large flows are poorly constrained because of their inaccessibility under deep water and lack of direct observations. The V3 Volcanics of the Oman Ophiolite extruded at 90 Ma far off the paleospreading axis as thick lava flows with a minimum areal extent of >11 km by 1.5 km and the maximum thickness >270 m, yielding a minimum estimated volume of several cubic kilometers. The V3 flow was fed through a thick feeder dike in the SW of the flow field and buried off-axial fault-bounded basins with a thick sedimentary cover in ca. 40 days. The basic structure of the V3 flows consists of massive lava sandwiched between columnar jointed lava crusts, similar to that of subaerial flood basalt. The upper crust comprises piled up flow lobes forming dome-like structures with occasional inflation cracks, which are interpreted as welded aggregates of coalesced and inflated flow lobes. V3 flow is roughly divided into the Upper and the Lower flow by the presence of pillow lava with interstitial mudstone. Thickness of individual lobes varies from 2 to 20 m. The uppermost 35 m comprises at least eight welded flow lobes, averaging 3.4 m in thickness.

Low-T hydrothermal alteration and weathering slightly modified the bulk compositions as indicated by moderately albitized plagioclase, completely replaced olivine by clay minerals and partially replaced titanomagnetite and augite by titanite and actinolite, respectively. However, HFSEs and REEs show mutual positive correlations and relatively good correlations with some major elements besides LILEs and Pb, indicating that these elements were less mobile and preserve primary characteristics. V3 flow is hawaiitic-mugearitic dolerite and has intermediate characteristics between OIB and E-type MORB. TiO<sub>2</sub> shows a moderate increase with decreasing MgO from 8 to 5 wt%, and then decreases with the decrease in MgO down to 4 wt%, whereas Yb ranges from 2.12 to 4.56 ppm.

Whole-rock major and trace element variations through a stratigraphical transect at a distance of 8.7 km from the feeder dike indicate fractionation of augite, plagioclase and magnetite. By contrast, other V3 samples show highly scattered whole-rock compositions, suggesting internal mixing of variably differentiated magmas. Yb concentrations of the basal crust increase downflow to a distance of 4.5 km from the feeder dike, and then decrease further downflow with a spike at 7 km. Because the basal crust is the first lava that came to rest at that place, samples farther away from the feeder were extruded and emplaced later in the eruptive event. The downflow variations show extrusion of differentiated lava in the middle stage of the eruption and less differentiated lava in early and late stages.

Width/length ratio of groundmass plagioclase at 6 km from the feeder, where V3 flow is thickest, is higher in the Upper flow than in the Lower flow. Stratigraphic variations of Yb shows a decrease from the basal crust to a height of 26 m in the core, and then increase to a height of 83 m in the upper crust and decrease to the top of the Lower flow. The minimum Yb in the core is close to that of the latest lava shown by the basal crust. This can be reconciled with the model that the core is formed by the last intruded lava. On the contrary, the variation in Yb from the height of 83 m to the top of the Lower flow is correlatable to that of the basal crust at distances from 6 km to 8 km, suggesting that the upper crust consists of piled-up and welded lava lobes.

キーワード: オマーンオフィオライト, V3, 巨大溶岩流, 定置過程, 化学変化, 地球化学

Keywords: Oman Ophiolite, V3, Large Lava Flow, emplacement process, chemical variation, geochemistry

ロンボク地域サマラス-リンジャニ火山のカリウム-アルゴン年代：カルデラ形成噴火に先行する火山活動位置の固定化  
K-Ar ages of Samalas-Rinjani volcano cluster, Lombok: pre-caldera variation from migrating to stationary activity.

土志田 潔<sup>1\*</sup>; 高田 亮<sup>2</sup>; 橘川 貴史<sup>3</sup>  
TOSHIDA, Kiyoshi<sup>1\*</sup>; TAKADA, Akira<sup>2</sup>; KITSUKAWA, Takashi<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 電力中央研究所, <sup>2</sup> 産業技術総合研究所, <sup>3</sup> セレス  
<sup>1</sup>CRIEPI, <sup>2</sup>AIST, GSJ, <sup>3</sup>Ceres, Inc.

K-Ar dating of Pliocene to Quaternary lavas consisting large volcanoes in Lombok are performed to determine the active periods of Samalas-Rinjani volcano complex (VC) prior to the caldera eruption in 1257 CE. In order to accurately date the hand specimen of young lavas, non-spiked argon ratios are analysed to estimate the amount of mass fractionation of argon isotopes at the time of solidification of the lavas. Consistent ages were obtained for replicate analyses of the four young lavas from Samalas in the range of 0.08-0.04 Ma. Two samples are estimated to have initial argon ratios that are fractionated from atmospheric values. The ages form distinct groups that correspond to the active periods of volcano clusters: 2.7 Ma and 2.0-1.8 Ma for West Lombok VC, 0.5-0.4 Ma for East Lombok VC and 1.0 Ma to present for Samalas-Rinjani. Samalas-Rinjani system should be defined as single volcano complex based on the relative duration of each active period. Rinjani and the current activity of Segara Anak caldera are correlated to the younger stages of Samalas-Rinjani. The location of volcanism has been relatively stable for the past 0.4 million years in both Lombok and Sumbawa, which hosts Tambora volcano. Caldera-forming eruptions of the two regions (the 1257 eruption and the 1815 eruption at Tambora) occurred at the volcanoes with 1000 km<sup>3</sup> class edifice that had formed through 0.1 to 0.2 million years of volcanic activity. This contrasts clearly with the migration of volcanic activity from 5 to 0.7 million years BP in the two regions.

キーワード: 第四紀, カルデラ, インドネシア, スンダ弧, 放射年代測定, 質量分別補正法  
Keywords: Quaternary, caldera, Indonesia, Sunda arc, radiometric dating, mass fractionation correction method