

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^{1*}; 山崎 晴雄¹
TAMURA, Itoko^{1*}; YAMAZAKI, Haruo¹

¹ 首都大学東京大学院 都市環境科学域 地理
¹ 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、K₂O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^{1*}; 長谷中 利昭¹; 森 康²
SHIHHARA, Kousuke^{1*}; HASENAKA, Toshiaki¹; MORI, Yasushi²

¹ 熊本大学大学院自然科学研究科, ² 北九州市立自然史・歴史博物館
¹ Graduate School of Science and Technology, ² 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 km² 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 SiO₂ 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 (SiO₂ < 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 m³/s であると求められた。また、高遊原溶岩の体積は約 2 km³ 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^{1*}; 池田 倫治¹; 古澤 明²; 中村 千怜³; 西坂 直樹⁴; 大西 耕造⁴
TSUJI, Tomohiro^{1*}; IKEDA, Michiharu¹; FURUSAWA, Akira²; NAKAMURA, Chisato³; NISHIZAKA, Naoki⁴; ONISHI, Kozo⁴

¹ 株式会社四国総合研究所, ² 株式会社古澤地質, ³ 愛媛大学, ⁴ 四国電力株式会社
¹Shikoku Research Institute Inc., ²Furusawa Geological Survey Inc., ³Ehime University, ⁴Shikoku 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^{1*}; 星住 英夫¹; 伊藤 順一¹; 山崎 誠子¹
KAWANABE, Yoshihisa^{1*}; HOSHIZUMI, Hideo¹; ITOH, Jun'ichi¹; YAMASAKI, Seiko¹

¹ 産業技術総合研究所地質調査総合センター
¹ 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¹⁴C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、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0.45km³/1000年であり、第3期の約0.29km³/1000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^{1*}; 小林 哲夫¹
NAGAI, Masashi^{1*}; KOBAYASHI, Tetsuo¹

¹ 防災科学技術研究所 地震・火山防災研究ユニット, ² 鹿児島大学理学部
¹National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, ²Kagoshima 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 km³ 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き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 ¹⁴C 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^{1*}; 中川 光弘¹; 栗谷 豪¹

YAMAGUCHI, Azusa^{1*}; NAKAGAWA, Mitsuhiro¹; KURITANI, Takeshi¹

¹ 北海道大学理学院理学研究院自然史科学専攻

¹ 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 $\text{SiO}_2=52\sim58\text{wt.}\%$ 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、 $\text{SiO}_2=52\sim54.5\text{wt.}\%$ の狭い範囲に収まる。タイプ 2 の噴出物において Al_2O_3 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 $\text{Al}_2\text{O}_3=14\sim15\text{wt.}\%$ 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^{1*}
USHIODA, Masashi^{1*}

¹ 東工大・火山流体
¹ 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、SiO₂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SiO₂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^{1*}; 及川 輝樹²; 山崎 誠子²
BAN, Masao^{1*}; OIKAWA, Teruki²; YAMASAKI, Seiko²

¹ 山形大学理学部地球環境学科, ² 産業技術総合研究所 地質調査総合センター
¹Dept. Earth&Environmental Sci. Yamagata Univ., ²Geological 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^{1*}; 廣上 千尋¹; 伴 雅雄¹
TAKEBE, Yoshinori^{1*}; HIROKAMI, Chihiro¹; BAN, Masao¹

¹ 山形大・理

¹Faculty 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% SiO₂, 0.82-0.85% K₂O). From the base to the top, SiO₂ 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% SiO₂, 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_{ca.60-70}) 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 (Fo₈₄) basalts (ca. 49-51% SiO₂, 1110-1140 degrees Celsius). The differentiated mafic magma-2 was basalt (1070-1110 degrees Celsius) having olivine (Fo_{ca.80} with reverse zoned part of Fo₈₄) and An-rich plagioclase (An_{ca.90}) phenocrysts was the basalt formed occasionally at 3-6 km depth. The mafic magma-1 was the dominant mafic magma because of Fo₈₁₋₈₄ olivine phenocrysts are more common than Fo₇₆₋₈₀ ones.

We estimated the time scales from magma mixing to the eruption on the basis of zoning analysis of olivine (Fo₈₄) 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^{1*}; 伴 雅雄²; 及川 輝樹³; 山崎 誠子⁴

NISHI, Yuki^{1*}; BAN, Masao²; OIKAWA, Teruki³; YAMASAKI, Seiko⁴

¹山形大学, ²山形大学, ³産業技術総合研究所, ⁴産業技術総合研究所

¹Yamagata Univ, ²Yamagata Univ, ³GSJ, AIST, ⁴GSJ, 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分に分布している。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 SiO₂ 量は 56~58wt% と変化幅が狭い。SiO₂ 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 SiO₂=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, TiO₂ 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幅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^{1*}; 伴 雅雄²; 林 信太郎³; 大場 司⁴; 佐藤 昂徳⁵

KAMIYA, Chika^{1*}; BAN, Masao²; HAYASHI, Shintaro³; OHBA, Tsukasa⁴; SATO, Takanori⁵

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

¹ Graduate School of Science and Engineering, Yamagata University, ² Department of Earth and Environmental Sciences, Faculty of Science, Yamagata University, ³ Department of Earth Sciences, Faculty of Education and Human Studies, Akita University, ⁴ Department of Earth Science and Technology, Faculty of Engineering and Resource Science, Akita Univ., ⁵ 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(SFPD)、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SiO₂量は、母岩で約60-62wt.%(SL, 60.7-60.8 wt.%; SFPD pumice 60.7-61.2 wt.%; SFPD lithic fragments, 60.8-61.1 wt.%; SFPD volcanic bomb, 60.5-61.5 wt.%; SFPD breccia bomb, 60.7-61.0 wt.%; SLD, 61.2-62.2 wt.%)、包有岩で約52-57wt.%(SL 53.3 wt.%; SFPD lithic fragments, 54.2 wt.%; SFPD volcanic bomb, 56.5 wt.%; SFPD 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SiO₂量は新山溶岩ドームの母岩も包有岩もSiO₂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SiO₂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^{1*}; 中川 光弘¹
NISHIOKA, Hirotaka^{1*}; NAKAGAWA, Mitsuhiro¹

¹ 北海道大学大学院理学院自然史科学専攻

¹Department 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 100km³ 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 SiO₂ 量は 59.2~74.1wt % であり、Al₂O₃ や MnO、P₂O₅ 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^{1*}; 中川 光弘¹; 長谷 龍一¹

AMMA-MIYASAKA, Mizuho^{1*}; NAKAGAWA, Mitsuhiko¹; HASE, Ryuichi¹

¹ 北大・理

¹Sci., 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50km³未満、カルデラ形成噴出物で400km³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SiO₂=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SiO₂=60wt%以上、スコリアは大部分がSiO₂=56wt%以下である。深度ごとに見ると、深度18.15m以浅ではSiO₂=60-62wt%とSiO₂に富む岩石のみが認められるが、深度19.90m以深ではSiO₂に乏しい岩石が次第に増加する。深度53.40m-72.00mではSiO₂=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SiO₂=55-62wt%にやや収束する。希土類元素組成はいずれもSiO₂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SiO₂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、SiO₂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、SiO₂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(SiO₂=74-78wt%)と斑晶量7-45wt%の安山岩質～デイサイト質のPタイプ(SiO₂=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^{1*}; 中川 光弘¹
TOMIJIMA, Chiharu^{1*}; NAKAGAWA, Mitsuhiro¹

¹ 北海道大学大学院理学院自然史科学専攻

¹Department 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¹; 和田 恵治^{1*}BABA, Hikaru¹; WADA, Keiji^{1*}¹ 北海道教育大学旭川校¹ Hokkaido University of Education at Asahikawa

大雪火山、御蔵沢溶岩は御蔵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 Al_2O_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 Al_2O_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 μm)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^{1*}; 寅丸 敦志²; 和田 恵治³
SANO, Kyohei^{1*}; TORAMARU, Atsushi²; WADA, Keiji³

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

¹Engaru Town Hall, ²Department of Earth and Planetary Sciences, Faculty of Sciences, Kyushu University, ³Hokkaido 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^{1*}; 海野 進¹; 金山 恭子¹; 草野 有紀¹
UMEZAWA, Yumi^{1*}; UMINO, Susumu¹; KANAYAMA, Kyoko¹; KUSANO, Yuki¹

¹ 金沢大学理工研究域自然システム学系

¹Department 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 Al₂O₃ 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^{1*}; 草野 有紀¹; 海野 進¹; 金山 恭子¹
OTSUKA, Ryo^{1*}; KUSANO, Yuki¹; UMINO, Susumu¹; KANAYAMA, Kyoko¹

¹ 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

¹Earth 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. TiO₂ 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^{1*}; 高田 亮²; 橘川 貴史³
TOSHIDA, Kiyoshi^{1*}; TAKADA, Akira²; KITSUKAWA, Takashi³

¹ 電力中央研究所, ² 産業技術総合研究所, ³ セレス
¹CRIEPI, ²AIST, GSJ, ³Ceres, 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 km³ 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