

## 西暦 1779 年以降の桜島火山における玄武岩質マグマの多様性と注入時期 Variations of basaltic magmas and their timing of injection into the magma system of Sakurajima volcano since AD 1779

海老原 佳帆<sup>1</sup>; 中川 光弘<sup>1\*</sup>; 吉本 充宏<sup>1</sup>; 小林 哲夫<sup>4</sup>

EBIHARA, Kaho<sup>1</sup>; NAKAGAWA, Mitsuhiro<sup>1\*</sup>; YOSHIMOTO, Mitsuhiro<sup>1</sup>; KOBAYASHI, Tetsuo<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 北海道大学地球惑星システム科学, <sup>2</sup> 北海道大学地球惑星システム科学, <sup>3</sup> 北海道大学地球惑星システム科学, <sup>4</sup> 鹿児島大学地球環境科学

<sup>1</sup>Earth & Planetary System Sci., Hokkaido Univ., <sup>2</sup>Earth & Planetary System Sci., Hokkaido Univ., <sup>3</sup>Earth & Planetary System Sci., Hokkaido Univ., <sup>4</sup>Earth & Environmental Sci., Kagoshima Univ.

桜島火山の歴史時代噴火のマグマ系に関して、中川・他(2011)では、1471年・1779年噴火においては珪長質マグマ(S マグマ)と安山岩質マグマ(A マグマ)による二端成分マグマ混合が起き、1914年以降の噴火では、S + A の混合マグマに玄武岩質マグマ(B マグマ)が注入していると結論付けた。20世紀以降にB マグマが注入した根拠としては、20世紀以降の噴出物にかんらん石や高 An 斜長石が含まれていることと、全岩化学組成において20世紀以降とそれ以前とは組成トレンドが異なることを挙げている。先行研究で分析された1779年の噴出物は陸上の試料のみであったが、この年はプリニー式噴火の直後に海底でも噴火が起きたことが知られている。本研究では1779年海底噴出物を新たに採取し、既存のデータと合わせ、18世紀以降のマグマプロセスについて考察を行う。

1779年海底噴出物は、主に縞状の軽石と黒色でやや発泡した溶岩で構成されている。斑晶鉱物としては斜長石、斜方輝石、単斜輝石、磁鉄鉱を含んでおり、少量のかんらん石が晶出するという点で陸上噴出物とは異なる。海底噴出物に含まれているかんらん石斑晶は、反応縁を持たない。一方、20世紀以降の噴出物も同様にかんらん石斑晶を含んでいるが、それら斑晶は反応縁のないものとあるものの両方が共存する特徴がある。1779年海底噴出物のかんらん石はFo=78~74にほとんどの斑晶が集中し、Fo=77にピークを示す。20世紀以降の噴出物ではFo=81に組成のピークを持ち、Mgに乏しい斑晶も含むFo=82~60の広い組成幅を示す。20世紀以降のかんらん石斑晶組成と反応縁の関係に注目すると、Fo=74以上の組成のものは反応縁を持たないが、それよりも低Foの斑晶には反応縁が認められた。磁鉄鉱は噴火年代によらずMg/Mn=4~12の組成を示すが、1779年海底噴出物はバイモーダルな組成分布である。一方、全岩化学組成においては、1779年海底噴出物はSiO<sub>2</sub>=○-○wt%のデイサイト~安山岩で、1779年陸上噴出物より組成幅が苦鉄質側に広いことで区別できる。MgO、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>などのハーカー図では1779年陸上噴火、同海底噴火、20世紀以降の3グループで異なる直線トレンドを示す。1779年海底噴出物の斜長石、斜方輝石、単斜輝石斑晶は、陸上噴出物中の斑晶と類似した組成を示す一方で、輝石と非平衡な高Foかんらん石(Fo=77)や高Mg/Mn磁鉄鉱といった、陸上の試料中では存在しないMgに富む斑晶も認められる。これらのことより1779年海底噴火では20世紀以降と同様に、陸上で噴出したS+Aの混合マグマに玄武岩質マグマが注入したと考えられる。つまり玄武岩質マグマのマグマ系への注入は1779年海底噴火前には起こっていたことが明らかになった。しかしながらかんらん石斑晶の組成に注目すると、18世紀以降の桜島火山においては、1779年海底噴火から注入したFo=77のかんらん石斑晶を含む玄武岩質マグマ(B1 マグマ)と、20世紀以降注入しているFo=81のかんらん石斑晶を含む玄武岩質マグマ(B2 マグマ)の、2種類の玄武岩質マグマの存在が示唆される。これは全岩化学組成において、1779年海底噴火と20世紀以降の組成トレンドが異なることも調和的である。それらの玄武岩質マグマの注入時期は、Fo=77あるいはFo=81のかんらん石斑晶が反応縁を持たず、さらに不均質な石基組織が認められることから、B1あるいはB2のマグマ注入後、速やかに噴火にいたったと考えられる。しかしながら20世紀の噴出物ではかんらん石斑晶の組成幅は広く、Mgに乏しいかんらん石斑晶は輝石反応縁を持っている。つまり反応縁のあるかんらん石は注入後、メルトと十分に反応して噴火にいたったと考えられる。その反応過程でかんらん石はFeに富む組成へと変化したと考えられる。このように反応縁を持つかんらん石斑晶を含む20世紀噴出物では、それ以前の繰り返しの玄武岩質マグマの注入現象を記録している出残りマグマに、新たに玄武岩質マグマが注入したと考えられる。

以上のかんらん石斑晶から推測される、18世紀以降の桜島火山における玄武岩質マグマの注入プロセスは、次のとおりである。1779年海底噴火では、直前の陸上噴火で噴出したS+Aの混合マグマに新たにB1 マグマが注入して、短時間のうちに噴火した。この出残りマグマでは、噴火後にかんらん石とメルトの反応が進み、反応縁を持つかんらん石が生産された。そして1914年噴火では、その出残りマグマに大量のB2 マグマが注入し、やはり短時間のうちに噴火に至った。しかし1914年噴出物には反応縁を持たないFo=77のかんらん石も多く認められるので、B1 マグマも貫入した可能性がある。1955年以降は、反応縁を持たないFo=81の少量のかんらん石斑晶を含んでおり、1955年以降は出残りマグマにB2 マグマのみの注入が断続的に続いているようである。

キーワード: 桜島火山, マグマ系, マグマ混合, かんらん石, 火山噴火

Keywords: Sakurajima volcano, magma system, magma mixing, olivine, volcanic eruption

## 新燃岳 2011 年噴火最盛期における本質物の見かけ密度変化 Bulk density change of juvenile clasts during the climactic phase of the 2011 Shinmoe- dake eruption

鈴木 由希<sup>1\*</sup>; 市原 美恵<sup>1</sup>; 前野 深<sup>1</sup>; 長井 雅史<sup>2</sup>; 中田 節也<sup>1</sup>  
SUZUKI, Yuki<sup>1\*</sup>; ICHIHARA, Mie<sup>1</sup>; MAENO, Fukashi<sup>1</sup>; NAGAI, Masashi<sup>2</sup>; NAKADA, Setsuya<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東大・地震研, <sup>2</sup> 防災科研  
<sup>1</sup> ERI, Univ. of Tokyo, <sup>2</sup> NIED

新燃岳 2011 年噴火の最盛期は、1 月 26 日から 27 日にかけての準プリニー式噴火と、その後、1 月末にかけての火口での溶岩蓄積である (Nakada et al., 2013, EPS). 準プリニー式噴火は、約 12 時間おきに 3 回起きた (1/26PM, 1/27AM, 1/27PM). この研究では、上記最盛期における火道でのマグマ上昇過程を、噴出物の石基組織から明らかにする。最終的には、1) 間欠的な準プリニー式噴火の発生機構の特定、2) マグマ上昇において、噴火強度や様式が決定された段階と、その際の上昇条件 (e.g. 速度) の特定、を目指す。

準プリニー式噴火については灰・茶色の軽石、火口溶岩については 2 月 1 日噴火の噴石を、主な分析対象とした。全て、噴火に際したマグマ混合の産物であるが、2 端成分の混合比が互いに類似している。そこで上昇の出発条件、すなわち、噴出直前のマグマ溜まりにおける、バルク組成、斑晶量、温度、含水量にも相違はない ( $\text{SiO}_2=57\text{-}58\text{wt.}\%$ ,  $30\text{vol.}\%$ ,  $960\text{-}980\text{C}$ ,  $4\text{wt.}\%$ ; Suzuki et al., 2013a, JVGR). 軽石と同時に噴出した石質岩片についても、全岩組成や実体鏡下での観察により、2011 年のマグマ由来と判断されるものは分析対象とした。

報告する“見かけ密度”は、火道でのマグマ上昇時の気相の分離 (脱ガス) 程度を反映している値であり、上昇速度が遅いほど分離が促進される傾向がある。これにより、1) 最盛期を通じた、上昇速度変化の概要が把握され、合わせて、2) 2 度目の準プリニー式噴火開始相当層準も初めて特定された。

Nakada et al. (2013) と Maeno et al. (revised) に基づき、1 月 26 日から 27 日にかけての堆積物を、火口南東 2-3km の分布軸付近にて採取した。以下ユニット名は Nakada et al. (2013) のものである。1/27PM 相当層は、そのイベントの際現地調査が行われていたため、以前から特定出来ていた (Layer5)。1/26PM から 1/27AM の堆積物は、軽石を主体とする Layer2 から Layer4 に対応する。Layer2 から Layer3 にかけて逆級化、Layer3 から Layer4 にかけて正級化する特徴がある。しかし、この連続的な粒子サイズ変化のため、2 つのイベントの境界を特定出来ていなかった。なお Layer2 から Layer4 は、最初と次の準プリニー式噴火の間の噴火の低調期 (1/26, 19:00 から 1/27, 2:00) の噴出物を含まない (飛ばしているとするれば、火山灰層となるであろう)。サンプル採取時に、各ユニットは、lower と upper のサブユニットに 2 分割した。Layer2 と Layer4 では、サブユニットによる粒子サイズの変化はない。Layer3 では、upper が lower に比べ粗い。

特に Layer2-4 における見かけ密度変化に着目する。Layer2-low から Layer3-low で  $1.0\text{-}1.7\text{ g/cm}^3$ , Layer3-up で  $1.0\text{-}2.0\text{ g/cm}^3$ , Layer4-low から up で  $0.8\text{-}1.4\text{ g/cm}^3$  である。つまり Layer3-up にかけて最小値不変で最大値のみが増加し、Layer3-up と比べその上位では最大値・最小値の両方が減少している。平均値は Layer2-low から順に、 $1.25\text{ g/cm}^3$ ,  $1.28\text{ g/cm}^3$ ,  $1.27\text{ g/cm}^3$ ,  $1.44\text{ g/cm}^3$ ,  $1.14\text{ g/cm}^3$ ,  $1.17\text{ g/cm}^3$  である。

見かけ密度の高い軽石に富むことを根拠とし、Layer3-up が 2 度目の準プリニー式噴火の開始に対応すると提案する。先ず、見かけ密度の高い軽石が、1 回目の準プリニー式噴火の期間に噴出したとは考えにくい。新堀・福井 (2012) を参照すると、1 回目の準プリニー式噴火の期間に噴煙高度が低下する (=噴出率が低下、火道径一定であればマグマ上昇の速度低下に等しい) ステージを認めないためである。一方、1 回目の準プリニー式噴火後の噴火低調期 (1/26, 19:00 から 1/27, 2:00) には、噴出率低下のため、脱ガスの進んだ低発泡度のマグマが火道の頂部や縁などに存在したものと考えられる (e.g. Hammer et al., 1999, BV). この低発泡度のマグマは、2 回目の準プリニー式噴火が開始した際、後続の脱ガスの進んでいないマグマを伴いながら噴出し、Layer3-up として堆積した。Ichihara et al. (submitted) の空振と地震のデータによれば、噴火低調期 (1/26, 19:00 から 1/27, 2:00) には爆発はなく、準定常的な火道流システムが続いていた。そこで、この時期火道を埋めた低発泡度のマグマは、火道閉塞は起こさなかったであろう。

Layer4 の噴出時期は特定できない。しかし Layer3up から Layer4 にかけての見かけ密度の低下は、2 度目の準プリニー式噴火の間に噴煙高度が上昇することと (e.g. 1/27 2:00 の約 5km < 1/27 4:00 の約 7km), そして実際マグマ溜まりの収縮率も加速している (Ueda et al., 2013) ことと調和的である。しかし Layer3up から Layer4 にかけて軽石サイズが減少することは、噴出率の上昇と調和的ではないので、この点を説明する必要がある。

キーワード: 新燃岳, 準プリニー式噴火, 見かけ密度, 脱ガス, 空振, 噴煙高度

Keywords: Shinmoe-dake, Sub-Plinian eruption, Bulk density, Outgassing, Infrasound, Plume height

## 2000年三宅島噴火時のマグマの移動現象の推定 Hypocentral migration associated with magma intrusion in the 2000 Miyakejima eruption

松山 諒太郎<sup>1\*</sup>; 森田 裕一<sup>1</sup>; 酒井 慎一<sup>1</sup>; 上田 英樹<sup>2</sup>  
MATSUYAMA, Ryotaro<sup>1\*</sup>; MORITA, Yuichi<sup>1</sup>; SAKAI, Shin'ichi<sup>1</sup>; UEDA, Hideki<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東大地震研, <sup>2</sup> 防災科技研  
<sup>1</sup> ERI, Univ. of Tokyo, <sup>2</sup> NIED

### 1. はじめに

ダイク貫入は進行方向がテクトニクスな応力に支配される大規模なマグマ移動現象である。ダイク貫入現象の理解は、火山とテクトニクスの理解に重要である。2000年三宅島噴火では、6月末から地震が山頂から北西岸に移動し、その後神津新島付近まで震源が移動した。その後も8月末まで三宅島北西海域で多くの地震が発生し、大規模なダイク貫入が発生したと考えられている。ダイク貫入は、ダイク先端で応力が集中して地震が発生するため、震源移動からマグマの移動が観測できる。つまり、ダイク貫入時の震源分布はマグマの移動に関する情報が得られる重要な手がかりである。本研究は、これまで全体の地震活動が必ずしも詳細に解明されていなかった2000年三宅島噴火活動時の震源分布を精度良く再決定し、それに基づき2000年三宅島噴火に伴う大規模なダイク貫入現象の理解を目指す。

### 2. 解析手法

これまでの解析では、震源域から遠く離れた島嶼部の観測点のデータを用いて震源が推定されていた。7月2日以降は、震源域直上に海底地震計が設置され、そのデータを用いた解析も行われているが、一部の期間だけにとどまっている。そのため、このときの地震活動の全体像が明らかでなかった。本研究では、海底地震計のデータを有し、高精度に震源が推定できる地震を「参照地震」とし、海底地震計が設置されていない時期も含め地震活動度の高かった2000年6月26日から8月31日までの活動全体のできるだけ多くの地震の震源を、参照地震との相対位置で推定するという手法を用いて再決定した。

通常のこのような場合には Double Difference 法が良く用いられるが、この方法ではいくつかの不都合な点が明らかになったため、本研究では以下のような改良を行い、解析した。

(1) 震源精度の高い参照地震の震源を極力動かさないという拘束条件を付けて、参照地震とその他の地震の震源を同時に再決定するように改良した。その際、波形相関を用いた精度の高い初動時間差も利用した。(2) 公開されている Double Difference 法や、これを用いた多くの先行研究では、震源決定の際の速度を成層構造で与えている。これをそのまま利用すると、速度構造の境界で、見かけ上の震源の集中が現れた。この影響を取り除くため、深さ方向に連続な速度構造を利用できるようにプログラムを改良した。

### 3. 結果と考察

この解析により、3000個の参照地震を用いて、約3万個の地震の震源を再決定した。得られた震源分布には以下の特徴が見られる。

(1) 地震活動は、震源が三宅島からその北西海域に大きく移動する活動初期(7月1日まで)と、それ以降の、多くの地震が約2か月間継続して海域で発生する主活動期に分けられる。

(2) 活動初期では、地震はいくつかのクラスターに分かれてバースト的に活動した。三宅島に最も近いクラスターからクラスターごとに時間差を持って北西方向に震源が移動する。三宅島に最も近いクラスターは、それ以外のものと震源の配列方向が異なる。また、このクラスターは活動初期以降には地震がほとんど発生していない。

(3) 主活動期は、ほぼ鉛直の面上(主活動域)で発生している。面の走向は広域応力場の主圧軸方向とほぼ一致している。この期間は、地震が領域の色々な場所でバースト的に発生した。1つのバーストは数時間から半日程度の活動を行い、震源が深部から浅部に移動する活動が多く見られた。また、震源の深さ断面を見ると、震源が分布するほぼ鉛直の断面は、構造境界の存在が示唆される深さ12km付近で鉛直から少し屈曲することが新たに分かった。

(4) 主活動期後半になると、主活動域の両端で、主活動域と震源の配列方向が異なる地震活動が高まった。この時の発震機構解は、広域応力場から期待されるものと一致し、節面を震源分布方向に持つ横ずれ断層であった。

主活動域の大規模なダイクを形成したマグマが、三宅島から水平方向に供給されたか、直下の深部から供給されたかについてはこれまで定説がなかった。本研究は、精度の良い震源分布から、上記に挙げた地震活動の特徴を見出した。さらに、他の観測事実も考慮すると、主活動域のダイクは三宅島のマグマ供給系と独立して存在し、ダイク直下の深部から上昇してきたと考えるほうがより妥当であることが明らかになった。これは、大規模なダイクが必ずしもマグマの水平方向に移動してできるのではなく、深部にある既存のマグマ溜りから上昇し、ダイクを形成する例もあることを示している。

【謝辞】解析には、気象庁、防災科技研、東京都、海上保安庁、海洋研究開発機構のデータを利用した。関係機関の方々に謝意を表します。

SVC53-03

会場:413

時間:4月28日 14:45-15:00

キーワード: ダイク貫入, 2000年三宅島噴火, 震源移動, 地震活動, テクトニクス

Keywords: dike intrusion, 2000 Miyakejima eruption, hypocenter migration, seismic activity, tectonics

## 阿蘇カルデラ西方に分布する花房層の鉱物組成の時間変化 Temporal variation of mineral composition of Hanafusa Formation distributed in the western area of Aso caldera

杉山 芙実子<sup>1\*</sup>; 長谷中 利昭<sup>1</sup>  
SUGIYAMA, Fumiko<sup>1\*</sup>; HASENAKA, Toshiaki<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 熊本大学大学院自然科学研究科

<sup>1</sup> Graduate school of Science and Technology, Kumamoto university

阿蘇火山は4回の大規模火砕噴火を起こしたが、時間とともに火砕噴火を起こしたマグマの組成が変化し、阿蘇-4火砕流堆積物には斑晶に普通角閃石が含まれるようになった(Watanabe, 1979)。阿蘇-4直前に噴火した大峰火山、高遊原溶岩にも普通角閃石の微斑晶が認められるので(黒川ら, 2012)、普通角閃石の出現は阿蘇火山のマグマ供給系の変化を知る手がかりになる。花房層は阿蘇-4火砕噴火以前に形成した湖成層で、阿蘇カルデラから西方約20 kmに分布するので、堆積物中に含まれる鉱物を分析し、普通角閃石の出現時期を求めた。

花房層は菊池市亀尾の花房台地に見られ、砂層とシルト層の互層からなる層厚約10 mの地層で(宮本, 1962)、阿蘇-3火砕流と阿蘇-4火砕流の間に形成した。試料採集は菊池市亀尾梶迫?木柑子で行い、梶迫では湖成層に含まれる軽石層、その直上にある砂層を採集、木柑子では阿蘇-4火砕流堆積物と境界を接するシルト層および、花房層模式地の層厚130 cmのシルト層を採集した。境界から150 cmの位置でテフラを確認した。このテフラは花房層の堆積速度から求めた年代が10万年前に相当し、バブル型のガラスを多く含み、構成鉱物の組合せが一致したので、阿多テフラと考え、この広域テフラより上位を上部シルト層、下位を下部シルト層とした。

鉱物分析は、採集した堆積物を水で攪拌し、沈殿した物質をふるい分けし、125-250  $\mu\text{m}$ のサイズのものを用いた。

(1) 下部シルト層からは、斜長石、単斜輝石、斜方輝石の結晶が出てきた。この斜長石は自形結晶が無く、汚れた印象を与える面を持つ結晶がめだった。

(2) 上部シルト層中には下部シルト層では見られなかった普通角閃石と、自形を示す新鮮な斜長石の結晶が含まれていた。普通角閃石は自形を示すものがほとんどであった。単斜輝石と斜方輝石も含まれており、その量は阿蘇-4火砕流堆積物中のものと同程度であった。

(3) 軽石層中の軽石は全岩化学分析の結果、阿蘇-4火砕流堆積物と似通った組成を示したが、黒川ら(2012)、山崎ら(2013)が報告した小谷軽石流堆積物、弁利スコリア流堆積物、大峰火山噴出物の化学組成とは異なる分化トレンドを示した。

(4) 軽石層直上の砂層中の鉱物には、斜長石、普通角閃石、単斜輝石、斜方輝石、不透明鉱物が含まれていた。さらに、下位の軽石層に無いかんらん石が認められた。EPMAで得た鉱物化学組成はWatanabe(1979)が報告したいずれかの阿蘇-4火砕流堆積物に一致するか近いものであった。なお、本研究で調べた試料にはHunter(1998)が阿蘇-4火砕流堆積物から報告したカミングトン閃石は認められなかった。

以上の結果を総合すると、普通角閃石の出現は阿蘇-4火砕噴火の1万年前にさかのぼることがわかったが、明瞭なテフラ層が含まれていなかったため、普通角閃石結晶の由来は不明である。

キーワード: 花房層, 普通角閃石, 阿蘇-4テフラ, 阿蘇-4火砕流

Keywords: Hanafusa formation, hornblende, Aso-4 tephra, Aso-4 pyroclastic flow

## Opx の累帯構造を用いた初生マグマ推定法と四国北東部の HMA マグマ形成場の時空間変化への適用 Estimating composition of primitive magma by using opx, and temporal and spatial change of HMA magmatism in NE Shikoku

森里 文哉<sup>1\*</sup>; 小澤 一仁<sup>1</sup>  
MORISATO, Fumitoshi<sup>1\*</sup>; OZAWA, Kazuhito<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学大学院理学系研究科, <sup>2</sup> 東京大学大学院理学系研究科

<sup>1</sup>School of science, The University of Tokyo, <sup>2</sup>School of science, The University of Tokyo

沈み込み帯は海洋プレートがマントル内に下降を始め、大陸地殻の形成・削剥が生じる場所であり、プレートテクトニクスの進化を明らかにする上で重要である。沈み込み開始時については、マントルウェッジの温度構造や含水量の時間変化が数値シミュレーションによって推定されてきたが (Iwamori, 2000 など)、物質情報からの制約は少ない。地球内部の温度構造を推定する方法の一つに、マグマを用いることが考えられる (Green, 1981)。その場合まず、マントルと最終的に平衡であった初生マグマ組成を知る必要があるが、結晶分別作用や、沈み込み帯の場合は特に地殻過程 (マグマ混合, 地殻混染, 脱ガスなど) の影響を除去することが必要となる。また、沈み込み帯ではマントルウェッジ内のマントル流動も火成活動に影響していると考えられており (Tatsumi *et al.*, 1983; 田村, 2003)、そのような上昇流を描き出すためには Sakuyama *et al.* (2009) のようにマグマ形成場の時空間変化を明らかにすることが必要となる。

沈み込みが開始して比較的時間もない場所として、西南日本弧が挙げられる。西南日本弧ではおよそ 17Ma に四国海盆が沈み込みを開始し、沈み込みの進行に伴い前弧域から背弧域にかけて火成活動の場が移行していったとされるが (Kimura *et al.*, 2005)、沈み込み帯の具体的な温度構造の変化については明らかになっていない。西南日本のうち、瀬戸内火山岩帯ではマントルカンラン岩と平衡に共存しうる高 Mg 安山岩 (HMA) が活動し、マントルウェッジや沈み込む海洋プレートの温度構造を含めた議論がなされてきたが (Tatsumi & Hanyu, 2003 など)、初生マグマ組成推定時にマグマ混合や脱ガスの影響を考慮すること、マグマ形成場の時空間変化を考慮することなど、未解決の問題が残されている。

今回我々は、波動累帯構造を示す Opx を用いたメルト組成の時間変化の推定法を考案し、瀬戸内火山岩帯に産する HMA の初生マグマ組成推定を試みた。そして初生マグマ組成の時空間変化から、マグマ形成場の推定を試みた。

対象とした HMA は四国北東部、香川県中部の城山地域 (Sato, 1982 など) に産出するもののうち最も初生的 ( $\text{SiO}_2$ :57.3wt%,  $\text{MgO}$ :8.56wt%,  $\text{Mg\#}$ :69.3) なものである。斑晶としてカンラン石、Opx、少量の Cpx を含む。EPMA で斑晶組成の定量分析を行ったところ、カンラン石は正累帯構造を示し  $\text{Mg\#}$  の最高値 (87.6) が噴出物組成から計算される平衡値 (88.7) を下回るため、噴出物組成をもつメルトから閉鎖系で晶出したと判断した。一方 Opx には逆累帯構造のものや波動累帯構造を示すものがあり、それらの外形や組成境界が自形を示すため、結晶成長か接触したメルトからの元素拡散によって形成されたと判断される。その中に噴出物との平衡値 (88.8) よりも高い  $\text{Mg\#}$  (最大 91.5) を示すゾーンが存在し、カンラン石に比べより未分化なメルト組成を記録していると考えられる。またこれらの Opx の累帯構造に見られる組成変化は異なる斑晶間で一致するため、共通のメルト組成変化の様々な時間ステージを反映していると考えられる。

噴出物から初生マグマ組成を復元するには、Putirka (2005) のようにメルトが最も En 成分に富む Opx と平衡になるまで、分別されたカンラン石や Opx を加え戻すことが考えられる。ただし、マグマ混合によってできたメルトを出発点として結晶分別作用を補正すると、初生マグマ組成として誤った推定値が得られるため、混合前のマグマ組成を推定する必要がある。マグマの混合率を評価するために、例えば Kuritani (1998) はマグマ溜まり内の温度、含水量によって晶出する斜長石組成が異なることを利用して、噴出物に含まれる斜長石の累帯構造のパターンと量比を用いることを試みている。

以上を踏まえ、次のようにメルト組成変化を推定した。①融解実験の結果から Opx-メルト間の分配係数をコンパイルし、Opx を晶出させるメルト組成を推定。②結晶分別による組成変化トレンドとマグマ混合による組成変化トレンドをモデル計算と比較して区別。③Opx の累帯構造パターンと量比から混合率を推定し、マグマ混合が想定される場合には混合マグマの端成分を推定。④マグマ混合を除去した結晶分別トレンドに従い、最も En 成分に富む Opx とメルトが平衡になるところを初生マグマ組成とする。

香川県西部、七宝山地域 (川畑・周藤, 2000) の HMA に同様の手法を適用し、城山地域と比較して初生マグマ組成の空間変化からマグマ形成場を推定した。

キーワード: 沈み込み帯, 西南日本, 初生マグマ, マグマ混合, 高 Mg 安山岩

Keywords: subduction, Southwest Japan, primitive magma, magma mixing, High-Mg andesite

## 霧島火山, 最近1万年間の活動ステージ区分と南九州の火山活動との関連について The relation of volcanic stages for the recent 10000 years of Kirisima and Southern Kyushu volcanoes

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.

霧島火山は、加久藤火砕流噴火を境に古期霧島火山、新期霧島火山に分けられているが(井村・小林, 1991)、新期霧島火山、特に最新期の火山活動に関する活動期の分析はなされて来なかった。近年、新燃岳の1万年間の活動史より、新燃岳は活発な活動期と静穏な時期を繰り返していた火山であることが示された。その活動期は、5.6~4.5 cal ka BP、2.7~2.3 cal ka BPであり、2011年噴火は享保噴火から始まる最新の活動期に位置づけられる(田島・他, 2013)。加えて、4.5 cal ka BPと2.7 cal ka BPの間に中岳を起源とするテフラが複数層あることが判明し、霧島火山全体の活動を見直す必要性が生じた。なお、新燃岳と中岳起源の各テフラの間に挟まれる土壌厚から、中岳では4~3 cal ka BPの間に噴火が起きていた可能性が高いと推定される。一方、えびの高原の噴火活動史の解明より、9 cal ka BPに不動池溶岩が噴出し、4.3 cal ka BPに韓国岳の北斜面で水蒸気噴火に伴う岩屑なだれが発生し、1.6 cal ka BPに不動池で再度水蒸気噴火が発生し、今まで知られていなかった時期に噴火活動が生じていたことも明らかになった。

以上の結果と、井ノ上(1988)による古高千穂、高千穂峰火山、筒井・他(2007)による御鉢火山、井村(1994)の噴火活動履歴を加えて霧島火山全体の火山活動を考察した場合、1万年より若い期間の霧島火山の活動は3つのステージに区分可能となる。はじめに9.0~8.0 cal ka BP頃のえびの高原での溶岩噴出、新燃岳での溶岩噴出活動から始まり、8.1~6.8 cal ka BPに高千穂峰(井ノ上, 1998; 奥野, 2002)の成長、6.5 kaのEcテフラの頃まで続いた。この古高千穂・高千穂峰火山の成長によって特徴付けられる9.0~6.5 cal ka BPの時期は霧島火山全体の活動度が高まる活動ステージ(ステージC)と考えられる。その後、5.6 cal ka BP頃までは霧島火山全域での噴火活動が低調となる。続いて、5.6 cal ka BPに新燃岳において準プリニー式噴火が生じ、その後新燃岳では断続的に溶岩を流出させ4.5 cal ka BPに準プリニー式噴火を行った。4.6 cal ka BPには御池でのプリニー式噴火、4~3 cal ka BPには中岳で噴火が生じ、2.3~2.7 cal ka BPの新燃岳の活動が起きた。5.6~2.3 cal ka BPは、新燃岳・中岳の成長、御池の噴火で特徴付けられるステージであり、4.5 cal ka BP頃には霧島火山全体で活動度が高まった(ステージB)。その後、1.6 cal ka BP頃までは霧島火山全体の噴火活動が低調となった。最新の活動は、1.6 cal ka BP頃のえびの高原の噴火が始まりと考えられるが、本格的には約1.3 cal ka BP頃に誕生した御鉢(筒井・他, 2007)の活動からと推定される。初期は御鉢の成長が中心であったが、16~17世紀にはえびの高原、18世紀には新燃岳で享保噴火が発生した(ステージA)。なお、17~18世紀は御鉢、新燃岳、えびの高原と霧島火山全体で噴火が生じており、霧島火山全域の活動度が高まった時期と考えられる。つまり、霧島火山では、新燃岳だけでなく霧島火山全域において、活動が活発になる時期と静穏になる時期を繰り返しており、現在は約1600年前頃から続くステージの中にあると考えられる。霧島火山の活動時期が明らかになる事によって、桜島火山など南九州の火山との活動の関係についても議論を行う環境が整いつつあり、霧島と桜島火山では多くの似た噴火年代値を示し、広域な運動との関連が示唆される。

キーワード: 霧島火山, ステージ, 新燃岳, えびの高原, 長期活動史

Keywords: Kirishima Volcano, Volcanic stage, Shinmoedake, Ebinokogen, Long term activity

## アイスランド・ルートレスコーン調査報告ー火星のアナログとしてー Investigation report of rootless cone in Iceland -as an analogue of that of on Mars-

野口 里奈<sup>1\*</sup>; 猿谷 友孝<sup>1</sup>; 鈴木 由希<sup>1</sup>; 栗田 敬<sup>1</sup>  
NOGUCHI, Rina<sup>1\*</sup>; SARUYA, Tomotaka<sup>1</sup>; SUZUKI, Yuki<sup>1</sup>; KURITA, Kei<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学地震研究所

<sup>1</sup>Earthquake Research Institute, the University of Tokyo

Rootless cone is a pyroclastic cone which has a variety of shape. It's formed by lava-water interaction [e.g. Fagents et al., 2002, Hamilton et al., 2010], but details such as formation conditions are still unknown. Since pervasive existence of various types of rootless cones has been clarified on the martian surface, terrestrial rootless cones are key to understand Martian volcanism and strong interests have been paid in the field of planetary science. We surveyed rootless cones in Iceland by RTKGPS (Real-Time Kinematic GPS) with material-scientific investigations on the constituent materials.

We investigated 3 rootless cone fields; Myvatn (northern Iceland), Landbrot (eastern Iceland), and Thjorsardalur (western of Hekla volcano). In this presentation, we will focus on Myvatn area. In Myvatn, rootless cones were formed by lava-lake water interaction. The lava is basaltic, and emanated from the fissure which locates in east of the lake [Thorarinsson, 1951], and flowed into the lake. We mapped more than 500 rootless cones by aerial photo survey. Most of cones locate around the lake, but some cone locates in in the down-flow region (40 km far from the lava source) area. In Myvatn, here exists unique rootless cone which has an inner cone in the summit crater. We named this as double cone. We focus on this type and conducted detailed morphological survey.

We found that slope angle of rootless cone depends on its size. For double cone, inner cone has gentler slope than that of outer cone. In case of single cone (no inner cone), large cones have steeper slope than that of small cones. Also, large cones have constant slope (repose angle: 32-33 degree), despite the slope angle of small cone varies. In case of the double cone, we found that the constituting material of the inner cone differs from that of the outer cone. The component material of the outer cone is lapilli - coarse ash size pyroclast. On the other hand, that of the inner cone is welded pyroclasts or agglutinate. For small cones, the summit part is covered with agglutinate. These differences should indicate different condition of the formation such as the amount of available water/heat supply by magma.

A We measured bulk chemical composition of the lava and the pyroclasts by XRF confirming no significant change along lava flow traveling. We also measured bulk density and size distribution of the pyroclasts of the rootless cones. We found density of the lava concordantly increases with traveling distance, which means bubbles progressively escaped from the lava during traveling while the formation of rootless cone seems not to be influenced by the vesicularity of lava. The size distribution seems to be correlated with the slope value of the cone, which strongly suggests the control of fragmentation on the formation of rootless cone.

キーワード: ルートレスコーン, アイスランド, 火星, ミーヴァトン, ダブルコーン

Keywords: rootless cone, Iceland, Mars, Myvatn, double cone



## 陥没カルデラを形成する大規模火砕噴火におけるマグマ溜まりのサイズおよび噴出率 Volume of magma chamber and eruption ratio for caldera collapse

下司 信夫<sup>1\*</sup>  
GESHI, Nobuo<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 産業技術総合研究所  
<sup>1</sup> Geological Survey of Japan, AIST

カルデラの陥没メカニズムを、単純なピストンシリンダーモデルを適応してモデル化し、実際の陥没カルデラ形成噴火の前駆噴火の噴出量や総噴出量と比較することにより、陥没カルデラ形成噴火の発生条件を推測した。

陥没カルデラは、マグマ溜まりから比較的短期間に大量のマグマが噴出することによりマグマ溜まりの天井が陥没して形成される。マグマ溜まり天井の破壊と沈降によって、マグマ溜まりに蓄積されている大量のマグマの噴出が促進されることから、陥没カルデラの形成条件は巨大噴火を駆動する重要なメカニズムである。多くのカルデラ形成噴火では、陥没開始に先立ち多量のマグマが短時間のうちに噴出するため、この前駆噴火の推移と駆動メカニズムの理解は、巨大噴火全体の推移を理解するために不可欠である。

多くのカルデラ火山は、カルデラ形成噴火の前後にも様々な規模の噴火を繰り返すが、最大規模の噴火でのみ陥没カルデラが形成される。それよりも小規模な噴火はより高頻度で発生するが、陥没カルデラの形成には寄与しない。たとえば、始良カルデラから29kaに発生したAT噴火では、陥没に先行して大隅降下軽石が噴出し、ついで陥没開始後に入戸火砕流が噴出し、現在の始良カルデラが形成されたと考えられている。一方、カルデラ形成前に噴出した福山軽石の噴火(～10km<sup>3</sup>DRE)や、後カルデラ期最大の噴火であるP14(Sz-S)噴火(～4km<sup>3</sup>DRE)では顕著なカルデラ陥没は発生しなかったと考えられている。始良カルデラの場合、陥没に先行して噴出した大隅降下軽石(～40km<sup>3</sup>DRE)の噴出量は、顕著な陥没を起こさなかった最大噴火の噴出量を上回る。このような関係は、噴出量の推定が比較的精度良く行われている他のカルデラなどでも認められる。比較的若い14の陥没カルデラの例では、陥没開始までの噴出量はカルデラのサイズ(径)と正相関があり、大型のカルデラほど前駆噴火の噴出量は大きい。

陥没カルデラ形成に必要な噴出量を、ピストンシリンダー型モデルを用いて推定した。このモデルでは、マグマ溜まりの減圧量がカルデラブロックを沈降させる駆動力、環状断層の摩擦がカルデラブロックの沈降に対する抵抗力となる。マグマ溜まりの減圧量は、マグマ溜まりの総体積に対するマグマ噴出量の比(噴出比)とマグマの体積弾性率にコントロールされる。環状断層の径が大きいほど、すなわち大型のカルデラほど陥没開始までの噴出比は小さくなる。大型のカルデラでは、より大量のマグマがマグマ溜まりに存在する状態でマグマ溜まりの天井が破壊されるため、より大量の火砕流を陥没開始後に噴出し得る。

このモデルではカルデラ断層の形状を円筒形と単純化し、マグマの体積弾性率を一定と仮定しており、さらにカルデラ断層の径や深さの推定にも不確実性があるため、これらの見積もりには大きな誤差が伴うが、陥没開始までの噴出量を噴出比で割ると、それぞれの火山の陥没前のマグマ溜まりの体積と、陥没開始時及び噴火終了時の噴出率が求められる。環状断層の直径が約15km、マグマ溜まり天井の深さが約6kmと考えられる始良カルデラの場合、噴火開始前のマグマ溜まりの体積は約600km<sup>3</sup>であったと推測される。陥没開始までにその約8%が大隅降下軽石として噴出し、陥没開始後にその約60%が入戸火砕流として噴出したと推測される。

キーワード: 大規模噴火, カルデラ火山, マグマ溜まり  
Keywords: large eruption, caldera volcano, magma chamber

## Identification and Geology of Taftan volcano Calderas, Sistan and Baluchestan, Southeast of Iran

### Identification and Geology of Taftan volcano Calderas, Sistan and Baluchestan, Southeast of Iran

Biabangard Habib<sup>1\*</sup>  
BIABANGARD, Habib<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Geology, Sistan and Baluchestan University of Zahedan, Iran

<sup>1</sup>Department of Geology, Sistan and Baluchestan University of Zahedan, Iran

The Taftan volcano, Sistan and Baluchestan province, SE Iran, is above 4050 m sea level and currently dormant, showing fumarolic activity near the summit. This volcano is located in a structural zone along the subduction of Oman oceanic crust below the Eurasia plate. Large volcanic centers including Chah-Shahe, Bazman and Taftan in Iran and Soltan in Pakistan have been developed during the Quaternary. Anjerk and Tamandan are two calderas from of Taftan volcano that identified for the first time. Theses calderas are mostly composed of pyroclastics, lava flows, ignimbrites and tuffs. Various volcanic eruptions had occurred during these calderas formation. The exposed lava flows and pyroclastics of these calderas mainly consist of andesitic and dacitic in compositions. The geochemical evaluation of the major and trace element compositions indicate the magma erupted from this volcano show a calk-alkaline trend.

Keywords: Taftan Volcano, Makran belt, Anjerk caldera, Tamandan caldera, Geochemical evaluation, Iran

スンダ弧東部ジャワ地域ケルト-ウェリラン火山クラスターのカリウム-アルゴン年代：カルデラを有する火山クラスターとの比較  
K-Ar ages of Kelut-Welirang volcano cluster, East Java, Sunda arc: comparison with clusters that hosts large calderas

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

<sup>1</sup> 電力中央研究所, <sup>2</sup> 産総研地調, <sup>3</sup> セレス  
<sup>1</sup> CRIEPI, <sup>2</sup> AIST, GSJ, <sup>3</sup> Ceres, Inc.

Sunda arc, Indonesia, has many active caldera volcanoes and is well suited for studying the evolution of large caldera systems. Volcano groups are distributed in clusters at Sunda arc. Two adjacent volcano clusters in East Java, Semeru-Tengger and Kelut-Welirang, are compared. Semeru-Tengger volcano cluster consist of Semeru and Tengger-Bromo volcano systems. Tengger-Bromo system has formed Ngadisari and Sand Sea calderas. Kelut-Welirang volcano cluster consists of multiple active volcano groups and has comparable footprint and cumulative volume as Tengger-Bromo. However, large-scale eruptions in the order of 10km<sup>3</sup> or greater have not taken place at Kelut-Welirang volcano cluster.

Kelut-Welirang volcano cluster consists of five volcano groups. They are Penanggungan, Arjuno-Welirang, Argowayan, Butak-Kawi-Panderman, and Kelut from northeast to southwest. They are classified as active volcanoes except for Argowayan, and Kelut is currently active. However, their formation ages are not understood.

K-Ar dating is performed in order to determine and compare the long-term activity of the two clusters. Mass fractionation correction method is used for argon measurement, for many of the samples are very young. Samples with crystalline groundmass are selected for dating to obtain precise and reliable age. Groundmass is separated from phenocryst and used for dating.

The active periods and the ages of the volcano groups are identified by K-Ar dating as follows. (a) Argowayan, which consists about half of the volume of Kelut-Welirang cluster, has formed between 1.0-0.8Ma. (b) There was long dormancy in the area of this cluster, and the four volcano groups have formed within the past 0.2 m.y. (c) Kelut has started to form by 0.2Ma, and has repeatedly produced lava domes to present. (d) Much of Butak-Kawi-Panderman has formed around 0.2Ma. The group is considered active, but the long-term eruption rate of the group has decreased substantially since the early stage of edifice building activity at 0.2Ma. (e) Arjuno-Welirang is younger and likely started to form by 0.1Ma. (f) Penanggungan is the youngest volcano group and likely to have formed within the past 0.05 m.y.

The obtained ages allow us to compare Kelut-Welirang and Tengger-Semeru volcano clusters. Although Kelut-Welirang cluster has comparable volume to Tengger-Semeru, it consists of separate volcano groups formed at different ages. The long-term eruption rate for the past 0.2Ma is relatively large, but much of the erupted volume is contributed from new volcano group. In contrast, the volcano edifices of Semeru-Tengger have almost entirely formed from 0.5Ma to present. The eruptive centers are concentrated at Tengger and Semeru, and have repeated active periods.

キーワード: 年代測定, 第四紀, インドネシア, 質量分別補正法  
Keywords: age dating, Quaternary, Indonesia, mass fractionation correction method

阿蘇火山中央火口丘群, 完新世火山噴出物の岩石記載, 化学組成と古地磁気層序との対比  
Correlation between petrology and magneto-stratigraphy of Holocene volcanic products from Aso central cones

平川 雄一郎<sup>1\*</sup>; 長谷中 利昭<sup>1</sup>; 望月 伸竜<sup>2</sup>; 森 康<sup>3</sup>  
HIRAKAWA, Yuichiro<sup>1\*</sup>; HASENAKA, Toshiaki<sup>1</sup>; MOCHIZUKI, Nobutatsu<sup>2</sup>; MORI, Yasushi<sup>3</sup>

<sup>1</sup>熊本大・院・自然科学研究科, <sup>2</sup>熊本大学大学院先端機構, <sup>3</sup>北九州市立自然史・歴史博物館  
<sup>1</sup>Grad School Sci & Tech, Kumamoto Univ., <sup>2</sup>Priority Organization for Innovation and Excellence, Kumamoto University,  
<sup>3</sup>Kitakyushu Museum of Natural History and Human History

阿蘇中央火口丘群北西域に分布する6種類の溶岩(中岳溶岩, 赤水溶岩, 杵島岳溶岩, 往生岳溶岩, 米塚溶岩, 上米塚スコリア)について, Miyabuchi et al. (2012) や弥頭ら(2013)が古地磁気方位を報告した25サイトから火山岩試料を採集した。採集試料について岩石記載と全岩化学組成を行い, 古地磁気方位や<sup>14</sup>C年代に基づくMiyabuchi (2009)の層序と対応させた。

杵島岳噴出物は古地磁気方位が異なり, 活動時期が約1000年違うアグルチネートと溶岩流に分けられるが, それぞれの岩石記載から, 鉱物組み合わせは同一であるが, 石基の組織, 斑晶モード組成, 全岩化学組成が異なることがわかった。アグルチネートは<sup>14</sup>C年代値から約4000年前頃と推定されている杵島岳スコリアと化学組成が一致した。

往生岳溶岩は土壌を挟む2枚の溶岩が露頭で確認され, 古地磁気方位も異なるので, 時間間隙を持つ2枚の溶岩流(下位, 上位)に分けることができた。しかし, 岩石記載や全岩化学組成からは違いはみられなかった。

アカホヤ火山灰より若い年代を持つ6種類の溶岩は全て同じ斑晶鉱物組合せを持ち, 肉眼観察でも違いはほとんど認められないが, 噴出年代の違いに対応した化学組成の違いを見いだすことができた。また同時噴火の可能性がある溶岩(杵島岳溶岩, 往生岳溶岩下位, 上米塚スコリア)についても化学組成の違いはSiO<sub>2</sub>で約1%程度で, 大きな違いはなかった。完新世の一連の溶岩は共通のマグマ供給系よりマグマが異なる火道を通して噴出した可能性が考えられる。

キーワード: 阿蘇中央火口丘群, 火山噴出物, 完新世, 古地磁気方位, 岩石記載, 化学組成

Keywords: post-caldera central cones of Aso volcano, volcanic products, Holocene, paleomagnetic directions, petrography, chemical compositions

## 西南日本弧、山口県大津地域に分布する中新世玄武岩類の成因 Magma genesis of Miocene basalts from Otsu district, Yamaguchi Prefecture, SW Japan arc

東山 陽次<sup>1</sup>; 長谷中 利昭<sup>1\*</sup>; 柴田 知之<sup>2</sup>; 芳川 雅子<sup>2</sup>; 永尾 隆志<sup>3</sup>

HIGASHIYAMA, Yoji<sup>1</sup>; HASENAKA, Toshiaki<sup>1\*</sup>; SHIBATA, Tomoyuki<sup>2</sup>; YOSHIKAWA, Masako<sup>2</sup>; NAGAO, Takashi<sup>3</sup>

<sup>1</sup>熊本大・院・自然科学研究科, <sup>2</sup>京都大・院・理・附属地球熱学研究施設, <sup>3</sup>(元)山口大・院・理工学研究科

<sup>1</sup>Grad School Sci. & Tech., Kumamoto Univ., <sup>2</sup>Beppu Geothermal Res. Lab., Kyoto Univ., <sup>3</sup>Grad School Sci. & Eng., Yamaguchi Univ.

山口県大津地域の中新世玄武岩類(以下、大津玄武岩類)は、日本海沿岸の角島、油谷島~向津具半島、青海島にかけてそれぞれ独立した溶岩流主体の火山として分布している。大津玄武岩類は、地質層序、岩石記載、全岩化学組成に基づいて、単斜輝石かんらん石玄武岩(COB)とかんらん石玄武岩 Magnetite-Rich type Basalt (MRB) 1・2 とかんらん石玄武岩 Magnetite-Poor type Basalt (MPB) の4グループに細分される。MRB1・2はFeO\*やTiO<sub>2</sub>に富むのに対し、MPBはSiO<sub>2</sub>やAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>に富む特徴を有する。MRB1・2、COBはアルカリ玄武岩、MPBはソレライトに区分される。本発表では、大津玄武岩類を対象に地質学的・岩石学的・地球化学的検討から、マグマの成因と起源マンツルの岩石学的性質について議論する。

各グループのかんらん石のMg値は高く、それと平衡にあるメルトは未分化マグマの組成を保持することが推定される。MRB、MPBはマスバランス計算によりそれぞれ異なったいくつかの段階的な分別結晶作用の過程を経たと予想されるが、両者は共通の初生マグマからの分化では説明することはできない。各グループの初生マグマは、MRB1、MRB2、COB、MPBの順に、マンツルとの最終平衡深度が浅くなり、部分溶融度が高くなる。始源マンツルで規格化したmulti trace element plotsでは、大津玄武岩類はLIL元素(Rb, Baなど)に富み、NbやSmには負異常が認められる。かんらん石とスピネルの鉱物組成(OSMA)から、MPBは4グループの中で最もfertileなマンツルに由来したと予想され、その他3グループの枯渇度はほぼ同程度で、ハルツバージャイト的である。また、4グループのLREE/HREE比(例えば、La/Yb比)は異なり、単一の起源マンツルの部分溶融度の違いでは説明できない。B/Nb比はマグマがマンツルから分離した深度が浅くなるに従い増加する傾向をもつ。分離深度が最も浅いMPBは他のグループに比べより沈み込み成分に富んだ起源マンツルに由来したと考えられる。

以上のことから、大津玄武岩類の化学組成の多様性は、マンツルプルームが浅部がより大きく沈み込み帯交代作用を受けたマンツル内を上昇し、それらを同化して組成を変化させ、各グループの初生マグマを順々に生成した結果であると考えられる。

キーワード: アルカリ岩, ソレライト, ホウ素, 希土類元素, マンツル

Keywords: alkaline rock, tholeiite, boron, rare earth element, mantle

## 北部フォッサマグナにおけるリフティング-沈み込み帯マグマ活動 Rifting- and subduction-related volcanism of the northern Fossa Magna related to the formation of the Sea of Japan

岡村 聡<sup>1\*</sup>; 稲葉 充<sup>2</sup>; 吉田 尊智<sup>3</sup>; 足立 佳子<sup>4</sup>; 新城 竜一<sup>5</sup>; 池田 保夫<sup>6</sup>  
OKAMURA, Satoshi<sup>1\*</sup>; INABA, Mitsuru<sup>2</sup>; YOSHIDA, Takanori<sup>3</sup>; ADACHI, Yoshiko<sup>4</sup>; SHINJO, Ryuichi<sup>5</sup>; IKEDA, Yasuo<sup>6</sup>

<sup>1</sup> 北教大札幌, <sup>2</sup> 石油資源開発, <sup>3</sup> 北教大札幌, <sup>4</sup> 新潟大理, <sup>5</sup> 琉球大理, <sup>6</sup> 北教大釧路  
<sup>1</sup>Sapporo, Hokkaido Educ. Univ., <sup>2</sup>Japan Petroleum Exploration Co., Ltd., <sup>3</sup>Sapporo, Hokkaido Educ. Univ., <sup>4</sup>Faculty of Science, Niigata Univ., <sup>5</sup>Faculty of Science, Univ. Ryukyus, <sup>6</sup>Kushiro, Hokkaido Educ. Univ.

北部フォッサマグナ周辺の中新世-漸新世火山岩を対象に、玄武岩質火山岩の岩石化学的性質の時間的・空間的変化を明らかにし、フォッサマグナの形成をともなう日本海の拡大との関連性、陸弧から島弧火山活動の成立過程について考察した。

前期中新世の玄武岩質火山岩は、松川層、大倉層、結東火山岩類に代表され、高 Zr・Nb、高 LREE パターンで、エンリッチした Sr, Nd, Hf 同位体組成のアルカリ玄武岩、高マグネシウム安山岩、未分化玄武岩からなり、東北日本弧の第四紀火山岩には見られないマグマ組成である。これらは、日本海形成以前に存在したエンリッチした大陸リソスフェアマントル起源と考えられる。類似の火山岩は、能登半島の漸新世（高洲山層）-前期中新世火山岩（神和住層、別所安山岩類）にも認められ、糸魚川-静岡構造線より西方におよぶ日本海側の広域において、大陸性リソスフェア起源マグマが活動していたことを示す。さらに大和海盆の Site 794 から採取された前期中新世（22-17 Ma）玄武岩は大陸性玄武岩（J2 lavas; Pouclet et al., 1995）の特徴を示し、北部フォッサマグナ周辺のよりエンリッチした起源物質との共通性を示唆する。

北部フォッサマグナの前期中新世玄武岩の一部は、低 Zr・Nb、低 LREE パターン、低 LIL の低アルカリソレライト玄武岩からなり、より枯渇した同位体組成を示す。同様な玄武岩は、佐渡の前期中新世相川層に貫入するドレライトにも認められる。これらは、大和海盆の Site 794 から採取された玄武岩のうち、大陸性玄武岩に引き続き活動したとされる背弧海盆玄武岩（J3）と類似し、日本海形成をもたらした深部 MORB 様枯渇マントルの湧昇を示唆する。

佐藤ほか（2013）によれば、地震探査に基づく地質構造形成モデルから、北部フォッサマグナ東縁には、北東-南西方向を示す複数の中絶リフト構造が存在し、地殻の薄化、下部地殻の高速度化が見られ、大量の塩基性岩石の併入が推定されている。北部フォッサマグナの前期中新世玄武岩のうち、より枯渇した MORB 様玄武岩はこれら塩基性下部地殻を形成したマグマの噴出相の可能性があり、日本海拡大をもたらした深部アセノスフェアと密接に関連するであろう。同時期に活動したエンリッチ組成の未分化玄武岩は、この中絶リフト構造に近接して分布している。北部フォッサマグナでは、地殻の薄化をともなうリフト形成によって、大陸リソスフェア由来の未分化マグマが噴出しやすい環境にあったと推定される。

中絶リフト域は、日本海拡大後、短縮変形によって逆断層による反転運動に転換したが（佐藤ほか，2013），北部フォッサマグナの後期中新世火山岩類（寺泊層）の一部は、より枯渇した同位体組成を示す低アルカリ火山岩からなることから、MORB 様起源物質に由来するマグマが後期中新世にも引き続き活動したと推定される。

キーワード: フォッサマグナ, 大和海盆, MORB 起源物質, エンリッチマントル

Keywords: Fossa Magna, Yamato Basin, MORB source, Enrich mantle

## 東北日本背弧および孤内における中期中新世火山活動とテクトニクス The Middle Miocene tectonics and volcanism in the intra-arc and the back-arc region, Northeast Japan

細井 淳<sup>1\*</sup>; 天野 一男<sup>2</sup>  
HOSOI, Jun<sup>1\*</sup>; AMANO, Kazuo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>茨城大学大学院理工学研究科, <sup>2</sup>茨城大学理学部

<sup>1</sup>Graduate School of Science and Engineering, Ibaraki University, <sup>2</sup>Faculty of Science, Ibaraki University

東北日本には新第三紀の日本海拡大に伴った海底火山噴出物を主体とする地層(グリーンタフ)が広く分布している。これらの堆積物は、直接の観察が困難であり実態の解明が進んでいない海底火山活動や、日本列島の形成過程を知る手がかりを与える重要な地層である。グリーンタフは、古くより層序学的研究を中心に様々な研究が実施され、1990年初期には層序学的研究に基づいたテクトニクスが構築された(Sato and Amano, 1991など)。しかし堆積学的な観点に基づいた研究はほとんど行われておらず、古火山体や火山噴火様式の実態は不明であった。本研究では当時の島弧内、背弧の代表的なグリーンタフ分布地を対象とし、堆積相解析に基づいた具体的な古火山体、火山活動の解明した。その上でこれらと比較し、中期中新世のテクトニクスについて検討した。

本研究地域は山形県酒田市周辺の出羽山地および岩手県西和賀町周辺の奥羽脊梁山脈であり、それぞれ当時の背弧および島弧内堆積物の代表的な分布地域である。それぞれの中期中新統の火山岩類・火山砕屑岩類を対象に、堆積相解析を実施した。結果、島弧内では15~14Maに流紋岩質の爆発的な火山活動と小規模な溶岩ドームを復元し、背弧側においては15~12Maに玄武岩質の水中溶岩噴泉型火山活動と少量の安山岩質、流紋岩質火山活動が行われたことが解明できた。

細井ほか(2013)は岩手県西和賀町周辺(島弧内)において、15Maを境に、静穏な環境から活発な火山活動が起こる場に変化すると共に、反時計回りの運動と急激な沈降が起こったことを明らかにした。この時の応力は、鉾脈の配列(大槻, 1989)および帯磁率異方性(細井, 2013)からNW-SE方向の引張応力場と考えられる。一方、出羽山地の本研究地域では、玄武岩質火山活動をもたらしたと考えられる岩脈の配列がNE-SW~ENE-SWS方向に配列しており、急激な沈降場であったことと合わせて考えるとNW-SE~NNW-SSE方向の引張応力場であったと考えられる。これは当時の弧内と同様の応力場である。以上を踏まえると、約15Maの日本海拡大時、急激なテクトニックな変化が起こり、その結果NW-SE方向の引張応力場のもとでバイモーダルな火山活動、沈降運動、回転運動が起こったと考えられる。この時の火山活動は背弧では12Ma頃まで継続したのに対し、孤内では約14Maと早期に終了し、静穏な環境へと変化した。このことは、15Maを境にしたテクトニックな変化が、孤内では早期に落ち着いたともと考えられる。

### 【引用文献】

細井 淳, 2013, 平成24年度深田研究助成報告書, 9-23.

細井 淳ほか, 2013, 堆積学研究, 72, 141-146.

Sato, H. and Amano, K., 1991, *Sedimentary Geology*, 74, 323-343.

キーワード: 中新世, テクトニクス, 背弧, 島弧内, グリーンタフ, 東北日本  
Keywords: Miocene, tectonics, back-arc, intra-arc, greentuff, Northeast Japan

## 新しい岩脈法に遺伝的アルゴリズム組み込み Paleostress analysis of dilational fractures using genetic algorithm

山路 敦<sup>1\*</sup>  
YAMAJI, Atsushi<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 京都大学  
<sup>1</sup> Kyoto University

岩脈や鉱脈など (以下, 岩脈), 流体圧で開口した亀裂の方向から, 形成時の応力がわかる. 異なる応力状態で作られた岩脈が混在している場合, 貫入面の極に混合ビンガム分布をフィッティングすることによってクラスター解析し, クラスターごとに 3 本の主応力軸, 応力比, 最大流体圧比が計算することができる (Yamaji and Sato, 2011).

このソフトウェアを公開するために, 遺伝的アルゴリズムを使って計算を高速化することを試みた. EM アルゴリズムを使う従来の方法にくらべて, 計算時間は通常で数分の一になり, また, EM アルゴリズムでは収束しにくかったデータでも遺伝的アルゴリズムなら対処できることが分かった.

キーワード: 実数値遺伝的アルゴリズム, マグマ圧, 混合ビンガム分布, 岩脈, 鉱脈  
Keywords: real-coded genetic algorithm, magma pressure, mixed Bingham distribution, dike, vein