

マグマ冷却過程における応力蓄積と準火山性深部低周波地震

Semi-Volcanic Low-Frequency Earthquakes and Stress Accumulation during Magma Cooling

麻生 尚文^{1*}, 井出 哲¹, Tsai, Victor C.²

Naofumi Aso^{1*}, Satoshi Ide¹, Victor C. Tsai²

¹ 東京大学 大学院理学系研究科, ² カリフォルニア工科大学

¹ Graduate School of Science, The University of Tokyo, ² Seismological Laboratory, California Institute of Technology

深部低周波地震 (LFE) は低周波の地震波を放出する比較的小さな地震である。プレート境界で発生する Tectonic LFE は低角逆断層であると考えられているが、活火山直下のモホ面付近で発生する Volcanic LFE のメカニズムは未だによく分かっていない。我々は最近、活火山から離れた地域でも Volcanic LFE と似た LFE が発生していることを発見した [Aso et al., 2011; 2013]。この 'Semi-Volcanic LFE' は、LFE が発生する条件について考えるためのキーポイントとなるだろう。

我々は、ノイズの少ない地域で活発な活動をもつ島根県東部の Semi-Volcanic LFE に対し、震源メカニズムを推定するため、波形インバージョンを行った。震源メカニズムと震源時間関数はグリッドサーチと線形インバージョンでそれぞれ求めた。その結果、振動する震源時間関数を得た。また、震源メカニズムは多くの地震で CLVD 成分が卓越し、その主対称軸は線状に並ぶ震源分布の向きと平行であった。

これらの観測事実に基づき、Semi-Volcanic LFE の物理的な震源モデルについて考えた。我々は、これらの LFE の根本的な原動力として、マグマ冷却過程における急激な密度変化の効果を提案する。我々のモデルは、応力蓄積、応力解放、振動励起の3ステップからなる。はじめに、蓄積される応力の量を見積もり、その蓄積速度を応力拡散の速度と比較した。次に、脆性破壊が断層運動ではなく CLVD タイプの変形をする理由を考えた。最後に、その後に引き起こされる振動の基本周波数と減衰定数を見積もった。

キーワード: 準火山性深部低周波地震, CLVD, マグマ冷却

Keywords: Semi-Volcanic Low-Frequency Earthquakes, CLVD, Cooling Magma

月周回衛星 SELENE が明かす月面最大の火山複合体“ Marius Hills Plateau ”の形成史 SELENE lunar mission reveals the formation history of the Marius Hills Plateau, the largest lunar volcanic complexes

今枝 隆之介^{1*}, 春山 純一², 大竹 真紀子², 岩田 隆浩², 長谷中 利昭³, 白尾 元理⁴

Ryunosuke Imaeda^{1*}, Junichi Haruyama², Makiko Ohtake², Takahiro Iwata², Toshiaki Hasenaka³, Motomaro Shirao⁴

¹ 東京大学大学院理学系研究科, ²JAXA 宇宙科学研究所, ³ 熊本大学大学院自然科学研究科, ⁴ 惑星地質研究所

¹Dept. of Solar System Sci., Univ. of Tokyo, ²JAXA / ISAS, ³Dept. Earth Sci. Kumamoto Univ., ⁴Planetary Geological Institute

Lunar volcanic activity played a significant role in the geological evolution of the Moon. The Marius Hills Plateau (13.5N, 306E) of the Oceanus Procellarum is one of the largest volcanic complexes on the nearside of the Moon, presenting records of igneous activities such as numerous dome-like structures, rilles, cones, and lava flows [1]. To estimate the precise formation ages of the Marius Hills Plateau and understand the past lunar volcanism, we used the data from the Terrain Camera (TC) and the Multiband Imager (MI) installed on the Selenological and Engineering Explorer (SELENE).

The TC is a push-broom stereo-camera with two slant telescopes, +15 degrees forward looking and -15 degrees backward looking. It acquired 10 m spatial resolution image data from the SELENE nominal altitude of 100 km. The stereo pair images are used to produce digital terrain models (DTMs) with an elevational resolution of 20 m or better [2]. The MI is a multi-spectral imager with four and five color bands with 20 m (visible) and 62 m (near-infrared) spatial resolutions from the SELENE nominal altitude. The band assignments are 415 nm, 750 nm, 900 nm, 950 nm, and 1000 nm in the visible range and 1000 nm, 1050 nm, 1250 nm, and 1550 nm in the near-infrared range [2]. Based on the TC and MI data, we first morphologically and spectrally classified distinct basaltic lava flows on the Marius Hills Plateau as different geological units. We then estimated the crater retention ages of each geological unit using the TC data.

Crater counting is a well-established technique for deriving the model ages of planetary surfaces. We can infer the relative and absolute ages by measuring the Crater Size-Frequency Distribution (CSFD) with image data based on the simple idea that older surfaces accumulate more craters [3]. We counted craters and measured their diameters using the TC data and estimated the age based on CSFD measurements for each unit on the Marius Hills Plateau. We used the polynomial production function and the cratering chronology model proposed by Neukum and Ivanov (1994) [4] to obtain the absolute model age from the CSFD measurement [5]. Volcanic craters such as the top of the dome-like structures or cones may affect the counting results, so we eliminated what can be clearly distinguished from impact craters in the TC data.

The Marius Hills Plateau can be classified into about sixty geological units based on the MI color-composite maps. There are twice as many geological units on the Marius Hills Plateau than previously proposed by [6].

The measured crater retention age of each unit indicated that the youngest Marius Hills Plateau formation is ~3.3 Ga, corresponding to the Early Imbrian Model Age, while some geological units exhibit greatest ages of ~3.8 Ga. The Marius Hills Plateau is thus older than previously estimated. In our study, no classified geological unit exhibited young ages of 0.7~1.5 Ga, corresponding to the Late Eratosthenian Model Age and the Early Copernican Model Age reported by [7].

We found that almost all geological units of the high-calcium pyroxene plateau are significantly older than those of the olivine-rich basaltic lava areas, consistent with [8]. However, we note that some geological units of the high-calcium pyroxene plateau are apparently younger than those of the olivine-rich basaltic lava areas. The Marius Hills Plateau formation history is thus complex [9].

References: [1] Greeley R. (1971) *The Moon*, 3, 289-314. [2] Haruyama et al. (2008) *EPS*, 60, 243-255. [3] Morota T. et al. (2009) *GRL*, 36, L21202. [4] Neukum G. and Ivanov B. A. (1994) Univ. of Arizona Press, 359-416. [5] Cho Y. et al. (2012) *GRL*, 39, L11203. [6] Heather D. J. et al. (2003) *JGR*, 108, 5017. [7] Huang J. et al. (2011) *JES*, 22, 601-609. [8] Besse S. et al. (2011) *JGR*, 116, E00G13. [9] Imaeda R. et al. (2013) *LPSC XLIII*, Abstract #1503.

キーワード: 月周回衛星かぐや (SELENE), 地形カメラ (TC), マルチバンドイメージャ (MI), 火山複合体, マリウス丘 (Marius Hills Plateau), クレーター年代学

Keywords: KAGUYA (SELENE), Terrain camera (TC), Multiband Imager (MI), Volcanic complexes, Marius Hills Plateau, Crater-counting

SELENEの地形カメラによる月ドームの形態と計測 Morphometry and morphology of lunar mare domes from SELENE terrain camera

白尾 元理^{1*}, 春山 純一², 今枝隆之介³
Motomaro Shirao^{1*}, Junichi Haruyama², Ryunosuke Imaeda³

¹ 惑星地質研究所, ²JAXA/ISAS, ³ 東京大学理学系研究科地球惑星科学

¹Planetary Geological Institute, Japan, ²JAXA/ISAS, ³Dept. of Solar System Sci., Univ. of Tokyo

月の海には、緩やか膨らんだ地形が多数見られる。これらは海のドームと呼ばれ、平らな月の海にある特異な地形として多くの人の興味を引いてきた。海のドームはほぼ円形の平面形をもち、斜度は 10° 以下、基底の直径は数kmから30km、高さは数百m以下である。山頂にクレーターをもつドームもある。海のドームは18世紀以来、地球からの望遠鏡観測によってその存在が認められていた。実際には非常に偏平な地形であるが、明暗境界線付近にあるときに望遠鏡で観測すると膨らみの大きいドーム状に見えることから、海のドームと呼ばれるようになった。

探査機の時代になると、海のドームはLunar Orbiter, Apollo, Clementine, Lunar Reconnaissance Orbiterなどで調べられるようになり、その成因は火山起源であることが明らかになった。しかし詳細な地形データの不足、低太陽高度の画像の不足、撮像地域の不足などの理由で、十分には研究されていない。

本研究では、SELENEに搭載された地形カメラ(TC)のデータを用いた。地形カメラはパンクロマチックのプッシュブルーム方式の撮像システムで、TC1とTC2の2つの同一の光学系をもつ。TC1とTC2の光軸は、SELENEの進行方向に対してそれぞれ直下方向から前方・後方に 15° ずつ傾いて配置されている。太陽高度が 30° 以上の時にはステレオ画像を取得した。それぞれの受光部には4096画素のリニアCCDが配置され、高度100kmからは水平・垂直方向の分解能はいずれも約10mである。また太陽高度が 30° 以下で撮像した単眼視画像は、偏平な海のドームの詳細な地形解析に役立つ。

本研究ではSELENEの地形カメラによって得られたHortensius, Milichius, Cauchy, Arago地域のドームのデータを使って、地球上のハワイ、メキシコ、アイスランド、アメリカ北西部の小型盾状火山と比較し、その成因を論ずる。

キーワード: セレーネ(かぐや), 月, 盾状火山, 地形カメラ(TC), ドーム

Keywords: SELENE (KAGUYA), Moon, Shield volcanoes, Terrain camera, Mare domes

月の巨大な縦孔：溶岩チューブの天窓？ Lunar gigantic vertical holes: Possible skylights of lava tubes of the Moon?

春山 純一^{1*}, 長谷中 利昭², 白尾 元理³, 佐伯 和人⁴, 宮本 英昭⁵, 道上 達広⁶, 諸田 智克⁷, 押上 祥子⁸, 今枝 隆之介⁹, 岩田 隆浩¹

Junichi Haruyama^{1*}, Toshiaki Hasenaka², Motomaro Shirao³, Kazuto Saiki⁴, Hideaki Miyamoto⁵, Tatsuhiko Michikami⁶, Tomokatsu Morota⁷, Shoko Oshigami⁸, Ryunosuke Imaeda⁹, Takahiro Iwata¹

¹ 宇宙航空研究開発機構, ² 熊本大学大学院自然科学研究科理学専攻地球環境科学講座, ³ なし, ⁴ 大阪大学大学院理学研究科, ⁵ 東京大学総合研究博物館, ⁶ 近畿大学, ⁷ 名古屋大学大学院環境学研究科, ⁸ 国立天文台, ⁹ 東京大学大学院理学系研究科
¹Japan Aerospace Exploration Agency, ²Department of Earth Sciences, Graduate School of Science and Technology, Kumamoto University, ³None, ⁴Graduate School of Science, Osaka University, ⁵The University Museum, The University of Tokyo, ⁶Kinki University, ⁷Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, ⁸National Astronomical Observatory of Japan, ⁹School of Science the University of Tokyo

2007年に我が国が打ち上げた月探査機 SELENE (かぐや) は、月に、直径、深さともに、50~100 mに及ぶ巨大な縦孔構造を発見した。これらは、月地下に存在する更に大きな空洞構造の上に開いたものと考えられる。こうした地下の空洞構造は、地球からの類推で、溶岩チューブや、マグマ溜まり、或いは断層起源の空洞などが考えられる。いずれにしても、これら縦孔は、月の火成活動と密接に関係していると考えられる。本講演では、月の縦孔構造を紹介し、その月の火山学における意味について議論をする予定である。

月に最初に見つかった縦孔は、直径、深さ共に 50 m 程度のもので、月の表側、嵐の大洋の西側に位置するマリウス丘群の中のリル (溶岩谷) の中に、SELENE に搭載された 10 m 解像度の地形カメラデータ (Haruyama et al., 2008) の中で見つけられ、「マリウス丘 (ヒル) の縦孔 Marius Hills Hole」と名付けられている (Haruyama et al. 2009)。その後、地形カメラデータによって取得されたデータのうち、太陽高度が 40°以上のデータについて調査した結果、他に静の海、裏側の賢者の海に、一つずつ発見された (Haruyama et al., 2010; 2012)。いずれも、マリウス丘のそれより、更に大きく、径、深さともに、100 m にも及ぶものであった。調査データの被覆域は、月の海領域の 95% 以上であり、50 m 以上にも及ぶものは、ほぼ、この三つしか無いと考えられる。実際、SELENE による発見後、アメリカの探査機による捜査でも、これらほど大きく深いものは、見つかっていない。他に見つかった縦孔或いは陥没は、すべてクレータ底に存在し、衝突の際のメルトの流れにおいて形成され、残存している小規模な空隙構造に開いたものと考えられる (例えば、Ohman and Kring, 2012)。

これらの月の縦孔の内壁には 1 m オーダの層構造が見えており (Ashley et al., 2010)、縦孔は月の過去の火成活動の推移に関する情報を得る極めて貴重な露頭といえる。薄い溶岩流をもたらす火成活動が頻繁に起きたのか、溶岩流層の間に火山灰層のようなものが堆積しているのか、隕石衝突による碎屑層 (レゴリス層) の形成を伴っているのか、などの研究が待たれる。

また、縦孔の形成メカニズムもまだ不明なことが多く興味深い。縦孔は、地球との類推から溶岩チューブの上に開いたもの (天窓) (Haruyama et al., 2009) と考える他に、地球との類推から、マグマ溜まり (Robinson et al., 2012)、或いは、断層起源なども考えられる。

【参考文献】 Ashley et al., 42nd LPSC abst#2771; Haruyama et al., (2008), EPS 60, 243; Haruyama et al., (2009), GRL 36, L21206, doi:10.1029/2009GL040635; Haruyama, et al. (2010), 41st LPSC, abst#1285; Haruyama et al., (2012), "Moon: Prospective Energy and Material Resources", ed. by V. Badescu, Springer Heidelberg New York Dordrecht London, Cp.6, 139; Ohman and Kring (2012), JGR 117, E00H08, doi:10.1029/2011JE003918; Robinson et al., (2012), PSS 69, 18.

キーワード: 溶岩チューブ, 縦孔, 月, 火山, セレーネ, かぐや

Keywords: lava tube, vertical hole, moon, volcano, SELENE, Kaguya

Aso-2 火砕流噴火の直前に噴出した異常に高温の安山岩質マグマ Unusually high-temperature andesitic magma erupted shortly before the Aso-2 pyroclastic flow from Aso caldera, Japan

小林 哲夫^{1*}

Tetsuo Kobayashi^{1*}

¹ 鹿児島大学

¹ Kagoshima University

1. はじめに

阿蘇カルデラの東西両斜面には Aso-2 火砕流堆積物の直下に産状がよく似た溶岩が産出する。東斜面には玉来川溶岩、西斜面には岩戸・秋田・瀬田裏溶岩および砥川溶岩などである。これらの溶岩は非常に緻密で丸い気泡に富み、パホイホイ溶岩と構造が酷似するが、異常な高温で噴出した安山岩溶岩であることを報告する。

2. 産状

西側のカルデラ縁付近に分布する岩戸溶岩の全体像は把握しきれていないが、基底付近は黒色・緻密なガラス質で無斑晶にちかい岩石であり、大小の球形気泡に富む。基底面には甲羅状の亀裂が存在するが、破碎部分は認められない。全体として下位の岩体の凹凸を埋めるようにへばりついており、パホイホイ溶岩と似た産状を示す。瀬田裏溶岩は基底部のみしか観察できていないが、岩戸溶岩と酷似しており、ガラス質の基底部が下位の風化ローム層と直接接している。

秋田溶岩の表面は発泡したアアクリンカー状となっているが、まだ高温状態の時に Aso-2 に覆われたため、Aso-2 火砕流堆積物の基底部は強溶結の岩体となり、クリンカー状の溶岩表面に密着するようにへばりついていて、溶岩の基底部は観察できない。

さらに下流側に分布する砥川溶岩は、その大半は熊本平野の地下に埋積されている。Aso-1 と Aso-2 の間の層準に位置し、水田・他 (1990) のボーリングコアの記載では、上記溶岩類と非常によく似た産状を示す。

一方、カルデラ東側の玉来川溶岩は Aso-2 噴出物 (降下軽石・火砕流堆積物) の直下に存在し、全般的に黒色・緻密で斑晶に乏しい岩石である。基底付近に自破碎構造がなく、黒色・緻密なガラス質の岩体であるが、表層はアアクリンカー状となっている。層準にもよるが、気泡にとみ、直径 10 cm に達する大きな気泡も存在する。層厚は約 10 m、分布は東西 10 km に及び低粘性の溶岩と推定されるが、噴火地点は不明である (小野・他, 1977)。

Aso-2 との関係が直接観察できるのは秋田溶岩と玉来川溶岩のみである。前者は Aso-2 の直前に噴出したが、後者は Aso-2 噴出時には冷却しており、前者よりやや早い時期に噴出している。西側と東側では多少の時間差が存在していたことになるが、西側の溶岩すべてが同一時期の噴出物かどうかの結論は得られていない。

3. 岩石学的な特徴

東側の玉来川溶岩、西側の岩戸・秋田・砥川溶岩の化学組成とマグマの温度について示す。岩石は斑晶に非常に乏しい輝石安山岩であり、SiO₂ は約 61 wt% である。ただし砥川溶岩のみ SiO₂ = 58 wt% (松本, 1974) である。

マグマの温度はペアで産する単斜・斜方輝石を分析し、Anderson et al. (1993) で計算した。5~7 試料の平均値は、東側の玉来川溶岩 (1123 ± 23 °C)、西側の岩戸溶岩 (1081 ± 17 °C)・秋田溶岩 (1061 ± 18 °C)・砥川溶岩 (1045 ± 24 °C) であった。分析値を輝石の組成図にプロットすると、微妙にずれた別の領域にプロットされるが、秋田溶岩と砥川溶岩はほぼ同じ領域にプロットされる。

また Shaw (1972) のモデルを使い、玉来川溶岩の主成分組成で 1123°C (輝石温度) のメルトの粘性を計算した。その結果、無水でも 10^{-3.9} Pa s と低粘性であった。水が少し加わると、粘性はさらに低下する。

通常の安山岩の温度は 900-1000 °C、粘性は 10⁻⁸~10⁻⁹ Pa s 程度なので、今回紹介した溶岩類は安山岩質溶岩としては異常に高温であり、玄武岩質溶岩とほぼ同じ温度と粘性を保持していたものと推定される。これらのデータは、安山岩質溶岩ではあるがパホイホイ溶岩と似た産状を示すこととも矛盾しない。

4. 噴火地点と噴火様式

西側山麓に分布する砥川溶岩の噴火地点は赤井火山 (松本, 1974) と推定されているが、岩戸・瀬田裏溶岩の噴火口は現在のカルデラ地形の内側であったと推定される。また岩戸溶岩と秋田溶岩の輝石組成が微妙に異なっているため、異なる火道 (割れ目火道) からの噴出であったかもしれない。なお東側の玉来川溶岩の噴火地点を特定できるデータは得られていない。この噴火に伴うテフラは発見されていない。高温で低粘性のマグマであり、噴火様式も爆発的ではなく、主に流出的であったのかもしれない。

上記した溶岩はすべてカルデラを東西に切る断層系に沿うように分布しており、Aso-2 火砕流噴火の始まるまでの短期間に、いくつかの割れ目火道から相次いで噴出したものかもしれない。

5. まとめ

今回報告した溶岩類は、カルデラ噴火の先駆現象の 1 例であるが、安山岩質溶岩としては異常に高温・低粘性である。多様な先駆現象を総括すれば、カルデラ噴火直前のマグマの存在形態、噴火の機構を考察するうえで貴重なデータを提

Japan Geoscience Union Meeting 2013

(May 19-24 2013 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2013. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



SVC51-05

会場:201A

時間:5 月 20 日 17:15-17:30

供するものと考えている .

キーワード: 阿蘇カルデラ, 先駆的現象, 高温な安山岩質溶岩, パホイホイ溶岩

Keywords: Aso caldera, presursory event, high-temperature andesitic magma, paahoe-hoe lava

山形県酒田市周辺出羽山地における中期中新世火山活動の復元 Reconstruction of Middle Miocene volcanism in Dewa Mountains in Sakata city, Yamagata Prefecture, northeast Japan

細井 淳^{1*}, 天野 一男²

Jun Hosoi^{1*}, Kazuo Amano²

¹ 茨城大学大学院理工学研究科, ² 茨城大学理学部

¹Graduate School of Science and Engineering, Ibaraki University, ²Faculty 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が広く分布している。日本海側には大量の玄武岩類が分布しており、その成因は日本海拡大に伴う背弧リフティングに関連したものであるとされた (Sato and Amano, 1991 など)。土谷 (1988) や Yagi et al. (2001) は岩石学的観点からこれら玄武岩のマグマ組成やその変遷を明らかにし、吉田 (2009) はテクトニクスと共に議論した。しかし詳細な堆積学的観点に基づいた研究は行われておらず、古火山体や火山噴火様式の実態は不明であった。本研究は日本海側に分布する玄武岩の代表的分布地域である山形県酒田市周辺の出羽山地を対象とし、堆積相解析に基づいた具体的な古火山活動の解明を行った。堆積相分布に基づき、直径数 km、高さ約 1500m の薄く平坦な火山体を復元した。この古火山体は一部にアメルバ状火山礫を含む再堆積ハイアロクラスタイトを主体としており、塊状溶岩や枕状溶岩はほとんど認められない。海底火山活動がアメルバ状火山礫を形成する要因は、1) 火山噴火そのもの、2) 枕状溶岩の破碎、3) ペペライト、4) 給源岩脈、が考えられる。古火山体は枕状溶岩をほとんど含まず、さらにアメルバ状火山礫が重力流堆積物中に含まれていることから、本火山体のアメルバ状火山礫は噴火そのものによって形成されたと考えられる。本火山体を構成する岩相は水中ハワイ式噴火による堆積物と一致する (Fujibayashi and Sakai, 2003; Head and Wilson, 2003; Simpson and McPhie, 2001)。ハワイ式噴火は多くが割れ目にそって噴火することが知られている (Macdonald, 1972; Wilson and Head, 1981)。地層中に同時期同起源の岩脈や岩床が無数に形成されていること、当時の古応力場が引張応力場であったことなどを考慮すると、日本海拡大に伴った割れ目噴火に伴って形成された火山体の可能性が高い。本火山体に認められるアメルバ状火山礫を含む岩相は他にも報告されている (Cas et al., 2003; Fujibayashi and Sakai, 2003)。日本海拡大時、本地域の復元できたものと同様の火山体や火山活動が背弧全域で行われていた可能性が高い。

【引用文献】

- Cas et al., 2003, Explosive Subaqueous Volcanism, AGU, 299-316.
Fujibayashi and Sakai, 2003, Explosive Subaqueous Volcanism, AGU, 259-272.
Head and Wilson, 2003, Jour. Volcano. Geotherm. Res., 203, 155-193.
Macdonald, 1972, Prentice Hall, New Jersey, pp. 1-510.
土谷, 1988, 地質雑, 94, 591-608.
Sato and Amano, 1991, Sedimentary Geology, 74, 323-343.
Simpson and McPhie, 2001, Jour. Volcano. Geotherm. Res., 109, 339-355.
Wilson and Head, 1981, Geophys. J. Int, 121, 215-225.
八木ほか, 2001, 岩鉱, 30, 265-287.
吉田ほか, 2005, 第四紀研究, 44, 195-216.

キーワード: グリーンタフ, 海底火山活動, 溶岩噴泉, 割れ目噴火, 出羽山地, 中新世

Keywords: greentuff, subaqueous volcanism, fire-fountain, fissure-eruption, Dewa Mountains, Miocene

Origin of spatial compositional variations of volcanic rocks from the Northern Kurile Islands

Origin of spatial compositional variations of volcanic rocks from the Northern Kurile Islands

Olga Bergal-Kuvikas^{1*}, Mitsuhiro Nakagawa¹, Gennadi Avdeiko²
Olga Bergal-Kuvikas^{1*}, Mitsuhiro Nakagawa¹, Gennadi Avdeiko²

¹Hokkaido University, School of Science, Department of Earth and Planetary Sciences, ²Institute of Volcanology and Seismology, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia

¹Hokkaido University, School of Science, Department of Earth and Planetary Sciences, ²Institute of Volcanology and Seismology, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia

The Northern Kurile Islands form the part of Kurile-Kamchatka volcanic arc. The Pacific plate has subducted beneath the islands since the late Miocene to cause arc-type volcanism. We newly determined major and trace element compositions, Sr-Nd isotopic variations of Quaternary rocks from 7 subaerial and 3 submarine volcanoes. Analysis of new and previous publications indicate that the Northern Kurile Islands belong to typical volcanic island arc. About it there are indicated Ta, Nb minimum on the spider diagrams and naturally enriched of the LILE, LREE and depleted of the HFSE, HREE from front to back arc zone. Peculiarities of petrography and whole-rock chemistry enable us to divide all volcanoes into three main zones: frontal, intermediate and rear ones. Frontal zone include Chikurachki, Tatarinova, Lomonosova, 1.3 volcanoes. The rocks are Ol-Cpx bearing Opx basaltic andesite. Fuss, Antsiferova volcanic group and Ebeko volcano locates at the intermediate zone. Hbl-Cpx-Ol-bearing Opx andesite (SiO₂ ~ 49-63%) are commonly characterized by the presence of hornblende phenocryst. Alaid, Grigoreva volcanic group locate at the rear zone. Ol-bearing Cpx basalts and basaltic andesite are typical (SiO₂ ~ 48-52%). In addition, Alaid and Grigorev volcanic group is characterized by the largest eruptive volume (150 km³). Frontal zone is characterized by lowest contents of incompatible elements (e.g. Rb, Ba, K) and LREES (e.g. Nd, Ce). Isotopic variations have the highest value of ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd and ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr as 0.7031-0.7034. In the opposite, rear and intermediate zones show narrower lower contents of ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd and ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr as 0.7029-0.7031. The rocks of rear zone show highest contents of LILE (e.g. K, Rb), LREES (e.g. La, Gd, Nd, Sm) and HFSE (e.g. Nb, Ta). Both ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd and ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr ratios of the rocks from intermediate and frontal zones increase with increasing of silica contents. These suggest that andesitic and dacitic rocks from these zones are possibly affected by crustal component. In contrast, crustal assimilation might be minor process in the case of the rear zone, because basaltic rocks are predominant in the zone. Geochemical features of the mafic rocks investigate the spatial difference in magma sources of three zones. Rocks from rear zone are systematically enriched in Nb/Y, Th/Yb, Ta/Yb, Nb/Yb, La/Yb ratios. These data are implied by the fact that magma in the rear zone more enriched with comparing depleted frontal zone. In addition, chemical variations of fluid-mobile elements (e.g. Cs, Ba, U, Th, Sr) and immobile elements (e.g. Nd, Nb, Zr, Hf) of the mafic rocks will be explained by different types of subduction components.

In summary, the following parameters have mainly affected the observed geochemical zonation across the arc in the primary magma; variably depleted and enriched mantle source: the different type fluid flux from the slab to the mantle wedge.

キーワード: Northern Kurile Islands, subduction zone, geochemical variations

Keywords: Northern Kurile Islands, subduction zone, geochemical variations

高圧実験から探る富士火山深部マグマ溜り

Deep magma chamber beneath Fuji volcano estimated from high-P experiments

浅野 健太^{1*}, 高橋 栄一¹, 浜田 盛久¹, 潮田 雅司¹, 鈴木 敏弘²

Kenta Asano^{1*}, Eiichi Takahashi¹, Morihisa Hamada¹, Masashi Ushioda¹, Toshihiro Suzuki²

¹ 東京工業大学大学院 理工学研究科 地球惑星科学専攻, ² 海洋研究開発機構 地球内部ダイナミクス領域

¹Department of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Science and Engineering, Tokyo Instit, ²Institute for Research on Earth Evolution, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

Fuji volcano, the largest in volume and eruption rate in Japan, is located at the center of Honshu, where North America, Eurasia and Philippine Sea plates meets. Because of the significance of Fuji volcano both in tectonic settings and potential of volcanic hazard (particularly after the M9 earthquake in 2011), precise knowledge on its magma plumbing system is essentially important. Very frequent LF-earthquakes occur at about 15 km beneath Fuji volcano (Ukawa 2007). Seismic tomography beneath Fuji volcano suggests the existence of large magma chamber below 20 km (Nakamichi, 2007). Fuji volcano has released only basalt ($>750 \text{ km}^3$) which has narrow range of SiO_2 ($\text{SiO}_2 = 49\text{-}53 \text{ wt.}\%$) in the last 100,000 years. Some incompatible elements show more than a factor of 2 variations (Takahashi et al., 2003). Variation in incompatible elements may be due to some kind of magma fractionation process. Fujii (2007) proposed that the silica-non enrichment trend of Fuji volcano is explained by pyroxene dominate fractionation in the deep magma chamber. Primary purpose of this study is to reproduce the silica non-enrichment trend by high-P experiment and reveal PT conditions and water content of magma in the deep magma chamber.

Basalt scoria Tr-1 which represents the final ejecta of Hoei eruption in AD1707, was adopted as a starting material. This is because 1) 0.7 km^3 of magma was discharged by subplinian eruption within 2 weeks, 2) Basaltic Hoei scoria is homogeneous, aphyric and representing melt composition. Internally heated Ar-gas pressure vessels (IHPV-5000 and IHPV-8600) at the Magma Factory, Tokyo Institute of Technology were used. The f_{O_2} was controlled at NNO buffer. At 4 kbar (equivalent to the depth of LF earthquakes), experiments were carried out at temperatures of 1050, 1100 and 1150 °C, with H_2O contents of 1.3, 2.7 and 4.7 wt.%, respectively. At 7 kbar (equivalent to the inferred depth of Fuji magma chamber by seismic tomography; around 25 km depth) experiments were carried out at temperatures of 1075, 1100 and 1125 °C, and H_2O contents of 1.0, 1.1, 3.6 and 6.3 wt.%, respectively.

Quenched run products were analyzed with EPMA. Run products from 4 kbar experiments always include magnetite and melt composition shows silica enrichment trend (SiO_2 increases with increasing K_2O). In the phase diagram at 7 kbar, multiple saturation point of $\text{opx}+\text{cpx}+\text{pl}+\text{melt}$ exists on the liquidus at around 1120 °C, 3.5 wt.% H_2O , which is the likely condition of the top of the Fuji magma chamber at the time of Hoei eruption. Melt compositions at 7 kbar shows silica non-enrichment trend until magnetite starts crystallization. Vanadium partitions strongly into magnetite ($D_V^{\text{mt/melt}}$ is about 20 at the NNO buffer, Toplis et al., 2002) and therefore it is a good indicator of magnetite crystallization. Judging from high vanadium content in Fuji basalts, magnetite does not crystallize in the deeper magma chamber. Origin of the monotonous basalt magma production in Fuji volcano may be due to the absence of shallow level magma chamber. Because plate boundary exists at 3-5 km beneath Fuji volcano, shallow level magma chamber may be short-lived due to high-stress and large crustal deformation.

キーワード: 富士火山, 高温高圧実験, 結晶分化トレンド

Keywords: Fuji volcano, High-P experiment

スンダ弧バリ地域のカルデラ形成噴火に先行する長期火山活動史 Long-term volcanic history preceding caldera-formation in Bali, Sunda arc

土志田 潔^{1*}, 竹内晋吾¹, 古川 竜太², 高田 亮², Supriyati Andreastuti³, Nugraha Kartadinata³, Anjar Heriwaseso³, Oktory Prambada³, Yudi Wahyudi³

Kiyoshi Toshida^{1*}, Shingo Takeuchi¹, Ryuta Furukawa², Akira Takada², Supriyati Andreastuti³, Nugraha Kartadinata³, Anjar Heriwaseso³, Oktory Prambada³, Yudi Wahyudi³

¹ 電力中央研究所, ² 産総研地調, ³ CVGHM

¹ CRIEPI, ² AIST/GSJ, ³ CVGHM

大規模火砕噴火を発生するカルデラ火山の長期評価は火山学や噴火の影響評価において重要な課題である。大規模火砕噴火は大量のマグマを長時間かけて蓄積した火山で発生すると考えられる。カルデラ火山の長期的な変化を検討するため、インドネシア・スンダ弧の Bali 地域に分布する活動的なカルデラ火山の周辺地域を踏査した。Bali 地域では、Batur, Bratan 両カルデラ火山において最近 3 万年間に大規模噴火が繰り返し発生している。現地踏査では先カルデラ火山岩類を対象に網羅的な地形観察・岩石試料採取を実施し、採取した試料の斑晶量・全岩化学組成・K-Ar 年代測定を行っている。K-Ar 年代測定は感度法により測定している。年代測定試料は石基組織が完晶質であるものを選定した。

Bali 地域の長期火山活動は、1.6-1.5Ma, 0.7-0.5Ma, 0.2Ma-現在、の計 3 回の活動期と各活動期を挟む休止期とに大別される。Batur 地域の Penulisan や Agung に覆われる Tapis の各火山体はいずれも 0.6-0.5Ma に形成されたことが明らかとなった。よって Batur, Bratan カルデラ火山の外輪山は、ともに 0.6-0.5Ma の地形が開析された火山と、これを覆う 0.2Ma より新しい火山とから構成され、カルデラは複数の時代に形成された火山体の中間位置に形成されている。0.2Ma より新しい火山は、0.5Ma より古い火山と比べ体積が大きいことから、Bali 地域では最近 100 万年間以上の期間では長期噴出率が増加傾向にあるといえる。噴出物のうち安山岩類の斑晶鉱物組合せは活動時期ごとに変化し、角閃石斑晶を含む安山岩は第四紀前期、斜方輝石斑晶を含む安山岩は 0.5Ma の活動期までに出現が限られるのに対し、単斜輝石斑晶は全活動期の安山岩に出現する。これら単斜輝石斑晶は薄片では淡色であり、Mg#が比較的高いことを示し、高温のマグマに由来すると考えられる。無斑晶質安山岩類を中心に、初生アルゴン同位体比が大気と有意に異なる試料があり、従来から指摘されているとおり、感度法による測定の有効性や年代測定試料の慎重な選定が重要であることを改めて確認した。

約 0.2Ma-現在の活動期のうち前半の 0.2-0.1Ma には、Batur, Bratan 両カルデラ周囲の幅広い地域で火山活動が開始した。現在の Bratan 南西方に位置する Batukau 成層火山、現在の Bratan, Batur 中間地域 (Pasek 付近) に位置する標高 706m の火山と、現在の Agung 南東に位置する小型の火山 Cemara が形成された。これらの火山と同時期に、Batur, Bratan 両カルデラ地域で 0.5Ma の火山岩類を覆う広大な盾状火山群が形成された。これらのカルデラ外輪山を構成する溶岩台地は主に無斑晶質安山岩から成り、この無斑晶質安山岩は Bali 地域の他の安山岩類と比べ、全岩化学組成の FeO^*/MgO 比が大きく、 K_2O , TiO_2 に富むことが特徴である。すなわち、バリ地域の火山のマグマ供給系は、カルデラ形成噴火発生時期よりも以前の時代から、このように多量の無斑晶質安山岩マグマを生成・蓄積することができたと考えられ、大変興味深い。

Batukau, Pasek/706m, Cemara 各火山の活動期間は比較的短く、0.1Ma までには終了したと考えられる。これに対し、Batur 地域では 0.1Ma より新しい時期まで活動が継続し、Abang を中心とする山体が形成された。次に、約 5 万年前までには Agung 火山の活動が開始し、北西山麓の Tapis や南麓の Cemara を一部覆う成層火山体が形成された。最近約 3 万年間は Agung 火山の活動と並行し、Batur, Bratan カルデラ群の形成とイントラカルデラ活動が続いている。

なお、Cemara の地形は東側翼部に急崖が連続し、比較的平滑な山頂部と対照的である。また、その南東山麓には流れ山上の地形が分布する。Cemara で山体崩壊が発生した可能性がある。

本研究の地質調査は、JST-JICA-RISTEK-LIPI の地球規模課題対応国際科学技術協力事業「インドネシアにおける地震火山の総合防災策」の一部として 2009-2011 年度に実施した。

キーワード: インドネシア, カリウム-アルゴン法, 第四紀, 火山岩

Keywords: Indonesia, K-Ar dating, Quaternary, volcanic rock

The Seismic Velocity and Attenuation Structure beneath the Tatun Volcanic area, Taiwan The Seismic Velocity and Attenuation Structure beneath the Tatun Volcanic area, Taiwan

Strong Wen^{1*}, Yi-Zen Chang¹, Chau-Huei Chen², Yue-Gau Chen³, Ta-Liang Teng⁴

Strong Wen^{1*}, Yi-Zen Chang¹, Chau-Huei Chen², Yue-Gau Chen³, Ta-Liang Teng⁴

¹National Center for Research on Earthquake Engineering, Taiwan, ²Institute of Seismology, National Chung Cheng University, Taiwan, ³Institute of Geology Science, National Taiwan University, Taiwan, ⁴Dept. of Earth Sciences, Univ. of Southern California, U.S.A.

¹National Center for Research on Earthquake Engineering, Taiwan, ²Institute of Seismology, National Chung Cheng University, Taiwan, ³Institute of Geology Science, National Taiwan University, Taiwan, ⁴Dept. of Earth Sciences, Univ. of Southern California, U.S.A.

We have investigated the structure beneath the Tatun volcanic zone north of Taipei metropolitan area of Taiwan, area of five million people. We used the data collected from a seismic network deployed for 5 years over the volcanic zone. This plus another data from Taiwan regional networks allow us to carry out tomographic inversions for V_p , V_p/V_s and Q_p structures beneath the Tatun volcanic zone. Based on our results and other geological, tectonic, and seismic findings, we reconstruct the structural evolution of the crust in the Tatun volcanic zone, and discuss the implication to the surrounding faults, fractured zones, and discuss potential future volcanic activities. From the tomographic results, there appear to exist a tube-shaped, highly fractured ancient magma passage with high seismic velocities that parallel to the Chinshan fault, and magma passage extends to the southeast at the depth about 20 km. This structure suggests plutonic intrusion passage beneath the Tatun volcano group that may have been associated with the earlier subduction of the Philippine Sea plate, melting of the subducted plate at depth has generated the magma intrusion that has brought about the Tatun volcanic activities. The high seismicity today also implies a highly fractured crust due to the hydrothermal activities and induced crustal stress. The hydrothermal fluid-rich upper crust as indicated by the low V_p/V_s ratio may have important bearing on the potential hazards associated with the two active faults cutting through both the Taipei Basin as well as the Tatun volcanic groups.

キーワード: The Tatun Volcanic area, Attenuation, Tomography, V_p , V_p/V_s

Keywords: The Tatun Volcanic area, Attenuation, Tomography, V_p , V_p/V_s

新しい火成論

A new concept of magmatism

飯田 義正^{1*}

Yoshimasa Iida^{1*}

¹ なし

¹ non

衝撃波破碎パイプモデル, マグマ発生の減圧説およびカルデラ・チェーンによる新火成論を次のようにまとめた.

(1) マグマの移動 .曲線火道形成時, マグマはストーピングにより岩片と入れ替わる形で高速で移動する. その後は, 火道内の間隙を浸透・移動する. マグマが火道全体を満たすことはなく, 融解時の密度差による圧力上昇および地圧の差に従って間歇的に移動する.

(2) 火道の継続期間 .高温で小規模な場合, マグマは急速に固結し, 火道を閉塞する. より低温または大規模な場合, 火道は数千年~数十万年程度の長期にわたるマグマの通路となる.

(3) 火道形成後のマグマ溜り .マグマ滞留の原因は, 地形的な圧力逆転, 火道上部の閉塞, 火口直下の火道にマグマが満ちてスタティックな状態となった場合, の3ケースが考えられる. 前2者の詳細は次の通り.

(3-1) 圧力逆転 .低地であるカルデラの下で発生したマグマは, 周囲より低圧なため滞留する. マグマは, 密度が周囲の岩石より低いので膨張し, 一定量が蓄積されると圧力が高まり, 移動が始まる.

カルデラの側方で新たに形成された火山体が成長すると, その加重のため, 山体中心部の手前で圧力逆転が起こる. 2011年に噴火した新燃岳の北西8 kmに推定されるマグマ溜りは, このような圧力逆転による二次的溜りであり, その北西の加久藤カルデラ下で発生したマグマが移動し, 2009年12月からマグマの滞留が始まったと推定される.

カルデラの下からマグマが移動する時, その上位が不安定となり群発地震が起こる. えびの地震(1968年)がこれであり, マグマは41年かけて約12km移動したことになる. 1959年の新燃岳噴火の46年前(1913年)にも加久藤カルデラで群発地震(真幸地震と加久藤地震)が起きており, 同様のマグマ移動が推定される.

地理院のデータによると, 2011年1月の新燃岳噴火後, 急速に収縮したマグマ溜りは, その後再び膨張に転じたが, 限界の約90%のレベルに達した2011年11月に膨張が止まった. これはマグマ供給が止まったことを意味する. 二次的溜りへのマグマの流入は2年弱続いたことになる. 宮崎ほか(1976)のグラフを見ると, えびの群発地震は約2年間続いたと考えられ, これと調和的である. 加久藤カルデラ下の一次的溜りから次にマグマが移動する時, 即ち次の群発地震時には, 二次的マグマ溜りととの間の火道を満たす超臨界水が圧縮され, 二次的溜りが膨張して噴火を誘発すると考えられる.

(3-2) 火道上部の閉塞 .火道形成後, 最上部が固結して浅所にマグマが滞留する場合であり, 高温マグマの急速な冷却や, マグマの粘性が高いケースが考えられる. 浅所のマグマ溜りは, 地圧が小さいために崩壊せず, 長期のマグマ供給により巨大化する傾向がある. これが崩壊するとカルデラが形成され, 崩壊せずに固結すると深成岩体となる.

(4) カルデラ・チェーン(CC)の発生・分岐・停止 CCは地球で最も遅い連鎖反応である. CCの最初のマグマが何時どこで, どのようにして発生したかは不明である. CCは稀に分岐する一方, 停止する場合もある(例としてオスロ地溝があげられる). 地球全体のCCが増殖しているか減少しているかわからないが, ほぼ定常状態を保っているのではないかと予想する.

(5) 火山の方向性 .噴石丘には, 丸い頭と尖った尻尾を持つ特徴的な平面形状のものがある. 火道が地表部でもやや傾斜しているからである. 尻尾の方向にマグマ溜りが推定できる.

複数の火口の直線配列はマグマ溜りの後ずさり現象で説明できる(飯田, 2011a). これとは別に, マグマ発生深度の変化に伴う火山列の形成が考えられる. 岩石の融解と側方移動により下位が減圧され, 新たなマグマ発生域となる. このような深部発生マグマは, よりマフィックで, より離れた場所で噴火するので, 火山列に沿う化学組成の変化が予想される. その例として, 霧島火山(宮本, 2005)があげられる.

(6) マグマ発生場の上位の現象 .上述のように, マグマ移動時に, 上位が不安定となり群発地震が起きる. また, 上方へ岩脈が貫入する場合が考えられるが, 噴火に至ることは少なく, 噴火しても小規模である. マグマの大部分は曲線火道を流路とする. 伊豆半島東方沖群発地震はこの例であり, その下のマグマ溜りは伊豆大島へのマグマ供給源である.

マグマ溜りの上位では熱水活動が活発となり, 金の鉱化作用が生じる. 松代群発地震は, 浅間山へ向かうマグマの移動に起因すると思われるが, それに伴う異常な隆起現象は, 中部中新統の厚い頁岩層の粘土鉱物が熱水で膨潤した結果起ったと推理する.

キーワード: マグマの移動, マグマ溜り, 深成岩体, 群発地震, 金の鉱化作用

Keywords: magma reservoir, earthquake swarm, epithermal mineralization

SVC51-P05

会場:コンベンションホール

時間:5月20日 18:15-19:30

