

## 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<sup>1\*</sup>, Mitsuhiro Nakagawa<sup>1</sup>, Gennadi Avdeiko<sup>2</sup>  
Olga Bergal-Kuvikas<sup>1\*</sup>, Mitsuhiro Nakagawa<sup>1</sup>, Gennadi Avdeiko<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>Hokkaido University, School of Science, Department of Earth and Planetary Sciences, <sup>2</sup>Institute 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 subarial 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 (SiO<sub>2</sub> ~ 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 (SiO<sub>2</sub> ~ 48-52%). In addition, Alaid and Grigorev volcanic group is characterized by the largest eruptive volume (150 km<sup>3</sup>). Frontal zone is characterized by low-est contents of incompatible elements (e.g. Rb, Ba, K) and LREES (e.g. Nd, Ce). Isotopic variations have the highest value of <sup>143</sup>Nd/<sup>144</sup>Nd and <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr as 0.7031-0.7034. In the opposite, rear and intermediate zones show narrower lower contents of <sup>143</sup>Nd/<sup>144</sup>Nd and <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr 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 HFSEE (e.g. Nb, Ta). Both <sup>143</sup>Nd/<sup>144</sup>Nd and <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr 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<sup>1\*</sup>, 高橋 栄一<sup>1</sup>, 浜田 盛久<sup>1</sup>, 潮田 雅司<sup>1</sup>, 鈴木 敏弘<sup>2</sup>

Kenta Asano<sup>1\*</sup>, Eiichi Takahashi<sup>1</sup>, Morihisa Hamada<sup>1</sup>, Masashi Ushioda<sup>1</sup>, Toshihiro Suzuki<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>Department of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Science and Engineering, Tokyo Instit, <sup>2</sup>Institute 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  $\text{SiO}_2$  ( $\text{SiO}_2 = 49\text{-}53 \text{ wt.}\%$ ) 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)  $0.7 \text{ km}^3$  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  $f_{\text{O}_2}$  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  $\text{H}_2\text{O}$  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  $\text{H}_2\text{O}$  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 ( $\text{SiO}_2$  increases with increasing  $\text{K}_2\text{O}$ ). 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.%  $\text{H}_2\text{O}$ , 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 ( $D_V^{mt/melt}$  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

土田 潔<sup>1\*</sup>, 竹内晋吾<sup>1</sup>, 古川 竜太<sup>2</sup>, 高田 亮<sup>2</sup>, Supriyati Andreastuti<sup>3</sup>, Nugraha Kartadinata<sup>3</sup>, Anjar Heriwaseso<sup>3</sup>, Oktory Prambada<sup>3</sup>, Yudi Wahyudi<sup>3</sup>

Kiyoshi Toshida<sup>1\*</sup>, Shingo Takeuchi<sup>1</sup>, Ryuta Furukawa<sup>2</sup>, Akira Takada<sup>2</sup>, Supriyati Andreastuti<sup>3</sup>, Nugraha Kartadinata<sup>3</sup>, Anjar Heriwaseso<sup>3</sup>, Oktory Prambada<sup>3</sup>, Yudi Wahyudi<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 電力中央研究所, <sup>2</sup> 産総研地調, <sup>3</sup> CVGHM

<sup>1</sup> CRIEPI, <sup>2</sup> AIST/GSJ, <sup>3</sup> 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<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub> 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<sup>1\*</sup>, Yi-Zen Chang<sup>1</sup>, Chau-Huei Chen<sup>2</sup>, Yue-Gau Chen<sup>3</sup>, Ta-Liang Teng<sup>4</sup>

Strong Wen<sup>1\*</sup>, Yi-Zen Chang<sup>1</sup>, Chau-Huei Chen<sup>2</sup>, Yue-Gau Chen<sup>3</sup>, Ta-Liang Teng<sup>4</sup>

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

<sup>1</sup>National Center for Research on Earthquake Engineering, Taiwan, <sup>2</sup>Institute of Seismology, National Chung Cheng University, Taiwan, <sup>3</sup>Institute of Geology Science, National Taiwan University, Taiwan, <sup>4</sup>Dept. 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<sup>1\*</sup>

Yoshimasa Iida<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> なし

<sup>1</sup> 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, これと調理的である. 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ケースが考えられるが, 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

