

## 地殻溶融時の温度とメルト分率の関係が地殻溶融マグマ生成過程に与える影響 Effects of relationship between temperature and melt fraction of crustal rock on magma generation by crustal melting

金子 克哉<sup>1\*</sup>

KANEKO, Katsuya<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 京都大学大学院人間・環境学研究科

<sup>1</sup> Human and Environmental Studies, Kyoto University

大陸地殻場の火成活動において、地下深部からの高温マグマの貫入による地殻溶融は、マグマ生成のための重要な過程である。日本のような大陸地殻をもつ島弧の火成活動においては、多くのマグマが地殻溶融過程により生成している可能性がある。本研究は、地下深部からの高温マグマが地殻に繰り返し貫入した場合、地殻溶融により生成するマグマの組成、量、時間スケールに関する束縛条件を、物理的考察に基づき明らかにすることを目的とする。これまで、地殻物質溶融における温度とメルト分率の関係（以下ではこれを、温度を変数としたメルト分率関数ということで $F(T)$ と表す）を単純化し、それらがほぼ線形である場合に関して、一次元の熱移動物理モデル計算により、高温マグマの貫入率、地殻含水量の変化による苦鉄質および珪長質マグマの生成量およびそれに要する時間の变化などを明らかにした。一方で、この時仮定した地殻物質の $F(T)$ は、一般的には必ずしも成り立たず、ソリダスで溶融し始める時に温度が上がることなく大きくメルト分率が増える場合（例えば水に飽和したカコウ岩）や、低部分溶融度では温度が上がってもあまり部分溶融度が上がらない場合（例えば水に富んだ苦鉄質マグマ）がある。このような場合、地殻溶融により生成するマグマの組成、量が影響を受けるであろう。本発表では、このことを明らかにするため、 $F(T)$ を様々に変化させた場合の地殻溶融過程の受ける影響について報告する。

地殻溶融過程の一次元物理モデルとして、Koyaguchi and Kaneko (2000)を用いた。地殻中に高温マグマが貫入した場合、高温マグマを熱源として地殻溶融が起こる。熱の移動は、高温マグマの熱対流により上方向に大きく、上方の地殻は、臨界メルト分率（固液混合相全体として対流が開始するメルト分率）以上の高い部分溶融度まで溶融し、メルトと結晶の混合物は全体として対流し、さらに上方地殻を溶融して、地殻溶融が急速に進行する（ $\sim 100$ 年）。時間とともに、熱源となった高温マグマは、冷却結晶化し、臨界メルト分率に達して、対流が停止する。貫入高温マグマの上の地殻溶融マグマも、その上部の地殻を溶融しつつ、自身が冷却結晶化していくため、やがて臨界メルト分率に達して、対流が停止する。この状態になると、系全体は、熱移動が熱伝導により支配され、時間的変化がゆっくり進むステージ（ $>1$ 万年）に移行する。高温マグマが貫入するたびに、上記の溶融結晶過渡過程が繰り返される。本発表におけるモデルでは、高温マグマは、繰り返し地殻の同一場所に貫入するとした。また、溶融による固液分離は起こらないことを仮定した。

モデル計算の条件に付いて述べる。溶融する地殻組成はハンレイ岩とし、前述したような様々な $F(T)$ を仮定した。地殻は、初期温度を地表0で温度勾配20 /km（深さにより初期温度が異なる）、含水量を2wt%とした。貫入する高温マグマについて、水を除く組成を玄武岩質マグマ、貫入温度を1250、含水量2wt%、一回の貫入厚を50mとそれぞれ設定した。固液混合体の対流の臨界メルト分率は0.6を仮定した。また、変化させるパラメータとして、高温マグマの貫入位置の圧力（0.25GPa-1.0GPa）、高温マグマ貫入率（2-20 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>ky）をとった。30万年間の計算を行い、メルト量とその部分溶融度を求めた。

モデル計算結果、低部分溶融度において温度上昇に対するメルト分率の上昇が小さい $F(T)$ ほど、一定量の高温マグマの貫入に対して、溶融により生成するメルト総量は少なくなること、またその一方で、低部分溶融度のメルトの生成量が大きくなるのが明らかになった。高および低部分溶融度のメルトをそれぞれ苦鉄質および珪長質マグマと解釈した場合、低部分溶融度において温度上昇に対するメルト分率の上昇が小さい $F(T)$ であることは、大量の珪長質マグマを生成するのに有利であるといえる。

キーワード: 地殻溶融, 珪長質マグマ, メルト分率, ハンレイ岩, 物理モデル

Keywords: crustal melting, silicic magma, melt fraction, gabbro, physical model

## 島弧会合部の上部マントル組成と玄武岩質マグマの生成プロセス：北海道における 苦鉄質岩の組成空間変化 Upper mantle and basaltic magmagenesis at an arc-arc junction: Chemical spatial variation of mafic rocks in Hokkaido

小杉 安由美<sup>1\*</sup>, 中川 光弘<sup>1</sup>  
KOSUGI, Ayumi<sup>1\*</sup>, Mitsuhiro Nakagawa<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 北大・理・自然史

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

### はじめに

東北日本弧と千島弧については、その火山岩の微量元素、同位体組成の空間変化とマグマ生成プロセスについて議論がされている。しかし、両者を直接的に比較検討した例は少ない。我々は、両島弧の会合部である北海道の苦鉄質岩組成を明らかにし、周辺域との比較によって、北海道の南西部と中央部の間の火山空白域を境界として、南西部が東北日本弧の北端、中央部が千島弧の南端であることを指摘した。また、スラブ成分が付加する以前のマントルウェッジ（オリジナルマントル）組成には多様性があり、東北日本弧においては背弧側に向かうほど、千島弧では北部ほど潤渇した組成を持つことを指摘した。今回我々は、部分溶融度、サブダクションコンポーネント（以下SC）の組成や輸送形態について検討し、北海道における東北日本弧側と千島弧側の違いを明瞭にする。

### 苦鉄質岩の化学組成

北海道における1.7Ma以降の苦鉄質岩は、その分布域と化学組成によって、日本海東縁、南西部、中央部、東部の4地域に分けられる。日本海東縁、南西部、中央部はNd同位体比がほぼ同等であるが、Sr同位体比が南西部、中央部、日本海東縁の順に小さくなる。東部は他地域よりもNd同位体比が高い。日本海東縁は、全体に液相濃集元素量が多く、希土類元素パターンは最も急である。東部は最も低いNb, Ta量を示す。また、南西部と東部においては、海溝側にK量が少ない（ $K_2O$ の $SiO_2=49wt.\%$ の規格化値 $< 0.25$ ）火山が存在する。これらの火山はより背弧側の火山に比べて、液相濃集元素量が少なく、PbとBaのスパイクが大きいという特徴を示す。さらに、希土類元素パターンはより平坦で、東部の海溝側火山では時に左下がりのパターンとなる。

### 議論

これらの苦鉄質岩組成が各地域の初生マグマ組成を反映していると仮定して、その生成プロセスを主に微量元素によって検討した。Nb/Y、Zr/Yの図において、4地域は各々直線的トレンドを示し、3つの平行かつ異なるトレンドを示す（南西部、日本海東縁および中央部、東部）。これは一つのマントルからの先行するメルト抽出のみでは説明できないオリジナルマントル組成の多様性を示唆している。本研究では、この図の各トレンド上に乗る三つのDMM組成として、Workman and Hart (2005)のE-DMM, DMM, D-DMMを、南西部、日本海東縁および中央部、東部についてそれぞれ各地域のオリジナルマントル組成として仮定した。スラブからの物質寄与がごく少ないと考えられるHFS元素を用いて、スパイダー図での傾きと元素含有量によって、仮定した各DMMからの先行抽出メルト量と部分溶融度を求めた。その結果、南西部と東部の海溝側火山は、先行するメルト抽出を経ていると推定され、特に東部の海溝側火山は、D-DMMがメルト抽出を経た、北海道において最も潤渇したソースマントルから生成したと考えられる。また、部分溶融度については、南西部の海溝側において約20%と最も高く、南西部のより背弧側で12%、中央部では7~10%、東部では7~12%、日本海東縁では3~12%程度である。この部分溶融度を用いてサンプル組成から、メタソマタイズされたソースマントルの組成を求めた。その組成と部分溶融度との相関を見ると、Pbでは正の相関が見られる。また、Th, Uなどでは複数のトレンドがあり、日本海東縁が最も高いトレンドを示す一方、南西部と東部の海溝側火山は低いトレンドを示し、同程度の部分溶融度においても、より背弧側の火山に比べて含有量が低い。このような複数のトレンドの存在は、SC組成の多様性を示唆している。MORBの脱水実験で生成された流体組成は、6GPaでは4GPaよりも多くの元素がより高濃度であり、希土類元素やThもより多く含むため、スパイダー図においてPbスパイク、Baスパイクが小さい(Kessel et al., 2005)。以上から、本地域におけるSCの輸送形態は、海溝側では比較的浅部で脱水した含水流体であり、背弧側に行くほど超臨界流体の特徴が強くなる。そして日本海東縁では最もその特徴が強いと推定される。

北海道における東北日本弧側と千島弧側のマグマ生成プロセスの違いをまとめる。東北日本弧側では、日本海東縁のように千島弧側では見られない高濃度のSCが供給されてマグマが生成している。また、海溝側火山については、東北日本弧側では千島弧側よりも高部分溶融度でマグマが生成されるのに対し、千島弧側ではより潤渇したソースマントルから比較的低位部分溶融度でマグマが生成される。これらの北海道におけるマグマ生成プロセスの特徴は、両島弧のマントル-スラブジオメトリや熱構造などの違いを反映しているのかもしれない。

## 高温高圧実験による富士火山マグマ溜りの研究 Experimental study on magma plumbing system beneath Fuji volcano

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>

ASANO, Kenta<sup>1\*</sup>, TAKAHASHI, Eiichi<sup>1</sup>, HAMADA, Morihisa<sup>1</sup>, USHIODA, Masashi<sup>1</sup>, SUZUKI, Toshihiro<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 地球内部変動研究センター

<sup>1</sup>Department of Earth and Planetary Sciences, Tokyo Institute of Technology, <sup>2</sup>Institute for Research on Earth Evolution, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

Fuji volcano, largest in volume and eruption rate in Japan, is located at the center of Honshu, where North America, Eurasia and Philippine Sea plates meet. Beneath Fuji volcano, subduction of both Pacific and Philippine Sea plates are undergoing. Eruption of Fuji volcano may be related to large magnitude interplate earthquakes at least in some cases. Magma chamber beneath Fuji volcano is considered to be unusually deep compared with other volcanoes in Izu-Mariana arc. Fujii (2007) interpreted that unusual depth of Fuji magma chamber is due to thickened low density granitic crust by collision of Izu peninsula. Because of the significance of Fuji volcano both in tectonic settings and potential volcanic hazard, there are a great number of studies on Fuji volcano. However, studies focused on magma plumbing system beneath Fuji volcano are limited and there are no high-pressure experiments on Fuji basalt so far. The purpose of this study is to determine the conditions of the magma chamber (P, T, fO<sub>2</sub>, etc) of Fuji volcano through high pressure melting experiments.

Basalt scoria Tr-1 which represents the final ejecta of Hoei eruption in 1707, was adopted as a starting material. Experiments at 4kbar were carried out using an internally heated pressure vessel (HIP-5000) at the Magma Factory. Temperature conditions were 1050, 1100 and 1150°C, and H<sub>2</sub>O contents were 1.3, 2.7 and 4.7wt.%, respectively. The fO<sub>2</sub> was controlled at NNO-buffer. At 4kbar, magnetite is the first liquidus phase and plagioclase is the second liquidus phase and is followed by clinopyroxene and orthopyroxene. Compositions of melts at 4 kbar were determined by EPMA analysis of quenched run products. SiO<sub>2</sub> content of melt increases with crystallization and is different from silica non-enrichment compositional trend of Fuji basalt.

In order to explain silica non-enrichment differentiation trend of Fuji volcano, Fujii(2007) suggested that orthopyroxene may play important role at the deep magma chamber. Experiments at 7 kbar are in progress using another internally heated pressure vessel (HIP-8600) at the Magma Factory. Phase relations and melt compositional trend at 7 kbar will be reported. Based on high-pressure melting experiments and petrologic study, mechanism of Hoei sub-plinian eruption and origin of the dacite which was erupted at the initial stage of Hoei eruption will be discussed.

キーワード: 富士火山, マグマ, 実験岩石学, 沈み込み帯, 高圧実験

Keywords: Fuji volcano, magma, Experimental petrology, Subduction zone, High-pressure experiment



## 1883年クラカタウ火山噴火とその後の地下構造 The 1883 eruption of Krakatau and its subsurface structure

横山 泉<sup>1\*</sup>

YOKOYAMA, Izumi<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> なし

<sup>1</sup> none

The present discussion is composed of 2 parts: The first part deals with the Verbeek's estimation (1885) of volume of the ejecta from the 1883 Krakatau eruption. Finally a balance sheet between the volume of juvenile material and that of lithic material is drawn. The second part discusses the subsurface structure of the Krakatau complex deduced by gravimetric and seismological methods.

In Part 1, the Verbeek's method is criticized from a viewpoint of methodology: Even evaluation of the errors in his surveys is difficult. Using his original data, the present author revises his estimation of the ejecta volume: For an example, volume of the total ejecta should be revised from 18.2 to 16.6 km<sup>3</sup>. And also volume of the lithic material produced by the eruption is estimated at 11 km<sup>3</sup>. Further, volume of the caldera deposits is estimated at 5 km<sup>3</sup> by gravity anomaly observed on the caldera. As a whole, a balance sheet between volume of the deposits in the Krakatau area and their sources can be shown with unavoidable ambiguity.

In Part 2, development of geophysical study of the subsurface structure of Krakatau caldera is historically reviewed and discussed:

Yokoyama (1981) measured gravity on Krakatau Islands and assumed caldera deposits of funnel-shape, about 5 km<sup>3</sup> in volume on the base of gravity anomaly. He calls the deposits fallback that is produced by explosions. He did not discuss magma reservoirs because magma reservoir had not been detected definitely and because cavities in the earth crust do not always collapse due to rigidity of the crust. He emphasized gigantic explosivity of the 1883 eruption that caused strong pressure waves simultaneously occurring with the large tsunami.

Harjono et al. (1989) set up 10 temporary seismic stations on the both sides of the Sunda Straits and one on Anak Krakatau, all being equipped with a single vertical seismometer, and examined wave paths from 14 local earthquakes occurring in summer of 1984 and detected two bodies of shear-wave attenuation near the Krakatau complex: one is about 9 km deep directly beneath the Krakatau complex and the other is voluminous and deeper (about 22 km deep at the top) extending towards the SW.

Deplus et al. (1995) got a detailed bathymetry in the caldera area and supplemented gravity survey on land and sea. They interpreted the gravity anomalies observed at the caldera and reached the similar conclusion to Yokoyama's. They assumed the caldera deposits as the collapsed volcano body, not fallbacks and modeled the deposits by various types of cylinder.

Jaxybulatov et al. (2011) carried out temporary seismometric observation at 14 onshore stations on Krakatau Islands (3 on Anak Krakatau) and on the coasts of Java and Sumatra. During about 8 months, more than 700 local earthquakes were recorded, and tomographic inversions for P and S velocities and for the V<sub>p</sub>/V<sub>s</sub> ratio were performed. They obtained a zone of high V<sub>p</sub>/V<sub>s</sub> ratio nearly beneath the Krakatau complex though the network configuration and the distribution of the events were not favorable for high quality tomographic imaging. At depths from the surface down to 4 km deep, they observed V<sub>p</sub>/V<sub>s</sub> ratio higher than 2 and assumed it as a probable indicator of the presence of partially molten material.

The present author attributes the anomalous values of V<sub>p</sub>/V<sub>s</sub> ratio deduced by Jaxybulatov et al. (2011) to the caldera deposits proposed by Yokoyama (1981) considering the resolution capacity of their tomography in the Krakatau area. A problem should be what is the origin of the caldera deposits. At many calderas in Japan, we have much knowledge on caldera deposits: They are usually fallbacks of low density deposited in funnel-shape.

# Japan Geoscience Union Meeting 2012

(May 20-25 2012 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2012. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



---

SVC52-04

会場:301A

時間:5月21日 14:30-14:45

## インドネシアのカルデラ火山の特徴とカルデラ噴火への準備過程 Characteristics of a caldera volcano, and process to a caldera-forming eruption in Indonesia

高田 亮<sup>1\*</sup>, 古川 竜太<sup>1</sup>, 土志田 潔<sup>2</sup>, アンドリュースチュチ<sup>3</sup>, カルタディナタ<sup>3</sup>  
TAKADA, Akira<sup>1\*</sup>, FURUKAWA, Ryuta<sup>1</sup>, TOSHIDA, Kiyoshi<sup>2</sup>, S. Andreastuti<sup>3</sup>, N. Kartadinata<sup>3</sup>

<sup>1</sup>産総研, <sup>2</sup>電力中央研究所, <sup>3</sup>インドネシア火山地質災研究センター

<sup>1</sup>Geological Survey of Japan, AIST, <sup>2</sup>CRIEPI, <sup>3</sup>DVGHM

There are various volcanoes in the world. Almost volcanoes erupted frequently. However, some volcanoes seem to be quite for preparing a large-volume eruption with caldera formation. What is a caldera-forming eruption? Compared with usual eruptions, a caldera-forming eruption, erupted volume~ 10-1000 km<sup>3</sup>, causes huge direct damages, wide-spread pyroclastic flow, air fall, lahar, tsunami, and global impacts such as climate change; The recovering time is more than 10 years for climate, ocean, food, human health, traffic, buildings, and 100-1000 years for land use. Japanese have forgotten a caldera-forming eruption, because the last one occurred 7,000 years ago. Indonesia was suffered twice for the last 200 years, and three times within 1000 years. The total victims amount to 130,000, which is 55 % of the total ones from eruptions in the world during the last 200 years.

We have questions on the caldera-forming eruption. (Q1) Can we get a precursor sign for the eruption (where, when, what volume)? (Q2) Is not the eruption infrequent (< once / 100 years)? (3) Can we evaluate the next candidate for hazard mitigation? We carried out the JST-JICA project as follows. The first is to study the process to the caldera forming eruption, that is, the quantitative eruptive history of target volcano to caldera-forming eruption, especially, multi-caldera volcanoes in Bali (Furukawa et al., 2012). (2) The second is to clear the frequency of the caldera-forming eruption, that is, the temporal and spatial distribution of the eruption in East Java and Bali (Toshida et al., 2012). The third (this paper) is to evaluate volcanoes base on the obtained geological data, in order to answer (Q1) and (Q2). The results will contribute to the answer of (Q3).

The short-term evolution: During the last a few months, we may catch the short-term process as the progressive activity to the climax eruption. We compiled the example of Pinatubo 1991 eruption, Philippine (Harlow et al., 1996; Hoblitt et al., 1996; White et al., 1996; Wolfe and Hoblitt, 1996), that of Krakatau 1883 (Rampino and Self, 1982), that of Tambora 1815 (Junghuhn, 1854; Self et al., 1984, Stothers, 1984; Yamamoto et al., 2000; Takada and Yamamoto, 2008). There occurred a lot of small eruptions and hydrothermal explosions during the last a few months just before the climax. Moreover, there occurred unusual wide-range hydrothermal activity, 2-5 km-wide, before the climax, suggesting the existence of an active large volume magma beneath the summit.

The long-term evolution: There was a large shield or stratovolcano constructed with a large eruption rate before the caldera forming eruption, for example, Tambora, and Tenggar. In contrast with those volcanoes, Kelute has never cause the caldera-forming eruption. The long-term eruption rate is far smaller than those of volcanoes with caldera. The Kelute is composed of several volcanoes with repose periods. Next, we compiled the eruptive histories of caldera volcanoes which were studied as corporation projects between GSJ and VSI: Tambora (Takada et al., 2000; Matsumoto et al., 2000), and Rinjani (Takada et al., 2003; Nasution et al., 2003; Furukawa et al., 2004; Furukawa et al., 2005). We got the scenario that, during the last 10,000 years before the caldera formation, the eruption rate decreased, eruption style changed to more explosive, and chemical composition changed.

キーワード: カルデラ噴火, インドネシア, 大規模噴火, 長期噴出率, 前兆現象, 火山発達史

Keywords: Caldera-forming eruption, Indonesia, Large-volume eruption, long-term eruption rate, precursor, eruptive history