

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^{1*}

KANEKO, Katsuya^{1*}

¹ 京都大学大学院人間・環境学研究科

¹ 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変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（ ~ 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 $20^\circ\text{C}/\text{km}$ （深さにより初期温度が異なる）、含水量を $2\text{wt}\%$ 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°C 、含水量 $2\text{wt}\%$ 、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（ $0.25\text{GPa}-1.0\text{GPa}$ ）、高温マグマ貫入率（ $2-20\text{ m}^3/\text{m}^2\text{ky}$ ）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^{1*}, 中川 光弘¹
KOSUGI, Ayumi^{1*}, Mitsuhiro Nakagawa¹

¹ 北大・理・自然史

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

ASANO, Kenta^{1*}, TAKAHASHI, Eiichi¹, HAMADA, Morihisa¹, USHIODA, Masashi¹, SUZUKI, Toshihiro²

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 地球内部変動研究センター

¹Department of Earth and Planetary Sciences, Tokyo Institute of Technology, ²Institute 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, fO₂, 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 H₂O contents were 1.3, 2.7 and 4.7wt.%, respectively. The fO₂ 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. SiO₂ 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^{1*}

YOKOYAMA, Izumi^{1*}

¹ なし

¹ 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 km³. And also volume of the lithic material produced by the eruption is estimated at 11 km³. Further, volume of the caldera deposits is estimated at 5 km³ 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 km³ 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_p/V_s ratio were performed. They obtained a zone of high V_p/V_s 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_p/V_s 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_p/V_s 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^{1*}, 古川 竜太¹, 土志田 潔², アンドリュウスチュチ³, カルタディナタ³
TAKADA, Akira^{1*}, FURUKAWA, Ryuta¹, TOSHIDA, Kiyoshi², S. Andreastuti³, N. Kartadinata³

¹産総研, ²電力中央研究所, ³インドネシア火山地質災研究センター

¹Geological Survey of Japan, AIST, ²CRIEPI, ³DVGHM

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 km³, 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

マントルウエッジ内の小規模対流のパターンの時間変化の起源と東北日本の火山分布

Origin of temporal pattern change of small-scale convection in the mantle wedge and volcano distribution on the NE Japan

本多 了^{1*}

HONDA, Satoru^{1*}

¹ 東京大学地震研究所

¹ Earthquake Research Institute, University of Tokyo

Spatial and temporal variation of volcano distribution may be controlled by the temperature change associated with the mantle flow within the mantle wedge. Recent volcano distribution on the NE Japan is characterized by finger-like groups whose axes are almost perpendicular to the strike of plate boundary. This feature is similar to the temperature pattern caused by the small-scale convection (SSC) under the strong shear. Because of this similarity, we have proposed an existence of SSC in the mantle wedge. However, the volcano distribution on the NE Japan in the past shows a different pattern as that observed at present. They may be interpreted as flip-flopping, that is, the region with volcanoes switch to the region without them later, or vice versa. Our previous numerical modellings of SSC in the mantle wedge also show such a pattern change. However, most recent studies show the existence of non flip-flopping also. In this study, we explore possible causes of such different time-dependent behavior by changing the speed of subduction and the geometry of low viscosity wedge where SSC may emerge. We found that the wavelength of roll-type SSC perpendicular to the direction of large-scale flow has two characteristic scales which may be produced by the inclined bottom of the low viscosity mantle wedge. When SSC is in the early stage or the speed of subduction is small, the long-wavelength rolls become prominent. As the convection evolves or the speed of subduction increases, short-wavelength rolls take over the long-wavelength rolls. The transition from the long to the short-wavelength rolls occurs in a several way. We show that flip-flopping is the transitional stage from the long wavelength to the short wavelength rolls. We will discuss possible implications of our results on the temporal and spatial variation of volcano distribution on the NE Japan.

キーワード: 小規模対流, 火山分布, 時間変化

Keywords: small-scale convection, volcano distribution, temporal change

先カルデラ火山活動の長期変遷に関するバリ地域とジャワ東部テンガー火山地域との地質学的比較

Comparing long-term variation of pre-caldera volcanic activity in Bali and in Tengger caldera region, East Java

土志田 潔^{1*}, 竹内 晋吾¹, 古川 竜太², 高田 亮², ANDREASTUTI, Supriyati³, KARTADINATA, Nugraha³, HERIWASESO, Anjar³, PRAMBADA, Oktory³, MULYANA, Rosgandika³, NURSURIM, Asep³
 TOSHIDA, Kiyoshi^{1*}, TAKEUCHI, Shingo¹, FURUKAWA, Ryuta², TAKADA, Akira², ANDREASTUTI, Supriyati³, KARTADINATA, Nugraha³, HERIWASESO, Anjar³, PRAMBADA, Oktory³, MULYANA, Rosgandika³, NURSURIM, Asep³

¹ 電力中央研究所, ² 産総研地調, ³ CVGHM

¹ CRIEPI, ² AIST, GSI, 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 島・東部 Java 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。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 年代測定を進めている。

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。Bali 地域の先カルデラ活動について、1.6Ma, 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が K-Ar 年代測定により見出された。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たことが明らかになった。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。0.2Ma より新しい活動期には、無斑晶質安山岩溶岩が特徴的に噴出し、Batur, Bratan 両カルデラの外輪山を構成する巨大な盾状火山を形成するとともに、盾状火山の外部に位置する小型の火山を形成した。この無斑晶質安山岩類は、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、K₂O, TiO₂ に富む。

東部 Java の Tengger カルデラ火山は、Sand Sea カルデラに分布する中央火口丘 Bromo が活火山であり 2010-2011 年にも噴火した。Tengger 火山地域では、1.7Ma, 0.5Ma, 0.3Ma, 0.1Ma-現在と、少なくとも 4 回の活動期が見出された。Tengger 地域の活動開始時期は Bali 地域と同様であるが、2 回発生したカルデラ形成噴火は Bali 地域と比べはるかに古い。このうち 2 回目の Sand Sea カルデラ噴火時に噴出した溶岩の K-Ar 年代は 0.3Ma である。また、カルデラ北壁の玄武岩溶岩から 0.5-0.45Ma, 南壁の玄武岩質安山岩溶岩から 0.3Ma の年代が得られたことから、Tengger 火山でもカルデラ外輪山は複数の時代に形成された火山体が重なり合い形成されたことが明らかとなった。各年代値から、0.45-0.3Ma の間に 1 回目の Ngadisari カルデラ噴火とイントラカルデラ期の活動が起きたと考えられる。

Tengger 火山の長期活動変化には、この他にも Bali 地域との類似点が認められる。単斜輝石安山岩は各活動期に共通して活動することに対し、斜方輝石安山岩はカルデラ形成以前の活動期に限り活動した。これらの単斜輝石斑晶は鏡下で淡色であり、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。また、イントラカルデラ期に新たに無斑晶質安山岩溶岩が噴出し、この無斑晶質安山岩溶岩はカルデラ形成噴火の火砕物と全岩化学組成が類似し、これ以前の活動期の安山岩と比べ FeO*/MgO 比が大きく、K₂O, TiO₂ に富む。

イントラカルデラ期の活動では、初期に不均質な岩石組織を有する玄武岩質安山岩が噴出し、後期に均質かつ無斑晶質安山岩が噴出したことが見出された。この無斑晶質安山岩の全岩化学組成は 2 回目のカルデラ形成噴火である Sand Sea 噴火の火砕物と類似する。よって、イントラカルデラ期には、時間の経過と共に安山岩マグマが蓄積したことが示唆される。Tengger 火山の現状について Bromo など中央火口丘の火山弾や溶岩をイントラカルデラ期・カルデラ形成噴火の噴出物と比較すると、安山岩類の全岩化学組成は互いに類似している。一方、岩石組織は不均質でありイントラカルデラ期と異なる。

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: カルデラ, 斑晶量, カリウム-アルゴン法, 第四紀, スンダ弧, インドネシア

Keywords: caldera, phenocryst modal abundance, K-Ar dating, Quaternary, Sunda arc, Indonesia

インドネシア・バトゥールおよびブラタンカルデラの噴火史 Explosive eruptions associated with Batur and Bratan calderas, Bali, Indonesia

古川 竜太^{1*}, 高田 亮¹, 土志田 潔², Supriyati ANDREASTUTI³, Eka KADARSETIA³, Nugraha KARTADINATA³, Anjar HERIWASESO³, Oktory PRAMBADA³, Yudi WAHYUDI³, Nizar FIRMANSYAH³
FURUKAWA, Ryuta^{1*}, TAKADA, Akira¹, TOSHIDA, Kiyoshi², Supriyati ANDREASTUTI³, Eka KADARSETIA³, Nugraha KARTADINATA³, Anjar HERIWASESO³, Oktory PRAMBADA³, Yudi WAHYUDI³, Nizar FIRMANSYAH³

¹ 産業技術総合研究所地質調査総合センター, ² 電力中央研究所, ³ インドネシア火山地質災害減災センター

¹ Geological Survey of Japan, AIST, ² Civil Engineering Research Laboratory, Central Research Institute of Electric Power Industry, ³ Center for Volcanology and Geological Hazard Mitigation

In Sunda Arc, caldera forming eruption is frequent as occurring 3 times in recent 1000 years. The future caldera forming eruption in Bali should be evaluated from scientific procedure. Our geological study is a corporate work between Indonesia and Japan supported by Japan International Cooperation Agency (JICA) and Japan Science and Technology Agency (JST). We highlights long-term volcanic history of Bali Island, especially focusing on Batur and Bratan calderas including some peripheral volcanoes. We offer a significant contribution towards hazard mitigation at the forthcoming volcanic eruption. Bratan and Batur calderas are the most famous tourist places in Bali Island and are probable candidate of world geopark. The calderas have prominent depression of 12x8 km and 14x10 km respectively. The calderas are surrounded by flat plateau consist of major pyroclastic flow deposits with subordinating pyroclastic fall deposits and soils. Mt. Agung lying on east of Batur is a undissected stratovolcano with no caldera. As Bratan and Batur calderas are formed by multiple caldera forming eruptions, we need to evaluate long-term forecast of probable caldera-forming eruption. From 2009 to 2011, we have described more than 200 exposures and have made stratigraphic logs to correlated each deposit which allow us to reconstruct the eruptive history of Bali Island. We newly identified 7 extensive pyroclastic flow deposits which correspond to formation of Batur and Bratan calderas respectively. Radioactive carbon ages of carbonized wood and underlying soil ranges from ca. 29 to 6 ka. We also discovered more than 10 plinian pumice and/or scoria fall deposits extensively blanketing west of the Batur caldera. We identified scoria fall deposit from Agung volcano covering Batur area. It suggests sustaining concurrent activities of the Bali volcanoes. Oldest eruptive products we identified is 29 thousand years before made of plinian pumice fall and overlying pyroclastic flow deposit. Both deposits respectively thicken toward the present Batur caldera suggesting their source. Southern distribution of pyroclastic flow deposit is not sure, because this area is densely populated and lacks outcrops. But southern part of Bali supposed to be isolated island and connected by the sediment supply from the Northern volcanic regions to erupt. Caldera rim formed by this eruption is not confirmed. Carbonized wood root beneath this pyroclastic flow deposit has radioactive carbon date of 23760±70 years B.P. Next large eruption is 17 thousand year before consists of pumice fall to the southwest and overlying pyroclastic flow deposit. Outer caldera rim would be formed and proximal welded pyroclastic flow deposit filling inside of the caldera. At the lower non-welded pyroclastic flow deposit we found buried carbonized wood showing 14C age of 14370±70 years B.P. The next large eruption is 6ka also made of pumice fall deposit to the southwest and extensive pyroclastic flow deposit. The inner caldera rim must be formed. Sutawidjaja (2009) reported radiocarbon age for this pyroclastic flow deposit as 5500 years B.P. and we also obtained consistent age dating as 5550±50 years B.P. (calibrated to 6310 cal.y.BP). Youngest large eruption is four thousand years before. Pumice fall deposit blanketing west of Batur and relatively minor pyroclastic flow deposits intervened. Pyroclastic cone (Sayang) was also formed in southwest of caldera. We obtained the chronology and magnitude of large-scale explosive eruptions from Batur and surrounding volcanoes. Older volcanoes are basalt and andesite stratovolcanoes with no evidence of caldera formation. Age of them are shown by Toshida et al. (2010). For Batur and Bratan calderas, there are three caldera forming eruptions among last 30000 years (once in 10000years). We have less information from 4ka to present, and from 0.2 Ma to 30 ka.

Keywords: Bali, Batur caldera, Bratan caldera, explosive eruption, geology, eruptive history

阿蘇-4 火砕流噴火の直前に流出した高遊原の岩石学的特徴

Petrological characteristics of Takayubarū lava flow, which extruded just before Aso-4 pyroclastic flow

黒川 聖^{1*}, 長谷中 利昭¹, 森康²

KUROKAWA, Kiyoshi^{1*}, HASENAKA, Toshiaki¹, YAsushi MORI²

¹ 熊本大・院・自然科学研究科, ² 北九州市立自然史・歴史博物館

¹ Grad School Sci& Tech, Kumamoto Univ., ² Kitakyūsu Mus. of Nat. & Hum. History

高遊原溶岩は阿蘇カルデラのカルデラ縁から 5 km の西側山腹に位置する大峰火砕丘の形成に伴って流出した。この溶岩流出後、時間間隙をおかずに爆発的な阿蘇-4 火砕流噴火が起きた。このことは高遊原溶岩が上位の阿蘇-4 火砕流堆積物との間に土壌を挟んでいないことが露頭で確認され、K-Ar 年代の報告値が両者とも誤差の範囲で一致していることから確かめられる。高遊原溶岩は厚さが 80-120 m, 東西 9 km, 南北 4 km, 体積の推定値は 2.0km³ の溶岩である。

高遊原溶岩台地側端崖, 末端崖から採取した溶岩試料と、大峰火砕丘から採取したスコリア試料, 国土交通省九州地方整備局, 熊本河川国道事務所のボーリングコア試料の薄片観察, 化学分析を行った。ボーリングコア 27 本の観察によると高遊原溶岩は上部自破砕部 (平均 25 m), 塊状部 (平均 63 m), 下部自破砕部 (平均 6 m) の 3 つに分かれた。上部自破砕部ではそれを覆う阿蘇-4 火砕流堆積物の間には土壌を挟まなかった。このことから阿蘇-4 火砕流堆積物は高遊原溶岩を時間間隙をおかずに覆ったことが分かる。塊状部には所々に節理による割れ目があり、また赤褐色に風化している箇所があった。また塊状部の間にクリンカーを挟んでいないことから、高遊原溶岩は 1 枚のフローユニットであったと考えられる。高遊原溶岩は、約 20 vol. % の斑晶を含みでそれらは単斜輝石 (<1.8mm, 約 1.5vol.%)、斜方輝石 (<2.0mm, 約 2.2vol.%)、斜長石 (<1.5mm, 約 13vol.%)、不透明鉱物 (<0.6mm, 約 1.4vol.%) であった。さらに微斑晶サイズの普通角閃石 (<0.3mm, 約 3.9vol.%) が特徴的に含まれていた。斜長石はそのほとんど全てが劈開、割れ目、輪郭に沿って溶融を示す融食形であった。普通角閃石は自形で新鮮な結晶から完全にオパサイトになったものまで観察された。これら斜長石の溶融形や普通角閃石の微斑晶の晶出はなんらかの物理・化学条件の変化を示唆している。また石基は斜長石, マフィック鉱物, 不透明鉱物の微晶やガラスからなり、その多くで流理を示し、クロスニコルで不均質な明暗を示す試料がいくつか観察された。高遊原溶岩の斑晶量は化学組成とあまり相関はなかった。高遊原溶岩の斑晶量、化学組成を大峰スコリアと比較しても顕著な違いは見られなかった。高遊原溶岩・大峰スコリアの斑晶量を阿蘇-4 火砕流堆積物と比べてみると、阿蘇-4 の軽石より多いことが分かった (平均 20 vol.% 対 8 vol.%)。高遊原溶岩のシリカ含有量は 63-66 wt. %, 大峰火砕丘のスコリア試料のシリカ含有量は 61-66 wt. % であった。ボーリングコアから溶岩の鉛直方向のシリカの組成変化を調べてみると、上部から中部にかけては 1% 未満の組成幅で、下部はシリカが少なく約 2% の組成幅を持つ。また溶岩先端部でもシリカが少なく約 2% の組成幅である。阿蘇-4 火砕流堆積物の化学組成は玄武岩-玄武岩質安山岩スコリア (シリカ 49-56 wt. %) とデイサイト軽石 (シリカ 65-72 wt. %) である。それと比較すると、高遊原溶岩と大峰スコリアは阿蘇-4 のマフィックな成分を噴出せず、阿蘇-4 の珪長質成分と同じトレンドに乗りそれよりややシリカに乏しいことが分かった。すなわちマフィックマグマの注入が噴火の引き金になった可能性は少ないと思われる。

キーワード: 高遊原溶岩, 大峰火砕丘, 阿蘇-4 火砕流

Keywords: Takayubarū lava, Omine pyroclastic cone, Aso-4 pyroclastic flow

岩手県西和賀町周辺奥羽脊梁山脈に分布する前期～中期中新世グリーンタフ中で復元された2種類の古火山体 Two-type Submarine volcanoes reconstructed in greentuff in the Miocene in Ou Backbone Ranges, NE Japan

細井 淳^{1*}, 天野 一男²
HOSOI, Jun^{1*}, AMANO, Kazuo²

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

日本列島は新生代に陸弧から島弧へと進化し、世界的にも島弧の進化を解明する絶好の地域である。その進化の過程を記録するグリーンタフは東北日本に広く分布しており、古くから層序の構築を中心に研究が行われてきた。1980年代にはそれまでの層序学的研究が総括され、それに基づいて新生代東北日本のテクトニクスモデルが提案された (Yamaji, 1990; Sato and Amano, 1991 など)。しかし、これらの研究はテクトニクスの大きな枠組みの提示したものであり、島弧の進化に伴った堆積場や当時の火成活動の場の具体的な復元には至らなかった。とりわけ、新生代東北日本弧のテクトニクス解明の鍵となるグリーンタフに関しては、岩石化学的研究がなされてはいるが (吉田, 2009 など)、地質学的な実態は不明のままである。従来ほとんど手つかずであったグリーンタフの堆積相解析を詳細な野外調査によって実施し、古火山体の復元を行うことにより具体的な火成活動を明らかにしたのでここに報告する。

岩手県西和賀町周辺の奥羽脊梁山脈を対象に研究を行った。堆積相解析の結果、以下の2種類の古火山体を復元できた。

第一の古火山体 (Type A) は、直径約 4000m、高さ約 500m の薄く平坦な海底火山である。主に塊状溶岩及びハイアロクラスタイトから構成され、枕状溶岩は認められない。溶岩流は厚さ数 m と薄い。溶岩流と溶岩流の間にはタービダイトやデブライトが認められる。これは本火山が断続的な噴火により形成されたことを示唆している。本火山体の一つは、本調査地域の新第三系最下層中で復元された。この火山体が形成された時には、本調査地域はハーフグラベンであった (Nakajima et al., 2006)。この Type A 火山体は、ハーフグラベンの形成と密接に関連した火山活動により形成されたものと考えられる。噴火当時の水深は 300m 以浅である。

第二の古火山体 (Type B) は、直径 500~1000m、高さ約 250m の海底溶岩ドームである。溶岩ドーム中心部は柱状節理の発達する塊状溶岩であり、ドーム頂部は多孔質な塊状溶岩から構成される。外縁部は真珠岩やハイアロクラスタイトから構成される。溶岩ドーム形成前には爆発的噴火が頻発していた。古水深の変遷に基づくと、爆発的噴火から溶岩ドーム形成の間で数百 m のテクトニックな沈降が起こり、溶岩ドームは調査地域内で水深の最も深い時に形成されたものである。最終的に溶岩ドームを形成した要因は2つ考えられる。一つはマグマの脱ガスによるマグマの発泡の抑制、もう一つが水圧上昇 (水深増加) による爆発的噴火の抑制である。溶岩ドームの流紋岩に気泡が認められることを考えると、溶岩ドームの形成は脱ガスの影響よりも、水深増加の影響が大きかったものと思われる。これは、水深が深い場合、爆発的噴火にはならず溶岩ドームを形成するという説 (Allen et al., 2010) を支持するものである。本調査地域では、溶岩ドーム形成後に黒鉱が胚胎した。黒鉱鉱床は火山活動の最終期に形成されたことが知られており (中嶋, 1993 など)、本調査地域の火山活動の変遷と調和的である。

【引用文献】

- Allen et al., 2010, *Geology*, 38, 391-394.
Nakajima et al., *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 241, 28-48.
中嶋, 1993, *地質調査所月報*, 44, 251-282.
Sato and Amano, 1991, *Sedimentary Geology*, 74, 323-343.
Yamaji, 1990, *Tectonics*, 9, 365-378.
吉田, 2009, *地球科学*, 63, 269-288.

キーワード: グリーンタフ, 海底火山, 堆積相解析, 奥羽脊梁山脈, 中新世, 黒鉱鉱床

Keywords: greentuff, submarine volcanoes, facies analysis, Ou Backbone Ranges, Miocene, Kuroko deposits

中期中新世、大台コールドロン北縁部の瀬戸複合コーンシート The Seto Composite Cone Sheet around the Middle Miocene Odai Cauldron, SW Japan

和田 穰隆^{1*}, 鳴尾良介¹

WADA, Yutaka^{1*}, Ryosuke NARUO¹

¹ 奈良教育大学地学教室

¹Dept. Earth Sciences, Nara Univ. Educ.

1. イントロダクション

紀伊半島中央部の大台コールドロン北縁部には、中期中新世のカルデラ火山活動（三浦・和田, 2007: 地質雑, 113, 283）に伴って形成された複合岩脈が複数存在する（和田ほか, 2009: JGU 予稿集, V227-P001; 高島ほか, 2010: 地質雑, 116, 496）。その中の奈良県川上村瀬戸地域では複合岩脈露頭が近接して複数存在する（和田ほか, 2011: 奈教大紀要, 60, 29）。そこで瀬戸地域の複合岩脈の分布について詳細に調査を行った結果、瀬戸地域では複合岩脈とされてきた貫入岩体はコールドロン（陥没カルデラ構造）の中心方向へ傾斜する複合コーンシートであることが明らかとなった。本講演では瀬戸複合コーンシートの分布と産状について報告し、“大台カルデラ”の形成過程における複合コーンシートの形成時期について議論する。

2. コーンシートの分布と産状

奈良県川上村瀬戸地域では野外調査を東西 2 km、南北 1 km の範囲でシート状貫入岩体の走向をおよそ横切る五つの沢に沿っておこない、14 カ所において貫入岩体と母岩の境界を確認した。母岩は秩父帯の大普賢岳コンプレックスとされ（佐藤・大和大峯研究グループ, 2006: 地球科学, 60, 403）、チャート・砂岩・泥岩・緑色岩からなる。母岩中では局部的に低角の剪断割れ目が発達する。

コーンシートの走向は調査範囲の東部から西部にかけて東西から北東 - 南西へと変化し、大台コールドロンの火砕岩岩脈（和田・岩野, 2001: 火山, 46, 107）や、カルデラ陥没断層である入之波 - 鎌滝断層、また大峯コールドロンのカルデラ陥没断層である大滝 - 北角断層とほぼ平行である（佐藤・大和大峯研究グループ, 2006）。一方、コーンシートの傾斜はおおむね 30° S であるが、局部的に水平な貫入面が見られることから、全体としてステップのついたコーンシート状であると推定される。

露頭で観察できるシート部の最大厚さは約 26 m である。いずれの露頭においても縁部は玄武岩質安山岩（厚さ 0.2 ~ 0.4 m）、中心部は流紋岩（厚さ 6 ~ 25 m）で構成される。縁部と中心部の境界は岩質の違いから明瞭であるものの、いずれの側にも急冷構造は認められない。また中心部には縁部と同岩質の不定形状苦鉄質包有物を含む。したがって、苦鉄質マグマの貫入後、珪長質マグマがほとんど時間をおかずに貫入したシート状複合貫入岩体とみなすことができる。

3. コーンシートの形成時期

中期中新世に二重カルデラを形成した大峯 - 大台コールドロンの陥没断層間には、瀬戸複合コーンシートを含む複合貫入岩体と苦鉄質単純岩脈からなる武木弧状岩脈群（佐藤・大和大峯研究グループ, 2006）が分布する。和田ほか（2011）は産状・岩質・全岩化学組成に基づき、武木岩脈群に属する岩体は同時期に貫入したものであり、カルデラ床陥没によってマグマ溜まりから苦鉄質マグマや珪長質マグマが攪拌・混合されながら押し出されたもの（Kennedy and Stix, 2007: Geol. Soc. Am. Bull., 119, 3; Kennedy *et al.*, 2008: Nature Geosci., 1, 385）と考えた。すなわち、武木岩脈群の貫入イベントは大台カルデラの形成時ないし直後とした。コーンシートとしての瀬戸複合貫入岩体は南傾斜であり、そのフォーカスが“大台カルデラ”の中心方向にあることは、瀬戸複合コーンシートが“大台カルデラ”のカルデラ床陥没によってもたらされたことを支持し、その時期はカルデラ形成時もしくは直後と考えるのが妥当である。

キーワード: 紀伊半島, 中期中新世, カルデラ, 複合貫入岩体, コーンシート, コールドロン

Keywords: Kii peninsula, middle Miocene, caldera, composite intrusion, cone sheet, cauldron

新しい岩脈法によって愛知県設楽地域の中期中新世岩脈群から推定されたマグマだまりからの押し

Stress conditions affected by pressure from magma reservoirs inferred from Miocene dikes in the Shitara area, Japan

山路 敦^{1*}, 星 博幸²

YAMAJI, Atsushi^{1*}, HOSHI, Hiroyuki²

¹ 京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻, ² 愛知教育大学自然科学系理科教育講座

¹Division of Earth and Planetary Sciences, Kyoto University, ²Department of Earth Sciences, Aichi University of Education

愛知県北東部の設楽地域の中期中新世初めの岩脈群から、新しい岩脈法 (Yamaji et al., 2010; Yamaji and Sato, 2011) により岩脈群形成時の応力を推定したところ、正断層型応力とマグマだまりからの押しに起因するらしい応力が検出されたので報告する。Yamaji らの 2010 年の方法は、1 つの応力状態を 95% 信頼範囲付きで推定するが、2011 年の方法は誤差は付かないながら複数の応力状態で作られた岩脈群をグルーピングし、それらの応力たちを検出することができる。いずれも岩脈の走向・傾斜のみをデータとして使う方法である。

この地域には、それぞれがコールドロン構造を持つ大峠火山岩複合岩体と設楽火成複合岩体とが分布し、数百枚もの岩脈が認められている (e.g., 設楽火山岩団体研究グループ, 1979; 高田, 1987; 下司, 2003)。われわれは設楽中央岩脈群の 3 地区とそれから外れた八橋箕ノ子地区で岩脈達の姿勢を測定し、応力を推定した。いずれの地区も、3 軸は東西ないし NW-SE 走向であった。1 軸が 30~60° プランジした応力が検出された地区では、その 1 軸を地下に向かって延長した線上に、下司 (2003) が推定するコールドロンの下のマグマだまりの場所がある。つまり、マグマの圧力によるローカルな応力を検出したと考えることができる。

キーワード: テクトニクス, コールドロン, 応力, マグマ圧

Keywords: tectonics, cauldron, stress, magma pressure

ダイク先端から計測される開口量から推定されるダイクの長さおよび最大幅 Dike length and maximum width estimated by open fracture amount observed from its tip

楠本 成寿^{1*}, 下司 信夫²

KUSUMOTO, Shigekazu^{1*}, GESHI, Nobuo²

¹ 富山大学大学院理工学研究部 (理学), ² 産業技術総合研究所 地質情報研究部門

¹ Graduate School of Science and Engineering for Research, University of Toyama, ² Geological Survey of Japan, AIST

これまで、ダイクの開口量からマグマ過剰圧の推定 (e.g., Delaney and Pollard, 1981; Pollard and Segall, 1987) や、ダイクの長さおよび最大開口量の比から、広域応力の大きさを推定することが行われてきている (e.g., Gudmundsson, 1983)。彼らと同様の手法で推定を行う際には、ダイクの中心位置あるいは全長が既知であることが必要条件である。しかしながら、ダイクの全長や中心を知ることは、一般に難しく、ダイクの一部が観察されるというのが普通である。実際、例えば、Geshi et al., (2010) で示されている、三宅島山頂カルデラ壁に露出したダイクは、片側端部のみが分かっており、もう一方の端部は不明である。このような場合、ダイクの開口量からマグマの過剰圧を推定することは基本的に難しい。

そこで本研究では、ダイクの先端部から計測された開口量から、ダイク全体の長さを推定する方法を提案する。この方法では、ダイクの開口量を計測する横軸座標を、これまでのように、ダイクの中心を基準にとるのではなく、ダイク端部にとる。この座標系で、これまでの研究によく用いられてきた式を書き直し、ダイクの開口量データからダイクの長さおよび最大幅を最小二乗法により推定する。

数値実験 (テスト) の結果、ダイクの一部のデータから長さおよび最大幅の推定状況は良好であった。そこで本手法の応用として、三宅島カルデラ壁で観察される non-feeder ダイクに本解析手法を適用したところ、ダイクの長さは 80m から 270m 程度と推定された。また、ダイクの最大開口量は 0.3m から 2.4m 程度と推定され、平均的なアスペクト比 (最大幅/長さ) は 0.0083 であった。アスペクト比とダイクの長さには逆相関の傾向がみられ、ダイクが長くなると、アスペクト比が小さくなる。ヤング率 1GPa、ポアソン比 0.25 を母岩に仮定したところ、アスペクト比からマグマ過剰圧は 10MPa 以下であると推定された。これは一般的な岩石の引張り強度よりも小さな値であり、地中に止まるべくして止まったということを示唆しているのではないかと考えられる。

[文献]

Delaney and Pollard, 1981. U.S. Geol. Surv. Prof. Pap., 1202; Geshi et al., 2010. *Geology*, 38, 195-198.; Gudmundsson, 1983., *Jour. Struct. Geol.*, 5, 623-626.; Pollard and Segall, 1987. *Fracture Mechanics of Rocks* edited by Atkinson, Academic Press.

キーワード: ダイク, ダイクの長さ, ダイクの最大幅, マグマ過剰圧

Keywords: Dike, Length of dike, Maximum width of dike, magma overpressure

深い陥没カルデラにおける構造発達 Structural evolution of matured collapse caldera

下司 信夫^{1*}
GESHI, Nobuo^{1*}

¹ 産業技術総合研究所 地質情報研究部門

¹GSJ, AIST

陥没カルデラの深さ/直径比 (S/D 比) は、カルデラ床の沈降に従い増加する。カルデラ発達過程をよりの確に記述するためには、地形的な S/D 比 (地形的なカルデラ深さ/地形的な直径比: S/Dt) と、構造的な S/D 比 (沈降量に対する環状断層の直径: S/Ds) を区別する必要がある。ある程度陥没が進行した陥没カルデラの構造発達には、地表に二重の環状断層が出現しその変位により沈降が進行するステージから、地滑り崩壊によるカルデラ壁の後退とその崩壊物のカルデラ床への堆積が顕著になる“侵食ステージ”に移り変わる。侵食ステージにおけるカルデラ壁の顕著な後退により、funnel 型の断面をもつ深い陥没カルデラが形成され得る。環状断層の構造が一定であるならば、カルデラ床の沈降量/環状断層の直径比である S/Ds 比は構造発達程度によらず、陥没の進行に伴い一方的に増加する。S/Dt 比も環状断層による沈降期には増大する。陥没が進行し、カルデラ壁の後退によるカルデラ径の増大と堆積物のカルデラ床への集積によるカルデラ深さの減少が顕著になると、地形的な深さと直径の比である S/Dt 比は逆に減少しはじめる。従って、陥没の進行におけるある時点から、S/Dt 比と S/Ds 比の挙動が顕著に異なってくる。最近形成されたいくつかのカルデラの例と、アナログ実験、簡単な数値実験によると、環状断層による構造的な沈降期から、侵食が顕著なステージへの遷移は S/D = 0.3 ~ 0.4 程度で発生し、この閾値を超えて陥没が進行すると、S/Ds 比は一方的に増大するのに対して、S/Dt 比の増加は鈍化するか減少に転じる。S/Dt 比と S/Ds 比はいずれも陥没カルデラの構造発達を記述するうえで重要なパラメータであり、これらの導入によりカルデラの発達過程の準定量的な評価が可能となる。

キーワード: カルデラ, 陥没, 構造, 火山, 噴火

Keywords: caldera, collapse, structure, volcano, eruption

伊豆大島波浮港沖に分布する凹地状地形の地質学的特徴-海底火山噴出口のの可能性-

Geological characteristics of depression structures distributed off the coast of the Habuport, Izu-Oshima Is.

坂本 泉^{1*}, 滝野義幸¹, 志多伯龍一¹, 片山陽平¹, 伏見章浩¹, 石塚治²

SAKAMOTO, Izumi^{1*}, Yoshiyuki Takino¹, Ryuichi Shitahaku¹, Yohei katayama¹, Akihiro Fushimi¹, Osamu Ishizuka²

¹ 東海大学海洋学部海洋資源学科, ² 産総研

¹ Dept. Marine Mineral Res., Tokai Uni., ² Geological survey of Japan

伊豆大島火山は東京の南南西約 100km, 伊豆半島の東方沖約 12km 海上に浮かぶ活火山である。1986 年 11 月の割れ目噴火では、前例を見ない全島民避難という事態にも至っており火山防災の観点からも注目をあびている。大島の観測は陸上を中心に行われているが、海域における観測は徳山 (1988) 及び土出 (1988) による海底地形調査が行われているに過ぎない。その後 2009 年度に淡青丸を用いた周辺海域の採泥調査が産総研を主体に行われている。しかし、200m 以浅における浅海域における調査は行われていない。そこで浅海域を対象に東海大・産総研のグループが 2010 年度波浮港周辺の海域において海底精密地形探査を実施し、また、2011 年度の望星丸にて採泥や ROV 等の調査を実施した。

精密地形測量の結果、波浮港西側海域において、陸上溶岩の延長と思われる溶岩流が水深 70m 付近まで分布していることが明らかになった。これらの表面には流動方向を示す roppy, tentional crack 等の構造も観察される。

波浮港東側海域においては、溶岩流の存在は確認できず、水深 40m 付近まで平坦で緩やかな地形が発達し、それ以深では急斜面が発達している。水深 30-40m 付近の平坦面上において、直径 100?500m、比高 5?10m の凹地状地形が、北西-南東方向に配列し分布している事が明らかになった。さらに水深 70m の斜面上付近には比高約 50m 直径約 100m の凸状地形が 2 カ所、北西-南東方向に配列し分布している事が明らかになった。これら凸状地形における採泥により、多量の玄武岩質スパッターやペペライト質凝灰角礫岩が採取されて、火山起源の地形であることが推定される。凹地状地形は同心円状に外輪山状の壁が重なり発達し、内部からは火山性の砂・礫が採取された。また ROV による海底観察では、角礫質岩石から構成される壁も観察されていることから、火口又は火山性の陥没地形である事が推定される。波浮港東側竜王崎には水蒸気爆発に伴われる火山サージ堆積物の地層が厚く分布し、層厚・構造から噴出源は海岸沖海中に推定されている事から、今回調査した凹地地形が、水蒸気爆発による火口である可能性が推定される。

キーワード: 伊豆大島, 海底地形調査, 海底火口

Keywords: Izu-Oshima, Submarine topographic survey, submarine volcanic vent

マグマ発生の減圧説 Pressure relief theory of magma genesis

飯田 義正^{1*}

IIDA, Yoshimasa^{1*}

¹ なし

¹ non

1914年の桜島大噴火に伴う沈降域の中心が北方の鹿児島湾最北部であることから、Omori (1916; Bull. Imp. Earthq. Inv. Comm., vol.8, no.2, 152-179) は、マグマ発生源が火山直下ではなく、側方の沈降域であると考えた。他の火山でも近隣に湖や海湾があることから、同様の関係を示唆している。このような火山の側方浅部でのマグマ発生の可能性は、その後、省みられることは無く、深部の沈み込み帯でのマグマ発生が定説として確立された。

マグマは密度差により重力と反対方向に上昇するから火道は垂直になるはずであり、火山側方のマグマ溜りは例外的で発生場ではなく、遙か深部からマグマが供給されたと考えられている。また、火山体直下の浅所がマグマの発生源なら、物質移動の観点から、全体が沈降してしまい、山は高くならない。従って、垂直火道を前提とすると、マグマ発生源は非常な深部でなければならない。

このような常識から離れ、昨年、新しい火道生成説を提案した(飯田, 2011a; 衝撃波破碎パイプモデル)。この説では、火道はマグマ溜りの天井の崩壊により破碎パイプとして形成され、流下する岩片と入れ替わる形でマグマが上昇する。キンバーライト・パイプの形成と急速なマグマの上昇も、これで説明できる。

マグマ溜り付近では火道は水平に近いが、次第に傾斜が急になり火口付近ではほぼ垂直になる。従来の火道を表す模式図が温度計に似ているのに対し、新たなモデルは上を向いた首長竜に似る。この形状を示唆する例は次の通り。(A) 雲仙岳の噴火開始前後の震源分布(太田, 1993; 地雑, 99, 835-854; 第28図)。(B) デス・バレーでの弾性波深度画像(Chavez-Perez et al.; 1998; Geophysics, 63, 223-230; Fig.6)。ここではブライト・スポットから噴石丘に至る正断層に沿ったマグマの通路と解釈されている。(C) 霧島の3-D地震波構造(西・鍵山, 2002; 地球惑星合同大会, V032-034; および第119回火山噴火予知連資料)。えびの岳の深度4km付近から新燃岳火口付近に至る低速度領域が認められる。

カルデラの下にマグマ発生源が推定される事例から、カルデラ形成による急激な除荷でマグマが発生し、またそのプロセスは連鎖すると考えた(飯田, 2011b)。カルデラ・チェーンは、大陸地殻では地溝を形成する。海洋地殻および大陸の溶岩台地では、いわゆるカルデラは存在しないが、凹地や平原(溶岩の大規模な流出に伴う沈降地帯)がカルデラ・チェーンであると考えられる。なお、非接触型の連鎖反応なので発生するマグマ型は必ずしも一定しない。

マグマ発生のメカニズムを分類すると次のようになる。(1) 浅所巨大マグマ溜りの緩慢な成長に伴い下位の温度・圧力が徐々に増加。その後、カルデラ形成に伴う急激な除荷により地殻内または底部でマグマが発生。(2) このマグマの側方への移動・噴火で、最初のマグマ発生域の下位が減圧され、新たなマグマが発生。(3) 氷床の消滅に伴う急激な除荷による上部マントルでキンバーライト・マグマが発生。(4) 伸張場である中央海嶺で減圧によるマグマの発生。

減圧によるマグマ発生説は、すでにYoder (1952) が提案している。減圧の原因として、彼は撓曲(アーチング)と断層運動を考えた。アーチングはアウター・ライズのプチスポット(Machida et al., 2005)を生じるメカニズムの可能性があり、断層については上記(4)の正断層のケースである。

マグマ型の帯状分布など、沈み込み帯の特徴とされてきたものは、沈み込み帯でのマグマ発生の証拠ではない。帯状の地殻構造に伴うものと解釈される。沈み込み帯でのマグマ発生やマントル・ダイアピル、ホットスポット、プリュームは存在しない。上部マントルは、従来の推定より数百度は低いと考える。これらに関しては別の発表で議論する。

飯田 (2011a) <http://www2.jpgu.org/meeting/2011/yokou/SVC047-P10.pdf>

飯田 (2011b) <http://www2.jpgu.org/meeting/2011/yokou/SVC070-P01.pdf>

キーワード: 減圧説, 曲線火道説, カルデラ・チェーン, キンバーライト・パイプ

Keywords: pressure relief theory, curved vent, caldera chain, kimberlite

