

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 highlight 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 volcanos, 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 か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と同最大幅 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、ダイクの長さと同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と同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と同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, ダイク同最大幅, 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。キンパーライト・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パーライト・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, キンパーライト・パイプ

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

