Japan Geoscience Union Meeting 2011
(May 22-27 2011 at Makuhari, Chiba, Japan)
©2011. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.

SVC051-01 会場:301B 時間:5 月 22 日 14:15-14:30

東北本州弧における火山活動とテクトニクス
Volcanic activity and tectonics in the NE Honshu arc, Japan

吉田 武義 [1*]
Takeyoshi Yoshida[1*]

[1] 東北大学大学院理学研究科地学専攻
[1]Graduate School of Science, Tohoku Univ.

東北本州弧における新生代火山活動は、陸弧火山活動期、背弧海盆火山活動期、島弧火山活動期に３分できる。各ステージでの火山活動は、広域応力場の変遷を含む構造発達史と密接な関連を示し、それぞれ、特有のマグマ供給系や火山活動様式、噴出量で特徴づけられる。背弧海盆火山活動期は、引張場での多軸リフトの形成で特徴づけられ、噴出率は最も大きい。島弧火山活動期は、初期の背弧側での沈降を伴うニュートラルな応力場で噴出率が低下した後、脊梁域での隆起を伴うカルデラ形成が続き、第四紀に入って、強い東西圧縮場で多数の安山岩質成層火山を形成するに至る（Yamada and Yoshida, 2011）。

東北本州弧の構造発達史のなかでは火山活動の推移と構造性堆積盆の沈降、隆起活動とが密接な関連を示している。特に背弧拡大に伴う構造性堆積盆の沈降、隆起プロセスは火山フロントの前進・後退と明瞭に関連し、火山活動は構造性初期沈降期、特にその後半で広く起こっている。そして、初期沈降期から停滞期になると火山活動は島弧全域で抑制される。これは引張応力場でのリフト活動に伴う伸長割れ目の形成が苦鉄質マグマの上昇を促す一方で、沈降停止に対応した水平圧縮応力の増大が地殻内に形成された岩脈状火道を閉塞して、火山活動を抑制した結果と考えられる。ただし、繰り返される停滞期に続く隆起期には珪長質マグマがカルデラ形成を伴って噴出している場合が多いことから、沈降停止期、すなわち火山活動停滞期には、ニュートラルに近い水平圧縮応力場の下で、深部から上昇してきたマグマが、地殻内の浮力中立深度に形成された岩床状マグマ溜り等に一旦滞留すると推定される（吉田、2009）。

島弧火山活動期では、当初、広域に分布していた火山活動域が、８ Ma 以降になると局在化し（Kondo et al., 1998）、脊梁を軸とする隆起域に大量のカルデラが形成される。火山活動域のクラスター化には、地殻内でのマグマの水平方向への移動が重要な役割を果たしていた可能性が高い。４ Ma 以降の東西性の強い圧縮応力場では、脊梁山脈に平行な逆断層の形成とともに、それと斜交する横ずれ断層や、第四紀火山を切る東西性の正断層が形成されている。これらの共存については、強い圧縮応力場に置かれた地殻内マグマ溜まりでのマグマ圧の増圧によって説明できる（Acocella et al., 2008）。リフト期には強い引張場がバイモーダルなマグマ活動を活性化するのに対し、島弧期末期の圧縮場では、強い水平応力が地殻内の種々のレベルに滞留したマグマを、混合しながら強制的に絞り出す結果、カルクアルカリ安山岩質の成層火山が隆起軸部に多数形成されたと思われる。

火山活動は構造発達史と密接に関連しており、現在の火山活動を正しく理解するには、その地域の火山活動史とともに構造発達史を正しく理解することが重要である。

キーワード: 火山活動, テクトニクス, 東北日本, マグマ, 広域応力場
Keywords: volcanic activity, tectonics, NE Honshu, magma, regional stress field

Japan Geoscience Union Meeting 2011
(May 22-27 2011 at Makuhari, Chiba, Japan)
©2011. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.

SVC051-02 会場:301B 時間:5 月 22 日 14:30-14:45

新生代東北アジア背弧域火山岩からみる上部マントル
Evolution of Cenozoic upper mantle beneath back arc region in NE Asia

栅山 徹也 [1*], 宮崎 隆 [1], 常 青 [1], 高橋 俊郎 [1], 平原 由香 [1], 仙田 量子 [1], David Tian[2], 木村 純一 [1]
Tetsuya Sakuyama[1*], Takashi Miyazaki[1], Qing Chang[1], Toshiro Takahashi[1], Yuka Hirahara[1], Ryoko Senda[1], David Tian[2], Jun-Ichi Kimura[1]

[1] 海洋研究開発機構, [2] 北京大学
[1]JAMSTEC, [2]Peking Univ.

スラブの沈み込みを通した地球内部への物質流入過程を理解する上では、沈み込み帯のみならず背弧域まで含めた上部マントルダイナミクスを理解する必要がある。その背弧域は一般的に以下のような特徴を有する。1) 高い地殻熱流量, 2) クラトンに較べて明瞭に高い地温勾配を示すリソスフェア, 3) 上部マントル一帯に広がる地震波低速度領域, 4) 散発的・長期的かつ広域的な玄武岩火山活動。これらのことは、背弧域上部マントルに特有の熱物質輸送プロセスが存在する可能性を示唆している。

ユーラシア東縁部背弧域は上記の特徴を有する典型的な背弧域であり、その特徴を説明するために様々なモデルがこれまで提案されている。しかし、上部マントルダイナミクスを議論する上でもっとも重要な温度に関する制約はほとんど与えられていない。一方、当地域には未分化に近い組成を有する玄武岩が広範囲に噴出していることから、火山岩に関する岩石学的検討によって、広い時間・空間スケールにわたる背弧域上部マントルの熱・物質履歴を解析できることが期待される。そこで我々は新生代に中国東部・山東省一帯に噴出した玄武岩を対象として、岩石学的・地球化学的検討を行った。

キーワード: アルカリ玄武岩, 中国東北部, 背弧域, 新生代
Keywords: alkaline basalt, northeastern China, back arc, Cenozoic

Japan Geoscience Union Meeting 2011
(May 22-27 2011 at Makuhari, Chiba, Japan)
©2011. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.

SVC051-03 会場:301B 時間:5 月 22 日 14:45-15:00

貫入岩体中の斑晶のマーカーとしてのクロムスピネル包有物
Chrome-spinel inclusions in olivine and plagioclase as a marker of phenocrysts in a differentiating magma system

星出 隆志 [1*], 小畑 正明 [2]
Takashi Hoshide[1*], Masaaki Obata[2]

[1] 九州大学大学院理学研究院, [2] 京都大学大学院理学研究科
[1]Kyushu University, [2]Kyoto University

Crystal accumulation is an important process in magmatic differentiation. Although whether cumulus crystals were *intratelluric* phenocrysts or *newly-formed* crystals after magma emplacement is an important issue concerning mechanisms of magmatic differentiation, there has been no effective criteria for the judgement. We demonstrate, from a study of the Murotomisaki Gabbroic Intrusion, that Cr-spinel inclusions in silicates may be used as a useful marker to identify the intratelluric phenocrysts and also as a tracer to study the crystal redistribution in a differentiating magma body.

The Murotomisaki Gabbro is a sill-like layered mafic intrusion (~200 m thick) emplaced in Tertiary sediments in Shikoku, Japan. Several olivine-rich zones have been identified in a lower 100-m zone. Olivine and plagioclase phenocrysts in the chilled margin commonly contain tiny Cr-spinel inclusions, which are uniform in composition regardless of kind of the host mineral. Cr-spinels occur as olivine- or plagioclase-hosted inclusions in the lower 40-m cumulates (AC subzone), while there are no Cr-spinel crystals in the overlying cumulates (40-100 m; GR subzone). In the AC subzone, Cr-spinel contains more Fe^{3+} than that in the chilled margin. This tendency is more pronounced in olivine-hosted inclusions than in plagioclase-hosted ones. Within olivine crystals, closer the crystal margin, the more modified are the compositions of the spinel inclusions. From the above observations, we infer that all olivine- and plagioclase-hosted Cr-spinel inclusions from the AC subzone are originally of the same in compositions as those from the chilled margin, but their compositions have been modified in situ during solidification of magmas by diffusional exchange with the residual melt through the host minerals.

キーワード: 結晶沈積, 斑晶, マグマ分化, クロムスピネル, 元素拡散, 室戸岬斑れい岩体
Keywords: crystal settling, intratelluric phenocryst, magmatic differentiation, Cr-spinel, diffusion, Murotomisaki Gabbroic Intrusion

Japan Geoscience Union Meeting 2011
(May 22-27 2011 at Makuhari, Chiba, Japan)
©2011. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.

SVC051-04 会場:301B 時間:5 月 22 日 15:00-15:15

高圧実験に基づく三宅島火山大船戸期のマグマ溜まり
Magma chamber of Ofunato Stage, Miyakejima volcano based on high-pressure experiments

潮田 雅司[1*], 高橋 栄一[1], 鈴木 敏弘[2], 浜田 盛久[1]
Masashi Ushioda[1*], Eiichi Takahashi[1], Toshihiro Suzuki[2], Morihisa Hamada[1]

[1] 東京工業大学地球惑星科学専攻, [2]IFREE/JAMSTEC
[1]Earth and Planetaly Sciences, Tokyo Tech, [2]IFREE/JAMSTEC

Miyakejima is an active volcanic island located about 200km south of Tokyo in Izu-Mariana arc. Tsukui et al. (2001) divided the volcanic activity of the last 10000 years into four stages: 10000-7000 (Ofunato Stage), 4000-2500 (Tsubota Stage), 2500 y.B.P to AD1154 (Oyama Stage) since AD1469 (Shinmio Stage). We performed melting experiments of OFS scoria, which is one of the least fractionated Miyakejima basalt, in Ofunato stage. Experiments were performed in the temperature ranges of 1050-1200C at 1.0, 1.5, 2.0, 2.5kbar using IHPV at the Magma Factory, Tokyo Tech. Based on the experimental results and petrology of OFS, magma chamber in Ofunato Stage was reconstructed. The magma chamber was located at 5˜6km depth (˜1.5kbar) and water-rich (˜3 wt.%) basalt magma crystallized olivine and calcic plagioclase (which is the typical phenocryst assemblage throughout Ofunato Stage) at ˜1100C under NNO-buffer. Condition of the magma chamber was maintained almost constant for 3000 years. A series of crystallization trends were calculated using MELTS program (Ghiorso and Sack, 1995), and it is found that andesites erupted in Tsubota Stage can be formed by fractional crystallization of OFS basalt at 1.5kbar under NNO. Postulated water content in magma (˜0.6 wt.%), however, is much lower than in Ofunato Stage (˜3 wt.%). Accordingly it is suggested that magma chamber has been significantly degassed (0.6 wt.% H2O in magma) during the dormant period (4000˜7000 y.B.P)

キーワード: 三宅島, マグマ溜まり, 高温高圧実験, 大船戸期
Keywords: Miyakejima, Magma chamber, High-pressure experiment, Ofunato Stage

Japan Geoscience Union Meeting 2011
(May 22-27 2011 at Makuhari, Chiba, Japan)
©2011. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.

SVC051-05 会場:301B 時間:5 月 22 日 15:15-15:30

火山活動予測における測地学的手法の役割
Roles of geodetic methods on volcanic activity forecasting

村上 亮 [1*]
Makoto Murakami[1*]

[1] 北海道大学地震火山センター
[1]ISV, Hokkaido Univ.

2011 年 1 月に、約 300 年ぶりの噴火を開始した霧島火山群新燃岳では、噴火のほぼ 1 年前から始まった広域の膨張性の地殻変動が GPS 連続観測によって捉えられていた。地下 10km 程度の深さの膨張を示す変動であり、マグマ活動の可能性も浮上したが、現在の霧島火山の活動中心から西方のやや離れた場所に膨張中心があったため、新燃岳や御鉢等の活動に直接関連したものかどうかは不明であった。噴火時になって、火山灰や溶岩の大量噴出にともない、噴火前の膨張源が逆に収縮した様子が、これも GPS 等の地殻変動観測によって見事に検知された。このことにより、噴火前の膨張もマグマ性のものであったことが確実となった。この事例においても、地下のマグマ等の移動の把握における、地殻変動観測の有効性が改めて強く認識された。

GPS の連続観測が開始された 1990 年代中ごろから現在までに、幾つかの火山活動が発生したが、そのほとんどにおいて、多くの場合は噴火前から、また、少なくとも噴火に伴う地殻変動が観測されている。一部の火山においては、GPS 観測結果をもとにして、広い意味での火山噴火予測の可能性が指摘されるまでに至っている。

たとえば、本州の中央部に位置する浅間山は、有史以前から活発な火山活動を続けているが、2004 年に約 20 年ぶりに噴火して以降も、2008 年、2009 年と噴火を繰り返している。1996 年に開始された山体を北東―南西にまたぐ基線の GPS 連続観測結果（国土地理院）は、山体の膨張と収縮の繰り返しを示しており、膨張期には、噴煙高度、地震活動、二酸化硫黄放出などの火山活動が活発化することが知られている。実際に、2004 年以降の噴火は、いずれも膨張期に発生している。これらのことから、比較的浅部のマグマ溜まりへのマグマ貫入が表面での火山活動を駆動していると考えられるが、このマグマ貫入には、極めて興味深い規則性が指摘されている。観測全期間（1996-2010）の地殻変動の変化パターンを見ると、相似形のエピソードが数珠つなぎのように連結して繰り返しているように見える。さらに重要なことは、ひとつのエピソードの開始点が一本の直線の上にならんでいるように見えることである。この規則性が持続的なものであり、今後も継続して成立する場合は、地震予測の Time-Predictable モデルと同様の議論で、次のエピソードの開始時期を予測できる可能性が浮上する。雌阿寒岳でも類似の変化があることも、最近指摘されている。このように GPS はより高度な噴火予知の可能性を窺わせるまでに、有用性を発揮している。

測地学の火山分野における測地学のもう一つの重要な役割には、カルデラ噴火の候補地の探索もあり、本講演では、火山噴火予知における測地学的手法のこれらの役割への貢献の現状と将来への期待について紹介する。

キーワード: 火山噴火予知, GPS, 測地学, 防災, カルデラ噴火
Keywords: Volcanic Eruption Prediction, GPS: Global Positioning System, Geodesy, Disaster Mitigation, Super Volcano

Japan Geoscience Union Meeting 2011
(May 22-27 2011 at Makuhari, Chiba, Japan)
©2011. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.

SVC051-06 会場:301B 時間:5 月 22 日 15:30-15:45

Post-Eruptive Deformation of the 2006 Rabaul Volcano (PNG) Eruption Detected by ALOS-SAR Data

Post-Eruptive Deformation of the 2006 Rabaul Volcano (PNG) Eruption Detected by ALOS-SAR Data

Ampana Suame[1*], Fumiaki Kimata[1]
Suame Ampana[1*], Fumiaki Kimata[1]

[1]Nagoya University
[1]Nagoya University

Rabaul volcano is located at 4.271oS and 152.203oE on the eastern flank of the Bismarck Volcanic Arc on the northeastern end of the Island of New Britain in Papua New Guinea (PNG). It is a 9 x 14 km caldera complex. The volcanic arc is associated with the current subduction of the Solomon Sea Plate beneath the Bismarck Plate along the New Britain Trench. The most recent twin eruptions of VEI 6 occurred in September 1994 from two vents, Vulcan and Tavurvur, located roughly on the western and eastern margins of the caldera respectively, preceded by a deformational crisis ten years earlier. Leading up to and after the deformational crisis, intense monitoring was carried out anticipating an eruption in the near future.

After the 1994 eruption, Vulcan eruption ceased shortly thereafter while Tavurvur continued intermittently to end of 2010. An eruption of VEI 4 occurred on August 11, 2006 with vent and explosive eruptions. Lava flow and lava dome extrusion also occurred. Before the eruption, uplift was observed since February 2005 and amounted to 4 cm uplift at the time of eruption. At the eruption, ˜25 cm of subsidence was detected by continuous GPS measurements. Habitants of Rabaul town were evacuated to safe locations.

Generally, it is agreed that the central up-doming of the caldera is being caused by one or two point sources at shallow levels within the caldera block, at depths ranging from 1 to 2.5 km. In contrast, the complexity of the observed deformation has also led to suggestion that more complex source may be involved other than a single (or two) point source. Moreover, the observed deformation may be the response of the caldera structure to the stresses from a 4- to 5- km deep magma source. Also, pressurization along ring faults, as delimited by seismic annulus, has been proposed to account for the observed deformation.

We processed ALOS PALSAR Data using InSAR technique for images obtained on February 27, July 15 and October 15 of 2007, October 17 of 2008, and September 4 and December 6 of 2009. This period corresponds to post-eruption deformation. Few centimeter subsidence are detected in the northeastern part of the caldera around Tavurvur volcano in the periods February ? July and July ? October in 2007 and September ? December in 2009. InSAR detected deformation estimates are consistent with vertical deformations of GPS processing by Rabaul Volcano Observatory for the corresponding periods. Subsidence of ˜30 cm was observed in the caldera by continuous GPS measurements for 2 years until 2009. Small deformations are also detected around Vulcan.

A spherical deflation source at a depth of 2 km in the Greet Harbor provides a reasonable fit to the data using Mogi (1958) solution. We attributed the subsidence to decrease in the source volume as part of it recedes back into the magma chamber further beneath.

キーワード: Post-eruptive deformation, Rabaul volcano, ALOS PALSAR image, InSAR, subsidence, spherical source
Keywords: Post-eruptive deformation, Rabaul volcano, ALOS PALSAR image, InSAR, subsidence, spherical source

Japan Geoscience Union Meeting 2011
(May 22-27 2011 at Makuhari, Chiba, Japan)
©2011. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.

SVC051-07 会場:301B 時間:5 月 22 日 15:45-16:00

御嶽山および周辺域での最近の地震活動の推移とその特徴
Recent transitions of seismicity in and around the Ontake volcano

山崎 文人 [1*], 山中 佳子 [1], 渡辺 俊樹 [1], 中道 治久 [1], 寺川 寿子 [1], 奥田 隆 [1], 堀川 信一郎 [1], 黒田 育実 [1], 柴山 由里子 [1]
Fumihito Yamazaki[1*], Yoshiko Yamanaka[1], Toshiki Watanabe[1], Haruhisa Nakamichi[1], Toshiko Terakawa[1], Takashi OKUDA[1], Shinichiro Horikawa[1], Ikumi Kuroda[1], Yuriko Shibayama[1]

[1] 名古屋大学・環境学・地震火山センター
[1]Res Ctr Seismol. Volcanol., Nagoya Univ.

御嶽山南東麓で 1976 年 2 月頃より始まった群発地震活動は、その活動域内で発生した 1984 年長野県西部地震 (M6.8) のトリガーとなったと考えられる (山崎他, 1986)。この群発地震活動はその後、山体を取り囲むように東から北に拡大し今日なお継続しているが、1979 年 10 月の御嶽山噴火 (水蒸気爆発) とその後の 2 度にわたる小規模噴火との直接的関連性は認められない。山頂から半径 6 ー 8km の範囲では群発地震活動は殆ど認められていないが、山頂直下浅部では小規模な火山性地震活動が存在し、その消長が噴火活動の指標として注目されている。御嶽山におけるこれらの地震活動や火山活動は地質学的スケールでは一連の地殻活動と捉えることができ、マグマや流体の上昇活動がその原因と推測されるが、今回は御嶽山とその周辺域での最近における特徴的な地震活動について報告する。

名古屋大学ではこれらの地震活動の詳細を把握すべく、定常・臨時観測網の展開による長期高密度観測を実施するとともに、2009 年ならびに 2010 年の夏から秋にかけて山体を囲む形で 11 点からなる稠密観測網を展開し、山体直下の火山性地震等についてのより精密な把握を目的として地震観測を実施した（文科省受託研究「ひずみ集中帯プロジェクト」）。それらの結果、一元化処理震源と比べてより多くの地震を決定し得たが、その震源の深さは系統的に 3km 程度浅く、またマグニチュードは系統的に 0.3 程度大きく求められている。震源の深さの差異は速度構造モデルの違いが主たる原因と考えられるが、マグニチュードに関しては、station correction を求めた結果、山体に近いほど大きな値となる傾向が認められる一方、周辺域では一元化処理結果とほぼ同等の値となり、結果的に+0.3 程度の系統的な差が生じていることが判明した。これは御嶽山直下に部分的に減衰域が存在するという従来の解析結果 (山崎他, 2005; 大藪, 2011) とは必ずしも整合せず、両者を統一的に説明しうる構造モデルの構築が課題となっている。

山頂直下浅部の深さ 0 ー 3km 程度では小規模な火山性地震活動が断続的に認められ、その震源の深さの上限は地震活動度が上がる際に浅くなる傾向が認められ、2006 年 12 月頃より活動度が高まった際には震源の深さの上限が極浅部にまで至り、翌年 3 月 23 日がそのピークとなった。この地震データから、2007 年 3 月下旬の 2 回目の小規模噴火は 23 日に発生したと結論づけられる。また、震源を決定することはできないが、山頂の地震観測点では極浅発の極微小地震が観測されている。

臨時稠密観測網展開中の 2010 年 8 月に山頂直下の浅部においてやや顕著な火山性地震活動が認められたが、この期間には王滝頂上および八合目にも臨時観測点を設置しており、とりわけ震源の深さ決定精度の良いデータを得ることができた。この期間の震源の深さ分布は概ね-1 ー 3km で、その震央分布は山頂直下の狭い範囲に限定され、地震が柱状に分布している事が結論づけられる。

御嶽山の直下では深さ 20 ー 50km 程度の地殻下部・上部マントルでの地震活動が見られる。これらの地震活動は他の火山で通常見られる深部での低周波地震活動とは異なり、短周期成分を含む地震も発生している。2010 年 2 月 3 日 19 時から 4 日 02 時にかけて、御岳湖付近の小領域の深さ 20 ー 40km の範囲で柱状にバースト的な地震活動が発生し (最大 M=1.4)、震源が求まった地震数は 8 時間で 450 個 (最初の 4 時間で 400 個) に達した。 このバースト的地震活動は最上部マントルからの急激な流体の上昇を示唆している。これと同様な活動は 2002 年 8 月にも発生し、その震源域は同一場所と考えられ、最上部マントルから地殻下部に達する柱状ダイクの存在を示唆している。その際求められた発震機構解は NE-SW の圧縮軸を持つ逆断層型を示しており (山崎, 2007)、1979 年 10 月の噴火に伴って山頂直下で発生した浅発地震活動の発震機構解と概ね同一であるが、広域応力場の圧縮軸方向とは有意に異なっている。

キーワード: 御嶽山, 群発地震, 火山性地震, 地震活動度
Keywords: Ontake volcano, earthquake swarm, volcanic earthquake, seismicity

Japan Geoscience Union Meeting 2011
(May 22-27 2011 at Makuhari, Chiba, Japan)
©2011. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.

SVC051-08 会場:301B 時間:5 月 22 日 16:00-16:15

非等方均質広域応力場中で単一球形マグマ溜りがつくるカルデラ形状
Collapse caldera shape caused by a single sphere magma chamber in anisotropic homogeneous regional stress field

楠本 成寿 [1*], 長尾 年恭 [2]
Shigekazu Kusumoto[1*], Toshiyasu Nagao[2]

[1] 富山大学大学院理工学研究部 (理学), [2] 東海大学海洋研究所地震予知研究センター
[1]Grad. Sch. Sci. and Eng. Univ. Toyama, [2]EPRC, Inst. Ocean. Res. Dev. Tokai Univ.

水平最大主応力と水平最小主応力の応力比が一定である等方あるいは非等方均質広域応力場中で，単一球形マグマ溜りがつくるカルデラ形状を与える基礎式を導いた。

地表で観察されるカルデラの多くは楕円形をしている (例えば，Taupo, Taal, Valles, Long Valley, Campi Flegrei など)。カルデラが楕円形になる理由として，　地下のマグマ溜りが楕円形である　地下のマグマ溜りの形状は楕円ではないが，広域応力場の影響によって形状が制御される　複数回のカルデラ形成が重なり，現在観察される楕円形のカルデラとなった 等が考えられる。カルデラが楕円である理由は，いずれか 1 つの原因による場合と，複数の原因による場合があるが，本研究では，　の影響について解析的手法を用いて調べた。数学的な扱いを簡単にするため，地下のマグマ溜りは小球であると仮定した。また，マグマ溜りの崩壊は，マグマ溜りの半径方向の収縮 (体積変化) で近似した。

広域応力場中で単一球形マグマ溜りがつくるカルデラ形状を与える基礎式は，マグマ溜りの体積変化により生じる地表面の応力場を，広域応力場と共にクーロンの破壊基準で評価することで導いた。導かれた基礎式は，代数的に解くことが困難であったため，数値的に解くことで，カルデラ形状を推定した。テストを兼ねて，まず，広域応力場が作用していない条件でカルデラ形状を推定した。その結果，カルデラは円形になることが示された。これは，従来のアナログ実験や数値実験 (例えば，Komuro et al., 1984; Komuro, 1987; Marti et al., 1994; Gudmundsson et al., 1997; Acocella et al., 2000; Roche et al., 2000; Kusumoto and Takemura, 2003) を支持する結果であり，本基礎式が，基本的な解を正しく与えることを示すものである。広域応力場が等方的である場合，カルデラは円形になるが，その半径は，広域応力が作用していない場合より小さくなった。一方，非等方的な圧縮応力場中では，カルデラは最大圧縮方向に短くなり，最小圧縮応力方向に伸ばされた。また，非等方的な伸張応力場中では，カルデラは最大引張りの方向に長くなり，最小引張りの方向に短くなった。これらの結果は，Holohan et al. (2005) のアナログ実験で示された広域応力場とカルデラ形状の関係と調和的であった。

カルデラ形状を与える基礎式には，地殻の弾性定数や強度定数のほかに，マグマ溜りの深さやカルデラ形成必要な体積変化量，さらに水平最大主応力の大きさと広域応力場の応力比が陽な形で含まれる。地殻の弾性定数や強度定数は別として，他の要素がカルデラ形状に与える影響を評価したところ，水平最大主応力の大きさと広域応力場の応力比が重要な役割を果たすことが明らかになった。

講演では，これらの事柄とともに，これらを基礎として，楕円形カルデラの長軸と短軸から広域応力場の水平最大・最小主応力の比，あるいは差応力を推定する手法について言及する。

[謝辞]
本研究は，科学技術振興機構「科学技術外交」の強化に向けた政府開発援助 (ODA) との連携による国際共同研究「フィリピン地震火山監視強化と防災情報の利活用推進」の一環として行われました。記して感謝致します。

[文献]
Acocella et al., 2000, JVGR; Gudmundsson et al., 1997, GRL; Holohan et al. 2005, JVGR; Komuro et al., 1984, BV; Komuro, 1987, JVGR; Kusumoto and Takemura, 2003, GRL; Marti et al., 1994, JGS; Roche et al., 2000, JGR.

Japan Geoscience Union Meeting 2011
(May 22-27 2011 at Makuhari, Chiba, Japan)
©2011. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.

SVC051-09 会場:301B 時間:5 月 22 日 16:30-16:45

陥没カルデラの基本構造とそのバリエーション
Fundamental structures of collapse caldera and their variations

下司 信夫 [1*]
Nobuo Geshi[1*]

[1] 産業技術総合研究所　地質情報研究部門
[1]Geological Survey of Japan, AIST

陥没カルデラは，大量のマグマがマグマ溜まりから取り去られることにより，マグマ溜まりが減圧し，その結果マグマ溜まりの天井岩が地表を巻き込んで陥没することによって生じる構造である．多くの陥没カルデラは，地表への大量のマグマの噴出によって形成される．歴史記録が残るタンボラ（1815 年），クラカタウ（1883 年），ピナツボ（1991 年）などは，中間～珪長質のマグマの大規模な火砕噴火によって形成された陥没カルデラである．一方，苦鉄質マグマの火山では，しばしば側方への大規模なダイク貫入が陥没を引き起こす．ガラパゴス（1968 年），三宅島（2000 年），レユニオン（2007 年）などがその例である．

天然のカルデラの陥没構造を直接観察することは一般に困難であり，そのことがカルデラの形成メカニズムの理解の支障となっている．カルデラ陥没に伴う大規模な火砕噴火による噴出物はしばしばカルデラ内に厚く堆積し，基盤の変形構造を覆い隠している．また，古い時代のカルデラでは，しばしば侵食やその後の構造運動などによってそのオリジナルな構造が改変されている．そのような野外観察の限界を克服するために，近年，アナログ実験や数値実験による陥没カルデラの発達過程の議論が盛んになされている．それらの結果は，マグマ溜まりから上方に進展する環状断層がカルデラの構造発達を支配することを示している．特に，浅部では環状断層が内側の逆断層と外側の正断層に分岐し，平面上では二重リング構造を形成することが知られている．環状断層の発達は，マグマ溜まり天井の深さと水平方向の規模の比，すなわちルーフアスペクト比に強く規制される．マグマ溜まりの深さが相対的に深くなるにつれて，比較的変形を受けないマグマ溜まりの天井がブロック状に陥没する，いわゆるピストン型の陥没から，多くの環状断層が累進的に形成され，断層によって破砕されたブロックが陥没する，いわゆるピースミール型の構造に推移する．また，ピースミールが他のカルデラでも陥没の進行に伴い，変位が次第に少数の環状断層に集中し，それの囲まれたブロック群が一体となって沈降することが示されている．

これらの実験結果を実際のカルデラ構造と比較すると，たとえばカルデラ内からの噴火を伴わずに形成された三宅島やレユニオンのカルデラは，これらの実験結果と極めて調和的な構造，たとえば内側の逆断層と外側の正断層の二重構造や，崩壊によって形成されたじょうご状の構造などを持っていることが分かる．カルデラ内部が厚い堆積物によって覆われているカルデラでも，ボーリング調査の結果や反射断面の解析結果から同様の陥没構造が推測されている．従って，環状断層に囲まれた領域がブロック状に，あるいはピースミール状に破砕されながらマグマ溜まり中に陥没する構造が，陥没カルデラの基本構造と考えることができる．カルデラ内部からの火砕噴火によるカルデラ内部の埋積や，カルデラ壁の重力崩壊によってカルデラの構造が改変される．また，爆発的な噴火活動による火道の侵食もまた，カルデラ構造のバリエーションをもたらす．本論では，それぞれの事例に従って，カルデラの基本構造とそのバリエーションを形成する要因について議論する．

キーワード: 火山, 噴火, マグマ, カルデラ, 構造
Keywords: volcano, eruption, magma, caldera, structure

Japan Geoscience Union Meeting 2011
(May 22-27 2011 at Makuhari, Chiba, Japan)
©2011. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.

SVC051-10 会場:301B 時間:5 月 22 日 16:45-17:00

GPS データから明らかになった伊豆半島周辺のテクトニクス -伊豆マイクロプレートと伊豆背弧拡大-
Tectonics of the Izu Peninsula region deduced from GPS data -Izu microplate and back-arc spreading of the Izu arc-

西村 卓也 [1*]
Takuya Nishimura[1*]

[1] 国土地理院
[1]GSI of Japan

伊豆半島周辺では，伊豆弧の本州弧への衝突や相模トラフ，駿河トラフでの沈み込み，伊豆大島や伊豆東部火山群などの火山活動など様々なテクトニックプロセスが進行しており，地域的なテクトニクスに関する多くのモデルも提案されている．本講演では，近年の GPS データによる地殻変動速度場をブロック断層モデルを用いてモデル化し，伊豆マイクロプレートの運動と伊豆背弧での拡大速度を推定した結果について伊豆半島周辺域に焦点を当てて報告する．

ブロック断層モデルとは，地表面の地殻変動を剛体ブロック（プレート）運動とブロック境界の固着による弾性変形の和で表されるというモデルであり，様々な地域の地殻変動に適用されてきた．Nishimura et al. (2007) では，この地域の 1996-2000 年の GPS 平均速度を用いて，火山性の地殻変動も考慮したブロック断層モデルを適用し，伊豆マイクロプレートの運動を推定したが，ここでは，この地域で顕著な地震・火山活動が発生していない 2007-2009 年の GPS 平均速度のみを用いて再解析した．伊豆半島周辺の剛体ブロックとして，関東ブロック，中部ブロック，伊豆マイクロプレート，フィリピン海プレート，伊豆前弧ブロック（一般的なフィリピン海プレートの伊豆諸島前弧部分），太平洋プレートを仮定し，ブロックの剛体回転運動とブロック間のすべり欠損速度，富士山，伊豆大島，三宅島，神津島の球状圧力源（茂木モデル）を同時推定した．その結果，Nishimura et al.(2007) の結果と比べてオイラー極は北に位置するが，伊豆マイクロプレートは，関東地方に対して時計回りの回転運動をしていることが示された．伊豆マイクロプレートと伊豆前弧ブロックの境界は，伊豆半島と伊豆大島の間をほぼ南北に通り，新島，神津島付近を通過して南西へと抜け，約 28mm/年の速度で左横ずれの運動をしていることがわかった．伊豆東部火山群でのダイク貫入イベントでは，1997 年，1998 年，2006 年の活動の最大地震（M5.8~5.9）のように，南北走向の左横ずれのメカニズムを持つ地震を伴っており，このブロック境界での運動を反映したものと考えられる．このブロック境界での横ずれ運動は，GPS の水平変位場からも明瞭に読み取ることが出来る．

また，地形，地質学的研究から，伊豆弧では背弧拡大が起こっていることは示されてきたが，GPS データによっても伊豆前弧ブロックがフィリピン海プレート本体に対して独立の運動をしていることが確認でき，相対運動のオイラー極は母島西方にあることが推定された．そのため，背弧拡大速度は，青ヶ島西方で約 7mm/年，三宅島西方では約 9mm/年と北に行くほど大きくなる．相模トラフでの地震のスリップベクトルからも伊豆弧の背弧拡大の北端は伊豆半島付近にまで達していることが示唆される．これらの推定結果は，伊豆半島東方沖でのダイク貫入が伊豆背弧の拡大運動と関連するという考え（高橋，2004）を支持するものである．

キーワード: 伊豆半島, 伊豆マイクロプレート, 背弧拡大, GPS, ブロック断層モデル
Keywords: Izu Peninsula, Izu microplate, back-arc spreading, GPS, block-fault model

Japan Geoscience Union Meeting 2011
(May 22-27 2011 at Makuhari, Chiba, Japan)
©2011. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.

SVC051-11 会場:301B 時間:5 月 22 日 17:00-17:15

伊豆大島周辺の地震波速度構造
Seismic velocity structure around Izu-Oshima volcano

森田 裕一 [1*], 伊豆大島構造探査グループ [1]
Yuichi Morita[1*], Izu-Oshima seismic exploration group[1]

[1] 東京大学地震研究所
[1]ERI Univ. of Tokyo

１．はじめに

伊豆大島は，前回の 1986 年の噴火から 25 年が経過し，近年２～３年周期で間欠的に山体の収縮とその後の膨張が何度か地殻変動の観測から明らかにされている．これは現在もマグマが地下に蓄積していることを示し，マグマ蓄積過程を研究する上では，この火山は最適のフィールドのひとつである．マグマが浮力で上昇して浮力中立点で停留することから，このマグマ蓄積の深度と伊豆大島の地殻構造の関連を調べることは，マグマ蓄積過程を理解する上で重要である．伊豆大島周辺では，1999 年と 2009 年に人工地震による構造探査実験を実施した．2009 年の構造探査の測線は 1999 年に実施した人工地震構造探査にほぼ直交する測線で，両者を組み合わせることにより，伊豆大島の地震波速度構造が精度よく推定できると期待できる．2009 年構造探査の解析結果を 1999 年の探査で推定された構造を比較して報告する．

２．解析手法

2009 年の構造探査では，伊豆半島下田沖から伊豆大島を通り房総半島沖まで西南西～東北東に並ぶ約 60km の測線に，約 2km 間隔で海底地震計 39 台を設置した．また，伊豆大島島内には約 50m 間隔で，東西方向に約 180 台，南北方向に 90 台の地震計を配置した．人工地震は，測線上に５～８ km 間隔で９か所において薬量 300kg のダイナマイトによる海中発破と測線上及び伊豆大島沿岸１周で容量 50 リットルの約 80 m 間隔でエアガン発震を行った．海底地震計は全ての震源を，伊豆大島島内の稠密地震観測点は，海中発破及び伊豆大島沿岸でのエアガン発振の信号を記録した．

海底地震計で得られたエアガン発振信号の初動を読み取り値から，海底下の各層の速度を伊豆大島の西側と東側で全て等しいと仮定して推定した．その結果，第１層を 1.7-2.0km/s，第２層を 2.5-3.2km/s，第３層を 4.0-4.8km/s と見積もられた．これらの値はこれまでこの地域で行われた構造探査で求められたものとほぼ同じ値であった．更に，２次元波線追跡法（Zelt&Smith,1992）を用いて，境界面の深さを推定した．上記の解析で得られた第３層までの構造を元に，同様の方法で海中発破の初動を説明できる第４層の速度とその境界面の深度分布を求めた．その結果，第 4 層の速度は 5.8-6.2km/s であると推定された．

３．解析結果

上記の解析から，以下のことが明らかになった．

1) 初動走時を説明するには，伊豆大島東方約 15km でフィリピン海プレートが約 20 度で沈み込む構造でなければならない．この構造が測線の東側の走時に大きな影響を与えている．

2) 火山の基盤を形成している地震波速度約 6km/s 層上面の深度は，伊豆大島と伊豆半島の中間で，深さ約 4km であるが伊豆大島に向かって徐々に浅くなり，伊豆大島島内では深さほぼ 2.5km となる．一方，伊豆大島の東側では急激に深くなり，フィリピン海プレートの沈み込みの場所で約 4.5km となる．

3) 伊豆大島島内における基盤面の以浅の構造については，1999 年の構造探査の結果（伊東，2003）とほぼ一致している．北西‐南東測線と南西‐北東測線の両者とも，火山である伊豆大島の島内では基盤面が盛り上がっているという特徴を持っている．

今後は，この結果を用いて後続波の解析を進める予定である，後続波については，以下の特徴を確認している．

4) 1999 年の実験で観測された深さ８～10km から PxS 反射波と見られる後続波が，2009 年の実験でも震央距離 10km 付近で観測されている．この位相の見える距離が限られるので，反射面は局在している可能性がある．

5) 伊豆大島の西南西及び東北東の両方向から来る地震波は，三原山山頂域を通過すると急激に振幅が減衰する．また，カルデラ内の観測点での波形は，コーダ部分で高周波成分の振幅が大きく，この地域では強い散乱の影響を受けていると考えられる．

これらの特徴を説明できるように，速度構造モデルを高度化する予定である．

キーワード: 伊豆大島火山, 地震波速度構造, 火山体構造探査
Keywords: Izu-Oshima Volcano, seismic velocity structure, structure beneath volcanic edfice

Japan Geoscience Union Meeting 2011
(May 22-27 2011 at Makuhari, Chiba, Japan)
©2011. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.

SVC051-12 会場:301B 時間:5 月 22 日 17:15-17:30

海洋性島弧における地殻内マグマ長距離移動プロセス
Long-distance lateral magma transport in intra-oceanic arc volcanoes

石塚 治[1*], 下司 信夫[1], 川邉 禎久[1], 荻津 達[1], 辻野　匠[1], 中野 俊[1], 荒井 晃作[1], 佐野　弘弥[2], 山本 聡一[2], 坂本 泉[2], レックス　テイラー[3]
Osamu Ishizuka[1*], Nobuo Geshi[1], Yoshihisa Kawanabe[1], Ogitsu Itaru[1], Taqumi TuZino[1], Shun Nakano[1], Kohsaku Arai[1], Kouya Sano[2], Toshikazu Yamamoto[2], Izumi Sakamoto[2], Rex N. Taylor[3]

[1] 産総研, [2] 東海大, [3] 英国国立海洋研究所
[1]GSJ/AIST, [2]Tokai University, [3]NOCS

Recent geophysical observations in the Izu-Bonin intra-oceanic island arc indicate that magma is transported long distances laterally from the main basaltic composite volcano. When Miyakejima volcano erupted in 2000, seismic activity began beneath the volcano and migrated about 30km northwestward (Geshi et al., 2002). This event is interpreted to reflect northwestward dike injection from Miyakejima, transporting magma at a depth range between 12 and 20km (Kodaira et al., 2002). We demonstrated that long-distance lateral magma transport also occurred at Nishiyama volcano on Hachijojima Island using petrological, geochemical and structural studies of submarine and subaerial satellite vents (Ishizuka et al., 2008). Nishiyama provided evidence for two types of magma transport. In the first type, primitive magma moved laterally NNW for at least 20km in the middle to lower crust (10-20km deep) and is marked on the seabed as a series of submarine subparallel-aligning volcanic ridges. The other type is characterized by magmas that have experienced differentiation in a shallow magma chamber beneath Nishiyama and have been transported short distances (<5km). This latter type generates radially-distributing satellite cones. The long-distance magma transport seems to be controlled by a regional extensional stress regime, while short distance transport may be controlled by local stress regime affected by load of main volcanic edifice.

In this contribution, we report on recent investigations into the magma plumbing of Izu-Oshima volcano; an active basaltic volcano with extensive fissure eruption system. Cruise NT0906 accomplished 16 ROV dives in 2009. The dive areas were 1) NW of Izu-Oshima island, where the volcanism is expressed by NW-SE trending ridges, chains of volcanic edifices (NW chains) and the Higashi-Izu-Oki monogenetic volcanoes (HIMV) 2) SE of the island where NW-SE trending chains of volcanic edifices are also recognized (SE chains).

A bathymetric survey revealed that the subparallel NW-SE trending volcanic ridges extend up to 22 km to the NW and SE from the summit of Izu-Oshima volcano. The diving survey revealed that: 1) NW-SE trending ridges are eruption fissures, which erupted basaltic spatter and lava flows. 2) Basaltic effusives are petrographically similar among each ridge, while there are noticeable differences among the chains. 3) The NW chains are petrographically distinct from the HIMV in the same area. 4) Most of the NW-SE trending ridges have little sediment cover, implying that these eruption fissures are very recent.

Most of SE chains are petrographically and geochemically similar to the central and subaerial vents in the latest stage of activity of this volcano (last 2000 years), while NW chains are similar to the older subaerial satellite cones. Geochemical similarity between the submarine and subaerial chains on its extension implies that each volcanic chain represents an episode of lateral magma transport away from the main Izu-Oshima edifice. This scenario also explains the overlapping distribution of HIMV and NW chains which have clearly distinct sources. HIMV appears to be fed by ”in-situ” source, while NW chains are fed by magma plumbing system of Izu-Oshima volcano by lateral magma transport.

Magma transport at Izu-Oshima volcano, however, seems to be distinct from those at Hachijojima-Nishiyama volcano. Izu-Oshima system does not show compositional variation along the volcanic chain, and no primitive magma occurs in the chain. Long distance magma transport at the Izu-Oshima volcano seems to occur from shallow crustal magma chamber where extensive crystal fractionation and plagioclase accumulation take place.

Long-distance lateral magma transport in oceanic island arc volcanoes could be common phenomena where regional stress regime is favorable and important factor for construction of volcanic edifice and eruption system.
Keywords: Izu-Oshima volcano, intra-oceanic island arc, dyke, long-distance lateral magma transport

Japan Geoscience Union Meeting 2011
(May 22-27 2011 at Makuhari, Chiba, Japan)
©2011. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.

SVC051-13 会場:301B 時間:5 月 22 日 17:30-17:45

過去 2300 年間の富士火山の割れ目噴火：噴火割れ目と噴火様式の特徴
Fissure eruptions of Fuji Volcano during the last 2300 years: Eruptive fissure and style of Eruption

高田 亮 [1*], 山元孝広 [1], 石塚吉浩 [1], 中野俊 [1]
Akira Takada[1*], Takahiro Yamamoto[1], Yoshihiro Ishizuka[1], Shun Nakano[1]

[1] 産業技術総合研究所
[1]AIST, Geological Survey of Japan

割れ目噴火の方位と山体での位置は，広域ないし局所応力場に支配されている（例えば，Nakamura, 1977；Takada,1999）．噴火様式は主として発泡現象に起因している．富士火山で多くの割れ目噴火が発生した．その中で，様々な噴火様式および噴火活動の経緯が認められる．すなわち，応力場に支配されている現象と，発泡現象に支配されている現象がどのように関連しているかを考察するためには，富士火山は適当なフィールドといえる．本論では，詳細な噴火履歴が明らかになってきた過去 2300 年間の割れ目噴火を例に，上記の関連性について考察する．

（１）噴火割れ目のバリエーション：噴火割れ目の位置，方位，長さ，連続性などは，応力場に支配される．非爆発的な割れ目噴火で噴火割れ目が短い例は，南山腹では，須山胎内や青沢である．また，噴火割れ目が数 km に及ぶ長い例は，より山頂側では比較的爆発的な噴火を行い，より山麓側では非爆発的噴火を行う場合が多い．特に末端火口では，規模の小さいスパター丘やスパターランパートを形成する．南山腹の東臼塚南，大淵丸尾，不動沢，日沢，北山腹の御庭奥庭第１，第２，貞観噴火，剣丸尾第１，第２がその例である．一方，噴火の爆発性が高くなるとより噴火割れ目はより短くなる．典型的な爆発的噴火の場合は，山腹に 1-3 個程度の火砕丘やすり鉢状の火口を成長させる．宝永噴火や大淵スコリアがその例である．溶岩流流出を伴う爆発的噴火は，南山腹では二ツ塚や赤塚，かんす山である．

（２）爆発性の多様性を生む浅所マグマ供給系

過去 2300 年間でみると，富士火山では，割れ目噴火の爆発性が，宝永 1707 年噴火の前の静穏期以前は，波はあるものの全体として下がってきていた（高田ほか，2007）．高標高の噴火割れ目は標高 3500m に達しているものが多くあり，当時の山頂火口底と同程度の高度である．すなわち，山頂火口底にはマグマ頭が現れていた可能性もある．また，古文書からも山頂から噴煙があがっていたという記述が多く認められる．これらのことから，非爆発的な噴火は，マグマのドレーンバックを伴う脱ガスしたマグマの山腹への貫入と関連がある．一方，宝永や例外的な大淵スコリアのような爆発的噴火は，非爆発的噴火とは別の供給系を形成した可能性がある．

（３）発泡現象を取り込んだ割れ目噴火のアナログ実験による考察

噴火割れ目の長さは，浅所地殻での引張の程度に依存する．静水圧下での爆発的な噴火と非爆発的な噴火に類似したアナログ実験の例をはじめに紹介する．爆発的な噴火では，発泡によるマグマの上への上昇力と体積膨張のために，ロート状火口やすり鉢状火口を形成する．次に，引張応力場の程度の違いによる，噴火割れ目の長さへの影響を再現するアナログ実験の例を紹介する．

キーワード: 富士火山, マグマ供給系, 割れ目噴火, 噴火様式, ドレーンバック, 応力場
Keywords: Fuji Volcano, Magma plumbing System, Fissure eruption, Style of eruption, Drain back, Stress field

Japan Geoscience Union Meeting 2011
(May 22-27 2011 at Makuhari, Chiba, Japan)
©2011. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.

SVC051-14 会場:301B 時間:5 月 22 日 17:45-18:00

岩脈たちの方向のクラスター解析と古応力解析
Clustering of dike orientations for paleostress analysis

山路 敦 [1*], 佐藤 活志 [1]
Atsushi Yamaji[1*], Katsushi Sato[1]

[1] 京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻
[1]Div. Earth Planet. Sci., Kyoto Univ.

岩脈たちを方向によってグルーピングする，クラスター解析法を提案する．すなわち，岩脈たちの極がステレオネット上でクラスターやガードルをつくるとして，それらの集まりに混合 Bingham 分布をフィッティングする．また，本方法は，情報量基準を使って，与えられた方向データをいくつのグループに分けるかを決定することができる．さらには，グループごとに岩脈形成時の応力を計算することができる．

本方法を，石鎚コールドロン西側の「平行」岩脈群に適用した．岩脈群の方向は，楠橋・山路 (2001) による．平行と言っても，実際には岩脈達の極は，90 °くらいのばらつきがある．本法を適用した結果，2 つのグループを認めることができた．それらは，日本海拡大末期の広域引張応力と，マグマ圧によるローカルな応力に対応すると考えられる．

まず，方向のみによってグルーピングできたなら，次にはグループごとに岩石学的・年代学的検討に進み，火成活動の理解を深めることができるだろう．

キーワード: 岩脈, 方向統計, クラスター解析, 応力, 日本海拡大
Keywords: dike, orientation statistics, cluster analysis, stress, Japan Sea opening

Japan Geoscience Union Meeting 2011
(May 22-27 2011 at Makuhari, Chiba, Japan)
©2011. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.

SVC051-15 会場:301B 時間:5 月 22 日 18:00-18:15

火山の構造地質学: 有用性と今後の課題
Structural geology of volcano deformation: Its utility and future issues

三浦 大助 [1*]
Daisuke MIURA[1*]

[1]（財）電力中央研究所
[1]CRIEPI

1．はじめに

火山の変形に関わる分野では，大きく分けて，噴火史を復元する地質学的手法，岩石学・地球化学等のマグマそれ自体を扱う物質科学的手法，そして地震・測地・地磁気観測等を中心とした地球物理学的手法を用いた研究がある．地質学は過去の噴火規模・様式とそれらの変遷を表せる利点を有する一方で，地質学の持つ歴史科学的側面が，物理・化学的手法との親和性を阻害する要因となる場合がある．火山の噴火史とは，噴火という物理過程を経た火山噴出物が，一群の分布をなし，構造をつくり，そしてまた噴火を繰り返すことにより姿形を変えてきた歴史である．そこで，構造地質学的手法を用いて，時間分解能の高い火山噴出物の研究を行えば，地質学と地球物理学の両方へ親和性が高い研究を行うことが可能となる．すなわち，火山構造を調べることで，その形成過程に対してより深い理解を得ることができる．本稿では火山の構造地質学に関連する研究成果についてレビューし，その有用性と共に，今後の課題について考察してみたい．

2．観測研究

火山直下のマグマ供給系を明らかにすることは，あらゆる火山活動の研究において本質的に重要である．しかし，地表とマグマ溜りの間を結ぶマグマの輸送システム領域（Transport system; Scandone et al., 2007）をターゲットにできる研究・観測手法は必ずしも多くない．いわゆる噴火モニタリング技術はこの領域をカバーできるが，噴火が起こらない限り得られる情報は限られてしまう．解剖学的視点から，古い火山の内部構造や上部地殻のマグマ輸送を詳細に研究すると，Transport system の理解が深まると期待できる．また，岩脈のようなマクロ・メソスケールからカルデラのようなメガスケールまで，幅広い現象を同様に扱えることも，火山の構造地質学の強みであろう．例えば，古典である Anderson (1937; 1951) の頃から，構造地質学は積極的に火山現象を対象としていた．我が国では中村一明氏による一連の岩脈研究がこの分野の先駆的業績として有名である（Nakamura, 1977 など）．最近では，北米の古い成層火山体でのマグマ組成の違いと岩脈の到達距離についての比較研究や (Perry et al., 2001)，岩脈の分布・形状から供給・非供給岩脈を峻別した研究 (Geshi et al., 2010) 等がある．噴火事例が稀なカルデラでは，解剖学的アプローチで様々な理解が深まり (Lipman, 1997; Walker, 1984; Cole et al., 2005)，断層変位量の累積頻度分布と噴火エネルギーの関係を用いて，陥没の構造変化を考察した研究 (三浦・和田, 2007) 等も行われた．クレーター径と噴出物量の関係式の研究 (Spera and Crisp, 1981; Sato and Taniguchi, 1997) 等もこの範疇に入れることができる．

3． 実験研究

火山構造は，複数回の噴火イベントの集積によることが常であるから，構造と単位噴火イベントの対応を理解することが重要である．このような目的で，アナログモデル実験が数多く行われてきた．カルデラ（Komuro et al., 1987; Roche et al., 2000; Geyer et al., 2006）や岩脈 (Takada, 1994; Acocella and Neri, 2009) だけでなく，横ずれ断層による山体の変形などもある (Lagmey et al., 2000) ．アナログ実験では熱の問題はカバーできないため数値計算によりマグマ溜りの熱供給を考慮して Transport system 領域の変形を考察した研究もある (Jellinek and DePaolo, 2003)．これも広い意味での火山の構造地質学といえるだろう．

4． 今後の課題

火山の構造地質学は，中・上部地殻の変形を扱える点が非常に優れていると言える．1998 年岩手山・2000 年三宅島 (Nishimura et al., 2001; Toda et al., 2002) や 2008 年に起こった岩手宮城内陸地震のように，内陸活断層と火山直下のマグマ活動の関係が指摘された研究もある．このようなテーマに資する基礎データを得る際に，火山の構造地質学が有効かもしれない．火山の構造地質学では，イベント分解能や調査・研究に適したフィールドが限られるなど難問が山積しているが，地質学と地球物理学の連携を目指し，異分野間の融合的発展に資する意味から，このような「分野横断的」研究手法が今後ますます重要となることを強調しておきたい．

キーワード: 構造地質学, 火山, 変形, テクトニクス

Keywords: structural geology, volcano, deformation, tectonics

Japan Geoscience Union Meeting 2011
(May 22-27 2011 at Makuhari, Chiba, Japan)
©2011. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.

SVC051-P01 会場:コンベンションホール 時間:5 月 22 日 10:30-13:00

九州火山フロントにおけるスラブ流体の組成とマグマ生成プロセス
Compositions of slab-derived fluids and magma generation process beneath volcanic front of Kyushu arc

田村 智弥 [1*], 長谷中 利昭 [1]
Tomohisa Tamura[1*], Toshiaki Hasenaka[1]

[1] 熊本大学大学院自然科学研究科
[1]GSST, Kumamoto University

九州の火山フロント沿いに位置する四つの火山（阿蘇、九重、霧島、開聞）について、それらの火山噴出物中に含まれるカンラン石に捕獲されたメルト包有物の分析を行った．カンラン石はマグマの結晶分化の早期に晶出される鉱物であり、これに捕獲されたメルト包有物はより未分化なマグマの組成を保持していることが期待される．よってカンラン石中のメルト包有物の組成を調べることで、初生マグマの組成、さらにはスラブ流体の組成を推定し、九州のような島弧におけるマグマ生成プロセスを明らかにすることが可能となる．

メルト包有物の組成から初生マグマおよびスラブ流体の組成を求めた結果、九州火山フロントの四つの火山の初生マグマおよびスラブ流体の組成は、カリウムに富み火山フロントの北部に位置する阿蘇・九重のグループと、カリウムに乏しく火山フロントの南部に位置する霧島・開聞のグループに分けることができた．初生マグマのカリウム含有量は部分溶融度の違いに影響を受けておらず、スラブ流体のカリウム含有量を反映していた．また、阿蘇・九重下に沈み込んだスラブは深さ約 140km まで達しており、霧島・開聞下のスラブの到達深度である約 100km よりも深く沈み込んでいる．110km よりも深部では、スラブ中のフェンジャイト（カリウムに富む鉱物）が脱水分解反応を起こすため、阿蘇・九重下のスラブ上においてフェンジャイトの脱水分解が起こり、その結果として阿蘇・九重のスラブ流体および初生マグマのカリウム含有量が霧島・開聞のそれに比べて高くなったと推定される．さらに、部分溶融度とスラブ流体には正の相関があり、スラブ流体の主成分である水はマントルのソリダス温度を低下させ、マグマの生成を助ける．また、開聞は他の火山に比べてマントルへのスラブ流体の付加が少ないため、部分溶融度が小さい．開聞においてスラブ流体の付加が少ないのは、九州の南部に向かうにつれて沈み込むスラブの年代が古くなり、スラブの冷却が進んでいることと矛盾しない．

今回の研究によって、九州の火山フロントに位置する四つの火山のマグマ生成プロセスおよび初生マグマの組成は、沈み込むスラブによって付加された流体の組成を大きく反映していることが分かった．スラブ流体は島弧におけるマグマ生成プロセスおよび初生マグマの組成に多様性をもたらす重要な物質である．

キーワード: メルト包有物, スラブ流体, 島弧
Keywords: melt inclusion, slab-derived fluids, island arc

Japan Geoscience Union Meeting 2011
(May 22-27 2011 at Makuhari, Chiba, Japan)
©2011. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.

SVC051-P02 会場:コンベンションホール 時間:5 月 22 日 10:30-13:00

フーリエ級数により表現される過剰圧分布に起因するラコリスの形状を与える解析解
Analytical solutions giving shape of laccoliths due to overpressure distribution expressed by Fourier series

楠本 成寿 [1*], 竹内 章 [1]
Shigekazu Kusumoto[1*], Akira Takeuchi[1]

[1] 富山大学大学院理工学研究部 (理学)
[1]Grad. Sch. Sci. Eng. Res., Univ.Toyama

フーリエ級数で表現される過剰圧分布に起因するラコリス形状を与える解析解を導いた。
ラコリスの形成を説明するモデルでは，過剰圧は一定であると仮定されてきた。この場合，ラコリスは対称であるべきであるが，非対称なラコリスも多く存在する。そこで本研究では，過剰圧分布は一定ではなく，フーリエ級数で表現されると仮定し，そのような過剰圧分布が作用したとき，ラコリスの形状を与える式を導いた。フーリエ級数は、不連続や非対称を含むあらゆる過剰圧分布を表現することが出来るため、ここで示す解は、ラコリスの形状を表現する一般的な解である。
本論では、数値例として、$p(x)=\exp[ax]$ (a = 0, 1, 2, 3) で表される過剰圧の非対称を反映するラコリス形状を示す。また、過剰圧が対称であるという条件下で、ラコリスの形状から、過剰圧分布をフーリエ余弦関数により知る逆解析解を導いた。過剰圧が一定と$p(x)=\exp[3|x|]$ という条件下で計算されたラコリスの形状から、仮定した過剰圧分布を再現できるかというテストを行った。その結果、多少の誤差をもつものの、基本的に正しい解を与えることが分かった。この逆解析解を用いることで、肉眼で判断できないマグマ過剰圧を、ラコリスの形状から推定できることを示す。

Japan Geoscience Union Meeting 2011
(May 22-27 2011 at Makuhari, Chiba, Japan)
©2011. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.

SVC051-P03 会場:コンベンションホール 時間:5 月 22 日 10:30-13:00

火星火山探査の提案
A proposal for future rover exploration targeting volcanic activity on Mars

並木 則行[1*], 荒井 朋子[1], 小林 正規[1], 千秋 博紀[1], 後藤 和久[1], 和田 浩二[1], 大野 宗祐[1], 石橋 高[1], 亀田 真吾[1], 臼井寛裕[2], 小松吾郎[3], 宮本 英昭[4], 橘 省吾[4], 杉田 精司[4], 三浦 弥生[4], 長 勇一郎[4], 岡田 達明[5], 大竹 真紀子[5], 久保田 孝[5], 出村 裕英[6], 小川 佳子[6], 浅田 智朗[6], 平田 成[6], 北里 宏平[6], 奥平 恭子[6], 寺薗 淳也[6], 高橋 幸弘[7]
Noriyuki Namiki[1*], Tomoko Arai[1], Masanori Kobayashi[1], Hiroki Senshu[1], Kazuhisa Goto[1], Koji Wada[1], Sohsuke Ohno[1], Ko Ishibashi[1], Shingo Kameda[1], Tomohiro Usui[2], Goro Komatsu[3], Hideaki Miyamoto[4], Shogo Tachibana[4], Seiji Sugita[4], Yayoi N. Miura[4], Yuichiro Cho[4], Tatsuaki Okada[5], Makiko Ohtake[5], Takashi Kubota[5], Hirohide Demura[6], Yoshiko Ogawa[6], Noriaki Asada[6], Naru Hirata[6], Kohei Kitazato[6], Kyoko Okudaira[6], Junya Terazono[6], Yukihiro Takahashi[7]

[1] 千葉工業大学, [2] ジョンソン宇宙センター, [3] 国際惑星科学研究大学院, [4] 東京大学, [5] 宇宙航空研究開発機構, [6] 会津大学, [7] 北海道大学
[1]PERC/Chitech, [2]JSC/NASA, [3]IRSPS, [4]The University of Tokyo, [5]ISAS/JAXA, [6]The University of Aizu, [7]Hokkaido University

ミーロス火星探査着陸機が目指す重要な科学テーマとしてわれわれはローバによる地質調査を提案している. これまでの軌道上からの, あるいは複数の着陸点での観測から, 火星は多様性に富む天体であり, 複雑な物理, 化学過程が表層の地質に影響を与え続けてきたことが明らかとなっている. 火星史の全体像を把握するた めには, 個々の着陸地点についても, 物理的, 化学的, 地質学的に多元的な視点から観測研究を行わなければならない. 多様で複雑な火星表層環境の探査には二通りのアプローチがあり得る. 多地点着陸とローバ探査である. 地質調査の観点から考えれば, 前者は多種多様な岩石種 のバリエーションを収集するのに適しており, 後者は素性の似通った一連の観測対象のトレンド (変遷) を調査することで複雑性を解明することに役立つ. 観察対象は堆積岩と火山岩に大別され, それぞれ異なる科学目標が設定される. 堆積岩調査は国際的な火星探査の流れに沿う方向であり, 国際協調による科学成果の 向上が期待できる. 一方, 火山岩調査は日本の独自性と国際貢献度の高い選択である. 着陸候補地点は, 堆積岩調査の場合には Nili Fossae や高地・低地の境界付近を提案する. 火山岩調査の場合には後期 Noachian?前期 Hesperian に形成された古い溶岩平原 (または溶岩流) 上で, 直径 10 km 程度の若い衝突クレーターのイジェクタブランケットへの着陸が最も望ましい. 現在, ローバに搭載を検討している科学観測機器は (i) 双眼立体視カメラ用液晶波長可変フィルタ,(ii) マクロ分光カメラ,(iii) レーザ誘導絶縁破壊分光器,(iv) X 線蛍光回折分析装置,(v) 質量分析計,(vi) 磁力計,(vii) 地中レーダ, である. ローバによる広範囲 (1 km-10 km) にわたる岩石産状・形態・組織の確認, 鉱物種の同定, 岩石組成の測定によって, 火星表層環境の変遷と火星内部進化を理解するための基礎データが得られる. ひいては火星の気候変動・進化史の解明, すなわち「火星はなぜ赤い惑星なのか?」という疑問への答えが得られると期待される.

欧米の火星探査計画は地球外生命の痕跡を探すために堆積岩から表層環境の変遷を明らかにしようとしている. しかし, 火星の気候進化過程を理解するためには, 堆積岩調査ばかりでは不十分である. 火星大気は火星内部からの脱ガス (衝突脱ガスや火山活動) によって形成されるであろうし, 表層の酸化還元状態と火星内部の酸化還元状態は強く結び付いているはずである. この点に関して, 近年,Bibring et al. (2005) は後期 Noachian から前期 Hesperian にかけての大規模な火成活動, 特に二酸化炭素や二酸化イオウの脱ガスが火星表層の酸化還元状態を急変させ, 気候進化に支配的影響を与えたという興味深い仮説を提唱している. 火星気候進化を解明するためには気候システムそのもの理解に加えて, システムへの流入・流出をコントロールする火成活動と散逸メカニズムの究明もまた重要なのである. したがって, ミーロス散逸周回機によって磁気圏を探査するとともに, 地質調査によって火星内部の活動状態とその変遷をも理解する必要がある. 火山岩には, 地殻とマントルの温度圧力勾配・化学組成 (揮発性成分を含む)・酸化還元状態といった物理化学情報が記されている. 地球上でのフィールドジオロジーに従えば, 火山岩の産状・形態・組織の観察から (i) 火山発達史と噴火のダイナミクスが推定される. 具体的には爆発的か流出的かといった噴火様式の違いや, 溶岩 (流) の形態からメルトの粘性や噴出時の揮発性成分の含有量が解明される. 一方, 鉱物組成や元素組成からは結晶分化作用や初生メルト組成といった (ii) マグマプロセスを調べることが出来る. 前者 (火山発達史と噴火のダイナミクス) のみを科学のターゲットとするならば, 多地点着陸や分散型ランダー探査, あるいは軌道上からのリモートセンシングが効率的である. しかし, 火星気候進化と火山活動のリンクを明らかにするためには後者 (マグマプロセス) の研究こそが重要であり, そのためには広範なサンプル収集手段としてのローバが必要不可欠となる. 例えば火星においてマグマの分化を示唆するだけならリモートセンシングでも行うことができるが, 単に SiO_2 量の変化を議論しているだけでは, 本当に玄武岩→安山岩質へと分化しているトレンドをみているのか, 単にシリカに富む風成生成物や水質変成の結果をみているのか区別ができない. ローバを用いた直接探査は, こうした議論を格段に高い確度で行う事を可能にする.

キーワード: 火星探査, ローバ
Keywords: Mars exploration, Rover