

## 霧島火山における2011年1月の噴火以降のGPS連続観測による地殻変動 Crustal deformation after the eruption on January, 2011 by continuous GPS observation in Kirishima Volcano

中尾 茂<sup>1\*</sup>, 森田 裕一<sup>2</sup>, 後藤 和彦<sup>1</sup>, 八木原 寛<sup>1</sup>, 平野 舟一郎<sup>1</sup>, 及川 純<sup>2</sup>, 上田 英樹<sup>3</sup>, 小園 誠史<sup>3</sup>, 平田 安廣<sup>2</sup>, 高橋 浩晃<sup>4</sup>, 一柳 昌義<sup>4</sup>, 太田 雄策<sup>5</sup>, 松島 健<sup>6</sup>, 井口 正人<sup>7</sup>  
NAKAO, Shigeru<sup>1\*</sup>, MORITA, Yuichi<sup>2</sup>, GOTO, Kazuhiko<sup>1</sup>, YAKIWARA, Hiroshi<sup>1</sup>, Shuichiro Hirano<sup>1</sup>, OIKAWA, Jun<sup>2</sup>, UEDA, Hideki<sup>3</sup>, KOZONO, Tomofumi<sup>3</sup>, Yasuhiro Hirata<sup>2</sup>, TAKAHASHI, Hiroaki<sup>4</sup>, ICHIYANAGI, Masayoshi<sup>4</sup>, OHTA, Yusaku<sup>5</sup>, MATSUSHIMA, Takeshi<sup>6</sup>, IGUCHI, Masato<sup>7</sup>

<sup>1</sup> 鹿児島大学大学院理工学研究科, <sup>2</sup> 東京大学地震研究所, <sup>3</sup> 防災科学技術研究所, <sup>4</sup> 北海道大学地震火山研究観測センター, <sup>5</sup> 東北大学大地震・噴火予知研究観測センター, <sup>6</sup> 九州大学大学院地震火山観測研究センター, <sup>7</sup> 京都大学防災研究所火山活動研究センター

<sup>1</sup>GSSE, Kagoshima Univ., <sup>2</sup>ERI, Univ. of Tokyo, <sup>3</sup>NIED, <sup>4</sup>ISV, Hokkaido Univ., <sup>5</sup>RCPEV, Tohoku Univ., <sup>6</sup>SEVO, Kyushu Univ., <sup>7</sup>SVO, Kyoto Univ.

In January, 2011, sub-Pulnian eruption occurred in Shinmoedake. Before the eruption four continuous GPS sites are operated with one site of DPRI, Kyoto University, three GEONET and two NIED sites. Four continuous GPS sites were added to the existing GPS network after the eruption. Two other GPS sites were settled in April, 2011. The dense GPS network is consisted of 17 GPS sites.

The deflation source of the eruption is estimated about 7km westward from Shinmoedake with 9.3km depth. The amount of deflation is about 24 M cubic meters. This deep deflation source seems to be magma chamber in this activity.

Length changes are calculated on several baselines. Extension rate of baseline lengths after the eruption are almost same as that before the eruption. However, there are three period of rate change, May, August and November to December, 2011. In May, rate of baseline occurred, whose end point is located near the deep source. In August, rate of baselines decreases to almost zero, where baselines are across on the Shinmoedake. Rate of baselines also decreases to almost zero, where baselines are over the deep source. Length of these baselines became extended in August. It seems that magma supply into the deep chamber becomes lower.

## 歪観測記録からみた2011年1月霧島山新燃岳の噴火過程 Volcanic Process of the 2011 Shinmoedake Eruption inferred from Strain Data

寺石 眞弘<sup>1\*</sup>, 石原 和弘<sup>1</sup>, 山崎 健一<sup>1</sup>, 小松 信太郎<sup>1</sup>, 加藤 幸司<sup>2</sup>

TERAISHI, Masahiro<sup>1\*</sup>, ISHIHARA, Kazuhiro<sup>1</sup>, YAMAZAKI, Ken'ichi<sup>1</sup>, KOMATSU, Shintaro<sup>1</sup>, KATO, Koji<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 京都大学防災研究所, <sup>2</sup> 福岡管区気象台

<sup>1</sup> Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, <sup>2</sup> Fukuoka District Meteorological Observatory

噴火活動を理解して推移を予測する上で、地殻変動を高い分解能で把握することは本質的に重要である。現在、地殻変動を最も高い分解能で捉える手段は横穴式歪観測である。地殻変動観測に用いる横穴は敷設が容易ではないため、横穴式観測はGPSやポアホール式歪計・傾斜計ほど多くは実施されていない。そのため、全ての火山について横穴式観測のデータが利用できるわけではない。しかし適切な場所で横穴式観測が実施されている場合には、そのデータを利用することでGPSやポアホールでは検出困難な $10^{-9}$  -  $10^{-10}$ の局所的な歪変動も捉える事ができると期待できる。

2011年1月に噴火した霧島連山新燃岳の場合、火口から約18km離れた京都大学防災研究所伊佐(吉松)観測室において横穴式地殻変動連続観測が実施されている。観測用の横穴(坑道)は3方向に掘られており、スーパーインバール棒を用いた伸縮計によって各方向の伸縮変化が計測されている。新燃岳噴火時には、計器の電氣的ノイズを考慮した計測精度は2つの方向について $2 \times 10^{-10}$ 程度、残り1つの方向について $2 \times 10^{-9}$ 程度であった。伊佐の観測記録は降水荷重による擾乱を受けやすいが、噴火時およびその直前に大量の降雨はなかった。したがって、2011年噴火に関連する高々数日程度の変化歪変化を調べる上では降水荷重の影響を無視できる。

新燃岳の噴火活動の推移についての情報を得るため、伸縮計記録の時系列に含まれる主な変化を目視により見つけた。そしてそれぞれについて、歪変化が半無限一様媒質媒質中の点膨張・収縮(茂木モデル)によるものと仮定して、変動源の位置および大きさの推定を行った。茂木モデルを仮定した場合、観測点が1点しかなくても、観測点から見た膨張・収縮源の方向が伸縮の比から決定される。さらに、観測点と変動源直上の水平距離を適当に仮定すれば、深さおよび体積が決定される。伊佐観測室から新燃岳火口までの距離(18km)は、想定されるマグマだまりの空間スケールと比べて十分大きいので、膨張・収縮源の詳細な幾何形状を考慮しなくても、膨張・収縮源の時間的・空間的推移についての描像が得られると期待できる。

最も顕著な歪変化は、1月26, 27日に計3回起こった準プリニー式噴火およびその後31日までの火口への溶岩蓄積の際に記録されている。歪変化の大きさは $1 \times 10^{-7}$ 程度である。これらの際の地殻変動は十分大きいので、GPSを用いた多点観測データの解析によって変動源と大きさが推定されている。それらと比較することで伊佐の伸縮計記録だけを用いた地殻変動源推定の精度を検証することができる。変動源までの水平距離を15kmと仮定して伊佐観測室での伸縮計記録のみから各過程に対する変動源の深さを推定したところ、3回の噴火および溶岩放出に対する推定値として7.2, 7.0, 7.6および8.3kmを得た。これらは、GPSデータから推定された変動源の深さと整合する。また、水平方位についても、伸縮計記録から推定されたものは、GPSデータから推定されているものと一致する。一方、体積減少量については、各過程に対する推定値として1.25, 1.59, 0.94および $5.25 \times 10^{-6} \text{m}^3$ を得た。これは、GPSデータの解析や噴出物から見積もられた値と比べてかなり小さい。この違いは、地殻の弾性率の不均質を無視したために生じたと考えられるが、補正は難しい。これらの結果から、伸縮計記録に基づく変動源推定において、方位推定は信頼しうると期待できる一方で体積推定にはある程度の誤差が含まれると考えられる。

伸縮計記録時系列の精査によって、噴火時だけではなく、各噴火に数時間先行する歪変動(先駆的歪変動)も含まれていることが確認された。歪変化の大きさは噴火時の約1/100程度( $1 \times 10^{-9}$ 程度)である。歪の時間変化は、地下においてまず膨張が、続いて収縮が起こったことにより生じたとして解釈できる形状である。変化量が小さく、かつ潮汐成分との分離も難しいために、変化量の正確な評価は難しい。そのため、膨張・収縮源の位置を正確に推定することは難しい。しかし、歪変化量の読み取り誤差を考慮した計算により、変動源への水平方位がほぼマグマだまりの方向に等しいことと、変動源がマグマだまりよりも浅い位置にある可能性が高いことが推定された。これは、噴火準備過程の最終段階において、マグマだまりから地表(火口)への物質移動が生じていたことを示唆する。先駆的歪変動の収縮期とあわせて噴煙の増加も確認されており、これも先駆的物質移動の仮説を支持している。

キーワード: 伸縮計, 横穴式地殻変動観測, 新燃岳, 噴火過程, 先駆的地殻変動

Keywords: extensometer, geodetic observation in vaults, Shinmoe-dake, volcanic process, crustal deformation prior to eruptions

## 各種リモートセンシング結果の比較による新燃岳2011年噴火火口内溶岩の形状変化 Surface topography change of 2011 eruption lava stored in the Shinmoedake crater depicted by remote sensing techniques

村上 亮<sup>1\*</sup>, 的場 敦史<sup>1</sup>

MURAKAMI, Makoto<sup>1\*</sup>, Atsushi MATOBA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 北海道大学地震火山研究観測センター

<sup>1</sup> Inst. of Seismology and Volcanology, Hokkaido Univ.

宮崎・鹿児島県境に位置する霧島火山群に属する新燃岳は、およそ300年の休止期間を経て、2011年にマグマ噴火した。山体は25Kaから15Kaの間に形成されたとされ、数千年間にわたり静かな状態を保ったが、1716年-1717年にも準ブリーニエ式の本格的マグマ噴火を行っている。その後は、再び静穏期に入っていたが、最近では、1991, 2008, 2009, 2010に小規模な水蒸気噴火を繰り返して徐々に活動度の高まりを示しつつ、2011年1月の本格的なマグマ噴火に至った。この噴火以前は、火口はすり鉢状の形状をしており最深部には火口湖が形成されていた。噴火後は、噴出した溶岩によって火口内はほぼ完全に埋め尽くされ、火口縁にはほぼ近い高さまで溶岩が充填された状態となっている。この噴火では、溶岩の噴出は最初の短期間に終了し、その後は、噴出溶岩の表面において、小規模な爆発的噴火を繰り返すようになった。それらの活動も、最近では次第に落ち着いたものになってきている。

1990年代から国土地理院などによって実施されている霧島火山群周辺の広域的GPS連続観測結果は火山活動に呼応した興味深い変化を示している。噴火前約1年間は、山体の膨張が記録され、一方、噴火時には急激に収縮した。さらに、噴火直後から膨張が再開し、それはごく最近まで継続している。これらの地殻変動は、地下のマグマ活動の状況を直接反映したものと考えられている。GPS点の水平変動や上下変動データは、新燃岳の北西の地下のほぼ同じ位置で、膨張(噴火前および噴火後)や収縮(噴火時)が発生したと理解されている。噴火後の伸張は、2011年末になって、突然停滞し、その状態が現在まで続いている。しかし、膨張自体は、2011年噴火開始時直前のレベルにほぼ到達しており、2011年噴火直前と同程度のマグマがすでに蓄積されていると考えられる。このように、今後の活動の推移は、予断を許さない状況が続いている。

万一、噴火が発生した場合には、住民の避難などの防災対策が適切になされることが重要であるが、火山活動の規模や様式、またその推移については、可能性の幅が極めて広範であり、現時点において必要なすべての準備を事前実施しておくことは不可能である。したがって、噴火に至った場合には、活動の進展に合わせて、減災のため、可能な限りの最新の観測情報を収集して、活動の推移や規模を推定し、災害を惹起する可能性のある火山現象(たとえば、火砕流、火砕サージ、溶岩流、火山灰や噴石の飛散、泥石流など)を予測し、その予測に基づいた防災対策を適切に実施することが現実的である。次の噴火の様式を規定する重要な環境要素の一つは、地形であり、各種のシミュレーションなどを必要に応じて実施する場合にも、正確な数値的地形情報を把握しておくことが重要である。さらに、噴火開始後は、溶岩表面の上昇・下降や火口縁からの溢流の有無、火口縁の崩壊の有無等、活動の推移に応じて、形状の数値的な把握が準リアルタイムで必要となる。

2011年噴火以来、気象庁などが上空からの写真撮影を繰り返し実施した。それらの判読から、2011年噴火で噴出した溶岩の表面形状は、ほぼ平らで、従来のすり鉢状火口をほとんど埋め尽くし、最も標高の低い火口縁にかなり近いところまで達していることが確認されている。

噴火が再開すれば、地形を計測することが必要になるが、活動中の火山の形状やその変化を準リアルタイムで把握することはそれほど容易ではない。平穏な期間であれば、1) 航空機レーザー、2) 可視撮影による直上からの空中写真測量が標準の手法であるし、場合によっては3) 航空機SARや4) 衛星による観測も可能である。しかし、1) および2) は、活動的な火口の上空からの実施は困難であり、3) は実施費用が高額で高頻度の実施が難しく、4) は回帰周期の制約で高頻度の実施が難しい。そこで、報告者らは、補完的な手法として、5) 斜め写真による写真測量(可視) 並びに、噴煙掩蔽時や夜間にも観測が可能な6) 熱赤外面像の斜め写真測量を応用した手法の開発を進めている。

本講演では、我々自身の解析結果も含めて、各種の機関によってなされた地形計測結果を時系列的に比較して、噴火開始以降現在までの火口内溶岩形状の変化の有無を数値的に解析した結果を報告する。予備的な結果によれば、観測が可能となった2月初旬以降、大きな地形変化がなかったことが示唆される。さらに、地形形状の把握に用いられる各種のリモートセンシング手法を相互比較し、今後噴火が発生した場合への適応性について検討する。

なお、解析には、気象庁が撮影した新燃岳火口の写真、および国土地理院が実施した航空機SARの結果を使用した。謝意を表す。

キーワード: 新燃岳, リモートセンシング, 地形, 溶岩, 防災, 予測

Keywords: Shinmoedake, remote sensing, topography, lava, disaster mitigation, forecast



## 霧島火山新燃岳 2011年噴火後の重力変動 - 定点連続観測及び多点ハイブリッド観測の結果

### Gravity change around the Kirishima volcanoes after the 2011 eruption of Shinmodake

大久保 修平<sup>1\*</sup>, 植木 貞人<sup>2</sup>, 田中 愛幸<sup>1</sup>, 大島 弘光<sup>3</sup>, 前川徳光<sup>3</sup>, 今西 祐一<sup>1</sup>

OKUBO, Shuhei<sup>1\*</sup>, UEKI, Sadato<sup>2</sup>, TANAKA, Yoshiyuki<sup>1</sup>, OSHIMA, hiromitsu<sup>3</sup>, Maekawa Tokumitsu<sup>3</sup>, IMANISHI, Yuichi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学地震研究所, <sup>2</sup> 東北大学大学院理学研究科, <sup>3</sup> 北海道大学大学院理学研究院

<sup>1</sup>Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, <sup>2</sup>Graduate School of Science, Tohoku University, <sup>3</sup>Graduate School of Sciences, Hokkaido University

#### [1] はじめに

霧島火山では、2011年1月26日、27日、新燃岳において準プリニー式噴火が発生し、約300年ぶりにマグマ噴火が始まった。新燃岳では引き続き火口内へ溶岩が流出するとともに、2月上旬まで、溶岩で満たされた山頂火口から爆発的噴火が繰り返して発生し、社会生活に大きな影響が及んだ。その後、噴火の規模や頻度は低下したものの、地殻浅部におけるマグマの蓄積を示すと考えられる地盤変動も継続している。われわれは、この噴火活動にともなうマグマの移動・蓄積過程を明らかにするために、2種類の重力観測を行った。すなわち(1)固定点における絶対重力の連続観測、および(2)霧島火山群周辺地域をカバーする23点でのハイブリッド重力測定である。前者は1点での観測なので空間的な情報は得られないけれども、時間分解能に優れている。それに対し、後者は時間分解能では劣るものの、重力変動の空間的な広がりを知ることができる。このように互いに相補的な2種類の観測を統合して得られる知見について述べる予定である。

#### [2] 絶対重力観測

2011年2月初旬から2012年3月中旬までの1年間、東大霧島火山観測所(想定される深部マグマだまりからの水平距離が1km程度という好条件の場所にある)において絶対重力観測を行った。2月には数度のブルカノ式噴火が発生しており、それに先立って絶対重力観測にも、特徴的なシグナルが見えている。また、長期的には1年の観測期間中に約30マイクロガルに及ぶ変動が観測されているが、そのすべてが火山活動に起因すると考えることは適切ではない。実際、(1)観測点に近接したAMEDAS点の雨量は年間5200mmを記録していることや、(2)6日間で700mmの降雨のあった2011年9月(台風15号)時には12マイクロガルの重力増があったり、10日間で1200mmの降雨のあった2011年6月中旬には、16マイクロガルの重力増が観測されたりしていることから、土壌水分・地下水効果を取り除くことが重要である。この問題はKazama and Okubo (JGR 2009)によって取り上げられ、土壌水分や不圧地下水層の頭位を数値シミュレーションで求めることにより、解決(軽減)することができると考えられる。あるいは、植木ほか(2011)によるタンクモデルによる補正も有効かもしれない。これらの手法による補正結果についても紹介する予定である。

#### [3] 繰返しハイブリッド観測

繰返し測定によって重力値の時空間変化を明らかにするために、GPS観測などから推定された地盤変動源の直上を中心に、霧島火山地域をカバーする23点から成る重力測定網を構築した。この中のKVO(霧島火山観測所)では、[2]で述べた絶対重力測定と組み合わせることによって、いわゆる「ハイブリッド測定」となり、全点で絶対重力値の時間変化を議論することが可能になる。測定は2011年3月、2011年8月にLCR社G型重力計4台(G31, G375, G682, G705)を用いて行われている。2012年3月に実施が計画されている観測結果も総合した解析結果を提示する予定である。

#### 謝辞

研究経費は科研費・研究特別促進費「2011年霧島火山(新燃岳)噴火に関する総合調査」(代表・中田節也)によってまかなわれた。関係各位に感謝申し上げます。

キーワード: 新燃岳 2011年噴火, 重力変動, マグマ蓄積過程, 地下水

Keywords: Eruption of Shinmoedake 2011, Gravity change, Magma accumulation process, groundwater

## 地震計アレイによる新燃岳に発生した微動の短期間時空間特性 (2) Characteristics of volcanic tremor in Kirishima volcano based on seismic array (2)

中元 真美<sup>1\*</sup>, 松本聡<sup>2</sup>, 山中佳子<sup>3</sup>, 清水洋<sup>2</sup>, 中道治久<sup>3</sup>

NAKAMOTO, Manami<sup>1\*</sup>, MATSUMOTO Satoshi<sup>2</sup>, YAMANAKA Yoshiko<sup>3</sup>, SHIMIZU Hiroshi<sup>2</sup>, NAKAMICHI Haruhisa<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 九大・理, <sup>2</sup> 九大・地震火山センター, <sup>3</sup> 名大・地震火山研究センター

<sup>1</sup> Grad. Sch. Sci., Kyushu University, <sup>2</sup> SEVO, Kyushu University, <sup>3</sup> EVRC, Nagoya University

2011年1月から活発な噴火活動を継続している霧島・新燃岳の火口から南西に約3km離れた新湯温泉近傍において、我々は1月29日から2Hz3成分地震計25台による地震計アレイ観測を行っている。また、火口から東方向に約4km離れたひなもり台において、16点3成分のアレイ観測も継続している。本研究では得られた記録のうち顕著な微動として観測されている震動について詳しく解析する。2011年2月2,3日には振幅の大きい微動が観測されている。これらは数分間の継続時間を持ち、比較的モノクロマティックな震動である。このうち2月2日20:43から約40分間継続した微動が最も長く、顕著なものであった。これらをMUSICスペクトラム解析を通して、震動の発生源の方向特定を試みた。微動の周波数成分は約1, 2, 3, 4Hzにピークをもつ震動である。このうち最も振幅の高かった1.5-2.5Hz帯に狭帯域フィルターをかけて解析した。解析では4秒間のウィンドウを2秒ずつ移動させながら適用し、スローネスの時間変化を求めた。従来まで、我々は新湯アレイデータのみを用いて解析してきたが、今回2つのアレイを用いて解析することで発生源の特定がより精度の高いものになることが期待される。解析を通じて、ほとんどの震動は新燃岳火口方向の浅部から到達していることが明瞭に検出された。その一方、見かけ速度が速く、火口より北西側から到達している震動も見出された。これは圧力源として地殻変動から見出されている深部マグマだまりと対応している可能性がある。

## 新燃岳 2011 年噴火における二酸化硫黄放出率の推移 II Sulfur dioxide flux of Shinmoedake 2011 eruption II

森 俊哉<sup>1\*</sup>, 鹿児島地方気象台<sup>2</sup>

MORI, Toshiya<sup>1\*</sup>, Kagoshima Local Meteorological Observatory<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東大院理, <sup>2</sup> 気象庁

<sup>1</sup>Grad. School of Sci., the Univ. of Tokyo, <sup>2</sup>Meteorological Agency

霧島火山新燃岳は 2011 年 1 月 19 日に小規模な噴火をおこし、その後 1 月 26 日からは大規模な噴火活動へと発展していった。新燃岳 2011 年噴火では、1 月 26 日、27 日に発生した準プリニー式噴火を含め、3 月までに合計 13 回の爆発的噴火を引き起こした。より小規模な噴火の回数も三月までに減少し、9 月までは散発的に噴火を引き起こしていたが、9 月中旬以降噴火は起こっていない。

この噴火活動を受け、1 月 27 日より小型紫外分光計を用いた二酸化硫黄測定装置 (COMPUSS) を使用して新燃岳の二酸化硫黄放出率測定を開始した。二酸化硫黄放出率の観測はトラバース法で行った。放出率は、噴煙断面に二酸化硫黄量と噴煙移動速度を乗じて算出するが、その際使用する噴煙移動速度には、噴煙高度に対応する GPV の風速値を使用した。

新燃岳 2011 年噴火では、最初の 10 日は二酸化硫黄放出率が非常に高く、10000 トン/日を超える値が測定され、特に、火口内で溶岩ドームが急速に成長していたと考えられる 1 月 28 日の測定では、40000 トン/日を超える放出率が観測された。その後、放出率は 3 月下旬までにほぼ指数関数的に数百トン/日レベルまで減少した。4 月以降 2012 年 2 月現在まで数百トン/日のレベルで基本的に推移しているが、6 月 23 日や 8 月 31 日の噴火の直後には 1000 トン/日を超える高い放出率が観測された。発表では、新燃岳 2011 年噴火に伴うトータルガス放出率を推定する。また、2 月 3 日 12:18 に発生したブルカノ式噴火の直前に放出率の減衰が見られているが、この噴火に対して気象庁の新燃岳北東観測点の傾斜計や猪子石の遠望カメラ映像でも前兆的な変化がみられている。発表では、この噴火の前に見られた前兆的な変化について議論する。

キーワード: 霧島火山, 新燃岳, 二酸化硫黄, 火山ガス, 放出率

Keywords: Kirishima Volcano, Shinmoedake, sulfur dioxide, volcanic gas, flux

## 霧島新燃岳 2011年1月26-27日サブプリニー式噴火におけるテフラ拡散・堆積過程への制約

### Constraining tephra dispersion and deposition from cyclic subplinian explosions at Shinmoedake volcano, Japan, 2011

前野 深<sup>1\*</sup>, 長井 雅史<sup>2</sup>, 中田 節也<sup>1</sup>, BURDEN, Rose<sup>3</sup>, ENGWELL, Samantha<sup>3</sup>, 鈴木 由希<sup>1</sup>, 金子 隆之<sup>1</sup>  
MAENO, Fukashi<sup>1\*</sup>, NAGAI, Masashi<sup>2</sup>, NAKADA, Setsuya<sup>1</sup>, Rose BURDEN<sup>3</sup>, Samantha ENGWELL<sup>3</sup>, SUZUKI, Yuki<sup>1</sup>,  
KANEKO, Takayuki<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学地震研究所, <sup>2</sup> 防災科学技術研究所, <sup>3</sup> ブリストル大学地球科学科

<sup>1</sup>Earthquake Research Institute, University of Tokyo, <sup>2</sup>National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention,

<sup>3</sup>Department of Earth Sciences, University of Bristol

Andesitic subplinian explosions were repeated at Shinmoedake, Kyushu, Japan, on 26-27 January 2011. Tephra produced from the explosions were transported by strong seasonal wind, and crossed over the Kyushu Island then reached Pacific Ocean. The fallout deposits were widely observed in the area of down-wind direction. We estimate tephra volume, plume height, and magma discharge rate of the explosions based on field data and theoretical and empirical approaches.

In general theoretical and empirical models or methods are used to study tephra dispersal and physical parameters, in which a plenty of tephra data (mass per unit area, thickness, and clast size with distance) is required to give improved constraints on modeling results and to reduce uncertainties in estimates of eruption parameters and hazard. Although large-scale volcanic eruptions have provided such opportunities to examine theoretical and empirical approaches, small-scale eruptions are often more difficult to constrain because smaller volumes of erupted tephra tends to give only a small number of outcrops due to poor preservation of deposits. Data typically need to be collected soon after an eruption. Thus model applications to relatively small-scale eruptions have not been well studied.

The subplinian eruption that occurred at Shinmoedake volcano provides an interesting tephra dataset and an excellent opportunity to examine theoretical and empirical approaches on tephra volume estimation, clast dispersal under wind effect, which are crucial to evaluate quantitatively tephra dispersal and resultant hazards. Tephra volume is estimated using a relationship between dispersal area and thickness of tephra, or a relationship between dispersal area and mass per unit area. Bi-cubic spline interpolation method is also examined. Results from different methods produced similar tephra volume (11-21 million m<sup>3</sup> for the 26 pm to 27 am explosions and 2-4 million m<sup>3</sup> for the 27 pm explosion). For plume height estimation, a classical clast dispersal model and a predictive numerical model both using maximum clast size are applied. For all subplinian explosions, estimated plume height and magma discharge rate lie on 8.5-9.5 km above sea level and  $7 \pm 3 * 10^5$  kg/s, respectively. The results are consistent with direct and geophysical observations, and also suggest that the explosions occurred every 12 hours with similar mass discharge rate but a decrease of erupted magma volume.

キーワード: テフラ, 噴煙高度, サブプリニー式噴火, 新燃岳, 霧島

Keywords: Tephra, plume height, subplinian, Shinmoedake, Kirishima



## 霧島山新燃岳 2011 年噴火の岩石学 3-低温端成分マグマの相平衡実験- Petrology of 2011 ejecta from Shinmoe-dake in Kirishima volcano 3-Phase equilibria experiment for low-T endmember magma-

鈴木 由希<sup>1\*</sup>, 安田 敦<sup>1</sup>, 外西 奈津美<sup>1</sup>, 金子 隆之<sup>1</sup>, 中田 節也<sup>1</sup>, 藤井 敏嗣<sup>1</sup>, 平林 順一<sup>2</sup>

SUZUKI, Yuki<sup>1\*</sup>, YASUDA, ATSUSHI<sup>1</sup>, HOKANISHI, Natsumi<sup>1</sup>, KANEKO, Takayuki<sup>1</sup>, NAKADA, Setsuya<sup>1</sup>, FUJII, Toshitsugu<sup>1</sup>, HIRABAYASHI, Jun-ichi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東大・地震研, <sup>2</sup> 東工大

<sup>1</sup> Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo, <sup>2</sup> Tokyo Tech

マグマ溜まりの深度やその構造を明らかにすることは、火山活動に際し地下で観測される膨張・収縮源と、その時間変化を理解する上で重要である。2011年1月に活動の活発化した新燃岳のマグマについて、我々は次のことを明らかにしてきた(鈴木・他, 2011; 連合大会, 秋季大会)。1) 噴出物の大半は玄武岩質安山岩マグマとデイサイトマグマの混合物だが、極一部デイサイトそのものが噴出している(白色軽石)、2) デイサイトマグマ内に温度不均質があり(磁鉄鉱斑晶コアのMg/Mn多様性)、白色軽石はデイサイトマグマの中の低温エンドメンバーである、3) 高温マグマの結晶化は主に10-6km深で起きた(カンラン石斑晶メルト包有物の含水量)。結晶化深度に幅があり、さらにカンラン石が骸晶であることから、結晶化がマグマ上昇と共に起きた可能性が示唆された。

デイサイトの貯蔵深度はこれまで Rhyolite-MELTS により検討してきたが、より高い精度で制約を与えるため、今回、相平衡実験を試みた。2011年1月26日噴出の白色軽石(SiO<sub>2</sub> 63.3wt%)を対象とした。この軽石は、斜方輝石、単斜輝石、斜長石、Fe-Ti 酸化物の斑晶を合計 48.2wt% 有し、861-874°C, NNO+1.5 の条件下にあった。斜長石斑晶リムは An<sub>53.2-58.9</sub>mol%, 石基の SiO<sub>2</sub> 含有量は 76.6wt% である。

実験は地震研の内熱式ガス圧装置で行った。白色軽石の粉碎物と純水を 1200°C, 310MPa に保持することで、実験条件(875°C, 110-250MPa)にて水に飽和する含水ガラスを作成した。875°Cの実験では、3層のカプセル(外から Au-Pt-Ag<sub>75</sub>Pd<sub>25</sub>)を採用した。Au と Pt カプセルの間に Ni+NiO+H<sub>2</sub>O, AgPd 内に含水ガラスを封入した。AgPd はメルトからの Fe の吸収を最小限に抑え、Pt は AgPd-Ni 合金の生成やメルトの Ni による汚染を防ぐ。水素の透過性の小さい Au はバッファで生成した水素のカプセル外への散逸を最小限にする。実験時間は 4 日(250MPa)-6 日(110MPa)とした。実験期間の途中で一旦クエンチし、Ni バッファの詰め替えを行った。最終的に NNO から外れたケースでも NNO+2.3 までの範囲であったことを、実験産物の Fe-Ti 酸化物により確認した。これは、実際のマグマの条件に近く、またバッファなしのケース(HM 付近)に比べれば十分還元的である。

斜方輝石+単斜輝石+斜長石+Fe-Ti 酸化物の共存は 210MPa 以下で見られ、250MPa では斜方輝石を欠く。白色軽石の斑晶量、石基組成、斜長石リム組成は、110MPa で最も良く再現される。実験産物のガラスの SiO<sub>2</sub> 量は、250MPa-160MPa の範囲では 70wt% 前後で著しい変化はないが、110MPa では 74.1wt% となる。出発物質の K<sub>2</sub>O 量と実験産物のガラスの K<sub>2</sub>O 量から求めた実験産物の結晶度(wt%)は、22.8%(250MPa), 20.6%(210MPa), 29.3%(160MPa), 42.1%(110MPa)と、低圧であるほど高くなる。実験産物の各相の組成を用いてマスバランス計算で求めた結晶度は、圧力と共に増加する傾向を示すが、K<sub>2</sub>O 量から求めた値よりは高い(250MPa で 26.9%, 110MPa で 52.8%)。斜長石の An 成分(mol%)は、79-74(210MPa), 69-62(160MPa), 62-58(110MPa)と圧力減少と共に減少する。

100MPa は 4km 深に相当する。この深さは、Housh and Luhr(1991)の斜長石水量計から推定した混合マグマの貯蔵深度(4km 以浅)と似る。一方、高温マグマの結晶化深度(10-6km)に比べ浅い。ところで 2011 年噴火で噴出したマグマの大部分は、新燃岳の北西地下 10-6km 付近から供給されたと考えられている。それは、1) 2011 年 1 月の準プリニー式噴火後の地殻変動からは、その位置に収縮源が推定され(9.3km, 中尾・他, 2011; 6.5km, 国土地理院, 第 118 回予知連報告), 2) この際の体積減少量が噴出物総量と合致する(中田・他, 2011), ためである。今回、実験的に見積もった深度が収縮源の深度よりも浅いことは、次のように説明されるかもしれない。白色軽石として、混合することなく噴出したマグマはデイサイトマグマの中の低温部相当であるので、マグマ溜まりの最浅部などに由来した可能性がある。

キーワード: 新燃岳 2011 年噴火, マグマ供給系, マグマ混合, 玄武岩質安山岩, デイサイト, 相平衡実験

Keywords: 2011 eruption of Shinmoe-dake, magma plumbing system, magma mixing, basaltic andesite, dacite, phase equilibria experiment



## 霧島火山新燃岳 2011 年噴火堆積物の層序と粒度特性 Stratigraphy and grain-size characteristics of the 2011 Shinmoedake eruption deposits, Kirishima Volcano, Japan

宮縁 育夫<sup>1\*</sup>, 花田 大輔<sup>1</sup>, 新美 洋<sup>2</sup>, 小林 哲夫<sup>3</sup>

MIYABUCHI, Yasuo<sup>1\*</sup>, Daisuke Hanada<sup>1</sup>, Hiroshi Niimi<sup>2</sup>, KOBAYASHI, Tetsuo<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 熊本大学教育学部, <sup>2</sup> 九州沖縄農業研究センター, <sup>3</sup> 鹿児島大学理学部

<sup>1</sup>Faculty of Education, Kumamoto University, <sup>2</sup>National Agricultural Research Center for Kyushu Okinawa Region, <sup>3</sup>Faculty of Science, Kagoshima University

霧島火山新燃岳における 2011 年の噴火活動は 1 月 19 日の小規模噴火によって開始し, 1 月 26 日には本格的なマグマ噴火へと移行した。1 月 28 日には火口内に溶岩が出現し, その後はブルカノ式噴火が頻発したが, 2 月 9 日から噴火は断続的となり, 9 月 8 日以降, 噴火は発生していない。こうした一連の活動によって, 霧島火山の南東方を中心とした地域に噴出物が堆積している。筆者らは 1 月 27 日以降, 霧島火山周辺域において 2011 年噴出物の分布や量, 粒度組成, 構成物質に関する現地調査を行ったので, その結果を報告する。

新燃岳南東 2.5~3 km 地点(高千穂河原周辺)において, 2011 年噴出物は 6 つのユニット(下位よりユニット 1~6)に区分することができた。ユニット 1 は 1 月 19 日噴出物と考えられ, 層厚 0.5 cm 以下と薄く, 岩片を主体とする堆積物である。ユニット 2 は 1 月 26 日午後から 27 日朝にかけての準プリニー式噴火による降下軽石堆積物で, 高千穂河原周辺では 10~25 cm の層厚を有しており, 3 つの部分に細分することができ, 上位ほど粗粒で淘汰が悪いことが特徴である。また, ユニット 2 下部は岩片に富むが, 上部に行くにしたがって岩片の割合が減少して黄灰色軽石を主体とする堆積物へと漸移する。他のユニットと異なり, ユニット 2 は遠方まで追跡することが可能で, 新燃岳から 20 km 以上離れた宮崎県都城市でも明瞭に認められた。ユニット 3 は層厚 2 cm 以下の粗砂を主体とする淘汰のよい堆積物であり, 岩片の占める割合が高く, 27 日午前中に降下したものと考えられる。ユニット 4 は 27 日 15 時 41 分以降の爆発的噴火による降下軽石堆積物で, 粗粒で黄灰色軽石を主要構成物としている。ユニット 5 はシルト以下の粒子が 50% 以上を占める細粒な灰白色火山灰で, 新鮮な岩片と鉱物片で構成されている。層序や観察記録からみて, このユニットは 28 日~29 日頃にかけて堆積したものと推察される。ユニット 6 は 2 月以降に発生した複数回のブルカノ式噴火による堆積物であり, 筆者らが観察したものの大部分は 3 月 13 日噴出物(最大規模のブルカノ式噴火堆積物)と考えられる。この堆積物は中砂から粗砂を主体としており, 岩片が大部分を占め, スコリアも明瞭に含まれていることが特徴である。

噴出物の等層厚線図からユニットごとの噴出物量を計算した結果, ユニット 2 は 0.004 km<sup>3</sup>, ユニット 3 は 0.0003 km<sup>3</sup>, ユニット 4 は 0.0005 km<sup>3</sup>, ユニット 5 は 0.0003 km<sup>3</sup> となり, ユニット 2 の噴出物量は他のユニットに比べて 1 桁大きいことがわかった。しかしながら, 筆者らが見積もったユニット 2 の噴出物量はこれまで報告されているものよりも 1 桁小さい。これは筆者らが 2.5 km 以内の火口近傍域の堆積物量を考慮していないためと考えられる。

キーワード: 霧島火山, 新燃岳, 2011 年噴出物, 噴火推移

Keywords: Kirishima Volcano, Shinmoedake, 2011 eruption deposits, eruption sequence

## 白頭山火山の“噴火危機”と中国赤松原発への火山リスクについて

### On the recent volcanic crisis of Baitoushan volcano and the probable volcanic risk to the Chisong nuclear power plant

谷口 宏充<sup>1\*</sup>, 姫野 嘉昭<sup>2</sup>

TANIGUCHI, Hiromitsu<sup>1\*</sup>, HIMENO Yoshiaki<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東北大学, <sup>2</sup> 東京工業大学

<sup>1</sup>Tohoku Univ., <sup>2</sup>Tokyo Tech

中国と北朝鮮との国境に位置する白頭山は10世紀に大規模噴火を引き起こし、両国へ降下火砕物や火砕流をもたらしたばかりか、日本の東北地方や北海道まで火山灰を降らせたことでよく知られている。中国と北朝鮮において、大規模な火山災害を引き起こす可能性のある唯一のこの山に関し、近年になって両国は火山観測を始めた。中国は1985年から開始し、1999年には天池火山観測所を設立して測量、地震、傾斜計、GPSによる観測や温泉水の化学分析を行ってきた。北朝鮮は1985年から7ヶ所の観測所において地震、地磁気、ラドン、水温や地殻変動の観測を行ってきた。彼らの報告によると、2002年までは温泉温度の上昇やガスの噴出なども見られたが、それ以外、目立った地震活動や地殻変動ではなく穏やかに推移していた。しかし2002年ころから地震活動はその頻度を増し、測量の結果、白頭山山頂の隆起も確認されるようになった。中国および北朝鮮の地震局関係者によれば、このように活発な状況は2005年まで続き、止んだ。しかし昨年6月ごろから、今度は韓国において近い将来の噴火を巡る騒ぎが始まった。それは昨年の3.11東日本大震災の発生を受けてピークに達し、“噴火危機”騒動は大本の中国や北朝鮮にまで逆流していったように見える。

中国や北朝鮮の専門家の間では、今すぐの噴火の可能性については否定的である。しかし一方では、地震活動の活発化や山頂の隆起などが発生し、山体直下へのマグマの供給が推定されており、噴火の準備が進んでいることを推定させる。10世紀噴火の際には火砕物降下、火砕流やラハールの流下が大規模に発生したことはわかっているが、分布を含めてその詳細は不明な部分が多い。しかし、今、もし10世紀噴火と同様のことが起きるとするならば、中国や北朝鮮の東北部に壊滅的な災害が及ぶことは明らかである。

さらに1100年前とは異なった、新たなリスクも生まれようとしている。現在、中国は白頭山山頂から約100km離れた吉林省白山市に赤松原発(1000MWを5基)を建設しようとしている。この原発は白頭山から流れ下る松花江の源流をせき止めた靖宇白山湖を冷却用などの水源として用いる。もし噴火が発生するならば、地形的特徴からみて、山頂にふりつもった火砕物の西側半分はやがて降雪・降雨などと一体になって、原発設置地点をラハールとして襲うことになる。また、衛星画像解析などによれば、西側山体の大規模な崩壊の危険性も指摘できる。100km遠方ではこれもラハールの原因になりうる。白頭山の地質図(魏海泉、私信)によれば、事実、原発の設置予定地点にまで10世紀噴火によるラハールは到達している。赤松に設置される予定の原発AP1000は、取水できなくても3日間は耐えられ、その後、空冷によって安全に停止する第三世代の新しい設計になっている。この点ではラハールに対しては、ひとまず安心なのかも知れない。しかし、山頂と赤松原発との距離の半分ぐらいの地点にまで10世紀噴火による火砕流は流れ下っており、降灰を含めて十分な安全対策はとりうるのだろうか？

原発よりも下流の松花江やアムール川の流域には、中国とロシア併せて1500万人以上の住民が居住している。現地調査の徹底的な実施と安全対策の絶対的な確保が、さらに、北朝鮮を含めた東アジア関連各国による共同研究・対応の体制確立が望まれる。

キーワード: 白頭山, 火山危機, 火山リスク, 原子力発電所

Keywords: Baitoushan, volcanic crisis, volcanic risk, nuclear power plant

## 火星の Central Elysium Planitia に見られる特徴的なコーン地形の成因検討 Unique characteristics of cone in Central Elysium Planitia, Mars

野口 里奈<sup>1\*</sup>, 栗田 敬<sup>1</sup>

NOGUCHI, Rina<sup>1\*</sup>, KURITA, Kei<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学地震研究所

<sup>1</sup> Earthquake Research Institute, The University of Tokyo

ここ数億年内における火星の火成活動は、近年の研究により存在が明らかになったばかりであり、詳細な活動スタイル等は未だ謎に包まれている。最近の火成活動では巨大楕状火山は形成されず、洪水状溶岩の活動や小型の楕状火山（直径30km未満）、火山性コーン地形（火砕丘・マール・ルートレスコーン）が広域分散的に形成が生じていたことが明らかになっている [e.g. Hauber et al., 2009]。本研究では最近の火星の火成活動を知るために火山性コーン地形に着目する。火山性コーン地形には、形状・分布から形成環境を知ることが出来る、比較的急な傾斜を持つため研究・発見しやすいという2つの利点がある。しかしながらコーンの形状を持つ地形というのは火山性だけに限ったものではないため、直接の調査が容易でない惑星科学において、同じ地形に対し異なる成因説が唱えられることがしばしばある。火星で最も新しい火成活動の存在が示唆されている地域として Central Elysium Planitia があるが、この地域には成因が議論されているコーン地形（直径：2, 3 - 130 m）が存在する。ここ 1000 万年に溶岩である可能性のある流動体が Cerberus Fossae と呼ばれる割れ目から噴出したことが明らかになっている [e.g. Vaucher et al., 2009] が、溶岩であると判定出来ていない。コーン地形の候補地形には火山性のルートレスコーンと周氷河性のピングが挙げられている [e.g. Jaeger et al., 2007, Page, 2008]。

本研究では、可視画像・高度データを用いて CEP のコーン地形の地形調査を行った。調査結果から成因を突き止め、CEP でここ 1000 万年に火成活動が存在したかどうかを明らかにすることを目標としている。これは、ここ数億年の火星の火成活動の特徴を明らかにするという大きな目標の第一段階である。

調査の結果、特異な地形的特徴を持つコーン地形を発見し、3種類（Single Cone Structure、Double Cone Structure、Lotus fruit Cone Structure）に分類した。

Single Cone Structure (SCS) は頂上に凹みを持ったコーン地形である。このタイプのコーン地形は火星で一般的に見られる。Double Cone Structure (DCS) は、コーン頂部の凹み内部にもう1つコーンを持つという二重構造を有する。Lotus fruit Cone Structure は、コーン頂部の凹み内部に複数のコーンを持つ。DCS や LCS は流出源である Cerberus Fossae 付近の特定の領域に分布し、流動体の流れ下る方向と平行に並んでいるものも見受けられる。

先行研究で CEP のコーン地形の候補に挙げられていた地球上のコーン地形と今回発見した CEP のコーン地形との比較を行った。ルートレスコーンでは、Iceland の Myvatn 湖において DCS、LCS と同様の構造を持つものが多数見られた。ピングでは DCS、LCS と似た構造を持つものは見られず、地球のピングで見られる特徴（山体頂部からの亀裂）を持つものは CEP のコーン地形には見られなかった。

調査結果と比較結果から、CEP のコーン地形は火成活動を起源に持つルートレスコーンであることが示された。これにより、CEP ではここ 1000 万年に火成活動が存在し、それは洪水状の溶岩の噴出と多数のルートレスコーンの形成を伴うものであったことが推測された。

キーワード: 火星, 火山, コーン, ルートレスコーン, 溶岩

Keywords: Mars, volcano, cone, rootless cone, lava-water interaction, Central Elysium Planitia

## カナリア諸島, エル・イエロ島の2011年火山活動に伴う地殻変動 Crustal Deformation During the 2011 Volcanic Crisis of El Hierro, Canary Islands, Revealed by Continuous GPS Observation

鷺谷 威<sup>1\*</sup>, MARTINEZ, Jose Barrancos<sup>2</sup>, CALVO, David<sup>2</sup>, PADRON, Eleazar<sup>2</sup>, HERNANDEZ, German, P.<sup>2</sup>, HERNANDEZ, Pedro, A.<sup>2</sup>, PEREZ, Nemesio Rodriguez<sup>2</sup>, SUAREZ, Juan Manuel Poveda<sup>3</sup>  
SAGIYA, Takeshi<sup>1\*</sup>, MARTINEZ, Jose Barrancos<sup>2</sup>, CALVO, David<sup>2</sup>, PADRON, Eleazar<sup>2</sup>, HERNANDEZ, German, P.<sup>2</sup>, HERNANDEZ, Pedro, A.<sup>2</sup>, PEREZ, Nemesio Rodriguez<sup>2</sup>, SUAREZ, Juan Manuel Poveda<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 名古屋大学減災連携研究センター, <sup>2</sup>Institute Volcanologico de Canarias (INVOLCAN), <sup>3</sup>Cartografica de Canarias (GRAF-CAN)

<sup>1</sup>Disaster Mitigation Research Center, Nagoya University, <sup>2</sup>Institute Volcanologico de Canarias (INVOLCAN), <sup>3</sup>Cartografica de Canarias (GRAF-CAN)

Seismo-volcanic activity of El Hierro started in the middle of July of 2011 and resulted in the active submarine eruption after October 12 south off La Restinga, the southern tip of the island. We have been operating one continuous GPS site on the island since 2004. Responding to the activity, we quickly installed 5 more GPS sites. Including another site operated by the Canary Islands Cartographical Service (GRAF-CAN) for a cartographic purpose, we have been monitoring 7 GPS sites equipped with dual-frequency receivers. We present the result of our crustal deformation monitoring and the magmatic activity inferred from the deformation data. In accordance with the deformation pattern, we divide the volcanic activity in 2011 into 4 stages. The first stage is from the middle of July to middle of September, during which steady magmatic inflation is estimated at the center of the island. The inflated volume of the first stage is estimated to be about  $1.3 \times 10^7 \text{ m}^3$  at the depth of about 5km. The second stage, which continued until the first submarine eruption on October 12, is characterized by the accelerated deformation due to the upward as well as southward migration of magma. Additional inflation of about  $2.1 \times 10^7 \text{ m}^3$  occurred in the depth range of 1-2km. The third stage continued for about 3 weeks after the first submarine eruption. During this stage, submarine eruption continues while no significant surface deformation is observed. It is considered magma supply from a deeper magma chamber continued during this 3 weeks period. Therefore, the total inflation volume during the first two stages gives the minimum estimate for the total magma volume. Since the beginning of November 2011, many GPS sites started subsiding. However, this deflation pattern is quite different from those in the shallow inflation stages. Horizontal deformation during this 4th stage is not significant, implying that deflation is occurring below the moho.

キーワード: カナリア諸島, エル・イエロ島, 噴火, 地殻変動, GPS

Keywords: Canary island, El Hierro, eruption, crustal deformation, GPS



## 日本の活火山の噴火過去 2000 年間履歴の時空解析 Space-time Analysis of the Eruptions in Japan for the Past 2,000 Years

伊藤 悠太郎<sup>2</sup>, 中村 洋一<sup>2\*</sup>  
Youtaro Ito<sup>2</sup>, NAKAMURA, Yoichi<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> 伊藤 悠太郎, <sup>2</sup> 中村 洋一  
<sup>1</sup> Yutaro Ito, <sup>2</sup> Yoichi Nakamura

わが国における 110 活火山の噴火記録をもとに、火山ランク毎の噴火数や噴火規模 (VEI) などの時系列や分布数の解析から、わが国での噴火活動の頻度や地域性などを考察した。日本活火山総覧第 3 版 (気象庁)、Volcanoes of the world, 3rd ed (Smithsonian Inst.)、火山ハザードマップデータベース (防災科研) および各火山の論文や著書などを参照して、2011 年 12 月までの過去約 2000 年間の噴火記録を対象とした。なお、個々の噴火記載は文献間で差異があるため、できるだけ文献間で共通の内容を採用した。

その結果、過去約 2000 年間のわが国での噴火総数は 1135 回で、そのうち噴火規模 (VEI) が見積もれたのは 998 噴火であった (文献で VEI が推定済みの噴火はその値を採用)。火山ランクごとの噴火総数と噴火頻度 (2011 年/噴火数) は、ランク A 火山では 615 回で 3.3 年、ランク B では 397 回で 5.0 年、ランク C では 63 回で 32 年であった。噴火規模 (VEI) 別での噴火数は、VEI7 と VEI6 が 0、VEI5 が 11、VEI4 が 41、VEI3 が 113、VEI2 が 551、VEI1 が 227、VEI0 が 56 であった。

噴火数と噴火規模 (VEI) との関係の時系列でみると、VEI5 と 4 の噴火の噴火頻度は過去約 2000 年間での時系列的変動は少なく、平均噴火間隔は VEI5 が 101 年、VEI4 が 49 年と見積もれた。しかし、VEI3 以下の噴火数は近年ほど増加傾向が認められ、VEI3 は最近 500 年間、VEI2 は最近 150 年間、VEI1 は最近 50 年間に限れば変動幅が小さくなっている。これは噴火が漏れなく記録として残る規模は VEI4 以上で、近年ほど VEI の小さい噴火記録の漏れがなくなったことを示す。これらを考慮して、火山ランクごとの噴火の VEI 別頻度を補正をした結果、ランク A の噴火頻度は VEI5 で約 140 年、VEI4 で約 70 年、VEI3 で約 15 年であった。ランク B では VEI4 で約 200 年、VEI3 で約 15 年であった。ランク C では VEI3 で約 50 年であった。VEI2 以下での噴火頻度は、ランク A で約 1 年、ランク B で約 2 年、ランク C で約 20 年と見積もられた。

わが国の地域を北海道、東北、関東・中部、伊豆・小笠原諸島、九州・沖縄として (この地域別ではランク A と B の総数がほぼ同一)、火山ランクの VEI 別の噴火数をみた。過去約 2000 年間での噴火数は、九州・沖縄が 399 と最も多く、次いで関東・中部の 261 で、以下はほぼ同数の 130 前後であった (伊豆・小笠原諸島はランク不明火山の噴火が多い)。九州・沖縄では阿蘇、桜島、霧島、諏訪之瀬島、関東・中部では浅間、富士、焼岳、伊豆・小笠原諸で伊豆大島、三宅島、北海道では樽前山、雌阿寒岳、十勝岳、東北では蔵王、岩木の噴火数が多い。これらの噴火規模は VEI で 2 ないし 1 が、次いで 3 が多い。VEI が 4 以上の噴火がやや多かったのは北海道であった。噴火数が最も少なかった地域はランク A の火山がない東北で、噴火規模も VEI2 以下が多かった。噴火規模で VEI3 以上の噴火が複数回あった火山は、伊豆大島、三宅島、および浅間山、桜島などで、後者 2 火山は前者 2 火山より噴火数としては少ないが、VEI が高い噴火がより多かった。

噴火履歴からの噴火頻度と噴火規模 (VEI) に着目することで、各地域での個々火山の活動推移の傾向がより定量的に読み取れた。

キーワード: 活火山, 噴火, 噴火規模

Keywords: Active volcanoes, Eruption, VEI

## 小笠原硫黄島の詳細な段丘編年と地殻変動観測による火山活動史の推定 Volcanic activity history of Ito Island in Ogasawara Archipelago estimated by terrace chronology and crustal deformation

中埜 貴元<sup>1\*</sup>, 今給黎 哲郎<sup>1</sup>, 小荒井 衛<sup>1</sup>, 乙井 康成<sup>1</sup>, 大井 信三<sup>1</sup>, 佐々木 圭一<sup>2</sup>

NAKANO, Takayuki<sup>1\*</sup>, IMAKIIRE, Tetsuro<sup>1</sup>, KOARAI, Mamoru<sup>1</sup>, Kosei Otoi<sup>1</sup>, Shinzo Ooi<sup>1</sup>, SASAKI, Keiichi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 国土地理院, <sup>2</sup> 金沢学院大学

<sup>1</sup>GSI of Japan, <sup>2</sup>Kanazawa Gakuin University

小笠原硫黄島の地学現象については、1985年に「地学雑誌」(Vol.94, No.6)に「特集 硫黄島の地学」としてまとめられて以降、各機関による各種観測以外の詳細な火山調査は十分に行われてこなかった。演者らは、科学研究費等補助金(研究課題番号:21510193)により、詳細な隆起活動史と火山編年と詳細な地殻変動観測を目的に、現地で地形・地質調査およびGPS地殻変動観測等を実施してきた。初期の成果については、大井・矢来(2007)や今給黎ほか(2010)で報告されているが、本発表では、その後の現地調査で採取した試料の年代測定および成分分析結果と、それらの結果から編み出される火山発達史について報告する。

1) 元山東海岸に発達するH面(段丘区分は貝塚, 1985による;以下略)上の段丘礫層中のサンゴおよび摺鉢山東岸の段丘礫層中のサンゴ礫の<sup>14</sup>C年代から、H面の発達時期が従来提唱されている350-500cal.BP頃であること、摺鉢山の旧期活動期が500-600cal.BPであることを裏付ける結果が得られた。元山最高位のW面のサンゴの<sup>14</sup>C年代とH面のサンゴの<sup>14</sup>C年代は350-500cal.BPと近く、摺鉢山旧期火山活動に伴って、元山側が隆起し続けたことを裏付ける。2) 堆積残留磁化(NRM)を測定した結果、釜岩海浜堆積層は金剛岩下最下位の海浜砂層(約2,700年前以前)と異なる磁化方位を示し、前者の方が新しい時代の堆積物と推定された(Nakano et al., 2011)。3) 全岩分析および火山ガラスの主成分分析の結果、沖縄の遺跡で見いだされたBLスコリアと呼ばれる漂着軽石(1,400年前以前に漂着;加藤, 2009)は、硫黄島および福岡ノ場1986年噴火の軽石の分析データと比較した結果、摺鉢山起源の特征的な火山岩組成のグループに属することがわかり、約500-600年前と考えられる摺鉢山活動期より以前に、多量の軽石を噴出する大規模な火山活動が摺鉢山近辺であったことが推定された。4) 神山海岸で見られる戦中の段丘面であるR面より下位の段丘上に漂着している緑色軽石と、翁浜にある二ツ根の岩頭の火山ガラスの化学組成がほぼ一致することがわかった。戦後、翁浜を含む元山南海岸沖の海底で数回の水蒸気爆発があったことが知られており(鶴川, 2002)、これらの火山活動と関連している可能性がある。

以上の成果を加えることにより、硫黄島の過去3,000年間の火山活動史は次のとおりと推定される(1)約2,700年前に大規模な火山活動で大量の溶岩と火砕物(元山凝灰岩)が噴出し、それ以前から陸化していたと考えられる硫黄島を被覆(2)約1,600年前に監獄岩周辺の海底で火山活動が生じ、ペペライトを生成(3)約1,400年前に摺鉢山周辺で沖縄まで軽石を漂着させるような大規模な噴火が発生(4)約500-600年前に元山を急激に隆起させながら摺鉢山が噴火し、大量の軽石によって元山と接続し、現在の硫黄島の原型を形成(5)約400年前に摺鉢山で小規模な噴火があり、現在摺鉢山火口南縁に見られるスコリア丘を形成(6)戦後、元山南海岸沖の海底でマグマ噴出を伴う噴火が発生。

過去の硫黄島(元山)の隆起速度は一定ではなく間欠的で、約500-600年前の摺鉢山噴火時の隆起速度が最も大きい(約50cm/yr)ことが段丘編年から明らかになった。一方、基準点観測やGPS観測による過去100年間の平均隆起速度は、約15cm/yr(平岡ほか, 2009)で、この間の最大隆起速度は、1950~1960年代の約56cm/yr(辻ほか, 1969)、2006年後半~2010年の約40cm/yr(国土地理院, 2011)となっている。このように近年の激しい隆起は約500-600年前の摺鉢山噴火に伴う元山上位段丘の急激な隆起に匹敵するものであり、今後の火山活動との関連が示唆される。

キーワード: 小笠原硫黄島, 段丘編年, 地殻変動, 火山活動史

Keywords: Ito Island in Ogasawara Archipelago, terrace chronology, crustal deformation, volcanic activity history

## 噴火シナリオ分岐条件のための最近の桜島における観測に基づく大正噴火に至る現象の考察

### Phenomena prior to the 1914 eruption of Sakurajima volcano based on recent observation at the volcano for branching of e

井口 正人<sup>1\*</sup>

IGUCHI, Masato<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 京都大学防災研究所

<sup>1</sup> DPRI, Kyoto Univ.

20世紀には桜島において3つの代表的な噴火活動が発生した。1914年の大正噴火は西東の両山腹におけるプリニー式噴火で始まり14億 $m^3$ の溶岩を流出した。1946年噴火は南岳の東山腹の火口から溶岩を流出した。噴出量は大正噴火の約1/10である。1955年に始まった南岳のブルカノ式噴火を主体とする活動は50年以上にわたり、1970年代後半から1992年までに2億トンの火山灰を放出した。21世紀における噴火活動でもそれらと類似した活動が繰り返されると予想される。すなわち、(1)2億 $m^3$ のマグマを短期間に噴出する活動、(2)2億 $m^3$ のマグマを南岳から長期間にわたって噴出する活動、(3)それよりも1桁多い20億 $m^3$ のマグマを両山腹から噴出する活動である。これら3つのシナリオに至る分岐はマグマの貫入率による可能性がある。手始めに大正噴火開始に先行する様々な現象から大正噴火に至るマグマの貫入過程を2006年以降の観測結果に基づいて考察してみた。発生した現象は、野添武志氏が当時の桜島の各集落での証言をまとめた「桜島爆発の日 恐怖……パニック……いまでも生きるその教訓」に基づいた。

桜島南部の有村では1913年7月に谷合で親子が遭難した事故が起きている。原因は二酸化炭素噴出に伴う酸欠と推定されている。黒神の温泉ガス中の二酸化炭素濃度は地盤の膨張に連動して増加する(井口・平林, 2011)。このことから大正噴火発生の半年前にはすでに桜島の地盤の膨張が始まっていたことが推定できる。桜島北部の高免では1913年12月頃から干潮時に井戸水が干上がることが報告されている。干潮時の湯水は全島においてみられた。水位低下は0.5m程度に及ぶと推測され、桜島全島が隆起したことによるものと推定される。南岳の噴火活動が活発化した1974年以前は桜島全体が浮上したことが水準測量と水位観測から明らかになっている(石原・江頭, 1978)。2009年以降の桜島の地盤変動の圧力源は北岳付近にあることがGPS観測や傾斜観測からわかっており(井口・他, 2011)、大正噴火発生の1か月前には桜島北部を中心に隆起していたことが推定できる。北岳の下6kmに圧力源を仮定し、高免において0.5m隆起したとすれば、 $1.4 \times 10^8 m^3$ の体積が増加したことになる。この量の体積増加があれば、有村観測坑道において128 $\mu$ radの傾斜変化、ハルタ山観測坑道において132 $\mu$ ストレインの膨張ひずみが予想される。桜島北部へのマグマの貫入・蓄積過程と考える。

有感地震を含む火山性地震が群発し始めたのは1914年1月11日の3時ごろからである。噴火当日12日の2時には湯之の海岸近くの過去には常に海面下であった瀬が0.6mも海面より上に浮上していたという報告がある。この時刻の潮位は翌13日の大潮の最低潮位よりは0.2m高いので、少なくとも0.8mは隆起したことが推定できる。この隆起は地震活動の活発化と同期したものと推定される。湯之において0.8m隆起したとすれば、地震開始からこの時点まで $1.7 \times 10^8 m^3$ の新たな体積増加があったと見積もられる。

12日の朝には有村で逆に井戸水が増水し、海岸から熱湯が噴出した。地震活動に注目すると、1月11日3時から始まった地震活動は発生回数が急激に増加したが、12日1~2時は一時的に減少し、3時ごろから再び激しい活動が始まっている。この火山性地震は減少期を挟んで異なる活動であると考えれば、11日3時から12日0時の活動は桜島北部から南岳下へのマグマの移動に対応し、12日3時以降の地震活動は南岳下から浅部へ、あるいは東西両山腹に向かってのマグマの移動に対応するものと推定され、浅部のマグマの移動が地下水を被圧した結果、井戸水が増水したと考えられる。

桜島北部の高免で干潮時に井戸水が枯れた1913年12月までの体積増加量は $1.4 \times 10^8 m^3$ であるが、この膨張が半年前から始まったとすれば貫入速度は $1 \times 10^6 m^3/日$ となる。湯之で瀬が浮上したさらなる隆起は $1.7 \times 10^8 m^3$ の体積増加を伴うが、この隆起が1月11日の3時から始まったとすれば貫入速度は $2 \times 10^8 m^3/日$ となり、それ以前と比べて二桁大きいことになる。南岳の爆発に伴う圧力源の体積変化は $10^5 m^3$ オーダーであり(Ishihara, 1990)、日率にして $10^6 m^3/日$ オーダーまでである。マグマの貫入速度がその後発生する噴火の規模に関係している可能性を指摘できる。

キーワード: 桜島, 大正噴火, 噴火シナリオ, 前兆現象

Keywords: Sakurajima, 1914 eruption, eruption scenario, precursor



## 桜島火山 最近50年間のマグマ供給系とその変遷 Evolution of magma plumbing system of Sakurajima volcano in the last 50 years

海老原 佳帆<sup>1\*</sup>, 中川 光弘<sup>1</sup>, 松本 亜希子<sup>1</sup>, 宮坂 瑞穂<sup>1</sup>, 井口 正人<sup>2</sup>

EBIHARA, Kaho<sup>1\*</sup>, NAKAGAWA, Mitsuhiro<sup>1</sup>, MATSUMOTO, Akiko<sup>1</sup>, AMMA-MIYASAKA, Mizuho<sup>1</sup>, IGUCHI, Masato<sup>2</sup>

<sup>1</sup>北海道大学大学院理学院, <sup>2</sup>京都大学防災研究所火山活動研究センター

<sup>1</sup>Hokkaido University, <sup>2</sup>Kyoto University

桜島火山は九州南部の始良カルデラ南縁に位置する後カルデラ火山で、1471年以降3度のプリニー式噴火を繰り返し、1946年には溶岩を流出した。1955年以降は小～中規模のブルカノ式噴火が頻発しており、2000年頃に活動は一度減衰したが2006年からは再び噴火回数が増加し、今後の動向が注目されている。1471～1946年に噴出した溶岩流について岩石学的研究を行った Yanagi et al.(1991)では、全岩化学組成の直線トレンドや斜長石斑晶コアのバイモーダルな組成分布、正累帯・逆累帯構造を示す輝石斑晶の共存などを根拠に挙げ、時間とともに苦鉄質マグマの割合が増える2端成分マグマ混合(デイサイト質マグマ+玄武岩質マグマ)が起きていると述べた。しかし中川・他(2011)は1471年・1779年噴出物と1914年以降の噴出物は異なるトレンドを示すことを明らかにし、20世紀以降の噴火では、珪長質マグマ(S)に安山岩質マグマ(A)が混合してできたマグマに噴火直前に玄武岩質マグマ(B)が注入する、という3端成分マグマ混合が起きていたことを結論付けた。本研究では、これまで検討が不十分であった最近50年間のブルカノ式噴火の噴出物を対象に岩石学的研究を行い、マグマ供給系の構造や時間変化を考察することを目的とする。

最近50年間の噴出物はSiO<sub>2</sub>=58～64wt.%の安山岩質である。その組成トレンドは1914年・1946年噴出物のものとはほぼ一致し、1914年以降時間が経つにつれて苦鉄質な組成に変化する。斑晶鉱物組み合わせは斜長石・斜方輝石・単斜輝石・磁鉄鉱・かんらん石(一部試料)であり、時間と共に斑晶量は増加する。斜長石は溶融組織を呈するものが多く、コア組成はAn=60とAn=80にピークを持つバイモーダルな分布で、噴出年代によってはAn=90付近のピークも見られる。斜方輝石はMg#=65～75、単斜輝石はMg#=70～80の範囲でユニモーダルまたはバイモーダルな組成分布を示す。斜長石・輝石においては正累帯・逆累帯を示す斑晶の共存が認められた。かんらん石は、Fo=70で輝石の厚いリムを持ち集斑晶中にあるもの、Fo=80でマイクロライトに取り囲まれ単独で晶出するもの・反応縁の無いものがある。磁鉄鉱のコア組成はMg/Mn=8～12の間に分布するが、噴出年代によってはMgに富む組成を示す斑晶もある。

斜長石斑晶コアのバイモーダルな組成分布、正累帯・逆累帯を示す斑晶の共存、輝石と非平衡な組成のかんらん石の存在は、最近50年間のブルカノ式噴火においてもマグマ混合が起きていたことを示している。混合端成分マグマの斑晶鉱物組み合わせと組成は中川・他(2011)と類似しており、斜長石(An=46～64)、斜方輝石(Mg#=60～68)、単斜輝石(Mg#=66～72)、および磁鉄鉱からなるSマグマ、斜長石(An=64～86)、斜方輝石(Mg#=68～76)、単斜輝石(Mg#=72～79)、および磁鉄鉱からなるAマグマ、斜長石(An=86～94)、かんらん石(Fo=75～82)からなるBマグマの、3端成分マグマ混合が起きていたと推定される。斜長石斑晶コアの組成分布はバイモーダルであり、低An斑晶(An<64)はSマグマ由来で、高An斑晶(An>64)はAあるいはBマグマ由来と考えられる。これらの斜長石斑晶の比率と全岩SiO<sub>2</sub>量との関係に注目すると、全岩SiO<sub>2</sub>量の減少とともに、高An斜長石斑晶の比率が増加する傾向が認められる。20世紀以降噴出物の組成トレンドが、S+Aの混合マグマに対してBマグマが注入することにより形成された(中川・他,2011)ことを考慮すると、Bマグマの混合比率が増加することによって高An斑晶の比率が上昇し、全岩SiO<sub>2</sub>量が低下したと考えれば説明できる。また、噴出物の全岩SiO<sub>2</sub>量と爆発回数との関係を見ると、SiO<sub>2</sub>に乏しい噴出物は爆発の頻発する1970年代後半と1980年代後半に認められ、Bマグマの注入が噴火を誘発していると考えられる。しかしながら、前者と後者の噴出物には含有するかんらん石斑晶量に相違があり、全岩SiO<sub>2</sub>量との明瞭な相関も見られない。このことは、Bマグマのかんらん石斑晶量には多様性があることを示唆しており、1970年代後半はかんらん石の多いBマグマが、1980年代後半にはかんらん石をほとんど含まないBマグマが注入していた可能性が考えられる。

キーワード: 桜島火山, マグマ供給系, マグマ混合, ブルカノ式噴火

Keywords: Sakurajima volcano, magma plumbing system, magma mixing, vulcanian eruption



## 岩石学的特徴からみる、桜島火山、昭和火口 2006~2011年噴火の活動とその評価 Eruptive activity during AD 2006-2011 at Sakurajima volcano, inferred from Petrological features of eruptive materials

松本 亜希子<sup>1\*</sup>, 中川 光弘<sup>1</sup>, 宮坂 瑞穂<sup>1</sup>, 井口 正人<sup>2</sup>

MATSUMOTO, Akiko<sup>1\*</sup>, NAKAGAWA, Mitsuhiko<sup>1</sup>, AMMA-MIYASAKA, Mizuho<sup>1</sup>, IGUCHI, Masato<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 北海道大学大学院理学研究院自然史科学部門, <sup>2</sup> 京都大学防災研究所火山活動研究センター

<sup>1</sup>Department of Natural History Sciences, Graduate school of Science, Hokkaido University, <sup>2</sup>Sakurajima Volcano Research Center, Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

九州南部に位置する桜島火山は、1955年以降、山頂南岳火口でブルカノ式噴火を繰り返してきたが、21世紀になると活動が低下傾向にあった。しかし、2006年6月、昭和火口において噴火活動を再開し、現在(2012年2月)も火山爆発を繰り返している。最近我々は、2006年以降の昭和火口噴出物の構成物量比や本質物の石基ガラス組成の時間変化から、2010年9月までの活動を大きく4つの活動期(2006年6月~2009年8月; 2009年9月~2010年3月; 2010年4月~2010年5月; 2010年6月~2010年9月)に区分し、その活動期区分が実際の観測データの時間変化と調和的であることを示した(松本他, 2011, 連合大会)。今回は、2010年9月以降の試料も加え、噴出物の特徴と2006年以降の昭和火口の活動変遷との関連性を議論し、岩石学的にみた桜島火山の現状について言及する。

噴出物の大半は火山灰試料からなり、2009年11月・2010年4月・2010年6月・2010年12月にはラピリサイズの試料も認められる。火山灰試料の構成物としては、サイズに関わらず、本質物(その噴火で噴出したマグマ物質)・準本質物(2006年以降の活動で噴出したマグマ物質であるが、その噴火のマグマ由来とは判断できないもの)・強変質岩片・鉱物片からなる。ラピリサイズの試料は、本質物(軽石・スコリア・岩片)・準本質物(スコリア・岩片)・強変質岩片で構成される。2009年8月までの噴出物には強変質岩片が多く、本質物が認められなかったが、2009年9月以降は殆どの噴出物中に本質物が含まれる。ラピリサイズの本質物・準本質物の全岩化学組成は、20世紀噴出物の組成トレンドと調和的であり、かつ最も苦鉄質な組成を示す( $\text{SiO}_2 = 58.5\text{-}59.7 \text{ wt.}\%$ )。本質物の石基ガラス組成は、 $\text{SiO}_2 = 65.8\text{-}72.7 \text{ wt.}\%$ とデイサイト質で、全岩化学組成に比べて組成幅がある。それらの時間変化をみると、シリカに富む時期とシリカに乏しくなる時期が交互に繰り返されていることがわかる。

本質物・準本質物の全岩化学組成が20世紀噴出物の組成トレンドと調和的であることから、2006年以降の昭和火口の活動も20世紀の活動と同様のマグマシステムであり、マグマ混合が主なプロセスであると考えられる。本質物の石基ガラス組成をみると、2010年1月~4月初め、2010年11月~2011年2月・2011年8月下旬~9月においてシリカに乏しくなっており、これら3期は苦鉄質マグマの影響が増大した時期であると解釈される。石基ガラス組成の時間変化と他の観測データを比較すると、シリカに乏しいマグマ物質が噴出したこれらの時期には、火山活動が活発化しており噴出量も増加している。つまり、2006年以降の桜島火山の活動は、苦鉄質マグマの影響の大きい時期に活発化する傾向があるとみることができ。

これらの時期のうち、2010年1月~4月初めは、2009年9月から継続する、顕著な地殻変動や噴出量の増加、系統的な石基ガラス組成のシリカ量の低下などから、苦鉄質マグマの影響がより大きく、火道が確立した時期であると解釈される。一方、その後の2期については活動規模・噴出量ともに小さくなっており、特に2011年8月下旬~9月では苦鉄質マグマの影響の程度も小さい。これらの特徴から、桜島火山2006年以降の活動は、2009年9月~2010年4月初めに最盛期を迎えたが、その後は顕著な変化はみられず、規模をやや縮小させながら活動を継続している、と考えられる。

キーワード: 桜島火山, 昭和火口, 火山灰, 火山ガラス組成, 時間変化

Keywords: Sakurajima volcano, Showa crater, volcanic ash, glass chemistry, temporal variation

## 火山構造的な地震の応力トリガー：マグマ貫入時と東北地方太平洋沖誘発地震の地震の比較

### Stress triggering of volcano-tectonic earthquakes: stress changes in the case of magma intrusions and great earthquake

森田 裕一<sup>1\*</sup>

MORITA, Yuichi<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 東京大学地震研究所

<sup>1</sup> Earthquake Research Institute, University of Tokyo

火山周辺の地震活動は、マグマの上昇や移動などの指標として、火山活動のモニタリングに広く使われている。特に、山頂近傍の地下浅部で発生する長周期地震動は、マグマや火山ガスの移動を捉える情報として、多くの研究者により解析されている。一方、山麓や山頂から数～十数キロ離れた場所で発生する群発地震は、火山構造的な地震と呼ばれ、火山活動に伴う応力変化により発生するとされている。例えば、2011年1月末に噴火した霧島山では、2006年頃から周囲約20kmの範囲の地震活動が徐々に高まり、噴火まで活動が上昇し続けた。2009年末に明瞭な地殻変動が観測されて噴火の可能性が明瞭になる約3年前から地震活動は地下深部のマグマ移動に伴う応力変化を捉えていた可能性がある。このように、火山周辺の地震活動はマグマが深部にあり、浅部に移動していない場合でも、火山活動の高まりを検知する現象として知られているが、地殻変動のような定量的な指標としてではなく、単に火山活動の活発化の可能性を示す相対的な指標としてしか利用しない。この理由として、火山構造的な地震の発生機構と火山活動の関係を系統的かつ定量的に解析されてこなかったことや、マグマ移動以外の要因による応力変化によっても地震が発生すると考えられているためである。火山構造的な地震は、既存の断層に働く応力場の変化により発生すると考えるので、個々の断層の性質やパラメータを理解し、他の要因による応力変化を推定できれば、マグマ移動による応力場を推定できる可能性があり、その情報は火山防災に一層役立つものとなるであろう。

これまで我々は、伊豆大島では約3年間隔でカルデラ北部の地下約5kmの場所に間欠的にマグマが蓄積され、この蓄積時にカルデラ内と伊豆大島西部沿岸の数か所で地震活動が活発になることを明らかにしてきた。このうち、沿岸部の数か所のクラスターで発生する群発地震は、マグマ貫入期間のある時期の1日から1週間程度の期間にのみ集中して発生する。これまでの震源分布から明らかになった断層面の位置、走行や地殻変動観測から明らかになった火山直下のマグマ貫入量を用いて、群発地震発生時の断層面にどれくらいのクーロン応力の増加し、それによって地震活動が活発化するかを系統的に調べた。

伊豆大島沿岸部で発生する群発地震の震源は北方沖（岡田沖）、北西沖（元町沖）、南西沖（野増沖）とほぼ3か所に大別できる。精密な震源分布から、それぞれ走行方向の異なるほぼ鉛直の断層で、発生する地震の発震機構解から横ずれの卓越した断層であることが判った。これらの場所では繰り返し地震が発生するため、同じ断層が応力の蓄積により繰り返し滑っていると考えられる。マグマの貫入によるこれらの断層面に働くクーロン応力変化を計算すると、前回の活動からほぼ同程度のクーロン応力の増加があると新たな群発地震活動が開始する傾向があることが明らかになった。この時の応力増加値は、10-50KPaの範囲にあり、応力の絶対値としては極めて小さい。つまり、これらの群発地震は極めて小さい応力変化量を検知して活動する。平成23年東北地方太平洋沖地震の発生時から数時間後に、これらの断層の2つで群発地震活動が発生した。本震時の静的応力変化によるこれらの断層に加わるクーロン応力の変化量も上記の範囲にあり、極めて小さな応力変化で群発地震活動が開始することを、全く異なった応力源による応力変化によっても支持される。

上記のように、これらの群発地震活動は10-50KPa程度の応力変化を敏感に捉えて活動していることが明らかになった。また、これらの活動は、既存の断層面に応力が蓄積し、それがある量に達すると群発地震活動が開始し、地震発生により応力を開放し、再度蓄積量が増加するというサイクルを繰り返していると考えられる。つまり、サイクルの間隔が短い時には、応力変化量が大きく、マグマ貫入等の応力変化が大きいことを示している。このようなメカニズムはこれまで漠然と想像されていたが、本研究は、具体的な応力値を推定し、火山性群発地震の発生機構を定量的に解析した。今後も解析を継続し、これまでより一歩進めた火山構造的な地震の実体を解明したい。

キーワード: 火山構造的な地震, クーロン応力変化, マグマ貫入, 誘発地震, 火山活動評価

Keywords: volcano-tectonic earthquake, Coulomb stress change, magma intrusion, induced seismicity, evaluation of volcanic activity

## 島根県東部における準火山性深部低周波地震の震源メカニズム Focal Mechanisms of Semi-Volcanic Deep Low-Frequency Earthquakes in Eastern Shimane

麻生 尚文<sup>1\*</sup>, 太田 和晃<sup>1</sup>, 井出 哲<sup>1</sup>  
ASO, Naofumi<sup>1\*</sup>, OHTA, Kazuaki<sup>1</sup>, IDE, Satoshi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学 大学院理学系研究科 地球惑星科学専攻

<sup>1</sup>The University of Tokyo

### 【背景】

深部低周波地震 (LFE) の中で、活火山からもプレート境界からも離れた島弧モホ面付近で孤立的に発生する LFE は、プレート境界で発生する Tectonic LFE とは異なり、活火山直下で発生する Volcanic LFE と非常によく似た活動様相を示し、流体の移動現象が示唆される [Aso *et al.*, 2011; 2012 (本学会)]。これらの LFE を Semi-Volcanic LFE と呼ぶこととする。Volcanic LFE や Semi-Volcanic LFE はその地理的位置から火山活動や内陸型巨大地震との関連が疑われるものの、震源メカニズム解に関する先行研究は、一部の地震について僅かな情報をもとに解析しているため、推定されている様々な解が実際の物理現象の多様性を反映したものか推定精度の低さによる虚像かは定かでない [e.g., Nishidomi and Takeo, 1996; Ohmi and Obara, 2002; Nakamichi *et al.*, 2003]。本研究では、波形全体を用いた解析を多数の LFE に対して行い、信頼できる震源メカニズム解を得るために、低ノイズの地域で比較的大規模の LFE が多く発生している島根県東部の Semi-Volcanic LFE に注目した。この LFE は内陸型巨大地震である鳥取県西部地震 (2000) の震源域に近いだけでなく、第四紀火山である横田単成火山群の直下に位置するため、それらの関係は非常に興味深い。

### 【データ・手法】

島根県東部の Semi-Volcanic LFE についてモーメントテンソルインバージョンにより、震源メカニズム解の推定を行った。データは震源近傍の Hi-net 五観測点におけるイベント波形を用いた。理論地震波形は水平成層を仮定し、Takeo [1985] に基づく離散波数積分法によって求めた。全 60 イベント ( $M < 1$ , 全観測点で気象庁が検出) について、グリッドサーチと線形インバージョンにより、モーメントテンソルの型と震源時間関数を求めた。時間ウィンドウは P 波到達時周辺の鉛直成分および S 波到達時周辺の水平成分について、それぞれ地震波到達時の 0.2 秒前から始まる 2.5 秒間をとった。なお、解の安定性も確認した。

### 【結果・考察】

震源時間関数 (モーメントレート関数) は、通常の地震と異なり正負に振動する。モーメントテンソルの型は、多くの LFE について等方成分と CLVD 成分が支配的であり、ダブルカップル成分は対称性の崩れから付随的に生じていると考えられる。等方成分と非等方成分との符号の組み合わせは開口クラックと整合的であるが、その比も考慮すると、より Linear Dipole に近いメカニズムであることが分かった。これは、S/P 振幅比から Ohmi and Obara [2002] が求めたシングルフォース解とその反作用との組み合わせと等価である。また、震源メカニズムの主対称軸は、Aso *et al.* [2012 (本学会)] による震源再決定で明らかとなった震源分布の方位だけでなく、鳥取県西部地震の主張力軸や西南日本における広域応力場の最小主軸とほぼ並行であり、スケール普遍の方位性が確認された。これらの信頼出来る震源メカニズム解によって、特徴的な方向に並んだクラック状の構造内での流体の移動現象が示唆される。

キーワード: 深部低周波地震, 準火山性 LFE, 島根県東部

Keywords: Low-Frequency Earthquake, Semi-Volcanic LFE, Eastern Shimane



## フィリピン・タール火山における低周波地震から示唆される浅部熱水系の活動 Shallow hydrothermal activity at Taal volcano, Philippines, inferred from long-period seismic events

前田 裕太<sup>1\*</sup>, 熊谷 博之<sup>1</sup>, Rudy Lacson<sup>2</sup>, Melquiades S. Figueroa II.<sup>2</sup>, 山品 匡史<sup>3</sup>  
MAEDA, Yuta<sup>1\*</sup>, KUMAGAI, Hiroyuki<sup>1</sup>, Rudy Lacson<sup>2</sup>, Melquiades S. Figueroa II.<sup>2</sup>, YAMASHINA, Tadashi<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 防災科学技術研究所, <sup>2</sup>PHIVOLCS, <sup>3</sup> 高知大学

<sup>1</sup>NIED, <sup>2</sup>PHIVOLCS, <sup>3</sup>Kochi University

タール火山はフィリピンの首都マニラの南 60km に位置する玄武岩質の活火山で、概ね 30 年以内の間隔で水蒸気爆発を繰り返してきた。1977 年に発生した最後の噴火から既に 30 年以上が経過していることから噴火が危惧されている。我々は JST-JICA プロジェクトの一環として 2010 年秋にタール火山に 5 点の広帯域地震計を含む多項目観測網 (図 1a) を整備し、以後観測を続けてきた。

この観測網によって捉えられた現象の 1 つに 0.8 Hz 付近の卓越周期を持つ低周波地震 (図 1b) がある。低周波地震は観測点 VTDK の上下動で最も明瞭である。この VTDK の上下動連続波形に振幅と波形相関の閾値 (それぞれ  $2 \times 10^{-6}$  m/s および 0.8) を設けて検出を行ったところ、観測開始後現在までに 46,687 個の低周波地震が検出された。その大部分は 2010 年 12 月から 2011 年 1 月にかけて発生したものである。イベント間の波形相関は極めて高く、相関係数が 0.95 を超えるイベントペアも珍しくない。振幅は大きなものでも  $5 \times 10^{-6}$  m/s 程度と小さく、その度数分布は  $3 \times 10^{-6}$  m/s を境に別々の指数分布で説明できる。イベント間隔の度数分布は Weibull 分布と log Weibull 分布の重ね合わせで説明できる。卓越周期の度数分布は 0.8 Hz 付近と 0.72 Hz 付近の bi-modal を示し、地震の多発した 2010 年 12 月から 2011 年 1 月にかけて低い卓越周期を持つ地震の割合が比較的高い。振幅とイベント間隔と卓越周期の間には明瞭な関係が見られない。

VTMC の上下動が利用できる 2011 年 3 月 6 日以降に発生した地震について、VTDK と VTMC の 2 点のデータを用いて Nakano and Kumagai (2005) の方法で波形インバージョンを行った。S/N を上げるため、スタックした波形をデータとして使用した。VTDK に加えて VTMC の波形相関も良いイベントのみをスタックの対象とした。グリーン関数計算にあたっては P 波速度  $V_p = 3000$  m/s の均質構造を仮定し、地形と火口湖・カルデラ湖を考慮に入れた差分計算 (Maeda and Kumagai, 2011) を行った。インバージョンの結果を図 1c に示す。最小残差は開口クラックを仮定した場合が 61.2 %、円筒ソースを仮定した場合が 61.9 % とほとんど差が無い。また  $V_p = 2000$  m/s での解析も行ったところ、 $V_p = 3000$  m/s の場合とは震源位置は近いが向きが大きく異なるクラックが得られた (図 1c)。これらの結果から震源位置については比較的良く制約できるものの、メカニズムについてはあまり制約できないことが分かる。

求めた震源位置は 1990 年代にダイクが貫入した場所に近く、最近でも噴気活動などが見られる一帯の中にある。深さは 300 ~ 500 m と、他の火山において熱水系に関連した活動と解釈された低周波地震 (例えば Nakano et al., 2003; Ohminato, 2006) の深さに近い。VTDK の上下動波形では低周波地震の振動の Q 値は 6 程度であり、この Q 値は Kumagai and Chouet (2000) のクラックモデルを用いると水蒸気を含んだクラック振動の基本モードで説明できる。このモードが観測された振動周波数 0.8 Hz に対応すると考えると、クラック長は  $L = 150$  m となり、現実的な大きさのクラックが推定される。タール火山では 2010 年 6 ~ 8 月と 2011 年 4 ~ 7 月に地震活動の活発化や山体膨張、水温上昇、ガスフラックスの増大等の異常が観測された。低周波地震の多発した時期はこれら 2 度の活発化に挟まれた時期にあたり、2 度の活動活発化のいずれかに関係するマグマの貫入によってタール火山浅部の熱水系に熱が供給されて低周波地震が発生したと解釈することができる。低周波地震は 2011 年 9 月を最後に発生していないが、タール火山の活動自体も 2011 年後半以降低調になっており、上述の解釈に立てばマグマの貫入等の活動が低調になっていると見なすことができる。

### 引用文献

- Kumagai H., and Chouet B.A., 2000, *J. Geophys. Res.*, 105, 25493-25512.  
Maeda Y., and Kumagai H., 2011, AGU Fall Meeting, S31B-2231.  
Nakano M., and Kumagai H., 2005, *Geophys. Res. Lett.*, 32, L12302.  
Nakano M. et al., 2003, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 122, 149-164.  
Ohminato T., 2006, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 158, 467-490.

キーワード: タール火山, 低周波地震, 波形インバージョン

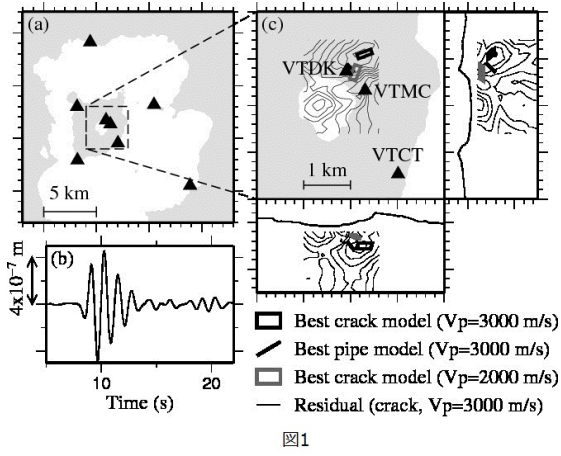
Keywords: Taal volcano, Long-period events, Waveform inversion



SVC50-20

会場:104

時間:5月24日 11:15-11:30



## 霧島山新燃岳噴火に関する総合調査の概要と噴火シナリオ

### Comprehensive study on the 2011 eruption at Shinmoedake (Kirishima Volcano) and the eruption scenario

中田 節也<sup>1\*</sup>, 森田 裕一<sup>1</sup>

NAKADA, Setsuya<sup>1\*</sup>, MORITA, Yuichi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学地震研究所

<sup>1</sup>Earthquake Research Institute, University of Tokyo

霧島山新燃岳では2011年1月末から300年ぶりに本格的なマグマ噴火が発生した。この噴火に関する緊急研究を、平成22-23年度科学研究補助金特別研究促進費「2011年霧島火山(新燃岳)噴火に関する総合調査」を使用して、全国の大学研究者が連携して実施した。そこでは、(1)火口近傍における観測による火口及び火道浅部構造・状況の調査、(2)広域地殻変動・地震観測・地球電磁気観測によるマグマ蓄積系の調査、(3)火山灰・火山ガス調査による噴出物成分調査、(4)降灰域での土石流危険度調査の4チームを構成し総合的調査を行った。

2011年の噴火に先立って、2006年から地下でマグマ蓄積が進行し山体膨張が進み、2008年からは水蒸気爆発がしばしば起こっていた。マグマの蓄積は新燃岳の火口北西7.8km地下約10kmにある溜まりで起こったものと考えられる。噴火は2011年1月19日の小噴火に続き、1月26、27日の3回の準プリニー式噴火と、それ引き続く火口内の溶岩蓄積、および、2月1日から数ヶ月にわたるブルカノ式噴火で特徴づけられる。1月末の噴火によって、噴火前まで膨張していた山体は収縮した。その収縮量は準プリニー式噴火と火口の溶岩蓄積によるマグマ噴出量(約2400万m<sup>3</sup>)とほぼ一致する。噴火に伴うマグマ蓄積や移動は地震、地殻変動、電磁気、重力変化などでも捉えられた。

2月のブルカノ式噴火の開始と同時に、山体膨張が再び開始し2011年11月まで噴火前と同様の率で継続した。そのため、マグマ蓄積が噴火後も継続し、ほぼ噴火前の状態に戻っている。

今回の噴火はいわゆる「噴火の輪廻」に従ったものであり、時間とともに爆発度を減じる比較的単純な推移であった。本研究では噴火開始直後から噴火事象分岐図(噴火シナリオ)を作成し改訂を重ねた。そこでは、新燃岳のマグマ噴火である約300年の噴火(井村・小林, 1991)や類似火山の噴火を参考にした。今回の噴火は約300年前とは規模、噴火間隔など異なる点も多い。今後、いつどのような形で噴火が再開するのかなどを、本研究結果を反映した噴火シナリオに基づいて予測することが火山学上だけでなく防災上も重要である。

キーワード: 新燃岳, 火山噴火, 総合調査, 噴火シナリオ, 霧島山

Keywords: Shinmoedake, volcanic eruption, comprehensive study, eruption scenario, Kirishima volcano

## 2011年新燃岳噴火の準プリニー式噴火, ブルカノ式噴火, 溶岩流出に伴う傾斜変動 Tilt motions associated with sub-Plinian, Vulcanian eruptions, and an effusive stage in the 2011 Shinmoe-dake eruption

前原 祐樹<sup>1</sup>, 武尾 実<sup>1\*</sup>, 大湊 隆雄<sup>1</sup>, 市原 美恵<sup>1</sup>, 及川 純<sup>1</sup>

MAEHARA, Yuki<sup>1</sup>, TAKEO, Minoru<sup>1\*</sup>, OHMINATO, Takao<sup>1</sup>, ICHIHARA, Mie<sup>1</sup>, OIKAWA, Jun<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学 地震研究所

<sup>1</sup>Earthquake Research Institute, University of Tokyo

Numerical simulations and experimental studies suggest that bubble formation and fragmentation in magma ascending through a conduit play an important role in an explosive eruption. These phenomena should cause some kind of ground deformations, and such observations have been reported in several volcanoes [e.g., Iguchi *et al.*, 2008]. In this paper, to reveal a behavior of magma associated with an eruption, we investigate tilt motions near a summit crater during the 2011 eruption of Shinmoe-dake, Kirishima volcano. As a broadband seismometer is capable of measuring a ground tilt motion [e.g., Graizer, 2006; Aoyama & Oshima, 2008], we obtained tilt motions from a broadband seismometer (SMN) installed at 1 km northward and a tilt-meter (KISH) at 1.5 km NEN-ward from the crater by elimination of tidal trends and daily noises. A comparison of tilt motions obtained from the broadband seismometer with those from tilt-meter reveals us that the broadband seismometer is available to measure tilt motions with a period up to a few thousand seconds.

Tilt motions indicating summit-up inclines about a few thousand seconds before eruptions preceded most of explosive eruptions, including sub-Plinian eruptions in 26<sup>th</sup> and 27<sup>th</sup> January and Vulcanian eruptions between 1<sup>st</sup> and 7<sup>th</sup> February. Any clear distinctions, such as in precursor times and in sizes of tilt motions, have been recognized between the tilt motions preceding the sub-Plinian eruptions and the Vulcanian eruptions up to this time. However, we found systematic changes of the tilt ratio between these two stations: the tilt ratio of the far station (KISH) to the near station (SMN) gradually increased from around 0.3 to 0.4 as the eruptions closed in, not only the sub-Plinian but also the Vulcanian eruptions. In the effusive stage, we observed periodic summit-up and summit-down tilt motions with a period of about 1 hour; some parts of these periodic motions correlated with volcanic tremors.

There are several speculative interpretations about the temporal change of the tilt ratio. If we assume the location of source in the conduit and fixed source mechanism, the ratio change could be explained by the change of source depth. On the other hand, assuming the fixed source depth in the conduit, it could be explained by the change of source mechanism. We don't have enough data to bring to an end, so hereafter we tentatively interpret these observations based on the assumption of fixed source mechanism. Employing an isotropic pressure source (Mogi model) as the source, the ratio change corresponds to the deepening of source from 420 m to 140 m above sea level. The absolute values of tilt change preceding the first sub-Plinian eruption on 26<sup>th</sup> January can be explained by pressure increase of around 10 MPa assuming the source volume of 10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>. This pressure decreased rapidly just after a small eruption which occurred about 30 min before the start of the sub-Plinian eruption. This depressurization in the conduit might have triggered the fragmentation of magma in the shallow part of the conduit.

キーワード: 火山噴火過程, 傾斜変動, 霧島山新燃岳

Keywords: volcanic eruption, tilt motion, Shinmoe-dake, Kirishima volcano



## MT連続観測による霧島硫黄山北の比抵抗変化 Temporal changes in electrical resistivity of Kirishima volcano from continuous magnetotelluric observations

相澤 広記<sup>1\*</sup>, 小山 崇夫<sup>1</sup>, 長谷 英彰<sup>1</sup>, 上嶋 誠<sup>1</sup>, 橋本 武志<sup>2</sup>, 宇津木 充<sup>3</sup>, 吉村 令慧<sup>3</sup>, 神田 径<sup>4</sup>, 小川 康雄<sup>4</sup>  
AIZAWA, Koki<sup>1\*</sup>, KOYAMA, Takao<sup>1</sup>, HASE, Hideaki<sup>1</sup>, UYESHIMA, Makoto<sup>1</sup>, HASHIMOTO, Takeshi<sup>2</sup>, UTSUGI, Mitsuru<sup>3</sup>,  
YOSHIMURA, Ryokei<sup>3</sup>, KANDA, Wataru<sup>4</sup>, OGAWA, Yasuo<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 東京大学地震研究所, <sup>2</sup> 北海道大学, <sup>3</sup> 京都大学, <sup>4</sup> 東京工業大学

<sup>1</sup>Earthquake Research Institute, Univ. of Tokyo, <sup>2</sup>Hokkaido Univ., <sup>3</sup>Kyoto Univ., <sup>4</sup>Tokyo Institute of Technology

比抵抗は流体に敏感な物理量であり、火山活動によってその構造が変化する可能性がある。現在、比抵抗構造を推定するのに最も用いられるのは自然の電磁場変動をソースとする MT 法である。人工的に電流を流す手法に対し、大掛かりな装置が必要なく、人工ノイズの小さい領域であれば深部まで比抵抗構造を推定できるという利点がある。ところが、これまで MT 法を火山のモニタリングとして適用した例は報告されておらず、その有効性は未知数であった。著者等は 2011 年 3 月から、比抵抗構造変化の検出を目指し、霧島硫黄山北に MT 連続観測点を設置した。なお稠密広帯域 MT 観測による霧島火山群の比抵抗構造は同セッションにて(小山他)発表予定である。

MT 連続観測は Metronix 社製 ADU07, MFS06 を用い 32Hz(00:00~23:50UT), 1024Hz (17:00~19:00UT) サンプルングで、地磁気 3 成分 - 地電位差 2 成分を測定した。FOMA 通信を用い、東京から遠隔で測定状況を把握しているが、通信速度の関係からデータ全てを東京に転送することはできない。そのため、1~2 ヶ月に 1 度の頻度で、メンテナンスを兼ねて現地でデータ回収を行っている。2011 年 11、12 月は電極の不調のため長周期のインピーダンスの決定精度が低下したが、それ以外は欠測もなく順調にデータを蓄積している。

解析は BIRRP (Chave and Thomson, 2004, GJI) を適用した。ローカルな人工ノイズの影響を小さくするため柿岡地磁気観測所の 1Hz データ、および桜島持木観測点の 32Hz, 1024Hz データを用いたリモートリファレンス処理を行い、 $200 \sim 0.001$ Hz のインピーダンスを 1 日ごとに推定した。2012 年 1 月までのところ異常値を除くとインピーダンスの時間変化は見掛け比抵抗で  $\pm 5\%$ 、位相で  $\pm 1^\circ$  程度である。しかしながら自然の磁場変動をソースとして用いているため SN 比が常に一定ではなく、異常値のほかに決定精度の低い日が多く存在する。そこでインピーダンスの非対角成分の平均値をエラーバーの逆数で重みづけし、2 週間の移動平均をかけインバージョンの入力値とした。比抵抗構造の推定には、1 次元成層構造を仮定した Occam inversion (Constable et al., 1987) を適用した。本発表ではこれまでの比抵抗構造変動の特徴を示し、そのメカニズムを議論したい。

## 活火山における能動監視 -桜島火山へのアクロス設置- Active Monitoring at Active Volcanoes - Deployment of ACROSS at Sakurajima Volcano

山岡 耕春<sup>2</sup>, 渡辺 俊樹<sup>2</sup>, 井口 正人<sup>3</sup>, 為栗 健<sup>3</sup>, 八木原 寛<sup>1</sup>, 三ヶ田 均<sup>4</sup>, 竹中 博士<sup>5</sup>, 清水 洋<sup>5</sup>, 宮町 宏樹<sup>1\*</sup>  
YAMAOKA Koshun<sup>2</sup>, WATANABE Toshiki<sup>2</sup>, IGUCHI Masato<sup>3</sup>, TAMEGURI Takeshi<sup>3</sup>, YAKIWARA Hiroshi<sup>1</sup>, MIKADA  
Hitoshi<sup>4</sup>, TAKENAKA Hiroshi<sup>5</sup>, SHIMIZU Hiroshi<sup>5</sup>, MIYAMACHI, Hiroki<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 鹿児島大学大学院理工学研究科, <sup>2</sup> 名古屋大学大学院環境学研究科, <sup>3</sup> 京都大学防災研究所, <sup>4</sup> 京都大学大学院環境学研究科, <sup>5</sup> 九州大学大学院理学研究院

<sup>1</sup>Graduate school of Science and Engineering, Kagoshima University, <sup>2</sup>Graduate School of Environment, Nagoya University, <sup>3</sup>Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, <sup>4</sup>Graduate School of Environment, Kyoto University, <sup>5</sup>Graduate school of Science, Kyushu University

Quantitative monitoring of magma transport process is essentially important for understanding the volcanic process and prediction of volcanic eruptions. To realize this monitoring, a project, an establishment of active monitoring using a vibration source called ACROSS in Sakurajima volcano, is being underway and will be finished by the end of March 2012. In this report we show how the ACROSS source was deployed in Sakurajima volcano, and also show the feasibility of monitoring using ACROSS vibrator system for Sakurajima volcano in terms of detectability of signal and its temporal variation due to reasonable change in volcanic structure. Sakurajima volcano is one of the most active volcanoes in the world, which made about 1000 explosive eruptions in 2011, and has been intensively monitored by high-performance observation networks operated by institutions such as Sakurajima Volcano Research Center of DPRI, Kyoto University. Therefore, Sakurajima volcano is one of the best volcanos as a first test site for volcano monitoring with ACROSS.

ACROSS source is deployed in the northwestern flank of the volcano at the site of former Sakurajima Clean Center. Two vibrators are deployed, which were originally operated as a four-vibrator system. The control-gear, that is originally designed to operate the four-vibrator system, has been already modified for two-vibrator system and in operation at Toyohashi site. We brought the system to Sakurajima volcano in order to prevent unexpected troubles. The two vibrators are firmly fixed in a basement, that is called a "core-coupler", which is build with steel-beamed frame. The core-couple is cemented in the square-shaped hole with a dimension of 4.3 x 3.8m and 3m depth. As the ground of the site is not solidified well for the vibrator, twelve stakes are driven to the depth of 5m and the centroid of the vibrator is situated at a depth of about 1.5m below the surface, that is 0.5m deeper than that of Toyoyashi site. The vibrators can produce a sinusoidal force of about  $10^6$  N at 15Hz, and can be reduced by changing eccentric moment of the mass. The operation will be made with an accurately repeating sweep signals with a frequency range of about 10-20Hz that are synchronized to GPS clock. We look for best parameters for operation when the deployment finished.

Before operation we simulated the wave propagation with a 3D structure model of Sakurajima volcano and assess the detectability of signal in the seismic stations in the volcano. 3D model is made based on a structure model (Miyamachi et al. 2010), and implemented for the simulation system GEOWAVE. The attenuation is given by the analysis using the data of the explosion experiment in 2008. The simulation shows that the maximum change in the signal can be observed at the seismic stations in the southeastern flank of the volcano if the magma ascent beneath the Showa or Minamidake craters. Based on the estimation of the distance-dependent attenuation relationship by Yamaoka et al. (2011), the signal of an ACROSS vibrator can be recorded with a signal-to-noise ration of 10 for the whole area of Sakurajima island for the staking length of 3 months. We will, therefore, be able to monitor the change of signal that may be correlated with long-term activation or deactivation of the Sakurajima Volcano with ACROSS system.

キーワード: 桜島, 火山, アクロス

Keywords: Sakurajima, Volcano, ACROSS

## 桜島火山における反復地震探査 (第三回)

### The third round of the repetitive seismic experiment in Sakurajima Volcano.

筒井 智樹<sup>1\*</sup>, 井口正人<sup>2</sup>, 菅井 明<sup>3</sup>, 大島弘光<sup>4</sup>, 前川徳光<sup>4</sup>, 植木真人<sup>5</sup>, 山本 希<sup>5</sup>, 野上健治<sup>6</sup>, 武尾 実<sup>7</sup>, 大湊隆雄<sup>7</sup>, 及川 純<sup>7</sup>, 渡邊篤志<sup>7</sup>, 中道治久<sup>8</sup>, 堀川信一郎<sup>8</sup>, 大倉敬宏<sup>9</sup>, 吉川 慎<sup>9</sup>, 高山鐵朗<sup>2</sup>, 園田忠臣<sup>2</sup>, 清水 洋<sup>10</sup>, 松島 健<sup>10</sup>, 宮町宏樹<sup>11</sup>, 八木原 寛<sup>11</sup>, 平野舟一郎<sup>11</sup>, 岡本和喜<sup>3</sup>, 片岡義久<sup>3</sup>, 松末伸一<sup>3</sup>, 小窪則夫<sup>3</sup>, 河野太亮<sup>3</sup>, 真崎潤一郎<sup>3</sup>, 中橋正樹<sup>3</sup>, 宇都宮真吾<sup>3</sup>, 生駒良友<sup>3</sup>, 芥川真由美<sup>3</sup>

TSUTSUI, Tomoki<sup>1\*</sup>, Masato IGUCHI<sup>2</sup>, Akira SUGAI<sup>3</sup>, Hiromitsu OSHIMA<sup>4</sup>, Tokumitsu MAEKAWA<sup>4</sup>, Sadato UEKI<sup>5</sup>, Mare YAMAMOTO<sup>5</sup>, Kenji NOGAMI<sup>6</sup>, Minoru TAKEO<sup>7</sup>, Takao OHMINATO<sup>7</sup>, Jun OIKAWA<sup>7</sup>, Atsushi WATANABE<sup>7</sup>, Haruhisa NAKAMICHI<sup>8</sup>, Shinichiro HORIKAWA<sup>8</sup>, Takahiro OHKURA<sup>9</sup>, Shin YOSHIKAWA<sup>9</sup>, Tetsuro TAKAYAMA<sup>2</sup>, Tadaomi SONODA<sup>2</sup>, Hiroshi SHIMIZU<sup>10</sup>, Takeshi MATSUSHIMA<sup>10</sup>, Hiroki MIYAMACHI<sup>11</sup>, Hiroshi YAKIWARA<sup>11</sup>, Shuichiro HIRANO<sup>11</sup>, Kazuki OKAMOTO<sup>3</sup>, Yoshihisa KATAOKA<sup>3</sup>, Shinichi MATSUSUE<sup>3</sup>, Norio KOKUBO<sup>3</sup>, Taisuke KOHNO<sup>3</sup>, Junichiro MASAKI<sup>3</sup>, Masaki NAKAHASHI<sup>3</sup>, Shingo UTSUNOMIYA<sup>3</sup>, Yoshitomo IKOMA<sup>3</sup>, Mayumi AKUTAGAWA<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 秋田大学大学院, <sup>2</sup> 京都大学防災研究所, <sup>3</sup> 気象庁, <sup>4</sup> 北海道大学大学院, <sup>5</sup> 東北大学大学院, <sup>6</sup> 東京工業大学火山流体研究センター, <sup>7</sup> 東京大学地震研究所, <sup>8</sup> 名古屋大学大学院, <sup>9</sup> 京都大学大学院, <sup>10</sup> 九州大学大学院, <sup>11</sup> 鹿児島大学大学院

<sup>1</sup>Graduate school, Akita University, <sup>2</sup>DPRI, Kyoto University, <sup>3</sup>Japan Meteorological Agency, <sup>4</sup>Graduate School of Science, Hokkaido University, <sup>5</sup>Graduate School of Science, Tohoku University, <sup>6</sup>Volcanic Fluid Research Center, Tokyo Institute of Technology, <sup>7</sup>Earthquake Research Institute, University of Tokyo, <sup>8</sup>Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, <sup>9</sup>Graduate School of Science, Kyoto University, <sup>10</sup>Faculty of Sciences, Kyushu University, <sup>11</sup>Graduate School of Science, Kagoshima University

桜島火山北東部で行われた第3回目の繰り返し地震探査の概要とデータ整理結果を報告する。

九州南部に位置する桜島火山では2006年6月以降、東山腹の昭和火口からの活動が活発化している。1946年に昭和火口から溶岩を流出した活動では、溶岩流出に先立った数年間の爆発活動が記録に残されている。さらに、桜島にマグマを供給しているとされる始良カルデラの隆起量は1914年の大正噴火直前のレベルに近づきつつあることから(山本他, 2010)、昭和火口の今後の活動の推移は注目される。

火山活動のレベルを支配する要素として、火口へのマグマ供給量は本質的に重要である。火口へのマグマ供給量を前もって直接モニターするためには、マグマ供給路上における観測が必要である。桜島で行われている繰り返し地震探査ではHidayati et al.(2007)が提唱したマグマ供給モデルを考慮して桜島北部から東部にかけて測線を設定し、始良カルデラから桜島へのマグマ移動にともなう地下構造変化の検出をねらっている。

本観測は2008年の先行観測に引き続き、2009年から毎年1回実施されている。桜島東麓と北山腹にそれぞれ1本ずつの測線を設定し、合計14ヶ所のショットポイントと252点の臨時観測点を測線上に設置した。観測機器および発破薬量はこれまで行われた2回の観測と同一仕様のものを用いた。震源にはダイナマイト(20kg)を使用した。臨時観測点には固有周波数4.5Hzの上下動地震計とデータロガーLS-8200SDとを用いた。9割以上の観測点は昨年と同一の場所に復元された。

展開した臨時観測点252点中、データが回収できた観測点は251点でデータ回収率は99.6%であった。得られた観測記録では3ヶ所の発破に対して後続波波形が著しく変化している。これらのショットに対する観測ではコヒーレンスの高い周波数帯域(5~8Hz)における、走時に対するコヒーレンスおよびコヒーレント角の変化率に変化が認められた。本講演ではこの波形変化に対する震源波形の寄与と地下構造応答の寄与の分離と評価について議論する。

キーワード: 桜島火山, 構造探査, 地震探査, マグマ

Keywords: Sakurajima, Geophysical survey, Seismic survey, Seismic survey



## CCDカメラと画像解析を用いた桜島火山灰のキャラクタリゼーション Characterization of volcanic ash samples from Sakurajima volcano by CCD camera image

三輪 学央<sup>1\*</sup>, 嶋野 岳人<sup>2</sup>, 西村 太志<sup>1</sup>

MIWA, Takahiro<sup>1\*</sup>, SHIMANO, Taketo<sup>2</sup>, NISHIMURA, Takeshi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東北大学大学院理学研究科地球物理学専攻, <sup>2</sup> 富士常葉大学大学院環境防災研究科

<sup>1</sup>Department of Geophysics, Graduate School of Science, Tohoku University, <sup>2</sup>Graduate school of Environment and Disaster Research, Fuji Tokoha University

In order to conduct a petrologic monitoring of ongoing eruption, a speedy and simple characterization method of volcanic ash particle is needed. We develop a new simple system for quantitatively characterizing of volcanic ash properties that analyzes CCD camera images, and apply the method to volcanic ash samples from Showa crater of Sakurajima. Our method characterizes volcanic ash particles by 1) apparent luminance through RGB filters and 2) irregularity of the shape of ash particles. Using a monochromatic CCD camera (Starshoot by Orion Co. LTD.) attached to a stereoscopic microscope, we captured images of ash particles set on white colored paper. These images are taken through three kinds of filters (Red, Green and Blue) under incandescent light with constant brightness. The images are analyzed by Adobe photoshop and Scion Image software. Apparent luminance of the ash particle images are represented by 256 tones for each pixel, and the average, median and standard deviation are measured for each ash particle for each filtered image in Adobe photoshop. Luminance is calibrated by taking images of white and black colored paper. Binary image converted from the 256 tones through Red filter is used for the analysis of the FF (Form Factor:  $4 \cdot \pi \cdot A / \text{perimeter}^2$ ; A is cross sectional area) of ash particles by Scion Image program.

To compare a result of the image analysis and a classification under stereoscopic microscope, we characterized a day (January 13, 2010) sample of volcanic ash from Showa crater of Sakurajima volcano. Firstly, we divide volcanic ash into 11 types of particle under the stereoscopic microscope. Subsequently, we quantify the luminance and FF for the each type of the ash particles. The results show that the distributions of luminance and FF differ for different type of the ash particles. This suggests that classification using luminance and FF is quite useful to quantitatively distinguish and group the volcanic ash samples, and suitable for the petrologic monitoring of ongoing eruption.

キーワード: 火山灰, 分類手法, CCDカメラ, 画像解析, 活動的火山モニタリング

Keywords: Volcanic ash, Classification method, CCD camera, Image analysis, Monitoring of ongoing eruption

## 水準測量による桜島火山の地盤上下変動 (2010年11月~2011年11月) Vertical ground deformation in Sakurajima volcano measured by precise leveling surveys (during Nov. 2010 - Nov. 2011)

山本 圭吾<sup>1\*</sup>, 園田 忠臣<sup>1</sup>, 高山 鐵朗<sup>1</sup>, 市川 信夫<sup>1</sup>, 大倉 敬宏<sup>2</sup>, 横尾 亮彦<sup>2</sup>, 吉川 慎<sup>2</sup>, 井上 寛之<sup>2</sup>, 堀田 耕平<sup>2</sup>, 松島 健<sup>3</sup>, 内田 和也<sup>3</sup>, 中元 真美<sup>3</sup>

YAMAMOTO, Keigo<sup>1\*</sup>, Tadaomi Sonoda<sup>1</sup>, Tetsuro Takayama<sup>1</sup>, Nobuo Ichikawa<sup>1</sup>, OHKURA, Takahiro<sup>2</sup>, YOKOO, Akihiko<sup>2</sup>, Shin Yoshikawa<sup>2</sup>, Hiroyuki Inoue<sup>2</sup>, Kohei Hotta<sup>2</sup>, MATSUSHIMA, Takeshi<sup>3</sup>, UCHIDA, Kazunari<sup>3</sup>, NAKAMOTO, Manami<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 京都大学防災研究所, <sup>2</sup> 京都大学大学院理学研究科, <sup>3</sup> 九州大学大学院理学研究院

<sup>1</sup>DPRI, Kyoto Univ., <sup>2</sup>Graduate School of Science, Kyoto Univ., <sup>3</sup>Faculty of Sciences, Kyushu Univ.

桜島火山においては、1955年の山頂噴火活動活発化以降、火山活動に伴う地盤変動を調査するための水準測量が繰り返されてきた (Yoshikawa, 1961; 江頭・他, 1997)。それらの結果から、噴火活動に伴う地盤変動は、桜島北方の始良カルデラ地下の深さ約 10 km に推定される主マグマ溜りと桜島直下約 3 km の深さに推定される副マグマ溜り内のマグマの貯留と放出に伴う現象として説明されている (江頭, 1989)。1990年代以降、山頂噴火活動静穏化に伴ってマグマの放出量が減り、主マグマ溜りの増圧によって桜島北部の地盤変動がそれまでの沈降から隆起に転じたことが1991年から1996年の測量により確認された (江頭・他, 1997)。この桜島北部の地盤隆起傾向は、1996年以降も現在まで継続している (山本・他, 2008, 2010, 2011)。一方で、2006年6月から始まった昭和火口における噴火活動が近年激化する傾向が見られ、2010年、2011年と年間に1000回を超える爆発的噴火が発生した。このような状況の中、2011年11月に、桜島において1等水準測量の繰返し観測を実施した。本講演では、この水準測量の結果について報告し、最新の桜島火山の地盤上下変動について議論する。

2011年11月に水準測量を実施した路線は、海岸線に沿って桜島を一周する桜島一周道路路線および桜島西部山腹のハルタ山登山路線および桜島北部山腹の北岳路線であり、総延長は56 kmである。これらの路線を、大学合同で3測量班を構成し約2週間測量に当たった。各水準点間の往復測量を行い、その測量誤差は、一等水準測量に従いその許容誤差以内となるように実施した。今回の測量における1 km当りの平均自乗誤差は桜島一周道路路線、ハルタ山登山路線および北岳路線においてそれぞれ $\pm 0.39$  mm/km,  $\pm 0.39$  mm/km,  $\pm 0.52$  mm/km、水準環閉塞誤差は桜島一周道路路線およびハルタ山登山路線において時計回りにそれぞれ2.2 mm (一周約36 km)、2.3 mm (一周約15 km)であり高精度の一等水準測量と言える。

桜島西岸の水準点S.17を不動点(基準)とし、各水準点の比高値を前回の2010年11月における測量結果と比較した。なお、北岳路線はこの2010年11月の測量の際に新設されたものであり、今回の測量によって初めてその地盤上下変動量が求められた。2010年11月から2011年11月の期間における桜島北部の地盤上下変動量は3 mm程度以内であった。桜島北部の地盤においては、1991年以降、始良カルデラ地下の主マグマ溜りにおけるマグマの貯留を反映すると考えられる地盤隆起が観測されてきたが、2010年4月~11月の期間に続きその地盤隆起がほぼ停滞していたことが確認された。一方で、桜島中心部に近いハルタ山登山路線と北岳路線の水準点においては、この期間、最大で約13 mmにおよぶ地盤の沈降が確認された。これは、桜島直下の副マグマ溜りにおける減圧、すなわちマグマの放出量の増大を示唆しているものと考えられる。特に2009年以降、昭和火口における噴火活動が活発化し、それに伴ってマグマの放出量も増加傾向にあるが、桜島火山の噴火ポテンシャルの評価においても今後の噴火活動の変化に伴う地盤変動の推移に注意を払っていく必要があると考えられる。

キーワード: 桜島火山, 始良カルデラ, 精密水準測量, 地盤上下変動

Keywords: Sakurajima volcano, Aira caldera, precise leveling survey, vertical ground deformation

## 桜島火山におけるくり返し空中磁気観測 (2007-2011年) Repeated aeromagnetic survey on Sakurajima Volcano(2007-2011)

宇津木 充<sup>1\*</sup>, 神田 径<sup>2</sup>, 橋本 武志<sup>3</sup>, 井上 直人<sup>5</sup>, 小森 省吾<sup>4</sup>, 井上 寛之<sup>4</sup>, 井口 正人<sup>4</sup>

UTSUGI, Mitsuru<sup>1\*</sup>, KANDA, Wataru<sup>2</sup>, HASHIMOTO, Takeshi<sup>3</sup>, INOUE, Naoto<sup>5</sup>, KOMORI, Shogo<sup>4</sup>, Hiroyuki Inoue<sup>4</sup>, IGUCHI, Masato<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 京都大学大学院理学研究科, <sup>2</sup> 東京工業大学火山流体研究センター, <sup>3</sup> 北海道大学大学院理学研究科, <sup>4</sup> 京都大学防災研究所, <sup>5</sup> 財団法人 地域地盤環境研究所

<sup>1</sup>Kyouto Univ., <sup>2</sup>Tokyo Inst. Tech., <sup>3</sup>Hokkaido Univ., <sup>4</sup>D.P.R.I., Kyoto University, <sup>5</sup>Geo-Research Inst.

桜島火山の活動に起因する磁場時間変化を検出することを目的に2011年10月24日?26日の3日間にかけて、桜島島内で空中磁気観測を行った。観測は、ヘリコプターに磁力計及びGPSを搭載したバードを曳航させ、磁場全磁力及び計測位置を逐次計測し、桜島火山及びその周辺の磁気異常を求めた。フライトは、各々の測線間隔500mを目安に南北22測線、東西15測線で行った。また対地高度は地表から150?200mを目安とした。

この観測から得られた磁気異常分布からは、桜島火山・山体の南北に山体が正帯磁している場合の正・負の磁気異常が見られ、それに安永溶岩に対応すると見られる正の磁気異常が山体北東部に見られる。こうした傾向は、2007年桜島集中観測の一環で行われた空中磁気観測の結果(宇津木ほか,2008)と調和的である。

今回の結果について、2007年の空中磁気観測結果をリファレンスとして、2007年から2011年間の4年間における磁場時間変化の検出を試みた。時間変化の検出にあたっては、Nakatsuka and Okuma,2002の上方接続の手法を用いた。この手法では、観測面下部に仮想的な磁気異常源(等価磁気異常源)を分布させ、それらの強度を、良く観測値を説明できるよう最小自乗的に求める。こうして求められた等価磁気異常源から再計算される磁場が磁場の上方接続値として高い精度を持つ。今回の解析ではこの手法を応用し、2007年の磁気異常を説明するため、及び2007年?2011年間の磁場時間変化を説明するための2種の等価磁気異常源を仮定し、それらの強度を2007年及び2011年の観測で得られた全データから同時に求める、という方法を使った。

この結果得ら、昭和火口付近を中心とした北に負、南に正の時間変化が検出された。この変化の傾向は、昭和火口付近に新たな帯磁源が現れた場合のもの一致する。2011年までの4年間に、昭和火口で活発な活動が繰り返されており、地表に大量の火山灰が堆積している。こうしたことから、堆積した火山灰が冷却し磁化を帯びたことがこの時間変化の原因のひとつとして考えられる。今後、この時間変化のソース位置の推定を行い、今回検出された時間変化がどのような原因で生じたか、またより深部の熱的状態変化に起因する変化成分が含まれていないかを精査する予定である。

キーワード: 空中磁気観測, 磁気異常, 地球磁場時間変化

Keywords: aeromagnetic survey, magnetic anomaly, temporally change of geomagnetic field



## 桜島火山における浅部比抵抗構造調査 2011 Audio-frequency magnetotelluric survey of Sakurajima volcano in 2011

神田 径<sup>1\*</sup>, 小川 康雄<sup>1</sup>, 高倉 伸一<sup>2</sup>, 小山 崇夫<sup>3</sup>, 橋本 武志<sup>4</sup>, 小森 省吾<sup>5</sup>, 園田 忠臣<sup>6</sup>, 佐藤 泉<sup>1</sup>, 井上 直人<sup>7</sup>, 宇津木 充<sup>5</sup>, KANDA, Wataru<sup>1\*</sup>, OGAWA, Yasuo<sup>1</sup>, TAKAKURA, Shinichi<sup>2</sup>, KOYAMA, Takao<sup>3</sup>, HASHIMOTO, Takeshi<sup>4</sup>, KOMORI, Shogo<sup>5</sup>, Tadaomi Sonoda<sup>6</sup>, SATO, Izumi<sup>1</sup>, INOUE, Naoto<sup>7</sup>, UTSUGI, Mitsuru<sup>5</sup>

<sup>1</sup> 東京工業大学火山流体研究センター, <sup>2</sup> 産業技術総合研究所地圏資源環境研究部門, <sup>3</sup> 東京大学地震研究所, <sup>4</sup> 北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター, <sup>5</sup> 京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設火山研究センター, <sup>6</sup> 京都大学防災研究所附属火山活動研究センター, <sup>7</sup> 地域地盤環境研究所

<sup>1</sup> Volcanic Fluid Research Center, Tokyo Institute of Technology, <sup>2</sup> National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, <sup>3</sup> Earthquake Research Institute, University of Tokyo, <sup>4</sup> Institute of Seismology and Volcanology, Graduate School of Science, Hokkaido University, <sup>5</sup> AVL, Institute for Geothermal Sciences, Graduate School of Science, Kyoto University, <sup>6</sup> SVO, Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, <sup>7</sup> Geo-Research Institute

平成 23 年度の「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」における「桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究 (課題番号 1809)」により、AMT 法 (Audio-frequency Magneto-Tellurics) を用いた浅部比抵抗構造調査を行った。

桜島火山では、1955 年にはじまった南岳山頂火口における噴火活動が継続していたが、2006 年 6 月からは昭和火口において活発な爆発的噴火活動を繰り返している。一方、歴史時代に溶岩流を流出した噴火 (天平宝宇, 文明, 安永, 大正) では、いずれも山腹に火口を形成している。このような活動状況にある桜島火山の浅部構造を明らかにし、山腹からの噴火可能性を評価することを主たる目的として、2007 年度の第 10 回桜島火山の集中総合観測において、AMT 法による地下構造調査を実施した。調査の概要と二次元および三次元構造解析の結果については既に報告されており (神田・他, 2008; Kanda et al., 2012)、桜島地下浅部の不均質な構造が明らかとなっている。しかしながら、前回の調査では、桜島の山腹に設定した 3 測線に沿ってデータが取得されたため、空間的な分解能にやや問題があった。今回の調査では、いくつかの観測点で繰り返し観測を行うことで、火山活動の活発化に伴って地下構造の時間変化があったかどうかを確認するとともに、2007 年度調査の観測領域を広げて、より広範囲のデータ取得を目指した。

調査は 2011 年 10 月 23 日から 10 月 29 日にかけて実施された。前回の調査の結果、熱水系の存在を示唆する浅部低比抵抗層の盛り上がりが見出された引の平溶岩ドーム～大正火口の周辺、および同様の構造が存在する可能性のある北部安永火口の周辺を中心に観測点を設定した。測定は、S/N の良い夜間に行い、合計 23 観測点で電磁場データを取得した。うち、3 点が 2007 年に測定した観測点の繰り返し測定である。データは測定機器が不調であった 1 観測点を除き概ね良好であった。発表では、これらの観測の概要と予察的な解析結果について報告する。

キーワード: 比抵抗構造, 桜島火山, 熱水系, 山腹噴火

Keywords: resistivity structure, Sakurajima volcano, hydrothermal system, flank eruption

## 鉱物化学組成と揮発性成分から見た桜島火山大正噴火の浅部マグマ供給系 Shallow magma feeding system of the 1914 eruption of Sakurajima inferred from mineral chemistry and volatile contents

佐藤 智紀<sup>1\*</sup>, 中村 美千彦<sup>1</sup>, 奥村 聡<sup>1</sup>, 味喜 大介<sup>2</sup>, 井口 正人<sup>2</sup>

SATO, Tomoki<sup>1\*</sup>, NAKAMURA, Michihiko<sup>1</sup>, OKUMURA, Satoshi<sup>1</sup>, MIKI, Daisuke<sup>2</sup>, IGUCHI, Masato<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東北大・理・地球惑星物質科学, <sup>2</sup> 京大・防災研・火山活動研究センター

<sup>1</sup>Earth Material Sci., Tohoku Univ., <sup>2</sup>S.V.R.C., D.P.R.I., Kyoto Univ.

噴火前のマグマの揮発性成分濃度や脱ガスプロセスを知るためには、メルト包有物の分析が有効である。また、メルト包有物の主要化学組成や母斑晶組成の分析を組み合わせれば、より詳細にマグマの挙動を知ることが可能となる。そこで本研究では、活発な活動を継続している桜島火山に注目し、近年最も大規模な軽石噴火（プリニー式噴火）が発生した大正噴火のマグマの揮発性成分量（ $H_2O$ 、 $CO_2$  濃度）と、斑晶鉱物とメルト包有物の主要化学組成分析を行い、噴火前のマグマプロセスを明らかにすることを目的とした。

斑晶鉱物とメルト包有物の化学組成は、EPMA (JEOL JXA-8800M) を用いて分析した。その結果、斜方輝石コアは  $Mg\#63-75$ 、単斜輝石コアは  $Mg\#67-77$  の幅広い値を示し、それぞれの輝石についてその組成累帯構造から  $Mg\#69, 73$  を境界として、より  $Mg\#$  の高い苦鉄質マグマと、より  $Mg\#$  の低い珪長質マグマに分けられた。さらに、苦鉄質マグマ起源のメルト包有物組成は  $SiO_2=62-67$  wt.%、珪長質マグマ起源のものは  $SiO_2=67-76$  wt.% と決まった。珪長質マグマ側、即ち逆累帯を示す輝石コアの  $Mg\#$  が幅広いのに対し、苦鉄質マグマ側、即ち正累帯を示す輝石コアの組成幅が比較的狭いことは、より深部に存在した苦鉄質端成分マグマが、相対的に珪長質であった浅部のマグマ溜りに繰り返し注入され、毎回の混合における珪長質側のマグマが次第に苦鉄質になっていった可能性を示す。メルト包有物の主要元素組成やホスト鉱物との組成関係、輝石中の斜長石包有物組成の分布も、そのようなモデルと調和的である。

メルト包有物の揮発性成分量は FT-IR (Nicolet iN10) で分析した。その結果、 $H_2O=0.8-2.5$  wt.%、 $CO_2<40$  ppm となり、そのほとんどが珪長質マグマ溜り起源のものであった。 $H_2O-CO_2$  最大飽和圧力は珪長質マグマ溜りのもので約 60 MPa、推定される深度は約 2.4 km となり、地球物理学的観測から推定されている桜島直下の浅部マグマ溜りに対応する可能性がある。

また、 $H_2O$  濃度に対して  $CO_2$  濃度の比較的高いメルト包有物が多く見出された。これらは最も飽和圧力の高いメルトからの単純な脱ガスだけでは説明することが困難であることから、珪長質マグマ溜りへ  $CO_2$  流体の供給が何らかの形で起こっているか、またはマグマ混合の影響が揮発性成分量にも反映されていることが推察される。

## 桜島大正噴火噴出物中に産する磁硫鉄鉱の酸化組織とその成因 Oxidation texture of pyrrhotite in the eruptive products of the Sakurajima Taisho eruption

松本 恵子<sup>1\*</sup>, 中村 美千彦<sup>1</sup>  
MATSUMOTO, Keiko<sup>1\*</sup>, NAKAMURA, Michihiko<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東北大学大学院理学研究科地学専攻

<sup>1</sup>Dept. Earth Science, Tohoku Univ.

硫黄 (S) は主要な揮発性成分である H<sub>2</sub>O や CO<sub>2</sub> に比べ、マグマ中の含有量は少ないものの、酸化還元状態によってマグマ中の溶存種と溶解度が変化し、共存する流体相の組成も変化するので、脱ガス過程に関する特有の情報をもたらす場合がある。そのため、マグマ中の硫化物の挙動を調べることで、火山噴火メカニズムの理解につなげられる可能性がある。

今回対象としたのは、桜島の正噴火 (1914 年) である。噴火初期のプリニー式噴火の軽石中において、球状の微小な磁硫鉄鉱 (直径 20-50 μm) が、主に磁鉄鉱・輝石・斜長石斑晶中の包有物や付随結晶として産する。これらの磁硫鉄鉱はしばしばスポンジ状の鉄酸化物に置換されていた。このスポンジ状鉄酸化物は、Ti 濃度が共存する鉄チタン酸化物に比べて有意に低い (0-0.6wt.%)。また、スポンジ状組織の空隙率は約 60-80% であり、これは  $\text{FeS} + 3/2\text{O}_2 = \text{FeO} + \text{SO}_2$  や  $2\text{FeS} + 7/2\text{O}_2 = \text{Fe}_2\text{O}_3 + 2\text{SO}_2$  の反応から見積もられる FeS から FeO への体積減少割合 (67.3-81.0%) と調和的である。これらのことから、この組織は硫化物の酸化 (脱硫化) 反応によると考えられる。

Hattori (1993) は、同様の組織をピナツポ火山 1991 年噴火デイサイト中に見出した。その成因として、深部の苦鉄質マグマから供給された SO<sub>2</sub> に富む流体によって、上部の珪長質マグマ中に硫化物が生成され、さらに酸化が起こるという二段階のプロセスを提案した。桜島においても、有史以降の噴火では、苦鉄質マグマと珪長質マグマとの混合が起きていることが指摘されている (例えば Yanagi et al., 1991)。また、大正軽石の斑晶中に含まれるメルト包有物の H<sub>2</sub>O・CO<sub>2</sub> 濃度から、苦鉄質マグマから珪長質マグマへの CO<sub>2</sub> に富む揮発性成分の供給があったことが示されており (佐藤ほか, 本連合大会), それに伴い SO<sub>2</sub> も供給されている可能性がある。桜島の磁硫鉄鉱にも先行研究と同様のメカニズムで反応が起こった可能性が考えられる。一方, Keith et al. (1997) によると, 単にマグマが地殻浅部に上昇する際の減圧による硫黄の溶解度の減少や, マグマから定常的に硫黄に富んだ流体が放出される際の硫黄濃度の低下によって脱硫化反応が進行したという可能性も提案されている。磁硫鉄鉱の酸化反応と, 苦鉄質マグマとの混合やそれに伴う揮発性成分の供給との関係を調べる必要がある。

磁硫鉄鉱には完全に置換反応が進行したもの (仮像) だけではなく, しばしば反応途中のものが見られるので, 今後, 反応速度を実験的に求めることによって, 反応が進行したタイミングを見積もることができる可能性がある。

キーワード: 硫黄, 磁硫鉄鉱, スポンジ状鉄酸化物, 桜島大正噴火

Keywords: sulfur, pyrrhotite, spongy Fe-oxide, Sakurajima Taisho eruption

## 伊豆大島火山における地殻変動観測(3) Ground deformation measurements in Izu-Oshima volcano (3)

鬼澤 真也<sup>1\*</sup>, 高木 朗充<sup>1</sup>, 小久保 一哉<sup>1</sup>, 山本 哲也<sup>1</sup>, 新堀 敏基<sup>1</sup>  
ONIZAWA, Shin'ya<sup>1\*</sup>, TAKAGI, Akimichi<sup>1</sup>, KOKUBO, Kazuya<sup>1</sup>, YAMAMOTO, Tetsuya<sup>1</sup>, SHIMBORI, Toshiki<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 気象研究所 地震火山研究部

<sup>1</sup> Seismology and Volcanology Department, MRI

伊豆大島火山では、収縮、膨張を繰り返しながらマグマ蓄積を示唆する山体膨張が続いている。気象研究所では、マグマ供給系の解明と火山活動監視・評価手法の開発を目指し、伊豆大島火山において地殻変動観測を実施してきた。2009年に強化したGPS観測網によって、水平歪分布から収縮、膨張がカルデラ北部を中心に繰り返していることが明瞭になってきた。一方、気象庁では1986年噴火以前から北西山腹に体積歪計を設置し連続観測を実施しており、GPS観測と同期した収縮、膨張を捉えている。さらに2010年以降、島内3ヶ所に深さ100mの傾斜計を設置して監視の強化が図られた。多点GPS観測からは地殻変動源の水平位置を把握しやすいのに対し、高感度、高時間分解能の歪計、傾斜計は迅速な活動状況の把握に有効である。これら多項目の観測を相補的に活用することによりマグマ供給系の理解が深まり、監視・評価の高度化が図られることが期待される。

GPS基線解析結果から得られる水平歪分布からは、収縮、膨張ともにカルデラ北部地下に変動源が存在することが示唆される。これらのパターンからほぼ等方的な変動源が示唆されるため茂木モデルを仮定し、2009-2010年の収縮、2010年の膨張現象に対して変動源の推定を行った。水平変位2成分を利用した場合、収縮、膨張ともに変動源はカルデラ北部の深さ3600mに推定され、収縮現象については体積変化率 $-2.1 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yr}$  (体積変化量 $-1.3 \times 10^6 \text{ m}^3$ )、膨張現象については体積変化率 $5.3 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yr}$  (体積変化量 $2.9 \times 10^6 \text{ m}^3$ )と見積もられた。

推定された変動源パラメータを用いて北西山腹での面積歪を計算すると収縮期、膨張期に対してそれぞれ $-1.0 \times 10^{-6}$ 、 $3.2 \times 10^{-6}$ と求められる。トレンド除去方法にも依存するが、体積歪計でも約 $-1 \times 10^{-6}$ 、 $3 \times 10^{-6}$ の収縮、膨張が認められ、ほぼ期待される値が観測されている。なお、茂木モデルを仮定した場合、面積歪は深さに対する水平距離の比が1.41を超えると極性が反転する。このため、仮に変動源が現在の水平位置のまま浅くなった場合、深さ約2400mにて膨張期に収縮が観測されることが予想される。また、3点の傾斜計の位置でも、 $10^{-6}$  radianのオーダーの傾斜が期待され、設置後の擾乱が収まれば火山活動状況の変化を十分に捉えられると考えられる。

キーワード: 伊豆大島火山, 地殻変動, 測地データ

Keywords: Izu-Oshima volcano, ground deformation, geodetic data



## ALOS/PALSAR を用いた PS-InSAR 解析の伊豆大島火山への適用 Application of PS-InSAR analysis to Izu-Oshima volcano, using ALOS/PALSAR

葛西あやか<sup>1</sup>, 古屋 正人<sup>1\*</sup>

KASAI, Ayaka<sup>1</sup>, FURUYA, Masato<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 北海道大学大学院理学研究院

<sup>1</sup>Hokkaido University, Graduate School of Science

本研究では、ALOS/PALSAR が 2006 年 6 月～2011 年 2 月に取得したデータを使用し

て伊豆大島火山のカルデラ周辺における PS-InSAR 法を適用することで、地殻変動の時空間変化をより詳細に調べることがめざした。

国土地理院の GPS 観測網により伊豆大島火山全体の膨張・収縮の様子の詳細は捉えられているが、そのデータのみでは火口付近の細かい変動を捉えることはできない。一方、通常の InSAR では衛星軌道間距離が長くなると干渉画像が作成不可能なデータが生ずるため、全期間で取得されたデータの全てが干渉画像の作成に利用できるわけではないという問題があった。PS-InSAR 法は、画像全体にうつる pixel の中から、特に反射位相の値が時間的にみて安定な pixel だけを抽出しつつ、全期間で得られたデータを使って、数値地図の誤差と地表変位を変数とするような時空間モデルにあてはめることにより、このような制約を除くものである。一種のスタッキング処理であるともいえ、時間的にみてランダム(だと思われる)大気や軌道誤差によるシグナルは取り除かれる。また、全期間のデータを使うことから、変位の時系列が得られることになり、InSAR 時系列解析と称されることもある。

ALOS/PALSAR は 2006 年から 2011 年にかけて運用された L-band SAR 衛星で植生を透過しやすいことから、従来の衛星では干渉画像を得ることができなかったような地域の地殻変動の検出に大きく貢献した。この ALOS/PALSAR でも、基線長(衛星軌道間距離)の問題があって時系列解析は困難な場合があったが、PS-InSAR を用いることで時系列データが得られる。

本研究では StaMPS ソフトウェアを用いて、伊豆大島周辺の北行軌道と南行軌道の両方のデータを使って、島内の地殻変動の詳細を抽出した。

5 年間のデータでも、GPS データと整合的な島全体の膨張を示す変位分布が得られたほか、従来から指摘されていたカルデラ内の沈降のシグナルも得られている。時系列データを見ると、カルデラ内の沈降は必ずしも時間的に見て単調な変化をしているようには見えないが、測定誤差の評価は現時点ではまだ十分ではない。講演では、GPS で見えていた、間欠的な収縮に対応する時系列変化が InSAR からも見えているか、そのときのカルデラ内での変形はどうか、について議論する。

キーワード: 伊豆大島火山, 地殻変動, PSInSAR, ALOS/PALSAR

Keywords: Izu-Oshima volcano, crustal deformation, PSInSAR, ALOS/PALSAR

## ALOS/PALSAR を用いた干渉 SAR で見た諏訪之瀬島の地殻変動:2007-2011 年 Ground deformation at Suwanose-jima volcano as viewed from ALOS/PALSAR InSAR: 2007-2011

及川 純<sup>1\*</sup>, 青木 陽介<sup>1</sup>, 古屋 正人<sup>2</sup>, 井口 正人<sup>3</sup>, 綿田 辰吾<sup>1</sup>  
OIKAWA, Jun<sup>1\*</sup>, AOKI, Yosuke<sup>1</sup>, FURUYA, Masato<sup>2</sup>, IGUCHI, Masato<sup>3</sup>, WATADA, Shingo<sup>1</sup>

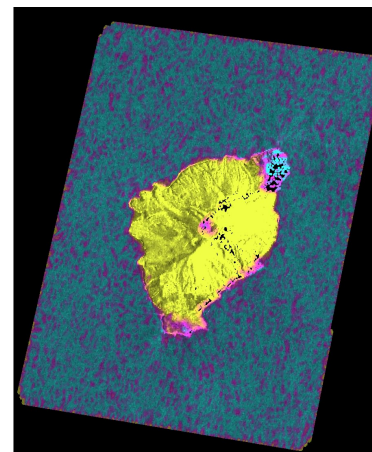
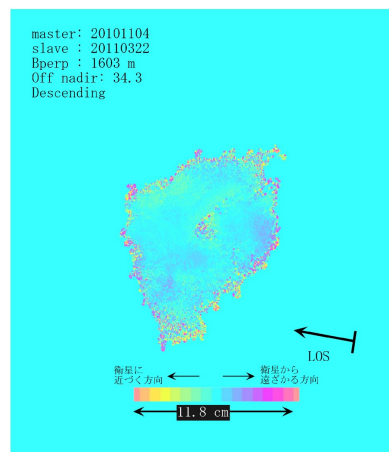
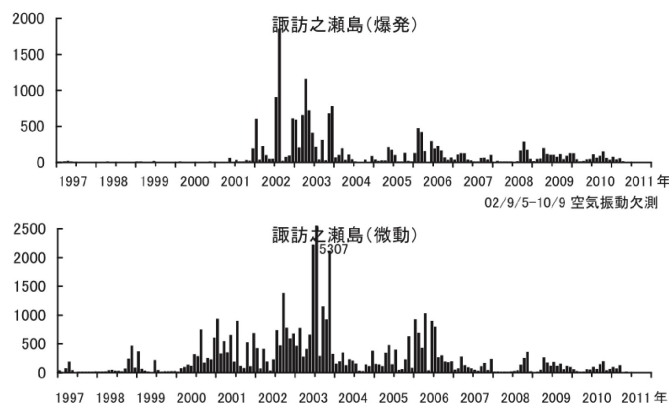
<sup>1</sup> 東京大・地震研, <sup>2</sup> 北海道大・大学理学院, <sup>3</sup> 京大・防災研  
<sup>1</sup>ERI, Univ. of Tokyo, <sup>2</sup>Hokkaido Univ., <sup>3</sup>DPRI, Kyoto Univ.

諏訪之瀬島は、鹿児島市の南南西約 240km にある、東西 5.5km、南北 7.5km の楕円形の火山島である。19 世紀以降の噴火記録が残っているが、最近では 1957 年から噴火活動が頻発し始め、現在までほぼ連続的に噴火を繰り返している、国内で最も火山活動が活発な火山の 1 つである。現在の噴火口は、島の東側に広がる馬蹄形カルデラ内にあり、カルデラ壁から見下ろせる位置にある。山頂爆発の発生機構としては、広帯域地震観測から、火口直下のゆっくりした増圧の後に減圧を伴って発生していることが示されている(井口・他, 2004)。また、山頂火口近傍における傾斜観測からは、やはり、火口直下における噴火直前の圧力変動過程が捉えられている(西村・他, 2010 年日本地球惑星科学連合大会)。しかしながら、観測点維持の困難さ等から全島的な地殻変動観測が行われておらず、山頂活動の源であるマグマの上昇過程、マグマ蓄積過程は全く不明である。火山学としては、50 年以上も活発な火山活動を続けている諏訪之瀬島のマグマ供給系を明らかにすることは、火山噴火過程の研究において最も重要なテーマの 1 つである。そこで、本研究では、諏訪之瀬島直下のマグマ上昇過程を明らかにする目的で地殻変動を捉えるため、ALOS/PALSAR データを用いた干渉 SAR 解析を行った。

図左は、京都大学防災研究所火山活動研究センターによってまとめられた爆発(上)、火山性微動(下)の発生頻度である。ALOS/PALSAR データが取得されたのは 2006 年?2011 年であるが、火山活動としては、2002?2003 年の活動と比較するとやや弱いものの、やはり火山活動は活発であったことがわかる。2006 年?2008 年のデータを用いた時系列解析では、全体的に見て、ほぼ 1cm 程度の精度で系統的な変動は見られなかった(及川・他, 2009 年日本地球惑星科学連合大会)。今回は、ALOS/PALSAR が撮った諏訪之瀬島の最後のデータ(2011 年 3 月 22 日)を含めた 2010 年後半から 2011 年のデータ解析を行なった。図中は、2010 年 11 月 4 日と 2011 年 3 月 22 日のデータを干渉解析したもの、図右は解析の正否を表すコヒーレンスである。コヒーレンスは黄色がよく干渉していることを表す部分で、ほぼ全島でよい干渉が得られていることがわかる。山頂部分に干渉性が悪い部分があるが、これは、噴火が頻発しているためと考えられる。干渉画像からは、何かイベントを表すような系統的な地殻変動は見られない。他のペアによるデータの解析でも、同様の結果が得られている。従って、現在の諏訪之瀬島では、山頂の噴火活動を支えるマグマは、地殻変動を伴わず定常的に供給されていると考えられる。もちろん、本研究の精度以下の変動がある可能性もあり、より精度のよい解析方法を適用する必要があると共に、より精度のよい地殻変動観測(例えば GPS 観測)が期待される。

キーワード: 諏訪之瀬島, 活発な火山, 地殻変動, SAR 干渉解析

Keywords: Suwanose-jima, active volcano, ground deformation, InSAR



## GPS観測による三宅島2000年噴火以降の地殻変動 Crustal deformation since eruption in 2000 at Miyakejima by GPS observation

弓取 なつみ<sup>1</sup>, 松島 健<sup>1\*</sup>, 及川 純<sup>2</sup>, 渡邊 篤志<sup>2</sup>, 奥田 隆<sup>3</sup>, 河野 裕希<sup>4</sup>, 小澤 拓<sup>4</sup>

YUMITORI, Natsumi<sup>1</sup>, MATSUSHIMA, Takeshi<sup>1\*</sup>, OIKAWA, Jun<sup>2</sup>, WATANABE, Atsushi<sup>2</sup>, OKUDA, Takashi<sup>3</sup>, KOHNO, Yuhki<sup>4</sup>, OZAWA, Taku<sup>4</sup>

<sup>1</sup>九州大学大学院理学研究院附属地震火山観測研究センター, <sup>2</sup>東京大学地震研究所, <sup>3</sup>名古屋大学環境学研究科地震火山・防災研究センター, <sup>4</sup>独立行政法人 防災科学技術研究所

<sup>1</sup>Institute of Seismology and Volcanology, Faculty of Sciences, Kyushu University, <sup>2</sup>Earthquake Research Institute, University of Tokyo, <sup>3</sup>Research Center for Seismology, Volcanology and Disaster Mitigation, Graduate School of Environmental Science, <sup>4</sup>National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

三宅島では、1995年より地震研究所・九大・名大の共同で稠密なGPS観測網が構築され、次の三宅島噴火に向けて毎年キャンペーン観測が実施されてきた。また東京都基準点約40地点においてはラピッドスタティック観測が実施されていた。2000年6月の噴火では、最大70cmにおよぶ変位が観測され、これらの観測点で求められた変位量から、三宅島の南西部から西部にかけて貫入したマグマの様子を詳細にとらえることができた。しかし、噴火災害や復興事業で多くの基準点が失われるとともに、大学としても三宅島の常時観測研究体勢を中止したため、2002年以降の測定が行われていなかった。現在、島内で常時観測されている2周波のGPS観測点は国土地理院の電子基準点の4点だけであり、それだけでは島内の詳細な地殻変動を得ることはできず、現在は次の噴火の準備過程に入っている三宅島火山の状況を詳細に把握することは難しかった。そのため本研究では、2011年9月に三宅島においてGPSキャンペーン観測を行い、2000年噴火以降の三宅島の詳細な地殻変動を把握するとともに、来たるべき次の噴火活動の基礎となるデータを取得することとした。

今回のGPSキャンペーン観測では、スタティック観測とラピッドスタティック観測を行った。スタティック観測は2011年9月6日から9日の間、島内の15点で行った。このうち既存の観測点が8点、新設点は5ヶ所の防災科学技術研究所の観測局を含む7点である。ラピッドスタティック観測は、9月8日に三宅島の外周道路に沿って行なわれた。今回のラピッドスタティック観測では、島の南に位置する新漣池の水準点1004を基準局とし、公共基準点の22点をサンプリング間隔5秒で、1点につき約10分間の観測を実施している。

2011年9月の観測で得られたデータと、2000年噴火後に行っていた2001年1月の観測のデータを用いてスタティック解析を行った。また、島内の電子基準点のデータも解析に用いた。解析には、解析ソフトウェアRTK-LIB(高須他, 2007)を用いIGS精密暦を使用した。その結果、2001年1月から2011年9月までの水平変動は、最大でも16cm程度であり、島の中心に向かって縮む傾向がみられた。さらに、得られた地殻変動データを基に球状圧力源モデルを用いて圧力源を推定すると、雄山の直下約4kmに $1.6 \times 10^7 \text{ m}^3$ の収縮源があることが求められた。しかし、島の西側では観測値と計算値のずれが大きい点もあるため、より複雑なモデルでの計算が必要である。また、次の噴火に備えるためにも今後もデータの蓄積が重要である。

キーワード: 三宅島, GPS, 地殻変動

Keywords: Miyakejima, GPS, Crustal Deformation

## 推定圧力源の直上における上下変動から推定される2004年浅間火山噴火後のマグマ供給システム(2005-2011年)

### Magma-plumbing System of Asama Volcano after 2004 Eruption, Estimated from Vertical Deformation above the Presumed Press

木股 文昭<sup>1\*</sup>, 浅間山水準測量研究グループ<sup>1</sup>

KIMATA, Fumiaki<sup>1\*</sup>, Research Group of Precise Leveling on Asama Volcano<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 名古屋大学 環境学研究科

<sup>1</sup> Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University

#### [Introduction]

Asama volcano is one of the active volcanoes in Japan, and it erupted on September 1, 2004. A shallow dike intrusion is estimated in the Takamine, 4 ? 5 km west of the Asama crater from the ground deformation detected by GPS measurements (Murakami, 2005; Aoki et al., 2005). However they discussed pressure sources based on GPS data observed far field as 4 km away from the presumed pressure source.

Ground deformation observation close to the pressure source should clarify the depth and volume change of pressure sources. We establish the precise leveling routes ranging to Mt. Takamine above the presumed pressure source from Oiwake, at the southern foot of Asama volcano in May 2005. The route is consisting of 60 benchmarks in 28 km distance.

#### [Vertical deformation detected precise leveling]

The precise levelings have practiced seven times for five years since May 2005 to June 2011. We calculated the vertical deformation for six-months to two-years between leveling epochs. Generally, deformations detected by the precise leveling are small of 10 mm. For example, it is measured the subsidence of 9 mm in the mountainside and relative uplift of 7 mm to the mountain path in the period of May 2005 to June 2011.

Vertical deformations detected in the periods of May 2005 ? Nov.2005 ? May 2006 ? May 2009 ? June 2010 ? June 2011, are grouping two patterns. One is definite subsidence, and another is slight uplift. Murakami (2005) discusses the line length changes between two GPS sites of Tsumagoi and Tobu, and he shows that the extension of line length just before the eruption in 2004 and 2009 and contraction between the eruption. Slight uplifts in the periods of May 2005 ? May 2006 are corresponding to the period observed the extension, and subsidence in the periods of May 2006 ? May 2007, May 2009 ? June 2010, and June 2010 ? June 2011.

#### [Magma-plumbing system after the 2004 explosions]

Two pressures sources are estimated from the ground deformation detected by precise levelings. One is a deeper spherical deflation source in the 6 km BSL depth beneath the mountainside, and another is the shallow dike intrusion beneath Mt. Takamine.

A spherical source is previously estimated from the leveling data for last 100 years (Murase et al., 2007), and it is suggestive a dominant source of the Asama volcano. They suggest a slight inflation after 1960, however our results show the deflation of -6.6 km<sup>3</sup>/6yr in the deeper sources for five years after the 2004 eruption.

A shallow pressure source at 1.3 km BSL depth is corresponded to the presumed dike intrusion in 2004 eruption. It is very difficult to discuss the volume change of the dike, because of insignificant identification of dike length and width. Since May 2009, large deformation of 10 mm uplift and subsidence are detected around Mt. Takamine. It is suggested a drain back in May 2009 ? June 2010 and an intrusion in June 2010 ? June 2011. There is one possibility that the deformation of the dike caused by 2011 Tohoku earthquake (Takada and Fukushima, 2011).

Members of research group; Fumiaki Kimata, Keita Ishikawa, Masao Matsumura, Enrique Fernandez (Nagoya Univ), Masayuki Murase (Nihon Univ), Hitoshi Mori, Atsuo Suzuki, Tokumitsu Maekawa (Hokkaido Univ), Tomoyuki Matsumura, Yoshio Yamagiwa, Makoto Miyashita, Mitsuharu Arisono, Jyun-ichi Miyamura (JMA)

Keywords: Asama volcano, magma-plumbing system, vertical deformation, precise leveling



## 口永良部島火山山頂部で繰り返し発生する累積的山体変動について Repeat of accumulative expansion of summit area of Kuchinoerabujima volcano

齋藤 英二<sup>1\*</sup>, 井口 正人<sup>2</sup>

SAITO, Eiji<sup>1\*</sup>, IGUCHI, Masato<sup>2</sup>

<sup>1</sup>産総研 地質調査総合センター, <sup>2</sup>京大防災研付属 火山活動研究センター

<sup>1</sup>Geological Survey of Japan, AIST, <sup>2</sup>Sakurajima Volcano Research Center, DPRI, Kyoto Univ.

2004年4月から鹿児島県の口永良部島火山においてGPSの連続観測を実施中である。新岳山頂火口の北西約250m地点に設置した観測点においてこれまでに4回の膨張変位を捉えた。特徴は以下の通りである。

- a. 1回の変位量は数cmのオーダーである。
- b. 1回の膨張が停止するまでに数ヶ月を要する。
- c. 1回の膨張の経過は概ね成長曲線様で、停止時の変位を累積する。
- d. 膨張の初期に地震活動が活発化と同期した傾向は、徐々に不明瞭になった。

膨張源は新岳山頂火口直下300m以浅に推定されており(齋藤・井口, 2006や井口, 2008), 地震(Hetty et. al, 2007)や全磁気(Kanda et. al, 2007), 火山ガス(森ほか, 2007)の観測結果も合わせると、膨張は火山性熱水の間欠的な上昇によって引き起こされたものと考えられる。定性的な膨張の仕組みは、上昇流体からの圧力や熱の吸収と緩和過程として理解される。これまでの観測結果を紹介し、噴火との関係を議論する。

キーワード: GPS, 火山, 地盤変動, 膨張, 口永良部島

Keywords: GPS, Volcano, Ground deformation, Expansion, Kuchinoerabujima

## 水準測量で検出された上下変動から推定する台湾大屯火山の圧力源 (2006-2011) Estimated pressure source and vertical deformation in Tatun volcano, Taiwan, detected by precise leveling in 2006-2011

村瀬 雅之<sup>1\*</sup>, 林正洪<sup>2</sup>, 木股文昭<sup>3</sup>, 森濟<sup>4</sup>, 鈴木敦生<sup>4</sup>, 大屯火山水準測量グループ<sup>1</sup>

MURASE, Masayuki<sup>1\*</sup>, LIN Cheng-Horng<sup>2</sup>, KIMATA Fumiaki<sup>3</sup>, MORI Hitoshi<sup>4</sup>, SUZUKI Atsuo<sup>4</sup>, Research Group of Precise Leveling on Tatun Volcano<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 日本大学文理学部地球システム科学科, <sup>2</sup> 台湾中央研究院地球科学研究所, <sup>3</sup> 名古屋大学大学院環境学研究科, <sup>4</sup> 北海道大学大学院理学研究科

<sup>1</sup>Department of Geosystem sciences, Nihon University, Japan, <sup>2</sup>Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taiwan, <sup>3</sup>Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, Japan, <sup>4</sup>Institute of Seismology and Volcanology, Hokkaido University, Japan

Tatun volcano group (TVG) including more than 20 volcanoes such as Chihsing, Siaoguanyn, and Huangzuei volcanos is located in the 15 km northeastward from Taipei, Taiwan. Although TVG has a hydrothermal activity characterized by some strenuous fumarolic activities and hot springs, it was evaluated that there is no recent eruptive activity and the nuclear power stations were constructed on the mountainside. Seismological network installed in 2003 detects a micro-seismic activity such as the volcano-tectonic earthquakes, tremors, monochromatic events and long-period earthquakes in and around Chihsing volcano (Lin et al., 2005; Konstantinou et al., 2007).

Based on the recent stratigraphy research, it makes clear that the magmatic eruption of 13,000-23,000 years ago and the phreatic eruption of about 6,000 years ago occurred at TVG and Chihsing volcano respectively. As results, the government established the volcano observatory in TVG to monitor the volcano activity in 2011.

Since those volcano-seismic swarm occur just around some fumaroles, it strongly suggests that the micro-seismic activity and the hydrothermal activity are closely related. Basically, the swarm activity around volcano is often accompanied by the deformation (e.g.: Kimata et al., 2004; Daita et al., 2009). Since these deformations are sometimes localized to a small region and few mm scale, a precise leveling survey is the most efficient survey to detect the deformation successfully.

Therefore, we established a 10km leveling route crossing the Chihsing volcano from south to north to detect the vertical deformation in June 2006. The leveling route is consisting with 30 benchmarks, and the difference of height is 300m. Our leveling surveys were re-conducted five times of June 2006, March 2007, August 2007, March 2009, and March 2011. Additionally, the leveling route was extended to the fumarolic area in the east part of the Chihsing volcano in August 2007.

We detected the subsidence of 5 mm in the east part of the Chihsing volcano for 9 months from June 2006 to March 2007. The subsidence was observed in the period of March-August 2007, and it became 10 mm in total for 14 months from June 2006 to August 2007.

After the leveling route extension, we detected the significant deformations in two areas. One is the subsidence of 5 mm in the mountainside, and another is the uplift in the fumarolic area for 19 months from August 2007 to March 2009. The similar deformation pattern to the preceding observation was observed in March 2011. However, the subsidence in the mountainside was relatively larger than the uplift close to the fumarolic area.

Based on the observed deformation in the period between August 2007 and March 2011, we estimate the volume changes and the locations of two spherical sources on that condition by employing a genetic algorithm (GA).

As a result, shallow pressure sources are estimated. One pressure source is estimated with  $-1.7 \times 10^5 \text{ m}^3$  at 3 km depth beneath the northeast foot of the Chihsing volcano, and another source is estimated with  $0.3 \times 10^5 \text{ m}^3$  at 0.7 km depth in the fumarolic area.

It suggested that the estimated pressure sources are related to the hydrothermal activity. In the study period, the subsidence in the mountainside was detected to be caused by a major deeper deformation in TVG. The hydrothermal fluid supplied to the shallow sources in TVG may not be significant in this period.

Keywords: Tatun volcano, Taiwan, leveling, pressure source, vertical deformation

## 境界要素法に基づくストロンボリ火山の傾斜変動データの解析 Analysis of tilt data at Stromboli volcano using boundary elemental method

川口 亮平<sup>1\*</sup>, 西村 太志<sup>1</sup>, 佐藤 春夫<sup>1</sup>  
KAWAGUCHI, Ryohei<sup>1\*</sup>, NISHIMURA, Takeshi<sup>1</sup>, SATO, Haruo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東北大院・理・地球物理

<sup>1</sup>Geophysics, Science, Tohoku Univ.

近年、火口近傍で爆発的噴火に伴う傾斜変動記録が行われ、噴火直前に発現する山体膨張や、噴火時の山体収縮現象などが捉えられるようになってきた。これらのデータを解析することで、噴火直前のマグマ上昇過程や噴火時のマグマ後退現象を定量的に把握できると期待されている。

これまでも、このような山体の膨張・収縮データは解析されてきたものの、半無限均質媒質を仮定したものが多く行われてきた。しかし、火口近傍の観測点で得られる噴火活動に伴う山体膨張や収縮のデータは、圧力源が浅いため、急峻な火山体形状の影響を強く受けることが考えられる。そこで今回、3次元境界要素法を用いて山体変形を計算し、ストロンボリ火山(イタリア)で報告されている繰り返し噴火に先行する傾斜変動データ(Genco and Ripepe, 2010)と比較したので報告する。

境界要素法では任意の形状の圧力源による山体変形を地形の効果を考慮して求めることができる。本研究では、ストロンボリ火山の10mメッシュの数値標高モデル(DEM)をもとに山体地形を表現する。噴火に先行するマグマ上昇に伴う圧力源は、火口直下の半径5mの円筒形火道内で起きると仮定する。これらの地形および火道形状を6974個のメッシュで表す。噴火直後のマグマの減圧、引き続きマグマ上昇を考え、噴火直後の火道内部で圧力が噴火により変化しない深さをH、噴火終了時のマグマヘッドの深さをhとし、マグマが地表面(深さ0)に達したときに噴火すると仮定すると、火道内の圧力は深さhで最大圧力(dp)となる三角形の分布となる。本研究では、これらのh,H,dpを圧力源のパラメータとして計算を行う。

本研究では、Genco and Ripepe (2010)に報告されているストロンボリ火山の噴火前後の傾斜データを用いる。火口からの距離300m-1100mの間のボアホール傾斜計3台と広帯域地震計2台から推定された5点の傾斜変動データは、最大で90mradを示し、おおむね火口からの距離に応じて振幅が小さくなっている。このデータを説明するために、火山体の剛性率を1.3GPa、火道半径を5mとし、圧力源のパラメータを求める。まず、h,Hを100-500mの範囲で任意に設定し、観測点間の傾斜変動量の比を説明できるパラメータをフォワードモデリングにより求めた。さらに、dpは傾斜変動量と観測量の絶対値が合うように求めた。その結果、h=45m、H=450m、dp=1.28MPaにより、観測変動量をおおむね説明できることがわかった。

今後、傾斜変動の時間変化を加味することにより、噴火前のマグマ上昇ダイナミクスに制約を与えることが期待される。

キーワード: ストロンボリ火山, 山体変形, 境界要素法, 傾斜変動

Keywords: Stromboli Volcano, volcano deformation, boundary element method, tilt motion

## 火山用地殻活動解析支援ソフトウェアの開発(5) MaGCAP-V (5) - Upgrade for strainmeter data

小久保 一哉<sup>1\*</sup>, 福井 敬一<sup>2</sup>, 安藤 忍<sup>3</sup>, 高木 朗充<sup>1</sup>, 鬼澤 真也<sup>1</sup>, 新堀 敏基<sup>1</sup>, 山本 哲也<sup>1</sup>, 大須賀 弘<sup>4</sup>  
KOKUBO, Kazuya<sup>1\*</sup>, FUKUI, Keiichi<sup>2</sup>, ANDO, Shinobu<sup>3</sup>, TAKAGI, Akimichi<sup>1</sup>, ONIZAWA, Shin'ya<sup>1</sup>, SHIMBORI, Toshiki<sup>1</sup>,  
YAMAMOTO, Tetsuya<sup>1</sup>, Hiroshi, OHSUGA<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 気象庁気象研究所, <sup>2</sup> 気象庁地磁気観測所, <sup>3</sup> 文部科学省研究開発局, <sup>4</sup> 株式会社ヴィスコア

<sup>1</sup>Meteorological Research Institute, JMA, <sup>2</sup>Kakioka Magnetic Observatory, <sup>3</sup>MEXT, <sup>4</sup>VisCore Corp.

### 1. はじめに

気象庁では火山活動監視のため、GPS や傾斜計等を用いた地殻変動観測、プロトン磁力計による全磁力繰り返し観測を実施している。またこれらデータから、マグマ供給等に関連した圧力源や熱消磁域などの変動源を推定するため、PC用の火山用地殻活動解析支援ソフトウェア MaGCAP-V を開発し(中禮ほか 2002, 福井ほか 2005)、火山監視業務や研究に活用している。

MaGCAP-V は、地殻変動のみならず地磁気データも同時に取り扱うことができ(このため「地殻活動」という用語を用いる)、それら種々の観測データを用いた変動源モデル計算の実行、その計算結果と観測値の比較、計算条件の修正などを GUI で対話的に容易に行うことができる。モデルの推定は、地形の影響を考慮した標高補正茂木モデル(福井ほか, 2003) や、構造や地形の影響を考慮した有限要素法計算結果によるモデル推定も可能である(福井ほか, 2006)。2009 年度に、光波測距と干渉 SAR の解析機能、簡易版動的解析機能を追加し(福井ほか, 2010)、2010 年度には重力データ解析、楕円体変動源モデルを追加するとともに、高速化のための改良を施した(福井ほか, 2011)。本講演では新たに追加したひずみ計データの解析機能について紹介する。

### 2. ひずみ計データ解析機能

火山の地殻変動の連続・高感度観測には主として傾斜計を用いているが、変動源の深さをより精度よく監視する目的でポアホール型のひずみ計がより有利な点があることから、2012 年度に伊豆大島において多成分ひずみ計を設置する計画である。そのデータを活動監視に活用できるように、MaGCAP-V に解析機能を追加した。多成分ひずみ計のデータは水平 4 方向の線ひずみで、それらを用いた水平ひずみテンソル解析機能、指定座標軸によるひずみ解析表示機能、これまでに実装した各モデル推定への活用機能を追加した。

### 謝辞

本ソフトウェアは科学技術振興調整費「雲仙火山：科学掘削による噴火機構とマグマ活動解明のための国際共同研究」(H11~13)において、溶岩ドームの帯磁過程の解明のために作成されたソフトウェアを元に順次機能を追加し開発を進めている。開発の初期段階で中村浩二氏(現気象庁総務部)には SEIS-GPS および PAT-ME を、内藤宏人氏(現気象庁地震火山部)には MICAP-G を参考にするためご協力頂いた。重力データ解析機能においては古屋正人北海道大学准教授のご協力を得た。

キーワード: ソフトウェア, 火山監視, 地盤変動, 地磁気変化, モデル解析, ひずみ

Keywords: software, volcano monitoring, ground deformation, geomagnetic change, model analysis, strain



## 伊豆大島三原山の火山ガス組成

### Chemical and isotopic composition of fumarolic gas at Mihara volcano, Izu-Oshima Island, Japan

荻沼 優<sup>1\*</sup>, 大場 武<sup>1</sup>

OGINUMA, Yu<sup>1\*</sup>, OHBA, Takeshi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東海大学理学部化学科

<sup>1</sup>Dep. Chem. School Sci. Tokai Univ.

#### 1. 背景

伊豆大島では19世紀後半からほぼ30数年ごとに噴火が繰り返されている。前回の1986年噴火では山腹から溶岩流が発生し住民が島外に避難した。今後の火山災害を防止するために火山活動活発化を早期に検出する技術が求められている。火山ガスは地殻内で早く移動するため、マグマ溜りとその周辺環境の変化をいち早く地表にもたらず可能性がある。Suwa and Tanaka (1959)によると、1953年の噴火に先立ち、山頂のいくつかの噴気孔では温度の上昇が観測された。Sano et al.(1995)によると、北山麓に位置する温泉ホテルのポアホール蒸気に含まれるHeの $3\text{He}/4\text{He}$ 比は1986年の噴火後に急上昇したが、その後、徐々に低下した。Shimoike and Notsu (2000)によれば、同蒸気の $\text{CO}_2$ 濃度は1986年の噴火後に年周変化を伴い、徐々に減少した。これらの現象は、伊豆大島において噴気やポアホール蒸気が実際に火山活動の影響を受けていることを示している。

#### 2. 観測と結果

2004年から2011年にかけて、三原山中央火口西方のX-15地点(X)、中央火口東方の剣が峰(K)で、噴気の出口温度の測定し、 $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ 比、 $\text{H}_2\text{O}$ 安定同位体比( $dD$ ,  $d18\text{O}$ )を測定するために噴気を採取した。

X-15地点では気象庁が噴気温度の連続観測を実施している。我々の観測によるとX噴気の出口温度は2008年まで65C以上の値を維持したが、2011年に入り62C台に低下した。 $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ 比はばらつきが大きく、原因として噴気温度が60C台で水蒸気密度が低く、 $\text{H}_2\text{O}$ の回収が完全ではない可能性が考えられる。安定同位体比は2011年に低下傾向がみられる。

Kの噴気は崖の壁から放出されており、放出量は大きく、御神火茶屋から肉眼で放出が確認できる。K噴気温度は安定しており、観測期間を通じて77~79Cの範囲に収まっている。 $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ 比も安定しており、0.02~0.03の範囲にある。安定同位体比はX噴気よりも若干高い。X、K噴気とも安定同位体比は伊豆大島の局地天水の値(Takahashi et al., 2000)よりも低い。X、K両噴気孔で $\text{SO}_2$ 、 $\text{H}_2\text{S}$ 臭いは全く知覚されなかった。

#### 3. 噴気組成の変動要因

Ohba (2008)は伊豆大島三原山における噴気の形成過程を推定した。それによると、 $\text{CO}_2$ に富むマグマ性高温ガスが地下水と接触し、気液2相が形成され、その気相が地下水起源の水蒸気と混合した後に上昇し、冷却をうけ、一部が凝縮し失われ、残存した蒸気が噴気として放出されている。仮にマグマから放出されるガスの量が増加した場合、安定同位体比の上昇が期待される。 $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ 比は水蒸気の凝縮が抑制され、活発化はむしろ比を低下させる可能性が高い。2004年から2011年にかけて噴気の組成には、活発化を示唆するような変動は見られない。

キーワード: 伊豆大島, 火山ガス,  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ , 同位体比, 噴気

Keywords: Izu-Oshima, Volcanic gas,  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ , Isotope ratio, Fumarolic gas

## TDLAS を用いた箱根山大涌谷噴気地帯における大気 CO<sub>2</sub> 濃度観測 Atmospheric CO<sub>2</sub> observation at the fumarolic area of Hakone volcano by use of TDLAS

大場 武<sup>1\*</sup>, 中塚伸悟<sup>1</sup>, 荻沼 優<sup>1</sup>

OHBA, Takeshi<sup>1\*</sup>, Shingo Nakatsuka<sup>1</sup>, OGINUMA, Yu<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東海大学理学部化学科

<sup>1</sup>Dep. Chem. School Sci. Tokai Univ.

### 1. 序

火山ガスは H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub>, HCl 等の気体から成る。一般的に火山ガス中で CO<sub>2</sub> は H<sub>2</sub>O に次ぐ濃度を有する主要な成分である。H<sub>2</sub>O は温度低下に伴い凝縮するので失われ易く、また大気に水蒸気として大量に含まれている。一方、CO<sub>2</sub> は凝縮せず、大気濃度は 390ppm 程度と低い。地上で火山ガスの放出量を観測する場合、CO<sub>2</sub> は H<sub>2</sub>O に比べ、保存性とコンタミネーションの少なさで有利である。火山ガスは主に噴気あるいは土壤拡散ガスとして地表に放出されている。そのため、噴気地帯から放出される火山ガスの総量を正確に測定することは容易ではない。火山ガスの放出量を測定する技術として現在実用化されているのは、SO<sub>2</sub> ガスによる散乱太陽紫外光吸収を利用した、COSPEC, DOAS である。活動度の低い火山の噴気で SO<sub>2</sub> の濃度は非常に低く、COSPEC, DOAS は適用できない。最近になり波長可変ダイオードレーザーを利用した赤外光吸収量の測定 (TDLAS: Tunable Diode Laser Absorption Spectroscopy) に基づき大気 CO<sub>2</sub> を観測する機器が利用できるようになった。本研究では活火山の噴気地帯で実施した TDLAS による大気 CO<sub>2</sub> 濃度観測の結果を報告する。

### 2. 観測

大気 CO<sub>2</sub> 観測は箱根山大涌谷噴気地帯で 2011 年 1 月 6 日の 13 時から 14 時にかけて実施した。駐車場の南方にあたる冠ヶ岳北山麓に広がる噴気地帯で北東 - 南西方向に観測ラインを設定した。観測ラインの長さは 263m で北東に赤外レーザー光 (1575nm) の発射点を設定し、南西の玉子茶屋付近にレトロ反射鏡を設置した。観測には Boreal 社の GasFinder を使用した。この計測器は CO<sub>2</sub> 積算濃度を ppm・m の単位で出力する。この値を観測距離 (263m) で割ると、観測ライン上の CO<sub>2</sub> 平均濃度が与えられる。CO<sub>2</sub> 濃度観測と並行し、北東のレーザー光発射地点の地表から 4m 上空で、気象要素 (風向, 風速, 気温) を取得した。

### 3. 結果および考察

CO<sub>2</sub> 積算濃度は毎分 38 のデータが取得された。大気 CO<sub>2</sub> 濃度は大まかには 500ppm から 515ppm の範囲で変動した。変動は短時間成分と長時間の成分が重畳しているように見える。気象要素の変化との相関は必ずしも明確ではなかった。風向は大部分の時間、西だったが、短期間 (3 分程度) 西南西に変わった際に、CO<sub>2</sub> 濃度が 507ppm から 503ppm に急激に低下した。この変化は明らかに風向きの変化と考えられる。気温が徐々に低下すると CO<sub>2</sub> 濃度は 5ppm 程度増加した。気温の変化は噴気に含まれる水蒸気の凝結と水滴の発生に関係する可能性があるため、今後は湿度も合わせて観測する必要があるだろう。

キーワード: レーザー, 二酸化炭素, 火山ガス, 箱根山

Keywords: Laser, CO<sub>2</sub>, Volcanic gas, Mt. Hakone

## CO<sub>2</sub>に富む火口湖でのリアルタイム溶存CO<sub>2</sub>濃度測定を試み Trial of real-time measurement of dissolved CO<sub>2</sub> concentration in CO<sub>2</sub>-rich volcanic crater lakes

実政 光久<sup>1\*</sup>, 佐伯 和人<sup>1</sup>, 金子 克哉<sup>2</sup>, 大場 武<sup>3</sup>

SANEMASA, Mitsuhisa<sup>1\*</sup>, SAIKI, Kazuto<sup>1</sup>, KANEKO, Katsuya<sup>2</sup>, OHBA, Takeshi<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 大阪大学大学院理学研究科宇宙地球科学専攻, <sup>2</sup> 京都大学大学院人間・環境学研究科, <sup>3</sup> 東海大学理学部化学科

<sup>1</sup>Earth & Space, School Sci., Osaka Univ., <sup>2</sup>Earth Sci., School HES., Kyoto Univ., <sup>3</sup>Dept. Chem., School Sci., Tokai Univ.

アフリカ・カメルーンのマヌーン湖・ニオス湖(以下、カメルーン火口湖と呼ぶ)では火山由来CO<sub>2</sub>が湖水に供給されており、1984年と1986年に相次いでCO<sub>2</sub>が噴出し、約1800名の死者を出した。それ以来、様々な研究者・技術者によってカメルーン火口湖の水質モニタリングや人口脱ガスなどの災害防止対策がなされている。その結果、溶存CO<sub>2</sub>量はマヌーン湖では最大時の10%以下に減少したが、ニオス湖では依然73%程度が溶存している[1]。また、湖への供給経路なども明らかになっておらず、火山活動の活発化などにより供給量が突然に急増する可能性もある。

現在、CO<sub>2</sub>濃度プロファイルは溶存CO<sub>2</sub>と平衡にあるHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>を用いて、電気伝導度やpHセンサーの測定結果と深度毎サンプル採取後の化学分析によって得られた各深度での全CO<sub>2</sub>濃度を関係付けることにより見積もられている。しかしこの手法ではサンプル採取と化学分析に時間と手間がかかり、リアルタイム測定を行うことは難しく、今のところおよそ年1回しか行われていない。これでは供給量が急増した場合に対応できないため、湖に常設、あるいは頻繁に投入することでリアルタイムに溶存CO<sub>2</sub>濃度を測定する手法を開発する必要がある。

常設の溶存CO<sub>2</sub>濃度測定法としては水相と気相を、透過膜を通して平衡に達した後、気相のCO<sub>2</sub>濃度を赤外線測定する方法などがあるが、カメルーン現地では精密な機器を継続的にメンテナンスすることが難しいので、簡便で応答の速い測定法が要求される。その結果、溶存物質とその濃度によって水溶液の音速が変化することを利用した音速変化法、または現在の電気伝導度を用いた測定法を改良・高精度化することが適当と考えられた。この両者については、前者は湖の主な溶存物質であるCO<sub>2</sub>が音速変化の大半を担っている可能性がある一方、後者の電気伝導度とpHによる測定は他の比較的濃度の低い溶存イオンの影響が大きいことがすでに示唆されている[1]ため、まずは音速変化法による測定に着手した。音速変化法では、イオン性水溶液の音速変化から濃度を求める試みが[2]などによって行われているが、CO<sub>2</sub>による音速変化の先行研究はなかったため、始めに溶存CO<sub>2</sub>濃度に応じて音速がどの程度変化するかを実験した。

始めに水道水の入った炭酸飲料のペットボトル内に2つの圧電素子(富士セラミック製)を向かい合わせて16cm離して封入し、炭酸水を作るためにCO<sub>2</sub>で加圧した。CO<sub>2</sub>濃度は172mmol/kg以上であった(ニオス湖の約0.5倍)。片方の圧電素子を2MHzで発振させ、もう片方で受信してオシロスコープでモニターすることにより加圧前と加圧後の音波の到達時間差を比較した。その結果、当該濃度では10m/sの精度内で音速変化は観察されなかった。より精度の高い測定を行うため、実際に湖に投入する音速プロファイラ(AML oceanographic社製 MinosX)をCO<sub>2</sub>加圧下で用いることの出来る加圧タンクを製作し、音速測定を行った。その結果について発表する。

2012年2月~3月にかけてカメルーン現地では音速プロファイラを用いて、温度と音速の測定を行った。その結果についても発表する。

[1]Kusakabe et al.(2008) Evolution of CO<sub>2</sub> in Lakes Monoun and Nyos, Cameroon, before and during controlled degassing, *Geochemical Journal*, 42, 93-118

[2]S. J. Kleis and L. A. Sanchez (1990) Dependence of Speed of Sound on Salinity and Temperature in Concentrated NaCl Solutions, *Solar Energy*, 4, 201-206

キーワード: カメルーン火口湖, 溶存CO<sub>2</sub>, 音速

Keywords: Cameroon volcanic lakes, dissolved CO<sub>2</sub>, sound velocity

## 阿蘇火山の火口湖・湯だまりの地下浅部に推定される温水だまり Hot water reservoir beneath Yudamari crater lake at Aso volcano

寺田 暁彦<sup>1\*</sup>

TERADA, Akihiko<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 東京工業大学火山流体研究センター

<sup>1</sup> Volcanic Fluid Research Center, Tokyo Institute of Technology

阿蘇火山の活動火口である中岳第一火口には、水温 60-70℃ に達する「湯だまり」と呼ばれる火口湖が存在する。湖面放熱率は非噴火期を通じて 200 MW を超え、世界有数の熱活動が長期にわたり継続している。

中岳第一火口では、2009年2月6日深夜、振幅の大きな火山性微動が発生するとともに、マイクロフォンで異音が捉えられた。翌朝行われた現地調査では、湯だまりの一部が変色しており、何からの噴出現象が発生したことが示唆される。同様の現象は2011年9月にも確認されている。活動静穏期に火口湖底で起きる突発的な噴出現象は、草津白根火山の火口湖「湯釜」でも繰り返されており、活動的な火口湖において普遍的に認められる現象かも知れない。

阿蘇火山2009年2月の事象は、湯だまり水位および水温変化の詳細を観測することができた。その結果、火山性微動の前後で、湖水量が 26,300 m<sup>3</sup> 増加する一方で、水温は 3℃ 低下したことが明らかとなった。その後1週間かけて、水位は -6.3 cm/day の割合で急減した。この水位減少率は、詳細な水位観測を実施した2006年6月から2009年3月の期間の中で得られた最大値 -2.5 cm/day の2.5倍に相当する、顕著な変動である。

これら観測事実を満足する湖底噴出流体の噴出率とエンタルピーを、降水や風などの気象条件を考慮した数値モデル (Terada et al., 2012) を用いて推定した。その結果、火山性微動発生時の噴出量は 29,000 m<sup>3</sup> と推定された。この量は、ふだん湖底噴出している流量の数日分に相当する。また、土砂噴出の際にしばしば発生する、火口直下のクラック開閉に伴う体積変化量 (Kawakatsu et al., 2000) よりも 1-2 桁大きい。一方、噴出流体のエンタルピーは 400 kJ/kg と見積もられた。大気圧を仮定すれば、このエンタルピーは温度 90℃ 前後の液相水に相当する。

火山性微動発生後の1週間については、噴出率は 43 kg/s と見積もられた。これは、火山性微動発生前の時期に推定された 70 kg/s よりも明らかに低い。また、エンタルピーは 4,000 kJ/kg であり、大気圧を仮定すれば、これは温度 650℃ の蒸気に相当する。通常の湯だまりにおける湖底噴出流体のエンタルピーは 3,000 kJ/kg 前後であり、湯だまりとしては特異な値である。

これらの推定結果は、液相水を供給する、地下浅部の温水だまりの存在を想定すると理解できる。湯だまりには、800℃ 前後の高温ガスと液相水が半々の割合で供給されていると考えられている (Terada et al., 2012)。火山性微動発生時に、温水だまりから 90℃ 前後の液相水が 3 万トン前後噴出した。圧力低下した温水だまりからは、その後1週間、湯だまりへの温水供給がほぼ途絶えた。この結果、湯だまりには高温ガスのみが供給された。すなわち、高いエンタルピーの火山ガスのみが供給されたため、湖水位が急低下したと考えられる。

キーワード: 火口湖, 阿蘇火山, 熱水系

Keywords: crater lake, Aso volcano, hydrothermal system



## 吾妻火山の大穴火口下で発生している熱消磁について On the recent thermal demagnetization beneath the Oana Crater, Azuma Volcano

山崎 明<sup>1</sup>, 福井 敬一<sup>1\*</sup>, 山崎 伸行<sup>1</sup>, 小林 徹<sup>2</sup>, 石井 邦男<sup>2</sup>, 築田 高広<sup>2</sup>  
YAMAZAKI, Akira<sup>1</sup>, FUKUI, Keiichi<sup>1\*</sup>, YAMAZAKI, Nobuyuki<sup>1</sup>, KOBAYASHI, Tooru<sup>2</sup>, ISHII, Kunio<sup>2</sup>, YANADA, Takahiro<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 地磁気観測所, <sup>2</sup> 仙台管区気象台火山監視・情報センター

<sup>1</sup>Kakioka Magnetic Observatory, JMA, <sup>2</sup>Volcanological Center of Sendai District Meteorological Observatory, JMA

吾妻火山の一切経山南東斜面には大穴火口と呼ばれる直径約 200m の火口があり, 火口内およびその周辺部に噴気・地熱地帯が広がっている。2008 年 11 月にこの火口内で高さ 300m の噴気を上げる新たな噴気孔 (W-6 噴気孔) が出現し, それ以降噴気活動が活発な状態が続いている。また 2010 年には 5 年ぶりとなる火山性微動も発生し, 火山活動が徐々に活発化しつつあるように見える。

仙台管区気象台火山監視・情報センターおよび地磁気観測所では大穴火口の周囲に 12 点の全磁力繰り返し観測点を設置し, 2003 年より年 1 回ないし 2 回の観測を実施している。観測の結果, 全磁力は大穴火口を中心とする半径 500m ほどの領域で変化しており, 大穴火口の北側では全磁力の増加, 南側では減少する典型的な消磁の変化パターンを示していることがわかった。この消磁傾向は噴気活動が盛んな大穴火口の地下で発生していることを考慮すると, 地下の熱水活動などに伴う熱消磁であろうと解釈できる。

全磁力変化の解析から, 大穴火口下の熱消磁は観測開始の 2003 年から 2010 年まではほぼ一定の割合で進行していたと考えられた。ところが, 2011 年 9 月に実施した観測において, 各観測点の全磁力変化のトレンドがはっきりと変化しており, 熱消磁の傾向が加速していることが明らかとなった。年毎の全磁力変化から熱消磁球を求めると, 2010 年までは大穴火口下の深さ 300m ~ 400m, 熱消磁球の半径は 60 ~ 70m に求まる。一方, 2010 年 10 月から 2011 年 9 月の全磁力変化の解析結果では熱消磁球はやや深くなり, 深さ 500 m, 半径は 108m と求まり, 熱消磁の規模 (体積) としてはそれまでの 5 倍程度に大きくなることがわかった。すなわち, 2010 年 10 月以降, 大穴火口の地下で熱消磁が大きく拡大する事象が発生したものと推定され, 今後の火山活動の推移に注目される。

なお, 火山の磁化構造と熱消磁域との関連を調べる目的で, 2011 年 9 月に大穴火口周辺において全磁力測量を実施した。測量は徒歩により大穴火口の半径 500m の範囲の約 450 地点で行い, 大穴火口周辺の全磁力分布を調査した。この全磁力測量の結果についても報告する。

キーワード: 吾妻山, 全磁力観測, 熱水活動, 熱消磁, 磁気探査

Keywords: Azuma Volcano, geomagnetic total force, hydrothermal reservoir, thermal demagnetization, magnetic survey

## 広帯域MT観測から推定される阿蘇火山の比抵抗構造 The electrical resistivity structure of Aso volcano inferred from broadband MT surveys

浅野 剛<sup>1\*</sup>, 宇津木 充<sup>1</sup>, 鍵山 恒臣<sup>1</sup>, 小森 省吾<sup>1</sup>, 井上 寛之<sup>1</sup>

ASANO, Tsuyoshi<sup>1\*</sup>, UTSUGI, Mitsuru<sup>1</sup>, KAGIYAMA, Tsuneomi<sup>1</sup>, KOMORI, Shogo<sup>1</sup>, Hiroyuki Inoue<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 京都大学大学院理学研究科

<sup>1</sup> Kyoto Univ.

阿蘇火山は、熊本県北東部に位置する第四紀の活火山である。4度の大規模火砕流噴火でカルデラを形成した後、約90kaから現在に至るまで中央火口丘中岳を中心に活発な活動を続けている。活動的火山の比抵抗構造からは、現在や過去の活動メカニズムの理解、及び今後の活動を予測する上で有用な情報を得ることが可能である。

阿蘇火山の比抵抗構造も数多く推定されており、例えば高倉ほか(2000)及び宇津木ほか(2009)では、広帯域MT探査を用いて阿蘇カルデラを北東-南西に切る測線での比抵抗断面を示している。しかし、これらで得られた構造は海拔下5km程度までであり、どのような物質・状態を反映したものが結論づけるには十分と言えない。地震波トモグラフィーでは海拔下6km付近に低速度域が(Sudo and Kong, 2001)、GPS連続観測では15km付近にシル状の変動源が推定されており(国土地理院, 2004)、それらとの比較から正確な地下構造を推定するには、まずはこの探査深度のギャップを埋めることが必要である。また、カルデラ底部の形状とその形成過程、大規模火砕流噴火に関連のある地下構造、さらには複雑且つ情報の少ないカルデラ内のテクトニクス等、未だ明確な答えが得られていないテーマは数多く存在する。それらを解決する為にも、より深部までの比抵抗構造を明らかにすることが必要と考え、阿蘇火山にて広帯域MT探査を実施した。

観測点は計9点設置し、内7点は宇津木ほか(2009)の測線を踏襲しつつ中岳火口や地震波低速度域の辺縁部をカバーしている。残りの2点は、高倉ほか(2000)の測線を踏襲しつつ低速度域の直上をカバーしている。1点につき1~2カ月間の長期観測を行い、前者7点では周期1000[s]までのデータを低ノイズで取得することに成功した。不足する地点のデータには先行研究の観測結果を充て、Ogawa and Uchida(1996)のコードを用いたTMモードによる2次元インバージョンで海拔下15kmまでの比抵抗構造を推定した。その結果、特に注目すべき以下の様な3つの特徴が明らかとなった。

### (1) 深部へ連続する高比抵抗域

カルデラ中央部で、数100[m]の領域(幅約5km)が15km付近まで連続している。大分-熊本構造線の推定軌跡に沿う様な走向を持っており、同構造線を弱線とした大規模な貫入の様子を捉えている可能性がある。

### (2) カルデラ南部の低比抵抗域

中央火口丘南麓から南郷谷にかけて、9km付近に中心を持つ低比抵抗域が存在する。数10~100[m]の領域と見られ、地震波速度や磁化の程度を踏まえると凝灰岩塊の様な低密度の物質、もしくは何らかの高温域と考えられる。

### (3) 低比抵抗に見えないマグマ溜り

草千里付近を中心とした低比抵抗域は見られず、地震波低速度域は比較的高比抵抗な領域に対応している。岩石メルトは低比抵抗を示すとされるが、実際のマグマ溜まりは構造的・物質的に複雑な構成になっており、際立った低比抵抗域としては表れない可能性が考えられる。

キーワード: 阿蘇火山, 広帯域MT観測

Keywords: Aso volcano, broadband MT survey

## 阿蘇カルデラにおける高密度地震観測網を用いたレシーバ関数解析 Crustal structure beneath Aso caldera, Japan, as derived from receiver function analyses

安部 祐希<sup>1\*</sup>, 大倉 敬宏<sup>1</sup>, 澁谷 拓郎<sup>2</sup>, 平原 和朗<sup>3</sup>, 吉川 慎<sup>1</sup>, 井上 寛之<sup>1</sup>

ABE, Yuki<sup>1\*</sup>, OHKURA, Takahiro<sup>1</sup>, SHIBUTANI, Takuo<sup>2</sup>, HIRAHARA, Kazuro<sup>3</sup>, Shin Yoshikawa<sup>1</sup>, Hiroyuki Inoue<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 京都大学火山研究センター, <sup>2</sup> 京都大学防災研究所, <sup>3</sup> 京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻

<sup>1</sup>AVL, Kyoto Univ., <sup>2</sup>DPRI, Kyoto Univ., <sup>3</sup>Graduate School of Science, Kyoto Univ.

阿蘇火山は、9万年前に600km<sup>3</sup>以上の噴出物を放出する大規模火砕流噴火を起こし、南北25km 東西18kmの世界最大級のカルデラを形成した。それ以降は、中央火口丘を形成する火山活動が続いている。火山地域の地殻構造を調べ、流体の存在領域や含有量を明らかにすることは、火山活動を理解する上で重要である。阿蘇カルデラでは、地震波トモグラフィ法により地下10kmまでの地震波速度構造が明らかにされている(Sudo and Kong, 2001, Bull. Volcanol.)。この解析では、中央火口丘西部の草千里の深さ約6kmを中心とする低速度領域が見出されており、その低速度領域はマグマ溜りに対応すると考えられている。それより深部の地殻構造は、レシーバ関数(RF)解析により明らかにされてきた(Abe et al., 2010, J. Volcanol. Geotherm. Res.)。この研究では、阿蘇カルデラ西部の15-21kmの深さにS波速度が2.4km/sの低速度層が存在することが明らかになった。推定されたS波速度構造から、この低速度層には最大で15%のメルトか30%の水が含まれていると解釈されている。ただし、観測点が不足していたため、Abe et al. (2010)は阿蘇カルデラ東部の地殻構造を明らかにすることができなかった。そこで、我々は阿蘇カルデラの東部の地殻構造を明らかにするため、2009年6月からカルデラ東部に5点の臨時観測点を設置し、地震観測を行なった(大倉ほか, 2010, 連合大会)。そして、定常観測点のデータに加えこの臨時観測点のデータも用いて、RF解析を行ない阿蘇カルデラ全体の地殻構造を明らかにした。

我々は、上述の臨時観測点、阿蘇カルデラおよびその周辺に設置されたHi-netおよび京都大学火山研究センターの定常観測点による遠地震(震央距離:30-90°、M5.5以上)の波形記録を用いてRFを作成した。RFは、遠地震のP波の波形の水平成分を鉛直成分でデコンポジットして得られる時間関数で、後続波に含まれる地下の不連続面で変換・反射したS波を検出することができる。本研究では、時間拡張型マルチテーパ(Shibutani et al., 2008, Bull. Seismol. Soc. Am.)を用いてRFを計算し、RFの遺伝的アルゴリズムインバージョン(Shibutani et al., 1996, Geophys. Res. Lett.)を用いて観測点下のS波速度構造を推定した。

その結果、Abe et al. (2010)が見出した低速度層が、阿蘇カルデラの西部だけでなく北東部にも存在することが明らかになった。また、この低速度層がカルデラの南東部まで広がっていないことも明らかになった。この低速度層は、過去の大規模噴火(Aso4)の名残あるいは、将来の大規模噴火(Aso5)の準備の場である可能性がある。たとえば、大規模噴火で噴出するマグマは、地殻物質の部分熔融により生成されたと考えられており(Petford et al., 2000, Nature; 金子ほか, 2008, 月刊地球)、この低速度層は地殻の熔融域に対応すると考えることもできる。

本研究では、防災科学技術研究所の波形データを使用させていただきました。記して感謝いたします。

キーワード: 阿蘇カルデラ, レシーバ関数, 遺伝的アルゴリズムインバージョン, 地殻構造

Keywords: Aso caldera, receiver function, genetic algorithm inversion, crustal structure



## 波形相関を利用した三宅島 B 型地震の震源決定

### Hypocenter determination of B-type earthquakes at Miyakejima volcano using waveform cross correlation technique

内田 東<sup>1\*</sup>, 西村 太志<sup>1</sup>, 佐藤 春夫<sup>1</sup>, 山里 平<sup>2</sup>, 藤田 英輔<sup>3</sup>

UCHIDA, Higashi<sup>1\*</sup>, NISHIMURA, Takeshi<sup>1</sup>, SATO, Haruo<sup>1</sup>, YAMASATO, Hitoshi<sup>2</sup>, FUJITA, Eisuke<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 東北大院・理・地球物理, <sup>2</sup> 気象庁地震火山部, <sup>3</sup> 防災科学技術研究所

<sup>1</sup>Geophysics, Science, Tohoku Univ., <sup>2</sup>Seismol. and Volcanol. Dep., JMA, <sup>3</sup>NIED

三宅島火山は、2000年6月からのダイク貫入の後、山頂部の陥没とカルデラの形成、爆発的噴火をともなう活発な活動を起こした。その後の大量の火山ガスの放出活動は現在までも継続している。この火山ガスの放出中にも多数の地震が観測されているが、そのほとんどはP波とS波が不明瞭なB型地震で、その震源分布や発生メカニズムは明らかになっていない。本研究では、この多数のB型地震を、波形の相互相関をもとにグループ分けし、その震源を推定した。

今回解析したデータは、三宅島島内の気象庁および防災科学技術研究所の観測点で、2010年8月下旬から2011年4月に観測された約1020のB型地震である。これらは、気象庁による火山監視業務により、イベント別のデータファイルとして連続記録から切り出されたものである。解析に使用した島内11の観測点は、火口中心から概ね1kmから4km以内の範囲に分布し、各観測点には固有周期1秒の3成分地震計が設置されている。

地震波形のグループ分けは次のように行った。まず、三宅島のB型地震は、おおむね周波数2-4 Hzが卓越するので、観測波形に2-4 Hzのバンドパスフィルターを通す。そして、全てのイベントから任意の二つの波形を取り出し、最大振幅を中心とした約50秒の時間窓を設定して、波形の相互相関係数を求める。これらの計算をすべての組み合わせで行い、相互相関係数が0.7以上となる組み合わせでグループ分けをした。その結果、全B型地震の約18%にあたる約180の地震が、メンバー数20以上からなる4つのグループの相似地震に分類された。このグループ分けは、山頂火口中心の南西2 kmに位置する、ポアホール観測点の上下動の観測波形で行った。

同じ相似地震グループに分類されたB型地震は、その波形の相似性から互いにほぼ同じ場所、同じメカニズムで発生していると考えられる。そこで、グループごとに波形を重合したところ、多くの観測点で重合によって初動の立ち上がりが明瞭となった。P波とS波の到達時刻から震源を求めた結果、いずれのグループも山頂カルデラ内部南側の直下付近に震源が推定された。なお、震源決定ではP波、S波速度をそれぞれ2 km/s、1.15 km/sとした。4つのグループの震源は、水平位置でおよそ1 km以内、鉛直位置は、深さ1.5 kmから0.5 kmの範囲内に分布している。

続いて、グループ分けされた相似地震の長周期成分に注目した。解析対象とした0.25-0.5 Hz帯では、常に環境雑音が卓越し、信号対ノイズ比が悪く、個々のイベント波形からその特徴を調べることはできない。そこで、2-4 Hz帯で相互相関が最大となった時刻で、0.25-0.5 Hz帯の地震波形を重合した。その結果、ある1グループで信号対ノイズ比が上がり、長周期成分の信号が明瞭に現れた。この上下動成分を利用して、次のように震源を推定した。まず適当な位置に震源を仮定し、地震波の伝播時間を考慮して全観測点の波形を重合する。この仮震源の位置を様々に変えて、同様の操作を繰り返す。こうして最も重合した波形の振幅が大きくなる場所を真の震源と推定する。この結果、長周期成分の震源は、先の到達時刻読みとりで決められた震源とほぼ一致した。一方、水平成分の振動軌跡を調べると、ほぼ全ての観測点で直線状になり、その長軸方向は山頂カルデラ南端付近の1 kmの範囲内で交わった。このような長周期成分の波形軌跡の特徴は、他の火山で観測される超長周期地震の波形特性と類似しており、体積変化を伴うメカニズムが示唆される。

以上のように、波形相関を利用してB型地震を解析した結果、これまでほとんど不明であったB型地震の震源分布が明らかとなった。また、卓越する2-4 Hzの波の励起源以外に、0.25-0.5 Hzに体積変化を伴うメカニズムを示唆する震動源があることが明らかとなった。

キーワード: 三宅島火山, 相似地震, 震源決定, B型地震

Keywords: Miyakejima volcano, earthquake family, hypocenter determination, B-type earthquake



## Stratigraphy records of 1883 Krakatau eruption and tsunami in Java coastline Indonesia Stratigraphy records of 1883 Krakatau eruption and tsunami in Java coastline Indonesia

Purna Sulastya Putra<sup>1\*</sup>, Yuichi Nishimura<sup>1</sup>, Eko Yulianto<sup>2</sup>  
SULASTYA PUTRA, Purna<sup>1\*</sup>, Yuichi Nishimura<sup>1</sup>, Eko Yulianto<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Seismology and Volcanology, Hokkaido University, <sup>2</sup>Research Center for Geotechnology, Indonesian Institute of Sciences (LIPI)

<sup>1</sup>Institute of Seismology and Volcanology, Hokkaido University, <sup>2</sup>Research Center for Geotechnology, Indonesian Institute of Sciences (LIPI)

During the paroxysmal stage of 1883 Krakatau event, a series of eruption and tsunami occurred and destroyed more than 250 coastal villages along the Sunda Strait. We reported the result of our field works in Java coastline located to the east of Krakatau volcano. Around 30 cores and pits were observed and samples were collected. We described and examined the cores and pits of tsunami-related deposits and primary tephra deposits. In general the stratigraphy of the 1883 eruption and tsunami in coastal Java composed of intercalation of sand, pumiceous sand and tephra. The stratigraphic record is unique and very complex and was formed by successive deposition of tephra and tsunami deposit and also erosion by tsunamis. The tsunami layers sometimes contain pumice and/or ash. These pumice and/or ash had been carried up inland together with the beach sand from their original position by the tsunami run-up. To understand the sedimentation processes and chronology of eruption and tsunami during the 1883 paroxysmal stage, we used the stratigraphy characteristics in conjunction with historical record account. At some locations, the stratigraphic records observed in the field and historical account are correlated.

キーワード: 1883 Krakatau, tsunami, eruption, stratigraphy, sedimentology, historical account

Keywords: 1883 Krakatau, tsunami, eruption, stratigraphy, sedimentology, historical account

## 霧島新燃岳 2011 年噴火前後の全磁力変化

### Temporal variation of geomagnetic total intensity before and after the 2011 summit eruption at Shinmoe-dake crater

上嶋 誠<sup>1\*</sup>, 小山 崇夫<sup>1</sup>, 鍵山 恒臣<sup>2</sup>

UYESHIMA, Makoto<sup>1\*</sup>, KOYAMA, Takao<sup>1</sup>, KAGIYAMA, Tsuneomi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東京大学地震研究所, <sup>2</sup> 京都大学理学研究科

<sup>1</sup>Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, <sup>2</sup>Graduate School of Science, Kyoto University

霧島火山新燃岳においては、2008年8月22日に小規模な山頂噴火が起きて以来、2010年には3回の小規模噴火が起き、2011年1月26日より本格的なマグマ活動を開始した。その後、溶岩の噴出が確認され、爆発的噴火を繰り返していたが、2011年9月7日の小噴火を最後に噴火は発生していない。

新燃岳周辺域では、最近では、新燃北 (SMN)、新燃北西 (SMNW)、新燃西 (SMW)、新燃南 (SMS)、北北西に約 5km 離れた硫黄山北 (IWN) の 5 観測点において観測を行っていたが、新燃岳山頂噴火による噴石や降灰のため、2011年1月末には新燃岳直近の 4 観測点 (SMN, SMNW, SMW, SMS) での観測はすべて途絶えた。その後、新燃岳西 (SMW) 観測点については 2011年7月15日より観測を復旧させることが出来た。

2003年以來の観測データのコンパイルを行い、気象庁鹿屋地磁気観測所における全磁力値に対する各観測点での全磁力差変化を検討した。データの飛びを補正し、年周変化を除去した後に毎日の夜間値の中央値を吟味したところ、新燃岳西 (SMW) 観測点や新燃岳北 (SMN) 観測点で噴火に先行して 2010年初頭より顕著な増加が始まっていたことが確認された。また同時期に、新燃岳南 (SMS) 観測点では顕著な変動は認められなかった。その変化が熱消磁によって生じたとして、SMN 観測点に対する SMW, SMS の変動比を説明する球状熱消磁源の位置をグリッドサーチによって求め、変動の大きさから商事(=磁源)の大きさを決定した。その結果、新燃岳西側斜面の海面下約 300m のところでの、半径 348m (2010年1月~9月)、338m (2010年10月~2011年1月) の球状領域 (磁化 1.5A/m を仮定) の消磁によって、その全磁力変化は説明可能であった。

2011年7月15日の観測復帰時には、新燃岳西 (SMW) の全磁力は 2010年9月のレベルに減少していたが、その後増加を示している。この増加を上記の消磁源で説明したとすると、新燃岳西側斜面の地下浅部で引き続き温度上昇による消磁が進行していたことを示す。新燃岳西 (SMW) の全磁力増加傾向は、その後、2011年9月~10月あたりで鈍化し、2011年1月噴火直前のレベルに達しないうちに 2011年末まで停滞し、その後、現在 (2012年1月末) に至るまで減少傾向を示し始めている。噴石の影響でローカルな磁化分布が大きく変化した場合には年周変化のパターンが変わる可能性もあり、今後の検討が必要であるが、上記の変化は、最近になって温度上昇が停滞し温度下降が始まったことを示すものである。

キーワード: 霧島新燃岳, 火山噴火, 全磁力, 熱消磁

Keywords: kirishima shinmoe-dake crater, volcanic eruption, geomagnetic total intensity, thermal demagnetization

## 2010 - 2011年霧島新燃岳周辺における比抵抗構造探査 MT survey around Mt. Shinmoedake, Kirishima Volcanoes in 2010-2011

小山 崇夫<sup>1\*</sup>, 上嶋 誠<sup>1</sup>, 長谷 英彰<sup>1</sup>, 相澤 広記<sup>1</sup>, 山谷 祐介<sup>1</sup>, 渡邊 篤志<sup>1</sup>, 宮川幸治<sup>1</sup>, 前原 祐樹<sup>1</sup>, 橋本 武志<sup>2</sup>, 神田 径<sup>3</sup>, 小川 康雄<sup>3</sup>, 宇津木 充<sup>4</sup>, 鍵山 恒臣<sup>4</sup>, 吉村 令慧<sup>5</sup>, 山崎 健一<sup>5</sup>, 小松 信太郎<sup>5</sup>  
KOYAMA, Takao<sup>1\*</sup>, UYESHIMA, Makoto<sup>1</sup>, HASE, Hideaki<sup>1</sup>, AIZAWA, Koki<sup>1</sup>, YAMAYA, Yusuke<sup>1</sup>, WATANABE, Atsushi<sup>1</sup>, Koji Miyakawa<sup>1</sup>, MAEHARA, Yuki<sup>1</sup>, HASHIMOTO, Takeshi<sup>2</sup>, KANDA, Wataru<sup>3</sup>, OGAWA, Yasuo<sup>3</sup>, UTSUGI, Mitsuru<sup>4</sup>, KAGIYAMA, Tsuneomi<sup>4</sup>, YOSHIMURA, Ryokei<sup>5</sup>, YAMAZAKI, Ken'ichi<sup>5</sup>, KOMATSU, Shintaro<sup>5</sup>

<sup>1</sup> 東京大学地震研究所, <sup>2</sup> 北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター, <sup>3</sup> 東京工業大学火山流体研究センター, <sup>4</sup> 京都大学理学部, <sup>5</sup> 京都大学防災研究所

<sup>1</sup>Earthquake Research Institute, Univ. Tokyo, <sup>2</sup>Institute of Seismology and Volcanology, Graduate School of Science, Hokkaido Univ., <sup>3</sup>Volcanic Fluid Research Center, Tokyo Institute of Technology, <sup>4</sup>Graduate School of Science, Kyoto Univ., <sup>5</sup>DPRI, Kyoto Univ.

We conducted broadband magnetotelluric (MT) survey at Kirishima volcanoes in 2010 and 2011 to elucidate the electrical resistivity structure. From We made MT measurements at 17 sites around Mt. Shinmoe in July to September 2010, and made another MT measurements at 12 sites in March to April 2011. ADU07s of Metronix were used for measurements and measurement term was almost three weeks at each site. By preliminary results, directions of induction vectors go to north of Mt. Shinmoe, around Mt. Karakuni in and below the periods of 1 seconds, and tend to go to north-west of Mt. Shimoe, westward of Mt. Karakuni around 100 seconds. This may indicate that a shallow low resistive body exists at a few km depth of the north position of Mt. Shinmoe and a deep low resistive body exists at tens km depth of the north-west position of Mt. Shinmoe.

From 26 January 2011, it occurred the active eruptions of Mt. Shinmoe. GPS measurements found that the position of 6km apart from Mt. Shimoe in north-west direction is the source of stress at 10 km depth, that is, a magma chamber. Thus the induction vectors may point at a deep main magma chamber and a shallow sub magma chamber.

キーワード: 新燃岳, MT 法探査

Keywords: Mt. Shinmoedake, MT survey

## 2011年新燃岳の噴火に前駆する傾斜変動量と噴出物量の関係について The relation between amount of tilt change preceding the eruption and the volume of tephra at Shinmoedake Volcano

加藤 幸司<sup>1\*</sup>, 藤原 善明<sup>1</sup>

KATO, Koji<sup>1\*</sup>, FUJIWARA, Yoshiaki<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 気象庁

<sup>1</sup>Japan meteorological agency

新燃岳では、2011年1月19日に噴火活動が始まり、1月26日からは本格的なマグマ噴火となり、多量の火山灰等の噴出や火口内への溶岩の蓄積、爆発的噴火の発生がみられ、周辺では大量の火山灰や空振による被害があった。これらの噴火に前駆して地盤の隆起を示す顕著な傾斜変動とやや高周波地震（BH型地震）の増加がみられ、噴火発生予測に活用された。気象庁は、2007年に火山活動を取るべき防災対応に応じて5段階に区分した噴火警戒レベルを導入しており、噴火発生の予測だけでなく、噴火による影響範囲の把握も噴火警戒レベルの適切な運用には重要である。そこで、本研究では噴火に伴う空振振幅や地盤変動量などのパラメータ間の相互関係を調べ、噴火による噴出物量や空振振幅などの規模の予測やリアルタイム把握について調査したので報告する。

噴火に前駆する傾斜変動量と噴出物量を比較し、噴火発生前に規模の予測が可能かをみると、爆発的噴火を除いて、両者の間には多少のばらつきはあるものの、正の相関があるように見える。爆発的噴火は、非爆発的噴火と比べ傾斜変動量に対する噴出物量が多くなっている。空振振幅と噴火に前駆する傾斜変動量を比較すると、両者に相関は認められない。空振振幅が200Paを超える爆発的噴火では、傾斜変動量は小さい。非爆発的噴火では、空振振幅の上限をみると傾斜変動量の大きいものほど空振振幅が小さく、傾斜変動量の小さいほうが空振振幅が大きくなっている。



## 霧島山新燃岳 2011 年噴火にみる噴火シナリオの課題と地殻変動観測の活用 Geodetic aspects in difficulties of eruption scenario inferred from Shinmoedake events in 2011

山本 哲也<sup>1\*</sup>, 高木 朗充<sup>1</sup>, 鬼澤 真也<sup>1</sup>  
YAMAMOTO, Tetsuya<sup>1\*</sup>, TAKAGI, Akimichi<sup>1</sup>, ONIZAWA, Shin'ya<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 気象庁気象研究所

<sup>1</sup>Meteorological Research Institute, JMA

気象庁は、全国の活火山を対象に火山監視を行い、噴火シナリオに基づいた噴火警戒レベル等の防災情報を発信している。今日、火山活動評価における地殻変動観測の役割が大きくなっているが、多くの火山では火山噴火時やそれに先行する地殻変動観測の事例がないため、噴火シナリオの中で地殻変動の異常が位置づけられていない火山がほとんどである。噴火警戒レベルの迅速・確実な判定のために、地殻変動観測から地下のマグマの状況をより定量的に捉えることが求められている。

霧島山新燃岳では 2011 年 1 月に準プリニー式噴火が発生した。この噴火に先行して、2009 年 12 月頃から約 1 年間にわたり新燃岳の西北西約 10km を中心とする膨張が GPS 観測によって明らかにされており（国土地理院、2011）、深さ 7.5km の茂木ソースを仮定した場合、その体積増加は  $13 \times 10^6 \text{m}^3$  であった。深部からのマグマ供給に伴う、後にマグマ溜まりと推定された領域の膨張が原因と見られていたものの、このような現象は新燃岳の噴火シナリオとして想定されておらず、また位置が新燃岳の直下ではなかったため、新燃岳の火山活動に直接関与する地殻変動であるとは必ずしも認識されていなかった。実際には、準プリニー式の噴火とその後の溶岩噴出に同期した収縮が観測され、噴出したマグマはこの膨張源（マグマ溜まり）から供給されていたことが明らかになった。ここでは、今後の噴火シナリオにおける地殻変動観測の活用を目指して、地下のマグマについて量的な状況を整理する。

今回の噴火では火口から約 10km 離れたマグマ溜まりからマグマが供給されたが、マグマの蓄積が明確に始まってからマグマ噴火に至るまでの約 1 年間、新燃岳付近の地震活動は決して活発と言えるレベルではなかった。これは、新たなダイクの形成などがなかったことを意味し、既存の火道を通してマグマが噴出したとみられる。また、高木（2011）によれば、2005 年 12 月頃から新燃岳火口付近の GPS 繰り返し観測では局所的な基線長の伸びが観測されており、火口直下の熱水溜りの膨張によると考えられている。これは、今回の噴火に先行して高温の火山ガスがマグマ溜まりから供給されたためと推定でき、マグマ溜まりと火口直下が連結していたことを示唆する。

鬼澤他（2011）が重力探査のデータから求めた霧島火山地域の地下密度構造によれば、この地域は、火山性噴出物からなる密度  $2.3 \text{g/cm}^3$  の表層と、四万十層群からなる密度  $2.65 \text{g/cm}^3$  の基盤からなっており、新燃岳付近では表層の厚さは約 2km である。また、斎藤（2011）によれば、当初からマグマ溜りに存在したマグマに、深部から“軽い”マグマが注入・混合して噴出に至ったとみられており、それぞれのマグマの密度は  $2.610 \text{g/cm}^3$ 、 $2.510 \text{g/cm}^3$  と見積もられている。マグマの密度が表層の密度よりも高いため、噴火に先行したマグマ溜まりの膨張が始まる段階では、地下のマグマ・ヘッドの位置（マグマ頭位）は、表層と基盤の境界付近にあったと思われる。したがって噴火時にマグマが火口から噴出するまでに、マグマ頭位は約 2km 上昇したことになる。

マグマの蓄積に伴うマグマ溜まりの圧力増加が火道内のマグマ頭位の上昇に伴う増圧と釣り合っていたと仮定すると、圧力増加は約 50MPa となり、マグマ溜まりの半径は約 1.7km、体積は約  $21 \text{km}^3$  と推定される。この体積は、噴出したマグマの体積  $0.01 \text{km}^3 \sim 0.03 \text{km}^3$ （地震研，2011，産総研，2011）に比べてかなり大きい。深部から注入されたマグマの量は、マグマ溜まり全体の体積に比べるとわずかであった。ただし、斎藤（2011）によれば深部からマグマ溜まりに注入されたマグマが噴出したマグマに占める割合は約 4 割であることから、マグマ溜まりに滞留していたマグマは、ごく一部が噴出したにすぎないことがわかる。これは宮城（2011）が示唆するマグマの生成過程とも整合的である。

通常、地殻変動観測では、マグマの蓄積量の変化は捉えられるものの、蓄積しているマグマの総量を推定することが困難であり、そのため噴火シナリオにおける現象の推移の予測に活用することが難しかった。ここに示したような推定値を活用することで、噴火シナリオを高度化できる可能性がある。

キーワード: 噴火シナリオ, 新燃岳, 火山性地殻変動

Keywords: eruption scenario, Shinmoedake, volcanic deformation

## 霧島山北西部の上下変動(2011年2月 - 6月 - 2012年3月)

## Vertical deformation at the northwestern part of Mt. Kirishima(Feb.,2011-May,2011-Mar.,2012)

森 濟<sup>1\*</sup>, 大島 弘光<sup>1</sup>, 小山 悦郎<sup>2</sup>

MORI, Hitoshi Y.<sup>1\*</sup>, OSHIMA, hiromitsu<sup>1</sup>, Etsuro Koyama<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 北大院理地震火山センター, <sup>2</sup> 東大震研

<sup>1</sup>ISV, Faculty of Science, Hokkaido University, <sup>2</sup>Earthquake Research Institute, University of Tokyo

2011年1月から始まった霧島山新燃岳のマグマ噴火活動中の2月に、1968年に東京大学地震研究所が設置した霧島山北西部の、えびの高原～えびの市飯野小学校の水準路線の再測を行った。その結果については、2011年5月の地球惑星科学連合大会で述べた。

その後の変動を見るために、2011年6月1日～9日に同路線の再測を実施した。さらに、2012年3月にも再測を予定している。また、2011年6月には、えびの高原～新湯入口についても路線を追加測量した。これについても、2012年3月に再測を予定している。

本稿の時点では、2012年3月の測量前なので、以下では、2011年2月～6月の変動について記述する。発表では、2012年3月の測量結果を含めて報告する予定である。

飯野小学校を基準とすると、この期間の変動は、霧島山の隆起傾向を示している。最大隆起量は飯野小学校を基準とすると約12mmである。細かくみると、路線距離で、2～8kmの部分で相対的な局所的沈降が認められる。この局所的沈降を除いたパターンは、球状圧力源モデルで説明できるように思われるので、水準点の標高を考慮した球状圧力源モデルでソース位置の推定を試みた。

この時、飯野小学校付近の変動パターンから、飯野小学校も隆起しているように思われたので、飯野小学校内の電子基準点960714「えびの」の変動を、火山性の変動がないと思われる、「えびの」より北側の南九州内陸部の5点の電子基準点と比較した結果、「えびの」が2.9～6.7mm隆起していると推定された。

「えびの」の隆起量を考慮して、ソースの位置推定を、標高を考慮した球状圧力源モデルでグリッドサーチにより行った。その結果、「えびの」の隆起量の少ない場合には、韓国岳西方約3kmの深さ10.2～11.0kmに、多い場合には、韓国岳西南西方約3.8kmの深さ15.2～15.8kmにソース位置が推定された。これらの位置は、同期間のGPS等により推定されるソース位置と比較して、水平的にはほぼ同じであるが、深さが、異なっている。

また、ソースの推定される深さにより北北東 - 南南西方向に1.8km程度の水平方向のばらつきを示している。これについては、2011年6月に追加した水準路線がほぼ南北に5km以上伸びているので、2012年3月の再測により、より狭い範囲に絞られると考えられる。

前述の北西山麓部の局所的沈降については、原因の特定ができていないが、その位置と広がりから、霧島山の今回の火山活動に直接関係しているとは考え難い。これについても2012年3月の測量結果を含めて論じる予定である。

2011年2月の水準測量では北大の鈴木敦生、前川徳光、森貴章、松本征海の4名にお手伝いいただいた。記してお礼申し上げます。

キーワード: 霧島山, 新燃岳, 火山性地殻変動, 水準測量

Keywords: Mt. Kirishima, Shinmoe-dake, volcanic deformation, leveling survey

## 火山 GPS 統合解析データに基づく霧島山の変動源モデル(続報) Source Model of Kirishima Volcano Based on GPS Integrated Analysis in Volcanic Region(2nd report)

今給黎 哲郎<sup>1\*</sup>, 西村 卓也<sup>1</sup>

IMAKIIRE, Tetsuro<sup>1\*</sup>, NISHIMURA, Takuya<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 国土地理院

<sup>1</sup> Geospatial Information Authority of Japan (GSI)

国土地理院では、山体を取り囲む GPS 連続観測網を用いて霧島火山の地殻変動を監視している。2011年1月の噴火前に、2009年12月から霧島山を囲む GEONET の観測網で山体の膨張を検知し、その後の変動について電子基準点 (GEONET) と気象庁および (独) 防災科学技術研究所が設置した GPS 観測点のデータを用いて変動源のモデルを作成した。2011年1月26日の噴火前までの膨張源に関するモデル、および噴火後数日間の急速な山体収縮のモデルについては昨年の連合大会や火山噴火予知連絡会でも報告したが、韓国岳北西の深い変動源と、新燃岳直下の浅い変動源が推定されている。噴火時における山体を挟む基線の短縮は、噴火前の伸張よりも少なく、推算された体積減少も噴火前の膨張量よりは少なかった。その後の噴火の推移が注目されるため、国土地理院では2011年2月に山体の北西側に GPS 機動観測点を設置し、監視体制を強化してその後の地殻変動をモニターしているが、2011年2月以降11月頃までは噴火前とほぼ同じようなレートでの山体膨張が観測されていた。変動源モデルを作成してマグマの蓄積量を推定すると、この期間においては毎月約100万m<sup>3</sup>程度の体積増加が見込まれている。2011年12月以降、山体の膨張速度は鈍化しているが、2010年7月から8月にかけてもその前後と比較して山体の膨張が一時的に停滞した時期もあったため、今後の推移は注意して見守りたい。

### 謝辞

火山 GPS 統合解析のために提供された気象庁の火山 GPS 観測点および (独) 防災科学技術研究所の GPS 観測点のデータを本報告の解析に用いました。ここに記して感謝致します。

キーワード: 霧島火山, 地殻変動, GPS, インバージョン, 変動源モデル, 2011年新燃岳噴火

Keywords: Kirishima Volcano, Crustal deformation, GPS, Inversion, Source model, 2011 Shinmoedake eruption

## 地盤の膨張と同期して活発化した霧島火山周辺の広域地殻内地震活動 Activity of crustal earthquakes in and around the Kirishima volcano synchronizing and activating with ground inflations

八木原 寛<sup>1\*</sup>, 後藤 和彦<sup>1</sup>, 平野 舟一郎<sup>1</sup>, 宮町 宏樹<sup>1</sup>, 中尾 茂<sup>1</sup>

YAKIWARA, Hiroshi<sup>1\*</sup>, GOTO, Kazuhiko<sup>1</sup>, Shuichiro Hirano<sup>1</sup>, MIYAMACHI, Hiroki<sup>1</sup>, NAKAO, Shigeru<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 鹿児島大学大学院理工学研究科

<sup>1</sup>GSSE, Kagoshima Univ.

火山体の周辺領域では、地殻内地震（VT地震）活動が主要なマグマ溜まりへのマグマ蓄積に伴う静的な応力変化によって活発になる可能性が考えられる。著者らは、霧島火山周辺領域の地殻内地震が2002年、2006年、及び2009年に増加したことを見出した。これらの地震活動度の増加の時期は、GEONETの基準点間の基線長変化の伸長で示される火山体の膨張の時期とほぼ一致することが分かった。ここでは、地震活動の増加と地盤変動との関連について議論する。

鹿児島大学大学院理工学研究科附属南西島弧地震火山観測所（NOEV）では、微小地震観測網データに九州大学、気象庁及びHi-netの観測データを加えて、九州南部の微小地震の震源決定を行ってきた。2000年10月以降、霧島火山群周辺領域の上部地殻内の地震の検知能力はM0.8と推定された（森，2001，学士論文）。従って、2001年以降の過去11年超にわたって霧島火山周辺領域の地殻内地震活動の時間推移を、M0.8以上の均質な条件の下でたどることが可能である。ここでは、M0.8以上の地殻内地震の積算回数の時間変化とGEONETの2基準点（えびの：960714と牧園：950486）間の基線長変化（国土地理院，2011）とを比較した。この基線は、2009年12月から2011年の噴火開始前の期間において、霧島火山周辺の基準点間で最も伸長が観測された基線である。また、著者らは1日あたりの地震回数（Number per day：NPD）、すなわち積算回数の勾配（時間微分）を同期間において1ヶ月毎に計算した。NPDの平均値（ANPD）は、2002年の前半の約0.1～0.2から2003年には約0.8～1.0に、2006年には第一四半期の約0.3から約0.7に変化した。さらに、2009年12月に0.8であったANPDは2010年には1.3程度に増加した。先行研究（例えば、Reasenbergh and Simpson,1992; Toda et al.,1998）は、非火山地域でのテクトニックな地震活動について、0.01～0.1MPaのわずかなクーロン破壊応力変化によって活発化や静穏化が認められることを報告している。霧島火山下の主要なマグマ溜まりの膨張に対応した静的な応力変化が地震発生レート（ANPD）の変化をもたらした可能性がある。

地殻内地震活動はまた、プレート運動によっても発生するであろう。観測された地震活動のうち、マグマ溜まりの圧力の増加によって発生した地震活動を抽出できると望ましい。そこで、著者らは火山体の膨張に対応した活動を量的に抽出するためにz値（例えば、Habermann,1983; Wiemer and Wyss,1992）を計算した。z値の正と負はそれぞれ、対象領域のseismicity rateの静穏化と活発化を示す。ここでは、上記のGEONET基線長が最も顕著に伸長した2010年の前半と後半の期間についてz値を計算した。その結果、統計的に有意なzの負の値が得られたのは、霧島火山の南西、北東、及び北西山麓領域であった。マグマ溜まりの膨張による静的な応力変化が、これらの領域の地震活動を引き起こした可能性が考えられる。さらに著者らは、対象期間における相対的にマグニチュードの大きな地震の震源メカニズム解を求め、起震応力軸の方位の時間変化の有無を調べた。その結果、起震応力軸に有意な時間変化は認められない。以上のことから、負のz値が得られた領域の地殻内地震活動がマグマ活動に伴う静的な応力の変化に伴い、既存の断層で発生した（森田・大湊，2005）ことが示唆される。

キーワード: 霧島火山, 地震活動

Keywords: Kirishima Volcano, seismicity



## 山頂を挟む東西地震計アレイでみた2011年新燃岳噴火活動 Characteristics of volcanic tremor at Shin-moe dake inferred from two seismic array analysis

山中佳子<sup>1\*</sup>, 中道治久<sup>1</sup>, 寺川寿子<sup>1</sup>, 奥田隆<sup>1</sup>, 堀川信一郎<sup>1</sup>, 山崎文人<sup>1</sup>, 松本聡<sup>2</sup>, 清水洋<sup>2</sup>

YAMANAKA, Yoshiko<sup>1\*</sup>, NAKAMICHI, Haruhisa<sup>1</sup>, TERAOKA, Toshiko<sup>1</sup>, OKUDA, Takashi<sup>1</sup>, HORIKAWA, Shinichiro<sup>1</sup>, YAMAZAKI, Fumihito<sup>1</sup>, MATSUMOTO, Satoshi<sup>2</sup>, SHIMIZU, Hiroshi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 名古屋大学大学院環境学研究科, <sup>2</sup> 九州大学地震火山観測研究センター

<sup>1</sup>Nagoya Univ, <sup>2</sup>SEVO, Kyushu Univ.

名古屋大学は2011年2月1日より新燃岳東北東約5kmの夷守台(中道・他, 2011連合大会, 火山学会)で, 九州大学は2011年1月29日より新燃岳南西約3kmの新湯温泉近傍(松本・他, 2011連合大会, 火山学会)で, 地震計アレイ観測を実施している。今回, 我々はこの2つの地震計アレイデータを用いて火山活動が活発であった2月1日から4月17日までの連続的アレイ解析を行った。アレイ解析では, 波形データに2-3Hzのバンドパスフィルタを施し, 解析長0.5秒にて時間を0.125秒ずつ変化させながら微動源の到来方向, スローネスをセンブランス法で求めた。

これまでに名大で見られたセンブランス値の高い波群到来時間帯では九大アレイでも同様の結果が見られることがわかった。また火口付近で起こっている現象については, 九大アレイではほぼ火口方向(N60E-N75E: 火口方向はN65E)から波群が到来しているが, 名大アレイでは新燃岳火口方向(N255E)よりやや北(N265E-N275E)から波群が到来していることがわかった。活動パターンから2つのアレイで同じ現象を見ていると考えられることから, 名大アレイでの到来方向が北よりにずれるのはおそらく山体北東部にある高速度領域(西・鍵山, 2002合同大会)などが影響しているものと思われる。

約3ヶ月間の解析を行ったがセンブランス値が高い波群が連続的に来ていたのは2月初旬と2月末から3月初旬で, その他の時期は単発的であった。連続的に起こっている時期をみるとおおむね火口方向に微動源はあるが, スローネスはかなり変動しており, 深さ方向の移動があることがわかる。その中で時々火口より北側から波群が来る時期があり, そのときのスローネスは火口方向から来る波群より小さくなることから, これらは新燃岳北側のやや深いところにある微動源からの波群と考えられる。

キーワード: 霧島山, 新燃岳, 地震計アレイ観測, 噴火, 微動

Keywords: Kirishima Volcano, Shinmoedake, seismic array, eruption, volcanic tremor

## 2011年新燃岳の噴火活動 Eruptive activity of Shinmoedake Volcano

福岡管区気象台・鹿児島地方気象台<sup>1</sup>, 長門 信也<sup>1\*</sup>  
JMA<sup>1</sup>, NAGATO, Shinya<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 福岡管区気象台火山監視・情報センター

<sup>1</sup> Fukuoka District Meteorological Observatory

新燃岳では、2008年8月に小規模な噴火を発生し、2010年3月~7月にかけても小規模な噴火を繰り返した。2011年1月19日にマグマ水蒸気噴火が発生し、その後1月26~27日にかけて約300年ぶりの本格的なマグマ噴火(準プリニー式噴火)に移行した。1月28日には火口内に溶岩が確認され、2月2日には直径600m程度となっていた。1月26~27日のマグマ噴火や火口内の溶岩の成長に伴って、傾斜計では新燃岳の北西での収縮を示す地殻変動が観測され、GPS観測では2009年12月から2011年1月の噴火前まで観測された新燃岳北西の圧力源が収縮を示していた。2011年1月27日からは、爆発的噴火を含め、噴火が繰り返し発生し、特に2月1日の爆発的噴火では、火口から南西3.2km付近に大きな噴石が飛散した。2月以降の噴火では、噴火発生に前駆して地震回数の増加と新燃岳側が隆起する傾斜変動が観測されている。

噴火の発生は2011年2月9日以降断続的となり、9月8日以降の発生はない。また火口内に蓄積された溶岩の大きさや形状に大きな変化は認められない。二酸化硫黄放出量についても、噴火活動が特に活発であった1月下旬から2月上旬にかけては1万トン/日を超えたが、その後は噴火時及び噴火直後にやや増加して1000トン/日程で、概ね500トン/日以下で経過している。

一方でGPS観測では2011年12月以降に一部の基線で伸びの傾向が鈍化・停滞したものの、2011年2月上旬頃から再び新燃岳北西のマグマだまりへのマグマの供給を示す伸びの傾向がみられる。また火山性地震についても、2011年9月上旬からの回数はやや減少したが、引き続きやや多い状態が続いている。

## 霧島山新燃岳火山 2011 年噴火の降下火砕物噴出量 Pyroclastic fall deposit and eruptive mass of 2011 eruption from Shinmoedake Volcano, Kirishima Volcanic Group

古川 竜太<sup>1</sup>, 下司 信夫<sup>1\*</sup>, 及川 輝樹<sup>1</sup>, 千葉 達朗<sup>2</sup>, 中田 節也<sup>3</sup>, 長井 雅史<sup>4</sup>

FURUKAWA, Ryuta<sup>1</sup>, GESHI, Nobuo<sup>1\*</sup>, OIKAWA, Teruki<sup>1</sup>, CHIBA, Tatsuro<sup>2</sup>, NAKADA, Setsuya<sup>3</sup>, NAGAI, Masashi<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 産業技術総合研究所地質調査総合センター, <sup>2</sup> アジア航測株式会社, <sup>3</sup> 東京大学地震研究所, <sup>4</sup> 防災科学技術研究所

<sup>1</sup>Geological Survey of Japan, AIST, <sup>2</sup>Asia Air Survey Co., LTD., <sup>3</sup>Earthquake Research Institute, University of Tokyo, <sup>4</sup>National Research Institute for Earth Science and and Disaster Prevention

新燃岳 2011 年噴火による降下火砕堆積物の堆積量を約 2900 万トンと見積もった。陸上部分は約 1400 万トンで、情報の乏しい山頂火口内は含んでいない、海域に降下した量は約 1500 万トンと推定した。

2011 年 1 月 26 日から 2 月末までの各機関による現地調査結果を総合し、噴火開始後 10ヶ月以内に実施した補足調査結果も加味して、降下火砕物の分布を推定した。火口近傍域は 2 月 26 日の高高度レーザ測量、およびその後の無人ヘリ観測結果から推定した。陸上で火山灰が観察された範囲を対数近似で積分した総量は約 1400 万トンである。海域は衛星観測で噴煙が観察された東海沖までの範囲を 0.5g/m<sup>2</sup> とした場合、1500 万トンとなり、陸域と海域を合わせると 2900 万トンとなる。本報告にあたり気象庁、電力中央研究所、日本工営(株)、ダイヤコンサルタント(株)、鹿児島大学、熊本大学による調査結果を使わせていただいた。

キーワード: 霧島, 新燃岳, 2011, 噴火, 噴出量, 降下火砕堆積物

Keywords: Kirishima, Shinmoedake, AD2011, eruption, eruptive mass, pyroclastic fall deposit

## 新燃岳 2011 年噴火噴出物の低水蒸気圧下での融解実験

### Remelting experiments of the erupted materials of the 2011 eruption of Sinmoedake, Kirishima Volcano

無盡 真弓<sup>1\*</sup>, 中村 美千彦<sup>1</sup>, 奥村 聡<sup>1</sup>

MUJIN, Mayumi<sup>1\*</sup>, NAKAMURA, Michihiko<sup>1</sup>, OKUMURA, Satoshi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東北大学地学専攻地球惑星物質科学講座

<sup>1</sup>Dept. Earth Science, Tohoku Univ.

新燃岳 2011 年噴火は 1/26~27 にサブプリニー式噴火を起こし, 2/1 以降にブルカノ式噴火を起こした。上記の噴火に伴って噴出した軽石には白色, 褐色, 淡灰色, 白と褐色の縞状のものがあり, 色の違いには SiO<sub>2</sub> 含有量 (鈴木・他, 2011) と石基の結晶度の違いが大きく影響していると考えられる。2/1 以降のブルカノ式噴火で噴出した軽石は白色から淡灰色を呈し, また濃灰色の石質岩片や火山弾も噴出した。白色軽石に含まれるマイクロライトの結晶量は極めて少なく, まれに輝石・斜長石のマイクロライトが見られる。それらの一部は樹枝状を呈する。淡灰色軽石のマイクロライト結晶度は白色軽石より高く, 輝石・斜長石に加え, 磁鉄鉱のマイクロライトが晶出している。濃灰色の岩片の石基結晶度は淡灰色軽石より高く, 輝石・斜長石・磁鉄鉱のマイクロライトが含まれる。微斑晶の表面に, マイクロライトが核形成しているものがしばしば観察される。石質岩片の結晶度はサンプルごとに異なり, 同様に火山弾の結晶度も, サンプルごとに大きく異なる。これらの石基結晶度が高い軽石・岩片・火山弾では, マイクロライトの粒間を埋めるように, サブミクロンスケールの大きさ (幅) を持つナノライトが晶出している。白色軽石にはマイクロライトが少なく樹枝状結晶が見られることから, 火道浅部で定置せずにマグマだまりから比較的高速に上昇して噴出したと考えられ, 一方その他の石基結晶度の高い噴出物は火道浅部で定置した可能性がある。

本研究では, 2011 年噴火におけるマグマ上昇過程を石基の結晶化過程から明らかにするため, 石基の結晶化の条件を調べる実験的研究を行った。出発物質として比較的石基結晶度の低いブルカノ式噴火の灰色軽石を用いた。試料は石英ガラス管に封入してボルトナットセル (Yoshimura & Nakamura, 2008) 内に組み込み, 957 °C の温度に加熱をした。酸素分圧は NNO 緩衝とし, 真空封入および Mg(OH)<sub>2</sub> により最大 8MPa の水蒸気圧を発生させ, 30 分から 1 週間の実験を行った。

実験の結果, 全ての実験産物中で石基結晶度の増加 (主にマイクロライトの成長とナノライトの生成) が観察された。30 分の実験ではサブミクロンサイズの FeTi 酸化物の晶出が観察され, 1 週間の実験では新たにミクロンサイズの輝石・斜長石・FeTi 酸化物の晶出・成長が確認された。これら FeTi 酸化物は (微) 斑晶の表面や, 気泡壁表面に晶出する傾向があった。灰色軽石を出発物質として用いることで, マイクロライト量がきわめて少ない白色軽石と, 逆に石基結晶度が極めて高い一部の火山弾試料を除く, 淡灰色軽石から濃灰色石質岩片までのほとんどの噴出物の石基結晶度を再現することができた。以上の実験結果から, 灰色軽石の定置深度は 8MPa よりも高圧か, もしくは 8MPa よりも低圧であっても定置時間が 30 分未満であったと考えられる。今後, 出発物質の石基ガラスの組成効果, 結晶化量に対する圧力効果と時間効果の分離などを検討していく必要がある。

キーワード: 新燃岳, マイクロライト, 融解実験

Keywords: Sinmoedake, microlite, remelting experiment



## 噴火強度が変化する原因；新燃岳2011年噴火の噴出物の密度の時間変化に注目した岩石学的研究

### The mechanism that causes shift of explosive intensity; petrological case-study for Mt. Shinmoe 2011 eruption

吉瀬 毅<sup>1\*</sup>, 寅丸 敦志<sup>2</sup>KICHISE, Tsuyoshi<sup>1\*</sup>, TORAMARU, Atsushi<sup>2</sup><sup>1</sup>九州大学大学院理学府地球惑星科学専攻, <sup>2</sup>九州大学理学研究院地球惑星科学部門<sup>1</sup>Dept. of Earth and Planet. Sci., Grad. school of Kyushu Univ., <sup>2</sup>Det. of Earth and Planet. Sci., Faculty of Sci., Kyushu Univ.

一般に、火山噴火の爆発現象は多様である。単一の火山で数日間に繰り返して発生する場合にも、噴火の継続時間や噴出量、噴火強度、噴出物の構成量比などの噴火現象を特徴付けるパラメータに多様性がある。そのため、地下のマグマ溜りや地殻の構造などの噴火の背景となるような地質学・物理学的条件の他に、噴火現象の多様性を生み出す本質的なメカニズムの存在が予想されるが、それらは十分に理解されていない。また、一回の爆発的噴火であっても、こうした噴火現象を特徴付けるパラメータが時間と共に変化している様子が確認されている。しかし、一回の爆発的噴火において、噴火の開始から終了までを岩石学的に詳細に記載した例は極めて少なく、噴火強度や噴出量、噴出物の変化が生じる原因は未だ理解がなされていない。観測事実と照らして、地質学的に高分解能に、岩石学的に詳細に記載を行い、マグマの上昇履歴などを考察することで、一回の爆発的噴火において、噴火を特徴付けるパラメータが変化する本質的な原因を理解できる可能性がある。そこで本研究では、地球物理学的に詳細な観測がなされ、数日の間に3度の大規模噴火が確認された、新燃岳火山2011年噴火によって噴出した噴出物の時間変化について岩石学的に記載する。

新燃岳は2011年1月26日から27日にかけて、3回の準プリニー式噴火を起こしている。3回目の噴火による軽石層は、1回目および2回目の噴火による軽石層とは異なる方向に降下している(古川他,2011,地球惑星科学連合大会)。そのため、3回目の準プリニー式噴火は他の噴火との区別が容易である。そこで、本研究では噴火の発生から終息までの時間変化に関して議論が可能な3回目の準プリニー式噴火についてサンプリングを行った。また、3回目の準プリニー式噴火の後、新燃岳2011年噴火はブルカノ式噴火や溶岩ドームを形成する噴火に推移し、その推移の原因も理解できる可能性がある。サンプリングは、降下の主軸である南方向に約3km地点(高千穂河原)で行った。堆積層の層厚は約7cmであり、堆積層の特長により下層・中間層・上層の3層に堆積層を区分した。さらに、時間分解能を高めるために、それぞれのサブユニットについて上部・下部と機械的に区分を行った。構成粒子の分類を行ったところ、全サブユニットに共通して、白色軽石・灰色軽石・黒色噴出物が含まれていた。黒色噴出物には火砕成溶岩の特徴を持つものが含まれ、吉瀬他(2010,地球惑星科学連合大会)はこのような降下火砕物中に含まれる緻密な岩石片は本質的火砕物であると考えた。白色軽石は最下層でもっとも多く含まれ(3.2 wt.%)その後噴出量は減少する。灰色軽石は58.3-82.9 wt.%含まれ、中間層の上部でもっとも多く含まれる。黒色噴出物は15.6-36.2 wt.%含まれ、噴火の最終期にもっとも多く含まれる。

噴煙柱高度(噴火の強度)は、マグマの上昇の駆動力がマグマの発泡であるため、噴出物の発泡度(軽石の密度)に記録されている可能性が高い。そこで本研究では、体積をDavid Laser Scanner 2.6.3を用いて測定し、電子天秤で重量を測定することによって、噴出物の見かけ密度を測定した。David Laser Scanner 2.6.3はラインスキャンにより画像の3Dデータを取得するソフトウェアであり、試料の体積を±5%以内の精度で測定することができる。測定可能な試料径は4.0mm以上であり、これほど粒径の小さな試料で見かけ密度を測定し、同一の試料について組織解析を行った例は本研究が初である。また本研究では、密度測定後に鉱物化学組成や石基ガラス化学組成の測定などの岩石学的な記載を行う。密度測定を行った結果、灰色軽石(0.7-2.2 g/cm<sup>3</sup>)と黒色噴出物(1.4-2.7 g/cm<sup>3</sup>)であり、黒色噴出物の密度が灰色軽石の密度よりも高い。また、石基の組織は、噴出物の密度が大きくなるほど(発泡度が小さくなるほど)、マイクロライトの(特に輝石の)結晶度が高くなる傾向が見られた。石基の化学組成・ガラスの化学組成を測定したところ、石基化学組成は灰色軽石と黒色噴出物は同一の化学組成領域にあり、ガラスの化学組成は黒色噴出物の方がSiO<sub>2</sub>に富む。黒色軽石の方が石基に含まれるマイクロライトの結晶度が高いため、石基ガラスの化学組成に違いが現れたと考えられる。同様な、発泡度とマイクロライト結晶度の腑の相関(マイクロライトシステムテックス)は、伊豆大島1986bや富士宝永のプリニー式噴火のスコリアでも見られ、玄武岩質安山岩から安山岩のプリニー式噴火における普遍的ダイナミクスを表現している可能性がある。

今後、発泡したマグマから緻密なマグマまで、気泡組織やマイクロライトの組織(結晶度や結晶数密度)・化学組成について検証することで、マグマの上昇過程を推定し、噴火の強度が弱くなる原因を特定できる可能性がある。また、12回目の噴火により噴出した堆積物を同様の手法を用いて比較することによって、単一の火山において噴火現象に多様性を生じさせるメカニズムについて理解できる可能性がある。

キーワード: 新燃岳2011年噴火, 爆発的噴火, 噴出物密度, 継続時間

Keywords: Shinmoe volcano 2011 eruption, explosive eruption, bulk density, duration time

## 霧島火山新燃岳 2011 年噴出物の結晶サイズ分布, 化学的手法による, 火道浅所のマグマ上昇ダイナミクスおよびタイムスケール Dynamics and timescales of magma ascent in the shallow conduit of Shinmoedake volcano, Japan, deduced from ash texture

Vinet Nicolas<sup>1\*</sup>, 大石 雅之<sup>1</sup>, 下司 信夫<sup>1</sup>, 篠原 宏志<sup>1</sup>, 東宮 昭彦<sup>1</sup>

VINET, Nicolas<sup>1\*</sup>, OISHI, Masayuki<sup>1</sup>, GESHI, Nobuo<sup>1</sup>, SHINOHARA, Hiroshi<sup>1</sup>, TOMIYA, Akihiko<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 産業技術総合研究所 地質情報研究部門

<sup>1</sup> Geological Survey of Japan, AIST

九州南部に位置する霧島火山新燃岳は, 約 300 年の静穏期において 2011 年 1 月 19 日にマグマ水蒸気爆発を発生させた。その後, 1 月 26 から 27 日にかけて準プリニー式噴火を発生させて  $7 \times 10^7$  トンの安山岩質テフラを放出し, さらに溶岩による火口の埋積を経て, プルカノ式噴火および小規模灰噴火を繰り返し発生させた。噴火様式を変化させながらその活動が継続したが, 本研究ではほぼ全期間を通して新鮮な火砕物試料を入手できたため, それらの組織や岩石化学的特徴を時系列で明らかにし, 浅所におけるマグマ供給プロセスを推定することができた。

準プリニー式噴火の噴出物は, 本質物としては主として灰色軽石からなるが, 褐色や白色の軽石, または縞状軽石がやや含まれる。含有する斑晶およびマイクロライトとしては, カンラン石, 斜方輝石, 単斜輝石, 斜長石および鉄チタン酸化物からなる。鉱物および石基の組成は噴火イベントまたは粒子のタイプによって変化する。軽石の全岩組成をみると, 灰色軽石の  $\text{SiO}_2$  含有量は 57 wt % である一方, 白色軽石では 62~63 wt % であり, 両者は 2 種類のマグマからもたらされたと思われる。細粒火山灰については, 本質粒子は軽石, スコリア, および緻密なガラス質粒子からなり (大石ほか, 本大会), その構成比は時系列変化しているが, 含有する粒子の組み合わせは一連のイベントを通して変わらない。さらにプルカノ式噴火は溶岩の破壊によるものではなく, 下部からの新鮮なマグマの上昇または冷却過程やマグマの上昇速度などのマグマ供給プロセスの変化によるものであると推定される。

このようなマグマ供給プロセスやタイムスケールについての定量的評価は, 結晶サイズ分布 (CSD) による組織解析を用いることが有効である。そこで私たちは, 1 月から 9 月までの一連の活動中の主要な噴火でもたらされた火山灰粒子について, そのタイプごとに, BSE 画像を用いて斜長石マイクロライトの CSD 分析を行った。いずれの本質粒子のタイプも, 完全に代表的・典型的である CSD は見られなかった。さまざまな粒子タイプから得られた多くの試料では, 上に凹の CSD カーブが描かれた。これは火道にいくつかの CSD タイプのマグマがあり, 組織の異なるマグマの混合があったかもしれないことを示唆する。準プリニー式かプルカノ式かといった噴火様式が同じで, かつ同じタイプの粒子においても, このようなカーブを描く CSD は, 直線的な CSD とともに認められる。これは結晶化や過冷却といった火道における状態が, 単発の噴火において短時間のうちに変化したことを示している。さらに, 必ずしもすべての単発の噴火ではないが, すべての噴火タイプ (マグマ水蒸気爆発, 準プリニー式噴火, プルカノ式噴火) による火山灰について同様の特徴を持つ, 少なくともひとつの直線の CSD が認められた。これは, 噴火様式ごとに, 火道の特徴・プロセス (シンプルな核形成・成長) が類似していることを示唆している。CSD によって示される火道浅所のタイムスケールは, 数時間から数日以内である。磁鉄鉱の拡散プロファイルによっても同程度の規模が見られる。

キーワード: 霧島火山, 新燃岳, 2011 年噴火, 結晶サイズ分布, マグマ上昇のタイムスケール

Keywords: Kirishima volcano, Shinmoedake, 2011 eruption series, Crystal size distributions, Timescales of magma ascent

## 細粒火山灰の構成粒子観察に基づく霧島火山新燃岳2011年噴火の噴火様式変化の考察

### The eruption styles and grain compositions of deposits from the 2011 eruption of Shinmoedake, Kirishima volcano, Japan

大石 雅之<sup>1\*</sup>, 下司 信夫<sup>1</sup>, 篠原 宏志<sup>1</sup>, Nicolas Vinet<sup>1</sup>

OISHI, Masayuki<sup>1\*</sup>, GESHI, Nobuo<sup>1</sup>, SHINOHARA, Hiroshi<sup>1</sup>, Nicolas Vinet<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 産業技術総合研究所 地質情報研究部門

<sup>1</sup> Geological Survey of Japan, AIST

霧島火山新燃岳2011年噴火の火山灰堆積物について、構成粒子およびその形態的・化学的特徴を明らかにした。その結果、準プリニー式噴火からブルカノ式噴火とその噴火様式が変化したにもかかわらず、火山灰の構成粒子やその化学組成が共通していることが明らかになった。このことから、一連の噴火は同一マグマによる、同様のマグマの上昇プロセスによって引き起こされていると推定された。

九州南部に位置する霧島火山の噴出中心のひとつである新燃岳は、2011年1月19日のマグマ水蒸気爆発から、同月26~27日の準プリニー式噴火、その後の火口底溶岩の噴出とブルカノ式噴火、小規模灰噴火と噴火様式を変えながら活発に活動し、9月初旬まで噴火を繰り返した(2012年2月3日現在)。このような一連の活動は、噴火様式と噴出物の特徴の時系列変化から、噴火様式の変化を決定するメカニズムを考察する絶好の機会である。そこで本研究では、新燃岳2011年噴火の、主要な噴火の噴出物を系統的に入手して、その特徴をまとめた。

まず試料を粒径0.25~0.5mmに篩い、構成粒子の観察を行った。火山灰粒子のうち、新鮮な表面形態を持ち変質の痕跡が見られないものを、本質粒子とみなした。さらに本質粒子をその色や形、発泡度から、P(白色~淡褐色発泡粒子、いわゆる軽石)、S(褐色~黒色発泡粒子、いわゆるスコリア)、WG(白色ガラス質緻密粒子)、GG(灰色ガラス質緻密粒子)、BG(褐色~黒色ガラス質緻密粒子)の5種類に分類した。これに基づき、すべての火山灰試料について200粒子をカウントしてその構成比を時系列で表した。

その結果をみると、発泡の良い粒子(PおよびSタイプ粒子)は、1月19日のマグマ水蒸気爆発の時点で既に14%含まれている。同月26日の準プリニー式噴火では26.5%と、一連の噴火活動で最大となった。ブルカノ式噴火に移行した2月には減少したが、3月と6月の噴火では再びやや増加するなど、2~25.5%の範囲で変動した。つまり、噴火様式が変化していても、発泡粒子はすべての噴出物に含まれる。一方、同じブルカノ式噴火でも、発泡粒子の量は大きな差がある。緻密な粒子については、すべての噴火で35~70.5%の範囲で推移しているが、いずれの粒子も、噴火様式の変化に関わらず、すべての噴出物に含まれている。本質粒子の石基ガラスの平均組成は、一部の粒子で分化が進んでいることからバリエーションがあるものの、すべての粒子タイプで、大部分が $\text{SiO}_2 = 65\%$ 付近に集中している。分化のトレンドも共通している。

以上をまとめると、新燃岳2011年噴火では、マグマ水蒸気爆発、準プリニー式噴火、ブルカノ式噴火および小規模灰噴火と、噴火様式が変化したにも関わらず、どの噴火様式の噴出物でも、構成粒子の組み合わせとその化学的特徴は共通であることが明らかになった。特に発泡粒子は、含有量が噴火により増減しているものの、すべての噴出物に含まれている。このことは、いずれの噴火様式でも、同一の新鮮なマグマが浅所まで上昇し、噴出物として放出されていることを示している。ブルカノ式噴火においても、例えば溶岩ドームやキャップロックの破壊によってのみ噴火、火山灰粒子の形成が行われているのではなく、準プリニー式噴火と同様に、発泡した新鮮なマグマが下部から上昇し、噴出しているとみられる。

キーワード: 霧島火山, 新燃岳, 2011年噴火, 火山灰, 構成粒子, 噴火様式

Keywords: Kirishima volcano, Shinmoedake, 2011 eruption series, ash deposit, grain composition, eruption style



## 霧島火山新燃岳 2011 年 3-6 月の小規模噴火の岩石学的特徴とマグマ混合過程 Petrological characteristics and magma mixing of minor eruptions in 2011 at Shinmoedake, Kirishima volcano, Japan

齋藤 元治<sup>1\*</sup>  
SAITO, Genji<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 産業技術総合研究所 地質調査総合センター

<sup>1</sup> Geological Survey of Japan, AIST

The 2011 eruption of Shinmoedake, Kirishima volcanic group, Japan, started with phreatomagmatic eruptions on 19 January. The eruptive activity was culminated with the sub-Plinian eruptions on 26-27 January, followed by lava effusion within the summit crater. Vulcanian explosions and minor ash emissions together with degassing activity from the summit crater occurred intermittently from February to September. Petrological studies on the eruptive products in January and February indicated that input of mafic magma to a magma chamber just before the sub-Plinian eruptions (e.g., Geshi et al., 2011; Saito et al., 2011; Tomiya et al., 2011). The products of the minor eruptions also contained essential material (Oishi et al., this JpGU meeting) but the origin of the material was not clear.

In this study, the essential products of the minor eruptions in March to June were analyzed to know their petrological characteristics and the eruption process. The samples are ash particles of the eruption on 13 March (March-ash), lapilli of the eruption on 18 April (April-lapilli) and pumiceous and scoriaceous ash particles (P- and S-types; Oishi et al., 2012) of the eruption on 29 June (June-ash). Mode composition, chemical composition of phenocrysts and groundmass minerals, zoning profiles of olivines and bulk composition of groundmass were analyzed using EPMA.

Phenocryst contents of March-ash, and April-lapilli (34 vol%) are slightly higher than that of pumices of the sub-Plinian eruptions (26-28 vol%). Chemical composition of groundmass of March-ash and April-lapilli have slightly SiO<sub>2</sub> and K<sub>2</sub>O-rich composition (65-67 wt.% SiO<sub>2</sub> and 3 wt.% K<sub>2</sub>O) than that of the pumices of the sub-Plinian eruptions (61-62 wt.% SiO<sub>2</sub> and 2 wt.% K<sub>2</sub>O). P- and S-type June-ash have similar groundmass composition to that of the pumice of the sub-Plinian eruptions. Plagioclase, clinopyroxene, orthopyroxene of phenocrysts and groundmass minerals of March-ash, April-lapilli and P and S types of June-ash have similar chemical composition to the sub-Plinian eruptions. Two-pyroxene thermometry applied to the March-ash and April-lapilli samples gave 960-970 degree C, that was similar to the estimates for the magmas erupted January and February. Core compositions of olivine phenocrysts of all samples are similar, but March-ash and April-lapilli have slightly Fo-poor rims.

Similar chemical compositions of phenocrysts, groundmass minerals and groundmass of the eruptive products to those of the sub-Plinian eruptions indicated that magma mixing process proposed for the sub-Plinian eruptions occurred in March to June. Slight variation in the groundmass composition and mode composition from March to June could be caused by change of mixing ratios between mafic and felsic magmas. Assuming that the normal zoning in the rim of the olivines was produced by the magma mixing event, the residence time of the olivines was 5-30 days for March-ash and 2-20 days for April-lapilli. The residence time is similar or a little longer than that estimated for the eruptions in January and February (1-10days). These results suggest that the mafic magma input to felsic magma intermittently occurred after the sub-Plinian eruptions to cause the minor eruptions in March to June.

キーワード: 霧島火山, 新燃岳, 2011 年噴火, 岩石学, マグマ混合, かんらん石

Keywords: Kirishima volcano, Shinmoedake, 2011 eruption, petrology, magma mixing, olivine



## 霧島火山群・新燃岳の先史時代の噴火について Prehistorical volcanic stratigraphy of Shinmoedake in the Kirishima volcanic complex

田島 靖久<sup>1\*</sup>

TAJIMA, Yasuhisa<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 日本工営

<sup>1</sup>Nippon Koei Co., LTD.

霧島火山群・新燃岳では、2011年1月の本格的なマグマ噴火によって降下軽石(テフラ)が堆積した。昨年、享保軽石と前山軽石の間に2層の溶岩があることを報告した(田島・他, 2011)。その後の調査によって前山軽石としたテフラは、2層に分けられることが明らかになったため報告する。新燃岳を起源とする降下軽石として、瀬田尾、前山、新燃岳(享保)軽石が知られている(井ノ上, 1988)。また、享保軽石より後に2回のマグマ噴火の可能性が議論されているが(井村・小林, 1991)、水蒸気噴火であった可能性も指摘されている(筒井・他, 2006)。昨年報告した新湯林道付近に見られる降下軽石は、享保軽石とアカホヤ火山灰の間の前山軽石と同じ層準にあった。しかし、新燃岳の北東に主軸が推測される前山軽石(井ノ上, 1988)に対して、分布の主軸が北に偏るなど整合しない結果も得られていた。昨年の発表では新燃岳を起源とする以外に積極的な証拠がないことより前山軽石と称した。念のために北方の林道においてテフラ直下土壌のC14年代測定を実施した。その結果、前山軽石より若い $4030 \pm 20$  yrBPの値が得られた。分布に加え年代も異なっていたため新燃岳の北～西に分布する降下軽石を新湯テフラとし、前山軽石と区別した。さらに、新湯軽石の上位には新燃岳を起源とする火山砂が2層見られ、その年代測定を実施した。下位の火山砂直下の土壌より $2635 \pm 20$  yrBP、上位の火山砂直下の土壌より $2305 \pm 20$  yrBPの年代が得られた。新湯テフラは、新湯林道の西方の大浪池と韓国岳の間の鞍部で、えびの高原を起源とするDテフラの直下に見られる。Dテフラは4.5 kaの年代が得られていることからこの結果は妥当と言える。即ち、5.6 cal ka BP(奥野, 2002)の前山軽石より、新しい時代に噴火した降下軽石を新たに確認した。田島・他(2011)で示したRyL-A、RyL-B溶岩は新湯テフラの上位にあり、火山砂の堆積年代はこれら溶岩の噴出年代を示す可能性が高い。

以上の結果は、新燃岳の活動を考える上で次のような示唆を与える。新燃岳では2011年噴火以前には10.4 cal ka BP、5.6 cal ka BP、AD 1716-17が明らかなマグマ噴火の活動と言える。本調査結果から5.6 cal ka BPより若い時代に4.5 cal ka BP、2.8 cal ka BP、2.5 cal ka BPのマグマ噴火が加わった。加えて、享保軽石 - AD 1822の間に火口底を埋める溶岩が噴出したことが知られており(井村・小林, 1991)、角閃石を含むなど享保軽石と性質が異なる。本調査によって前山軽石から享保軽石の間に3回以上のマグマを噴出する活動があったことが明らかになった。新燃岳は、従来考えられてきたより高頻度でマグマ噴火をする火山と言える。また、新湯テフラとK-Ahテフラの間には、化学組成の異なる溶岩が複数あり、高い頻度でマグマを噴出する傾向は新湯テフラ以前にも延長できる可能性がある。ただし、これらの噴火間隔は必ずしも一定でなく、活動が集中する時期と少ない時期を繰り返している。2011年噴火とその前のマグマ噴火までの間隔は300～200年であり、享保軽石とその前の噴火までの間隔は2000年以上と推定され、近年は活動が集中する時期のようにも見える。4.5 cal ka BP頃には、霧島火山群東部では御池軽石(MiP)、中央部では新湯テフラ、西部ではえびのDテフラが噴出した。霧島火山群では近い時期に異なる火口で活動が生じることも考慮する必要がある。

年代測定はパレオ・ラボ社の『災害履歴解明のための研究助成』によるものである。鹿児島大学の小林哲夫博士との議論が有益であった。厚く御礼申し上げます。

キーワード: 新燃岳, 降下軽石, 先史時代, 年代測定, 霧島, 長期活動

Keywords: Shinmoedake, pumice fall, prehistorical eruptions, C14 age, Kirishima, long term activity

## 霧島火山群・新燃岳享保噴火(1716-17年噴火)のマグマシステム:2 Magma systems of the Kyoho eruption in Shinmoe-dake volcano, Kirishima volcanoes: 2

宮本 毅<sup>1\*</sup>MIYAMOTO, Tsuyoshi<sup>1\*</sup><sup>1</sup> 東北大学東北アジア研究センター<sup>1</sup> Center for Northeast Asian Studies, Tohoku University

2011年1月に噴火を開始した新燃岳の活動は現在小康状態を保っているが、マグマ溜りへのマグマの供給は続くなど今後の活動再開が懸念されている。2011年噴火はマグマ組成や噴火推移が1716-17年の享保噴火とよく類似することから、享保噴火のマグマや噴火過程を理解することは今後の活動予測に対し重要な知見を与えられと考えられる。本報告では宮本(2011年火山学会秋季大会)にその後の分析結果を加え、享保噴火噴出物をもたらししたマグマシステムについて検討する。

享保噴火噴出物は8つのユニット(Sm-KP1<sup>7</sup>, Sm-MP)に区分される(井村・小林, 1991; 筒井・小林, 2011)。享保噴火の軽石は全ユニットを通じて黒灰色と黄色の軽石からなり、黒灰色軽石がその大部分を占める。全岩組成でみると黒灰色軽石はSiO<sub>2</sub>=57-58.5wt.%, 黄色軽石はSiO<sub>2</sub>=62wt.%で、両者の間には明瞭な組成ギャップが存在する。肉眼レベルでの綿状軽石はあまり顕著ではないが、いずれの軽石も数mm~数十μmの不均質な組織をもち、黒灰色と黄色が混交している特徴が観察される。

享保噴火噴出物の斑晶鉱物組み合わせは斜長石(Pl)・単斜輝石(Cpx)・斜方輝石(Opx)・磁鉄鉱(Mt)・チタン鉄鉱(Ilm)である。2011年の混合軽石中ではかんらん石(Ol)斑晶の存在が報告されているが(鈴木ほか, 2011)、享保噴火噴出物ではSm-KP4相当の火砕流堆積物中の黒灰色軽石にのみ遊離したOl斑晶が認められる。

黒灰色軽石中のOpx斑晶コア組成はMg<sup>#</sup><sub>64-66, 73-76</sub>のバイモーダルな分布を示すが、いずれもリム組成はMg<sup>#</sup><sub>72-74</sub>であり、低MgのOpx斑晶には厚い逆累帯したリムが発達する。Opx斑晶のリム部において組成累帯が複数回認められる結晶も含まれる。Cpx(Mg<sup>#</sup><sub>68-75</sub>)はOpxのようなコア組成でのバイモーダルな分布は顕著ではないが、正累帯・逆累帯を示す両方の輝石が存在する。Pl斑晶コア組成も同様にCaに富むPl(An<sub>80-90</sub>)とCaに乏しいPl(An<sub>75-50</sub>)の2種類からなり、Caに乏しいPlはリムで逆累帯を示す。以上の特徴から享保噴火の主体である黒灰色軽石はマグマ混合による産物であるといえる。Fo<sub>77-80</sub>のOl斑晶をもつSm-KP4の軽石では、他よりもMgに富んだCpx(Mg<sup>#</sup><sub>78-81</sub>)を含み、このMgに富むCpxとOl斑晶は平衡に共存しうる。他のOpxとCpxはOlとは平衡関係ではないことを考慮すると、苦鉄質マグマ起源の苦鉄質斑晶はかんらん石、Mgに富む単斜輝石であると考えられ、バイモーダルな分布を示す高いMg<sup>#</sup>の輝石は混合後のマグマに由来する。軽石中で不均質な組織を示す場合、黄色部分に含まれる輝石斑晶には組成累帯がほとんど認められず、均質な組成を示す。また、Pl斑晶はCaに乏しいものが主体である。

享保噴火の混合マグマの端成分は珪長質側で兎の耳溶岩、苦鉄質側で夷守岳溶岩に類似する(宮本, 2011)。苦鉄質側端成分についてFo<sub>77-80</sub>のかんらん石と共存する条件を考慮するとSiO<sub>2</sub>=52.5wt.%と推定され、2011年噴火で推定された苦鉄質端成分(SiO<sub>2</sub>=54wt.%; 鈴木ほか, 2011)よりもやや未分化である。

享保噴火では苦鉄質端成分マグマは噴出されておらず、軽石中に認められる不均質な構造から珪長質端成分マグマ(黄色軽石)と混合マグマ(黒灰色マグマ)が同時に噴出されたといえる。この点に加え、混合マグマ中では苦鉄質端成分に由来するかんらん石斑晶が大部分の試料において認められない点、輝石斑晶での逆累帯を示す厚いリムやMg<sup>#</sup>の反復累帯は、噴火開始以前にはすでに混合マグマは生産されていたことを示唆していると考えられる。磁鉄鉱斑晶では斑晶コア-リム間のUsp成分で最大0.08の差を示し、噴火の直前に高温マグマの注入が行われた可能性が高い。しかし、その程度も個々の結晶間で異なり、2011年噴火での現在のような連続的なマグマの注入が行われていたことを示唆する。一方、軽石中にみられるMtの斑晶コア組成の方が個々の結晶内でみられるよりもUsp成分で0.1-0.18と広い組成幅を示す。このような結晶間の不均質は、噴火前のマグマ溜り内においてMt組成に反映される温度や化学組成などの不均質構造が存在していたことを示唆している。噴火が開始した際にはこのような不均質なマグマが混合して噴出したと考えられるが、黒灰色軽石の組成のばらつきがそれほど広くないことを考えると化学組成の不均質よりも温度や酸素分圧などの不均質に起因するのかもしれない。マグマ溜りに注入され底付けされた苦鉄質マグマに由来するかんらん石斑晶が含まれないことは、後から注入された苦鉄質マグマは上位の混合マグマが厚いために噴出した混合マグマとは直接混ざり合っていないことを示唆しているのではないだろうか。そう考えると2011年噴火でかんらん石斑晶が含まれるのは、上位の混合マグマの量が享保噴火によって少なくなったことを指しているのかもしれない。その場合には今後の活動ではかんらん石斑晶の増加とともに組成が苦鉄質に変わっていくことが考えられる。

キーワード: 霧島火山群, 新燃岳, 享保噴火, マグマ混合, 2011年噴火

Keywords: Kirishima volcanoes, Shinmoe-dake, Kyoho eruption, magma mixing, 2011 eruption

## 十和田火山平安噴火におけるマグマ噴火 - マグマ水蒸気噴火推移と本質物質の発泡度推移 Magmatic-phreatomagmatic transition and vesicularity change in Heian eruption of Towada Volcano

広井 良美<sup>1\*</sup>, 宮本 毅<sup>2</sup>

HIROI, Yoshimi<sup>1\*</sup>, MIYAMOTO, Tsuyoshi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東北大・院理, <sup>2</sup> 東北大・東北アジア研セ

<sup>1</sup> Grad.Sci.Tohoku Univ., <sup>2</sup> CNEAS., Tohoku Univ.

### 1. はじめに

火山噴火において噴火様式がマグマ噴火及びマグマ水蒸気噴火のいずれになるのかはマグマに対する外来水の量比の変化に依存し、マグマ水蒸気噴火はマグマと外来水の量比がある一定の範囲にあるときに発生すると考えられている (Wohletz and McQueen, 1984). しかしこれは苦鉄質マグマの場合のことで (Kato et al., 1997), 珧長質マグマによる爆発的噴火の場合は既に発泡破碎したマグマが外来水と接触する場合もあるため、破碎度合いによる接触面積の違いも噴火様式と関わってくると考えられる (山元, 1989). 本研究では噴出物の発泡度合いを基にマグマ噴火 - マグマ水蒸気噴火推移におけるマグマ - 水比以外の噴火様式を変化させる要因について検討する.

### 2. 十和田火山平安噴火のマグマ噴火 - マグマ水蒸気噴火推移

十和田火山平安噴火はマグマ噴火から開始し、流紋岩質マグマによるマグマ噴火とマグマ水蒸気噴火を交互に繰り返した (広井・宮本, 2010). 給源は中湖カルデラであるが (工藤, 2010), 噴火開始時の中湖カルデラには明瞭な火口地形が存在していたと考えられ、初期の噴出物中に外来水との接触を示唆するカリフラワー状軽石 (Heiken, 2006) が存在することからも、平安噴火ではマグマが湖水中を通過して噴出した可能性が高い.

平安噴火最初のユニットである OYU-1 はプリニー式噴火による降下軽石堆積物であり、ユニットを通じて粒径の変化がほとんど見られず、噴出率は一定であったと考えられる. また粒径は噴煙柱高度に依存し、噴煙柱高度は外来水の量比によって影響を受けるため (Koyaguchi and Woods, 1996), OYU-1 噴出中のマグマ - 水比はほぼ変化していないとみなせる. OYU-1 の噴出開始後、数時間でマグマ水蒸気噴火によるベースサージ堆積物のユニット OYU-2 へ推移するが、両者の境界は明瞭であり、噴火様式の推移は速やかに生じている.

### 3. 噴火推移と本質物質の発泡度変化

珧長質マグマにおけるマグマ水蒸気噴火の典型例である phreatoplinian 噴火では細粒火山灰に富む噴出物が生産され (Self and Sparks, 1978), 大きく成長した気泡が破碎した際の気泡壁の一部である平板状の火山ガラスが卓越することが報告されている (Heiken and Wohletz, 1985). 広井・宮本 (2011) では平安噴火噴出物の火山ガラスの形状を大きな気泡に由来するものと小さな気泡から成るものとに分類し、噴火の進行に伴い大きな気泡による火山ガラスの比率が上昇しているのを確認した.

火山ガラスでは大きな気泡の比率が増加することから OYU-1 から OYU-2 への軽石の発泡度の上昇が推測されるが、マグマ噴火噴出物に含まれる軽石は高発泡、マグマ水蒸気噴火では低発泡となることが報告されている (Heiken and Wohletz, 1985). 平安噴火噴出物の軽石密度測定結果からも OYU-1 の軽石は密度が低く、OYU-2 の軽石は密度が高いという同様の差異が見られ、火山ガラスの気泡サイズから推測される発泡度と矛盾する結果が得られた. この矛盾についてはマグマ水蒸気噴火の OYU-2 は外来水の影響が大きく、軽石は急冷されてそれ以降発泡できなかったのに対し、OYU-1 は水の影響が小さかったことでマグマ噴火となり、軽石は水との接触後も継続して発泡したと考えられる. 軽石内部に対して軽石表面の発泡組織はマグマの発泡破碎時に近い組織を保持していると考えられることから、火山ガラスが示す気泡の成長度と軽石密度が示す発泡度の矛盾の原因を検討するために軽石の表面形状について大きな気泡から成る領域と小さな気泡から成る領域とに分類を行った. その結果、噴火の進行に伴い大きな気泡から成る領域の面積が増加し (OYU-1 下部:25%, 上部 58%, OYU-2 下部:53%, 上部:62%), 火山ガラスと同様に発泡度が上昇している様子が確認できた. しかし火山ガラスの場合とは異なりその変化は連続的ではなく、OYU-1 から OYU-2 へ推移する際に一度減少し、その後再び増加する. このことから元々火山ガラスと同様に連続的に上昇していた発泡度が、マグマ噴火の軽石では外来水との接触後も発泡が継続することによりさらに上昇し、表面においても組織改変が生じていた可能性が示唆される.

### 4. まとめ

以上のことから、従来報告されていたマグマ水蒸気噴火噴出物における細粒火山ガラスの特徴と軽石密度との相違について、細粒火山ガラスは発泡破碎時の情報を保持しているのに対し、マグマ水蒸気噴火の粗粒軽石は外来水との接触直前まで、マグマ噴火の粗粒軽石は噴出後までの組織改変を伴っている可能性が示唆される. 加えて、細粒火山ガラス



# Japan Geoscience Union Meeting 2012

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

©2012. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



SVC50-P44

会場:コンベンションホール

時間:5月24日 15:30-17:00

によって示される噴火の進行に伴う気泡の成長は外来水との接触面積を増加させ、効率的な熱伝達を可能にすることでマグマ水蒸気噴火の発生に寄与していると考えられる。

キーワード: マグマ噴火, マグマ水蒸気噴火, 発泡度, 細粒火山ガラス, 粗粒軽石, 珪長質噴火

Keywords: magma eruption, phreatomagmatic eruption, vesicularity, fine-grained shards, coarse-grained pumice, felsic eruption