

精密水準測量で検出された霧島・硫黄山周辺の地盤上下変動 (2012年~2016年)

Precise Leveling survey around mount Io, Kirishima Volcano (2012 - 2016)

*松島 健¹、内田 和也¹、宮町 凜太郎¹、藤田 詩織¹、中元 真美¹、森 濟²、村瀬 雅之³、大倉 敬宏⁴、井上 寛之⁴

*Takeshi Matsushima¹, Kazunari Uchida¹, Rintaro Miyamachi¹, Shiori Fujita¹, Manami Nakamoto¹, Hitoshi Y. Mori², Masayuki Murase³, Takahiro Ohkura⁴, Hiroyuki Inoue⁴

1.九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、2.北海道大学大学院理学研究科 附属地震火山研究観測センター、3.日本大学文理学部 地球システム科学科、4.京都大学大学院理学研究科 附属地球熱学研究施設

1.Institute of Seismology and Volcanology, Faculty of Science, Kyushu University, 2.Institute of Seismology and Volcanology, Faculty of Science, Hokkaido University, 3.Department of Geosystem Sciences, College of Humanities and Sciences, Nihon University, 4.Institute for Geothermal Sciences, Graduate School of Science, Kyoto University

はじめに

2011年の九州南部にある霧島・新燃岳のマグマ噴火以来、霧島連山の火山活動は静穏な状況が続いていたが、2013年12月以降新燃岳から北西に約5km離れたえびの高原(硫黄山)周辺で火山性地震の発生が多くなり、2014年8月には硫黄山付近を震源とする火山性微動が発生し、同時に傾斜変動も観測された。さらに2015年12月からは硫黄山山頂部に地熱地帯が出現し、火山性ガスの噴出も始まった。

硫黄山は16~17世紀にえびの高原東部に噴出したデイサイト質の溶岩からなる溶岩流の噴出孔で、山頂部では1962年まで硫黄の採掘も行われていたが、近年は急速にその火山活動が衰えていた。

霧島火山地域においては、1968年に水準路線が東京大学地震研究所により設置され、その後何度か測定が行われてきており、硫黄山の収縮沈降現象が観測されている(小山他, 1991, 火山学会B06)。小澤他(2003, 火山第48巻)は干渉SARを用いて、硫黄山の局所的な沈降を報告している。

我々は2013年末からのえびの高原付近の火山活動の活発化は新たなマグマ活動であると考え、このマグマ貫入に伴う地殻変動を詳細に把握するために、えびの高原付近の水準測量を実施した。

データと方法

2011年の新燃岳の噴火直後から、北海道大学を中心として、えびの市~えびの高原~霧島新湯温泉の約25kmの区間で3回の水準測量が実施され、2012年3月に最後の測定が行われていた(森他, 2012, JpGU SVC50 P31)。

我々は2015年6月にこの路線に含まれるえびの高原付近~霧島新湯三叉路間の約8km区間の再測定を実施するとともに、硫黄山方向に約2.5kmの路線を新設した。また、地表の噴気活動が確認された直後の2015年12月19~22日にもえびの高原付近の上下変動の再測量を実施した。測量方法は各水準点間の往復測量で、その往復差は一等水準測量の許容誤差を満たすようにした。2015年6月の測量における1km当たりの平均自乗誤差は $\pm 0.38\text{mm/km}$ であり、2015年12月の測量では $\pm 0.41\text{mm/km}$ と高精度であった。

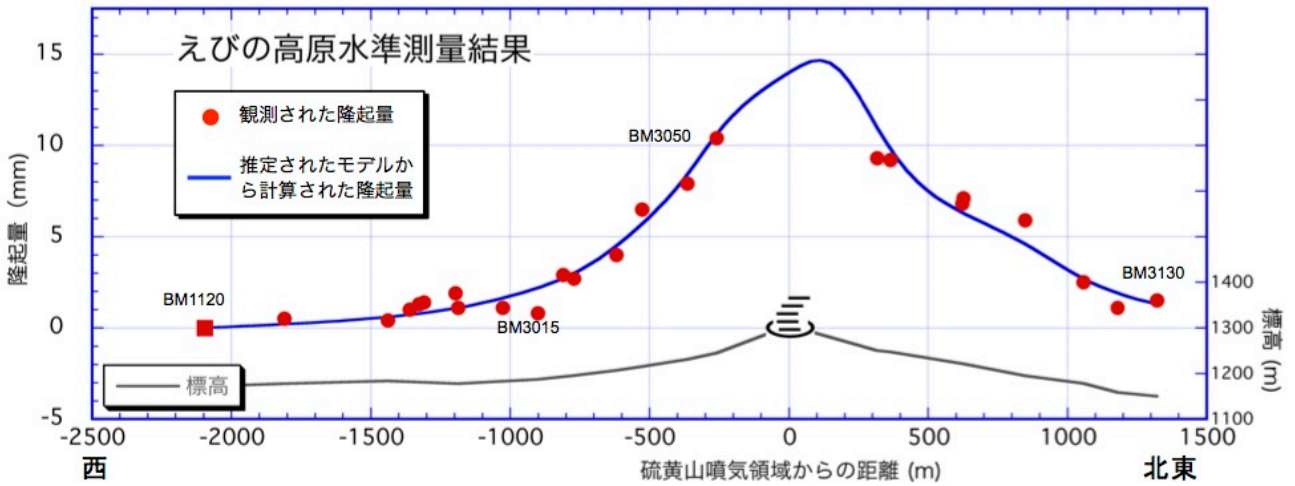
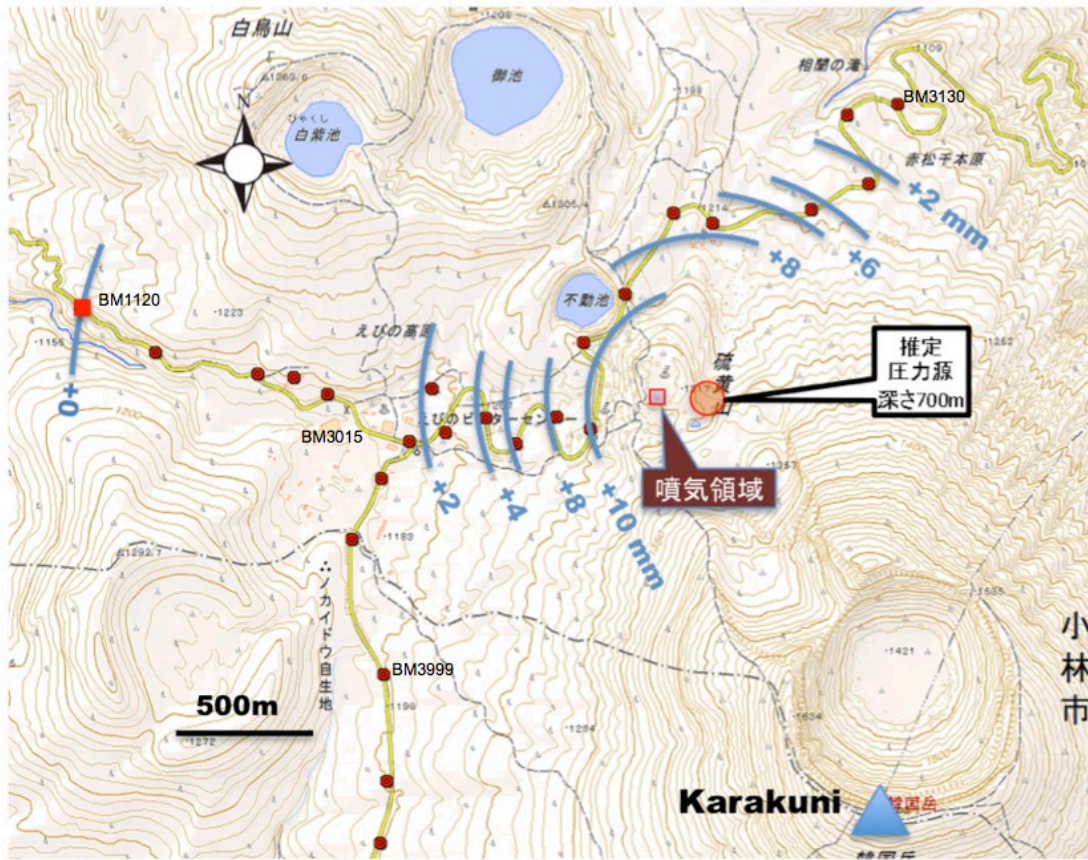
測量結果

水準路線西縁の水準点BM1120を基準とし、各水準点における2015年6月測定値と12月測定値の差を図に示す。隆起量は、えびの三叉路(BM3015)から硫黄山に近づくにつれて大きくなり、硫黄山西登山口(BM3050)で最大10.4mmの隆起が記録されたあと、峠を越えると隆起量が徐々に小さくなり、路線北東端のBM3130でほぼ0mmに戻っている。

MaGCAP-V(気象研究所)を使用し、標高補正した茂木モデルをグリッドサーチにより求めた。その結果、 $3.1 \times 10^4 \text{m}^3$ の増圧源が硫黄山噴気領域の東150m、標高600mの地点に推定された。このモデルから計算される上下変動量は、防災科学技術研究所が干渉SAR解析により求めた地殻変動量と調和的である。また圧力源の深さは、Aizawa *et al.* (2013)が推定している低比抵抗層(難透水層)の下面に相当する。

キーワード：霧島火山、硫黄山、えびの高原、精密水準測量、火山性地殻変動

Keywords: Kirishima Volcano, Mount Io, Ebino Plateau, Precise Leveling Survey, Volcanic Ground Deformation



先行する地盤膨張に基づく桜島昭和火口爆発の発生時刻及び規模の確率的予測

Probabilistic Prediction of Vulcanian Eruptions at the Showa Crater of Sakurajima Based on Ground Inflation

*井口 正人¹*Masato Iguchi¹

1. 京都大学防災研究所火山活動研究センター

1. Sakurajima Volcano Research Center, Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

1. はじめに 桜島の昭和火口では 2009 年以降、ブルカノ式噴火が多発している。ブルカノ式噴火に先行して、有村観測坑道（火口から 2.1 km）においては、傾斜計の火口側隆起の変化は顕著ではないが、伸縮計の火口と直交方向において伸張、火口方向において収縮のひずみ変化が検出される。これは、火口直下 1.5 km 以浅の力源の膨張によるものである。2009 年から 2014 年までに 4953 回のブルカノ式噴火が発生したが、地盤変動を検出できたのは 4422 回であり、89%の爆発について、その前兆的な変動を検出できている。本研究では、先行する膨張時間と規模の頻度分布を調べた。

2. 先行膨張時間 爆発に先行する伸縮計の変化の継続時間は 2 分から最長 1874 分（約 29 時間）の範囲にある。最長の継続時間を示したのは、2009 年 4 月 9 日 15 時 29 分の昭和火口の爆発、次いで、2012 年 7 月 24 日 19 時 15 分の南岳の爆発に先行する 1313 分（約 21 時間）である。12 時間を超える膨張を継続した後、爆発した例は 14 回ある。先行膨張時間の 10 分毎の頻度分布を調べたところ、最も頻度が高いのは 20 分～30 分であり、598 回の爆発が発生した。膨張時間が長くなると頻度はゆるやかに減少する。頻度分布の右裾が広がる典型的な対数正規分布を示す。膨張開始から 30 分以内に爆発が発生するのは 31%であり、50 分以内では 51%、さらに 150 分以内では 90%となる。膨張開始直後では 100 分以内に爆発が発生する確率は 78%であるが、膨張開始から 50 分が経過した時点では、その後 100 分以内に発生する確率は 83%と高まる。対数正規分布を確率関数として、発生時刻を確率的に予測することが可能である。

3. 先行膨張量 火口と直交方向の伸縮計により観測されたひずみ変化量の頻度分布は 5～10 ナノストレインの量のもものが最も多い。変化量が大きくなるに従って減少し、対数正規分布を示す。最も大きかったのは 2009 年 4 月 9 日の昭和火口の爆発に先行する膨張イベントであり、96 ナノストレインに達した。

4. 平均膨張率 膨張時間が長いほど、膨張量は大きくなる正の相関が認められる。先行時間で割った平均膨張率には上限があり、0.7 ナノストレイン/分と見積もられる。平均膨張率も対数正規分布を示し、対数平均は 0.17 ナノストレイン/分である。

5. 爆発に先行する膨張変動量と爆発に伴う収縮変動量の関係 膨張量と収縮量の比の対数 (Z) は平均値を -0.1 とする対数正規分布を示す。 Z が -0.3～0.3 となるものが 68%を占め、この範囲にあるものは 0.5 倍から 2 倍の誤差で、先行膨張量から爆発に伴う収縮量を予測することが可能である。

キーワード：ブルカノ式噴火、先行膨張、確率的予測

Keywords: vulcanian eruption, precursory inflation, Probabilistic forecasting

桜島火山における2015年1~6月と2015年8月15日の地盤変動イベント比較

Comparison between ground deformation events at Sakurajima from January to June 2015 and on August 15, 2015

*堀田 耕平^{1,2}、井口 正人²、大倉 敬宏¹、山本 圭吾²、為栗 健²

*Kohei Hotta^{1,2}, Masato Iguchi², Takahiro Ohkura¹, Keigo Yamamoto², Takeshi Tameguri²

1.京都大学大学院理学研究科、2.京都大学防災研究所

1.Graduate School of Science, Kyoto University, 2.DPRI, Kyoto University

We applied some source models to the ground deformations in different stages of volcanic activity of Sakurajima to make clear style and process of magma intrusion.

One is slow ground inflation with highly eruptive activity at the Showa crater during the period from January to June 2015 (first-half 2015 event). This event is similar to that during the period from October 2011 to March 2012 (2011 event). A pressure source analysis based on Mogi model (Mogi, 1958, BERI) during the 2011 event revealed inflation sources to be located at a depth of 9.6 km below sea level beneath the Aira caldera and 3.3 km below sea level beneath Kita-dake, and a deflation source is located at a depth of 0.7 km below sea level beneath Minami-dake (Hotta et al., 2016, JVGR). The characteristics of ground deformation during the first-half 2015 event is similar to that of the 2011 event, and inflation sources beneath Aira caldera and Kita-dake and a deflation source beneath Minami-dake are considered.

The other is much rapider and larger ground deformation on August 15, 2015, when eruptive activity was decreasing from July 2015 (August 2015 event). The pattern of horizontal displacement during the period from August 14 to 16, 2015 shows a WNW-ESE extension, which suggests a tensile fault. A nearly vertical dike with a strike of NNE-SSW is obtained at a depth of 1.0 km below sea level beneath Minami-dake. The length and width are 2.3 km and 0.6 km, respectively. The opening 1.97 m yields its volume increase +2.7 million cubic meters (Hotta et al., under revision, EPS).

Associated with the August 2015 event, 887 volcano-tectonic (VT) earthquakes occurred beside the dike, differently from the first-half 2015 event while only 63 VT earthquakes occurred for the 6 months. Half of the total amount of deformation of the August 2015 event was concentrated from 10:27 to 11:54. It is estimated that the intrusion rate of magma was 1 million cubic meters per hour during the period. This rate is 200 times larger than that of magma intrusion rate beneath Minami-dake prior to the vulcanian eruption on July 24, 2012 (5 thousand cubic meters per hour; Iguchi, 2013, Study on volcanic eruption process by multi-parameter observation at Sakurajima). The quite rapid intrusion rate caused extremely high-rate accumulation of strain in surrounding rocks, and this forced significant increase in seismicity. The first-half 2015 event is considered to be a process of magma accumulation and migration among the pre-existing spherical reservoirs, similarly to the previous activities such as the 2011 event. Conversely, the August 2015 event is dike-creating event at a different place from the pre-existing reservoir beneath the Showa crater, and magma stopped at a shallow depth of 1.0 km. The direction of the opening of the dike coincides with the T-axes of the VT earthquakes at the SW flank and is influenced by tectonic stress around the Sakurajima volcano. The VT earthquakes at the SW flank during the periods of 1976-1978 and 2003-2004 are inferred to be the magma pass from southwestern part of Sakurajima (Kamo, 1989, Proceedings of Kagoshima International Conference on Volcanoes) and vertical tensile crack that across Sakurajima from NE to SW (Hidayati et al., 2007, BVSJ), respectively. The first-half 2015 event was accompanied by the VT earthquakes at the SW flank during the period from March 31 to early April, 2015, similarly to 1976-1978 and 2003-2004. Magma might migrate beneath the dike intruded on the August 2015 event along the magma pass from southwestern part of Sakurajima or

along vertical tensile crack that across Sakurajima from NE to SW accompany with the swarm of VT earthquakes at the southwestern part of Sakurajima in the first-half 2015 event.

キーワード：桜島火山、地盤変動、測地データ、火山構造的な地震

Keywords: Sakurajima volcano, ground deformation, geodetic data, VT earthquake

桜島有村における相対重力連続観測：ダイク貫入イベント時の傾斜・重力変化

Continuous relative gravity observation at Sakurajima Volcano: Tilt and gravity changes during the dike intrusion event

*風間 卓仁¹、山本 圭吾²、井口 正人²

*Takahito Kazama¹, Keigo Yamamoto², Masato Iguchi²

1.京都大学理学研究科、2.京都大学防災研究所

1.Kyoto University, 2.DPRI, Kyoto University

桜島火山では2015年8月15日に山頂直下を震源とする火山性地震が多発し、山体膨張を示す急激な地殻変動が観測された(気象庁, 2015)。また、測地学的な観測によると、この地殻変動は南北方向に走向を持つ矩形ダイクの開口によって説明できることが分かっている(国土地理院, 2015)。このような変動をもたらす要因には、地下深部から供給を受けた火山性流体の上昇が考えられる。しかしながら、地震観測や地殻変動観測では火山性流体の密度を特定できないので、ダイク中に満たされた物質の組成については十分理解されていない。

そこで本研究は、有村(昭和火口の南南東2.1 km)で観測された相対重力および傾斜の連続観測データを用い、2015年8月15日のダイク貫入イベント時における質量移動機構について議論する。本研究で使用するデータは、Scintrex CG-3M型相対重力計によって有村観測坑道局舎で観測された1分間隔の相対重力値および傾斜値(2成分)である。なお、生データには複数の擾乱が含まれていたが、適切な方法によって補正済みである(詳細は「重力・ジオイド」セッションにて講演予定)。

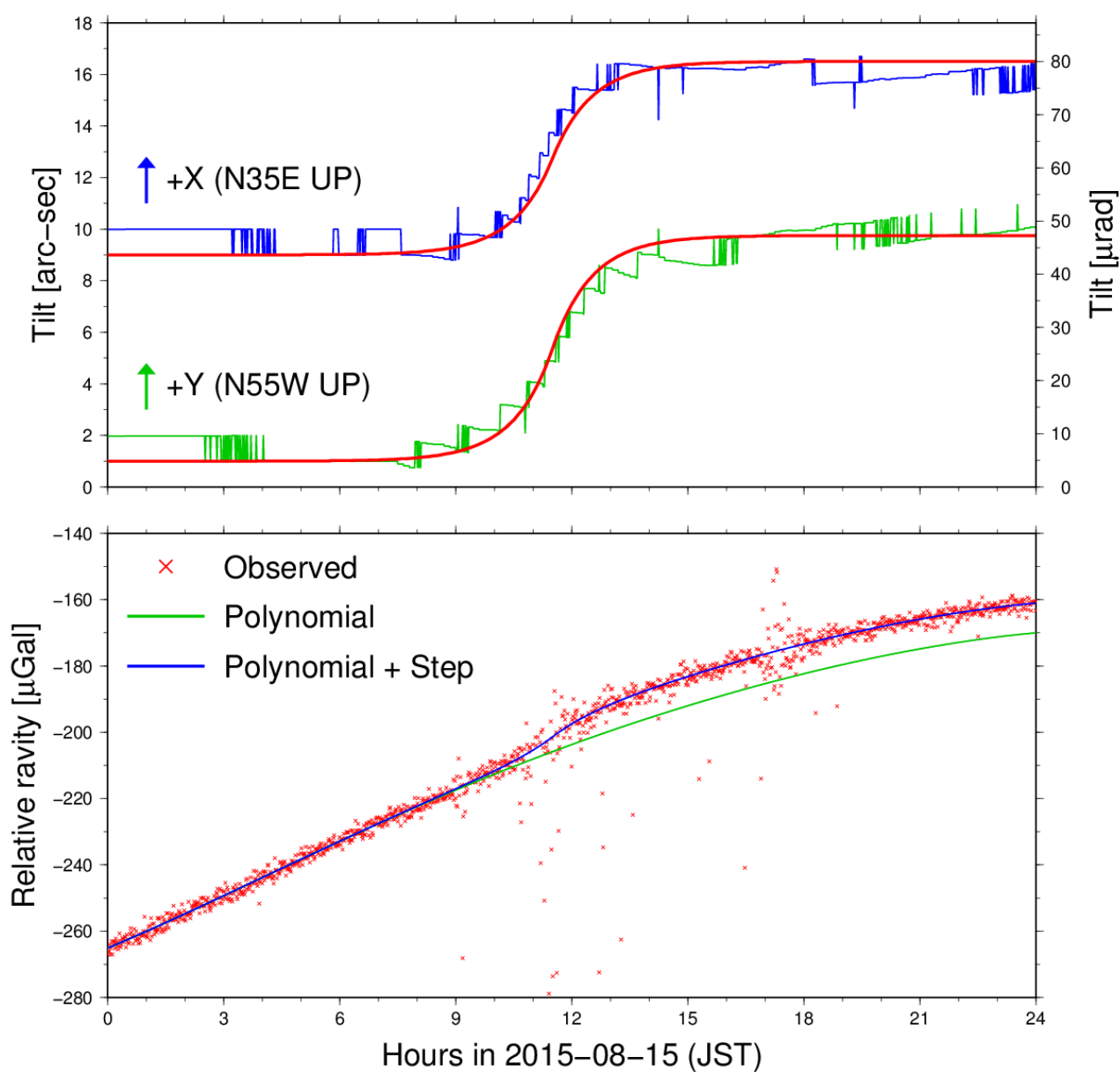
【傾斜変化】添付図上側の青線および緑線は、CG-3M重力計で観測された2015年8月15日の傾斜変化(それぞれN35E方向およびN55W方向)である。両者の値とも昼ごろに急激に上昇していることから、有村から見て北方向(すなわち火口方向)が隆起したことが分かる。これらの傾斜変化を $\exp(x)$ [$x < 0$]および $2 - \exp(-x)$ [$x \geq 0$]の形状を持つ関数で回帰すると、傾斜変化の振幅は+36 micro-rad (N35E方向)および+42 micro-rad (N55W方向)、時定数は1.0 hour、傾斜変化速度が最大となる時刻は日本時間の11時30分であった。また、この傾斜変化のベクトル和は56 micro-radであり、有村観測坑道内の水管傾斜計で観測された傾斜変化(気象庁, 2015)の65%に相当することが分かった。

【相対重力変化】添付図下側の赤線はCG-3M重力計で観測された2015年8月15日の相対重力変化である。活発な地震活動に伴って重力データが大きくばらつく時間帯があるものの、数日周期の器械ドリフトの中にステップ的な重力変化が確認できる。そこで、器械ドリフトを多項式で、およびステップ的な重力上昇を上述の指数関数で再現すると、重力上昇量はpeak-to-peakで+9 micro-Galと計算された。一方、同じく有村観測坑道局舎で観測された絶対重力変化は-5 micro-Galであり(大久保ほか, 2015)、本研究の結果とは符号も絶対振幅値も異なっている。この原因の1つとして考えられるのは、「本研究で得られた重力変化に、器械傾斜に伴う重力の見かけ変化が含まれている」という可能性である。そこで本研究では、今後CG-3M重力計の器械傾斜に伴う見かけ重力変化を定量的に調査し、ダイク貫入イベント時の重力変化量を再検討する。その上で、講演では相対重力と傾斜の時間変化から火山内部の質量移動プロセスを議論する予定である。

キーワード：相対重力、重力変化、傾斜変化、桜島火山、ダイク、マグマ

Keywords: relative gravity, gravity change, tilt change, Sakurajima Volcano, dike, magma

Scintrex CG-3M Gravimeter at Arimura



桜島火山における重力変動と歪・傾斜変動の対比-2015年8月貫入イベントと2016年2月の爆発再開まで

Gravity vs Strain/Tilt Changes at Sakurajima Volcano from the Dyke Intrusion Event in August 2015 through Resumption of Frequent Explosions in February 2016

*大久保 修平¹、山本 圭吾²、井口 正人²、田中 愛幸¹、高木 悠¹

*Shuhei Okubo¹, Keigo Yamamoto², Masato Iguchi², Yoshiyuki Tanaka¹, Yu Takagi¹

1.東京大学地震研究所、2.京都大学防災研究所

1.Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, 2.Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

[1] はじめに

桜島火山では2009年以降、昭和火口からの活発な噴火活動が継続し、爆発回数は年間数百回から千回に達していた。ことに2015年8月15日にはダイク貫入イベントが発生し、多数の火山性地震および10cmを超える地殻変動が観測され、噴火警戒レベルが4まで上げられるなど緊迫した。しかし爆発・噴火活動は、同年9月下旬以降、逆に長期間（4ヶ月超）にわたり停止し、2016年2月初旬になってやっと再開するという異様な展開を見せている。

本講演では、上記期間内（2015年7月末～2016年2月）に実施した絶対重力連続観測について、桜島の地殻変動観測と対比し、火道の開口・閉塞状態との関係を議論する。

[2] 結果

重力観測データには、降雨等に伴う陸水変動による重力擾乱(Kazama and Okubo, 2009)や、不圧地下水の潮汐等(Okubo et al 2014)、火山活動とは独立な要因で変化する成分が含まれている。これらの擾乱を除去して得た重力シグナルと、桜島島内2か所（ハルタ山、有村）の歪・傾斜記録に見られる、特に顕著な山体膨張・収縮イベントとを対比した。その結果、以下に述べる二つの重要な点が明らかになった。

(1) 2015年8月15日のダイク貫入時と、同年8月25日以降とでは、地殻変動に対する重力変動の振幅比（応答係数）が100倍も違う

(2) 8月15日には重力変動と地殻変動の間のTime lagがないのに、8月25日以降では1～3日のTime lagが生じている。

[3] 物理的解釈

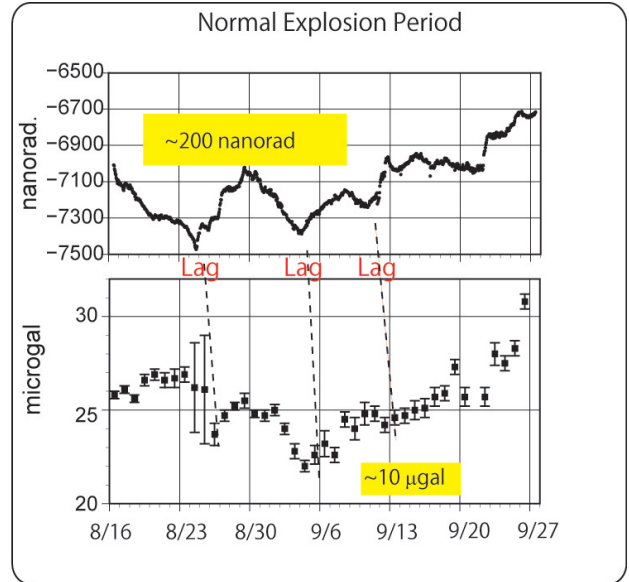
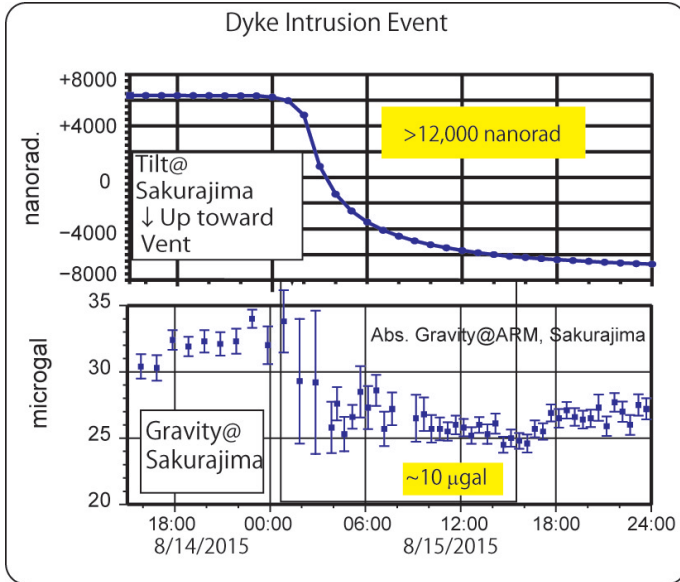
上記の二つの特徴は、火道の「開口・閉塞」状態のスイッチングを強く示唆するものである。定性的ではあるが、次のシナリオが経験則に説明を与える。

a) 閉塞系に比して開口系では、格段に小さな地殻変動しか生じない(1/100程度)。一方、重力変化の相当部分が質量移動に起因するから、重力シグナルのオーダーは、火道が閉塞状態であれ、開口状態であれ、同程度の重力変化が生じる（たかだか数倍程度の差）。地殻変動に対する重力変動の振幅「比」（応答係数）は、開口状態では非常に大きくなる。両者の差は100倍程度になりうる。

d) 閉塞状態では、効果的に弾性変形が起こるので、歪・傾斜の変動と重力変動の間にTime lagはない。一方、開口状態では、マグマが火道を上昇するのに一定の時間がかかるため、重力変動にはTime lagが生じる。2016年2月初旬以降の爆発活動再開期についても、現在解析をすすめており、結果を報告する予定である。

キーワード：重力、桜島、マグマ頭位、地殻変動、開口火道、ブルカノ式噴火

Keywords: Gravity, Sakurajima, Magma Head, Crustal Deformation, Open Conduit, Vulcanian Eruption



水準測量によって測定された桜島火山における2015年8月15日のダイク貫入に伴う地盤上下変動
Vertical deformation associated with the 15 August 2015 dike intrusion at Sakurajima
volcano measured by leveling survey

*山本 圭吾¹、吉川 慎²、松島 健³、大倉 敬宏²、横尾 亮彦²、井上 寛之²、内田 和也³、園田 忠臣¹、中元 真美³、山下 裕亮¹、味喜 大介¹、松本 聡³、相澤 広記³、市原 美恵⁴

*Keigo Yamamoto¹, Shin Yoshikawa², Takeshi Matsushima³, Takahiro Ohkura², Akihiko Yokoo², Hiroyuki Inoue², Kazunari Uchida³, Tadaomi Sonoda¹, Manami Nakamoto³, Yusuke Yamashita¹, Daisuke Miki¹, Satoshi Matsumoto³, Koki Aizawa³, Mie Ichihara⁴

1.京都大学防災研究所、2.京都大学大学院理学研究科、3.九州大学大学院理学研究院、4.東京大学地震研究所
1.Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, 2.Graduate School of Science, Kyoto University, 3.Faculty of Sciences, Kyushu University, 4.Earthquake Research Institute, University of Tokyo

2015年8月15日、桜島火山において火山性地震の群発活動を伴った急激な地盤変動イベントが発生した。気象庁は、同日噴火警戒レベルを3（入山規制）から4（避難準備）に引き上げ、桜島内の一部の住民が避難を行った。我々は、このイベントに伴って生じた地盤上下変動を測定するため、翌日の8月16日から、これまで水準測量の繰返し観測を行ってきた路線において緊急の一等水準測量を実施した。本講演では、この測量の概要および結果について報告する。

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、西部山腹のハルタ山登山路線、北部山腹の北岳路線、東部の黒神路線および桜島外の鹿児島湾西岸路線であり、総延長は約69 kmである。これらの路線を、2015年8月16日～9月24日の期間および12月18日において測量に当たった。桜島一周道路路線、ハルタ山登山路線、北岳路線については、2014年11月の前回測量時に測量を行っているが、鹿児島湾西岸路線については2013年11月の測量から約1年9カ月ぶり、黒神路線については2009年11月の測量から約6年ぶりの実施であった。測量方法は、各水準点間の往復測量で、その往復差は一等水準測量の許容誤差を満たすようにした。実際の測量における誤差は、1 km当りの平均自乗誤差が桜島一周道路路線、ハルタ山登山路線、北岳路線、黒神路線、鹿児島湾西岸路線においてそれぞれ ± 0.33 , ± 0.27 , ± 0.17 , ± 0.30 , ± 0.24 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1.1 mm（許容誤差12.1 mm）、-2.3 mm（許容誤差7.6 mm）であり高精度の一等水準測量であった。

桜島内の路線について、桜島西岸の水準点BM.S.17を不動点（基準）とし、各水準点における比高値を、2014年11月に行われた測量結果（山本・他、2015）と比較することで、2014年11月から2015年8月・9月の期間における地盤上下変動量を計算した。また、鹿児島湾西岸路線については、その南端にある水準点BM.2469を不動点（基準）とし、2013年11月に行われた測量結果（山本・他、2014）と比較することで、2013年11月から2015年8月の期間における地盤上下変動量を計算した。

桜島内の路線における水準測量結果から、桜島北部付近、ハルタ山登山路線および北岳路線の水準点において、顕著な地盤隆起（最大で15.8 mm）が生じていることが確認された。また、桜島南部の有村付近および東部の黒神付近においても、それぞれ最大で16.8 mm, 7.7 mmの顕著な地盤の隆起が確認された。8月15日の急激な地盤変動については、干渉SARやGNSS、傾斜計・伸縮計の観測データを用いた圧力源のモデル解析により、昭和火口の直下にダイクが貫入したことが推定されている（国土地理院、2015；堀田・他、2016）。水準測量によって測定された有村付近や黒神付近の地盤隆起は、これらのダイク貫入モデルから期待される地盤上下変動と調和的である。一方で、桜島北部付近や北岳路線の地盤隆起については、このダイク貫入モデルによって変動量を十分に説明することはできない。鹿児島湾西岸路線における水準測量結果においても、始良カルデラ中央部に近い水準点BM.2474に向かった地盤隆起が観測されており、桜島北部あるいは始良カルデラ中央部の地下に増圧源の存在が示唆される。この増圧源による変動については、傾斜計・伸縮計の観測データ（堀田・他、2016）を参考にすると8月15日のイベント時のものではないと考えられる。講演では、これらの圧力源解析の結果についても報告する。

キーワード：桜島火山、ダイク貫入、精密水準測量、地盤上下変動

Keywords: Sakurajima volcano, dike intrusion, precise leveling survey, vertical ground deformation

2015年8月15日桜島火山で発生した群発地震活動

Earthquake Swarm Activity at Sakurajima Volcano on August 15, 2015

*為栗 健¹、堀田 耕平¹、井口 正人¹*Takeshi Tameguri¹, Kohei Hotta¹, Masato Iguchi¹

1. 京都大学防災研究所附属火山活動研究センター

1. Sakurajima Volcano Research Center, Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

桜島火山では1955年以降、南岳山頂火口でブルカノ式の爆発的噴火を繰り返している。また、2006年に東側山腹にある昭和火口で58年ぶりに噴火が再開し、2009年以降、活発な噴火活動を行ってきた。2015年は1月から山体膨張を示す地盤変動が観測され始め、6月まで毎月100回前後の爆発的噴火が発生するなど特に活発な活動を続けていたが、6月以降、地盤変動は山体収縮に転じ、噴火活動も低調になった。そのような状況の中、8月15日午前8時頃から有感地震を含む群発地震活動と急激な地盤変動が観測された。群発地震のほとんどは火山構造性地震（VT地震）であった。桜島ではVT地震の発生頻度はさほど高くなく、多いときでも40回/月程度である。だが、8月15日イベントでは887回ものVT地震が発生した。また群発地震と合わせて急激な山体膨張を示す地盤変動が観測された。その変動量は桜島南部の有村観測坑道に設置された水管傾斜計で30 μ radを超えるもので、これまで観測例のない大きな変動であった。本発表では、8月15日の地震活動の時間変化、震源位置、メカニズムおよび地盤変動との関係について報告する。

桜島では火山活動研究センターの他、気象庁、国土交通省も含めて合計17点の地震観測点がある。8月15日イベントについて、P波初動が12点、S波が6点以上で読み取り可能な地震について震源決定を行った。その際、P波速度2.5km/s、Vp/Vs比1.73の半無限均質構造を仮定して震源決定を行っている。得られた震源は南岳～昭和火口下の深さ1.5km～3.5kmに位置している。震源メカニズムは2kmより浅部で発生した地震は正断層型、2kmより深部で発生した地震は横ずれ型が多い。震源位置、震源メカニズムともにこれまで桜島で発生しているVT地震（Hidayati et al., 2007）のものと変わりはない。

観測された地盤変動データからダイクモデルを仮定した変動源が推定されており、昭和火口近傍の深さ1.0kmを上端とするほぼ鉛直の北北東-南南西に走行を持つ長さ2.3km、幅0.6kmのダイクが約2m開口することで説明される（Hotta et al., 投稿中）。規模の大きなVT地震の震源と推定されたダイクは隣接しているが、多くはダイクの位置より山頂火口寄り（南岳～昭和火口下）、ダイクの下端より深い場所で発生していた。

最初にトリガーレベル（南岳火口から1.7kmにある地震観測点で10 μ m/s）を超えるVT地震が発生したのは07時05分であった。その後、地震活動は活発化し、09時03分にM1.5、M1.7の地震が発生した。09時台後半から一時的に地震活動は低調になるが、10時47分にM2.3（最大地震）が発生した後、M1以上の地震が多発し、12時前まで地震活動は高いレベルで続いた。12時以降も規模は小さいながらも地震は多発し、14時台後半と16時台にM1後半～M2前半の地震が発生した。一方、地盤変動は8時頃から顕著になり、9時頃から膨張レートが増加した。9時台後半には膨張が一時的に停止したように見える。しかし、10時27分頃から膨張が再開し、11時54分頃まで膨張レートは増加し続けた。観測された変動の約半分がこの1時間半で進行している。11時54分以降、膨張レートは減少しながらも終日膨張が継続した。地震活動と地盤変動の時間変化を比較すると、09時03分、10時47分の地震にやや先行して地盤変動の膨張が急伸し始めている。また、11時54分に膨張レートが低下し始める前の11時32分と11時43分にVT地震とは異なる大振幅の低周波地震が発生している。この低周波地震はダイクに貫入するマグマの量を減少させるなんらかの原因になったのかもしれない。低周波地震の初動部分は全観測点において押し波で観測されており、初動部分の波形インバージョン解析を行った結果、南岳火口直下1.0kmで等方膨張によって生じている解が得られた。低周波地震の発生場所や初動部分のメカニズムは爆発的噴火に伴う爆発地震と類似しているが、地震発生時に噴火は発生していない。

キーワード：桜島火山、群発地震

Keywords: Sakurajima Volcano, Earthquake Swarm

桜島における地震計アレイ観測でとらえた2015/8/15噴火未遂

Failed eruption observed by seismic arrays during the Sakujirama volcano activity on Aug. 15, 2015.

*藤田 英輔¹、上田 英樹¹、小澤 拓¹、宮城 洋介¹、三輪 学央¹、川口 亮平¹

*Eisuke Fujita¹, Hideki Ueda¹, Taku Ozawa¹, Yosuke Miyagi¹, Takahiro Miwa¹, Ryohei Kawaguchi¹

1.防災科学技術研究所観測・予測研究領域 地震・火山防災研究ユニット

1.National research Institute for Earth science and Disaster prevention, Volcanic research department

(研) 防災科学技術研究所では、桜島の2か所（北岳北側・黒神）において、それぞれ1Hz上下動地震計9台による地震計アレイおよび空振計1台を2015年3月より設置し、200Hzサンプリングで現地収録を行っている。これらのデータから、2015年8月15日のマグマ貫入に伴う地震波形の解析を行った。観測された波形の特徴として下記の点が挙げられる。1)活動が顕著になった8/15 7時台の地震活動は北岳北側アレイでのP波到達が黒神アレイよりも0.2秒程度早い。6時台は北岳北側で顕著だが黒神アレイではきわめて小さい。2)およその震央は南岳～中岳の東方。3)北岳北側アレイは全点でコヒーレントな波形となっているのに対し、黒神アレイは鍋山東側(SKE2-4)とそれ以外(SKE5-9)の観測点で波形が異なる(SKE1は欠測)。4) 8/15 7時台と12時台の波形を比較すると後者では低周波が卓越している。5)火山性地震(VT)では、初動付近は低周波がやや卓越する。その後高周波が冗長するイベント、あるいは冗長しないイベントがある。6)低周波地震(LP)では、初動前に高周波の微小な振動が先駆する。

また、観測された波形の相関係数の時間変化を求めたところ、下記のことになった。地震波形の相関は3つの時間帯、すなわち、A:6時頃～10時半頃、B:10時半～12時過ぎ、C:12時過ぎ～24時に分類され、A,B,Cの3つの期間にまたがる相似地震はない。Aの期間では多数の相似地震が発生しているが、Bの期間ではほぼ相似地震が発生していない。また、Cの期間では、時間が大きく離れているイベント同士でも相似のものがある。このことからAの期間ではマグマ貫入の初期フェーズにおける破壊が同様のスリップを繰り返しながら進行していること、Bの期間ではランダムな破壊が起こっていること、Cの期間では貫入したマグマの周辺部のいろいろな場所でそれぞれ同様なスリップを繰り返しているものと推測される。

キーワード：桜島、マグマ貫入、火山性地震

Keywords: Sakurajima, magma intrusion, VT earthquakes

桜島反復地震探査における測線外発破記録に見られる後続相

Unknown later arrivals in cross-line shooting seismograms of the repeating seismic experiments in Sakurajima Volcano

*筒井 智樹¹、為栗 健²、井口 正人²、中道 治久²、大島 弘光³、青山 裕³、植木 貞人⁴、山本 希⁴、野上 健治⁵、武尾 実⁶、大湊 隆雄⁶、市原 美恵⁶、及川 純⁶、小山 崇夫⁶、前田 裕太⁷、大倉 敬宏²、清水 洋⁸、松島 健⁸、宮町 宏樹⁹、小林 励司⁹、八木原 寛⁹

*Tomoki Tsutsui¹, Takeshi Tameguri², Masato Iguchi², Haruhisa Nakamichi², hiromitsu oshima³, Hiroshi Aoyama³, Sadato Ueki⁴, Mare Yamamoto⁴, Kenji Nogami⁵, Minoru Takeo⁶, Takao Ohminato⁶, Mie Ichihara⁶, Jun Oikawa⁶, Takao Koyama⁶, Yuta Maeda⁷, Takahiro Ohkura², Hiroshi Shimizu⁸, Takeshi Matsushima⁸, Hiroki Miyamachi⁹, Reiji Kobayashi⁹, Hiroshi Yakiwara⁹

1.秋田大学、2.京都大学、3.北海道大学、4.東北大学、5.東京工業大学、6.東京大学、7.名古屋大学、8.九州大学、9.鹿児島大学

1.Akita University, 2.Kyoto University, 3.Hokkaido University, 4.Tohoku University, 5.Tokyo Institute of Technology, 6.University of Tokyo, 7.Nagoya University, 8.Kyushu University, 9.Kagoshima University

桜島火山で行われてきた反復探査記録の再検討を行った結果、これまで知られていなかった明瞭な地震波反射面を北岳東斜面の下に見いだした。

桜島火山では2009年以降2014年までのほぼ毎年12月に反復地震探査が実施されてきた（筒井・他、2010;2011;2012;2013;2014）。反復地震探査は桜島北部と東部にあわせて2本の測線が設定され、14から15箇所の発破による地震記録を取得した。この反復地震探査では、桜島北部の測線中央部の海面下5.8kmに火山活動の進展に伴って地震波反射強度が変化する場所のあることが明らかになった（反射面 α : Tsutsui et al. JVGR in press）。しかしながら、これは測線の直下の地震反射強度の変化を指摘したにすぎない。

一方、これまでに実施された反復地震探査の観測では、発破作業時間帯全域にわたる記録が得られているため、測線内発破ばかりでなくもう一方の測線上の発破による地震波形の記録も行われている（測線外発破記録）。これらの記録には測線内発破の記録とは別に複数の明瞭な後続相が認められた。

桜島北部の発破を桜島東部の観測点で傍受する組み合わせとその逆の組み合わせでは、震源距離4.0から4.8kmの範囲で走時2.9から3秒付近に明瞭な後続相が現れる。この後続相は波線が北岳の東北東約2kmを通過する観測記録だけに認められる。この後続相は高い見かけ速度を示し、震源と観測点を入れ替えた組み合わせでも現れることからPP反射波であると解釈され、Tsutsui et al. (2013)の速度構造を参照すると海面下4.7~4.8kmの反射面で走時の説明ができる。この後続相の示す反射面は反復探査測線直下の変化する反射面 α より南の、より浅いところに位置することが注目される。

また、桜島東部の発破を桜島北部の観測点で傍受する組み合わせでは、震源距離4.5から5.5kmの5.2秒付近の走時に明瞭な後続相が現れる。この後続相は逆の組み合わせでは観測されないことと、走時が遅い割には大きな振幅を示すことが注目される。この後続相は逆観測で確認できないこと、走時の割に振幅が比較的大きいことからPS変換であると解釈される。さらに先述の速度構造モデルで V_p/V_s 比=1.73を仮定すると、北岳山頂北東の海面下5.8kmの変換面モデルでその走時を説明することができる。この変換面は前者よりもやや北に推定され、Tsutsui in press の変化する反射面 α のすぐ南に位置する。また、その深度は反射面 α と一致する。さらにこの後続相は年によって消長があり、Tsutsui et al. in pressでは変化が見られなかった2011-2012の貫入期の観測記録で明瞭に現れていたことが注目される。

このほかに桜島東部の発破を桜島北西斜面で観測した記録に認められる後続相は2014年の観測記録だけで著しく現れるものがある。この後続相をPP反射と解釈すると北岳東斜面直下で前2者よりも火口に近い場所の海面下2.4kmの反射面モデルがその走時をよく説明する。この後続相は反射面モデルの位置と出現時期の点で、2015年8月の浅所貫入イベントとの関連が注目される。

本講演ではこれらの測線外発破から観測される後続相について紹介し、その消長と2015年8月の浅所貫入イベントとの関連について考察する。

キーワード：火山、桜島火山、火山内部構造、地震学

Keywords: Volcanology, Sakurajima Volcano, Volcanic structure, Seismology

メルト包有物から推定する桜島火山のマグマ溜まり深度

Depth of pre-eruptive magma reservoir of Sakurajima Volcano estimated from melt inclusions

*新谷 直己¹、中村 美千彦¹、奥村 聡¹、安田 敦²、味喜 大介³、井口 正人³*Naoki Araya¹, Michihiko Nakamura¹, Satoshi Okumura¹, Atsushi Yasuda², Daisuke Miki³, Masato Iguchi³

1.東北大学大学院理学研究科地学専攻、2.東京大学地震研究所、3.京都大学防災研究所火山活動研究センター
1.Department of Earth Science, Graduate School of Science, Tohoku University, 2.Earthquake Research Institute, University of Tokyo, 3.Sakurajima Volcano Research Center, Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

To interpret magmatic processes of the ongoing Vulcanian explosions and to forecast possible future activity in Sakurajima Volcano, determining pre-eruptive magmatic conditions of the historic eruptions, especially depths of the magma reservoirs, is crucial. We therefore analyzed volatile contents and major element compositions of melt inclusions (MIs) and their host phenocrysts in the three historic Plinian eruptions (1471 A.D., 1779 A.D., and 1914 A.D.) and recent Vulcanian eruptions (1955–present).

The water contents of 110 MIs were analyzed with a FT-IR micro-reflectance spectroscopy (Yasuda, 2014). Most of the pyroxene-hosted melt inclusions (MIs) were dacitic to rhyolitic ($\text{SiO}_2 = 65\text{--}72$ wt.%) and gradually shifted to mafic compositions with time as observed for bulk rock compositions after the 1471 eruption (Uto et al., 2005; Nakagawa et al., 2011). The water contents of the MIs in the three historic Plinian eruptions have similar frequency distributions ranging from 1.2 to 3.5 wt.%. More than 95% of the data were within 1.2–2.9 wt.%. By contrast, those of melt inclusions in the recent Vulcanian ejecta were less than 2.3 wt.%. The lower maximum water content of the erupted materials of the Vulcanian explosions compared to those of the Plinian eruptions are interpreted as a result of degassing before quenching upon eruption. The MIs containing up to 40 ppm CO_2 were rarely found (Sato et al., 2012, JpGU), but most of the MIs did not contain detectable CO_2 content. The saturation pressure for the water content of 1.2–2.9 wt.% was calculated at 15–73 MPa, which corresponds to the depth of 0.6–3.1 km assuming that density of the upper crust is 2400 kg/m^3 . The depth of the shallowest magma reservoir estimated from the geodetic observations on the present Vulcanian explosions are located at a depth of 4 km beneath the Minamidake summit (Iguchi et al., 2013), which is deeper than the depth ranges for most of the MIs (0.6–3.1 km) and in accordance with the maximum depth (4.1 km, corresponding to 3.5 wt% H_2O). Considering the erupted volumes of these Plinian eruptions (0.3–0.8 km^3 for the Plinian eruptions and 0.8–2.0 km^3 including lava flows in DRE, Kobayashi et al., 2013), the obtained depth range (2.5 km) may be largely explained by the difference in the position of the magma reservoir.

キーワード：桜島火山、マグマ溜まり、メルト包有物、含水量

Keywords: Sakurajima Volcano, magma reservoir, melt inclusion, water content

桜島火山の火山ガス組成

Volcanic gas composition of Sakurajima volcano, Japan

*篠原 宏志¹、風早 竜之介¹、角皆 潤²、大湊 隆雄³、金子 隆之³*Hiroshi Shinohara¹, Ryunosuke KAZAHAYA¹, Urumu Tsunogai², Takao Ohminato³, Takayuki Kaneko³

1.産業技術総合研究所活断層・火山研究部門、2.名古屋大学大学院環境学研究科、3.東京大学地震研究所

1.Geological Survey of Japan, AIST, 2.Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University,

3.Earthquake Research Institute, University of Tokyo

桜島では活発な噴煙活動と小規模なブルカノ式噴火が最近数十年にわたり続いている。大量な火山ガスの起源や放出機構、ブルカノ式噴火の発生機構を明らかにするためには、火山ガスの量および組成の把握が必要である。特に、ブルカノ式噴火は火道浅部での噴火直前のガスの蓄積が原因であるというモデルが考えられており、火山ガスデータはその検証や定量的な評価に必要である。紫外遠隔測定によりSO₂放出率の変化はある程度把握されているが、山頂への接近が困難である桜島では火山ガス組成のデータは、火山灰の水溶性成分の分析やFT-IR等による断片的なものに限られていた。我々は、噴煙の測定により火山ガス組成を推定する

Multi-GASとアルカリフィルター法を桜島の噴煙測定に適用し火山ガス組成の推定を実施してきた。本講演では今までに得られた、桜島の火山ガスの組成の特徴の把握とその時間変化を報告する。

桜島では人間が山頂域に接近することは困難であるため、火山噴煙観測の実現のために1) 有人セスナ、2) 無人ヘリコプター、3) 山麓での火山ガス検知起動型の自動観測、を実施してきた。Multi-GAS観測は大気と混合後の火山ガス成分を測定するため、大気組成の変動により測定精度が影響する。特に大気中に高濃度存在する成分(H₂O, CO₂, H₂等)の火山ガス起源の濃度変化を定量するためには高濃度の火山噴煙を測定することが望ましいが、得られる最大火山ガス濃度は測定時の条件(距離、風向風速、火山活動)により異なり、それに応じて定量可能な成分や精度は異なる。セスナ観測と無人ヘリ観測は上空での観測であり、連続観測は山麓に流下してきた噴煙を測定しているが、手法による結果の差は特に見いだされていない。

2012年測定開始後、2015年前半までは桜島のSO₂放出率は1000t/日以上の高い状態が継続し、昭和火口での爆発も頻発していたが、2015年夏以降はSO₂放出率は100t/日程度に低下し、爆発の頻度も極端に低下した。SO₂放出率が高かった時期の火山ガス組成の平均値は、CO₂/SO₂=0.5、H₂O/SO₂=110、SO₂/H₂S=8、H₂/SO₂=0.15、SO₂/Cl=10と推定された。この組成は日本の高温火山ガス組成として平均的な組成に近いが、H₂O/SO₂がやや高い(浅間、三宅島、阿蘇では40前後)。ただしH₂Oは大気中濃度変動が大きいため測定火山ガス濃度が低い桜島での推定値の誤差が大きいが、差異の原因である可能性もある。CO₂/SO₂比は0.5-1.4の幅を持ち比較的一定ではあるが、最大測定SO₂濃度が高い観測では系統的に低いCO₂/SO₂比が得られている。同様の傾向は浅間山でも観測されており、観測対象である主火口起源の火山ガスとそれ以外のCO₂に富むガス(浅間山の場合は低温噴気)の混合が原因と解釈されている。桜島の場合は低温噴気の分布が顕著ではなく、この傾向の原因が不明である。SO₂/Cl比は5-20の間で変動しているが、この変動幅は森(2014)により報告されている2009-2013年にFT-IRで測定された昭和火口噴煙のSO₂/HCl比=6-10と整合的である。SO₂/H₂S比は概ね10前後であるが、400と非常に大きな比が2014年12月と2015年1月に得られている。いずれの場合もH₂/SO₂比が通常の0.15前後に対して0.03前後と低い値が得られている。

2015年後半以降の低放出率の時期には、SO₂/H₂S=0.6-2.5、CO₂/SO₂=20-150と、高放出率時期とは大きく異なる組成が推定されている。しかし、この時期の測定では最大測定SO₂濃度が0.1-0.5ppmと低いため、特にCO₂/SO₂比の推定誤差が大きく、また他の組成は推定不可能であった。CO₂/SO₂=150の観測時に採取された噴煙試料の同位体分析に基づき、この大きな比をもたらしたCO₂の炭素のδ¹³Cは-25‰と推定されており、通常の火山ガスの同位体組成とは一致しないため、火山ガス以外の起源であると推定された。SO₂/H₂S比は明らかに低いが、その原因としては、1) 地下水との反応によるSO₂の除去、2) 出口温度低下による化学平衡の移行、3) 脱ガス圧力増加による化学平衡の移行、などが一般的には考えられる。しかし、桜島の状況を考慮した場合には3) 以外は考えにくい。SO₂/H₂S比は脱ガス圧力に反比例するため、脱ガス圧力が10倍に増加することにより、高放出率時期のSO₂/H₂S=10から、低放出率時期の1への低下は説明可能である。

キーワード：火山ガス、火山噴煙、桜島

Keywords: Volcanic gas, volcanic plume, Sakurajima

2015年7月に検出された鹿児島湾湾奥部若尊海底火山における二酸化炭素フラックスの急増
Detection of abrupt increase in CO₂ flux from a submarine volcano, Wakamiko, in the innermost part of Kagoshima Bay in July 2015

*山中 寿朗¹、金銅 和菜¹、小林 真理¹、野口 拓郎²、岡村 慶³、山本 智子⁴、角皆 潤⁵、石橋 純一郎⁶

*Toshiro Yamanaka¹, Kazuna Kondo¹, Mari Kobayashi¹, Takuro Noguchi², Kei Okamura³, Tomoko Yamamoto⁴, Urumu Tsunogai⁵, Jun-ichiro Ishibashi⁶

1.岡山大学大学院自然科学研究科、2.高知大学教育研究部総合科学系、3.高知大学海洋コア総合研究センター、4.鹿児島大学水産学部、5.名古屋大学大学院環境学研究科、6.九州大学大学院理学研究院
1.Graduate School of Natural Science and Technology, Okayama University, 2.Multidisciplinary Science Cluster, Research and Education Faculty, Kochi University, 3.Center for Advanced Marine Core Research, Kochi University, 4.Faculty of Fisheries, Kagoshima University, 5.Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, 6.Graduate School of Science, Kyushu University

鹿児島湾湾奥部の海底火山「若尊」の二酸化炭素フラックスを2007年以降観測している。この間、二酸化炭素フラックスは平均160~360トン/日で推移していたが、2015年7月の観測では500トン/日に達する急増が見られた。この翌月の2015年8月には桜島火山の直下で火山性微動が観測され大規模噴火の可能性が高まった。この火山性微動は2週間程度で収まり、12月の観測では若尊の二酸化炭素フラックスも2014年以前のレベルに戻っていた。若尊火山のある始良カルデラの下には若尊に揮発性火山物質を供給しているマグマ溜まりがあると考えられており、このマグマ溜まりと桜島直下にあるマグマ溜まりは繋がっているとされている。火山性微動は桜島直下のマグマ溜まりからのマグマの上昇に起因すると考えられたが、若尊の二酸化炭素フラックスの急な増加もこのマグマ活動と関連していたのかも知れない。

キーワード：若尊海底火山、二酸化炭素フラックス、桜島火山活動

Keywords: Wakamiko submarine volcano, CO₂ flux, Volcanic activity of Sakurajima Volcano

西之島火山周辺海域でのハイドロフォン観測

Hydrophone observations of volcanic activity from the sea area surrounding the Nishinoshima volcano

*浜野 洋三¹、杉岡 裕子²、伊藤 亜妃¹、市原 美恵³、篠原 雅尚³、西田 究³、武尾 実³

*Yozo Hamano¹, Hiroko Sugioka², Aki Ito¹, Mie Ichihara³, Masanao Shinohara³, Kiwamu Nishida³, Minoru Takeo³

1.海洋研究開発機構地球深部ダイナミクス研究分野、2.神戸大学理学研究科惑星科学専攻、3.東京大学地震研究所

1.Department of Deep Earth Structure and Dynamics Research, JAMSTEC, 2.Department of Planetology, Kobe University, 3.Earthquake Research Institute, University of Tokyo

我々は離島火山の活動を連続的にモニターし、その実態を解明するために、離島火山モニタリングシステムの開発を進めている。このシステムでは無人で自律的に海面を運航できる海洋プラットフォームとしてウェブグライダーを用い、画像撮影、震動観測、空振観測、及び山体崩壊を監視するための波浪観測を実施する計画である(杉岡他,2016)。このため、海洋調査船「かいらい」によるKR15-03航海では、活発に噴火を続ける西之島の周辺海域で、上記の各観測に必要な空振計やハイドロフォン等のセンサー群の試験観測を行った。また、この航海では、西之島とその周辺の地震活動を長期的にモニターするために、海底地震計(OBS)5台が設置された。本講演ではハイドロフォンの観測によって得られた成果を中心に報告する。

ハイドロフォン観測は、西之島東方約7km水深1318mの場所で、海面下深度10mで行なった。同時に船上での映像撮影、空振観測、及び西之島から14km離れたNI11点(水深2177m)でOBS観測が行なわれた。観測期間は2015年2月27日13時20分~14時40分の1時間20分という短時間であったが、この同時観測によって各観測項目の役割が明らかになり、離島火山監視システムを構築する上で、大きな進展が得られた。

観測期間中の西之島の噴火は活発で、継続時間20秒~30秒の噴火が10分間で15個程度の頻度で起こっている。この噴火活動と空振計及びOBSの観測記録との相関は極めて高く、それぞれに記録された波が、噴火に密接に関係した火山体浅部活動によって発生したことを示している(市原他、2016)。NI11点近傍でのCTD測定の結果から、西之島周辺の音波速度構造が、1000m深度で速度が極小となる典型的な海洋音響チャンネルを持つことが分かった。以上の結果は、OBSに記録された波が、噴火に伴う爆発地震として火山体浅部で発生後、水中音波(T-Phase波)としてこのチャンネルを伝播してきたことを示唆する。

一方、ハイドロフォン記録は、噴火映像、OBS及び空振計記録とは、ほとんど相関が見られない。ハイドロフォン記録で顕著なのは、13時40分から14時迄のおよそ20分続くハーモニック微動(基本周波数4Hz,最大振幅8Pa)である。このハイドロフォンで観測している微動は、OBS、空振計で観測される火山の浅部活動と無相関であることから、より深部の活動によるものであろう。OBSとハイドロフォンで観測される水中音波の波源が異なることは、水中の音波速度構造に原因があると考えられる。西之島周辺で前日に測定された音波速度構造は、海面から深度200mまでが1518m/sでほぼ一定、より深部では速度は急激に減少し、深さ1000mで極小値1480m/sをとり、それ以深は速度がゆっくりと増加し、2000mの深さでは1490m/sとなっている。この構造に見られる低速度層の存在により、波源の深さに依存して、表面にシャドウゾーンが生じることが示唆される。ハイドロフォンの観測点がこのシャドウゾーン内にあるためには、OBSに記録された爆発地震の波源は、200mよりは深い、その近傍の浅部にあると考えられる。一方、ハーモニック微動が海面に近いハイドロフォンで観測されるためには、波が音響チャンネルに高角度で入射する必要があり、ハイドロフォン観測点直下の水深1300mの海底付近に波源があると推定される。OBSでこの火山性微動が観測されない原因は分からないが、おそらく音響チャンネルを通過する水中音波の振幅が大きいため、深部からの地震波が隠されているのであろう。以上述べて来たハイドロフォン観測の成果は、離島火山監視システムの観測計画を作る際に極めて重要となる。

キーワード：西之島、火山活動、ハイドロフォン観測

Keywords: Nishinoshima, Volcanic activity, Hydrophone observation

西之島火山の活動把握を目指した多項目観測

Multi-parametric observation for assessing activity of Nishinoshima volcano

*市原 美恵¹、篠原 雅尚¹、西田 究¹、酒井 慎一¹、山田 知朗¹、武尾 実¹、杉岡 裕子⁵、浜野 洋三²、長岡 優³、高木 朗充³、森下 泰成⁴、西澤 あずさ⁴

*Mie Ichihara¹, Masanao Shinohara¹, Kiwamu Nishida¹, Shin'ichi Sakai¹, Tomoaki Yamada¹, Minoru Takeo¹, Hiroko Sugioka⁵, Yozo Hamano², Yutaka Nagaoka³, Akimichi Takagi³, Taisei Morishita⁴, Azusa Nishizawa⁴

1.東京大学地震研究所、2.海洋開発研究機構、3.気象庁気象研究所、4.海上保安庁海洋情報部、5.神戸大学
1.Earthquake Research Institute, University of Tokyo, 2.JAMSTEC, 3.JMA, Meteorological Research Institute, 4.Japan Coast Guard, 5.Kobe University

小笠原諸島・西之島は、2013年11月に噴火活動を開始して新しい島が形成され、溶岩流出によって急速に成長した。このような離島での噴火活動を把握するための観測情報は、非常に限られている。本研究では、西之島火山の噴火活動の推移を把握することと、離島における火山活動のモニタリング手法を開発することを目的として、遠方の陸地での空振観測、西之島周辺での海底地震観測、および、海洋調査船上からの臨時観測を行った。本発表では、その概要を報告し、得られたデータを統合して推定された2015年2月27日以降の西之島火山の活動について議論する。

○観測

空振観測は、西之島東方に約130 km の距離にある父島で行っている。2014年4月26日からアレイ観測を開始し、2014年10月5日にオンラインの観測点を追加した。オンラインの観測点と気象庁の父島地震観測点のデータを用いて、1日1回自動解析により空振検出を行う。また、回収されたアレイデータと、父島気象観測所のラジオゾンデによる大気構造計測値を用い、大気構造による伝播経路の変化を考慮した空振振幅評価を行う。

海底地震計5台は、2015年2月27~28日にかけて海洋研究開発機構の海洋調査船かいらいKR15-03航海によって西之島設置され、2015年10月3~4日に、気象庁啓風丸KS15-07航海によって回収された。この海底地震計は、固有周波数1 Hz速度型3成分地震計を搭載している。西之島東南約13 km の地点に最初の海底地震計(NI11)を設置した。2月27日午後には、西之島東方約6 kmの地点で停船し、船上より可視映像および空振データを取得した。その後、4台の海底地震計(NI21-NI51)を、約7 km の距離で西之島を囲むように設置した。

○結果

2月27日午後には、高頻度で小爆発を繰り返すストロンボリ式の活動をしていた。映像と、船上で計測した空振データ、および、NI11観測点の海底地震計データを比較した。空振は、6 km の距離を340 m/s で伝播することを考え、17.7秒ずらせた。地震は、伝播速度がよく分からないが、7秒程度ずらせると空振の振幅変化と対応がよい。空振データは、1-7 Hzで、海底地震計データは、4-8 Hz の帯域で見ると、噴火に対応した信号が明瞭になった。映像観測によると、小爆発がクラスター状に連続して発生して黒い噴煙を上げ小休止する、というのが繰り返されていた。個々の小爆発に対応してパルス状の空振が見られ、小爆発クラスターに対応してひと固まりの紡錘状の波群が地震計で捉えられた。

2015年2月28日から10月3日までの海底地震計5台のデータを用い、紡錘状の波群の解析を行った。まず、2月28日17時頃に発生した15個のイベントについて、走時差に基づく暫定的な震源決定を行ったところ、震央は西之島付近と推定された。また、STA/LTA法により、イベントの自動検出を行った結果、期間中に363,367個のイベントが検出された。イベントの発生状況は7月中旬から変化し、1日あたりの個数が単調減少を始めた。それに伴い、1個のイベントの継続時間が単調に長くなっていった。一方、1時間毎の最大振幅は、3月が小さく、4月以降、徐々に増加し、5月頃に大きくなる。その後、減少するが、1日あたりの個数が減少を始める7月中旬以降は、再び徐々に大きくなるように見える。

船上観測を行った時期には、西之島の空振が父島に伝播しやすい大気構造にあり、父島でもほぼ同じ波形が捉えられていた。空振伝播計算によると、2015年4月初めまでは伝播しやすいが、その後は状況が悪くなり、6月以降はほとんど伝播できなくなった。したがって、海底地震計で検出されたイベントの発生状況が変化する7月中旬については、残念ながら計測不可能な状況であった。一方、伝播可能な時期について空振の振幅変化を調

べたところ、2015年1月から3月初めにかけて強度が増加しその後減少に転じている。そして、2015年5月後半は、伝播可能な状況であるにもかかわらず、空振が検出されていない。伝播状況の変化を差し引いても、父島で観測される空振振幅の変化と海底地震計で得られたイベントの最大振幅の変化とはむしろ逆の傾向があるようである。

以上のように、遠方での空振観測は、伝播の影響を補正するための大気構造のデータがあれば、火山活動把握の助けになる。しかし、それだけでは不十分で時期も限られる。火山近傍に海底地震観測からは、重要な情報が得られる。今回のようなイベント解析の結果だけでもリアルタイムで伝送することができれば、有効なモニタリング手法となるだろう。

キーワード：火山、モニタリング、空振、海底地震計

Keywords: Volcano, Monitoring, Infrasond, OBS

海底地震計およびリモートセンシングによる西之島の火山活動

Volcanic activity of the Nishinoshima volcano detected by ocean bottom seismometers and remote sensing observations

*高木 朗充¹、長岡 優¹、西澤 あずさ²、小野 智三²、中田 健嗣³、木村 一洋³、福井 敬一¹、安藤 忍³、土山 博昭⁴

*Akimichi Takagi¹, Yutaka Nagaoka¹, Azusa Nishizawa², Tomozo Ono², Kenji Nakata³, Kazuhiro Kimura³, Keiichi Fukui¹, Shinobu Ando³, Hiroaki Tsuchiyama⁴

1.気象研究所火山研究部、2.海上保安庁海洋情報部、3.気象研究所地震津波研究部、4.気象庁地震火山部
1.Volcanology Research Department, Meteorological Research Institute, 2.Hydrographic and Oceanographic Department, Japan Coast Guard, 3.Seismology and Tsunami Research Department, Meteorological Research Institute, 4.Seismology and Volcanology Department, Japan Meteorological Agency

気象研究所は、活発な噴火活動を継続する西之島の地震活動を捉えるため、自己浮上式海底地震観測を実施した。地震活動の概要を他のリモートセンシング観測結果等を参照しながら報告する。

西之島の中心から約4~5kmの周辺5点に自己浮上式の海底地震計（3成分）とハイドロフォンを設置し、2015年6月21日から10月2日まで観測を行った。その結果、西之島を震源とする微小地震の活動が活発であることがわかった。マグニチュードが-1.0~0.0程度の規模の地震が頻発した。震動継続時間はやや長く30秒前後であり、P、Sとも初動が不明瞭な紡錘状の形であった。波動のはじめは高周波が卓越し、そのあとに低周波が卓越した波が続く。地震回数は、期間を通じて1時間あたり50~100回程度であった。観測開始直後の6月には1時間あたり100回前後であったが、8月頃に減少し始め、観測終了の10月頃には1時間あたり約40回となった。また、この期間地震の振幅は段階的に増大した。

地震回数の漸減傾向は、気象衛星ひまわりによる西之島付近の輝度温度が低下し始める変化傾向（気象庁、2016）と一致している。また、2015年5月と10月に実施した紫外線差分吸収分光計（DOAS）による二酸化硫黄放出量の測定では、900トン/日から400トン/日と減少していた。また、人工衛星の光学センサーを用いた噴煙の放熱率や、合成開口レーダー（SAR）を用いた非干渉陸域面積も減少傾向であった。このように地震回数の漸減傾向は、熱や火山ガスの放出活動等の低下傾向と同期している可能性が高い。

気象研究所の海底地震観測の期間中には、2015年6月25日から7月6日まで海上保安庁も海底地震観測を実施している。このうち西之島の南約8kmの地震計St5では、単色地震の群発的な発生が記録された。この単色地震は9~10Hzに卓越周波数をもち減衰が遅い。地震動の振動方向はいずれも同一方向であり、また地震の規模の頻度分布から推定されるb値は1.3であった。この観測点は海底火山である西之島南海丘に近い。ここではこれまで変色水や温度異常も確認されており、西之島本島とは別の、西之島南海丘独自の火山活動を記録している可能性が高い。

謝辞

海底地震計の設置・回収には、気象庁地球環境・海洋部の海洋気象観測船「啓風丸」を使用しました。

キーワード：西之島、海底地震計、単色地震、リモートセンシング

Keywords: Nishinoshima, ocean bottom seismometer, monochromatic earthquake, remote sensing

離島火山活動モニタリングシステムの開発

Development of a monitoring system of remote island volcanoes using an autonomous vehicle of the Wave Glider

*杉岡 裕子¹、浜野 洋三²、市原 美恵³、西田 究³、武尾 実³

*Hiroko Sugioka¹, Yozo Hamano², Mie Ichihara³, Kiwamu Nishida³, Minoru Takeo³

1.神戸大学理学研究科、2.海洋研究開発機構、3.東京大学地震研究所

1.Kobe University, 2.JAMSTEC, 3.Earthquake Research Institute, University of Tokyo

Nishinoshima is a remote island volcano 1000 km south of Tokyo. On November 20, 2013, a brand new island was born nearby the older Nishinoshima. Over the past two years with continued volcanic activity, it has grown up to 12 times the size of the original island, which is offering us a rare opportunity to study how volcanic island forms and grows.

We develop a remote island volcanic activity monitoring system using an unmanned vehicle of the Wave Glider (WG), manufactured by Liquid Robotics Inc. of California, USA. The WG is designed to go forward using the wave and solar energy without any fuel and is equipped with a satellite communication modem to transmit data message to the land station in real-time. It has led the way to make ocean data collection and communications easier and safer, lower risk and cost, and real-time. In order to investigate the feasibility of the WG for station-keeping operation, we made a long-term deployment in the sea off Miyagi. Based on the detailed analyzing of 5 months navigation data from September to May in 2014, the potential utility of the WG as a sea surface gateway has been confirmed to identify the operating parameters.

In the remote island volcano monitoring system the WG plays roles not only in a satellite relay device but also in a multi-parametric observatory platform with microphones for detecting infrasound waves associated with volcanic eruptions, with hydrophones for detecting acoustic and seismic waves associated with deep volcanic activities, with wave gauges for detecting heave displacements associated with volcano collapse, and with video cameras. We investigated the performance of these sensors except for the wave gauge close to the Nishinoshima volcano during the KR15-03 cruise of R/V KAIREI in February 2015 (Hamano et al., 2016; Ichihara et al. 2016) and obtained extremely important results to establish the remote island volcano monitoring system.

キーワード：離島火山活動、西之島、リモートモニタリング

Keywords: island volcanic activity, Nishinoshima, remote monitoring

2015年6月の臨時観測によるストロンボリ火山の噴火地震の相対震源決定

Relative hypocenter determination of eruption earthquakes at Stromboli volcano based on a temporal observation in June 2015

*杉村 俊輔¹、西村 太志¹、青山 裕²、山田 大志²、川口 亮平³、三輪 学央³、藤田 英輔³、Ripepe Maurizio⁴、Genco Riccardo⁴

*Shunsuke Sugimura¹, Takeshi Nishimura¹, Hiroshi Aoyama², Taishi Yamada², Ryohei Kawaguchi³, Takahiro Miwa³, Eisuke Fujita³, Maurizio Ripepe⁴, Riccardo Genco⁴

1.東北大学大学院理学研究科、2.北海道大学大学院理学院、3.防災科学技術研究所、4.フィレンツェ大学
1.Graduate School of Science, Tohoku University, 2.Graduate School of Science, Hokkaido University, 3.NIED, 4.University of Florence

Earthquakes associated with eruptions of magma or gases are repeatedly observed with intervals of several or tens of minutes or hours on Strombolian explosions. The source of these earthquakes is likely the source of magma explosions associated with the rapid change of pressure in a conduit. Hypocenter determination of these eruption earthquakes enables us to understand the shape or location of the conduit. However, they generally have obscure onsets of P or S phases, which disable us to use general hypocenter determination methods using arrival times of these phases. In our previous study, we developed a new relative hypocenter determination method using deconvolution and master event method (Sugimura et al., 2015, JpGU, VSJ). Deconvolution filter enables us to automatically obtain higher resolution of the arrival time difference between a master event and a slave event and to separate the arrivals of two or three explosion events occurring in a very short time. In June 2015, we developed a temporal seismic network at Stromboli volcano. In this study, we determine relative hypocenter locations of eruption earthquakes using our method and the temporal observation data.

In the observation, we deployed five short-period seismometers at 200 m-1 km from the crater at Stromboli volcano. To obtain higher accuracy of source locations, we deployed them at west of the crater or the lower altitude than the expected source. The signals were recorded with a sampling frequency of 250Hz (Kinkei System, EDR-X7000) or 200 Hz (Hakusan Kougyou, LS-8800). Observation period was about two days in the beginning of June 2015.

In addition to our data, we analyze the signals obtained by the two permanent broadband seismic stations of Department of Earth Sciences of the University of Florence. In our analysis, we use band pass filter for the signals at 0.2-0.4 Hz. We choose a master event and use deconvolution filter to obtain arrival time differences between the master event and the slave events. We further calculate time differences of the arrival time differences between two stations using cross correlation of the deconvoluted waveforms. This enables us to eliminate origin time differences and to express these time differences as linear functions of the relative source locations from the master event.

We assume ~200 m beneath SW crater for the master event and the wave velocity of 1000 m/s. The result shows that the relative source locations are distributed in the range of ~200m in depth and sub-vertically. In future, we will consider a more possible source location of a master event and compare the source of short-period signals to understand the mechanism of magma explosions in a conduit at Stromboli.

キーワード：震源決定、噴火地震、デコンボリューション、ストロンボリ火山

Keywords: hypocenter determination, eruption earthquake, deconvolution, Stromboli volcano

火山性地震の定量的評価のための地震活動度モデルの検証

Seismicity model of volcanic earthquakes for a quantitative assessment of volcanic activity

*森田 裕一¹*Yuichi Morita¹

1.東京大学 地震研究所

1.Earthquake Research Institute, University of Tokyo

火山性地震の活動はこれまでの事例から、最も信頼性の高い火山活動評価や火山噴火前兆現象とされている。2000年有珠山、2014年御嶽山噴火など多くの火山噴火の前に地震活動の増加が観測され、噴火活動の前兆として有用であることは良く知られている。火山周辺で発生する地震は、1986年伊豆大島噴火の割れ目噴火前後や2000年三宅島噴火後三宅-神津の活動などのようにマグマ貫入による応力変化、2015年4月末から活発になった箱根火山の群発地震活動のように地下の水蒸気が増加したことにより既存の断層面での有効法線応力の低下、現在の伊豆大島の地震活動のようにマグマ溜まりの増圧による応力変化など、色々な場合に発生する。地震活動度の変化の原因を判別し、有効法線応力の低下を評価できれば、水蒸気噴火の可能性を検討できるなど、研究上も防災上も大変有用であろう。火山性地震の活動度を、火山活動の定量的な把握のための道具として利用するためには、地震活動に対する定量的なモデルをつくり、その有効性を観測から検証する必要がある。地震活動度の定量的なモデルとして、速度-状態依存則(RSF則: Dietrich, 1994)がある。これは応力変化と地震活動度を結び付けるモデルで、観測された地盤変動に比べ地震活動度が高いときには、揮発性成分の上昇による有効法線応力の低下が考えられ、火山噴火予測の指標に利用できると考えられる。これまで、この方法を伊豆大島火山における地震活動度に適用し、その有効性を示してきた。RSF則が他の火山における地震活動にも適用できるかを検討することは、火山活動の定量的な評価には不可欠である。そこで、2011年3月に発生した東北地方太平洋沖地震で誘発された火山周辺で発生した地震に焦点を当て、巨大地震による応力変化で地震活動度の時間変化を説明できるかを検討するとともに、地震活動度評価に不可欠な応力変化と地震活動度の関係性を結びつけるパラメータが、各火山でどれ位異なるかについて調べた。全国の約20火山で、巨大地震による誘発地震活動が観測された。そのうち、気象庁一元化震源により群発地震活動が明瞭に観測されている日光白根山、箱根火山、焼岳の3火山周辺で発生する群発地震活動に注目して解析した。GEONETによる火山周辺での変位データから応力変化を推定し、それをを用いて巨大地震発生前、発生直後、発生後の地震活動度をRSF則で説明できるかを調べた。この結果、これら3火山では、地震活動度の時間変化をRSF則でよく説明できることが明らかになった。また、これらの火山では、箱根火山、焼岳、日光白根火山の順に地震活動度が低下して行ったが、その差は巨大地震の余効変動によるところが大きいことがわかった。更に、地震活動度を定める応力変化と地震活動度の関係性を示すパラメータは、日光白根では約2KPa程度以上と見積もられるのに対して、箱根火山、焼岳では0.5KPa程度以上であると見積もられた。この見積もりは、巨大地震による応力変化が最も効果的に地震活動度を変化させる発震機構解の地震に対しての値であり、色々な発震機構解の地震が群発しているとすると、その値は数倍程度大きくなる。今回解析した群発地震は、遠方の巨大地震により誘発したものであるから、火山周辺で応力変化に敏感な場所での地震活動である。深部でのマグマ蓄積などを原因とする応力変化に対しても同様に敏感に反応し、その際には今回と同じ活動となると考えられる。もし、地震活動度が地盤変動量とRSF則を用いて推定されるものに比べて高ければ、有効法線応力の低下の影響が大きいことを示し、火山が活発になる前兆を示していると考えられる。ここでは、3火山の解析を示すが、他の火山で適切な活動があれば、手法の評価ができる。今後、さらに解析を進めたい。謝辞: 地震活動度の解析には、気象庁地震カタログを利用した。また、地殻変動観測には国土地理院GEONETデータを利用した。記して謝意を表します。

キーワード: 火山性地震、地震活動、応力応答、速度状態依存則

Keywords: volcanic earthquake, seismicity, stress response, rate and state dependence friction law

クラック振動の解析式を用いたLPイベントの周波数解析に基づく流体特性の推定

Fluid properties estimated from frequencies of LP events using the analytical formula for crack resonance frequencies

*田口 貴美子¹、熊谷 博之¹、前田 裕太¹

*Kimiko Taguchi¹, Hiroyuki Kumagai¹, Yuta Maeda¹

1.名古屋大学大学院環境学研究科

1.Nagoya University Environmental Studies

火山活動の活発化に伴い観測されるLong-period(LP)イベントは、熱水割れ目といった振動体中の流体の振動により発生すると解釈されている。先行研究ではLPイベントの振動体としてクラックモデル(Chouet, JGR, 1986)を考え、数値計算を用いてこのモデルの固有周波数と観測されたLPイベントのピーク周波数を比較することで、その震源にある流体の種類や振動体のサイズの推定を行った。しかしクラックモデルの数値計算ではこの比較を系統的に行い、観測ピーク周波数の振動モードを同定するにはかなりの労力を要したため、このモデルの流体や振動体サイズに関するパラメータ全てを推定するのは難しかった。最近Maeda and Kumagai (GRL, 2013)により提案されたクラックモデルの固有周波数の解析式により、この比較を系統的かつ容易に行うことが可能となった。そこで本研究ではまずこの解析式を用いて観測されたLPイベントのピーク周波数が説明できるかを調べ、その結果からクラックモデルのパラメータを推定できるかを検討する。解析は以下の手順に従う。①まず解析式の周波数の比をとる。この比の分母は低次のものから順にとっていく。このとき解析式の周波数比は、解析式の分子振動モード m 、クラックの短軸方向と長軸方向の長さの比 W/L 、crack stiffness C の3つのパラメータで表される。なお、 $C = 3(a/\alpha)^2(\rho_f/\rho_s)(L/d)$ であり、 a はクラック中の流体音速、 α はクラック外の固体中 P 波速度、 ρ_f は流体密度、 ρ_s は固体密度、 d はクラックの厚さである。さらに、観測された複数のピーク周波数に関しては、最も周波数が小さいピーク周波数に対する比をとる。解析式の分母振動モードと W/L を系統的に変え、解析式の周波数比と観測ピーク周波数の比を比較し、低次から連続して最も多くの観測ピーク周波数を説明できる W/L 、 C を推定する。②クラックモデルの振動波形の Q 値は α/a に強く依存することが知られている(Kumagai and Chouet, JGR, 2000)。よってクラックモデルの数値計算で合成波形と観測波形の Q 値を比較することで、 α/a を推定する。本研究では以上の手順①②に従い、群馬県の草津白根山で1992年8月11日、および同年11月2日に観測されたLPイベントを解析した。8月11日のイベントをイベント1、11月2日のイベントをイベント2と呼ぶ。まずイベント1について、解析式の周波数比と観測ピーク周波数比を比較した結果、解析式の周波数比の分母振動モードの波長が $2L/3$ 、 $W/L = 0.75$ 、 $C = 1.3$ のとき、最も多くの4つの観測ピーク周波数を低次から連続して説明することができた。また、合成波形と観測波形の比較の結果、 $\alpha/a = 30$ のとき観測波形の Q 値を説明できた。草津白根山で発生するLPイベントの震源深さは約200 m (Nakano et al., JVGR, 2003)と推定されており、この深さにおいて $\alpha = 2500$ m/s、 $\rho_s = 2200$ kg/m³を仮定すると、 $a = 83$ m/sと推定された。流体として熱水流体を考えると、このような小さい a の値をとるものはミス状ガスのみであり、震源深さでの飽和条件下でこの a の値に対し $\rho_f = 430$ kg/m³と理論的に推定できる。これらの推定値と C の式、クラックモデルの固有周波数の解析式から、 $L = 18$ m、 $W = 13$ m、 $d = 0.0090$ mと推定され、すべてのクラックモデルのパラメータの値を求めることができた。イベント2についても同様の解析を行ったところ、クラック内の流体はミス状ガスであり、 $L = 180$ m、 $W = 120$ m、 $d = 0.090$ mと、クラックサイズはイベント1に比べ1桁大きいことがわかった。これらの結果から、草津白根山ではマグマからの脱ガスにより帯水層中の割れ目に水蒸気ガスが供給され、それが飽和条件温度まで冷やされることで、クラック内はミス状ガスで満たされたと推測される。また、イベント1、2のクラックサイズの違いはこの水蒸気ガスの供給量の違いに起因するものと考えられる。先行研究(Kumagai et al., JGR, 2002)では観測ピーク周波数とクラックモデルの固有周波数の系統的比較が難しかったため、クラック形状のパラメータ(W/L 、 L/d)と振動モードを仮定し解析を行っていた。しかしクラックモデルの固有周波数の解析式を用いた本研究の手法により、複数の観測ピーク周波数の振動モードの同定を系統的かつ容易に行うことが可能となり、その結果クラックモデルの全てのパラメータを制約できることを示した。

ブルカノ式噴火に付随して発生する連続噴煙に伴う長周期振動

Acoustic VLP signals accompanying the continuous ash emission following Vulcanian eruptions

*山田 大志¹、青山 裕¹、西村 太志²、井口 正人³、Muhamad Hendrasto⁴*Taishi Yamada¹, Hiroshi Aoyama¹, Takeshi Nishimura², Masato Iguchi³, Muhamad Hendrasto⁴

1.北海道大学大学院理学院、2.東北大学大学院理学研究科、3.京都大学防災研究所、4.火山地質災害軽減センター

1.Graduate School of Science, Hokkaido University, 2.Graduate School of Science, Tohoku University, 3.DPRI, Kyoto University, 4.CVGHM

火山噴火に伴う空気振動（空振）の観測は多くの火山で行われており、爆発のメカニズムに関する理解が数多くの先行研究によって得られている。しかしブルカノ式噴火などの火山爆発に伴い火山近傍で観測される空振シグナルのうち、周期が10秒以上の帯域（VLP）に関する観測研究の事例は少ない。

我々は2012年から2013年にかけての約一年間に、インドネシアのスラウェシ島北部に位置するロコン火山近傍において広帯域地震、空振観測を行った。臨時観測に用いた機器は、地震計(Trillium 40, Nanometrics Inc.)は0.025-50 Hzに、空振計(SI 102, Hakusan Co.)は0.05-1500 Hzの帯域にそれぞれフラットな応答性能を有している。観測期間中にロコン火山ではブルカノ式噴火が約50回ほど発生したが、全体のうち8割ほどのイベントは最初の爆発の発生から数十秒から数百秒の間隔の後に連続噴煙の発生を伴っている。地震波形と空振波形の生波形では、爆発に伴っては立ち上がりの鋭いインパルス的なシグナルが、連続噴煙に伴っては振幅が紡錘状に変化する微動がそれぞれ認められる。最初の爆発に伴い放出される地震波と空振は、どちらも周期が10秒より短い帯域に主要な強度を持ち、VLP帯のシグナルの最大振幅は生波形に比べるとおよそ1/100程度でしかない。一方で、連続噴煙に伴う地震、空振波形には、規模の大きなイベントにおいて微動の開始付近にVLP帯に卓越する有意なパルスが認められる。各観測点におけるこの位相の到来時間は火口付近から音波速度で伝播する見かけ速度で説明できることから、VLPパルスは連続噴煙に伴う長周期の空振によって励起されていることが示唆される。またバンドパスフィルター（0.03-0.1 Hz）を適用した上下動変位波形におけるVLPパルスには、空振計の感度帯域よりも長周期のシグナルが卓越していることから、後で述べる解析では上下動地震波形を用いている。

同様の連続噴煙に伴う長周期振動は、2011年の霧島山新燃岳で発生したブルカノ式噴火においても認めることができる。防災科学研究所が運用している基盤的火山観測網のうち、新燃岳近傍の万膳 (n.krmv)、夷守台 (n.krhv) 観測点での広帯域地震波形(Trillium 240, Nanometrics, Inc., 0.004-200 Hz)には、2011年1月27日に発生したブルカノ式噴火と後続する連続微動が記録されている。また気象庁が運用する高千穂河原 (v.kitk)、湯之野 (v.kiam) 観測点における空振計も同様に爆発と付随する微動を記録している。万膳、夷守台における上下動地震波形にバンドパスフィルター（0.01-0.05 Hz）を適用すると、微動部分に音波速度で火口から伝播する位相を確認することができる。また両観測点における微気圧計 (AP270, Koshin Co.) のデータに同様のバンドパスフィルターを適用すると、バンドパス地震波形で確認された位相と相似な圧力変動が認められる。

上で述べた二つの火山では地震観測点が火口から数キロの距離に位置し、VLPパルスのバンドパス上下動速度波形の最大振幅はどちらの火山でも 10^{-7} m/sのオーダーである。大気中の圧力変化とそれに伴い生じる地動の関係はBen-Menahem and Singh (1981)によって定式化されており、地表付近の地殻の弾性波速度と密度を仮に2700 m/s、2500 kg/m³とすると、VLPパルスを励起した観測点直上での圧力変化はおよそ 10^1 Paのオーダーと推定される。解析対象としている波の波長が 10^3 m程度であることから、VLPパルスが線形音波として火口から伝播し、ポイントソースによって励起されていると仮定すると、励起源における大気質量の時間変化が推定できる(Lighthill, 2001)。両火山いずれの場合も、大気密度を加味すると連続噴煙の開始に伴うソースでの大気の体積変化率の最大値はおよそ 10^5 m³/sのオーダーと推定される。この推定は観測点特性、風速などによる誤差の影響を含むと思われるが、他の研究で報告されているブルカノ式噴火での物質の噴出率と概ね整合的である(例えば、小屋口, 2008)。VLPパルスが微動の開始部分に発生していることなどと合わせて考慮すると、こ

の長周期振動は連続噴煙に伴う噴煙柱形成時の大気変動によって説明が可能である。この推定量と噴煙の規模や降灰量との関連を調べることで、噴煙柱やブルカノ式噴火のダイナミクスの理解に寄与できる可能性がある。※霧島山新燃岳でのブルカノ式噴火に関しては、防災科学研究所、気象庁のデータを使用させて頂きました。

キーワード：噴煙、ブルカノ式噴火、インフラサウンド

Keywords: Ash column, Vulcanian eruptions, Infrasonic

蔵王山における人工地震構造探査

Active source seismic experiment in Zao Volcano, Japan

*山本 希¹、三浦 哲¹、市來 雅啓¹、青山 裕²、筒井 智樹³、江本 賢太郎¹、平原 聡¹、中山 貴史¹、鳥本 達矢¹、大湊 隆雄⁴、渡邊 篤志⁴、安藤 美和子⁴、前田 裕太⁵、松島 健⁶、中元 真美⁶、宮町 凜太郎⁶、大倉 敬宏⁷、吉川 慎⁷、宮町 宏樹⁸、柳澤 宏彰⁹、長門 信也⁹

*Mare Yamamoto¹, Satoshi Miura¹, Masahiro Ichiki¹, Hiroshi Aoyama², Tomoki Tsutsui³, Kentaro Emoto¹, Satoshi Hirahara¹, Takashi NAKAYAMA¹, Tatsuya Torimoto¹, Takao Ohminato⁴, Atsushi Watanabe⁴, Miwako Ando⁴, Yuta Maeda⁵, Takeshi Matsushima⁶, Manami Nakamoto⁶, Rintaro Miyamachi⁶, Takahiro Ohkura⁷, Shin Yoshikawa⁷, Hiroki Miyamachi⁸, Hiroaki Yanagisawa⁹, Shinya Nagato⁹

1.東北大学、2.北海道大学、3.秋田大学、4.東京大学、5.名古屋大学、6.九州大学、7.京都大学、8.鹿児島大学、9.気象庁

1.Tohoku University, 2.Hokkaido University, 3.Akita University, 4.University of Tokyo, 5.Nagoya University, 6.Kyushu University, 7.Kyoto University, 8.Kagoshima University, 9.Japan Meteorological Agency

蔵王山は、東北日本弧中央部に位置し宮城県と山形県にまたがる第四紀火山であり、現在の蔵王山の火山活動の中心となる中央蔵王においては、火口湖・御釜周辺での火山泥流を伴う水蒸気噴火など多くの噴火記録が残されている。一方、蔵王山直下では、2011年東北地方太平洋沖地震以後、深部低周波地震の活発化や浅部における長周期地震や火山性微動の発生が認められ、今後の活動に注視が必要であると考えられる。そのため、地震波速度構造や減衰域分布といった将来の火山活動推移予測につながる基礎情報を得るために、「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」の一環として、人工地震を用いた構造探査実験を実施した。

本人工地震探査は、全国の大学・気象庁あわせて9機関から21名が参加して2015年10月に行われ、2箇所のダイナマイト地中発破（薬量200kgおよび300kg）によって生じた地震波を132点の臨時観測点（2Hz地震計・500Hzサンプリング記録）および定常観測点において観測した。測線は、屈折法解析による火山体構造の基礎データの取得およびファン・シューティング法的解析による御釜周辺の地下熱水系の解明を目指し、配置設定を行った。また、地中発破に加え、砕石場における発破も活用し、表面波解析による浅部構造推定の精度向上も目指した。

得られた発破記録から、解析の第一段階として、初動到達時刻を手動検出して得られた走時曲線のtime term法解析を行った結果、P波速度5.2~5.5 km/sの基盤が地表下約0.5kmの浅部にまで存在することが明らかとなった。また、本人工地震探査時および2014年に予備観測として行った直線状アレイを用いた表面波の分散性解析の結果も、ごく浅部まで高速度の基盤が存在することを示し、これらの結果は調和的である。一方、ファン状に配置した観測点における発破記録の初動部および後続相のエネルギーを発破点からの方位角毎に求め、御釜・噴気地帯を通過する前後の振幅比から波線に沿った減衰を推定した結果、御釜やや北東の深さ約1km前後に減衰の大きな領域が存在することが示された。

中央蔵王においては、これまで主に地質学的手法により山体構造の議論が行われてきており、標高1100m以上の地点においても基盤露出が見られることなどから表層構造が薄い可能性が示唆されてきたが、本人工地震探査の結果はこの地質断面構造とも整合的である。一方で、得られた速度構造は、これまで蔵王山の火山性地震の震源決定に用いられてきた次元速度構造よりも有意に高速度であり、今後震源分布の再検討が必要である。また、御釜やや北東の噴気地帯直下の減衰域は、長周期地震の震源領域や全磁力繰り返し観測から推定される熱消磁域とほぼ一致し、破碎帯およびそこに介在する熱水等の流体の存在を示唆する。今後のさらなる解析により、震源推定の高精度化など、火山活動および地下流体系の理解向上が期待される。

キーワード：蔵王山、人工地震探査、火山地下構造

Keywords: Zao Volcano, Active seismic experiment, Volcanic structure

レシーバ関数のインバージョン解析による富士山下のS波低速度領域の推定

Estimation of the low velocity region beneath Mt. Fuji revealed by inversion of receiver functions

*木下 佐和子¹、西田 究¹、五十嵐 俊博¹、青木 陽介¹、武尾 実¹、上田 英樹²

*Sawako Kinoshita¹, Kiwamu Nishida¹, Toshihiro Igarashi¹, Yosuke Aoki¹, Minoru Takeo¹, Hideki Ueda²

1.東京大学地震研究所、2.防災科学技術研究所

1.Earthquake Research Institute, University of Tokyo, 2.National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

富士山は日本の代表的な活火山であり、マグマの噴出量が高いことと、玄武岩質のマグマを噴出する、という2つの特徴を持っている。富士山がこのような性質を持つ理由のひとつとして、富士山は太平洋プレートの沈み込みによってできた伊豆ボニンマリアナ島弧(IBM)が衝突して沈み込む、非常に複雑な場所にあるため、マグマ供給系が通常の島弧火山とは異なる、ということが考えられている。先行研究では、富士山直下20km以深の詳細な地震波構造は求められておらず、本研究では、富士山周辺のIBM構造と富士山下にある低速度領域の分布を求めるために、レシーバ関数解析を実施した。

レシーバ関数のラディアル成分の振幅を、富士山を通る断面に投影すると、富士山下約40-60kmの深さに南北に沈み込む強い正の速度境界面があり、富士山直下でその境界面は不連続になっていることがわかった。また、富士山下で低周波地震が発生する領域の下、およそ25kmの深さに顕著な正の速度境界面があることがわかった。富士山周辺では、表層に地震波速度が遅い火山噴出物が堆積しており、さらに深さ20km付近には顕著な地震波速度低速度領域があると考えられるため、レシーバ関数の振幅断面からのみ、速度構造を議論することは難しい。そこで、インバージョン解析によって、地下のS波速度の絶対値を求めた。レシーバ関数の振幅は地下の速度コントラストに依存するため、先行研究による表面波分散曲線を一緒にインバージョンすることで、解を安定させた。インバージョンの結果、以下に挙げる3つの結果が得られた。1) 先行研究による沈み込む前のIBM島弧の速度構造と比較すると、伊豆半島では、IBM弧の地殻の厚さは約40kmの厚さまで成長している。2) 通常の海洋プレートが沈み込む場所では、先行研究のトモグラフィの結果と整合的な場所にS波低速度領域があり、これは沈み込む海洋性地殻を表している。3) 富士山の下には横方向に約40km、深さ方向に約20kmの大きさのS波低速度領域が存在する。

本研究の結果より、富士山のマグマ噴出率が高いのは、地下のマグマ溜まりが大きいからであり、また、富士山のマグマが玄武岩質なのは、マグマ溜まりの場所が深いからである、と解釈することができる。

キーワード：富士山、レシーバ関数解析、伊豆ボニンマリアナ島弧

Keywords: Mt. Fuji, Receiver functions, Izu-Bonin-Mariana arc

ノイズ相関解析に基づく火山における地震波速度変化の特徴—気象庁データの解析—

Characteristics of seismic velocity changes on volcanoes using noise correlation method:
Analyses of JMA seismic data*高野 智也¹、西村 太志¹、中原 恒¹*Tomoya Takano¹, Takeshi Nishimura¹, Hisashi Nakahara¹

1.東北大学理学研究科

1.Graduate School of Science, Tohoku University

地震波干渉法により、地震や火山活動に伴って0.1~数%の地震波速度変化が検出されている。特に火山体においては、マグマの貫入等による地震波速度変化が検出されている。噴火に先行する地震波速度変化を検知するためには、静穏期の速度変化の系統的な特徴を調べておくことが必要である。そこで本研究では、気象庁から配信されている日本の活火山における雑微動記録を用いて相関解析を行い、火山間で結果を比較することによって火山体における地震波速度変化の特徴を調べる。

気象庁で保守運用されている、短周期地震計の連続記録の上下動成分を利用して地震波速度変化を求めた。主に3点以上のGNSS観測点と2点以上の地震計が設置されている、北海道駒ヶ岳、雌阿寒岳、十勝岳、樽前山、磐梯山、安達太良山、那須岳、草津白根山、伊豆大島、三宅島、雲仙岳、桜島の12火山を解析した。観測期間はGNSSデータが公開されている2012年1月1日から2013年12月31日までの2年間とした。各火山において観測点ペア数は1ペアから45ペアまであり、観測点間距離は約1kmから5kmの範囲である。0.5-1Hz、1-2Hz、2-4Hzの周波数帯域でバンドパスフィルタを適用し、雑微動の相互相関関数(CCF)を計算した。全期間スタックしたCCFと、1日分スタックしたCCFから、1日ごとの地震波速度変化を求めた。地震波速度変化の推定にはMWCS法(Poupinet *et al.*, 1984)を用いた。

地震波速度は、数ヶ月から1年程度の周期で約1~3%変動しており、噴火や地震等がないような時期でも地震波速度は大きく変化していることがわかった。複数の観測点ペアの取れる火山において、各観測点ペア間で地震波速度変化同士の相関係数を求めたところ、例えば1-2Hz帯で相関係数が0.5以上の火山は伊豆大島、樽前山、三宅島、北海道駒ヶ岳のみであった。この結果から多くの火山では数kmの範囲内において、局所的に地震波速度変化が起きている可能性が推察された。更に、同一ペアの各周波数帯域間で地震波速度変化を比較したところ、速度変化の時系列に相関はあるものの振幅が異なる例だけでなく、トレンドや位相が大きく異なる火山が多数見られた。このような不規則な特徴が見られた要因は必ずしも明らかではないが、深さによる速度変化の要因の違いや雑微動の伝播特性の違い等を反映している可能性が考えられる。

火山性地殻変動による応力変化に伴って地震波速度が変化している例が報告されているので、各火山で得られた地震波速度変化と歪変化の相関性を調べた。歪変化は3点の気象庁のGNSS観測点から推定した。測定誤差を考慮して、面積歪が -2×10^{-6} 以下または 2×10^{-6} 以上の期間のみを解析に用いた。面積歪が最大せん断歪より卓越している期間のみを抽出して、速度変化と歪変化の相関性を調べた。相関解析に十分なサンプル数のある伊豆大島と樽前山では、相関係数が-0.6以下で、速度変化に明瞭な歪依存性が見られた。しかしながら、観測点ペア間や周波数間でばらつきの大きい十勝岳では十分なサンプル数があるものの、速度変化の歪依存性は得られなかった。

本研究では、噴火のない期間の火山において約1~3%の地震波速度変化を検出した。観測点の中には速度変化の明瞭な歪依存性を示す点もあり、面積歪が速度変化に影響を与える可能性が示唆された。

キーワード：地震波速度変化、地震波干渉法、火山性地殻変動

Keywords: Seismic velocity changes, Seismic interferometry, Volcano deformation

Shallow crustal velocity structures obtained from ambient noise study of dense broadband seismic array in the Tatun Volcano Group of Taiwan

*Yu-Chih Huang¹, Tsuneomi Kagiya¹, Cheng-Horng Lin^{2,3}

1.Aso Volcanological Laboratory, Institute of Geothermal Sciences, Graduate School of Science, Kyoto University, Kumamoto, Japan, 2.Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taipei, Taiwan, 3.Taiwan Volcano Observatory at Tatun, Ministry of Science and Technology, Taipei, Taiwan

The Tatun Volcano Group (TVG) is located in the northern tip of Taiwan Island with a radius of 10 km. The TVG situates adjacent to the Taipei metropolis in the north and was predominantly active in the Quaternary period. Shanchiao Fault is an active normal fault transits the TVG in northeastern orientation. A sequence of normal faults and scarps inspected on the hanging wall of Shanchiao Fault and sub-parallel to its orientation in the extent of TVG. Since the major geothermal activities such as fumaroles, solfataras and hot springs also expose on the hanging wall of the Shanchiao Fault, it is thought to be the passage for volcanic-hydrothermal gas and fluid. Besides, Kanchiao Fault is a suspected active fault and known as the important geologic structures adjacent to the southeast of TVG.

The subjects about TVG is already extinct or still active are also under frequent discussion. Attribute to new technological advances and methodologies improvement, various types of observations and experiments were implemented to monitor the activities of TVG in recent years. Basing on the results of these recent researches, various evidence proved that TVG is not extinct, should be a potentially active volcano and cannot exclude the possibility of volcanic eruptions in the future. It is important to understand the magma chamber and detailed velocity structures below the TVG but are still not well resolved. The fundamental theory to obtain S-wave velocity structure from ambient seismic noise analysis has been already proofed and provided important constraints around the world in the past decade. We present the results of ambient seismic noise studies in the TVG with dense seismic monitoring network.

The seismic network in this research is composed with three sub-networks, totally there are 40 free-field seismic stations equipped with Güralp CMG-6TD broadband seismometers and GPS timing system. The interstation distances are between 0.6 km and 28 km, with an average of 8.5 km. The cross-correlation functions (CCFs) were calculated with the methodologies of one-bit cross-correlation and spectral whitening. We selected vertical component to obtain the CCFs in the period band 0.5-7 s for all station-pairs and derived with the selected daily recordings in 2014. The daily CCFs were stacked monthly and then the monthly CCFs were stacked again to further obtain TDEGFs and Rayleigh wave phase velocity dispersion curves. We stacked positive and negative lag times of TDEGF to enhance coherent signals and suppress the effect of uneven seismic noise sources distribution. The maximum period can be measured for each station-pair is related to the inter-station distance and phase velocity. For far-field approximation, the inter-station distance is required to be at least twice of propagating surface wave wavelengths in this study to assure surface wave can well develop between station-pair.

We focus on phase velocity maps in the period band 0.5-3 s in the TVG and the study region is parameterized by $0.02^\circ \times 0.02^\circ$ grid points. Phase velocity maps show high velocities are dominate between Shanchiao Fault and Kanchiao Fault at study periods, which maybe relate to the solidified andesite lava. Especially in the south parts of Jinshan area, which locates the earliest stage of volcanic activities in the TVG. At periods longer than 2.5 s, high velocities separate into two major regions beneath the ChiShingShan and south parts of Jinshan area. At periods shorter than 1 s, there are some localized low velocity areas correlate well with the surface geothermal

activities. The regions north (footwall) of Shanchiao Fault show low velocities at the study periods maybe relate to the Tertiary strata already covered by andesite lava flows with dozens of meters thickness. The detailed S-wave velocity structures in the shallow crust will be investigated and searching for possible candidates of magma passages and hydrothermal reservoirs beneath TVG.

Keywords: ambient seismic noise tomography, Tatun Volcano Group, shallow crust

応力場の時間変化に基づく御嶽火山のモニタリング

Monitoring eruption activity using temporal stress changes at Mount Ontake volcano

*寺川 寿子¹、加藤 愛太郎¹、前田 裕太¹、山中 佳子¹、堀川 信一郎¹、松廣 健二郎¹、奥田 隆¹

*Toshiko Terakawa¹, Aitaro Kato¹, Yuta Maeda¹, Yoshiko Yamanaka¹, Shinichiro Horikawa¹, Kenjiro Matsuhira¹, Takashi OKUDA¹

1.名古屋大学, 大学院環境学研究科, 附属地震火山研究センター

1. Earthquake and Volcano Research Center, Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University

On 27 September 2014, around 11:52 a.m. JST, Mt. Ontake volcano produced a hydrothermal eruption with a VEI value of 2. We examined temporal changes in the local stress field at Mt. Ontake over a period of 17 months (August 2014 to December 2015) with the 2014 eruption from focal mechanism solutions of 168 volcano-tectonic (VT) events (Terakawa et al., in press). In general, the local stress field around volcanoes represents the superposition of the regional stress field caused by plate motion and stress perturbation related to volcanic activity. The regional stress field does not change over periods of weeks to months, and so temporal stress changes over such time periods are attributed to volcanic activity.

We defined the angular difference between the observed slip vectors and theoretical slip vectors expected from the regional stress field as the misfit angle, based on the concept that seismic slip occurs in the direction of the resolved shear traction acting on a pre-existing fault. The misfit angles larger than the estimation errors of the regional stress field and focal mechanism solutions ($>65^\circ$) mean that the local stress field was deviated from the regional stress field due to enhanced volcanic activity. The average misfit angles remarkably exceeded the threshold value (65°) two weeks before the eruption, but immediately after the eruption the values showed a marked decrease. The pre-eruption seismicity was dominated by normal faulting with ENE-WSW tension, indicating that the volcanic activity caused strong tension for the pre-eruption period. On the other hand, many reverse faulting with ESE-WNW compression for the post-eruption period corresponded to shrinkage of the volcanic edifice, controlled by the regional stress field.

The stress perturbation for the pre-eruption period suggests existence of dyke-type volcanic system beneath Mt. Ontake in which inflation is driven by magmatic/hydrothermal fluids propagating upwards in a vertical crack. This is consistent with the distribution of hypocenters of volcanic earthquakes relocated by a DD method (Kato et al., 2015), the alignment of craters from the 2014 eruption (GSI, 2014), and source mechanisms of VLP events prior to the 2007 and 2014 eruptions (Nakamichi et al., 2009, Maeda et al., 2015).

The time history of average misfit angles showed slight enhancements in November 2014, January-February 2015, June-July 2015, and October-December 2015. Especially, the final stage of the enhancement in June-July 2015 was synchronized with an unusual tiltmeter signal indicating summit upheaval. These observations suggest that some re-pressurization/de-pressurization processes repeated after the 2014 eruption. Temporal stress changes revealed in this study were well associated with physical processes at the active volcano. This indicates that the method has potential to contribute to eruption monitoring.

キーワード：御嶽山、応力場、地震のメカニズム解

Keywords: Mount Ontake, stress fields, focal mechanism solutions

ALOS-2/PALSAR-2により検出された御嶽山2014年噴火後の収縮源推定

Deflation source after the September 2014 eruption of Ontake Volcano, Japan detected by ALOS2/PALSAR2 InSAR

*成田 翔平¹、村上 亮¹

*Shohei Narita¹, Makoto MURAKAMI¹

1.北海道大学地震火山研究観測センター

1.Institute of Seismology and Volcanology, Hokkaido Univ.

1. はじめに

岐阜 - 長野県境に位置する御嶽山（標高3067m）では2014年9月27日に35年ぶりに本格的な水蒸気噴火が発生した。この噴火の約3週間前から火山性地震が増加し、噴火の約10分前にはその震源が徐々に浅くなり始め、これにほぼ同期して傾斜変動が記録された。噴火は地獄谷に新たに形成された火口列から始まり、その活動度は日ごとに指数関数的に減衰し現在に至っている。

噴火前後に行われた観測では、噴火時のクラック形成を示唆する様々な変動が捉えられている。噴火直前に発生したVLPの解析では、新火口列直下300-1000mにほぼ東西に開口するクラックが推定されている（Maeda et al., 2015）。さらに、ALOS-2による噴火を挟むペアのInSAR解析では、変動は新火口列に沿う、深さ100mから1400mまで伸びるほぼ鉛直な開口性クラックの形成によるものであることが推定された（国土地理院, 2015）。一方、ALOS-2データにより、噴火後も山頂付近では大きな収縮性の地殻変動が続いていることが明らかになっている。本研究は、この衛星データを詳細に解析し、噴火後1年間の御嶽山の地殻変動源を推定し、先行研究で推定された変動源との位置関係や他の観測結果との関連を調べることを目的とする。

2. 解析結果

解析対象としたALOS-2データは、2014/10/03-2015/06/12、2014/10/03-2015/11/13、および2014/06/12-2015/11/13の3ペアである。いずれも、北行軌道・右向き観測・オフナディア角32.4°のデータである。これらは無積雪期に観測されたため、干渉性はシーン全体で良好である。干渉解析にはInSAR解析ソフト：RINC (version 0.36) を使用した。

干渉解析の結果、いずれのペアにおいても地獄谷周辺の2kmx1kmの領域で収縮性の変動が確認できた。視線方向距離(LOS)の変化は全て伸びのセンスで、その最大値は2014/10/03-2015/11/13 (13ヶ月間)で45cm程度、2014/10/03-2015/06/12 (8ヶ月間)で30cm程度、2014/06/12-2015/11/13 (5ヶ月間)で12cm程度であった。これらのInSARデータを、半無限等方均質媒質を仮定したMogiモデルを用いてインバージョンを行った。その結果、観測値はMogiモデルでかなり良好に説明され、変動源の深さはいずれも400m付近に落ち着いた。その体積減少量は、前述した13ヶ月間では 3.7×10^5 、8ヶ月間では 2.4×10^5 、6ヶ月間では 1.1×10^5 と推定された。

3. 考察と今後の課題

今回推定された収縮源の深さは一貫して400m付近であった。一方、2005年8月-2007年9月に山頂付近で行われたGNSS繰り返し観測では、地獄谷直下1km程度に圧力源が推定された。これは、深さは異なるが、水平位置は今回の変動域の南端に位置している。また、2007年-2010年のALOSデータの時系列解析結果によると、山頂付近を中心にしたLOS方向の短縮速度が1cm/yr程度である隆起センスの変動が示唆されている（第130回火山噴火予知連絡会資料）。これらの地殻変動間の関係を検討するためには、収縮源の位置やその時間変化を詳細に追跡する必要がある。ただし、変動域の斜度は約30°と急峻であり、地形効果が変位に及ぼす影響は無視できない可能性がある。そのため、今後は有限要素法を用いた詳細な解析を行い、変動源の推定をより高精度に行う。

謝辞：本研究では、小澤拓 博士が開発したInSAR解析用ソフトRINCおよび国土地理院の10m標高と電子地図を使用しました。また、InSAR解析に用いた衛星画像の原データの所有権はJAXAにあります。これらのデータは、火山噴火予知連絡会衛星解析グループを通じて提供されました。ここに記して、以上の方々に感謝を申し上げます。

キーワード：御嶽山、水蒸気噴火、地殻変動

Keywords: Ontake, phreatic eruption, volcano deformation

航空レーザ測量による2014年の御嶽山噴火前後の地形変化

Landform change detected from the airborne laser survey before and after the 2014 Eruption of Ontake Volcano, central Japan

*鈴木 毅彦¹、山岡 耕春²、千田 良道³、宇野女 草太³

*Takehiko Suzuki¹, Koshun Yamaoka², Yoshimichi Senda³, Souta Unome³

1.首都大学東京都市環境学部、2.名古屋大学環境学研究所附属地震火山研究センター、3.中日本航空株式会社
1.Faculty of Urban Environmental Sciences, Tokyo Metropolitan University, 2.Earthquake and Volcano Research Center, Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, 3.Nakanihon Air Service

火山噴火の前後に生ずる地形変化には多様な要因があり、その広がり・変化量・速度も多様である。これらの幾つかは土石流、崩壊などを通じて周辺域に影響を及ぼす。このため噴火直後からの地形変化を把握することは周辺域への影響を予測する上で欠かせない。しかし多くの場合、噴火開始以降は火口周辺に近づくことが困難な場合が多く、十分に地形変化を把握することができない。2014年御嶽山噴火も同様であり、噴火直後の地形変化や広範囲における面的な地形変化の把握は限られている。この様な場合、航空レーザ測量を繰り返し実施すれば測量間の地形変化をレーザデータ差分として捉えることができる。本研究では同噴火前後の地形変化を2005年、2014年噴火直後、2015年9月5日の3時期に取得された航空レーザ測量データをもとに把握することを試みた。対象とした地形変化は、火山灰降下、噴石、火口地形変化、泥流流下に伴う侵食・堆積に関わるものである。

火山灰の堆積による地形変化 2014/2005間のレーザデータ差分によれば、一ノ池南部において+0.3~+0.6 m (正は高度増加)、剣ヶ峰西側の稜線で+0.3~+0.6 m、主火口列付近で+10 m前後の標高較差を示す地形変化が認められた。主火口列に近いほど正の較差量が大きいため火山灰降下によると思われる。火山噴火予知連絡会資料「2015年8月19-20日の御嶽山山頂調査の速報」によれば降灰量は「一ノ池北の二ノ池南西側斜面で8 cm、一ノ池西側で20-37 cm、剣ヶ峰西側の一ノ池南縁の鞍部で約70 cm」とされており、本研究の推定と整合する。剣ヶ峰西側稜線南側斜面(地獄谷上部)では+2~+6 mの地域が面的に認められ、主火口列近傍付近では+8~+10 mの地域がある。後者の領域は鹿の角状を示す複雑な形を呈し噴火前の谷地形に一致する。噴火前と噴火直後(2015年)の空中写真を比較すると地獄谷上部では起伏変化に富んだ急峻な谷地形が噴火後埋められたように滑らかな地形に変化しており、火山灰が埋谷したと思われる。谷地形に強く規制されることから火砕流による堆積の可能性がある。同地域は火口の極近傍で急斜面であることから現地での火山灰の層厚が得られていないが今回レーザデータ差分により具体的な層厚が得られた。ところでこの谷埋めを伴う堆積物

は、2015/2014の差分によれば、一年間でほぼ消滅している。すなわち地獄谷上部では2015年9月までにはこれら火山灰が侵食・移動し消滅した。さらに2015/2005で比較すると、噴火後1年間での侵食量は噴火前のレベルに戻るだけでなく、-4~-6 m程度の侵食傾向を示す。降灰が結果的には長期的な侵食を促すことが伺える。

W1火口付近の地形変化 一ノ池の西側斜面付近においては、西北西-東南東方向に190 m x 35 m範囲の高度増加部が存在する。2014年噴火W1火口出現に伴い形成されたとみられる。詳細に観察すると直径約20 m、深度-6~-10 mのほぼ円形の火口地形が認められ、そこから西方に泥流が流出し、高度増加部の一部をなしているのが確認できる。差分によれば泥流の層厚は最大で2-1 mとみられる。火口形成や泥流流下は空中写真からも容易に判読できるが、その深度・層厚はレーザデータ差分により定量的に把握できる。ところで噴火直後に認められた190 m x 35 m範囲の高度増加部の東半分は2015年9月時点でほぼ消滅した。その理由の1つは東西に発達したガリーの形成による。

谷沿いにおける侵食・堆積 噴火後一年間の2015/2014差分データで全体的に最も目立つ地形変化は御岳山全域の谷沿いでみられる侵食・堆積作用である。山頂西側の尺ナンゾ谷上流部、白川上流部、赤川-地獄谷上流部、南俣川上流部、湯川上流部の各所で-1~-6 mの高度低下が確認でき、谷沿いで侵食活動が活発であることがうかがわれる。これらの箇所は火山土地条件図(国土地理院)で「谷及びガリー」と区分されている侵食地形に相当する。一方で白川や湯川沿いでは100-500 m程度の区間で10 m以下の高度上昇が認められ、ところにより堆積傾向が卓越する。こうした傾向は2015/2005の差分データでも認められる。このことは噴火後の一年間で噴火前

の河床レベルに戻るのではなく、元の河床においてさらに洗掘が進むか、あるいは谷の埋積が進行したことを示唆する。

噴石 本噴火により放出された噴石の分布把握を試みた。剣ヶ峰南南東斜面では数m×数m規模の高度増加を示す箇所が複数認められた。しかしこれらは噴火前から径1m以上の岩塊が存在する場所であり、2014年噴火放出物とは考えられない。噴火前のレーザーデータの精度が十分でないため、数m×数m規模の噴石を認定するのは困難であった。

まとめ 火山噴火の前後に生ずる地形変化を把握するうえで航空レーザー測量を用いることの有効性が確かめられた。一方でより詳細な変化を捉えるためには噴火前から高精度な航空レーザー測量データを整備することの必要性が浮かび上がった。本研究には特別研究促進費「2014年御嶽山火山噴火に関する総合調査」を使用した。

キーワード：航空レーザー測量、2014年御嶽山噴火、地形変化

Keywords: Airborne laser survey, 2014 Eruption of Ontake Volcano, Landform change

阿蘇火山中岳における2015年9月14日のマグマ水蒸気噴火とその噴出物

The September 14, 2015 phreatomagmatic eruption of Nakadake crater, Aso Volcano, Japan and its deposits

*宮縁 育夫¹、原 千穂子¹、飯塚 義之²、横尾 亮彦³

*Yasuo Miyabuchi¹, Chihoko Hara¹, Yoshiyuki Iizuka², Akihiko Yokoo³

1.熊本大学教育学部、2.中央研究院地球科学研究所、3.京都大学大学院理学研究科

1.Faculty of Education, Kumamoto University, 2.Institute of Earth Sciences, Academia Sinica,

3.Graduate School of Science, Kyoto University

阿蘇火山中岳では2014年11月～2015年5月頃に本格的なマグマ噴火が発生し、その後は湯だまり（火口湖）が再生されるなど比較的穏やかな状況であったが、2015年9月14日9時43分に大きな空振を伴う爆発的な噴火が発生した。筆者らは噴火発生直後から中岳第1火口周辺域での現地調査とともに、遠方域においても降灰調査を行い、多数の噴出物試料を採取した。本発表では噴出物の分布や特徴、顕微鏡観察や化学分析結果について報告する。

9月14日噴出物は、噴出形態から弾道堆積物、火砕密度流堆積物、降下火砕物の3つに分けられる。弾道放出された噴石は火口中心から500 m程度の範囲に散在していた。噴石の中で最大のものは長径1.6 mであったが、大部分は径10 cm以下のものであった。南西側火口縁の3.5 m²の範囲に堆積する全158個の噴石を採取して観察した結果、約半数は新鮮に見える玄武岩質安山岩で、残りは変質した噴石であった。火砕密度流堆積物は火口周辺の約2.3 km²の範囲に広がっていたが、最大層厚は10 cm以下と薄く、礫成分をほとんど含まない砂質のものであった。層厚分布から火砕密度流堆積物の量は5.2万トン程度と概算された。降下火砕物は砂～シルト質の淘汰の良い堆積物であり、現地では火口西方8 km付近まで明瞭に認められた。気象庁によると、降灰域は福岡県南部までの広範囲に及んでいたことがわかっている。降下火砕物の量は約2.7万トンであり、火砕密度流堆積物と合わせると、この噴火による総噴出量は7.9万トン程度になる。

現地で採取した火砕密度流堆積物と降下火砕物の試料をふるい分けし、0.125～0.25 mmの粒子を用いて薄片を作製して偏光顕微鏡下で観察した。その結果、4～5割程度のさまざまな色調の岩片とともに、2～3割程度の新鮮なガラス片も含まれることがわかった。ガラス片の大部分はほとんど変質が認められない低結晶度の淡褐色ガラスであった。また、EPMAによってガラス片の化学分析を行ったところ、その化学組成は1979年や1989～1990年、2014年11月～2015年5月の中岳火山灰中のガラスとほとんど変わらないものであった。今回の噴火はビデオ映像等に記録されている噴煙の状況、弾道放出や火砕密度流の発生、さらに噴出物中に新しいマグマに由来すると考えられる2～5割程度の物質の存在から、マグマ水蒸気噴火であったことは明らかである。中岳では1979年9月6日や1990年4月20日にも同様の噴火が発生しているが、噴出物量的に見ると、今回の噴火はそれらに比べて1桁程度規模が小さいものであった。

キーワード：マグマ水蒸気噴火、噴石、火砕密度流、阿蘇火山、中岳

Keywords: phreatomagmatic eruption, ballistic clasts, pyroclastic density current, Aso Volcano, Nakadake

阿蘇山2015年9月14日噴火後の細粒土砂の流出

Fine sediment discharge after Sep. 14, 2015 Eruption in Aso volcano

*阪上 雅之¹、國友 優¹、鈴木 大和¹*Masayuki Sakagami¹, Masaru Kunitomo¹, Yamato Suzuki¹

1.国土交通省 国土技術政策総合研究所 土砂災害研究部 土砂災害研究室

1.National Institute for Land and Infrastructure Management

1. はじめに

一般的に火山が噴火すると、堆積した火山噴出物により、斜面の浸透能が低下し、わずかな降雨でも火山泥流が発生することがあり（例えば、有珠山1977年噴火や雲仙1991年噴火など）、防災上注意が必要である。一方、噴火すれば必ず火山泥流が発生しやすくなるというわけでもない（例えば、厚井ほか（2013））。このため、火山泥流が発生しやすい環境場が形成されているか否かの判断指標の確立が求められている。藤田ほか（2012）は、破碎度が高くなる水蒸気噴火、マグマ水蒸気噴火時や降雨時など、細粒分を火口近傍の山腹斜面に降下・堆積させるようなメカニズムが働く場合に、火山泥流が発生しやすくなる可能性があることを指摘した。細粒分を火口周辺に降下・堆積させるメカニズムが働く現象としては、藤田ほか（2012）が指摘する現象のほか、火砕流（火砕サージ）を挙げることもできる。そこで筆者らは、2015年9月14日、1979年以来36年ぶりに比較的小規模ではあるもののマグマ水蒸気噴火及び火砕流の発生が確認された阿蘇中岳火口の周辺流域において、細粒土砂の流出の有無を確認すべく調査を行ったので、その結果を報告する。

2 調査内容及び結果

10月28日（10月期）、11月25-27日（11月期）、12月17-18日（12月期）の3時期に阿蘇中岳周辺の4流域（泉川、西岳川、仮川、倶利伽羅谷川）において現地調査を行い、流域内の土砂堆積状況の確認などを行った。その他、泉川、西岳川、倶利伽羅谷川では流出土砂の採取を行い、粒度分析などを行った。現地調査の結果、泉川、西岳川では10月期時点で、仮川、倶利伽羅谷川では11月期時点で、細粒分に富む灰色の泥状堆積物（以下、細粒土砂）が、一般的に阿蘇山周辺の溪流に堆積している黒色火山砂を数mmから数cm程度の厚さで薄くコーティングするように覆っているのを確認した。細粒土砂の代表粒径（D50）は0.005~0.016mmとシルト分に富むものであった。泉川、西岳川では堆積物の粘性は高く、泥状であった。仮川及び倶利伽羅谷川では堆積物の一部は調査実施時点（12月18日）で既に固結し、スコップでは採取できないほどの硬さであった。流出してきた細粒土砂は、粘性が高く、乾燥すると固結する特徴を有していることがわかった。次に、細粒土砂の流出と降雨の関係を確認した。泉川、西岳川で細粒土砂の流出を確認した10月期の調査時点以前の最大時間雨量は26mm（10月1日22時：熊本県「草千里」雨量観測所）であった。したがって、これらの流域では26mm/h未満の降雨により細粒土砂が流出したものと考えられる。一方、仮川においては、11月18日正午頃に、前日から当日にかけての時間雨量最大25mm中（熊本県「倶利伽羅谷」雨量観測所）に砂防堰堤工事現場に多量の細粒土砂の流出があったこと、また近年このような細粒土砂の流出は経験したことがなかったことを、工事施工業者である翔栄建設㈱に対するヒアリングにより確認した。仮川流域では、9月14日の噴火以降、9月17日に最大時間雨量34mm（熊本県「倶利伽羅谷」雨量観測所）を観測していたが、その際は細粒土砂の流出はなかった。

3 考察

今回実施した調査により、火砕流（火砕サージ）の影響を受けた4流域全てにおいて細粒土砂の流出があり、またその土砂流出はこの地域としては年数回程度の降雨により発生していることを確認した。2014年から2015年9月までの代表的な3回の噴火での火山灰分布範囲（熊本大学、2015）を見ると、4流域いずれも降灰の影響を受けており、また2015年5月3日にはシルト以下の細粒成分に富む火山灰が降灰しているが、この期間中に本報告で紹介したような細粒土砂の流出は確認されていない（熊本県阿蘇地域振興局及び、翔栄建設㈱ヒアリング結果）。このことから、9月14日に火砕流（火砕サージ）が火口近傍に流下したことで火口周辺に細粒な火山灰が供給され、流域の環境場が変化し、細粒土砂が流下したことが推測される。このことは、今後細粒火山灰が火口近傍に堆積した際には、流域内の浸透能を下げる可能性を含んでおり、例え小中規模の噴火であってもマグマ水蒸気噴火及び火砕流（火砕サージ）が発生した後は、十分に気をつける必要があることを示唆している。

キーワード：阿蘇中岳、火山泥流、マグマ水蒸気噴火、火砕流

Keywords: Aso-Nakadake Volcano, Lahar, Phreatomagmatic eruption, Pyroclastic flow

箱根山の火山活動に伴う火山ガスの時間変化

Variation of fumarolic gas composition along the volcanic activity of Mt Hakone, Japan

*大場 武¹、谷口 無我¹、石田 賢¹、糸原 宗一郎¹、山岸 将大¹、代田 寧²*Takeshi Ohba¹, Muga Yaguchi¹, Ken Ishida¹, Soichiro Kumehara¹, Masahiro Yamagishi¹, Yasushi Daita²

1.東海大学理学部化学科、2.神奈川県温泉地学研究所

1.Department of chemistry, School of Science, Tokia University, 2.Hot Spring Res. Inst. Kanagawa Pref.

序

箱根山では数年毎に火山性地震が群発する。例えば2001年6月から10月にかけて発生した地震活動は活発で、中央火口丘の地下で体積膨張が観測され、山体に地殻変動をもたらした。この地殻変動は、深さ7kmの球状圧力源と、大涌谷および駒ヶ岳の浅部における潜在的な開口割れ目により説明された(代田ほか, 2009)。2001年7月には大涌谷に掘削されていたボーリング孔の蒸気放出圧力が異常に増大した(辻内ほか, 2003)。2015年4月末から群発地震が始まり、6月30日に小規模な水蒸気噴火が発生した。同年9月までに地震活動は急速に衰え、その後は平静な状態が継続している。

火山ガスの採取

大涌谷地熱地帯の自然噴気を2地点において2013年5月からほぼ毎月2016年2月まで繰り返し採取・分析した。採取地点のひとつは、駐車場の南東200mにある噴気で、ここでは定点と呼ぶ。二か所目は、駐車場の北方500mの山麓にある噴気で、近年になり出現した。この噴気を新噴気と呼ぶ。新噴気の周辺では、樹木が枯死している。両者とも、噴気の出口温度は96°C前後であり、水の沸点に近い。定点の噴気は、温泉水の湧出を伴うが、新噴気では、相対的に蒸気の放出が多い。

結果・考察

2015年の群発地震は4月26日に始まったが、我々はその2日前に噴気の採取をしていた。その際の噴気地帯の外観は通常と全く変わらなかった。通常と異なった事として、定点の噴気で空気の混入が大きく、噴気の採取中に、真空瓶の内圧が急速に上昇し、十分な量の噴気を導入することができなかった点が挙げられる。4月26日のCO₂/H₂S比は、定点と新噴気で、それぞれ、3.6, 20であった。群発地震開始後の5月8日にそれらは、それぞれ、4.4と31に増加していた。その後、CO₂/H₂S比は上昇を続け、小規模な水蒸気噴火が観測された6月30日に新噴気は59に達した。興味深いことに、この59という値は、代田(2013)が群発地震の最中であった2013年2月26日に新噴気で観測した58という値とほぼ一致している。CO₂/H₂S比は7月以降、なだらかに低下し、2016年2月15日時点で、定点、新噴気がそれぞれ、3.9, 29まで低下した。CO₂/H₂S比の変動はCO₂/H₂O比の変動と平行しており、これらの比の変化の原因はCO₂濃度の変化と解釈できる。

定点の噴気に含まれるH₂Oの同位体比には群発地震の前兆とみなされる変動が観測された。2015年1月20日にdDは-51%であったが、その後急激に低下し、4月24日には-67%に達した。群発地震開始後の5月8日には-56%まで回復した。この同位体比の変化は、群発地震まえに噴気を形成している浅部熱水系で、マグマ起源のH₂Oの比率が低下し、地下水の寄与が大きくなったことを意味している。定点の噴気に関し、同位体比と類似した変化としてHe/N₂比を挙げるができる。2014年12月19日にHe/N₂比は3.3×10⁻⁴であったが、急速に低下し、4月24日には1.1×10⁻⁵まで低下した。群発地震開始後の5月8日には2.8×10⁻⁴まで回復した。同位体比とHe/N₂比の前兆的な変化は、浅部熱水系に対するマグマ起源のH₂Oの供給率が低下し、熱水系の圧力が低下し、空気の混入が起きたことを示唆する。マグマ起源のH₂Oの供給率の低下は以下のように解釈することができる。

2015年1月では、マグマから放出されるガスは浅部熱水系に供給され、その熱水系から地表に噴気が放出され、両者の流量は均衡していた。しかし、2015年2月からマグマを取り囲むシーリングゾーンが発達し、マグマから放出されるガスはシーリングゾーン内に蓄積し、マグマを圧迫した。ここでシーリングゾーンとは、R.O.Frunier(1999)が提案した概念で、マグマ性ガスの通路が二次鉱物(明礬石、黄鉄鉱、シリカ、硬石膏など)の沈積により自己閉塞する現象である。シーリングゾーンに阻まれ、2015年2月から4月にかけてマグマ性ガスに含まれる水蒸気の流量が減少し、天水起源地下水との混合の結果生じる噴気の6D減少を招いた。2015年4月下旬にシーリングゾーンは内部のガス圧増加により破壊し、マグマ性ガスが一気に浅部熱水系に

注入された。これが群発地震を引き起こし、小規模な水蒸気噴火の原因となった。

謝辞

本研究は文部科学省による「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」の支援を受けました。

キーワード：火山ガス、箱根山、マグマ

Keywords: Volcanic gas, Mt Hakone, Magma

十勝岳における簡易型マルチガス観測（続報）

Multi-GAS measurements at Mt.Tokachidake

*岡本 理沙¹、橋本 武志¹*Risa Okamoto¹, Takeshi Hashimoto¹

1.北海道大学大学院理学院地震火山研究観測センター

1.Institute of Seismology and Volcanology, Graduate School of Science, Hokkaido University

はじめに： 火山ガスの組成や放出率とそれらの時間変化は、火山の地下で起こっている脱ガス過程や山体内部の構造を推定する手がかりとなる。いくつかのガス種について成分比を簡便に測定する方法として、マルチガスと呼ばれる装置が用いられている（例えば、Shinohara, 2005）。我々は、市販の携帯型ガス濃度計を組み合わせることで、簡易型のマルチガス装置としての利用を試み、十勝岳と樽前山で検証を行ってきた。これまでのところ、他機関の測定データと比較しても矛盾のない結果が得られている（岡本・他, 2015: JpGU）。十勝岳では、道総研地質研究所や気象庁のGNSS観測によって、2006年以降62-2火口近傍の膨張が捉えられていたが、2015年5月から8月にかけて地盤変動に局所的な加速がみられた。また、62-2火口の南側に位置する振子沢噴気孔群の拡大や、62-2火口底での湯沼の形成など、熱活動に変化が起こっている。我々は、火口ごとにガス組成に違いがみられるかどうかや、2014年9月の測定結果と比較して変化がみられるかどうかに着目して、2015年7月と9月に簡易型マルチガスによる再測定を行った。

測定方法： 本研究では3種類のガス濃度計（SO₂、H₂S、CO₂）を用いた。それぞれの濃度計の測定レンジはSO₂：0-100ppm、H₂S：0-100ppm、CO₂：0-9999ppmであり、分解能はそれぞれ、SO₂：1ppm、H₂S：0.1ppm、CO₂：1ppmである。時定数のもっとも長いCO₂濃度計に合わせるために、H₂SとSO₂の時系列に1分間の移動平均処理を施すことで装置ごとの応答性の違いに対応した。すべての濃度計の測定間隔を2秒に設定し、噴煙の中を、ガスマスクを付けて歩行することで測定を行なった。また、H₂S及びSO₂濃度計については感度校正を行い、相互干渉の補正を施した。なお、大正火口については、噴煙の大部分が地表付近を這うようにしてほぼ定常的に流れているため、噴煙断面の濃度分布をマッピングし風速を乗じることによって放出率も推定した。

測定結果と考察： 測定は、大正火口、62-2火口、振子沢噴気孔群の3箇所で行なった。濃度ピーク前後のデータを用いてガス種間の相関図を作成し、その傾きから成分比（モル比）を求めると、大正火口の成分比は、SO₂/H₂S：約6、CO₂/H₂S：約5、CO₂/SO₂：約1であった。一方、62-2火口ではCO₂/SO₂：約0.5、振子沢噴気孔群ではCO₂/SO₂：約0.4であった。なお、62-2火口と振子沢噴気孔群では、噴気にH₂Sはほとんど含まれていないことも判明した。各火口のガス成分比は2015年7月と9月でほぼ同様であり、2014年と比較しても有意な変化は認められない。そのため、この1年間で脱ガス機構に影響を与えるような変化は起こっていないと考えられる。一方、上記の方法で我々が2015年に測定した大正火口からのSO₂放出率は約6-7 t/dであった。気象庁のSO₂放出率観測（DOAS法）によれば、ほぼ同時期における火口域全体の放出率は100-200 t/dで、前年度と比べて約2倍になっていた。このことから、2015年におけるSO₂放出の大半は62-2火口、及び新たに拡大した振子沢噴気孔群からの寄与と考えられる。大正火口とそれ以外で組成比が有意に異なるという結果については、火口域地下浅部の熱水系の関与が疑われるが、現時点ではすべての測定結果を合理的に解釈できるモデルを得るに至っていない。

キーワード：十勝岳、火山ガス

Keywords: Mt.Tokachidake, volcanic gas

衛星赤外画像によるリアルタイム火山観測システムの改良とラング火山2015年噴火における検討
Improvement of the realtime volcano observation system based on the satellite infrared
imagery and its application to the case of the 2015 Mt Raung eruption

*金子 隆之¹、安田 敦¹、マーティン ウスター²、前野 深¹

*Takayuki Kaneko¹, ATSUSHI YASUDA¹, Martin J. Wooster², Fukashi Maeno¹

1.東京大学地震研究所、2.ロンドン大学キングスカレッジ

1.Earthquake Research Institute, University of Tokyo, 2.King's College London

We are monitoring active volcanoes in east Asia using MODIS and MTSAT images. From 2015 through 2017, Japanese new optical satellites, Himawari-8/AHI and GCOM-C/SGLI start operation, which are next generation instruments of the ones we are currently using for monitoring. We plan to replace the MODIS-based realtime thermal monitoring system to a combination system consisting of Himawari-8/AHI and GCOM-C/SGLI. Further, for more precise non-realtime analysis, we also plan to use high-resolution images, in linkage with these two realtime datasets - combined analysis. The new type of Himawari, carrying the AHI sensor, can be used for thermal analysis, because of the improved resolution to be 2km. Also, its ultra-high frequency observation, every 10 minutes, will be particularly useful for thermal analysis of eruption sequences, which can change in a short period. We recently developed a prototype of realtime monitoring system based on Himawari-8/AHI. SGLI onboard GCOM-C is a moderate resolution sensor having resolution of 250m in the 1.6um and 11um channels. The satellite is being launched at the end of 2016 by JAXA. SGLI can be applied for more precise realtime monitoring than MODIS having resolution of 1 km, such as observing enlargement process of lava flows. Here, in non-realtime analysis, high-resolution images are used for specifying topographic change or type and distribution of erupted materials relating to the on-going eruptive process, which cannot be identified by the medium to coarse resolution images. In order to examine effectiveness of the combined analysis based on the three different datasets, we analyzed the 2015 eruption of Raung, as a test case.

Mt Raung, one of the most active volcanoes in Indonesia, is located in the easternmost of Java, Indonesia and has a large conical edifice with altitude of 3320 m. It has a summit caldera of 2km in diameter approximately 300 m in depth, of which topography is similar to the of Miyakejima formed in 2000. In June, 2015, the volcano erupted and lava continued to effuse in the summit caldera from the pyroclastic cone at the center of the floor. Analysis of high-resolution images (Landsat, SPOT, WV and GE) showed that the effused lava enlarged gradually and covered the entire areas of the caldera floor by the middle of July. At the same time, the accumulated lava bed increased in thickness. The total volume of effused lava and the average effusion rate were estimated to be $5.3 \times 10^7 \text{ m}^3$ and $1.1 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{day}$, respectively. We also analyzed Himawari-8/AHI images between 1st of June to 31st of August. The time series variations of thermal anomaly (1.6 um, 2.3 um, 3.9 um) showed that there were two pulses in the activity - Pulse I and II, which were divided by a low activity period at the end of July. Through examining the short term variations, we found that the eruption started at 4:30 on 20th of June (UTC) and ceased on 7th of August. Reactivation of the activity, i.e., start of Pulse II, occurred at 21:10 on 1st of August. The activity level was nearly constant through the majority of the period, which can be considered as a characteristic of the effusive eruption involving Strombolian lava fountaining. Several hours ahead of the onset of Pulse II, a small thermal pulse was observed. This can be a precursor to reactivation of the activity. In substitution for SGLI images, NPOSS/VIIRS images (resolution 380m) were analyzed to observe enlargement process of the lava bed on the caldera floor. We could recognize increase in the size of high-temperature areas at the summit on the 11 um images of VIIRS in the period from

late June to early July. This is probably showing enlargement of the lava bed on the caldera floor. This result suggests that we can monitor detailed eruptive phenomena by using SGLI images in realtime. Also, the combined analysis proposed here is considered as a useful method for exploring eruption sequence.

キーワード：衛星リモートセンシング、赤外画像、インドネシア

Keywords: satellite remote sensing, indrared imagery, Indonesia

レーダーエコー頂高度からの噴出物総量の推定

Estimating the total mass of tephra from radar echo-top height of eruption column

*福井 敬一¹、佐藤 英一¹、新堀 敏基¹、石井 憲介¹*Keiichi Fukui¹, Eiichi Sato¹, Toshiki Shimbori¹, Kensuke Ishii¹

1.気象庁気象研究所

1.Meteorological Research Institute

火山灰などの火山噴出物総量を噴火発生後、速やかに把握することは火山災害の軽減にとって極めて重要な事項であり、火山噴出物の総重量は量的降灰予測の初期値として最も重要なパラメータの一つである。

噴出率（質量放出率、体積噴出率あるいは放熱率）と噴煙の高さ H との関係は、理論的な研究や、噴火事例を取りまとめて求めた経験式が種々提案されている。例えば、Morton *et al.* (1956) は放熱率が H の4乗に比例する式を、Settle (1978) は H が質量噴出率の0.22乗に比例する式を、Sparks *et al.* (1997) は H が体積噴出率の0.259乗に比例する式を、Mastin *et al.* (2009) は0.241乗に比例する式を提案しており、気象庁の降灰予報では、質量放出率が H の4乗に比例する式を用い、時刻 $t \sim t+T$ における火山噴出物質量 $M(t)$ を H と噴火の継続時間 T から $M(t) \propto H^4 T$ で与えている（新堀, 2008）。気象レーダーを使用して火山噴出物総量を求めようとする場合、このような関係式を用いて、エコー頂高度の時間変化から推定する方法、あるいは、真木・他 (2015) のようにレーダーエコー強度の積算値から降灰量を推定する方式が考えられる。また、佐藤・他 (2015a) は桜島においてXバンドMPレーダーと二次元ビデオディストロメータ等による観測を行い、火山灰と降水を識別し、降灰量推定を行うことを計画している。

霧島山新燃岳2011年噴火の際には、気象庁のレーダー観測網によって噴煙のエコー頂高度の詳細な時系列データが取得され（新堀・福井, 2012）、この値を用いることで降灰予測を大幅に改善することができた（新堀・他, 2014）。また、Kozono *et al.* (2014) は傾斜観測データから推定したマグマ供給率とこの高度が良い相関にあることを示した。これらのことから、レーダーエコー頂高度の時系列データが噴煙の高さの時間変化を良く表していると考えられている。しかし、御嶽山2014年噴火の際に気象庁レーダー観測網で観測されたエコー頂高度には過大な値が含まれていたことも分かっている（佐藤・他, 編集中）。

気象レーダーで観測される噴煙の高さの時間変化を利用して噴出物総量を推定する場合、噴煙の高さと噴出率との関係式の問題以外にも、噴煙エコーが真に噴煙を捉えたものであり、エコー頂高度を噴煙の高さと見なしで良いかどうか、佐藤・他 (2015b) で指摘しているエコー頂高度推定における各種誤差要因、レーダー走査パターンに起因する問題を含めた噴火継続時間推定における誤差もしくは不確定性などが問題となる。特に、噴出率は噴煙の高さの概ね4乗に比例するため、噴煙高度推定誤差は噴出物総量推定における大きな誤差要因となる。

本講演では、気象庁レーダー網で噴火噴煙が検知された事例についてエコー頂高度の時間推移から噴出物量を推定し、この量と現地調査によって求められている噴出物量との関係、およびレーダーデータによる噴出物総量推定における誤差について議論する。

参考文献

Kozono, T. *et al.* (2014) EPS, 66:139, doi:10.1186/s40623-014-0139-1.Mastin, L. G. *et al.* (2009) JVGR, 186, 10-21, doi:10.1016/j.jvolgeores.2009.01.008.Morton, B. R. *et al.* (1956) Proceedings of the Royal Society of London, Series A, 234, 1-23, doi: 10.1098/rspa.1956.0011.

佐藤英一・他 (2015a) 日本気象学会2015年度春季大会講演予稿集, 296,

佐藤英一・他 (2015b) 日本火山学会予稿集, 174.

佐藤英一・他 (編集中) 気象庁技術報告第135号 (平成26年 (2014年) 御嶽山噴火調査報告)

真木雅之・他 (2015) 京大防災研年報, 58B, 76-85.

Settle, M. (1978) JVGR, 3, 309-324.

Sparks, R. S. J. *et al.* (1997) Volcanic Plumes. John Wiley & Sons, 574 pp.

新堀敏基 (2008) 数值予報課報告・別冊, 54, 気象庁予報部, 234-240.

新堀敏基・福井敬一 (2012) 火山噴火予知連絡会会報, 108, 189-196.

新堀敏基・他 (2014) 気象研究所研究報告, 65, 75-107, doi:10.2467/mripapers.65.75.

キーワード: 噴出物総量、気象レーダー、エコー頂高度、噴煙高度、噴出物量推定、火山灰雲

Keywords: total mass of tephra, weather radar, radar echo-top height, eruption column height, estimation of eruptive mass, volcanic ash cloud

深海底で噴出した珪長質溶岩流およびドームの地形と噴出速度：ニュージーランド・ケルマデック弧のHavre海底火山2012年噴火

The morphology and effusion rate of deep submarine silicic lava flows and domes emplaced during the Havre 2012 eruption, Kermadec Arc, New Zealand

*池上 郁彦¹、Carey Rebecca¹、McPhie Jocelyn¹、Soule Adam²、谷 健一郎³

*Fumihiko Ikegami¹, Rebecca J Carey¹, Jocelyn McPhie¹, Adam Soule², Kenichiro Tani³

1.タスマニア大学、2.ウッズホール海洋学研究所、3.国立科学博物館

1.University of Tasmania, 2.Woods Hole Oceanographic Institution, 3.National Museum of Nature and Science, Japan

1. Introduction

The eruption of Havre 2012 was the largest deep submarine silicic eruption in the modern history (Carey et al. 2014). The eruption was first detected by an airline passenger who saw extensive rafts of floating pumice on the ocean. The later investigation identified the onset of pumice dispersion on the 18th July 2012, which was accompanied by a subaerial plume and hotspot on the NASA MODIS satellite imagery. In addition, significant seismicity at the Havre caldera was measured during this time. Three months after the event, R/V Tangaroa of NIWA (National Institute of Water and Atmospheric Research, New Zealand) visited the Havre volcano and mapped the area using a EM120 multibeam system. This survey detected several new features along the caldera rim which did not exist in 2002. However, the resolution of the map did not permit the identification of the types of volcanic features present.

2. MESH Cruise

In 2014, the Mapping Exploration & Sampling at Havre (MESH) cruise was conducted to visit the seafloor and performed a geological field study of the 2012 eruption deposits. The R/V Roger Revelle (Scripps Institution for Oceanography, UCSD) and two unmanned vehicles, Sentry AUV (Autonomous Underwater Vehicle), and Jason ROV (Remotely Operated Vehicle) of WHOI (Woods Hole Oceanographic Institute) facilitated the voyage. The Sentry AUV mapped the full area of the 5-km wide Havre caldera with high-resolution bathymetry (1-m grid). The ROV Jason conducted traverses along the eruption products discovered by the Sentry high-resolution map, conducting sampling for the rocks and sediments at the seafloor.

3. Results and Discussions

The MESH cruise identified six lava flows (A-D,F,G), eight lava domes (H,I,K~P), two units of ash and lapilli deposits (AL,ABL), two debris avalanche deposit (MF1,2), and an extensively emplaced giant pumice deposit (GP) as the products of the 2012 eruption (Fig. 1). Most of the effusive products which this research focuses on have porphyritic textures with the phenocrysts of plagioclase, and pyroxene. Their whole rock composition ranges from 68~72% SiO₂ and inferred that the Havre 2012 magma was rhyodacitic.

The series of lava consists of both lava flows (length of 0.6~1.2 km) and lava domes (height of 70~250 m). Their vents were distributed along the fissures at the southern rim of the caldera which strongly infers structural control for magma ascent. The western part of the fissure is dominated by lava flows (A~G) which immediately descended the 30° slope of the caldera wall. They have clear levee structure with 70~150 m thickness, compression ridges for 10~30 m intervals, and talus with >20 degrees. The fissures from the middle to east formed small lava domes (H~P), although the easternmost one (O-P complex) is exceptionally large (1.1 x 0.8 km elliptical base with 250 m height). The total volume of these effusive products was 0.24 km³.

The chronology of the lava effusion has been investigated using the stratigraphical relationship to

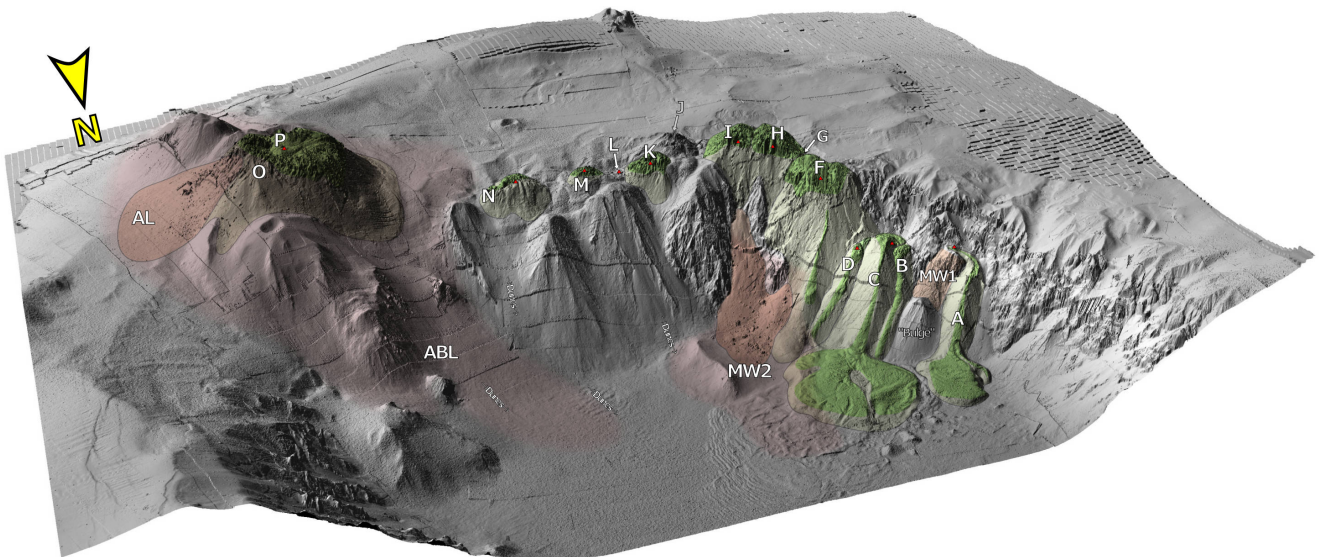
the GP unit, which was dispersed on 18th July. This enables constraints on the lava effusion rate between the 18th July to 19th August (NIWA voyage). The maximum volume of the lava post-dating GP (0.19 km^3 for A, F~P) draws the maximum effusion rate of $25 \text{ m}^3/\text{s}$ for 90-days average. This values comparable to other well-constrained subaerial silicic lavas, such as $50 \text{ m}^3/\text{s}$ for 20-days at Cordon-Caulle 2011 eruption (Bertin et al. 2015), or $66 \text{ m}^3/\text{s}$ for 14-days at Chaiten 2008 eruption (Pallister et al. 2013).

4. Conclusion

The Havre 2012 eruption produced 0.24 km^3 of rhyodacite lava flows and domes. The largest lava dome grew to the height of 250m and the longest lava flow advanced 1.2km from its vent despite the deep submarine environment. These investigations have calculated submarine silicic lava effusion rates ($25 \text{ m}^3/\text{s}$) for the first time.

キーワード：海底火山、海底カルデラ、溶岩流地形、噴出速度、流紋岩質マグマ

Keywords: Submarine volcano, Submarine caldera, Lava flow morphology, Effusion rate, Rhyolitic magma



石基マイクロライト組織から見た2011年新燃岳噴火最盛期におけるマグマ上昇過程の進化
 Evolution of magma ascent during the climactic phase of 2011 eruption of Shinmoe-dake,
 Japan, in view of groundmass microlite textures

*鈴木 由希¹、市原 美恵²、前野 深²、長井 雅史³、渋谷 瞳¹、清水 翔平¹、中田 節也²

*Yuki Suzuki¹, Mie Ichihara², Fukashi Maeno², Masashi NAGAI³, Hitomi Shibutani¹, Syouhei Shimizu¹, Setsuya Nakada²

1.早稲田大学, 教育・総合科学学術院, 地球科学専修、2.東大・地震研、3.防災科研

1.Department of Earth Sciences, Faculty of Education and Integrated Arts of Sciences, Waseda University, 2.ERI, Univ. of Tokyo, 3.NIED

The climactic phase of the Shinmoe-dake 2011 eruption is characterized by three sub-Plinian events (Jan 26PM, 27AM, 27PM) and a lava accumulation stage in the crater (Jan 27-29), both of which were accompanied by vulcanian events. This study aimed at reconstructing magma ascent in conduit for this phase by using groundmass microlite textures. We then related the changes of magma ascent conditions with those of eruption intensity and style.

The analyzed samples include pumiceous clasts (gray and brown) and denser lava-like juvenile clasts from sub-Plinian (Layer 2-5, each with lower and upper subunits) and Jan 28 vulcanian deposits, and a lava block ejected from the crater on the Feb 1 vulcanian event. These are from magmas of the same chemical and storage conditions just prior to ascent from the reservoir. Representative samples for the textural analyses were selected based on bulk density that reflects syneruptive ascent rate and resultant degree of degassing. Subunits of Layer 2 to Layer 4 resemble one another in bulk density distribution (0.8~1.7 g/cm³), except Layer3-up with extension to higher density (0.8~2.1 g/cm³). Also, subunits of Layer 5 to Jan 28 resemble one another (0.8~2.8 g/cm³) in having extension to much higher density than Layer3-up. The bulk density of Feb 1 lava (2.1g/cm³) corresponds to high value observed in Layer 5 to Jan 28. The textural analyses were carried out for samples with maximum and minimum bulk densities in representative units (Layer2-up, 3-up, 4-up, 5-low, 5-up, Jan28, Feb 1 Lava).

The crystal size distributions (CSD) of plagioclase microlites are almost the same for all samples over the larger size (40-100 micrometer length in 3D). CSDs over smaller size change depending on the bulk density; dense samples from Layer 5-low, Layer 5-up, Jan 28 and Feb1 lava have steeper CSD than low density samples. These lines of evidence show magma ascent conditions at deeper part of conduit were constant throughout the climactic phase, but condition at shallow part was changing. The higher crystal numbers in dense samples can be explained by either a) higher ascent rate (when undercooling is relatively small, as a whole) or b) lower ascent rate (when undercooling is relatively large). Model b) is more likely in the present case, if decreasing trend of eruption intensity is considered. The bulk density distribution and correlation between bulk density and ascent rate show that the decrease of magma ascent rate at shallow part occurred gradually. The ascent rate variation widened in the third sub-Plinian event (Layer 5), by a little appearance of slowly ascended magmas. Only slowly ascended magmas came to occupy the conduit in the lava accumulation stage.

Suzuki *et al.* (2014 JPGU meeting) proposed that Layer3-up corresponds to the start of the second sub-Plinian event, based on that the bulk density distribution of Layer3-up has an extension to higher density, and degassed magma could have been formed in conduit during the resting phase (Jan 26, 19:00 -Jan 27, 2:00; between the first and second sub-Plinian events) due to decreased eruption rate. The textural study this time newly revealed CSD of plagioclase microlites of high density sample (ca. 2.0 g/cm³) from Layer3-up resembles those of other pumiceous clasts from the first and

second sub-Plinian events, implying conduit residence time of the degassed magma was not extremely long. This interpretation is consistent with the infrasound data indicating quasi-steady state magma flow for the resting phase.

キーワード：新燃岳、見かけ密度、石基マイクロライト、マグマ上昇、脱ガス、空振

Keywords: Shinmoe-dake, Bulk density, Groundmass microlite, Magma ascent, Degassing, Infrasound

浅間火山1783年吾妻火砕流の本質ブロックの記載岩石学的研究

Petrographic study of juvenile blocks of the 1783 A.D. (Agatsuma) pyroclastic flow in Asama Volcano

*菅谷 さりな¹、中村 美千彦¹、安井 真也²

*Sarina Sugaya¹, Michihiko Nakamura¹, Maya Yasui²

1.東北大学大学院理学研究科地学専攻、2.日本大学文理学部地球システム科学科

1.Department of Earth Sciences, Graduate School of Science, Tohoku University, 2.Department of Geosystem Sciences, College of Humanities and Sciences, Nihon University

The Agatsuma pyroclastic flow (APF) in the 1783 A.D. (Tenmei) eruption of the Asama volcano, central Japan, is characterized by occurrence of abundant rounded juvenile blocks with poorly vesiculated inner core and small proportion of fine ash matrix. The blocks have been referred to as cabbage for their shape and size. APF is a typical example of the "intermediate type" pyroclastic flow defined by Aramaki (1957), which have intermediate characters between the nuée ardente (dome-collapse type) and the pumice flows (column-collapse type) in terms of their volume, density of juvenile blocks and proportion of fine ash matrix. Because these characters may represent the magma outgassing and fragmentation processes, the intermediate type pyroclastic flow may be important to understand key processes that determine the bifurcation between explosive and effusive eruptions. Based on the observation that APF was composed of many (> 50) flow units, Takahashi and Yasui (2013) proposed that APF was generated through fountain collapses following Vulcanian explosions. They also suggested that lava lakes were formed by fall-backs of pyroclasts from the fountains during the Vulcanian activity on the basis of welding structures of the juvenile blocks. However, formation processes of these blocks are unclear. In this presentation, we propose that the cabbage-shaped juvenile blocks were formed repeatedly in the volcanic crater prior to each explosion.

On the surfaces of juvenile blocks ejected at the last stage of the 1783 A.D. eruption, we found the crusts impregnated with very fine (1-10 μm) ash particles and interstitial opal. The presence of opal shows that the juvenile blocks had been emplaced in a hydrothermal system after their rounded shape was formed. Since there is no geothermal area at the sampling location and its upper flank of the Maekake volcano, it is highly possible that silica precipitation from circulated geothermal water followed the formation of characteristic round shape of the juvenile blocks before generation of the APF. The weakly welded ash particles existed between the opal-bearing crust and the inner core; the welding process thus should have occurred before the crust formation. The surfaces of the juvenile blocks without opal-bearing crusts, which were collected from weakly-welded APF deposits, were covered instead with welded ash particles, which may have been formed at the higher temperature condition in the crater. These features indicate that the juvenile blocks were rounded probably via coagulation and welding and coated with volcanic ashes, and filled the crater before their eruption.

キーワード：浅間火山、吾妻火砕流、中間型火砕流、オパール、溶結

Keywords: Asama Volcano, Agatsuma pyroclastic flow, intermediate type pyroclastic flow, opal, welding

境界要素法による十勝岳の局所的地殻変動の解析

Analysis of volcanic deformation at Tokachi-dake volcano by using 3-D boundary element method

*川口 亮平¹、宮城 洋介¹

*Ryohei Kawaguchi¹, Yosuke Miyagi¹

1. 防災科学技術研究所

1.NIED

近年、活動的な火山の火口近傍で小規模な地殻変動が捉えられるようになってきた。これらの地殻変動データは地下浅部のマグマなどの活動によるものとして、火山噴火過程を理解する上で重要であると考えられる。これまでも、このような山体の膨張などを示す地殻変動データの解析は行われてきたものの、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、山頂や火口近傍の地殻変動データは、圧力源が浅いため、急峻な火山体形状の効果を強く受けると考えられる。そこで、本研究は3次元境界要素法によって、山体変形を計算し、北海道十勝岳で2015年に衛星SARによって観測された局所的な地殻変動データ(宮城・他, 2016)と比較したので報告する。

境界要素法は任意の形状の圧力源による地殻変動を山体地形の効果を考慮して数値計算により求めることができる。本研究では国土地理院の10 mメッシュの数値標高データ(DEM)を使用し、十勝岳の山頂周辺の地形を表現した。圧力源として、マグマ溜りやシルを想定した楕円体を考え、3軸の長さや軸回りの傾きを任意に与えることができるようにした。これらの地形および圧力源を6952個のメッシュで表した。圧力源に一定圧力を加えたときの地表の変形を数値計算によって求めた。

十勝岳では2015年5月28日と同年7月23日にALOS-2/PALSAR-2 (だいち2号)によって観測された衛星SARデータの差分干渉SAR解析(DInSAR解析)によって62-2火口のすぐ西側、前十勝を中心とした局所的な地殻変動が観測された。このときの地殻変動は最大で約8 cm衛星方向に近づくもので、山体の隆起を含む膨張を示していると考えられる(宮城・他, 2016)。このデータを説明するため、数値計算によって求めた地殻変動から、衛星SARデータの感度方向の成分を抽出し、観測データと比較することで圧力源のパラメータを求めた。楕円体圧力源の位置および形状を任意に設定し、観測データの変動量の分布を説明できるパラメータを求めた。その結果、前十勝よりやや西側で前十勝からの深さ300 m (標高約1450 m)の位置にシル形状の圧力源を置き、約3,000 m³の体積増加量を与えることで観測された地殻変動量をおおむね説明できることが分かった。

今後、GNSS観測などで得られる時系列データと組み合わせ考察することで、マグマ蓄積などの物理過程に制約を与えることが期待される。

キーワード：十勝岳、地殻変動、境界要素法

Keywords: Tokachi, volcano deformation, BEM

十和田火山、平安噴火に伴うラハール堆積物中からの遺跡の発見

Finding the ruins from lahar deposit induced by the Heian eruption of Towada volcano, northeast Japan

*南 裕介¹、大場 司²、林 信太郎³

*Yusuke Minami¹, Tsukasa Ohba², Shintaro Hayashi³

1.秋田大学大学院工学資源学研究科、2.秋田大学国際資源学部、3.秋田大学教育文化学部

1.Graduate School of Engineering and Resource Science, Akita University, 2.Faculty of International Resource Science, Akita University, 3.Faculty of Education and Human Studies, Akita University

At least 12 dwelling sites constructed during the Heian era was discovered at Katagai-Ienoshita ruins (Odate city, Akita prefecture) that is located 40 km far from the Towada volcano. These dwelling sites were buried by pyroclastic deposits, suggesting the occurrence of an ancient volcanic disaster. In this study, we describe and report these pyroclastic deposits. The pyroclastic deposits consist at least two layers: lower brownish orange volcanic ash and upper grayish lapilli tuff. The volcanic ash layer is four to seven cm thick and consisting of volcanic glass, pyroxene crystals, quartz crystals, and clasts of pumice, obsidian, and agate. Thickness of the volcanic ash is constant even on slopes such as the roof of the dwelling (up to 34°). The mantle bedding suggests that the layer is typical of ash fall deposits. The facies of the grayish lapilli tuff layer is massive and poorly sorted, consisting of clasts of pumice, mudstone, and alluvium conglomerate. The pumice clasts are 5 mm to 3 cm in diameter. Matrix of the lapilli tuff is composed of fine to medium sized clasts of volcanic glass, obsidian, agate, and quartz crystals. The grayish lapilli tuff is 100 to 150 cm thick. The lapilli tuff is thicker in depressions of the paleosurface, in other words, it ponded in the depressions. The lapilli tuff fills all the dwellings. Basal contact with the underlying volcanic ash layer is planar and shows no evidence of erosion or hiatus. The dwellings are mainly filled with the lapilli tuff and maintain their architectural structures such as roofs, walls, and floors that partly remain original wood without scorches. The lack of burned charcoal on the wood indicates that the lapilli tuff emplaced in low temperature. The general characteristics of the lapilli tuff indicate debris flow deposition. Poor sorting and massive facies are suggestive of rapid deposition of sediments. Lack of significant destruction in the ruins implies that the debris flow flowed in quite gentle manner. The Heian eruption of Towada volcano caused abundant ash falls (To-a and OYU pumice), pyroclastic flow (Kpf), and lahar (Atsumiya flood deposits; Hayakawa 1985). The volcanic ash layer and the lapilli tuff layer at the Katagai-Ienoshita ruins can be correlated with To-a and Atsumiya flood deposits, respectively.

キーワード：ラハール、十和田火山

Keywords: Lahar, Towada volcano

熱赤外カメラ搭載ドローンを用いた熱活動観測の適用性調査－秋田県澄川温泉跡地を対象とした温度分布・解析の事例－

Applicability evaluation of the drone-mounted thermal infrared camera to geothermal monitoring at Sumikawa site, Akita Prefecture

*小林 淳¹、前嶋 美紀²、時田 賢一³

*Makoto Kobayashi¹, Yoshinori MAEJIMA², KEN-ICHI TOKITA³

1.株式会社ダイヤコンサルタント、2.株式会社まえちゃんねっと、3.岩手大学
1.Dia Consultant co., Ltd., 2.Maechan net. co., Ltd., 3.Iwate University

1. 背景・目的

火山活動の状態把握には、地震、地殻変動、熱・噴気等が観測項目として挙げられる。これらの発生状況等を平常時から蓄積しておくことは、将来の活動活発に向けた変化の検出に寄与するとともに、その評価に多くの情報を与える。特に、熱活動に関しては、火山下でのマグマの上昇・移動、熱水系の変化に対して、地表での高温異常、放熱量等の変化として直接現れること、また他の観測項目に比べて比較的低コストで観測が容易であることから、継続的なモニタリングの対象として有効である。

従来、熱活動の観測手法として、衛星センサー、航空機・ヘリコプターからの熱赤外カメラによる遠望観測のほか、火口・地熱地帯に立ち入った近接観測や噴気孔等の直接測定が用いられてきた。ただし、観測対象地域の状態によっては観測ができなかったり、熱活動の規模・拡がり小さい時には熱異常を検出できないといった、適切なデータ取得のための観測条件を得ることは難しい。この点、ドローンによる観測は、熱活動の状態に応じて、飛行高度等の観測条件を調整することが可能であり、高い空間解像度のデータが得ることができる。

本研究では、1997年に小規模な水蒸気爆発が発生し、現在も噴気活動が認められる澄川温泉跡地における観測事例を紹介する。そして、取得した温度データをもとに温度分布図の作成、温度解析等を行い、熱活動の観測手法としての適用性について検討する。

2. 現地観測・データ処理

(1) 現地観測

現地観測は平成27年10月18日午後実施した。

使用機材として、DJI 社製ドローンS1000+オクトコプター、これに可視カメラ（Panasonic社製GH4）及び熱赤外カメラ（OPTRIS社製 PI640）等を搭載した。

現地観測は、火口と思われる凹地を含んだ噴気が多く認められる範囲（約160m×約210m）を対象とし、飛行高度は5cm程度の高温異常を検出することを目安に、熱赤外カメラの解像度を考慮した地上高16mとした。また、ドローンの操縦は目視手動により行い、観測対象上空を中心に複数回の飛行・計測を繰り返し、合計約40分の可視動画及び熱赤外動画を撮影した。

(2) 取得データの処理・温度分布図の作成

取得した動画から抽出した可視画像1157ファイル、熱赤外画像361ファイルを対象に、Agisoft社製 PhotoScan Professional Edition (Ver.1.2.0) を用いてオルソ処理した全体画像を作成した。この際、熱赤外画像については、オルソ処理用に温度分解能を保持した画像ファイルを作成しオルソ処理を行った。そして、全体画像から計測温度を逆算し、温度分布図用にカラー設定を行った。最後に、数値地図等を参照しながら、可視及び熱赤外による全体画像の位置調整を行った。

3. 熱活動の状態

(1) 温度分布

地表状態・噴気の状態と温度分布図より、観測範囲では火口内の4ヶ所で強い噴気が認められ、高温異常点（最高約120℃）の分布と一致する。しかし、顕著な噴気が認められない場所にも高温異常点が多数認められ、全体として、火口付近を含む北東－南西方向に連なる高温領域（約30℃以上）を3条形成している。

(2) 温度解析

熱赤外カメラで得られた温度データの評価には、大気中のエアロゾルの影響のほか、日射による地表面温度の

上昇に留意する必要がある。しかし、今回の観測は、対地高度が低く、また取得した温度データには日向部と日陰部で温度頻度分布に顕著な差異が認められないことから、これらによる影響は小さいものと判断した。道路等の人工物を除いた観測範囲における最高温度は約121℃、最低温度は約6℃、平均温度は23℃であった。

観測範囲内の温度頻度分布に着目すると、約17℃をピークとする温度群（5℃～28℃）と28℃以上の温度群で構成される。仮に、28℃以上を熱活動の影響を受けた領域と仮定した場合、その領域は観測領域全体の約22%（約5000m²）の面積を有する。また、寺田（2012）等に基づき、熱活動の影響を受けていない領域との温度差と面積との関係から放熱量を求めた結果、約2.7MWの放熱量が想定された。

4. 適用性

今回の観測では、数100m範囲での高い空間解像度の温度分布図を得ることができた。また、可視画像との比較により、噴気活動等の地表面現象と熱活動と関連性検討に係る情報が得られた。このことから、熱赤外カメラ搭載ドローンを用いた観測は、従来の熱活動の観測手法を補完する、特に、小規模な噴気地帯の状態把握に有効な手法であることを確認した。また、適切に繰返し観測を行うことで、モニタリング手法としての発展性も期待できる。

キーワード：熱赤外カメラ搭載ドローン、熱活動モニタリング、高分解能温度分布図、澄川温泉

Keywords: drone, geothermal monitoring, temperature distribution map, Sumikawa site

蔵王火山で過去100年間に見られた活発化と現在の状況

Activization of Zao volcano within the past 100 years and the present activity

*後藤 章夫¹、土屋 範芳²、平野 伸夫²、渡邊 隆広²、松中 哲也³、久利 美和⁴、宇野 正起²、岡本 敦²、中村 謙吾²、町 澄秋¹

*Akio Goto¹, Noriyoshi Tsuchiya², Nobuo Hirano², Takahiro Watanabe², Tetsuya Matsunaka³, Miwa Kuri⁴, Masaaki Uno², Atsushi Okamoto², Kengo Nakamura², Sumiaki Machi¹

1.東北大学東北アジア研究センター、2.東北大学大学院環境科学研究科、3.筑波大学 研究基盤総合センター応用加速器部門、4.東北大学災害科学国際研究所

1.Center for Northeast Asian Studies, Tohoku University, 2.Graduate School of Environmental Studies, Tohoku University, 3.Tandem Accelerator Complex, University of Tsukuba, 4.International Research Institute of Disaster Sciences, Tohoku University

蔵王火山では過去100年以内で見ると、1918（大正7）、1939（昭和14）、1966（昭和41）年からそれぞれ数年間、明瞭な活発化があった。2011年の東北地方太平洋沖地震の直後から、全国21の活火山で地震活動の活発化が報告された（気象庁、2014）。蔵王火山はそれに含まれないが、2013年1月には火山性微動が初めて観測され、4月には微動と、その直前に傾斜変動が観測された（気象庁、2013）。さらに2014年10月には火口湖の御釜で部分的な白濁が見られた（山形大・産総研、2014）。我々は2012年から不定期に、御釜の北東1.5kmの丸山沢噴気地熱地帯（以下丸山沢と表記）で噴気及び湧水の温度測定を行い、2013年からは同地点の湧水の化学分析と、御釜の水温測定及び水の化学分析を開始した。また、過去の活発化に際して高温・高濃度の温泉湧出があった、御釜東方1.6kmの振子沢と濁川の合流付近（新関温泉）の変化にも注目していた。ここでは過去100年の三度の活発化を御釜、丸山沢、新関温泉に分けて整理し、それらと現在の活動状況を比較する。

1918年からの活動で、御釜は変色し、その後湖底からのガス噴出が起こった（大森、1918）。ガス噴出は1928年まで続き、この年の最大水深は61mだった（安斎、1961）。丸山沢では1918年8月12日の地震で異変が生じたとされるが（今田ほか、1985）、詳細は不明である。なお、小動物が強いガスで絶命する「鳥地獄」が1935年時点で生じていた（安斎、1961）。1907～1908の隧道掘削により湧出した新関温泉（宮城県衛生部、1969）は、1917年冬より温度が下がるとともに、1918年6月には湧出量が1/3ほどになった。その後幾分温度が上がったものの（大森、1918）、1921年に枯渇で閉鎖されている。

1939年からの活動では7月下旬に御釜で変色が確認され、ガス噴出や温度上昇が起こった。水深は11月に63mで、温度は1940年8月に湖底の泥の中で250℃以上（温度計破損）だった（安斎、1941）。最後の白濁は1942年9月に見られた。丸山沢は1939年7月下旬にはわずかに湯気が立ち上る程度だったが（虎石・富永、1940）、1940年2月10日（虎石・富永、1940）か4月16日（安斎、1941）に小規模な爆発が起こった。新関温泉は1939年6月に元の源泉から18mほど離れたところで再び湧出し、さらに濁川沿いの500mほど上流で複数箇所から高温多量の温泉が出た（植野、1940）。温度は1940年2月に88℃（虎石・富永、1940）、phは同年5月に0.3だった（安斎、1941）。また、100℃を越える直径2mほどの硫気孔が北岸斜面に確認された。

1966年からの活発化では、御釜に変化はなかった。ガス噴出などがなかったほか、水深は活発化を挟む1955年と1968年とともに27m台（志田ほか、1969）、カルシウムイオンと硫酸イオン濃度は1955年から1983年まで、ほぼ単調に低下している（志田ほか、1969；佐藤・加藤、1985）。一方、丸山沢では衰えていた噴気が活発化した。新関温泉では斜面上に噴気帯が生じ、濁川沿岸で強酸性の温泉が湧出した。1967年10月の温度、ph、電気伝導度はそれぞれ77℃、0.3、5 S/m以上（計測不能）だった（志田、1968）。

我々の調査からは、現在の蔵王火山は1966年の活発化と同様の経緯を辿っているように見える。御釜ではヨウ素同位体比に地震活動との相関が疑われる変動が見られたものの（松中ほか、2014）、ほかに目立った変化はなく、水深は25m程度、カルシウムイオン濃度は1983年と同程度かやや低い60～70mg/kg前後である。丸山沢の噴気温度に目立った変化はないが、全体として噴気量が徐々に増え、2014年の秋頃にはそれが顕著に感じられるようになった。さらに、小規模な土砂噴出と見られる痕跡が2015年10月に確認された。新関温泉では2015年9月に濁川沿岸で温泉湧出が複数確認された。同じ湧出孔で9月3日と10月28日を比べると、水温、ph、電気伝導度はそれぞれ32.1℃から34.1℃、2.3から2.0、0.126 S/mから0.789 S/mだった。

今田ほか（1985）は、蔵王火山の活動中心は御釜から丸山沢に移ったと指摘している。御釜を除いて考えると、現在の推移は1939年からの活発化とも共通する。1940年の丸山沢の小爆発も踏まえ、今後の推移を注視する必要がある。

キーワード：蔵王火山、2011年東北地方太平洋沖地震、活発化

Keywords: Zao volcano, 2011 Tohoku Earthquake, activization

N型地震の震動特性からみた2008年以降の吾妻山における浅部熱水系の時間発展

Temporal change of a hydrothermal system beneath Azuma volcano inferred from the Analysis of N-type events

*鳥本 達矢¹、山本 希¹、三浦 哲¹、植木 貞人¹

*Tatsuya Torimoto¹, Mare Yamamoto¹, Satoshi Miura¹, Sadato Ueki¹

1. 東北大学大学院理学研究科

1. Graduate School of Science, Tohoku University

1. はじめに

熱水系の卓越する火山において地下の熱水系の状態把握は重要である。N型地震のような火口直下の破砕帯の共鳴体振動と考えられるイベントの解析によって、破砕帯内の流体の物性が推定できる可能性がある (e.g., Kumagai and Chouet, 2000)。吾妻山では、2008年11月の新噴気孔出現の前後でN型地震が頻発し (e.g., 東北大学・第116回火山噴火予知連絡会資料, 2010)、火山活動が活発化している現在までN型地震が断続的に発生している。そこで、本研究では今後の吾妻山の火山活動推移把握を念頭に、2008年から現在までの事例の解析を行った。

2. データと解析手法

解析には、東北大学・吾妻観測点及び気象庁・浄土平観測点で観測された波形の上下動成分を用い、存否法 (Kumazawa et al., 1990) を用いてスペクトル解析した。存否法では、観測波形を構成している各波素の周波数、減衰率、初期振幅、初期位相を推定することができる。本研究では、観測波形を構成する主要な波素の周波数、減衰定数及びスペクトル比 (分散性) の時間変化を抽出し、熱水系の時間発展との関係を調べ考察した。

3. 得られた結果と解釈

2008年8月～2008年11月 (期間1) と、2009年10月～2009年12月 (期間2) の解析の結果から以下のことが明らかになった。期間1では周波数は時間とともに低周波側に変化したが、減衰定数の大きな変化は見られなかった。また低次モードに対する高次モードの周波数比は時間とともに増大した。期間2では、周波数は11月中旬まで減少しその後停滞したが、減衰定数には大きな変化が見られなかった。周波数比についても明瞭な変化は見られなかった。

得られた解析結果は以下のことを示唆する。期間1では、共鳴周波数の低下とともに境界波の速度分散性が強くなっており、また減衰定数は大きく変化していないことから、破砕帯内部の流体と周辺岩体の密度比が増加する一方、速度比は大きく変化しなかったと考えられる。これは気液混合流体の気相の割合が減少したことを示唆する。期間2は、内部流体が物性的に安定していた期間であると考えられ、破砕帯への流体の供給が定常的であったことを示唆する。また、期間1では卓越するモード周波数が約3 Hzであったのに対し、期間2では1 Hzであり違いが見られた。これは、期間1の方が期間2に比べ気液混合流体における気相の割合が大きいことを示唆する。

キーワード：吾妻山、破砕帯、熱水系、N型地震

Keywords: Azuma, fracture, hydrothermal system, N-type events

高密度電気探査による那須火山茶臼岳噴気地帯における比抵抗構造の推定

Resistivity structure beneath the fumarolic area of Nasu-Chausu-dake inferred from the DC resistivity survey

*木下 貴裕¹、神田 径²、高倉 伸一³、関 香織¹、松永 康生¹

*Takahiro Kishita¹, Wataru Kanda², Shinichi Takakura³, Kaori Seki¹, Yasuo Matsunaga¹

1.東工大地惑、2.東工大火山流体、3.産総研

1.EPS, Tokyo Tech., 2.VFRC, Tokyo Tech., 3.AIST

茶臼岳は、那須火山群の中南部に位置する成層火山である。約16000年前に茶臼岳で火山活動が始まり（藤田,1988）、マグマ噴出を伴う6回の大きな活動と多数の水蒸気爆発が発生した。最後の活動は1408年～1410年の活動であり、山頂部に溶岩ドームが形成された。1881年7月1日の水蒸気爆発では、溶岩ドームの北西側と西側に火口が形成された（山元, 1997）。近年、これらの火口内で水蒸気爆発（1953年、1960年、1963年）が発生しており、現在は噴気地帯となっている（気象庁, 2013）。本研究では、この2ヶ所の噴気地帯において高密度電気探査を行い、詳細な地下の比抵抗構造を明らかにした。2ヶ所で実施した電気探査測線のうち、北西側を測線A（全長380m、電極間隔10m）、西側を測線B（全長300m、電極間隔10m）とし、各測線に対してウェナー電極配列およびエルトラン電極配列の地下構造に対する感度の異なる2種類の測定を行った。測定データは、電極間隔の異なる見掛け比抵抗の分布に変換され、佐々木(1981)に基づいた非線形最小二乗法による有限要素法2次元インバージョンプログラムを使用して2次元比抵抗構造モデルを推定した。得られたモデルは、山元・伴(1997)の火山地質図およびAizawa et al.(2009)のAMT法による観測データと比較して考察を行った。その結果、高比抵抗帯は約10万年前の朝日岳火山の噴出物である安山岩溶岩及び火砕岩であると考えられた。また、低比抵抗帯は、表層で噴気や変質した岩石が見られることから、熱水流体またはそれにより変質した岩石であると考えた。測線Bの解析結果から、南側にも低比抵抗帯が見られ、これはAizawa et al.(2009)による観測データと整合的であった。今回の観測では、深部の良いデータがあまり得られず、浅部の比抵抗構造の解釈しかなかった。今後はより深部、より広範囲での地下構造を推定し、熱水流体の存在を特定するために、溶岩ドーム全体でAMT観測を行う予定である。

キーワード：那須火山、噴気地帯、高密度電気探査、比抵抗構造

Keywords: Nasu volcano, fumarolic zone, DC resistivity survey, resistivity structure

MT法により推定した草津白根火山（本白根山）の地下構造

Resistivity structure of Kusatsu-Shirane volcano inferred from a magnetotelluric survey

*松永 康生¹、神田 径²、高倉 伸一³、小山 崇夫⁴、小川 康雄²、関 香織¹、鈴木 惇史¹、齋藤 全史郎¹*Yasuo Matsunaga¹, Wataru Kanda², Shinichi Takakura³, Takao Koyama⁴, Yasuo Ogawa², Kaori Seki¹, Atsushi Suzuki¹, Zenshiro Saito¹

1.東京工業大学理学院地球惑星科学系、2.東京工業大学火山流体研究センター、3.国立研究開発法人産業技術総合研究所地質調査総合センター、4.東京大学地震研究所

1.Department of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Science, Tokyo Institute of Technology, 2.Volcanic Fluid Research Center, Tokyo Institute of Technology, 3.National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, 4.Earthquake Research Institute, University of Tokyo

草津白根山は長野県と群馬県の境に位置する、標高2000mほどの活火山である。山頂に位置する湯釜は強酸性の湖水を有し、その地下では度々活発な地震活動が観測されている。また、本白根山麓には草津温泉や万代鉱温泉などの湧出量の豊富な源泉が存在することから、山体の地下には熱水系が発達しているものと考えられている。

地球化学的な研究によれば山頂部の噴気や湯釜湖水、また山腹の幾つかの温泉は、気液分離した貯留層由来である一方、本白根山麓の草津温泉や万代鉱温泉などは、より初生的なマグマ性流体がこの貯留層を経由せずに天水と希釈され噴出したものと解釈されている (Ohba et al., 2000)。白根山を東西に横断する測線にて行われたAMT法による調査では、深さ3-4kmまでの比抵抗構造が明らかにされ、山体の西側に厚さ最大1kmほどの低比抵抗体が見つかった。これは変質した第三紀火山岩であると解釈されている。地球化学的な調査と合わせるとこの変質帯が不透水層として働くことで、山腹の温泉と山麓の温泉のそれぞれの経路を分け、混合を妨げていると考えられた (Nurhasan et al., 2006)。また、万代鉱周辺で行われたAMT法による調査では、源泉より地下へと広がる低比抵抗体を確認され、こちらは流体の供給路と解釈されている (神田ほか, 2014)。このように源泉ごとの生成過程の違いや、地下浅部の構造はある程度は分かっているものの、より詳細な深部の構造については未だによく分かっていない。そのため今回は表層への熱水の供給経路やその供給源、さらには草津白根山の火山活動全体の駆動源であるマグマ溜りの位置を明らかにすることを目的とした広域帯MT観測を本白根山において行った。

調査は山体西側の万座温泉から本白根山頂を経て万代鉱温泉に至る東西約10kmの測線上の計12点において広域帯MT観測を行った。得られたデータのうち三次元性の強いデータを除去し、Ogawa and Uchida(1996)によるコードを用いて2次元インバージョンを行った。このようにして得られた比抵抗構造の特徴として、

①山頂から西側の万座温泉地下へと細長く伸びる長さ数キロほどの低比抵抗体

②東斜面の表層付近に広がる低比抵抗体

③東斜面深部に見られる高比抵抗の大きなブロック

の存在があげられる。

②については、前述のAMT法観測 (Nurhasan et al., 2006) により推定された変質した第三紀火山岩であると考えられる。この低比抵抗体の下部には深部へと続く高比抵抗ブロック (③) が見られる。ただし、観測データのうち特に長周期側で得られたデータは人工ノイズ源の影響を受けている可能性もあり、このような構造が実際に存在するかはよりデータを精査し検討する必要がある。ポスターでは、これまでに得られている結果について発表する。

キーワード：比抵抗構造、MT法、草津白根山

Keywords: Resistivity structure, Magnetotellurics, Kusatsu-Shirane Volcano

草津白根火山2014年膨張変動に伴う流体輸送過程～DD法による精密震源決定からの示唆
Precise hypocenters in active hydrothermal systems determined by the double-difference
technique: Implications for fluid flows at during an inflation event at Kusatsu-Shirane
Volcano in 2014

*桑原 知義¹、寺田 暁彦²、行竹 洋平³、神田 径²、小川 康雄²

*Tomoyoshi Kuwahara¹, Akihiko Terada², Yohei Yukutake³, Wataru Kanda², Yasuo Ogawa²

1.東京工業大学理工学研究科、2.東京工業大学火山流体研究センター、3.神奈川県温泉地学研究所
1.Graduate School of Science and Engineering, Tokyo Insutitute of Technology, 2.Volcanic Fluid
Research Center, Tokyo Insutitute of Technology, 3.Hot Springs Research Institute of Kanagawa
Prefecture

草津白根火山では、山頂火口に相当する白根火砕丘湯釜火口湖の地下浅部を震源とする微小地震の顕著な群発活動が2014年3月から同8月まで継続した。同時期には地殻変動や熱消磁、火山ガス組成の変化も観測されており、これらの変化は地下浅部へ新たに熱水が蓄積されたために引き起こされたと考えられる。このような流体蓄積が地下浅部構造とどのような関係にあるかを明らかにするには、これら微小地震の震源を精度よく決めることが重要である。そこで、Double Difference (DD) 法 (Waldhauser and Ellsworth, 2000) による相対震源決定を行った。本研究では、初期震源を与えるために、まず二層構造を仮定した場合の最適な地震波速度構造を求めた。併せて、過去に実施された地震波構造探査や比抵抗構造探査と比較することで、この速度構造の妥当性を検討した。

草津白根火山の基盤をなす新第三紀の火山岩類の上面深度は、海拔1,000 -2,000m前後にあると考えられており (宇都・他, 1983), これは微小地震の震源域 (松田・他, 2014) と同程度かやや浅い。この地震波速度境界を考慮した震源決定を行なうために、表層の下に、古い基盤岩類を仮定した非線形最小二乗法に基づく震源決定プログラム (桑原・他, 2015) を作成し、走時残差を最小とする層境界深度と各層の地震波速度を最適構造として求めた。

解析の結果、境界深度標高は1500 m, 上層と下層のP波速度はそれぞれ2.5 km/sおよび4.8 km/sと推定された。これらの速度は、爆破探査に基づく鬼澤・他 (2005) とTakeda et al. (2004) の結果と矛盾しない。また、層境界深度は、白根火砕丘地下浅部に広がる低比抵抗領域 (小川・他, 未公表資料) の下面深度に相当している。すなわち、地震波速度の不連続は、熱水変質の程度を反映したものと考えられる。一方、擬似反射記録法を用いた筒井・他 (2008) は、新第三紀の基盤岩の上面深度を標高1,700 m前後と推定し、地震波速度の不連続 1500 mとは異なる。この不一致は、風化または熱水変質が進んだ結果 (宇都・他, 2004), 地震波速度が低下したため、新期の未固結な噴出物と基盤との速度不連続が目立たないためと考えられる。

以上の速度構造を用いて、手動検測に基づき初期震源位置を推定した。用いた観測点は火口から1 km以内に設置されており、3箇所ボアホール型を含む。本研究では、2013年の8月から2014年8月までに発生した約15,000個の地震のうち、マグニチュードが -1.3以上、かつ全ての観測点でP波が読めているものを選んだ。ここで、S波は概ね3箇所検測されている。手動検測値から求めたDouble Differenceデータは、P波、S波に対してそれぞれ9,208および 4,198ペアであった。さらに、本研究では波形相関を用いてDouble Differenceデータを求め、P波、S波それぞれ86,089および37,413ペアを得た。

再決定された震源は218個である。多くの地震は、湯釜火口湖の中央部直下の標高約950 m から1000 mのごく狭い範囲 (以下、領域A) に集中する。領域Aは発生頻度が最も高く、群発地震前から認められ、群発期間中も活動が継続している。また、時間とともに位置が変化する地震活動が新たに見つかった。

震源が時間とともに変化する震源クラスターは、領域Aより浅部、または深部など、その位置に基づき数グ

ループに分類できる。例えば領域Aよりも浅部については、同5月以降、標高1,100 mから1,200 mで発生するようになった。水平位置で見ると、湯釜火口湖の中央部、南東部、北東部の3つのクラスターが認識でき、発生時期が棲み分けているように見える。この領域では、群発地震開始前には殆ど地震が発生していない。また、これら領域で地震が発生し始めた同5月は、地下の加熱を示す磁場変動や、湯釜水温の上昇が観測されている。傾斜計に基づく地下浅部への流体蓄積率も、同5月がピークであった。以上のことから、湯釜地下浅部で5月以降に始まった地震活動は、深部から供給された流体の浅部への貫入、あるいは亀裂生成を反映したものと考えられる。

謝辞 地震観測システムの改善にあたり、気象庁の鬼澤真也博士、秋田大学の筒井智樹博士、宮町凜太郎氏のご支援を頂きました。ここに記して深く感謝します。

キーワード：草津白根火山、微小地震、DD法

Keywords: Kusatsu-Shirane Volcano, microearthquakes, double-difference method

浅間山における2015年の活動

Volcanic activity of Asama volcano in 2015

*和田 さやか¹、中村 政道¹、大塚 仁大¹、飯島 聖¹

*Sayaka WADA¹, MASAMICHI NAKAMURA¹, Yoshihiro Otsuka¹, Sei IIJIMA¹

1. 気象庁

1. Japan Meteorological Agency

浅間山では、2015年4月下旬頃から火山性地震が増加し、6月には二酸化硫黄の放出量が急増した。これらのことから火山活動が高まっていると考えられ、気象庁では2015年6月11日に噴火警戒レベルを1から2に引き上げた。その後、6月16日、19日にはごく小規模な噴火が発生した。本発表では、この噴火前後の活動を含め2015年の浅間山の火山活動について報告する。

2015年4月下旬頃から火山性地震が増加した。6月に地震回数はピークとなり、その後は減少傾向がみられている。二酸化硫黄の放出量は6月に増加し、その後減少傾向がみられるなど、地震活動との相関関係がみられている。また、6月16日以降には火映現象を時々観測するなど熱活動も高まった状態で経過している。

光波測距観測及び傾斜計による地殻変動観測では、2015年6月頃から変化が観測された。また、GNSSの観測では2015年5月頃から浅間山を挟む基線でわずかな伸びが観測されていた。傾斜計による地殻変動観測について6月から11月頃までの動きをみると、山体の西側を中心とするような膨張性の変動が確認された。そのため、茂木モデルを仮定しグリッドサーチによって膨張源を推定した。解析には火山用地殻活動解析支援ソフトウェアMaGCAP-V（気象研究所地震火山研究部、2008）を用いた。その結果、山体の西方に膨張源が推定された。GNSSの変動については、変動量が小さく評価が難しいが、傾斜計等の膨張源による変動よりも先行して始まっていることから、より深部の膨張源の存在を示唆している。

発表では、これらの2015年の活動について整理するとともに、過去の活動についても同様に整理し、2015年の活動との比較・考察を行う予定である。

謝辞：地殻データの解析には、国土地理院及び国立研究開発法人防災科学技術研究所のデータを使用させていただきました。また、気象研究所から火山用地殻活動解析支援ソフトウェアMaGCAP-V（気象研究所地震火山研究部、2008）を提供して頂きました。感謝申し上げます。

キーワード：浅間山、噴火、地殻変動

Keywords: Asama volcano, eruption, volcanic deformation

浅間山における火山ガス（二酸化硫黄放出量）の推移
Temporal change of SO₂ discharge at Asama volcano

*大塚 仁大¹、武尾 実²

*Yoshihiro Otsuka¹, Minoru TAKEO²

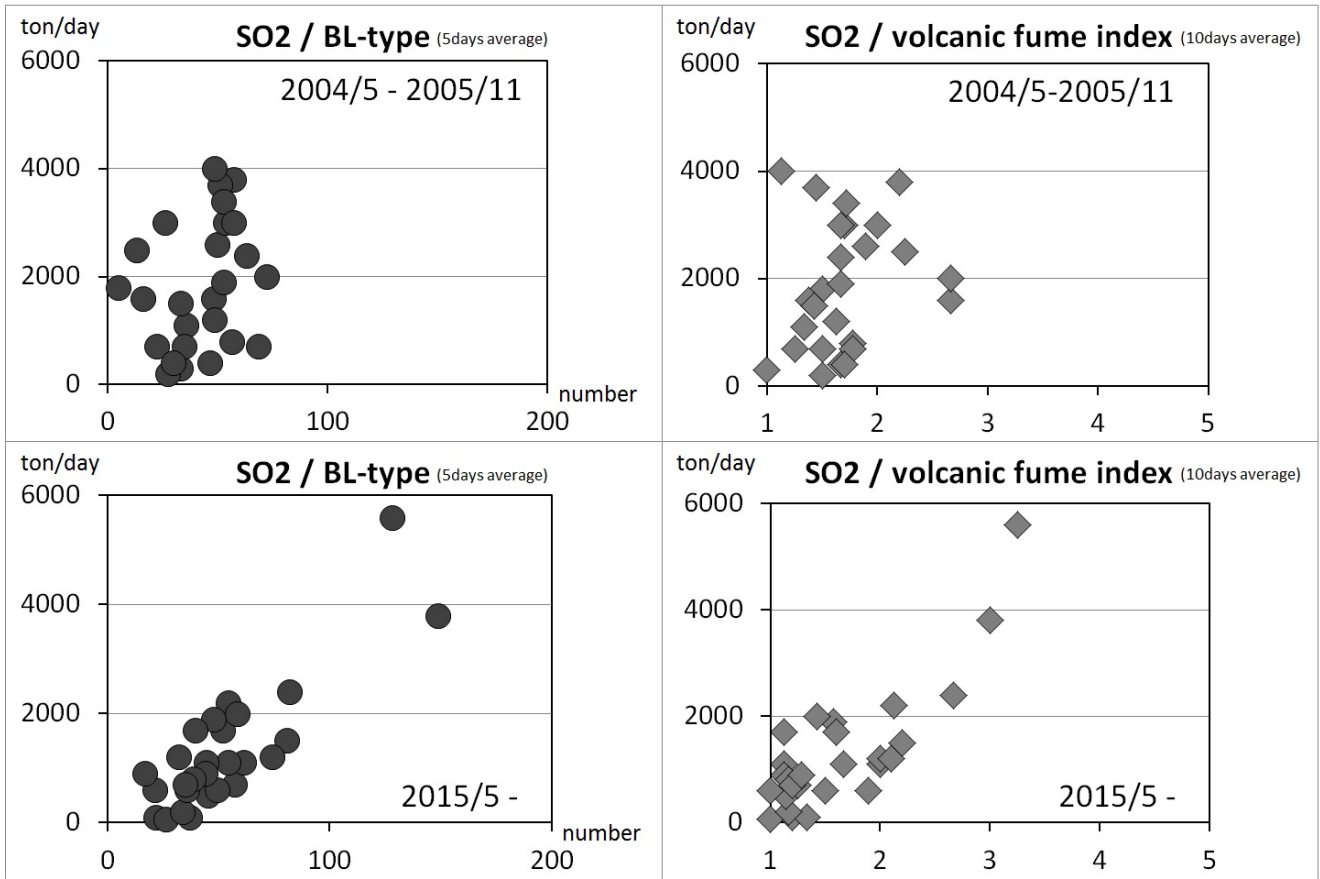
1.気象庁地震火山部、2.東京大学地震研究所

1.Seismology and Volcanology Department, JMA, 2.Earthquake Research Institute, University of Tokyo

浅間山では火山活動の監視を目的に2002年7月から火山ガス（二酸化硫黄放出量）の観測を行っている。これまでに観測された火山ガスのデータから過去の噴火事例（2002年6月～2004年4月、2004年5月～2005年11月、2008年8月～2009年7月、2015年5月～）と非噴火時における火山ガスのデータの推移と火山性地震、噴煙量の関係について調査を行った。火山性地震については地震波形タイプの分類からの調査も試みた。火山ガスの増加と火山活動の活発化は知られているところであるが、昨年（2015年）の噴火時に観測された火山ガスのデータと地震波形タイプ別の地震回数との関連を調査してみたところ、B L型（低周波）地震回数と火山ガスの増加には相関がみられる結果となった。また、噴煙量も火山ガスの増加に伴って増えていることが分かった。他の噴火事例についても同様な調査を行ったところ、2008年、2009年の噴火では2015年と似た傾向がみられた。しかし、2003年、2004年の噴火では地震回数、噴煙量ともに相関が低い結果となり、火山ガスが増えたとしてもB L型地震回数や噴煙量は増加しない場合が多くみられた。（fig.1）更に火山ガスの放出に先立って発生がみられるV L P型（傾斜変動を伴う超長周期振動）地震について、火口西観測点（東京大学）の観測データを使用して火山ガスとB L型発生回数の関連をみると緩やかな相関がみられた。しかし、V L P型地震の発生が少ない場合でも火山ガスが多い事例も数例みられた。一方、非噴火時ではB L型の地震回数が増加した場合、火山ガスは多くても2000トン/日程度で止まることが分かった。これらから、火山ガスの増加は噴火の可能性を示す一つの観測データと考えられるが、B L型の地震回数や噴煙量との相関が高い事例とそうでない事例があることが分かった。これは火山ガスの放出時にB L型地震などを伴わない場合、地震ごとに火山ガスの放出量が変動することなどが考えられる。このため火山ガスの放出過程を解明するためには更に調査が必要と考える。

キーワード：浅間山、二酸化硫黄、地震波形、噴煙

Keywords: Asama volcano, SO₂, seismic waveform, volcanic fume



浅間火山山頂部における土壌CO₂放出率測定：2015年微噴火前後の変化

Measurements of soil CO₂ flux at Asama volcano, Japan before and after minor eruptions in June 2015

*森田 雅明¹、森 俊哉¹、風早 竜之介²、辻 浩³

*Masaaki Morita¹, Toshiya Mori¹, Ryunosuke Kazahaya², Hiroshi Tsuji³

1.東京大学大学院理学系研究科地殻化学実験施設、2.産業技術総合研究所活断層・火山研究部門、3.東京大学地震研究所

1.Geochemical Research Center, Graduate School of Science, The University of Tokyo, 2.Research Institute of Earthquake and Volcano Geology, Geological Survey of Japan, AIST, 3.Earthquake Research Institute, The University of Tokyo

火山ガスの放出形態には火口の噴煙・噴気活動のほか山体表層からの土壌ガス放出が存在する。火山ガスのうち二酸化炭素 (CO₂) はマグマへの溶解度が低く、他の揮発性成分に比べより深部で脱ガスし、結果として土壌ガスとしても多く放出される。この土壌CO₂放出率は、火山活動の変化に合わせて値や分布が変化することが数多く報告されている [e.g., Hernández *et al.*, 2001, *Science*; Carapezza *et al.*, 2004, *Geophys. Res. Lett.*; Pérez *et al.*, 2006, *Pure Appl. Geophys.*]. したがって、土壌CO₂放出率の変動を観測することは火山活動におけるガス放出の役割を理解する上で非常に重要である。

浅間火山では、2015年6月16日・19日に2009年以来となる微噴火が発生した。この噴火を受けて、2015年10月29日に山頂部において土壌CO₂放出率の測定を行った。本発表では、2012年～2014年の静穏期に測定した土壌CO₂放出率の結果 [Morita *et al.*, *Bull. Volcanol.*, *accepted*] と比較し、微噴火後の活発な噴煙ガス放出期における流体上昇について議論する。

測定は、釜山火口の東縁から東前掛山周辺の54点で、Accumulation chamber法 [Parkinson, 1981, *J. Appl. Ecol.*; Baubron *et al.*, 1990, *Nature*; Chiodini *et al.*, 1998, *Appl. Geochem.*] を用いて行った。得られたデータから逐次ガウスシミュレーション法 [Deutsch and Journel, 1998; Cardellini *et al.*, 2003, *J. Geophys. Res.*] を用いて100回のシミュレーションを行い、その結果を平均して空間分布を求めた。

2015年10月の土壌CO₂放出率の空間分布を2012年～2014年の空間分布 [Morita *et al.*, *Bull. Volcanol.*, *accepted*] と比較した結果、2012年～2014年に見られた山頂東側の釜山火口リムから東前掛山リムにかけての高放出率域の分布に変化は見られなかった。しかし、東前掛山リム周辺で放出率に最大5～10倍ほど増加が見られた。一方で、釜山火口リム周辺では放出率に変化が見られないところが多く、さらに火口南東側のリムで放出率が減少した地域が見られた。

山頂東側の土壌から放出されるCO₂は、山体東側浅部に存在する電磁気学的な低比抵抗域 [Aizawa *et al.*, 2008, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*] と対応する熱水流体に由来すると考えられる [Morita *et al.*, *Bull. Volcanol.*, *accepted*]. 東前掛山リムでの放出率の増加は、釜山火口からの噴煙活動の活発化と同様に、この熱水流体への深部からの揮発性成分の供給が増加したことを反映していると考えられる。また、火山活動の活発化に対する、釜山火口周辺と東前掛山周辺での土壌CO₂放出率のレスポンスの違いは、地下での流体の上昇経路や放出過程の違いに起因する可能性がある。火山活動の理解のためには、観測を継続的に行い、火山地下への流体供給と火山活動を対比させることが重要である。

キーワード：浅間火山、土壌CO₂放出率、流体上昇

Keywords: Asama volcano, Soil CO₂ flux, Fluid ascent

傾斜波形解析から示唆される御嶽山2014年噴火の浸透率増大モデル

A permeability evolution model for the 2014 eruption of Mt. Ontake inferred from tilt waveform analyses

*前田 裕太¹、加藤 愛太郎^{1,2}、寺川 寿子¹、山中 佳子¹、堀川 信一郎¹、松廣 健二郎¹、奥田 隆¹
*Yuta Maeda¹, Aitaro Kato^{1,2}, Toshiko Terakawa¹, Yoshiko Yamanaka¹, Shinichiro Horikawa¹, Kenjiro Matsuhira¹, Takashi OKUDA¹

1.名古屋大学大学院環境学研究科附属地震火山研究センター、2.東京大学地震研究所

1.Earthquake and Volcano Research Center, Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, 2.Earthquake Research Institute, The University of Tokyo

御嶽山2014年噴火の開始前450秒間にvery long period(VLP)イベントと山上がりの傾斜変動が観測された。噴火開始25秒前に発生した最大のVLPイベントの波形インバージョン解析から火口直下の深さ600 mに位置する北北西-南南東走向の開口クラック解が得られ、既存断層群を用いた水蒸気の上昇に伴う亀裂の開閉と解釈できた(Maeda et al., 2015, EPS)。傾斜変動の波形インバージョンからは深さ1 kmの鉛直に近い開口クラックの膨張(体積変化量 10^6 m^3)が推定された。傾斜変動の最初の168秒間は時間の線形関数、それ以降は時間の指数関数(時定数84秒)で説明できることも明らかになった(前田他, 2015火山学会秋季大会)。しかし秋季大会時点ではこれらの解析結果を説明するモデルは作れていなかった。

本講演では秋季大会以降に考案した傾斜変動のソースモデルについて発表する。本モデルでは一定深度(圧力20 MPa; 深さ約1 km)での地下水の沸騰によってクラックの膨張が生じたと仮定する。

時間の線形関数は深部からの一定レートの熱供給による地下水の沸騰と解釈できる。波形インバージョンで推定した体積増加レートをを用いて熱供給レートは 10^{10} J/s と見積もられ、噴火後の地表からの熱放出率(寺田他, 2014火山学会)と整合的である。

時間の指数関数を実現するにはクラック内の水蒸気量が増加するとそれに伴ってますます地下水の沸騰が促進される正のフィードバックが必要である。水蒸気で満たされた1枚の大きなクラック(10^6 m^3)を考えた場合、450秒という時間をかけた低速のクラック拡大は困難であることがLister and Kerr (1991, JGR)の力のバランスから示唆される。そこで我々は傾斜変動ソースを水蒸気で満たされた方向の揃った多数の微小クラックから成る領域と考え、これを水蒸気の浮力で駆動される鉛直浸透流としてモデル化する。ダルシー速度の式において時間的に大きく変化する量は浸透率のみである。このことを踏まえ、ソース領域内の水蒸気量が増加→空隙率が増加→浸透率が増加→ダルシー速度が増加→沸騰深度から水蒸気が上方へ流れ去るレートが増加→その分を賄うように新たな沸騰が起きてますます水蒸気総量が増加、という正のフィードバックを考える。このシナリオを定式化したところ、空隙率と浸透率が比例する場合に時間の指数関数を実現されうること、現実的な浸透率の値によって観測された指数関数の時定数(84秒)を説明しうることを示された。

以上まとめると、御嶽山噴火の直前過程は一定レートでの加熱による地下水の沸騰で始まり、空隙率・浸透率の増大に伴う沸騰レートの指数関数的な加速、水蒸気の上昇に伴うVLPイベントの発生を経て噴火に至ったと解釈できる。

キーワード：御嶽山、水蒸気噴火、傾斜

Keywords: Mt. Ontake, Phreatic eruption, Tilt

御嶽山田の原の傾斜計東西成分の降水補正（2）

The rainfall correction of E-W component of the tiltmeter at Mt. Ontake Tanohara (2)

*木村 一洋¹、河島 克久²、松元 高峰²、佐々木 明彦³、伊豫部 勉⁴、中橋 正樹⁵、小林 昭夫¹*Kazuhiro Kimura¹, Katsuhisa Kawashima², Matsumoto Takane², Akihiko SASAKI³, Tsutomu Iyobe⁴, Masaki Nakahashi⁵, Akio Kobayashi¹

1.気象研究所、2.新潟大学災害・復興科学研究所、3.信州大学理学部、4.京都大学工学研究科、5.気象庁地震火山部火山課

1.Meteorological Research Institute, 2.Research Institute for Natural Hazards and Disaster Recovery, Niigata University, 3.Faculty of Science, Shinshu University, 4.Graduate School of Engineering, Kyoto University, 5.Japan Meteorological Agency

気象庁では、御嶽山の火山監視のために山頂の南東部に位置する田の原に傾斜計を2010年に設置し、監視している。この田の原の傾斜計では、2014年9月の水蒸気噴火の数分前に非常に大きな山上がりの傾斜変化が観測された。それ以外の変化について着目した場合、田の原の傾斜計の東西成分の長期的なデータは降水の影響が大きく、噴火直前以外の傾斜変化を確認することはできなかった。木村・中橋（2015）は田の原の傾斜計の東西成分の降水補正に取り組み、降水が雨である期間（6月～10月）については良好な降水補正が可能であることを明らかにするとともに、降水補正後の長期的なデータから御嶽山の山頂直下で地震活動が活発化した2014年9月10日頃から山上がりの変化を確認した。しかし、田の原の傾斜計の東西成分には毎年融雪期（3月～5月）にも大きな変化があるが、降水補正に用いる入力値を降水量データのみで頼る手法では融雪の影響を除去できず、もしこの融雪期に火山活動に伴う傾斜変化があったとしても変化量が小さければ検知できないという問題を抱えていた。御嶽山に限らず、日本の活火山の多くは冠雪火山であり、それらの火山に設置された火山監視のための数多くの傾斜計にとって、降水に加えて融雪の影響を除去することは大きな課題の1つである。

河島・他（2015）は御嶽山における融雪型火山泥流や融雪・降雨に伴う雪泥流などの災害を懸念し、2014年11月から2015年5月にかけて田の原で気象・積雪観測を行った。また、御嶽山積雪期火山防災情報プラットフォーム（<http://platform.nhdr.niigata-u.ac.jp/ontake/>）にて観測データをインターネット上で公開するとともに、融雪量等の算出も行った。木村・他（2015）は、降水量データに加えてこの融雪量も入力値として用いた田の原の傾斜計の東西成分の降水補正に取り組み、幾つかの課題は残るものの融雪の影響を除去できる見通しをつけた。北海道、東北、中部地方の冠雪火山の火山監視を目的とした傾斜計において融雪の影響を除去するためには、適切な場所で融雪量の観測を行うか、火山周辺の融雪量の面的分布をある程度簡便に精度良く推定する手法を確立する必要がある。

新潟大学・信州大学・京都大学による田の原における積雪期の気象・積雪観測は、2015年11月から2年目の観測を開始した。2016年1月末の時点で今シーズンの積雪は昨シーズンに比べて少ないが、本発表では2016年の融雪期における降水補正の結果を紹介する。

参考文献：

河島克久・伊豫部勉・松元高峰・片岡香子・和泉薫・佐々木明彦・鈴木啓助・齋藤武士（2015）：御嶽山2014年噴火に対する雪氷・火山複合災害の視点からの調査活動，雪氷研究大会（2015・松本）講演要旨集，C3-1.

木村一洋・河島克久・松元高峰・伊豫部勉・佐々木明彦・中橋正樹（2015）：火山監視を目的とした傾斜計に現れる融雪の影響－御嶽山田の原の傾斜計の東西成分における融雪の影響を補正する試み－，雪氷研究大会（2015・松本）講演要旨集，C3-5.

木村一洋・中橋正樹（2015）：御嶽山田の原の傾斜計東西成分の降水補正（1），日本地球惑星科学連合2016年大会予稿集，SVC45-P24.

キーワード：傾斜計、御嶽山、降水補正、融雪

Keywords: tiltmeter, Mt. Ontake, rainfall correction, meltwater

磁気岩石学的解析による御嶽山2014年噴出物の堆積過程

Identification and emplacement mechanisms of the September 2014 eruptive products from Ontake volcano, Japan, inferred from magnetic petrology

*齋藤 武士¹、片岡 香子²、松元 高峰²、河島 克久²、伊豫部 勉³、佐々木 明彦¹、鈴木 啓助¹

*Takeshi Saito¹, Kyoko S Kataoka², Takane Matsumoto², Katsuhisa Kawashima², Tsutomu Iyobe³, Akihiko Sasaki¹, Keisuke Suzuki¹

1.信州大学理学部理学科、2.新潟大学災害・復興科学研究所、3.京都大学大学院工学研究科

1.Faculty of Science, Shinshu University, 2.Research Institute for Natural Hazards and Disaster Recovery, Niigata University, 3.Graduate School of Engineering, Kyoto University

Phreatic eruption occurred at Ontake volcano on the 27th Sept. 2014, have produced wide variety of deposits around the volcano. The eruption column reached to about ten thousand meters high and resulted in thin ash fall deposits extended 100km to the east. Small pyroclastic flow deposits were emplaced at southern slope of the volcano edifice. Though steam emission without additional volcanic products have been observed after the initial intensive activity, heavy rain falls triggered a lahar which transported volcanic materials deposited at around the craters to the foot of the volcano. This study focuses on eruption processes and transport and emplacement mechanisms of the eruptive products. Preliminary results were reported in 2015 JpGU meeting. This time, we will report magnetic petrological features of the eruptive products of Ontake 2014 and discuss emplacement mechanisms of the materials.

Magnetic minerals in the eruptive products are characterized by abundant pyrite and small amount of titanomagnetites. Thermomagnetic analysis indicated that pyrite is stable under 380°C and changes to magnetite above 380°C, suggesting the eruptive materials did not suffer high temperature of more than 380°C just before and during the eruption. Magnetic hysteresis parameters of the materials ejected at the initial stage of the eruption were relatively concentrated around the bottom right corner of the total distribution at Day plot, whereas the other materials were scattered at the upper left. It is suggested that the materials by the initial stage of the eruption contain larger magnetic minerals. On the other hand, field observation and granulometric analysis of the deposits including magnetic minerals indicated that the materials derived from the initial stage are composed of well-sorted fine ash, inconsistent with magnetic hysteresis results. There is a possibility that heavy magnetic minerals bearing iron tend to fall rapidly, resulted in higher concentration of larger magnetic minerals in the materials ejected at the initial stage.

These rock magnetic characters can be used as a marker of the eruptive products. Thin fine ash layer found at the upstream of the Nigori-kawa River, about 3 km south from the vent area, showed similar rock magnetic features with those of the materials caused by the initial stage, whereas such deposits cannot be traced further downstream from the point. The deposit could be derived from ash cloud of pyroclastic flow or from ash fall itself by the initial stage. Approximately 2m thick lahar deposits containing sediments derived from the 2014 eruptions were found along the river, suggesting emplacement of the pyroclastic flow impacted upstream areas of the catchment. Turbidity of the river decreased significantly after a year of the eruption, but a certain amount of the 2014 materials were contained in the river water. This is suggestive of perennial transportation of volcanic materials sourced from the vent area even in the present time.

キーワード：御嶽、水蒸気噴火、磁性鉱物、黄鉄鉱

Keywords: Ontake, phreatic eruption, magnetic mineral, pyrite

箱根火山で推定された異方性媒質のクラックサイズに関する検討 Study on crack size in anisotropic media in Hakone volcano

*本多 亮¹、行竹 洋平¹、酒井 慎一²、森田 裕一²

*Ryou Honda¹, Yohei Yukutake¹, Shin'ichi Sakai², Yuichi Morita²

1.神奈川県温泉地学研究所、2.東京大学地震研究所

1.Hot Springs Research Institute of Kanagawa Prefecture, 2.Earthquake Research Institute,
University of Tokyo

はじめに

2015年6月末に箱根大涌谷で発生した水蒸気噴火の際に観測された開口クラックの活動などから、火山帯内部には多くの亀裂があり、それらを利用して熱水などが移動・上昇したと考えられている（例えば、本多他2015）。本報告では、S波スプリッティング解析で得られたパラメータの周波数領域での信頼区間を調べ、地下の亀裂系の特徴的なサイズについての考察を行う。

データと手法

箱根カルデラ内に設置された定常観測点の2009年以降のデータを用いて解析を行った。マグニチュード0以上の地震について、2-8Hzのバンドパスフィルタをかけた速度波形を用いて、S波スプリッティング解析を行い、分離したS波の時間差 Δt と速いS波の振動方向LSPDを推定した。得られたパラメータについて、Mizuno et al (2001)の手法を用いてクラックサイズの上限を推定する。具体的には、得られたパラメータを生波形に適用してスプリットしたS波を元に戻し、二つの波形の位相差スペクトルを計算した。位相差が十分に小さい周波数帯では、 Δt とLSPDが共通であると考えられ、クラックサイズ \ll 波長であるとすれば、位相差がフラットになる帯域の高周波側の限界からクラックサイズの上限についての推定が可能である。位相差の10ptごとの移動平均を計算し、 ± 0.25 rad以下、かつその窓での分散が0.1以下である場合、十分に位相差が小さいとした。スプリッティングパラメータが得られたすべてのイベントについて解析を行った結果、10Hz程度まで位相差が0になる観測点が多かった。また、大涌谷および金時観測点では他に比べてこの区間が高周波側に伸びないこと、大涌谷では8Hz付近に谷（位相差が大きい帯域）が存在することがわかった。

考察

全体として、位相差がフラットになるのは10Hz付近であることから、箱根におけるクラックの特徴的なサイズは200~300m程度と考えられる。金時観測点でフラットな区間が他の観測点に比べて高周波側に伸びないのは、金時観測点に至る波線が比較的サイズの大きなクラックが存在する領域を通過している可能性を示している。金時観測点は、箱根カルデラの北端付近に位置し、地震波の多くは大涌谷付近を通過して観測点に至る。b値の空間分布（Yukutake et al, 2013）をみると、大涌谷の直下数キロ付近にb値の低い領域が存在する。b値が低いということは、その領域での断層サイズが比較的大きい可能性があり、これが金時観測点で位相差がフラットな区間が高周波側に伸びない原因のひとつと考えられる。大涌谷観測点の8Hz付近に落ち込み（谷）は、この周波数帯で信号を乱すなんらかのノイズが混入していることを示唆しているのかもしれない。詳細については今後の課題である。

本研究の一部は、文部科学省の「都市の脆弱性が引き起こす激甚災害の軽減化プロジェクト」による支援を受けました。

キーワード：異方性構、S波スプリッティング、箱根火山

Keywords: anisotropy, S-wave splitting, Hakone volcano

箱根山大涌谷周辺で観測された火山活動に伴う全磁力変化

Magnetic variation of total intensity associated with volcanic activity observed around Owakudani, Hakone Volcano

*山本 哲也¹、宮岡 一樹¹、原田 昌武²、竹中 潤²、高木 朗充¹

*Tetsuya Yamamoto¹, Kazuki Miyaoka¹, Masatake Harada², Jun Takenaka², Akimichi Takagi¹

1.気象庁気象研究所、2.神奈川県温泉地学研究所

1.Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency, 2.Hot Springs Research Institute of Kanagawa Prefecture

2015年の箱根山の火山活動では、山体の膨張を示すGNSS基線の伸びが3月下旬から始まり、4月下旬からは有感を含む多数の地震が発生するとともに大涌谷の噴気活動が活発化した。衛星SARの干渉解析によって、5月から6月にかけて大涌谷の一部が局所的に隆起したことが明らかになり、6月30日には大涌谷の隆起が観測された場所の近傍でごく小規模な噴火が発生し、火口群を形成するに至った。その後、7月以降は、GNSS基線長の伸びが停止し、発生する火山性地震も減少するなど火山活動が低下する傾向がみられた。

大涌谷で想定されるような水蒸気噴火では、熱水活動の活発化により、噴火に伴って地下の比較的浅い場所で熱消磁が引き起こされ地表の地磁気に変化することがしばしばある。近年水蒸気噴火が発生している草津白根山や雌阿寒岳においては、全磁力変化が火山活動を評価する材料のひとつとなっている。大涌谷においても全磁力観測は火山活動をモニターする有力な手法と考えられることから、我々は2015年5月から11月にかけて大涌谷周辺における地磁気繰り返し観測を行った。

観測では、大涌谷周辺に全磁力観測点を3点を設けた。これらの観測点でオーバーハウザー磁力計を用いた全磁力測定を全点で並行して1日程度実施し、それを1ヶ月程度の間隔で繰り返した。観測された全磁力のデータは、大涌谷の北約4kmに設置した基準観測点のデータを用いて地磁気日変化などを補正した。また、早朝から深夜にかけては、周辺の直流電車の漏洩電流に起因するとみられる磁気ノイズが大きかったため、電車の運行が休止してノイズレベルが低下する02時から04時までの時間帯の全磁力平均値を、火山活動に関連した変化を調べるために用いた。

繰り返し観測の結果には、噴火後の7月から9月にかけて、大涌谷の北側に位置する観測点で1nT程度の全磁力の減少がみられた。大涌谷南側の観測点については、あまり明瞭ではないが、全磁力がわずかに増加していた可能性がある。このような分布の全磁力の変化は、大涌谷の地下で岩石の磁化の獲得（帯磁）が起こった場合に期待される。帯磁は高温の岩石が冷却する際に生じることから、大涌谷では7月から9月にかけて地下の温度低下が進行したことが示唆される。6月末の噴火によって火口が形成されたことにより、地下の冷却が効率的に行われるようになったのかもしれない。噴火前に局所的な隆起が見られた地域の地下が噴火後に温度低下したと仮定すると、その深さが地表から500mであった場合、帯磁の磁気モーメントは $2-3 \times 10^6 \text{Am}^2$ であったと推定される。

キーワード：箱根、地磁気変化、火山活動

Keywords: Hakone, magnetic variation, volcanic activity

箱根山大涌谷2015年6月30日噴出の火山灰およびその水溶性付着成分

Volcanic ash erupted from Owakudani fumarolic area of Hakone volcano on June 30, 2015, and its soluble components

*谷口 無我¹、大場 武¹、左合 正和¹、関本 安佐子¹

*Muga Yaguchi¹, Takeshi Ohba¹, masakazu Sago¹, Asako Sekimoto¹

1.東海大学理学部化学科

1.Department of Chemistry, School of Science, Tokai University

【はじめに】箱根山大涌谷では2015年4月26日から火山性地震の増加が観測され、地震活動は6月初旬には一旦低下したが6月29日には再び活発化してごく小規模な噴火が発生し、同日から翌30日にかけて火山灰が降下した。この箱根山の火山活動の一連の経過や降下した火山灰についてはすでに複数の報告があるが(例えば、神奈川県温泉地学研究所, 2015; 濱崎ほか, 2015), 著者らは同年6月30日に大涌谷で回収した火山灰の構成鉱物、化学組成および水溶性付着成分の分析を実施したのでその結果を報告する。

【方法】2015年6月30日午前9時30分~10時30分にかけて、大涌谷噴気地帯の西側約300mの地点の駐車場で自動車のフロントガラスに付着した火山灰を回収した。火山灰試料の構成鉱物種同定には粉末X線回折法を用い、化学組成の分析には酸分解法による湿式分析と蛍光X線分析法を併用した。水溶性付着成分は超純水に溶出させた後イオンクロマトグラフ法で分析した。

【結果および考察】X線粉末回折の結果火山灰試料からはスメクタイト、黄鉄鉱、トリディマイト、クリストバライト、石膏、硬石膏、斜長石、石英が検出され、顕微鏡観察では立方体の黄鉄鉱結晶が認められた。これらの鉱物の構成は比較的低温の変質作用で生じたと考えられ、火山灰が熱水変質帯の浅部に由来することを示唆した。火山灰の化学組成は大涌谷周辺の安山岩質溶岩(高橋ほか, 2006)よりも相対的にNa, K, Ca, Mgが顕著に少ないなど、火山灰が熱水変質帯に由来することを支持した。また、火山灰1kg当たりのCl⁻とSO₄²⁻の付着量はそれぞれ12.2gおよび6.6gであり、両成分のモル比(Cl/S比)は5であった。両成分の付着量およびCl/S比は本邦各地の火山灰の付着成分(例えば、松尾ほか, 1977; 近堂ほか, 1979; 宮地・尾口, 2004)の中でも大きい部類であり、これらの成分は地下の熱水成分に由来する可能性が高いと判断された。大涌谷周辺の地表にはCl/S比が小さい温泉水が湧出する一方、深度29~36mではCl/S比が2程度(綿貫, 1966)、深度およそ500mではCl/S比が7~18程度の温泉水が賦存している(Oki and Hirano, 1974)。これらのことを考慮すると2015年6月30日に噴出した火山灰は大涌谷の地下500m程度以浅に発達する熱水系に由来すると考えられた。

キーワード：箱根山、水蒸気爆発、火山灰、熱水変質鉱物、水溶性付着成分

Keywords: Hakone volcano, phreatic explosion, volcanic ash, hydrothermal mineral, water soluble component

カメルーンニオス湖の水質

Water quality characteristics of Lake Nyos, Cameroon

*谷口 無我¹、Mimba Mumbfu¹、網代 卓也¹、大場 武¹、Tanyileke Gregory²、Hell Joseph²

*Muga Yaguchi¹、Mumbfu E Mimba¹、Ajiro Takuya¹、Takeshi Ohba¹、Gregory Tanyileke²、Joseph V Hell²

1.東海大学理学部化学科、2.カメルーン国立地質調査所

1.Department of Chemistry, School of Science, Tokai University, 2.IRGM, Cameroon

1986年、カメルーンのニオス湖では湖水爆発と呼ばれるCO₂の爆発的な放出によって地域の住民1746名が犠牲となった。その後の調査でCO₂はマグマ起源で熱水とともに湖底から供給されて湖水に蓄積されていることが明らかとなり、ニオス湖では2001年に人工的なガス抜きが開始された(例えば、Kusakabe et al., 1989; 大場ほか, 2012)。一方、湖水爆発の発生メカニズムの解明や将来の予測のためにはCO₂だけでなく種々の溶存成分に関して更なる知見の集積が必要である。陸水の水質形成にとって水-相互作用は重要であり、本研究ではニオス湖の湖水および湖縁の火山岩の化学組成を分析し、湖水の水質形成と岩石との関係を検討している。

湖水の溶存成分濃度は水深とともに増加し、湖底付近の溶存成分の割合は陽イオンで $Fe^{2+} > Mg^{2+} > Ca^{2+} > Na^+ > K^+$ であり、陰イオンではHCO₃⁻が卓越しCl⁻やSO₄²⁻は極めて低濃度である。マグマ起源のCO₂に由来するHCO₃⁻を除けば湖水の溶存成分濃度は40 ~ 380mg/L, Na/(Na+Ca) 重量比は0.3 ~ 0.4程度であり、当該湖水の水質形成には水-岩石相互作用が重要な役割を果たしていると考えられた。湖水の溶存化学組成と湖縁の火山岩試料の全岩化学組成には良い相関が認められ、湖水の水質形成への水-岩石相互作用の関与を支持した。岩石成分の湖水への溶出率は基本的にイオンの電荷(Z)と半径(r)の比率(Z/r比; イオンポテンシャル)に依存していると考えられ、Z/r比が小さい元素(例えば、Na, K, Ca, Mg, Mnなど)は溶出率が大きく、Z/r比が大きい元素(例えば、Al, Ti, Crなど)では溶出率が小さい傾向が認められた。今後、湖水のpH条件や各種鉱物の平衡状態などを考慮した詳細な水-岩石相互作用を検討する必要がある。

キーワード：カメルーン、ニオス、火口湖、湖水爆発、水質

Keywords: Cameroon, Nyos, Crater lake, Limnic eruption, Water quality

伊豆大島のGNSSの高さにみられる2012年頃の変化

Change of Izu Ohshima GNSS height at 2012

*高山 博之¹、山本 哲也¹、鬼澤 真也²

*Hiroyuki Takayama¹, Tetsuya Yamamoto¹, Shin'ya Onizawa²

1.気象庁気象研究所火山研究部第1研究室、2.気象庁

1.Volcanological Division 1st laboratory, Meteorological Research Institute, 2.Japan Meteorological Agency

高山他（2015）では、伊豆大島の三原山付近のGNSS観測による高さに、2012年頃を境に下降傾向が上昇傾向に、上昇傾向がさらに加速する変化がみられることを報告した。その後、伊豆大島に展開しているGNSSの観測点のデータを調べたところ、三原山付近だけでなく島全体で類似の高さの変化がみられることがわかった。一方、GNSSの水平成分では、例えば133回予知連絡会資料の図9で2012年頃を境に膨張速度が加速している。2012年頃の島全体にみられる上昇速度の変化が同じ原因であるのか調べた。

島全体の観測点の高さの時系列について、2009年から2011年までと2013年以降のそれぞれの期間について最小二乗法で直線近似し、二つの期間の上昇速度の差を計算し2012年頃に起こった上昇速度の変化を求めた。得られた島内各観測点の上昇速度変化の分布をみると、膨張源があると考えられるカルデラ北部付近で大きく、そこからもっとも遠い島の北部と南部で小さくなっている。

そこで、カルデラ北部からの距離に対する二つの期間の上昇速度の差をプロットし、そこにこれまでのGNSS観測から推定されている深さ5kmの山川・茂木モデルから期待される上昇速度を重ねて描いた。その結果、体積変化が毎年 2.1×10^6 立方メートルあるとすると、各観測点の上昇速度の差のプロットと山川・茂木モデルから期待される上昇速度が一致する。このことは、2012年を境に、膨張源の年あたりの体積増加量が 2.1×10^6 立方メートル増えたことを意味する。

キーワード：GNSS、高さ、伊豆大島

Keywords: GNSS, Height, Izu Ohshima Island

西之島火山の2013-2016年火山活動

Volcanic activity in Nishinoshima volcano 2013-2016

*小野 智三¹、森下 泰成¹、浜崎 翔五¹、野上 健治²

*tomozo Ono¹, Taisei Morishita¹, Shogo Hamasaki¹, Kenji Nogami²

1.海上保安庁、2.東京工業大学

1.Japan coast Guard, 2. Tokyo Institute of Technology

2013年11月20日に活動を開始した小笠原諸島西之島火山での火山活動は、約2年間にわたり活発な火山活動を継続してきた。しかしその火山活動にもようやく衰えが認められ、2015年12月以降の調査では噴火活動が確認されなくなった。

海上保安庁では、活動開始が確認されてから現在まで東京工業大学と協力して観測を実施してきた。2016年大会では2015年7月の側噴火以降に変化した活動様式について詳報する。

2015年5月以降から7月頃までは西之島中央部やや南側に形成された火砕丘北東山麓から東側～南側海岸線へ達する溶岩流により面積の増加が認められた。

この期間には、火砕丘山頂にある火口からの噴火活動はほぼ休むことなく連続的に継続していたが、海上保安庁測量船による調査中の7月6日早朝に一時的に噴火が休止した。その約4時間後の10:50頃に火砕丘北側山麓から側噴火が開始したが、翌7日の早朝には、山頂の火口から噴火が再開していた。

この事象以後、火砕丘には大きな火口が2ヶ所形成され、また連続的にストロンボリ式噴火を継続する活動から、間欠的なストロンボリ式噴火に活動様式の変化が認められた。また、溶岩流出も鈍化し、2015年7月以前のような溶岩流の拡大による顕著な面積の増加は認められなくなった。

2015年11月17日には、調査中の航空機内でも明瞭に聴取できた爆発音及び空振を伴ったブルカノ式噴火があったが、2015年12月には噴火活動が認められず、火口内の温度も周辺温度レベルまで低下していた。

2016年1月現在での噴火活動の報告はない。

キーワード：火山、西之島

Keywords: volcano, Nishinoshima

西之島における流動中の溶岩流の精密測量

—無人機による超低空撮影から何がわかったのか—

Precision surveying of the lava flow in Nishinoshima volcano -What has been found from the ultra- low-altitude imaging by the UAV? -

*千葉 達朗¹、佐々木 寿¹、附田 園都¹、野上 健治²

*Tatsuro Chiba¹, Hisashi Sasaki¹, sonoka tsukuda¹, Kenji Nogami²

1.アジア航測株式会社、2.東京工業大学

1.Asia Air Survey Co., Ltd., 2.Tokyo Tech University

1. はじめに

小笠原諸島の西之島は、2013年11月に噴火を再開した。火口は1974年噴火とほぼ同じ地点で、2015年末まで2年間、ほぼ連続的に噴火を継続した。火口の周囲には火砕丘が形成され、直径2kmの楕円形の島に成長した。この間、海上保安庁や国土地理院などによって繰り返し観測や測量が行われてきた。しかし、火口からおおむね4kmの範囲は危険で、上陸調査はもちろん、有人機による至近距離からの撮影も不可能であった。西之島は離島であるため測量間隔も数週間から数ヶ月と長く、またUAVから作成したDEMの解像度も2.5m(一部1.0m)であることなどから、地形の変化はわかっても溶岩の流動状況の詳細な観察は困難であった。

2. 撮影

日本放送協会(以下、NHK)は2015年5月、6月、7月に当時、活発な火山活動を行っていた西之島を撮影した(表1)。2015年5月9日と12日の2日間の撮影では、小笠原諸島の父島から無人航空機を飛ばし、デジタル一眼レフカメラを用いて西之島を撮影した。5月の撮影は6月末から行われる大規模プロジェクト「西之島を目指す科学調査プロジェクト」の検証のために撮影されたデータである。

2015年6月28日~7月3日の間、NHKは西之島の中心火口から4kmの地点に停泊した船舶から無人ヘリを飛行させ、噴火中の火口や流動中の溶岩の撮影を行った。そのデータは、無人ヘリを使用したことにより、対地高度120mという低空からの撮影を可能にした。得られたデータは低空からの撮影により高解像度かつ高画質画像であった(一部4K動画を含む)。このプロジェクトにより、西之島が活発に噴火をしている時期の膨大なデータが収集された。これほどの短期間に繰り返しデータが収集されたことはなく、世界的に見ても噴火している火口や流れている溶岩にこれほど近づいて詳細に撮影されたことはない。

3. 3次元データの作成

これらのデータを元にSfM (Structure from Motion)技術を持ったソフトを用いて3次元モデルを構築した。さらに、3次元モデルを元に地形モデル(Digital Elevation Model, DEM)を作成した。5月に撮影されたデータからは25cmDEM、6月、7月に撮影されたデータからは5cmDEMを作成することができた。5cmの精度を持つDEMは溶岩流表面に生じた亀裂の幅やその変化を把握するに十分な精度を持っていた。

4. 溶岩流動状況の観察と測定

5cmDEMおよび25cmDEMから赤色立体地図を作成し、高解像度の写真とあわせて判読を行った(図1)。火砕丘については、噴火口や陥没地形やホルニト、火山弾が判読できた。西之島の溶岩流は、火口近くの高い位置にある、幅広いアア溶岩とやや離れた位置から海岸線にかけてのトンネル流動タイプにわけられる。表面流下タイプは表面に溶岩じわや溶岩堤防が発達する。トンネル流動タイプは、枝分かれと伸長方向に平行な亀裂で特徴づけられる。4日間の変化の観察から、枝分かれの先端がほぼ同時に流動し、先端が海に接し水蒸気を上げている部分で、枝の上面の亀裂も同時に拡大していることが確認された。このことは、亀裂下には溶岩で飽和したトンネル構造があることを示唆する。このような地形は、これまで、伊豆の城ヶ崎海岸や、桜島大正噴火の二次溶岩、富士山青木ヶ原溶岩流の本栖湖湖畔などで観察されていたものと共通している。流速は、アア溶岩が圧倒的に早い。

謝辞

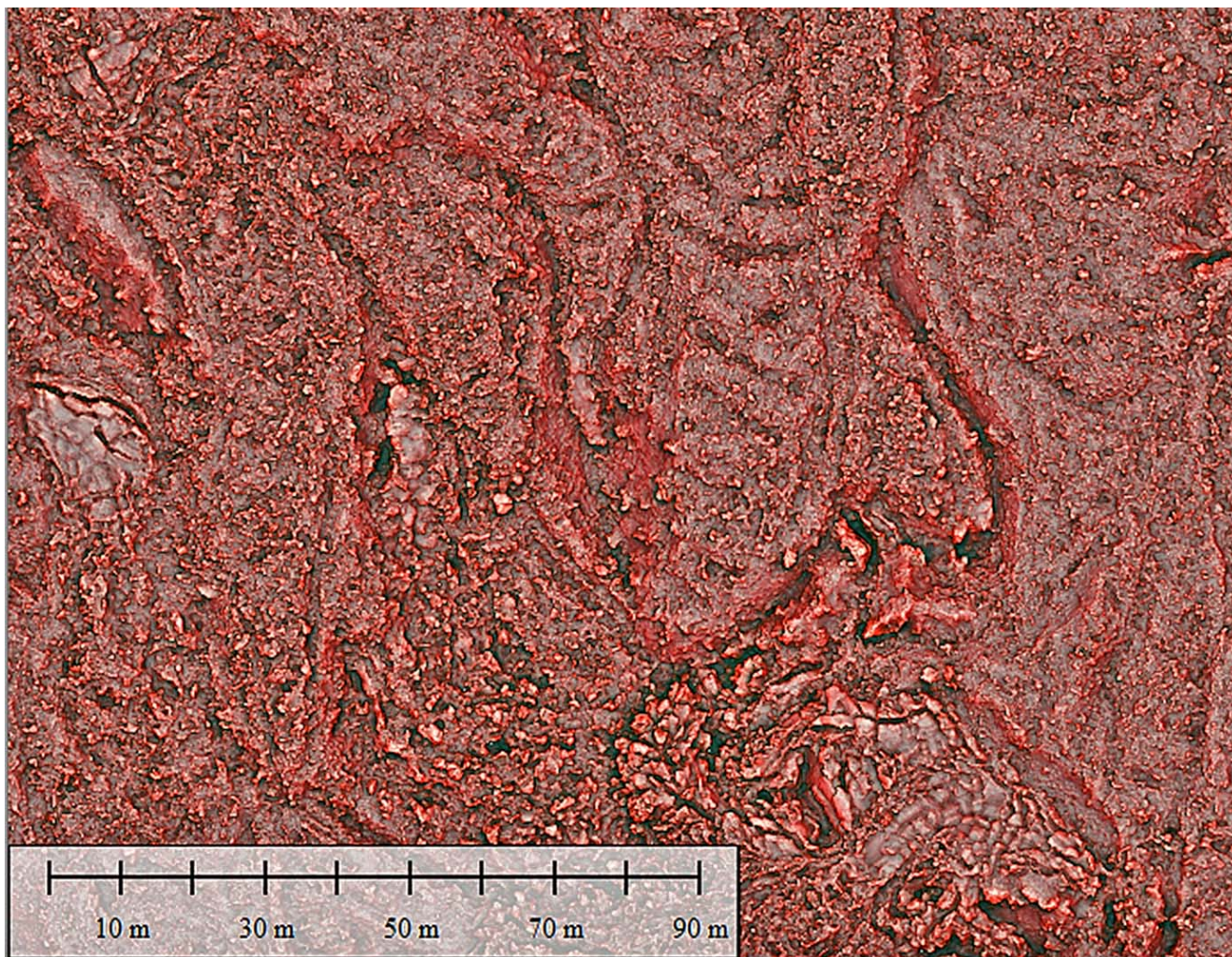
本稿は日本放送協会(NHK)との共同研究成果の一部です。NHKがデジタル一眼レフカメラで撮影した画像を使用させていただいたことに感謝いたします。

表1 撮影諸元

撮影日 ___|_5月9日, 12日 ___6月28日 _____6月29日_____ 7月3日
基地と機体_|_父島から無人機 __船から無人ヘリ_____ // _____//
カメラ ___|_NIKON D810___ SONY α7s(4動画)___SONY ILCE-6000 __//
DEMサイズ |_25 c m_____ 1m _____5 c m_____ //
撮影範囲___|_噴煙を除く全島___ 南半分_____ 南の一部 _____//

キーワード：写真測量、UAV、溶岩膨張

Keywords: photogrammetry, UAV, lava inflation



西之島火山浅部の地震学的構造

Shallow Seismic Structure at Nishinoshima Volcano

*岡田 千明¹、西澤 あずさ¹、及川 光弘¹

*Chiaki Okada¹, Azusa Nishizawa¹, Mitsuhiro Oikawa¹

1.海上保安庁海洋情報部

1.Hydrographic and Oceanographic Department, Japan Coast Guard

東京から約1000 km南方にある西之島は伊豆・小笠原島弧-海溝系の火山フロントに存在する火山である。2013年11月に西之島の南東沖でほぼ40年ぶりに噴火活動を再開してから多量の溶岩を噴出しており、西之島本島を取り込みながら拡大している。2016年1月現在、活動度は低下しながらも依然として火山活動は続いている。

西之島及びその周辺地域の地下構造を明らかにすることは、西之島の火山活動を理解する上で重要である。火山体下の地下構造を解明することで、火山活動に伴うマグマあるいは火山性流体の存在域や運動様式を解明する手がかりとなることが期待される。また、推定された地震波速度構造を使用することで、火山性地震の震源決定を高精度で行うことができるようになる。

地下構造を推定する方法として人工地震探査は有効な手段である。今までに富士山、阿蘇山、口永良部島等で人工地震探査が行われており、阿蘇山等の調査結果では火口を中心とした高速度体の存在が指摘されている。海上保安庁としても海底火山である明神礁、福岡ノ場周辺等において屈折法地震探査・反射法地震探査を実施しており、福岡ノ場の調査結果から火山体下に地震波を減衰させる物質の存在が推定された。しかしながら、西之島に関して地震波速度構造に関する詳細な知見は今までにほとんど存在していない。

海上保安庁では、西之島の火山活動を詳細に把握するために2015年6月から7月にかけて測量船「昭洋」による西之島周辺海域の総合的な海洋調査を実施した。その調査内で、西之島周辺の浅部域における地震学的構造を推定することを目的として、海底地震計(OBS)とエアガンを使用した予備的な地殻構造調査を行った。本発表では、西之島周辺に設置したOBSの記録を使用したファンシューティングと屈折法地震波速度構造探査の結果について報告する。

今回の屈折法地震探査では、海上保安庁海洋情報部・東京大学地震研究所・気象研究所が西之島周辺に各々設置した海底地震計の直上を通るような測線を計11本調査した。1本の測線上には2、3台のOBSが設置しており、測線長はいずれも20 kmほどである。エアガンの総容量は3000 (1500x2) inch³ (約49 L)で、ショット間隔は40秒である。

ファンシューティングでは、各OBSで得られたレコードセクションにおいて波線の到来方向によって地震波の振幅が減衰する領域が確認された。地震波の振幅が減衰すると見られる領域を重ね合わせた結果より、西之島の火山体直下に地震波を減衰させる物質が存在すると考えられる。

屈折法地震波探査では、海上保安庁海洋情報部が設置したOBSの直上を通る測線5本に共通して見られる結果として震央距離3~8 kmの間で、見かけ速度4 km/sほどの屈折波初動が確認できた。震央距離10 km以上でも屈折法初動が検出できる記録もある。また、見かけ速度2 km/s程度の反射波と見られる後続波も記録された。2次元波線追跡法を用いて推定した暫定的なP波速度モデルでは、海底下に2 km/sの層が厚さ1.5 km程度存在し、その下に約4.5 km/sの層を置くことで観測走時を説明できる。

キーワード：西之島、浅部地殻構造、屈折法地震探査

Keywords: Nishinoshima, Shallow crustal structure, Seismic refraction measurement

自己浮上式海底地震計データを用いたエンベロープ相関法による西之島火山性地震の震源決定
Estimation of source location of volcanic earthquakes beneath Nishinoshima volcano
applying the envelope correlation method to ocean bottom seismometer data

*長岡 優¹、高木 朗充¹、中田 健嗣²、木村 一洋²

*Yutaka Nagaoka¹, Akimichi Takagi¹, Kenji Nakata², Kazuhiro Kimura²

1.気象研究所火山研究部、2.気象研究所地震津波研究部

1.Volcanology Research Department, Meteorological Research Institute, 2.Seismology and Tsunami
Research Department, Meteorological Research Institute

小笠原諸島の西之島では、2013年11月に島の南東沖で噴火が確認されて以来、2年以上にわたり噴火活動、溶岩流出活動を続けてきた。西之島の火山活動に関係する地震活動を把握するため、気象研究所では2015年6月21日～同年10月2日の期間、自己浮上式海底地震計による震動観測を行った。海底地震計は島の中心から半径約5～7kmに5台設置した。回収したOBSデータには、1時間あたり40～120個の地震が記録されていた。紡錘形の形状や、個々の地震どうしの相似性、観測点間での到達時刻差から、これらの地震は西之島の噴火に伴う火山性地震であると判断し、震源の推定を試みている。

予備的な解析として、手始めに2015年6月21日07時00分～07時30分の30分間のデータを用いた。30分間連続波形から目視により45個の地震を切り出し、3成分合成エンベロープ波形を作成して、エンベロープ相関法 (Obara, 2002) により震源を計算した。エンベロープ波形を作成する際、長周期の後続波を除去するため4～8Hzのバンドパスフィルタを適用し、S波が卓越していると仮定して震源のグリッドサーチを行った。求めた震源の多くは、西之島のほぼ真下に分布し、深さはサーチ範囲である0～10kmに広くばらついた。

今後は、他機関観測点データの追加や、仮定する速度構造の検討を行い、震源精度の向上を図る。詳細な震源位置や、その時間変化と噴火活動の推移を合わせて考察することは、西之島のように大量の溶岩流出を伴う噴火プロセスの解明に向けた重要な材料になると期待される。

キーワード：西之島、震源決定、エンベロープ相関

Keywords: Nishinoshima volcano, source location, envelope correlation

阿蘇火山2014年噴火に関する電磁気データの再解析について

The re-analysis of the EM data associated with the 2014 eruption, Aso volcano.

*宇津木 充¹

*Mitsuru Utsugi¹

1. 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

1. Aso Volcanological Laboratory, Institute for Geothermal Sciences, Graduate School of Science, Kyoto University

阿蘇中岳火口では、2014年11月に21年ぶりに本格的なマグマ噴火が始まった。我々は阿蘇中岳火口周辺で地磁気連続観測及を行ってきたが、この噴火に関連して地下の熱的状态の急激な変化を示唆するデータが得られた。本発表ではこれらのデータ及びプレリミナリーな解析結果について紹介する。

京都大学火山研究センターでは、阿蘇中岳第一火口周辺で1991年から地磁気全磁力連続観測を行ってきた。この観測から得られるデータについて、火山研究センター内に設置されている磁力計データをリファレンスとして全磁力の単純差を求め、火山活動に関連する地磁気変化、即ち地中温度により地殻岩石の磁化が変化することで生じる磁場時間変化をモニタリングしてきた。この観測の結果、2014年11月の噴火の1カ月ほど前から急激な磁場変化が観測された。この磁場変化のセンスは地中温度が急激に上昇した場合のものであり、解析(グリッドサーチ)の結果、磁場変化源は火口縁から地下約150m、第一火口・火口底から約50m深度に求まった。これは噴火活動に伴いマグマが浅部まで上昇し、地中温度を急激に上昇させた事を示唆するものである。この変化は噴火発生後も継続し、翌2015年の4月末ごろまで続いた。この期間のデータについて本研究では、Hujii and Kanda (2008)のデータ分離の方法を応用した方法を用いデータの再解析を行った。この再解析では、観測された時間変化をリージョナル成分、日周期成分及びトレンド成分に分離し、最後のトレンド成分を火山活動起因の磁場変化とみなす。この解析の結果非常にクリアなトレンド成分が抽出された。またその結果を元に、地下の熱源の移動についてのモデルを等価磁気源解析から求めた。本講演では、観測されたデータ、解析結果と共に熱源移動のモデルについての詳細を示す。

キーワード：地磁気全磁力、火山地磁気効果、熱消磁

Keywords: geomagnetic total field, volcano-magnetic change, thermal demagnetization

阿蘇中央火口丘群北西部，完新世火山噴出物の組成変化
Compositional variation of Holocene volcanic products
from the northwestern part of Aso central cones

*川口 允孝¹、長谷中 利昭¹、望月 伸竜¹、渋谷 秀敏¹、森 康²

*Masataka Kawaguchi¹, Toshiaki Hasenaka¹, Nobutatsu Mochizuki¹, Hidetoshi Shibuya¹, Yasushi Mori²

1.熊本大学大学院自然科学研究科、2.北九州市立自然史・歴史博物館

1.Graduate School of Science and Technology, Kumamoto University, 2.Kitakyushu Museum of Natural History and Human History

阿蘇中央火口丘群北西部における完新世火山噴出物の岩石記載とXRFによる化学組成分析を行い、近年の古地磁気学的研究の成果と対比した。また鉱物化学組成、全岩主成分化学組成を基に結晶分化作用のモデル計算を行い、その結果を元に微量元素でレイリーの最大分別結晶作用を仮定したモデル計算を行った。

杵島岳・往生岳・米塚の玄武岩質溶岩は組成に誤差を超えた違いがあり、同時期に活動した溶岩を区別する事ができた。三者の組成は全体として51.0-53.5 wt.% SiO₂の範囲に収まり、FeO*/MgOは1.7-2.3、Rbは30-60 ppmの組成幅を持つ。往生岳・米塚溶岩はSiO₂の組成幅は同じだが、FeO*/MgOが異なる値を示すため区別可能である。

古地磁気層序区分と対比した結果、杵島岳溶岩の組成は活動時期によって異なるが、往生岳・米塚溶岩の組成はほぼ同じことがわかった。杵島岳・往生岳・米塚溶岩は古地磁気方位の違いから複数回噴火および同時期噴火の可能性が指摘されている（弥頭ほか，2013；玉井，2015MS）。2つの噴出期に分けられた杵島岳溶岩は噴出期に対応して明瞭に異なる組織と組成を示す。一方は米塚溶岩とよく似た特徴を示し、組織はインターグラニューラー、他方はインターサータル組織である。化学組成はSiO₂ (wt.%) で約1%，FeO*/MgO比で約0.4の違いがある。米塚、往生岳溶岩の組成、斑晶鉱物組合せや岩石組織は全噴出期を通してほとんど変化がない。このことは往生岳・米塚のマグマ溜まりが深部から未分化なマグマの継続的な供給とマグマの流出が釣り合い、長期にわたって定常状態になるモデルで説明可能である。全活動期を通してみると杵島岳、往生岳、米塚の順に少しだけ未分化な組成へ遷移している。

古地磁気方位から同時期噴火の可能性が指摘されている杵島岳・往生岳・米塚の各火山噴出物は化学組成が異なりFeO*/MgO比によって区別できた。完新世において当地域には分化度の異なるマグマ溜まりが存在し、それぞれ異なる火口から同時期に溶岩流出がおきていた可能性がある。

また分別結晶作用のモデル計算の結果、完新世火山噴出物の組成変化は最も未分化な試料の単純な分別結晶作用では説明できないことがわかった。杵島岳溶岩、米塚溶岩はお互いに親子関係にある可能性があるが、往生岳溶岩はどの火山とも親子関係がなく、異なるマグマ溜りを有していた可能性がある。また各火山の噴出物には単純な分別結晶作用では説明できないものが存在する。

以上をまとめると中央火口丘群では完新世において異なるマグマ溜まりを有する火山が同時期に活動しながら、活動の中心が杵島岳、往生岳、米塚へと徐々に移っていき、より分化度の低いマグマの活動が卓越していくという活動変遷史が考えられる。また同時期に噴出した往生岳・米塚溶岩の組成が異なり、全噴出期を通して変化していないこと、両火山噴出物間に親子関係がないことから、異なるマグマ溜りを有していた可能性が考えられる。

キーワード：阿蘇、中央火口丘群、後カルデラ火山活動、完新世、古地磁気方位、化学組成

Keywords: Aso, central cones, post-caldera volcanism, Holocene, paleomagnetic directions, chemical compositions

阿蘇山における二酸化炭素土壌拡散放出の連続測定

Continuous soil diffuse CO₂ flux measurement at Aso volcano, Japan*森 俊哉¹、森田 雅明¹、横尾 亮彦²、大倉 敬宏²、森田 裕一³*Toshiya Mori¹, Masaaki Morita¹, Akihiko Yokoo², Takahiro Ohkura², Yuichi Morita³

1. 東京大学大学院理学系研究科地殻化学実験施設、2. 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、3. 東京大学地震研究所

1. Geochemical Research Center, Graduate School of Science, the University of Tokyo, 2. Aso Volcanological Laboratory, Institute for Geothermal Sciences, Graduate School of Science, Kyoto University, 3. Earthquake Research Institute, The University of Tokyo

Carbon dioxide is a major volcanic gas component which gives important information for monitoring volcanic activities. This gas is not only emitted as volcanic plumes from craters and fumarolic areas but also widely emitted through soil surface of volcanoes as invisible emission called "diffuse degassing". There are several advantages for monitoring the soil diffuse degassing, because the soil gas usually do not have corrosive acidic gases and its temperature are generally low. Thus, it is much easier to carry out continuous monitoring compared to that for high temperature fumarolic gases. Many precursory changes have been reported related to soil diffuse flux of CO₂ prior to the volcanic eruptions or to significant changes of volcanic activities. We set up a CO₂ flux station (West systems, Italy) for continuous monitoring of soil CO₂ diffuse degassing at Aso volcano, Japan, in early Jan. 2016. The station was set about 1 km south-west from the rim of a currently active crater of Mt. Nakadake near Hondo observatory of Kyoto University. The station is powered by solar panel system and measures the soil CO₂ flux every hour by the accumulation chamber method together with various meteorological parameters such as air temperature, air pressure, humidity, precipitation, wind speed and etc. At least until mid Feb. 2016, the CO₂ flux has been low ranging below 0.28 moles/m²/day. In the presentation we will introduce our measurement at Aso volcano, discuss influence of various meteorological elements to the diffuse CO₂ flux, and compare the flux with the volcanic activities of Aso volcano.

キーワード：阿蘇火山、火山ガス、二酸化炭素拡散放出

Keywords: Aso volcano, volcanic gas, CO₂ diffuse degassing

阿蘇火山における連続微動の発生位置と発生条件の時間変化

Temporal variation of source locations and occurring conditions of continuous tremors at Aso volcano

*市村 美沙¹、横尾 亮彦¹、鍵山 恒臣¹、吉川 慎¹、井上 寛之¹

*Misa Ichimura¹, Akihiko Yokoo¹, Tsuneomi Kagiya¹, Shin Yoshikawa¹, Hiroyuki Inoue¹

1. 京都大学大学院理学研究科

1. Graduate School of Science, Kyoto University

阿蘇火山では、21年振りのマグマ噴火が2014年11月から始まった。この噴火活動の端緒は、2014年1月2日の新火孔の開口、そして1月13日以降に発生したごく小規模な複数回の噴火であると考えられる。さらに、この一連の現象に前駆して、2013年11月から翌年1月にかけて連続微動振幅の増減とピーク周波数の変化も認められた。火口から南約1 kmの位置にある京都大学火山研究センターの観測点（砂千里）における5-10 Hz周波数帯の振幅は、12月22日まで緩やかに増加し（ステージⅠ）、その後12月30日まで急激に増加した（ステージⅡ）。12月30日の振幅急減の後、1月2日まで比較的大きな振幅値をとっていた（ステージⅢ）。1月2~3日に再び振幅が急減し、1月13日までステージⅠと同様の振幅増加が見られた（ステージⅣ）。1月13日から1月20日にかけて振幅は非常に小さい値であった（ステージⅤ）。また、ステージⅠのピーク周波数は2 Hzから3 Hzへと増加し、ステージⅡまで一定であった。ステージⅢに2 Hzまで減少し、ステージⅣで3 Hz、ステージⅤで1.8 Hzを示した。

火山性微動は火山性流体の移動や相変化によって発生すると考えられている。そのため、火山性微動の発生位置・発生条件を解明することで、火山下における流体挙動を把握できると期待される。本研究では、顕著な振幅増減とピーク周波数の変化が見られた2013年12月からの2ヶ月間における連続微動の発生位置を推定し、各ステージにおける微動発生条件を検討した。

火口周辺5観測点における地震振幅比（鉛直成分）を用いたグリッドサーチを行ったところ、連続微動の発生位置は火口底表面から深さ700 mまでの範囲に分布し、また時間とともに移動していた。ステージⅠでは火口下深さ260 m、ステージⅡおよびⅢでは180~190 mであった微動源の深さが、ステージⅣでは350 mに求められた。ステージⅤでは火口底表面から深さ200 mまでの領域に微動源が分布した。推定された微動源の分布は、阿蘇火山の火口下に存在すると考えられているクラック状火道の上端部（深さ300 m; Yamamoto et al., 1999）から火口底を結ぶ領域であり、深さ400 m以浅の低抵抗領域（Kanda et al., 2008）を含む。このことから、多孔質媒質で構成された、高温流体の流動経路を捉えたものと考えられる。

Julian (1994)は、連続微動の励起源として、流体がチャンネル中を通過することによるチャンネル壁の振動を提唱した。このモデルによれば、壁の振動振幅とその周波数はチャンネル厚さとチャンネル出口の流体圧力に依存する。例えば、チャンネル厚さが増加すると振幅は増加し周波数は減少する。チャンネル厚さの増加は流体通路の拡大と言い換えることもでき、これは通過流体の供給量増加（Aki et al., 1977）によって引き起こされると考えられる。また、出口圧力が増加すると振幅・周波数のいずれも増加するという関係も認められる。出口圧力の増減は流体通路の閉塞/開放で説明することが可能である。

以上のことから、本研究では、連続微動の発生位置および振幅・周波数の規定する条件の時間変化に対する定性的な説明を以下のように考えた。ステージⅠでは微動振幅とピーク周波数がともに増加を示した。この変化は、流体供給量の増加によって流体経路内の圧力が増加し、クラック状火道上端とそれよりも浅部の流体経路の接続部分が拡大膨張したことを示している。ステージⅡでは火口表面に至るまでの流体経路全体へ膨張領域が拡大し、振幅が急増した。このステージの終わりには火口底で火孔が開口したことにより、経路上端の圧力が減少し振幅と周波数がともに急減した（12月30日）。ステージⅢは振幅が大きいままであったことから、流体経路をさらに拡大膨張させる過程にあったと位置付けられるが、ステージの終わりになると流体供給量の減少によって振幅が急減した。ステージⅣでは、ステージⅠと同様に流体供給量が再び増加することで経路内圧力が増加し、クラック状火道上端における流体経路の膨張があった。先のステージⅠ~Ⅲで流体経路がある程度拡張されているため、このときの膨張過程の規模は小さく振幅増加量も小さかった。このステージの最後（1月13日）には再び振幅と周波数の急減があり、経路上端の圧力が減少したことが示唆される。これは同日に

発生したごく小規模な噴火によって、それまでの放出量を超えた流体量が放出されたためであろう。ステージⅤでは、振幅・周波数の特徴から考えて、連続微動と考えられるシグナルはほとんど認められず、雑微動を捉えていたと考えられる。ステージⅣの噴火を最後に一連の活動は一旦終息したと思われる。

キーワード：火山性微動、阿蘇火山

Keywords: volcanic tremor, Aso volcano

2014-2015年における阿蘇山の長周期微動活動モニタリング

Monitoring volcanic long period tremors from Aso volcano in 2014-2015

*向井 優理恵¹、山河 和也¹、竹尾 明子²、前田 拓人²、小原 一成²*Yurie Mukai¹, Kazuya Yamakawa¹, Akiko Takeo², Takuto Maeda², Kazushige Obara²

1. 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻、2. 東京大学地震研究所

1. Department of Earth and Planetary Science, the University of Tokyo, 2. Earthquake Research Institute, the University of Tokyo

はじめに

阿蘇山は日本の活火山の1つであり、有史以来頻繁に活動を繰り返している。その火口直下では、火山性ガスや火山灰がクラック状の火道を通過するときに、クラック壁と弾性的相互作用を生じることによって微動が発生すると考えられており、阿蘇山では約15秒の卓越周期を持つ長周期微動と呼ばれる微動が観測されている。本研究では、広帯域地震波観測記録から2014-2015年のストロンボリ式噴火を含む2年間における阿蘇山の長周期微動をモニタリングすることによって、長周期微動と噴火活動の対応関係を明らかにした。

長周期微動モニタリング

長周期微動を検出するために、防災科学技術研究所の広帯域地震観測網F-netのうち、阿蘇山周辺の7観測点で記録された広帯域速度計記録を用いた。まず、一日毎の平均パワースペクトル推定値の時間変化を調べたところ、2014年10月から2015年4月、2015年9月から10月にかけて卓越周期8-12秒の継続的な信号が確認された。この期間はストロンボリ式噴火や気象庁による火山性微動の報告時期と良い対応があり、かつ前年の同時期には同様の信号が見られなかった。また、その振動極性は阿蘇山を中心とした動径方向ならびに上下動に卓越することから、これらは脈動の季節変化によるノイズではなく、阿蘇山の活動に起因する長周期微動のRayleigh波が継続的に観測されていたと考えられる。

そこでより詳細な長周期微動の活動状況を把握するため、マッチドフィルター解析による長周期微動のイベント検出を行った。まず、S/Nの良い孤立した長周期微動をテンプレートイベントとして1つ選択し、その3成分の地震波形を7観測点で用意した。次に、全21成分についてテンプレート波形と連続記録との相互相関係数を、1秒ずつずらしながら全期間に渡って計算した。21個の相互相関係数の合計が絶対中央偏差に基づいて設定した閾値を越えたとき、長周期微動を検出したものと判断した。波形フィッティングによって、検出したイベントとテンプレートイベントの振幅比も推定した。解析期間は2014年から2015年12月上旬までとしたが、2015年には観測点のうち1つに欠測があったため、これを除いた6観測点でも一連の解析を行った。

解析の結果、先行研究 (Sandarbata et al., 2015) による到達時間差を利用したグリッドサーチでは解析対象外にした振幅100 nm/s以下の長周期微動も含め、より網羅的に長周期微動を検出することができた。また、2014年11月25日から2015年5月21日までの一連の断続的噴火期間の中でほぼ毎日長周期微動が検出されたが、2014年12月末から2015年1月にかけて長周期微動の振幅が大きく減少する現象が確認された。

規模別頻度分布とその時間変化

長周期微動の振幅の時間変化の傾向をもとに全期間を21のステージに分け、それぞれに対して規模別頻度分布を作成した。2014年までを解析対象とした先行研究 (Sandarbata et al., 2015) では、規模別頻度分布が2014年11月のストロンボリ式噴火直後の約1週間のみ指数分布でなくベキ乗分布を示しており、阿蘇山の長周期微動の特徴的振幅スケールがストロンボリ式噴火によって失われたことが示唆されていたが、本研究でも同様の特徴が確認された。一方、2015年以降の活動ではいずれも指数分布が得られており、2014年11月のストロンボリ式噴火のみが他と異なる特徴的なイベントであったことが示唆される。また、噴火期間中に振幅が大きく減少した2015年1月には、他の期間と比べて微小な振幅の長周期微動検出数が極めて多くなっている。表面現象としては、2014年11月から12月および2015年3月から5月は灰白色の噴煙が立ち上ったのに対し、2015年1月から2月は立ち上った噴煙が灰色であったことが観測されている。これらのことから、噴煙の主成分が水蒸気から火山灰へ変化したことが長周期微動の振幅に何らかの影響を与えたと考えられる。

キーワード：阿蘇山、火山性微動、長周期微動、規模別頻度分布、Rayleigh波

Keywords: Mount Aso, Volcanic tremor, Long period tremor, Frequency-amplitude distribution,
Rayleigh wave

傾斜アレイによって捉えられた阿蘇山噴火に伴う傾斜変化

Tilt changes associated with eruptions by the tiltmeter array at Aso volcano.

*宮町 凜太郎¹、大倉 敬宏²、井上 寛之²、松島 健¹、藤田 詩織¹、清水 洋¹

*Rintaro Miyamachi¹, Takahiro Ohkura², Hiroyuki Inoue², Takeshi Matsushima¹, Shiori Fujita¹, Hiroshi Shimizu¹

1.九州大学大学院理学研究院 付属地震火山観測研究センター、2.京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

1.Institute of Seismology and Volcanology, Faculty of Sciences, Kyushu University, 2.Aso Volcanological Laboratory, Faculty of Science, Kyoto University

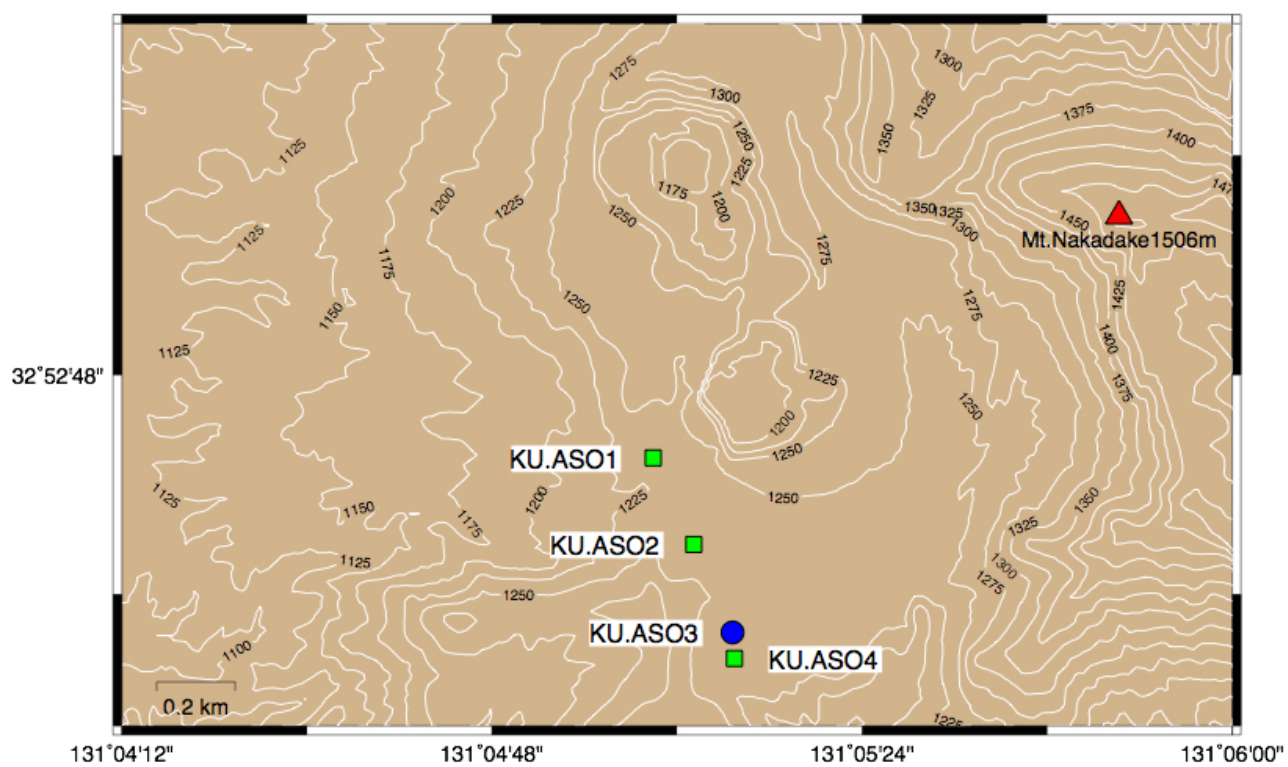
九州中央部に位置する阿蘇山中岳第一火口では、2014年11月25日よりマグマ噴火が発生し、噴火活動が活発な状態となった。その後噴火活動は断続的になり、2015年5月に噴火活動は一旦おさまったが、同年8月8日にごく小規模の噴火が発生し、9月からマグマ水蒸気噴火～水蒸気噴火を繰り返している。阿蘇山の噴火にともなう圧力変化や微動は、先行研究により、ほぼ中岳第一火口下に存在することが分かっている。しかし、それらの詳細な時空間変動は明らかではなく、噴火過程の理解のためにはこれらの把握が必要である。

一般的に、火山における傾斜計を用いた観測は、火山体を囲むように観測網を配置し、変動源の位置を推定する手法である。しかし、本研究では、変動源が火口直下にあるとみなして、火口から放射方向に直線的に傾斜計アレイを配置し、傾斜変動の相互相関をとることで、変動源の垂直方向の時間変化を捉えることを目的としている。

傾斜アレイは中岳第一火口の南方に3点設置している (KU.AS01、KU.AS02、KU.AS04)。KU.AS01とKU.AS02は傾斜計を地中に埋めて観測を行っている。また、傾斜変化と噴火イベントとの対応を確認するために空振計 (KU.AS01) と広帯域地震計 (KU.AS03) も設置している。観測は2015年7月14日から開始した。9月14日と10月23日の噴火や、12月7日の小規模噴火に伴う傾斜変動を記録できた。

キーワード：阿蘇火山、傾斜アレイ

Keywords: Aso volcano, Tilt array



2015年4月の阿蘇火山ストロンボリ式噴火の発生深度

Source depth of Strombolian eruptions at Aso volcano in April 2015

*石井 杏佳¹、横尾 亮彦¹、鍵山 恒臣¹、大倉 敬宏¹、吉川 慎¹、井上 寛之¹*Kyoka Ishii¹, Akihiko Yokoo¹, Tsuneomi Kagiya¹, Takahiro Ohkura¹, Shin Yoshikawa¹, Hiroyuki Inoue¹

1.京都大学大学院理学研究科

1.Graduate School of Science, Kyoto University

阿蘇火山中岳第一火口では、2014年11月のマグマ噴火発生を機に、22年ぶりとなる本格的な噴火活動が始まり、翌年5月上旬まで継続した。これは、中岳第一火口周辺に広帯域地震計や空振計などの観測機器が数多く整備された状況下で発生した、初めての噴火活動である。本研究では、2015年4月下旬に繰り返されたストロンボリ式噴火を対象として、噴火にいたる諸過程の発生深度の推定、ならびに、噴火発生プロセスについての検討を行った。京都大学火山研究センターの広帯域および短周期地震計（UMAB、KAF；上下動のみ）、空振計（ACM）による観測記録のうち、2015年4月24日19時台1時間分を解析に使用した。ACM観測点、KAF観測点は、火口中心から南南西に230 m、南西に260 m離れた火口縁上にそれぞれ位置する。UMAB観測点は火口から北北西に830m地点に位置し、火口底とほぼ同じ標高にある。

ストロンボリ式噴火が発生すると、典型的には以下のような噴火に対応したシグナルが、すべての観測点で認められる。UMABでは0.1Hz以下の周波数に卓越した振動が下向き成分で始まる。UMABへのシグナル到着開始から約2~5 s遅れて、KAFに5~10Hzにピークを持つ高周波の地震が到来する。さらにその1 s後に、ACMで空気振動が観測される。この空気振動は低周波（0.5 Hz）の圧縮相で始まるが、0.1 sほど遅れて一桁程度小さな振幅の高周波成分（>10 Hz）が重畳する。

KAFで観測される地震のRMS振幅とACMにおける空振振幅（高周波成分）の間には、高い正の相関（0.92）が認められた。また、両観測点間のシグナル到着時刻の差は0.93~1.56 s（平均1.2 s；18イベント）であった。この時間差を用いて、ストロンボリ式噴火の発生深度を推定した。火孔でのガス温度およびガス組成が、330~360 K（4月25日、27日）、 $H_2O:SO_2:CO_2=90:4:4$ （篠原、私信）であったことから、火孔内部における音速は410~430 m/sと見積もられる。さらに、噴火発生源からKAFまでの地震波速度がP波速度（3.3 km/s；筒井・他、2003、火山）に等しいと考え、地震・空振の走時関係から噴火発生深度を70~380 m（平均200 m）と得た。阿蘇火山中岳の火口下には、深さ約300mを上端とするクラック状火道の存在が指摘されている（Yamamoto et al., 1999, GRL）。したがって、クラック状火道以浅の領域でストロンボリ式噴火が繰り返し発生していたものと考えられる。

上述したように、KAFではストロンボリ式噴火発生にともなう高周波地震が記録される。しかし、いずれの噴火イベントにおいても、その1.7~5.4 s（平均2.8 s；13イベント）前にUMABへ低周波地震が到来する。この低周波地震はクラック状火道で発生する長周期微動と考えられるため、長周期微動の発生がストロンボリ式噴火を誘発している可能性が指摘される。UMABと微動発生源の距離を考慮すると、長周期微動の位相伝播速度は、Near Fieldの効果を含むため、P波速度とS波速度（1.9 km/s；Sudo & Kong, 2001, BV）の間の値となると考えられる。したがって、その発生深度をクラック状火道の中心位置である1.6~1.8 km（Yamamoto et al., 1999, GRL）とすれば、噴火発生の誘発元は300~700 m/sほどの速さで上昇していることを意味する。しかし、マグマやガスなどの物質の移動速度として考えると、この値はやや大きく現実的でない。

安山岩質溶融マグマの音速は2.3~2.5 km/s（Murase and McBirny, 1973, BGSA）であるが、ここに数vol.%の気泡を含むことで上記の速度は説明可能になる（Morrissey & Chouet, 2001, JVGR）。一方、水蒸気ガス中に10 vol.%以下の火山灰粒子を含むことでもこの速度を再現できる。現段階では、クラック状火道内部がいずれの条件に該当しているのかは明らかでないが、長周期微動の発生にともなう圧力擾乱が音波として火道内を上方へと伝播し、ストロンボリ式噴火の発生を励起するとしても大きな矛盾はない。空振波形の立ち上がり開始から高周波成分の重畳までには0.1 s程度の時間遅れが認められるが、これは、圧力擾乱が噴火発生深度へ到着してから実際に噴火が発生するまでの過程を反映しているのかもしれない。

キーワード：阿蘇火山、ストロンボリ式噴火、阿蘇火山2015年噴火

Keywords: Aso Volcano, Strombolian eruptions, Aso 2015 Eruption

霧島火山、硫黄山火口周辺で新たに始まった噴気活動について

New fumarole activity at the southwest rim of Ioyama in Kirisima volcanoes, Southern Kyushu

*田島 靖久¹、古園 俊男²、中田 節也³、舟崎 淳⁴、霧島ネイチャーガイドクラブ 調査班²*Yasuhisa Tajima¹, Toshio Furuzono², Setsuya Nakada³, Jun Funasaki⁴, Observation members Kirisima nature guide club²

1.日本工営(株)、2.霧島ネイチャーガイドクラブ、3.東京大学地震研究所、4.宮崎地方気象台

1.Nippon Koei Co.,LTD., 2.Kirishima nature guide club, 3.Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, 4.Miyazaki Local Meteorological Office

霧島火山、えびの高原(硫黄山)周辺は、1万年間に2回の溶岩噴出と3回の水蒸気噴火が生じ、1768年に最後の水蒸気噴火をしたと考えられている(田島・他、2014)。また、地熱活動に伴うと思われる火山泥流堆積物が複数層確認されており、マグマ噴火が卓越する新燃岳、御鉢とは異なる履歴を残す火山である。硫黄山と言われるように噴気活動が象徴の火山であったが、近年その活動が衰え停止していた。一度停止した噴気活動であったが、2015年12月14日に硫黄山の古い火口の南西縁で新たな噴気が生じたことが報告された。噴気活動の再出現の意味を正確に理解する必要があり過去の噴気活動とともに、観測結果の報告を行う。

硫黄山の最も古い噴気の温度記録は小田(1922)に示され、蝦野温泉の項に「硫黄山火山下二噴気スル・余ノ大正五年(1916年)八月十二日湧出孔ニテ測定シタル温度ハ攝氏八十度以上(気温凡二十五度)ナリキ」とされる。小田は、硫黄山の西側の巨岩下とその南に2カ所に硫黄孔が存在したことを示し、南のものは記述から大地獄付近のものと考えられる。また、明治33年(1900年)に硫黄の採掘が始まっていたことから、硫黄山の噴気は1900年には既に生じていた。

その後、硫黄山の噴気を示す記録は与謝野晶子が1929年(昭和4年)に詠んだ歌や1934年(昭和9年)の絵はがきに見られる。えびの高原周辺では硫黄山(硫黄山噴気帯)のみならず、昭和10年頃にはエコミュージアムセンター周辺においても活発な噴気(海老野噴気帯)が生じていたことが知られている(地質調査所地熱調査班、1955)。地質調査所地熱調査班(1955)が、1954年に海老野噴気帯で測定した地表の噴気温度は最高96℃であり、同時期に測定された硫黄山噴気帯は96~120℃とされている。1964年の霧島火山観測所設置からは、東京大学地震研究所等によって硫黄山噴気帯の観測が行われてきた(例えば、Minakami, 1968)。1975年3月には硫黄山の火口東縁で247℃が記録され、以下に示す2015年12月に出現した噴気地点近傍においても、1975年に183℃、1978年に147℃の噴気温度が観測されている(鍵山・他、1979)。最近では、1985年の噴気孔への転落死亡事故を受けた環境庁委託調査(えびの高原自然保護対策協議会、1987)や1987年の鍵山・他(1987)による地熱調査があり、この頃硫黄山噴気帯には150℃以上の噴気孔があったことが知られている。1990年代に入ると硫黄山周辺の噴気活動は衰え、2008年に筆者が硫黄山火口縁を周回した時には噴気は認められず、火口縁東側のわずか2カ所で地面を触ったところやや温かいと感じる程度であった。

韓国岳もしくはえびの高原周辺では、2014年8月20日に火山性微動が観測され、10月24日に火口周辺警報が発表された。2015年5月1日に警報解除となったが、2015年7月頃から火山性地震や微動が観測された(気象庁ホームページ)。12月24日16時頃に、霧島ネイチャーガイドクラブの一員のよって新たな噴気を確認された。それ以後、硫黄山火口南西縁の噴気域や周辺の湧水地点の観測を行った。2015年12月14日に80℃であった最初に現れた噴気点の温度は、12月25~27日には93~96℃に上昇していた。また、噴気や高温域も拡大し、12月25日には高温域が概ねの南北方向が約6mであったものが、2016年1月16日には約35m、2月1日にはさらに拡大していた。また、これらの噴気箇所の南側の地点にも、2016年1月13日~14日午後噴気が出現した。2016年2月時点において、硫黄山火口南西の噴気域は拡大しており、噴気位置、拡大傾向や温度などその活動について今後も注視し観測していく。

霧島ネイチャーガイドクラブ調査班：原口憲太郎、永友武治、東多佳道、宮川勉、馬場緑、吉永英昭。

キーワード：霧島火山、硫黄山、噴気

Keywords: Kirisima volcanoes, Ioyama, fumarole

霧島山えびの高原硫黄山噴気の化学組成と安定同位体比

Chemical and isotopic composition of the fumarolic gas sampled at Mt Iwoyama, Kirishima volcanic area, Japan

*大場 武¹、谷口 無我¹

*Takeshi Ohba¹, Muga Yaguchi¹

1.東海大学理学部化学科

1.Department of chemistry, School of Science, Tokia University

序

えびの高原硫黄山は霧島火山地帯に位置する活火山であり、1768年の噴火で韓国岳北西麓に形成された（井村・小林，2001）。気象庁の観測によると霧島山えびの高原硫黄山では2014年初頭から火山性地震の回数が増加し、2015年7月には火山性微動が観測され、2015年12月15日には硫黄山山頂火口内の南西側で弱い噴気の出現が確認された。これらの観測結果は硫黄山の火山活動が活発化しつつあることを示し、噴気の化学組成や安定同位体比にも変化が予測される。一般に噴気にはマグマ起源の成分が含まれ、その組成は火山活動の盛衰に応じて変化する。今回の火山活動の推移を予測することを目的とし、2015年12月22日に噴気の現地調査を行った。

試料の採取・分析

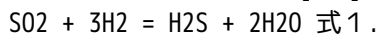
硫黄山では一か所で噴気の放出が目視され、その位置は北緯31度56分48.3秒、東経130度51分10.5秒であった。噴気を採取するために、金属チタン管を噴気孔に差し込み、管と孔の隙間を砂などで注意深く塞いだ。これは空気の混入を防ぐための措置である。次にチタン管にゴム管を接続し、ゴム管の出口を真空ガラス瓶のコックに接続した。真空ガラス瓶にはあらかじめ5M KOH水溶液20mlを封入しておいた。コックを慎重に開けることにより火山ガスをKOH水溶液に吸収させた。これとは別に、噴気のSO₂/H₂S比を決定するために、現場でKIO₃-KI溶液と噴気を反応させた。安定同位体比の測定のために噴気を水冷したガラス二重管に通し、凝縮水を採取した。噴気の化学分析は小沢（1968）の方法に従った。

結果

噴気の温度は水の沸点に近く、HCl濃度は検出限界以下であった。火山活動の良い指標とされるSO₂/H₂S比は、0.027と低く、1994年に硫黄山で採取した噴気と大差がない。噴気のH₂O-CO₂-S三成分比を見ると、2015年の成分比は1994年に比較してCO₂が相対的に増加している。今回採取した噴気の同位体比（dD）は-91‰で1994年に硫黄山で採取した二つの噴気の同位体比、-55、-80‰よりも低い。N₂-Ar-Heの三成分比を見ると、今回採取した噴気は1991、1994年に採取した噴気に比べてHeが多い傾向が見られる。

考察

噴気の硫黄成分であるSO₂とH₂Sは以下の反応について平衡に達している場合が多い。



式1の反応は温度に影響され、高温になると平衡状態は左に移動する。つまり、SO₂/H₂S比が上昇する。火山活動が活発化すると噴気のSO₂/H₂S比は上昇する可能性がある。2015年12月に採取した噴気のSO₂/H₂S比は低い値であることから、熱水系浅部の温度が上昇している可能性は低いと考えられる。

今回採取した噴気はH₂Oの安定同位体比が特に低く、凝縮の効果を受けているかもしれない。今回の噴気は、これまで噴気の放出が停止していた変質地帯で出現している。火山ガスの流れが一度途絶えると、ガスの通路は冷却する。そこに再びガスが通るとガスが冷やされ、水蒸気が部分的に凝縮する可能性は高い。仮に水蒸気が凝縮する以前の同位体比を推定すると、1994年に採取した硫黄山の噴気の同位体比に近い。凝縮で失われたH₂Oを今回採取した噴気に付加し、元に戻したH₂O-CO₂-S三成分比は1991年に硫黄山で採取した噴気の成分比に近い。今後、噴気の放出が継続し、地殻内の火山ガス通路の温度が上昇すると、凝縮の効果は失われ、H₂Oの比率が上昇すると予測される。

N₂-Ar-He三成分比に関し、1991、1994年に硫黄山、新燃岳、御鉢で採取した噴気は、安山岩質マグマに特有な端成分と空気起源成分の混合線状に分布する。これに対し今回採取した噴気はこの混合線から外れHeに富む傾向が見られる。Kita et al(1993)は南西日本の火山、例えば、雲仙普賢岳ではHeに富む端成分が存在している

ことを報告している。硫黄山でこれまでと性質の異なるマグマが脱ガスしているのか？あるいは火山ガスが地殻を上昇する過程で何らかの変化が N_2 -Ar-He三成分比に起きたのか？測定データが一つだけなので、今後観測を繰り返し、Heが多い傾向が真実なのか確かめる必要がある。

謝辞

本研究実施のために、科研費「火山ガス観測により活火山ポテンシャル診断」（15K12485）を使用しました。気象庁地震火山部小久保一哉氏および福岡管区気象台は安全確保のために調査実施中に硫黄山の地震活動をモニタリングして下さいました。ここに記して感謝します。

キーワード：活火山、火山ガス、地球化学

Keywords: Active volcano, Volcanic gas, Geochemistry

地震計アレイ観測で捉えた霧島山周辺の火山性微動

Volcanic tremor recorded on two seismic arrays at Kirishima volcano, Japan

*中元 真美¹、松本 聡¹、清水 洋¹*Manami Nakamoto¹, Satoshi Matsumoto¹, Hiroshi Shimizu¹

1.九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

1.Institute of Seismology and Volcanology, Faculty of Science, Kyushu University

霧島山では2011年9月7日の新燃岳の噴火以降、噴火は発生しておらず静穏な状態が続いていた。しかし、最近になり硫黄山周辺での噴気の発生が確認され、地殻変動観測からは硫黄山周辺が隆起していることが指摘されている。また火山性地震や微動の発生も確認されており今後の活動の推移に注意が必要である。火山性微動はマグマだまりから火口に至る浅部マグマ供給系において発生するため、火山活動の状態を把握するために火山性微動をモニタリングすることは重要である。そこで我々は霧島山周辺で発生する火山性微動の特性を明らかにするために2014年8月から2か所での地震計アレイ観測を開始した。

火山性微動はその波形の特徴から波の到達時刻を用いる震源決定ができないため、通常の地震観測網では震源の位置を決めることが難しい。一方、複数のセンサを密に並べる地震計アレイは微動のような立ち上がり不明瞭な波でも入射波の到来方向とスローネスを求めることができ、複数のアレイを用いることで発生源を推定できる。またアレイ解析を行うことで微動源の移動を検出することも可能である。我々は霧島山周辺で微動が発生することを想定して、2014年8月30日に新湯温泉周辺と大幡池周辺の2か所に地震計を設置した。各アレイ観測点はそれぞれ固有周期2Hzの3成分地震計7台で構成される。地震計間隔は約200~350mとした。データは250Hzサンプリングで現地収録しており現在も観測を継続している。

2015年10月5日までの期間中には2つの火山性微動が記録されていた。このうち比較的S/Nの良い2015年7月26日09:23に発生した微動についてアレイ解析を行った。この微動は約2分30秒間継続し、そのスペクトルは2~3Hzにピークを持っていた。2-4Hzのバンドパスフィルタを用いて波の到来方向を推定した結果、大幡池アレイでは西南西方向から、新湯アレイでは北方向から波が到来しており、これらは微動が硫黄山周辺で発生していることを示している。今後も継続してモニタリングを行うことで火山活動の推移と火山性微動発生との関係を明らかにすることが期待される。

キーワード：霧島火山、火山性微動、地震計アレイ

Keywords: Kirishima volcano, volcanic tremor, seismic array

桜島火山の噴火前後における相対重力連続観測：噴火前後の短期的な重力変化

Continuous relative gravity observation at Sakurajima Volcano: Short-period gravity changes before and after eruptions

*栗原 剛志¹、風間 卓仁¹、山本 圭吾²、井口 正人²

*Tsuyoshi Kurihara¹, Takahito Kazama¹, Keigo Yamamoto², Masato Iguchi²

1.京都大学大学院理学研究科、2.京都大学防災研究所

1.Kyoto University, 2.DPRI, Kyoto University

火山内部における質量移動は地殻変動を引き起こすだけでなく、地表におけるわずかな重力変化ももたらす。この重力変化から移動した物質の密度を推定することが可能であり、地殻変動を引き起こした物質が地下深部からのメルト供給によるものなのか、それともマグマだまり内の脱ガス・発泡によるものかを判定することも可能である。

本研究の対象とする桜島火山では、傾斜・地震・GNSS観測データに基づいて数分～数年の広帯域に渡る噴火準備過程が詳細に議論されている(Iguchi et al., 2008; Hotta et al., 2016)。一方、Okubo et al. (2013)は桜島有村地域において絶対重力の連続観測を実施し、火道内のマグマ移動に伴う-10 micro-Gal程度の重力減少を見出した。しかしながら、大久保ほかは周期数日以上の重力変化にのみ注目しており、短期的な重力変化については議論していない。そもそも噴火プロセスをさまざまな時間スケールで理解するには広帯域の観測が不可欠であり、重力の高サンプリング観測を行えば火山内部の密度変化を時間的に高分解能で把握できると期待される。

そこで、本研究は噴火前後に観測された高サンプリング重力データをもとに、桜島火山における時定数1日未満の質量移動のプロセスを議論する。本研究で使用するデータは、2010年9月から2015年12月までの、有村（昭和火口の南南東2.1 km）においてScintrex CG-3M型相対重力計で観測された1分間隔の相対重力値である。この重力データには、火山活動期限の重力変化のほかに、器機ドリフト、周期1日以上の中長期潮汐、周期1日未満の短周期潮汐などの擾乱が含まれている。本研究では、器機ドリフトおよび中長期潮汐を補正するために、観測生データを2日ごとに平均化し、その平均値から見積もったスプライン関数を生データから差し引いた。また、短周期潮汐の補正には潮汐解析ソフトウェア BAYTAP-G (Tamura et al., 1991)を用いた。さらに、2013～2014年に発生した噴煙高度3000～4000 mの噴火について前後1日間の重力データを切り出したあと、噴火時刻を合わせた上でスタック処理を行い、地面振動に伴うノイズの低減化を図った。なお、2013年09月26日10時18分に起きた噴火は爆発噴火ではなく、地面振動によるノイズも少なかったため個別に解析を行った。

これらのデータ処理を行った結果、2013年のスタック重力データでは、噴火の12時間ほど前から-20 micro-Gal程度の重力減少が見られた。また、2014年のスタック重力データでは噴火直後に約30分かけて+30 micro-Gal程度の急激な重力増加が見られた。さらに、2013年の9月26日の噴火では、有村観測坑道の傾斜計では地殻変動が小さかったものの、重力データでは噴火の5時間ほど前から-15 micro-Gal程度の重力減少が見られ、噴火直後に重力値が元に戻っていた。これらの重力変化の要因としては、マグマだまりの膨張/収縮や火道内マグマの上昇/下降が想定される。本発表では両者の可能性について定量的に考察し、桜島火山内部の短期的な質量移動プロセスを議論する。

キーワード：相対重力、重力変化、桜島火山、マグマ、短周期、密度

Keywords: relative gravity, gravity change, Sakurajima Volcano, magma, short period, density

Spectral Ratio Analysis of Explosion Earthquakes at Sakurajima Volcano

*Mohammad Hasib¹, Takeshi Nishimura¹

1. Department of Geophysics, Graduate School of Science, Tohoku University

Sakurajima volcano has been quite active, and hundreds of small explosions of vulcanian type occur every year, throwing ash to heights of up to a few kilometers above the mountain. Sakurajima volcano generates many explosions with various sizes, but we still have not well understood what physical parameters control the magnitude of explosion. In the present study, therefore, we investigate the source characteristic of explosion earthquakes that are associated with vulcanian explosions at Sakurajima volcano.

We analyze explosion earthquake waveform that are recorded by JMA for the two years from 2012 to 2013. The seismogram are recorded by short period seismometers with a natural frequency of 1 Hz and a sampling frequency of 100 Hz. We analyze Up-Down (U) component at SRB station which is located at a distance about 2 km from the active crater (Showa crater).

We reduce the site effect and propagation effect in the observed seismogram by using spectral ratio method to retrieve the source characteristic of explosion earthquake. We classify the explosion earthquake waveform by using RMS amplitude into 4 classes. The RMS amplitude is calculated for about 400 s from the onset of the earthquake. The RMS amplitude ranges up to 470×10^{-3} nm, and we divide the explosion earthquakes into class I (0 nm - 30×10^{-3} nm), class II (30×10^{-3} nm - 60×10^{-3} nm), class III (60×10^{-3} nm - 90×10^{-3} nm) and class IV (90×10^{-3} nm - 150×10^{-3} nm). We calculate the spectral ratios of class II, III and IV to the smallest class (I). We calculate the spectral ratios by setting a time window every 10 sec from the onset to coda wave.

The obtained spectrum amplitude ratio can be described by a flat level at low frequency range (0 Hz - 1 Hz) and that at high frequency range (4.5 Hz - 10 Hz). The spectrum amplitude ratio gradually decreases in the intermediate frequency range (1 Hz - 4.5 Hz). The corner frequencies at 1 Hz - 4.5 Hz does not change significant (change slightly) for the ratio of classes II, III and IV. Analysis of direct waves that begins from the onset for 10 sec show the following characteristics: Ratios at low frequency range for classes III and IV are about 1.6 and 3 times larger than that for class II, while ratios at high frequency range for class III and IV are about 1.3 and 2 times larger than that for class II. Analysis of coda waves that begins 50 sec from the onset show the following characteristics: Ratios at low frequency range for classes III and IV are about 1.4 and 1.9 times larger than for class II. On the other hand, ratios at high frequency range for class III and IV are about 1.06 and 1.1 times larger than that for class II. The ratios for coda waves are slightly smaller than those for direct waves, which implies differences in the source processes between the initial explosion and following continuous ash emissions.

Keywords: Spectral Ratio Analysis, Sakurajima Volcano, Explosion Earthquake

桜島火山におけるACROSSで取得した伝達関数の時間変化 (2015年1月~8月)

Temporal variation of the ACROSS signals during a period from January to August, 2015 in Sakurajima volcano, Japan.

*山岡 耕春¹、宮町 宏樹²、八木原 寛²、前田 裕太¹、渡辺 俊樹¹、國友 孝洋¹、生田 領野³、為栗 健⁴、清水 洋⁵、渡邊 将史¹、井口 正人⁴

*Koshun Yamaoka¹, Hiroki Miyamachi², Hiroshi Yakiwara², Yuta Maeda¹, Toshiki Watanabe¹, Takahiro Kunitomo¹, Ryoya Ikuta³, Takeshi Tameguri⁴, Hiroshi Shimizu⁵, masashi watanabe¹, Masato Iguchi⁴

1.名古屋大学環境学研究科附属地震火山研究センター、2.鹿児島大学大学院理工学研究科、3.静岡大学理学部、4.京都大学防災研究所、5.九州大学大学院理学研究院

1.Earthquake and Volcano Research Center, Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, 2.Graduate school of Science and Engineering, Kagoshima University, 3.Faculty of Science, Shizuoka University, 4.Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, 5.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, an active monitoring system using a vibration source called ACROSS has been operated in Sakurajima Volcano since September 2012 (Yamaoka et al., 2014; Miyamachi et al., 2013; 2014).

From our previous observational studies, we obviously found that the amplitude and travel times of the daily transfer functions (the ACROSS signal) vary temporally. In particular Maeda et al. (2015) revealed that the amplitude of the ACROSS signals in the later phases became small in several hours before and after explosive eruptions. In this report, we show a long-term temporal change for the ACROSS signals observed with the remarkable volcanic activity that occurred in Sakurajima volcano on August 15, 2015.

DATA

Our ACROSS system is composed of two vibrators: one vibrator (SKR1) with a signal frequency range of 7.510Hz +/- 2.50Hz and the other (SKR2) with the range of 12.505Hz +/- 2.50Hz. The seismic signals from the ACROSS sources are routinely monitored with more than 20 permanent and 5 temporal seismic stations in and around Sakurajima volcano. The signals recorded at the seismic stations are deconvoluted with the ACROSS source function to obtain the transfer function between the source and the receivers.

The ACROSS system was continuously operated until 18 August, 2015 after five month failure of inverter system. We successfully replace the broken inverter with a normal one by managing transferring inverters from one source to another. The fixed ACROSS system started operation at the beginning of January 2015, but the operation was suspended on 18 August, 2015 because of the signal contamination to a monitoring seismic station for the volcano. We use the data in 2015 to check the temporal change of transfer functions between the ACROSS source and the seismic stations in Sakurajima island.

RESULTS

We calculated the daily transfer functions for each station by every 1 day stacked data during a period of January to August 2015. Transfer functions in Sakurajima volcano indicate large temporal variation especially in later phase part comparing to the other site such as Awaji or Tokai area where ACROSS system is being operated. In many of the transfer function connecting between the ACROSS source and the stations remarkable change can be seen at the end of July, 2015, though causal relationship to the volcanic event on 15 August is not clear. We also need to make a quantitative investigation on the meteorological effect to the transfer functions.

Reference

Yamaoka et al. (2014) Earth Planets, Space, Doi:10.1186/1880-5981-66-32

Maeda et al. (2015) Geophys. Res. Lett., Doi: 10.1002/2015GL064351

キーワード：構造、時間変化、マグマ

Keywords: structure, temporal variation, magma

北部鹿児島湾の周辺の人工地震記録に見られる後続相

Unknown later arrivals in controlled source seismograms in northern Kagoshima Bay region.

*筒井 智樹¹、為栗 健²、井口 正人²、中道 治久²*Tomoki Tsutsui¹, Takeshi Tameguri², Masato Iguchi², Haruhisa Nakamichi²

1.秋田大学、2.京都大学

1.Akita University, 2.Kyoto University

本講演では北部鹿児島湾地域における構造探査地震記録に現れた後続相について報告し、その発生源について議論する。

桜島および始良カルデラの地下構造解明を目的として、北部鹿児島湾地域を囲んだ測線を設定し発破を震源とする人工地震観測が2008年11月に実施された(井口他, 2009)。この観測による初動到来時刻データセットを用いてMiyamachi et al. (2013)および為栗他(2010)は北部鹿児島湾地域の深さ4kmまでの地震波速度構造の解析を行い、桜島を含む始良カルデラ地域がその周囲に比べて低速度であることが明らかにした。

このデータセットの波形記録にたちもどってよく見ると、次に述べる二つの顕著な後続相が現れている。

- 1) 北部鹿児島湾北西の始良の発破に対して、桜島南部から大隅半島にかけての観測点で走時7から8秒台に出現する到来相、
- 2) 北部鹿児島湾北西の始良の発破に対して、桜島北岸の白浜から浦之前にかけての観測点で走時8秒台に出現する到来相。

1)の到来相は桜島南西岸付近で特に顕著である。到来相の見かけ速度は初動のそれよりも若干大きく7 km/s弱を示すが、震源距離が大きくなるにつれ初動に漸近するよう見える。また波線の中点を同じくする他の発破点-観測点組み合わせでも同様な後続相が認められる。2)の到来相は桜島北岸の割石崎付近で特に顕著に表れる。到来相の見かけ速度は7 km/s弱である。しかし、波線の中点を同じくする他の発破点-観測点組み合わせでは同様な後続相を認めることができない。

これらの特徴を考慮して1)をPP反射波、2)をPS変換波と解釈し、それぞれの後続相の走時を説明する反射点と変換点のモデルを検討した。その結果、反射点と変換点の両者はいずれも海面下11kmとするモデルがそれぞれの走時をよく説明することが判明した。さらに推定された反射点と変換点の分布は桜島の北側の北部鹿児島湾中央部でほぼ重複することが明らかになった。このことに加えて両者の見かけ速度がほぼ一致することから、反射点と変換点は同一の境界面であると考えられる。

これまでの地盤変動研究から、北部鹿児島湾中央部には変動力源の存在が指摘されている(Mogi, 1958; Yokoyama, 1971; Eto et al., 1997; Yamamoto et al. 2013; Iguchi et al., 2013)。反射点および変換点の分布は、これらの変動力源の位置とよく一致する。このことから北部鹿児島湾中央部の地震学的境界面は、桜島にマグマを供給する深部マグマだまりと関連している可能性がある。

キーワード：火山、桜島火山、地殻構造、地震学

Keywords: Volcano, Sakurajima Volcano, Crustal structure, Seismology

V-net観測網で記録された2014年、2015年口永良部島噴火における地震活動

Seismic activities with regards to the eruptions of Kuchinoerabujima in 2014 and 2015 observed by V-net network

*千葉 慶太¹、棚田 俊收¹

*Keita Chiba¹, Toshikazu Tanada¹

1.防災科学技術研究所

1.National research institute for earth science and disaster prevention

口永良部島は屋久島の西方約12kmに位置する火山島である。2014年8月3日、2015年5月29日に口永良部島・新岳で爆発的な噴火が発生した。2014年噴火の際には新岳火口西部に新たな割れ目が形成されたことが報告されている(気象庁、2014、噴火予知連会)。また、噴火の力源解析から、2014年噴火と2015年噴火の際には震源時間関数が異なることが報告されている。より詳細には、爆発時には基本的に鉛直成分の震源時間関数が卓越するなかで、2015年噴火の際には南北方向の水平成分が卓越するといったものである(松澤私信)。本解析では、噴火時のこうした現象と地震活動との関係を明らかにするため、防災科研V-net、気象庁のデータを使用し、震源決定、簡単な波形解析(パーティクルモーション、コーナー周波数)を行った。震源決定にはhypomh(Hirata and Matsu'ura 1987)、速度構造には $V_p=2.5\text{km/s}$ の半無限構造を使用した。得られた震源データは、2014年噴火前には165個(2014年7月27日-8月3日)、2015年噴火時には958個(噴火前, 2015/4/15 -5/29/9:59 ;507個、噴火後, 2015/5/29/10:00-6/4 ;451個)の震源が得られた。その結果、2014年噴火前において、震源は新岳西部に集中し、2015年噴火前には新岳近傍で南北方向に分布する傾向にあった。これらは震源の分布が2014年噴火時に形成された割れ目に近接し、及び2015年の噴火時の震源時間関数が南北成分に卓越することと調和的である。一方、パーティクルモーションに関しては、噴火発生後のイベントの振動方向が噴火時のそれと調和的な方向を持つ傾向にあった。コーナー周波数に関しては噴火前後で顕著な変化はみられなかった。以上から、震源分布の解釈としては、噴火前に震源が新岳直下で南北方向に分布していることに対応して、2015年の噴火の際の震源時間関数が南北方向に卓越することから、噴火時に噴出物が既存の震源分布を弱線として南北方向へ噴出物が移動した可能性が考えられる。

キーワード：口永良部島、震源分布、震源時間関数

Keywords: Kuchinoerabujima, hypocenter distribution, seismic source time function

地球物理・化学データの融合的利用による火山活動の定量的理解～口永良部島火山のマグマ水蒸気噴火を例に

Quantitative understanding of volcanic activities by a combinational use of geophysical and geochemical data - a case study of magmatophreatic eruptions at Kuchierabu volcano, SW Japan

*小森 省吾¹、落 唯史¹、風早 竜之介¹、内出 崇彦¹、田中 明子¹

*Shogo Komori¹, Tadafumi Ochi¹, Ryunosuke KAZAHAYA¹, Takahiko Uchide¹, Akiko Tanaka¹

1.国立研究開発法人産業技術総合研究所

1.National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

マグマの浅部への移動は地下の応力状態の変化をもたらす、地震を群発させ、地殻変動を発生させる。また、それに伴って発達した新たなクラックは、マグマのさらなる移動や高温の火山ガスの放出を誘発させる。浅部マグマから放出される火山ガスは、火山体下の地下水系に流入することで熱水系を発生させる。熱水系の不安定化は水蒸気爆発を誘引する。

地震活動・全磁力変化・比抵抗変化・InSARやGPSによる地殻変動の検出といった地球物理学的観測や、火山ガス組成の時間変化といった地球化学的観測は、こうした多様な火山現象を捉え、メカニズムを理解する上で強力なツールである。また、HYDROTHERM・STARといった数値シミュレーションは、火山体下の温度・圧力状態等を定量的に評価することができるため、様々な観測データをより定量的に結びつけ、火山活動評価の精度を向上させることができると期待される。

個々の観測データを定量的に結びつけるためには、そのデータの解析原理・解析手法の適用限界等、高い専門性が要求される情報を十分に理解した上でデータを利用することが重要である。しかしながら、個々の研究者のレベルでは、直接専門としている分野以外のデータを取り扱うことは容易ではない。さらに、データ解析環境は個々の研究者によって独自に構築されていることが多いため、多様なソフトウェアの導入・使用方法の習得等を実現する事が困難である。こうした課題を克服し、様々なデータを有機的に活用するため、統一的平台フォームを整備し専門的情報を研究者間で共有するための作業グループを組織した。

本発表では、当作業グループの成果の1つとして、2014年8月・2015年5月にマグマ水蒸気噴火を発生させた口永良部島火山の火山活動を取り扱う。HYDROTHERMソフトウェア(Hayba and Ingebritsen, 1994)による熱水系のシミュレーションにより、地下の温度・圧力状態を推定する。過去に得られている比抵抗構造・熱消磁源(Kanda et al., 2010)をはじめ、GPS・InSARによる地殻変動データ・火山ガスデータを用い水蒸気/マグマ水蒸気噴火発生メカニズムを定量的に理解することを目指す。

キーワード：口永良部島、水蒸気噴火、熱水系

Keywords: Kuchierabu volcano, phreatic eruption, hydrothermal system

口永良部島火山の3次元比抵抗構造

A 3-D resistivity model of Kuchi-erabu-jima volcano

*神田 径¹、宇津木 充²、小川 康雄¹*Wataru Kanda¹, Mitsuru Utsugi², Yasuo Ogawa¹

1.東京工業大学火山流体研究センター、2.京都大学理学研究科地球熱学研究施設

1.Volcanic Fluid Research Center, Tokyo Institute of Technology, 2.Institute for Geothermal Sciences, Graduate School of Science, Kyoto University

1. はじめに

口永良部島では、約20年の準備期間を経て2014年8月3日に34年ぶりとなる水蒸気爆発が発生した。その後も二酸化硫黄放出量の多い状態が続き、2015年3月からは火映現象も観測されるなど、地下浅所にマグマの存在が推定される中、5月29日の火砕流を伴うマグマ水蒸気爆発へと至った。本講演では、マグマ水蒸気爆発の発生場について再検討するため、2004年に取得したAMT法(audio-frequency magnetotellurics)測定データを再解析し、口永良部島火山の3次元地下比抵抗構造を推定したので、その概要について発表する。

2. AMT 観測

AMTデータは、2004年9月~11月にかけて、新岳周辺の計27点で取得された。データの一部は、西北西-東南東の測線に沿った2次元モデルとして発表済みである(Kanda et al., 2010)。その結果、火口周辺の極浅部に薄く広がった低比抵抗領域と、深さ200~800mの山体全体に広がった低比抵抗領域が存在することがわかった。これらの低比抵抗領域は、熱水変質によって生成されたと考えられる、透水性の悪い粘土を多く含む層であると解釈した。この難透水性の層の間に地下水層があり、地磁気変化の変動源や膨張源がこれらの構造に制約されていることが示唆されている。しかしながら、2次元構造で近似しているうえ、半分以上のデータは未使用であったことから、今回全27点のデータを用いて3次元解析を行った。

3. 3次元モデリング

解析は、Siripunvaraporn and Egbert (2009)の3次元インバージョンコードを使用して行なった。計算に用いた周波数は2~3000Hzの範囲の15周波数で、インピーダンス4成分(Error floor 5%)を使用した。新岳火口付近の水平メッシュサイズは40mで、山体の鉛直メッシュサイズは10-15mとした。全メッシュは64x64x66。計算では、陸上および海底の地形を考慮して海水に相当する領域の比抵抗値を0.33Ωmに固定している。これまでのところ、2次元構造よりも火口周辺の詳細な構造が得られているが、観測点が登山道沿いに偏っているため、その感度について検討する必要がある。発表では、その概要を報告する。

本研究はJSPS 科研費15H05794の助成を受けたものです。

キーワード：口永良部島、比抵抗構造、噴火発生場

Keywords: Kuchi-erabu-jima, resistivity structure, preparation zone of volcanic eruption

薩摩硫黄島硫黄岳の硫黄チムニー形成機構

Formation mechanism of the sulfur chimney at Mt. Iwo-dake, Satsuma-Iwojima Is., Japan

*古川 涼子¹、山中 寿朗¹、大岩根 尚²、村山 雅史³、千葉 仁⁴*Ryoko Furukawa¹, Toshiro Yamanaka¹, hisashi Oiwane², Masafumi MURAYAMA³, Hitoshi CHIBA⁴

1.岡山大学大学院自然科学研究科、2.鹿児島県三島村、3.高知大学海洋コア総合研究センター、4.岡山大学理学部地球科学科

1.Graduate School of Natural Science and Technology, Okayama University, 2.Mishimamura Village, Kagoshima Prefecture, 3.Center for Advanced Marine Core Research, Kochi University, 4.Department of Earth Sciences, Okayama University

薩摩硫黄島の硫黄岳は、日本で最も活動的な火山の一つである。噴気孔の多くは、至る所で活発で、噴気孔周辺には多量の元素状硫黄が析出している。したがって、山の斜面の大部分は黄色である。さらに、900°Cの非常に高温な噴気孔が山頂火口で観察され、このような高温噴気孔に接近できる珍しい場所である。本火山のもう一つの特徴として、噴気孔の上に元素状硫黄のみで作られたチムニーの存在が挙げられる。チムニーのいくつかは1mを超えて成長しており、そのような硫黄チムニーは、世界中でめったに報告されていない。本研究では、噴気孔上にある硫黄チムニーがいかに形成されたか探ることを目的とする。さらに、我々は、硫黄堆積物と噴気ガスの硫黄同位体組成をもとに、火山の物理化学的な状態について議論する。

ALOS-2/PALSAR-2差分干渉解析による国内の活火山周辺における地殻変動

Ground Deformation around the Domestic Active Volcanoes detected by D-InSAR of ALOS-2/PALSAR-2

*安藤 忍¹、兒玉 篤郎²、鬼澤 真也²、奥山 哲³

*Shinobu Ando¹, Takuro Kodama², Shin'ya Onizawa², Satoshi Okuyama³

1.気象研究所 地震津波研究部、2.気象庁、3.気象研究所 火山研究部

1.Seismology and Tsunami Research Department, Meteorological Research Institute, 2.Japan Meteorological Agency, 3.Volcanology Research Department, Meteorological Research Institute

2014年5月24日に、陸域観測技術衛星「だいち2号（ALOS-2）」が打ち上げられた。衛星に搭載された合成開口レーダ（PALSAR-2）は、先代の「だいち1号（ALOS）」同様、地表面の状態把握に優れたLバンド波長帯を有しており、干渉性が高く面的な地殻変動観測に有効である。また、ALOS/PALSARよりも高分解センサであり、回帰日数も14日と格段に短くなったため、より高解像度のデータを高頻度で取得・解析でき、防災・減災に役立つと期待されている。打ち上げ後約半年間の校正期間を経て、2014年11月25日にデータ公開された。現在のALOS-2/PALSAR-2観測計画は、引き続きベースマップの蓄積を重視しているが、観測開始から2年近くが経過し、活火山周辺では比較的アーカイブデータが蓄積されてきた。

気象研究所では、国内外の活火山周辺及び地震発生前後の地殻変動についてALOS-2/PALSAR-2のデータを用いた干渉解析や強度画像比較を行っている。得られた解析結果は、それぞれ本庁の火山活動評価や地震震源過程解析評価のツールとして利用されている。本発表では、気象研究所において解析された国内の活火山周辺におけるALOS-2/PALSAR-2の解析結果について紹介する。

本解析で用いたPALSAR-2データの一部は、火山噴火予知連絡会が中心となって進めている防災利用実証実験（火山WG）に基づいて観測・提供されたものである。また、一部はPIXELで共有しているものであり、宇宙航空研究開発機構（JAXA）と東京大学地震研究所との共同研究契約によりJAXAから提供されたものである。PALSAR-2に関する原初データの所有権はJAXAにある。なお解析には、防災科学技術研究所の小澤拓氏により開発されたRINC(Ver0.36)を使用させていただいた。なお、干渉画像の処理過程においては、国土地理院発行の数値地図10mメッシュ（標高）を元にしたDEHMを使用し、地図の描画にはGMTを用いた。ここに記してお礼申し上げます。

キーワード：ALOS-2/PALSAR-2、干渉SAR、国内活火山

Keywords: ALOS-2/PALSAR-2, InSAR, Domestic Active Volcano

火山性微動とそれに同期した地殻変動について

Volcanic tremor accompanied with crustal deformation

*加藤 幸司¹、高木 朗充⁵、藤松 淳²、小林 宰³、平松 秀行⁴

*Koji Kato¹, Akimichi Takagi⁵, Fujimatsu Jun², Kobayashi Tsukasa³, Hiramatsu Hideyuki⁴

1.気象庁、2.札幌管区気象台火山・監視情報センター、3.仙台管区気象台火山・監視情報センター、4.福岡管区気象台火山・監視情報センター、5.気象研究所

1.Japan Meteorological Agency, 2.Sapporo Regional Headquarters.JMA, 3.Sendai Regional Headquarters.JMA, 4.Fukuoka Regional Headquarters.JMA, 5.Meteorological Research Institute

近年、観測網強化が進むのに伴って、多くの火山で、火山性微動とそれに同期した傾斜変動が観測されている。例えば、2014年の口永良部島の噴火や御嶽山の噴火では、噴火発生に前駆して、火山性微動と山体膨張を示す傾斜変動が観測された。しかし、噴火に前駆しない場合もあり、そのケースほうがむしろ多い。2014年霧島山の硫黄山でも火山性微動とそれに同期した地殻変動が観測されたが、噴火は発生しなかった。また、傾斜変動のパターンも多様で、火口付近の膨張を示す変動で始まり、その後収縮に転じるものもあれば、収縮相のみ、逆に膨張相のみの場合もある。

これらの現象は、噴火を予測する上で重要ではあるが、上記のように現象が多様なためか、その解釈や理解はほとんど進んでいない。本発表では、これらの現象の理解を進め、噴火予測に資することを目的に、まず事例を収集・整理したので報告する。

気象庁の多成分火山ガス連続観測装置の整備

Deployment of the automatic Multi-gas stations for volcano monitoring by JMA

*高木 朗充¹、鳥巢 啓多²、篠原 宏志³

*Akimichi Takagi¹, Keita Torisu², Hiroshi Shinohara³

1.気象研究所火山研究部、2.気象庁地震火山部、3.産業技術総合研究所

1.Volcanology Research Department, Meteorological Research Institute, 2.Seismology and Volcanology Department, Japan Meteorological Agency, 3.National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

火山活動の監視の一助となるよう、気象庁では多成分火山ガス連続観測装置を全国4カ所の火山に設置しテレメータを行う準備を進めている。草津白根山と吾妻山に1点ずつ設置が完了した（平成28年2月現在）。今後、九重山と御嶽山に設置予定である。

本装置は、産業技術総合研究所で開発された可搬型装置（Shinohara, 2005）を固定点で連続観測テレメータできるように改良したものである。測定可能なガス成分はSO₂, H₂S, CO₂, H₂, H₂Oの5つである。噴気孔に直接パイプを挿入してガス採取するものでなく、ガスが風に流され拡散した大気をポンプで吸引し測定するため、濃度の絶対値を測ることはできない。ただし、複数の成分を同時測定するため、組成比を把握することが可能である。火山活動により火山ガスの組成比の変化が、繰返し観測により検出された事例がある（例えば、Ossaka et al., 1980）。しかし、長期に火山ガス濃度を連続観測した事例はきわめて少なく、本装置により複数の火山ガス成分を連続的に測定することで、火山活動の評価や水蒸気噴火の前駆現象の検出に対する有効な知見が蓄積されることが期待される。

装置は火山ガスが採取可能な火口近傍に設置する必要があるため、商用電源や通信のための優先回線は整備されていないため、太陽パネルを使った独立電源システムと衛星携帯電話を使った伝送システムからなる。このため、24時間の連続観測を行うことは大規模な電源装置が必要なため、40分の定時測定を1日1回13:00に行う仕様となっている。ただし、基準濃度を上回った場合には、定時測定以外に最大で1日3回まで40分の臨時測定を行う。データ伝送は、測定後ただちに衛星携帯電話網で気象庁本庁のサーバーにFTPで伝送され、その後気象研究所と産業技術総合研究所転送される予定である。

キーワード：多成分火山ガス装置、火山ガス、水蒸気噴火

Keywords: Multi-gas system, volcanic gas, phreatic eruption

気象庁の活火山への全磁力観測点の整備

Installation of geomagnetic total field observation stations to active volcanoes by Japan Meteorological Agency

*山崎 明¹、西田 誠¹、井 智史¹、平原 秀行¹、中橋 正樹²

*Akira Yamazaki¹, Makoto Nishida¹, Tomofumi I¹, Hideyuki Hirahara¹, Masaki Nakahashi²

1.気象庁地磁気観測所、2.気象庁火山課

1.Kakioka Magnetic Observatory, 2.Volcanology Division, Japan Meteorological Agency

戦後最悪の火山災害となった2014年9月27日の御嶽山の噴火をきっかけとして、水蒸気噴火の予知が社会的に大きくクローズアップされ、気象庁では水蒸気噴火の予測を目的として火口周辺での火山観測体制を強化することになった。その中で地磁気観測は火山の熱水系の活動状況を把握するのに優れていると評価され、強化する観測項目の一つに取り上げられた。このような経緯から、気象庁では平成27年度に国内の4つの活火山（樽前山・吾妻山・御嶽山・霧島山）に全磁力観測点を整備することになった。

全磁力観測点の配置は、火口地下の熱活動を捉えることを目的とし、各火山において火口から概ね1kmの範囲内にオーバーハウザー磁力計を6点、基準点として山麓部に1点の配置を基本構成とした。基準点にはフラックスゲート3成分磁力計も併設し、磁気嵐などの地磁気擾乱の補正用として利用することにした。オーバーハウザー磁力計の分解能は0.01nT、フラックスゲート磁力計の分解能は0.001nTである。電源はソーラーパネル+バッテリー給電方式とし、冬季の積雪を考慮し無日照日が100日以上でも稼動可能な仕様とした。測定データは衛星またはFOMA回線を用いて1日3回気象庁まで伝送される。

全磁力観測地点は火口から概ね1km以内で、ソーラーパネルのための日照が得られ、比較的平坦な地形の場所を選定した。磁場環境としては車両等のノイズを避けるため、車道から約200m以上の距離をとることにした。また、一般に磁気勾配が大きい観測点では、観測点周囲の岩石や土壌磁化の温度依存性により年周変化が大きくなることが知られているが、この年周変化をなるべく小さくするため、選定した観測候補地点周辺で磁気測量を実施し、磁気勾配が概ね20nT/m以下の地点を選定した。

各火山での選定状況については、樽前山では山頂部の溶岩ドームで噴気活動が活発であり、札幌火山センターが実施している全磁力の繰返し観測によれば、2010年以降溶岩ドームの帯磁傾向の変化が観測されている。今回整備した観測点は全磁力繰返し観測の結果を参考に、溶岩ドーム周辺に選定した。吾妻山では一切経山南東斜面にある大穴火口での噴気活動が活発であり、仙台火山センターが2003年より実施している全磁力の繰返し観測では消磁の傾向が継続している。この観測結果を参考に大穴火口周辺での全磁力観測点を選定した。御嶽山では2014年9月に噴火した地獄谷火口を中心に全磁力観測点を選定した。霧島山ではえびの高原の硫黄山周辺で熱活動や微動が発生しており、福岡火山センターでは全磁力の繰返し観測を実施している。今回の整備では硫黄山の地下活動を把握することを目的とし、硫黄山周辺に全磁力観測点を選定した。

キーワード：気象庁、全磁力、活火山、熱水系、水蒸気噴火、オーバーハウザー磁力計

Keywords: Japan Meteorological Agency, geomagnetic total field, active volcano, hydrothermal system, phreatic eruption, Overhauser magnetometer

火山活動活発化における地理空間情報の活用

Effective utilization of geospatial information for intensified volcano activities

*栗栖 悠貴¹*Yuki Kurisu¹

1. 国土地理院

1. GSI of Japan

日本は多くの活火山が存在する世界有数の火山大国である。近年、国内の火山の活動は非常に活発であり、2015年には、口永良部島、桜島、阿蘇山、箱根山などにおいて火山活動が活発化したため住民避難など社会的影響を及ぼした。火山災害から国民の生命、身体、財産を守るためには、迅速かつ的確な避難など被害を軽減するための対応が必要である。国土地理院は、災害対策基本法に基づく指定行政機関として、活動が活発化した火山に対して、被害の軽減に資する3つの地理空間情報を関係機関および国民に提供することで、被害軽減に努めている。本発表では、活動が活発化した火山に対して被害を軽減するためにどのような地理空間情報が活用されたかについて報告する。

一つ目は、地殻変動に関する地理空間情報である。火山活動の影響で生じる地殻変動は、地下のマグマの動きに起因するため噴火や収束の判断につながる重要な地理空間情報である。口永良部島および箱根山の事例においては、臨時観測点 (REGMOS: Remote GNSS Monitoring System) を設置することで、GNSS連続観測を強化した。また、衛星SAR (ALOS-2) のデータを解析することで、地上に観測機器がない地域においても地殻変動を面的に捉えることが可能である。箱根山の事例においては大涌谷周辺の局所的な変動を捉えることでそれぞれ噴火警戒レベルを検討する上で重要な情報として活用された。さらに、桜島の事例では観測された地殻変動から変動源を推定することで過去の噴火で生じた被害と比較した災害対応が可能となった。これらの地殻変動に関する情報は、火山噴火予知連絡会等へ提供することで、関係者の的確な判断を支援した。

二つ目は、空中写真による被害状況に関する地理空間情報である。画像で現地の状況を把握できるため、災害対応において非常に重要な地理空間情報である。火山活動が活発化した際には有人飛行できる範囲は制限されるが、阿蘇山噴火の際に対応したように斜めから撮影した空中写真で火口周辺の状況を把握することができる。口永良部島の事例においては、無人航空機 (UAV) を利用し全島の空中写真を撮影することで、より詳細な現地状況把握に努めた。撮影した画像から崩壊地や火砕流および泥流などの範囲を判読することで、被害の状況をわかりやすく表示した。また、光学衛星の2時期の画像を比較することで変化の見られる範囲を抽出した。これらの被害状況把握に関する地理空間情報は、関係機関において現地の全体像を把握した災害対応を可能とした。

三つ目は、地形や過去の災害など危険リスクを示した地図などの地理空間情報である。活発化した火山に対して、災害対応のオペレーションをする上で非常に重要な地理空間情報である。国土地理院では、防災関連施設等が記載された火山災害対策用図や詳細な火山地形がわかる陰影段彩図および立体地図などを関係機関および国民へ提供した。また、過去の溶岩流の分布などを記した火山土地条件図を提供することで過去と比較した対応を可能とした。これらの地理空間情報は、関係機関の円滑な災害対応を支援した。

火山活動の活発化に伴う災害対応において、地理空間情報は欠かすことのできない重要な情報である。国土地理院は、引き続き効果的な地理空間情報を提供することで、被害を軽減するための災害対応や救援救助・復旧復興活動を支援していく。

キーワード：地理空間情報、地殻変動、SAR、被害状況の把握、UAV

Keywords: geospatial information, crustal deformation, SAR (synthetic aperture radar), grasping the damage of disaster, UAV (Unmanned Aerial Vehicle)

火砕物粒度特性を用いた単成火山活動における爆発度の試験的評価

A trial for evaluation of explosivity in monogenetic volcanism using grain size characteristics of pyroclasts

*野口 里奈¹、下司 信夫¹

*Rina Noguchi¹, Nobuo Geshi¹

1.産業技術総合研究所

1.National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

Monogenetic volcanoes are formed in relatively small and short-duration eruptions, but some of them with explosive phenomena due to magma-water interactions (e.g., Wohletz and Sheridan, 1983). In 1983, Nippana tuff ring in Miyakejima Island was formed by small but explosive magma-water interaction in half a day (Aramaki and Hayakawa, 1984). That was a violence event with base surges (Sumita, 1985). As noted below, this kind of eruption style (i.e., phreatomagmatic) is not included in Volcanic Explosivity Index (VEI) originally. Also, VEI has no resolution in small-scale eruptions. Therefore, we should focus on magnitude-free parameters to assess dangerousness of monogenetic volcanism.

Explosivity in monogenetic volcanism is not well evaluated in the previous work. In the first place, what is "explosivity"? Volcanic eruption can be divided in two types: explosive and effusive. According to Wohletz and Heiken, 2002, the explosive eruption is "in which the expansion of gases determines mass transfer processes" in the point of mass transfer system. The mainstream of classification for the explosive eruption is "Walker diagram" which typed by fall-out tephra thinning rate and grain size (Walker, 1973). Walker, 1980 showed five parameters for explain "bigness" of explosive volcanic eruptions: magnitude, intensity, dispersive power, violence, and destructive potential. Taking into account these parameters, Newell and Self, 1982 proposed VEI to explain explosive character of an eruption in historical times. The specific criteria of VEI are volume of ejecta, column height, and descriptive terms. In this index, phreatomagmatic eruptions including Surtseyan have never been considered originally. Hickson *et al.*, 2013 added Surtseyan at VEI 4--5, but it lacks in detail. Furthermore, VEI does not include characteristics of ejecta, such as grain size and shape which represents features of explosions.

This study focus on grain size characteristics of pyroclasts to evaluate the explosivity of monogenetic volcanism regardless of the magnitude of eruptions. I compare the characteristics among three type: magmatic, phreatomagmatic, and rootless. To characterize the grain size, I use fractal fragmentation theory which was applied to a scoria cone by Perugini *et al.*, 2011, and median grain size which relates with energy conversion efficiency in the magma-water interaction (Wohletz and McQueen, 1984). In this presentation, I will show a result of trial evaluation of explosivity in monogenetic volcanism especially focusing on a role of external water in eruptions.

キーワード：単成火山、爆発度、マグマ-水接触反応

Keywords: monogenetic volcano, explosivity, magma-water interaction