

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)を使用して、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5 cm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碎帯の共鳴体振動と考えられるイベントの解析によって、破碎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变化したが、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、破碎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、破碎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、破碎帯、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できなかった。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ほどの低比抵抗帯が見つかった。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帯が確認され、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帯

②東斜面の表層付近に広がる低比抵抗帯

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。この低比抵抗帯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箇所の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。水平位置でみると、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

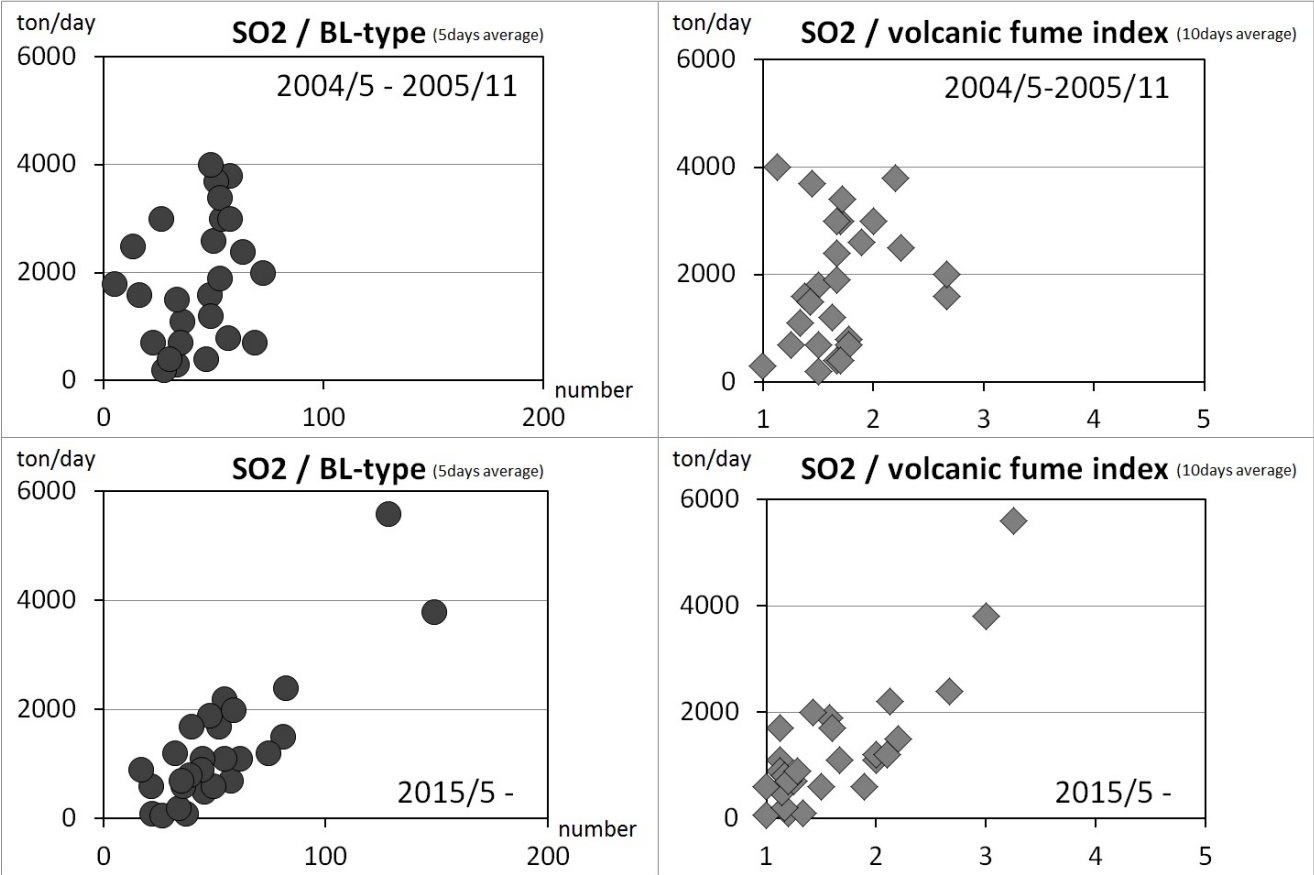
1.気象庁地震火山部、2.東京大学地震研究所

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の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・噴気活動のほかに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、観測を継続的にを行い、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)を説明しうることが示された。

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だけに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、 $\pm 0.25\text{rad}$ 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(Okai 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-岩石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 $\text{Fe}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$ 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)に依存していると見られ、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い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の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

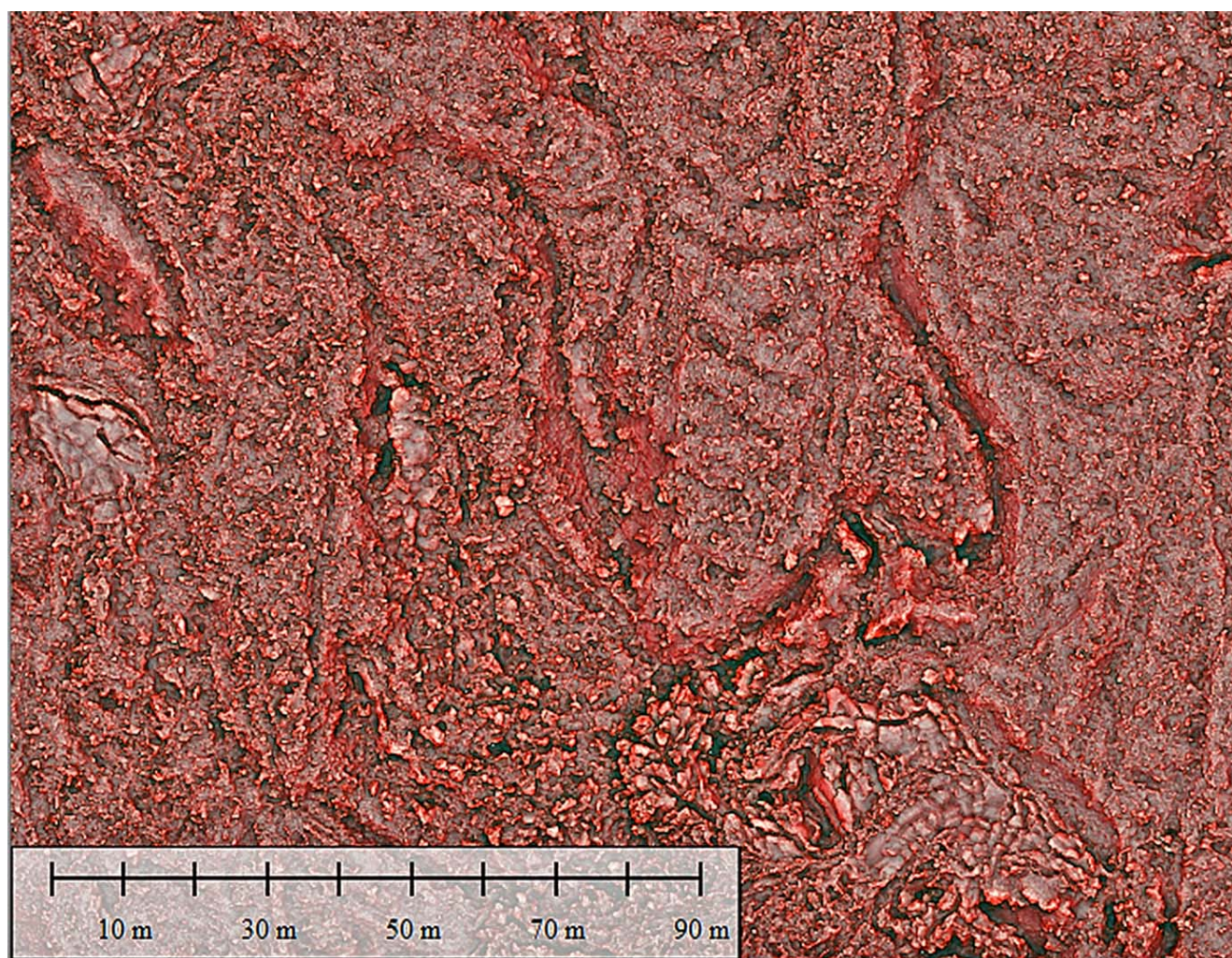
本稿は日本放送協会（NHK）との共同研究成果の一部です。NHKがデジタル一眼レフカメラで撮影した画像を使用させていただいたことに感謝いたします。

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ラー、他方はインターサタル組織である。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以浅の低比抵抗領域（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イベン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の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(Sandanbata 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(Sandanbata 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

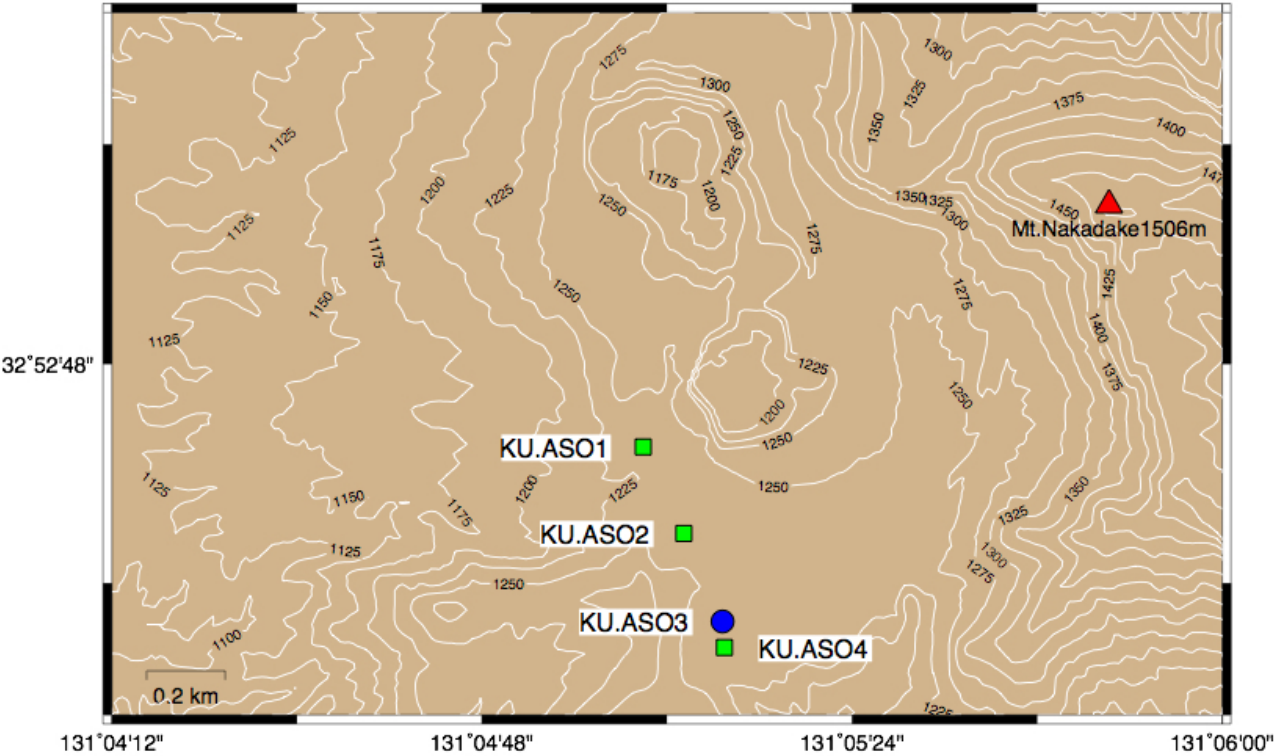
九州中央部に位置する阿蘇山中岳第一火口では、2014年11月25日よりマグマ噴火が発生し、噴火活動が活発な状態となった。その後噴火活動は断続的になり、2015年5月に噴火活動は一旦おさまったが、同年8月8日にごく小規模の噴火が発生し、9月からマグマ水蒸気噴火～水蒸気噴火を繰り返している。阿蘇山の噴火にともなう圧力変化や微動は、先行研究により、ほぼ中岳第一火口下に存在することが分かっている。しかし、それらの詳細な時空間変動は明らかではなく、噴火過程の理解のためにはこれらの把握が必要である。

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る過去に噴気活動とともに、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日午後には噴気が出現した。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, Tokai 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

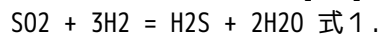
硫黄山では一か所で噴気の放出が目視され、その位置は北緯31度56分48.3秒、東経130度51分10.5秒であった。噴気を採取するために、金属チタン管を噴気孔に差し込み、管と孔の隙間を砂などで注意深く塞いだ。これは空気の混入を防ぐための措置である。次にチタン管にゴム管を接続し、ゴム管の出口を真空ガラス瓶のコックに接続した。真空ガラス瓶にはあらかじめ5M KOH水溶液20mlを封入しておいた。コックを慎重に開けることにより火山ガスをKOH水溶液に吸収させた。これとは別に、噴気のSO₂/H₂S比を決定するために、現場でKIO₃-KI溶液と噴気を反応させた。安定同位体比の測定のために噴気を水冷したガラス二重管に通し、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比は上昇する場合がある。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、太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 of 長周期潮汐、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長周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に見える。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達させる。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、統一的プラット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の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℃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関与したかを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 SO_2 、 H_2S 、 CO_2 、 H_2 、 H_2O 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