

## 噴火および土石流に伴う微動の規模指標 New measures of tremor signals associated with eruptions and lahars

熊谷 博之<sup>1\*</sup>; ルイス マリオ<sup>2</sup>; モテス パトリシア<sup>2</sup>  
KUMAGAI, Hiroyuki<sup>1\*</sup>; RUIZ, Mario<sup>2</sup>; MOTHEs, Patricia<sup>2</sup>

<sup>1</sup>名古屋大学, <sup>2</sup>エクアドル地球物理研究所  
<sup>1</sup>Nagoya University, <sup>2</sup>IG-EPN

火山では、噴火や土石流（ラハール）などに伴って微動が観測される。微動シグナルを定量化することは、これらの現象のダイナミックな発生過程の理解と監視において重要である。微動の規模指標には reduced displacement (RD) がこれまで用いられてきた。しかしながら、(1) RD の推定の際に用いる周波数が定義されていない、(2) 微動の継続時間が RD では考慮されていない、といった問題がある。本研究では、高周波の地震波振幅に基づいた微動の新たな規模指標を提案する。まず高周波振幅を用いた震源決定法 (ASL) を用いて微動の震源決定を行い、5-10 Hz の周波数帯での 10 秒窓の平均振幅から微動の継続時間中の最大の震源振幅 (SA) を推定する。さらに 5-10 Hz のバンドパスフィルターをかけたエンベロープ波形に、決定された震源位置から観測点までの幾何および非弾性減衰の補正を行い、時間積分を行う。さらにその波形から微動が継続している間のオフセット値を見積もる。これを全震源振幅 (TSA) と呼ぶ。噴火や土石流に伴う微動は質量移動により発生していると考えられるため、SA と TSA はそれぞれ質量流量の最大値と全質量に関連している量であると推定される。これらの量をエクアドルのトングセラワ火山とコトパキシ火山で発生した微動について推定した。その結果、土石流に伴う微動では、TSA が SA に対して線形に増加するのに対して、噴火に伴う微動では、TSA は SA に対して指数関数的に増加するという関係が見られた。SA と TSA は、微動の規模を定量的に評価し、かつ異なる火山で発生した微動の規模を比較できる一般的な指標と考えられ、微動の発生プロセスの理解や監視に活用することが期待できる。

## ストロンボリ火山の繰り返し噴火から溶岩流出噴火への移行期における地震動の時間変化 Seismic signal variation during the transitional phase from repetitive explosion to effusive eruption at Stromboli

青山 裕<sup>1\*</sup>; 西村 太志<sup>2</sup>; 山田 大志<sup>1</sup>; 川口 亮平<sup>3</sup>; 三輪 学央<sup>3</sup>; 藤田 英輔<sup>3</sup>; リペペ マウリツィオ<sup>4</sup>; ジェンコ リカルド<sup>4</sup>; ラカーナ ジョルジオ<sup>4</sup>  
AOYAMA, Hiroshi<sup>1\*</sup>; NISHIMURA, Takeshi<sup>2</sup>; YAMADA, Taishi<sup>1</sup>; KAWAGUCHI, Ryohei<sup>3</sup>; MIWA, Takahiro<sup>3</sup>; FUJITA, Eisuke<sup>3</sup>; RIPEPE, Maurizio<sup>4</sup>; GENCO, Riccardo<sup>4</sup>; LACANNA, Giorgio<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 北海道大学大学院理学研究院, <sup>2</sup> 東北大学大学院理学研究科, <sup>3</sup> 防災科学技術研究所, <sup>4</sup> フィレンツェ大学地球科学科  
<sup>1</sup>Graduate School of Science, Hokkaido University, <sup>2</sup>Graduate School of Science, Tohoku University, <sup>3</sup>NIED, <sup>4</sup>Department of Earth Science, University of Florence

Stromboli volcano, which is famous for Strombolian basaltic explosions, has changed the eruption style from repetitive explosion to effusive eruption in early August 2014. Our research group began temporary seismic and tilt observations at Stromboli volcano in late May and successfully obtained the continuous data throughout the transitional phase of volcanic activity. In this study, we investigate temporal changes in RMS amplitude and in polarization of seismic waves during 4 months of observation as preliminary analyses to understand the transition phases of the volcanic activity. Changes in intensity of volcanic activity will be reflected in RMS amplitude. Polarization of seismic signals will bring us information about source location and excitation mechanism.

Here we calculated RMS amplitudes of velocity seismogram in 8 frequency bands between 0.02 Hz and 5.12 Hz. The broadband seismic data at Stromboli mainly consist of two kinds of signals: very-long-period pulse (VLP pulse) and short-period volcanic tremor (SP tremor). The signals of higher frequencies over 1 Hz correspond to SP tremor. RMS amplitude of SP tremor gradually increased from early June to the evening of August 6, and then it suddenly decreased within two days. The rapid change in RMS amplitude of SP tremor is quite consistent with the beginning of lateral effusive eruption. Therefore, SP tremor amplitude may represent the change in altitude of magma head in the conduit and intensity of gas emission at a shallow depth. On the other hand, VLP pulse has a dominant period at around 10 s as reported in the previous studies (e.g., Chouet et al., 2003). Amplitude change in the lower frequency bands below 0.16 Hz mainly correspond to VLP activity. Contrary to SP tremor, long-term gradual increase in RMS amplitude towards August 6 was not clearly recognized. Instead, VLP activity in June seemed slightly higher than that in July. However, from the end of July, RMS amplitude of low frequency signals rapidly increased until August 6. VLP pulse observed at Stromboli is a kind of explosion earthquake that coincides with the vigorous gas ejection from the active vent. Change in seismic amplitude in low frequency signals may reflect the size of gas slug ruptured at the top of magma column.

Next, we made a list of occurrence time of Strombolian explosions from band-passed seismic data and estimated polarization azimuth and inclination of each VLP pulse. More than 45,000 explosions were identified during about 4 months of observation. Before the effusive eruption on August 6, two azimuthal peaks at around N37W and N32W were recognized. When we visited the volcano for the installation work in middle May, NE and SW crater have been repeating vigorous gas ejection. Therefore, these two azimuthal peaks may reflect the difference of location of explosion. After the beginning of the effusive eruption, it converged at around N32W. Inclination also increased coincident with the change in azimuthal direction, which strongly suggests the subsidence of VLP source. Giudicepietro et al. (2009) performed similar polarization analysis for the 2007 effusive eruption and found the temporal change in polarization of seismic waves after the beginning of effusive eruption in February 2007. Quantitative comparison between our data with their result will be a future study.

From this study, we confirmed the gradual increase in intensity of magmatic activity toward the beginning of effusive eruption in early August. However, there was no distinctive change in the polarization of VLP pulses before the transition from repetitive explosion to effusive eruption. This means that the location of magma in the conduit before the transition was almost stationary. The rapid increase in amplitude of low frequency signals a few days before the effusive eruption suggests the significant changes in the size of gas slug, magma pressure etc. towards the transition.

キーワード: ストロンボリ火山, 噴火遷移過程, ストロンボリ式噴火, 溶岩流出噴火, 超長周期振動

Keywords: Stromboli volcano, transition process of volcanic eruption, Strombolian explosion, effusion eruption, very-long-period signal

## 吾妻山における火山性地震に先行する膨張相 Small inflations prior to volcanic earthquakes at Azuma volcano, Japan

山本 希<sup>1\*</sup>  
YAMAMOTO, Mare<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 東北大学大学院理学研究科  
<sup>1</sup>Gradual School of Science, Tohoku University

活火山浅部における流体の存在は流体圧による断層面上有効法線応力低下による剪断すべりの促進、開口断層の生成など火山性地震の発生に密接に関与するものであるとともに、流体の移動は群発地震活動の誘引や震源移動・震源域拡大などを引き起こすと考えられている。したがって、地震発生に伴う流体諸現象の検出・観測は、火山性地震発生プロセスの理解のために重要であると考えられる。本発表では、そのような地震発生と流体現象の関連のひとつの観測的事例として、活動活発化が懸念されている吾妻山における地震活動の中に検出された地震発生に先行した体積膨張相について報告を行う。

吾妻山は、東北本州弧の火山フロント上に位置する第四紀火山であり、複数の安山岩質成層火山によって構成される。最近の火山活動は、火山東部の浄土平周辺に分布する吾妻小富士・大穴・一切経などの火口群で発生しており、主に水蒸気噴火に伴う噴石や降灰などの被害をもたらしてきた。また、現在噴気活動を行っている大穴火口の直下浅部においては、通常の火山構造的な地震とともに火山性微動・低周波地震・単色地震・N型地震など多様な火山性地震が発生しており、浅部における火山性流体の存在・複雑な破碎帯の存在などが示唆されてきた。2014年以降、吾妻山では火山活動の活発化の兆しが見られ、微小な地殻変動とともにこれらの地震活動の活発化が認められ、2015年1月中旬には一日当たり200回を超える群発的な地震発生を示すこともあった。

吾妻山の火山性地震では、地震発生に先行する微弱な前駆的震動が観測されることも多く、地震発生と流体挙動の関連を想起させるものであったが、2015年1月の群発性地震を火口近傍の地震計・傾斜計のデータも含めて精査した結果、地震発生約5秒前から前駆振動に同期して微弱な膨張相が存在することが明らかとなった。観測点の分布が十分でないため、震源機構の推定は困難であるが、観測された変位記録および傾斜記録を用いて、等方的な震源機構と震央を仮定して波形モデリングを行った結果、この膨張相は地震の震源域とほぼ同じ大穴火口直下深さ約2kmの領域で発生していることが示された。この震源域・膨張相の力源は、繰り返し全磁力測定や短基線GPS解析によって先行研究で提唱されている消磁・帯磁域および圧力源のやや深い側に位置する。これらの結果は、火口直下浅部において断層上における流体介在が有効法線応力の低下・地震発生を引き起こし、流体移動が連鎖的・群発的な地震活動を誘引したことのひとつの観測的実証と言える。今後、火口・震源域近傍における稠密観測網を展開し、震源機構の推定・応力降下量推定などとともにこれらの膨張相の解析を行うことで、さらに火山性地震と火山性流体の相互作用の定量的な理解が進むと期待される。

謝辞：本研究では、気象庁・火山観測網の地震波形データを使用させていただきました。

キーワード: 火山性地震, 火山性流体, 地震発生  
Keywords: Volcanic earthquake, Volcanic fluids, Earthquake nucleation

## 阿蘇火山 2014-2015 年噴火活動の概要について Eruptive activities of Aso Volcano, 2014-1015

大倉 敬宏<sup>1\*</sup>; 宇津木 充<sup>1</sup>; 横尾 亮彦<sup>1</sup>; 吉川 慎<sup>1</sup>; 井上 寛之<sup>1</sup>; 鍵山 恒臣<sup>1</sup>  
OHKURA, Takahiro<sup>1\*</sup>; UTSUGI, Mitsuru<sup>1</sup>; YOKOO, Akihiko<sup>1</sup>; YOSHIKAWA, Shin<sup>1</sup>; INOUE, Hiroyuki<sup>1</sup>; KAGIYAMA, Tsuneomi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 京都大学火山研究センター

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

阿蘇火山の中岳第一火口では、2014年11月下旬に21年ぶりとなるマグマ噴火が発生し、2015年2月現在も噴火活動は継続している。本講演では噴火に至る過程や噴火以降において、主として地球物理学的観測によって得られた結果について、それらの概要を述べる。なお、それぞれの観測結果は個別に発表される予定である。

阿蘇火山では、1989-1993年のマグマ噴火ののち1994-95年に土砂噴出（小規模な水蒸気爆発）が頻繁に発生したものの、その後は平穏な状態が続いていた。2000年11月から中岳第一火口南壁での赤熱現象が観測されるようになったが、依然として全面湯だまりの状態が継続していた。その後、湯だまり量の減少とともに、2003年7月、2004年1月、2005年4月にごく小規模な噴火が発生した。そして、南壁赤熱の消長、湯だまり量の増減を繰り返し、2011年5~6月にごく小規模な噴火が発生した。この際、気象庁の噴火警報及び噴火予報の運用開始以降はじめて、噴火警戒レベルが2に引き上げられた。

阿蘇火山周辺では、1993-2012年の水準測量により、中岳火口の西4kmの草千里を中心とする沈降が検出されていた。ただし、2008-2012年の沈降量は2004-2008年の沈降量の6割程度であり、このことは草千里下のマグマだまりに注入しているマグマ量の増加を示唆していた。2003年から開始されたGPS観測でも同様な変動が捉えられている。

その後、2013年4月より湯だまりの量が減少しはじめた。このことに対応する浅部比抵抗の増加がACTIVE観測（人工ソースを用いた電磁探査）により捉えられている（2013年5~9月）。2013年9月には、地震活動の活発化とガス放出量の急増が観測され、その直前には火口直下のクラック状火道での膨張現象が観測された。そして、2013年12月中旬にかけて短周期連続微動の振幅が徐々に大きくなり、同時期（2013年9月~2014年1月）には、地下250m以深の熱水だまり近傍での蓄熱を示す全磁力変化が検出された。また、2013年5月~2014年1月に地下250m以深で比抵抗増加が増加したことがACTIVE観測により捉えられている。

2013年12月には短周期連続微動の振幅が急増し噴火警戒レベルが2に引き上げられた。この微動の振幅は2014年1月2日に急減し、その後に中岳第1火口底に小火孔が開いたことが現地観測により確認されている。小火孔の形成と同時期に蓄熱傾向の磁力変化が収まった。そして、1月中旬には、長周期微動の活発化をともなう地殻変動が観測され、その後は小規模な噴火が繰り返して発生した。3月12日には噴火警戒レベルが1に下げられたものの、6月には火口底で水蒸気噴火（土砂噴出）が始まり、7月には、3回目のクラック状火道の膨張が発生し、中岳第一火口の湯だまり（火口湖）が完全消失した。

2014年7月以降には草千里をはさむ複数のGPS基線で伸びが観測され始め、長周期微動の振幅および発生頻度が2014年8月から徐々に大きくなった。この長周期微動の消長は、火口底の小火孔の温度変化とよい対応をしめす。なお、噴火警戒レベルは8月30日に2に引き上げられている。

そして、10月20日以降には長周期微動の振幅が観測開始以降最大級となり、周期約2秒の連続微動（第1種微動）の振幅も増大した。同時に地中温度の急増に対応する磁場変化が観測され始め、11月25日の噴火を迎えた。

噴火前の9月と噴火直後のACTIVE観測の結果を比べると、火口縁から地下100~150mの領域で比抵抗が増加したと考えられる。この深さでの比抵抗変化はこれまでの観測では検出されておらず、この構造変化および地磁気の変化と噴火準備過程との関係を明らかにすることが今後の検討課題の一つである。

今回の噴火活動も最近80年のものと同様、中岳第一火口からの灰噴出とストロンボリ式噴火で特徴づけられ、灰噴出にともなう短周期連続微動振幅の増大、ストロンボリ式噴火にともなう長周期震動などが観測されている。2015年2月現在も長周期微動、第1種微動の振幅も大きい状態が続いており、GPSの基線は伸びの状態が継続している。今後の火山活動を注視していく必要がある。

キーワード: 阿蘇火山, 2014 噴火

Keywords: Aso Volcano, Eruption in 2014

## 阿蘇火山中岳 2014~2015 年噴火の推移と噴出物 (速報)

### Preliminary report on sequence and deposits of the 2014-2015 eruption of Nakadake crater, Aso Volcano, Japan

宮縁 育夫<sup>1\*</sup>; 下司 信夫<sup>2</sup>; 横尾 亮彦<sup>3</sup>

MIYABUCHI, Yasuo<sup>1\*</sup>; GESHI, Nobuo<sup>2</sup>; YOKOO, Akihiko<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 熊本大学教育学部, <sup>2</sup> 産業技術総合研究所活断層・火山研究部門, <sup>3</sup> 京都大学大学院理学研究科

<sup>1</sup> Faculty of Education, Kumamoto University, <sup>2</sup> Geological Survey of Japan, AIST, <sup>3</sup> Graduate School of Science, Kyoto University

阿蘇火山中岳では、2014年1月以降、複数回のごく小規模噴火が認められたが、11月25日に本格的な噴火活動へと移行し、2月1日時点においてもその活動は継続中で、一連の活動によって中岳火口の南東方を中心とした地域に噴出物が堆積している。筆者らは本格的な噴火が始まる以前から火口内の状況や噴出物に関する現地調査を行っているが、本発表では主要なイベントである2014年11月25日~29日と12月9日~11日の噴火活動と噴出物について報告する。

2014年11月25日~29日にかけての活動では中岳火口の東側にあたる熊本県阿蘇市波野から高森町および大分県竹田市(同火口の東方約30km)の一部にかけての範囲で降灰が確認された。筆者らの噴出物調査によると、このイベントの火山灰は中岳第1火口から東方向と南方向の2つの主軸をもって分布していた。こうした分布は、11月25日15時頃までの風向(南西~北西)および25日16時~27日17時頃までの風向(おもに北)とも調和している。また、北東方向にもやや多く分布する傾向があり、これは27日18時~29日未明までの卓越風(おもに南西~南風)によるものと考えられる。11月29日午後の火口近傍域調査では、南西側から南側にかけての火口縁において厚さ4~5cmの噴出物が観察され、表面には最大径30cm程度の発泡のよいスコリアが散在していた(おもに11月26日13時半以降27日朝にかけて噴出)が、噴出物の大部分は砂サイズの黒色~暗灰色の火山灰である。南側火口縁では40kg/m<sup>2</sup>程度の火山灰の堆積が認められた。火山灰の各等重量線が囲む面積と重量との関係から、11月25日~29日に噴出した火山灰の総量は約15万トンと概算された。

2014年12月9日~11日にかけて阿蘇カルデラ西方域にまで火山灰を飛散させる活動が認められた。その火山灰は中岳第1火口から北方向と東方向への分布も認められるが、噴出物の主体は南西方向へ分布する火山灰である。これは、12月9日夕方から夜にかけての強い北東風の影響を受けたものと考えられる。その後、12月10日は南風、11日には西風が卓越しており、こうしたことは火山灰の分布と調和している。12月10日の調査で中岳第1火口南西側の監視所付近では約2.7kg/m<sup>2</sup>、さらに西方へ1.2km離れた山上広場付近でも約2kg/m<sup>2</sup>の降灰が確認された。火山灰の各等重量線が囲む面積と重量との関係から、このイベントによる火山灰の総量は約7万トンと概算された。12月9日~11日の活動による噴出物の大部分は砂サイズの火山灰であるが、スコリア質火山弾の放出も認められた。この火山弾は北西~南西側火口縁で明瞭であるが、山上広場周辺にも散在しており、中岳第1火口から南西へ4km付近まで追跡することができた。火山弾は中岳第1火口の西北西縁においては地面を埋めるほどの密度で堆積しており、火口から西南西へ1.2km離れた山上広場でも径3~4cmに達するスコリアが確認された。この期間に噴出した火山灰は火口から南西方向に主軸をもって分布しており、スコリアの分布もそれと調和しているが、スコリアの最大粒径の分布主軸は西北西方向である。この活動で噴出した火山弾は非常によく発泡したスコリアであり、下面は扁平で上面が膨らんでいるものが多い。また、西北西火口縁では全体がつぶれて扁平になった火山弾も観察され、最大のものの長径は45cmに達していた。

2014年11月25日~29日および12月9日~11日の活動で噴出した火山灰には黒色岩片や結晶片も含まれるが、構成物の大部分は黒色から褐色を呈する発泡したガラス粒子である。活動初期の11月25日~26日頃に噴出した火山灰中には結晶化の進んだ黒色ガラス粒子が多かったが、12月9日~11日火山灰では褐色の光沢ガラス粒子の割合が明らかに増加していた。ガラス粒子の形態としては、黒色ガラス片では多面体型、褐色ガラスではスコリア型が多いように見える。また、褐色から淡褐色ガラスの一部には、低粘性のマグマが引き伸ばされて形成された紡錘型のガラス片やペレーの毛も認められた。

阿蘇火山中岳における2014年11月25日以降の活動は、第1火口底のほぼ中央付近に形成された直径20~30m程度の火孔(気象庁によって141火孔と命名)から火山灰を継続的に放出する灰噴火を主体としているが、間欠的にスコリア質火山弾を放出するストロンボリ式噴火も同時に発生している。前回の本格的な活動である1989~1990年の噴火では、噴火開始からストロンボリ式噴火に至るまで数ヶ月の期間を有している。一方、今回の活動では噴火開始直後からストロンボリ式噴火が認められたことが大きな特徴である。

キーワード: 阿蘇火山, 中岳, 灰噴火, ストロンボリ式噴火, 噴出物

Keywords: Aso Volcano, Nakadake, ash eruption, strombolian eruption, eruption deposits

## 阿蘇中岳 2014-2015 年火山灰の色調の時間変化 Temporal color variations of volcanic ashes from Aso Nakadake 2014-2015

宮城 磯治<sup>1\*</sup>; 下司 信夫<sup>1</sup>; 星住 英夫<sup>1</sup>; 山崎 誠子<sup>1</sup>  
MIYAGI, Isoji<sup>1\*</sup>; GESHI, Nobuo<sup>1</sup>; HOSHIZUMI, Hideo<sup>1</sup>; YAMASAKI, Seiko<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 産業技術総合研究所・地質調査総合センター  
<sup>1</sup> Geological Survey of Japan, AIST

★意義★ 阿蘇中岳の第一火口では、2014年11月25日から噴火活動が活発になり、火山灰を放出する連続噴煙や、赤熱した岩塊を間欠的に吹き上げるストロンボリ式噴火が続いており(2015年2月10日現在)、新鮮なマグマ試料を頻繁に入手することが可能である。本研究では火道頂部および噴煙内におけるマグマの脱水・酸化プロセスの時間変化を把握する目的で、火山灰の色調に注目した。

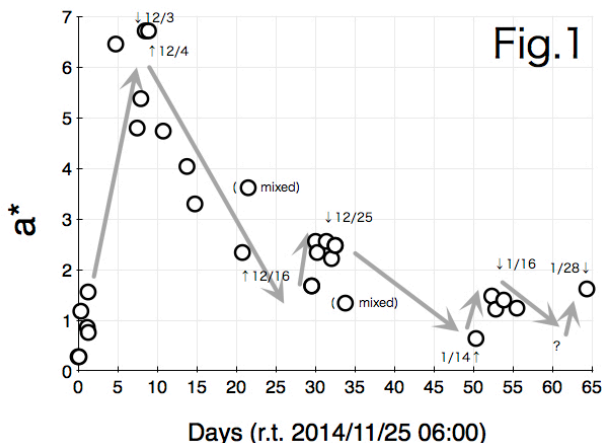
★観測内容★ 火山灰の細粒成分(シルトサイズあるいはそれ以下)を水簸により分離し色を土色計(Minolta SPAD-503)で測定した。さらに、一部の試料については篩分けた粗粒成分(粒径0.25-0.5mm)を瑪瑙乳鉢で約30分微粉化したものに対しても色の測定を行なった。色測定結果はCIE(1976)のL\*a\*b\*色空間で報告する。

★結果★ 火山灰の細粒成分のa\*値(赤さの示標)には系統的な経時変化が観察された(Fig.1)、大局的には、観察期間の初めにa\*値は大きく増加し、それ以降は振動しながら減少するように見える。具体的には、2014年11月25日から12月4日頃にかけてa\*値は大幅増(0.3→6.7)、12月24日にかけて大幅減(6.7→1.7)、12月27日頃にかけて微増(1.7→2.5)、2015年1月14日に極小(2.5→0.6)、1月16日にかけて微増(0.6→1.5)、1月19日にかけて徐々に低下(1.5→1.2)、そして1月28日には微増(1.2→1.6)した。これに対し火山灰の粗粒成分は、細粒成分のa\*値が11月25日から12月4日頃にかけて大幅に増加したことは逆に、粗粒成分のa\*値は0.94(2014年11月29日)から0.44(12月3日)へ低下した。

★考察★ 火山灰の色調は、火山灰に含まれる鉄分の空気による酸化や(宮城・東宮, 2002, 火山)、脱水素による酸化(Miyagi et al., 1999; Geochem. J.)を反映する。噴煙は、多量の空気を取り込むと温度が低下するため、鉄分を酸化できるほど高温(300℃?)な時間は限られる。そのため、噴煙内における火山灰粒子の酸化作用は比表面積が大きな細粒成分に対して選択的に起こる。一方脱水素による酸化は空気が流入しない火道内の、破碎前のマグマにも対しても起こり得る。そのため、火山灰の細粒粒子の色調は噴煙の温度を、また粗粒粒子の色調は噴出前のマグマの酸化状態を反映すると考えらる(宮城・他, 2010, 火山)。2014年11月末から12月上旬にかけて火山灰の細粒成分が酸化的な色調へと変化し、逆に粗粒成分は還元的な色調へと変化した観察事実は、噴煙温度の上昇と地下からの還元的なマグマ供給量の増加を反映していると解釈できる。12月中旬以降の火山灰には発泡した淡褐色ガラス粒子が比較的多量(>40%)含まれるため噴煙は高温だと期待される。ところが細粒成分のa\*値は低い値を維持しているため、期待と違って噴煙温度が高温でないか、あるいは噴煙内での火山灰粒子の酸化を阻害する何らかのメカニズムの存在が示唆される。

★謝辞★ 試料採取にあたっては、気象庁および京都大学火山研究センターの協力をいただいた。

キーワード: 阿蘇, 中岳, 火山灰, 色, 酸化, 温度  
Keywords: Aso, Nakadake, volcanic ash, color, oxidation, temperature



## 阿蘇中岳 2014 年 11 月以降の噴出物の岩石学的記載 Petrographic description of volcanic products from Aso Nakadake, November 2014 and later

長谷中利昭<sup>1\*</sup>; 磯部博志<sup>1</sup>; 杉山芙実子<sup>1</sup>; 永田紘樹<sup>3</sup>; 永松允積<sup>4</sup>; 森康<sup>2</sup>  
HASENAKA, Toshiaki<sup>1\*</sup>; ISOBE, Hiroshi<sup>1</sup>; SUGIYAMA, Fumiko<sup>1</sup>; NAGATA, Koki<sup>3</sup>; NAGAMATSU, Yoshizumi<sup>4</sup>; MORI, Yasushi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 熊本大学大学院自然科学研究科, <sup>2</sup> 北九州市立自然史・歴史博物館, <sup>3</sup> 阿蘇ジオパーク推進協議会, <sup>4</sup> 熊本市北区  
<sup>1</sup>Graduate School of Science & Technology, Kumamoto University, <sup>2</sup>Kitakyushu Museum of Natural History & Human History,  
<sup>3</sup>Aso Geopark Promotion Council, <sup>4</sup>Kita-ku, Kumamoto City

阿蘇中岳は 2014 年 11 月 25 日にスコリア噴出を伴うマグマ噴火をした。今回の噴火は早いステージでストロンボリ式噴火が始まったことが特徴で、11月26日夜?27日には直径最大 30cm のスコリアを火口周辺に放出した。11月27日に火口縁で採集されたスコリアと火山灰の岩石学的な記載と化学組成を報告する。

入手した約 5cm 径のスコリアの顕微鏡下の特徴は、多孔質で、球形の気泡に富み、それらが互いに接しており、気泡間の隙間や壁に斑晶、微斑晶および石基が見られた。斑晶鉱物、微斑晶鉱物ともに自形のかんらん石、単斜輝石、斜長石を含む。さらに反応縁を持つ斜方輝石斑晶をまれに、斑晶?微斑晶サイズの不透明鉱物をわずかに含む。石基は淡褐色のガラスが大部分を占め、ハイアロピリティック組織を示す。全岩化学分析の結果、MgO が少ない玄武岩質安山岩であることがわかった。比較のために火口北西で採集された 1989 年頃のスコリア転石を記載、分析した。これらも多孔質であるが、今回噴火のスコリア試料に比べると気泡がやや少なく、気泡同士が接していない。斑晶鉱物、微斑晶鉱物には自形のかんらん石、単斜輝石、斜長石を含む。反応縁を持つ斜方輝石斑晶、微斑晶?石基サイズの不透明鉱物をわずかに含む。斜長石の中には虫食い状組織を示すものがあり、虫食い部分はガラスが占めている。石基はインターサータル組織を示し、マイクロライトと濃褐色ガラスが占める。MgO が少ない玄武岩である。

火口縁で 11 月 27 日に採集された火山灰はかんらん石、単斜輝石、斜長石を含み、観察した中には斜方輝石は認められなかった。斜長石の中には虫食い状組織を示すものもいくらか含まれていた。鉱物片に石基組織が付着した火山岩片も多く認められた。発泡しているものは少なかった。今回噴出したスコリアの石基に見られた淡褐色ガラス片も含まれていたが数は少なく、濃褐色ガラス片あるいはマイクロライトを含む火山岩片が多く観察された。新鮮な火山岩片だけでなく変質した火山岩片、鉱物片もいくらか含まれていた。

三好ら (2005) はカルデラ形成後、中央火口丘群で活動したマグマを化学組成、鉱物組合せなどが異なる 7 種類のグループに分類した。今回分析したスコリア試料はそれらのうちのグループ VII (斜方輝石かんらん石単斜輝石玄武岩?玄武岩質安山岩) に含まれる。グループ VII の火山岩は主に中岳、高岳、往生岳、杵島岳、米塚などに産し、単斜輝石の反応縁を持つ斜方輝石や虫食い状の斜長石が特徴的に観察される。今回観察したスコリア試料にもまれではあるが、反応縁を持つ斜方輝石が認められたが。虫食い状の斜長石は認められず、火山灰粒子にのみ認められた。阿蘇の火山噴出物の岩石学的特徴は、深部から供給されるマフィックマグマと浅部に存在するフェルシクマグマ溜りが反応するマグマ供給系モデルを考えれば、説明が可能である。

キーワード: 阿蘇火山, 中岳, 噴火, 岩石記載, 化学組成

Keywords: Aso volcano, Nakadake, eruption, petrographic description, chemical composition

## 阿蘇火山の火口湖活動から噴火への推移に伴う火山ガス組成変化 Variation of volcanic gas composition during transition from crater lake activity to eruption at Aso volcano, Japan

篠原 宏志<sup>1\*</sup>; 下司 信夫<sup>1</sup>; 横尾 亮彦<sup>2</sup>; 風早 竜之介<sup>1</sup>

SHINOHARA, Hiroshi<sup>1\*</sup>; GESHI, Nobuo<sup>1</sup>; YOKOO, Akihiko<sup>2</sup>; KAZAHAYA, Ryunosuke<sup>1</sup>

<sup>1</sup>産総研、活断層・火山研究部門, <sup>2</sup>京都大学大学院理学研究科

<sup>1</sup>Geological Survey of Japan, AIST, <sup>2</sup>Graduate School of Science, Kyoto University

阿蘇火山中岳第一火口は平常時には火口湖(湯だまり)を形成しており、火口湖の湖面から放出されている火口湖ガスの放出と南側火口壁の高温噴気地帯から放出されている噴気ガス放出が共存している。阿蘇火山は2013年の初期から火口湖の体積が減少始め、2013年末にはほぼ火口湖が失われ、高温の火山ガスを放出する火孔が第一火口の中央に生じた。その後2014年11月に中央火孔において噴火活動が始まり、以降火山灰放出とストロンボリ式噴火が繰り返されている。我々は、2003年以降噴煙観測装置を用い湯だまり及び高温噴気孔から放出される火山ガス成分の組成を繰り返し測定してきた。また、噴火発生以降は噴火(火山灰)とともに放出された火山ガス組成の定量も測定することができたので、それらの結果を報告するとともに、湯だまりの活動から噴火に至る過程での、火山ガスの供給過程の変化について検討を行う。

火口湖が安定に存在する時期のガス組成変動の解析に基づき、火口湖ガスと高温噴気ガスはそれぞれ特徴的組成を持つが、共通のマグマ性ガスを起源として生成し、湯だまり直下の熱水系における分別で相互に影響を受けているとモデル化してきた。特に、火口湖ガスは $CO_2/SO_2=1$ 程度の低い値を持つのに対し、高温噴気は $CO_2/SO_2=5$ 以上の高い値を持つため、マグマ性ガスの $SO_2$ の一部が熱水系で除去された後に噴気ガスとして放出された、と解釈してきた。しかし、2013年以降の湯だまりの減少を経て2014年の噴火後まで、湯だまりおよび湯だまりが枯渇した後の噴気孔から放出されるガスは常に $CO_2/SO_2=1$ 程度の低い値を持つのに対し、高温噴気も $CO_2/SO_2=5$ 程度の高い値を放出し続けた。特に、火山灰を連続的に放出する灰噴火中の火山ガス組成も $CO_2/SO_2=1$ であるため、この組成が熱水系での分別の結果とは考えにくく、マグマから放出されたガス組成そのものであると推定される。この連続灰噴火に伴い放出された火山ガス組成から推定されるガス組成のみかけの平衡温度は約 $1000^\circ C$ であり、組成の分別がないことを指示する。それに対し、南壁の火山ガス組成から推定される見かけの平衡温度は、湯だまり安定期でも $500^\circ C$ 以上であり、湯だまり枯渇後には最高で約 $950^\circ C$ に達していた。そのため南壁の火山ガスもマグマから放出後に上昇に伴う冷却の影響を受けているものの、顕著な分別は生じていないと推察される。これらの結果は、1) 火口中央から放出される火山ガスと南壁火山ガスはそれぞれマグマから放出されたガス組成を保持しているが異なる組成を持つ事、および2) それぞれの火山ガス放出条件には湯だまり安定期から噴火期に至るまで顕著な変化はない事が示唆される。阿蘇火山の湯だまりでは火口底堆積物に新鮮な見た目を持つガラス粒子が含まれている(Miyabuchi and Terada, 2009)。また、湯だまり減少過程で生ずる土砂分等の噴出物中にも新鮮なガラス粒子が見つかることから、火口直下浅部において溶融マグマからの火山ガス放出が生じている事が示唆されている。火山ガス放出条件に顕著な変化が見られない事は、火山灰から示唆された火口直下浅部溶融マグマの存在と整合的である。

キーワード: 火山ガス, 火口湖, 噴火, 阿蘇火山

Keywords: Volcanic gas, Crater lake, eruption, Aso volcano



## 阿蘇山における長周期微動の規模別頻度分布にみられる段階的变化 Step-wise temporal change in the frequency-amplitude distribution of volcanic long period tremors at Aso volcano

三反畑 修<sup>1\*</sup>; 小原 一成<sup>2</sup>; 前田 拓人<sup>2</sup>; 高木 涼太<sup>2</sup>; 佐竹 健治<sup>2</sup>  
SANDANBATA, Osamu<sup>1\*</sup>; OBARA, Kazushige<sup>2</sup>; MAEDA, Takuto<sup>2</sup>; TAKAGI, Ryota<sup>2</sup>; SATAKE, Kenji<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東京大学 大学院理学系研究科地球惑星科学専攻, <sup>2</sup> 東京大学地震研究所

<sup>1</sup>Department of Earth and Planetary Science, University of Tokyo, <sup>2</sup>Earthquake Research Institute, The University of Tokyo

### はじめに

阿蘇山は頻繁に火山噴火を繰り返している、国内でも有数の活動的火山である。特に周期 15 秒の長周期微動は阿蘇山特有の現象であり、火口直下浅部のクラック状の火道内部において、ガスや火山灰などの高温の火山性流体と地下水の熱水反応が引き起こす圧力擾乱が、火山性流体と火道壁との相互作用により伝わり、クラック状の火道が固有振動を起こすことによって、長周期微動が発生することが明らかにされている。今回我々は、2014 年 11 月 25 日のストロンボリ式噴火を含む約 3 年間の長周期微動の活動をモニタリングし、その活動が段階的に時間変化していることを見出した。

### 長周期微動活動モニタリング

まず、近傍の広帯域地震計記録の波形相関性を用いて阿蘇山からの長周期微動を検出し、震源決定を行った。防災科学技術研究所の広帯域地震観測網 F-net のうち、九州地方 7 観測点で記録された 2011 年 10 月初旬から 2014 年 12 月下旬まで上下動成分の広帯域記録を用い、以下のような自動処理によって阿蘇山を震源とする長周期微動を系統的に検出した。まず、阿蘇山に近い砥用 (N.TMCF) 観測点において 10-20 秒周期帯のエンベロープ振幅が極大となる波群のうち、閾値を超えるものを微動候補として検出した。次に、各微動候補について、F-net 観測点間の波形相関から得られる到達時間差を求め、位相速度を 3.5km/s に仮定したグリッドサーチにより震源を決定した。グリッドサーチにより到達時間差を十分に説明できた震源のうち、その場所が阿蘇山中央火口周辺に推定された波群を阿蘇山の長周期微動として最終的に選別した。

検出された微動活動は、2014 年の噴火に対応して急激に変化する様子が確認された。まず、2014 年の 8 月ごろまでは、集中的に長周期微動が発生することが時折あったが、比較的静穏な期間が続いた。2014 年 8 月下旬以降に活動が急激に活発化し、短い微動停止期間の後の最大振幅の急激な上昇を繰り返し、段階的に振幅レベルが上昇した。その後も高い振幅レベルの微動が断続的に発生していたが、11 月 25 日のストロンボリ式噴火の約 3 時間前には振幅レベルは大きく低下した。噴火直後には再び振幅の大きな微動が頻発したが、その振幅レベルは噴火の 5、6 日後には急激に低下した。すべての期間で合計 65,942 回の長周期微動を検出したが、そのうち 98.2% (64,786 個) が噴火前後 123 日に発生した。

### 規模別頻度分布とその時間変化

さらに詳しく長周期微動活動の特徴を調べるため、長周期微動の規模別頻度分布を調べた。本研究では、2014 年 8 月以降の阿蘇山の長周期微動の活動期を、段階的な振幅レベルの変化と 11 月 25 日のストロンボリ式噴火を基準に 5 つの短い期間に分割し、各期間における規模別頻度分布を求めた。その結果、(1) 噴火前の 3 つの期間はいずれも指数分布を示すが、特徴的振幅スケールが段階的に上昇すること、(2) 噴火直後の 5、6 日間は一時的にベキ乗分布を示すこと、(3) その後の期間では、再び指数分布を示すことがわかった。

これまでの複数の火山における火山性微動の規模別頻度分布を調べた研究では、火山性微動の規模別頻度分布はベキ乗分布よりも指数分布に近い分布を示すことが指摘されており、その特徴的振幅スケールは火道やマグマ供給源のサイズに関係すると考えられていた。しかし、本研究では、阿蘇山の長周期微動の特徴的振幅スケールは、段階的に変化し、さらにストロンボリ式噴火によって特徴的振幅スケールが失われるといった時間変化を示すことが初めて明らかになった。このような長周期微動活動の時間変化は、阿蘇山直下の火道や熱水系の状態の変化に密接に関連していると考えられるため、長周期微動の規模別頻度分布の時間的推移を調べることにより、阿蘇山の火山噴火予測につながる可能性があることが示された。

キーワード: 火山性微動, 長周期微動, 規模別頻度分布, ストロンボリ式

Keywords: Frequency-amplitude distribution, Volcanic tremor, Long period tremor, Strombolian eruption

## 映像と現地調査に基づく御嶽山2014年噴火の推移 Eruption sequence of Ontake-san (Ontake Volcano) 2014 eruption, based on the images and the field survey.

及川輝樹<sup>1\*</sup>; 吉本充宏<sup>2</sup>; 中田節也<sup>3</sup>; 前野深<sup>3</sup>; 石塚吉浩<sup>1</sup>; 竹下欣宏<sup>4</sup>; 小森次郎<sup>5</sup>; 嶋野岳人<sup>6</sup>; 石峯康浩<sup>7</sup>

OIKAWA, Teruki<sup>1\*</sup>; YOSHIMOTO, Mitsuhiro<sup>2</sup>; NAKADA, Setsuya<sup>3</sup>; MAENO, Fukashi<sup>3</sup>; ISHIZUKA, Yoshihiro<sup>1</sup>; TAKESHITA, Yoshihiro<sup>4</sup>; KOMORI, Jiro<sup>5</sup>; SHIMANO, Taketo<sup>6</sup>; ISHIMINE, Yasuhiro<sup>7</sup>

<sup>1</sup>産総研 活断層・火山研究部門, <sup>2</sup>山梨県富士山科学研究所, <sup>3</sup>東京大学地震研究所, <sup>4</sup>信州大学教育学部, <sup>5</sup>帝京平成大現代ライフ学部, <sup>6</sup>常葉大学社会環境学部, <sup>7</sup>国立保健医療科学院健康危機管理研究部

<sup>1</sup>GSJ/AIST, <sup>2</sup>Mount Fuji Research Institute, Yamanashi Prefectural Government, <sup>3</sup>ERI, Univ. Tokyo, <sup>4</sup>Education, Shinshu Univ., <sup>5</sup>Teikyo Heisei Univ., <sup>6</sup>Social and Environmental, Tokoha Univ., <sup>7</sup>Department of Health Crisis Management, National Institute of Public Health

御嶽山2014年噴火の推移を、山頂部を含めた現地調査、山小屋関係者等への聞き取り調査とあわせて噴火時撮影された写真、ビデオなどの映像資料とつぎあわせて復元した。

2014年噴火前の、前兆としては、地元の山岳ガイド、山小屋関係者などが、気が付くような噴気活動の増大や異常な火山ガス臭などは認められなかった。噴火は、11時52分頃に大きな音もなく発生した。噴火は、最初は地獄谷内の火口から発生し、その後東側の火口が開いた。噴火発生と同時に低温の火砕流（火砕サージ）が発生し、火口から南側（地獄谷方面）へ約2km、北西側（兵衛谷方面）へ約1.5km、東側（八丁たるみ方面）へ約1km、北側（一ノ池方面）へ約600m流れた。映像から火砕流は複数回発生したことが明らかである。火砕流の温度は、証言などから山頂付近では100℃は超えないと考えられるが、場所により変化がありそうである。火砕流の発生と長径50cmを超える噴石が山頂部に降りそそいだが、12:20頃には噴石もだいぶ少なくなっており、徐々に量が少なくなっていた。しかし、12:35ごろでも火口から北側約1kmの二ノ池まで達する噴石が落ちていた。火砕流堆積物を含め初期の噴出物は水滴などを含まない状態であったが、少なくとも12:20頃から泥雨の降下が始まった。気象庁によるとそのころ噴煙高度が最大となった。その後、16:00頃から地獄谷の火口から直接溢れ出したラハールが流れ下っているのが報道の写真から読み取れる。

このような噴火の推移過程から、次のような噴火推移モデルが考えられる。1) 熱水溜まりから多量のフラッシュ蒸気（減圧沸騰した蒸気など）が発生・爆発、2) その爆発により周囲の母岩を破碎し、それを多量に巻きこんだ水蒸気まじりの噴煙が火砕流として流下、3) 重い岩片を落下させ密度が軽くなった噴煙が上昇、膨張し冷えた噴煙の中で水蒸気が水滴となり降下、4) 最後にフラッシュ蒸気になりきらなかった熱水が火口から溢流。

山頂調査は、火山噴火予知連絡会御嶽山総合観測班地質チームの山頂調査チームが2014年11月8日実施した。山頂部での噴出物の厚さは最大35cmであったが、噴火直後は局所的に80cm程度の厚さに達したところもあったようである。噴出物は不淘汰で数cm大の礫を多く含む、ゆるく成層した粘土質火山灰層からなり、厚さは側方に大きく変化する。これらの特徴から、山頂部の噴出物は火砕流として運搬定置してものが大部分であると判断される。確認できた噴石は、数十cm大のものが多数あり、30-20cm大の噴石は火口から北方向に1.3kmまで到達していた。なお、調査中は、火口からは白色噴煙が勢い良く放出されていたが、火山ガス臭はきつくなかすカラスが山頂付近を飛んでいた。噴煙から酸性の水滴が五月雨的に落ちていたこと、地獄谷下流の濁川の流れが泥まじりの灰色であったことなどから、噴火後一ヶ月以上がたっても、火口から熱水が溢れ出していたと考えられる。

キーワード: 御嶽山, 御嶽火山, 噴火推移, 映像, 聞き取り調査

Keywords: Ontakesan, Ontake Volcano, eruption sequence, recording images, interviews

## 御嶽山の2014年噴火における火山岩塊の数値的研究 Numerical Study of Clast Transport of 2014 Ontake Eruption, Japan

常松 佳恵<sup>1\*</sup>; 金子 隆之<sup>2</sup>; 石峯 康浩<sup>3</sup>; 吉本 充宏<sup>1</sup>; 藤井 敏嗣<sup>1</sup>; 山岡 耕春<sup>4</sup>  
TSUNEMATSU, Kae<sup>1\*</sup>; KANEKO, Takayuki<sup>2</sup>; ISHIMINE, Yasuhiro<sup>3</sup>; YOSHIMOTO, Mitsuhiro<sup>1</sup>;  
FUJII, Toshitsugu<sup>1</sup>; YAMAOKA, Koshun<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 山梨県富士山科学研究所, <sup>2</sup> 東京大学地震研究所火山噴火予知研究推進センター, <sup>3</sup> 国立保健医療科学健康危機管理研究部, <sup>4</sup> 名古屋大学大学院環境学研究科

<sup>1</sup>Mount Fuji Research Institute, Yamanashi Prefectural Government, Japan, <sup>2</sup>Earth Research Institute, University of Tokyo, Japan, <sup>3</sup>National Institute of Public Health, Japan, <sup>4</sup>Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University

御嶽山の2014年噴火において放出された火山岩塊の火口における噴出速度や堆積の際の条件などを数値的に推定した研究について発表を行う。2014年の9月27日に発生した水蒸気噴火では57名の方が亡くなられ、6名の方の行方がまだ分かっていない。亡くなられた方のうち55名は一般的に噴石と呼ばれる火山岩塊が当たったことによる損傷死であったと見られている。本研究では数値シミュレーションと火山岩塊の堆積分布から、岩塊が火口から放出された際の速度や堆積時のエネルギーなどを推定した。数値モデルには複数の粒子を扱い、粒子同士の衝突も考慮できるモデルを利用し、(1)完全な弾道を描く場合、(2)噴煙によって粒子が巻き上げられる場合、(3)プラストに伴って粒子が放出される場合の3つの場合を考えて計算を試みた。計算結果とビデオなどを照らし合わせて考えると、(3)の場合がもっとも現実的であると推定される。発表では、粒子が着地する際に保持するエネルギーの大きさやそれによって想定される被害の大きさなどについても議論したい。このような研究はシェルターの作成や噴火が迫ったときの避難区域の設定にも役立つことが期待される。

キーワード: 数値モデル, 防災, 火山岩塊, 噴石, 御嶽山, シェルター

Keywords: Numerical Model, Hazard mitigation, Volcanic clast, Ontake, Shelter

## 積分モデルによる御嶽山2014年噴火での火砕流発生条件推定の試み Theoretical Analysis on the Conditions for Generating Pyroclastic Density Current during 2014 Eruption of Ontake Volcano

石峯 康浩<sup>1\*</sup>; 及川 輝樹<sup>2</sup>; 吉本 充宏<sup>3</sup>  
ISHIMINE, Yasuhiro<sup>1\*</sup>; OIKAWA, Teruki<sup>2</sup>; YOSHIMOTO, Mitsuhiro<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 国立保健医療科学院, <sup>2</sup> 産業技術総合研究所, <sup>3</sup> 山梨県富士山科学研究所

<sup>1</sup>National Institute of Public Health, <sup>2</sup>National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, <sup>3</sup>Mount Fuji Research Institute, Yamanashi Prefectural Government

浮力フラックスが増加する乱流プルームに関する定常一次元の積分モデルを用いて、小規模な水蒸気爆発に伴う火砕流の発生条件を推定する方法を考案し、2014年9月に発生した御嶽山噴火に適用して検討した結果を発表する。2014年9月27日に御嶽山で発生した火山噴火では、発生直後に噴出した噴煙が崩壊して、火砕流となって山腹に沿って下方に流れ下がったことが、国土交通省が設置した監視カメラに記録されている。このような振る舞いは、主に噴煙から火山灰を降らせる噴火を起こした同火山の1979年噴火とは対照的であり、2つの噴火には、発生時の条件に何らかの違いがあったことが予想される。そこで、筆者らが火山噴煙の特徴的な振る舞いを適切に表現するために提案した浮力フラックスが増加する乱流プルームに関する定常一次元の積分モデルを利用して、噴煙柱が崩壊する物理条件について検討した。その結果、火口半径の1/3乗と火口直上での噴煙の密度に比例し、火口からの噴煙の噴出速度の2/3乗ならびに火口の高さにおける噴煙と大気の温度差の2/3乗に反比例する定数が大きくなるほど、安定に上昇するプルームが形成されにくくなり、火砕流が発生しやすくなることを導くことができた。この結果を御嶽山の噴火に適用すると、初期密度が大きかったことが火砕流の発生に大きく寄与したことが推測される。なぜなら、野外調査によって、1979年噴火と2014年の噴火では火口半径ならびに初期温度には大きな差異がないことが示されている半面、今回の噴火では1979年の噴火とは異なる火口から火口が形成された直後に最も大きな噴火が発生していることから、比較的、大量の周囲の岩体を破壊して巻き込んでいる可能性が指摘されているためである。

キーワード: 御嶽山, 噴煙柱崩壊, 火砕流, 積分モデル

Keywords: Ontake volcano, eruption column collapse, pyroclastic density current, integral model

## 2014年御嶽山噴火に伴う地震活動の時空間発展 Spatial temporal evolution of seismicity before and after the 2014 phreatic eruption of Mount Ontake

加藤 愛太郎<sup>1\*</sup>; 寺川 寿子<sup>1</sup>; 山中 佳子<sup>1</sup>; 前田 裕太<sup>1</sup>; 堀川 信一郎<sup>1</sup>; 松廣 健二郎<sup>1</sup>; 奥田 隆<sup>1</sup>  
KATO, Aitaro<sup>1\*</sup>; TERAKAWA, Toshiko<sup>1</sup>; YAMANAKA, Yoshiko<sup>1</sup>; MAEDA, Yuta<sup>1</sup>; HORIKAWA, Shinichiro<sup>1</sup>; MATSUHIRO, Kenjiro<sup>1</sup>; OKUDA, Takashi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 名古屋大学大学院環境学研究科

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

On 27 September, 2014, Mount Ontake caused a phreatic explosion, spraying ash, gas and debris on the surrounding areas. The height of the ash column reached around 7000 m. Earthquake catalog constructed routinely shows that a micro-seismicity (Magnitude <1.0) beneath the summit sharply increased around two weeks before the eruption. However, the preparation stage of the phreatic eruption is not well constrained. In order to understand the physical process associated with the phreatic eruption, we relocated earthquakes including two low-frequency earthquakes beneath the summit using double differential travel times extracted from waveform cross-correlation method, and revealed a spatial and temporal evolution of seismicity applying the matched filter technique to continuous waveform data from 23 August to 30 September, 2014.

The relocated hypocenters aligned along a vertically dipping plane, oriented to NWN-SES. The size of the vertical plane was approximately 0.5 km length and 1 km width. The distribution of hypocenters well matched with alignments of volcanic vents identified by remote sensing images (GSI). Earthquakes before the eruption were tightly clustered and located at relatively deep depths. In contrast, earthquakes after the eruption occurred at depths shallower than the preceding seismicity by around 0.5 km. The vertical alignment of hypocenters implies an intrusion of vapor/gas into volcanic vents near the summit.

Using these relocated hypocenters as template events, we searched similar waveforms to the template events from continuous waveform data. The total number of the newly detected events was greater than 2600. The newly detected seismicity initiated from the end of August and gradually increased to the middle of September, 2014. Following this phase, the seismicity had a peak on the middle of September, and kept the relatively high rate, while slightly decaying. The number of low-frequency earthquakes increased, having a delay of about 5 days from the peak of regular earthquakes. About ten minutes prior to the eruption, the hypocenters migrated to shallower depths and expanded to both NWN and to SES directions, accompanying with typical volcanic tremors. The amplitudes of volcanic tremors increased at an accelerated rate before the eruption. These observations suggest that pressurized vapor/gas rapidly intruded into shallow conduits during final ten minutes, resulting in the 2014 phreatic eruption.

## 2014年御嶽山噴火に伴う地震メカニズム解の時間変化 Temporal changes in earthquake focal mechanism solutions following the 2014 eruption of the Mt. Ontake volcano

寺川 寿子<sup>1\*</sup>; 加藤 愛太郎<sup>1</sup>; 山中 佳子<sup>1</sup>; 前田 裕太<sup>1</sup>; 堀川 信一郎<sup>1</sup>; 松廣 健二郎<sup>1</sup>; 奥田 隆<sup>1</sup>  
TERAKAWA, Toshiko<sup>1\*</sup>; KATO, Aitaro<sup>1</sup>; YAMANAKA, Yoshiko<sup>1</sup>; MAEDA, Yuta<sup>1</sup>; HORIKAWA, Shinichiro<sup>1</sup>; MATSUHIRO, Kenjiro<sup>1</sup>; OKUDA, Takashi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 名古屋大学・環境学研究科

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

2014年9月27日、御嶽火山で7年ぶりに水蒸気噴火が発生した。名古屋大学では御嶽山周辺域に稠密地震観測網を展開し、WINシステムの自動検出によるイベントリストに基づく再検出を行い、2012年5月以降、定常処理として詳細震源決定とP波初動の押し引きをデータとした地震メカニズム解の推定を行っている。通常、ほとんどの地震活動は、御嶽山の北東麓～東麓～南東麓で発生しているが、2014年8月31日ごろから、山頂直下で微小地震活動 ( $M < 1$ ) が継続して活発化する様子がとらえられた。本研究では、地震のメカニズム解と応力場の関係を分析することにより火山噴火過程を理解することを目指す。

まず、2012年5月～2014年7月までの定常処理で得られた地震のメカニズム解、約550個 ( $M > 1$ ) をデータとし、CMTデータインバージョン法 (Terakawa & Matsuura, 2008) により御嶽山周辺域の広域応力場を推定した。御嶽山周辺域は、西北西～東南東方向に最大圧縮軸を持つ横ずれ型の応力場で特徴づけられる。次に、微小地震のメカニズム解を安定的に推定するために、P波初動の押し引き分布だけでなく、P波とS波の振幅比をデータとして、Hardebeck & Shearer (2003) の手法により噴火火口付近で発生した地震、約70個のメカニズム解 (2014年9月から2015年1月) を推定した。これらのメカニズム解をFrohlich (1992) の方法で分類すると、噴火前は主として東西方向にT軸を持つ正断層型地震が卓越するのに対し、噴火後は東西及び南北方向にP軸を持つ逆断層型地震が卓越する。

次に、地震のメカニズム解と応力場の関係を分析するために、「地震は既存弱面でトラクションのせん断方向に発生する (Wallace, 1951; Bott, 1959)」という考えに基づき、観測されたすべりベクトルと応力場から期待される理論すべりベクトルの差を評価した。その結果、噴火前の正断層型地震の多くは広域応力場から期待されるものと逆センスであるが、噴火後の逆断層型地震は広域応力場に合うことがわかった (Terakawa et al., in prep.)。噴火前後の震源位置の違いに関しては、噴火後に震源深さが1 km程度浅くなる傾向が見られたが、震央位置の変化は少ない。

噴火前に東西伸長の正断層型地震が発生したことは、噴火火口の配列や震源詳細分布 (Kato et al., in prep.) に加え、噴火によるVLPイベントの波形インバージョンの結果 (前田ほか, 2014火山学会) とも調和的であり、御嶽山直下に存在する熱源による地殻の膨張と関係があると考えられる。また、噴火後の逆断層型地震の発生は、火山噴出物の放出に伴う地殻の収縮過程を広域応力場が支配する現象かもしれない。噴火前に広域応力場と非調和的な正断層型地震が発生したことは、火山噴火の準備過程に伴い山頂直下の深さ2-3 kmの狭い領域 (水平面積1 km × 1 km程度) で応力場が局所的に時間変化した可能性や、山頂直下に火山活動に起源を持つ応力場の不均質があることを示唆する。いずれにしても、山頂直下の正断層型地震は火山活動の活発化を示す1つの指標となる可能性がありそうである。

キーワード: 火山, 噴火, 火山構造的な地震, 地震のメカニズム解, 応力場

Keywords: volcano, eruption, VT earthquakes, focal mechanism, stress field

## 精密水準測量データから推定する御嶽2014年噴火の準備過程 (2006-2014) Preparatory process for the 2014 eruption in Ontake Volcano estimated from precise leveling (2006-2014)

村瀬 雅之<sup>1\*</sup>; 木股 文昭<sup>2</sup>; 宮島 力男<sup>2</sup>; 森 濟<sup>3</sup>; 山中 佳子<sup>4</sup>; 堀川 信一郎<sup>4</sup>; 松廣 健二郎<sup>4</sup>;  
大倉 敬宏<sup>5</sup>; 吉川 慎<sup>5</sup>; 井上 寛之<sup>5</sup>; 三島 壯智<sup>5</sup>; 園田 忠臣<sup>6</sup>; 松島 健<sup>7</sup>; 内田 和也<sup>7</sup>  
MURASE, Masayuki<sup>1\*</sup>; KIMATA, Fumiaki<sup>2</sup>; MIYAJIMA, Rikio<sup>2</sup>; MORI, Hitoshi, Y.<sup>3</sup>; YAMANAKA, Yoshiko<sup>4</sup>;  
HORIKAWA, Shinichiro<sup>4</sup>; MATSUHIRO, Kenjiro<sup>4</sup>; OHKURA, Takahiro<sup>5</sup>; YOSHIKAWA, Shin<sup>5</sup>;  
INOUE, Hiroyuki<sup>5</sup>; MISHIMA, Taketoshi<sup>5</sup>; SONODA, Tadaomi<sup>6</sup>; MATSUSHIMA, Takeshi<sup>7</sup>; UCHIDA, Kazunari<sup>7</sup>

<sup>1</sup> 日本大学文理学部地球システム科学科, <sup>2</sup> 公益法人地震予知総合研究振興会 東濃地震科学研究所, <sup>3</sup> 北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター, <sup>4</sup> 名古屋大学大学院環境学研究科, <sup>5</sup> 京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設火山研究センター, <sup>6</sup> 京都大学防災研究所附属火山活動研究センター, <sup>7</sup> 九州大学大学院理学研究院附属地震火山観測研究センター

<sup>1</sup>Department of Geosystem, College of Humanities and Sciences, NIHON University, <sup>2</sup>Tono Research Institute of Earthquake Science, Association, <sup>3</sup>Institute of Seismology and Volcanology, Faculty of Science, Hokkaido University, <sup>4</sup>Graduate School of Environmental Studies, University of NAGOYA, <sup>5</sup>Aso Volcanological Laboratory, Institute for Geothermal Sciences, Graduate School of Science, Kyoto, <sup>6</sup>Sakurajima Volcano Research Center, Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, <sup>7</sup>Institute of Seismology and Volcanology, Faculty of Sciences, Kyushu University

長野県・岐阜県境の御嶽山において2014年9月27日に水蒸気噴火が発生した。紅葉シーズンの休日の昼間であったため山頂付近では多くの登山者が噴火に遭遇し、多数の死傷者が発生する戦後最大の火山災害となった。

御嶽山では1979年の有史初の水蒸気噴火以降、1991年、2007年にも小規模な水蒸気噴火が発生している。2007年の水蒸気噴火前にはGNSSにより山体の膨張が検出され、山頂直下へのマグマ貫入が推定されたが、2014年噴火の前には顕著な変化は検出されなかった(国土地理院、2007・2015)。直前の活動のみから火山活動の高まりを読み取るのは大変難しいことである。したがって長期的な目で現在の火山活動をとらえることが必要である。本研究では2006年—2014年の水準測量データを用い、2014年噴火に至る噴火準備過程の解明を試みた。

名大・他では、御嶽山東麓に屋敷野路線(16km)、木曾温泉路線(7km)を設置し繰り返し水準測量をおこなってきた(木股・他、2004)。本研究の対象としている2006年以降でも、2006年4月、2007年4月、2008年5月、2009年4月に路線の大部分が測量されている。また2013年8月にも短い距離ではあるが既存路線の一部が測量された。

2014年噴火後に、10月15日~17日に既存路線の再測量をおこなった。また、より山頂に近い領域での上下変動の検出をめざし、御嶽ロープウェイ路線を新設した。

過去の水準測量結果と今回の結果を加えて、上下変動の時間変化を検討すると、2006年以降で変動パターンに変化が見られることが分かった。2006年以前は、東山麓の群発地震活動の活発な領域直上で隆起がとらえられていた(Kimata et al., 2004)。しかし、2006年以降は、山頂方向が隆起するようなパターンに変化した。2007年の噴火後も、その隆起は沈降に転ずることはなく、2009年まで隆起傾向が継続している。短い区間の測量ではあるが2013年の測量結果からも、山頂隆起が2013年まで継続していたことが示唆される。そして、2009-2014年で、2006—2009年に山頂方向が隆起した量に相当する量(約1cm)の山頂方向の沈降が検出された。

上下変動の時間変化から、以下のような火山活動の推移が示唆される。2006年に山頂直下へのマグマ貫入が発生し2007年噴火が発生した。しかし、噴火後も供給は継続し、山頂直下にマグマが存在し続ける状態が続いており、2014年噴火が発生した。2014年噴火後直下のマグマは収縮に転じ、2006年のマグマ貫入の以前のレベルまで収縮したと解釈される。

キーワード: 御嶽火山, 精密水準測量

Keywords: Ontake volcano, precise leveling

## UAV 搭載型火山砕屑物採取装置の開発と評価 Development and evaluation of UAV hanging type sampling device for pyroclastic materials

谷島 諒丞<sup>1\*</sup>; 久利 美和<sup>2</sup>; 永谷 圭司<sup>1</sup>; 吉田 和哉<sup>1</sup>  
YAJIMA, Ryosuke<sup>1\*</sup>; KURI, Miwa<sup>2</sup>; NAGATANI, Keiji<sup>1</sup>; YOSHIDA, Kazuya<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東北大学大学院 工学研究科, <sup>2</sup> 東北大学 災害科学国際研究所

<sup>1</sup>Graduate School of Engineering, Tohoku University, <sup>2</sup>International Research Institute of Disaster Science, Tohoku University

活火山が噴火すると、立入制限区域が設定されるため、有人での探査が困難になる。そこで、無人での火山探査が求められ、これまでに、日本やイタリアを中心に、無人火山探査ロボットの研究開発が行われてきた。その結果、画像情報やセンサによる環境情報は、取得できるようになりつつあるが、立入制限区域内に堆積した火山砕屑物を無人でサンプルリターンできるシステムはまだ実用化していない。そこで、本研究では、無人でのサンプルリターンを行う火山砕屑物採取システムの実現を目指し、そのシステムの中でも最も重要な、実際に地面に堆積している火山砕屑物の採取を行う火山砕屑物採取装置の開発と評価を行うことを目的とする。

本研究では、UAV からテザーで採取装置を吊るした構成の火山砕屑物採取システムを提案し、UAV で立入禁止区域内の目的地点までの移動を行い、目的地点で採取装置を着地させ、採取を行う設定とした。

火山砕屑物採取装置については、ローラ式を採用した。この方式は、回転する2本のローラによって地面を削ぎ、巻き込んで、火山砕屑物を採取するというものである。開発したローラ式火山噴出物採取装置は、縦180mm、横190mm、高さ130mm、重量830gと小型軽量で、モータでローラを回転させている。ローラの軸間距離は、巻き込んだサンプルの粒径に合わせて、平行リンクによって受動的に変化する構造となっており、また、ローラの表面には、溝をつけているため、様々な粒径のサンプルに対応できるようになっている。この装置では、最大で粒径25mmまでのサンプルをバケツに採取できる(ローラ間には最大で粒径65mmまで挟むことができる)。

また、このローラ式火山砕屑物採取装置を用いたサンプリング試験を研究室内の模擬フィールドにて実施し、採取装置の性能を評価した。模擬フィールドには、粒径4mm以下と4mm以上の富士砂、および、両者を混合したものをを用いた。評価については、採取できる重量、採取サンプルの粒径分布、採取できる深さの3つについて行った。試験結果より、この装置は、採取できる重量は粒径を問わず100g程度、採取できる深さは15mm程度であることがわかった。また、採取サンプルの粒径分布については、粗粒のみ、細粒のみの環境では、粒径分布がほぼ保持されるが、粗粒と細粒が混在する環境では、採取サンプルに占める粗粒の割合が高くなることがわかった。

さらに、火山砕屑物採取システム全体についてのフィールド試験を浅間山、桜島、伊豆大島で実施した。浅間山では、手動操縦でUAVを飛行させ、サンプルリターン可能であることを実証した。また、桜島、伊豆大島では、GPSを使った自動操縦でUAVを飛行させ、サンプルリターンを行った。特に、伊豆大島では、より実際の運用に近い、約300m離れた地点のサンプルリターンを実施し、採取に成功した。

キーワード: サンプリング, サンプルリターン, 火山砕屑物, マルチコプタ

Keywords: sampling, sample-return, pyroclastic materials, UAV



## 原子核乾板を用いた宇宙線ミュオンラジオグラフィによる火山観測技術の開発 Development of volcano observation technology by cosmic ray muon radiography with nuclear emulsion

西尾 晃<sup>1\*</sup>; 森島 邦博<sup>2</sup>; 中村 光廣<sup>3</sup>  
NISHIO, Akira<sup>1\*</sup>; MORISHIMA, Kunihiro<sup>2</sup>; NAKAMURA, Mitsuhiko<sup>3</sup>

<sup>1</sup>名古屋大学理学研究科, <sup>2</sup>名古屋大学高等研究院, <sup>3</sup>名古屋大学エコトピア科学研究所  
<sup>1</sup>Graduate school of science, Nagoya University, <sup>2</sup>Institute for advanced research, Nagoya University, <sup>3</sup>Ecotopia Science Institute, Nagoya University

宇宙線ミュオンラジオグラフィとは、宇宙からの2次宇宙線であるミュオンの物質中での透過率から、透過した物質の内部密度を調べる技術である。

ミュオンは典型的には数 GeV といったエネルギーをもって地表に到達する事が知られているが、密度 1g/cc の物質中を 1m 透過したときのエネルギーロスがおよそ 0.2GeV であることから、多くのミュオンは数 m から数十 m 進んだところで物質中で止まってしまう。

しかし宇宙線には数 TeV やそれ以上の高エネルギー成分が含まれており、火山体の透視には主にそれらが使われる。

密度 2g/cc の岩盤を透過してくるミュオンのフラックスを計算すると、天頂角 80° 方向で、 $10^{-6}$  本/s cm<sup>2</sup> sr と少ない。このため火山内部の観測には大面積のミュオン検出器で長期間観測をし、ミュオンの統計をためる事が必要である。

比較的安価で電源を必要とせず、サイズもコンパクト (図) な原子核乾板検出器は、大面積化にとって有利であり、多地点での同時観測も可能である。

また原子核乾板は他のエレクトロニックな検出器のようにリアルタイム性こそないが、乾板2枚を重ね、その相対位置をシフトさせる機構を与える事でミュオンの到達時間を ID し、火山体の内部構造の時間変化を追う事も可能である。

また長期観測に関しては、原子核乾板は写真フィルムと同じ原理でミュオンの飛跡を記録するため、冬場ならよいが、夏場に高温環境下に放置すると飛跡が消失したり、感度が低下するなどの問題が考えられた。

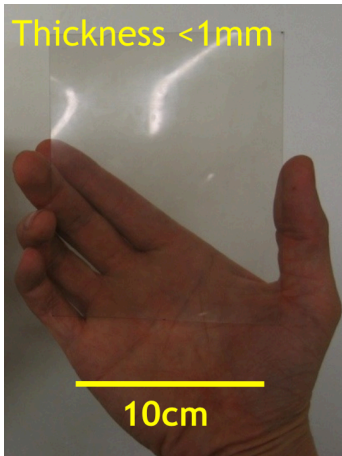
発表者らはこの問題に対処するため、長期安定性に優れた原子核乾板検出器の開発を行っており、本発表ではその詳しい内容について報告する。

キーワード: 火山, ミュオンラジオグラフィ, 原子核乾板  
Keywords: Volcano, Muon radiography, Nuclear emulsion

SVC45-17

会場:304

時間:5月28日 14:30-14:45



## 火山噴火観測を実現するための長距離ミュオグラフィの実証 Very Long Range Muography for Monitoring a Volcano Eruption

草茅 太郎<sup>1\*</sup>; 田中 宏幸<sup>1</sup>  
KUSAGAYA, Taro<sup>1\*</sup>; TANAKA, Hiroyuki<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学地震研究所  
<sup>1</sup>ERI, University of Tokyo

我々はミュオグラフィの射程を5 km までのばす事に成功した。これまでのミュオグラフィ観測は、山体に近い位置(火口から1 km 程度)からの測定に限られていたので、噴火中の火山でミュオグラフィを行うことが難しかった。噴火中の火口から1 km 程度の距離まで近づくことは一般的には大変危険で時として、2-3 km 程度まで噴石が飛来することもまれではない。

そこで、山体から遠い地点でもミュオグラフィ観測ができるよう、カロリメータ式ミュオグラフィ検出器を用いることを考えた。カロリメータ式検出器は、ミュオグラフィにおいてバックグラウンドノイズとなる電磁成分や空気中を散乱して対象を透過してきたかのような飛跡をつくる低エネルギーミュオンを選択的に除去できる特徴を持つ。従来は、山体に近づくことによって、山体そのものをバックグラウンドノイズ成分の遮蔽に利用してきたが、カロリメータ式検出器は遠方からの観測でも同様の機能を果たすと考えた。

カロリメータ式検出器の性能を実証する目的で、噴火中の火山の火口から5 km 離れた地点でのミュオグラフィ測定を実施した。対象となった火山は鹿児島県霧島市に位置する霧島山新燃岳である。観測結果からは、2011年の新燃岳噴火で形成された現火口底直下に空洞の存在を示唆する低密度領域が認められた。この低密度領域は、2011年噴火で噴出した溶岩の一部が火道を通して下方に落ち込んだことによって形成されたのではないかと考えられる。

今回のミュオグラフィ射程距離向上により、これまで近づくことができなかった噴火中の火山に対してもミュオグラフィを行えるようになったため、ミュオグラフィの噴火予知技術に向けた実用化が進んだと考えられる。

キーワード: 宇宙線, ミュオン, ミュオグラフィ, 火山, 噴火, 遠方  
Keywords: cosmic ray, muon, muography, volcano, eruption, remote

## 有珠山試掘孔における合成地震反射係数列の検討 A discussion on the synthetic reflection seismogram derived from the sonic log obtained at the academic drilling hole in

筒井 智樹<sup>1\*</sup>; 大島 弘光<sup>2</sup>; 谷瀬 正寿<sup>3</sup>; 八幡 正弘<sup>4</sup>  
TSUTSUI, Tomoki<sup>1\*</sup>; OSHIMA, Hiromitsu<sup>2</sup>; TANISE, Masazumi<sup>3</sup>; YAHATA, Masahiro<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 秋田大学, <sup>2</sup> 北海道大学, <sup>3</sup> 応用地質, <sup>4</sup> マイジオ  
<sup>1</sup> Akita University, <sup>2</sup> Hokkaido University, <sup>3</sup> Oyo Corporation, <sup>4</sup> MY-Geol

有珠山 2000 年火口周辺における試掘孔の物理検層記録から得られた合成地震波反射係数列について報告する。本研究は地震学的構造断面と実際の表層構造とを結びつけ、火山の表面活動の場である表層構造を実証的に理解することが目的である。活動火口近傍において地震探査結果と試掘孔との直接対比を行うことは、これまで行われていなかった。

有珠山 2000 年火口では 2009 年から 2013 年にかけて地震・火山噴火予知研究計画の一環として学術試掘を中心とする調査が行われた。試掘孔は 2000 年噴火にともなう隆起地帯の中で最大の隆起量を示した場所に設定され深度 500m に達した。また、2011 年には約 10 年間の構造変化の検出を目的とする反射法地震探査が試掘地点の周囲で行われている。試掘孔は地震探査測線の北端から約 350 m の地点に相当する。

試掘孔では深度 90m から 500m のすべての深度にわたり物理検層とコアサンプルの取得が行われた。物理検層ではサスペンション検層により弾性波速度 (P 波速度および S 波速度) が 1m ごとに計測された。さらに採取されたコアサンプルのうち代表的な岩相について乾燥状態および湿潤状態における弾性波速度および密度の計測が行われた。

試掘孔における物理検層結果から地震波反射係数列を作成するにあたり、弾性波速度ばかりでなく、密度を与える必要がある。しかしながら今回の検層結果では密度が直接測定で得られていないために、コアサンプル測定値から実験式を定義して検層で得られた各深度における弾性波速度からその深度における密度を推定した。

検層の対象となった深度は地下水面より下であったが、自然状態の実験式を用いて検層結果から密度を導いた。弾性波速度は P 波および S 波の両方とも検層で直接得られた値に 10 ポイント窓のメディアンフィルターを施したものを各深度における速度の代表値とした。また、地表面における P 波速度は近傍の地震探査結果を援用し、検層区間が始まる深度までは線形補完を行った。

上記のようにして得られた弾性波速度および密度を入力テーブルとして 0.134~0.422 秒の間の 0.288 秒間の合成地震波反射係数列を 1ms 間隔で得た。地震反射断面の往復走時 0.1~0.4 秒の区間の卓越周波数がおおよそ 24Hz であることを考慮して、合成地震波反射係数列に 12-48Hz のバンドパスフィルターを施したものを試掘孔周辺で行われた地震反射断面との対比に用いた。地震探査帯域の反射係数列中には 4 つの明瞭な反射イベント、0.161, 0.209, 0.279, 0.307 秒. が認められた。

合成地震波反射係数列で最大振幅を占める往復走時 0.27 秒に対応する反射は、地震反射断面ではあまり明瞭ではない。むしろその下の往復走時 0.307 秒に対応する反射は地震反射断面の掘削孔より北側で不明瞭であるが、その反対側で明瞭度を増す。また、往復走時 0.209 秒付近に対応する反射は、地震反射断面では比較的明瞭に認めることができる。合成地震波反射係数列の往復走時 0.16 秒に対応する反射イベントは、地震反射断面のほうが明瞭である。

現時点では合成地震波反射係数列の反射振幅と地震反射断面の反射振幅の傾向が一致していない。合成地震波反射係数列と地震反射断面の傾向の違いの原因を合成地震波反射係数列作成過程に求めるのであれば、密度推定に用いた実験式が適切ではなかった可能性がある。他の密度推定式を用いた場合の合成反射係数列についても検討した。0.279 秒の位相を除けば、飽和状態と乾燥状態の両者の合成反射係数列の形状には目立った差異が認められない。したがって、0.27 秒イベントに目をつむれば、飽和 (あるいは乾燥) 状態の実験式を用いた合成反射係数列と反射断面は比較的よく対応する。したがって、本研究で求めた合成地震記録は真実に近いものであると結論する。

キーワード: 有珠火山, 学術試掘, 物理検層, 合成地震記象, 活動火口近傍

Keywords: Usu Volcano, Academic drilling, Well-logging, Synthetic seismogram, Active crater

## レシーバ関数のインバージョン解析による富士山下の地下構造 Crust and Upper mantle structure revealed by simulated annealing inversion of receiver functions

木下 佐和子<sup>1\*</sup>; 五十嵐 俊博<sup>1</sup>; 西田 究<sup>1</sup>; 青木 陽介<sup>1</sup>; 武尾 実<sup>1</sup>; 上田 英樹<sup>2</sup>  
KINOSHITA, Sawako<sup>1\*</sup>; IGARASHI, Toshihiro<sup>1</sup>; NISHIDA, Kiwamu<sup>1</sup>; AOKI, Yosuke<sup>1</sup>; TAKEO, Minoru<sup>1</sup>;  
UEDA, Hideki<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東京大学地震研究所, <sup>2</sup> 防災科学技術研究所

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

富士山は、日本の他の火山と比較してマグマ噴出率が高く、また最近 10 万年間は主に玄武岩質のマグマを噴出している。富士山が何故このような特徴を持つのかを理解するためには富士山の地下構造を詳細に知る必要がある。本研究では、レシーバ関数解析を用いて富士山下の速度境界面をマッピングし、さらにインバージョンにより地震波速度構造を求めることで、富士山のマグマ供給系を解明することを目標としている。解析には、2002-2005 年までに発生した遠地地震の中から SN 比の良い 221 イベントを使用した。富士山周辺の 159 個の観測点で観測された波形を使用して、Park and Levin (2000) のマルチプルテーパ法によってレシーバ関数を計算した。得られたレシーバ関数の振幅を様々な断面に投影してプロットしたところ、富士山下 40-60km の深さに南北に沈み込む顕著な速度境界面があり、富士山直下でその境界面は不連続になっていた。また、富士山下で火山性の低周波地震が発生する地下 10-20km の領域の下、およそ 25km の深さに顕著な速度境界面を発見した。先行研究との比較から、40-60km にある速度境界面は上部マントルの上面、25km の深さの境界面は富士山のマグマ溜まりの下面を示していると解釈することができる。さらに、富士山のマグマ溜まりの詳細な構造を求めるためには、レシーバ関数のインバージョンを行って、絶対速度を求めることが必要である。レシーバ関数の Ps 変換波の振幅は S 波の速度コントラストに依存するため、レシーバ関数のみで速度の絶対値を決めるのは難しいが、分散曲線とレシーバ関数を同時にインバージョンすることで、解を安定して求めることができる。本研究では、分散曲線は Nishida et al. (2008) による S 波速度構造モデルから計算した。レシーバ関数と分散曲線の残差を重みづけしてシミュレーテッドアニーリング法を用いて同時インバージョンすると、富士山南西の観測点の下、約 20km の深さに低速度領域があることがわかった。発表では、他の観測点でのインバージョンの結果もまとめて紹介する。

キーワード: レシーバ関数解析, 火山下の地震波速度構造, 富士山

Keywords: receiver function analysis, seismic structure below volcanoes, Mt. Fuji

## 吾妻山周辺の地殻変動 Crustal deformation around Azumayama Volcano

三浦 哲<sup>1\*</sup>; 山本 希<sup>1</sup>; 市來 雅啓<sup>1</sup>; 西村 太志<sup>1</sup>; 太田 雄策<sup>1</sup>; 出町 知嗣<sup>1</sup>  
MIURA, Satoshi<sup>1\*</sup>; YAMAMOTO, Mare<sup>1</sup>; ICHIKI, Masahiro<sup>1</sup>; NISHIMURA, Takeshi<sup>1</sup>; OHTA, Yusaku<sup>1</sup>; DEMACHI, Tomotsugu<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東北大学大学院理学研究科

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

### はじめに

吾妻山は福島県と山形県の県境に位置し、多数の成層火山や単成火山などからなる火山群である(気象庁, 2013)。2001年以降の吾妻山周辺の地震活動を見ると、2009年頃までは2、3年間隔で活動期と静穏期を繰り返していたが、その後は定常的な活動に移行したように見える(気象庁, 2014a)。2013年以降は地震発生率が若干低下したが、2014年10月頃から地震数が増え始め12月12日には継続時間約35分の火山性微動が発生し、12月1ヶ月間の地震数は576回と1998年11月以降で最大を記録した。このため、気象庁では噴火警戒レベルを2に引き上げた(気象庁, 2014b)。

本報告では、上述のように火山活動が活発化している吾妻山周辺のGNSS連続観測データを解析することにより得られた地殻変動について報告する。

### GNSS連続観測データの解析

吾妻山周辺では、気象庁の6観測点においてGNSS連続観測が実施されている。これに周辺の国土地理院のGEONET観測点を加え、GIPSY-OASIS II ver. 6.2の精密単独測位法(Precise Point Positioning, PPP)による解析を行った。衛星の軌道情報はITRF2008に準拠したIGS08を、中性大気中の水蒸気に対する補正にはGMF(Boehm et al., 2006)を用いた。

東北地方においては、2011年東北地方太平洋沖地震後の顕著な余効変動が今なお継続しており、吾妻山の火山活動に関連する地殻変動を抽出するためには、余効変動成分を除去する必要がある。余効滑りや粘性緩和などを考慮した余効変動の時間発展を精確に再現しうる物理モデルが構築されれば、それに基づいて余効変動成分を取り除くことも可能であるが、現段階ではそれ自体が重要な研究課題であることから、本研究では余効変動成分を関数近似により取り除いた。

すべり速度/状態依存摩擦法則によれば、大地震の余効滑りは時間に対する対数関数で近似できるとされている(例えばMarone et al., 1991)。また、PPP法による解析結果にはプレート運動による剛体回転成分も含まれることを考慮し、1次関数も加える。さらに、GNSSデータの解析結果には、様々な要因により季節変動成分が重畳することが知られているため、年周及び半年周変動成分も加えて各項の係数を最小二乗法により推定して余効変動成分を求めて除去した。

### 解析結果

2014年9月30日までの時系列データを用いて余効変動成分を除去し、同年10月以降の地殻変動を抽出したところ、一切経山を中心とする最大1cm程度の放射状の水平変動と隆起傾向が明らかとなった。この地殻変動に対して茂木モデルを仮定し、拘束条件付き逆解析(Matsu'ura and Hasegawa, 1987)を行ったところ、一切経山直下の深さ約3kmの位置に増圧源が推定された。この増圧源の深さは、吉田・他(2012)が2004年から2008年までの期間のGPSデータ解析結果を用いて推定した増圧源・減圧源の深さ(0.2?0.6km)と比較してかなり深い。この違いが有意か否かについては、余効変動の除去方法等も含めて十分検討する必要がある。

### 謝辞

本研究では気象庁及び国土地理院のGNSSデータをご提供頂きました。記して感謝いたします。

### 参考文献

Boehm et al. (2006), GRL, 33, L07304, doi:10.1029/2005GL025546.

気象庁(2013), 日本活火山総覧(第4版)I. 北海道・東北, pp. 557.

気象庁(2014a), [http://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/STOCK/kaisetsu/CCPVE/shiryo/130/130\\_no06.pdf](http://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/STOCK/kaisetsu/CCPVE/shiryo/130/130_no06.pdf)

気象庁(2014b), [http://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/STOCK/monthly\\_v-act\\_doc/sendai/14m12/213.14m12.pdf](http://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/STOCK/monthly_v-act_doc/sendai/14m12/213.14m12.pdf)

Marone et al. (1991), JGR, 96, 8441-8452.

Matsu'ura and Hasegawa (1987), PEPI, 47, 179-187.

吉田・他(2012), 験震時報, 76, 1-8.

キーワード: 火山活動, 地殻変動, GNSS

Keywords: volcanic activity, crustal deformation, GNSS

## 雌阿寒岳 GPS 観測によってとらえた 2008-2009 年の火山性地殻変動 Volcanic deformations around Mt. Meakan detected by GPS observations after the 2008 eruption

和田 さやか<sup>1\*</sup>; 森 済<sup>1</sup>  
WADA, Sayaka<sup>1\*</sup>; MORI, Hitoshi, Y.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 北海道大学大学院理学院地震火山研究観測センター

<sup>1</sup>Institute of Seismology and Volcanology, Graduate School of science, Hokkaido university

雌阿寒岳は北海道東部に位置する活火山である。最近のマグマ噴火は約 1000 年前で、それ以降は断続的に水蒸気噴火を起こしている。最近では、2006 年、2008 年に小規模な水蒸気噴火を起こしている。気象庁札幌管区气象台や北海道地質研究所による火口周辺における GPS 連続観測では 2008 年の噴火に伴う浅部の地殻変動は観測されていない（予知連会報、2009；地質研報告書、2009）。本研究では、雌阿寒岳における広域 GPS 観測によって捉えた 2008 年噴火前後の地殻変動から深部でのマグマ移動過程について考察した。

北海道大学による雌阿寒岳における繰り返し GPS 観測は 2006 年から開始し、観測点数は 8 点である。そのうち 2 点は 2013 年から連続観測を行っている。繰り返し観測の期間は毎年数日から数週間である。これらの繰り返し観測データに加えて、気象庁、国土地理院の GNSS 観測データも使用した。データ処理には、RTKLIB 内の応用プログラム RTKPOST を使用し、基準点には対象からおよそ 30km 離れた GEONET 観測点の陸別 (020873) を選択した。観測された変動から、テクトニックな広域変動や大きな地震に伴うステップを除去したところ、2008 年から 2009 年にかけて山体の東方を中心とするような膨張性の変動が確認された。この変動は GEONET 連続観測点阿寒 2 における連続データでも確認できた。2008 年 10 月ごろから変動が始まり 2009 年 6 月ごろまでの変動量は阿寒 2 においておよそ 2cm ほどであった。検出した地殻変動データを用いてインバージョンにより圧力源の推定を行った。推定には、半無限均質媒質中の点圧力源 (Mogi, 1958) と開口断層モデル (Okada, 1985) を用いた。推定された圧力源は山体の南東方向に約 4km、深さ 6km、体積変化量  $5 \times 10^6 \text{m}^3$  の点圧力源である。この結果は、InSAR によってとらえられた同時期の変動についての解析結果とも調和的である（予知連資料、2009）。発表の際には、この変動について考えられている浅部モデル（予知連資料、2009）や、磁気・地震観測結果との比較検討を行う予定である。

謝辞：本研究においては奥山哲氏に温かいご指導をいただいた。感謝申し上げます。気象庁札幌管区气象台に GNSS 観測データを提供していただきました。感謝いたします。また、国土地理院の GNSS 観測データや、データ処理には海洋大高須知二氏によって開発された RTKPOST、解析には Francois Beauducel による okada85.m を使用、Nico Fournier による invmogi\_sa.m を参考にしました。お礼申し上げます。

キーワード: 地殻変動, GPS, 雌阿寒岳

Keywords: volcanic deformation, GPS, Mt. Meakan

## 桜島・黒神観測井における温泉ガス濃度の検討 Reexamination of concentration of hot spring gas from Kurokami well at eastern flank of Sakurajima

井口 正人<sup>1\*</sup>; 平林 順一<sup>2</sup>

IGUCHI, Masato<sup>1\*</sup>; HIRABAYASHI, Jun-ichi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 京都大学防災研究所, <sup>2</sup> 東京工業大学名誉教授

<sup>1</sup> DPRI, Kyoto Univ., <sup>2</sup> TITEC

桜島では2009年以降、昭和火口においてブルカノ式噴火が多発している。黒神観測井は昭和火口の東4kmにある深度120mの井戸であり、深さ60mには温泉水がある。黒神観測井からの温泉ガスを1日に1回、毎分1リットルの流量で5分間吸引してCO<sub>2</sub>濃度およびH<sub>2</sub>濃度を測定している(井口・平林, 2010)。

CO<sub>2</sub>濃度は、2009年2月~4月から増加しはじめ、7月には16%に達した後急激に減少し、9月には4%まで低下した。その後は、1年程度の年周変化に近い変動を示しつつも、予想される年周変化が現れないときもある。通常、夏季にはCO<sub>2</sub>濃度は低下するが、2013年4月~7月には減少は見られず、3~4%の濃度を保ったまま、2014年6月に減少し、1.3%まで低下した。H<sub>2</sub>濃度はCO<sub>2</sub>濃度と同様に2009年2月~4月から増加し、2009年7月中旬には3,000ppmのピークに達したが、10月ごろから急激に、その後は緩やかに減少を続け2015年1月時点では、400ppmまで低下している。2009年10月以降の減少傾向の中にも夏季に増加、冬季に減少する。

2009年後半以降爆発回数、火山灰放出量も増加したが、噴火活動活発化に先行してCO<sub>2</sub>およびH<sub>2</sub>濃度とも顕著な増加を示した。2010年以降には、顕著な増加が見られないが、年周変化的な特徴もみられるので、それについて考察する。

温泉水からのCO<sub>2</sub>濃度は天水の影響を受けている。2009年以降、降水量が多かった時期が、2010年、2011年、2012年、2014年の6月の梅雨時期に現れている。この時期には温泉水の温度が低下しており、天水が温泉水に混入したものと考えられる。降水量が増加すると2~3週間後にCO<sub>2</sub>濃度が低下し始める。CO<sub>2</sub>に乏しい天水が温泉水に混入し、CO<sub>2</sub>に富んだ温泉水が希釈され、CO<sub>2</sub>濃度が減少したものと考えることが可能である。2013年の梅雨時期は降水量が少ないので、温泉水の温度も低下せず、CO<sub>2</sub>濃度が低下しなかったと考えられる。降水の影響の少ない1月のCO<sub>2</sub>濃度は2010年が6%、2011年と2012年が5%、2013年と2014年が4%程度であり、長期的に低下傾向にあると言える。

H<sub>2</sub>ガス濃度は2007年の8月ごろと2009年3・4月ごろに濃度が増加した点で、CO<sub>2</sub>と似た傾向を示すが、2009年7月以降はCO<sub>2</sub>濃度とは異なる変化を示す。H<sub>2</sub>ガス濃度は2009年7月以降、長期的な減少傾向にあり、2009年7月17日以降の水素ガス濃度は指数関数で減衰する曲線で近似できる。時定数は247日となる。水素ガス濃度の指数関数からの残差は振幅が約200ppmの年周変化を示す。これを黒神における気圧と比較すると、気圧の高い冬季において減少し、気圧の低い夏季において増加する季節変動であることが分かる。

Hirabayashi et al. (1986)は、桜島南西部にある持木観測井のH<sub>2</sub>濃度が南岳の爆発回数増加に先行して急激に増加することを指摘し、マグマ中の揮発性成分に含まれるH<sub>2</sub>ガスがマグマ本体に先行して上昇した結果と解釈している。2006年以降の昭和火口における噴火活動期において桜島へのマグマ供給量が最も増加したのは2009年後半から2010年前半である。これに先行する2009年3月から7月にかけて深部マグマから脱ガスしたH<sub>2</sub>およびCO<sub>2</sub>が温泉水を含む桜島浅部へ上昇、10月以降、マグマ本体が遅れて上昇したものと考えられる。その後CO<sub>2</sub>では天水の温泉水への混入、H<sub>2</sub>では大気圧の変化の影響をうけながら指数関数的に減少していると解釈できる。



## 昭和火口噴火活動期の桜島火山の地盤変動源体積の時間変化 Temporal volume change of deformation sources of Sakurajima volcano during activity at Showa crater

堀田 耕平<sup>1\*</sup>; 井口 正人<sup>2</sup>; 大倉 敬宏<sup>1</sup>; 山本 圭吾<sup>2</sup>  
HOTTA, Kohei<sup>1\*</sup>; IGUCHI, Masato<sup>2</sup>; OHKURA, Takahiro<sup>1</sup>; YAMAMOTO, Keigo<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>Graduate School of Science, Kyoto University, <sup>2</sup>DPRI, Kyoto University

During active period of vulcanian eruption at summit crater of Minami-dake (1974 — 1992), ground subsidence was detected by precise leveling, and 2 deflation sources were estimated at a depth of 10 km beneath Aira caldera and at a depth of 3 km beneath Minami-dake [Eto, 1989, DPRI annual]. Eruptive activities at Showa crater started in June 2006. After 2009, ground inflation was detected with increase in eruptive activity during the periods of October 2009 — May 2010 (2009 event), October 2011 — March 2012 (2011 event) and January — June 2013 (2013 event). Ground deflation also detected after 2009 and 2013 events (May — September 2010; July — October 2013), and before 2011 and 2013 events (March — September 2011; July — December 2012).

We performed combination analysis of GNSS, tilt and strain data for 2011 event assuming 3-pressure-source model. 2 inflation sources are located beneath Aira caldera at a depth of 9.6 km depth (A-source) and beneath Kita-dake at a depth of 3.3 km (K-source), and a deflation source is located beneath Minami-dake at a depth of 0.7 km (M-source) [Hotta et al., 2014 AGU Fall Meeting].

In this study, we estimate temporal volume change of each source after 2009 on the assumption that sources do not change their position at A-, K- and M-sources of 2011 event. A- and K-sources repeat inflation and deflation on a 1- to 1.5-year cycle. However, start of the change of K-source is simultaneous or several months earlier than that of A-source. Overall trend of volume change of A-source is inflation. On the other hand, K-source shows no significant inflation or deflation trend. M-source inflates several months before 2009 and 2011 events and deflates during these events, which is considered to be magma migration and ejection, respectively. M-source is continuing deflation after 2011 event. Assuming DRE of 2500 kg/m<sup>3</sup> for magma, we convert amount of ejected magma from weight of ejected ash and then estimate volume of migrated magma between sources. Magma injection progressed in inflation events, but stopped during other periods. It is considered that magma injected intermittently toward A-source. Amount of magma ejection increased in 2009, 2011 and 2013 events, but is less than that of magma injection from A- to K-source. On the other hand, it is in reverse for deflation periods.

キーワード: 桜島火山, GNSS, 傾斜計, 伸縮計, 茂木モデル, 時間変化

Keywords: Sakurajima volcano, GNSS, tiltmeter, strainmeter, Mogi model, temporal change

## 噴煙中の水素の同位体組成を利用した桜島における遠隔噴気温度測定 Sampling volcanic plume using aircraft for remote determinations on the temperature of fumaroles: Sakurajima volcano

角皆潤<sup>1\*</sup>; 程林<sup>1</sup>; 池谷康祐<sup>1</sup>; 小松大祐<sup>1</sup>; 中川書子<sup>1</sup>; 篠原宏志<sup>2</sup>  
TSUNOGAI, Urumu<sup>1\*</sup>; CHENG, Lin<sup>1</sup>; IKEYA, Kosuke<sup>1</sup>; KOMATSU, Daisuke<sup>1</sup>; NAKAGAWA, Fumiko<sup>1</sup>; SHINOHARA, Hiroshi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 名古屋大学環境学研究科, <sup>2</sup> 産業技術総合研究所地質情報研究部門

<sup>1</sup> Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, <sup>2</sup> AIST, Geological Survey of Japan

### はじめに

火山の噴気温度の絶対値やその時間変化は、火山活動の現状や山体内部における脱ガス過程に関する重要な指標となる。しかし、活火山の噴気孔における直接測定は危険で、実現が難しいことが多い。また赤外放射を利用した遠隔測定は、観測距離が 100 m を超えると正確な温度測定は困難になり、また火山灰で視界が遮られると測定不能になる。

そこで筆者らは、噴気ガス中に含まれている水素分子 ( $H_2$ ) と主成分である水蒸気 ( $H_2O$ ) の間の水素同位体 ( $^1H$  および  $D$ ) 交換反応の同位体分別係数が温度とともに大きく変化するという特性に着目し、噴煙 (プルーム) 中の  $H_2$  の  $D/^1H$  比から噴気中の  $H_2$  の  $D/^1H$  比を推定してこれを温度に換算する遠隔温度測定法 (HIRETS: Hydrogen Isotope Remote Temperature Sensing) を考案した (Tsunogai *et al.*, 2011)。これまで、樽前山 A 火口 (HIRETS 温度 = 590 °C) や阿蘇中岳 (同 900 °C 前後)、薩摩硫黄島硫黄岳 (同 810 °C) と言った噴気孔近傍 (噴気孔から数 100 m 以内) までアクセス可能な火山で、噴気温度の遠隔測定を実現してきた。

ただし、HIRETS 法では、一般対流圏大気 (約 0.5 ppm) の少なくとも 2 倍以上の  $H_2$  濃度のプルーム試料を採取しないと、有意な精度で噴気温度を決定することが出来ない。火口から放出されたプルームは、大気中をある程度上昇した後に風下側に水平に広がっていく。火口は火山の山頂付近に位置しているのが普通なので、桜島 (鹿児島県) のように火口から半径 2 km 以内に立ち入ることの出来ない火山でこのレベルのプルーム試料を採取するには、大気中を飛行して試料を採取する必要がある。そこで本研究では、航空機を用いてプルーム試料の採取を行い、HIRETS 法を利用した桜島の噴気温度遠隔測定に挑戦した。

### 観測

桜島における観測は、セスナ 172 型を用いて、2014 年 9 月 10 日、9 月 11 日、12 月 9 日、2015 年 1 月 14 日の計 4 回実施した。火口から風下側に 3 km 前後離れた場所で、高度 800 m から 1900 m 付近に流れて来るプルームの断面を横切るようなフライトを多数回繰り返した。また、プルームの中に入って、プルームとともに移動するフライトも実施した。フライト中は、左翼前面からテフロン製チューブを使って毎分 2 L 前後の流量で機外の大気をキャビン内に取り込み、 $SO_2$  の濃度を定電位電解式センサで連続モニタリングした。また予め真空に引いた内容積 1 L のガラス製容器をセンサの上流部で流路を分岐させて取り付け、 $SO_2$  濃度が極大値を示す時を狙ってコックを開放して大気圧までプルーム試料を採取した。1 回のフライトで 10-20 個程度のプルーム試料を採取した。

### 結果・考察

試験的に運用した初回のフライト以外は、どのフライトでも  $H_2$  濃度が 1 ppm を超える試料の採取に成功し、最高濃度は 2.1 ppm を超えた。桜島レベルの活動度の火山であれば、火口から直線で 3 km 以上離れていても、HIRETS 法で温度測定出来ることが証明された。また、各フライトともプルーム中の  $H_2$  濃度が高くなるほど  $D/^1H$  比が低下する傾向がみとめられ、噴気由来の  $H_2$  が様々な割合で一般大気中の  $H_2$  と混合していることを示している。また、桜島には南岳山頂火口と昭和火口の主に二箇所の火口が存在するにも関わらず、プルーム中の  $H_2$  の  $D/^1H$  比と  $H_2$  濃度の間の混合線は一本しか確認出来なかった。これは、①両火口の噴気温度がほぼ一致している、もしくは、②一方 (おそらく昭和火口) の  $H_2$  放出量が、他方 (おそらく南岳山頂火口) の  $H_2$  放出量を大きく上回っていた、ことを示すものと考えられる。

観測されたプルーム試料中の  $H_2$  の  $D/^1H$  比に対する一般大気由来の  $H_2$  の寄与を補正することで、噴気  $H_2$  の  $\delta D$  値を求めたところ、2014 年 9 月で  $-134.6 \pm 6.5 \text{ ‰}$  (vs. VSMOW) となった。これとマグマ水の平均的な  $\delta D$  値を仮定して求めた HIRETS 温度は、 $1050 \pm 80 \text{ °C}$  となった。これは桜島溶岩の融点か、それをも上回るきわめて高い温度であり、マグマがごく近傍まで上昇していることを示唆する。

### 謝辞

本研究は、科研費挑戦的萌芽研究 (研究課題番号: 26610181) の助成を受けて実現した。また観測では、風早竜之介博士 (産総研) と森俊哉博士 (東大地殻) にお世話になりました。

キーワード: 火山ガス, プルーム, 水素, 安定同位体, 遠隔温度測定, 桜島

Keywords: fumarolic gases, volcanic plume, molecular hydrogen, stable isotopes, remote temperature sensing, Sakurajima volcano

## 口永良部島火山の二酸化硫黄放出率の繰り返し観測 Repetitive sulfur dioxide flux measurements of Kuchinoerabujima volcano, Japan

森 俊哉<sup>1\*</sup>; 森田 雅明<sup>1</sup>; 井口 正人<sup>2</sup>; 屋久島 町<sup>3</sup>; 福岡管区 気象台<sup>4</sup>  
MORI, Toshiya<sup>1\*</sup>; MORITA, Masaaki<sup>1</sup>; IGUCHI, Masato<sup>2</sup>; YAKUSHIMA, Town<sup>3</sup>;  
FUKUOKA REGIONAL, Headquarters<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 東京大学大学院理学系研究科, <sup>2</sup> 京都大学防災研究所, <sup>3</sup> 屋久島町, <sup>4</sup> 気象庁  
<sup>1</sup>Graduate School of Science, The University of Tokyo, <sup>2</sup>Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, <sup>3</sup>Yakushima Town, <sup>4</sup>Japan Meteorological Agency

口永良部島は鹿児島県屋久島の西北西約 15 km に位置する火山島で、2014 年 8 月 3 日、34 年ぶりに新岳火口から噴火が発生した。噴火の約 2 か月半前は、60 ton/day であった二酸化硫黄放出率は、噴火後は数百 ton/day まで上昇した（気象庁、2014 年 8 月）。その後も放出率は減衰せず、2014 年 10 月には 500 ton/day、11 月には 700 ton/day と上昇傾向が続いた（気象庁、2014 年 11 月）。これを受け、2014 年 11 月末、口永良部島火山の二酸化硫黄放出率の繰り返し測定を開始した。

今回、測定の大部分を自動化したトラバース測定装置を使用し、屋久島と口永良部島間を結ぶ屋久島町営のフェリー太陽に測定を依頼して観測を行った。フェリー太陽は、屋久島北東部の宮之浦港と口永良部島の本村港の間を 1 日 1 往復する定期船で、その航路は新岳火口の南側を通る航路を持つ。このため、北寄りの風が卓越する秋から春にかけては、航路上空を噴煙が流れることが多くなり、船上からのトラバース測定が可能となる。

2014 年 11 月末に開始した観測は、風向、悪天候、フェリーの欠航や通信トラブルなどにより欠測はあったが、2015 年 2 月初めまでの約 70 日間で 26 日分実施された。開始当初は約 700 ton/day で推移していたが、2014 年 12 月に入り 1000 ton/day を超え、その後、2 月の第一週までは、ほぼ 1000 - 2500 ton/day という高い放出率で推移した。この放出率範囲は、ここ数年の通常時の桜島の放出率や、阿蘇山の活発な時期の放出率に相当するものであり、口永良部島の噴煙活動には大量のマグマが関与していることが示唆される。発表では、観測装置や測定法について紹介するとともに、口永良部島火山の二酸化硫黄放出率の推移について議論する。

キーワード: 口永良部島火山, 二酸化硫黄, 放出量  
Keywords: Kuchinoerabu Volcano, sulfur dioxide, flux

## 草津白根山の火山ガス組成変化から示唆される深部マグマ脱ガス The variation in the chemical and isotopic composition of fumarolic gases at Kusatsu-Shirane volcano and the implication

大場 武<sup>1\*</sup>; 柴倉 大輔<sup>1</sup>  
OHBA, Takeshi<sup>1\*</sup>; SHIBAKURA, Daisuke<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東海大学理学部化学科

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

### 序

草津白根山では2014年3月から火山性地震の回数が増加し、山頂域で山体膨張と解釈される地殻変動が観測されている(気象庁HP)。草津白根山では1976年3月に山頂の水釜火口で水蒸気爆発が発生している。Ossaka et al.(1980)はこの噴火の8ヶ月前に山頂地熱地帯の噴気にSO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>S比の上昇を検出した。1982, 1983年には山頂の湯釜火口で水蒸気爆発が発生し、同時に火口湖水組成に大きな変動が見られた(Ohba et al 2008)。水蒸気爆発噴火は熱水リザーバの破壊であり、熱水リザーバから放出される揮発性成分の一部は、火山ガスや火口湖水の成分を構成する。水蒸気爆発噴火を理解・予知する上で火山ガスや火口湖水は本質的に重要な研究対象と言える。本研究では、2014年3月の活発化後に草津白根山で噴気を採取し、過去のデータと比較することにより、地下深部で進行中の現象を推定する。

### 火山ガスの採取・分析

山頂湯釜火口北方500mにある北側地熱地帯の二地点(K1, K2)、湯釜北西2.4kmにある万座空吹地熱地帯の一地点(M1)、湯釜南東方3.0kmにある殺生河原地熱地帯の一地点(S1)で2014年7月に噴気を採取した。殺生河原地熱地帯の一地点では時間変化を調べるために2014年11月に再度採取した。噴気の採取と分析は小沢(1968)に従った。噴気水蒸気の安定同位体比を測定するために現場で凝縮水を採取し持ち帰り、赤外レーザー光を用いたキャビティリングダウン方式により測定した。

### 結果

K1は山頂北側噴気地帯で最も噴出圧力が高い噴気であり轟音を発していた。この特徴は過去も同様であり今回も外見に大きな変化はなかった。K1, K2, M1, S1噴気の温度はそれぞれ92.4, 94.1, 96.2, 94.5℃と水の沸点に近い。1999年でK1の温度は104℃であり、それと比較すると今回は若干低下している。K1, K2, M1, S1噴気のSO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>Sモル比はそれぞれ、0.013, 0.013, 0.019, 0.011と低い。Ossaka et al.(1980)は水釜噴火の8か月前に山頂北側地熱地帯の噴気で0.29に達する高い比を見出している。K1, K2のCO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>Oモル比は1999年におけるK1の値、0.0052に対し8倍の0.044に達する高い値を示した。K1のCO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>Oモル比は水釜噴火の8か月前にも0.059という高い値を示している(Ossaka et al. 1980)。S1のCO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>Oモル比は2000年の値である0.027よりも若干高い0.036を示し、2014年11月には0.046に上昇した。K1, K2のH<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>Oモル比は、2.7E-7, 2.6E-7であり1999年のK1の値、2.6E-7とほぼ一致した。K1, K2, M1, S1噴気に含まれるH<sub>2</sub>Oの安定同位体比は2000年頃の値から大きく変化しなかった。

### 考察

K1, K2の噴気に観察された高いCO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>Oモル比には二つの可能性が考えられる。まず、最初の可能性として火山ガスが地下を上昇する間にH<sub>2</sub>Oが凝縮などで失われ相対的にCO<sub>2</sub>が上昇したことが考えられる。しかし、K1の噴出圧は今回の観測でも高く、水蒸気の凝縮は弱い噴気で起きるので、凝縮でCO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>Oモル比の上昇を説明するのは適当とは言えない。別の可能性として、噴気の源でCO<sub>2</sub>が増加したのかも知れない。噴気はマグマ性ガスと地下水の混合物と考えられるので、CO<sub>2</sub>の増加はマグマ性ガスに含まれるCO<sub>2</sub>が増加したことを意味する。マグマ性ガスのCO<sub>2</sub>が増加する原因としては、揮発性成分に富むマグマの貫入が原因として考えられる。草津白根山の山頂には火口湖が形成されており、湖水は強酸性を示す。湖水の強酸性の原因はHClを含む流体の流入が原因であり、HClは固化しつつあるマグマから放出されていると推定されている(Ohba et al, 2008)。固化しつつあるマグマにはほとんどCO<sub>2</sub>が含まれていないので、この固化しつつあるマグマ自体からCO<sub>2</sub>が供給されたとは考えられない。よってCO<sub>2</sub>を放出したマグマは湯釜直下の固化しつつあるマグマとは別に存在すると考えられる。北側噴気地帯のガスにはリザーバ温度の上昇を示唆するSO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>S比の上昇や、H<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O比の上昇は全く見られない。草津白根山で現在進行中の現象は、十分に深い場所における揮発性成分に富むマグマの脱ガスであり、熱水リザーバの破壊である水蒸気爆発噴火の可能性は高くないと思われる。

キーワード: 草津白根山, 熱水系, 火山ガス, 水蒸気爆発, マグマ, CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O

# Japan Geoscience Union Meeting 2015

(May 24th - 28th at Makuhari, Chiba, Japan)

©2015. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



SVC45-27

会場:304

時間:5月28日 17:15-17:30

Keywords: Kusatsu-Shirane volcano, Hydrothermal system, Volcanic gas, Steam explosion, Magma, CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O

## 草津白根山で観測された火山活動の活発化に伴う地磁気変化について Geomagnetic field variations associated with enhanced volcanic activity at Kusatsu-Shirane volcano

松永 康生<sup>1\*</sup>; 神田 径<sup>2</sup>; 小山 崇夫<sup>3</sup>; 小川 康雄<sup>2</sup>

MATSUNAGA, Yasuo<sup>1\*</sup>; KANDA, Wataru<sup>2</sup>; KOYAMA, Takao<sup>3</sup>; OGAWA, Yasuo<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東京工業大学理工学研究科地球惑星科学専攻, <sup>2</sup> 東京工業大学火山流体研究センター, <sup>3</sup> 東京大学地震研究所

<sup>1</sup>Department of Earth and Planetary Sciences, Tokyo Institute of Technology, <sup>2</sup>Volcanic Fluid Research Center, Tokyo Institute of Technology, <sup>3</sup>Earthquake Research Institute, University of Tokyo

火山体を構成する岩石は、冷えて固まる際にその時の地磁気の方向に磁化を獲得する。火山活動の活発化などにより、このような岩石が熱せられ再び高温になると、岩石に含まれる磁性鉱物の磁化は失われ、地上でも地磁気の変化が観測される事がある。火山で観測される磁力変化の主な原因はこの岩石の熱消磁によるものであり、地磁気変化を観測することで火山体内部の熱的な状態を知ることができると考えられている。草津白根山では、2014年3月より活発な地震活動が観測されている。これに伴い同年5月には、湯釜周辺で地下の岩石の消磁によると見られる地磁気全磁力の変化が観測された。本研究では、この期間の火山活動を明らかにするという目的のため、まずこの地磁気全磁力データから火山性の変動を抽出し、変動量を見積もった。そしてこの変動をもたらし消磁源の位置を推定し、地震活動などの観測データや地下構造と比較した。

観測される地磁気には様々な要因の変動成分が含まれている。本研究で扱う火山活動に起因する変動は、それらの変動に比べると非常に小さく遅いため、解析の際には余計な変動成分を取り除く必要がある。変動量の見積りには、東京大学八ヶ岳地球電磁気観測所での地磁気全磁力との単純差を計算する手法を用いた。観測値に含まれる非火山性の地磁気変動成分を取り除いた結果、5月の約3週間の間に湯釜の南側の観測点で1nT程度の減少が見られたが、北側の観測点では目立った変動が得られなかった。変動をもたらし消磁源が水釜火口直下にあると仮定して、磁気双極子源を用いてその深さを見積もった結果、消磁域はおおよそ水釜の地下1000-1300mと推定された。

消磁傾向の地磁気変化が観測された2014年5月は、傾斜計のデータから膨張のピークであったことが明らかにされ、地上では噴気温度の急上昇が観測されている。これは、地下から多量の高温度流体が上昇したことによるものと考えられ、この高温度流体が消磁を引き起こしたと推測される。湯釜周辺の比抵抗構造と比較すると、膨張源は、キャップロックと推定される低比抵抗体の下部に位置しており、上昇してきた火山性流体がこの場所で蓄積していると考えられる。一方、今回推測された消磁域は、この期間の地震活動の下限付近に位置しており、膨張源の深さとは一致しなかった。この不一致の原因としては、消磁域の体積に比べて膨張体積が小さいこと、膨張源へと上昇した火山性流体の温度が、地下水の混入などの原因で温度が低かったなど、消磁を起こすには十分な熱量を持っていないためだと考えられる。

キーワード: 草津白根山, 火山活動, 地磁気観測, 熱消磁, 熱水系

Keywords: Kusatsu-Shirane volcano, volcanic activity, geomagnetic field observation, thermal demagnetization, hydrothermal system

## 草津白根火山における火口直下浅部への流体蓄積 Ground deformation caused by an accumulation of hydrothermal water beneath hot crater lake at Kusatsu-Shirane volcano

寺田 暁彦<sup>1\*</sup>; 大倉 敬宏<sup>2</sup>; 神田 径<sup>1</sup>; 小川 康雄<sup>1</sup>  
TERADA, Akihiko<sup>1\*</sup>; OHKURA, Takahiro<sup>2</sup>; KANDA, Wataru<sup>1</sup>; OGAWA, Yasuo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京工業大学火山流体研究センター, <sup>2</sup> 京都大学大学院理学研究科

<sup>1</sup> Volcanic Fluid Research Center, Tokyo Institute of Technology, <sup>2</sup> Graduate School of Science, Kyoto University

草津白根火山では、2014年3月から微小地震の群発活動が継続している。傾斜計によれば、地震活動の活発化とほぼ同時に、山頂・湯釜火口湖付近の膨張を示す地殻変動が観測された。同火山で膨張変動が観測されたのは、東京工業大学がボアホール型傾斜計を設置した1990年以降、2011年5月27日に続いて2度目である。これに続いて、湯釜周辺地下での熱消磁に対応する地球磁場変動や、火山ガス組成の変化などが観測された。

同火山は熱水系がよく発達した火山として知られている。東京工業大学は、湯釜火口湖から1kmの範囲に3台の傾斜計と6台の地震計などを運用しており、そのうち3箇所はボアホール型である。このように熱水系にごく近接して展開された観測網により、今回の活動を通じてS/N比の良好なデータを得ることができた。

傾斜変動が始まった2014年3月から2015年1月末までの10ヶ月間で、各観測点で最大60 micro radianに達する傾斜変動が観測された。これら観測データには、長期トレンドや地球潮汐の他に、気圧、2014年11月に発生した長野県北部地震の影響などが含まれる。これら火山活動と関係のない傾斜変動については、BAYTAP-G (Tamura et al., 1991) などを用いて補正した。

このようにして得られた傾斜ベクトルは、変動期間を通じて湯釜周辺を中心とする放射状の変動を示した。球状圧力源を仮定して計算すると、力源の位置は湯釜火口湖の北側、1976年に水蒸気爆発を起こした水釜火口周辺に求められた。力源の深さは地表下500m前後、約10ヶ月間の総膨張量は $8.3 \times 10^4 \text{ m}^3$  (平均200-300  $\text{m}^3/\text{day}$ )と見積もられた。これら総膨張量や膨張率の値は、近年、同様に火口浅部で緩やかな地殻変動が観測されている他火山においても観測されたことがある。

膨張変動は一様ではなく、約2ヶ月ごとに停滞、再膨張を繰り返している。膨張変動のピークは2014年5月頃の約500  $\text{m}^3/\text{day}$ であり、地球磁場変動や湯釜湖水温度の上昇、火山ガス組成の変化などが観測された時期に相当する。2014年8月以降、群発地震活動が衰退した一方で、浅部膨張率はほぼ一定の割合で継続している。また、圧力源の位置は、2014年5月の膨張最盛期と比較して、より北側に求められるようになった。

湯釜火口湖の地下浅部の構造は、3次元MT探査により詳細に調べられている。それによれば、湯釜火口直下には変質した粘土鉱物から構成されるCap rockが釣鐘状に分布しており、その周辺に熱水系が発達していると考えられている(小川・他、未公表)。今回の圧力変動源は、この釣鐘構造の内側に位置する。この場所に多量の流体が蓄積される理由として、流体供給による歪速度が十分に小さく、Cap rockが脆性破壊せずに変形していることが考えられる。

キーワード: 草津白根火山, 地殻変動, 傾斜計, 熱水系, キャップロック

Keywords: Kusatsu-Shirane volcano, ground deformation, tilt meter, hydrothermal system, cap rock

## 北海道中央部、十勝岳火山群の新时期活動期の岩石学的研究：特に20世紀噴火のマグマ系について The Petrological Study of Tokachidake Volcano: Especially about the Magma System of 20th Century Activities

小林 恭平<sup>1\*</sup>; 中川 光弘<sup>1</sup>; 栗谷 豪<sup>1</sup>; 藤原 伸也<sup>2</sup>

KOBAYASHI, Kyohei<sup>1\*</sup>; NAKAGAWA, Mitsuhiro<sup>1</sup>; KURITANI, Takeshi<sup>1</sup>; FUJIWARA, Shinya<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 北海道大学大学院理学院自然史科学専攻, <sup>2</sup> 国際航業株式会社

<sup>1</sup>Hokkaido University, <sup>2</sup>Kokusai Kogyo Co. Ltd.

十勝岳は北海道中央部に連なる十勝岳火山群の中央部にある火山である。十勝岳火山群の活動は約100万年前から始まり、その活動は古期・中期・新时期の3つに分けられている(勝井ほか,1963a; 石塚ほか, 2010)。その中で新时期の後半では約4700年前から、十勝岳の北西山腹において火口域を変えながら現在まで活動を続けてきた。その活動は噴火の時間間隙や給源火口の移動などから4つのステージに分けられており、現在のステージ4を除く全てのステージで爆発的噴火の後に溶岩流出を伴うという推移を繰り返してきた(藤原ほか, 2007, 2009)。十勝岳は20世紀に1926年、1962年、そして1988-89年の3度のマグマ噴火を起こしている。これらの噴火については多くの研究が成されており(多田・津屋, 1926; 勝井ほか, 1963b; 勝井ほか, 1990など)、20世紀噴火の推移や様式については詳細に明らかにされている。しかし、岩石学的見地から研究を行ったものは少なく、特に20世紀噴火全体のマグマ系について考察したものはない。そこで本研究では、十勝岳の20世紀噴火の本質物質を対象に岩石学的手法を用いて解析し、20世紀噴火のマグマ供給系の解明を試みた。

本研究では20世紀の噴火の本質物質を採取し、鏡下観察による記載、全岩化学組成分析及び鉱物化学組成分析を行った。20世紀噴火の噴出物は玄武岩質安山岩であり、斑晶鉱物は、かんらん石、斜方輝石、単斜輝石、斜長石、Fe-Ti 酸化物からなる。斑晶量は1926年が26~47%、1962年が36~43%、1988-89年が43~48%である。1926年のスコリアでは石基に不均質な組織が見られたが、1962年のスコリアの石基は均質であった。一方1988-89年の火山弾の石基は結晶度が高く、半分以上のかんらん石斑晶に輝石の反応縁が見られるなどの特徴を持ち、それ以前の噴火とは大きく異なっている。全岩化学組成ではTiやAl、Vなどの元素で1962年と1988-89年の間に違いが見られるが、ほとんどの元素で年代ごとの違いは見られない。かんらん石は、1926年のスコリアではFo=71と75のバイモーダルな組成を示しているが、それ以降の噴火ではFo=76のみにピークが見られる。両輝石は1988-89年でMg#が低くなる傾向が見られたが、それ以外の大きな違いは見られず、単斜輝石はMg#=68-77で、斜方輝石はMg#=66-75でいずれもユニモーダルな組成を持つ。Fe-Ti 酸化物は全ての噴火年代でMg/Mn=15にピークが見られたが、1988-89年火山弾中の斑晶のリムはMg/Mn=8とMg/Mn=14でバイモーダルとなっている。斜長石はAn=56?92の広い組成の範囲を示す。また両輝石と斜長石ではすべての年代で正と逆累帯構造が共存するが、1962年スコリアは斜長石で、1988-89年火山弾は単斜輝石でそれぞれ正累帯構造が多く見られた。一方で1926年スコリアはいずれの鉱物でも逆累帯構造が多く見られる。

以上の観察事実に基づき、マグマプロセスについての検討を行った。まず1926年スコリアの多くの鉱物斑晶で逆累帯構造が見られることから、噴火の前にマグマ混合が起きていたことが示唆された。加えて石基中に不均質な組織が見られることから、十分に混合する間も無く噴火に至ったことが推測できる。一方で1962年スコリアは均質な組織を持っていることから、噴火時のマグマは1926年の噴火時のものと比べて均質な状態であったことを示している。また、斜長石の逆累帯構造があまり見られなかったことは、マグマ溜まり内において1926年噴火時とは異なる部分のマグマが噴出したことを示していると考えられる。1988-89年噴出物は斑晶量の高さやFe-Ti 酸化物のリムが低Mg/Mnにもピークを持つことなどから、1962年噴火時と比べて低温のマグマが噴出したと見られる。反応縁を持たないかんらん石も一定量見られることや、Fe-Ti 酸化物のリムがバイモーダルであることから、噴火直前に分化したマグマが少量混合したのかもしれない。

以上のことから20世紀のマグマ供給系は主にマグマ溜まり内におけるマグマの空間的变化とマグマ混合によって説明される。

キーワード: 十勝岳, マグマ供給系, 岩石学

Keywords: Tokachidake Volcano, Magma Plumbing System, Petrology



## バーチャル Multi-GAS 法による十勝岳と樽前山の火山ガス観測 Volcanic gas measurements using the virtual Multi-GAS method

岡本 理沙<sup>1\*</sup>; 橋本 武志<sup>1</sup>; 田中 良<sup>1</sup>  
OKAMOTO, Risa<sup>1\*</sup>; HASHIMOTO, Takeshi<sup>1</sup>; TANAKA, Ryo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 北海道大学理学院地震火山研究観測センター

<sup>1</sup>Institute of Seismology and Volcanology, Graduate School of Science, Hokkaido University

はじめに: 近年, 多成分のガス濃度センサーで構成された Multi-GAS と呼ばれる小型軽量のシステムが開発され, 火山ガスの成分比を現場で直接測定する手法として用いられている (Aiuppa et al., 2005; Shinohara, 2005). Multi-GAS は, 本来は一体型の装置であるが, 本研究では, 比較的安価な既製品のガス濃度計を組み合わせることで, ほぼ同等の機能が実現できるのではないかと考えた. そこで, H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> の 3 種の携帯型ガス濃度計を通気性の良いケースの中に固定し, アルミ伸縮棒の先に取り付けた測定具を製作した. これを観測者が持ち, 地表付近を流れる噴気の中を歩行するという方法で, 北海道の十勝岳と樽前山の噴気を対象に観測を試行した.

測定方法: 本研究で用いた市販のガス濃度計は, 安全管理用の警報器であり, 分解能はさほど高くはない (測定分解能は, H<sub>2</sub>S: 0.1 ppm, SO<sub>2</sub>: 1 ppm, CO<sub>2</sub>: 1 ppm). さらに, CO<sub>2</sub> 濃度計は 90% 応答特性が約 1 分で H<sub>2</sub>S や SO<sub>2</sub> 計よりもかなり遅い. そこで, 実際の観測では, 比較的濃い噴気の中をゆっくりと歩行しながら測定することにした. 装置ごとの応答特性の違いは, H<sub>2</sub>S と SO<sub>2</sub> の時系列に 1 分間の移動平均処理を施して CO<sub>2</sub> 濃度計に合わせた. また, SO<sub>2</sub> 濃度計はロギング機能を有していないため, 液晶表示部をスマートフォンのインターバルカメラ・アプリで撮影することで, データを記録した.

測定結果: 十勝岳では, 2014 年 9 月 23 日に大正火口を対象に観測を行った. 大正火口では, 火口壁面に複数の噴気孔が列をなしている. これらの噴気孔から放出されるガスは, 多くの場合, 数条にまとまりながら西風に乗って壁面を舐めるように登り, 尾根を過ぎたところで地表から離れて浮力によって上昇していく. このため, 火口壁の尾根上を歩くと, 比較的濃いガスの中を通過することができる. このようにして測定された各成分のピーク濃度値は, H<sub>2</sub>S: 約 50 ppm, SO<sub>2</sub>: 約 80 ppm, CO<sub>2</sub>: 約 170 ppm (背景からの差) であった. 濃度ピーク前後のデータを用いて任意の 2 成分の相関図を作成し, その傾きから成分比 (モル比) を求めると, H<sub>2</sub>S/SO<sub>2</sub>: 0.48, CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>S: 5.9, CO<sub>2</sub>/SO<sub>2</sub>: 2.9 であった. この結果と, 2014 年 7 月に産総研が採取分析で求めた成分比 (篠原, 私信) を比較したところ, その違いは 15 % 以下であったことから, この手法にはそれなりの精度があるものと判断した.

樽前山では, 2014 年 10 月 22 日に A 火口と E 火口で同様の観測を行った. 各成分のピーク濃度値は, H<sub>2</sub>S: 12 ppm, SO<sub>2</sub>: 3 ppm, CO<sub>2</sub>: 約 70 ppm (背景からの差) であった. A 火口の成分比は, H<sub>2</sub>S/SO<sub>2</sub> 約 2.4, CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>S: 6.1, CO<sub>2</sub>/SO<sub>2</sub>: 約 17, E 火口の成分比は, H<sub>2</sub>S/SO<sub>2</sub>: 約 8.9, CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>S: 13, CO<sub>2</sub>/SO<sub>2</sub>: 約 100 となった. ただし十勝岳とは異なり, SO<sub>2</sub> はほとんど検出限界に近かった. このため, SO<sub>2</sub> と他の 2 成分との比は精度が低い.

放出率推定: 十勝岳においては, 成分比だけではなく放出率の推定も試みた. アラスカやニュージーランドの火山では, 航空機を用いたガス観測が頻繁に行われているが, その際, 噴煙の断面における濃度分布をコンタリングすることで放出率を求めている例がある (例えば, Werner et al., 2005; Werner et al., 2013). 我々は, これと同様のことを地上観測で行うべく, ガスセンサーを取り付けたアルミ伸縮棒の長さを調節して, 3 つの高さ (2.7, 3.8, 5.0 m) で大正火口噴気のトラバースを行い, 噴気断面上の濃度をマッピングした. 先述の通り, ガスの大半は火口壁の尾根を舐めるように流れているため, 5.0 m より高い位置に濃いガスは流れていない可能性が高いが, 下層の濃度分布から 5.0 m 以上の濃度を外挿推定して積分計算に考慮した. また, 流速は, やや離れた地点から撮影したビデオ映像から読み取った. 流速を濃度の断面積分値に乗じることで放出率を推定したところ, SO<sub>2</sub> の放出率は 7-9 t/d と求められた.

まとめ: 本研究で用いた比較的安価なガス濃度計を利用したシステムでも, 測定対象のガスが濃ければ, 問題なく成分比を測定できることが確認できた. また, 噴気の流れ方の条件によっては, この装置でコンタリングすることで放出率を推定することも可能であることを示した. 装置は軽量なので, マルチコプター等の無人機への搭載も問題がなく, 近い将来には, 観測者を危険にさらすことなく測定ができるようになるものと考えている.

キーワード: 火山ガス, 十勝岳, 樽前山

Keywords: volcanic gas, Mt. Tokachidake, Mt. Tarumae

## GNSS観測で捉えた十勝岳の浅部膨張について Shallow inflation of Tokachi-dake Volcano detected by GNSS observation

道下 剛史<sup>1\*</sup>; 長山 泰淳<sup>1</sup>; 宮本 聖史<sup>1</sup>; 安斎 太郎<sup>1</sup>; 碓井 勇二<sup>1</sup>; 田村 慎<sup>2</sup>; 岡崎 紀俊<sup>2</sup>; 宮村 淳一<sup>1</sup>  
MICHISHITA, Tsuyoshi<sup>1\*</sup>; NAGAYAMA, Hiroaki<sup>1</sup>; MIYAMOTO, Masashi<sup>1</sup>; ANZAI, Taro<sup>1</sup>; USUI, Yuji<sup>1</sup>;  
TAMURA, Makoto<sup>2</sup>; OKAZAKI, Noritoshi<sup>2</sup>; MIYAMURA, Jun'ichi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 札幌管区気象台, <sup>2</sup> 地方独立行政法人北海道立総合研究機構地質研究所  
<sup>1</sup> Sapporo Regional Headquarters, JMA, <sup>2</sup> Geological Survey of Hokkaido, HRO

### 1 はじめに

札幌管区気象台は、十勝岳の火山監視の一環として、2001年にGNSS連続観測を開始した。ただし、当初の観測点配置は地形的制約を受け西側山麓の3地点に偏在せざるを得なかった。2010年以降、観測点の再配置および増設により山体を挟む基線を確保したほか、2014年には浅部膨張の監視強化のため、活動火口付近に2点の連続観測点を増設した。また、これらの連続観測を補完するため、2003年以降、活動火口周辺から北西山腹にかけて12地点で年2回の繰り返し観測を行っている。一方、地方独立行政法人北海道立総合研究機構地質研究所および北海道大学でも2003年から活動火口付近2点においてGNSS連続観測を行っている。これらのGNSS観測では、2006年頃から62-2火口（標高1725m）浅部直下の膨張によると考えられる火山性地殻変動が捉えられている（気象庁、2010）。本発表では、これまでに得られた連続GNSS観測及び繰り返し観測点のデータの再解析を行ったので、その結果と表面現象等との関係について報告する。

### 2 解析結果

GNSS観測により捉えられた地殻変動の分布を見ると、活動火口付近で放射状に広がっていること、火口から離れるほど変動量が小さくなることの2つの特徴が認められる。これらのことから、その原因は活動火口直下浅部の膨張であることが容易に推測できる。この浅部膨張はInSARによる解析でも捉えられている（気象研,2010;国土地理院,2010）。地殻変動の時間的推移を活動火口からの距離の違いに着目して整理すると、活動火口から離れた地点では変動が認められる時期と認められない時期があることが分かった。一方、活動火口付近では地点によって複雑ではあるが、概ね膨張を示す変動を示すことが分かった。そこで、浅部膨張が見られない2003年から2006年までの期間をステージⅠ、2006年以降の浅部膨張が継続している期間を、活動火口から離れた観測点の変動に注目して4つのステージ（Ⅱ～Ⅴ）に区分して解析を行うこととした。

各ステージの水平変動量をデータとして、標高補正を加えた茂木モデル（気象研,2008a）を仮定してグリッドサーチにより各ステージの膨張源を推定した。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,2008b）を用いた。その結果、2006年以降のどのステージにおいても標高1000mより浅い領域に膨張源が求まり、その体積増加量は $10^4\text{m}^3/\text{year}$ のオーダーとなった。膨張源の位置の時間変化を詳細に見ると、ステージⅢ、Ⅴでは膨張源がステージⅡ、Ⅳと比較してさらに浅い領域に求まり、ステージⅢ、Ⅴが活動火口付近だけで膨張傾向がみられているという観測結果と調和的であった。この結果から2006年以降継続している浅部膨張は、膨張源の位置を繰り返し浅部移動させていた可能性があることが分かった。

### 3 考察

GNSS観測網のうち基線長が10km前後になる山麓観測点同士の組合せでは特段の変化が認められないことから、2006年以降継続している浅部膨張は、より深部に存在すると見られるマグマの動きが直接関与してないと判断している。今回の地殻変動を気象研（2013）による膨張源の深さと膨張率の関係図に当てはめると、Type(c)の熱水性膨張のグループに属することが分かった。このことも、今回の浅部膨張には山体浅部の熱水活動が深く関与していることを示唆している。

気象研（2013）では、Type(c)の場合、その後小規模な噴火や熱活動の活発化など表面現象を伴うことがあることを指摘している。そこで、今回の浅部膨張と噴煙などの表面現象および山体浅部に発生するB型地震などの震動現象との時間的対応について調査した。その結果、浅部膨張が始まったステージⅡでは62-2火口の噴煙量減少がみられており（気象庁,2006）、膨張がより浅部にまで及んだとみられるステージⅢでは大正火口の噴煙量増加が見られ、かつ、山体浅部のB型地震活動が活発化していたことが分かった。

また、十勝岳では1985年に62-1火口で見られた火孔形成・熱泥水噴出・小噴火など一連の活動期に、活動火口近傍に設置した地震計で浅部の熱水活動に関連するとみられる常時微動振幅の増大が捉えられている（勝井ほか,1987）。本解析期間においても、活動火口近傍に設置した地震計で常時微動振幅の変化が捉えられており、特にステージⅤでは振幅レベルの急激な増大がみられている。今後は今回の解析結果等をもとに常時微動振幅や放熱量などの表面現象の時間変化についてさらなる調査を行い、結果を報告する予定である。

キーワード: 十勝岳, 地殻変動, 火山活動

Keywords: Tokachidake, ground deformation, volcanic activity

## 十和田火山中振テフラ層（噴火エピソードC）の噴火推移の復元 Reconstruction of eruptive sequence of Chuseri tephra formation (eruptive episode C) in Towada volcano

井澤 慶俊<sup>1\*</sup>; 宮本 毅<sup>2</sup>  
IZAWA, Noritoshi<sup>1\*</sup>; MIYAMOTO, Tsuyoshi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東北大学大学院理学研究科, <sup>2</sup> 東北大学東北アジア研究センター  
<sup>1</sup> Grad.Sci., Tohoku Univ., <sup>2</sup> CNEAS., Tohoku Univ.

火口湖である十和田湖を有する十和田火山は、中湖火口を給源としたいずれの活動においても、デイサイト～流紋岩質のマグマ噴火からマグマ水蒸気噴火へ推移する噴火を繰り返してきた (Hayakawa, 1985)。最新の噴火である平安噴火では、マグマ噴火からマグマ水蒸気噴火への移行が時間間隙なく連続的に進行し、噴火様式の変化に軽石の気泡成長が関与している可能性が示唆された (広井・宮本, 2011)。一方、中湖火口を給源とする他の噴火については、マグマ噴火からマグマ水蒸気噴火への移行の連続性を議論した噴火推移の復元はほとんどなされていない。

中振テフラ層は、約 6,200 年前に発生した中湖火口を給源とする最大規模の噴火である (工藤・佐々木, 2007)。下位からマグマ噴火噴出物である中振軽石 (CP)、金ヶ沢軽石 (KP)、マグマ水蒸気噴火噴出物である宇樽部火山灰 (UA) に区分され (早川, 1983)、遷移期である金ヶ沢軽石を挟んで噴火様式がマグマ噴火からマグマ水蒸気噴火へ推移した。Hayakawa (1985) ではこの層序に基づいて噴火推移の復元がなされているが、3 ユニットの連続性に関しては言及されておらず、マグマ噴火からマグマ水蒸気噴火への移行が連続的であったかどうかは不明である。また、先行研究間 (例えば Hayakawa, 1985; 松山・大池, 1986) で金ヶ沢軽石の区分について一致しておらず、詳しい噴火様式や噴火推移についても明らかでない。本研究では、中振テフラ層の詳細な野外調査に基づき、噴火層序を再検討し、各ユニット間の連続性に注目しながら噴火推移の復元を行う。

中振軽石は、類質～異質岩片を少量含むプリニー式の白色～黄褐色降下軽石層 (早川, 1983) で、田代平 (給源から南東 8.1km) では総層厚 327cm である。粒径変化に基づき下位より CP1～CP4 の 4 つのサブユニットに区分され、CP1 から CP2 にかけていったん細粒となったのち、CP3 で最も粗粒となって CP4 で極細粒となる。各サブユニット間の粒径変化は急激でかつ漸移することから、中振軽石はすべて一連の降下軽石であるといえる。全体の 8 割を占め最も層厚の厚い CP3 は粒径変化のない様な堆積物で、層厚は距離に対して系統的に減少する。一方、金ヶ沢軽石に直接覆われる CP4 の層厚は距離に対して系統的变化を示さない。これは CP4 の堆積後、金ヶ沢軽石の堆積までに CP4 が侵食を受けたためと考えられ、両ユニット間での時間間隙の存在を示唆する。

金ヶ沢軽石は堆積物の岩相と連続性から、下位より KP1～KP5 の 5 つのサブユニットに区分される。KP2、KP4、KP5 は降下火山礫、KP1、KP3 は細粒火山灰からなる。KP2 と KP4 は層内で岩相の明瞭な変化がみられ、下部は灰色の安山岩質溶岩を主体とした類質～異質岩片が卓越する (岩片量約 70wt%)。一方、上部は黄褐色軽石が卓越するが (岩片量約 30wt%)、両者は漸移する。この変化は遠方でも同様で、噴煙柱内での構成物の密度差による分別で層相に違いが生じたとは考えにくい。金ヶ沢軽石は級化した軽石が累重した層 (Hayakawa, 1985)、軽石と礫の互層 (松山・大池, 1986) であると報告されてきたが、本研究では岩片主体から軽石主体へ漸移する降下火砕物であることを確認した。KP5 は石質岩片が卓越する部分のみが観察され、CP4 と同様に層厚の系統的な距離変化は認められない。

宇樽部火山灰は、火口近傍においてマグマ水蒸気噴火噴出物に特徴的な大量の火山豆石や、サグ構造が観察される。火砕サージ堆積物の分布は十和田カルデラ内とされてきたが (Hayakawa, 1985; 工藤・佐々木, 2007)、外輪山斜面上において宇樽部火山灰が下位の KP5 を削剥しており、カルデラ外でも降下火山灰と火砕サージの互層からなる可能性がある。

以上の噴火層序から、噴火推移を次のように復元した。中振軽石は CP1 の小規模な噴煙柱が形成された後、一時的に噴煙柱の勢いが弱まって細粒の CP2 を堆積し、その後急激に勢いを強め、安定した噴煙柱を形成した (CP3)。末期には急速に噴煙柱の勢いを弱め CP4 を堆積したが、中振軽石と金ヶ沢軽石の間には、CP4 がすべて侵食されない程度の時間間隙が存在し、CP4 が堆積後に噴火が一旦終息した可能性が考えられる。金ヶ沢軽石の噴火様式についてはさらに検討の余地があるが、爆発現象を伴いながら (KP2 と KP4 の下部、KP5) 軽石を堆積させる噴煙柱が形成された (KP2 と KP4 の上部) 可能性が考えられる。このような噴火が細粒火山灰 (KP1、KP3) を狭在して断続的に 3 度発生した後、マグマ水蒸気噴火へと移行し、宇樽部火山灰を堆積させた。金ヶ沢軽石から宇樽部火山灰への移行では、宇樽部火山灰の火砕サージによる KP5 の削剥の影響もあり明らかではないが、CP4 の場合と同様に侵食を受ける程度の時間間隙が存在した可能性がある。以上より、中振テフラ層の 3 つのユニットは、各ユニット間での時間間隙の存在からそれぞれ独立した噴火事象によって形成されたと考えられる。

キーワード: 十和田火山, 中振テフラ層, マグマ噴火, マグマ水蒸気噴火

Keywords: Towada volcano, Chuseri tephra formation, magmatic eruption, phreatomagmatic eruption

## 2014年3月以降の草津白根山の火山活動 Volcanic activity at Kusatsu-Shiranesan Volcano since March 2014

長尾 潤<sup>1\*</sup>; 地震火山部 火山課<sup>1</sup>

NAGAO, Jun<sup>1\*</sup>; SEISMOLOGY AND VOLCANOLOGY DEPARTMENT, Volcanology division<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 気象庁

<sup>1</sup> Japan Meteorological Agency

草津白根山では、2014年3月上旬から地震活動が活発化した。その後全磁力観測で熱消磁と考えられる変化がみられたほか、東京工業大学から湯釜付近の地殻変動や火山ガスの組成に変化がみられるとの報告があるなど活動の高まりがみられたことから、気象庁では2014年6月3日に噴火警戒レベルを1から2に上げた。このような草津白根山の火山活動について、2014年3月以降の気象庁の観測結果について報告する。

火山性地震は、その多くが湯釜の直下から、その南側で発生し、発生回数のピークは2014年7月であった。詳細な震源等は松田ほか(2014)にてとりまとめられている。

湯釜周辺で毎年実施しているGNSS繰り返し観測においては膨張性の地殻変動が観測された。変動(膨張)源は、茂木モデルを想定すると、湯釜付近の北側の深さ約500m(標高約1700m)である。この結果は、寺田ほか(2014)による東京工業大学が湯釜周辺に設置した傾斜計のデータ解析結果と大きな差はない。なお、2013年9月から2014年7月にかけての変動に比べ、2014年7月から同年11月にかけての変動では、若干北寄りに求まっている。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部, 2013)を使用した。

地磁気観測所(2014)によると全磁力の連続観測データにおいては、2014年5月以降熱消磁とみられる変化がみられた。この変化は、7月以降は停滞した。毎年行っている繰り返し観測ではこれに該当するような変化はみられず、この熱消磁はかなり小規模であったと考えられる。

2014年7月及び同11月に現地調査を実施し、熱赤外観測等により湯釜火口内北側斜面、北側噴気地帯で高温域と明瞭な噴気を確認した。これらの地熱域では2008年頃より活発化がみられており、2014年もこの活動が継続していることを確認した。このほか、群馬県及び陸上自衛隊東部方面航空隊の協力による上空からの観測でも、これら地熱地帯の状況を確認した。

これらの観測データから、草津白根山では、2014年5月頃から7月頃をピークとした地下の熱活動の高まり(温度上昇)を伴う湯釜付近の膨張があったものと考えている。今後顕著な表面現象に至る可能性もあることから引き続き監視を強化しているところである。

キーワード: 草津白根山, GNSS, 熱赤外観測

Keywords: Kusatsu-Shiranesan, GNSS, thermal observation

## 草津白根火山における微小地震の震源再決定 Hypocenter relocation of microearthquakes of Kusatsu-Shirane volcano

桑原 知義<sup>1\*</sup>; 寺田 暁彦<sup>1</sup>; 神田 径<sup>1</sup>; 小川 康雄<sup>1</sup>  
KUWAHARA, Tomoyoshi<sup>1\*</sup>; TERADA, Akihiko<sup>1</sup>; KANDA, Wataru<sup>1</sup>; OGAWA, Yasuo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京工業大学

<sup>1</sup>Tokyo Institute of Technology

草津白根火山では、山頂火口に相当する湯釜火口湖周辺のごく浅部を震源とする群発地震が2014年3月に始まった。同3月6日以降、地震発生頻度は以前の2.3回/日から26回/日へと約10倍に増加し、同年8月以降は発生回数の減少が認められる。しかし、消長しつつも発生頻度の高い状態が2015年2月においても継続している。今回の地震活動は、緩やかな地殻変動や熱消磁、火山ガス組成の変化を伴っており、火口直下に流体蓄積が進行していると考えられる。このような流体がどこから供給されているのか、また、流体蓄積と地下構造との関係を検討するためには、信頼性の高い震源決定が必要である。

東京工業大学は、2014年の時点で6箇所に地震計を展開して常時観測を行っている。これまで震源決定に用いているP速度構造は、海拔標高0mにおいて5.5km/hから、同1500mにおける2.0km/hまで連続的に低下するモデルであり、S波速度との比は1.73である(森・他, 2006)。その後、地震観測点の組み合わせが変更されたこと、さらに、系統的に大きな走時残差が得られる観測点があり、これが解の収束に影響していることを認識した。そこで本研究では、2014年3月から4月にかけて発生した約3000個の地震の中から、湯釜周辺で発生し、比較的規模の大きく、波形の立ち上がりが見やすい約40個の地震を選択した。これら地震の再検測を行うとともに、走時残差に基づいて、最適と思われる地震波速度構造および観測点補正値を求め、震源再決定を行った。

使用したデータは、3台のボアホール型地震計、および3台の地表設置型地震計の記録で、いずれも100Hzでサンプリングされたものである。全ての地震観測点は火口から半径1kmにあり、震央もこの内部にある。震源の深さも地表から1km程度である。

走時残差に基づいて最適構造を推定するために、非線形最小二乗法に基づいて自作した震源決定プログラムと、hypomh (Hirata and Matsuura, 1986)を用いた。解析の結果、層構造を用い、さらに観測点補正値を加えることが適切であることがわかった。地震波速度は、従来から用いてきた構造モデルと比較して、やや速い値が得られた。地震波到着時刻を検討すると、ボアホール型については系統的に早く到達し、地表設置型では遅い傾向が認められる。これは、表層付近の未固結な堆積物を反映したものと解釈できる。さらにS波速度については、P波速度との比が、通常の岩石の典型値と考えられる1.73よりも小さい場合に、より走時残差を小さく抑える傾向が認められた。ただし、通常の方法ではS波到着時刻を読み取りが難しく、定量的な議論は今後の課題である。

以上のように再検討された地下構造、および今回決定した観測点補正値に基づき、震源再決定を行った。従来の東京工業大学の震源決定結果と比較すると、湯釜とその周辺に分布していた震央は、湯釜火口南東部の200m程度の領域に集中する傾向が認められた。震源の深さは海拔1000m前後で、従来までの結果と大きな変化は認められない。

本研究で求められた震央分布は、傾斜変動に基づく圧力源とは必ずしも一致しない。これは、膨張変動が塑性変形により進行していること示唆する。ただし、圧力源周辺において地震が少ないという結果の有意性については、震源決定精度も含めて更なる検討が必要である。特に南側には観測点が少ないため、2014年8月に臨時観測点を2箇所に設置して、地震観測を強化している。

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。波形検測には松田慎一郎氏からご助言を頂きました。ここに記して深く感謝します。

キーワード: 草津白根火山, 地震波速度構造, 微小地震

Keywords: Kusatsu-Shirane Volcano, structure of seismic velocity, microearthquakes

## 2013年箱根火山群発地震活動に伴うGNSS歪場の時空間変化 Spatio-temporal changes of GNSS strain field caused by 2013 earthquake swarm activity in Hakone Volcano

道家 涼介<sup>1\*</sup>; 原田 昌武<sup>1</sup>; 行竹 洋平<sup>1</sup>; 代田 寧<sup>1</sup>; 里村 幹夫<sup>1</sup>

DOKE, Ryosuke<sup>1\*</sup>; HARADA, Masatake<sup>1</sup>; YUKUTAKE, Yohei<sup>1</sup>; DAITA, Yasushi<sup>1</sup>; SATOMURA, Mikio<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 神奈川県温泉地学研究所

<sup>1</sup> Hot Springs Research Institute of Kanagawa Prefecture

箱根火山では、2001年に発生した群発地震以降、2006年、2008~2009年、2011年、2013年と数年おきに地震活動の活発化が認められている(例えば、原田ほか、2013)。GNSS観測の結果などからは、東北地方太平洋沖地震によって誘発された2011年の群発地震活動を除き、地震活動の活発化に対応した山体膨張を示す地殻変動が検出されている(例えば、代田ほか、2009; 原田ほか、2009)。2013年1~2月の群発地震活動は、2001年に次いで、観測史上2番目の規模の群発地震活動であり、同期間に震源決定された地震数は約1800回にのぼる。

温泉地学研究所では、箱根火山およびその周辺地域において12点のGNSS連続観測網を展開しており、周囲のGEONET観測点を含め平均約5kmの観測点間隔をもって、2013年の群発地震活動に伴う地殻変動を観測することができた。過去の群発地震時には、まだ十分な観測点を整備できておらず、このような観測点密度で、箱根火山の群発地震活動に伴う地殻変動を捉えたのは、2013年が初めてであった。このGNSS観測より明らかとなった変位場・歪場が時空間的にどのように変化したかは、群発地震の発生過程を理解する上で重要である。

GNSSより観測された各観測点の変位量から推定した面積歪は、群発地震発生にやや先立ち2012年12月中~下旬頃より、箱根山を中心に同心円状の膨張を示し、群発地震活動が終息する2月中~下旬頃まで増加した。この間の累積的な面積歪の値(膨張が正)は、箱根山の中央火口丘付近において、約1.7 micro-strainであった。また、面積歪の分布は、GEONET観測点のみで算出した場合には、膨張域を拘束できず、やや南北方向に広がってしまうのに対し、GEONET観測点に温泉地学研究所の観測点を加えた場合では、箱根山を中心とした同心円状の分布に膨張域を拘束することができた。なお、群発地震の発生期間中、膨張域の中心の移動は、ほとんど認められなかった。

面積歪場が同心円状の分布となることから、球状圧力源モデルを検討した。ソースの水平位置については面積歪分布の中心付近(139.000° E, 35.215° N)とし、深さについては7kmと10kmを仮定した。体積変化量については、各深さについて、面積歪分布のピーク付近の値が説明可能となるように、それぞれ $1.5 \times 10^6 \text{m}^3$ と $4.0 \times 10^6 \text{m}^3$ を与えた。その結果、深さ10kmのモデルの方が、面積歪分布に認められる膨張域の広がりを良く説明できることが分かった。このことは、地震波トモグラフィーの結果から推定されているマグマだまりの深さ約10km(行竹ほか、2014)と調和的である。

以上の結果および考察から、2013年箱根火山群発地震活動に先行し、箱根火山直下の深さ約10km付近に存在するマグマだまりにおいて体積変化(膨張)が生じ、群発地震活動終息までの約2ヶ月の間、膨張が継続したことが推察される。群発地震活動に伴う他の諸現象との関係を整理し、群発地震活動の発生過程をより詳細に明らかにすることが今後の課題である。

キーワード: 箱根火山, 群発地震活動, GNSS, 歪場

Keywords: Hakone Volcano, earthquake swarm activity, GNSS, strain field

## 箱根大涌谷温泉の化学組成について Chemical and isotopic composition of hot spring at the Owakudani geothermal area on Hakone volcano, Japan

左合 正和<sup>1\*</sup>; 重村 大成<sup>2</sup>; 青木 涼<sup>2</sup>; 大木 誠吾<sup>2</sup>; 大場 武<sup>2</sup>  
SAGO, Masakazu<sup>1\*</sup>; SHIGEMURA, Taisei<sup>2</sup>; AOKI, Ryo<sup>2</sup>; OOKI, Seigo<sup>2</sup>; OHBA, Takeshi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東海大学大学院理学研究科化学専攻, <sup>2</sup> 東海大学理学部化学科

<sup>1</sup>Course of Chemistry, Graduate school of Science, Tokai University, <sup>2</sup>Course of Chemistry, School of Science, Tokai University

### [背景]

箱根火山はカルデラ火山であり、カルデラは東西に約 8km、南北に 12km 広がっている。外輪山は玄武岩から安山岩の成層火山群で形成されており、後期中央火口丘は安山岩からデイサイトの溶岩・溶岩ドームで形成されている(高橋・他, 1991, 2006; 長井・高橋, 2008)。主峰の神山の北側に、数千年前の火山性爆発により山体の一部が崩落することで、活発な噴気地帯である大涌谷が誕生した(荒牧・大木, 1971)。大涌谷の自然湧出温泉には、地表近くで火山ガス起源の H<sub>2</sub>S の酸化により生成された SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> が主要な陰イオンであり、また Cl<sup>-</sup> の含有量は少ない(大森ほか, 1986)。箱根大涌谷の火山ガスを対象とした研究は長らく行われているが、自然湧出温泉における水の化学組成の時間変化を報告したものは、菊川(2001)が最新であり、それ以降は報告されていない。本研究では温泉の化学成分と水素及び酸素の安定同位体比(δD、δ<sup>18</sup>O)の時間変化を用いて火山活動との関係を考察する。

### [採取・分析]

箱根大涌谷で 2013 年 5 月から 2014 年 12 月にかけて、月ごとに採取を行った。2013 年 5 月から 2014 年 1 月までの採取地点を地点 1 とした。地点 1 は湧出した温泉水が常に留まらずに流れ出している。また地点 1 は雨が少ない時期が続いた場合枯渇する。2014 年 4 月から 2014 年 12 月までの採取地点を地点 2 とした。地点 2 は穴のような場所で一定水位を保つように湧出していて、穴の縁からは流出しない。また地点 2 の温泉水は常に循環していることが考えられる。水温は現地測定を行った。採取した試料を持ち帰った後 0.45μm フィルターでろ過し、pH を測定した。化学成分の分析には、ICP-MS(Fe<sup>2+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Si、Al<sup>3+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Mn<sup>2+</sup>)、原子吸光度法(K<sup>+</sup>、Na<sup>+</sup>)、イオンクロマトグラフィー(F<sup>-</sup>、Cl<sup>-</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)を用いた。δD、δ<sup>18</sup>O はキャピティリングダウン法で測定した。

### [結果・考察]

測定結果から、地点 1、2 共に主要な金属が Fe<sup>3+</sup>、Al<sup>2+</sup> であり、それぞれ 62~692mg/L、19~385 mg/L であった。Fe<sup>3+</sup>、Al<sup>2+</sup> は 1、2 共に類似した時間変化を示した。Ca<sup>2+</sup> に関しては地点 1 が 140~473mg/L であり、地点 2 が 6~26mg/L と地点 1 と比べて少ない傾向が見られた。陰イオンは、Cl<sup>-</sup> が 3~83mg/L であることに對し、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> が 487~730mg/L であった。しかしながら、本研究の対象地域から 100m 以内で湧出していた温泉の pH、水温、化学組成の報告例(菊川, 2001)と本研究の分析値との間には多くの異なる点が見られた。この結果から、湧出場所が数十メートル変化することで、温泉水の化学的性質も変化することが明らかになった。また、群発地震の発生回数と火山ガス組成には関係性が見出されている(代田, 2013)。観測期間中における周辺の群発地震の数(箱根温泉地学研究所ホームページを引用)の増加と共に、本研究試料中の Cl<sup>-</sup>/SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 比が増加する傾向にあった。このことから、箱根大涌谷の温泉水中の Cl<sup>-</sup>/SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 比は火山活動に関連している可能性が示唆される。温泉水の安定同位体比において地点 1 の δD、δ<sup>18</sup>O は 53.3~-10.2 ‰、-7.3~8.3 ‰と大きな変動が見られたが、地点 2 においては -34.2~-27.9 ‰、-0.7~2.5 ‰となり、地点 1 のような幅広い変動を示さなかった。この要因として、両地点における温泉水の湧出形態の違いが挙げられる。温泉水中の δD、δ<sup>18</sup>O と群発地震との間には、群発地震の発生に伴いに δD、δ<sup>18</sup>O は減少する傾向が地点 1、2 共に見られたが、地点 2 の方がより明確であった。

キーワード: 温泉水, 火山活動, 箱根

Keywords: hot spring, volcanic activity, Hakone

## ニオス湖マヌン湖における湖水の音速分布と透明度の観測による湖水の化学的特徴の推定

### Estimation of chemical properties of lake water at Lakes Nyos and Monoun using sound velocity profiles and transparency

佐伯 和人<sup>1\*</sup>; 金子 克哉<sup>2</sup>; Ntchantcho Romaric<sup>3</sup>; Fouepe Alain<sup>3</sup>; 丈六 啓介<sup>1</sup>; 大場 武<sup>4</sup>; Tanyileke Gregory<sup>3</sup>; Hell Joseph V.<sup>3</sup>

SAIKI, Kazuto<sup>1\*</sup>; KANEKO, Katsuya<sup>2</sup>; NTCHANTCHO, Romaric<sup>3</sup>; FOUEPE, Alain<sup>3</sup>; JOHROKU, Keisuke<sup>1</sup>; OHBA, Takeshi<sup>4</sup>; TANYILEKE, Gregory<sup>3</sup>; HELL, Joseph V.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 大阪大学, <sup>2</sup> 京都大学, <sup>3</sup>IRGM (カメルーン共和国), <sup>4</sup> 東海大学

<sup>1</sup>Osaka Univ., <sup>2</sup>Kyoto Univ., <sup>3</sup>IRGM, <sup>4</sup>Tokai Univ.

Limnic eruptions in 1984 and 1986 at Lakes Monoun and Nyos in Cameroon were caused by sudden degassing of magmatic CO<sub>2</sub> dissolved in the lake water. The disasters killed about 1800 residents around the lakes. To prevent further disasters, monitoring of CO<sub>2</sub> in the lake waters is essential. For frequent measurement, we developed a convenient method of CO<sub>2</sub> monitoring using sound velocity (SV) as part of SATREPS project supported by JICA and JST. In the 2014 survey, we took movies of the under-water and the bottom of the lakes using an underwater camera with a pressure container of 200 m resist. The vertical change of transparency of water was observed by checking the visibility of reflectors set in front of the camera. A pressure sensor simultaneously monitored the depth. The thickness of the cloudy water layer with suspending substance was 6-7 m at the surface of Lake Nyos and the transparency of water becomes clearer with depth. At Lake Monoun the transparency of water increases with depth near the surface, but decreases again with depth around the bottom. At the deep part of Lake Monoun, there seems to be a negative correlation between transparency and CO<sub>2</sub> concentration, but at the deep part of Nyos the transparency does not decrease with the increase of CO<sub>2</sub> concentration. It may be caused by the difference of ion species between two lakes. We will survey again at Lake Nyos on March 2015. The results of the 2015 survey will be also presented at the meeting.

キーワード: カメルーン共和国, ニオス湖, マヌン湖, 火山湖, 湖水爆発

Keywords: Cameroon, Lake Nyos, Lake Monoun, volcanic lake, limnic eruption



静岡県裾野市十里木の坑井試料に基づく富士山、愛鷹山、基盤の分布と岩石学的特徴  
Subsurface geology of Mt. Fuji based on continuous cuttings from a borehole at Jyuriki, Susono City, Central Japan

高須賀 俊文<sup>1\*</sup>; 藤本 光一郎<sup>1</sup>; 萬年 一剛<sup>2</sup>  
TAKASUKA, Toshifumi<sup>1\*</sup>; FUJIMOTO, Koichiro<sup>1</sup>; MANNEN, Kazutaka<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東京学芸大学, <sup>2</sup> 神奈川県温泉地学研究所

<sup>1</sup>Tokyo Gakugei University, <sup>2</sup>Hot Springs Research Institute of Kanagawa Prefecture

富士山は日本を代表とする活火山であり、多くの学術研究が行われてきたが、開析が進んでいないために、基盤深度や山体の構造に関する直接観察に基づくデータは、Tsuya (1962) など極めて限られているのが現状である。

本研究では、富士山、愛鷹山、基盤の分布と岩石鉱物学的特徴を明らかにすることを目的として、富士山と愛鷹山の間に位置する静岡県裾野市十里木で掘削された十里木温泉井(北緯 35.2609 度, 東経 138.7898 度, 海拔約 900m, 全掘削深度 1500m)の解析を行った。

十里木温泉井から得られた 1500m 分のカッティング試料を土壌、変質の度合い、電気検層などに基づき、ユニット I ~IV の 4 つに区分した。ユニット I は深度 0~220m (海拔約 680~900m), ユニット II は深度 220m~510m (海拔約 390~680m), ユニット III は深度 510m~980m (海拔約 390~80m), ユニット IV は 980~1500m (海拔約 - 80 - 600m) に分布する。また、それらの代表的な試料について、XRF による全岩の主要微量元素分析と、輝石やかんらん石斑晶の EPMA による分析などを実施した。

ユニット I ~III は主に灰~黒色の玄武岩~安山岩質の溶岩で構成される。溶岩の斑晶量はほとんどの場合 3%~15% ほどであるが 430m 付近では 35% になる部分もある。構成鉱物はモード組成で、斜長石 (1~35%) が普遍的に観察され、斜方輝石 (0~3%), 単斜輝石 (0~3%), かんらん石 (0~1%), 不透明鉱物 (0~1%) が観察された。全岩化学組成の結果からユニット II, III は似たような組成を持ち、ユニット I は他のユニットに比べて、TiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, Co, Cu, V, Y, Zn, Zr が高く、Na<sub>2</sub>O が低いことが分かった。またユニット II, III は主要元素、微量元素共に、愛鷹山(藤井, 未公表)の全岩化学組成とよく一致した。以上の様な化学組成の結果と富士山の溶岩の化学組成の特徴(富樫・高橋, 2011)との比較から、ユニット I は富士山の噴出物、ユニット II, III は愛鷹山の噴出物と対比した。

ユニット IV は多くの部分で熱水変質を受けた火山岩や火山砕屑岩から構成されており、新第三紀の地層と考えられる。変質鉱物としては緑泥石、緑簾石、濁沸石、束沸石、方沸石が産出しており、中性で 100 °C 以下から 200 °C 前後の幅広い温度条件における熱水変質作用が認められた。以上のような特徴からユニット IV は基盤と対比した。

約海拔 - 80m 以深から基盤が見られるという結果は、Tsuya(1962)の海拔約+80m 以深から基盤が見られるという研究結果と類似している。

キーワード: 富士山, 愛鷹山, 基盤

Keywords: Fuji volcano, Ashitaka volcano, Basement

## 2014年7月伊豆大島北部の火山性地震増加に伴う地殻変動 Volcanic deformation associated with increase of earthquakes in the northern part of Izu-Oshima in July 2014

山本 哲也<sup>1\*</sup>; 高山 博之<sup>1</sup>; 高木 朗充<sup>1</sup>; 長岡 優<sup>1</sup>; 木村 一洋<sup>1</sup>; 鬼澤 真也<sup>2</sup>  
YAMAMOTO, Tetsuya<sup>1\*</sup>; TAKAYAMA, Hiroyuki<sup>1</sup>; TAKAGI, Akimichi<sup>1</sup>; NAGAOKA, Yutaka<sup>1</sup>; KIMURA, Kazuhiro<sup>1</sup>; ONIZAWA, Shin'ya<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 気象研究所, <sup>2</sup> 気象庁

<sup>1</sup>MRI, <sup>2</sup>JMA

2014年7月下旬に伊豆大島北部で火山性地震が増加し、大島町元町で震度3の地震を含め震度1以上の地震が17回観測されるなど地震活動が活発化した。この地域における地震活動の活発化は、2002年以降に限っても3~4年に一度程度観測されてきた現象であるが、今回の活動はそれらの中で最も活発な活動であった。このような活動(イベント)は、伊豆大島火山の中長期的な火山活動評価を行う上の手がかりとなると考えられ、様々な側面から検討する必要がある。ここでは、気象研究所、気象庁、国土地理院による伊豆大島の10数点のGPS連続観測データを用いて、このイベントに伴う地殻変動を調べた。

GPS観測点間を結ぶ基線長の日平均値をみると、地震が増加した2014年7月下旬頃に島北部の基線においてステップ状の時間変化が見られる。ステップは最大1cm程度であり、南北方向に伸びる基線より明瞭である。島の中部から南部にかけての基線については、これに対応するようなステップ状の変化は見られず、おおむね島北部に限られた地殻変動であると考えられる。GPSの日平均値を用いているため時間分解能が限られるものの、このステップ状の変化は主として7月28日に発生したイベント中で最大のマグニチュードの地震(M3.7)に伴うものと見られる。

また、地震増加の前および後について、GPS観測点における水平変位ベクトルが島内でどのように分布しているのかを調べた。変位の基準点としては山頂カルデラ北西側の観測点を用いた。地震増加に先行する2ヶ月間をみると、地殻変動が停滞気味であり、各観測点における水平変位ベクトルは多くの場合3mmに満たない大きさだった。それに対して地震増加の後の2ヶ月間についてみると伊豆大島全島が膨張するような水平変位ベクトルの分布が見られた。特に島の東部では1cmを越えるような東向きの変位が検出された。これは変位速度に換算すると0.5cm/月に相当し、近年伊豆大島で最も急速に火山性地殻変動で膨張が進んだ2012年11月~12月頃の変位速度に匹敵する。

過去に発生した2007年5~6月及び2010年10月の伊豆大島北部における火山性地震の増加は、顕著な火山性の膨張が先行した後に発生している。それに対して今回のイベントでは、火山性地震の増加を契機として顕著な火山性の膨張が始まったように見えるという特徴がある。

キーワード: 伊豆大島, 地殻変動, GPS, 火山性地震

Keywords: Izu-Oshima, ground deformation, GPS, volcanic earthquake

## 伊豆大島の長期的と短期的地殻変動の分離とそれぞれの変動源について Separation of long and short term crustal deformation of Izu Ohshima islands and each sources

高山 博之<sup>1\*</sup>; 山本 哲也<sup>1</sup>; 鬼澤 真也<sup>3</sup>  
TAKAYAMA, Hiroyuki<sup>1\*</sup>; YAMAMOTO, Tetsuya<sup>1</sup>; ONIZAWA, Shin'ya<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 気象研究所, <sup>2</sup> 気象研究所, <sup>3</sup> 気象庁  
<sup>1</sup>MRI, <sup>2</sup>MRI, <sup>3</sup>JMA

### はじめに

高山他 (2014) で、伊豆大島の地殻変動データとして GPS 観測点の変位を長期的地殻変動と短期的地殻変動に分離した。短期的地殻変動データについては、山体が収縮する時期と膨張する時期に分けた。その結果、短期的な収縮と膨張のベクトルは極性を反転すると大体一致するものの、長期的な変動のベクトルと短期的な変動のベクトルは方向が異なっており、長期的な変動源と短期的な変動源が異なる可能性が示唆された。

### 手法

本研究では、山川・茂木モデルあるいは dyke モデルを導入し、短周期の膨張と収縮の、長周期の変動を解析した。長周期については、GPS キャンペーン観測を行っている観測点についても、地殻変動を計算し、それらを含めた 31 観測点を用いた。ただし、三原山付近のカルデラ原の観測点は、局所的に顕著な収縮がみられ、島全体の地殻変動とは整合的でない動きを示したので、その 6 観測点は解析から外した。実際の解析は、火山用地殻活動解析支援ソフトウェア MaGCAP-V を使って行った。このプログラムは、地殻変動データを読み込み、それに変動が合うように山川・茂木モデル・dyke モデルをグリッドサーチあるいは、逆解析で計算することができる。なお、今回は、測定精度の高い変位の水平成分だけを用いて、観測値と計算値を合わせた。

### 結果

短周期の収縮と膨張については、カルデラの北部の深さ約 4km のだいたい同じところに変動源が求まった。変動源から計算された上下変動と観測された値を比較しても、おおむね整合的である。一方、長周期については、短周期より少し北のカルデラ縁の深さ約 7km に変動源が求められた。ただ、上下変動については、計算結果と観測値との一致があまりよくない。そこで、茂木モデルと dyke モデルをそれぞれ入れてモデルを作ったところ、水平の誤差は茂木モデル単独と比べやや小さくなった程度であったが、上下変動については、よく一致するようになった。

謝辞 本研究には国土地理院 GEONET の GNSS 座標値データを使用させていただきました。

キーワード: 伊豆大島, 地殻変動, 長期, 短期, 変動源

Keywords: Izu Ohshima, crustal movement, long term, short term, source

## 神津島, 838年噴火推移の復元 Reconstruction of eruptive sequence of AD 838 eruption in Kozushima Island

内藤 武<sup>1\*</sup>; 鈴木 桂子<sup>1</sup>  
NAITO, Takeshi<sup>1\*</sup>; SUZUKI-KAMATA, Keiko<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 神戸大学大学院理学研究科

<sup>1</sup>Department of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Science, Kobe University

神津島は、伊豆マリアナ弧の銭洲海嶺上に位置する火山島で、16個の流紋岩質単成火山からなる。最新の噴火活動である西暦838年噴火は、火砕物の活動に始まり、溶岩ドームの形成で終わった。火砕物の活動は主に火砕流噴火で、島内の地形的低所に火砕流台地を形成し、地形的高所では原地形を覆うように分布し、分布域毎に岩相が異なる。堆積物の岩相変化と定置温度の推定に基づき噴火の経緯を調べた。

火砕流堆積物は、推定給源である天上山との間に地形的障害を挟む場所では、ラミナの発達した火砕サージ堆積物の岩相を示す。一方、推定給源との間に地形的障害がない場所では塊状の岩相を示す。島の南部、松山鼻付近では標高の上昇に伴って火砕流堆積物から火砕サージ堆積物へ移行する様子が見られた。このことから発生した火砕流は地形的な障壁を乗り越える際に構成物を落とし希薄な火砕サージへと変化したと考えられる。

天上山火砕流堆積物中の7地点8層準から合計79試料を採取し段階熱消磁実験を行った。その結果、50試料が安定磁化成分を示した。試料は常温で定置したものから650℃で定置したもので幅広い値を示した。火砕流堆積物の定置温度は、南部・南西部では常温堆積と200℃-350℃での堆積を示し、西部・北西部では、火砕流は450℃以上で、サージは500℃以上で堆積したという結果が得られた。地点KZ7(多幸湾)と地点KZ5(前浜)では安定磁化成分2成分を持ち200℃-350℃の範囲に定置温度を示す試料がみられた。このことから島南部へ流れた火砕流は溶岩ドームが200℃-350℃まで冷却された後に崩壊して発生したと考えられる。地点KZ1(前浜)では、11試料中7試料が常温定置を示し、そのうち3試料は安定成分を持たず、堆積物中に炭化木片が含まれる。地点KZ4(前浜)は常温定置を示す全11試料中、9試料が安定成分を示さない。これらの地点に到達した火砕流は流動中に冷却されたことが示唆される。一方、島の西部KZ3(沢尻湾)と北西部KZ2(長浜)では常温堆積を示す試料と、500℃-650℃を示す試料がみられ、比較的高温を示す物質が多い。常温を示す試料については、KZ3は安定成分を持つ試料のみが存在し、KZ2は安定成分を持たないものもみられる。このため、KZ3、KZ2へ到達した火砕流は、内部が500℃-650℃の溶岩ドームの崩壊によって発生し、KZ2へ堆積したものの一部は流下しながら冷却されたと考えられる。

これらのことから、以下のような噴火推移を復元した。838年噴火では、火砕流噴火の発生時に今の天上山の位置に溶岩ドームが成長していたことが考えられる。火砕流は、主に溶岩ドーム崩壊によって発生した。南部から南西部に到達した火砕流は流動中に冷却が進行し、常温で堆積した。北部に堆積した火砕流は、南部よりも高温状態で崩壊が発生した。地形的な障壁を乗り越えたものは火砕サージへ変化した。

キーワード: 火砕流, 火砕サージ, 定置温度

Keywords: pyroclastic flow, pyroclastic surge, emplacement temperature

## 2013－2015年の西之島の火山活動 Volcanic activity of Nishinoshima volcano in 2013-2015

小野 智三<sup>1\*</sup>  
ONO, Tomozo<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 海上保安庁海洋情報部  
<sup>1</sup> Japan Coast Guard

2013年11月20日に活動を開始した小笠原諸島西之島火山の火山活動は、2014年4月までの活動は、昨年の地球惑星連合2014年大会で既に報告したが、1年以上経過した2015年1月21日現在でも継続している。

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。2015年大会では2014年大会報告後の活動を紹介します。

2014年5月から7月までは、新たな陸地の東側に数カ所に形成された溶岩流出口から溶岩を流出し東方向へ拡大していた。2014年8月26日には、火口内に溶岩マウンドを形成した。2014年9月17日には、大量の溶岩を西之島の北方向へ流出させて、1973～1974年の火山活動で形成された西之島新島を埋没させ、西之島北側の水深が浅い海域を埋め立てた。その後、2014年12月25日には、1973～1974年の火山活動以前から存在した西之島は、溶岩流の成長により一部を残し埋没し、小規模な溶岩原を形成している。

新たな陸地の中央付近にある火砕丘では、2014年4月～7月の間は、2～3カ所の火口からストロンボリ式噴火を繰り返していたが、8月の溶岩マウンド形成後、概ね火口は1カ所となり、安定して火砕丘の成長を継続している。

## 宇宙からの西之島火山活動監視 Monitoring of Nishinoshima volcano from space

福井 敬一<sup>1\*</sup>; 桜井 利幸<sup>2</sup>; 安藤 忍<sup>3</sup>

FUKUI, Keiichi<sup>1\*</sup>; SAKURAI, Toshiyuki<sup>2</sup>; ANDO, Shinobu<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 気象研究所火山研究部, <sup>2</sup> 気象庁地震火山部東京航空路火山灰情報センター, <sup>3</sup> 気象研究所地震津波研究部

<sup>1</sup>Volcanology Research Department, Meteorological Research Institute, <sup>2</sup>Tokyo VAAC, Japan Meteorological Agency, <sup>3</sup>Seismology and Tsunami Research Department, Meteorological Research Institute

小笠原諸島西之島において2013年11月20日、海上自衛隊および海上保安庁によって噴火、新島の形成が確認された。1年以上が経過した2014年1月現在、いまだその活動は衰えを見せず、島の面積の拡大が続いている。西之島の火山活動の監視のため、海上保安庁や自衛隊によって航空機から月1回以上(2014年3月までは月数回)の観測が行われ、島の面積の把握、火口や溶岩流出地点の把握、噴火様式の観察、熱映像観測が行われており、国土地理院によって2014年1月までに5回地形計測が行われている。また、商用高分解能レーダー衛星 TerraSAR-X によって月1回程度(噴火開始当初は月3回程度)撮像され、地震研究所により島の面積や噴出率、噴出量の推移がまとめられ、これらの観測データから西之島における溶岩流出活動の時間推移が把握されている。また、地震研究所による父島における空振観測が行われている。火山ガス放出量の観測は2014年1月に気象庁が実施したのみであり、岩石資料が採取されたのも2014年6月の1回のみである。

衛星データは西之島のような遠隔地にある火山において、多様なデータを定期的に取得することができ、西之島の観測においても、ALOS-2やTerra, LANDSAT-8など多くの衛星が利用されている。特に、LANDSAT-8などの地球観測衛星のデータは広く一般に公開され、データ取得後、データ公開サイトを通じて、短時間に無償で利用可能となっている。

我々は、各種衛星搭載センサーデータを利用して火山から噴煙として放出される熱エネルギー、地表面温度、火山噴出物の反射特性、陸域面積や地表面状態の時間変化を抽出し、火山活動の推移の把握を試みている。

10~15mの空間分解能を有する、LANDSAT-8/OLIとEO-1/ALIのパンクロマチックバンド、およびTerra/ASTERの可視バンドの昼間の画像から噴煙の影を利用して求めた噴煙高度と火口からの距離の関係を plume rise 法(鍵山, 1978)に適用した火山から噴煙として放出される熱エネルギーの推定、LANDSAT-8/OLI, EO-1/ALI, EO-1/Hyperion, Terra/ASTER, MTSAT-2の赤外バンドデータからの地表面温度の推定、ALOS-2/PALSAR-2による陸域面積の変化の抽出を行っている。これらの時間変化と地震研究所や海上保安庁、国土地理院が航空写真やTerraSAR-Xデータから推定している陸域面積の拡大率あるいは溶岩流出量と比較した。地震研究所によって求められた溶岩流出率は2014年6~9月頃に一時的に低下した後、増大し、その後次第に減少しているが、MTSAT-2の3.8  $\mu$ mバンドから推定した熱活動においても2014年6~9月頃の低下とその後の活発化が認められた。Plume rise法で求めた噴煙活動の推移からは、計測事例の不足から2014年6~9月の低下傾向ははっきりせず、活動当初から1年以上にわたりほぼ同じような規模で推移している。

キーワード: 西之島, 火山活動監視, 噴煙, 地表面温度, 衛星リモートセンシング

Keywords: Nishinoshima, volcano monitoring, volcanic plume, ground temperature, remote sensing

## 御嶽山の2014年の火山活動概要 Summary of volcanic activity at Ontakesan Volcano in 2014

中村 政道<sup>1\*</sup>; 地震火山部 火山課<sup>1</sup>

NAKAMURA, Masamichi<sup>1\*</sup>; SEISMOLOGY AND VOLCANOLOGY DEPARTMENT, Volcanology division<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 気象庁

<sup>1</sup> Japan Meteorological Agency

御嶽山では、2014年9月27日に噴火が発生した。この噴火を始めとする2014年に気象庁で観測した御嶽山の火山活動データについて概要を報告する。

噴火は9月27日11時52分頃発生したものとみられる。三岳黒沢の遠望カメラでは山頂の状況は視界不良のため確認できなかったが、滝越（中部地方整備局設置）の監視カメラでは地獄谷方向へ流下する火砕流を確認した。気象庁では、この噴火発生により火山活動が高まったと判断し噴火警戒レベルを1から3に引き上げた。

翌9月28日に中部地方整備局及び陸上自衛隊の協力により実施した上空からの観測により、この噴火が1979年噴火の火口列の南西側に新たに生成された火口列から発生したこと、火砕流が新たな火口列から南西側約2.5km、北西側約1.5km流下したとみられること等を確認した。

新たな火口列からの噴煙は噴火発生の翌28日以降、遠望カメラで確認できるようになり、灰白色から乳白色の噴煙の噴出が継続したが、10月10日頃には白色の噴煙となった。噴煙の高さは9月28日に最高で火口縁上800mを観測したが、その後は次第に低くなり、11月以降は一時的な高まりを除くと概ね100から300mで推移している。

地震活動は2014年8月までは低調であった。9月10日夜から火山性地震が多発した。9月12日以降、火山性地震の回数は減少したが、9月14日頃からは低周波地震が発生し始めた。噴火発生直前の11時41分頃から連続的に火山性微動が発生し、地震活動も噴火発生前後で活発となった。連続的な火山性微動は振幅の増減を繰り返しながら10月6日頃まで継続した。火山性地震の回数は9月27日をピークにその後次第に減少した。11月以降は1日あたり数回から十数回で推移している。これら火山性地震や火山性微動はいずれも剣ヶ峰山頂周辺直下で発生したものとみられる。

剣ヶ峰山頂の南東側約3kmに設置している傾斜計では、噴火発生直前の11時45分頃から山側上がりの急激な変動がみられ、11時52分頃反転し、その後緩やかに山側下がりが継続した。

噴火発生直後から火山ガス（二酸化硫黄）の放出量の観測を開始した。2014年9月28日には1日あたり1,000トン前後を観測したが、その後減少し、11月以降は概ね200から300トン/日で推移している。

これらの観測データによると、2014年9月27日の噴火前後で火山活動が高まり、その後次第に低下しつつあるが、2014年8月以前の活動のレベルには至っていない。このため、引き続き観測を強化しているところである。

キーワード: 御嶽山, 噴火, 火山性微動, 傾斜変動, 二酸化硫黄

Keywords: Ontakesan volcano, eruption, volcanic tremor, tiltchange, sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>)

## 御嶽山2014年噴火の爆発エネルギー —水の熱力学的特性に着目した推定— Explosion energy in Ontake 2014 eruption - estimation from thermodynamic properties of water-

成田 翔平<sup>1\*</sup>; 村上 亮<sup>2</sup>  
NARITA, Shohei<sup>1\*</sup>; MURAKAMI, Makoto<sup>2</sup>

<sup>1</sup>北海道大学大学院理学研究院自然史科学専攻, <sup>2</sup>北海道大学地震火山研究観測センター  
<sup>1</sup>Hokkaido University, <sup>2</sup>Institute of Seismology and Volcanology, Hokkaido Univ.

2014年9月27日11時52分、長野一岐阜県境に位置する御嶽山(標高3067m)において、約35年ぶりの噴火が発生した。新鮮なマグマの噴出が認められなかったことから、この噴火は、水蒸気爆発だと考えられている。本研究の目的は、この噴火の初期における噴火のエネルギー収支を推定することである。そのために、R.Tihery and L.Mercury (2009)が提案した手法に従い、水の熱力学的特性に着目してエネルギーの収支を検討した。彼らは、マグマ溜りや熱水溜りに存在する高温高压状態の水が大気圧まで減圧した際に放出可能な総エネルギーを熱力学的に推定する方法を与えている。一般に、火山噴火においては、マグマや熱水などの高温高压物質が有していた熱力学的エネルギーの全てが、爆発の運動エネルギーとして放出されるわけではない。本研究では、水蒸気爆発において、高温の水が有していた全熱力学的エネルギーの何割が、運動エネルギーに変換されたかを示す換算効率を $\zeta$ (範囲は0~1)と定義し、この噴火に関して行われた各種の観測結果を利用して、その推定を試みた。

解析においては、噴火前後の水とそれに駆動される岩石についてのエネルギーと質量の保存則を出発点とした。爆発的噴火で放出される爆発エネルギーの推定方法に関する先行研究である R.Tihery and L.Mercury (2009) や Mastin (1995) では、噴火に伴う噴出物がすべて爆発源の深さに由来すると仮定されていたが、実際の噴火では、噴火前にはより火口に近い場所に存在していた岩石や土砂も噴出する熱水や蒸気に巻き込まれて運動エネルギーの一翼を担っていると考えられる。そのため、本研究では、噴出物を火口付近由来のもの、爆発源付近由来のものに分けて、全噴出物量に対する爆発源由来岩石量の質量比を $\eta$ とし、これも推定の対象である新たなパラメータとして導入した。

噴出岩石と水のエネルギー保存則の式に、御嶽山噴火に関して既に報告されている各種の観測値の具体的な数値を代入し、噴火を特徴づけるパラメータの関係を整理した。その結果、 $\eta$ と $\zeta$ の関係を表す式が導かれた。しかし、エネルギー保存則のみに基づく推定では、条件が不足しており、両者を一意に決定することはできなかった。しかし、拘束条件を課すことで両パラメータの範囲を推定することは可能である。ここでは、噴火当日と翌日での噴出物量の大小関係(田島ら, 2014)と噴火翌日の放熱量の推定値(寺田, 2014)から得られる拘束条件を加えた。

その結果、御嶽山2014年噴火において、 $\zeta$ については、0.2~1、 $\eta$ については0~0.5まで、範囲を絞り込むことができた。しかし、 $\zeta$ に関しては、取りうる範囲が、依然として広すぎるため、類似の噴火の先行研究の結果を参考にしてさらなる範囲の絞り込みを試みた。

Ohba et al. (2007) は、秋田焼山1997年水蒸気噴火における噴火の全熱力学的エネルギーを500GJ、そのうち爆発エネルギーを100~200GJと見積もっている( $\zeta = 0.2\sim 0.4$ に相当)。両噴火を特徴づける各種のパラメータを比較すると、極めて高い類似性が認められるため、御嶽山2014年噴火においても、 $\zeta$ の範囲を0.2~0.4と仮定することにする。この仮定のもとに、 $\eta$ を計算すると、その範囲は、0~0.3となった。

以上の議論において、 $\zeta$ の範囲を0.2~0.4と仮定したが、これは、水が熱水源から上昇してくる過程で、本来の熱力学的エネルギーの半分以上が爆発の運動エネルギー以外の形式で放出されたことを意味する。また、この場合、総噴出物に対する、深部由来の岩石や土砂の重量比 $\eta$ は30%以下であると推定された。このことは、噴火に伴う噴出物のかなりの部分が地表近傍の火道周辺から、熱水や蒸気に巻き込まれて、放出されたことを示唆している。ただし、噴出物の由来に関するこの結果は、噴石や降下火山灰等の成分比の物質科学的な解析結果などとの比較・検討によって、その妥当性がさらに検討されるべきである。

また、 $\zeta$ が0.2~0.4の値を取る場合、御嶽山の9月27日の爆発で放出された運動エネルギーは $10^3\sim 10^4$ GJと推定された。この値は、谷口・植木(2014)が火口径と噴石の最大到達距離、爆発実験の結果から見積もった値よりも2~3桁大きい。本研究で求めた値は噴火初日の噴火継続時間(約1.5時間)の運動エネルギーの総量であり、一方、谷口・植木らの推定値は単発の爆発エネルギーに関するものであるから、そもそも対象としている現象が異なっている。よって、両者の大小関係に矛盾はないと考えられる。

キーワード: 水蒸気噴火, 爆発エネルギー, 水, 御嶽山, 熱力学



---

SVC45-P17

会場:コンベンションホール

時間:5月27日 18:15-19:30

Keywords: phreatic eruption, explosion energy, water, Ontake, thermodynamics

## 自動降灰観測装置の開発 Development of Automatic Ash Observation System

古川 竜太<sup>1\*</sup>; 及川 輝樹<sup>1</sup>  
FURUKAWA, Ryuta<sup>1\*</sup>; OIKAWA, Teruki<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 産業技術総合研究所

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

霧島山新燃岳 2011 年噴火を契機として始まった自動降灰観測装置の開発状況と成果を報告する。本研究の目的は噴火による降灰堆積量の準リアルタイム把握手法を開発し、噴火の進行状況を迅速に把握することによって噴火推移予測および過去の噴火堆積物からの噴火推移復元の高精度化に資することである。

装置は粒子カウンタ、重量計、カメラからなるセンサ群、バッテリー、太陽光発電パネル、風力発電機からなる給電部、およびそれらを制御するコントロール部からなり、継続的に自立観測を行うことが可能な仕様とした。今回新たに開発した新型機では装置の軽量化・小型化を進め、超音波センサによる堆積厚の測定機能を追加導入した。

霧島および桜島火山で装置の実地検証を行い、長期稼働および噴火による降灰の検出試験を実施した。その結果、ブルカノ式噴火による降灰の重量および画像の取得、ネットワーク送信は実用可能なレベルに達した。降灰重量は 50g/m<sup>2</sup> 以上の降灰であれば検知可能であり、より精度を高めることは可能である。花粉センサとネットワーク機器の火山ガス耐性に問題があり、長期的な観測には課題が残されている。

2014 年度から導入した新型機では超音波センサによる堆積厚の測定機能を追加し、機器全体を軽量小型化したことにより、より火口近傍での観測が可能な仕様とした。現在、実地検証を行っているところである。

自動降灰観測装置は複数台の装置を無線 LAN で接続することで観測網を構築して、降灰量の即時推定をすることが当初の構想であった。降灰堆積物の規模と無線の仕様が折り合わないことから、現状では観測網の構築に機器毎のインターネット接続が必要である。迅速に火口近傍に設置して観測することは可能になりつつある。

キーワード: 火山灰, 観測装置, 花粉センサ, 重量計, インターネット

Keywords: volcanic ash, observation equipment, pollen sensor, load cell, internet

## 花粉センサーネットワークでとらえられた御嶽山2014年の降灰 The ash fall of Ontake Volcano 2014 eruption by the pollen sensor networks observation

及川輝樹<sup>1</sup>; 古川 竜太<sup>1\*</sup>  
OIKAWA, Teruki<sup>1</sup>; FURUKAWA, Ryuta<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>産総研 活断層・火山研究部門

<sup>1</sup>GSJ/AIST

全国に展開されている花粉センサーネットワークは、粒子センサーを基として開発されているため、それにより火山灰の降下を観測できることは知られている(例えば、及川ほか, 2009; 宮地ほか, 2010)。しかし、その感度や火山灰に対するセンサー値の特性は不明な点が多い。2014年9月27日に発生した御嶽山の噴火の降灰は、NTTドコモの環境センサーネットワークの花粉センサーで捉えられた。そのセンサー値と降灰分布や降灰量の実測値を比較検討して、降灰時間、センサーの感度、火山灰によるセンサー値の特性などを検討し報告する。

今回の解析には、27-29日にかけて微量でも御嶽山の降灰が認められた地域内とその周辺に設置されたセンサーネットワークの観測値を使用した。実際の降灰量と比較すると、降灰と判断されるセンサー値の変化は $2 \text{ g/m}^2$ 以上の降灰量で認められた。花粉センサーの感度は、スギ花粉の粒径( $\sim 30 \mu\text{m}$ )にあわせて調整されている。通常の火山灰粒子はスギ花粉より粗い粒子が多いため、降灰量が少ない場合にはバックグラウンド以上のカウント数が稼げない可能性がある。そのため、実際の降灰域より狭い範囲でしか、花粉センサーの値は変化しないと考えられる。なお、浅間火山2009年の噴火は、 $1 \text{ g/m}^2$ 以上の降灰で花粉センサー値が変化した。これは、噴火による細粒粒子の生産量や凝集の効果などで実際に降ってきた火山灰の粒径がことなるため、感度に差が生まれた結果と考えられる。

なお、花粉センサーで捉えられた火山灰粒子は、電圧値と偏光度から概ね $35 \mu\text{m}$ 以下で偏光度は0~0.2程度で円形とはかけ離れた形をなすものが多い。

花粉センサーの値から、御嶽火山で2014年9月27日に発生した噴火による降灰は、東側30 km地点には約3時間後、40 km地点には約5時間後に降灰したと判断される。ゆっくりと拡散していった様子が捉えられた。また、北東麓の濁川温泉には27日21時頃に降灰があったと推測される。山梨県の報告では火口から60-80 km離れた山梨県内への降灰は、噴火後6時間程度であることから、センサーで捉えられた値はおおむね正しい降灰時間を示していると判断される。

文献: 及川ほか(2009)地球惑星連合2009年大会予稿集, V159-P035. 宮地ほか(2010)日大自然科学研究所研究紀要, 第2部, 45, 265-288.

キーワード: 御嶽山, 御嶽火山, 2014年噴火, 花粉センサー, 火山灰, センサーネットワーク

Keywords: Ontakesan, Ontake Volcano, 2014 eruption, Pollen sensor, volcanic ash, sensor network

## 花粉センサーで捉えられた御嶽山2014年噴火の火山灰 Possible detection of fine ash particle from 2014 phreatic eruption at Ontake Volcano by pollen sensor network

三輪 学央<sup>1\*</sup>; 長井 雅史<sup>1</sup>; 川口 亮平<sup>1</sup>; 棚田 俊收<sup>1</sup>

MIWA, Takahiro<sup>1\*</sup>; NAGAI, Masashi<sup>1</sup>; KAWAGUCHI, Ryohei<sup>1</sup>; TANADA, Toshikazu<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 防災科学技術研究所

<sup>1</sup>NIED

Very fine ash particle with size of  $<30\mu\text{m}$  is considered to remain suspended for days to weeks due to their small terminal velocity, and influence many environmental and economic factors (e.g., Rose and Durant, 2011). This study presents continuous data of pollen sensor network that possibly detected fine ash particle from 2014 phreatic eruption at Ontake volcano. The pollen sensor uses polarizing laser, and counts a particle introduced into the chamber. Also the shape of particles is estimated from scattering and polarization properties of the particles. The particle size that can be counted by the pollen sensor ranges from 20 to 30  $\mu\text{m}$  which corresponds to fine ash. We examined continuous data from 150 pollen sensor stations installed in Nagano, Gifu, and Yamanashi prefectures that were around the Ontake volcano during September 26-28th, 2014. We evaluated temporal change of the counting number of the particles on the basis of ratio of the counting number at a time to average value in each station. The ratio shows step-like increasing at few hours after the eruption which occurs in 11:52 September 27th. The increasing of ratio could be explained by falling and resuspension of fine ash particle after the eruption. Examination of shape of particle and extension of studied term are future work.

キーワード: 火山灰, 御嶽山, 花粉センサー

Keywords: volcanic ash, Ontake volcano, pollen sensor

## 御嶽山2014年噴火前後における火山性地震のスペクトルの特徴 Spectral characteristics of volcanic earthquakes before and after the 2014 eruption of Ontake volcano

長岡 優<sup>1\*</sup>; 加藤 幸司<sup>2</sup>; 山本 哲也<sup>1</sup>; 横山 博文<sup>1</sup>  
NAGAOKA, Yutaka<sup>1\*</sup>; KATO, Koji<sup>2</sup>; YAMAMOTO, Tetsuya<sup>1</sup>; YOKOYAMA, Hirofumi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 気象庁気象研究所, <sup>2</sup> 気象庁  
<sup>1</sup> MRI, JMA, <sup>2</sup> JMA

御嶽山の2014年9月27日の水蒸気噴火では、噴火に先立ち8月29日頃から山頂直下を震源とする火山性地震が発生し、9月10~11日に急増したが(10日は52回、11日は85回)、その後は1日に3~27回程度の活動度で推移し、噴火に至った。この噴火前の地震活動が示す噴火のプロセスを理解することを目標に、火山性地震のスペクトルの特徴を調べ、噴火前後で比較を行った。

山頂から南東方向に約2.5 kmの場所にある気象庁田の原上観測点の地震計上下動成分のスペクトルに着目して、火山性地震を分類した。ここで、高周波成分の大小に基づき、以下の2つのイベントタイプを定義した。

HF型: 20 Hz以上におけるパワーが、ピーク値の10分の1程度より大きい  
LF型: 20 Hz以上におけるパワーが、ピーク値の10分の1程度より小さい

火山性微動が活発だった期間を除き、8月29日00時00分~9月27日11時40分と、10月3日17時27分~11月1日00時00分の2つの期間(便宜的にそれぞれ噴火前、噴火後と呼ぶ)において気象庁で検測された火山性地震を対象とした。噴火前後で各イベントタイプの活動度を比較すると、噴火前にはLF型が大部分を占めていたが、噴火後にはHF型の方が多くなった。

また、噴火前後のランニングスペクトルを比較すると、LF型は噴火前では継続時間が長く、噴火後では継続時間が短い傾向がみられたが、HF型には大きな違いはなかった。また、噴火前には連続して発生する火山性地震が多数あり、その大部分がLF型であったが、噴火後は少なくなり、その中にはHF型のスペクトル特性を示すものがみられた。

キーワード: 御嶽山, 火山性地震, スペクトル特性

Keywords: Ontake volcano, volcanic earthquake, spectral characteristics

## 御嶽山における噴火過程の地震波形の比較 Comparison of seismic waveforms in process of past eruptions at Ontake volcano

大塚 仁大<sup>1\*</sup>; 藤原 善明<sup>1</sup>  
OTSUKA, Yoshihiro<sup>1\*</sup>; FUJIWARA, Yoshiaki<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 気象庁  
<sup>1</sup> Japan meteorological agency

### はじめに

これまでに御嶽山で噴火した事例について、開田観測点（名古屋大学）と田の原上観測点（気象庁）の最大振幅の比から地震動の深さの推定（2007年、2014年の噴火）と、田の原上観測点の波形を基にして地震波形タイプの分類（1991年、2007年、2014年の噴火）を行い、これらから噴火前後の地震活動の特徴について調査した。

### 噴火の事例解析

2014年9月27日の噴火では9月10日頃から火山性地震が増え始め、地震波形タイプはA型地震（高周波）にBH型地震（やや高周波）が多く含まれるようになり、これらの地震は平常時の地震（振幅比が2程度）より浅い部分（振幅比が4前後）で発生するものが多かった。噴火の約10分前から観測された火山性微動は更に浅い部分（振幅比が6程度）での発生がみられ、合わせてBH、A型地震がもう一段浅い部分（振幅比が10以上）で発生し、噴火に至っている。噴火後は一旦、深い部分（振幅比が3程度）でBH型地震が発生した後、再び浅い部分（振幅比が8以上）でBL地震が目立つようになった。その後、振幅の大きな地震は一時的に低調となるが、10月半ばから発生した地震は深さ方向に纏まりが無く、その殆どはA型地震となっている。また、11月にはこれまでの微動より深い部分（振幅比が3前後）で微動が短期間、発生している。

2007年の噴火事例では、2006年12月から2007年1月に多発したBH型地震は、2014年のBH型地震の多発時よりやや深い部分（振幅比が3程度）で発生がみられた。1月25日の超低周波地震（VLF）発生時には、浅い（振幅比が大きい）部分でBH型地震と微動の急増がみられた。浅い（振幅比が8前後）部分で微動の発生が半月程続いた後、地震活動は一時的に低調となった。3月2日にBL型地震（低周波）が発生した以降、浅い（振幅比が大きい）部分でBH型地震と微動が発生する中でごく小規模な噴火が発生した。

1991年の噴火事例では振幅比は調査できていないが、地震タイプの分類によると地震が多発するまでは他の事例同様にA型地震が殆どで、地震の多発時にはBH型地震が多くみられ、BL型地震と微動も発生した。これらの地震多発から約1月後にごく小規模な噴火が発生している。噴火後も2週間程度は微動、BH、BL型地震が発生していた。

### 結果

これらの事例を振幅比でみた深さによると、平常時の地震より浅い部分でBL、BH地震と微動が発生した後に噴火する場合と、微動の発生や浅い部分での地震発生が無いまま噴火する場合がみられ、いずれの場合でも噴火前にBH型地震の増加がみられている。講演では、今回調査した地震波形とそれ以外の観測データを含めて噴火過程の類似点についても考察する。

### 謝辞

調査にあたり名古屋大学（開田観測点）の地震データを使用しました。記して感謝いたします。

キーワード: 御嶽山, 振幅比, 地震波形タイプ  
Keywords: Ontake volcano, maximum amplitude ratio, characteristics of seismicity

## スタッキング法を用いた GNSS データによる 2014 年御嶽山噴火前後の地殻変動検出 Detection of crustal deformation accompanied by the 2014 eruption of Ontake volcano using GNSS stacking data.

宮岡 一樹<sup>1\*</sup>; 横田 崇<sup>2</sup>; 高木 朗充<sup>1</sup>; 鬼澤 真也<sup>3</sup>  
MIYAOKA, Kazuki<sup>1\*</sup>; YOKOTA, Takashi<sup>2</sup>; TAKAGI, Akimichi<sup>1</sup>; ONIZAWA, Shin'ya<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 気象研究所, <sup>2</sup> 東京管区気象台, <sup>3</sup> 気象庁

<sup>1</sup>Meteorological Research Institute, JMA, <sup>2</sup>Tokyo District Meteorological Observatory, <sup>3</sup>Japan Meteorological Agency

2014年9月27日に御嶽山で噴火が発生した。この噴火に先立って、9月19日頃に一時的に地震活動が活発化したものの、その後は噴火直前まで顕著な活動は見られなかった。また地殻変動観測においても、噴火7分前頃から傾斜計に変化が見られた他は顕著な変化は見られていなかった。その後、気象庁が10月中旬頃までのGNSSデータを解析し、9月上旬以降、わずかな伸びの変化があることがわかった(気象庁, 2014)。また国土地理院も精密暦による解析で、御嶽山を跨ぐ基線に9月上旬頃からのわずかな伸びと噴火以降のわずかな縮みの傾向が見られたことを報告している(国土地理院, 2014)。

本研究では、気象庁が東海地震監視のために用いている、ひずみ計データのSN比を向上させる手法(スタッキング法: 宮岡・横田, 2012)をGNSSデータに適用し、御嶽山噴火前後の地殻変動の抽出を試みた。

スタッキング法では複数の観測点で時系列変化を足し合わせることでSN比を向上させる手法である。この場合、スロースリップイベントなどのようなプレート境界すべりによる各観測点でのひずみ変化には伸びと縮みがあることから、それらの変化の極性が同一となるよう必要な観測点のデータについてはその極性を反転させ、スタッキングを行っている。このことにより、各データに含まれるノイズ成分は打ち消し合う一方でシグナル成分は加算され、結果としてSN比が向上することになる。

この手法を御嶽山周辺のGNSSデータに適用するにあたり、1次モデルとして山頂直下に茂木ソースの膨張源を仮定した。この場合、山頂を跨ぐ2地点間の基線長は全て伸びの変化となることから、複数の基線長データをそのままスタッキングした。その際、異なる深さのソースの検出を念頭に、地下の比較的浅部を対象とした山頂周辺の数km程度の基線の組み合わせ(短基線)、深部を対象とした40km程度の基線の組み合わせ(長基線)を適用した。

これらを用いた解析の結果、短基線のデータに8月中下旬以降のわずかな伸びの変化と、噴火後の緩やかな縮みの変化が検出された。また長基線でもわずかな変化が見られるがノイズレベルを超えるような大きさではなかった。一方、同じ組み合わせで2007年3月下旬(推定)の噴火の際のデータを解析したところ、短基線のデータに2006年12月から翌3月頃にかけて今回と同程度もしくはやや大きな伸びの変化が見られた。また長基線でも2006年12月から明瞭な伸びの変化が見られたが、こちらは翌1月にはほぼ停止していた。

短基線、長基線はそれぞれ深部と浅部でのマグマもしくは流体の挙動を示していると考えられ、その深部と浅部で異なる挙動が見られ、また2007年と2014年の噴火の際でも異なった様式の活動があったことが推測される。

キーワード: 御嶽山, スタッキング, 噴火, 地殻変動, GNSS

Keywords: Mt Ontake, stacking, eruption, crustal deformation, GNSS

## 御嶽山田の原の傾斜計東西成分の降水補正 (1) The rainfall correction of E-W component of the tiltmeter at Mt. Ontake Tanohara (1)

木村 一洋<sup>1\*</sup>; 中橋 正樹<sup>2</sup>  
KIMURA, Kazuhiro<sup>1\*</sup>; NAKAHASHI, Masaki<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 気象研究所, <sup>2</sup> 気象庁地震火山部火山課  
<sup>1</sup> Meteorological Research Institute, <sup>2</sup> Japan Meteorological Agency

気象庁が東海地震監視のために観測しているひずみ計のデータについては、タンクモデルを用いた降水補正(木村・他、2015)を順次業務に導入し、東海地震の前兆すべりの検知力向上が図られている。一方、気象庁が火山監視のために観測している傾斜計のデータについては、降水補正の唯一の入力値である降水量データを得るための雨量計が設置されていない観測点が多いことや、北日本や標高の高い所では無視することができない積雪・融雪などの影響を考慮した降水補正手法が確立できていないことから、木村・他(2015)による降水補正の効果は現段階では限定的であり、現段階では業務化には至っていない。

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、監視してきた。しかし、これまでこの傾斜計のデータに潮汐補正は行われてきたものの、降水補正は行われていなかった。降水補正をなくとも、2014年9月の御嶽山の噴火に際し、数分前から急激な山上がりの変化が前兆としてあったことは、誰が見ても異論がないと思われる。一方、傾斜計の長期のデータを見ると、降水補正をしていない東西成分のデータは降水の影響が大きく、前兆となるような変化は確認することができなかった。

御嶽山の噴火を踏まえて、緊急的にこの傾斜計の東西成分についてタンクモデルを用いた降水補正を行ったところ、幸い田の原の傾斜計のすぐ近くには気象庁の御嶽山のアメダスがあることから、降水が雨である期間(6月~10月)については良好な結果を得ることができた。その結果、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することができた。国土地理院や気象庁のGNSS観測によれば9月上旬頃から御嶽山を挟む基線でごくわずかな伸びが確認されているものの、このような傾斜計の変化は過去にも数回確認されている。この傾斜計の変化を前兆と受け止めるか、ノイズと受け止めるか、人によって評価は分かれるところだと思われる。

傾斜計などの長期の地殻変動データを元に地下深部の現象を議論するためには、降水補正という技術が必須である。このポスターでは、御嶽山田の原の傾斜計データの降水補正を試みた調査を通じて、現状どこまで改善することが可能で、何が課題として残されているかについて紹介する。

キーワード: 傾斜計, 御嶽山, 降水補正  
Keywords: tiltmeter, Mt. Ontake, rainfall correction



## 御嶽山麓での重力観測-序報- Preliminary report of the gravity measurement around Mt. Ontake

本多 亮<sup>1\*</sup>; 田中 俊行<sup>1</sup>; 宮城 洋介<sup>2</sup>; 宮島 力雄<sup>1</sup>  
HONDA, Ryo<sup>1\*</sup>; TANAKA, Toshiyuki<sup>1</sup>; MIYAGI, Yosuke<sup>2</sup>; MIYAJIMA, Rikio<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東濃地震科学研究所, <sup>2</sup> 防災科学技術研究所  
<sup>1</sup>TRIES, <sup>2</sup>NIED

岐阜・長野両県に跨る御嶽山(3067 m)が2014年9月27日午前11時52分に噴火し、多くの登山客が被災(57名が死亡、6名が行方不明)した。重力観測は地下の物質移動を直接把握することができることから、火山下の物質移動をモニタリングする上で重要な観測量である。国内の重力研究グループでは協力して御嶽山の観測を行うこととなり、可能な限り早い時期に最初の観測を行っておく必要があると考え、東濃地震科学研究所の所有する絶対重力計FG5及び相対重力計CG3を用い、防災科学技術研究所と共に観測を行うとともに繰り返し観測に備えた観測点整備を行った。

繰り返し重力観測において標高変化を把握しておく事は重要事項であるので、木股・ほか(2011)の水準測量路線上に重力観測測線を設置することとした。既に水準点として金属標が打ち込んであるが、繰り返し全く同じ場所での重力測定を確実なものとするため、水準点の傍に重力計の三脚設置のための2つの浅いくぼみをドリルで作った。水準路線上の水準点のうち、重力観測に適した場所を選び30点の測定点を設けたほか、田の原、御嶽山休暇村に各1点ずつ観測点を設けた。田の原については立ち入り制限区域内であったため、許可を得て立ち入った。

観測点整備作業及び重力観測を2014年11月18日~21日にかけて行った。御岳町中央公民館中央部分館において絶対重力計FG5による絶対重力測定を行う傍ら、全32点の観測点で相対重力計CG3及び防災科学研究所の相対重力計CG5を用いた相対重力測定を行った。今後同様の観測を繰り返し、御嶽山の火山活動に注意を払っていく。また、今回設置した重力点についての点の記を作成した。

### <参考文献>

木股・ほか、御嶽山東山麓群発地震域において精密水準測量から検出された上下変動(2002-2009年)、東濃地震科学研究所報告, 27, 67-74, 2011.

キーワード: 重力, 御嶽山, 地殻変動  
Keywords: Gravity, Mt. Ontake, Crustal Deformation

## 御嶽山山頂周辺での自然電位マッピングと東麓での地電位差連続観測について Self-potential mapping around the summit area of Ontake volcano and continuous telluric observations

吉村 令慧<sup>1\*</sup>; 岡田 靖章<sup>1</sup>; 山崎 健一<sup>1</sup>

YOSHIMURA, Ryokei<sup>1\*</sup>; OKADA, Yasuaki<sup>1</sup>; YAMAZAKI, Ken'ichi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 京都大学防災研究所

<sup>1</sup> Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

2005年および2006年の夏季に実施した御嶽山山頂周辺の自然電位マッピングの結果と2014年9月27日に発生した水蒸気爆発の位置関係を対比するとともに、その位置について事前に予測することが可能であったかを検討する。加えて2003年～2005年にかけて行った御嶽山東麓の自然電位マッピングの結果と2007年2月から継続している東麓でのNTT専用電話回線を利用した長基線電位差連続観測の現状を紹介し、水蒸気爆発前後の変化の有無について報告する。

キーワード: 自然電位, 御嶽山, 連続電位差観測

Keywords: Self-potential, Ontake volcano, continuous telluric observations

## 雲仙火山の最近の火山活動について Recent volcanic activity of Unzen volcano

松島 健<sup>1\*</sup>; 馬越 孝道<sup>2</sup>; 清水 洋<sup>1</sup>; 松本 聡<sup>1</sup>; 相澤 広記<sup>1</sup>; 神蘭 めぐみ<sup>1</sup>  
MATSUSHIMA, Takeshi<sup>1\*</sup>; UMAKOSHI, Kodo<sup>2</sup>; SHIMIZU, Hiroshi<sup>1</sup>; MATSUMOTO, Satoshi<sup>1</sup>; AIZAWA, Koki<sup>1</sup>; KAMIZONO, Megumi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 九大地震火山センター, <sup>2</sup> 長崎大学環境科学部

<sup>1</sup> SEVO, Kyushu Univ., <sup>2</sup> Fac. of Environmental Studies, Nagasaki Univ.

1990-1995年に溶岩ドームや火砕流などの火山活動を行った雲仙・普賢岳は、表面上の火山活動は静穏な状況が続いている。しかし、ここ数年普賢岳直下の地震活動が徐々に活発化するなど、その活動に変化が現れている。

雲仙火山では、島原半島西方の千々石湾の下にあるマグマ溜まりから、ほぼ45度の角度でマグマが普賢岳の下に向かって上昇してくると考えられており、それにともなって火山性地震の震源が橘湾から普賢岳の直下に移動してきた。その後1991年5月の溶岩ドーム出現とともに火山性地震の発生数が急に少なくなり、1995年の溶岩噴出停止時までは溶岩ドームの直下の浅いところでの地震のみが多発していた。

これらの現象は、千々石湾の深部からマグマが上昇してくる火道が作られる際に、その先端近傍で岩石の破壊が発生しているためであり、一度火道ができあがると、新たな岩石破壊は溶岩の吹き出し口付近だけに限定されるようになったためと考えられている。

溶岩ドームの成長停止後、しばらくは火山性地震の発生が少ない状態であったが、2008年以降は普賢岳の海面下1km付近でM-1?M0程度の小さな地震がこれまでの2?3倍の頻度で発生するようになった。また最近ではM0?M1程度の火山性地震数が増え、地震の規模も大きくなる傾向がみられている。

雲仙岳では、島原半島西岸にそった水準路線がもうけられており、2014年3月に7年ぶりの測定が行われた。その結果をみると、1996?2001年までは、マグマの上昇通過点に近い雲仙市小浜町で若干の隆起傾向がみられたが、その後は沈降傾向に転じており、今回の測定でも同様な結果が得られた。したがって島原半島西岸部では、溶岩ドーム成長停止後もしばらくの間地下深くからのマグマの供給が続いていたが、現在はその動きは停止し、脱ガス・熱収縮により収縮が続いているものと推測された。

九州大学では、1995年の溶岩ドーム成長の停止後、溶岩ドームに噴出する噴気温度の測定を数ヶ所において続けた。測定開始当初700度程度あったガスも急速に温度を下げ、2011年には全点とも100度も下まわる状況になった。しかし、2014年11月にはこれまで低下の一方であった噴気温度が全点で5?10度上昇し、噴気量も多い状態が続いていることがわかった。

気象研究所が実施しているGPS観測の結果では、溶岩ドームは収縮をつづけており、その直下の旧山体上部も収縮傾向がみられる。

以上のことから考えると、雲仙・普賢岳は地下深部からのマグマの供給は止まっており、地表にある溶岩ドームも順調に冷却化が進んでいる。しかし、海面下深さ1kmの普賢岳直下あたりでは、何らかの火山活動により火山性地震が増加している。ドームの噴気温度が少し上昇し、噴気が多い状況なのは、この深さ1kmあたりの何らかの活動が影響している可能性がある。

キーワード: 雲仙火山, 火山性地震, 水準測量, 噴気温度, 溶岩ドーム

Keywords: Unzen volcano, Volcanic earthquake, Leveling survey, fumarole gas temperature, lava dome

## 2014-2015年 阿蘇山の噴火活動について The 2014-2015 eruptive activity of Aso Volcano, Kyushu, Japan

平松 秀行<sup>1</sup>; 井上 秀穂<sup>1</sup>; 松末 伸一<sup>1</sup>; 加藤 幸司<sup>2\*</sup>  
HIRAMATSU, Hideyuki<sup>1</sup>; INOUE, Hideho<sup>1</sup>; MATSUSUE, Shinichi<sup>1</sup>; KATO, Koji<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> 福岡管区気象台, <sup>2</sup> 気象庁地震火山部  
<sup>1</sup>Fukuoka Regional Headquarters, JMA, <sup>2</sup>Japan Meteorological Agency

### はじめに

2014年11月25日、阿蘇山は本格的なマグマ噴火を開始した。本発表では、この噴火発生前後の阿蘇山の火山活動について報告する。

### 2014年噴火前の活動

阿蘇山では、2013年9月に火山性地震が一時的に増加した。2013年12月20日頃からは、火山性微動の振幅が次第に大きくなったほか、二酸化硫黄の放出量が増加した。そして、2014年1月13日から2月19日にかけて、ごく小規模な噴火が断続的に発生した。その後は、火山活動はやや落ち着いた状態で経過したが、2014年7月上旬になると、火山性微動の振幅が再び増大しだし、また、7月中旬から下旬には火山性地震及び孤立型微動が増加した。中岳第一火口の湯だまり量は約1割で経過していたが、次第に減少し、2014年7月中旬には、湯だまりが消失した。また、火口底中央部付近の噴気孔では、ごく弱い火炎を、その周辺部では赤熱を観測した。8月下旬になると、再び孤立型微動や火山性地震が増加しだし、中岳第一火口底の温度も、それ以前は300℃前後であったのが、8月27日には約500℃、10月中旬以降は約600℃と上昇し、二酸化硫黄の放出量も、それ以前が1000トン/day前後であったのに対し、10月27日には2600トン/dayとなった。また、火山性微動の振幅も11月中旬から次第に増大した。GNSS連続観測では、2014年9月頃から西側の基線にわずかな伸びの傾向が認められた。

### 2014-2015年噴火活動

そういったなか、11月25日から本格的なマグマ噴火がはじまった。夜間には赤熱したマグマが噴き上げられているのが観測され、噴火はストロンボリ式噴火の様相を呈した。11月27日に行った現地調査では、中岳第一火口の南側で火山灰が約7cm堆積し、火口縁付近ではこぶし大のスコリアを確認した。11月25日から27日に実施した現地調査及び聞き取り調査の結果、熊本県、大分県、宮崎県の一部にかけての広い範囲で降灰を確認した。

噴火活動は、盛衰を繰り返しながら2015年2月現在も続いており、この盛衰に伴って、微動振幅や傾斜記録に変化が観測された。

## 阿蘇火山 2014 年噴火前後の地殻変動について Ground deformation in Aso Volcano before and during 2014-15 eruptive activity

大倉 敬宏<sup>1\*</sup>; 吉川 慎<sup>1</sup>; 井上 寛之<sup>1</sup>  
OHKURA, Takahiro<sup>1\*</sup>; YOSHIKAWA, Shin<sup>1</sup>; INOUE, Hiroyuki<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 京都大学火山研究センター

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

阿蘇火山では、1989年-1993年の噴火以来、約20年ぶりとなるマグマ噴火が2014年11月下旬に発生した。京都大学火山研究センターでは、1987年以降、中岳第一火口から南西に約1km離れた地点の地下30mにある観測坑道で地震観測や地殻変動観測などを実施してきた。本発表では、伸縮計および水管傾斜計によってとらえられた噴火前後の地殻変動について報告する。

阿蘇火山では、1993年から2012年までの水準測量により、中岳火口の西約4kmの草千里を中心とする沈降が検出されていた。この沈降量から推定されるマグマだまりの収縮量は、火口からの火山ガス放出によるマグマの消費量とオーダーでは一致する。2008?2012年の沈降量は2004-2008年の沈降量の6割程度であり、このことは、草千里下のマグマだまりに注入するマグマ量の増加を示唆する。2004年から開始されたGPS観測でも同様な変動が捉えられていた。

このような状況のもと、2013年4月より中岳第一火口の湯だまり(火口湖)の湯量が減少しはじめ、2013年9月には、地震活動の活発化とガス放出量の急増が観測された。9月23日より活発化した地震活動は、24および25日に2000回を超える火山性地震が観測されるに至り、噴火警戒レベルが2に引き上げられた(気象庁、2013)。この地震活動に先立ち、23日の15:00頃より歪み変化が観測されはじめた。この直前に、長周期地震活動の活発化をともなう明瞭な歪み変化と傾斜変化を火口近傍でとらえた。火口方向に設置された伸縮計で観測された変動は当初伸びを示していたが、24日00:00頃に縮みへと逆転し、26日06:00頃にピークとなった(1マイクロstrain)。同時に火口方向が沈降する傾斜変化が観測されており、これらの変動は中岳火口直下のクラック状火道(Yamamoto et al., 1999)の開口が深部から浅部へ進行したことで引き起こされたものであると解釈される。

同じような歪み変化と傾斜変化が2014年1月と7月に観測された。これら3回の変動はいずれも長周期微動の活発化と二酸化硫黄放出量の一時的な増加を伴っており、増加した火山ガスがクラックを開口させ、クラック周辺部の状態変化を引き起こしたと考えることができる。

その後、2014年7月以降には草千里をはさむ複数のGPS基線で伸びが観測され始めた。10月下旬から活発化した長周期微動は、周期2秒の連続微動の活発化をともなった。この連続微動は伸縮計にも記録されるほどの振幅をもつ。

2014年11月25日の午前6時台に火口方向の伸縮計で急激な伸びが観測されはじめた。降灰の報告は同日の7時台であり、この変動が噴火直前あるいは噴火中のものである可能性が高い。

阿蘇火山2014年噴火は、マグマ噴出の消長をともない2015年2月現在も継続している。1月5日から7日にかけては火口方向上りの傾斜と伸びが観測され、その直後にマグマ噴出が活発化した。観測された面積歪と傾斜量の比を用い、茂木ソースの水平位置をクラック上に仮定し、その深さを求めるとおよそ1.3kmとなり、1994年に頻発した水蒸気爆発直前の膨張源(Kaneshima et al., 1996, Kawakatsu et al., 2000)とほぼ一致していることが分かった。

阿蘇火山では多雨の時期に、雨水の流入により火口が閉塞し水蒸気爆発が発生する、という事例が多発してきた。今後も地殻変動の観測を継続し、これらの水蒸気爆発にいたる過程の解明につなげていきたい。

キーワード: 阿蘇火山, 2014 噴火, 地殻変動

Keywords: Aso Volcano, Eruptive activity 2014-2015, Crustal deformation

## F-net 広帯域地震計を用いた matched filter 解析による阿蘇山長周期振動のモニタリング Detection of long period events of the Aso volcano applying a matched filter technique to F-net broadband seismic data

松澤 孝紀<sup>1\*</sup>; 松本 拓己<sup>1</sup>; 棚田 俊收<sup>1</sup>  
MATSUZAWA, Takanori<sup>1\*</sup>; MATSUMOTO, Takumi<sup>1</sup>; TANADA, Toshikazu<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 防災科学技術研究所

<sup>1</sup>National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

阿蘇山において 10 秒以上の長周期帯の振動が励起されていることは、1990 年代半ばより報告されてきた (Kaneshima et al., 1996)。2014 年 8 月頃より活発化がみられるこの長周期振動に対し、F-net 広帯域地震計記録による matched filter 解析 (例えば Asano et al., 2015) を適用し、現在、活動状況のモニタリングを試みている。

この解析では、テンプレートとする地震波形と、対象とする期間の記録の波形相関を計算し、相関係数の平均がある閾値を超えた場合に、イベントとして検出を行う。浅部超低周波地震の検出では、Asano et al. (2015) は震央位置も同時に解析しているが、本解析においては震源は変化しないものと仮定し、発震時刻のみの推定を行っている。現状の処理としては、2009 年 3 月 31 日 6 時 5 分頃に発生したイベントを基準波形 (テンプレート波形) として F-net 連続波形記録に、10-20 秒の帯域でバンドパスフィルターをかけて波形相関をとり、その相関係数を観測点間で平均した値 (以下、平均相関係数とよぶ) を計算している。この値の 1 分間での最大値が、0.3 あるいは 0.5 を超えた場合をイベントとして検出した結果について以下紹介する。なお解析データは、周辺の F-net 観測点 9 点の 3 成分を使用している。さらにこの解析においては、各時間ウィンドウにおける最大振幅について、テンプレートイベントとの比をとって、観測点間で対数平均したもの (以下、平均振幅比とよぶ) を、振幅の指標として出力している。さらに長期的な変化を議論するためには、一日毎の代表値が便利であるため、平均相関係数および平均振幅比の一日毎のメディアンをそれぞれ計算し、以下この値を用いて結果を紹介する。

この方法によって、2003 年 4 月から 2015 年 1 月までの期間を解析したところ、2010 年 8 月頃から 2012 年 2 月頃までの期間は、それ以前および以後に比べて活動が低調である傾向がみられた。その後、2014 年 8 月頃からは検出数、平均振幅比とも増加傾向がみられた。2014 年 10 月 20 日頃からは、この傾向がさらに顕著となり、平均振幅比が 2 以上となり、平均相関係数 0.3 を超えるイベント数が 500 以上となる日が多くみられるようになった。これらの値は、これ以前の解析期間には見られなかった活発な活動であることを示す。その後 2014 年 11 月終わり頃から、平均振幅比および平均相関係数 0.5 を超えるイベント数は低下したが、平均相関係数 0.3 を超えるイベントの数は依然多い状態が継続している。これは、長周期振動の発生数は依然として多い状態であるが、それぞれの長周期振動の振幅が低下していることを示唆する。

本手法は簡便にイベント検出が可能であるものの、いくつか問題点が残されている。例えば、遠地地震の発生時等では波形相関の値が小さくなってしまふ。また、イベントを抜き出す 1 分の時間幅よりも短い間隔でいくつもイベントが発生するような、活動が極めて活発な状況が生じた場合には、検出能力が飽和する可能性も予想される。ここでは平均相関係数が 0.3 と 0.5 を超える場合をイベントとして紹介したが、検出基準についてもなお検討の必要がある。しかしながら、ここで紹介した長周期振動の情報は火山活動の変化を短時間に把握する指標の一つとして有用と考えられるため、解析手法の改善を行いつつも、定常的にモニタリングを続けることが重要である。また、火山近傍だけでなく、F-net のようなある程度離れた場所のデータを用いたモニタリング手法を準備しておくことは、近傍の点で何らかの障害が起きた際の代替手段としても有用であろう。

キーワード: 阿蘇山, 長周期振動, 波形相関, モニタリング

Keywords: Aso volcano, long period tremor, matched filter technique, monitoring

## 阿蘇火山における連続微動の発生位置推定 Locating sources of the continuous tremor at Aso Volcano

市村 美沙<sup>1\*</sup>; 横尾 亮彦<sup>1</sup>; 鍵山 恒臣<sup>1</sup>; 大倉 敬宏<sup>1</sup>; 吉川 慎<sup>1</sup>; 井上 寛之<sup>1</sup>  
ICHIMURA, Misa<sup>1\*</sup>; YOKOO, Akihiko<sup>1</sup>; KAGIYAMA, Tsuneomi<sup>1</sup>; OHKURA, Takahiro<sup>1</sup>; YOSHIKAWA, Shin<sup>1</sup>;  
INOUE, Hiroyuki<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 京都大学大学院理学研究科

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

火山性微動は火山性流体の移動やその相互作用によって励起される振動であり、火山活動をモニタリングする上で重要な現象のひとつである。阿蘇火山では1900年代初頭から観測による火山性微動の研究が主として行われてきており(例えば Sassa, 1935)、数種類の火山性微動が発生していることが知られている。例えば、3-10 Hzの周波数帯が卓越する連続微動は、中岳第一火口下600 m以浅で発生しており、火山性流体が地下水に侵入することによって励起されていると考えられている(Takagi et al., 2006; 2009)。一方、連続微動の振幅増大は火山活動の活発化と対応性があることから、火道の拡大過程によってこの微動が発生するという考えもある(須藤, 2012)。しかし、いずれの場合においても連続微動の発生位置や発生機構の詳細は明らかになっていない。

阿蘇火山中岳では2014年1月7日に火口の開口が、1月13日には小規模噴火の発生が確認された(気象庁, 2014)。京都大学火山研究センターの地震記録には、これらの火山活動に前駆して、一ヶ月以上前から連続微動の振幅増減があったことが認められる。第一火口から南に約1 kmの位置にある観測点(砂千里)の地震記録(鉛直成分; 5-10 Hz)では、この振幅変化は2013年11月から12月中旬にかけての緩やかな振幅の増大で始まった(0.006  $\mu\text{m/s/day}$ )。その後2週間程度の急激な振幅増大を経て(0.16  $\mu\text{m/s/day}$ )、12月30日から2014年1月2日にかけて11月初旬の振幅レベルにまで急減した(-0.25  $\mu\text{m/s/day}$ )。さらにその後も再び同様の振幅増減が10日間わたって繰り返された。

本研究では、上記の振幅変化が確認された期間に着目して連続微動の発生位置を推定した。そして、推定された連続微動発生位置の時空間変化と火口表面現象の推移から、火口浅部における火道分布と微動発生過程について考察した。

連続微動発生位置は、京都大学火山研究センターの7観測点の地震記録(鉛直成分; 5-10 Hz)を用いて推定した。ここでは振幅比空間分布(砂千里を基準)を最も説明できる点を微動発生位置とみなし、火口を含む約1,500 m  $\times$  1,500 m  $\times$  1,200 mの領域(グリッド間隔は25 m)において、S波の等方放射を仮定したグリッドサーチを行った( $V_s = 1.12$  km/s;  $Q = 204$ )。解析は、4観測点以上の地震記録があり、これらの観測点が火口からの方位・距離について偏りなく配置されている期間を対象とした(2013年12月3日-2014年1月14日)。上記期間における連続微動の発生位置は、火口下数十mの深さ(振幅が緩やかに増大した期間; ステージ1)、および、火口中央部の地表付近(振幅が急増した期間; ステージ2)にそれぞれ推定された。また、12月と同様の振幅増減の見られた1月(ステージ3)では、火口下の深さ数百mから火口底表面付近の範囲であった。

第一火口下には火山性流体の通路としてクラック状の火道が存在していると考えられており、その上端部は火口から300 mの深さにある(Yamamoto et al., 1999)。今回推定された微動発生位置は、このクラック状火道と火口とをつなぐように分布しており、今まで不鮮明であった火口直下の火道の一部が捉えられたものと思われる。この火道を通して火口へ流体が常に流入していたが(Terada et al., 2012)、2013年12月には流入フラックスが平時以上の大きさになったために、火道拡大・火口開口を必要としたと考えられる。第一火口直下の領域には、上部にキャップロック、その下部に熱水溜まりがあり(Kanda et al., 2008)、火口底表面付近に得られた微動源はキャップロック領域の破碎現象を示している可能性がある。また、1月7日に火口底中央部に新たな火口が確認されたことは、この時までには火道の拡大が地表まで到達していたことを示唆する。1月13日の小規模噴火は、上記のような火山性流体の流入過程の結果生じたものとして説明される。

キーワード: 火山性微動, 阿蘇火山

Keywords: volcanic tremor, Aso Volcano

## 2014年阿蘇火山噴火に伴う電磁気観測の結果について Results of the electromagnetic survey related to the eruption of 2014 on Aso volcano.

宇津木 充<sup>1\*</sup>; 大倉 敬宏<sup>1</sup>; 横尾 亮彦<sup>1</sup>; 鍵山 恒臣<sup>1</sup>

UTSUGI, Mitsuru<sup>1\*</sup>; OHKURA, Takahiro<sup>1</sup>; YOKOO, Akihiko<sup>1</sup>; KAGIYAMA, Tsuneomi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 京都大学

<sup>1</sup> Kyoto Univ.

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び繰り返し比抵抗観測といった電磁気観測を行ってきたが、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。

また、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人工ソースを用いた繰り返し電磁探査(ACTIVE観測)を実施し、地下比抵抗のモニタリングを行ってきた。これまでの観測の結果、第一火口の地下は表層付近で相対的に低抵抗、その下位で高抵抗、さらにその下位の地下200~300m以深で低抵抗の、低・高・低の構造を示す事が分かっている。これはKanda et al.(2008)の高密度AMT探査で求められた第一火口地下の比抵抗構造と調和的である。特にKanda et al.(2008)では第一火口直下に低抵抗域が局在する事が明らかになっており、その実体として地下から供給される火山性流体の一部がトラップされて形成された熱水だまりであるとするモデルが提案されている。ACTIVE観測で得られた第一火口地下の構造について、最下層(地下200~300m以深)の低抵抗層がこの熱水だまりに、その上の比較的高抵抗な層が熱水をトラップする不透水層に対応し、浅部の低比抵抗層が表層付近の低抵抗な水の層(中岳第一火口の湯だまり)に相当すると考えられる。これまでの観測の結果、2011年の小規模噴火などに際し、熱水だまりに対応すると考えられる低抵抗な最下層で比抵抗変化が観測された。

2014年11月の噴火に際しては、噴火前の9月の結果と、噴火直後の11月(26日)の結果を比べると、火口縁から地下100~150mの領域で比抵抗が増加した事が観測された。比抵抗変化が見られた深さと地磁気変化源の深さは非常に調和的である。これらの結果を総合すると、マグマが浅部まで上昇し、地中温度を急激に上昇させ地殻岩石が消磁され地磁気変化が生じた。また高温のマグマが上昇してきた事で地下水が押し上げられ比抵抗が相対的に高くなった、といった解釈が可能であると考えられる。

キーワード: 地磁気観測, 消磁, 比抵抗モニタリング

Keywords: geomagnetic field observation, demagnetization, resistivity monitoring



## 新燃岳 2011 年準プリニー式噴火前後の連続微動震源の相対位置変化 Relative source locations of continuous tremor before and after the subplinian events at Shinmoe-dake

市原 美恵<sup>1\*</sup>; 松本 聡<sup>2</sup>  
ICHIHARA, Mie<sup>1\*</sup>; MATSUMOTO, Satoshi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東京大学地震研究所, <sup>2</sup> 九州大学地震火山観測研究センター

<sup>1</sup>Earthquake Research Institute, University of Tokyo, <sup>2</sup>Institute of Seismology and Volcanology, Kyushu University

Shinmoe-dake volcano started its climatic events on January 26, 2011, and three subplinian events occurred in 2 days. Although precursory evidences indicating magma intrusion were found in the time scale of a year, any decisive geophysical signals showing the final stage toward the eruption have not been identified. Volcanic tremor started to be recorded at stations around the summit of Shinmoe-dake at 12:45 on 18 January and had a high intensity after the phreatic eruption at 01:27 on the 19th until February 7. If there was any sign indicating rise of new magma to the shallow depth before the phreatic eruption, the tremor could be the candidate. Here we analyze the locations of the continuous tremor before, during, and after the subplinian events.

Seismic stations were sparse especially in the west of Shinmoe-dake before the eruption. A good number of seismic stations were installed after the start of the eruption, which included a dense seismic array operated by Kyushu University. The array was deployed on January 29 about 3 km from the Shinmoe-dake crater in the direction N115°W. Twenty-five 3-component seismometers with a natural frequency of 2 Hz were installed at a sensor interval of 20-40 m.

We first investigated the source location of a long steady tremor on February 2 from 0:00am to 4:05am. Any clear spectral peaks common among the stations were not observed, and the power was broadly distributed in the ranges below 2 Hz and 4.5-7 Hz. A MUSIC spectrum analysis was performed for the data from the seismic array using 1.5-2.5 Hz and 3.5-4.5 Hz bands. The results showed that P and S waves constantly came from the direction of the Shinmoe-dake crater. In addition to the array, 16 seismic stations recorded good quality data in this period. The tremor centroids were calculated by simply summing the coordinates of the stations weighted with the root-mean-square amplitudes of the tremor in a 1-7 Hz band. They fell on the center of the Shinmoe-dake crater. When only the stations that were operated before the eruption were used, the centroids were shifted to the northeast because of the biased distribution.

The amplitude distribution of this tremor was used as a reference. The seismic amplitude from January 18 to February 2 at each station was normalized by this reference amplitude. From dependence of the normalized amplitudes on the directions and distances from the Shinmoe-dake crater, the relative source locations of the tremor were estimated. In the afternoon of January 18, when the continuous tremor started, the source moved from the west to the center of the crater and then to the north and the deeper. The tremor source became shallower after the phreatic eruption on the morning of January 19, and a narrow gliding spectral peak appeared around 2 Hz on the night. The tremor declined at 8:00 on January 23 and restarted at 13:15 at a further shallower depth. This shallow source was active until the phreatic eruption on the morning of January 26 before the first subplinian event. The amplitudes at the southern stations were relatively strong during the first and second subplinian events and the same location as the reference event became active after the second subplinian event. It is consistent with the visual observation that the eruption center shifted from the south edge to the center of the crater at the final stage of the second subplinian event.

キーワード: 火山性微動, 噴火, 震源, 新燃岳

Keywords: Volcanic tremor, Eruption, Seismic source, Shinmoe-dake

## 鹿児島湾始良カルデラ海底から湧出するマグマ起源CO<sub>2</sub>フラックスの高精度化 A precise evaluation of magma-derived CO<sub>2</sub> flux from seafloor on Aira Caldera in Kagoshima Bay, Southern Kyushu,

金銅 和菜<sup>1</sup>; 山中 寿朗<sup>1\*</sup>; 角皆 潤<sup>2</sup>; 高橋 浩<sup>3</sup>; 山本 智子<sup>4</sup>

KONDO, Kazuna<sup>1</sup>; YAMANAKA, Toshiro<sup>1\*</sup>; TSUNOGAI, Urumu<sup>2</sup>; TAKAHASHI, Hiroshi<sup>3</sup>; YAMAMOTO, Tomoko<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 岡山大学大学院自然科学研究科, <sup>2</sup> 名古屋大学大学院環境学研究科, <sup>3</sup> 産業技術総合研究所, <sup>4</sup> 鹿児島大学水産学部  
<sup>1</sup>Okayama University, <sup>2</sup>Nagoya University, <sup>3</sup>AIST, <sup>4</sup>Kagoshima University

Aira Caldera is one of the huge volcanic depressions located Kyushu, Japan, and it occupied the innermost part of Kagoshima Bay, southern Kyushu. The caldera is designated one of the active volcanoes in Japan due to its vigorous fumarolic activity on seafloor in Wakamiko Crater. The caldera is almost submerged (caldera floor is about 140 m in water depth) and is about 20 km in width from east to west. Wakamiko Crater is another depression located at the east side of the caldera floor, water depth of the crater floor is about 200 m. Vigorous fumarolic activity in and around the crater has been known as “Tagiri” by local fishermen, and the gas is composed mainly of carbon dioxide with significant amount of methane derived from thermal decomposition of organic matter.

Monitoring of gas flux and composition associated with volcanic activity is expected one of the useful proxies for evaluation of volcanic activity. CO<sub>2</sub> is the most sensitive indicator to reflect clearly the state of magma because CO<sub>2</sub> is degassing preferentially relative to the other components. Since 2007, we have tried to estimation of CO<sub>2</sub> flux from the seafloor in the caldera based on accumulation rate of dissolved inorganic carbon (DIC) in the stagnant bottom water with in the crater. However, the DIC possibly include additional CO<sub>2</sub> derived from methane oxidation in water column and decomposition of organic matter in the sedimentary layers filled in the crater and caldera. Therefore, we evaluate the contribution of the additional CO<sub>2</sub> and try to estimate pure CO<sub>2</sub> flux from magma excluding the additional CO<sub>2</sub>.

Significant high  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta\text{D}$  values of dissolved methane in the seawater samples indicated that methane oxidation was occurred in the water column overlying Wakamiko Crater. Based on the isotopic data the isotope fractionation factor ( $\alpha$ ) for carbon and oxidation rate of dissolved methane were estimated  $\alpha = 1.023$  and  $3.4 \mu\text{M}/\text{d}$ , respectively. The oxidation rate is significantly higher relative to the previous reported values from other seafloor hydrothermal systems, suggesting that quite active methane oxidation is occurred within seawater occupied in Aira Caldera. Using those results we calculated the original methane concentration before oxidation as 0.01mM. Therefore, the contribution of methane oxidation to concentration and isotopic ratio of DIC in the water column can be ignored because dissolved CO<sub>2</sub> concentration is two orders of magnitude higher than the methane concentration.

Furthermore, we estimated the contribution of CO<sub>2</sub> derived from decomposition of organic matter in the sedimentary layer.  $\delta^{13}\text{C}$  value of CO<sub>2</sub> in the fumarolic gas from the crater could be estimated *c.* -10 ‰ based on those of DIC in the water column. The  $\delta^{13}\text{C}$  value of CO<sub>2</sub> in magma volatile was assumed -5.5 ‰ based on the data of adjacent volcanoes. The  $\delta^{13}\text{C}$  value of CO<sub>2</sub> derived from organic matter was reported *c.* -30 ‰. According those data the contribution of additional CO<sub>2</sub> from organic matter is estimated *c.* 18 ‰. Based on the estimation, we can calculate an accurate flux of magmatic CO<sub>2</sub> from the Aira Caldera.

## 水準測量によって測定された桜島火山の地盤上下変動(2013年11月~2014年11月) Vertical ground deformation in Sakurajima volcano measured by precise leveling survey (during Nov. 2013 - Nov. 2014)

山本 圭吾<sup>1\*</sup>; 吉川 慎<sup>2</sup>; 松島 健<sup>3</sup>; 大倉 敬宏<sup>2</sup>; 横尾 亮彦<sup>2</sup>; 井上 寛之<sup>2</sup>; 三島 壮智<sup>2</sup>; 内田 和也<sup>3</sup>;  
園田 忠臣<sup>1</sup>; 関 健次郎<sup>1</sup>; 小松 信太郎<sup>1</sup>; 堀田 耕平<sup>2</sup>; 藤田 詩織<sup>3</sup>  
YAMAMOTO, Keigo<sup>1\*</sup>; YOSHIKAWA, Shin<sup>2</sup>; MATSUSHIMA, Takeshi<sup>3</sup>; OHKURA, Takahiro<sup>2</sup>; YOKOO, Akihiko<sup>2</sup>;  
INOUE, Hiroyuki<sup>2</sup>; MISHIMA, Taketoshi<sup>2</sup>; UCHIDA, Kazunari<sup>3</sup>; SONODA, Tadaomi<sup>1</sup>; SEKI, Kenjiro<sup>1</sup>;  
KOMATSU, Shintaro<sup>1</sup>; HOTTA, Kohei<sup>2</sup>; FUJITA, Shiori<sup>3</sup>

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

<sup>1</sup>Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, <sup>2</sup>Graduate School of Science, Kyoto University, <sup>3</sup>Faculty of Sciences, Kyushu University

桜島火山では、2006年6月から始まった昭和火口における噴火活動が近年激化し、2010年から2013年には年間に800回を超える爆発的噴火が発生、2014年も年間の爆発回数が500回近くになるなど活発な状態が続いている。平成26年度より「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」における課題「桜島火山におけるマグマ活動発展過程の研究」が開始された。この一環として、2014年11月に桜島火山において一等水準測量の繰返し観測を実施した。本講演では、この測量結果について報告し、最新の桜島火山の活動に伴う地盤上下変動について議論する。

2014年11月に水準測量を実施した路線は、海岸線に沿って桜島を一周する桜島一周道路路線、西部山腹のハルタ山登山路線及び北部山腹の北岳路線であり、総延長は約56kmである。これらの路線を、大学合同で3測量班を構成し、2014年11月5日~20日の期間において測量に当たった。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、1km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、北岳路線においてそれぞれ $\pm 0.32$ ,  $\pm 0.31$ ,  $\pm 0.25$  mm/km、水準環閉塞誤差は桜島一周道路路線およびハルタ山登山路線において時計回りにそれぞれ2.3 mm (許容誤差12.1 mm)、2.2 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。

これまで行われてきた水準測量と同様に、桜島西岸の水準点 BM.S.17 を不動点(基準)とし、計算された各水準点における比高値を、平成21年度~25年度に実施された前計画「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」の一環として2013年11月に行われた測量結果(山本・他, 2014)と比較した。

この結果から、2013年11月から2014年11月の約1年間における桜島北部付近の地盤上下変動量は2mm以内であることが確認された。桜島北部の地盤においては、1993年頃からの山頂噴火活動の静穏化に伴い再開した始良カルデラ地下のマグマ溜りにおけるマグマの貯留(江頭・他, 1997)を反映すると考えられる地盤隆起が観測されてきた。2012年11月・12月~2013年11月の約1年間に桜島北部において測定された最大の隆起量は4.1mmと、隆起速度が始良カルデラ増圧期に平均的に見られる隆起速度に比べて半分程度であったが、2013年11月~2014年11月の1年間ではさらに小さくなり、地盤隆起がほぼ停滞した状態となっている。始良カルデラ下のマグマ溜りにおける増圧傾向(マグマの貯留)は、この1年間停滞している可能性がある。一方で、桜島中央部に近いハルタ山登山路線および北岳路線の水準点においては、最大で7.0mmにおよぶ地盤の沈降が確認された。桜島中央部付近における地盤沈降は、2007年10月-12月~2009年11月、2010年11月~2011年11月および2012年11月・12月~2013年11月の期間においても見られている。これらは、桜島中央部直下のマグマ溜りにおける減圧、すなわちマグマの放出量が供給量を上まっことを示唆しており、近年の昭和火口における活発な噴火活動を反映しているものと考えられる。

キーワード: 桜島火山, 始良カルデラ, 精密水準測量, 地盤上下変動

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

## 繰り返し海底地震観測による桜島火山周辺海域下の微小 VT 地震活動ー 2010 年～2014 年ー

### Activity of micro VT earthquakes derived from repeating seismic observations using OBSs around Sakurajima Volcano

八木原 寛<sup>1\*</sup>; 平野 舟一郎<sup>1</sup>; 宮町 宏樹<sup>1</sup>; 高山 鉄朗<sup>2</sup>; 市川 信夫<sup>2</sup>; 為栗 健<sup>2</sup>; 井口 正人<sup>2</sup>  
YAKIWARA, Hiroshi<sup>1\*</sup>; HIRANO, Shuichiro<sup>1</sup>; MIYAMACHI, Hiroki<sup>1</sup>; TAKAYAMA, Tetsuro<sup>2</sup>;  
ICHIKAWA, Nobuo<sup>2</sup>; TAMEGURI, Takeshi<sup>2</sup>; IGUCHI, Masato<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 鹿児島大学大学院理工学研究科, <sup>2</sup> 京都大学防災研究所附属火山活動研究センター

<sup>1</sup>GSE, Kagoshima Univ., <sup>2</sup>SVRC, DPRI, Kyoto Univ.

著者らは、桜島火山の活動に伴い発生する VT 地震の活動、特に陸域の地震観測網で捕捉が困難な周辺海域下の微小 VT 地震活動、を把握するために、3~4 台の短期観測型海底地震計 (OBS) を用い、2009 年から短周期地震観測を 6 回実施した (八木原・他, 2014, JpGU)。ただし、複数の制約によって観測期間は 1 年あたり 2~4 ヶ月程度に限定され、年間を通じての連続観測を実施できていない。八木原・他 (2014, JpGU) は、微小 VT 地震の震源分布とトモグラフィ解析で得られた上部地殻内 3 次元速度モデルとを比較したが、震源計算に九州中南部の広域の震源決定に適用している 1 次元速度モデル (角田・他, 1991,  $V_p/V_s=1.73$  で一定) を用いたこと、OBS による震源決定に重要な station correction の評価が十分でないこと、震源分布の時間的な変化については言及していない等、複数の課題が残った。ここでは、速度モデルを変えて station correction の再評価を行い、震源を再計算した。観測期間で得られた震源分布を、始良カルデラ周辺の GEONET 観測点の基線長変化、及び始良カルデラ内外の 3 次元比抵抗構造 (Kanda et al., 2013) と比較したので報告する。

震源再計算で新たに適用した速度モデルは、九州中南部の広域地震観測データを用いたトモグラフィ解析で得られた 1 次元速度モデル (1D: Yakiwara et al., 2013, IAVCEI)、及び 3 次元速度モデル (3D: 八木原・他, 2014, JpGU) である。station correction の再評価は、トモグラフィに用いた地震のうち OBS でも収録されたデータを用い、速度モデルに対する走時残差の median とした。さらに 1D, 3D それぞれを適用して震源を再計算した。八木原・他 (2014, JpGU) の震源計算、1D, 及び 3D による震源再計算の走時残差分布を相互に比較した結果、3D の走時残差が最小であることが分かった。

6 回の観測期間 (P0~P5) のうち、大部分で欠測が生じた P0 を除く P1~P5 の中で、P3 (2011 年 10 月~2012 年 1 月) の 1 期間のみ、GEONET 観測点 (鹿児島郡山一鹿児島福山, 隼人一鹿児島福山) 間の基線長の伸びのレートが他の期間に比較して有意に大きく、始良カルデラ周辺の地盤の膨張が加速した時期と考えられる。P3 においては、若尊カルデラから桜島北東岸にかけての海域下で深さ 7~15km の VT 地震活動の活発化が認められた。一方で P5 (2013 年 11 月~2014 年 3 月) は、基線長変化がノイズよりも小さく、地盤変動の停滞期と考えられる。P5 においては、微小 VT 地震は若尊カルデラ付近下の深さ 3~6km で数個散発したに留まり、微小 VT 地震の活動度や震源の深さ範囲が P3 のものとは明瞭に異なる。残りの P1, P2, 及び P4 は基線長変化 (伸び) のレートが平均的な期間である。これらの期間の微小 VT 地震は、ほとんどが若尊カルデラ下の深さ 3~6km に発生し、若尊カルデラから桜島北東岸の間の領域下の深さ 7km 以深の地震は数が少ない。これらのことから、桜島北東海域下の微小 VT 地震活動は、地盤の膨張の加速期において 7km 以深の相対的に深い領域での活動が生じ、それ以外の時期は静穏、もしくは若尊カルデラ付近の深さ 3~6km の微小 VT 地震活動が卓越する。すなわち、前者は桜島火山の主マグマ溜まりの蓄積レートの増大に応答した活動、後者は始良カルデラの地盤変動との間の明瞭な相関無しに発生した活動であることが示唆される。3D による震源分布と、Kanda et al. (2013, IAVCEI) の 3 次元比抵抗構造のうち、OBEM 測線に沿った 2 次元断面とを比較した。トラブルにより OBS のデータが一部欠損している地震を除外すれば、微小 VT 地震の震源は、低比抵抗領域の頂部、もしくは外縁付近に位置することが分かった。若尊カルデラ直下の深さ 3~6km の微小 VT 地震活動は、低比抵抗領域の頂部付近に位置し、海底噴気孔に供給される熱水に関連した活動であると考えられる。

キーワード: 桜島火山, VT 地震, 3 次元地震波速度モデル, 3 次元比抵抗構造

Keywords: Sakurajima Volcano, Volcano-tectonic earthquakes, Three-dimensional velocity model, Three-dimensional resistivity structure

## アクロスによる桜島火山活動に伴う地震波伝播特性の変化の推定 A subsurface structure change associated with the eruptive activity at Sakurajima volcano, Japan, inferred from ACROSS

前田 裕太<sup>1\*</sup>; 山岡 耕春<sup>1</sup>; 宮町 宏樹<sup>2</sup>; 渡辺 俊樹<sup>3</sup>; 國友 孝洋<sup>1</sup>; 生田 領野<sup>4</sup>; 井口 正人<sup>5</sup>  
MAEDA, Yuta<sup>1\*</sup>; YAMAOKA, Koshun<sup>1</sup>; MIYAMACHI, Hiroki<sup>2</sup>; WATANABE, Toshiki<sup>3</sup>; KUNITOMO, Takahiro<sup>1</sup>;  
IKUTA, Ryoya<sup>4</sup>; IGUCHI, Masato<sup>5</sup>

<sup>1</sup>名古屋大学, <sup>2</sup>鹿児島大学, <sup>3</sup>東京大学, <sup>4</sup>静岡大学, <sup>5</sup>京都大学

<sup>1</sup>Nagoya University, <sup>2</sup>Kagoshima University, <sup>3</sup>The University of Tokyo, <sup>4</sup>Shizuoka University, <sup>5</sup>Kyoto University

### 1. はじめに

桜島は1年あたり1000回の頻度でブルカノ式噴火を繰り返す日本で最も活発な火山の一つである。噴火に伴う地下構造変化の検出を目的として、アクロスと呼ばれる人工震源が2012年より同火山西麓において稼働している(Yamaoka et al., 2014EPS)。アクロスから常時放射される規則的な変調弾性波を近隣の地震計で観測し、それを震源時間関数(既知)でデコンボリューションすることによってグリーン関数を推定できる。そのグリーン関数の時間変化の監視を通じて火山活動に伴う地下構造変化を検出することが同火山におけるアクロスの主要な目的の一つである。しかしながら火山活動に伴ってグリーン関数が変化するか否か、変化するとしたらどのような変化になるのかはこれまでのところ不明であった。

我々はグリーン関数を噴火との時間差を揃えてスタッキングし、噴火に近い時間帯とそれ以外の時間帯での系統的な違いを調べた。その結果、噴火に近い時間帯ほど全期間でスタックしたグリーン関数との波形相関が低下する傾向が見出された(前田他、2014火山学会)。しかしながら、この手法で推定されるグリーン関数は爆発地震や微動等の火山起源のイベントの影響を含んだものであり、波形相関を用いる限りは検出された変化が地下構造に起因するのか火山起源のイベントに由来するのか切り分けが困難であった。

そこで本講演では波形相関を用いるのではなく、グリーン関数のタイムウインドウ毎の波動エネルギーを指標として噴火前後の変化を調べた。その結果、噴火活動とグリーン関数変化との関係がより明瞭になるとともに、火山起源のイベントの影響との切り分けにも成功したのでそれについて報告する。

### 2. 解析

桜島では周波数帯の異なる2台のアクロス震源装置が稼働しているが、本解析ではS/N比の良好な12.505±2.5 Hz帯の変調波を用いた。震源装置に一番近い春田山観測点(震源距離615 m)における2012年9月19日~2014年7月21日の連続波形記録を用いて400秒毎のグリーン関数を計算し、これらを最寄りの噴火との時間差を揃えてスタックした(ここまで先の火山学会と同様)。次に、得られたグリーン関数の3成分の二乗和(運動エネルギーに比例)の波形を求めたところ、グリーン関数の後続波部分にあたる2-4秒のタイムウインドウにおいて噴火前後にエネルギーが減少する様子が見られた。

このことをより系統的に見るためにタイムウインドウ毎の平均エネルギーを算出し、最寄りの噴火との時間差の関数としてプロットしたところ、2-4秒のタイムウインドウにおいて噴火に向かってエネルギー減少、噴火後にエネルギーが回復する様子が明瞭に見られた。震源装置からやや離れた別の観測点(震源距離1200 m)においては、噴火前後にエネルギーが減少するタイムウインドウがもう少し後ろ(6秒付近)まで広がることも分かった。

### 3. 考察

アクロス近傍の観測点における地震波形はアクロス起源の波、爆発地震や微動などの火山起源のイベント、その他のノイズの重ね合わせから成る。この重ね合わせを震源時間関数でデコンボリューションしたものをもってグリーン関数の推定としているために、地下構造が変化しなくても火山起源のイベントの頻度・振幅等の変化によって見かけ上のグリーン関数変化が生じる。この影響の評価のため、アクロス震源装置が停止していた2013年8月前半の爆発地震を含むいくつかのタイムウインドウについて、グリーン関数計算に用いたのと同じ処理を形式的に適用した。この処理から得られるのは爆発地震によって生じるグリーン関数の誤差の波形である。得られた誤差波形の多くはグリーン関数のタイムウインドウ全体に満遍なく分布した。噴火のタイミングによってはグリーン関数の前半に誤差が集中するものもあるが、逆に後半に集中するものもあり、重ね合わせれば平坦になるセンスである。すなわち、仮にグリーン関数の噴火前後の時間変化が火山起源のイベントによる見かけ上のものであるとすれば、その影響はグリーン関数のタイムウインドウ全体に一樣に現れるはずであり、2-4秒のタイムウインドウのみに集中したエネルギー低下は火山起源のイベントによっては説明し難く、地下構造に起因する地震波伝播特性の変化と考えるのが妥当であろう。

火山活動が地震波伝播特性に与える影響としては、噴火前後の地震活動の活発化によって震源近傍の地震波速度構造が変化し、グリーン関数の火口直下における反射振幅に影響することなどが候補として考えられる。しかしながら本研究は地震波伝播特性の時間変化をようやく確からしい形で検出できた段階であり、変化を生じる具体的なプロセスの解

SVC45-P37

会場:コンベンションホール

時間:5月27日 18:15-19:30

明は今後の課題である。

キーワード: アクロス, 地下構造, 人工震源, 桜島, 火山地震学, 火山モニタリング

Keywords: ACROSS, Subsurface structure, Active seismic source, Sakurajima volcano, Volcano seismology, Volcano monitoring

## コーダ波干渉法と地震波干渉法の併用により検出した桜島の地震波速度構造の時間変化 Seismic velocity changes at Sakurajima detected by coda wave interferometry and seismic interferometry

廣瀬 郁<sup>1</sup>; 中原 恒<sup>1\*</sup>; 西村 太志<sup>1</sup>  
HIROSE, Takashi<sup>1</sup>; NAKAHARA, Hisashi<sup>1\*</sup>; NISHIMURA, Takeshi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東北大学大学院理学研究科  
<sup>1</sup> Graduate School of Science, Tohoku University

近年、常時微動の地震波干渉法や相似地震記録のコーダ波干渉法により、マグマの貫入などに起因すると考えられる火山体の地震波速度の変化が捉えられている (たとえば Brenguier et al., 2008, Angonno et al., 2012)。そのため、これらの手法は火山活動のモニタリングのための有効な手段の一つになり得ると考えられる。桜島は、地震や地殻変動を始めとする多項目観測が行われ、火山性圧力源の時空間変化や火山灰噴出量などの中長期的な変化が現在最もよく調べられている火山である。特に 2008 年以降毎年繰り返し発破が実施されている。そこで本研究では、繰り返し発破による相似性の良い波形記録にコーダ波干渉法を適用し、地震波速度の時間変化を測定する。また同時に、常時微動を用いた地震波干渉法解析により地震波速度の時間変化の検出を行い、両者の結果の比較検証を行う。

桜島では 2008 年以降毎年繰り返し発破が行われており、そのうち 2011 年、2012 年、2013 年の 3 回の発破 (筒井・他, 2012, 2013, 2014) は島内にある気象庁の 6 点の地震計で記録されている。これにコーダ波干渉法を適用した。その結果、発破点に近い桜島の北部から東部で地震波速度変化を検出した。2011-2012 年、2012 年-2013 年の全ての発破間で、地震波速度の増加が卓越しており、その大きさは周波数帯が低いほど大きく、たとえば 4Hz 付近では最大 0.398%、8Hz 付近では最大 0.141%、16Hz 付近では最大 0.038% となった。推定誤差が 0.02% 程度であることからこれらの結果は有意であると考えられる。

次に、地震波速度の連続的な時間変化を求めるため、2012-2013 年の常時微動のデータを用いて、1-2、2-4、4-8Hz の周波数帯域で地震波干渉法解析を行った。推定された地震波速度変化には、各観測点ペアで共通する数ヶ月の周期的な変動が見られる。その変化量は観測点ペアによって異なるが、ピーク振幅は周波数とともに小さくなり、1-2Hz で最大約 2%、2-4Hz で最大約 1%、4-8Hz で最大約 0.5% であった。繰り返し発破と同時期の地震波干渉法による結果を調べると、対応する期間で地震波速度増加が見られ、その大きさもコーダ波干渉法から得られた結果と調和的であった。地震波干渉法から求められた地震波速度変化と、ハルタ山における伸縮計による歪の時間変化 (第 129 回火山噴火予知連絡会資料, 気象庁, 2014) とを比べたところ、伸長時に地震波速度が低下し、短縮時に地震波速度が増加する顕著な相関関係が認められた。地震波干渉法による地震波速度変化の大きさと歪変化の大きさから推定した地震波速度変化の歪感度は、 $10^3/\text{strain}$  のオーダーとなり、既往研究の結果と同程度の値が求められた。歪変化の要因として、北岳直下の火山性圧力源であると考えられている (Iguchi et al., 2013) ことから、地震波速度変化のモニタリングにより、火山活動をモニタリングできる可能性がある。なお、特に火口付近の経路では、多量の降水に対応していると考えられる一時的な地震波速度低下も見られた。

本研究では、繰り返し発破と常時微動の 2 種類の異なる震源を用いて、桜島において地震波速度変化のモニタリングを行い、歪記録と対応する地震波速度の中期的な時間変化を検出した。特にコーダ波干渉法と地震波干渉法を併用し、両者の結果を比較検証することにより、信頼性の高い地震波速度変化の検出が可能となった。

### 謝辞

本研究では気象庁の 6 観測点の地震波形を使用させていただきました。繰り返し発破は京都大学防災研究所など全国の 9 大学と気象庁の協力により実施されたものです。ここに記して感謝いたします。

キーワード: 地震波速度変化, 桜島, コーダ波干渉法, 地震波干渉法

Keywords: seismic velocity change, Sakurajima, coda-wave interferometry, seismic interferometry

## 干渉 SAR 時系列解析による国内主要火山周辺における地殻変動 Ground Deformation around the Domestic Active Volcano using InSAR time series analysis

安藤 忍<sup>1\*</sup>; 三浦 優司<sup>2</sup>; 松森 敏幸<sup>2</sup>  
ANDO, Shinobu<sup>1\*</sup>; MIURA, Yuji<sup>2</sup>; MATSUMORI, Toshiyuki<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 気象研究所, <sup>2</sup> 気象庁  
<sup>1</sup> MRI, <sup>2</sup> JMA

地表面の状態把握に優れた L バンド波長帯を有する ALOS/PALSAR は、植生の影響を受けにくく山岳地帯でも干渉性が良いことから、活火山地域での地殻変動観測に有効である。

気象研究所では、2007 年から北方領土を含む日本全国の活火山地域周辺を対象に差分 SAR 干渉解析を行い、火山噴火予知連絡会などで報告を行ってきた。また、昨年の連合大会では、千島列島南部の国後島及び択捉島の 11 の活火山周辺について、StaMPS (Hooper et al., 2004) を用いた干渉 SAR 時系列解析結果を報告した。

気象研究所では、その後も国内の主要活火山地域において、ALOS/PALSAR データを用いた同様の手法による解析を進めている。その結果、幾つかの活動的な火山において、火山活動に伴うと考えられる地殻変動の時系列変化を検出した。なお、北方地域の活火山においては、積雪の影響を取り除くため、冬期間のデータは使用しなかった。本発表では、国内の主要火山周辺の地殻変動について、StaMPS ソフトウェア機能を使った PS-INSAR, SBAS 法を合成した結果を報告する。

本解析で用いた PALSAR 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 に関する原初データの所有権は経済産業省 (METI) 及び JAXA にある。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、結果の描画については GMT を用いた。ここに記してお礼申し上げます。

キーワード: 干渉 SAR 時系列解析, 地殻変動, ALOS/PALSAR, 国内活火山  
Keywords: InSAR time series analysis, Ground deformation, ALOS/PALSAR, Domestic Active volcano



## GPS キャンペーン観測によるマヨン火山の地殻変動 2005 - 2015 年 Ground Deformation of Mayon Volcano Revealed by GPS Campaign Survey 2005 - 2015

高木 朗充<sup>1\*</sup>; 藤原 健治<sup>2</sup>; 大倉 敬宏<sup>3</sup>; C. Luis Jr Artemio<sup>4</sup>; V. Baloloy Alejo<sup>4</sup>; 安藤 忍<sup>1</sup>; Laguerta Eduardo<sup>4</sup>; V. Bornas Ma. Antonia<sup>4</sup>  
TAKAGI, Akimichi<sup>1\*</sup>; FUJIWARA, Kenji<sup>2</sup>; OHKURA, Takahiro<sup>3</sup>; C. LUIS, Jr, artemio<sup>4</sup>; V. BALOLOY, Alejo<sup>4</sup>; ANDO, Shinobu<sup>1</sup>; LAGUERTA, Eduardo<sup>4</sup>; V. BORNAS, Ma. antonia<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 気象研究所, <sup>2</sup> 気象庁, <sup>3</sup> 京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設火山研究センター, <sup>4</sup> フィリピン火山地震研究所

<sup>1</sup>Meteorological Research Institute, <sup>2</sup>Japan Meteorological Agency, <sup>3</sup>Aso Volcanological Laboratory, Institute for Geothermal Sciences, Graduate School of Science, Kyoto, <sup>4</sup>PHIVOLCS

フィリピンのマヨン火山では、これまで GPS や重力観測等の測地観測が行われている (たとえば, Jentzsch et al., 2001). しかし, GPS 観測では 1993 年マヨン噴火に伴う明瞭な変化を検知できていなかった. 我々はフィリピン火山地震研究所 (PHIVOLCS) と共同で, マグマ蓄積・放出に伴う圧力源の変動の検知を目的に, マヨン火山で 2005 年以降 GPS キャンペーン観測網を展開し, 2015 年まで観測を継続した. その結果, 2009 年 12 月の噴火に伴う山体変動を観測した. 一方, 2013 年の水蒸気噴火と 2014 年の溶岩ドーム形成時には山体変動は検知できなかった.

2005 年以降, マヨン火山の山頂から山麓に向かって放射状に 5 つの測線を形成する約 20 点のベンチマークからなる 1 周波型の GPS 受信機を用いたキャンペーン観測網を展開した. サンプルング時間 30 秒で, 1 ~ 4 日間のスタティック観測を行った. データ処理は Bernese Ver. 5.0 を用い, 山頂北西側の点を基準点として L1 帯の 1 周波解析を 2 時間毎のエポックで行い, 2 時間毎の位置を平均化してキャンペーン観測毎の最終値とした.

多くの基線で 2009 年から 2010 年にかけて 2~3cm の短縮傾向が見られた. 2009 年 12 月にマヨン火山は噴火し溶岩流を流している. 火山体直下のマグマを大量に放出したことで, 山体が収縮したものと推測する. そこで 2009 年 8 月~2010 年 2 月の地盤変動を用い, 茂木モデルを適用して, 格子探索法 2009 年噴火に伴って収縮した圧力源の位置と体積変化量を見積もった. その結果, 収縮圧力源の最適パラメータは山頂付近の海拔下 8.5km,  $13 \times 10^6 \text{m}^3$  の体積減少であった.

また 2009 年噴火以前の観測頻度は低いものの, いくつかの基線で伸長傾向のようにも見える. これは 2009 年噴火に備えたマグマ蓄積の過程を観測している可能性がある.

一方, 2013 年 5 月に 7 人の登山者が犠牲になった水蒸気噴火に伴う地殻変動は検知できていない. また 2014 年 8 月には山頂部で新たな溶岩ドームが出現する活動があった (PHIVOLCS, 2014) が, 地殻変動は検知できなかった. マグマの供給及び放出量が小さかったためと考えられる. 2009 年噴火のような  $1 \times 10^7 \text{m}^3$  のオーダーのマグマ移動がないと検知は困難と考えられる.

### 謝辞

PHIVOLCS の火山監視噴火予知課とマヨン火山観測所には GPS のキャンペーン観測及び連続観測網の維持に対する多大な協力に感謝します.

本研究は, 独立行政法人科学技術振興機構 (JST) と独立行政法人国際協力機構 (JICA) の支援を受け, 独立行政法人防災科学技術研究所が実施している地球規模課題対応型国際科学技術協力事業 (SATREPS) による共同研究「フィリピン地震火山監視能力強化と防災情報の利活用推進」によりました.

キーワード: マヨン火山, GPS, 地殻変動, 圧力源, マグマ

Keywords: Mayon Volcano, GPS, Ground Deformation, Pressure Source, Magma

## GNSS 火山変動リモート観測装置 (REGMOS) の改良とその効果 Improvement of REGMOS (Remote GNSS Monitoring System)

古屋 有希子<sup>1\*</sup>; 上芝 晴香<sup>1</sup>; 吉岡 貢<sup>1</sup>; 成田 次範<sup>1</sup>; 村山 盛行<sup>2</sup>; 武山 峰典<sup>2</sup>; 福森 秀晃<sup>2</sup>  
FURUYA, Yukiko<sup>1\*</sup>; UESHIBA, Haruka<sup>1</sup>; YOSHIOKA, Mitsugu<sup>1</sup>; NARITA, Tsugunori<sup>1</sup>; MURAYAMA, Shigeyuki<sup>2</sup>;  
TAKEYAMA, Minenori<sup>2</sup>; FUKUMORI, Hideaki<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 国土交通省国土地理院, <sup>2</sup> 株式会社テクノバンガード

<sup>1</sup>GSI of Japan, <sup>2</sup>Techno Vanguard Corporation

国土地理院では、電気・通信等のインフラが整備されていない火山地域において浅部マグマの挙動を監視する目的で、自律型の観測装置である GNSS 火山変動リモート観測装置 (REGMOS) を開発し観測を行ってきた。

REGMOS には、GNSS 受信機・アンテナのほか、温度計や傾斜計、ネットワークカメラ等が取り付けられており、これらのデータは 1 時間に 1 度、国土地理院のサーバへ転送されている。

2013~2014 年度には、REGMOS に対し 3 つの改良を行った。1 つ目は、富士山に設置している REGMOS について、従来の GPS 衛星のみの受信からマルチ GNSS 衛星 (GPS + グロナス + ガリレオ + 準天頂) を受信できるよう改良した。2 つ目は、地上携帯電話 (FOMA) サービスエリア内に設置してある REGMOS 4 基に対し、従来の衛星携帯電話ではなく、地上携帯電話を用いた通信方法に変更した。3 つ目は、ネットワークカメラの静止画像撮影頻度とデータ転送頻度を向上させ、画像を連続で撮影し、撮影後すぐに画像データを国土地理院へ転送できるよう改良した。

本発表では、これら改良の詳細とその効果について報告する。

キーワード: GNSS 火山変動リモート観測装置, レグモス, 火山, 地殻変動

Keywords: Remote GNSS Monitoring System, REGMOS, Volcano, Crustal Deformation