

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^{1*}; ルイス マリオ²; モテス パトリシア²
KUMAGAI, Hiroyuki^{1*}; RUIZ, Mario²; MOTHEs, Patricia²

¹名古屋大学, ²エクアドル地球物理研究所

¹Nagoya University, ²IG-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ゥング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^{1*}; 西村 太志²; 山田 大志¹; 川口 亮平³; 三輪 学央³; 藤田 英輔³; リペペ マウリツィオ⁴; ジェンコ リカルド⁴; ラカーナ ジョルジオ⁴
AOYAMA, Hiroshi^{1*}; NISHIMURA, Takeshi²; YAMADA, Taishi¹; KAWAGUCHI, Ryohei³; MIWA, Takahiro³; FUJITA, Eisuke³; RIPEPE, Maurizio⁴; GENCO, Riccardo⁴; LACANNA, Giorgio⁴

¹ 北海道大学大学院理学研究院, ² 東北大学大学院理学研究科, ³ 防災科学技術研究所, ⁴ フィレンツェ大学地球科学科
¹Graduate School of Science, Hokkaido University, ²Graduate School of Science, Tohoku University, ³NIED, ⁴Department 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^{1*}
YAMAMOTO, Mare^{1*}

¹ 東北大学大学院理学研究科
¹Gradual 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、通常の火山構造成層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, 2014-2015

大倉 敬宏^{1*}; 宇津木 充¹; 横尾 亮彦¹; 吉川 慎¹; 井上 寛之¹; 鍵山 恒臣¹
OHKURA, Takahiro^{1*}; UTSUGI, Mitsuru¹; YOKOO, Akihiko¹; YOSHIKAWA, Shin¹; INOUE, Hiroyuki¹; KAGIYAMA, Tsuneomi¹

¹ 京都大学火山研究センター

¹ 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 4k m 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、その後の中岳第 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^{1*}; 下司 信夫²; 横尾 亮彦³

MIYABUCHI, Yasuo^{1*}; GESHI, Nobuo²; YOKOO, Akihiko³

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

¹ Faculty of Education, Kumamoto University, ² Geological Survey of Japan, AIST, ³ 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 30 km)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 4～5 cm の噴出物が観察され、表面には最大径 30 cm 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 40 kg/m² 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 2.7 kg/m²、さらに西方へ 1.2 km 離れた山上広場付近でも約 2 kg/m² 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 4 km 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 1.2 km 離れた山上広場でも径 3～4 cm 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 45 cm 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 20～30 m 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^{1*}; 下司 信夫¹; 星住 英夫¹; 山崎 誠子¹

MIYAGI, Isoji^{1*}; GESHI, Nobuo¹; HOSHIZUMI, Hideo¹; YAMASAKI, Seiko¹

¹ 産業技術総合研究所・地質調査総合センター

¹ 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。

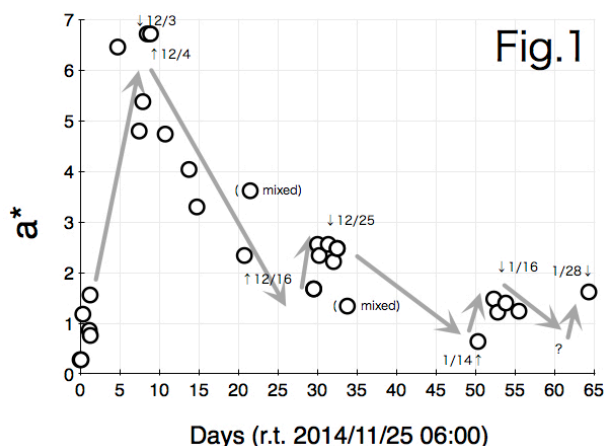
★結果★ 火山灰の細粒成分のa*値(赤さの示標)には系統的な経時変化が観察された(Fig.1)、大局的には、観察期間の初めにa*値は大きく増加し、それ以降は振動しながら減少するように見える。具体的には、2014年11月25日から12月4日頃にかけてa*値は大幅増(0.3→6.7)、12月24日にかけて大幅減(6.7→1.7)、12月27日頃にかけて微増(1.7→2.5)、2015年1月14日に極小(2.5→0.6)、1月16日にかけて微増(0.6→1.5)、1月19日にかけて徐々に低下(1.5→1.2)、そして1月28日には微増(1.2→1.6)した。これに対し火山灰の粗粒成分は、細粒成分のa*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^{1*}; 磯部 博志¹; 杉山 芙実子¹; 永田 紘樹³; 永松 允積⁴; 森 康²
HASENAKA, Toshiaki^{1*}; ISOBE, Hiroshi¹; SUGIYAMA, Fumiko¹; NAGATA, Koki³; NAGAMATSU, Yoshizumi⁴; MORI, Yasushi²

¹ 熊本大学大学院自然科学研究科, ² 北九州市立自然史・歴史博物館, ³ 阿蘇ジオパーク推進協議会, ⁴ 熊本市北区

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

³Aso Geopark Promotion Council, ⁴Kita-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ッ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^{1*}; 下司 信夫¹; 横尾 亮彦²; 風早 竜之介¹

SHINOHARA, Hiroshi^{1*}; GESHI, Nobuo¹; YOKOO, Akihiko²; KAZAHAYA, Ryunosuke¹

¹ 産総研、活断層・火山研究部門, ² 京都大学大学院理学研究科

¹Geological Survey of Japan, AIST, ²Graduate 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 $\text{CO}_2/\text{SO}_2=1$ 程度の低い値を持つのにに対し、高温噴気は $\text{CO}_2/\text{SO}_2=5$ 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 $\text{CO}_2/\text{SO}_2=1$ 程度の低い値を持つのにに対し、高温噴気も $\text{CO}_2/\text{SO}_2=5$ 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 $\text{CO}_2/\text{SO}_2=1$ 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℃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℃以上であり、湯だまり枯渇後には最高で約950℃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時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^{1*}; 小原 一成²; 前田 拓人²; 高木 涼太²; 佐竹 健治²

SANDANBATA, Osamu^{1*}; OBARA, Kazushige²; MAEDA, Takuto²; TAKAGI, Ryota²; SATAKE, Kenji²

¹ 東京大学 大学院理学系研究科地球惑星科学専攻, ² 東京大学地震研究所

¹Department of Earth and Planetary Science, University of Tokyo, ²Earthquake 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で、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^{1*}; 吉本 充宏²; 中田 節也³; 前野 深³; 石塚 吉浩¹; 竹下 欣宏⁴; 小森 次郎⁵; 嶋野 岳人⁶;
石峯 康浩⁷

OIKAWA, Teruki^{1*}; YOSHIMOTO, Mitsuhiro²; NAKADA, Setsuya³; MAENO, Fukashi³; ISHIZUKA, Yoshihiro¹;
TAKESHITA, Yoshihiro⁴; KOMORI, Jiro⁵; SHIMANO, Taketo⁶; ISHIMINE, Yasuhiro⁷

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

¹GSJ/AIST, ²Mount Fuji Research Institute, Yamanashi Prefectural Government, ³ERI, Univ. Tokyo, ⁴Education, Shinshu Univ.,

⁵Teikyo Heisei Univ., ⁶Social and Environmental, Tokoha Univ., ⁷Department 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つ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^{1*}; 金子 隆之²; 石峯 康浩³; 吉本 充宏¹; 藤井 敏嗣¹; 山岡 耕春⁴
TSUNEMATSU, Kae^{1*}; KANEKO, Takayuki²; ISHIMINE, Yasuhiro³; YOSHIMOTO, Mitsuhiro¹;
FUJII, Toshitsugu¹; YAMAOKA, Koshun⁴

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

¹Mount Fuji Research Institute, Yamanashi Prefectural Government, Japan, ²Earth Research Institute, University of Tokyo, Japan, ³National Institute of Public Health, Japan, ⁴Graduate 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^{1*}; 及川 輝樹²; 吉本 充宏³

ISHIMINE, Yasuhiro^{1*}; OIKAWA, Teruki²; YOSHIMOTO, Mitsuhiro³

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

¹National Institute of Public Health, ²National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, ³Mount 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との温度差の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^{1*}; 寺川 寿子¹; 山中 佳子¹; 前田 裕太¹; 堀川 信一郎¹; 松廣 健二郎¹; 奥田 隆¹
KATO, Aitaro^{1*}; TERAKAWA, Toshiko¹; YAMANAKA, Yoshiko¹; MAEDA, Yuta¹; HORIKAWA, Shinichiro¹; MATSUHIRO, Kenjiro¹; OKUDA, Takashi¹

¹ 名古屋大学大学院環境学研究科

¹ 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^{1*}; 加藤 愛太郎¹; 山中 佳子¹; 前田 裕太¹; 堀川 信一郎¹; 松廣 健二郎¹; 奥田 隆¹
TERAKAWA, Toshiko^{1*}; KATO, Aitaro¹; YAMANAKA, Yoshiko¹; MAEDA, Yuta¹; HORIKAWA, Shinichiro¹; MATSUHIRO, Kenjiro¹; OKUDA, Takashi¹

¹ 名古屋大学・環境学研究科

¹ 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, 火山構造成地震, 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^{1*}; 木股 文昭²; 宮島 力男²; 森 濟³; 山中 佳子⁴; 堀川 信一郎⁴; 松廣 健二郎⁴;
大倉 敬宏⁵; 吉川 慎⁵; 井上 寛之⁵; 三島 壮智⁵; 園田 忠臣⁶; 松島 健⁷; 内田 和也⁷
MURASE, Masayuki^{1*}; KIMATA, Fumiaki²; MIYAJIMA, Rikio²; MORI, Hitoshi, Y.³; YAMANAKA, Yoshiko⁴;
HORIKAWA, Shinichiro⁴; MATSUHIRO, Kenjiro⁴; OHKURA, Takahiro⁵; YOSHIKAWA, Shin⁵;
INOUE, Hiroyuki⁵; MISHIMA, Taketoshi⁵; SONODA, Tadaomi⁶; MATSUSHIMA, Takeshi⁷; UCHIDA, Kazunari⁷

¹ 日本大学文理学部地球システム科学科, ² 公益法人地震予知総合研究振興会 東濃地震科学研究所, ³ 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, ⁴ 名古屋大学大学院環境学研究科, ⁵ 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, ⁶ 京都大学防災研究所附属火山活動研究センター, ⁷ 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

¹Department of Geosystem, College of Humanities and Sciences, NIHON University, ²Tono Research Institute of Earthquake Science, Association, ³Institute of Seismology and Volcanology, Faculty of Science, Hokkaido University, ⁴Graduate School of Environmental Studies, University of NAGOYA, ⁵Aso Volcanological Laboratory, Institute for Geothermal Sciences, Graduate School of Science, Kyoto, ⁶Sakurajima Volcano Research Center, Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, ⁷Institute 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)、木曽温泉路線(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^{1*}; 久利 美和²; 永谷 圭司¹; 吉田 和哉¹
YAJIMA, Ryosuke^{1*}; KURI, Miwa²; NAGATANI, Keiji¹; YOSHIDA, Kazuya¹

¹ 東北大学大学院 工学研究科, ² 東北大学 災害科学国際研究所

¹Graduate School of Engineering, Tohoku University, ²International 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、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ットに採取できる（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^{1*}; 森島 邦博²; 中村 光廣³

NISHIO, Akira^{1*}; MORISHIMA, Kunihiro²; NAKAMURA, Mitsuhiro³

¹ 名古屋大学理学研究科, ² 名古屋大学高等研究院, ³ 名古屋大学エコトピア科学研究所

¹Graduate school of science, Nagoya University, ²Institute for advanced research, Nagoya University, ³Ecotopia 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 cm² 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必要がある。

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。

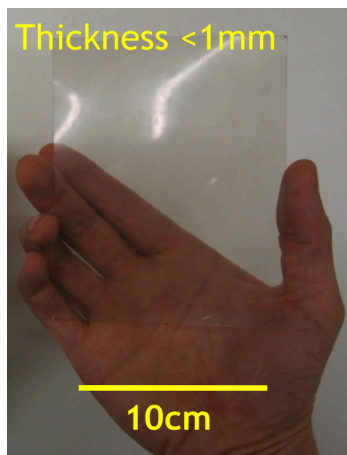
キーワード: 火山, ミュオンラジオグラフィ, 原子核乾板

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^{1*}; 田中 宏幸¹
KUSAGAYA, Taro^{1*}; TANAKA, Hiroyuki¹

¹ 東京大学地震研究所
¹ 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あるのではない。

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 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^{1*}; 大島 弘光²; 谷瀬 正寿³; 八幡 正弘⁴

TSUTSUI, Tomoki^{1*}; OSHIMA, Hiromitsu²; TANISE, Masazumi³; YAHATA, Masahiro⁴

¹ 秋田大学, ² 北海道大学, ³ 応用地質, ⁴ マイジオ

¹ Akita University, ² Hokkaido University, ³ Oyo Corporation, ⁴ MY-Geo

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良好に対応する。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, 合成地震記録, 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^{1*}; 五十嵐 俊博¹; 西田 究¹; 青木 陽介¹; 武尾 実¹; 上田 英樹²
KINOSHITA, Sawako^{1*}; IGARASHI, Toshihiro¹; NISHIDA, Kiwamu¹; AOKI, Yosuke¹; TAKEO, Minoru¹;
UEDA, Hideki²

¹ 東京大学地震研究所, ² 防災科学技術研究所

¹Earthquake Research Institute, University of Tokyo, ²National 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^{1*}; 山本 希¹; 市来 雅啓¹; 西村 太志¹; 太田 雄策¹; 出町 知嗣¹
MIURA, Satoshi^{1*}; YAMAMOTO, Mare¹; ICHIKI, Masahiro¹; NISHIMURA, Takeshi¹; OHTA, Yusaku¹; DEMACHI, Tomotsugu¹

¹ 東北大学大学院理学研究科

¹ 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す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/shiryu/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

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

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

吉田・他(2012), 駿震時報, 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^{1*}; 森 済¹

WADA, Sayaka^{1*}; MORI, Hitoshi, Y.¹

¹ 北海道大学大学院理学院地震火山研究観測センター

¹ Institute of Seismology and Volcanology, Graduate School of science, Hokkaido university

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^{1*}; 平林 順一²

IGUCHI, Masato^{1*}; HIRABAYASHI, Jun-ichi²

¹ 京都大学防災研究所, ² 東京工業大学名誉教授

¹DPRI, Kyoto Univ., ²TITEC

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CO₂濃度およびH₂濃度を測定している(井口・平林, 2010)。

CO₂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CO₂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。H₂濃度はCO₂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CO₂およびH₂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CO₂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CO₂濃度が低下し始める。CO₂に乏しい天水が温泉水に混入し、CO₂に富んだ温泉水が希釈され、CO₂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、CO₂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CO₂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。

H₂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、CO₂と似た傾向を示すが、2009年7月以降はCO₂濃度とは異なる変化を示す。H₂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H₂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H₂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H₂およびCO₂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CO₂では天水の温泉水への混入、H₂では大気圧の変化の影響を受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^{1*}; 井口 正人²; 大倉 敬宏¹; 山本 圭吾²
HOTTA, Kohei^{1*}; IGUCHI, Masato²; OHKURA, Takahiro¹; YAMAMOTO, Keigo²

¹ 京都大学大学院理学研究科, ² 京都大学防災研究所

¹Graduate School of Science, Kyoto University, ²DPRI, 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/m³ 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^{1*}; 程 林¹; 池谷 康祐¹; 小松 大祐¹; 中川 書子¹; 篠原 宏志²
TSUNOGAI, Urumu^{1*}; CHENG, Lin¹; IKEYA, Kosuke¹; KOMATSU, Daisuke¹; NAKAGAWA, Fumiko¹; SHINOHARA, Hiroshi²

¹ 名古屋大学環境学研究科, ² 産業技術総合研究所地質情報研究部門

¹ Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, ² 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。また予め真空中に引いた内容積 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 δD 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 δD 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^{1*}; 森田 雅明¹; 井口 正人²; 屋久島 町³; 福岡管区 気象台⁴
MORI, Toshiya^{1*}; MORITA, Masaaki¹; IGUCHI, Masato²; YAKUSHIMA, Town³;
FUKUOKA REGIONAL, Headquarters⁴

¹ 東京大学大学院理学系研究科, ² 京都大学防災研究所, ³ 屋久島町, ⁴ 気象庁

¹Graduate School of Science, The University of Tokyo, ²Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, ³Yakushima Town, ⁴Japan 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^{1*}; 柴倉 大輔¹
OHBA, Takeshi^{1*}; SHIBAKURA, Daisuke¹

¹ 東海大学理学部化学科

¹ 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SO₂/H₂S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SO₂/H₂S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CO₂/H₂O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CO₂/H₂O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CO₂/H₂O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H₂/H₂O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H₂O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CO₂/H₂O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H₂Oが凝縮などで失われ相対的にCO₂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CO₂/H₂O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CO₂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、CO₂の増加はマグマ性ガスに含まれるCO₂が増加したことを意味する。マグマ性ガスのCO₂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CO₂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CO₂が供給されたとは考えられない。よってCO₂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SO₂/H₂S比の上昇や、H₂/H₂O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, CO₂/H₂O

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, CO₂/H₂O

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^{1*}; 神田 径²; 小山 崇夫³; 小川 康雄²

MATSUNAGA, Yasuo^{1*}; KANDA, Wataru²; KOYAMA, Takao³; OGAWA, Yasuo²

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

¹Department of Earth and Planetary Sciences, Tokyo Institute of Technology, ²Volcanic Fluid Research Center, Tokyo Institute of Technology, ³Earthquake 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かった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^{1*}; 大倉 敬宏²; 神田 径¹; 小川 康雄¹
TERADA, Akihiko^{1*}; OHKURA, Takahiro²; KANDA, Wataru¹; OGAWA, Yasuo¹

¹ 東京工業大学火山流体研究センター, ² 京都大学大学院理学研究科

¹ Volcanic Fluid Research Center, Tokyo Institute of Technology, ² 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 m^3/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ることがある。

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 m^3/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