

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 12 月 27 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25870352

研究課題名(和文)阿蘇中岳第一火口における熱水流入過程の解明と、土砂噴出、水蒸気爆発発生の事前評価

研究課題名(英文) Study on fluid injection beneath the volcanic lake at the Nakadake 1st crater of Aso Volcano - aiming to understand future phreatic explosions

研究代表者

横尾 亮彦 (Akihiko, Yokoo)

京都大学・理学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：70420403

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題の開始直後以降、阿蘇火山の活動が活発化し、湯だまりのない状態のまま2014年1月に火口が開口し、11月25日からは、約20年ぶりとなる本格的な噴火活動が始まった。そのため、阿蘇火山の噴火活動推移に柔軟に対応しながら、高周波連続微動やモニタリング空振の発振源推定など、本研究課題の究極目標である水蒸気爆発現象の理解に資するいくつかの項目を実施し、一定の成果を得た。

研究成果の概要(英文)：Volcanic activity of the Nakadake 1st crater of Aso volcano has increased since 2013 immediately after this project was started. Volcanic lake at the crater has been disappeared and then new active vent was opened inside the crater in January 2014. On 25 November 2014, magmatic eruptions started after c.a. 20 years dormancy. So as to satisfy an extreme objective of this project - understanding and evaluating of future phreatic explosions - several kinds of analysis on seismo-acoustic signals were investigated. From the analysis of high-frequency continuous tremor, final section of the pathway of volcanic fluids toward crater bottom was revealed. Monochromatic infrasound tremor with the ~0.5 Hz peak was identified by a new network of infrasound sensors. Source process of this signal was considered as the Helmholtz resonance inside the conduit.

研究分野：火山物理学

キーワード：阿蘇火山 中岳第一火口 湯だまり 土砂噴出 水蒸気爆発 火山噴火

1. 研究開始当初の背景

1989～1992年に発生した本格的なマグマ噴火活動以降、阿蘇火山中岳第一火口は静穏な状態で推移し、本研究課題申請時にはエメラルドグリーン色を呈す60～70度のお湯で満たされた「湯だまり」の状態であった。静穏な活動状態であっても、湯だまり底では土砂噴出や水蒸気爆発などの突発的な噴出現象が(程頻度ながら)発生することが知られている。土砂噴出よりもさらに高頻度かつ小規模な現象として、湯だまりへの熱水流入もある。実際、2011年には、第一火口が湯だまり状態であったにもかかわらず、空振放射が発生した。この放射源は火口中央であったことが、研究代表者によって見出され、火口底からの熱水流入による水面揺動が原因であると考えられた。

このような熱水流入について、流入過程に伴うシグナルや前駆現象を捉え、また、現象ダイナミクスを理解することは、土砂噴出や水蒸気爆発を理解し、噴火・噴出現象のより適切な事前評価を行うための大きなヒントを得ることにつながるものと期待できる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、阿蘇火山中岳第一火口の湯だまり底下で平時から恒常的に発生しているごく小規模な熱水流入現象に焦点を当て、同現象のプロセスとそのダイナミクスを明らかにすることで、その上位規模である土砂噴出や水蒸気爆発の現象理解を深めることを目指したものであった。

3. 研究の方法

本研究課題の開始直後以降、阿蘇火山の活動が活発化し、湯だまりのない状態のまま2014年1月の火口開口、11月25日からは、約20年ぶりとなる本格的な噴火活動開始へと至った。2015年5月の火口底陥没イベントによって一連の噴火活動は一旦収束したものの、9月14日、10月23日と相次いで火砕流を伴うやや規模なマグマ水蒸気爆発が発生し、その後も規模の小さい水蒸気爆発が繰り返されている。

当初の研究予定は、湯だまり下における突発的な熱水流入現象の発生過程およびそのダイナミクスを明らかにすることであった。そのため、火口ごく近傍域において、空振観測や水位観測を始めとした多項目観測を実施し、その結果を解析するつもりであった。しかし、前述の通り、火山活動の状況が一変し、湯だまりのない状況下で物事が時事刻々と進行することになった。

そのため、本研究課題の究極目標が水蒸気爆発という火山噴火一事象の理解を深め

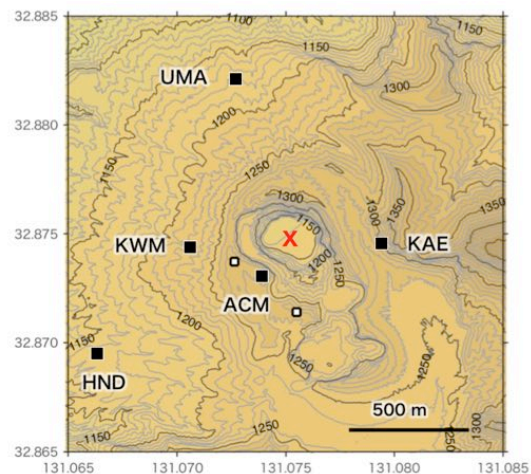
ることにあることを鑑み、阿蘇火山の噴火活動推移に対して柔軟に対応しながら、最終目標への到達に資する以下の内容を実施することにした。

1. 中岳第一火口空振観測網の増強
2. 空振伝播プログラムの作成
3. 連続微動発生源の推定
4. 水位変動連続観測装置の作成
5. 中岳第一火口内地形変化の把握

4. 研究成果

1. 中岳第一火口空振観測網の増強

2013年には、それまで一つしかなかった空振観測点を現地収録3観測点へと拡張した。そして、2014年末の噴火開始後には、計5点にまで増設した(テレメータ4、現地収録1)。その後の噴火活動により被災してしまった観測点も多いが、本課題実施期間中は順調にデータ収録することができ、次項に記す波源解析作業を実施することが可能になった。

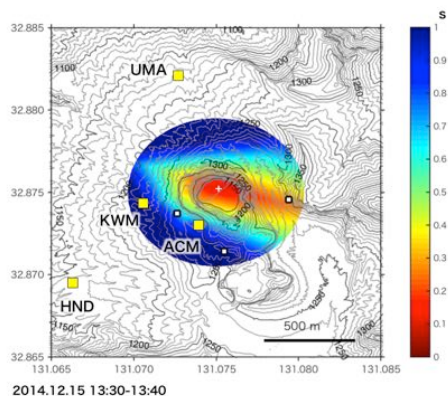


図：空振観測点配置図

2. 空振伝播プログラムの作成

FDTD法による周囲地形を考慮した二次元空振伝播プログラムを作成した。これにより空振波源および放射時刻を精度よく推定できるようになった。

2014年末から始まった噴火活動では、0.5 Hz 近傍にピークを持ったモニタリング空振が連日発生した。この特異な空振は一連の噴火活動における特徴のひとつとして挙げられる。地形・気象条件を考慮した空振波源推定の結果、第一火口底に開口した火口から発生していることが確かめられた。表面現象との対応性が特に見られないことから、噴出する火山ガスや火山灰噴煙に駆動された、火道内空間スケールで規定されるヘルムホルツ共鳴現象であると考え



図：モノトニック空振の波源推定結果

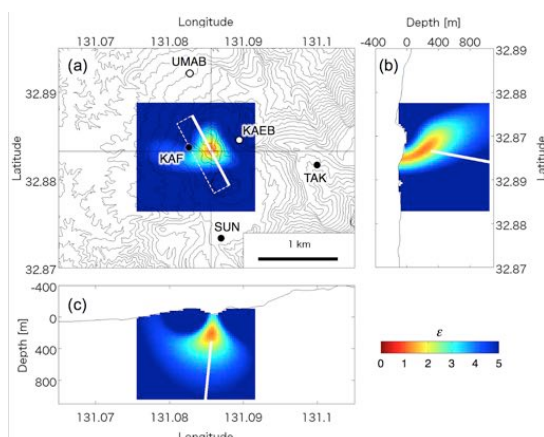
られる。卓越周波数の時間変化は火孔拡大および破砕面深度の変化で説明される。

3. 連続微動発生源の推定

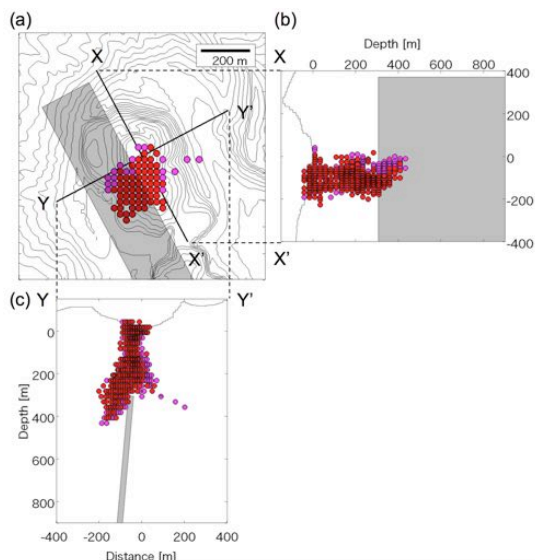
2014 年末から始まった噴火活動活発化の端緒であった同年 1 月の火孔開口イベントでは、これに先立つ形で、2013 年末から短周期連続微動振幅が顕著に増加を始めた。京都大学火山研究センターの定常地震観測点のうち 5 箇所の上動記録について、5-10 Hz のバンドパスを施し、ASL 法による微動発生位置の推定を行った。

その結果、クラック状火道から火口底直下へとつながる領域で連続微動が発生していることが明らかとなり、火山性熱流体のフラックス増加による火道の形成、および火道サイズの拡大過程であったと理解された。これまでの多くの研究によって提唱されてきた、マグマだまりから火口へとつながる通路のさいごの領域をイメージできたものと考えられる。

また、時間経過とともに変化する連続微動の振幅・卓越周波数に対して、Julian (1996) による非線形振動モデルを適用し、火道サイズ・流体圧力の変遷についての検討を行った。火孔開口、噴火発生へと至る各ステージにおいて、山体内でどのような現象が進行していったのかについての理解が進んだ。



図：連続微動発振源推定結果（残差分布）



図：火孔開口前後における連続微動発振源分布（2013 年 12 月～2014 年 1 月）

2011 年の微噴火活動直前の地震記録についても解析作業を行ったところ、ほとんどの同様の結果が得られた。火孔開口・噴火開始の直前にはかならず起きる現象なのかもしれない。2015 年 9 月、10 月に相次いで発生したマグマ水蒸気爆発の直前にも連続微動の振幅変化が同じように観測されている。以上のことは、連続微動の観測記録をリアルタイム解析することによって、火口浅部における火山性流体挙動の把握、また、噴火活動予測の精度を高めることができる可能性が強く示唆される。今後の研究進展が期待される。

4. 水位変動観測装置の作成

レーザー測距装置を用いた水位変動観測装置を作成した。本装置センサー部には市販の測量用レーザー測距モジュールを改造して用いた。これをマイコンボードから制御することで、10 秒に 1 度の間隔で内蔵 SD カードへデータ収録する機構にした。しかし、本研究課題開始早々に第一火口内の湯だまりが消滅し、また、ハウジングに防水・防ガス対策を施す前であった、という二つの理由により、本装置を第一火口縁へ設置するまでに至らなかった。

5. 中岳第一火口内地形変化の把握

2014 年 11 月の噴火開始以後、第一火口内の活動火孔では活発な噴火活動が繰り返された。前述の地震（連続微動）や（モノトニック）空振の解析作業では、詳細な地形データが必要になる。そのため、レーザー距離計やデジタル写真測量によって、定期的な DEM データ作成作業を行った。第一火口内で繰り返し発生したストロンボリ式噴火による火砕物は、火孔（直径 50 m）近傍へ堆積し続け、最終的に、比高 50 m、リム直径

120 m ほどの大きさの火砕丘が形成された。2015 年 5 月 3 日に火口底の南側半分ほどの領域で 30~40 m にも及ぶ陥没現象が生じ、これを機に本格的なマグマ噴火活動は半年ほどで終息した。地形測量から見積もられた体積変化量は $5 \times 10^5 \text{ m}^3$ に及び、火口底下にあった第一火口南壁への熱供給ルートも遮断された。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 8 件)

1. Suwa, H., Suzuki, Y.J., and Yokoo, A., Estimation of exit velocity of volcanic plume from analysis of vortex structures, *Earth and Planetary Science Letters*, 査読あり, 385C, 2015, 154-161, DOI: 10.1016/j.epsl.2013.10.032

2. Shimano, T., Nshimura, T., Chiga, N., Yoshihasaki, Y., Iguchi, M., Miki, D., and Yokoo, A., Development of automatic volcanic ash sampling apparatuses at active volcanos, *Bulletin of Volcanology*, 査読あり, 73, 2013, 773, DOI: 10.1007/s00445-013-0773-7

3. Ichihara, M., Lyons, J.J., and Yokoo, A., Switching from seismic to seismo-acoustic harmonic tremor at a transition of eruptive activity during the Shinmoe-dake 2011 eruption, *Earth, Planets and Space*, 査読あり, 65, 2013, 633-653, DOI: 10.5047/eps.2013.05.003

4. Yokoo, A., Suzuki, Y.J., and Iguchi, M., Dual infrasound from Vulcanian eruption of Sakurajima volcano, inferred from cross-array observation, *Seismological Research Letters*, 査読あり, 85, 2014, 1212-1222, DOI: 10.1785022

5. McKee, K., Fee, D., Rowell, C., and Yokoo, A., Network-based evaluation of the infrasonic source location at Sakurajima volcano, *Seismological Research Letters*, 査読あり, 85, 2014, 1200-1211, DOI: 10.1785022

6. Fee, D., Yokoo, A., and Johnson, J.B., Introduction to an open community infrasound dataset from the actively erupting Sakurajima Volcano, *Seismological Research Letters*, 査読あり, 85, 2014, 1151-1162, DOI: 10.1785022

7. 横尾亮彦・宮縁育夫, 2014 年から始まった

阿蘇火山中岳第一火口の噴火活動, 火山, 査読あり, 60, 2015, 275-278

8. Kim, K., Fee, D., Yokoo, A., and Lees, J.M., Acoustic source inversion to estimate volume flux from volcanic explosions, *Geophysical Research Letters*, 査読あり, 42, 2015, 5243-5249, DOI: 10.1002/2015GL064466

[学会発表] (計 8 件)

1. 横尾亮彦, 阿蘇中岳第一火口における熱水流入過程, 地球惑星科学連合連合大会 2013 年大会, 2013 年 5 月 21 日, 幕張メッセ国際会議場

2. Yokoo, A., Fluid injections at a crater lake of Aso volcano, IAVCEI 2013 Scientific Assembly, 2013 年 7 月 24 日, 鹿児島県民交流センター

3. 大倉敬宏・宇津木充・横尾亮彦・吉川慎・井上寛之・鍵山恒臣, 阿蘇火山 2014-2015 年噴火活動の概要について, 地球惑星科学連合連合大会 2015 年大会, 2015 年 5 月 22 日~5 月 26 日, 幕張メッセ国際会議場

4. 宮縁育夫・横尾亮彦, 阿蘇火山中岳 2014~2015 年噴火の推移と噴出物(速報), 地球惑星科学連合連合大会 2015 年大会, 2015 年 5 月 22 日~5 月 26 日, 幕張メッセ国際会議場

5. 篠原宏志・下司信夫・横尾亮彦・風早龍之介, 阿蘇火山の火口湖活動から噴火への推移の伴う火山ガス組成変化, 地球惑星科学連合連合大会 2015 年大会, 2015 年 5 月 22 日~5 月 26 日, 幕張メッセ国際会議場

6. 市村美沙・横尾亮彦・鍵山恒臣・大倉敬宏・吉川慎・井上寛之, 阿蘇火山における連続微動の発生位置推定, 地球惑星科学連合連合大会 2015 年大会, 2015 年 5 月 22 日~5 月 26 日, 幕張メッセ国際会議場

7. 宇津木充・大倉敬宏・横尾亮彦・鍵山恒臣, 2014 年阿蘇火山噴火に伴う電磁気観測結果について, 地球惑星科学連合連合大会 2015 年大会, 2015 年 5 月 22 日~5 月 26 日, 幕張メッセ国際会議場

8. McKee, K., Yokoo, A., Fee, D., Huang, Y.C., Yoshikawa, S., Utsugi, M., Minami, T., and Ohkura, T., Analysis of fumarole acoustics at Aso volcano, Japan, *American Geophysical Union Fall Meeting*, 2015 年 12 月 14 日~12 月 18 日, San Francisco, USA

〔図書〕（計 0 件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

横尾亮彦 (YOKOO, Akihiko)
京都大学・大学院理学研究科・助教
研究者番号： 70420403

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし