

令和元年6月18日現在

機関番号：17102

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K17751

研究課題名(和文) 雲仙普賢岳溶岩ドームの地すべりの運動の研究

研究課題名(英文) Resistivity structure, deformation, and earthquake activity beneath unstable Unzen lava dome

研究代表者

相澤 広記 (Aizawa, Koki)

九州大学・理学研究院・准教授

研究者番号：50526689

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)：火山山頂部に形成される溶岩ドームは地形的に急峻なため崩壊の危険性がある。実際に年間3cm程度の定常的変形が観測されている雲仙火山の平成新山溶岩ドームを対象に、その内部構造、地表変形、地震活動の観測研究を行った。その結果、2017年に入ってから散発的に発生している浅い地震は、平成新山溶岩ドーム直下の地表より深さ200-500mと極めて浅い位置で起きていること、さらに空隙がその周辺ですべりを起こしながらつぶれるようなメカニズムを示すこと、その発生に熱水が関与していることが示唆された。なお、現在までこの地震に伴う地表変形の加速は見られないが、今後その活動に注目していくべきと考える。

研究成果の学術的意義や社会的意義

初動が”引き”が卓越している地震が発生することはまれであり、それが年間3cm程度の定常的変形が進行している平成新山溶岩ドーム直下の極めて浅部で散発的に発生していると特定できたこと、さらに溶岩ドーム山頂付近から東にかけての観測点だけは初動が”押し”になることが分かったことは、地下のすべり面について考える上で重要な知見かもしれない。現時点の仮説は、噴火前の地形(地山)と溶岩ドームの境界付近に蓄積している微小な熱水クラックが、すべりながらつぶれることで地震を起こしているというものである。現時点でこの地震に伴う地表変形の加速は全くみられないが、今後その活動に注目していくべきと考える。

研究成果の概要(英文)：In order to explore the very shallow earthquake activity beneath Unzen volcano, we established (1) 12 seismic stations around Mt. Fugen and Heisei-Shinzan lava dome. In addition, we conducted the electric self-potential survey and the broad-band magnetotelluric (MT) observation. The most of the P-wave arrivals of these shallow earthquakes show the downward motion except the Heisei-Shinzan lava dome, and these hypocenters were relocated 200 to 500m below the lava dome. Relatively electrical conductive region around 10 ohm-m is imaged beneath the hypocenters. We hypothesize that the very small (several tens of m) cracks in the hydrothermal zone generate such shallow non-DC earthquakes. At present, no surface deformation synchronizing such earthquakes were found by the Unzen rock slide monitoring system (Hirakawa et al., 2018).

研究分野：地球電磁気学

キーワード：溶岩ドーム 地すべり 地震 比抵抗 自然電位 地表変形 初動発震機構 引き波

## 1. 研究開始当初の背景

雲仙普賢岳は1991～1995年の噴火により、約0.2 km<sup>3</sup>のマグマを放出した。火砕流や噴煙によってその約半分は周辺に拡散したが、残り半分は山頂部に溶岩ドームとして取り残されている。この溶岩ドームは急傾斜の斜面上に形成されたため重力的に不安定であり、実際、その東末端部が、およそ3cm/年の速度で、東南東方向に動いていることが光波計測によって明らかになっている(国土交通省雲仙復興事務所)。このように現実に崩壊が懸念されている溶岩ドームで、地すべり的な変形が観測されている例は世界的に稀である。地すべり(規模の大きいものは山体崩壊)の影響を予測する上では、どの深さにどのような形状のすべり面を想定するかが重要であるが、観測できるのは基本的に地表での変形のみであり、地下のすべり面の想定は難しいという問題点があった。すべり面の形成には地下水の分布が重要な役割を果たしている可能性があるが、溶岩ドームの内部にどのように地下水、熱水が分布しているかは明らかでなかった。また、溶岩ドームは地形的に急峻なこともありその地下構造調査は世界的にほとんど成されていない。

## 2. 研究の目的

熱水変質帯は粘土化しており低浸透率なため、その上面には地下水が集中し間隙水圧が高まり、地すべり運動に寄与しているという作業仮説を設定し、溶岩ドーム内部の熱水変質帯の空間分布、および地表変形との対応を検討する。

## 3. 研究の方法

当初、自然電位観測と地磁気—地電流(MT)観測により地下の熱水、熱水変質帯の分布の推定を行い、GNSS観測により地表変形の観測を行う方針であった。自然電位観測と地磁気—地電流(MT)観測については予定通り遂行したが、GNSS観測については以下の2つの理由によって当初予定になかった地震観測に重点を移すこととした。

(1) 2016年4月に発生した熊本地震の影響で溶岩ドーム周辺に崩落による危険性が生じ、立ち入りを制限したため長期間にわたる繰り返し観測が難しくなったこと、さらに国土交通省雲仙復興事務所を中心とした溶岩ドームの準リアルタイム変形モニタリングシステム(Hirakawa et al., 2018)が充実したこと。

(2) 2017年から雲仙火山のごく浅部で既存地震観測網の全ての観測点で初動が「引き」を示す非ダブルカップルな地震が散発的に発生し始めた。これは溶岩ドーム周辺の地下で空隙がつぶれている可能性を示唆し、この地震の震源やメカニズムを精度よい観測により推定することで地下すべり面に制約を与えられる可能性が生じたこと。

実際の臨時地震観測は、平成新山溶岩ドームから普賢岳を中心とした領域に上下動成分のみの12点を設置し、さらに研究期間終了直後に3成分観測点を溶岩ドーム上に2点増設した。震源決定のための速度構造には人工地震探査によって得られた結果を考慮した1次元速度構造を用いた(雑賀, 私信)。自然電位観測は溶岩ドームから普賢岳にかけての領域では面的に、そこから海までは1測線を設けて測定を行った。地下比抵抗構造推定のためのMT観測は、平成新山溶岩ドーム、普賢岳を中心とした領域で電場観測点を10点、山麓の2箇所に置いて電磁場5成分の観測を行った。また溶岩ドームから西に2kmはなれた南北に伸びる車道沿いに測線を設けて26観測点で電場および地磁気、地電流の測定を行った。

## 4. 研究成果

(1) 臨時地震観測により、2017年に入ってから散発的に発生している浅い地震は、平成新山溶岩ドーム直下の地表から深さ200-500mと極めて浅い位置で発生していることが特定できた。特に溶岩ドーム直上とその周辺の地震観測によって、雲仙普賢岳の直下ではなくて、新たに形成された平成新山溶岩ドーム直下の極めて浅い位置の地震と特定できたことは重要な結果である。さらに、地震の初動はほとんどの観測点で「引き」で非ダブルカップル型であるが、全方位で「引き」になるわけではなく、溶岩ドーム山頂付近から東にかけての観測点だけは「押し」になることが分かった。また、この初動の押し引き分布は微小なクラックがその周辺ですべりを起こしながらつぶれるようなメカニズムで説明可能なことをフォワード計算によって示唆した。また、この極めて浅部の地震の波形はS波が明瞭でなくコーダ部分が1分程度継続する。波形は海水準から深さ1~2kmで発生している通常のダブルカップル型の浅い地震に比べ低周波成分が卓越しており、流体の関与が示唆される。また数分程度の時間で連発することもあることが分かった。

(2) 自然電位観測からは平成新山溶岩ドームや、現在低温噴気が見られる霧氷沢の北周辺で正の電位異常が見られる一方で、普賢岳やそこから南の仁多峠にかけての領域は負の電位異常を示すことが明らかになった。普賢岳も溶岩ドームという点では平成新山と同じであるが、形成されたばかりの平成新山溶岩ドームとは内部の地下水の流れが異なることが自然電位分布から明らかになった。普賢岳周辺地下は重力による地下水の下降流が卓越するのに対して、平成新山溶岩ドーム地下は熱水、熱水変質帯の存在により地下水の下降流が部分的に妨げられていると考えられる。

(3) MT 観測から推定した比抵抗構造からは、普賢岳 溶岩ドームの深さ 300m以深の半径 1km 程度の領域に 10 m 程度のやや低比抵抗領域が存在することが分かった。これは水蒸気噴火が卓越するような火山で見られる数 m よりは高比抵抗であり、熱水変質が進行して粘土化している領域というよりは、熱水変質はしているが熱水も共存している領域と解釈するのが妥当と考えられる。実際に噴気が地表で見られることもその解釈を裏付けている。このやや低比抵抗領域は平成新山溶岩ドームにかけて地表付近までせりあがっている。普賢岳と平成新山溶岩ドームの自然電位分布の違いは、表層付近の比抵抗値が前者は高比抵抗であるのに対し、後者は低比抵抗を示すことを反映していると考えられる。また、海水準付近からさらに深部にも別の低比抵抗体が存在し、この低比抵抗体が 1991 1995 年噴火の際、地殻変動を生じた圧力源(B ソース)付近とつながっていることを示唆した (Triahadini et al., 2019, およびその後の統合解析)。

以上の結果を総合して、平成新山溶岩ドーム直下のごく浅部の初動の「引き」が卓越する非ダブルカップルな地震は、噴火前の地形(地山)と溶岩ドームの境界付近に蓄積している微小なクラックが、すべりながらつぶれることで発生しているという仮説が考えられる。微小なクラックが MT 観測から推定された 10 m ほどのやや低比抵抗領域の近傍に存在することは、クラックが熱水で満たされていることを支持する。これらは噴火前の地形(地山)と溶岩ドームの境界付近に熱水が存在し、そこで微小なすべりが生じ、地震波を放出していることを示唆する結果である。しかしながら溶岩ドームの変形モニタリングシステム(Hirakawa et al., 2018)によると、現時点でこの地震に伴う地表変形の加速はみられない。MT 観測による比抵抗構造からは、海水準付近からその深部にも低比抵抗体が存在することが新たに分かったが、その周辺ではダブルカップル型の火山性地震の活動が活発である。溶岩ドーム全体で発生している定常変形の解明のため、今後、この研究で示唆された微小すべりを示唆する極浅部地震との関連、さらにより深部から供給される火山性流体との影響という視点をもって研究を継続していく。

## 5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

(1) Triahadini A., Aizawa K., Teguri Y., Koyama T., Tsukamoto K., Muramatsu D., Chiba K., and Uyeshima M. (2019), Magnetotelluric transect of Unzen graben, Japan: Conductors associated with normal faults, *Earth Planets Space*, 71, 28. <https://doi.org/10.1186/s40623-019-1004-z>. (査読あり)

〔学会発表〕(計 4 件)

(1) 橋本 匡、相澤 広記、松島 健、清水 洋、林田 祐人、湯浅 雄平、塚本 果織、山本 有人、宮野 幹大、神園 めぐみ、松本 聡、臨時地震観測と広帯域 MT 観測による雲仙火山浅部で発生する火山性地震の研究、日本地球惑星科学連合 2019 年大会, 2019 年 5 月, 千葉幕張.

(2) 宮野 幹大、清水 洋、松島 健、松本 聡、相澤 広記、橋本 匡、林田 祐人、湯浅 雄平、雲仙火山浅部で発生する火山性地震の波形の特徴、日本地球惑星科学連合 2019 年大会, 2019 年 5 月, 千葉幕張.

(3) Agnis Triahadini; Koki Aizawa; Yoshiko Teguri; Kaori Tsukamoto; Takao Koyama; Dan Muramatsu; Keita Chiba; Saki Watanabe; Makoto Uyeshima, Magnetotelluric transect of the Unzen graben and its correlation with seismic profile, 地球電磁気・地球惑星圏学会, 2018 年 10 月名古屋.

(4) Agnis Triahadini, Koki Aizawa, Dan Muramatsu, Kaori Tsukamoto, Keita Chiba, Saki Watanabe, Yui Odasaki, Makoto Uyeshima, Yoshiko Teguri, MAGNETOTELLURIC TRANSECT OF THE UNZEN GRABEN, 日本地球惑星科学連合 2018 年大会, 2018 年 5 月, 千葉幕張.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

## 6 . 研究組織

研究協力者

研究協力者氏名: 松島 健

ローマ字氏名: (MATSUSHIMA Takeshi)

研究協力者氏名：松本 聡  
ローマ字氏名：(MATSUMOTO Satoshi)

研究協力者氏名：清水 洋  
ローマ字氏名：(SHIMIZU Hiroshi)

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。