

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 21 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26350475

研究課題名(和文)阿蘇火山における高時空間分解能比抵抗モニタリングシステムの構築

研究課題名(英文) Construction of high spatio-temporal resolution resistivity monitoring system at Aso volcano

研究代表者

宇津木 充 (Utsugi, Mitsuru)

京都大学・大学院理学研究科・助教

研究者番号：10372559

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：本課題の成果として、2014年阿蘇火山のマグマ噴火に伴う比抵抗変化を検出する事が出来たことが挙げられる。

阿蘇火山では2014年11月にマグマ噴火が発生した。中岳火口周辺で繰り返しACTIVE観測を実施した結果、噴火に伴う比抵抗構造の有意な時間変化が検出された。噴火前の9月と噴火直後の11月に行われた観測の結果、地下100～150mの深さで比抵抗が増加した。また京都大学で行われている地磁気連続観測の結果からは、これに調和的な深さで地下温度上昇を示唆する観測結果が得られた。これらの結果から、高温のマグマの上昇によって地下水が押し退けられ、地下の比抵抗が高くなった事が推察される。

研究成果の概要(英文)：One of the most significant results of our research is that, we had detect the resistivity change due to the magmatic eruption of Aso volcano in 2014.

At Aso volcano, magmatic eruption was occurred in November 2014. As a result of repeated ACTIVE observations around the Nakadake crater, a significant temporal change in the specific resistivity structure accompanying the eruption was detected.

As a result of our observations made in September 2014, before the eruption, and November 2014, just after the eruption, subsurface resistivity was increased at a depth of 100-150 m. In addition, from the results of continuous geomagnetic observations at Kyoto University, it was suggested that the subsurface rocks was heated on the depth of 100-150 m. From these results, it can be inferred that subsurface hydrothermal fluid was pushed out by the rise of high temperature magma, and the subsurface resistivity had increased.

研究分野：火山電磁気学

キーワード：比抵抗モニタリング 熱水系 時間変化

1. 研究開始当初の背景

阿蘇火山・中岳火口周辺では研究代表者らが行った高密度 AMT 観測から、中岳第一火口の地下 200 ~ 300m の深さに 1Ωm 程度の極めて低い抵抗値を示す領域が局在している事が明らかになった。阿蘇では、長周期微動の解析から中岳火口直下にクラックが存在し深部マグマだまりから放出される火山ガスの経路となっていると考えられている。AMT 観測から見つかった低抵抗域はこのクラックの上端部に位置する。この事からクラックを通り浅部へ供給される火山ガスが帯水層と接触し、溶存成分を多く含んだ低抵抗の熱水の上昇流が形成され、その一部が火口地下の変質層でトラップされ熱水だまりが形成されていると考えられている。中岳火口周辺で研究代表者らにより行われている地磁気連続観測の結果、この熱水だまりにおいて火山活動に応じ熱的状态が変化している事が示唆されている。また、京大火山研究センターで行われている火口湖水位・湖水温度連続観測の結果からも熱水だまりに蓄えられる熱量は、活動が比較的静穏な現在でも 1 年 ~ 半年単位の短い時間スケールで変化している事が明らかにされている。こうした地下の熱的状态変化に対応し、熱水だまりの消長、熱水の状態変化が生じ、それにより比抵抗が時間変化することが推察された。

ACTIV は (有) テラテクニカ社が開発した、人工電流源を用いる電磁探査法 (TDEM 法) を応用した地下比抵抗モニタリングシステムである。GPS で時刻同期した電流送信機 (トランスミッタ) 及び誘導磁場測定機 (レシーバ) を使い、且つ高サンプリングで誘導磁場と送信電流の正確・詳細な波形を記録する事で、従来タイムドメインで行っていた解析処理を周波数領域で扱う事を可能にしている。研究代表者らは火口地下の比抵抗時間変化を検出する事を目的に ACTIVE を用いた繰り返し比抵抗観測を実施し、2011 年 5

月に阿蘇で発生した小規模噴火及び 2013 年 9 月の火山活動活性化に伴う比抵抗時間変化を検出した。

阿蘇火山では 2013 年 9 月上旬から火山性微動の振幅増加が見られ火山活動活性化の兆候がみられた。その後 9 月 23 日に孤立型微動の回数の急増、24 日には火口から放出される SO₂ の量が急激に増加し、これを受け噴火レベルが 2 へ引き上げられた。我々はこの活動が始まる直前の 9 月 22 日に ACTIVE 観測を実施した。この活動に先立つ 2013 年 5 月のデータとの比較から、火口直下の熱水だまりに当たる深度で地下からの火山ガス供給量の変化から比抵抗が増加した事を示唆する結果が得られた。上記のように、これまでの高精度電磁観測によって地下のマグマだまりからのガス供給量の変化に対応した火口直下の熱水だまりの比抵抗変化を捉える事が出来た。ここで、現在の観測体制を拡充しより高時空間分解能の比抵抗モニタリングが構築できれば、火山活動の推移に伴う浅部熱水系の変化を直接観測することが出来、どの深さにどれだけの流体が存在しそれがどのように時間変化するのかを高精度で捉える事が可能になる。こうした着想の元、本研究を提案するに至った。

2. 研究の目的

本研究では、これまで行われていた阿蘇火山中岳第一火口周辺での ACTIVE 返し観測を継続実施すると共に、地磁気観測など既存観測を継続し、これらの結果を総合することで、どの深さにどれだけの流体が存在し、それがどのように時間変化するのかを高精度で捉える事を目指した。

3. 研究の方法

平成 26 年からの 3 カ年において、中岳火口周辺で ACTIVE 観測を実施し、地表 ~ 地下 1km 程度の高時空間分解能の比抵抗モニタリングを行った。京都大学では、誘導磁場観測用レシーバの機材を 4 台、トランスミッタを 1 台、トランスミッタ・コントローラを

1 台保有している。これらの機材を用い、中岳火口周辺で ACTIVE 観測を行い中岳火口地下の比抵抗モニタリングを行った。阿蘇では、特に夏季に雷を伴う夕立が頻発する。また冬季でも雷雨が発生し観測機器にダメージを与える事がしばしばおこる。こうした事から、数百 m にも及ぶ送信電線の敷設が必要な ACTIVE 観測システムで連続観測を行う事が難しい環境にある。このため観測の基本は繰り返し観測とした。また当初機材をメーカーからリースしてレーバ点を一点増強することを予定していたが、火山活動が活発化し、リース期間中に機材が破損する危険があるため断念し、別経費で機材を購入する事とした。

4. 研究成果

平成 26 年度

平成 26 年度は、ACTIVE 観測システムを用いた阿蘇火山中岳第一火口周辺での繰り返しモニタリングを継続実施した。阿蘇火山では 2013 年 9 月に火山ガスの放出量が急増し、噴火警戒レベルが 2(火口 1km 以内の立ち入り規制)に引き上げられ、2014 年 1 月に、2011 年以來 3 年ぶりに少量の火山灰放出を伴う小規模噴火が発生した。この後、少量の火山灰放出を断続的に繰り返したが、活動は一旦小康状態となり 3 月に噴火警戒レベルが 1(平常)に引き下げられた。2014 年 8 月には再度小規模な灰放出が再開し再度噴火レベルが 2 に引き上げられ、続く 11 月末に大量の火山灰放出を伴う噴火が始まり、約 22 年ぶりにマグマ噴火が確認された。これら一連の活動期間において、我々は中岳火口周辺において ACTIVE 観測システム(人工電流源を用いた高精度電磁探査システム)を行なった繰り返し比抵抗モニタリングを 2~3 カ月おきに行った。平成 26 年度においては 2014 年 4 月、6 月、9 月に、また噴火開始後の 11 月、12 月、2 月に観測を行った。この観測から、2013 年 9 月から 2014 年 1 月にかけて火口底直下 200~300m の深度で比抵抗が高くなる

変化が見られた。またその後の噴火直後には中岳火口直下の浅部(火口底から約 100m の深度)で、比抵抗の急激な上昇が観測された。火口周辺での地震波観測、地磁気観測などの結果を総合し、我々はこの変化域の実態が、地下から上昇してきたマグマを捉えているものだと考えられる。

平成 27 年度

ACTIVE 観測システムを用いた阿蘇中岳第一火口周辺での繰り返し観測を、2014 年 11 月の噴火後、活動が小康状態になった 6 月及び 8 月に実施した。但し火口北側は噴火による降灰でアクセスが難しくなった事から、火口西側の観測点を中心に観測を行った。中岳火口周辺では、2011 年の観測開始以来、小規模噴火などのイベントに伴ってレスポンス関数(送信電流と誘導磁場の振幅比から求められる地下比抵抗分布の情報を持つデータ)の時間変化(地下比抵抗変化を示唆するデータ)が何度か観測されてきた。しかしこれらの結果からは、表層付近の比抵抗に対応する高周帯(数十~100Hz)と深部 200~300m に対応する長周期帯(1~10Hz)で変化が生じ、その間の帯域では殆ど変化が無かった。しかし 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、10~数十 Hz の、これまでレスポンス関数の変化が見られなかった帯域で急激な時間変化が観測された。このレスポンス関数の変化は火口直下、地下 100~150m の領域で比抵抗が上昇した事を表しており、マグマの上昇に伴い地下水が押しのけられ、結果火口直下の比抵抗が相対的に高くなった事を示唆している。火口直下が相対的に高比抵抗になる状態は 8 月の観測の際にも確認され、火口直下が高温になっている状態が継続している事が示唆された。但しこの後、2015 年 9 月及び 10 月に水蒸気爆発が発生し、火口周辺の繰り返し観測点及び北側の人工電流送信局がダメージを受け観測が継続できない状態になった。

平成28年度

2016年の4月に熊本地方を震源とする熊本地震が発生した。この地震で阿蘇山上へアクセスするための道路が甚大な被害を受けた。また火口北側を通る道路(マウントカー道路)が地震により複数個所で崩落し、従来の観測で人口電流送信局として用いていた観測点が破壊された。さらにこの後、2016年10月に大規模なマグマ水蒸気爆発が発生し、京都大学で維持していた火口近傍観測点に大きな被害が生じた。この噴火で、火口近傍の繰り返し観測点も大量の火山灰に覆われ、全観測点が破壊される甚大な被害を受けた。以上の事態を受け、これまで行っていた地下比抵抗の繰り返し観測の継続に困難が生じ、観測継続は中断を余儀なくされた。しかしこの後阿蘇火山の活動は静穏化し、2017年2月には噴火警戒レベルが1に引き下げられた。そこで現在、観測点の再整備を行い観測再開の準備を進めている。火口の北側は現在も地震及び噴火の影響でマウントカー道路が寸断した状態でアクセスが困難な状況が続いている。そこで2017年3月初旬に、火口南側の砂千里内に送電用電線を敷設し人口電流送信点を新設した。また誘導磁場受信点(レシーバ点)については、従来は屋外にそのまま機材を設置する方法を採っていたが、今回の噴火でこうした観測点が機材ごと破壊された事を受け、火口近傍に設置されているシェルター内に観測点を作り、機材をそのシェルター内に設置する事を準備している。これにより、16年10月の規模の活動があった場合でも、データロガーなど主要な機材の回収、データの回収が可能な状態を目指している。同時に、無線LAN環境を構築し比抵抗の連続モニタリングを行う事を目指している。この為の機材の確保、シェルター使用に関する関係各所との調整など、準備を進めている。尚比抵抗連続モニタリングについてはH27年度補正予算「九州火山総合観

測システム」により措置された予算も用いている。

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 5 件)

Seismicity controlled by resistivity structure: the 2016 Kumamoto earthquakes, Kyushu Island, Japan,
K. Aizawa, H. Asaue, K. Koike, S. Takakura, M. Utsugi, H. Inoue, R. Yoshimura, K. Yamazaki, S. Komatsu, M. Uyeshima, T. Koyama, W. Kanda, T. Shiotani, N. Matsushima, M. Hata, T. Yoshinaga, K. Uchida, Y. Tsukashima, A. Shito, S. Fujita, A. Wakabayashi, K. Tsukamoto, T. Matsushima, M. Miyazaki, K. Kondo, K. Takashima, T. Hashimoto, M. Tamura, S. Matsumoto, Y. Yamashita, M. Nakamoto and H. Shimizu, *E.P.S.*, vol. 69, 2016, 査読有.

Crustal magma pathway beneath Aso caldera inferred from three-dimensional electrical resistivity structure,
M. Hata, S. Takakura, N. Matsushima, T. Hashimoto and M. Utsugi, *G.R.L.*, vol. 43, pp. 10, 720-10, 727 2016, 査読有.

Three dimensional resistivity structure and magma plumbing 1 system of Kirishima volcanoes as inferred from anomalous 2 magnetotelluric data,
K. Aizawa, T. Koyama, H. Hase, M. Uyeshima, W. Kanda, M. Utsugi, R. Yoshimura, Y. Yamaya, T. Hashimoto, K. Yamazaki, S. Komatsu, A. Watanabe, K. Miyakawa and Y. Ogawa, *J.G.R.*, Vol. 119(1), pp. 198-215, 2014, 査読有.

Two-dimensional resistivity structure of Unzen Volcano revealed by AMT and MT surveys, S. Komori, T. Kagiya, M. Utsugi, H. Inoue and I. Azuhata, *E.P.S.*, Vol. 65, pp. 759-766, 2013, 査読有.

Temporal variation in the chemical composition (HCl/SO₂) of volcanic gas associated with the volcanic activity of Aso Volcano, Japan,
M. Ohno, M. Utsugi, T. Mori, I. Kita, T. Kagiya, and Y. Tanaka,

E.P.S., Vol.65, pp.e1-e4,2013, 査読有.

〔学会発表〕(計 7 件)

阿蘇火山 2014 年噴火に関する電磁気データの再解析について,宇津木充, ,JpGU,2016.

2014 年阿蘇火山噴火に伴う電磁気観測の結果について,宇津木充, 鍵山恒臣, 井上寛之, JpGU,2015.

2014 年阿蘇火山噴火に伴う電磁気観測の結果について,宇津木充, 鍵山恒臣, 井上寛之, 火山学会,2015.

The 3-D magnetic imaging using the L-1 norm regularization,

M.Utsugi, IUGG2015 in Prague,2015.

The temporal changes of the shallower resistivity structure associated with the eruption on 2011 at Aso volcano, Japan, M.Utsugi, T. Kagiya and H.Inoue, IUGG2015 in Prague,2015.

2014 年阿蘇火山活動活性化に伴う浅部比抵抗の時間変化について,宇津木充, 鍵山恒臣, 井上寛之, JpGU,2014.

ACTIVE による阿蘇中岳火口における繰り返し比抵抗観測(2011 年~2014 年の観測結果について),宇津木充, 鍵山恒臣, 井上寛之, 火山学会,2014.

6 . 研究組織

(1)研究代表者

宇津木充 (MITSURU Utsugi)
京都大学・大学院理学研究科・助教
研究者番号：10372559