

(1) 実施機関名：

京都大学理学研究科

(2) 研究課題 (または観測項目) 名：

比抵抗連続観測による阿蘇中岳火口浅部熱水系モニタリングの高度化

(3) 最も関連の深い建議の項目：

1. 地震・火山現象予測のための観測研究の推進

(1) 地震・火山現象のモニタリングシステムの高度化

イ. 地震発生・火山噴火の可能性の高い地域

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 本課題の 5 か年の到達目標：

火山噴火の多様性を普遍的に説明できるモデルを構築するには、現象を高精度にモニターする事が必要である。特に、地下浅部における火山性流体の挙動は火山学にとって本質的に重要である。マグマが上昇して地下熱水系に到達する、あるいはある深さでマグマが上昇を停止し、マグマから分離した火山ガスが地下熱水系に到達するといった過程を把握することが、噴火予測の高精度化に求められている。こうした現象に伴う地下火山性流体の状態変化を捉える為の観測手法を確立することは、火山噴火の多様性を理解する上で重要な情報であり、噴火予知の高精度化に大きく貢献する。本研究では、電磁気学的な手法を用い火山体浅部における火山性流体の状態変化を捉える事を目的とする。また、こうして得られる結果と、地震観測、地磁気観測、水位観測などから得られる結果と対応をとる事で、浅部熱水系の状態変化が火山活動とどのような対応を持つかを明らかにする。

近年、TDEM 法を基にした高精度・高時間分解能の浅部比抵抗連続観測システムが開発され実用化されている。平成 21 年度からの 5 か年において、阿蘇中岳火口周辺において、こうした観測システムを用いた観測点アレイを構築する。また、高時空間分解能での連続比抵抗モニタリングを実施し、火口直下の熱水だまりについて、これまでの研究から示唆される数か月単位の短いタイムスケールで生じる熱水系状態変化に伴う比抵抗値変化、領域の拡大・縮小を捉える。また、現在実施している地震観測、地磁気観測、水位・水温観測などの結果との比較から、熱・水収支モデルのパラメータの最適化を行いモデルの高精度化を行う。

(6) 本課題の 5 か年計画の概要：

平成 21 年度：

● 平成 21 年度

比抵抗モニタリングの予備観測を実施し、観測・データ解析システム構築の為の、基礎的な情報を収集する事を主目的とする。

● 平成 22 年度

比抵抗連続観測システムを展開し、連続観測を実施する。

京都大学で行われている既存の研究・観測 (地震観測、磁場観測、火口湖水位・温度観測による放熱量推定) を継続して行う。磁場観測の高度化を行う。現状の現地収録観測をテレメータ化し、より欠測の少ない観測データ取得を目指す。これにより、高い時間分解能で地下の熱的状态推移を推定する。

- 平成 23 年度

比抵抗連続観測及びその他の観測を継続する。

火口湖からの放熱量推定の高度化を行う。火口湖水位を連続的に測定するためレーザー距離計による観測を行う。無線温度計による火口湖水温連続観測を行う。

- 平成 24 年度

比抵抗連続観測及びその他の観測を継続する。

比抵抗観測から得られる結果を基に火口の浅部熱水系モデルを構築する。

- 平成 25 年度

比抵抗連続観測及びその他の観測を継続する。

抵抗観測から得られる浅部熱水系モデルについて、磁場観測、放熱量推定から得られる結果との比較・評価を行いモデルの高精度化を目指す。

(7) 計画期間中 (平成 21 年度 ~ 25 年度) の成果の概要 :

平成 21 年度は比抵抗モニタリングの予備観測として阿蘇火山及び中岳火口周辺及において高密度 VLF 観測 (テラテクニカ社製 VLF-MT 観測装置 VL-101 使用) を実施し見かけ比抵抗分布が得られた。この結果を元に火口周辺域に於ける浅部電気伝導度分布の把握・地下水系の推定を行ない、次年度以降で予定されていた高精度比抵抗観測システム ACTIVE による繰り返し観測の観測点レイアウト作成の参考とした。

平成 22 年度は ACTIVE 観測点を整備し予備観測を実施した。ACTIVE 観測では観測対象領域内に電流送信 (トランスミッタ) 局と誘導磁場観測 (レシーバ) 点を設置し、トランスミッタから矩形電流の送信、即ち電流のオン・オフを繰り返し行なう。この際の急激な電流変化の際の大地の磁場過渡応答を捉えることによって地下の比抵抗構造を探查する。対象領域である中岳火口周辺では、火口から酸性の火山ガスが常時放出されていることから常時観測を行う環境としては適さない。特にトランスミッタは夏場に雷が多発する事から機材が破損する恐れが大きく、こうした事を考慮して繰り返し観測を行う方法を用いた。阿蘇中岳火口周辺の観測では、電流送信局を火口の南西側に設置し電流送信ケーブルをおよそ 250m 敷設した。またその両端にステンレス製の電極を約 60 本設置した。接地抵抗は約 1.2k Ω 、送信電流は約 0.6A であった。磁場観測用レシーバは中岳第一火口周辺に 4 点設置した。

平成 23 年度は繰り返し ACTIVE による繰り返し比抵抗モニタリングを 2013 年 4 月、5 月、7 月及び 9 月に実施した。この観測期間中に阿蘇山では小規模な噴火が発生した。阿蘇火山の活動は 2010 年の後半頃から活性化の兆候を示し、火口底の湯だまりの水位が急激に減少を始め、4 月の Active 観測の頃には湯だまりがほぼ干上がった状態となっていた。5 月には中岳火口で小規模な噴火が生じ、阿蘇火山の噴火警戒レベルが初めて 2 に設定された。しかし梅雨期の記録的な大雨を経た 6 月下旬までには噴火活動は沈静化し火口底の湯だまりも火口底をほぼ覆うほどに回復し静穏な状態となった。この結果 4 月-5 月の間に長周期側 (1-5Hz) で、5 月-7 月の間に短周期側 (20-100Hz) でレスポンス曲線が大きく変化した事が観測された。

2011 年 5 月の小規模噴火と関連させてレスポンス曲線の時間変化を解釈すると、4~5 月の長周期側の変化から、火口南側の比較的深い領域で、5 月の小規模噴火に関連して地下の温度状態・熱水分布に変化が生じたと考えられる。それに続く 5-7 月の短周期側の変化は、梅雨期の大雨で湯だまりが回復し浅部比抵抗が低下したことを示すものと考えられる。

平成 24 年度は ACTIVE 繰り返し比抵抗モニタリングを継続実施した。また解析プログラムを作成しこれまでのデータを用いて構造解析を行い地下比抵抗の時間変化を議論した。23 年度 (4 月、5 月、7 月及び 9 月) と 24 年度 4 月の繰り返し ACTIVE 観測結果の解析から、地下比抵抗の時間的な変化を見積もるため地下比抵抗 1 次元構造解析を行った。その結果の比較から、この期間中に地下 200~300m の領域で比抵抗が 100 Ω m から 10~20 Ω m へ低下、また地表~地下数十 m の浅部で 100 Ω m から数十 Ω m へ低下した事が分かった。このことから 2011 年 4 月~7 月に見られたレスポンス関数の低周波帯における変化が地下 200~300m の領域、5 月~7 月の高周波帯の変化が地表~地下数十 m の浅部に

おける比抵抗変化に対応するものである事が分かった。Kanda et al.(2008) による中岳火口周辺の高密度 AMT 観測の結果、第一火口地下に低比抵抗域が局在する事が明らかになり、地下のマグマだまりから供給される火山性流体の一部がトラップされて熱水だまりが形成されていると考えられている。火口地下 200～300m の深度は、この低比抵抗域(=熱水だまり)の上端部に当たる事から 2011 年 4 月～7 月の時期でこの領域中の熱水に状態変化が生じていた事が示唆される。5 月の小噴火に先立ち深部からの火山ガス供給が増え、地下の熱水が気相卓越な状態となり高比抵抗を示していたものが、小規模噴火発生後にガス供給が減り、液相卓越となって比抵抗が低下した事が考えられる。また、浅部比抵抗低下が生じた 5 月～7 月は、梅雨期の豪雨を経て湯だまりが再出現した時期に対応しており、湯だまりの出現による火口周辺での浅部比抵抗低下を検出する事ができた。このように、本研究における高精度電磁観測によって地下浅部の比抵抗時間変化が初めて捉えられた。

平成 25 年度においても ACTIVE 繰り返し比抵抗モニタリングを継続実施した。阿蘇では 2013 年 9 月に火山ガス放出量が急増し噴火レベルが 2 年ぶりに 2 に引き上げられた。その後活動はいったん沈静化した。2014 年 1 月に小規模噴火が発生した。それ以降断続的に少量の火山灰を放出する噴火活動を繰り返している。25 年度にはこの活動期間を含む 5 月、7 月、9 月、1 月及び 2 月に観測を行った。この結果一連の活動が始まる前の 7 月に比べ 9 月以降長周期側で僅かに比抵抗の上昇が見られ、2011 年噴火の前と同様の変化が観測された。この事から深部からの火山ガス供給が増え、熱水だまり中の熱水が気相卓越な状態になっている事が示唆される。

以上のように、この 5 年間に於いて中岳火口における繰り返し ACTIVE 観測の観測体制が整備され定期的に観測を行う事が可能となった。また繰り返し観測からいくつかの噴火活動に対応すると思われる比抵抗変化を捉える事が出来た。近年の噴火活動は過去の阿蘇火山の噴火に比べると極めて小規模なものであるが、そうしたものでも関連した比抵抗変化が捉え得る事が示せた事は火山電磁気学的にも大きな成果であると考えられる。さらに観測された比抵抗変化から火口地下の熱水の状態変化を推定できたことは噴火準備過程を理解するうえでも重要な意味を持ち、火山学的に非常に意義のある成果が得られた。

(8) 平成 25 年度の成果に関連の深いもので、平成 25 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

The electrical conductivity changes around Aso Nakadake active crater lake detected by the height resolution electro-magnetic monitoring system.M.Utsugi, T.Kagiyama and H.Inoue, Special Volume Volcanic Lakes, Geol. Soc. of London, 2013, 査読有(投稿準備中).

(9) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

担当者： 宇津木充(京大・理)
参加者： 鍵山恒臣、大倉孝宏、吉川慎、井上寛之(京大・理)、神田径(京大・防災研)
この他に、当施設の機関研究員、京都大学の大学院生(2～3)名が参加する。
他機関との共同研究の有無：有
小山崇夫(東大・地震研)

(10) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：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
電話：0967-67-0022
e-mail：utsugi@aso.vgs.kyoto-u.ac.jp
URL：http://www.vgs.kyoto-u.ac.jp/

(11) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名：宇津木充
所属：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