

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 10 日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24540462

研究課題名(和文) 活動的火山の脱ガスに伴う自然電位異常の発生に関する研究

研究課題名(英文) The self-potential anomaly associated with the magma-hydrothermal system at active volcanoes

研究代表者

松島 喜雄 (Matsushima, Nobuo)

独立行政法人産業技術総合研究所・活断層・火山研究部門・主任研究員

研究者番号：30358022

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：薩摩硫黄島火山、雌阿寒岳火山においてAMT法電磁探査と自然電位観測を行い、それぞれの火山の特徴を明らかにした。さらに薩摩硫黄島火山を対象として、熱水系の数値シミュレーションを実施し、火山ガスが集中している領域が高比抵抗を示し、凝縮した熱水が流下する領域は低比抵抗となることが確かめられた。この場合、観測されているような自然電位の正異常は、従来からのモデルが示す熱水の上昇域である必要がない。低比抵抗の領域がある程度発達すれば、熱水の下降流によっても自然電位の正異常が現れる。このモデルを、雌阿寒岳の観測結果と、伊豆大島火山の既存研究結果に当てはめ、確からしさの検討を行った。

研究成果の概要(英文)：The resistivity structure and self-potential (SP) are observed at Satsuma-ijima volcano. The resistivity structure shows the high resistive part below the summit crater and the extremely low resistive layer within the mountain. The hydrothermal numerical simulation indicates that the high resistivity part corresponds to the degassing vent where volcanic gas flows upward, and the extremely low resistive layer corresponds to the region where the condensed thermal water flows downward, respectively. The simulation also shows that the SP positive anomaly is caused by the low resistive layer, which is formed by the flow of the condensed thermal water. This indicates that the degassing activity plays an important role to produce the positive SP anomaly. This model is applied to the observation of Meakan-dake volcano and the previous study of Izu-Oshima volcano to reveal the variety of the SP anomaly according to the degree of the degassing activity.

研究分野：地球物理学

キーワード：火山 熱水系 自然電位 電磁探査 数値シミュレーション

1. 研究開始当初の背景

火山の噴火の際には、急激に熱や物質が移動する。それにともない様々なシグナルが発生する。噴火予知を目指した地球物理学的観測は、そのようなシグナルをとらえることを目的にしているが、必ずしも、発生するシグナルについて十分に予測したうえで観測を行っているとはいえない。

噴火予知の高度化のためには、観測体制を維持するだけではなく、あらかじめどのようなシグナルが現れるか予測を行うことが理想的である。そのような観点から、伊豆大島をテストフィールドとして研究を進めている。シグナルとして自然電位に着目し、その連続観測網を構築し、継続した観測を行ってきた。その結果は、噴火予知連絡会等で報告している。一方で、数値シミュレーションにより、平穏時である現状の自然電位分布を再現することができた (Onizawa et al., 2008)。

今後は、マグマが地殻浅部へ貫入したときにどのような異常が現れるかを予測する作業を進めており、その一環として本研究を位置づける。

2. 研究の目的

自然電位は、地下の空隙の気液界面に電荷の偏りが生じた状態で、液体が流れた際に発生する電場を、地表で観測したものである。海面付近の電位をゼータ電位と呼び、発生する電場の大きさや符号はゼータ電位に依存する。多くの場合、液体の流れに伴って正の電荷が運ばれ、その場合、流れの下流側で正の電流源が、上流側で負の電流源が発生する。山を登りながら自然電位を測定すると、標高が上がるにつれて自然電位は減少するような地形効果を示すが、これは地下水の流下によって正の電荷が運ばれているためである。ただし、自然電位を引き起こすのは液相の流体のみで気相は関与しない。また、流れる流体の pH が減少すると、ゼータ電位は小さくなり場合によっては符号が逆転する (Ishido and Mizutani, 1981)。

このように、自然電位は地下の流体の流動をダイレクトに反映する観測量である。火山ではマグマの上昇に伴い、火山性流体や地下水が地中を流動するので、特に自然電位の異常が現れることが期待される。マグマが地殻浅部へ達した時に、地下の流体流動として最も活発なのは脱ガスの移動であろう。従って、脱ガス活動の自然電位分布への影響を把握することは噴火活動予測の観点から極めて重要である。

活動的な火山では、多くの場合、マグマからの脱ガスが上昇する領域でも正の自然電位異常が現れる。そのような場合、自然電位の異常は熱水の上昇によってもたらされると解釈されてきた。しかしながら、900℃前後で脱ガスしてから沸点温度かそれ以上の状態で地表から放出されるまでの間、飽和水という形態で上昇することは考えにくい。そ

の場合、熱水の上昇という解釈は妥当なのかという疑問がもたれる。

近年、近年数値シミュレーション技術が発達し、自然電位を計算することができるようになった。それは、多孔質媒質中の気液混相流とそれに伴う熱伝達を計算するもので、設定された条件下で流体流動の計算を行い、その分布に基づいて自然電位を計算する。典型的な条件下でシミュレーションを行ったところ、W字型の分布は必ずしも熱水の上昇を必要とせず、部分的に電気伝導度の高い領域が存在することで説明しうることが明らかになった (Ishido, 2004)。

このような脱ガス活動に伴う自然電位異常の発生メカニズムを明らかにし、自然電位観測から、高精度に火山活動予測に貢献することを目指す。

3. 研究の方法

火山活動が活発化した際にどのような自然電位の変動が現れるか予測を行うために、現在、火山活動が活発な火山における W字型の自然電位の発生メカニズムを正しく理解する。特に地殻浅部でのマグマから脱ガスによって、噴気活動が引き起こされている火山で観測される自然電位異常の発生メカニズムを検討する。

作業仮説として、次のように提案する。

(1) マグマから脱ガスした高温の火山ガスは、上昇中に冷却し、一部は凝縮し、酸性温泉水となる。

(2) 酸性温泉水は山体を流下するが、それ自体、低比抵抗であることに加え、周囲の岩石が変質することにより、流下する領域が低比抵抗域となる。

(4) これらの効果が重なり (自然電位の正異常が現れる。すなわち熱水の上昇を必要としない)。

この仮説の検証のためにテストフィールドを設け、野外観測と、数値シミュレーションからなる研究体制を組み、多角的な観点から提案したモデルの検証を行う。脱ガスに伴う自然電位異常発生メカニズムに関する知見は、噴火活動予測の高精度化に貢献するばかりでなく、実際に生じた現象を自然電位のデータから解釈する上でも極めて重要な情報になる。

そこで、火山活動が活発な火山として薩摩硫黄島硫黄岳と雌阿寒岳、現状では不活発な伊豆大島を対象にテストフィールドを設け、以下を実施する。

(1) 自然電位の空間分布調査と、AMT 法による電磁探査。

(2) 電磁探査から得られた電気伝導度構造に基づいた数値シミュレーション。

(3) 自然電位の観測結果との比較に基づく仮説の妥当性を検討。

4. 研究成果

(1) 自然電位と電磁探査の結果

① 薩摩硫黄島火山

南西諸島に属する火山島で、山頂火口から高温の火山ガスを活発に放出し、海岸ではところどころ温泉が流出して溶存成分により海水が変色している。山頂火口からのガス放出は数百年継続するような開放系の脱ガス活動を示している。自然電位の観測結果によると山頂部を中心に幅広い正の異常がある(図1)。

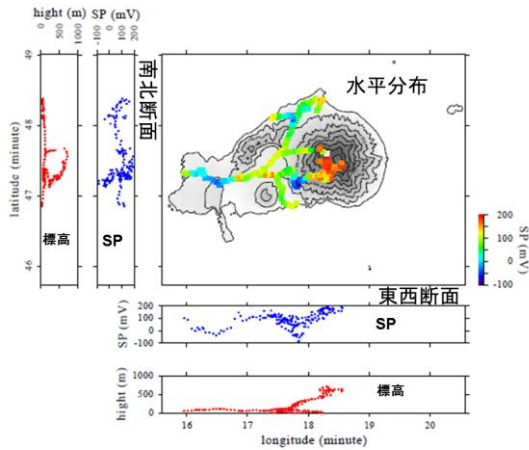


図1 薩摩硫黄島の自然電位分布

AMT法の電磁探査は島内の12観測地点で行い(図2)、その結果から得られた東西断面の比抵抗構造を図3に示す。山体内部は極めて低い比抵抗となっており、その上面は山頂部へ向けて盛り上がっている。



図2 薩摩硫黄島のAMT法電磁探査の測点

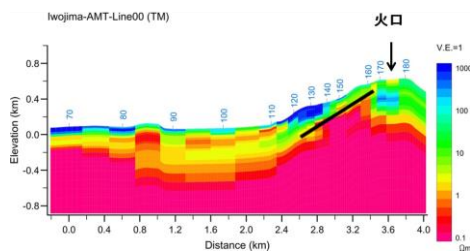


図3 薩摩硫黄島の東西断面の比抵抗構造

② 雌阿寒岳火山

北海道北東部に位置する火山で、山頂部では活発な噴気活動が見られる。火口は二つあり、西側の火口では近年頻繁に噴火が発生している一方、東側の火口での噴火は見られない。また山腹から山麓の広範囲に変質帯が

分布している。マグマからの脱ガスに起因する活発な噴気活動を長期間継続しており、脱ガスの凝縮水が山体内を流下しているのは間違いない。自然電位の測定結果によると、正異常は見られないが、地形効果も現れないという活動的な火山としては特異な分布をしている(図4)。

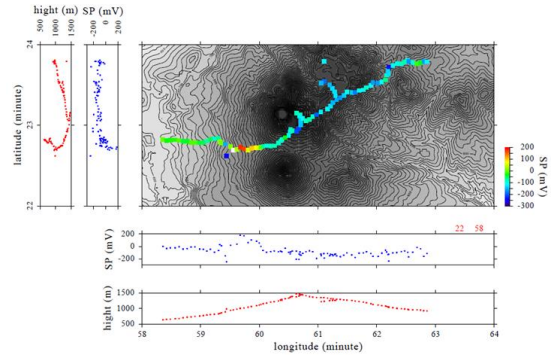


図4 雌阿寒岳の自然電位分布

雌阿寒岳におけるAMT法電磁探査の測点を図5に東西断面の比抵抗構造を図6に示す。山体内に低比抵抗の領域が見られ、その上面は、ほぼ地形と並行になっている。

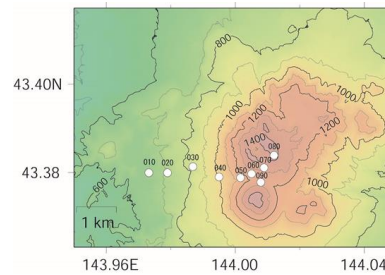


図5 雌阿寒岳のAMT法電磁探査の測点

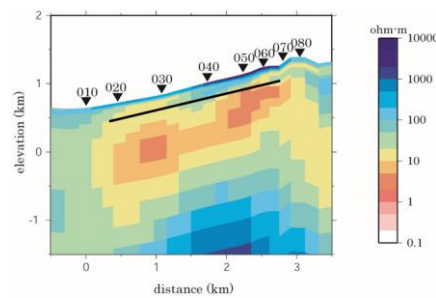


図6 雌阿寒岳の東西断面の比抵抗構造

③ 伊豆大島火山

伊豆諸島北部に位置する火山島で1986年の噴火以降、噴気や地熱活動は火口周辺に限られその規模は小さい。本研究では比較研究のためOnizawa et al.(2009)によって得られている既存の成果を参照する(図7、図8)。

自然電位分布は火口周辺で局所的に正異常を示す他は、いわゆる地形効果に従って、標高が上がるにつれて値が低下している。比抵抗構造は、若干低比抵抗の領域が地下浅部に存在する場所があるが、ほぼ海水準下が

10 Ω 程度の低比抵抗になっている。

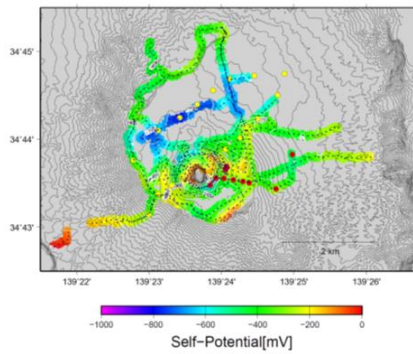


図 7 伊豆大島の自然電位分布

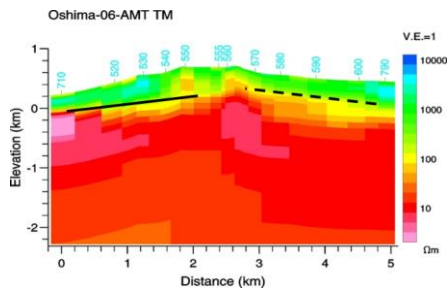


図 8 伊豆大島の東西断面の比抵抗構造

(2) 熱水系の数値シミュレーション

気液 2 相の熱および流体の輸送を取り扱うシミュレーションを用いて、熱水系のモデリングを行った (Matsushima, 2010)。その結果を参考に、境界条件や熱源となるマグマの位置を設定し、比抵抗構造の測線と同様な地形を用いて再度計算を行った (図 9)。マグマから脱ガスした高温の火山ガスは、透水性の高い火道を中心に上昇するが、その一部は速報へ流れる。そして冷却し凝縮水となって山体を流れ下る。火山ガス凝縮水は溶存成分を多く含む酸性熱水となるため比抵抗は低下する。一方、火道とその周辺は高温の火山ガスが充満するため鉍比抵抗となることが期待される。図 3 の比抵抗断面とシミュレーションの結果を重ね合わせたのが図 10 である。高温の火山ガスが上昇する領域と高比抵抗域が、酸性熱水が流動する領域と極めて低い比抵抗の領域がよく一致しており、得られた比抵抗構造は、シミュレーションの結果を裏付けるものとなっている。

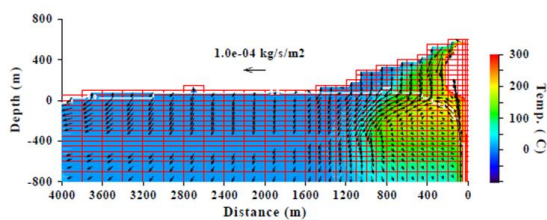


図 9 薩摩硫黄島火山のマグマ - 熱水系

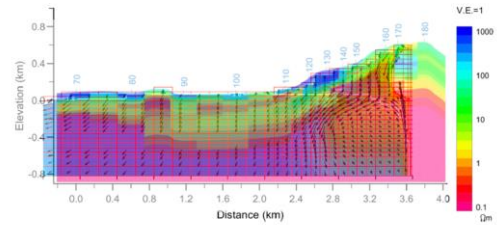


図 10 比抵抗構造と熱水流動の重ね合わせ

引き続き、得られた熱水流動系に対して自然電位分布を計算した (図 11)。比抵抗構造 (図 11 下部) を考慮したところ計算された自然電位 (図 11 上図赤線) は観測値 (図 11 上図青点) と良い一致を示すことが確認された。比抵抗構造を考えれば、火道を蒸気の上昇、その周囲で凝縮した熱水が下降という系においても観測されたような自然電位の正異常は説明できる。

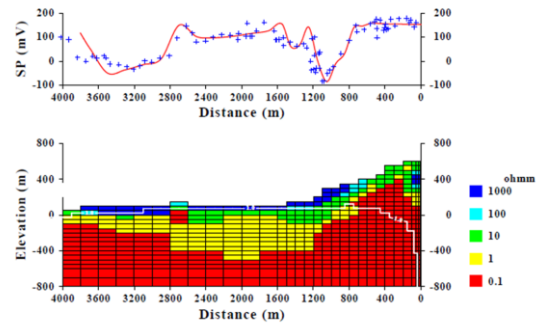


図 11 比抵抗構造 (下図) と自然電位 (上図)

いくつかのケースについてモデル計算を行ったところ、地形の傾斜と低比抵抗領域上面の傾斜によって自然電位の分布が異なってくる事が明らかになった。すなわち、地形の傾斜に比べて比抵抗領域の上面の傾斜が緩やかな場合には自然電位は地形効果を示し山頂部で負異常となり (伊豆大島タイプ)、比抵抗領域の上面の傾斜が急な場合には山頂部で正異常を示し (硫黄岳タイプ)、両者が平行な場合には異常を示さない (雌阿寒岳タイプ)。低比抵抗領域は、熱水の流動に伴う変質、あるいは熱水そのものを示すと考

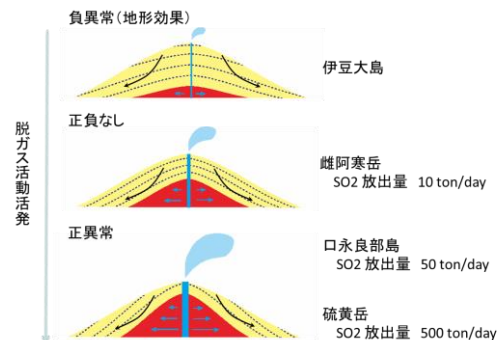


図 12 自然電位の発現様式

られるので、このようなタイプ分けは熱水流動をもたらす脱ガス活動の活発さ（規模と継続時間）を反映しているとみなすことができる（図 12）。このようなタイプ分けを通じて、活動的な火山における自然電位の発現様式についての理解が深まった。

<引用文献>

① Onizawa S., Matsushima N., Ishido T., Hase H., Takakura S., Nishi Y. (2009), Self-potential distribution on active volcano controlled by three-dimensional resistivity structure in Izu-Oshima, Japan, *Geophys. J. Int.*, 178, 1164-1181

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 2 件）

① 高橋 幸祐、松島 喜雄、高倉 伸一、山谷 祐介、有田 真、長町 信吾、大石 雅之、風早 竜之介、藤井 郁子、AMT 探査から推定される雌阿寒岳浅部の比抵抗構造（序報）、*Conductivity Anomaly 研究会 2014 年 論文集*、査読なし、2014、13-20

② 松島喜雄、伊豆大島火山の自然電位連続観測、火山噴火予知連絡会会報第 113 号、2012、61-66

[学会発表]（計 6 件）

① Magmatic Hydrothermal System of Iodake Volcano, Satuma-Iojima, Japan, inferred from thermal and electromagnetic observations, Matsushima N., 12th International Workshop in Water Dynamics, 2015. 03, Sendai (Japan)

② 高橋 幸祐、松島 喜雄、高倉 伸一、山谷 祐介、小森 省吾、有田 真、長町 信吾、大石 雅之、風早 竜之介、山崎 明、井 智史、藤井 郁子、雌阿寒岳ポンマチネシリ火口浅部の比抵抗構造、平成 26 年度 *Conductivity Anomaly 研究会*、2015. 01、京都府京都市

③ 高橋 幸祐、松島 喜雄、高倉 伸一、山谷 祐介、有田 真、長町 信吾、大石 雅之、風早 竜之介、藤井 郁子、AMT 探査から推定される雌阿寒岳浅部の比抵抗構造、平成 25 年度 *Conductivity Anomaly 研究会*、2014. 01 東京都文京区

④ 熱・電磁気学的調査に基づく薩摩硫黄島火山のマグマ - 熱水系、松島喜雄、2014. 01、福岡県福岡市

⑤ Matsushima N., Nishi Y., Onizawa S., Takakura. S., Hideaki H., Tsuneo I., Temporal variations of self-potential at summit area of Izu-Oshima, IAVCEI2013 Scientific Assembly, 2013. 06, Kagoshima (Japan)

⑥ 松島 喜雄、西 祐司、鬼澤 真也、高倉 伸一、長谷 英彰、石戸 恒雄、伊豆大島火山における自然電位の経時変化とその意味、日本地球惑星科学連合 2013 年大会、2013. 05、千葉県千葉市

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松島喜雄 (Matsushima Nobuo)

国立研究開発法人産業技術総合研究所

活断層・火山研究部門 主任研究員

研究者番号：30358022

(2) 研究分担者

高倉伸一 (Takakura Shinichi)

国立研究開発法人産業技術総合研究所

地圏資源環境研究部門 上級主任研究員

研究者番号：50357349