

平成 30 年 6 月 6 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K05342

研究課題名(和文)電気伝導度・残留磁化から推定する流紋岩の熱履歴

研究課題名(英文)A study of electrical properties and natural remanent magnetization of rhyolite

研究代表者

藤田 清士 (FUJI-TA, Kiyoshi)

大阪大学・工学研究科・教授

研究者番号：00283862

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)：本研究では、火山体を構成する岩石の電気物性と磁気物性を同時に検証した。流紋岩が高温で溶融する際、その試料を電気伝導度で“その場観察”すれば、溶融の度合いに関するデータを得ることができる。一方、高温下の流紋岩も磁性を大きく変化させる。申請者等は、火山体下の状態を実験により再現し、電気伝導度・磁化の2つの視点から岩石の熱履歴を捉える研究を試みた。実験から得られた岩石の電気伝導度・磁化データを、電磁場観測から得られた電気伝導度構造解析結果や磁力計によって観測されたマクロな火山体の磁化構造などと直接対比することにより、観測結果と実験結果との相互検証が可能となった。

研究成果の概要(英文)：Natural volcanic rock contains various minerals and its conduction mechanism is complex. To comprehend the relationship between chemical components and electrical conductivity, we measured electrical conductivity of synthesized rhyolitic glass under high P-T conditions. Observed electrical conductivity change corresponds to glass transition (T_g) zone. As glass transition temperature is crucial to understand the upwelling mechanism of volcanic rock, we carefully observed the electrical conductivity changes of rhyolitic glass. We also observed the natural remanent magnetization direction of a thick rhyolite lava and investigated whether the rhyolite has the ability to record the expected remanent magnetization direction. Rhyolite lava showing significant deviation from the expected direction of the Earth's geomagnetic field was observed in part, while rhyolite lava samples mostly show similarity in the direction with the expected one.

研究分野：固体地球物理

キーワード：電気伝導度 残留磁化 溶融 ガラス転移点

1. 研究開始当初の背景

火山体下の岩石は、地下の熱活動によりその物性を大きく変化させる。特に、電気伝導度は地球物理学的なパラメーターのうち、力学的指標とは独立に、その構造を議論できる有用な値である。例えば、地殻内に存在する岩石が高温で溶融する際、その試料を電気伝導度でその場観察すれば、溶融の度合いに関するデータを取得することができる。つまり、地殻内の溶融過程を電気伝導度の視点から室内実験で再現することが可能である。

一方、高温下の岩石も磁性を大きく変化させる。岩石が高温にさらされると、磁性の急激な変化が見られ、特にキュリー点を超えると電子スピンの様々な方向を向くため、急激な磁化減少が観察される。そのため磁性の観点からは、天然の磁性鉱物の最大のキュリー点(赤鉄鉱のキュリー点)である 680 以下の熱履歴について検討することが可能である。

2. 研究の目的

本研究では、火山体付近で急激に冷却される火山岩を研究対象の試料として用いる。電気伝導度と磁化の両方のデータを熱履歴から捉え、岩石が受けた物理的な変化を実験室で再現する。具体的には、火山体を想定した任意の温度条件に岩石をさらすことにより、その条件下における地殻内の電気伝導度・磁化データの変化を実験的に捉える。2つの物理パラメーターを組み合わせて、岩石物性を研究する試みはほとんど行われておらず、火山岩の新しい研究手法を確立することができるため、本研究を推進した。

3. 研究の方法

火山岩の電気伝導度測定・磁化測定試料として流紋岩を採取した。電気伝導度測定用にはニュージーランド・タウポ火山、磁化測定用には、熊本県・阿蘇山、東京都・神津島、熊本県・小国町の流紋岩溶岩を使用した。

電気伝導度測定用試料は、水の量を制御し、ピストンシリンダーを用いて合成した。磁化測定用には、スピナー磁力計に適合する試料を加工した。等温残留磁化獲得実験および試料観察により岩石内部の鉱物の空間分布を確認した。

電気伝導度測定実験では、流紋岩の低温域から高温域までを、電気伝導度で“その観察”した。具体的な実験では、流紋岩の溶融が想定される 600 - 1000 の範囲で電気伝導度測定を行った。一定の圧力条件を保ちながら温度条件を変化させ、試料の電気伝導度をインピーダンスアナライザーで測定した。マルチアンビルと圧力媒体等の絶縁性は十分に確認した後に実験を開始した。ある温度条件以上では、電気伝導度が変化するポイントが見られた。又、電磁場観測から得られた電

気伝導度構造解析結果と本実験から得られたミクロな岩石電気伝導度データを対比した。

等温残留磁化獲得実験および研磨薄片の観察により流紋岩溶岩内部の強磁性鉱物の空間分布を確認した。また、磁化率異方性の測定により磁氣的空間構造についての評価を行った。さらに、流紋岩溶岩の流理構造を定量化するための分析も遂行した。実際の工程としては流紋岩溶岩の研磨した面を画像として取り込んだものを白黒の二階調化処理を行った。二階調化した画像の白色部の面積比を流紋岩中の白色部分の体積分率として認識し、その値を流理構造の発達度を表す数値とした。

4. 研究成果

電気伝導度測定結果からは、含水率 0 mass%, 2 mass%, 4 mass%の流紋岩を温度領域の 500 K - 1600 K で計測すると、温度と含水率が増加するにつれて電気伝導度は増加した。又、活性化エネルギーは、含水率が増加するほど減少した。含水率 0 mass%の流紋岩を圧力 1GPa, 2GPa, 3GPa に保持し、電気伝導度を 500 K - 1600 K の温度領域で計測すると、温度が増加するにつれて電気伝導度は増加し、圧力が増加するにつれて電気伝導度は減少した。又、活性化エネルギーは、圧力が増加するにつれて増加した。対比のため、含水率 0 mass%, 0.5 mass%, 5 mass%の安山岩の電気伝導度を、温度領域の 500 K - 1000 K で計測すると、温度と含水率が増加するにつれて電気伝導度は増加した。流紋岩と安山岩の電気伝導度を比較すると安山岩の電気伝導度は流紋岩の電気伝導度より高い値を示した。活性化エネルギーを比較すると、安山岩の活性化エネルギーのほうが流紋岩の活性化エネルギーよりも高い値を示した。新たな知見として、溶融温度以下の領域で、安山岩及び流紋岩の微細な電気伝導度変化が観察された。この温度領域は、粘性から推定されたガラス転移温度範囲と一致しており、電気伝導度変化から、ガラス転移点を観測できた可能性が高い。さらに、ニューラルネットワークによる理論計算の手法を用いて、火山岩の電気伝導度を水と圧力の影響を考慮したうえで推算した。火山岩の電気伝導度は Na_2O 、 SiO_2 、 H_2O が大きな影響を及ぼすことが考えられ、流紋岩、安山岩に関しては SiO_2 よりも Na_2O や H_2O の与える影響が大きいと考えられた。

阿蘇に分布する高野尾羽根流紋岩溶岩ボーリングコアについて、流理構造の白色部についての記述を行った。磁化率異方性の空間構造は、白色流理部の空間構造に支配されることが明らかとなった。一方、磁化率異方性の長軸と中間軸がつくる平面により定義される foliation の傾斜も、最上部から深さ約 60 m までの区間においては傾斜が大きく、それ以下の深度では傾斜が水平に近くなって

いる。流理構造および foliation の傾斜角度の値は、深度によっては、互いに一致していることが観察された。また、磁化率異方性の主軸の姿勢について、最上部から深さ約 60 m までの区間においては、長軸が foliation の最大傾斜方向に対して直交している。すなわち、水平を保っていることで特徴づけられる。また、それ以下の深度においては、長軸も中間軸も foliation の面内の任意の方向を有していた。上位層準における磁化率異方性主軸の並びの原因を検証するため、定方位薄片を用いたマイクロライトの配列の観察を行った。その結果、マイクロライトは磁化率異方性の長軸と同一の方向を示していた。この観察より、磁化率異方性の空間構造はマイクロライトの配列、またはマイクロライトの配列をもたず流動・破壊現象によって支配されることが明らかとなった。この流紋岩溶岩の残留磁化方向は段階熱消磁の結果、一定の伏角値を呈する 450 以上の高温成分と、伏角値にばらつきを持つ 450 未満の低温成分が観察された。この傾向は、白色流理部の発達度合によらず流理構造を呈する層準全てにおいて観察された。段階熱消磁の結果および等温残留磁化の熱消磁実験により主たる残留磁化の担い手はどの層準においても磁鉄鉱であった。これらの観察から、流紋岩の残留磁化は、少なくともこの地域の流紋岩溶岩においては、高温部の残留磁化方向の乱れが白色流理部の発達度合とは関係なく発生し、それは溶岩内部における強磁性鉱物の変化とも関係ないことが示された。

伊豆諸島神津島の流紋岩溶岩を用いて、流紋岩溶岩の結晶質部とその上位に位置する急冷部であるガラス質部の磁化率異方性情報について検討した。ガラス質部の試料としては黒曜石の一地点から採取されており、その試料からは、結晶質部の流理構造の姿勢に調和する弱い流理が確認される。その磁化率異方性の空間構造は集中度の低い foliation 構造であり、その姿勢は流理構造に対して大きく斜交している。黒曜石の磁化率異方性は流理構造の形成発達とは異なる過程を反映していることが示唆される。段階熱消磁実験の結果、ガラス質部の全ての地点から三つの異なる残留磁化成分が認定された。これらは溶岩冷却時における地磁気永年変化を反映したのではなく、それぞれ異なる三つの自然残留磁化成分であると認識された。それぞれの磁化成分の方向は全ての地点で似た傾向を示した。一方、結晶質部の自然残留磁化記録は主に単成分であった。以上のことから、この流紋岩溶岩のガラス質部はその定置時においてキュリー温度以下で二回の変形運動を経験し、その時点で結晶質部は残留磁化を獲得しない程度に十分に高い温度を維持していたことが推察される。また、ガラス質部の残留磁化情報についての重要な観察の一つに、粘性残留磁化成分を除き最も低温側で獲得した磁化成分については、全ての地点

で互いに方向が近いことが挙げられる。この観察から以下のことが結論される。キュリー温度以下において複数回の変形運動を経験している流紋岩溶岩であっても、冷却時の全ての変形運動が終了した後に獲得した磁化成分は地球磁場の方向を正確にとらえているものと考えられる。

熊本県小国町に分布する山甲川流紋岩の一地点から定方位試料を採取した。この流紋岩溶岩は流理構造の発達度が非常に卓越することで特徴付けられる。自然残留磁化の測定の結果、安定な単一成分の残留磁化が観察された。一つを除く全ての試料についてその年代値から期待される逆極性の磁化を示しており、残りの一つが正の伏角を持っていた。前者の方向は良い一致を示しており、後者に対して約 160° の角度差を示している。この結果は、流紋岩溶岩が外部磁場に平行な磁化方向を獲得する一方で、その方向を大きく乱すことがあるということを示唆する。流理構造の発達度に関する明瞭な違いは試料間に存在せず、また、磁化を担う強磁性鉱物についての違いも観察されない。そのため、流理構造の卓越する流紋岩溶岩について、その残留磁化方向の正確性に影響を与える可能性がある結果が得られたが、少なくともこの地域の流紋岩溶岩においては、その現象の発生の明確な条件についての証拠は得られていない。

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 6 件)

- (1) Kiyoshi Fuji-ta, Masayuki Seki, Masahiro Ichiki, Random network model of electrical conduction in two-phase rock, *Mineralogy and Petrology* (In press)
<https://doi.org/10.1007/s00710-018-0585-8>
- (2) Yusuke Haraguchi, Masashi Nakamoto, Masanori Suzuki, Kiyoshi Fuji-ta* and Toshihiro Tanaka, Electrical Conductivity Calculation of Molten Multicomponent Slag by Neural Network Analysis, *ISIJ International*, (2018) Vol. 58, No. 6, 1007–1012.
- (3) Koji Uno, Kuniyuki Furukawa, Yuri Hatanaka, An analysis of apparent polar wander path for southwest Japan suggests no relative movement with respect to Eurasia during the Cretaceous, *Physics of the Earth and Planetary Interiors* (2017) 267, 19–30.

- (4) Maki Hata, Makoto Uyeshima, Shun Handa, Masashi Shimoizumi, Yoshikazu Tanaka, Takeshi Hashimoto, Tsuneomi Kagiya, Hisashi Utada, Hiroshi Munekane, Masahiro Ichiki, Kiyoshi Fuji-ta, 3 D electrical resistivity structure based on geomagnetic transfer functions exploring the features of arc magmatism beneath Kyushu, Southwest Japan Arc, Journal of Geophysical Research (2016)
<https://doi.org/10.1002/2016JB013179>
- (5) Kuniyuki Furukawa, Koji Uno, Origin and deformation of high porosity bands in the Takanoobane Rhyolite lava of Aso volcano, Japan, Journal of Volcanology and Geothermal Research (2015) 305, 76-83.
- (6) 原口 友輔, 芳野 極, 山下 茂, 藤田 清士, 鈴木 賢紀, 田中 敏宏, 流紋岩・安山岩メルトの電気伝導度測定 (2016) Conductivity Anomaly 研究会論文集, 12-19.

〔学会発表〕(計 4 件)

- (1) Kuniyuki Furukawa, Koji Uno, Tatsuo Kanamaru, Kotaro Nakai, Vertical Structural Variation and Their Development of the Sanukayama Rhyolite Lava in Kozushima Island, Japan, 2017 AGU Fall Meeting, December, New Orleans, USA
- (2) Kiyoshi Fuji-ta, Yusuke Haraguchi, Takashi Yoshino, Masanori Suzuki, Masashi Nakamoto, Toshihiro Tanaka, Electrical conductivity measurement of rhyolitic and andesitic glasses, 2017 AGU Fall Meeting, December, New Orleans, USA
- (3) Kuniyuki Furukawa, Tatsuo Kanamaru, Koji Uno, Formation of tuffisite veins at the rhyolitic conduit and their subsequent deformation, 2016 American Geophysical Union (AGU) Fall

Meeting, December, San Francisco, USA

- (4) Kuniyuki Furukawa, Koji Uno, Tatsuo Kanamaru, Rhyolite lava fracturing and degassing induced spherulitic growth of Sawajiriwan and Sanukayama lavas in Kozushima Island, Japan, 2015 American Geophysical Union (AGU) Fall Meeting, San Francisco, USA

6 . 研究組織

(1)研究代表者

藤田 清士 (FUJI-TA KIYOSHI)
 大阪大学・工学研究科・教授
 研究者番号：00283862

(2)研究分担者

芳野 極 (YOSHINO TAKASHI)
 岡山大学・惑星物質研究所・准教授
 研究者番号：30423338

宇野 康司 (UNO KOJI)
 岡山大学・教育学部・教授
 研究者番号：10510745

古川 邦之 (FURUKAWA KUNIYUKI)
 愛知大学・経営学部・准教授
 研究者番号：20440620