

令和 5 年 6 月 2 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K04129

研究課題名（和文）岩石の熔融温度近傍の電気伝導度測定と伝導メカニズムの解明

研究課題名（英文）A study of electrical conductivity of molten rock

研究代表者

藤田 清士（FUJI-TA, Kiyoshi）

大阪大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：00283862

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、高温高压下の岩石電気伝導度を測定するため、単結晶を用いた試料封入カプセルを作成し、その有効性を確認した。次に、岩石のガラス転移点になっても、試料をその場観察できるような電気伝導度測定系を開発した。同時に、ニューラルネットワーク解析のアルゴリズムを用いて、多成分系酸化物である岩石の電気伝導度推算をおこなった。実験では、高温・高压下で異なる化学組成の試料の電気伝導度測定を行なった。特に、玄武岩組成の岩石の電気伝導度測定に注力した。他方、ニューラルネットワーク解析手法を改良し、電気伝導度推算値と実験データと対比した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、岩石の高温状態における電気伝導度測定に挑戦した。特に地球上の玄武岩や月に存在する類似の岩石の電気伝導度測定をおこなった。本研究を通して、計算機シミュレーションからも電気伝導度を推算することが可能になった。室内実験から得られた測定値と理論計算から求めた値を比較検討することにより、岩石の電気特性の理解が飛躍的に向上すると期待されている。

研究成果の概要（英文）：We have performed electrical conductivity measurements of basaltic glasses across the glass transition temperature at 1 GPa. Our experimental data show that in an Arrhenius plot the conductivity of basalt has an inflection point. This inflection point correlates with the glass transition temperature ( $T_g$ ), and are compared with results of previous experiments. Accurately estimating glass transition temperatures of volcanic rocks, can constrain the degree of welding of clastic and hydrous rock. A new method for estimating the electrical conductivity of rock through the neural network calculations is proposed in this study. We applied a neural network computation to the prediction of the electrical conductivity of basalt.

研究分野：固体地球物理学

キーワード：電気伝導度 玄武岩 ガラス転移点

## 1. 研究開始当初の背景

申請者らは、岩石・鉱物の『溶融温度』及び『ガラス転移点』付近で電気伝導度が変化することに着目した。例えば、火山体下や中央海嶺のプレート発生領域での溶融状態に相当する任意の温度・圧力で、電気伝導度をその場観察(in situ)すれば、電気伝導度から“溶融の状態”を見積もることができる。一方、溶融温度・ガラス転移点近傍の電気伝導メカニズムは、物性物理学の観点からも十分に理解されていない。しかしながら、近年の計算アルゴリズムの発展により、分子レベルの複雑な挙動は計算機上で再現することが可能である。特に分子動力学法は熱力学的平衡状態だけでなく、時間変化を含む非平衡現象も再現できる強みがある。そのため、岩石・鉱物の『溶融温度』・『ガラス転移点』の電気伝導度を温度・圧力を考慮しながら、時間変化とともに計算することが可能になりつつある。本研究では、室内実験により岩石・鉱物の溶融温度及びガラス転移点付近の電気伝導度挙動を調べ、理論計算から推算した電気伝導度の値を比較することを試みる。実験・理論の両面から岩石・鉱物の電気伝導度を研究することで、新たな知見が生まれる事が期待できる。

## 2. 研究の目的

室内実験において、岩石・鉱物の『溶融』・『ガラス転移点』付近の状態を電気伝導度を用いて正確に捉えた実験は少ない。申請者等のこれまでの研究は、電気伝導度変化から、脱水量や脱水した流体の特性まで見積もる定量的解釈の基礎的な技術の確立を行ってきた。本研究では、さらに一歩踏み込み、高温・高圧の岩石・鉱物の電気伝導度をその場観察するだけでなく、計算機シミュレーションで岩石及び鉱物の電気伝導メカニズムを解明する。又、従前に取得した無水岩石・無水鉱物の電気伝導度と対比から、『溶融』・『ガラス転移点』付近の電気伝導度変化を捉える事に注力した。計算機シミュレーションでも“固相” - “固相 液相” “液相”の複雑な系の電気伝導メカニズムを解明することを目指した。地球内部の『溶融温度』・『ガラス転移点』付近の物性に関しては、未解明な事が多く、これまで申請者等が行ってきた研究の連結により、岩石・鉱物の電気伝導度の定量的な解釈が発展する。

## 3. 研究の方法

2020年度に開始した予備実験においては、高温の岩石・鉱物の電気伝導度を測定するため、単結晶を用いた試料封入カプセルを作成し、その有効性を確認した。カプセル及び電気伝導度測定用圧力媒体・測定セルは主に絶縁体のマグネシア及びジルコニアで構成した。次に、高温状態になっても電気伝導度のその場観察できるように、セルとマルチアンビル式圧力発生装置の絶縁性に留意した測定を試みた。試料を封入したセルをマルチアンビル式圧力発生装置にセットし、熱電対を介して、インピーダンスアナライザーを用いて電気伝導度測定をおこなった。又、

ニューラルネットワーク解析を用いて、測定試料の化学組成及び温度条件での電気伝導度推算も行った。

2021年度の本実験では、玄武岩の化学組成に近い試料の電気伝導度測定を行った。実験では、酸化鉄及び酸化チタンの含有量に留意し、ピストンシリンダーを用いて、高温高圧下で試料を合成した。マルチアンビルを用いた電気伝導度測定では、圧力を保持したまま、低温付近で昇温と降温を繰り返すことにより、試料周辺やセルに吸着した水分を取り除いた。電気伝導度測定結果では、低温領域で温度の逆数と電気伝導度はアレニウス則に従う傾向を示した。しかしながら、高温領域ではアレニウス則から外れる傾向も見られた。2021年度中には、ニューラルネットワークの解析プログラムをパイソンに移行し、ベイズ最適化によるパラメーターの決定についての研究を行った。

2022年度も高温・高圧実験を行い、酸化鉄及び酸化チタンの含有量を変えた玄武岩組成の岩石の電気伝導度データを取得した。特に『ガラス転移点』近傍の電気伝導度変化を捉える実験を多数実施した。さらに、玄武岩組成に近い月のシュミラントの電気伝導度測定も遂行した。この実験は将来の月資源となる物質の基礎的な電気伝導度データとして有用である。ニューラルネットワークの解析プログラムを用いての研究では、温度と化学組成に対する電気伝導度予測モデルの構築を主眼において行われた。

#### 4. 研究成果

室内実験により高温・高圧下で電気伝導度を正確に測定するためには、岩石試料と試料を囲むカプセルが高温状態で反応しないことや、高い絶縁性が維持できる状態で、試料の電気伝導度を精度良く測定できる必要がある。本研究では、高温・高圧下で岩石・鉱物の電気伝導度を正確に測定する技術を確立し、玄武岩の化学組成に近い試料も電気伝導度測定を遂行した。測定結果から、低温領域では電気伝導度と温度の逆数がアレニウス則に従うことが見いだされた。しかしながら、ガラス転移点近傍では、電気伝導度が変化するポイントが存在し、他の物理量では見られない詳細な変化を捉える事が可能で見いだされた。

理論計算からは、多成分系酸化物である岩石の電気伝導メカニズムを解明するシミュレーションを行った。ニューラルネットワークを用いた回帰計算からは、高温時の岩石の電気伝導度を推算した。入力層、中間層、出力層という3層の計算ユニットを用いて、目標値と出力層で出力される計算値の差をあらかじめ設定した誤差範囲内に収まるまで、回帰演算を繰り返す手法を確立した。結果として、様々な岩石の電気伝導度を幅広い温度域で推算することが可能になった。特に任意の酸化物が岩石全体の電気伝導度に与える影響について評価できるようになった事が本研究の最大の成果である。

高温高圧実験結果と新たなコードによるニューラルネットワーク解析から推算される電気伝導度値を直接比較ができるようになった事が本研究の成果である。又、地球上の火山岩の電気特性だけでなく、資源になり得る月面上の玄武岩の電気伝導度特性を研究することは、月資源の重要な基礎データの蓄積に貢献する。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 野部侑希, 藤田清土, 芳野極, 鈴木賢紀, 中本将嗣, 田中敏宏
2. 発表標題 模擬月資源の電気伝導度の測定と推算
3. 学会等名 2021年度日本鉄鋼協会・日本金属学会・関西支部
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 野部侑希, 藤田清土, 芳野極, 鈴木賢紀, 中本将嗣, 田中敏宏
2. 発表標題 模擬月資源の電気伝導度の測定と推算
3. 学会等名 2022年 Conductivity Anomaly 研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 藤田清土
2. 発表標題 岩石・鉱物の電気的性質の理解にむけて
3. 学会等名 2022年 Conductivity Anomaly 研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 野部侑希, 藤田清土, 芳野極, 鈴木賢紀, 中本将嗣, 田中敏宏
2. 発表標題 模擬月資源の電気伝導度の測定と推算
3. 学会等名 2021年度 日本金属学会春季講演大会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	佐久間 博  (Sakuma Hiroshi)  (20400426)	国立研究開発法人物質・材料研究機構・機能性材料研究拠点・主幹研究員   (82108)	
研究分担者	芳野 極  (Yoshino Tadashi)  (30423338)	岡山大学・惑星物質研究所・教授   (15301)	
研究分担者	市来 雅啓  (Ichiki Masahiro)  (80359182)	東北大学・理学研究科・助教   (11301)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------