

平成 22 年 4 月 30 日現在

研究種目：基盤研究(C)  
 研究期間：2007～2009  
 課題番号：19540507  
 研究課題名（和文） 含水鉱物及び含水岩石の電気伝導度測定実験  
 研究課題名（英文） Electrical conductivity measurements of hydrous mineral and hydrous rock  
 研究代表者  
 藤田 清士 (FUJITA KIYOSHI)  
 大阪大学・工学研究科・講師  
 研究者番号：00283862

## 研究成果の概要（和文）：

電気伝導度は“流体”や“水”に鋭敏であり、力学的指標とは独立に構造を議論できる有用な値である。又、脱水した水は、地殻やマントルに対して、明確な”Anomaly”として捉えることができる。申請者らは含水鉱物や含水岩石が脱水する際、鉱物+水や岩石+水の系が急激な電気伝導度変化を示すことに着目した。本研究では、プレートが存在する温度圧力条件下で含水鉱物・含水岩石を脱水させ、電気伝導度を測定し、電気伝導度に反映される脱水量・電気伝導メカニズムを計算機解析した。

## 研究成果の概要（英文）：

A study of electrical conductivity measurements of metamorphic rocks as a function of temperature highlight the importance of conductivity variations associated with dehydration. We observed conductivity changes for anhydrous rocks and hydrous amphibolites. Our experimental results reveal that dehydration takes place and there is a non-linear variation above metamorphic temperatures. To evaluate the observed change in conductivity after dehydration, a numerical calculation was attempted. The calculation results showed the bulk conductivity of rock plus pure water cannot account for conductivity values of reacted rocks if the crust dehydrates. Alternatively, data of 0.1 molal NaCl solutions are consistent with those of amphibolites. Furthermore, we have tried to construct electrical conductivity model of hydrous rock.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2008年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2009年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	2,700,000	810,000	3,510,000

## 研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・岩石・鉱物・鉱床学

キーワード：地殻・マントル・核

## 1. 研究開始当初の背景

地球内部構造探査のうち、地磁気及び地電

流を用いた電気伝導度探査は“流体”や“水”に鋭敏であり、地球物理学なパラメーターのうち、

力学的指標とは独立に構造を議論できる有用な手法である。又、高温の物質や脱水した水は、地殻やマントルに対して高電気伝導度のコントラストとして、明確な”Anomaly”として捉えることができる。しかしながら、電磁気観測から捉えた高電気伝導度異常は室内実験からは十分に検証されてこなかった。申請者らは含水鉱物や含水岩石が脱水する際、鉱物+水や岩石+水の系が急激な電気伝導度変化を示すことに着目している。例えば、プレートの沈み込み帯の近傍に存在する鉱物・岩石を電気伝導度の測定対象にすることにより、プレート近傍の鉱物・岩石からの脱水過程を電気伝導度変化として室内実験で再現することが可能になる。具体的には、プレートが存在する温度圧力条件下で含水鉱物・含水岩石を脱水させるかマントル状態を模することにより、その物理条件下における脱水過程やマントルとプレートのコントラストが急激な電気伝導度変化として捉えることが可能である。さらにMT法のような広帯域電磁場観測から得られた電気伝導度構造解析結果などと直接対比することにより、観測結果と実験結果の相互検証が可能になる。その為、組成な単純な含水鉱物と変成温度圧力履歴の明確な含水岩石を試料として、電気伝導度測定を行う。脱水前後の電気伝導度を精査する事から、電気伝導度の挙動変化だけでなく、含水量を計算から見積もり事も可能である。

本研究では、脱水前後の電気伝導度の差異から脱水した流体量・塩濃度だけでなく、岩石・鉱物間の電気伝導メカニズムを正方格子状のモデルを用いて定量的に解明する事も目指す。

## 2. 研究の目的

プレート近傍の鉱物・岩石を実験により電気伝導度の視点から捉えた研究は少なく、高温高圧下で鉱物・岩石と水を、他の物質と反応しないように測定することは難しい。申請者らは近年、鉱物配列を考慮した電気伝導度測定 (Fuji-ta

et al., 2007(a) *Tectonophysics*) や“閉じた系”における電気伝導度測定技術を開発しており、完成の域に近い (Fuji-ta et al., 2007(b) *Earth and Planes and Space*)。これらの成果により“岩石・鉱物+水”などの総合的な電気伝導度測定が可能になる。まず始めに、電気伝導度測定用サンプルとしては、肥後変成帯の角閃岩を用いることを計画している。この岩石を選択する理由は(1) 下部地殻—上部マントルに実在するものであること、(2) X線回折による分析やEPMAなどにより化学組成が明確にわかること、(3) 脱水過程を調べるのに適当な岩石であること、である。

角閃岩の電気伝導度測定では、圧力を一定として、温度を変成条件付近まで上昇させることで脱水状態を作り出す。その際に様々な温度圧力条件で電気伝導度を測定する。測定データを定量的に解析することにより、地殻内での脱水量・塩濃度などを見積もることが可能となる。又、取得された電気伝導度の変化量を、岩石内電気伝導メカニズムのシミュレーションモデルに取り込むことにより、脱水前後の岩石内の電気伝導のパス(経路)を定量的に評価することが可能になる。

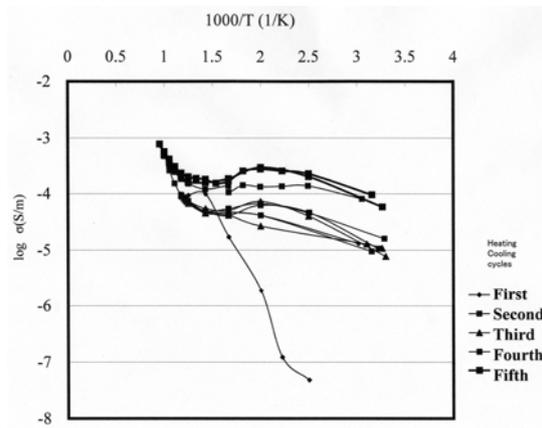
## 3. 研究の方法

### (1) 測定装置開発・予備実験

試料封入カプセル及び電気伝導度測定用圧力媒体は大阪大学において開発・改良した。測定用の高温・高圧装置の開発及び鉱物分析は岡山大学地球物質科学研究センターで行った。特に、電気伝導度の低い岩石試料を正確に測定するため、アルミナ、BN 及び  $MgO$  による絶縁・断熱媒体を作成した。電気伝導度測定の従前には温度精密測定装置及び高圧装置の物理特性試験及び温度・圧力較正を行った。

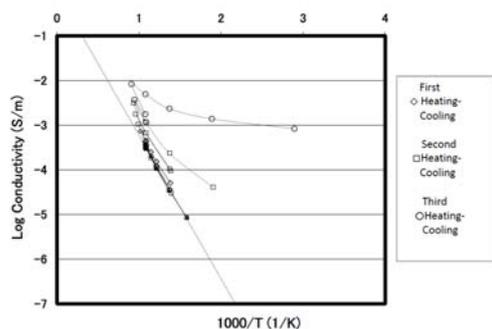
申請者らはプロトタイプのセルとして含

水鉱物のブルーサイト単結晶材料を封入して電気伝導度測定に成功した (Fuji-ta et al., 2007(b) *Earth and Planes and Space*)。このセルの特徴は試料を他の物質と反応しないように“閉じた系”で電気伝導測定実験が行える点であった (下図)。



## (2) 本実験

次に、様々な温度圧力条件で角閃岩の電気伝導度測定を行った。測定前には EPMA により、試料に含まれる鉱物の組成を定性かつ定量的に分析した。又、測定系の校正や岩石試料測定の際の周波数特性も精査した。以下に角閃岩を用いて電気伝導度を測定した結果を示す。



上図のように、温度・圧力関係から得られる相図とは独立に、脱水する過程において電気伝導度は急激に高くなる事がわかる。申請者らの観察によると、ある温度条件以上では岩石や鉱物の特性により、電気伝導度が急変するポイント (電気伝導度からみた相転移)

が存在した。

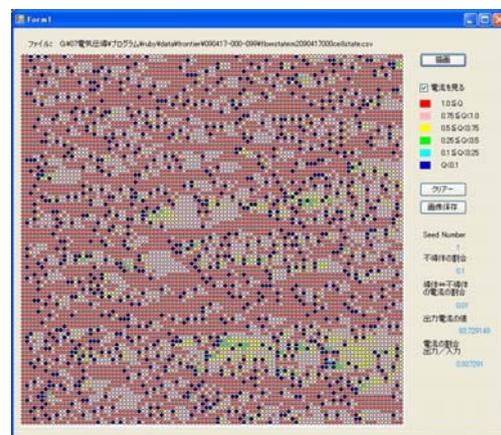
## (3) 理論計算・計算機シミュレーション

室内実験からは、角閃岩中の角閃石が部分的に脱水することにより、流体の存在量が少なくても、電気伝導度に鋭敏に変化する事が判明した。脱水の定量的な見積もりをする為、地殻内に存在する流体を純水及び塩水と仮定して電気伝導度の計算を行った。

一方、岩石内電気伝導メカニズムのシミュレーションモデルでは、伝導性物質 (Conductor) と絶縁性物質 (Resistor) の粒 (以下セルと表現) を考え、セルを2次元正方格子状に配置した。電流を流す方向に入力層と出力層(共に Conductor があることを仮定した)を加えることにした。電流が流れる方向と直角の方向の境界条件は周期境界条件とした。実際の岩石内の伝導性物質 (例えば塩水) や絶縁性鉱物のある割合でランダムに配置し、入力層で各セルに電荷を与え、出力層にある各セルにたどり着いた電荷の合計と、入力した電荷の合計との比を求め、

岩石内部の抵抗  $\left( \frac{\text{入力層での電荷の量}}{\text{出力層での電荷の量}} \right)$  と岩石内

の電気伝導パスを電気伝導度測定実験と直接対比した。



伝導性物質 (Conductor) と絶縁性物質 (Resistor) のセルをランダムに配置した2次元正方格子モデルの一例

#### 4. 研究成果

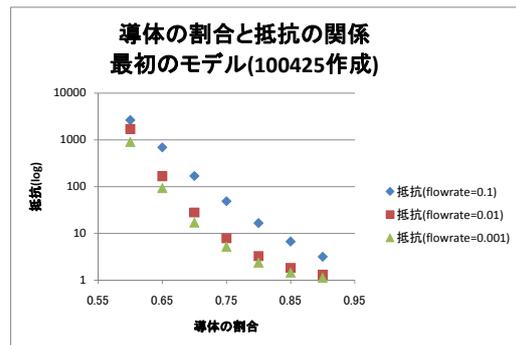
本研究経費を使用した研究成果は大きく以下の2つに分類される。

(1) 角閃岩を試料とした実験では、変成温度・圧力条件を越えた際に大きな電気伝導度変化が示された。実験では、地殻中部の圧力条件に対応する 0.5GPa に保持し、常温から約 1100 K の範囲で電気伝導度測定を行った。

この実験では、変成温度の 900 K 以上で、電気伝導度が約 0.001 から 0.1 S/m まで急変することが観測された。角閃岩中の角閃石が部分的に脱水することにより、流体の存在量が少なくとも、電気伝導度に鋭敏に反映される事が判明した。次に、地殻内に存在する流体を純水と仮定して電気伝導度の計算を行った。しかしながら、実験から求められた電気伝導度と純水の電気伝導度は一致を見なかった。その原因として、地殻内部に存在する流体には塩濃度を考慮する必要がある事が判明した。その為、Effective medium theory に基づき、塩濃度とモル分率の関数として流体の定量的な見積もりを行った。結果として、0.1 molal 塩濃度を示す流体が 0.4% 未満存在すれば角閃岩の脱水実験で観察された電気伝導度を説明することが可能であった。この成果は日本地球惑星科学連合 2010 年大会で報告され、詳細な内容は欧州の国際学術誌に掲載予定である。

(2) 岩石内の理論的電気伝導度を実験値や観測値と相互参照する為に、地殻岩石を対象とした電気伝導度ネットワークモデルの構築を試みた。作成にあたっては、実際の岩石

の定性及び定量分析結果と対比しながらモデルを構築した。伝導性物質と絶縁性物質のセルをランダムに配置した 2 次元正方格子モデル内で、電流を入力層で各セルに電荷を与え、出力層にある各セルにたどり着いた電荷の合計と、入力した電荷の合計との比を求め、岩石内部の抵抗を考えた。



その結果、上図に示されるように伝導性物質が割合により岩石内の電気伝導度が3桁にわたり変化する事が判明した。このモデルを精査し、20th Electromagnetic Induction Workshop Giza, EGYPT-2010 国際研究集会で成果発表を行い、米国地球物理学学会誌に成果を投稿する予定である。

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 4 件)

(1) 藤田 清士、関 雅幸、桂 智男、市来 雅啓、小川 康雄、含水岩石内電気伝導度ネットワークの初期モデルの構築、

Conductivity Anomaly 研究論文集(2010)

(出版中) 査読無

(2) M. Ichiki, K. Baba, H. Toh and K. Fuji-ta, An overview of electrical conductivity structures of the crust and upper mantle beneath the northwestern Pacific, the Japanese Islands, and continental East Asia, Gondwana Research 16

(2009) 545–562. 査読有

(3) Kiyoshi Fuji-ta, Tomoo Katsura, Takuya Matsuzaki, and Masahiro Ichiki, Electrical conductivity measurements of brucite under crustal pressure and temperature conditions, Earth Planets Space, Vol. 59, 6(2007) 645-648. 査読有

(4) Kiyoshi Fuji-ta, Tomoo Katsura, Takuya Matsuzaki, Masahiro Ichiki and Tomoyuki Kobayashi, Electrical conductivity measurement of gneiss under mid- to lower crustal P–T conditions, Tectonophysics, Volume 434,

(2007) 93-101. 査読有

[学会発表] (計 8 件)

(1) 藤田 清士、関 雅幸、桂 智男、市来 雅啓、小川 康雄、含水岩石内電気伝導ネットワークの初期モデルの構築、Conductivity Anomaly 研究集会、2010 年 2 月 17 日 (東京都文京区・東京大学地震研究所)

(2) 市来 雅啓、藤田 清士、Hitchman Adrian、Wang Liejun、小川 康雄、大陸上部マントルの標準電気伝導度構造：観測、A003–P003 地球電磁気・地球惑星圏学会 (SGEPSS) 第126回講演会、2009年9月28日 (金沢大学)

(3) 藤田 清士、関 雅幸、桂 智男、市来 雅啓、岩石内電気伝導ネットワークモデルの構築にむけて、日本地球惑星科学連合 2009 年大会、2009 年 5 月 16 日 (千葉県千葉市美浜区・幕張メッセ国際会議場)

(4) Kiyoshi Fuji-ta, Tomoo Katsura, Masahiro Ichiki, Takuya Matsuzaki, Tomoyuki Kobayashi, An evaluation for electrical conductivity variation of amphibolites associated with dehydration, 2009 General Assembly, International Association of Seismology and Physics of the Earth's Interior (IASPEI) 2009 年 1 月 15 日 Cape Town Conventional Center, South Africa

(5) 藤田 清士、桂 智男、市来 雅啓、松崎 琢也、小林 記之、脱水時における含水岩石の電気伝導度変化の評価、地球電磁気・地球惑星圏学会 (SGEPSS) 第 124 回講演会、2008 年 10 月 10 日 仙台市戦災復興記念館

(6) Kiyoshi Fuji-ta, Tomoo Katsura, Takuya Matsuzaki, Masahiro Ichiki and Tomoyuki Kobayashi, Electrical conductivity variations of

hydrous mineral and rocks associate with dehydration process, MR13C-1411, American Geophysical Union Fall meeting 2007, 10 Dec. 2007, Moscone South, San Francisco

(7) 藤田 清士、桂 智男、松崎 琢也、小林 記之、市来 雅啓、地殻温度圧力条件における含水鉱物および含水岩石の電気伝導度、

日本地震学会 2007 年秋季大会  
2007 年 10 月 2 日 仙台国際センター

(8) 藤田 清士、桂 智男、松崎 琢也、小林 記之、市来 雅啓、変成温度圧力条件における岩石の電気伝導度変化、日本地球惑星科学連合 2007 年大会

2007 年 5 月 19 日 幕張メッセ国際会議場

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

藤田 清士 (FUJITA KIYOSHI)  
大阪大学・工学研究科・講師  
研究者番号：00283862

### (2) 研究分担者

関 雅幸 (SEKI MASAYUKI)  
神戸常盤大学・保健学部・講師  
研究者番号：50280087

乙藤 洋一郎 (OTOFUJI YOICHIRO)  
神戸大学・理学研究科・教授  
研究者番号：90160895

桂 智男 (KATSURA TOMOO)  
岡山大学・地球物質科学研究センター・教授  
研究者番号：40260666  
(平成 22 年 1 月 15 日 辞退  
学振助一第 424 号 承認済み)