

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 13 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2014

課題番号：23403005

研究課題名(和文) 日独共同・大西洋トリスタンホットスポット下のマントル電気伝導度構造調査

研究課題名(英文) Investigation of mantle electrical conductivity beneath the Tristan da Cunha hotspot in Atlantic Ocean by Japan-Germany collaboration

研究代表者

馬場 聖至 (Kiyoshi, Baba)

東京大学・地震研究所・助教

研究者番号：70371721

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題は、南大西洋トリスタン・ダ・クーニャホットスポットの成因についての知見を深めるために、トリスタン・ダ・クーニャ諸島の周辺海域に海底電磁気観測網を敷設し、同域下深さ約500kmまでの3次元電気伝導度構造を解明することを目的とした、ドイツの研究機関(IFM-GEOMAR)との国際共同研究である。平成24年1月から約1年間、同海域に合計26点の海底電磁気観測点を展開して、天然自然の電磁場変動を観測した。機器回収後、取得したデータを解析し、電気伝導度構造を見積もるための電磁気応答関数が得られた。今後の詳細な解析により、所期の目的達成が期待される。

研究成果の概要(英文)：This research project aims to investigate the electrical structure of the mantle beneath the Tristan da Cunha hotspot in southern Atlantic Ocean to deepen the knowledge of the hotspot source. This is a collaborative study between Japanese and German research groups. The seafloor electromagnetic observation was conducted for an year from January 2012 by using total 26 ocean bottom electromagnetometers. The time variation of the natural electromagnetic field was measured and analyzed to obtain electromagnetic response functions which have information of Earth's electrical conductivity. The quality of observed data were good for most of the stations. Further inversion analysis of the response functions will enable us to image a three-dimensional electrical conductivity structure beneath the observation area.

研究分野：海底電磁気学

キーワード：マントル ホットスポット トリスタン・ダ・クーニャ 大陸分裂 電気伝導度 MT法 海底電位磁力  
計 国際研究者交流

### 1. 研究開始当初の背景

ホットスポットと呼ばれる火山地域は、古典的プルーム理論によれば、マントル深部からの上昇流(プルーム)が地球表面に達して大規模な火成活動を引き起こしたものと説明される。一方近年になって、地球上のホットスポットの多くは、表層のテクトニックな活動により、直下のアセノスフェアから受動的にマグマが上昇した結果形成された火山である、との説が提示され、ホットスポットの成因論に大きな論争を引き起こしている。南大西洋に浮かぶトリスタン・ダ・クーニャ諸島を形成したホットスポット(図1)の成因については、研究者により見解が分かれており、その要因の一つが、詳細な物理観測データの欠如であった。

このような状況下で、ドイツの研究機関がトリスタン・ダ・クーニャホットスポット周辺海域での大規模な総合物理観測を計画し、電磁気探査については、長年の実績がある本研究グループに協力を求めてきた。そこで我々はこの総合観測計画に参加することを決定した。

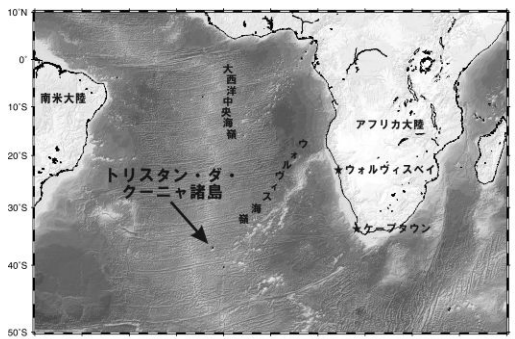


図1. トリスタン・ダ・クーニャホットスポット周辺の広域海底地形図。

### 2. 研究の目的

本研究は、大西洋トリスタン・ダ・クーニャホットスポットをフィールドとして、ドイツ・キール大学の海洋科学研究所 IFM-GERMAR と共同で大規模な海底電磁気探査を実施し、3次元上部マントル電気伝導度構造を明らかにすることを目的とする。得られた電気伝導度分布より「トリスタン・ダ・クーニャホットスポットの起源がマントル深部からの上昇流であるか、あるいはアセノスフェアか」という問いに決着をつけ、同ホットスポットの南アメリカ・アフリカ大陸の分裂への寄与に関する理解を大きく進展させる。本研究グループがこれまでに太平洋域での観測研究で培ってきた信頼性の高い観測機器・高度なデータ解析技術を駆使して、所期の目的の達成を目指す。

### 3. 研究の方法

トリスタン・ダ・クーニャホットスポット周辺海域下マントルの3次元電気伝導度構造を明らかにするために、同海域において海底電位磁力計を多数設置して、天然自然の

電磁場変動を観測する。

マグネトテルリック法とよばれる電磁探査手法に基づき、観測されたデータを解析し、磁場変動に対する電場変動の比で定義される電磁場応答関数を推定する。この手法は、太陽活動などに起因する磁気圏の磁場変動が、導体である地球内部に浸透し、電磁誘導効果により電場変動を引き起こすことを利用している。得られた電磁場応答関数の逆解析により、マントルの電気伝導度構造をイメージングする。

高温高压実験研究により、マントルを構成する鉱物の電気伝導度については、温度・圧力などの関数として求まっている。これを利用して、本研究により得られた電気伝導度構造モデルから温度構造を推定し、ホットスポットに関連した温度異常がどの深さにまで分布しているかを明らかにする。

### 4. 研究成果

海底電位磁力計を用いた電磁気観測は、平成24年1月から約1年間かけて行った。機器の設置、回収作業にはドイツの最新鋭大型研究船 R/V Maria S. Merian を用いた。日本からは8台の海底電位磁力計をもちだし、ドイツ側と合わせて合計26点の海底観測網を敷設した(図2)。トリスタン・ダ・クーニャ諸島を構成する無人島の一つであるナイチンゲール島にも陸上観測点を1点敷設した。

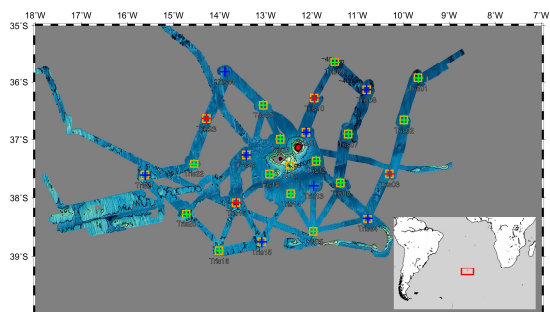


図2. 観測点配置と航海中に取得した近傍の詳細な海底地形データ。右下の広域地図に観測海域の位置(赤線で囲まれた領域)を示している。海底電位磁力計を敷設した観測点(青が日本、緑・赤はドイツ)は、同時に敷設した海底地震観測点。



写真1. ドイツの研究船 R/V Maria S. Merian を用いた航海での、海底電位磁力計回収作業の様子(撮影:太田豊宣氏)

平成 25 年 1 月の航海で、敷設したすべての海底電位磁力計および陸上観測機器を回収した(写真 1)。その後は、日本側、ドイツ側双方でそれぞれの機器で観測されたデータを解析した。日本の海底電位磁力計により得られたデータはいずれも良好で、周期約 50 秒から約 1 日までの電磁気応答関数が得られた。ドイツ側の機器についても、いくつかデータ不良があるものの、おおむね良好な結果が得られている。図 2 に得られた応答関数(見掛け比抵抗;電気の流れにくさ)の例を示す。応答関数は長周期ほどより深部までの情報を含む。また南北方向(赤)と東西方向(青)の電気の流れにくさの違いは、ある深さに横方向の不均質構造または異方性がある可能性を示す。トリスタン・ダ・クーニャ島に最も近い観測点(Tris11)は、やや離れた観測点(Tris13)に比べて、周期約 1,000 秒以下で、南北方向の見掛け比抵抗が顕著に低くなっていて、ホットスポットに関連する電氣的な異常構造を示唆する。

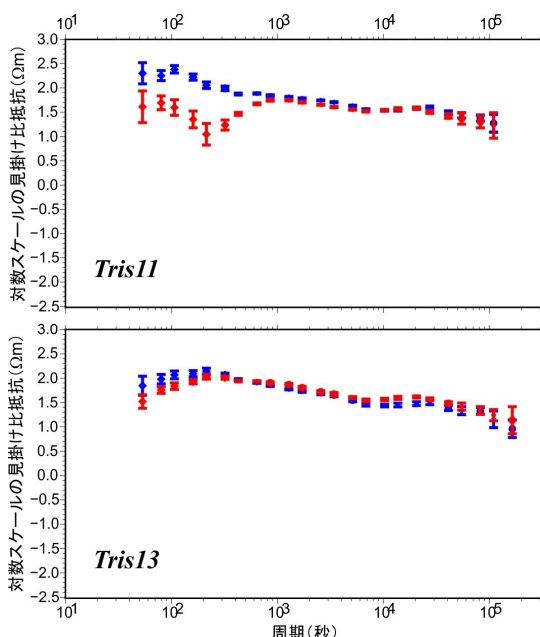


図 3. 観測点 Tris11(上)と Tris13(下)のデータから推定された電磁場応答関数(見掛け比抵抗)。観測点の位置は、図 2 を参照。赤は南北方向の電流、青は東西方向の電流に感度が高い。

観測終了後の平成 25 年 6 月には、研究代表者の馬場と連携研究者の歌田が、IFM-GEOMAR を訪問し、研究協力者の Marion Jegen-Kulcsar 博士と、日・独双方のデータの状況について情報を交換し、共同研究の方向性を議論した。また平成 26 年 8 月には、ドイツ・ワイマールで開催された国際ワークショップに参加し、その場を利用して研究の進捗状況を確認した。

観測とデータ解析を行う一方で、電気伝導度構造を推定するための逆解析手法に改良を加え、大陸・海洋分布や観測点近傍の地形効果を、効率よく組み込むことができるよう

にした(Tada et al., 2012; Baba et al., 2013)。これにより、海底下の電気伝導度構造の推定精度が向上することが期待される。また電磁気応答関数から直接海洋上部マントルに対して予測される温度構造と化学組成を制約する逆解析手法を開発した。この手法を、我々の先行プロジェクトで得られた北西太平洋の観測データに適用して、その有用性を確認した。本観測では、ドイツ側が広帯域海底地震計を用いた地震観測を同時に行っており、将来的には、電磁気学的データと地震学的データという独立な観測値を同時に解析・解釈することで、マントルの温度構造および化学組成をより強く制約することが期待できる。その適用可能性についても検証し、実現への手応えを得た。

これらの手法を本研究で得られたデータに効率よく適用するために、最新のワークステーションを購入し、逆解析の準備を整えた。

本研究計画で得たデータの解析は現在も進行中で、4 年間の研究期間中に最終的な 3 次元電気伝導度構造モデルを推定するまでには至らなかったが、今後も引き続きドイツのグループとは共同研究を進め、所期の目的を達成する予定である。

#### 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 5 件)

- Tada, N., Baba, K., and Utada, H. (2014), Three-dimensional inversion of seafloor magnetotelluric data collected in the Philippine Sea and the western margin of the northwest Pacific Ocean, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, Vol. 15, 2895-2917, DOI:10.1002/2014GC005421, 査読有
- Utada, H. and Baba, K. (2014), Estimating the electrical conductivity of the melt phase of a partially molten asthenosphere from seafloor magnetotelluric sounding data, *Phys. Earth Planet. Inter.*, Vol. 227, 41-47, DOI:10.1016/j.pepi.2013.12.004, 査読有
- Baba, K., Tada, N., Zhang, L., Liang, P., Shimizu, H., and Utada, H. (2013), Is the electrical conductivity of the northwestern Pacific upper mantle normal?, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, Vol. 14, 4969-4979, DOI:10.1002/2013GC004997, 査読有
- Baba, K., Tada, N., Utada, U., and Siripunvaraporn, W. (2013), Practical incorporation of local and regional topography in three-dimensional inversion of deep ocean

magnetotelluric data, *Geophys. J. Int.*, Vol. 194, 348-361, DOI:10.1093/gji/ggt115, 査読有  
Tada, N., Baba, K., Utada, H., and Siripunvaraporn, W. (2012), Approximate treatment of seafloor topographic effects in three-dimensional marine magnetotelluric inversion, *Earth, Planets, and Space*, Vol. 64, 1005-1021, DOI:10.5047/eps.2012.04.005, 査読有

[学会発表](計 12 件)

Baba, K., Utada, H., Tada, N., Shimizu, H., Zhang, L., and Liang, P., Geothermal and compositional variety of old oceanic upper mantle in northwestern Pacific: Insights from seafloor magnetotelluric experiments, AGU 2014 fall meeting, 平成 26 年 12 月 19 日, サンフランシスコ (アメリカ合衆国)

馬場聖至, 多田訓子, 梁朋飛, 張羅磊, 清水久芳, 歌田久司 (2014), 年代に伴う海洋マントル冷却モデルと北西太平洋の電気伝導度, 第 136 回地球電磁気・地球惑星圏学会講演会, 平成 26 年 11 月 3 日, キッセイ文化ホール (長野県・松本市)

Chen, J. and Jegen-Kulcsar M., Magnetotelluric study at Tristan da Cunha hotspot, 22nd International Workshop on Electromagnetic Induction of the Earth, 平成 26 年 8 月 26 日, ワイマール (ドイツ)

Baba, K., Tada, N., Liang, P., Zhang, L., Shimizu, H., and Utada, H., Thermal and compositional variety of old oceanic upper mantle in northwestern Pacific revealed from marine magnetotelluric experiments, 22nd International Workshop on Electromagnetic Induction of the Earth, 平成 26 年 8 月 25 日, ワイマール (ドイツ)

馬場聖至, 多田訓子, 梁朋飛, 張羅磊, 清水久芳, 歌田久司 (2014), 古い海洋上部マントルの温度構造: 北西太平洋における電気伝導度構造イメージングからの制約, 日本地球惑星科学連合 2014 年大会, 平成 26 年 4 月 28 日, パシフィコ横浜 (神奈川県・横浜市)

Baba, K., Utada, H., Tada, N., Zhang, L., Liang, P., and Shimizu, H., Electrical lithosphere and asthenosphere beneath "normal" ocean floor in northwestern Pacific, AGU 2013 fall meeting, 平成 25 年 12 月 11 日, サンフランシスコ (アメリカ合衆国)

馬場聖至, 歌田久司, 多田訓子, 清水久芳, 普通の海洋マントルの電気伝導度構造イメージング (序報), 日本地球惑星科学連合 2013 年大会, 平成 25 年 5 月 22 日, 幕張メッセ (千葉県・千葉市)

Baba, K., N. Abe, N. Hirano, and M. Ichiki, Three-dimensional inversion analysis of seafloor magnetotelluric data collected in the northwestern Pacific and implications for the source of petit-spot volcanoes, 5th International Symposium on Three-Dimensional Electromagnetics, 平成 25 年 5 月 9 日, 北海道大学 (北海道・札幌)

馬場聖至, 阿部なつ江, 平野直人, 市來雅啓, 北西太平洋プチスポット周辺海域の 3 次元上部マントル電気伝導度構造, 第 132 回地球電磁気・地球惑星圏学会講演会, 平成 24 年 10 月 21 日, 札幌コンベンションセンター (北海道・札幌)

Baba, K., Tada, N., Utada, H., and Siripunvaraporn, W., Practical incorporation of topography in three-dimensional inversion of marine magnetotelluric data, 21st International Workshop on Electromagnetic Induction of the Earth, 平成 24 年 7 月 30 日, ダーウィン (オーストラリア)

Baba, K. and Abe, N., Marine magnetotelluric study on petit-spot volcanism in northwestern Pacific, 8th annual meeting AOGS 2011, 平成 23 年 8 月 9 日, 台北 (台湾)

Utada H. and Baba, K., A discussion on the cause of high electrical conductivity in the oceanic upper mantle, 日本地球惑星科学連合 2011 年大会, 平成 23 年 5 月 25 日, 幕張メッセ (千葉県・千葉市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

馬場 聖至 (BABA, Kiyoshi)  
東京大学・地震研究所・助教  
研究者番号: 70371721

(3) 連携研究者

歌田 久司 (UTADA, Hisashi)  
東京大学・地震研究所・教授  
研究者番号: 70134632

(4) 研究協力者

マリオン イェゲン (Marion JEGEN-KULCSAR)  
キール大学・海洋研究所 (IFM-GEOMAR)