

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 23 日現在

機関番号：82706

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23740346

研究課題名(和文) 三次元電気伝導度構造からスラブとマントルブルームの物性を明らかにする

研究課題名(英文) Three dimensional electrical conductivity distribution of the upper mantle around slab and mantle plume

研究代表者

多田 訓子 (TADA, Noriko)

独立行政法人海洋研究開発機構・地球内部ダイナミクス領域・技術研究副主任

研究者番号：00509713

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円、(間接経費) 930,000円

研究成果の概要(和文)：海底観測で得られた電磁場データを三次元インバージョンプログラムに適用することによって、フィリピン海上部マントルの複雑な三次元電気伝導度構造を解明した。実データの適用の前に人工データを使って、インバージョンに海底地形を組み込むことの重要性と、初期モデル選定の重要性についても議論を行った。得られた電気伝導度構造に対しては、電気伝導度異常の分解能と感度の検証を行った。フレンチポリネシアのソサエティー・ホットスポット周辺で観測した電磁場データを解析した結果、ホットスポットの下にマントル遷移層付近から表層まで続く、マントルブルームと考えられる高電気伝導度異常体が認められた。

研究成果の概要(英文)：We revealed the three-dimensional electrical conductivity structure in the upper mantle beneath the Philippine Sea by applying seafloor electromagnetic data to the three-dimensional marine magnetotelluric inversion scheme. We also discussed the importance of incorporating topography around observation sites and choosing a proper initial model. The estimated electrical conductivity structure was verified by resolution and sensitivity tests. We analyzed seafloor electromagnetic data obtained around the Society hotspot in French Polynesia, and found the conductivity anomaly elongating from the mantle transition zone to the uppermost mantle just below the hotspot.

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・固体地球惑星物理学

キーワード：マグネトテリック法 海底電磁気データ 三次元インバージョン 三次元電気伝導度構造 海洋上部マントル フィリピン海 ソサエティー・ホットスポット

1. 研究開始当初の背景

(1) マントル内部の対流運動や時間変動はマントル内部の上昇流や火口流に支配されているため、上昇流と火口流の物性や鉱物組成の解明がマントダイナミクス全貌の解明には不可欠である。電気伝導度構造はマントルプルームやスラブの温度、流体量、鉱物組成を知る上で重要な物性値としてこれまでも注目されてきた。それらの研究では、スラブやマントルプルームが二次元構造であると仮定し、ある側線の下の二次元電気伝導度構造を求めている(例えば、Booker et al., 2004; Nolasco et al., 1998)。しかし、実際は三次元の構造を二次元として解析することで構造が歪められることが先行研究によって示されており(Siripunvaraporn et al., 2005)、マントルプルームやスラブが三次元構造であることは地震波速度構造からも明らかである。

(2) 一方、太平洋に埋設された海底ケーブルから得たデータを使って上部マントルから下部マントルまでの三次元電気伝導度構造を求めた研究がある(小山, 2001)。この結果と地震波トモグラフィーの結果との比較が行われたが、電気伝導度構造の分解能が地震波速度構造の半分以下であったこと、さらに、深さ 0km から 350km までの電気伝導度構造が得られなかったことから、上部マントル中でスラブとマントルプルームを周囲のマントルから区別し、さらに温度や組成を特定することはできなかった。

(3) 以上の問題点を解決するためには、面上に高密度に設置された観測によって得た電磁場データの三次元解析が必須である。さらに、スラブとマントルプルームの大部分は海洋底の下に存在しているため、全体像を把握するためには海底での観測が不可欠である。我々は、フィリピン海周辺とフレンチポリネシアにおいて海底電磁力計を用いた電磁場観測を行い、三次元解析に十分な密度でデータを取得してきた(Shiobara et al., 2009)。また、海底電磁場データに対応した三次元インバージョンプログラムの開発も進めてきた。

2. 研究の目的

(1) 海底電磁場データを三次元インバージョンプログラムに適用することで、スラブとマントルプルームの三次元電気伝導度構造を解明する。得られる結果を地震波速度構造と比較することで、マントル中の温度や流体の存在量、鉱物組成を決定することができるようになることを期待される。

地震波トモグラフィーから、フィリピン海の下のマントル遷移層にスラブが横たわっていることが示されている(Fukao et al., 1992)。しかし、地震波速度構造からのみで

は、スラブとその周囲のマントルに存在する地震波速度の違いが温度のみによるものが流体の存在が関与しているのか区別することができない。そこで、フィリピン海から太平洋にかけて設置した海底電磁力計のデータを使用して、上部マントルの三次元電気伝導度構造を求める。

これまでに、地震波による研究からフレンチポリネシアのソサエティー・ホットスポットでは核・マントル境界からマントルプルームが上昇していることが示されている(Suetsugu et al., 2009)。しかしながら、このマントルプルームの上昇機構についてはよく分かっていない。先行研究ではソサエティー・ホットスポットの西側の観測点のみを使って二次元電気伝導度構造を求めたので、マントルプルームの形状や温度構造を求めるには至らなかった(Nolasco et al., 1998)。本研究では、新たにソサエティー・ホットスポットの東側で取得したデータを加えることで三次元電気伝導度構造を解明し、マントルプルームの形状や定量的な温度構造の推定を目指す。

3. 研究の方法

(1) 実際の観測データを三次元インバージョンプログラムに適用するためには、問題点が二つある。一つ目は、海底地形の凸凹によって生じる電磁場変動の取り扱いである。二つ目は、インバージョンの初期モデルの適切な選択である。これらの検証を既知の三次元電気伝導度構造と人工データを用いて行い、観測データをインバージョンプログラムに適切に効率よく適用するための基盤とする。

(2) フィリピン海で観測された電磁場データを三次元インバージョンプログラムに適用し、フィリピン海とその周辺のマントルの三次元電気伝導度構造を解明する。求めた電気伝導度構造に対しては、分解能を検証する。さらに、電気伝導度の強度に対する感度検証も行う。

(3) ソサエティー・ホットスポット周辺で観測した電磁場データを三次元インバージョンプログラムに適用し、ホットスポット周辺の上部マントル三次元電気伝導度構造を求める。データ解析の過程で、研究協力者であるブルターニュ大学のタリス博士を訪問する。本研究で使用するデータの一部はタリス博士が取得したデータであり、また、過去のデータを使って二次元電気伝導度構造も推定している(Nolasco et al., 1998)ため、訪問先でデータの解析を進め議論を行うことは、信頼性のある三次元電気伝導度構造を求める上で重要である。

4. 研究成果

(1) フィリピン海とその周辺の上部マント

ルの三次元電気伝導度構造を求める際には、対象とする領域の範囲と約 400km 間隔の観測点配置を考慮して、50km 四方の計算ブロックをインバージョン計算に使用することにした。しかしながら、フィリピン海プレートは複雑な海底地形をしているため、50km 四方の計算ブロックによって海底地形を三次元インバージョンプログラムに組み込んだだけでは (Tada et al., 2012) 海底地形による電磁場データへの歪みを反映できていない可能性がある。そこで、フィリピン海プレート内部に仮定した三次元電気伝導度構造から求めた人工データを使って、さらに細かい海底地形の補正が必要かどうか、手法の開発も含めて議論を行った (Baba et al., 2013)。その結果、計算ブロックよりも小さな規模の海底地形を考慮しなかった場合は、高電気伝導度異常体のみしか再現されなかったが、小規模地形の影響も補正することによって、低電気伝導度異常体も再現できることが分かった。このことから、フィリピン海プレートのような複雑な海底地形のある観測領域の電気伝導度構造を求める場合には、インバージョン計算に使用する計算ブロックよりも小規模な海底地形の電磁場データへの影響も補正することが重要であることが明らかになった。

(2) 上述の結果を踏まえて、フィリピン海とその周辺の 25 点で観測された電磁場データを三次元インバージョンプログラム (Tada et al., 2012; Baba et al., 2013) に適用し、上部マントルの三次元電気伝導度構造を求めた (Tada et al., under revision)。チェッカーボートテストを行った結果、410km より浅い範囲では水平方向の分解能は 500km × 500km であることが分かった。この分解能は同じ地域で求められた地震波の S 波速度構造とほぼ同程度であり (Isse et al. 2009) 海洋上部マントルにおいて三次元で地震波速度構造と電気伝導度構造を比較することができた初めての結果である。

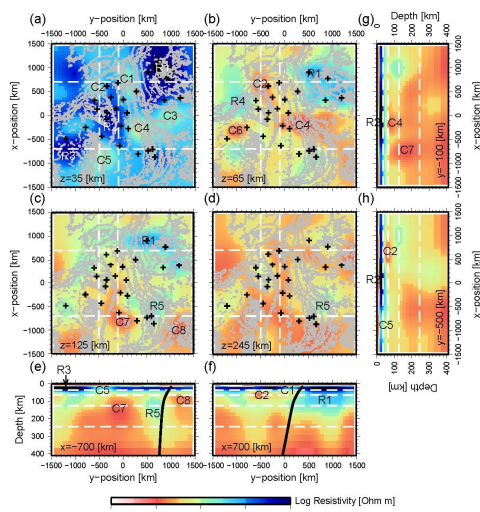


図1 フィリピン海周辺の三次元電気伝導度構造

(3) 平均値からのずれが大きな領域を、高電気伝導度異常体、低電気伝導度異常体と定義し、ずれの大きさが有意であるか感度テストを行った。その結果、フィリピン海上部マントルに比べて太平洋上部マントルの電気伝導度が有意に低いことが示された。また、伊豆小笠原島弧の下にある二つの高電気伝導度異常体の強度も、有意であることが明らかになった。これら二つの高電気伝導度異常体の位置は、地震波低速度異常の位置 (Isse et al., 2009) とほぼ同じである。

(4) フレンチポリネシアのソサエティー・ホットスポットの周囲 20 点で観測したデータをインバージョンプログラムに適用し、三次元電気伝導度構造を求めた。使用した 20 点の内、11 点がフランスの共同研修者が取得したデータで、さらに 9 点は過去のデータを再利用した。過去の観測では、電場データのみ、磁場データのみしか取得できなかった観測点が存在しており、以前の二次元構造解析の研究には用いられていなかった (Nolasco et al., 1998)。本研究では、それらのデータにも適用できるように、三次元インバージョンプログラムの改良を行った。

(5) 三次元電気伝導度構造を求めた結果、ソサエティー・ホットスポット直下には、マントル遷移層から表層まで続く高電気伝導度異常が認められた。高電気伝導度の値が全て温度に起因すると仮定した場合、岩石の高温高压実験の結果を用いると、約 400K の高温であることが分かった。この値は、地震波速度構造から得られる温度よりも高温である。従って、高電気伝導度異常体を説明するには、温度だけではなく、流体の存在も必要であることが定性的に示唆される。今後、電気伝導度構造と地震波速度構造のジョイント解釈を進めていくことによって、定量的な議論を行う。

(6) フィリピン海とフレンチポリネシアの上部マントルの三次元電気伝導度構造を地震波速度構造と比較した結果、電気伝導度の高電気伝導度異常と地震波速度の低速度異常が必ずしも一致しないということが明らかになった。この結果を踏まえて、両者の物性に対する感度を補完しあえるジョイント解釈手法の開発を進めていく予定である。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 4 件)

Kiyoshi Baba, Noriko Tada, Hisashi Utada, Weerachai Siripunvaraporn, Practical incorporation of local and regional topography in three-dimensional inversion of deep ocean magnetotelluric data, 査読有, Vol. 194, 2013, 348-361,

DOI:10.1093/gji/ggt115
Noriko Tada, Kiyoshi Baba, Weerachai Shiripunvaraporn, Makoto Uyeshima, Hisashi Utada, Approximate treatment of seafloor topographic effects in three-dimensional marine magnetotelluric inversion, 査読有, Vol. 64, 2012, 1005-1021, DOI:10.5047/eps.2012.04.005

〔学会発表〕(計 14 件)

Noriko Tada, Three-dimensional analysis technique for marine magnetotelluric method, 日本地球惑星科学連合 2013 年大会, 2013 年 5 月 22 日, 幕張メッセ, 千葉県

Noriko Tada, Kiyoshi Baba, Hisashi Utada, Three-dimensional electrical conductivity structure beneath the Philippine Sea using three-dimensional marine MT inversion dealing with topographic effect, 5th International Symposium on Three-Dimensional Electromagnetics "Future Challenges", 2013 年 5 月 9 日, 北海道大学, 北海道

Kiyoshi Baba, Noriko Tada, Hisashi Utada, Weerachai Siripunvaraporn, Practical incorporation of topography in three-dimensional inversion of marine magnetotelluric data, 21st EM Induction Workshop, 2012 年 7 月 25 日 ~7 月 31 日, Darwin, Australia

多田 訓子、笠谷 貴史、馬場 聖至、浜野 洋三、阿部 なつ江、末次 大輔、ソサエティー・ホットスポットの海底アレ観測によるトモグラフィー研究 (TIARES) 計画: 海底電磁気観測の速報、地球電磁気・地球惑星圏学会 第 130 回総会及び講演会、2011 年 11 月 5 日、神戸大学、兵庫県

Noriko Tada, Kiyoshi Baba, Hisashi Utada, Weerachai Siripunvaraporn, Makoto Uyeshima, Importance of treating seafloor topography in inversion of 3-D marine MT data, European Geosciences Union (EGU) General Assembly 2011, 2011 年 4 月 6 日, Austria Center Vienna, ウィーン

6. 研究組織

(1) 研究代表者

多田 訓子 (TADA, Noriko)
海洋研究開発機構・地球内部ダイナミクス
領域・技術研究副主任
研究者番号: 00509713