

平成 21 年 6 月 2 日現在

研究種目：特定領域研究

研究期間：2004～ 2008

課題番号：16075204

研究課題名（和文） 海底電磁気機動観測でスタグナントスラブを診る

研究課題名（英文） Imaging the stagnant slab by ocean bottom electromagnetic observation

研究代表者

氏名（アルファベット）歌田 久司（UTADA HISASHI）

所属機関・所属部局名・職名 東京大学・地震研究所・教授

研究者番号：70134632

研究成果の概要：2005 年秋から 2008 年秋までの 3 年間にわたり、フィリピン海において海底電磁気機動観測を行なった。1 年間の設置を 3 回繰り返し、のべ 39 箇所の観測とデータ取得をほぼ完全に達成した。また、既存の西太平洋地域の地磁気観測所データ・海底ケーブル電位差データの解析を進め、太平洋マントルの平均的電気伝導度モデルを更新した。海底機動観測データの解析により、フィリピン海の上部マントルおよび遷移層は太平洋やヨーロッパに比べて有意に高電気伝導度であることがわかった。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2004 年度	55,400,000	0	55,400,000
2005 年度	65,800,000	0	65,800,000
2006 年度	18,000,000	0	18,000,000
2007 年度	19,000,000	0	19,000,000
2008 年度	8,300,000	0	8,300,000
総計	166,500,000	0	166,500,000

研究分野：地球電磁気学

科研費の分科・細目：435

キーワード：地球深部スラブ，地球電磁気観測，電気伝導度，マントル遷移層，水，海底電磁力計，フィリピン海，電磁気トモグラフィー

1. 研究開始当初の背景

電気伝導度は観測に基づいて地球内部の状態を知る上で重要な物性であるにもかかわらず、深部マントルについては信頼できるモデルがほとんどなかった。海半球計画（科研費新プログラム，平成 8-13 年度）によって、はじめて西太平洋のマントル遷移層の電気伝導度が明らかにされ、さらに高解像にするための技術開発もなされた。

地震波トモグラフィーによって、スタグナントスラブが発見され、この特異な現象を多

角的に解明する機運が高まった。一方、鉍物物理の考察から、海洋プレートの沈み込みとともにマントル深部に運ばれる水は、上部マントルと下部マントルに比べ水の保持力の大きな遷移層に蓄えられる可能性が指摘された。スタグナントスラブの存在する遷移層には大量の水も存在する可能性が示唆され、それを検出する有力な方法として電磁気トモグラフィーが注目されるに至った。

我々の持つ世界最高水準の観測技術を適用すれば、上記の問題を解決できる事が期待

された。

2. 研究の目的

マントル遷移層におけるスタグナントスラブの存在は、著しい電気伝導度の不均質をもたらしていると予想されるが、我々が世界に先駆けて実用化したグローバルな電磁気トモグラフィーをもってしても、それを明らかにするためには空間分解能が不十分である。本研究の目的は、海底電磁気機動観測によるデータと既存の海半球電磁気ネットワークによる観測データとを統合して電磁気トモグラフィ解析を行い、日本およびフィリピン海を含む西太平洋域の巨大なスタグナントスラブを、電気伝導度によって十分な空間分解能をもって実体視することを目的として実施する。

3. 研究の方法

以下のような方法で目的の達成をめざす。

- (1) フィリピン海において、長期型海底電磁力計 (LOBEM) による1年間の観測を合計3回実施する。
- (2) 3回の機動観測によって得られる長期高密度観測データに既存のネットワークの長期観測データを加えて、マントル遷移層におけるスタグナントスラブに焦点をあてた電磁気トモグラフィ解析を行う。
- (3) 地震波トモグラフィ結果との直接比較により、スタグナントスラブの形状変化とその原因を解明する。
- (4) 高音高圧実験データを参照して、物理的解釈を加える。

4. 研究成果

- (1) 計画研究ウとの協力により、フィリピン海において (図1) 海底電磁気機動観測を3年間にわたって実施して、ほぼ100%の成功率でデータを回収した。我々の観測技術が世界最高水準であることを示す事ができた。
- (2) 西太平洋および周辺域における、地磁気観測所および海底ケーブル電位差データをコンパイルした。データの解析により、西太平洋下のマントルの平均的電気伝導度構造を明らかにした。高圧実験結果との比較により、この地域のマントル

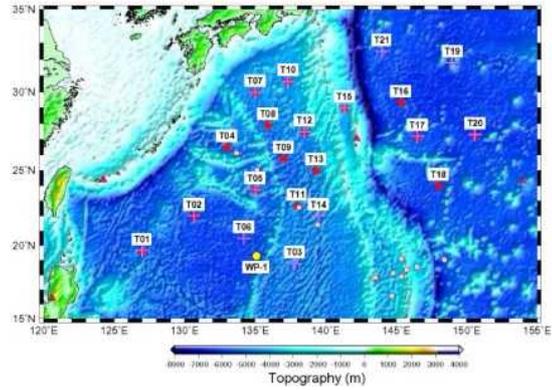


図1 フィリピン海下のスタグナントスラブのイメージングを目指した海底電磁気機動観測の観測点分布。

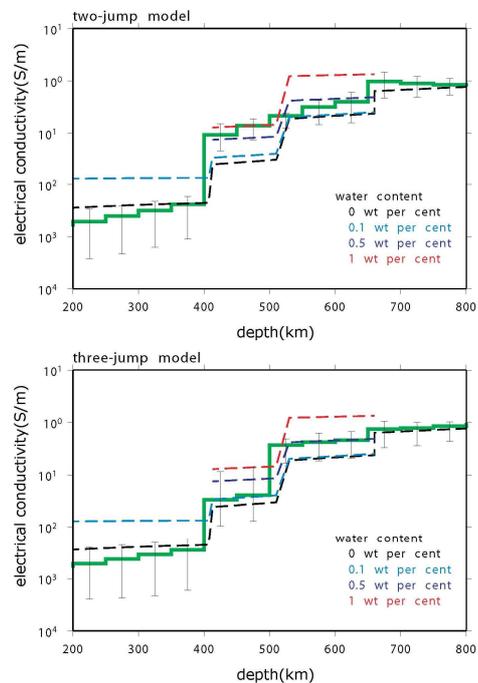


図2 太平洋のマントル深部の平均的電気伝導度構造 (緑の実線)。横軸は深さ (km)、縦軸が電気伝導度 (S/m)。上図は、電気伝導度が400kmと600kmで不連続になるという条件で求めた場合で、下図は、上に500kmの不連続条件を加えて求めた結果。破線は、異なる含水量での高温高圧実験の測定値から推定したモデル。いずれの場合も、観測から得られたモデルは水を含まない実験値 (黒い破線) よりも高電気伝導度を示す。

遷移層の平均的含水率は最大1wt.%程度であると見積もった (図2)。

(3) ヨーロッパの地磁気観測所の長期地磁気変動データを解析し、電磁気トモグラフィーによってマントル遷移層の電気伝導度イメージングを行なった。その結果、地中海の沈み込み帯から沈み込んだスラブが遷移層に存在することを示す、低電気伝導度異常を検出した。地震 P および S 波トモグラフィーから温度異常の推定を行ない、温度と電気伝導度の相関をヨーロッパと西太平洋とで比較したところ、西太平洋に比べヨーロッパのマントル遷移層には水が有意に少ないことを見出した(図3)。

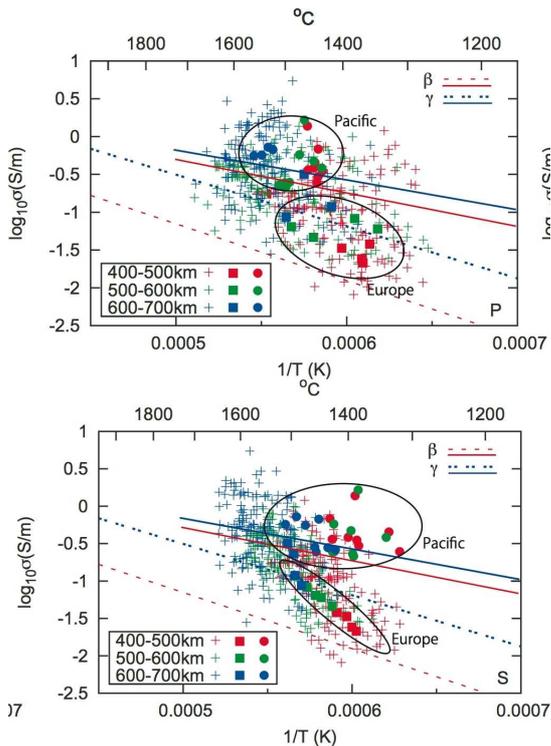


図3 ヨーロッパと西太平洋の遷移層の電気伝導度と温度との関係の比較。縦軸3次元電気伝導度に対して、横軸はP波トモグラフィー(上)とS波トモグラフィー(下)から求めた温度をプロット。いずれの場合も、ヨーロッパと西太平洋の間には傾向に大きな違いがある。この違いは、ヨーロッパの遷移層にほとんど水が存在しないとすれば説明できる。

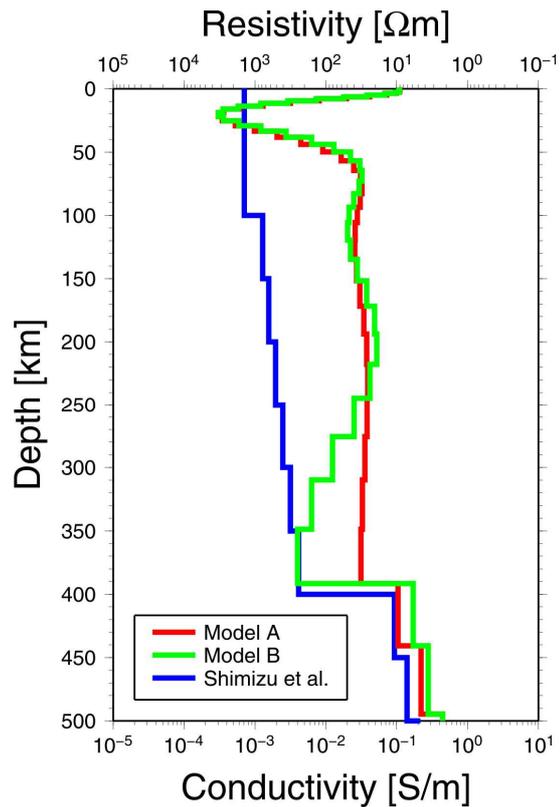


図4 フィリピン海の平均的1次元電気伝導度モデル(モデルA:赤線,モデルB:緑線)と太平洋のモデル(青線)の比較。縦軸は深さ(km)で、横軸が電気伝導度。モデルBは400 kmの不連続を先見情報として与えて求めた。図より、300-400kmの電気伝導度には1桁程度の任意性があることがわかる。一方、約50-70kmから250kmまでの間は、フィリピン海下は太平洋下よりも1桁以上高電気伝導度であることが示唆される。

(4) フィリピン海で行なった海底機動観測で得られた電磁気データを解析し、上部マントルからマントル遷移層に至る深度の電気伝導度分布を求めた。その結果、フィリピン海のマントルが太平洋に比べて著しく高電気伝導度を示す事が明らかになった(図4)。この高電気伝導度異常の原因は、沈み込みで運ばれた水が背弧の上部マントルの広範囲に分布すると考えるのが有力であるが、高温高圧実験結果を参照すると、全てを説明する事は困難である。水の効果に加え、最も電気伝導度が高くなっているいわゆるアセノスフェアの最上部は部分熔融の存在が示唆される。別の解釈として、著しい高電気伝導度の領域にはCarbonatiteの溶融体が存在する可能性

もある．今後1年のとりまとめ期間で，他の計画研究（地震，実験）との連携によりこの問題の解決を目指す．この結果は，スラブの滞留と背弧マンツルの活動の関係を解明するための極めて重要なデータをもたらしたものと考えられる．

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 23 件)

- (1) Utada, H., Koyama, T., Obayashi, M., Fukao, Y., A joint interpretation of electromagnetic and seismic tomography models suggests the mantle transition zone below Europe is dry, Earth Planet. Sci. Lett., 281, 249-257, 2009. 査読有
- (2) Shiobara, H., K. Baba, H. Utada and Y. Fukao, Ocean Bottom Array Probes Stagnant Slab Beneath the Philippine Sea, EOS, Trans. AGU, 90, No. 9, 70-71, 2009. 査読有
- (3) Seama, N., K. Baba, H. Utada, H. Toh, N. Tada, M. Ichiki and T. Matsuno, 1-D electrical conductivity structure beneath the Philippine Sea: Results from an ocean bottom magnetotelluric survey, Phys. Earth Planet. Inter., 162, 2-12, 2007. 査読有
- (4) Koyama, T., H. Shimizu, H. Utada, M. Ichiki, E. Ohtani, and R. Hae, Water Content in the Mantle Transition Zone Beneath the North Pacific Derived From the Electrical Conductivity Anomaly, AGU Geophys. Monogr. Ser., 168, 171-179, 2006. 査読有
- (5) Ichiki, M., K. Baba, M. Obayashi and H. Utada, Water content and geotherm in the upper mantle above the stagnant slab: Interpretation of electrical conductivity and seismic P-wave velocity models, Phys. Earth Planet. Inter., 155, 1-15, 2006. 査読有
- (6) Kuvshinov, A., H. Utada, D. Avdeev, and T. Koyama, 3-D modelling and analysis of *Dst* C-responses in the North Pacific Ocean region, revisited, Geophys. J. Int., 160, 505-526, 2005. 査読有
- (7) Siripunvaraporn, W., Egbert, G., Lenbury, Y. and Uyeshima, M., Three-dimensional magnetotelluric inversion: data space method, Phys. Earth Planet. Int., 150, 3-14, 2005. 査読有
- (8) Shimizu, H., and H. Utada, The feasibility of using decadal changes in the geoelectric field to probe Earth's core, Phys. Earth Planet. Int., 142, 297-319, 2004. 査読有
- (9) Fukao, Y., T. Koyama, M. Obayashi, and H. Utada, Trans-pacific temperature field in the mantle transition region derived from seismic and electromagnetic tomography, Earth Planet. Sci. Lett., 217, 425-534, 2004. 査読有

〔学会発表〕(計 90 件)

- (1) H. Utada, H. Shimizu, K. Baba, T. Koyama, On one-dimensional mantle conductivity modeling of 3-dimensional Earth, AGU 2008 Fall Meeting, San Francisco, December 15, 2008 (invited).
- (2) Shimizu H., Koyama T., Baba K., Utada H., Three-dimensional geomagnetic response functions for global and semi-global scale induction problems, International Workshop on EM induction, Beijing, October 24, 2008.
- (3) Shimizu, H., Semi-global and regional electrical conductivity models derived from inversion of electromagnetic variation data in the North Pacific Ocean and Philippine Sea, Stagnant Slab Project International Symposium, Kyoto, February 25, 2009 (invited).
- (4) Tada, N., K. Baba, W. Siripunvaraporn, M. Uyeshima, and H. Utada, Toward 3-D inversion of seafloor MT data collected by Stagnant Slab Project, Stagnant Slab Project International Symposium, Kyoto, February 26, 2009.
- (5) H. Shimizu, H. Nagao, and H. Utada, Possible Observational constraints on lateral electrical conductivity contrast in the deep mantle, International Workshop on Transport Properties in the Lower Mantle, Yunishigawa, October 23, 2008.
- (6) H. Shimizu, T. Koyama, K. Baba, H. Utada. Three dimensional geomagnetic response functions for global and semi-global scale induction problems, 日本地球惑星科学連合 2008 年大会, May 27, 2008.
- (7) 馬場聖至, 後藤忠徳, 笠谷貴史, 一北岳夫, 小山崇夫, 清水久芳, 多田訓子, 上嶋誠, 歌田久司, 海底電磁気機動観測によりスタグナントスラブを診る - 第一次観測の成果 -, 特定領域研究「地球深部スラブ」第 3 回研究シンポジウム, November 3, 2007.
- (8) Utada, H., A semi-global inversion of geomagnetic and geoelectric response functions, IUGG XXIV General Assembly, Perugia, Italy, July 6, 2007 (invited).
- (9) Baba, K., T. Goto, T. Kasaya, T. Ichikita, T. Koyama, H. Shimizu, M. Uyeshima, & H. Utada, Challenge to image deep mantle slab

- by seafloor electromagnetic survey, IUGG XXIV General Assembly, Perugia, Italy, July 6, 2007.
- (10) Utada, H., K. Baba, T. Goto, T. Kasaya, T. Ichikita, N. Tada, H. Shimizu, T. Koyama, & M. Uyeshima, Challenge to image the stagnant slab beneath the Philippine Sea by seafloor electromagnetic survey, AGU 2007 fall meeting, December 12, 2007.
- (11) Uyeshima, M., T. Ogawa, S. Koyama, S. Yamaguchi, H. Toh, H. Murakami, R. Yoshimura, N. Oshiman, T. Kasaya, T. Tanbo, & W. Siripunvaraporn, First results of Network-MT survey in Central Japan, The 18th IAGA Workshop on Electromagnetic Induction in the Earth, El Vendrell, Spain, September 23, 2006.
- (12) H. Utada, T. Goto, T. Koyama, H. Shimizu, K. Baba, Electrical conductivity in the mantle transition zone beneath the northwestern Pacific: Implication for the presence of water, International Session, 日本地球惑星科学連合2006年大会, May 15, 2006.
- (13) Koyama, T., H. Shimizu & H. Utada, Three-dimensional electrical conductivity structure in the mid-mantle beneath Europe estimated by GDS methods, IAGA Scientific Assembly, Toulouse, France, July 20, 2005.
- (14) Koyama, T., H. Shimizu, H. Utada, E. Ohtani & R. Hae, Water contents in the mantle transition zone beneath the north Pacific derived from the electrical conductivity anomaly, IAGA Scientific Assembly, Toulouse, France, July 20, 2005.
- (15) H. Utada, H. Shimizu, K. Kawaguchi, T. Goto, An ocean bottom instrument with a 10 km-long cable for long-term measurement of geo-electric field variations, IAGA General Assembly, Toulouse, July 20, 2005.
- (16) H. Utada, T. Goto, T. Koyama, H. Shimizu, M. Obayashi, Y. Fukao, Electrical Conductivity In The Mantle Transition Zone Beneath The Northwestern Part of The Pacific And Its Implication For The Presence Of Water, AGU 2005 Fall Meeting, San Francisco, December 8, 2005.
- (17) Koyama, T., H. Shimizu, H. Utada, E. Ohtani & R. Hae, Water contents in the mantle transition zone beneath the north Pacific derived from the electrical conductivity anomaly, American Geophysical Union Fall Meeting, San Francisco, USA, December 15, 2004 (INVITED).
- (18) 馬場聖至, 後藤忠徳, 島伸和, 市來雅啓, 歌田久司, 末広 潔, マリアナ沈み込み

帯上部マントルの電気伝導度構造(1)
2001-2002年海底MT観測の成果, 地球惑星科学関連学会 2004年合同大会, 千葉, 2004年5月11日.

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕
出願状況(計 0件)

取得状況(計 0件)

〔その他〕
ホームページ等
<http://eri.ndc.eri.u-tokyo.ac.jp/jp/ohrc/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

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

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

上嶋 誠 (UYESHIMA MAKOTO)

東京大学・地震研究所・准教授
研究者番号: 70212154

清水 久芳 (SHIMIZU HISAYOSHI)

東京大学・地震研究所・助教
研究者番号: 70302619

小山 崇夫 (KOYAMA TAKAO)

東京大学・地震研究所・助教
研究者番号: 00359192

藤 浩明 (TOH HIROAKI)

京都大学大学院・理学研究科・准教授
研究者番号: 40207519

後藤 忠徳 (GOTO TADANORI)

京都大学大学院・工学研究科・准教授
研究者番号: 90303685

笠谷 貴史 (KASAYA TAKAFUMI)

海洋研究開発機構・地球内部変動
研究センター・研究員

研究者番号: 90373456

(5) 研究協力者

多田 訓子 (TADA NORIKO)

海洋研究開発機構・地球内部変動
研究センター・研究員

研究者番号: 00509713