

令和元年6月3日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15H03717

研究課題名(和文) 海底拡大系から探る上部マントルの不均質構造

研究課題名(英文) Investigation on upper mantle heterogeneity through sea-floor spreading system

研究代表者

島 伸和 (Seama, Nobukazu)

神戸大学・理学研究科・教授

研究者番号：30270862

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)：南部マリアナトラフ背弧海盆の海底での長期電磁場観測データを解析することで得られた上部マントル比抵抗構造モデルから、この拡大軸下には拡大軸に対して非対称な低比抵抗帯を含む、非対称な比抵抗構造が存在することを明らかにした。この系では非対称な海洋底拡大をしており、明らかにした非対称な比抵抗構造との関係を吟味し、背弧拡大の変遷を示す数値モデリングの結果とも比較検討することで、非対称な海洋底拡大のモデルを提案した。具体的には、スラブから脱水した水により、上部マントルに不均質な粘性低下が生じ、このため非対称な海洋底拡大を引き起こし、この結果として、非対称な比抵抗構造が観測されるというモデルである。

研究成果の学術的意義や社会的意義

背弧海盆の形成では、その初期には非対称な海洋底拡大を伴っていることが多い。上部マントルの拡大軸に対しての非対称な比抵抗構造と、背弧拡大の変遷を示す数値モデリングの結果から、非対称な海洋底拡大の要因を説明するモデルを提案し、背弧海盆形成の新しい知見が得られた。すなわち、スラブから脱水した水により上部マントルに不均質な構造が生じ、水による粘性低下などにより、非対称な海洋底拡大が起こることが分かった。

研究成果の概要(英文)：Our main results of 2-D electrical resistivity structure and of numerical simulation lead us to propose a hypothesis that the low viscosity region in the mantle wedge due to hydration driven by water release from the subducting slab results in highly asymmetric seafloor spreading, which is commonly recognized in many back-arc basins. The resistivity structure was imaged through marine magnetotelluric experiment across a spreading segment in the Southern Mariana Trough back-arc basin. This result shows that a low resistivity region exists beneath the spreading axis and is asymmetrically extended to the subducting slab; the low resistivity region is interpreted as asymmetric melting in the mantle wedge due to hydration driven by water release from the subducting slab. Further, numerical simulation results indicate that the spreading axis is kept locating above the low viscosity mantle zone that capture the mantle upwelling zone due to water release from the subducting slab.

研究分野：海底物理学

キーワード：海洋底地球科学 上部マントル比抵抗構造 マントル不均質 海底拡大系 背弧海盆

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

物質的に均質なマントルが対流するという1次近似的な地球モデルで、固体地球の多くの現象を説明してきた。すなわち、海洋リソスフェアが、海底拡大系で形成され、年代とともに冷却し、海溝で沈み込むことで、固体地球の大循環を担っている。これに伴って、例えば、沈み込み帯では地震発生等の諸現象を引き起こすというような1次近似的な理解ができています。固体地球の諸現象や固体地球の進化過程をさらに踏み込んで理解するには、マントルが不均質であり、その不均質性とスケールの把握が欠かせない。そのための情報は主として同位体などの地球化学データからもたらされてきた。例えば、中央海嶺玄武岩の分析から、海洋マントルに不均質性があることが指摘されている (Graham et al., 2006)。しかしながら、地球化学的データは、マントル内部の様々なスケールで起きる分化と混合過程を重ね合わせたものであり、解釈が一義的でない。このため、地球化学的データから正しいモデルを導くには、マントルの不均質性のスケールや物質科学的側面を知ることが必要である。一方、地球物理学的観測から得られる不均質構造 (一次元構造からのずれである異常構造) は、温度異常や溶融などの状態の違いとして解釈されることが普通であり、この違いが物質的な要因であることを強く言及できる例は限られている。

海底拡大系は、直下のマントルの不均質性を調べる窓の役割を果たすと考えている。海底拡大系では、離れていく2つのプレート間を埋めるようにマントル物質が上昇し、圧力減少にもなってメルトが生じ溶融帯を形成する。生じたメルトは、溶融帯からマグマだまりに移動し、最終的に海洋地殻へと固化していく。この時の海洋性地殻形成プロセスは、海底拡大速度とメルト供給量の割合に大きく規制されると考えられており、海底拡大速度が一定であれば、海洋性地殻形成の違いが、メルト供給量変化の要因であるマントルの不均質構造を探る指標となる。より具体的には、メルト供給量は、マントルの温度やソリダスを決める岩石組成、含水量により変化するので、上部マントルにおける岩石組成、含水量の不均質構造を反映していると考えられる。

海底下の上部マントル比抵抗構造が、海底長期電磁気観測により、最近ようやく精度よくイメージできるようになってきている。中部マリアナトラフ背弧海盆の海底拡大系においても、拡大軸下の上部マントル比抵抗構造を明らかにしており、その特徴から地球科学的な知見が得られてきた (Matsuno et al., 2010; 2012)。このように、拡大軸下の上部マントル比抵抗構造から、溶融に関する情報や含水量の情報を引き出すことが可能となってきており、これらの情報を引き出すのに有力なツールであることを示していた。

2. 研究の目的

本研究では、マントル内部の不均質がマグマ供給量の変化として直接的に反映する海底拡大系を、直下のマントルの不均質性を調べる窓として活用する。具体的には、強いマントル不均質性が示唆されているマリアナトラフ背弧海盆において、その海底拡大軸下の上部マントル比抵抗構造を調べると同時に、比抵抗構造以外の地球物理学的データの解析や、数値モデリングおよび岩石試料の分析も実施してマントル不均質の現状把握とその成因を推定することが目的である。

3. 研究の方法

マントル不均質の現状把握とその成因の推定を、次の5つの研究方法によって進めた。

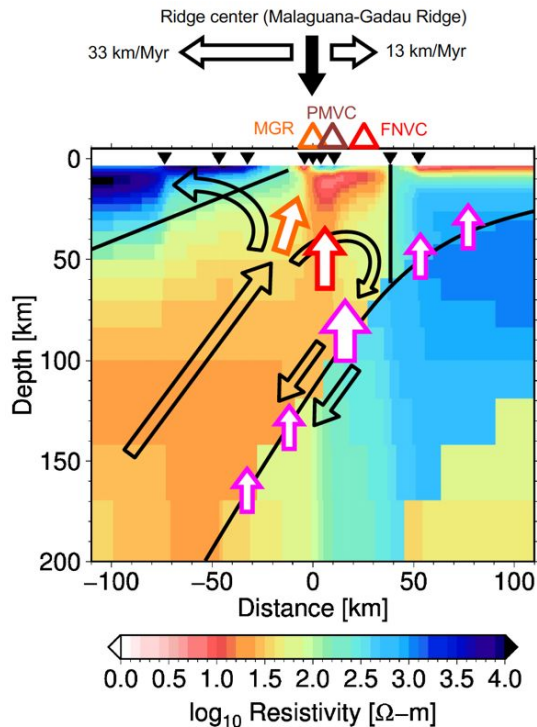
- (1) 南部マリアナトラフ背弧海盆で得られた長期電磁場観測データを解析することで、上部マントル比抵抗構造を推定した。
- (2) 海洋プレートの沈み込みに伴う脱水、さらに水輸送と水によるマントル粘性の低下を考慮した数値モデリング手法を開発し、背弧拡大の変遷の数値モデリングを実施してモデルの作成を行った。
- (3) マリアナトラフ背弧海盆を含む背弧海盆の地殻構造に注目し、上部海洋地殻の地震波速度構造の空間的变化を調べた。
- (4) (1)のように海底下の上部マントル比抵抗構造を推定するために必要な観測機器の開発と、得られた海底での電磁場データの新たな解析手法の開発を行った。
- (5) 北部マリアナトラフ背弧海盆で過去に採取されたマントルかんらん岩試料の化学組成分析を行った。

なお、中南部マリアナトラフ背弧海盆の海底における長期電磁場観測および海底岩石試料の採取のために必要な研究航海計画を策定し、(独)海洋研究開発機構の研究船利用公募課題などを利用した研究航海の実施を模索したが実現しなかった。

4. 研究成果

「研究の方法」で述べた5つの研究方法に対応して、次のような成果を得た。

- (1) 南部マリアナトラフ背弧海盆で得られた長期電磁場観測データを解析することで、信頼性の高い上部マントル比抵抗構造モデルが得られた(下図)。地殻の厚さが平均的に厚い南部マリアナトラフ背弧海盆では、その拡大軸下には溶融帯と解釈できる明瞭な低比抵抗帯が存在する。さらにその低比抵抗帯が拡大軸に対して非対称性、すなわちその中心が海溝側にあり、その下部は古島弧側のみ広がりを持つ非対称性を示すことが分かった。この結果は、地殻の厚さが海嶺セグメント中央のみ厚い中部マリアナトラフ背弧海盆の拡大軸下の上部マントル比抵抗構造とは大きく異なっている。
- (2) (1)により南部マリアナトラフ背弧海盆には、この拡大軸下に拡大軸に対して非対称な低比抵抗帯を含む、非対称な比抵抗構造が存在することを明らかにしたが、この系ではこれまでの研究により非対称な海洋底拡大をしていることが分かっている。この非対称な比抵抗構造と非対称な海洋底拡大との関係を吟味し、水輸送と水によるマントル粘性の低下を考慮した背弧拡大の変遷の数値モデリングの結果とも比較検討することで、非対称な海洋底拡大のモデルを提案した。具体的には、スラブから脱水した水により、上部マントルに不均質な粘性低下が生じ、このため非対称な海洋底拡大を引き起こし、この結果として、非対称な比抵抗構造が観測されるというモデルである。
- (3) マリアナトラフ背弧海盆を含む伊豆・小笠原・マリアナ弧 (IBM 弧) の背弧海盆の地殻構造に注目し、上部海洋地殻の地震波 (P 波) 速度構造の空間的变化を調べた。背弧海盆の上部地殻の P 波速度構造は layer2 の厚さと速度勾配によって、1) 中央海嶺で形成された地殻と同じ標準的な構造を示すグループ、2) 約 3 km の厚い layer2 をもち、速度勾配が小さいために同じ深さでより低速度な構造を示すグループ、3) 2つの中間的なグループ、の3つのグループに分けられた。2)の低速度構造や3)の中間的構造を示す海洋地殻は、いずれも形成された年代が相対的に古く、拡大軸がスラブの直上付近に位置していると考えられる背弧拡大の初期に、スラブ沈み込みの影響を受けて形成された地殻であることを示唆している。その理由は、低速度構造は地殻の高空隙率に起因すると考えられ、高空隙率の地殻は、沈み込むスラブから供給された水により上部マントルに不均質が生じ、この水を含んだマグマにより形成されたと推測できるからである。
- (4) 海底下の上部マントル比抵抗構造を推定するために必要な観測機器の開発と、得られた海底での電磁場データの新たな解析手法の開発を行った。まず、既存の大型の海底電位差磁力計 (OBEM) を改造して小型化し、機動的な観測に対応できるようにした。さらに、海底磁力計を新規に開発し、世界最小の海底磁力計として完成させた。この磁力計は、現在使用している海底電位差磁力計の磁力計と同程度の測定精度を省電力で実現しており、5 Hz のサンプリングレートで約7ヶ月の観測を2本のリチウム電池で実施できる。また、そのサイズが十分に小さいため、海底地震計のような海底長期観測機器に取り付けることが可能であり、今後の上部マントル比抵抗構造の推定に必要な観測の機会を増やすことにつながった。一方、拡散場の影響の大きな電磁気探査では波動理論の適用範囲が狭められているが、仮想領域空間経路での電磁気観測データの波動論的解析手法を開発し、シミュレーションデータを用いて、この手法による海域等での実データへの適用性を検証した。
- (5) 北部マリアナトラフ背弧海盆で過去に採取されたマントルかんらん岩試料 (35 試料) について岩石研磨薄片を作成し、岩石記載と化学組成分析を行った。この結果、かんらん岩は主にハルツバージャイトとダナイトであり、そのほとんどが蛇紋岩化作用を受け、いくつかのハルツバージャイト試料は岩脈の貫入を受けていた。また、かんらん岩中のスピネルの化学組成 Cr#の値は約 0.25-0.55 を示し、これまで報告されてきた値よりも広い組成幅であり、マリアナ背弧海盆下でのマントル溶融過程のバリエーションを示唆することなどが分かった。



5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計7件)

Nakagawa, T. and Nakakuki, T., Dynamics in the Uppermost Lower Mantle: Insights into

the Deep Mantle Water Cycle Based on the Numerical Modeling of Subducted Slabs and Global-Scale Mantle Dynamics, 47, 41-66, doi: 10.1146/annurev-earth-053018-060305, 2019, 査読有.

Ogawa, K., T. Matsuno, H. Ichihara, K. Nakahigashi and N. Seama, A New Miniaturized Magnetometer System for Long-Term Distributed Observation on the Seafloor, Earth Planets Space, 70:111, doi:10.1186/s40623-018-0877-6, 2018, 査読有.

Nakao, A., Iwamori, H., Nakakuki, T., Suzuki, Y. and Nakamura, H., Roles of Hydrous Lithospheric Mantle in Deep Water Transportation and Subduction Dynamics, Geophysical Research Letters, 45, 5336-5343, doi: 10.1029/2017GL076953, 2018, 査読有.

Nakagawa, T., Mikada, H. and Takekawa, J., Damage Detection on Invisible Reverse Side of Planar Steel Using Disturbance Measurement of Magnetic Flux, 80th EAGE Conference and Exhibition 2018, doi: 10.3997/2214-4609.201801296, 2018, 査読有.

Amani, S., Mikada, H. and Takekawa, J., Simulation and Imaging of CSEM Data using Fictitious Domain, Asia Petroleum Geoscience Conference and Exhibition, 51-55, doi: 10.3997/2214-4609.201802919, 2018, 査読有.

Amani, S., Mikada, H. and Takekawa, J., Reservoir Monitoring by CSEM Data: A Fictitious Domain Strategy, Offshore Technology Conference, doi: 10.4043/28274-MS, 2017, 査読無.

Kikuchi K.K., Mikada H., Takekawa J.T., Applicability of Phased Array Antenna to Ground Penetrating Radar for Subsurface Imaging Below Surface Obstacles, Proc. 78th EAGE Conference and Exhibition 2016, doi: 10.3997/2214-4609.201601400, 2016, 査読無.

[学会発表](計 11 件)

島伸和・中久喜伴益・松野哲男・沖野郷子, 背弧海盆の非対称拡大を説明する仮説: 南マリアナトラフでの観測事実と数値シミュレーション, 日本地球惑星科学連合 2018 年大会, 2018 年.

Matsuno, T., and N. Seama, Seafloor electromagnetic investigations of the upper mantle of the Mariana back-arc spreading and subduction system, Japan Geoscience Union Meeting 2018, 2018.

松野哲男・島伸和・新藤悠・野木義史・沖野郷子, 南部マリアナ背弧拡大海嶺下の上部マントル比抵抗構造の解明, 地球電磁気・地球惑星圏学会 第 144 回総会及び講演会, 2018 年.

古川優和・島伸和・高橋成実・海宝由佳・小平秀一, 伊豆・小笠原・マリアナ弧の背弧海盆で見られる 2 種類の上層海洋地殻地震波速度構造, 日本地球惑星科学連合 2017 年大会, 2017 年.

島伸和・中久喜伴益・松野哲男・沖野郷子, 背弧海盆の非対称拡大はどのようにして起こるのか? -南マリアナトラフでの観測事実と数値シミュレーション-, 海洋リソスフェアの蛇紋岩化作用と物理・化学・生物プロセス~InterRidge-Japan 研究集会~, 2017 年.

Matsuno, T., N. Seama, H. Shindo, Y. Nogi and K. Okino, Enhanced and asymmetric melting beneath the southern Mariana back-arc spreading ridge under the influence of the Pacific plate subduction, American Geophysical Union 2017 Fall Meeting, 2017.

Seama, N., Mantle heterogeneity beneath the Mariana Trough Back-Arc Basin, Collaborative research in global ocean and subduction - Toward Pacific Array, 2017.

松野哲男・島伸和・新藤悠・野木義史・沖野郷子, 太平洋プレートの沈み込みの影響を受けた南部マリアナ背弧拡大海嶺下の豊富で非対称な部分熔融, 日本地球惑星科学連合 2016 年大会, 2016 年.

菊池海斗・三ヶ田均・武川順一, 不均質地下構造探査への位相アレイ型地中レーダ適用性の研究, 平成 28 年度資源・素材関係学協会合同秋季大会, 2016 年.

Matsuno, T., N. Seama, H. Shindo, Y. Nogi and K. Okino, Enhanced and asymmetric melting beneath the southern Mariana back-arc spreading ridge, influenced by the subduction of the Pacific plate, 23rd Electromagnetic Induction Workshop, 2016.

Matsuno, T. and N. Seama, A review of electromagnetic approaches to the seafloor spreading ridge system, InterRidge Theoretical Institute on "Magmatic and Tectonic Processes and Seabed Resources at Mid-Ocean Ridges", 2015. (Invited)

6 . 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名: 三ヶ田 均

ローマ字氏名: Mikada, Hitoshi

所属研究機関名：京都大学
部局名：工学研究科
職名：教授
研究者番号（8桁）：10239197

研究分担者氏名：松野 哲男
ローマ字氏名：Matsuno, Tetsuo
所属研究機関名：神戸大学
部局名：海洋底探査センター
職名：特命講師
研究者番号（8桁）：80512508

(2)研究協力者

研究協力者氏名：中久喜 伴益
ローマ字氏名：Nakakuki, Tomoeki

研究協力者氏名：中東 和夫
ローマ字氏名：Nakahigashi, Kazuo

研究協力者氏名：野木 義史
ローマ字氏名：Nogi, Yoshifumi

研究協力者氏名：森下 知晃
ローマ字氏名：Morishita, Tomoaki

研究協力者氏名：佐藤 暢
ローマ字氏名：Sato, Hiroshi

研究協力者氏名：針金 由美子
ローマ字氏名：Harigane, Yumiko

研究協力者氏名：小川 和律
ローマ字氏名：Ogawa, Kazunori

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。