

令和元年6月20日現在

機関番号：82706

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K05278

研究課題名(和文) 日本海溝に沈み込む太平洋プレートの磁化構造と海洋プレートの改変過程

研究課題名(英文) Magnetization of the subducting Pacific Plate and tectonic processes of the oceanic plate

研究代表者

富士原 敏也 (FUJIWARA, Toshiya)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・地震津波海域観測研究開発センター・主任技術研究員

研究者番号：30359129

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：日本海溝周辺で観測される縞状地磁気異常から、太平洋プレートの磁化構造と、その構造の地域的変化を調べた。海洋プレートが海溝から地球内部に沈み込むと、磁化は徐々に減少することがわかった。その海洋プレートの磁化は、沈み込む直前から、海洋プレート上部の変形、正断層群の発達と対応して減少しているようにも見えるが、地域的な変動幅も大きく、現段階では明らかではない。磁化減少の原因として、磁化層の断層による破碎、磁化層の化学変成、温度による消磁等が考えられる。今後、磁化構造の地域的変化、地質、地震活動や地殻構造等との関連性など参照しながら原因を検証するとともに、海洋プレートの改変過程の考察を進めていく。

研究成果の学術的意義や社会的意義

岩石磁気的な性質を利用して海溝に沈み込む前後の海洋プレートの改変過程を広域的に調べることができる点が、学術的な意義として挙げられる。また、沈み込み帯における地磁気異常の研究は、海洋プレート生成域である中央海嶺での研究に比べて数多くなく、希少価値のある先駆的研究といえるかもしれない。沈み込み前の海洋プレートの状態がプレート沈み込み帯で起こる巨大地震や火山噴火等の諸現象に影響するとの考えがあり、海溝の海側で生じる地学的過程と沈み込みプレート境界への影響について議論されている。社会的関心も高い自然現象の理解のための基盤的知識を提供できることで、社会的な意義がある。

研究成果の概要(英文)：We examined magnetization of the Pacific Plate and regional variations of the magnetization calculated from marine magnetic anomaly observed around the Japan Trench. We found the magnetization intensity gradually decreases as the plate subduction proceeds, from the trench deep in the earth. Low magnetization appears on the seaward slope near the trench associated with the plate bending and normal faulting. However, wide regional variations in the magnetization prevent the final conclusion. Possible causes of the demagnetization are destruction and disorganization of the magnetic layer by faulting, chemical alteration of the magnetic layer by infiltration, and/or thermal demagnetization. We examine the cause of demagnetization in consideration of regional variations of magnetization, geology, seismic activity, and crustal structure, and we study tectonic processes of the oceanic plate as the future study.

研究分野：地球物理学

キーワード：地磁気異常 磁化構造 岩石磁気 太平洋プレート 日本海溝 ホルスト-グラーパーベン プレート沈み込み

1. 研究開始当初の背景

(1) 沈み込む海洋プレートによる地磁気異常

海洋プレートは中央海嶺で形成された時に磁化され、断層運動による磁化層の破碎や転置等の物理的変更、熱水による酸化等の化学的変成を受け、磁化は変化する。磁化構造は、海洋プレートの性質・状態、その時空間変動は改変過程を知る1つの指標となる。海洋プレートの磁化のため、海上では縞状地磁気異常が観測される(図1(a))。海洋プレートは海溝に沈み込んだ後も“見える”。縞状地磁気異常は海溝軸を越えて陸側斜面上でも観測される。ただし、縞状異常の振幅は、海溝から陸側に向けて徐々に減衰する。地磁気異常の振幅減衰の原因は、プレートの沈み込みに伴って、磁化層である海洋プレート上面までの距離が増大するためである。距離増大による地磁気異常の減衰効果は、精度の高い地殻構造データがあれば補正でき、磁化構造に変換できる。したがって磁化構造から、海洋プレートが沈み込み“後”に受けた構造、物理・化学変化を考察することができる。研究代表者らは日本海溝に沈み込む太平洋プレートの磁化構造について先行研究[富士原他, 月刊地球 2005]を行ってきたが、先行研究から地磁気異常観測データの質・量、磁化構造解析方法の改良を図る必要性があった。

(2) 海洋プレートの改変過程と沈み込み帯における諸現象

沈み込む前の海洋プレートの状態が、沈み込み帯における地震などの諸現象に影響するとの考えがあり、海溝の海側で生じる改変過程と沈み込み境界への影響について議論されるようになった。2011年東北地方太平洋沖地震が起こり、日本海溝から東北日本弧の地球科学的現象が顕在化した。地震後、緊急的に数多くの調査が行われ、地震時地殻・海底変動の地域性[例えば Fujiwara et al., Science 2011]など、情報量と質も向上した観測報告がなされた。

2. 研究の目的

日本海溝の海溝海側斜面から海溝陸側に沈み込む太平洋プレートの磁化構造と、その構造の地域的变化を明らかにする。沈み込む“前”の海洋プレートの状態を明確に理解すること、沈み込む“直前”そして“後”の海洋プレートの構造・状態変化、その地域性、海洋プレート側の構造が、地質や地震活動等の沈み込み帯の地球科学現象と如何に関連しているかを議論する。

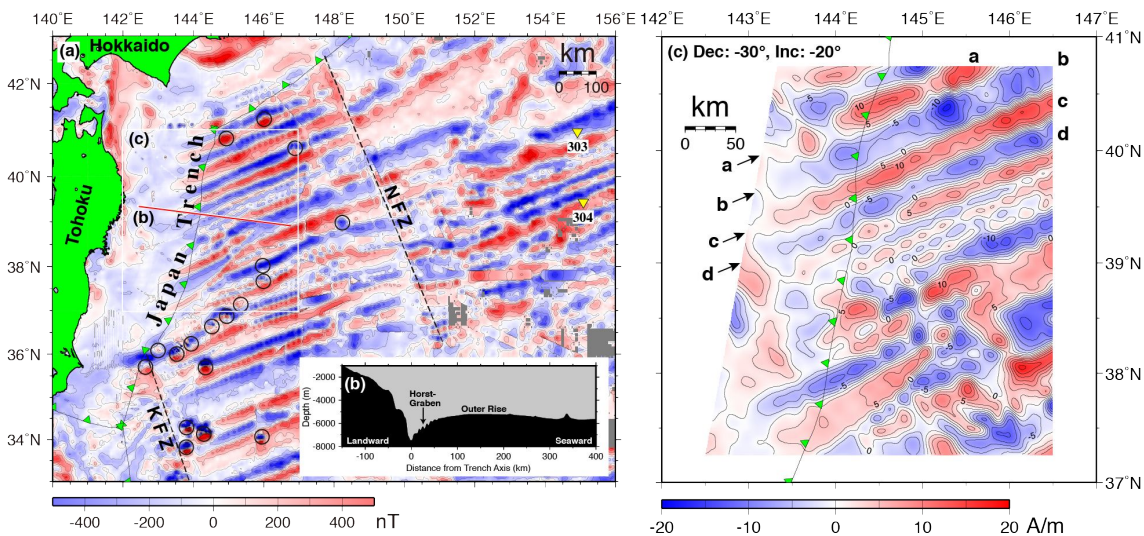


図1 (a) 日本海溝に沈み込む太平洋プレートの地磁気異常。赤色は正異常、青色は負異常を示す。三角がついた線は海溝軸の位置を示している。黒丸は海山の位置を示す。破線は断裂帯をトレースしている。NFZ: 納沙布断裂帯、KFZ: 鹿島断裂帯。図中(b)の赤線は地形断面、(c)の白四角は磁化構造解析の範囲を示す。(b) 日本海溝を横断する地形断面 (V.E. 25)。(c) 磁化偏角-30°、磁化伏角-20°と仮定して計算された磁化構造。赤色は仮定した磁化方向に平行な正帯磁、青色は逆帯磁を示す、コンター間隔は2.5 A/m。図中のアルファベットは図2で示す地磁気リネーション。

3. 研究の方法

(1) 地磁気異常観測データの編集と取得

本研究では高精度の地磁気異常振幅データが必要である。利用できる地磁気異常観測データを収集し、これらを編集し、データに含まれるノイズの評価・除去を行い、高精度地磁気異常グリッドデータの作成を行う。日本列島に近い日本海溝から陸側斜面域では、産業技術総合研究所によってグリッドデータにまとめられている。また、海上保安庁海洋情報部の調査データ

が利用可能である。日本海溝から海側はるか沖にかけては、これまでに研究代表者らが調査したデータ[富士原他, 2005; Fujiwara et al., GRL 2007]と、他にアメリカ地球物理データセンター (National Geophysical Data Center: NGDC) から得られるデータがある。NGDC に収録されているデータには取得された時代が古いものが含まれているため、ノイズの評価・除去が必要である。日本海溝海側斜面の地磁気データ量は圧倒的に少なく、更なるデータ収集が必要である。本研究期間内にも調査航海の機会を捉えて地磁気異常データを取得する。

(2) 磁化層構造モデルの構築

磁化強度解析には磁化層構造の設定が必要である。磁化層上面である海洋地殻上面までの距離を測るため、海溝海側斜面では深海掘削研究の結果および反射法地震波記録を収集する。海溝陸側斜面で磁化層上面までの距離は、屈折法地震波速度構造および反射法地震波記録から海洋地殻上面を読み取る。2011年東北地方太平洋沖地震後の緊急調査により、海溝から陸側斜面の海底地形、沈み込む太平洋プレートの地殻構造データが飛躍的に増加した。特に北緯 38°~39°間は 20 km 間隔に海溝を横断する反射法地震探査プロファイルが得られ、沈み込む太平洋プレートがイメージされた。これらの新規データを取り込んで、精度のよい磁化層構造モデルを構築する。本研究期間内にも調査航海の機会を捉えて地殻構造データを取得する。

(3) 磁化構造解析方法の検討と評価

磁化層までの距離、海底地形 (水深) の影響を補正するために、地磁気異常から磁化強度分布を計算する。磁化強度計算にフーリエ変換を用いたインバージョン方法を用いる。このインバージョン方法は磁化層深度が平均深度を中心に微小変化することを仮定しているため、沈み込みにより磁化層の深度が大きく変化する本研究域では、解析域を磁化層深度が海底下約 20 km までの範囲までとする。インバージョンの際の解の不安定になる人工的な短波長の地磁気異常の影響を抑えるために、フィルターの帯域を 10-20 km~120-150 km に設定する。

(4) 海洋プレートの磁化構造と沈み込み帯における諸現象を議論

海溝海側斜面で同磁極に沿った磁化強度変化 (形成時磁化構造の地域性) 海溝軸からの距離に応じた磁化強度変化 (沈み込み直前のプレートの変形に伴う変化) プレート沈み込み帯での磁化強度変化 (沈み込みに伴う変化) に着目して議論する。得られた磁化構造を他の地球物理学的・地質学的観測データ、構造モデルと比較し、海洋プレートの蛇紋岩化、断層分布・構造など統合した解釈を行う。

4. 研究成果

(1) 海溝海側の磁化強度分布

データ編集に際して、海側はるか沖では NGDC データの測線 (観測点) が近接する場所で、測定誤差、地球磁場の時間変動等を原因とする短波長の人工的な地磁気異常が現れる。また測線分布が疎な部分ではグリッド化の際に、局所的な極大、極小の地磁気異常を作ってしまう場所もあり、更なるノイズの評価・除去が必要であった。したがって、良質なデータが揃った図 1(c) に示す範囲で磁化構造を求めた。同磁極に沿った磁化強度変化を見ると、海溝海側斜面では 50-200 km の幅で磁化強度が変動していることがわかった。

局所的な強磁化帯は、この海洋地殻が過去に中央海嶺で形成された時の構造線を示唆している。現行の中央海嶺では中央海嶺軸の小さなずれが起源の非トランスフォーム不連続やトランスフォーム断層の場所で高磁化が現れる傾向があり、それが海嶺斜面に強磁化帯となって連続することが知られている。したがって、同磁極に沿った磁化強度変化は、沈み込み前の海洋プレートの構造を知るために重要な情報であり、それは地殻 (形成時) 構造の不連続線で、そこは力学的な弱線、あるいは変成、(例えば) 蛇紋岩化が促進される場所になりうる。しかしながら、地殻・海洋プレート構造、テクトニクスの解釈に関して重要な情報である海底地形のリニエーション構造の把握は、古い海洋底においては堆積層の被覆があり、容易ではない。また、海溝から沈み込んでしまっている部分があるので、テクトニクスの理解は困難である。議論の精度を上げるためには、堆積層下の基盤形状のための反射法調査や、より詳細な地磁気異常分布データ、可能であれば岩石試料の採取、観測情報量と質を上げる必要がある。磁化構造の正断層の発達程度の違い、プレート沈み込み後の上盤プレートとの固着・摩擦状態の違いにより、磁化強度変化の地域性は見られる可能性がある。したがって、磁化強度変化の地域性については今後、詳細な検討の余地がある。

(2) プレート沈み込みによる磁化強度変化

磁化強度は、海洋プレートの沈み込みに伴って、徐々に減少することがわかった (図 2)。正帯磁、逆帯磁ともに、海溝軸から陸側へ約 100 km、磁化層上面の深度が約 20 km に達するまでに、ほぼ 0 A/m に近づく。磁化強度の減衰度合いに、例えば北側と南側地域での違いなど、地域性は本結果からは明瞭ではない。図 2 の右側は解析域北側の、同じ磁極期のため同じ磁場強度の元で形成されたと考えられる、磁化構造のリニエーションに沿って磁化強度変化を見たものである。局所的な極大・極小の影響を軽減するように平滑化していくと (図 2(e) さらに 2(f))

正断層群であるホルスト-グラーベン構造が発達して (図 1(b))、その正断層の落差が大きくなった距離 (海側約 50 km) から、磁化強度が落ちているように見える。沈み込む直前の海洋プレートの変形に対応して、磁化強度の低下が関係していることを示唆するが、地域的な変動幅も大きく (図 2(a)-(d))、現段階では明らかではない。磁化強度の減少は沈み込みの直後からより急激になる。

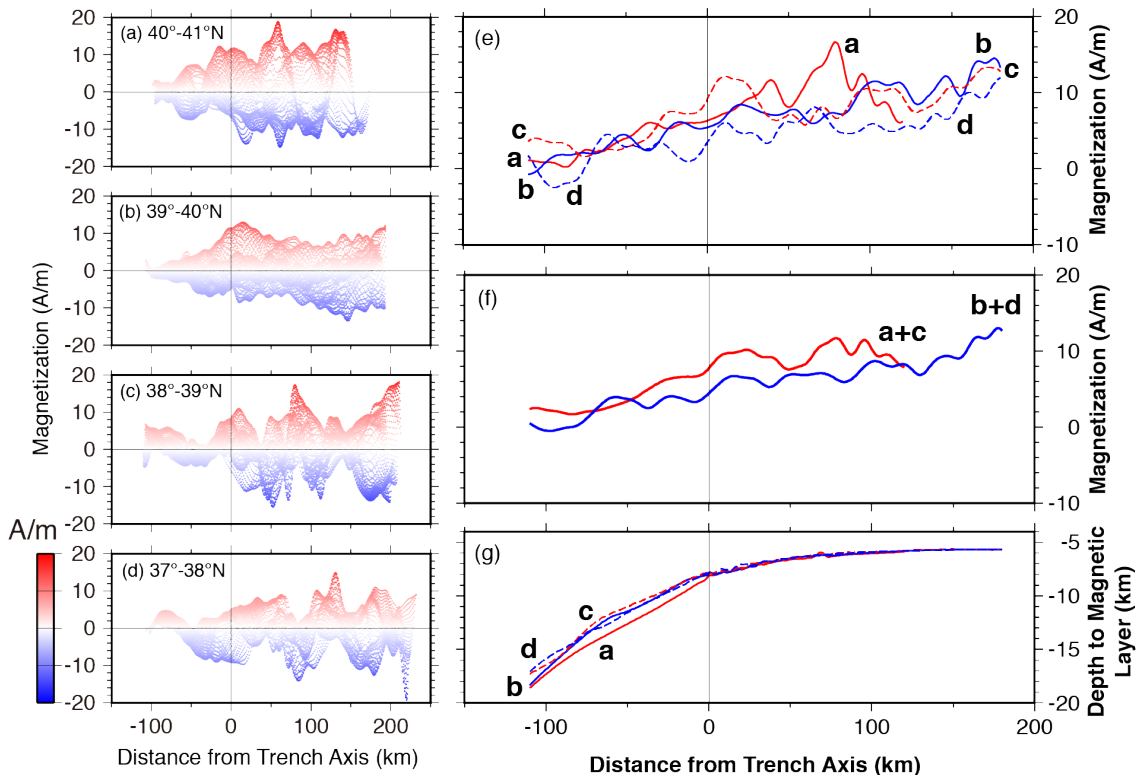


図 2 左図は海溝軸からの距離と磁化強度分布。0 km は海溝軸を表し、海側が正方向。赤点は仮定した磁化方向に平行な正帯磁、青点は逆帯磁を示す。それぞれ(a) 北緯 40°~41°、(b) 北緯 39°~40°、(c) 北緯 38°~39°、(d) 北緯 37°~38°の地域。右図は(e) (f) 地磁気リニエーションに沿った方向の磁化強度分布と(g) 磁化層上面深度。(e) は磁化強度を約 20 km 幅で平滑化したもので、赤線は仮定した磁化方向に平行な正帯磁、青線は逆帯磁を示す、逆帯磁は符号を反転させている。図中のアルファベットは、図 1(c) で示す地磁気リニエーション、c と d のプロファイルは破線である。(f) はさらに同帯磁域どうしをスタックしたものの。

(3) 海洋地殻起源玄武岩の岩石磁気研究

参考情報とするために、海洋地殻起源の玄武岩の岩石磁気研究を行った。日本海溝海側の海底で採取された玄武岩試料の岩石磁気測定、化学組成分析、弾性波速度・比抵抗・密度の物性測定を行った。また、高知県の四万十帯中の興津メランジェ中に産出している玄武岩帯の岩石磁気研究を行った。この玄武岩帯は、過去の沈み込み帯プレート境界で地震発生帯の断層だった地層が現在では陸上に露出している場所とされており、沈み込み後の海洋地殻磁化についての参考ができると考えられる。玄武岩試料の岩石磁気測定、化学組成分析、密度測定を行った結果、断層に沿って断層付近幅数メートルにわたり限定的に低磁化に変成していることがわかった。低磁化の原因は、地震発生時の摩擦熱により熱水循環が起こり、磁性鉱物を流失、あるいは他鉱物へ変成させた可能性があげられるが、確定的ではない。

(4) 2011 年東北地方太平洋沖地震による海底地形変動

研究期間内に日本海溝周辺海域の調査航海の機会を得て、本研究に関連する海底地形、反射法地震波探査、サブトムプロファイラ、重力・地磁気異常データを取得し、今後の研究につながる観測データの質と量の向上をすることができた。海底地形については、日本海溝海側と陸側の東北日本の地質現象や地震活動との関連性を調べる目的で、2011 年東北地方太平洋沖地震による津波の沿岸における高さが最大であった三陸沖の地震後の海底地形を取得した。地震前海底地形との測深差を取ることで、地震による海底地形変動を調べ、津波波源について議論した[Fujiwara et al., 2017] (5 章参照)。

(5) 学術的な波及効果

沈み込み帯における地磁気異常の研究は、海洋プレート生成域である中央海嶺での研究に比べて数多くなく、あまり行われてこなかった。本研究以降、追隨的な研究が行われるようになった。本研究とは異なる結果の考察や、他の沈み込み帯への適用がされている[例えば Choe and

Dyment, AGU Fall Meeting 2017; 2018]。海溝型巨大地震後の海底地形変動研究についても、他の沈み込み帯、他の地震へ適用した研究が行われるようになった[例えば Maksymowicz et al., Sci. Rep. 2017]。今後、研究例が増えることによって、これらの分野の理解の深化が期待される。

(6) 社会・国民への発信に関する成果

社会・国民への発信に関する成果として、展覧会の展示と図書の共同執筆に関わった。海洋研究開発機構が国立科学博物館、NHK、NHK プロモーション、読売新聞社と共同主催した特別展「深海 2017」の展示物の監修、出版物の執筆に関わり、2011 年東北地方太平洋沖地震についての展示を担当した。海洋底科学研究の最新の基礎知識を網羅する解説書では、重力・地磁気異常調査についての章の執筆を担当した。深海の科学を紹介した一般向けの科学書では、プレートテクトニクス、地磁気異常とプレートテクトニクス、プレート沈み込み帯で起きる地震、2011 年東北地方太平洋沖地震についての章の執筆を担当した（5 章を参照）。

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

Toshiya Fujiwara, Christian dos Santos Ferreira, Anna Katharina Bachmann, Michael Strasser, Gerold Wefer, Tianhaozhe Sun, Toshiya Kanamatsu, Shuichi Kodaira, Seafloor displacement after the 2011 Tohoku-oki earthquake in the northern Japan Trench examined by repeated bathymetric surveys, *Geophysical Research Letters*, 査読有, 44, 2017, 11833-11839, DOI: 10.1002/2017GL075839

〔学会発表〕(計 11 件)

富士原敏也・金松敏也・小平秀一・村田昌彦・吉田一穂・木村亮, 「みらい」MR16-09 Leg 4 航海で調査された 2011 年東北地方太平洋沖地震による日本海溝北部の海底地形変動, *ブルーアースサイエンス・テク* 2019, 横浜, 2019 年 2 月 20 日

Yukari Kido, Toshiya Fujiwara, Arito Sakaguchi, Magnetic properties of altered basalts in the fault zone, Okitsu melange, Shimanto accretionary complex, *American Geophysical Union*, Washington DC, 2018 年 12 月 12 日

富士原敏也・小平秀一・藤江剛・海宝由佳・金松敏也・笠谷貴史・中村恭之・野徹雄・佐藤壮・高橋努・高橋成実・金田義行・Anna Katharina Bachmann, Christian dos Santos Ferreira, Gerold Wefer, Michael Strasser, Tianhaozhe Sun, 2011 年東北地方太平洋沖地震前後の海底地形変動分布, *日本地震学会秋季大会*, 福島, 2018 年 10 月 9 日

Toshiya Fujiwara, Toshiya Kanamatsu, Shuichi Kodaira, Akihiko Murata, Kazuho Yoshida, Ryo Kimura, Seafloor displacement after the 2011 Tohoku-oki earthquake in the northern Japan Trench, revisited, 15th Annual Meeting, *Asia Oceania Geosciences Society*, Hawaii, 2018 年 6 月 7 日

富士原敏也, プチスポット周辺の海底地形、浅層構造, 東京大学地震研究所共同利用研究集会「海溝海側で生じる過程総合研究：沈み込み帯インプットの実態解明に向けて」, 東京大学地震研究所, 東京, 2018 年 3 月 26 日

Toshiya Fujiwara, Christian dos Santos Ferreira, Anna Katharina Bachmann, Michael Strasser, Gerold Wefer, Tianhaozhe Sun, Toshiya Kanamatsu, Shuichi Kodaira, Seafloor displacement around the northern Japan Trench examined by bathymetric surveys after the 2011 Tohoku-oki earthquake, *American Geophysical Union*, New Orleans, 2017 年 12 月 12 日

富士原敏也・金松敏也・小平秀一・Christian dos Santos Ferreira, Anna Katharina Bachmann・Gerold Wefer・Tianhaozhe Sun・Michael Strasser, 2011 年東北地方太平洋沖地震前後の海底地形調査による三陸沖日本海溝北部における海底地形変動, *日本地震学会秋季大会*, 鹿児島, 2017 年 10 月 27 日

Toshiya Fujiwara, Christian dos Santos Ferreira, Anna Katharina Bachmann, Michael Strasser, Gerold Wefer, Tianhaozhe Sun, Toshiya Kanamatsu, Shuichi Kodaira, Seafloor displacement around the northern Japan Trench examined by bathymetric surveys after the 2011 Tohoku-oki earthquake, *日本地球惑星科学連合大会*, 幕張, 2017 年 5 月 24 日

Toshiya Fujiwara, Yukari Kido, Marine magnetic anomaly and magnetization of the

subducting Pacific Plate on the seaward slope of the Japan Trench, American Geophysical Union, San Francisco, 2016 年 12 月 15 日

Toshiya Fujiwara, Yukari Kido, Marine magnetic anomaly and magnetization of the subducting Pacific Plate seaward of the Japan Trench, 日本地球惑星科学連合大会, 幕張, 2016 年 5 月 23 日

富士原敏也・木戸ゆかり, 日本海溝に沈み込む太平洋プレートの磁化構造と海洋プレートの改変過程, 東京大学地震研究所共同利用研究集会「海溝の海側で生じる過程を探る：沈み込み帯へのインプット」, 東京, 2015 年 11 月 11 日

〔図書〕(計 4 件)

富士原敏也 他, 講談社, ブルーバックス 深海-極限の世界 生命と地球の謎に迫る (第 2 章 2.1-2.3 節 深海と地震 担当), 2019, 286 (110-155)

富士原敏也 他, 朝倉書店, 図説 地球科学の事典 (7.11 節 中央海嶺の地殻 担当), 2018, 248 (176-177)

富士原敏也 他, NHK, NHK プロモーション, 読売新聞社, 深海 DEEP OCEAN 2017~最深研究でせまる“生命”と“地球”~(3 章 3-1 節 巨大地震と日本列島 担当), 2017, 192 (112-115)

富士原敏也・木戸ゆかり 他, 共立出版, 海洋底科学の基礎 (2 章トピック 位置測定・測地系 3 章 3.3-3.4 節 地球物理学探査で地層と海洋地殻を理解する 担当), 2016, 389 (19-21, 32-42)

6 . 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名： 木戸 ゆかり

ローマ字氏名： KIDO, Yukari

所属研究機関名： 国立研究開発法人海洋研究開発機構

部局名： 地球深部探査センター

職名： 技術主任

研究者番号(8 桁)： 20359194

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。