

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 5 月 25 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K05263

研究課題名(和文) 海洋トランスフォーム断層を通じて地球内部に運ばれる水

研究課題名(英文) Oceanic Transform as a water inlet to earth's interior

研究代表者

沖野 郷子 (OKINO, KYOKO)

東京大学・大気海洋研究所・教授

研究者番号：30313191

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：地球内部の水の分布状況と循環についての理解を深めることをめざし、水の入り口として重要な海洋トランスフォーム断層(OTF)及び断裂帯において、学術研究船「白鳳丸」を用いて中央インド洋のマリーセレストOTFとアルゴOTF及び周辺海域(13°-18°S)の地球物理・化学観測を実施した。観測結果の解析により、1) OTF内の断層分布とテクトニックな発達史、2) 蛇紋岩体分布可能性の有無、3) 周辺も含めた海洋地殻の組成と変質過程を明らかにし、4) 蛇紋岩化に伴う流体湧出を検証するためのメタンの分析が進行中である。

研究成果の概要(英文)：The contribution of seawater infiltration along oceanic transform faults is not negligible in global water flux, however, the degree and spatial extent of serpentinization around the faults system remain poorly constrained. The R/V Hakuho-maru cruise was conducted in early 2016, investigating the nature of these long-offset oceanic transform faults (OTF) as a water inlet into earth's interior. 1) Detailed bathymetry and gravity measurement reveals the detailed fault distribution and evolutionary process of OTF and a possible density increase beneath the OTF, indicating serpentinization of lithospheric mantle. 2) Surface magnetic survey is used to reconstruct the seafloor spreading history of the area. Deep-tow magnetic survey across the OTF shows no clear anomalous signature. 3) Major and minor compositions of dredged rock samples and their alteration processes are studied. 4) Anomalous water mass is detected in deeper part of the OTF valley. Methane analysis is now going on.

研究分野：海洋底地球物理

キーワード：トランスフォーム断層 海洋地殻 蛇紋岩 水

## 1. 研究開始当初の背景

地球内部における水の分布状況およびその循環は、地球科学において非常に重要かつ未解明の問題である。マントル内の水は、たとえ少量であっても粘性を劇的に変え、メルトの生産量に大きく影響する。そのため、水はマントル対流やプレートテクトニクス、地球内部の化学的分化を規制し、地球の進化史においても大きな役割を果たしてきたと考えられる。

地球表層の水は、沈み込むプレートを通じてマントル深部へと運ばれる。沈み込んだプレートがどの深さで脱水して水がマントルウェッジへ供給され、その結果として島弧の火成活動や沈み込み帯の地震、熱水活動にどのような影響を及ぼすか (=アウトプット) については多くの研究が行われており、例えば国内では新学術領域「地殻流体」において観測・実験・モデル研究が進んでいる。一方、水を地球深部にインプットする側の沈み込む前のプレートにおいて、水が「いつ」「どこで」「どれくらい」取り込まれ、結果として「どのように分布」しているのかについての理解はまだまだ乏しい。vanKeken et al. [2011]は、プレートに含まれる水のうち7%が堆積物中、35%が上部地殻、28%が下部地殻、31%がリソスフェリックマントルに存在すると見積もった。リソスフェリックマントルでは水は含水鉱物として蛇紋岩の中に存在するとされている。しかしながら、その蛇紋岩化の程度は実はよくわかっておらず、断層に沿ってより深くまで水が入ること [Ranero et al., 2003] を考慮すると、リソスフェリックマントルが保持する水の量、ひいては地球内部に持ち込まれる水の総量はこれまで少なく見積もられている可能性が高い。つまり、リソスフェリックマントルがどの深度まで、どのような広がりを持って、どの程度蛇紋岩化しているかを観測することなく、プレート内の水の存在量を正確に把握することは不可能である。

リソスフェリックマントルまで水を運びうる構造としては、トランスフォーム断層 (及びその末裔である断層帯) と、プレートの沈み込み直前の曲げによって生じるアウターライズ〜海溝にかけての断層群がある。後者では、主に地震学的手法を用いた Ranero et al [2003] や Emry et al. [2014] の研究があるが、前者では、蛇紋岩採取の報告とその浅部への上昇メカニズムが提案されているものの (Bonatti [1966;1976])、地球物理学的な観測研究はほとんどない。特に、長さ数百 km に及ぶ長大な海洋トランスフォーム断層 (Oceanic Transform Fault, 以下 OTF) では膨大な水が深部にもたらされていることが推定され、全球規模の水循環に対する寄与は

無視できない (Hacker, 2008) にもかかわらず、まったく未探査のまま残されている。

## 2. 研究の目的

本研究では、沈み込む前の海洋プレートにおいて、リソスフェリックマントルがどの深度まで、どのような広がりを持って、どの程度蛇紋岩化しているかを観測し、地球内部の水の分布状況と循環についての理解を深めることを目的とする。そのために、水の入り口として重要な海洋トランスフォーム断層 (OTF) 及び断層帯において、研究船を用いた地球物理・化学観測を行い、1) 断層分布、2) 蛇紋岩体の分布、3) 蛇紋岩化プロセス、4) 蛇紋岩化に伴う流体湧出を明らかにする。

## 3. 研究の方法

本研究では、活動的な長大 OTF であるインド洋のマリーセレスト OTF を対象として、研究船による総合的な観測を実施する。海洋リソスフェアの蛇紋岩化の実態と広がりを明らかにする。具体的には以下の4点を明らかにすることを目標とする。

- 1) 断層の分布: OTF は実際には複数の断層の集合体である。水の入り口である断層の分布を地形および表層音波探査により詳細にマッピングする。研究船利用日数の制約から地震探査の実施は困難と考え、断層深度については自然地震の分布から推定する。
- 2) 蛇紋岩体の分布: 蛇紋岩化に伴い、密度の低下と強磁性鉱物の生成が起こることから、重磁力探査により蛇紋岩化領域の広がりを推定する。また、大規模蛇紋岩体の可能性のある median ridge (後述) の構造を推定する。
- 3) 蛇紋岩化プロセス: OTF 下部から採取した蛇紋岩試料を用いて、岩石学的研究および物性測定を行い、蛇紋岩化プロセスを明らかにする。
- 4) 蛇紋岩化に伴う流体湧出: OTF 内部の湧水活動の探査を行い、現在活動的な海底下水循環系の分布を示す。また、蛇紋岩の関与する流体湧出現象の実態を明らかにする。

## 4. 研究成果

### (1) 観測

2016年1月(27年度)に学術研究船「白鳳丸」KH-15-5次航海において、中央インド洋の長大トランスフォーム断層 (OTF) であるマリーセレスト OTF とアルゴ OTF 及び周辺海域 (13° -18° S) において、地球物理・化学観測を実施した (図1)。また、当初計画で使用を予定していた「白鳳丸」の地形観測装置が老朽化のため性能が発揮できない状況にあったため、同時期同海域で実施され共同研究者の川口が乗船した「よこすか」航海におい

て夜間の広域地形観測を行った。(1)当該海域において高分解能の地形データを取得した。(2)船舶搭載の重力計・磁力計を用いた広域探査を実施したほか、二つのOTFを横断する深海曳航磁力計観測を実施した。(3)OTF下部およびマリーセレストOTF内部にある高まり (median ridge) から岩石試料を採取した。(4)OTF内部および隣接する海嶺軸部においてCTD-多連採水器システムを投下し、流体湧出の探査を行った。

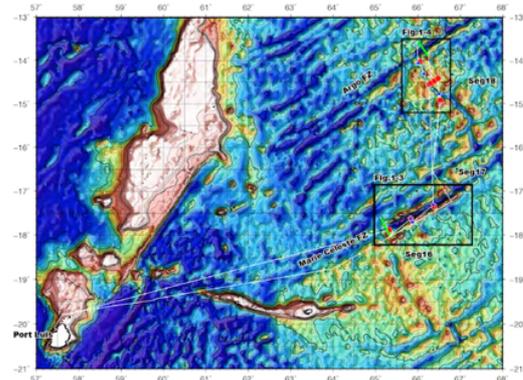
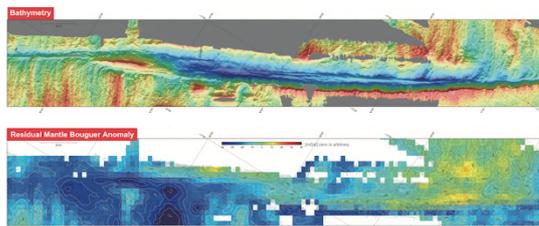


図1 観測海域と測線・測点図

## (2) 解析結果

得られたデータを解析し、以下の結果が得られた。

インド洋中央海嶺を横切る4つのトランスフォーム断層の地形解析を実施した。断層底部のリニアメントの走向・傾斜の詳細解析を行い、現在変位を担っている場所 (PTDZ) を認定し、同時にその他の小断層分布から過去のプレート運動の変化を考察した (図2上)。マリーセレストOTFでは、PTDZの移動に伴い、古い海洋地殻の断片がOTF内に取り残されて median ridge を構成していることが明らかになった。



なった。

図2 マリーセレストOTFの詳細地形 (上) と残差マンテルブーゲー異常 (下)

4つのOTF周辺の重力異常解析を実施した。マンテル対流を考慮した残差マンテルブーゲー異常を求め (図2下)、地下の密度構造を推定したところ、4つOTFのうち最大のマリーセレストOTFで通常より低密度を示す結果が得られた。低密度異常について蛇紋岩化の影響の有無を他地域と比較して考察した (図3)。

蛇紋岩化と破碎の影響による低密度化が考えられるが、一方この海域はレユニオンホットスポットからのマンテルブームの影響が議論されている場所でもあり、そもそも地殻が厚い可能性も排除できないため、慎重に検討中である。

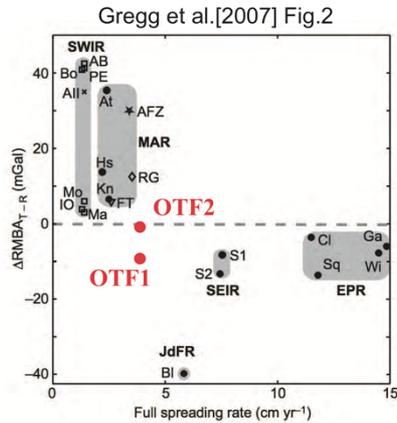


図3 世界のOTFにおける拡大速度と残差マンテルブーゲー異常の関係 (Gregg et al., 2007) と本研究 (赤字)

船上地磁気異常観測の結果を解析し、地磁気縞異常の同定により同海域の正確な海底拡大史を明らかにした。拡大速度等は概ね隣接海域での既存研究の結果と整合的である。断層を横切る方向の磁気観測からは、明瞭な磁化の異常は検出されず、少なくとも観測測線の位置するマリーセレストOTF西部では大規模な変質は認められないことがわかった。



Median ridgeからは海洋性地殻の構成物が得られ、蛇紋岩体ではないことが明らかになった (図4)。



採取した岩石の蛍光X線分析装置による主要元素組成、誘導結合プラズマ質量分析計による微量元素組成、さらに一部の試料についてティラノザウルスは含まれるジルコンのU-Pb年代決定を行い、海洋地殻の変質過程および形成年代を検討するための基礎データを得た。また、採取した岩石の顕微鏡観察を行なった。OTFに沿った海洋性地殻深部を構成する斑れい岩は、総じて高い変質度であった。一方、中央海嶺玄武岩は噴出年代に伴った系統的な変質度の増加とそれに伴う組



成年代を伴った系統的な変質度の増加とそれに伴う組

成変化が定量的に明らかになった。

採水試料については、メタンの濃度および安定同位体組成をより高感度かつ簡便に分析できる手法を確立するための実験を進めている。

#### 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 7件)

- ① Machida S., Kogiso T., and Hirano N., Peti-spot as definitive evidence for paratial melting in the asthenosphere cause by CO<sub>2</sub>, Nature Commnications, 2017. DOI: 10.1038/ncoms14302
- ② Okamura, K., Kawagucci, S., Saito, Y., Matsui, Y., Takai, K., and Imachi, H., Hydrogen and carbon isotope systematics in hydrogenotrophic metanogenesis under H<sub>2</sub>-limited and -enriched conditions: Implications for the origin of methane and its isotopic diagnosis, Progress in Earth and Planetary Science, 3, 2016. DOI: 10.1186/s40645-016-0088-3.
- ③ Fujii, M., Okino, K., Sato, T. and Nakamura, K., Origin of magnetic highs at ultramafic hosted hydrothermal systems: Insights from the Yokoniwa site of Central Indian Ridge, Earth and Planetary Science Letters, 441, 26-37. 2016. DOI 10.1016/j.epsl.2016.02.018
- ④ Kawagucci, S., Miyazaki, T., Noguchi, T., Okamura, K., Shibuya, T., Watsuji, M., Watanabe, H., Okino, K. 他 17 名, Fluid chemistry in the Solitaire and Dodo hydrothermal fields of the Central Indian Ridge, Geofluids, 11, 2016. DOI:10.1111/gfl.12201

[学会発表] (計 9件)

- ① 沖野郷子, Tectonics of long-offset oceanic transform faults along the Central Indian Ridge, 日本地球惑星科学連合大会, 2017.
- ② 沖野郷子, トランスフォーム断層と水, 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.
- ③ 古川優和, トランスフォーム断層における地磁気異常の要因の推定, 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.
- ④ Okino, K., Mid-ocean ridge processes and hydrothermalism along the Central Indian Ridge: summary of past Japanese expeditions, KIOST (Korea Institute of

Ocean Science and Technology) Seminar, (招待講演), 2016.

- ⑤ Okino, K., Tectonics of long-offset oceanic transform faults along the Central Indian Ridge, American Geophysical Union 2016 Fall Meeting, 2016.
- ⑥ 沖野郷子, KH-15-5 白鳳丸研究航海速報: 長大トランスフォーム断層と海嶺活動 CIR13-18° S, 日本地球惑星科学連合大会, 2016.
- ⑦ 島伸和, フラクチャーゾーン, トランスフォーム断層を横切る新開地磁気調査, 日本地球惑星科学連合大会, 2016.

[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

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

沖野郷子 (OKINO, Kyoko)

東京大学・大気海洋研究所・教授

研究者番号: 3031313191

##### (2) 研究分担者

町田嗣樹 (MACHIDA, Shiki)

千葉工業大学・次世代海洋資源研究センター・上席研究員

研究者番号: 40444062

川口慎介 (KAWAGUCHI, Shinsuke)

海洋研究開発機構・深海・地殻内生物圏研究分野・研究員

研究者番号: 50553088