

# 東京大学大気海洋研究所共同利用研究集会

## 海洋リソスフィアの生成と進化-InterRidge-Japan 研究集会-

日 時：2023年11月6日（月）10:00～17:30

場 所：東京大学大気海洋研究所2F 講堂（ハイブリッド）  
〒277-8564 千葉県柏市柏の葉5-1-5

コンピーナー：沖野郷子，東京大学大気海洋研究所，okino◎aori.u-tokyo.ac.jp

※◎は@へ変換してください

参加ご希望の方は、以下から参加登録お願いいたします。オンライン視聴ご希望の方には追ってZoom接続情報を連絡いたします。

登録 <https://forms.gle/eNeaZgCPLQQJrD5v5>

## プログラム

- 10:00 MOWALL 計画の概要と 2024 インド洋航海計画  
沖野郷子（東大大海研）
- 10:25 インド洋上部マントル不均質性の実態：MOWALL 計画の狙いと戦略  
町田嗣樹（千葉工大）  
コメント： 森下知晃（金沢大）・中村謙太郎（東大工）
- 11:00 Marie Celeste 断裂帯が記録する中央インド洋海嶺における海洋地殻生成の時間変動  
森口堯明（東大大海研）
- 11:20 Vulcan 断裂帯から採取された玄武岩  
石塚治（産総研）
- 11:40 深海磁気異常の観測に基づく詳細な海洋底年代の決定  
藤井昌和（極地研）

〔昼食〕 12:00-13:00

- 13:00 非海溝型超深海としてのトランスフォーム断層  
川口慎介（JAMSTEC）
- 13:20 インド洋トランスフォーム断層内と周辺熱水プルームの微生物組成  
砂村倫成（東大理）
- 13:40 プレート深部への海水浸透によるマントルでの不均質性の形成  
片山郁夫（広島大）

- 14:00 オマーン掘削プロジェクトの蛇紋岩に遺されたマンテル流動の証拠  
道林克禎 (名古屋大)
- 14:20 海洋性トランスフォームから沈み込み開始は起こるか？  
平内健一 (静岡大)
- 14:40 ノサップフラクチャーゾーンの結果と MOWALL 航海への提案  
島伸和 (神戸大)

[休憩] 15:00-15:30

- 15:30 疑似モホール計画：プチスポット火山産海洋地殻・マンテル捕獲岩はマンテル掘削  
の先駆けとなりうるか  
三國和音 (産総研)
- 15:50 蛇紋岩化に伴うマンテルの空隙率と物性の変化  
赤松祐哉 (JAMSTEC)
- 16:10 前弧域マンテルの熔融史：強親鉄性元素・Re-0s 同位体からの制約  
秋澤紀克 (東大大海研)
- 16:30 オスミウム同位体から見たマンテルの地球化学的構造  
石川晃 (東工大)
- 16:50 プチスポット火山産マンテル捕獲岩から推定する海洋リソスフェアの温度構造  
丹羽佑果 (東工大)
- 17:10 コンラッドライズの火山活動史  
佐藤暢 (専修大)

17:30 終了

[懇親会] 18:00-

ポスター発表 (懇親会場で行います)

- P01 蛇紋岩の弾性波速度と電気比抵抗の異方性  
伊藤禎宏 (広島大)
- P02 オマーンオフィオライトのフィールド調査と物性測定に基づいた海洋プレートの含  
水化プロセス  
坂本玄弥 (広島大)
- P03 北海道幌満カンラン岩体の変形構造と地震波特性  
松山和樹 (名古屋大)
- P04 早池峰超苦鉄質岩体カンラン岩に記録されたメルト—岩石相互作用  
原野あゆ (名古屋大)
- P05 海洋コアコンプレックスのトランスフォーム断層斑れい岩の変形特性  
二村康平 (名古屋大)
- P06 シュードセクション法による地殻—マンテル境界の水—岩石反応解析 ～オマーン  
オフィオライト延性剪断帯を例として～  
夏目樹 (名古屋大)

- P07 伊豆—マリアナ前弧域のマントル加水作用とマグマ形成史  
山岡璃音 (東大大海研)
- P08 地磁気異常データを用いたマリアナトラフ拡大過程の研究  
小野誠太郎 (東大大海研)
- P09 四国海盆南海道メガマリオンの地球物理学的特徴：背弧拡大開始期のテクトニクス  
森口堯明 (東大大海研)
- P10 インド洋ロドリゲス三重会合点付近, かいれい熱水域における人工及び自然地震による地震波速度構造と地震活動  
佐藤利典 (千葉大)
- P11 中央インド洋海嶺ロドリゲス三重会合点付近の地震のメカニズム  
山田詩歩 (千葉大)
- P12 海洋リソスフェアにおけるトランスフォーム断層型自発的沈み込み開始：スラブ脱水作用の影響  
石川美鈴 (静岡大)

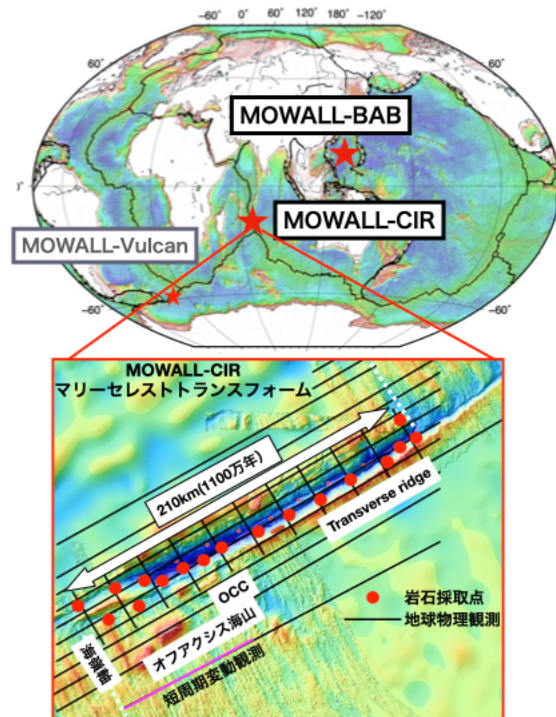
# MOWALL 計画の概要と 2024 インド洋航海計画 Outline of MOWALL Project and 2024 Cruise Plan

沖野郷子\* (東大大海研)  
K. Okino (AORI, U.Tokyo)

海洋プレートの生成と進化は、地球のダイナミクスや物質循環、地球表層環境の進化において重要な役割を果たしている。海洋プレート、特にその最上部である海洋地殻が多様であることは近年明らかになってきたが、海洋プレート生産過程の時間変動とその要因については、まだほとんどわかっていない。本研究計画 MOWALL (Moho Observation along transform fault WALLs) は、長大な海洋トランスフォーム断層崖（壁面）に沿って、過去 1000 万年から現在に至る海洋プレート断面が露出していることを利用してこの問題に挑み、海洋プレート生産の時空間変動が、マンツルの不均質を反映したものであるとの仮説を検証する。

MOWALL 計画(2018~)では、(1) 地殻からマンツルに至る鉛直方向のセクションを(2)時間軸=トランスフォーム断層に沿って系統的に採取したサンプルセットを用い、海洋地殻構造と拡大様式の多様性を、その下のマンツルの物理・化学的性質およびその時空間不均質を含めて包括的に理解することを目的とし、いくつかの集中観測海域を設定した(図)。その中でも最大の柱は中央インド洋海嶺のマリーセレストトランスフォーム断層での観測研究である。当初は 2020 年秋に観測航海を計画していたが、コロナ禍により中止を余儀なくされ、来年 2024 年秋にようやく白鳳丸による観測が実施の運びとなった。

マリーセレストトランスフォーム断層の全長は 210km(図)に及ぶ。両側海底拡大速度が 40mm/yr.なので、この断層は現在から 1200 万年前までの海洋プレート断面が露出した、世界で最も本研究に適した場所である。また、周辺海底の既存調査から、過剰なメルト供給を示す海山(180 万年前)と、メルト供給量が乏しかったことを示す OCC (300 万年前)が存在し、数百万年スケールで非常に大きなメルト供給量変動があったことが確実で、多様性が担保されている。本計画では、断層の壁面に沿って、OCC+海山付近については 10km 間隔、それ以外は 20km 間隔で、水深 2500m 付近の崖上部(玄武岩上部地殻)と 5000m 付近の下部(ハンレイ岩下部地殻もしくはマンツルカンラン岩)のセットでドレッジによる岩石採取を行う予定である。また、より短い周期の時間変動を明らかにするための高分解能磁気観測もあわせて実施する。



# インド洋上部マントル不均質性の実態：MOWALL計画の狙いと戦略

## The picture of upper mantle heterogeneity beneath the Indian Ocean: aims and strategies of the MOWALL project

町田嗣樹 (千葉工大)  
Shiki Machida (Chiba Inst. Tech.)

地球の上部マントルの融解によって生じる火山活動の生成物である火山岩の化学組成(元素濃度や同位体比)は、上部マントルを構成する物質およびその種類と、それらがどのような構造を成すかの実態を知るための、重要な手掛かりとなる。従来の上部マントルに対するイメージは、中央海嶺玄武岩(MORB)の化学組成が、特に太平洋において、場所による違いが顕著でなく“比較的”均質であることを根拠として、『均質なもの』との認識が支配的であった。一方、地球深部から不均質なマントルプルームが上昇してきているホットスポットの近傍のような特殊な場所では、マントルプルームの影響を受けた特異な化学組成を示すMORBが活動することが古くから知られていた。特に、中央インド洋海嶺(CIR)は、南緯21度付近より北においてレユニオンホットスポットとの相互作用により特異な組成のMORBが活動する(Machida et al. 2014, *Geochem. J.*など)。そして一般的に、インド洋の3つの中央海嶺(中央・南西・南東インド洋海嶺)に産するMORBは、太平洋のものに比べ高いSrおよびPb同位体比と低いNd同位体比で特徴づけられる。このことは、インド洋の上部マントルが太平洋の上部マントルよりも不均質であることを示していると考えられている(Machida et al. 2009, *GCA*など)。上部マントルは、様々な空間スケールで不均質なのである。

マントル不均質性の要因は、過去に海洋プレートを構成していた岩石や堆積物がプレートの沈み込みによって地球内部にもたらされ、マントル対流によって移動・拡散することによると考えられている。過去のプレート物質(リサイクル物質と呼ぶ)の中には、マントルカンラン岩よりも融点が高い岩石(輝岩やエクロジャイト)が存在する。したがって、それらが混ざり込んだ不均質なマントルと、均質な(ここでは「リサイクル物質を含まない」の意)マントルが融解する場合を比べた時に、温度が一定であれば、前者は後者に比べて多量のマグマを生産することになる。つまり、『不均質なマントル』を前提とした場合、海洋地殻の構造の多様性を支配する要因の一つである『メルトの供給量』は、マントルの物理(例えば温度)のみでなく化学(組成)にも支配されているはずであるという作業仮説に至る。その検証のためにMOWALL計画が提案された。

MOWALL計画の重要なテーマの1つは、インド洋の上部マントルが『何がどのくらい不均質なのか?』その実態を解明することである。我々のこれまでの研究によって、(1)中央インド洋海嶺のMORBの生成には様々な組成の5つの“マントル成分”が寄与し、(2)そのマントル成分の組み合わせや寄与率は、概ね10 km以下の空間スケールで変動していることが明らかになった。MOWALL計画では、CIRの南緯18度付近にあるマリーセレストランスフォーム断層沿いにおいて、上部と下部に露出する玄武岩質地殻とマントルカンラン岩をセットで採取し、それらに対し多角的・統一的な地球化学分析を行って、上記の様な新しい描像が普遍的か否か、さらには、海洋地殻構造と海嶺拡大様式の多様性をどの様に支配しているのかを包括的に理解することを目指す。

**Marie Celeste 断裂帯が記録する中央インド洋海嶺における海洋地殻生成の時間変動**

**Temporal variations in the formation of oceanic lithosphere at the Central Indian Ridge recorded along the Marie Celeste fracture zone**

**森口堯明\* , 沖野郷子 , 秋澤紀克 ( 東大大海研 ) , 町田嗣樹 ( 千葉工業大 )**

**Takaaki Moriguchi\* , Kyoko Okino , Norikatsu Akizawa (AORI), Shiki Machida (Chiba Institute of Technology)**

Mid-ocean ridges are where the oceanic lithosphere is formed, and both the spatial and temporal variations of mid-ocean ridge process is essential for a better understanding of plate tectonics. Although spatial variations of formation of oceanic lithosphere have been well investigated, how the process varies through time is less known. This study aims to reveal temporal variations in the formation of lithosphere along the Marie Celeste fracture zone of Central Indian Ridge and explore the relationship between the variations and the magma composition.

We analyzed multibeam bathymetry, gravity anomaly, and rock chemistry using the data and samples collected along the Marie Celeste transform fault in the Central Indian Ridge (CIR).

The variations in seafloor morphology and estimated crustal thickness along flow lines suggest the temporal change in mantle melt productivity. The seafloor of 11–5.2 Ma is characterized by regular abyssal hills and average crustal thickness, implying sufficient melt supply at that time. Between 5.2–2.8 Ma, the distribution of oceanic core complexes (OCCs) and detachment fault type morphology and estimated thinner crust indicate low magmatic productivity near the TF; on the other hand, the crust of average thickness and well-organized abyssal hills are observed further south of detachment fault type morphology, suggesting sufficient melt supply. These results imply that CIR-S16 was divided into two subsegments in this period. The seafloor of 2.9–0.8 Ma is characterized by abyssal hills and a thinner crust by up to 2 km, except for the thickest crust beneath the seamounts. This suggests reduced melt productivity in 2.9–0.8 Ma. Well-ordered abyssal hills and the thicker crust by 1 km of the seafloor of 0.8 Ma to present suggest an excess of melt supply. These observations indicate that the origin of two seamounts is off-axis volcanism later than 0.8 Ma, when the ridge segment was inferred magmatically robust.

## Vulcan断裂帯から採取された玄武岩 Basalts from the Vulcan Fracture Zone

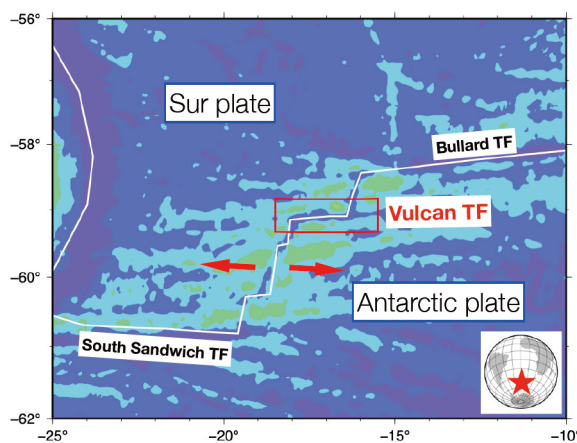
石塚 治\* (産総研), 谷健一郎 (科博), 針金由美子 (産総研), 沖野郷子 (東大大海研)

O. Ishizuka\* (GSJ), K. Tani (NMNS), Y. Harigane (GSJ), K. Okino (AORI)

MOWALL計画では、中央海嶺での海洋地殻形成プロセスの時間変動の要因、特にマンツルの不均質性や溶融条件との関連を解明する調査研究を実施している。白鳳丸 KH-19-6 航海Leg 4では、SurプレートとAntarcticプレート間の海底拡大軸であるAmerican-Antarctic Ridgeに存在するトランスフォーム断層(Vulcan Fracture Zone)において、拡大軸からの距離の異なる複数の地点で上部海洋地殻のサンプリングを実施した。本講演では、採取試料の化学的特徴と形成年代の概略を報告する。

本航海では、Vulcan Fracture Zone内の急崖5地点で、ドレッジにより岩石試料採取を試みた。いずれの地点でも岩石試料の回収に成功したが、採取試料のうち、その岩石学的特徴から明確に海洋地殻起源ではなく、IRDと判断される岩石は検討から除外した。今回採取された玄武岩は、斜長石斑晶を含むかんらん石玄武岩あるいは単斜輝石かんらん石玄武岩が主体で、化学組成は概ねN-MORBに近い組成であり、各サイト内及び各サイト間でのバリエーションも比較的小さい。ただし今回の採取地点で拡大軸から離れた地点(D18: 軸から約113 km)でのサンプリングでは、他試料に比べて顕著に液相濃集元素に富む試料が1試料みつかっている。一方同位体組成を検討すると各サイトで極めて狭い組成範囲を示すが、各サイト間では有意に異なる組成を示す。マグマ形成に寄与するマンツルの不均質によるものではないかと考えられるが、微量元素組成との相関などを検討し、部分溶融度の変動との関連について議論したい。

各地点の海洋地殻の形成年代を知るため、玄武岩の $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代測定とガブ口のジルコンU-Pb年代測定を実施している。概ね約9Maまでの年代が得られている。海底地磁気異常や重力データの解釈と合わせ、過去900万年間のAmerican-Antarctic Ridgeの海洋地殻形成プロセスの変動要因を検討していく予定である。



Vulcan Fracture Zoneの位置

**深海磁気異常の観測に基づく詳細な海洋底年代の決定**  
**Detailed ocean floor dating based on observations of deep-sea magnetic anomalies**

**藤井昌和 ( 国立極地研究所/総合研究大学院大学 )**  
**Masakazu Fujii (NIPR/SOKENDAI)**

地球の海域では、磁気異常が観測されます。中央海嶺に並行した縞状パターンがその主たる特徴で、その強さは海上で数100nT、深海や海底近傍で数1,000nTに及びます。磁気異常が生じる最大の原因は、海洋性地殻を構成する玄武岩の残留磁化であり、そこには溶岩が冷え固まった時にその当時の地球磁場方向を岩石中の強磁性鉱物が記憶されます。この磁気縞模様の強弱は地磁気の逆転を反映していると理解され、1950年代以降の本格的な観測が海底拡大説の誕生やプレートテクトニクス理論の確立に貢献してきました。現在では船上磁場データ、同定された地磁気クロン、海洋底年代モデル、海底拡大パラメータなどが国際的に広く共有されるようになりました。

船舶を用いた海上磁場観測では地磁気の逆転 ( 数10万年～数100万年に1回の頻度 ) が詳細に捉えられますが、磁気異常の源である海底から数kmも離れた地点での測定となるので、比較的小さくかつ短い波長の異常をとらえることができません。一方で、よりソースに近い深海での磁場測定が実施できれば、逆転だけでなく強度の変動など、より詳細な地磁気の歴史を紐解くことができます。それを逆手に取ると、深海磁場変動と詳細な古地磁気強度変動を組み合わせることができれば、～10万年以下のオーダーでの海洋底年代の決定が可能になります。これに類する着想での観測研究は東太平洋などで前例がありますが ( Gee et al., 2000やYamamoto et al., 2005など )、未だほとんどの観測記録が1–2Ma迄に限られ、また面的な展開や技術開発などで課題が残されています。マグマ変遷や輸送、熱水活動や断層運動など、短期的な地球表層変動に呼応した中央海嶺プロセスの研究をするには、短期変動の関係を議論できる深海磁場観測データが必要です。

本発表では、これまでの深海磁場観測をレビューするとともに、我々が実施した南東インド洋海嶺での観測結果を報告して深海磁気異常を用いた海洋底研究の重要性について論じます。また、中央インド海嶺と南極太平洋海嶺を対象に現在計画しているOMORO(Observation of Mid-Ocean Ridge Oscillation)プロジェクト ( 仮 ) や新しいディープトウシステム開発計画の近況について紹介します。



## 非海溝型超深海としてのトランスフォーム断層 Non-trench hadal zone in transform fault

川口慎介 ( 海洋研究開発機構 )  
Shinsuke Kawagucci (JAMSTEC)

深海の中でも6000m以深の領域を特に超深海と呼称する。最も有名なものは世界で最も深い海として広く知られているマリアナ海溝チャレンジャー海淵であり、これに限らず超深海のほとんどは海溝にある。海洋学の一般像では、海洋表層での光合成によってのみ生産される有機物が、水深とともに量を減らしながら沈降し、これが深海生物のエネルギー源となっているとされている。この像に照らすならば、超深海は最も生物活動の乏しい場となるはずである。しかし、ご多分に漏れず、かならずしも一般的理解では局所を描写しきれないことが、これまでの観測で明らかにされてきた。

チャレンジャー海淵の水塊に存在する微生物群集について、JAMSTECのROV「ABISMO」( 故 ) を用いたニスキン採水で調査した結果、非超深海の深海では化学合成代謝を行う系統群が優占するのに対し、超深海では従属栄養代謝を行う系統群が優占することが明らかとなった[Nunoura et al. 2015 PNAS]。これは有機物が表層から沈降するのみという一般像だけでは説明ができず、超深海に特異な有機物供給、具体的には海溝斜面からの供給が考えられた。海溝斜面を介した有機物供給は、同じくチャレンジャー海淵の海底堆積物の観測によっても示唆されている[Glud et al. 2013 Nat. Geos.]。深海平原と比較して、海溝底において活発な酸素消費、豊富な易分解性有機物、および高い微生物菌数密度が明らかとなっており、海溝斜面が超深海への有機物降下フラックスのfast laneとなっていると考えると整合的である。海溝底の堆積物での顕著な堆積速度・有機物フラックスは、その後、チャレンジャー海淵に限らず他の海溝でも共通して観測され、地震動がトリガーするマスムーブメントによるものと考えられている[e.g. Oguri et al. 2022 JGR]。海溝斜面において地震動に伴い海底堆積物が再懸濁する様子は、実際に2011年の東北地方太平洋沖地震において水塊観測で観察されている[Noguchi et al. 2012 G3]、これとも整合する。最近では、JAMSTECの「かいめい」CTD多連採水システムを用いた伊豆小笠原海溝の水塊の縦断観測により、超深海のメタン炭素同位体比に顕著な南北差が認められており、これは( 本州のある ) 北側でより有機物フラックスが大きいことを反映しているのかもしれない[Kawagucci et al. 2018 Ocen Sci]。

しかし、海溝域の超深海生命圏を特徴づけているこの「海溝斜面-地震動-再懸濁-微生物応答」は、超深海であることとは、あまり関係がない。

超深海そのものの影響、たとえば炭酸塩補償深度だとかタンパク質立体構造変化だとか、そういった影響を調べるには、陸域から隔絶した位置にある非海溝型超深海の調査を行い海溝型超深海と比較することが有効であると思われる。そんなわけで、インド洋の中央部に位置するトランスフォーム断層の超深海領域の水塊調査に興味があります。

## インド洋トランスフォーム断層内と周辺熱水プルームの微生物組成

砂村倫成 (東京大・理)

現代の海洋の大部分は深層循環を通じて供給される豊富な酸素により酸化的な状態であるため、生態系へのエネルギーの律速要因は有機物などの還元型物質である。光の届かない深海では、大部分の還元型物質は表層光合成生物の沈降を通じた有機物に依存するが沈降過程での分解を受け難分解性有機物の割合が多い。特に海溝の6000m以深に形成される超深海では特徴的な生命圏が形成されており、多糖や高分子タンパクなど難分解性有機物を利用する微生物が多数を占める。これに加え、深海でも海嶺や沈み込み帯では、海底熱水活動や岩石水反応による還元物質(硫黄、水素、メタン)を利用する化学合成生態系が存在する。

インド洋中央海嶺海域の深海では、3つの興味深い深海微生物生態系の場合が想定される。一つは海溝超深海生命圏アナログとしてのトランスフォーム断層、二つ目は深成岩-水岩石反応に依存する超深海化学合成生態系、三つ目は海底噴出熱水により形成される深海熱水プルームである KH-10-5, KH-15-5インド洋白鵬丸航海では、当時の主目的であった熱水プルームの調査を行った。同時にKH-15-5次航海では Marie Celeste トランスフォーム断層調査を実施しており、本発表では特にトランスフォーム断層内での超深海層の微生物群集について紹介する。

Marie Celesteトランスフォーム断層は、インド洋中央海嶺のセグメント15と16の間に位置し、最大水深6000m弱、周辺海底からの比高約3000m、斜面の平均斜度30°の急峻な谷を形成している KH15-5航海では、断層内2箇所と断層南側の深海平原1箇所において海底面までの鉛直採水を実施し、微生物細胞密度と微生物群集構造解析を行った。

CTDセンサーデータに基づく水塊構造の解析により、断層内の4000m以浅では南側平原からの深層水と同じ海水であるが 5000m以深はより塩分が高く、酸素濃度の低い海水で満たされていた。微生物細胞密度の鉛直分布は深海平原では太平洋やマリアナ海溝内で観測される海底面近傍での細胞密度の増加が認められたが、断層内では微生物細胞密度の海底面付近での増加は認められなかった。また、断層内と断層外の微生物群集構造に明瞭な違いは認められず、海溝生命圏とは異なり断層内には海溝生命圏に特徴的な有機物分解者が優占していないことが明らかとなった。

超深海海溝内生命圏の微生物群集組成の制限要因として、圧力の増加の他に、断熱圧縮に伴う水温上昇、海溝斜面の地崩れなどを通じた有機物供給が挙げられている

Marie Celesteトランスフォーム断層の最大水深は超深海生命圏の6000-6500m以深には満たないが、急峻な地形に伴う堆積物の少なさや地崩れ等に伴う断層谷への有機物供給の少なさが、有機物分解に対応した超深海微生物種の優先を妨げていると考えられる。このことは、沈み込み帯の超深海海溝生命圏における、堆積物再懸濁に伴う有機物供給の重要性を示唆している。今回の採水調査の結果を踏まえ、断層底層水の由来と酸素減少の原因や断層内での蛇紋岩化反応由来水調査など、来年度航海での採水戦略につなげたい。

# プレート深部への海水浸透によるマントルでの不均質性の形成 Mantle heterogeneity caused by fluid penetration into the oceanic lithosphere

片山郁夫 (広島大学)  
Ikuo Katayama (Hiroshima University)

地球史を通じた安定な気候は、グローバルな炭素循環の負のフィードバックシステムによって成立してきました。しかし、地球の冷却によって、海洋プレートでは断層沿いに海水がマントルまで浸透することで、海水に溶け込む炭素もマントルに固定化されている可能性があります。その場合、これまでバランスが取れていた炭素循環が破綻し、炭素が地球内部へ一方的に運びされることも考えられます。どの程度の炭素が海洋プレートに取り込まれているかが、グローバルな物質循環を理解する上で重要です。

海水がマントルまで浸入すると、マントルと水との反応によって蛇紋石が生成されますが、マントルと炭素が反応する速度は、蛇紋岩化などの加水反応よりも速いといわれています。そのため、海水に含まれる炭素はマントルまで到達すると、すぐにマグネサイトなどの炭酸塩鉱物として析出すると予想されますが、その量は水岩石比に依存します。海水中の溶存炭酸イオンは100ppm程度であるため、水岩石比が低いときは炭酸塩はほとんど無視できる量ですが、水岩石比が高くなると、すなわち岩石中を通る水のフラックスが多くなると、多くの炭酸塩が析出します。水岩石比を含めた熱力学計算によると、水岩石比が $10^3$ になると3割ほどの炭酸塩が析出し、 $10^5$ になるとカンラン岩はすべて炭酸塩鉱物に置き換えられます(図1)。そのため、マントル内でのどの程度の水岩石比があるかが、炭酸塩化を評価するために必要となります。

モウオール計画では、海洋トランスフォーム断層によって露出する海洋地殻とマントルの調査をすることになりますので、マントルが直に海水と接するところもあり一部炭酸塩化が起きていることが予想されます。マントル内での水岩石比は、蛇紋石と炭酸塩の割合からも算出できますので、海洋トランスフォーム断層の壁に沿った一連の分析ができれば、海洋プレート内での流体の時空間分布や炭素の固定量を定量的に評価することができるかもしれません。また、地震波速度の変化は、蛇紋岩化と炭酸塩化どちらも速度を低下させる傾向にありますが、水岩石比を制約できるのであれば、地震波速度から炭酸塩化を見積もることもできます(図1)。モウオール計画によってマントルと水そして炭素の時空間的な分布を調べることで、地球表層環境にも影響を及ぼすグローバルな炭素循環の理解に繋がっていきたいと思います。

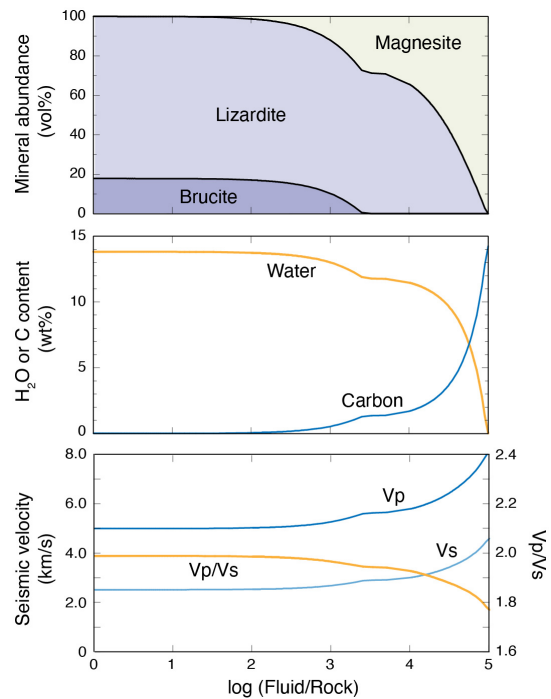


図1 炭素を含む海水とマントルの熱力学計算 (Katayama et al. 2023 Island Arc)

**オマーン掘削プロジェクトの蛇紋岩に遺されたマントル流動の証拠**  
**Legacy of mantle flow within serpentinites obtained by Oman Drilling Project**

**道林克禎 (名古屋大 JAMSTEC)・夏目樹 (名古屋大)**  
**Katsuyoshi Michibayashi (Nagoya Univ./JAMSTEC), Itsuki Natsume (Nagoya Univ.)**

アラビア半島東端に分布するオマーンオフィオライトは、深海性堆積物、火山岩、シート状岩脈群、ハンレイ岩からなる海洋地殻物質とダナイト、ハルツバーガイト、レルゾライトからなるマントル物質で構成された世界最大のオフィオライトである (Nicolas et al. 2000)。オマーン掘削プロジェクトでは、2016年11月から2018年3月までの冬季に地殻-マントル遷移帯を含む海洋地殻下部からマントル最上部までの岩石掘削が実施された (Kelemen et al. 2023)。本研究では、オマーン掘削プロジェクトの最上部マントルの掘削地点 (BA3A) で掘削された蛇紋岩掘削コア (BA3A) からカンラン岩の初生構造を復元し、マントル最上部の構造発達過程を考察した。なお、柿畑優季博士には、本研究の一部のデータ解析にご協力いただいた。ここに記して感謝いたします。BA3A掘削コアは、全体として強く蛇紋岩化しているため、本研究ではXCT画像を参考にできるだけかんらん石が残存した部分を切り出した。結果として、全長300mのコアに対して25mから299mまで31個の研磨薄片を作成し、電子後方散乱回折 (EBSD) による結晶方位マップ解析を行った。微細構造は粗粒粒状組織からポーフィロクラスト状組織であり、鉱物の伸長から判断される面構造の傾斜角は比較的水平であった。かんらん石の平均粒径は約1mmとやや粗粒であった。かんらん石の結晶方位定向配列 (CPO) について、集中度の指標であるJ-indexは2~4.5であり、P波異方性は8.5~12%であった。かんらん石のファブリックタイプはAタイプからD~Eタイプであった。また、掘削コアの特徴として、掘削回収時に掘削パイプ内で回転しているため、それぞれの研磨薄片から得られたかんらん石の結晶方位定向配列 (CPO) について、a[100]軸の最大集中方位のトレンドが一致するように回転させてCPOの変化を確認した。

本発表では、これらの結果を基にして約300mの掘削コア全体のカンラン岩の構造とその形成過程について議論する。

Nicolas et al. (2000) Accretion of Oman and United Arab Emirates ophiolite: Discussion of a new structural map. *Marine Geophysical Research*, 21, 147–179.

Kelemen et al. (2023) Preface: Special Issue on Ophiolites and Oceanic Lithosphere. *JGR Solid Earth*, 128, e2023JB026677.

# 海洋性トランスフォーム断層から自発的沈み込み開始は起こるか？ Does spontaneous subduction initiation occur at oceanic transform faults?

平内健一 (静岡大)  
Ken-ichi Hirauchi (Shizuoka Univ.)

海洋プレートの沈み込みはトランスフォーム断層や断裂帯などの既存の断層帯を利用して起こる。伊豆・小笠原弧では約52 Maに太平洋プレートと古フィリピン海プレート間に存在していた断裂帯に沿って沈み込みが開始したと考えられている (Ishizuka et al., 2011, *Earth Planet. Sci. Lett.*)。もし当時の両プレート間に有意な年代(密度)差が存在していたならば、重力不安定に起因してより古い海洋プレートが自発的に沈み込んでいった可能性がある。しかし、このような自発的な沈み込みが起こるためには、既存の断層帯が隣り合う海洋プレートと比較して著しく低い強度をもつ必要がある。しかし、そのような断層帯の産状や変形機構についてはよくわかっていない。

Izumi et al. (2023, *Tectonophysics*)では、海洋プレートが自発的に沈み込みを開始するために必要な断層帯の強度を明らかにするべく、粘弾塑性マントル対流コード I2ELVIS (Gerya, 2019, Cambridge University Press)を用いた二次元数値シミュレーション実験を行った。本数値モデルでは、年代の異なる2つの海洋プレート(より若いプレートの年代は10 Maで固定した)の間に幅20 kmの断裂帯を配置し、断裂帯全体が一定の強度(摩擦係数を0とし、実験毎に粘着力を変化させた)をもつとした。さらに、より古い海洋プレートの沈み込み時に脱水作用が起き、脱水流体が上盤側のマントルウェッジに付加した際には、熱水変質作用に起因して力学的に弱い含水鉱物(蛇紋石や滑石)が生成されるとした。実験の結果、脱水作用を考慮したモデルでは、海洋プレートの沈み込み開始直後からマントルウェッジ基底部に含水鉱物からなる低粘性層(約 $10^{19}$  Pa s)が形成され、両プレート間の潤滑剤として機能し続けることがわかった。この脱水モデルにおける自発的沈み込み開始に必要な断層帯の平均剪断強度は、プレートの年代差が80 Myr以上の場合において最大値を示し、7 MPaであった(つまり、7 MPaを超えると沈み込みが起こらなくなる)。

上記の数値シミュレーション実験で明らかとなった断層帯強度7 MPaは、現実的にあり得る値なのだろうか？もし断層帯がdry環境であり、粗粒かんらん石が変形を支配していると仮定した場合、平均剪断強度は200 MPaを超えてしまう。しかし、近年の海洋性トランスフォーム断層近傍で採取されたかんらん岩試料の解析から、トランスフォーム断層に沿って海水が20-25 kmの深度まで浸透し、含水鉱物や細粒かんらん石の生成が起こっていることが明らかになってきた(Kohli et al., 2021, *Nat. Geosci.*)。このような海水浸透によるwet環境を考慮すると、断層帯の平均剪断強度は3-4 MPa程度と著しく低い値となり、数値シミュレーション実験で示された強度範囲内に収まる。以上のように、海洋プレートの自発的沈み込み開始が起こるためには、既存の断層帯に沿った海水浸透が深部まで起こっている必要がある。

# ノサップフラクチャーゾーンの結果とMOWALL航海への提案 Results from the Nosappu Fracture Zone and a proposal for a MOWALL cruise

島 伸和\* (神戸大学)  
Nobukazu Seama (Kobe University)

本講演は、ノサップフラクチャーゾーン (Nosappu Fracture Zone、納沙布断裂帯、以下NFZと略す) で得られた海底地形、重力異常、地磁気異常のデータ解析により得られた結果と、MOWALL航海への提案の2つの内容からなる。

NFZの結果については、近都他 2021 および近都 2022 を整理してまとめた内容である。NFZ周辺におけるJAMTEC研究航海等で取得された海底地形、重力、地磁気データを解析することで、次のようなNFZ周辺の海洋地殻の特徴を明らかにした。

- ・ 極磁気変換を活用した地磁気解析結果と海底地形との比較により、NFZ周辺の海洋地殻の磁化伏角が、 $-50^{\circ}$ ~ $-30^{\circ}$ の方向である制約できた。この結果は NFZ周辺の海洋地殻が南半球の南緯 $15^{\circ}$ ~ $30^{\circ}$ で形成されたことを示している。

NFZより東側で見られる磁化の縞模様は 北への湾曲を伴っており、海底地形にみられた「J字型」リッジと一致している。このことは、Ridge-Transformシステムでの形成時に「J字型」に磁化し、その形成以降、その構造が約 130 Myrもの間 保存されていて、磁化の二次的な獲得が起こっていないことを示している。

NFZ周辺の海洋地殻形成時の片側拡大速度は平均 66 mm/yrであり、NFZのdeep basinのマントルブーゲ重力異常は周辺より10 ~ 15 mgal小さい。この関係は、Ridge-Transformシステムでの拡大速度と重力異常の関係と合致していた。このことは、NFZと周辺地殻の密度構造が Ridge-Transformシステムで地殻形成されてから 現在までの約130 Myrもの間 変化していないを示唆している。

MOWALL航海への提案は、トランスフォームに接する海洋地殻壁を音響的にマッピングすることである。この海洋地殻壁は、海洋地殻の断面が露出していることが期待され、この地震波速度構造は海洋地殻下の速度変化と同等であると予想される。その速度変化があれば、海水面と海洋地殻壁との音響インピーダンスに変化があることになり、結果的に音響的な反射率の違いとして現れるはずである。この特性を利用し

Marie Celeste Transformの南側の海洋地殻壁 (比較的急勾配で高度差が約3kmあって全長が100kmにおよぶ) を対象にして、マルチナロー測深器による音響散乱強度測定とサブボトム探査器を使って、音響的な反射率変化のマッピングを試みるという提案である。

## 参考文献

- 近都 麻衣, 島 伸和, 藤井 昌和, 羽入 朋子, 2021年、フラクチャーゾーンとその周辺における海洋性地殻の形成と変遷 InterRidge Japan集会  
近都 麻衣, 2022年、フラクチャーゾーン及び隣接する海洋地殻の形成と変遷: 海底地形・重力異常と磁化構造による制約、神戸大学修士学位論文

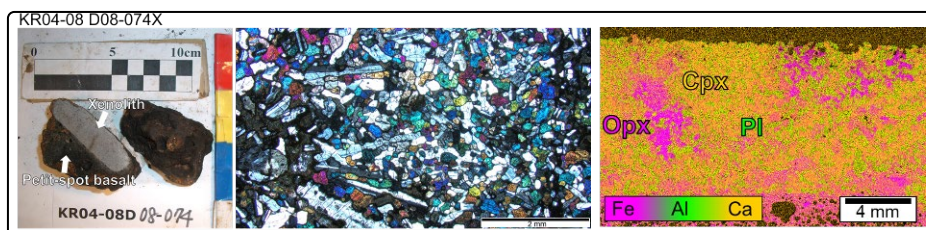
疑似モホール計画: プチスポット火山産海洋地殻・マントル捕獲岩はマントル掘削の先駆けとなりうるか

**A pseudo-Mohole Project: Could oceanic crustal and mantle xenoliths in a petit-spot volcano be a precursor to mantle drilling?**

三國和音\* (産総研)、平野直人 (東北大)、町田嗣樹 (千葉工大)、秋澤紀克 (東京大)、田村明弘 (金沢大)、水上知行 (金沢大)、森下知晃 (金沢大) **Kazuto Mikuni\*** (AIST), **Naoto Hirano** (Tohoku Univ.), **Shiki Machida** (Chiba Tech.), **Norikatsu Akizawa** (Univ. Tokyo), **Akihiro Tamura** (Kanazawa Univ.), **Tomoyuki Mizukami** (Kanazawa Univ.), **Tomoaki Morishita** (Kanazawa Univ.)

海洋地殻を構成する岩石は、主に中央海嶺玄武岩 (MORB)、海嶺近傍の断層に露出する岩石 (例えば東太平洋海膨) やオフィオライトから得られる。一方、(1) 年代が古く (2) 高速拡大系由来で (3) 陸上に衝上しておらず (4) 熱的改変・島弧火山活動などによる置換を受けていない、といった典型的な海洋地殻構成岩石については海洋掘削により採取されてきたが、最上部玄武岩質溶岩層までに限られる。また、武岩質溶岩層以深の岩石が得られた事例は 2 例のみである (掘削孔 504B および 1256D)。そのため、上記のような典型的海洋プレート物質の採取を目指し、マントル掘削が計画されている。

本発表では、北西太平洋地域のプチスポットに産する玄武岩質、ドレライト質、および斑レイ岩質捕獲岩について全岩・鉱物化学組成、Sr, Nd, Pb 同位体組成および岩石記載の結果を報告し、これらがマントル掘削の先駆けとなりうるか検討した。これらの捕獲岩は 130–140 Ma に高速拡大したイザナギ-太平洋中央海嶺 (両側拡大速度; 130–140 mm/yr; Müller et al., 2008) で形成された海洋地殻由来の岩石である。捕獲岩の全岩化学組成は MORB と概ね一致し、放射性同位体比は概ね太平洋 MORB や西太平洋海域の海洋地殻の組成範囲内であった。また、ココスプレート掘削孔やオマーンオフィオライト等から報告されている“グラノブラスティック”岩脈と同様の組織・鉱物組み合わせを持つ岩石も見られ、高速拡大海嶺軸下においてメルトレンズによるシート状岩脈群下部の接触変成作用 (例えば Koepke et al., 2008) が普遍的現象であることが示唆された。これら地殻捕獲岩と同じ火山から産するマントル捕獲岩の情報を統合することで、海洋地殻生成・溶け残りプロセスからプレートの冷却史までを復元できる可能性がある。一方、捕獲岩はその由来深度の推定や、母岩マグマによる影響を完全に切り離すことは容易でなく、マントル掘削による「能動的な」海洋プレート物質採取は極めて重要である。



グラノブラスティック岩脈由来と予想される苦鉄質捕獲岩。中心の図は薄片写真 (クロスニコル)、右の図は Fe, Al, Ca についての X 線マッピング像。

Müller et al. (2008) *GGG*, vol 9, issue 4. <https://doi.org/10.1029/2007GC001743>

Koepke et al. (2008) *GGG*, vol 9, issue 7. <https://doi.org/10.1029/2008GC001939>

# 蛇紋岩化に伴うマンツルの空隙率と物性の変化

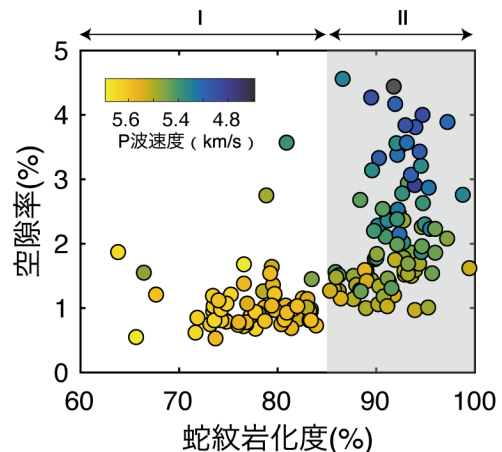
## Changes in porosity and physical properties of mantle during serpentinization

赤松祐哉\* (海洋研究開発機構)  
Yuya Akamatsu (JAMSTEC)

マンツルの蛇紋岩化は海洋プレートの変形特性を変化させるだけでなく、水素の発生や炭素の固定などを通じてグローバルな物質循環にも大きな役割を果たす。蛇紋岩化は、亀裂を通じた流体移動・化学反応と、化学反応による新たな亀裂の形成がフィードバックを起こしながら進展する複雑な物理化学プロセスである。そのため、海洋底の蛇紋岩化プロセスを理解するためには、蛇紋岩化反応に伴う空隙率・透水性の関係を定量的に評価する必要がある(岡本 2012, 岩鋳)。蛇紋岩化に伴うかんらん石の変質や磁鉄鋳の形成、反応クラックの形成は岩石の物理的性質を大きく変化させる。複数の物性データを統合的に解析することで、蛇紋岩化プロセスの多面的な理解につながると期待される。そこで本研究は、ICDP オマーン掘削計画 (Oman Drilling Project) で採取された蛇紋岩コア試料の物性データを用いて、蛇紋岩化に伴うかんらん岩の空隙率および物性の変化を調べた。

オマーンオフィオライトの最上部マンツルを掘削した Hole BA1B と Hole BA4A のコア試料から切り出された蛇紋岩化かんらん岩 (ハルツバージャイト・ダナイト) を用いて測定された物性データをコンパイルし、固相密度、空隙率、P 波速度、比抵抗 (dry, wet)、帯磁率が蛇紋岩化に伴いどのように変化するのかを調べた。固相密度から推定される蛇紋岩化の程度は、ハルツバージャイトが 59%–99% であるのに対し、ダナイトは 75%–99% の範囲を示す。また、これらのダナイトとハルツバージャイトはともに低温の蛇紋岩化反応に典型的なメッシュ構造を示す。

蛇紋岩化度と各種物性の関係は、物性の変化が緩やかなステージ I と、物性が急激に変化するステージ II に分けられた。蛇紋岩化度 < 85% のステージ I では、P 波速度は蛇紋石の生成に伴って線形的に減少するが、比抵抗や空隙率、帯磁率はほぼ一定であった。これは、ステージ I では蛇紋岩化が水-岩石比の低い条件で進行することを示唆する。しかし、蛇紋岩化度が 85% を超えると、空隙率・帯磁率が急増し、P 波速度・比抵抗は急低下する傾向を示した。これらの空隙率・P 波速度の変化は、反応による亀裂形成がステージ II で卓越することを意味し、比抵抗 (wet) の変化は、それらの亀裂の連結性も急激に増加しネットワークを形成することを示唆する。一方で、帯磁率・比抵抗 (dry) の変化は磁鉄鋳のネットワークが卓越することを意味する。これらの結果は、反応による亀裂のネットワーク形成と磁鉄鋳のネットワーク形成が同時に進行することを意味し、ステージ I から II にかけて水-岩石比が大きく増加し反応が促進される可能性を示唆する (Bach et al. 2006)。





前弧域マン托ルの溶融史: 強親鉄性元素・Re-Os 同位体からの制約  
Melting history of fore-arc mantle constrained from highly-siderophile elements  
and Re-Os isotopes

秋澤紀克\* (東大・大海研)、石川晃・藤田遼 (東工大)、  
谷健一郎 (国立科学博物館)、小原康彦 (海上保安庁)、石井輝秋 (静岡大学)  
Norikatsu Akizawa (AORI, Uni. Tokyo), Akira Ishikawa/Ryo Fujita (Tokyo Tech.),  
Kenichiro Tani (Natl. Mus. Nat. Sci.), Yasuhiko Ohara (Japan Coast Guard),  
Teruaki Ishii (Shizuoka Uni.)

前弧域マン托ルは枯渴しており、前弧火成活動に伴う溶融が示唆されている。一方で、前弧火成活動に関連しない、より古い溶融イベントを記録したマン托ルドメインの存在が指摘されていると共に (Parkinson et al., 1998, Nature 281, 2011-2013)、ポニナイトソースの一部は太古代 (~3600 Ma) に溶融したマン托ルドメインが寄与すると推察されている (Umino et al., 2017 Isl. Arc 439, 110-119)。本研究では、前弧域マン托ルの溶融時期に関連した不均質性の実態をつかみ、時間軸を加味した前弧域マン托ルの溶融史を明らかにするために、伊豆-小笠原-マリアナ海溝の前弧域で採取したカンラン岩の全岩-鉱物化学組成分析・強親鉄性元素 (HSE) 分析・Re-Os 同位体分析を実施した。

本研究では、伊豆-小笠原海溝とマリアナ海溝の会合部西方に位置する母島海山 (KH-82-4 次航海、KH98-1 次航海、KH03-3 次航海) とその近辺 (KR08-07 次航海)、南部マリアナ海溝斜面 (KH92-1 次航海、KH98-1 次航海) で採取された合計 35 個のハルツバーナイト-ダナイトサンプルを使用した。全岩主要元素組成を分析したところ、Mg/Si は 1.1-1.3、Al/Si は 0.005-0.025 程度を示し、様々なセッティングで採取されるカンラン岩がつくる組成トレンドの中でも枯渴した組成範囲に収まった。溶融程度を反映するプロキシであるスピネルの Cr#は高く、0.5-0.8 であった。初期上部マン托ルで規格化した HSE パターンは不均質であるものの、Os から Re に向かって下がる傾向のものにおいて、特徴的に Re 枯渴年代が古かった (~750 Ma)。HSE 元素パターンにおいて Ru に正の異常を示すものが卓越し、それらは HSE 含有量が少ない特徴を示した。

全岩主要元素組成やスピネル Cr#から判断すると、本研究で用いたカンラン岩は枯渴していると言える。Os から Re に向かって HSE パターンが傾くものは、中央海嶺で産するようなカンラン岩の HSE パターンと同様であるが、優位に Re 枯渴年代が古く、先行研究も合わせると 1230 Ma まで遡る (Parkinson et al., 1998)。一方で、HSE 含有量が少なく、Ru に富むようなものは Re 枯渴年代が若い、もしくは現在を超える異常値を示した。以上から、前弧域マン托ルは古い時代 (~12 億年前) に一度溶融し、前弧域で水に富む流体の影響で Re の付加を伴う再溶融を経験したため、Re-Os 系の同位体進化を伴うと共に Ru に正の異常を示す特異で枯渴した HSE 組成を獲得したと推察した。これは、前弧域マン托ルの溶融時期に不均質性があったことを支持するが、Umino et al. (2017) が提唱したさらなる古い溶融イベントは見出せなかった。我々が手にすることのできる前弧域カンラン岩は、先行研究結果を合わせても原生代が限度であり、太古代まで遡る溶融イベントを記録するマン托ルドメインが海洋域で存在し、マグマ形成に寄与するかどうかに関しては慎重に考察せねばならない。

オスミウム同位体から見たマンツルの地球化学的構造  
Geochemical structure of the mantle inferred from Osmium isotope

石川晃、藤田遼 (東工大)、秋澤紀克 (大海研, 東大)  
Akira Ishikawa, Ryo Fujita (Tokyo Tech.), Norikatsu Akizawa (AORI, Uni. Tokyo)

地球マンツルの化学的構造は、中央海嶺玄武岩(MORB)と海洋島玄武岩(OIB)の同位体組成の差異を基に推定されてきた。上部マンツルに由来する MORB は DM と呼ばれる枯渴した同位体端成分が支配的であり、肥沃な大陸地殻と相補的關係にあると考えられている。一方、深部マンツルに根をもつプルームが溶融したOIBの同位体組成は、かつてマンツル深部へ沈み込んだ表層物質 (大陸上部 / 下部地殻、海洋地殻) に由来する各端成分と PREMA と呼ばれる<sup>3</sup>Heに富む成分の混合を示す傾向にある。このことから、上昇プルームには様々な割合でリサイクル地殻物質が混入しているものの、その本体は<sup>3</sup>He に富む共通成分とみなすモデルが有力視されている。<sup>3</sup>He に富むリザーバーを「脱ガスを免れた始源的マンツル」と捉える研究者は、初期地球に形成された層構造がマンツル最深部に残存していると想定するが、PREMA 成分が示す Nd 同位体比はコンドライトに比べて枯渴している点 ( $\epsilon^{143}\text{Nd} = 6\sim 8$ ) から始源的マンツルの存在を疑問視する研究者も多い。また、メルト抽出後のマンツル物質がHe に対してU や Th が相対的に乏しくなる場合を想定すると、上昇プルームを構成するPREMA 成分の実態がマンツル最下部に沈み込んだ「古融解マンツル」である可能性も否定できない。しかし、多様なリサイクル地殻物質が混入したマグマから「古融解マンツル」の痕跡を検出することは極めて困難であり MORB/OIB研究からの制約はほとんどないといえる。

本研究では、マンツルの融解年代の指標となるオスミウム同位体比や強親鉄性元素存在度パターンに着目し、トランスフォーム断層崖やオフィオライトとして地表に露出した最上部マンツル由来のかんらん岩と、海洋島火山の後浸食期活動に由来するマグマにより地表に運ばれたかんらん岩捕獲岩の比較から、「古融解マンツル」の偏在性について検討した。もしマンツル捕獲岩が単純に海洋リソスフェアの断片であるならば、両者に系統的差異は認められないことが期待される。一方、マンツル捕獲岩の一部がOIB噴出に関連した「プルーム」の断片であったならば、最上部マンツルとは異なる地球化学的・同位体的特徴が検出される可能性がある。これまでに得られているデータによると、最上部マンツル由来かんらん岩のオスミウム同位体比頻度分布は汎世界的に類似した形状を示しており、およそそのピークが 0.1275、範囲が 0.115-0.130 で特徴付けられる。これはマンツルには過去の融解に伴う不均質性が小スケールで保持されているものの、マグマ生成領域や上部マンツル全域を扱うような大スケールでは攪拌効果により均質化しているとして解釈される。一方、マンツル捕獲岩のデータはピークや範囲に限ると最上部マンツルのデータとほぼ一致するものの、ハワイ、タヒチ産のかんらん岩には平衡温度が高いにもかかわらずメルト成分に乏しいハルツバージャイトが多く存在し、それらは共通して低いオスミウム同位体比 (0.115-0.120) を示すことが明らかになった。このことは、ハワイ諸島やフレンチポリネシアの直下マンツルには通常の上部マンツルと比較して、過去に融解したマンツル物質に富む傾向にあることを示しており、マンツルプルームと「古融解マンツル」の成因的關係を示唆している。

プチスポット火山産マントル捕獲岩から推定する海洋リソスフェアの温度構造  
Thermal Structure of Oceanic lithosphere inferred from Petit-spot mantle xenoliths.

丹羽佑果\* (東工大)、秋澤紀克 (大海研, 東大)、石川晃 (東工大)  
Yuka Niwa (Tokyo Tech.), Norikatsu Akizawa (AORI, Uni. Tokyo), Akira Ishikawa  
(Tokyo Tech.)

海洋リソスフェアの温度構造は、海洋底の地殻熱流量と水深のデータを用いたモデリングにより推定されてきた。半無限冷却モデルに従えば、形成年代が古くなるほど、プレートの厚みが増大し、海洋底の水深は深くなっていくことが予想される。しかし実際の海洋底では形成年代が古くなるにつれ、水深がほぼ一定になっており、モデルと整合しない問題がある[1]。そこで、実際的水深と整合するように海洋底年代の古い部分においてはプレートの厚みを一定とする境界条件を設定したプレートモデルが提唱されている[2]。プレートモデルでは実際の海洋底の水深だけでなく熱流量のデータとも整合がとれている。一方で、最近の研究では半無限冷却モデルに物理パラメータを追加することで水深や熱流量を説明する新モデルが提唱されており[1]、議論の決着にはモデルとは独立した方法で内部の地温勾配を推定する必要がある。本研究では、2021年に東北沖プチスポット火山サイトBにおけるしんかい6500調査により得られた捕獲岩サンプルに着目し、地質温度圧力計[3]を用いてプレート内部の温度圧力構造を推定した。全試料のうち、5試料は新鮮なざくろ石を含むレルゾライトであった。このうち1試料はざくろ石の中心にスピネルが含まれ、1試料はざくろ石が自形に近く丸みを帯び(A)、残り3試料はざくろ石が不定形である(B)。EPMAによって得られた各鉱物の定量分析値から、鉱物組成累帯や岩石全体に及ぶ化学的不均質が認められた。スピネルを含まない試料(A,B)ではプチスポットマグマ生成に参与する熱的擾乱を経験した可能性があるため、影響の少ないと考えられる鉱物のコア部分の化学組成から温度圧力を推定した。スピネルを含む試料を構成する輝石には顕著な離溶組織が発達しており、単純冷却履歴を記録している。このため最終平衡を記録すると考えられるリム部分から温度圧力を推定した。その結果、スピネルを含む試料は低温 (~900 °C)、ざくろ石が丸みを帯びた試料(A)は中温 (~1000 °C)、ざくろ石が不定形の試料(B)は高温 (>1200 °C)の平衡温度を記録しており、温度条件と鉱物組織に対応関係があることが判明した。本研究により得られた地温勾配は、先行研究[4]により推定された高い地温勾配や、半無限冷却モデルから予測される低いプレート地温勾配とは一致せず、プレートモデルから予測される古い海洋プレートの地温勾配 (GDH1)とよく一致した。これらの観察事実は、(1) プチスポットマグマ活動が海洋リソスフェアに与える熱的擾乱はリソスフェア中～下部に限定される、(2) 古い海洋リソスフェアの地温勾配は半無限冷却モデルよりもむしろプレートモデルに整合的である、という2つの重要な示唆を与えている。

[1] Korenaga et al. (2021) J. Geophys. Res. S. R. 126, e2020JB021528. [2] Stain and Stain (1992) Nature 359, 123-129.

[3] Brey and Köhler (1990) J. Petrol. 31, 1353-1378. [4] Yamamoto et al. (2014) Chem. Geol. 268, 313-323.

## コンラッドライズの火山活動史 Volcanic activities of the Conrad Rise

佐藤暢\* (専修大)、町田嗣樹 (千葉工大)、石塚治、佐藤太一 (産総研)、藤井昌和、野木義史 (極地研)

Hiroshi SATO (Senshu Univ.), Shiki MACHIDA (CIT), Osamu ISHIZUKA, Taichi SATO (AIST), Masakazu FUJII, Yoshifumi NOGI (NIPR)

コンラッドライズ (CR) は、南極大陸と南西インド洋海嶺の間に位置し、インド洋において最も未探索の海台の一つである (図 1)。これまでの研究では、主に海底地磁気縞異常に基づいて復元された海底拡大史に基づいて、白亜紀後期に、海嶺三重点付近での火山活動やホットスポット火山として形成されたと推定されてきた。Sato et al. (投稿中) では、新たに Sr-Nd-Pb-Hf 同位体や  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  年代を含む地球化学的および年代学的データを報告した。それに基づけば、CR の Ob および Lena 海山から採取された火山岩は約 40Ma の  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  年代を示し、Ob-one 海山と名付けた小海山が 8.5Ma を示した。いずれも、これまでの推定よりも新しく、プレート内火山として形成されたことを示している。CR の火山岩の同位体組成は、インド洋プルームコンポーネントと下部大陸地殻成分、および枯渇したマンツルの三成分混合モデルによって説明できる。Ob-one 海山の同位体組成は、インド洋プルームコンポーネントとほぼ一致する。

インド洋の中央海嶺玄武岩や海洋島玄武岩の同位体組成を説明するために、下部大陸地殻成分が仮定されるが、下部大陸地殻成分がどのように混合したかについては統一的な見解はない。Ob-one 海山の同位体組成がインド洋プルームコンポーネントとほぼ一致するという事は、プルームそのものに下部大陸地殻成分と混合していたとは考えにくい。インド洋のモーリシャス島では、大陸地殻の断片がモーリシャス島の下に存在していると推定されている (例えば、Torsvik et al., 2013, Nat. Geosci.; Ashwal et al., 2017, Nat. Commu.)。インド洋北東部のアフアナセイ・ニキチンライズは、CR の成因に関係していると推定されている (Homrighausen et al., 2021, Lithos) が、Sushchevskaya et al. (2022, Oceanology)

は、1990 年に潜水艇ミールで採取された数 cm 角の玄武岩から 1 粒だけではあるが約 29 億年の U-Pb 年代を持つジルコンを見出した。現時点で CR の下に大陸地殻が分布することを支持する積極的なデータはないが、今後、インド洋の海台で検討すべき重要な視点であると考える。

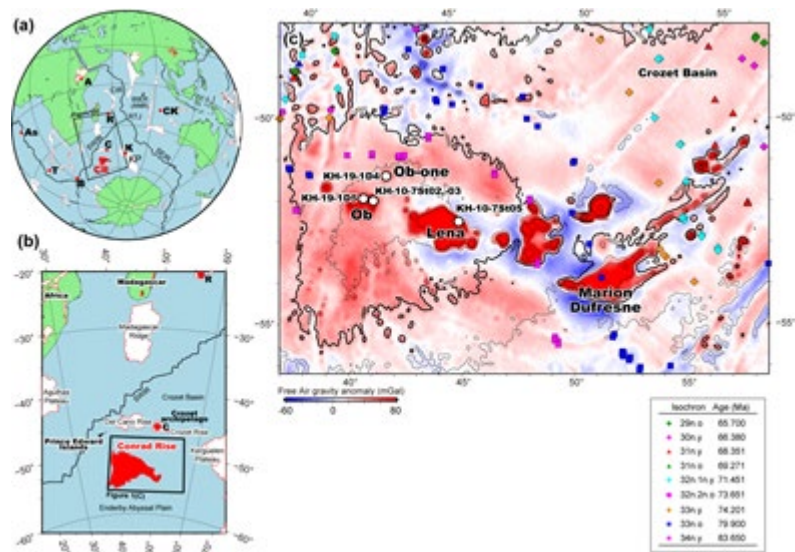


図 1 コンラッドライズの位置図

# 蛇紋岩の弾性波速度と電気比抵抗の異方性 Anisotropy of elastic wave velocity and electrical resistivity of serpentinite

伊藤禎宏 ( 広島大 )、片山郁夫 ( 広島大 )  
Tomohiro Ito (Hiroshima Univ.), Ikuo Katayama (Hiroshima Univ.)

沈み込み帯で起こるさまざまな現象には水が関わっている。蛇紋岩の形成もそのうちの一つである。沈み込むプレートがマントルウェッジに水を放出する際、プレートの表面やマントルウェッジと水が反応し蛇紋岩が形成される。特にプレートの表面に形成される蛇紋岩は強く変形を受け、片理面が発達している。また片理面を持つ岩石は、片理面に沿ってクラックが発達することがよく知られている。クラックは水道になりえるため、クラックに敏感な弾性波速度や電気比抵抗の異方性を調べることで、沈み込み帯での流体の移動経路を議論することが本研究の目的である。

本研究で用いた試料は、長崎県野母半島の変形したアンチゴライト主体の蛇紋岩である。この岩石は顕微鏡下でも強い定向配列を示す。その試料を片理面に平行な方向と垂直な方向で成形した。それらの試料を用いて、静水圧下で弾性波速度 ( $V_p$ ,  $V_s$ ) と電気比抵抗の同時測定を行い、岩石の異方性を評価した。P波速度は直交する3成分、S波速度は直交する3成分に対して2つの振動方向 (合わせて6成分)、電気比抵抗は直交する2成分の測定を行った。実験には容器内変形透水試験機を用い、封圧を5 MPaから200 MPaまで段階的に加圧し圧力効果を調べた。流体には0.5 mol/LのNaCl溶液を用い、流体圧は1 MPaに一定として室温下で実験を行った。

P波速度は片理面に平行に伝播する方向が、片理面に垂直に伝播する方向よりも速い傾向を示した。S波速度は片理面に平行に伝播振動する成分が、片理面を横切る伝播方向や振動方向に比べて速い傾向を示した。これらの結果は、片理面に平行な空隙が多く存在することで説明できる。電気比抵抗は、片理面に垂直な方向よりも片理面に平行な方向で測った場合の方が低くなり、およそ100 MPaで両者の値は近づいた。そのため、低圧化では流体が通るクラックが開いたが、高圧下ではそのようなクラックの多くは閉じたと考えられる。弾性波速度の異方性は200MPaまで加圧しても15%~20%程度残るが、200 MPaで多くのクラックが閉じたとすると、これは鉱物の異方性によるものだと考えられる。

# オマーンオフィオライトのフィールド調査と物性測定に基づいた海洋プレートの含水化プロセス

## Hydration Processes of Oceanic Plates Based on Field survey and Physical Property Measurements of Oman Ophiolite

坂本玄弥\*、片山郁夫、岡崎啓史、谷本和優（広島大）、赤松祐哉（JAMSTEC）  
Genya Sakamoto\*, Ikuo Katayama, Keishi Okazaki, Kazumasa Tanimoto (Hiroshima univ.), Yuya Akamatsu (JAMSTEC)

海底下での熱水循環は海洋プレート内の割れ目を通して、海嶺付近を中心に広く起こっており、そのような海洋プレート内の水道である割れ目の分布は弾性波速度や電気比抵抗で調べることができる。物性変化による地下構造の把握には、実験室で測定された物性データが用いられているが、実験室で測定されるサンプルと地球物理観測で検出されるスケールには6桁を超える違いが存在する。そのため、地球物理観測から海洋プレートの割れ目の影響を推定するには、実験室スケールの結果だけでなく、フィールドスケールでのマクロな割れ目の観察が必要と言える。そこで本研究では、地球物理探査で扱うようなスケールでの割れ目の特性を調べることを目的とし、オマーンオフィオライトでフィールドスケールの割れ目のマッピングを実施した。

調査は海洋プレートが陸上にのし上がった地質構造体であるオマーンオフィオライトのWadi Haymiliyah セクションで行った。このセクションでは玄武岩からハルツバージュアイトが連続的に川沿いに露頭として分布している。流体の通り道である割れ目（ベイン）マッピングでは、鉱物種、密度分布、アスペクト比、走行・傾斜をスキャンライン法により測定した。今回の調査では海洋プレートの上部からマントルまで、合計510本のベインをカウントした。海洋地殻中のベインは海嶺近傍で形成されるエピドートや角閃石から構成されるものと、それらより海嶺から離れた場所で形成されるプレーナイトから成るベインに分類され、マントルセクションのベインは蛇紋石で形成されていた。地殻内での海嶺近傍起源の高温のベインが示す空隙率は約0.5%、アスペクト比は約0.002、ベインの方向は海嶺軸に平行なものが多かった。海嶺から離れた場所で形成される低温のベインが示す空隙率は約0.2%、アスペクト比は約0.001で等方的な分布であった。また、現地で採取した岩石試料の物性を実験室で測定し、マトリックスの値として用いた。

フィールド調査で得られたベインの空間的分布と形状、そして実験室で得られた海洋プレートのマトリックスの値を有効媒質理論とパーコレーションモデルに適用させることで、フィールドスケールのベインの影響を反映した海洋プレートの地震波速度と電気比抵抗の推定を行った。地震波の計算結果は物理探査よりもやや遅くなる傾向にあり、電気比抵抗の計算結果は物理探査より1~2桁も低い傾向であった。このことから、実際の海底下ではオマーンオフィオライトの露頭で見られるようなベインのネットワークを十分に水が満たすような現象が起きていない可能性があり、ベインの形成について再評価が必要と考えられる。

**北海道幌満カンラン岩体の変形構造と地震波特性**  
**Fabric and seismic properties of the Horoman peridotite complex,**  
**Hokkaido**

松山和樹・道林克禎 (名古屋大)

Kazuki Matsuyama, Katsuyoshi Michibayashi (Nagoya Uni.)

地震波の波長 (5 km~) に対し非常に小さなスケールの構造因子 (鉱物の配列、結晶構造など) の畳み込みからなる上部マントルの地震波異方性は、固体地球科学において重要な研究課題であり、物質科学的 (構造岩石学的) なアプローチによる詳細な検討が求められている。幌満カンラン岩体は多様な変形微細組織と軽微な蛇紋岩化作用で特徴づけられる大規模カンラン岩体であり (例えば Niida 1974; Takazawa et al. 1999)、上部マントルの地震波異方性を研究する対象として最適な地質岩体の1つである。しかしながら、岩体全体の変形構造に着目した研究は Sawaguchi (2004) 以来進んでおらず、同岩体の変形・上昇過程については未だよく理解されていない。本研究は、幌満カンラン岩体の変形構造と地震波特性を明らかにすることを目的として、カンラン石と直方輝石の結晶方位フアブリック (結晶方位定向配列など) の解析とそれを基にした地震波特性の計算を行った。

幌満カンラン岩体上部から下部にかけて定方位カンラン岩試料32個を採取し、研磨薄片を作成した。そして、走査型電子顕微鏡による後方散乱電子回折 (SEM-EBSD) により鉱物相マップを作成し、カンラン石と直方輝石について粒径分布と結晶方位定向配列 (CPO) を測定した。次に、CPOとカンラン石及び直方輝石の弾性定数を用いてカンラン岩の地震波特性を算出した。

カンラン石の平均粒径は約500  $\mu\text{m}$ 、直方輝石の平均粒径は約600  $\mu\text{m}$ であった。カンラン石のCPOとして、E、A、AGの3つのタイプが確認され、岩体下部から上部にかけてCPOタイプに系統的な変化を示した。直方輝石のCPOとして、AC、ABC、BCの3つのタイプが確認されたが、カンラン石のような系統的な変化は示さなかった。またカンラン石100%集合体として計算したP波速度の異方性は7.5~15.3%であったが、直方輝石を含めると異方性は1.0~2.2%減少した。

カンラン石のCPOタイプは、塑性変形時の物理条件 (温度、差応力、含水量など) の違いによって変化し、特にEタイプは含水条件下で発達しやすいと考えられている (例えば Katayama et al. 2008)。Eタイプを示す試料に含水鉱物であるパーガス閃石を含むものがあること、また岩体南部と北部にEタイプが特異的に分布することは、幌満カンラン岩体が衝上運動で上昇した際、塑性変形を被りながら歪みの集中帯への局所的な水の流入が起こったことを示唆する。その他、カンラン石のCPOタイプが岩体下部から上部に系統的に変化すると、地震波速度の異方性が次第に弱くなる傾向にあることが明らかとなった。

引用文献 :

- [1] Karato et al., 2008, *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* 36.
- [2] Niida, 1974, *J. Geol. Soc. Japan* 80.
- [3] Sawaguchi, 2004, *Tectonophysics* 379.
- [4] Takazawa et al., 1999. *J. Petrol.* 40.

早池峰超苦鉄質岩体カンラン岩に記録されたメルトー岩石相互作用  
Melt-rock interaction preserved within mantle peridotites  
in Hayachine ultramafic complex

原野あゆ\* (名古屋大)、道林克禎 (名古屋大)

Ayu Harano (Nagoya Univ.), Katsuyoshi Michibayashi (Nagoya Univ.)

岩手県南部北上帯に露出する早池峰超苦鉄質岩体は、オルドビス紀の島弧域で形成されたオフィオライトのマントルセクションとされており、他のオフィオライトには稀な角閃石を含むという特徴がある<sup>[1]</sup>。また、詳細な野外調査と地球化学的研究より、早池峰超苦鉄質岩体はスラブ由来のメルトの流入による溶融とメルトの分離の影響で多様な岩相を示すことが明らかにされている<sup>[2][3]</sup>。早池峰超苦鉄質岩体では著しい蛇紋岩化作用を被っているためカンラン岩の産出は極一部に限られる。本研究では、これまでに最も始原的な化学組成をもつカンラン岩が報告された地点<sup>[2]</sup>から、比較的蛇紋岩化作用の影響が小さいカンラン岩 17 試料を採取した。そして、早池峰超苦鉄質岩体カンラン岩の構造岩石学的特徴と形成過程を明らかにすることを目的として、偏光顕微鏡による組織観察と SEM-EBSD による結晶方位分析を実施した。

カンラン岩試料はレーンゾライトからハルツバージャイトであり、かんらん石が波動消光を示すなどマントルの流動条件下で塑性変形した証拠が認められた。本研究では、Vp フリン図を用いて、かんらん石の結晶方位解析で得たデータから結晶方位ファブリックを分類した<sup>[4]</sup>。結果として、ファブリックタイプと *N*-index (ファブリックの強度) に基づいてカンラン岩は 3 つのグループに分類された。ファブリックタイプは、グループ 1 は A-type (3 試料)、グループ 2 は AG-type (11 試料)、グループ 3 は弱いファブリック (3 試料) をもつ。さらにグループごとに特徴的な組織が観察された。グループ 1 とグループ 2 のかんらん石は粗粒 (約 1~3mm) であり、直方輝石がかんらん石、単斜輝石、角閃石、スピネルを取り囲むポイキリティック組織 (約 2~3mm) をもつ。このポイキリティック直方輝石はグループ 2 の試料中でより大きい (約 5mm) という特徴があった。グループ 3 のかんらん石は中粒 (約 0.2~0.5mm) でモザイク状組織を示し、鉱物中にスピネルの微細 (約 0.01~0.03mm) な包有物を多く含んでいた。

本研究で観察されたポイキリティック組織は、これまで実験研究や他の地域のマントルカンラン岩で多数報告されており、そのほとんどがメルトー岩石相互作用と関連付けられている<sup>[5][6][7]</sup>。従って、本研究の組織観察の結果は、メルトー岩石相互作用を強く示唆しており、グループ 1 とグループ 2 のポイキリティック直方輝石の大きさの違いはメルトの反応の程度を反映している可能性がある。また、グループ 3 の組織は歪が局所的に集中した領域で結晶が細粒化して結晶方位ファブリックが弱化したと考えられる<sup>[8]</sup>。以上のことから、早池峰超苦鉄質岩体のカンラン岩にはアセノスフェア最上部におけるマントルの流動特性とメルトー岩石相互作用が記録されていると考えられる。

【引用文献】 [1] Ozawa K. (1988), *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 99, 159–175. [2] Ozawa & Shimizu (1995), *Journal of Geophysical Research*, 100, 22315–22335. [3] Yoshikawa & Ozawa (2007), *Gondwana Research*, 11, 234–246. [4] 道林 (2015), *地学雑誌*, 124(3) 397–409. [5] Rampone et al. (1994), *Mineralogical Magazine*, 58A. [6] Tamura et al. (2008), *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 155, 491–509. [7] Wang et al. (2021), *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 126(3). [8] Arai et al. (2004), *Journal of Petrology*, 45, 2, 369–389.



**海洋コアコンプレックスのトランスフォーム断層斑れい岩の変形特性**  
**Rheology of gabbroic rocks along a transform fault adjacent to an oceanic core complex**

二村康平<sup>\*</sup>(名古屋大学)、道林克禎(名古屋大学)、  
針金由美子(産総研)、小原泰彦(海上保安庁)

Kohei NIMURA (Nagoya U.), Katsuyoshi MICHIBAYASHI (Nagoya U.),  
Yumiko HARIGANE (GSJ), Yasuhiko OHARA (JCG)

低速拡大系で発達する海洋コアコンプレックス(OCC)の表面には、海底拡大に伴う正断層運動による変形作用を経験した地殻・上部マントル物質が露出するため、天然岩石の微細構造をもとに変形と変成反応の相互作用を考察して変形特性を解明する格好の研究対象となる。本研究では、フィリピン海四国海盆のOCCの1つであるマドメガムリオンのトランスフォーム断層壁面に露出する斑れい岩における変形と変成反応の相互作用の解明を目的とした。

本研究では、オキサイドガブロ3試料(YK20-18S-6K1569-R06, R07b, R09-1)、角閃岩1試料(R10)について、組織観察、結晶方位解析および主要元素組成分析を行った。そして、組織観察と結晶方位解析の結果をもとにして、斜長石と角閃石の変形機構を推定した。また、組織観察と主要元素組成分析の結果をもとに変成反応を考察した。さらに、主要元素組成分析から得られた化学組成を角閃石-斜長石地質温度計に適用することによって、変成温度を推定した。

全ての岩石試料はポーフィロクラスト状組織を示すが、オキサイドガブロは葉状構造、角閃岩は鉱物相の混合した組織をもつ。斜長石には結晶内塑性変形の証拠を示す波動消光や変形双晶などが観察された。また、亜粒回転再結晶やバルジ再結晶の組織を示した。褐色角閃石はポーフィロクラスト、マトリクスまたは単斜輝石の周縁部に観察された。その他、ポーフィロクラストの褐色角閃石は弱い波動消光をもち、一部に粒界回転再結晶の組織を示した。緑色角閃石は、単斜輝石と褐色角閃石の周縁部または単斜輝石の仮晶として存在していた。結晶方位ファブリックについて、斜長石の結晶方位定向配列(CPO)は弱く、角閃石CPOは強い集中を示した。斜長石ポーフィロクラストのアノーサイト( $An$ )値は、オキサイドガブロが低い値を示す一方(R06,  $An_{36-37}$ ; R07b,  $An_{42-46}$ ; R09-1,  $An_{40-45}$ )、角閃岩は高い値を示した(R10,  $An_{60-78}$ )。斜長石マトリクスの $An$ 値は、ポーフィロクラストと比較して低い組成範囲を示した(R06,  $An_{17-39}$ ; R07b,  $An_{19-40}$ ; R09-1,  $An_{22-45}$ ; R10,  $An_{42-76}$ )。角閃石の化学組成は Tremolite-Pargasiteの範囲にあり、初生的なものと二次的なものの両方が含まれていた。得られた平衡温度は R06とR10が同様の温度範囲を R06, 709~788 ; R10, 731~796 R07bは低温側の温度範囲を R07b, 684~755 R09-1は幅広い温度範囲を示した R09-1, 664~840

斜長石と褐色角閃石が動的再結晶の組織を示すことから、これらの変形機構は転位クリープであったと推定される。一方で、斜長石と角閃石のマトリクスは初生的な組成から変化していることから、溶解-析出作用が関与している可能性がある。単斜輝石と角閃石の微細構造と、斜長石と角閃石の化学組成の変化から、オキサイドガブロと角閃岩は、水が関与するような変成反応を経験したと推察される。したがって、オキサイドガブロと角閃岩は、変成反応による岩石の弱化が促進された可能性がある。

## シュードセクション法による地殻-マントル境界の水-岩石反応解析 ～オマーンオフィオライト延性剪断帯を例として～

**Pseudosection for water-rock interaction occurred in the crust-mantle boundary: an example from a ductile shear zone in the Oman ophiolite**

**夏目 樹\*(名大), 瀬瀬佑衣(名大), 道林克禎 (名大), 岡本敦 ( 東北大 )  
NATSUME Itsuki\* (Nagoya Univ.), MICHIBAYASHI Katsuyoshi (Nagoya Univ.), KOUKETSU Yui (Nagoya Univ.), OKAMOTO Atsushi (Tohoku Univ.)**

オマーンオフィオライトの地殻-マントル物質境界にはダナイトとハンレイ岩が層構造をなすモホ遷移帯が発達しており、北部地域では含水延性剪断帯によって切られた露頭が報告されている(Michibayashi and Oohara, 2013)。この剪断帯の上位露頭では、著しい水-岩石反応を伴う変形作用によって、原岩の痕跡をわずかに残す褐色～黒色部と青白色部が互層状の構造を形成している。延性剪断帯内部の岩石試料の微細構造解析によって、鉱物組合せが異なる5つの岩石組織 ( Ol sub-zone, Amp-Pl sub-zone, Amp sub-zone, Chl sub-zone, Cpx sub-zone ) がこれまでに確認された(Natsume et al., 2023 JpGU要旨)。本研究ではシュードセクション法を用いて、これら5つの岩石組織に含まれる含水鉱物の形成条件を推定した。

シュードセクション法は、岩石中の鉱物組成や固溶体鉱物の化学組成等について、温度・圧力・全岩化学組成などのパラメータから熱力学的に計算する手法である。2つのパラメータを変数として計算結果を表した図をシュードセクションと呼ぶ。本研究では、含水鉱物の形成温度と延性剪断帯内のダナイトとハンレイ岩の混合の影響を推定するために、縦軸に温度(300～1000°C)、横軸にダナイトとハンレイ岩を端成分とした全岩化学組成とするシュードセクションを作成した。計算は、H<sub>2</sub>O流体に飽和したCaO-FeO-MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O系で、一般的な海洋地殻の厚さに相当する圧力(200 MPa)を仮定した。

シュードセクション法の結果から、原岩の全岩化学組成(ダナイトとハンレイ岩の混合比)に依らず、角閃石は約750°C以下、緑泥石は約650°C以下で安定であることが明らかになった。さらに、微細構造との比較に基づくと、Ol sub-zoneはダナイト由来の組織で、ハンレイ岩由来のAmp-Pl sub-zoneと900°C～750°C程度、Amp sub-zoneはOl sub-zoneの形成後に約750°C以下、Chl sub-zoneとCpx sub-zoneは約650°Cで形成されることが明らかとなった。さらに、また、本研究で観察されていない滑石は、流体の1%以上をCO<sub>2</sub>としたシュードセクション上でしか出現しないことから、延性剪断帯内ではCO<sub>2</sub>をほとんど含まない流体と岩石が反応したことが推察される。

以上により、オマーンオフィオライトモホ遷移帯に発達した含水延性剪断帯では、900°C以下の降温期の水-岩石反応を伴う変形作用によって、ダナイトとハンレイ岩の混合比に応じて含水鉱物を含む様々な岩石組織が形成されたことが明らかとなった。これらの水-岩石反応による鉱物形成は、オマーンオフィオライトだけでなく、海洋プレート全般に形成された断層帯の深部領域でも同様に起こりうる可能性がある。

。

## 伊豆－マリアナ前弧域のマントル加水作用とマグマ形成史

Hydration of the mantle and magma genesis in the Izu–Mariana fore-arc region.

山岡璃音(東大)\*, 秋澤紀克(東大), 市山祐司(千葉大), 田村明弘(金沢大), 森下知晃  
(金沢大)

Rion Yamaoka (University of Tokyo)\*, Norikatsu Akizawa (University of Tokyo), Yuji  
Ichiyama (Chiba University), Akihiro Tamura (Kanazawa University), Tomoaki  
Morishita (Kanazawa University)

沈み込み帯では、巨大地震や島弧火成活動が生じるなど、地球上で最も活動的なテクトニックセッティングである。また、沈み込み帯は、海洋リソスフェアが地球内部に沈み込む場として汎地球規模の物質循環が進行する場であり、個体地球化学進化に重要な役割を果たしている。伊豆－マリアナ前弧域に分布する蛇紋岩海山や海溝陸側斜面では、沈み込み帯マントル由来物質を採取できるため、沈み込み帯マントルに記録された物質循環を理解する上で格好の研究対象である。本研究では、前弧域マントルの加水作用とそれに伴う火成活動を総合的に理解するために、伊豆－マリアナ弧海溝陸側斜面に露出する地殻起源の岩石と上部マントルかんらん岩を用いて、岩石記載と地球化学的分析を実施した。

本研究で用いた試料は、海洋研究開発機構(JAMSTEC)が保有している潜水船で採取された小笠原海溝、南マリアナ海溝、ヤップ海溝の海溝陸側斜面からの試料と、大気海洋研究所所有のマリアナ海溝陸側斜面から白鳳丸で採取された大気海洋研究所所有の試料である。3つの海溝(小笠原海溝、南マリアナ海溝、ヤップ海溝)から採取されたかんらん岩は、様々な程度に蛇紋岩化したハルツバージャイトとダナイトで、南マリアナ海溝のかんらん岩は針状～繊維状の角閃石(パーガス閃石、エデン閃石、マグネシオホルンブレンド、トレモラ閃石、カミングトン閃石)に富む。一方で、ヤップ海溝のかんらん岩は角閃石を含まず、単斜輝石を含むことで特徴づけられる。かんらん岩に含まれるクロムスピネルの  $Cr\# (=Cr/(Cr+Al) \text{ 原子比})$  は南マリアナ海溝で最も高く(0.57~0.86)、ヤップ海溝で最も低い(0.42~0.67)。加えて、直方輝石の重希土類元素濃度から、南マリアナ海溝のかんらん岩は他の地域のものよりも枯渇していることを示した。また、TASダイアグラムを用いると、地殻由来の岩石は玄武岩～安山岩である。

角閃石の微量元素組成は、鉱物種によらず Ba や Sr に富む一方で、流体移動元素に富んでいることから、全ての角閃石の形成には流体が関与していることが示唆される。角閃石を対象とした地質温度計からは、 $Al_2O_3$  に富む Ca 角閃石(パーガス閃石、エデン閃石、マグネシオホルンブレンド)が 780~930°C で形成され、トレモラ閃石が 710~840°C で形成されたと見積もられる。前者は後者よりもアルカリ元素に富むためより深部での形成が、後者はより浅部での形成が示唆される。さらに、トレモラ閃石はカミングトン閃石に囲まれるように産していることから、南マリアナ海溝では、含水メルトが侵入することによりリソスフェリックマントルがフラックス融解をして枯渇度が上がると共に  $Cr\#$  が上昇し、温度冷却過程に伴う加水作用によって各種角閃石が形成されたと考えられる。また、それに伴う島弧マグマ活動も誘発されたと推察される。

**地磁気異常データを用いたマリアナトラフの拡大過程**  
**Spreading process of the Mariana Trough using geomagnetic anomaly data**

小野誠太郎 ( 東大 )、沖野郷子 ( 東大 )、島伸和 ( 神戸大 )  
Seitaro Ono(The University of Tokyo), Kyoko Okino (The University of Tokyo),  
Nobukazu Seama (Kobe University)

**要旨**

マリアナトラフは、太平洋プレートがフィリピン海プレートに沈み込むことにより形成された、現在でも活動的な背弧海盆である。マリアナトラフは地形の特徴から北部、中部、南部の3つの地域に分けることができる。これまでに3つのそれぞれの地域で地磁気異常データの解析を元に拡大開始年代や拡大速度が考察されてきたが、マリアナトラフ全体の形成史について総合的な研究はなかった。本研究ではマリアナトラフ全体の地形、地磁気異常を解釈することで、拡大開始から現在までの拡大過程を考察する。マリアナトラフは背弧海盆の中では調査が進んでいる地域であり、地磁気異常を全域で解釈することができる。そのような背弧海盆は四国海盆やラウ海盆だけと少ないため、本研究によって背弧海盆の形成過程に新たな知見を与えることが期待できる。

本研究に用いたデータは、海底地形データ、地磁気異常z成分の2種類である。海底地形データは研究調査船「よこすか」、「かいいい」、「白鳳丸」によるY96-13, YK99-11-Leg2, YK00-13, YK01-11, YK03-09, YK09-08, YK10-10, YK10-15, KR98-12, KR02-14, KR03-13, KR05-17, KR06-12, KH92-1の14航海でのマルチナロービーム測深器で測定された。これらのデータをgmt nearneighborを用いて50mグリッドを作成し、データが不足している部分はKitada et al (2005) の0.1分グリッド地形データ補完して、マリアナトラフ全体の地形データを作成した。地磁気データは、研究調査船「よこすか」、「かいいい」、「白鳳丸」による Y96-13, YK99-11-Leg2, YK01-11, YK03-09, YK08-08 Leg1,2, YK09-08, YK10-10, YK10-12, YK10-15, YK12-11, YK14-13, YK15-11, KR97-11, KR98-12, KR00-03, KR02-01, KR02-14, KR03-13, KR05-17, KR16-14, KH92-1の21航海で、船上3成分磁力計によって取得された。マリアナトラフが磁気赤道に近い場所での東西拡大であること、水平ジャイロコンパスの不調により地磁気異常水平成分の精度が悪いデータがあったことから、本研究では地磁気異常z成分を使用した。まずIsezaki (1986) の手法を用いて船体磁化の影響を補正し、Parker and Huestis (1974) のインバージョン手法を用いて、船体磁化補正した地磁気異常z成分を海底下の磁化強度に変換した。

作成した詳細地形図の解釈に基づき、拡大軸、セグメント境界、リフティングと海底拡大の境界を認定し、各セグメントごとの地形的特徴を明らかにした。また、海底下の磁化強度からは縞状異常の特徴が明らかになり、現在の拡大軸から順番に年代を割り振ることでセグメントごとの拡大過程を推定した。開始は中部地域で約6Maであり、中部(約6.0Ma)、北部(約3.6Ma)、南部(約2.58Ma)の順番で拡大が起こったことを示した。また地形的に拡大軸の左右で非対称な拡大様式が見られ、地磁気のforwardモデルを用いた検討も行なった。

## 四国海盆南海道メガムリオンの地球物理学的特徴：背弧拡大開始期のテクトニクス

**Geophysical characteristics of Nankaido Megamullions in the Shikoku Basin: tectonic implications for backarc spreading initiation**

森口 堯明\*，沖野 郷子（東大大海研），小原 泰彦（海上保安庁/海洋研究開発機構/名古屋大学），針金 由美子（産総研），股村 祐希（東北大学）

Takaaki Moriguchi\*, Kyoko Okino (AORI), Yasuhiko Ohara (Hydrographic and Oceanographic Department of Japan /JAMSTEC/ Nagoya University), Yumiko Harigane (AIST), Matamura Yuki (Tohoku University)

Why and how backarc spreading initiates and ceases have been essential questions in plate tectonics. The backarc spreading of Shikoku and Parece Vela Basin in the Philippine Sea is considered to have started around 29–26 Ma and terminated around 15 Ma. Oceanic core complexes (OCCs), or megamullions, are domal structures with corrugations on their surface seen on spreading seafloors. They develop when the melt supply from the spreading center is diminished (~50%). At the OCCs, the rocks from the lower crust and the mantle are exhumed along large detachment faults to the seafloor. Therefore, investigating the OCCs helps comprehend the evolution of the backarc basins. The cruise YK22-18S of R/V Yokosuka aimed to conduct a geophysical survey and sample the rocks over the several OCCs in the westernmost part of the Shikoku Basin. The Kyushu-Palau Ridge is a remnant half of the proto-Izu-Bonin arc, so the OCCs near the Kyushu-Palau Ridge are expected to provide information on 22–20 Ma, the period of backarc spreading initiation.

From the multibeam bathymetry data and total field magnetic data obtained during YK21-06S and YK22-18S, we present a bathymetric map, Mantle Bouguer Anomaly (MBA) map, and a magnetic anomaly map. Judging from the domal structures with a relative height of ~1000 m, the corrugations parallel to the spreading direction, and the ~140 mGal positive MBA, we identified three OCCs among the Nankaido Megamullions. Furthermore, we calculated the magnetic anomaly from the total magnetic field data and obtained a geomagnetic stripe pattern. We also present the deskewed geomagnetic anomaly pattern and determine the magnetic chrons precisely.

インド洋ロドリゲス三重会合点付近、かいいい熱水域における  
人工及び自然地震による地震波速度構造と地震活動

Seismic velocity structure and seismicity at the Kairei hydrothermal vent field  
near the Rodriguez Triple Junction in the Indian Ocean

佐藤利典\*、高田裕能、森井彩斗、山田詩歩（千葉大）、  
山田知朗、篠原雅尚（東大、地震研）

Toshinori Sato\*, Hiroyoshi Takata, Ayato Morii, Shiho Yamada (Chiba Univ.),  
Tomoaki Yamada, Masanao Shinohara (ERI, Univ. Tokyo)

The Kairei hydrothermal vent field (KHF) is on the northeastern side of the first segment of the Central Indian Ridge and discharges  $H_2$ -rich hydrothermal fluids. To identify the source of these fluids based on the crustal and upper mantle structures and tectonic stress fields, we conducted a seismic refraction survey and observed natural seismicity in and around the KHF. We estimated 3D  $V_P$  and  $V_S$  structure models from airgun and natural seismic sources and determined 1,861 hypocenters during a period of about two months. Beneath Yokoniwa Rise,  $V_P$  in a convex zone exceeded 6.0 km/s at  $\sim 2$  km depth below the seafloor and exceeded 7.0 km/s at 3–4 km depth (Fig. 1); we thus interpret the rise to be a non-transform offset massif formed by the uplift of deep rocks. We detected a seismic cluster in a normal fault zone 3–5 km northwest of the KHF (Fig. 1). Many events in this cluster occurred at 2–5 km depth below the seafloor in an area of high  $V_P/V_S$  ratios ( $\sim 2.0$ ) that are consistent with serpentinized peridotite, suggesting that seawater seeping downward through the fault zone has serpentinized peridotite at depth, thus becoming  $H_2$ -rich hydrothermal fluid. This high- $V_P/V_S$  area extends laterally at depth, and other such areas are observed at  $<1$  km below the seafloor near the KHF. This configuration suggests that the high- $V_P/V_S$  areas might provide conduits for the hydrothermal fluids that issue from the vents of the KHF. At the first segment of the ridge, we detected distinct shallow and deep seismic clusters. Seismicity in the shallow cluster was intermittent whereas deeper seismicity was nearly continuous, possibly indicating distinct magmatic activities at each depth.

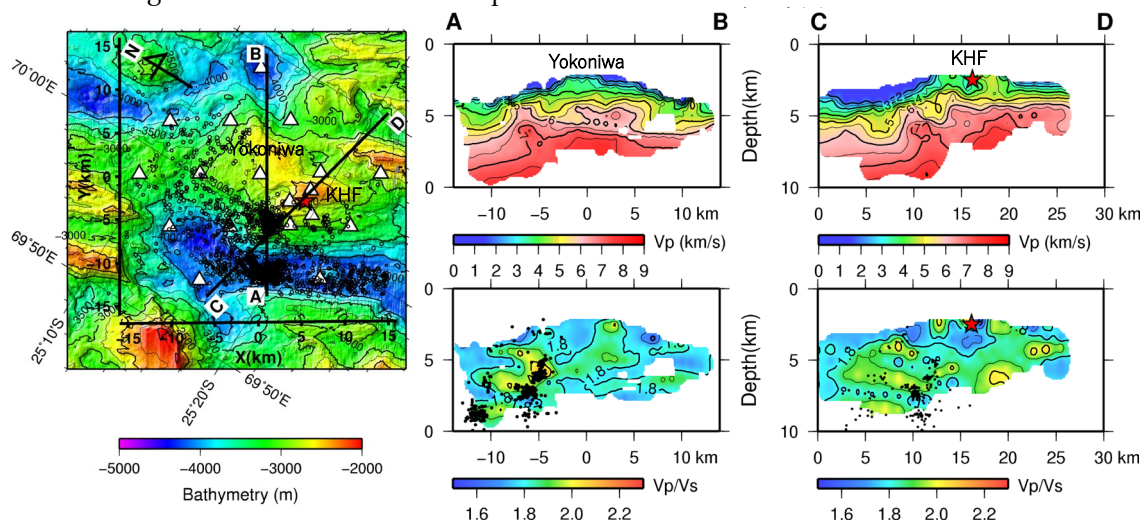


Fig. 1. Seismicity,  $V_p$ , and  $V_p/V_s$  ratio with natural seismicity cross sections beneath the seismic cluster northwest of the KHF (A–B) and between the cluster and the KHF (C–D). Triangles indicate OBSs and the red star indicates the KHF.

## 中央インド洋海嶺ロドリゲス三重会合点付近の地震のメカニズム

### Seismic focal mechanisms near the Rodriguez Triple Junction in the Indian Ocean

山田詩歩\*, 佐藤利典、森井彩斗(千葉大)、山田知朗、篠原雅尚(東大地震研)

Shiho Yamada\*, Toshinori Sato, Ayato Morii (Chiba Univ.),

Tomoaki Yamada, Masanao Shinohara (ERI, Univ. Tokyo)

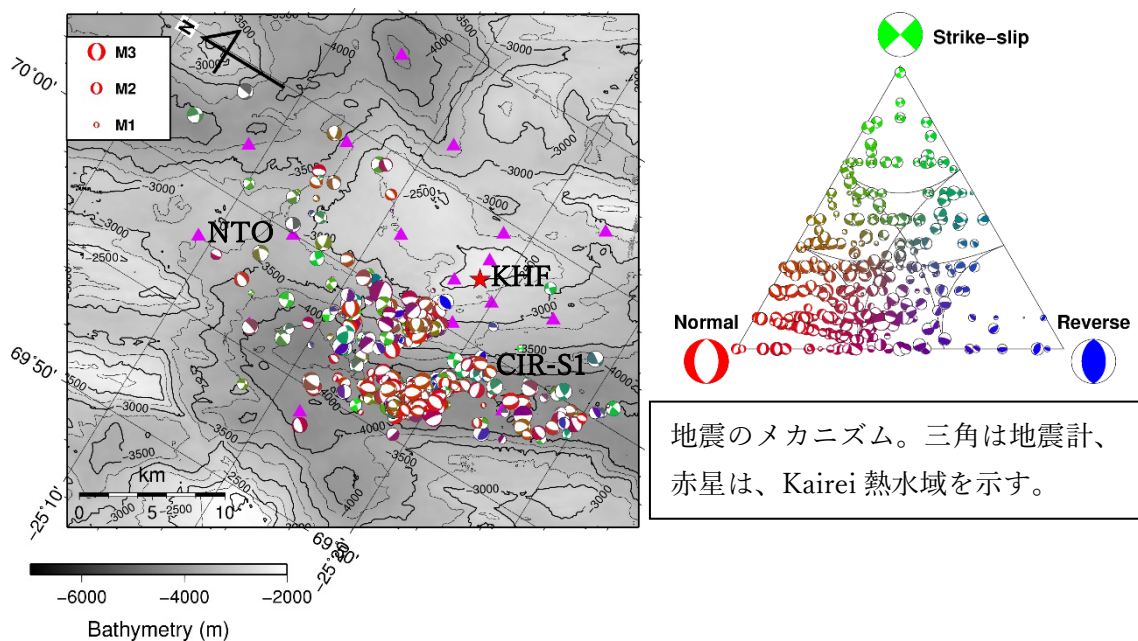
中央インド洋海嶺ロドリゲス三重会合点の北側、中央インド洋海嶺の南端には、インド洋で初めて確認された熱水噴出のある Kairei フィールド熱水域 (KHF) が存在し、熱水には高濃度の熱水が含まれている。KHF の北側、海嶺軸の第一セグメントと第二セグメントの間には Yokoniwa Rise という地形的高まりがある。

この高まりは NTO massif であると考えられている。NTO massif とは、低速度拡大海嶺系のセグメント間で、トランスフォーム断層のような断層が見られない Non transform offset の付近で見られる地形的な高まりである。複数の断層によって地下深部の岩石が上昇しながら形成されると言われている。本研究では当該地域において観測した地震のデータから三次元構造を用いて地震のメカニズムを決定し、この場所でどのようなテクトニックな力が働いているかを考察した。

2013年1月27日から3月19日にかけて海洋研究開発機構、観測調査船「よこすか」を用いて、海底地震計による観測が行われ、森井(2022,修論)によって、tomoDDプログラムを使用した3次元構造による震源が決定された。このデータでFPFITを用い、発震機構解を算出した。

発震機構解を算出した結果、423個の地震が精度良く求められた。海嶺軸の第一セグメント (CIR-S1) と熱水域の北西域では正断層型のメカニズムが多く、Non transform offset 付近では多くの横ずれ断層型と、いくつか正断層型のメカニズムが確認された。また地震それぞれにおいてP軸とT軸を求めた結果、第一セグメントと熱水の北西域では、引っ張りの力が第一セグメントの拡大方向に働いていることがわかった。

これらから、第一セグメントの拡大方向に引っ張りの力が働いており、Yokoniwa Rise は NTO massif の生成過程と一致した応力場が働いていることがわかった。



## 海洋リソスフェアにおけるトランスフォーム断層型自発的沈み込み開始： スラブ脱水作用の影響

### Spontaneous subduction initiation at transform faults in the oceanic lithospheres: Effects of slab dehydration

石川美鈴（静岡大）、平内健一（静岡大）、吉田晶樹(海洋研究開発機構)  
Misuzu Ishikawa Ken-ichi Hirauchi Masaki Yoshida

海洋底の断層帯やトランスフォーム断層では、断層を介した海洋プレート間に密度差が存在するため、自発的により古い海洋プレートが沈み込みを開始する可能性がある。このような自発的沈み込み開始の例として、伊豆・小笠原・マリアナ(IBM)沈み込み帯が挙げられている。近年、約52 Maの沈み込み開始時の古IBM弧をモデルとした数値シミュレーションの研究が多く行われているが(例えば、Maunder *et al.*, 2020, *Nat. Commun.*)。これらの研究では、断層帯の強度を著しく低くすることで、沈み込み開始を可能にしている。しかし、これらの断層帯強度は、地殻・マントル物質を用いた変形実験から示唆される値に比べてはるかに小さい。一方、最近の岩石学的研究から、トランスフォーム断層への海水浸透により含水鉱物(例えば、角閃石、緑泥石、蛇紋石)が生成すること、粒径減少したかんらん石が拡散クリープしていることが明らかになった(Kohli *et al.*, 2021, *Nat. Geosci.*)。しかしながら、断層帯の海水浸透による上記の効果が自発的沈み込み開始に与える影響についてはほとんどわかっていない。

そこで本研究では、含水断層帯の存在が自発的沈み込み開始に与える影響を理解するために、海洋リソスフェアにおける自発的沈み込み開始の2次元粘弾塑性数値シミュレーションを実施した。数値モデルでは、マントル対流コード(I2ELVIS)を使用し、幅20 kmからなる断層帯の左側に年代が若いプレート(OP)、右側に年代が古いプレート(DP)を配置した。OPの年代は11 Ma DPの年代は71-91 Maと変化させた。含水断層帯では、より低温域では蛇紋岩化(アンチゴライトのべき乗則クリープ)、より高温域ではかんらん石の含水および粒径減少(拡散クリープ)が起こっていると仮定した。脆性領域では、有効摩擦係数( $\mu' = \mu(1 - \lambda)$ )；ここで、 $\mu$ は摩擦係数、 $\lambda$ は間隙流体圧比)を系統的に変化させ、沈み込む開始が起こる $\mu'$ の最大値( $\mu'_{max}$ )を求めた。さらに、一部の数値モデルでは、スラブ脱水を考慮し、脱水流体がOP側のマントルウエッジに浸透すると、含水断層帯と同様のレオロジー特性になるように設定した。

スラブ脱水を考慮したモデルでは、OP-DP年代の組み合わせが11-91 Maのとき、定常的な沈み込みが起こるためには含水断層帯の摩擦係数が0.14 ( $\lambda = 0.9$ と仮定)以下である必要があった。一方、脱水作用を考慮しないモデルでは、同年代差の場合において0.09 ( $\lambda = 0.9$ と仮定)以下となった。定常的な沈み込みが起こった実験では、どちらのモデルの場合においても断層帯が低粘性(約 $10^{19}$  Pa s)の剪断帯を形成し、両プレート間の結合度を低下させた。脱水作用を考慮したモデルでは、この低粘性の剪断帯に加えて、スラブ直上のマントルウエッジにアンチゴライトからなる低粘性層が形成されていた。このアンチゴライト層がさらなる結合度低下の役割を担うことで、脱水作用を考慮しないモデルに比べてより高い断層帯強度での沈み込みが可能となった。