

東京大学大気海洋研究所共同研究集会
海洋地殻－マンツルの新たな実像：オマーン掘削から、海域観測から
－ InterRidge－Japan研究集会 －

日時：令和1年11月25日（月）11:00～17:40

11月26日（火）10:00～12:00

場所：東京大学大気海洋研究所2階 講堂

〒277-8564 千葉県柏市柏の葉5-1-5 TEL 04-7136-6009

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

高澤栄一（新潟大学/JAMSTEC）takazawa@geo.sc.niigata-u.ac.jp

岡崎啓史（JAMSTEC）okazakik@jamstec.go.jp

秋澤紀克（東京大学大気海洋研究所）akizawa@aori.u-tokyo.ac.jp

大気海洋研究所対応：沖野郷子（東京大学大気海洋研究所）okino@aori.u-tokyo.ac.jp

プログラム

11月25日（月）

10:30 受付開始

11:00－12:30 基調講演 座長 秋澤

11:00	開会の辞	沖野 郷子（東京大学大気海洋研究所）
11:05	海洋地殻の構造と形成プロセス	海野 進（金沢大学）
11:50	オマーンオフィオライトWadi Tayin 岩体の地殻－マンツル境界の陸上掘削	高澤 栄一（新潟大学/JAMSTEC）他

12:30－13:30 昼食休憩

13:30－17:10 特別セッション 座長 高澤・岡崎
「海洋地殻－マンツルの新たな実像：オマーン掘削から、海域観測から」

13:30	オマーンオフィオライトかんらん岩の構造敏感性と地震波特性	道林 克禎（名古屋大学）
13:50	オマーン掘削、海域掘削から見てきた海洋モホの岩相構造と物性構造	阿部 なつ江（JAMSTEC）他
14:10	海洋モホ面の多様性に対するクラックの影響	赤松 祐哉（広島大学）他
14:30	ICDPオマーン掘削計画BT1Bサイトにおいて採取されたリストベナイトのX線CTコア画像から推定される鉱物モード比	岡崎 啓史（JAMSTEC）他
14:50	オマーンオフィオライトの層状斑れい岩の加水反応とき裂形成シミュレーション	吉田 一貴（東北大学）他

15:10－15:30 休憩

15 : 30	Physical property from the geophysical logging data for future Mantle drilling	山田 泰広 (JAMSTEC) 他
15 : 50	Core-Log Integrated Geochemical Analysis of Oman Ophiolites : Verifying new technology for future Ultradeep Scientific Drilling	Moe Kyaw (JAMSTEC) 他
16 : 10	オフィオライトの多元性を生む沈み込む前の海洋プレートの多様性 - オマーン掘削結果、Cerro del Almirez 岩体、海洋プレートVp reversal -	中村 光一 (筑波大学)
16 : 30	南鳥島ルネサンス掘削：モホの無いジュラ紀の海洋プレート	田村 芳彦 (JAMSTEC) 他
16 : 50	海洋地殻構造を規定するプレート拡大モードの要因について - ハワイ沖上部地殻貫通計画による解明 -	海野 進 (金沢大学) 他

17 : 15 - 17 : 40 ポスター1分トーク

P-1	Mineralogy of listvenite	高橋 藤馬 (金沢大学) 他
P-2	ハードロック掘削における空隙率測定法の改良：オマーンオフィオライト陸上掘削試料の例	長瀬 薫平 (広島大学) 他
P-3	オマーンオフィオライトに記録されたマントルまで到達した熱水の化学的特徴と活動年代	秋澤 紀克 (東京大学大気海洋研究所) 他
P-4	オマーンオフィオライト陸上掘削試料における弾性波速度の圧力依存性	畠山 航平 (広島大学) 他
P-5	A new view on the melt inclusions in Oman podiform chromitite: High resolution X-ray computed tomography and scanning electron microscopy studies	Yuan Yao (新潟大学) 他
P-6	Water Content in Nominally Anhydrous Mineral of Crust/Mantle Boundary Recovered by International Oman Drilling Project: Analytical Strategy and Methods	Muhamad Asyraf (金沢大学) 他
P-7	Oman Drilling Project により掘削されたかんらん岩の構造岩石学的特徴	柿畑 優季 (名古屋大学) 他
P-8	Microstructures and whole-rock geochemistry of lower crustal gabbros from the Oman Ophiolite: Analyses of the drilled cores of the Oman Drilling Project	普代 貴大 (金沢大学) 他
P-9	Accretion and origin of lower crustal gabbros: Evidence from Oman ophiolite(Oman Drilling Project)	Sayantani Chatterjee (新潟大学) 他
P-10	Sr isotopic study for mantle peridotites from the Oman ophiolite	Jiwon Eom(東京大学)他
P-11	ハワイ沖マントル掘削に向けた反射構造イメージング	山下 幹也 (産総研/JAMSTEC) 他
P-12	開聞岳沖海底地すべりの構造	山口 寛登 (神戸大学) 他

P-13 Geophysical analysis of the Yonaguni Knolls	Zhou Jinyu (東京大学) 他
P-14 沖縄トラフごんどうサイトから採取された堆積物の年代測定	塚本 成 (九州大学) 他
P-15 チリ三重会合点近傍に位置するタイタオ・リッジ南斜面から採取した火成岩類の岩石学的特徴	中尾 魁史 (弘前大学) 他
P-16 Newly Mapped Seamounts on the Antarctic Plate off Southern Chile	富士原 敏也 (JAMSTEC) 他
P-17 白亜紀スーパークロンの古地球磁場変動	島 伸和 (神戸大学) 他

18:00- 懇親会

11月26日 (火)

10:00-12:00	一般セッション 「海洋底と熱水系」	座長 沖野
10:00	四国海盆海洋コアコンプレックスの形成	沖野 郷子 (東京大学大気海洋研究所) 他
10:20	Understanding the Heterogenic Magnetic Properties of Serpentinized Peridotites: Indication of Serpentinization Processes?	Xiangyu Zhao (国立極地研究所) 他
10:40	チリ三重会合点で何が起きているのか - MR18-06 航海表層コア・熱流量調査速報 -	木下 正高 (東京大学地震研究所) 他
11:00	海底巨大カルデラ噴火、鬼界カルデラの総合的研究	島 伸和 (神戸大学)
11:20	鬼界カルデラの地磁気異常	羽入 朋子 (神戸大学) 他
11:40	スケーリーフットのIUCN レッドリスト登録	川口 慎介 (JAMSTEC) 他

海洋地殻の構造と形成プロセス Architecture and formation of oceanic crust

海野 進* (金沢大)
Susumu UMINO (Kanazawa University)

1930年代以降に進展した地震波速度構造の探査によって、堆積層（第1層）、上部地殻（第2層）、下部地殻（第3層）と海洋地殻の3層構造が確立した(Shor et al., 1970)。Christeson et al. (2019)は、太平洋、大西洋、インド洋の海洋地殻の地震波速度構造をコンパイルし、第2層、第3層及び全地殻の平均厚さはそれぞれ 1.84 ± 0.61 km, 4.31 ± 0.99 km, 6.15 ± 0.93 kmであること、低速拡大地殻ではそれらの変動幅が大きいことを示した。第2層の厚さは地殻の年齢と相関しないが、第3層及び全地殻の厚さは年齢と正の相関を示し、7.5 Maよりも若い地殻ではそれぞれ4.35 kmと6.12 kmであるが、古い地殻では4.92 kmと6.72 kmとなる。7.5 Maよりも若い地殻では拡大速度と第2層厚は負の相関を示し、第3層厚は正の相関を示すが、古い地殻ではこれらの相関は弱い。以上のことから、7.5 Maよりも古い海洋地殻では何らかの変質作用によって均質化され、海嶺軸で獲得した初生的な構造が改変された可能性が考えられる。

第1層＝堆積層であることは多くの深海掘削によって確かめられたが、第2層／第3層境界の実態については未解明の課題である。唯一、同境界を貫通した504B孔では、シート状岩脈群の中程において孔隙率や変質程度が急遷する層準に対比され、岩相境界とは一致しない。一方、高速拡大地殻では第2層／第3層境界はシート状岩脈群とガブロの岩相境界に相当すると考えられたが、唯一ガブロに到達した1256D掘削孔では、未だに第2層／第3層境界に到達しておらず、その実態は不明である。

海嶺軸近傍（<20万年）では、プレートの実体をなすリソスフェア≡海洋地殻と考えるとよい(White et al., 1998)。すなわち、プレート拡大とは海洋地殻の拡大にほかならない。固化したマグマからなる上部地殻は岩脈貫入と断層によって拡大し、下部地殻はマントルから供給されるマグマの貫入・付加とメルトが介在した（ハイパーソリダス）塑性流動で拡大する。この時、マントルから供給されるマグマ量とプレート拡大による地殻の歪みを解消するために消費されるマグマ量の収支バランス(Hooft et al., 1997)が、地殻の拡大の仕方とその結果形成される地殻構造を決定する(Morishita et al., 2019)。高速拡大軸は恒常的にマグマ超過の状態にあり、地殻はマグマの付加のみで拡大・成長する。低速拡大軸は恒常的にマグマ不足であり、上部地殻または地殻全体が断層形成によって拡大するが、一時的に大量のマグマ供給があるとマグマ貫入と断層による拡大が起こり、コアコンプレックスを形成したりする。中速拡大軸では短期的にマグマ超過と不足の状態が交互に出現し、噴出岩層の形成と断層変形を繰り返す。

中～高速拡大した下部地殻を構成する貫入岩体は上～中部がフォリエイティッドガブロ、下部が層状ガブロからなる。フォリエイティッドガブロの面構造は、海嶺軸下のマグマ溜まり頂部にあるメルトレンズ底で晶出した結晶と少量の間隙メルトからなる結晶マッシュが、下部地殻中を沈降流動する過程で獲得したハイパーソリダスの変形組織である。一方、層状ガブロはモホ遷移帯内のシル状マグマ溜まりで晶出した集積鉱物が、結晶分化に伴って鉱物モード組成が変化することによって層状構造を形成する。

オマーンオフィオライト Wadi Tayin 岩体の地殻-マントル境界の陸上掘削
Drilling of crust-mantle transition in the Wadi Tayin massif of the Oman ophiolite

高澤栄一* (新潟大/JAMSTEC), 道林克禎 (新潟大), OmanDP Science Team
 Eiichi Takazawa (Niigata Univ), Katsuyoshi Michibayashi (Nagoya Univ),
 OmanDP Science Team

オマーンオフィオライトの地殻およびマントル相当層の境界には地殻-マントル遷移帯 (あるいはモホ遷移帯; MTZ) と呼ばれる dunite を主体とする厚さ数十~数百メートルの特異な岩層が存在する[1]。この dunite を主体とする遷移帯の形成は MORB メルトから晶出したかんらん石の集積[2]や、輝石に不飽和な MORB melt と harzburgite との反応[3-6]で説明されている他、熱水の関与も指摘されている[7-8]。ICDP Oman Drilling Project [9]は、地殻-マントル遷移帯の形成過程及び海洋モホロピッチ不連続面との対応関係を明らかにすることを目的に、オマーンオフィオライトの地殻-マントル境界の陸上掘削を行なった。掘削はオフィオライト南部 Wadi Tayin 岩体の Wadi Zeeb の 2 箇所 (CM1, CM2 サイト) で実施された。掘削により MTZ の厚さは約 150 m と判明した。掘削されたコアは、地球深部探査船「ちきゅう」船上において記載および分析がなされた。その結果、コアの層序は、上位から Layered Gabbro Sequence, Dunite Sequence, Dunite with Gabbro Sequence および Mantle Sequence に分割された。これらのうち、Dunite Sequence と Dunite with Gabbro Sequence が MTZ に対応する。

コアを採取した CM1A 孔(400m 長)は北に 60°傾斜し、構造と岩層境界にほぼ直交する。コアの最上部 160 m は Layered Gabbro Sequence で、大部分が olivine gabbro からなり、gabbro と少量の wehrlite, dunite, anorthosite および troctolite を伴う。160m から 310 m まだが MTZ で、dunite はほぼ 100%蛇紋岩化していた。上部 90 m の Dunite Sequence はした塊状の dunite からなり、下部 60 m の Dunite with Gabbro Sequence は、dunite を主体とし、gabbro, troctolite, wehrlite の脈およびダイクを伴う。Gabbro のほとんどは rodingite と diopsidite によって交代されている。最下部 80 m は Mantle Sequence で、dunite と harzburgite の互層からなる。

CM2B 孔(300m)は、CM1A 孔の北 400 m に位置する鉛直孔であり、MTZ および下位の Mantle Sequence からなる。CM2B 孔のかんらん岩は CM1A 孔と同様に極度の蛇紋岩化作用を被っているが、MTZ の最下部から Mantle Sequence では、CM1A 孔よりも蛇紋岩化の程度は低い。一方、CM2B 孔の最下部の harzburite は、talc と炭酸塩鉱物による交代作用を強く被っている。

CM1A および CM2B のコアは OmanDP Science Party のメンバーに分配され、現在、個別の研究が進行中である。本講演では、CM1A 孔と CM2B 孔から得られたコアの概要と、その後の研究で明らかになったことを紹介したい。

引用文献: [1] Boudier and Nicolas, 1995, *J. Petrol.*, 36, 777-796. [2] Pallister and Hopson, 1981, *J. Geophys. Res.*, 86, 2593-2644. [3] Kelemen et al., 1995, *Nature*, 375, 747-753. [4] Korenaga and Kelemen, 1997, *JGR*, 102, 27729-27749. [5] Collier and Kelemen, 2010, *J. Petrol.*, 51, 1913-1940. [6] Abily and Ceuleneer, 2013, *Geology*, 41, 67-70. [7] Koga et al., 2001, *G-cubed*, 2, 2000GC000132. [8] Rospabé et al., 2017, *Geol. Soc. Am., Data Rep.* 2017139. [9] Kelemen et al., 2013, *Scientific Drilling*, 15, 64-71.

オマーンオフィオライトかんらん岩の構造敏感性と地震波特性
 Structure Sensitivity and Seismic Properties within Peridotites in Oman ophiolite

道林克禎

(名古屋大学大学院環境学研究科)

Katsuyoshi Michibayashi

(Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University)

Petrophysical characteristics of coarse-granular peridotites have been quantitatively compared between the northern part (Hilti mantle section) and the southern part (Samail mantle section) of the Oman ophiolite in terms of olivine crystal-fabrics based on EBSD analyses. The Hilti mantle section is characterized by the subhorizontal shear structure subparallel to the crust-mantle boundary, whereas the Samail mantle section has subvertical structures known to be a mantle diapir in the Maqsad area. Despite of similar coarse grained textures preserved in the both mantle sections, their mineral chemical compositions are systematically different such as the $Cr/(Cr+Al)$ atomic ratios ($Cr\#$) of chromian spinel of the Hilti and Samail peridotites are about 0.55 to 0.65 and 0.50 to 0.55, respectively. Moreover¹, olivine crystal-fabrics within the Hilti mantle section are dominated by axial [010] patterns (i.e. AG type), whereas those within the Samail mantle sections vary from axial [010] (AG type) to (010)[100] (A type) to $\{0kl\}[100]$ (D type) patterns. We argue that the olivine crystal fabrics could have been formed during vertical flow in the mantle diapir and were somehow modified during subsequent horizontal flow under subsolidus conditions. A change of the olivine crystal fabrics indicates that the Hilti horizontal structure may result from transpression type of strain.

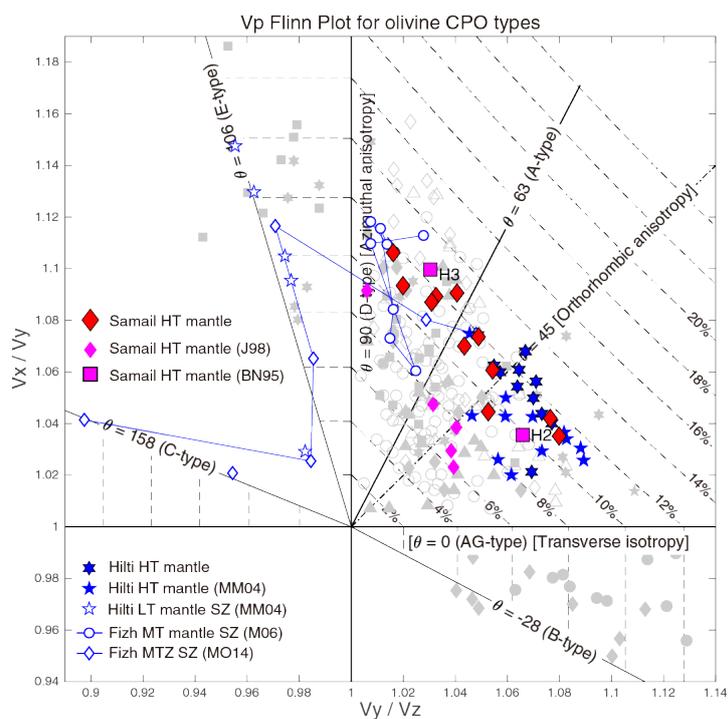


Figure. Vp-Flinn diagram showing olivine CPO types. M17: this study; J98: Jousselin et al. (1998); BN95: Boudier and Nicolas (1995); MM04: Michibayashi and Mainprice (2004); M06: Michibayashi et al. (2006). HT: High-temperature, MT: Medium-temperature, LT: Low-temperature, SZ: Shear zone.

オマーン掘削、海域掘削から見えてきた海洋モホの岩相構造と物性構造
**Lithological and petrophysical structures of Oceanic crust to mantle: Implications
 from ICDP Oman Drilling and IODP oceanic crust drilling**

阿部なつ江* (JAMSTEC)、岡崎啓史 (JAMSTEC)、片山郁夫 (広島大)、畠山航平 (広島大)、赤松祐哉 (広島大)、ICDP オマーン掘削研究パーティ
**Natsue Abe, Keishi Okazaki (JAMSTEC), Ikuo Katayama, Kohei Hatakeyama,
 Yuya Akamatsu (Hiroshima Univ.) & The Oman Drilling Project Scientific Party**

ICDP オマーン陸上掘削において採取されたコア試料を用い、清水港に停泊中の地球深部探査船「ちきゅう」船上のラボにおいて記載・計測作業を行った。2017年7月15日～9月15日 (ChikyuOman2017) には、Phase I で掘削した上部地殻-下部地殻境界 (GT3A)、下部地殻 (GT1A, GT2A) およびマントルセクション最下部～下盤 (BT1B)、の4本の掘削孔から得られた合計1500mを、2018年7月5日～9月3日 (ChikyuOman2018) では、Phase II で掘削した地殻-マントル境界 (Hole CM1A および CM2A)、マントルセクション (BA1B, BA3A, BA4A) の5本の掘削孔から得られた合計1700m長の岩石コア試料を、世界18カ国からのべ195名の乗船研究者が参加し、火成岩岩石学、変成岩岩石学、構造地質学、古地磁気学、地球化学、岩石物性の5チームに分けて合計4ヶ月間、記載・分析した。

本発表では、船上における2年目の岩石物性計測データを元に、オフサイトにおける地殻～マントル境界およびマントルセクションの物性変化を示し、海洋地殻～モホ遷移帯～最上部マントルの構造と比較した結果を示す。具体的には、X線CTスキャン、MSCL (マルチセンターコアロガー) による非接触電気比抵抗、密度、帯磁率計測データや、個別試料 (2cm角の立方体など) で測定した熱伝導率、密度、空隙率、P波速度、塩水飽和および乾燥試料の電気伝導度、帯磁率などを測定し、岩石の鉱物モード組成や変質度、微細構造との対比を行う。暫定的な結果として、地殻～マントル境界を掘削したHole CM1A において、平均Vp 7km/sの変斑れい岩 (下部地殻セクション) と平均Vp 5 km/sの蛇紋岩 (マントルセクション) との間の“古モホ面”において、予想された速度構造とは反対の速度逆転が見られた。P波速度と同様に、密度や空隙率に関しても、逆転構造が見られた。これは、現在の海洋地域における地震波速度構造探査では、これまでのところ得られていない結果であるが、“古モホ面”周囲のコア試料がほぼ100%変質していることで説明出来る。

一方、海洋下部地殻を構成する斑れい岩試料は、大西洋、インド洋、太平洋において複数回掘削され、採取されている。モード組成や変質程度に多様な変化が見られるこれらのコア試料は、その岩石物性 (特にP波速度) にも大きな違いが見られる。インド洋 (Atlantis Bank: ODP Legs 118, 176 & 179, and IODP Exp. 360) や太平洋 (Hess Deep: ODP 147, IODP 345) および大西洋 (Atlantis Massif: IODP exp. 304 & 305, 340T) では、海底下最大1500mまでの海洋地殻掘削が行われ、60~80%という高い回収率で海洋地殻物質が採取されている。これらICDP オマーン陸上掘削コアの岩石物性船上測定データと、IODPによる過去の斑れい岩、かんらん岩 (蛇紋岩) 掘削試料の船上岩石物性データを用いて、モホ面の反射率やモホ面を構成する岩石層やその変質程度などを議論したい。

海洋モホ面の多様性に対するクラックの影響
Crack-induced heterogeneous nature of oceanic Moho reflection

赤松祐哉*, 片山郁夫 (広島大), 利根川貴志 (JAMSTEC)
Yuya Akamatsu*, Ikuo Katayama (Hiroshima University),
Takashi Tonegawa (JAMSTEC)

モホ面は地震波速度の不連続で定義され、一般的には地殻とマンツルの物質境界と解釈される。海洋地殻は中央海嶺で連続的に生成されるため、モホ面での地震波速度の不連続や反射面は海洋プレート内で一様に観測されることが期待される。しかし、近年の海底下の地震波探査では、モホ面での地震波の反射強度に地域性があることが報告されており (e.g. Ohira et al. 2017), モホ面を単純な岩層境界とする従来のモデルとは相容れない。地震波速度は岩層だけでなく岩石中のクラックの存在に敏感であり、岩石の脆性破壊プロセスでは、巨視的な破壊に至る前に微小なクラックが形成され、地震波速度が低下することが知られている (Paterson and Wong 2005)。クラックは断層などに伴って海洋プレート内で不均質に分布していることが考えられるため、モホ面での地震波反射の多様性にクラックが寄与している可能性がある。そこで本研究は、かんらん岩とはんれい岩の脆性変形中の地震波速度を測定し、クラックがモホ面での地震波速度と反射強度に与える影響について考察した。

試料には幌満かんらん岩体に産するはんれい岩質グラニュライトとかんらん岩を用い、三軸変形試験中に地震波速度 (P 波, S 波) の測定を行った。実験は広島大学の容器内透水変形試験機を用い、室温, 封圧 20 MPa, 歪み速度 $\sim 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ の条件で行った。

はんれい岩は変形中盤から地震波速度が低下し始め、破壊直前には変形前の速度に対して 30–40%低下した。一方かんらん岩では、変形終盤から地震波速度が低下し始め、その低下量ははんれい岩に比べて小さい傾向を示した (10–20%)。これらの違いははんれい岩とかんらん岩で変形中のクラックの形成メカニズムが異なることを示唆しており、先行研究の体積歪みの測定結果とも整合的である (Akamatsu et al. 2019)。したがって、脆性変形が進行するほどモホ面での地震波速度のコントラストが大きくなることが予想される。さらに、クラックの形成によってモホ面での地震波の反射波がどのように変化するのかを検証するため、実験結果に基づいて海洋プレートの地震波速度構造を設定し、地震波伝搬のシミュレーションを行った。計算には変形度の異なる 3 つの速度構造モデルを適用した。その結果、脆性変形が進行しているモデルほど、モホ面での反射波の振幅が大きくなる傾向を示した。以上の結果から、海洋モホ面での地震波の反射強度の多様性は、脆性変形の進行度の違いを反映している可能性がある。

引用文献 : Ohira et al. (2017) *Earth Planet. Sci. Lett.* 123, 111–121. Paterson and Wong (2005) *Experimental rock deformation – The brittle field*, 347p. Akamatsu et al. (2019) *J. Mineral. Petrol. Sci.* 114, 79–86.

ICDP オマーン掘削計画 BT1B サイトにおいて採取されたリストベナイトの X 線
CT コア画像から推定される鉱物モード比
**Modal abundance of minerals in listvenite from ICDP Oman Drilling Project Hole
BT1B inferred from X-ray CT core images**

岡崎啓史* (JAMSTEC)、道林克禎 (名古屋大学)、畠山航平 (広島大学)、阿部な
つ江 (JAMSTEC)、Kevin T.M. Johnson (ハワイ大学)、Peter B. Kelemen (コロン
ビア大学)、Oman Drilling Project Phase I Science Party

**Keishi Okazaki (JAMSTEC), Katsuyoshi Michibayashi (Nagoya U.), Kohei
Hatakeyama (Hiroshima U.), Natsue Abe (JAMSTEC), Kevin T.M. Johnson (U. of
Hawaii), Peter B. Kelemen (Columbia U.) and Oman Drilling Project Phase I
Science Party**

To understand the global cycle of fluid from the surface to the deep of the Earth, it is important to constrain how and how much fluid is captured and released by metamorphic reactions following hydration/dehydration and carbonation/decarbonation. In the Sultanate of Oman Ophiolite, a fossil of an oceanic plate is widely exposed. Continuous drilling from the bottom of the ophiolite through the basal thrust to the footwall metamorphic sole was conducted in Hole BT1B by the ICDP Oman Drilling Project. Listvenite, completely carbonated former peridotite, is the main lithology in Hole BT1B. Listvenite is mainly composed of magnesite, quartz, dolomite and Fe-hydroxide with minor chromian spinel and chromian mica (fuchsite). Two serpentinite and ophicarbonates intervals were also found above the basal thrust. Below the basal thrust, the metamorphic sole composed by the greenschist/greenstone is the main lithology.

We evaluated the mineral mode of listvenite in BT1B from the X-ray Computed Tomography (XCT) images. Each XCT number in XCT images and chemical mapping data of Mg, Si, Ca and Fe from the XRF core scanner in the same location as XCT images are compared for 27 sections including 9289 data points for each element. In most core sections, XCT data indicates that the matrix of listvenite is mainly composed of magnesite and quartz, and minor dolomite, consistent with discrete XRD and XRF data. Veins usually show high CT number (~3400), while the CT number in veins is fitted well with dolomite. Dolomite abundance in each core section is highly dependent on the intensity of veins. Dolomite abundance in most core sections within 15 m from the basal thrust is higher than 50%. This is consistent with higher vein intensity close to the basal thrust and could indicate that significant amounts of Ca were supplied from Ca- and CO₂-rich fluids along the basal thrust. Total MgO/SiO₂ ratio in BT1B is ~1.25. This value is smaller than that estimated from the geochemical analysis of the Oman peridotite and XRF data from the BT1B (~2.13). This suggests that Fe contents may have significant effect on evaluating the modal abundance of minerals in listvenite and further investigation of compositional effects, especially Fe solid solutions in carbonate and hematite on the XCT number would be needed for an accurate assessment of the mineralogy in listvenite.

オマーンオフィオライトの層状斑れい岩の加水反応と
き裂形成シミュレーション

**Numerical Simulation of Fracture Network Formation
during Hydration of the Layered Gabbro in Oman-UAE ophiolite**

吉田一貴* (東北大), 岡本敦 (東北大)

清水浩之 (鹿島建設(株)), 土屋範芳 (東北大)

Kazuki Yoshida* (Tohoku Univ.), **Atsushi Okamoto** (Tohoku Univ.),
Hiroyuki Shimizu (Kajima Corp.), **Noriyoshi Tsuchiya** (Tohoku Univ.)

海洋地殻の蛇紋岩化は海洋地殻に水をため込むプロセスであり、この水は沈み込み帯でのマグマ発生や地震発生メカニズム、地球規模水循環などを考えるうえで重要である。これまで、海洋底の比較的深部 (> 5 km) まで海水が熱水循環していたことが示唆されているが [1]、地殻-マントル境界を含む海洋底アセノスフェアのどこまでが含水化しているかについての物質的証拠は限られている。また、透水率の低い下部地殻斑れい岩 ($\sim 10^{-18} \text{ m}^2$ [2]) における流体の移動現象についても十分に明らかにされていない。本研究では Oman Drilling Project CM1A の掘削で得られたトロクトライト・かんらん石斑れい岩・ハルツバージャイトを観察した。トロクトライト試料はかんらん石の多い層と斜長石の多い層の層状構造をなしているが、かんらん石にはブルーサイトを含む蛇紋石脈とブルーサイトを含まない蛇紋石脈の 2 種類の脈が確認された。また、き裂方向分布を調べたところ、斜長石の多い層では鉛直方向にき裂の方向が卓越していた。かんらん石斑れい岩に含まれるかんらん石は様々な程度に蛇紋石化しており、蛇紋石化が進んでいるかんらん石周辺には顕著な放射状のき裂が発達していた。ハルツバージャイトには比較的均質に網目状の組織が発達している。これら天然試料で観察されたき裂がどのようなメカニズムで発生するのかを明らかにするために、離散要素法をベースとした破壊-流体移動-化学反応を組み込んだ数値シミュレーション [3] を行った。き裂が生じる原因としては、外部応力と内部応力に区分され、さらに内部応力は、要因により熱応力・反応による体積変化によって生じる応力 (反応誘起応力) に区分される。そこで、これらの応力条件を想定した計算を行った。シミュレーション結果と天然試料の類似性の評価のためにはき裂パターンの特徴量を抽出する必要がある。そこで、本研究ではき裂ネットワーク構造に着目した特徴量抽出を行い天然試料とシミュレーション結果の比較を行った。その結果、天然試料で観察されるかんらん石内部のき裂を再現するためには、冷却時の熱応力によるき裂形成または反応誘起応力が必要であり、一方で、かんらん石外部にみられる放射状のき裂を再現するためには、加熱時の熱応力または反応誘起応力が必要であることが分かった。天然試料において、比較的蛇紋石化の程度に関係なくかんらん石内部には比較的等方的なき裂が観察される。また、かんらん石外部の放射状のき裂は蛇紋石化が進行しているかんらん石周辺に顕著である。これらのことから、オマーンオフィオライト下部地殻では熱応力によるき裂発生と蛇紋石化に伴うき裂発生の両方を被っている可能性が示唆された。

引用文献

- [1] Gregory and Taylor., 1981. Jour. Geophys. Res., 86:2737-2755. [2] Katayama et al., 2012. Nat. Geosci., 5:731-734. [3] Okamoto, A. and Shimizu, H., 2015. EPSL, 415: 9-18.

Physical property from the geophysical logging data for future Mantle drilling

Y. Yamada, Moe Kyaw & K. Shiraishi (JAMSTEC)

This study considers what we can do when we drill the Crust-Mantle transition, with comparisons of the Oman project's outcomes. Needless to say, scientific drilling has been successful by acquiring material samples from boreholes and analysis the materials, i.e. core samples, to extract information. Recent direction of the science shows clear addition of subsurface datasets, which is promising of success with the aid of data science techniques once the data volume can be increased. The demands from scientists may naturally be these two. The problem of the Mantle drilling is the target is very deep and the depth of the boundary cannot be accurately estimated beforehand. This may cause limited (spot) coring operation and intensive use of geophysical logging to extrapolate the precious core data.

The Moho surface was identified by seismic reflection / refraction and has been discussed based on its seismic characteristics. Since the seismic characteristics would be ideally defined by physical property, i.e. acoustic impedance, sonic and density datasets are of primally importance. Even the uppermost mantle section has been altered, as we see in the Oman Ophiolite, the seismic responses with regards to the acoustic impedance have to be examined in detail. A wireline logging tool, PEX, has a max temperature limit of 260°F (126°C). LWD (e.g. adnVISION and sonicVISION) may have less problem in temperature as far as the drill mud can be circulated.

Strength profile of the oceanic lithosphere is also of scientific interests. This can be achieved with intensive use of drilling parameters, e.g. WOB, ROP, RPM, and TOR. These can be measured with better quality with MWD, which again can be free from high temperature problem with continuous mud circulation.

Borehole images may bring in-situ stress environment. In such high temperature drilling, the borehole will be cooled down by mud circulation and will generate drilling induced tensile fractures in the SHmax direction.

To compensate the limited amount of coring, geochemical logging may be a candidate. The tool tested in CM site of the OmanDP and showed potential in-situ elemental measurements has temperature limitation of 350°F (176°C).

Key words: Oman DP, crust-mantle boundary, geophysical logging data

**Core-Log Integrated Geochemical Analysis of Oman Ophiolites:
Verifying new technology for future Ultradeep Scientific Drilling**

Moe Kyaw, J. Kimura & Y. Yamada (JAMSTEC), J. Matter (Southampton Univ.), P. Pezard (Univ. of Montpellier), K. Michibayashi (Nagoya Univ.), E. Takazawa (Niigata Univ.)

To clarify the mohole discontinuity which was first identified in 1909 as step in the velocity of the seismic wave, it is necessary to drill and sample across crustal-mantle transition and that was original idea of the scientific ocean drilling more than four decades ago. This study is aiming to maximize the understanding on the petrophysical, geophysical and chemical nature across crustal-mantle transition, and to support in realistic planning for D/V Chikyu drilling and sampling fresh mantle in the future.

Under the ICDP support and guidelines, Oman Drilling Project (Oman DP) collected core samples from the crust-mantle (CM) boundary during November, 2017 to January, 2018. In addition, drilling parameters were monitored and recorded from two CM sites as well as most advanced well logging was carried out. Schlumberger's wireline logging acquired high-resolution and continuous density-porosity, natural and spectral gamma, resistivity and its images, sonic velocity (P & S waves), and geochemical logs (elements and minerals). Following the logging data audit procedure, borehole environmental correction, data quality check and depth matching as well as image data processing were carried out in JAMSTEC. Part of the core-log integration study, processed well logging data and core measurements from Chikyu Oman Phase II (July-September, 2018) are used.

Preliminary results matching well with core logging and core scratch tests, and resistivity, velocity, density, porosity and resistivity images were most distinctive to the rock types. Sharp changes between strong, relatively fresh layered gabbro and weak, serpentinized dunite and then moderately strong, Harzburgite, are further analyzed in fine scale across different measurements and compared with core logging data (Moe et al., 2018). Accessing source rock mineralogies and physical properties of the mantle-crust rocks based on core logging chemistry resulted well compared with the observed physical properties of the ocean drilling logs and seismic observations of the oceanic plates (Kimura et al., 2018). Special analysis is in progress verifying LithoScanner measured dry weigh elements with core XRF values, computing mineral volumetric fraction and formation porosity using petrophysical inversion application and then comparing with core XRD and porosity. When MCS data processing of Kairei offshore Hawaii (2017) finished, core-log-seismic integrated modeling on first site survey seismic data using industry application is also planned to have more information in drilling planning.

Key words: Oman Drilling Project, crust-mantle boundary, hard rocks logging

オフィオライトの多元性を生む沈み込む前の海洋プレートの多様性
 - オマーン掘削結果、Cerro del Almiraz 岩体、海洋プレート Vp reversal -

中村光一（筑波大学・地球進化科学専攻・地球変動科学）

2019年のJpGU「[S-CG49] ハードロック掘削科学～陸上掘削から深海底掘削、そしてオマーン～」において異なるコアでの異なる角度の研究をもとに Teagle は海洋底での深い熱水循環、Kelemen は emplacement 時およびその後の流体循環により、生じた岩石の「変質」について論じた。新鮮な岩石を求めて掘削した試料で目についたのは実は砂漠の露頭では真っ先に風化してしまっていて痕跡を残しにくい変質の証拠であった。Kelemen に、硫酸カルシウムの特異な溶解度特性を念頭において流体循環が海洋底での熱水循環の通り道を再利用している可能性について問うと、否定はしなかった。

「[S-CG60] 沈み込み帯へのインプットを探る：海溝海側で生じる過程の影響」において藤江は東北日本東方の海洋プレートにおいて深くなるほど Vp が小さくなる現象が確かに存在することを示し、会場から Vp reversal の存在を論文にすることは観測条件の関係で困難を伴い、書かれていないが、小笠原東方でも認められるとの発言もあった。

海洋底の変質/変成作用は 1960 年代の都城・紫藤などの研究以降、様々な指摘や研究があるが、どういう場所で、どういう種類の変質があり、その広がりほどの程度なのかは全く明らかになっていない。一方、subduction factory などで議論される沈み込む海洋プレートは典型的な変質していないプレートであることがほとんどである。勢い、陸上に露出する過去の沈み込み体に蛇紋岩が存在する時にはアプリアリに wedge mantle 起源と見なされて議論されて来た。スペインの Beltic Cordirrela の Cerro del Almiraz 岩体は長い研究の歴史がある。2011年の J. Petrol. の論文 (52, p. 2047-) では 4 人の著者は蛇紋岩を wedge mantle 起源として議論していたが、2012年の Alt らの論文 (EPSL, 327-328, p. 50-) での海底蛇紋岩との詳細な軽元素同位体の比較結果を受けて 2013年の論文 (Lithos, 178, p. 128-) では蛇紋岩は沈み込む前に海底で存在しており、それが沈み込んで脱水する議論を展開する方向に修正・転換した。現在、比較的遅い拡大速度の海底を中心に oceanic core complex などの形で海洋底に超塩基性岩が普通に露出している場所が多数あることが明らかになっているが、その状況を受けて Lagabrielle らが海洋研究者 Ildefonse を共著者にして 2015年に積極的に blueschist terrane に oceanic core complex 起源の岩体がある (Earth-Sci. Rev., 141, p. 1-)、つまり、海洋底にマントル岩が露出していて、それが沈み込み帯に到達したと主張した。従来、陸上にある過去の沈み込み体に玄武岩-斑輝岩-超塩基性岩の組み合わせが確認できず、主に蛇紋岩化した超塩基性岩が露出する場合、dismembered ophiolite とするか、wedge mantle 起源とするかであったが、第 3 のテクトニックな解釈の選択肢が提出された形である。なお、オフィオライトの総説の多い Dilek の立ち位置は二股掛けである。

Subduction factory などで議論される流体との関係では chloritization (Fe-Mg の関与する変質/交代作用)、albitization (Ca-Na の関与する変質/交代作用)などは普通に海底熱水変質作用で起こることを想起すべきである。海洋底に存在する熱水変質岩体や超塩基性岩随伴岩体の岩相や規模と過去の沈み込み体の関連付けを試みる。albitization に関しては被引用は少ないが、著名な熱水実験研究者らによる論文がある The laboratory albitization of mid-ocean ridge basalt (1988, J. Geol., 96, p237-)

南鳥島ルネサンス掘削：モホの無いジュラ紀の海洋プレート
The Renaissance of the Oldest Oceanic Plate

田村芳彦* (JAMSTEC)、田中えりか (東京大)、松岡篤 (新潟大)、他提案者
Yoshihiko Tamura* (JAMSTEC), Erika Tanaka (Univ. of Tokyo), Atsushi Matsuoka (Niigata Univ.) and other proponents

われわれは「南鳥島ルネサンス掘削」プレプロポーザルを IODP に提出した。これは、かつて注目され、掘削された南鳥島周辺海域に回帰し、新しい掘削により新たな価値を創造する、という意味で名付けた提案である。この海域の太平洋プレートは地球上で一番古い海洋プレートである (図 1a)。ODP Site 801 において遠洋性堆積物からチャート、アルカリ玄武岩、中央海嶺玄武岩まで掘削された (図 1b) (e.g., Plank et al., 2000; Hauff et al., 2003)。その後、この海域においては (1) 遠洋性堆積物中に希土類元素が非常に濃集した「超高濃度レアアース泥」が複数層存在すること、(2) 顕生代の系の境界として唯一 GSSP が決定していないジュラ紀と白亜紀の境界 (JKB) が、豊富で保存の良い放射虫を含む凝灰岩として特異的に存在すること、(3) 同じジュラ紀の海洋底でも、モホ反射面を持つものと持たないものの二種類が存在すること、がわかってきた。これら三つのターゲットに対して、MM、MAT、MINA の三つの掘削点を選定した。MM では白亜紀後期以降の遠洋性堆積物を完全連続に採取し、超高濃度レアアース泥がどのような地球表層環境下で形成されたかを明らかにする。MAT においては JKB における放射虫の系統とその変化を火山灰のジルコンの U-Pb 年代とともに解析し、JKB の条件を明確に示す。MINA においては Site 801 とは対照的な、モホを持たない海洋地殻の MORB を採取し、モホの成因に関する新しい仮説を検証する。

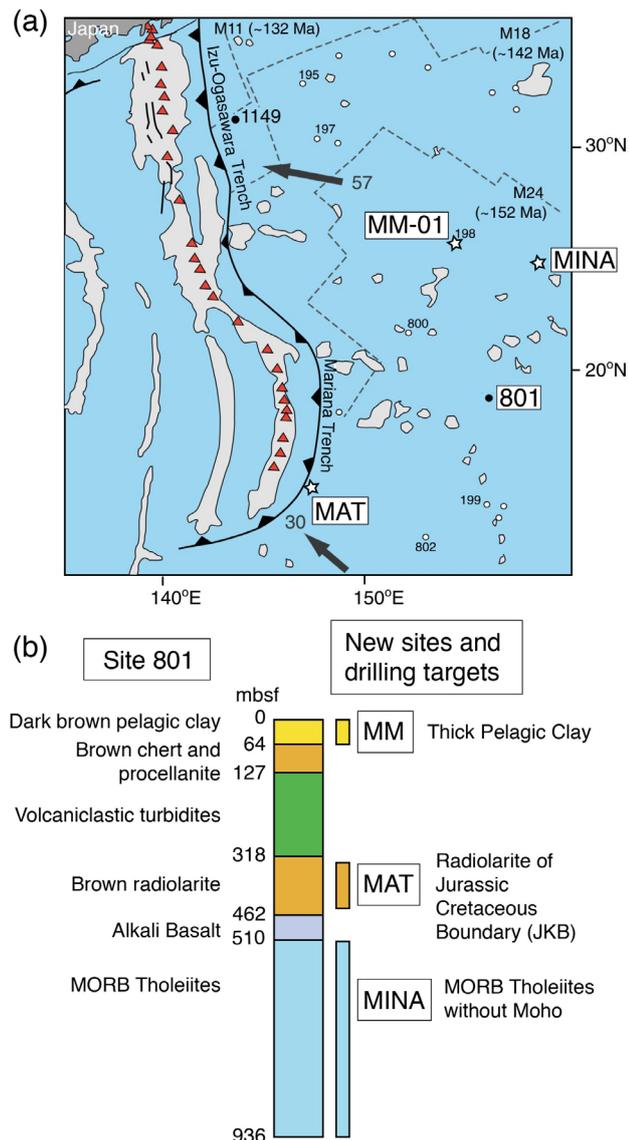


図 1. (a) 伊豆小笠原マリアナ沈み込み帯と太平洋プレート (Hauff et al., 2003 より)。これまでの DSDP/ODP の掘削サイトと提案している MM、MAT、MINA の掘削サイトを示す。(b) Site 801 の概要 (Plank et al., 2000, Hauff et al., 2003) と提案中の三つのサイトとその掘削ターゲット。

海洋地殻構造を規定するプレート拡大モードの要因について—ハワイ沖上部地
殻貫通計画による解明—

**Governing factors of the mode of plate spreading that determine the oceanic crust
architecture — the middle-aged upper crust drilling project Off-Hawaii —**

海野 進*・森下知晃(金沢大)・木村純一・小野重明・阿部なつ江・(JAMSTEC)・
山下幹也(産総研)・Michael Garcia(ハワイ大)・Frieder Klein・富永雅子
(WHOI)・島 伸和(神戸大)・道林克禎(名古屋大)

**UMINO, S., Morishita (Kanazawa Univ.), T., Kimura, J., Ono, S., Abe, N.
(JAMSTEC), Yamashita, M. (AIST), Garcia, M. (Hawaii Univ.), Klein, F.,
Tominaga, M. (WHOI), Seama, N. (Kobe Univ.) & Michibayashi, K. (Nagoya Univ.)**

プレート拡大の実態は、海嶺軸における脆性地殻の生成・変形による拡大とアセノスフェアマンツルの塑性流動である。プレート拡大速度に応じて地殻は拡大の仕方を変え、その結果、海洋地殻構造も変化する。高速拡大する東太平洋海膨(EPR)では、シート溶岩が卓越する上部地殻はマグマよりも高密度のため、マグマ溜まり(AMC)から上昇するマグマは容易に地表に達し、上部地殻は岩脈貫入によって拡大する。そのため、断層や中軸谷が発達せず、溶岩は海膨軸上に止まれずにオフリッジに流下する。これに対して、中速拡大のガラパゴス海嶺—コスタリカリフト(GSC)では、地殻上部が低密度の枕状溶岩や火砕岩、下部が高密度のシート状岩脈群からなる。その結果、上部地殻内に見かけの浮力の中立点が現れ、AMCから上昇するマグマはトラップされて厚いシート状岩脈群を作る。すなわち、上部地殻の下部は岩脈貫入により拡大し、噴出岩層は断層によって拡大して中軸谷を作る。拡大速度が遅いほど中軸谷は深く、谷内に厚く溶岩が堆積する。このように上部地殻の拡大モードは地殻の密度構造に規制され、その結果、同じ密度構造をもつ上部地殻構造が維持される。

中高速拡大軸ではマグマ供給率は拡大速度と相関し、またセグメント中心から端へ向かって低下する。従って、拡大速度の違いと同様の効果がセグメント内変化に表れる。EPR, GSCの地震波構造探査によると、セグメント中心から端へ向かってシート状岩脈群が厚くなり、下部地殻が薄くなる。同様に、深海掘削及び直接観察によると、10 cm/a以上の高速拡大地殻では噴出岩層に比してシート状岩脈群は薄いか、同程度の厚さであるのに対し、7 cm/a以下の中速拡大地殻ではシート状岩脈群が卓越する。この違いは前述のように地殻の密度構造の結果であり、密度構造は断層の発達状況と溶岩形態等、噴出物の産状を反映している。高密度のシート溶岩は10 cm/a以上の高速拡大軸で卓越し、7 cm/aでは低密度の枕状溶岩が卓越する。従って、拡大速度10~7 cm/aの範囲で高速型から中速型へと拡大モードが転換すると考えられる。

私たちは、この地殻の拡大モードを支配する要因を明らかにするために、モホール候補地の1つであるハワイ沖において、8 cm/aで拡大した上部海洋地殻を貫通し、下部地殻を構成するガブロに到達する国際深海科学掘削計画を2019年4月に提案した。数年以内に本ハワイ沖掘削を実施するとともに、近い将来に人類史上初のマンツル物質を回収するモホール掘削の実現を目指す。

四国海盆海洋コアコンプレックスの形成
Formation of oceanic core complexes in the Shikoku Basin

沖野郷子* (東大大海研), 小原泰彦 (海上保安庁・海洋機構・名古屋大学),
藤井昌和 (国立極地研), 羽入朋子 (神戸大学)

OKINO, Kyoko (AORI, U.Tokyo) OHARA, Yasuhiko (JHOD/JAMSTEC/ Nagoya U.) FUJII, Masakazu (NIPR) and HANYU, Tomoko (Kobe U.)

海洋コアコンプレックス(OCC)は、海底拡大系においてデタッチメント断層に沿って深部地殻・マントル物質が表層に露出した構造である。OCCは、メルト供給量がプレート分離速度に対して不足(50%程度)している場合に発達すると考えられ、海洋地殻の多様性とメルト供給量変動の理解にとって重要である。低速中央海嶺においてはOCCを形成するようなテクトニックな拡大プロセスが卓越する場が広く分布することが認められているが、背弧拡大系におけるOCCの分布と実態についてはこれまで限られた報告しかない。四国海盆は15Ma頃に活動を停止した背弧海盆であり、その南端の拡大軸部にはOCCと見られる構造が複数残されている。

私たちは、四国海盆南端部において、2018-2019年に「白鳳丸」と「よこすか/しんかい6500」による調査を実施した。一連の調査により、OCCとその周辺海域における詳細な海底地形・地磁気・重力のデータが得られ、OCCそのものの地球物理学的構造と背弧海盆拡大末期のプロセスが明らかになった。23° 50' N付近には、OCCの典型的な地形的特徴である拡大軸方向の畝を伴うドーム状の高まりが存在する(マドメガムリオンと命名)。ドーム地形上には、海嶺軸方向のリニアメントも認められ、OCC露出後の断層活動と考えられる。マントルブーゲー異常は、マドメガムリオンにおいて周囲より約30mGal高い値を示し、高密度の地殻深部/マントル物質の上昇を示唆している。マドメガムリオンの磁気異常は、周囲の海洋底がNNE-SSW方向の背弧拡大を示す縞状異常であるのに対し、明らかに異なる様相を示す。地心双極子磁場を仮定して磁化構造を推定すると、メガムリオンの軸部に近い(termination)側の半分は正帯磁、遠い(breakaway)側は逆帯磁を示す。三成分磁力計データ解析からは、マドメガムリオン上でも磁化境界の主方向は海嶺軸方向であることがわかるが、あまり明瞭ではない。マドメガムリオンと対になる拡大軸南西部の海底の縞状異常はクロン5n1-5E(16-18Ma)と同定でき、片側拡大速度は約25mm/yrで一定と推定される。OCC上の正負の磁化構造も海底拡大に伴う縞状異常と解釈すると、OCC側で拡大速度の速い明らかな拡大非対称を示している可能性がある。ただし、マドメガムリオンで採取された岩石のジルコン年代は13Maを示しており(谷, 私信)、磁化構造の解釈は熟考を要する。マドメガムリオンの軸部に近い側には斜面崩壊が見られ、スポット状の弱磁化が対応している。

マドメガムリオンを擁するセグメントの端部では、軸谷内に高重力異常を伴うドーム状の高まりがある。また、隣接するセグメントには、明瞭な畝構造を示す地形が発達しOCCであると推定される。これらはいずれも背弧拡大が終了する際にメルト供給量が急激に現象していく過程を反映していると考えられる。フィリピン海南部のパレスベラ海盆でも、拡大軸部にはOCC等のメルト量の減少を示す構造が広く分布しており、背弧拡大系の終焉においては、まずメルト量が100-200万年にわたって減少し、その後に拡大が止まるという過程を経ていくことが示唆された。

Understanding the Heterogenic Magnetic Properties of Serpentinized Peridotites: Indication of Serpentinization Processes?

Xiangyu ZHAO¹, Masakazu FUJII¹, Hirokuni ODA², Xiang ZHAO³

1. National Institute of Polar Research, Tokyo, Japan
2. Geological Survey of Japan, AIST (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology), Central 7, 1-1-1 Higashi, Tsukuba 305-8567, Japan
3. Research School of Earth Sciences, Australian National University, Canberra, Australian Capital Territory, Australia

Abstract

Serpentinization of peridotites is widespread in the seafloor of slow-spreading environments. It has been extensively investigated as the process could significantly change the physical properties of the oceanic lithosphere. As serpentinization processes are often associated with production of magnetite, magnetic properties can provide valuable insights for better understanding the processes. Magnetic susceptibility and saturation magnetization can serve as indicators of the degree of serpentinization. Nevertheless, the quantitative relationship between the magnetite abundance and degree of serpentinization remains an open question. For example, though nonlinear relationship is often observed for natural serpentinized peridotite, it varies from location to location with great scatters (e.g., Oufi et al., 2002; Fujii et al., 2016). Furthermore, laboratory experiments by Malvoisin et al. (2012) shows that magnetite abundance grows linearly as serpentinization advances, which is different from the trend observed from natural samples. To better understand the relationship between magnetic properties and serpentinization processes, we performed comprehensive magnetic studies on serpentinized peridotites with a variety of serpentinization degree that were collected from the Yokoniwa Rise in the Central Indian Ridge. As with previous studies, these samples show a wide range of variability in magnetic properties. By relating the magnetite abundance with the density of bulk sample, we show that the quantitative relationship between magnetite abundance and serpentinization degree is dependent on the pathway of serpentinization. Moreover, we found that the domain states of magnetite, which affects the oceanic magnetic anomaly, varies in a wide range, even for samples with similar serpentinization degrees. Microscopic magnetic measurements on thin-sections are exploited to understand the driving factor(s) that might determine domain states. In summary, we prove that the quantitative relationship between the abundance of magnetite and serpentinization degree is ultimately dependent on the pathway of serpentinization. But the domain state, and therefore the natural remanent magnetization of serpentinized peridotites, is probably independent of serpentinization degree.

チリ三重会合点で何が起きているのか
 —MR18-06 航海表層コア・熱流量調査速報—

Geophysical & geological survey report at the Chile triple junction during MR18-06 cruise

木下 正高* (東大地震研)・安間 了 (徳島大)・阿部 なつ江 (JAMSTEC)・横山 由香 (東海大海洋)・太田 耕輔 (東大大気海洋研)・西川友章 (京大防災研)・岩森 光 (東大地震研)・MR18-06 レグ 2 乗船研究者一同

M.Kinoshita (ERI/UTokyo), R.Anma (Tokushima Univ), N. Abe (JAMSTEC), Y.Yokoyama (Tokai Univ), K.Ota (AORI/UTokyo), T.Nishikawa (Kyoto Univ.), H.Iwamori (ERI), and MR18-06-2 Science Party

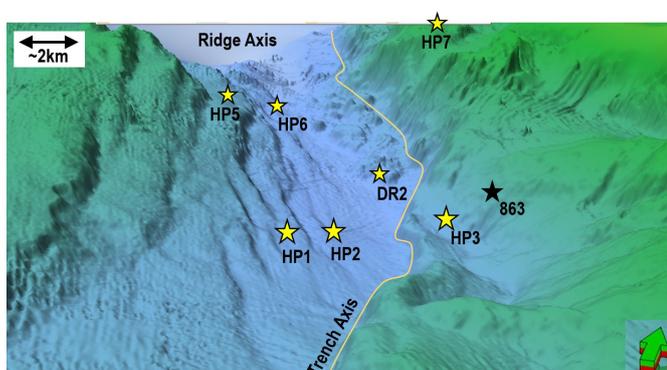
2019年1月、JAMSTEC 調査船「みらい」による航海がチリ三重会合点（南緯 46 度，西経 76 度付近）において実施された。実質 5 日間程度であったが，浅部反射法探査（4 測線）、熱流量測定（6 点），ピストンコアリング（6 点）、ドレッジ（2 点），海底地震研設置（13 点）が実施された。得られたコア試料は，その後高知コア研究所にて，物性・CT・元素組成を高精度で計測した。

6 本のコア試料のうち，海側（HP5）のみが非常に密度が高く，かつ深度方向に密度が増加する傾向を示した。それに対して，中軸上（HP2, HP6）では，最もタービダイトの頻度が高く，密度はほぼ一定の傾向を示した。また陸側斜面の 2 点（HP3, HP7）にはタービダイトが少なく，密度は深度とともに漸増する傾向を示した。

海側の HP5 は，軸部から一段高く海溝斜面から遠いことから，軸部に流入する現生のタービダイトは到達していないと考えられる。したがって，HP5 の表層堆積物の起源は，海嶺で生成された後の，過去の堆積物，あるいは現在の半遠洋性堆積物の可能性がある。

熱流量は，海嶺中軸部で $140 \cdot 210 \text{ mW/m}^2$ であったのに対して，西側の正断層崖上で 370 mW/m^2 ，陸側（付加体斜面下部）でも 230 mW/m^2 を超える高熱流量が観測された。陸側では ODP による掘削（863 サイト）が実施されているが，熱流量は 100 mW/m^2 以下と低いのと極めて対照的であった。ODP の値は，地震探査記録に検出された BSR 深度から推定された値と整合的であったことから，陸側斜面の表面の高熱流量は，既往研究で指摘されたような，地下からの湧水に起因する可能性が考えられる。一方で，軸部の熱流量が両側に比べて低いのは，軸部への大量のタービダイト流入による表面熱流量の低下が原因とも考えられるが，それに加えて，最近のマグマ活動・熱水活動が軸部では起きていないことを示すのかもしれない。

今後元素組成データ解析や数値計算などと合わせて，堆積物の起源や拡大・沈み込みのテクトニクスを明らかにしていく。



チリ三重会合点付近の観測地点 (MR18-06 航海レグ 2)。

海底巨大カルデラ噴火、鬼界カルデラの総合的研究
Integrated study on submarine super-eruption, Kikai caldera

島 伸和* (神戸大学 惑星学専攻/海洋底探査センター)

Nobukazu Seama (Department of Planetology/KOBEC, Kobe University)

巨大カルデラ噴火は、超巨大地震の数倍以上のエネルギーを一瞬で放出する現象である。この発生原因の解明に向けて、日本火山列島で最も直近（7300年前）に巨大カルデラ噴火を起こした「鬼界海底カルデラ」を対象として、このマグマ供給系を明らかにすることが本研究の目的である。

神戸大学海洋底探査センター（KOBEC）では、神戸大学附属練習船「深江丸」を用いた探査航海を2016年から年2回実施してきた（Seama et al., 2019）。探査では、KOBEC設置以前は海域観測の実績が殆ど皆無だった練習船「深江丸」に、反射法地震探査・マルチナロービーム音響測深・曳航式磁力計・遠隔操作型潜水機（ROV）などの観測・観察装置を整備・運用し、海底電位差磁力計・海底地震計の設置・観測・回収を行った。これらの探査航海で明らかにした海底地形、反射法地震探査によるカルデラ浅部構造、ROVによる観察、溶岩ドームの化学組成の解析などから、二重カルデラが存在すること、カルデラ内に体積32 km³以上の世界最大規模の後カルデラ溶岩ドームの存在すること、さらに活発な熱水活動が認められることを公表してきた（Tatsumi et al., 2018）。また、反射法地震探査を稠密な測線を実施することにより、少なくとも過去3回起きた鬼界巨大カルデラ噴火の噴出物と考えられる堆積層の空間分布や総量の把握を試みている。具体的には、これらの各堆積物層を認定し、その連続性を使って各層の空間分布を把握する。このうち、主に鬼界アカホヤ噴火の噴出物と考えられる堆積物を対象にROVやピストンコアリングなどによる採泥を実施した。ROVで得られた堆積物については火山ガラス組成の分析を行い、SiO₂量の異なる2種類の火山ガラスを含むことが特徴的な鬼界アカホヤ噴火噴出物との対比を行い、鬼界アカホヤ噴火の噴出物であることが確認できた（Nakaoka et al., 2019）。この対比同定結果と反射法地震探査により明らかにした堆積物層の平面的な広がりや層厚から、海底に堆積した鬼界アカホヤ噴火噴出物の量を推定した。この海底堆積物量と既知の陸上の堆積物量を基に、鬼界アカホヤ噴火の総噴出量を推定することにより、世界で初めて巨大カルデラ噴火に伴う総噴出物量の精密推定を行った（Shimizu et al., 2019; in prep.）。鬼界アカホヤ噴火より古い噴火の噴出物と考えられる堆積層についても、可能な限り試料採取を試みてその分析も行い、鬼界アカホヤ噴火と同様の解析を試みる予定である。さらに、5台の海底地震計による5ヶ月の観測にもとづく火山性の地震活動の結果（Seto et al., 2019）や、海底電位差磁力計による観測データの初期的な解析結果である比抵抗構造（Matsuno et al., 2019）、地磁気異常の初期的な解析結果（Hanyu et al., 2019）も得られている。

今後の計画として、海洋研究開発機構などと連携し、1) 広帯域海底地震計を含む海底地震計、海底電位差磁力計、小型海底磁力計などを用いた鬼界カルデラ下のマグマ供給系のイメージング、2) 稠密及び大規模反射法地震探査によるカルデラ及びマグマ溜りの構造の解明、を実施し、このマグマ供給系の現状把握を行う予定である。

発表では、これまで得られた成果の概要と、今後の計画をまとめて紹介する。

鬼界カルデラの地磁気異常

Magnetic anomalies around Kikai caldera submarine volcano

羽入朋子* (神戸大)、佐野守 (神戸大)、松野哲男 (神戸大)、
藤井昌和 (国立極地研)、野木義史 (国立極地研)、島伸和 (神戸大)

Tomoko HANYU (Kobe U.), Mamoru SANO (Kobe U.),

Tetsuo MATSUNO (Kobe U.), Masakazu FUJII (NIPR),

Yoshifumi NOGI (NIPR), Nobukazu SEAMA (Kobe U.)

鹿児島県南部海域に位置する鬼界カルデラについて、これまでの研究から次のような特徴が明らかになっている(Tatsumi et al., 2018) : 東西 22 km 南北 17 km の 2 重カルデラ構造を持つ海底カルデラであること、カルデラ縁に火山性の貫入岩が存在すること、7.3 ka にアカホヤ火山灰を噴出した巨大噴火以降、カルデラ中央部に 32 km³ に及ぶ大規模な溶岩ドームが形成されたこと、溶岩ドームのいくつかの場所で水中音響異常が見つかり、その原因として熱水プルームが考えられること、である。一般的に、火山岩は強磁性鉱物を多く含んでおり、強い熱残留磁化を保持している。しかし、熱水活動系では熱水活動により火山岩中の強磁性鉱物に変質するため、磁化強度が弱くなる事が知られている。鬼界カルデラ周辺の貫入岩や熱水活動系の分布を明らかにするためには、この海域で詳細な地磁気データを取得・解析する必要がある。

神戸大学附属練習船「深江丸」による鬼界カルデラ総合探査の一環として、2016 年 10 月からカルデラ周辺海域で曳航式プロトン磁力計・オーバーハウザー磁力計による全磁力観測を行っている。2019 年 3 月までに、測線全長約 4558 km、平均測線間隔 0.4 分、平均船速 11 knot で測定間隔 30 秒の密な全磁力データが得られた。曳航分の位置情報を補正し、IGRF12 を差し引いて全磁力異常を計算して、岩体の磁化強度を推定した。ここで、岩体の上面はマルチビーム観測によって得られた海底地形データを適用し、地球磁場の伏角を 43.64 度、偏角を -5.56 度、磁化層の厚さを 1 km と仮定した。その結果、鬼界カルデラ周辺の磁化強度は -1.0~+1.9 A/m 以内であり、2 重カルデラ縁部や溶岩ドーム西部の磁化強度は +1 A/m 以上の強い値を示した。また、カルデラ外側の南南東や西南西に位置する地形的な高まりの周辺でも強い磁化強度が観測された。一方で、溶岩ドーム中心部から東部や水中音響異常が報告された場所では -0.3~+0.3 A/m 程度の弱い磁化強度が観測された。強い磁化強度の領域は火山性貫入岩を示していると考えられ、これまでの報告よりも多くの貫入岩が存在している可能性を示した。また、弱い磁化強度が観測された場所では熱水活動系が存在する可能性が示唆される。

スケーリーフットの IUCN レッドリスト登録
IUCN red listing of Scaly-foot gastropod

川口 慎介* (JAMSTEC 超先鋭)、CHEN Chong (JAMSTEC 超先鋭)
KAWAGUCCI Shinsuke & CHEN Chong (SUGAR, JAMSTEC)

IUCN は 1948 年創設の国際的自然保護団体で、1966 年から「レッドリスト」を作成している。IUCN レッドリストは、生物多様性の危機を注意喚起するとともに、国際的な保全活動指針のための科学調査に基づく客観的情報の収集を目的としている。たとえばニホンウナギは、漁獲数の減少や生息環境の悪化を踏まえ、現在は絶滅危惧種 (Endangered・EN) として掲載されている。IUCN レッドリスト評価では、すべての生物に対して同じ評価基準が用いられており、有限である保全努力をどの種に対して費やすか優先順位を決定するための「ものさし」となっている。

1993 年「白鳳丸」がインド洋で初めて本格的な熱水活動探査を行い、2000 年に「Kairei フィールド」を発見、その 7 ヶ月後に米国「Knorr」が「スケーリーフット」を発見した。2009 年には中央インド洋海嶺「Solitaire フィールド」で、2011 年には南西インド洋海嶺「Longqi フィールド」で、それぞれスケーリーフットの生息が確認された。採集試料の集団遺伝解析により、3 つの熱水域のうち、異なる海嶺の個体群では相互に交流が乏しいことが明らかとなっている。

国連海洋法条約の発効とともに発足した国際海底機構 (ISA) は、公海域の深海底鉱物資源を管理しており、熱水性の金属硫化物鉱床もこれに含まれる。「Longqi フィールド」「Kairei フィールド」のそれぞれにに対して、中国およびドイツの鉱区申請が承認されている。なお、「Solitaire フィールド」はモーリシャスの排他的経済水域内に位置しているため ISA の管轄外である。

インド洋の熱水域に固有な動物について IUCN レッドリスト評価をおこなう専門家ワークショップにおいて、スケーリーフットは生息域の小ささ (総面積 500km² 未満)・少なさ (5 カ所以下) および海洋資源探査・将来的な海底資源開発による生息環境擾乱の懸念から、絶滅危惧種 (EN [B2ab(iii)類]) と評価された。熱水固有種であるスケーリーフットがレッドリストに掲載されたことは『未知な領域が広大に残されている深海に生息している生物であっても一定以上の情報を収集すれば (情報不足 (DD) や未評価 (NE) ではない) 評価が下される』というマイルストーンとなった。実際、スケーリーフットに続いて 14 種の熱水固有種についても IUCN レッドリスト掲載に向けた評価が進められており、すべての種が絶滅危惧種あるいは危急種に認定されると見込まれている。

YK09-13 航海首席であった玉木賢策は、発見した熱水域の命名について「しんかい熱水域と命名する」という運航チームとの口約束を反故にしてまで「生命の神秘と生物多様性を象徴する深海熱水域に、絶滅種の名を使用することによって、生物多様性の重要性を喚起する」という意図を込め「ドードー」「ソリティア」と名付けた。両熱水域の周囲に位置する島々にかつて生息していた飛べない鳥の名である。17 世紀にはじまった入植により、発見からわずか 100 年で絶滅し、IUCN レッドリストにも絶滅種 (EX) として登録されている。

Mineralogy of listvenite

Toma Takahashi * (Kanazawa univ), Tomoaki Morishita (Kanazawa univ), Yumiko Harigane (AIST), Tatsuhiko Kawamoto (Shizuoka univ), OmanDP Phase 1 Science Party

In recent years, carbon fixation by minerals has attracted attention as one of the solutions to reduce carbon dioxide in the atmosphere. Serpentinized and carbonated peridotites are formed when peridotite reacts with H₂O and CO₂ near the surface of the Earth. Temperature conditions of carbonated peridotites (listvenite) were investigated from fluid inclusions, oxygen isotope analysis, and mineral paragenesis (e.g., Belogub et al 2017, Falk and Kelemen, 2015). Carbonation of peridotite for the formation of listvenite is estimated at 80 to 360 °C. However, some fundamental questions are still unresolved: how peridotite is converted to listvenite, and elemental mobilization on carbonation of peridotite.

Listvenite occurs locally at the boundary of the mantle section of the Samail ophiolite and the metamorphic sole below the mantle section. Hole BT1B of the Oman Drilling Project sampled listvenites, 2 carbonate-veined serpentinite bands at 80-100 and 180-185 m depth, and 70 cm of fault gouge at 197 m depth, followed by 103 m metamorphic sole. The serpentinite bands were originally dunite and harzburgite. The listvenite mainly consists of magnesite and quartz/chalcedony ± fuchsite (Cr-mica). Dolomite veins often cut early structures and rarely contain fluid inclusions. Dolomite also occurs as matrix of the listvenite. Dolomite-rich listvenite bands are found from near the upper serpentinite band and just above the metamorphic sole. The frequent occurrence of dolomite in the core suggests that calcium was supplied to the core at a later stage. The occurrence of hematite in some parts of the dolomite-listvenite are similar to the occurrence of magnetite in the serpentinite bands. In this presentation, we will introduce the main textures observed in the listvenite of Hole BT1B.

ハードロック掘削における空隙率測定法の改良：
オマーンオフショアライト陸上掘削試料の例
**Improvement of porosimetry at hard rock drilling:
Examples of Oman Drilling Project**

長瀬薫平^{*1}、片山郁夫¹、横山正¹、畠山航平¹、赤松祐哉¹、
岡崎啓史²、阿部なつ江²、道林克禎³

1) 広島大学, 2) 海洋研究開発機構, 3) 名古屋大学

**Kumpei Nagase^{*1}, Ikuo Katayama¹, Tadashi Yokoyama¹, Kouhei Hatakeyama¹,
Yuya Akamatsu¹, Keishi Okazaki², Natsue Abe², Katsuyoshi Michibayashi³**

1) Hiroshima University 2) JAMSTEC 3) Nagoya University

岩石中に存在する空隙は、その岩石の浸透率や弾性波速度などの物性とかかわりが深く、空隙率は非破壊で簡素に測れる重要な物性といえる。一般的に空隙率は岩石を水に飽和させた質量から求められ、岩石を大気圧下で水に沈めて脱気することで水に飽和させる手順が用いられる。しかしながら、測定に要する手順や時間は経験によるところが大きく、岩石が水に十分に飽和しているのが疑問に残る。特に、空隙率の低いハードロックでは飽和に達していない可能性も高い。

そこで我々は、オマーンオフショアライト陸上掘削の輝緑岩、斑レイ岩、橄欖岩(蛇紋岩)など60試料を用いて、空隙率を以下の二つの手法で測定した。(1) 岩石を水に浸した後、脱気する方法(浸透法)(2) 岩石の脱気を先に行い、その後水に浸す方法(含浸法)。なお、通常は(1)の方法で行われているが、工学分野では(2)の方法も用いられている。試料を水に飽和させる時間は上記の2つの手法それぞれ1日、3日、10日、30日を設定した。飽和後は試料を真空オーブンで十分に乾燥させてから乾燥質量を測り、重量変化から空隙率を求めた。なお、試料の固相体積はあらかじめガスピクノメーターを用いて求めた。

測定を行った結果、試料の飽和に時間をかけると浸透法と含浸法で求められる空隙率にはほとんど違いがないということが分かった。一方で、試料の飽和に要する時間は含浸法の方が短いことが明らかになった。浸透法では水が岩石に浸透する過程で、気相が空隙のネットワーク中にトラップされ、飽和に時間を要してしまうのではないかと考えられる。以上の結果から、試料を飽和させる時間を短縮できる含浸法は浸透法よりも優れた手法であるといえる。

今後のハードロック掘削では限られた時間の中で多くの1次データを取得しなければならない可能性が高い。今回の実験結果で、空隙率の測定に適している含浸法でも飽和するのに10日間ほど時間がかかったが、簡単な圧力容器を用いて加圧し流体が空隙に浸透する圧力勾配を大きくすることなどで、測定時間の更なる短縮が期待できる。今後は圧力容器の導入により、短時間で空隙率の測定を行える装置の開発を目指していきたい。

オマーンオフィオライトに記録されたマントルまで到達した
熱水の化学的特徴と活動年代

**Chemical and chronological characteristics of hydrothermal activity around
suboceanic Moho recorded in Oman ophiolite**

秋澤紀克* (東大)、三宅亮 (京大)、土山明 (京大/立命大/中国科学院)、
阿瀬貴博 (東大)、浅沼尚 (東大)、横山裕典 (東大)

Akizawa N. (Univ. Tokyo), Miyake A. (Kyoto Univ.),

Tsuchiyama A. (Kyoto Univ./Ritsumeikan Univ./Chinese Acad. Sci.),

Aze T. (Univ. Tokyo), Asanuma H. (Univ. Tokyo), Yokoyama Y. (Univ. Tokyo)

中央海嶺における熱水循環のうち、マントルまで到達するような深部熱水循環は海洋プレートの弱化に寄与すると考えられる。つまり、沈み込み帯での海洋プレートの折れ曲がりに影響を与え、プレートテクトニクスの維持に寄与している可能性がある。そこで、深部熱水循環の実態を理解することは、地球のダイナミックな動きを正確に捉えることにつながるため重要であると言える。本研究では、オマーンオフィオライトで報告されている深部熱水循環によって形成されたと考えられている Diopside を用いて、その形成に関わった熱水の化学特性を明らかにすると共に、その形成年代推定を行う。そして、深部熱水循環の実態を理解することを目指す。

本研究で用いた Diopside は Crustal diopside と呼ばれ、ガブロ/カンラン岩境界 (つまり、Moho) の直上約 80 m のガブロ中にネットワーク状の脈として発見された。Crustal diopside は主に、アノーサイト、ディオプサイド、ウバロバイト、チタナイト、クロムスピネルから成る。全岩化学組成分析の結果、Crustal diopside は周りのガブロに比べて Cr の含有量が高かった (~1.0 wt.% Cr₂O₃)。Crustal diopside には ~5 μm 程度のサイズの流体包有物が多く含まれており、その凝固点を測定することで ~7 wt% の NaCl を含むことが予想された。さらに、自形のクロムスピネルを含む流体包有物を凍らせて Cryo-FIB-EDS で解析を行ったところ、Cl を検出することに成功した。以上の化学解析の結果、Cl を含む熱水によってマントル中から Cr が地殻に運ばれたことがわかった。流体包有物に含まれる自形のクロムスピネルを考慮すると最大で ~7 wt% の Cr を熱水が含んでいたと計算され、その多量な Cr の移動は海水に含まれていた Cl と錯体を形成することで達成されたと考えられる。さらに、Crustal diopside に含まれるチタナイトを用いて、LA-ICP-MS による U-Pb 年代測定を実施した。その結果、オマーンオフィオライトが中央海嶺に位置していた際に Crustal diopside が形成されたことがわかった。今後、中央海嶺で海水がマントルまで到達することによる海洋プレート改変の影響が、プレートテクトニクスの維持にどれほど寄与するか考慮する必要があると考える。

オマーンオフィオライト陸上掘削試料における弾性波速度の圧力依存性
**Pressure dependence of elastic wave velocity in core samples collected from Oman
Drilling Project**

畠山航平*(広島大), 片山郁夫(広島大), 阿部なつ江(JAMSTEC), 岡崎啓史
(JAMSTEC)

**Kohei Hatakeyama* (Hiroshima Univ.), Ikuo Katayama (Hiroshima Univ.), Natsue
Abe (JAMSTEC), Keishi Okazaki (JAMSTEC)**

海洋プレートの地震波速度構造は、深くなるにしたがって連続的に変化し、速度勾配の変化から海洋地殻は第2層と第3層に区分される(e.g., White et al., 1992). 速度勾配の変化の要因として、空隙と鉱物組み合わせの効果が指摘されているが、海洋底からの試料採取が困難であることから、これらの実験的検証は不十分である. 近年、オマーンオフィオライトの陸上掘削によって、オフィオライト層序の各岩層から回収率 100%の状態ですべて試料が採取され、海洋地殻の物性変化を連続的にとらえることが期待されている. そこで、本研究では、オフィオライト掘削試料の弾性波速度を封圧条件下で測定し、速度に対する空隙と鉱物組み合わせの効果を検証した. そして、本実験結果に基づくオフィオライト層序の速度構造から海洋プレートの地震波速度勾配の要因を考察した.

オマーンオフィオライト陸上掘削計画(Oman Drilling Project)では、海洋地殻上部に位置するシート状岩脈群—はんれい岩境界(Hole GT3A), 海洋地殻中部から下部の層状はんれい岩(Hole GT2A, GT1A), 地殻—マントル境界(Hole CM1A)に相当する箇所の掘削が行われた. 本実験では各掘削孔の代表的な岩石種を実験試料として選び、GT3A から輝緑岩, GT1A, GT2A, CM1A からは、かんらん石はんれい岩の弾性波速度を測定した.

実験は広島大学設置の容器内変形透水試験機を使用し、乾燥条件と含水条件の弾性波速度を測定した. 乾燥条件で弾性波速度を測定した後、間隙水圧を 10 MPa に制御した含水条件の測定を連測的に行なうことで間隙水の効果を調べた. どちらの条件においても封圧 200 MPa まで加圧し、縦波 (P 波) と横波 (S 波) をパルス透過法から測定した.

弾性波速度は封圧の増加と共に増加し、これは空隙の閉鎖を示している. 含水条件下における輝緑岩の P 波速度は乾燥条件よりも増加し、S 波速度はほとんど変化しなかった. このことは空隙が水で満たされることによる弾性定数と密度の変化に起因する (Guéguen and Palciauskas, 1994). はんれい岩試料では、弾性波速度の圧力依存性と間隙水の効果は輝緑岩よりも小さい傾向を示した.

弾性波速度に対する空隙の効果は、弾性論に基づく理論モデルからクラック密度パラメーター(CDP)に依存することが示されている (O'Connell and Budiansky, 1974). 本実験結果から推定される CDP は、はんれい岩よりも輝緑岩が高い傾向にあり、このことは海洋地殻の第2層における急激な速度勾配は空隙の影響であることを示唆している. はんれい岩は空隙の影響は小さい一方で、海洋地殻下部の試料ほど密度と速度が増加する傾向にある. このことは海洋地殻第3層における緩やかな速度勾配の要因が、マフィック鉱物量比の増加であることを示唆し、中央海嶺での火成活動を反映していると考えられる. 本実験結果に基づくオフィオライト層序の速度構造は、太平洋プレートの地震波速度構造 (Kodaira et al., 2014) と一致し、海洋地殻における空隙の分布および鉱物組み合わせは、オフィオライト試料から推定することが可能であると考えられる.

A new view on the melt inclusions in Oman podiform chromitite: High resolution X-ray computed tomography and scanning electron microscopy studies

Yuan Yao* (Niigata University), Eiichi Takazawa (Niigata University / JAMSTEC), Chatterjee Sayantani (Niigata University), Antonin Richard (Université de Lorraine), Christophe Morlot (Université de Lorraine), Laura Creon (Sorbonne Université), Salim Al-Busaidi (Maadin Enterprises LLC), Katsuyoshi Michibayashi (Nagoya University), Oman Drilling Project Science Team

Podiform chromitites have provided us valuable information on various mantle processes, including melt-mantle reaction, deep-seated magmatic evolution, and mantle dynamics. Recently, many kinds of inclusions have been found in podiform chromitites from Oman ophiolite, such as platinum group element minerals, silicate minerals, even ultra-high pressure mineral: moissanite. Melt inclusions can be regarded as a time capsule that holds the information at the time of inclusion (Roedder, 1984). We studied banded chromitite samples from a chromitite mine in the Samail massif and core samples from OmanDP Hole CM2B in Wadi Tayin massif. The chemical compositions of chromites range narrow, Cr# (=Cr/[Cr+Al] atomic ratio) is from 0.49 to 0.57, Mg# (=Mg/[Mg+Fe²⁺] atomic ratio) is from 0.58 to 0.71. Different types of inclusions were found in chromites. The silicate inclusions range in diameter from 5µm to 200 µm, contain pargasite, aspidolite, high Cr# (Cr#>60) chromite lining, diopside, enstatite, pentlandite and so on. The high temperature homogenized experiments were conducted to study the compositions of melt inclusions. The results show the Fe-Al exchange between the inclusion and host chromite, which suggests the high temperature homogenized experiments are not suitable study method for melt inclusions in chromite. Moreover, the 3D high resolution X-ray computed tomography images for the spatial distributions of inclusions indicates the rapid growth of host chromite provided cages/hopper to trapped melt inclusions (Prichard and Godel, 2018). In addition, the crystallization of the high Cr# chromite on the inclusion walls was identified. The SEM data also show that large size inclusions rarely have high Cr# chromite linings. In general, the ratio of surface area to volume is positively associated with cooling rate meaning that inclusions of small size cooled faster than larger ones (Planinšič and Michael, 2008). It indicates the smaller melt inclusions have stronger driving force for crystallization which causes 2D nucleation growth (Sunagawa, 2007). The fast growth of chromite caused the melt at the interface aspidolite super-saturated, and the precipitation of aspidolite reduced the content of Al³⁺ near the interface. This made chromites use more Cr³⁺ for crystallization. Based on the above, we calculated the compositions of melt inclusion by using areas of daughter minerals including high Cr# chromite lining. The results show Cr₂O₃ content of the trapped melt was up to 9.6%. Such primary melt with high Cr₂O₃ content may have been responsible for the formation of podiform chromitites in the Oman ophiolite.

Planinšič, G., and Michael V. (2008). *European Journal of Physics*.

Prichard, H. M., Barnes, S. J. and Godel, B. (2018). *Mineralogical Magazine*.

Roedder, E. (1984). *Fluid inclusions*.

Sunagawa, I. (2007). *Crystals: Growth, Morphology and Perfection*.

Water Content in Nominally Anhydrous Mineral of Crust/Mantle Boundary Recovered by International Oman Drilling Project: Analytical Strategy and Methods

Muhamad Asyraf (Kanazawa University), Tomoaki Morishita (Kanazawa University), Kenji Shimizu (JAMSTEC- Kochi), Takayuki Ushikubo (JAMSTEC- Kochi), Keita Itano (Kanazawa University), Juan Miguel Guotana (Kanazawa University), Oman Drilling Project Phase II Science Party

The volatile cycle of the earth's mantle is a fundamental question in earth sciences because of its relation to the distribution of water into the transition zone of mantle. It is well known that nominally anhydrous minerals (NAM) in mantle such as olivine and pyroxene contain very small amounts of water. Therefore, the water contents in NAMs from a tectonically constrained area have its importance for better understanding of water cycle in earth's mantle. Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) and secondary ion mass spectrometry (SIMS) were used to measure very minor amounts of volatile elements in the nominally anhydrous minerals (e.g., Bell and Rossman, 1992; Dixon et al., 1988; Michael, 1995; Hauri et al., 2002). The Oman ophiolite consists of a well-preserved oceanic crust-upper mantle sequence and a good analogue for studies dealing with water transportation to the mantle. The core samples were recovered from the OmanDP-CM1 drill site of the Semail ophiolite in Wadi Zeeb (22°54.433'N, 58°20.15'E, 622m asl) by International Continental Scientific Drilling Program. The core recovered reached about 400m depth and consists of layered gabbro (160 m), dunite (150 m) and harzburgite (75 m) with a compositionally gradational zone of 15m between dunite and harzburgite. The layered gabbro sequence is mainly dominated by olivine gabbro and some layer of ultramafic rocks (cpx-dunite, wehrlite and websterite). The dunite sequence occurred from 160m to 309m downward with a few gabbros intruding the dunitic layer. The upper dunite sequence is completely altered to serpentinites while the lower part is characterized by the presence of olivine and pyroxene unaltered by serpentinization. The harzburgite sequence is mainly comprised of harzburgite and minor amounts of dunite and gabbros. A secondary ion mass spectrometry (SIMS) is used for representative sample for each sequence to measure the volatile element in the sample. SIMS's capability of measuring volatile abundance at the level of parts per million in an area with diameter of 15-30 micrometer make it suitable for better accurate measurement. We report our strategy and analytical details by SIMS in this meeting.

References

- Bell, D. R., and G. R. Rossman, Water in Earth's mantle: The role of nominally anhydrous minerals, *Science*, 255, 1391–1397, 1992a.
- Demouchy, S., Bolfan-Casanova, N., 2016. Distribution and transport of hydrogen in the lithospheric mantle: A review. *Lithos* 240, 402–425.
- Dixon, J. E., Stolper, E. and Delaney, J. R. (1988) Infrared spectroscopic measurements of CO₂ and H₂O in Juan-De-Fuca Ridge Basaltic Glasses. *Earth Planet. Sci. Lett.* 90,87–104.
- Hauri, E., J. Wang, J. E. Dixon, P. L. King, C. Mandeville, and S. Newman, SIMS analysis of volatiles in volcanic glasses, 1, Calibration, matrix effects and comparisons with FTIR, *Chem. Geol.*, 183, 99–114, 2002.
- Kimura J-I, Nakajima J (2014) Behaviour of subducted water and its role in magma genesis in the NE Japan arc: a combined geophysical and geochemical approach. *Geochim Cosmochim Acta* 143:165–188
- Koga, K., Hauri, E., Hirschmann, M., Bell, D., 2003. Hydrogen concentration analyses using SIMS and FTIR: comparison and calibration for nominally anhydrous minerals. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* 4
- Michael, P. J. (1995) Regionally distinctive sources of depleted MORB—Evidence from trace-elements and H₂O. *Earth Planet. Sci. Lett.* 131, 301–320.
- Shimizu, K. et al. H₂O, CO₂, F, S, Cl, and P₂O₅ analyses of silicate glasses using SIMS: report of volatile standard glasses. *Geochem. J.* 51, 299–313 (2017)

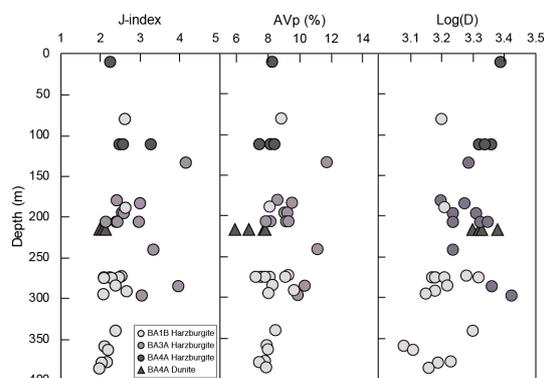
Oman Drilling Project により掘削されたかんらん岩の構造岩石学的特徴 Structural features of the peridotites drilled by Oman Drilling Project

柿畑優季*・道林克禎 (名古屋大学大学院),
Oman Drilling Project Phase2 Science Party
Yuki KAKIHATA, Katsuyoshi MICHIBAYASHI (Nagoya University),
Oman Drilling Project Phase2 Science Party

オフィオライトは、海洋地殻から上部マントルまでの一連の層序を残したまま陸上に衝上した岩体である。アラビア半島東部には、長さ約 500km、幅約 80km の世界最大規模のオフィオライトであるオマーンオフィオライトが存在する。オマーンオフィオライトでは、地殻-マントル境界部の実態解明のため Oman Drilling Project が実施され、掘削されたコアは地球深部探査船ちきゅうに搬入され記載された。本研究では 2017 年 11 月から 2018 年 3 月に掘削が行われ、2018 年 8 月 5 日から 9 月 3 日にちきゅう船上で記載された最上部マントル相当の掘削コア BA1B, BA3A 及び BA4A のかんらん岩を試料とし、岩石薄片の観察と電子線後方散乱回折(EBSD)による微細構造の記載とかんらん石の結晶方位解析を行った。

ちきゅう船上における記載では、いずれのコアにも多様な変形組織が観察された。伸長した輝石の dip angle は 10~50°程度で、掘削サイトごとに差が見られた。プロトマイロナイト様の組織を示すかんらん岩では、薄片観察でも粒子が強く伸長しており、キンクバンドや波動消光を示した。面構造が見られないかんらん岩では鉱物粒子は丸みを帯びており、キンクバンドや波動消光を示したものは少数であった。

EBSD による分析では、岩石コアの半断面で作成した薄片について、マッピングを行った。試料は蛇紋岩化の影響を強く受けたハルツバージャイトとダナイトであるため、データの間隙を外挿し組織の復元を行った。復元組織の鉱物かんらん石の粒径は、ハルツバージャイトでは多くの粒子で 1.2~2.4mm 程度、ダナイトでは 2.1~2.3mm 程度で、部分的に細粒化していた。マップデータに基づいてかんらん石の結晶方位解析を行った結果、ハルツバージャイトにもダナイトにも結晶方位の集中が認められた。結晶方位の集中度を示す J-index はすべての試料で 2~4 程度であり、いずれの掘削サイトでも深度方向に対して変化が見られた。かんらん石の弾性定数に基づいて算出した P 波速度異方性 (AVp) は 5.9~11.8%程度で、BA4A ではやや小さかった。また、かんらん石の結晶方位ファブリックは BA1B では A タイプ的、BA3A では D タイプ的、BA4A では A~D タイプ (Karato et al., 2008) となった。以上から、掘削サイトごとの局所的な変形条件の違いが示唆される。更に、20cm のセクション内で結晶方位の集中度、P 波速度異方性の強度が徐々に変化しており、J-index には 0.8 程度、P 波速度異方性には 1.9%程度の差が見られた。変形構造や物理特性に変化が見られることから、マントルセクション内において歪の局所化が生じていることが示される。



BA1B, BA3A, BA4A の結晶方位の集中度、P 波速度異方性、粒径プロファイル。

Microstructures and whole-rock geochemistry of lower crustal gabbros from the Oman Ophiolite: Analyses of the drilled cores of the Oman Drilling Project

Takahiro Fudai (Kanazawa Univ.), Koki Iida (Yokohama Nat. Univ.), Susumu Umino (Kanazawa Univ.), Osamu Ishizuka and Yuki Kusano (Geol. Surv. Japan)

The lower crustal section of the Oman Ophiolite was obtained by the Oman Drilling Project in 2016 to 2017, attaining 400 m long cores each at Site GT1 and GT2 in Wadi Gideah. The purpose of this research is to correlate the microstructures and the amount of trapped melt of the gabbro samples and to understand the conditions of magmatic and hypersolidus deformation that operated in the lower crust beneath the Oman paleoridge axis.

Cored samples are predominantly olivine gabbros consisting of anhedral olivine, anhedral to subhedral clinopyroxene and subhedral to euhedral plagioclase. Grain size ranges from 0.5 mm to a few millimeters irrespective of mineral species. Deformed olivine aggregates and clinopyroxene with quarter structures are embedded in plagioclase with equilibrium granoblastic textures and large euhedral plagioclases with resorbed turbid cores. Considering these textures combined with the mechanical strength of the three constituent minerals, these gabbros suffered deformation under the presence of melt, which assisted complete recovery of strain through recrystallization of fine-grained plagioclase and overgrowth of euhedral rims around magmatic plagioclase cores. Poikilitic olivine and ophitic clinopyroxene occur sporadically through the holes. Hypersolidus deformation structures are present irrespective to depth. The asymmetric structures of olivine and clinopyroxene were used to determine the relative sense of shear. Both dextral and sinistral sense of shear are observed within the same samples. The presence of melt is evidenced by the clear euhedral plagioclase rims with resorbed turbid cores.

The whole-rock Mg#s of gabbro core samples from stratigraphically lower and higher sections (Hole GT1A and GT2A) range in 72-83 and 68-79, respectively. The lowest Mg#s of 72-74 overlap those of the spreading-stage sheeted dikes. The whole-rock Al₂O₃ versus MgO plots within a triangle connecting plagioclase – olivine+clinopyroxene – Mg-rich sheeted dikes, indicating the whole-rock compositions are mainly controlled by accumulated plagioclase, olivine, clinopyroxene and a small amount of primitive melts. The whole-rock Mg# and incompatible elements (REEs and HFSEs) are lower and higher in GT2A, suggesting larger amounts of trapped melt at higher levels in the lower crust. Both clinopyroxene and plagioclase preserve cores with higher Mg# and An mol%, respectively, than the rims and surrounding smaller clinopyroxenes. Jumps in Ti concentration define the core-rim boundary of clinopyroxenes, through which Mg# gradually changes. In addition to this, olivine grains are almost homogeneous and consistently lower in Mg# than the clinopyroxenes with reversed rims in contact with olivines, indicating diffusive Fe-Mg exchange between olivine and clinopyroxene during cooling. Assuming the trapped melt compositions are given by the sheeted dikes, melt Yb concentrations are estimated using the Fe-Mg partition coefficient of 0.275 (Putirka, 2003) between clinopyroxene and the melt. The amount of trapped melt in gabbros are estimated by mass balance calculation of whole-rock Yb concentrations in coexisting gabbros and trapped melts.

**Accretion and origin of lower crustal gabbros: Evidence from Oman ophiolite
(Oman Drilling Project)**

Sayantani Chatterjee, *Eiichi Takazawa, **Katsuyoshi Michibayashi, ***Damon A.H. Teagle, *Peter B. Kelemen**

***Department of Geology, Faculty of Science, Niigata University, Japan,
**Department of Earth and Environmental Sciences, Nagoya University, Japan,
***Southampton Marine and Maritime Institute, University of Southampton,
United Kingdom, ****Lamont Doherty Earth Observatory, Columbia University,
USA**

Apart from deep sea drilling samples, studying ophiolite, which are the fragments of ancient oceanic lithosphere present as dismembered mass on the land surface are serve the purpose of studying lower crustal accretion. Lower oceanic crust thought to be a crucial lithomember which turns out be pretty rare in global context. In this contribution we report recovered lower crust from Oman drilling Project, Hole GT1A and GT2A, which were drilled into Wadi Gideah of Wadi Tayin massif in Semail Ophiolite, Oman.

Hole GT1A drilled the lower crustal section in the southern Oman Ophiolite and recovered 401.52 m of total cores and Hole GT2A was mainly concentrated to recover through transition between lower crustal foliated and layered gabbro with total depth of 406.77m. Petrographic observation of representative samples from GT1A and GT2A, we found two dominant rock types: Gabbro and Olivine gabbro, where later dominates the lower part of the drill hole. Interlayered Troctolites in association with gabbroic rock are also noted in GT2A samples. Gabbroic lithologies in GT1A represented by anhedral olivine with tabular to elongate shaped. Plagioclases are partly or totally enclosed by large clinopyroxene. Clinopyroxene are tabular to subequant in habit. Some thin film of orthopyroxene present as corona around olivine. Most of the samples have undergone alteration and obscured the igneous origin. In case of Hole GT2A, gabbros are less affected by alteration in respect of GT1A. Gabbros contain plagioclase and clinopyroxene (showing poikilitic texture) as primary minerals associated with few amounts of oxides. Clinopyroxenes are often replaced by brown amphibole along cleavages or at the rim. In olivine gabbros olivine grains are present as subhedral to skeletal in nature. Magmatic foliation is often demarked by laths of plagioclase followed by elongated clinopyroxene. Also presence of symplectitic intergrowth between spinel and orthopyroxene. Downhole variation in mineral composition in both holes can be correlated with several cycles of crystallization history. Detailed petrographic, microstructural and geochemical study of all the representative samples will be presented. We have also attempted to determine the oxygen fugacity of the system using oxide minerals to show the range of temperature and pressure and also have a clue to determine the thermal evolution by rate of cooling.

Sr isotopic study for mantle peridotites from the Oman ophiolite

Jiwon Eom^{*1}, Shigeyuki Wakaki², Norikatsu Akizawa¹, Tsuyoshi Ishikawa², Kyoko Yamaoka³, Eiichi Takazawa⁴, Hodaka Kawahata¹,

¹ Atmosphere and Ocean Research Institute, University of Tokyo

² Kochi Institute for Core Sample Research, Japan Agency for Marine Earth Science and Technology

³ Geological Survey of Japan, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

⁴ Department of Geology, Niigata University

The Oman ophiolite is one of the best exposed sections of the oceanic lithosphere. Its complex tectonic history has resulted in polygenic magmatism from mid-ocean ridge to subduction zone. Isotopic studies in the Oman ophiolite have been reported that seawater had reached down to the uppermost mantle section, although most of them focus only on the rocks from the crustal section. Here, we measured Sr isotopic compositions of mantle peridotites (harzburgites) from the northern and central Oman ophiolite (Fizh, Hilti and Sarami blocks) to reveal whether the hydrothermal circulation had affected the mantle peridotites in the mid-ocean ridge environment or not, and to make clear mantle heterogeneity with respect to the Sr isotope geochemistry. We collected 11 samples from Wadi Rajmi, 6 samples from Wadi Fizh, 8 samples from Wadi Thuqbah, and 3 samples from Wadi Sarami. The samples from Wadi Rajmi, which traverse northern Fizh mantle section from Moto to basal thrust, have homogeneous Sr isotopic compositions ranging from 0.7078 to 0.7086 that are higher than Cretaceous seawater value ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.7076$ at 100 Ma). Most of the samples from Wadi Thuqbah show similar $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ values to those from Wadi Rajmi, but one sample from near the Moho recorded lower $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ value (0.7073). The samples from Wadi Fizh and Wadi Sarami have wider ranges of $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ value than the others from 0.7040 to 0.7087 and from 0.6983 to 0.7085, respectively. We will discuss the mechanism causing such regional variation in terms of the Sr isotope geochemistry.

ハワイ沖マントル掘削に向けた反射構造イメージング
Seismic reflection imaging for uppermost mantle drilling off Hawaii islands

山下幹也* (産総研/JAMSTEC)、三浦誠一 (JAMSTEC)、小平秀一 (JAMSTEC)
Mikiya Yamashita (AIST/JAMSTEC), Seiichi Miura (JAMSTEC), Shuichi Kodaira (JAMSTEC)

ハワイ諸島東方沖は世界中で3ヶ所ある最上部マントル到達を目指す掘削候補点のうち、様々な理由から最も実現性が高い場所である。掘削計画を進めるためにはこの海域において得られる地殻構造が「代表的な海洋性地殻」であることを確認しなければならない。そこで2017年に海洋研究開発機構の深海調査研究船「かいらい」のマルチチャンネル反射法地震探査 (MCS) システムを用いた地震学的構造探査を実施し、ハワイ諸島から十分離れた太平洋中央部における「代表的な海洋性地殻」から掘削候補点までの構造イメージングを行った。しかしながらストリーマ長が約6 kmであるため、通常処理の速度解析によって地殻深部の速度決定が困難であり、浅部の不均質構造が影響して良好な反射断面は得られなかった。一方、並行してアメリカ合衆国調査船 (R/V Langseth, R/V Kilo Moana) を用いた海底地震計 (OBS) 5 台を設置することで広角反射法・屈折法解析による大まかな地震波速度構造が得られている (Ohira et al., 2018)。そこで本研究では Ohira et al. (2018) から得られた速度構造を初期値として用い、重合前時間マイグレーションを実施した。そこで得られた CIP ギャザーを用い速度解析を繰り返し行うことにより、最適な速度構造を求め深部構造イメージングを行った。また Ohira et al. (2018) の速度構造を用いて重合前時間マイグレーション断面の深度変換を行った。得られた時間断面から地殻内部に複数の反射面が部分的に確認されたほか、東西測線および南北測線ともモホ面に相当する連続性の良い反射面が往復走時約 7.7 秒付近に見られた (図 1)。その他最新の解析結果から得られた知見を紹介する。

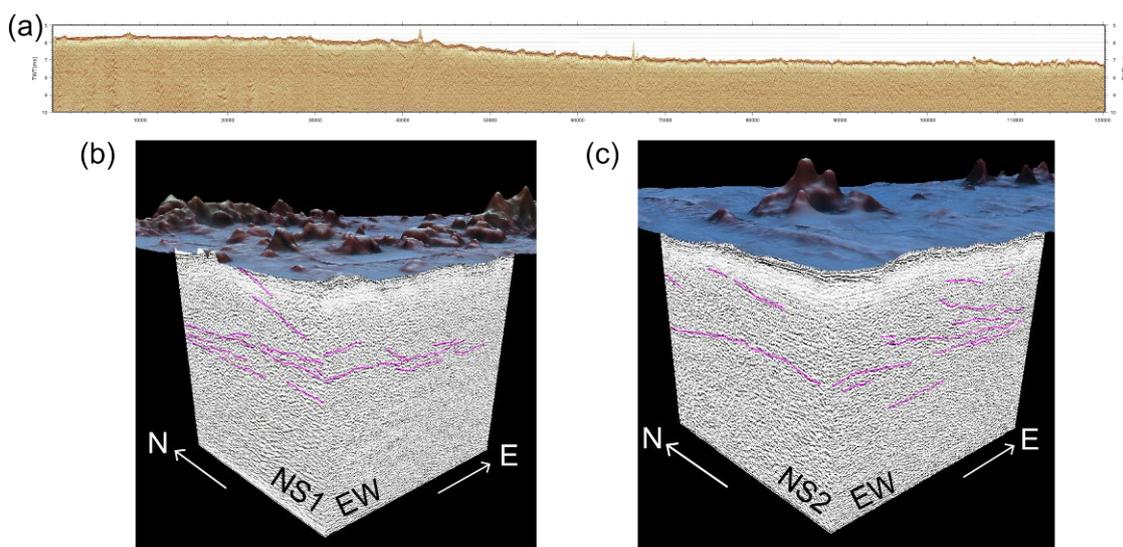


図 1 重合前時間マイグレーション断面 (a) 東西測線 (b) NS1 と EW 測線の交点拡大解釈図 (c) NS2 と EW 測線の交点拡大解釈図

開聞岳沖海底地すべりの構造

The structure of Submarine landslide at Mt. Kaimon offshore

山口 寛登¹, 佐野 守², 清水 賢², 井和丸 光², 島 伸和^{1,2}, 松野 哲男^{1,2},
 巽 好幸^{1,2} (1. 神戸大学理学研究科惑星学専攻, 2. 神戸大学海洋底探査センター)
 Yamaguchi Hiroto¹, Sano Mamoru², Shimizu Satoshi², Iwamaru Hikaru²,
 Seama Nobukazu^{1,2}, Matsuno Tetsuo^{1,2}, Tatsumi Yoshiyuki^{1,2} (1. Department of
 Planetology, Graduate School of Science, Kobe University 2. Kobe Ocean-
 bottom Exploration Center)

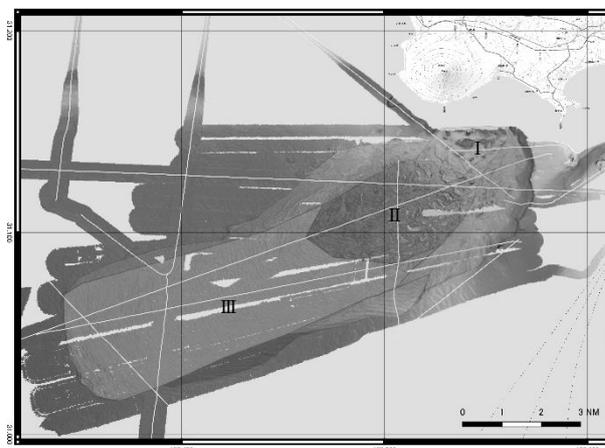
鹿児島県南部・開聞岳の南側ごく近くの地すべりとみられる海底地形の成因を知るために詳細な地形調査と反射法地震探査を実施した。海底地形は MBES を用いて取得し、多重光源陰影図と勾配図を作成し海底地形に投影し出力した。反射法は 6 チャンネルのマルチチャンネルストリーマーを使用し、一般的な反射法の処理を行い、CMP 重合を行った上で反射断面として出力した。海底地形図からブロック状の地形の有無とその大きさ・縞状地形の有無と縞の方向、縞の間隔を基にこの地形を 7 つの領域で分けてそれぞれ海底の特徴と、海底地形と地下構造との関係を調べた。ここでは特に特徴的であった 3 領域を示す。

I : 地形図では短辺 100m 以上の大きさのブロック状の地形が見られる。反射断面では著しく層の連続性が乱され、他の領域より深い部分の層も削られている。

II : 地形図では I の領域より小さなブロックに概ね覆われている。東北東-西南西の反射断面ではブロック状の部分に逆断層がみられる。また成層構造がある部分と反射が透明な部分が交互に見られ、水平方向の連続性はさほど良くない。

III : 地形図では走向が南北で東西におおむね平行な連続的に繰り返されるリッジが見られる。反射断面ではさらに、浅い部分に強い反射が見られる領域、成層構造が残った領域、おおむね反射が透明な領域に分けることができる。広く東西圧縮方向の逆断層がみられる。

地すべりの給源は I 側で開聞岳の南東ごく近傍もしくは過去の開聞岳南東斜面で南方向に崩れ、また II で南西へ方向を変えつつ、II・III に一部成層構造をのこすように流れたと推定できる。発表では実際の反射断面とその他の領域についても示す。



線が反射法の測線を示す

数字は領域で薄く示している

Geophysical analysis of the Yonaguni Knolls

**ZHOU JINYU(Atmosphere and Ocean Research Institute), OKINO
KYOKO(Atmosphere and Ocean Research Institute), FUJI MASAKAZU(National
Institute of Polar Research)**

Abstract

This research is aimed at doing a gravity analysis on the Yonaguni Knolls, which are volcanos located in the south-west end of the Okinawa Trough backarc basin, where the Philippine Sea Plate subducts below the Eurasia Plate. The Okinawa Trough is now in the rifting stage. Through the state of the Yonaguni Knolls, we can also infer the dynamics of the southern Okinawa Trough.

We collected detailed bathymetry and gravity data of the Yonaguni Knolls and the adjacent area during YK11-10 cruise in 2011. The west part of this area is the continental crust; water depth is around 1500 meters. The east part is the end of the backarc basin, and water depth is 1700 meters, 200 meters deeper than the west part. The Yonaguni Knolls consist of dozens of knolls, that align in E-W trending three rows parallel to the rift axis. These rows show a right-stepping en-echelon pattern, forming general NE-SW trend, oblique to the rift. The heights of the knolls are among 300-500 meters.

The free-air gravity anomaly of the area where knolls exist shows a distinct difference to the surrounding areas. Non-knoll areas have a less than 10 mGal free-air gravity anomaly, and the anomaly is at most 23 mGal in the rich-knoll area.

After calculating the free-air anomaly, we calculated the Bouguer anomaly to remove the effect of topographic relief, assuming the density contrast between water and crust is 1720kg/m^3 . It shows the density anomaly beneath the seafloor more distinctly. In the survey area, the Bouguer anomaly generally decreases from east to west, from 30 mGal to 5 mGal.

The eastern part of the survey area showing high Bouguer anomaly (BA) corresponds to the active rifting zone of the Okinawa Trough. The high BA likely indicates the thinner, extended crust by backarc extension. The mantle material has a higher density than the crust, uplifting, and causing the higher gravity of the rifting area.

Another interesting point is that the influence on the gravity of the knolls seems to be negative. Yonaguni Knolls corresponds to a lower BA approximately 5 mGal than that in the surrounding area. It may be interpreted that volcanoes are active; hot magma has a low density, and the gravity in the rich-knoll area is relatively lower than the surrounding.

Now the further analysis is being proceeded, such as gravity inversion and magnetic analysis.

沖縄トラフごんどうサイトから採取された堆積物の年代測定
Dating of sediment collected from Gondou Site in the Okinawa
Trough

塚本 成*・石橋 純一郎・岡崎 裕典 (九州大学)、豊田 新 (岡山理科大学)、藤原 泰誠・小畑 直也・後藤 隆嗣・郷津 知太郎 (蒜山地質年代学研究所)

Naru Tsukamoto, Jun-ichiro Ishibashi, Yusuke Okazaki (Kyushu Univ),
Shin Toyoda (Okayama Univ. of Sci.), Taisei Fujiwara, Naoya Obata,
Takashi Goto, Chitaro Gouzu (Hiruzen Institute for Geology and
Chronology)

熱水鉱床が形成されるまでには、長いタイムスケールにわたる熱水活動の継続や繰り返しが必要である。熱水活動域の地質試料から得られた年代情報は熱水鉱床の形成過程を議論する際の有用なデータであると考えられる。これまでに熱水域の地質試料を対象にした年代測定法として、電子スピン共鳴 (ESR) 年代測定法 (Toyoda et al., 2014)、 ^{226}Ra - ^{210}Pb 放射非平衡年代測定法 (Uchida et al., 2015) などが開発されてきた。また日本近海の沖縄トラフ及び伊豆・小笠原弧の海底熱水域から採取されたチムニー・マウンドを成す鉱石試料の研究では、数年～数千年といった年代情報が報告されている (Fujiwara et al., 2015)。

本研究では、沖縄トラフ久米島沖ごんどうサイトで行われた JM17-04 航海の海底掘削で得られたコア試料を対象として年代測定を行った。掘削試料は次世代海洋資源調査技術研究組合 (J-MARES) から提供いただいた。海底面近くの未固結シルト堆積物については、浮遊性有孔虫を集めて放射性炭素年代測定法を適用した。海底面下の鉱体部については、重晶石を抽出して ESR 年代測定法、 ^{226}Ra - ^{210}Pb 放射非平衡年代測定法を適用した。最深部の珪化岩については、熱ルミネッセンス (TL) 年代測定法の適用を試みた。これらの年代測定法により得られた年代情報を整理して、その鉛直分布について議論する。

チリ三重会合点近傍に位置するタイタオ・リッジ南斜面から採取した 火成岩類の岩石学的特徴

中尾 魁史* (弘前大), 折橋 裕二 (弘前大), 原口 悟 (東京大・地震研),
佐々木 実 (弘前大), 沼田 翔伍 (弘前大), 宮嶋 佑典 (東京大),
平田 岳史 (東京大), 高久 雄一 (環境科学技術研究所), 阿部 なつ江 (海洋
研究開発機構), 安間 了 (徳島大), MR18-06 レグ 2 乗船研究者一同

【はじめに】南米チリ沖南緯 46° 近傍ではナスカプレートと南極プレートが南米大陸下に沈み込んでいる。さらにチリ海嶺中央軸は南北に伸びるチリ海溝に対して北北西に傾斜して沈み込んでおり、海嶺-海溝-海溝型のチリ三重会合点を形成している (e. g., Herron ら, 1981)。本研究対象であるタイタオ・リッジ (以下, TR) はチリ三重会合点の南東部に位置し、海溝付近の異常な海底下の尾根と定義されている (Guivel ら, 1999)。Behrmann ら (1994) によれば TR は海嶺中央軸斜め沈み込みに伴いオブダクトした海洋リソスフェアの一部と報告されており、現在、最も新しいオフィオライトが露出している可能性がある。しかし、TR 全体の構造や形成発達史については、まだ不明な点が多い。これまで TR 内では国際深海掘削計画レグ 141 において 3 度の掘削が行われ、表層から深さ 100m において海洋性堆積物と玄武岩、斜長石流紋岩・流紋岩質火砕岩 (1.5 Ma と 2.2 Ma) が採取された (Randall ら, 1995)。その後、1997 年に行われた CTJ 航海では TR 南西および南斜面から前期更新世の玄武岩質安山岩や玄武岩 (Guivel ら, 2003)、MR08-06 航海では西斜面から新鮮な玄武岩質岩が採取された (Anma and Orihashi, 2013)。このように先行調査では TR 内でカンラン岩類や塩基性深成岩類など、オフィオライト構成岩の物的証拠となる岩石はまだ発見されていない。今回、MR18-06 レグ 2 航海において TR 南斜面から新たに深成岩類を含む 13 個の火成岩試料が採取された (Orihashi ら, 印刷中)。本研究では TR 構成岩の特徴を明らかにするために、同火成岩試料と MR08-06 航海で得られた玄武岩試料について岩石記載および全岩化学組成分析を、さらに深成岩 2 試料についてはジルコン結晶の U-Pb 年代測定を行った。

【結果・議論】採取した深成岩類は Am 斑レイ岩 (試料数: 1)、変質ドレライト (3)、Am 閃緑岩 (1)、Am Bt 花崗閃緑岩 (1)、Am Bt 花崗岩 (1)、Bt 花崗斑岩 (1)、アルカリ花崗岩 (1) であり、火山岩類 (MR08-06 航海の 1 試料を含む) は無斑晶質玄武岩 (3) と斜長石流紋岩 (1) であった。Am 閃緑岩と Am Bt 花崗閃緑岩の U-Pb 年代は、それぞれ 106.7 ± 0.4 Ma (2σ) と 13.7 ± 0.2 Ma であり、これら年代はチリ南部の陸域に広く分布する SPB (South Patagonian Batholith: Herve ら, 2007) の後期～白亜紀と新第三紀のピークに相当する。また、採取したすべての深成岩類の全岩化学組成の特徴は SPB の組成変化の範囲内に概ねプロットされることから同深成岩類は SPB 起源であるといえる。火山岩類のうち、無斑晶質玄武岩の化学組成は E-MORB の特徴を示し、タイタオ・オフィオライトの枕状溶岩 (Shin ら, 2015) や TR 内から採取した玄武岩 (Guivel ら, 1999) と類似した特徴を示した。斜長石流紋岩もまた、同構成岩の流紋岩類と類似した化学組成を示すものの、より分化した特徴を示した。これらの結果から TR はこれまで報告されている海洋性堆積物や玄武岩、流紋岩類の他に SPB を主体とする基盤岩から構成されることが示唆された。一方で、今回採取した岩石試料はすべて円磨されており、これらが大陸域から流入した ice-rafted debris 起源である可能性は完全に否定できない。

Newly Mapped Seamounts on the Antarctic Plate off Southern Chile

**Toshiya Fujiwara, Natsue Abe, Naomi Harada (JAMSTEC),
Mirai MR16-09 Leg 2 Shipboard Science Party**

We conducted bathymetry, gravity, and magnetic survey, collected detailed data in the JAMSTEC R/V Mirai MR16-09 Leg 2 cruise in 2017, and as a result, newly mapped seamounts on the Antarctic Plate off southern Chile where it has been sparsely surveyed.

The mid-ocean ridge (southern extension of the Chile Ridge) which formed the seafloor was considered to be already subducted beneath the South American Plate. Magnetic Anomaly 6A was identified by Cande et al. (1982) on the seafloor in the vicinity of the seamounts. The crustal age around the seamounts is estimated to be 18 Ma according to Muller et al. (2008). We observed magnetic anomaly stripes with amplitudes of about 400 nT. Magnetic Anomaly 5C to 6A were identified along our transit tracks, although these data require further validation. The largest seamount among the seamounts was presumed to be magnetized in the normal direction.

Since the seafloor was covered with a sedimentary layer, abyssal hills and their strikes could not be identified by our swath bathymetric survey. The largest seamount was located at 51°00'S, 79°25'W. The seamount has a major axis of about 17 km, a minor axis of 10 km, and the strike of the major axis is N45°W. The water depth of the base of the seamount is about 3900 m and the shallowest depth is about 2900 m, thus the relative height is about 1000 m. The seamount was surrounded by a moat with the maximum deep of 100 m. The basal area is about 160 km² and the volume above the seafloor is about 70 km³. The seamounts have calderas, and the depth and the diameter of the caldera of the largest seamount are 200 m and 2.5 km, respectively.

The largest seamount had been presumed to exist by satellite altimetry and gravity observations. The relative height was estimated to be 364 m (Kim and Wessel (2011) seamount catalogue, ID: KW-05846). However, the accurate estimation of such a small seamount is difficult. We observed free-air gravity anomaly of about +20 mGal at the base of the seamount, and of about +50 mGal over the top of the seamount, thus the peak-to-trough amplitude of the gravity anomaly was 30 mGal. The gravity anomaly due to the seamount with 20 mGal larger amplitude was observed compared with a satellite based gravity anomaly (Sandwell et al., 2014). Although there are no constraints on crustal structure and rock property of the seamount, our gravity modeling suggests that the seamount consisting of dense basaltic rocks was emplaced on the lithosphere with thin elastic thickness.

白亜紀スーパークロンの古地球磁場変動

Geomagnetic paleointensity variation during the Cretaceous Normal Superchron

島 伸和* (神戸大)、Jerome Dyment (IPGP)、佐藤 太一 (産総研)、Yves Gallet (CNRS)、沖野 郷子 (大気海洋研)、Roi Granot (Ben-Gurion University)、野木 義史 (極地研)、望月 伸竜 (熊本大)、山崎 俊嗣 (大気海洋研)
Nobukazu Seama (Kobe University)、Jerome Dyment (IPGP)、Taichi Sato (AIST)、Yves Gallet (CNRS)、Kyoko Okino (AORI)、Roi Granot (Ben-Gurion University)、Yoshifumi Nogi (NIPR)、Nobutatsu Mochizuki (Kumamoto University)、Toshitsugu Yamazaki (AORI)

地磁気の成因を理解するためには、古地磁気変動データを活用して研究することが必須である。海洋底には、時系列がはっきりとした約1億6000万年間分の連続的な古地磁気変動記録が、海洋底を構成する火成岩の磁化という形で保持されている。地磁気観測から得られる地磁気異常を利用することで、海洋底の磁化の記録から、地磁気の逆転より詳細な古地磁気変動を読み取ることが可能となる。

地磁気の逆転は、通常は数十万年に1回程度の割合で頻繁に繰り返してきた。しかし、白亜紀の1億2000万年～8300万年前(Chron M0 と Chron 34 の間)の約4000万年間にわたって地磁気逆転が起きなかった特異な時期が存在し、白亜紀スーパークロンと呼ばれている。大西洋中央部における白亜紀スーパークロンの時期の海洋底を対象にした深海における地磁気観測から、古地磁気変動とみられる地磁気異常を観測したとの報告が出された(Granot et al., 2012)。この報告によると、2つの特徴的な地磁気異常をマーカーを見つけてQ1とQ2と呼び、それらにより分けられる3つの期間では、異なった地磁気異常の変動がみられた。すなわち、中間的な変動を示す期間(M0-Q2)、ダイナミックな変動を示す期間(Q2-Q1)、スムーズな変動を示す期間(Q1-C34)である。

大西洋中央部で報告された地磁気異常がグローバルな古地磁気変動かどうかを確認するためには、異なる海域での観測が不可欠である。インド洋と太平洋は、白亜紀スーパークロンの時期に形成された海洋底が存在する海域であり、本研究では、南西インド洋と北太平洋の2つの海域で地磁気観測を行った。片側拡大速度が～30 km/Myrの南西インド洋では、深海および海上における地磁気観測を、片側拡大速度が～60 km/Myrの北太平洋では、海上における地磁気観測を実施した。地磁気観測データには、2次元ではなく3次元的な磁化構造の影響を受けていることがあり、古地磁気強度変化の情報を正確に抽出するためには、この影響がある場所を特定して除去する必要がある。このため、地磁気3成分異常データを解析することで、この影響がある場所を特定した。この影響を受けていない地磁気異常の結果を、報告されている片側拡大速度が～20 km/Myrの大西洋中央部の深海地磁気観測による結果(Granot et al., 2012)と比較する。これにより信頼性の高い白亜紀スーパークロンにおける古地磁気変動の抽出を試みた。なお、北太平洋では速い拡大速度で海洋地殻が形成されているため、“海上”観測での地磁気異常データから推定する古地磁気変動の時間分解能は、遅い拡大速度の大西洋中央部の“深海”観測での地磁気異常データによる時間分解能とほぼ同等だとポテンシャル理論から示唆されており、実際の比較でこのことが確認できた。

発表では、これらの成果をまとめて報告する。