

東京大学大気海洋研究所共同研究集会
流体の地球科学：物理学－化学－地質学－生物学的研究からの統合的な展望
－ InterRidge－Japan研究集会 －

日時：令和3年11月25日（木）12:55～17:30 － 11月26日（金）9:15～17:00

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 at aori.u-tokyo.ac.jp

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

奥村知世（高知大学）tomoyook at Kochi-u.ac.jp

鈴木勝彦（JAMSTEC）katz at jamstec.go.jp

鈴木庸平（東京大学理学系研究科）yohey-suzuki at eps.s.u-tokyo.ac.jp

須田好（産業技術総合研究所）suda-konomi at aist.go.jp

角野浩史（東京大学総合文化研究科）sumino at igcl.c.u-tokyo.ac.jp

森重学（東京大学地震研究所）morishige at eri.u-tokyo.ac.jp

大気海洋研究所対応：秋澤紀克 akizawa at aori.u-tokyo.ac.jp

プログラム

11月25日（木）

12:30 受付開始

12:55－17:30 一般セッション

座長 沖野

12:55	開会の辞	沖野 郷子（東京大学）	
13:00	磐城海山における鉄マンガングラストの Os 同位体層序年代と元素組成	小林 英史（弘前大学）	…1
13:20	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	近都 麻衣（神戸大学）	…2
13:50	インド洋ロドリゲス三重会合点付近、かきれい熱水域における人口及び自然地震によるS波速度構造	森井 彩斗（千葉大学）	…3
14:10	中央インド洋海嶺玄武岩を用いた絶対古地磁気強度の推定	吉村 由多加（九州大学）	…4
14:30	メガマリオンに発達した延性剪断帯におけるレオロジー特性の対比：フィリピン海四国海盆マドメガマリオンを覗いて	二村 康平（名古屋大学）	…5

14:50－15:10 休憩

座長 森重

15:10	南部チリ海嶺セグメント1に産する玄武岩質ガラスの希ガス同位体組成ネオン同位体組成異常の成因	沼田 翔伍 (弘前大学)	…6
15:30	主成分分析に基づく、ホットスポット再生期火山とプチスポット火山の不適合元素組成の比較	新保 陽輔 (東北大学)	…7
15:50	マリアナ海溝アウターライズ屈曲に起因する小規模火山活動	三國 和音 (東北大学)	…8
16:10	海底音響探査データを用いたプチスポット火山の地形的・後方散乱強度的特徴の分析	股村 祐希 (東北大学)	…9
16:30	プチスポット火山産太平洋プレート地質断面構成物質の探索	石井 輝秋 (静岡大学)	…10
16:50	全体討論	秋澤 紀克 (東京大学)	
17:30	終了		

11月26日 (金)

9:15 – 17:00 特別セッション

「流体の地球科学：物理学－化学－地質学－生物学的研究からの統合的な展望」

座長 鈴木 (勝)

9:15	基調講演 “ふつうの海洋マントル”を探して	川勝 均 (東京大学)	…11
10:00	沈み込み帯のマントルかんらん岩と蛇紋岩のハロゲン組成から制約する水の沈み込み過程	角野 浩史 (東京大学)	…12
10:20	沈み込み帯における流体移動のモデリング	森重 学 (東京大学)	…13

10:40 – 11:00 休憩

座長 角野

11:00	太平洋プレート西端直下マントルの希ガス同位体組成	小長谷 智哉 (東京大学)	…14
11:20	日本海溝アウターライズ断層間隙水のヘリウム同位体比	鹿児島 涉悟 (富山大学)	…15
11:40	四国海盆最西部に位置する彗新メガマリオンにおける潜航調査：YK21-06S航海速報	小原 泰彦 (海上保安庁海洋情報部)	…16
12:00	沈み込み帯の地震と流体：地質学的アプローチ再考	山口 飛鳥 (東京大学)	…17

12:20 – 13:30 昼休憩

座長 須田

13:30	岩石生命圏研究の新展開と将来展望	鈴木 庸平 (東京大学)	…18
13:50	しんかい湧水域のチムニーおよび堆積物中の微生物群集組成とその多様性	奥村 知世 (高知大学)	…19
14:10	海洋地殻の比抵抗・弾性波速度と含水クラックの関係： ICDPオマーン掘削計画Hole GT3Aの例	赤松 祐哉 (広島大学)	…20
14:30	オマーンオフィオライト・ワジディマ蛇紋岩の炭酸塩中の 流体包有物：海洋底と大陸での変成作用	犬飼 知宏 (静岡大学)	…21

14:50-15:10 休憩**座長 鈴木 (庸)**

15:10	熱水循環による変質鉱物の形成と空隙形状の変化が海洋地殻の地震波速度構造に与える影響	長瀬 薫平 (広島大学)	…22
15:30	白馬八方蛇紋岩を母岩とする強アルカリ性温泉のメタンの起源	須田 好 (産業技術総合研究所)	…23
15:50	マリアナ前弧域の蛇紋岩泥海山岩石中のカルサイト中の流体包有物	山本 千早 (静岡大学)	…24
16:10	三浦半島葉山帯の蛇紋岩化かんらん岩について	阿部 なつ江 (海洋研究開発機構)	…25
16:30	総合討論	秋澤 紀克 (東京大学)	
17:00	終了		

磐城海山における鉄マンガングラストの ^{187}Os 同位体層序年代と元素組成
Osmium isotope stratigraphy age and elemental composition
of ferromanganese crusts from Iwaki seamount

小林英史(弘前大)*、鈴木勝彦(JAMSTEC)、臼井朗(高知大)、常青(JAMSTEC)、
眞壁明子(JAMSTEC)、柏原輝彦(JAMSTEC)、折橋裕二(弘前大)

*E.Kobayashi(Hirosaki Univ.), K.Suzuki(JAMSTEC), A.Usui(Kochi Univ.),
Q. Chang(JAMSTEC), A. Makabe(JAMSTEC), T.Kashiwabara(JAMSTEC),
Y. Orihashi(Hirosaki Univ.)

鉄マンガングラスト(以下クラスト)は、海水から様々な元素を濃集しながら海山の表層で層状に成長する化学堆積物である。成長速度が百万年に数 mm 程度と非常に遅く、数 cm の試料で過去数千万年の海水情報を保持している可能性が指摘されている(例えば、Hein et al., 2000)。クラストを年代指標として用いるためには長レンジの年代決定を可能とする年代測定法が必須である。Klemm et al. (2005)は、クラストが海水由来の ^{187}Os を取り込むことに着目し、成長に伴う ^{187}Os 同位体比変動を海水の ^{187}Os 同位体比の年代による変動曲線にフィッティングさせることで形成年代を決定する方法を提唱した。この手法によってこれまで不可能であった過去 100 ~ 8,000 万年の時間レンジでクラストの年代決定が可能となった。 ^{187}Os 同位体層序を用いた先行研究で得られた年代値は従来の年代法により制約されている値と整合性があり、有用性を示す結果となった(Goto et al., 2014)。また、クラストの成長速度は地域差が見られ、 ^{10}Be 年代法から得られた年代値によりクラストの地域差を示した Usui et al. (2007)と同様の結果が得られた。しかしながら、クラストの成長速度に地域差が見られる要因は海洋環境、あるいは水深の違いによるものかは明らかになっていない。クラストの生成過程と水深・海洋環境変動の因果関係を検討していく上で、クラストの成長方向に沿った年代値とそれに対応する化学組成データの比較は重要である。そこで本研究では、福島県沖約 350 km に位置する磐城海山において採取されたクラストを対象に ^{187}Os 同位体比と化学組成の分析を実施した。水深方向における検討を行うため、水深の異なる 4 地点(水深: 5,193 m, 3,316 m, 1,860 m, 1,697 m)で採取されたクラストの成長速度変化と化学組成変動の相関関係を検討した。

本研究により磐城海山のクラストは水深・生成年代によって成長速度が大きく変化していることが明らかになった。平頂部で採取されたクラストの平均成長速度が約 3 mm/My であるのに対して、基底部では 6 mm/My であり、採取された水深が深くなると平均成長速度が大きくなる傾向が見られた。また、生成年代によって成長速度が最大約 7 mm/My 変動していた。これらの要因について成長方向に沿った元素組成の変動から検討を行った。その結果、磐城海山のクラストに含まれる碎屑物由来元素(Al, Fe など)の濃度が遠洋域の平均的なクラストの濃度と比較して 2 倍以上高い値を示し、碎屑物由来元素と成長速度が相関して変化していることが明らかとなった。このことから、磐城海山におけるクラストは生成過程において碎屑物粒子が取り込まれた結果、見かけ上の成長速度が加わったため、水深・生成年代によって成長速度が異なっていたと考えられる。

Magnetic and gravitational constraints on the formation and evolution of the oceanic crust in and around the Fracture Zone in the Pacific Ocean

***Mai Kintsu¹, Nobukazu Seama¹, Masakazu Fujii^{2,3}, Tomoko Hanyu⁴
1. Department of Planetology, Graduate School of Science, Kobe University, 2. National Institute of Polar Research, 3.SOKENDAI (The Graduate University for Advanced Studies), 4. Kobe Ocean-Bottom Exploration Center**

Fracture zones (FZs) are linear oceanic features that extend as past transform faults, outward from the mid-ocean ridge axis. They are fossils of transform faults, therefore they potentially reflect the long-term behavior of oceanic lithosphere such as preserved geomagnetic field variations, crustal accretion processes, and temporal change of lithology. However, insight based on systematic observation is essentially limited.

Here, we present new data collected in the Nosappu Fracture Zone (NFZ) which is located within the old Pacific lithosphere. The survey was conducted during the R/V Yokosuka YK14-09 cruise. We analyzed the bathymetry, gravity and magnetic anomaly data. Previous data of the R/V Kairei KR06-03 was also utilized. The main purpose of this study is to describe the geophysical features inside and outside NFZ domain and to discuss the temporal changes of NFZ since the ridge-transform system (when the oceanic crust was formed) based on comparison with previous studies of oceanic transform faults (OTFs). In addition, the data of other FZs and OTFs located on the Pacific Plate was analyzed as well to discuss their detailed structures.

The obtained bathymetric data shows steep valley walls of the NFZ, abyssal hills in the oceanic crust to the west of NFZ, and J-shaped ridges in the oceanic crust to the east of NFZ. To consider the appropriate direction of crustal thermal remanent magnetization when NFZ formed, parameters of inclination and declination were found using the correlation between reduced-to-pole (RTP) magnetic anomaly distribution and bathymetric features. The results for $-50^{\circ} \sim -30^{\circ}$ inclination and $-10^{\circ} \sim 10^{\circ}$ declination suggest that the oceanic crust around the NFZ was magnetized at approximately 30° to 50° S. Mantle Bouguer anomalies calculated from satellite free-air gravity indicate that NFZ domain is 10-15 mGal more negative than the adjacent oceanic crust. The equivalent magnetization distribution calculated using magnetization direction for paleo-latitude when NFZ formed shows a smaller amplitude of magnetization of 5 A/m inside NFZ domain. A more careful examination shows that the oceanic crust to the east of NFZ has a characteristic slightly curved magnetization to the north along its western edge, which is similar to the feature of a J-shaped ridge bathymetry.

Based on the results of these analyses and previous research of OTFs, two major points can be mentioned. 1) The oceanic crust around the NFZ is interpreted to have been formed and magnetized in the southern hemisphere. 2) By combining the results of bathymetry, gravity and magnetic analyses, the edge structure of the oceanic crust adjacent to NFZ retains the magnetization and density structure of the ridge-transform system for 135 Myr. Whether this is also true for other FZs will be further discussed using the results of analysis of TFs and FZs located in the Pacific Plate.

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
人口及び自然地震による S 波速度構造

**S wave velocity structure at the Kairei Hydrothermal Vent Field
near the Rodriguez Triple Junction in the Indian Ocean**

森井彩斗* (千葉大)、佐藤利典 (千葉大)、高田裕能 (千葉大)、
森大湧 (千葉大)、山田知朗 (東大)、篠原雅尚 (東大)

Ayato Morii* (Chiba Univ), Toshinori Sato(Chiba Univ),

Hiroyoshi Takata(Chiba Univ), Taiyu Mori(Chiba Univ),

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

インド洋ロドリゲス三重会合点の北側に伸びる中央インド洋海嶺の第 1 セグメント東側には、かいいい熱水域があり、水素を豊富に含む熱水が噴出している。この熱水域は、白鳳海丘と呼ばれる玄武岩質の海丘にあるが、その周辺では斑レイ岩やかんらん岩が確認されている。このような地下深部の岩石が海底面近くまで上昇し、海水との作用により蛇紋岩化することで水素に富んだ熱水が発生していると考えられている。この地域の地下構造等を解明するために、2013 年海底地震計 (OBS) と人工震源を用いた地震波探査を行った。これまで、高田 他 (JpGU、2015) によって P 波速度構造が報告され、白鳳海丘とその北側の Yokoniwa Rise の地下 1-2km 付近で P 波速度 6.0km/s を超える高速度領域が確認され、地下深部の岩石の上昇が示唆されている。これらが蛇紋岩化しているがどうかなどを調べるには、S 波構造を求めることが重要となる。そこで本研究では、人工震源及び自然地震を用いた S 波速度構造の解析を行った。

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」を用いて人工震源構造調査および自然地震観測を行った (YK13-01 航海、YK13-03 航海)。地震波探査では、19 台の OBS と 1 台のエアガン (G. I gun)、シングルチャンネルストリーマーケーブルを使用した。S 波と思われる Phase を見やすくするため、地震計の水平 2 成分を Radial 方向と Transverse 方向に回転させて S 波到達時刻の読み取りを行った。この際必要となる地震計の方位は水中直達波の振動軌跡から推定した。3 次元速度モデルの推定は、まず人工地震のみを用い FAST (Zelt and Barton, 1998) を使用して行った。続いて、人工地震で推定したモデルを初期モデルとして自然地震も含めて 3 次元モデルを推定した。このとき、tomoDD (Zhang and Thurber, 2003) を使用した。

現在解析を進めているが、人工地震のみを用いた暫定的な結果として、P 波速度構造から見えていた白鳳海丘と Yokoniwa Rise の下の高速度領域において、 V_p/V_s 比は 2.0 程度となった。これは斑レイ岩の 1.9、かんらん岩の 1.7 と比べると高い値である。蛇紋岩の V_p/V_s 比は、1.8-2.2 程度といわれており、この結果は蛇紋岩化を示唆する可能性がある。自然地震も含めた結果については、 V_p/V_s 比が 2.0 を超える値が見られるところがあり、考察を進めている段階である。

中央インド洋海嶺玄武岩を用いた絶対古地磁気強度の推定
Estimation of absolute paleointensity from Central Indian Ridge basalts

吉村由多加* (九州大)、藤井昌和 (極地研)
Yutaka Yoshimura (Kyushu University),
Masakazu Fujii (National Institute of Polar Research)

海底拡大に伴う中央海嶺の火山活動は、地球システムの基礎的な役割を担い、地球表面の形態的要素を決定する重要因子である。海嶺火山活動の噴火間隔は数年から数十年のオーダーである可能性があるため[1]、海底拡大速度の推定には高分解能な年代測定が必要である。これまで溶岩流の構造観察や化学組成の違いを用いて溶岩流の新旧を判別する研究が行われてきたが、相対年代を提供する一方で絶対年代は不明である。また、同じ時代にもかかわらず不均質性が大きい場合や、異なる時代にもかかわらず組成に違いがない場合には判別できない。それを踏まえ、海底の溶岩から絶対古地磁気強度を測定し、その時代ごとにユニークなパターンを年代指標として用いる方法が提案されている。しかし、Bowles ら[2]によって測定された東太平洋海膨の海底玄武岩ガラス由来の絶対古地磁気強度にはバラツキが多いため、試料や手法に問題がある可能性がある。そこで、本研究では、従来手法よりも正確な絶対古地磁気強度が得られると期待される手法「綱川-ショー法」を用いて、海底玄武岩を用いて絶対古地磁気強度測定実験を行なった。研究試料には、「よこすか」YK05-16 航海中に実施された「しんかい 6500」926 潜航と 927 潜航で採取され、海洋研究開発機構でアーカイブされている中央インド洋海嶺玄武岩を利用した。7 箇所溶岩から 2 個ずつ、計 14 個の試料片に対して実験を行ったところ、1 箇所溶岩の 2 個の試料片のみが綱川-ショー法の統計的な実験合格基準に合格し、31.4 μT と 33.7 μT という絶対古地磁気強度を示した。これらの平均値は $32.6 \pm 1.6 \mu\text{T}$ (1σ) であり、標準偏差は平均値の 4.9% である。したがって高精度な絶対古地磁気強度が得られたと言える。この値は現在の採取地点の地磁気強度 (45.8 μT , IGRF-13) の 0.7 倍である。また、標準偏差を考慮しても、現在の地磁気強度と有意に異なる。そのため、本研究の結果は海底の年代測定の有力な指標になり得ると結論づけた。一方で、本研究の絶対古地磁気強度測定は合格率が 14% であった。これは、陸上噴火の火山岩が通常 60% 前後の合格率であることと比べて顕著に低い。全ての不合格試料片は、2 回目よりも 1 回目の加熱による人工熱残留磁化が有意に強いが、熱変質を起こさなかった。合格試料片と不合格試料片 1 個ずつの破片を用いて熱磁気分析を行なったところ、どちらもチタンの多いチタノマグネタイトが磁化を担う磁性鉱物であると分かった。我々はこれらの結果から、1 回目の加熱でチタノマグネタイトからイルメナイトラメラが離溶し (高温酸化)、試料片が熱化学残留磁化を獲得したことが不合格の原因だと推察した。しかし、合格と不合格を分ける実験条件の違いは現時点で不明である。

参考文献 [1] Sinton, J., Bergmanis, E., Rubin, K., Batiza, R., Gregg, T. K., Grönvold, K. et al. (2002). Volcanic eruptions on mid-ocean ridges: New evidence from the superfast spreading East Pacific Rise, 17–19 S. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 107(B6), ECV-3. [2] Bowles, J., Gee, J. S., Kent, D. V., Perfit, M. R., Soule, S. A., & Fornari, D. J. (2006). Paleointensity applications to timing and extent of eruptive activity, 9–10 N East Pacific Rise. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 7(6).

メガムリオンに発達した延性剪断帯におけるレオロジー特性の対比：
フィリピン海四国海盆マドメガムリオンを覗いて

**Contrasting the rheological properties of ductile shear zones within megamullions:
looking in at the Mado Megamullion, Shikoku Basin, Philippine Sea**

二村康平* (名大)、道林克禎 (名大)、
針金由美子 (産総研)、小原泰彦 (海上保安庁海洋情報部・海洋機構・名大)
**Kohei Nimura (Nagoya U.), Katsuyoshi Michibayashi (Nagoya U.),
Yumiko Harigane (GSJ), Yasuhiko Ohara (HODJ/JAMSTEC/Nagoya U.)**

海洋コアコンプレックス (OCC) は、低速拡大海嶺や背弧海盆に分布する、地殻/上部マントル物質が拡大軸近傍に露出した地形的高まりの構造である。OCC は、デタッチメント断層の運動によって数 100 万年かけて海底に露出したと解釈されている。しかし、その実態をレオロジー的な観点から検証した研究はほとんどない。本研究では、フィリピン海の四国海盆に存在する OCC の 1 つであるマドメガムリオンについて、岩石の変形微細構造と結晶方位ファブリックからデタッチメント断層の運動像を考察した。

マドメガムリオンから採取された岩石 10 個のうち、変形斑れい岩 3 試料 (R10, R19a, R20) の斜長石と角閃石について、偏光顕微鏡による組織観察、SEM-EBSD による結晶方位解析および EPMA による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、変形機構を推定した。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形温度を推定した。

斜長石と 2 次鉱物の角閃石はどちらも結晶内塑性変形の証拠を示し、動的再結晶作用によって細粒化していた。斜長石と角閃石の結晶方位は、それぞれ (001) [100] パターンと (100) [001] パターンの強い集中を示した。化学組成は、斜長石が An41-An76、角閃石が Hornblende-Pargasite の範囲にあり、多様であった。ただし、得られた平衡温度は 3 試料でほぼ同じ温度範囲 (870-690 °C) だった。また、斑れい岩に貫入した珪長質脈からは 690-610 °C の平衡温度を得た。組織観察と結晶方位解析から、斜長石と角閃石の変形機構は転位クリープであったと推定される。斜長石と角閃石の結晶すべり面が同じであり、珪長質脈の組織において結晶内塑性変形の証拠がほとんどないことから、平衡温度を変形時の温度範囲と仮定すると、分析した斑れい岩は、870-690 °C (グラニュライト相) で塑性変形したと考えられる。

延性剪断帯の特徴を明らかにするために、転位クリープで変形した斜長石の動的再結晶粒径、平衡温度および斜長石の流動則から変形機構図を作成した。その結果、マドメガムリオンにおける延性剪断帯の剪断歪速度と厚さが、適用した流動則が wet の場合 10^{-10} s^{-1} 以上、約 20 cm 以下であり、dry の場合 10^{-13} s^{-1} 以上、約 2000 m 以下であると推定された。分析試料には角閃石が存在するため、本研究では wet な流動則から得られた値を採用した。本研究で推定した剪断歪速度と剪断帯の厚さの値は、延性剪断帯内で剪断歪速度の速い領域が局所的に存在することを意味する。すなわち、粒径減少や流体の侵入による歪の局所化を示唆する。本研究で得られた変形温度と剪断歪速度を他の代表的な OCC と比較したところ、変形温度の値はほとんど共通である一方、剪断歪速度の値は中央海嶺のメガムリオンより背弧海盆のメガムリオンの方が高いことがわかった。このことは、背弧海盆の下部地殻が中央海嶺より歪みが局所化することを示唆する。

南部チリ海嶺セグメント1に産する玄武岩質ガラスの希ガス同位体組成：
ネオン同位体組成異常の成因

**Noble gas isotopic composition of basaltic glasses from Segment 1 of the South Chile
Ridge: Origin of the anomalous neon isotopic composition**

沼田翔伍* (弘前大)、角野浩史 (東京大)、折橋裕二 (弘前大)、町田嗣樹
(千葉工業大)、安間了 (徳島大)、原口悟 (東大地震研)、阿部なつ江 (JAMSTEC)
**Shogo Numata (Hirosaki Univ.), Hirochika Sumino (Univ. Tokyo), Yuji Orihashi
(Hirosaki Univ.), Shiki Machida (Chiba Institute of Technology),
Ryo Anma (Tokushima Univ.), Satoru Haraguchi (Earthquake Research Institute,
Univ. Tokyo), Natsue Abe (JAMSTEC)**

南米大陸チリ南部の南緯 46.2° 付近ではチリ海嶺が大陸西縁に沈み込んでおり、タイタオ半島近傍で海溝—海溝—海嶺型の、チリ三重会合点 (Chile Margin Triple Junction: 以下 CTJ) (e.g. Herron et al., 1981) を形成している。チリ海嶺の拡大軸は CTJ から北西に約 2,000 km に渡り形成しており、この拡大軸を境に北はナスカプレート、南は南極プレートに分かれている。また、チリ海嶺は南緯 42° 付近に位置する Valdivia 断裂帯を境に北部の North Chile Ridge (NCR) と南部の South Chile Ridge (SCR) に分けられている。Niedermann and Bach (1998) は、CTJ から北西に約 1,500 km 離れた NCR で産する MORB の急冷ガラスから、通常の上部マントル (N-MORB) よりも高い $^{21}\text{Ne}/^{22}\text{Ne}$ 比を持つ希ガス同位体比を世界で初めて報告した。彼らは、この Ne 同位体比異常は、脱ガスにより (U+Th)/Ne 比が増加した NCR マントル源が再び熔融し、MORB 源と混合することで局所的に $^{21}\text{Ne}/^{22}\text{Ne}$ 比が増加したことによるものと解釈した。また、Jalowitzki et al. (2016) は、CTJ から南東に位置する南米大陸パタゴニア地域；超背弧火山地帯の Pali-Aike 火山地帯 (PAVF) および Gobernador Gregores (GG) で産するマントル捕獲岩から、N-MORB よりも高い $^{21}\text{Ne}/^{22}\text{Ne}$ 比を見出した。彼らは、南米大陸プレート下部のリソスフェリックマントルが Gondwana 大陸起源であるため、交代作用による高い (U+Th)/Ne 比の結果 $^{21}\text{Ne}/^{22}\text{Ne}$ 比が増加したと結論付けた。一方、SCR においては、Sturm et al. (1999) による Segment 1~4 で産する MORB からの He 同位体比の報告があるが、それ以外の希ガス同位体比については報告がない。Segment 1 南部は、付加体堆積物に覆われており海嶺軸が露出していないが、単成火山のような形状の小丘群が存在することが報告されている (Blackman et al., 2012)。本研究グループ (MR18-06 航海) が実施したドレッジでは、この小丘群から新鮮な MORB の急冷ガラスを採取することができ、表層が堆積物に覆われている中央海嶺においても継続してマグマ生成が行なわれていることが確認された (Villar-Muñoz1 et al., 2021)。

本研究では、NCR とパタゴニア地域のほぼ中間点に位置する SCR の Segment 1 の南部と中央部、北部の 3 地点において、得られた MORB 試料に対し希ガス同位体分析 (He, Ne, Ar, Kr, Xe) を行ない、SCR においても Ne の同位体比異常が存在することを確認した。本報では、この Ne 同位体比異常の成因について考察するとともに、Discovery and Shona Ridge (Sarda et al., 2000), South West Indian Ridge (Parai et al., 2012), Mid-Atlantic Ridge (Stroncik and Niedermann, 2016) などの南半球域で見られる Ne 同位体比異常との成因的関連性についても議論する予定である。

主成分分析に基づく、ホットスポット再生期火山とプチスポット火山の不適合
元素組成の比較

**Comparison of incompatible element compositions between hotspot rejuvenated
stage and petit-spot based on principal component analysis.**

新保陽輔* (東北大)、油谷拓 (海洋研)、平野直人 (東北大)

**Yosuke Shimbo (Tohoku Univ.), Taku Yutani (JAMSTEC) and Naoto Hirano
(Tohoku Univ.)**

ホットスポットとプチスポットから産する玄武岩は、その岩石学的、地球化学的特徴から一般的に海洋島玄武岩 (OIB) に分類される。ホットスポットに由来する玄武岩はそのマグマ組成の進化があり、数個の段階に分類される。中でも再生期火山は、最後のステージであり、その成因は明らかではないが、可能性の一つとしてホットスポットで出来た海洋島周辺におけるリソスフェアの屈曲によるものである、と考えられている。一方、プチスポットではホットスポットとは異なるマグマ起源を持つのにに対し、OIB と似たような組成のマグマを噴出する。プチスポットはアウターライズ手前のリソスフェアの屈曲に伴って生じる火山と考えられており、再生期火山と似た様な成因を持っている。再生期火山とプチスポット火山の不適合元素組成は、OIB とは異なりスパイダー図上での Zr と Hf の負の異常が確認されており、両者を比較することでプレート屈曲に起因する火山の特徴をつかむ事が期待される。

本研究では、ハワイとサモアの再生期火山の化学組成データについて GEOROC を中心に集め、プチスポットの化学組成データと共に、不適合元素 26 元素 (Rb, Ba, Th, U, Nb, Ta, La, Ce, Pb, Pr, Sr, P, Nd, Zr, Hf, Sm, Eu, Ti, Gd, Tb, Dy, Y, Ho, Er, Yb, Lu) の全岩化学組成データに対して解析を行った。前処理として centered logratio transformation を行った後に主成分分析を行った。

第一主成分は Eu より不適合度の高い元素と正の相関を示し、マグマ生成場におけるざくろ石の寄与を示唆している。第二主成分は HFSE 元素 (Nb, Ta, Zr, Hf, Ti) に正の相関を持つ一方で Sr と P に強い負の相関を示す。第一、第二主成分はハワイ、サモアの再生期、プチスポットをそれぞれ分けるように主成分スコアが分かれた。第三主成分は Sm と Eu に正の相関を持つ一方で、Ba, Pb, Sr とは負の相関を持つ。第四主成分は HFSE 元素の中でも Nb と Ta に負の相関を持つ一方で Zr と Hf に正の相関を持つ。OIB とは異なる特徴である Zr, Hf の異常を説明する主成分として、第二主成分と第四主成分が挙げられる。第二、第四主成分はハワイの再生期は幅を持った値を取るものの、サモアの再生期とプチスポットではやや一定の値をとる。

本発表では、主成分分析から得られた結果と各火山で得られた同位体組成や噴出量などを比較しながら再生期火山とプチスポット火山のマグマ生成プロセスについて議論を行う。

マリアナ海溝アウターライズ屈曲に起因する小規模火山活動

三國和音* (東北大), 平野直人 (東北大), 秋澤紀克 (海洋研),
町田嗣樹 (千葉工大), 田村明弘 (金沢大), 森下知晃 (金沢大)

中央海嶺で生産され、海溝に向かって拡大する剛体の海洋リソスフェア (プレート) は、直下のアセノスフェアとの不連続性によってその存在が認められる。この不連続は主に高電気伝導度や地震波低速度異常によって確認されているが、マントル部分熔融に起因するのか、他の要因 (構成鉱物の物性の違いなど) であるのかは未解決である。その問題に対し、沈み込みに伴うプレート屈曲に起因する火成活動であるプチスポットの存在は、アセノスフェアの部分熔融を支持してきた。その熔融説を裏付けるだけでなくプチスポットの噴出プロセスを明らかにすべく、我々は西太平洋海域のプチスポット火山群に着目し、それらの地球化学的特徴およびプレート直下のマントルの理解を目指す。

本研究地域のプチスポット火山群は、白亜紀や古第三紀に活動が認められる西太平洋海山群や南鳥島に囲まれた太平洋プレート最古部 (ca. 160 Ma) の深海平原に分布する (Koppers et al., 2003; Hirano et al., 2021)。YK10-05 航海 (首席: 平野直人) における潜航調査 6K#1203, 1206 によって得られた地質学的情報および岩石試料の分析により、本研究地域のプチスポットの特徴がわかりはじめている (Yamamoto et al., 2018; Hirano et al., 2019)。

YK16-01 航海 (首席: 町田嗣樹)、YK18-08 航海 (首席: 田村芳彦)、YK19-05S 航海 (首席: 町田嗣樹) に際し行われた潜航調査 6K#1466, 1520, 1521, 1522, 1532, 1543, 1544 で採取された玄武岩試料について、ガラスの主要・微量元素組成と全岩化学組成、Sr, Nd, Pb 同位体組成分析を行った。発泡度や結晶度など記載岩石学的特徴は様々だが、一部を除いてどれも新鮮な玄武岩質溶岩である。潜航地点ごとの試料における主要元素組成は未分化なものから分化したものまで変化が大きい一方、K に富む北西太平洋海域の多くのプチスポット溶岩と異なり、総じて Na に富む特徴が共通している。また、既知のプチスポットと比べて液相濃集元素にやや枯渇している。また、各微量元素比から、北西太平洋海域のプチスポットよりも部分熔融度が高いか同程度であると予想される。Sr, Nd, Pb 同位体組成は潜航 6K#1520 で採取された試料を除いて本研究地域のプチスポットは同じ熔融源である可能性を示し、主要元素のバリエーションは、部分熔融度やマグマ分化、マグマ上昇時のリソスフェア交代作用の度合いで説明できる。

北西太平洋海域のプチスポットは複数の異なる熔融源を持つ単成火山群であるが (Machida et al., 2015)、これとは対照的に西太平洋のプレート直下には一連のメルト層が存在する可能性がある。また、本研究では地殻起源およびマントル起源のゼノリスが得られたため、現在の中央海嶺地域の岩石学的特徴と比較し、紹介する。

参考文献 Bianco et al. (2005) *GGG* **6**, Q08009; Hirano et al. (2019) *Deep-Sea Research Part I* **154**, 103142; Hirano et al. (2021) *Island Arc* **30**, e12386; Koppers et al. (2003) *GGG* **4**, 1089; Machida et al. (2015) *EPSL*, **426**, 267; Reinhard et al. (2019) *GGG* **20**, 1485. Yamamoto et al. (2018) *EPSL* **497**, 139.

海底音響探査データを用いたプチスポット火山の
地形的・後方散乱強度的特徴の分析

**Analysis of topographic and backscatter strength characteristics of petit-spot
volcanoes using seafloor acoustic survey data**

股村祐希* (東北大学)、平野直人 (東北大学)、藤井昌和 (国立極地研究所、
総合研究大学院大学)

**Yuki Matamura*(Tohoku University), Naoto Hirano(Tohoku University),
Masakazu Fujii(National Institute of Polar Research, The Graduate University for
Advanced Studies)**

プチスポット火山は、直径約 2[km]、比高約 100-300[m]の小海丘で、沈み込むプレートの屈曲によって生じた亀裂を伝いマグマが噴出したものと考えられている (Hirano et al., 2006)。Sato et al., 2018 において化学組成分析から、アルカリ分の多いプチスポット火山が確認され他の普通プチスポット火山に対して DAPs (Directly Ascent Petit-spots) と呼ばれる。プチスポット火山は形状にバリエーションが見られ、比高 300m 程度の円錐状の形状から、比高 100m 以下の平面に近いものが存在する。火山の形状を決める要因としてシリカ量、発泡度、揮発成分量等が挙げられ、DAPs は前述した化学組成からシリカ量が多い。したがって、プチスポット火山を船上から取得可能な MBES (Multi Beam Echo Sounder) による音響測深データと音波の反射強度である音響後方散乱像を用いて、形状から DAPs の識別が可能と考えた。これらの識別が音響探査データで行うことで、サンプル未採取のプチスポット火山の種類が推定可能になり、DAPs 広域分布調査が期待できる。本研究は、音響探査データによる DAPs と普通プチスポット火山との判別を行う事を目的し、本発表においては、東北日本沖におけるプチスポット火山の地形的・後方散乱強度的特徴の分析結果を示す。

研究の実施にあたって、研究対象領域を DAPs の噴出場と見られている東北日本沖の SiteC に定め、MBES データの収集を行った。SiteC に該当する航海は KR04-08, YK14-05, KS18-09, YK21-07 の 4 航海で、それぞれ MBES データ処理ソフトウェアの CARIS HIPS and SIP によってノイズの除去を行い、品質の評価を行った。SiteC においては 3 航海 (KR04-08, KS18-09, YK21-07) が同じ地点を通過しており、それぞれ比較すると KR04-08 航海の MBES データは他に比べて分解能が低く、KS18-09 航海のデータは、他のデータと比べて数十メートル深いデータを示し、音響後方散乱像のノイズ多い傾向が見られた。一方で、YK21-07 航海は解像度、音響後方散乱像共に利用に資する品質である事を確認した。以上の品質評価から、解析においては優先的に YK14-05, YK21-07 のデータを利用し、カバー範囲外の場合に KR04-08, KS18-09 を利用する方針に決定した。解析は Hirano et al., 2008 において用いられた SiteC の 96 のプチスポット火山の体積を新しいデータで再計算する形で行った。その結果、プチスポット火山の体積・面積の関係において、底面積が大きくなるにつれ高面積・高体積のグループと高面積・低体積のグループに分かれる傾向が見られた。既知の DAPs は山体の体積・面積のみではどちらのグループにも属さないが、山体周囲に広大な強い音響後方散乱領域を持つことから、これを底面積とすることで高面積・低体積のグループが DAPs に相当するグループであることを示唆する結果を得た。

プチスポット火山産太平洋プレート地質断面構成物質の探索

Investigation on the geological cross section materials of the Pacific Plate recovered from the Petit-spot volcano.

石井輝秋* (静岡大学)・金子 誠 (深田地質研究所)・平野直人 (東北大学)・
町田嗣樹 (千葉工業大学)・秋澤紀克 (東京大学)

ISHII Teruaki* (Shizuoka University), KANEKO Makoto (Fukada Geological Institute), HIRANO Naoto (Tohoku University), MACHIDA Shiki (Chiba Institute of Technology), AKIZAWA Norikatsu (The University of Tokyo)

地球深部の物質科学的研究には、構成物質である岩石・鉱物の入手が不可欠である。陸上ではダイアトリウムを伴う火山の母岩及び捕獲岩・捕獲結晶が研究に供されてきた。たとえば、島弧地殻をもつ日本列島では、アルカリ玄武岩マグマ活動による火山岩中の捕獲岩が、大陸地殻を持つアフリカ大陸ではキンバーライトマグマ活動による火山岩中の捕獲岩が研究対象として活用されてきた。アルカリ玄武岩マグマやキンバーライトマグマの活動する陸域においては、野外調査による目視観察により、研究に供する捕獲岩試料の選別・採取が可能である。ある程度訓練を積んだ研究者による目視観察は、広い露頭や大量な転石・廃石の中から貴重な研究試料を得るのには、大変効率的である。

海洋プレート域では、ホットスポットマグマ活動による火山岩中の、マントル橄欖岩捕獲岩が知られているが、其の成因を一義的に決めるのは困難であろう。しかし、近年海洋プレートアスノスフェア由来のマグマ活動によるプチスポット火山が発見(Hirano et al., 2006)され、海洋プレート域の汚染の少ない地球深部物質の入手が可能となった。とは言え、プチスポット火山は水深 5000m 以深にあるため、陸上火山調査に比べ困難が伴う。貴重な試料の採取・解析方法の再検討を行おうと思う。

A) X線 CT スキャナーでの鉱物同定の試み：従来から稀少な捕獲結晶の発見は岩石薄片観察、又は岩石を砕いた粉末からの鉱物選別が基本である。ここでは X線 CT スキャナーを活用した試みを紹介する。

B) プチスポット火山の更なる探索：試料採取には主に有人潜水艇「しんかい 6500」や、R/V 新青丸によるドレッジ等で臨んできた。ここではプチスポット火山の更なる探索として、新たな試みを提案する。B-1) 試料の大量採取の試み：R/V「かいめい」のジャイアントグラブ活用を提案する。B-2) 表層科学掘削による噴火過程の解明：J-DESCの表層科学掘削プログラム(=SCORE)での「ちきゅう」による、100mの掘削コア中の火山灰層の解析からプチスポット火山の噴火過程の詳細を明らかにする。B-3) プチスポットパイプモデルの検証：爆裂火口(マール=maar)を有するプチスポット火山の基部にはプチスポットパイプと称すべき火山角礫岩からなるダイアトリウムの存在が予想できるので、R/V「ちきゅう」によるノンライザー深海掘削を提案する。B-4) R/V「ちきゅう」の掘削装置の改良：ノンライザー深海掘削には特に有効だと思われる、上方掘削可能コアバレルの新規開発・運用を提言する。

“ふつうの海洋マントル”を探して

川勝 均

(東京大学地震研究所, 台湾中央研究院地球科学研究所)

枠組みが誕生して 50 年が経ち今や当たり前のことのように思えるプレートテクトニクス(PT)だが、硬いプレート(リソスフェア)が柔らかなアセノスフェアの上を動き、日本列島などの沈み込み帯でマントル内部に戻っていく条件は何か、海溝型巨大地震の発生予測に必須の剛体プレートの厚さ/堅さや粘性緩和の時定数を支配するアセノスフェアの粘性は何かなど、実証に基づくモデリングが必要な段階となり、PT の基本的構造が存在すると考えられる海洋域におけるリソスフェア-アセノスフェア・システム(LAS)の研究の重要性が増している。

我々(地震研究所・海半球観測研究センターを中心とした研究グループ)は、科研特別推進研究「ふつうの海洋マントル(通称)」において、“ふつう”の海洋 LAS の解明を目指した先端的観測研究を行った。その成果として、1-2 年程度の機動観測により、観測アレイ下の地震波速度・電気伝導度構造について、これまで空白域であったモホ面からアセノスフェアまでの深さにわたる連続探査が可能になった。海洋マントルの地震観測研究が、これまで主に屈折法探査による海洋モホ面直下(海底下 10km 程度)、またはグローバル表面波トモグラフィーによる深部(~50km 以深)の大まかな構造(水平波長が数千 km の解像度)のみにとどまっていたことに比べると、LAS 全体を深さ方向に連続的に探査できる(図1)ようになったことは、観測研究上のブレークスルーと考えられる。

講演では、このような観測研究およびその延長として現在進められている国際協働研究から明らかになりつつある、海洋マントル研究の現状を紹介する。

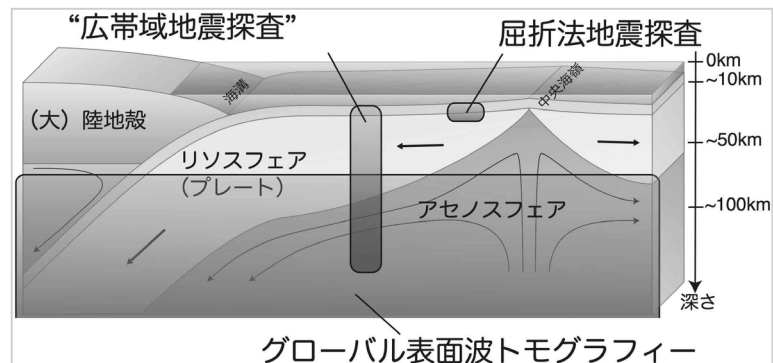


図1 様々な構造探査方式の特徴を模式的に示す。「技術革新」以前は、分解能は高いが海底下 10km 程度までしか解像できない屈折法地震探査か、深部(~50km 以深)はわかるが分解能が低いグローバル表面波トモグラフィーが、LAS 探査の手段であった。アレイ観測による「広帯域地震探査」は、LAS 全体を深さ方向に連続的にかつ高分解能で探査することを可能にした。

【参考文献】

- Kawakatsu++ (2009), Seismic Evidence for Sharp Lithosphere-Asthenosphere Boundaries of Oceanic Plates, *Science*, 324, 499-502.
- Takeo++ (2016), Intensity of seismic azimuthal anisotropy in the oceanic lithosphere and asthenosphere from broadband surface-wave analysis of OBS array records at 60 Ma seafloor, *J. Geophys. Res.*, 121, 1927-1947.
- Kawakatsu, H. and H. Utada (2017), Seismic and Electrical Signatures of the Lithosphere-Asthenosphere System of the Normal Oceanic Mantle, *Annual Review of Earth and Planet. Sci.*, 45, 139-167.
- Takeuchi++ (2017), Determination of Intrinsic Attenuation in the Oceanic Lithosphere-Asthenosphere System, *Science*, 358, 1593-1596.
- Takeo++ (2018), In-situ characterization of the lithosphere-asthenosphere system beneath NW Pacific Ocean via broadband dispersion survey with two OBS arrays, *G-cubed*, 19.
- Isse++ (2019), Surface wave tomography for the Pacific Ocean incorporating seafloor seismic observations and plate thermal evolution, *Earth Planet Sci. Lett.*, 510, 116-130.
- Korenaga++ (2021), A new reference model for the evolution of oceanic lithosphere in a cooling Earth, *J. Geophys. Res.*, 126, e2020JB021528.

沈み込み帯のマントルかんらん岩と蛇紋岩のハロゲン組成から制約する
水の沈み込み過程

**Water subduction processes constrained by halogens in mantle peridotites and
serpentinites from subduction zones**

角野浩史*、任杰（東京大）、小林真大（都産技研）

Hirochika Sumino, Ren Jie (Univ. Tokyo),

Masahiro Kobayashi (Tokyo Metro. Ind. Tech. Res. Inst.)

ハロゲン（F、Cl、Br、I）は揮発性、液相濃集性が高いため、海洋、堆積物、地殻などの表層のリザーバーに高濃度で存在する。Cl、Br、Iはケイ酸塩メルトよりも水を主とする流体に強く分配されるため、火山ガスとして大気あるいは海洋に放出されやすい。これに対しFはメルトに強く分配され、また容易に含水鉱物に取り込まれる点で他のハロゲンとは異なり、海洋より地殻中に高濃度で存在している。またIは生物に取り込まれやすく、堆積物や堆積岩に高濃度で含まれる。ClとBrは似た挙動を示すが、Clはやや含水鉱物に、Brはやや生物に取り込まれやすい。そのため地球における各リザーバー間でBr/Cl比は大きく変わらない一方で、I/Cl比は変動が大きく、例えば深海底の堆積物や、堆積物中の有機物の分解で放出されたIを取り込んだ間隙水では、海洋のI/Cl比の数千倍に及ぶ高い値がみられる。このような特徴からハロゲンは、地球表層—マントル間での物質循環、とくに水循環のよいトレーサーになり得ると期待される。

マントル物質中のハロゲンはその低い濃度から従来の手法では分析が困難であったが、中性子との核反応によりハロゲンを希ガス同位体に変換し、それを希ガス質量分析により定量することで高感度分析が可能となる[1]。また希ガスの抽出に破碎法や段階加熱法を用いることで、流体包有物と蛇紋石、かんらん石を区別して分析できる[2]。これを応用した、とくに水に富む流体包有物や蛇紋石包有物を含むマントルウェッジかんらん岩や蛇紋岩の分析からは、マントルより顕著に高いI/Cl比が見出されている[2-4]。これは沈み込んだスラブの年代や温度構造が異なる複数の島弧で[3]、また深さ約100 kmに由来するかんらん岩[2]から、マントルウェッジの先端に相当する約30 kmで形成した蛇紋岩[4]まで様々な深度に由来する試料で共通であることから、スラブ由来流体の影響を受けたマントルウェッジの代表的な組成と考えられる。

このような高いI/Cl比を持つハロゲンの起源となり得るのは堆積物か、堆積物中の間隙水であるが、希ガス同位体比からは後者が支持される。スラブ中の含水鉱物で深度100 kmまでハロゲンや希ガスを持ち込めるのは蛇紋石であること、海洋底蛇紋岩のハロゲン組成が実際に間隙水と近いことから、間隙水由来のハロゲン・希ガスの運び手としては蛇紋岩が有力な候補として考えられる。しかしマントルウェッジかんらん岩中の水に含まれるハロゲンと希ガスの濃度は、海洋底蛇紋岩の脱水から予想される値よりは高く、むしろ間隙水そのものの値に近い。そこで我々は、沈み込む前に屈曲したプレートに生じた断層を通してプレート下部に浸入した間隙水が、高い水/岩石比のために閉鎖系に近い状態でかんらん岩と反応することで形成した蛇紋岩が、マントルウェッジの下に水をはじめとする揮発性成分を運んでいるモデルを提案している[2,3]。

[1] Kobayashi *et al.*, *Chem. Geol.*, 2021, **582**: 120420. [2] Sumino *et al.*, *EPSL*, 2010, **294**: 163-172. [3] Kobayashi *et al.*, *EPSL*, 2017, **457**: 106-116. [4] Ren *et al.*, *Goldschmidt* 2021.

沈み込み帯における流体移動のモデリング Modeling of fluid migration in the subduction zone

森重学* (東大地震研)

Manabu Morishige (ERI, the University of Tokyo)

沈み込み帯における地震、火山活動、そして物質循環を理解する上で、流体の発生場所や発生率に加えその発生後の振る舞いまで知ることは非常に重要である。これまで多くの場合流体はその浮力のため真上に上昇すると考えられてきたが、近年の数値モデリングの発展により、実は水平方向にも大きく移動する可能性が分かってきた。本発表ではそのような例を2つ紹介する。

まず1つ目は浸透率の異方性の影響である。沈み込むスラブの直上に存在する蛇紋岩はスラブの沈み込みにより大きく変形した結果、浸透率が方向によって大きく変わることが報告されている。具体的にはスラブ表面に対して平行な方向に浸透率が高く(つまり流体が移動しやすくなる)。まずは2次元のモデルで流体移動の計算を行った結果、蛇紋岩内の浸透率がスラブ表面に対して平行な方向と垂直な方向で50倍異なる時、深さ60 km程度の場所におけるスラブから発生した流体は蛇紋岩内を通り深さ30 kmまで移動できることが分かった。次にモデルをスラブが3次元的な形状をしている場合に拡張した。その結果、スラブが海溝から離れる方向に折れ曲がる場所で流体が互いに集まるように移動し、そこでの流体量が増加することが分かった。西南日本やカスカディアではスラブが海溝から離れる方向に折れ曲がる場所で短期的スロースリップイベントによる平均すべり速度が大きくなっており、これらは流体の3次元的な移動による流体量の空間変化を反映している可能性がある。

2つ目は流体移動に伴う体積変化に対する抵抗の影響である。この抵抗とは、例えば流体が岩石に入り込もうとする際にその隙間を押し広げる時に受ける抵抗のことである。この効果を考慮すると、流体は真上ではなく、比較的流体量が多く浸透率が高い流体発生源に沿って上昇することが明らかになった。さらにスラブの形状が3次元である時には、浸透率の異方性の効果でも見られたようなスラブの折れ曲がり部分で流体が集まるという振る舞いも見られた。この結果は、スラブの3次元的な形状による沈み込み角度やスラブ内地震活動の空間変化を解釈する新たな視点を与えてくれる。

太平洋プレート西端直下マンツルの希ガス同位体組成
Noble gas isotopic composition of the mantle beneath the western edge of the Pacific Plate

小長谷智哉*、角野浩史（東大）、町田嗣樹（千葉工大）、平野直人（東北大）
Tomoya Obase, Hirochika Sumino (Univ. Tokyo), Shiki Machida (CIT), Naoto Hirano (Tohoku Univ.)

これまでのマンツル上部の希ガス組成に関する研究は、ほとんどが中央海嶺玄武岩 (MORB) の急冷ガラスを用いたものである。太平洋プレート西端の屈曲場で発見されたプチスポット火山に産する溶岩の急冷ガラスは、中央海嶺から遠く離れた地域のマンツル上部の希ガス組成を保持している可能性がある。本研究では、南鳥島近海で採取されたプチスポット溶岩の急冷ガラス試料 (6k#1466 R3-03, YK16-01 航海において採取) に対し、加熱溶融による全岩の希ガスとレーザー抽出による気泡中の希ガスの元素・同位体組成分析を行った。

加熱溶融による分析では、希ガス質量分析計 (VG-5400/MS-IV, 東京大学) に接続された加熱炉で 1500°C に熱し、溶融させることで試料中の希ガスを全て抽出して分析した。その結果、マンツル希ガスに対する大気希ガスの混入率の指標となる $^{20}\text{Ne}/^{22}\text{Ne}$ (マンツル: ~ 12.5 , 大気: 9.8) は 9.9 と大気に近く、全岩希ガス組成は大気希ガスの影響が大きいことが分かった。レーザー抽出による分析では、同試料の厚片 (厚さ約 3 mm) を作成し、マイクロ X 線 CT 装置 (都産技研) を用いて試料内部の断面像を取得した。内部断面像を参考に、MS-IV に接続された UV レーザーシステムを用いて試料表面から穴 ($\phi \sim 100 \mu\text{m}$) をあけ、各気泡中の気体を抽出した。隔膜真空計を用いて全圧を測定した後、加熱した Ti-Zr ゲッター等で活性ガスを除去した。気泡 9 個の $^{20}\text{Ne}/^{22}\text{Ne}$ は、それぞれマンツルに近い値 (11-12) を示した。以上から、気泡中の希ガスは太平洋プレート西端直下マンツルの希ガスを保持し、かつ大気の混入が少ないことが明らかになった。

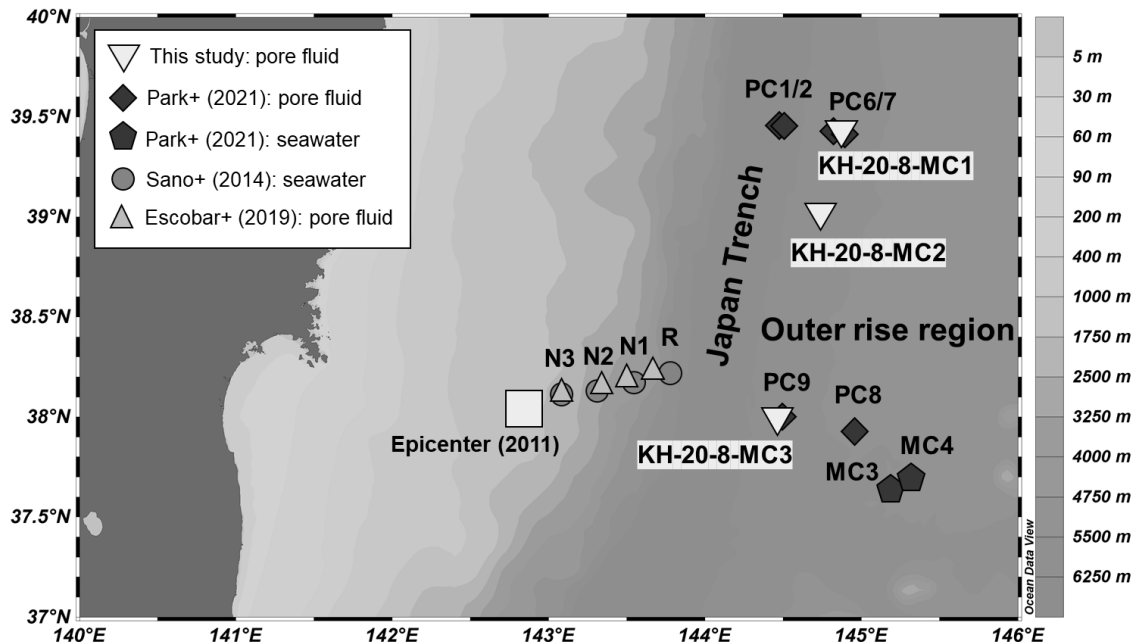
気泡中の Ne 同位体組成は MORB-大気の混合線上に分布した。このことは当地域直下と中央海嶺直下のマンツルはよく似た Ne 同位体組成を持つことを示唆する。また、 $^{20}\text{Ne}/^{22}\text{Ne}$ と $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ (13000-24000) の相関から求まるマンツル端成分の $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ が MORB 試料 (Moreira et al. 1998) とよく一致したことから、 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ も中央海嶺直下のマンツルとほぼ同様であることが分かった。これまでに、海洋プレートの沈み込みに伴う海水中の大気起源 Ar ($^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}=296$) および同 Kr, Xe のマンツルへの供給が示唆されているが (Matsumoto et al. 2001)、沈み込み帯近傍に位置する太平洋プレート西端直下のマンツルはこのプロセスに伴う希ガス組成の不均質化を免れている可能性が高い。

気泡中の希ガス元素比は、He を除きマンツル組成 (Holland & Ballentine 2006) と概ね一致した。一方で $^3\text{He}/^{36}\text{Ar}$ はマンツルと比べ三桁小さく、He が選択的に失われたことを示唆する。気泡中の $^3\text{He}/^4\text{He}$ は 1.1-1.7 R/R_A (大気 $^3\text{He}/^4\text{He}=1.4 \times 10^{-6}=1R_A$) であり、MORB (7-9 R/R_A) と比べ顕著に低かったが、この $^3\text{He}/^4\text{He}$ は噴出後に蓄積した放射壊変起源 ^4He 量によって説明できる。また、気泡中の $\text{CO}_2/^{36}\text{Ar}$ (全圧= CO_2 分圧と仮定し、 CO_2 量を推定) と $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ は非常に良く相関した ($R^2=0.98$)。このデータから推定されるマグマ中の $\text{CO}_2/^{36}\text{Ar}$ の上限値 ($\sim 3 \times 10^9$) はマンツル平均組成 ($(1.1 \pm 0.8) \times 10^9$; Tucker et al. 2018) の約 3 倍である。

日本海溝アウターライズ断層間隙水のヘリウム同位体比
 $^3\text{He}/^4\text{He}$ ratios in pore fluids around faults at the outer slope of the Japan Trench

鹿兒島渉悟* (富山大)、朴進午 (大海研)、佐野有司 (高知大)、山野誠 (地震研)
Takanori Kagoshima* (Univ. Toyama), Jin-Oh Park (AORI),
Yuji Sano (Univ. Kochi), Makoto Yamano (ERI)

アウターライズ断層を通じた流体の挙動は海洋プレートの変質・沈み込み過程や物質循環に影響すると考えられ、その実態が調査されてきた。Park et al. (2021) は、2019年の新青丸航海 (KS-19-5, KS-19-13, KS-19-14) を通じて日本海溝海側の海底下地殻構造と間隙水・コア等のデータを収集した。これにより、地球深部まで発達した断層の存在を確認したほか、間隙水に含まれるヘリウム・ネオンの同位体組成の深度分布が断層ごとに異なることなどを明らかにした。後者は、断層ごとに「深部流体の供給」または「海水の浸透」といった異なる過程が生じている可能性を示唆しており、Park et al. (2021) はこれらの観測データを基にして、日本海溝アウターライズにおける海洋-マントルを結ぶ大規模な流体循環像のモデルを示した。しかしながら、流体循環の時空間スケールの詳細については観測データが限られており不明瞭である。本研究では、日本海溝近傍でこれまで観測された海水や間隙水の化学データに触れつつ、白鳳丸 KH-20-8 次航海で採取された間隙水の希ガスデータを示し、日本海溝アウターライズ断層における流体循環像に制約を与える。



本発表で紹介する、間隙水・海水中のヘリウム同位体観測点 (Escobar et al. (2019), Park et al. (2021), Sano et al. (2014), this study) および 2011 年東北地方太平洋沖地震の震源

(参考文献) Escobar et al. (2019) *ACS Earth Space Chem.* **3**, 581-587.; Park et al. (2021) *Sci. Rep.* **11**, 12026.; Sano et al. (2014) *Nat. Commun.* **5**, 3084.

四国海盆最西部に位置する彗新メガムリオンにおける潜航調査：
YK21-06S 航海速報

**Shinkai dive study at the Sui-Shin Megamullion
in the westernmost Shikoku Basin:
a preliminary report of YK21-06S cruise**

小原泰彦* (海上保安庁海洋情報部・海洋機構・名大)、針金由美子 (産総研)、
山下浩之 (生命の星・地球博物館)、竹林知大 (名大)、冨岡優貴 (名大)、
二村康平 (名大)、股村祐希 (東北大)、石塚治 (産総研)、谷健一郎 (科博)、
藤井昌和 (極地研・総研大)

**Yasuhiko Ohara (HODJ/JAMSTEC/Nagoya U.), Yumiko Harigane (GSJ),
Hiroyuki Yamashita (Kanagawa Pref. Museum of Natural History),
Tomohiro Takebayashi (Nagoya U.), Yuki Tomioka (Nagoya U.), Kohei Nimura
(Nagoya U.), Yuki Matamura (Tohoku U.), Osamu Ishizuka (GSJ),
Ken-ichiro Tani (Kahaku), Masakazu Fujii (NIPR/SOKENDAI)**

The Shikoku Basin is considered as a typical backarc basin that ceased seafloor spreading at ~15 Ma. Although the presence of oceanic core complexes (OCCs) there was recognized based on the characteristic corrugated surface morphology identified by extensive multi-beam bathymetric mapping by Japan's continental shelf survey since early 2000's, these OCCs are remained largely unsampled except only a few locations that were sampled as reconnaissance study sites.

We thus aimed to study an OCC located in the westernmost Shikoku Basin at ~25°N, here we named it "Sui-Shin Megamullion" during YK21-06S cruise. This was named after the adjacent "Sui-Shin Hole", a syn-rift basin related to rifting of the proto Izu-Bonin Arc (now the Kyushu-Palau Ridge). Since the Sui-Shin Megamullion is located at the westernmost Shikoku Basin, it should give us information about the very early stage of the Shikoku Basin evolution.

During YK21-06S cruise, we were successful in obtaining the bathymetric and magnetic data of Sui-Shin Megamullion and its surroundings, revealing its detailed feature for the first time. The dimension of the OCC is ~20 km × ~11 km, the size is comparable to the OCCs in the Mid-Atlantic Ridge. During the cruise, we performed two Shinkai 6500 dives. Among these, the dive 6K-1582 was successful in collecting mantle peridotite and andesitic basalt. The presence of mantle peridotite confirms that the Sui-Shin Megamullion is indeed an OCC. A preliminary geochemical analysis of the andesitic basalts shows that they have the transitional affinity between arc and backarc, confirming that the OCC was formed during the syn-rift stage of arc-backarc evolution.

沈み込み帯の地震と流体：地質学的アプローチ再考
Earthquakes and fluids in subduction zones: a geological approach revisited

山口飛鳥* (東京大学大気海洋研究所)

Asuka Yamaguchi

(Atmosphere and Ocean Research Institute, the University of Tokyo)

2000年代初頭まで、沈み込み帯の地震現象は、温度依存の「地震発生帯」の上下に安定すべり域が存在するというある仮想的な断面の中での議論が多かった。しかし、プレート境界浅部における超低周波地震、プレート境界深部の短期的／長期的スロースリップ・微動などの一連のスロー地震の発見や、2011年東北地方太平洋沖地震における海溝軸まで達するすべりの観測などにより、プレート境界断層の空間的な挙動は沈み込み帯によって異なるばかりか、一つの沈み込み帯の内部でも多様であることが明らかになってきた。そのような沈み込み帯の断層挙動の多様性をもたらさうる地質学的な要因として、沈み込むプレートの地形的凹凸、上盤プレートの剛性、主に物質とその続成反応に依存するプレート境界断層の摩擦特性、主に温度に依存するプレート境界断層の流動特性などが考えられる。2021年にはスロー地震の物質科学的事態を論じたレビュー論文が相次いで出版され (Behr and Bürgmann, 2021, *Phil. Trans. R. Soc. A*; Kirkpatrick et al., 2021, *Nature Reviews Earth & Environment*)、注目を集めている。日本では、四万十帯などの陸上付加体を沈み込み帯の陸上アナログとみなし、沈み込み帯地震発生帯における変形の実態を理解する研究が進められてきた。また、南海トラフ地震発生帯掘削 (NanTroSEIZE) や日本海溝緊急掘削 (JFAST) によりプレート境界断層浅部の物性や構造が明らかにされた。

一方で、沈み込み帯は間隙水や含水鉱物からの脱水が行われる場である。一連のスロー地震の発生に流体が密接に関与していることはさまざまな地球物理学的観測から推定されている。流体が断層力学に果たす具体的な役割として、有効応力の減少、断層面の含水鉱物の形成、dry から wet への流動則の変更などが考えられる。しかし、これらの役割が十分に整理されているとは言い難く、沈み込みインプット物質の多様性、流体のマスバランス、プレート境界およびその周辺の浸透率、鉱物沈殿などの反応の果たす役割、変形の時空間スケール、等については未だ研究が途上である。また、海嶺から海溝に至るまでの海洋プレートの含水化については、アウターライズでのマンツルの蛇紋岩化など、近年知見が蓄積されてきた。本発表ではこのような状況をふまえ、沈み込み帯の浅部から深部に至るまでの地震と流体に関する未解決問題をレビューし、地質学的研究からの貢献の可能性について議論する。

岩石生命圏研究の新展開と将来展望
Exploring the rocky biosphere and its significance

鈴木庸平* (東京大学)
Yohey Suzuki (Univ. Tokyo)

地球上の未開のフロンティアである深海と地底に生息する生命を標的とする探査により、光合成由来の物質が届かない暗黒な世界で、岩石と水の反応による物質生産に依存した生態系が形成していることが明らかになってきた。暗黒生態系調査の基本戦略として、物質生産が効率的な高温での岩石と水の反応にプラスして、その反応産物を水が運搬することが、生命の生存に不可欠として考えられてきた。一方、低温で流体循環が緩慢な岩石内部に関しては、生命活動に必要なエネルギーに欠乏するという予測と、調査の技術的困難さから未解明であった。具体的には、地上や船上での掘削は回収率の低さや、表層の物質や微生物を岩盤への汚染が深刻で、回収した岩石コアや深部流体からは土着の微生物情報が得れない問題があげられる。

この問題を解決するため、地上からではなく地下坑道から掘採して得られる深部流体に生息する微生物の調査が世界中で盛んに行われている。大陸地殻の主要構成岩石である花崗岩は、地球に 40 億年前から存在し、光合成由来物質が欠乏する地下深部は初期地球の岩石内環境に類似する。岐阜県瑞浪超深地層研究所において、地下 300 メートルの花崗岩から地下坑道で採取した地下水には、*Methanoperedenaceae* (ANME-2d) に分類される嫌氣的メタン酸化アーキアが優占していた。光合成由来物質と二価鉄含有鉱物と水の反応により生成する水素に欠乏するが、安定同位体組成からマグマ由来と推定されるメタンに、エネルギーを依存していると解釈された。これらの結果から、大陸地殻にはメタンに依存する岩石内生命圏が、莫大な時空間スケールで存続していると示唆された。

形成年代が 1000 万年前より古い海洋地殻の玄武岩は海底下に広く分布し、低温で流体循環が緩慢な岩石内部として知られる。陸上の地下施設を用いた研究では、採取可能であった深部流体の採取が不可能なため、岩石コアのみから微生物情報を取得する必要がある。そこで、岩石内部の微生物を可視化する手法の開発を行った。岩石薄片を作成する際の樹脂に、親水性樹脂を用いて薄片作成後、DNA 染色を行うことで、岩石内部の細胞を検出することに成功した。形成年代が 1 億年の玄武岩亀裂の細胞検出部の局所固体分析を行った結果、亀裂を充填するスメクタイト粘土に、高密度で微生物細胞が包埋されていることが明らかとなった。

今後の展望として、海洋堆積物が深部への埋没により頁岩化した岩石内亀裂や、形成年代が 29 億年前の南アフリカ金鉱山の地下 3 km の岩石亀裂、海底面に露出する超塩基性岩等に生息する微生物を対象に、岩石内生命検出技術を適用し、地球上で最大の微生物生息場所と推定されている深部岩石圏の実態解明を継続する。

しんかい湧水域のチムニーおよび堆積物中の微生物群集組成とその多様性
**Microbial community compositions and its variation in chimneys and sediment at
the Shinkai Seep Field**

奥村知世* (高知大), 高木善弘, 高井研, 平井美穂, 布浦拓郎, (JAMSTEC), 小
原泰彦 (海上保安庁・JAMSTEC)

**Tomoyo Okumura* (Kochi Univ.), Ken Takai, Miho Hirai, Takuro Nunoura,
Yoshihiro Takaki (JAMSTEC), Michinari Sunamura (Tokyo Univ.), Yasuhiko
Ohara (Hydrographic and Oceanographic Dept. of Japan/JAMSTEC)**

蛇紋岩化反応という水・岩石相互作用を発端とする化学合成生態系は、初期地球や地球外惑星の生命圏のアナログとして近年注目されている。南部マリアナ前弧、陸側斜面の水深約 5700 m で 2010 年に発見されたしんかい湧水域は (Ohara et al., 2012), 世界最深の蛇紋岩化反応に関連した湧水サイトである。これまでに YK10-12・YK13-08・YK14-13・YK15-11・KR-16-14 航海で合計 5 地点のチムニー密集サイトと箇所シロウリガイコロニーサイトが発見され、その他のサイトと比較すると二枚貝・巻貝・多毛類等の多様な動物群集を伴っていることがわかっている (Okumura et al., 2016)。本研究では、先行研究で明らかにされている 2 タイプのチムニー 4 試料 (11 セクション), 1 年間チムニーの切り口に設置したマーカーに付着した沈殿物 (2 セクション), および、この湧水域で最も大きいシロウリガイコロニーサイトの堆積物コア 1 試料 (4 セクション) について、原核生物の SSU rRNA 遺伝子タグシーケンス配列の解析を行い、この生態系を支えると考えられている化学合成微生物を明らかにすることを目的とした。

先行研究においてチムニーは、ブルーサイトに富み、アルカリ性の湧水が比較的活発に湧き出す中で素早く成長したもの (タイプ 1) と、より炭酸カルシウムを多く含み、巻貝や多毛類が表面に密集し、湧出活動が比較的穏やかな状況でゆっくり成長するもの (タイプ 2) があることが記載されている (Okumura et al., 2016)。α 多様性解析では、アルカリ性流体が多く供給されていると考えられるタイプ 1 チムニーやマーカー沈殿物では、比較的多様度が低く、流体が緩やかに供給されていると考えられているタイプ II やコロニー堆積物では、より多様度の高いことが示された。LEfSe による解析では、タイプ I およびマーカー堆積物では、硫黄酸化細菌、メタン酸化細菌、メタン生成菌等が、タイプ II では、メチル栄養細菌等が、堆積物では硫酸還元菌や硫黄酸化細菌等が、それぞれで有意差のある系統としてピックアップされた。本湧水域では、蛇紋岩化作用に関連したアルカリ性湧水の供給状況の違いによって多様な地球化学条件が生じ、それに応じて分布する微生物群集の違いが生じていることが明らかとなった。こうしたバックグラウンドが、他サイトでは見られない高密度の動物群集を支えていると考えられる。

Ohara et al. (2012) PNAS, 109, 2831-2835.

Okumura et al. (2016) G3. 17, 3775-3796.

海洋地殻の比抵抗・弾性波速度と含水クラックの関係：ICDP オマーン掘削計画
Hole GT3A の例

**Linking electrical and elastic properties of the oceanic crust by fluid-filled cracks:
A case study from the ICDP Oman Drilling Project Hole GT3A**

赤松祐哉^{*1}, 長瀬薫平¹, 片山郁夫¹, 岡崎啓史², 阿部なつ江², 畠山航平^{1,3},
(¹広島大, ²海洋研究開発機構, ³明星大)

the Oman Drilling Project Phase 1 Science Party

**Yuya Akamatsu^{*1}, Kumpei Nagase¹, Ikuo Katayama¹, Keishi Okazaki², Natsue Abe²,
Kohei Hatakeyama^{1,3}, and the Oman Drilling Project Phase 1 Science Party
(¹Hiroshima University, ²JAMSTEC, ³Meisei University)**

海洋地殻内に存在するクラックなどの空隙の存在形態を知ることは、地球深部への水や物質の移動、地下生命圏などを理解する上で重要である。クラックは岩石の弾性波速度や電気伝導度、浸透率などの物性に大きく影響する。そのため、これまでに多くの海底下の地震波探査や電磁気探査が行われ、海洋地殻内のクラックと流体の存在が調べられてきた。それらの地球物理観測データを定量的に解釈し、流体の特徴を評価するためには、岩石の物性とクラック・流体の関係を物質科学的に検証することが必要である。本研究は、ICDP オマーン掘削計画 (Oman Drilling Project) において、オマーンオフィオライトのシート状岩脈—はんれい岩遷移帯を掘削した Hole GT3A のコア試料を用いて比抵抗と弾性波速度の測定を行い、Hole GT3A および海洋地殻の物性とクラックの関係を調べた。

Hole GT3A のコア試料から切り出された合計 94 個のキューブ型試料 ($\sim 8 \text{ cm}^3$) を用いて、乾燥・含水条件で比抵抗と P 波・S 波速度の測定を行った。測定は大気圧下で行い、含水条件ではあらかじめ塩水で飽和させた試料を用いた。また、塩分濃度による比抵抗の変化から、空隙表面の粘土鉱物と流体の界面で発生する表面伝導の大きさを推定した。

測定の結果、含水条件の比抵抗・弾性波速度ともに、シート状岩脈からはんれい岩にかけて徐々に増加する傾向を示した。これは、岩石に含まれるクラックの形状や連結性が層序によって異なることを示唆している。弾性波速度からクラック密度とアスペクト比を計算した結果、シート状岩脈からはんれい岩にかけて、クラック密度がわずかに減少し、アスペクト比が顕著に小さくなる傾向が示された。パーコレーション理論に基づく流体浸透モデルを適用した結果、比抵抗の深さ変化は、弾性波速度から推定されるクラック密度とアスペクト比の変化で説明できることが明らかになった。また、表面伝導度と空隙率に正の相関が見られた。これは空隙表面に粘土鉱物などの変質鉱物が存在することを意味し、クラックが海底下での熱水循環に寄与したことを示唆する可能性がある。

オマーンオフィオライト・ワジディマ蛇紋岩の
炭酸塩中の流体包有物：海洋底と大陸での変成作用
**Submarine and subaerial metamorphism recorded in fluid inclusions of carbonates
in Wadi Dima serpentinite, Sultanate of Oman**

犬飼知宏^{1,*}, 川本竜彦¹, Godard Marguerite²
(1 静岡大学・理・地球科学, 2 CNRS, モンペリエ大学, フランス)
Tomohiro Inukai^{1*}, Tatsuhiko Kawamoto¹, Marguerite Godard²
**(1 Dept Geoscience, Shizuoka Univ., 2 Géosciences Montpellier, CNRS, Univ.
Montpellier, France.)**

アラビア半島オマーン湾沿いには世界最大規模のオフィオライトが分布している。そのうち南側のワジディマ地域では、原岩がハルツバージャイトの蛇紋岩が露出しており、炭酸塩の脈が発達している。蛇紋岩中の炭酸塩は岩石記載や微量元素分析、炭素・酸素安定同位体比によって3つのタイプに分類された(Noël et al., 2018, Lithos)。彼らの分類によると、Type1 炭酸塩は炭酸塩コアと微細脈からなり、海嶺付近の海洋底での変成作用を受けている。一方、Type2 と Type3 炭酸塩は大きなカルサイトと微小なドロマイトからなり、大陸での変成作用を受けたとされている。このような多世代の変成を記録している岩石を 2020 年 1 月に行われたオマーンでの野外巡検において川本が採取し、犬飼が炭酸塩中の流体包有物を観察した。

顕微ラマン分光法により、炭酸塩鉱物は主にカルサイトで、数ミクロンから5ミクロン程度の気液二相の流体包有物をまれに含む。488nmの青色レーザーの照射によるラマンスペクトルは炭酸塩からの蛍光が高く、質のよいスペクトルを取ることは難しいが、流体包有物は水と同定できる。

マイクロサーモメトリー法を用いて、流体包有物中の氷の最終融解温度と均質化温度を測定した。Type1 炭酸塩中の流体包有物は均質化温度が $233 \pm 71^\circ\text{C}$ 、塩濃度が $3.0 \pm 2.6\text{wt}\%$ NaCl 等量である。一方、Type2 と Type3 炭酸塩中の流体包有物は均質化温度が $163 \pm 45^\circ\text{C}$ と Type1 のものより低く、塩濃度は $0.5 \pm 0.5\text{wt}\%$ NaCl 等量とほぼ真水を示した。これは Type1 炭酸塩が海洋底での熱水循環での変成作用を、Type2 と Type3 炭酸塩が大陸になる過程での変成作用を受けているとする Noël et al. (2018, Lithos) の結果と整合的である。

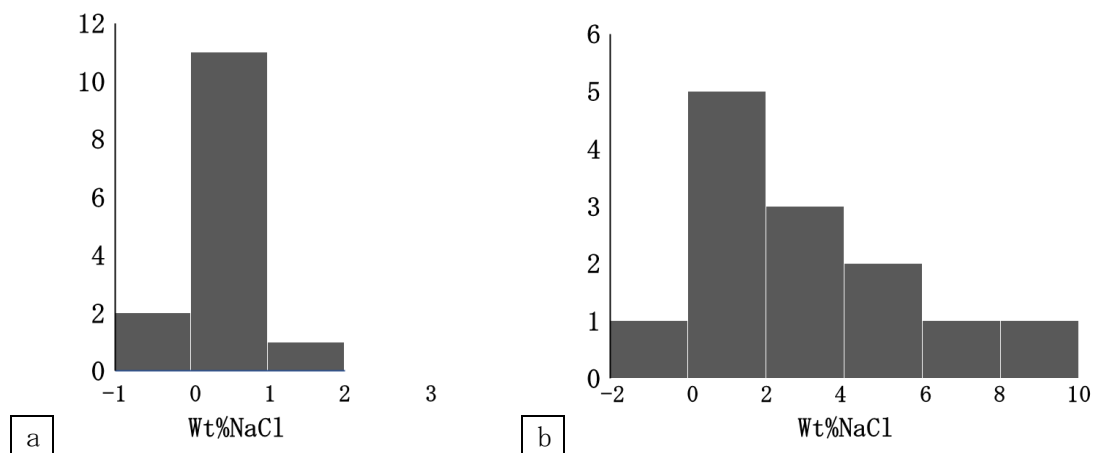


図 a) Type1 脈の流体包有物の塩濃度

b) Type2 & 3 脈の流体包有物の塩濃度

**熱水循環による変質鉱物の形成と空隙形状の変化が
海洋地殻の地震波速度構造に与える影響**

**Influence of hydrothermal circulation on seismic wave velocity structure of the
oceanic crust due to alteration of mineralogy and pore geometry**

長瀬薫平^{1*}、片山郁夫¹、畠山航平²、岡崎啓史³、赤松祐哉¹
(¹広島大, ²明星大, ³海洋研究開発機構)

Kumpei Nagase^{*1}, Ikuo Katayama¹, Kohei Hatakeyama², Keishi Okazaki³,
Yuya Akamatsu¹ (¹Hiroshima University, ²Meisei University, ³JAMSTEC)

地震波や電気比抵抗を用いた地球物理観測から、海洋地殻の上部にあたる layer 2 には多くの水が割れ目中に存在していると考えられている (e. g., Detrick et al., 1994). しかしながら、layer 2 の底部に観測される V_p/V_s の低い領域は、割れ目だけでは説明することができない (Spudich and Orcutt 1980). オフィオライトにみられるエピドサイトは多孔質な岩石であり、造岩鉱物の中でも特に低い V_p/V_s を示す石英を含んでいる. これらのことから、低 V_p/V_s 構造はエピドサイト化によって生じる空隙と石英の二つの影響を反映している可能性がある. そこで、本研究ではオマーンオフィオライト陸上掘削 (Oman Drilling Project) で採取されたエピドサイトとダイアベースの固相の物性について検討し、空隙形状の影響を物性測定結果と理論計算の比較から推定した. また、CT 画像を撮影することによって空隙の組織観察を行った.

研究には Oman Drilling Project の GT3A サイトで採取されたエピドサイトとダイアベース各 2 試料を用いた. 弾性波速度と空隙率の同時測定は容器内変形透水試験機を用いて常温下で行い、間隙水圧は 1 MPa で一定にして、封圧を 3 MPa から 200 MPa まで段階的に上げた. 実験後の回収試料は直径 6 mm に成形し、高知コア研究所設置のマイクロフォーカス X 線 CT を用いて三次元での組織観察を行った.

ダイアベースは、封圧の増加に伴って空隙率が 1.5 % から 1.0 % まで減少した. V_p/V_s は加圧に伴って減少していく傾向が見られ、200 MPa における V_p/V_s は 1.75 であった. また、回収試料の三次元での組織観察からは割れ目のような空隙形状を示していることが確認された. エピドサイトの空隙率も同様に加圧に伴って 4.9 % から 4.8 % まで減少した. V_p/V_s は封圧の増加に対してあまり変化せず、200 MPa における V_p/V_s は 1.64 であった. また、回収試料の組織観察からは丸みを帯びた空隙形状を示した.

実験試料のモード組成と各構成鉱物の弾性定数から固相の V_p/V_s を計算した結果、ダイアベースは $V_p/V_s = 1.73$ 、エピドサイトは $V_p/V_s = 1.67$ と見積もられ、エピドサイト化が岩石の固相の V_p/V_s を低下させている可能性を支持する計算結果が得られた. 続いて、有効媒質理論で与えられる V_p/V_s の理論モデルと比較を行うことで空隙のアスペクト比を推定した. その結果、ダイアベースの空隙のアスペクト比は ~ 0.01 、エピドサイトのアスペクト比は ~ 0.1 と見積もられた. このように、実験結果と理論モデルの比較から得たエピドサイトの空隙は丸みを帯びた空隙であることが示唆され、このことは、CT 観察から得られた空隙形状とも整合的であった. 以上のことから、エピドサイト化は、丸みを帯びた空隙と石英を形成することで V_p/V_s を低下させることが明らかとなった. このことは、海洋底の V_p/V_s 構造を解釈する上で重要な知見であり、layer 2 底部の低 V_p/V_s 領域では、エピドサイトが存在する可能性が高い.

白馬八方蛇紋岩を母岩とする強アルカリ性温泉のメタンの起源
The origin of methane in serpentinite-hosted hyperalkaline hot spring at Hakuba Happo

須田好* (産総研)、阿瀬貴博 (東大)、宮入陽介 (東大)、横山祐典 (東大)、松井洋平 (海洋研究開発機構)、上田修裕 (海洋研究開発機構)、齋藤拓也 (海洋研究開発機構)、佐藤友彦 (東工大)、澤木佑介 (東大)、中井亮佑 (産総研)、玉木秀幸 (産総研)、高橋浩 (産総研)、森川徳敏 (産総研)、小野周平 (マサチューセッツ工科大)

Konomi Suda* (AIST), Takahiro Aze (UTokyo), Yosuke Miyairi (UTokyo), Yusuke Yokoyama (UTokyo), Yohei Matsui (JAMSTEC), Hisahiro Ueda (JAMSTEC), Takuya Saito (JAMSTEC), Tomohiko Sato (Tokyo Tech), Yusuke Sawaki (UTokyo), Ryosuke Nakai (AIST), Hideyuki Tamaki (AIST), Hiroshi A. Takahashi (AIST) and Noritoshi Morikawa (AIST), Shuhei Ono (MIT)

海底や陸上の蛇紋岩化作用に関連するメタン (CH_4) は主に非生物起源であると提唱されている (1. Etiope & Sherwood Lollar, 2013; 2. Etiope & Whiticar, 2019)。しかしながら、メタン生成における炭素源の起源や深度・温度といった本質については未だ不明な点が多い。そこで本研究では、炭素源およびメタン生成プロセスを制約するために、長野県白馬八方にある強アルカリ性温泉の掘削井戸から採取した試料の放射性炭素 (^{14}C) 濃度、メタンの安定同位体比 (δD , $\delta^{13}\text{C}$) およびクランプト同位体存在度 ($\Delta^{13}\text{CH}_3\text{D}$)、希ガス同位体組成を測定した。白馬八方温泉のメタン中にはほとんど ^{14}C が含まれておらず、一方で揚湯パイプ上に沈殿した炭酸塩中には 51-62 pMC に相当する ^{14}C が含まれていた。このことは主要なメタンが温泉水中の溶存炭素の還元によって生成されたものではないことを示している。また、 $\Delta^{13}\text{CH}_3\text{D}$ 値から推定されるメタンの生成 (あるいは再平衡) 温度は 200°C 以上であり、現位置の水温 ($\sim 50^\circ\text{C}$) よりもずっと高温であった。したがって、 ^{14}C およびクランプト同位体分析の結果は、メタン生成が天水の循環する深度よりも深い場所で起きたことを示唆している。(水の水素・酸素同位体組成に基づき、温泉水の起源が天水であることは先行研究により分かっている; Suda et al., 2014) ヘリウム同位体比 ($^3\text{He}/^4\text{He}$) は大気に比べて 4 倍以上高い値を示した。 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比と $^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$ 比に基づく大気-地殻-マンツルの混合モデル (Sano & Wakita, 1985) に基づくと、ヘリウムのおよそ 50% がマンツル起源であり、白馬八方温泉にマンツルからの (CO_2 を含む) 揮発性成分の供給があることを示唆している。しかしながら、観測された $\delta^{13}\text{C}-\text{CH}_4$ 値 (およそ -35‰) は典型的なマンツル炭素の値 (-5‰) よりも著しく低く、マンツル起源 CO_2 はメタン生成の主要な炭素源ではないと思われる。蛇紋岩と関連しない周囲の温泉と比較して、白馬八方温泉のメタン濃度が桁違いに高いことから、メタンは地下深部の蛇紋岩化反応に伴って ^{13}C に枯渇した地殻由来の炭素源から非生物的に生成され、その後浅部の天水循環システムに取り込まれたと考えられる。

マリアナ前弧域の蛇紋岩泥海山岩石中のカルサイト中の流体包有物
Fluid inclusions in calcite of serpentinite mud seamounts in the Mariana forearc

山本千早* (静岡大), 釘宮健人 (静岡大), 石戸慎也 (静岡大), 川本竜彦 (静岡大),
市山祐司 (千葉大)

Chihaya Yamamoto (Shizuoka Univ.), Kento Kugimiya (Shizuoka Univ.), Shinya Ishido (Shizuoka Univ.), Tatsuhiko Kawamoto (Shizuoka Univ.), Yuji Ichiyama (Chiba Univ.)

マリアナ海溝の前弧域には、いくつかの蛇紋岩泥海山が存在する。マリアナ沈み込み帯は非付加型であるため、蛇紋岩や流体が上昇する際に化学組成が大陸源物質によって化学的に乱されない。また、蛇紋岩や流体は既に水-岩石相互作用を経験した断層に沿って上昇するため、プレート境界の流体の組成変動を最小限にすると考えられる (Salisbury et al., 2002, Proc Ocean Drill Prog)。流体包有物は鉱物中に流体が取り込まれた時の温度や化学組成などの情報を持つ。本研究は、マリアナ前弧域の蛇紋岩泥海山岩石中のカルサイトに含まれる流体包有物を分析し、沈み込み帯流体の化学組成に束縛条件を与える。

Fantangisña 海山, Asüt Tesoru 海山, South Chamorro 海山で採取された蛇紋岩の礫・砂・泥を観察した。Fantangisña 海山の試料は IODP Exp. 366 の掘削試料 (U1498B), Asüt Tesoru 海山の試料は, IODP Exp. 366 の掘削試料 (U1496A), South Chamorro 海山の試料は ODP Leg195 の掘削試料 (1200E) である。両面研磨片を作成し、偏光顕微鏡を用いて炭酸塩鉱物中の流体包有物を探した。続いて、ラマン分光分析を行い、ホスト鉱物はカルサイト、流体は水であると同定し、マイクロサーモメトリー法により、流体包有物の塩濃度と均質化温度を測定した。その結果、Fantangisña 海山の試料から 21 点の流体包有物を分析し、塩濃度は 2.9 ± 0.7 (wt.% NaCl 当量)、均質化温度は 152 ± 33 (°C) を得た。同様に、Asüt Tesoru 海山の試料から 22 点の流体包有物を分析し、塩濃度は 5.9 ± 1.9 (wt.% NaCl 当量)、均質化温度は 184 ± 62 (°C) を得た。South Chamorro 海山は、38 点の流体包有物の分析から、塩濃度は 3.7 ± 1.3 (wt.% NaCl 当量)、均質化温度は 280 ± 46 (°C) を得た。

分析結果より、3 つの蛇紋岩泥海山の流体包有物の均質化温度は、各海山直下のプレート境界の推定温度に近い (変成岩相の温度条件, Maekawa et al., 1993, Nature; 蛇紋岩泥海山の間隙水組成, Hulme et al., 2010, G-cube; 変成鉱物相のホウ素同位体比, Pabst et al., 2012, Lithos; 蛇紋岩と間隙水の酸素同位体比, Debret et al., 2019, Lithos; 変成鉱物の生成条件, Ichiyama et al., 2021, Lithos) ので、流体包有物はカルサイトに取り込まれたプレート境界流体であろう。中でも、Fantangisña と Asüt Tesoru 海山の試料では、流体包有物の均質化温度が、先行研究 (Debret et al., 2019, Lithos) で求められた蛇紋岩の形成時の温度の最低温度と近い値をとるので、マントルの蛇紋岩化作用の途中か直後に炭酸塩化が起こったと考える。今回の分析対象である 3 つの蛇紋岩泥海山から採取された、コアサンプルの間隙水の元素濃度の (Na+K) 量と今回測定した包有物の塩濃度は比例する。しかし、流体包有物の塩濃度は海溝からの距離に沿って単調には変化せず、一旦上昇し、その後減少する。先行研究 (Fryer et al. 2017, IODP Publications, Ichiyama et al., 2021) によると、海溝軸からの距離に応じて蛇紋岩泥海山中の変成鉱物の組み合わせは変化するので、それらの鉱物間の塩素/水の分配によって説明できるかもしれない。

本地域では、より海溝に近い Yinazao 海山の掘削試料が入手でき、今後この蛇紋岩泥海山中の炭酸塩鉱物の流体包有物の観察を行うことで、海溝軸からの距離、プレート境界の深度と流体の塩濃度との関係をより詳細に解明する予定である。

三浦半島葉山帯の蛇紋岩化かんらん岩について
Petrology of the serpentized peridotite from Nobi, Miura peninsula

阿部なつ江* (JAMSEC)
Natsue Abe (JAMSTEC)

中部地方から南関東地方の伊豆半島を取り囲む地域である瀬戸川、小仏、葉山、嶺岡の各層群中には、蛇紋岩やアルカリ玄武岩などの超マフィック～マフィック岩類が分布している。そのうち、三浦半島葉山層群に産する蛇紋岩ブロックや蛇紋岩化かんらん岩の転石について、記載を行った。対象とする試料は、荒井・石田(1987)によって“環伊豆地塊蛇紋岩類”と命名された蛇紋岩類に属する。環伊豆地塊蛇紋岩類の特徴は、荒井(1994)や高橋ほか(2008)などで詳細に記載されている。それらは、少量の単斜輝石を含むハルツバージャイト～レルズライトで、しばしばCaに富む斜長石や、希に初生的な含水鉱物(フロゴパイト、パーガサイト)を含み、クロムスピネルはほぼ $Cr\# = 0.4 \sim 0.6$ に集中していることである(荒井, 1994)。葉山層群の蛇紋岩は、環伊豆地塊蛇紋岩類中で瀬戸川帯の蛇紋岩と類似して、低温型—高酸化度で特徴付けられる(Uchida & Arai, 1978; 江藤, 1986)。

野比海岸付近の北岳断層周辺に存在することが、浅見ほか(1992)により報告されており、それらは付近の地質構造から、三浦半島の葉山層群南帯からの転石である可能性が指摘されている。野比海岸に露出する蛇紋岩ブロックと転石計10個の蛇紋岩試料について詳しい記載を行った。これらの試料は、斜長石ハルツバージャイトであり、カーボネイト化している部分や希に珪質化している部分があるが、比較的蛇紋岩度が低く、初生鉱物であるかんらん石も残存している。かんらん石Fo値は約91、クロムスピネルのCr#は0.4～0.6であり、他の葉山層群の蛇紋岩類とほぼ同様であった。しかしクロムスピネルのMg#は約0.6、 $Fe^{3+}/(Cr+Al+Fe^{3+})$ 原子比は0.1以下であり、葉山層群の蛇紋岩よりはむしろ嶺岡層群中のものに類似する。さらに両輝石地質温度計(Witt-Eickshen & Seck, 1991)による平衡温度は約980℃で、環伊豆地塊蛇紋岩類の高温型と低温型の中間的な温度を示す。さらに同じ三浦半島葉山帯の衣笠蛇紋岩や池上蛇紋岩など含めて、帯磁性にも差があることが分かった。これらのデータを元に、野比海岸蛇紋岩類の起源を考察すると、葉山層群中の蛇紋岩化かんらん岩の不均質性が明らかになった。

[引用文献]

- 浅見茂雄・蟹江康光・有馬眞(1992) 横須賀市博研報(自然), 40, 21-23
荒井章司・石田高(1987) 岩鉱, 82, 336-344
荒井章司(1994) 静岡大地球科学研究報告, 20, 175-185.
江藤哲人(1986) Sci. Rep. Yokohama National Univ., Sec. II, 33, 68-105.
高橋直樹・荒井章司・古滝修造(2008) 岩石鉱物科学, 37, 39-56.
Uchida, T. & Arai, S. (1978) Jour. Geol. Soc. Jap., 84, 561-570.
Witt-Eickschen & Seck (1991) Contrib. Mineral. Petrol. 106, 431-439