

## 南アメリカタイタオオフィオライト最上部マントルかんらん岩の構造岩石学的特徴 Microstructural and fabric characteristics of the uppermost mantle peridotites in the Taitao ophiolite, South America

吉田 佳明<sup>1\*</sup>; 道林 克禎<sup>1</sup>; 安間 了<sup>2</sup>

YOSHIDA, Yoshiaki<sup>1\*</sup>; MICHIBAYASHI, Katsuyoshi<sup>1</sup>; ANMA, Ryo<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 静岡大学理学研究科地球科学専攻, <sup>2</sup> 筑波大学生命環境系

<sup>1</sup>Institute of Geosciences, Shizuoka University, <sup>2</sup>Faculty of Life and Environmental Science, University of Tsukuba

The <6Ma young Taitao ophiolite, exposed at the westernmost promontory of the Taitao Peninsula, is located approximately 40 km southeast of the Chile triple junction and consists of a complete sequence of oceanic lithosphere, including ultramafic rocks, gabbros, a dyke complex and volcanoclastic rocks. The ophiolite is surrounded by several contemporaneous granite plutons intruded in between the ophiolite and the Pre-Jurassic metamorphic basement. Several studies have been carried out on the Taitao ophiolite and surrounding granites. Whereas they have focused mostly on petrology and geochemistry, we investigated microstructures and crystal-fabrics of the ultramafic rocks, aiming to understand the origin of the ophiolite. 6 out of 16 ultramafic rocks preserved peridotite textures despite of intense serpentinization and show mostly porphyroclastic textures consisting of pyroxene porphyroclasts with a fine-grained olivine-pyroxene matrix. Their olivine crystal-fabrics shows [100]{0kl} and [100](001) patterns. These indicate that the uppermost mantle section have remarkably been deformed before and/or during the obduction process after their formation beneath the mid-ocean ridge.

Keywords: Taitao ophiolite, mantle section, peridotite, microstructure, olivine fabrics

## ゴジラメガムリオンと中央海嶺メガムリオンから探る海洋リソスフェアの斑れい岩類の岩石学 Gabbroic petrology of oceanic lithosphere: comparison between Godzilla Megamullion and megamullions in mid-ocean ridges

山下 浩之<sup>1\*</sup>; 小原 泰彦<sup>2</sup>; 有馬 眞<sup>3</sup>  
YAMASHITA, Hiroyuki<sup>1\*</sup>; OHARA, Yasuhiko<sup>2</sup>; ARIMA, Makoto<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 神奈川県立生命の星・地球博物館, <sup>2</sup> 海上保安庁海洋情報部, <sup>3</sup> 横浜国立大学環境情報研究院

<sup>1</sup>Kanagawa Prefectural Museum of Natural History, <sup>2</sup>Hydrog. & Oceanog. Dept. of Japan, <sup>3</sup>Yokohama National University

フィリピン海南部パレスベラ海盆には、地球上で最大の露出面積を誇るゴジラメガムリオンが長軸 125km、短軸 55km にわたって分布する (Ohara *et al.*, 2001)。ゴジラメガムリオンではマントル物質のかんらん岩をはじめ、下部地殻を構成する斑れい岩が大量に採集されている。著者らの研究により、ゴジラメガムリオンに産出する斑れい岩類の記載岩石学的、鉱物学的特徴が系統的に明らかになった。本発表では、ゴジラメガムリオンの斑れい岩類の特徴を報告すると共に、大西洋中央海嶺および南西インド洋中央海嶺のメガムリオンに産する斑れい岩類との比較を行う。

ゴジラメガムリオンに産出する斑れい岩類は、Streckeisen (1976) による、斑れい岩類の分類に基づき、トロクトライト、カンラン石斑れい岩、斑れい岩、ホルンブレンド輝石斑れい岩、輝石ホルンブレンド斑れい岩、ホルンブレンド斑れい岩に区分され、さらに斑れい岩類と漸移的にあるいは独立して産出するトロニウム岩をあわせた7つに区分された。最も採集の点数が多かった斑れい岩類は、輝石ホルンブレンド斑れい岩であった。ゴジラメガムリオンの斑れい岩類は、カンラン石の含有量が低い一方、角閃石の割合が高いことで特徴づけられる。斑れい岩類に含まれる斜長石の An 値は、トロクトライトからカンラン石斑れい岩、斑れい岩、ホルンブレンド輝石斑れい岩、輝石ホルンブレンド斑れい岩、ホルンブレンド斑れい岩、トロニウム岩にかけて連続的に低くなる傾向が見られた。同様に単斜輝石やカンラン石の XMg 値も連続的に低くなる傾向が見られたことから、ゴジラメガムリオンの斑れい岩類はこの順番に初生的であると考えられる。

ゴジラメガムリオン内における斑れい岩類の分布状況には偏りが見られる。すなわち最も初生的なトロクトライトは活動初期 (13Ma; Tani *et al.*, 2011) でのみ見られ、より分化したホルンブレンド斑れい岩やトロニウム岩は活動後期 (8.7Ma; Tani *et al.*, 2011) で最も多く見られた。ただし、活動最末期 (8.4Ma; Tani *et al.*, 2011) では再びホルンブレンド輝石斑れい岩などのやや初生的な斑れい岩類を産した。この特徴は斜長石の An 値でも見られ、同岩石種間の An 値は活動初期が最も高く、活動中期から活動後期へと徐々に低くなり、活動最末期で再び高くなる傾向が見られた。これらの結果から、活動初期ではメルト量が多く、ゴジラメガムリオンの形成が進むにつれメルト量が減少し、最末期に再びメルト量が増えるというモデルが考えられる。この結果は、かんらん岩の岩石学的研究結果 (Snow *et al.*, in preparation) と整合的である。

大西洋中央海嶺および南西インド洋中央海嶺のメガムリオンに産する斑れい岩類と比較すると、ゴジラメガムリオンに産する斑れい岩類は、カンラン石を含む斑れい岩類に乏しく、角閃石を含む斑れい岩類の割合が高いことで特徴づけられる。そのため、トロクトライトやカンラン石斑れい岩割合が極めて低いのが特徴的である。

キーワード: パレスベラ海盆, ゴジラメガムリオン, 斑れい岩, 海洋コアコンプレックス

Keywords: Parece Vela Basin, Godzilla Megamullion, gabbro, Oceanic core complex

## フィリピン海を伝播する Po/So 波 The Po/So waves propagating in the Philippine Sea

志藤 あずさ<sup>1\*</sup>; 末次 大輔<sup>2</sup>; 古村 孝志<sup>3</sup>  
SHITO, Azusa<sup>1\*</sup>; SUETSUGU, Daisuke<sup>2</sup>; FURUMURA, Takashi<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設, <sup>2</sup> 海洋研究開発機構, <sup>3</sup> 東京大学地震研究所  
<sup>1</sup>Institute for Geothermal Science, Kyoto University, <sup>2</sup>JAMSTEC, <sup>3</sup>Earthquake Research Institute, The University of Tokyo

The Po/So waves which have high-frequency content, large amplitude, and long-duration propagate for large distance (up to 3000 km) across the oceanic lithosphere. In our previous study, we analyzed Po/So waves from deep-focus earthquakes occurring in the subducting slab beneath Japan, recorded by broadband ocean bottom seismometers (BBOBSs) at northwestern Pacific [Shito et al., 2013]. We demonstrated that the Po/So waves are developed by multiple forward scattering of P and S waves due to laterally elongated heterogeneities in both the subducting and laterally extending oceanic lithosphere. Following this study, the question when and where do the small-scale heterogeneities form in the oceanic lithosphere comes about. In order to answer this question, the Po/So waves in younger oceanic lithosphere need to be analyzed. Therefore in this study, we investigate the Po/So waves in the Philippine Sea plate (15-60 Ma), which is much younger than the Pacific Plate (130 Ma).

The Philippine Sea is one of the marginal seas of the Pacific Ocean. It is fundamentally divided into two regions bounded by the Kyushu-Palau Ridge. It is thought that these two regions were formed in different episodes of back-arc spreading and that western part (45-60 Ma) is older than eastern part (15-30 Ma) [e.g., Seno and Maruyama, 1984]. The comparison of Po/So waves propagation in the different ages of the oceanic lithosphere is expected to reveal the origin of the small-scale heterogeneities.

Seismological observations using BBOBSs was conducted in the Philippine Sea from 2005 to 2008, and high-quality Po/So waves from earthquakes in subducting Philippine Sea plate were recorded very clearly. The findings from the observed Po/So waves in the Philippine Sea plate are summarized as follows. (1) The Po/So waves propagate much effectively in western part than eastern part of the Philippine Sea. (2) The Po/So waves propagate even in youngest oceanic lithosphere (15 Ma) near the past spreading center of the Shikoku Basin.

In order to reveal the structure of the oceanic lithosphere and propagation efficiency in the Po/So waves, we performed numerical FDM simulations of 2-D seismic wave propagation in a realistic oceanic lithosphere model. The model is developed in the same procedure as the case of the Pacific plate [Shito et al., 2013]. In the oceanic lithosphere, we introduce laterally elongated small-scale heterogeneities, which are described by von Karman type stochastic random distribution function. Because the thickness of the oceanic lithosphere is considered to correlate with the age [e.g., Kawakatsu, et al. 2009], we vary the thickness of the oceanic lithosphere from 80 km to 20 km. To evaluate the fit of the computed waveforms to the data, we use the spatial attenuation of the seismic wave energy along the record section (up to 1500 km). The seismic wave energy is defined as integrated squares of amplitudes in a certain time window (25 s from the Po/So wave onset). The model with the thickness of the oceanic lithosphere of 60 km and 30 km successfully explain the spatial attenuation of the Po/So waves record section observed at western and eastern parts of the Philippine Sea, respectively. The thicknesses are consistent with those obtained by previous studies [Kawakatsu et al., 2009]

This result suggests that the oceanic lithosphere including small-scale heterogeneities grow as it ages and develop large-amplitude and long-duration of high-frequency Po/So waves. The small-scale heterogeneities may form at the bottom of the lithosphere as it cools. They suggest that small-scale melts in the asthenosphere are frozen and attached at the bottom of the lithosphere, which remain even after the lithosphere is subducted into the mantle.

Keywords: Po/So waves, Philippine Sea plate, oceanic lithosphere

## 中央海嶺のかんらん岩試料の不均質性 Multi-scale heterogeneity of abyssal peridotite

田村 明弘<sup>1\*</sup>; 森下 知晃<sup>1</sup>; 荒井 章司<sup>1</sup>  
TAMURA, Akihiro<sup>1\*</sup>; MORISHITA, Tomoaki<sup>1</sup>; ARAI, Shoji<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 金沢大学 地球学教室

<sup>1</sup>Earth Sciences, Kanazawa University

Petrological studies of peridotite have increasingly revealed the origin of magma as well as materials and processes of Earth interior. Although we now only access to the interior indirectly, we can obtain the mantle-derived material brought by magma transporter or by large tectonic reconstruction of the earth surface. At the ocean floor near the mid-ocean ridge spreading center, where the deep seated rock is exposed along spreading axis or fracture zone, abyssal peridotite is collected. The abyssal peridotite studies significantly contribute not only to understanding of the formation of oceanic lithosphere but also to development of analytical way for the mantle material. In mineralogical and geochemical approaches, chromian spinel is a good indicator for the origin; for example, the spinel Cr# reflects a partial melting degree of the upper mantle material (e.g., Dick and Bullen, 1984; Arai, 1987). Trace-element compositions of clinopyroxene allow us to discuss the melting process quantitatively (e.g., Johnson et al., 1990). Recently, further discussions can be available by using ultra-trace elements and PGE isotopes (e.g., Harvey et al., 2006; Ishikawa, 2012).

Several petrological studies of abyssal peridotite samples have demonstrated "regional-scale" heterogeneity of the upper mantle along Mid-Atlantic Ridge based on their spinel Cr# (e.g., Dick et al, 1984; Michael and Bonatti, 1985). In "Global-scope" differences between Atlantic, Indian and Pacific oceans, Niu and Hekinian (1997) proposed that the spinel Cr# of abyssal peridotite is dependent on spreading rate. Contrasting to such a heterogeneity, Ghose et al. (1996) and Dick et al. (2010) showed that the compositional variation of the abyssal peridotite is controlled by local structures at the mid-ocean ridge: for example, spreading axis, fracture zone, abyssal plane and oceanic core complex. Geochemical heterogeneity of each abyssal peridotite sample is recently discussed in aspects of magmatic event during or after partial melting stage (Tamura et al., 2008; Warren and Shimizu, 2010).

In our presentation, to review petrological characteristics of abyssal peridotite, we will demonstrate our compiling data set focused on relationship between their spinel Cr# and sample localities, such as ocean floor structures at the mid-ocean ridge. The example of abyssal peridotite sample heterogeneity are also discussed. Then, we would like to discuss the factor and significance of compositional variation of abyssal peridotite.

キーワード: 海洋底かんらん岩, スピネル組成, 海嶺構造

Keywords: abyssal peridotite, spinel, ocean floor

## 南西インド海嶺中央におけるマントルから地殻の不均質(1) -上部マントル- Heterogeneity from mantle to crust at the central Southwest Indian Ridge (1) -Upper mantle-

松野 哲男<sup>1\*</sup>; 島 伸和<sup>2</sup>; 佐藤 暢<sup>3</sup>; 佐藤 太一<sup>4</sup>; 仙田 量子<sup>5</sup>; 町田 嗣樹<sup>6</sup>; 中村 謙太郎<sup>5</sup>; 森下 知晃<sup>7</sup>; 水間 恵子<sup>2</sup>; 野木 義史<sup>1</sup>; 沖野 郷子<sup>8</sup>

MATSUNO, Tetsuo<sup>1\*</sup>; SEAMA, Nobukazu<sup>2</sup>; SATO, Hiroshi<sup>3</sup>; SATO, Taichi<sup>4</sup>; SENDA, Ryoko<sup>5</sup>; MACHIDA, Shiki<sup>6</sup>; NAKAMURA, Kentaro<sup>5</sup>; MORISHITA, Tomoaki<sup>7</sup>; MIZUMA, Keiko<sup>2</sup>; NOGI, Yoshifumi<sup>1</sup>; OKINO, Kyoko<sup>8</sup>

<sup>1</sup> 国立極地研究所, <sup>2</sup> 神戸大学, <sup>3</sup> 専修大学, <sup>4</sup> 産業技術総合研究所, <sup>5</sup> 海洋研究開発機構, <sup>6</sup> 早稲田大学, <sup>7</sup> 金沢大学, <sup>8</sup> 東京大学

<sup>1</sup>National Institute of Polar Research, <sup>2</sup>Kobe University, <sup>3</sup>Senshu University, <sup>4</sup>National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, <sup>5</sup>Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, <sup>6</sup>Waseda University, <sup>7</sup>Kanazawa University, <sup>8</sup>University of Tokyo

Mantle is heterogeneous in terms of geophysical (e.g., bathymetry, geomagnetics, and gravity) and geological (e.g., petrology and geochemistry) aspects. Because heterogeneity is enhanced at slow spreading ridge, the ultra-slow spreading Southwest Indian Ridge (SWIR) is suitable for understanding the heterogeneity. We conducted geophysical and geological investigations since 2007 at the segment along the central SWIR between 35°E and 40°E, where the ridge segment is close to the Marion hotspot.

Serpentinised mantle peridotites occurring as clasts in the conglomerate were dredged from a topographic high within the Prince Edward fracture zone at 35°E. A marine electromagnetic experiment was conducted along a 110 km transect across a subsegment at 37°E to reveal an electrical resistivity structure of the upper mantle.

The peridotites are considered to have originally been lherzolite based on petrographic and mineral chemical composition analyses. Chemical compositions of spinel (Cr# and Mg#) in the peridotites suggest that the peridotites have undergone moderate partial melting without enhancement of melting by the hotspot regardless of proximity of the dredge site to the Marion hotspot. Light rare earth elements of clinopyroxene are more depleted than were previously reported for SWIR peridotites, suggesting that the peridotites have undergone little to no metasomatism of a melt-mantle interaction. Osmium isotope ratios are highly depleted, resulting in that a model age of rhenium depletion ( $T_{RD}$ ) is 1 billion years. These results suggest that the dredged peridotites have not been enriched after the last melt extraction event 1 billion years ago, preserve their initial depleted compositions without hotspot effects, and show the presence of a refractory mantle domain under the central SWIR.

A preliminary 2-D electrical resistivity structure of the upper mantle down to 200 km depth does not show a remarkable conductive melting region beneath the ridge axis and a more conductive asthenospheric mantle than those observed at other mid-ocean ridges. The resistivity model suggests that the presence of the Marion hotspot does not result in enhancement of melt production beneath the ridge and enrichment of conductors like water in the upper mantle at present.

The result of this study suggests that the source mantle contain ancient, refractory, and depleted portion. This mantle may be a part of the depleted mantle prevailed under the Marion Rise, which was proposed by Zhou and Dick (2013) and may be supported by the absence of slow velocity anomalies around the Marion hotspot in upper mantle seismic tomography images (e.g., Zhao, 2007).



## 南西インド海嶺中央におけるマントルから地殻の不均質(2) -地殻- Heterogeneity from mantle to crust at the central Southwest Indian Ridge (2) -Crust-

佐藤 暢<sup>1\*</sup>; 佐藤 太一<sup>2</sup>; 町田 嗣樹<sup>3</sup>; 仙田 量子<sup>4</sup>; 松野 哲男<sup>8</sup>; 島 伸和<sup>5</sup>; 中村 謙太郎<sup>6</sup>; 森下 知晃<sup>7</sup>; 野木 義史<sup>8</sup>; 沖野 郷子<sup>9</sup>

SATO, Hiroshi<sup>1\*</sup>; SATO, Taichi<sup>2</sup>; MACHIDA, Shiki<sup>3</sup>; SENDA, Ryoko<sup>4</sup>; MATSUNO, Tetsuo<sup>8</sup>; SEAMA, Nobukazu<sup>5</sup>; NAKAMURA, Kentaro<sup>6</sup>; MORISHITA, Tomoaki<sup>7</sup>; NOGI, Yoshifumi<sup>8</sup>; OKINO, Kyoko<sup>9</sup>

<sup>1</sup> 専修大学, <sup>2</sup> 産総研, <sup>3</sup> 早稲田大学, <sup>4</sup> 海洋研究開発機構, <sup>5</sup> 神戸大学, <sup>6</sup> 東京大学工学部, <sup>7</sup> 金沢大学, <sup>8</sup> 国立極地研究所, <sup>9</sup> 東京大学大気海洋研究所

<sup>1</sup> Senshu Univ., <sup>2</sup> AIST, <sup>3</sup> Waseda Univ., <sup>4</sup> JAMSTEC, <sup>5</sup> Kobe Univ., <sup>6</sup> Dept. System Innovation, Univ. of Tokyo, <sup>7</sup> Kanazawa Univ., <sup>8</sup> NIPR, <sup>9</sup> AORI, Univ. of Tokyo

Mantle is heterogeneous in terms of geophysical (e.g., bathymetry, geomagnetics, and gravity) and geological (e.g., petrology and geochemistry) aspects. Because heterogeneity is enhanced at slow spreading ridge, the ultra-slow spreading Southwest Indian ridge is suitable for understanding the heterogeneity. We conducted geophysical and geological investigations since 2007 at the segment along the central Southwest Indian Ridge (SWIR) between 35E and 40E, where the ridge segment is close to the Marion hotspot.

Recent investigations of topography and geophysics along the central Southwest Indian ridge between 35E and 40E (Sato, T. et al., 2013) classify the segment between the Prince Edward and Eric Simpson fracture zones as four subsegments: PE-1, PE-2, PE-3, and PE-4 from west to east. A long oblique axial valley (NTD-1) is recognized between PE-1 and PE-2. Geochemical and isotopic compositions of MORB samples from these subsegments consist with previously reported MORB and/or SWIR basalts. However, small scale geochemical and isotopic heterogeneity are recognized in these samples. Sato, T. et al. (2013) considered that strong melt-focusing could be principle process to produce volcanic and low volcanic subsegment rather than the effect of proximity to the Marion hotspot. Continuous seafloor morphology and isochrons over off-axis areas of segment PE-1 and NTD-1 suggest that PE-1 shortened after the C2An chron, indicating the magmatic process has changed for several million years.

Among MORB from the subsegments, PE-1 and NTD-1, geochemically enriched sample (e.g. those with  $La/Sm > 1$ ) are enriched in isotope (higher Sr and lower Nd), suggesting that enrichment is due to source enrichment rather than smaller degree of melting of the homogeneous source mantle. Although geochemical and isotopic compositions could be explained by the mixture of depleted MORB source and the Marion components, contribution of the Marion component is limited only in the eastern part of PE-1 and NTD-1 subsegments. Therefore, it is reasonable to consider that source mantle beneath eastern part of PE-1 segment contains the enriched Marion components rather than direct contribution from Marion hotspot. Degree of enrichment (i.e. amount of enriched component) is higher beneath the present eastern part of PE-1 subsegment.

Sato, T. et al. (2013) pointed out that the melt supply center (tip of V-shaped bathymetric structure) between segment PE-1 and NTD-1 has migrated westward. It means that the enriched portion in the source mantle beneath PE-1 and NTD-1 subsegments has migrated westward. Melting of enriched, probably preferentially melting, components induced the strong melt-focusing process to form the V-shape bathymetric structure between PE-1 and NTD-1. This constraints the spatial scale and type of enriched component in depleted mantle.

### References

Sato, T., K. Okino, H. Sato, M. Mizuno, T. Hanyu, and N. Seama (2013), Magmatic activities on the Southwest Indian Ridge between 35E and 40E, the closest segment to the Marion hotspot, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 14, 5286?5307, doi:10.1002/2013GC004814.

Keywords: heterogeneity, mantle, crust, MORB, Southwest Indian Ridge

## 中央インド洋海嶺ヨコニワ熱水域における高磁化帯の起源 Origin of Magnetization High at the Yokoniwa Hydrothermal Vent Fields, the Central Indian Ridge

藤井 昌和<sup>1\*</sup>; 沖野 郷子<sup>1</sup>; 佐藤 太一<sup>2</sup>; 佐藤 暢<sup>3</sup>; 中村 謙太郎<sup>4</sup>

FUJII, Masakazu<sup>1\*</sup>; OKINO, Kyoko<sup>1</sup>; SATO, Taichi<sup>2</sup>; SATO, Hiroshi<sup>3</sup>; NAKAMURA, Kentaro<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 東京大学大気海洋研究所, <sup>2</sup> 産業技術総合研究所, <sup>3</sup> 専修大学, <sup>4</sup> 東京大学

<sup>1</sup>AORI, University of Tokyo, <sup>2</sup>Geological survey of Japan, AIST, <sup>3</sup>Senshu University, <sup>4</sup>University of Tokyo

Measurement of near bottom magnetic anomalies is an effective method to reveal the spatial extent of hydrothermal alteration zone and to find buried hydrothermal vent fields because hydrothermal alteration processes can change crustal magnetization by destruction and creation of magnetic minerals. In the Yokoniwa vent field (YVF), which is located at the top of the non-transform offset massif, called the Yokoniwa Rise, in the southernmost part of the Central Indian Ridge, a high magnetization zone was discovered by AUV r2D4 in 2009. Basalts and ultramafic rocks were found around the YVF, however the origin of positive magnetization and the relationships between high magnetization and hydrothermal activity are remains to be investigated.

In order to constrain the origin of magnetic source near the YVF, we conducted deep-sea geological observation and magnetic measurements using submersible Shinkai 6500 during the R/V Yokosuka cruises, YK09-13 and YK13-03. Vector geomagnetic field were successfully obtained along the all dive tracks at an altitude of ~10 m. The distribution of crustal magnetization is estimated by vertical and horizontal components of magnetic anomalies using the 2-dimensional forward modeling technique and frequency analysis.

In the southern slope of the Yokoniwa Rise, serpentized-peridotites were discovered and absolute magnetization shows entirely low (~6 A/m). On the other hand, just around the YVF, hydrothermal sulfide deposits, tiny dead chimneys, shimmering and talc were observed and absolute magnetization shows relatively high (9 A/m). This magnetization contrast between the YVF and the surrounding area may be attributed to the difference in amount of magnetite, controlled by the degree and the temperature of serpentization. One of the serpentized-peridotite recovered during the cruises showed large amount of magnetite and high natural remanent magnetization. However, the highest absolute magnetization (20 A/m) was discovered at pillow basalt area with thin sediment just ~700 m away from the YVF, implying recent off-axis volcanic activity. Therefore basaltic intrusion beneath the YVF is also possible for the origin of high magnetization. In addition, magnetic iron sulfide (pyrrhotite) grown during hydrothermal circulation, which is proposed at the Rainbow hydrothermal vent field, is also possible.

**Consequently, we proposed three possibilities for the origin of high magnetization at the YVF; serpentized peridotites with high temperature hydrothermal alteration, basaltic intrusion bodies, and pyrrhotites concentration. All of these hypotheses are related to hydrothermal activity. For the further inspection, recovering subseafloor rocks and inspection of rock magnetic properties are absolutely necessary.**

キーワード: 海底熱水系, 中央海嶺, 超塩基性岩, 深海磁気異常, オフアクシス火成活動, 海洋性地殻

Keywords: Seafloor hydrothermal activity, Mid-ocean ridge, Ultramafic rock, Deepsea magnetic anomaly, Off-axis volcanism, Oceani lithosphere

## 大西洋中央海嶺北緯36度レインボー地域における3次元地震波速度構造 Three-dimensional seismic structure of the Rainbow area, Mid-Atlantic Ridge 36 degree N

新井 隆太<sup>1\*</sup>; ダン ロバート<sup>1</sup>; キャナレス パブロ<sup>2</sup>; ソン ロバート<sup>2</sup>  
ARAI, Ryuta<sup>1\*</sup>; DUNN, Robert<sup>1</sup>; CANALES, Pablo<sup>2</sup>; SOHN, Robert<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ハワイ大学, <sup>2</sup> ウッズホール海洋研究所

<sup>1</sup>University of Hawaii, <sup>2</sup>Woods Hole Oceanographic Institution

Oceanic lithosphere formed along slow-spreading mid-ocean ridges is structurally and compositionally heterogeneous due to spatial and temporal variations in tectonic extension, magmatic accretion, and mantle temperature and composition. While mid-ocean ridges with greater magma supply host a greater abundance of hydrothermal systems, the relative roles of magmatic input, heat advection and faulting in controlling ridge structures are still poorly understood. These are particularly important to understanding formation and evolution of oceanic core complexes where ultramafic-hosted lithologies are exhumed at the seafloor by long-lived detachment faulting. The MARINER (Mid-Atlantic Ridge INtegrated Experiments at Rainbow) seismic and geophysical mapping experiment was designed to examine the relationship between tectonic rifting, heat/melt supply, and oceanic core complex formation at a non-transform offset of the Mid-Atlantic Ridge, 36° 14' N, the site of the ultramafic-hosted Rainbow hydrothermal system. Using the seismic refraction data from this experiment, we constructed three-dimensional tomographic images of the crust and upper mantle around the Rainbow area. The seismic velocity images reveal undulations in crustal thickness across the ultramafic Rainbow massif, indicating temporal variations in melt supply, magmatic processes, and crustal construction. Previous studies suggest that a current heat source for the vents, which probably arises from a magmatic body, is required just beneath the hydrothermal vent, but the tomography does not detect a low-velocity anomaly indicating a significant magmatic system or high-temperature region beneath the Rainbow vent site. The only candidate region for high-temperatures and perhaps melt at shallow levels is much further to the south, and located roughly beneath the central valley of the spreading center. At the Rainbow massif, where mantle rocks have been recovered by direct sampling, mantle velocities near the seafloor are significantly reduced to ~ 5 km/s. This velocity reduction implies that an active hydrothermal circulation system altered the mantle via recharge and discharge of seawater.

Keywords: Slow-spreading ridge, Oceanic core complex, Rainbow hydrothermal field, Mantle alteration, Hydrothermal circulation, Seismic tomography



古い海洋上部マントルの温度構造：北西太平洋における電気伝導度構造イメージングからの制約  
Thermal structure of old oceanic upper mantle: Constraints from electrical conductivity imaging in the NW Pacific

馬場 聖至<sup>1\*</sup>; 多田 訓子<sup>2</sup>; liang pengfei<sup>1</sup>; Zhang Luolei<sup>1</sup>; 清水 久芳<sup>1</sup>; 歌田 久司<sup>1</sup>  
BABA, Kiyoshi<sup>1\*</sup>; TADA, Noriko<sup>2</sup>; LIANG, Pengfei<sup>1</sup>; ZHANG, Luolei<sup>1</sup>; SHIMIZU, Hisayoshi<sup>1</sup>; UTADA, Hisashi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学地震研究所, <sup>2</sup> 海洋研究開発機構

<sup>1</sup>Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, <sup>2</sup>Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

太平洋プレートの北西部は、海洋底年代が100Ma以上と非常に古い。このような古い海洋底の水深や熱流量などは、ある一定の厚さのプレートが年代とともに冷却されるモデルで説明される（例えば、Parsons & Sclater, 1977; Stein & Stein, 1992）。上部マントルの電気伝導度構造も第一義的には温度構造を反映するので、浅部の低電気伝導度層とその下の高電気伝導度領域という典型的な特徴を持つ。しかしながら、我々が推定した北西太平洋域の上部マントル電気伝導度構造は、必ずしも単純・均一なプレート冷却モデルだけでは説明できないことを示唆している。

我々は、2010年より北西太平洋シャツキー海台の北西（A 海域）および南東（B 海域）において、海底電磁気観測を行っている。観測は現在も一部継続中であるが、昨年までに取得されたデータを用いてマグネトテルリック法に基づく電磁場応答関数の推定と1次元電気伝導度構造インバージョン解析を行った結果、両海域の上部マントル1次元電気伝導度構造を推定することができた。ここでは、これらに先行プロジェクトで得られた小笠原沖太平洋域（C 海域）の電気伝導度構造（Baba et al., 2010）と併せた、3つの海域の電気伝導度構造モデルを比較する。A、B、C 海域の平均的な海洋底年代は、それぞれ約130、140、147Maである。プレート冷却モデルに基づく、これらの年代差による温度構造の違いは非常に小さい。ところが電気伝導度構造モデルは、高電気伝導度領域が現われる深さ（あるいは低電気伝導度層の厚さ）が海域によって有意に異なる。0.01S/mよりも高電気伝導度になる深さに注目すると、A 海域では約80km、B 海域では約110km、C 海域では約200kmである。これらの差は、単一のプレート冷却モデルの年代差では説明することが難しい。

3 海域での電気伝導度構造モデルは、少なくとも個々の観測範囲よりも大きなスケールで横方向の不均質構造があることを示す。その差は、単一のプレート冷却モデルに基づく海底年代の差では説明できないので、年代以外で横方向不均質をつくる要因を考える必要がある。

キーワード: 海洋上部マントル, 北西太平洋, マグネトテルリック法, 電気伝導度構造, 温度構造

Keywords: oceanic upper mantle, northwestern Pacific, magnetotellurics, electrical conductivity structure, thermal structure

## 太平洋地域の海洋地殻より採取されたトロクトライトの白金族元素とOs同位体比 PGE abundances and Os isotope ratios of troctolites from pacific oceanic lithosphere

仙田 量子<sup>1\*</sup>; 石川 晃<sup>2</sup>; 森下 知晃<sup>3</sup>; 鈴木 勝彦<sup>1</sup>; 石井 輝秋<sup>4</sup>  
SENDA, Ryoko<sup>1\*</sup>; ISHIKAWA, Akira<sup>2</sup>; MORISHITA, Tomoaki<sup>3</sup>; SUZUKI, Katsuhiko<sup>1</sup>; ISHII, Teruaki<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 独立行政法人海洋研究開発機構, <sup>2</sup> 東京大学大学院総合文化研究科, <sup>3</sup> 金沢大学理工研究域自然システム学系, <sup>4</sup> 公益財団法人 深田地質研究所

<sup>1</sup>JAMSTEC, <sup>2</sup>Department of Earth Science and Astronomy, The University of Tokyo, <sup>3</sup>School of Natural System, College of Science and Technology, Kanazawa University, <sup>4</sup>Fukada Geological Institute

The structure of oceanic lithosphere becomes much clear in these days. Troctolite is a kind of gabbro, mainly consisting of olivine and calcic plagioclase with minor pyroxene, found in oceanic lithosphere. Melt-rock interactions at mantle-crust transition zone are believed to play a main role for troctolite formation. Troctolites are locally found at Atlantis Massif oceanic core complex, Mid Atlantic Ridge 30° N (Blackman et al., 2006), at Kane Megamullion, Mid Atlantic Ridge 23° N (Dick et al., 2008; 2010), at Uraniwa Hills, Central Indidan Ridge (Nakamura et al., 2009), and at Godzilla Megamullion, Parece Vela Basin of the Philippine Sea (Sanfilippo et al., 2013). They also occurred as sections of the oceanic lithosphere in ophiolites and show similarity to lower crust sections from slow and ultra-slow spreading ridges (e.g., Herbert et al., 1989; Sanfilippo and Tribuzio, 2013). The formation process of the troctolites is in debate. From the ophiolite studies, troctolites were formed as cumulates from primitive basalts in a closed system (Bezzi and Piccardo, 1970; 1971; Borghini and Rampone, 2007). Alternatively, troctolites were the results of a substantial amount of mantle olivine incorporated into the lower oceanic crust (Suhr et al., 2008; Drouin et al., 2009; 2010) based on the studies of oceanic core complex.

Troctolites were also found in the drilled core at site 895 of ODP Leg 147 in Hess Deep, located at a triple junction between EPR and Cocos-Nazca plate boundary. Hess Deep is a small rift with intra-rift ridges, where deep-seated rocks probably formed at EPR are exposed (Francheteau et al., 1990; 1992). Ultramafic and related rocks were expected to be found at the site in fast-spreading ridge system and sequences of dunite, harzburgite, troctolite, and gabbro were actually drilled (Allan and Dick, 1996; Dick and Natland, 1996; Arai and Matsukage, 1996). Troctolite appears to be transitional from dunite to olivine gabbro (Arai and Matsukage, 1998).

Major, trace and platinum group element (PGE) abundances and Os isotope ratios of troctolites from Holes 895C, 895D and 895E were newly measured using XRF, ICP-MS, and TIMS. The samples are clearly divided in two groups by Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO and NiO. Prichard et al. (1996) reported the PGE and trace element abundances of the ultramafic rocks from Holes 895. Their PGE concentrations of the troctolites were in a similar range to harzburgites and dunites from the same sites and Pt and Pd are enriched in some troctolites. They also found platinum-group alloys and base metals in troctolites. New data set with Os isotope ratios possibly make constraints on the forming process of troctolites under the oceanic ridge.

キーワード: トロクトライト, オスミウム同位体組成, 白金族元素存在度, 海洋プレート  
Keywords: troctolite, Os isotope ratio, PGE abundance, oceanic lithosphere

**海洋底トロクトライトの成因：メルトーマントル反応によるモホ面の形成**  
**The origin for the olivine-rich troctolites from the oceanic lithosphere: remnants of a reactive MOHO**

太陽降穂 荒潮<sup>1\*</sup>; 森下 知晃<sup>2</sup>; 原 香織<sup>2</sup>; 田村 明弘<sup>2</sup>; 荒井 章司<sup>2</sup>  
SANFILIPPO, Alessio<sup>1\*</sup>; MORISHITA, Tomoaki<sup>2</sup>; HARA, Kaori<sup>2</sup>; TAMURA, Akihiro<sup>2</sup>; ARAI, Shoji<sup>2</sup>

<sup>1</sup>パヴィア大学, 金沢大学, <sup>2</sup>金沢大学

<sup>1</sup>University of Pavia, Kanazawa University, <sup>2</sup>Kanazawa University

近年、海洋底からトロクトライトが多く採取されている。本研究は、これらのトロクトライトの記載岩石学的特徴を明らかにし、相互を比較することでトロクトライトの成因について検討する。また、このトロクトライトの成因と海洋プレートのモホ面形成との関連性について言及したい。

キーワード: 海洋底, かんらん岩, トロクトライト, メルトとマントル反応, モホ  
Keywords: Ocean floor, Peridotite, Troctolite, Melt-Mantle reaction, Moho

多結晶体の非弾性特性の実験的研究：上部マントル地震波構造の定量的解釈を目指して  
Experimental study of anelasticity of a polycrystalline material for seismological application

武井 康子<sup>1\*</sup>; 山内 初希<sup>1</sup>; 柄澤 史也<sup>2</sup>  
TAKEI, Yasuko<sup>1\*</sup>; YAMAUCHI, Hatsuki<sup>1</sup>; KARASAWA, Fumiya<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東京大学地震研究所, <sup>2</sup>Yahoo, Japan

<sup>1</sup>Earthquake Research Institute, Univ. of Tokyo, <sup>2</sup>Yahoo, Japan

海洋プレートの地震波速度構造や減衰構造から、その温度構造、化学構造、メルト分布、粒径分布などの情報を取り出す際に必要となるのが、岩石の非弾性特性である。この非弾性特性には未知の部分が多いため、アセノスフェアの低速度の原因が温度か水かメルトかといった基本的な問いにも答えることができない。岩石試料の非弾性特性を調べるためには、1000℃以上の高温で、しかも地震波に相当するような低周波数(1-0.001 Hz)と歪み振幅( $<10^{-6}$ )で弾性定数と減衰を測定する必要がある。このような実験は難しいため、温度や粒径依存性を系統的に調べたデータは、I. Jackson 達のグループが発表した一連のデータがあるのみで、実験データの不足からスケーリング則やメカニズムの解明がなかなか進まない。私達は、データの不足を補うために、岩石のアナログ物質として有機物(ボルネオール)の多結晶体を用いた実験を行っている。岩石よりも融点の低いアナログ物質を使うことで、常温近傍で実験を行うことができ、弾性定数と減衰を約6桁に及ぶ広周波数帯域で精度良く測定できるため、個々の物質に依存しない多結晶体に普遍的な物理メカニズムの解明に有効である。

これまでの研究で、多結晶体の非弾性特性と粘性に密接な関係があることを明らかにし、マックスウエル周波数  $f_m$  を用いた非弾性のスケーリング則,  $Q = Q(f/f_m)$ , を提案した (McCarthy, Takei, and Hiraga, 2011, JGR)。Priestley and McKenzie (2013, EPSL) は、この非弾性モデルを用いて、グローバルな横波速度構造から、海洋プレートおよび陸のプレートの温度構造、粘性構造、減衰構造を求めた。しかし、McCarthy et al (2011) のデータの規格化周波数は、マントルにおける地震波の規格化周波数 ( $10^6 < f/f_m < 10^9$ ) に比べて有意に低いため、より高い規格化周波数帯域での実験データを取得して、このスケーリング則の地震波への適用可能性を調べることが重要な課題となった。

私達は、岩石アナログ物質の非弾性をより低温・高周波で測定し、規格化周波数の高い帯域でのデータを取得している。これまでの結果から、規格化周波数が  $10^4$  以上の帯域(地震波帯域を含む)での非弾性の振る舞いは、マックスウエル周波数  $f_m$  による単純なスケーリング則のみではとらえきれないことが分かった。特に、不純物による多結晶体の非弾性緩和の促進が、マックスウエルスケーリング則からの予想よりも(つまり、粘性への影響から予想されるよりも)はるかに大きいことが分かった。不純物には、多結晶体の融点を大きく低下させる働きがあるため、この実験結果は、多結晶体とその融点に近づいたことで非弾性緩和が促進されたとも解釈できる。上部マントルでは岩石が融点に近い温度にあり、このような場所での地震波速度構造の解釈には、融点近傍での多結晶体の非弾性特性を理解することが重要になると考えている。

キーワード: 非弾性, 多結晶体

Keywords: anelasticity, polycrystalline material

## Seismic structural changes in the incoming oceanic plate beneath the well-developed horst and grabens Seismic structural changes in the incoming oceanic plate beneath the well-developed horst and grabens

藤江 剛<sup>1\*</sup>; 高橋 努<sup>1</sup>; 小平 秀一<sup>1</sup>; 尾鼻 浩一郎<sup>1</sup>; 山田 知朗<sup>2</sup>  
FUJIE, Gou<sup>1\*</sup>; TAKAHASHI, Tsutomu<sup>1</sup>; KODAIRA, Shuichi<sup>1</sup>; OBANA, Koichiro<sup>1</sup>; YAMADA, Tomoaki<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 海洋研究開発機構, <sup>2</sup> 東京大学地震研究所  
<sup>1</sup>JAMSTEC, <sup>2</sup>ERI, Univ. of Tokyo

近年の海溝周辺の各種構造研究の進展から、海洋プレートが海溝から沈み込む直前にプレート折れ曲り断層が発生する海域では、海洋プレート構造の変質が進んでいることが明らかになってきた。その変質は、折れ曲り断層の発達に伴う亀裂の増加と、水の浸透によるものと解釈されている。しかし、変質がどの深度まで到達しているのか、水の供給源や浸透メカニズムはどのようになっているかなど未解明な課題が数多く残っている。たとえば、水の供給源としては第一には海が考えられているが、折れ曲り断層が海底面には到達していない場所でも海洋地殻内の水量が増加しており、堆積層の底から堆積層基盤に生じた微小な亀裂を通して水が海洋地殻内に浸透している可能性も指摘されている。

日本海溝域や千島海溝域は、プレート折れ曲り断層に伴いホルスト・グラベン構造が世界でもっとも発達している海域の一つであり、沈み込む直前の海洋プレート構造の変質過程を研究するのに適した海域である。しかし、水深が大きくホルスト・グラベンが観測される場所には従来型の海底地震計を設置できないため、これまではもっとも構造変質が進んでいると考えられる海溝軸周辺の調査が実施できていなかった。

そこで、2013年夏、我々は大深度でも調査可能な海底地震計を用いて三陸沖で日本海溝を横切る構造調査を実施した。その結果、海溝軸周辺では海洋マントルまで構造変質が進んでいることを確認できた。さらに、これまでの調査では堆積層内を鉛直方向に伝播した波しか観測できていなかったが、グラベンの中にも海底地震計を設置したことで、堆積層内を横方向に伝播したと解釈されるフェーズを観測することに成功し、堆積層内の滞水構造について新たな知見を得ることができた。その結果は、堆積層の下部が海洋地殻への水の供給源となり得ることを示唆するものである。

キーワード: 海洋プレート, 海溝, アウターライズ, 折れ曲り断層, 含水, 海底地震計

Keywords: oceanic plate, trench-outer rise region, bending-related faults, seismic structure, water contents, ocean bottom seismometer



## ABISMOがマリアナ海溝チャレンジャー海淵で採取した堆積物コアのマフィック鉱物

### Mafic minerals within a sediment core sampled by ABISMO in Mariana Trench

道林 克禎<sup>1\*</sup>; 照峰 直伸<sup>2</sup>; 針金 由美子<sup>3</sup>; 布浦 拓郎<sup>4</sup>; 上原 茂樹<sup>1</sup>; 小原 泰彦<sup>5</sup>; 宮崎 淳一<sup>4</sup>; 高井 研<sup>4</sup>  
MICHIBAYASHI, Katsuyoshi<sup>1\*</sup>; TERUMINE, Naonobu<sup>2</sup>; HARIGANE, Yumiko<sup>3</sup>; NUNOURA, Takuro<sup>4</sup>; UEHARA, Shigeki<sup>1</sup>  
; OHARA, Yasuhiko<sup>5</sup>; MIYAZAKI, Junichi<sup>4</sup>; TAKAI, Ken<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 静岡大学理学研究科地球科学専攻, <sup>2</sup> 静岡大学理学部地球科学科, <sup>3</sup> 産業技術総合研究所地質情報研究部門, <sup>4</sup> 海洋研究開発機構, <sup>5</sup> 海上保安庁海洋情報部

<sup>1</sup>Institute of Geosciences, Shizuoka University, <sup>2</sup>Institute of Geosciences, Shizuoka University, <sup>3</sup>AIST/GSJ, <sup>4</sup>JAMSTEC, <sup>5</sup>Hydrographic and Oceanographic Department of Japan

Mariana Trench is one of the deepest oceans in the world more than 10,000 m depth. Although the mantle section outcrops along the land-side slope of the southern Mariana Trench, the studied depth so far is approximately shallower than 7,000 m and therefore few geological information is available for the mantle section deeper than 7,000 m. In 2008, a sediment core has been sampled at 10,350 m in Challenger Deep of Mariana Trench by ABISMO (Automatic Bottom Inspection and Sediment Mobile) during KR08-05 cruise. The sediment core is 161.5 cm in length and contains mafic sandy grains such as olivine and spinel. In this study, we sampled the mafic minerals from the sediment core and analyzed their major element compositions. As a result, the chemical compositions of the mafic sandy grains were compatible with those of mafic minerals within the peridotites along the land-side slope of Mariana Trench shallower than 7,000 m. We will discuss the origin of these sandy grains.

Keywords: ABISMO, Mariana Trench, Challenger Deep, sediment core, spinel, olivine

## クロミタイト温度圧力履歴の指示者としての高Ni・Mgかんらん石 High Ni and Mg olivine as a time recorder of chromitite P-T history

三浦 真<sup>1\*</sup>; 荒井 章司<sup>1</sup>; 山本 伸次<sup>2</sup>; シュメレフ ブラディミール<sup>3</sup>  
MIURA, Makoto<sup>1\*</sup>; ARAI, Shoji<sup>1</sup>; YAMAMOTO, Shinji<sup>2</sup>; SHMELEV, Vladimir<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 金沢大学大学院 自然科学研究科, <sup>2</sup> 東京大学大学院 総合文化研究科, <sup>3</sup> ウラル ロシア科学アカデミー 地質・地球化学研究科

<sup>1</sup>Department of Earth Sciences, Kanazawa University, <sup>2</sup>Department of Earth Science and Astronomy, University of Tokyo,

<sup>3</sup>Institute of Geology and Geochemistry, Ural Branch Russian Academy of Sciences

High Ni and Mg olivines were found in dunites enveloping podiform chromitites from Oman, Ray-Iz and Luobusa ophiolites. These high Ni and Mg olivines occur only in dunite adjacent to chromitite. This characteristic suggests subsolidus Ni and Mg diffusion from the chromites of the chromitite. In the case of dunite enveloping concordant chromitite from Oman ophiolite, olivines show high NiO (up to 0.5 wt %) and Fo (around 92 mol %) contents. This is not the case, however, for the dunite envelope around the discordant chromitite in the Oman ophiolite. On the other hand, olivines in dunite enveloping UHP chromitites from Ray-Iz and Luobusa ophiolites are extraordinarily high in Fo value (94 - 96) and NiO (around 0.5 wt %). Silicate exsolution lamellae in spinel from UHP chromitites and concordant chromitite suggest that these chromitites have experienced substantial cooling, and probably decompression, for a longer period than the discordant chromitite from Oman. According to the well-known Ni and Mg diffusion coefficients in olivine, the high-Ni and -Mg olivine in the dunite envelope may constrain the cooling duration of the chromitite and the history of ophiolite. Podiform chromitites are enigmatic in origin, and their origins should be systematically classified to understand concerning mantle processes. Their temporal relationship is a clue to solve this problem.

キーワード: かんらん石, Ni・Mg 拡散, ポディフォーム・クロミタイト, 低圧クロミタイト, 超高压クロミタイト, 温度圧力履歴

Keywords: Olivine, Ni and Mg diffusion, Podiform chromitite, Low pressure chromitite, Ultra-high pressure chromitite, P-T history

小笠原諸島とオマーンオフィオライトに産する初生無人岩の地球科学的な特徴と生成条件—メルト包有物研究からの見識  
Geochemistry and genetic conditions of primary boninites from the Ogasawara Island Group and Oman ophiolite

北村 啓太郎<sup>1\*</sup>; 金山 恭子<sup>1</sup>; 海野 進<sup>1</sup>; 石塚 治<sup>2</sup>; 草野 有紀<sup>1</sup>  
KITAMURA, Keitaro<sup>1\*</sup>; KANAYAMA, Kyoko<sup>1</sup>; UMINO, Susumu<sup>1</sup>; ISHIZUKA, Osamu<sup>2</sup>; KUSANO, Yuki<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 金沢大学地球学教室, <sup>2</sup> 産業技術総合研究所

<sup>1</sup>Department of Earth Sciences, Kanazawa University, <sup>2</sup>Geological Survey of Japan/AIST

Subduction initiation and arc crust evolution along oceanic plate boundaries are fundamental processes that modify oceanic lithosphere and promotes the material evolution of the Earth. How subduction of oceanic plates initiates and develops largely depend on the thermochemical structure and mechanical strength of the colliding two plates. The resulting conditions of the wedge mantle can be best represented by the varying geochemistry of primary magmas produced through the subduction initiation. For example, the subduction zone in the Izu-Bonin (Ogasawara)-Mariana (IBM) arc started with an intense high-Si to low-Si boninite magmatism during 48-45 Ma (Ishizuka et al., 2006; Kanayama et al., 2012). By contrast, the subduction stage of the Oman Ophiolite lacked typical boninite and is characterized by the low-Si boninite magmatism (Ishikawa et al., 2002; Kusano et al., 2014). Because of its high Mg#s and andesitic chemistry, boninite is generally considered to be a candidate of a primary magma derived from the hydrous upper mantle, and therefore, its compositional variations reflect various thermochemical conditions of the source mantle. The geochemical and petrological studies on boninite magma genesis can provide crucial information on the evolution of arc and the formation of continental crust. Boninites are distinct from ordinary arc magmas in highly depleted U-shaped and depleted spoon-shaped chondrite-normalized rare earth elements (REE) patterns.

We have investigated melt (glass) inclusions enclosed by boninite-derived chrome spinel grains in beach sand, called “uguisu-zuna” from Ogasawara islands, and in wadi sand from the Oman Ophiolite. We analyzed major- and trace-element compositions of the boninitic melt inclusions by EPMA and LA-ICP-MS (Kanazawa Univ.) and H<sub>2</sub>O by SIMS (Hokkaido Univ. Creative Research Institution). Glass inclusions in spinel have more Mg-rich compositions than aphyric whole rocks, indicating their primitive nature since derivation from the source mantle, which experienced least modification by the processes such as crystal fractionation, and assimilation and contamination by the crust. Volatile measurements of melt inclusions confirmed that they were only slightly degassed and retain primitive contents. Five geochemical types (BIC-1~5) are identified among boninites from the Ogasawara Islands and a single geochemical type from the Oman Ophiolite. Both Ogasawara and Oman low-Si boninites show lower H<sub>2</sub>O contents than high-Si boninites. Assuming that the most magnesium-rich melts of each geochemical type in Ogasawara and Oman boninites coexisted with olivine and orthopyroxene, the P-T conditions of these primary boninite magmas were estimated by using the geothermobarometers of Putirka et al. (2007) and Putirka (2008). High-Si boninites erupted on the Ogasawara Islands during 48-46 Ma were generated at 1400-1440 °C and 0.7-0.9 GPa, whereas the subsequent low-Si boninite at 45 Ma formed at 1380-1400 °C and 0.8-0.95 GPa. This suggest that the geothermal gradient descended from 48 Ma to 45 Ma. On the other hand, low-Si boninite from the Oman Ophiolite was generated at 1320 °C and 0.5 GPa. Hence, it is apparent that the wedge mantle beneath the proto-IBM arc was significantly hotter than that in the Oman paleoarc.

キーワード: 沈み込み開始, IBM 前弧域, オマーンオフィオライト, 高 Si 無人岩, 低 Si 無人岩, メルト包有物  
Keywords: subduction initiation, IBM forearc, Oman Ophiolite, high-Si boninite, low-Si boninite, melt inclusion

## 伊豆—小笠原—マリアナ弧創成期マントルウェッジの温度組成構造および島弧発達過程 Thermo-chemical evolution of mantle wedge during the incipient stage of the Izu-Ogasawara-Mariana subduction zone

金山 恭子<sup>1\*</sup>; 北村 啓太郎<sup>2</sup>; 海野 進<sup>1</sup>; 石塚 治<sup>3</sup>  
KANAYAMA, Kyoko<sup>1\*</sup>; KITAMURA, Keitaro<sup>2</sup>; UMINO, Susumu<sup>1</sup>; ISHIZUKA, Osamu<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 金沢大学理工学域, <sup>2</sup> 金沢大学大学院自然科学研究科, <sup>3</sup> 産業技術総合研究所地質情報研究部門

<sup>1</sup>College of Science and Engineering, Kanazawa University, <sup>2</sup>Graduate School of Natural Science and Technology, Kanazawa University, <sup>3</sup>Geological Survey of Japan/AIST

プレート沈み込み帯の形成と島弧の発達過程を解明することは、大陸の形成をはじめとした地球の物質的進化を理解する上で重要である。本研究では、小笠原群島を含めた小笠原海嶺で生じたマグマの生成条件とその時空間変化を推定し、長期にわたって活動を継続する海洋性島弧の代表例である IBM 弧の沈み込み帯形成初期のマントルウェッジの温度組成構造を考察した。小笠原海嶺では、52Ma に太平洋プレートが沈み込みを開始した直後、中央海嶺的なマグマ (forearc basalt: FAB) を発生し、遷移型島弧ソレイトを経て、48Ma には希土類元素に高度に枯渇し、SiO<sub>2</sub> に富んだ無人岩 (高 Si 無人岩) を発生、45Ma に低枯渇で SiO<sub>2</sub> に比較的乏しい低 Si 無人岩に変化し、やがて通常の島弧ソレイト・カルクアルカリ岩の活動へ収束した [1,2]。

高 Si および低 Si 無人岩はそれぞれ、ハルツバージャイト [3] およびレルゾライト [e.g. 4] の融解実験で生成されたメルトと近い主要元素組成を示す。著しく低い希土類元素濃度 (Yb>0.3 ppm) も、高 Si 無人岩が高度に枯渇したハルツバージャイトを起源物質とすることを示唆する。また、小笠原の無人岩に特徴的な高い Zr/Ti 比 (<0.04) は高いスラブメルト寄与率を反映している [2]。一方、高 Si 無人岩マグマに先行する FAB は MORB 起源マントルの 10% 以下の分別融解で生成され、溶け残りかんらん岩は枯渇したレルゾライトである。このことは、高 Si 無人岩の高枯渇起源物質が FAB の溶け残りかんらん岩ではないことを示す。

未分化な無人岩マグマがハルツバージャイトと共存可能な温度圧力条件を推定したところ、高 Si 無人岩 (MgO=23、H<sub>2</sub>O=3.2 wt%) で 1430 °C、0.83-0.96GPa、低 Si 無人岩 (MgO=19、H<sub>2</sub>O=2.6 wt%) で 1380 °C、0.86GPa であった [5]。算出した未分化 FAB および島弧ソレイト・カルクアルカリ岩の生成条件をレルゾライト融解実験 [e.g.4] と比較することによって推定した結果、前者は無水で 1350 °C 程度、1.3-1.7GPa、後者は 0-0.5 % の水の存在下で 1300-1350 °C、1-1.2GPa と推定された。

初生マグマの MgO 量からマントルポテンシャル温度 (T<sub>p</sub>) を計算した。FAB や島弧ソレイト・カルクアルカリ岩の T<sub>p</sub> は約 1400 °C で、中央海嶺下マントルと同程度であるのに対し、高 Si 無人岩は 1500 °C、低 Si 無人岩は 1450 °C で中央海嶺下よりも高温であり、特に高 Si 無人岩はプルーム起源マントルと同程度である [6]。これは、西フィリピン海盆で高 Si 無人岩と同時代 (51-45Ma) にプルーム起源の火成活動が起こったことと整合的である [7]。高枯渇の高 Si 無人岩起源物質は、プルーム起源火成活動の溶け残りである可能性がある。

以上のことから、小笠原地域における IBM 弧形成初期のマントルウェッジは次のような温度組成変化を経験したと考えられる。52Ma に古くて高密度の太平洋プレートが若くて軽いフィリピン海プレートに対して沈み始めると、マントル上昇流が発生してフィリピン海プレート東縁部で海洋底拡大が起こり、枯渇度の低いマントルの部分融解で FAB が生成された。48Ma になると、深部に存在したプルームの溶け残りマントルが約 1GPa まで上昇し、スラブメルトを伴った含水融解を起こして高 Si 無人岩マグマを生成した。45Ma 頃には、沈み込みの進行に伴いマントル浅部が冷却され、さらにマントルウェッジの対流が始まった。その結果、マントルウェッジの物質が低枯渇マントルに入れ替わることによって、遷移的な低 Si 無人岩を経て島弧ソレイト・カルクアルカリマグマの活動に移り変わり、定常的な島弧—海溝系へと進化した。

[1] Ishizuka et al. (2011) EPSL, 306, 229-240. [2] Kanayama et al. (2012) Island Arc, 21, 288-316. [3] Falloon and Danyushevsky (2000) J. Petrol., 41, 257-283. [4] Hirose and Kawamoto (1995) EPSL, 133, 463-473. [5] Kitamura et al. (2014) JPGU. [6] Herzberg and Gazel (2009) Nature, 458, 619-623. [7] Ishizuka et al. (2013) Geology, 41, 1011-1014.

キーワード: 小笠原群島, 無人岩, マントルウェッジ, IBM 弧, マントルポテンシャル温度, 沈み込み帯

Keywords: Ogasawara (Bonin) Islands, boninite, mantle wedge, IBM arc, mantle potential temperature, subduction zone



## 「高温沈み込み帯」のマグマ進化過程 Hot and ephemeral subduction zone magmatisms in the Oman Ophiolite

草野 有紀<sup>1\*</sup>; 北村 啓太郎<sup>1</sup>; 足立 佳子<sup>2</sup>; 新城 竜一<sup>3</sup>; 海野 進<sup>1</sup>; 宮下 純夫<sup>2</sup>  
KUSANO, Yuki<sup>1\*</sup>; KITAMURA, Keitaro<sup>1</sup>; ADACHI, Yoshiko<sup>2</sup>; SHINJO, Ryuichi<sup>3</sup>; UMINO, Susumu<sup>1</sup>; MIYASHITA, Sumio<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 金沢大学, <sup>2</sup> 新潟大学, <sup>3</sup> 琉球大学

<sup>1</sup>Kanazawa University, <sup>2</sup>Niigata University, <sup>3</sup>University of Ryukyus

東ヨーロッパから中央アジアにかけて断続的に分布するテーティスオフィオライト帯は、いずれも基底部に沈み込んだスラブ起源と考えられている変成岩を伴い、マントル—斑レイ岩—岩脈群から溶岩層というオフィオライト層序を保存していることが知られている。溶岩類には共通して無人岩が含まれることや、層序が伊豆小笠原マリアナ弧と類似することからオフィオライトの起源として前弧域が提案されている [e.g. Dilek and Furnes, 2009]。

しかし、中東のオマーンオフィオライトでは、100 Ma 頃に高速拡大海嶺から沈み込み帯への転換によって、無人岩を含む島弧火成活動 (V2 sequence) が起こった [Ishikawa et al., 2002, *Geology*]。放散虫化石年代から、この島弧火成活動は 2-300 万年で終息 [Kurihara and Hara, 2012, *JpGU*]、その後 1000 万年以上かかってアラビア半島に衝上した。本講演では、オマーンの無人岩の産状、岩石学的・地球化学的特徴から、短命に終わったオマーンの沈み込み帯モデルを考察する。

V2 sequence が連続的に観察できる Wadi Bidi 地域では、厚さ 1110 m の溶岩層が南北延長約 2 km に露出する遠洋性堆積物層によって下位 (LV2) と上位 (UV2) に区分される [Kusano et al., 2013, *Special Publication 392, Geological Society of London*]。層厚 970 m の LV2 は普遍的に斜長石、斜方輝石、単斜輝石とかんらん石を含み、斑晶鉱物量は 3 vol% 以下の島弧ソレライトである。層厚 140 m の UV2 の大部分は厚さ 1 m 以下のシート状溶岩からなるが、最上部には水中噴火によって形成した降下火砕物が産する。UV2 溶岩はかんらん石、斜方輝石と単斜輝石斑晶を 5-10 vol% 含む無人岩である。

これらの溶岩は海嶺期から島弧火成活動期を通じて次第に枯渇していく特徴を示す。一方、LIL 元素には富む傾向を示す。LV2 溶岩は  $176\text{Hf}/177\text{Hf}$  と  $143\text{Nd}/144\text{Nd}$  が海嶺期の溶岩と類似した組成範囲を示す。両者はおおむね Hf-Nd Mantle array 上にプロットされることから、スラブ由来メルトが LV2 溶岩に関与した影響はわずかであると考えられる。一方、UV2 溶岩は LV2 よりも低い Nd 同位体値を示す。UV2 の Hf-Nd 同位体組成変化は、海嶺期の溶岩 0.995 に対して遠洋性堆積物 0.005 の混合比で説明可能である。

本地域で観察される初期島弧火成活動は、島弧ソレライト質なもの (LV2) から無人岩 (UV2) へとマグマ組成が変化する。次第に溶岩組成が枯渇する原因として、沈み込んだプレートが若く浮揚性であったために、上盤のマントルウェッジが薄く、背弧側からのアセノスフェア対流が発達しなかったことが考えられる。オフィオライトに底づけされた沈み込んだスラブの一部であるメタモルフィックソールに記録された最高変成条件は  $\sim 800^\circ\text{C}$ 、1 GPa である [Searle and Cox, 2002] ことから、無人岩マグマ形成に寄与した遠洋性堆積物メルトは初期のスラブ融解によってもたらされたと考えられる。

キーワード: 高温沈み込み帯, 初期島弧火成活動, 無人岩, オマーンオフィオライト

Keywords: High-T subduction zone, Initial arc magmatism, Boninite, Oman Ophiolite



## 海洋プレートの末路：オマーンオフィオライトにおける高温沈み込み帯の終焉 Fate of high-T subduction zone and the obduction of the Oman Ophiolite

海野 進<sup>1\*</sup>; 草野 有紀<sup>1</sup>; 北村 啓太郎<sup>1</sup>; 永石 一弥<sup>2</sup>; 石川 剛志<sup>3</sup>; 金山 恭子<sup>1</sup>  
UMINO, Susumu<sup>1\*</sup>; KUSANO, Yuki<sup>1</sup>; KITAMURA, Keitaro<sup>1</sup>; NAGAISHI, Kazuya<sup>2</sup>; ISHIKAWA, Tsuyoshi<sup>3</sup>; KANAYAMA, Kyoko<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 金沢大学地球学教室, <sup>2</sup> マリン・ワーク・ジャパン, <sup>3</sup> 海洋研究開発機構  
<sup>1</sup>Department of Earth Sciences, Kanazawa University, <sup>2</sup>Marine Works Japan, <sup>3</sup>JAMSTEC

地球の物質的進化に大きな影響を及ぼしてきた海洋リソスフェアの改変プロセスに、海洋プレート境界における沈み込み帯発生と島弧地殻の形成がある。このプロセスの解明はプレートテクトニクスの起源や大陸地殻の形成過程を理解する上で重要な鍵となる。沈み込み帯創成期には特徴的に Mg に富む特殊な安山岩である無人岩マグマが発生する。伊豆-小笠原-マリアナ弧のように持続的な沈み込み帯の発生では Si に富む典型的な無人岩が卓越し、大陸衝突帯に出現するテーチス海オフィオライトなどでは Si に乏しいタイプしか産出しない。2つの無人岩タイプは、マンツルの温度・組成の違いによって生じる [1,2]。著者らは、これらの初生マグマを用いてマンツルウェッジの温度組成構造の違いを明らかにすることで、沈み込み帯形成の必要条件やテクトニクスについて包括的な理解を深めようと試みている。

オフィオライトが大陸地殻上へ定置する先行過程では必然的にプレート拡大から収束への転換が起きる。その結果、拡大軸近傍の高温リソスフェア同士の沈み込み帯が発生し、しばしば無人岩マグマを伴う [3]。変成されたスラブ上部は上盤のマンツルと共に衝上してメタモルフィックソールとなる。多くのソールのピーク変成度 600~840°C, ~1 GPa に対し、その上に重なるオフィオライトは厚さ 10-20 km しかなく、ソールの変成圧力に比して上盤荷重が小さいという矛盾がある [4]。これは別々の場所にあったソールとオフィオライトが衝上する過程で上下に重なったためとされている [3]。しかし、著者らはオマーンオフィオライトにおいて微量元素組成の解析から、ソールと平衡な流体が枯渇したマンツルカンラン岩の融解を引き起こし、まず島弧ソレライトマグマ、次いで無人岩マグマを生成したことを明らかにした [5, 6]。従って、ソールとオフィオライトは隔離した場所にあったのではなく、元々の上下の配置を損なうことなく衝上した可能性が高い。さらに Cr スピネル中のメルト包有物から見出された初生無人岩メルトは、ポテンシャル温度 1400°C のマンツルカンラン岩から 0.5 GPa, 1320°C で分離したことがわかった [1]。即ち、この無人岩マグマは 17 km 以深のマンツルから上昇したことになるが、現存するオフィオライトの厚さは高々 15 km しかない。

これらの観察事実を整合的に説明するために、以下のモデルを提案する：テーチス海の拡大から閉塞への転換に伴い、拡大軸下の高温アセノスフェア下に沈み込んだスラブは深さ 30 数 km, 800°C で単斜輝石角閃岩となった。Nd 位体比によると、このスラブから堆積物メルトを含む流体が放出され [6, 7]、上盤の高温アセノスフェア中で部分融解コラムを形成し、深度 17 km, 1320°C のコラム頂部から無人岩質マグマが溶け残りハルツバーサイトと分離し [1]、より浅部でマンツルと反応してダナイトチャンネルを形成しつつ上昇 [8]、噴火した。800°C 以上の高温では蛇紋石や緑泥石は分解し、沈み込んだスラブ上部の海洋地殻は角閃岩に、上盤マンツルは角閃石レーゾライトとなる。ループリカントとなる鉱物相がないため、変成スラブ上部と上盤マンツルの摩擦が大きく、両者は固着した。一方、スラブ下部のマンツルは地殻と分離して沈み込み続けたが、ほぼ無水であったため、無人岩の発生を最後にわずか 300 万年で島弧活動は終息した。上盤マンツルとカップリングした変成スラブ上部は、衝上してメタモルフィックソールとなった。高温で最も低粘性のマンツルウェッジ下部は、衝上過程でウェッジ上部のリソスフェアの荷重により絞り出され、高圧を記録したソールの上位に薄いオフィオライトが重なる構造を生じた。

[1] Kitamura, K. et al., 2014. JGU 2014, Yokohama [2] Kanayama et al., 2012. *Island Arc*, 21, 288-316 [3] Wakabayashi & Dilek, 2000. *GSA Spec. Paper* 349, 53-64 [4] Cox, 2000. PhD thesis, Univ. of Oxford [5] Ishikawa et al., 2002. *Geology*, 30, 889-902 [6] Ishikawa et al., 2005. *EPSL*, doi:10.1016/j.epsl.2005.09.049 [7] Kusano et al., 2013. *Geol. Soc. Spec. Paper*, 392, 177-193 [8] Takazawa, 2012. *J.M.P.S.*, 41, 257-266.

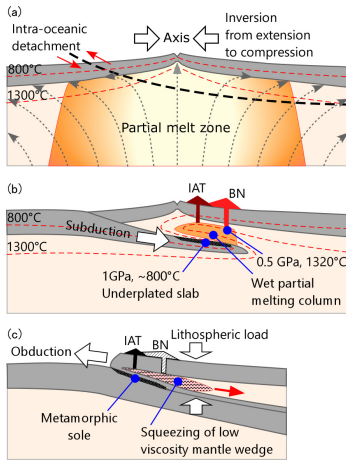
キーワード: オマーンオフィオライト, 無人岩, 高温沈み込み帯, メタモルフィックソール, 沈み込み帯発生, オブダクション

Keywords: Oman Ophiolite, boninite, high-T subduction zone, metamorphic sole, subduction initiation, obduction

SIT41-19

会場:314

時間:4月28日 17:00-17:15



## オマーンオフィオライト地殻セクション中に分布する超苦鉄質岩体の多様性 Magmatic diversity of the ultramafic rock in the oceanic crustal sequence, Oman ophiolite

金子 龍<sup>1\*</sup>; 足立 佳子<sup>2</sup>; 宮下 純夫<sup>2</sup>  
KANEKO, Ryu<sup>1\*</sup>; ADACHI, Yoshiko<sup>2</sup>; MIYASHITA, Sumio<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 新潟大学大学院自然科学研究科, <sup>2</sup> 新潟大学

<sup>1</sup>Graduate School of Science and Technology, Niigata University, <sup>2</sup>Niigata University

Although all the wehrlitic intrusions in the Oman Ophiolite are regarded as a single group (e.g. Koepke et al. 2009), there are two different types of wehrlitic intrusions. The first are ordinary wehrlitic intrusions that have similar features to the crustal sequence of V1 (MOR basalt). The second are a depleted type characterized by the appearance of true wehrlite and depleted mineral compositions (Adachi & Miyashita 2003; Yamasaki et al. 2006; Goodenough et al. 2010). The former and latter groups are linked to V1 and V2 magmatism, respectively.

We report the discovery of a new occurrence of the ultramafic rock in the oceanic crustal sequence from the Oman ophiolite, which does not intrude into the crustal sequence. This ultramafic rock is referred to as the Lasail-South complex, and the oldest rock in the study area because of being intruded by sheeted dyke complex. TiO<sub>2</sub> and Na<sub>2</sub>O contents of clinopyroxene from the complex range 0.06-0.59 and 0.09-0.42 wt%, respectively, and are similar to the fractional crystallization trend of oceanic gabbro. Co-variation of Mg values of clinopyroxene and An contents of plagioclase show that most of samples plot in the Oman layered gabbro field. Although mineral compositions of the Lasail-South complex show characteristic of mid-ocean ridge magmatism, the complex mainly comprises plagioclase-hornblende-lherzolite, olivine-clinopyroxenite and clinopyroxenite. Such rock assemblage is different from the assemblage of the oceanic crust of the Oman ophiolite. The Lasail-South complex shows intermediate characteristic of mid-ocean ridge and island arc magmatism, and we attempt to discuss the origin of the complex.

### References

- Adachi and Miyashita, 2003. *Geochemistry Geophysics Geosystems*, **4**(9), doi.org/10.1029/2001GC000272.  
Goodenough et al., 2010. *Arabian Journal of Geosciences*, **3**, 439-458, doi.org/10.1007/s12517-010-0177-3.  
Koepke et al., 2009. *Geochemistry Geophysics Geosystems*, **10**, 10002, doi.org/10.1029/2009GC002488.  
Yamasaki et al., 2006. *Earth and Planetary Science Letters*, **251**, 52-65, doi.org/10.1016/j.epsl.2006.08.027.

キーワード: オマーンオフィオライト, 超苦鉄質岩体, 海嶺火成活動, 島弧火成活動

Keywords: Oman ophiolite, ultramafic rock, mid-ocean ridge magmatism, island arc magmatism

## Compositionally and genetically distinct domains found in the southernmost Salahi mantle section in the Oman ophiolite Compositionally and genetically distinct domains found in the southernmost Salahi mantle section in the Oman ophiolite

藤井 悟<sup>1\*</sup>; 高澤 栄一<sup>2</sup>

FUJII, Satoru<sup>1\*</sup>; TAKAZAWA, Eiichi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 新潟大学大学院自然科学研究科, <sup>2</sup> 新潟大学理学部

<sup>1</sup>Graduate school Science and Technology, Niigata University, <sup>2</sup>Faculty of Science, Niigata University

We investigate spatial variability in mineral compositions in the southernmost part of the Salahi mantle section and discuss genetic relationship between highly refractory peridotites and less refractory plagioclase-bearing peridotites in this region. The study separates the study area into two domains based on spinel Cr# such as high Cr# domain in the eastern part that is closer to Moho and low Cr# domain in the central part. Concordant dunites commonly occur in the low Cr# domain whereas discordant dunites are common in the high Cr# domain. Plagioclase-bearing peridotites and wehrlite also occur in the low Cr# region.

Highly refractory dunite with spinel Cr# >0.7 frequently occurs in the high Cr# domain. In the low Cr# domain, spinel Cr# is low and ranges from 0.47 to 0.57. We analyzed clinopyroxene (cpx) in dunites and harzburgite from both domains for REE abundances by LA-ICP-MS. The results show that harzburgite cpxs in the high Cr# domain and low Cr# domain are highly depleted in LREE ([Ce]CH = 0.01~0.02) with [Yb]CH = 2~3. Dunite cpxs in the low Cr# domain have REE abundances similar to the harzburgites in the same outcrop whereas those in the high Cr# domain are enriched in LREE relative to the harzburgite cpxs in the same outcrop. This implies that dunite cpxs in the high Cr# domain were reacted with LREE-enriched fluid infiltrated from the base of the ophiolite.

In the low Cr# domain, plagioclase-bearing dunite, plagioclase-bearing lherzolite vein occur and phlogopite-bearing wehrlite discordantly cuts them. The spinel Cr# of these dunites are in a range from 0.46 to 0.56. Abundances of REE in a melt in equilibrium with cpx in plagioclase-bearing peridotites and associated dunites are similar to those of N-MORB. On other hand, a melt in equilibrium with wehrlite cpx resembles to those of boninitic dikes from the Fizh block in the northern Oman ophiolite (Yamazaki, 2013). From the field occurrence, plagioclase-bearing dunite and plagioclase-bearing lherzolite formed by a reaction with MORB melt beneath spreading ridge whereas cumulative wehrlite was crystallized from a boninitic melt.

キーワード: オマーンオフィオライト, かんらん岩, 斜長石ダナイト, 斜長石レルゾライト, MORB, Boninite