

InterRidge-Japan 研究集会
「海底拡大系の総合研究」

要旨集

南マリアナトラフ拡大軸にある海底熱水系下の電気伝導度構造
**Electrical conductivity structure of a seafloor hydrothermal system at the southern
Mariana Trough spreading axis**

木村真穂*、島伸和、松野哲男（神戸大学）、
多田訓子（海洋研究開発機構）

MAHO KIMURA*, **NOBUKAZU SEAMA (Kobe University)**,
TETSUO MATSUNO (Kobe University), **NORIKO TADA (JAMSTEC)**

In the seafloor hydrothermal system, it is considered that seawater penetrates in vast inflow areas at the seafloor into the crust, is heated by a magma chamber, and erupts rapidly in narrow outflow areas (Lowell et al., 1995). The relationship between crustal porosity/seawater temperature in the porosity and electrical conductivity observed indicates that higher porosity and higher seawater temperature yield higher electrical conductivity observed (Seama et al., 2003). Therefore, the electrical conductivity structure of the shallow crust around a hydrothermal system allows us to estimate the porosity of the crust or seawater temperature within the crust, and then reveal the scale of the hydrothermal circulation and the circulation pathways of seawater. In this study, we estimate the electrical conductivity structure of shallow crust around a seafloor hydrothermal system at the southern Mariana Trough spreading axis (Snail site ; 12°15.2'N, 143°37.2'E) using the Magnetometric Resistivity (MMR) method.

The observational system of the MMR method consists of the vertical bipole source and receivers. Five ocean bottom electro-magnetometers (OBEMs) were deployed as receivers around the active hydrothermal site, and successfully recorded variations of magnetic field induced by currents generated by the bipole source. The study area is about 3,000×3,000m square including the active hydrothermal site, and the maximum distance among OBEMs is 1,000m. We used two kinds of electrical current sources; one is a stationary source and the other is a towing source, and focus on the towing line along the spreading ridge in which four of five OBEMs recorded variations of magnetic field induced by the bipole source currents.

We estimated the electrical conductivity structure of the seafloor hydrothermal system as follows. First, we calculated the source-receiver separation between the locations of the source (each transmission station) and the receiver (OBEM). Second, we calculated amplitudes of magnetic field induced by the bipole source current, which were recorded on each OBEM. By comparing the observed relations between the source-receiver separation and amplitude of induced magnetic field with the analytical solution of Edward et al.(1981), we determined the average crustal electrical conductivity of 0.16S/m. Magnetic field anomalies were calculated from differences between the observation and the prediction from the homogeneous structure of 0.16S/m. The obtained magnetic field anomalies have different trends among the OBEMs despite their close deployment. These heterogeneities in the electrical conductivity structure, which are expected by the magnetic field anomalies (the positive magnetic field anomalies relate to the high electrical conductivity area, while the negative anomalies relate to the low electrical conductivity area), probably show common outflow zone of the hot seawater or inflow zone of the cold seawater . We carry out the three-dimensional forward modeling of conductivity structure to explain these heterogeneities in detail.

ラウ海盆下の 2 次元比抵抗構造の推定
Estimation of 2-D resistivity structures beneath the Lau back-arc Basin

柴田侑希* (神戸大)、島伸和 (神戸大)、水間恵子 (TIS)、
 木村真穂 (神戸大)、小林聖也 (総研大)、野木義史 (極地研)

**YUKI SHIBATA* (Kobe Univ.), NOBUKAZU SEAMA (Kobe Univ.),
 KEIKO MIZUMA (TIS Inc.), MAHO KIMURA (Kobe Univ.), SEIYA KOBAYASHI (NIPR),
 TETSUO MATSUNO (Kobe Univ.), YOSHIFUMI NOGI (NIPR)**

In subduction, island arc, back-arc systems, some factors such as dehydration from the slab, corner flow at the mantle wedge and melting region beneath island arc, which do not come up for mid ocean ridges, are considered to constrain the process of the seafloor spreading. The aim of our research is to constrain the cause for the process of the seafloor spreading in the back-arc basin by estimating 2-D resistivity structures of upper mantle beneath the Lau back-arc Basin.

The Lau back-arc Basin is an active back-arc basin, which has been formed in association with the subduction of the Pacific plate at the Tonga Trench. There are 3 spreading systems, the Central Lau Spreading Center, the Eastern Lau Spreading Center (ELSC) and the Valu Fa Ridge within the basin. There are some clear transitions in spreading rate and crustal structure along the spreading axes in the Lau back-arc Basin (Jacobs et al., 2007; Martinez et al., 2006). Until now it has been showed that the fast spreading mid ocean ridges produce more pressure-release melt and show axial high morphology. In the case of Lau back-arc Basin, however, the southern segment with slower spreading rate shows axial high morphology like fast spreading mid ocean ridges, thus this region shows an opposite correlation to the previous theories on the relationship between spreading rate and ridge morphology. As a cause for these features, the proximity variation of the trench and the island arc which control melt production beneath the spreading axis is suggested (Jacobs et al., 2007; Martinez et al., 2006). We can show how the proximity of the spreading center to the trench and the island arc effects the melting condition beneath the back-arc basin by bringing out the difference in upper mantle structure beneath the southern and northern in the Lau back-arc Basin. Resistivity in the upper mantle reflects mantle temperature, the presence of melt and the content of volatile elements such as water. Therefore, we can reveal the degree of melting by obtaining the resistivity structure beneath the Lau back-arc Basin. We used the magnetotelluric (MT) method, which images resistivity structure beneath the seafloor by measuring variations of magnetic and electric fields at the seafloor.

For the electromagnetic (EM) observation in the Lau back-arc Basin, we deployed 6 OBEMs (Ocean Bottom Electro-Magnetometer) and 11 OBMs (Ocean Bottom Magnetometer) in total on the 2 survey lines across the ELSC, which are located at 21.3°S (southern region of the ELSC) and at 19.7°S (northern region of the ELSC), and the length of both lines are about 150 km. The OBEMs measure 3 components of magnetic field and the horizontal component of electric field, and the OBMs measure 3 components of magnetic field. We obtained about 12 months data from 2 OBEMs and 8-10 months data from 11 OBMs. The OBEM data shows clearly daily variations and disturbances of magnetic field, and variations of electric field induced by them. The OBM data also shows similar variations, suggesting that the data quality of both OBEM and OBM is high because remarkable noises cannot be seen. After cleaning up the raw time data series, we calculated the MT response functions using a bounded influence, remote reference algorithm (Chave and Thomson, 2004). MT response functions were calculated with small standard deviations at the periods of 480-81920s. The spatial variation of MT response functions in each line suggests that they are distorted by the topographic effect as the observation site approaches the island arc. We will correct the MT response functions for the topographic effect, and estimate 2-D resistivity structures by a 2-D inversion.

In this presentation, we will show the overview of the EM observation and data analysis, and 2-D resistivity structures beneath the two survey lines. We will show how resistivity structures beneath the basin are controlled by the proximity of the spreading center to the trench and the island arc.

オマーンに学ぶデタッチメント断層発達プロセス

Development of a ductile shear zone in Oman: a geological analogue of detachment faulting during mid-oceanic extension

道林克禎*・大原達也（静岡大学理学部地球科学科）

Katsuyoshi Michibayashi* and Tatsuya Oohara

Institute of Geosciences, Shizuoka University, Shizuoka 422-8529, Japan

A ductile shear zone across the crust-mantle boundary occurs in the Fizh massif, Oman ophiolite. The dunites in the ductile shear zone were classified into coarse granular texture, medium-grained texture, protomylonite, mylonite and ultramylonite. The average grain sizes of olivine decreased toward the shear zone, by which a high strain zone was estimated approximately 15 m. Amount of hydrous minerals (amphibole and chlorite) and spinel Cr# in the mylonites increased toward the gabbro boundary, suggesting that water infiltration into the ductile shear zone could occur from the gabbro boundary. The amphibole porphyroclasts show deformation structures, indicating that the water infiltration and subsequent water-induced metamorphic reactions occurred before or during shearing. *P-T* estimate and equilibrium temperatures show that the shear zone could preserve higher deformation temperature (around 900 °C) for outside of the high strain zone and lower deformation temperatures (around 750 °C) for inside of the high strain zone. Olivine CPO pattern evolutions indicate the following continuous deformation scenario. First, the deformation by dislocation creep at high temperature condition have formed A-type CPO or E-type CPO (more close to high strain zone). Next, the deformation by dislocation creep at low temperature and wet conditions have formed C-type CPO. Finally, superplastic deformation by grain boundary sliding at low temperature and wet conditions have occurred and formed random CPO.

結晶粒径温度計による上部海洋地殻温度構造の解明－ 1 . 原理と応用
**Insight into the thermal structure of the upper oceanic crust using crystal-size
 geothermometer — 1. Method and Application**

海野進*・奥川歩美（金沢大学理工研究域自然システム学系）

SUSUMU UMINO* and Ayumi Okugawa

Department of Earth Sciences, Kanazawa University

Elucidation of hydrothermal system beneath the seafloor is critical to understand cooling of lithosphere and physico-chemical evolution of the earth's surface and interior, and migration of deep biosphere. Recent seismic studies on the northern East Pacific Rise suggest along-axis hydrothermal pathways, which are provided by fractures and fissures induced by dike intrusions [1]. Hydrothermal circulation is driven by thermal gradient within the upper oceanic crust that increases toward the segment center as indicated by the shallowing magma chambers. Accordingly, thermal structure of the oceanic crust plays a fundamental role in hydrothermal circulation and thermo-chemical evolution of the oceanic crust.

Thermal structure of the upper oceanic crust have been estimated by numerical modeling constrained by measurements of heat flow and hydrothermal fluid temperatures and chemistry as well as metamorphic temperatures based on mineral assemblages, geothermometers, homogenization temperatures of fluid inclusions. However, metamorphic temperatures may be different from the ambient temperatures of the host rocks as they are in equilibrium with the fluids that supply or remove heat from the host. Secondary minerals may record a higher temperature than the ambient host rocks where upwelling hydrothermal fluids concentrate, while lower temperatures are indicated in a recharge zone, which may overwrite earlier high-temperature metamorphic records [2].

We present a new approach of estimating the thermal structure of the ancient upper crust formed at the Oman paleosubducting axis on the basis of the crystal size variations of the sheeted dike complex. A numerical simulation of crystallization in a dike shows that a wall rock temperature is correlated with logarithm of crystal size in the center of a dike [3]:

$$\log R_{n\text{center}} = 0.44 T_{n\text{wall}} - 1.19$$

$R_{n\text{center}}$ is normalized modal crystal size in the dike center, and given by $R_n = R/(UD^2/k)$, where U is growth rate, D is dike thickness and k is thermal diffusivity. $T_{n\text{wall}}$ is wall rock temperature normalized to the liquidus of magma. This enables us to estimate the wall rock temperatures at the time of the dike intrusion using the crystal size variations in the dike:

$$T_{\text{wall}} = T_m \{ \log R_c - \log R_c(0) \} / 0.44 + T_{\text{wall}}(0)$$

Where R_c is crystal size in the dike center and T_m is the liquidus temperature. A variable with (0) means a reference value.

Because dike intrusion is limited to a narrow volcanically active zone (less than 1 km in width) beneath the fast-spreading ridge axes, the groundmass crystal sizes of the sheeted dikes represent the thermal structure of the upper crust at the ridge axis. Unfortunately, exposures of the sheeted dikes on the present ocean floor are only known from a few places (e.g. Hess and Pito Deeps). Application of the newly proposed "Crystal-size geothermometer" requires intense sampling of sheeted dikes, which is virtually impossible from the present oceanic crust.

Alternatively, well-exposed and preserved ophiolites such as Oman Ophiolite provide ideal samples for the crystal-size geothermometry.

A critical issue is raised when we applied the crystal-size geothermometry to the groundmass plagioclase in the sheeted dikes. The groundmass plagioclase is generally finer in plagioclase-phyric dikes than in dikes which lack plagioclase phenocrysts. The plagioclase-phyric dikes show that the variation in the average maximum plagioclase crystals between individual dikes at a single location is as large as that between positions in the sheeted dike complex.

On the contrary, the non-plagioclase-phyric dikes show marked coarsening in the groundmass plagioclase just above the upper gabbros, which solidified in the roof zone of the magma chamber. This is in accordance with a large geothermal gradient expected through the sheeted dike-roof zone transition.

The difference in the plagioclase crystal size of plagioclase-phyric and non-phyric dikes inherits from the different thermal history of these dikes prior to the intrusion. Because critical diameter of nuclei is large near the liquidus, only a few molecular clusters can grow into nuclei of plagioclase. As plagioclase phenocrysts grow slightly below the liquidus, the number density of clusters smaller than the critical nucleus is large in the plagioclase-phyric magmas before dike intrusions. Upon emplacement of such magma into the cooler host, the magma is significantly undercooled where the critical nucleus becomes smaller. However, relaxation time of the melt structure upon the temperature decrease is long enough for clusters larger than the critical nuclei to grow into plagioclase crystals. Because the number density of nuclei is inversely proportional to the growth rate, this results in a number of small crystals. In contrast, non-plagioclase-phyric magmas were above the liquidus of plagioclase where the density of cluster was small. This lead to a small number density of nuclei which could grow into large plagioclase crystals.

Application of the crystal-size geothermometry demonstrates that the estimated geotherm along Wadi Hayl shows consistently high temperatures ranging from 540 to 790°C through the sheeted dikes, in accordance with the paleoridge segment center. In contrast, the geotherm through the dikes at a paleoridge segment end along Wadi Fizh shows constant low-temperatures in the upper dikes and remarkable high gradient 1.2°C/m in the lower dikes toward the gabbros. These are in agreement with the geotherms expected for a recharge and discharge zone, respectively. Details are presented in our companion paper.

Keywords: Sheeted dike complex, Oman Ophiolite, Crystal size geothermometry, Thermal structure, Oceanic crust, Mid-ocean ridges.

References:

- [1] Tolstoy et al. (2008) *Nature*, 451, 181 - 185.
- [2] Coogan (2008) *Geochem. Geophys. Geosyst.*, Q02013, doi:10.1029/2007GC001787.
- [3] Spohn et al. (1988) *J.G.R.*, 93, 4880-4894.

結晶粒径温度計による上部海洋地殻温度構造の解明－２．オマーンオフィ
オライトの古拡大軸セグメントの温度構造について

**Insight into the thermal structure of the upper oceanic crust using crystal-size
geothermometer — 2. Thermal structure beneath the Oman paleosspreading axis**

奥川歩美*・海野進（金沢大学理工研究域自然システム学系）

Ayumi Okugawa* and SUSUMU UMINO

Department of Earth Sciences, Kanazawa University

Application of the crystal-size geothermometry to the sheeted dike complex in the northern Oman Ophiolite is presented here, that shows a significant difference in thermal structure within the upper oceanic crust along a paleoridge segment.

Samples were collected from the sheeted dikes along Wadi Fizh and Wadi Hayl, which were formed at a paleoridge segment end and center, respectively. Phenocrysts are clinopyroxene, plagioclase, olivine and magnetite, in descending order of abundance. The amount of phenocrysts is less than 32 vol% with the average of 7.4 vol% and the mode at 5 vol%. Pervasive hydrothermal metamorphism yielded metamorphic minerals by replacing plagioclase and clinopyroxene, with a sporadic remnant of primary clinopyroxene in cores. Upper sheeted dikes possess a typical greenschist assemblage of albite, epidote, chlorite, quartz, actinolite and titanite. Secondary hornblende after clinopyroxene is present only in the lowermost dikes from Wadi Fizh, which coexists with calcic plagioclase and clinopyroxene, indicative of higher grade of amphibolite facies. In spite of pervasive alteration, primary igneous textures are generally preserved except some severely altered and intensely veined samples.

In order to apply the crystal-size geothermometry to natural rocks, we need to define and measure a characteristic crystal size for the sample of interest. We use plagioclase laths in the groundmass of samples which are considered to have nucleated and crystallized upon intrusion. Because plagioclase crystals are ubiquitous and generally show euhedral bow-tie shapes, which easily allow us to define the maximum and minimum lengths. As shown by our companion paper, we selected only those without plagioclase phenocrysts. We use an average maximum crystal size (AMCS) as a characteristic crystal size defined by Umino (1995) [1]. Ten circular areas of $\sim 1\text{mm}^2$ were chosen from each thin section. Selection of measured areas was made so as not to overlap each other. The length and width of the largest crystals of plagioclase were measured under the microscope, which were averaged to give an AMCS. The AMCSs thus determined coincide well with the maximum lengths obtained by the CSD method of Cashman (1991) [2]. This validates the utility of the average maximum crystal size as a characteristic crystal size. This method is practical because it is easy and quick to be measured than CSD and is applicable to altered volcanic rocks.

Assuming the liquidus temperature of 1150 °C for the basaltic dikes and the ambient temperature of the top of the sheeted dike complex to be 100 °C, the ambient rock temperatures at the time of dike intrusion were estimated. The ambient rock temperature remains 110 °C until 670 m below the boundary (mbb) between the effusive rocks and the dike complex, whereas it rapidly increases to 622 °C at 1080 m at the boundary between the dike complex and the upper gabbros. The thermal gradient is estimated to be 1.2 °C/m for the lower 390 m of the sheeted dike complex. The estimated temperatures are significantly lower than the metamorphic temperatures inferred by the greenschist mineral assemblage in the upper sheeted dikes, but are

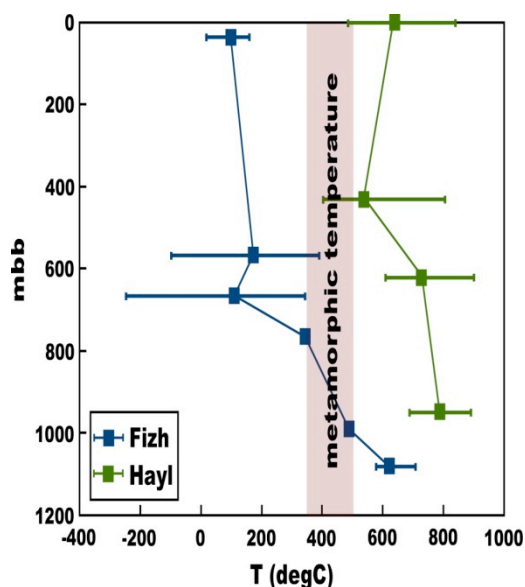
consistent with the amphibolite facies metamorphism in the lowermost dikes. In contrast, the estimated geotherm along Wadi Hayl is consistently higher than that along Wadi Fizh and does not show any stratigraphic variation but remains in a limited range from 540 to 790°C. These temperatures are well above the metamorphic temperatures suggested by the mineral assemblage.

The thermal structure of the sheeted dikes along Wadi Fizh indicate two-storied regimes of advective heat transfer by hydrothermal circulation of cold sea-water above 670 mbb and conductive heat transfer below. This is in agreement with the paleoridge segment model in the northern Oman Ophiolite [3]. The discrepancy between the thermal structures indicated by the crystal size geothermometry and the metamorphic mineral assemblages can be reconciled with some recent models and observations of hydrothermal systems on the present fast-spreading ridges [4, 5]. Hydrothermal system is relatively short lived and may migrate from one place to another within a decade or so. Metamorphic minerals once formed in a recharge zone may be overprinted or overwritten by low-temperature hydrothermal alteration which took place in a discharge zone later on.

Keywords: Sheeted dike complex, Oman Ophiolite, Crystal size geothermometry, Thermal structure, Oceanic crust, Mid-ocean ridges

References:

- [1] Umino (1995) Proc. ODP, Sci. Results, 137/140, 19 - 33.
- [2] Cashman (1991) Reviews in Mineralogy, 24, 259 - 314.
- [3] Miyashita et al. (2003) Geochem. Geophys. Geosyst., 8618, doi:10.1029/2001GC000233.
- [4] Heft et al. (2008) Geochem. Geophys. Geosyst., Q05O07, doi: 10.1029/2007GC001926.
- [5] Coogan (2008) Geochem. Geophys. Geosyst., Q02013, doi:10.1029/2007GC001787.



KH-10-6 航海速報ーロドリゲス三重点付近で採取された岩石類ー

佐藤暢* (専修大)・KH-10-6 乗船研究者岩石班*

中速拡大海嶺である中央インド洋海嶺南部には、かいいい熱水フィールドとエドモンド熱水フィールドが存在する。この2つの熱水フィールドは異なる熱水組成をもつことが知られている。かいいい熱水フィールド中央インド洋海嶺の第1セグメントのややオフリッジの高まりに位置し、水素に富む熱水活動が知られている(Gamo et al., 2001, EPSL)。エドモンド熱水フィールドは中央インド洋海嶺第3セグメントのオフリッジに位置し、通常程度かやや低い水素濃度の熱水活動が知られている(Gallant & Von Damm, 2006, G3)。

最近の潜水艇による観察や採取された岩石種の解析に基づくと、かいいい熱水フィールドの高い水素濃度は、かんらん石に富む苦鉄質岩や超苦鉄質岩の蛇紋岩化作用によるものであると考えられている(Kumagai et al., 2008, Geogluuids; Nakamura et al., 2009, EPSL)。

しかしながら、これらの岩石類はかいいい熱水フィールドが位置する高まりの東側でのみ採取されている。これに基づいた熱水の循環モデルも提唱されているが、かいいい熱水フィールド周辺の岩石類の分布の詳細を明らかにすることは、より詳細な熱水循環モデルの構築のためにも必須である。

学術研究船白鳳丸 KH-10-6 航海では、かいいい熱水フィールド北側での岩石類の分布を明らかにするために10サイトでドレッジを行った。更に、中央インド洋海嶺沿いの岩石分布を明らかにし、熱水との関連も探るため、中央インド洋海嶺の第1セグメントから第4セグメントにかけて12サイトでドレッジを行った。

発表では、採取された岩石類の特徴を紹介するとともに、これまでに分析が終了している中央インド洋海嶺沿いの玄武岩主成分組成について紹介する。

*KH-10-6 乗船研究者岩石班：中村謙太郎 (JAMSTEC)・針金由美子 (金沢大、現産総研)・吉崎もと子 (東工大)・高丸涼 (金沢大)・田中 悠一朗 (東大)

KH-10-7 航海速報—コンラッドライズで採取された岩石類とその意義—

佐藤暢* (専修大)・野木義史 (極地研)・石塚英男 (高知大)・
佐藤太一 (産総研)

大陸の離合集散とその原動力の解明は、地球科学の大きな問題の一つである。最も新しい大陸分裂であるゴンドワナ大陸の分裂過程は、現在の海洋底の拡大史から推定することが可能なため、従来から比較的多くなされているが、提案されている復元モデルは様々である。この原因の一つに、南極海域、特に南インド洋において海洋底拡大史を明らかにするための基本的な情報である海底の年代や断裂帯の詳細が明らかになっていないことが挙げられる。ゴンドワナ分裂へのプルームの関与については Storey (1995) によりまとめられている。南大西洋では両大陸で見られるホットスポットによる洪水玄武岩の活動期と大陸分裂開始時期がほぼ一致する。一方、南インド洋にも洪水玄武岩によって形成されたと推定される巨大火成岩岩石区 (LIPs) が多数分布し、プルームの活動による大陸分裂が示唆される。しかしながら、南インド洋に現存するホットスポットの軌跡は東南極縁辺部まで連続しておらず、マントルプルームが初期分裂時にどの程度関与したかは明瞭ではない。特に、コンラッドライズに関しては、1. コンラッドライズがホットスポットなのか、2. ホットスポットだとすればインド側のどの LIPs に対応するのか、といった点が未解決である。

コンラッドライズは、オビ、レナおよびマリオンデフレーヌ海山で構成されている。オビおよびレナ海山からアルカリ玄武岩が採取され、その化学組成からケルゲレン海山に似たマントルソースが提案されている (Borisova et al., 1996) が、年代測定は、重力異常データによるアイソスタシーを利用した年代推定のみ行われており (Diamant and Goslin, 1986)、それ以外は海底地磁気に基づき地磁気異常番号 34 (約 83Ma) 前後に形成された海山であると推定されているのみである。一方で Nogi et al. (2004) は砕氷船「しらせ」で得られた海底地磁気データと衛星重力データを用いて、多くのモデルが想定している地磁気異常番号 34 以前の海洋底拡大にほぼ直交する WNW-ESE 走向の構造を見だし、この構造の形成を説明する海底拡大史では、コンラッドライズが分裂した大陸地殻である可能性を指摘している。

学術研究船白鳳丸 KH-10-7 航海は、コンラッドライズの形成過程の解明のための地球物理学および構成岩石の調査を目的に実施された。オビ海山およびレナ海山の 3 カ所 (St02, 03, & 05) でドレッジを実施し、100kg を超える試料を採取した。全てのサイトで、アルカリ質の玄武岩ないしトラカイト質安山岩が採取された。オビ海山の St02 では、30kg を超える変成岩・花コウ岩類が採取された。これらの岩石は角礫ないし亜角礫が多数であり、採取された緯度 (南緯 52°) も考慮すると氷山起源の可能性は残るものの、考えにくい。石塚ほか (2011) によると、変成岩には、時計回りの等温減圧を示す、1000 Ma 前後の変成年代をもつ岩石が含まれる。

これらの予察的な結果は、コンラッドライズの一部は、火成活動によって形成されたものではなく、東南極大陸レイナー岩体やインド東部 Eastern Ghats 岩体に対比できる。火成活動の時期は未詳であるが、オビ海山は大陸地殻上に形成された火成岩体である可能性が高い。

世界最深の海洋底かんらん岩，
トンガ海溝かんらん岩の構造岩石学的研究

新海優里*・道林克禎・上原茂樹（静岡大）・石井輝秋（深田地質研究所）

トンガ海溝は、南太平洋トンガ諸島の東に位置し、北北東から南南西に総延長が約1200kmである。最深部の Horizon Deep Bight は 10,866m [1]であり、マリアナ海溝と並んで地球上で最も深い海域である。トンガ海溝では、太平洋プレートが部分的に裂けインド・オーストラリアプレートに 16cm/yr~24cm/yr の速度で沈み込んでいる[2]。背弧海盆である Lau 海盆は、現在も拡大を続けており 9cm/yr~16cm/yr で拡大する高速拡大域である[3]。

本研究では、1996年に行われたトンガ海溝深部陸側斜面のドレッジ調査 (Boomerang Leg8 aboard R/V Melville)で得られた深度 4136~9371m から採取された超マフィック岩石について、組織観察・鉱物化学組成測定・結晶方位解析を行い、沈み込まれるプレート側の深部構造について考察した。

岩石試料はスピネルかんらん岩であり、主にかんらん石・斜方輝石・スピネルで構成され、一部単斜輝石・蛇紋石・滑石を含んでいる。岩石種は、ダナイト~ハルツバーグジャイトである。試料によって蛇紋石化の程度は様々であるが、特に TF98 の試料には非常に新鮮なかんらん岩が含まれている。かんらん石の粒径は、粗粒 (>5mm) から細粒 (~0.5mm) であり、かんらん石内部に亜粒界や波動消光が観察された。蛇紋石は、全てのドレッジ地点から高温蛇紋石のアンチゴライト~低温蛇紋石のクリソタイル・リザダイトが確認された。

鉱物主要元素組成について、かんらん石とスピネルを測定した結果、ほぼ全ての試料が OSMA[4]内に入るマントル起源のかんらん岩であった。また、かんらん岩の枯渇度を示すスピネルの $Cr\# (=Cr/(Cr+Al))$ は 0.5~0.8 であった。 $Cr\#$ が 0.6 を超えるスピネルの存在は、トンガ海溝のかんらん岩が前弧的な組成を持っていることを示唆する。

かんらん石の結晶方位解析から、(001)[100]すべりが卓越していることがわかった。(001)[100]すべりは、実験研究から中程度の含水下において活動することが報告されており[5]、前弧域に特徴的なスピネルの主要元素組成と調和的である。このことは、かんらん岩の含水下における溶融と構造発達がある程度関連していたことを示唆する。また、ドレッジ地点 TF98 のかんらん岩試料では、他のドレッジ地点では観察されない {0kl}[100]すべりが確認された。TF98 は最深のドレッジ地点であり、より深部起源のかんらん岩がトンガ海溝の深部側に露出している可能性がある。このことは、トンガ前弧の活動的なテクトニクスを反映しているかもしれない。

[1] Macleod, 1994, *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Science Results*, **135**, 313-329.

[2] Bevis et al., 1995, *Nature*, **374**, 249-251. [3] Taylor et al., 1996, *Earth Planet. Sci. Lett.*, **144**, 35-40. [4] Arai, 1994, *Chemical Geology*, **59**, 279-293. [5] Katayama et al., 2004, *Geology*, **32**, 1045-1048.

マリアナ海溝南部カンラン岩の岩石学的特徴と構造
**Fabric and petrological characteristics of serpentized peridotites
 from the southern Mariana Trench**

道林克禎*・上原茂樹（静岡大理学部）小原泰彦（海上保安庁，JAMSTEC）
 石井輝秋（深田地質）
Michibayashi, K.* & Uehara, S. (Sci., Shizuoka Univ.)
Ohara, Y. (HODJ, JAMSTEC), Ishii, T. (Fukada Geol. Inst.)

太平洋西部マリアナ諸島の東側に弧状に張り出したマリアナ海溝は、平均水深が 6000mを超え、特に海溝最南部は水深 10000m 超の世界最深部である[1]。マリアナ海溝南部にはかんらん岩などの超マフィック岩が分布し[例えば、3] 数多くのドレッジや潜水艇等による調査が行われてきた。本研究では過去 30 年間にマリアナ海溝南部から採取されたかんらん岩約 100 試料について組織観察、結晶方位解析、鉍物主要元素組成測定を行い、過去の研究結果と合わせてかんらん岩の構造と岩石学的特徴に関する考察を行った。採取地点は大きく3つに分けられ、東から西に向かって Site1, Site2, Site3 とした。Site1 は東経 144°付近 [4]であり、Site2 は東経 143°20'付近[5, 6]、Site3 は Site2 よりもさらに西側の東経 143°付近である。

岩石薄片は構造を確認できた試料については面構造に垂直、線構造に平行な XZ 面で作成した。主要構成鉍物のかんらん石、斜方輝石、スピネルのダナイト～ハルツバージャイトであり、一部斜長石や金雲母が確認された。かんらん石はほとんどの試料で比較的粗粒(1mm 前後)な伸長した組織や波動消光を示し、一部のかんらん石には劈開が確認された。

鉍物主要元素組成について、かんらん石 $Mg\#(=Mg/(Mg+Fe))$ とスピネル $Cr\#(Cr/(Cr+Al))$ の値からマリアナ海溝南部のかんらん岩はほぼマントル起源のかんらん岩であることがわかった。また、かんらん岩の枯渇度を示すスピネル $Cr\#$ は Site2 と Site3 では 0.2 以下[7]から 0.6 以上の値を示した。東側 Site1 の試料では 0.6 以下の値を示した。これらの結果は、Site2 と Site3 の西側の試料ほどより枯渇しており Ohara & Ishii [5]で議論されたようにスラブからの水の影響を強く受けた前弧起源であることを示唆する。一方、東側の Site1 に低 $Cr\#$ が卓越することは、これらのかんらん岩が背弧起源のものである可能性を示唆した Michibayashi et al. [4]の結果と調和的である。かんらん石の結晶方位定向配列は主に(010)[100]パターン、(001)[100]パターン、{0kl}[100]パターンが確認された。また Michibayashi et al. [6]で報告された(010)[001]パターン(B タイプ)をもつ試料は極少数しか見つからず、ほとんどが a 軸すべりで形成されたかんらん岩であった。このことは、マリアナ海溝南部かんらん岩の構造発達にはメルトや流体の影響がほとんどなかったことを示唆する。

また、全ての試料が蛇紋岩化作用を受けているが、蛇紋石は Site1 ではリザダイト・クリソタイルのみであったが、Site2 と Site3 ではアンチゴライトがみられた。蛇紋石などの二次的な鉍物の組み合わせは、蛇紋岩化作用の反応経路の違いを反映している。Site1 では比較的早く上昇した後に低温で蛇紋岩化し、Site2 と Site3 では比較的ゆっくりと上昇したことでスラブから脱水した水などによって深部で蛇紋岩化した可能性がある。この違いはカンラン岩の岩石学的特徴が東側と西側で異なることと関係しているかもしれない。

[1] Fryer et al. 2003, EPSL, 211, 259-269. [2] Gvirtzman & Stern 2003, Tectonics, 23, TC2011. [3] Bloomer & Hawkins 1983, AGU Monograph, 27, 294-317. [4] Michibayashi et al. 2009, G3, 10, Q05X06. [5] Ohara & Ishii 1998, Island Arc, 7, 541-558. [6] Michibayashi et al. 2007, Tectonophysics, 444, 111-118. [7] 柳田ほか, 2007, 地球, 29, 615-627.

中部沖繩トラフ海底熱水活動域の海底下で起こる熱水変質反応

三好陽子^{*1}, 石橋純一郎¹, Expedition 331 乗船研究者²

¹九州大学理学府地球惑星科学専攻, ²統合国際深海掘削計画 (IODP)

熱水活動域では、地下で熱水と岩石の化学反応である熱水変質反応が起こり、熱水変質鉱物が形成される。地下の熱水変質鉱物の出現分布は、もとの岩石の化学組成だけでなく、地下の温度や化学環境を反映すると考えられている。地下で起こる熱水変質反応を明らかにすることで、地下の温度・化学構造を推定し、熱水の移動過程を議論することができるかと期待できる。

中部沖繩トラフは、日本周辺海域に多く存在する島弧・背弧の活動に伴って発達した海底熱水活動域の1つである。中部沖繩トラフでは、2010年9月に統合国際深海掘削計画 (IODP) 第331次研究航海 (Exp. 331) による海底掘削が行われ、最大深度 134m に及ぶ海底下試料が得られた。島弧・背弧の海底熱水活動域は、ファンデフーカ海嶺のミドルバレー熱水域のような海嶺の活動に伴って発達した海底熱水活動域とは母岩の化学組成などの特徴が異なっていることが知られている。本研究では、IODP Exp. 331 で得られた掘削試料中の熱水変質鉱物を解析し、島弧・背弧の熱水活動域海底下で起こる熱水変質反応について、海嶺のものと比較して特徴づけることを目指している。

熱水マウンドから約 100m 離れた Site C0013 と約 450m 離れた Site C0014 で得られた試料を、X線回折法 (XRD) を用いて解析し、伊平屋北海丘海底下の熱水変質鉱物の出現分布を浅い方から順に以下のような3つの Zone に分けた (以下の Zone の深度は Site C0013 のもの)。

Zone1 (0 - 7 mbsf) : カオリナイト、セリサイト-スメクタイト混合層鉱物、スメクタイト

Zone2 (7 - 40 mbsf) : クロライト-スメクタイト混合層鉱物、クロライト

Zone3 (40 mbsf 以深) : クロライト、セリサイト

クロライトは Zone2 と Zone3 に大量に出現し、透過型電子顕微鏡法 (TEM-EDS) を用いた化学分析により Mg に富む化学組成をもつことがわかった。このような大量の Mg-クロライトの出現は、海嶺の海底熱水活動域でも普遍的に見られており、海水の Mg が取り込まれて形成されたと考えられている。

Zone3 では、クロライトとともにセリサイトが出現している。セリサイトは K を珪酸塩層の間に含む熱水変質鉱物であり、海嶺の海底熱水活動域での出現は報告されていない。中部沖繩トラフ熱水域の熱水は、海嶺の熱水域の熱水と比較して K 濃度が高いことが報告されており (蒲生ほか, 1990)、Zone3 のセリサイトは熱水中の K を使って形成されたと推定される。

Zone1 のカオリナイトは、酸性条件下で安定な熱水変質鉱物であり、海嶺の熱水活動域での出現は報告されていない。沖繩トラフの熱水は、海嶺の熱水域の熱水と比較して H₂S や CO₂ といったガス成分が高濃度で含まれているという特徴があり (Ishibashi et al., 1999)、これらが堆積層中の間隙水に溶け込むことで、カオリナイトの形成に必要な酸性環境が作り出されたと推定される。

以上のように、Mg-クロライトは海嶺の熱水域と共通して出現するが、セリサイトとカオリナイトは海嶺の熱水域では出現せず、沖繩トラフ熱水域に特徴的に出現する。このような海嶺の熱水域と沖繩トラフ熱水域における熱水変質鉱物の出現組み合わせの違いは、熱水の化学的特徴の違いで説明することが可能である。

インド洋海嶺研究 ～ナマステ計画～
NAMASTE project

川口慎介（海洋研究開発機構プレカンラボ&海底資源研究プロジェクト）
Shinsuke Kawagucci, (JAMSTEC PEL&SRRP)

「ナマステ計画」とは、2009年のインド洋新規熱水2連発発見に気をよくした故玉木賢策教授が、航海直後の2009年11月16日に川口らに宛てた檄文で披露された、インド洋海嶺調査計画である。原文は玉木閣下独特のユーモアが散りばめられた長文であり、とても本要旨欄には収まりきらないため、要点を抽出し紹介する。

=====
インド洋の海嶺制覇を目標とし、経済が右肩上がりのインドと組み調査を実施する。ゴアの NIO (National Institute Oceanography) 中央海嶺研究グループがパートナーとなるだろう。日印共同研究を立ち上げ、サガルカーニャを使った CTD 探査航海を早急に実施してもらおう。Gucci らは当該航海に参加し、CTD/Gamos をやりまくる（カレー食い放題）。CTD 探査結果をもとに、Kairei または Yokosuka 航海を申請、潜航を実施。これが実現すれば、日本船の port call もゴアかコーチンになり、カレー漬けとなるので、この計画を、ナマステ計画 (Namaste Project) と呼びたいと思います。なお、ネーミングにこだわる私としては、Namaste の意味としぐさが気にいっております (Wikipedia 英語版参照)。
=====

熱水活動自体の研究としては、新しい熱水を見つければそれで良いという時代ではないが、海底熱水噴出域にはびこる特異な生態系の生物地理学的な研究をする上では、太平洋種と大西洋種が南方で混ざり、北端がどん詰まりになっているインド洋は、格好のターゲットとなり、その意味において熱水探査を行うことに意味があるだろう。

熱水探査の基本に立ち返ると、まずは中・広域で有効な熱水化学指標であるヘリウム同位体比のインド洋での分布を調査する必要がある。海洋化学分野で、南緯 20 度付近のインド洋横断観測および東部インド洋縦断観測の 2 つが立ち上がっており、これと連携することが望ましいだろう。

一方、中央インド洋海嶺の南緯 18~13 度域 (Seg17~20) は、巨大なトランスフォーム断層にはさまれ、また既知の Dodo 熱水域と似たセッティングも見られるため、初めからココにターゲットを絞り込んだ数キロ四方での詳細熱水探査 (AUV の利用、メタンなどを対象とした採水、GAMOS など現場分析計) を実施しても、成果が得られるかもしれない。CTD 採水+センサでの熱水探査観測であれば、インドや韓国の船舶を用いた連携調査も視野に入ってくるだろう。

IR-J コミュニティとして「インド洋海嶺研究を精力的に推進すべき」という共通認識があるならば、ナマステ計画を、玉木閣下の放言ではなく、国際的かつ学際的な真のサイエンスプランとして立案すべきであろう。

NEPTUNE Canada 計画による ファンデフーカ海嶺 Main Endeavour 熱水地帯での長期観測

中村光一* (産業技術総合研究所)

NEPTUNE Canada 計画で施設されて来たケーブルが Main Endeavour 熱水地帯まで延長され、最初の一連の観測機器の設置が 2010 年 9 月の R/V Thompson/ROV ROPOS 航海によって実施された。設置された機器からは約 1 ヶ月間、順調にデータが送られて来た後、突然データ転送途絶が起こった。2011 年 7 月 4~25 日に実施された Thompson/ROPOS 航海で潜航した結果、junction box は正常に機能しており、Endeavour node に接続する延長ケーブルに問題があると判断され、回収された。2011 年 9 月 9~30 日の Thompson/ROPOS 航海は天候に恵まれず、厳しいスケジュールではあったが、終了し、10 月 3 日現在ではデータが送られて来ていることが NEPTUNE Canada のホームページの Data Search 上で確認することができる。今年こそはトラブルが発生しないことを願う状態である。

演者はワシントン大学(UW)の Marvin D. Lilley が NEPTUNE Canada と契約をして実施している Benthic and Resistivity Sensors (BARS) を高温の black smoker に挿入して観測をするシステムに Eh 電極を供給している。Lilley との共同研究は Archean Park 計画の中で開始され、Main Endeavour や EPR 9N で熱水の沸騰状態の有無に対して敏感な resistivity sensor, 開発と平行しながらの水素センサー, 温度センサーを UW 側が Eh 計測を演者が担当するという形で行われて来た。これらの現場観測はだいたい 1 年程度のオフライン観測で航海毎に設置と回収を繰り返して来た。Eh 計測は演者がデータロガー共々電極を供給し、UW 側のセンサーのロガーとは独立に計測をして来たが NEPTUNE Canada に繋ぎ込む際に UW のデータロガーに Eh 電極用の基板を新たに組み込んでもらい、オンライン化した。UW では観測点の不足を補うために引き続きオフラインの観測を数点で継続しているが、そのデータロガーも一体化し、演者が供給する物は現在約 3m ケーブルのついた白金電極と短いケーブルのついた参照電極だけになっている。10 年近くになるこの共同研究において演者側の開発課題は白金電極の白金線のシールの仕方であった。Main Endeavour の熱水の温度が 300 度を越えるので日本近海の熱水で使用して来たテフロン製の収縮チューブが熔融してしまうのが問題であった。数年前からチタンの細管の中に径 0.5mm の白金線を挿入し、白金線とチタンの絶縁は特注したジルコニアの微小なビーズで行っている。まだ、これで完全かどうかは積み上げたデータの量がまだ多くはないので評価できてはいない。ケーブルを高温の熱水から離すため、白金線の長さは 50cm を越えることから、電極上の分極現象を評価することが最も難しい。色々な観測で Eh と温度や resistivity との変動の相関はあまり見ることができない。いくつかの観測例を紹介する。

NEPTUNE Canada の中では Barkley Canyon に昨年、再投入された benthic crawler, Wally II に搭載された MPI marine microbiology, Bremen の Dirk de Beer の複合センサーシステムに参照電極を提供している。Wally II は昨年 9 月の設置直後に複合センサーシステムを初めとするいくつかの機器に通信不良が発生し、データ取得ができなかった。今年 7 月に回収され、船上では不具合を直すことができずに再調整後 9 月に再投入された。Data Search 上で複合センサーシステムは現在見えず、状況は不明である。

南部マリアナトラフ・沖縄トラフの海底熱水鉱床の U-Th 放射非平衡年代

賞雅朝子*・中井俊一（東大地震研究所）・豊田新・
佐藤文寛（岡山理大）・石橋純一郎（九州大）

近年、海底熱水鉱床における資源開発の試みや、熱水系に発達する生物に関する研究が進んでいる。海底熱水鉱床の形成史やその周辺に生息する生物の発生・進化の解明には、熱水活動のタイムスケールを知ることが重要である。海底熱水鉱床における年代測定にはいくつかの方法が試みられているが、熱水活動の変遷は数週間から数万年と年代幅があるため、複数の年代測定法を組み合わせることが必要である。一方で、 ^{238}U 放射壊変系列中の ^{230}Th と ^{234}U の間の放射非平衡年代測定法は200年～20万年の年代測定が可能で、熱水活動の年代測定に有用である。これまでにウラン・トリウム放射非平衡年代測定が報告されている海底熱水鉱床は、大西洋中央海嶺のTAG地域で、2000～15000年前から現在まで間歇的な熱水活動が続いていることが報告されている（You and Bickle, 1998）。

日本周辺ではプレートが重なりあい、大西洋中央海嶺のTAG地域（1.1cm/年）よりも速い沈み込み（例えば沖縄背弧海盆では4cm/年）が観測されており、日本周辺では海底熱水活動のタイムスケールがTAG地域よりも若いことが予測されている。

本研究ではプラズマイオン源質量分析計を用いて、1000年より若い活動が予想される沖縄トラフと南部マリアナトラフの海底熱水活動域の熱水噴出孔から採取した閃亜鉛鉱と黄鉄鉱を主とする硫化鉱物のウラン・トリウム放射非平衡年代を測定した。

沖縄トラフの伊是名と伊平屋の熱水鉱床試料とマリアナトラフのPika、Archean、Snail、Urashimaの熱水鉱床試料を測定した。伊是名試料以外は、すべて岡山理科大学のアイソダイナミックセパレーターを用いて分離し、分析した。試料中の重晶石（ BaSO_4 ）に含まれるBaは、プラズマイオン源質量分析計によるウラン・トリウムの同位体分析時に妨害元素となるため、精度の良い年代測定にはBaの分離が必要となる。試料の酸分解の際に重晶石を取り除き、さらに2段階カラムクロマトグラフィーで、ウラン・トリウムの精製度を向上した。

伊是名海穴の試料の一部からは1000年よりも若い年代が得られた。しかしU/Th比が低く、精度の良い年代測定には、年代測定の前条件となるTh/Uの初生比の検討が必要であることがわかった。Archean siteの試料では、高いU/Th比を持つデータが得られた。特に電磁分離試料は、ウラン濃度が相対的に高くなり、U/Th比も高かった。電磁分離による試料の8点からは、740～1800年前からArchean siteの熱水鉱床が活動していることが示唆された。また同試料は岡山理科大学でESR年代測定を行っており、その結果とも調和的であった。

海底熱水性重晶石を用いた ESR 年代測定

佐藤文寛*・金光真弘・豊田新・内田 乃(岡山理科大学),
賞雅朝子・中井俊一(東京大学), 石橋純一郎(九州大学)

海底熱水活動についての研究の初期段階では、熱水活動の時間変動についてはあまり議論されなかった。しかしながら、海底熱水活動が生物圏に与える影響について議論されるようになって熱水活動の時間変動の詳細を明らかにすることは、重要な課題となってきた。そこで、熱水性鉱物に対して従来よく用いられていた年代測定法に加えて、新しい年代測定法が必要となった。

重晶石の電子スピン共鳴(ESR: Electron Spin Resonance)年代測定の可能性については、*Kasuya et al. (1991)*によって指摘されていた。その後、*Okumura et al. (2010)*によって海底熱水性重晶石を用いて実際の応用が初めて試みられた。この研究では、年代としての数値は求められたものの、硫化物チムニーに含まれる重晶石の産状や周辺環境からの自然放射線(α 線、 β 線ならびに γ 線)について考慮と、信号の安定性についての議論もなされていなかった。

今回は、チムニーの鉱物組み合わせ、放射性鉱物の分布およびその放射線量などを調べ、海底熱水系における自然放射線の年間線量率の評価を行い、熱水性重晶石を用いたより正確な ESR 年代測定を行った。

本実験に用いた試料は、南部マリアナトラフの Archaeal-site, Pika-site, Snail-site のそれぞれから採取されたチムニー (YK05-09 航海, 2010 年 6 月第二白嶺丸/BMS 航海, YK10-11 航海により) から抽出した重晶石(Barite)である。抽出前のチムニー試料を XRD および EDS 分析したところ、重晶石(BaSO_4)、黄鉄鉱(FeS_2)、閃亜鉛鉱(ZnS)等が見られた、抽出した試料は重晶石であることを確認した。チムニー試料の放射能分布をイメージングプレートを用いて観察したところ、重晶石からのみ放射線の放出が確認された。低バックグラウンド Ge 半導体検出器を用いて重晶石中の放射性元素の量を測定した。

この結果、 ^{226}Ra が検出され、トリウム系列核種 ^{40}K についてはほとんど検出されなかった。チムニー中心部における年間線量率は、 α 粒子、 β 粒子を無限体系とし、宇宙線の寄与を無視した。 γ 線については試料の形状を考慮し、 α 線による損傷の生成効率値については、タンデム加速器による He^+ イオン照射実験による結果を用いて年間線量率を算出した。その結果と ESR 測定によって算出された現段階での蓄積線量から年代を算出した。年代はそれぞれ 10^2 年から 10^3 年の値が算出されている。

マリアナトラフにおけるアルビンガイの集団構造に関する研究

日高裕華* (東京大学大気海洋研究所)・小倉知美 (東京海洋大学)・
渡部裕美 (海洋研究開発機構)・
狩野泰則・小島茂明 (東京大学大気海洋研究所)

熱水噴出域は時空間的に不連続に存在しているにも関わらず、そこには多くの固有種が絶滅することなく生息している。その理由として、浮遊幼生が遠く離れた熱水域間を分散していることが考えられるが、分散を定量的に評価した研究はまだ少ない。本研究では、西部太平洋の熱水噴出域の代表的な固有種のひとつであり、高いバイオマスを有するアルビンガイ *Alviniconcha hessleri* を対象として、熱水噴出域の生物がどのように幼生期に分散して集団を形成しているのかを明らかにすることを目的として集団遺伝学的解析をおこなった。本種は *Alviniconcha* 属で唯一の記載種で、中部マリアナトラフと南部マリアナトラフの熱水噴出域でのみ発見されている。近縁の *Alviniconcha* 属未記載種では、マヌス海盆と北フィジー海盆の集団間に遺伝的分化が見出されなかったことから、高い幼生分散能力を持つことが示唆されているが、浮遊幼生に関する直接的な知見は得られていない。

解析には、2010年9月に行われた YK10-11 航海において採集した南部マリアナトラフ (Archaeal site、Urashima site、Snail site) のアルビンガイ各 20 個体と Kojima et al. (2001) で使用された中部マリアナトラフ (Alice springs site) および南部マリアナトラフ (Forecast site) のアルビンガイ各 20 個体を用いた。集団構造解析のための分子マーカーには、ミトコンドリア DNA にある 7 つの tRNA および 12S rRNA の遺伝子を含む領域に存在する非翻訳領域 (154 塩基対) と COI 領域 (491 塩基対)、核 DNA 上のリボゾーム RNA 遺伝子間の ITS-1 領域 (337 塩基対) を用いた。解析に用いたミトコンドリア DNA の非翻訳領域は、トリプトファン tRNA をコードする遺伝子が転移したことによって生じたと考えられる領域であり、解析に十分な変異率および高い多様性指数を有することが示されている (日高ほか ブルーアース 2011)。

得られたミトコンドリア DNA の塩基配列に基づいて地域集団間の遺伝的分化を検定したところ、遺伝的差異は全分布域にわたり検出されなかった。このことは、本種が中部マリアナトラフと南部マリアナトラフの間を自由に分散していることを示しており、YK10-11 航海で採集され、Histone 3 遺伝子領域の塩基配列に基づいて同定されたアルビンガイの浮遊幼生の形態的特徴とも一致している。一方で、遺伝子ネットワーク解析から、本種の集団が遺伝的にやや異なる 2 つのグループから構成されていることが示された。また、Coalescence theory に基づくベイズ解析により地域集団間の遺伝的交流量を推定したところ、中部マリアナトラフから南部マリアナトラフへの分散が卓越することが示された。これらの結果から、過去に中部と南部の集団が隔離されていた時代に両集団の間に遺伝的な分化が生じたが、マリアナトラフ全体を幼生が盛んに分散できる様になったため、現在では全ての集団が遺伝的に均質化しているものと推定された。

現在、ITS-1 領域のデータを加えた解析を進めている。また、地域集団の履歴をより正確に復元するために、さらに解像度の高いマイクロサテライトマーカーの開発を進めている。

中部沖繩トラフ伊平屋北海域に存在する熱水孔下生命圏
-IODP Exp331 掘削調査結果-

柳川勝紀^{*1}、布浦拓郎²、川口慎介²、平井美穂²、砂村倫成¹、高井研²

¹ 東京大学大学院 理学系研究科 地球惑星科学専攻

² 海洋研究開発機構 海洋・極限環境生物圏領域 深海・地殻内生命圏システム
研究チーム

深海熱水噴出孔から噴出する高温熱水には、海底下から運ばれてきたと想定される微生物が検出されており、熱水噴出孔下に微生物圏の存在が期待されている。2010年9月に実施された統合国際深海掘削計画第331次航海 (IODP Expedition 331) では、中部沖繩トラフ伊平屋北熱水活動域を対象に柱状コア試料が取得され、深海熱水噴出孔下微生物圏へ直接的アプローチが試みられた。

熱水噴出孔より450m離れたSite C0014では、海底下50mで200度超の高温環境が形成されており、水平方向に熱水移流が走っていることが予想された。このコア試料では浅部海底環境にしか微生物細胞は観察されなかったものの、高温熱水環境を反映してその群集構造は鉛直的に変化していた。また、メタン生成、嫌氣的メタン酸化、酢酸生成活性が浅部環境から確認され、それらは環境中の各濃度プロファイルと整合的な活性を示していた。

熱水噴出孔より1.5km離れたSite C0017では、地温勾配の解析より、海底熱水循環に伴う表層堆積物への海水の染み込みが起きている場と考えられている。実際に掘削コア試料からは、浸透海水の主要流路と考えられる半遠洋性堆積物に挟まれた粗い軽石層が発見された。分子系統解析の結果、海底下20mまでの浅部堆積環境では、通常 of 海底堆積物中で頻繁に検出される未培養性アーキアが優占し、直下の軽石層ではNitrosopumilalesが分布していることが明らかになった。さらに下部の堆積物では再び地下圏未培養性アーキアが頻出していたことから、軽石層には海水由来の酸化的水が流れ、特異的微生物生態系が発達していたと予想される。また、本コア試料には、熱水の流路は見つかっていないものの、深度150mでは90度近い高温環境が存在しており、Site C0014の高温環境に類似した微生物群集が検出された。こうした微生物相の変遷は、熱水孔下生物圏の存在様式を端的に示していると考えられる。

中央海嶺での岩石学研究の現状と課題

佐藤暢* (専修大)

中央海嶺は拡大速度によって、高速・中速・低速・超低速拡大海嶺に分けることが出来るが、拡大速度と海嶺の水深や噴出している岩石組成の間には相関があることが知られている(例えば Klein and Langmuir, 1987)。これはマンテル温度が高速拡大海嶺で高く、低速・超低速拡大海嶺で低いことで基本的には説明できる。このようなことを念頭に、現在までに中央海嶺に沿うグローバルな変化が調査され、追認されてきた。

一方で、詳細に調べると、海嶺毎の違いも顕著になり、それらは海嶺下マンテルの組成の違い、拡大速度の違い、プルームとの相互作用などで説明されている。2000年代は、特にこれらの違いが顕著に現れる低速～超低速拡大海嶺での調査が進められてきた。

このような研究によって、中央海嶺下におけるマグマ形成過程についての理解は深まってきたが、果たして本当の意味での理解につながっているのだろうか？同位体比が分かれば、どのような同位体端成分が、どの程度混合したマンテルに由来するマグマなのかを突き止めることが出来る。しかし、同位体比の分析値しかなければ、マグマ形成の温度・圧力条件は分からないし、噴出までの過程も追えない。また逆に、主成分組成の分析値だけでは、マンテルの組成を推定することは難しい。構成鉱物の観察や分析値はあまり報告されることはないが、そこに残されている情報も重要であろう。

ありとあらゆる情報(分析値)があれば良いということでは決してないが、ある特定の海嶺での現象を理解するためには、グローバルなスケールを解明するのとは違った、詳細な解析が必要になるだろう。

また、他の研究分野、少なくとも地球物理学的な研究結果と議論しうることを目標に研究することも必要であろう。マンテルの同位体比が分かっても、それは地球物理学的な観測で検知されるものではないから、マンテルの真の姿を知る助けにはあまりならないかもしれない。例えば、ODP Leg 187は、オーストラリアー南極不連続

(Australia-Antarctic Discordance: AAD)での太平洋とインド洋のマンテルドメイン境界の変遷を知ることが目標であった。微量元素組成と同位体比が徹底的に測られ、結論としては、境界の描写に成功した訳だが、私が不勉強なだけかもしれないが、なぜそこにドメイン境界が存在するのか(別に Gurnis らによる説明はあるが)、そもそもそれぞれのドメインがなぜ形成されたのか、といった疑問は解決していないように思われる。

講演では、これまで関わってきた中央海嶺研究を例に、現状と問題点を挙げるとともに、少なくとも筆者の考える今後の課題について発表したい。

熱水域の生物群集 進化生態研究と保全を巡る最近の展開

島 伸和* (神戸大院・理)

熱水域の生物群集 進化生態研究と保全を巡る最近の展開

小島茂明*（東京大学大学院新領域創成科学研究科・大気海洋研究所）

深海の熱水噴出域に生息する動物群には、熱水域または熱水域とメタン湧水域に固有な種が多く含まれており、化学合成細菌との細胞内共生や熱水環境への高度な適応など、科学的興味に加えて、将来の産業利用の面からも注目されている。70年代後半に深海熱水域が発見されて以来、熱水域から多くの種が記載された。Desbruyères et al. (2006) には500を超える種が掲載されているが、まだ多くの種が未記載のまま残されていると考えられている。これは、インド洋や極域など調査が不十分な海域を中心に未発見の熱水域が多数存在すると想定されるのに加えて、従来形態に基づく分類では認識できない同胞種の存在やメイオベントスと呼ばれる顕微鏡サイズの種の分類がほとんど進んでいないことなどによる。DNAの塩基配列に基づく種同定（DNAバーコーディング）や次世代シーケンサーによる種多様性の推定（メタゲノム解析）などによる多様性研究の加速が期待される。

塩基配列に基づく分子系統解析によって、いくつかの代表的な動物群について熱水域への進出過程や年代が推定されている。深海底に不連続に分布し、不安定な環境である熱水域では、長距離を分散する能力を持つ分類群のみが生き残ってきたと考えられる。熱水域固有種の成体は多くが固着性あるいは移動能力が低く、長距離の移動はプランクトン幼生期の分散に限られる。「種」は生物分類の基本単位であり、「種分化」は生物進化の基本単位となる不可逆な過程である。熱水域における生物進化のスタートは多くの場合、集団の隔離（＝幼生分散の停止）であると考えられる。生物進化を考える上でも、どの様な要因によって幼生分散が制御されているかを知る事が重要である。

今世紀に入って現実のものとなった熱水噴出に伴う金属資源の開発では、生物多様性に対する国際世論を背景に、適切な生態系保全策が不可欠となっている。人間と動物が資源を奪い合うエネルギー資源とは異なり、熱水鉱床開発では開発終了後に種レベルでも遺伝子レベルでも同等の生物群集が再生されるか否かが、保全策が適正であるかどうかを評価する際の基準となりつつある。群集の再生は、他の熱水域からの幼生分散とその定着によるので、ここでも鍵になるのは幼生分散である。熱水噴出現象では自然状態でも大規模な消長、時には生物群集を絶滅させる様な爆発が起こる。いくつかの熱水域で収集されている生物遷移の知見も開発後の環境回復を予測する上で重要な知見である。

幼生分散を定量的に評価する方法には、群集を構成する種の集団の遺伝学的特徴に基づく間接的な推定法と幼生の現場採集や付着実験、飼育実験などによる直接的な方法がある。前者では *coalescence theory* に基づくベイズ解析が主流になりつつある。また後者では、幼生の種判別手法の開発やプランクトンポンプの実用化により興味深い事実が明らかにされている。こうした研究の現状について、昨年度の「なつしま/しんかい 6500」南マリアナ航海を例に紹介したい。

InterRidge 創設時から最初の 10 年位の歩み

藤本博己* (東北大学大学院理学研究科 地震・噴火予知研究観測センター)

InterRidge 計画では 2004 年～2013 年を第 2 期の 10 年計画と位置付けているが、その前の第 1 期約 10 年の歩みを、計画立ち上げのころを中心に振り返ってみたい。

1970 年代の熱水活動の発見以来、欧米では中央海嶺の研究はかなり実施されていたが、1980 年代の終わりころ、中央海嶺の活動に焦点を当てた計画を立ち上げて、組織的に研究を推進することにより新たな展開を目指そうという動きが米国と英国で始まった。米国では 1987 年にそのためのワークショップが以下のように開催された。

The idea of an interdisciplinary program to study ridges and associated hydrothermal systems began in 1987 at a workshop convened by the National Academy of Sciences at the Salishan Lodge in Oregon. More than 80 scientists from the United States and abroad attended to discuss our understanding of oceanic lithosphere evolution, and to identify primary objectives for ridge-crest science for the next decade. Participants agreed that the global spreading-center network operated as a single, dynamic system, one through which energy flows from Earth's interior to the lithosphere, hydrosphere and biosphere. They concluded that major strides in understanding this system would demand an interdisciplinary approach to research (Hassler et al., 2011, Geotimes).

このワークショップを主導したのは、現在 Neptune 計画を主導しているワシントン大学の John Delaney 氏であった。これを契機に計画立案が進められ、RIDGE (Ridge Inter-Disciplinary Global Experiments) 計画が 1990 年ころに立ちあがり、続いて英国で BRIDGE 計画が立ちあがった。

このような国内計画の立ち上げと並行して、国際的な中央海嶺研究計画立ち上げの準備も進められた。1989 年 6 月にアメリカのワシントン D.C., 1990 年 6 月にフランスのブレストで準備会を開催し、1992 年には英国のヨークで 10 ヶ国から約 50 人が参加して InterRidge 会議を開催し、2003 年まで 3 期 12 年の Program Plan を了承し、InterRidge 計画が開始された。米国、英国の他、大西洋で米国と FARA 計画、北フィジー海盆で日本と STARMER 計画を進めていたフランスや、ドイツ、カナダ、日本が中心メンバー国となった。

国内では当時東大海洋研にいた玉木賢策氏と私が InterRidge 計画の日本の連絡員となっており、海洋研に事務局をおいて国内ワーキンググループによる計画立案作業を進めるとともに、1991 年 4 月に InterRidge Japan Newsletter 第 1 号を発行した。文部省の科学研究費国際学術研究を 1991 年度、92-93 年度、94-95 年度と続けて交付を受けて、中央海嶺研究に関係する内外の会議等や研究航海への研究者の招へい・派遣をできたことは、日本の多くの研究者が中央海嶺研究に触れる機会を得たという意味で重要であった。

InterRidge に関わる化学的調査

蒲生俊敬* (東京大学大気海洋研究所)

InterRidge News の創刊が 1992 年で、この頃から国際的連携のもとでの中央海嶺研究が本格化した。化学的手法による中央海嶺探査は、研究対象をどこにおくかによって様々であるが、ここでは中央海嶺の火山活動に伴う海底温泉（海底熱水活動）の化学的研究に話を限る。

地球化学的手法による海底熱水系の探査は、1) 未知の海底熱水系を発見し、その位置を特定すること、および 2) 1) が達成された後、熱水エンドメンバーを採取し、その化学的特徴や化学フラックスを解明する、の 2 段階に大別される。前者では海洋研究船による広域調査がなされ、熱水噴出域から四方八方に広がる熱水プルームの分布を、熱水由来の化学成分の濃度異常からマッピングするために「化学」が登場する。一方後者では、深海潜水船によるスポット的な集中観測によって熱水噴出を発見し、熱水試料を採取し、その化学分析を行うところに「化学」が役割を果たす。

このような 2 段階探査の実例はいくつかあげることができる。例えば、InterRidge 計画の萌芽期に実施された、インド洋中央海嶺ロドリゲス三重点における探査は以下のようなになされた。

まず 1) の調査は、1993 年の白鳳丸 KH-93-3 次航海（共同主席研究員：玉木賢策・藤本博巳）を利用して行われた。この航海は、地球物理学、地質学、生物学など様々な分野の研究者が乗り合わせた学際的なもので、海外からも数名の研究者が白鳳丸に乗船し、文字通り国際共同によって調査が進められた。採取した海水中のメタン、鉄、マンガン等の濃度が、船上で直ちに分析され、得られた熱水プルーム情報に基づいて白鳳丸の向かうべき測点の位置が修正された。測器を上げ下げしながら船を微速で移動させる tow-yo 観測が威力を発揮し、熱水の源がほぼ特定された。

2) の調査は、1998 年の MODE'98-Leg III 「よこすか」航海（主席研究員：藤本博巳）および 2000 年の「かいいい」KR00-05 次航海（主席研究員：橋本惇）と続く。特に後者ではインド洋初の 360°C を超える高温のブラックスモーカー熱水が発見され、採取した熱水の化学組成が明らかにされた。太平洋や大西洋の中央海嶺系熱水と類似の化学組成を持つ一方で、水素に富みそれに依存する生態系が発見されるなど、熱水生物圏や生命の起源に関わる最先端の研究が進展中である。

海底熱水活動のように時間的変動を伴う現象について理解を深めるには、一度だけの観測ではなく、繰り返しデータを取得することが重要である。長期にわたるデータを平均することによって、熱水噴出に伴う化学フラックスを正確に見積もることが可能となる。海底地震計のように容易に長期間海底に設置でき、時系列データの取得できる現場化学分析計の開発と応用も過去 20 年間にわたって続けられ、成果を上げつつある。

国際 GEOTRACES 計画により海水中の微量元素の動態解明が急激に進んでいる。ローカルな海底熱水活動に伴う化学フラックスが、グローバルな炭素循環・生物生産や気候変動とどのようにリンクするのかについては大いに興味を持たれる。このような学際的研究の推進にとって、InterRidge の果たす役割が今後益々重要視されることとなろう。

深海熱水系における化学環境と微生物生態系の関わり
ー 世界はようやく追いついてきた

高井 研* (海洋研究開発機構)

海底熱水探査と鉱床

-国際的に見た研究の口実と現場と成果の錯綜の過去と将来-

中村光一* (産業技術総合研究所)

海底熱水探査が過去 30 年間、精力的に行われてきた。巨大チューブワームを発見した 1977 年 2~3 月のガラパゴス海嶺での潜水船 Alvin の潜航調査 (Corliss et al., 1979, *Science* **203**, 1073) やブラックスモーカーを発見した 1979 年 3~5 月の EPR21N での Alvin の潜航調査 (Spiess et al., 1980, *Science* **207**, 1421) を皮切りに次々と科学的発見の興奮を引き起こし、*Nature* や *Science* などの有名な国際誌に論文が掲載されるので再びプロポーザルが通り、新たな航海が実現されて来たという循環が存在した。しかし、今状況は変わってしまった。多くの論文が「大方の興味を惹かない」という理由でレビューにも回わされずにこうした雑誌で門前払いされ、AGU Fall meeting では引き続きいくつもの熱水関連セッションが開催されているが、以前のように聴衆で溢れ返る会場ということは無くなってしまった。当時の NSF G&G のトップ Mike Purdy と NASA で火星探査を率いて来た Mike Meyer が主宰した 1999 年の B41C “Deep Biospheres: Where and How?” のような session はもう見られない。昨年(一昨年?)の NSF プロポーザルにおける Ridge 枠の消滅はそうした退潮の象徴でもある。一方、生物地理区的に見た場合の未探査領域の重要性や海底の圧力が海水の臨界圧力を越えるような深海での熱水の未解明な挙動など科学的に重要と考えられる課題は決して少なくなった訳ではなく、広大に存在する未探査の潜在的な海底熱水地域の探査を実現させようとする研究者の意気込みと現実の間にギャップが存在している。航海採択や有名国際誌での論文受理のためには海底熱水研究に携わる研究者自身がギャップの実態を自覚する必要がある。*Nature* での門前払いの理由の実例を示しながらギャップの状況と方向性を議論する。

Glossary of Geology (5th ed.) の orebody の定義には extraction economically feasible という言葉が含まれる。feasible かどうかは金属価格などの諸条件で相対的なものである。60 年代には存在が明らかになっていた紅海の金属硫化物を含めれば半世紀を経て、未だに稼行されることがないにも関わらず「鉱床」と言うことができるかどうか、探鉱を打ち切って 2010 年 6 月 23 日に Solwara 1 区の開発計画を示して増資を募集している Nautilus Minerals の計画が実現するかがひとつの試金石になる。開発計画の提示自身は後発の Dorado Ocean Resources の先手を打って資金を獲得しようと言う意図を読み取ることができるが、歴史的な高水準にある金価格の下で次のステップに進むことが実現しなければ、1980 年代のドイツ Preussag 社など以来の第 2 の民間主導の鉱床探査の波は萎む可能性があり、ここで萎んでしまえば、今世紀になって開始した中国や韓国の探鉱戦略の経済的意味が不明な活動などを除いて世界的には探鉱活動は断ち消えると思われる。Nautilus や Dorado の探鉱活動を紹介しながら、海底に露出しない潜頭鉱床や熱水活動を停止した鉱体を探鉱対象とする無意味さも説明する。

熱水サイトの発見は最後は数十 m 規模での探索になり、最後の幸運や美しい誤解が発見か見逃しかを左右して来た。そうした実例を紹介する。幸運の要素を正しく理解しなければ、次の新たな発見をうまく導くことはできない。濁度計, Eh 電極, 潜航艇艙装高分解能マルチナロービームのセットで十数 km 径のターゲットからサイト発見への技術は確立しているが、効率的ターゲット探しの手法は未だに CTD 探査で時間を必要とする。