

南海トラフ地震発生帯掘削の7年：達成と教訓 7 years of NanTroSEIZE: Achievements and Lessons Learned

木下 正高^{1*}; Tobin Harold²
KINOSHITA, Masataka^{1*}; TOBIN, Harold²

¹ 海洋研究開発機構, ² ウィスコンシン大
¹JAMSTEC, ²Univ. Wisconsin-Madison

南海トラフ地震発生帯掘削 (NanTroSEIZE) が 2007 年 9 月に開始以来、6 年経過した。13 地点で掘削、これまで延べ 170 名超の研究者が「ちきゅう」に乗船した。4 ノットを超える黒潮下でのライザー掘削、東北地震による破損など、様々な困難を乗り越え海底下 7km の断層固着域に向けて掘削を進めている。本発表では、NanTroSEIZE のこれまでの掘削実績、科学成果、今後の展望について概観する。

キーワード: IODP, ちきゅう, 固着域, 地震発生メカニズム, 南海地震
Keywords: IODP, Chikyu, seismogenic zone, Nankai Trough

IODP Expedition 348 南海付加体内部への超深部ライザー掘削概要 Ultra-deep riser drilling into the Nankai accretionary prism: Preliminary results of IODP Expedition 348

廣瀬 丈洋^{1*}; Tobin Harold²; Saffer Demian³; Toczko Sean¹; 前田 玲奈¹; 久保 雄介¹; 金川 久一⁴; 木村 学⁴; Expedition 348 乗船研究者⁶

HIROSE, Takehiro^{1*}; TOBIN, Harold²; SAFFER, Demian³; TOCZKO, Sean¹; MAEDA, Lena¹; KUBO, Yusuke¹; KANAGAWA, Kyuichi⁴; KIMURA, Gaku⁴; EXPEDITION 348, Scientists⁶

¹ 海洋研究開発機構, ²University of Wisconsin-Madison, ³Pennsylvania State University, ⁴千葉大学, ⁵東京大学, ⁶IODP Expedition 348

¹JAMSTEC, ²University of Wisconsin-Madison, ³Pennsylvania State University, ⁴Chiba University, ⁵The University of Tokyo, ⁶IODP Expedition 348

The Nankai Trough Seismogenic Zone Experiment (NanTroSEIZE) is a multi-disciplinary scientific project designed to investigate fault mechanics and seismogenesis along subduction megathrusts through seismic imaging, direct sampling, in situ measurements, and long-term monitoring in conjunction with laboratory and numerical modeling studies. As part of the NanTroSEIZE program, International Ocean Discovery Program (IODP) Expedition 348 started on 13 September 2013 and was completed on 29 January 2014. During Expedition 348, the drilling vessel *Chikyu* advanced the ultra-deep riser hole at Site C0002, located 80 km offshore from the Kii Peninsula, from a depth of 860 meters below sea floor (mbsf) to 3058.5 mbsf, the world record for the deepest scientific ocean drilling, and cased it for future access. The drilling operation successfully obtained data on formation physical properties from logging while drilling (LWD) tools, as well as from lithological analyses of cuttings and core from the interior of the active accretionary prism at the Nankai Trough. IODP Site C0002 is the currently only borehole to access the deep interior of an active convergent margin. We will present preliminary scientific results as well as key aspects of riser-drilling operations, including two sidetrack borehole drilling operations conducted in this never-before accessed tectonic environment.

キーワード: IODP, NanTroSEIZE, Nankai Trough, accretionary prism

Keywords: IODP, NanTroSEIZE, Nankai Trough, accretionary prism

CRISP：沈み込み帯巨大地震の特徴的マグニチュードは何か決めるのか Costa-Rica Seismogenesis Program (CRISP) to understand characteristic magnitude of subduction earthquake

坂口 有人^{1*}; Harris Robert²

SAKAGUCHI, Arito^{1*}; HARRIS, Robert²

¹ 山口大学大学院・理工学研究科/海洋研究開発機構, ²Oregon State University

¹Yamaguchi Univ./JAMSTEC, ²Oregon State University

Variations in earthquake magnitude and recurrence intervals of fault behavior are best understood in the context of regional tectonics. Convergent margins may be divided into two end-member types termed erosive and accretionary plate boundaries (e.g. von Huene and Scholl, 1991; Clift and Vannucchi, 2004). These margins may differ greatly in lithology, physical properties and hydrology. The Nankai accretionary margin has a 1300-year historical earthquake record with a recurrence interval of 100-150 years (Ando, 1975). Great earthquakes at Nankai are typically tsunamigenic and include the 1944 Tonankai ($M_w=8.1$) and 1946 Nankaido ($M_w=8.1$) earthquakes (Kanamori, 1977). In contrast, the Middle America trench offshore Costa Rica events of $M=7.6$ reoccur on average of every 40 years. The CRISP drilling area is offshore Costa Rica just northwest of the Osa Peninsula. Comparisons between these margins may produce insights into mechanisms that influence characteristic magnitudes and recurrence intervals of subduction earthquakes.

The IODP Costa-Rica Seismogenesis Program (CRISP) has carried out the first step toward the deep riser drilling by characterizing the shallow lithologic, hydrologic, stress, and thermal state at offshore Osa Peninsula (Vannucchi et al., 2011; Harris et al., 2013). CRISP drilling reveals that the shallow basement of upper plate crust is forearc basin material consisting of lithic sedimentary units with terrigenous sediment accumulated at a high rate. A large sediment flux to the forearc may have originated from the uplifted back-arc Talamanca Cordillera due to Cocos-Ridge subduction (Lonsdale and Klitgord, 1978; van Andel et al., 1971). Both the Nankai and the CRISP drilling areas are characterized by the subduction of young oceanic crust with high heat flow and active fluid flow (Spinelli and Wang, 2008; Spinelli and Harris, 2011; Harris et al., 2010). The Nankai and Costa Rica margins are ideal areas to better understand the relation between the earthquake magnitudes and other subduction zone factors.

Keywords: Large subduction earthquake, seismogenic fault, accretion and erosive margin

底生有孔虫群集解析にもとづく、コスタリカ沖中米海溝周辺海域過去 200 万年間の古水深変化 (IODP Exp.344 : CRISP-A2) Estimation of the past bottom-ocean environment of 2Ma based on the benthic foraminifera stratigraphy: IODP Exp. 344

内村 仁美^{1*}
UCHIMURA, Hitomi^{1*}

¹ 熊本大学大学院自然科学研究科

¹ Graduate School of Science and Technology, Kumamoto University

赤道太平洋東縁、コスタリカ沖の中米海溝付近ではココスプレートがカリブ海プレートの下に沈み込んでおり、東日本大震災を引き起こした日本海溝と同様の浸食型沈み込み帯とされる。中米海溝は日本海溝よりも地震発生帯が浅いことから、地震発生帯を直接掘削・調査することを目的に CRISP 計画 (Costa Rica Seismogenesis Project) が進められている。

一般に浸食型沈み込み帯では、沈み込むプレートによって上盤プレートの下部が削剥されて、上盤プレート自体が沈降すると考えられている。しかしながら CRISP 計画による IODP Exp.334 の 1 地点では上盤側の隆起が確認され、ココスリッジ沈み込みに起因するものとも推定されている。そこで同計画の第二期航海 IODP Exp.344 では、ココスプレートの活動に伴う地域的な変化を解明するため 5 地点で掘削を行った。筆者は修士論文として、掘削地点の底生有孔虫化石層序を解析し、そこで得られる群集変化から推定される上盤側海底の古水深変化とプレート活動史との関連性を追求している。

本研究では、Exp.334 において既に概査研究が行われている 2 地点を除いた 3 地点についての底生有孔虫群集変化を議論するため、上盤側の大陸斜面上部に位置する U1413A, C (水深 540m)、上盤プレート先端部に位置する U1412 (水深 1921m)、および中米海溝の沖側のリファレンス地点 U1414 (水深 2459m) を扱った。これらの全地点では、船上での石灰質ナノ化石及び放散虫化石層序により、現在から約 2Ma まで連続的な堆積記録が確認されている。この層序区間について、船上で分取したコアキャッチャー (CC) 試料と下船後に試料を追加した試料の有孔虫群を分析し、得られた結果をもとに、R モード及び Q モード・クラスター分析を通じて、群集変化を考察している。また、有孔虫化石群集の変遷を検討する上での基礎情報として、中米沖を中心に、北米から南米に至る太平洋沿岸海域の現生群集の分布を総括した。

海溝外側の地点 U1414 において、約 2 Ma 以降に当たる 1H?14H の CC 試料は、主に *Uvigerina senticosa*, *Oridorsalis umbonatus*, *Pullenia bulloides* など深海性種から構成され、大きく変化することはない (Horn の類似度指数は 0.6~0.8)。これは、U1414 が水深 2000m 超の大洋底上にあつて、底生有孔虫群集に影響するような劇的な変化がなかったことを示唆する。

U1412 の群集は Q モードクラスター分析により 3 群に分けられた。第 1 群は U1414 と共通した深海性の種群から構成されるグループで、これは U1414 と共通する深度帯での堆積相形成を示す。他の 2 群は、第 1 群の深海性種に、第 2 群では *Blizalina bicostata*、第 3 群は *Cibicidoides mackannai* が付随する特徴がある。この両種はともに大陸棚上に分布する種であることから、原地性の深海種群に、異地性の浅海種が混入したことを示している。

最も陸よりの Site U1413 は、下位より、I 帯~IV 帯の 4 化石帯に大別される。I 帯は最下部の約 250m の区間で、岩相ユニット III (細中粒砂岩) に対応するが、有孔虫は大陸斜面下~中部の種群から成る。II 帯は I 帯の上位約 200m にわたる細粒砂岩層で大陸斜面中部の種群から成る。III 帯は II 帯の上位約 60m の砂岩層であり、大陸棚中部の種群から構成される。IV 帯は最上位約 100m の区間で、大陸斜面上部に分布する種群から構成される。

U1413 では、多くの浅海性種群が混入することが明らかになった。I 帯では多数の貝化石を含む層準が確認され、底生有孔虫群集にも大陸棚中部に生息する *B. bicostata* が頻繁に確認され、本来の浅い生息場からの再堆積した個体と推定される。浅海性種が大陸斜面から海溝に至る広い範囲への運搬はブルー・チリ海溝でも報告された現象である (Ingle and Kolpack, 1980)。また、III 帯の群集は大陸棚中部の種のみで構成される。しかしながら、その直上・直下の層準に古水深変化を示すデータがまったく見られないこと、また坑内検層によりこの層序区間に褶曲構造が確認されたことから、III 帯は浅海域からのスランプ堆積物であると推定される。

コスタリカ沖海域における堆積物の二次的移動は、中米海溝でカリブ海プレートの下に沈み込むココスプレートの活動に伴う地殻変動の影響と考えられる。このような海域においても、混入する異地性個体を識別することによって、原地性群集を認定し、古水深変化を理解することが可能となった。また、混入する異地性個体群の量や産出頻度は、後背地の変動を反映する可能性が高い。これらの運動史解明に向けて、共同研究者と連携を取りつつ、酸素同位体比分析や微化石層序の検討の準備を進めている。

キーワード: 底生有孔虫, 古水深, 削剥型沈み込み帯

MIS32-04

会場:416

時間:4月30日 09:45-10:00

Keywords: benthic foraminifera, paleobathymetry, Subduction zone

海底下生命圏の限界と生息可能域の追究：統合国際深海掘削計画第329・337次研究航海からの新知見
Limits and Habitability of the Deep Seafloor Biosphere: New Insights from IODP Expeditions 329 and 337

稲垣 史生^{1*}；統合国際深海掘削計画 第329・337次研究航海研究者一同²
INAGAKI, Fumio^{1*}；IODP, Expedition 329 and 337 scientists²

¹ 独立行政法人海洋研究開発機構高知コア研究所 地下生命圏研究グループ, ² 統合国際深海掘削計画第329・337次研究航海研究者一同

¹Geomicrobiology Group, Kochi Institute for Core Sample Research, JAMSTEC, ²IODP Expedition 329 and 337 Scientists

In the past decade, the Integrated Ocean Drilling Program (IODP) has offered unique opportunities to explore how life persists and evolves in ecosystems of the Earth interior. There are very few natural environments on surface of the Earth where life is absent; however, the limits to life are expected in the subsurface world. Processes that mediate genetic and functional evolutions of the deep seafloor life may be very different to those in the Earth surface ecosystems. Previous studies of seafloor sedimentary habitats demonstrated that activity of microbial communities is generally extremely low, mainly because of the limit of nutrient and energy supply. Nevertheless, microbial activity plays important ecological roles in biogeochemical element cycles over geological timescale.

In 2010, during Expedition 329, we explored limits and habitability of life in deep-sea sediments and basalts in the South Pacific Gyre, the largest oceanic province where surface chlorophyll concentrations and primary productivity in the gyre are lower than any other regions of the world ocean. In 2012, during Expedition 337, we also explored the deep seafloor coalbed biosphere off the Shimokita Peninsula of Japan. Using riser system of the *Chikyu*, we successfully drilled, cored and logged down to the depth of 2,466 meters below the seafloor.

The IODP Expeditions 329 and 337 represent aerobic and anaerobic seafloor microbial ecosystems on our planet, respectively, both of which realms have never been explored by previous scientific drilling; therefore, these provide unprecedented opportunities to address the issue of limits and habitability in the deep seafloor biosphere. A variety of geophysical and geochemical properties, such as temperature, pH, pressure, salinity, porosity, and availability of nutrient and energy are conceivable to constrain biomass and activity of deep life and extent of the seafloor biosphere. These are systematically investigated by international and multidisciplinary teams of the Expedition 329 and 337 scientists.

下北掘削航海で実施された物理検層 Geophysical logging at the Shimokita IODP Expedition 337

山田 泰広^{1*}; 真田 佳典²; 久保 雄介²; 稲垣 史生²; 中村 恭之²; MOE KYAW²
YAMADA, Yasuhiro^{1*}; SANADA, Yoshinori²; KUBO, Yusuke²; INAGAKI, Fumio²; NAKAMURA, Yasuyuki²; MOE,
Kyu²

¹ 京都大学, ² 海洋研究開発機構

¹Kyoto Univ, ²JAMSTEC

2012年8-9月に青森県八戸市の沖合約80kmにおいて「ちきゅう」を用いて実施された統合国際深海掘削計画 (IODP) 第337次研究航海「下北八戸沖石炭層生命圏探査」での掘削作業で取得された物理検層データとその解析結果についてその概要を報告する。

掘削試料からみる地中海の歴史 History of the Mediterranean Sea based on drilled core samples

黒田 潤一郎^{1*}
KURODA, Junichiro^{1*}

¹ 独立行政法人海洋研究開発機構

¹ Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

Mediterranean Sea has experienced an extreme event called Messinian Salinity Crisis (MSC) that represents a formation of gigantic evaporite deposits in deep basins. Although this event has long been studied, a fundamental question whether the Mediterranean Sea was desiccated or not, still remains unsolved. In this presentation we review the recent achievements of the MSC. To understand hydrological conditions of the Mediterranean Sea during the Miocene-Pliocene, we report a series of Os isotopic record of marine sediment cores from four deep-sea drilling sites in the Balearic Basin, the Tyrrhenian Sea, the Ionian Basin and the Florence Rise, in comparison with the coeval sediments in North Atlantic. Osmium isotopic ratios of the pre-Messinian sediments in the western Mediterranean basin are almost identical to that of the coeval ocean water. In contrast, the pre-Messinian sediments in the eastern Mediterranean basin have significantly low $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ values. This suggests that Os in the eastern Mediterranean was not fully mixed with western Mediterranean and North Atlantic, and that the basin isolation has already started much earlier than the MSC. The less radiogenic Os would have been supplied to the eastern Mediterranean by selective weathering of ultramafic rocks cropping out in the drainage areas, which contains high amount of non-radiogenic Os. The isotopic compositions of Os in gypsum and halite samples are significantly lower in eastern Mediterranean basins, compared with those of gypsum samples from the western Mediterranean basin, supporting the idea that limited exchange of seawater between eastern and western basins sustained also during the MSC. In all sites Pliocene sediments show more radiogenic Os isotopic ratios, which are close to the coeval oceanic values, indicating that Os started mixing with global seawater again.

Keywords: Mediterranean Sea, Messinian Salinity Crisis, osmium isotope

グレートバリアリーフ環境変化復元 (IODP Exp 325) Exp. 325 Great Barrier Reef Environmental Changes

横山 祐典^{1*}
YOKOYAMA, Yusuke^{1*}

¹ 横山祐典
¹Yusuke YOKOYAMA

The Great Barrier Reef is the largest coral reef in the world and a world heritage site. Integrated Ocean Drilling Program (IODP) Expedition 325 drilled fossil corals and obtained 225m of core materials from 42 to 167 m below sea-level. The site is suited for reconstructing paleo climate data because: 1) reconstructed sea-level data is relatively immune from isostatic effect since it is located at site far from former ice covered regions (far-field), 2) it locates in or near the Indo Pacific Warm Pool (IPWP) where paleo sea surface temperature (SST) data will constrain climate model strongly, and 3) the growth history of the reef since the LGM is to unlock a key factors for reef system response against environmental changes. Both sea level and climate data have been reconstructed by the science party and they provides new insights of the climate system. In this presentation, I will overview and introduce some key findings of IODP 325 GBR environmental changes (Yokoyama et al., 2011)

Reference: Yokoyama, Y. et al. (2011) "IODP Expedition 325: Great Barrier Reefs Reveals Past Sea-Level, Climate and Environmental Changes Since the Last Ice Age" *Scientific Drilling*, 12, 32-45.

キーワード: 海面変動, 氷床, 最終氷期最盛期, 海面表層水温, サンゴ, グレートバリアリーフ
Keywords: Sea level change, Glacier, Last Glacial Maximum, Sea Surface Temperature, Coral, The Great Barrier Reef

IODP 第 348 次航海の船上分析に基づいた南海トラフの炭化水素ガスの分布と起源 Determination of hydrocarbon gas in drilling mud and cores during Expedition 348 at the Nankai Trough, Japan

淵田 茂司^{1*}; Hammerschmidt Sebastian²; IODP 第 348 次航海乗船 研究者一同³
FUCHIDA, Shigeshi^{1*}; HAMMERSCHMIDT, Sebastian²; EXPIDITION 348, Shipboard scientists³

¹ 大阪市立大学, ²University of Bremen, ³ ウィスコンシン大学 他

¹Osaka City University, ²University of Bremen, ³University of Wisconsin and others

The recent International Ocean Discovery Program (IODP) Nankai Trough Seismogenic Zone Experiment (NanTroSEIZE) Expedition 348 at Site C0002 drilled and cored successfully up to 3058.5 mbsf. During drilling and coring, hydrocarbon and other inorganic gas concentrations were monitored on board. Here, we will report the distribution and origin of the hydrocarbon gas in Holes C0002N (838 to 2330 mbsf) and C0002P (1954 to 3058 mbsf).

Methane, ethane, and propane concentrations in the headspace gas were measured by Geoservices and by using the scientific drilling mud gas monitoring system onboard D/V Chikyu. Total gas concentrations were dominated by methane, with the highest concentrations of up to 8% at around 1305 mbsf. Downhole gas concentrations steadily decreased to values <0.2 %. Ethane and propane were only present in minor concentrations, and higher homologues (i.e. n-butane, i-butane, n-pentane, i-pentane) stayed typically below 0.01 %. Below 2200 mbsf, ethane and propane increase steadily with depth. Bernard diagram (i.e. Bernard parameter vs. $d^{13}C_{CH_4}$, Bernard et al., 1978) indicates that the gas in Hole C0002NP was gradually changed from biogenic to thermogenic with increasing depth.

Headspace gas samples from cores in Hole C0002P (2160-2220 mbsf) were all dominated by methane, with up to 23455 ppm. Methane concentration in the headspace gas samples was higher than the drilling mud gas samples at the same interval. This underestimation of methane in the drilling mud is due to the influence of drilling parameter (e.g. rate of penetration), mud properties (e.g. mud weight) and degassing efficiency.

キーワード: IODP, Expedition 348, Nantrosise, hydrocarbon

Keywords: IODP, Expedition 348, Nantrosise, hydrocarbon

海底下メタン生成研究への新しいアプローチ法 New approach for subsurface methanogenesis

金子 雅紀^{1*}; 高野 淑識¹; 大河内 直彦¹
KANEKO, Masanori^{1*}; TAKANO, Yoshinori¹; OHKOUCHI, Naohiko¹

¹ 独立行政法人 海洋研究開発機構
¹JAMSTEC

Quantitative understanding of microbially mediated methanogenesis is important in biogeochemistry for many reasons; Firstly, methanogenesis plays an important role in the carbon cycle on the Earth mediating a terminal process of organic matter degradation and a major metabolic process in anoxic sediments. Secondly, methane produced by methanogens results in methane hydrate formation which is a potential energy resource, while methane released to the atmosphere acts as a greenhouse gas. Thirdly, since methanogens are primitive organisms, clarification of their distribution and environmental factors controlling their activity provides better understanding of subsurface biosphere and environmental constraints for early life.

Although quantitative understanding of distribution and activity of methanogens is requisite for better understanding of methane biogeochemistry, available techniques are restricted to address this issue. Particularly, it is difficult to quantitatively detect a signal of modern methanogenesis from deep marine sediment cores where methanogenic activity is low and complex mixture of organic matter is accumulated during a geologic time scale. However, if function-specific compound directly involved in the methanogenic reaction can be quantified, we would be able to extract information about distribution and activities of methanogens in the marine sediments.

Recently we developed analysis of coenzyme F430. Since F430 catalyzes a terminal step of methanogenesis and possessed by all methanogens, it should be a good biomarker for methanogenesis. High sensitive detection of F430 by LC-MS/MS (sub-femto mol level) allows to detect F430 in marine sediment. We will present the developed methodology and application to sediment core samples.

Keywords: coenzyme F430, methanogenesis, LC-MS/MS, marine sediment

日本の湖沼掘削：琵琶湖と水月湖を中心に Lake drilling in Japan: Biwa and Suigetsu

林田明^{1*}; 竹村 恵二²; 中川 毅³
HAYASHIDA, Akira^{1*}; TAKEMURA, Keiji²; NAKAGAWA, Takeshi³

¹同志社大学, ²京都大学, ³ニューカッスル大学

¹Doshisha University, ²Kyoto University, ³University of Newcastle

国際陸上科学掘削計画 (ICDP) において、多数の湖沼掘削が立案実施されてきた。ICDP の体制が確立される前から湖沼堆積物の採取は陸水学や第四紀学の重要な研究手法であったが、最終間氷期以前の堆積物を含むいわゆる古代型湖の掘削は琵琶湖などの少数の先駆的な研究に限られていた。それに対し、ICDP では GLAD200 や GLAD800 と呼ばれる掘削システムが開発され、多くの構造湖で深層掘削が効率的に実施されるようになった。しかし、日本列島の湖についての具体的な掘削計画は未だ提案されていない。

ICDP が本格的にスタートするまでに琵琶湖では大規模な湖沼掘削が行われており、三方五湖でも年縞堆積物を用いた高精度気候変動の研究が開始されていた。しかし、特に 1990 年代から古気候・古環境の研究には高時間分解能の分析が欠かせないものになり、コアの連続性や保存状況などの制約から既存の試料を用いて高精度の解析や新手法による研究を行うことは不適切であることが明らかになった。このような状況を背景として、2002 年 11 月、琵琶湖と水月湖から連続的な堆積物試料を採取するプロジェクトの立案を目指し、ICDP 国際ワークショップ “Lake Biwa and Lake Suigetsu: Recorders of Global Paleoenvironments and Island Arc Tectonics” が開かれた。このワークショップでは、琵琶湖と三方五湖周辺の地殻変動、琵琶湖・水月湖の堆積物の編年と気候変動の記録に関する研究の現状、さらに年縞堆積物、古地磁気、花粉分析、有機地球化学、掘削方法などに関する研究分野の動向が報告され、国際的な連携のもとで掘削経費の検討や既存試料の解析を進める方針が確認された。しかしながら、このワークショップの後、琵琶湖と水月湖の研究は ICDP の枠組みから離れた形で進行することになる。

琵琶湖では 2007~2009 年度に竹村恵二を代表者とする文科省科学研究費による基盤研究「琵琶湖堆積物の高精度マルチタイムスケール解析 - 過去 15 万年間の気候・地殻変動」が実施され、2007 年に北湖の 6 地点からピストンコアが、2008 年には沖島北方の 2 地点で湖底から深度 71.75m (BIW08-A) と 100.30m (BIW08-B) までの掘削試料が採取された。その概要は竹村他 (2010) に報告されているが、ピストンコアでは三瓶池田火山灰を含む約 45,000 年間、掘削コア (BIW08-A, B) では約 30 万年前までの堆積物が得られた。これらのコアについて磁気特性や有機化学の研究を通して東アジア・モンスーンの変動を復元できることが示された。また、長尺の掘削試料 (BIW08-A, B) の解析を進めることにより、その記録を約 30 万年前まで拡張できる可能性も明らかになっている。

水月湖に関しては、ニューカッスル大学に移った中川毅が中心となり、2006 年に全長 73.2m の連続試料 (SG06 コア) が採取された。このコアは 4 つの掘削孔から深度を重複させて採取されたもので、約 7 万年間の欠落のない堆積物についての年縞計測と ¹⁴C 年代測定が可能になり、陸上の植物化石を用いた ¹⁴C 年代校正曲線が作成された。このデータセットは ¹⁴C 年代の標準的な校正法である IntCal の最新版 (IntCal13) の提案に主要な役割を果たすことになった。もちろん SG06 コアの寄与は年代測定法の改善にとどまらず、多様な手法による高時間分解能の気候復元を中心に湖沼堆積物の高精度研究のモデルケースとなっている。

このように、琵琶湖と水月湖の掘削と ICDP との関係についての見通しは明確になっていない。しかし、今後の研究は国際的な体制のもとで展開することが望まれ、その実現のために ICDP への掘削計画の提案を検討すべき段階に至ったといえる。具体的には、まず琵琶湖の湖底から深度 250m までの粘土層について、複数の掘削孔からのコア採取により完全な連続セクションを得ることが必要である。この試料は約 45 万年間の環境変動のアーカイブを提供し、汽水環境を含む水月湖と内陸の広い集水域を持つ琵琶湖の記録の対比と統合により、東アジアの気候変動に関する多くの新知見を提供するであろう。特に、北湖北部の湖盆 (水深 90m 以上) では南湖盆の堆積速度 (1.1~1.4 m/ky) を凌ぐ堆積物が存在する可能性が高く、高精度の環境変動の記録や湖盆形成のテクトニクスに関する情報を得るために琵琶湖の最深部での掘削に挑戦することが望まれる。

キーワード: 国際陸上科学掘削計画, 湖沼掘削, 琵琶湖, 水月湖

Keywords: ICDP, Lake drilling, Lake Biwa, Lake Suigetsu

断層近傍応力分布はどのように時間変化しているか How the stress state changes with time in and around faults

小村 健太郎^{1*}
OMURA, Kentaro^{1*}

¹ 防災科学技術研究所
¹ NIED

断層帯掘削にともない、孔内計測による原位置測定によって、地震の発生に直接かかわる重要な物理量である応力が求められている (Ikeda et al., 1996a; Ikeda et al., 1996b; Ikeda et al., 2001; Tsukahara et al., 2001; 小村他, 2004; Yamashita et al., 2004; Hickman and Zoback, 2004; Lin et al., 2007; Yabe et al., 2010; Yamashita et al., 2010; Yabe and Omura, 2011; Kuwahara et al., 2012; Ito et al., 2013; Lin et al., 2013). 一度地震のおこった断層で、断層面の強度が回復し、断層に作用する応力が蓄積し、再度、地震が起こる、という地震サイクルでは、断層近傍の応力状態が、地震発生後どのように変化するかは、将来の地震を予測するための重要な要因である。しかし、地震の再来期間が長いことがあるため、断層近傍の応力状態の時間変化を実地に検証することは困難といわれる。そこで、これまで、主に国内における原位置地殻応力測定で、断層近傍の応力分布の時間変化に関わる例を紹介し、孔内計測を時間をおいて繰り返し実施することにより、断層における地殻応力の時間変化を検証することを提案する。

これまでの原位置応力測定のなかで、地震発生直後の測定には、1995年兵庫県南部地震の野島断層、1999年台湾集集地震のチェルンブ断層、2011年東北地方太平洋沖地震震の源域先端部(海溝軸付近)の例がある。地震前の測定例では、地震調査推進本部による長期評価により、地震後経過率が1を越え、地震の迫っていると予想される糸魚川・静岡構造線断層帯牛伏寺断層と阿寺断層帯萩原断層の例がある。また、地震後の経過年数の異なる複数の断層の測定結果を並べて時間変化にした例として、根尾谷断層、阿寺断層、跡津川断層と、先に述べた野島断層、牛伏寺断層の例がある。さらに、断層からは距離が離れるが、鉱山の坑道を利用して、同じ場所で、時間をおいて繰り返し測定し、時間変化を直接測定した例もある。それらを見ると、地震直後から、地震にいたるまで、応力は増加していることが示唆される。しかし、時間とともにどのように変化するか、直線的に変化するのか、それとも地震直後ないし地震直前に急速に変化するのか、についてははっきりしない。断層近傍においても、地震の再来期間が非常に長いことを考慮しても、少なくとも、同じ地点で、時間をおいて繰り返し応力測定することが、必須の測定データになると考えられる。

Hickman, S., and M. Zoback, 2004, *Geophys. Res. Lett.*, 31, L15S12, [oi:10.1029/2004GL020043](https://doi.org/10.1029/2004GL020043)

Ikeda, R., K. Omura and Y. Iio, H. Tsukahara, 1996a, *Proc. VIIIth Int'l. Symp. on the Observation of the Continental Crust through Drilling*, 30-35.

Ikeda, R., Y. Iio and K. Omura, Y. Tanaka, 1996b, *Proc. VIIIth Int'l. Symp. on the Observation of the Continental Crust through Drilling*, 393-398.

Ikeda, R., Y. Iio and K. Omura, 2001, *The Island arc Special Issue*. 10, Issue 3/4, 252-260.

Kuwahara, Yasuto, Tsutomu Kiguchi, Xinglin Lei, Shengli Ma, Xueze Wen, and Shunyun Chen, 2012, *Earth, Planets and Space*, 64, 13-25.

Lin, W., E.-C. Yeh, H. Ito, J.-H. Hung, T. Hirono, W. Soh, K.-F. Ma, M. Kinoshita, C.-Y. Wang, and S.-R. Song, 2007, *Geophys. Res. Lett.*, 34, L16307, [doi:10.1029/2007GL030515](https://doi.org/10.1029/2007GL030515).

Lin, Weiren, Marianne Conin, J. Casey Moore, Frederick M. Chester, Yasuyuki Nakamura, James J. Mori, Louise Anderson, Emily E. Brodsky, Nobuhisa Eguchi, and Expedition 343 Scientists, 2013, *Science*, 339, 687-690.

小村健太郎・池田隆司・松田達生・千葉昭彦・水落幸広, 2004, *月刊地球 号外 No.46*, 127-134.

Tsukahara, H., Ikeda, R. and Yamamoto, K., 2001, *Island Arc*, 10, 261-265.

Yabe, Yasuo, Kiyohiko Yamamoto, Namiko Sato, and Kentaro Omura, 2010, *Earth Planets Space*, 62, 257-268.

Yabe, Yasuo and Kentaro Omura, 2011, *Island Arc*, 20, 160-173.

Yamashita, Furoshi, Eiichi Fukuyama and Kentaro Omura, 2004, *Science*, 306, 261-263.

Yamashita, F., Mizoguchi, K., Fukuyama, E. and Omura, K., 2010, *J. Geophys. Res.*, 115, B04409-[doi:10.1029/2009JB006287](https://doi.org/10.1029/2009JB006287).

キーワード: 応力, 断層, 原位置測定, 水圧破砕, ボアホールブレイクアウト, 孔内計測

Keywords: stress, fault, in-situ measurement, hydraulic fracture, borehole breakout, downhole measurement

台湾チェルンプ断層掘削によって明らかになった地震時の物理化学的描像 Physicochemical process during earthquake slip: An example from the TCDP

廣野 哲朗^{1*}

HIRONO, Tetsuro^{1*}

¹ 大阪大学 理学研究科 宇宙地球科学専攻

¹Department of Earth and Space Science, Graduate School of Science, Osaka University

Several fault-drilling projects have been conducted with the common aim of seeking direct access to zones of active faulting and understanding the fundamental processes governing earthquakes and fault behavior, as well as the factors that control their natural variability. Here, we review recent scientific drilling project on the the Chelungpu Fault which slipped during the 1999 Taiwan Chi-Chi earthquake. One of the main findings of fault-drilling research is a better understanding of the physicochemical processes of the primary slip zone during an earthquake, which is closely related to the mechanism of dynamic fault weakening. In the case of the Chelungpu fault, integrated research with borehole experiments, core sample analyses, and numerical simulations were performed, and the results indicate that thermal pressurization occurred during the 1999 earthquake, explain ing the peculiar seismic behavior during the earthquake. Such fault-drilling project related to active fault certainly improve our knowledge and understanding of earthquakes.

キーワード: 陸上断層掘削, 活断層

Keywords: Onland fault drilling, Active fault

ニュージーランド, アルパイン断層掘削計画 (DFDP) の概要 Deep Fault Drilling Project, Alpine Fault, New Zealand

重松 紀生^{1*}; Sutherland Rupert²; Tonwend John³; Toy Virginia⁴
SHIGEMATSU, Norio^{1*}; SUTHERLAND, Rupert²; TONWEND, John³; TOY, Virginia⁴

¹ 産業技術総合研究所活断層・地震研究センター, ²GNS Science New Zealand, ³ ビクトリア大学ウェリントン, ⁴ オタゴ大学

¹ Active Fault and Earthquake Research Center, AIST, ²GNS Science New Zealand, ³Victoria University of Wellington, ⁴University of Otago

アルパイン断層は長さ 460 km 以上, 平均年間変位速度 25 mm/年に及ぶ活動的な断層であり, 平均活動間隔や最新活動時期を考慮すると地震後経過率は高い. 最新活動は 1717 年であり, 平均 330 年間隔で M8 以上の地震の 50 年発生確率は 30 % 程度とされている (Berryman et al., 2013). アルパイン断層掘削計画 (DFDP) の目的は, 地震発生過程と大陸地殻における造山作用の理解のために, アルパイン断層の深部における物質の採取, 深部における条件の測定, そして深部の動きを観測することである.

このプロジェクトにおいては 2011 年にパイロット掘削 (DFDP-1) が行われている. DFDP-1 においては, 2つの孔を掘削し, 検層と観測装置の設置が行われている. 初期成果として次のことが明らかになった. 断層中軸部とダメージゾーンの境界に沿って透水性の小さい変質帯が形成. 変質帯は, 断層の物理的性質に影響を与え, 地震発生サイクルのなかで変化している可能性がある. 掘削深度 128 m における断層をまたぎ, 0.53 MPa の流体圧の差が見られ, この差はより深い部分ではより大きくなる可能性がある. 地温勾配は 63 ± 2 °C/km である. 主滑り面を挟んだ断層物質の物理的性質は非対象であり, 北西方向に向かって破壊が進展したことを示唆する.

現在, 次期計画である DFDP-2 が 2014 年に掘削を開始する予定である. 目標掘削全深度は 1.3 km であり, 場合により 1.5 km まで掘る可能性もある. この計画により, 上部から中部地殻の脆性的な変形過程, 延性的な変形過程を通じ断層帯がどのように形成してきたのかが明らかにされることが期待される.

キーワード: 断層帯掘削, アルパイン断層, 地震発生過程, 脆性-塑性変形過程

Keywords: Fault zone drilling, the Alpine Fault, Earthquake processes, Brittle and ductile processes

IODP Expedition 346 アジアモンスーンの概要 An Overview of IODP Expedition 346: Asian Monsoon

多田 隆治^{1*}; Murray Richard W.²; Zariqian Carlos Alvarez³; Expedition 346 Scientists⁴
TADA, Ryuji^{1*}; MURRAY, Richard W.²; ZARIKIAN, Carlos alvarez³; EXPEDITION 346, Scientists⁴

¹ 東京大学大学院理学系研究科, ²Earth and Environment, Boston University, ³Texas A&M University, ⁴IODP
¹Graduate School of Science, the University of Tokyo, ²Earth and Environment, Boston University, ³Texas A&M University,
⁴IODP

Alaska on August 2nd, sailed all the way to the Japan Sea/East Sea (JS/ES), drilled 7 sites in the JS/ES and 2 sites in the northern East China Sea (ECS), and ended her cruise at Pusan, Korea on September 28th. During six weeks of drilling, we recovered 6135.3 m of core, with an average recovery of 101%, which is a record of IODP. The expedition was originally aimed to test the hypothesis that Plio-Pleistocene uplift of Himalaya and Tibetan Plateau (HTP) and/or emergence and growth of the northern hemisphere ice sheets and consequent establishment of the two discrete modes of westerly jet (WJ) circulation is the cause of the millennial-scale variability of the East Asian summer monsoon (EASM) and amplification of the Dansgaard-Oeschger cycles (DOC). The expedition is also aimed to test the hypothesis that surface and deep water conditions of the JS/ES has been controlled by the nature and strength of the water influx through the Tsushima Strait which are strongly influenced by EASM precipitation, eustatic sea level changes, and EAWM cooling.

In order to explore the linkage between WJ circulation and EASM precipitation, it is critical to obtain high-resolution, continuous sedimentary records that preserve proxies of both WJ and EASM. In this respect, the JS/ES is ideal because its hemipelagic sediments contain significant amount of the eolian dust transported from East Asia by the WJ, and alternations of dark and light layers that characterize Quaternary sediments of the sea record variations of EASM precipitation over South China (Tada et al., 1999). Sites are also arranged along the north-south transect to monitor the behavior of the WJ. The sites are arranged to make the depth transect to monitor the behavior of deep water through changes in calcium carbonate compensation depth and bottom water oxygenation level. Northern East China Sea is ideal to monitor changes in EASM precipitation because its surface water salinity and temperature during summer is significantly influenced by the discharge of the Yangtze River whose drainage area covers the majority of the South China where EASM precipitation is most intense (Kubota et al., 2010).

Because of recent advances in drilling technology and newly developed analytical tools, we were able to collect and examine sediment records that were impossible to acquire even a few years ago. The newly engineered half piston core system (called the half APC) enabled us to recover the deepest piston core in DSDP/ODP/IODP history (490.4 m in Hole U1427A). That achievement was also the deepest continuously recovered piston cored sequence, initiated at the mudline and penetrating to the ~500 m depth solely by piston coring. These technological advances delivered a series of new surprises. Examples are pristine dark/light laminae from ~12 Ma sediment recovered by piston core from 410 m core depth below seafloor, Method A [CSF-A] at Site U1425 and from 210 m CSF-A at Site U1430.

Through this expedition, we collected the geological evidence necessary to test the hypotheses described above through drilling in the JS/ES and northern part of the ECS, and are trying to 1) specify the onset timing of orbital and millennial-scale variability of EASM, EAWM and WJ and reconstruct their evolution process and spatial variation patterns, and 2) reconstruct orbital and millennial-scale paleoceanographic changes in the JS/ES to clarify the linkage between the paleoceanography of the JS/ES and EASM, EAWM and/or sea level. Comparison of the obtained results with the uplift history of HTP and/or ice volume changes will enable us to test the hypotheses.

キーワード: IODP, Expedition 346, 日本海, 東シナ海, ダンスガードーオシュガーサイクル, 東アジアモンスーン
Keywords: IODP, Expedition 346, Japan Sea/East Sea, East China Sea, Dansgaard-Oeschger Cycle, East Asian Monsoon

Sediment cores recovered from the Sea of Japan/East Sea during IODP Expedition 346 and preliminary result of foraminifer Sediment cores recovered from the Sea of Japan/East Sea during IODP Expedition 346 and preliminary result of foraminifer

佐川 拓也^{1*}; 多田 隆治²; Murray Richard W.³; Alvarez-Zarikian Carlos A.⁴; Expedition 346 Scientists⁵
SAGAWA, Takuya^{1*}; TADA, Ryuji²; MURRAY, Richard W.³; ALVAREZ-ZARIKIAN, Carlos A.⁴; EXPEDITION 346, Scientists⁵

¹九州大学大学院理学研究院地球惑星科学部門, ²東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻, ³Earth & Environment, Boston University, USA, ⁴Integrated Ocean Discovery Program, Texas A&M University, ⁵IODP Expedition 346
¹Department of Earth and Planetary Sciences, Faculty of Sciences, Kyushu University, ²Department of Earth and Planetary Science, Graduate School of Science, The University of Tokyo, ³Earth & Environment, Boston University, USA, ⁴Integrated Ocean Discovery Program, Texas A&M University, ⁵IODP Expedition 346

Integrated Ocean Drilling Program (IODP) Expedition 346 (29 July-27 September 2013) recovered 6135.3 m of core from seven sites in the Sea of Japan/East Sea and two adjacent sites in the East China Sea. One of the objectives of this expedition is to explore the orbital- and millennial-scale variation and evolution of the East Asian monsoon and its impact on the paleoceanography in the Sea of Japan/East Sea. We recovered centimeter- to meter-scale alternation of dark and light layers in the Pleistocene sediments that could be correlated across the six sites in latitudinal and depth transects of the Sea of Japan/East Sea (U1422-U1426 and U1430), suggesting that the Sea of Japan/East Sea responded as a single system to climatic and/or oceanographic perturbations. Sediments of shallower sites (U1426: 903 mbsl and U1427: 330 mbsl) contain well preserved calcareous fossils and are expected to provide high-quality oxygen isotope stratigraphy that will be a key age controls for the entire region. In particular, high sedimentation rate (~36 cm/kyr) and a complete splice down to ~400 m at Site U1427 make it possible to produce centennial-scale continuous records in shallow water environments for the last ~1.2 Ma. We conducted preliminary oxygen and carbon isotope analyses of benthic and planktonic foraminifera for core catchers from Site U1427A (87 samples). The oxygen isotope variations correspond to lithological change alternating low isotope values in darker clay-rich and high values in light biogenic component-rich sediment and therefore show similar variation to physical properties of the sediment, such as bulk density, magnetic susceptibility, natural gamma ray, and color reflectance. These results confirm high potential of this site for paleoceanographic investigation in orbital, millennial, and centennial timescales.

Expedition 346 Scientists:

Anderson, W., Bassetti, M-A., Brace, B., Clemens, S., Dickens, G., Dunlea, A., Gallagher, S., Giosan, L., Gurgel, M., Henderson, A., Holbourn A., Ikehara, K., Irino, T., Itaki, T., Karasuda, A., Kinsley, C., Kubota, Y., Lee, G-S., Lee, K-E., Lofi, J., Lopes, C., Peterson, L., Saavedra-Pellitero, M., Singh, R., Sugisaki, S., Toucanne, S., Wan, S., Xuan, C., Zheng, H., and Ziegler, M.

Keywords: IODP, Expedition 346, Asian Monsoon, Sea of Japan/East Sea

アラスカ湾堆積物から探る北米氷床の消長と海洋環境動態 - IODP 第 341 次アラスカ湾掘削の船上分析結果概要 Preliminary results from shipboard research during IODP Expedition 341 (Alaska Tectonics, Climate and Sedimentation)

須藤 斎^{1*}; 朝日 博史²; 福村 朱美³; 喜岡 新⁴; 今野 進⁵; 松崎 賢史⁶; 中村 淳路⁴; 小嶋 孝徳⁷; Expedition 341 Scientists⁸
SUTO, Itsuki^{1*}; ASAHI, Hirofumi²; FUKUMURA, Akemi³; KIOKA, Arata⁴; KONNO, Susumu⁵; MATSUZAKI, Kenji⁶; NAKAMURA, Atsunori⁴; OJIMA, Takanori⁷; EXPEDITION, 341 scientists⁸

¹名古屋大学大学院・環境学研究科, ²釜山大学・海洋学部, ³北海道大学大学院・理学研究院, ⁴東京大学大学院・理学系研究科, ⁵九州大学大学院・理学研究院, ⁶東北大学・学術資源研究公開センター, ⁷東京大学大学院・新領域創成科学研究科, ⁸(none)

¹Nagoya Univ., ²Pusan National Univ., ³Hokkaido Univ., ⁴Univ. of Tokyo, ⁵Kyushu Univ., ⁶Tohoku Univ., ⁷Univ. of Tokyo, ⁸(none)

アラスカ湾周辺域はプレートの沈み込み帯にあり、活発な造山運動や巨大な氷河の存在で良く知られている地域である。造山活動や氷河により削剥された多量の陸上堆積物は、海洋に栄養塩を供給し、珪質・炭酸塩殻を持つ植物・動物プランクトン（本海域の主要な基礎生産者である珪藻や放散虫、有孔虫など）が多く生息し、アラスカ湾の豊かな生態系を支えている。

約 300 万年前以降、北米大陸には大規模な氷床が形成され始め、その地域環境やその後の全球的な寒冷化へ強く影響を与えてきたと考えられている。一方で、北米氷床の一つであるアラスカ湾辺縁部を覆うコルディレラ氷床や氷河によって削剥された陸上物質は、陸域の堆積・運搬・供給システムにほとんど影響を受けずに沿岸域に供給される。したがって、アラスカ湾沿岸域の堆積物は、コルディレラ氷床の変動史を直接記録していると予想される。これまでに得られた海底堆積物試料は、アラスカ湾沿岸域の堆積速度が極めて速かったため、最終氷期以降のものに留まっていた。北米大陸氷床の消長と海洋環境変動、そして全球気候変動の関係を地質学的・古海洋学的見地から明らかにするためには、少なくとも氷期 - 間氷期スケールの変動を捕らえる時系列データが不足している問題がある。

このような背景から、2013 年 5 月から 7 月に行われた IODP 第 341 次航海では、アラスカ南方陸棚を横切るセクションにおいて後期新生代の高解像度堆積物記録から、テクトニックに駆動される造山運動のプロセスや氷河プロセス、そしてそれらとの北太平洋や全球的な気候変動との関連性を調査する目的で、陸棚から陸上氷河の縁辺部まで横断的に掘削が行われた。現在、これらから得られた堆積物コアを用いて、新第三紀におけるコルディレラ氷床の発達史の立証や、陸棚縁辺堆積物の堆積史と氷河記録の解明、永年変化と地磁気極性の反転をコントロールするプロセスの評価と高時間分解能による地球磁場の挙動の解明などを目的として分析が進められている。

本発表では、まだモラトリアム中であるために詳細は述べられないが、船上分析結果の概要を紹介する。まず、本掘削により、不完全ではあるが珪藻と放散虫化石生層序年代の決定、及び古地磁気年代との対比がなされ、数百万年間の、もしくは氷期 - 間氷期スケールの変動を補えることができると期待される堆積物試料を採取できたことが分かっている。本掘削で得られた多くの堆積物試料は、極めて速い堆積速度を記録しており、本掘削での最大の成果の一つであると言える。さらに、物性測定や検鏡によって、多くの氷河成堆積物（漂流岩屑, Ice-rafted debris: IRD など）が含まれていること、有機・無機化学分析によって、氷床の発達に応じて大量の陸源砕屑物が運搬されてきていることなども明らかとなった。

また、一般的な北太平洋高緯度の堆積物中の化石保存傾向から、本海域には炭酸塩堆積物はあまり保存されていないと予想されていたが、本航海で得られた堆積物試料中には、有孔虫化石が多量かつ連続的に含まれていた。このことにより、これまで北太平洋高緯度域において掘削された堆積物試料中の有孔虫化石産出が少なかったために、酸素同位体比変動の連続データが決定的に不足していたという問題点を解決できると期待される。さらに、氷期 - 間氷期スケールの海洋・陸上環境変動復元を行う上で最も重要な堆積物試料の年代軸を正確に構築するための有孔虫殻の酸素同位体比曲線を、北太平洋亜寒帯域で初めて連続的に得られる可能性がある。ここで得られた「北太平洋酸素同位体比曲線」を、珪質微化石生層序や古地磁気層序の結果と組み合わせることにより、より正確な年代の決定を行うことができるであろう。今後、これらから構築された年代軸を元に堆積物試料の分析を進め、アラスカ湾近傍に発達するプレートの沈み込みに伴う造山運動に影響を受ける北米大陸氷床の変動史を明らかにし、氷床により削剥された陸上堆積物の海洋への供給量変動や、その海洋生態系への影響と変遷史の詳細な復元を行う予定である。

キーワード: IODP Exp. 341, アラスカ湾, 陸上・海洋古環境, 氷床

Keywords: IODP Exp. 341, Gulf of Alaska, land/ocean paleoenvironment, Glacier

IODP Exp. 345 成果：海洋底から初めて層状はんれい岩採取に成功 IODP Exp. 345: The first sample of primitive layered gabbros from fast-spreading lower oceanic crust

阿部 なつ江^{1*}; 秋澤 紀克²; 針金 由美子⁵; 星出 隆志⁴; 前田 仁一郎³; 町 澄秋²; 野坂 俊夫⁶; Python Marie⁵; Gillis Kathryn⁷; Snow Jonathan⁸; Shipboard Scientific Party IODP Expedition 345⁹
ABE, Natsue^{1*}; AKIZAWA, Norikatsu²; HARIGANE, Yumiko⁵; HOSHIDE, Takashi⁴; MAEDA, Jinichiro³; MACHI, Sumiaki²; NOZAKA, Toshio⁶; PYTHON, Marie⁵; GILLIS, Kathryn⁷; SNOW, Jonathan⁸; SHIPBOARD SCIENTIFIC PARTY, Iodp expedition 345⁹

¹(独) 海洋研究開発機構地球内部ダイナミクス領域, ² 金沢大学, ³ 産業技術総合研究所, ⁴ 秋田大学新学部創設準備担当, ⁵ 北海道大学, ⁶ 岡山大学大学院自然科学研究科, ⁷University of Victoria, B.C., ⁸University of Houston, ⁹IODP, Texas A&M University

¹IFREE, JAMSTEC, ²Department of Earth Sciences, Kanazawa University, ³AIST, ⁴Akita University, ⁵Hokkaido University, ⁶Okayama University, ⁷University of Victoria, B.C., ⁸University of Houston, ⁹IODP, Texas A&M University

米国科学掘削船ジョイデスレゾリューション号による統合国際深海掘削計画第 345 次研究航海におけるにおいて、ガラパゴス諸島沖の東太平洋中央海膨近傍のヘスディープ海盆にて、海洋下部地殻の掘削を行い、海洋地殻下部の層状はんれい岩の採取に、世界で初めて成功した。

同航海は、海洋プレート構造を明らかにするために、東太平洋中央海膨の付近のヘスディープ海盆において実施された。採取したはんれい岩試料を詳細に記載・分析した結果、同試料は、マントルで発生して間もない初生マグマと、そのマグマが結晶分化してできた多様な組成を持つマグマから形成されていることが明らかになった (Gillis et al., Nature, 2014, doi:10.1038/nature12778)。また、そのはんれい岩の構成鉱物と全岩化学組成の検討から、同試料が、海洋マントル最上部で形成された初生マグマと地殻最下部で分化したマグマの複数のマグマが混合して出来ていることが明らかになった。このことは、層状はんれい岩から構成されている海洋地殻下部において活発なマグマの混合作用が起きていることを示している。

本研究の成果は、地球表層のおよそ 6 割以上を占める海洋地殻の構造と変成過程を明らかにする上で非常に貴重な知見を与えるものであり、海洋地殻全体の化学組成を知る手がかりとなる試料 (missing rock: ミッシング・ロック) を採取したことで、地球規模の物質的循環・地球化学的循環の検討にとって不可欠の情報が得られました。更には地球内部のダイナミクス (挙動) を明らかにし、プレート境界における地震や火山活動などの諸現象のメカニズム解明に繋がることが期待される。

キーワード: 層状はんれい岩, 海洋下部地殻, ヘスディープ, 高速拡大海嶺, 東太平洋中央海膨, 初生はんれい岩
Keywords: layered gabbro, oceanic lower crust, Hess Deep, fast-spreading ridge, East Pacific Rise, primitive gabbro

巨大海台掘削の成果と今後の展望 Results of Previous Drilling on Cretaceous Oceanic Plateaus and Future Outlook

佐野 貴司^{1*}; 中西 正男²
SANO, Takashi^{1*}; NAKANISHI, Masao²

¹ 国立科学博物館, ² 千葉大学

¹National Museum of Nature and Science, ²Chiba University

巨大海台は地球の歴史上で最大の火山活動により形成された火成岩体であり、数十万?数百万立方キロメートルもの体積がある。巨大海台のマグマ成因モデルに関しては、マントル下部から上昇してきた巨大なプルームに起因するという説が有力であるが、プルームの証拠を示す決定的な岩石学的・地球化学的データは得られていない。このため、プレート境界下での溶けやすいマントルの溶融モデルや巨大隕石衝突などのモデルも提案されている。検証が困難な理由として、多くの巨大海台は大陸縁辺部に形成されたため、大陸リソスフェアの混染の影響があり、プルーム成分の検出が難しいことがあげられる。西太平洋に分布する巨大海台（オントンジャワ海台やシャツキーライズ）は、大陸リソスフェアの影響がないため、マントル情報を得やすいという利点がある。このため、複数の巨大海台で掘削が行われている。特に、国際深海掘削計画第 192 次航海と統合国際深海掘削計画 324 次航海はオントンジャワ海台とシャツキー海台の基盤岩掘削を主目的とした。そして、複数の研究成果が得られてきた（例えば、Fitton and Godard, 2004, *J Geol Soc Lond Spec Pub* 229, 151-178; Tejada *et al.*, 2004, *J Geol Soc Lond Spec Pub* 229, 133-150; Sano *et al.*, 2012, *Geochem Geophys Geosyst*, 13, Q08010）。しかし、これまでの巨大海台の基盤岩掘削の厚さは 300m 未満と薄く、巨大海台の厚さである 30km の 1% に満たなく、プルーム成分の検出も行われていない。このため、更なる深部掘削が必要である。巨大海台を形成したマグマの全体像を把握するためには、海台全体の 1 割程度は調査したく、3000m 程の掘削を希望している。「ちきゅう」は 3000m を超える掘削が技術的に可能であり、今後の掘削が期待されている。

キーワード: 巨大海台, 大規模火成区, プルーム, マグマ成因論

Keywords: oceanic plateau, large igneous province, plume, magma genesis

古地磁気・岩石磁気学およびその応用のIODPによる最近の進展 Recent progress in paleo- and rock magnetism and its applications produced by IODP

山崎 俊嗣^{1*}
YAMAZAKI, Toshitsugu^{1*}

¹ 東京大学大気海洋研究所
¹ AORI, University of Tokyo

Paleomagnetists have sailed most of the IODP expeditions, and greatly contributed to the achievement of the aims of individual expeditions. At the beginning of the new phase of IODP, I will review progress in paleomagnetism and rock magnetism and their applications produced by IODP for the last about 10 years.

Results of the two IODP coring programs, one in the North Atlantic (Exp. 303/306) and the other in the east equatorial Pacific (Exp. 320/321), greatly improved our understanding of the past geomagnetic field variations. High-resolution paleointensity records during the Pleistocene with precise age control were obtained from North Atlantic drift sediments. These records led the establishment of the PISO-1500 paleointensity stack, which is now used as the standard curve for paleointensity-assisted chronostratigraphy. Detailed records of polarity reversals and excursions were also obtained. From the equatorial Pacific sediment cores, continuous Miocene to Eocene relative paleointensity records were obtained for the first time, although resolution is not high. Previously, continuous paleointensity records were available only for the last ca. 3 m.y. No discernible relation between paleointensity and polarity length was recognized, despite that a weak positive correlation was suggested previously. On the other hand, volcanic rocks from seamounts (Exp. 330) and oceanic plateau (Exp. 324) were utilized for obtaining absolute paleointensity in the Mesozoic.

Rock- and paleomagnetism was applied to resolve various geological and geophysical problems in IODP. First of all, paleomagnetism contributed progress in the mantle dynamics; paleomagnetic inclinations revealed that the Louisville hotspot did not move in concert with the Hawaiian hotspot (Exp. 330), which is known to have shifted southward about 15° between about 80 and 50 Ma. Magnetic techniques such as the anisotropy of magnetic susceptibility were successfully utilized for studying subduction zone dynamics (NanTroSEIZE, CRIPS). Rock magnetic techniques become widely used in paleoceanographic and paleoenvironmental applications. It was recently revealed using IODP cores that biogenic magnetite prevails in marine sediments (e.g., Exp. 320/321 and 329). Its role to remanent magnetization acquisition processes and potential applications to paleoceanography are attracted attention.

Keywords: paleomagnetism, rock magnetism, IODP, paleointensity

ちきゅうでのIODPのロギングのレビューと科学掘削における将来展望 Chikyu logging review in IODP and future of well logging in scientific drilling

真田 佳典^{1*}; 木戸 ゆかり¹; キョー モー¹
SANADA, Yoshinori^{1*}; KIDO, Yukari¹; KYAW, Moe¹

¹ (独) 海洋研究開発機構
¹JAMSTEC

It has passed seven years since Chikyu joined the IODP expeditions. There were many expeditions where well logging were conducted: NanTroSEIZE exp314 in 2007, expeditions 319 and322 in 2009, exp332 in 2010, exp338 in 2012-2013, exp348 in 2013-2014; Japan trench fast drilling project (J-FAST) exp343 in 2012; Deep coalbed biosphere off Shimokita exp337 in 2012. The total logged length on Chikyu during IODP Expeditions are 26.2 km in the seven years period. Well logging has increased its importance in science and operations. The reasons are 1) sensor and technological innovation brings more geological and geophysical information, 2) spot or partial interval coring in combination of logging-while-drilling and mudlogging is best option in deepwater expeditions, and 3) need of LWD real time data in decision making for precise location of observatory installation and spot coring. Riser drilling by Chikyu improves hole condition by means of drilling fluid control, which improves logging data quality, and its large hole diameter bring us more selections of tools, measurements, and downhole experiments.

The logging companies have been developing new measurement, higher accuracy and resolution tools. For example, resistivity image tools have wider azimuthal coverage and higher resolution, which help to deeper geological interpretations and breakout analysis. The new sonic tool improves accuracy of velocity in soft sediment and more availability of measurement in shear velocity.

With accessing deeper, more challenging management of time (coring is a time consuming operation), combination of spot coring in the most interesting interval and continuous logging may be one of solutions under limited cruise schedule.

Realtime LWD data acquisition and interpretation were required to install observatory at proper depth. Current LWD technology sends more data to surface, which helps to understand the lithology in real time.

To use large diameter of riser pipes brings us a lot of advantages against lowering logging tools through small drill pipes. Proper tool size and sensor position in the borehole improve data quality. Increasing of tool selection brings more variety of measurement and experiment. FMI resistivity borehole imager covers more image area of borehole wall. Pressure test by dual packer and fluid sampling were available with large diameter tools.

Logging activities and results by Chikyu as part of IODP (2003-2013) will be reviewed and discuss its potential, role, and challenges in the future scientific drilling.

キーワード: ロギング, ちきゅう, IODP
Keywords: logging, Chikyu, IODP

科学掘削泥水検層：第一期IODPでの成果 Mud logging for scientific drilling on D/V Chikyu: results of the past riser operations in the 1st phase IODP

杉原 孝充^{1*}; 青池 寛¹; モー キョースー¹
SUGIHARA, Takamitsu^{1*}; AOIKE, Kan¹; MOE, Kyaw thu¹

¹ 海洋研究開発機構 地球深部探査センター
¹CDEX/JAMSTEC

Mud logging has been a key technology for scientific drilling operation by D/V Chikyu. In order to penetrate into deeper formation by riser drilling, full-coring operation to targeted total depth is difficult due to taking much operation time. Therefore mud logging obviously contributes to acquiring continuous geological and geochemical data from formation and circulating fluid in formation to targeted total depth. In the IODP 1st phase, riser drilling operations with mud logging were conducted 4 times by the Chikyu (Expeditions 319, 337, 338, and 348). In this paper, we highlight some results of mud logging operated in the past operation and discuss on technical challenging for future riser operations by the Chikyu.

Mud logging is roughly composed of three components, lithological logging on cuttings, mud gas monitoring, and mud circulation/drilling parameters monitoring. As well known, cuttings lithology logging and mud gas monitoring are important tool to understand geological characteristics beneath drilling site based on results of not only the IODP riser operations by the Chikyu but also ICDP onshore drilling projects (e.g., Unzen and SAFOD). However, potential of mud circulation and drilling parameters monitoring associated with cuttings and mud gas analyses has not been discussed in detail in scientific drilling community. d-exponent is an indicator to detect zone of high pore pressure during drilling and it is well developed in the petroleum industry. d-exponent is defined as normalized rate of penetration (ROP) with rotation speed (RPM) and weight on bit (WOB), and in general case, d-exponent gradually decreases as entering into high pore pressure zone increasing ROP. During Expedition 348, we often faced formation with difficulty of drilling, and supposed there was relatively higher pore pressure zone based on the d-exponent analysis. In this presentation, we will discuss on comprehensive mud logging data analysis including data of d-exponent acquired in the past riser drilling operation and assess its potential for future expeditions.

キーワード: 地球深部探査船 ちきゅう, 統合国際掘削計画, 泥水検層, カッティングス, 泥水ガスモニタリング, 科学掘削
Keywords: D/V Chikyu, IODP, Mud logging, Cuttings, Mud gas monitoring, Scientific drilling

Downhole Logging Data Acquisition and Integration: Changing Tactics in the IODP and Its Future Direction

MOE, Kyaw¹ ; KIDO, Yukari^{1*} ; SANADA, Yoshinori¹
MOE, Kyaw¹ ; KIDO, Yukari^{1*} ; SANADA, Yoshinori¹

¹CDEX-JAMSTEC

¹CDEX-JAMSTEC

Since the initiation of IODP in 2003, three drilling platforms, Chikyu, JOIDES Resolution (JR) and Mission Specific Platform (MSP), operated at various environments of global locations using varieties of new techniques. Overcoming many difficulties, longest serving ship JR reached the maximum time in operations with 32 expeditions even ship was modified in dock for 38 months, new riser ship Chikyu with 13 expeditions, and MSP with 5 expeditions. Varying in their capabilities, JR expeditions covered most global areas and research themes where MSP and Chikyu expeditions were targeted to the most challenging and extreme environments. Further addition of riser technology and very shallow locations for MSP brought wider choice of new logging and coring tools, rigfloor parameter, and very high-resolution slim-hole logging tools.

In the downhole logging data acquisition, JR continued her standard set of basic wireline logging with best cost and performance factor but MSP and Chikyu were used expedition/project specific measurements with higher cost and better technology. For the new challenges in the various IODP expeditions, things changed from the previous program were new tools and better measurements, data integration applications and facilities, increased staffing for science support.

Those new techniques covering laboratory and downhole measurements, extended widely in measurement types and improved their capability and efficiency in data integration and onsite decision making. All these large volume of data with wider choice of software further enhanced the integrated studies like cuttings/core-log-seismic integration for the very deep-riser holes.

In this talk, downhole measurements data acquisition and wider data integration in the IODP will be summarized, operational-technical-scientific highlights and lessons will be reviewed, and future direction will be discussed.

キーワード: IODP, Logging, Data Integration, Chikyu, JOIDES Resolution, MSP

Keywords: IODP, Logging, Data Integration, Chikyu, JOIDES Resolution, MSP

プロジェクト IBM 掘削 2014 Overview of IODP drilling in Izu-Bonin-Mariana arc

石塚 治^{1*}; 田村 芳彦²
ISHIZUKA, Osamu^{1*}; TAMURA, Yoshihiko²

¹産総研, ²海洋研究開発機構
¹GSI/AIST, ²IFREE, JAMSTEC

What is raw and juvenile continental crust? Furthermore, how does it form and evolve into mature continental crust? The continental crust we observe on the surface of the earth has been deformed, metamorphosed, and otherwise processed perhaps several times from its creation in subduction zones to the present.

Although there are many examples of accreted arc crust on the margins of continents, during- and/or post-collision geochemical changes are widespread, and we do not have the ability to observe active crust-forming processes in modern arcs except by what we can infer from eruptions at the surface, and by remote sensing of arc interiors. ULTRA-DEEP DRILLING INTO ARC CRUST is the best way to sample unprocessed juvenile continental-type crust, to observe these active processes that produce the nuclei of new continental crust, and to examine the nature of juvenile continental crust as first generated at intra-oceanic arcs.

Key questions for comprehending arc crust formation are: (1) What is the nature of the crust and mantle in the region prior to the beginning of subduction? (2) How does subduction initiate and initial arc crust form? (3) What are the spatial changes of arc magma and crust composition of the entire arc? (4) How do the middle arc crust evolve? Possible strategies for answering these questions include drilling by IODP at the Izu-Bonin-Mariana (IBM) arc system. IODP has proposals to drill at the IBM, including three non-riser holes (IBM-1, IBM-2 and IBM-3) and one riser, ultra-deep hole (IBM-4), which answer these questions, respectively, and the four drillings result in comprehensive understanding of the arc evolution and continental crust formation. Drillings by Joides Resolution at three sites (IBM-1, IBM-2 and IBM-3) are scheduled in 2014. This presentation will give an overview of these 3 cruises and their perspectives.

ICDPのジオハザードプログラムとしての津波堆積物の研究 Tsunami deposits sciences as geohazard research program of ICDP

藤原 治^{1*}
FUJIWARA, Osamu^{1*}

¹産総研 活断層・地震研究センター

¹Active Fault and Earthquake Research Center, AIST

2004年スマトラ島沖地震(Mw 9.1~9.3)や2011年東北沖地震(Mw 9.0)の例に見るように、プレート間巨大地震に伴う巨大津波は広域かつ巨大な災害を引き起こす。これは人間社会にだけでなく、大規模な侵食や堆積によって海岸の地形発達や生物相にも大きな影響を与える。こうした巨大津波はその痕跡を地質記録の中にとどめている、つまり津波堆積物である。

地質学的なタイムスケールで見ると、巨大津波はプレート境界の地震以外にも様々な原因で発生する(巨大火山噴火、海底地すべり、さらには巨大隕石の衝突)。ガスハイドレートの崩壊も巨大津波を起こすかもしれない。したがって、巨大津波による災害リスクは、活動的プレート境界に限った話ではない。こうした巨大災害は人の一生と比べると稀な現象ではあるが、次に何時・何処で起きるかは分かっていない。将来の災害軽減に向けたより良いプランニングのために、津波堆積物の研究は大きく貢献する。さらに、この研究は、地球史を通じた巨大イベントによる地形・地層の発達のダイナミクスや、生物相の変遷についても理解を深めることに繋がる。

陸上科学掘削の枠組みにおいて、次のような研究の方向性が考えられるだろう。

○過去の巨大津波を知る

将来の見通しを立てるには、まず過去を詳しく理解する必要がある。2004年スマトラ島沖地震や2011年東北沖地震を含むM9クラスの巨大地震とそれに伴う津波は、20世紀には世界各地のプレート境界で5つ発生しており、必ずしも稀な地質現象ではない。さらにタイムスケールを広げると、海底地すべり、火山噴火、インパクト津波といった巨大イベントも繰り返している。これらは低頻度ではあるが、一旦おこると巨大災害となる。巨大津波はTrans Oceanなイベントであり、超広域の災害を引き起こす(1960年チリ津波、2004年インド洋大津波の例)。遠地から巨大津波が押し寄せれば、標高の低い島嶼の国々では国全体が大被害を受けることになり、大きなリスクである。

・地球史の中の巨大津波

津波による大規模・急速な浸食と堆積は、地形・地層の発達へのトリガーとなる。また、生物相の生物相の破壊と再生(Turnover)や、移動の原因ともなる。白亜紀末に起こった巨大隕石の衝突は地球の生物相を大きく変えたが、この際にも巨大津波が発生している。巨大津波の痕跡は、隕石衝突といった地球規模の巨大インパクトも記録している。

・人類の歴史との関係

巨大津波は人類の生活史や文明の消長にも影響を与えてきた。災害による衰退と復興、集団移転などである。巨大津波による地形・生物相の変化も、間接的に人類の生活に影響を与えてきただろう。人類史と自然災害との関係はSeismo-archaeologyという新たな研究分野の開拓と発展にも通じる。

○巨大津波のインベントリー構築のためのグローバルな連携

津波堆積物は、人の記憶や文字記録を越えた長期間にわたる巨大津波の履歴を提供する。津波堆積物の分布や時代については、データベースがNOAAなどの複数の機関で構築されつつある。しかし、1000年以上前まで遡るデータは非常に少ない。また、津波以外の堆積物のデータも混在していると思われる。地質学的時間スケールまで広げた津波堆積物のインベントリー(個々のデータの信頼性や特徴を付記した目録)を構築していく必要がある。

・海溝周辺地域の津波の規模と履歴

環太平洋(日本、アラスカ、アメリカ西海岸、メキシコ、チリなど)の海岸低地で掘削調査を行い、地質学的時間スケールで起きる津波の規模と履歴を個別に明らかにする。

・遠地津波の影響をうける島嶼地域の津波の規模と履歴

ハワイやタヒチなどで、過去の巨大津波履歴の編年を行う。

○アウトリーチと若手研究者の育成

チリやインド洋大津波後のインド洋沿岸諸国では、日本やアメリカなどの研究者との連携によって、津波堆積物を使った地震・津波履歴の復元について、現地のYoung Scientistの育成が進んできた。津波のリスクが考えられるアジアやヨーロッパなどの国々へも、日本などの研究者がイニシアチブをとって、こうした取り組みを広げる必要がある。

MIS32-25

会場:416

時間:4月30日 17:15-17:30

キーワード: 津波堆積物, ジオハザード, 陸上掘削

Keywords: Tsunami deposit, Geohazard, Continental drilling

Japan Beyond-Brittle Project の概要 Japan Beyond-Brittle Project

浅沼 宏^{1*}; 土屋 範芳²; 伊藤 久男³; 村岡 洋文⁴

ASANUMA, Hiroshi^{1*}; TSUCHIYA, Noriyoshi²; ITO, Hisao³; MURAOKA, Hirofumi⁴

¹ 産業技術総合研究所, ² 東北大学, ³ なし, ⁴ 弘前大学

¹ AIST, ² Tohoku University, ³ Independent Scientist, ⁴ Hirosaki University

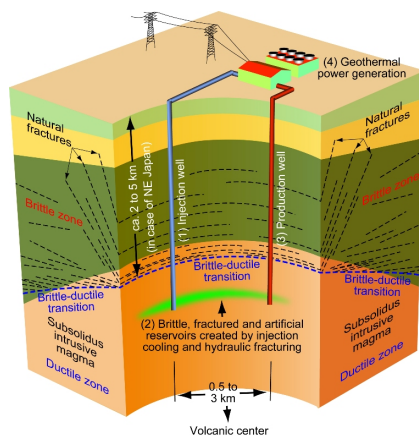
New conventional geothermal energy projects have not been actively promoted in Japan for the last decade because of perceptions of high relative cost, limited electricity generating potential and the high degrees of uncertainties and associated risks of subsurface development. More recently however, EGS (Enhanced Geothermal System) geothermal has been identified as a most promising method of geothermal development because of its potential applicability to a much wider range of sites, many of which have previously been considered to be unsuitable for geothermal development. Meanwhile, some critical problems with EGS technologies have been experimentally identified, such as low recovery of injected water, difficulties in establishing universal design/development methodologies, and the occurrence of induced seismicity, suggesting that there may be limitations in realizing EGS in earthquake-prone compression tectonic zones.

We propose a new concept of engineered geothermal development where reservoirs are created in ductile basement. This potentially has a number of advantages including: (a) simpler design and control of the reservoir, (b) nearly full recovery of injected water, (c) sustainable production, (d) lower cost when developed in relatively shallower ductile zones in compression tectonic settings, (e) large potential quantities of energy extraction from widely distributed ductile zones, (f) the establishment of a universal design/development methodology, and (g) suppression of felt earthquakes from/around the reservoirs.

To further assess the potential of EGS reservoir development in ductile zones we have initiated the "Japan Beyond-Brittle Project (JBBP)". It is intended that the first few years of the JBBP will be spent in basic scientific investigation and necessary technology development, including studies on rock mechanics in the brittle/ductile regime, characterization of ductile rock masses, development of modeling methodologies/technologies, and investigations of induced/triggered earthquakes. We expect to drill a deep experimental borehole that will penetrate the ductile zone in northeast Japan after basic studies are completed. The feasibility of EGS reservoir development in the ductile zone will then be assessed through observations and experimental results in the borehole. An ICDP supported workshop on JBBP has been held March 12-16 in Sendai, Japan, where feasibility, necessary breakthroughs, and roadmap has been discussed from scientific and technological points of view.

キーワード: 地熱, 脆性-延性境界, 水圧破碎

Keywords: Geothermal, Brittle-ductile transition, EGS



掘削科学への期待 Expectations for the new decade of drilling science

山田 泰広^{1*}
YAMADA, Yasuhiro^{1*}

¹ 京都大学
¹ Kyoto Univ

これから「掘削科学」はどのような役割を担うのか？ 地下を探る3つの手法「物理探査」・「掘削」・「物質科学」をブリッジする視点から、今後の方向性を提案する。