特集号「ハードロック掘削科学—マントル掘削への挑戦—」

巻頭言

小 野 重 明*

Introduction to the Special Issue

“Hard-rock Drilling Science: Challenges of Mantle Drilling”

Shigeaki ONO*

本特集号「ハードロック掘削科学—マントル掘削への挑戦—」は、「国際海洋研究計画 (International Ocean Discovery Program: IODP)」に関連したいくつかの海洋地殻掘削プロジェクトとその最新の研究成果をとりまとめたものである。収録されているトピックは、海洋掘削プロジェクトのみならず陸上掘削プロジェクトまでの幅広い研究分野を網羅しつつ、それぞれの分野における先端的研究やアイデアを紹介している。地球のもっとも多く部分を構成しているのはマントルである。そのため、地球で起こるあらゆる現象、とりわけ地球内部にとどまらず地球表層部に大きな影響を与えている要因の一つはマントルの活動である。このマントルが、「どのような物質であるか?」「どのような状態であるか?」といった地球科学における本質的な問いに対して、まだわれわれは正確に答えることができない。なぜならば、人類はいまだにマントルに到達していないため、マントル物質を手にすることができないからである。この第一級の問題を解明するための切り札が、「マントル掘削」である。現在のマントル掘削プロジェクトは、大陸に比べて薄い海洋の地殻を貫通して、約 6-7 km の深さのマントル最上部へ到達しようというものである。とくに、プレートテクトニクスが提唱されて以来、今でも未解決な問題である「海洋プレート運動の原動力の理解」や「地

球システムの物質進化において海洋プレートが果たす役割」などの地球科学における第一級の問題が解明されることが期待されている。本特集号を契機に、多くの若い研究者がマントル研究に携わり、この分野の大きな進展につながることを期待するものである。

マントル掘削は決して新しいアイデアではなく、プロジェクトそのものが長い歴史をもっている。本特集号で道林 (2021) が紹介するように、アイデアが生まれて以降、多くの研究者が携わり、大きな科学技術の進歩があったにもかかわらず、いまだに掘削は実現していない。現在、人類は探査機を太陽系外へ送り出し、月や小惑星でサンプルを採取し持ち帰ることができている。一方、足元のただ数 km の深さのマントルからのサンプル採取ができないばかりか、測定装置を送り込むことすらできない。これまでの経験から、この壮大な科学プロジェクトは一朝一夕には実現できないことが明らかである。そのため、プロジェクト実現を目指して、一步一步階段を上るように小さなプロジェクトを積み重ねる必要があるとわれわれは考えている。本特集号では、マントル掘削を念頭に置いて提案されているいくつかの掘削プロジェクトに関して、そのサイエンスの重要性と面白さについて紹介する。海洋掘削におけるマントル掘削では、柔らかい堆積層の下に存在する

* 国立研究開発法人海洋研究開発機構海域地震火山研究部門火山・地球内部研究センター

* Volcanoes and Earth's Interior Research Center, Research Institute for Marine Geodynamics, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, Yokosuka, 237-0061, Japan

硬い岩石層の海洋地殻を掘削する。そのような硬い岩石層をターゲットとした掘削を、われわれのコミュニティでは「ハードロック掘削」と呼んでいる。

本特集号は、6編の総説と後に続く2編の論説から構成される。

道林（2021）は、これまでの海洋掘削の歴史、とくにハードロック掘削に焦点を絞り、丁寧に解説をしている。初学者にとってこの研究分野の理想的な教科書となるであろう。また、本特集号を読む際の基本的な情報を網羅しているので、個別の総説・論説を読む前に、是非一読されたい。

森下ほか（2021）は、マントル掘削の科学的意義やそのサイエンスの面白さについて紹介している。マントル掘削プロジェクトは、国際的かつきわめて大きな研究コミュニティによって推進されている。その網羅する研究分野は、地質、環境、生物などきわめて広い。本特集号企画のエッセンスが展開されているので、マントル掘削とは何かという初学者の問いに答えてくれるであろう。

高澤（2021）は、オマーン国で近年実施されたオフィオライト掘削の研究成果を紹介している。国際陸上科学掘削計画（International Continental Scientific Drilling Program: ICDP）のプロジェクトとして行われた陸上掘削であるが、ターゲットのオフィオライトは、かつて海洋地殻を形成していたと考えられている。海洋地殻のアナログフィールドとして、盛んに野外調査が行われていて、過去の地殻・マントル境界にアプローチすることができる場所である。ここで採取された掘削試料を、掘削船「ちきゅう」で分析することで、将来のマントル掘削での予行練習を行うことを試みた様子を紹介している。

石塚（2021）は、伊豆小笠原弧におけるハードロック掘削の研究成果について紹介している。とりわけ国際深海科学掘削計画（International Ocean Discovery Program: IODP）によって2014年に実施された掘削航海について、詳細を解説している。筆者は首席研究員としてこの掘削航海に参加し、このプロジェクトをリードした。このプロジェクトにより解明された伊豆小笠原島

弧の形成発達史や、それにより新たに生まれた問いについて解説している。

小原（2021）は、海洋プレート上に出現する特異な構造である海洋コアコンプレックスについて、これまでの研究の解説と近い将来実現しうる掘削計画についての科学的な重要性について詳しく紹介している。とくに、フィリピン海プレート上には、世界最大の海洋コアコンプレックスであるゴジラメガマリオンが存在し、これまで調査が行われてきた他のコンプレックスとの比較研究を通じての形成過程の理解のみならず、海洋地殻下部およびマントル最上部の岩石を手に入れることができるフィールドとしての重要性を示している。

佐野ほか（2021）は、地球最大の超巨大火山であるオントンジャワ海台の形成過程を解明する目的で進められている海洋掘削プロジェクトについて解説している。巨大であるがために、形成後のプレート活動によっていくつもの部分に分割されてしまっている可能性があり、この分割された火山を復元することは形成過程の謎を解くうえできわめて重要な作業である。この海洋掘削プロジェクトでは、復元作業に不可欠な海台の断片のサンプルを手に入れることが目的である。地球最大の火山活動は、地球表層環境にも大きな影響を与えたはずであり、火山研究としてだけでなく、他の分野からも大きな注目をされている研究課題である。

巽ほか（2021）は、海洋プレートの沈み込みにとまなう物質移動によって海洋の水が多量にマントルへ輸送され、地球史の時間スケールでは近い将来に海洋が消滅する可能性を議論している。海洋消滅の鍵となる海洋プレートが海水を取り込む過程は、沈み込む直前の海洋プレートおよびその下のマントルの掘削研究が不可欠であることを主張している。技術的には簡単に実現する掘削プロジェクトではないが、地球史において長い間存在してきた海洋が、隣の惑星である火星と同じように消滅してしまうメカニズムを主張している部分はきわめて興味深い。

海野・草野（2021）は、国際深海科学掘削計画に提案された3か所のマントル掘削候補地の一

つであるハワイ沖の掘削計画とその意義について解説している。拡大様式や速度は、海洋地殻構造と密接な関係があることが解説され、岩相や密度構造を知るうえで、海洋地殻掘削が不可欠であることを主張している。さらに、この掘削プロジェクトは、将来のマントル掘削のファーストステージとして位置づけることができ、この掘削で得られる研究成果や掘削技術のノウハウは、次のステップに生かされることが期待されている。

これまでの地球惑星科学において、サンプルリターンは、その分野の発展にきわめて大きな貢献をしている。地球内部で起こる諸現象の理解のみならず、われわれが生活している地球表層環境へのマントル影響を評価するためには、マントル掘削によるサンプルリターンから発展する幅広い研究が不可欠である。この目的を達成するための研究者の試みの一端を、本特集号で多くの読者に紹介できたのではないかと自負している。長い歴史をもつ壮大なプロジェクトを本特集号だけで網羅することは到底不可能である。各論文には、関連研究についての多くの引用文献があげられているので、さらに興味のある読者はそれらを参考にして、本特集号では扱いきれなかった研究トピックへの理解を深めていただきたい。

本特集号は、マントル掘削プロジェクト実現に向けて多大な熱意をもって取り組んでおられる諸氏にサポートしていただいた。とくに道林克禎、石塚 治の両氏が、特集号編集委員としてさまざまな点でご尽力していただいた。なお、本特集号の企画立案にあたり、日本地球惑星科学連合・固体地球科学セクション・ハードロック掘削科学フォーカスグループの活動が大きな貢献をした。

文 献

石塚 治 (2021): 伊豆小笠原弧研究におけるハードロック掘削の貢献. 地学雑誌, **130**, 527-542. [Ishizuka, O. (2021): Outcome of hard rock drilling in the Izu-Bonin Arc. *Journal of Geography (Chigaku Zasshi)*, **130**, 527-542. (in Japanese with English abstract)]
道林克禎 (2021): 深海掘削計画における基盤岩掘削科学の貴種流離譚. 地学雑誌, **130**, 461-482. [Michibayashi, K. (2021): History of deep-sea ocean basement drilling programs and contributions to the Earth sciences. *Journal of Geography (Chigaku*

Zasshi), **130**, 461-482. (in Japanese with English abstract)]

森下知晃・藤江 剛・平内健一・片山郁夫・嶺嶺佑衣・黒田純一郎・岡本 敦・小野重明・道林克禎・諸野祐樹・山本伸次 (2021): マントル掘削でのみ解明される地球科学問題—生命惑星海洋プレートの今を理解する—. 地学雑誌, **130**, 483-506. [Morishita, T., Fujie, G., Hirauchi, K., Katayama, I., Kouketsu, Y., Kuroda, J., Okamoto, A., Ono, S., Michibayashi, K., Morono, Y. and Yamamoto, J. (2021): Crucial scientific issues in earth science revealed only by mantle drilling: Understanding the current state of the oceanic plates of a life-bearing planet. *Journal of Geography (Chigaku Zasshi)*, **130**, 483-506. (in Japanese with English abstract)]

小原泰彦 (2021): ゴジラメガムリオン掘削から明らかにする背弧海盆海洋下部地殻と上部マントルの組成と構造. 地学雑誌, **130**, 543-558. [Ohara, Y. (2021): IODP drilling at the Godzilla Megamullion: The nature of the backarc basin lower crust and upper mantle. *Journal of Geography (Chigaku Zasshi)*, **130**, 543-558. (in Japanese with English abstract)]

佐野貴司・テハダ マリア ルイザ・中西正男・羽生 毅・三浦誠一・末次大輔・利根川貴志・石川 晃・清水健二・清水祥伽 (2021): 超オントンジャワ仮説の検証—地球最大の超巨大火山—. 地学雑誌, **130**, 559-584. [Sano, T., Tejada, M.L., Nakanishi, M., Hanyu, T., Miura, S., Suetsugu, D., Tonegawa, T., Ishikawa, A., Shimizu, K. and Shimizu, S. (2021): Testing the Ontong Java Nui hypothesis: The largest supervolcano ever on the Earth. *Journal of Geography (Chigaku Zasshi)*, **130**, 559-584. (in Japanese with English abstract)]

高澤栄一 (2021): ICDP Oman Drilling Project の成果と今後の展望. 地学雑誌, **130**, 507-525. [Takazawa, E. (2021): Achievements and future prospects of the ICDP Oman Drilling Project. *Journal of Geography (Chigaku Zasshi)*, **130**, 507-525. (in Japanese with English abstract)]

栗 好幸・末永伸明・吉岡祥一・金子克哉 (2021): 海惑星の将来を考える—マントル掘削の意義—. 地学雑誌, **130**, 585-597. [Tatsumi, Y., Suenaga, N., Yoshioka, S. and Kaneko, K. (2021): Drilling into the mantle: A key to prognosticating the future of ocean planet. *Journal of Geography (Chigaku Zasshi)*, **130**, 585-597. (in Japanese with English abstract)]

海野 進・草野有紀 (2021): ハワイ沖上部地殻掘削から海洋プレートの形成過程に迫る. 地学雑誌, **130**, 599-614. [Umino, S. and Kusano, Y. (2021): Understanding of the spreading and formation of oceanic plates by drilling in the upper crust off Hawaii. *Journal of Geography (Chigaku Zasshi)*, **130**, 599-614. (in Japanese with English abstract)]