

今後の海洋科学掘削の在り方について（提言）~~（案）~~

令和4年12月20日
科学技術・学術審議会
海洋開発分科会

<はじめに>

1. 海洋科学掘削の現状

(1) 我が国における海洋科学掘削の現状

① 「ちきゅう」を用いた海洋科学掘削の現状

(ア) これまでの活動実績・成果

- 科学的視点
- 社会的視点
- 技術的視点

(イ) 運用上の課題

- 「南海トラフ地震発生帯掘削計画」をめぐる課題
- マントル掘削をめぐる課題

② コアリポジトリ施設を活用した研究開発

③ 「かいめい」を用いた研究開発

(2) 海洋科学掘削に関わる国内外の周辺動向

① 海洋科学掘削による地球惑星科学の進展

② 国際協力枠組（IODP）の変化

2. 今後の我が国の海洋科学掘削の在り方

(1) 社会的な課題への対応

- ① 防災・減災をはじめとする安全・安心な社会の構築に資する取組
- ② 気候変動問題の解決に資する取組
- ③ 海底下生命圏の理解に資する取組

(2) 海洋科学掘削を進める上で必要な事項

- ① プロジェクト管理体制の改善
- ② 国際協調の戦略的検討
- ③ 技術の継承・人材の育成

<おわりに>

<はじめに>

海洋科学掘削¹は、これまで地球惑星科学の発展に寄与してきた。具体例として、プレートテクトニクス²の確立やプレート境界のダイナミクス、海洋地殻・海台・島弧の成り立ち、地球システム変動、海底生命圏の存在などの理解への貢献が挙げられる。

我が国は前 IODP²及び現行 IODP³に基づき、海底を掘削しコア試料の採取を行う掘削船と、掘削船等によって採取されたコア試料を保管・管理するコアリポジトリ施設を主として提供し、多国間の海洋科学掘削共同プログラムを主導してきた。掘削船としては、当初より国際共同プログラム⁴の下での運用を想定して建造された地球深部探査船「ちきゅう」を提供し、2005年7月の就航から17年間、数々の海洋科学掘削を実施し、科学的成果を創出してきた。また、世界に3か所設置されたIODPコアリポジトリ施設⁴の一つとして運営されている「高知コアセンター⁵」では、過去50年間にわたる国際科学掘削プロジェクトの掘削コアが保管・管理され、それらのコアは、日本のみならず世界中の研究者による数多くの優れた科学的成果に繋がっている。近年では、掘削船以外でも海底広域研究船「かいめい」を用いて、2021年にIODP研究航海を初めて実施し、ピストンコアリングによる堆積物採取を通じて地震履歴研究の進展に貢献してきた。

一方、「ちきゅう」建造からこれまでの間に、我が国で実施すべき海洋科学掘削として掲げていた目標の中には未だ達成できていない取組が存在している。「ちきゅう」が船齢を重ねる中で、未達成の取組を含む実績を振り返りつつ、社会的ニーズを加味し、今後の海洋科学掘削の在り方を検討する必要がある。「ちきゅう」の運用主体である「国立研究開発法人海洋研究開発機構（JAMSTEC）」は、こうした取組の評価や技術の検証を行うため外部有識者で構成される諮問委員会⁶を設置した。

また、現行IODPは、2024年9月に計画期間満了を迎えようとしている。現行IODP終了後の海洋科学掘削の国際協力の在り方は、各国関係者の間で今まさに検討されているところである。現行IODPで「ちきゅう」及び「高知コアセンター」を国際共同プログラムに提供し主導してきた我が国として、それらプラットフォームの活用方策と併せて国際協調の方向性を検討していく必要がある。

今般、科学技術・学術審議会海洋開発分科会は、海洋科学掘削委員会を設置し、技術開発を含むこれまでの海洋科学掘削の活動実績・成果、地球惑星科学の進展、国際協力枠組の変化を調査した上で、今後5～10年を対象期間として我が国における海洋科学掘削の在り方について検討を行い、提言をとりまとめた。

¹ 本資料内では、特段の断りがない限り、コアリングによる堆積物採取等も含めるものとする。

² 統合国際深海掘削計画（IODP：Integrated Ocean Drilling Program）、2003年～2013年に実施

³ 国際深海科学掘削計画（IODP：International Ocean Discovery Program）、2013年～2024年に実施中

⁴ ガルフ・コースト・リポジトリ（米国、テキサス A&M 大学）、ブレーメン・コア・リポジトリ（ドイツ、ブレーメン大学）、高知コアセンター（日本）の3拠点

⁵ 国立大学法人高知大学海洋コア総合研究センターと国立研究開発法人海洋研究開発機構高知コア研究所が包括連携協定を結び運営する共同利用・共同研究拠点

⁶ 「IODP 第358次研究航海「南海トラフ地震発生帯掘削計画」プロジェクト管理に関する外部評価・助言委員会」（2019）及び「『ちきゅう』によるマントル掘削技術にかかる検証委員会」（2022）

1. 海洋科学掘削の現状

(1) 我が国における海洋科学掘削の現状

① 「ちきゅう」を用いた海洋科学掘削の現状

(ア) これまでの活動実績・成果

我が国は、「ちきゅう」建造当初⁷、深海地球ドリリング計画⁸の下、米国の掘削船「ジョイデス・レゾリューション号」との2船に、「欧州海洋研究掘削コンソーシアム(ECORD)」の特定任務掘削船も加えた体制で前IODPを推進し、米国及びECORDと共に国際共同プログラムを主導していくことを目標とした。前IODPにおける主力掘削船としての「ちきゅう」の位置づけは、現行IODPに引き継がれている。現行IODPの科学目標は、「変動する地球」、「生命圏フロンティア」、「地球活動の関連性」、「気候・海洋変動」の4テーマの推進である。「ちきゅう」を用いた研究航海を通じて、特に「変動する地球」、「生命圏フロンティア」に関連した掘削が実施され、成果が創出されてきた。なお、「変動する地球」関連の成果は、我が国の防災・減災につながっており、社会的な貢献に直結している。

また、「ちきゅう」の建造及び運用を通じて、建造技術をはじめ、ライザー掘削などの掘削技術や操船技術などの関連技術が確立し、操船者・掘削技術者といった国内の人材が育成されている。科学研究の進展のみならず、関連技術の発展においても、「ちきゅう」は大きく貢献している。加えて、「ちきゅう」をIODPに供用することで、「ちきゅう」及び他国の海洋科学掘削船に乗船する国際研究者チームへの参加機会を継続的に得ることが可能となった。日本の研究者は、科学提案の提出から乗船研究、科学的成果の創出まで、多彩な分野で活躍してきた。研究者育成の観点でも「ちきゅう」は貢献してきたと言える。

これら「ちきゅう」による様々な海洋掘削の実施や技術の確立のために、1999年度～2022年度の24か年で船舶建造費を含め総額2,709億円⁹の政府予算が投入されてきた。ただし、情勢の変化により近年は運航費を確保できず、十分な運用が行えていないのが現状である。

以上のように、科学成果のみならず、社会への貢献、技術の確立、人材の育成など、「ちきゅう」の運用により様々な実績が積み上がってきており、以下にその詳細を述べる。一方、目標が達成できていない取組も存在しており、これも含め確認する。

● 科学的視点

上述の通り、「ちきゅう」を用いた研究航海を通じて、現行IODPの科学目標4テーマのうち、「変動する地球」、「生命圏フロンティア」に関連した成果が創出されてきた。

例えば、「変動する地球」に関する顕著な成果としては、「南海トラフ地震発生帯掘削」で

⁷ 2005年7月竣工

⁸ 国際深海掘削計画(ODP,1985-2003)の実施中、同計画で運用されていた米国のジョイデス・レゾリューション号の技術的限界を超える能力を持つ「地球深部探査船」を日本が開発し、それを米国の従来型掘削船と相互補完しつつ国際的に運用するという海洋科学技術センター(現 国立研究開発法人海洋研究開発機構)の計画。1998年に航空・電子等技術審議会地球科学技術部会に提言、承認され、開始した。

⁹ 「ちきゅう」建造費:594億円、「ちきゅう」運航費等:1,884億円、「ちきゅう」機能向上・修繕費:231億円

の掘削孔に設置された長期孔内観測装置により、スロースリップ（ゆっくりすべり）の発生の検知に成功したことが挙げられる。さらに、長期孔内観測装置を「地震・津波観測監視システム（DONET）」と接続することで、微小な地殻変動のリアルタイム計測を実現し、モニタリングによる科学的知見が得られたことも大きな成果である。また、東北地方太平洋沖地震からわずか 1 年後の 2012 年に「東北地方太平洋沖地震調査掘削」を実施し、水深 6,889.5m の海底において、プレート境界断層を掘削して貫通した。これにより、地震発生時にプレート境界断層が高速ですべることにより生じた残留摩擦熱の温度変化の計測に世界で初めて成功したことは、画期的成果と言える。

「生命圏フロンティア」分野の研究においても、我が国は世界をリードしてきた。例えば、下北八戸沖での掘削航海（2006 年慣熟航海及び 2012 年「下北八戸沖石炭層生命圏掘削」）で、海底下生命圏に大量のアーキア（古細菌）が生息していることを世界で初めて明らかにした。また、世界最深の海底下微生物群集を発見し、その生命圏限界を提唱した。

このような優れた科学的成果を挙げる一方で、「南海トラフ地震発生帯掘削」では目標としていたプレート境界までの掘削を達成することができず、海溝型巨大地震の発生メカニズムの解明と今後の地震予測に関する当初の科学目標に未達成部分がある。また、「ちきゅう」建造前からの目標の一つであり、現行 IODP の科学テーマ「変動する地球」の課題の一つにも挙げられているマントル掘削に関しても、未だ実現に至っていない。

「ちきゅう」によるプロジェクトには、航海スケジュールを組む段階まで進んだ¹⁰ものの、予算状況等により実現に至っていないものがある。その中には、IODP において主要な科学計画とみなされ、かつ「ちきゅう」でのみ実施可能であるために高い期待を集めたプロジェクトも含まれ、これらが実現できなかつたことは国際的な掘削科学コミュニティに落胆を与えている。このようなプロジェクトについて、運用側は、「ちきゅう」の運用計画について掘削科学コミュニティを交えた議論を行い、運用実施にあたっての課題を同コミュニティに共有しながら、科学掘削の実現可能性を十分に検証する必要があった。

● 社会的視点

科学的知見の創出のみならず、社会的な貢献に資する掘削も実施されてきた。例えば、地震分野における掘削は、試料採取や孔内リアルタイム観測により巨大地震の発生場を直接理解できる唯一の方法であり、防災・減災の観点から非常に大きな意義がある。「ちきゅう」を活用し、「南海トラフ地震発生帯掘削」での掘削孔に長期孔内観測装置を現在までに 3 基が設置された。この長期孔内観測装置により、スロースリップ（ゆっくりすべり）を検知するなど微弱な地殻変動計測が可能であることが実証された。さらに、当該装置を DONET と接続することで、海底下の動きをリアルタイムで観測・監視を行うことが可能となった。

¹⁰ 国内外のワークショップ等で協議された内容を基に、研究者が IODP にプレ・プロポーザルを提出する。提出されたプレ・プロポーザルは科学評価パネル(SEP)で科学的内容の評価をし、その評価を受けて、研究者はプロポーザルを修正する。修正されたものをフル・プロポーザルとして再度提出し、評価パネルで再評価。科学的に優れていると判断されたものについては、環境保護安全パネル (EPSP) の評価を経て各プラットフォームの運用委員会(日本ではちきゅう IODP 運用委員会(CIB))に送付され、実際に航海スケジュールをプラットフォーム事業者(日本では JAMSTEC)と協議・調整する。

こうした科学的知見を土台に、関係機関に情報提供を行うシステムが構築され、現状評価や地震発生リスク評価が目覚ましく向上している。また、「ちきゅう」を用いた掘削同時検層や堆積物・火山砕屑物・岩石の掘削で得られた掘削コア試料の解析により、断層構造や断層近辺の鉱物組成及び各種物理特性の理解が深まり、地震・火山現象の理解・予測研究が進展してきた。

● 技術的視点

「ちきゅう」の建造は、建造技術をはじめ、我が国における大水深・大深度での掘削技術や操船技術など関連技術の確立及び発展に寄与した。例として、産業界では敬遠される過酷な海象・気象環境下での定点保持技術を機器と操船の両面で確立したことや、ライザーレス掘削に関する種々の機器の開発により掘削効率を向上させたことなどが挙げられる。また、「ちきゅう」の運用に際して国際標準規格に対応した労働安全衛生及び環境保全の体系的・総合的管理体制が新たに整備され、それに付随するノウハウが蓄積されてきた。「ちきゅう」の建造・運用の過程において、一定の技術的成果が生まれている。海洋科学掘削で培われた関連技術の一部については、他分野¹¹の活動にも用いられている。一方、「ちきゅう」の建造当初に目標とされていた科学的成果を達成するために必要な技術の中には、いまだ開発できていないものが存在する。特に、産業界における大水深掘削技術開発が停滞し、協力企業が撤退したため、マントル掘削を達成するための技術の開発を進めることは容易ではない現状にある。

(イ) 運用上の課題

上記の通り、これまで「ちきゅう」は様々な実績を挙げてきた一方で、実施したものの成功しなかった取組や、建造当初に IODP の科学目標として掲げられたにもかかわらず計画通り進まなかった取組が存在する。それらにはプロジェクト管理や技術開発管理など、運用上の課題が認められる。本分科会では、特に問題点が顕在化した「南海トラフ地震発生帯掘削計画」及び「マントル掘削」の2プロジェクトについて、課題の分析と改善に向けた検討を行った。

● 「南海トラフ地震発生帯掘削計画」をめぐる課題

IODP 第 358 次研究航海「南海トラフ地震発生帯掘削計画」では、「ちきゅう」による超深度掘削（水深約 1,900m、海底下約 5,200m 付近の巨大分岐断層及びプレート境界の接合部の掘削）を行い、巨大地震発生帯の地質学的特徴を把握することを目標としていた。ただし、本掘削では複雑な地層構造による孔壁崩壊が予想され、高度な技術、相当な時間及び費用が必要であり、休止も含めた判断が必要であるとされていた¹²。そのような事情の中、時間・費用等のコストが比較的抑えられる反面、技術リスクが高い掘削方法を採用したこと

¹¹ 海底資源開発など

¹² 「地球深部探査船「ちきゅう」による南海トラフ地震発生帯掘削計画の進め方に関する提言」（科学技術・学術審議会海洋開発分科会、2014年8月）による。

より、掘削時の孔壁崩壊に対応できないまま掘削が進行し、最終的に目標深度への到達を断念する結果となった。「ちきゅう」の運用主体である JAMSTEC は、第 3 者である有識者を委員とした「IODP 第 358 次研究航海『南海トラフ地震発生帯掘削計画』プロジェクト管理に関する外部評価・助言委員会」（以下「南海トラフ掘削助言委」と言う）を 2019 年 8 月～11 年にかけて設置し、外部評価と助言を受けた。

南海トラフ掘削助言委は、大規模な科学掘削としてはマネジメント体制に不備があったとして、意思決定プロセスが不明瞭で決定に対する責任の所在があいまいであったこと、運用以外の部署・立場からのレビュー・審査体制が不整備であったために運用担当部署内部での決定に重点が置かれていたこと、などの問題点を指摘した。同委員会は、これらの指摘事項に対する今後の改善として、大規模な科学掘削を行う場合、その掘削計画に見合う管理基準・体制を整備できるように、大規模な科学掘削を明確に「プロジェクト」と定義付けすることを助言した。「プロジェクト」の遂行にあたっては、科学目標、技術リスク、マネジメントリスク、コスト評価、スケジュール管理などの事前検討を十分に行うこと、マイルストーン審査を行い中断や中止も含めた適切な計画変更判断を行える体制を構築すること、「プロジェクト」の妥当性評価や意思決定に現場部門以外の意見を取り込む体制とすること等を挙げている。これを受け、現在 JAMSTEC において、「南海トラフ地震発生帯掘削計画」に限らず大規模な科学掘削を実施する際のプロジェクト管理に関する上記の課題改善に向けた検討が行われている。しかし、具体的な改善策の策定には至っていない。プロジェクトの管理の改善や外部の意見に対する適切な対応が大きな課題である。

● マントル掘削をめぐる課題

JAMSTEC は「ちきゅう」建造前、2014 年度末までのマントル到達を目標に掲げていた¹³。その実現には技術的な課題があったが、当時、産業界において石油といった海底資源開発など海底掘削への機運が高まっていたことを背景とし、民間で進展する掘削技術を転用することを念頭に、水深 4,000m まで対応可能なライザーシステムの開発を含めた各種技術開発を「ちきゅう」建造後に段階的に進める計画であった。しかし、これは 2022 年の現時点でも基本的に実用化されていない。JAMSTEC は、この現状に対する課題意識のもと、客観的に大水深・大深度掘削技術開発の現状を検証し、マントル掘削を実施する際に必要となる技術について助言を受けるため、第 3 者である有識者を委員とした「『ちきゅう』によるマントル掘削技術にかかる検証委員会」（以下「マントル技術検証委」と言う）を設置した。マントル技術検証委は、2021 年 9 月から 2022 年 4 月にかけて検証を行い、マントル掘削を行うための技術について、水深 4,000m まで対応可能なライザーシステムの開発と、大深度掘削に対応するための 12,000m 級のドリルパイプの開発が主な課題であると指摘した。特に、水深 4,000m まで対応可能なライザーパイプの軽量化については、産業界での大水深・大深度の技術開発が停滞し、協力企業が撤退したため、ライザーパイプ本管の素材変更による軽量化の近い将来の実現は難しいことが明らかとなった。ただし、ライザーパイプに付属する補助管のみの軽量化や、現在「ちきゅう」が備える 21 インチのものより小径のラ

¹³ 「深海地球ドリリング計画評価報告書」（航空・電子等技術審議会、1998 年 12 月）による。

イザーパイプの採用による軽量化については、期限を決めて検討していく余地が残っているとされた。マントル掘削技術検証委は、JAMSTEC に対し、「ちきゅう」の船齢、世界的な情勢、予算状況など総合的に勘案し、マントル掘削実現に向けた課題解決の検討を行うことを助言した。JAMSTEC は検証結果及び助言を踏まえ、今後の技術開発に関して、現在、検討を行っている。

上記の技術課題以上に、段階的な技術開発が当初目論見通り進めることができなかったことやそのような実情を十分に周知してこなかったことなど運営上の大きな課題がある。技術開発のロードマップ管理や予算管理等を含めた総合的な技術開発管理を的確に行うことや適切なタイミングで開発状況を説明する姿勢が必要であったと言える。

一方、掘削科学コミュニティの課題として、マントル掘削を目標に掲げた当初から、「人類未踏領域への挑戦」という本来の科学目標を十分に表さない表現が先行し、社会に共感される科学的意義の議論・検討が十分深化してこなかったことが挙げられる。近年では掘削科学コミュニティにおいてマントル掘削の科学的意義についての議論及び認識がより深まり、マントル到達に向けたステップとしてのパイロット孔掘削提案が提出されている。しかし、「ちきゅう」の就航当初から、マントル掘削によっていかに魅力的かつ科学的意義の高い成果を得られるかを社会にも共感されるサイエンス・プランとすべく、関連する個別研究の成果を着実に挙げつつ幅広い科学コミュニティ全体で科学的意義やサイエンス・プランを議論・検討することが必要であった。

② コアリポジトリ施設を活用した研究開発

「高知コアセンター」は世界に 3 か所設置された IODP コアリポジトリ施設の一つであり、過去 50 年間¹⁴にわたる国際科学掘削プロジェクトで採取された西太平洋からインド洋の掘削コアが約 146km 分保管されている。「高知コアセンター」では年間 150 件程度のサンプルリクエストへの対応を行っている。こうした取組は、コアを活用した研究の進展に大きく貢献している。このサンプルリクエストにより、コアを採取した研究航海参加者だけでなく、全世界の研究者が利用でき、異なる研究航海で採取されたコアを横断的に分析することが可能となる。これにより、国内外問わず多分野の研究者がこのコア試料を活用することで、複数地点・海域の横断から分野横断型の研究まで様々な成果が挙げられている。特に、古環境・古気候研究や火山・火成活動研究などの分野でのコアの利用が多く、これらの取組がそれらの分野での新たな知見の創出に寄与している。

また、このような研究の基になるオリジナル試料を長期にわたり適切に保管し、必要に応じていつでもアクセスし再検証できる状態に管理してきた「高知コアセンター」は、まさに FAIR 原則¹⁵を体現したオープンサイエンスの先駆けとなる役割を果たしてきたと言える。なお、研究のみならずコアを用いた事前解析による新たな掘削計画立案がされるなどの好循環が生まれている。さらに、「高知コアセンター」はコアを分析するための機器を多数導入

¹⁴ 1968 年に開始した深海掘削計画 (DSDP : Deep Sea Drilling Project) から現行 IODP に至るまで

¹⁵ Findable (検索可能)、Accessible (アクセス可能)、Interoperable (相互運用可能)、Reusable (再利用可能) の略。研究データの適切な共有と公開の原則として、近年世界的な基準となりつつある。

し、単なる保管庫の役割ではなくコアを用いた先端研究の拠点として国内外の研究者に利用されている。同センターは西太平洋及びインド洋のコアを国際的に保管・管理する世界で唯一無二の存在として、様々な形で多大に貢献している。

③ 「かいめい」を用いた研究開発

2016年3月に就航した「かいめい」は、海底から40mまでのコア採取が可能な「ジャイアントピストンコアラー（GPC）」、及び60mまでの掘削が可能な「海底設置型掘削装置（BMS）」を搭載することができる。これにより、「ちきゅう」のような大深度掘削はできないものの、様々な研究航海でコアリング・掘削の実施に用いられてきた。特に、2021年のIODP研究航海「日本海溝地震履歴研究」では、ECORDと協力し、GPCを用いて最大水深8,023mから日本海溝のコアを連続的に採取することに成功した。上記も含め、我が国では、「かいめい」による様々な研究航海で採取したコアを用いて、これまで地球物理、古環境、極限生命圏等の研究が進められてきた。

(2) 海洋科学掘削に関わる国内外の周辺動向

① 海洋科学掘削による地球惑星科学の進展

地球惑星科学¹⁶は、地球の構造と現象、起源と進化、惑星としての普遍性と特殊性を解き明かすことを目標とする学問分野である。具体的には、地球はどのように誕生し、生命が生まれたのか、地球は46億年の間にどのように変わり、未来の環境はどのようになるのかなど、「自然を深く広く理解する」ことを目標とするほか、地震や火山噴火といった自然災害や地球温暖化などの環境問題といった「社会に直接かかわる地球の諸問題の本質を理解する」ことを目指す学問である。研究対象は宇宙惑星や固体地球、大気・水圏、生命など非常に広範であり、それらを理解するための研究手法も多岐にわたる。本分科会では、海洋科学掘削の今後を考えるうえで必要な分野として、古環境・古気候研究、極限環境生命圏研究、火山・火成活動研究、地震研究、マントルダイナミクス研究の5分野の最近の動向についてヒアリングを行った。また、関連の深い技術として、海底観測技術の研究開発の現状についても調査した。

古気候学・古海洋学の研究手法は大きく分けて二つあり、古い時代の気候の痕跡が残る古気候アーカイブから読み解いていく手法と数値モデルにより解析していく手法である。観測機器やデータのない時代を記録している古気候アーカイブには、陸上堆積物や氷床コア、海洋堆積物などがあり、これらは記録媒体となる。特に海洋科学掘削は古い時代（第四紀以前など）の気候・海洋環境を知る有力な手段であり、この研究分野では引き続き正確で高時間空間解像度の記録を得ることが必要とされる。

極限環境生命圏研究では、海洋では深海、海洋堆積物、海洋地殻、海洋以外では氷山、極域や陸上の地下圏、火山など多様な場所での生命現象が対象となっている。このような場所

¹⁶ 「地球惑星科学分野の科学・夢ロードマップ（改訂）2020」（日本学術会議、2020年5月）より一部抜粋

での調査や採取したサンプルを用いて研究が進められる。海底下生命圏研究分野では、コアリングや掘削による海底堆積物のサンプリング及び大深度掘削による海洋地殻のサンプリングにより研究が進んでいる。今後も、堆積層・地殻のサンプリングにより、画期的な知見創出・成果が期待される分野である。

火山・火成活動研究は、大きく分けて、活動中の火山に対し様々な観測（火山性微動、地殻変動、火山ガスのセンサー観測等）を行う手法と、火山噴出物あるいは火成岩を実際に採取し分析する地質学的手法がある。いずれも陸域の火山を対象にした研究が主流である。海底火山の研究では、掘削やピストンコアリング、ドレッジといった手法を用いて試料採取が行われている。また、陸上では実施困難な場合が多い弾性波を用いた地下構造探査が、海底火山研究には使用できる。

地震研究は、掘削による試料分析や長期孔内観測装置を含む海底観測以外に、摩擦実験、シミュレーションや理論など様々な手法により進められている分野である。その中には、過去の膨大な地震データを AI により分析する研究が存在する。シミュレーションを用いた研究は、室内実験で得られた試料サンプルのデータを活用し、かつ他の研究手法の成果を適切に組み合わせて総合的に展開されている。

マントルダイナミクス研究分野では、地球内部を直接見ることはできないため、掘削以外の観測、実験による物質のモデリング、理論による力学モデリングといった間接的な方法を組み合わせて、いろいろな視点から研究が行われている。例えば、地震観測によって得られるトモグラフィーによる地球内部構造の調査と、掘削試料や地下深部から噴出したマグマの化学成分の解析を総合した研究が行われている。

海底観測研究開発では、自由落下・自己浮上式の観測装置（海底地震計など）を船舶から展開し、海底観測を実施する手法がある。さらに、海底ケーブル観測網による観測が近年発展している。代表的な例が DONET であり、掘削による掘削孔に長期孔内観測装置等が接続され、リアルタイム観測網が構築されている。ただし、海底下プレート境界の動態の把握ができない領域は依然として広く、津波計の展開や光ファイバーセンシングを活用した広域化など、別の観測手法も今後期待される。

上記の通り、地球惑星科学では、海洋科学掘削によるサンプリングのほか、陸上科学掘削や氷床掘削など、掘削によるサンプリングが必要な研究が存在する。その他、コアリングにより得られたサンプルを対象とした研究、検層・孔内計測データによる研究、サンプル・データを基にシミュレーション・室内実験・理論を活用して進む研究もある。それぞれの研究分野において、単一の手法ではなく複数の手法が適切に用いられ、必要に応じ複数手法を組み合わせながら、総合的に各分野が進展している。ただし、研究目的に応じた手法は、ほかの手法に容易に代替し難いことも確かである。プレートの形成や沈み込みの地球科学的証拠、極限環境の地下生命圏の生命科学的証拠、過去の気候・海洋環境のアーカイブなどの取得、スローリップ（ゆっくりすべり）による微細な歪変化を検知する長期孔内観測装置の設置などは、海洋科学掘削でこそ達成できたものである。

② 国際協力枠組（IODP）の変化

IODP の枠組を発展させるため、地球掘削科学の科学推進や各組織・研究者の連携強化を

目的として、2003年に「日本地球掘削科学コンソーシアム（J-DESC）」が設立され、現在大学や国立研究機関が中心となり50以上の国内の機関がこれに参加している。会員機関は、J-DESCの維持や次世代育成などを通じた掘削科学の活性化のため、年会費を支払い、人的な貢献を自発的に行うことにより、この組織を運営してきた。J-DESCは米欧との相互乗船へ派遣する我が国の研究者の審査や、「科学評価パネル」、「環境保護安全パネル」といった国際委員会への日本の研究者の推薦など、IODPの推進に重要な役割を担ってきた。J-DESCと類似の組織は、米欧にも存在している。J-DESCも含めた国際科学コミュニティは密な連携をとりながら、有機的な協力を進め、世界の掘削科学の推進に大きく貢献し、成果を挙げてきた。

このJ-DESCが設立された契機となった前IODPは成功裏に10年間の計画期間を終え、現行IODPへとつながっている。その現行IODPは2022年10月に開始から10年目を迎え、当初計画から終期を1年延長した2024年9月をもって終了することが決定している。海洋科学掘削を主導してきた米国は、これまで掘削船「ジョイデス・レゾリューション号」を用いて掘削航海を通年で行ってきたが、現行IODP終了後は米国独自のプログラムを進める構想を示している。また、「ジョイデス・レゾリューション号」は就航から40年が経過し、米国では同船運用終了を見据えて後継船構想を検討している。このように米国の動向が不確定であることを踏まえて、ECORDからJ-DESCやJAMSTECなどの日本側関係者に対し、共同プログラムの構築が提案され、両者は検討を開始した。さらに両者はこの共同プログラムを軸に、他国との緩やかな連携構想も併せて検討している。また、中国は、新たに掘削プラットフォームを提供する意向を有しているものの、運用体制などはまだ不明な状況である。このように、前IODPの開始当初と比べて各国の状況や志向にも様々な変化が生じている。そのため、2024年10月以降、これまでのような日米欧を中心とした国際枠組が継続される見通しはなく、現時点では後継枠組は不透明な状態である。

2. 今後の我が国の海洋科学掘削の在り方

(1) 社会的な課題への対応

1.で確認したような画期的な科学的成果や社会的な課題の解決に資する成果は、いずれも海洋科学掘削でなければ得られなかったものである。本分科会で設定した5～10年の海洋科学掘削を考える上で、その期間内での完遂が見込まれ、かつ科学的・社会的背景から早期の実施が望まれ、併せて海洋科学掘削でしか達成しえない目標を優先順位をつけて設定することが求められる。

日本の掘削科学コミュニティであるJ-DESCは、海洋科学掘削で今後高い成果が見込まれる項目を、「プレート沈み込みの研究（地震・津波に対する防災・減災）」、「火山噴火の研究（超巨大噴火への防災）」、「気候変動の研究（現代の脱炭素社会への貢献）」、「夢のある海底生命・物質科学の研究（人類・生命と地球の共生社会への貢献）」、「船舶運用・掘削関係技術の高度化（孔内観測を通じての防災）」の5つのトピック¹⁷に整理している。

¹⁷ 「地球システムの理解に向けた国際海洋科学掘削研究の推進（要望書）」より一部抜粋

J-DESC の整理の中でも防災が取り上げられているように、活動型大陸縁辺部に位置する我が国は世界有数の地震・火山国であるため、安全・安心な社会を構築する上で、防災・減災に資する研究は欠かすことができない。加えて、後述する長期孔内観測装置の設置や巨大地震発生直後の地球科学的データの取得などは、海洋科学掘削を行わなければ成し遂げられない。したがって、本分科会は、海洋科学掘削で大きな成果が期待できる研究の中でも、防災・減災に資する海洋由来災害の理解に関する項目の研究を優先して取り組むべきと考える。

防災・減災にかかる取組を優先した上で、気候変動や海底下生命圏の理解に資する研究は、「ちきゅう」の船齢、世界的な情勢、予算状況などを総合的に勘案して、ニーズがありかつ実現性が高いものから実施していくことが望まれる。ニーズの特定には、海洋科学掘削関係者のみならず幅広い科学コミュニティでの議論が求められる。さらに、行政関係者や国民を含むステークホルダーからの理解と支援も重要である。実現性の検討は、予算や技術開発、予備調査・研究等の状況を総合的に踏まえて実施されなければならない。

実現性の観点から考えると、「ちきゅう」で取り組むことが期待された主要な掘削課題であったマントル掘削は、技術開発の現状及び見込み、さらに実際の掘削にかかる時間から、今後 5~10 年では実現が難しいと言える。

① 防災・減災をはじめとする安全・安心な社会の構築に資する取組

我が国の安全・安心な社会の構築に向けて、人命を守ることにつながる防災・減災に資する取組は欠かすことができない。特に、地震の防災・減災に資する取組の中には、海洋科学掘削でこそ達成しうる取組が存在する。

例えば、新たな長期孔内観測装置の設置は、今後 5~10 年で実現性が高く「ちきゅう」でこそ実施可能な取組である。1.で述べた通り、地震研究において海溝型地震発生帯への長期孔内観測装置の複数設置によるリアルタイムモニタリングにより、スロースリップ（ゆっくりすべり）の発生状況を正確に捉えることが可能となり、こうした観測データの取得が現状評価や地震発生リスク評価に大きく貢献してきた。一方、その観測点数は現状ではまだ少なく、より正確な把握のためにはさらに展開される必要がある。こうして新規に展開される長期孔内観測装置と DONET 等を接続することにより、リアルタイム観測網を構築することができる。次に、これらをその他の観測網（光ファイバー等）と組み合わせることで総合的な予測研究に発展できる可能性が高い。これらの掘削による取組と周辺分野の研究を統合した科学研究は、海域火山活動や地震活動が活発な海域が多い我が国にとって非常に重要でかつ有用である。

また、巨大地震発生直後の緊急掘削についても、「ちきゅう」でこそ実施可能な取組である。巨大地震の発生メカニズム解明は巨大地震が繰り返す場の理解に非常に重要であり、そのためには、巨大地震の震源断層近傍の地質試料の採取や温度計測等が必要となる。ただし、震源断層までの掘削が技術的に困難であっても、その途中における試料採取や検層、孔内計測は、直近の巨大地震の影響や巨大地震が繰り返す場の理解に資する場合がある。実施可能な範囲での効率的な掘削が望まれる。

一方、海底下 40m~100m という比較的小規模な掘削であっても、巨大地震・大規模噴火の履歴が解明され、大規模低頻度現象の理解が一層深まり、これらの成果が予測に貢献する

ことが今後期待される。このような研究については、「ちきゅう」を用いることはもとより、「かいめい」や国外の研究資源を活用して取り組んでいくことが望まれる。

南海トラフ地震は様々な人の関心度が高い研究対象であり、地震理論やシミュレーションの土台にもなる地震発生場の環境条件を把握するためには、南海トラフの震源断層までの深部掘削も重要な課題である。ただし、南海トラフの地震発生帯深部掘削には、これまでの経緯に鑑みて、その技術的難易度、資金規模、プロジェクトマネジメント体制などを含めた精緻なフェジビリティの検討が必須であり、今後 5～10 年での実現可能性については関係者の間で深い議論が不可欠である。

地震研究だけでなく、火山研究においても、海洋科学掘削の活用が大きな役割を果たす。国内外における海域火山噴火に伴う災害・被害の発生によって、超巨大噴火を含む海域火山噴火に対する関心が高まっており、掘削と観測研究を融合させることにより発生メカニズムや噴火の推移を解明することで、噴火予測や被害予測への貢献が期待される。

なお、安全・安心な社会の構築にあたっては、防災・減災に資する取組のみならず、経済安全保障等に向けた海底資源の確保に資する取組が考えられる。海洋科学掘削によって得られる試料の分析による海底資源の成因研究の発展などが期待される。

② 気候変動問題の解決に資する取組

気候変動の研究において、数十万年をターゲットとした長期的変動とともに、急激な気候イベントなどにも対応する百年から数百年をターゲットとした短期的変動の理解は、人新世を考える上でも重要である。1. (2) ①で既述の通り、気候変動を理解する上で、海洋堆積物などの古気候アーカイブは重要な役割を果たす。気候変動に関する政府間パネル(IPCC)第6次評価報告書第1作業部会報告書でも、第5次評価報告書以降、観測に基づく推定及び古気候アーカイブ(氷床コアや地層の試料)からの情報の向上により、気候システムの各要素と現在までの気候変化に関する定量的理解が深まったと述べられている。ただし、古気候アーカイブとして役立つ海洋堆積物を得るには、地層の堆積速度が速いこと、生物擾乱が少ないことなどが条件となる。このような海域は世界でも限られるため、最適の試料を採取・解析するために、これまで培われた国際的な協力関係を活かすことが重要である。国内の研究資源である「ちきゅう」や「かいめい」にとどまらず、国外の研究資源を用いて得られる試料やこれまで得られてきた試料を使用し、シミュレーションを組み合わせながら研究を進めて行くことが期待される。また、海底への二酸化炭素の地層貯留など、2050年カーボンニュートラルの社会の実現に向け、海底の掘削はゼロエミッションやネガティブエミッションへの手法の一つとして期待される。

③ 海底下生命圏の理解に資する取組

海底下生命圏の研究では、海洋科学掘削によって得られる海洋堆積物試料に生息する微生物を分析し、物質循環と気候変動との関連性を明らかにすることが可能である。また、海洋堆積物—海洋地殻に至る生命圏では、掘削することではじめて証拠を提示できる新たな生命圏および生命の描像が存在する。生命科学の根源的問いに答えるためにも、国内外の研究資源を活用し、海洋堆積物表層—海洋地殻に至るサンプル採取が期待される。また、掘削によ

るコアのサンプリングだけでなく、掘削孔内の採水によるサンプリングも手法の一つとして期待される。このような海底下生命およびその生体物質に関する研究は、生命の生存限界の解明により地球外生命の探査にも貢献すると考えられる。これら海底下生命圏の研究は、太陽系の探査研究とともに、次世代に科学で夢を与えるためにも期待される研究である。

(2) 海洋科学掘削を進める上で必要な事項

① プロジェクト管理体制の改善

(1) で述べた取組に対し、上記の運用上の課題を改善していくことが何よりも不可欠である。特に、運用主体である JAMSTEC は、「南海トラフ地震発生帯掘削計画」のような大規模な掘削計画を実施する場合、「プロジェクト」としての定義づけ、意思決定プロセスや決定者の明確化及び中止の判断時期と基準も含めた事前検討体制の構築など、プロジェクト管理体制の改善を行うことが必須である。このプロジェクト管理の中には、掘削自体の管理のみならず、その掘削に必要な技術開発のロードマップ管理や予算管理など総合的な管理が含まれる。また、意思決定プロセスの中で、現場部門以外の意見を取り入れる体制づくりが望まれる。このような管理体制において、掘削作業が開始された段階では、マネジメントの主体（チーム）は、陸上の管理部門となるため、そのチームの意見を確実かつ正確に掘削現場に伝えるとともに、掘削現場の作業従事者等を、チーム会議に出席させるなどにより、現場の状況を正しくチームに伝えられる体制を作ることが必要である。さらに、事前に検討した判断時期や基準に沿った意思決定、判断に用いた情報、情報共有の方法・時期などを明らかにし、これらが後日検証できるようにすることも重要である。南海トラフ掘削助言委からすでに助言を受けている JAMSTEC は、具体的な改善策の策定を早急に進めるべきと考える。

加えて、JAMSTEC は、今後、掘削科学コミュニティとの対話をより丁寧に行い、運用に関する課題解決を共に図りつつ、運用計画を策定していくことが求められる。

② 国際協調の戦略的検討

国外の研究資源としてこれまで国際的に活用されてきた米国掘削船の今後が不透明な状況にある。このような状況において、今後米国を含めた各国の状況把握に努める必要がある一方、我が国が提供可能な研究プラットフォームへの期待が相対的に上昇している。「ちきゅう」と IODP コアリポジトリ施設、さらに近年では「かいめい」を提供し、IODP を主導してきた我が国は、長年の国際協力により作り上げられた国際的な掘削科学コミュニティに参画していくことが求められる。特に、「高知コアセンター」に代表される IODP におけるコア試料及びデータの保管・管理・提供体制は、現在の科学界の世界的な潮流である、オープンサイエンス化、FAIR 原則を他に先駆けて実現した貴重なものである。現在、「高知コアセンター」は、これらの既存コア試料のデジタル化の計画策定を進めているところである。同センターは今後もプラットフォームとして維持され、研究に活用されていくことが強く望まれる。また、ECORD との協調の下実施された「かいめい」での IODP 航海など、新たな協力形態が実現しており、今後も我が国が国際の掘削科学コミュニティに対して提供できるもの（研究プラットフォーム等）、享受できるもの（乗船枠、掘削科学コミュニティによる研究人材育成、国際委員会で検討された質の高いプロポーザル等）の両方を精査して国

際協調の在り方を検討していくことが重要である。

また、日本の掘削科学コミュニティである J-DESC がこれまで果たしてきた国際科学コミュニティ内での研究人材の育成や国際委員会での日本の研究者の活躍の促進など、日本からの質の高いプロポーザル提案を進めていくための活動については今後も掘削科学コミュニティが担っていくことが期待される。日欧の掘削科学コミュニティも含めた関係者間で、共同プログラムの検討を開始しており、この欧州との協調はもとより、米国との協調を含めて多様な可能性を検討していくことが望ましい。IODP により培ってきた国際協力を土台としつつ、国際協調の在り方を戦略的に検討し、日本の掘削科学コミュニティの主体的かつ、国際的な貢献が強く期待される。

③ 技術の継承・人材の育成

技術的な観点で見ると、操船技術や掘削技術など「ちきゅう」で培われた掘削関連技術は確実に維持・継承される必要がある。

また、新たな技術開発は、掘削科学コミュニティが目指すべき科学研究を達成するために実施されることを大前提とし、国内外の知見を集め、取り組む必要がある。機器と操船の両方の面で高い技術が培われた定点保持技術などを我が国保有の技術として、科学掘削以外の分野にも応用することが期待される。

さらに、操船技術や掘削技術を扱う人材は、「ちきゅう」の船齢も勘案し、身につけた技術が「ちきゅう」以外でも活用できるよう長期的な視点で育成されていく必要がある。

<おわりに>

これまで海洋科学掘削を通じて、科学的成果、社会への貢献、技術の確立、人材の育成など、様々な実績が挙げられてきた。一方で、目標としていたが実現できなかった取組が存在し、技術開発の未達やプロジェクト管理の課題などが重要な要因として指摘される。このような課題を改善し、「ちきゅう」の船齢、社会的ニーズ、今後の国際的な海洋科学掘削の動向、財政状況などを総合的に勘案しながら、今後 5 年～10 年で実施する取組を選択し、それらを集中して実施することが肝要である。運用主体である JAMSTEC には、本議論を踏まえ、プロジェクト管理体制の抜本的な改善を行い、広く共感を得る不断の努力とそれに応える運用実現を期待する。

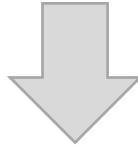
同時に、掘削科学コミュニティには、利用可能な研究プラットフォームを最大限活用して、今後掘削科学をどのように展開させ、地球惑星科学をどのように進展させていくかを考えていくことを期待する。また、社会の共感を得るよう、社会的視点に立ちつつ、掘削科学の目的と成果を広く社会に発信していくことを期待する。

今後も日本が、「海洋立国」及び「技術立国」として、また「災害大国」としての防災取組の観点から、海洋科学掘削を通じて、世界の科学技術の発展をリードし、社会的な課題の解決につなげていくために、掘削科学コミュニティ、JAMSTEC、関係省庁が連携して取り組むことを期待する。

海洋開発分科会（海洋科学掘削委員会）における検討経緯について

海洋開発分科会【第 65 回】令和 4 年 2 月 9 日（水）～2 月 16 日（水）※書面審議

- 海洋科学掘削委員会の設置、及び委員会における調査・検討項目について審議



海洋科学掘削委員会【第 1 回】令和 4 年 4 月 19 日（火）

- 国際深海科学掘削計画（IODP）の動向【ヒアリング】
 - ・ 益田 晴恵 日本地球掘削科学コンソーシアム（J-DESC） IODP 部会長
- 我が国における海洋科学掘削の現状【ヒアリング】
 - ・ 倉本 真一 国立研究開発法人海洋研究開発機構理事

海洋科学掘削委員会【第 2 回】令和 4 年 5 月 12 日（木）

- 我が国における海洋科学掘削の取組【ヒアリング】
 - ・ 巽 好幸 （海洋科学掘削委員会委員）
 - ・ 小原 一成 （海洋科学掘削委員会委員）
 - ・ 石井 正一 SIP「革新的深海資源調査技術」プログラムディレクター
 - ・ 石井 美孝 （海洋科学掘削委員会委員）
- 地球惑星科学分野の研究開発動向【ヒアリング】
 - ・ 黒田 潤一郎 東京大学大気海洋研究所准教授
 - ・ 鈴木 志野 （海洋科学掘削委員会委員）

海洋科学掘削委員会【第 3 回】令和 4 年 6 月 6 日（月）

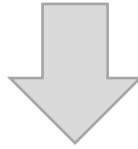
- 地球惑星科学分野の研究開発動向【ヒアリング】
 - ・ 金子 克哉 神戸大学大学院理学研究科教授
 - ・ 荒木 英一郎 国立研究開発法人海洋研究開発機構海域地震火山部門 G L
 - ・ 野田 博之 （海洋科学掘削委員会委員）
 - ・ 中久喜 伴益 広島大学大学院先進理工系科学研究科助教

海洋科学掘削委員会【第 4 回】令和 4 年 7 月 4 日（月）

- 海洋科学掘削の現状と課題【ヒアリング】
 - ・ 倉本 真一 国立研究開発法人海洋研究開発機構理事
- 我が国における研究資源としてのコアの保管・管理・活用の現状【ヒアリング】
 - ・ 池原 実 高知大学教育研究部自然科学系理工学部門教授

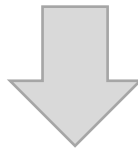
海洋科学掘削委員会【第5回】令和4年7月26日（火）

- 報告書骨子案に関する意見交換（第1～4回の議論のまとめ）



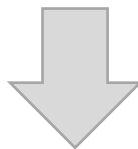
海洋開発分科会【第67回】令和4年8月30日（火）

- 報告書骨子案に関する海洋科学掘削委員会からの中間報告（第1～5回の議論のまとめ）
- 意見交換



海洋科学掘削委員会【第6回】令和4年9月29日（木）

- 報告書案に関する意見交換



海洋開発分科会【第68回】令和4年12月7日（水）

- 報告書案に関する海洋科学掘削委員会からの報告
- 審議

科学技術・学術審議会 海洋開発分科会 海洋科学掘削委員会 委員名簿
(50音順、敬称略)

(委員)

小原一成 東京大学地震研究所教授

(臨時委員)

窪川かおる 帝京大学先端総合研究機構客員教授

阪口秀 笹川平和財団常務理事・海洋政策研究所所長

(専門委員)

石井美孝 石油資源開発株式会社代表取締役 副社長執行役員

◎ 川幡穂高 早稲田大学理工学術院大学院創造理工学研究科客員教授

鈴木志野 国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所准教授

巽好幸 神戸大学海洋底探査センター客員教授

野田博之 京都大学防災研究所准教授

◎:主査

(令和4年12月現在)