

## J-DESC ワークショップ報告

「科学掘削の未来 ～過去・現在を知り、アイデアを形にしよう～」

2018 年は、掘削科学にとって節目の一年である。最初の深海掘削計画 DSDP が始まって 50 周年を迎え、2013 に第二期フェーズが始まった国際科学深海掘削計画 IODP の折り返しを迎える年でもある。このような節目の年に、これまでの IODP 第二フェーズの進捗状況を知り、次のフェーズで注目すべき研究課題を議論するために、国内ワークショップが企画された。それが J-DESC ワークショップ「科学掘削の未来 ～過去・現在を知り、アイデアを形にしよう～」である。ワークショップは 2018 年 3 月 29 日（木）～30 日（金）の二日間、JAMSTEC 横浜研究所で開催された。登録者数は約 150 名と、盛況であった。

3 月 29 日、ワークショップは木村学会長の挨拶で幕が開け、はじめに「国際プログラムとしての科学掘削と日本の動き」にかんするセッションで「国際プログラムとしての科学掘削の歴史と今後に向けて（川幡穂高氏）」、「学術会議大型研究（マスタープラン 2020）への取り組みと連携（木下正高氏）」についての講演が行われた。続く「サイエンスプランとこれまでの歩み」のセッションでは、「IODP 科学計画とその推進体制（巽好幸氏）」、「Chikyū+10 -White paper と現在の状況（島伸和氏）」、「IODP Climate and Ocean Change（黒田潤一郎/岡崎裕典氏）」の講演が行われた。ランチブレイク前には、現在ニュージーランド東方沖で掘削航海中(IODP Exp. 358)の JOIDES Resolution 号と中継をつなぎ、船内の様子を乗船中の伊藤喜宏氏、野田篤氏、橋本善孝氏、Annika Greve 氏が伝えてくれた。船内ツアーや質疑応答では、ワークショップ会場も大変な盛り上がりを見せた。

ランチブレイクを挟んで、引き続きセッション 2 の「IODP Biosphere Frontiers（諸野祐樹氏/高野淑識氏）」、「IODP Earth Connections（秋澤紀克氏/針金由美子氏/森下知晃氏/道林克禎氏）」、「IODP Earth-in-Motion（氏家恒太郎氏/山口飛鳥氏）」、「ICDP（小村健太郎氏/藤原治氏/小野重明氏）」および「IODP/ICDP のアウトリーチ紹介（江口暢久氏/小村健太郎氏）」と講演が続いた。その後、基調講演として藤原治氏が「富士川低地でのプレート境界掘削計画素案」について話題提供いただいた。

3 月 29 日の午後の後半には、Initial Science Plan の 4 テーマに沿って分類された各グループ (Climate and Ocean Change, Biosphere Frontiers, Earth Connections, Earth-in-Motion) に ICDP を加えた 5 つのグループに分かれ、Breakout session を開催した。この Breakout Session は翌日 3 月 30 日の 11 時～14 時にも継続して行われた。詳細は後述する。3 月 29 日の夜には、懇親会が盛大に開かれ、参加者間の親睦がなされた。

翌 3 月 30 日の朝は、挑戦的なタイトルの基調講演が並んだ。まず高井研氏による「掘削でしか達成できない超一級科学命題(ただしマントルは除く)を解くのは誰だ？」に始まり、続いて森下知晃氏による「掘削でしか達成できない超一級科学命題(ただしマントル)を解くのは誰だ？」で、二人の大いなる講演を参加者は楽しんだ。続いて、学生による IODP 航海乗船経験発表セッションが開かれ、「私が IODP をお勧めする 100 の理由（尾張聡子氏）」、「その Joides Resolution 編（高下裕章氏）」、「そのちきゅう編（奥津なつみ氏）」、「ICDP 掘削プロジェクト（石田亮壮氏/小笠原宏幸氏）」と、

若い世代の乗船体験や ICDP プロジェクト参加体験記がライブ感たっぷりに紹介された。

二日目の Breakout Session の後には、二つの基調講演；多田隆治氏による「明暗縞に魅せられて：日本海・東シナ海掘削航海と私」、木村学氏/木下正高氏による「南海トラフ地震発生帯掘削計画」が行われ、実際に掘削プロジェクトを実現させた研究者の経験に耳を傾けた。最後のセッションでは、各グループの Breakout Session のまとめと紹介、それに全体セッションでの議論を行った。木村学会長の挨拶で今回のワークショップは盛況のまま閉幕した。

各グループの Breakout Session のまとめ

“Climate and Ocean Change” モデレーター：岡崎裕典（九州大）/黒田潤一郎（東京大）

Climate and Ocean Change は、1)大気 CO<sub>2</sub> 上昇に対する気候・海洋システムのレスポンス、2)温暖化に対する氷床や海水準の挙動、3)地域的降水パターンの変動（モンスーンやエルニーニョ）、4)海洋酸性化や貧酸素化などの化学擾乱へのレジリエンス、という4つの柱が Science Plan に挙げられている。上記項目の1については、ほぼ全ての実施計画が共通して掲げている課題である。最近5年間（2013～2018年）の航海をみると、上記3のモンスーンに関する航海がインド洋・オーストラリア海域を中心に実施された他、上記2に関する研究航海が高緯度海域で実施されたことが目立つ。これらのテーマについては IODP の成果によって大きく理解が進むと期待される。

しかし、Science Plan に描かれてある課題の多くは引き続き（未解明問題として）重要なテーマであり続けることも事実である。地球表層システム・気候システムの複雑さを鑑みると当然であろう。人類は自分たちの排出した CO<sub>2</sub> と今後数千年規模でつきあっていかなければならない。人為起源 CO<sub>2</sub> による温暖化は疑う余地なく始まっており、最悪のシナリオとして 1000 ppm world も想定される。そのような高 CO<sub>2</sub> 条件下で起こる気候変動や、その生命圏へのインパクトはどのようなものか？顕生代6番目の Mass Extinction が始まっているという考え方もある。過去の地球の姿にこそ解明の糸口があると言えよう。これまでは温暖化に主眼が置かれてきたが、今後は温暖化予測の先、つまり温暖化が進み切った世界での環境変動にも目を向けなければならない。特に、高緯度域はより高温化が大きいと予想され、深刻な影響が出る。過去の地球の姿を知ることは引き続き重要となる。海洋コアは、数100年規模、数千年規模、数万年規模という異なる時間スケールでの環境変動を捉える最も重要な媒体であり続ける。

セッションでは、以上の当該分野の重要性や課題を踏まえた上で、今後の古気候古海洋研究で特に重要となるであろう3つのトピックについて話題提供と議論を行った。「人類史との関わり」として梶田展人氏（東京大）に、「気候モデルとの連携」として山本彬友氏（JAMSTEC）、阿部彩子氏、シェルフ多田野氏、小林英貴氏、木野佳音氏（東京大）に、「極域掘削の展望」として池原実氏（高知大）がそれぞれ話題提供を行い、活発な議論がなされた。さらに、高知コアセンターでのレガシーコアの活用に向けた取り組みの紹介（池原実氏、山本裕二氏）や、SCORE の活用についても検討した。

“Biosphere Frontier” モデレーター：諸野祐樹（JAMSTEC）/高野淑識（JAMSTEC）

IODP ではまだ新しいサイエンステーマである Biosphere Frontier では、新しい発見が次々に為されてきた。新しい領域ゆえに「新しい何かが分かると、全く別の分からないが増える」現況にあるが、

今後も大きく発展する分野であることは疑いの余地がない。この研究分野の発展の背景には生物分野のみならず分野融合的な技術交流，知識交流，人材交流があり，テクノロジーと視野の広がりが大きく貢献してきた。IODP および ICDP では，掘削試料を中心とした科学研究チームが組織されることがその交流を促している。IODP と ICDP の双方向的な科学立案とコミュニティ形成が今後さらに重要となっていくだろう。

現 IODP の Science Plan では“Biogeochemical Cycles”，“Limits of Life”，“Deep Ecology” の3つの主要課題が挙げられている。いくつかの重要な発見が相次いでいるが，各項目について明確な達成概念は得られていない。現状では特に Deep Ecology および海底下地層環境における微生物反応の速度論についての知見が不足しているという意見があった。Hydrogeology や High Pressure Physics のコミュニティとの議論共有が重要になってくるだろう。これらを解決するための手段の一つとして，より広範な環境における地下生命圏研究，それを実現するためのサンプリング手法の簡易・標準化，および研究分野間での試料共有を通じた試料アクセス機会の増加，さらにはセンサー技術や掘削孔を活用したモニタリング技術の発展が重要であるという認識を共有した。室内実験ベースの革新的な培養システムの開発や，これまでの分野交流をより発展させた新規性の高い分析手法の開発，新規視点や新規技術の導入も「見えなかった何かを発見する契機」として引き続き重要な側面を占めることを確認した。一方，生命科学系の研究者にとって「掘削科学」は敷居が高く見えてしまう（実際にはそれほど敷居は無いが），または縄張りのような印象を与えてしまう点が，これから多様な視点を持つ研究者の参画を実現するための改善点として議論された。境界領域とも言える掘削科学コミュニティ形成にあたり，世代を超えたサイエンスにするために，教育・アウトリーチを含めた人材育成は現世代の我々の使命でもある。今回 Biosphere Frontier セッションには学部生や修士課程の学生参加者もあり，ストレートな意見をいくつも出して頂いたことを付記する。

今後の Flagship Mission 候補として，2019 年に予定されている Deep Hot Biosphere @ Guaymas Basin や，蛇紋岩化反応を地質学的セッティングにした Deep Hydrogen Biosphere，海底下岩塩環境に代表される Deep Salt Biosphere など，様々な極限環境へのアクセスが期待される。これらを通じて生命の多様性，およびその可能性についての理解がさらに進んでいくであろうという認識を共有した。

“Earth Connection” モデレーター：秋澤紀克(東京大)/針金由美子(産総研)/森下知晃(金沢大)/道林克禎(名古屋大)

Earth Connections セッションは，最も多くの参加者を集めた。セッションでは学生・若手 PD に向けて，「過去から現状までを理解してもらう」ことに焦点を充てた。マンツルの直接サンプリングを目的とした掘削計画方針が INVEST と Chikyu+10 で提案されてきたが，現在どのような掘削計画が提案され，どこまで進められているのか，進捗状況の報告があった。具体的な計画として，マンツル掘削プロジェクト，ゴジラメガマリオンを含む海洋コアコンプレックス，オントンジャワ海台を含む LIPs，北西太平洋沖アウターライズ，プチスポットなどが含まれる。現在の状況を理解した上で，Chikyu+10 で Flagship project に認定されたマンツル掘削プロジェクト “M2M (MoHole to Mantle)” について集中的に議論を行った。この結果，科学コミュニティに向けて「前人未到のチャレンジ」という意義のみでなく，

超一級の課題設定が責務であること、また広い分野を網羅して課題解明につながる連携を強める必要があること、現状打破に向けて M2M の今後を深く語り合うワークショップを定期的開催すべきであるとの共通認識を得た。全体セッションでは、「生のマントル物質」を得ることの重要性とその面白さは共通の認識であることを再確認した。この点は、Earth connections コミュニティ全体にとって大きな進展であった。学生・若手 PD との対話の際にも、その点に賛同する声は多数あったため、今後も学生・若手 PD を巻き込んだ“開いた”場の整備に務めていきたい。

“Earth in Motion” モデレーター：氏家恒太郎(筑波大)/山口飛鳥(東京大)

このセッションでは、まず既に形になっている掘削計画として JTRACK プロポーザルの紹介を行った(氏家氏)。これは、宮城沖・三陸沖の東北地方太平洋沖地震震源域とインプット物質を掘削する計画である。また、形になりつつある掘削計画としてプチスポットの沈み込み帯へのインパクトを探る APL プロポーザルの紹介(山口氏)を行い、JTRACK とアウターライズ掘削の連携の可能性について議論がなされた。その後「アイデア・妄想段階・科学掘削への期待」として、濱田洋平(JAMSTEC)・中野優(JAMSTEC)・矢部優(JAMSTEC)・本橋銀太(筑波大)・神谷奈々(京大)・氏家恒太郎(筑波大)の各氏に話題提供いただいた。その中では、スロー地震の側方・深度バリエーションの理解(中野氏・矢部氏)、コアセンターでレガシーコアを用いたワークショップの開催(矢部氏)、掘削のモチベーションとしての「地震・津波・火山クライシス」(濱田氏)や掘削孔の実験施設としての活用(神谷氏)、ケーシングの変形を利用したスロースリップ断層採取(氏家氏)といった萌芽的アイデアが提案された。最後に今後解決が必要な事項として、表層や砂層を掘り飛ばしてしまうこと、ライザー掘削の予算面の問題、掘削パラメーターの有効活用などが議論された。

“ICDP” モデレーター：小村健太郎(環境研)/藤原治(産総研)/小野重明(JAMSTEC)

ICDP ブレークアウトセッションでは、まず、以下の方々から陸上科学掘削研究プロジェクトにかんする話題提供いただき、進展や構想、将来展望について議論した。

中川毅氏(立命館大)：琵琶湖掘削－アジアモンsoon復元

掛川武氏(東北大)：南アフリカマディーズ層群掘削－32億年前の「大陸」「生命」「大気」

土屋範芳氏(東北大)：JBBP－深部脆性-延性領域での地熱開発

矢部康男氏(東北大)：DSeis－南アフリカ金鉱山地下坑道からの掘削－断層帯構造、応力分布

高澤栄一氏(新潟大)：Oman Drilling Project－海洋プレートモホ面、海洋プレートの形成と進化

James Jiro Mori(京都大)：SEISMS－人間活動に起因する地震メカニズム

その後、今後数年間を見越した ICDP 掘削プロジェクトとして具体化していく道筋を議論した。提案を増やすには、プロポーザルの敷居を下げるのが重要であり、プロポーザル作成経験者に成功事例を聞いた。さらに、新たな掘削研究に向けて、課題提案のモチベーションを高めるべく、具体的な課題を議論した。特に掘削に伴うケーシングプログラム、検層ストラトジー、掘削コスト計算などを相談できる窓口の必要性を強調した。