



海洋科学掘削によるマントル到達への挑戦
—地球最大のフロンティアに挑む—

マントル到達の確実性を 上げるプログラムデザイン

肖 楠
末 廣 潔

Critical points of program design to reach the mantle

Xiao Nan, Suyehiro Kiyoshi

しょうなん：

国立研究開発法人海洋研究開発機構研究プラットフォーム運用開発部門マントル掘削プロモーション室
すえひろ きよし：

国立研究開発法人海洋研究開発機構研究プラットフォーム運用開発部門マントル掘削プロモーション室

本稿はプログラム&プロジェクトマネジメント（P2M）の手法を用いて、「モホール計画」の成果と影響を分析し、継がれたIODPを俯瞰し、今後のマントル到達プログラム構築の課題分析及び枠組みを示す。多方面のステークホルダーを巻き込みつつ、リスクを想定したプログラムの目標と期間を設定していくことが重要である。

1. はじめに

「マントル到達」は、地球の表面を覆う海洋地殻下のモホロピッチ不連続面を海洋掘削の手法で掘り抜き、マントルのサンプルリターンを目指すことである。この単純明快なコンセプトのもと、1960年代にアメリカが「モホール」計画と称するプロジェクトを始動したが、マントルに到達することなく計画は終了した。約60年前から、人類は当時の地球への理解を踏まえて、マントル到達に対して関心を持ち始めた。そのコンセプトは現在に至っても変わっていない。60年前より地球に対して物理、化学、生物の各視点からの理解が格段に進化した。そして、海洋掘削技術も半世紀以上の経験を重ねた現在、マントルという未知な領域へ再び挑戦するために、どのようなプロセスが必要だろうか？本稿は「プロジェクト&プログラムマネジメント」(略称：P2M) という手法を用いて、プログラムマネジメントの観点からマントル掘削の道筋について、過去と現在を比較しながら検討した結果を述べる。

2. モホール計画をプロジェクト&プログラムマネジメント（P2M）の観点で振り返る

マントル掘削が誕生したのは1950年代のアメリカであった。当時のアメリカは多様な分野において科学的な好奇心が高まっていて、多くの科学アイデアが生まれていた。マントルまでの掘削を含めた海洋掘削のアイデアについて、研究者達が頻りに議論をしていた。同じ時期に、科学のために掘削を行う「科学掘削」のコンセプトが研究者に受け入れられるようになった。中には、1897年から1951年にかけて、生命の進化論を提唱したこ

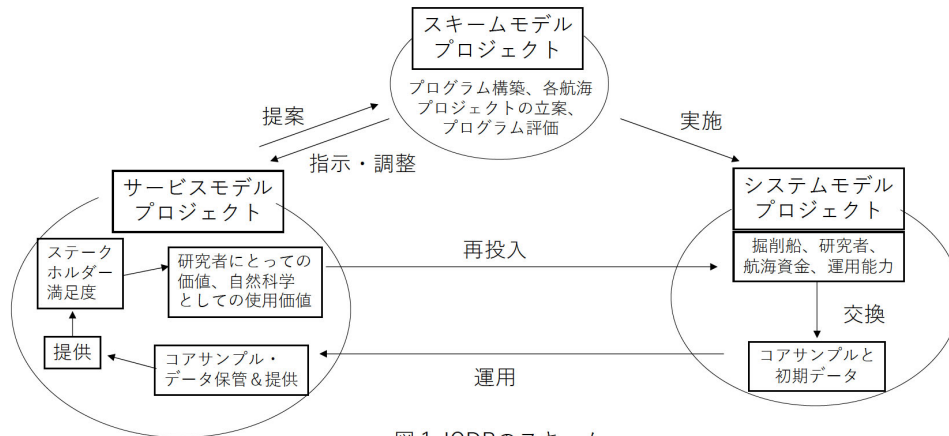


図1 IODPのスキーム

図1 P2Mの視点でみた国際深海掘削計画 (IODP): 全体プログラムのビジョンミッション (国際合意の科学計画書) をもとに、スキームモデル (構想と戦略), システムモデル (プロジェクト実現), サービスモデル (知的財産創出) の考え方式によってプロジェクト管理されている。

とで知られる Charles Darwin の提案によって実行された掘削プロジェクトが特に良く知られていた。太平洋のエリス諸島とマーシャル諸島での掘削で得られた堆積物試料が、環状サンゴ礁が火山の上に層を為して生息するという Darwin の仮説を証明する根拠を提供した。1953年に、トンガ諸島にてサンゴ礁が生息する基底の火山活動を観察したことが、掘削という手段が科学仮説を検証できることを示した。1952年に、アメリカ政府の海軍研究局 (ONR: Office of Naval Research) が提出してきた数多くの科学アイデアを整理するために、AMSOC (The American Miscellaneous Society) という研究者組織を設立した。AMSOC は定期的に科学者を集め、お互いが持っているアイデアについて議論していた。その中で、サンゴ礁の掘削に関わっていた Walter Munk さんを中心に、海の上から孔を掘れば、地球のマントルまで辿り着くのではないかとという仮説に基づき、マントル掘削のコンセプトを提案した。その後、AMSOC のメンバーであった提案者に限らず、アメリカにおける複数の大学及び地質研究機関 (Scripps 海洋研究所、地質調査所、カリフォルニア大学) において、海洋科学掘削を議論する活動が非常に活発になった。1957年に、モホール計画は、International Un-

ion of Geodesy and Geophysics の賛同を得ることもでき、National Science Foundation (NSF) からの調査資金としての投資を得ることができた (道林氏の「深海掘削計画における基盤岩掘削科学の貴種流離譚」でこのあたりの詳細を記述しているため、ご一読を薦める)。AMSOC の創立者である Gordon Lil が ONR の地球物理支部の指導者であることから、当時のコミュニティが成立しただけでなく、資金提供側と強固に繋がっていたことが分かる (Bascom, 1961)。マントル掘削のアイデアが承認された後、熱意を持った研究者達がア当時はプロジェクトとして成り立ったモホール計画が実行できた要因を以下のように考えられる。科学の発展の面では、海洋掘削により、海底火山の成り立ちが明らかになったことがセンセーショナルであり、地質分野で研究者にとってはインパクトが大きかった (Darwin, 1842)。1950年代後半の International Geophysical Year の国際研究プロジェクトとして、南極探検や海底下の構造探査、地球の大気環境や磁場の測定に成功し、地質学が大きく発展したことにより、アメリカのメディアが地質学への興味と支持がピークに達していたことが、モホール計画を後押しした (Sweeney, 1993)。現代のように、希少元素の分析で得られる化学物質循

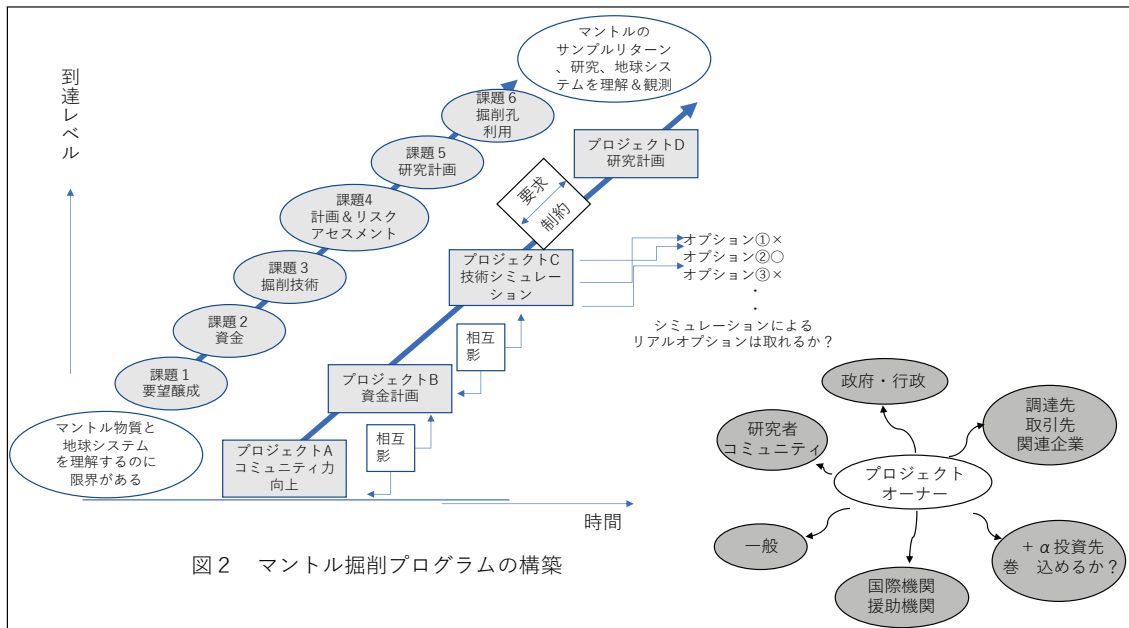


図2 マントルに到達するビジョン達成に向けてのプログラムデザインにおける主要な課題と克服するためのプロジェクトの流れ。オープンイノベーションを取り入れるなど(本文),最適解を探しつつマネジメントしていくことが重要である。右の図は、マントル到達へのビジョンを共有すべきステークホルダー。

環に対する知見や、海洋底下の生命圏に対する知見が全くなかったからこそ、掘削によって海底下の物質を入手することが極めて意義があることであった。社会情勢の面では、当時のアメリカは旧ソ連との対立の背景の中で、旧ソ連が陸上からの掘削に興味を示したことで、アメリカの科学者コミュニティのライバル意識を焚き付けたことが当時の資料から読み取れる(Bascom, 1961)。資金の面では、アメリカ政府が研究開発に潤沢な予算を投資したタイミングであった。1955年から1965年の間、NSFの科学予算は1千万ドルから1億7千万ドルに増加した(菰田, 1980)。更に、当時の石油掘削の技術が発達したことが科学者達に技術的な可能性を示したことに加え、当時のアメリカのメディアはモホール計画に対して、数年間に渡って報道を続け、国民の注目と支持を集めることに成功した。こうした背景の中で、マントル掘削のミッションを背負って、掘削船CUSS1号がチャレンジに出航した。約6年間の計画と掘削を試みた

が、最終的にアメリカ政府が宇宙開発に予算を投資することを決めたことで、モホール計画は資金不足により終了した。

現代のプロジェクトマネジメントの観点から、モホール計画を振り返って考察すると、以下のようにまとめることができる。モホール計画は科学者コミュニティによって提案されたアイデアをベースに形成された提案であるが、アメリカ国内外の情勢により後押しされた。プロジェクトの実行者である研究者達が、十分にプロジェクトオーナーであるONRとNSFに説明し、承認を得た。プロジェクトは石油掘削業界の掘削船と技術を活用した。メディアが納税者に情報提供し、支援と反対の声はあるものの、世間の注目を集める構図ができていた。プロジェクトの全体観がステークホルダーに浸透していたため、プロジェクトを推進するのに非常に良い構図であると考えられる。計画の進み方はフォワードキャストであり、最終的に求める成果はマントルの岩石サンプルの入手であっ

た。プロジェクトチームは石油業界の最先端な掘削船 CUSS I号を使用することができただけでなく、3000メートル以上の水深でも安定掘削できるように、レイダーと水中ソナーを用いた dynamic positioning system の開発に成功し、後の海洋掘削に大きく貢献した。しかし、CUSS I号の能力は堆積物の掘削が可能であっても、海底から更に5000 m以深のモホ面までの掘削深度、硬い岩石圏の掘削、掘削孔の温度上昇など、難関は山積みであった。課題に対して一つずつ解決するために、それまでとは桁違いの投資が必要であると分かったが、その時点で投資が停止された。1950年代のアメリカは、史上初の宇宙飛行船の打ち上げ、ワクチン技術による病気の治療、飛行機が空を飛び回ることなど、技術進歩がまさに日進月歩の時代であった。地球上の最も深い孔を掘ることは、アメリカの科学と技術の無限の可能性を証明するためには、もはや“実現可能 (feasible)”であり、そのための投資は必然であったと言われていた (Sweeney, 1993)。現在の掘削技術と海洋地殻構造の知見を持っていけば、モホール計画当時の技術の成熟度が低いことや、地殻とマントルの構造を過度に簡略化したことなど、明らかに課題認識の不十分であることが分かる。宇宙開発と比較され、予算投資が継続されなかったことは納得できると、その後の様々な論説で記述されていた (Sweeney, 1993, Beattie, 不明)。モホール計画は、人類の地球への認識を深めることを目的に、そのコンセプトの what & why は認められた、How については技術、プログラム成熟度の観点では不十分であったと言える。

3. P2M の視点からみた IODP の枠組み

今回の特集号をご覧になる読者達は、IODP の運用システムについて熟知していると思われるため、その仕組みについて改めて説明することを省略する。しかし、ユーザーとしてプログラムを利用することはあっても、プログラムマネジメントの視点でプログラムのスキームを考えることは少ないと推測するため、本稿ではプログラムマネジ

メントの視点で IODP を解説してみる。

モホール計画のプロジェクトマネージャの Willard Bascom の著書の「A Hole in the Bottom of the Sea」の最後では、“earth scientist is wise to heed the words Nicholas Desmarest used 150 years ago to answer the geological theoreticians: ‘Go and see’ . The Mohole project will follow a classical pattern. We shall go and see for ourselves that the hidden rocks are like. Our trail will be marked by a series of holes in the bottom of the sea”. と記述している。その記述の通り、モホール計画の後、科学のために海洋を掘削するプログラムがアメリカで正式に立ち上げられた。1966年に Deep Sea Drilling Project (DSDP) が開始され、1968年にグローマー・チャレンジャー号の運用が始まった。DSDP はモホール計画から大きく期間が空いていないにも関わらず、Joint Oceanographic Institutions for Deep Earth Sampling (JOIDES) を立ち上げ、アメリカ全国から250名以上の研究者、政府関係者及びプライベート企業からの参加者を募った。まさに、今で言うオープン・イノベーションの形のプログラムを推進していた。グローマー・チャレンジャー号は堆積物の採取を通じて地球科学の基礎研究を目的に、10の掘削サイトにて、17孔の掘削を行った。1975年から、一国だけでは掘削航海の運航が難しくなったことから、ドイツ、日本、英国、ソ連、フランスが参入し、プログラムが“The International Phase of Ocean Drilling (IPOD)”と称し、国際的なフレームワークになった。これも時代を考えると非常に画期的なことであった。後に、掘削技術が向上された JOIDES Resolution が建造され、フレームワークに参入する国が更に多くなり、本格的な国際プログラムである Ocean Drilling Program (ODP: 1985-2003)、Integrated Ocean Drilling Program (IODP: 2003-2013) と International Ocean Discovery Program (IODP: 2013-2023) へと発展した。

現在 IODP は図1のようなスキームで考察できる。スキームモデル・プロジェクトは、大規模なプログラムの中で、そのプログラム自身のプロファイリングや基本設計のプロセスである。

IODP を立ち上げた際、プログラムにおける全体枠組みの構想や基本計画の立案、各国のオーナー（政府機関）への資金要請がこのプロセスに当たると考えることができる。2019 年から 2020 年にかけて、世界の研究者達が 2023 年以降の IODP の研究ビジョン、2050 Science Framework を策定したこともスキームモデル・プロジェクトであると考えることができる。システムモデル・プロジェクトは、システム作りを具体的に実行するプロジェクトである。IODP の場合は各掘削航海の計画と実行、掘削コア試料と（ロギングデータも含む）を取得するプロセスである。サービスモデル・プロジェクトは、システムモデル・プロジェクトの完成を受けて、そこで構築された仕組みの利用・運用という定常的な活動により、ユーザーに価値を提供することである。IODP では、掘削航海で得られたコア試料の保管と研究者への提供、研究者による研究活動、そして新たな掘削研究航海のアイデアと提案が生まれるという循環が成り立っている。更に、掘削地点の地質環境の把握と、掘削技術と掘削船の運用ノウハウと安全性についても、新しいスキームモデルにフィードフォワードすることが可能である。この好循環がグローバル規模で統一の基準で行われていることは、IODP のかけがえのない強みである。IODP は各々のプロジェクトの価値の総和を上回る価値をコミュニティに提供し、地球科学研究史上の貴重な財産であることは言うまでもない。科学掘削に関わる研究者及び掘削作業を指揮するエンジニアと技術者のコミュニティをグローバル規模で育成したことも大きな成果である。

4. 現代におけるマントル到達プログラムのデザイン

* What and Why: 明確な目標と意義

モホール計画から 60 年以上が経ち、更に ODP, IODP が 50 年間進行している中、科学のために海洋掘削を行い、そして掘削航海で採取したデータ及びコア試料を用いて科学成果が創出することが、世界の科学界に認知された。IODP のスキ-

ム及びプログラムマネジメントを通じて多くの研究成果が生み出され、その安定性が保たれていることが科学掘削分野の大きなアドバンテージである。ただし、社会情勢が激変する中、科学プログラムも事業の継続と発展のために、時代に適応した価値創造と変革を成し遂げる必要があり、そのための仕組みを構築しなければならない。そして、プログラムは、事業の持続可能性を支えるために、事業戦略に従って能動的に生み出す可能性（一過性）の活動を行い、複雑に変化する環境の中で多くのステークホルダーからの期待・要求を調整しながら、プログラムの価値を生み出すことが求められる。現在、日本において、マントル掘削プログラムという枠組みは立ち上げられていないが、マントル掘削プログラム自身のプロファイリング及び基本設計が進められており、図 1 で言うところのスキームモデルの検討が進んでいる。その過程で今まで以上に議論されるべきことは、マントル掘削プログラムの“**What**”はモホール計画の時代より大きく変わらないが、“**Why**”はより社会的な価値、地球環境の持続に貢献する価値であろう。プログラムを立ち上げる際には、このように多方面の視点で価値を精査することが求められる。

* How: 実現のステップ

プロジェクト&プログラムを推進するための手法論は、マネジメント領域毎に構築されているため、それぞれの領域を意識しながら実務で取り組む必要がある。本稿ではとりわけ、プログラムミッション、ステークホルダーそしてリスクについて述べる。

マントル掘削が目指すビジョン（あるべき姿、To-be とも言う）を、仮にマントルのサンプルリターンそしてマントル掘削孔を利用した観測による地球システムへの総合理解とレファレンス構築であると定義するとする。現在のありのままの姿（As-is）は、地球の体積の約 8 割を占めるマントルについて、その構成物質の性質が不明、そしてプレートテクトニクスをはじめとした地球のダイナミズムを理解することに限界があると認識できる。

マントルのサンプルリターンとマントルまでの

柱状サンプルが表す海洋地殻の全貌を研究することで、現状の多くの地球科学の仮説の根拠となるプレートテクトニクスの根本理解と仮説の検証により、科学のパラダイムシフトが起きるだろうと考えられている (Umino, 2013)。その期待は高いが、プログラムデザインの観点からは、パラダイムシフトとなるかもしれない要件(得られる知見)について How とリンクした明確な着地点として認識されることが望まれる。同様に、地球科学への根本理解が進むことによって、人間社会が向き合っている地球環境の問題の解決策に繋がることは間違いないが、マントル掘削に関わるステークホルダーを人類全般に設定するとしたらかえって分かりにくくなる。プログラムの枠組みをある程度設定し、仮説を立て、そしてそれを修正しながら未来予想をすることで、バックキャストにプログラムの初期デザインすることが必要である。

プログラムのミッションをプロファイリングするためには、To-be と As-is の差を理解すると、課題を整理できるようになる。図 2 で示したように、To-be をモホ面までの掘削と設定した場合、ステークホルダー・エンゲージメントのためのマントル掘削に関わる研究者からの要望を醸成、資金計画、掘削技術、実行及びリスクアセスメント、研究計画、掘削孔を用いた観測の、少なくとも 6 つの課題があると考えられる。それぞれの課題を解決するために、互いの時間軸上の関係性を意識しながら、プロジェクトを作り上げる作業が必要になる。

マントル掘削のプログラム自身を成立させるために、まず研究者コミュニティの達成意志を集約することが必要である。モホール計画から現在に至って、科学者はマントル掘削への意欲を持ち続けている。例えば、高速拡大系の海洋地殻の基盤岩採取を目的とした掘削航海と低速拡大軸の大西洋底の基盤岩掘削航海が、DSDP, ODP, IODP のフレームワークで複数回実施された。これらの成果により、地球深部に関する岩石学や生命に関する基礎知見が格段に深化したと同時に、将来のマントル掘削の候補地の検討も進化した。2012 年に、海野らによって「M2M(Mohole to Mantle)」と

いう今後のマントル掘削を提案したプロポーザルが現行の IODP に提案された。そして、世界の地球科学者コミュニティが、議論を深化—モホの温度、水深による技術制限；進化—海洋プレートの拡大速度と年代モデルの形成；新化—岩石生命圏の構成要素、の三次元的な過程を経て、将来のマントル掘削の地点をハワイ沖に決定した。2020 年に、ハワイ沖にて、地震波速度構造第 2 層と第 3 層の境界を掘り抜くことを目指す、951-Full2 プロポーザルが IODP に提出された (Umino, 2021)。現在、本プロポーザルを執行スケジュールに乗せるために必要な事前調査が進められている。

ハワイ沖の約 4300 メートルの水深で掘削できる科学掘削船は「ちきゅう」のみである。ただし、海洋上で掘削地点のポジションを保つ dynamic positioning system や、ライザー掘削の仕組み、最新の硬岩用ドリルビットや掘削孔崩壊防止のケーシングブラン、タービンモーターなど、マントル掘削で活用する掘削技術については他稿で述べられる。(深さの精査の余地はあるが) 6 キロメートルのモホ面を掘り抜くことはもちろん、ハワイ沖で岩石圏を掘削すること、地震波速度構造第 2 層と第 3 層境界を貫通すること、「ちきゅう」を用いた岩石圏を掘削すること、水深 4300 m でのライザーレス掘削を行うこと全てが初めての試みである。参考事例がなく、一つずつが挑戦であるため、現存の技術でどのように立ち向かうかが、マントル掘削計画の焦点である。これを乗り越えて、マントルの現場サンプルリターンが実現できたら、実験室での現存の研究手法でも十分に研究を進めることが可能であり、科学知見を生み出すことのハードルは技術の挑戦より低い。新しいサンプルを得て研究フィールドが変貌を遂げ、成果は他分野に敷衍することになる。

P2M では、プロジェクトをプランニングする際、まず制約条件を考えずに、理想的な計画を立てる手法を用いる。例えば、マントル掘削の計画を立てる際は、まず資金と時間を検討せず、技術要素のみでそれぞれの挑戦の成功率を検討することが薦められる。そして、マントル掘削までの技

術要素の選択の仕方は、それぞれの技術要素の成功率をシミュレーションし、投資額との対比で算出するリアルオプションを用いることが可能であると考える。

その際、DSDP時代に行なっていた「オープン・イノベーション」を思い出して頂きたい。海洋掘削の工業界の知恵を借りることは不可欠である。既存の取引先との協働と、新規の技術協力先を見つけ、協力関係を結ぶことが極めて重要になると考えられる。

オープン・イノベーションは、資金調達とステークホルダー・エンゲージメントも共通して使える考え方である。オープン・イノベーションはイン・ソーシング（外部のアイデアと技術を積極的に活用し、革新の源泉を多様化することで内部の革新を加速する「内部に開かれた技術革新」）とアウト・イノベーション（「外部に開かれた技術革新」で、内部で開発された技術を意図的に外部に送り出し、新たな市場を創出し、技術の価値を向上させる取り組み）に分かれる。マントル掘削については、掘削技術（例えば、ドリルパイプの軽量化、ドリルビットの摩耗率向上、モーターの性能向上、拡張装置の技術要素）の開発をそれぞれの技術企業の製品を取り入れるために、共同開発と「ちきゅう」での試験運用が必要になる。

2013年に、BLADE Energy Partners社がマントル掘削のための技術開発要素を要約した BEAM (Borehole into Earth's Mantle Mantle Quest Drilling Project) レポートでも、同様な結論と提案を示した上、マントル掘削に意欲を示した企業をリストアップしていた。これらの企業はマントル掘削プログラムのステークホルダーでもあるため、積極的に巻き込み、技術や資金面での協力関係を築くことが不可欠である。

昨今の経済環境と地球環境の変化により、多くの企業が CSV (Creating Shared Value)* の概念を

取り入れ、経済価値の追求のみならず、社会的な価値、長期的な地球環境に対する価値を求めようになった。マントルに到達することによる地球環境への理解の総合知は、産業界の環境価値をもたらすと考えられる。SDGs と同様に、一般のステークホルダーに対しても、地球環境への根本理解を通して、教育と科学リテラシーの向上といった社会的な価値をもたらせると考えられる。図2の右側でマントル掘削に関わるステークホルダーを挙げている。各ステークホルダーとの Win-Win の関係を築き、プログラムを共創していくことは、どんなプログラムでも求められている。そのためには、プログラムが目指すミッションという全体最適の姿とその背景を理解し、遂行組織の構成や関係に関するプログラム共通観を、ステークホルダー間で共有されなくてはならない。具体的なプロジェクトを立ち上げた後のステークホルダーマネジメントに関しては、ステークホルダーの特定から、実行プロセスにおけるステークホルダーの期待・要求の維持と改善がある。

2020年から、日本地球掘削科学コンソーシアム(J-DESC)の下で、日本の研究者がマントル掘削ワーキンググループを設立し、研究者コミュニティの情報交換とマントル掘削が目指す科学について議論を続けている。コミュニティの裾の広がりを進めるべく、異なる分野の研究者達との討論会イベントなども行っている。今まで関わりが少なかった生命や宇宙分野、ジオニュートリノなどの観測分野との融合を実現しつつある。今後はこのような活動を学術業界に限らず、産業界や一般を含めたステークホルダーの参入と支援を促す活動に注力し、地球環境、そして社会的な価値を創造するプログラムを構築することが求められる。

最後にリスクのマネジメントについて述べる。プログラムは新規性と不確実性を持つため、本質的に投機的リスク*を持つと言われている。プロ

*CSV : Creating Shared Value, 共通価値の創出。企業が社会のニーズや社会問題に取り組むことで社会価値を創造し、その結果、経済価値が創造されるアプローチ。

*投機的リスク (speculative risk): 損失だけでなく利益の発生する可能性のある不確実性を言う。なお、損失発生の可能性だけのリスクは純粹リスクという。

グラム戦略レベルのリスクの要因は、個別の技術的リスクより外部環境の変化やマネジメント能力の不備・不足に関係したものが多く、したがって、プログラムの設計によりリスクを解消することが多い。例えば、プログラムの不明確、または過大な/遠すぎる目標というリスクを想定した場合に、プログラムのガバナンス体制の確立とミッションの再定義といった対策を取ることが可能である (P2M 標準ガイドブック, 清水, 2007)。マントル掘削の場合、長期に渡る掘削作業の性質上、掘削孔の安定性というリスクを抱えている。掘削時間と費用が正比例な関係であるため、リスクの事象とインパクトはプログラムの時間と費用とトレードオフになる。このような想定内のリスクに対して、プログラムをデザインする際に、十分なシミュレーションと回避策の策定が求められる。リスクを回避または軽減をするために、プログラム期間の設定は必ずしも資金計画と正統性を取れるわけではないため、短期決戦で掘削プロジェクトを組むことと、長期目標を見据えたプロジェクトの両方のアプローチを想定しておくことが求められる。

プログラムを実行するフェーズにおいて、個別なプロジェクトのリスクは、リスクレベルの最小化または許容範囲内への維持が最大の目的である。マネジメントプロセスはリスクの特定、分析評価、対応策の策定、対応策実施と監視・評価、リスク教訓の整理であり、それぞれのプロセスに有効とされる方法が存在する。リスクへの対応策であるコントロールプランを、プログラム設計の段階で策定しておく必要があり、対応策はリスクの回避、軽減、分散、転化がある。マントル掘削の場合、昨今の大規模プロジェクトが行なっている共同企業体の形式が参考になるだろう。具体的には、IODP の枠組みに捉われずに、「ちきゅう」によるマントル掘削のための分担施工型 (コンソーシアム) と共同施工型 (ジョイントベンチャー) の形があるが、両者の折衷型のようなものもある。このポイントもやはり、学術業界と産業界のオープンな融合が重要である。現代の宇宙開発

業界、特に小型ロケットの開発や小型衛星の分野において、アメリカや日本のジョイントベンチャーの活躍が注目されている (石田, 2018)。科学掘削分野も同様な視点を取り入れて、業界を超えた協働がリスクを分散する観点でも必要である。

* Why not yet ?

本稿はマントル掘削について、What, Why, How を分けて述べてきたが、ここまで分かっているならなぜ実行していない (Why not yet ?) について更に深掘りすると、問題の本質が見えることが多い。一つ考えられるのは、実行組織及びその役割が明確に捉えられているのかである。もう一つはマントル掘削のような段階的なアプローチが必要な大型プログラムは、中期計画 (5 年程度) に囚われるより、短期計画 (例えば 6 ヶ月? 1 年) 及び長期計画 (例えば 10 年) に着目した方が効率的に実行できる可能性がある。短期と長期の組み合わせにより、既存の知の活用だけでなく、新規の知の探検が可能になるからである。新規の知の探検はなぜ必要なのかは言うまでもない。

* Box マントル到達プログラムの構築へ向けて

イノベーションを生み出す際は、「Think outside of the Box」が必要とよく言われが、元々の “Box” を理解しないと、“outside of the Box” は生まれない。本稿は、プロジェクトマネジメントに関する体系化した理論—P2Mに基づいて、マントル到達プログラムを構築する際の Box を提供するつもりで述べてきた。今日のプログラムマネジメントは、常に変化する環境の中で、大きな方向性すなわち戦略を見据えて、プログラムを構成する具体的な計画 (プロジェクト) を立案・実行する能力と、その実行過程で環境の変化に適應する実践力が必要である。そして、プログラムから導かれた具体的な目標の実行のためのマネジメントの知識も重要である。社会ニーズが変化するため、Box も変化し進化していくが、Box を意識しつつ、その外側を見に行くのがマントル到達計画による価値を生み出す過程において必要であると考えている。

参考文献

- [1] 石田真康, 「2018年の宇宙ビジネスはこう動く!」, ITmediaビジネス, 2018.
- [2] 萩田文男, 「戦後アメリカの技術政策」, 東亞経済研究 47(3/4), 1980.
- [3] 清水基夫, 「戦略プログラムにおけるリスクマネジメント」, プログラムマネジメント学会誌, vol13, No4, P20, 2007.
- [4] 中山茂, 「科学技術の国際競争力」朝日選書 793, 2006.
- [5] 日本プロジェクトマネジメント協会編著, 「プログラム&プロジェクトマネジメント標準ガイドブック」, 2014.
- [6] 道林克禎, 「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 巻 4 号, 461-482, 2021.
- [7] Bascom, W., A Hole in the Bottom of the Sea: The Story of the Mohole Project. DoubleDay and Company, Garden City, NY, 352p, 1961).
- [8] Beattie, D., Drilling the Mohole-More Difficult than Landing Men on the Moon?
<https://www.iodp.org/246-0-keynote-drilling-the-mohole-more-difficult-than-landing-men-on-the-moon-donald-a-beattie/file>
- [9] Darwin, C.R. (1842) : The Structure and Distribution of Coral Reefs. Being the First Part of the Geology of the Voyage of the Beagle, under the Command of Capt. Fitzroy, R.N. during the Years 1832 to 1836. Smith Elder and Co., London, 214p (1842).
- [10] Daniel Sweeney (1993) : Why Mohole was no Hole?, Invention & Technology Magazine, 9-1.
- [11] Ed. James Trefil. Farmington Hills: Macmillan., Workshop Report Writing Group (Suyehiro, K. et al.) Executive Summary: "Mantle Frontier" Workshop, Scientific Drilling, 11, doi:10.2204/iodp.sd.11.07.2011
- [12] Suyehiro, K., Ocean Drilling Expeditions, in Discoveries in Modern Science: Exploration, Invention, Technology, 2015.
- [13] Suyehiro, K., Ocean Drilling, in Encyclopedia of Marine Geosciences Eds. J Harff, M Meschede, S Petersen, J Thiede, Springer Reference, pp. 961 (542-552), 2016.
- [14] Umino, S., Moore, G. F., Boston, B., Coggon, R., Crispini, L., D'Hondt, S., Garcia, M.O., Hanyu, T., Klein, F., Seama, N., Teagle, D.A.H., Tominaga, M., Yamashita, M., Harris, M., Ildefonse, B., Katayama, I., Kusano, Y., Suzuki, Y., Trembath-Reichert, E., Yamada, Y., Abe, N., Xiao, N., Inagaki, F., Workshop report: Exploring deep oceanic crust off Hawai'i, Sci. Drill., 29, 69-82, 2021.
- [15] Umino, S., Neelson, K., Wood, B., Drilling to Earth's mantle, Phy. Today, 66, 36-41, 2013.

