

EXCELSIOR!



第 2 号

★ ★ ★

コア・プロジェクト忘備録

中島善人

Yoshito NAKASHIMA

Mémorial du « Core Project »

Excelsior! 2 (2008), 59-63

★ ★ ★

日本ジュール・ヴェルヌ研究会

2008

〔特別寄稿〕コア・プロジェクト忘備録

中島善人

Yoshito NAKASHIMA

著者紹介

一九六二年、三重県生まれ。一九八七年、東京大学大学院修士論文として「コア・プロジェクト」を発表。現在は独立行政法人産業技術総合研究所にて核磁気共鳴物理探査の研究に携わる。

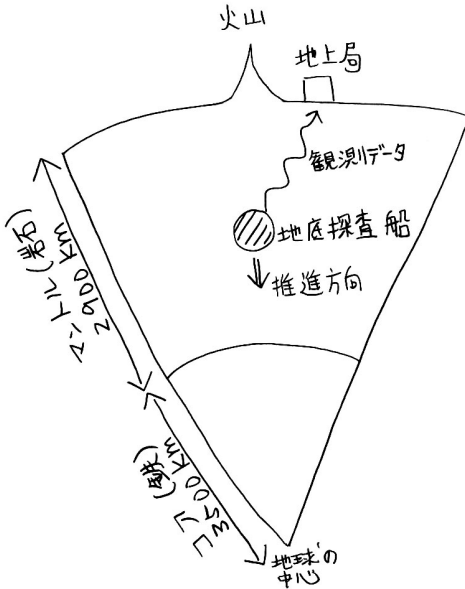
コア・プロジェクト (The Core Project) とは、地球内部を科学的に理解するため、地下二九〇〇kmにある地球中心核 (The Earth's core) までの直接探査を行うという途方もない計画である。直接探査とは、地上からのリモートセンシングでは獲得できない貴重なデータをもとめて、観測対象の至近距離まで探査船を接近させることであり、月の岩石試料を獲得したアポロ計画や木星大気にプローブ (探査子) を投下したガリレオ計画が好例である。

アポロ計画やガリレオ計画では地球外へ探査船を送り込んだが、コア・プロジェクトは地球内部にプローブを送り込む点がユニークである。あたかも地球が自らを理解するため、まず四十六億年かかって人類を生み出し、その人類に胃カメラのような地底探査行為を代行させているかの感がある。コア・プロジェクトは、地底探査船を建造するかどうか、地中を突き進むための船の推進力を何にするか、でいくつかのバリエーションがある。イラストは、おもに固体の鉄からなる半径数kmの探査船を建造し、船の自重で推進する (沈降する) バリエーションである。建造する地底探査船の費用が莫大であるほか (国家予算の約五千年分)、センサーなどさまざまな周辺テクノロジーも未開発なので、現時点では実現は

困難である。その意味で「途方もない」という表現を用いた。しかし、科学的に有意義なプロジェクトであり、原理的に不可能ではなさそうなので、それに何より人類という好奇心の強い生き物は「行きたい・知りたい・触りたい」と思った事はいつか必ずやり遂げる」という頼もしい性癖があるので、数百年以内に実施されるであろうと私は信じている。

コア・プロジェクトはまじめな科学的計画であり、ロゴス (論理) の範疇である。私は、科学的な視点でサイエンスの女神に厳正な貢物をしてきた (関連文献リストを参照)。しかし、コア・プロジェクトのパトス (情念) 的な側面は、印刷物としてまだ残していないことに気が付いた。そこでこの誌上を借りて、今から約二十年前に従事したこの研究のパトスの記述を試みたいと思う。この原稿を書く貴重なチャンスを与えていただいた、日本ジュール・ヴェルヌ研究会の石橋正孝氏に感謝申し上げます。

手元に当時の研究ノートが無いので、正確な記載はできないかもしれないが、できるかぎり記憶をたどって忘備録的に書いてみたい。一九八五年の春に地球物理学科の修士課程に進学した私は、夏になってもまだ修士論文のテーマが決まっていなかった。漠然



コアへの地底旅行の概念図

と「なにか大きな仕事をしたい。重箱の隅をつつくようなテーマはいやだ。」と思ってはいたが、具体的なテーマは決まらずにいた。一九八五年は、毎年恒例の研究夏の夏合宿を南アルプスの山荘で開催することになり、私も参加した。その夏合宿は、地震、火山、惑星科学全般を広く討論する内容であって地底探査そのものがテーマではなかったが、そこでいただいた指導教官（熊澤峰夫教授）の次の言葉が私を強く惹きつけた。「ヴェルヌの作品である月世界旅行、海底三万リグ、八十日間世界一周は、すでに現代の科学技術で実現している。しかし地底旅行はまだだ。どう

だやらないか?」。その席で、このテーマに飛びついたことを覚えていた。

私は、ヴェルヌの作品を思春期以降読んだことはないし、コア・プロジェクトの研究期間中、ヴェルヌの地底旅行を特別意識したことはない。しかし、子供の頃本の虫だった私はヴェルヌの作品群を読んでいた。熊澤教授の言葉に飛びついたのは、子供のころの読書体験が私をサブコンシヤスにおいて地底旅行に駆り立てていたからなのかもしれない。

コア・プロジェクトは、まじめな科学的計画であり、SFではない。二年間の修士課程の研究テーマとして選んだからには、プロの研究者としての仕事を要求された。先述のごとくコア・プロジェクトは、実現が数百年先である。しかし、だからといって未来のテクノロジを予測して、地底探査に使えるかどうか吟味してもキリがない。たとえば、船の建造に必要な膨大な量の鉄の入手先として、修士課程当時は地殻にある鉄鉱石を製鉄所で精錬することを考えたが、近未来の技術レベルなら、宇宙エレベーターを建造してアステロイドベルトから曳航してきた鉄隕石を地表にソフトランディングさせるという手もありうる。このように、枝葉末節の技術の開発にこだわると、予想もつかぬ革新的な技術がいつか登場して、既存の技術の延長上に構築したコア・プロジェクトの内容が無意味になってしまう危険がある。その危険を回避するために、私と熊澤教授は、テクノロジの細部はさておき、「地球深部の高温高圧の過酷な環境に耐えるような地底探査船を設計し、その船が硬い岩石中をなんらかの方法で比較的高速で長

距離移動でき、地下で得た地質学的、地球物理学的な観測データを地上に送信できるシステムに関する、根本的な原理の開発を行おう」という研究方針にした。たとえ、テクノロジが進歩しても、数百年経過しても色あせない根本原理を提案して、後世に託そうという方針である。これには、手本がある。ロシアのツイオルコフスキーである。中学教師だった彼は、驚くべきことにライト兄弟による飛行よりも前に宇宙推進理論を研究していたのである。多段式ロケット、液体燃料ロケットなど、彼が開発した原理は今も色あせていない。私たちは、この驚嘆すべき先賢のスタイルにならった。

研究において、心がけたのは、強いイメージの確立だった。アインシュタインが行ったことでも有名になった思考実験 (Gedankenexperiment) の要領で、四六時中頭の中で何回も執拗にコア・プロジェクトを実施してイメージを強くし、プロジェクトを実施した場合に遭遇する原理的・根本的な問題点を洗い出した。熊澤教授からは、「アニメの宇宙戦艦ヤマトのような探査船の艦橋に陣取って、艦長として指揮をとっているイメージを持って」という指導を受けたことを覚えている。つぎに、それらの問題を解決する原理を物理学に基づいて考察した。問題を解決するために、岩石の水圧破碎の室内実験をしたり、鉄球が自重で地球内部を沈降していく様子の計算機シミュレーションをした。当時はインターネットがなかったので、情報を収集するために図書館めぐりをしたり、神田の書店を探したりもした。たとえば、探査船は地球深部の数百万気圧という超高圧に耐えなければならない。探査船の耐圧設

計は、実は、熊澤教授が何年も前からアイデアを練っておられた。高圧実験の圧力容器の設計で長年培われてきた理論を船の耐圧設計に転用し、ダイヤモンド、鉄、ガーネットなどの堅い物質で船の耐圧球殻を構成したらどれくらい肉厚になるかなどが、この理論で決定された。また、硬い岩石でできている地殻やマン托ルを二九〇〇km突破しないと船はコアには到達できない。私たちは、思考実験の結果、この船の推進方法がもつとも困難な問題であると認定した。現在、地表のほんの数kmの掘削に常用されているボーリングは、地下深部の高温高圧環境に耐えられないので、まったく新たな推進原理を開発する必要があった。苦心惨憺の上に私たちが考え出したのが、太陽系にふんだんに存在する鉄を利用することである。鉄は地殻やマン托ルの岩石より高密度なので、固体の鉄で地底探査船を作れば (イラスト)、船は負の浮力に駆動されてコアに向かって沈降していく。あるいは、液体の鉄を地下に注入できれば、やはり負の浮力に駆動されて岩石をバリバリ割りながらコアに向かって落下していく (ただし、両ケースとも片道切符であり、地表には戻って来れない。この点がヴェルヌの著作とは異なる)。また、観測データの地上局への送信方法も重要な問題であると私たちは認識した。なぜなら、観測データを地上に送信できなければ、単にコアに船が到達しただけであって、サイエンスにならないからである。二十世紀初頭に行われた南極点到達レースにたとえてみれば、一番乗りを果たしたアムンゼンに遅れはしたが (しかも気の毒なことに遭難したが)、地質学や生物学に関する極地の貴重なデータをもたらしてくれたスコット隊の科学

的意義は非常に高いという意味である。船と地上局と通信手段として、高温高压の地下深部から地上局まで断線の危険をはらむケーブルを数千kmも敷設することはなんとしても避けたい。重力波、ニュートリノ、電磁波など様々な通信手段を検討した結果、私たちは有望な通信原理を見つけた。それは、岩石が低周波弾性波を透過させやすいという物理的性質を利用した弾性波（音波）通信である。船に搭載したスピーカーから1Hz前後の低周波音を出して地上局の高性能地震計がそれを地震波の要領で計測するという通信方法である。これらの耐圧原理、推進原理、通信原理は、コア・プロジェクトが実施される数百年後でも陳腐化することはないと私たちは信じている。

さて、ヴェルヌの著作、地底旅行では、「アイスランドにある火山の火口の中から降りていけば、地球の中心にたどり着くことができる」という趣旨の文章が書いてある。私自身、研究してようやく分かったことだが、「火山」しかも「アイスランドの火山」というキーワードは地底探査の上で重要な役割を演じている。アイスランドやハワイのようなホットスポットとよばれる超弩級の火山体（島自体が一つの大きな火山）が世界にはいくつもあり、そのマグマの供給源は地下二九〇〇kmのコア・マントル境界までのびている。それは、周囲よりも高温で軟らかいルートがそれらの火山からコアに向けて確保されていることを意味する。固体鉄の探査船の自重で沈降してコアに達するバージョン（イラスト）では、船のまわりの岩石が軟らかいほど高速で沈降できる。したがって、アイスランドなどから半径数kmの鉄球を投下すれば、そ

の軟らかいルートにそって高速で沈降し、比較的短時間（たとえば十数年）でコアに達するであろう。また、液体鉄の自重でマントルをバリバリと水圧破碎して地下を推進するバージョンでは、地下数kmにあるマグマだまりというスペースを液体鉄（実際は硫黄などを混ぜて融点を下げている）の一時保管場所として利用できる。すなわち、火山の溶岩湖付近に製鉄所を建設し、その溶鉱炉から液体鉄を火口に流し込む。鉄は火道を流れ落ちてマグマだまりに達し、鉄より低密度のマグマを地表に押し出して置換する（マグマだまりが鉄だまりになる）。大量に蓄積された液体鉄は、その非常なる自重によってやがてマグマだまりの底部の岩盤をバリバリと破碎させ、まっしぐらにコアに向かって亀裂伝播を起こす……というわけである。このように、火山はコア・プロジェクトでは重要な役を演じており、この点、アイスランドの火山を作品に登場させたヴェルヌの慧眼に敬服するものである。「SFは科学をリードする（予言する）」という格言めいたことを私は聞いたことがあるが、まさしくそのとおりである。

地球とは何か？ その現在・過去・未来は？ この問いに答えるには、地球質量の約三十%を占めるコア、太陽風から生物をガードする地球磁場を作っているコア、マントルに熱を供給して対流させ火山、地震、地下資源を人類にもたらしているコア、はるけき彼方地下二九〇〇kmに眠るコア、いままで何人も寄せ付けなかったコア、の直接探査が必須である。それが、コア・プロジェクトである。この先、どのような形で具体化に向けて行くのか私にはまだ見当がつかない。私が継続するのか、コア・プロジェクト

クトのミーム（文化的遺伝子）を引き継いでくれた誰かが発展させるのか……この宇宙を造りたもうた老獪な（しかし狡猾ではない）神々は、プロジェクトの実現に向けてすでにシナリオを書きあげ、今頃はニコニコ笑って一服しておられるかもしれない。とても楽しみである。

* * *

海底旅行に関する関連文献リスト（時系列）を左記に挙げる。Sewenson氏と入船氏の著作は私の研究と独立しているので本文では触れなかったが、いずれも読むに値する重要な内容である。「地質ニュース」の二文献については、<http://www.gsj.jp/Pub/News/r.index/index.html> からフルテキストの無料ダウンロードが可能である。

一八六四 ジュール・ヴェルヌ、海底旅行。

(Verne, J., *Voyage au centre de la Terre*.)

一九八七 中島善人、コアプロジェクト：惑星深部の直接探査原理に関する研究。東京大学大学院理学系研究科地球物理学専攻修士論文。

一九八七 中島善人・熊澤峰夫、コア・プロジェクト（Ⅰ）問題の定式化。地震学会春季大会講演予稿集。

一九八七 中島善人・熊澤峰夫、コア・プロジェクト（Ⅱ）問題の解決。地震学会春季大会講演予稿集。

一九九二 中島善人・熊澤峰夫、コアの直接探査の可能性：fluid fracture の応用。地球惑星科学関連学会一九九二年合同大会講演予稿集。

一九九二 中島善人、Core Project：固体惑星深部の直接探査計画。物性研究、五七巻、五四〇—五八六ページ。

一九九五 中島善人、物理的側面からみた水圧破碎の総説。地質ニュース、四九四号、三三—四二ページ。

一九九六 中島善人、コア・プロジェクト…水圧破碎による地球深部へのサンプル・リターン計画。地質ニュース、五〇一号、四五—五一ページ。

二〇〇三 STEVENSON, D. J., Mission to Earth's core—a modest proposal. *Nature*, vol. 423, pp. 239-240.

二〇〇五 入船徹男、ダイヤモンド号で行く海底旅行。新日本出版社。