

## 地球深部探査船「ちきゅう」とは？

倉本真一

巨大地震発生のメカニズムは？ 汎世界的気候変動の歴史は？ 生命の誕生とその進化の歴史は？ 等々、我々が直面している防災、減災、地球環境変動、生命科学などの問題に対して、その答えは現在も地球の中に閉じ込められている。それを掘り起こすことによって、新たな科学の地平を開き、未来を構築する科学的な知見を得ることができる。そのツールとしての地球深部探査船「ちきゅう」を紹介する。

キーワード：地球深部探査船「ちきゅう」、科学掘削、ライザー掘削、マントル、巨大地震、地下生命圏

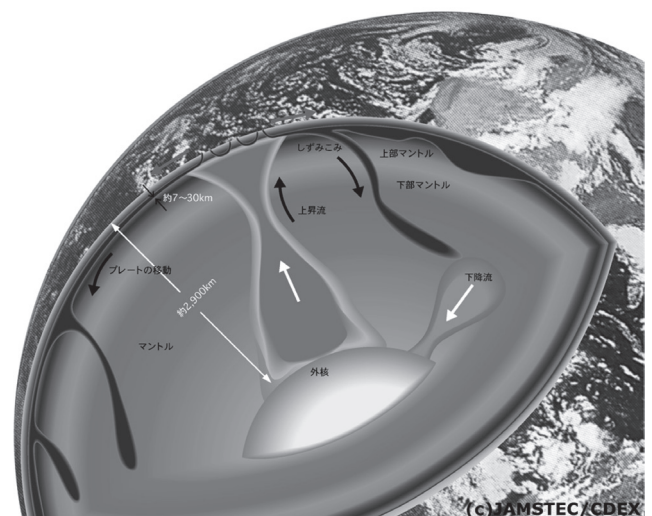
### 1. はじめに

未曾有の地震・津波災害をもたらした2011年東北地方太平洋沖地震は、人々の生活を一変させ、多くの尊い命を一瞬にして奪い去っていった。それがほぼリアルタイムでテレビをはじめとするメディアで報道され、東北地方から遠く離れた地域の人々にも、巨大地震の恐ろしさをまざまざと見せつけた。しかしながらこのような大災害をもたらした巨大地震は、今回初めて発生したわけではなく、これまでに何度となく発生し、時には命や財産を奪い去り、また時には大地の様相を一変させるような出来事を繰り返して来たのである。その証拠は、今も大地に刻まれており、そのような証拠を掘り起こし、学問として取り上げるのが「地質学」あるいは「地球科学」である。なにも地震や津波の記録だけが大地に刻まれているのではなく、生命の営みも大地に記録されているわけで、そういった意味では「生命地球科学」という分野は、地球に学び、その歴史や成り立ち、ひいては宇宙の歴史までも研究する分野なのである。その具体的な研究の基礎となる物は地球内部の物質であり、それを手に入れるには掘削という方法しか人類は手にしていない。地球内部を掘り出すことによって、地球の歴史を遡り、生命の誕生や宇宙の成り立ちを議論できるのである。本小論ではその一端を紹介し、その道具としての掘削機器、地球深部探査船「ちきゅう」を紹介する。

### 2. 地球内部の探究

46億年の歴史を持つと言われている地球は、青い

水惑星という特徴を持ち、それ故に生命を約38億年に亘って育ててきた、生命の星である。半径およそ6400kmの地球、しかしながら人類は未だにその極表層部にしか到達できていないのである。月や火星に到達できる技術を持つ人類にしてでもである。これまでの最深掘削深度は、ロシアのコラ半島で24年かけて行われた掘削により、地表下約12kmまで到達したのが最深記録とされている。しかしながら地下にまっすぐ掘削されているかは疑問の残るところで、12kmよりも浅い可能性も指摘されている。いずれにせよ、大陸での地表下10km程度というのは、地球の層状構造（外部から、地殻、マントル、外核、内核と分かれている）の地殻のなかのさらに浅部でしかないのである（図—1）。地球の内部があたかもわかっ



図—1 地球内部構造の模式図

人類は未だに地球表層部の地殻までしか直接試料を入手できていない。その下部のマントルは、ある意味、月よりも遠い存在である。

ているかのような印象を多くの読者が抱いていると思うが、実はたかだか10 km まで、つまり10/6,400 ではないのである。

子供の頃にテレビで見ていたウルトラマンシリーズでは、時々地下の空間、時にはマグマが流れているようなところで、怪獣と格闘しているシーンがあったのを今でも覚えている。当時も現実の世界の話ではないと思いつつも、地球の内部はああなっているのかと思っていた。科学特捜隊はドリルの付いた乗り物に乗って地下空間まで行っていたので、将来はぜひ乗ってみたいと思っていた。現実には地下に怪獣もいなければ、格闘できるような空間もないわけであるが、これまでの地下の研究から、別世界（アナザーワールド）が存在していることが明らかになって来たのである。それは微生物研究が切り開いた新たな学問の流れである。

### 3. 地下を掘って宇宙を理解する

土いじりのお好きな読者も多いと思うが、例えば畑にいるミミズを発見したとして、このミミズがどれくらいの深さの地下まで生息しているかと疑問に思ったことはないだろうか？ ミミズも呼吸をしているので、酸素の乏しくなる深さまでは生息できないようで、したがって地下数 m 程度までが生息深度であろう。では数 m 以上深くなると全く生物の居ない世界になっているのであろうか？ 答えは否。Parkes et al. (1994) によれば、海底下1,000 m 程度の地下にも1 cm<sup>3</sup> あたりに10<sup>7</sup> ~ 10<sup>8</sup> 程度の細胞数が確認されている。さらに最近の知見では、それらは古細菌（アーキア）と分類される生物で、かなり特殊な（我々から見れば）生態系を保っているらしい。例えば酸素がない環境を好み、高温環境下で生息できるらしいのだが、エネルギーに乏しい環境下では細胞分裂も数百年から数千年に1回程度という超スローライフであるらしい。しかしながらこの古細菌は大量に存在することが明らかになりつつあり、地球全体の炭素量の推定としては、海底下の生命圏の理解が鍵を握っている。まだまだこのアナザーワールドの理解は始まったばかりなのである。しかしそこに我々も含めた生物の共通の祖先がいると予想されており、それを今でも地下を掘削し、物質を手に入れることによって理解することが可能なのである。地球上に初めて生命が誕生したのは約38億年前とされている。その生命の始まりは地球で誕生したものなのか、あるいは宇宙から飛来したものなのか、この疑問に対する答えはまだ見つかっていない。まだ

地下に眠る我々の共通の祖先を掘り起こすことによって、大きな手がかりを得られるに違いない。もちろん生物だけではなく、地球は1つの惑星であるわけで、「はやぶさ」が持ち帰った岩石片の試料と同様の物が地球内部に存在しているのである。つまり、地下探索は宇宙探索と言っても過言ではない。

### 4. 海洋掘削の方法

では、海底下の試料を得るための方法、海洋掘削について概説する。掘削の方法自体は陸上掘削と変わらないのだが、洋上では陸上のように固定して掘削機器を使えないため、掘削船を如何に洋上に「固定」するかが技術的な鍵である。浅海であれば複数の錨を降ろして船を固定することも可能であるが、深海では無理である。そのため、ダイナミック・ポジショニング・システム（DPS）と呼ばれるシステムが導入されている。これは、位置情報は基本的にGPS（全地球測位システム）から受け、船が受けている外力（風、潮流、波浪など）は各種センサーによって計測され、それを相殺するように船底のスラスタ（推進機）の方位と出力を制御し、船が一点に停まるようにするシステムである。それにより陸上同様に決められた地点に停まることができる。しかしながら上下動は抑えることができない（船は基本的に浮いている物なので）ため、掘削パイプ等の上下動を緩衝する装置が取り付けられている。

掘削は掘削パイプの先に取り付けたドリルビット（切り歯）を掘削パイプごと回転させて海底下の地層を削っていく。掘削が進むにつれ掘削パイプを継ぎ足し（ねじ込み式）、深く深く掘削していく。掘削した穴には地層の削りカスなども溜まるため、海水や特別に泥を調合した泥水（<sup>でいすい</sup>）を掘削パイプから送り込み、掘削した穴から掃き出すことも行う。科学掘削は掘るだけではなく、試料を採取することが重要で、そのためドリルビットの真ん中には穴が開いていて、ドリルビットが回転しながら掘り進むと中心の部分が掘り残され、それを回収している。また掘削をして試料を得るだけでなく、掘削した孔では検層（<sup>あな</sup>）と呼ばれる各種物理センサーや化学センサーなどの付いた機器を掘削孔の中に入れ、連続的に孔内の壁面での観測（密度、間隙率、弾性波伝搬速度、電気抵抗、間隙水採取などが可能）を行うことが可能である。さらに掘削孔には、長期的に地殻変動等をモニタリングする観測装置を設置し、海底ケーブルに接続することにより、海底下の地殻変動を陸上でリアルタイムにモニターすることが試

みられている。特に巨大地震の発生準備過程を理解するため、そしてより良い事前通報システムを構築するための基礎研究が行われている。

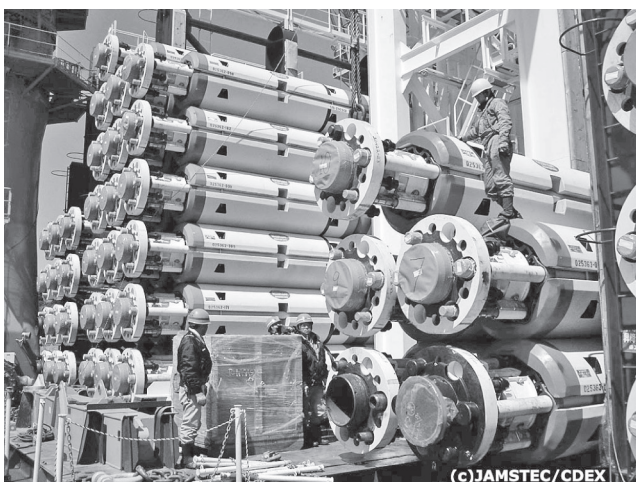
## 5. 地球深部探査船「ちきゅう」

地球深部探査船「ちきゅう」は科学掘削を目的として設計、建造された世界で初めての科学掘削船である(写真—1)。2002年から足掛け4年の歳月を費やし、2005年7月29日に完工し、(独)海洋研究開発機構に引き渡された。主要なスペックとしては、全長210m、全幅38m、櫓の高さは船底から130m、総トン数56,752t、最大乗船人員200人、発電機容量35,000kWなどである。「ちきゅう」の特徴はライザー掘削能力



写真—1 地球深部探査船「ちきゅう」

世界で初めて科学掘削を目的として設計、建造された科学掘削船。世界の先端技術を結集し、日本で建造された。2005年7月に完工。



写真—2 ライザーパイプ

長さ27m、重さ約27t。パイプの周りには浮力体を取り付けられており水中での吊り上げ重量を軽減している。ライザーパイプそれぞれが繋ぎ合わされ、「ちきゅう」と海底を繋ぐ。ライザーパイプ内を掘削パイプが通り、掘削流体（泥水）を循環させながら掘削する。

を持った世界屈指の掘削船であると同時に、最先端の洋上研究所であることである。ライザー掘削とは、「ちきゅう」と海底までをライザーパイプと呼ばれる鉄管（内径約50cm）で繋ぎ(写真—2)、その中を掘削パイプが通り掘削をする。掘削パイプからは密度を調整した泥水を流し、掘削ビットから出た泥水は、ドリルパイプとライザーパイプの間隙間を通り船上まで戻ってくる。この泥水を循環させながら掘削を行うのがライザー掘削である。カッティングスと呼ばれる地層の掘削屑を泥水とともに船上まで持ち上げて（rise）くるので、ライザー（riser）掘削と呼ばれる。ライザー掘削の詳しい説明は割愛するが、この方式によって地下の高い圧力に打ち勝って掘削孔がつぶれないようにすることができ、地下深くまでの掘削を可能にする唯一の方法である。

「ちきゅう」には4階建ての研究室が装備されている。掘削した試料（コアと呼ぶ）は、温度、圧力の変化や酸素に触れることによって、生物のように掘削後すぐに変化していく。そのためなるべく素早く、必要な計測や分析ができるように研究室が設計されている。コアは約10m毎に掘削され、船上に引き上げられる。それを1.5m毎に分割し、すぐさま非破壊計測を行う。「ちきゅう」船上にはX線CTスキャナ(写真—3)やマルチセンサーコアロガー(複数のセンサーが並べられた台の上をコアが移動し、計測が行われるシステム)などが配備されている。非破壊計測によって、どこに重要な構造や地層が存在するのかを見極め、その後コアを半裁(縦割り)するまでに、さらに細かなサンプリングや計測などの場所を決めるのである。非破壊検査と同時に重要なのが、微生物の採取である。なるべく地上の微生物との汚染がないようにして、こ



写真—3 「ちきゅう」研究室内に設置されているX線CTスキャナー  
医療用に使用されている物を応用し、掘削した試料の非破壊検査に用いている。

れも掘削後すぐさまサンプリングを行い、そのまま凍結させてしまうものや、培養や染色して観察する物などに分けて作業が行われる。

「ちきゅう」の科学掘削は国際計画として行っており、それは日米が主導している統合国際深海掘削計画 (IODP: Integrated Ocean Drilling Program) のもとで行われている。現在 IODP は 26 カ国が参加し、旗艦である「ちきゅう」のほかに、米国が提供するライザーレス船 (浅層掘削が主) や、欧州が提供するミッション毎にレンタルする掘削船を用いている。「ちきゅう」はこれまでに南海トラフでの巨大地震発生場を掘削したり、先の東北地方太平洋沖地震の震源域を掘削し、新たな巨大地震・津波の発生メカニズムの理解に大きく貢献している。また沖縄トラフでは、海底熱水鉱床の形成現場を掘削し、これまでの鉱床生成モデルを塗り替えるような成果をもたらしている。

## 6. 「ちきゅう」のミッション

地球深部探査船「ちきゅう」は、その建造の動機が科学掘削であり、そのターゲットとしてこれまで掘削できなかったような深さに存在するマントル掘削や、巨大地震発生帯掘削がある。その他にも IODP での初期科学目標 (Initial Science Plan; <http://www.iodp.org/isp/>) に示されているように、地下生物圏の解明や、グローバル気候変動あるいは急激な気候変動の解明、ガスハイドレートのような資源に関する掘削も達

成すべき目標として掲げられている。「ちきゅう」は、IODP の初期科学目標のうち、特にマントル掘削、巨大地震発生帯掘削、地下生命圏掘削などをミッションとしている。大深度掘削はもちろんのこと、効率的、効果的な「ちきゅう」の利用は、運用者としての我々の懸案事項でもある。旬な科学テーマや、長期的な展望をもったテーマの選択と集中は、必然的に求められることでもある。

地球内部の理解はまだまだその途に就いたばかりである。地球の歴史、宇宙の歴史が我々の探究を待っているのである。それは決して我々から逃げることなく、待っているのである。はやく我々の手を差し伸べ、真摯に過去の地球から学び、安全・安心でかつ明るい希望に満ちた未来を探究したい。それが地球を掘るということであり、「ちきゅう」はその科学の先端を担っているのである。

JCMA

### 《参考文献》

- 1) Parkes et al., Deep bacterial biosphere in Pacific Ocean sediments, Nature, 371, 410-413, 1994.

### 【筆者紹介】

倉本 真一 (くらもと しんいち)  
 (独)海洋研究開発機構  
 地球深部探査センター 企画調整室  
 次長

