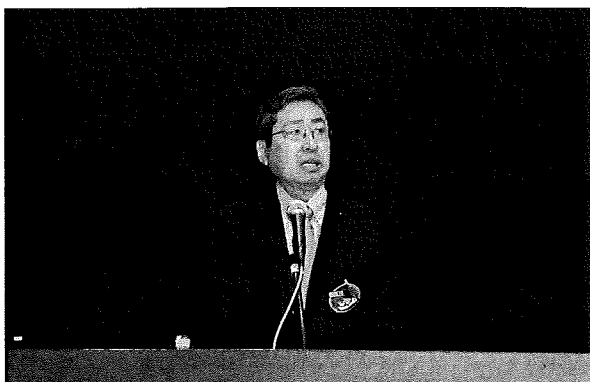


# 記念講演 第1部 (2010年4月18日)

## 未踏の地球内部を掘る

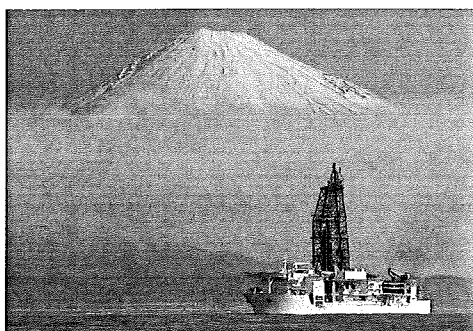
### —地球深部探査船「ちきゅう」の挑戦—



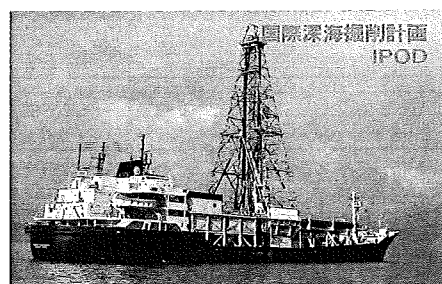
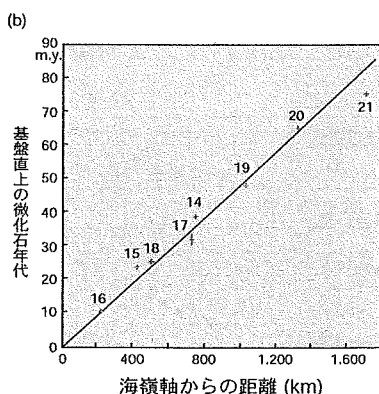
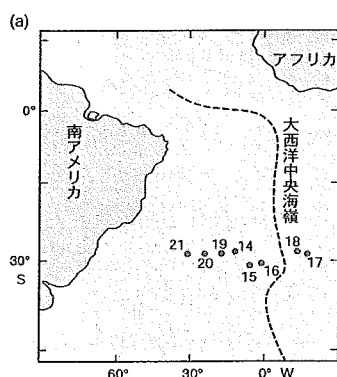
独立行政法人海洋研究開発機構 理事 平 朝彦

#### 要旨

海底下7,000mの掘削能力を有する地球深部探査船「ちきゅう」は、構想から15年の月日を経て、2005年7月に完工した(図1)。「ちきゅう」は新しい地球・生命科学の創成を目指しており2007年の秋から、統合国際深海掘削計画(IODP)において、南海トラフの地震発生帯掘削に導入されている。この計画は、我が国がリーダーシップを取る大型国際共同研究であり、地下微生物圏、マントル掘削などのフロンティアへの挑戦が続く。



▲図1. 富士山を背景とした「ちきゅう」



▲図2. グローマーチャレンジャーによる海洋底拡大説の証明

#### 1. 新しい地球観

20世紀中頃まで、地球科学は長い間、指導的な原理を持たず、混沌とした状態にあった。1970年代に発展したプレートテクトニクスにより、地震、火山、地殻変動、大陸移動などの諸現象を統一的に説明することが可能となり、地球科学にパラダイムの変革が起った。この変革時に、深海掘削計画(Deep Sea Drilling Project)は大きな役割を果たした。掘削船Glomar Challengerを用いて、大西洋を掘削し、大西洋中央海嶺から離れるに従い、海洋底の年代が古くなることを示し、海洋底拡大説が証明された(図2)。

1975年からは参加各国の分担金によって運営される国際深海掘削計画(International Phase of Ocean Drilling: IPOD)となり、我が国も正式に参加し、深海掘削は広く世界の科学者の注目するところとなった。1985年から掘削船Joides Resolution(JR)を使って、22カ国が参加した国際深海掘削計画(Ocean Drilling Program: ODP)が実施された。ODPは、プレートテクトニクスの諸問題の探究、詳細な地球環境変動史の解読、メタンハイドレートなど地層中での物質変化の研究において極めて重要な役割を果たした。

その中でも最も重要な出来事の一つは、地下生物圏の発見であろう。最初の本格的な探索は、1990年、日本海で行われた。それ以来、イギリスのチームが中心となってデータが集められ、地層の中に棲む微生物の様子が少しずつ明らかになってきた。その結果、驚くべきことが明らかになった。海底下1000mの地層や岩石の隙間の中に大量の微生物が見つかったのである。一般に海水中や海底堆積物の表面には1立方cmにつき、10億個の微生物が認められる。J. Parkesらは、地下の微生物の存在量のデータを集め、海底下1000m

ほどまで、次第に量は減るものの、10億個から100万個の細胞が存在することを示した(図3)。

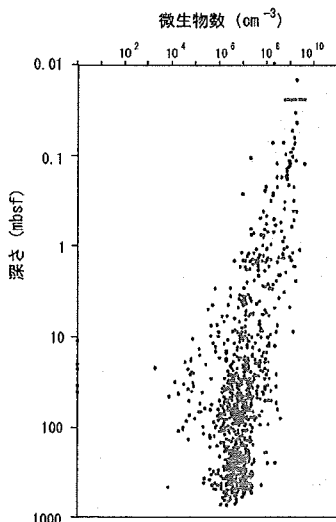
また、最近、海底の熱水環境の付近からは、温度122℃に棲む超好熱細菌が発見されている(Takaiら、2008)。これらのことから、長い間、無生物環境と信じられてきた高温、高圧の地下環境、すなわち地殻深く、さらにマントルにまで生物棲息の可能性が指摘されるようになってきた。

その生物量は莫大で、地表の微生物量に匹敵すると推定されている。この地下生物圏を構成している生物とは何ものなのか、どこで誕生したのか、彼等は地球に何をしているのか。この問題は、地球科学と生命科学、そして両者の境界となる分野(地球・生命科学)にまったく新しい視点と領域を開拓できる可能性を示している。プレートテクトニクス以降の新しい地球観の胎動が始まった。

## 2. 深海掘削の技術革新

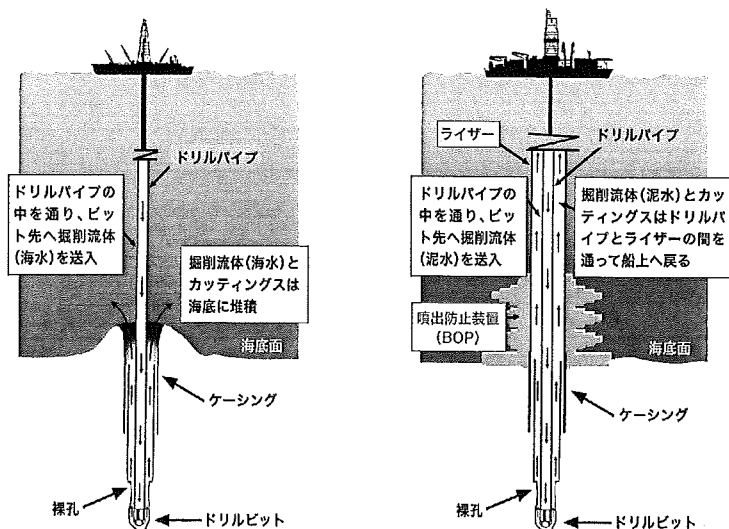
1970年代から輝かしい成果を上げた深海掘削計画に使用された掘削プラットフォームには、大きな技術的な制約があった。それは、海底下3000mを越す深さへの掘削が困難であること、また、炭化水素(石油や天然ガス)を含むような地層への掘削が安全上不可能であること、による。

1990年始めに、深海掘削に参加した我が国の研究者の間から、より深く海底下を掘削するプラットフォームの建造と、我が国がリーダーシップをとる新しい計画の提案が検討されるようになった。とくに、プレート沈み込み境界での地震発生帯への掘削計画が注目された。同時に、その頃から地下生物圏の存在が注目され始めた。



▲ 図3. 地下生物圏の存在量(縦軸は深度、横軸は1立方センチメートルの中の細胞数) Parkes et al. (1994)より。

このプロジェクトの推進には、海洋研究開発機構(JAMSTEC: 当時は海洋科学技術センター)が主体的に関わり、国内外での長期にわたる検討を経て、「ちきゅう」の完工となった。「ちきゅう」の総建造費は600億円であり、我が国が基礎科学技術に投じた最大規模の投資である。「ちきゅう」には最新の石油掘削技術が応用されている。その特徴は、ライザー掘削技術を駆使できることにある。ライザー掘削技術とは、掘削パイプをさらに大きな径のパイプ(これをライザーパイプという)の中を通すことによって、掘削に用いる重い泥水を閉鎖系で循環させるシステムである(図4)。重い泥水は、海水に粘土(モンモリロナイト)や重晶石、各種ポリマーなどを混合して調合する。泥水は、孔壁の閉鎖や崩壊を防ぐとともに、掘削切り屑(カッティングズ)を船上に持ち上げてくる役目を果たす。また、海底に設置した噴出防止装置により、炭化水素の危険を制御しながら、掘削することが可能となる。大規模なライザー掘削システムを船上から制御することは、これまで極めて難しい技術であったが、石油掘削技術の進歩と研究開発の結果、「ちきゅう」ではこれが可能となった。「ちきゅう」は、水深2.5kmの海底から7km掘削することを目指している。これは、水深においては、石油掘削技術の最高レベルと肩をならべ、掘削深度においては、さらに深くに困難な領域を目指している。将来は、水深4kmにおいても泥水の循環を可能とする人類未踏の掘削技術の確立を計画している。「ちきゅう」の目的は科学掘削であるが、資源探査船としても最高レベルの性能を有する。






▲ 図4. ライザー掘削と従来のライザー掘削の比較

「ちきゅう」は、JAMSTECが管理監督を行い、実際の運行は民間の会社(日本マントル・クエスト社:日本海洋掘削と日本郵船などが作ったJV)に依頼して、これを実施している。一方、科学掘削の計画はIODPの枠組みの中で立案される。

### 3. 統合国際深海掘削計画(IODP)

ODPの後を受けて2003年10月より、IODPが開始された。その内容は、「ちきゅう」および米国が用意する非ライザー式の掘削船(JRを改造)、およびヨーロッパ諸国(カナダも含まれる)が提供する特定任務掘削船の、少なくとも3種類の掘削船を用いた計画である(図5)。現在、日米欧の他に中国、韓国、インド、オーストラリア、ニュージーランドも部分加盟メンバーとして参加している。IODPは世界の研究者が掘削提案を行い、それをベースとして掘削計画を実行する研究者主導型の計画である。計画は、現在、一般社団法人IODP-Management International (IODP-MI)が中央管理組織として、科学諮問組織の運営、各プラットフォームの掘削計画の調整、データ管理や技術開発の統括などを行っている。IODP-MIは当初、ワシントンDCと札幌にオフィスがあったが、2010年3月より、東京海洋大学越中島キャンパスに統一オフィスを開いた。現在、IODP-MIの代表は末廣潔氏であり、IODPは名実ともにわが国がリーダーシップを取っている。IODPでは初期10年間(2003年から2013年)における科学計画を設定したが、それを受けて我が国では33大学等から構成される日本掘削地球科学コンソーシアム(J-DESC)が中心となって科学計画が立案されてきた。その中で、

- (1) モンスーン気候変動とアジアのテクトニクス
- (2) プレート沈み込み帯のダイナミクス・物質循環と地殻の進化

	<p><b>地球深部探査船「ちきゅう」</b></p> <p>海洋研究開発機構(日本実施機関)が運用 最新鋭のライザー掘削船 海底下7000メートルまでの掘削能力を持つ</p>
	<p><b>JOIDES Resolution</b></p> <p>USIO(米国実施機関)が運用 ライザーレス掘削船 国際深海掘削計画(ODP)で運用された科学掘削船 改造後、2009年3月より運用を再開</p>
	<p><b>特定任務掘削船(MSP)</b></p> <p>ESO(欧州実施機関)が運用 上記2船での掘削が難しい海域における掘削プラットフォーム</p>

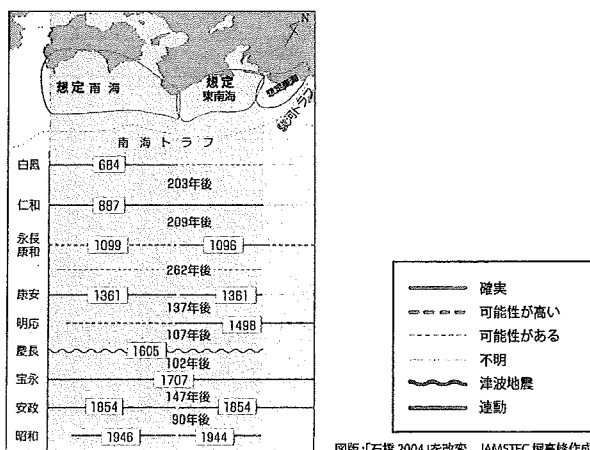
▲図5. IODPで使用される3つの掘削プラットフォーム

- (3) 巨大海溝型地震発生帯と長期孔内観測
- (4) 地下生物圏の研究

などが主要な課題として取り上げられてきた。さらに、2009年9月にドイツのプレーメンにおいて、2013年以降の計画が検討された。参加者は世界から700名、日本からは100名であった。この会議において、さらに二酸化炭素地層貯留の科学、海底地すべりなどの地質災害科学、などの分野も含めた、海底掘削の将来像が話し合われ、将来計画が作成されることとなった。これまでのIODPの中で、「ちきゅう」を使用する中心的な課題として注目されてきたのが南海トラフの掘削である。以下、その進展について述べてゆこう。

### 4. 南海トラフの掘削

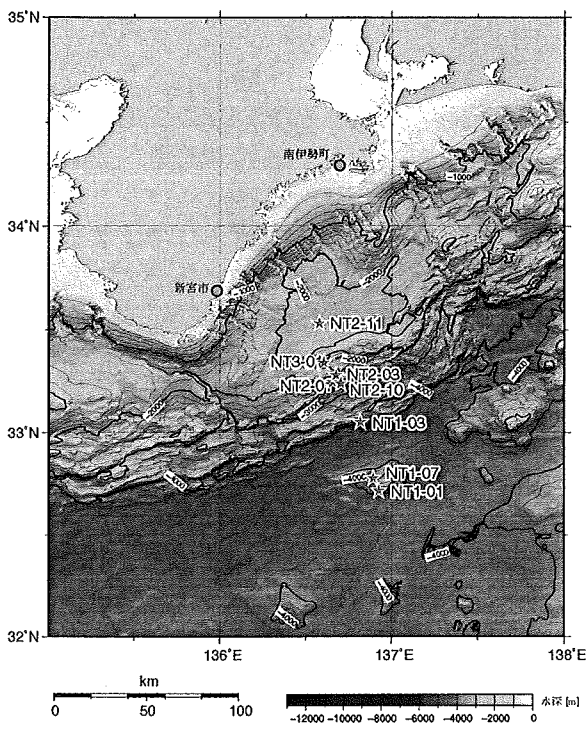
東海沖から四国沖の南海トラフは、100~200年に一度、巨大地震に見舞われてきた(図6)。最近では、1944年(東南海地震)と1946年(南海地震)が発生し、大きな津波が襲い、数千人の人が犠牲となった。プレート境界で起る地震は、一定のレートで歪みが蓄積し、ほぼ一定した周期で、同じ場所の断層が地震を起こすことなどから、内陸の活断層に比較して、地震の発生メカニズムや予測の研究に適していると考えられる。従来の地震研究は、地震波の観測研究に重点を置いてきたが、地震の発生する場所そのものの状態や断層を構成物質から地震発生のメカニズムに迫る研究は殆どなかった。すなわち、地震学では物質科学的な基礎が薄弱であった。プレート境界で起こる地震は、地震が発生する領域(これをアスペリティという)で摩擦が発生し、下盤と上盤が“固着”して、上盤にひずみのエネルギーが蓄積されることによる。



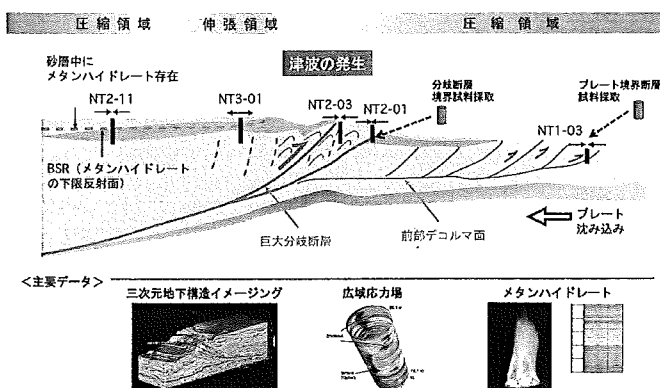
▲図6. 東海から南海トラフ沿いで起こった歴史的地震年表

重要な問題のひとつは、なぜ、固着が起こるのか、ということである。

また、固着域は、突然、破壊され地震を引き起こす。なぜ、破壊されるのか、破壊は予測できるのか、ということが非常に重要な課題である。これらを解決する手法として、プレート境界断層への直接掘削が考えられた。このような状況の中で、熊野灘沖の東南海地震震源域の南海トラフが「ちきゅう」による最初の掘削候補地点として浮かび上がってきた。東南海地震震源域では、推定震源域の最浅部までの深度が海面から約6~7km程度と予想されている(水深は2000~2500m)。この深度は、「ちきゅう」で到達しうるものである。



▲ 図7. 南海トラフ地震発生帯掘削計画の掘削地点



▲ 図8. 南海掘削の掘削地点を断面図に現した図と主な成果のまとめ

過去10年以上の南海トラフにおける地震の震源過程の解析や3次元反射法調査等の検討に基づく掘削計画の立案が国際的なグループによってなされた。

それは、津波を起こした可能性のある分岐断層と震源域と考えられるプレート境界への掘削、および掘削孔を用いた長期観測(地震、歪みなど)を目的としており、3つのフェーズに分かれている。

最初の掘削フェーズは、2007年9月から2008年2月まで、次のフェーズは2009年5月~10月まで和歌山県新宮市の沖合い約100kmの6つの地点で行われた(図7)。掘削孔の周囲の地層の状態を直接的に計測する「掘削同時検層」がまず実施され、ここでは、分岐断層を境に変化の大きい応力場が存在することが発見された(図8)。さらに、熊野海盆、分岐断層、プレート境界断層の浅部、プレート上の堆積層を掘削し試料の回収に成功した。断層の一部には大量の微生物の存在が確認された。これらの結果は、現在、研究チームによって、さらなる分析が進んでいる。2010年度からは、次ぎのフェーズに向けての掘削が計画されている。

## 5. 「ちきゅう」の意義

「ちきゅう」が掘削した試料の分析、保管に関しては、高知大学と共同運営の高知コアセンターが設置され、陸上での研究活動拠点が確保されている。また研究を支える組織として日本掘削科学コンソーシアム(J-DESC)が作られ、大学等の研究者が計画の立案や国際的な組織での活動に従事している。新しい地球生命観は、今後の人類の未来を拓く指針となるべきものであり、人々の生活に役に立つものでなければならない。我が国は、地球の営みが最も活動的な場所に位置しており、地球の解明には我が国の研究技術陣こそが、そのリーダーシップを取るべきである。大型プロジェクトの推進は、広く研究者コミュニティに活性化をもたらし、国民の科学への関心を引き出す原動力にもなる。そのためには、「ちきゅう」とIODPが、新しい地球・生命科学の成果を生み出し続けることが肝心である。私は、地球の内部が、未知の驚きに満ちた世界であると確信している。

参考文献:  
「地球の内部で何が起きているのか?」平朝彦・徐垣・末広潔・木下肇(2005) 光文社新書  
「ちきゅう」についての情報は:地球発見  
<http://www.jamstec.go.jp/chikyu/>