



統合国際深海掘削計画 (IODP)  
— 2003 年から 10 年の成果 —

## 深海掘削計画のこれまでの総括と今後の展望

西 弘 嗣  
梅 津 慶 太  
川 幡 穂 高

**Ocean drilling programs : overview and future prospects**

**Hiroshi Nishi • Keita Umetsu • Hodaka Kawahata**

にし ひろし : 東北大学学術資源研究公開センター  
/ 東北総合学術博物館

うめつけいた : 海洋研究開発機構地球深部探査センター  
かわはた ほだか : 東京大学大気海洋研究所海洋底科学部門

2003年から開始された統合国際深海掘削計画は2013年9月に10年の節目を迎え、同年10月から新たなフェーズとして国際深海科学掘削計画がスタートした。本論ではこれまでの深海掘削計画を総括するとともに、今後の展望について概説する。

## 1. はじめに

2003年10月1日に開始された統合国際深海掘削計画(Integrated Ocean Drilling Program : IODP)は、その第1期の10年間(2013年9月まで)が終了した。2013年10月から第2期へと移行したが、掘削船の運用、中央管理組織の廃止など、運営組織(図1, 2)の形態が大きく変化し、名称も国際深海科学掘削計画(International Ocean Discovery Program)と改訂された。海洋出版では、国際深海掘削計画(Ocean Drilling Program : ODP)の時期から深海掘削計画の成果を号外として継続的に出版してきた:「新しい地球観への挑戦—国際深海掘削計画(ODP)の成果—(月刊地球号外 No. 6, 1992)」,「21世紀の深海掘削への展望—ODPからOD21へ—(月刊地球号外 No. 19, 1997)」,「深海掘削と新しい地球生命科学—ODPの成果とIODPへの展望—(月刊地球号外 No. 40, 2003)」, これら以外にも「深海掘削—IODPの成果—(1979年, Vol. 11, No. 9)」,「続・深海掘削—IODPの成果—(1979年, Vol. 11, No. 10)」,「インド洋の海洋地質—ODPの成果—(1) (1990年, Vol. 22, No. 5)」,「インド洋の海洋地質—ODPの成果—(2) (1990年, Vol. 22, No. 6)など、重要な航海の成果も出版された。これらの出版物をみると深海掘削計画の歩みの概要が理解できる(表1)。

これらの発展形として、本特集号では2003年から行われたIODPの第1期の航海のうち Expedition 302から340までの成果を報告し、2013年以降の新しい科学目標への展望を概観する。この小論ではこれまでの深海掘削計画の歩みを概説し、IODPにおける第1期の掘削成果を俯瞰する。そして、2013年以降の新しいIODP計画に関して考察する。

## 2. 深海掘削計画の歩み (DSDP から ODP まで)

1961年、米国のCUSSI号がカリフォルニアとハワイの間の東太平洋で史上初の深海掘削が実施され、水深3560 mにおいて海底下177 mまで掘削され、堆積物とともに6 mの玄武岩が回収された。しかし、ベトナム戦争による戦費の出資が大きく計画の継続は中断された。しかし、スクリップス海洋研究所のRevelle, R. 所長とコロンビア大学ラモント地質学研究所のEwing, M. 所長らは、あきらめず、カス1号で得られた技術を適用して全地球規模で深海底下に孔をあけて試料を得る方向への転換をはかった。まず、深海底サンプリング海洋研究所共同研究機構(Joint Oceanographic Institutions for Deep Earth Sampling : JOIDES)が組織され、米国内の幾つかの海洋研究所や海洋学部を統合して計画の推進に当たった。そして、スクリップス海洋研究所はJOIDESの諮問に答える形で、1965年、米国国立科学財団(National Science Foundation, NSF)に深海掘削計画(Deep Sea Drilling Project : DSDP)の立案と実施を提案した。これがNSFにより認められ、スクリップス海洋研究所が深海掘削計画(DSDP)の実施機関となった(奈須, 1983)。

この計画のために、海洋石油掘削に実績のあるGlobal Marine社が建造中の1万トンのボーリング船が充てられることとなり、実験室を増設するなど掘削船への改造が行われた。この船はGlomar Challenger号と命名され、1968年8月から深海掘削を開始するため船出した。15年間にわたり運用された本船は1983年11月に運航が終了となった。1985年からは後継船のJOIDES Resolution号(JR号)に引き継がれた。DSDPは、Leg 1からLeg 44Aまで米国のみで主導し、1975年のLeg 145から国際化され、日本、英国、仏国、西独、ソ連が参加した。運行経費に関しては米国がその半分以上を負担し、残りを参加諸国が分担した。我が国も年間100万ドルの分担金を拠出した。

図1 これまでのIODP (統合国際深海掘削計画) の枠組み。

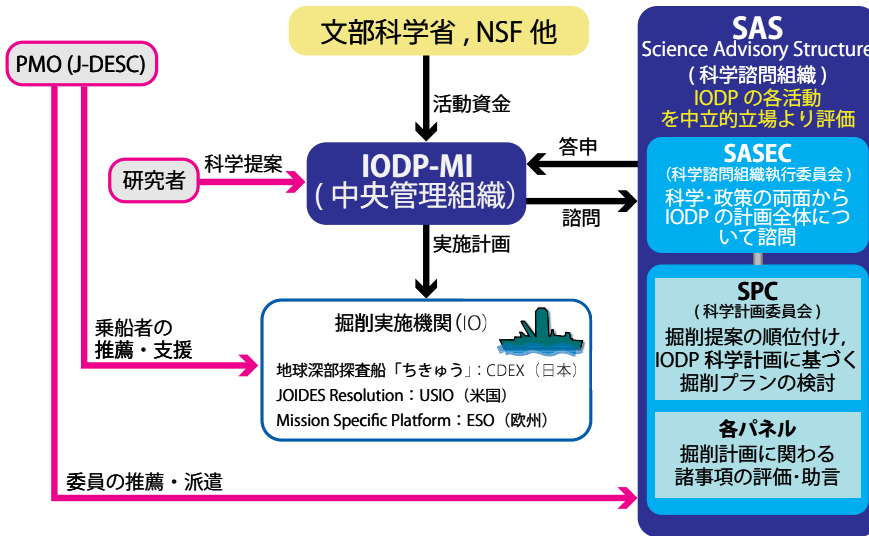


図2 新しいIODP (国際深海科学掘削計画) の枠組み。

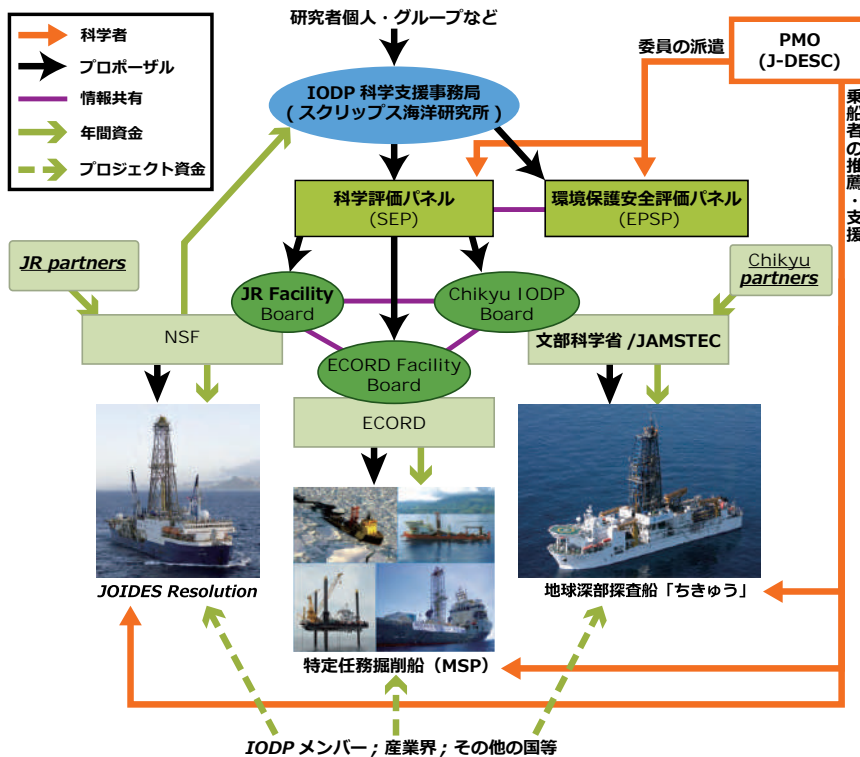


表1 海洋出版からこれまでに出版された深海掘削関連の特集号

【月刊地球】

1979.03	003号	地球内部ダイナミクス
1979.06	006号	続・地球内部ダイナミクス
1981.01	025号	深層ボーリング(1)
1981.02	026号	深層ボーリング(2)
1982.09	039号	固体地球科学—その将来—
1986.06	084号	リソスフェア探査開発計画 (DELP)- '85(1)年代測定
1986.07	085号	リソスフェア探査開発計画 (DELP)- '85(2)現状と展望
1986.08	086号	海底地殻—その進化—
1986.11	089号	海底岩石—その磁気・古地磁気—
1988.03	105号	陸上學術ボーリング(1)
1988.04	106号	陸上學術ボーリング(2)
1990.05	131号	海底物理探査—DELP航海の成果—
1999.11	245号	国際浅海掘削—現状と今後の展望—
2000.09	255号	古環境学
2002.06	276号	古海洋学の最近の進展と古生物学— 地球史における海洋環境研究の最前線—
2007.03	333号	掘削科学における泥層検層— その有効利用—
2007.09	339号	海洋プレートと島弧の深部構造 I— IODP超深度掘削へ向けて—
2007.10	340号	海洋プレートと島弧の深部構造 II— IODP超深度掘削へ向けて—
2007.11	341号	海洋プレートと島弧の深部構造 III— IODP超深度掘削へ向けて—
2008.10	349号	温室地球における生命と環境の共進化
2010.02	365号	IODPの将来のテーマ—第二期に向けた 日本版白書より—

【月刊海洋】

1987.06	204号	DELP'86—日本のテクトニクス (1)
1987.07	205号	DELP'86—日本のテクトニクス (2)
1990.05	239号	インド洋の海洋地質—ODPの成果 (1)
1990.06	240号	インド洋の海洋地質—ODPの成果 (2)
1989.01	223号	日本列島の深部構造—DELPの成果 (1)
1989.02	224号	日本列島の深部構造—DELPの成果 (2)
1993.06	276号	古海洋学—その現状—

【号外地球】

号外 6号	新しい地球観への挑戦—国際深海掘削計画 (ODP) の成果— 総論：平朝彦・1部 ODPの学術的貢献・2部 ODP各航海の成果
号外 19号	21世紀の深海掘削への展望—ODPからOD21へ— 総論：平朝彦・末広潔・1部 ODPの成果と将来の展望・2部 21世紀の深海掘削への展望—OD21—
号外 23号	大陸形成—地球の物質分化循環過程の解明— 総論：木村学、他・1章 大陸とは何か・2章 大陸形成の現行過程・3章 大陸の間欠的成長
号外 32号	プレート沈み込み帯における物質循環 総論：平朝彦・斎藤文紀・棚橋学・徳山英一・木村学・1章 陸域から深海への物質輸送、モニタリングと古環境変動・2章 沈み込み帯における有機物循環とハイドレート・3章 付加体構造、テクトニクスと物質循環
号外 36号	沈み込み帯地震発生帯—その物質科学と深海掘削— 総論：木村学・末広潔・平朝彦・徳山英一・金田義行・1章 南極域の地震学的研究・2章 沈み込み帯地震発生帯の地質学と物質科学・3章 沈み込み帯地震発生帯の物理的描像・4章 孔内計測と長期観測の展望
号外 40号	深海掘削と新しい地球生命科学—ODPの成果とIODPの展望— 総論：徳山英一・岡田尚武・平朝彦・木下肇・第1部 ODP成果報告 (Leg 171B ~ Leg 200)・第2部 IODPの展望・第3部 IODPへの掘削提案の科学的な背景
号外 44号	地球システム変動の解明をめざして—地球システム・地球進化—ニューイヤースクール— 総論：坂本竜彦・原田尚美・池原実・1章 地球システム変動の解明をめざして・2章 現代の地球システム変動・3章 近過去の地球システム変動・4章 固体地球システムの物質循環・5章 統合国際深海掘削・6章サイエンスとともに生きる
号外 52号	東北日本と伊豆小笠原弧の地殻・マントル構造とマグマ 総論 石井輝秋・1章 東北日本弧—地殻・マントル構造・火成活動史—・2章 東北日本弧—マグマ—・3章 伊豆小笠原弧—地殻・マントル構造・島弧発達史—1—・4章 伊豆小笠原弧—地殻・マントル構造・島弧発達史—2—・5章 伊豆小笠原マリアナ弧—マグマ—・6章 サブダクションファクターにおける物質循環解明と IODP

深海掘削計画は幾つかの時期に区分され、

- 1) 1968年8月から1974年までの Leg 1 から Leg 44A までは DSDP プロパー、
- 2) 1975年から1983年までの Leg 45 から Leg 96 までの Glomar Challenger 号 (GC 号) 使用期間を IPOD (International Phase of Ocean Drilling)、
- 3) 1985年から2003年までの Leg 100 以降から2003年終了までの JOIDES Resolution 号の使用期間を ODP (Ocean Drilling Program) とよぶ (平, 1997; 奈須, 2000)。

さらに、ODP 計画は、

- 第1期計画 (1985 - 1993年)、
- 第2期計画 (1994 - 1998年)、
- 第3期計画 (1999 - 2003年) に区分される。

この間、深海掘削計画は、プレートテクトニクスの仮説を証明し、白亜紀の海洋無酸素事変、地中海の乾陸化 (メッシニアン塩分危機)、タスマン海やパナマ地峡の開閉、沈み込み帯の解明など、テクトニクスおよび古海洋・古環境の解明に大きな成果を上げた (たとえば、平, 1997; 斎藤, 1998)。

微化石生層序や古地磁気層序による年代モデルの構築もこれら一連の航海により著しく進歩した。

DSDPに比べるとODPでのコアの回収率は格段に高くなり、データのデジタル化が著しく進歩した。それにもない、船上データの質や作業効率は大きく向上した。コアの物性分析（帯磁率、堆積物の色分析など）や孔内計測データの質的向上、それらを用いたコアの対比の手法も急速に進歩し、コア堆積物の欠如が船上でも正確に評価できるようになった。さらに、コアロガーや3Dスキャナーの導入でコア内部の構造や周期性の解明も船上で可能となった。

また航海終了後には、酸素・炭素同位体比、Mg/Ca比、Sr同位体など、多くの化学・同位体分析が採取されたコア試料を使用して行われた。それらを総括し新生代や白亜紀の環境変動の詳細も明らかにされた（たとえば、Zachos *et al.*, 1998; 西・高嶋, 2008, Takashima *et al.*, 2006）。これまでの深海掘削計画では大西洋や太平洋だけでなく、インド洋、地中海、南大洋でも一連の航海が行われ、掘削されていないのは北極海を残すのみとなった。GC号では掘削地点が624カ所、コアの回収率は57%、最大の掘削水深は7044 m、玄武岩の最深掘削深度は1350 mであった。JR号では掘削地点は669カ所、掘削した孔は1797地点、最大の掘削水深は5980 mであった。DSDPからODPにわたる一連の計画は2003年9月のLeg 210で終了し、Leg 210での最終の掘削地点は1277地点となった。

### 3. OD21 計画

しかし、深海掘削計画が進むにつれて、掘削に関する技術的な問題点が指摘されるようになってきた。JR号による掘削では、1)炭化水素が存在する地域の掘削の制限、2)掘削孔の崩壊による大深度掘削の技術的な限界がある、3)コア回収率の低下、などが生じていた。一方、ライザー掘削という高度化された方法がある。ライザー掘削とは掘削船と掘削孔をライザーパイプでつなぎ、泥水を循環させて掘削屑を効率的に船上に排除すると

もに、孔内環境を安定させ、掘削孔の壁を安定化させて海底下深部までの掘削を可能にするシステムである（田中ほか, 1997; 宮崎・許, 1997; 田中ほか, 2000; 小林, 2003; 岡田ほか, 2003）。この掘削方法を適用すると、1)軟弱地盤の大深度掘削、2)炭化水素の噴出防止、3)掘削作業の効率化、4)掘削孔の長期安定化の確保、5)ドリルパイプ長の延伸が可能、などの技術的な問題が解決すると期待された。そこで、ライザー掘削が可能な深海掘削船を開発して提供することができれば、従来では得られなかった試料も採取でき、地球科学にとって大きな貢献となる。この構想をもとに、海洋科学技術センター（現独立行政法人海洋研究開発機構）では1990年にライザー掘削システムの研究に着手し、1993-1994年には技術的な検討が終了した（田中ほか, 1997）。

1994年6月、科学技術庁の深海掘削研究会（委員長：奈須紀幸名誉教授）によりライザー掘削計画の全体構想を設定した報告書が発され、これはOD21計画（Ocean Drilling in the 21st Century 計画）と名付けられた。さらに、この構想は1994年夏のODP執行理事会にも提案され、国際社会からも支持された。提案を受けたODPは、2003年以降（ODP第3期終了後）の計画においてODPとOD21計画と連携させ、ライザーレス掘削船（JR号）とライザー掘削船の2船による運用体制を基本とした将来の掘削計画を立案することにした（田中ほか, 1997; 平ほか 2005）。

この提案に基づき、海洋科学技術センターは1997年にODPと共催でCONCORD（Conference on Cooperative Ocean Riser Drilling）国際会議を東京で開催し、ライザー掘削船を用いた科学計画や運用の指針を議論した。1999年には、バンクーバーでCOMPLEX（Conference on Multiple Platform Exploration of the Ocean）会議が開催され、ライザー型の掘削船、従来の掘削船など、幾つかの掘削船を用いた新しい科学計画が議論された。さらに2001年のリスボンでのAPLACON（Alternate Platform Conference）会議では、特定任務掘削船（Mission Specific Platform : MSP）に重点を置いた科学計画

が検討され、北極海の研究、浅海域の研究なども課題として取り上げられた（平ほか、2005）。

ここに至り OD21 計画と ODP は共同し、新しい深海掘削計画の目標の確定、計画の組織と運営、予算規模などの具体的な内容を検討するため、IPSC (IODP Planning Sub-Committee ; IODP 計画検討小委員会、Ted Moore, Jamie Austin, Hans C. Larsen, 木下肇, 平朝彦) を設置した (IODP 国内科学掘削推進委員会, 2002 ; 平ほか, 2005)。CONCORD と COMPLEX の両会議の成果も国際委員会ですらに検討され、後に (2001 年 5 月) IODP 初期科学計画 (Initial Science Plan) としてまとめられた。これらの情勢を経て、日米の政府間では 2003 年後の深海掘削計画 (ODP の第 3 期以降) は ODP の延長ではなく、新規に立ち上げるということで合意した (平ほか, 2005)。重要なことは、平ほか (2005) が指摘しているように、OD21 は最初に我が国の独自の計画として開始され、世界の研究者からの賛同と支持を受け、それが大きな推進力となった点にある。そして OD21 と IODP は、その後に協力して計画案を策定し、予算拠出の政府間協議へと進んだ。すなわち、この計画は我が国が主導を取り、世界に発信した国際プロジェクトであった。

#### 4. IODP の発足と「ちきゅう」の建造

この新しい深海掘削計画は、2003 年 10 月 1 日から統合国際深海掘削計画 (Integrated Ocean Drilling Program : IODP) として開始され、第 1 期が 2013 年 9 月まで 10 年間実施されることになった。既に述べたように、IPSC での科学計画書や計画案の検討と並行して、日米の政府間 (科学技術庁と全米科学財団) で ODP 後の計画についての協議が行われていた。その結果、新計画では日本と米国が主導し、両国が掘削船を提供して計画を進めて行く計画案が合意され、2003 年 4 月に文部科学大臣と米国国立科学財団 (NSF) 長官の間で覚書が交わされ、IODP の基本的な枠組みが構築された (田中, 2003)。

2004 年 3 月になると、欧州の国々から構成される

欧州海洋研究掘削コンソーシアム (The European Consortium for Ocean Research Drilling : ECORD) が IODP に参加し、特殊任務の掘削プラットフォーム (鈴木, 2003 を参照) を導入することになった。ECORD は 2003 年に設立され、オーストリア、ベルギー、デンマーク、フィンランド、フランス、ドイツ、アイスランド、アイルランド、イスラエル、イタリア、オランダ、ノルウェー、ポーランド、ポルトガル、スペイン、スウェーデン、スイス、イギリス (Austria, Belgium, Denmark, Finland, France, Germany, Iceland, Ireland, Israel, Italy, The Netherlands, Norway, Poland, Portugal, Spain, Sweden, Switzerland and The United Kingdom) とカナダからなる組織である (加盟国は 2013 年 12 月現在)。その後、中国 (2004 年 4 月, China's Ministry of Science and Technology : MOST)、韓国 (2006 年 6 月, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources : KIGAM)、インド・オーストラリア・ニュージーランド (2009 年 6 月, Australia and New Zealand IODP Consortium: ANZIC)、ブラジル (2012 年 8 月) が参加し、現在では 27 カ国となった。

IODP から掘削船 (もしくは掘削プラットフォームともいう) は 3 船体制となり、米国は引き続き JR 号、日本は地球深部探査船「ちきゅう」、欧州は特定任務掘削船 (Mission Specific Platform: MSP) を提供することになった。JR 号も 2005 年から研究室などの大規模な改装を行い、2009 年 2 月から再び就航した。

一方、「ちきゅう」はマントルなどの大深度掘削を可能とするため科学掘削船として初めてライザー掘削方式を採用した。システムを高度化することにより水深 2500 m (最終目標 4000 m) の海域において、海底下深度 7000 m までの掘削コア採取を目指して建造された。本船の建造では、1993 年 5 月に「深海掘削船システム技術研究会」を発足し、基本設計仕様を取りまとめた。そして、1999 年 8 月に、これを「地球深部探査船建造技術委員会」に改組して、設計・建造仕様及び技術的重要事項が審議された。2000 年 3 月には地球深部探査船の建造契約が締結され、三井造船および

三菱重工業で建造された、「ちきゅう」建造の費用の総額は2005年の購入品を含め約600億円で、2002年1月に命名・進水式が行われ、2003年9月には掘削用の櫓が搭載され、2005年7月に完成した（「文部科学省資料、1. 地球深部探査船に関する取組みについて」より；高川、1997）。

以前のIODPの運営体制では、政府レベル参加機関のリードエージェンシーと参加国・機関の2つに区分されていた。リードエージェンシーは、掘削船を提供し、運用経費を等分に負担しIODPを主導する。参加国・機関は、計画に参加し分担金を納め参画する国・機関である。また、国際事務局機能を担う中央管理組織（IODP国際計画管理法人、IODP-Management International, Inc.：IODP-MI）が2003年2月に設立された（木下・山川、2003）。本組織はIODP参加各国の参加分担金を基に、本部が米国ワシントンD.C.、研究計画の立案支援部門が札幌（北海道大学内）に設置された。2004年4月からIODP年間事業計画の策定、研究計画の検討支援、IODP研究航海の実施に向けた各掘削船の予定の調整など、重要な管理業務が開始された。2009年5月からは末廣潔氏（当時、独立行政法人海洋研究開発機構・理事）が代表に就任し、IODP-MI全業務の統括責任者となった。当初、ワシントンD.C.および札幌に事務所が設置されていたが、オフィス統合により2009年11月に東京海洋大学・越中島キャンパス内に一般社団法人としてIODP-MI日本法人を設立した。

## 5. 高知コアセンターの設立

IODPの開始に伴い、深海掘削計画で採取されたコア試料を保存するため、高知にコアを収蔵する施設も設立された。このセンターは、2000年4月に高知大学の学内共同教育研究施設（旧名称：海洋コア研究センター）として設立され、2003年（平成15年）4月に全国共同利用研究施設に改組・拡充された。これに伴い高知大学物部キャンパス内に新たな研究施設が建設され、高知大学海洋コア総合研究センターとなった。2004年4月、独立行政法人海洋研究開発機構との共同運営が開始さ

れ、2005年10月には「独立行政法人海洋研究開発機構高知コア研究所」が発足した。2006年6月に施設の共通名称を「高知コアセンター（Kochi Core Center, KU/JAMSTEC）」とし、高知大学と海洋研究開発機構が共同で運営している。2007年9月に深海掘削計画におけるコア保管施設の世界3大拠点（米国のテキサスコア保管庫、ドイツのブレーメンコア保管庫、日本の高知コアセンター）として本格的な活動を開始した（安田、2003）。

高知コアセンターは「ちきゅう」により採取されたコアのみならず、DSDP/ODPやIODPにより外国の船によって採取されたコアの保存・研究施設としても運用されている。特に、IODPおよびIODPにおける、西太平洋に分布する海溝以西およびインド洋から得られたコア試料は優先的に高知コアセンターに保管されている。この施設には、最先端の分析機器群と掘削コア試料を保管する大型冷蔵・冷凍庫があり、コア試料を用いた基礎解析も行うことができる。そのため、分析機器の維持管理、先端的研究技術の開発、掘削科学に携わる人材の育成にも貢献することも重要な役割として行っている。これらの活動により高知コアセンターは、コア研究の推進を行う中核的な研究拠点として世界的な評価も高い。

## 6. 日本地球掘削科学コンソーシアム（Japan Drilling Earth Science Consortium：J-DESC）の設立

我が国は、IODPの枠組みの中で「ちきゅう」を提供し、深海掘削研究に重要な役割を果たす責務を負っている。その活動を支える組織として2003年2月22日に日本地球掘削科学コンソーシアム（Japan Drilling Earth Science Consortium：J-DESC）が設立された。本組織は、地球掘削科学の科学推進や各組織・研究者の連携強化を目的として大学や国立研究機関が中心となって設立された。2014年1月現在、正会員55機関、賛助会員14企業が加盟している。J-DESCは、IODPを推進するIODP部会と国際陸上科学掘削計画（ICDP）をはじめとする陸上掘削科学を推進する陸上掘削

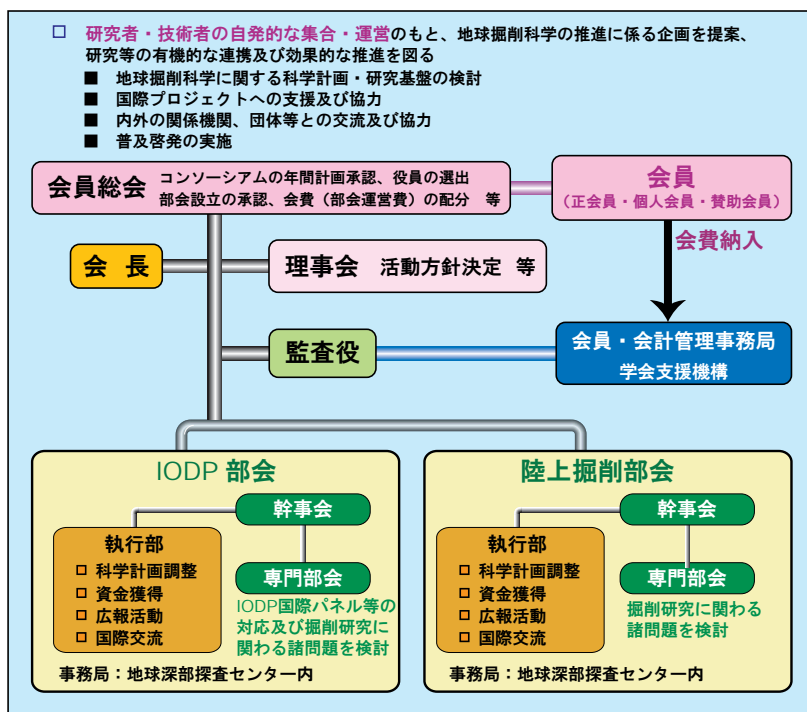


図3 日本地球掘削科学コンソーシアム(J-DESC)の組織図。

部会から構成される(図3)。会長には、久城育夫(海洋研究開発機構, 2003-2004), 石原舜三(産業技術総合研究所, 2004-2006), 斎藤靖二(神奈川県立生命の星・地球博物館, 2007-2010), 藤井敏嗣(東京大学, 2011-2012), 木下肇(海洋研究開発機構, 2013以降)が就任した。

IODP部会では、IODPの円滑な推進のため、IODP関連の各種パネル・委員会のフォローアップ、国際委員の選出、科学掘削提案への支援と提言、IODP航海の乗船研究者の推薦、IODPの啓発と研究成果の公開などを目的とし、専門部会とワーキンググループを設置してきた。現在、掘削航海専門部会、事前調査検討専門部会、科学計測専門部会、環境保護安全専門部会が活動を行っている。なお、上記のほか、科学推進専門部会、掘削研究専門部会、技術開発推進専門部会、孔内計測ワーキンググループ、古生物ワーキンググループ、非破壊計測ワーキンググループ、情報システムワーキンググループがこれまで活動を行った。

さらにJ-DESCでは、将来の地球科学の担い手、即戦力となる大学院生やその他の地球科学研究者、一般の方々を対象に様々な教育・普及活動を行っている。代的なものがJ-DESCのコアスクールで、コア解析のための講習会である。コア解析基礎コース、コア同位体分析コース、微化石コース、最新非破壊解析TATSCANコース、古地磁気コース、ロギング基礎コース、岩石コア記載技術コースの7コースとICDPが主催するICDPドリリングコースがある。これ以外に、J-DESCレクチャー(講演会や講師派遣)、IODPキャンペーン(IODPの普及を目的とした講演会)、IODP成果報告会(IODPの成果の報告会)、出版物の発行などを行っている。

これまで研究者による研究提案は活発に行われており、国内におけるIODP推進体制は十分に機能していると評価されている。さらに研究活動を活性化させるためには、「ちきゅう」における大規模プロジェクトの提案、若手研究者の挑戦的研究



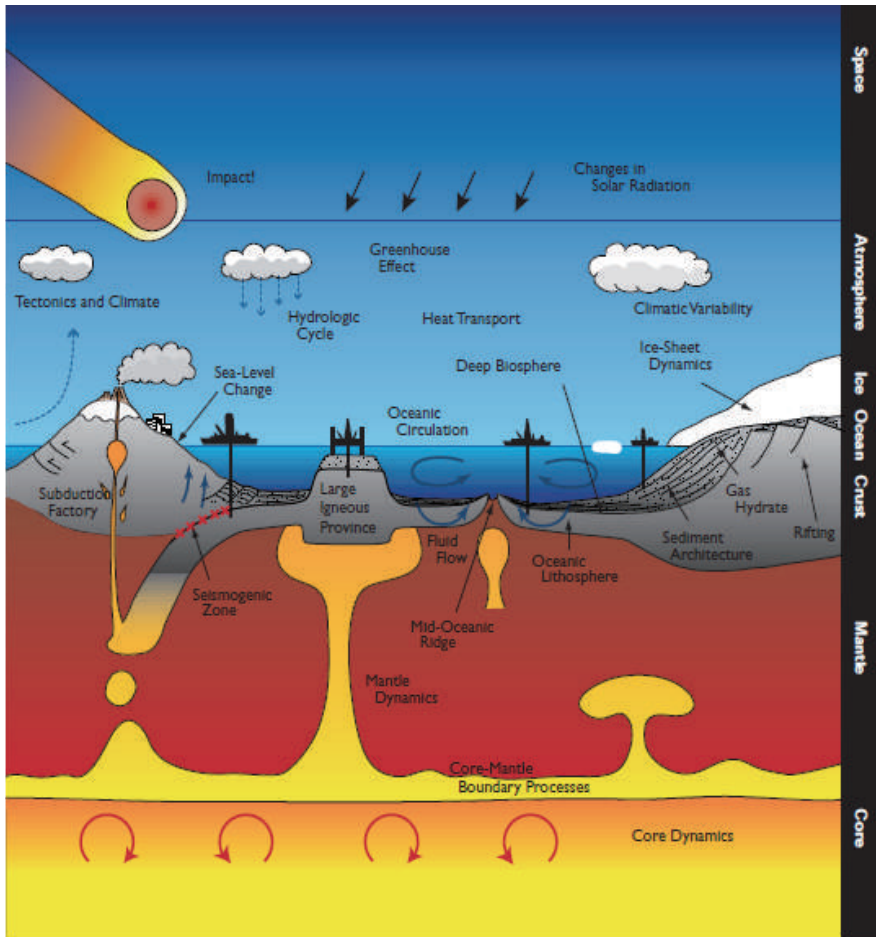


図4 IODP初期科学計画 (Initial Science Plan: ISP) の概念図。

の提案支援、関連分野との連携強化などの支援・推進をオールジャパン体制で行っていくことが重要であり、そのために引き続き重要な役割を担うのがJ-DESCである。

## 7. 第1期のIODPの科学計画

IODPでは初期10年間(2003年から2013年)を対象としてIODP初期科学計画(Initial Science Plan: ISP)が設定された。ISPには、1)地球環境変動解明、2)地球内部構造解明、3)地殻内生命探求の3つを主要なテーマとし、8つの重点研究、1)地球環境変動の内的要因、2)地球環境変動の外的要因、3)地球システム内の相互作用、4)巨大海台・海洋地殻・大陸縁の形成と進化の解明、

5)地球内部物質循環と大陸地殻・マンツルの進化の解明、6)地震発生帯の包括的理解、7)地下生物圏の探査、8)ガスハイドレートの分布と性質の解明、が掲げられている(図4, Integrated Ocean Drilling Program (IODP) Planning Sub-Committee (IPSC), Scientific Planning Working Group, 2001; 末廣ほか, 2003)。これらは、全地球システム変動の実態を明らかにし、サブシステム間の相互作用を理解することで、これらの変動の根本的な原因を追究するのが目的である。

日本でもIODP国内科学掘削推進委員会において科学計画を検討して、1)マンツル活動と地球システム変動、2)地殻活動と地球システム変動、3)沈み込み帯のダイナミクス・物質循環と地球シス

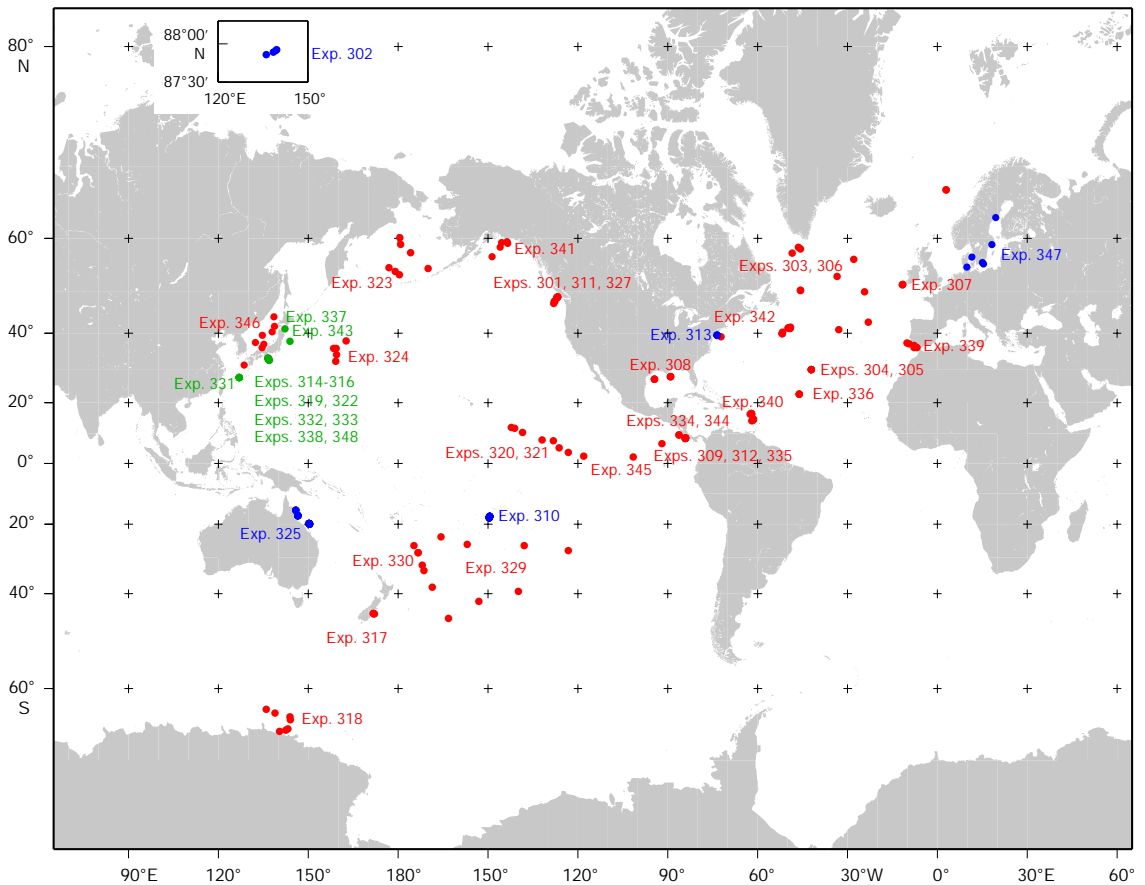


図5 統合国際深海掘削計画の全掘削航海とその掘削地点。緑が地球深部探査船「ちきゅう」、赤がJOIDES Resolution号、青が特定任務掘削船 (Mission Specific Platform: MSP) を示す。

テム変動、4) 長期孔内計測、5) 地下生物圏研究の戦略、の5つを重点的に取り組むべき課題とした (IODP 国内科学掘削推進委員会、2002; 日本地球掘削科学コンソーシアム IODP 国内科学計画委員会、2004)。

## 8. 第1期 IODP の成果 (JR および MSP の成果)

第1期 (2003年から2013年、Expedition 301から348まで)の掘削航海では、29航海がJR号、「ちきゅう」によるものが11航海、MSPによるものが5航海行われた (図5、表2)。このうちExpeditions 302 (Arctic Coring Expedition), 310 (Tahiti

Sea Level), 313 (New Jersey Shallow Shelf), 325 (Great Barrier Reef) の4航海がECORD主導で行われた。「ちきゅう」航海に関しては、Expeditions 314/315/316, 319, 322, 332, 333, 338, 348の航海は南海トラフの掘削、Expedition 331 (Deep Hot Biosphere, Okinawa), 337 (Shimokita), 343/343T (Japan Trench Fast Drilling: JFAST) はそれ以外の海域での掘削航海となっている。

IODPでは、従来の方式で掘削を行う米国のJR号とは別に、ライザー掘削によって深部掘削まで行う「ちきゅう」、浅海や氷海などの特殊な条件下の掘削に使用される欧州のMSPの3船が運用されている。それらは特性に合わせて航海を分担し、

表2 統合国際深海掘削計画 (IODP) における掘削航海の一覧と、我が国の研究者の乗船者数。

航海番号・タイトル	掘削船	航海期間	日本からのCo-chief	乗船者数	
301	Juan de Fuca Hydrogeology	JOIDES Resolution	2004.3-5	浦辺徹郎(東京大学)	8
302	Arctic Coring Expedition	特定任務掘削船	2004.8-9	-	8
303	North Atlantic Climate 1	JOIDES Resolution	2004.9-11	佐藤時幸(秋田大学)	9
304	Ocean Core Complex 1	JOIDES Resolution	2004.11-2005.1	-	5
305	Ocean Core Complex 2	JOIDES Resolution	2005.1-2005.3	小原泰彦(海上保安庁)	8
306	North Atlantic Climate 2	JOIDES Resolution	2004.3-4	金松敏也(JAMSTEC)	8
307	Porcupine Basin	JOIDES Resolution	2005.4-5	狩野彰宏(広島大学)	7
308	Gulf of Mexico Hydrogeology	JOIDES Resolution	2005.5-7	-	6
309	Superfast Spreading Rate Crust 2	JOIDES Resolution	2005.7-8	海野 進(静岡大学)	5
310	Tahiti Sea Level	特定任務掘削船	2005.10-11	井龍康文(東北大学)	9
311	Cascadia Margin Gas Hydrates	JOIDES Resolution	2005.8-10	-	7
312	Superfast Spreading Rate Crust 3	JOIDES Resolution	2005.10-12	宮下純夫(新潟大学)	8
313	New Jersey Shallow Shelf	特定任務掘削船	2009.5-7	-	4
314	NanTroSEIZE Stage 1 LWD	地球深部探査船「ちきゅう」	2007.9-11	木下正高(JAMSTEC)	5
315	NanTroSEIZE Stage 1 Megasplay	地球深部探査船「ちきゅう」	2007.11-12	芦 寿一郎(東京大学)	8
316	NanTroSEIZE Stage 1 Thrusts	地球深部探査船「ちきゅう」	2007.12-2008.2	木村 学(東京大学)	8
317	Canterbury Basin Sea Level	JOIDES Resolution	2009.11-2010.1	保柳康一(信州大学)	8
318	Wilkes Land Glacial History	JOIDES Resolution	2010.1-3	-	7
319	NanTroSEIZE Stage 2 Observatory 1	地球深部探査船「ちきゅう」	2009.5-8	荒木英一郎(JAMSTEC)	8
320	Pacific Equatorial Age Transect 1	JOIDES Resolution	2009.3-5	西 弘嗣(北海道大学)	7
321	Pacific Equatorial Age Transect 2	JOIDES Resolution	2009.5-6	-	9
322	NanTroSEIZE Stage 2 Subduction Input	地球深部探査船「ちきゅう」	2009.8-9	齋藤実篤(JAMSTEC)	8
323	Bering Sea Paleooceanography	JOIDES Resolution	2009.7-9	高橋孝三(九州大学)	8
324	Shatsky Rise Formation	JOIDES Resolution	2009.9-11	佐野貴司(国立科学博物館)	8
325	Great Barrier Reef Environmental Changes	特定任務掘削船	2010.2-4	横山祐典(東京大学)	8
327	Juan de Fuca Hydrogeology 2	JOIDES Resolution	2010.7-9	辻 健(京都大学)	3
329	South Pacific Gyre Microbiology	JOIDES Resolution	2010.10-12	稲垣史生(JAMSTEC)	8
330	Louisville Seamount Trail	JOIDES Resolution	2010.12-2011.2	山崎俊嗣(産業技術総合研究所)	8
331	DEEP HOT BIOSPHERE	地球深部探査船「ちきゅう」	2010.9-10	高井 研(JAMSTEC)	8
332	NanTroSEIZE Stage 2 Riserless Observatory-2	地球深部探査船「ちきゅう」	2010.10-2010.12	荒木英一郎(JAMSTEC)	3
333	NanTroSEIZE Stage 2 Input Coring 2 & Heat Flow	地球深部探査船「ちきゅう」	2010.12-2012.1	金松敏也(JAMSTEC)	8
334	Costa Rica Seismogenesis Project	JOIDES Resolution	2011.3-4	氏家恒太郎(筑波大学)	8
335	Superfast Spreading Rate Crust 4	JOIDES Resolution	2011.4-6	-	8
336	Mid-Atlantic Ridge Microbiology	JOIDES Resolution	2011.9-11	-	4
337	Deep Coalbed Biosphere off Shimokita	地球深部探査船「ちきゅう」	2012.7-8	稲垣史生(JAMSTEC)	9
338	NanTroSEIZE Stage 3 Plate Boundary Deep Riser-2	地球深部探査船「ちきゅう」	2012.10-2013.1	金川久一(千葉大学)	8
339	Mediterranean Outflow	JOIDES Resolution	2011.11-2012.1	-	6
340	Lesser Antilles Volcanism and Landslides	JOIDES Resolution	2012.3-4	石塚 治(産業技術総合研究所)	8
342	Newfoundland Paleogene Sediment Drifts	JOIDES Resolution	2012.6-8	-	7
343	Japan Trench Fast Drilling Project	地球深部探査船「ちきゅう」	2012.4-5	Mori, Jim(京都大学)	9
344	Costa Rica Seismogenesis Project 2	JOIDES Resolution	2012.10-12	坂口有人(JAMSTEC)	8
345	Hess Deep Plutonic Crust	JOIDES Resolution	2012.12-2013.2	-	8
341	Alaska Tectonics, Climate and Sedimentation	JOIDES Resolution	2013.5-7	-	8
346	Asian Monsoon	JOIDES Resolution	2013.8-9	多田隆治(東京大学)	8
347	Baltic Sea Paleoenvironment	特定任務掘削船	2013.9-11	-	2
348	NanTroSEIZE Stage 3 Plate Boundary Deep Riser-3	地球深部探査船「ちきゅう」	2013.8-2014.1	廣瀬文洋(JAMSTEC)	8
				合計	331

掘削の成果は従来よりも幅広い範囲に及んだ。「ちきゅう」の航海への日本人の乗船者は82名、共同主席研究者は11名、MSP航海の日本人の乗船者は32名、共同主席研究者は2名であった。

米国のJR号航海では、ニュージーランド・カンタベリー堆積盆地における海水準変動の解明、赤道太平洋やベーリング海における古海洋環境変動の解明、南太平洋環流域や北大西洋中央海嶺における地下生命圏の解明など、多くの研究成果が

得られた(本論文集を参照)。欧州のMSPを用いた航海は、北極海で初めて掘削を行った。さらに、タヒチやニュージーランド沖において海水準変動の解明、グレートバリアリーフでは環境変動の解明に関する研究を行った。JR号やMSPにより得られた研究成果は、微化石、古地磁気、岩石学、地球化学など様々な分野にわたり非常に多彩な成果となっている。JRの研究航海には総計210名(うち18名が共同主席研究者)の日本人研究者

が参加し、我が国の掘削科学コミュニティの能力向上に大進展するとともに世界の掘削科学の進展にも大きく貢献した。これら以外の IODP の成果の詳細に関しては、本特集号の各論文を参照していただきたい。

## 9. 第 1 期 IODP の成果（「ちきゅう」の成果）

「ちきゅう」の研究航海に関しては、南海トラフ地震発生帯の掘削、東北地方太平洋沖地震調査の掘削 (Japan Trench Fast Drilling Project, JFAST)、沖縄熱水海底下生命圏の掘削、下北八戸沖石炭層生命圏の掘削が実施された。南海トラフでは、東南南海地震（海溝型巨大地震）の想定震源域において掘削を行い、プレート境界浅部、巨大分岐断層浅部、付加体などから地質試料を採取することに成功した。コア試料の中に 1944 年東南南海地震に活動した断層を見出し、断層部分の摩擦特性の変化の把握に成功した。さらに「ちきゅう」によって設置された長期孔内観測装置が地震・津波観測監視システム (DONET) に接続され、想定震源地に近い場所でのモニタリングが可能となった。

沖縄トラフでは、海底下生命圏の実態と海底熱水鉱床の形成過程の解明を目的とし、伊平屋北熱水活動域の海底熱水噴出口周辺を掘削した。この掘削では、海底下の熱水滞留帯の物理化学的な分析を行い、熱水域で活動する微生物は水温約 150 度を境に活動領域が限られることを発見した。また、採取されたコア試料の中に熱水によって生成された金属硫化物がみられた。実際に海底下の熱水帯で黒鉱鉱床のような資源が生成されている現場が確認されたのは初めてである。

下北八戸沖ではライザー掘削により、海底下 2466 m の石炭層までの掘削とコア試料の回収に成功し、当時の海洋科学掘削の世界最深記録 (2111 m) を 19 年ぶりに更新した。これまで海底下にはバクテリアが優先的に存在すると考えられていたが、ここでは古細菌（アーキア）が地下生命圏として大量に存在していることが確認された。

JFAST (Japan Trench Fast Drilling Project) 航海は 2011 年 3 月に発生した東日本大震災の震源域に

あたる海溝軸周辺を掘削し、断層滑りメカニズムを解明することを目的とした。この航海は世界で初めて海溝型地震発生後の早期段階での海底下断層部の掘削となった。この航海では水深 6889.5 m の海底に設けられた孔口装置に 55 台の温度計群を挿入して設置し、そして後日回収を行った。その結果、震災を引き起こした断層の摩擦熱を直接計測することに成功し、技術的にも日本の操船能力の高さを示した。さらに、この航海では海底からプレート境界に到達する海底下 850.5 m までの掘削と孔内検層が行われ、海底下 648 m ~ 844.5 m の区間で断層を含む地質試料が採取された。その結果、これまで地震性滑りが発生しないと考えられていた海溝軸付近の断層でも歪エネルギーが蓄積し大きな滑りが発生する可能性があることが明らかとなった。

これら「ちきゅう」航海の成果は、社会の注目が高かったということもあり、航海の成果報告書 (Preliminary Reports や Proceeding) や学術雑誌での論文として素早く出版された。また、その成果内容の詳細については、本特集号を参照していただきたい。第 1 期の「ちきゅう」の研究航海の成果として多くの科学的知見が明らかにされた。次期 IODP においても伊豆・小笠原・マリアナ島弧、コスタリカ沖などを対象とした科学掘削が計画されている。

## 10. 新 IODP (国際深海科学掘削計画) への移行について

これまで、日本と米国が主導し、地球深部探査船「ちきゅう」及び欧米の掘削船を用いて実施してきた IODP は、10 年間の計画期間を満了し、新たな計画となる国際深海科学掘削計画 (International Ocean Discovery Program : IODP) へと移行した。2013 年 10 月から 2023 年 9 月までの新しい枠組みでも引き続き国際的に合意された科学計画に基づき、国際的な科学者・技術者の協働によって海洋掘削を継続する予定である。しかし、各国からの分担金で運営されてきた中央管理組織の合理化、国際資金の収集・配分制度の廃止、科学諮問

組織の見直し、など組織運営面での改正が行われた。そのため、3つの掘削船は各組織（日本、米国、欧州）の資金により独自に運営され、参加各国は基本的に各運営機関に分担金を納め各航海に参加することになった。

米国における深海掘削計画の資金の継続に関しては、NSFによる資金の打ち切りが度々危惧されてきた。しかし、2013年からの5年間は250億円の運航費が確保され、参加国の約9億円と合わせて4航海の運行資金に充て、掘削航海が無事実施できる見込みとなった。このような運行資金不足の問題は、各国とも抱えており対局では世界の経済ともリンクしているため、今後も問題となるかもしれない。

## 11. 2013年以降の新しい科学目標

IODPでは、科学目標はScience Planとして示され国際的に共有されている。これまでのIODPのScience Planには、1)地球環境変動、2)地球内部構造、3)地殻内生命探求、3大テーマが重要な柱とされてきた。IODPの新しい段階においても新たな科学目標が必要とされたため、2009年9月にドイツのブレーメン大学において2013年10月以降の次期IODPにおける新たな科学目標(New Science Plan: NSP)の議論を行うための次期科学目標検討会議(IODP New Ventures in Exploring Scientific Targets: INVEST)が開催された。この会議に先立ち、我が国でもINVEST国内運営委員会を組織し、テーマ別ワークショップや分野横断会議を開催し、その成果は2009年秋に日本版INVEST白書としてまとめられ、月刊地球「IODPの将来のテーマー第二期にむけた日本語版白書より」(vol. 32 No. 2)として出版した(川幡ほか、2010)。INVEST会議には世界21ヶ国から約600名の科学者が参加し、日本人の参加者も100人を越えた。この会議では現行IODPのISPに対する取組状況や研究者コミュニティの意見も踏まえて、次期IODPにおける科学計画の策定作業が行われた。INVEST運営委員会やNSPの執筆委員会委員に日本人研究者を推薦した。そして、日本人

委員も活躍し、我が国からの意見も十分に反映された(稲垣・多田、2010)。

会議の結果、平成23年6月に4つの科学研究テーマ、

- 1) 気候・海洋変動 (Climate and Ocean Change) ～過去を読み解き、未来を語る～、
  - 2) 生命圏フロンティア (Biosphere Frontiers) ～深部生命、生物多様性、生態系の環境影響力～、
  - 3) 地球活動の関連性 (Earth Connections) ～地球深部の活動とその表層環境への影響～、
  - 4) 変動する地球 (Earth in Motion) ～人間活動の時間スケールにおける地球変動プロセスと災害～、
- を定めた「Illuminating Earth's Past, Present, and Future. The International Ocean Discovery Program, Exploring the Earth Under the Sea, Science Plan for 2013 – 2023」が策定され、公表された。

さらに、14の研究課題については、1)では、二酸化炭素濃度上昇の地球気候システムへの影響の解明、地球温暖化の氷床と海水準への影響の解明、地域的な水循環変動の把握、海洋の化学的変動に対する海洋生態系の変動の理解、2)では、生命の起源や進化、地球規模の重要性の理解、海底下生命圏の限界の探求、地球環境変動に対する海底下微生物生態系および生物多様性・進化の感度の把握、3)では、上部マントルの組成・構造・ダイナミクスの解明、海洋地殻と海水の物質循環のメカニズム・規模・歴史の把握、沈み込み帯の形成、そこでの揮発性物質の循環、及び、大陸地殻の創造の総合的理解、4)では、巨大地震・地すべり・津波発生メカニズムの解明、海底下の炭素循環および炭素シンクを支配する特性およびプロセスの解明、海底下地質構・熱・生物地球化学的プロセスと流体との関係の理解、もあわせて設定された(図6、独立行政法人海洋研究開発機構深海掘削検討会、2012)。

次期IODPの目標も、人類が直面している自然環境や生物多様性などの問題解決の糸口となる課題がテーマとなっており、社会からの要請を強く意識した内容となっている。これらの科学目標に取り組むことは、我が国の資源開発などの科学

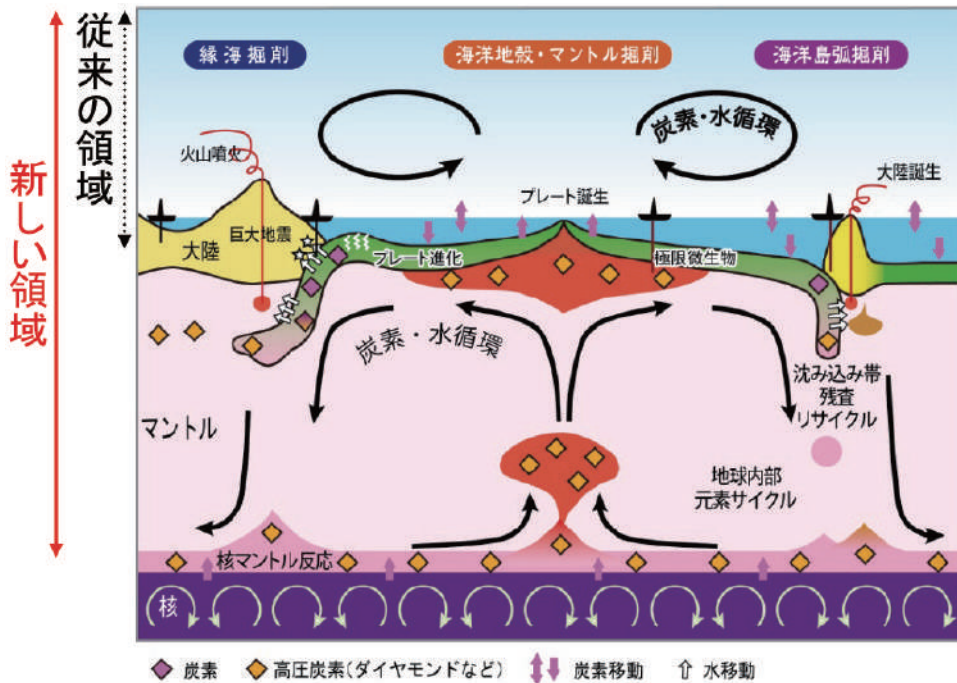


図6 我が国が掲げる新しいIODPにおける「ちきゅう」による掘削科学の概念図(独立行政法人海洋研究開発機構深海掘削検討会, 2012).

技術の発展に対する寄与するとともに、OD21に始まった我が国の国際的リーダーシップの継続にも重要であり、深海掘削計画の分野を主導する意義は大きい。

## 12. CHIKYU+10 国際ワークショップ

Science Plan が改訂されたのに伴い、地球深部探査船「ちきゅう」が行うべき科学目標を再整理し、新たな掘削計画を検討する必要が出てきた。そこで、2013年4月21日～23日に「CHIKYU+10 International Workshop」が一橋大学一橋講堂で開催された。この会議では、世界21カ国から、397人(国内が261人、海外から136人)の参加を得て、既に掘削が検討されている掘削提案とこれから行うべき掘削に関するアイデアも募集された。CHIKYU+10では、Active Faults(地震帯)、Earth's Mantle(マントル掘削)、Deep Life(地下生命圏)、Continent Formation(海洋・大陸地殻の形成)、Sedi-

ment Secrets(堆積物、古環境、大量絶滅)の5つのテーマが掲げられ、今後、「ちきゅう」が挑戦していくべき重要な科学テーマに関して活発な議論がなされた。最終的に報告書でも、

- 1) 地震断層研究(Dynamic Fault Behavior),
- 2) マントル研究(Ocean Crust and Earth's Mantle),
- 3) 地下生命圏研究(Deep Life and Hydrothermal Systems),
- 4) 大陸形成研究(Continental Formation),
- 5) 堆積物研究(Sediment Secrets)

のテーマに集約された。掘削対象の地域としては、1)の関連では南海トラフ、コストリカ沖、ヒクランギ(ニュージーランド沖)、日本海溝、関東沖(関東アスペリティとよばれる)などがあげられている。2)ではハワイ沖、東太平洋海膨、4)では伊豆・小笠原地域、5)では地中海、南太平洋の海盆、太平洋の海山などが候補として挙げられ、対象地として、Lord Howe Rise, Challenger Plateau,

South China Sea などが候補となった。CHIKYU+10 で議論された候補地は国際的に「ちきゅう」を用いる具体的な科学掘削提案となることが期待されている。

### 13. 今後の科学掘削の課題と社会的な要請

我が国は IODP に地球深部探査船「ちきゅう」を IODP に提供し運用していることから、その科学成果に対して国民からも注目されている。そのため、次期 IODP の計画の期間中に新たな科学目標に対して国内の研究者間でも十分に議論され、2010年に月刊地球「IODPの将来のテーマ第二期にむけた日本語版白書より」(2010年, Vol. 32 No. 2)にまとめた。さらに、2012年には深海掘削検討会が組織され、2013年以降の新計画でどのような科学目標を重点として目指すかの指針がまとめられ、「深海掘削による生命・地球科学の新しいパラダイムを求めて」として公表された(独立行政法人海洋研究開発機構深海掘削検討会, 2012)。この両報告書には日本が目指すべき科学目標の方向性が明確に総括されている。これらの指針は、新しい Science Plan である「Illuminating Earth's Past, Present, and Future」に掲げられた科学目標とも一致し、さらに CHIKYU+10 によって具体化された掘削目標も国際的に目指すべき方向とされている。

一方、深海掘削計画のような大型研究は、多額の資金を使うため社会の要請に応えたものでなくてはならない。特に、我が国が抱える大きな問題として、異常気象・地震・津波などの自然災害に対する防災対策とエネルギー確保のための資源確保の問題が挙げられる。深海掘削計画および地球深部探査船「ちきゅう」はこれらの問題に対して成果をだしつつある。たとえば、南海トラフや東北日本沖の地震帯の掘削は海溝型巨大地震発生のメカニズムの解明を目指したもので、今後の防災対策に対して大きな貢献となった。特に、東日本大震災後の震源断層の掘削は社会的な要請に応えたものといってよい。また、実際に熱水鉱床が形成されつつある沖縄トラフの掘削は鉱床の成因論

の解明に迫るものであった。また、IODP の枠組みではなかったが「ちきゅう」は渥美半島～志摩半島沖(第二渥美海丘)で約6日間(2013年3月12日-18日)にわたりメタンハイドレート分解によるガス生産実験を実施し、メタンハイドレートの生産状況や周辺環境への影響の把握など、将来のメタンハイドレートの実用化に向けた貴重なデータが得られた。今後も地震発生帯や資源関連に関する掘削は重要な科学目標として、Science Plan だけでなく日本が最優先で取り組むべき課題にも挙げられている。

### 14. IODP の夢と学術的な目標

OD21 に起源をもつ日本の IODP の根源的な目的の一つは、大深度掘削を行い、マントルを含む全地球システムの解明を目指すことにある。そのため「マントル掘削」は、最重要の科学目標である。本来、深海掘削計画はモホ面下の岩石を取りたいという動機から発生した。1961年の CUSS 1 の掘削から半世紀たった現在、我が国が「ちきゅう」を提供することでやっと実現可能な段階にきたといえる。20世紀に人類は月に着陸し、宇宙探査船は太陽系内あるいは外にも駆け回るような段階に達しているが、21世紀になっても深海や地殻の中には自由に行くことができず、海底下は宇宙よりも近くて遠い“最後の開拓地”となっている。

同時に地下生命圏の理解は、固体地球と生命圏のかかわりを理解するだけでなく、人類の永遠のテーマである「生命の起源を探る」という目標にもつながる。また、プレートによって運び込まれた二酸化炭素や水の循環にも地下生命圏が関与していると考えられている。表層と地殻・マントル間の物質循環システムに果たした地下生命圏の役割を解明できれば、新しいパラダイムの創出にもつながると期待される。

我が国独自の科学計画としては、破局噴火などにつながる巨大噴火の実態解明がある(前野, 2010)。同時に地震や火山に伴う巨大海底地滑りの問題も大きな問題である。特に、巨大カルデラを形成するような巨大噴火は文明を一瞬にして崩

壊させるだけでなく、インドネシアのトバ火山やタンボラ火山にみられるような気候変動ももたらす(石, 2012)。南九州の鬼界カルデラの噴火は縄文文明の崩壊を引き起こしたと考えられている(梅原・伊藤, 1994)。地震や津波だけでなく、火山噴火に関しては我が国の研究成果は蓄積されており、海底下の巨大カルデラの掘削は我が国がリードできる有力な分野である。

気候変動もやはり重要な科学目標の一つである。近年、中東で積雪が起こるなど異常気象が頻発し、温暖化の影響と考えられるが根本的な原因に関しては議論が続いている。深海掘削計画はDSDP以来、環境変動を重要なテーマとして取り扱ってきた。特に、MSPを使用した人類期の気候変動の解明、JR号を用いたモンスーンやエルニーニョの変動解明をさらに進め、シミュレーションと共同で、人類期の未来予測の高度化を計る必要がある。さらに、長期の未来予測も重要で、白亜紀や古第三紀における極限温暖化地球の環境復元は、温暖化が進行した将来の地球環境の変化を明らかにし、実際に生じる経済損失の評価に使用できる。現在の気候変動のスピードは従来の変化に比べて著しく速いということが指摘されているが、白亜紀といえども遠い未来の出来事ではないかもしれない。

## 15. おわりに

2013年以降の第2期においても、地球科学において深海掘削の重要性はますます増加している。地球深部探査船「ちきゅう」の運用も既に10年が経過し、メタンハイドレートの掘削や東北日本沖の掘削にみられるように掘削の技術レベルが高いことが証明された。今後も、より困難な科学計画に挑戦し、新しい地球・生命科学の探求を目指すことが重要である。我が国の研究者、IODPの関係者も地球深部探査船「ちきゅう」のみならずJR号、MSPという掘削プラットフォームを活用し、国際的な研究成果が提供できるように努力することが求められる。

## 参考文献

- [1] CHIKYU+10 Steering Committee (2013) : CHIKYU+10 International Workshop Report. JAMSTEC, IODP,46pp+Appendix 1-5.
- [2] 独立行政法人海洋研究開発機構深海掘削検討会(2012): 深海掘削による生命・地球科学の新しいパラダイムを求めて. 独立行政法人海洋研究開発機構, 70p.
- [3] 稲垣史生・多田隆司(2010): INVEST国際運営委員会の活動概要ー日本の国際的科学的力について感じたことー. 月刊地球, Vol. 32, No. 2, p. 71-76.
- [4] Integrated Ocean Drilling Program (IODP) Planning Sub-Committee (IPSC), Scientific Planning Working Group (2001): Earth, Ocean and Life. -Scientific investigation of the Earth system using Multiple Drilling Platforms and New Technologies, Integrated Ocean Drilling Program Initial Science Plan, 2003-2013-. International Working Group Support Office, Washington, DC, USA,110pp.
- [5] IODP国内科学掘削推進委員会(2002): 地球システム変動の解明をめざしてーIODPにおける我が国の科学計画. 海洋科学技術センター, 47p.
- [6] 石弘之(2012): 歴史を変えた火山噴火. 刀水書房, 182 p.
- [7] 川幡穂高(2010): IODP, INVEST会議国内報告書. 月刊地球, Vol. 32, No. 2, p. 67-70.
- [8] 小林照明(2003): ライザー掘削とは. 月刊地球号外40号, 深海掘削と新しい地球生命科学ーODPの成果とIODPの展望ー, p. 231-235.
- [9] 木下肇・山川稔(2003): IODPの科学アドバイザー組織. 月刊地球号外40号, 深海掘削と新しい地球生命科学ーODPの成果とIODPの展望ー, p. 182-189.
- [10] 宮崎英剛・許正憲(1997): ライザー掘削について. 月刊地球号外19号, 21世紀の深海掘削への展望, p. 170-176.
- [11] 前野深(2010): 海底カルデラー巨大噴火ジオハザードー. 月刊地球, Vol. 32, No. 2, p. 89-93.
- [12] 日本地球掘削科学コンソーシアムIODP国内科学計画委員会(2004): IODPにおける我が国の科学戦力ー掘削提案の実現に向けてー. (財)地球科学技術総合推進機構, 68p.
- [13] 奈須紀幸(1983): グローマー・チャレンジャー号による深海掘削計画の地学に対する貢献. 地学雑誌, Vol. 92, 461-468.
- [14] 西弘嗣・高嶋礼詩: 新生代の気候変動. 沢田健ほか編著(2008), 地球の変動と生物進化. 北海道大学出版会, 札幌, p.67-96.
- [15] 岡野正・和田泰剛・橋本創(2003): ライザー掘削の安全調査. 月刊地球号外40号, 深海掘削と新しい地球生命科学ーODPの成果とIODPの展望ー, p. 240-244.
- [16] 末廣潔・北里洋・加藤憲二・伊藤久男・多田隆治・巽好幸(2003): IODPの運営体制. 月刊地球号外40号, 深



海掘削と新しい地球生命科学－ODPの成果とIODPの展望－, p. 193-199.

[17] 鈴木宇耕 (2003) : MSPについて. 月刊地球号外 40号, 深海掘削と新しい地球生命科学－ODPの成果とIODPの展望－, p. 236-240.

[18] 平朝彦・末廣潔 (1997) : 総論: 国際深海掘削計画 (ODP) 第2期の成果と第3期の展望－地質記録の解説から地質現象の観測へ－. 月刊地球号外 19号, 21世紀の深海掘削への展望, p. 6-14.

[19] 平朝彦・倉本真一・川村善久・松崎忠男 (2003) : IODPの科学とその推進. 月刊地球号外 40号, 深海掘削と新しい地球生命科学－ODPの成果とIODPの展望－, p. 209-213.

[20] 平朝彦・徐垣・末廣潔・木下肇 (2005) : 地球の内部で何が起きているのか. 光文社新書, 277p, 光文社.

[21] 高川真一 (1997) : OD21 深海科学掘削船とは. 月刊地球号外 19号, 21世紀の深海掘削への展望, p. 163-169.

[22] 高川真一 (2003) : 地球深部探査船「ちきゅう」. 月刊地球号外 40号, 深海掘削と新しい地球生命科学－ODPの成果とIODPの展望－, p. 214-223.

[23] 田中武男・藤岡換太郎・木下肇 (1997) : OD21 の経緯と現状. 月刊地球号外 19号, 21世紀の深海掘削への展望, p. 159-162.

[24] 田中武男 (2003) : IODPの運営体制. 月刊地球号外 40号, 深海掘削と新しい地球生命科学－ODPの成果とIODPの展望－, p. 188-192.

[25] 田中武男 (2000) : 深海地球ドリリング計画 (OD21) と統合国際深海掘削計画 (IODP) . 地質ニュース 546号, no. 546, p. 35-44.

[26] Takashima, R., Nishi, H., Huber, B. and Leckie, M. (2006): Greenhouse world and Mesozoic ocean. *Oceanography*, Vol. 19, p. 64-74.

[27] 徳山英一・岡田尚武・平朝彦・木下肇 (2003) : 総論 : 深海掘削と新しい地球生命科学－ODPの成果とIODPの展望－. 月刊地球号外 40号, 深海掘削と新しい地球生命科学－ODPの成果とIODPの展望－, p. 5-8.

[28] 梅原猛・伊藤俊太郎 (監修) (1994) : 文明と環境Ⅲ火山噴火と環境・文明. 思文閣出版, 214p.

[29] 安田尚登 (2003) : 海洋コアの保管と解析のあり方－新しい研究に対応するために－. 月刊地球号外 40号, 深海掘削と新しい地球生命科学－ODPの成果とIODPの展望－, p. 204-208.

[30] Zachos, J., Pagani, M., Sloan, L., Thomas, E., Billups, K. (2001): Trends, rhythms, and aberrations in global climate 65 Ma to present. *Science* vol. 292, 686-693, doi: 10.1126/science.1059412.

