

科学技術・学術審議会関係法令

1 文部科学省設置法 (抄) (平成11年7月16日法律第96号)

第六条 本省に、科学技術・学術審議会を置く。

第七条 科学技術・学術審議会は、次に掲げる事務をつかさどる。

一 文部科学大臣の諮問に応じて次に掲げる重要事項を調査審議すること。

イ 科学技術の総合的な振興に関する重要事項

ロ 学術の振興に関する重要事項

二 前号イ及びロに掲げる重要事項に関し、文部科学大臣に意見を述べること。

三 文部科学大臣又は関係各大臣の諮問に応じて海洋の開発に関する総合的かつ基本的な事項を調査審議すること。

四 測地学及び政府機関における測地事業計画に関する事項を調査審議すること。

五 前2号に規定する事項に関し、文部科学大臣又は関係各大臣に意見を述べること。

六 技術士法(昭和五十八年法律第二十五号)の規定によりその権限に属させられた事項を処理すること。

2 前項に定めるもののほか、科学技術・学術審議会の組織及び委員その他の職員その他科学技術・学術審議会に関し必要な事項については、政令で定める。

2 科学技術・学術審議会令 (平成11年6月7日政令第279号)

(組織)

第一条 科学技術・学術審議会(以下「審議会」という。)は、委員三十人以内で組織する。

2 審議会に、特別の事項を調査審議させるため必要があるときは、臨時委員を置くことができる。

3 審議会に、専門の事項を調査させるため必要があるときは、専門委員を置くことができる。

(委員等の任命)

第二条 委員は、学識経験のある者のうちから、文部科学大臣が任命する。

2 臨時委員は、当該特別の事項に関し学識経験のある者のうちから、文部科学大臣が任命する。

3 専門委員は、当該専門の事項に関し学識経験のある者のうちから、文部科学大臣が任命する。

(委員の任期等)

第三条 委員の任期は、二年とする。ただし、補欠の委員の任期は、前任者の残任期間とする。

2 委員は、再任されることができる。

3 臨時委員は、その者の任命に係る当該特別の事項に関する調査審議が終了したときは、解任されるものとする。

4 専門委員は、その者の任命に係る当該専門の事項に関する調査が終了したときは、解任されるものとする。

5 委員、臨時委員及び専門委員は、非常勤とする。

(会長)

第四条 審議会に、会長を置き、委員の互選により選任する。

2 会長は、会務を総理し、審議会を代表する。

3 会長に事故があるときは、あらかじめその指名する委員が、その職務を代理する。

(分科会)

第五条 審議会に、次の表の上欄に掲げる分科会を置き、これらの分科会の所掌事務は、審議会の所掌事務のうち、それぞれ同表の下欄に掲げるとおりとする。

名称	所掌事務
研究計画・評価分科会	一 科学技術に関する研究及び開発に関する計画の作成及び推進に関する重要事項を調査審議すること。 二 科学技術に関する研究及び開発の評価に係る基本的な政策の企画及び立案並びに推進に関する重要事項を調査審議すること。 三 科学技術に関する関係行政機関の事務の調整の方針に関する重要事項（前二号に掲げる事務に係るものに限る。）を調査審議すること。
資源調査分科会	資源の総合的利用に関する重要事項（他の府省の所掌に属するものを除く。）を調査審議すること。
学術分科会	学術の振興に関する重要事項を調査審議すること。
海洋開発分科会	海洋の開発に関する総合的かつ基本的な事項を調査審議すること。
測地学分科会	測地学及び政府機関における測地事業計画に関する事項を調査審議すること。
技術士分科会	一 技術士制度に関する重要事項を調査審議すること。 二 技術士法（昭和五十八年法律第二十五号）の規定により審議会の権限に属させられた事項を処理すること。

- 2 前項の表の上欄に掲げる分科会に属すべき委員、臨時委員及び専門委員は、文部科学大臣が指名する。
- 3 分科会に、分科会長を置き、当該分科会に属する委員の互選により選任する。
- 4 分科会長は、当該分科会の事務を掌理する。
- 5 分科会長に事故があるときは、当該分科会に属する委員のうちから分科会長があらかじめ指名する者が、その職務を代理する。
- 6 審議会は、その定めるところにより、分科会の議決をもって審議会の議決とすることができる。

(部会)

第六条 審議会及び分科会は、その定めるところにより、部会を置くことができる。

- 2 部会に属すべき委員、臨時委員及び専門委員は、会長（分科会に置かれる部会にあつては、分科会長）が指名する。
- 3 部会に、部会長を置き、当該部会に属する委員の互選により選任する。
- 4 部会長は、当該部会の事務を掌理する。
- 5 部会長に事故があるときは、当該部会に属する委員のうちから部会長があらかじめ指名する者が、その職務を代理する。
- 6 審議会（分科会に置かれる部会にあつては、分科会。以下この項において同じ。）は、その定めるところにより、部会の議決をもって審議会の議決とすることができる。

(幹事)

第七条 審議会に、幹事を置く。

- 2 幹事は、関係行政機関の職員のうちから、文部科学大臣が任命する。
- 3 幹事は、審議会の所掌事務（学術分科会に係るものを除く。）について、委員、臨時委員及び専門委員を補佐する。
- 4 幹事は、非常勤とする。

(議事)

第八条 審議会は、委員及び議事に関係のある臨時委員の過半数が出席しなければ、会議を開き、議決することができない。

2 審議会の議事は、委員及び議事に関係のある臨時委員で会議に出席したものの過半数で決し、可否同数のときは、会長の決するところによる。

3 前二項の規定は、分科会及び部会の議事について準用する。

(資料の提出等の要求)

第九条 審議会は、その所掌事務を遂行するため必要があると認めるときは、関係行政機関の長に対し、資料の提出、意見の開陳、説明その他必要な協力を求めることができる。

(庶務)

第十条 審議会の庶務は、文部科学省科学技術・学術政策局政策課において総括し、及び処理する。ただし、研究計画・評価分科会に係るものについては文部科学省科学技術・学術政策局企画評価課において、学術分科会に係るものについては文部科学省科学技術・学術政策局政策課において文部科学省研究振興局振興企画課の協力を得て、海洋開発分科会に係るものについては文部科学省研究開発局海洋地球課において、測地学分科会に係るものについては文部科学省研究開発局地震・防災研究課において、技術士分科会に係るものについては文部科学省科学技術・学術政策局人材政策課において処理する。

(雑則)

第十一条 この政令に定めるもののほか、議事の手続その他審議会の運営に関し必要な事項は、会長が審議会に諮って定める。

附 則

この政令は、平成十三年一月六日から施行する。

附 則（平成十五年三月二十八日政令九十八号） 抄

（施行期日）

第一条 この政令は、平成十五年四月一日から施行する。

附 則（平成二五年六月二六日政令第一八九号） 抄

（施行期日）

第一条 この政令は、平成二十五年七月一日から施行する。

科学技術・学術審議会運営規則

(平成13年2月16日 科学技術・学術審議会決定、平成19年2月1日一部改正、平成23年5月31日一部改正、平成25年2月19日一部改正、平成29年3月14日一部改正、平成31年3月13日一部改正、令和2年8月5日一部改正)

(趣旨)

第1条 科学技術・学術審議会（以下「審議会」という。）の議事の手続その他審議会の運営に関し必要な事項は、科学技術・学術審議会令（平成12年政令第279号）に定めるもののほか、この規則の定めるところによる。

(審議会)

第2条 審議会の会議は、会長が招集する。

2 会長は、会議の議長となり、議事を整理する。

(書面による議決)

第3条 会長は、やむを得ない理由により会議を開く余裕がない場合においては、事案の概要を記載した書面を委員に送付し、その意見を徴し、又は賛否を問い、その結果をもって審議会の議決とすることができる。

2 前項の規定により議決を行った場合、会長が次の会議において報告をしなければならない。

(分科会)

第4条 分科会の会議は、分科会長が招集する。

2 分科会長は、会議の議長となり、議事を整理する。

3 会長は、分科会の所掌事務について諮問があったときは、その調査審議を分科会に付託することができる。

4 前項の規定により分科会に付託された事項については、審議会が特に審議会の議決を経る必要がないと認めた場合には、分科会の議決をもって審議会の議決とすることができる。

5 会長は、次の表の左欄に掲げる事項については、その調査審議をそれぞれ同表の右欄に掲げる分科会に付託するものとし、分科会の議決をもって審議会の議決とする。

事 項	分 科 会
文部科学省における研究及び開発に関する評価指針に係る事項	研究計画・評価分科会
我が国の研究機関における地震火山観測計画に係る事項	測地学分科会
科学研究費補助金の配分のための審査及び評価に係る事項	学術分科会
1. 技術士法（昭和58年法律第25号）の規定により審議会の権限に属させられた事項 2. 技術士試験の試験方法及び実施に関する事項 3. 技術士試験の試験科目及び受験資格（試験科目の免除を受ける資格を含む。）に関する事項	技術士分科会

- 6 前2項の規定により分科会の議決をもって審議会の議決としたときは、分科会長は、次の審議会にその内容を報告するものとする。
- 7 前各項に定めるもののほか、分科会の議事の手続その他分科会の運営に関し必要な事項は、分科会長が分科会に諮って定める。

(審議会に置かれる部会)

- 第5条 審議会に置かれる部会（以下「部会」という。）の名称及び所掌事務は、会長が審議会に諮って定める。
- 2 部会の会議は、部会長が招集する。
 - 3 部会長は、会議の議長となり、議事を整理する。
 - 4 部会の所掌事務について諮問があったときは、会長は、その調査審議を当該部会に付託することができる。
 - 5 前項の規定により部会に付託された事項については、審議会が特に審議会の議決を経る必要がないと認めた場合には、部会の議決をもって審議会の議決とすることができる。
 - 6 前項の規定により部会の議決をもって審議会の議決としたときは、部会長は、次の審議会にその内容を報告するものとする。
 - 7 前各項に定めるもののほか、部会の議事の手続その他部会の運営に関し必要な事項は、部会長が部会に諮って定める。

(委員会)

- 第6条 審議会は、その定めるところにより、特定の事項を機動的に調査するため、委員会を置くことができる。
- 2 委員会に属すべき委員、臨時委員及び専門委員（以下「委員等」という。）は、会長が指名する。
 - 3 委員会に主査を置き、当該委員会に属する委員等のうちから会長の指名する者が、これに当たる。
 - 4 主査は、当該委員会の事務を掌理する。
 - 5 委員会の会議は、主査が招集する。
 - 6 主査は、委員会の会議の議長となり、議事を整理する。
 - 7 主査に事故があるときは、当該委員会に属する委員等のうちから主査があらかじめ指名する者が、その職務を代理する。
 - 8 主査は、委員会における調査の経過及び結果を審議会に報告するものとする。
 - 9 前各項に定めるもののほか、委員会の議事の手続その他委員会の運営に関し必要な事項は、主査が委員会に諮って定める。

(会議の公開)

- 第7条 審議会の会議、会議資料は、次に掲げる場合を除き、公開とする。
- 一 会長の選任その他人事に係る案件
 - 二 行政処分に係る案件
 - 三 前2号に掲げるもののほか、個別利害に直結する事項に係る案件、または審議の円滑な実施に影響が生ずるものとして、審議会において非公開とすることが適当であると認める案件

(議事録の公表)

- 第8条 会長は、審議会の会議の議事録を作成し、これを公表するものとする。
- 2 審議会が、前条の各号に掲げる事項について調査審議を行った場合は、会長が審議会の決定を経て当該部分の議事録を非公表とすることができる。

(Web会議システムを利用した会議への出席)

第9条 会長が必要と認めるときは、委員は、Web会議システム（映像と音声の送受信により会議に出席する委員の間で同時かつ双方向に対話をすることができる会議システムをいう。以下同じ。）を利用して会議に出席することができる。

2 Web会議システムを利用した委員の出席は、科学技術・学術審議会令第八条第1項及び第2項の規定による出席に含めるものとする。

3 Web会議システムの利用において、映像のみならず音声を送受信できなくなった場合、当該Web会議システムを利用して出席した委員は、音声を送受信できなくなった時刻から会議を退席したものとみなす。

4 Web会議システムの利用は、可能な限り静寂な個室その他これに類する環境で行わなければならない。

なお、第7条により会議が非公開で行われる場合は、委員以外の者にWeb会議システムを利用させてはならない。

(雑則)

第10条 この規則に定めるもののほか、審議会の議事の手続きその他審議会の運営に関し必要な事項は、会長が審議会に諮って定める。

科学技術・学術審議会海洋開発分科会運営規則

平成 13 年 4 月 9 日海洋開発分科会決定

平成 19 年 3 月 6 日一部改正

令和元年 6 月 6 日一部改正

令和 3 年 5 月 19 日一部改正

第 1 条 科学技術・学術審議会海洋開発分科会（以下「分科会」という。）の議事の手続その他分科会の運営に関し必要な事項は、科学技術・学術審議会令（平成 12 年政令第 279 号。）及び科学技術・学術審議会運営規則に定めるもののほか、この規則の定めるところによる。

第 2 条 分科会長は、やむを得ない理由により会議を開く余裕がない場合においては、事案の概要を記載した書面を委員等に送付し、その意見を徴し、又は賛否を問い、その結果をもって分科会の議決とすることができる。

2 前項の規定により議決を行った場合、分科会長が次の会議において報告をしなければならない。

第 3 条 分科会は、その定めるところにより、特定の事項を機動的に調査するため、委員会を置くことができる。

2 委員会に属すべき委員、臨時委員及び専門委員（以下「委員等」という。）は、分科会長が指名する。

3 委員会に主査を置き、当該委員会に属する委員等のうちから分科会長の指名する者が、これに当たる。

4 主査は、当該委員会の事務を掌理する。

5 委員会の会議は、主査が招集する。

6 主査は、委員会の会議の議長となり、議事を整理する。

7 主査に事故があるときは、当該委員会に属する委員等のうちから主査があらかじめ指名する者が、その職務を代理する。

8 主査は、委員会における調査の経過及び結果を分科会に報告するものとする。

9 前各項に定めるもののほか、委員会の議事の手続その他委員会の運営に関し必要な事項は、主査が委員会に諮って定める。

第 4 条 分科会の会議、会議資料は、次に掲げる場合を除き、公開とする。

一 分科会長の決定その他人事に係る案件

二 行政処分に係る案件

三 前 2 号に掲げるもののほか、個別利害に直結する事項に係る案件、または審議の円滑な実施に影響が生ずるものとして、分科会において非公開とすることが適当であると認める案件

第 5 条 分科会長は、分科会の会議の議事録を作成し、これを公表するものとする。

2 分科会が、前条の各号に掲げる事項について調査審議を行った場合は、分科会長が分

科会の決定を経て当該部分の議事録を非公表とすることができる。

第6条 分科会長は、必要があると認められたときは、学識経験者及び関係行政機関の職員を臨時に出席させることができる。

第7条 分科会長が必要と認めるときは、委員等は、Web 会議システム（映像と音声の送受信により会議に出席する委員等の間で同時かつ双方向に対話をすることができる会議システムをいう。以下同じ。）を利用して会議に出席することができる。

2 Web 会議システムを利用した委員等の出席は、科学技術・学術審議会令第8条第3項の規定による出席に含めるものとする。

3 Web 会議システムの利用において、映像のみならず音声を送受信できなくなった場合、当該 Web 会議システムを利用して出席した委員等は、音声を送受信できなくなった時刻から会議を退席したものとみなす。

4 Web 会議システムの利用は、可能な限り静寂な個室その他これに類する環境で行わなければならない。

なお、第4条により会議が非公開で行われる場合は、委員等以外の者に Web 会議システムを利用させてはならない。

第8条 この規則に定めるもののほか、分科会の議事の手続きその他分科会の運営に関し必要な事項は、分科会長が分科会に諮って定める。

深海地球ドリリング計画 評価報告書

平成 10 年 12 月 7 日

航空・電子等技術審議会

要 約

1. 海洋科学技術センターが提案する深海地球ドリリング計画の評価を行うため、「国の研究開発全般に共通する評価の実施方法の在り方についての大綱的指針」に基づき、航空・電子等技術審議会地球科学技術部会に「深海地球ドリリング計画評価委員会」が設けられた。
2. 本委員会は、提案者から独立した外部の専門家及び専門以外の分野の有識者で構成し、本委員会の要請により各専門分野の国内外のレビュアーに依頼した書面による意見、及び、委員会に招致した専門家の意見を参考のうえ、評価結果を取りまとめた。
3. 本計画について、以下の点について評価委員会としての結論を得た。

(1) 科学技術上の意義

本計画は、国際協力の下で深海底掘削により、現在及び過去の地球と生命に関する研究を進めるもので、広範囲な科学分野に大幅な前進をもたらすことは確実と考えられ、未踏の領域において画期的発見が行われる可能性も持っている。また、地球深部探査船を日本が建造するに当たり、計画提案者が取り組んできた要素技術開発等の成果の活用、外国技術の導入など世界の英知（技術）を集めることにより、自前の技術体系を構築することには大きな意義がある。

(2) 技術的妥当性及び開発の進め方

本計画は技術的に見て極めてチャレンジングな課題であるが、総合的に見て実現可能と判断される。また、水深2,500m級掘削において科学的成果を得つつ運用技術を取得し、その運用データを得て水深4,000m級での運用を目指すステップ・バイ・ステップの取り組み方は妥当である。

(3) 社会的・経済的意義及び緊急性

本計画は、第一義的には人類共通の資産である科学に貢献する意義が大きいですが、その成果は、気候変化のメカニズムの解明や、プレート境界面での巨大地震の発生メカニズムの解明などを通じて、社会が直面する課題の解決にも貢献すると期待される。この観点から本計画は緊急に取り組むべきものである。

(4) 運用体制

本計画が過去長期にわたり成果をあげてきた国際深海掘削計画(ODP)を引き継ぐ統合国際深海掘削計画(IODP)の一環として行われることは、評価の高いODPの国際協力の形態を継承することから、適切かつ有効である。また、その中で日本が地球深部探査船

の建造を分担することは、掘削の成果から日本が受ける科学上の便益が大きいこと等から、妥当なものである。

(5) 研究体制

IODPの二船体制は、科学目標を最大限に達成するための有効な国際的枠組みと認められる。その中で日本が研究成果の面で世界をリードしていくためには、運用とプロジェクト推進の中核となる研究拠点と、多様な発想で掘削試料や計測データから研究成果を生み出す多数の分散した小規模な研究グループとが連携し、相互に牽引しあう研究体制を本船の完成までに整備すべきである。

(6) 費用対効果

科学目的の計画について費用対効果を算定することは困難であり、そのような状態で費用対効果を評価の材料として扱うのは適当でないと考えるが、計画提案者の部分的試算に加え、それ以外の数値化のより困難な効果も含めて敢えて判断すれば、本計画によってもたらされる科学的成果は、地球深部探査船の建造・運用等に投入する費用に比べてより多くの社会的・経済的効果を生み出すと推定される。

(7) 総合的評価

以上の多くの面での検討により、本計画が科学技術上大きな価値を有するものであり、また、その成果は地球環境、災害防止、資源問題など社会的課題にも貢献するものと判断される。よって、本計画を推進することは適当であると認める。その際、効果的な研究体制を整備することが特に重要である。

なお、計画の実施に当たっては、社会へ積極的に情報の提供を行う必要がある。

目次

序文	1
1. 深海地球ドリリング計画評価委員会の設置	2
1.1 深海地球ドリリング計画の経緯	2
1.2 大綱的指針による評価	2
2. 評価の実施体制と方針	4
2.1 評価の実施体制	4
2.2 評価の観点	4
2.3 評価結果の扱い	5
2.4 評価結果等の公開	5
3. 評価内容	6
3.1 本計画についての確認事項	6
3.2 評価結果	10
3.3 検討の経緯及び補足事項	15
(評価委員会について)	
資料1-1 深海地球ドリリング計画評価委員会の設置について	19
資料1-2 深海地球ドリリング計画評価委員会の委員構成等	21
資料1-3 委員会開催経緯	22
(審議資料)	
資料2 深海地球ドリリング計画の概要	25
資料3 計画提案者による計画の自己評価	73
(参考資料)	
資料4 レビューアーの意見	91
資料5 用語集	106

序 文

現在、22カ国の国際協力のもと、米国の科学掘削船ジョイデス・レゾリューション号(JR号)を用いて国際深海掘削計画(ODP)が進められている。「深海地球ドリリング計画」は、このJR号の技術的限界を超える能力を持つ「地球深部探査船」を日本が開発し、それを米国の従来型掘削船と相互補完しつつ国際的に運用し、両船によって得られた掘削コア試料及び掘削孔を利用した地球科学及び生命科学研究を推進しようとするもので、海洋科学技術センターが提唱している。現行ODPは平成15年9月末に終了することとなっているが、それ以降については上記二船体制による統合国際深海掘削計画(IODP)を発足させることが国際的に合意されつつある。

この深海地球ドリリング計画では、平成15年10月よりIODPを発足させるため、平成11年度に地球深部探査船の建造に着手することとしている。その建造着手の是非及び計画全体の進め方について外部の専門家及び有識者による評価を行うため、平成10年7月16日に航空・電子等技術審議会地球科学技術部会において「深海地球ドリリング計画評価委員会」の設置が決定された。それに基づき、本委員会では7月21日以来、5回にわたって審議を重ね、本報告書を取りまとめるに至った。

本委員会においては、本計画が科学的に価値のあるものであり、ひいてはその成果は社会にも還元されるものと判断した。しかし一方、審議の過程において、日本の科学技術にしばしばみられる「ハードは立派だが、それを有効に使いこなすソフトに欠ける」という心配、すなわち掘削で得られた試料やデータを最終的な科学的成果に結び付ける研究体制・人材は大丈夫だろうかとの議論もなされた。

本計画の実施主体である海洋科学技術センターは、本報告書の評価結果を計画に反映させるべく最大限の努力を払うべきであるが、本計画が多くの省庁、大学・試験研究機関、参加各国との協力のもとに進められなければならないことから、関係行政機関においても地球科学技術を総合的に推進する観点から必要な措置が講じられることを要請するものである。

平成10年12月7日

航空・電子等技術審議会地球科学技術部会
深海地球ドリリング計画評価委員会 主査
松野 太郎

1. 深海地球ドリリング計画評価委員会の設置

1.1 深海地球ドリリング計画の経緯

海洋科学技術センター（以下「センター」という）が提案する深海地球ドリリング計画は、以下の3要素から構成されるものである。

- ・ 現行国際深海掘削計画(ODP)で用いられている従来型掘削船の技術的限界を越える能力を持つ、地球深部探査船（ライザー掘削船）及び関連技術を開発する。
- ・ 2003年9月末に終了する国際深海掘削計画(ODP)の後継計画として、日本の地球深部探査船と米国の従来型掘削船（ODP後継船）が相互補完する、二船体制による統合国際深海掘削計画(IODP)を推進する。
- ・ 両船によって得られたコア試料及び掘削孔を用いた地球科学及び生命科学の研究を総合的に推進する。

本計画は、以下の経緯を有し、現在、地球深部探査船の開発に着手できる段階に至っている。

1990年4月	: センターにおいて「海底地層サンプリングシステムの研究」に着手
1990年5月	: 海洋開発審議会第3号答申及び科学技術会議第17号答申において、新しい深海掘削船の開発を含む深海掘削計画を強化すべき旨を答申
1991年5月	: 科学技術庁海洋開発推進懇談会・深海掘削研究会で事前評価を実施
1992年4月	: センターにおいて「深海掘削船システム要素技術の開発研究」を開始
1993年12月	: 海洋開発審議会第4号答申において、将来の深海掘削研究の国際協力に対して、深海掘削船の開発を含めて貢献していくべき旨を答申
1994年6月	: 科学技術庁海洋科学技術研究会・深海掘削研究会で中間評価を実施
1995年4月	: センターにおいて「深海掘削船システム全体システムの研究」を開始
1996年10月	: 「ライザー技術国際ワークショップ」で技術的評価を実施
1997年6月	: 科学技術庁深海掘削懇談会での包括的な評価を実施
1997年7月	: 「ライザー掘削国際会議」で科学的評価を実施
1997年度末	: 「深海掘削船システム全体システムの研究」が終了

1.2 大綱的指針による評価

平成9年8月7日に内閣総理大臣決定された「国の研究開発全般に共通する評価の実施方法の在り方についての大綱的指針」（以下「大綱的指針」という）によると、多額の財政支出を伴う特に大規模かつ重要なプロジェクトについては、評価の客観性・公正さをより高めるため、研究開発を実施する主体から独立したかたちで、外部専門家及びその他の有識者によって構成された組織による評価を実施することが必要とされている。

本計画は、上述のとおり1990年以来各種の評価を経てきたが、必ずしも大綱的指針の

条件のすべてを満たしてはいない。このため、本計画が地球深部探査船の開発着手という大きな節目にさしかかっていることから、改めて大綱的指針に従って評価を行うこととし、航空・電子等技術審議会（科学技術庁長官の諮問機関、以下「航電審」という）の地球科学技術部会の下に「深海地球ドリリング計画評価委員会」が設けられた。

2. 評価の実施体制と方針

大綱的指針及び航電審地球科学技術部会です承された評価の方針（資料1-1）に基づき、評価の実施体制と方針については以下のとおりとした。

2.1 評価の実施体制

評価の客観性・公平さを確保すべく、次のような体制で評価を実施した。

(1) 評価の対象

センターが提案する「深海地球ドリリング計画」とする。

(2) 事務局

本委員会の事務局は、航電審の事務局である科学技術庁研究開発局とする。事務局は本委員会の庶務を執り行うほかは、審議内容に直接関与しないこととする。

(3) 評価委員

評価委員は、専門家と専門家以外の有識者の人数をおおむね均衡させることとし、専門家の選定にあたっては、本計画の推進に直接関与してきた専門家は除外する。この方針に則り、資料1-2 のとおり科学的評価のための専門家2名、技術的評価のための専門家1名、社会的・経済的評価のための有識者3名が選定された。

国民に対するアカウンタビリティ（説明義務）の観点から、本委員会を外部に公開するにあたって、説明者にはできる限り分かりやすい説明を行うよう要請した。また、各委員は評価の範囲をそれぞれの専門分野に限定せず、計画全体について理解し判断するように努めることとした。

(4) レビューアー

本計画が国際協力を前提としたものであること、また、多くの専門分野に関係することから、レビューアーを選定し書面により意見を求めることとした。評価委員の要請により資料1-2 のとおり海外より2名、各分野より4名のレビューアーを選定し書面によりそれぞれの専門分野の観点からの意見を求めた。

(5) 専門家からの意見の聴取

評価委員の要請に基づき資料1-2 のとおり4名の専門家を委員会に招致し、それぞれの専門の立場からの意見を求めた。

(6) 審議過程の公開

審議及び配布資料はすべて外部公開とした（委員会開催経緯は資料1-3）。

2.2 評価の観点

本計画の評価は、

- ・社会的・経済的ニーズに対応したものであるか
- ・特定分野の実用技術開発に寄与するものであるか
- ・創造性豊かな研究が図られているか
- ・民間では十分な取り組みが期待できない分野であるか

- ・費用対効果のバランスが取れているか
- ・研究開発予算の効率的執行が行われているか

等の観点から行うこととし、特に、以下の点について厳正な検討を行うこととする。

- －科学的・技術的観点からの重要性、適格性
- －緊急性
- －費用対効果
- －資源配分のバランス
- －社会的・経済的ニーズ
- －その他委員会において必要とされる事項

2.3 評価結果の扱い

できる限り多くの客観的なデータをもとに厳格に評価することとし、本委員会の委員の合議により主査が評価結果を取りまとめ、航電審地球科学技術部会及び航電審総会に報告する。その評価結果は、プロジェクトの継続の是非を含め、目的、目標、手法、研究資金・人材、研究開発資源の配分などの見直しに的確に反映させるものとする。

2.4 評価結果等の公表

これらの評価経過や評価結果等を含め、本計画の研究開発全般の内容及び成果については、国民に分かりやすい形で公表するなど、積極的に情報提供を実施する。

3. 評価内容

3.1 本計画についての確認事項

本委員会は、計画提案者より計画概要及び自己評価結果の説明を受け、また「ライザー掘削国際会議(CONCORD)報告書」(1997年7月、海洋科学技術センター、東京大学海洋研究所、JOIDES/ODP)等の参考資料を検討した。さらに特に必要と認めた事項について、委員会が要請した専門家に説明を求めた。それらに基づいて本委員会がまとめた本計画の全体概要は以下のとおりである。

(1) なぜ深海を掘るのか？

水深約200mの大陸棚に続く大陸斜面から下に広がる深海底には、海洋表層から沈降した堆積物の厚い層があり、そこには大気や陸から運ばれた物質も含まれている。その下には火山活動を起源とする岩盤があり、これら堆積物と岩盤からなる地殻の下には、固体でありながら流動する性質を持つマントルがある。

本計画は、海面に浮かぶ掘削船から海底に達する掘削装置によって、地殻を貫き、その下のマントルまで達するボーリング(掘削)を行おうとするものである。これによって各層のコア試料を採取し、分析して、堆積物に記録された過去の地球環境の歴史を解読するとともに、地殻及びマントルの掘削によって、地球内部の構造と、海底下のプレート境界における巨大地震発生や地球内部のダイナミックな振る舞いを解明しようという総合的地球科学の計画である。

また、近年、その存在が知られつつある深海底下の特異な生物圏の実態を把握し、生命の起源とも関係する未知の微生物の探索をも目指している。

さらに、これまでの掘削によって、大陸斜面を中心として海底下にメタンガスが海水と結合して固体化した水和物(メタンハイドレート)となっており、大量に存在していることが知られるようになり、将来のエネルギー資源として、また、環境変動への影響の面からも注目されつつある。本計画は、このメタンハイドレートの安定性等についての研究も目的としている。

(2) 深海掘削の歩み

・深海掘削は1959年マントルへの到達を目標とする「モホール計画」の提唱を起源とし、米国主導のもと、現在では22カ国が参加する国際深海掘削計画(ODP。ジョイデス・レゾリューション号(JR号)を使用)に発展している。

・これまでの深海掘削計画は、プレートテクトニクスの証明、地球全体が温暖化していた白亜紀における地球の状態の解明、小天体衝突による生物大絶滅の詳細な過程の解明、氷期/間氷期と地球の軌道及び自転軸の揺らぎとの相関の立証など重要な仮説の立証や発見に代表される多くの成果をあげてきた。同計画は、その研究報告が毎年千件のオーダーで他論文に引用されるなど、地球科学において重要な役割を果たして

きている。

・ODPはJ R号の老朽化により2003年9月末に終了する。それ以降は、大深度掘削の能力を持つ地球深部探査船と従来型掘削船の二船体制による統合国際深海掘削計画(IODP)に発展させることについて、各国の地球科学者及び科学技術政策担当者間で基本的合意に達している。

(3) 地球深部探査船の開発

・過去の急激な気候変動を高い解像度で復元するには、堆積速度の速い海域を掘削する必要があるが、こうした海域には生物生産が活発だったことに由来する石油・ガスが存在することが多い。従来型掘削船では石油・ガスの噴出を防止する能力がなく、掘削に危険が伴うため、石油・ガス層を越えて掘削することができない。

・従来型掘削船には掘削孔を安定化させる能力がないため、掘削孔の崩壊などによって海底下掘削深度を増大させることが困難であり、ジュラ紀の地層、地震発生ゾーン、マントルなど海底下大深度の掘削が困難である。

・地球深部探査船は、上述の問題を解決する技術として、石油掘削で採用されているライザー掘削技術を高度化し、石油・ガス存在海域での科学掘削を可能とし、海底下の掘削深度7,000mを目指す能力を持つものである。当初は水深2,500m級の海域で科学的成果を得つつ運用データを蓄積のうえ、水深4,000m級でのライザー掘削を最終目標としている。

・計画提案者は、特殊試料採取システムなど科学掘削のためのライザー掘削技術の実現に不可欠な要素技術の研究開発に取り組んできている。今後その成果を反映させるとともに、システム化技術など日本が得意とする技術と掘削用機器など海外が得意とする技術を組み合わせ、また、今後開発される新技術を積極的に取り入れていくこととしている。

・「ライザー技術国際ワークショップ」(1996年10月28～30日横浜にて開催、センター、東京大学海洋研究所、JOIDES/TEDCOM共催)では、深海掘削に精通した内外の科学者及び技術者が共同で技術評価を行った結果、センターが提案するライザー掘削システムは実現性があり、また、水深2,500m級を経て水深4,000m級を目指す開発ステップが妥当であるとの結論が得られている。

(4) 統合国際深海掘削計画(IODP)

・IODPは、日本の地球深部探査船(ライザー掘削船)と米国の従来型掘削船(J R号の後継船又はJ R号の改造)の二船を、統一した科学計画のもとで相互補完しつつ

国際運用するものである。

・地球深部探査船は、石油・ガス層に制約されずに海底下大深度まで掘削する課題を担当し、従来型掘削船は、海底下表層部を中心に全球的な多数地点を掘削する課題を担当する。これによって地球深部探査船はODPでは実現できなかった地震発生ゾーンやマントルへの到達を目指す一方、従来型掘削船は海底下表層部に専念できることで、これまでよりも多くの地点での掘削が可能となるため、現在から数十万年前に至る過去の気候ジャンプなどの全球的な高解像度復元が可能となる。

・IODPの科学目標、科学計画は国際的・国内的に広く科学者による議論・合意を経て決めていく。ライザー掘削の科学目標は「ライザー掘削国際会議」（略称：CONCORD、1997年7月22～24日東京にて開催、センター、東京大学海洋研究所、JOIDES/ODP共催）で設定された。今後、従来型掘削の科学目標について1999年5月に「二船科学会議」を開催、両船の統合的な科学目標について2000年に「統合科学掘削会議」（Integrated COSOD）を開催する予定である。

・ODPでは国際共同計画を運営する計画管理組織(JOI)及びJR号の運航、科学サービスの提供等を担当する科学オペレーション組織(TAMU)が設けられている。地球深部探査船についても同様の計画管理組織及び科学オペレーション組織を整備するとともに、日米両組織において共通化できる機能は共通化して効率的な運営組織を目指している。

・地球深部探査船の建造は日本が行い、参加国は技術情報又は船上研究設備等を日本に提供することにより貢献するものとする。国際運用費の国際分担については二船の運用費の合計を日本、米国、その他の参加国がそれぞれ1/3程度を分担することを基本的考え方として現在国際調整が行われている。

(5) 二船による科学目標

二船によって得られたコア試料及び掘削孔を利用し、以下の研究を総合的に推進することが主要目標となっている。

・急激な気候変動

深海掘削によって過去の氷期及び間氷期に生じた気候ジャンプの全球的な実態を復元しそのメカニズムを解明する。

・地震発生ゾーン

地震発生ゾーンに達する掘削によってプレート間の力学的結合状態の空間的不均質性を解明する。また、掘削孔を利用した地殻変動計測によって海底地震計では検知できない前兆現象の捕捉を目指す。

- ・地球深部ダイナミクス

海洋性地殻の全断面及びその下のマンタルの試料を採取し、プレート・テクトニクスとプリューム・テクトニクスの統一的理解を目指す。また、巨大火成岩岩石区を掘削することによって過去のスーパープリュームの上昇によって生じた大規模な環境変動を解明する。

- ・地殻内生命

これまで全く知られていなかった地殻内生命圏の広がり、多様性、エネルギー収支及び炭素循環における役割、生理学的性質、生命の起源と進化における位置付け等を解明する。

- ・メタンハイドレートの成因と崩壊

巨大な炭素貯蔵源とみられているメタンハイドレートの成因とその安定性、炭素循環における位置付け、環境変動への影響等を解明する。メタンハイドレートの崩壊は海底地滑りによる津波や大量の温暖化ガス放出による環境変動を招く恐れがある。その崩壊のメカニズムの解明も目指す。

(6) 国内研究体制・研究環境の整備

- ・上記の研究課題に関連する国内の構成人口は地質学会約5,400人、地震学会（すでに本計画の推進を要望する決議書を提出している）約2,200人、火山学会（同じく）約1,100人、海洋学会約1,800人、その他（古生物学会など）を含めると一万人程度と考えられる。その中で研究活動に活発に従事しており、機会が与えられれば深海掘削に直接関与する可能性の高い者は、約1/3の3,000人程度と考えられる。

- ・二船体制のもとでは、日本からの年間乗船機会が現在の約12人（世界で約150人）から100人（世界で300人程度）程度となる。ODPの15年間の日本の乗船研究者及び陸上支援研究者はのべ約300人であったが、IODPでは最初の10年間でのべ600人程度（IODPへの移行当初の運用習熟期間における乗船機会の制約を想定）の日本人研究者の参加が予想される。

- ・本計画における日本の研究体制について、IODP国内連絡委員会（委員長：久城岡山大教授）において、領域横断的な研究組織を有する中核陸上研究拠点と草の根型の流動分散型研究制度が相互に牽引しあう体制を構築すべきと提言されている。

- ・研究環境として、船上での分析・解析及び陸上での分析・解析を効率的に役割分担することとしている。また、国内にコア試料保管センター及び孔内計測データ解析センターを設立してコア試料分析・データ解析専門技術者を確保するとともに、技術開

発と密着した研究体制とすることを目指している。

(7) 計画の各段階での評価

・地球深部探査船の本格的運用体制の発足（2002年度初めを想定）、二船の研究運航の開始（2005年度初め）、水深4,000m級ライザーへの移行（2010年度初め）及びマントルへの到達（2014年度末まで）を主要な区切りとし、それぞれの段階で評価を行って次の段階に進むかどうかを決めることとしている。

3.2 評価結果

3.1 で確認された本計画の内容に対して、本委員会として以下の結論を得た。それぞれの事項について、評価結果に至る本委員会での検討結果については、3.3 に記してあるので、併せ参照されたい。

3.2.1 科学技術上の意義

(1) 科学的目標と意義

本計画の科学的意義は多分野にわたり、かつ、高度な専門内容を含むことから、本委員会としては、まず、1997年7月のCONCORDにおける科学目標設定のプロセス及び内容の妥当性を検討するとともに、専門家の補足説明の内容も踏まえて、委員会内部の十分な議論を経て評価結果を取りまとめた。

その結果、二船体制の下で新たに可能となる研究課題、あるいは、飛躍的に進展すると考えられる研究課題の主要なものは次の通りと考える。

a) 海洋底堆積物の分析による古環境の研究

地球深部探査船は、これまで不可能であった深層の掘削や、ガス・油層を含む堆積速度の大きい軟柔層の掘削も可能とすることによって、従来、約1億年前（白亜紀）までが限界であった古環境の解明を約2億年前（ジュラ紀）まで拡大する。一方、二船体制のもとで従来型掘削船は、掘削期間の短い浅層掘削に重点を置くことで掘削サイト数を大幅に増やし、現在から数十万年前までの過去における細かな時間的変動や地域的相違を詳しく知ることを可能とする。

これら両方の掘削船が相互補完することによって、特に急激な気候変動の解明という分野で研究の進展に大きく貢献するものと考えられる。

b) 地震発生ゾーンの直接観測

ライザー掘削によって海底下数kmまでの岩盤を貫くことが可能となることにより、巨大地震の発生源とされるプレート間（例えば東海沖のフィリピン海プレートとユーラシア・プレートが接する所）の接触状況を試料採取によって初めて直接目にするができる。また、掘削孔に設置する地震計その他の測器により、プレート間の結合状態についての実態を捉えることも期待される。これらは、巨大地震発生機構の解明

に有力な情報を提供するであろう。

c) 巨大火成岩岩石区の掘削によるプリューム・テクトニクスの検証

西太平洋熱帯域に散在する巨大火成岩岩石区は、マントルからのスーパープリュームの上昇が起源と考えられている。これら巨大火成岩岩石区を貫通する掘削が可能となることにより、採取された試料から巨大火成岩岩石区の構造と組成が初めて明らかにされ、地球史の鍵ともなるスーパープリューム上昇の実態に迫り、プリューム・テクトニクス仮説の検証も含め地球規模の変動現象の解明に貢献するものと考えられる。

d) 地殻内生命の探索

現在知られている深海微生物の生息限界から推測すると、地殻内生命圏は地殻内温度が120~130℃となる海底下4,000mまで広がる可能性がある。これがライザー掘削によって確認されれば地球の生態系及び炭素循環の概念が大幅に書き換えられることになる。また、生命が熱水中で誕生したとの仮説から海底熱水活動域が注目されているが、熱水噴出口での水圧より高圧の環境下でより活発に増殖する好熱菌が発見されており、生命の起源が熱水噴出口よりもっと深い地殻深部であった可能性も否定できない。このため、熱水域深部までの掘削によって、生命の起源について画期的発見がなされる可能性を秘めているものと考えられる。

e) ガスハイドレートの生成と崩壊の機構の研究

これまでの海底掘削の成果として、日本近海を含め世界各地の大陸周辺海洋底の堆積層中に、メタンを主とするガスハイドレート層及びその下にガス層が存在することが知られてきたが、従来型科学掘削では直接掘削が不可能で、その実態や成因、さらにはガスハイドレートの分解による大陸斜面の突然の崩壊の可能性などの問題が不明のままとされてきた。これらの問題は、ライザー掘削によってガスハイドレート層及びガス層を貫通し、地層試料を採取し分析することにより初めて解答が与えられるものである。

以上のように、地球深部探査船と従来型掘削船の二船体制による深海底掘削研究は、地球と生命に関する広範囲な科学分野に大幅な前進をもたらすことは確実と考える。また、石油・ガス存在域又は海底下2,000mを越えるような未踏の領域において現時点では想像することもできないような画期的発見がなされる可能性も持っている。なお、以上の各科学目標については、石油・ガス存在域の掘削や海底下大深度掘削によって初めて実現できるものであり、他に適当な代替手段がないと認められる。

(2) 技術的意義

ライザー掘削技術は、海底油田の探査のために開発され発展してきたものであり、掘削用機器などについては日本の技術がオイル・メジャーを持つ欧米各国に比べ大き

く遅れていることは事実である。このため、今回、地球深部探査船を日本が建造するに当たり、特殊試料採取システムなど計画提案者が取り組んできた科学目的の掘削に不可欠な要素技術等の研究開発成果を活用するとともに、外国技術の導入等により世界の英知（技術）を集めることにより、自前の技術体系を構築することには大きな意義がある。

一方、他分野への技術的波及効果については、単に大水深の石油・天然ガス開発、将来の二酸化炭素深海貯溜等の深海での技術にとどまらず、本計画で得られた掘削技術は、陸上での科学目的の深部地下掘削や、資源探査を始めとする実用上の深部地下調査のための技術的基礎をなすものとして、潜在的価値を持つものと考えられる。

3.2.2 技術的妥当性及び開発の進め方

本計画の技術的妥当性については、主として1996年10月のライザー技術国際ワークショップにおける技術的評価の過程を吟味し、委員会内で議論を重ねて評価結果を取りまとめた。

ライザー技術は海底石油探査で用いられているが、この方法により科学的に価値のあるコア試料が採取された例はなく、技術的に未知の領域である。掘削対象海域の水深だけを取り上げてみても、日本自身の掘削オペレーションの経験としては水深数百mに過ぎない。世界においても、日本周辺など厳しい海象条件における水深2,500m以深の海域でのライザー掘削は未踏の領域であり、技術的に見て極めてチャレンジングな課題である。

これに対し、ライザー掘削船の建造経験に関しては、日本も海外から多くの受注実績を有しており、個々の要素技術をまとめあげるシステム化技術においては高い能力を有していると考えられる。このことと、ライザー技術国際ワークショップにおける2,500m級掘削技術は十分実現可能との評価結果とを考え合わせれば、今後、計画提案者が取り組んできた中核となる要素技術等の開発成果の反映、外国技術の導入等により、総合的に見て実現可能と判断される。

ただし、この大水深用ライザー掘削のためのシステムは多数のサブシステムから構成され、未知因子の多い環境で用いられる大規模、複雑なシステムである。このことを踏まえ、今後、掘削船の設計過程において、深海掘削という最終目的のために必要となるすべての段階にわたって、機能性及び安全性を検討しつつ個々の要素技術を統合していくことで、最終的に全体システムとしての機能性及び安全性を保証していくよう努力すべきである。

なお、水深2,500m級の掘削と4,000m級の掘削とは、掘削装置そのものに質的相違はないので、運航コスト上は大きな差異はないとみられる。むしろ実際の海域での掘削における運用上の技術課題が問題となることから（3.3.2 補足事項 参照）、水深2,500m級掘削において科学的成果を得つつ運用技術を習得し、その運用データを得て水深4,000m級の運用を目指すステップ・バイ・ステップの取り組み方は妥当と考える。ただし、ライザー技術に関し、常に革新的な技術開発に関心を持って行かなければ技術の陳腐化の恐れがあるとの指摘があったことに留意すべきである。

3.2.3 社会的・経済的意義及び緊急性

本計画は、第一義的には世界の科学者の支持のもとに進めていく科学目的の計画であり、人類が共有しうる知的資産である科学に日本が率先して貢献する意義が大きいと考える。

社会が直面する課題に対する意義を考えると、掘削すればすぐにも実用的対策が立てられるというものではないが、国際的な地球科学の進歩、その進展に必要な研究体制の整備とも相まって、このような課題の解決にも結び付くものと考えらるべきであることを強調したい。

その前提をおいたうえで、例えば、氷床コア試料に記録されている急激な気候変動が全球的なものであったか？そのメカニズムは何か？という疑問に対する答えがまず明らかになると期待される。これは、現在の比較的安定した気候における地球温暖化の進行が、別の気候モードへのジャンプを誘発する恐れはないか？との問いにも手懸かりを与えてくれると考えられる。

また、ライザー掘削は、世界で初めてプレート境界面を直接観察することを可能にし、プレート境界の固着・はがれ状態などプレート間地震の準備過程についての理解を増大させる。また、掘削孔に設置した計測器による観測により、地表面や海底での観測では検知できない前兆現象を捉える可能性も期待される。こうした諸課題への取り組みの重要性、緊急性を踏まえれば、本計画に緊急に取り組むべきと考える。

3.2.4 運用及び研究の進め方

(1) 運用体制

深海掘削は、地球規模の科学的な課題を解明するために、世界各海域で掘削を行うものであることから、本質的に国際協力を必要とする。本計画が、過去長期にわたり成果をあげてきたODPを引継いで発展させたIODPの一環として行われることは、評価の高いODPの国際協力の形態を継承するものとして、適切かつ有効である。また、IODPで提案されている二船体制は、3.2.1に示したように、科学目標を最大限に実現するうえで効率的な国際運用体制であると認められる。

ライザー掘削による大深度掘削は、長期間にわたることから、掘削地点の絞り込みに当たっては、科学目標および掘削スケジュールについて世界の科学者から幅広くコンセンサスを得るための国際調整メカニズムを構築する必要がある。これまでのところ、IODPにおける統合的な科学計画については世界の科学者の合意を形成しつつ準備が進められてきたと認められるが、今後は、実際の国際調整メカニズムの構築に向け、より具体的な検討を進める必要がある。

国際的な費用分担については、本計画の成果から日本が受ける科学上の便益が大きいこと、日本は、地球の変動帯に位置するアジア・太平洋諸国の中心となって、地球内部の研究を先導すべきであることからみて、日本が地球深部探査船を建造することが適切である。また、運用段階において二船の運用費を利用の割合に応じて国際分担する考え方は合理的であると考えられ、その実現に向けて各国に対し一層積極的に働き掛けていくことが重要である。

(2) 研究体制

本委員会は、研究体制の整備が本計画の正否を左右する最も重要かつ困難な課題であると考えている。

研究体制については、まず、本委員会から、二船体制のもとで増大する研究者の乗船機会に見合うだけの研究者層が日本にあるのか、日本の研究者による研究成果の増大が期待できるのか、との懸念が表明された。このため、複数の専門家からの説明を聴取する等、本委員会として相当の時間を費やして議論を重ねた。その結果、現時点においても、機会さえ与えられれば本計画に参画する可能性の高い研究者が多数存在すること、さらには十分な研究成果が上げられるよう大学関係者等の間でこうした研究者を組織化するための取り組みが進行していること等が認識された。その上で、本委員会としては、効果的な研究体制の整備、人材の養成等の重要性に鑑み、関係諸機関が、以下の努力を払うことが重要と考える。

すなわち、この問題については、計画提案者だけでなく、国内の関係省庁、大学、試験研究機関等の全体で取り組むべきものであるため、計画提案者は、地球深部探査船の完成までに関係機関と協力し、より多くの研究者を結集することのできる研究体制の整備について最大限の努力を払うべきである。

本計画のもとで日本が研究面で十分な成果を上げるためには、掘削船の運用とプロジェクト推進の中核となる研究拠点と、多様な発想で掘削試料や計測データから研究成果を産み出す多数の分散した小規模の研究グループとが連携し、相互に牽引しあう研究体制を整備するなどの取り組みが必要と考える。同時に、研究管理及び研究支援についても、組織の整備、人材の養成とともに、若手研究者への支援、関連陸上施設の設置など十分な措置を、地球深部探査船の完成までに講じるべきである。

3.2.5 費用対効果

科学目的の計画によって将来どれだけの社会・経済的效果が生じるかについて、確度の高い数値を導くことは現時点では困難なことである。したがって、本計画のように第一義的に科学目的の計画の費用対効果を論じる事は余り意義のある事ではないと思われる。それを前提として、計画提案者が示した気候変動に関する効果の試算を検討し、また、本計画の科学的成果は、そのほかにも多くの効果をもたらすと考えられること、中でも本計画の成果が地震による被害の軽減に貢献する可能性を持っていることを考え、本委員会としては、本計画の効果は、地球深部探査船の建造・運用等に投入する費用に比べて十分に大きいものと推定している。

さらに、本計画の実現によって初めて到達することができる未踏の領域での掘削や、全球的な古環境復元等の効果もある。

以上の点に加え、本計画は、日本が21世紀における役割を踏まえ、かつてない規模で新しい科学の開拓に主導的に取り組むものである。それが新しい学問領域を切り開き、新しい研究体制を確立していく努力と相まって、若い研究者や次世代の人々が研究や開発に対する夢を育むことのできる新たな活躍の場が作られる効果が大きい。また、日本の科学

技術領域での活動に対する国際的評価が一段と高まるという効果も認められる。

3.2.6 総合評価

以上の検討により、本計画は科学技術上大きな価値を有するものであり、また、その成果は地球環境、災害防止、資源問題など社会的課題にも貢献するものと判断される。とりわけ、本計画によって日本が新しい科学領域を開拓し、かつてない規模で国際的な科学計画に日本が主導的に取り組み、船の建造だけでなく総合研究体制をつくることは21世紀の日本の科学技術の発展に必要なものと認識される。

よって、本船の建造と併行して各項目で掲げた留意点に対処すること、特に研究体制の整備に最大限の努力を払うことを本計画に含めて推進することが適当と認める。

なお、計画推進の際には、透明性を確保するため、絶えず社会に情報を提供するとともに、今後も引き続き本計画の進行に伴う開発及び運用の主な区切りにおいて計画の実施状況及び将来計画に対する評価を行い、本計画を次の段階に進めるかどうかを検討すべきである。

3.3 検討の経緯及び補足事項

3.3.1 検討の経緯

(1) 科学的意義の検討

本計画の科学的意義は多分野にわたり、かつ、高度な専門内容を含むことから、すべての分野にわたって外部の専門家の意見聴取を行い、それを踏まえて完璧な評価を加えることは評価委員の能力をもってしても困難と思われた。このため、本委員会としては、まず1997年7月に開催されたライザー掘削国際会議(CONCORD)においてどれだけ多く内外の科学者の意見を取り入れ、客観的な視点から科学目標が設定されたかについて、そのプロセスの妥当性を検討することとした。それに加えて、可能な限り広い領域の専門家を招致して補足説明を受けることによって、その意義を評価することとした。その上で、委員相互間の議論を重ね、評価結果を取りまとめたものである。

(2) 技術的妥当性及び開発の進め方

技術的妥当性については、その領域の広さからみて評価委員の知見のみによって完璧な評価を加えることは困難と思われた。そのため、本委員会ではまず、1996年10月に開催されたライザー技術国際ワークショップにおける技術的評価に着目した。ここでは、計画提案者が検討してきたライザー掘削システムの技術仕様等に対し、深海掘削に熟知した科学者及び技術者が共同で、代表的な地層モデルを具体的に設定して技術的評価を行った。ここでは、2,500m級の掘削技術の実現は十分可能であり、状況が許せば最初から3,000mの技術に挑戦することも可能との結論が得られている。本委員会では、主としてこのような過程を吟味し、技術的に妥当であるかどうかを検討することにより、評価結果を取りまとめることとした。

(3) 資源配分のバランス

資金、研究設備といった資源配分のバランスについても、どのような方法により評価するかについて議論があった。

計画提案者から、

- ・本計画の予算規模は、同等の予算規模である地球観測衛星などのプロジェクトと比較しても耐用年数が約25年であることを勘案すれば、突出したものではない。
 - ・本計画は、地球の統合的理解という目的から、他の観測手段、モデリング研究、基礎研究、陸上掘削等と連携しつつ推進すべきものであり、言い換えれば、地球科学全体の取り組みのなかで資源配分のバランスに十分な配慮を行うことを前提としている。
- との説明があった。

これらを踏まえて、本委員会としては、資源配分のバランスの評価に代えて、本計画が地球科学技術全体の中で他に代替手段のないものであって、かつ、緊急に取り組むべきものであるかどうかを評価することとした。

(4) 研究体制

現在のODPのもとでは、日本からの年間乗船機会が約12人であるものが、IODPの二船体制のもとでは約100人に増大することに対し、本委員会では、国内の研究者層が十分にあるのかとの懸念が示された。さらに地球深部探査船の建造が、もっぱら外国の研究者の研究機会の増大をもたらし、日本人研究者が十分な成果をあげられない恐れがあるのではとの懸念が表明された。これに対し、計画提案者からはIODP国内連絡委員会研究体制ワーキンググループで提言された研究体制の在り方に関する報告が紹介され、また、外部専門家である多田助教授（東京大学大学院理学研究科）及び平教授（東京大学海洋研究所）からは大学関係者におけるこれまでの研究者の更なる組織化へ向けた対応状況などの説明を受けた。

これらを踏まえて議論を重ねた結果、3.2.4(2)のとおり現時点においても十分な研究者層が存在すること等を認識した上で研究体制整備についての留意点を特に掲げるとともに、航電審及び同地球科学技術部会に評価結果を報告するに際して、関係省庁・機関で必要な措置が取られるよう強く要請することとした。

(5) 費用対効果

始めに計画提案者より、本計画の費用対効果の試算が提示された。そこでは、気候変動に関する政府間パネル(IPCC)第三作業部会で、大気中二酸化炭素が産業革命以前の2倍になった状態をベンチマークとして推定された世界の年間被害額（世界総生産GWPの1.5～2%）をベースとして、特に破局的な気候変動による年間被害額（GWPの6%）が、本計画の科学的成果によってどの程度軽減されるかを算出し（総合的な期待値を被害額の0.06%と仮定すると2.6～3兆円）、それを主たる「効果」としている。これは、掘削船の建造及び15年間の運用等に投入する「費用」（総額3227億円）と比較して十分に大きいと、このような試算では将来の被害額及びそれに対する効果に

ついでの不確実性が大きい。そこで、国際的に高く評価されているODPに対し全く同じ前提条件で費用対効果を試算し、その結果よりも本計画の試算結果が大きくなったことから、本計画の費用対効果が十分に大きいとしている。

本委員会として、以上の試算内容を吟味した結果、「効果」に関して、気候変動について試算された効果が妥当であるかを確認する方法がまだなく、一方、それ以外にも効果が大きいと考えられるが数値化困難なものはいくつかあることから、科学目的の計画の費用対効果を数値的に評価することは適当ではないとの点で意見を一致を見た。これを踏まえて議論を重ねた結果、本委員会としては、数値化できない効果も含めて判断すれば、本計画の費用対効果は十分大きなものであると推定される。

3.3.2 補足事項

本委員会における議論のうち、評価結果自体に影響するわけではないが、今後の計画推進上留意すべきと考えられる事項は以下のとおり。

(1) 技術的妥当性及び開発の進め方

水深2,500m級は、現時点におけるライザー掘削の世界最大水深であり、まして4,000mの水深における掘削は大きな技術的挑戦である。中心的技術であるライザー技術に関し、例えばライザー管を海底から切り離した直後のライザー管の異常な挙動の防止、荒天中でライザー管を掘削船から吊り下げた状態での挙動安全など今後さらに信頼性を高める努力がされるべきである。さらに稼働時の効率向上のため自動制御を応用してライザー管の挙動を制御することや、新しいライザーコンセプト等の新しい技術にも常に注意を払い、実用化の見通しが立った場合に、その取り入れを可能にする柔軟なシステムとすることが望ましい。これに関連して、レビュアーの一人から、ライザー技術に関し、常に革新的な技術開発に関心を持って行かなければ技術の陳腐化の恐れがあるとの指摘があったが、これには上述のような対応で応えられるであろう。

(2) 資源配分のバランス

これからの時代は、科学技術領域において従来にもまして戦略的に投資を決めるべきであり、意識してメリハリをつける必要があるのであって、その結果、従来のバランスが変わるといったことはむしろ望ましい場合もある。そのような大きな変更を含む政策決定には現状とは異なる決定機構と手続きが必要であるとの議論があった。

(3) 研究体制

掘削船の運用とプロジェクト推進の中核となる研究拠点について、今後の行政改革の動きを積極的に先取りし、運営上の自立性・柔軟性を有する組織を当事者が具体的に提案すべきとの議論があった。

また本計画は、大学・試験研究機関等に所属する研究者を含め、広範囲な人材が総

力を結集して取り組むべき問題であり、現在の体制を一層強化するための方針を立てるとともに、幅広い研究者の創造性を活かせるような研究体制についても併せて構築する必要がある。同時に、研究計画に関しては繰り返し議論することによって、研究者一人一人の意識を具体的研究計画に集中させることも忘れてはならないとの議論があった。

深海地球ドリリング計画評価委員会の設置について

平成10年7月16日
航空・電子等技術審議会
地球科学技術部会

1. 目的

現在進められている「国際深海掘削計画（ODP）」（1985～2003年）は、プレートテクトニクスの実証や、約1億年前の温暖な地球環境の立証など大きな成果をあげてきている。今後は、これらの成果を受け継ぎ、さらに深海掘削研究の国際協力を発展させていくことが必要である。これを受け、海洋科学技術センターは、「深海地球ドリリング計画（OD21）」（以下、「計画」と呼ぶ。）を提案している。これに対しては、研究開発の効率的な実施を図るとの観点から研究開発評価を行うことが重要であり、「国の研究開発全般に共通する評価の実施方法の在り方についての大綱的指針」（平成9年8月7日内閣総理大臣決定）にもとづき、評価を行うこととする。このため、航空・電子等技術審議会地球科学技術部会の下に、「深海地球ドリリング計画評価委員会」（以下、「評価委員会」と呼ぶ。）を設ける。

2. 検討事項

評価委員会では、将来を見据え、計画が

- ・社会的・経済的ニーズに対応したものであるか
- ・特定分野の実用技術開発に寄与するものであるか
- ・創造性豊かな研究が図られているか
- ・民間における十分な取り組みが期待できない分野であるか
- ・費用対効果のバランスが取れているか
- ・研究開発予算の効率的執行が行われているか、等の視点を考慮して、以下の点について検討する。

- (1) 科学的・技術的観点からの重要性、適格性
- (2) 緊急性
- (3) 費用対効果
- (4) 資源配分のバランス
- (5) 社会的・経済的ニーズ
- (6) その他委員会において必要とされる事項

3. 構成

評価委員会は、計画の推進に関与していない地球科学技術部会委員ならびに学識経験者をもって構成する。なお、計画は、国際協力を前提としたものであるため、海外の科学者

等に対して、レビューを依頼する。

4. 評価の公開

評価委員会における審議については、国民にわかりやすい形で公表する、インターネットを利用して計画に対する意見の収集を行うなど、積極的に情報提供を行う。

5. その他委員会の運営に必要な事項は、委員会で定める。

深海地球ドリリング計画評価委員会 委員構成等

委員

- 松野 太郎 (気象学会前理事長、航電審地球部会部会長)
 石田 瑞穂 (地震学会会長、防災科学技術研究所総括研究官)
 吉田宏一郎 (造船学会会長、東京大学大学院 環境海洋工学系研究科教授)
 佐和 隆光 (環境経済・政策学会会長、京都大学経済研究所 所長)
 榊原 清則 (慶応義塾大学 総合政策学部 客員教授、経営組織論専攻)
 田村 和子 ((社)共同通信社論説委員、論説委員室次長)

レビュアー

- | | | |
|-------|---------------------|---|
| 国際協力 | J.ブライデン
S.C.ソロモン | (英オックスフォード大学 環境変動領域部長)
(米カーネギー研究所地磁気部門長、
前American Geophysical Union会長) |
| 海洋学分野 | 鳥羽良明 | (前海洋学会会長、東北大学 名誉教授) |
| 地質学分野 | 小松正幸 | (地質学会会長、愛媛大学 理学部長) |
| 微生物分野 | 門田 元 | (前微生物生態学会会長、京都大学 名誉教授) |
| 税 制 | 石 弘光 | (政府税制調査会特別委員、一橋大学 教授) |

専門家

- 多田 隆治 東京大学大学院 理学研究科 地質学専攻 助教授
 木川 栄一 海洋科学技術センター深海研究部 研究副主幹
 加藤 千明 海洋科学技術センター深海環境フロンティア代謝・適応研究チームリー
 ダー
 平 朝彦 東京大学海洋研究所教授 (JOIDES執行委員会日本代表代理)

委員会開催経緯

深海地球ドリリング計画評価準備会 (7/21)

- ・ 計画の概要説明
- ・ 自己評価結果の説明

第1回深海地球ドリリング計画評価委員会 (8/11)

- ・ 技術的妥当性
- ・ 科学的、社会的意義と緊急性（気候と地震を中心に）
- ・ 国際的な検討状況
- ・ 検討状況の報告について
- ・ 評価フォーム及びレビューア一案

航空・電子等技術審議会 総会 (8/27、検討状況の報告)

第2回深海地球ドリリング計画評価委員会 (9/28)

- ・ 科学的意義についての追加説明

気候変動と深海掘削

多田隆治 東京大学大学院 理学研究科 地質学専攻 助教授

全地球ダイナミクス

木川栄一 海洋科学技術センター深海研究部 研究副主幹

地殻内生命

加藤千明 海洋科学技術センター深海環境フロンティア代謝・適応研究チームリーダー

- ・ 総合的な研究推進方策
- ・ 評価の取りまとめ方法の審議

第3回深海地球ドリリング計画評価委員会 (10/15)

- ・ 研究体制についての追加説明

平 朝彦 東京大学海洋研究所教授 (JOIDES執行委員会日本代表代理)

- ・ レビューアの意見の紹介
- ・ 評価結果の取りまとめ案の審議

第4回深海地球ドリリング計画評価委員会 (11/5)

- ・ レビューアの意見の紹介 (追加)

・評価報告書案の審議

航空・電子等技術審議会 地球科学技術部会（11/30、評価報告書の報告）

航空・電子等技術審議会 総会（12/7、評価報告書の報告）

深海地球ドリリング計画の概要

1. 生きている地球	25
2. なぜ海底を掘るのか？	29
3. これまでの深海掘削で何が分かったのか？	32
4. これまでの深海掘削での限界は何か？	34
5. 新たな深海掘削の提案（深海地球ドリリング計画）	36
5.1 ライザー掘削とは？	36
5.2 深海地球ドリリング計画の歩み	38
5.3 深海地球ドリリング計画の目的	44
5.4 地球深部探査船の開発・運用・研究体制	58
5.5 社会における役割	70

1. 生きている地球

(水と生命に恵まれた星)

惑星探査機ボイジャーやガリレオが送ってきた太陽系の他の惑星や衛星の画像は、地球がいかに水と生命に恵まれたオアシスであるかを私たちに教えてくれました。

この地球はしかし人類に対していつまでも心地よい揺りかごでいるとは限りません。これまでも異常な干ばつや水害による飢饉が繰り返され、地震、火山噴火、津波についても、都市への人口集中などによって、その被害はかえって大きくなる傾向にあります。

この気まぐれな地球に対して、これまでの観測網やスーパーコンピュータをもってしても、その変動を予測するのは容易ではありません。なぜなら、地球があまりに巨大かつ複雑な存在であり、とりわけ地球表面の7割を占める海洋や、厚い岩盤に阻まれた地球内部の観測は今も非常な困難を伴い、生態系のふるまいなども、まだほんの一部しか分かっていないからです。

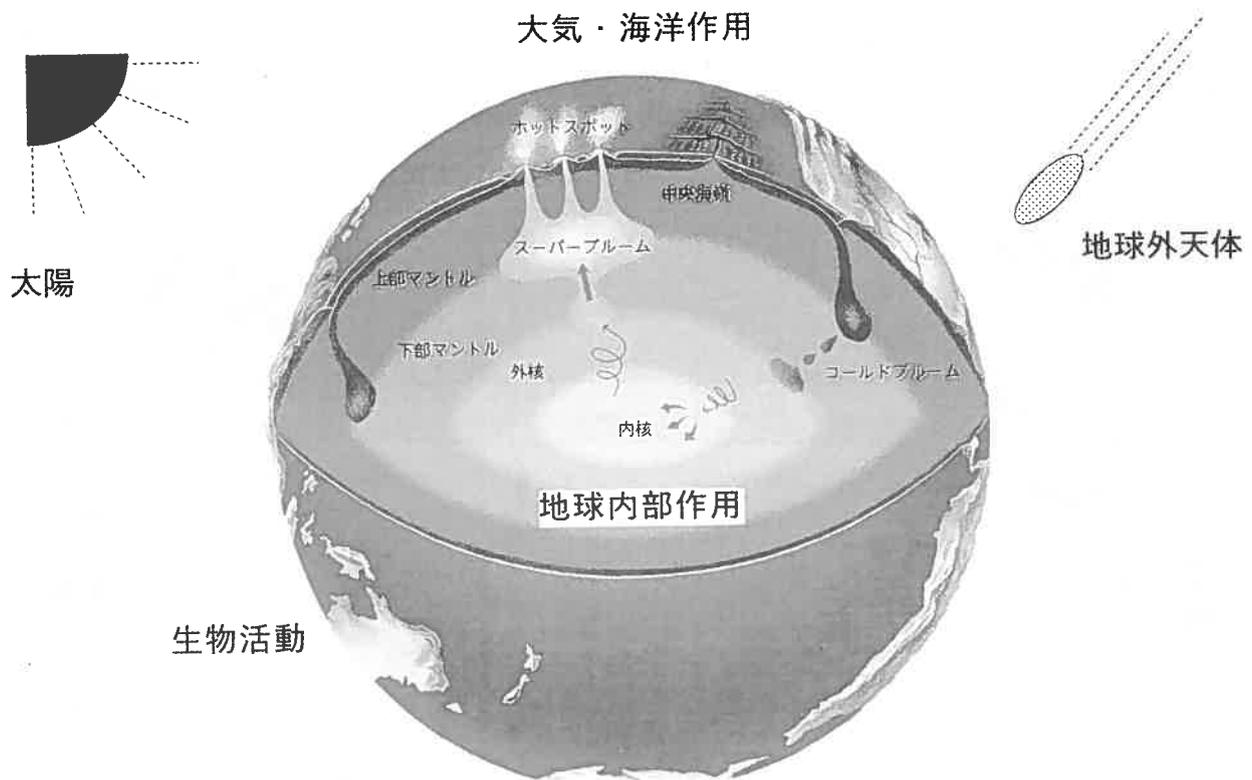
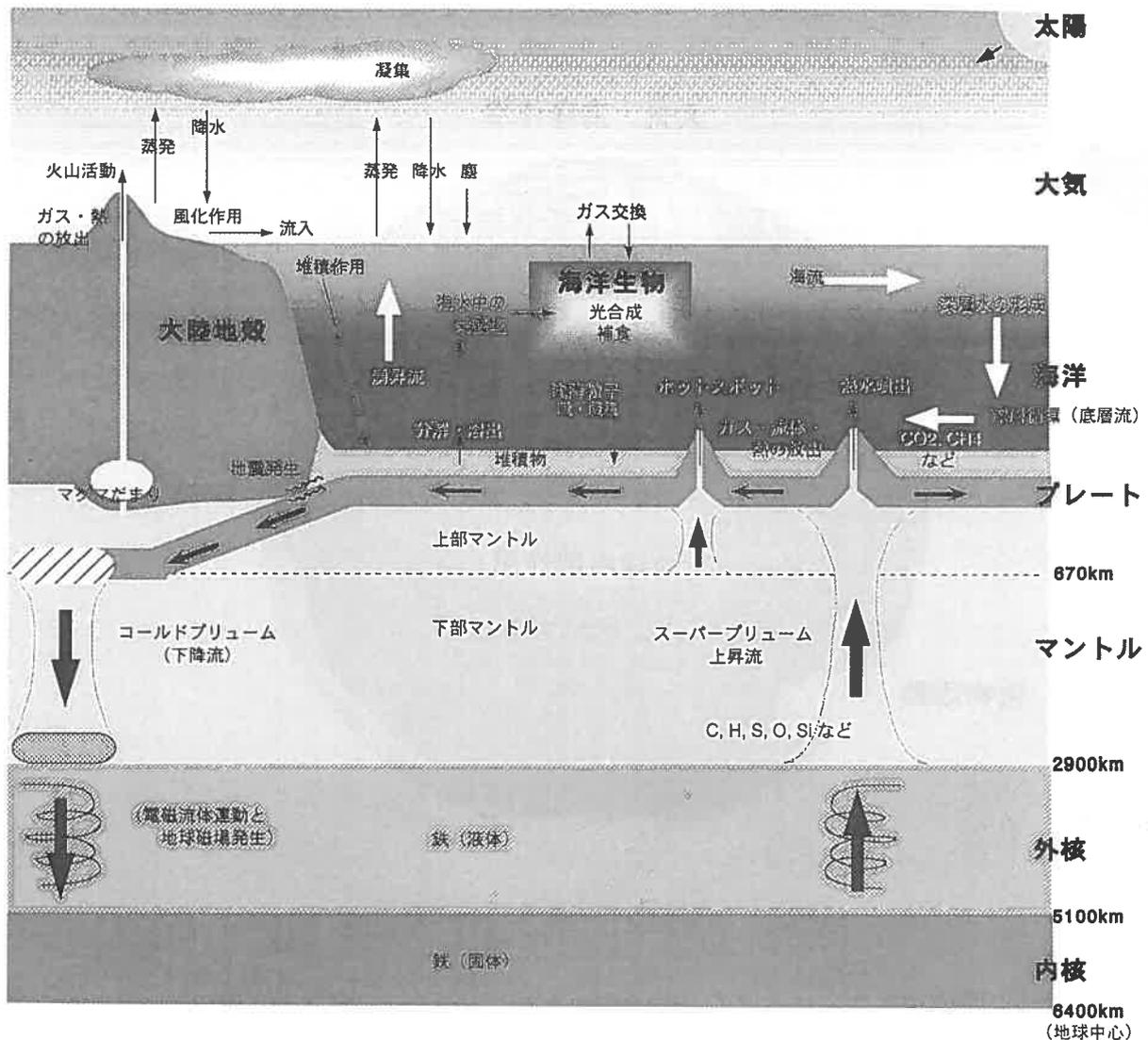


図1 地球変動の内的及び外的要因

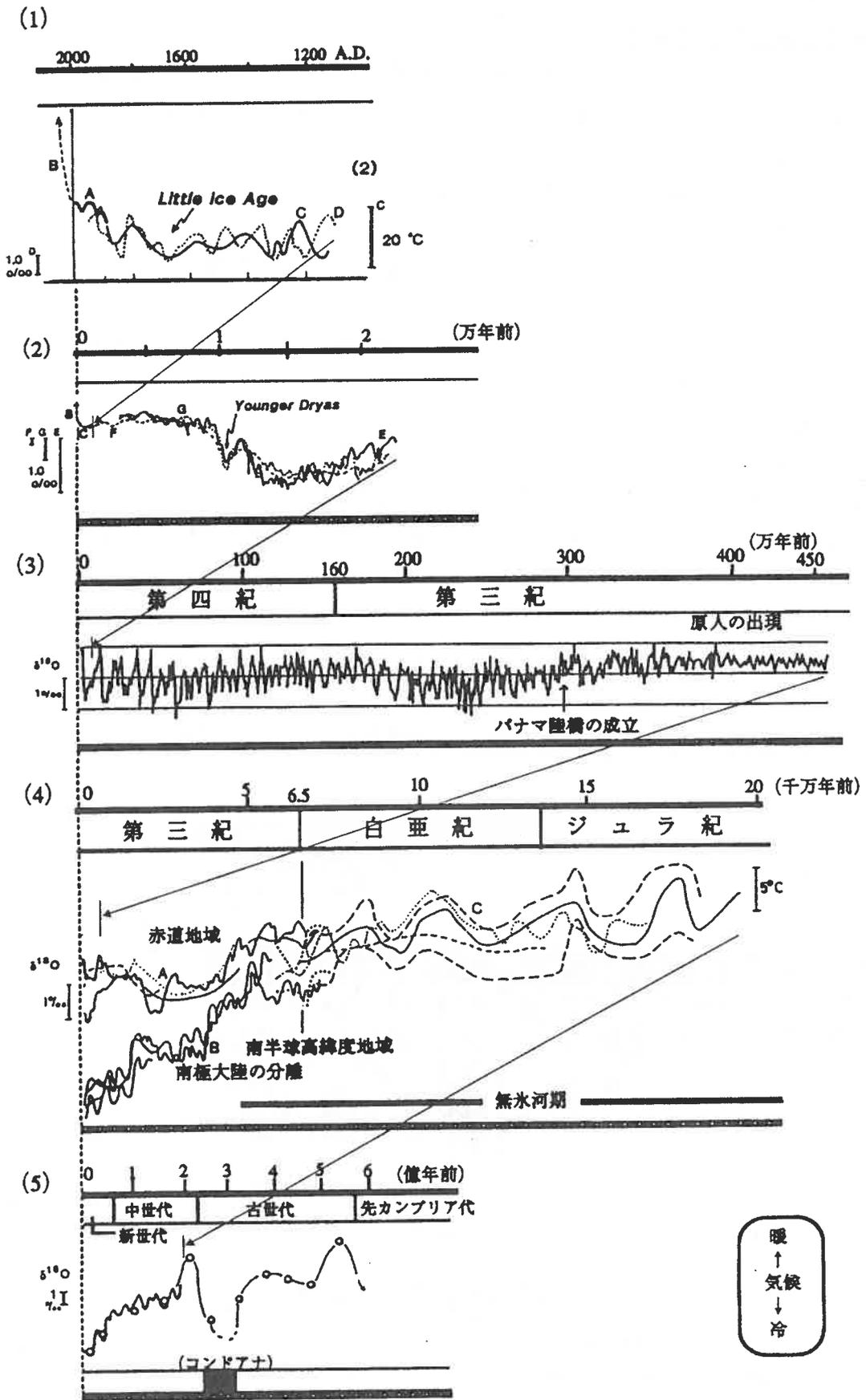
(生きている地球)

それでも、私たちは、地球について少しずつ学びつつあります。最初は空想としか思われていなかった仮説が次第に証明されてきました。それにつれて、地球は人類が経験したこともない激しくダイナミックな変動を繰り返してきたことが分かってきました。

例えば、地球表面が何枚ものプレートに分割され、その拡大と沈み込みによって大陸が離合集散し成長してきたこと（プレートテクトニクス）、1億年前の白亜紀に想像を絶する大規模な火成活動（スーパーブルームの上昇）があり、海水準が何百mも上昇していたこと、その頃繁栄した恐竜が約6500万年前に突如として絶滅し、ユカタン半島への小天体の落下が原因となった可能性があること、このような大異変によって生物の大絶滅が何度も繰り返され、生命の進化に大きな影響を与えてきたこと、そして、過去約160万年の第四紀という大氷河時代の中でいくたびも繰り返されたきびしい氷期の中、私ども人類の祖先は耐えて生き抜いてきたことなどです(図1～図3)。



地球の歴史において大きく変動したし、今後も変動するであろう。
 図2 エネルギー・物質循環の観点からの地球システム



出典：地学雑誌100(6)、増田1991から引用・作成

図3 地球史の解明

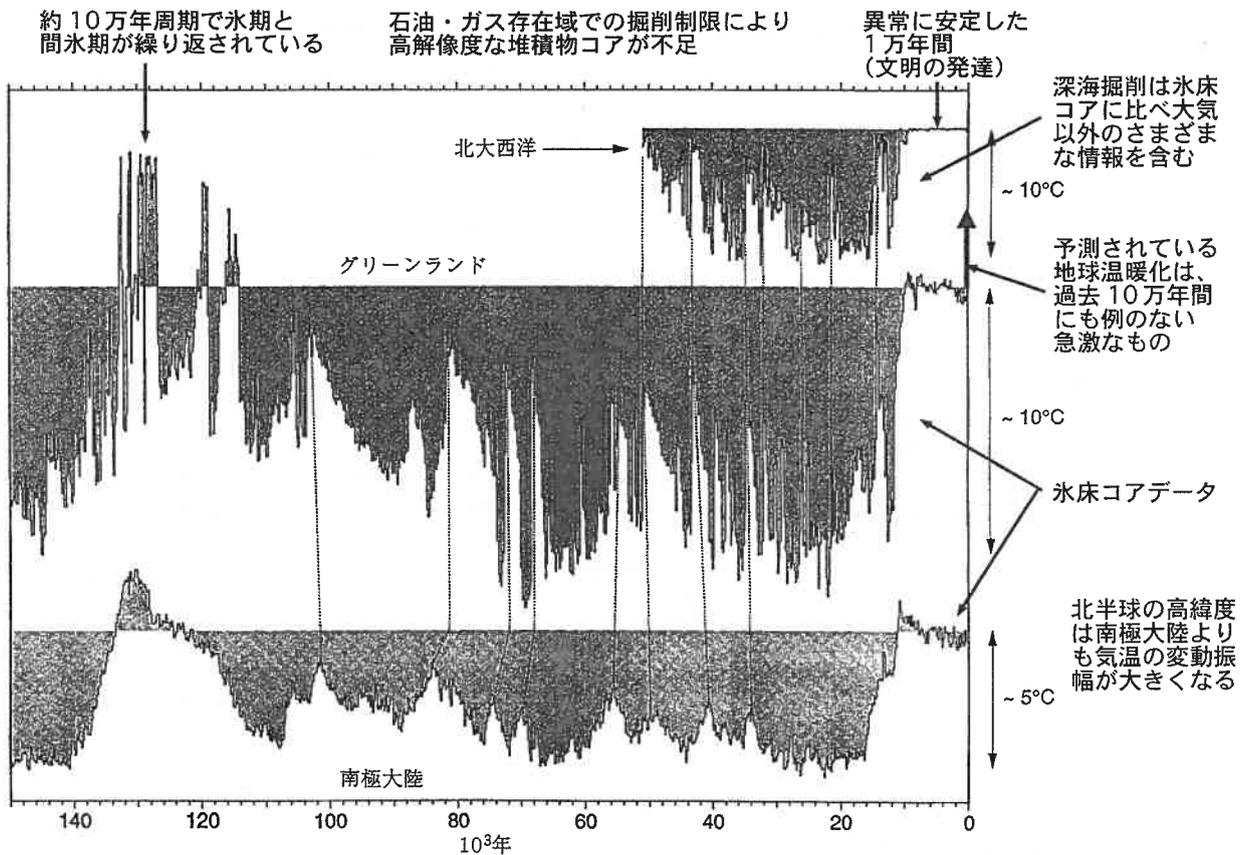
(なぜ地球変動研究が重要なのか?)

そのダイナミックな姿が明らかとなるにつれて、むしろ、変動する地球が本来の姿であり、とりわけ、地質学的に第四紀と呼ばれる約160万年前から現在までは、気候変動や地殻変動などが激しく進行した時代であったことが明らかにされてきました。そうすると、最近一万年もの間、比較的安定した気候が保たれてきたことの方が「異常」と考えられるようになってきたのです(図4)。

今や地球温暖化が世界の降水分布や農業生産などに与える影響が懸念されている中で、50年間で約2倍という割合で急増していく地球人口をこれからどうやって養っていくのか？

また、こうした人間活動がもっと急激な未知の環境変動を引き起こす恐れはないのか？
これらの全人类的課題に対して、誰もまだ解答を持っていません。

かつて南極において日本の科学観測によってオゾンホールが発見され、後にその危険性を科学的に証明したことがやがて国際政治を動かすまでになったように、地球変動予測のための研究を推進するためにも、現在進行中の地球変動過程(アクティブプロセス)のメカニズムを解き明かすことは、まさに人類の生存に関わる課題であると言えます。



出典：IPCC第二次報告書/Jouzel et.al.(1994)

図4 高解像度な古気候復元の必要性

2. なぜ海底を掘るのか？

(なぜ科学掘削が重要なのか？)

この生きている地球、すなわち、気圏、水圏、生物圏、地圏などが織りなす壮大な相互作用を理解するために、人工衛星、陸上の観測網、海洋調査船やブイなどの観測手段が徐々に整備されてきました。このうち深海については今も局所的な手段に過ぎませんが、1万m級無人探査機「かいこう」の完成によって、最も深い海底まで人間の目で確認して試料を採取できるようになりました。

しかし、地球の深部については地震波などで間接的に推測しているに過ぎません。地球の深部を直接調べることができるのは、唯一、科学掘削だけです。さらに、科学掘削で得られる柱状の試料（コア）には、過去の気候や生物活動、地殻変動などの歴史が記録されています(図5)。

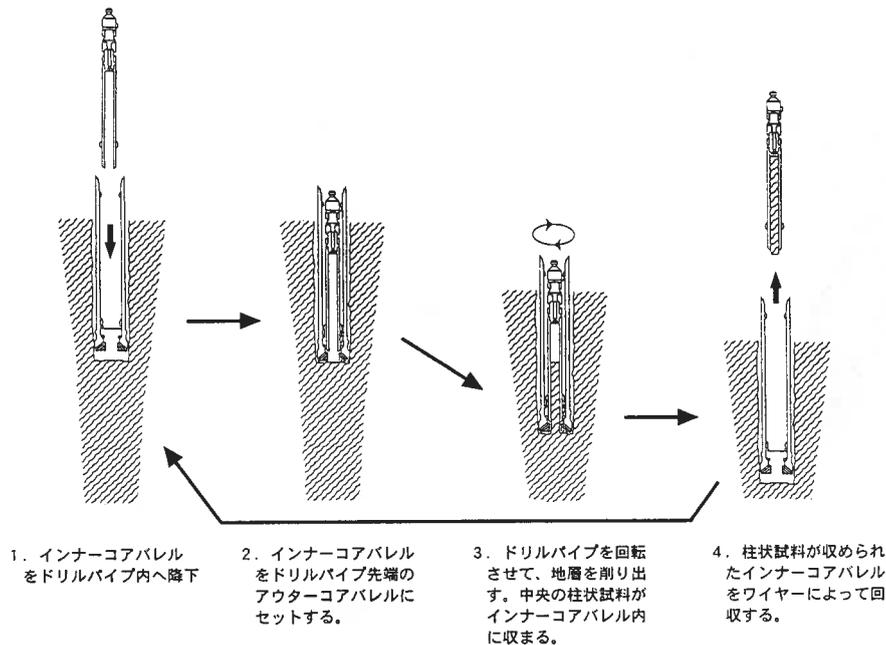


図5 試料はどのように採取するのか

(なぜ深海底を掘るのか？)

なぜ深海底での科学掘削が必要か？ それは第一に、海洋の堆積物は陸と違ってあまり侵食を受けていないため、過去から現在に至る地球環境や地殻変動が時系列データとして記録されており、それによって将来の予測も可能となるからです。それとともに、海洋底を掘るといことは、地球誕生以来のダイナミクスを支配し続けてきたメカニズムを解明することでもあるからです。

私たちがこれまでに学んできた地球のダイナミックな姿の多くは、この深海掘削によって初めて証明されたものと言っても過言ではありません。

第二に、まだ人類が到達したことのないマントルは、地球の体積の8割以上を占め、固体でありながら流体的ふるまいをするという特異な物理的性質によって地殻を動かしています。そのマントルへの最短距離が深海にあるからです(図1)。

第三に、巨大地震の多くが海域で発生しており(図6～図7)、その地殻変動プロセスを直接かつ精密に観測するには、深海掘削による深部構造の究明と掘削孔深部に設置した機器による観測が極めて有効だからです。

第四に、未知の生命や新しい資源が海底下に眠っていることが、いろいろな研究の中から推測されるようになってきたからです(メタンハイドレート:図8)。

第五に、深海掘削は人類の活動領域を深海、さらには海底下に拡大する技術的基盤を提供してくれるからです。

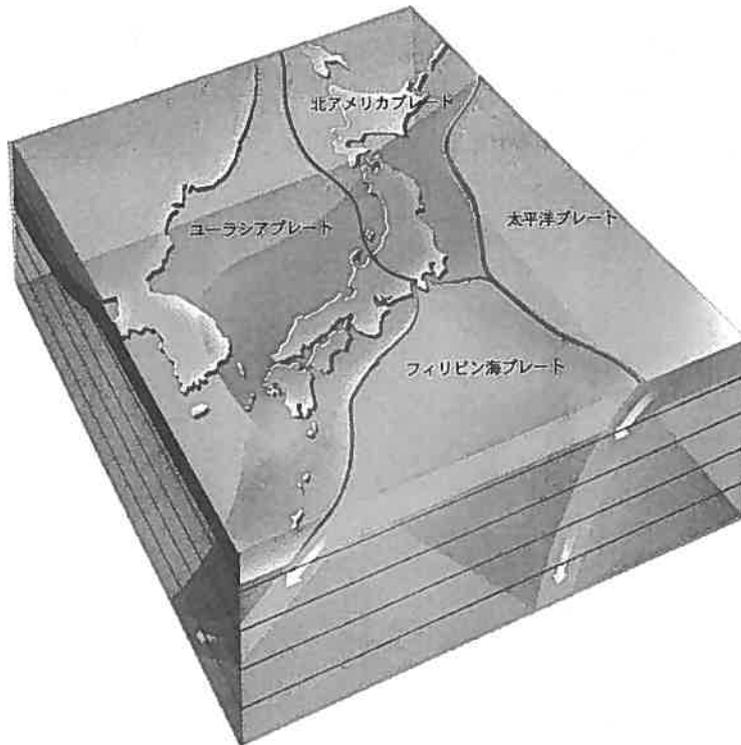


図6 日本付近のプレート
岩波グラフィックス「生きている地球」より

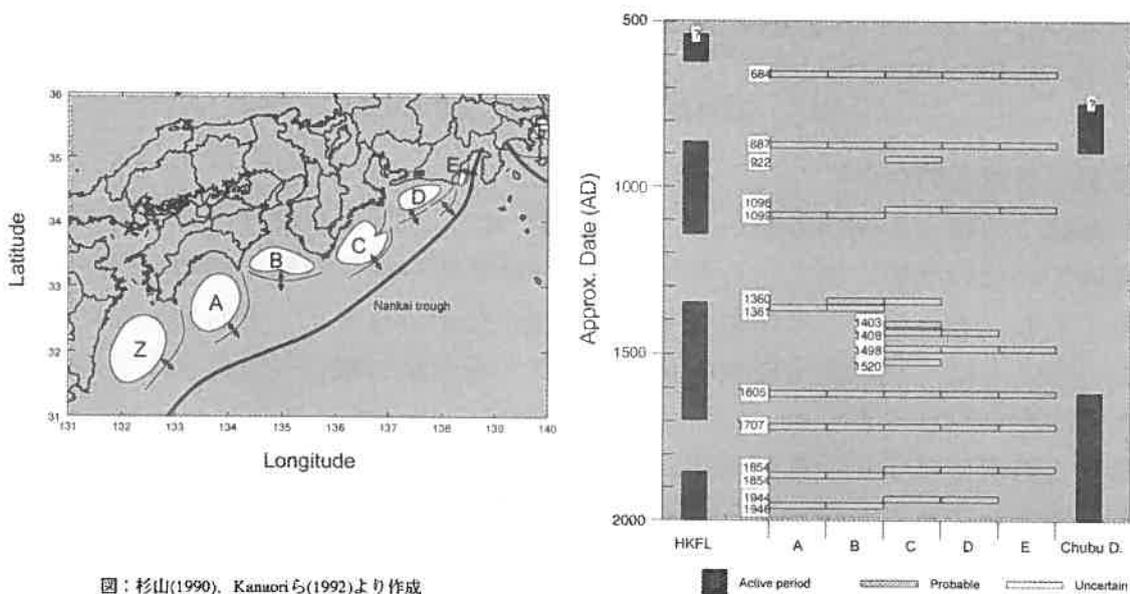
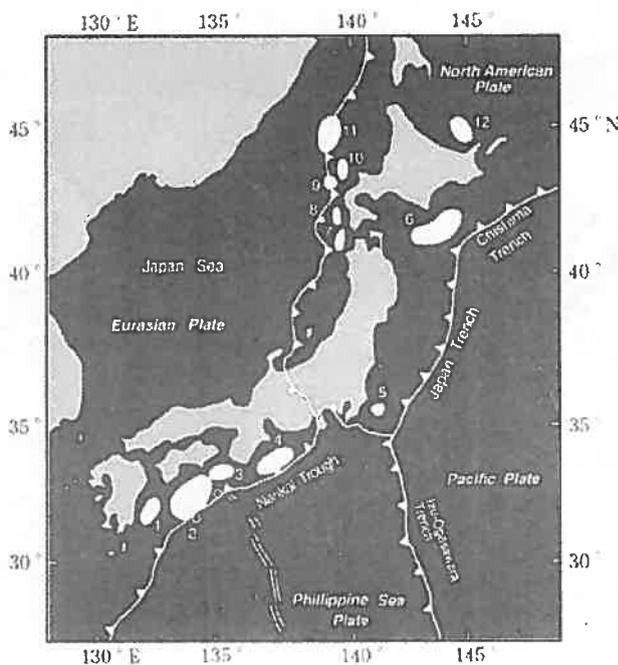
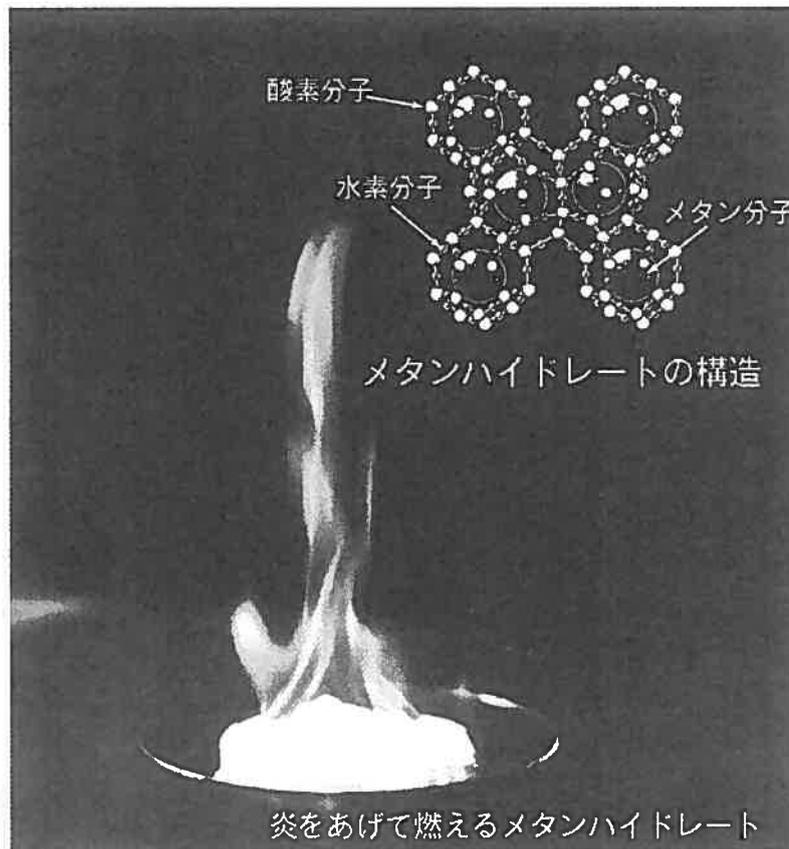


図: 杉山(1990), Kanuoriら(1992)より作成

図7 南海トラフ沿い巨大地震の可能性

メタンガスが水分子の籠に取り込まれたシャーベット状の物質。
次世代の資源として注目されている。



日本周辺海域における
メタンハイドレート分布予測域

メタンハイドレートの分布

深海底の「炭素貯蔵庫」

- ・水深500m以深の海底下やシベリアの永久凍土層に分布する
- ・日本周辺だけでも天然ガス国内消費量の約100年分と推測されている

→日本のエネルギーの
安定供給に貢献

出典：地質調査所／地質ニュース第510号

図8 メタンハイドレート

3. これまでの深海掘削で何が分かったか？

深海掘削の歩み

明治45(1912)年～	「大陸移動説」の提唱。
昭和34(1959)年	レベル博士（米）が「モホール計画」を発表。
昭和36(1961)年	石油掘削船「カス1号」が深海掘削船として改造される。
昭和36(1961)年	最初の深海掘削が「カス1号」により実施（171mのコアを回収）
昭和36(1961)～37年	「海洋底拡大説」の提唱。
昭和42(1967)～43年	「プレートテクトニクス説」の提唱（後に深海掘削により実証）
昭和43(1968)年	D S D P（Deep Sea Drilling Project：深海掘削計画）が開始 （掘削船「グローマーチャレンジャー（Glomar Challenger）号」）
昭和50(1975)年	I P O D（International Phase of Ocean Drilling：国際深海掘削 計画） 日本参加（文部省／東京大学海洋研究所が中心）。
昭和60(1985)年	O D P（Ocean Drilling Program：国際深海掘削計画）が開始 （「ジョイデスレゾリューション（JOIDES Resolution）号」）
平成5(1993)年	O D P 第二期が開始。

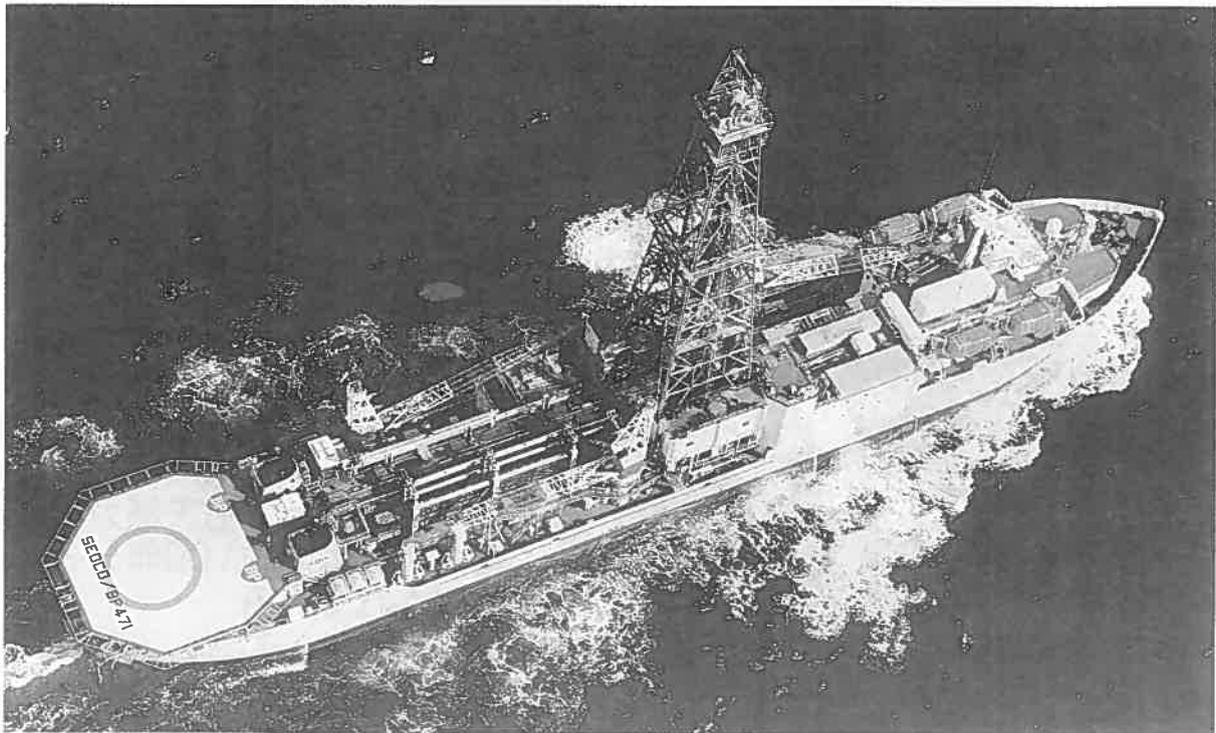


図9 ODPで活躍中の掘削船ジョイデス・レゾリューション号

ODP（Ocean Drilling Program：国際深海掘削計画）は米国、日本、ドイツをはじめとする22ヶ国が参加する国際プロジェクトとして多くの輝かしい成果を挙げてきている。

写真：ODPパンフレットより

現在はジョイデス・レゾリューション号(図9)が活躍中で、地球環境変動、生物大絶滅、固体地球のダイナミクスについて重要な仮説の実証など多くの成果を上げています(その主な成果を図10に示す)。そのクルーズ・レポートの他論文への参照数は千を超える(図11)ことから伺えるように、地球科学において極めて重要な役割を果たしています。

- (1) プレートテクトニクスの実証。
- (2) 地球全体が温暖化していた白亜紀(約1億年前)の姿を解明。
- (3) 氷河時代では、氷期・間氷期の変動よりもはるかに急速な変動(数千年から数百年)があることを発見(急速な温暖化と比較的ゆっくりした寒冷化)。
- (4) 海洋コンベアベルトの急変が、急激な環境変動の原因になったことを証明。
- (5) 6500万年前の小天体衝突(メキシコ湾ユカタン半島)が大きな環境変動の原因となったことを証明。
- (6) 海水準変動と海底扇状地の地層形成との関係を解明。
- (7) 現在発見されている中で最大級の熱水マウンドの内部構造を解明。
- (8) ガスハイドレート層からのサンプルの本格的回収に深海掘削史上初めて成功。メタンハイドレートの量は予想されていたよりもはるかに多いことを発見。
- (9) 沈み込み帯のプレート滑り面での掘削同時検層(Logging While Drilling)、長期温度水圧観測ステーション(CORK)による孔内測定に成功。

図10 深海掘削の主な成果

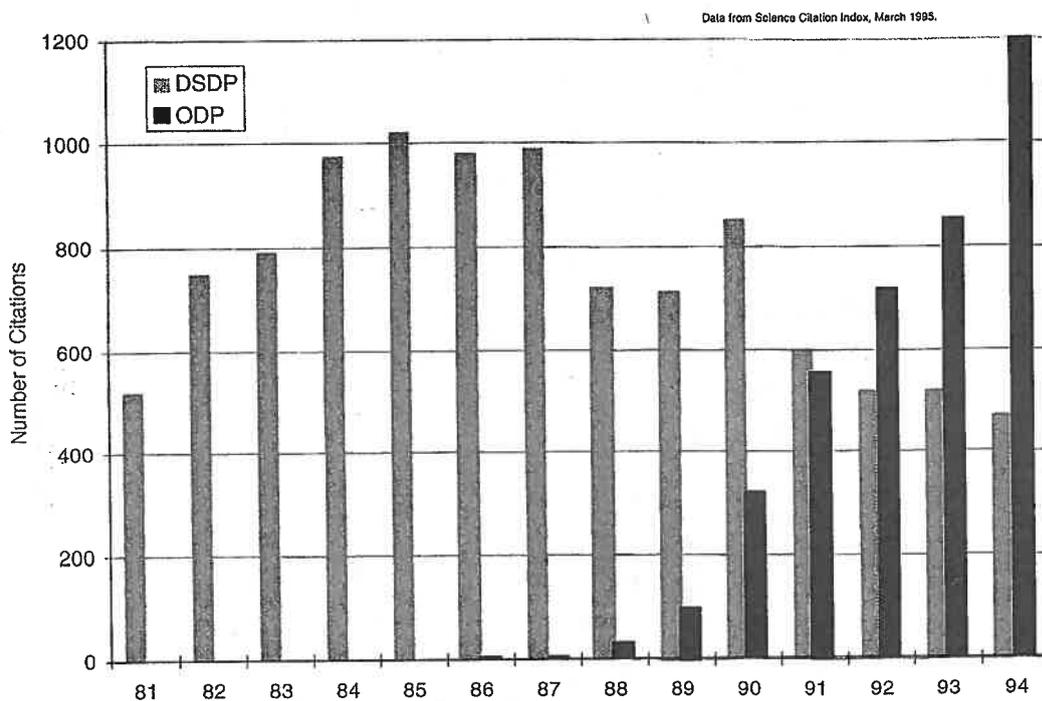


図11 これまでの深海掘削のイニシャルレポートの参照数の推移

DSDPイニシャルレポート及びODPプロシーディングが参照される件数は、上のグラフのとおり年々増加している。これは科学界において深海掘削の重要性が増してきていることを示すものである。

4. これまでの深海掘削での限界は何か？

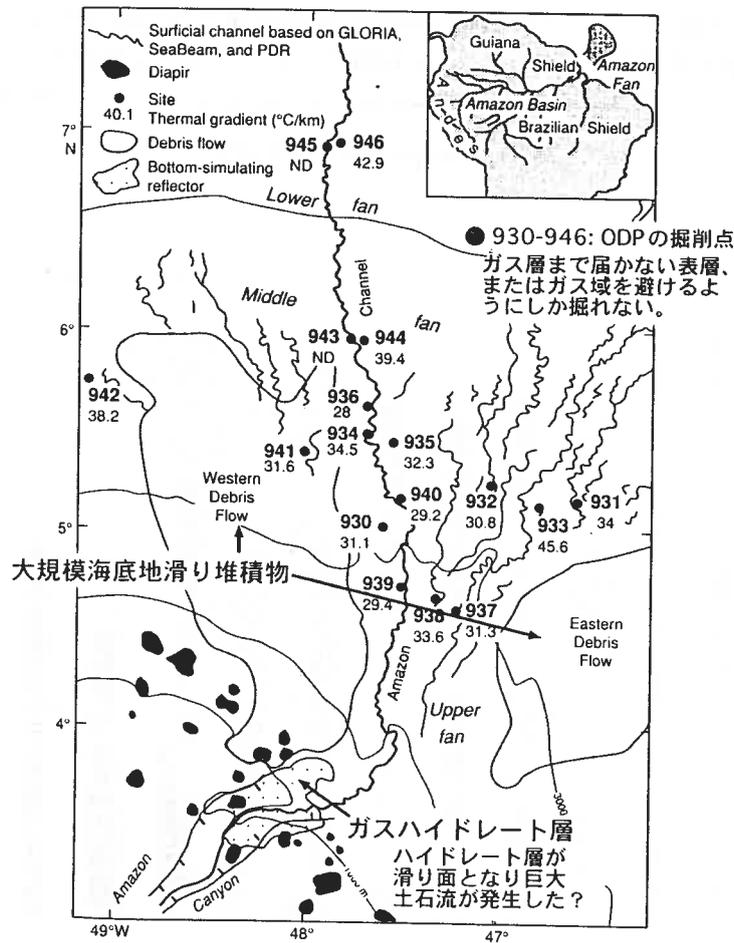
これまでの深海掘削において、従来の方式では解決困難な問題として次のような点が指摘されています。

(1) 炭化水素の存在域（科学掘削が不可能な地点の存在）

科学的に重要な厚い堆積層にはメタンなどの炭化水素が存在することが多いため、海洋汚染となる噴出の恐れがある地点では、掘削そのものに行えない状況にあります。また掘削途中で油兆が見られた場合は、掘削が中止されています（アマゾン川海底扇状地での掘削制限の例：図12）。

アマゾン、ミシシッピ、インダス、ベンガル
巨大海底扇状地は高解像度の地層保管庫
・・・地球環境変遷史を探る上で重要

現在の技術ではせっかくの保管庫をうまく使いこなせない。
●炭化水素域（石油・ガス）の存在→ライザー掘削が必要。



アマゾン川河口海底扇状地の海底地形と掘削孔（ODP Leg155）

図12 これまでの深海掘削の限界

出典：ODP Initial Reports Vol.155

(2) 掘削孔の崩壊（科学的掘削が困難な地層の存在）

多くの研究課題において、地殻のより深部まで掘削する必要性が求められていますが、掘削孔の崩壊によって掘削の続行やコアの回収等が困難となっています（これまでの深海掘削では海底下約 2 km が限界：図13）。

(3) コア回収率の低下

一般に掘削深度が深くなるにつれて、掘削はできてもコアが粉々に崩れる割合が増えるなど回収率が低下し、まったく回収できないこともあります。

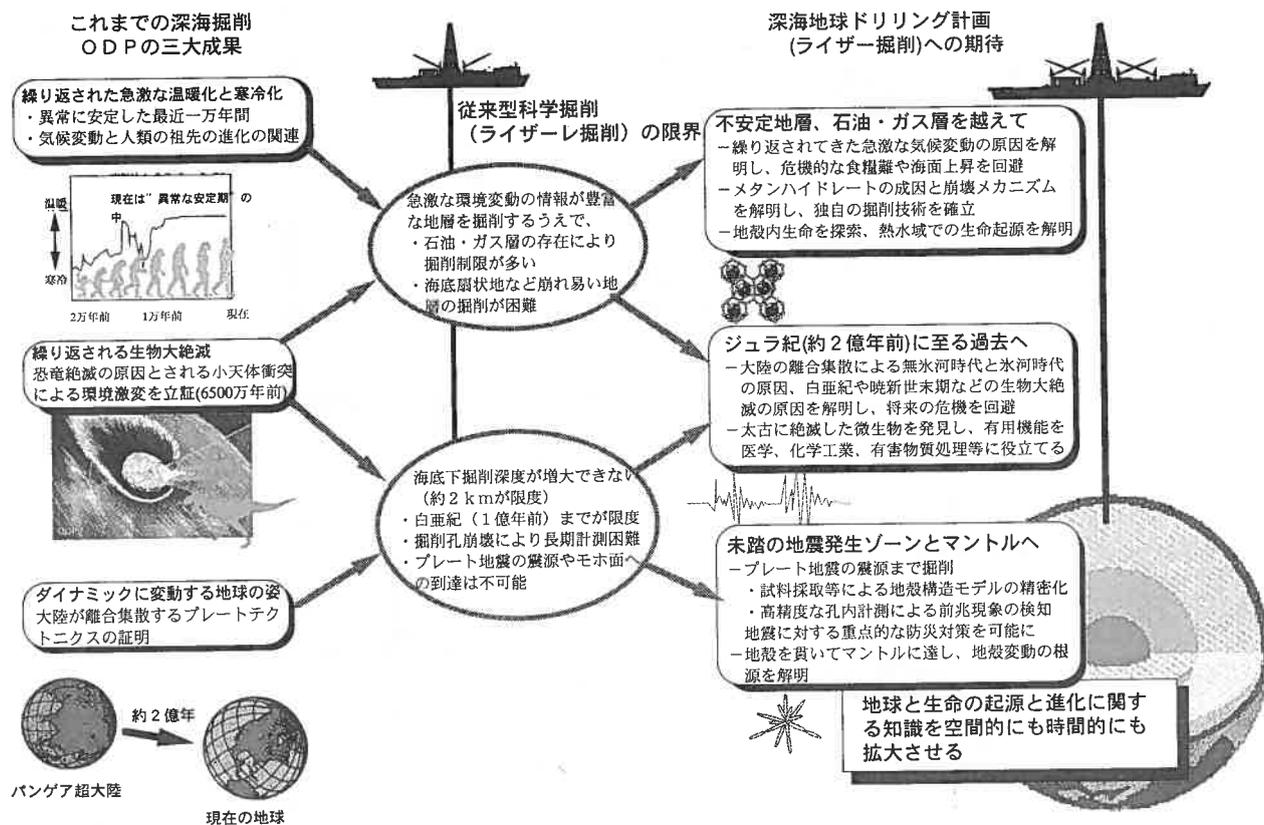


図13 従来型科学掘削の限界と深海地球ドリリング計画への期待

5. 新たな深海掘削の提案（深海地球ドリリング計画）

5.1 ライザー掘削とは？

ライザー掘削とは、ドリルパイプの外側に掘削船と掘削孔の間を繋ぐライザー管という管を設けたものです(ライザー掘削の手順：図14)。

これまでの深海掘削は掘削屑を排出するために海水を注入し、掘削屑は孔の外の海底面に排出していました(図15の左図)。ライザー掘削では海水の代わりに特殊な泥水を循環させることによって掘削屑を効率的に船上まで搬送し、かつ掘削孔内の環境をコントロールしながら海底下深部までの掘削を可能とするものです(図15の右図)。注入した泥水が環流してドリルパイプとライザー管の間を通過して掘削船まで上昇する点が「ライザー管」と呼ぶ所以です。

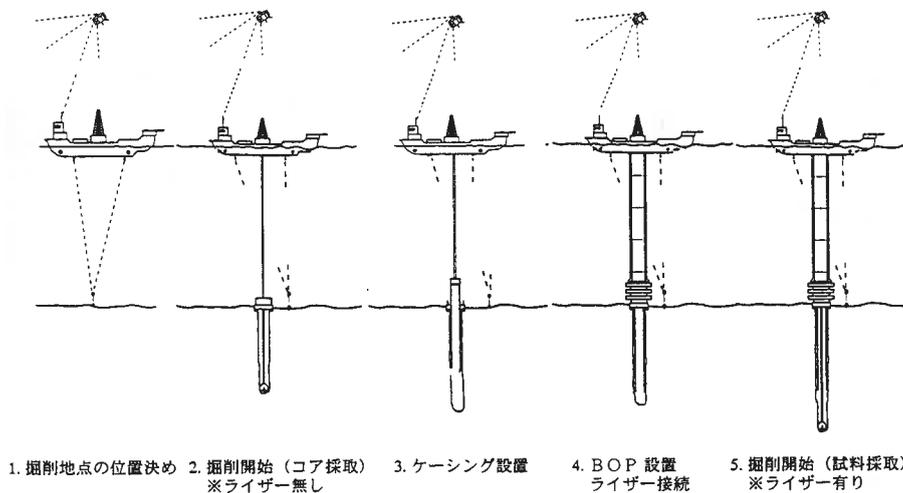


図14 掘削手順

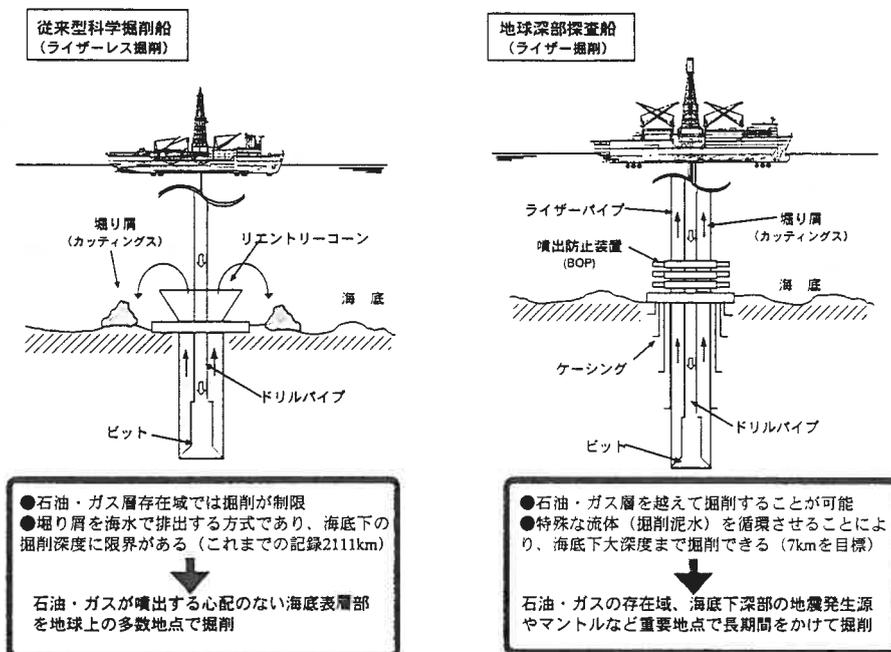


図15 ライザーレス掘削とライザー掘削の比較

ライザー掘削で以下のことが可能となります（泥水循環の仕組み：図16）。

(1) 軟弱地層の大深度掘削

孔壁を強化する機能のある泥水を循環させることで掘削孔を安定化し、大深度までの掘削を可能とします。

(2) 噴出防止

暴噴防止装置によって炭化水素存在海域での暴噴や海洋汚染を防止でき、これまで掘削が制限されていた科学的に重要な海域の掘削を可能とします。

(3) 掘削の効率化

a) 泥水中掘削屑を分析しながら最適なビットに効率的に交換することができます。

b) 泥水の大きな粘性によって削り屑を効率的に孔底から排除できるので、掘削効率が上がります。

(4) 掘削孔の長期安定化

ライザー管を利用して海底下深部まで効率よくケーシングを挿入でき、長期にわたる孔内計測を可能とします。

(5) ドリルパイプ長の延伸

ライザー管は海底と船との間で引っ張り力が加わった状態で強く接合されるため、中を通るドリルパイプは余分な曲げを受けることがなく、その分ドリルパイプ長を延伸できます。試算ではライザーレスでは約9,000mが限度なのに対してライザー掘削ではモホ面貫通に足る約12,000mが可能と言う結果を得ています。

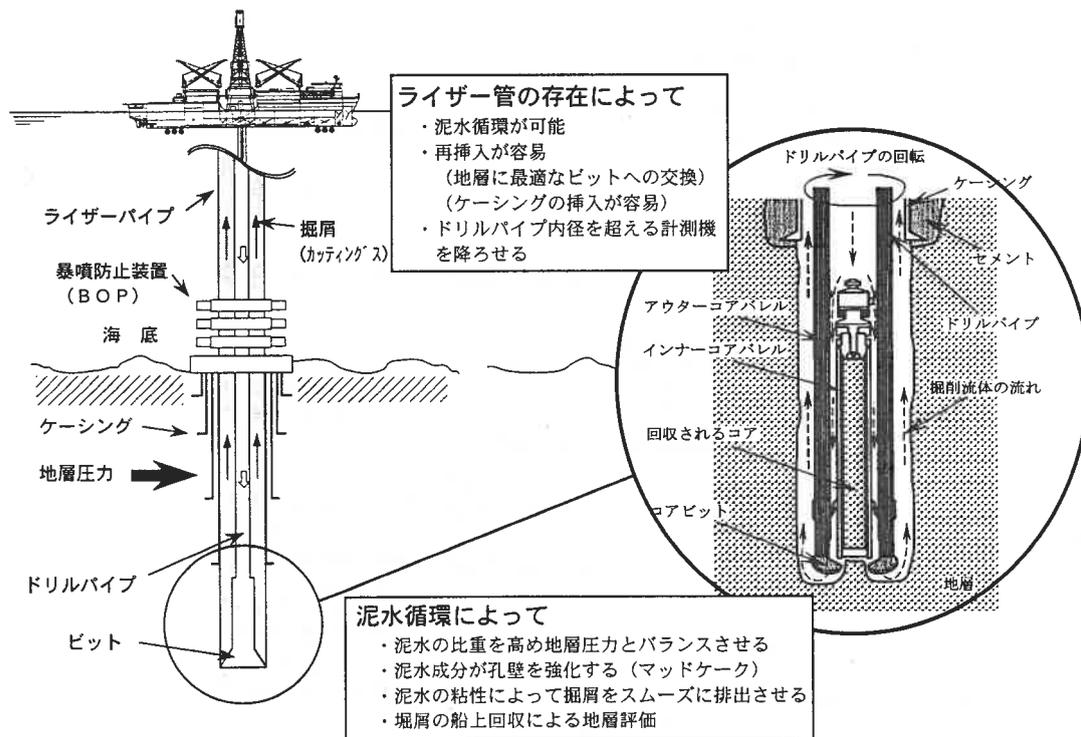


図16 ライザー掘削の仕組み

5.2 深海地球ドリリング計画の歩み

1959年に地殻とマンツルの境界であるモホ面（モホロビッチ不連続面）への到達を目指した「モホール計画」が発表されて以来、カス1号からグローマーチャレンジャー号に引継がれ、1975年に米DSDP計画が国際共同プログラムIPOD計画に発展して日本（文部省東京大学海洋研）が参加。1985年に現在のジョイデスレゾリューション号によるODP計画が開始されています(図17)。

このような日本の取り組みを踏まえて、1990年海洋開発審議会第3号答申において新しい掘削船の開発を含む国際深海掘削計画への取り組みの強化がうたわれました。

海洋科学技術センターでは1990年にライザー掘削技術の研究に着手、1992年に要素技術開発の開始、1995年に全体システムの研究を開始、1998年に海底掘削システム試験機の製作を開始しています。

この間、ODPとの間では、1994年にODP執行委員会が日本のライザー掘削船構想を支持し、1996年にODP長期計画書でライザー掘削船と従来型科学掘削船の2船体制が明記されました。

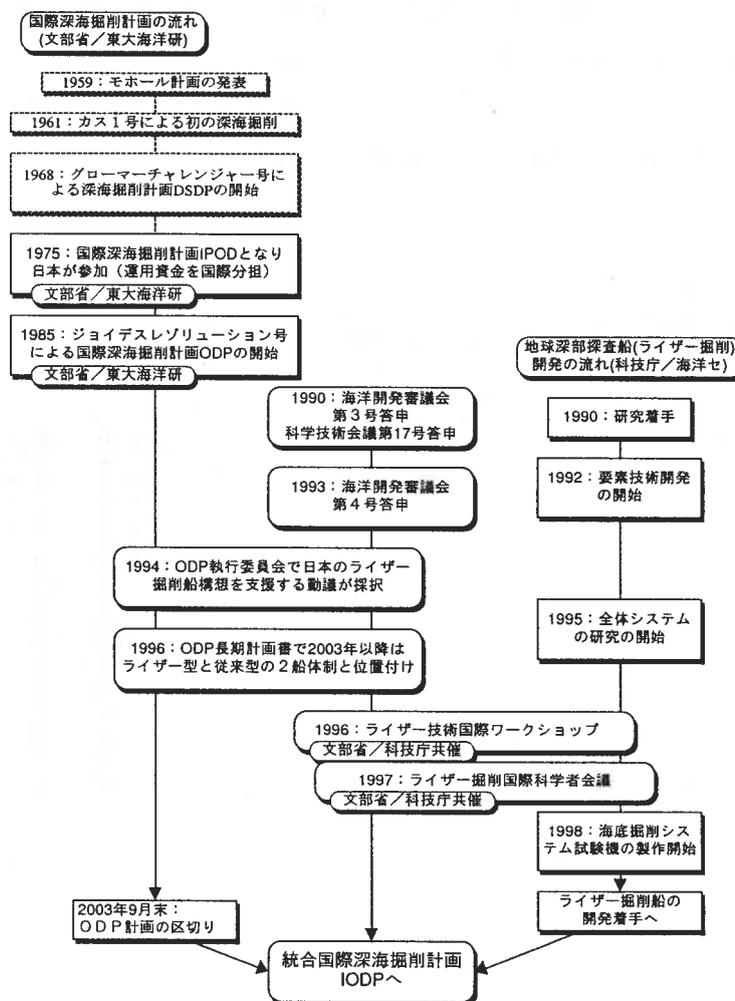
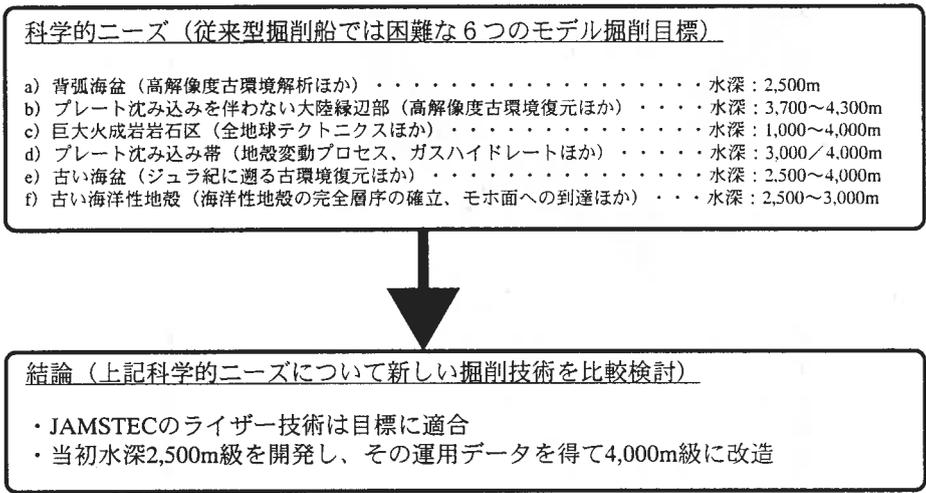


図17 深海地球ドリリング計画の歩み

(技術的評価)

同年7月にライザー技術の国際的な技術的評価を目的とした「ライザー技術国際ワークショップ」(図18)が開催され、7つのモデル掘削サイト(表19)を設定して技術的実現性が検討された結果、水深2500m級海域(図20)での科学的成果と運用データを得て水深4000m級海域(図21)でのライザー掘削を目指すという段階的な開発の取り組み方について妥当であるとの技術的評価を得ました。地球深部探査船の概念図を図22に、J R号、石油用ライザー掘削船との比較を図23に示します。



- ・ 東京大学海洋研究所、JOIDESとの共同開催 (平成8年10月28~30日)
- ・ 深海掘削に精通した内外の科学者及び技術者93名が参加 (海外からは6ヶ国、23名)

図18 ライザー技術国際ワークショップ

番号	1	2	3	4	5	6	7
テーマ	New Oceanic Crust (新期海洋地殻)	Old Oceanic Crust (古期海洋地殻)	Large Igneous Provisions (海洋性巨大火山岩区: 海台)	Convergent Margins (プレート沈み込み帯域)	Passive Margins/Rifted Margin (非活動大陸縁部/大陸分裂縁部)	Deep Ocean Basin Sediments (深海海盆堆積物)	Back Arc Basin (背弧海盆)
研究対象	・ 海洋性地殻形成の研究 ・ 海嶺の発達過程の研究	・ 成熟した海洋性地殻断面の研究 ・ マントルのコア採取	・ スーパーブルーームの地球表面への影響の研究	・ プレートが沈み込む海域での地質学的研究	・ 大陸分裂部とリフト縁部地層の高精度解析	・ 中生代の地球環境変動の研究 ・ ジュラ紀の海洋性地殻、 Gondwanaプレートの挙動他の研究	・ 地球環境変動、地殻・熱水活動の研究 ・ 掘削孔利用長期観測
モデルホールサイト	東太平洋 (East Pacific Rise N9.5deg: W105deg)	東太平洋 (カリフォルニア沖) (Deep Tow N32.3deg: W125.7deg)	ケーススタディ用でサイトは特定していない	南海トラフ (Nankai Trough N31.4deg: E133.4deg)	ユカタン大陸縁の北西部 (northwest of Yucatan shelf N23deg: W92deg)	西ソマリ海盆 (S3deg-N4deg: W45-50 deg)	日本海 (Japan Sea)
水深	2,500 m	3,700-4,300 m	1,000 m- 4,000 m	4,000 m 3,000 m	2,500 m- 4,000 m	4,000 m	2,500 m- 3,000 m
海底下掘削深度	1,500 m	7,000 m	3,500 m	2,500 m 7,000 m	2,500 m	2,600 m	2,700 m
地質年代	0年	30 百万年 (漸進世)	140~60 百万年 (白亜紀)	24~5 百万年 (中新世)	212~143 百万年 (ジュラ紀)	212~143 百万年 (ジュラ紀)	24~5 百万年 (中新世)
通用掘削システム	・ DCS(Diamond Coring System) 装備のJoides Resolution 号 ・ DCS 装備のライザー無しOD21 船	・ フェーズBライザー装備のOD21. 併せて長さ 1,000m 以上のドリルパイプが必要	・ フェーズA のOD21 ・ フェーズB	・ 海溝斜面部の地震発生域の掘削: フェーズA のOD21 ・ 海溝斜面部の非地震帯の掘削: J.R.号 (掘削能力に制限あり) あるいはフェーズBライザー装備のOD21	・ フェーズA のOD21 ・ フェーズBライザーとBOPを併せ持ったシステム	・ 現行使用のJ.R.号	・ フェーズA のOD21 ・ 浅深度に賦存する炭化水素を制御出来る機能を持つライザーレスシステム

フェーズA: 水深2,500m級ライザー掘削. フェーズB: 水深4,000m級ライザー掘削

表19 地質構造別ケーススタディ

- 地球変動予測への貢献
- ◎ 地殻変動プロセス（プレート沈み込み帯）の解明
- ▲ 新しい資源や未知の特殊環境生物の探求

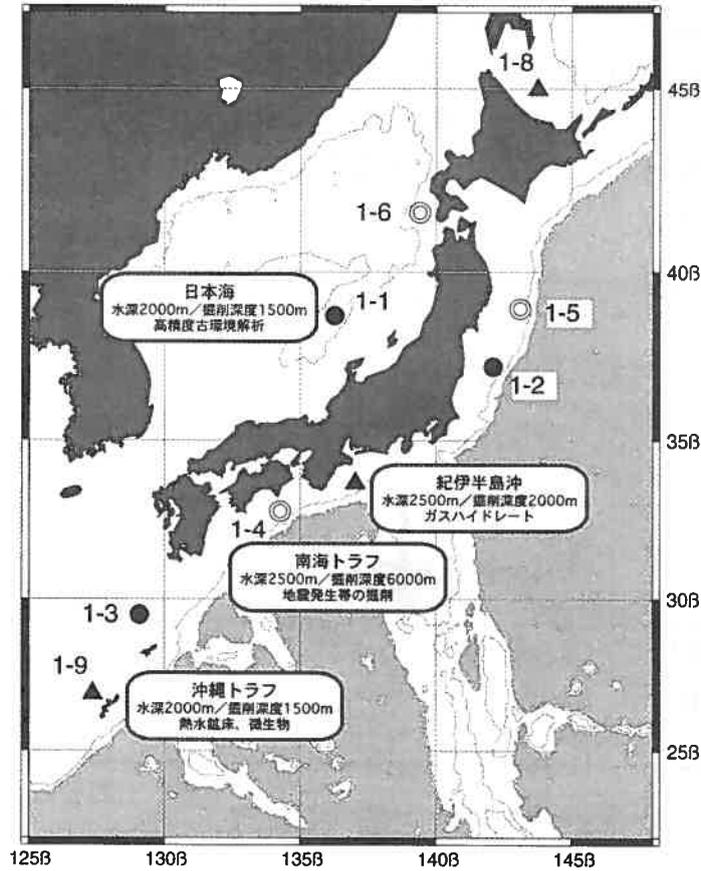


図20 水深2500mまでのライザー掘削ニーズ

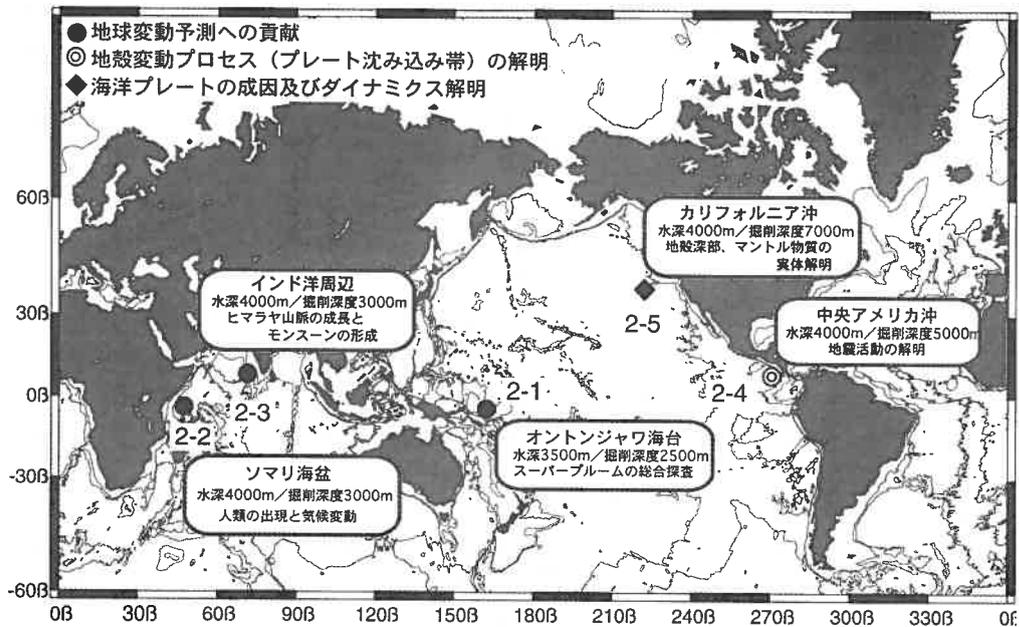


図21 水深4000mまでのライザー掘削ニーズ

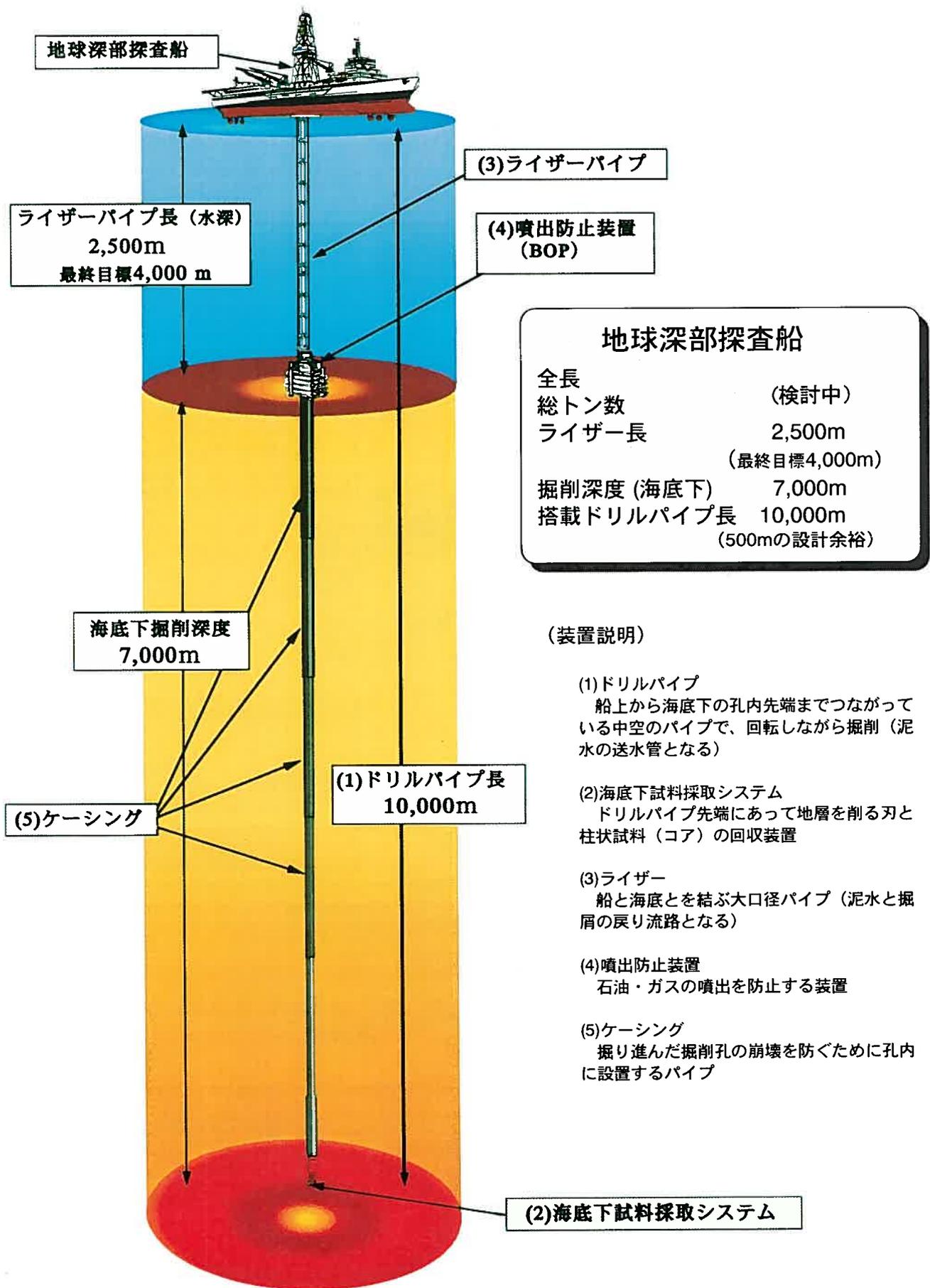
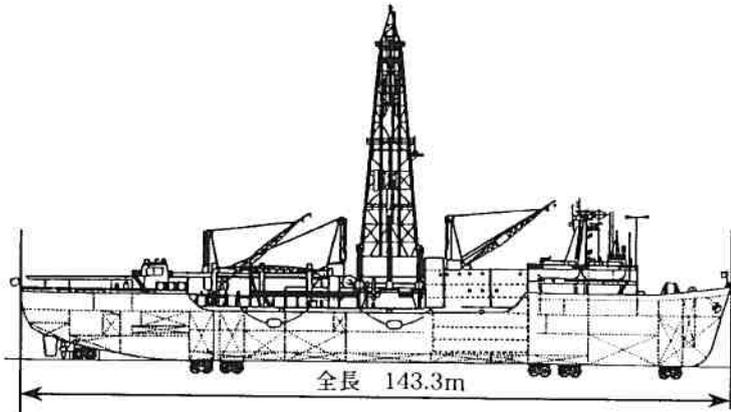
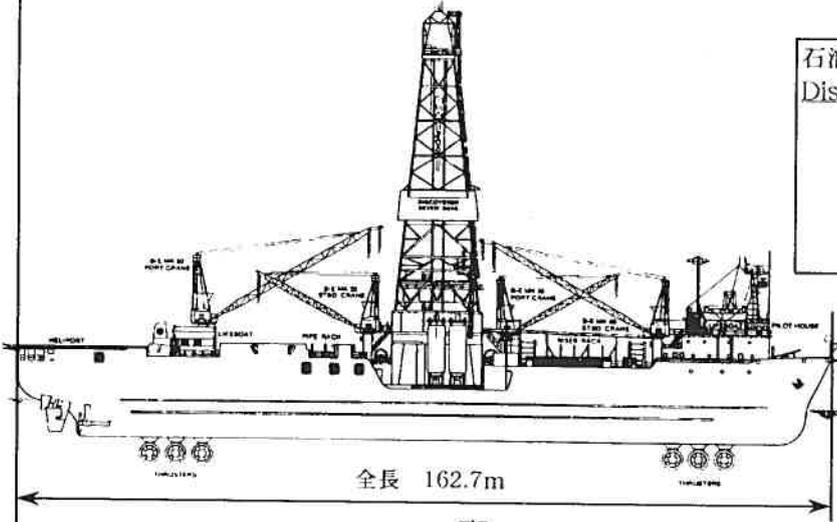


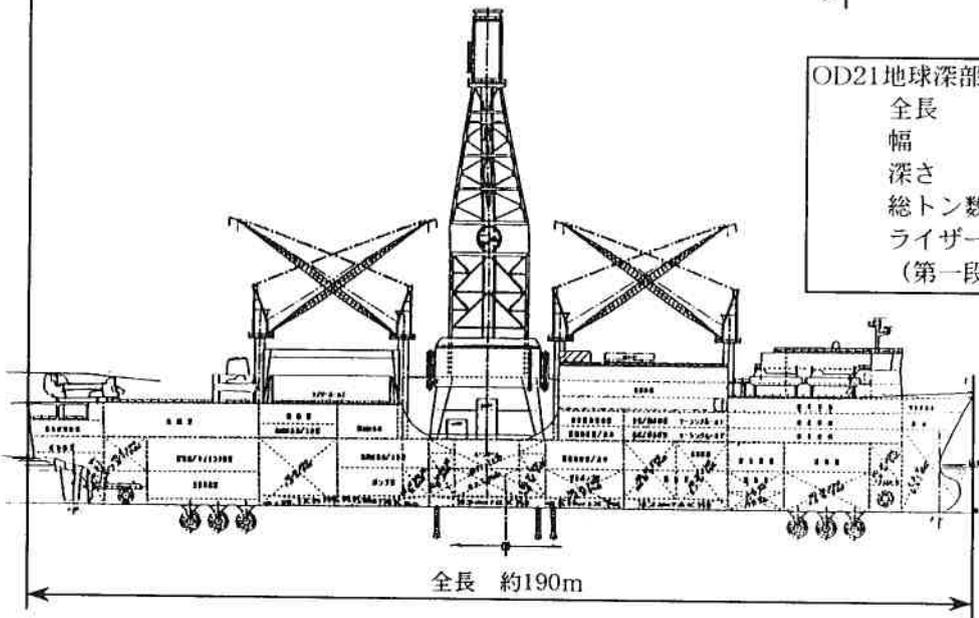
図22 地球深部調査船の概念図



ODP掘削船 (ライザーレス)
 ジョイデス・レゾリューション
 全長 143.3m
 幅 21.3m
 深さ 9.8m
 総トン数 9,719トン
 ライザー搭載なし



石油用掘削船 (ライザー掘削船)
 Discoverer Seven Seas
 全長 162.7m
 幅 24.4m
 深さ 9.8m
 総トン数 11,996トン
 ライザー長 1,800m



OD21地球深部探査船 (ライザー掘削船)
 全長
 幅 検討中
 深さ
 総トン数 31,500トン
 ライザー長 4,000m
 (第一段階 2,500m)

ODP掘削船(J.R号)や現行の石油掘削船との違い

- ・ライザー長4,000mを搭載可能
- ・世界の海で掘削可能なよう耐候性を向上
- ・大面積の研究室を船上に併設

→ 船体の大型化が必要

図23 掘削船の主要目比較

(科学的評価)

1997年7月にライザー掘削船を用いた科学計画の基本的考え方を決めるための「ライザー掘削国際会議」(CONCORD会議)が開催され(図24)、科学目標及び初期運用課題(日本周辺の地震発生ゾーン)が決められました(図25)。

CONCORD会議の目的

- ・ライザー掘削の必要性について、世界の科学者の明確なコンセンサスを得られるか？
 - ・世界中の多くの科学者から支持され得る魅力ある科学目標が実現できるか？
 - ・本計画が各国が運用費を分担するに値するものであるか？
- ・ライザー掘削船の国際運用における科学計画の基本方針はなにか？

世界の科学者の意見を反映させるために

- ・1年半の準備期間
- ・国際運営委員会を設置 (H.C.ラーセンと久城育夫の共同議長)
 - ・ ODPからの意見
 - ・ 各国のODP国内委員会を通じて
- ・国内運営委員会と6つのワーキンググループを設置 (JAMSTECと海洋研の共同事務局)
 - ・ インターネット、E-Mailによって日本全国の研究者に呼び掛け
 - ・ 東京だけでなく、全国各地でワーキンググループを開催
- ・3日間にわたる国際会議 (COSODのやり方に沿って運営)
 - ・ 17カ国、2国際機関から約150人(うち外国人約80人)の参加
 - ・ 全体会議と6分科会との組み合わせ
 - ・ 選出された委員による報告書作成キャンプ

厳正な評価のために

- ・ 科学的背景の明確化
- ・ 鍵となる課題はなにか
- ・ サンプルの採取、分析方法など実験システムの明確化
- ・ 科学及び社会に対して重大なブレイクスルーとなる可能性があるか
- ・ 用意すべき研究施設、研究環境
- ・ 目標達成のためにどのような分野と協力すべきか
- ・ 技術的な要求

何が合意されたか

- ・ 深海掘削計画の継続は、地球科学に対する社会的な要請の増大に対応するために不可欠
本計画はかつてない魅力的な科学探査領域を切り開き、その結果として、社会的、経済的な利益をもたらす
- ・ 本計画は、地震・火山噴火・津波等の自然災害への対応など21世紀に挑戦すべき課題に合致
大規模地震プロセスの理解がライザー掘削船の最優先課題
- ・ 本計画は、上記目標に対応するために21世紀初頭に開始されるべき

図24 ライザー掘削国際会議

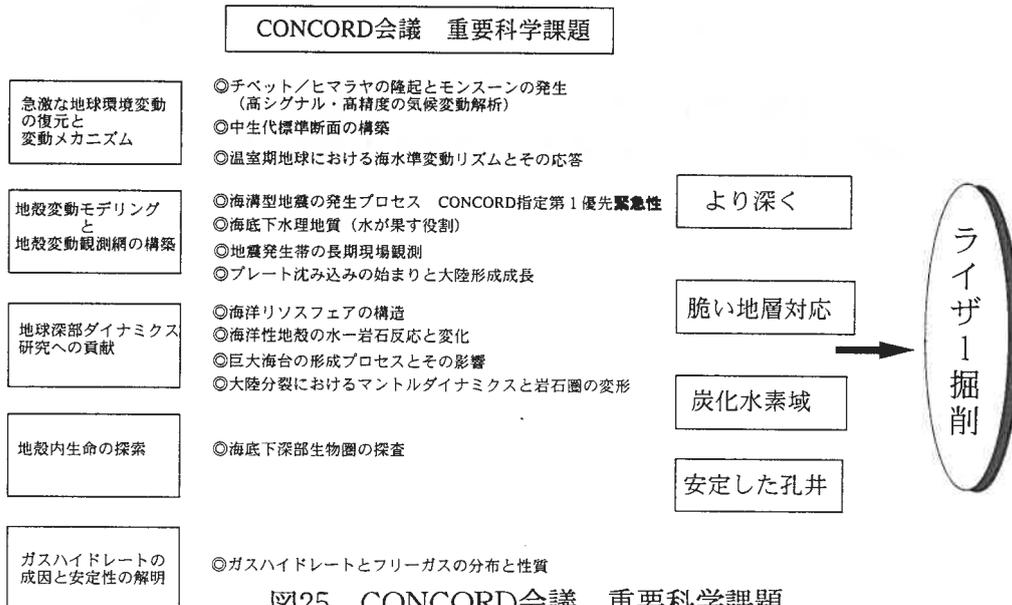


図25 CONCORD会議 重要科学課題

5.3 深海地球ドリリング計画の目的

以上の経緯のもと、これまでの技術的制約を越える地球深部探査船（ライザー掘削船）を開発し、米国が運用責任機関となる従来型科学掘削船との二船が相互に補完しあう統合国際深海掘削計画(IODP)を推進することによって、以下のような科学目標を実現し、地球と生命についての知識を時間的にも空間的にも飛躍的に拡大させることを「深海地球ドリリング計画」の目的とします(図26、図27)。

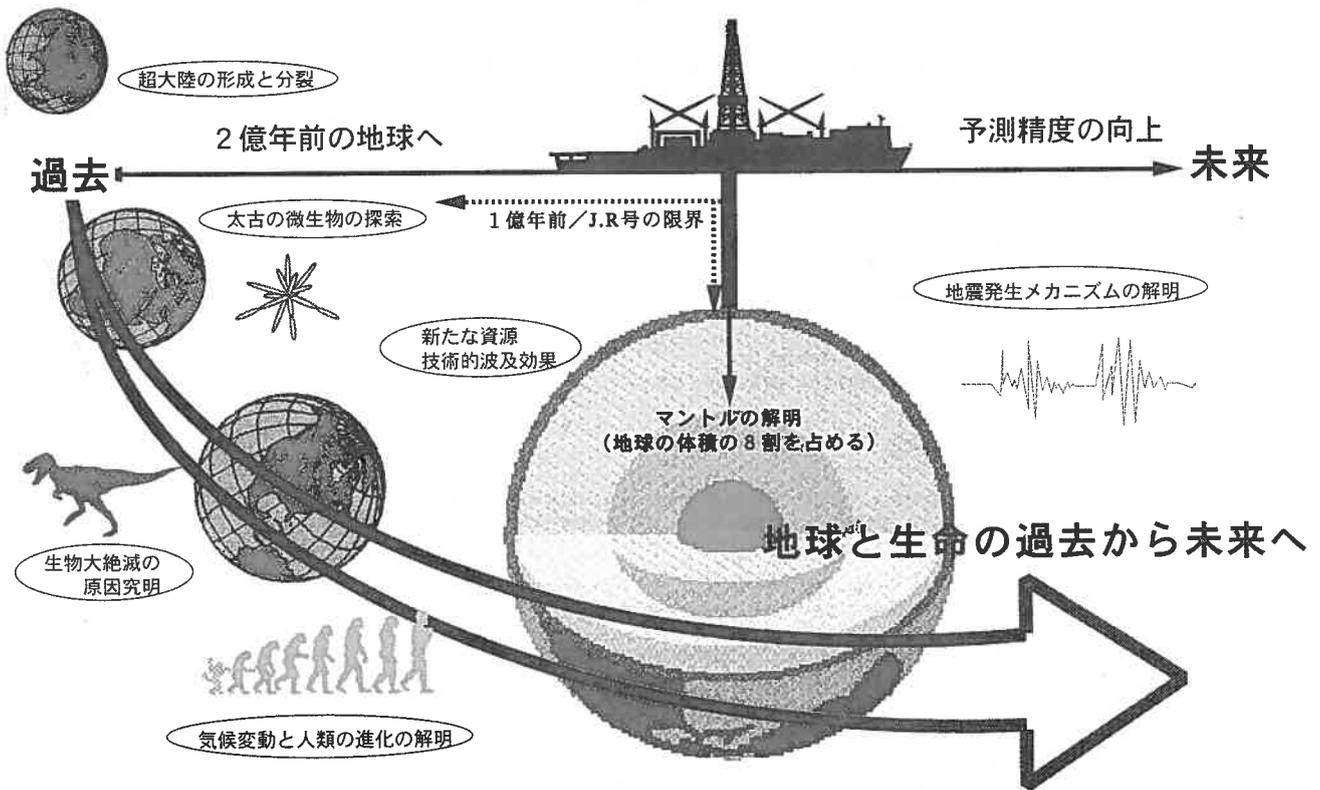


図26 深海地球ドリリング計画が目指すもの
地球と生命についての知識を時間的にも空間的にも飛躍的に拡大させる

急激な気候変動や地震の解明、
 地殻内生命や新たな資源の探求のため、
 世界最高の深海掘削能力をもつ“地球深部探査船”を
 開発し、創造的な地球科学と生命科学を推進する。

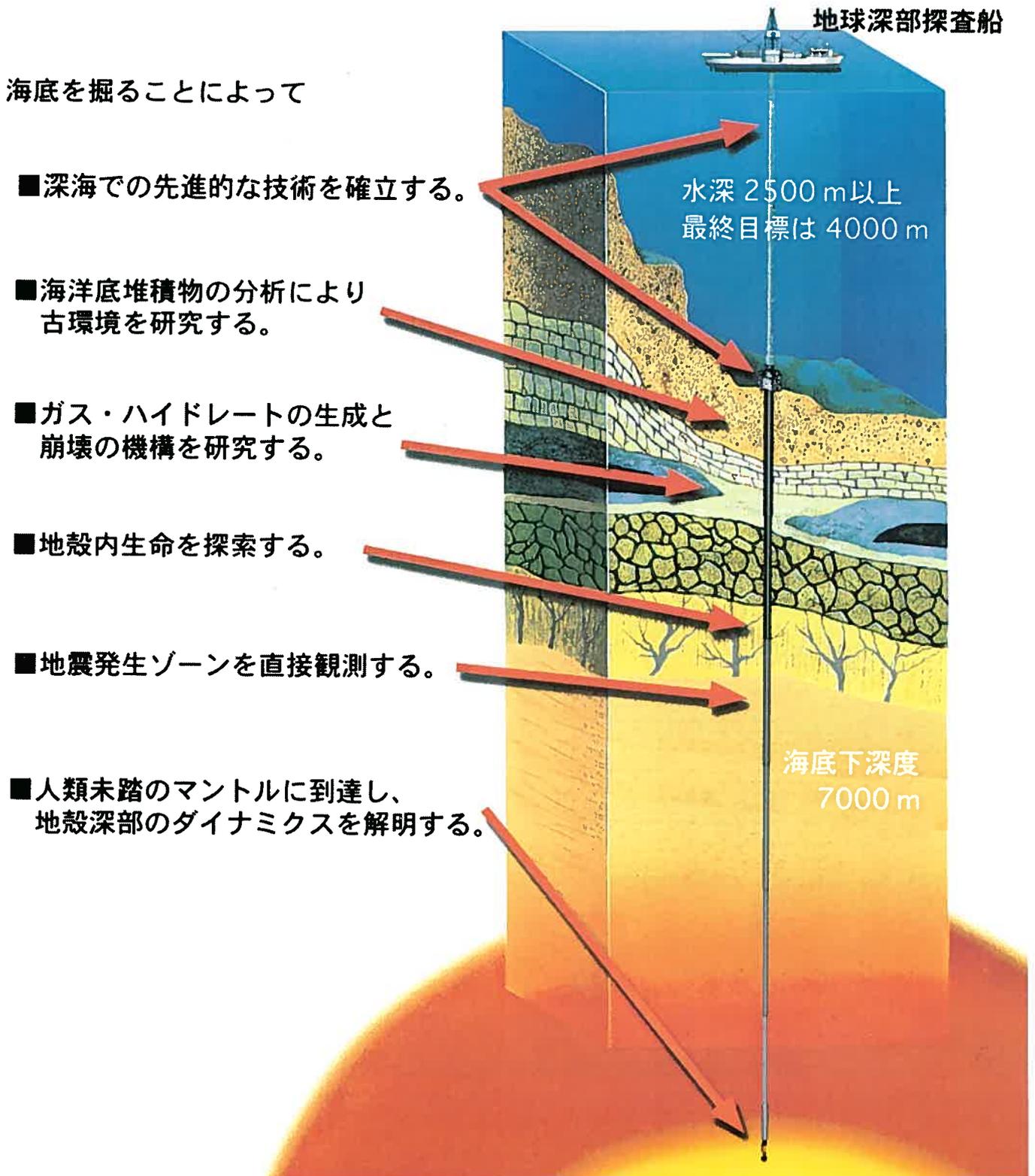


図27 深海地球ドリリング計画

(1) 急激な地球環境変動の復元と変動メカニズム

一万年より以前には数年～数十年で数度C以上も気温が上昇する現象が繰り返されてきました(図4,28)。特に地球軌道要素の状態が現在とよく似ている約40万年前の間氷期には現在よりも暖かい気候モードが存在し(図29)、その時は西南極大陸氷床が大崩壊を起こした可能性があります(図30)。このような急激な温暖化又は寒冷化(気候ジャンプ)のメカニズムを解明するためには、堆積速度の速い縁海や大陸周辺部での掘削が必要です。そのような海域は炭化水素の存在や脆い地層が従来法による掘削を妨げていました。このため、ライザー掘削が期待されています(図32)。

堆積物コアを分析することによって氷床コアなどからは得られない表層及び底層の水溫、海洋大循環の強さ、生物生産力、氷床の崩壊、海面高さの変動などの情報が得られます。これは、二船体制での分担によって全球的な気候復元が効率的に達成できるため、氷期や間氷期に繰り返された急激な気候変動の原因解明に寄与します(図31)。

高シグナル・高精度の気候変動解析が必要。

目標 数百年～数千年周期の現象：例 小氷河期、小間氷期
 (数年～数10年間で数°C以上の激変) 氷床大崩壊等
 数年～数十年周期の現象 例 太陽黒点活動、
 エルニーニョ等

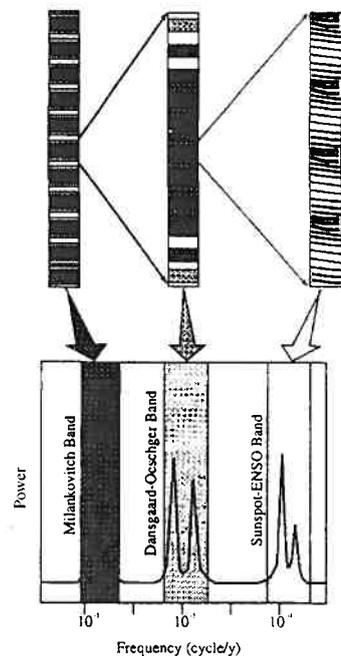
従来 極域の氷床掘削またはサンゴ礁掘削
 (場所を限定される欠点)

気候変動情報が減衰せず、連続的にかつ
 急速に堆積する場を選ぶ。

大陸縁辺部、縁海等が候補
 (南シナ海、ベンガル湾等)

炭化水素の存在、脆い地層が、従来法の掘削を妨げていた。

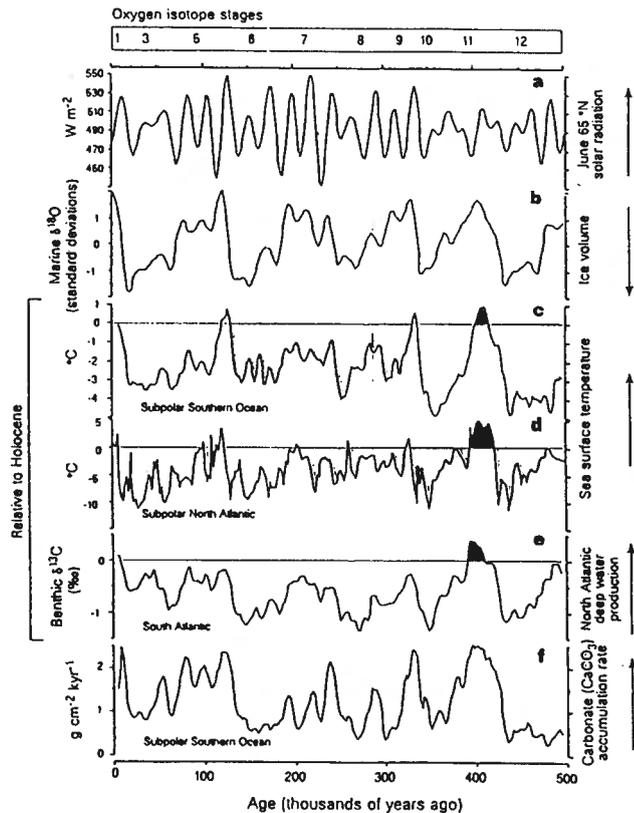
ライザー掘削が必要



海底堆積物に記録された
 各種の気候変動の概念図

通常の外洋堆積物ではミランコビッチ周期を読みとるのがせいぜいだが、堆積速度の速い縁海や大陸縁辺部ではダンスガード・オエシュガー周期を高精度解析できる。太陽黒点-ENSO周期については通常珊瑚礁の記録を解析するが、無酸素状態下での堆積物を使えば半遠洋性堆積物でも解読が可能である(図：多田隆治)。

図28 急激な地球環境変動の復元と変動メカニズムの解明



Howard (1997) Nature, 388, 418-419.

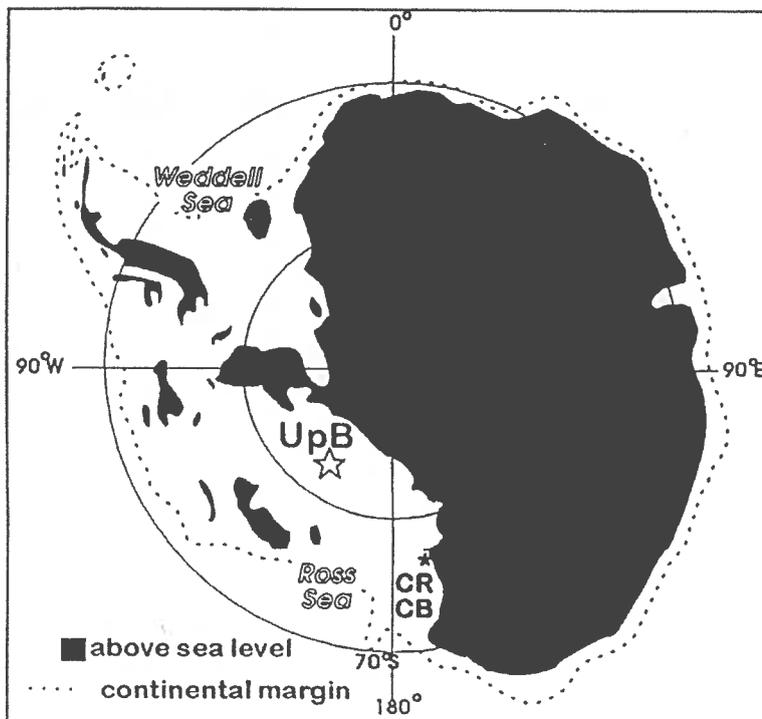
過去50万年における気候・化学組成変化。

bからf (2, 8~11を順次参照) の気候パラメータ全ては地球軌道の変動により決まる太陽エネルギー(12参照)に相関している(c,d,eは完新世(過去1万年程)の平均値に対する値)。ステージ11と言う長く暖かい間氷期が、我々人類が現在活動していると同様の軌道条件下で生じていた。それは現在の我々にとってモデルと成りうるであろうか？

図29 Stage 11は、近未来の地球環境を知る手掛かりとなる？

西南極氷床(WAIS)が完全に崩壊した後の西南極海路の構成概略。

セッティングとして外洋、海水、棚氷縁、潮間氷河作用、氷岬等を含む。南極横断表層水循環は地殻構造と氷床分布により制約を受けた。UpB、ロバート岬(CR)、バーン岬(CB)の位置を示した。



Scherer et al. (1998) Science, 281, 82-85.

図30 西南極氷床は、過去数十万年の間に、少なくとも一度は崩壊していた。

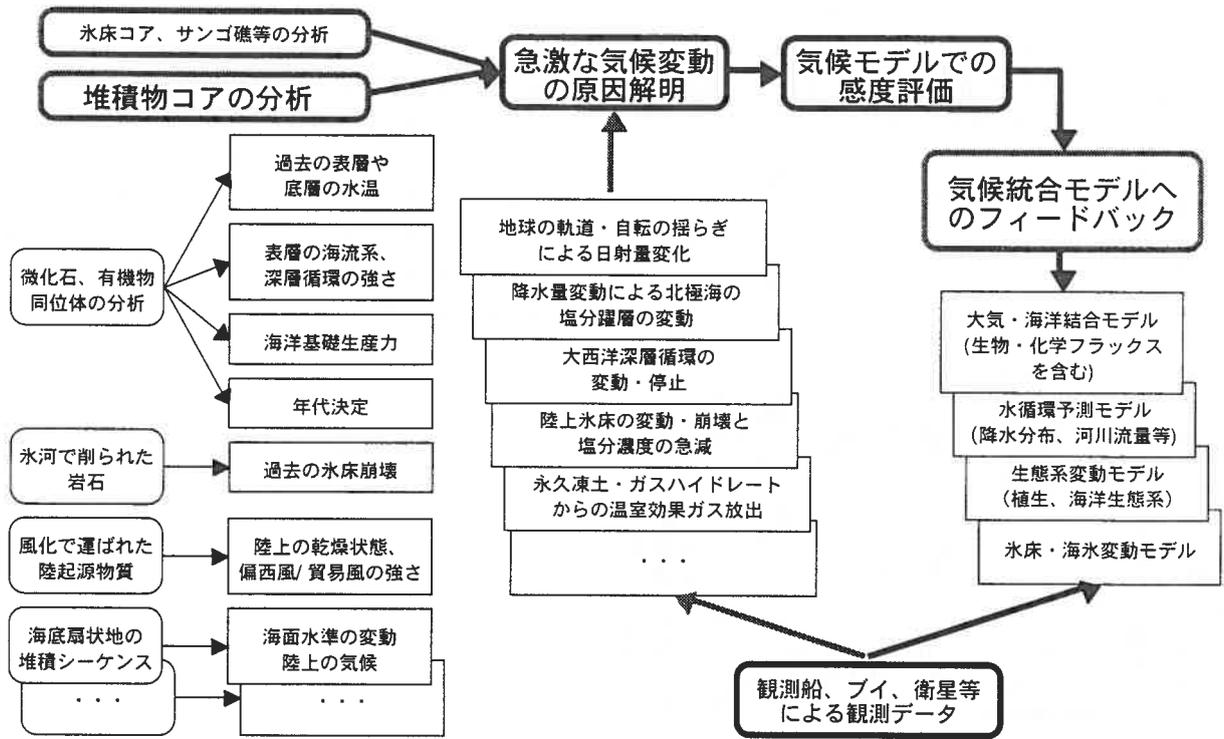
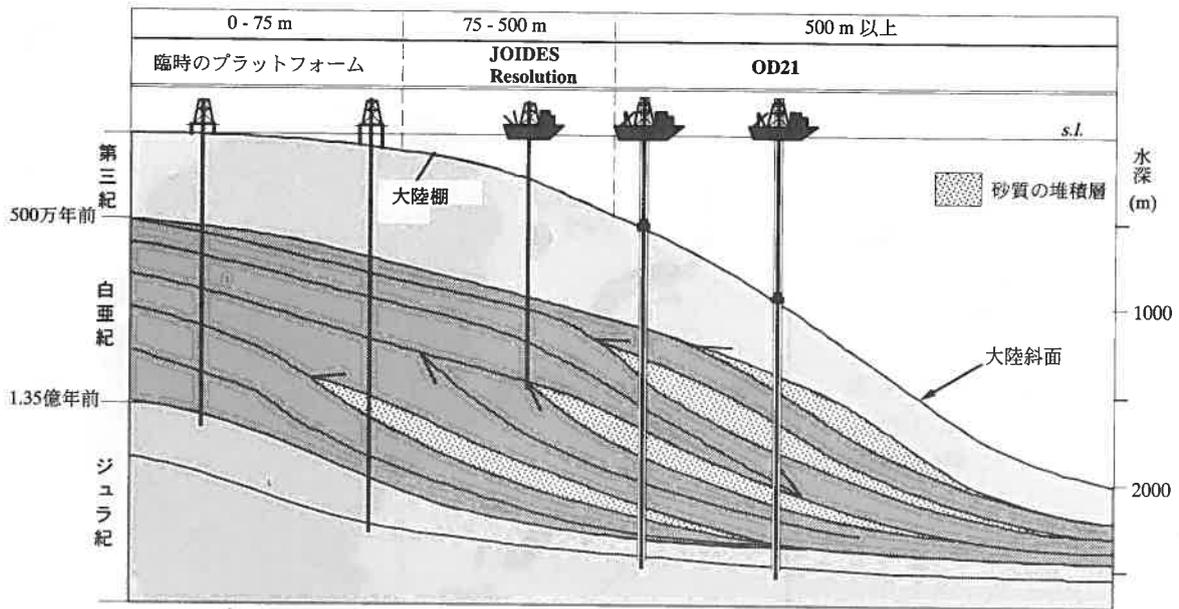


図31 古環境の復元による気候モデルの改良



ライザー掘削は海底扇状地の不安定地層を越えて大深度掘削を可能にする

図32 ライザー掘削による不安定地層の掘削

(2) 地殻変動モデリングの精密化及び地殻変動観測網の構築

プレート間地震の震源である地震発生ゾーン（プレート滑り面）の岩石や流体の物性や状態についてのデータが欠落しています。従来法では断層等により地層が不安定で地震発生ゾーンに到達できず、ライザー掘削が必要です(図33)。ライザー掘削では長期間安定な掘削孔が得られ、さまざまな長期観測手法が提案されています(図34)。

一例として、南海トラフ深部構造のモデリングが試みられていますが(図35)、これは3次元地殻構造探査(図36)で広域にわたる地殻構造及び滑り面での反射強度分布を求めます。バルバドス海溝プレート滑り面での反射強度分布(図38)に見られるように、反射強度の違いがプレート間に水が存在するか否かによる力学的結合状態の不均質性を表わすと考えられています。重要なポイントで掘削して実際の状態を確認することができれば、広域にわたる地殻構造モデルの改善が期待できます。

また、地震発生ゾーンに近接した長期孔内計測によって海底面上に置いた地震計では捉えられない前兆現象を検知できる可能性があります(図37)。

現状

地震発生帯における地震核の形成や破壊を制御する基礎的な物理量や化学量等に関する利用可能なデータが完全に不足している。

行うべきこと

- ・地震発生帯からの岩石と流体の直接採取
- ・地震発生帯内の流体圧や応力状態、化学変化や物理量の変化の把握
- ・長期間にわたる流体圧やその化学成分、地殻変動パラメータのモニタリング

地震発生地帯（海底下6~7km以深）への到達

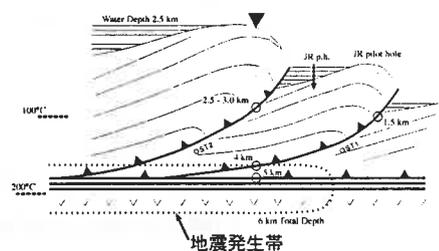
従来法：深すぎる。断層等地層が不安定。

ライザー掘削が必要

地震発生場の物理・化学現象の真相を解明

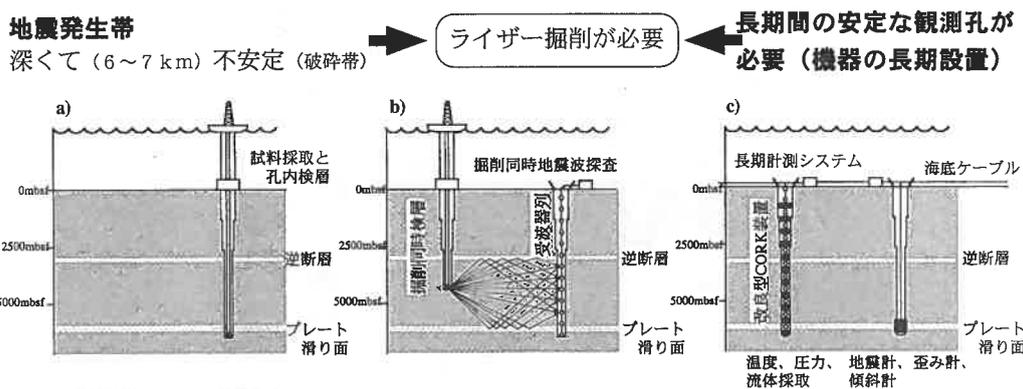
地震発生帯への最初の掘削計画

First Hole to Seismogenic Zone



ライザー掘削船による掘削計画は、2本の派生断層を貫き、地震発生帯に達するものであり、図にはジョイデス・レゾリューション号によるパイロット掘削計画も示されている。

図33 地殻変動モデリングの精密化（地震発生帯の諸過程の解明）



長期計測システムの設置手順

a) 第1孔での掘削試料採取と孔内検層

b) 第2孔での掘削同時検層と第1孔への地震波検知用受波器列設置観測

c) マルチセンサー・マルチパッカーシステム及び地殻変動観測システムの同時長期観測

図34 地殻変動観測網の構築（地震発生帯の長期現場モニタリング）

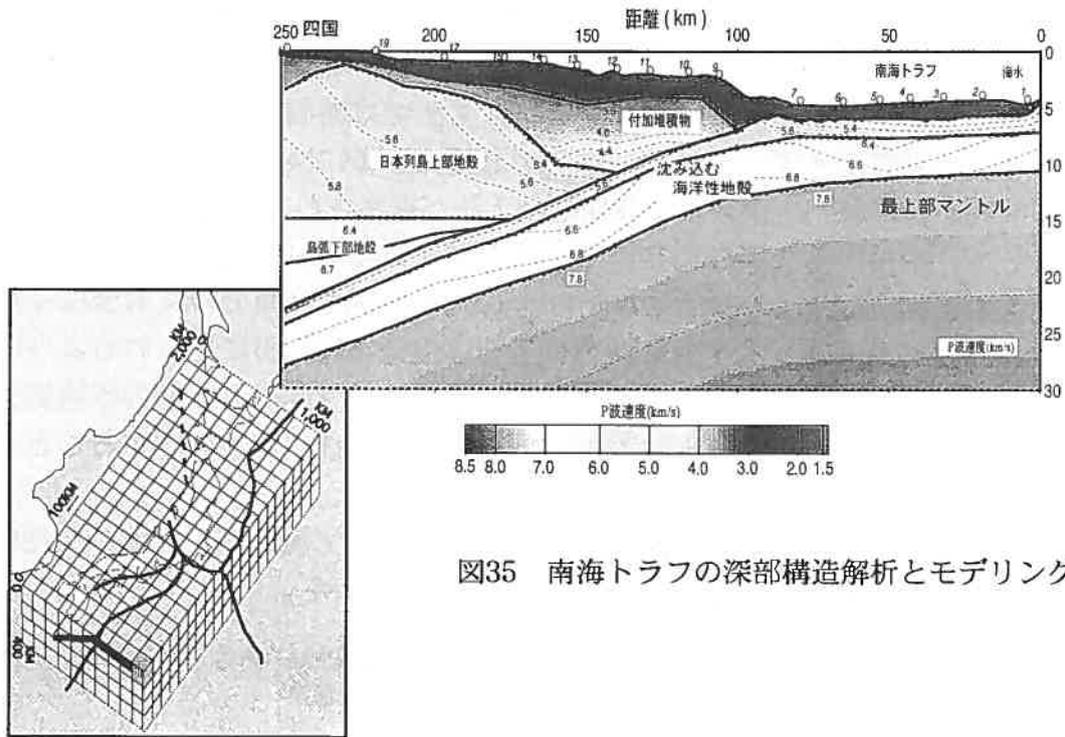


図35 南海トラフの深部構造解析とモデリング

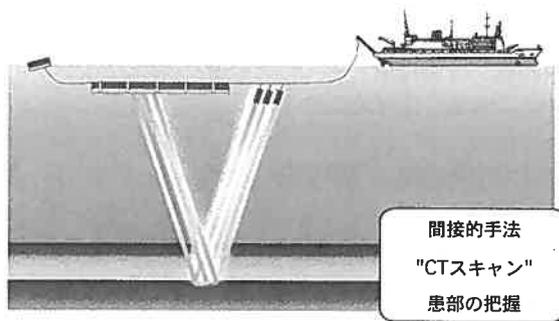


図36 三次元地殻構造解析システム

地震の研究→海底下の調査

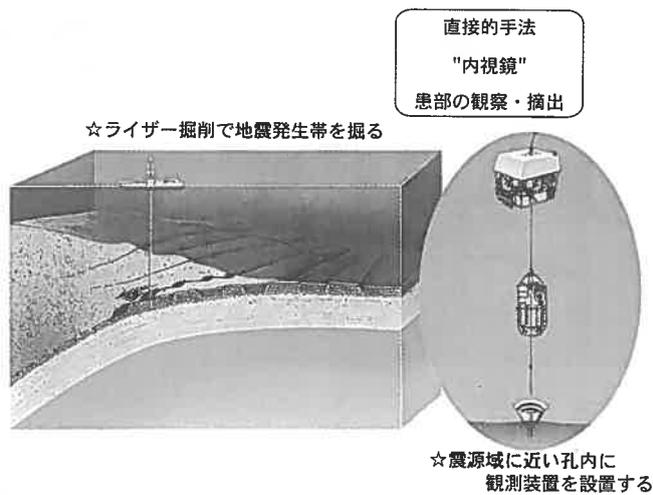


図37 海底下調査の手法

(3) 地球深部ダイナミクス研究

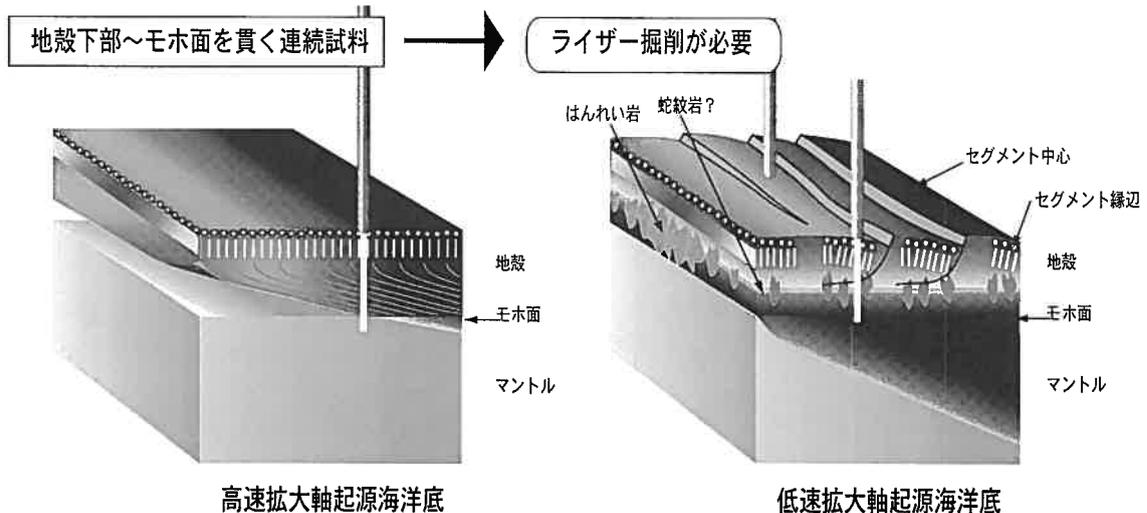
地殻とマンツルの境界は、地震学的に得られるモホ面と一致するものと仮定してさまざまな地球モデルが構築されていますが、その真偽を確かめることが迫られています(図39)。従来法では地殻の上部2 kmしか達していません。ライザー掘削により高速拡大軸と低速拡大軸での地殻の全断面及びモホ面を貫く連続試料が得られれば、地球モデルが大幅に改良されます。

太平洋にはマンツル内でのスーパーブルームの上昇による巨大火成活動によって形成された巨大海台が多数存在します(図40)。この巨大海台を貫く掘削を行うことによって、マンツルのダイナミクスについての理解が深められます(図41)。

- ・現在の地球モデルは、地震学的モホロピッチ不連続面（モホ面：海底下6～7km）を地殻/マンツル境界としている→未確認。
- ・地球システムの熱・物質フラックスはそのモデルに基づく。

もし違っていたらモデルに大幅な見直しを迫られる。その可能性は十分にある。

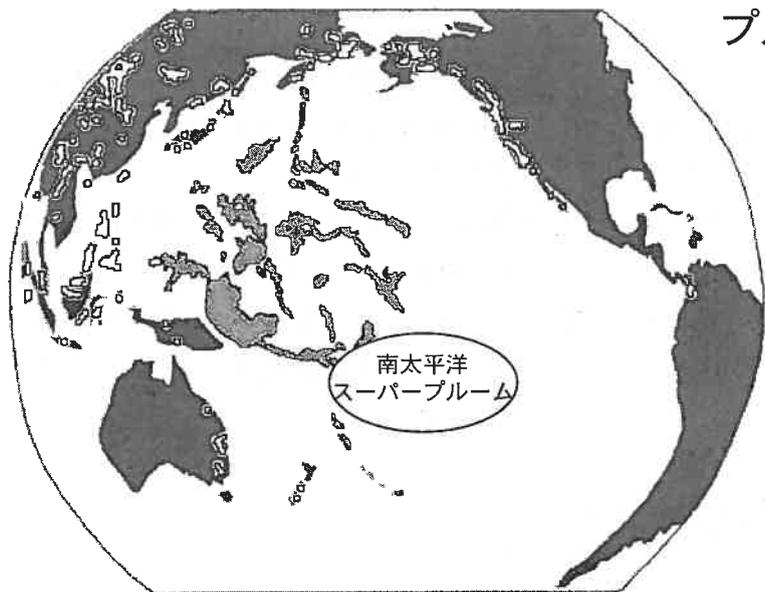
地球の表面の7割を占める海洋地殻のまだ、上部2kmしか知らない。



図：A. Nicolasを改編

図39 地球深部ダイナミクスへの貢献

プルーム起源の岩石分布図



- 現在の海洋底に分布する岩石
- かつて海洋底にあったものが、現在は陸上に分布する岩石

南太平洋スーパープルームは、約6億年前に誕生して超大陸 Gondwana を分裂させた、と考えられる。6億年に及ぶ南太平洋スーパープルームの活動史を明らかにする目的で、環太平洋造山帯を含めた太平洋域全体について、地質学、岩石学、地球化学的な観点から検討を行い、以下に示すような調査結果・予察的成果を得た。

西太平洋地域には、総量 3 億 km³ に及ぶ巨大海台群が点在する。それらの形成年代は、地磁気縞の解析・海洋底掘削による化石試料と放射年代データに基づけば、1億年前に集中していることが明らかになった。短期間にこれほど大量のマグマを発生させるには、上部マントル内のみのマントル運動では不可能であり、下部マントルに由来するスーパープルームの活動が予想される。

環太平洋造山帯付加体に関する文献調査によって、約250個に及ぶ岩体が海山・海台起源の緑色岩を含むであろうことが明らかになった。それらの形成年代には極性があり、6億年前、4億年前、3億年前、2億年前、及び1億年前のパルスが認められる。

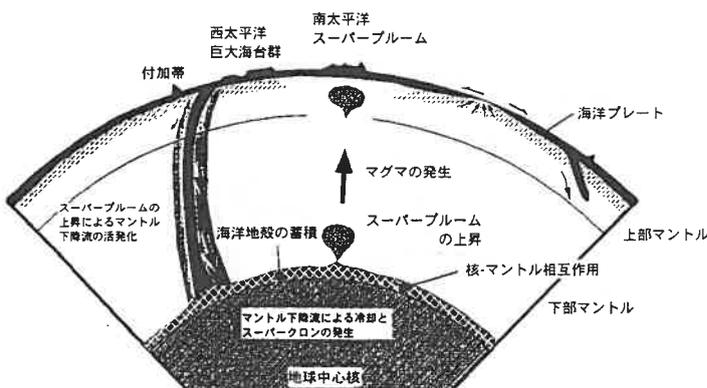
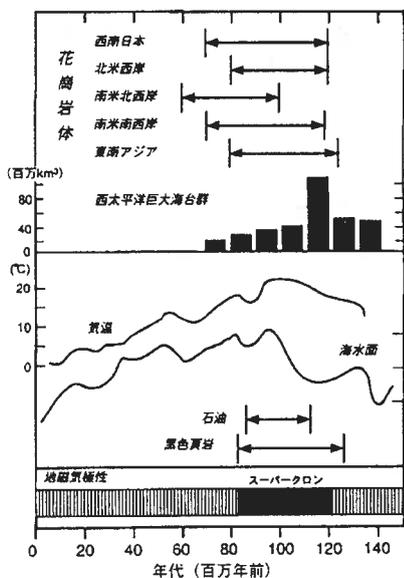
図40 過去のスーパープルーム活動の探索

世界同時多発的に起こった巨大火成活動で地球の環境は激変（白亜紀）

- 1) 巨大海台のマグマはマントル内のどこで発生するのか？それらは時間と共にどのように変化するのか？
- 2) 個々の海台はどのように形成されるのか？マグマと揮発性物質の流れはどう関与するか？エンプレイスメントと同時にまたはエンプレイスメント後に生じる隆起と沈降にはどんな歴史があるか？
- 3) 海台形成は全地球的な系の大きな変動（水圏、気圏、生物圏、地球磁場など）とどのように関連しているか？

厚さ約 6 km の海台を貫く

ライザー必要



出典：月刊「地球」号外No.19

図41 地球深部（核／マントル境界起源？）の巨大火成岩活動

(4) 地殻内生命

極限環境で生きる微生物が次々と発見され、地殻内にも微生物が広く生息すると考えられます。120~130℃と予想される微生物の生息範囲は海底下4000mにも及びます。地殻内生物圏の広がりを知るにはライザー掘削が必要です(図42)。

DNA解析による進化系統樹から真核生物、真正細菌(原核生物)、古細菌の共通祖先の存在が予想されるが見つかりません。樹系図の根本近くに好熱菌が多いことから、共通祖先が好熱菌である可能性が指摘されています(図43)。また、最も増殖する圧力と採取場所の圧力が異なる好熱菌が発見されており(図44)、熱水活動域の地殻深部を起源とする可能性もあり、深海掘削による解明が必要です(図45)。

未知のそして極めて将来性のある課題

- 海底下深部生物圏におけるバイオマスの分布は?
- 生物界と非生物界の境界は?その物理・化学条件は?
- 深部生物圏の多様性は?
- 深部生物圏が地質現象、地球環境に及ぼす影響は?
- 海底熱水域地下の生命 \leftarrow 生命の誕生?
- 生命の共通祖先?

バイオテクノロジー
新産業
資源

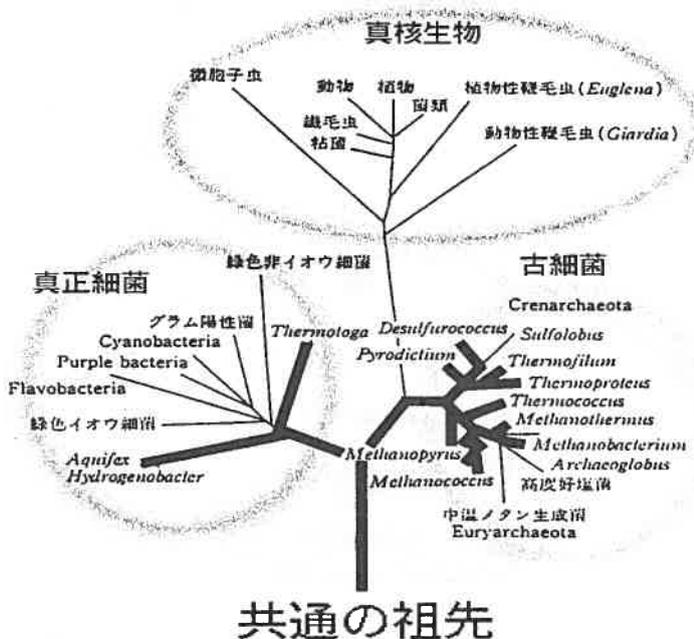
現在

海底下500mまで確認。
生命の生息温度上限を120~130℃と予想し、
地温勾配を考慮すると、
海底下4000m付近が生物/非生物界の境界か?

- ・深い掘削孔からの試料採取
- ・生物起源の炭化水素存在の可能性大
- ・現場培養実験等のために安定した掘削孔の必要性

ライザー掘削が必要

図42 地殻内生命の探索



DNA解析により作成した進化系統樹によると、生命はある共通の祖先から「真正細菌」(原核生物)と「古細菌」、さらに高等生物につながる「真核生物」に分かれた。

このうち古細菌の多くと真正細菌の一部は好熱菌であり(太線の部分)、これより、共通の祖先は好熱菌であると推測されている。

36億年前の地層から発見された最古の生物化石は大洋中央海嶺で見ついている。

DeepStarほかの研究によると、好熱菌の至適生育圧力が熱水噴出場所の水圧より高いものが多数発見されており、熱水噴出域より地殻内深部を起源とする可能性も示唆されている。

図43 熱水噴出域での微生物研究の必要性

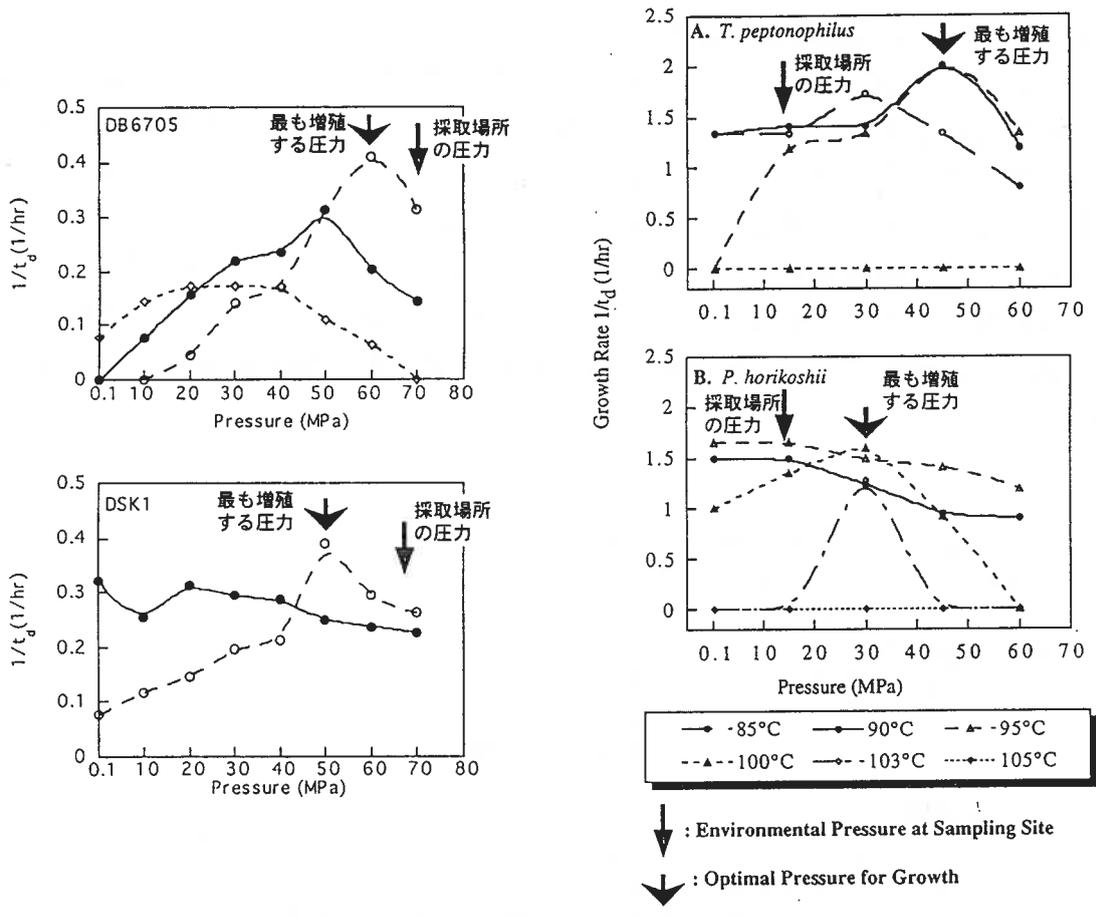


図44 深海微生物の増殖率と圧力の相関図

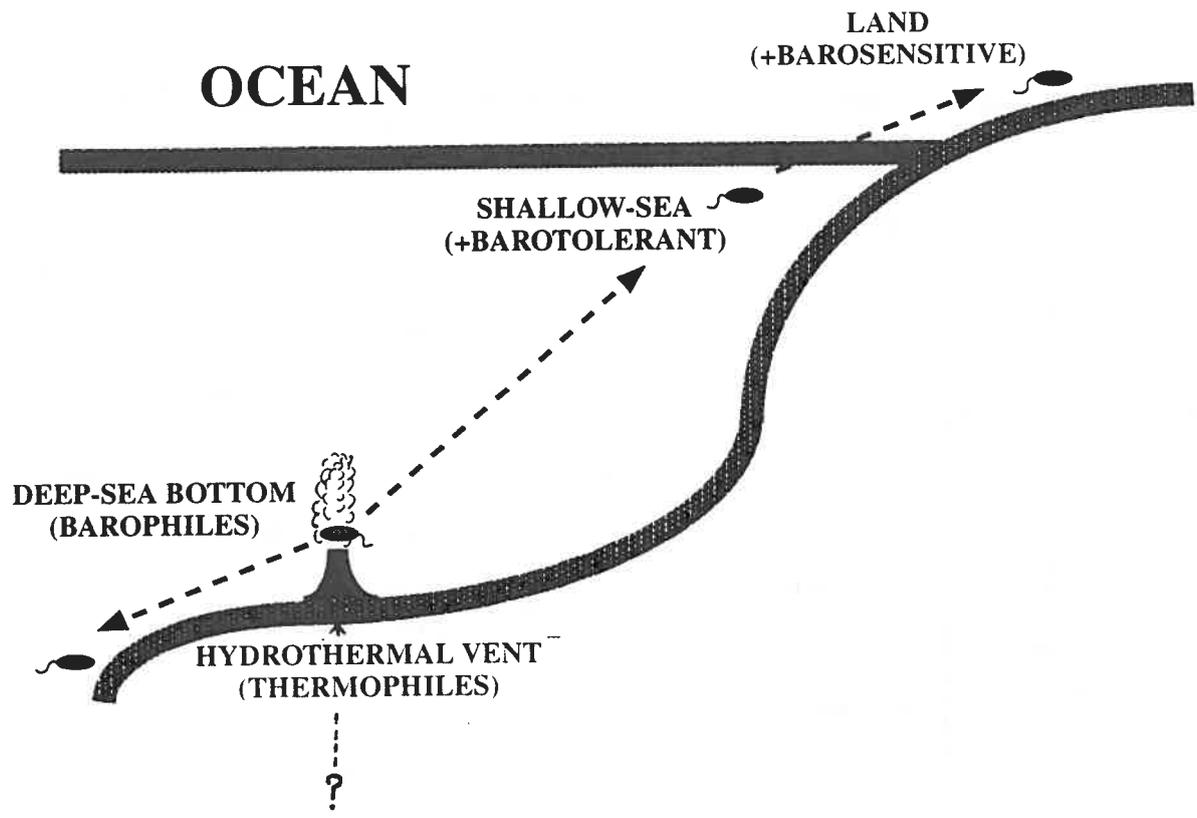


図45 深海熱水活動域における生命の起源説

(6) 深海における先進的技術開発(図48)

大深度ライザー掘削船の開発は、厳しい海象条件下での位置保持技術、過酷な条件に耐えるライザーの開発及び長大なパイプの運用技術などを通じて、深層水利用/温度差発電、海底鉱物資源採取（熱水鉱床、コバルトクラスト、マンガン団塊等）、二酸化炭素海底貯蔵、深海での重作業技術などへの波及が期待されます。また、海底下大深度の掘削及び計測技術は、高温高压下の計測技術、地熱利用等への波及効果が期待されます。

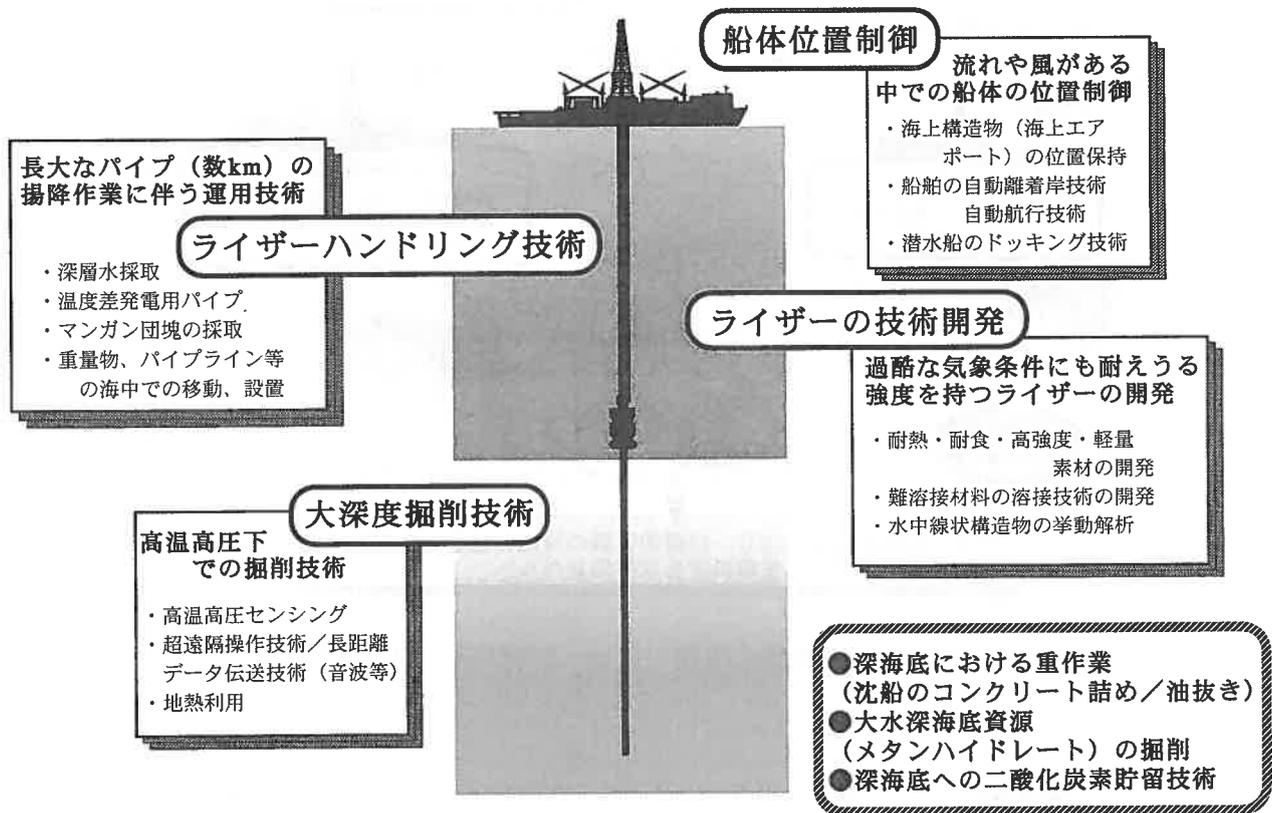


図48 深海掘削技術の波及効果

5.4 地球深部探査船の開発・運用・研究体制

深海地球ドリリング計画は、地球深部探査船を開発し、統合国際深海掘削計画(IODP)のもとで運用し、二船のコア試料及び孔内計測データを用いた研究を推進します(全体像: 図49)。

そのため、科学技術庁/海洋科学技術センター及び文部省/東京大学海洋研究所の間に設置されたIODP国内連絡委員会を中心とする国内検討体制を設けています(図50)。

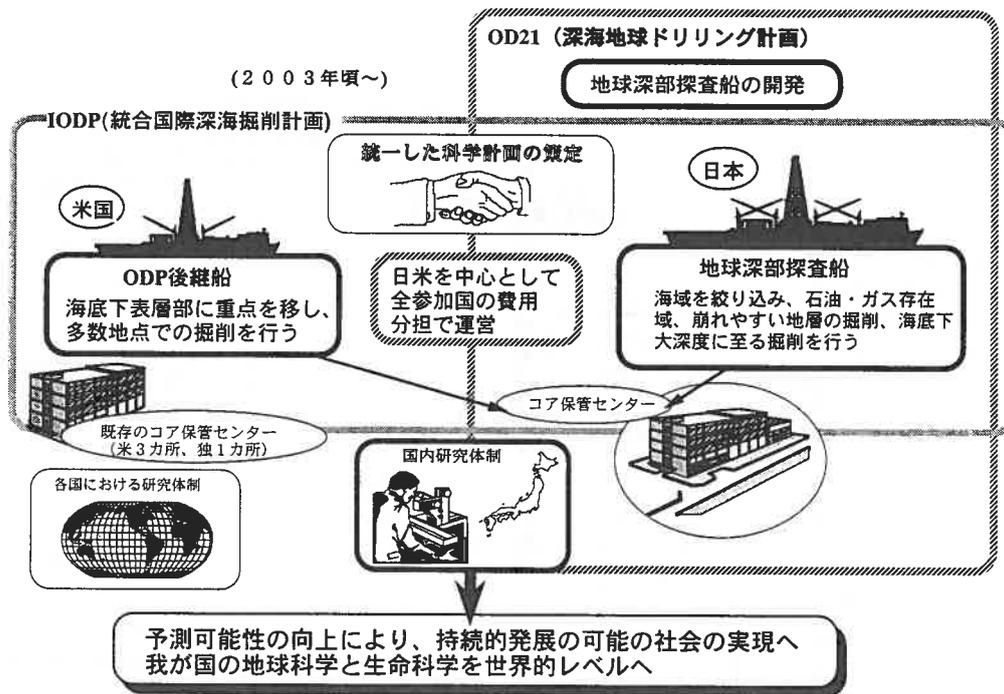


図49 地球深部探査船の開発・運用・研究体制 (2003年頃～)

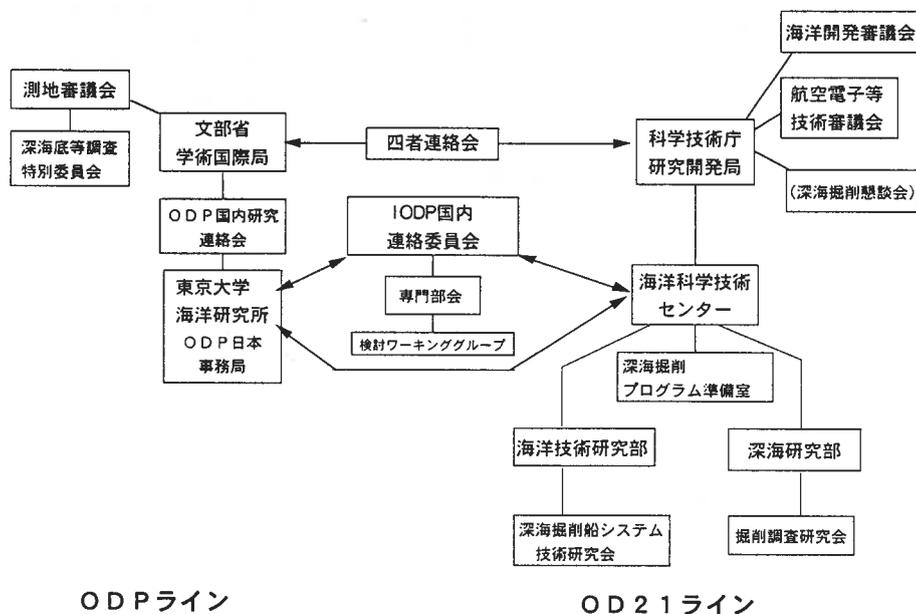
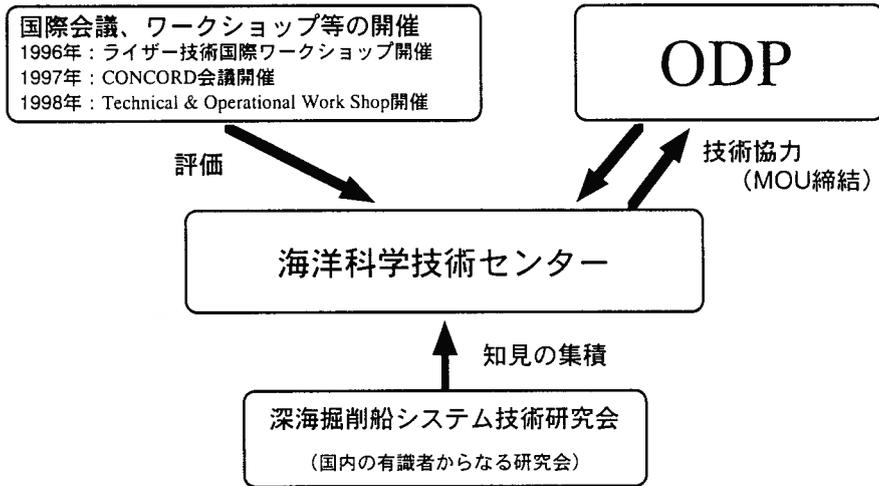


図50 深海掘削に関する国内検討体制

(1) 開発体制

前述のライザー技術国際ワークショップのほか、深海掘削船システム技術検討会、ODPとの協力協定締結のもとで進めています(図51)。

必要な周辺技術として、海底掘削システム試験機（特殊試料採取システム及び掘削孔利用システム）(図52)の製作に着手、事前調査に必要な3次元反射法探査システム(p.2-41上段)の整備（「かいいい」の改造等）に着手しています。



※内外との協力体制の下、国際会議やワークショップを開催しつつ開発を推進

図51 深海地球ドリリング計画における技術開発の取り組み方

特殊試料採取システム

掘削孔利用システム

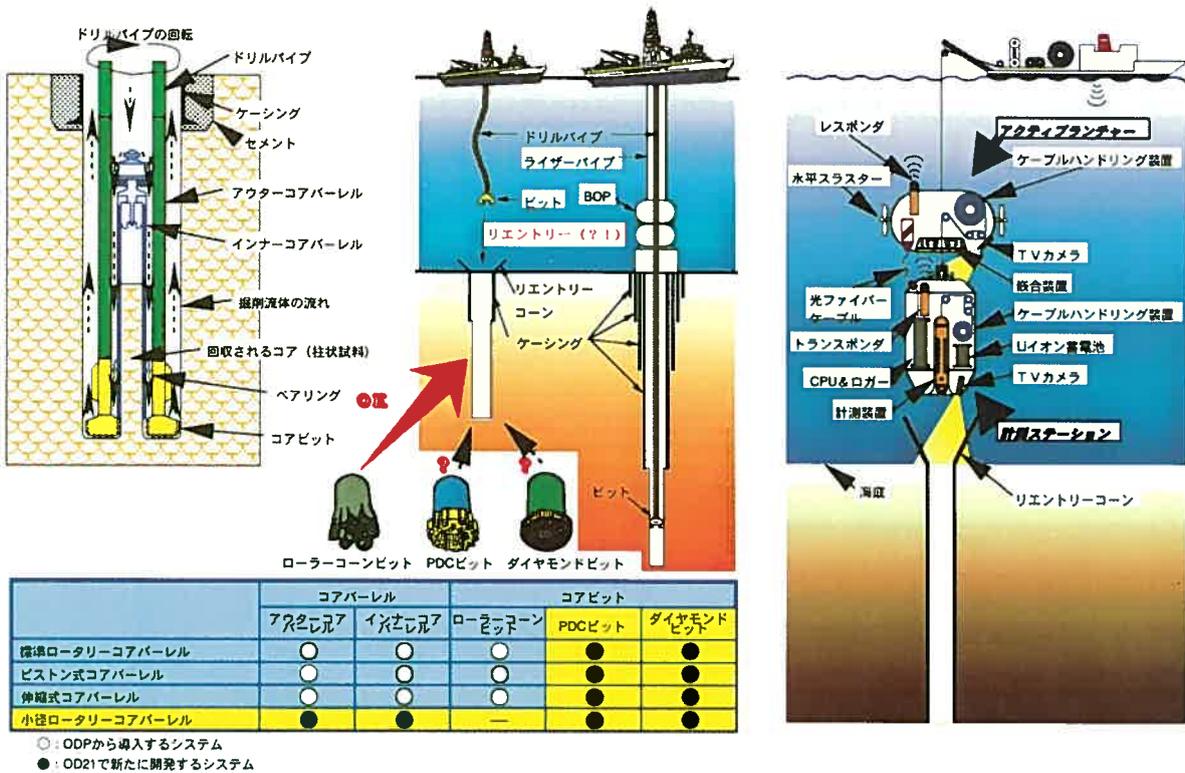


図52 海底掘削システム試験機の製作

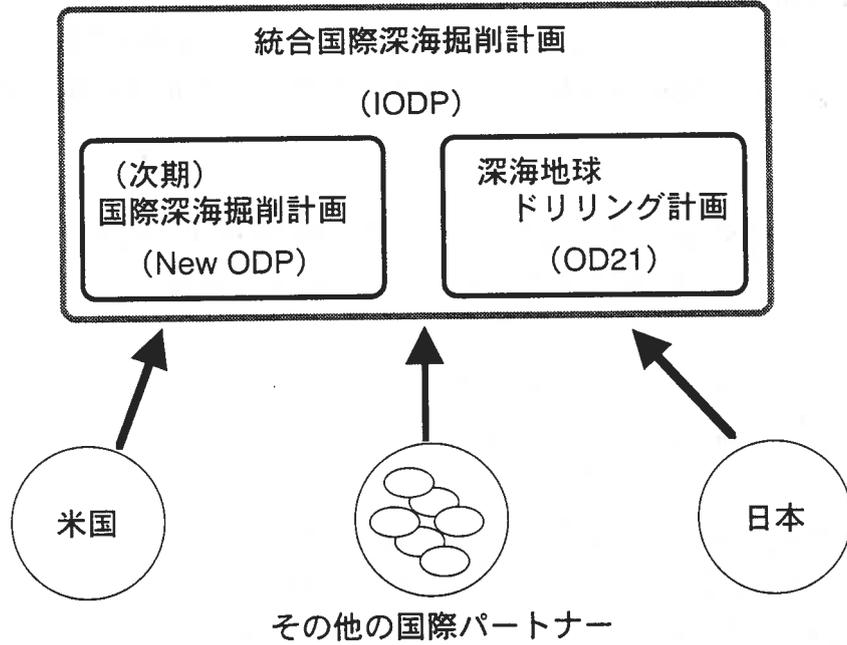


図54 IODP運営費の分担構想

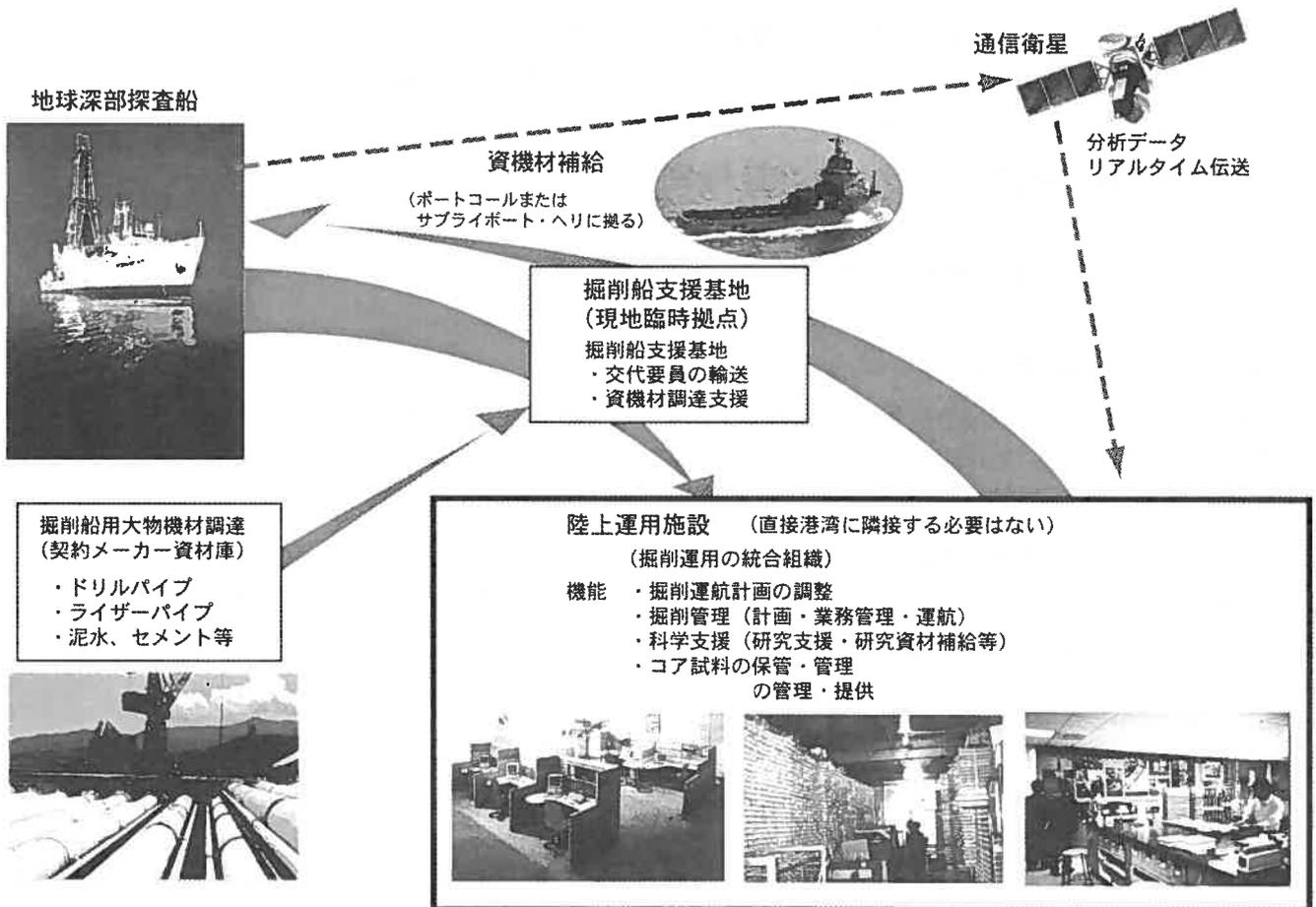


図55 陸上施設の概念

(3) 研究体制及び研究支援体制

船上及び陸上でのコア・データ処理のための科学サービス体制を整備し、2船のコア・データを用いた新たな中核的研究拠点及び流動分散型の研究制度の発足を目指します。

深海掘削における総合的な研究推進方策 －国内研究体制の在り方についての意見－

なぜ新たな研究推進方策が必要か？

- (1) 世界の知的資産の形成の一翼を担える研究体制を
日本が置かれている特殊事情のもと、地球科学の強化が必須
海洋に取り囲まれた地震国、地球科学研究者が米国の1/10
二船体制のもとで日本の研究機会が飛躍的に拡大
深海掘削は地球の統合的理解に大きな役割
- (2) 地球変動研究の強化と社会的課題の解決に寄与
モデリング、観測等に、古環境+地球内部を加えた取り組みへ
地殻変動モデリング/地殻構造探査と深海掘削
海底地震総合観測システムと孔内計測の接続
- (3) ライザー掘削船の運用責任機関として科学サービス体制を確立すべき

(どのような乗船機会が得られるのか?)

ODP : 日本から約 12人/世界で約150人 (毎年)

IODP二船体制: 日本から約100人/世界で約300人 (毎年)

ODPの日本の乗船研究者は13年間で約160人。大部分が1回のみ乗船。

長期モニタリング、地球深部、地殻内生物など新分野を加えると約300人の研究者が3年に一度乗船できるようになる。

コア研究／掘削孔利用研究の充実策は？

(1) 研究体制の充実策（IODP国内連絡委員会での提言）

a) 中核的研究拠点と流動分散型研究制度との相互牽引（図56）

中核的研究拠点（図57）

各領域が相互に関連しあう領域横断的組織が必要（図58）

柔軟かつ流動的な研究組織

（深海掘削を通して、地球の姿と進化を読み取る）

技術開発との密着

流動分散型研究制度（公募型研究・教育チーム群）

公募式によるボトムアップ

広い研究分野の展開（オールジャパン体制）

b) 開かれた研究体制、テーマ主義の競争的な研究制度

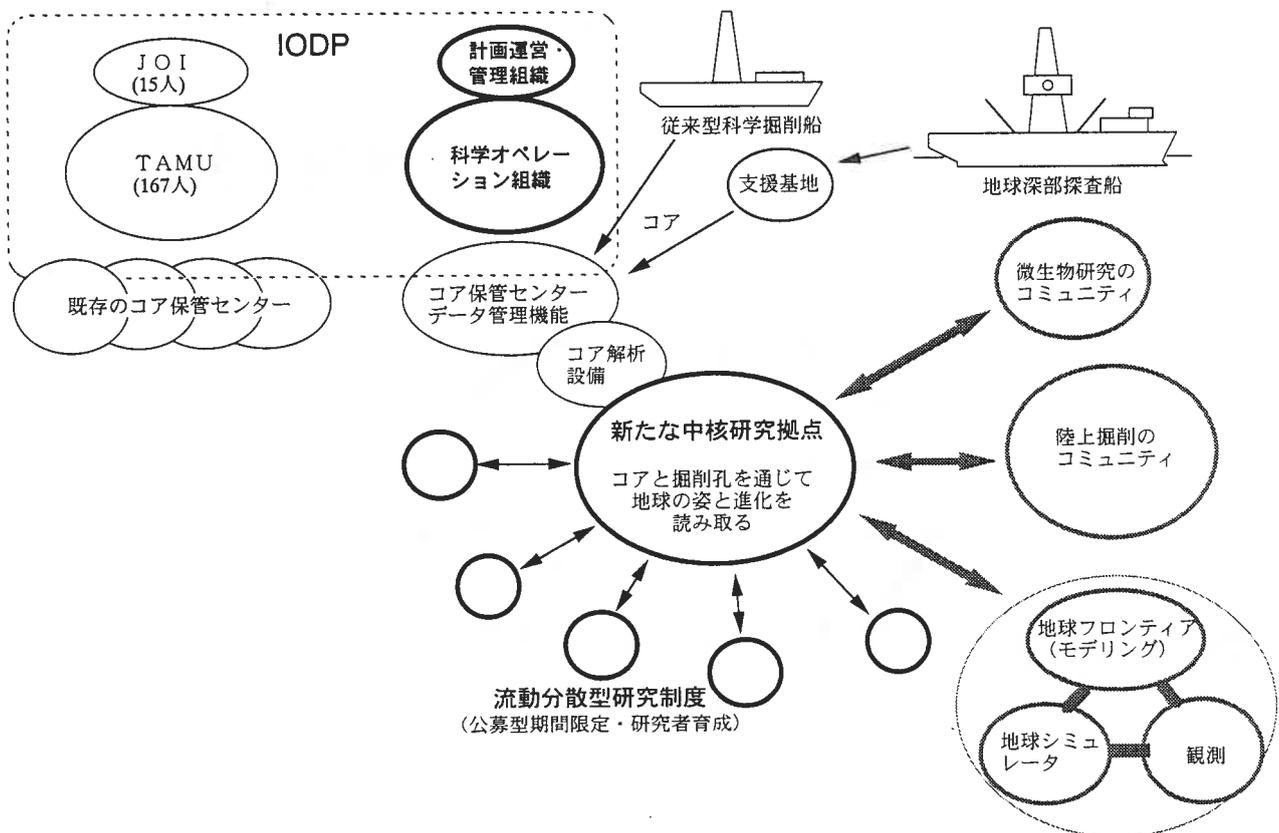


図56 深海地球ドリリング計画における国内研究体制

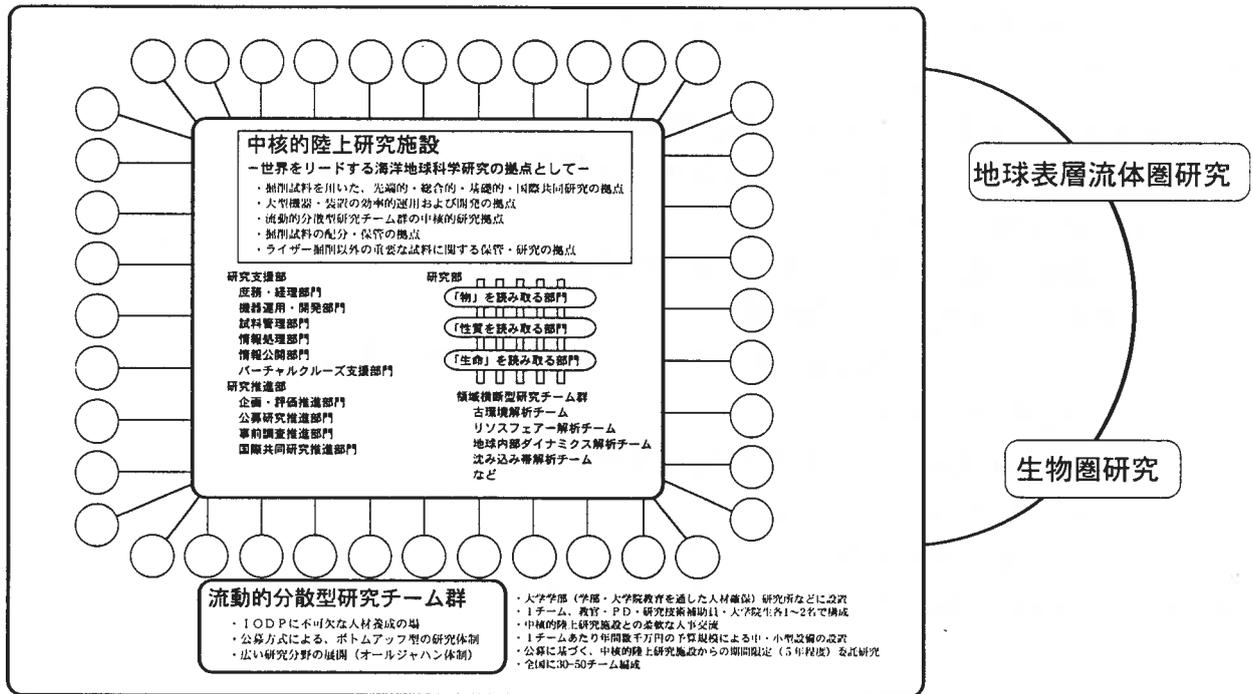


図57 IODP国内研究体制

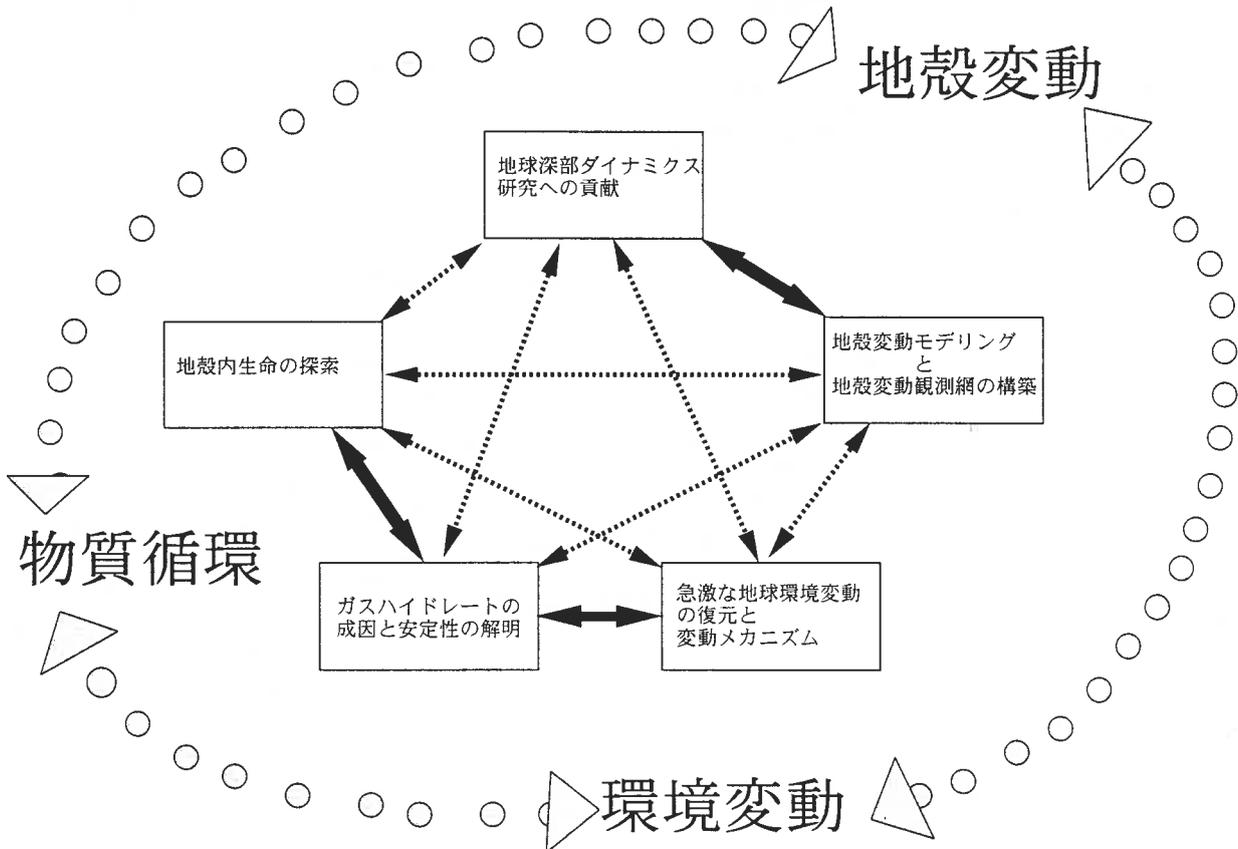


図58

(2) 研究環境／研究支援体制の整備

a) 船上研究から陸上研究へ (図59、図60)

生物・化学関係の船上での迅速な処理

長期にわたる深部掘削、長期モニタリングに適した陸上研究体制

b) 日本にコア保管施設・データ解析施設 (現在は米3、独1)

ライザー掘削船及び従来型科学掘削船のコア、孔内計測データへのアクセス性を向上

c) 専門分析・解析技術者を養成

日本の現状：研究者自身が分析

d) 領域横断的な研究体制 (中核的研究拠点)

コア、孔内計測は領域横断的に解析すべき

地球史、生命史の包括的な理解

e) 技術開発体制との密着

(3) 先行的な研究体制／研究支援体制の整備

「みらい」、「かきれい」ピストンコアの活用

国際大陸掘削計画ICDP その他陸上掘削との研究交流

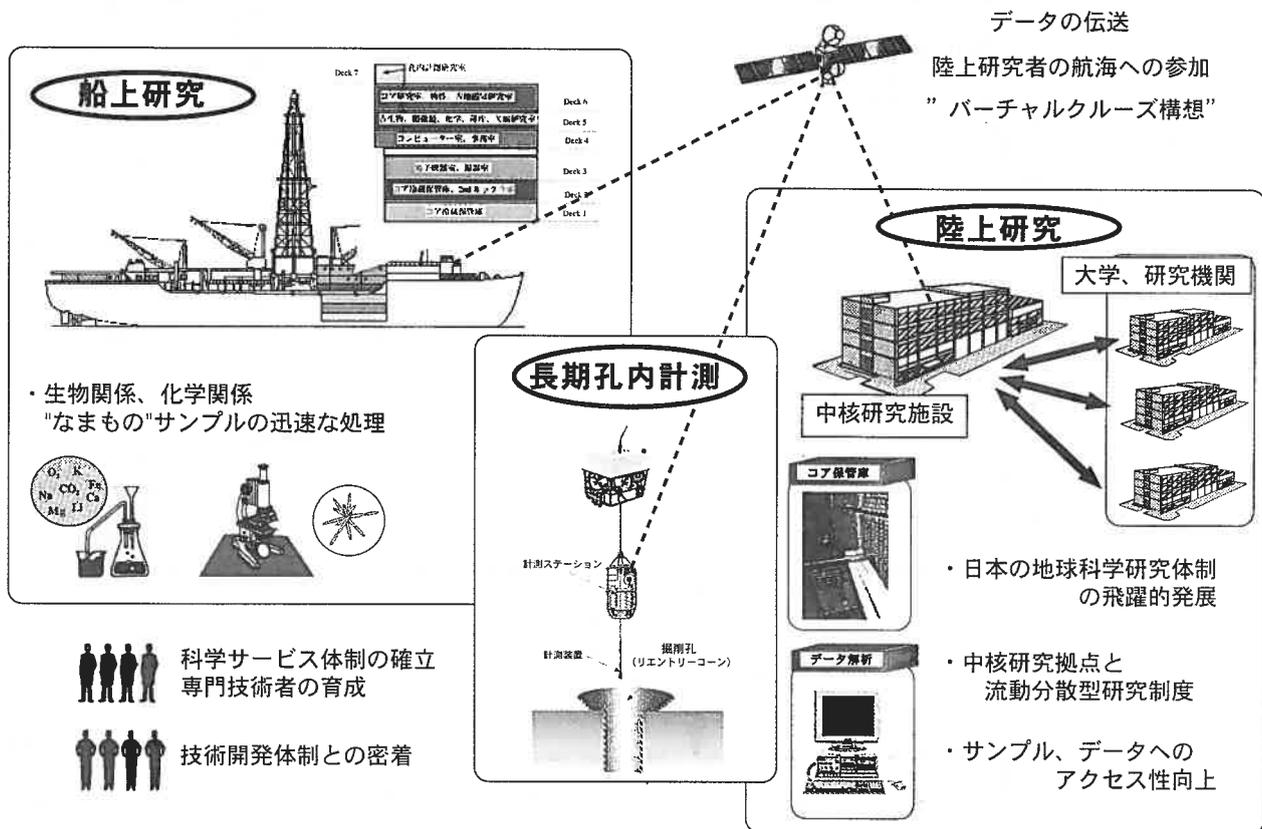


図59 研究環境／研究支援体制の整備

各プロジェクトとの相互協力は？

(1) マルチ・プラットフォーム（二船体制）の役割分担

従来型科学掘削船 : 海底下200~300mまで（高速堆積層で過去数十万年程度まで）なら、広域に多数の掘削が可能。

ライザー掘削船 : 石油・ガス存在域での海底下数百m以上の掘削
（数十万年を超える過去の高解像度な古環境復元）

地震、地球深部ダイナミクス

荒天海域でのライザーレス掘削

(2) 地球フロンティア（モデリング）、観測との一体的な取り組み

3次元反射法地震探査による事前調査、海底地震総合観測システムとの接続

(3) 他の地球科学掘削との相互協力(図61)

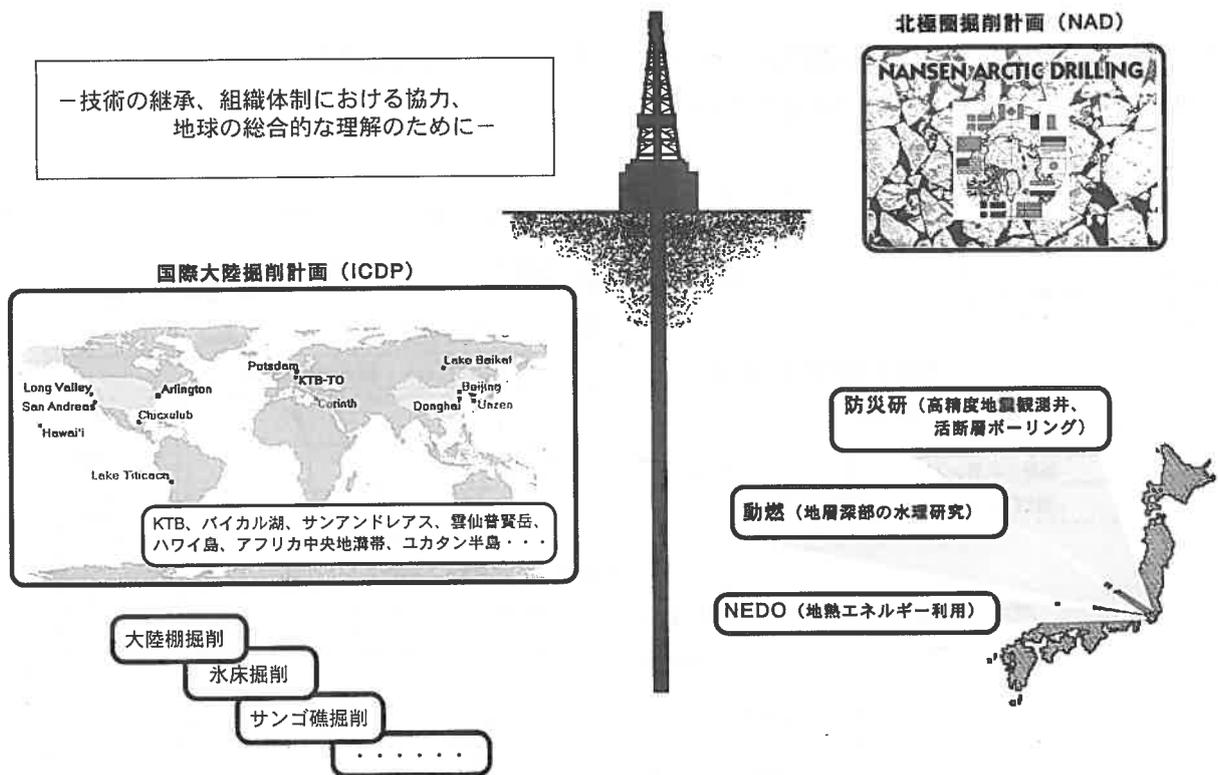


図61 地球掘削

科学目標と長期計画をどのように決めるか？

- (1) 二船の統一した科学計画（中期計画案：図62）
 - 国際的に広く意見を集める仕組み
 - 科学的な価値の高さ、より基盤的な仮説を立証しうる課題に重点
 - 97/7: CONCORD（ライザー掘削の科学目標）
 - 99/5: 二船科学会議（ライザーレス掘削の科学目標）
 - 2000: Integrated COSOD（二船の統一した科学目標）
 - 2003: 二船の掘削地点の選定
 （2003/9末にODP終了、地球深部探査船の海上試験）
 - 2005当初: 二船国際運用の開始
 - IODP国内連絡委員会の機能の拡大
- (2) 3年毎を目処とする外部評価、マイルストーン(長期計画案：図63)
 - (3) 大陸掘削ICDP、北極圏掘削NADほかとの専門家会合
 - (4) 地球、地震、深海環境(微生物)各フロンティアとの総合調整
 地球変動予測と経済政策研究所的な役割

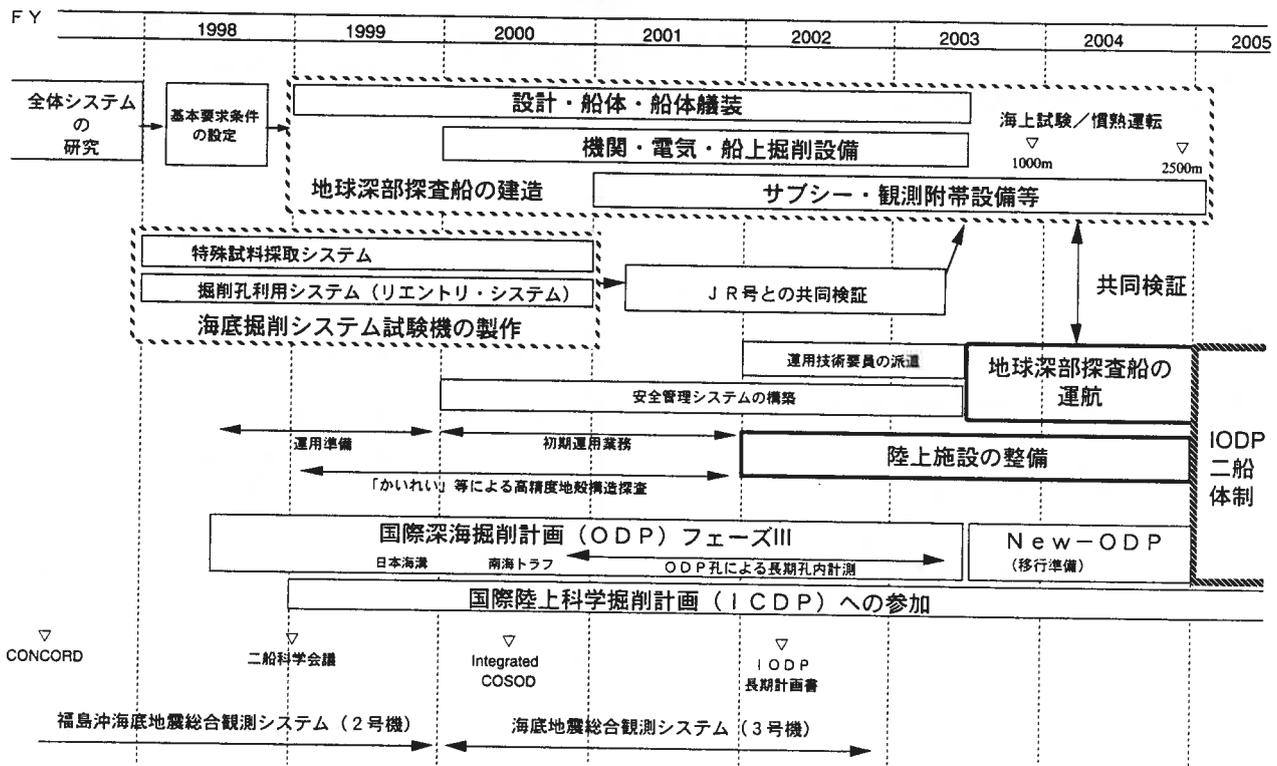


図62 深海地球ドリリング計画の中期計画（案）

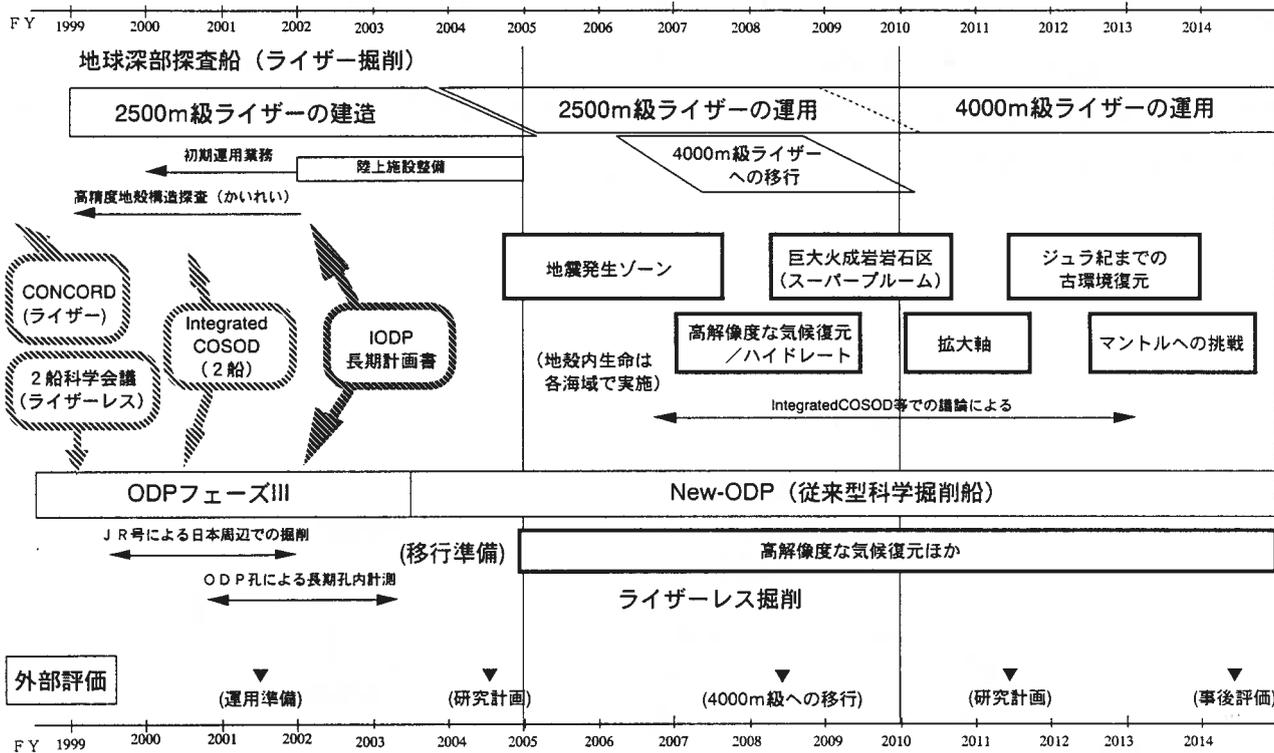


図63 深海地球ドリリング計画の長期計画 (案)

5.5 社会における役割

以上の開発・運用・研究体制のもとで、気候変動研究においてはモデリング、観測、シミュレータ開発からなる総合的な取り組みを行い(図64)、地球温暖化など地球規模の諸問題における不確実性の減少に貢献することを目指します(図65、図66)。

また、地震研究においても、洋上からの広域探査、潜水船等による近接調査、海底地震計等による長期観測と連携して深海掘削による現象解明、モデルの精密化、高感度の観測網の確立を目指し、効果的な防災対策に資することを目指します(図67)。

さらに、二酸化炭素排出削減の面からも注目されているメタンハイドレートを安全かつ環境に悪影響を与えないため、メタンハイドレートが存在する大陸斜面の安定性についての研究を行います(図68)。

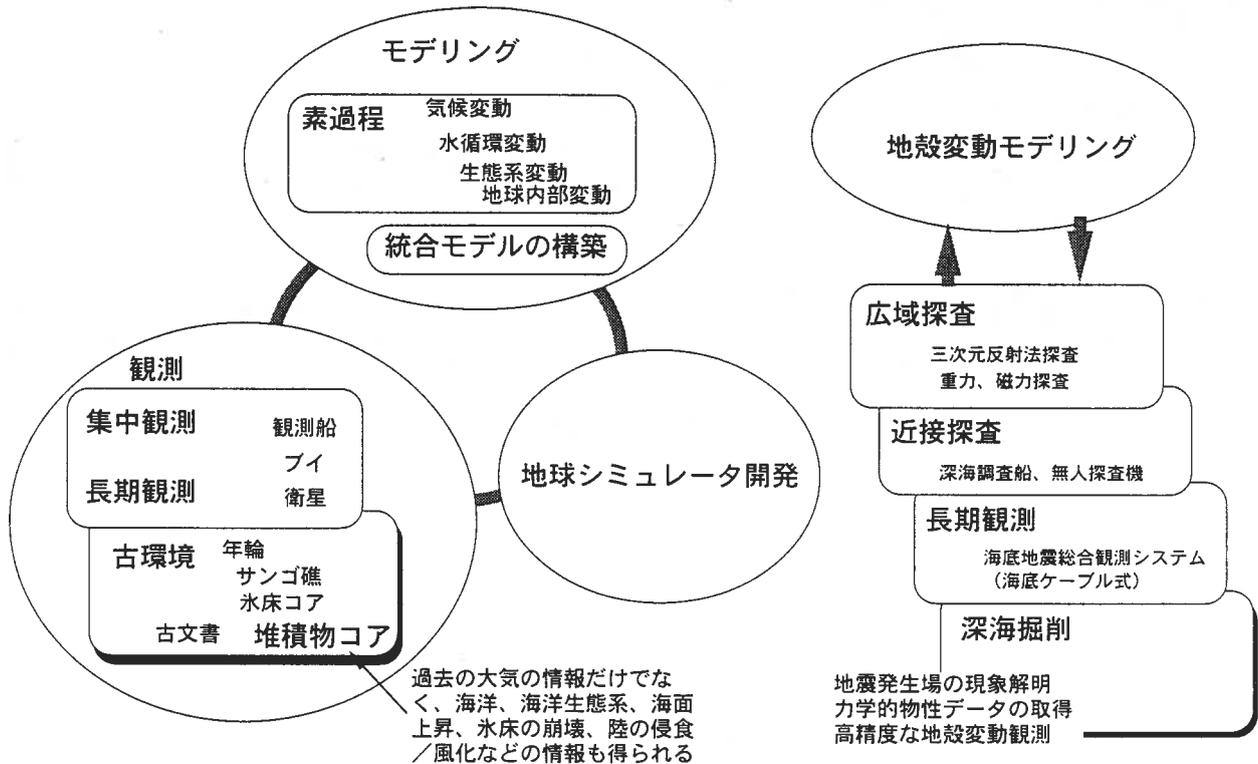


図64 地球変動予測における深海掘削の位置付け

地球温暖化など地球変動研究の緊急性

(1) 「急激な気候変動」の解明

現在の大気中二酸化炭素の増加は、地球の過去の歴史の中でも急激のものである。

グリーンランドの氷床データによると、氷期に数十年で数度以上という急激な気候変動が繰り返されている。これが全球的な変動であったのか？氷期にも起こりうるのか？急激な人間活動の拡大によって引き起こされるか否か？・・・これらの疑問に答えることができれば、人類社会が地球温暖化対策に効果的に取り組んでいくうえで極めて大きな便益を生む。

ライザー掘削は、急激な気候変動が記録された堆積層にしばしば存在する石油・ガス層を超えた掘削や、海底扇状地など崩れやすい地層での大深度掘削を可能とする。このため、従来型掘削船との2船体制は、急激な気候変動の全球的な姿を明かにする最も有力な手段であり、地球温暖化が進行しつつある今こそ、本計画の推進を急ぐべきである。

(2) 地球規模問題への貢献

地球温暖化のみならず、人口爆発と消費の急増などの問題を乗り越えていくためには、大量消費社会から持続可能性を重視した社会への転換が不可欠である。

これは長期的には「いずれにしても後悔しない政策」（必ず便益を生み出す政策）であるにも関わらず、短期的には先進国と途上国の間、国内の既存産業との間で利害衝突を伴うため、不確実性が高いことを理由に対策の着手又は強化が先送りされる傾向がある。こうした対策の遅れは、その後の対策をますます困難なものとする。

本計画は、人々の視野を過去に広げることによって、未来への視野をも広げ、長期的視点に立って地球規模問題に取り組むことを促すものである。このため、地球規模問題に対する将来展望を明かにすることが求められている今こそ、本計画の推進を急ぐべきである。

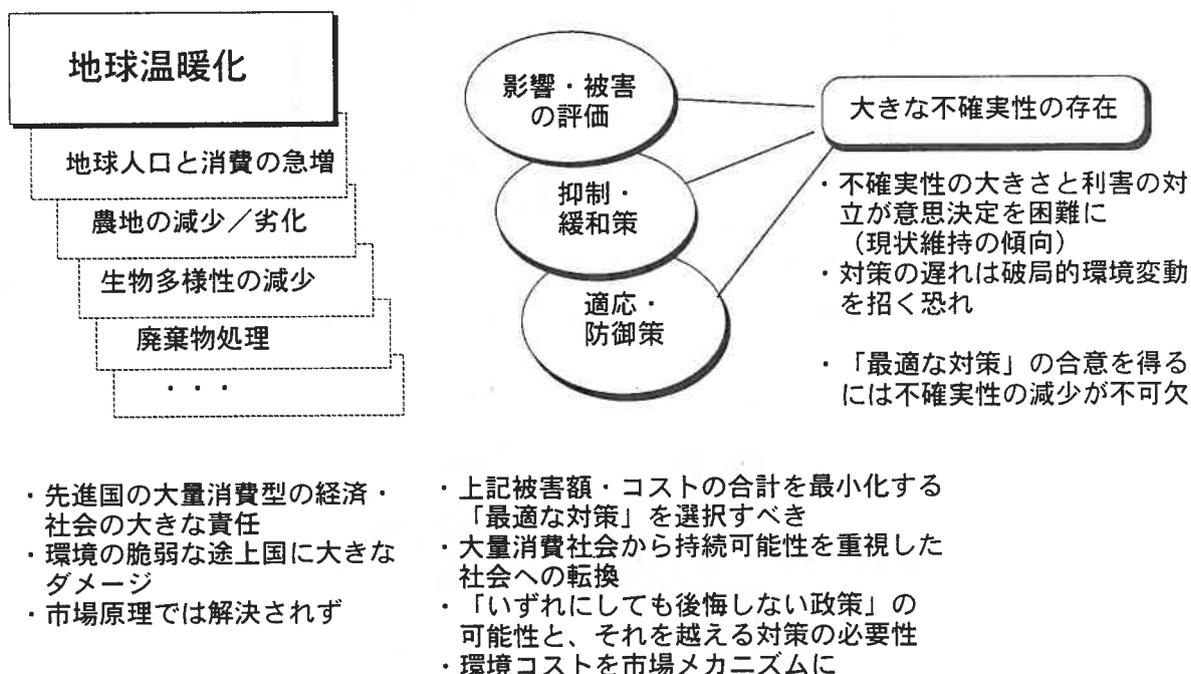


図65 地球規模問題とその対応策における課題

地震調査研究の緊急性

(1) 日本の地理的な宿命

日本は地震、津波、火山噴火の被害を繰り返し受ける地理的位置に存在する。巨大地震の多くはプレート沈み込み帯で発生しているが、いくつかの地震空白地域、すなわち、近い将来、地震の発生が予想される地域が指摘されている。

地震の準備過程はプレート間の力学的結合度の空間的な不均質性に大きく依存する。現在、海底下深部構造フロンティアでは「かいいい」の反射法探査システムや海底地震計などを用いてこの不均質構造を表現できるモデリングを進めている。

(2) 地殻構造モデルの改良

いわば手探りの手法で構築する地殻構造モデルの重要ポイントにおいて、震源まで掘削し、そこに至る力学的物性データを得るとともに、震源での物理現象を実際に確認することができれば、地殻構造モデルを実際に検証でき、大幅な改良が可能となる。これによって、地震発生の地域別の切迫度をより適切に判断できるようになり、防災対策の重点化が可能となる。

(3) 震源に接近した長期観測

さらに、掘削孔を利用して震源に接近した長期観測が可能となれば、海底地震計では検知できない前兆現象を捉える可能性がある。

このように、本計画は地震発生時の被害軽減に大きく貢献するものであるため、一刻も早く計画を進める必要がある。

その他の緊急性

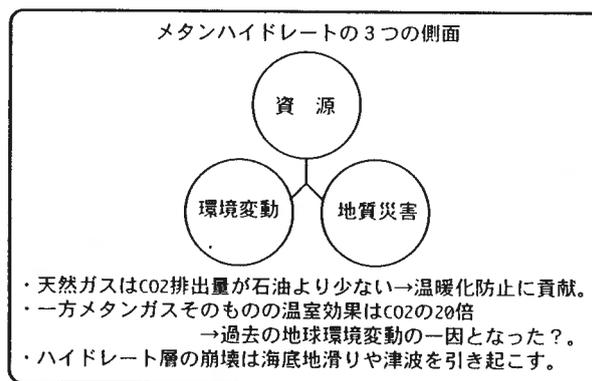


図66 メタンハイドレートの社会的意義

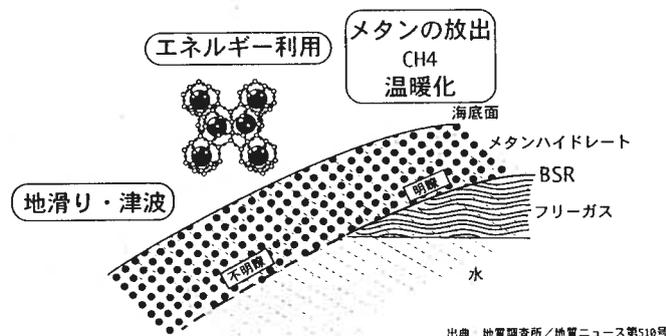


図67 ハイドレート層を掘削するには→ライザー掘削が必要

計画提案者による計画の自己評価

1. 科学的・技術的意義及び代替手段の検討	73
2. 将来的見通し、社会的・経済的ニーズからの検討	75
3. 技術的妥当性の検討	76
4. 研究開発の効率的執行についての検討	77
5. 費用対効果の検討	78
6. 緊急性の検討	79
7. 総合自己評価	80
(参考) 費用対効果の試算	81



1. 科学的・技術的意義及び代替手段の検討

1.1 創造性豊かな研究が推進されるか

ライザー掘削国際会議(CONCORD、1997年7月)で国内外の150人の科学者が6 ワーキンググループに分かれて3日間議論。先進的科学的課題を検討(資料2、P40)

a) 急激な地球環境変動の復元と変動メカニズムの解明(P47~49)

- 約1万年より以前は急激な気候変動が繰り返されてきた。今後数十年間で予想される気温の上昇は過去10万年間にも例がない急激なもの(資料2、図4)。
- その解明には大気以外の情報も得られる深海掘削が不可欠。本計画はこれまで掘削が制限されている石油・ガス存在域の深海掘削を可能とする。
- 約1億年前までのODPに対し、本計画は約2億年前までを目指す。これは、海洋と大陸が分化して以来営まれてきた超大陸の集合～離散をカバーする。

(代替手段)(P4, P31)

氷床掘削では大気の情報のみ。年輪、サンゴ礁は数百年オーダー。深海掘削は

- ・大気のみならず、海洋大循環、海洋基礎生産力、海面高さの変動、氷床の崩壊、陸の浸食・風化などの情報が得られる。
- ・侵食や生物擾乱による欠損・劣化が少なく、遠い過去から現在まで連続して記録。
- ・氷床コアのように地域が限定されることなく、世界中の海域で古気候復元が可能。

b) 地殻変動モデリングの精密化と地殻変動観測網の構築(P50~52)

- 4枚のプレートが衝突する日本周辺の複雑な地殻構造のモデル構築が急務。震源に至る掘削によって直接的に試料採取・諸計測を行えば、遠隔探査手法に基づくモデルを大幅に改善(図35~39)。
- 掘削によって震源に近接しなければ検知できない現象の計測。
- 本計画はプレート地震の震源まで掘削し、想像するしかなかった諸現象を解明

(代替手段)

- ・衛星、洋上船舶、海底地震計による遠隔探査に基づく地殻構造モデルを改善するには、海底下深部の力学物性値、応力状態、間隙水流等の物理現象などを知る必要があるが、ライザー掘削以外にこれを可能とする手段は存在しない。
- ・海底地震計は柔らかい堆積物の影響で十分な感度が得られず、地震発生ゾーンでの微小な現象を捉えることは困難。掘削孔による高精度な近接計測に並ぶ手段はない。

c) 地球深部ダイナミクス研究への貢献(P53, 54)

- モデルの精密化には地殻下部～マントルに至る連続試料採取が不可欠。
- 激しい変成を受けた形でしか知りえなかったマントル物質の回収は月の石に匹敵する科学的価値。地殻変動モデルの仮定である「モホ面」の意味の解明。

(代替手段)

- 地表面に現われたマントル物質では変成が激しい。地球内部トモグラフィーは地震波の速度分布からの間接的な推定。直接採取に大きな期待。

d) 地殻内生命の探索(P55, 56)

- 熱水活動域やハイドレートなどの地殻内に微生物コロニーが存在する可能性。
- 生物の共通祖先の発見や、生命誕生の重要な知見が得られる可能性(図43)
 - ・太古の微生物は好熱菌又はメタン資化菌である可能性
 - ・好熱菌の至適生育圧力が海底の圧力よりも高いものが発見されている
 - ・マリアナ海溝底に非常に多様性に富んだ微生物群が冬眠

(代替手段)

- ・陸上掘削によって地殻内微生物の採取・分離手法の開発していくことは可能。探索すべき熱水活動域やメタンハイドレート域が深海に存在するため、深海掘削以外に代替手段はない。

e) ガスハイドレートの成因と安定性の解明(P57)

- メタンハイドレートとその下のフリーガス層は未知の巨大な炭素シンク。
- その生成と崩壊の解明は、地球の炭素循環システムの解明に決定的な意味。

(代替手段)

- 洋上からの三次元反射法探査によりハイドレート層の上面の推定は可能だが、そこからどこまでの深さに広がっているかは推定できない。ライザー掘削はハイドレート存在域の深さ方向の広がりを知る唯一の手段。

1.2 実用技術開発に貢献するか（人間の活動領域の拡大、技術的波及効果）

- ハイドレート採取、海底鉱物資源採取、温度差発電、深層水利用、二酸化炭素海底貯留、地熱発電(P58)
- ナホトカ号のような深海での重作業への対応

2. 将来的見通し、社会的・経済的ニーズからの検討

2.1 社会的・経済的意義と日本における位置づけ

(1) 地球温暖化を始め地球規模問題の先鋭化(P26~29, 72)

- 温暖化予測の精度向上（温暖化によるダメージ予測の精度向上を含む）
- 炭素排出量削減策
- 温暖化に対する適応化政策

のうち、気候変動やその被害の予測の不確実性を減らすことは対策への合意形成に不可欠。

- ・日本は資源の海外依存度が高く、地球規模問題によって被る影響が大。また、主要な炭素排出国の一つとして、地球温暖化の被害を受けやすい途上国への責務。
- ・「経済構造の改革と創造のための行動計画」（平成9年5月閣議決定）で「環境」は15新産業のうち雇用及び市場規模で6番目に位置付け。

(2) 地震など自然災害による被害規模の世界的な増加傾向

- ・地震、津波、火山噴火等の自然災害の多い日本の地理的条件(P31, 73)

(3) 有用微生物の探索

(4) 低炭素燃料であるメタンハイドレートの利用ニーズ(P32, 73)

- ・日本の天然ガスの利用割合は約10%に留まっている。
- ・日本沿岸に近接して豊富に存在し、比較的低コストに利用できる可能性。

2.2 社会的・経済的ニーズに対する深海掘削の位置付け

(1) 地球規模問題等(図64)

- ・地球変動研究は、モデリング、観測（古環境を含む）、地球シミュレータ開発の三位一体で推進。このうち古環境研究は気候／海洋／生態系変動モデルの妥当性評価、未知の環境変動の解明のために不可欠な要素。

(2) 地震、火山噴火、津波等(図64)

- ・地震・火山噴火・津波の研究と防災対策との有機的連携
- ・地殻変動モデルの精度向上における広域調査、近接調査、長期観測との役割分担において、深海掘削は地震発生場での現象の直接計測、力学的物性データの取得、安定した高精度の長期観測の場として不可欠な要素。

(3) 地殻内微生物

- ・地殻内は深海底以上に地上から隔絶された領域であり、地上では得難いユニークな機能を持つ微生物の発見の可能性がある。

(4) メタンハイドレート(図66, 67)

- ・炭素排出量削減策として有望だが、メタンハイドレート層が崩壊して津波発生や大量の温室効果ガスの放出を招く恐れがあり、メタンハイドレート層の安定性の研究が先行すべき。

3. 技術的妥当性の検討

3.1 ODP掘削船の限界(P35, 36)

- ・ 炭化水素存在域での掘削が制限される
- ・ 掘削孔が不安定で、地震発生帯、マントルなどの海底下深部への到達が困難

3.2 ライザー掘削技術についての比較検討

泥水循環の可能な4つの方式について国際ライザー技術ワークショップ（平成8年10月）で評価され、センターが提案するライザー掘削技術が選択(P40, 41)。

ライザー掘削の長所（ライザーレスとの比較）(P37, 38)

- (1) 泥水循環による孔壁強化等によって大深度掘削が可能
 - 不安定な地層での掘削深度の増大（地震発生帯、モホ面への到達など）及びその地層でのコア回収率の向上
 - ライザーでは約2.5億年前まで遡ることが可能（ODPでは約1億年前まで）
- (2) 石油・ガスを含む地層でも掘削可能（泥水循環による圧力制御）
 - 現行ODPでは避けていた、生物活動の活発な海域や海底扇状地などに存在しやすい石油・ガスやメタンハイドレートの存在域を掘削できる。
- (3) 船上に回収される掘削屑により孔内のモニタリングが可能
 - コア回収困難な地層でも掘削屑の回収による地層評価解析が可能
- (4) ライザー管の存在によるビット交換、ケーシング挿入、孔内検層の効率化
 - 最適なビットへの交換が容易になり、掘削効率が向上
 - ドリルパイプ内径より大きい孔内検層機器が使用可能、
 - ケーシング挿入が容易になるため、掘削深度の増大が図られる。

3.3 ライザー掘削船システムの仕様

- ・ 水深 2,500mまでのニーズ(図20)
- ・ 水深 4,000mまでのニーズ(図21)
- ・ 必要な能力を満たすライザー掘削船の仕様の妥当性(図23)

4. 研究開発の効率的執行についての検討

4.1 開発の取り組み方

- 当初、水深2,500m級として開発、その運用データを踏まえて4,000m級を目指す。
- 国内及び国際パートナーの専門家による技術的評価(P40, 41)。最新技術、石油掘削で実績のある技術の積極的取り入れ。
- 特殊試料採取システム、掘削孔利用システム、3次元反射法探査システムなど必要な周辺技術を総合的に開発(図36, 37)。
- 新造、中古船改造、チャーターとの比較検討、建造費の第三者評価を実施。

4.2 運用の取り組み方

- ・二船体制(図49)
 - ライザー掘削船は、従来型掘削船では困難であるが科学的に重要な挑戦的課題を達成するために必要。
 - 海底下深部を目指す掘削は半年に及ぶ場合がある。地球上の各海域での気候感度の違いの解明など、多数の浅い掘削ニーズも増大しているため、従来型掘削船(米)との相互補完が不可欠
 - その他大陸掘削、北極掘削、大陸棚掘削など地球掘削を総合的に推進
- ・IODPの効率的な運営組織 (ODP/従来型掘削船の運営組織と連携) (P61)
 - 計画運営・管理組織
 - 科学掘削オペレーション組織
- ・コア保管及びデータ管理センターとコア・データ処理体制(図55, 56, 59, 60)

4.3 研究の取り組み方(P68~71)

- ・研究体制整備の必要性 (各研究課題の推進と総合的な地球の理解のため)
- ・中核的研究拠点と分散的流動型研究制度

4.4 国際資金分担(図54)

- 開発について、国際パートナーからの技術協力、現物支給貢献等を得つつ、日本が建造し、開発及び運用ノウハウを取得
- 国際運用フェーズでは、ライザー掘削船と従来型掘削船の2船の運用費を日、米、その他の参加国が約1/3ずつ分担することを基本的考え方とする。
- 日本が単独で運用する場合に比べて、日本の運用費を節減し、かつ、乗船機会は2船体制のもとで増大。
- ライザー掘削船の初期運用海域は日本周辺の地震発生ゾーンとする。

参考 深海掘削懇談会「21世紀の深海掘削の実現に向けて」第三章

5. 費用対効果の検討

5.1 費用(P91)

5.2 便益

(1) 気候予測精度の向上(P91～93)

- 世界の平均気温が2.5度C上昇した場合の被害額が世界のGDPの1.5～2%であるとのIPCCの検討結果を元に、気候変動の予測精度が向上した場合の便益を推定
- 不確実性の減少が地球温暖化対策の費用対効果の向上に大きく貢献するとの論文を元に試算
- 破局的気候変動が発生した場合の被害額として、10度C上昇した場合の被害額が世界のGDPの6%に及ぶとの試算結果をもとに便益を試算

(2) 地震等の被害軽減(P94)

- 本計画による地震調査研究の進展は、地震の被害軽減や効果的防災対策に貢献すると考えるが、その便益を試算することは極めて困難。

(3) メタンハイドレート(P94)

- 炭素排出抑制策ともなる日本周辺のメタンハイドレートの安全な採取に貢献するとして便益を算出

(4) 地殻内微生物(P95)

- 耐熱酵素の発見によるDNA増幅装置(PCR)の普及に匹敵する有用微生物の発見がなされると仮定して便益を算出

(5) 技術的波及効果(P95)

- 我が国の大深度石油掘削船/メタンハイドレート掘削船の受注増

5.3 本計画の寄与率(P96)

気候変動研究については、モデリング研究、海洋観測、地球観測衛星、地球シミュレータなどとの連携、地震調査研究については、モデリング研究、海底地震総合観測システム、三次元反射法探査などとの連携を考慮して、本計画による寄与率を設定。

5.4 費用対効果(P97)

掘削船の運用開始後10年の運用・研究コストを考慮しても10倍以上の費用対効果があると評価

6. 緊急性の検討

6.1 地球温暖化対策の緊急性(P28, P71)

(1) 排出量抑制策の着手時期は早ければ早いほどより費用対効果が大幅に改善される。

IPCC第三作業部会報告によると、削減すべき排出量は、1990年に5%の削減に着手する場合に比べ、10年遅れて2000年に着手する場合は同程度の気温上昇に留めるために20%の削減が必要となるとしている。

一方、対策の着手は遅い方がより費用対効果が高いとの議論もあるが、環境劣化費用の存在による割引率の低下、技術進歩の不確実性、気温上昇速度を制限する必要性などから、それを否定する意見が強い。

気候変動の不確実性が高いと、より犠牲の大きい施策は国際的に合意されにくく、規制強化の時期を遅らせる。本計画によって気候変動予測精度が向上し、または、より破局的な環境異変のメカニズムが解明されれば、より積極的な施策の国際的な合意を助け、規制強化の遅れによる被害を回避できる。

(2) メタンハイドレートの利用拡大を急ぐことは炭素排出抑制に貢献。

6.2 地震研究の緊急性(P72)

日本周辺では地震の空白域として近い将来地震発生または津波発生が懸念されている地域がいくつか指摘されている。早期に本計画に着手することは、これら地域における人命損失や被害の回避、あるいは合理的な耐震設計に反映させることによる被害軽減に寄与する。

7. 総合自己評価

(1) 本計画によって実現を目指す各科学課題は、いずれも既存の代替手段では実現困難だった地球科学と生命科学のブレークスルーとなる挑戦的な課題であり、人類の知識を空間的にも時間的にも飛躍的に拡大し、創造性豊かな研究を推進するものとする。

(2) 地球温暖化については、大きな不確実性の中で「いずれにしても後悔しない政策」の着手が急務だが、人気のない政策は先送りの傾向にある。本計画は環境と生態系の急激な変動を解明し不確実性の減少と地球規模問題への合意形成に大きく資するものとする。また、地震調査研究、地殻内生命の研究、メタンハイドレート研究その他技術的波及効果においても大きな社会的・経済的意義があるものとする。

(3) 上記の課題実現のためにライザー掘削船を開発する意義、並びに、その統合的な国際運用と研究推進の基本的考え方については妥当と考えられるものの、気候研究や地震研究ほか地球科学の取組みについてはセンター単独の問題に留まらず、日本全体としても検討すべきものとする。

以上のとおり、深海地球ドリリング計画は、人類社会が未来を切り開いていくうえで必要となる地球と生命の起源と進化についての知識を飛躍的に拡大させるものであり、強力に推進すべきであるものとする。

(参考) 深海地球ドリリング計画の費用対効果の試算

H10.11.20

海洋科学技術センター
深海掘削プログラム準備室

本計画とODP(過去15年間)の費用対効果を同一方法で算出して比較する。
以下、130円/ドル(平成9年度世界経済白書)とする。

1. コスト(C)

1.1 本計画(二船)

(1) 初期投資費用(地球深部探査船の開発及び陸上施設等の整備)

開発費 599億円(試験機、基本設計、建造費)

運用準備 93億円(海上試験、慣熟運転、運営拠点、研究拠点)

計 692億円

(2) 運用費

2船の運用費の合計が現時点で120~130M\$/年と試算されている。日本の負担額はその約1/3と考えられるが、ODPとの比較のため、二船の合計運用費を考える。それに加えて各国国内の研究費が必要となるが、ODPでは不明のため算入しない。

$15年 * 130M\$ * 130円 = 2535億円$

したがって開発費と15年間の運用費の合計は 3227億円(★1A)

1.2 ODP

ODPのI期及びII期の計15年間(1983~1997)の総費用を現在価値(1997年現在。物価指数はOECD資料による)で算出すると

845億円(★1B)

開発費(改造費)は上記費用の中に含まれている。

2. 便益(B)

本計画(二船)の世界での便益を試算する。

2.1 地球温暖化問題への貢献

(1) 地球温暖化による被害額の想定

地球温暖化対策とは(a)温暖化による被害額と(b)温暖化対策のコスト(炭素排出抑制コストと地球温暖化に適応させるコスト)の合計(a+b)が最小となるように「最適な政策」を選択することを目指している。つまり、現在論議されている温暖化対策はただちに気温の上昇を回避しようというのではなく、気温をある程度の上昇ののちに安定化させようというものである。

気候変動について知見を増大させれば、破局的な危機の回避や効果的な適応策・防御

策を講じることによって温暖化被害を最小限に押さえることができる。

IPCCでは大気中二酸化炭素濃度が産業革命以前より2倍(560ppmv)となって地球平均気温が2.5度上昇した時をベンチマークとして世界の被害額の評価を行っている。農業被害、海面上昇、水供給、冷暖房、保険、健康、移住、生態系、異常気象等についての被害の合計として、世界総生産GWP(名目GDP国内純生産の合計)の1.5~2%(文献3 p.186)と見積もっている。GWPは3,695兆円/年であるから、世界の被害額は55~74兆円/年となる(参考:1982/83年のエルニーニョによる世界の被害は=1.7兆円と試算(NOAA、130円/ドル換算))。この額は、炭素排出規制が行われない場合に2060年に大気中二酸化炭素濃度が2倍になる時点での年間被害額であり、それまでの間及びそれ以降の毎年の被害額は漸増していくものとIPCCでは考えている(文献3 p.182)。

二酸化炭素濃度を560ppmvに安定化させるための道筋として、石油と天然ガスが利用できる今後数十年は炭素排出量を現状レベルに抑え、その後は石炭の液化に頼らざるを得なくなることから炭素排出量が増加し、次々世紀には炭素を排出しないエネルギー源の実用化によって炭素排出量を急激に削減できると考えている。そのシナリオが実現すれば、2100年頃から二酸化炭素濃度は安定化し始めるが(文献1 p.24)、気温が安定化するのには2150年頃からとなり、海面上昇はその後にも継続する(文献1 p.45)。この安定化に成功した場合、温度上昇のテンポが遅くなることから同じ気温上昇値における被害額は上記ベンチマークの値よりも小さくなるであろう。クライム(W. R. Clime)が費用便益分析に用いたモデルでは炭素排出抑制措置を講じた場合の被害は講じなかった場合の80%としている(文献2 p.118)。

今回、本計画による気候研究に対する効果を考えるに当たって、どのぐらいの期間の被害を対象とすべきであろうか? 予測精度の向上による効果は永続的に続くため、対象とする被害額の総計は限りなく膨らむ。そこでかなり乱暴に単純化することにして、二酸化炭素濃度が2倍になるまで被害額が直線的に増加すると仮定し、それ以降の被害額は算入しないことにすると、対策を講じない場合の被害総額は

$1/2 * 60\text{年間} * (55 \sim 74\text{兆円/年}) = 1650 \sim 2220\text{兆円}$
となる。

安定化に成功した場合は2150年頃に気温が安定化するが、それまでの150年間の間直線的に被害額が増えると考えて150年分の被害額を総額とするのはおかしいので、最初の60年分だけを考えれば、

$1/2 * (55 \sim 74\text{兆円}) * 0.8 * 150\text{年} * (60/150)^2 = 528 \sim 710\text{兆円}$ となる。

(2) 破局的気候変動(気候ジャンプ)の回避

ここで本計画による効果として、気候予測精度をより高めることによる効果よりも、未知の急激な気候変動を解明する効果が大きいと考えられる。IPCC第三作業部会で指摘されている破局的な気候変動として(文献3 p.176)、

- ・西南極大陸氷床の崩壊による海水準上昇、アルベド減少
- ・永久凍土の溶解によるメタン放出
- ・海水温上昇／海水準低下によるメタンハイドレートの崩壊→津波被害とメタン放出
- ・シベリアの降雨減少→北極の塩分躍層の消失→海氷消失→気温上昇
- ・高緯度での淡水供給の増加→海洋大循環の停止→高緯度／低緯度間の気温格差の激増
- ・気温上昇→ブライン沈降やサブダクション減少→湧昇流の減少→海洋基礎生産量の激減

などのさまざまなカストロフィックな環境大異変が仮説として考えられている。

グリーンランド氷床コア・データでも前回の間氷期などで現在よりも気温が高いモードが見られ、西南極大陸氷床の崩壊、6mの海面上昇が生じた可能性が指摘されている（文献5及び6）。

現在の気温上昇が引き金となってこれらの破局的気候変動が発生すれば、被害額は上記の試算をはるかに上回る恐れがある。IPCCでは地球の平均気温が10度上昇した場合の損害はGWPの6%以上（GWP3,695兆円／年*0.06=222兆円／年）と試算している。気候ジャンプは数年程度の短期間で生じるとの説もあるが、ここでは(1)での計算に合わせるために60年間で平均気温が直線的に10度上昇し、その間の被害額のみを対象にすれば、

$$1/2 * 222 \text{ 兆円／年} * 60 \text{ 年} = 6660 \text{ 兆円}$$

これより対策を講じなかった場合の被害総額1650~2220兆円を差し引いた4440~5010兆円を気候ジャンプによる被害総額とする。

このような気候ジャンプが起こる可能性を[1]%,それを回避又は事前の対策により被害を20%減らすことができると仮定すれば、

$$(4440 \sim 5010 \text{ 兆円}) * \text{発生の可能性} 0.01 * 0.2 * \text{寄与率} 0.3 = 2.6 \sim 3 \text{ 兆円} (\star 2)$$

(3) 不確実性の減少

予測精度向上の別の効果として、S.C.Peck & T.J.Teisberg(1993)（文献4）では、気候感度などの不確実性や温暖化によるダメージなどの不確実性を減らすための研究は、高い利潤をもたらすことを経済予測モデルを用いて示している。これは政策決定者が不確実性の理由として「最適な政策」を選択せずに現状維持などの「次善の政策」をとる場合と比較すれば、不確実性を減らすことの便益は数十兆円にもものぼる可能性があることを示している。これによる世界の便益は、不確実性が[20]%減少し、本計画の寄与率を[0.25]と仮定すれば、

$$50 \text{ 兆円} * \text{不確実性の減少} 0.2 * \text{寄与率} 0.25 = \text{約} 2.5 \text{ 兆円} (\star 3)$$

となる。

以上の★2及び★3の便益は相互に重複している部分もあると考えられること、また、以上の試算には大胆な仮定と大きな不確実性があることから、地球温暖化問題に係る便益としてこのうち小さい方の★3の2.5兆円を採用するものとする。

2.2 地震被害の軽減

掘削船で地震発生帯に至るコアを採取することによって、力学的物性値が実測できる。また、孔内計測によって地震発生状況や地殻変動、応力状態がより精度よく観測できる。これによって地殻変動モデルの精度が向上すれば、日本各地の危険度、被害度の推定精度が向上し、耐震建築などの対策がより効果的に計画できるとともに、人的被害が軽減されると考えられる。

とりわけ、掘削孔を利用して震源（地震発生ゾーン）近傍でモニタリングが実現すれば、地震発生の因果関係が比較的良好に理解されているプレート境界地震の地震発生の準備過程を見ることとなり、準備過程の理解に基づく前兆現象を捕捉する可能性が高まる。この場合は死者の減少、火災発生の減少、漁船の港外避難その他の対策による被害軽減が考えられる。

しかしながら、地震の発生時期や場所に大きな不確実性があることから、これによる被害軽減を定量評価することは困難。

2.3 メタンハイドレートの利用

(1) メタン（天然ガス）は燃焼時の二酸化炭素排出量が石油の2/3であることから、石油からメタンへの転換が急がれる。次世代天然ガス源としてメタンハイドレートは南海トラフなどに豊富に存在し、かつ、日本に近いことから輸送コスト的にも有利である。すなわち、天然ガスは長距離輸送には液化する必要があつて輸送コストが高くつくため、現在、日本の1次エネルギーの10%を占めているにすぎないが、南海トラフのメタンハイドレートは日本に近接して海底パイプライン輸送も期待できるため、コスト的にも期待される。

(2) 日本周辺のメタンハイドレートの原始資源量は6兆立方m（エネルギー総合工学研究所の試算）、回収率をシベリアでの実績値0.1とすると6,000億立方mが可採量と推定されるが、技術進歩によって可採量の増加が期待される。回収率が[0.2]に向上すると仮定すると、日本の1995年度天然ガス消費量540億立方mの22年分の埋蔵量ということになる。

現在、日本が利用している天然ガスは石油換算で年間4,990万キロリットル、値段にして4,810億円（ドバイ原油東京スポット市場価格換算、130円/ドル）、利益率[0.1]と仮定すると481億円/年と推定されるが、メタンハイドレートの単価は炭素排出抑制効果によるメリットから[2割増]の単価で取引されると仮定すると、

$481\text{億円} \times \text{単価アップ}1.2 \times 22\text{年} \times \text{寄与度}0.3 = 3,800\text{億円}$

世界での便益については日本のGNP比及びエネルギー事情の違いを考慮して、上記の[3倍程度]の

1兆円

(★7)

とする。

(3) メタンハイドレートは大陸斜面に存在し、掘削船によってその地層安定性の研究が可能となり、斜面崩落による津波や大量の温暖化ガス放出などの恐れなく掘削できるようになる。その便益は図りしれない。

2.4 地殻内微生物

地殻内は深海底よりもはるかに地上とは隔絶された領域であり、有用な機能を持つ微生物が発見される可能性がある。

好アルカリ菌の研究で特許取得された酵素洗剤は100億円以上の販売促進効果があるとされており、また、好熱菌の研究でDNAの増幅に用いる酵素の耐熱性が向上し、PCRというDNA増幅装置が大幅に普及し、犯罪捜査などにも活用されるようになった。その販売売上げは[1000億円]のオーダーと推定される。

$$1000\text{億円} * \text{寄与率}0.8 = 800\text{億円} \quad (\star 8)。$$

2.5 技術的波及効果

- ・大深度ライザー掘削技術は、大深度海底石油掘削、メタンハイドレート採取、マンガン団塊／コバルト・リッチ・クラスト／熱水鉱床の採取、温度差発電／深層水利用、液体二酸化炭素の海底下貯蔵、地熱発電などに応用できる技術である。

ナホトカ号後部船体からの重油回収方法が検討された際にも有効な技術との評価を得ている。

- ・本計画によって大深度海底石油やメタンハイドレート採取のための日本独自の開発及び運用技術が取得できる。大深度ガスハイドレート掘削船の受注増加（25年間で[30]隻を見込む）が期待でき、

$$[500\text{億円}] * 30\text{隻} * \text{利益率} [0.15] * \text{寄与率}0.5 = 1125\text{億円} \quad (\star 9)$$

の便益がある。

(最近、水深1000～2000m級の石油掘削船が20隻以上建造又は改造中である。将来、メタンハイドレート採掘が実用化されれば、これ以上の建造ブームが期待されると思われるが、既存船の改造・延命も考えられるので、25年間で世界では30隻（うち日本は10隻程度）と考えた。)

その他の技術的波及効果を定量的に算出することは困難。

3. 本計画（二船体制）の寄与率

(1) 気候変動予測精度の向上、特に効果的対策を講じるうえで必要とされる数十年オーダーの長期の予測精度を向上させるには、

- 海洋、生物圏、雪氷圏での観測（研究船、ブイ、地球観測衛星ほか）
- 全球的モデル構築
- 地球シミュレータ開発
- 深海掘削（古気候復元）

などが主要な活動となると考えられる。ここでは台風や異常気象など短期予測による被害軽減のことは考えていないので、短期の気象予報業務及び研究に投じられている資金・人員を全て算入する必要はないと考える。その中で二船体制は特に気候ジャンプの解明への寄与が大きいと期待され、長期予測については統合モデルの妥当性を確認するほか気温分布、降水分布などの精度の向上に直接寄与するものではないことから、ここでは算出しない。

(2) 破局的な気候変動（気候ジャンプ）については、二船体制のもとで海洋でどのような変動があったかが全球的に復元可能となり、その貢献度は高いと考えられるので、その寄与率を [0.3] と仮定する。

(3) 不確実性の減少による政策決定への寄与については、二船体制が過去の間氷期に発生した気候ジャンプの実態をより詳細に示すことによる社会への効果が大きいと考えられることから、[0.25] とする。

(4) 地殻変動モデリングへの貢献については、

- 研究船（重力、マルチチャンネル反射法探査、ポップアップ地震計など）
- ケーブル式海底地震計
- 掘削船（地震発生帯の力学的物性の実測によるモデルの精密化、孔内計測による高精度観測）

の連携によって達成されるので、このうちの掘削船の寄与率は[0.3]と仮定する。

(5) ハイドレート利用については、深海域の掘削手段及び環境影響評価は掘削船に大きく依存するが、海底パイプラインの敷設コストも考慮するとその寄与率を[0.3]と仮定する。

(6) 地殻内微生物の発見については、熱水活動域やメタンハイドレート域など科学的な興味の高い場所で探索する手段は掘削船以外に存在せず、また、採取後の研究コストはあまり大きくないので、寄与率は[0.8]と仮定する。

(7) 大深度海底石油／メタンハイドレート採取船等の技術取得に対する寄与率は[0.5]と考える。

4. 費用対効果

4.1 本計画（二船）の費用対効果（全世界）

(1) 費用（C）：3227億円 (★1A)

(2) 便益（B）

気候変動研究への貢献	： 2.5 兆円	(★3)
地震の被害軽減への貢献	： 算出困難	(★5)
メタンハイドレート生産	： 1 兆円	(★7)
地殻内微生物	： 800億円	(★8)
ハイドレート掘削船建造	： 1125億円	(★9)

合計 3.7 兆円

(3) よって $B/C = 11.5$

4.2 一船体制の費用対効果（現在のJR号の運用形態と同じ場合）

(1) 費用（C）：845億円 (★1B)

(ODPの15年間の費用を1997年に換算)

(2) 便益（B）

JR号相当船一隻では石油・ガス存在海域で掘削制限があるのみならず、掘削に時間の掛かる固体地球のニーズも満たす必要があることから、気候ジャンプ研究に使える掘削サイト数が大幅に減少し、全球的な精密気候復元という目標の達成は非常に困難になる。ハイドレート研究も困難。地殻内微生物については掘削深度の制限のため海底面の微生物相と大きな違いがない恐れがある。技術的な波及効果は少ない。従って、

気候変動研究への貢献	： 5000億円 (★3の2割程度)
地殻内微生物	： 800億円 (★8)

合計 0.6 兆円

(3) よって、 $B/C = 7.1$ 。

仮に気候変動研究について3割程度達成できるとしても、 $B/C = 10.7$ となって、二船体制の費用対効果を下回る。本試算では地震研究やマントル研究などへの便益を算入していないため、本計画の費用対効果が一船体制よりも大きくなることは明らかである。

5. 考察

以上の通り、科学的な計画による効果の評価手法が確立していないこと、地震研究への貢献のように数値化が困難なものもあるなど試算した手法については一定の限界があるが、その同一手法でODPと本計画について試算した結果、二船体制の費用対効果は、ODP一船体制を越える結果を得た。

22カ国の協力により運営されて高い評価を受けているODPは十分な費用対効果があると考えてよいことから総合的に判断すると、本計画は投入する費用に対し十分な効果があると考えられる。

参考文献

文献1：IPCC第1作業部会報告

文献2：地球温暖化の経済学（天野明弘著、日本経済新聞社）

文献3：IPCC第3作業部会報告（「地球温暖化の経済・政策学」IPCC第3作業部会報告 中央法規）

文献4：S. C. Peck & T. J. Teisberg, 1993: Global warming uncertainties and the value of information: An analysis using CETA, *Resource and Energy Economics*, 15, 71-97)

文献5：R. P. Scherer *et al.*, 1998: Pleistocene Collapse of the West Antarctic Ice Sheet, *SCIENCE*, VOL 281, p.82-85

文献6：W. R. Howard, 1997: A worm future in the past, *NATURE*, VOL 388, p.418-419

<参考>

科学技術庁関連大型開発プロジェクト比較表 (平成10年12月3日現在)

プロジェクト名	大型放射光施設 (SPRING-8)	核融合研究炉 (JT-60)	重粒子線がん治療装置	飛鳥 (STOL)	宇宙ステーション計画	地球観測プラットフォーム衛星 (ADEOS)	「しんかい6500」システム	ライザー掘削船
実施機関名	理研/原研	原研	放医研	航空宇宙技術研究所	宇宙開発事業団	宇宙開発事業団	海洋科学技術センター	海洋科学技術センター
開発費総額	約1,089億円 理；約646億円 原；約443億円	約2,300億円	約526億円	約356億円	約2,649億円 (日本実験シミュレーション開発費)	約529億円 (外部提供サービス費用除く)	約196億円	約567億円
開発開始年度における法人予算総額 (国費、一般会計)	理；約171億円 原；約976億円	約484億円	約53億円	約43億円	約1,149億円	約965億円	約64億円	約253億円 (H9要求)
予算総額に対する開発費総額の比率	理；約3.8倍 原；約0.5倍	約4.8倍	約9.9倍	約8.2倍	約2.3倍	約0.5倍	約3.1倍	約2.2倍
開発期間	8年	8年	7年	15年	13年	9年	5年	年
開発開始年度	平成2年度	昭和53年度	昭和62年度	昭和52年度	昭和62年度	昭和63年度	昭和61年度	平成11年度
運用開始(予定)年度	平成9年度	昭和60年度	平成6年度	平成3年度	平成11年度	平成8年度	平成2年度	平成15年度

Date	Description	Debit	Credit	Balance
1900	Jan 1			100.00
1900	Jan 15	50.00		50.00
1900	Jan 30		25.00	75.00
1900	Feb 1		100.00	175.00
1900	Feb 15	75.00		100.00
1900	Feb 28		50.00	150.00
1900	Mar 1		100.00	250.00
1900	Mar 15	100.00		150.00
1900	Mar 31		50.00	200.00
1900	Apr 1		100.00	300.00
1900	Apr 15	150.00		150.00
1900	Apr 30		100.00	250.00
1900	May 1		100.00	350.00
1900	May 15	100.00		250.00
1900	May 31		50.00	300.00
1900	Jun 1		100.00	400.00
1900	Jun 15	100.00		300.00
1900	Jun 30		50.00	350.00
1900	Jul 1		100.00	450.00
1900	Jul 15	100.00		350.00
1900	Jul 31		50.00	400.00
1900	Aug 1		100.00	500.00
1900	Aug 15	100.00		400.00
1900	Aug 31		50.00	450.00
1900	Total	1000.00	1000.00	450.00

深海地球ドリリング計画 中間評価報告書

平成 18 年 2 月

科学技術・学術審議会
海洋開発分科会

序 文

平成 15 年 10 月に統合国際深海掘削計画 (IODP) が、18 年間取り組まれ大きな成果を挙げた国際深海掘削計画 (ODP) 後の新しい計画として、日米の主導により開始された。平成 17 年 7 月には、IODP の主力掘削船となり、日本が世界に誇る最先端の科学掘削船「ちきゅう」が完成し、現在、操船訓練、噴出防止装置の設置訓練等が行なわれている。また、「ちきゅう」は日本各地で一般に公開され、既に約 4 万 5 千人の方々が見学を訪れており、その関心の高さが窺える。今後は、本格的な掘削訓練等を経て、平成 19 年より IODP における国際運用を開始することとなっており、本計画も新たな段階を迎えることとなる。

本計画は、地球環境、災害防止、資源問題等の社会的課題の解決への貢献についても大きな期待を受けるとともに、大きな予算が投入されており、常に適切に評価を受けながら進められることが必要である。

本中間評価においては、本計画が我が国にとって科学的及び社会的に意義が高いものであり、本計画に関する取組みは、科学的・社会的ニーズ等を踏まえ、関係各機関により適切に行なわれてきたと認められた。一方、いくつかの課題も指摘された。特に、研究体制については、必要な研究推進組織が構築されたと評価できるものの、IODP の根幹となる掘削計画の提案等関連研究活動については課題があり、引き続き改善に向けて努力が必要であるという議論が行なわれた。

今後は、本計画の成果が最大限に得られ、社会に大きく貢献していくために、関係者が更に協力し、本報告書の評価結果に適切に配慮しつつ、計画推進により一層取り組むことが不可欠である。本計画は多くの省庁、大学・試験研究機関、参加各国との協力のもとに進められなければならないことから、関係行政機関等においても、海洋科学技術及び地球科学技術を総合的に推進するために必要な措置が講じられることを今改めて要請したい。

また、本計画の推進により、関連分野の科学技術にも飛躍的発展をもたらすとともに、次世代の研究者及び技術者に新たな活躍の場を提供していくことを期待したい。

平成 18 年 2 月 1 日

科学技術・学術審議会海洋開発分科会

深海掘削委員会 主査

田中 正之

目次

評価の概要	1
1. 評価の対象	4
2. 評価の実施体制と方針	5
2.1 評価の実施体制	5
2.2 評価の観点	5
2.3 評価結果等の扱い	5
3. 深海掘削の経緯	6
4. 航空・電子等技術審議会による事前評価について	7
4.1 航空・電子等技術審議会による評価の内容	7
4.2 航空・電子等技術審議会による評価についての確認	10
5. 事前評価後の深海地球ドリリング計画に対する評価	11
5.1 深海地球ドリリング計画に対する評価	11
5.1.1 地球深部探査船に関する取組みについて	11
5.1.2 IODPの構造と我が国の取組みについて	13
5.1.3 人材の育成について	18
5.1.4 国民への説明について	19
5.2 総合評価	20

(参考資料)

概要

1. 評価の対象

深海地球ドリリング計画について、平成10年12月の航空・電子等技術審議会による事前評価を踏まえ、それ以降の本計画関係者の取組みについて中間的な評価を行った。

2. 評価の実施体制と方針

科学技術・学術審議会海洋開発分科会深海掘削委員会が評価を行い、報告書を取りまとめた。評価にあたっては、深海掘削委員会に設置した評価小委員会が報告書案を作成した。評価小委員会は、深海掘削委員会委員の中から深海地球ドリリング計画に直接的に関与しない委員によって構成され、「文部科学省における研究及び開発に関する評価指針」に基づき、評価に取り組んだ。

3. 深海掘削の経緯

深海掘削は1959年マントルへの到達を目標とする「モホール計画」の提唱を起源とし、米国によって取り組まれてきたが、1975年からは、米国主導の国際プロジェクトとなり、我が国も参加してきた。これまで深海掘削は、プレートテクトニクス等の証明等地球科学の発展において重要な役割を果たした。2003年10月からは、統合国際深海掘削計画(IODP)が我が国と米国の主導によって開始された。

4. 航空・電子等技術審議会による事前評価の確認

航空・電子等技術審議会による事前評価(平成10年12月)の結果として、本計画は、科学的、技術的及び社会的意義が大きいものであることから、我が国が地球深部探査船「ちきゅう」を建造し、IODPを推進することとなった。今回の中間評価においては、この結果について、現在においても妥当であることを確認した。

5. 事前評価後の深海地球ドリリング計画に対する評価

5.1.1 地球深部探査船に関する取組みについて

(1)「ちきゅう」の建造

「ちきゅう」はライザー掘削方式等の採用によって、事前評価で適当とされた性能を満足する船となっている。今後、国際運用に向けて着実に準備を進め、さらに、科学者のニーズに応え、地殻とマントルとの境界を貫くため、機器開発及び運用技術の検討を行なっていくことで、水深4,000m級での大深度掘削の実現に向けて取り組むべきである。

「ちきゅう」の建造については、我が国に技術力が蓄積するような建造形態を確保しつつ、適切な体制で建造されたと認められる。

(2)「ちきゅう」及び関連施設の運用環境

「ちきゅう」の運用環境は、その艤装に携わり、十分な実績を有する国内外の会社の人材が配置されることにより、円滑な運用に必要な体制が備えられている。また、安全管理システムの導入、事前調査としての地質の把握等により、安全な運用のための総合的な体制が適切に構築されている。

「ちきゅう」の船上研究支援体制の整備については、専門家の意見を反映しつつコアを適切に処理し、解析できるよう取り組まれている。高知大学海洋コア総合研究センターについても、IODP等により採取されたコアの適切な保存・解析に必要な整備が行われている。

5. 1. 2 IODPの構造と我が国の取組みについて

(1)IODPの意義

IODPの科学目標は地球環境変動解明、地球内部構造解明及び地殻内生命探求を三大テーマとしたもので、我が国の国民の関心も高いと思われる地震発生機構等の理解を含めた地球と生命に関する広範囲な科学分野に大幅な前進をもたらすと考えられる。

また、IODPで日米欧の複数の掘削船を用いることは、掘削の目的等に応じた計画的運用を可能とし、科学目標を効率的に達成するために適切な体制となっている。

IODPにおける「ちきゅう」の運用により、地震発生予測及び緊急通報による地震防災、気候変動モデルの検証による将来予測の精密化等の科学的成果を用いた実用分野の発展が期待され、我が国の社会・経済に対する波及的効果も大きい。

(2)IODP主導国としての我が国の取組み

IODPにおいて、日米は重要事項の決定について、同等に主導できることとなっており、IODPの枠組みの構築に係る取組みは評価できる。IODPを国際的なプロジェクトとして発展させることは、主導国である我が国の課題であり、今後も、積極的に諸外国に参加を働きかけるべきであるが、我が国の貢献に見合う科学的・技術的成果が十分に還元されるよう、戦略的に取り組むことも必要である。

我が国は、「ちきゅう」及び海洋コア総合研究センターをIODPに提供することで、強くその存在をアピールできている。今後はこれらハードの活用を含むソフト面で参加各国をリードしていくことが重要である。

我が国の研究者は関連会合に数多く参加しており、その活動は業績として高く評価されるべきである。今後は、会合においてより積極的に参加できる体制の確立及び会合への派遣の継続による人材育成が必要である。また、我が国の研究者がIODPの研究航海に参加し、共同首席研究者として活動していることは評価できる。乗船研究は、関連研究推進等の観点から最も重要な活動の一つであり、継続して参加できるよう一層配慮されるべきである。

(3) 国内におけるIODP関連研究の推進体制

海洋研究開発機構(以下「機構」という)内でのIODP関連研究を我が国の中心として総合的に推進する組織の設置、日本地球掘削科学コンソーシアム(J-DESC)の設立、国内統一目標の策定等IODPを主導するための研究体制の構築が進められ、継続的な検討が行われており、これらの活動に研究者が主体的に取り組んでいる。今後も、研究者の活動の円滑化及び活性化に努めるべきである。

しかし、必要な事前調査費の確保等の問題のために、掘削計画の提案というIODPの根幹となる活動において、我が国はリードできていないことから、新規の掘削計画開拓のための研究を担う競争的資金及び我が国がIODP主導国としての責務を果たすための活動を担う経常的な予算措置による研究支援体制について早急に検討する必要がある。

5.1.3 人材の育成について

機構及びJ-DESCは、研究者の経験蓄積の促進、大学・研究機関におけるIODP関連活動への理解に繋がる活動等研究者の育成に取り組んでいる。今後は、次代のIODPをリードする研究者の育成のため、若手研究者の乗船研究機会の拡大及び興味を喚起するアウトリーチ活動に一層取り組んでいくことが重要である。

また、機構は、米国の掘削船への乗船を支援することで技術者を育成してきた。ライザー掘削技術については、海底油田の探査のために開発され、発展してきたものであることから、我が国が遅れていることは事実であり、欧米の優れた掘削技術の我が国への移転に早急に取り組むことが必要である。

さらに、我が国のIODPにおけるプレゼンスの向上及び国内研究者組織運営のため、科学的知識を持ちながら国内外の機関でマネジメントに従事する人材の育成が課題である。

5.1.4 国民への説明について

「ちきゅう」の必要性及びIODPの科学的成果に関する理解はもとより、科学技術の理解増進及び活性化を図る活動が行なわれている。今後は完成した「ちきゅう」を活用し、国民の関心の高いプロジェクトとして認知されるよう努力すべきであり、特に、中高生を対象とした教育的な観点からの広報等に継続的に取り組んでいくことが必要である。

さらに、IODP推進を通じて育成された人材の産業界での活躍の場の提供等が実現するよう努力すべきである。

5.2 総合評価

本計画は、現在も科学的及び社会的に意義が高いものであり、関係各機関により適切に進められてきていると認められる。よって、我が国が本計画を推進することは極めて有意義であると評価できる。今後は、その成果が最大限に得られ、社会に大きく貢献していくために、関係者がさらに協力し、計画推進により一層取り組むべきである。

ただし、引き続き関連研究活動における課題の改善に向けた努力が必要である。

1. 評価の対象

深海地球ドリリング計画を対象とする。深海地球ドリリング計画とは、以下の3要素から構成されるものである。

- ・ 国際深海掘削計画 (Ocean Drilling Program: ODP) で用いられていた科学掘削船の技術的限界を越える能力を持つ、地球深部探査船 (ライザー掘削船) 及び関連技術を開発する。
- ・ 日本の地球深部探査船と米国の従来型掘削船等が相互補完する統合国際深海掘削計画 (Integrated Ocean Drilling Program: IODP) を推進する。
- ・ IODP によって得られたコア及び掘削孔を用いた地球科学及び生命科学の研究を総合的に推進する。

本評価においては、平成 10 年 12 月の航空・電子等技術審議会による評価を踏まえることとし、それ以降の本計画関係者の取組みについて中間的な評価を行う。

2. 評価の実施体制と方針

2.1 評価の実施体制

科学技術・学術審議会海洋開発分科会深海掘削委員会が評価を行い、報告書を取りまとめた。評価にあたっては、深海掘削委員会に設置した評価小委員会(以下「小委員会」という)が報告書案を作成した。

小委員会は、深海掘削委員会委員の中から深海地球ドリリング計画に直接的に関与しない委員を深海掘削委員会主査が指名して構成された。

2.2 評価の観点

平成17年9月に文部科学大臣決定された「文部科学省における研究及び開発に関する評価指針」(以下「評価指針」という)に基づく中間評価として研究開発プロジェクトの計画の進捗状況について第三者評価を実施した。特に留意した観点は以下のとおりである。

- ・海洋研究開発機構の保有する地球深部探査船「ちきゅう」が深海地球ドリリング計画を遂行するのに十分な性能を備えた船であるか。
- ・安全で効率的な「ちきゅう」の運用環境が築けているか。
- ・IODPは意義ある計画となっているか。
- ・我が国がIODPを主導できているか。
- ・国内におけるIODP関連活動の推進体制が築けているか。
- ・人材育成に努めているか。
- ・普及広報活動を積極的に実施しているか。

2.3 評価結果等の扱い

評価結果は、プロジェクトの目標・計画の見直し等に適切に反映することを目的とする。これらの評価経過や評価結果等については、国民にわかりやすい形で公表するなど、積極的に情報提供を行う。

3. 深海掘削の経緯

(1) 深海掘削の歩み

深海掘削は 1959 年マントルへの到達を目標とする「モホール計画」の提唱を起源とする。モホール計画では、1961 年にカス1号という掘削船を用いて世界初の深海掘削を行ったが、約 170m のコアを得ることしかできなかった。モホール計画は、1968 年からのグローマーチャレンジャー号を用いた深海掘削計画 (Deep Sea Drilling Project :DSDP) に受け継がれ、1975 年からは、米国国立科学財団 (National Science Foundation :NSF) 主導の国際プロジェクトとして国際共同深海掘削計画 (International Phase of Ocean Drilling :IPOD) が開始された。我が国からは東京大学海洋研究所が参加した。その後、米国主導のもと、22 カ国が参加するODPが 1985 年から 2003 年まで行われた。これらの深海掘削計画は、プレートテクトニクス の証明、白亜紀の地球の状態の把握、小天体衝突による生物大絶滅の詳細な過程の解明等多くの成果をあげ、地球科学の発展において重要な役割を果たした。

(2) 統合国際深海掘削計画 (IODP)

IODPは、ODP後の新しい計画として 2003 年 10 月より我が国と米国によって開始された国際研究協力プロジェクトであり、その後、欧州 12 カ国で構成される欧州海洋研究掘削コンソーシアム (European Consortium for Ocean Research Drilling :ECORD) 及び中国が参加し、国際的な推進体制が構築された。IODPは、我が国が提供するライザー方式の地球深部探査船「ちきゅう」と米国が提供するノンライザー方式の科学掘削船を主力掘削船とし、欧州が提供する特定任務掘削船 (Mission Specific Platform :MSP) を加えた複数の掘削船を用い、地球上の各地の海底を掘削することで、地球環境変動解明、地球内部構造解明、地殻内生命探求等の科学目標を達成するため、戦略的かつ効果的に研究を行うこととしている。

4. 航空・電子等技術審議会による事前評価について

中間評価においては、平成10年12月の航空・電子等技術審議会により行われた事前評価を踏まえることとしているため、事前評価に示された以下の内容について確認を行った。

4.1 航空・電子等技術審議会による評価の内容

(1) 地球深部探査船の開発の意義

過去の急激な気候変動を高い解像度で復元するには、堆積速度の速い海域を掘削する必要があるが、こうした海域では活発な生物生産に由来する石油・ガスが存在することが多い。従来型掘削船では石油・ガスの噴出を防止する能力がなく、掘削に危険が伴うため、石油・ガス層を越えて掘削することができない。

また、従来型掘削船には掘削孔を安定化させる能力がないため、掘削孔の崩壊等の危険性があり、ジュラ紀の地層、地震発生ゾーン、マントル等の海底下大深度の掘削を行うことが困難である。

上述の問題を解決する技術として、旧海洋科学技術センター(現(独)海洋研究開発機構(以下「機構」という))により、石油掘削で採用されているライザー掘削技術を高度化し、石油・ガス存在海域での科学掘削を可能とし、海底下7,000mまで掘削する能力を持つ地球深部探査船の開発が提案された。当初は水深2,500m級の海域で科学的成果を得つつ運用データを蓄積のうえ、水深4,000m級でのライザー掘削を行うことを最終目標としている。

この提案については、「ライザー技術国際ワークショップ」(1996年開催。海洋科学技術センター、東京大学海洋研究所他共催)において、深海掘削に精通した国内外の科学者及び技術者による技術評価の結果、妥当であると結論付けられ、機構により開発されることとなった。

(2) 科学技術上の意義

① 科学的目的と意義

IODPによって初めて実現するライザー掘削船とノンライザー掘削船の二船体制の下で、新たに可能となるもしくは飛躍的に進展すると考えられる研究課題の主要なものは次のとおりである。

a) 海洋底堆積物の分析による古環境の研究

地球深部探査船は、より深層への掘削及びより完全なコア採取により、過去2億年の環境変動の解明を可能にする。また、従来掘削できなかった地点における掘削等が可能となることから掘削地点の増加を促し、より精密な地球環境の時間的変動及び地域的相違を解析する事ができる。

b)地震発生機構の研究

海底下数kmに位置するプレート境界域地震発生ゾーンの掘削及び直接観察が可能となり、掘削孔における長期孔内計測の結果と併せて、巨大地震発生機構の解明に有力な情報を提供する。

c)巨大火成岩岩石区の掘削によるプレューム・テクトニクスの検証

巨大火成岩岩石区を貫通する掘削が可能となることにより、巨大マントル上昇流が地球環境変動を支配したとするプレューム・テクトニクス仮説の検証も含め地球規模の環境変動の基本原理の解明に貢献する。

d)地殻内生命の探索

ライザー掘削は、地下 4,000m まで広がる可能性がある地下生命圏の実態解明を可能にし、さらには、熱水域における微生物の解析によって、生命の起源に迫る発見が期待される。

e)ガスハイドレート生成と崩壊の機構の研究

従来型科学掘削では不可能であったガスハイドレート層を掘削・調査することにより、その形成及び崩壊と地球環境変動の因果関係を解明することが可能となる。

以上のように、深海底掘削研究に地球深部探査船を投入することは、地球と生命に関する広範囲な科学分野に大幅な前進をもたらすことが確実と考える。なお、これらの各科学目標については、地球深部探査船「ちきゅう」の優れた掘削能力により達成されるものであり、他に適当な代替手段がないと認められる。

② 技術的意義

ライザー掘削技術は、海底油田の探査のために開発され発展してきたものであるが、その分野における我が国の技術は、オイル・メジャーを持つ欧米各国の技術に比べ大きく遅れていることは事実である。このため、地球深部探査船を我が国が建造することにより、特殊試料採取システム等機構が取り組んできた科学掘削に不可欠な要素に関する研究開発成果を活用するとともに、外国技術の導入により世界の英知を集めることで、自前の技術体系を構築することは大きな意義がある。

また、本計画の技術的波及効果については、大水深の石油・天然ガス開発、将来の二酸化炭素深海貯留等の深海での技術に留まらず、陸上での科学目的の深部地下掘削や、資源探査を始めとする実用上の深部地下調査のための技術的基礎をなすものとして、潜在的価値を持つものと考えられる。

(3) 技術的妥当性及び開発の進め方

ライザー技術は海底石油探査で用いられているが、この方法により科学的に価値のあるコア試料を採取した例はない。また、水深 2,500m 以深の海域でのライザー掘削は世界的にも未踏の領域であり、本計画は技術的にチャレンジングである。しかし、我が国はライザー掘削船の建造を多数海外から受注していること、ライザー技術国際ワークショップに

おける評価結果等を踏まえれば水深 2,500m 以深でのライザー掘削は実現可能と判断される。

水深 4,000m 級での運用を目指すには、水深 2,500m 級掘削において科学的成果を得つつ運用技術を習得し、その運用データから水深 4,000m 級を目指していくことが妥当と考える。ただし、ライザー技術に関し、常に革新的な技術開発に関心を持っていかなければ技術の陳腐化の恐れがあることにも留意すべきである。

(4) 社会的・経済的意義及び緊急性

本計画は、第一義的には世界の科学者の支持のもとに進めていく科学目的の計画であり、人類が共有しうる知的資産である科学に我が国が率先して貢献する意義が大きいと考える。

しかし、本計画はそれのみに留まらず災害、地球温暖化等の社会が直面する課題について、これらのメカニズムの解明に向けた国際的な地球科学の進歩及びその進展に必要な研究体制の整備とも相まって、課題の解決に結びつくものと考えられる。これらの諸課題への取組みの重要性、緊急性を踏まえれば、本計画に緊急に取り組むべきと考える。

(5) 運用及び研究の進め方

① 運用体制

深海掘削は、地球規模の科学的な課題を解決するために、世界各海域で掘削を行うことから、本質的に国際協力を必要とする。本計画が、過去長期にわたり成果を挙げてきた ODP の国際協力体制を引き継いで発展させた IODP の一環として行われることは適切かつ有効である。また、二船体制は(2)で示したように、科学目標を最大限に実現するうえで効率的な運用体制であると認められる。

国際的な費用分担については、本計画の成果から我が国が受ける科学上の便益が大きいこと、我が国は、地球の変動帯に位置するアジア・太平洋諸国の中心となって、地球内部の研究を先導すべきであることからみて、我が国が地球深部探査船を建造することが適切である。また、運用段階において二船の運用費を利用の割合に応じて国際分担する考え方は合理的であると考えられ、その実現に向けて各国に対し一層積極的に働き掛けていくことが重要である。

② 研究体制

本計画では研究体制の整備が最も重要かつ困難な課題であり、関係機関が地球深部探査船の完成までに、より多くの研究者を結集することのできる研究体制の整備について最大限の努力を払うべきである。

本計画のもとで我が国が研究面で十分な成果を上げるためには、掘削船の運用とプロジェクト推進の中核となる研究拠点と、多様な発想で掘削試料や計測データから研究成果を産み出す多数の分散した小規模の研究グループとが連携し、相互に牽引しあう研究体制を整備するなどの取組みが必要である。同時に、研究管理及び研究支援についても、

組織の整備、人材の養成とともに、若手研究者への支援、関連陸上施設の設置など十分な措置を、地球深部探査船の完成までに講じるべきである。

(6)費用対効果

科学目的の計画によって将来どれだけの社会的・経済的效果が生じるかについて、確度の高い数値を導くことは現時点では困難なことである。それを前提として、気候変動、地震等に関する本計画の効果を考えると、地球深部探査船の建造・運用等に投入する費用に比べて十分に大きいものと推定されている。

また、本計画は、我が国が 21 世紀における役割を踏まえ、かつてない規模で新しい科学の開拓に主導的に取り組むものであり、若い研究者や次世代の人々が研究や開発に対する夢を育むことのできる新たな活躍の場が作られる効果が大きい。また、我が国の科学技術領域での活動に対する国際的評価が一段と高まるという効果も認められる。

(7)総合評価

本計画は科学技術上大きな価値を有するものであり、また、その成果は地球環境、災害防止、資源問題等の社会的課題にも貢献するものと判断される。本計画によって我が国が新しい科学領域を開拓し、かつてない規模で国際的な科学計画に主導的に取り組み、総合研究体制をつくることは 21 世紀の我が国の科学技術の発展に必要なものと認識される。

本計画の推進には、特に研究体制の整備に最大限の努力を払い、絶えず社会に情報を提供するとともに、本計画の進行に伴う開発及び運用の主な区切りにおいて計画の実施状況及び将来計画に対する評価を行い、本計画を次の段階に進めるべきか検討すべきである。

4.2 航空・電子等技術審議会評価についての確認

事前評価の結果として、本計画は科学的、技術的及び社会的意義が大きいものであることから、我が国が地球深部探査船「ちきゅう」を建造し、IODPを推進することとなった。今回の中間評価において、この結論について、現在も妥当であることを確認した。

5. 事前評価後の深海地球ドリリング計画に対する評価

5.1 深海地球ドリリング計画に対する評価

航空・電子等技術審議会による評価後の深海地球ドリリング計画への取組みについて、これを推進してきた国内の関係者より説明を受け、以下の結論を得た。

5.1.1 地球深部探査船に関する取組みについて

我が国が初めて主導する大型国際研究プロジェクトであるIODPの主力掘削船として、重要な役割を担う地球深部探査船「ちきゅう」の性能及び関連施設の運用環境について評価を行った。

(1)「ちきゅう」の建造

①「ちきゅう」の性能と研究者の提案の反映状況

地球深部探査船「ちきゅう」は、平成13年4月から建造が行われ、平成17年7月に完成した。その仕様については、掘削船技術及び深海掘削研究に関し高度な知見を有する学識者等からなる委員会を機構に設置し、船型、掘削システム、研究設備といった基本的な事項について、最新の技術動向、研究ニーズ等を踏まえ検討された。結果、「ちきゅう」は科学掘削船として初めてとなるライザー掘削方式、自動船位保持システム(Dynamic Positioning System :DPS)等の採用によって、航空・電子等技術審議会でも適当と評価された性能(水深2,500m(最終的には4,000m)において海底下7,000mまで掘削)を満足する船となっているものと考えられる。また、「ちきゅう」の建造にあたっては、機構に外部の有識者からなる建造に関する重要事項の審議のための委員会を設けること等により、研究者・運航者等の立場からの意見を聴取し、様々な地殻の連続コアリング、採取したコアの研究のための最新機器の搭載、機器の最適配置の検討等、必要な措置が講じられた。この結果、「ちきゅう」は研究者・運航者等の提案が十分に反映されたものとなっていると評価できる。

今後、その性能を試験運用において確認するとともに、国際運用に向けて着実に準備を進める必要がある。さらに、科学者のニーズに応え、海洋底を掘削して、地殻とマントルとの境界(モホロヴィチッチ不連続面)を貫くため、「ちきゅう」の試験運用及び国際運用を通じて、機器開発及び運用技術の検討を行っていくことで、水深4,000m級での大深度掘削の世界に先駆けての実現に向けて取り組むべきである。

②「ちきゅう」の建造体制とコスト

「ちきゅう」の建造会社については、機構が、有識者により構成される委員会を通じて、十分な実績・経験に裏付けられた高度な技術力と、「ちきゅう」に整備されるべき機器に関わる国内外の企業等をとりまとめる管理能力を有し、確実に事業を遂行できる建造所として三菱重工業株式会社を選定した。三菱重工業株式会社の一元管理のもと、船体、DPS等に

については、これらに特に詳しい三井造船株式会社が、掘削関連機器については外国の企業が担当する等、効率的な体制で建造を行った。このように、外国の技術を日本に集め、世界最先端の科学掘削船を造るという、自前の技術体系の構築にも十分に配慮を行った。建造中には各年度において、機構が実績、見積書、公的統一単価等に基づく検討をもとに各種費用を算定のうえ、建造会社と契約を行うことで適切な費用で建造されるよう絶えず確認を行ってきた。これらのことから総合的に考えると、「ちきゅう」は、我が国に技術力が蓄積するような建造形態を確保しつつ、IODPの科学目的を達成するうえで必要な性能を満たすため、適切な体制で建造されたと認められ、その建造費用約600億円は適切であったと評価できる。

(2)「ちきゅう」及び関連施設の運用環境

①効率的な運用体制の整備

「ちきゅう」は、150名もの乗船人員及び掘削関連機器、船位保持装置、アジマススラスタ等非常に特殊な機器を搭載しているため、その運用については、円滑な運用体制を確保するために十分な検討が必要である。このため、船の運航部門、掘削部門ともに、「ちきゅう」の艤装に携わり、それぞれの分野において十分な実績を有する国内外の会社の人材が配置されることとされており、「ちきゅう」の円滑な運用に必要な体制が備えられていることは評価できる。

試験運用当初においては、機構が「ちきゅう」を自ら運用しながら必要な知見等を蓄積し、その知見に基づき、以後の運用者を含む運用体制を適切に定めるという段階的取組みも、より効率的な運用体制を求めるといふ姿勢として妥当であると認められる。将来的には、ノウハウの蓄積等によって、さらに効率的な体制を検討することが重要である。

②安全な運用体制の整備

「ちきゅう」は世界を舞台として航海し、高度な技術を要するライザー掘削を行うため、安全については特段の配慮が必要である。「ちきゅう」の運用における安全管理については、石油業界で採用されている労働安全衛生及び環境保全管理システム(Health, Safety & Environment-Managing System :HSE-MS)を導入し、これにより、目標管理、継続的改善、教育訓練、リスク管理、緊急事態対応等を含む統合的なマネジメントを行っている。各種作業については、マニュアルの作成・更新及び「ちきゅう」の全乗船者への教育訓練を徹底している。また、安全な研究航海の実施のため、掘削実施計画作成に必要な掘削海域のハザードを含めた地質の把握を事前調査として行っている。緊急時の対応については、事故等を想定したシミュレーションを繰り返し行うことにより、緊急時の組織体制、連絡体制等における不備の洗い出し及び改善を行っている。さらに、環境保全については、船上における廃棄物の取扱いへの留意等海洋汚染の防止に関して、「環境管理計画」、「海洋汚染防止計画」等に即して取り組んでいる。これらのことから、「ちきゅう」の安全な運用のための総合的な体制が適切に構築されているものと評価できる。今後も安全に十分に配慮した体制のもとで航海が実施されるよう、絶えず注意することが必要である。

なお、「ちきゅう」は、①で述べられている特殊性からその保守整備には多くの労力を要する。このため、航海中の故障等不測の事態により、その安全性が脅かされることのないように定期的及び日常的に保守整備を行うことが重要であり、これにより「ちきゅう」の継続的な運用を可能とし、効率的運用にもつながるものと考える。

③研究支援体制の整備

「ちきゅう」の船上研究支援体制の整備については、機構が我が国の科学コミュニティ、IODPの科学諮問組織 (Science Advisory Structure :SAS)、外部有識者による委員会等の意見を検討・反映しつつ取り組んでいる。これにより、機構に研究支援を担当する部署を設けること並びに研究及び機器運用に精通した優れた人材を「ちきゅう」に配置することによって、各種データ管理、分析・解析機器の保守整備等を行う体制の構築が進められている。このように、「ちきゅう」がコアを適切に処理し、その分析・解析を行う「海の上の研究所」として機能するために取り組んでいることは評価できる。今後、機構は国際運用までにその体制を確立し、人材の育成等長期的な体制の維持・発展にも必要な措置を講じていくべきと考えらる。

④海洋コア総合研究センターの整備

高知大学海洋コア総合研究センターは、米国及びドイツのコア保管施設とともに、IODP、IODP等により採取されたコアを保管・分析・解析するための陸上研究施設であり、2003年4月に整備され、機構と高知大学によって運営されてきた。海洋コア総合研究センターでは、コア120km分を適切な温度下で冷蔵・凍結保存するための冷蔵・冷凍保管庫に加えて、採取されたコア等の試料の基礎解析はもとより高度な解析を要する研究まで、世界最先端の研究を一貫して実施することを可能とする研究機器が設置されており、必要な整備が行われていると評価できる。また、機構の関連研究部門が海洋コア研究センター内に移設され、研究実施体制の構築にも取り組んでいる。今後は、IODPのコアに関する分析・解析の中核的な施設として機能するための体制の充実に取り組むことが重要である。

5.1.2 IODPの構造と我が国の取組みについて

IODPは、我が国が提供する「ちきゅう」(ライザー掘削船)と米国が提供する従来型掘削船(ノンライザー掘削船)を主力掘削船として、統一した科学目的のもとで複数の科学掘削船を相互補完的に国際運用する計画である。この新たな大型研究国際プロジェクトの意義、主導国としての我が国の取組み、国内における関連研究の推進体制について評価を行った。

(1)IODPの意義

①科学目標とその意義

IODPの目的は、深海掘削を用いて地球システム変動についての科学的調査を行うことであり、その科学目標は「IODP初期科学計画」(Initial Science Plan :ISP)において確認

されている。ISPにおいて国際的に確認されたIODPの科学目標は地球環境変動解明、地球内部構造解明及び地殻内生命探求を三大テーマとしたもので、詳細は以下のとおりである。

○地球環境変動解明

a) 極限気候環境

IODPでは、深海掘削によって得られる堆積物の高精度連続記録を解析し、極限気候環境時の地球システムの状態を把握することで、氷床形成及び寒冷化のメカニズム並びに温室地球への移行原因の解明を目指す。

b) 急速な環境変動

a)と同様に、深海掘削によって得られる堆積物の高精度連続記録を用いて、短期間での環境変動の原因の解明を目指し、近未来の環境変動予測に用いる。

○地球内部構造解明

c) 地震発生帯

IODPでは、地震発生帯の掘削を「ちきゅう」を用いた最初の研究航海の対象と位置づけており、海溝型巨大地震発生域の物性の理解及び長期孔内計測による微小変動のモニタリングによって、地震発生過程の解明を目指し、地震予測手法の開発に用いる。

d) 大陸分裂と堆積盆地の形成

地球システムの進化に重大な影響を与える大陸分裂及び海洋底拡大の原因を理解する目的で、分裂及び拡大の初期過程の詳細を把握し、大陸の縁辺部の構造及び堆積盆地の形成のメカニズムの解明を目指す。

e) 巨大火成岩岩石区

海洋域に存在する巨大な火成岩体の成因及びその形成と地球環境変動との関係の解明を目指す。

f) マントルへの掘削

海洋地殻全体の組成及び構造の解明並びに固体地球の80%を占めるマントルの特性を把握することは、地球の進化を理解するために不可欠であり、地球深部探査船を用いて海底下7,000mのマントルまでの到達を目指す。

○地殻内生命探求

g) 深部生物圏

地殻内には地表に匹敵する量の微生物が存在し、それらが生命進化を理解する鍵を握っている可能性が高いと考えられている。また、有用性の高い遺伝子資源を持つ地下微生物の発見も期待されている。

h) ガスハイドレート

海底下には、大量のメタンガスがガスハイドレートとして濃縮されている。この分布状態、地殻内微生物の活動との関連を含む形成・分解過程及び地球環境への影響の解明を目指す。

これらは、航空・電子等技術審議会で評価された科学的目的ともその方向性は一致しており、IODPは、我が国の国民の関心も高いと思われる環境変動、地震発生機構、ガスハイドレート等の理解を含めた地球と生命に関する広範囲な科学分野に大幅な前進をもたらすと考えられる。ISPの策定にあたっては、我が国研究者も積極的に参加し意見が反映されており、我が国にとってIODPは利益のあるものとなっていると認められる。今後は、IODP参加国がISPの達成のために必要な方策を常に意識しながらIODPを推進するように、我が国が主導していくべきである。

また、IODPでは、「ちきゅう」と米国が提供するノンライザー掘削船を主要掘削船とし、欧州が提供するMSPを加えた複数の掘削船を用いることとなっている。「ちきゅう」が国際運用された後は、掘削の目的、目標深度等に応じてこれらの掘削船を計画的に運用するとともに、必要に応じて一つの科学目標達成のために特徴の異なる複数の掘削船を利用し、重点的に調査することも可能になり、我が国を含むIODP参加各国の研究者が科学目標を効率的に達成するために適切な体制となっていると考えられる。

②社会・経済への波及効果

IODPにおいて、「ちきゅう」を運用することによる我が国の社会・経済に対する波及的効果も大きいものと考えられる。特にIODPで行われることが有力な「ちきゅう」の南海トラフ等における研究航海により得られる試料を用いた研究を通じ、海底ケーブルネットワークとの連携による地震発生予測及び緊急通報による地震防災、気候変動モデルの検証による将来予測の精密化等の科学的成果を用いた実用分野の発展が期待される。また、世界を舞台として最先端の掘削技術を駆使して活動を行うことにより、極限環境における観測や大水深石油掘削、鉱山掘削等に関する技術開発・人材育成にも貢献するものと考えられ、これらの発展が多分野にわたって与える影響は大きい。さらに、大深度掘削での物質採取による科学的知見の蓄積は、医薬品等に利用可能な有用物質の採取を含むバイオテクノロジーの発展、メタンハイドレート等エネルギー資源ポテンシャルに関する開発等へ貢献することも期待される。

上記①及び②のとおり、IODPは我が国にとって、十分に意義のあるものであると評価できる。

(2)IODP主導国としての我が国の取組み

①国際的なIODP推進体制の構築

IODPの枠組みは、IODPに参加の意志を表明する各国が集まった会議で協議された。この会議は、文部科学省がNSFと共同で議長を務め、これまで米国中心で進められてきたODPが、IODPとして日米主導の計画となるように調整が行われた。この結果、平成 15 年 4 月に文部科学大臣とNSF長官が署名した「統合国際深海掘削計画 (IODP) のための協力に関する日本国の文部科学省とアメリカ合衆国の国立科学財団との間の覚書」が締結され、日米が対等なリーダーシップを発揮する仕組みが決定された。これにより、平成 15

年 10 月に ODP が終了し、IODP が開始され、平成 16 年 3 月には欧州が、平成 16 年 4 月には中国が日米と覚書を締結し、IODP に参加した。

IODP では、各国を代表する科学者及び技術者により構成される SAS が、IODP の科学計画について長期的な指針を提示し、かつ国際的な科学コミュニティからの掘削計画提案に基づき、年間科学技術計画を中央管理組織である IODP 国際計画管理法人 (IODP Management International, Inc. :IODP-MI) に勧告する。IODP-MI は、この年間科学技術計画に基づく掘削船の運用計画をその実施機関に作成するよう要請し、これを統合して IODP 年間事業計画案を作成することとなっている。日米両国はこの年間事業計画案の承認の権利を有するほか、中央管理組織、SAS の運営等においても、両国が同等に主導し、表明する意見が反映される枠組みとなっている。また、IODP-MI は札幌の北海道大学内に科学支援部門、ワシントンに計画管理部門を担当する事務所を置いている。

総じて、我が国が主導する初めての大型国際研究プロジェクトとして IODP の枠組みを構築してきており、その取組みは評価できる。

② アジアを中心とした諸外国の IODP への参加促進及び連携

諸外国の IODP への参加促進及び外国人研究者との連携により、IODP をより国際的なプロジェクトとして発展させることは、IODP の主導国である我が国が取り組むべき重要な課題であり、国際貢献の観点からも科学先進国である我が国の責務である。このことは、地球規模での掘削調査を必要とする科学の発展に不可欠であり、プロジェクトの運営においては、研究航海実施の円滑化、我が国の IODP に関する費用負担の減少につながる。特に、アジアを中心とした外国人研究者との連携については、アジア地域における IODP 関連研究の促進及び基盤強化につながるため、我が国がアジアの地球科学・生命科学及び関連技術の発展に貢献し、主導していくという観点から重要である。我が国は、IODP 発足前から研究者が諸外国で IODP への参加を呼びかけるキャンペーンを実施する等、各方面からの働きかけを行ってきた。また、IODP 開始後も、継続的に国際シンポジウムの開催、国際学会での普及広報等に努めており、これらの取組みは評価できる。今後も、我が国が、諸外国の IODP への参加促進及び連携について、積極的に取り組むべきである。ただし、IODP への我が国の貢献に見合うだけの科学的・技術的成果が我が国に十分に還元されるよう、戦略的に取り組むことが必要である。

③ 世界的研究拠点の提供

我が国は、世界唯一のライザー掘削方式による科学掘削を可能とする「ちきゅう」及び採取されたコアを保管・研究する海洋コア総合研究センターという IODP の遂行において大きな役割を担う施設を IODP に提供することで、ハード面において強くその存在をアピールできているものと評価できる。今後はそのハードの活用を含むソフト面で参加各国をリードしていくことが重要である。

④IODPへの参加に関する取組み

我が国は、IODP関連会合において米国と同数の委員数を確保するとともに、議長・副議長・共同議長の責務を米国と同等に負う等の役割を担うこととなっており、現在までも多くの我が国研究者がIODP関連会合に参加していることは評価でき、その研究者の活動は業績として高く評価されるべきである。

しかしながら、現状においては、我が国研究者のコミュニケーション上の問題、深海科学掘削に関する経験不足等から、まだ会合における議論を十分に主導しているとは言い難い状況であると考えられる。今後は、会合の運営方法に関して我が国の委員の意見が適切に反映されるような方策、会合に参加する委員のモチベーションを高めるための方策、会合前の十分な検討を委員に促すための方策等、我が国の委員がより積極的に参加することが可能な体制を確立する必要がある。また、IODP-MIの理事会、SAS等の活動の重要性について、これまで以上にIODP関連研究者の所属機関に理解を求め、これらの関連会合への委員等の派遣を継続し、IODPをリードする人材の育成を行うべきである。

乗船研究者の派遣に関しては、我が国は米国と同等の権利を有しており、我が国の研究者は米国及び欧州が提供する掘削船による研究航海に参加し、共同首席研究者としても活動していることは評価できる。しかしながら、乗船研究は長期間に及ぶこと、乗船地までは自らの責任で行かなければならないこと等から、研究者にとって負担を伴うものである。乗船研究は、IODP関連研究の推進、将来のIODPを主導する人材の育成等の観点からIODPへの参加において最も重要な活動の一つであり、我が国の研究者が今後とも継続して研究航海に参加できるよう一層配慮されるべきである。

(3) 国内におけるIODP関連研究の推進体制

①国内研究者組織の構築

機構は研究者による委員会を設置して、過去の検討をもとにIODPの科学目標の中で我が国が特に重点的に取り組むべき課題について、平成14年11月に「地球システム変動の解明を目指して-IODPにおける我が国の科学計画」を作成した。その後、IODPにおける科学計画検討・掘削計画提案を推進し、IODPを通じた地球科学、生命科学の発展に最大限貢献するための国内研究者組織として日本地球掘削科学コンソーシアム(Japan Drilling Earth Science Consortium :J-DESC)が平成15年2月に設立された。J-DESCは、掘削研究及び関連研究の発展に伴う先駆的な研究の推進を目的として、平成16年3月に「IODPにおける我が国の科学戦略-掘削提案の実現に向けて(1)」を新たな国内の統一目標として策定し、セミナー及びシンポジウムの開催等国内のIODP関連活動の推進に組織的に取り組んでいる。また、J-DESCは、IODP関連会合の委員及び乗船研究者の推薦等の研究活動における国際的な調整というIODPへの参加に不可欠な役割を担っている。このように、IODPを主導するための研究体制の構築が進められ、継続的な検討が行われていること及びこれらの活動にJ-DESCを代表する研究者が主体的に取り組んでいることは評価できる。今後もJ-DESCを中心に、国内研究者のネットワークによる新しい科学計画策定等に取り組むとともに、関係者はJ-DESCと連携して、研究者の活動の

円滑化及び活性化に努めるべきである。

②IODP関連研究の推進

IODP関連研究の推進については、航空・電子等技術審議会の評価において、研究体制の整備に特に最大限の努力を払うことが適当とされた。これについて、全国の研究者を集め、IODP関連研究を我が国の中心として推進する組織が機構に設置され、機構の中期目標においてIODPにおける研究等を総合的に推進することが定められたほか、①でも述べられたとおり、機構と国内の様々な大学・機関に所属する研究者を結ぶ組織としてJ-DESCが設立されたことは評価できる。

我が国では、IODPの研究航海によって得られた試料をもとに、大学等のJ-DESCの会員機関によって研究が行われているが、今後、IODPにおいて「ちきゅう」の国際運用が開始され、IODPが本格的に実施されるにつれて、関連研究活動が一層発展することが期待される。研究航海は、科学者の掘削計画提案をSASが審査し、IODP-MIに勧告することによって決定される。しかし、現在、我が国の掘削計画の提案数は減少傾向にあり、掘削計画の提案というIODPの根幹となる活動において、わが国がリードできていないのは重大な問題である。その要因として、掘削計画の提案に必要な事前調査費等の確保に関する問題があげられる。我が国の研究者が事前調査の成果をもとに提案した掘削計画が採択され、掘削実施を経て事後研究へと展開するという一連の活動が十分に行なわれることによって初めてIODPを真に主導していると言える。このため、他国の制度等も参考にしつつ、IODP推進が国家的プロジェクトであることを強く認識し、J-DESCの提言「IODPにおける我が国の科学戦略(2)-研究支援体制の確立に向けて-」に見られるような新規プロポーザル開拓のための研究を担う競争的資金及び我が国がIODP主導国としての責務を果たすための活動を担う経常的な予算措置による研究支援体制について早急に検討する必要がある。

5.1.3 人材の育成について

(1)研究者の育成

IODP関連研究者の育成については、機構は、乗船研究支援、「IODP掘削プロポーザル作成の手引き」の作成等のIODP関連研究者への実践的支援を行っている。また、機構とJ-DESCはIODP関連研究者もしくは学生を主な対象として、IODP及び「ちきゅう」に関するセミナー等のアウトリーチ活動に取り組んでいる。このような取り組みは、研究者のIODPに関する経験の蓄積の促進、より多くの研究者の確保及び各大学・研究機関における組織全体のIODP関連活動への理解につながることから評価できる。今後は、次代のIODPの活動をリードする研究者の育成が急務である。そのため、IODPに興味を持った若手研究者が乗船研究に積極的に参加することができるような支援体制の確立及び若手研究者等の興味を喚起するアウトリーチ活動に一層取り組んでいくことが重要である。

(2) 技術者の育成

現在まで、機構がIODPの主力掘削船として航海を行ってきたジョイデス・レゾリューション号への乗船を支援すること等により建造技術者、科学支援員を育成し、「ちきゅう」の建造及び科学支援の体制整備を進めてきたことは評価できる。科学支援員については、今後も継続的にこうした支援を行い、育成に努めることが重要である。

ライザー掘削技術については、海底油田の探査のために開発され発展してきたものであり、我が国の技術が欧米各国に比べ遅れているのは事実である。「ちきゅう」運用初期においては、内外の企業の人材派遣を受けて運用されることで円滑性及び効率性を追求することは適切であるが、我が国への技術移転は、他分野にも効果が波及し我が国の大きな利益となる可能性があるため、これについても早急に取り組むことが必要である。

また、「ちきゅう」の本格的な運用に伴いIODPへの認識が高まることが、関連する研究部門、技術部門の活動の拡大につながることを期待したい。

(3) 計画推進実務者の育成

我が国のIODPにおけるプレゼンスの向上及び国内研究者組織のより効率的・戦略的運営のためには、国内外のIODP関連機関において、科学的知識を持ちながらマネジメントに従事する者が重要な役割を持つ。IODPの中心的役割を担う機関において我が国の人材が活躍することは、我が国のIODPにおける存在感を高めることとなる。しかしながら、例えば、IODP-MIの職員に日本人は少ないというのが現状であり、科学的知識を持ちながら国内外の機関でマネジメントに従事する人材を育成することは我が国の課題である。また、今後の人材育成の成否に関わる点として、その役割の重要性に対して正当な評価を確立するべきである。

5.1.4 国民への説明について

地球深部探査船「ちきゅう」の必要性及びIODPの科学研究の成果に関する理解はもとより、地球科学、生命科学、海洋科学に関する国民の知的好奇心を喚起し、我が国における地球科学を中心とした科学技術の理解増進及び活性化を目的として、IODP大学&科学館キャンペーン、ウェブサイト等を通じて国民各層に情報を届ける活動が実施されており、このような国民への説明に関する取組みは高く評価できる。「ちきゅう」が完成した際に機構が行った一般公開では、多くの見学者が訪れ、その関心の大きさを確認できた。今後は完成した「ちきゅう」を最大限に活用しながら、その科学的目的及び波及効果を中心に一層の説明を行い、国民の関心の高いプロジェクトとして認知されるよう更なる努力が求められる。特に、中高生を対象とした教育的な観点からの広報等に継続的に取り組んでいくことが必要である。

さらに、産業界にも広くIODP推進の重要性について認識を求め、IODP活動の支援、IODP推進を通じて育成された人材の産業界での活躍の場の提供等が実現するよう努力すべきである。今後、「ちきゅう」の国際運用により、IODPが本格的に実施され成果が上が

れば、そこから産業に応用できる技術が生み出される可能性は大きい。この可能性をさらに広げるためにも、普及・広報・教育活動による成果の公開、人材育成等が重要な役割を果たすと考えられる。

5.2 総合評価

今回の中間評価では、事前評価の際に大きな価値を有すると評価された深海地球ドリリング計画は、現在も我が国にとって科学的及び社会的に意義が高いものであることを確認した。また、世界最高の科学掘削船である地球深部探査船「ちきゅう」の建造及び関連施設の運用環境の整備、国際的なIODPの推進体制の構築を中心とした我が国の主導国としての取組み、人材の育成並びに国民への説明といった我が国の取組みは、科学的・社会的ニーズ等を踏まえ、関係各機関により適切に行われてきていると認められる。よって、我が国が深海地球ドリリング計画を推進することは極めて有意義であると評価できる。今後は、その成果が最大限に得られ、社会に大きく貢献していくために、関係者が更に協力し、計画推進により一層取り組むべきである。

ただし、深海地球ドリリング計画の推進に際しては、本評価において指摘された留意点に対処することが必要である。特に、事前評価でも指摘された研究体制の整備については、必要な研究推進組織が構築されたと評価できるものの、IODPの根幹となる掘削計画の提案等関連研究活動については課題があり、引き続き改善に向けて努力することが必要である。

深海地球ドリリング計画 第2次中間評価報告書

平成25年10月

科学技術・学術審議会
海洋開発分科会

序 文

平成 15 年 10 月に統合国際深海掘削計画 (IODP: Integrated Ocean Drilling Program) が、日米の主導により開始され、また平成 17 年 7 月には、IODP の主力掘削船となる地球深部探査船「ちきゅう」が完成し、以来、深海掘削の国際共同研究は加速化され、南海トラフと日本海溝の巨大地震発生帯掘削や沖縄トラフの海底熱水域、更には下北八戸沖における深部石炭層の掘削を成功させてきた。その成果は、海底下生命圏として特徴づけられるアーキアワールドの発見という新たな科学的展開のみならず、地震予測システム改善や金属鉱物資源探査といった社会貢献として実を結んできている。

IODP は間もなく第 1 期の 10 年間の満了し、平成 25 年 10 月より新たなフェーズへと移行する。すでに新たな研究計画 (New Science Plan) が策定されており、また共同研究の枠組み (Framework of International Ocean Discovery Program) も国際的に合意されている。更には、平成 25 年 4 月には「ちきゅう」による地球深部探査に特化した国際ワークショップ「CHIKYU+10」が日本で開催され、今後の「ちきゅう」による探査ミッションの在り方について国際的に科学的議論が行われた。

日本は、「ちきゅう」や「高知コアセンター」という IODP 国際共同研究にとって重要な基礎基盤を擁しており、新たな枠組みの中でも引き続き中心的な役割を果たしていくことが期待されている。

本中間評価は、このような節目において実施され、本計画が我が国にとって科学的及び社会的に意義が高いものであり、本計画に関する取組は、科学的、社会的ニーズなどを踏まえ、関係各機関により適切に行なわれてきたと認められた。一方、いくつかの課題も指摘された。特に、研究体制の整備及び人材育成については、老朽化に備えた計画的な機材更新や若手研究者の新規参入促進などの課題があり、引き続き改善に向けて努力が必要であるという議論が行なわれた。

今後は、本計画の成果が最大限に引き出され、社会に大きく貢献していくために、関係者が更に協力し、本報告書の評価結果に適切に配慮した計画推進により一層取り組むことが必要である。本計画は多くの省庁、大学・試験研究機関、参加各国との協力のもとに進められることが不可欠であることから、関係行政機関などにおいても、海洋科学技術及び地球科学技術を総合的に推進するために必要な措置が講じられることを改めて要請したい。

また、本計画の推進により、関連分野の科学技術にも飛躍的発展をもたらすとともに、次世代の研究者及び技術者に新たな活躍の場を提供していくことを期待したい。

平成 25 年 9 月
科学技術・学術審議会海洋開発分科会
深海掘削委員会 主査
齋藤 靖二

目次

評価の概要	1
1. 評価の対象	6
2. 評価の実施体制と方針	7
2.1 評価の実施体制.....	7
2.2 評価の観点	7
2.3 評価結果などの扱い	7
3. 深海掘削の経緯	8
3.1 深海掘削の歩み.....	8
3.2 統合国際深海掘削計画 (IODP).....	8
4. 航空・電子等技術審議会による事前評価について	9
4.1 航空・電子等技術審議会による評価の内容	9
4.2 航空・電子等技術審議会評価についての確認.....	12
5. 科学技術・学術審議会による前回中間評価について.....	13
5.1 深海地球ドリリング計画に対する評価.....	13
5.1.1 地球深部探査船に関する取組について	13
5.1.2 IODP の構造と我が国の取組について	13
5.1.3 人材の育成について	14
5.1.4 国民への説明について.....	15
5.2 総合評価.....	15
5.3 科学技術・学術審議会による前回中間評価についての確認	15
6. 前回中間評価後の深海地球ドリリング計画に対する評価.....	16
6.1 深海地球ドリリング計画に対する評価.....	16
6.1.1 IODP の構造と我が国の取組について	16
(1) IODP の意義	16
(2) IODP 主導国としての我が国の取組	20
(3) 国内におけるIODP 関連研究の推進体制	22
6.1.2 地球深部探査船「ちきゅう」に関する取組について	23
(1) 「ちきゅう」の性能と研究者・運航者などの技術提案の反映状況.....	23
(2) 「ちきゅう」及び関連施設の運用環境.....	24
6.1.3 人材の育成について	27
(1) 研究者の育成	27
(2) 技術者の育成	27
(3) 計画推進実務者の育成	28
6.1.4 国民への情報発信及び交流について.....	28
6.2 総合評価.....	29

(参考資料)

参考資料1-1 科学技術・学術審議会海洋開発分科会名簿	31
参考資料1-2 海洋開発分科会深海掘削委員会名簿	32
参考資料1-3 深海地球ドリリング計画中間評価について.....	33
参考資料1-4 委員会開催経緯	35
参考資料2 深海地球ドリリング計画に関する我が国の取組.....	37
参考資料3 IODP 関連略語集.....	131

評価の概要

1. 評価の対象

深海地球ドリリング計画について、平成10年12月の航空・電子等技術審議会による事前評価及び平成18年2月の科学技術・学術審議会海洋開発分科会による中間評価を踏まえ、それ以降の本計画関係者の取組を中心に中間的な評価を行った。

2. 評価の実施体制と方針

科学技術・学術審議会海洋開発分科会深海掘削委員会が評価を行い、報告書を取り纏めた。評価にあたっては、平成21年2月に文部科学大臣により決定された「文部科学省における研究及び開発に関する評価指針」(以下「評価指針」という)に基づき取り組んだ。

3. 深海掘削の経緯

科学的な深海掘削計画は、1959年に提唱されたマントルへの到達を目標とする「モホール計画」を起源とし、1975年からは米国主導の国際プロジェクトとなり、我が国も参加してきた。2003年10月からは統合国際深海掘削計画(IODP: Integrated Ocean Drilling Program、以下「IODP」という)が我が国と米国の主導によって開始され、2013年10月からは新たなIODP(International Ocean Discovery Program、以下「次期IODP」という)に引き継がれる。これまで、海溝型巨大地震発生メカニズムの基本となるプレートテクトニクスを証明するなど、地球科学の発展に重要な役割を果たしてきている。

4. 航空・電子等技術審議会による事前評価結果

平成10年12月に行われた航空・電子等技術審議会による事前評価において、本計画は、科学技術上大きな価値を有するものであり、またその成果は地球環境、災害防止、資源問題などの社会的課題にも貢献するものと判断されたことから、我が国が地球深部探査船「ちきゅう」を建造し、IODPを推進することとなった。

5. 科学技術・学術審議会海洋開発分科会による前回中間評価結果

平成18年2月に行われた科学技術・学術審議会海洋開発分科会による中間評価結果として、事前評価から平成18年2月までの実績について内容の精査を行い、依然として科学的及び社会的に意義が高いものであり、関係各機関により適切に進められていると認められ、我が国が本計画を推進することは極めて有意義であると評価された。また、その成果が最大限に得られ、社会に大きく貢献していくために、関係者が更に協力して計画推進により一層取り組むべきであるとされた。

6. 前回中間評価後の深海地球ドリリング計画に対する評価

6.1 深海地球ドリリング計画に対する評価

6.1.1 IODP の構造と我が国の取組について

(1) IODP の意義

IODP 科学目標は国際的な合議によって定められ、海洋掘削によって期待される地球科学の分野で最も先鋭的な課題をテーマとしており、我が国が主導して海洋掘削科学を進めて行く意義は大きいと認められる。また、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優れた課題がテーマとなっており、引き続き我が国がこの分野を主導する意義は大きい。

これまで、我が国が保有する地球深部探査船「ちきゅう」の IODP 研究航海によって海洋プレート沈み込み帯を対象とした多くの研究成果が上げられている。特に、2011年3月に発生した東日本大震災に関して、速やかな研究航海の実施により、震源域近傍の海溝軸周辺の断層滑りのメカニズム解明に資する研究成果を得たことは特筆に値する。南海トラフでは、巨大分岐断層による地震発生メカニズムの解明に貢献したほか、掘削孔内に設置した地震計や歪み計などの長期孔内計測装置を海底ネットワークにつなげ、リアルタイムでのモニタリングを実現するなど、地震防災対策の向上に必要な科学的知見の集積に大きく貢献している。また、海底下生命圏の限界を探る研究航海としては、下北八戸沖においてライザー掘削による科学掘削の世界最高到達深度(2,111m)を更新(2,466m)するとともに、掘削で得られた海底下の微生物細胞並びに微生物活動の解析がなされた。更に、沖縄トラフでは熱水環境における生命圏の限界域を探るとともに、熱水帯の態様解明に資するデータが得られた。これらのように、「ちきゅう」の研究航海の成果として多くの新しい科学的知見が明らかにされ、成果を取り纏めた研究論文の多くが表彰を受けるなど、学術的な評価は高く、我が国の科学の進歩に貢献した。次期 IODP においても、伊豆・小笠原・マリアナ島弧やコスタリカ沖など世界の海を対象とした科学掘削が計画されており、引き続き人類が直面する課題を解明する取組が行われる予定である。

「ちきゅう」とともに運用されている、米国の JOIDES Resolution 号(ジョイデス・レゾリューション号、以下「JR 号」という)や欧州の特定任務掘削船(Mission Specific Platform、以下「MSP」という)の研究航海には多くの日本人研究者が参加し、これらにより得られた成果は、日本の周辺海域のみならず世界的な広がりを持ち、かつ地球科学の様々な分野を網羅しており、非常に多彩な科学的成果を得ている。

これら科学的成果を社会的に波及させるための活動は着実に進められており、防災分野などの重要な科学的知見の集積に貢献している。一方、技術開発成果の波及としては、我が国唯一のライザー掘削船として数多くの波及効果が発現されつつあり、「ちきゅう」のポテンシャルが高く評価される中で、今後、資源探査や防災対策のための利用と基礎科学推進のための利用とのバランスをどのようにとるか、一層の議論が必要となっている。

(2) IODP 主導国としての我が国の取組

我が国は、IODP の枠組みの中で「ちきゅう」という主力掘削船を提供し、その研究計画に責任を持つ国として、国際枠組みにおける運用や、研究計画管理を主導する取組を行っている。また、世界 3 大コア保管庫の一面をなす高知コアセンターは、コア提供及び研究施設として機能するのみならず、膨大な数の試料情報がウェブサイトから見られるようにするなど、ソフト面でも参加各国をリードした活動を行っており、高く評価できる。また、アジアを中心とした諸外国の IODP への参加促進や連携構築についても様々な取組が行われ、徐々に効果を発揮しつつある。

これまで、IODP では米国と同等程度の日本人枠を設けて取り組んだことにより、多くの国内研究者が各委員会や乗船研究に参画している。更に乗船研究や会議参加者に向けた様々な支援がなされ、国際的な場で活躍する日本人研究者が育ちつつあることは高く評価できる。今後とも国際会議などで主導権を握ることができるような人材育成に向けて継続した取組が求められる。

また、貢献に見合うだけの科学的、技術的成果が我が国に十分に還元されるよう、引き続き戦略的に取り組むことが求められ、研究者・技術者の高いポテンシャルとともに、交渉担当者の強い交渉力、優れた国際共通言語能力が必要不可欠である。

(3) 国内における IODP 関連研究の推進体制

日本地球掘削科学コンソーシアム (Japan Drilling Earth Science Consortium、以下「J-DESC」という) を通じた研究者支援によって国内の掘削科学が活性化され、IODP を支える研究者コミュニティとして確固たる体制が築かれた。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できる。今後、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を絞り込んで人的資源を集中させる必要のある中で、若手研究者の挑戦的研究提案も受入れながら研究者の裾野を広げるといふ、相反する課題に取り組んでいかなければならない。また、地震学や地球環境史学など、関連する科学分野の他のコミュニティとの連携強化にも積極的に取り組む必要がある。

6. 1. 2 地球深部探査船「ちきゅう」に関する取組について

(1) 「ちきゅう」の性能と研究者・運航者などの技術提案の反映状況

「ちきゅう」を運用する研究者・技術者の努力と様々な技術改良の積み重ねによって、これまでは不可能であった日本近海の強い海流、厳しい海象気象条件下でも掘削可能とし、メタンハイドレートや微生物を海底下の状態のまま回収することに成功している。また、「ちきゅう」船内は「海の上の研究所」とも表現されるように、多くの最先端の分析機材を備えており、ライザーシステムによって海底から採取された試料を即座に分析する態勢が整備されている。これにより、これまで知られていなかった海底下微生物の状況を明らかにするなど多くの成果を上げている。

将来に向けては、上部マントルまでの掘削を目指して、目標とする大水深 (4,000m 級) ラ

レーザーシステムや高温に耐える測定機器、長寿命ドリルビットの開発などに引き続き取り組む必要がある。

(2) 「ちきゅう」及び関連施設の運用環境

「ちきゅう」の運用体制整備において効率化を図りながらも、レーザー掘削船を運用する日本人船員・掘削要員及び日本企業の育成に成功しており、その両立を成し遂げている。また運用に伴う定期検査を確実にを行い、機器の保守・整備・更新を計画的に順次行い、老朽化に備えている。厳しい海象気象条件下での運用が続く中で、更に津波といった天災にも見舞われながらも、大きな人的災害を起こしていないことは高く評価される。また、ヘリコプター発着設備、実験器具などの放射性物質管理、化学薬品の廃液処理といった「ちきゅう」ならではの特殊な安全・環境保全対策にもしっかりと対処されている。

「ちきゅう」における研究施設は極めて先進的なシステムを備えており、国際的にも最先端の水準にある。また、人的な研究支援体制も充実しており、外部事業者に委託されている維持管理体制並びに技術者の質も高い。また、科学目的達成のために必要な機器開発、搭載の迅速化も行われており評価に値する。一方、技術の進歩は早く、先端的研究施設の中には瞬く間に旧弊化するものもある。今後とも「ちきゅう」の能力に見合った研究成果を達成するために、機器の老朽化・陳腐化に備え、継続した研究機器更新が求められる。また、「ちきゅう」はその特殊さゆえに運用スケジュール管理に様々な困難を伴うため、スケジュール変更時における研究活動との調整をマニュアル化するなどの工夫が求められる。

高知コアセンターは、陸上における保管施設として、またコア試料の処理や解析を行う施設として機能している。保管施設の拡張や膨大な数の試料情報がウェブサイト検索できる機能強化など、設備の充実に向けた取組も行われており、3 大コアセンターの一つとして世界に誇る設備である。貴重な資試料を保管するだけに、今後も津波対策などに万全を期すことが求められる。

6. 1. 3 人材の育成について

(1) 研究者の育成

J-DESC では、「コアスクール」や各種のワークショップなどの学生や若手研究者のための研修や研究支援プログラムを充実させてきている。「ちきゅう」及び IODP によって飛躍的に高度化しつつある地球掘削科学関係各分野の研究開発能力を下支えする研究者の人材育成が行われてきており評価できる。

(2) 技術者の育成

現在、「ちきゅう」の掘削・操船作業は、専門に設立された法人が行っており、それらの法人では日本人技術者が育成されつつある。ここから輩出される人材はすでに国際的に活躍しており、将来、日本が海洋資源掘削に取り組む際にも役立つことが期待される。

(3) 計画推進実務者の育成

これまで、IODP を通じて常に米国と同等程度の議決権、参加者枠を求めることに加えて、計画推進主体である IODP 国際計画管理法人 (Integrated Ocean Drilling Program Management International, Inc.、以下「IODP-MI」という) に日本人を登用する働きかけも行われ、数多くの日本人スタッフが経験を積んでいる。今後は、文部科学省所管の独立行政法人海洋研究開発機構 (以下「海洋研究開発機構」という) が計画推進を担うこととなるため、これまで育成された人材の活用とともに、自らの人材育成が不可欠である。研究者をマネジメントに登用するキャリアパスを用意するなど、人事体制の工夫が求められる。

6.1.4 国民への情報発信及び交流について

海洋研究開発機構による国民への情報発信は非常に活発で、特に小中高生を対象にした教育プログラムは充実している。また、これまでの様々な広報活動の努力により「ちきゅう」の国民的な知名度は非常に高まり、その研究活動にも関心が集まっている。その科学的な好奇心に対して、更なる詳細な情報提供が積極的に行われる、といった好循環も見られる。

一方、他の科学コミュニティとの横断的な繋がりについては、J-DESC や公益社団法人日本地球惑星科学連合 (Japan Geoscience Union; JpGU) などを通じた学術界での情報発信が積極的に行われているものの、他の関連学会との連携など更なる取組が求められる。

6.2 総合評価

事前評価及び前回中間評価の際に大きな価値を有すると評価された深海地球ドリリング計画は、今回の中間評価においても我が国にとって科学的、海洋技術的、社会的に意義が高いものであることを確認した。また、世界最高の科学掘削船である地球深部探査船「ちきゅう」の建造及び高知コアセンターなどの関連施設の運用環境の整備、国際的な IODP 推進体制の構築を中心とした我が国の主導国としての取組、人材の育成並びに国民への情報発信及び交流といった我が国の取組は、科学的、社会的ニーズなどを踏まえ、関係各機関により適切に行われてきていると認められる。

次期 IODP においても「ちきゅう」は主要プラットフォームであり、すでに米国、欧州と乗船交換枠が交渉・合意されるなど、国際的な枠組みの中で引き続き重要な役割を担うことが期待されている。

これらより、引き続き我が国が深海地球ドリリング計画を世界の海で推進することは極めて有意義であると評価できる。今後は、その成果が最大限に得られ、社会に大きく貢献していくために、関係者が更に協力し、計画の充実・強化と一層の推進に取り組むべきである。

ただし、深海地球ドリリング計画の推進に際しては、本評価において指摘された留意点に対処することが必要である。特に、前回中間評価でも指摘された研究体制の整備及び人材育成については引き続き積極的な取組が必要である。これまで、必要な研究推進組織は構築されたと評価できるものの、IODP の根幹となる掘削計画の提案など関連研究活動については引き続き改善に向けて努力する必要がある。

1. 評価の対象

本中間評価では深海地球ドリリング計画(※1)を対象とする。地球深部探査船「ちきゅう」の建造が完了しているなど、前回中間評価からの状況が一部異なるため、深海地球ドリリング計画を以下の3要素から構成されるものと修正した(※2)。

- ・ 地球深部探査船「ちきゅう」の安全で効率的な運用体制及び船上などの研究設備・支援体制を整備する。また、関連技術の開発を実施する。
- ・ 日本の地球深部探査船「ちきゅう」及び米国の従来型掘削船に欧州の提供する特定任務掘削船を加えた3船体制により統合国際深海掘削計画(Integrated Ocean Drilling Program: IODP)を推進する。
- ・ IODPによって得られたコア及び掘削孔を用いた地球科学及び生命科学の研究を総合的に推進する。

本評価においては、平成10年12月の航空・電子等技術審議会による評価及び平成18年2月の科学技術・学術審議会による中間評価を踏まえることとし、主としてそれ以降の本計画関係者の取組について中間的な評価を行う。

(※1) 深海地球ドリリング計画の経緯

米国主導の国際深海掘削計画(ODP)を引き継ぐプログラムとして、地球深部探査船を日本が開発して米国 JR 号とともに国際的に運用し、日本が国際共同研究を主導する案が国際的に合意され、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)により、「深海地球ドリリング計画」として提案された。

本計画の科学的、社会的意義および技術的妥当性や運用体制、本計画の進め方について評価を行うため、「国の研究開発全般に共通する評価の実施方法の在り方についての大綱的指針(平成9年8月内閣総理大臣決定)」に基づき、航空・電子等技術審議会地球科学技術部会に「深海地球ドリリング計画評価委員会」が設置された。

(※2) 前回中間評価時の評価の対象

- ・ 国際深海掘削計画(Ocean Drilling Program: ODP)で用いられていた科学掘削船の技術的限界を超える能力を持つ、地球深部探査船(ライザー掘削船)及び関連技術を開発する。
- ・ 日本の地球深部探査船と米国の従来型掘削船などが相互補完する統合国際深海掘削計画(Integrated Ocean Drilling Program: IODP)を推進する。
- ・ IODPによって得られたコア及び掘削孔を用いた地球科学及び生命科学の研究を総合的に推進する。

2. 評価の実施体制と方針

2.1 評価の実施体制

科学技術・学術審議会海洋開発分科会深海掘削委員会が評価を行い、報告書を取り纏めた。同委員会は、深海地球ドリリング計画に直接的に関与しない委員によって構成され、平成21年2月に文部科学大臣により決定された評価指針に基づき、評価に取り組んだ。

2.2 評価の観点

評価指針に基づき、深海地球ドリリング計画の中間評価を実施した。評価の観点は以下のとおりである。

- ① IODP は意義ある計画となっているか。
- ② 我が国が IODP を主導できているか。
- ③ 国内における IODP 関連活動の推進体制が築けているか。
- ④ 海洋研究開発機構の保有する地球深部探査船「ちきゅう」が深海地球ドリリング計画を遂行するのに十分な性能を備えた船であるか。
- ⑤ 安全で効率的な「ちきゅう」の運用環境が築けているか。
- ⑥ 人材育成に努めているか。
- ⑦ 普及広報活動を積極的に実施しているか。

2.3 評価結果などの扱い

評価結果は、プロジェクトの目標・計画の見直しなどに適切に反映させることを目的とする。これらの評価経過や評価結果などについては、国民に分かりやすい形で公表するなど、積極的に情報提供を行う。

3. 深海掘削の経緯

3.1 深海掘削の歩み

科学的な深海掘削への取組は、1959年に提唱されたマントルへの到達を目標とする「モホール計画」を起源とする。モホール計画では、1961年にカス1号という掘削船を用いて世界初の深海掘削を行ったが、約170mのコアを得ることしかできなかった。モホール計画は、1968年からのグローマー・チャレンジャー号を用いた深海掘削計画(Deep Sea Drilling Project、以下「DSDP」という)に受け継がれ、1975年からは、米国国立科学財団(National Science Foundation、以下「NSF」という)主導の国際プロジェクトとして実施され、我が国からは東京大学海洋研究所が参加した。

その後、米国主導のもと、22箇国が参加する国際深海掘削計画(Ocean Drilling Program、以下「ODP」という)が1985年から2003年まで行われた。これらの深海掘削計画は、プレートテクトニクスの証明、白亜紀の温暖化地球の把握、小天体衝突による生物大絶滅の詳細な過程の解明など多くの成果を上げ、地球科学の発展において重要な役割を果たした。

3.2 統合国際深海掘削計画(IODP)

IODPは、ODP後の新しい計画として2003年10月より我が国と米国によって開始された国際研究協力プロジェクトであり、その後、欧州及びカナダの12箇国で構成される欧州海洋研究掘削コンソーシアム(European Consortium for Ocean Research Drilling、以下「ECORD」という)及び中国、韓国、インド、オーストラリア、ニュージーランド、ブラジルが参加し、国際的な推進体制が構築された。IODPは、我が国が提供するライザー方式の地球深部探査船「ちきゅう」と米国が提供するノンライザー方式の科学掘削船JR号を主力船とし、欧州が提供するMSPを加えた複数の掘削船を用い、地球上の各地の海底を掘削することで、地球環境変動解明、地球内部構造解明、地殻内生命探求などの科学目標を達成するため、戦略的かつ効果的に研究が実施されてきた。

IODPでは、これまでの成果をもとに、今後10年間(2013年―2023年)の研究計画として次期科学計画(New Science Plan、以下「NSP」という)を策定した。また、中央管理組織の簡素化などを行い、2013年10月より新たな枠組みのもとで次期IODPとして実施されることが合意されている。

4. 航空・電子等技術審議会による事前評価について

今回の中間評価においては、平成10年12月の事前評価と、平成18年2月に科学技術・学術審議会海洋開発分科会により行われた中間評価を踏まえることとしており、まず事前評価に示された以下の内容について確認を行った。

4.1 航空・電子等技術審議会による評価の内容

4.1.1 地球深部探査船の開発の意義

過去の急激な気候変動を高い解像度で復元するには、堆積速度の速い海域を掘削する必要があるが、こうした海域では活発な生物生産に由来する石油・ガスが存在することが多い。従来型掘削船では石油・ガスの噴出を防止する能力がなく、掘削に危険が伴うため、石油・ガス層を越えて掘削することができていない。また、従来型掘削船には掘削孔を安定化させる能力がないため、掘削孔の崩壊などの危険性があり、ジュラ紀の地層、地震発生ゾーン、マントルなどの海底下大深度の掘削を行うことが困難である。

上述の問題を解決する技術として、旧海洋科学技術センター(現海洋研究開発機構)により、石油掘削で採用されているレーザー掘削技術を高度化し、石油・ガス存在海域での科学掘削を可能とし、海底下7,000mまで掘削する能力を持つ地球深部探査船の開発が提案された。当初は水深2,500m級の海域で科学的成果を得つつ運用データを蓄積のうえ、水深4,000m級でのレーザー掘削を行うことを最終目標としている。

この提案については、「レーザー技術国際ワークショップ」(海洋科学技術センター、東京大学海洋研究所他共催により1996年実施)において、深海掘削に精通した国内外の科学者及び技術者による技術評価の結果、妥当であると結論付けられ、海洋研究開発機構により開発されることとなった。

4.1.2 科学技術上の意義

(1) 科学的目的と意義

IODPによって初めて実現するレーザー掘削船とノンレーザー掘削船の2船体制の下で、新たに可能となるもしくは飛躍的に進展すると考えられる研究課題の主要なものは次のとおりである。

① 海洋底堆積物の分析による古環境の研究

地球深部探査船は、より深層への掘削及びより完全なコア採取により、過去2億年の環境変動の解明を可能にする。また、従来掘削できなかった地点における掘削などが可能となることから掘削地点の増加を促し、より精密な地球環境の時間的変動及び地域的相違を解析することができる。

② 地震発生機構の研究

海底下数kmに位置するプレート境界域地震発生ゾーンの掘削及び直接観察が可能となり、掘削孔における長期孔内計測の結果と併せて、巨大地震発生機構の解明に有力な情報を提供する。

③ 巨大火成岩岩石区の掘削によるプレューム・テクトニクスの検証

巨大火成岩岩石区を貫通する掘削が可能となることにより、巨大マントル上昇流が地球環境変動を支配したとするプレューム・テクトニクス仮説の検証も含め地球規模の環境変動の基本原理の解明に貢献する。

④ 地殻内生命の探索

ライザー掘削は、地下 4,000m まで広がる可能性がある地下生命圏の実態解明を可能にし、更には、熱水域における微生物の解析によって、生命の起源に迫る発見が期待される。

⑤ メタンハイドレートの生成と崩壊の機構の研究

従来型科学掘削では不可能であったメタンハイドレート層を掘削・調査することにより、その形成及び崩壊と地球環境変動の因果関係を解明することが可能となる。

以上のように、深海底掘削研究に地球深部探査船を投入することは、地球と生命に関する広範囲な科学分野に大幅な前進をもたらすことが確実と考える。なお、これらの各科学目標については、地球深部探査船「ちきゅう」の優れた掘削能力により達成されるものであり、他に適当な代替手段がないと認められる。

(2) 技術的意義

ライザー掘削技術は、海底油田の探査のために開発され発展してきたものであるが、その分野における我が国の技術は、オイル・メジャーを持つ欧米各国の技術に比べ大きく遅れていることは事実である。このため、地球深部探査船を我が国が建造することにより、特殊試料採取システムなど、海洋研究開発機構が取り組んできた科学掘削に不可欠な要素に関する研究開発成果を活用するとともに、外国技術の導入により世界の英知を集めることで、自前の技術体系を構築することは大きな意義がある。

また、本計画の技術的波及効果については、大水深の石油・天然ガス開発、将来の二酸化炭素深海貯留などの深海での技術に留まらず、陸上での科学目的の深部地下掘削や、資源探査を始めとする実用上の深部地下調査のための技術的基礎をなすものとして、潜在的価値を持つものと考えられる。

4. 1. 3 技術的妥当性及び開発の進め方

ライザー技術は海底石油探査で用いられているが、この方法により科学的に価値のあるコア試料を採取した例はない。また、水深 2,500m 以深の海域でのライザー掘削は世界的に

も未踏の領域であり、本計画は技術的にチャレンジングである。しかし、我が国はライザー掘削船の建造を多数海外から受注していることやライザー技術国際ワークショップにおける評価結果などを踏まえれば水深 2,500m 以深でのライザー掘削は実現可能と判断される。

但し、水深 4,000m 級での運用を目指すには、水深 2,500m 級掘削において科学的成果を得つつ運用技術を習得し、その運用データから水深 4,000m 級を目指していくことが妥当と考える。また、ライザー技術に関し、常に革新的な技術開発に関心を持っていかなければ技術の陳腐化の恐れがあることにも留意すべきである。

4. 1. 4 社会的・経済的意義及び緊急性

本計画は、第一義的には世界の科学者の支持のもとに進めていく科学目的の計画であり、人類が共有しうる知的資産である科学に我が国が率先して貢献する意義が大きいと考える。

しかし、本計画はそれのみに留まらず災害、地球温暖化などの社会が直面する課題について、これらのメカニズムの解明に向けた国際的な地球科学の進歩及びその進展に必要な研究体制の整備とも相まって、課題の解決に結び付くものと考えられる。これらの諸課題への取組の重要性、緊急性を踏まえれば、本計画に緊急に取り組むべきと考える。

4. 1. 5 運用及び研究の進め方

(1) 運用体制

深海掘削は、地球規模の科学的な課題を解決するために、世界各海域で掘削を行うことから、本質的に国際協力を必要とする。本計画が、過去長期にわたり成果を挙げてきた ODP の国際協力体制を引き継いで発展させた IODP の一環として行われることは適切かつ有効である。また、2 船体制は 4. 1. 2 で示したように、科学目標を最大限に実現するうえで効率的な運用体制であると認められる。

国際的な費用分担については、本計画の成果から我が国が受ける科学上の便益が大きいこと、我が国は、地殻の変動帯に位置するアジア・太平洋諸国の中心となって、地球内部の研究を先導すべきであることからみて、我が国が地球深部探査船を建造することが適切である。また、運用段階において 2 船の運用費を利用の割合に応じて国際分担する考え方は合理的であると考えられ、その実現に向けて各国に対し一層積極的に働き掛けていくことが重要である。

(2) 研究体制

本計画では研究体制の整備が最も重要かつ困難な課題であり、関係機関が地球深部探査船の完成までに、より多くの研究者を結集することのできる研究体制の整備について最大限の努力を払うべきである。

本計画のもとで我が国が研究面で十分な成果を上げるためには、掘削船の運用とプロジェクト推進の中核となる研究拠点と、多様な発想で掘削試料や計測データから研究成果を産み出す多数の分散した小規模の研究グループとが連携し、相互に牽引しあう研究体制を

整備するなどの取組が必要である。同時に、研究管理及び研究支援についても、組織の整備、人材の養成とともに、若手研究者への支援、関連陸上施設の設置など、十分な措置を地球深部探査船の完成までに講じるべきである。

4.1.6 費用対効果

科学目的の計画によって将来どれだけの社会的、経済的効果が生じるかについて、確度の高い数値を導くことは現時点では困難なことである。それを前提として、気候変動、地震などに関する本計画の効果を考えると、地球深部探査船の建造・運用などに投入する費用に比べて十分に大きいものと推定されている。

また、本計画は、我が国が 21 世紀における役割を踏まえ、かつてない規模で新しい科学の開拓に主導的に取り組むものであり、若い研究者や次世代の人々が研究や開発に対する夢を育むことのできる新たな活躍の場が作られる効果が大きい。また、我が国の科学技術領域での活動に対する国際的評価が一段と高まるという効果も認められる。

4.1.7 総合評価

本計画は科学技術上大きな価値を有するものであり、また、その成果は地球環境、災害防止、資源問題などの社会的課題にも貢献するものと判断される。本計画によって我が国が新しい科学領域を開拓し、かつてない規模で国際的な科学計画に主導的に取り組み、総合研究体制をつくることは 21 世紀の我が国の科学技術の発展に必要なものと認識される。

本計画の推進には、特に研究体制の整備に最大限の努力を払い、絶えず社会に情報を提供するとともに、本計画の進行に伴う開発及び運用の主な区切りにおいて計画の実施状況及び将来計画に対する評価を行い、本計画を次の段階に進めるべきか検討すべきである。

4.2 航空・電子等技術審議会評価についての確認

事前評価の結果として、本計画は科学的、技術的及び社会的意義が大きいものであることから、我が国が地球深部探査船「ちきゅう」を建造し、IODP を推進することとなった。前回中間評価に引き続き今回の中間評価においても、この結論について、現在も妥当であることを確認した。

5. 科学技術・学術審議会による前回中間評価について

今回の中間評価においては、平成 10 年 12 月の事前評価に加え、平成 18 年 2 月に科学技術・学術審議会海洋開発分科会により行われた前回中間評価を踏まえることとしているため、前回中間評価に示された以下の内容について確認を行った。

5.1 深海地球ドリリング計画に対する評価

5.1.1 地球深部探査船に関する取組について

(1) 「ちきゅう」の建造

「ちきゅう」はライザー掘削方式などの採用によって、事前評価で適当とされた性能を満足する船となっている。今後、国際運用に向けて着実に準備を進めるとともに、科学者のニーズに応え、地殻とマントルとの境界(モホロヴィチッチ不連続面)を貫くため、機器開発及び運用技術の検討を行なっていくことで、水深 4,000m 級での大深度掘削の実現に向けて取り組むべきである。

「ちきゅう」の建造については、我が国に技術力が蓄積するような建造形態を確保しつつ、適切な体制で建造されたと認められる。

(2) 「ちきゅう」及び関連施設の運用環境

「ちきゅう」の運用環境は、その艤装に携わり、十分な実績を有する国内外の会社の人材が配置されることにより、円滑な運用に必要な体制が備えられている。また、安全管理システムの導入、事前調査としての地質の把握などにより、安全な運用のための総合的な体制が適切に構築されている。

「ちきゅう」の船上研究支援体制の整備については、専門家の意見を反映しつつコアを適切に処理し、解析できるよう取り組まれている。高知大学海洋コア総合研究センターについても、IODP などにより採取されたコアの適切な保存・解析に必要な整備が行われている。

5.1.2 IODP の構造と我が国の取組について

(1) IODP の意義

IODP の科学目標は地球環境変動解明、地球内部構造解明及び地殻内生命探求を 3 大テーマとしたもので、我が国の国民の関心も高いと思われる地震発生機構などの理解を含めた地球と生命に関する広範囲な科学分野に大幅な前進をもたらすと考えられる。また、IODP で日米欧の複数の掘削船を用いることは、掘削の目的などに応じた計画的運用を可能とし、科学目標を効率的に達成するために適切な体制となっている。

IODP における「ちきゅう」の運用により、地震発生予測及び緊急通報による地震防災、気候変動モデルの検証による将来予測の精密化などの科学的成果を用いた実用分野の発展が期待され、我が国の社会・経済に対する波及的効果も大きい。

(2) IODP 主導国としての我が国の取組

IODP において、日米は重要事項の決定について、同等に主導できることとなっており、IODP の枠組みの構築に係る取組は評価できる。IODP を国際的なプロジェクトとして発展させることは、主導国である我が国の課題であり、今後も、積極的に諸外国に参加を働きかけるべきであるが、我が国の貢献に見合う科学的、技術的成果が十分に還元されるよう、戦略的に取り組むことも必要である。

我が国は、「ちきゅう」及び海洋コア総合研究センターをIODPに提供することで、強くその存在をアピールできている。今後はこれらハードの活用を含むソフト面で参加各国をリードしていくことが重要である。

我が国の研究者は関連会合に数多く参加しており、その活動は業績として高く評価されるべきである。今後は、会合においてより積極的に参加できる体制の確立及び会合への派遣の継続による人材育成が必要である。また、我が国の研究者が IODP の研究航海に参加し、共同首席研究者として活動していることは評価できる。乗船研究は、関連研究推進などの観点から最も重要な活動の一つであり、継続して参加できるよう一層配慮されるべきである。

(3) 国内における IODP 関連研究の推進体制

海洋研究開発機構内での IODP 関連研究を我が国の中心として総合的に推進する組織の設置、J-DESC の設立、国内統一目標の策定など IODP を主導するための研究体制の構築が進められ、継続的な検討が行われており、これらの活動に研究者が主体的に取り組んでいる。今後も、研究者の活動の円滑化及び活性化に努めるべきである。

しかし、必要な事前調査費の確保などの問題のために、掘削計画の提案という IODP の根幹となる活動において、我が国はリードできていないことから、新規の掘削計画開拓のための研究を担う競争的資金及び我が国が IODP 主導国としての責務を果たすための活動を担う経常的な予算措置による研究支援体制について早急に検討する必要がある。

5.1.3 人材の育成について

海洋研究開発機構及び J-DESC は、研究者の経験蓄積の促進、大学・研究機関における IODP 関連活動への理解に繋がる活動など研究者の育成に取り組んでいる。今後は、次代の IODP をリードする研究者の育成のため、若手研究者の乗船研究機会の拡大及び興味を喚起するアウトリーチ活動に一層取り組んでいくことが重要である。

また、同機構は、米国の掘削船への乗船を支援することで技術者を育成してきた。ライザー掘削技術については、海底油田の探査のために開発され、発展してきたものであることから、我が国が遅れていることは事実であり、欧米の優れた掘削技術の我が国への移転に早急に取り組むことが必要である。

更に、我が国の IODP におけるプレゼンス向上及び国内研究者組織運営のため、科学的知識を持ちながら国内外の機関でマネジメントに従事する人材育成が課題である。

5.1.4 国民への説明について

「ちきゅう」の必要性及び IODP の科学的成果に関する理解はもとより、科学技術の理解増進及び活性化を図る活動が行なわれている。今後は完成した「ちきゅう」を活用し、国民の関心の高いプロジェクトとして認知されるよう努力すべきであり、特に、中高生を対象とした教育的な観点からの広報などに継続的に取り組んでいくことが必要である。

更に、IODP 推進を通じて育成された人材の産業界での活躍の場の提供などが実現するよう努力すべきである。

5.2 総合評価

事前評価の際に大きな価値を有すると評価された深海地球ドリリング計画は、我が国にとって科学的及び社会的に意義が高いものであることを確認した。また、世界最高の科学掘削船である「ちきゅう」の建造及び関連施設の運用環境の整備、国際的な IODP の推進体制の構築を中心とした我が国の主導国としての取組、人材の育成並びに国民への説明といった我が国の取組は、科学的、社会的ニーズなどを踏まえ、関係各機関により適切に行われてきていると認められる。よって、我が国が深海地球ドリリング計画を推進することは極めて有意義であると評価できる。今後は、その成果が最大限に得られ、社会に大きく貢献していくために、関係者が更に協力し、計画推進により一層取り組むべきである。

但し、深海地球ドリリング計画の推進に際しては、本評価において指摘された留意点に対処することが必要である。特に、事前評価でも指摘された研究体制の整備については、必要な研究推進組織が構築されたと評価できるものの、IODP の根幹となる掘削計画の提案など関連研究活動については課題があり、引き続き改善に向けて努力することが必要である。

5.3 科学技術・学術審議会による前回中間評価についての確認

前回中間評価の結果として、本計画は科学的、技術的及び社会的意義が大きいものであることが確認され、「ちきゅう」を提供する IODP の主導国として取り組むことが極めて有意義であると確認された。今回の中間評価においても、この結論について、現在も妥当であることを確認した。

6. 前回中間評価後の深海地球ドリリング計画に対する評価

6.1 深海地球ドリリング計画に対する評価

科学技術・学術審議会海洋開発分科会(平成18年2月)による前回中間評価後の深海地球ドリリング計画への取組について、これを推進してきた国内の関係者より説明を受け、以下の結論を得た。

6.1.1 IODP の構造と我が国の取組について

IODP は、我が国が提供する「ちきゅう」(ライザー掘削船)及び米国が提供する JR 号(ノンライザー掘削船)に欧州の提供する MSP(任務形態に応じた備船)を加えた3船体制による相互補完により、統一した科学目的を実現する国際掘削計画である。この多国間国際協力プロジェクトの意義、主導国としての我が国の取組、国内における関連研究の推進体制について評価を行った。

(1) IODP の意義

① IODP 科学目標とその意義

IODP は、深海掘削によって地球システム変動などに関する科学的調査を行うことを目的とし、その科学目標は IODP 初期科学計画(Initial Science Plan、以下「ISP」という)において示され、国際的に共有されている。ISP は「地球環境変動解明」、「地球内部構造解明」、「地殻内生命探求」を3大テーマとしたものである。これは、航空・電子等技術審議会でも評価された科学的目的ともその方向性は一致し、前回中間評価においても我が国にとって意義のあることが確認された。

また、平成21年9月にドイツのブレーメン大学にて、平成25年10月以降の次期 IODP における科学目標(NSP)について議論を行う次期科学目標検討会議(IODP New Ventures in Exploring Scientific Targets、以下「INVEST」という)が開催され、世界21箇国から約600名の科学者が参加した。INVEST では、現行 IODP の ISP に対する取組状況及び研究者コミュニティの意見を踏まえて、次期 IODP における科学計画の策定作業が行われ、我が国からは、我が国の意見が十分に反映されるよう、J-DESC を中心とした国内ワークショップにおける議論を経て INVEST への意見書提出を行うとともに、INVEST 運営委員会や NSP の執筆委員会にも日本研究者の推薦を行った。会議の結果、「気候・海洋変動～過去を読み解き、未来を語る～」、「生命圏フロンティア～深部生命、生物多様性、生態系の環境影響力～」、「地球活動の関連性～地球深部の活動とその表層環境への影響～」及び「変動する地球～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～」の4つの科学研究テーマと14の研究課題を定めた NSP が平成23年6月に策定された。

以上から、IODP 科学目標は海洋掘削によって期待される地球科学の分野で最も先鋭的な課題をテーマとしており、我が国が主導して海洋掘削科学を進めて行く意義は大きいと認められる。また、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優れた課題がテーマとなっており、引き続き我が国がこの分野を主導する意義は大きい。これらの科学目標に取り組むことは、我が国の科学技術の発展に寄与が期待されるとともに国際的研究における我が国のプレゼンス高揚も期待され、その意義は極めて大きい。(詳細は参考資料2-1. 1 科学目標)

② 「ちきゅう」による科学的成果

科学掘削を目的として建造された船は「ちきゅう」以外に存在せず、世界の研究者が「ちきゅう」を用いた調査研究に参加するべく、科学提案を競っている。IODP の科学目標に沿った審査によって選ばれた科学提案に基づき、これまでに地球内部構造解明－地震発生帯を対象とした「南海トラフ地震発生帯掘削」、「東北地方太平洋沖地震調査掘削 (Japan Trench Fast Drilling Project、以下「JFAST」という)」及び地殻内生命探求－深部生物圏を対象とする「沖縄熱水海底生命圏掘削」、「下北八戸沖石炭層生命圏掘削」の4箇所での研究航海(全12回)を行っている。

南海トラフでは、東南海地震(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、付加体などの部分から地質試料を採取することに成功し、過去の巨大地震時(1944年東南海地震)に活動した断層を特定するとともに、断層部分の摩擦特性の変化の把握に成功した。また、本掘削域地層内の応力状態(方向や大きさ)の把握に成功した。これら海洋プレート沈み込み帯の構造解明に資する重要な知見の蓄積によって、地震発生メカニズムの解明に向けた研究が促進されている。更に、「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)に接続されたことにより、海底下に設置された観測装置を通じて、ノイズの少ない地震情報(歪、温度、圧力、地震波など)の収集や、想定震源地に近い場所でのリアルタイムのモニタリングが可能となった。

JFASTは2011年3月に発生した東日本大震災の震源域の海溝軸周辺の断層滑りメカニズムを解明するために計画され、速やかな研究航海の実施により、世界で初めて地震発生後の早期段階で海底下断層部の掘削を行い、摩擦熱を直接計測することに成功した。優れた操船・操縦技術により水深6,889.5m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回収するという快挙を成し遂げている。また南海トラフと同様に断層部の地質試料の採取と応力調査も行われ、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においても、歪エネルギーが蓄積し大きな滑りが発生する可能性のあることを科学的に裏付けることに成功した。

沖縄トラフでは、伊平屋北熱水活動域の海底熱水噴出口周辺を掘削することによって、海底下生命圏の限界を探るとともに海底熱水鉱床の形成メカニズム解明を目指した。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、周辺域の掘削調査により熱水域の立体的な広がりを明らかにし、これまで考えられたよりも規模の大きな熱水循環系が存在することを明らかにした。

下北八戸沖では、海底下に存在する石炭層やメタンハイドレートを巡る炭素循環の解明

を図ることを目的とし、これまでのライザー方式における科学海洋掘削の世界最深記録(2,111m)を更新する海底下2,466mの石炭層までの掘削を行った。調査で深海底下の生命圏の限界を探る中で、極限環境に適応して進化したユニークな生命活動の実態が少しずつ明らかになりつつある。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、細菌でもバクテリアでもない古細菌(アーキア)が大量に生育していることが確認された。更に採取された掘削コア試料中の微生物の培養に成功し、二酸化炭素を同化するメタン菌の存在を確認し、海底下の炭素循環システムを解明する手掛かりを得ることに成功した。

以上のように、「ちきゅう」の研究航海の成果として多くの新しい科学的知見が明らかにされ、成果を取り纏めた研究論文の多くが表彰を受けるなど、学術的な評価は高く、我が国の科学の進歩に大きく貢献した。次期 IODP においても、伊豆・小笠原・マリアナ島弧やコストリカ沖など世界の海を対象とした科学掘削が計画されており、引き続き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に対する取組が行われる予定である。(詳細は参考資料2-1. 2 「ちきゅう」の科学的成果)

③ その他の掘削船による科学的成果

IODP では、ライザーシステムによって深部まで掘削可能な日本の「ちきゅう」と、浅部を柔軟なスケジュールで掘削する米国の JR 号、また浅海や氷海などの特殊な条件下における掘削に使用される欧州の MSP の 3 船がそれぞれの特性に応じて分担して科学航海を実施する枠組みとなっており、IODP としての科学的成果は 3 船合わせたものとして評価される。

米国の JR 号は前回中間評価以降に 19 回(全 29 回)の研究航海を実施しており、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及び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に資する研究成果を得た。また、欧州の MSP は前回中間評価以降に 2 回(全 4 回)の研究航海を実施し、ニュージーランド沖における海水準変動解明及びグレートバリアリーフの環境変動の解明などに資する成果を得ている。これらの科学航海には日本からも毎回数人の研究者が乗船している。

以上より、米国が提供する JR 号や欧州の MSP により得られた研究成果は、日本の周辺海域のみならず世界的な広がりを持ち、地球科学の様々な分野を網羅しており、非常に多彩な科学的成果を得ている。またそれらの研究航海には総計 242 名(うち 20 名が共同主席研究者)の日本人研究者が参加しており、我が国の科学コミュニティの能力向上に大きく貢献している。(詳細は参考資料2-1. 3 その他の掘削船による成果)

④ 社会・経済への波及効果

深海地球ドリリング計画は、第一義的には人類が共有しうる知的資産である地球科学の成果に我が国が率先して貢献するため、世界の科学者の支持の下に進めていく科学目的の計画である。一方で、我が国の社会が直面する課題の解決に結びつくものでもあるべきであり、国内研究においても最重要テーマとして位置づけられている。

これまでの「ちきゅう」の科学掘削による防災・減災対策への波及効果として、南海トラフ掘削の調査結果から海溝軸付近において断層滑りによると考えられる高温度履歴を検出し、プレート境界断層浅部が地震時に動いている可能性があることが分かり、地震・津波規模推定の見直しが図られたことや、長期孔内観測装置を設置し、地震・津波観測監視システムに接続されたことにより、微小な地殻変動や地震動を即刻にとらえることが可能になったことが上げられる。今後、被害予測などのモデリングや警報システムの精度が向上し、人的、経済的被害の軽減に結びつくことが期待される。

また、海洋資源の利活用に対しては、沖縄トラフで従来の予測を上回る海底熱水鉱床が発見され、その熱エネルギーに対する発電利用及び有用金属鉱物資源の回収の可能性が示唆されたことや、下北八戸沖の孔井で採集されたメタン生成菌などの有用微生物の培養で、二酸化炭素の地下貯留と地下微生物の活動によるメタン生成・回収などの基礎研究が開始されたことがあげられる。

技術開発成果による波及効果としては、資源エネルギー庁のメタンハイドレート海洋産出試験において「ちきゅう」が使用され、実際に生産井、観測井の掘削に成功し、生産性テストも行い商業化評価の推進役となったことがあげられる。また「ちきゅう」用に開発された自動船位保持システム及びアジマススラストなどは、4 ノット程度の強い海流下でも安定して船位を保持し掘削可能であることが実証され、次世代掘削船などで採用され始めており、既に我が国のアジマススラストが複数船に装備されるまでになっている。

人材育成による波及効果としては、海洋掘削を行える国内人材が育成されたことがあげられる。「ちきゅう」が導入された当初は、掘削船運用業務を担える国内企業が存在せず、海外の企業に委託していたが、平成 19 年度より新たに設立された国内企業に引き継がれた。その後、徐々に日本人比率を増大させたことにより、国内人材による操船及び掘削の経験が蓄積されてきている。これまで操船を行う船位保持システムオペレーター、ドリリングを担当する掘削技術者など種々の人材が育成されている。

「ちきゅう」が取り組んだ沈み込み帯における地震メカニズムの解明に関する研究は世界をリードするものであり、「ちきゅう」でしか為し得ない活動を通じて、防災分野に対して重要な科学的知見を集積する貢献をしている。これらについては、今後も防災・減災に関する総合システムへの組み込みに向けた取組が必要である。また、海底下生命圏や資源に関する研究については、二酸化炭素と地下微生物の活動によるメタン生成・回収などの基礎研究が開始されている。更に海底熱水域においては鉱物採取源としての可能性を探る研究活動が行われており、今後の展開が期待される。一方、技術開発の成果としては、我が国唯一のライザー掘削船として数多くの波及効果が発現されつつあり、「ちきゅう」のポテンシャルが高く評価される中で、今後、資源探査や防災対策のための利用と基礎科学推進のための利用とのバランスをどのようにとるか、一層の議論が必要である。(詳細は参考資料2-1.4 期待される社会・経済への波及効果)

(2) IODP 主導国としての我が国の取組

① 国際的な IODP 推進体制の構築とリーダーシップ

現行 IODP は、文部科学大臣と米国国立科学財団 (NSF) 長官が署名した覚書に基づき平成 15 年 10 月より開始され、平成 16 年 3 月には欧州及びカナダ、平成 16 年 4 月には中国、平成 18 年 6 月には韓国、平成 21 年 6 月にはインド、豪州・ニュージーランド (コンソーシアム)、平成 24 年 8 月にはブラジルが参加し、全 26 箇国が参加する多国間国際協力プロジェクトとなっている。IODP では参加各国を代表する科学者及び技術者により構成される科学諮問組織 (Science Advisory Structure、以下「SAS」という) が科学計画について長期的な指針を提示すると共に国際的な科学コミュニティから提出される掘削研究提案について科学的優先順位などに関する審査を行い、結果を中央管理組織である IODP-MI に報告する。これに基づき掘削船を擁する実施機関が運用計画を作成し、IODP-MI はこれを統合して IODP 年間事業計画案を作成する。日米両政府は、IODP 評議会を主宰し、年間計画をはじめ IODP 全体の流れを監理している。IODP 参加国の代表者から構成される評議会は年 1 回開催され、議長は 1 年毎に交互に日米両国から選出される。我が国は、この枠組みを主導するために、積極的な科学提案や委員などの派遣を行い、我が国の意見が適切に反映されるよう尽力してきた。

また、次期 IODP 枠組みのあり方について各国が議論する場として、International Working Group Plus (IWG+) が平成 21 年 6 月から計 9 回開催され、平成 24 年 6 月に開催された IWG+において関係国間で、SAS の見直しや中央管理組織の合理化及び国際資金の収集・配分制度の廃止などで大筋合意し、その後、次期 IODP の基本的な枠組みのあり方に係る合意文書「Framework for International Ocean Discovery Program」が策定された。

我が国は、IODP の枠組みの中で「ちきゅう」という主力掘削船を提供し、その研究計画に責任を持つ国として、国際枠組みにおける運用や、研究計画管理を主導する取組を行っている。また次期 IODP の枠組みの構築については、航海毎に詳細な国際契約をすることがなくなり、また「ちきゅう」が担う深部掘削の研究提案評価や大規模プロジェクト連携業務が実施され、「ちきゅう」を効率的に運用できる枠組みとなるよう検討され、適切に取り組みられていると評価できる。

なお、我が国がこのような国際プロジェクトを主導するためには研究者・技術者の高いポテンシャルとともに、交渉担当者の強い交渉力、優れた国際共通言語能力が必要不可欠である。(詳細は参考資料2-2.1 国際的な IODP 推進体制の構築とリーダーシップ)

② アジアを中心とした諸外国の IODP への参加促進及び連携

IODP を主導的な立場で推進する我が国が取り組むべき重要な課題の一つとして、諸外国の IODP への参加促進及び外国人研究者との連携により、IODP をより国際的なプロジェクトとして発展させることがあげられる。

これまで、深海掘削研究に関する共同研究課題の発掘や研究提案の共同作成を目的とした国際シンポジウム・ワークショップの開催や、国内及び国際学会での展示ブースによる研究活動報告といった普及広報活動を行ってきた。また、日本人枠を使いアジアの若

手研究者に乗船研究の機会を与えることも行っている。平成 20 年 9 月から 3 回に渡って開催された日韓合同ワークショップでは、J-DESC 執行部会委員の尽力によって合同掘削提案の土台が作られた後に提案書が提出され、しかるべき審査を経て掘削計画に組み込まれるのを待つ段階まで到達している。また平成 25 年 4 月に東京において開催された国際ワークショップ「CHIKYU+10」に、世界各国から研究者や技術者約 300 名が参加し、次期 10 年間に実施する「ちきゅう」を活用した IODP プロジェクトについて議論した。

次期 IODP においては、「ちきゅう」を利用した諸外国との連携の形態として、日米欧間の相互協力関係に加え、分担金額により、「ちきゅう」レギュラーメンバー、「ちきゅう」パートナーシップ、「ちきゅう」プロジェクトメンバーの 3 つのメンバーカテゴリーが創設され、諸外国の多様なニーズに対応しつつ、IODP への参加促進及び連携強化を図るとともに、J-DESC や高知コアセンターではコアスクールの英語化によるアジアの潜在的乗船予定者の参加を促進することが計画されている。

これまで、アジアを中心とした諸外国の IODP への参加促進や連携構築に向け、様々な取組がなされていると評価する。なお、貢献に見合うだけの科学的、技術的成果が我が国に十分に還元されるよう、引き続き戦略的に取り組むことが求められる。(詳細は参考資料 2-2. 2 アジアを中心とした諸外国の IODP への参加促進及び連携)

③ 世界的研究拠点の提供

我が国は、「ちきゅう」という世界唯一のライザー掘削方式による科学掘削船と「高知コアセンター」というコア保管・分析施設を IODP に提供しており、地球科学の国際コミュニティからは常に高度な研究インフラの提供を行うことが求められている。

平成 19 年 9 月から平成 25 年 1 月の期間において、「ちきゅう」による IODP 研究航海は 11 回実施され、82 名の国内研究者を含む計 265 名の研究者が乗船し、船上での研究機会を得た。高知コアセンターでは、現在約 94km 分のコア試料 (IODP 以前に採取されたコア試料を含む) を保管しており、これまで国内外の研究者から約 1,000 件の要請があり、約 1 万本のコア試料の提供が行われた。また、IODP による研究航海後に、参加した研究者が高知コアセンターを利用する際の分析機器の利用支援などが行われている。更に、高知大学における全国共同利用枠を通じて大学など全国の研究機関への研究機器利用の開放が行われるなど、研究拠点としての有効活用に資する取組が積極的に行われている。

次期 IODP においても、引き続き「ちきゅう」の最重要任務は IODP における科学掘削であるという方針の下に、「ちきゅう」というプラットフォームを世界の海に提供するとともに、高知コアセンターにおける IODP の世界 3 大コア保管庫としての機能・サービスを提供することとしている。

我が国は、世界唯一のライザー掘削方式による科学掘削を可能とする「ちきゅう」を提供することにより、IODP の主導国としての立場を強固なものにしている。また、世界 3 大コア保管庫の一面をなす高知コアセンターは、コア提供及び研究施設として機能するのみならず、膨大な数の試料情報がウェブサイトから見られるようにするなど、ソフト面でも参加各国をリードした活動を行っている。我が国が IODP 主導国として果たすべき取組を適切に実施して

おり、高く評価できる。(参考資料2-2. 3 世界的研究拠点の提供)

④ IODP 運営への国内研究者の参加促進に関する取組

我が国がIODPを主導的な立場で推進していくにあたり、IODP 関連会合における議論や掘削船上における研究活動を主導できるよう、適切な国内研究者を委員会委員や乗船研究者として派遣することが重要であり、そのための国内支援体制の整備が必要である。

これまで、文部科学省及び海洋研究開発機構は、J-DESC と連携の下、国内研究者がSASの委員会・パネルに出席するための旅費を支援するほか、SAS会議の検討内容に我が国の意見が適切に反映されるための方策として、各委員会・パネルに対応してJ-DESC所属研究者で構成する国内委員会を設置し、SAS会議の事前打ち合わせを継続的に実施している。次期IODPでは、「ちきゅう」のIODPにおける運用方法を決定する重要な会議である「ちきゅう」IODP運用委員会(Chikyu IODP Board、以下「CIB」という)について、議長を日本人研究者から選出するなど、我が国の委員の意見が適切に反映される体制となる。

乗船研究者の派遣に関しては、海洋研究開発機構予算において、乗船に係る旅費のみならず、乗船前の準備段階から乗船後研究までの一連の活動を支援する制度が整備されている。また、次期IODPにおいても、我が国の研究者が米国及び欧州が提供する掘削船による研究航海に参加できるよう、日本人研究者の他船への乗船枠が一定数設けられることで米国及び欧州と合意がされている。

IODPでは米国と同等程度の日本人枠を設けて取り組んだことにより、これまで多くの国内研究者が各委員会や乗船研究に参画している。更に乗船研究や委員会参加者にむけた様々な支援がなされ、国際的な場で活躍する日本人研究者が育ちつつあることは高く評価できる。今後も国際会議などで主導権を握ることができるような人材育成に向けて継続した取組が求められる。(詳細は参考資料2-2. 4 IODP 運営への国内研究者の参加促進に関する取組)

(3) 国内におけるIODP関連研究の推進体制

我が国がIODPを主導する観点からは、単に委員会や共同研究に日本人研究者が参画するだけではなく、我が国の研究者が提案した掘削計画が採択され、掘削実施を経て事後研究へと展開するという一連の活動が十分に行なわれることによって初めてIODPを真に主導しているといえる。このため、国内において研究者が主体的にIODP関連研究を推進する体制を構築・運営することが大きな課題であり、そのため、米国に倣って独立した科学者コミュニティとして、J-DESCが平成15年2月に設立され、文部科学省による継続的な支援が行われてきている。

J-DESCは、国内のIODPにおける科学計画検討や掘削研究提案の促進を担っており、SASなどの委員及び乗船研究者の推薦といった研究活動における国際的な調整や、国内におけるIODP普及活動などを行っている。また、参画する国内研究者支援として掘削提案書作成に向けたワークショップやIODP科学掘削による成果に関するシンポジウムなどを開催している。これまで、次期IODPの科学目標を策定するINVEST会議に向けた国内研究者

コミュニティの取組強化を目的とした「INVEST 国内ワークショップ」や、次期 IODP 期間中に特に「ちきゅう」を使って重点的に取り組むべき科学テーマについて議論する「深海掘削検討会」を主宰し、それぞれ報告書を取り纏めた。

更に、我が国発の掘削提案を継続的に実行化していくための取組として、将来 IODP の掘削提案作成に繋がる萌芽的な研究テーマを見つけ、合同ワークショップを行うことなどによる育成を図っている。また、具体的な掘削提案につなげるために必要となる事前調査などについて、海洋研究開発機構において必要な費用を支援する制度が整備されている。

以上より、J-DESC を通じた研究者支援により国内の掘削科学が活性化し、IODP を支える研究者コミュニティとして確固たる体制が築かれた。また、研究者による研究提案などは活発に行われており、IODP 航海において多くの日本人研究者による科学提案が採用されて実施にまで至っており、国内における IODP 推進体制は十分に機能していると評価できる。

今後も、研究活動を一層活性化させるためには、「ちきゅう」向けの大規模プロジェクトの提案を絞り込んで人的資源を集中させる必要のある中で、若手研究者の挑戦的研究提案も受入れながら研究者の裾野を広げていくという、相反する課題に取り組んでいかなければならない。また、地震学や地球環境史学など、関連する科学分野の他のコミュニティとの連携強化に取り組む必要がある。(詳細は参考資料2-3. 国内における IODP 関連研究の推進体制)

6. 1. 2 地球深部探査船「ちきゅう」に関する取組について

IODP の主力掘削船として重要な役割を担う地球深部探査船「ちきゅう」の性能及び関連施設の運用環境について評価を行った。

(1) 「ちきゅう」の性能と研究者・運航者などの技術提案の反映状況

「ちきゅう」による IODP 航海は日本近海の南海トラフ地震発生帯掘削計画から着手されており、強い海流と低気圧の常襲する海域で運航されてきた。このような厳しい条件下での大水深のライザー掘削及び試料採取では、従来にはない極めて困難な技術的課題の克服が求められる。このため、最新の外国技術を導入するとともに、要素技術を独自開発するため、従事する研究者・運航者の創意工夫などを積極的かつ適切に反映することが求められる。

「ちきゅう」は平成 17 年 7 月末に海洋研究開発機構に引き渡された後、試験航海によって、ライザー掘削システムや自動船位保持システム(Dynamic Positioning System、以下「DPS」という)などの性能確認及び作動状況の把握が行なわれた。これらの作業を通して、運用管理や保守管理、安全管理などのソフト面についても整備し、平成 19 年 9 月より IODP による運用が開始された。

「ちきゅう」による最初の IODP 航海として南海トラフ地震発生帯が選ばれ、現場海域では、強い黒潮海流と台風や低気圧の常襲という厳しい海象気象条件での運航を強いられることとなった。そのため、標準の掘削能力に加え、高度な船位保持やライザーパイプの渦励振(Vortex Induced Vibration、以下「VIV」という)対策が必要となった。これまでに、海流により生じるライザーパイプの VIV を抑制するための整流装置「ライザーフェアリング」とライザーの

挙動を観察するシステムの開発を行い、世界で唯一、強流下での掘削が可能な掘削船となっている。また、船位保持については運航方法やソフトウェアの改良を重ね、位置制動誤差は数mの範囲にまで縮められてきている。

これらの技術の蓄積により、「ちきゅう」は科学掘削における海面下ドリルパイプ長の世界記録(水深 6,889.5m+海底下 850.5m=7,740m:東北沖の掘削)となるライザーレス掘削に成功するとともに、海底下掘削深度の世界記録(海底下 2,466m:下北八戸沖の掘削)となるライザー掘削に成功した。更に、海底下の圧力を維持したままで試料採取するシステムを開発し、メタンハイドレートを海底下の状態のまま回収することに成功している。

以上、様々な技術改良の積み重ねにより、「ちきゅう」は日本近海の強い海流、厳しい海象気象条件下でも掘削可能な能力を備えるプラットフォームとなった。また、大深部の海底下からメタンハイドレートや微生物をそのまま採取することが可能な高品質のコアサンプルシステムが開発され、調査研究の基盤が飛躍的に整備されてきた。将来、地殻とマントルとの境界を掘削することを目指して、目標とする水深 4,000m ライザーシステムや高温に耐えるドリルビット、測定機器の開発に引き続き取り組む必要がある。(詳細は参考資料2-4.「ちきゅう」の性能と研究者・運航者等の技術提案の反映状況)

(2)「ちきゅう」及び関連施設の運用環境

① 効率的な運用体制の整備

「ちきゅう」は、多くの乗船人員及び掘削関連機器、船位保持装置、アジマススラストなど非常に特殊な機器を搭載しているため、その運用については、円滑な運用体制を確保するために十分な検討が必要である。

「ちきゅう」は大水深・大深度の掘削が行える我が国で唯一の掘削船であり、建造当初は「ちきゅう」を単独で運用するノウハウを持った会社が国内に存在しなかったため、運航委託会社が掘削作業と操船作業のノウハウを補完するため、個別に海外の掘削会社と契約し技術者を受入れた。平成 19 年度に、日本マントル・クエスト(株)が設立され、技術審査などを経て同社への運航委託が決定し、我が国で掘削・操船業務を一元的に実施する体制が実現した。その後、日本人船員の育成が進められ、技術移転が図られるとともに、陸上支援部門(船員確保、掘削資機材調達、保守修繕業務など)においても、国内と海外の2拠点であったものが国内事務所で一元管理されるようになり、業務の効率化とともに陸上支援業務のノウハウの蓄積が図られた。

以上より、効率的な運用体制が整備されているだけでなく、ライザー掘削船の運用が日本企業によって行われ、日本人船員、掘削要員が育っていることは高く評価される。「ちきゅう」は、その特殊さゆえに運用スケジュール管理に様々な困難を伴うため、スケジュール変更時における研究活動との調整をマニュアル化するなどの工夫が求められる。

② 継続的な運用のための維持管理体制の整備

「ちきゅう」による調査の対象となる海域は世界各地に及ぶため、各地を移動しながら高度なライザー掘削システムを継続して運用するためには、維持管理について特段の配慮が必

要である。

「ちきゅう」の性能を維持するための保守業務は、海洋研究開発機構が整備した設備（アジマススラスタ、水中テレビカメラシステムなど）については同機構が行い、その他の法定検査などの保守業務は運航委託先が運航と保守を一括して実施する契約となっている。法定検査を実施するにあたっては、科学掘削船の整備・補修ノウハウを国内の造船所に広めるよう、中間検査（2～3年に一度）及び定期検査（5年に一度）を実施する造船所については一般競争入札により決定している。

以上より、「ちきゅう」の運用に伴う定期検査は確実に行われている。また、機器の保守・整備・更新を順次行っており、老朽化に備えている。また、科学目的達成のために必要な機器開発、搭載の迅速化も進められている。（詳細は参考資料2-5. 1 「ちきゅう」運用及び維持管理体制の整備、5. 2 「ちきゅう」の運用実績）

③ 安全及び環境保全に配慮した運用体制の整備

「ちきゅう」が実施するライザー掘削は、パイプの連結など、重量物を直接取り扱う危険作業であるとともに、暴噴などによって生態系に重大な影響を与える恐れがあり、事前審査から現場作業監理まで、安全及び環境保全に関する多岐にわたる事項について、特段の配慮が必要である。

そのため、「ちきゅう」の研究航海実施にあたっては、研究提案が承認されてから実施に至るまで凡そ3年の準備期間を要する。掘削候補地周辺の海底下の地質状況を調べるために衝撃波による3次元解析を行い、ガス噴出の可能性などを調査し、生態系への影響を最小限にとどめる対策を検討する。更に海流や気象条件の情報収集分析を行い、漁業調整、掘削許可申請、保守申請などの必要な手続きを行う。

また運航委託会社及び海洋研究開発機構それぞれで環境保全管理システム（Health Safety & Environment Management System、以下「HSE-MS」という）を構築し業務実施の管理監督を行っており、これまでメキシコ湾原油流出事故や東日本大震災での津波被害事故を踏まえてガイドラインなどの見直しを逐次行っている。

これまで安全及び環境保全管理が徹底されたことにより、厳しい海象気象条件下での運用が続く中で、更に津波といった天災にも見舞われながらも、大きな人的災害を起こしていないことは高く評価できる。また、ヘリコプター発着設備、実験器具の放射性物質管理、化学薬品の廃液処理といった「ちきゅう」ならではの特殊な安全・環境保全対策にもしっかりと対処している。今後も慢心することなく、安全及び環境保全管理に万全を期すよう努める必要がある。（詳細は参考資料2-5. 3 「ちきゅう」安全及び環境保全体制の整備）

④ 船上研究設備・支援体制の整備

「ちきゅう」が担うIODP科学掘削の多くは、ライザー掘削の利点を生かして、できるだけ深海底下の状態を維持してコアサンプルを回収し、それらを船上で即座に処理し分析・解析を行うことが必須となっている。そのため、「ちきゅう」が「海の上の研究所」として機能するよう継続した維持・整備が重要となっている。

SAS で決定された IODP 統一の測定項目に従って分析を実施すべく、X 線 CT スキャンやガスモニタリングシステムなど、試料分析に必要な多くの設備が整備された。また、「ちきゅう」船上で行われた分析の結果や乗船研究者による記録などの科学データを蓄積・配布することを目的とした船上データベース(JAMSTEC-Core Systematics、以下「J-CORES」という)が整備され、乗船研究者に優先的にコア試料やデータの使用権があるモラトリウム期間(下船後 1 年間)の後、インターネットを通して世界中に公開されている。船上研究設備の維持管理及び IODP 統一の測定項目に沿った船上分析の実施については、海洋研究開発機構から外部事業者に業務委託しており、「ちきゅう」が運航していない期間においても同事業者によるメンテナンスが行われ、分析機器などが継続的に使用できる状態が確保されている。

以上から、「ちきゅう」における研究施設は極めて先進的なシステムを備えており、国際的にも最先端の水準にあると評価できる。コア試料を船上にて解析する文字通り船上研究所としての機能を有していることを高く評価したい。また、人的な研究支援体制も充実しており、外部事業者に委託している維持管理体制並びに技術者の質も高い。今後も「ちきゅう」の能力に見合った研究成果を達成するために、機器の老朽化・陳腐化に備え、継続した研究機器更新が求められる。(詳細は参考資料2-5. 4 「ちきゅう」の船上研究設備、支援体制の整備)

⑤ 高知コアセンターの整備・運営

高知コアセンターは、米国及びドイツのコア試料保管施設と地域分担し、西太平洋及びインド洋を担当範囲とした、DSDP、ODP、IODP などにより採取されたコア試料を保管・運用するための陸上施設であり、同時に、コア試料に関する分析・解析の中核的な施設として機能することが求められている。

同センターが掘削研究の世界的な陸上拠点施設として機能するよう、これまでに、コア試料の地球科学的、生物学的特性を明らかにするための解析を高精度に行える分析機器が整備された。また、高知大学と海洋研究開発機構が協力して専門のスタッフを置き、適切なメンテナンスによって分析機器などが継続的に使用できる状態が確保されている。センターの利用については、高知大学が全国共同利用施設として共同利用研究課題を公募し、広く国内研究者に利用の機会を提供し、同機構は分析機器の利用支援などを通じて協力を行っている。

以上から、高知コアセンターは陸上における保管施設として、またコア試料の処理や解析を行う施設としても世界に誇れる 3 大コアセンターの一つとして機能しており、保管施設の拡張や膨大な数の試料情報がウェブサイト検索できる機能強化など、設備の充実に向けた取組も積極的に行われている。貴重な資試料を保管するだけに、今後も津波対策などに万全を期すことが求められる。(参考資料2-5. 5 高知コアセンターの整備・運営)

6. 1. 3 人材の育成について

我が国の海洋掘削の推進を担う国内の研究者、技術者、計画推進実務者のIODPを通じた育成状況について評価を行った。

(1) 研究者の育成

IODPに関係する研究者の人材育成を図り、次代のIODP活動をリードする研究者を確保するためには、研究者のIODPに関する経験の蓄積、国内コミュニティの拡大、各大学・研究機関におけるIODP関連活動への理解増進が重要である。

IODPの活動をリードする研究者の育成に関しては、全国37大学など55機関、15の企業体が参加するJ-DESCが中心となり、全国の大学と海洋研究開発機構や独立行政法人産業技術総合研究所などの研究機関が協力しながら、学生や若手研究者を対象にボランティアベースで教育・普及活動を実施している。また、国際陸上科学掘削計画(International Continental Scientific Drilling Program、以下「ICDP」という)部会を通じて陸上掘削と連携した取組も行っている。具体的には、コア試料解析に必要なスキルを習得するための「J-DESC コアスクール」や、地球科学の各分野の最先端で活躍する研究者などが講演を行う「地球システム・地球進化ニューイヤースクール」、イベント会場と掘削船上をインターネット接続によりライブ中継し掘削科学の現場の魅力を伝える「IODP 普及キャンペーン」などを開催している。

6. 1. 1(3)でも記述しているとおり、J-DESCを通じた研究者支援はよく機能しており、研究者の経験蓄積やコミュニティの拡大、IODP関連活動への理解促進に向け、大学院生や若手研究者を対象にした教育・普及活動が活発に行われていることは評価される。今後は、若手研究者の参画を促進し裾野を広げるための継続した取組が必要である。(詳細は参考資料2-6. 1 研究者の育成)

(2) 技術者の育成

ライザー掘削技術は年々進歩していることから、海外企業の人材派遣を受けて我が国への技術移転を図るとともに、常に最新の技術導入に努めながら事業を円滑、効率的に実施することが求められる。また、「ちきゅう」の船上研究設備を常に最適な状態に保つとともに円滑な研究活動を行うためには、研究機器の整備・保守や試料採取・分析、データの品質管理などを行う科学支援員の育成も重要である。

これまで、国内外における科学掘削及び資源掘削を通じた On the Job Training によって掘削船運用技術(掘削部門、操船部門)に関する日本人船員の育成が進められ、我が国への技術移転が図られている。掘削部門においては、平成19年度には日本人の割合が0%であったものが平成24年度には37%に増加している。操船部門においては、操船業務の重要職部門である船位保持システムのオペレーターについて、平成19年度には日本人の割合が30%未満であったが、平成21年度には100%となっている。

科学支援業務については、入札により業務を外部委託しているため、同機構は本業務を通じて得られる運用上のノウハウ・改善点の書面化を行い、それらが次の契約においても適

切に承継されるよう努めている。また、同機構が新たに調達した計測機器などの講習会に事業者を参加させることで、科学支援員によるサービスレベルの維持・向上を図っている。

6. 1. 2(2)でも記述されているように、ライザー掘削船を運用するための国内人材が着実に育成されている。特に、大水深及び強海流という世界で最も過酷な条件での掘削を成功させていることは、日本にとって必要な技術能力向上に貢献している。更に、科学技術支援のような高度な人材育成を、公募により業務委託の形をとりつつ効率性に配慮しながら実施していることは高く評価される。(詳細は参考資料2-6. 2 技術者の育成)

(3) 計画推進実務者の育成

IODPの中心的役割を担う機関において我が国の人材が活躍することは、我が国のIODPにおける存在感を高めることに繋がる。また国内研究者組織のより効率的、戦略的運営のためにも、科学的知識を持ちながらマネジメントに従事する者が重要な役割を果たしてきており、その育成が課題となっている。

現行 IODP において中央管理組織を請け負っている IODP-MI は、平成 15 年の創設以来ワシントン事務所と札幌事務所の 2 事務所体制で運営されてきたが、平成 21 年の役員改選によって日本人が代表に就任するとともに、同年 11 月に 2 つの事務所を統合し東京に移転した。その後、日本人の人材登用も進み、平成 25 年 1 月時点で職員 15 名のうち 9 名が日本人(平成 18 年 1 月時点では職員 22 名のうち 6 名が日本人)となっている。また、平成 15 年 10 月より文部科学省から NSF にリエゾンを派遣し、IODP-MI との契約管理業務など、NSF との情報共有が図られた。

なお、次期 IODP では、中央管理組織は廃止され、中央管理組織が担っていた業務は各掘削船保有国に設置される運用委員会などに移管される。日本は今後、「ちきゅう」のための運用委員会である「ちきゅう」IODP 運用委員会(CIB)を主宰することとなり、これまでに培った計画実務経験を生かして国際計画を独自に運営していくことが求められる。

IODP 開始当初は人材不足が懸念されながらも、常に米国と同等程度の議決権、参加者枠を求めていく中で、IODP に参画する日本人研究者、技術者、マネジメント担当者の責任分担も同等に求められてきたことから、その能力が高まってきていると評価される。国際的な場で活躍できる人材の育成は我が国の科学技術・学術分野共通の大きな課題であり、一朝一夕に達成できるものではなく、地道な努力が必要である。例えば、博士取得者を科学的知識・経験が必要とされるマネジメントや専門技術支援に就かせるキャリアパスを用意するなど、人事体制の工夫も必要である。

6. 1. 4 国民への情報発信及び交流について

「ちきゅう」がどのような研究活動を行っているかを国民に説明し、IODP の科学研究成果やその将来性を分かりやすく国民に伝えることが重要である。また、展示や教育プログラムを通じて知的好奇心を喚起させ、将来の人材候補である小中高生をはじめ、多くの国民に関心をもってもらうことが地球科学の底上げのためにも重要である。更に、産業に応用できる技術分野を中心に、産業界にも広く本計画の内容を説き、活動への支援や本計画を通じて育

成された人材活用につなげるよう努める必要がある。

海洋研究開発機構では国民への情報発信を広報業務と教育活動の2本柱で実施している。広報業務としては、ウェブを活用した情報発信、サイエンスカフェやシンポジウムなどにおける講演、「ちきゅう」一般公開などによる普及広報が行われている。若い世代の人材育成による教育への貢献としては、小中高校との地学野外実習協力や出前授業、ネット中継授業、小中高校向け船内見学会、理科教員向け船上研修、科学館との展示協力などが行われている。また、専門家への普及広報活動としては、国内及び国際学会において展示ブースを出展し研究活動などの報告が行われた。

様々な広報活動の結果、「ちきゅう」の知名度は高まり、その研究活動にも関心が集まっている。そして、研究活動に対する科学的な好奇心に対して、更なる詳細な情報提供が行われる、といった好循環が見られる。一方、他の科学コミュニティとの横断的な繋がりについては、日本地球惑星科学連合などを通じた学术界での情報発信が積極的に行われているものの、他学会との連携など更なる取組が必要である。(詳細は参考資料2-7. 国民への情報発信及び交流について)

6.2 総合評価

事前評価及び前回中間評価の際に大きな価値を有すると評価された深海地球ドリリング計画は、今回の中間評価においても我が国にとって科学的、海洋技術的及び社会的に意義が高いものであることを確認した。また、世界最高の科学掘削船である地球深部探査船「ちきゅう」の建造及び高知コアセンターなどの関連施設の運用環境の整備、国際的なIODP 推進体制の構築を中心とした我が国の主導国としての取組、人材の育成並びに国民への情報発信といった我が国の取組は、科学的、社会的ニーズなどを踏まえ、関係各機関により適切に行われてきていると認められる。

次期 IODP においても「ちきゅう」は主要プラットフォームであり、すでに米国、欧州と乗船交換枠が交渉・合意されるなど、国際的な枠組みの中で引き続き重要な役割を担うことが期待されている。

これらより、引き続き我が国が深海地球ドリリング計画を世界の海で推進することは極めて有意義であると評価できる。今後は、その成果が最大限に得られ、社会に大きく貢献していくために、関係者が更に協力し、計画の充実・強化と一層の推進に取り組むべきである。

ただし、深海地球ドリリング計画の推進に際しては、本評価において指摘された留意点に対処することが必要である。特に、前回中間評価でも指摘された研究体制の整備及び人材育成については引き続き積極的な取組が必要である。これまで、必要な研究推進組織は構築されたと評価できるものの、IODP の根幹となる掘削計画の提案など関連研究活動については引き続き改善に向けて努力する必要がある。

地球深部探査船「ちきゅう」による
南海トラフ地震発生帯掘削計画の進め方
に関する提言

平成 26 年 8 月

科学技術・学術審議会
海洋開発分科会

目次

第1章 背景.....	1
第2章 南海トラフ地震発生帯掘削計画の必要性.....	1
第3章 南海トラフ地震発生帯掘削計画によって得られる成果	2
(1) 付加体内部の地質構造の解明	2
(2) 巨大地震震源断層の直接調査	3
(3) 深部での地殻変動の観測	3
第4章 南海トラフ地震発生帯掘削計画の経緯	3
(1) 掘削実施計画のステージ構成.....	4
(2) ステージ1及び2掘削の経緯と成果.....	4
(3) ステージ3掘削の途中経過.....	5
第5章 南海トラフ地震発生帯掘削計画の今後の進め方案	6
(1) 技術検討委員会(TAT:Technical Advisory Team)による評価	6
(2) 科学掘削安全検討委員会掘削専門部会による指摘.....	6
(3) 今後の掘削計画案.....	6
第6章 まとめ	7
＜参考資料＞	
参考資料 1-1 科学技術・学術審議会海洋開発分科会名簿	9
参考資料 1-2 海洋開発分科会深海掘削委員会名簿.....	10
参考資料 1-3 南海トラフ地震発生帯掘削計画の進め方に関する審議について	11
参考資料 1-4 委員会開催経緯.....	12
(第14回深海掘削委員会 説明資料)	
参考資料 2-1 「南海トラフ地震発生帯掘削計画」の必要性について	13
参考資料 2-2 「南海トラフ地震発生帯掘削計画」によって期待される成果	17
参考資料 2-3 「南海トラフ地震発生帯掘削計画」の全体計画とこれまでの経緯	30
参考資料 2-4 「南海トラフ地震発生帯掘削計画」の第348次研究航海の結果	50
参考資料 2-5 「南海トラフ地震発生帯掘削計画」の今後の掘削計画案.....	57
参考資料 2-6 深海地球ドリリング計画の予算推移、乗船研究者、成果論文.....	60

第1章 背景

地球深部探査船「ちきゅう」は統合国際深海掘削計画(IODP)(平成15年～平成25年)の枠組みにおける最先端の科学掘削を達成するために建造され、米国の JOIDES Resolution (以下 JR)号、欧州の特定任務掘削船とともに国際共同プロジェクトの研究プラットフォームに供されてきた。平成17年7月に就航後、約2年間の慣熟航海を行い、平成19年9月から本格的に IODP 航海を開始し、途中、平成20年のアジマススラスタ(360度方向転換できる推進器)の不具合や、平成23年東北地方太平洋沖地震による津波被災のため、2回の長期離脱を挟んで、現在までに4海域で6シーズン、13回の IODP 航海を実施してきている。

IODP の研究航海実施は、日本と米国が基本合意した枠組みにより、国際的な英知を集めた科学審査・技術審査及び出資者による政策的な判断を経て決定されており、日本は相当の費用負担をする中で、意思決定の各段階において米国と同等の決定権を有し、国際的な研究者・技術者の支援を受けながら日本としても重要と判断される科学的な課題に取り組み、その推進に貢献してきた。平成25年10月より新たな枠組みである国際深海科学掘削計画(新 IODP)へと移行したことにより、科学審査プロセスはそのまま引き継がれたものの、掘削箇所決定にかかる技術審査や政策的な判断はそれぞれのプラットフォームを保有する組織で実施することとなった。

現在、「ちきゅう」が実施中である南海トラフ地震発生帯掘削計画は、前 IODP での合意のほか、独立行政法人評価委員会においても承認されている。現在実施している超深度掘削では、海底下約 5,200m の巨大分岐断層/プレート境界断層接合部に到達する予定であり、昨年度の航海を終えた段階で科学掘削としては世界最深記録である海底下約 3,000m まで到達している。前人未踏の超深度掘削では孔壁崩壊など多くの困難を克服してきており、事業実施主体である独立行政法人海洋研究開発機構(以下 JAMSTEC)は、これまで得られた知見を生かしつつ、国内外の技術者による詳細な検討に基づき、今後の掘削計画案を複数策定し比較検討を行っている。

今般、科学技術・学術審議会海洋開発分科会深海掘削委員会では、新 IODP の枠組みでの「深海地球ドリリング計画」の推進方針を検討する観点から、南海トラフ地震発生帯掘削計画を継続的に実施すべきか、実施する場合には掘削計画案の考え方は妥当であるかについて調査・審議を行った。

第2章 南海トラフ地震発生帯掘削計画の必要性

地球深部の物質科学的研究は、地球深部探査船「ちきゅう」でなければ到達できない場所での研究であり、現在も掘削の度に地震、火山等の発生メカニズムや地下生命圏に関する新たな事実が発見されている。南海トラフ地震発生帯掘削計画では、プレートテクトニクスを基盤とした地殻変動の歴史解明に伴い、日本列島形成史についての新たな見解が明らかになるなど、常に地球科学の進歩に大きく貢献してきた。今後は、海洋プレートが沈み込んでいる場所を直接掘削し、得られた試料やデータの科学的分析による、巨大地震や巨大津波の発生メカニズムやダイナミクスの理解など、基礎科学への貢献が大いに期待されている。

一方、防災の観点からも「ちきゅう」の成果が期待されている。南海トラフを震源とする M8～9 クラスの地震は約 100 年から 150 年周期で発生しており、日本近辺の他の海溝型地震と比べても想定被害が大きく、発生確率も 30 年以内に 70%と高く見積もられている。平成 25 年 3 月に内閣府が発表した「南海トラフ巨大地震の被害の想定について(第二次報告)」では、津波によるものだけでも死者数 10～20 万人にのぼると試算されているが、平成 26 年 3 月に定められた「南海トラフ地震防災対策推進基本計画」では、津波等による人的被害削減を重要な課題として位置付けており、南海トラフ地震による想定死者数を今後 10 年間で 8 割削減することを目標に掲げている。そのため、今後とも実施可能なあらゆる防災・減災に向けた努力が尽くされるべきであり、「ちきゅう」による巨大地震発生域の直接掘削調査もその重要な研究課題の一つとして数えられる。これまでも「ちきゅう」による津波発生メカニズムの解明が防災計画策定に反映されており、「ちきゅう」により設置される長期孔内観測装置は地震・津波観測網につなげられる予定である(1 箇所は接続済み)。特に南海トラフを震源とする地震では地震発生から津波到達までの時間が短いため、できるだけ早期に地震情報を伝える必要があることから、震源域に近い海底下の地震計が重要な役割を果たすと期待されている。

また、「ちきゅう」による南海トラフ地震発生帯掘削は通常海底油田掘削とは全く異なる地質環境での掘削であり、かつ非常に変化の激しい気象・海象条件下での掘削となっている。2,000m 以上の大水深、複雑な地質構造をもつ付加体、台風・低気圧の頻発といった日本近海特有の海象条件は掘削遂行の大きな障害となっているが、高温・高圧といった極限状態での観測装置設置など数多くの技術革新とそこで得られる知見は、今後、我が国の排他的経済水域内での海洋資源開発を目指す上で貴重な基盤情報となるほか、民生用の先端技術の開発など他分野への応用も期待されている。

第 3 章 南海トラフ地震発生帯掘削計画によって得られる成果

「ちきゅう」による巨大地震発生帯の直接掘削では、大きくわけて①付加体内部の地質構造の解明、②巨大地震震源断層の直接調査、③深部での地殻変動の観測、の 3 つの成果が期待されている。

(1) 付加体内部の地質構造の解明

南海トラフでは、ユーラシアプレートの下にフィリピン海プレートが比較的緩やかな角度で沈み込んでおり、その際に海洋プレート上の堆積物がはぎ取られ、陸側に押しつけられることによって、付加体が形成されているという基本理解がなされている。付加体は日本列島の骨格をなす地質構造である。これまでの掘削によって付加体及び沈み込む前の海洋地殻の構造に関する新たなデータが加わり、さらには地質年代精度の向上により、地質構造進化の過程が明らかになりつつある。この結果、日本列島形成史が大幅に見直される可能性も示唆されている。

(2) 巨大地震震源断層の直接調査

南海トラフ沈み込み帯では、プレート境界及び付加体内には莫大なひずみエネルギーが蓄積されているものと考えられており、岩石破壊の限界に達すると破壊を起こし、それがプレート境界断層面を形成していると考えられる。南海トラフ地震発生帯掘削計画(ステージ 3)では、ここを掘り抜いて地質試料を採取し、断層の物理・化学的性質を明らかにすることを目指している。海溝型巨大地震の深部発生領域からのサンプルリターンは世界で初めての試みであり、断層試料の採取に成功すれば、室内実験などにより、断層の摩擦特性の把握や破壊強度の推定等、巨大地震発生のメカニズム解明に不可欠な情報をもたらすと期待されている。

(3) 深部での地殻変動の観測

南海トラフ地震発生帯掘削計画では、超深度掘削孔に地震断層やその周辺の地殻の微少な変動を捉える長期孔内観測装置を設置する予定である。これらは将来的に DONET (Dense Oceanfloor Network system for Earthquakes and Tsunamis:地震・津波観測監視システム) につながられ、地震観測網の一環として組み入れられる予定である。震源域により近い場所に地震計が設置されれば、秒単位で緊急地震速報を早く出すことが可能となる。南海トラフにおける地震では地震発生から津波到達までの時間は非常に短く、少しでも早く避難関連の情報を出すことが重要である。また掘削孔でのモニタリングを行うことによって、巨大地震の準備過程から破壊に至るまで、そして地震の最中から終了後まで、全ての巨大地震プロセスを観測することも可能になる。更に、震源域近くの海底深部において地震波やひずみ測定を行うことは、これまでの陸上観測や海底面観測では探知できなかった地殻内の微少な動きを感知可能とするものであり、地震発生のメカニズムを解明する上で画期的な成果に結びつくことが期待される。

第 4 章 南海トラフ地震発生帯掘削計画の経緯

地球の表面はプレートと呼ばれる剛体(厚さ 100km 程度)から構成されており、それがマンツルの対流によって移動しており、プレート同士の発散、収束、もしくはすれ違いなどが生じるプレート境界部では様々な地殻変動が発生すると説明されている。特に海洋プレートが大陸プレートの下に潜り込む「沈み込み帯」は、地震や火山に代表される大規模な地殻変動が表れている場所であり、その場所の掘削によって様々な地殻変動やプレートテクトニクス解明が進むと期待されている。沈み込み帯の、特に巨大地震の発生メカニズムを議論するために平成 9 年(1997 年)に開催された国際科学ワークショップ「MARGINS SEIZE」では、今後の海溝型巨大地震の掘削調査の対象候補として、南海トラフとコスタリカ・ニカラグア境界の 2カ所が選ばれた。南海トラフが選ばれた理由は、過去 1000 年以上にわたる地震発生の記録が残されている事、プレート境界断層の固着領域と考えられる部分が比較的浅いところまで延びており、掘削可能深度にあることが理由とされた。ワークショップの後、国内外の研究者が共同で南海トラフ地震発生帯に関する 4つの科学掘削プロポーザルを作成した。平成 15 年にはこれら 4つを統合するプロジェクトとして IODP 科学審

査委員会で南海トラフ地震発生帯掘削計画が承認された。その後、掘削実施機関と科学者によって4ステージにわたる掘削実施計画が策定され、平成19年より「ちきゅう」による掘削調査が開始された。以降、5シーズン10回にわたるIODP航海が実施されている。

(1) 掘削実施計画のステージ構成

南海トラフ地震発生帯の掘削実施計画は、科学掘削提案に基づき、その実施の効率性や科学的な手順を勘案し、4つのステージから構成されている。各ステージの概要は以下の通りである。

ステージ1 巨大分岐断層浅部やプレート境界断層浅部(海溝軸付近)を掘削し、地質学的特徴や過去の変動の歴史、現在の応力状態などを把握する。

ステージ2 巨大地震を繰り返し起こしていると考えられる断層(巨大地震発生帯)の直上浅部の地層を掘削し、その地質学的特徴を把握するとともに、掘削孔内に観測装置を設置して巨大地震発生に起因する地殻変動などを観測する。また、プレート沈み込みにより将来巨大地震発生帯に持ち込まれる海底堆積物を掘削し、その地質学的特徴を把握する。

ステージ3 超深度掘削(水深約1,900m、海底下約5,200m付近の巨大分岐断層及びプレート境界断層の接合部)を行い、巨大地震発生帯の地質学的特徴を把握する。

ステージ4 超深度掘削孔に地震断層やその周辺の地層の微小な変動を捉える長期孔内観測装置を設置する。将来的に地震・津波観測監視システム(DONET)と接続し、地震発生現場からリアルタイムでデータを取得する観測網の構築を行う。

(2) ステージ1及び2掘削の経緯と成果

ステージ1は平成19年9月から平成20年2月にかけて実施され、合計6地点(12孔)で掘削を行い、このうち5地点において科学掘削では初めて掘削同時検層(LWD:Logging While Drilling)を実施し、掘削孔内の各種物理データ取得に成功した。このデータから、掘削直後に発生する微少な孔壁崩壊(ボアホールブレイクアウト)を読み取り地層内応力の方向を推定することに成功した。その結果、付加体内部の大半でプレートの収束方向に平行な水平圧縮応力が働いていることを明らかにした。また、地質試料採取を6地点(19孔)において行い、巨大分岐断層浅部及びプレート境界断層前縁部の断層を解析したところ、この断層がこれまでに地震性の高速すべりを経験していたとする、これまでの教科書を書き換える新たな発見があった。

ステージ2は平成21年5月から行われ、科学掘削史上初めてライザー掘削(泥水循環式掘削システム)を行い、カッティングス(掘削片)及びコア試料(柱筒状の地質サンプル)の採取・分析、孔内応力の現場測定、2船式地下構造探査などに成功し、今後の科学掘削の標準手順となり得る多くの新たな科学分析手法を開発した。また、巨大地震発生帯に運び込まれる物質の初期状態を把握する事を目的として、沈み込む側であるフィリピン海プレート上の四国海盆において掘削同時検層及び地層温度の測定を行うと共に、基盤岩(玄武岩層)を含む地質試料の採取に成功した。

これらの成果から、1600 万年前以降の本海域周辺の火成活動の変遷や巨大地震発生断層面の変成・変質作用の解明に必須の熱流量の見積もりが行われた。平成 22 年には、ひずみ計、傾斜計、温度計、間隙水圧計、広帯域地震計、短周期地震計、強震計など複数のセンサーから構成される初の長期孔内観測装置の設置に成功し、その後 DONET に接続し、海底ケーブルを通した陸上でのリアルタイムモニタリングを実現している。

一方、厳しい海象条件を克服するため、多くの技術開発が行われてきた。特に、速い海流によって生じるライザーパイプの渦励振(VIV:Vortex Induced Vibration)を克服するために、ライザーフェアリング(整流装置)や、リアルタイムでのライザー挙動解析システムの開発を行うと共に、高速海流下での掘削作業手順の確立等、技術的な知見の蓄積が進められた。これらは資源掘削にも活用されうる貴重なノウハウであり、知的財産としても価値のあるものである。

(3) ステージ 3 掘削の途中経過

ステージ 3 は巨大地震発生メカニズム解明のため、海底下 5,200m 前後に存在する巨大分岐断層とプレート境界断層の接合部まで掘り抜く予定である。これまで 3 航海約 9 ヶ月間の掘削によって海底下 2,922m まで到達し、科学掘削の最深記録を更新している。

海底下 5,200m という深さは、通常の海洋地殻であれば、およそモホ面(マントル最上部)に到達する深さであり、海洋性島弧であれば上部地殻を掘り抜いて中部地殻に到達する深さである。

平成 20 年度に約 1 ヶ月間かけて海底に掘削孔の土台となる孔口装置設置作業を行い、海底下 860m までケーシング(孔壁保全筒)を設置した。その後、他海域での掘削や津波被災等による中断の後、平成 24 年度にライザー掘削を開始した。掘削そのものは順調に進められ、約 2 ヶ月程度で海底下 2,005m まで掘削を行ったものの、速い海流下で寒冷前線の直撃を受け、強風の急激な方位変化によって船体の位置保持が困難になり、緊急離脱時にライザー上部を損傷した。航海中の修理及び代替品の入手は不可能であったため、この年度の掘削を中断した。この段階ではケーシングが設置されていなかったため、次年度に海底下 860m から再度掘り直しとなった。

平成 25 年度は掘削開始直後から 6 つの台風が発生し 1 ヶ月半の待機を余儀なくされた。その後、海底下 2,010m でケーシングが停滞し、その直後にドリル先端部が抜けなくなりドリルパイプを切断して脱出するという事態となった。さらに、残されたドリル先端部を迂回するため、特殊な装置でケーシング側面に穴を開けるなどし、海底下 3,058m まで掘削を進めたところ、再度孔内状況が悪化し、最終的には海底下 2,922m までケーシングを設置して掘削を終えた。

途中、掘削同時検層によって、付加体内部及び断層そのものの物性を明らかにすると共に、6 回のコア採取を実施している。

第5章 南海トラフ地震発生帯掘削計画の今後の進め方

JAMSTECでは、ステージ3のこれまでの掘削作業結果を踏まえ、国際的な技術者グループや国内の掘削専門家による評価や外部コンサルタントによる調査を行い、問題点の洗い出しを行うと共に、対応策を検討した。それらの結果に基づいて深部掘削の計画案を複数作成し、それぞれの実行可能性を検討した。

(1) 技術検討委員会(TAT:Technical Advisory Team)¹による評価

Technical Advisory Team (TAT)は国際的な海洋掘削技術者から構成され、石油掘削業界における最新技術情報などを基にこれまでの作業結果を評価した。外部コンサルタントによる追加的な調査を含め、通常は使われないことのない揚管作業中のLWDデータなどを用いて詳細に孔内状況を再現し、主な現象として以下の事項を指摘している。

- ・掘削後、時間経過とともに急速に孔壁崩壊が進んでいる。
- ・地層の傾斜が急であり、泥水の浸潤とともに孔壁が剥離破壊して崩壊していると想像される。
- ・泥水による圧力、泥水による循環が弱まると、剥離した石片がドリルビットの上にたまり、致命的な抑留状態に陥る。

(2) 科学掘削安全検討委員会掘削専門部会²による指摘

科学掘削安全検討委員会掘削専門部会は国内の有識者から構成され、TATの評価に基づき今後の掘削の進め方について以下のような具体的な指摘を行っている。

- ・エクスパンドブルケーシング(孔内挿入後に径を拡張させることのできる孔壁保全筒)などを活用し、ケーシング枚数に余裕を持たせ、短い距離でケーシングを重ねることができるようにする。
- ・孔壁に浸潤しにくい泥水を採用する。
- ・泥水の圧力が最適となる詳細な泥水管理、孔内管理計画を策定する。
- ・泥水の循環を止めずにドリル管の継ぎ足しが出来るシステムを導入する。
- ・リアルタイムにロギングデータが把握できるシステムや最新の掘削シミュレータソフトを導入する。
- ・リスクアセスメントを含めポリシーを持ったマネジメント体制を構築する。

(3) 今後の掘削計画案

上記の検討結果を受けてJAMSTECでは15通り以上の掘削案を作成・検討し、現段階で以下に示す3通りの掘削計画案に絞り込んでいる。

¹ Technical Advisory Team (TAT) :JAMSTEC 地球深部探査センター(CDEX)へ技術的な助言を行う、技術検討委員会。国際的な有識者から構成されている。

² 科学掘削安全検討委員会掘削専門部会:JAMSTECの外部諮問委員会の1つで、主に科学掘削の安全に関する技術的アドバイスを受けるため、国内の有識者により構成されている。

- (ア)これまで到達した最深地点から掘削を継続
- (イ)海底下 2,010m 地点まで戻り、側方に枝分かれさせて掘削を再開
- (ウ)新たに海底面から別の孔を掘削

表 各掘削計画案の得失

	(ア)	(イ)	(ウ)
掘削始点	現在の最深到達点	13 インチケーシングの 末端	海底面(新規掘削)
最終孔径	6 インチ	6 インチ	8.5 インチ
最大ケーシング 枚数	4 枚	5 枚	8 枚
ケーシングデザイ ンの自由度	低	中	高
作業リスク	高	中	低
必要作業日数 (連続航海の場合)	230 日	260 日	319 日
解説	エクスパンドブルケーシ ングを用いても、ケーシ ングの残りは4枚のみで あり、限られた選択肢の 中での掘削となる。	ケーシングの残り枚数が 1枚増えるほか、ケーシ ングの径が大きくなるこ とにより掘削作業の選択 肢が増える。	これまでの地層等の情 報により掘削時間を節 約でき、掘削作業の選 択肢が大幅に増え、余 裕を持って掘削できる。

目標である巨大分岐断層に到達する孔の大きさは、(ア)案と(イ)案では 6 インチとなるが、(ウ)案では 8.5 インチとなり、断層帯での研究活動内容の選択肢が大幅に増える。一方、掘削作業にかかる時間及び資金は(ア)案から(ウ)案にかけて増加し、(ウ)案では 3 年程度の作業期間になることが予想される。

第 6 章 まとめ

南海トラフ地震発生帯掘削計画は、世界の科学者が認める科学的意義の高い研究活動であり、これまでの国際共同研究活動によって画期的な成果が生み出されてきた。また、我が国の地震防災の観点からも重要な位置付けにあり、とくに超深度掘削(ステージ 3)において巨大分岐断層/プレート境界断層接合部を掘り抜くことで、世界初の海溝型巨大地震発生メカニズムの解明につながる重要な成果が上げられることが期待される。

一方、前人未踏の領域での掘削作業は多くの技術的困難に直面し、その度に最先端の技術を駆使して克服してきている。これらは新たなイノベーションにつながる重要な挑戦であるが、今後さ

らに難しい掘削環境が想定される中でそれらを克服して超深度掘削を完遂するには相当の技術、時間及び費用が必要である。

本委員会としては、南海トラフ地震発生帯掘削計画に期待される科学的成果や社会的貢献に鑑み、「ちきゅう」による掘削を継続することが妥当であると考ええる。

ただし、「ちきゅう」という先端科学計画の実施に貴重なプラットフォームを占有する時間等に鑑み、次の考え方に基づき計画案を選定し実施すべきと考ええる。

1. 早期に巨大分岐断層/プレート境界断層接合部を掘り抜くことを目指す。
2. そのため、超深度掘削(ステージ3)は、連続する2会計年度内での完遂を目指す。様々な理由によりそれ以上かかると見込まれる場合には一旦休止することを含め技術の進歩や社会情勢等を鑑みて決定する。
3. 掘削方法の選択に当たっては、計画案それぞれのリスクを徹底的に検証し、上記第2項の方針を考慮しながら、できるだけ成功確率の高い手段が選択されるよう技術合理性に基づいた判断を行う。

また、地震防災の重要性から、現在浅部に設置されているものを含め、海底下の長期孔内観測装置については可能な限り DONET につなぎ、できるだけ速やかにリアルタイムモニタリングシステムを構築し、データの公開に努める。