

国際陸上科学掘削計画(ICDP)と 日本列島における超深度掘削(JUDGE 計画)

浦辺 徹郎¹⁾・伊藤 久男²⁾・宮崎 光旗³⁾・池田 隆司⁴⁾

はじめに

資源・環境をはじめ多くの分野において、地下深部の情報に対する要請が今後急速に増加するものと予想され、陸上掘削が研究の最先端分野になろうとしている(Elders, 1994)。地球人口の増加はエネルギー・鉱物資源の需要を必然的に増大させるので、著名な資源学者である B. Skinner は地下深部の情報を世界中で最も多く持っている北米が、将来再び世界の主要資源国になるであろうとさえ述べている。

地球環境問題が世界的に取り上げられるようになって約8年が経過したが、未来を予測する上で依然最大のブラックボックスとなっているのは、大気中に存在する量の10万倍のCO₂を保持する固体地球である。その内部で炭素を初めとする元素の循環がどのように起こっているのかは、地球科学の基本的命題の一つといえる。

人類はこれまで地殻からほとんどの有用資源を得、その環境を謳歌し、そこに不要物を廃棄/隔離してきた。その意味で地殻は人類の「救命ボート」にたとえられる。この救命ボートの容量にどれほど深刻な制約があるのか、そこで今何が起こっているのかは、掘削により得られる情報から推定することができる。深層掘削および孔内計測は、現在起こっている地球内部のプロセスをその場で観測できる唯一の方法であり、それと地表からの物理探査の組み合わせは、地殻を観察する「望遠鏡」なのである。

国際陸上科学掘削計画(ICDP)の発足

これまで海洋分野においては海洋掘削計画(ODP)と呼ばれる国際組織が作られており、太平洋底拡大説の証明など多くの科学的貢献をしてきた(第1表)。その成功に刺激され、資源、地質災害など、より社会に貢献できる陸上における掘削についても同様の国際組織を作るべきとの認識から、OECD(経済協力開発機構)は1992年に第1回メガサイエンスフォーラムを開催し、地球深層掘削を最初のメガサイエンス(巨大科学)テーマとして取り上げた。それに呼応し、1993年8月30日～9月1日ドイツのポツダム市において「陸上科学掘削に関するポツダム国際コンファレンス」が開催され、出席者より国際陸上科学掘削計画(ICDP)設立への強い賛意が示された(Zoback and Emmermann, 1994a,b)。そこで上記コンファレンスに引き続き、プログラムマネージャーズ・ミーティングがドイツ大陸掘削計画(KTB)の掘削地点ヴィンディッシュェンバッハで開催され、15ヶ国の代表者が参加した。日本からは石原舜三(元工業技術院; 現北海道大)・浜田和郎(防災科技研)・浦辺徹郎(地調)の3名が招へいされた。この場でICDP準備委員会の設立が合意され、ドイツのエマーマン教授を議長とし、ドイツ、アメリカ、オーストラリア、イギリス、メキシコ、中国、フランスおよび日本が代表となった。準備委員会は1993年12月にサンフランシスコで第1回会議を開いたのを手始めとして、どのような組織が望ましいかについて討論を繰り返し、ICDP設立主旨書を書き上げた。

1) 地質調査所 鉱物資源部
2) 地質調査所 地殻熱部
3) 地質調査所 地殻物理部
4) 科学技術庁 防災科学技術研究所

キーワード: 陸上科学掘削, ICDP, JUDGE 計画, 地震, 資源

第1表 陸上掘削と海洋底掘削の相違(Elders, 1994より改変)

	海 洋 底	陸 上
国際組織	ODP(太平洋掘削計画)	ICDP(国際陸上科学掘削計画)
費用の比	10	1
掘削地点	公海上が多い	国内(世界的なターゲットである必要)
対象となる地層年代	1億8千万年前まで	38億年前まで
主な成果	太平洋拡大, 太平洋の気候変動	社会への還元(資源, 地質災害など)
技術的困難性	掘削船のダイナミックポジショニング	超深度における掘削, 試料採取, 測定
起きている現象	長期間にわたって起こった現象	火山噴火など急激に変化する現象も

第2表 ICDP のスケジュール

1994年12月	ICDP 設立主旨書を基にした米独二国間の MOU ドラフトの完成 科学アドバイザー委員会(SAC)のメンバー選考開始
1995年 1月	掘削プロポーザル提出文書の案作り 米独間で MOU の締結. 他の国への同様の MOU 締結の呼びかけ. 暫定的なプログラム委員会(PC)の承認
2月	概略掘削プロポーザルの受け付け開始
9月	同上 締め切り
10月	第1回 SAC においてプロポーザルの検討
11月	詳細掘削プロポーザルの要求. SAC よりのフィードバック
1996年 1月	第1回理事会(AOG)会合. ICDP の正式発足.
2月	第8回掘削による大陸地殻観測に関する国際シンポジウム(つくば)
5月	詳細掘削プロポーザルの締め切り

この設立主旨書をベースにして, まずアメリカとドイツの間で陸上科学掘削に関する協力協定書(MOU)が作成され, 1995年2月に締結された. アメリカでは内務省地質調査所(USGS), アメリカ国立科学財団(NSF), エネルギー省(DOE)にまたがる省庁間調整グループ(ICG)が共同出資することで合意がなされており, ドイツ側はドイツ国立地球科学研究センター(GFZ)が連邦研究技術省の代理として実行に当たる.

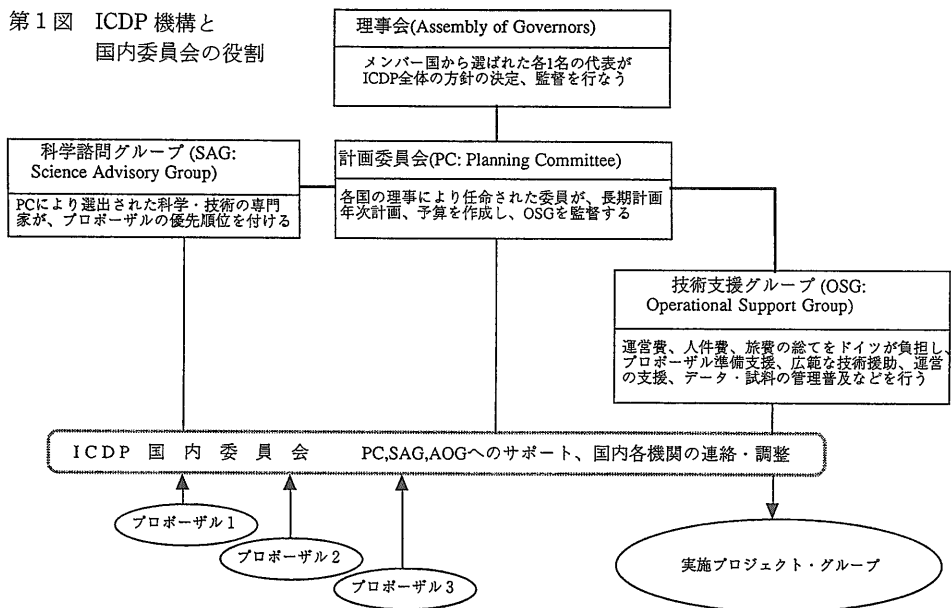
重要なことはアメリカとドイツがともかく ICDP の“列車”を発車させ, 他の国々が“飛び乗れる”ようにゆっくり進行し始めたことである(第2表). 1995年2月の段階では直ちに加盟できない国が多いので, この MOU は第三, 第四の国々にとって将来加入する際に障害が無いよう, 細かな配慮が払われているばかりでなく, それらの国の加入を積極的に勧誘することがうたわれている(島弧超深度掘削推進協議会, 1995).

ICDP の組織と運営

ICDP の組織は海洋掘削計画のそれに倣って作られたものであるが, 経費がかからないようはるかに簡素なものとなっている(第1図). 組織の最上位には理事会(Assembly of Governors)がある. これは出資国の代表が ICDP の政策を決定し活動を監督するためのもので, もしある国に複数の出資機関がある場合はその国から複数の代表が出席できるものの「声は一つ」とする. プロジェクトの科学的内容を討議するのは, 世界的な研究者より構成される科学諮問グループ(Science Advisory Group)である. この専門家グループは提出されたプロジェクトを評価選定し, どの優先順位で取り上げるべきかを計画委員会(Planning Committee)に進言する. このように, どの提案が選ばれるかは海洋掘削計画に倣ってピアレビューにより決定されるので, 掘削がメンバー国以外の地で行なわれる可能性もある.

ICDP の中心に位置して計画全体の総括, プロポーザルの優先順位の決定, 予算の配分, および各掘削の運営・実施に当たるのが計画委員会の役割であ

第1図 ICDP 機構と
国内委員会の役割



る。この委員会にはメンバー各国が少なくとも1名の代表を送ることができるが、その人数は出資額に比例する。この委員会の下に技術集団としての技術支援グループ(Operational Support Group)があり、プロポーザルを提出する人に技術的な助言を与えると共に、もし必要があれば実際の掘削の管理、得られた試料・データの整理、データベースの作成、およびそれらの希望者への分配等の手伝いまでやってくれる。技術支援グループはドイツ国立地球科学研究センター内に設立される。

このICDPの組織は、浅いボーリングから超深層掘削計画まで広く対応できるよう柔軟な組織形態を取っている。浅いボーリングでは費用があまりかからないので、ICDP予算のみで年間何本か掘削することができる。一方、超深層掘削計画のような巨大プロジェクトでは、それを実施する国が90-95%以上の資金負担をすることが不可欠となり、ICDP予算からの出資はわずかなものとなろう。後者の場合には、計画の運営はその国の自主性が最大限尊重される。ICDPは技術的支援をすると共に、国際的な調整を行い、プロジェクトの進行具合を見守り、理事会に報告する。

各国の年間分担金はG7諸国では70万米ドル(約6000万円)とされている。これは必要最小限の金額で、実際に適当な規模の掘削を実施するために必要な積算額から求められている。G7以外の国では更

に低額の分担金が計画されている。

ドイツはKTB掘削の実施に関わった技術集団をICDPのために維持し、その人件費を負担することを宣言している。米独間のMOUに細かく規定されているように、ICDP事務局の人件費・運営費もドイツが負担するので、各国の分担金から間接費(オーバーヘッド)が差し引かれる事はない。よって通常の「会費」とは異なり、各国が支出したICDP分担金は100%掘削および資試料取得のために使われるので、掘削費分担金と称すべきものになっている。

ICDP 参加の意義

我が国がICDPに加入することにより、我が国の研究者が独自で掘削プロポーザルをICDPに提出することができし、他国の掘削計画にも参加できる。たとえばアメリカは今後も継続して年間10億円程度予算を陸上科学掘削に注ぎ込む計画を持っているが、ICDPの枠の下に組み込まれる予定のこれらのボーリングに対する参加も可能となる。

ICDPに加入するさらに大きなメリットは、ドイツの技術支援グループが持つ世界最新の技術やノウハウである。掘削、計測技術が立ち遅れている我が国で、海洋掘削船OD-21の建造が計画されている時でもあり、陸上と海洋掘削の最前線へのアクセス

を確保しておくことの意義は大きい。特に、我が国における超深度掘削において避けて通ることのできない、高温下での深部掘削に関する技術情報の収集・評価・実地試験が少ない時間と予算で可能となるからである。

科学面でもメリットがある。我が国にICDPを通じて世界中の研究者が集まってくることは、佐藤(本特集)も述べているように、フィールドCOEが実現する事につながり、得られる成果が飛躍的に増大することを意味する。実はこのところが科学ボーリングのポイントなのである。たとえばドイツのKTB計画では14カ国から270名を越える科学者が集まり、そのコアや坑井を用いてありとあらゆるデータを取得した。

一般の資源探査ボーリングと根本的に異なり、科学ボーリングは目的も多様で、1本の坑井の利用度をはかりしれず大きい。掘削の科学と技術を一国だけで独占するのではなく、人類共通の知的財産とすることによって得るものもまた大きいと言える。

JUDGE 計画(日本列島における超深度掘削とその坑井を利用した現位置観測計画)

JUDGE 計画(Japanese Ultradeep Drilling and Geoscientific Experiments)は、海洋プレートの沈み込み帯を貫く10 km以上の超深度掘削を日本で行なおうというものである。各深度で岩石、水、ガス試料を採取するばかりでなく、地殻に開けられた窓としてその坑井を利用し、さまざまな地下観測を行なうのも計画の重要な一部である(Urabe et al., 1992; 浦辺, 1993; Urabe, 1994)。プレートの沈み込みに伴い、マグマや地震の発生など、日本の地質災害の主原因となる現象が起こっていることは今さら繰り返すまでもないが、日本の南関東・東海には沈み込むプレートを陸上から掘り抜くことが出来る世界ではほぼ唯一の地域である。房総半島南部、三浦半島南部または静岡市周辺がそれで、JUDGE 計画ではそのいずれか1ヶ所において沈み込むフィリピン海プレート掘り抜くことを計画している。

超深度掘削は10年程の歳月と数百億円の費用を要する国家的事業であり、その成果は科学および技術面ばかりでなく、社会、しいては人類にとっても実際的な重要性を持つものでなければならない。第

1回 OECD メガサイエンス・フォーラムの報告書 Deep Drilling (1993; 超深度コアドリリング技術研究会訳「深層ボーリング」)にも紹介されている JUDGE 計画は、それらの条件を満たす計画の一つであり、以下に述べるように科学的かつ社会的な意義を持っているといえよう。

その内の幾つかについては本特集で斉藤および藤本らによって論じられているのでここでは取り上げない。しかし、そこに述べられた付加体の変形、脱水、地殻内での水の循環などの問題は、掘削の途中過程でも多くの研究テーマがあることを示している。

それらの基本的な問題を列挙してみると、以下のようになる。JUDGE 計画はこれらに関する現在の仮説の正しさを judge (判断)できるものと期待される。

- ・プレートはどのように沈み込んでいるのか? 沈み込みの原動力は何か?
- ・海溝型地震の発生機構は何か?
- ・プレート沈み込みに伴う水が地震発生の引き金になるという説は正しいのか?
- ・今後この地域において、どれほどの頻度で地震が発生する可能性があるのか?
- ・関東地方の基盤岩は帯状に配列したさまざまな地質時代の付加体よりなっている。では現在も進行しているそのプロセスはどのようなものか?
- ・沈み込み帯における炭素の循環は? 炭素循環に固体地球はどう関与しているのか?
- ・付加体中にふくまれる有機物はどのように分解されるのか? 石油の生成機構は?
- ・微生物圏は地下何 km まで存在しているのか?
- ・“究極のエネルギー資源”と言われる「地球深層天然ガス」は存在するのか?
- ・未知の、新しいタイプの深部潜頭鉱床・エネルギー資源は存在するのか?
- ・プレートの上に乗って運ばれた海底熱水鉱床は再び溶解して島弧の地殻中に鉱床を作るのか?
- ・有害物質の地下隔離ははたして安全か? 沈み込み帯で物は永遠に沈み込むのか?
- ・これらの情報を総合して人類社会の長期設計をどのように打ち立てて行くのか?

技術開発の課題と多方面の連携

JUDGE 計画の掘削井では10 kmの深度で、400°Cの孔底温度が予測される。海洋プレートに入れば若干の温度の低下がある可能性があるが、いずれにせよこのような高温条件下での掘削を行う技術は現状では存在しない。ドイツのKTB計画では現存技術での掘削可能温度を300°C以下と設定し、掘削予定深度の見直しを行った。よってJUDGE計画実現のためには400°Cの温度に耐える超深度/高温掘削技術、掘削状況監視装置、および高温孔内観測・計測技術を新たに開発する必要がある。これは決して容易なことではない。しかし本特集の囲い記事(52ページ)にあるように、アメリカでは既にいくつかの有望な提案がなされている。

これに対し、日本でも少しづつながら対応を模索する努力がなされている。1989年に、各種の業界から集まった約40社が「超深度コアドリリング技術研究会」(会長:平塚保明, 副会長:吉田國夫)を結成し、JUDGE計画の実現を各界に働き掛けると共に、世界各国との交流・情報収集などの活動を行っている。1990年には石油技術協会が超深部掘削に対し技術部会で技術的検討を行なった。また1993年には地質調査所と防災科学技術研究所のメンバーを中心に「島弧超深度掘削推進協議会」(ISD)が組織され、JUDGE計画の推進を目指している。一方、日本学術会議では、現在第4部にICDP小委員会およびワーキンググループが設置され、日本のICDPへの参加および陸上科学掘削を求める勧告を作成する作業を行っている。また大学を中心とするメンバーで学術ボーリングWG(代表:静岡大学新妻信明)が結成されており、ニュースレターの発行、シンポジウムの開催、候補地集の発行など活発な活動を行っている。いずれにせよ、これらの関係者が力を合わせてオールジャパンの体制を確立して行くことが必要であろう。

日本の科学技術と夢

JUDGE計画はかつてのアポロ計画のような「夢」のあるプロジェクトである。この特集号の表紙になっている絵はKTB計画を見学したドイツの小学生が描いたものであるが、これ以外にも子供達が自由な想像力をかき立てられて描いた絵が現場に多数展示されており、心打たれるものがあった。アメリカがアポロ計画により「月の石」を目指したように、日本はその科学技術を結集して、宇宙空間よりはるかに複雑で困難な地下空間の探査に乗り出せないものであろうか。更に21世紀には、日本が世界で最初に地殻を掘り抜き、マントルまで探査の手を伸ばすという夢を持てればと望んでいる。

文 献

- Elders, W. A. (1994): Planning the International Continental Scientific Drilling Program. EOS, Trans. AGU, 75, p. 530-531.
- 島弧超深度掘削推進協議会(1995): 陸上科学掘削に関する協力協定書(MOU)全訳, ISD ニュースレター No. 2, 1995, 準備中(配付希望者は伊藤久男ないし池田隆司まで)。
- 浦辺徹郎・池田隆司・伊藤久男・浜田和郎・宮崎光旗(1995): JUDGE計画について。地球惑星関連学会合同大会プロシーディング, p. 60.
- 浦辺徹郎(1993): 「最新地球学」p. 124-128, ワンテーパーマガジン, 朝日新聞社
- Urabe, T. (1994): Proc. VII Int'l. Sympto. on the Observ. of the Continent. Crust through Drilling, Santa Fe, NM, p. 225-228.
- Urabe, T., Tanaka, S., Kiya, Y., and Soejima, T. (1992): Drilling Technology, Amer. Soc. Mechanic. Engineer., PD-Vol. 40, p. 89-94.
- Zoback, M. D. and Emmermann, R. (1994a): Toward establishing an international continental scientific drilling program. EOS, Trans. AGU, 75, p. 461.
- Zoback, M. D. and Emmermann, R. (1994b): Scientific Rationale for Establishment of an International Program of Continental Scientific Drilling. 194pp.
-
- URABE Tetsuro, ITO Hisao, MIYAZAKI Teruki and IKEDA Ryuji (1995): International Continental Scientific Drilling Project (ICDP) and Japanese Ultra-deep Drilling (JUDGE Project).

〈受付: 1994年12月26日/1995年3月31日改〉