

プレート沈み込み帯への掘削計画JUDGE

(1) 要約

浦辺 徹郎* 森田 信男** 木口 努*** 宮崎 光旗*** 倉本 真一****

URABE Tetsuro, MORITA Nobuo, KIGUCHI Tsutomu, MIYAZAKI Teruki and KURAMOTO Shin-ichi
(1997) JUDGE Project: A Continental Scientific Drilling into Plate Subduction Zone. (1) Executive Summary. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol.48(3/4), p.122-125, 2tables

Abstract: The Japanese Islands locate at the plate boundary which is, geologically speaking, one of the most active region on our globe. At this region, oceanic plate diagonally descends under continental plate. This phenomenon, called plate subduction, causes various kinds of natural hazards such as volcanic eruption, earthquake and tsunami. On the other hand, it gifts us variety of natural resources. For example, the gold, a representative mineral resource in Japan, contributed the fertility of the Japanese culture in ancient era: The treasures of Imperial Warehouse *Shousoin* and a large amount of scriptures of Buddhism which represent *Tempyo Culture* of the 8th Century were bartered with *T'ang Dynasty*, China for gold from Japan (Shiba, 1990). All the geological characteristics of Japanese Islands are derived from the subduction and relevant activities.

Japanese Ultra-deep Drilling and Geoscientific Experiments (JUDGE project) is a proposal of a big science project to conduct land-based drilling at southern Kanto region to intersect the subduction zone that exist at a depth of 10 km and to perform scientific observation with this well as if it is a telescope to look into the earth's interior. This special issue presents the societal and scientific rationale of the project as well as its summary, technical review of its feasibility, and required technology innovation.

Southern Kanto is a very rare locality where we can reach subduction zone from the surface at a depth less than 10 km. The area is also unique in the world since there is fully furnished seismometer network that enables us to monitor seismicity related to the subduction. In this subduction zone, we can observe geologic unit called accretionary prism in which sediments on the oceanic plate are rolled up as if they were scraped up by a bulldozer. The basement of the Japanese Islands has been accumulated throughout the geologic time as accretionary prism formed along the eastern margin of the Asian continent. The JUDGE project gives us an opportunity to observe active processes of "mountain building" and global geochemical cycle which occur in a major scale at the subduction zone. Therefore, the JUDGE well is regarded as a natural laboratory to test critical hypotheses on earth processes.

The JUDGE project is also able to answer questions of societal interest; JUDGE well is expected to penetrate through the earthquake source fault of giant inter-plate earthquake which did and will continue to attack Kanto area. In-situ monitoring at the fault gives us a chance to possibly contributes to the prediction of the giant inter-plate earthquake. The JUDGE project contributes to widen the option on geological disposal of high level radioactive waste for a country like Japan that locates in the subduction zone. Therefore, information obtained by the JUDGE project is not only indispensable for the security of Japanese nation but also useful for the circum pacific nations who suffer similar natural hazards.

The estimated temperature of the JUDGE hole at a depth of 10 km ranges between 200 and 400°C, according to the various methods of estimation. If we assume the highest value of 400°C as the bottom

*首席研究官 (Chief Senior Researcher, GSJ)

**早稲田大学理工学部 (Faculty of Science and Engineering, Waseda University.; 4-1 Okubo 3-chome, Shinjyuku-ku, Tokyo, 169 Japan.)

***地殻物理部 (Geophysics Department, GSJ)

****海洋地質部 (Marine Geology Department, GSJ)

Keywords : Japanese Islands, JUDGE Project, continental drilling, subduction, earthquake prediction

-hole temperature, maximum operation temperature of present drilling tools and mud should be raised by 110°C. Besides, a completely new concept of drilling operation should be developed to get as many data as possible. Therefore, it is essential, at an early stage of the program, to determine geothermal gradient accurately to set the goal of the technology development. The JUDGE project is based upon the systematic integration of technology which will give us strong incentives to expand the industrial horizon toward the unexplored domain like Apollo project.

日本列島の周辺では海のプレートが陸のプレートの下に沈み込んでいるため、地球上で最も活動的な場所の一つとなっている。そのため我が国では世界の約1割もの火山活動、地震、津波といった自然災害が起こっている。一方、

その活動のおかげで、我が国はもともと豊かな天然資源に恵まれていた。例えば我が国の鉱物資源を代表する金は、日本文化の多様性をつくりあげる上で、おおいに貢献した。正倉院御物や多量の仏教教典で代表される天平文化はこの

第1-1表 JUDGE計画を行う科学的・社会的理由。詳しくは本特集号(3), (2)を参照のこと。

項目	科学的理由	社会的理由
なぜ日本で行うのか？	10km深に沈み込んだプレートがある (他国は20km以上の深度)	プレート間巨大地震(M8クラス)の脅威 (東京は地震発生帯の直上に位置)
	沈み込み帯に特徴的な地殻内の“水”の循環と上昇の検証	高レベル放射性廃棄物地層処分の安全性評価と新たなオプションの検討
何が得られるのか？		
1) 岩石	日本列島の基盤構造とその成因 付加体の構造と成因	日本の土台、骨組み、地盤の理解
2) “水”	地球のマントルに還流する水の量の解明、マグマの発生	マントルに沈み込んだ水により引き起こされる火山活動の解明
3) 炭化水素	沈み込み帯における炭素循環量の解明	地球環境への長期的影響の予測 (地球温暖化ガスの収支の解明)
何が分かるのか？		
1) 地震	プレート間巨大地震の発生機構 地震ボンピング仮説の検証	地震の直前予知にとって最後の手段 流体の動きを用いた深部の地震の検知
2) 資源	石油、天然ガスの生成機構 地球深層天然ガスは存在するか？	非在来型鉱床、未知の鉱床の探査 地球深層天然ガス資源量の推定
3) 廃棄物処理	プレートおよび堆積物からの脱水量と機構、流体の移動機構・速度	沈み込み帯への地層処分は可能かどうかの技術的検討
どこを観察するのか？		
1) デコルマ (物質境界面)	地震の発生機構の現場解明と 岩石変形/高圧変成作用の現場観察	プレートの動きと地震の発生にどのような相関があるか(地震予知に向けて)
どのような波及効果？		
1) 技術面	高温で働くセンサー、デバイスの開発	高温エレクトロニクス開発へのインセンティブを与える
2) 社会面	センター・オブ・エクセレンス(COE)をフィールドで作る	理科系離れの防止と国民に夢を与える
3) 産業面	地震予知関連ビジネス、活断層調査ビジネス、貯留層エンジニアリング、廃棄物処理ビジネス、金属・エネルギー資源探査、将来予測ビジネスなど	

金を対価に中国から得たものであるという(司馬, 1990)。これら日本を特徴付ける地質現象は、すべてプレートの沈み込みとそれによって引き起こされる諸活動に由来している。

「日本列島における超深度掘削計画及びその坑井を利用した地球内部観測」(JUDGE計画: Japanese Ultra-deep Drilling and Geoscientific Experiments Project)とは、南関東地域でその沈み込み帯を貫く深さ10kmの陸上科学掘削を行い、地球内部を覗く望遠鏡のようにその坑井を利用して、さまざまな地下観測を行おうというビッグサイエンスの提案である。本特集では、この計画の概要を紹介(本特集号(4))するとともに、なぜそれを行う必要があるか、科学的理由(3)および社会的な理由(2)を挙げた(第1-1表)。次にJUDGE坑井が遭遇するであろう条件を推定し(6)、そのような計画が技術的に可能であるのか、またどのような研究開発が必要であるか(7)、

さらにデータ管理の在り方(8)について、技術的に検討した。

南関東地域は、地表から沈み込んだプレート上面までの深度が10km以浅であるという極めて稀な場所であり、完備した地震計観測網の中でプレートの沈み込み帯を貫く陸上科学掘削ができる世界で唯一の場所である。ここでは海のプレートの上に載っていた堆積物が、ブルドーザーのように掻き寄せられてできた付加体という地層が見られる。日本列島の基盤は地質年代を通じてアジア大陸の東縁に形成されてきた付加体と、それが地下の高温高压条件下で変成して出来た変成岩、および花崗岩等の火成岩より成っている。JUDGE計画は、まさに現在進行中の変成作用を直接観察することができるほか、沈み込み帯を舞台に起こっている地球上最大規模の物質循環の量を定量的に推定するために必要な情報を与えてくれる。つまり、JUDGE坑井は活動する地球を調べるための天然の実験室といえる。

第1-2表 JUDGE計画は実現可能かどうかの検討。

項目	困難点	解決法
掘削技術		
1) 掘削監視装置(MWD)	高温のため使用できる深度に限界が生じる可能性がある。	耐温を上昇させるか、坑内冷却装置を開発する必要。周到な事前調査により目標を設定し、設計指針に基づいた開発を行う必要がある。
2) ボーリング泥水	高い水平応力のため坑壁の不安定性が予想される。また、高温での泥水の劣化、科学掘削である為の泥水組成の制限がある。	周到な事前調査により目標を設定し、泥水の耐熱を上昇させる技術開発、採水に悪影響を与えない泥水を開発する必要がある。
3) 温度と深度	10 kmの超深度であり、しかも坑底温度の推定が現状で困難(200 - 400°C)	地温が高い可能性があるため掘削は困難が予想される。よって7 km程度のパイロットホールを掘削して、正確な温度予測をする必要。
検層・試料採取技術		
1) 高温検層技術	通常の石油井用の掘削ツールの温度上限は175°C。	周到な事前調査により目標を設定し、設計指針に基づいた開発を行う必要がある。
2) 試料採取技術	科学目的に合う採水装置が無い。	研究ニーズに合った機器の開発が必要。
3) 超深度	コア採取、流体採取、検層、に膨大な時間がかかる。	商業掘削の枠に入らない科学掘削なので、計画の段階で認識の必要。
事前調査	反射法地震探査などデータが不足している。	海陸の両方から事前調査を行なう。
実施体制と予算	科学目的と現状技術との間にギャップがあり、実現へ幾つかの壁。巨大な予算獲得の必要性。	従来の枠と行動様式にとらわれない体制と、目的に向けてのプログラムの段階的な実施により、進展を計る。

さらに、JUDGE計画はこれまで関東地方を襲ってきたプレート間巨大地震の震源断層を直接掘り抜いて現場でそれを観測できることから、プレート間巨大地震のメカニズムを解明するとともに、その予知の可能性をも拓くものである。また、沈み込み帯に位置する我が国での高レベル放射性廃棄物の地層処分に新たなオプションが可能かどうかを判断する情報を与えるなど、社会的に大きな影響がある。これらJUDGE計画の実施から得られる情報は、日本国民の生命と安全を守るうえで不可欠のものであるばかりでなく、同様の災害に苦しむ環太平洋諸国にとっても大きな福音となる。

JUDGE坑井の坑底にあたる10kmの深度で予想される地層温度は、推定の方法により大きな差があるが200-400°Cと推定される。もし仮に、上限値である400°Cを仮定すると、現在の掘削機器、ボーリング泥水、および坑内計測機器の耐温を最大110°C高めなければならない(第1-2表)。また掘削坑から数多くの情報を得るために、これまでの商業的掘削とは異なった全く新しい概念のオペレーション体系を考えなければならない。そこで計画の初期の段階で、

地温勾配をなるべく正確に決定することが必要である。いづれにせよ、活動的な日本において超深度掘削を行なうときには、高温掘削技術開発は避けて通れない問題である。これらは大きな技術的チャレンジであり、本格的な組織・体制を打ち立て、一步一步できることから前進していく必要がある。

陸上科学掘削はOECDメガサイエンスフォーラムの勧告に従い、アメリカ、ドイツ、中国などが中心となって国際陸上科学掘削計画(ICDP)が結成されるなど、世界的にも大きなうねりとなっている(本特集号(5))。このような複合的な技術体系ができた暁には、アメリカのアポロ計画がそうであったように、現在予測することのできない新しい産業の創出に貢献することが期待される。

文 献

司馬遼太郎(1990) この国のかたち二, 文芸春秋社, 214p.

(受付: 1997年2月17日; 受理: 1997年2月18日)