

国際深海科学掘削計画



IODP
INTERNATIONAL OCEAN
DISCOVERY PROGRAM

海底を掘ってわかったこと
IODPサイエンスプランに日本はどう応えてきたか
これから何をめざすか

■ 国際深海科学掘削計画 (IODP) とは？

世界20か国以上が参加する大型の国際共同研究プロジェクトです。日本の地球深部探査船「ちぎゅう」、米国の掘削船「ジョイデス・レゾリューション」、欧州が任務に応じてチャーターする各種の掘削船などを駆使し、世界の深海底を掘削することで、様々な地球や生命の謎を解き明かそうとしています。

■ IODPサイエンスプランとは？

IODPが深海掘削によって解明を目指す科学的課題をまとめた計画書です。IODPに参加する世界中の科学者からのアイデアを集めて作られています。2013年から2023年までのプロジェクト期間中、IODPはこの計画書に記載された4つの科学テーマ、「Climate and Ocean Change」、「Biosphere Frontiers」、「Earth Connections」、「Earth in Motion」に沿って科学掘削を実施していきます。



日本地球掘削科学コンソーシアム
(J-DESC)



JAMSTEC 国立研究開発法人
海洋研究開発機構
Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

Climate and Ocean Change

地球の環境変動

— 過去を知り、未来を見通す。 —

■ アジアモンスーンの変動を探る

アジアには世界の人口の約54%が集中しています。この地域の気候はアジアモンスーンに支配されていて、将来の気候を予測する上ではグローバルモンスーンの枠組みの中でアジアモンスーンを理解することが重要とされています。アジアモンスーン変動の理解のために日本海、東シナ海、南シナ海、インド洋でIODP深海掘削が実施され、掘削試料を用いた研究が進められています。日本海は東アジアモンスーン地域に位置し、モンスーン変動に応答した海洋

環境変動が明暗の縞模様として海底堆積物に記録されています。明暗の縞模様は有機物含有量や碎屑物含有量が異なり、海洋表層での生物生産や日本海内の鉛直循環、アジア大陸からの風成塵(黄砂)の供給量などが東アジア夏季モンスーンの強弱に対応して変化したことを示します。そして、東アジアモンスーンにおける千年スケールの変動の出現が約150万年前に起こったことが明らかになりました。

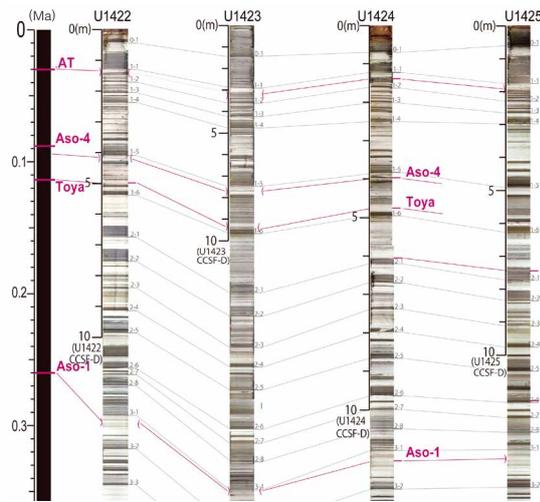


図1 日本海掘削コア上部の対比

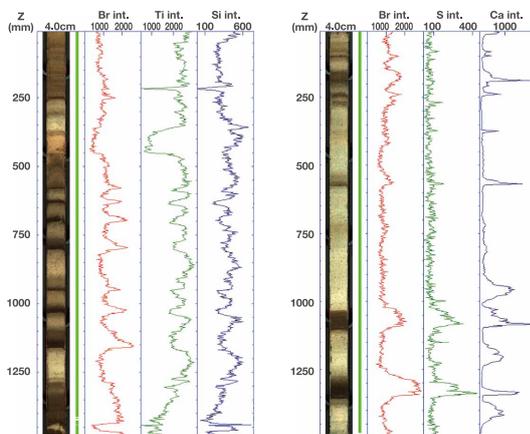


図2 明暗縞に対応した元素濃度変化

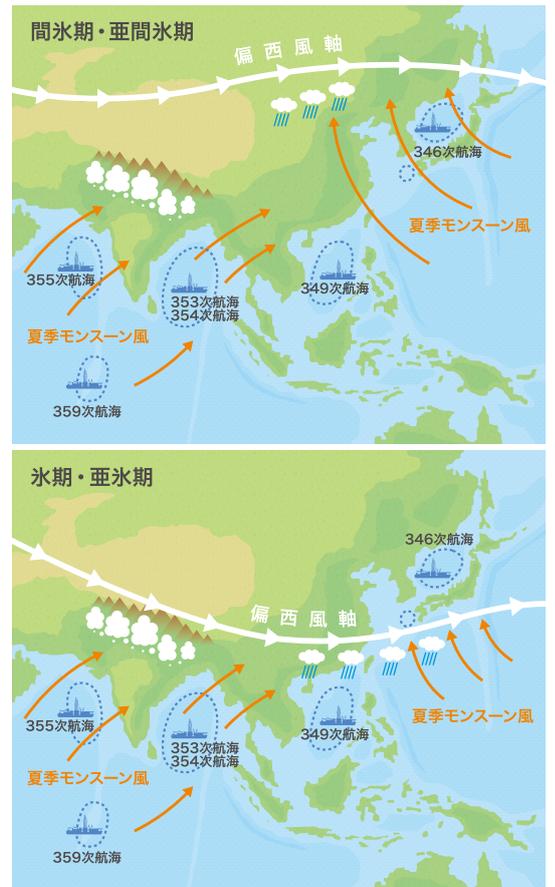


図3 アジアモンスーン変動の模式図

Biosphere Frontiers

Biosphere Frontiers

地球の生命圏 — どこまで命は広がっているのか? —

■ 世界最深部の生態系を発見

従来、無生物・化石の世界と思われてきた海洋の地下環境に、膨大な数の微生物やウイルスが存在することが明らかになってきました。IODPサイエンスプランでは、「海底下に広がる生命圏フロンティア(Biosphere Frontiers)」を主要な科学目標の一つに定め、

- 海底下生命の起源や種類そして全球的な重要性は何か?(Challenge 5)
 - 海底下における生命圏の限界は何か?(Challenge 6)
 - 地球環境変動に対する海洋・地球生態系のレスポンスは何か?(Challenge 7)
- の解明を目指しています。

2010年、沖縄トラフ伊平屋海域で行われたIODP第331次研究航海「沖縄熱水海底下生命圏掘削調査」では、熱水噴出孔直下の微生物生態系の存在と熱水の地層内移流による変化、さらに海底鉱物資源の形成プロセスに関する大規模な熱水変質帯の存在が示唆されました。

2012年、IODP第337次研究航海「下北石炭層生命圏掘削調査」では、下北半島八戸沖の海底を「ちきゅう」のライザー掘削を用いて掘削し、当時の世界最高掘削深度である海底下2466メートルまでのコア試料採取に成功しました。その分析の結果、約2000万年前に形成された石炭層に生息する世界最深部の微生物生態系を発見し、海底下生命圏の炭素・エネルギー循環に対する役割やその深度限界を大きく拡大しました。

さらに、2016年、「ちきゅう」によるIODP第370次研究航海「室戸沖限界生命圏掘削調査」が高知県室戸岬沖の南海トラフ沈み込み帯先端部で実施され、「ちきゅう」と高知コアセンターのスーパークリーンルーム施設を同時に活用した海底下生命圏の限界や機能に関する研究プロジェクト(T-リミット)が行われました。現在、生命圏の限界に挑む最先端の地球科学・生命科学融合研究が行われています。

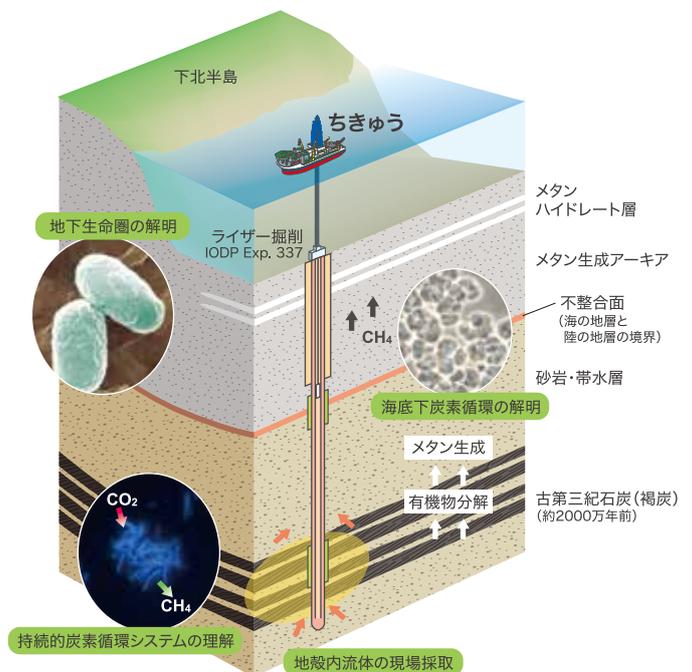


図1 2012年に掘削調査した下北半島八戸沖の海底下の模式図

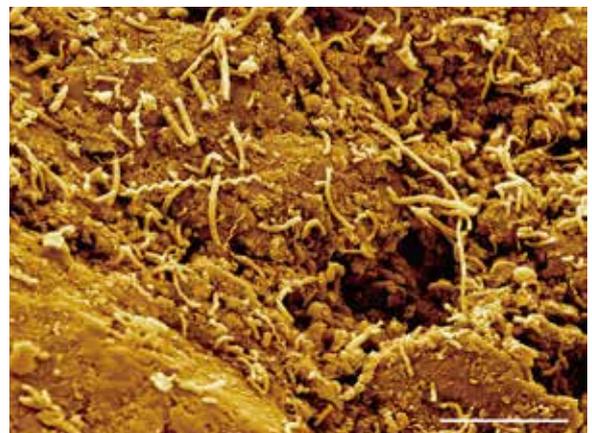


図2 海底下約2kmの石炭層のコア試料から培養された世界最深部の微生物の写真。スケールは5マイクロメートルを示す。

Earth Connections

地球内部をめぐるもの

— 長い長い時間をかけて、大地は進化している。 —

■ 伊豆小笠原島弧の誕生と発達に迫る

2014年に、伊豆小笠原島弧の中の背弧域・古島弧域・前弧域の3つの領域で掘削航海が実施されました（IODP第350～352次掘削航海）。このうち2航海は、プレートテクトニクスにおいて第一級の問題であり続ける「海洋プレートがどのように沈み込みを開始し、島弧火山列が誕生するのか」について解明を目指したものでした。

古島弧域の掘削では、伊豆小笠原島弧形成最初期から約2500万年前までの火成活動の記録である火山噴出物を含む約1200mに及ぶ堆積物に加え、島弧の基盤となる海洋地殻を掘削することに成功しました。島弧基盤である玄武岩の解析から、島弧全体がプレート沈み込み開始に伴って起きた海底拡大により形成された海洋地殻上に成長したことが示唆されました。これは掘削前の予想を大きく覆す成果です。さらに、掘削で得られた火山噴出物から、島弧初期のマグマ組成の詳細な時間変遷も明らかになりつつあります。

一方、前弧域の掘削では、沈み込み開始後に活動した火成活動の時空変遷の解明を目指しました。海溝側では、プレート沈み込み開始に伴う海底拡大によって生じた玄武岩マグマの溶岩と岩脈が得られました。陸側では初期島弧の発達時に形成すると考えられているポニナイトマグマの溶岩と岩脈のみが掘削されました。このことから、それぞれの火成活動は水平的な位置関係として独立していることが判明し、初期島弧が発達する過程で火成活動が海溝側から陸側へ移動したとするモデルの提案に至りました。

これらの掘削航海により、プレート沈み込み開始プロセスの包括的な理解に向けて、これまでの議論を大きく前進させる成果が得られています。

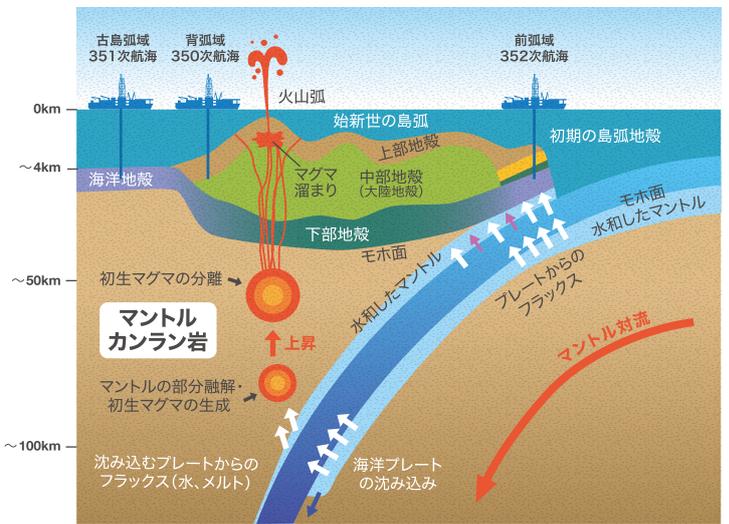


図1 伊豆小笠原島弧をターゲットとした3航海の掘削地点。模式的な地殻断面図上で掘削点の島弧における位置づけを示す。

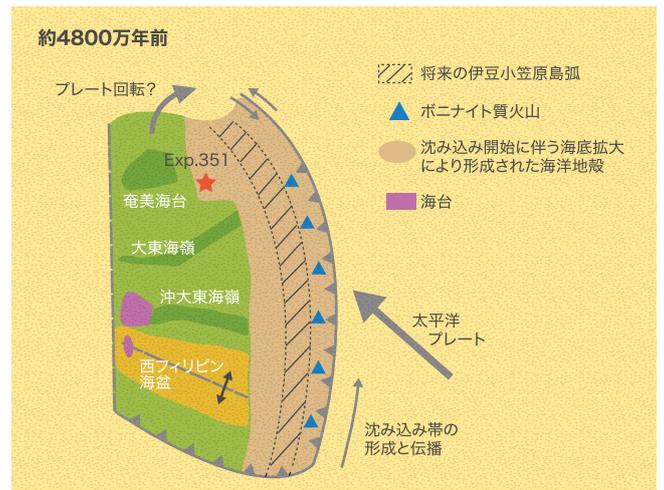


図2 第351次航海によるプレート沈み込み開始後(約4800万年前)の伊豆小笠原テクトニクス復元図

Earth Connections

Earth in Motion

荒ぶる地球

— 災害の正体を知り、上手に付き合うために。 —

■ 東北地方太平洋沖地震の緊急調査

2011年3月11日に東北地方太平洋沖地震を引き起こした宮城県沖日本海溝プレート境界断層から採取したコア試料から、なぜ地震時に断層が約50mもすべり、巨大津波を発生させたのか明らかにすることが出来ました。

コア試料の分析により、プレート境界断層は厚さ5m未満と非常に薄く、陸から遠く離れた遠洋域でゆっくりと堆積したスメクタイトと呼ばれる極めて細粒の粘土鉱物で主に構成されていることが分かりました。このスメクタイトに富むコア試料を用いて地震時の断層すべりを再現する室内実験を行ったところ、摩擦が非常に低く、地震時に断層はとてもしべりやすくなることが明らかとなりました。同様の結果は掘削孔を用いた摩擦熱の計測からも得られています。これらの結果により、地震時の断層における摩擦が非常に低かったことが原因で、東北地方太平洋沖地震時に巨大すべり・巨大津波が発生したことが分かりました。

地震時の摩擦熱発生証拠は、紀伊半島沖南海トラフの巨大分岐断層やプレート境界からも見出されています。このように海溝型地震の震源域を直接掘ることで初めて、地震の痕跡をとらえ、地震・津波発生メカニズムの理解に貢献することが出来たのです。

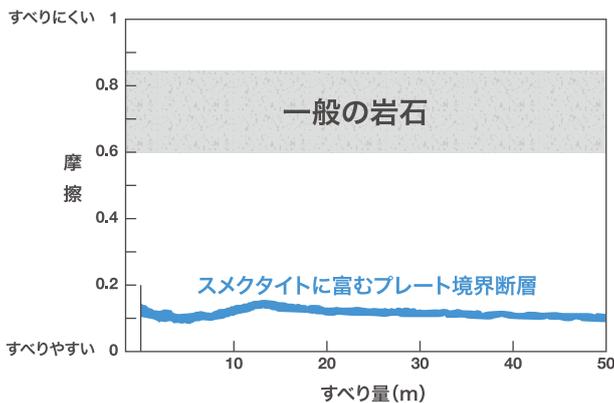


図3 プレート境界断層試料を用いた室内実験結果

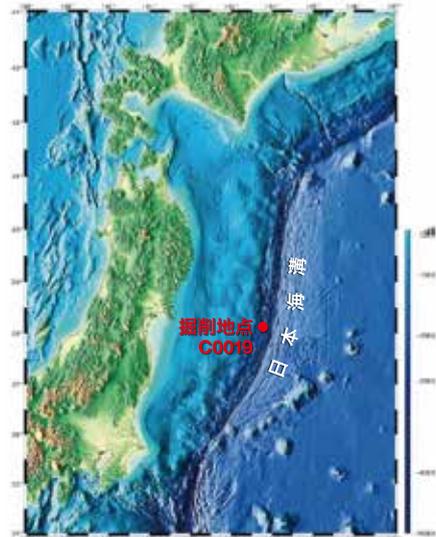
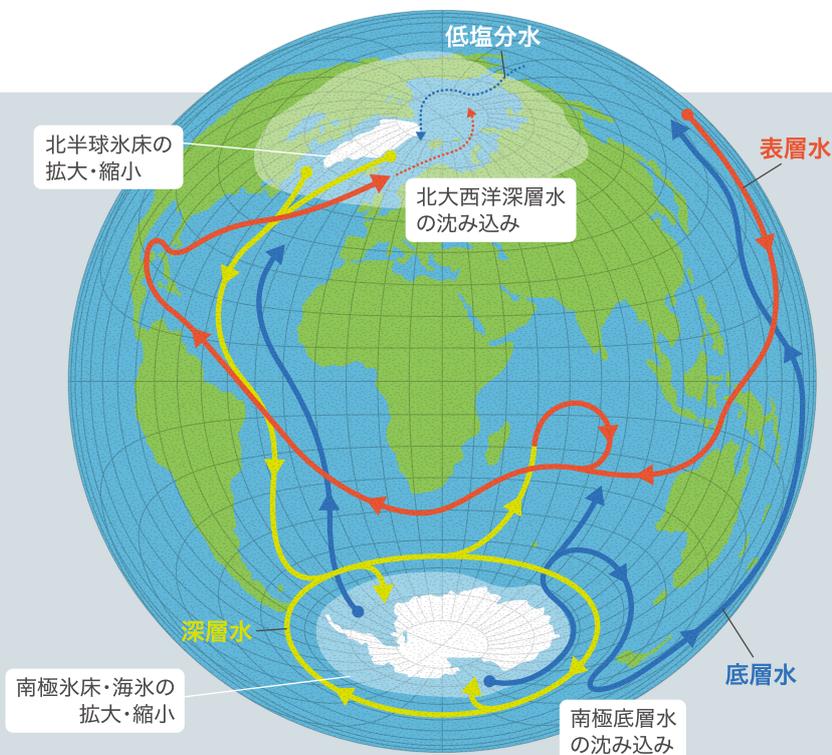


図1 宮城県沖日本海溝の掘削地点



図2 採取されたプレート境界断層のコア



深海掘削の未来



氷は環境をどう変える？ 気候システムの 鍵を握る極域の掘削

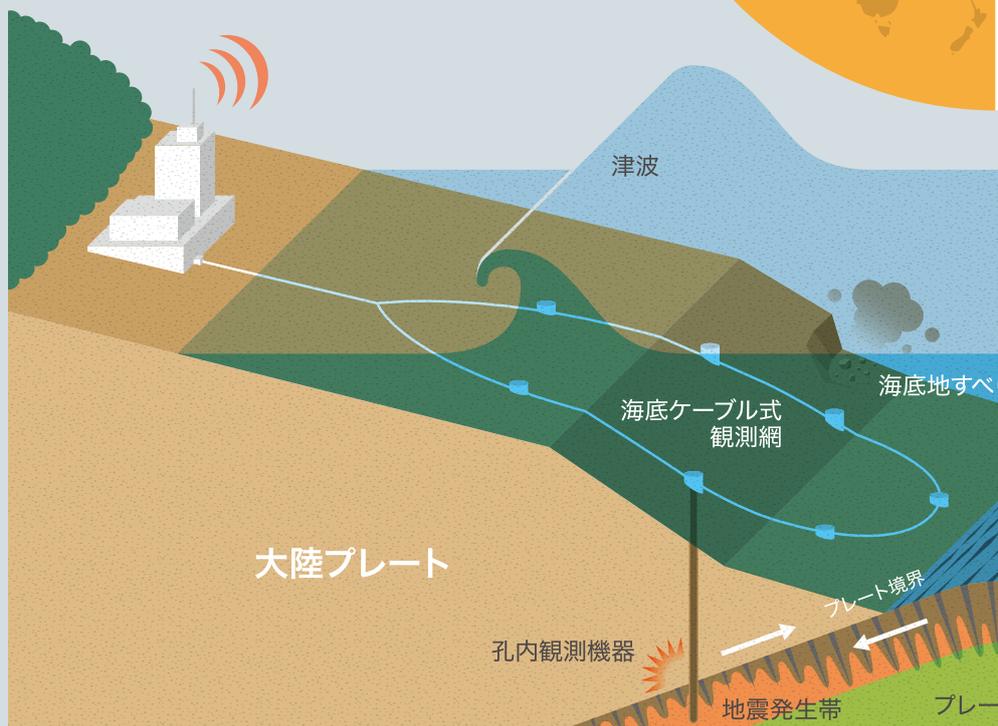
氷床と海水は気候システムを支配する要です。地球史の中で繰り返し起こる氷床の拡大と縮小は海面の高さを変化させるだけでなく、突発的な氷床大崩壊は北大西洋深層水などを変動させることで急激な気候変動を引き起こします。南極海での海水の分布と生成は、世界で最も重い海水で、多量の化学物質も貯蔵する南極底層水の量や循環の速さを支配するため

に重要です。白亜紀や始新世などの無氷床時代から現代までの氷床・海水変動の実態を探るため、今後相次いで北極海と南極海での深海掘削計画が実行され、また、日本発の南極海掘削へ向けた動きもあります。未来の地球環境の行く末を紐解くためのサイエンスが極域深海掘削によって大きく進展するはずで

Climate and
Ocean Change

地球のリアルタイム観測で災害に備える！

地球は、普段はゆっくりと、しかし着実に変化し続けている活きた惑星です。深海底のモニタリングシステムは、静かなプレート運動、着々とたまる地殻のひずみ、わずかな地下水の移動、微小地震、かすかな熱の変化などを精密に観測することができます。それは津波を引き起こす巨大地震や海底地すべりなどが起きる瞬間や巨大災害の発生メカニズム解明に役立ちます。さらに、リアルタイムでのモニタリングは緊急地震速報や早期津波警報などにも活用できます。また、詳細な物質移動プロセスの理解は、地下資源の探査や貯留にも役立ちます。リアルタイムの地球観測は、現実の社会にダイレクトに関係するのです。



Earth in
Motion

未来 — これから何をめざすか —

生命の起源と進化、 そしてマントル活動との関連は何か？

海底下に広がる未知の生命圏には、生命の起源と進化プロセスの謎を解き明かす上で重要な手がかりが隠されています。とりわけ、地球の水・元素循環やプレート活動の駆動力であるマントル活動と生命の関わりは、「ちきゅう」を用いて初めて明らかにできる第一級の科学目標と言えるでしょう。広大な海底下生命圏には、ダーウィンの進化論に代表される地球表層の生命進化とかけ離れた、独自の進化プロセスが存在するかもしれません。また、生命の起源に必要な化学反応場や重合反応の素過程は、マントル活動によって支配される海洋リソスフェアの岩石—水相互作用と密接な関わりがあるかもしれません。今後、掘削されたコアサンプルの多面的な分析・計測や、孔内環境等を用いた原始地球再現実験、先進的なゲノム解析等により、生命進化に関わる新しい原理・法則や、生命の起源を紐解く新たな糸口が見えてくるでしょう。

Biosphere
Frontiers

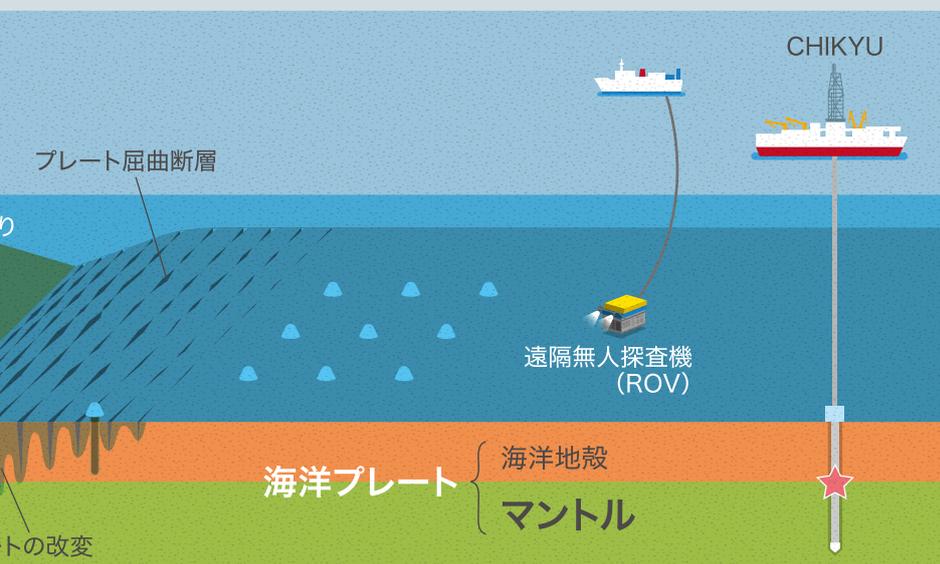
Earth
Connections



もう、待たなし！ 今こそマントル掘削の時

プレートテクトニクスの原動力は何か？ 海洋プレートのどこまで海水が浸透し、そこには、どのような生命が存在しているのだろうか？ 海洋地殻・マントルにはどれだけの水や炭素が含まれている

のだろうか？我々人類は、海洋プレートの形成・改変・消滅に関する観測・モデルを注意深く準備してきました。それらの疑問を解くために必要なのは海洋地殻を貫きマントルからの直接試料採取と生のマントルデータなのです。地球が誕生してから現在に至るまでの水・炭素循環といった地球規模物質循環、生命の誕生と進化、そして、今、まさに起きようとする自然災害の原因を理解するためにも、人類の科学と技術の英知を結集し、様々な目の前の困難を一つ一つ克服して、海洋マントルまでの掘削を行います。海洋マントルから新しい科学のステージが拓くその瞬間を共有しましょう。



陸上掘削との連携 — 日本が進めるICDPプロジェクト —



■ 国際陸上科学掘削計画 (ICDP) とは？

海の掘削を行うIODPに対し、陸上の掘削を行う国際共同研究プロジェクトがICDPです。世界各地の陸域を掘って、地球環境変動の歴史を知り、地下の活動的プロセスを解き明かすため、Climate and Ecosystem (気候と生態系)、Natural Hazard (自然災害)、Sustainable Georesources (持続可能な地下資源)、の3つの科学テーマを掲げています。それぞれのテーマで、現在、日本人が進めようとしている研究の展望をご紹介します。海底掘削でわかることと陸上掘削でわかることはそれぞれ異なりますが、IODPとICDPは独立しつつも互いに連携し、海と陸の両面から地球の謎の解明に取り組んでいます。

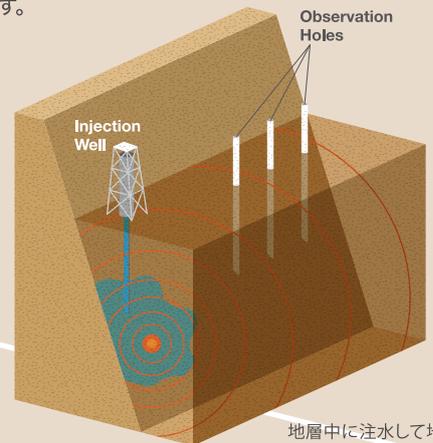
過去45万年の 気候が記録された 琵琶湖の掘削



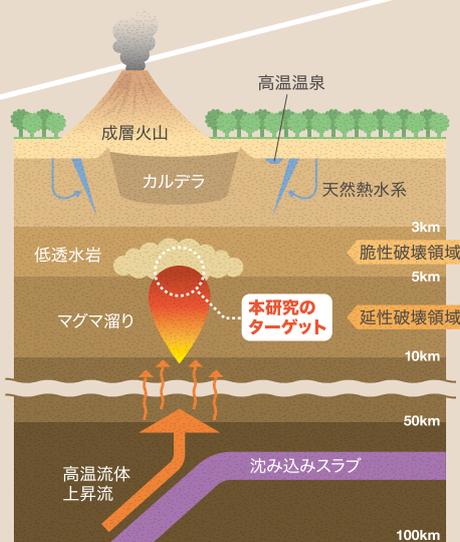
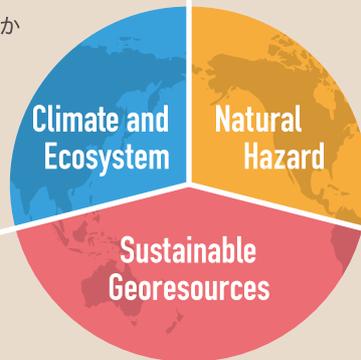
日本の陸域最大の堆積盆地である琵琶湖の底には、厚さ250mを越える粘土の層があり、過去45万年を連続的にカバーしています。琵琶湖の粘土層は海洋に比べて堆積速度が速いため、高時間分解能の分析に耐えます。また多数の火山灰層を含んでいることから、年代の信頼度もきわめて高くなっています。予察的な研究によれば、この堆積物に含まれる花粉化石は過去4回の氷期・間氷期を明瞭にとらえている上に、モンスーン強度が主として歳差運動周期で振動していることまで詳細に記録しています。そこで、現在、日本の研究者により、琵琶湖から高品質の堆積物コアを採取し、モンスーンアジアにおける気候変動のメカニズムを解明するとともに、同地域の古気候の標準層序を確立することを目指すプロジェクトの立ち上げが進んでいます。

人間活動による「地震」

最近、ダムへの貯水や資源の採掘など人間の活動が原因で岩盤にかかる圧力などが変化し、地震のような揺れが発生する場合があることが知られてきました。こうした「揺れ」のメカニズムは詳しくわかっていませんが、生活に欠かせない水や資源の確保をより安全に行うために、このような「揺れ」の実態を知る必要があります。そこで、地層中に注水実験を行い、地下の岩盤の変化を観測しようという構想があります。これにより、このような「揺れ」が起こる原因を解明し、防災に役立てるだけでなく、自然に起こる地震のメカニズムについても知見を得ることを目指します。



地層中に注水して地下の岩盤の変化を観測する構想図



JBBPでターゲットとしている超臨界地熱システム概念

JBBP：革新的概念による 地熱発電量の飛躍的増大を目指して

現在の地熱発電は天然に存在する地熱貯留層 (マグマ近辺の破砕帯等透水性が高い領域の内部で雨水が加熱された部分) を利用していますが、エネルギー量、持続性、温泉との共生等、解決すべき課題が多くあります。国内の研究者は、深部の岩体内部で岩の変形が脆性から延性へ変化しつつある領域を開発ターゲットとして、地熱開発にともなう種々の課題を一挙に解決し、将来的に大量の発電を実現することを目的としてJapan Beyond-Brittle Project (JBBP) を立ち上げました。JBBPがターゲットする岩体には未知の部分が多く、本プロジェクトを通じて、エネルギー分野のみならず、火山学、地震学、地球化学等、多くの分野への寄与が期待できます。

関連 URL

日本地球掘削科学コンソーシアム ▶ <http://www.j-desc.org>
国際深海科学掘削計画について (海洋研究開発機構) ▶ <http://www.jamstec.go.jp/iodp>
IODPウェブサイト (英語) ▶ <http://www.iodp.org>
IODPサイエンスプラン (英語) ▶ <http://www.iodp.org/about-iodp/iodp-science-plan-2013-2023>
ICDPウェブサイト (英語) ▶ <http://www.icdp-online.org>

制作・編集 / 日本地球掘削科学コンソーシアム (J-DESC)
発行 / 海洋研究開発機構 (JAMSTEC)
お問い合わせ / J-DESC サポート
E-mail : info@j-desc.org

2017年3月発行