

Blue Earth

海と地球の情報誌

vol.173



Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

ISSN 1346-0811

2024年3月発行（通巻173号）



「ちきゅう」（全長 210m）

JTRACK、 東北地方 太平洋沖地震の 残された謎へ挑む

巨大地震から13年、
地震断層の「現在」とは？

436

PA
82 mm/yr

1896
Sanriku

C0019

水深 6889.5m

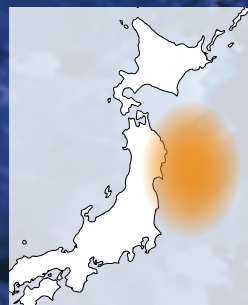
10m

30m

50m

10m

JTRACKで調査を行う、
日本海溝の2つの掘削ポイント。詳細はP17へ



P00 **JTRACKは、
東北地方太平洋沖地震の
謎を解明できるのか？**

P02 あのと、震源地で
何が起きたのか

P04 そもそも、日本はなぜ地震が
多いのか

P06 調査掘削プロジェクト
「JFAST」の緊急始動

P08 東北地方太平洋地震は、なぜ起きたのか
JFAST から見えてきた
地震の原因

P10 東北地方太平洋沖地震の
「残された課題」とは？

P12 **JTRACK、始動**
8人のプロジェクトメンバーへのインタビュー

P14 小平 秀一／JAMSTEC 海域地震火山部門 部門長

P16 JTRACK における
「3つの目的」とは？

P18 中村 恭之／JAMSTEC 海域地震火山部門
地震発生帯研究センター グループリーダー

P20 廣瀬 文洋／JAMSTEC 高知コア研究所 研究所長

P22 林 為人／京都市大学大学院 工学研究科
都市社会工学専攻 教授

P24 JTRACK の掘削計画

P26 氏家 恒太郎／筑波大学 生命環境系 准教授

P28 日野 亮太／東北大学大学院 理学研究科 教授

P30 金松 敏也／JAMSTEC 海域地震火山部門
専門部長(地質研究機関連携担当)

P32 江口 暢久／JAMSTEC 研究プラットフォーム
運用部門 部門長

[付録号]

**掘削プロジェクト大解剖！
地球深部探査船「ちきゅう」を探検！**

表紙：IODP Exp.405 Scientific Prospectusの図を改変
DOI：10.14379/iodp.sp.405.2023
画像提供：JAMSTEC／IODP

制作／Concent, Inc.
クリエイティブディレクター／渡邊 徹（Concent, Inc.）
プロデューサー／橋 泰良（Concent, Inc.）
編集／柴崎 卓郎（butterflytools）
ライター／上野 充昭（町屋ルーム）
アートディレクター／小谷 圭史
イラスト／東海林 巨樹



JTRACKは、 東北地方 太平洋沖地震の 謎を解明 できるのか？

監修／小平 秀一 中村 恭之（共にJAMSTEC）

十数年の時を経た地震断層の変化に迫る

2011年3月11日、東北沖でマグニチュード（M9.0）の巨大地震が発生した。

津波の高さは最大40mに達し、日本各地に甚大な被害をもたらした。

翌年、地球深部探査船「ちきゅう」は、

IODP第343次航海（JFAST）によって、震源断層の掘削調査を実施。

巨大地震の原因を解明する数々の発見を手にする事ができた。

あれから、12年――。

震源断層では次の地震に向けてどのような準備が進んでいるのだろうか。

その完全な理解と、次の巨大地震に向けての準備過程の解明を目指して、

「ちきゅう」がIODP 第405次航海（JTRACK）に出航する。

その新たな航海の前段として、まずはこれまでの巨大地震に関する研究を振り返ろう。

地図上に描かれた濃い水色の線はプレート境界線。赤い点はM5以上の地震、黄色の★はM9以上の超巨大地震が起こった場所を示している。この図からわかる通り、ほとんどの地震はプレートの境界で起こっている。2011年3月11日に発生した東北沖地震の震源地も同様。東北沖は太平洋プレートが東北側の北米プレートの下に沈み込み、ダイナミックに押し下げられて、「海溝」と呼ばれる非常に水深の深い窪みを形成している。

あのとき、震源地で何が起きたのか

2011年3月11日、宮城県牡鹿半島沖の日本海溝で発生した東北地方太平洋沖地震。

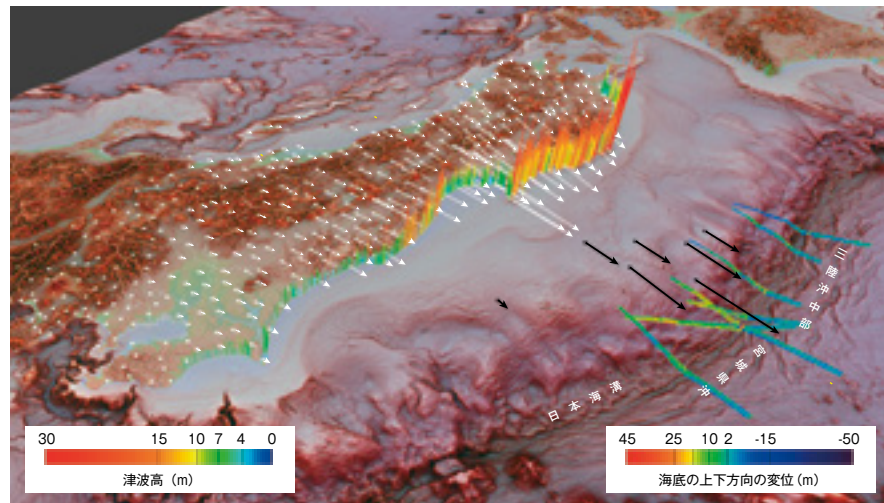
日本の観測史上最大のM9.0を記録し、世界の観測史でも4番目となる巨大地震となった。

最大震度7の大きなゆれが襲い、巨大津波によって甚大な被害をもたらした超巨大地震は、なぜ起こってしまったのか。日本列島を襲った地震・津波発生の詳細なメカニズムを解明するために、海洋研究開発機構（JAMSTEC）では地震発生直後から緊急科学調査を実施した。

2011年3月11日、東北沖で地震発生

2011年3月11日14時46分、日本の観測史上最大規模となるM9.0の巨大地震が発生した。震源は宮城県牡鹿半島の東南東約130km沖の海底下約24km。同県栗原市で最大震度7が観測されたほか、福島県、茨城県、栃木県などでは震度6強を観測した。また、地震によって津波は最大40mにもなり、太平洋沿岸部に甚大な被害をもたらした。

海溝型あるいはプレート境界型と呼ばれるタイプのこの地震は、これまで太平洋プレートが北米プレートの下に沈み込む日本海溝の一带で繰り返し発生している。そして、近い将来にも起



2011年の東北沖地震における海底変位（黒と白の矢印）と、津波高（色付きのバー）などを表した図。

きることが想定されていたという。しかし、想定されていた規模は、最大でもM8.0程度。なぜM9.0という超巨大地震になったのか。なぜ40mもの巨大な津波が発生したのか。その疑問を解明するため、地震発生のわずか3

日後からJAMSTECの緊急科学調査が始まった。

関連プレスリリースのリンクはこちら！



想定を覆す、50mを超える巨大すべり

2011年3月14日、JAMSTECは震源域を調査するために深海調査研究船「かいれい」を東北沖へ緊急派遣。地震前の1999年に行った調査と同じ測線上で、地下構造を調べ

るマルチナロービーム海底地形調査と反射法地震波探査を実施した。

地震前後の海底地形を比較したところ、海溝陸側の海底斜面が平均10m以上隆起していることを確認。海底地形の隆起は海溝軸の位置にまでおよび、海溝軸が明瞭な境目になっていることがわかった。さらに、海底地形変化の解析からは海溝軸付近で50mを超える水平変動が推定された。同時に、海

溝軸の場所の海底地形から大きな沈降と隆起が検出された。

そこで、その場所の地震前後の地下構造を比較したところ、断層の動きが原因と思われる地殻変形を確認。従来、「海溝軸付近のプレート境界断層の浅い部分では、地震性すべりは起こりにくい」と考えられていたが、その想定を大きく覆す50m超の巨大すべりが起こったことが判明した。

巨大地震が深海底に与えた影響とは？

さらに、2011年7月30日から8月14日にかけて、地震による海底変動の様子を調べるため、有人潜水調査船「しんかい6500」を用いた潜航調査が行われた。潜航地点として選ばれたのは、過去の潜航で断層の存在が示唆されていた3つの地点だ。

最初に潜航した地点では、幅・深さともに1m程度の亀裂と段差が観察された。地震発生以前の潜航では明瞭な亀裂は認められていなかったため、一連の地震で生じた可能性が高いと考えられた。

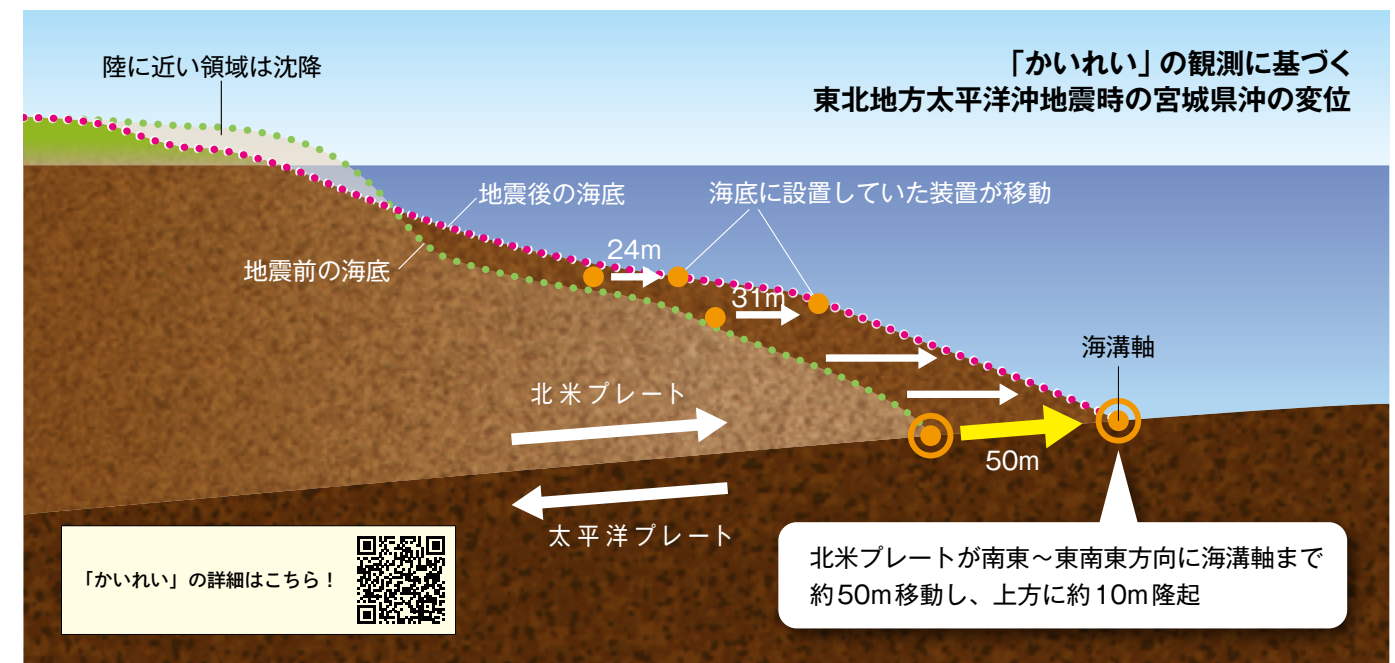
また、亀裂の底やその付近の海底には白いバクテリアマットも多数確認。バ

クテリアマットとは、バクテリアが多量に繁殖し、厚い敷物のようにしている状態を示す。その様子から、地震による海底の亀裂や断層から、メタンや硫化水素といった還元物質が供給され、それらをエネルギー源にバクテリアが多量に繁殖したと推測された。

ほかの2つの潜航地点でも同様の亀裂や白色の変色域が観察され、いずれも南北方向に長く続いていた。

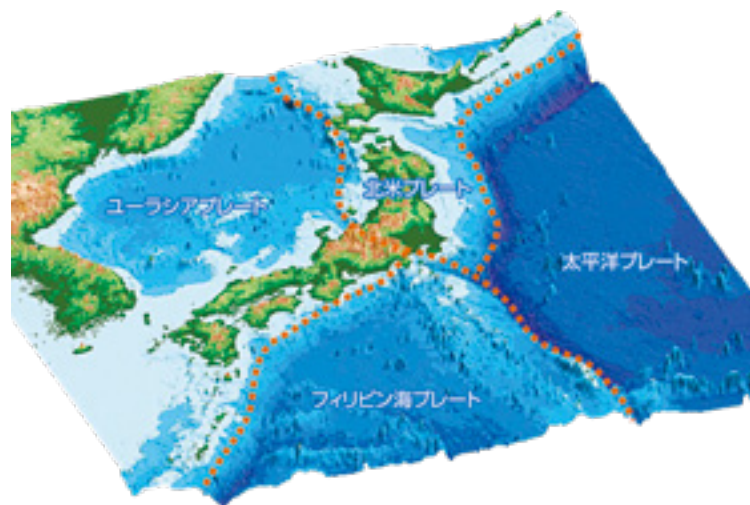
「しんかい6500」で撮影された水深5350mの様子。亀裂の幅は広いところで1mあり、遠くまで続いているのが確認できた。

関連プレスリリースのリンクはこちら！



そもそも、日本はなぜ地震が多いのか

Q1 日本が「地震大国」と呼ばれる理由とは？



日本列島の周辺には、ユーラシアプレート、北米プレート、太平洋プレート、フィリピン海プレートがひしめき合い、世界でも稀と言われる複雑な海底地形を生み出している。

目 本は国土面積が世界の0.25%しかない。しかし、M6以上の地震は世界の20%も占めている。これは、M6以上の地震のうち5回に1回は日本で起きているという計算になる。では、なぜそれほどに日本は地震が多いのだろうか。

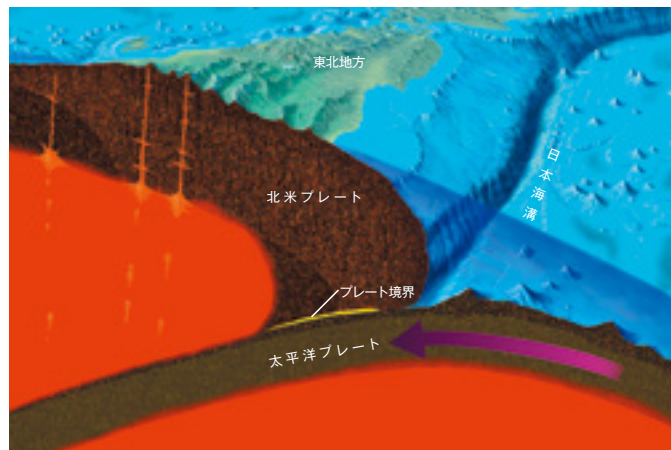
地球の表面は、大きく分けて十数枚の「プレート」と呼ばれる岩板で覆われている。各プレートの厚さは海洋地域で5～100km、大陸地域で30～200kmとなる。このプレートの動きによって地球表面の地震や火山活動が起きているという理論が「プレートテクトニクス」である。

プレート同士が互いに遠ざかる境界を「発散プレート境界」、プレートがほかのプレートの下に沈み込む境界を「収束プレート境界」あるいは「プレート沈み込み帯」と呼ぶ。「収束プレート境界」である日本は、多くのプレートが集まって相互作用しているため、地震や火山が発生している。

JAMSTEC BASEの
関連記事はこちら！



Q2 「プレート沈み込み帯」とは何？



日本海溝のプレート境界で起きる地震の発生メカニズム。プレート境界の固着によって歪みが溜まり、耐え切れなくなると北米プレートが跳ね上がり、巨大地震が発生する。

JAMSTEC BASEの
関連記事はこちら！



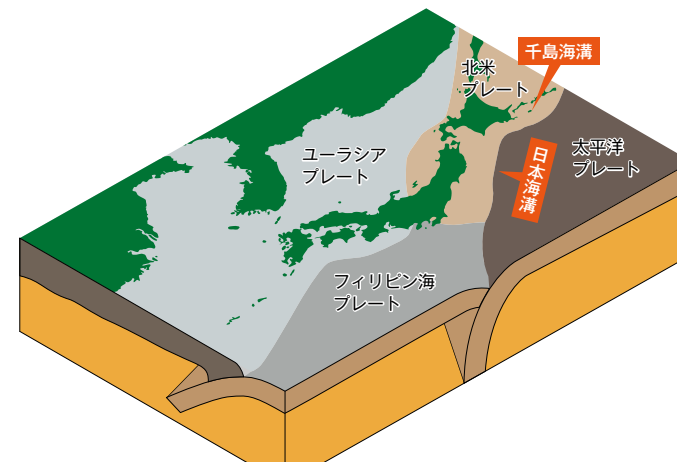
これまで日本海溝付近のプレート境界断層の浅い部分では、「地震性すべりは起こりにくい」と考えられていた。

しかし、その予測を覆すように東北地方太平洋沖地震が発生。海溝軸付近で50mを超す巨大すべりを起こしたということが確認された。

ここでは「なぜ、巨大地震が発生したのか」を理解する手がかりとして、地震が発生するそもそものメカニズムや、

「地震大国」と呼ばれる日本列島の地形の特徴について改めて考えていこう。

Q3 日本海溝と、南海トラフの違いとは？



日本周辺の大陸プレートと海洋プレート。日本海溝や、その南に続く伊豆・小笠原海溝からは、太平洋プレートが沈み込んでいる。南海トラフや南西諸島海溝からは、フィリピン海プレートが沈み込んでいる。伊豆・小笠原海溝付近の古くて重たい太平洋プレートが沈み込む角度は深く、南海トラフ付近の新しくて軽いフィリピン海プレートが沈み込む角度は浅くなっている。

目 本海溝に沈み込んでいる海洋プレートは古くて冷たい一方、南海トラフに沈み込んでいる海洋プレートは新しくて温かいという特徴がある。

一般に海洋プレートは「中央海嶺」と呼ばれる海底の大山脈で誕生し、髪の毛や爪が伸びる程度の速度でゆっくりと移動する。その移動時間が長い（1～2億年）と海水に冷やされて重くなり、短い（1000～2000万年）とあまり重くない。

やがて大陸プレートにぶつかると、沈み込む角度に違いが出てくる。古い海洋プレートは、自重で急角度に折れ曲がりながら沈んでいく。一方、新しい海洋プレートは大陸プレートにぶつかっても、まだ軽いためになかなかスムーズには沈み込まない。そのため、折れ曲がりの角度が浅く、大陸プレートとべったりくっついた状態になる。そのため、南海トラフのような沈み込み帯では固着が強いと考えられている。

JAMSTEC BASEの
関連記事はこちら！

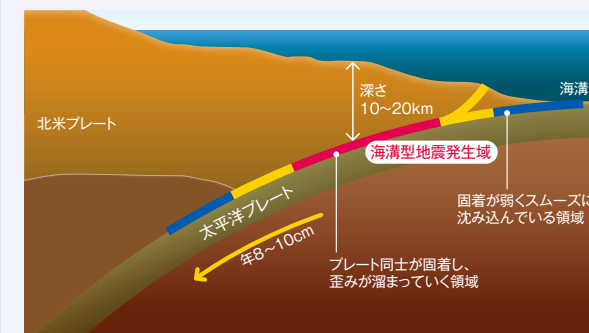


プレートの固着が弱いと巨大地震は起きない？

大陸プレートと海洋プレートの境界は、巨大な断層と見なすことができる。そして一般に「大きな地震は、固着の強い断層で起きやすい」と考えられていた。固着が弱い断層は小さな地震をいくつも起こすが、基本的にいつもすべっているだけだと考えられていたからだ。

このような考えは研究者たちの間で広く信じられていた。実際、2010年までの時点では、知られているM9クラスの地震すべてが、1億年より若い海洋プレートの沈み込む場所で起きていた。また、そのような場所ではほとんど地震が起きていない一方で、固着の弱い沈み込み帯では小さな地震が頻繁に起きているという観測事実もあった。

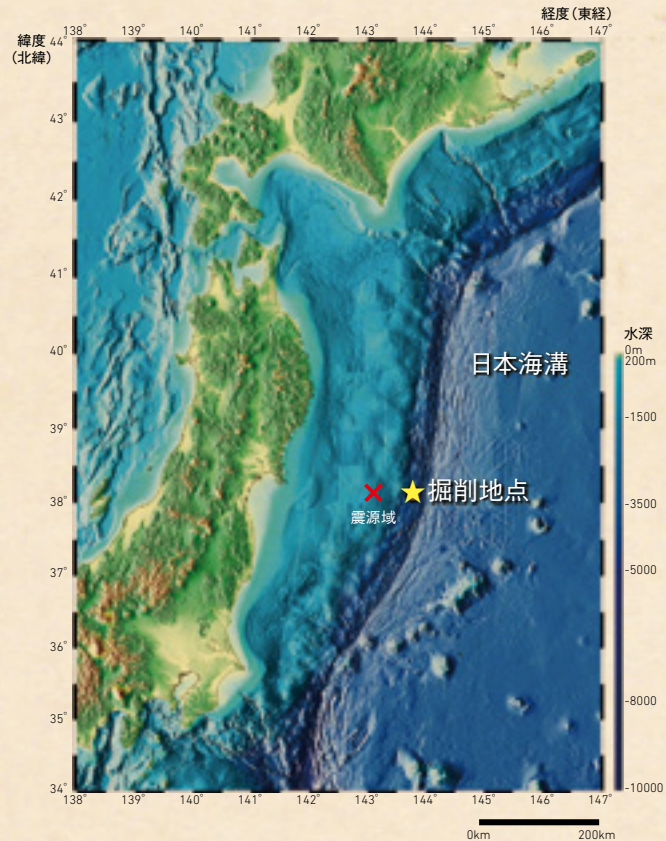
しかし、東北沖地震が起きたのは、固着が弱いとされていた日本海溝のプレート境界。震源の深さは24km、震源域は長さ約500km、幅約200kmと広大で、海溝近辺では50m以上も海底がすべっていたのだ。



従来考えられていた 海溝型地震の発生メカニズム

海溝軸付近は固着が弱く、北米プレートはほとんど引きずり込まれないため、地震のときに大きくすべらないと考えられていた。

調査掘削プロジェクト「JFAST」の緊急始動



地震発生直後に断層の掘削調査を行う重要性／高難易度のミッションへの準備

東北沖地震の発生前は、地震時にプレート境界浅部の断層が大きくずれるとは考えられていなかった。しかし、実際は違った。「プレート境界の地震発生帯における浅部地層にかかる力と歪みの状態は、どのようなものだったのか」。その答えを得るためには、地震発生直後に震源域を掘削し、そこに温度計を設置して摩擦熱を観測。そして、その地層を回収する必要がある。

それには、北米プレート側からプレート境界断層を経て、その下にもぐり込む太平洋プレートまで、水深7,000mの海底を1,000mも掘らなければならない。そんな掘削は、世界中を見渡しても過去に例がない。高難易度のオペレーションを実施するため、悪戦苦闘の日々が続いた。

掘削地点（★の地点）を決めるのは大変なことだった。東北地方太平洋沖地震の震源に近く海底面が大きく動いた場所であること、水深は7,000mより浅いこと（温度計を回収する無人探査機の潜航限界）、海底から断層までの距離は近いことが条件であった。

関連動画「ちきゅうTV」
水深7,000mへの挑戦！



東北地方太平洋沖地震の発生メカニズムは、研究者たちの予測とは大きく異なっていた。

そのため「海溝近くの海底まで延びた断層が、一体どのように作用して巨大地震と大津波を引き起こしたのか」について、新たな地震発生モデルを組み立てる必要があった。そして、地震からわずか1年――。異例の短期間でIODP第343次航海「東北地方太平洋沖地震調査掘削（JFAST）」が启航。最終的に3回に及んだ航海は、幾多の試練をもたらした。



LWD ツールを船上から降下させている様子。掘削の目的によって、異なるツールを組み合わせてつないでいく。写真右は人工ダイヤモンドの歯が付いたドリルビット。

地震断層を見つける

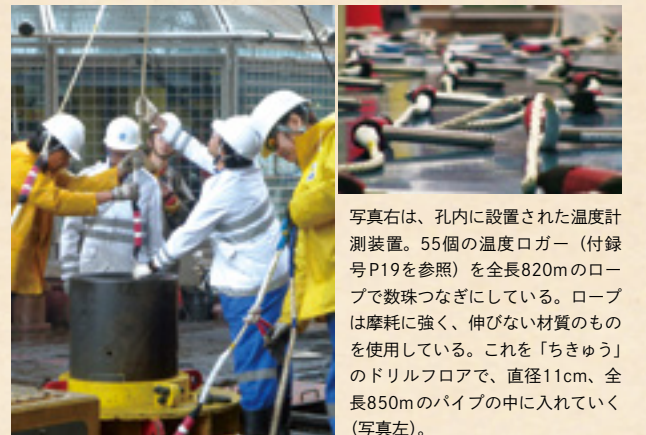
ようやく掘削同時検層（LWD）ツールを海底に降ろし始められたのは、航海21日目。LWDとは、海底を掘削しながら掘っている地層の状態を測定できる装置（付録号P15を参照）だ。順調にデータを取りながら海底下850.5mまで掘削し、836mに「チャート」と呼ばれる岩石の存在を認識したことにより、沈み込んでいる太平洋プレートまで掘削できたことが確認された。

関連動画「ちきゅうTV」
いよいよ掘削開始！



再び航海へ／摩擦熱の直接計測

前回の航海では、目的のひとつであった摩擦熱測定のための温度計測装置を設置することはできなかった。そこで、同年7月5日から再度航海へ出発。今回は数人の限られた研究者だけが「ちきゅう」に乗り込み、最後のミッションを遂行することになった。その結果、海底下854.8mまでの掘削を約15時間というスピードで無事終了。この掘削孔に温度計測装置を設置したのだった。



写真右は、孔内に設置された温度計測装置。55個の温度ロガー（付録号P19を参照）を全長820mのロープで数珠つなぎにしている。ロープは摩擦に強く、伸びない材質のものを使用している。これを「ちきゅう」のドリルフロアで、直径11cm、全長850mのパイプの中に入れていく（写真左）。

関連動画「ちきゅうTV」
孔内温度計の設置



東北地方太平洋沖地震と震源域調査の時系列

2011年3月11日

東北地方太平洋沖地震の発生

宮城県の太平洋沖の海底を震源域とする巨大地震が発生。地震に伴って発生した津波により、太平洋沿岸部は甚大な被害を受けた。

2011年3月14日

JAMSTEC 震源域の調査を開始

JAMSTECは、震源海域の海底で起こったことを調べるために、3月14日に深海調査研究船「かいれい」を日本海溝付近に緊急派遣した。

2011年7月30日～8月14日

震源域の深海底で巨大な亀裂を発見

有人潜水調査船「しんかい6500」による震源海域の潜航調査を実施し、地震活動で生じたものと考えられる、海底の亀裂を発見した。

2012年4月1日～5月24日

IODP 第343次航海（LWDとコア試料採取）

地震時の断層の動きを調べるため、地球深部探査船「ちきゅう」で水深約7,000mの海底を掘削するプロジェクトが行われた。

2012年7月5日～16日

IODP 第343T 次航海（温度計測装置の設置）

前航海で果たせなかった断層の摩擦熱計測のため、新たに掘削した孔の中に温度計測装置を投入した。

2013年4月21日～26日

「かいこう7000-II」が温度計測装置を回収

深海調査研究船「かいれい」と無人探査機「かいこう7000-II」により、JFASTの温度計測装置を回収した。

コアを採取する

関連動画「ちきゅうTV」
地球深部へ！



その後も「ちきゅう」はトラブルが続出。ついに水中カメラ（付録号P21を参照）も故障し、温度計測装置（付録号P19を参照）の設置を断念した。そこで、地震断層のコア試料の採取に焦点を当て、コアリングを開始。LWDの結果から目指す地震断層は海底から約720mと約820mにあると想定されていたため、途中を掘り飛ばして採取を行った。そして5月21日、海底下821.5～824.0mから採取された1mにも満たない17番目のコア試料が、のちに「奇跡のコア」と呼ばれる地震断層であった。



船上に回収されたインナーバレル。すぐに次のインナーバレルが掘削パイプに入れられ、新たなコア試料が回収される。実際のコア試料はインナーバレル内のコアライナーに収納されている。



コアライナーに入っているコア試料を真剣に見つめる研究者たち。ここから船上での研究が始まる。



船上の研究室に並べられたコア試料と研究者たち。最初のコア試料が回収されたのが5月14日、航海が始まってから7週目のことだった。

温度計測装置の回収

回収航海は、温度計測装置の設置から9カ月ほど経った2013年4月21日より、「かいれい」によって行われた。設置された海域に到着した「かいれい」から、無人探査機の「かいこう7000-II」が降ろされ、ソナーを使って探索に取りかかった。4月26日には温度計測装置の回収に着手。55個すべての温度ロガーを回収することができた。

関連動画「ちきゅうTV」
温度データの回収に成功



最下部の温度ロガーのカバーに書かれたメッセージ。「よくガンバッタ!! かいこうチーム回収ありがと!!」。すべての温度ロガーが「かいれい」船上に回収され、メッセージが届けられた。

東北地方太平洋地震は、なぜ起きたのか

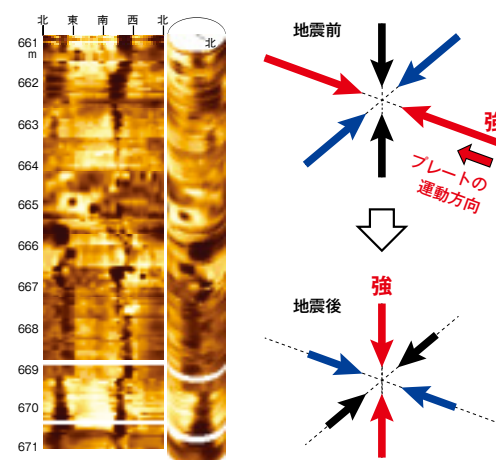
JFASTから 見えてきた 地震の原因

「東北地方太平洋沖地震調査掘削 (JFAST)」は、度重なるトラブルに見舞われながら、あの地震を引き起こしたプレート境界断層のコア試料の採取と、温度計測装置の設置を成し遂げることができた。そして、設置から9カ月後、無人探査機「かいこう7000-II」によってその回収にも成功。その後、コア試料と計測された温度データの分析が進み、ついに巨大地震発生のメカニズムが解明された。ここでは、JFASTの調査航海から見えてきた地震の原因を3つのポイントで紹介していこう。

溜まっていた 応力が解放 されていた

LWDの電気伝導のデータを解析したところ、掘削した孔の壁に溝が発見された。例えば、硬めのドーナツを上下方向から手で潰すと、穴の左右にひびが入る。それと同様に、海底を掘削した際の孔にもさまざまな方向から力がかかっている。そのうち、最も大きな力と直交する方向に割れ目ができるのだ。

ちなみに、地震前の1999年、同じ東北沖で掘削を行った際の応力の方向は、南東から北西。これは太平洋プレートが沈み込む方向と同じだ。一方、新たな掘削孔の場合、最も大きかった応力の方向は上下だった。これは重力、あるいは上に乗っている地層の重さだと言える。そのため、同じ深さで比べれば、地震の前後で変化はない。しかし、地震後にそれが最も大きな応力になっていたということは、水平方向の応力が減っていたということになる。つまり、地震前に蓄積していた応力が、地震によって解放されたと言っていることができるのだ。



LWDで測定した掘削孔壁の比抵抗を、写真のように表した画像（左：海底下661～671m）。明るい部分は比抵抗が高く、暗い部分は低い。本来は円筒状になっている掘削孔を平面に開くと、2本の暗い溝（ブレイクアウト）が北東と南西の壁に入っていることがわかる。この溝を解析したところ、地震前は太平洋プレートの動く方向に最も大きな応力がかかっていたが、地震後はそれが弱まって、相対的に鉛直方向の応力が最も大きくなっていった（右）。
画像提供：林 為人（京都大学大学院）

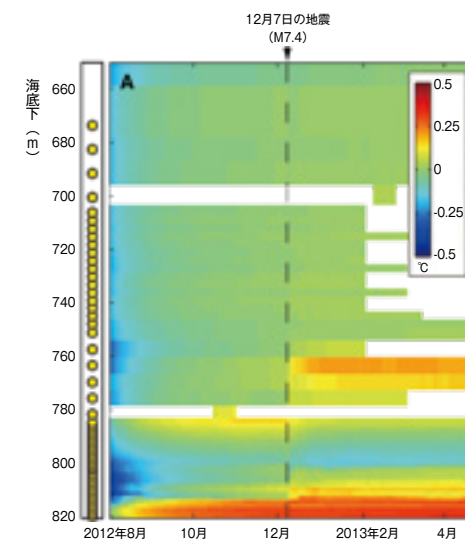
関連プレスリリースの
リンクはこちら！



地震断層は 「つるつる」 していた

地震で断層がすべると、摩擦熱が発生する。JFASTで設置・回収された温度ロガーを分析したところ、プレート境界断層から摩擦熱と考えられる温度異常が検出された。計測結果によれば、プレート境界断層は周囲より0.31℃ほど温度が高かったことが判明している。

この温度異常をもとに、温度計測が地震後約1年半～2年をかけて行われたことも考慮して、摩擦係数（物質のすべりやすさを示す係数）の計算が行われた。例えば、2つの物体を接触させて、真上から10の力で押したとする。この状態で真横から2つの物体をずらそうとしたとき、10の力が必要だったら摩擦係数は1になる。5の力でずらせたなら、摩擦係数は0.5になる。地震時のプレート境界断層における摩擦係数は約0.1と非常に低く、断層がとてもすべりやすかったことがわかった。スポーツのスキーの摩擦係数が0.05～0.1程度であることを考えると、0.1は非常にすべりやすい状態だろう。



断層の温度測定データ。820m付近が周囲より最大で0.31℃高かったことがわかった。

Fluton et al. (2013) より引用

関連プレスリリースの
リンクはこちら！

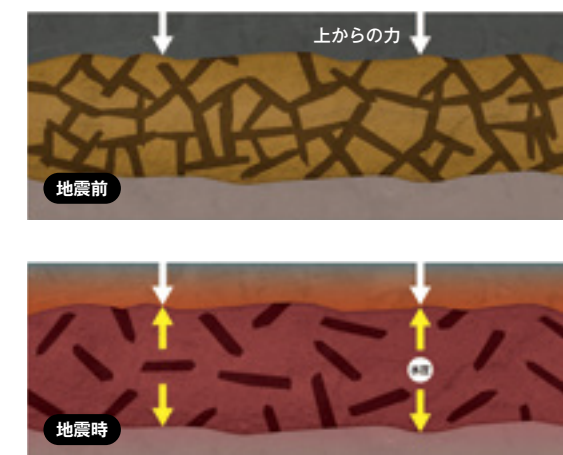


水が断層を ジャッキアップ した

掘削したコア試料を詳しく観察・分析した結果、地震断層の約80%が「スメクタイト」と呼ばれる粘土でできていることがわかった。スメクタイトは、粒子サイズが数ミクロンと非常に小さいという特徴がある。

そもそも断層の中には無数の隙間があり、そこはすべて水で満たされている。地震が起きてすべると、断層の温度は摩擦熱で数百℃にも達し、同時に中の水も熱せられて膨張する。一方、粒子の細かいスメクタイトは水を通しにくい性質を持っているため、膨張した水はどこへも逃げられず、断層の隙間をジャッキアップする。このように水の圧力で隙間を広げられたことにより、よりすべりやすくなったと考えられる。

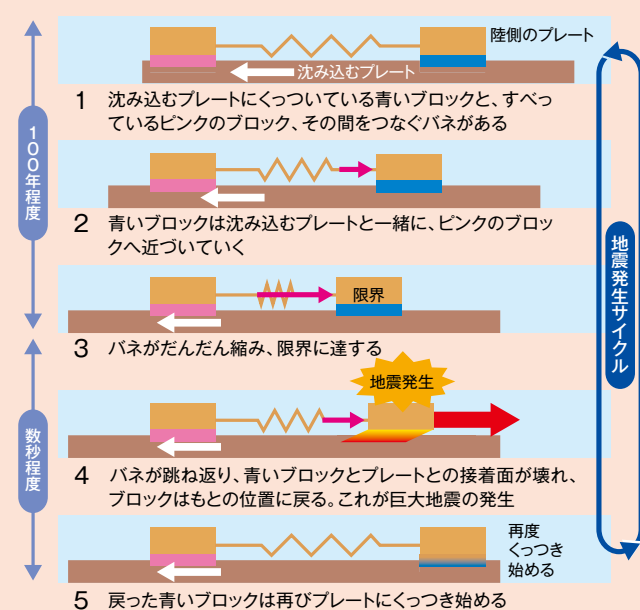
実際、容器の中で地下と同じ圧力をかけ、水を通しながら断層の試料をすべらせた検証実験では、水を通さないときよりも摩擦係数が下がることを確認した。この現象を「サーマル・プレシャライゼーション」と言う。



地震前の断層は上からの圧力で隙間が狭くなっており、比較的、動きにくい状態にある。しかし、地震が起きると摩擦熱で水の圧力が上がり、上からの圧力を押し返しながら隙間を広げる。すると、断層をpushする力が弱まり、動きやすくなる。

巨大すべりを起こした震源断層の固着はどのように回復していくのか？

■巨大地震の発生モデルと地震発生サイクル



アウターライズで巨大地震は発生するのか？

東北沖地震のようなプレート境界型巨大地震に続いて、沈み込む前の海洋プレート（アウターライズ）内で正断層型巨大地震が発生することがこれまでの地震観測により指摘されている。プレート境界型地震については、津波浸水予測が進められ、現実的な想定断層によるシナリオ津波と地震時の津波波形を比較して即時的に予測するシステムが構築されてきた。しかし、アウターライズ地震は震源断層の情報がないため、いまだに想定すべきシナリオ地震が設定できていない。今後、数十年の間にアウターライズ地震が発生する可能性を否定はできないため、日本海溝沖のアウターライズで地下構造探査と地震観測を継続して行う必要がある。

JFASTでは、地震時に断層がすべりやすくなり、歪みが解放されたことで、海溝軸付近の地層に蓄積されていた応力が地震発生時にほぼすべて解放されたことが明らかになった。しかし、地震発生から10年以上が経過した現在、プレート境界断層浅部の固着がどの程度進行し、歪みの蓄積を開始しているのかが解明されていない。その場合、断層の固着のメカニズムも解明する必要があるだろう。また、断層周辺の応力の蓄積状態はどうなっているのか、地層内の流体は断層周辺の応力状態にどのように影響するのかという疑問も残っている。これらの謎を解き明かすため、断層の時空間変化を調査することが必要になる。

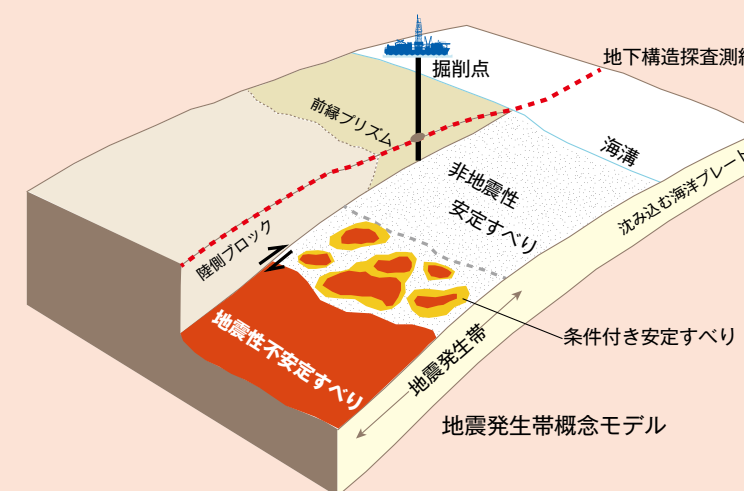
東北地方太平洋 沖地震の「残された課題」とは？

JFASTにより、「東北地方太平洋沖地震の浅部巨大摩擦が非常に低かったことが原因で発生した」といしかし、地震に関する謎のすべてが解明されたわけ現在も数々の研究調査が続けられている。2011年どのような課題が残されているのか。その背景を

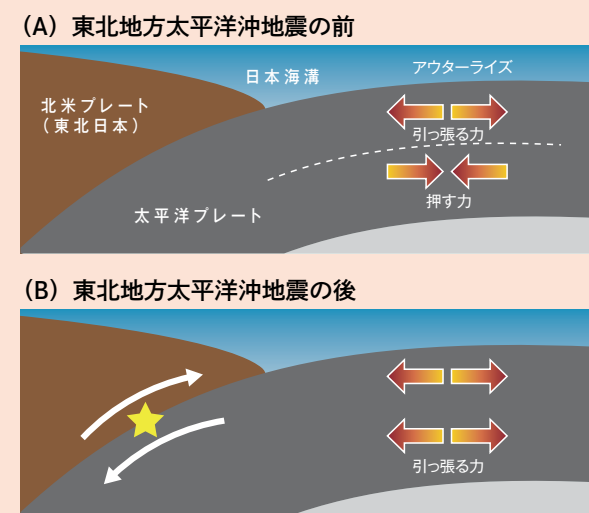
すべりは、地震時の断層におけることが明らかになった。ではない。いくつかの課題を探るために、3月11日から十数年を経た今、東北沖の巨大地震には探るために、ポイントを解説していこう。

海溝軸までの断層すべり・津波の巨大化を決める原因は何か？

東北沖地震を引き起こしたプレート境界から、“奇跡のコア”の採取に成功したJFAST。得られたコア試料からは、地震の原因解明につながる数々の発見がもたらされた。一方、航海中のトラブルにより、すべての地層で連続してコア試料を採取することを断念。そのため、「プレート境界断層浅部の固着によって歪みが蓄積し、その歪みが解消されることで巨大すべりが発生したのか」、それとも「固着はせずに、歪みを蓄積しておらず、深部から浅部に地震破壊が伝播したことで発生したのか」は決着がついていない。この問題を解決するため、地震を引き起こした断層の構造、物性的特徴を改めて調査する必要がある。



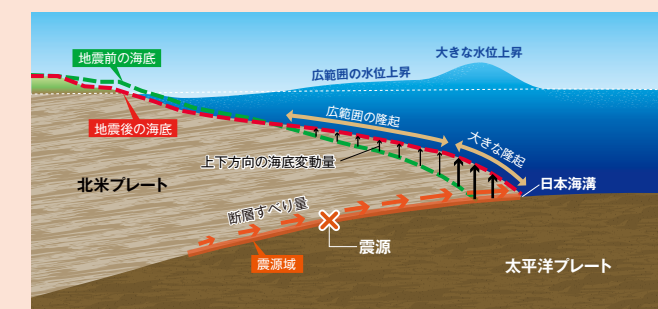
地震断層の構造や物性的特徴を解明していくためには、掘削を含めた総合的な調査観測を実施することが重要になる。
Bilek and Lay, (2002) に加筆



アウターライズの浅部では引っ張る力、深部では押す力がかかっている (A)。しかしプレート境界で地震が起きると、どちらでも引っ張る力がかかり、正断層型地震が誘発されやすくなる (B)。

大地震から十数年経った今でもわからないことのひとつに、三陸沖における津波の波源域の問題がある。波源域とは、津波の原因となる海底の隆起や沈降を起こした領域のことで、震源域と概ね一致するか広くなることが多い。東北沖地震の津波のデータを説明するためには、宮城沖に加えて三陸沖にも大きな津波を生成した波源が必要となるが、海底地形や地殻変動のデータからは三陸沖の大きな海底変動は捉えられていない。この矛盾を説明する明確な答えはいまだない。この問題を解決するためにも、東北沖地震の経験を踏まえ、巨大地震のサイクル、即ち地震前、地震時、地震後の現象をモニタリングすることが重要である。

三陸沖の津波の原因は？

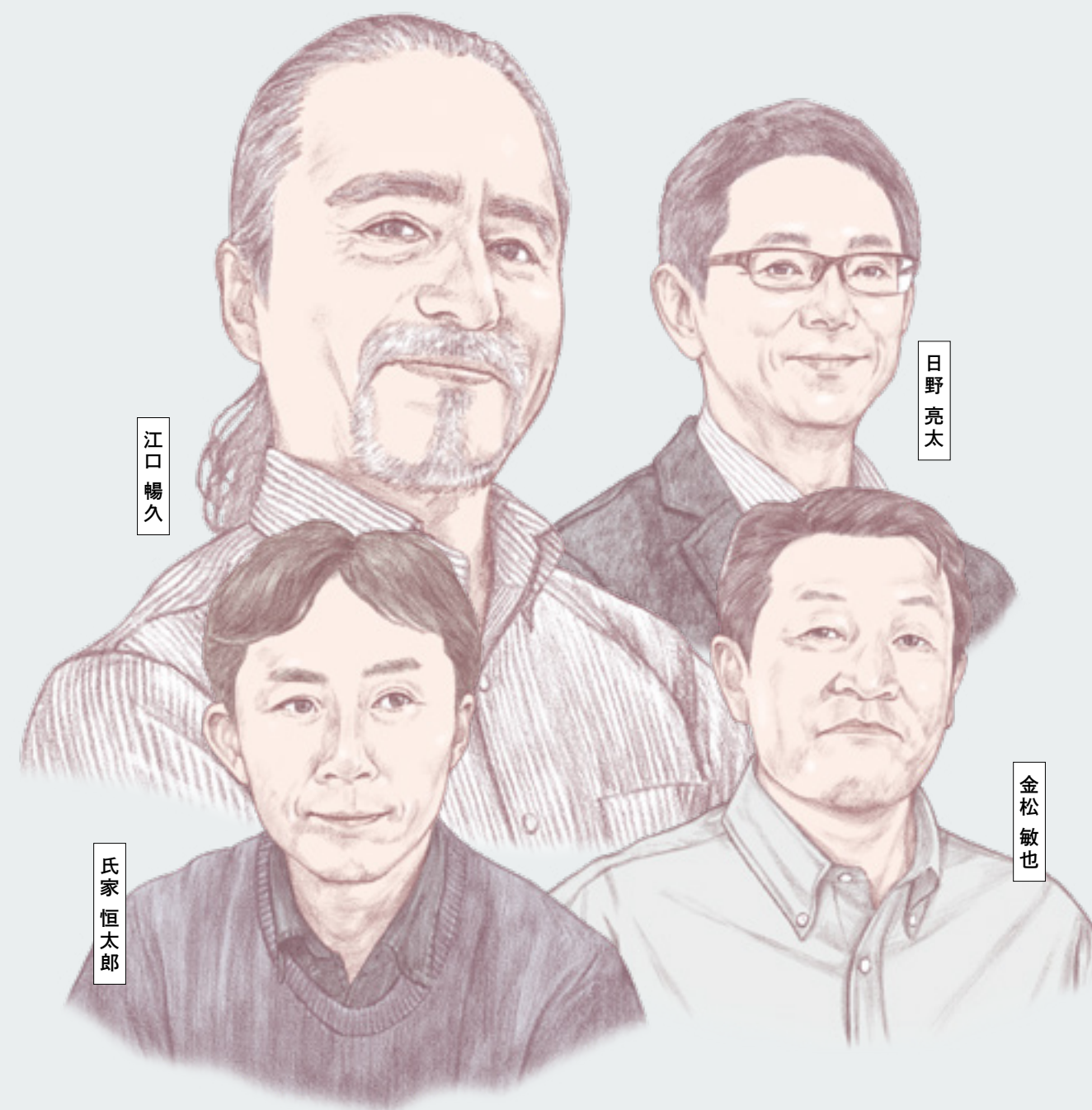


東北沖地震における津波発生の様式図。津波は地震による海底変動に連動し、海面が変動することで発生するが、三陸沖はこれに該当しない。
『特別展 深海2017』より引用

JTRACK、 始動



JTRACK公式ページの
リンクはこちら！



「千年に一度」の巨大地震、さらなる探究へ

東北地方太平洋沖地震における巨大断層すべりの解明に、決定的な結果をもたらしたJFASTの掘削航海。

そして、2024年9月12日、その巨大地震発生メカニズムの理解を大きく進展させるため、

IODP第405次航海（JTRACK）がついに実現する。

JFASTが掘削調査を行った日本海溝に再びアクセスし、コア試料の採取、掘削同時検層、

温度計測装置の設置を実施。前回は解き明かせなかった地震断層の全貌と、

時を経たその様子を調査することで、残された謎に迫るのだ。

このパートでは、JTRACKに参加する8人のプロジェクトメンバーにインタビュー。

貞観地震以来の「千年に一度の変動現象」という

今この瞬間にしか立ち会うことができないテーマに挑戦する、地球学者たちの想いを聞いた。



JAMSTEC 海域地震火山部門 部門長

小平 秀一

専門は海域地球物理学。北海道大学理学研究科地球物理学専攻で博士（理学）を取得。その後、北海道大学理学部を経てJAMSTEC（当時の海洋科学技術センター）に着任。2019年度より現職。海域地球物理観測によりプレート境界での地震、火山など変動現象とそれらに起因するハザードに関する研究を進めている。

12年の時を経て実現する、 念願の掘削航海

JFASTの直後から計画されていたという、今回のJTRACK。12年の歳月を費やし、ようやく航海が始まる。そこで、東北地方太平洋沖地震における地震発生メカニズムの完全解明を目指すJTARACKの計画と意義について、共同首席研究者の代表としてプロジェクトに参加する海域地震火山部門の小平秀一部門長に話を聞いた。

ようやく実現にこぎ着けた JTRACKの掘削航海

「やっと実現したという想いがあります。想像していたよりも長く時間がかかりましたね」

JTRACKの共同首席研究者の代表を務めるJAMSTECの海域地震火山部門の部門長・小平秀一さんに今の心境を尋ねると、そんな率直な言葉が返ってきた。JTARCKのプロポーザルを書いたのは、約12年前。小平さんはJFASTの調査航海直後の段階から「すぐにJTRACKを始動させる必要がある」と主張していた。それには「JFASTで掘削したのは、大きくすべったプレート境界近くの地震断層のみ。しかし、東

北沖地震の震源地は、南北に500km、東西に200kmもある巨大な場所。その広い範囲の時空間分布を確認しなければ、巨大地震の全貌を明らかにできないのではないか」という想いがあったからだという。

「ただ、IODPは非常に大きなプロジェクトです。新たな掘削航海を実施するには、財政的な観点から考えても簡単なことではありません。そこで、『どうすれば実現が可能なのか』ということ念頭に置いてプログラムを検討し、いくつもの調査をコンポーネントとして組み合わせ、その一つひとつを切り離してもJTRACKの科学目的が実現できるような構成にしたのです」

いまだに解明されていない 巨大地震の3つの謎

今回、JTRACKが調査の柱とするのは、主に東北沖地震における3つの疑問の解明だ。まず、地震断層の構造、物性的特徴がどのようなものか。次に、地震発生から時間が経った現在の断層周辺の応力はどの程度蓄積されているのか。そして、断層の固着強度回復に

伴う断層周辺の流体挙動の時空間変化はあるのか、である。

「先ほども触れたように、前回のJFASTでは、プレート境界断層の近傍で部分的にしかコア試料を採取できていません。そのため、まず連続してコア試料を採取して、地震時にずれた断層はどこにあるのか、それは1枚なのかあるいは複数枚なのか、どういう状態であるのかを確認しなければいけません。また、次の地震に向けて、地震断層がどの程度固着を始め、摩擦強度を回復しているのかも計測する必要があります。加えて、JFASTでは地震に伴う巨大すべりによって断層内の流体の圧力が上がったことが示唆されていますが、その流体が何者でどこから来ているのかということも明らかにしなければいけません」

これらの目的を達成するために、JTRACKでは2つの地点で掘削調査を実施する。ひとつは、JFASTでも掘削を実施した巨大すべりが発生したプレート境界浅部（JTCT-01A）、もうひとつは沈み込む太平洋プレート上（JTCT-02A）である。

「JTCT-01Aは、言うなれば海から来

ている堆積物が積み重なっている場所。そのどこかにプレート境界断層がつくられていて、地震時に大きくすべったということが考えられています。しかし、その断層はぐちゃぐちゃに混ざってしまっている可能性がある。そのため、断層帯域と比較するために未変形の堆積層を掘り抜くサイト（リファレンスサイト）として、プレートが沈み込む前のJTCT-02Aも同時に掘削します」

研究者の中で生まれた 新しいサイクルとは？

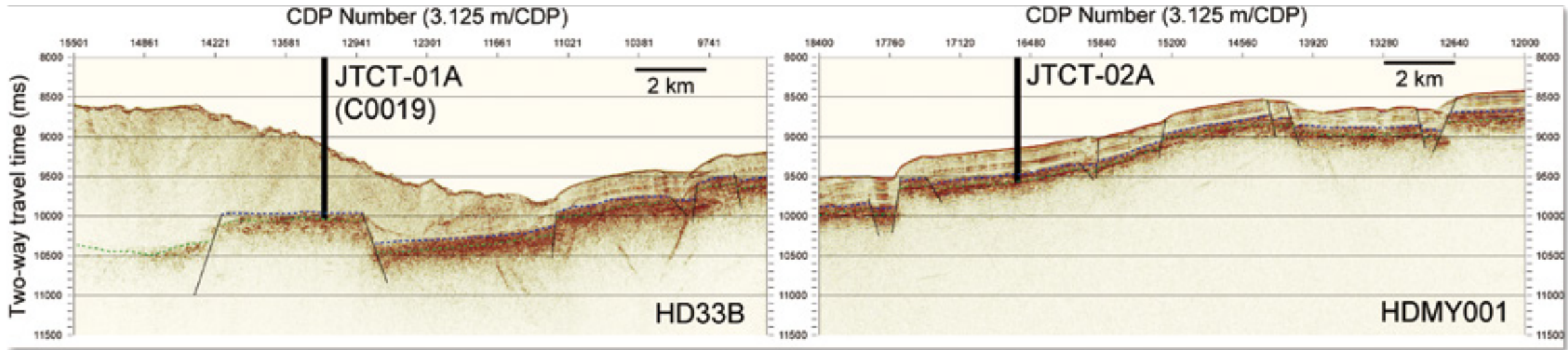
乗船期間が3カ月にも及ぶ、今回の掘削調査。この一大プロジェクトを牽引するのが、日本、アメリカ、ヨーロッパ・カナダの6人の共同首席研究者たちだ。その中の多くは、12年前のJFASTのときにも参加した、当時の大学院生や若手研究者だという。

「今回もまた新しい若い研究者たちが『ちきゅう』に乗船します。そんな彼らを、今や中堅となった共同首席研究者たちがリードしていく。そして今後は、その若い研究者たちが次の世代を引っ張っていくようになる。そのような良いサイクルが生まれたことに対して、非常に感慨深い気持ちがあります」

一方、1人の地震学者として、JTRACKへの想いも高まる。

「私は、地球上で起こってきた大変動現象、それも突発的に起こる地震現象をしっかりと描き出したいという想いがあります。そのひとつが東北沖の巨大地震です。『千年に一度』とも言われるこの地震の謎に迫れるのは、今を生きている地球学者にしかできないこと。あのとき何が起きたのか、JFAST、JTRACKで得た経験を活かして今後も研究を進めていきたいと思います」

海洋調査船「かいよう」深海調査研究船「かいいい」による反射法地震探査によって得られた地下構造。JTRACKでは、日本海溝を挟んだJTCT-01A（地震時巨大断層すべりを起こしたプレート境界断層に到達する、JFASTで掘削を行ったC0019と同一地点）、JTCT-02A（太平洋プレート上の未変形の堆積層を掘り抜く点）の2点からなる海溝横断掘削を実施する。



JTRACKにおける「3つの目的」とは？

東北地方太平洋沖地震に関するさまざまな研究成果が得られた、前回のJFAST。
しかし、依然として3つの問いが残されている。
JTRACKでは、地震が発生した日本海溝で再度、「ちきゅう」による調査を実施。
JFASTで掘削調査が行われた海域を再訪し、地震後の断層固着回復過程、プレート境界断層浅部のすべりメカニズム、沈み込み帯の物質特性がプレート境界断層に与える影響の解明に挑戦する。

JTRACKで目指すこと

JFASTで残された課題をまとめると、次の通りとなる。

地震を引き起こした断層の構造、物性的特徴はどのようなものか？
すべりの挙動をコントロールする要素は何か？

地震発生から10年以上が経過した現在の断層周辺の応力の蓄積状態はどうなっているのか？

地層内の流体は断層周辺の応力状態にどのように影響するのか？

これらの問いを明らかにするため、JTRACKでは、前回の調査域を再び訪れ、
コア試料の採取 **掘削同時検層** **長期孔内温度計測システムの設置** を行う。
これらの計画を実施することで、以下の3つの目的を達成することを目指している。

- Objective

1

沈み込む前の未変形堆積層からの試料を採取し、前縁プリズム[※]やプレート境界断層の物質の情報を得る。また、断層帯周辺では連続的にコア試料を採取し、構造解析や室内実験により断層岩の特徴を明らかにする。
- Objective

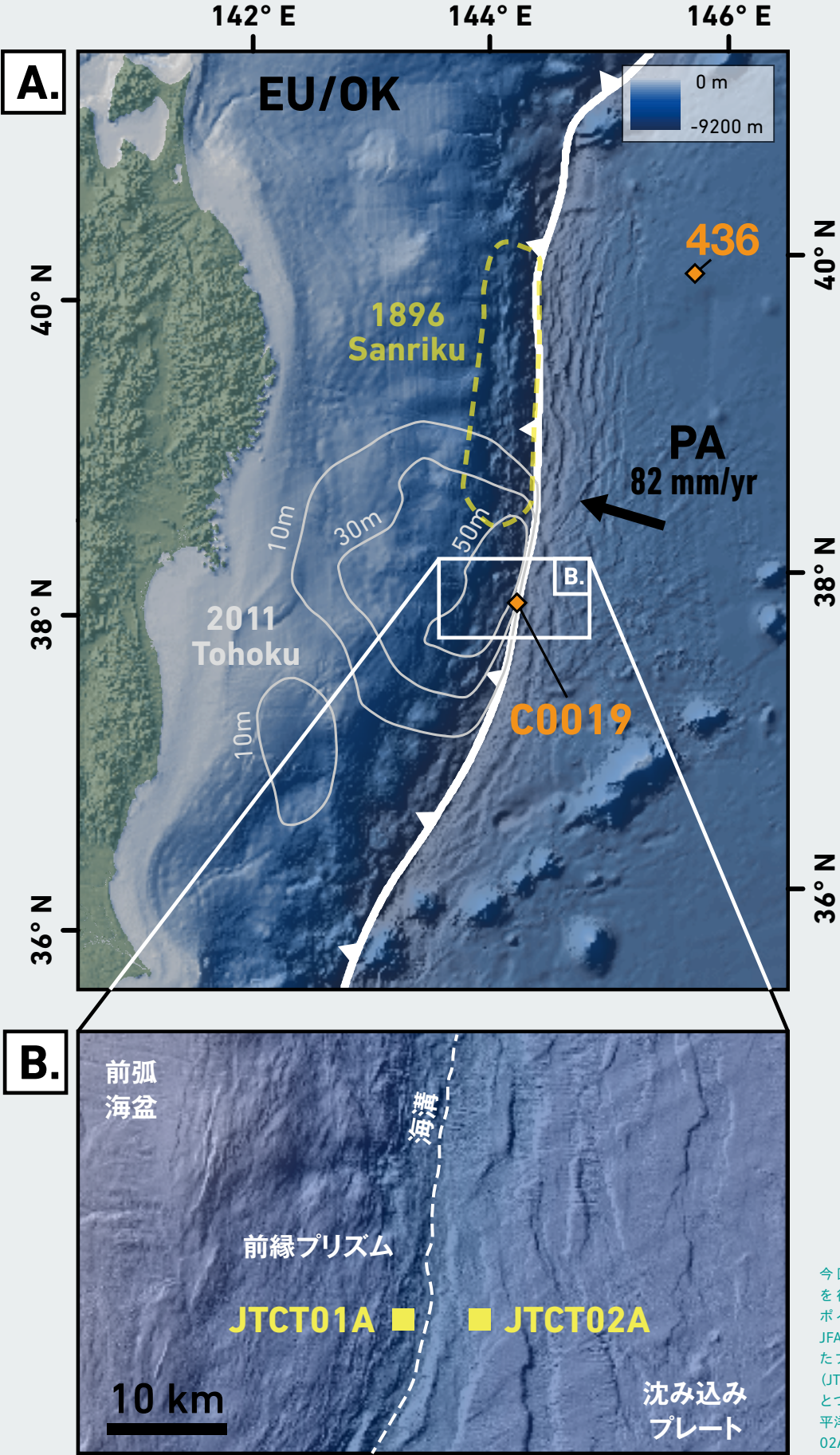
2

孔内計測データやコア試料の物性測定、海底測地観測を統合し、東北地方太平洋沖地震で大きくすべった断層およびその周辺の応力状態の時間変化を調べる。
- Objective

3

前縁プリズムやプレート境界断層周辺の流体の特徴を明らかにする。

※上盤側プレートの最先端部（最も海溝寄り）は、柔らかい堆積物で構成される。楔型（三角形）の形状を持つことからプリズムと呼ばれている。



IODP Exp.405 Scientific Prospectusの図を改変
DOI : 10.14379/iodp.sp.405.2023



地下構造データで、 海底下を可視化する

JAMSTEC 海域地震火山部門
地震発生帯研究センター グループリーダー

中村 恭之

専門は固体地球物理学。京都大学大学院理学研究科で博士（理学）を取得。京都大学防災研究所、東京大学海洋研究所・大気海洋研究所を経て、2010年よりJAMSTECに着任。2022年度より現職。地震波を使った地下構造調査（主に反射法地震探査）によって断層や変形構造を明らかにし、地下構造と巨大地震との関わりに関する研究を行っている。

前回のJFASTにおいて、調査の要となった掘削ポイントの選定。その際の地下構造探査を行ったのが、海域地震火山部門のグループリーダー・中村恭之さんである。JFAST後から2018年にかけては、日本海溝全体の地下構造も可視化することに成功。現在中村さんは、JTRACKを前にどのようなビジョンを思い描いているのだろうか。

地震学の研究者として 打ちのめされた東北沖の地震

海域地震火山部門のグループリーダー・中村恭之さんにとって、2011年3月11日に東北沖で起きた巨大地震は「地震学に関係している研究者とし

て、打ちのめされた現象」だったという。以来、「このような状況に対して、何ができるのか」を考え続けていた中村さん。今回、JTRACKのプロジェクトが始まることにより、ようやく絶好の機会が訪れたことを実感していると話す。

「大きな地震が起きると、私たち研究者は『次に何が起こるのか』を考えます。例えば、動いた断層はあたかも傷が回復していくような形でだんだんと歪みを溜め始める。この回復過程がわかれば、次の地震がいつ頃に起こるのかわかってくるかもしれない。今回のプロジェクトは、そのような現象を理解するための重要なチャンスになると考えています」

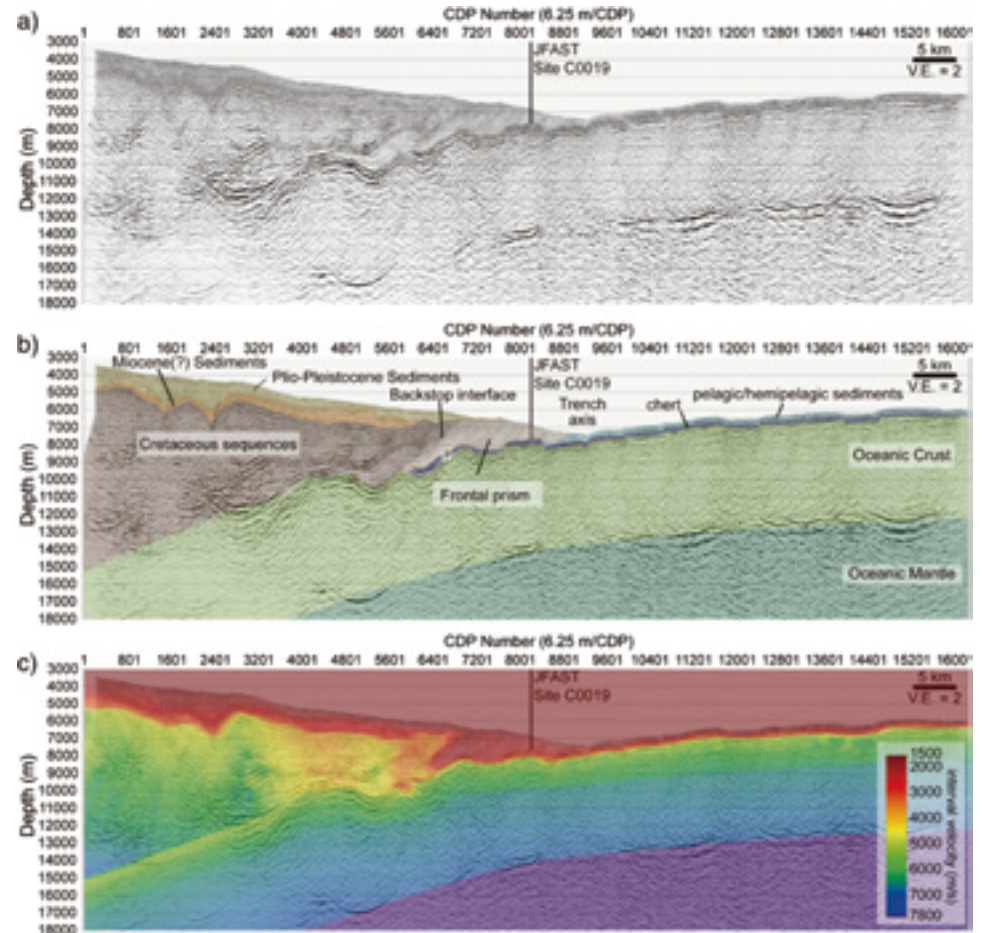
海底下の構造を、 “音”で可視化する

中村さんの専門は、反射法地震探査による海底下の地下構造の研究である。反射法地震探査は、海面近くで発した大きな衝撃波を利用して、海底下のレントゲン写真、あるいはCT（コンピュータ断層撮影）を撮るようなシステム。前回のJFASTでは、反射法探査やマルチナロービームを用いた海底地形調査などの探査手法を駆使して、航海の要となる掘削地点を決定する調査を実施した。

「一方、JFAST後は、掘削で得られたコア試料と地下構造調査の推定結果のデータを照らし合わせながら分析を行いました。そもそも掘削というのは、掘り進めた“点”の情報だけしかわかりません。そこで、私たちは反射法地震探査などの地震波を使った調査を実施することで『音がどの程度の速さで岩石を伝わるか』を計測し、広域の“面”の情報を確認していきました。例えば、JFASTで掘削した孔のあたりでは、岩石の中を2km/s弱程度のスピードで音が伝わったことがわかっています。一方、陸側に向かっていくと急激にスピードが上がっていく。このように急に音が伝わる速さが変わるといことは、岩石の硬さに変化があると推測できます。このように岩石の強度などの性質の様子なども併せて捉えることで、海底下の様子を可視化していったのです」

さらに中村さんは、2017年までに東北沖地震が発生した日本海溝全体も調査した。

「東北沖地震は非常に大きな地震であったのに、地震が起こり始めた箇所の周辺のプレート（主に宮城沖周辺）しかすべていません。そこで、北側や南側がなぜすべらなかったのかを理解



JFASTの掘削孔を通る地下構造断面。上から順に、反射断面、反射断面に地質的な解釈を加えたもの、反射断面にP波（地震波の進行方向に揺れる縦波）の速度を重ねたもの。

Nakamura et al. (2014) による

するために調査を進めていったところ、日本海溝で発生する巨大地震のすべり域やゆっくり地震の発生域と、太平洋プレート上の堆積層の厚さや折れ曲がり断層、基盤の起伏、地溝・海溝充填堆積物の分布、正断層の分布などの中には、一定の対応があることがわかりました。ただし、その対応は単純ではなく、今後さらなる調査・研究が必要だと考えています」

LWDを利用し、 精度の高い構造理解へ

現在JTRACKの準備が進む中、中村さんが特に注目しているのは、JFASTでも実施されたLWDから得られる物

性データだ。これまでに調査を終えている日本海溝の広域の地下構造のデータに、掘削される沈み込み帯最先端部から得るさまざまなデータを対比させることで、さらに精度の高い構造理解が望めるのだという。精度よく対比を行うために、新たな構造データの取得も計画している。

「今回はJFASTで掘削したポイントに加え、太平洋プレート上も掘削します。このサイトの調査は、プレートが沈み込んでいく過程を理解する大きな手がかりになるでしょう。JTRACKでは、そのほかにも私たちだけでは研究できないほどの膨大な情報が得られるはず。それらの情報をほかの機関や他国の研究者たちと一緒にシェアしながら研究

を進めていくことで、巨大地震発生のメカニズム解明に向けて、新たなつながりを広げていくことができます」

また、「生きている地球」をテーマとする研究者が、その場で起こった変動現象に対してどのように対峙したのかを記録できるということも大きな意味を持つと中村さん。

「次の世代の研究者たちが同じ現象を経験するという保証はありません。だからこそ、この貴重な調査で得た知見をしっかりと後世に残していきたいと思っています」



「巨大地震の準備過程」を徹底探究する

JAMSTEC 高知コア研究所 研究所長

廣瀬 丈洋

専門は構造地質学、岩石力学。スイス連邦工科大学ポストドク研究員、京都大学大学院理学研究科日本学術振興会特別研究員（PD）、イタリア国立地球物理火山研究所上級研究員などを経て、JAMSTECに着任。2022年度より現職。自然断層調査と室内実験を連携させながら地震断層の性質を調べる研究を行っている。

JFASTでの調査航海を通じ、これまで東北地方太平洋沖地震に関する多くの研究成果を発表してきた、高知コア研究所の研究所長・廣瀬丈洋さん。JTRACKの航海を「これまでの仮説検証の結果を、自然界で明らかにできる唯一の調査」と位置付け、巨大地震発生のメカニズムの探究に向けて大きな期待を寄せているという。

巨大地震の謎を解くのは、この時代の研究者の使命

「東北沖地震というのは、『千年に一度』とも言われるほど非常に長い周期を持っているのが特徴。そのため、東北沖地震を目の当たりにした世代というのは、非常に限られていると言えます。ならば、巨大地震がどのように発生するのか、そのメカニズムに関するすべてのことを現在の科学技術を用いて解明したい。それがこの世代を生きている研究者の役割なのではないかと考えるのです」

JFASTに始まり、JTRACKへ向かう現在の心境をこのように語るのは、高知コア研究所の研究所長を務める廣瀬丈洋さんだ。2012年、廣瀬さんは「ちきゅう」にはじめて乗船して、JFASTに参加。以来、主に岩石や鉱物の摩擦特性という視点から地震のメカニズム解明にアプローチし、東北沖地震の際の大きなすべりの原因として粘土鉱物・スメクタイトの存在や東北沖プレート境界浅部～深部の摩擦特性など、数多くの研究成果を発表してきた。

このような研究の過程で、「東北沖地震における巨大すべりのメカニズムについては、JFASTの研究調査である

程度わかってきた」と廣瀬さん。「ただ、東北沖地震において特に重要なのは、海面から20kmの深さのところに震源があり、そこから破壊が伝播して、プレート境界浅部で大きなすべりが起こったこと。このような『プレート境界断層全体で、地震前後に何が起きているのか』を理解することができなければ、東北沖地震の解明にならない」と説明する。

次の巨大地震は、すでに始まっているのか？

「そのような意識の中で、私たちが特に注目してきたのは、『次の巨大地震

に向けて、海底下でどのようなことが起きているのか』ということです。よく『次の地震へ向けた断層の準備過程』という言葉を使って表現をしますが、高知コア研究所ではそれがどのように進行しているかを調査するために、実験室での仮説検証を繰り返して行ってきました」

地震現象は、バネで重りを引っ張るバネ・ブロックモデルでよく説明される。バネをゆっくり引っ張り続けるとバネが伸び、床と重りの間の摩擦がバネの引っ張る力に耐えられなくなったタイミングで重りが一気にすべり、バネが縮むという現象が繰り返される。この「スティックスリップ」と呼ばれ

る現象は、海洋プレートの沈み込みにともなって引きずり込まれた上盤が、^{ひず}歪む力に耐えられなくなって一気に跳ね上がるという地震発生のメカニズムを表しているのだ。

「このスティックスリップ現象を観察していると、次の地震に向けた準備過程を調べる上で、注目すべき点がわかります。まず、巨大すべりを起こした断層の摩擦強度がどの程度回復してい

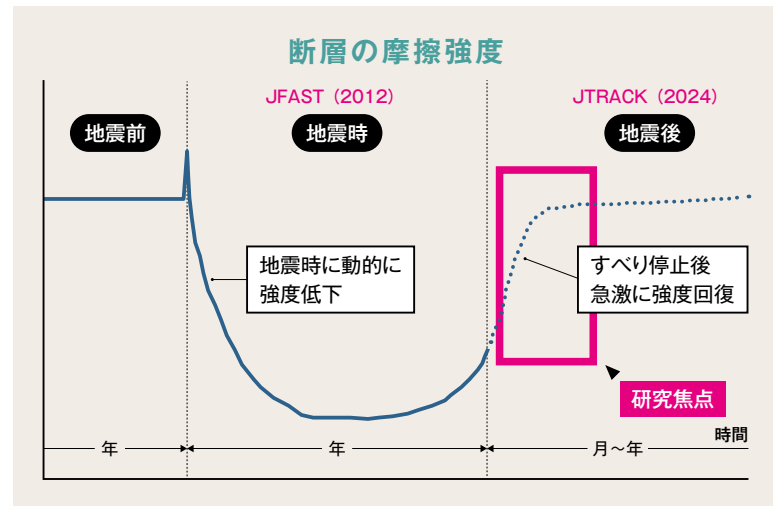
るのか、ということ。すべり時に摩擦強度は小さくなりますが、小さいままではバネに相当する部分に歪む力を蓄積することができません。そこで、高知コア研究所では、地震発生帯の高温・高圧の環境下で地震時の高速すべりを再現することができる実験装置を開発。高速すべり後にどのように断層の摩擦強度が回復するのかを調べています。次に、上盤のバネに相当する部

分で歪む力をどの程度蓄積できるようになってきているのか。この歪み蓄積能力を確認するには、プレート境界断層近傍からコア試料を採取し、その中にある地震時に歪みが解放されたことによって生まれたひびを分析することが重要になります。このひびは、時間の経過とともに海底下の温度や圧力などの影響で閉じていき、再び割れる前のように力を蓄える能力を回復していくと考えられるため、JFASTで採取したコア試料や検層データとJTRACKで得られたものを比較する必要があります。歪み蓄積能力は、JTRACKで採取されるコア試料の物性計測のほか、コアリングの際にドリルパイプにかかるトルク値から推定することができると考えています」

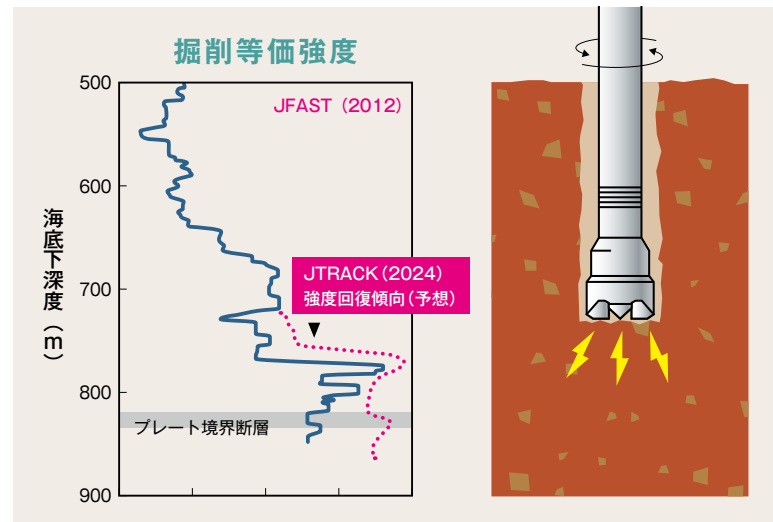
時空間変化を比較することの重要性

JTRACKの調査航海を通じて、廣瀬さんは東北沖地震の解明が劇的に進むことを確信する。一大プロジェクトが目前に迫る今、その調査の重要性を噛み締めている最中だという。

「JFASTは巨大地震発生のメカニズムを解明するための多くの発見を生み出しました。しかし、JFASTの調査航海だけでは巨大地震を生み出す地震の準備過程など、わからないことが多いのも事実。だからこそ、もう一度同じ場所を掘削して自然界での地震準備過程を調べるとともに、実験室で得られている仮説を検証したい。そして、このプロジェクトで培った科学掘削の知見を活かし、将来的な減災に貢献できたらと考えています」



室内実験に基づく地震サイクルにおける断層の強度変遷の仮説。地震時の高速すべりが停止した後、断層の強度は瞬間的に増加して、その後時間の対数に比例してゆっくり回復する。



掘削時に掘削ビットにかかるトルクや荷重のデータから地層の強度（掘削時の強度）を測定。JFASTの掘削パラメータデータと比較し、破壊ダメージを受けた断層周辺の強度（歪み蓄積能力）が、地震後10年間でどの程度回復するのかを明らかにする。

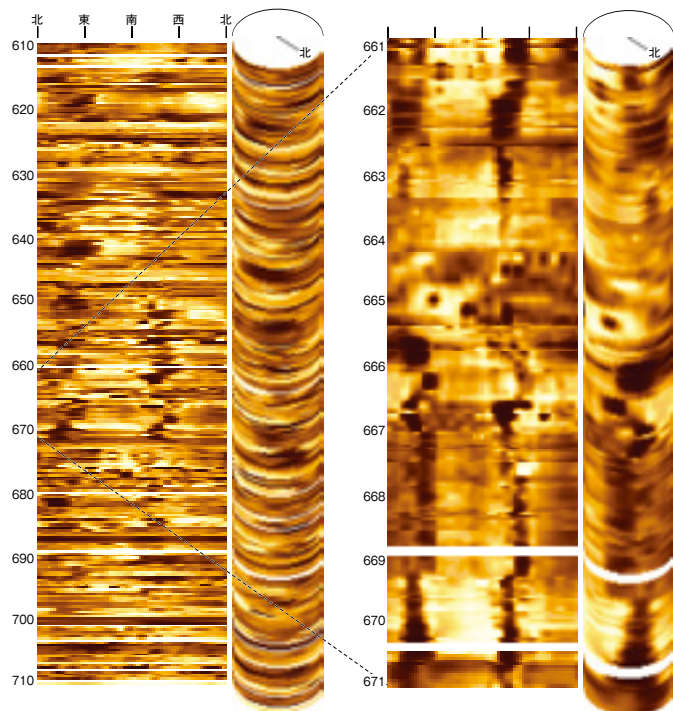


断層の固着は、 本当に進んでいるのか？

京都大学大学院 工学研究科 都市社会工学専攻 教授

林 為人

専門は固体地球科学。1992年東北大学大学院工学研究科修了、博士（工学）。その後、JAMSTEC 高知コア研究所 グループリーターを経て、2016年京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻地球資源システム分野教授。コア試料や物理検層データなどを用いて、地下・海底下深部地層の応力状態と物理的性質に関する研究を進める。



LWDによって測定された電気伝導度のイメージ。暗い部分が電気を通しやすいブレイクアウト。
Lin et al. (2013) から作成

JFASTの調査結果から、「巨大地震によってプレート境界断層に蓄積されていた力がほぼ解放されていた」ということを発見した、京都大学大学院工学研究科教授の林為人さん。今回のJTRACKに「十数年の時間を経た断層がどのように変化しているのかを解明する機会」だと期待を寄せる一方で、複雑な想いも抱えているという。

トラブルが続くも

大成功だったJFAST

甚大な地震と津波災害を引き起こす断層破壊のメカニズム解明という研究テーマを掲げてJFASTに参加した京都大学大学院工学研究科教授の林為人さん（当時、JAMSTEC 高知コア研究所に所属）。あれから十数年の時を経た今、再び日本海溝の掘削を行うJTRACKに向けた気持ちをこう語る。

「日本海溝をもう一度調査できるということが決まったときは、やはりうれしい気持ちでいっぱいでした。東北沖地震は多くの被害を生み出した自然災害です。しかし一方で、そのような巨大な災害を起こす地震断層を研究する上で、とても価値の高いフィールドとなったのも事実。実際、前回のJFASTの調査航海では、非常に多くの発見を手にすることができました」

2012年4月1日、林さんも乗船していた「ちきゅう」が出港。そこから5月下旬まで続く研究航海の中で中盤を過ぎるあたりまでは「悪天候や機材のトラブルが続き、掘削作業がほとんど進まない」状態だったと言う。しかし、4月21日～27日にLWDのデータを、航海終了まで数日に迫った5月21日には“奇跡のコア”を採取することに成功。「終わってみれば非常に良い、大成功の研究航海でした」と振り返る。

ほぼ解放されていた

断層の応力

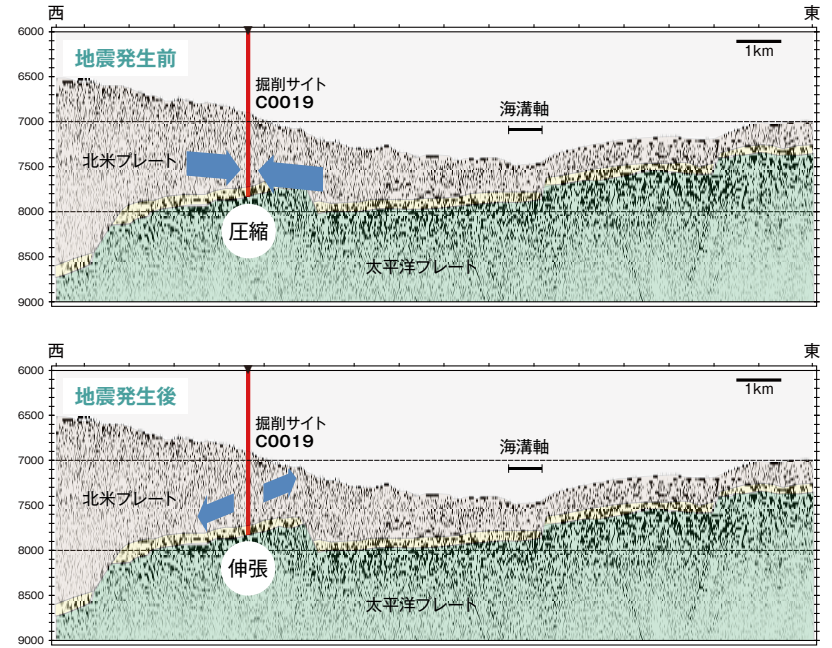
その後、JFASTで得た成果をもとに巨大津波を引き起こしたプレート境界断層の実像を明らかにする研究が進められた。

「50mという非常に長い距離をすべった要因は2つありました。ひとつは『すべらせる力があった』ということ。もうひとつは『すべりやすいものがあった』ということです」

「すべりやすいもの」は、コア試料の分析から得られた粘土鉱物・スメクタイトの存在が挙げられる。一方、「すべらせる力」というのは、断層もしくは地層中に蓄えられた「応力」である。応力とは、物体に外から力がかかったとき、その物体内部で生じる、押し合ったり引っ張り合ったりする力のこと。断層に蓄積していく応力が、断層が破壊されずに持ちこたえる力よりも大きくなると、断層の破壊が起きて一気に大きくすべり、地震が起きるのだ。林さんは、この応力計測と解析を行ってきた。

「JFASTのとき、LWDで掘削した孔内の壁のイメージを分析したところ、部分的な崩壊が発生していることを確認しました。これは、水平方向に圧縮された応力によって岩石が耐えられずに破壊される現象で、『ボアホールブレイクアウト』と言います。このボアホールブレイクアウトから地震直後の断層の応力を解析したところ、プレート境界断層の直上と直下では、地震前までに蓄積されていた力がほぼ完全に解放されていたということがわかったのです」

こうして緩みきったバネのようになった断層。それが十数年の時を経てどうなっているのか？ 再び圧縮され、



断層より上の北米プレートは、地震発生の前後で圧縮から伸長へと応力場が反転した。
Lin et al. (2013) から作成

力を蓄え始めているのか？ それとも緩みきったままなのか？ それが解明できれば、津波を発生させたあのプレート境界断層がまた次の地震へ準備を始めたかどうかわかる。それを調査するのが、今回のJTRACKの最たる目的なのだ。

JFASTと同様の、

掘削作業の難しさ

「断層の回復具合を確認するには、JFASTから得られたデータと比較することが大切です。そのため、今回のJTRACKの調査航海でも、前回と同様の手法で調査を実施することが望ましい。ちなみに、LWDの解像度はJFASTのときよりも上がっていますし、解析に使うソフトウェアもアップデートされています。また、コア試料の応力解析にはAIを使って、生データに含まれるノイズなどをキャンセルできるように改善を図っていますので、より高

い精度で結果が出るでしょう」
ただし、それは掘削がうまくいった上での話だ。

「JTRACKもやはり掘削が難しい。仮にうまくいったとしても、『果たして、ボアホールブレイクアウトが発生しているのか』というところも重要になります。これがあるとないとでは、応力解析から得られる情報の量と質が違ってくる。また、発生していなかった場合、『そもそも断層が固着していない』という解釈になる可能性もあります」

断層が固着している、すなわち回復しているというのが、現在の科学的な仮説だ。それを実証しに行くはずが、覆ることがあるかもしれない。とはいえ、「どっちに転んだとしても、巨大地震発生の謎を解く大きな手がかりになる」と林さん。

「今は期待と不安が入り交じっている心境ですが、私たち地球学者の願である巨大地震のメカニズム解明に向けて、全力を尽くしていきたいと思います」

JTRACKの掘削計画

(2024年3月時点)

掘削計画

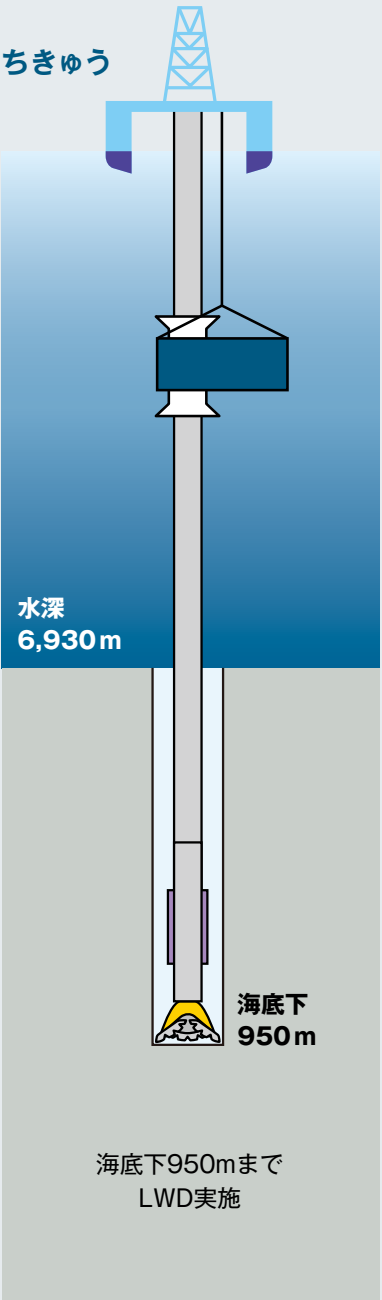
今回のJTRACKでは、地点JTCT-01AとJTCT-02Aの両方でLWDとコアリングを実施。JTCT-01Aでは海底下の地中温度の詳細な深度プロファイルをとるため、温度計測装置を設置することを計画している。

LWDでは、さまざまなセンサが取り付けられたツールを用いて、海底下を掘削しながら地質情報のデータを取得する。一方、コアリングでは、目標深度まで海底下の地層を9.5m ずつ円柱状に採取していく。

温度計測装置の設置では、①水中カメラで確認しながら海底面にウェルヘッドを設置し、②目的深度まで掘削。③温度計測装置をドリルパイプに吊り下げてウェルヘッドから孔内に再接続し装置を設置、最後に④ドリルパイプと装置を切り離す予定となっている。

検討されているスケジュールは、LWDに17日間、コアリングに60日間、温度計測装置の設置に17日間。JTRACKの健闘を祈りたい。

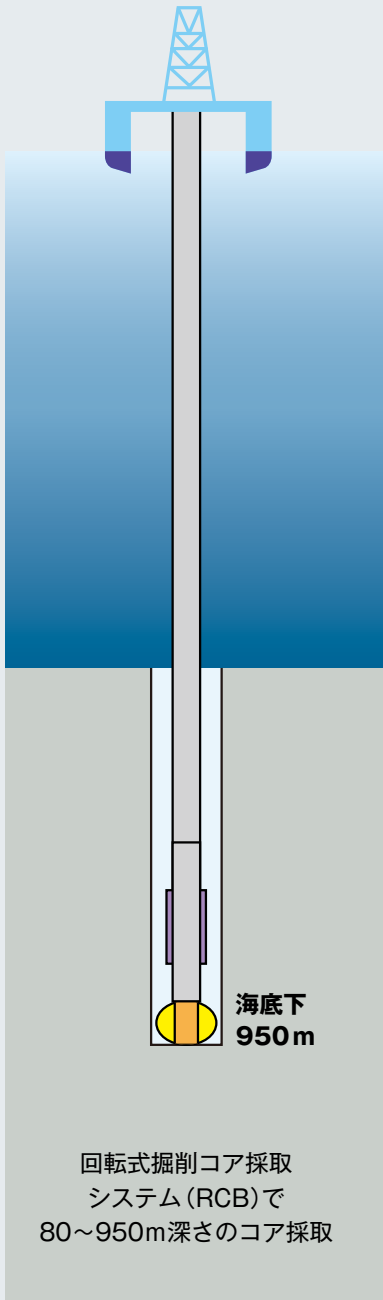
LWD



掘削の最先端部となるドリルビットの間近で、さまざまな物性データをリアルタイムに計測し、地層の傾きや境界部分などcm単位での推定を可能にする。人には見えない地球深部を可視化するテクノロジーのひとつ。

LWDの詳細は、付録号のP15を参照。

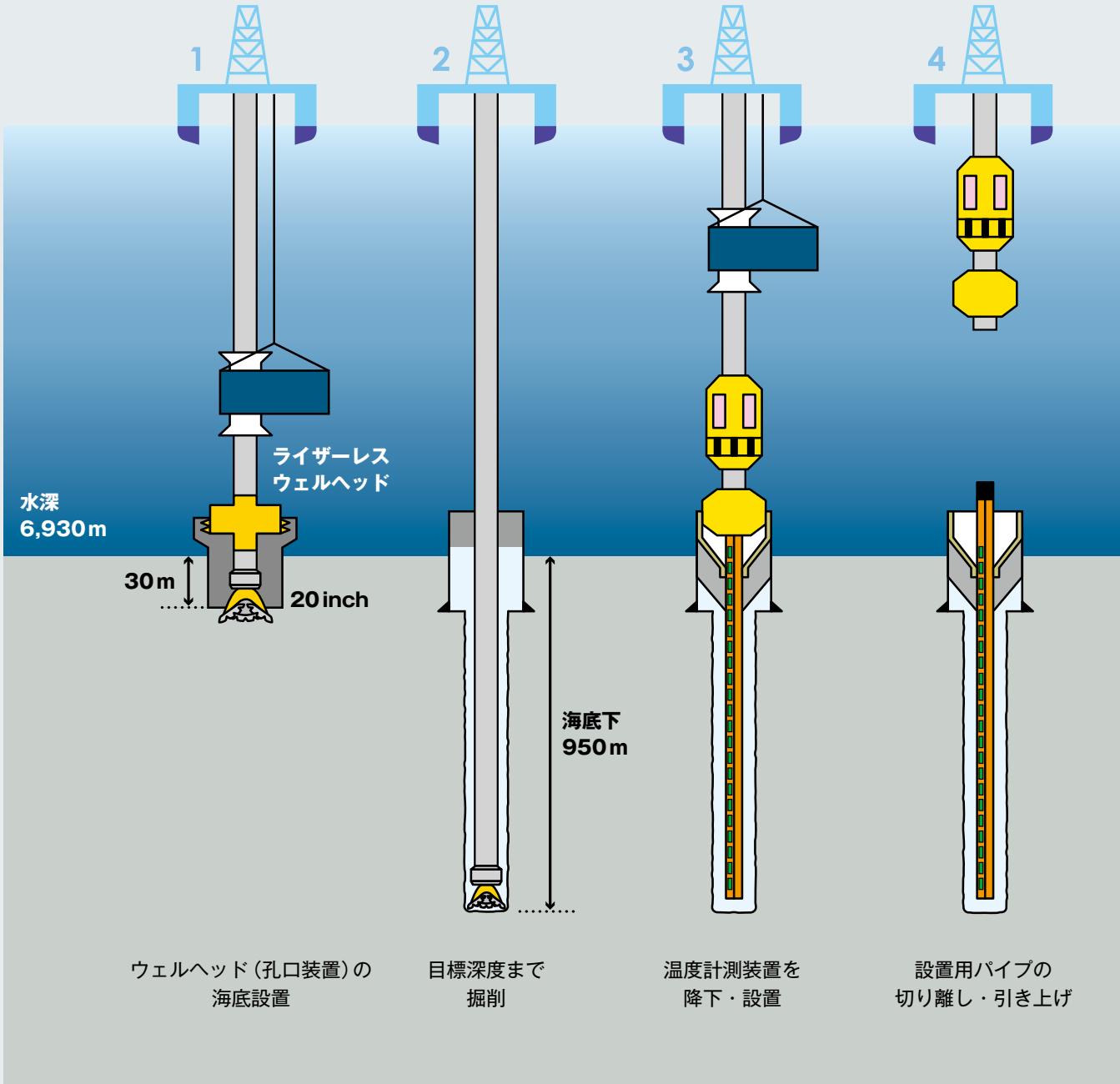
コアリング



地質試料（コア）を採取すること。通常の掘削作業で使われるドリルビットとは形状が異なる、中心に穴が開いているコアビットを用いて掘ること、穴の部分に円柱状の岩石が入り、それをサンプルとして回収する。

ビットの詳細は、付録号のP17を参照。

温度計測装置



海底下の孔内に温度計など多数のセンサを設置し、長期観測を行うシステム。JFASTでは、設置の際に「見る役割」を担う水中カメラが故障。2度目の航海で設置を完了し、9カ月後に無事に回収することができた。

温度計測装置の詳細は、付録号のP19を参照。

2012年に実施された前回のJFASTに参加し、“奇跡のコア”の採取にも貢献した、筑波大学生命環境系の准教授・氏家恒太郎さん。JTRACKでは共同首席研究者を務め、プロジェクトを進行する上での重責を担うことになった。そこで、今回のプロジェクトにおける目的と意義、想定している課題について話を聞いた。

“奇跡のコア”再来へ
千載一遇のチャンス

JTRACKにおいて共同首席研究者を務める、筑波大学生命環境系の准教授・氏家恒太郎さん。今回の研究航海

では、9月の清水港出港から10月末までの乗船が決まっているという。プロジェクトを前にした現在の心境について尋ねると、「責任のある立場なので緊張感もありますが、ワクワクする気持ちの方が強い」と期待感を込めた言葉を口にした。

前回のJFASTでは、氏家さんは構造地質研究のグループリーダーとしてプロジェクトに参画した。悪天候や機材トラブルに見舞われて下船が3日後に迫る最中、海底下821.5～824mから採取された1mにも満たない17番目のコア試料（17R）がプレート境界断層であることを発見し、断層試料を用いた高速摩擦実験により地震時にプ

レート境界が非常にすべりやすくなることを明らかにした。それゆえ、JTRACKへの想いも大きい。

「それまでも、地震時にすべった断層をいくつか発見しているのですが、厚さが数mmか数cm程度でした。南海トラフでも厚さ2mm～1cm程度です。JFASTにより日本海溝のプレート境界断層の厚さは最大で5mであることが明らかになりましたが、コア試料を回収できたのは1mほどです。JTRACKによりもう一度プレート境界断層からコア試料を採取し、地震時に50mすべった断層の厚さがどれくらいなのか、すべりのメカニズムは何かを検討する上で、千載一遇のチャンスだと考えています」

第一目的は、
固着回復度合いの調査

JFAST後の研究により、「水分を逃しにくいスメクタイトを多く含むプ

レート境界断層が地震時にすべりやすくなることで、浅いところが大きくすべった」ことが明らかとなり、巨大地震発生のメカニズム解明に向けて大きく前進することができた。しかし、あれから10年以上経過した今、まだ解決していない問題もあるという。それが「深部からの破壊が連動して浅いところが大きくすべったのか、それとも自ら歪み^{ひず}を溜めていた浅いところが壊れて大きくすべったのか」という問題である。その謎を解くため、JTRACKでは再度JFASTで調査を行ったプレート境界浅部（JTCT-01A）に向かい、同様の掘削を行うことがひとつ目の大きな目的となる。

「JFASTのときの断層は、力が解放されて伸長応力場になっていました。これが圧縮応力場になっていれば、また力を溜め始めていることになり、プレート境界浅部で固着が始まっている可能性が出てきます」

固着が始まっているとすれば、千年

後には震災前と同じ状態まで“回復”する。そして歪みが限界に達し、一気に解放され、再び大きな津波を起こすことになる。もしそうだとすれば、JFAST時の分析との比較によって、10年でどの程度回復しているかがわかるのである。

首席の役割は、
想定外でも慌てず進むこと

もうひとつの掘削の主たる目的は「プレート沈み込み帯に持ち込まれる前の堆積物」の調査である。そのため、JTRACKでは、新たに沈み込む太平洋プレート上（JTCT-02A）の掘削も実施する。

「東北沖地震では三陸沖よりも宮城沖の方がはるかに大きくすべりました。そこで宮城沖のプレート境界になる前の地層を掘削することで、スメクタイトの濃集層が出てくるのではないかと期待しています」

太平洋プレートによって持ち込まれたスメクタイトが、プレート境界浅部を大きくすべらせたのか——。この関連性を明らかにすることができれば、巨大地震に対する防災という観点でも非常に重要な意味を持つことになる。

しかしながら、前回と同様の掘削作業を行うとはいえ、今回は非常に困難なオペレーションを行うことに変わりはない。しかも、今回は新たなポイントでの掘削や、連続したコア試料の採取といったチャレンジも行う必要がある。当然、掘削が予定通りに進まないケースにも直面するだろう。そこで共同首席研究者としてリーダーシップが求められることになる。

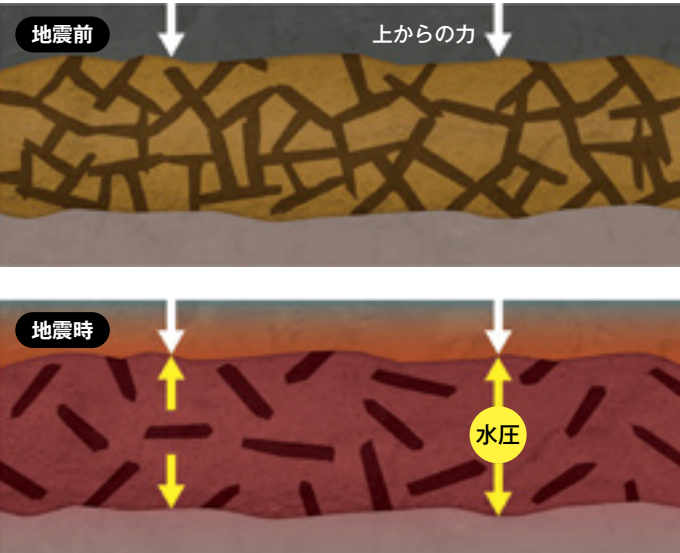
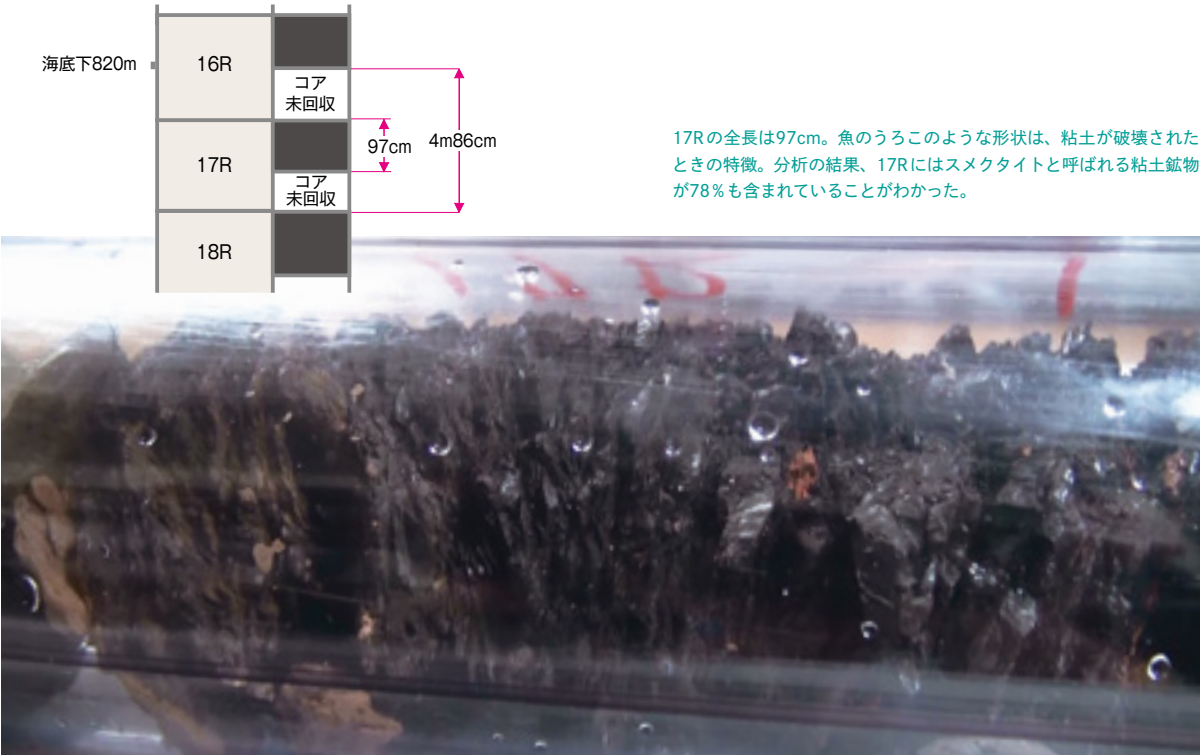
「研究航海では、想定外のことが必ず起こります。そのため、その場その場で切り替えて、物事を決定していくことが求められます。ただ、私は慌てふためかないタイプではあるので、その場にに合わせて臨機応変に対応ができればと考えています」

JTRACK がもたらす、
さまざまな可能性

筑波大学 生命環境系 准教授

氏家 恒太郎

専門は地質学。九州大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻で博士（理学）を取得。その後、カリフォルニア大学サンディエゴ校、JAMSTECなどの研究員を経て、2010年度より現職。プレート沈み込み帯における巨大地震やスロー地震の発生プロセス・発生メカニズム解明に向けた研究や付加体における変形の研究を行う。



地震時にプレート境界断層がよりすべりやすくなった原因とされた、サーマル・プレシャライゼーションという現象。詳細はP09を参照



東北大学大学院 理学研究科 教授

日野 亮太

専門は地震学。東北大学大学院理学研究科地球物理学専攻で博士（理学）を取得。2015年より現職。海底観測をもとにした日本海溝沿いのプレート境界型地震発生帯の地震活動・地殻変動と海底下構造に関する研究を行っている。また、リアルタイム海底観測に基づく津波即時予測技術や海底地殻変動観測装置の開発にも携わる。

東北地方太平洋沖地震以前から、海底観測を通じて日本海溝沿いの地震活動や地殻変動を調査してきた、東北大学大学院理学研究科教授の日野亮太さん。「地震発生から10年以上が経過した現在の断層周辺の時空間変化を捉える」ことを研究目的に添えたJTRACKを前に、「断層に変化が見られない」という可能性を模索しているという。

日本海溝を見続ける“観測屋”として

東北大学大学院理学研究科で教授を務める日野亮太さんは1992年、同大

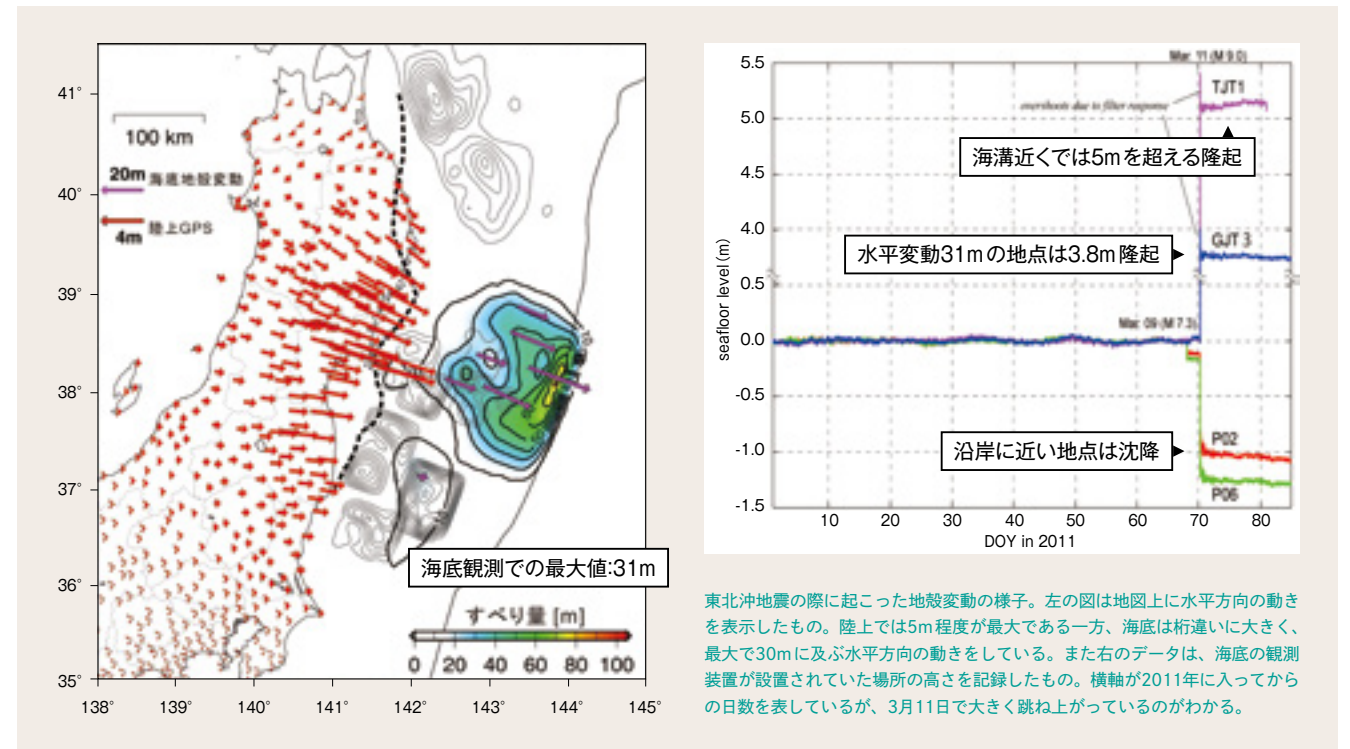
理学学部の手助となって以来、日本海溝沿いのプレート境界型地震発生帯の地震活動や地殻変動、海底下構造に関する研究を海底観測から行ってきた。2011年3月11日の東北沖地震を振り返り、当時の様子をこのように語る。「2日前（2011年3月9日）に前震があったので、『(1978年に発生した)宮城県沖地震が再来したらどうなるんだろう』ということを研究者の仲間たちと話していたのです。そのため、最初の揺れが来たときに『宮城県沖地震がとうとう起きたか』と思ったのですが、あまりにも大きな揺れに大混乱して、それどころではなくなっていまい

ました。その後、落ち着いてくると、『これは宮城県沖地震ではなく、(869年に起きたとされる)貞観地震の再来かもしれない』と思い、“観測屋”としては『どういう観測を行えば、全貌がわかるのか』ということぐるぐると考えていました」

パズルのピースが はまっていく知的興奮

その後、宮城県沖地震観測のために以前から海底に設置していた海底水圧計と、東北沖地震前後で行った海底地殻変動観測のデータを解析。すると、地震の前後で水平方向に31m移動、上下方向に5mの隆起が起こったことを観測することができた。一方、その頃になると、ほかの研究者たちからもさまざまなデータが集まり始めていたという。「皆がそれぞれの専門の中で研究していくのですが、お互いの観測結果や解析結果の情報が共有されていくにつれて、パズルのピースがだんだんとはまっていくというか、まるでわからなかったところからだんだんと画が見えてくるというか。そんな知的興奮のようなものを覚えました」

しかし、「あのとき、東北沖で何が起こったのか」という問いに迫る一方、観測の中で想像をはるかに超えるデータも続出した。



東北沖地震の際に起こった地殻変動の様子。左の図は地図上に水平方向の動きを表示したもの。陸上では5m程度が最大である一方、海底は桁違いに大きく、最大で30mに及ぶ水平方向の動きをしている。また右のデータは、海底の観測装置が設置されていた場所の高さを記録したもの。横軸が2011年に入ってからの日数を表しているが、3月11日で大きく跳ね上がっているのがわかる。

「例えば、大きい地震があると震源の周りで余震がたくさん起きます。しかし、東北沖地震の場合は、なぜかプレート境界の周りでは起きていない。そのほかにも、私たちが地震の前に考えていた日本海溝での地震の起こり方とは違うデータがいろいろと見つかりました。それらも時間が経つ中で解析が進み、ようやく東北沖地震の仕組みが見えてきました。その中での今回のプロジェクトです。つまりJTRACKは、東北沖地震の答え合わせをするひとつのチャンスだと考えています」

違う考えを持つことが、 チームをいっそう強くする

前回のJFASTでは、地震で生じた断層のすべりが浅部まで伝わり、またこの摩擦熱によって断層内の水分が膨張したために大きなすべりを引き起こしたということがわかった。そのため

今回のJTRACKでは、地震発生から10年以上が経過した現在の断層周辺の時空間変化を捉えることが主眼となる。このような調査を前に、日野さんは「JFASTと同じ場所を掘削して得られるコア試料は、地震発生直後と比べても『何も変わっていない』という結果になるのではないかと考えているという。つまり、長年固着し続けていた深部の断層が一気にすべるのに連動し、浅部もすべってしまった。そもそも浅部は常に固着しないし、常に歪み^{ひずみ}を溜めることもない。だから10年以上経っても変わっていない——。それが、日野さんの見解である。これは、JTRACKに参加するほかの研究者の見解と真逆とも言える。

「このような違う角度の意見を持つことは、JTARCKに参加するにあたって意識的に考えていることです。仮にJFASTで得られた結果だけを見ていて、その上で『何も変わっていなかった』

という結果が出てしまったら、『10年で変わらないなら、もう少し時間を置いておく必要がある』ということになってしまう。一方『変わっていない状況下でも、このようなことが考えられる』というモデルを持っていれば、そこからさらに調査を軌道修正して、研究を発展させていくことができます。そのため、この視点を持つことは、結果的にチームのサポートにもつながっていくはずだと考えます」

「同じ志を持ちつつも、違う考えを持っている人が入っていることでチームは強くなる」と日野さん。研究者たちが一丸となって東北沖地震の完全解明に挑む、JTRACK。果たして、今回の調査航海ではどのような結果が待ち受けているのか。その内容に今後も期待していきたい。

東北地方太平洋沖地震の発生メカニズムの解明を目指す、今回のJTRACK。そのプロポーザルの中で同プロジェクトとして検討されていたのが、「日本海溝の地震履歴」をテーマに掲げたIODP第386次研究航海だ。ここでは、そのプロジェクトに参加した海域地震火山部門の金松敏也専門部長に、その調査の様子について話を聞いた。

海底に眠っている
大地震の爪痕

火山灰が堆積した層があれば過去に噴火があったことがわかるように、地震の痕跡が見て取れる地層というもの

はいくつかある。例えば、地震の液状化で噴き出した砂が固まってできた砂岩岩脈や、断層がずれた際の摩擦熱で溶けた岩石が再び固まってできたガラス質の岩脈であるシュードタキライト。泥や泥炭程度しかないはずの海岸近くの湿地に砂や石の層があれば、津波が襲ってきたこともわかる。そのような地震の痕跡の中で、海域地震火山部門の専門部長・金松敏也さんが着目したのは、「タービダイト」と呼ばれる海底の地層だった。

「日本海溝へ向かう斜面には土砂が溜まっており、地震が起きると巻き上がって泥水になります。土砂が混じっている分だけ周りの水より重いので、重

力で下へ向かっていきます。これを『混濁流』と言うのですが、溝まで行って動けなくなると重たい大きな粒から順に地面へ落ちていきます。こうして大きい粒から小さい粒へと順に溜まってできた地層を『タービダイト』と呼び、これがあることで過去に地震が起きたことを確認することができます」

地層に封じ込められた
地磁気で年代を知る

地震がない穏やかなときに積もった土砂が、大地震で大量の混濁流となって転がり落ちていき、一気に堆積する。それが大から小へと粒がきれいに並ん

でいるならば、地震の痕跡としてとてもわかりやすい。あとはそれがいつ起きた地震なのか年代を探ることになるのだが、それには「地磁気」を用いる。地質学でよく使われるのは、「放射性炭素年代測定」である。

「成分が貝などと同じ炭酸カルシウム『有孔虫』というプランクトンがいます。このプランクトンが炭酸カルシウムをつくるときに炭素を取り込むのですが、その中に『炭素14』という放射性同位体があります。放射性炭素年代測定は、地層に含まれるその量から年代を測定する方法。炭素14の半減期である5730年との比較で詳しい年代を割り出していきます」

とはいえ、6,000～7,000m程度の水深になると水圧などの影響で炭酸カルシウムが溶けてしまうため、深海での調査には不向きと言える。その代わりとして金松さんが目を付けたのが、地層に含まれるマグネタイト（磁鉄鉱）だ。

「今、日本の方位磁石はまっすぐ北を向かず、西に7度ほどずれています。

平安時代は東に10度程度ずれていたと言われており、そのように地磁気の方法は徐々に変化してきています。そういった記録が地層にも残っているのです」

実際、泥の中にあるマグネタイトが地磁気の方法に動いて並んだ状態で地層として固まっているため、その情報を読み解くことで記録された年代を調べることができるのだという。こうした記録の調査は琵琶湖などの遺跡でも続けられていて、比較的高い確度で年代がわかるようになってきている。

地層から見えた、
貞観地震の履歴

そもそも、金松さんはなぜタービダイトで地震の痕跡を探し、年代を絞るのか。それは「巨大地震は繰り返されるのか」を調べるためだ。その調査のため、2021年4月より、JTRACKのプロポーザルから派生した姉妹プロジェクト・IODP第386次研究航海に参加。海底広域研究船「かいめい」に乗

船して、ジャイアントピストンコアラで約40mの試料を日本海溝全域にわたる十数カ所で採取した。

「日本の古文書に書かれている大きな地震があったであろう場所を目安にして、北から南まで調査してきました。これからデータを出していく予定なのですが、南側の房総半島に近いところにも、貞観地震（869年）のものだと考えられる厚いタービダイトの層を見つけることができました」

同じ年代のタービダイトが広い範囲で見られれば、大きな地震の痕跡だと考えられる。もしこの大きな地震が東北沖地震と同程度だとすれば、同地域では約1000年というインターバルで巨大地震が発生する可能性が浮上する。この可能性が高まれば高まるほど、今後の震災被害を抑えることにつながっていくのは言うまでもない。

「『地震は繰り返し起こるのか』を命題として、今後もタービダイトの広がりや年代を調べていきます」と金松さん。IODP第386次研究航海の今後のデータ解析に注目したい。

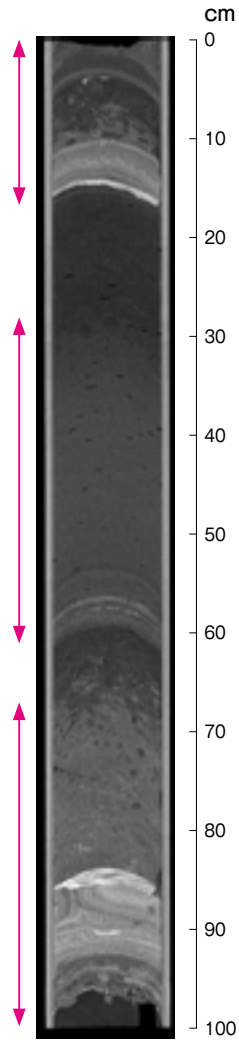


巨大地震は、
繰り返されるのか？

JAMSTEC 海域地震火山部門
専門部長（地質研究機関間連携担当）

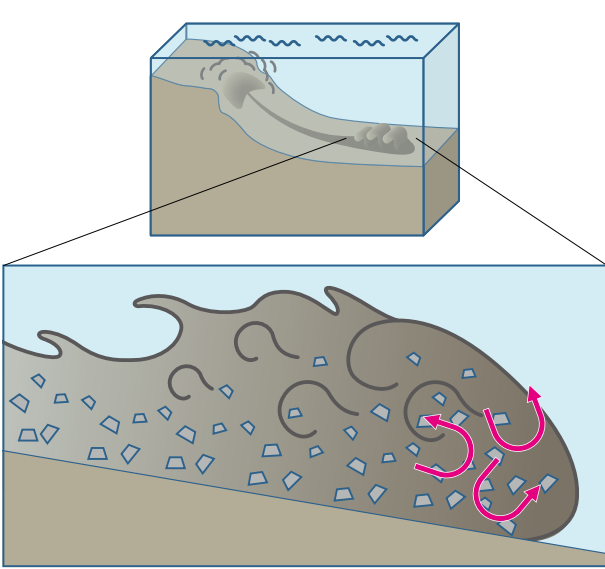
金松 敏也

専門は海洋地質学、古地磁気・岩石磁気学。1996年、東京大学理学部地質学専攻で博士課程修了。その後、JAMSTEC（当時の海洋科学技術センター）に着任。2013年度より現職。海底堆積物の古地磁気、岩石磁気記録を利用した地震記録や堆積記録の復元を研究のテーマとしている。

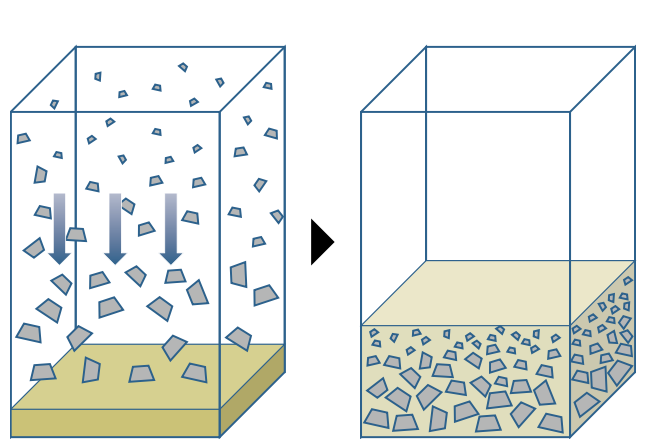


IODP第386次研究航海において、房総半島近くで掘削を実施した（水深8,025m、海底下から6～7m）。その際に採取された地層のX-CT映像（レントゲン写真）。明るい色は密度が大きいことを示し、タービダイトが溜まり始めた砂層に相当する。タービダイトの区間は赤矢印で示された部分。タービダイトの間は色が暗く密度が小さく、地震がない穏やかなときに積もったことがわかる。これらの様子から、地震が3回繰り返されていることがわかる。

混濁流（乱泥流）



深海におけるタービダイトの形成



左は混濁流（乱泥流）が流れていく様子。雪崩に似ていると言われるが、誰も見た者はいない。海底の土砂を巻き上げながら、重力で斜面を流れ下っていく。右は巻き上げられた土砂が大きな粒子から沈降し、海底に積もってタービダイトになる様子。



国際深海科学掘削計画、 新たな出航へ！

JAMSTEC 研究プラットフォーム運用部門 部門長

江口 暢久

東京大学大学院理学系博士課程修了（理学）。統合国際深海掘削計画の立ち上げから国際科学計画のサイエンスマネジメントに従事。2007年、JAMSTECに着任。地球深部探査センター（CDEX）の科学支援部長として、地球深部探査船「ちきゅう」の科学運用に携わる。2019年度より MarE3 運用部部长、2023年度より現職。

1975年から現在に至るまで、名称を変えながら、地球科学の進展を牽引し続けてきた国際深海科学掘削計画（IODP）。2024年のIODP第405次研究航海・JTRACKの日本海溝へ出航後、9月末をもって現行プログラムが終了する。そこで、1999年以来、これらの国際プログラムの運用に参加してきた MarE3の江口暢久部門長に今後の国際深海科学掘削について聞いた。

厚い信頼関係を築いた IODPのメンバーたち

海洋掘削で「気候変動」「海底下生命圏」「地球ダイナミクス」「自然災害のメカニズム」を解明することを目的とする、国際深海科学掘削計画（IODP）。1975年に世界を舞台に始まった深海掘削計画（DSDP-IPOD）から数えて、約50年——。2024年9月、「ちきゅう」によるJTRACKの調査航海を最後に現行プログラムは終了し、2025年1月から形を変え、新たなスタートを切ろうとしている。国際深海掘削計画（ODP）に1999年より携わり、

以来サイエンスコーディネーターやプログラム運営、研究統括（EPM）とさまざまな役割を担ってきた MarE3の部門長・江口暢久さんは、IODPで過ごした時間を振り返り、「ただ楽しかった」とシンプルな感想を口にする。「IODPでは、日本、アメリカ、ヨーロッパがそれぞれ提供する掘削船を用いて世界中の海底を掘削しています。そのメンバーの中には、20年以上も一緒に仕事をしている人たちがいる。そのような仲間たちと厚い信頼を持って関わりを続けられたのは、とてもアグレッシブで幸運な経験でした」

JFASTで獲得した 科学的な成果

20年を超えるIODPの業務の中で特に江口さんの印象に残っているのは、2012年に緊急航海として計画・実施されたJFASTだ。IODPのプロジェクトでは、通常3～5年の月日をかけて計画され、航海が実施される。しかし、JFASTでは、東北地方太平洋沖地震発生直後の断層に残された摩擦熱を捉えることが必須だったため、わずか1年弱でプロジェクトを準備することになったのだ。

「しかも、JFASTでは、水深7,000mの海底下1,000mにあると考えられる断層を発見し、コア試料を回収、その地層の温度も計測しなければいけません。そのためには、総延長8,000mの掘削パイプを使って掘削を行うことが必須。これまで誰も実施したことがない非常に難易度の高いオペレーションが求められました。航海中は数々のトラブルにも見舞われ、2度の調査航海に出ることになりましたが、結果としては目標をしっかりと達成することができました。JFASTを通じて『巨大地震発生のメカニズムを解明する』とい



2012年に実施されたJFASTに乗船したときの江口さん（中央）。

う科学的な成果も生み出すことができましたし、私の中で忘れられない航海になりました」

新たなプログラムを スタートさせるために

そして、約12年後——。「ちきゅう」は再び日本海溝に向けて出航することになる。実は今回JTRACKに乗船する共同首席研究者の5人は、前回のJFASTにも乗船したメンバーたち。当時はまだ大学院生やポスドクだった研究者たちが、今回は新しい若い研究者たちを牽引することになる。江口さんは、そのような研究者たちの成長過程を目にすることに「とても感慨深いものを感じている」と話す。

その一方、課題もある。「JFASTで得た調査結果と、時間を経た現在との比較」がテーマとして挙げられているため、前回の掘削点で同様の観測である掘削常時検層、コアリング（コア試料採取）、温度計測を実施することが求められている。2度目の挑戦ではあるものの、当然ながら簡単なことでは

ない。

「もちろんJFASTのときの経験もありますし、掘削の技術も向上しています。しかし、今回はあの困難な海底下1,000mの掘削を実施すると同時に、連続したコア試料の採取など高精度かつ難易度の高い新たな挑戦も行わなければいけません」

そして何よりも、JTRACKはIODPという現行プログラムにおいて「ちきゅう」の最後の調査航海。新プログラム「IODP³」では、すでにアメリカの撤退が決定し、日本とヨーロッパを中心とした組織が編成される予定だ。そのような中、今回のプロジェクトの成功は、世界に今一度「ちきゅう」の価値を知らせることにつながる。

「地球科学分野の国際的なプログラムでこれだけの歴史を持つのは、IODP以外にありません。JTRACKでその最後を飾り、今後のプログラムでも日本の力で新しいことを発見していきたい。そして、その経験で培ったサイエンスの可能性を人類に役立てていければと思っています」



深海科学掘削は「モホール計画」の提唱が起源。その後、DSDPやODPなどの国際プロジェクトが行われ、プレートテクトニクスの証明など、地球科学の発展に貢献した。さらに2003年からはIODP-1（Integrated Ocean Drilling Program）、2013年からIODP-2（International Ocean Discovery Program）と名称を変えながら現在まで続いている。

Pick Up
JAMSTEC

JTRACK の特設ウェブサイト公開中!



ウェブサイトでは、船上レポートやフォトギャラリーなど、
研究航海の現場を感じられるコンテンツを随時更新予定。
9月からの航海にご注目ください!

JTRACK とは、JAMSTEC が所有
する地球深部探査船「ちきゅう」で今
年9月～12月に実施予定の国際深
海科学掘削計画 (IODP) 第405次
研究航海のことです。この航海は、
地震による摩擦熱を捉えた2012年
のIODP第343次研究航海「東北地
方太平洋沖地震掘削計画 (JFAST)」
の続編となる調査です。

[https://www.jamstec.go.jp/
chikyuu/j/exp405/index.html](https://www.jamstec.go.jp/chikyuu/j/exp405/index.html)



賛助会 (寄付) 会員名簿 2024年2月29日現在

国立研究開発法人海洋研究開発機構の研究開発につきましては、次の賛助会員の
皆さまから会費、寄付を頂き、支援していただいております。(五十音順)

株式会社 IHI
株式会社 IHI 原動機
株式会社 アイケイエス
株式会社 アクト
朝日航洋株式会社
アジア海洋株式会社
株式会社 天野回漕店
株式会社 アルファ水工コンサルタンツ
株式会社 安藤・間
いであ株式会社
株式会社 伊藤高圧瓦斯容器製造所
伊藤忠テクノソリューションズ
株式会社
一般社団法人 インダストリスパコン
推進センター
株式会社 INPEX
潮冷熱株式会社
株式会社 宇津木計器
海のまらい静岡友の会
株式会社 エス・イー・エイ
株式会社 SGK システム技研
株式会社 エヌエルシー
株式会社 NTT データ CCS
株式会社 J/島マリンコーポレーション
MOL マリン&エンジニアリング
株式会社
株式会社 MTS 雪氷研究所
株式会社 OCC
岡本硝子株式会社
株式会社 OKI コムエコーズ
沖電気工業株式会社
海洋エンジニアリング株式会社
海洋開発株式会社
海洋電子株式会社

鹿島建設株式会社
株式会社 カネカ
川崎近海汽船株式会社
川崎重工業株式会社
川崎地質株式会社
株式会社 KANSO テクノス
株式会社 キュービック・アイ
京セラ株式会社
共立インシチュアランス・ブローカーズ
株式会社
極東貿易株式会社
株式会社 きんでん
株式会社 熊谷組
株式会社 グローバルオーシャン
ティバロップメント
株式会社 KSP
KDDI 株式会社
興研株式会社
株式会社 構造計画研究所
神戸ベイント株式会社
広和株式会社
株式会社 COAST
コスモス商事株式会社
株式会社 コノエ
五洋建設株式会社
相模運輸倉庫株式会社
佐世保重工業株式会社
三洋テクマリン株式会社
三和化成工業株式会社
株式会社 ジー・エス・ユアサテクノロジ
株式会社 JSP
JX 石油開発株式会社
JFE アドバンテック株式会社
静岡市

シチズン時計株式会社
株式会社 SIX VOICE
シナネン株式会社
清水建設株式会社
清水港振興株式会社
シモダフランチ株式会社
ジャパンマリンユナイテッド株式会社
シュルンベルジェ株式会社
株式会社 昌新
株式会社 商船三井
鈴与株式会社
株式会社 スペースワン
セイコーウッチ株式会社
株式会社 関ヶ原製作所
石油開発サービス株式会社
石油資源開発株式会社
セナーアンドバーンス株式会社
株式会社 ソルトン
損害保険ジャパン株式会社
ダイキン MR エンジニアリング
大成建設株式会社
ダイハツディーゼル株式会社
大陽日酸株式会社
有限会社 田浦中央食品
株式会社 地球科学総合研究所
中部電力株式会社
株式会社 鶴見精機
株式会社 帝國機械製作所
寺崎電気産業株式会社
株式会社 寺本鉄工所
東亜建設工業株式会社
洞海マリンシステムズ株式会社
東京海上日動火災保険株式会社
東京製綱繊維ロープ株式会社

株式会社 東京チタニウム
トーホーテック株式会社
東北環境科学サービス株式会社
東洋建設株式会社
株式会社 東陽テクニカ
株式会社 東和製作所
株式会社 トヨタコンポン研究所
株式会社 NAT
西芝電機株式会社
株式会社 ニシヤマ
日油技研工業株式会社
株式会社 ニッスイ
ニッスイマリン工業株式会社
日鉄エンジニアリング株式会社
日東電工株式会社
株式会社 日放電子
株式会社 日本インテリジェントビジネス
日本エヌ・ユー・エス株式会社
日本海工株式会社
日本海洋株式会社
株式会社 日本海洋科学
日本海洋事業株式会社
一般社団法人 日本ガス協会
日本軽金属株式会社
日本サルヴェージ株式会社
日本電気株式会社
日本ペイントマリン株式会社
日本マントル・ルクエスト株式会社
日本無線株式会社
日本郵船株式会社
野村建設株式会社
株式会社 ハイドロシステム開発
濱中製鋼工業株式会社
東日本タグポート株式会社
日立造船株式会社
株式会社 風力エネルギー研究所
深田サルベージ建設株式会社
株式会社 フグロジャパン
富士ソフト株式会社
富士通株式会社

富士電機株式会社
古河機械金属株式会社
古河電気工業株式会社
株式会社 FullDepth
古野電気株式会社
松本徹章株式会社
マリメックス・ジャパン株式会社
株式会社 マリン・ワーク・ジャパン
株式会社 マルトー
三鈴マシナリー株式会社
株式会社 三井 E&S
三井住友海上火災保険株式会社
三井住友トラストクラブ株式会社
三菱重工業株式会社
三菱重工マリタイムシステムズ
株式会社
三菱造船株式会社
三菱電機株式会社
三菱電機ソフトウェア株式会社
三菱電機ディフェンス &
スペーステクノロジーズ株式会社
株式会社 森京介建築事務所
ヤンマーパワーテクノロジー株式会社
株式会社 ユー・エス・イー
郵船商事株式会社
横河電機株式会社
横浜ペイサイドマリーナ株式会社
株式会社 落雷抑制システムズ
株式会社 ラジアン
若築建設株式会社

— 地球深部探査船 —

を探検!

ちきゅう



掘削
プロジェクト
大解剖!

DEEP-SEA
SCIENTIFIC DRILLING VESSEL
“CHIKYU”

世界最高レベルの
掘削能力を持つ科学掘削船

「ちきゅう」

私たちの住む地球は、水と生命に恵まれたオアシスである。

しかし、その46億年もの歴史の中で繰り返し発生してきた、

いんせき隕石衝突や地震、火山噴火、津波、そして異常気象は、

地球上の生命に多大な影響を及ぼしてきた。

過去の気候変動、生物の活動、地殻変動の経緯を物語る痕跡を、
地球はその内部に記憶している。

世界最高の科学掘削船である地球深部探査船「ちきゅう」は

地球の内部を掘り進み、巨大地震発生の仕組み、

地球規模の環境変動、

地球内部エネルギーに支えられた生命圏、

さらには新しい海底資源の解明など、

これまで人類の未来を拓くさまざまな成果をあげている。

その「ちきゅう」が秘める可能性を、今、あらためて紐解こう。



DEEP-SEA SCIENTIFIC DRILLING VESSEL "CHIKYU"



地球深部探査船 「ちきゅう」とは？

水深2,500m、海底下7,000mを掘削できる
世界最高の科学掘削船。人類の未来を
拓くさまざまな海洋研究の成果を導いている。

パイプラック



掘削に使うドリルパイプや、掘削した孔を保護する
ケーシングパイプを収納する。また、ライザー掘削
の際に船体と掘った孔に設置した噴出防止装置をつ
なぐライザーパイプのためのラックも存在する。



掘削フロア & デリック(やぐら)

掘削作業のメインステージ。掘削機器の
操作を行うドリラースハウスもこの場所に
ある。また、フロア上には「ちきゅう」の顔
とも言える高さ約70mの巨大なデリックも。
その吊り下げ能力は最大1250トンにも及ぶ。

操舵室(ブリッジ)



操船全般を行う操舵室。船長をはじめ、航海士、操舵手がそ
の重要な役割を担い、各計器に表示される情報から船の状況
を把握して操船している。掘削作業中は定点保持を続け、掘
削フロアと密に連絡を取り合いながら、船の位置を調整している。

「ちきゅう」主要目

全長: 210m 幅: 38.0m 深さ: 16.2m 喫水: 9.2m
船底からの高さ: 130m 総トン数(容積): 56,752トン
航海速力: 12ノット ※1ノット=1.852m/時間
航続距離: 14,800 海里 定員: 200 名
推進システム: ディーゼル電機推進
発電機容量: 35,000キロワット
掘削方式: ライザー掘削、ライザーレス掘削
最大掘削能力: ライザー掘削の場合、
水深/2,500m、海底下/7,000m
デリック: 高さ70.1m、幅18.3m、長さ21.9m

WHAT IS “CHIKYU”?

ヘリコプターデッキ



掘削作業は長期に及ぶため、数週間から1か月に1度、掘削作
業中の乗船者の交代を実施している。その際の交代の手段は、
主にヘリコプターを使用している。また、採取した地質試料を
陸の研究施設に運ぶときに利用することもある。

機関室



船上の動力がすべて電気でまかなわれている「ちき
ゅう」。その船内にはメイン6基、サブ2基の発電機
が搭載されている。合計の発電量は、人口3500人
の町を維持できるほどの発電能力がある。

研究区画(ラボ)



海底下から採取した地質試料を
すぐに処理し、分析を行う4階
建てのラボ施設。ラボでの作業
は主に乗船している首席研究者
や研究者、分析を行う技術者、
研究支援統括(EPM: エクス
ペディション・プロジェクト・マネ
ージャ)によって進められる。

「ちきゅう」の
スケールを動画で
感じてみよう！



アジマス スラスト

船の方向を360度変えられる
スクリュウ。外径最大4.6m。
全6基が自動船位保持システ
ムと連動して、海流や風など
の外力に対向し、船を海上の
定点に留められる。航行の際
は舵の役割も果たす。



「ちきゅう」の3つの使命

世界第一級の科学命題に挑む「ちきゅう」。3つの使命のもとで地球の過去・現在・未来を捉え、人類の歩むべき指針を提示することに貢献している。

MISSIONS

1

巨大地震の謎を解く



写真は、2012年の掘削航海で採取された地震断層のコア試料の一部。このコア試料を分析することにより、①構成物質の80%近くがスメクタイトであったこと、②高速摩擦実験により地震発生時には流体のように挙動する性質を持つことがわかり、そのことが大きく断層がすべった要因となったことが判明した。

自然の脅威である巨大地震の発生に対して、そのメカニズムを解明し、どのように対応していくのかは、「ちきゅう」に与えられた最大の課題のひとつ。南海トラフにおける継続的な掘削では、掘削最深部は海底下掘削深度3,262.5m、コアリング深度2,848.5mにまで達し、科学掘削としては世界最深記録を樹立。また2012年の東北地方太平洋沖地震調査掘削では、水深約6,900mから海底下約850mまでを掘削し（世界最長のドリルパイプ長記録）、プレート境界断層（地震断層）試料の採取と孔内計測（温度、圧力）に成功した。これら両海域での科学掘削の結果、プレート沈み込み帯先端部が実は地震性高速すべりを起こすことと、そのメカニズムが明らかになった。

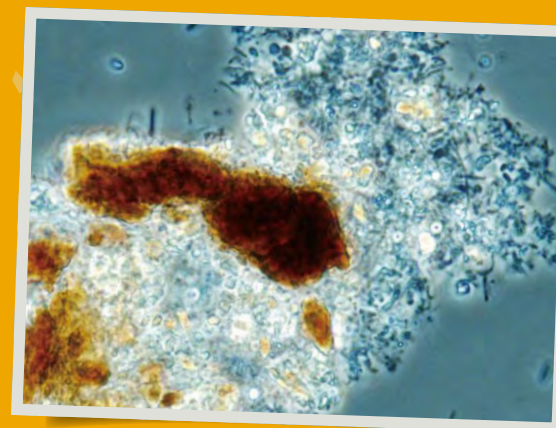
THREE MISSIONS

MISSIONS

2

生命の秘密を知る

高温・高圧・無酸素の原始地球で、最初の生命が誕生した。今の地球でも、海底下奥深くには原始地球に類似した環境が残っており、熱水噴出域などは絶好の研究ターゲットとなっている。また海底下に石炭（褐炭）層が存在するような海域の海底下では、肥沃な炭素の存在が生命（微生物）のパラダイスをつくっていることも明らかになっている。これらの研究では新たに試料回収装置を開発するなど、その運用によって研究分野の発展がもたらされてきた。今後も海底下の生命の存在を明らかにし、利用も視野に入れた研究の展開が期待されている。



海底下約2,000mの地質試料に付着していた微生物細胞群集。約2000万年以上前の地層に、固有の微生物群集が存在することを発見した。
画像提供：稲垣史生（JAMSTEC）

MISSIONS

3

地球の歴史を探る

連続的に採取された地質試料は、過去の環境変動を記録している貴重なレコーダーである。例えば、日本周辺で100～200mの地質試料を採取すると、過去数千年～数十万年の地球の歴史を遡れる。プランクトンの化石（微化石）や化学組成の分析により、海水面の変動や黒潮の挙動などが、また火山灰や海底地すべりで生じた堆積物を分析することで、どのような頻度や規模で火山活動や地震があったのかを明らかにできるのだ。これらの分析を通じて地球の歴史を解明しつつ、さらには未来の地球の姿を予測する手がかりを探っていく。



微小な動物プランクトン・放散虫。ガラス質の骨格からなる放散虫は時代によって形態を多様に変化させるため、地層の年代決定に役立つ。
画像提供：木元克典（JAMSTEC）

Q&A「ちきゅう」の掘削プロジェクトって何？

「ちきゅう」の掘削プロジェクトは、どのように計画され、実施されるのか。
MarE3の運用部研究航海マネジメントグループで活躍する前田玲奈さんに、プロジェクトに関する疑問について解説してもらった。

プロジェクト編



各研究航海の“顔”とも言える、エンブレムの個性的なデザイン。科学掘削を実施した海域やその際に使用したツール、掘削する海底の状況など、それぞれの航海に関する情報をモチーフにしてデザインされている。また、航海中に研究者がデザインを考案し、どれを採用するかを決定するコンペをイベントとして行うことも。

Q1

国際深海科学掘削計画とは？

A 国際深海科学掘削計画（IODP）^{※1}は、海洋掘削による①気候変動、②海底下生命圏、③地球ダイナミクス、④自然災害のメカニズムの解明を目的とした、国際的な研究プログラム。「ちきゅう」はIODPの一翼を担う掘削プラットフォームであり、「ちきゅう」IODP運用委員会（CIB）^{※2}では、掘削プロポーザルの採択や「ちきゅう」のIODPにかかる計画についてJAMSTEC理事長に助言します。また米国やヨーロッパにも掘削プラットフォームがあり、それぞれ独自のファシリティ運用委員会がプロポーザルを選考し、掘削を実施します。現行IODPは、2024年9月に終了。現在、後継プログラムの準備が進められています。

Q2

どのようにテーマが決められるの？

A まず、研究者・研究者チームが概略版プロポーザルを審査機関に提出します。科学的な重要性、技術的実現性、環境への影響や作業の安全性などさまざまな初期審査が行われ、それが認められると完全版の作成・提出が求められます。完全版が採択された場合、本格的に実施への準備がスタートします。この審査過程で、CIBは高評価かつ「ちきゅう」の能力に適した概略版を選出し、完成版作成のためのワークショップを開催。またプロポーザル助言委員会（PAT）^{※3}を設立し、完全版の作成を支援します。最終的に「ちきゅう」で実施するにふさわしいプロポーザルについてCIBが助言を行い、JAMSTECはそれに基づいて採択します。

Q3

メンバーはどう選ばれるの？

A 航海の実施が決定すると、CIBはまずプロポーザル提案グループの研究者、MarE3の科学支援と掘削部門の技術者、必要に応じた分野の専門家からなるプロジェクト調整チーム（PCT）^{※4}を選定します。PCTは研究背景と科学目的、掘削対象海域、取得予定のサンプル／データや船上での分析予定項目を明らかにした科学計画書と、さらにそれらを実現するための掘削計画書の作成を行います。乗船研究者の募集は科学計画書の公表とともに各国・地域プログラムメンバーオフィスを通じて行われ、PCTによって選定されます。PCTはプロジェクトごとに結成され、ウェブ会議などを定期的に行いながら準備から航海完了までのすべての検討・調整を行っています。



前田 玲奈

MarE3 運用部研究航海
マネジメントグループ 技術主任

2003年に株式会社マリン・ワーク・ジャパンに就職。当時、「ちきゅう」のラボテクニシャンとして研究区画でのコア処理・分析やラガ管理などの実務を担う。2012年より現職。「ちきゅう」の研究航海において、計画段階から航海終了後の報告書作成まで、研究者をサポートする研究支援統括（EPM：エクスペディション・プロジェクト・マネージャ）の役割を担う。

COLUMN

「MarE3」とは？

研究プラットフォーム運用部門。JAMSTECが保有する船舶や探査機、観測機器といった海洋を調査・観測するための施設・設備・機器類（海洋調査プラットフォーム）の一体的な運用管理を行い、高度な調査・観測能力の維持と向上を図ることで、世界をリードする研究開発や我が国の海洋政策の達成に貢献しています。

Q4

ライザー掘削とは？

A ライザーパイプとドリルパイプによる二重管構造による掘削のこと。世界の科学掘削船の中でも「ちきゅう」のみが可能にしています。海底下を掘削するときに使用する泥水を回収し、成分を調整し直して再度掘削作業に利用することができます。使用される泥水はドリルビットで掘削したときに出てくる掘りくず（カッティングス）の除去、ドリルビットの冷却や地層の圧力を抑え込むなどといった働きがあり、地層の硬さや状態に合わせて、比重や成分の調整を行います。海水を用いるライザー掘削とは違って孔が崩れにくいいため、より深く掘削することが可能。また、泥水とともにカッティングスも船上に回収されるので、掘削している地層の状態把握や、掘削孔の状況確認に使われるほか、コア試料を採取しない区間の研究用試料としても利用されます。

Q5

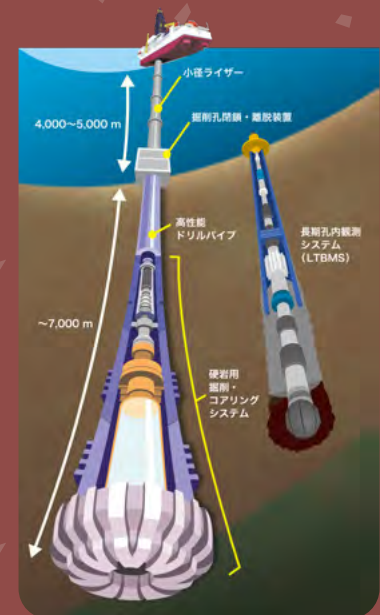
ライザーレス掘削とは？

A ライザー掘削はドリルパイプを通して送られる泥水が、外側のライザーパイプとの間を通って上がって（ライズして）くる仕組みです。その一方、ライザーレス掘削は、名前の通りライザーパイプを用いず、ドリルパイプだけを降ろして掘削作業を行います。掘削流体やカッティングスは船上まで上がってくることはなく、そのまま海底面に排出されるため、掘削流体は海水を使用します。海水を掘削流体として使用した場合は、地層の圧力によって掘削孔が潰れてしまうため、海底下1000〜2000mが掘削の限界速度となります。一方でライザーパイプや噴出防止装置を設置する必要がないため、水深7000mでも掘削することができます。「ちきゅう」は船上から1万mのパイプを吊り下げる能力があるので、掘りやすい地層であれば、例えば水深8000mの地点で、海底下を2000m掘削することが理論上は可能です。

Q6

大水深・大深度掘削システムとは？

A 既存のライザー掘削システムでは到達できない、より深い海域（水深4000m超）での大深度の掘削を目指したシステムです。ライザー掘削は、掘削孔が崩れないように孔内を安定に保つとともに、孔内から掘進に伴って生じるカッティングスを効果的に除去することができる掘削方法です。現在、ライザー掘削で使用しているライザーパイプは外径が約50cmであり、海底油田掘削で長年の実績などがありますが、実際の船体動揺などを考慮すると水深3000m程度でのオペレーションが限界です。そこで、大水深・大深度掘削を行うために、十分な強度を保ちながらも小径を目指すなど、軽量化を図った新しいライザーパイプやその周辺機器の開発を進めています。



掘り進めていく際に生じる岩石の破片のこと。ライザー掘削ではカッティングスを船上に回収できるため、一定間隔（5〜10mなど）で研究用試料として利用する。採取深度の誤差が大きいという欠点はあるものの、掘り進めている限りはほぼ確実に採取できるため、コアリングを行わない区間でも地質試料を手にすることができるという大きな利点がある。

調査にも使われるカッティングス

掘削流体の一種で、鉱石粉末などのさまざまな素材を調合した特殊溶液。カッティングスの除去、ドリルビットの冷却、地層圧のコントロール、崩壊を防ぐための泥壁の形成、検層機を動作させるなどの役割を持つ。また、地層圧力や地質の変化に応じて比重を変えられるため、掘削内の圧力を調整することで、より深い掘削が可能になる。

泥水のさまざまな役割

「ちきゅう」研究航海時の船上生活レポート

乗船者は「ちきゅう」での毎日をどう過ごしているのだろうか。その暮らしについて、再び前田玲奈さんに話を聞いた。



左／海底下を掘り進めるためのドリルビットをパイプの先端に取り付けている様子。右上／深夜の掘削フロア。掘削は休むことなく24時間続けられる。右下／掘削機を操作するドリラーズハウスにて。OSIが即時判断を下せるように今後の方針を議論するため、EPMとともに首席研究者がやってくることがある。

Drilling Edition

掘削編

「ちきゅう」での掘削作業は、船上代表（OSI：オペレーションスーパーインテント）となる掘削の最高指揮官のもと、現場責任者（OIM：オフショアインストラクションマネージャ）、現場監督（ツールプッシャー）、掘削機器を操作する人（ドリラー）、掘削作業を行う人（掘削クルー）によって行われます。24時間体制で作業を実施し、クルーは12時間ごとに交代。そのタイミングに合わせて、15分ほど掘削の状況に関するクロスオーバーミーティングを実施します。また、朝6時には船上各部の部門長が集まり、その日の予定や安全に関する事項を確認します。地質試料の採取など大きなイベントが発生する場

合も、担当の仕事に入る前に必ずミーティングを行います。一方、10時や15時には必ず休憩の時間を確保します。そもそも、掘削作業は非常に危険です。例えばライザー掘削の場合、泥水を船上と海底とで循環させるために、やぐらの周辺のいたる所に高圧のかかったホースなどがあります。また「ちきゅう」の科学掘削は、航海のたびに研究調査に合わせた特殊な掘削、商業掘削であるところの「ワイルドキャット掘削」であることがほとんどです。これらの作業は科学掘削に関する特殊技能を持つクルーによって行われていますが、大きな事故を起こさないためにも、安全の確認作業は徹底しています。



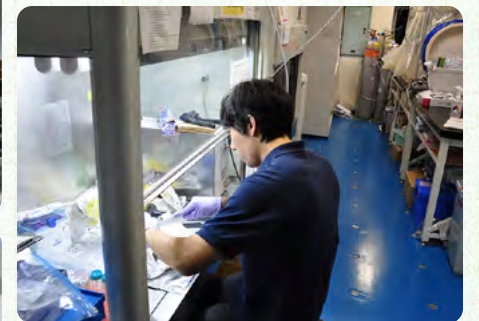
Research / Survey Edition

研究・調査編

大型の研究施設（ラボ）が完備され、船上で迅速かつ高精度な分析を行うことができる「ちきゅう」。私たちEPMは、ラボを円滑に運営していくための準備や、乗船している研究者たちのサポートを行っています。

まず、海底から地質試料やカッティングスが上がってくると、すぐさまラボに運ばれ、必要な処理が施されていきます。その後、コアを分析するために、研究者はコアの分配ルールや手順を確認し、貴重なコアを全員で分け合い、サンプリングします。このように、ひとつのコアから研究者が必要な分析試料を採取するイベントを、「サンプリングパーティー」と言います。その際、

左上／サンプリングパーティーで、研究に必要な範囲や量をコアにフラグgingする（自分の名前を書いた旗を立てる）様子。左下、右上／サンプリングしたコアは、ラボ・ストリート・デッキにて、コアの粉末化や間隙水の抽出、微化石の処理などを行う。右下／海底から引き上げられた長さ9.5mのコアは、ラボの最上階にあるデッキ内のコアカッティングエリアでコンベアに乗せられ、1.5m間隔に切断。ラボに運ぶ前に初期処理を実施する。

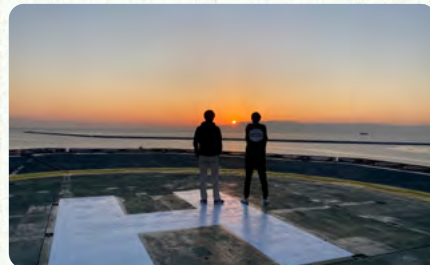


自分の研究に必要な場所とほかの人の研究に必要な場所が同じ場合は、「サンプリングウォッチドッグ」と呼ばれる監督役のもとで話し合い、再度分配する場所を決めていきます。

また、海況が悪かったり、掘削ツールの調子が悪かったりして海底からコアやデータが上がって来ないときは、研究者同士に「コラボレーションワーク」を促します。そこでは「採取予定のコアやデータを使って、どのような研究を行いたいのか」を各自が発表・議論し、新たなコラボレーションが生まれるように研究者同士のコミュニケーションを育てていきます。



左上／ラウンジでオンラインミーティングを実施している様子。「ちきゅう」上でも船外の人たちとしっかりコミュニケーションが取れる。右上／乗員最大200名分の食料補給は2週間に1度だけ。しかも、その仕入れコストはあらかじめ決められている。右中／週1回の退船訓練に備えて心の準備。ものすごい大音量で非常ベルが鳴る。左下／紀伊水道沖での長期孔内観測システムの設置航海時に提供された沖縄そば。このように航海中の食事は、さまざまなメニューが企画されている。右下／ヘリコプターデッキは船上生活の癒やしスポット。



Daily life edition

日常生活編

「ちきゅう」の居住区画には、シャワーとトイレが付いている1人部屋と2人部屋が用意されています。ただし大抵の研究員は、睡眠や入浴のとき以外、ラボやWi-Fiが使用できるラウンジで時間を過ごすことが多いようです。

また「ちきゅう」には、食事の準備や洗濯、居室の清掃など日常生活のすべてのことをフォローしてくれるケータリングクルーも乗船しています。中でも特徴的なのは、食事。掘削作業が24時間体制のため、食堂には朝、昼、夕、夜の4回のタイミングで料理が準備され、各回2時間使用することができます。食事はビュッフェスタイ

ルを採用。必要な分だけ料理を取ることができるので、体調管理がしやすいというメリットがあります。どの料理もとてもおいしいので、中には食べ過ぎてしまう乗船者の姿も。また、クリスマスやお正月などのイベントのときにスペシャルディナーが提供されたり、クルーの出身地に関連した郷土料理のイベントが開催されたりすることもあります。

そのほかにも、「ちきゅう」には医療施設、会議室、娯楽室なども完備。船上でのケガや病気への対処や乗船者の健康管理を行う看護師も乗船しているため、長い航海でも快適な生活が送れる環境が整っています。



左上／船内には、本格的な茶室も用意。文化交流の一環として、茶会を開くこともある。右上／研究航海のたびに作成されるエンブレム。「ちきゅう」では、研究者たちがデザイン案を持ち寄ってコンペを行うことも。左下／船上の暮らして欠かせないのが、クリスマスや誕生日会などのイベント。クリスマスにはプレゼント交換が行われる。右中／ストレス発散を目的に開催された卓球大会。敗退に本気で悔しがる研究者も少なくない。右下／季節のイベントとして実施された、年始の書き初め大会。



Recreation edition

レクリエーション編

乗船者たちは仕事が円滑にできるように積極的にコミュニケーションを取ったり、ストレスを溜めないようにいろいろな工夫をしたりして、それぞれの「ちきゅう」での船上生活を楽しんでいます。

例えば、レクリエーション。研究者たちが主体となって企画を考え、クリスマスにはサンタクロースと一緒に持ち寄ったプレゼントを交換したり、ハロウィンには仮装グッズをつくったりしています。そのほかにも、誕生日のお祝いを始め、ボードゲームや卓球の大会、日本文化に触れる書道の時間など、さまざまなイベントが行われます。また、研究者たちがより良い環境で研究調査

が行えるように、EPMが率先して企画を実施することも。先述のコラボレーションワークを始め、映画の上映会や船舶ツアーなど、研究者同士のコミュニケーションを活性化させるイベントを考えています。

一方、船上で生活をする上で欠かせないのが、毎日の適度な運動。「ちきゅう」の船上はスペースが限られているため、運動をするにも少し工夫が必要です。そこで活用されているのが、ヘリコプターデッキ。乗船者たちはこの場所を活用して筋トレをしたり、ウォーキングをしたりしています。また、ヘリコプターデッキにはトランペットを吹いている乗船者の姿も……。

海底をサイエンスする 掘削ツール図鑑

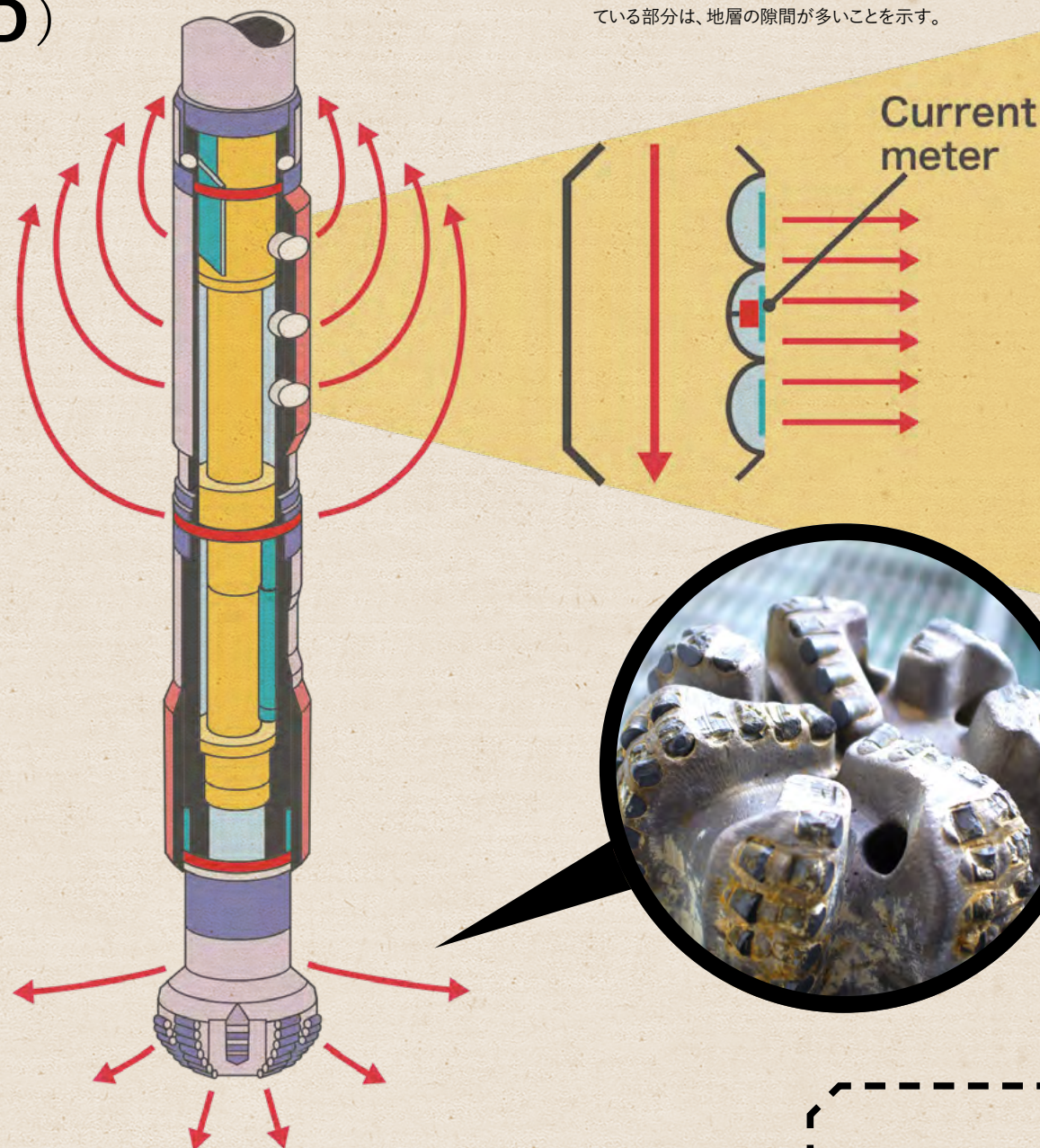
「ちきゅう」の研究航海を成功させる上で欠かせないのが、掘削調査を実現する数々のツールの存在だ。ここでは主要ツールを中心に、その役割や働きについて紹介しよう。

掘削同時検層（LWD）

掘削をしながら海底下の地層の状態を見るツール。さまざまな測定用センサが組み込まれたツールを掘削パイプの先に取り付け、回転させながら掘り進めることで周りの地層の状態を測定する。データはリアルタイムで船上に届けられ、紙に印刷した上で断層のポイントを確認する。

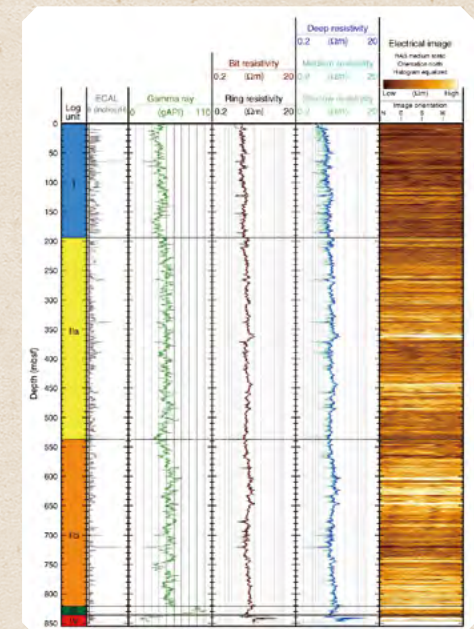


LWDツールを船上から降下していく様子。掘削の目的によって、異なるツールを組み合わせつつ進んでいく。操作はドリラーズハウスで行われ、サイバーチェアという操作席に座り、モニターで状況を確認しながら進めていく。



LWDの仕組み

LWDにはさまざまなツールが使われるが、右のデータのように、比抵抗の値を色の濃淡で表して掘削孔の壁を描き出すツールもある。一定間隔で配置された電極から出る電流が、掘削中の地層内部を伝わる際の「伝わりにくさ」を測定する。濃い色で描かれている部分は、地層の隙間が多いことを示す。



LWDのデータ

2012年に行われたJFASTの掘削航海の際、LWDで測定された実際のデータ。グラフの最も下に近いところで、比抵抗の値が大きく下がり（水を通しやすい地層であるということを示す）、自然ガンマ線の値が大きくなっている（粘土が増加していることを示す）ことから、「この場所が目指す断層ではないか」と考えられた。

ドリルビット

LWDツールの下端に取り付けられ、海底に下ろして回転させることで地層を掘っていく。地層の硬さに応じて超合金、人工ダイヤモンドを使い分ける。写真は人工ダイヤモンドの歯が付いたもの。詳しくはP17を参照。

DRILLING TOOL 1

ビット

ドリルパイプの先端に取り付けられる、海底を掘削するためのツール。地層の硬さに合わせて形状や刃先を変更できるのが特徴。主にローラービットとフィックスカッタービットが一般的によく使用されている。



写真は、海底から採取されたばかりのコア試料を真剣に見つめる研究者たち。掘削フロアでインナーバレルからコアライナーを取り出し、ラボエリアに運んでいく。ここから船上での研究が本格的にスタートする。

ドリルビットの種類



ミルドツースビット



インサートビット

ローラービット



PDCビット

フィックスカッタービット

ドリルビットは、海底下の地層を掘り進めるためのビット。地層の種類によって、可動部を持つローラービットと、可動部を持たないフィックスカッタービットを使い分ける。ローラービットは、優れた食い込み性と耐久性を持ち、特に岩盤などを掘り進める際に活躍する。一方、フィックスカッタービットは、掘削面を削る際に使用される。

コアビットの種類



PDCコアビット



ローラーコーンコアビット



ナチュラルダイヤモンドコアビット

地層を掘り抜くためのコアビットは、主に3つの種類がある。PDCコアビットは、人工ダイヤモンドが表面に埋め込まれたタイプ。一方、ローラーコーンコアビットは、回転する円錐状のカッターの表面に多数の刃先がつけられたもの。ナチュラルダイヤモンドコアビットは円筒の形が特徴的で、振動を抑えた掘削が可能になる。

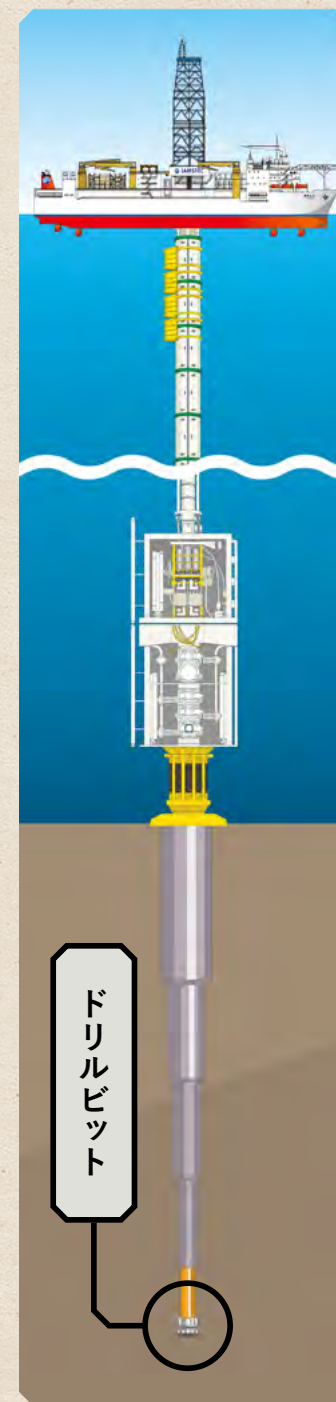
コアビットとは？

通常の掘削作業で使用されるドリルビットとは異なり、中央に穴が開いているのが特徴で、地層を残すように外側の歯で周りの地層を削っていく。柱状に削られた地層は、コア試料としてパイプの内部にセットされたインナーバレルに収納。パイプを上下することなくインナーバレルと中のコア試料だけを船上で回収する。なお、コア試料はインナーバレルに直接触れないようにプラスチック製コアライナーで保護されている。



岩盤強度の調査も！

右の図のように、先端にドリルビットをつけたパイプを下ろして回転させることで海底下を掘削する。このとき、回転数やビットにかかる力、ビット荷重やビットの深さなどの情報を通じて、岩盤の強度を調べることができる。



DRILLING TOOL 2

温度計測装置、温度ロガー

大きなすべりを起こした断層の摩擦熱を計測する、長期温度計測装置と、その中に使用される温度ロガー。
断層の掘削孔に設置し、中に残された温度データを記録。
数カ月後にあらためて回収を行うことで、長期にわたる温度変化を調査することができる。

圧力温度ロガー

温度ロガー

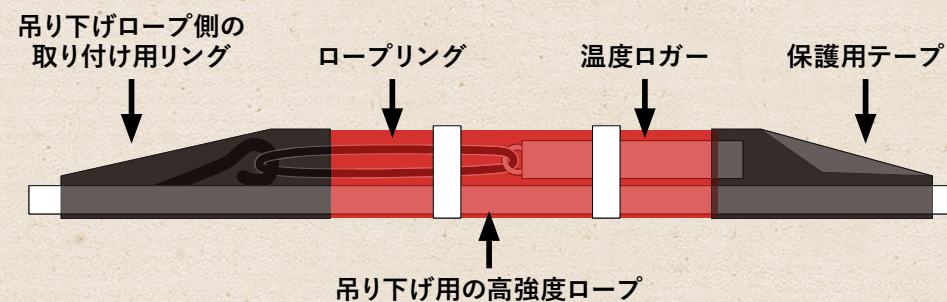


2種類の
温度ロガー

高精度の温度測定

温度計測装置に使われた2種類の温度ロガー。どちらも1,000分の1°Cの精度で温度を測定することが可能。あらかじめ指定した時間間隔で測定対象のセンサから送られる信号を収集し、それらのデータを内蔵されたメモリに記録する。左のロガーは圧力も測ることができ、設置の際の深度補正に用いられる。また、挿入時の衝撃に耐えられるように、ゴム製の保護カバーに入れて使用する。

温度ロガー取り付け部



温度計測装置の構造

JFASTで使用された温度計測装置。まず、海底に掘削した直径27 cmほどの孔に直径約11 cmのケーシングパイプを挿入。その中に55個の温度ロガーを取り付けた820 mを超えるロープを通し、先端の重りによって孔内でたるみなく伸びた状態にした。また、温度ロガーの位置は、断層の位置に合わせて決められている。

水深 6,897.5m

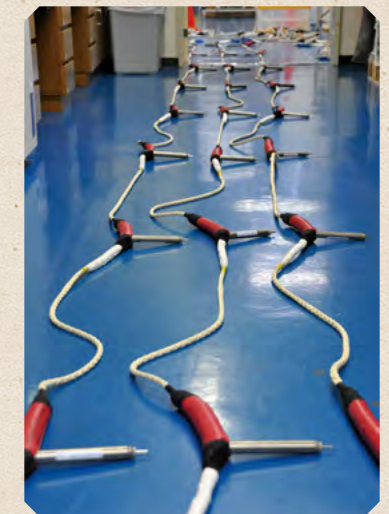
高精度温度ロガー

断層

海底下 854.8m

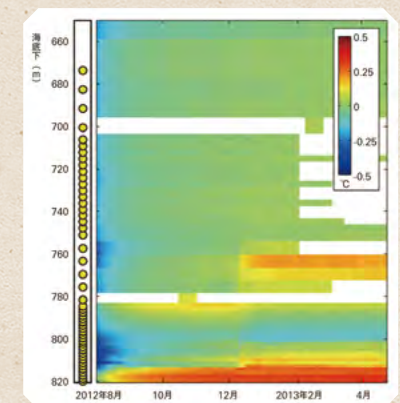
JFASTの温度計測結果

海底下660～820 m付近の温度を2012年8月～2013年4月まで計測した結果を示した図。回収した温度ロガーを分析したところ、プレート境界線がある820 m付近は周囲と比べて最大0.31°C高くなっているなど、断層がすべったことによって発生した摩擦熱と考えられる温度異常を検出した。



実際に設置された 温度計測装置

55個の温度ロガーをゴム製の保護カバーに入れ、摩耗に強く、伸びない性質のロープで数珠つなぎにしている。これをケーシングパイプに入れ、掘削孔に挿入する。温度ロガーは直接地層には接触しないものの、ケーシングパイプの外側が地層に接しているため、ある程度の時間をおけばその温度を測定できるようになっている。



DRILLING TOOL 3

掘削調査をサポート！ 海中作業ツール

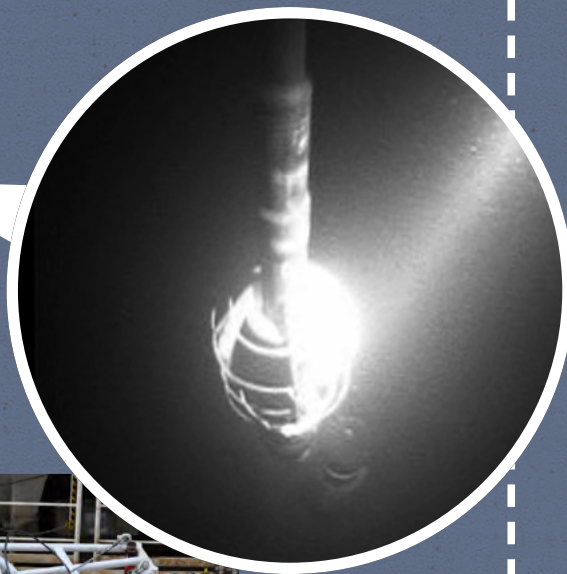
一方、人が立ち入れない海の底で、その代わりとして掘削をサポートするツールの存在も。そんな「縁の下の力持ち」とも言える作業ツールについて紹介していこう。

水中カメラ (UWTV)



深い海域を映す「目」

水深3,000 mまでの海域の場合、「ちきゅう」では無人探査機を使用して、海底での作業を行っている。しかし、日本海溝付近などそれよりも深い海域では使用することができない。その代わりに用いられているのが、水中カメラ(UWTV)。掘削パイプに沿わせて海底まで降ろしていき、作業を行う「目」として使用する。UWTVを利用することで、温度計測装置の設置などの作業を実施することも可能になる。



JFASTの最初の航海では、UWTVの電力供給と画像・データの転送を行うケーブルが故障。その結果、航海期間中の温度計測装置の設置が不可能となった。帰港後、ケーブルは急ピッチで修理され、約1カ月半後に再び航海へ。このプロジェクトでは多大な困難を乗り越えて無事に設置作業が完了。「地震の摩擦熱を計測する」という快挙をサポートした。



無人探査機 (ROV)

「ちきゅう」に備えられたROVのマニピュレータ。ライザー掘削を実施する際に、地層中のガスや油などがパイプを伝って噴出してくるのを防止する装置(BOP)の調節を行うなど、海底の作業で大活躍している。

水深3,000mの海底で活躍

海底面の掘削を行うためには、ドリルパイプ、ドリルパイプを船上から回転させるパワースイベルなどの掘削関連機器に加え、掘削地点を監視する「目」が必要である。このため「ちきゅう」では、水中テレビカメラを搭載した無人探査機(ROV)を使用。水深3,000mまで潜り、海底をモニタリングできる。またマニピュレータも備えているため、海底に着底した状態で作業を行うことも可能だ。



コアリングツールを利用して回収

2024年現在、水深7,000m級の海底から装置を回収できるROVはJAMSTECには存在しない。そこで、既存のコア試料採取システムを利用して装置を回収できるような形状のパーツ(写真)を温度計測装置の最上部に取り付けている。温度計はパーツの左部にロープでつなげられる。パーツ右部はコア回収用のワイヤラインを接続することができる。

温度計測装置の回収システム



JFASTで水深約6,900mの地点に設置した温度計測装置の回収を行った無人探査機「かいこう7000-II」。現在はランチャーレスとなり潜航能力は水深4,500mまで。



Production Concent, Inc.

Creative Director / Toru Watanabe (Concent, Inc.)

Producer / Yasunaga Tachibana (Concent, Inc.)

Editor / Takuo Shibasaki (butterflytools)

ArtDirector / Junpei Oshika (Concent, Inc.)

Production Cooperation / Lena Maeda, Ryoko Sato (JAMSTEC)

Blue Earth

173号 別冊付録 2024年3月発行 編集・発行 国立研究開発法人 海洋研究開発機構 海洋科学技術戦略部 広報課
〒236-0001 神奈川県横浜市金沢区昭和町3173-25 制作・編集・デザイン 協力／Concent, Inc.

