



創立50周年記念事業特設サイトを開設

JAMSTECは2021年10月1日に創立50周年を迎えます。

創立50周年記念事業の特設サイトでは、これまでの歩みを貴重な写真とともに振り返る「JAMSTECの歴史」や、「すべらない砂甲子園」をはじめとする記念行事の紹介、サポーターの皆さまからの応援コメント、ご支援のお願いなど、さまざまなコンテンツを掲載しています。ぜひご覧ください。

賛助会（寄付）会員名簿 2021年4月15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。（アイウエオ順）

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アルパコン
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
海のみらい静岡友の会
株式会社エス・イー・エイ
株式会社エスイーシー
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
株式会社江ノ島マリンコーポレーション
株式会社MOLマリン
株式会社MTS雪氷研究所
株式会社OCC
岡本硝子株式会社
株式会社オキシーテック
沖電気工業株式会社
海洋エンジニアリング株式会社
海洋電子株式会社

株式会社化学分析コンサルタント
鹿島建設株式会社
株式会社カナカ
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
共立インシュアランス・ブローカーズ
株式会社
共立管財株式会社
極東貿易株式会社
株式会社きんぞん
株式会社熊谷組
クローバテック株式会社
株式会社グローバルオーション
ディベロップメント
株式会社KSP
KDDI株式会社
京浜急行電鉄株式会社
株式会社構造計画研究所
神戸ペイント株式会社
広和株式会社
株式会社COAST
国際ビルサービス株式会社
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
株式会社コンボイン研究所
相模運輸倉庫株式会社
佐世保重工業株式会社
三洋テクノマリン株式会社

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
株式会社シーフロアコントロール
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
株式会社JVCケンウッド
静岡市
シチズン時計株式会社
株式会社SIX VOICE
シナネ株式会社
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
セイコーウオッチ株式会社
株式会社清友農材センター
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
セナードバーンズ株式会社
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

中国塗料株式会社
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
株式会社テザック
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
東海交通株式会社
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
東北環境科学サービス株式会社
東洋建設株式会社
株式会社東陽テクノニカ
株式会社東和製作所
トーヨーテック株式会社
トビー工業株式会社
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
株式会社日産電機製作所
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
日本海洋計画株式会社
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
日本水産株式会社
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・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
株式会社フクロジャパン
株式会社フジクラ
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
古野電気株式会社
松本徽章株式会社
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
三鈴マシナリー株式会社
三井E&S造船株式会社
株式会社三井E&Sマシナリー
三井住友海上火災保険株式会社
三菱重工業株式会社
三菱スペース・ソフトウェア株式会社
三菱造船株式会社
三菱電機株式会社
三菱電機特機システム株式会社
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ズ株式会社
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
株式会社落雷抑制システムズ
株式会社ラジアン
若葉建設株式会社



特集 東北地方太平洋沖地震から10年

次の巨大地震・津波に 備える

次の巨大地震・津波 に備える

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震から10年。

次の巨大地震・津波は、いつごろ、どこで、どのくらいの規模で起きるのか。

それを知るには、東北地方太平洋沖地震で何が起きたのか、

どのような仕組みで起きたのかを探り、その理解に基づき予測する必要がある。

JAMSTECの研究者たちはこの10年、どのように地震研究を進めてきたのか。

それにより、巨大地震・津波への備えはどこまで進展したのか。

東北地方太平洋沖地震の震源域、 日本海溝陸側斜面の亀裂

有人潜水調査船「しんかい6500」が2011年8月3日、水深5,351mで撮影。幅・深さともに最大で約1mの亀裂が少なくとも80mは続いていた。2006年に同じ場所で潜航調査を行ったときには亀裂は見つかっていないため、東北地方太平洋沖地震か、その後の余震でできたものだと考えられる。



▶#JAMSTECにシリーズ連載
「東日本大震災から10年」を
掲載しています。

M9の衝撃の中で発生現場を緊急調査

取材協力 小平秀一
部門長
海域地震火山部門

「まさか日本でマグニチュード9の地震を体験するとは思っていませんでした。多くの人命が失われ、それまでの自分たちの地震研究は役に立たなかった、と無力感に襲われました」。小平さんは10年前のその日を振り返る。東北地方太平洋沖地震（以下、東北沖地震）は、マグニチュード（M）9.0、最大震度7、強いゆれと巨大津波で多くの被害者を出した。

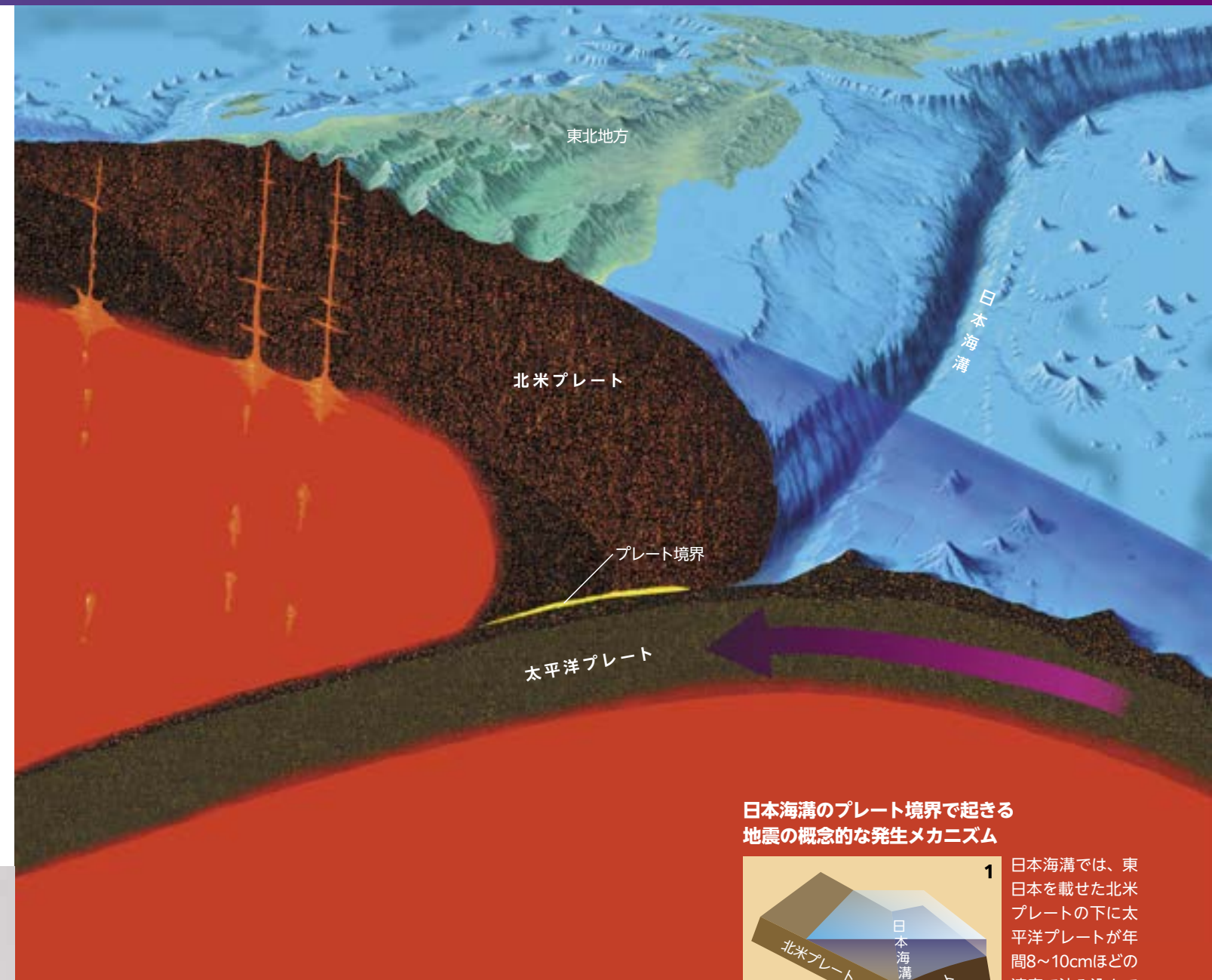
日本海溝では明治と昭和にM8クラスの地震とそれに伴う巨大津波が観測されていた。しかしM9の地震のエネルギーはM8の32倍以上、日本でM9クラスの地震が観測されたのは史上初めてだった。

最初に断層がすべり始めたのは、宮城県沖

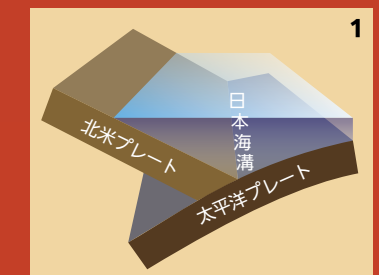
約130km、深さ24kmだ。「あの地震の直後、JAMSTECにしかできないこと、私たちに求められていることは何かを改めて考えました。JAMSTECは直接、防災に関わる仕事をしているわけではありません。私たちの使命は、巨大地震・津波が発生した海の現場で調査を行い、あの地震で何が起きたのか、今どうなっているのかをきちんと記述し、なぜ起きたのか仕組みを探ること。その理解に基づき、次に何が起き得るのかを予測して情報を発信し、巨大地震・津波による災害の軽減に貢献することです」と小平さんは語る。

JAMSTECでは、M9の地震を緊急調査することを即決。小笠原諸島近海を調査していた深海調査研究船「かいれい」はJAMSTEC横須賀本部に戻り、すぐさま3月14日に出航して、M9の発生現場である宮城県沖へ向かった。

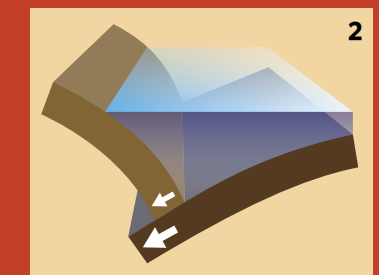
日本海溝の緊急調査に向かった深海調査研究船「かいれい」



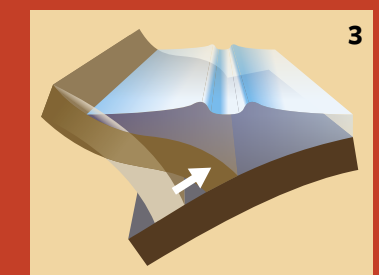
日本海溝のプレート境界で起きる地震の概念的な発生メカニズム



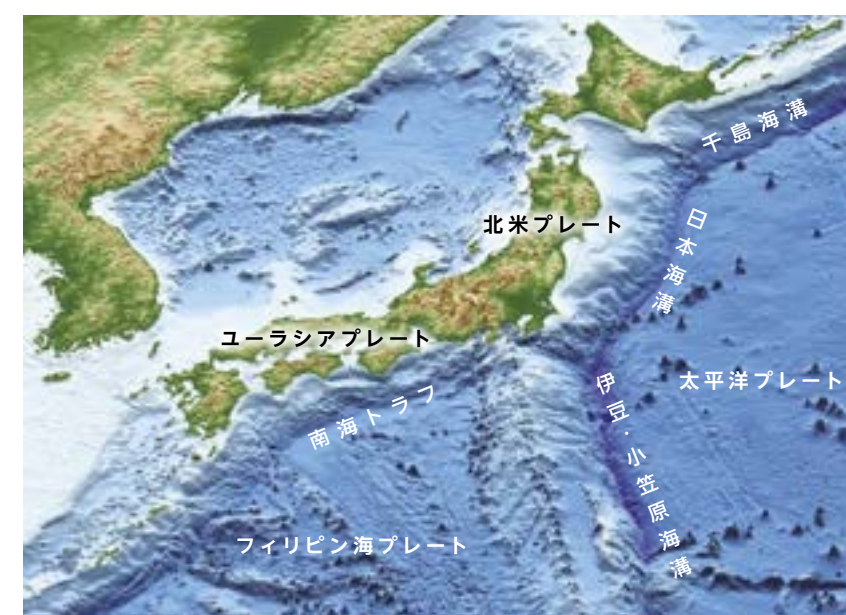
1 日本海溝では、東日本を載せた北米プレートの下に太平洋プレートが年間8～10cmほどの速度で沈み込んでいる。



2 プレート境界が固着していると、北米プレートは引きずり込まれ、ひずみがたまっていく。



3 ひずみに耐え切れなくなった北米プレートが跳ね上がり、巨大地震が発生。それに伴い海底が隆起し、その上の海水が持ち上げられて巨大津波が発生する。



日本周辺のプレート

日本列島は、地球表層を覆うかたい岩石の板（プレート）がひしめき合う場所に位置している。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や千島海溝、フィリピン海プレートがユーラシアプレートの下に沈み込む南海トラフでは、巨大地震・津波が繰り返し起きてきた。

宮城県沖で北米プレートが誰もが 想定できない規模ですべり、巨大津波が発生した

取材協力 富士原敏也
主任研究員
海域地震火山部門 地震発生帯研究センター
海底地質・地球物理研究グループ

富士原さんは10年前のその日、千葉県にある東京大学柏キャンパスにいた。「スマトラ島沖では2004年にM9.1の地震と巨大津波が発生しました。そのシンポジウムに参加していたのです」

富士原さんは、東北沖地震の直後に「かわいい」が観測した海底地形データと、JAMSTECが過去に観測した1999年と2004年のデータを比較。「宮城県沖の海溝軸付近で北米プレ-

ートが水平方向に約50m、上下方向に約10m変動したことが分かりました。海溝軸に近くなるほど大きくすべり、それにより巨大津波が発生したのです」

それまで日本周辺を含め世界各地のプレートが沈み込む場所で、地震により海溝軸付近まですべる現象は確認されていなかった。「JAMSTECでは2005年にスマトラ島沖地震の海域を調査し、私も参加しました。そのとき、海溝軸付近の海底の亀裂などを確認しました。しかし海溝軸付近まですべったかどうかは、地震前の海底地形データがなかったた

め、比較して確かめることはできなかったのです」

もし、2004年のスマトラ島沖地震で海溝軸付近まですべったことが確認できたら、2011年以前に日本周辺で起き得る地震や津波の規模について見直しが行われ、備えることができたかもしれない。

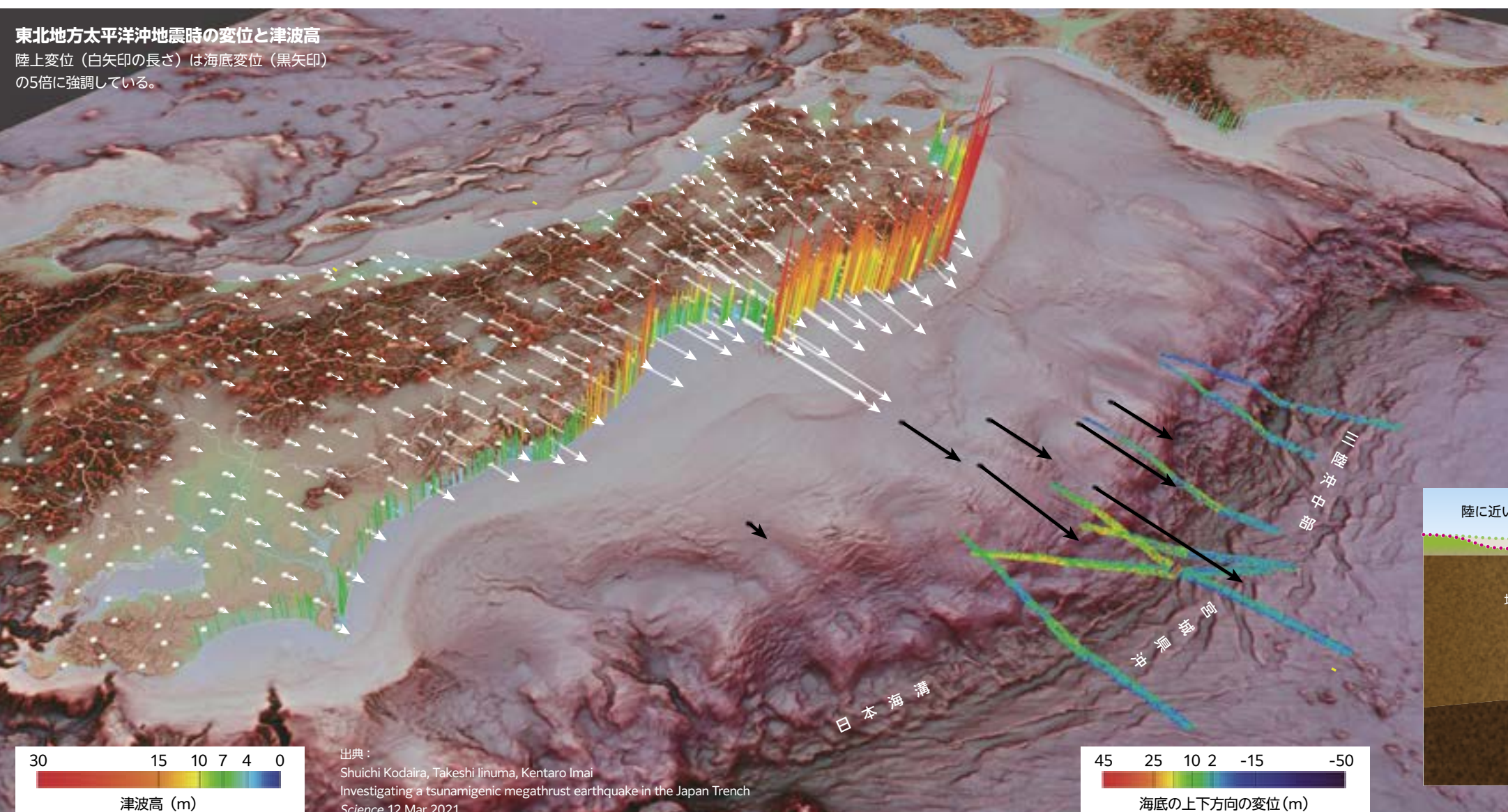
富士原さんらは2011年以降、日本海溝の福島県沖や三陸沖でも海底地形の観測を続けたが、大きなすべりは確認されなかった。「2011年の東北沖地震は、大きくすべった海域が宮城県沖に集中しているという特徴を持つことが分かりました」

ただし、三陸沖中部の1896年に明治三陸地震が起きた海域では、すべりは比較的小さかったにもかかわらず大きな津波が発生した。それが大きな謎だ。「三陸沖の中部では何が起こったのか。それを知るために、ほか

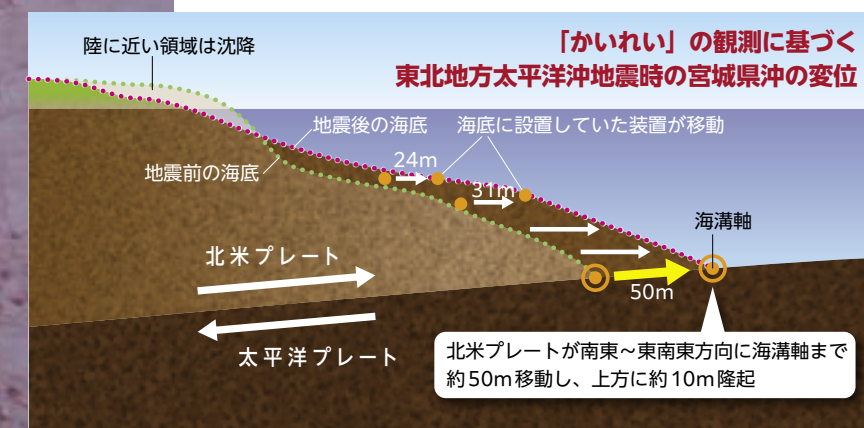
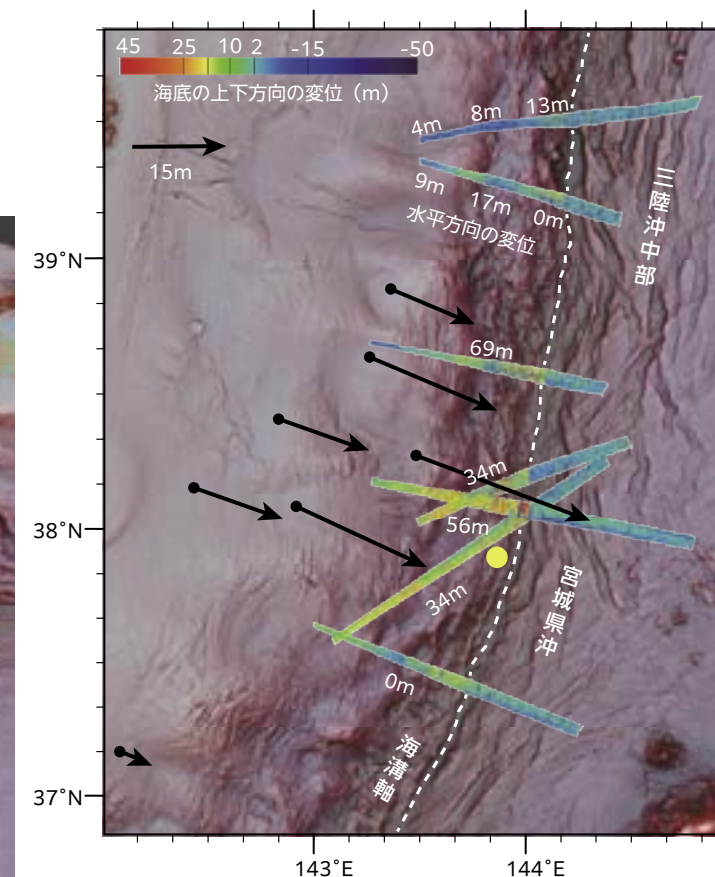
の地域の海底地形と比較をしたり解析方法の工夫などを続けて調べていきます」

過去の海底地形データは解像度が低いので、地震後の変動を詳細に比較することが難しい。「現在の海底地形を高解像度で調べ続けてデータを蓄積することで、次の地震・津波が起きたときに、海底地形を比較して何が起きたのか分かるようにしておくこと。それが私たちの重要な使命です」

東北地方太平洋沖地震時の変位と津波高
陸上変位（白矢印の長さ）は海底変位（黒矢印）の5倍に強調している。



宮城県沖の黄色の点は、東北地方太平洋沖地震調査掘削 (JFAST) の掘削地点 (本誌10~11ページ)。



出典：
Shuichi Kodaira, Takeshi Iinuma, Kentaro Imai
Investigating a tsunamigenic megathrust earthquake in the Japan Trench
Science 12 Mar 2021

平安・室町の巨大地震でも宮城県沖が大きくすべった―掘削試料と古文書から

取材協力 金松敏也
専門部長
海域地震火山部門

金松さんは10年前、南海トラフの掘削試料を分析する研究を進めていた。そのとき、東北沖地震は起こった。「東北沖地震のような巨大地震・津波が起きる日本海溝では、海底の地殻変動によって土砂が堆積したタービダイトという地震・津波の痕跡が見つかるはずです。2011年からそちらの研究にシフトしました」

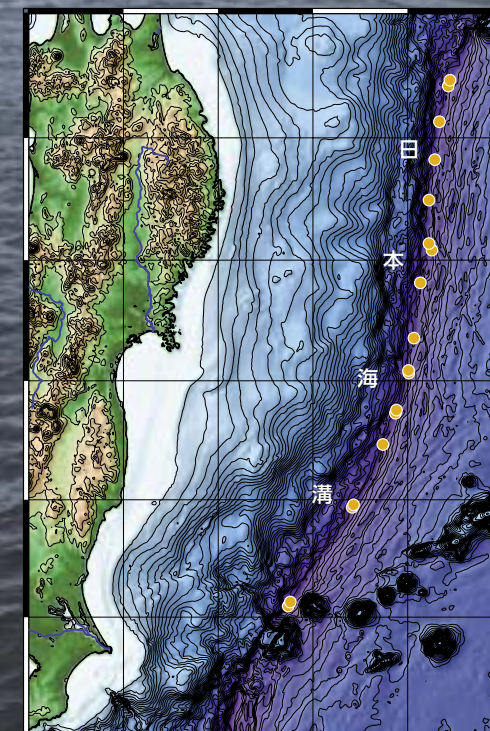
ピストンコアラという筒状装置を海底に突き刺すと、海底下10mほどの試料を採取することができる。宮城県沖で採取した試料を分析すると、2011年のほかに、約500年前と約1,000年前の地層にタービダイトが見つかった。「その年代を特定するのは難しいのですが、2つのタービダイトの間に915年に噴火した十和田火山の火山灰があるため、古文書の記録から、869（貞観11）年と1454（享徳3）年の巨大地震・津波によるものだと私たちは推定しました。後者は、

1611年の慶長三陸地震によるものである可能性も指摘されています」

さらに金松さんらは、日本海溝のほかの海域でも試料を採取して分析した。「約500年前と約1,000年前の巨大地震・津波も2011年と同様に、大きくすべった海域は宮城県沖に集中していることが分かりました」

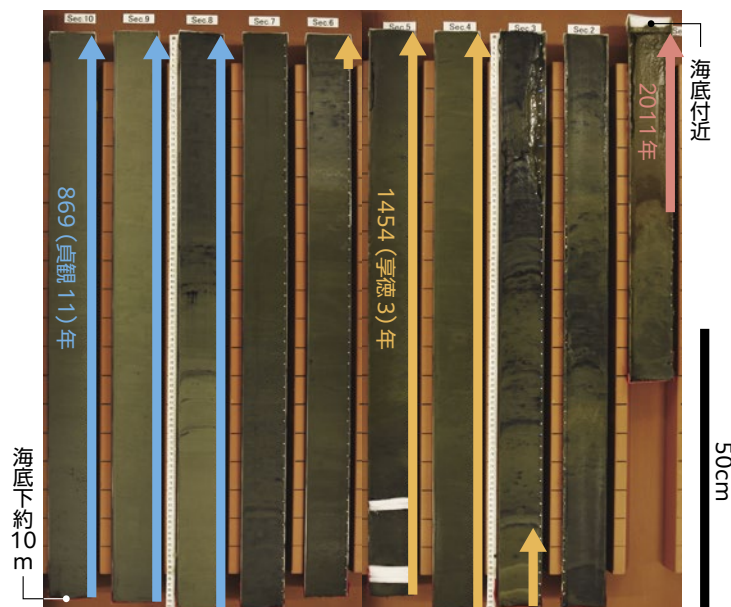
金松さんらが三陸沖で採取した10mの試料には、過去4,000年間の記録が刻まれていた。「その試料を分析すると、かつての巨大地震・津波の間隔は900～800年で、その間に比較的小さな地震・津波が起きていること。最近では小さな地震・津波の頻度が減る一方で、巨大地震・津波の間隔が500年ほどに短くなっている傾向が見えてきました。かつては比較的小さな地震・津波が頻発することでプレートのひずみが解消されて、巨大地震・津波の発生間隔は長くなっていたと考えられます。ただし、10mに4,000年間に記録された試料では、年代を細かく分析することは困難です」

金松さんらは2021年4月から、IODP（国際深海科学掘削計画）第386次研究航海として、海底広域研究船「かいめい」に搭載されたジャイアントピストンコアラにより、約40mの試料を日本海溝の全域にわたる十数箇所ですべて採取している。「日本海溝の谷底深くには堆積速度が速い場所があります。大水深の海域で掘削試料を採取すること自体がチャレンジですが、40mに4,000年間に記録された試料ならば、従来よりも4倍細かく年代を分析することができます。水深が特に深く、これまで手付かずだった茨城県沖の試料採取にも挑戦します。さらに2021年には、千島海溝の掘削調査へと拡張していく計画です」



IODP第386次研究航海の掘削地点（黄色）

過去の巨大地震・津波の痕跡が記録された宮城県沖の掘削試料



海底広域研究船「かいめい」のジャイアントピストンコアラ
船上手前から奥へ横たわる筒状装置が、40mのジャイアントピストンコアラ

宮城県沖でなぜ大きくすべるのか？ 沈み込む太平洋プレートの堆積層の違いが影響した

取材協力 藤江 剛
グループリーダー
海域地震火山部門 地震発生帯研究センター
プレート構造研究グループ

藤江さんらは東北沖地震の後、2011年5月に「かいいい」で日本海溝の東側、太平洋プレートの海域で探査を行った。「沖合200kmの海域に陸からの漂流物が流れる中、複雑な気持ちで調査を続けました」
なぜ、日本海溝で起きる巨大地震・津波で

は、宮城県沖が大きくすべるという特徴があるのか。

「各海域におけるプレート境界のすべりやすさは、沈み込む海洋プレートの状態によって変わるはずだ。私たちは、今までの地震研究ではほとんど調べられてこなかった沈み込む手前の海洋プレートに注目して、2009年から海底地震計を使って太平洋プレートの地下構造探査を行ってきました」

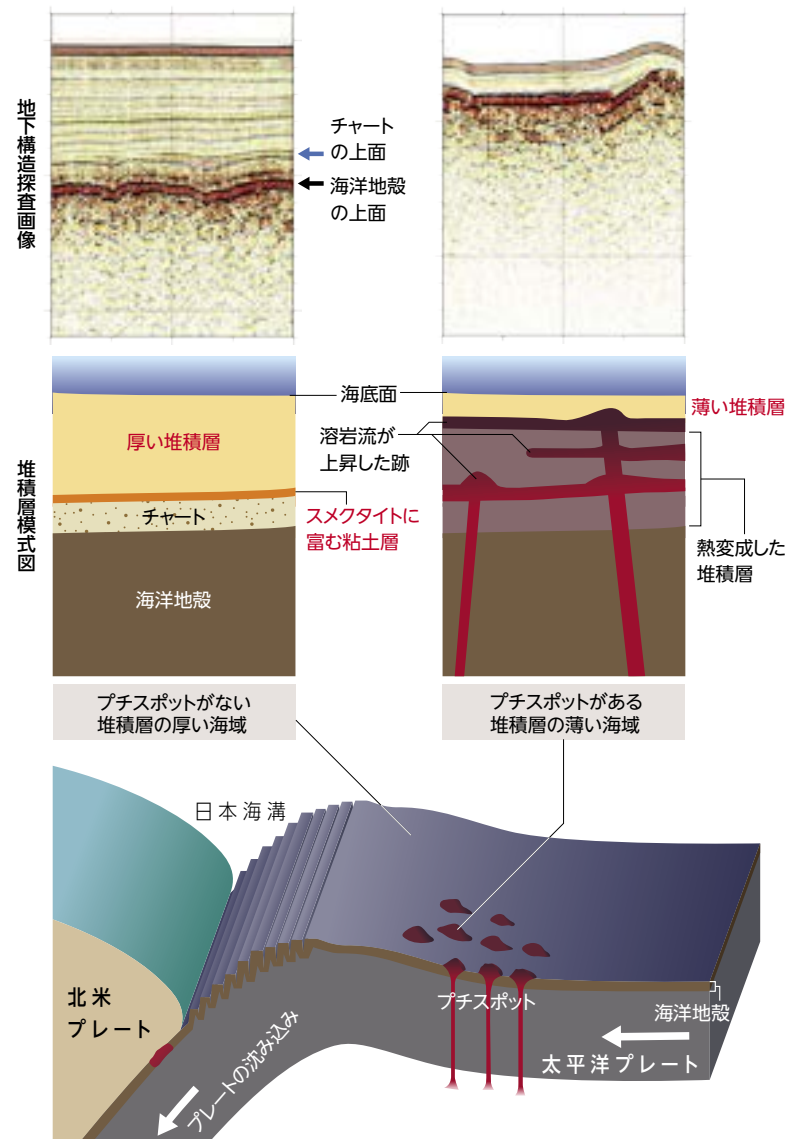
藤江さんらは2020年、日本海溝東側の太平洋プレートには、堆積層が400～500mと厚い海域と、とても薄い海域があることを発表した。「それは意外な結果でした。なぜ海域ごとに堆積層の厚さに違いがあるのかを調べると、プチスポットという小規模な海底火山がある海域では堆積層が薄く、プチスポットがない海域では堆積層が厚いことが分かりました」

厚い堆積層にはスメクタイトという粘土鉱物に富む粘土層が含まれていてすべりやすい。一方、プチスポットがある海域では溶岩流が上昇した跡が見られ、火成活動で粘土層を含む堆積層が熱で変成されていてすべりにくいと考えられる。

「大きくすべった宮城県沖のプレート境界には厚い堆積層が沈み込んでいます。その北側には、すべりが止まった海域があります。そのプレート境界には、すべりにくい薄い堆積層が沈み込んでいるため、すべりが止まったと考えられます」

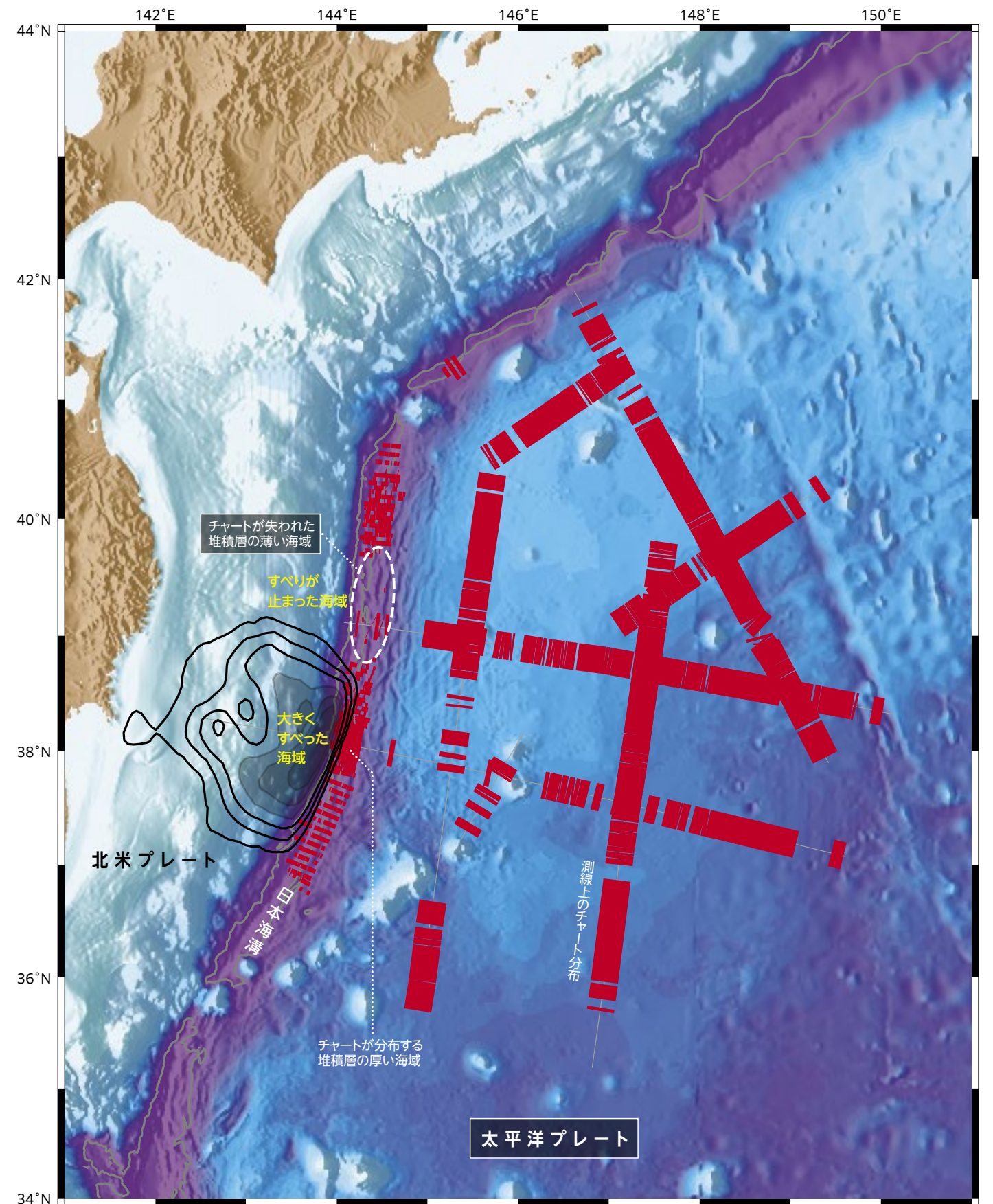
それを確かめるには、太平洋プレートが日本海溝で沈み込んだ後のプレート境界の海域ごとの違いを調べる必要がある。

「これまでは、海溝軸から少し離れた水深約6,000mまでの海底に地震計を設置して探査してきました。プレート境界の違いを詳しく調べるには、海溝軸付近の水深6,000mより深い海底に海底地震計を短い間隔で並べて地下構造探査を行い、さらにデータ解析に



プチスポットと堆積層の厚さ

プチスポットがある海域では太平洋プレートの堆積層が薄く、プチスポットがない海域では堆積層が厚い。



堆積層の厚さに対応するチャート分布 (赤)

堆積岩の一種であるチャートが分布する海域では堆積層が厚い。一方、チャートが失われた海域の堆積層は薄い。東北地方太平洋沖地震で大きくすべった宮城県沖の北側、すべりが止まった海域ではチャートが失われており堆積層が薄いことが分かった。この海域のプレート境界はすべりにくいと考えられる。

も新手法を取り入れる必要があります。そのような研究により、海域ごとのプレート境界のすべりやすさ・固着のしやすさを探ること、次に起きる地震や津波の規模について新しい知見が得られるはずだ」

「ちきゅう」が掘削した本物のプレート境界試料で大地震すべりを再現

取材協力 廣瀬文洋
グループリーダー
超先鋭研究開発部門 高知コア研究所
岩石物性研究グループ

廣瀬さんは、海底下のプレート境界の地震すべり現象を解明するために、それを実験室で再現する摩擦実験を続けてきた。「しかしその摩擦実験が、実際の海底下のプレート境界のすべりをどの程度再現できているのか、それを検証するための岩石試料や観測データがまったくない状態でした」

廣瀬さんは2012年、地球深部探査船「ちきゅう」に初めて乗船し、IODP第343次研究航海「東北地方太平洋沖地震調査掘削(JFAST)」に参加した。このプロジェクトにより、宮城県沖で50mすべった海溝軸付近を掘り進めると同時に地層の観察と物理検層を行い、海底下820m付近のプレート境界の

断層から岩石試料を採取することに成功し、温度計を設置した。「JFASTにより、摩擦実験を検証する観測データと岩石試料を初めて手にすることができたのです」

JFASTで採取された岩石試料には、粘土鉱物のスメクタイトが重量換算で80%も含まれていた。「私たちはこの岩石試料を使った摩擦透水実験を行い、摩擦熱によって高温となった水を、スメクタイトが閉じ込めることを突き止めました」

海溝軸付近のプレート境界の断層には水が多く含まれている。そこへ地震のすべりが伝わると、摩擦熱により水が膨張する。その水をスメクタイトが閉じ込めることで水圧が増加。プレート境界の断層は、その上にある地層や海水の重さで押さえ付けられてすべりにくくなっている。ところが地震のとき、摩擦

熱により膨張した水の水圧によって断層が押し上げられることにより、急激にすべりやすくなった。それが、海溝軸付近のプレート境界の断層が50mも動いた主な原因だと考えられる。

ただし、プレート境界深部にいくほど高温・高圧となるため、スメクタイトは別の鉱物に変化して、断層の破壊が始まる地震発生帯には存在しない。東北沖地震では深さ24km付近で断層が破壊されてすべり始め、加速、海溝軸付近まですべりが伝わることで、巨大地震・津波が発生した。

「地震発生帯の浅部では、すべりが加速するほど断層はすべりにくくなる性質があります。そのため、海溝軸付近まで伝わる手前ですべりは止まってしまうと、従来は考えられていました」

東北沖地震では、なぜすべりが止まらず、海溝軸付近まで伝わったのか。それが大きな謎だ。廣瀬さんらは現在、深さ数十kmの地震発生帯の高温・高圧の環境下で地震時の高速すべりを再現できる世界初の実験装置を開発・調整中だ。

「海底下820mの岩石試料が深部に沈み込んで高温・高圧になったときにどのような鉱物になるのかは、これまでの岩石学・鉱物学の研究により推定することができます。私たちは、地下深部の地震発生帯に存在すると推定される岩石を用いて開発中の装置で摩擦実験を行い、プレート境界深部から浅部で発生する地震断層すべりを再現して、海溝軸付近まですべりが伝わった謎を探っていきます」

地震発生帯の浅部および深部では、数週間～数カ月かけて断層が数cm～数十cm動く「ゆっくりすべり」が発生することがあり、それと巨大地震の関係が近年、注目されている。東北沖地震でも、地震前に地震発生帯近くでゆっくりすべりが起きていたことが観測されている。

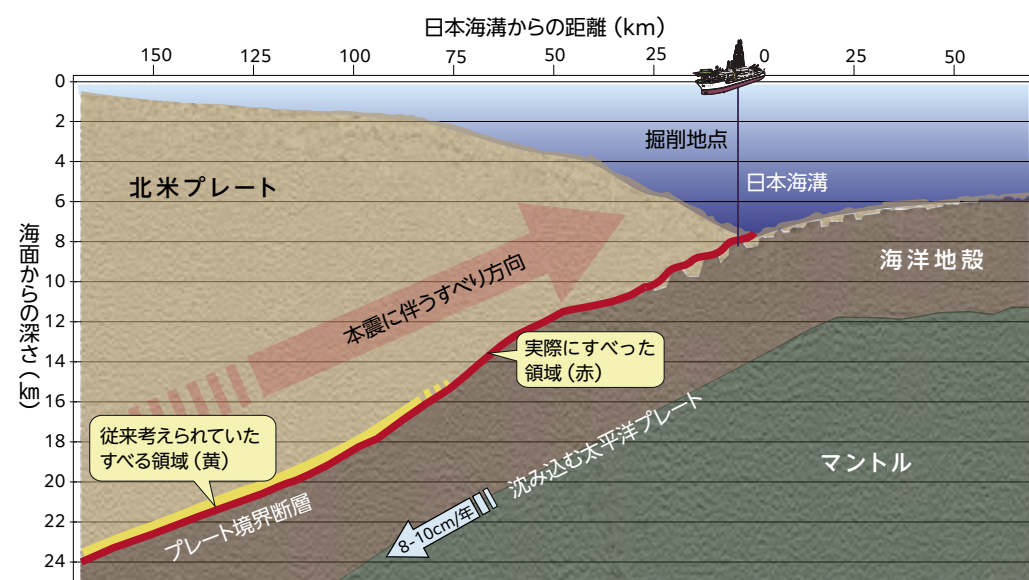
「高温・高圧の地震発生帯付近の熱水の水圧など、どのような条件がそろってゆっくりすべりが起きるのか、ゆっくりすべりが地震発生帯のプレート境界の断層にどのような影響を与えるのか。ゆっくりすべりと巨大地震の関係を、摩擦実験により断層の物性の面から探っていきます」

©JAMSTEC/IODP



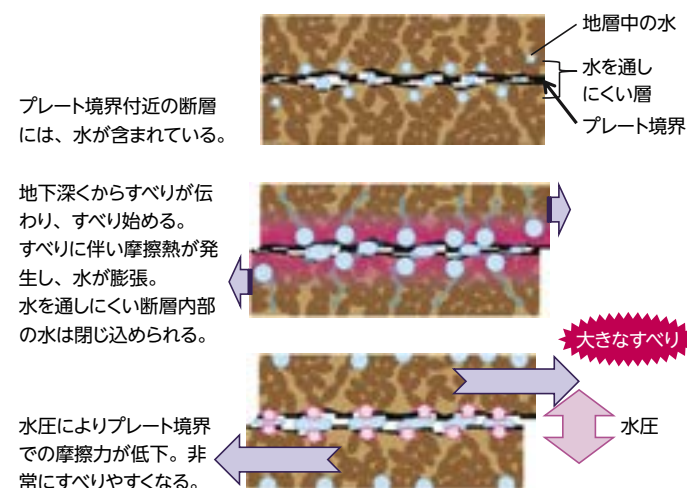
海溝軸付近のプレート境界の岩石試料

地球深部探査船「ちきゅう」により宮城県沖の海底下約820mで採取された。

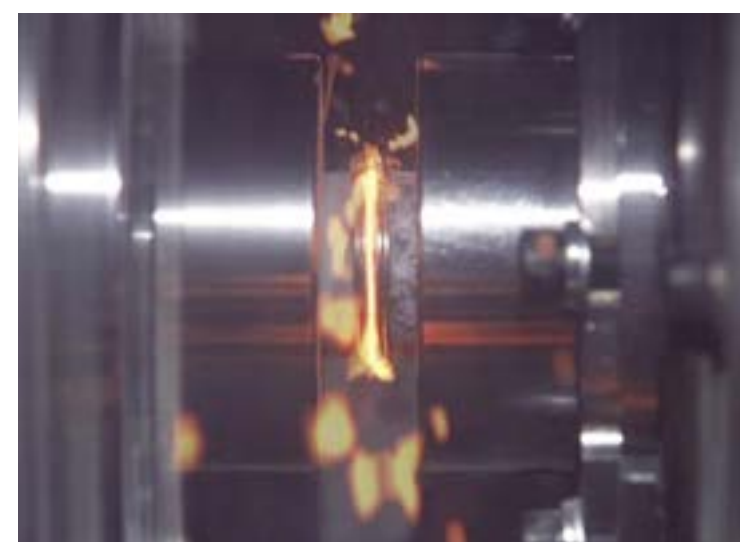


JFASTの掘削地点とプレート境界

プレート境界のすべりは、途中で止まると従来は考えられていた(黄ライン)。東北地方太平洋沖地震では、すべりが海溝軸付近まで伝わった(赤ライン)。



海溝軸付近の大きなすべりのメカニズム(サーマル・プレシャライゼーション)



地震時の高速すべり再現実験

高頻度で海底の動きを観測して、次の地震・津波を警戒する

取材協力

飯沼卓史

グループリーダー
海域地震火山部門 地震津波予測研究開発センター
地震予測研究グループ

10年前のその日、飯沼さんは宮城県にある東北大学の研究室で激しいゆれを経験した。「その後、この巨大地震・津波が起きた海域で観測を行い、現象を統合的に理解したいという思いでJAMSTECへ移籍しました」

東北沖地震で東方向へすべった北米プレートが、地震後にさらに東方向へゆっくりと移動し続ける動きが見られる。それを引き起こしているプレート境界のすべりを「余効すべり」という。

地震後にプレート境界の固着が回復し、北米プレートが再び太平洋プレートに引きずられて西方向へ動いている海域もある。その周りで、余効すべりで東方向へ動く海域がある

と、固着した海域のプレート境界にひずみがたまりやすくなり、次の地震への準備が促進されると考えられる。

海底の動きを観測して、どの海域のプレート境界が固着していて、どの海域ではすべっているのかを知ることは、次の地震・津波を警戒する上で重要だ。ただし海底の動きには、プレート境界の動きだけでなく、プレートの下のマントルの動きも含まれている。「私たちは、海底の動きから地震後のマントルの動きを差し引いて、プレート境界の動きを高精度で推定するシミュレーションモデルを開発しました」

飯沼さんらは、海溝軸付近まで大きくすべった宮城県沖の海域は、地震直後から固着が回復して西側に引きずり込まれていることを突き止めた。遠い将来に起きる可能性があ

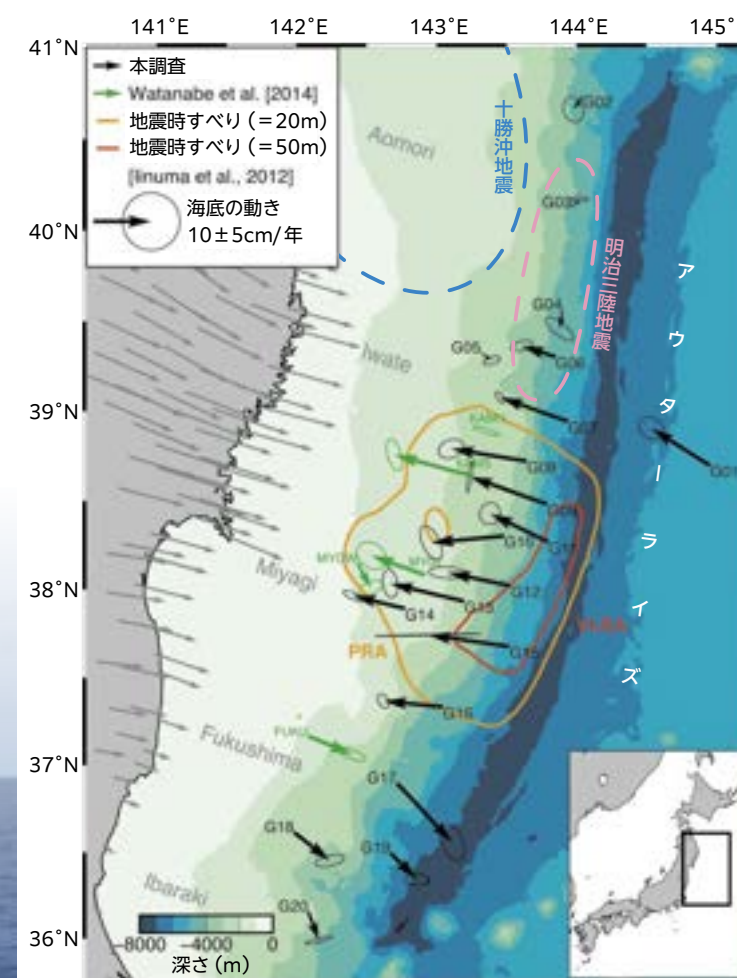
る次の巨大地震・津波へ向けたひずみの蓄積が始まっているのだ。

「1978年宮城県沖地震や1896年明治三陸地震、1968年十勝沖地震の震源域でもプレート境界は固着していて、その周囲では余効すべりが起きていているらしいことが分かりました。それらの海域で近い将来に発生する地震・津波に警戒する必要があります」

海底の動きを直接観測することは容易ではない。陸上では、GPS衛星などを利用したGNSS（全球測位衛星システム）により、日本列島の地殻変動が時々刻々観測されている。一方、海底には衛星からの電波は届かないため、海底に設置された観測点とその上にいる船との相対的な位置関係を音波で求め、船の絶対的な位置を衛星からの電波を使って測ることで海底の位置と動きを観測する方式（GNSS-A）が実用化されている。

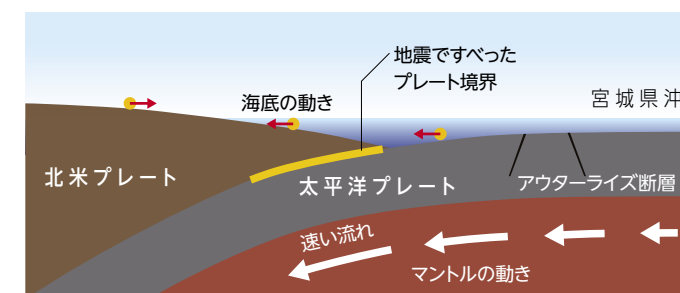
しかし船の運航にはコストがかかるため、高頻度の観測が難しい。「そこで私たちは東北大学と共同で、無人機『ウェーブライダー』を使い、観測点を巡回して海底の動きを観測するシステムを開発して観測頻度を高

めています。2020年12月には十勝沖地震の震源域を調べました。さらに2021年には、明治三陸地震の震源域を含む三陸沖を集中的に観測する予定です。また、海溝軸の東側にある観測点でも観測を行います。その海域ではアウターライズ地震が警戒されています」



東北沖の海底の動き（2012年9月～2016年5月）

東北大学によって海底に設置された20カ所の観測点（G01～G20）における年間の変位量を黒矢印の長さで示している。宮城県沖の赤とオレンジの線は東北地方太平洋沖地震でのすべり量（それぞれ50mと20m）を表す。



地震後のマントルの動き

地震時に大きくすべったプレート境界の下では、マントル（アセノスフェア）を構成する岩石の粘性が大きく下がって流れが速くなる。飯沼さんらはマントル岩石の流動実験の結果を組み込んだシミュレーションモデルを開発することで、海底の動きからマントルの動きを差し引いて、地震後の余効すべりなどプレート境界の動きを正確に推定している。



海底の動きを観測するウェーブライダー

巨大津波を起こすもう一つの要因、 アウターライズ地震の正体が見えてきた

取材協力 尾鼻浩一郎
センター長代理
海域地震火山部門 地震発生帯研究センター

日本海溝では、約2万2000人の死者・行方不明者を出した1896年明治三陸地震（M8.2）の37年後、1933年に昭和三陸地震（M8.1）が起きて約3,000人が犠牲となった。この2つの地震は、津波による被害が非常に大きかったが、明治の地震がプレート境界の地震であったのに対し、昭和の地震はアウターライズ地震だったと考えられている。

アウターライズ地震は、プレート境界がすべる地震により誘発される。その地震により海洋プレートの沈み込みが加速し、沈み込む手前の海洋プレート（アウターライズ）の断層に引っ張りの力が強く働いて地震が発生するのだ。

尾鼻さんは、2011年以前からアウターライズ地震の研究を進めてきた。「しかしいずれの海域でも、普段はアウターライズ地震がほとんど発生しないため、断層を特定するこ

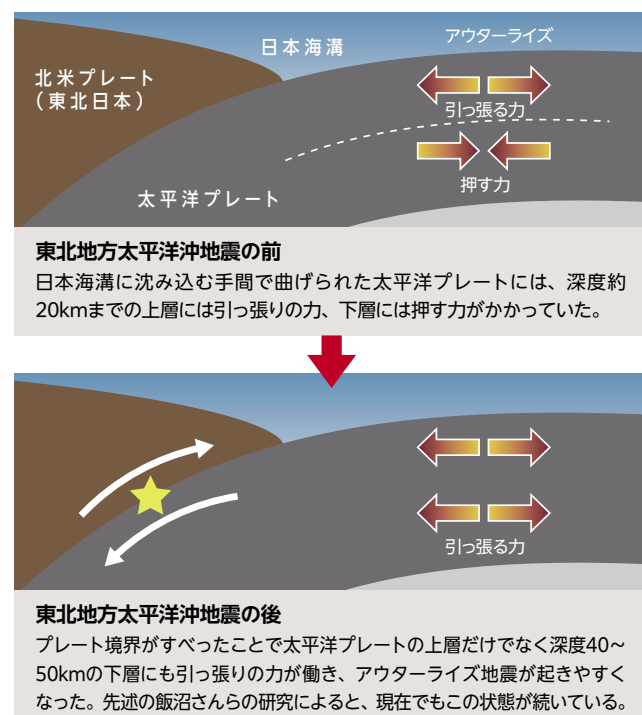
とは難しかったのです」

東北沖地震の後、アウターライズ地震がしばしば発生している。「私たちは、海溝軸に近い水深の深い海底に地震計を投入して地震の観測を行いました。それにより、日本海溝のアウターライズ断層の姿が、初めて見えてきました！そして、断層の傾斜角度や向きには多様性があることが分かりました」

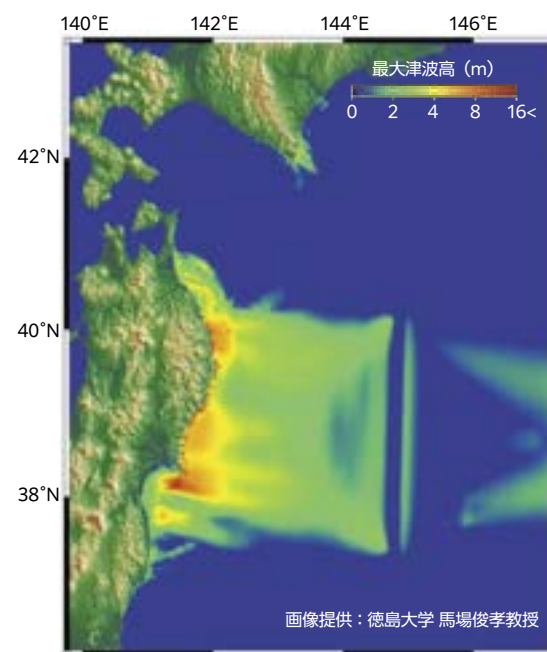
それらの特徴は、断層が動いたときに発生する津波の規模や波長、津波がどちらの方向へ進み、どの地域を襲うかに深く関係する。

尾鼻さんが推定したアウターライズ断層の特徴に基づき、それぞれの断層が動いたときに発生する津波を予測するシミュレーションが行われた。それによると、この海域ではM8.7のアウターライズ地震により、1933年昭和三陸地震に匹敵する、あるいはそれ以上の津波の発生が推定されている。

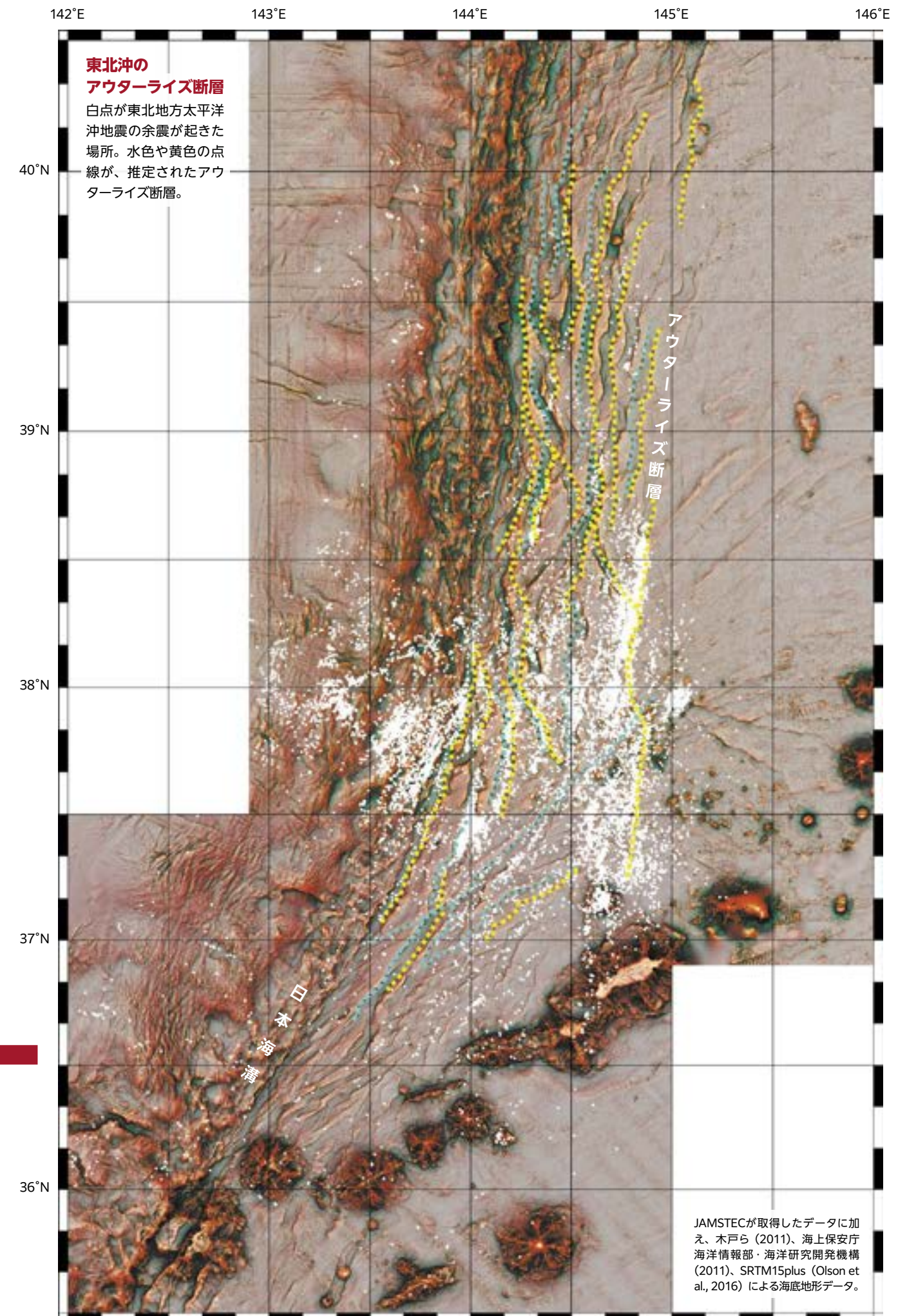
尾鼻さんらのアウターライズ地震の研究は、津波を予測する新システムに役立てられている（本誌20～21ページ）。



アウターライズ地震が誘発される状態



アウターライズ地震による津波高の予測
M8.7のアウターライズ地震が起きた場合



豊かな海—東北沖を調べて漁業復興を支援し未来につなげる

取材協力 藤倉克則
センター長
地球環境部門 海洋生物環境影響研究センター

藤倉さんは「しんかい6500」に乗り込んで日本海溝を探索し、海底の断層上などに生息する深海生物の研究を進めてきた。「この海域を詳細に観測してきたJAMSTECは、M9の巨大地震と津波により東北沖にすむ生物がどのような影響を受けたのか、真っ先に調べる責務があると思いました。三陸の海は豊かな漁場でもあります。私は実家が鮮魚店ということもあり、漁業復興のために何かできないか、という思いも強く抱きました」と藤倉さんは10年前を振り返る。

文部科学省が研究資金を提供し、2012年

1月から「東北マリンサイエンス拠点形成事業『海洋生態系の調査研究』(TEAMS)」が開始された。TEAMSは、東北大学、東京大学大気海洋研究所、JAMSTECが中心となり、巨大地震・津波が東北の海の生態系に与えた影響と回復過程を科学的に明らかにするための調査・研究を続けてきた。「東北大学と東京大学は沿岸域を担当し、深海探索が得意なJAMSTECは、東海大学と協力して沖合を調べてきました」

藤倉さんらはまず、地元の漁業者がどんな問題を抱えているのか、聞き取り調査を行った。「そこで浮かび上がってきたのが瓦礫の問題です」

巨大津波により、大量の瓦礫が陸から海へ

流れ込み海底へ沈んだ。瓦礫は底引き漁の網を傷つけたりして漁業の妨げになるため、宮城県や漁業者により瓦礫の回収が続けられている。JAMSTECでは、その瓦礫回収記録を集めて分析したり小型無人探査機「クラムボン」により海底観察を行ったりして、沖合域の瓦礫の分布と堆積を推定。それは瓦礫回収計画を策定するための基礎資料として活用されてきた。「海底に沈んだ瓦礫はくぼ地に多く、平坦部には少ない傾向があります。また、瓦礫には新たな生物群集がつくられています。特に木材瓦礫に生物が多く集まるので、木材魚礁を設置して保護区とすれば、生物量が増えて持続的な漁業につながるはずです」

三陸には、サケをふ化させて放流する施設が多数ある。「そこでは以前から水カビ病の被害が深刻で、その対策が強く望まれていました。私たちは地元のふ化場や岩手県水産技術センター、北里大学と協力して、水カビ病の原因菌類や感染源を特定。その結果、飼育水だけでなく空気中からも感染するの

で、紫外線などによる殺菌も効果的であると思いました。さらに、水カビ病を防ぐ新物質quelleninを深海性微生物から発見しました」水温や塩分などの海洋環境は、漁業を行う上での基礎情報となる。しかし広大な海域においてそれらを網羅的に観測するのは事実上、不可能だ。JAMSTECでは、コンピュータの中に東北沖の海洋環境を再現し、魚の分布を推定するモデルを構築した。「このモデルを、効率的な漁業や水産資源の管理に活用してほしいと思います」

TEAMSは2020年度で終了した。「ここで紹介した成果はごく一部です。漁業を復興させ、さらに持続的な漁業を展開する多くの情報を蓄積することができました。TEAMSで得られた情報やノウハウはWebで公開するとともに、技術移転を進めています。また、現状を詳細に観測し続けることが、次の巨大地震・津波が起きたときに、どのような変化が起きたのかを知り、効果的な対策を講じるために重要であることを実感しました」

左は2012年1月の実際のマダラの漁獲量。右は、環境情報から推定したマダラの分布量。JAMSTECでは、環境情報から生物の分布量を推定するモデルをつくった。さらに東北沖を対象に水平解像度1.6kmで1998年から現在、そして5日先までの任意の時期と海域における海洋環境データ(水温・塩分・流向流速)を再現・予測できるようにした。そのような海洋環境データを使えば、このマダラの分布量推定が高精度になることが期待できる。



オオサガ (水深約900m)



ハウスキイカ類を襲うイラコアナゴ (水深約950m)



オオメンダコ (水深約300m)

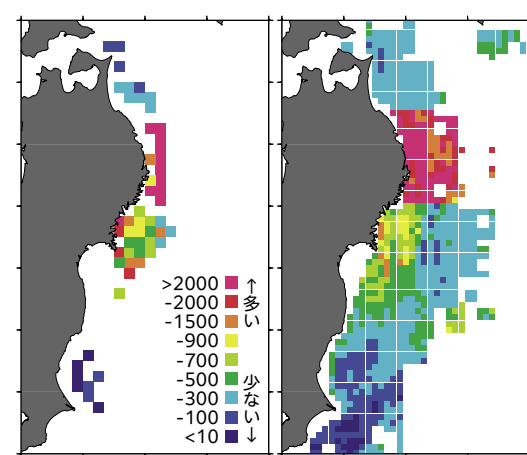


沈船に集まるマダラの大群 (水深約300m)

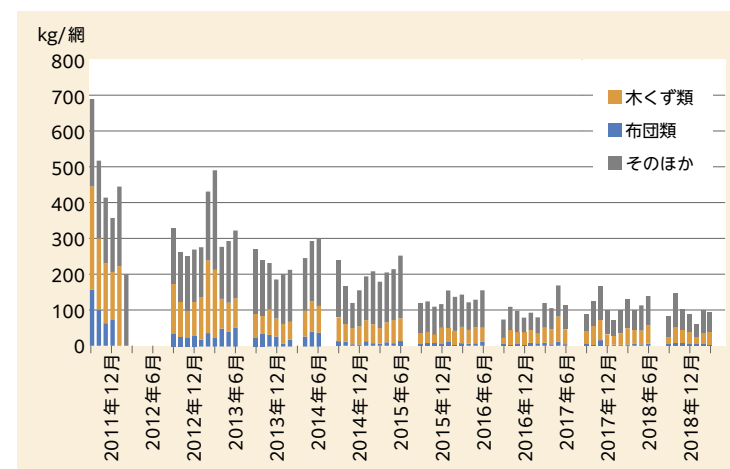
東北沖の豊かな海

マダラの実際の漁獲量

東北沖全域の分布量の推定



回収された瓦礫の種類と量の推移



世界でもまれな海底リアルタイム観測と、シミュレーションで巨大地震・津波に備える

取材協力 堀 高峰
センター長
海域地震火山部門 地震津波予測研究開発センター

堀さんは、2004年スマトラ島沖地震の分析に基づく新しい地震シミュレーションのモデルを2009年に学会で発表した。「その新モデルによると、日本海溝でもM9クラスの巨大地震が起き得るという結果になりました。しかしそのモデルに対して批判的な意見もあり、論文発表をしていませんでした。結局、そのまま2011年3月11日を迎えてしまい、モデルの検証を進めて社会に広く発信すべきだったと、今でも後悔しています」

南海トラフでは100～150年間でM8クラスの巨大地震・津波が繰り返し起きてきた。1944年の昭和東南海地震（M7.9）と1946年の昭和南海地震（M8.0）から70年以上が経過し、次の巨大地震・津波が警戒されている。

巨大地震・津波への備えで10年前と大きく異なるのが、日本海溝ではS-net（防災科学技術研究所：NIED）、南海トラフにはDONET（JAMSTECが開発・設置し、NIEDに移管）という海域の多地点で地震・津波をリアルタイムで観測するシステムが整備されたことだ。

そして2019年5月から、南海トラフ地震に関連する情報が気象庁から出される体制となった。南海トラフ沿いで異常な現象が観測され、その現象が南海トラフ沿いの大規模な地震と関連するかどうか調査を開始した場合などに、巨大地震・津波への注意が呼び掛けられる。

異常な現象とは、監視領域内でM6.8以上の地震が発生した場合や先述のゆっくりすべりが普段と異なる場所や深さで起きた場合などだ。JAMSTECは2007年から「ちきゅう」により南海トラフの掘削調査を進め、その掘削孔3カ所に長期孔内観測システムを設置し

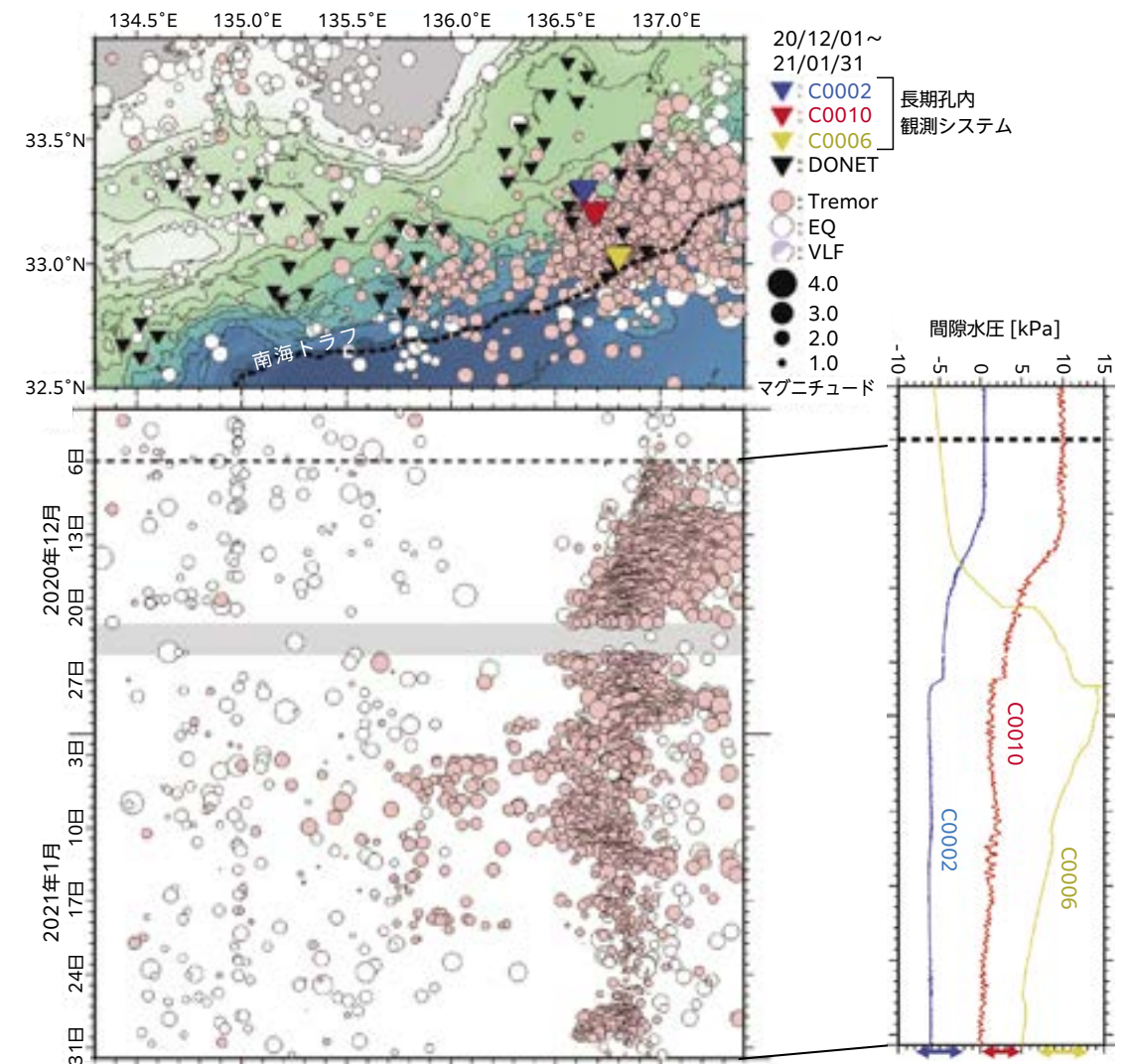
てDONETに接続し、ゆっくりすべりによるひずみの変化を捉えるべく、リアルタイムで間隙水圧の変化を観測している。

ただし、普段と異なるゆっくりすべりが起きたからといって、その後、巨大地震・津波が起きるとは限らない。また、巨大地震につながるゆっくりすべりだと予測したとしても、それを確かめることができるのは、次の巨大地震が起きたときだ。そこが地震予測研究の難しい点だ。

「海底付近の地殻変動の観測データから、海底下のはるか深部にあるプレート境界の固着やすべりを精度よく推定して、その先の推移を予測できるシミュレーションモデルを築き上げる必要があります。そのために、海底の地殻変動の観測をより高精度でリアルタイムに行い、観測した変動をモデルで再現するとともに近未来の変動を予測。その予測を観測で検証することを繰り返すことで、観測とモデルの両方を改良し続けていきます」

モデル改良のために、スーパーコンピュータ「富岳」も活用していく。「従来のシミュレーションでは、海底下の地層の形状や物性を単純化した地下構造モデルを使ってきました。『富岳』の高い計算能力を活用して、掘削調査や地下構造探査の成果を反映した現実に近いモデルにより、海底付近の地殻変動データからプレート境界の固着・すべりをより正確に推定するシミュレーションを行っていきます」

プレートが沈み込む場所は、年代の古いプレートが急角度で沈み込むタイプと、年代の新しいプレートが浅い角度で沈み込むタイプの二つに大きく分けられる。日本海溝は前者、南海トラフは後者の典型的なタイプだ。そして日本海溝と南海トラフほど地震研究が進み、地震・津波の観測網が整備されている場所は世界にない。日本海溝と南海トラフで研究を進めることは、世界各地で起きる巨大地震・津波を理解し、備える上でも重要な貢献となる。



ゆっくりすべりの観測

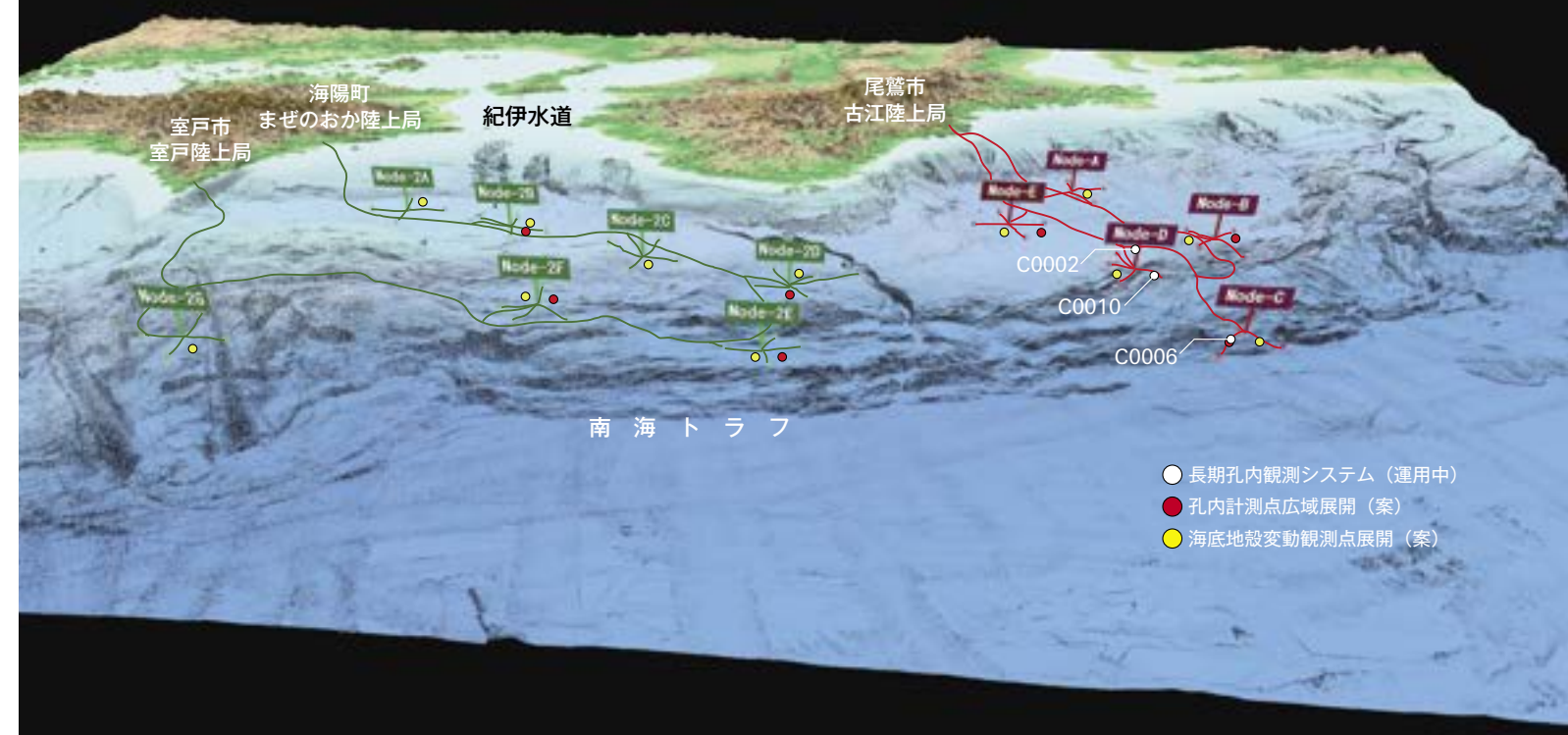
南海トラフで地震が発生する場所は、海底下5～20km。それより浅い海溝軸付近で起きているゆっくりすべりを、DONETや長期孔内観測システムで観測している。

左下図のピンク色の円が、ゆっくりすべりに伴って発生したと考えられる低周波地震が起きた場所（震央）の経度を示した時空間分布（2020年12月～2021年1月）。

右下グラフは、3カ所の長期孔内観測システムで計測した間隙水圧。海底下深部のプレート境界において、ゆっくりすべりが起きる場所が移動するにつれて、海底付近の岩盤のひずみも変化する。それを孔内にかかる間隙水圧の変化として捉えている。

南海トラフにおける地震・津波観測監視システム（DONET）

南海地震と東南海地震の震源域に、海底強震計、広帯域地震計、水圧計などから構成される51カ所の観測点を設置し、海底ケーブルで陸上と結んで連続リアルタイムで地震と津波を常時監視している。さらに「ちきゅう」による掘削孔3地点（海底下数百m）に長期孔内観測システムを設置、DONETに接続している。今後、南海トラフ沿いの3地点に長期孔内観測システムを設置することを目指している。また、「かいめい」により海底下20mほどの孔を掘削して海底地殻変動観測装置を設置、DONETに接続することを1地点で実現した。こちらも南海トラフ沿いで広域に展開することを目指している。



地域ごとに観測に基づき津波を予測する 高精度のシステムが稼働

取材協力 高橋成実
上席研究員
海域地震火山部門 地震津波予測研究開発センター

海底下の地下構造探査をしていた高橋さんは2010年、DONETプロジェクトに参加した。「翌年に起きた東北沖地震をきっかけに、私たちはDONETを活用した従来とは異なる津波即時予測システムの開発を始めました」

どこが従来と違うのか。従来の津波予測では、あらかじめ、さまざまな規模や震源の地震が起きたときに発生する津波の高さや到達時間を何パターンも計算しておく。そして

実際に地震を観測したときに最も一致するパターンを1つだけ選び出し、各地に何分後にどれだけの高さの津波が到達するのかを予測することで、防災・減災に役立てる。

「あらかじめ何パターンも計算しておくことは、私たちの新システムでも同じです。しかし、地震の観測データからパターンを1つだけ選んで各地に到達する津波を予測すると、高い精度で予測できる地域がある一方で、海底地すべりなどで局所的に大きくなった津波が来ることを予測できない地域が出る恐れがありました。私たちのシステムは、

DONETやS-netの観測に基づき、各地に近づいてくる津波の観測データに合わせて地域ごとに最適なパターンを選び出し、1秒ごとに予測を最適なものに更新し続ける点が従来と異なります」

その新システムは、南海トラフでは和歌山県・三重県・中部電力浜岡原子力発電所・尾鷲市・香川大学に導入されている。また日本海溝では防災科学技術研究所（NIED）との連携により千葉県（外房4市町）に導入され、先に紹介した日本海溝の OUTER ライズ断層のデータが生かされている。

この新システムは、海域の多数の地点で地震・津波をリアルタイムで観測するDONETとS-netが整備されたからこそ可能になったものだといえる。

2021年2月13日に発生した福島県沖の地震では、地震後わずか3分で、「津波の心配な

し」と発表された。

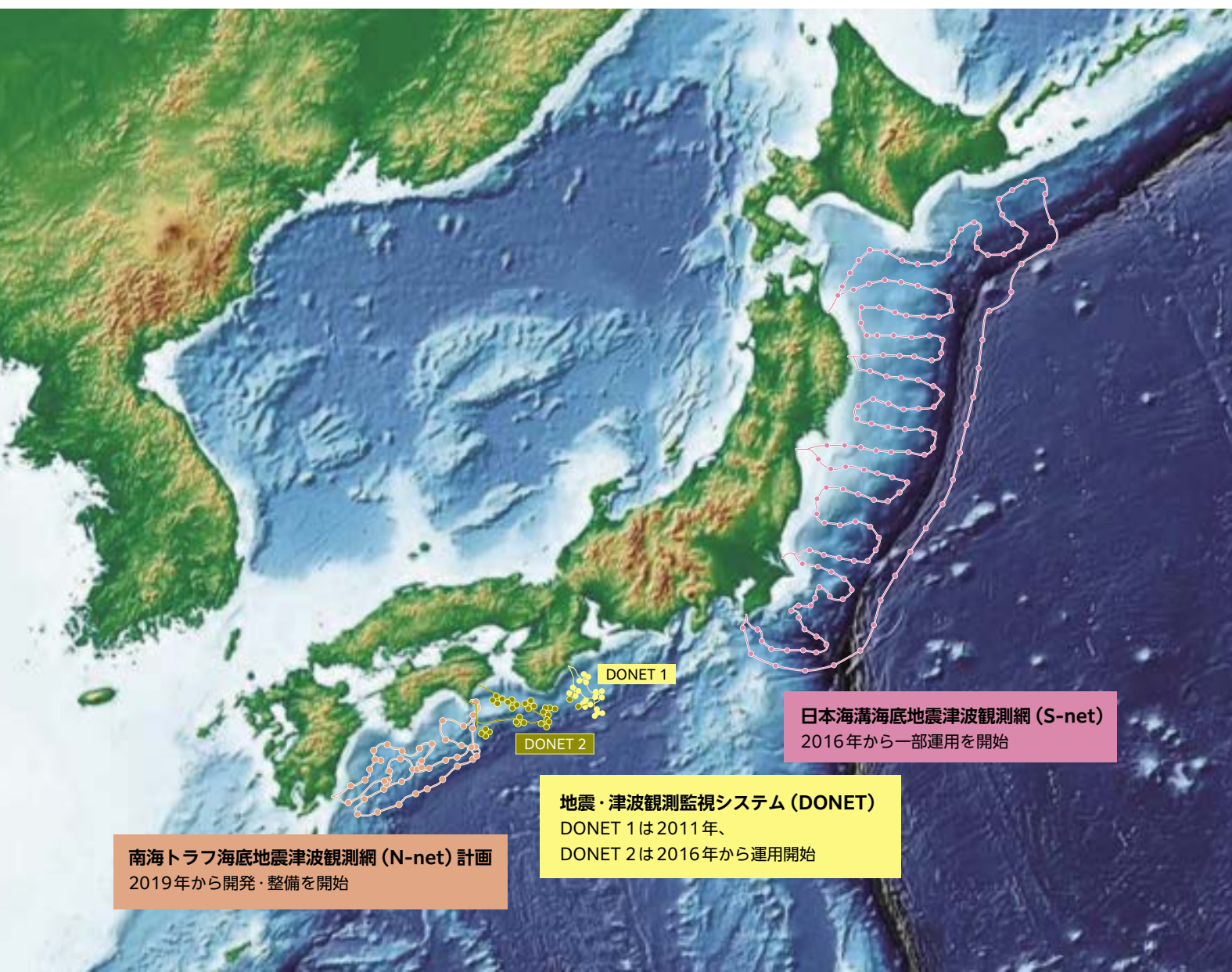
「近年、S-netなどの観測網が整備されたことにより、この地震の震源が海底下の深い場所であることがすぐに分かり、実際に海域で数cm以上の津波が観測されなかったことから、3分で発表できたのです。10年前ならば、こうはいかなかったでしょう」

現在、南海トラフでは、高知県沖から日向灘にかけて地震・津波の新しい観測網を構築するN-net計画をNIEDが進めている。「N-netの構築にはJAMSTECも協力してDONETの技術が生かされます。N-netにより高知県から西側の各地における津波予測の精度が向上するはずですよ」

この10年で地震研究が進展し、次の巨大地震・津波に備える取り組みが着実に進められている。

BE

（文・立山 晃／フotonクリエイト）



津波即時予測システムの画面

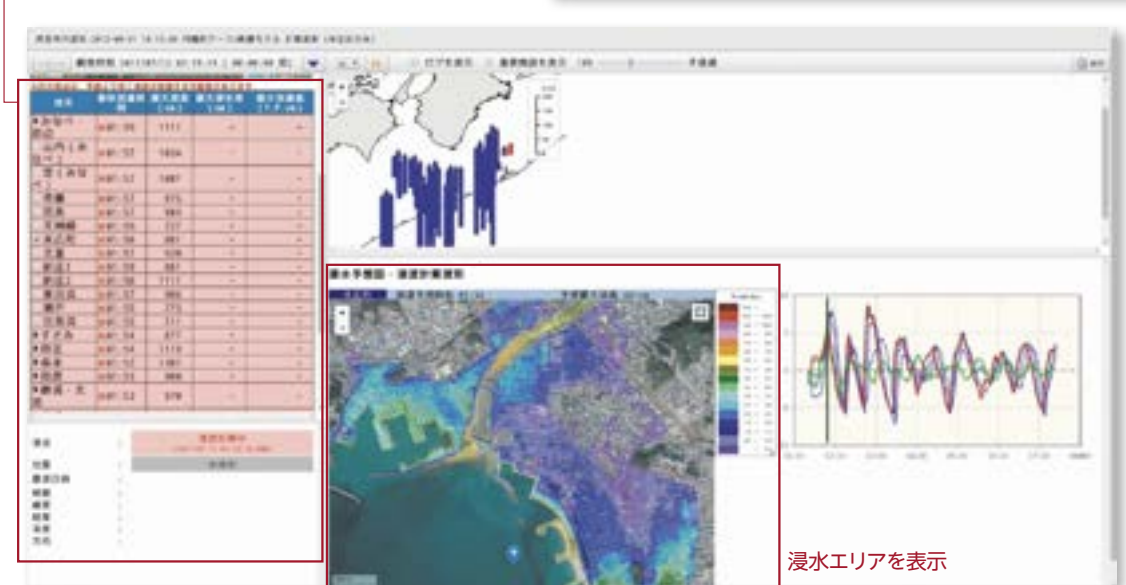
津波即時予測システムでは、各地点での最早到達時刻、最大波高、最大浸水深と浸水エリアを予測して画面に表示する。どこに避難すべきか判断したり、孤立している避難場所を推定して救難計画を立てたりする際に役立つ。

JAMSTECでは、各地の浸水エリアにおける、瓦礫の分布や火災発生の危険域をスーパーコンピュータで予測する研究も行われている。

勝浦湾（千葉県）



地域ごとの最早到達時刻・最大波高・最大浸水深を表示



田辺湾（和歌山県）