東北大学
TOHOKU UNIVERSITY

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

Press Release

2026 年 11 月 5 日

報道機関　各位

国立大学法人東北大学
国立研究開発法人海洋研究開発機構
国立大学法人東京大学地震研究所

2011 年東北地方太平洋沖地震後の プレート間固着の回復過程を解明
－プレート境界におけるエネルギー蓄積の再開を示唆－

【発表のポイント】

- 14 年間にわたる長期・高密度な海底地殻変動観測で得られたデータ、および陸上の地殻変動観測、繰り返し地震活動の観測結果を数値モデルで分析することにより、2011 年東北地方太平洋沖地震（M9.0）後の日本海溝沿いのプレート境界の挙動を詳細に解明しました。
- 地震発生後に続いていたプレート境界でのゆっくりすべり（余効すべり(注1)）は、地震後約 10 年でほぼ終息し、プレート境界の固着(注2)が地震前の状態まで回復したことを明らかにしました。
- これらの結果は、プレート境界周囲のマントル内部では応力緩和（粘弾性緩和(注3)）が依然として続く一方で、プレート境界断層ではすでに、次の地震に向けたエネルギー蓄積が再開していることを意味しています。

【概要】

2011 年東北地方太平洋沖地震のような超巨大地震の後、プレート境界断層がどのように、またどのくらいの期間を経て再び固着し、次の地震に向けたひずみを蓄積し始めるのかは、極めて重要な課題です。東北大学災害科学国際研究所、同大学院理学研究科、海洋研究開発機構（JAMSTEC）、東京大学地震研究所、ヴィクトリア大学、カナダ地質調査所、東北大学・海洋研究開発機構変動海洋エコシステム高等研究所（WPI-AIMEC）の国際共同研究チームは、地震発生後 14 年間にわたり日本海溝沿いで海底地殻変動観測を実施し、超巨大地震後のプレート境界の再固着プロセスの全貌を世界で初めて詳細に描き出しました。

本研究成果は 2026 年 11 月 5 日の国際学術誌 Science に掲載されました。

【詳細な説明】

研究の背景

プレート境界での大地震は、プレート間の突発的なすべり（破壊）によって強大な地震動と巨大津波を引き起こします。大地震が発生した後、プレート境界断層の一部では、過渡的にゆっくりとすべり続ける現象（余効すべり）が生じます。また、地下深くのマントルでは、地震によって生じた応力変化が時間をかけて緩和される現象（粘弾性緩和）が進行します。

これらが複合的に作用するため、プレート境界の状態を正確に把握するためには、長期・広域の地殻変動観測データと優れた数値シミュレーションモデルが必要となります。2011 年東北地方太平洋沖地震（M9.0）以降、陸上の観測網により広域の地殻変動が詳細に捉えられてきましたが、プレート境界の再固着状態を正確に判定するためには、震源域の直上に位置する「海底での精密な測地観測」が不可欠でした。

今回の取り組み

研究チームは、東北大学が設置・維持する 20 地点の海底観測点において、海底地殻変動観測（GNSS-A 観測[注 4)]）を繰り返し実施してきました（図1：GNSS-A 観測の概念図）。特に 2019 年以降は、自律型水上航行機「ウェーブグライダー（Wave Glider）」（図 1b）を活用することで、観測コストを大幅に低減した観測の実施に成功しました。この独自観測データに加えて、海上保安庁が運用する 6 地点の GNSS-A 観測データを用いて、合計 26 地点の GNSS-A 観測点における 2011 年から 2025 年までに得られた 14 年間の観測データを解析しました。また、これらの海底地殻変動観測データに加え、国土地理院の電子基準点（GEONET）で取得された陸上 GNSS 観測データおよびプレート境界で繰り返し発生する小地震（繰り返し地震）から推定した断層すべり速度を、地球内部構造（弾性プレート、粘弾性マントル、粘性せん断帯等）を組み込んだ 3 次元有限要素法による数値シミュレーションモデルと比較することで、2011 年東北地方太平洋沖地震後の地殻変動メカニズムを検証しました。

観測によって得られた地殻変動場は図 2 のようになりました。2011 年東北地方太平洋沖地震の発生後は、余効すべりと粘弾性緩和、そして固着の影響が組み合わさった複雑な地殻変動場を示し、陸上の観測点は東南東方向に変動し、海域の観測点は地震前よりも大きな速度で西北西に変動していることが示されました（図 2）。2011 年東北地方太平洋沖地震より以前では、プレート間の固着によって陸上の観測点も海域の観測点も年間およそ 8 cm 以下の速度で西北西方向の変動を示しており、この地震によって地殻変動の様相が一変してしまったことがわかります。一方で、こうした変動パターンは時間の経過に伴って急速に変化している様子も明らかとなりました

（図 3）。

丹念な解析により、観測で得られた地震後地殻変動の時空間変化を再現するモデルを構築した結果、以下の三つの主要な事実が明らかになりました。

一つ目は、余効すべりの時間変化についてです。2011 年東北地方太平洋沖地震の際に大きな断層すべりがあった範囲（図 2 背景色）の周辺において、地震直後から続いていたプレート境界浅部（図 4 紺色領域）での余効すべりは 2021 年頃までにほぼ終息し、余効すべりの影響で高まっていた繰り返し地震の発生頻度も 2011 年以前の静穏なレベルまで低下しました。一方で、プレート境界深部では 2011 年以前よりも繰り返し地震の発生頻度が高く、依然としてゆっくりとした断層のすべり（クリープ）が図 4 橙色点線領域で続いていると考えられます。

二つ目は、粘弾性緩和が継続していることです。粘弾性緩和は浅部余効すべりよりも長い時定数で継続しています。プレート境界深部で長期持続しているクリープは、この粘弾性緩和によって生じた力の変化が、プレート境界に沿ったすべりとして現れているものと考えられます。

三つ目は、浅部でのプレート間固着が回復していることです。浅部での余効すべりの終息に伴い、超巨大地震発生域であるプレート境界浅部の現在の固着状態は、2011 年の超巨大地震発生前の状態とほぼ同様であることが判明しました。すなわち、超巨大地震時に大きな破壊が生じた領域のほとんど（図 4 赤線領域）では次の地震に向けたエネルギーの蓄積が地震から間も無く始まり、その周辺のプレート境界浅部の余効すべり域（図 4 の茶色破線よりも沖合の紺色領域）は余効すべりの減衰に伴って 10 年程度の時間をかけて固着を回復したことを示します。図 3 に示した変動パターンの時間変化のうち、例えば福島～茨城県沖の観測点における変位速度の方向の逆転は、余効すべりが終息しただけでなく固着が回復していることを強く示唆しています。

今後の展開

粘弾性体である地球の性質上、次の地震に必要な歪みエネルギーの大部分は地震後の早期を含む地震発生サイクルの前半に効率よく蓄積されることが、先行研究の数値シミュレーションから示唆されていました。本研究が示した「急速な再固着」は、プレート境界が超巨大地震後早期にエネルギー蓄積能力を取り戻すことを実証しています。日本海溝における超巨大地震の平均再来間隔は約 500～900 年とされていますが、他地域の沈み込み帯（例：カムチャツカ）で見られるように、通常のサイクルより短い間隔で大地震が再来する可能性も否定できません。今後も高精度な海底地殻変動観測を継続し、プレート境界の固着状態の推移を監視し続けることが、将来の地震・津波防災ハザード評価の精度向上において不可欠です。

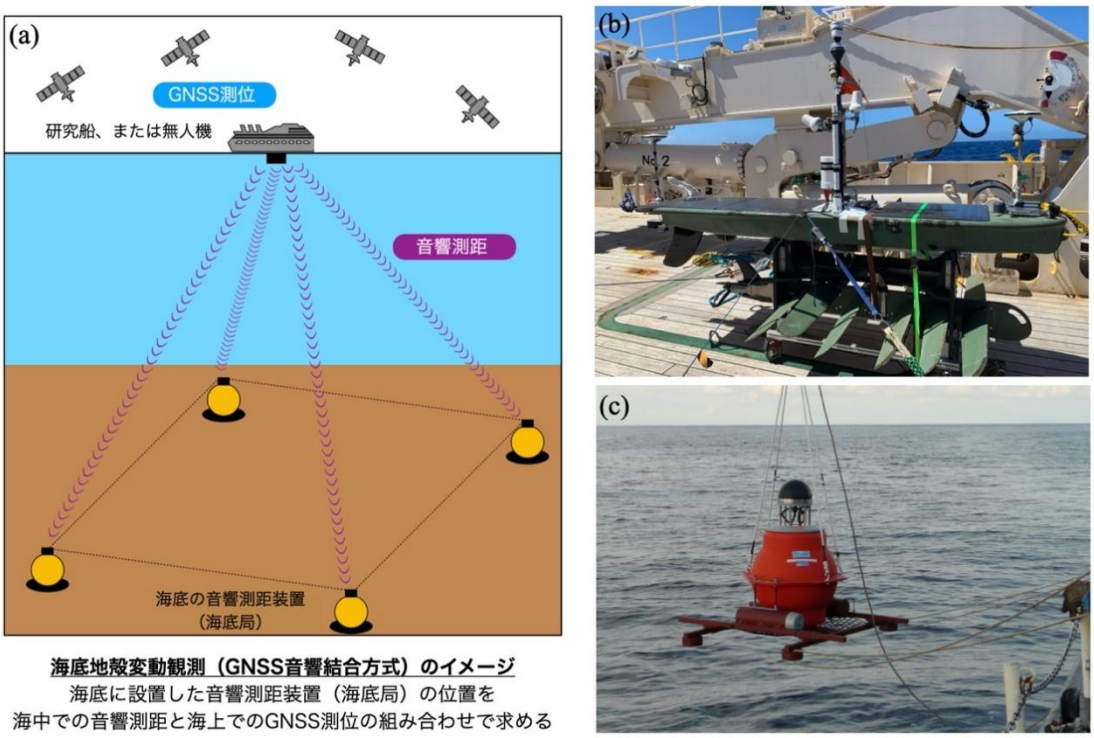


図 1. 海底地殻変動観測（GNSS-A 観測）による観測方式の概念図、および観測機器。(a)GNSS-A 観測による観測方式の概念図、(b) GNSS-A 観測に用いたウェーブグライダーの写真、(c)東北沖の GNSS-A 観測点に設置した音響測距装置（海底局）の写真、をそれぞれ示す。

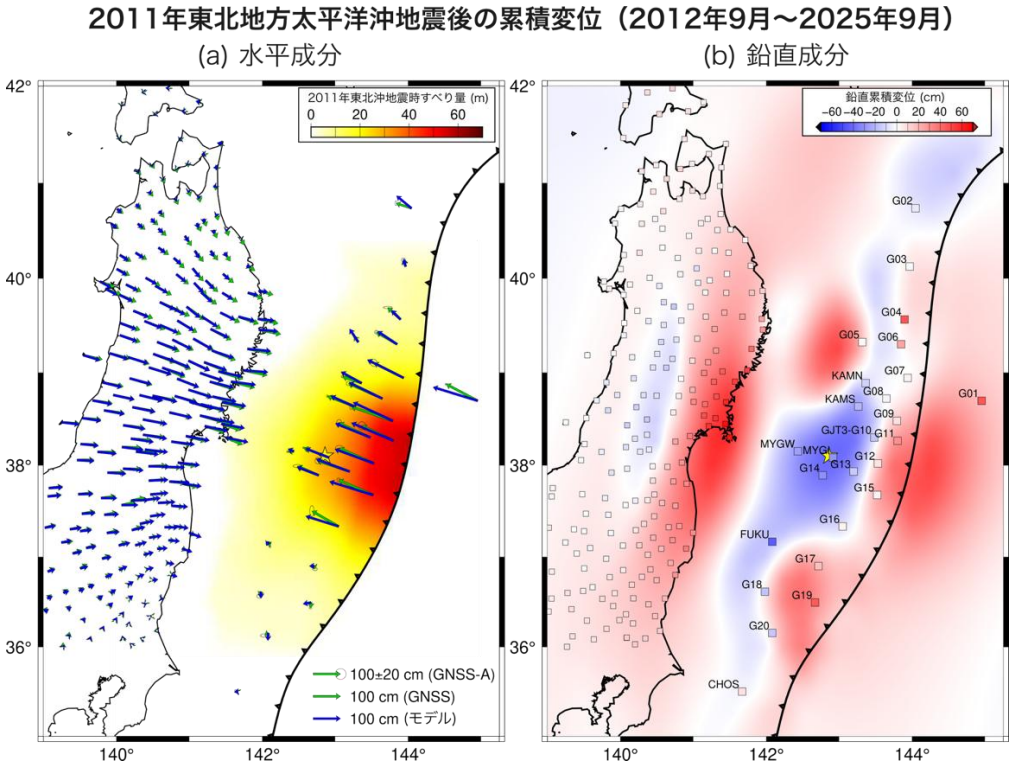


図 2.　2011 年東北地方太平洋沖地震後の累積変位（2012 年 9 月～2025 年 9 月）。陸上・海底地殻変動観測点における水平方向（a）と鉛直方向（b）の累積変位を示す。(a)では、緑色のベクトルが観測値を示し、青色のベクトルが本研究のモデルによって再現された変動を示す。背景色は 2011 年東北地方太平洋沖地震時すべり分布を示す。黄色星は 2011 年東北地方太平洋沖地震の震央を示す。(b)では、四角が観測点位置を示し、その内部色が観測された累積鉛直変位量を示す。背景色は、モデルから計算された累積鉛直変動量の空間変化を示す。

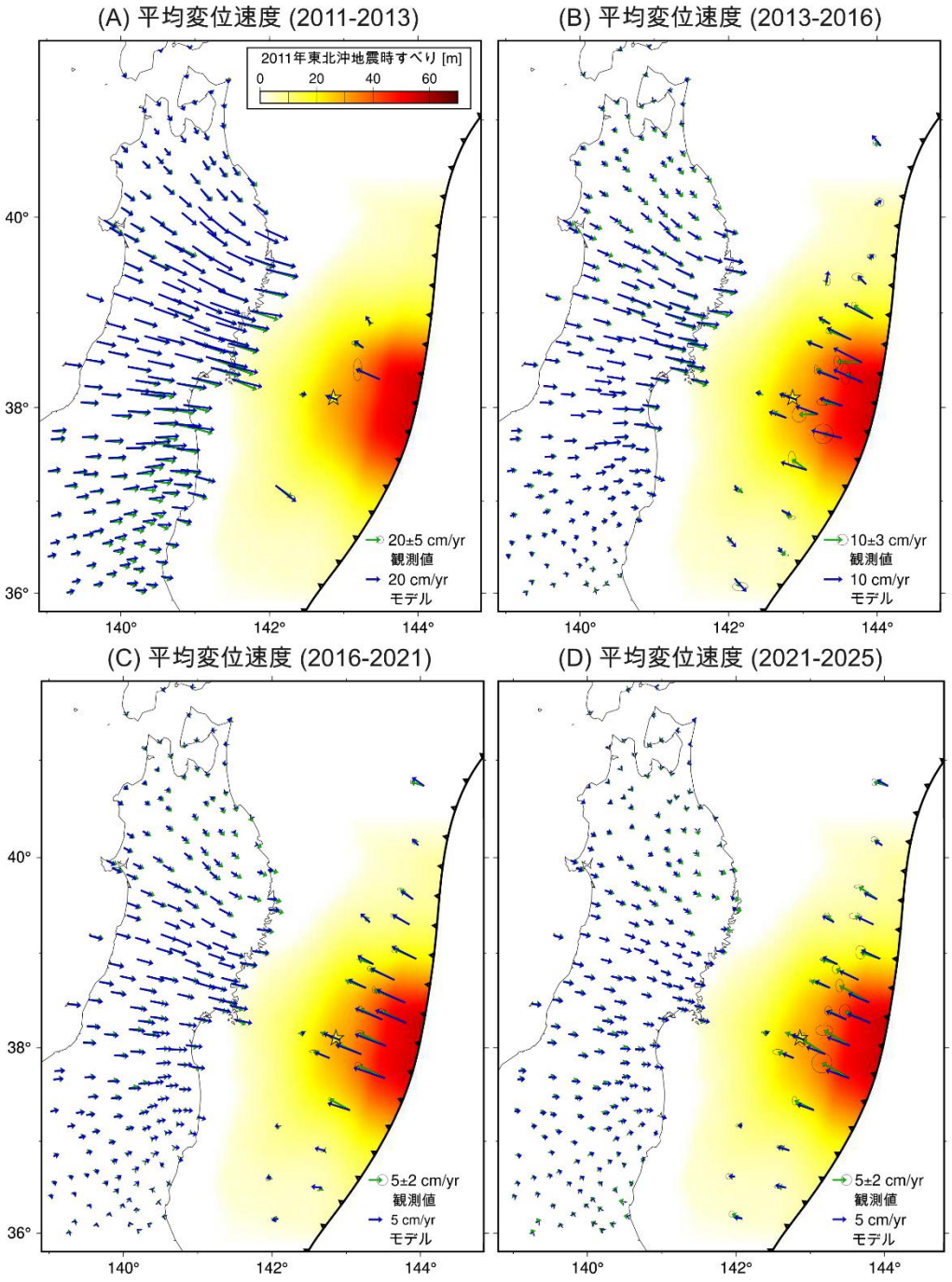


図 3.　2011 年東北地方太平洋沖地震後の陸上・海底地殻変動観測点における水平方向の地表面変位速度を 4 つの期間に分けてベクトルで示した。ベクトル・背景色・黄色星は、図 2(a)と同じ形式で示されている。福島県から茨城県にかけての沖合の観測点では、地震直後から 2021 年までは変位速度が東南東～南東向きだったのが 2021 年以降からは西北西～北西方向に変わっており、余効すべりが止まって固着が回復したことが表れている。

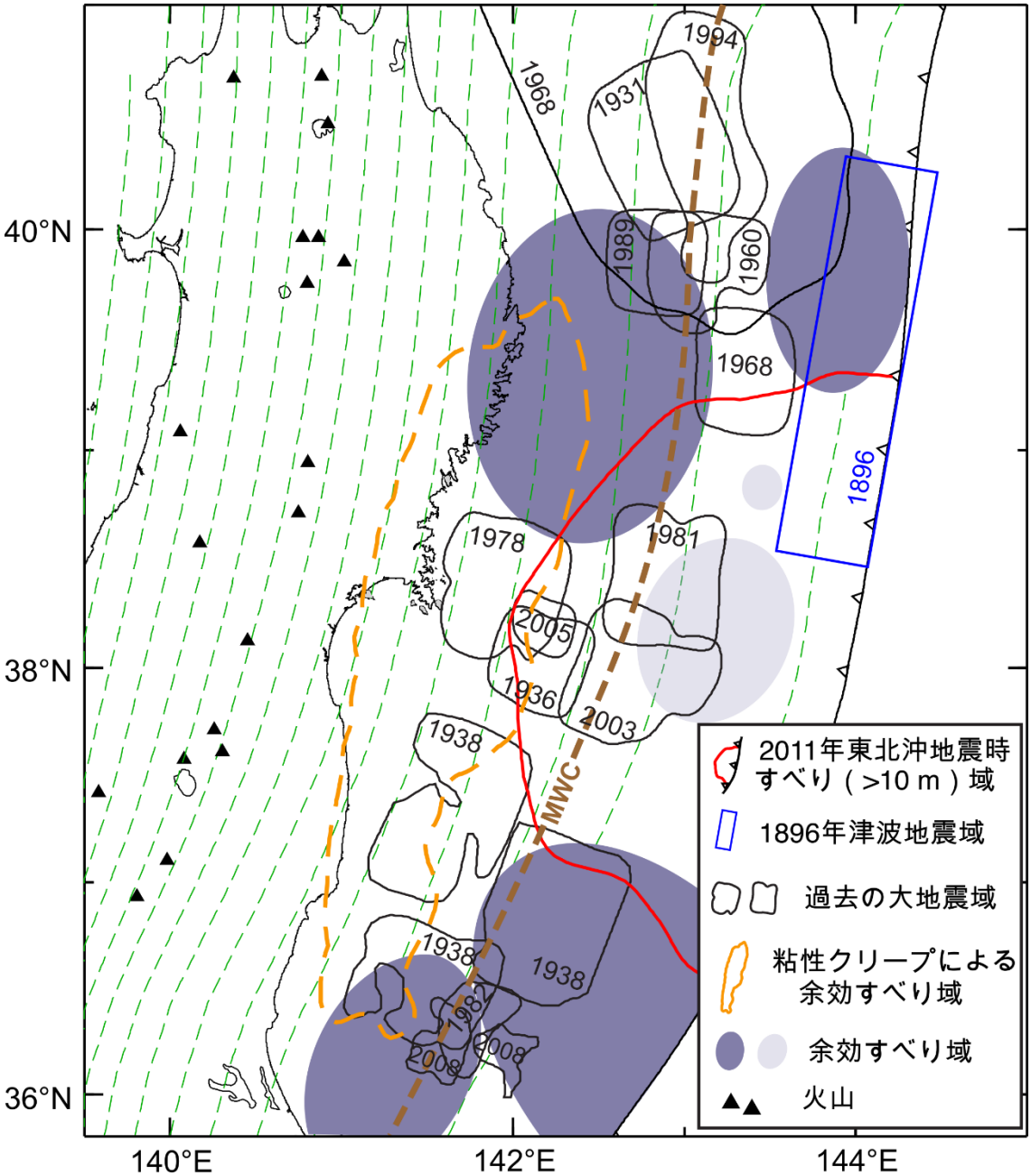


図 4.　東北沖プレート境界でのすべり現象の模式図。東北沖における多様なすべり現象をまとめた。赤実線領域は、2011 年東北地方太平洋沖地震時に 10 m 以上の大きなすべりが発生した領域で、次の地震に向けたエネルギーの蓄積が地震発生から間も無く始まった。過去の大地震の破壊域は Santriano et al. (2014) に基づいてまとめた。1896 年の明治三陸地震の破壊域は Tanioka & Seno (2001) による。濃紺色、および淡紺色の領域は、それぞれ本研究で求められたプレート境界沿いで余効すべりの範囲を示す（淡色の領域での余効すべりは濃色領域に比べて規模が小さい）。濃紺色の領域のうち、プレート境界浅部の領域（茶色破

線よりも沖合のもの）では余効すべりの減衰に伴って 10 年程度の時間をかけて固着を回復した。橙色破線領域は、粘弾性緩和に伴う粘性せん断帯における粘性クリープ域を示す。

【謝辞】
本研究は文部科学省による「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画（第 2 次・第 3 次）」の支援を受けました。また、本研究は JSPS 科研費 JP19H05596・JP 20K14588・JP 24H00258・JP 24K00723・JP 26000002 の助成等を受けたものです。

【用語説明】
注 1.　余効すべり：大地震の発生後、本震で破壊された領域の周辺が、ゆっくりとすべり続ける現象のこと。本震のような破壊的な地震波（強い揺れ）や津波を出さずに進行するが、地表や海底の観測機器ではゆっくりとした地殻変動として捉えられる。この余効すべりが発生している領域は、固着とは逆に、大地震発生前に蓄積された歪みを解放している状態にある。
注 2.　固着：海側のプレートが陸側のプレートの下へ沈み込む際、境界部分が強い摩擦力によってぴったりと密着し、陸側のプレートを引きずり込みながらひずみを蓄積する状態を指す。固着が強い領域では長期間にわたって大きなひずみが蓄積され、将来的に再び大地震を引き起こすと考えられている。大地震の直後は摩擦熱や破壊によって固着が一時的に失われるが、時間の経過とともに再び固着力が高まっていく（再固着）。
注 3.　粘弾性緩和：地震によって地下深くのマントルなどの粘弾性媒質に急激な力がかかったあと、その力を逃がすように岩石が非常に長い時間をかけてゆっくりと変形する現象のこと。粘弾性緩和によって、大地震発生後の長期にわたって広域の地殻変動がもたらされる。
注 4.　GNSS-A 海底地殻変動観測：海底地殻変動を観測する測地観測手法の一つ。各 GNSS-A 観測点は、海底に設置した 3〜6 台の「海底局」と呼ばれる音響測距装置（図 1 c）によって構成される。GNSS-A 観測では、観測点直上の海上に「海上局」（研究観測船、またはウェーブグライダーなどの無人機（図 1b））を用意し、GNSS（Global Navigation Satellite System; 全球測位衛星システム）によってその位置を計測する（GNSS 測位）。こうして位置が定まった海上局と海底局の間で、海水中の音波が伝わる時間を使った測量（音響測距）を行うことで、海上局から見た海底局の位置を推定する。GNSS-A 観測は、この GNSS 測位と音響測距（Acoustic ranging）の組み合わせにより、各海底局の位置、およ

び海底局全体（海底局アレイ）が時間経過に応じてどのように変位したかを決定する計測方法である（図 1a）。

【論文情報】
タイトル：Seafloor geodesy delineates fast megathrust relocking after the giant 2011 Tohoku earthquake
著者：富田史章*(1)(2)(3)、Tianhaozhe Sun(4)(5)、木戸元之(1)(3)、飯沼卓史(6)、内田直希(7)(3)、太田雄策(3)(2)(1)、日野亮太(3)(1)、Jiangheng He(4)、Kelin Wang(4)(5)
*責任著者：東北大学災害科学国際研究所　助教　富田史章
掲載誌：Science
DOI：doi.org/10.1126/science.aeg7301

(1)東北大学災害科学国際研究所
(2)東北大学・海洋研究開発機構変動海洋エコシステム高等研究所
（WPI-AIMEC）
(3)東北大学大学院理学研究科
(4)カナダ地質調査所
(5)ヴィクトリア大学
(6)海洋研究開発機構（JAMSTEC）
(7)東京大学地震研究所

【問い合わせ先】
（研究に関すること）
※11/5～11/6 は東北大学災害科学国際研究所広報室へお問い合わせください。
東北大学災害科学国際研究所
助教　富田史章
TEL: 022-752-2070
Email: fumiaki.tomita.d8@tohoku.ac.jp

海洋研究開発機構
上席研究員　飯沼卓史
Email:iinuma@jamstec.go.jp

東京大学地震研究所
教授　内田直希
TEL: 03-5841-8286
Email: uchida@eri.u-tokyo.ac.jp

（報道に関すること）
東北大学災害科学国際研究所　広報室
TEL: 022-752-2049
Email: irides-pr@grp.tohoku.ac.jp

海洋研究開発機構　企画部門　事業推進部　報道室
TEL: 045-778-5690
Email: press@jamstec.go.jp

東京大学地震研究所　広報アウトリーチ室
TEL: 03-5841-2498
Email: orhp@eri.u-tokyo.ac.jp