令和７年度年次報告

課題番号：THK_01

（1）実施機関名：

東北大学理学研究科

（2）研究課題（または観測項目）名：

（和文）海底測地観測の拡充と測地・繰り返し地震データの統合解析によるプレート境界すべりモニタリング

（英文）Monitoring of interplate fault slip through extension of seafloor geodetic observation and an integrated analysis of geodetic and repeating earthquake data

（3）関連の深い建議の項目：

１地震・火山現象の解明のための研究
(3) 地震発生過程の解明とモデル化

（4）その他関連する建議の項目：

１地震・火山現象の解明のための研究
(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化
ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震
６観測基盤と研究推進体制の整備
(1) 観測研究基盤の開発・整備
イ. 観測・解析技術の開発

（5）本課題の５か年の到達目標：

本課題では、日本海溝沿いにおける海底測地観測（GNSS音響観測）と繰り返し地震観測の実施とその統合的な解析を行うことで、2011年東北地方太平洋沖地震後のプレート境界断層すべり・固着のこれまでの時空間発展および現状把握を行う。また、その結果を元に東北沖地震自体の現象解明にも取り組む。具体的には、（１）これまで海域での測地観測の空白域であった房総沖における海底測地観測点の設置および海底地殻変動観測の実施による地殻変動場の現状把握、（２）繰り返し地震観測とそのデータ解析の継続的な実施・高度化、（３）海陸の測地観測データと繰り返し地震データを統合的に解析する断層すべりモデル化手法の開発、を実施する。（１）・（２）で得られた観測成果を用いて（３）による解析を実施し，日本海溝沿いでのプレート境界断層すべり・固着の時空間発展を把握する。

（6）本課題の５か年計画の概要：

海底測地観測の実施：これまでの海域での測地観測の空白域であり、かつ津波地震の発生リスクのある房総沖日本海溝浅部域において、海溝を挟む形でGNSS-A観測点を2点設置する。各GNSS-A観測点では、年に1回程度のキャンペーン観測を繰り返し実施し、5年間の変位速度を計測する。既に設置されている東北沖のGNSS-A観測点（22点）についても年に1回程度の観測を実施する見込みである。
繰り返し地震カタログの高度化：これまでの成果で既に繰り返し地震カタログは作成しているが、課題期間内での繰り返し地震カタログの更新、及びS-netデータを最大限活用したより小規模の地震に対応した繰り返し地震カタログの高度化を本課題で実施する。
断層すべりモデリングの高度化：海陸測地観測データ・繰り返し地震データを統合した断層すべりの時空間発展を推定する手法を開発する。本課題で活用する繰り返し地震・陸域GNSS観測・海域GNSS-A観測は、データの時間・空間スケールが異なるほか、観測精度も大きく異なる。そのため、すべり分布を推定する上でデータ間の重みやすべり分布の時空間変化についての拘束条件を最適化す

ることで、それぞれのデータの長所を生かしたすべり・固着の時空間発展の推定に取り組む。

（7）令和７年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

（１）海底測地観測の実施による地殻変動場の現状把握

昨年度の2024年10月に日本海溝沿い房総沖においてGNSS-A観測点を新たに2点設置した（図１赤四角：G26点、およびG27点）が、各観測点を構成する4台の海底局の内、G27点では１台の動作が確認できなかった。そのため、本年度2025年6月にG27点に代替海底局を設置し（東京海洋大学練習船・神鷹丸により実施）、初回のキャンペーン観測を無人海上航行機であるWaveGliderを用いて実施した。G26点については、設置した観測機器に異常はなく、昨年度に1回、本年度に2回のキャンペーン観測を船舶（新青丸KS-25-11次航海、および東京海洋大学練習船・汐路丸）によって実施した。

既存のGNSS-A観測点については、船舶を用いたキャンペーン観測を実施し、本年度は計5観測点でデータを取得した。2011年東北地方太平洋沖地震以降から本年度までに取得した既存のGNSS-A観測データについて、海中音速場の水平勾配の影響を考慮したGNSS-A測位解析（Tomita, 2024, EPS）を行い、海底地殻変動場を求めた（図2a）。また、近年（2021年以降）の変位速度を求めた結果、陸上GNSS観測点とは異なり、沖合のGNSS-A観測点では余効すべりを示すような海溝向きの変位は見られなかった（図2b）。このことは、沖合では2011東北地方太平洋沖地震に伴う粘弾性緩和やプレート間固着の影響が支配的であることが示唆される。

（２）繰り返し地震観測とそのデータ解析の継続的な実施・高度化

繰り返し地震解析の高度化に向けて、S-netデータを用いたより小規模な地震の震源決定を進め，海域での検知能力の向上を確認した。さらに、震源位置についても、繰り返し地震が、プレート境界モデルとよく一致する場所に求められ、深さの精度が向上していることが確認できた（図3）。このカタログを用い、繰り返し地震活動から指定されるプレート境界すべりに関する解釈も進めた。その結果、北海道～東北地方の沖合に帯状に活動が活発な場所が見出され、この場所における非地震性すべりの卓越が、大規模プレート境界地震の地震時のすべりの拡大を規制していると推定した（Suzuki et al., 2025）。また、海底測地観測との統合解析に向けた繰り返し地震の解析のためのデータの蓄積も継続した。

（３）海陸の測地観測データと繰り返し地震データの統合解析による断層すべり推定

（１）による日本海溝沿いの海底地殻変動場の現状把握より、現在はプレート間固着の寄与が有意に現れていることが示唆された。地震間変形におけるプレート間固着を考える場合には、過去の地震間のプレート間固着すべり（定常すべりとすべり欠損）の粘弾性応答の影響が無視できないことが確かめられつつある。そこで、二層粘弾性構造における地震間変形を記述するグリーン関数を生成し（Fukahata & Matsu’ura, 2005; 2006, GJI）、地震間変形のモデリングを試みた。なお、日本海溝沿いでは2011東北地方太平洋沖地震に伴う粘弾性緩和の影響が顕著なため、2025年カムチャッカ地震以前のカムチャッカ沈み込み帯における地震間地殻変動データを用いて検証を行った。結果として、粘弾性構造の導入により弾性構造を仮定した場合に現れる過剰なすべり欠損の影響が低減できることが示された（Tomita, in press, EPS）。これにより、将来的に実施する日本海海溝沿いでのプレート間固着・すべりの時空間発展の推定において、グリーン関数の設計が重要となることが確かめられた。

本課題では、プレート間固着すべりの時空間発展を複数の観測データを用いて推定する手法として、マルコフ連鎖モンテカルロ（MCMC）法によってデータ種別ごとの観測誤差分布（データ種別ごとのデータの分散の大きさ）とスパース性を持つ小断層配置を最適化可能なTomita et al. (2021, JGR)のすべりインバージョン手法の活用に取り組んでいる。本年度は、解析手法内での小断層配置の最適化枠組みを高度化することで、すべり分布推定の不確実性評価をより正確に行う手法開発を実施した。具体的には、小断層ごとの持つ情報量が均質であり、かつ観測データによってすべりパラメータが分離可能である（すべりパラメータ間が無相関となる）条件を事前分布として取り入れた。この事前分布により、観測データの本来持つ空間分解能に合わせたすべり分布の推定が可能となった（富田，2025，測地学会）。現状では、観測誤差を固定した検証しか実施していないが、来年度以降にデータ種別ごとの観測誤差分布とデータの空間分解能に合わせた小断層配置を同時に最適化するインバージョン枠組みを構築したい。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望
地震発生過程を理解する上での基本情報となる網羅的な海底測地観測データ、およびプレート境界での非地震性すべりをモニター可能な繰り返し地震観測データを順調に取得している。また、それらのデータの解析手法の高度化にも着手し、着実に目的達成に貢献している。また、新規観測点設置、および今後の4-5年の継続観測の実施により、日本海溝沿い全域、特にこれまで評価されていなかった房総沖日本海溝沿いでのハザード評価が進むと期待され、ハザードの正確な認知による災害軽減に貢献できると考える。

（8）令和７年度の成果に関連の深いもので、令和７年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

富田史章，2025，ベイズ推定によるすべりインバージョン研究の高度化，地震2，78，31–51，doi:10.4294/zisin.2024-23., 査読有, 謝辞無

Tomita, F., in press, Re-evaluation of the Interseismic Slip Deficit Rates along the Kamchatka Subduction Zone, Earth, Planets and Space, doi:10.1186/s40623-026-02378-y, 査読有, 謝辞無

Suzuki, R., N. Uchida, W. Zhu, G. C. Beroza, T. Nakayama, K. Yoshida, G. Toyokuni, R. Takagi, R. Azuma and A. Hasegawa, 2025, The forearc seismic belt: A fluid pathway constraining down-dip megathrust earthquake rupture. Science, 389, 190-194. doi:10.1126/science.adt6389., 査読有, 謝辞有

・学会・シンポジウム等での発表

Sun, T., K. Wang, J. He, F. Tomita, T. Iinuma, R. Hino, M. Kido, & Y. Ohta, 2025, A Thin and Weak Lithosphere-Asthenosphere Boundary (LAB) Beneath the Oceanic Lithosphere and its Effects on Subduction Earthquake Cycle Deformation, EGU General Assembly 2025, EGU25-13084, doi:10.5194/egusphere-egu25-13084.

飯沼卓史・木戸元之・ 太田雄策・福田達也・富田史章・横田裕輔・日野亮太・藤田実季子・堀高峰，2025，Seafloor Crustal Deformation Observations Utilizing Unmanned Surface Vehicles at Plate Subduction zones around the Japanese Islands，日本地球惑星連合2025年大会，SCG55-28.

富田史章・Sun Tianhaozhe・飯沼卓史・木戸元之・太田雄策・内田直希・Wang Kelin，2025，Postseismic deformation of the 2011 Tohoku earthquake: Insights from GNSS, GNSS-A, and repeating earthquake observations，日本地球惑星連合2025年大会，SCG46-09.

富田史章・木戸元之・中東和夫・太田雄策・遠藤神奈多・唐啓賢・日野亮太，2025，日本海溝沿い房総沖におけるGNSS音響結合方式による海底地殻変動観測の開始，日本地球惑星連合2025年大会，SCG55-30.

富田史章，2025，断層すべり分布推定における小断層配置の最適化，日本地震学会2025年度秋季大会，P22-02.

富田史章，2025，測地すべりインバージョンにおける小断層分割の最適化，日本測地学会第144回講演会，18.

（9）令和７年度に実施した調査・観測や開発したソフトウエア等のメタ情報：
項目：地震：地殻変動：GNSS音響結合方式海底地殻変動観測
概要：東京海洋大学練習船・神鷹丸による房総沖におけるGNSS-A観測機器の設置、およびGNSS-A用Wave Gliderの投入。
既存データベースとの関係：

調査・観測地域： 34.9461 141.8941
調査・観測期間：2025/6/16-2025/6/20
公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：地震：地殻変動：GNSS音響結合方式海底地殻変動観測
概要：KS-25-11航海：千島・日本海溝における船舶によるGNSS-A観測の実施。
既存データベースとの関係：
調査・観測地域： 37.9329 143.1986
調査・観測期間：2025/8/22-2025/9/4
公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：地震：地殻変動：GNSS音響結合方式海底地殻変動観測
概要：東京海洋大学練習船・汐路丸による房総・茨城沖における船舶によるGNSS-A観測の実施。
既存データベースとの関係：
調査・観測地域： 35.7276 142.0469
調査・観測期間：2025/10/21-2025/10/24
公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

（10）令和８年度実施計画の概要：

海底測地観測については、房総沖の新規観測点、および既存のGNSS-A観測点において、船舶・WaveGliderによる観測を行い、現在の海底地殻変動場の検出に努める。繰り返し地震については、引き続いて繰り返し地震カタログの更新とS-netを用いた高精度化に取り組む。断層すべり推定については、開発しているインバージョン手法をさらに改良し、複数項目の観測データ（海陸測地データ、および繰り返し地震データ）を用いた実データへの適用を実施する。

（11）実施機関の参加者氏名または部署等名：

富田史章（東北大学災害科学国際研究所）, 内田直希（東北大学大学院理学研究科）, 木戸元之（東北大学災害科学国際研究所）, 太田雄策（東北大学大学院理学研究科）, 日野亮太（東北大学大学院理学研究科）
他機関との共同研究の有無：有
中東和夫（東京海洋大学）, 飯沼卓史（海洋研究開発機構）

（12）公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東北大学大学院理学研究科　地震・噴火予知研究観測センター
電話：022-225-1950
e-mail：zisin-yoti-aob@grp.tohoku.ac.jp
URL：https://www.aob.gp.tohoku.ac.jp

（13）この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：富田史章
所属：東北大学災害科学国際研究所

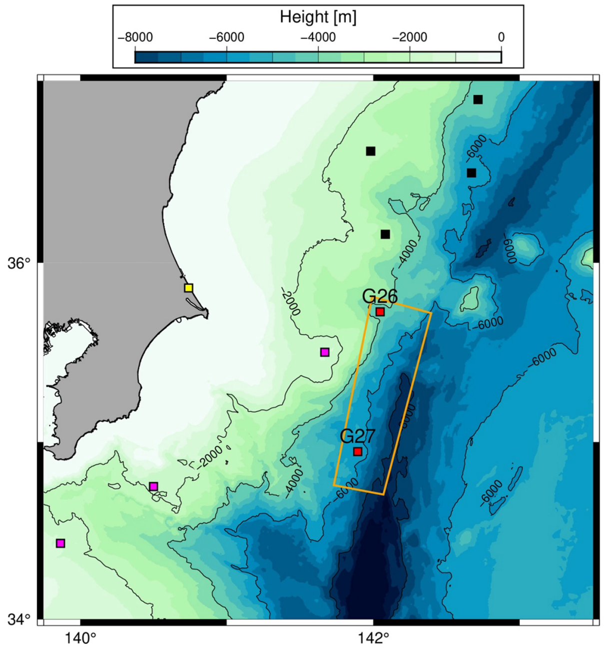

図１：房総沖における海底測地観測点分布
黒四角・マゼンタ四角はそれぞれ東北大学・海上保安庁による既存のGNSS-A観測点位置を示す。陸上の黄三角は、東北大学によって保守しているGNSS-A観測用の陸上基準GNSS観測点位置を示す。橙矩形は、1677年延宝房総津波地震の主すべり域（slip=16 m; Yanagisawa et al., 2016）を示す。

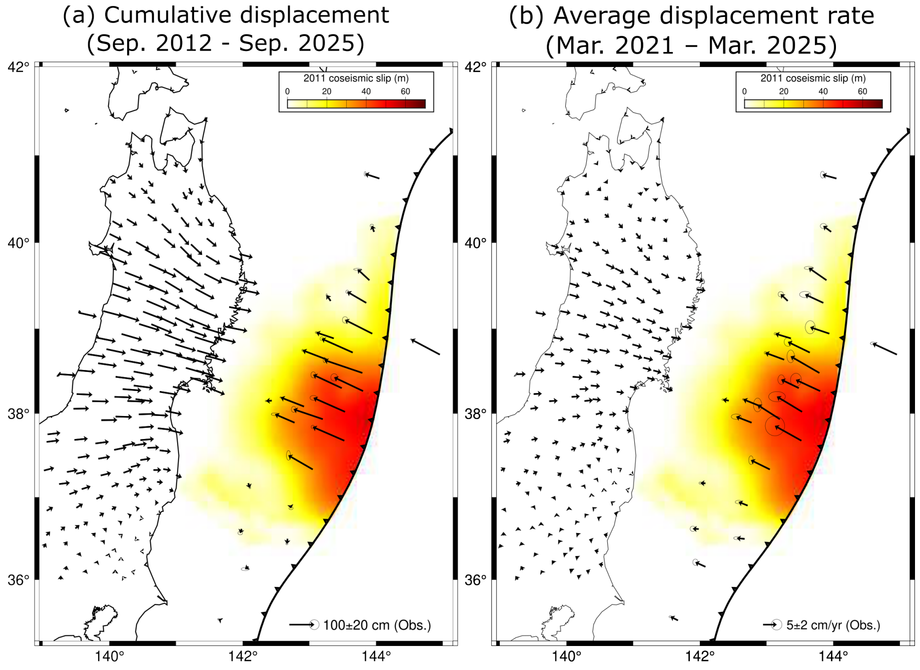

図２：日本海溝沿いでの2011年東北地方太平洋地震後の地殻変動場
a）2012年9月–2025年9月の累積変位，（b）2021年3月–2025年3月の平均変位速度。背景色は、Kubota et al. (2022)の2011年東北地方太平洋地震の地震時すべりモデルを示す。変位はオホーツクプレート速度（DeMets et al., 2010）基準に変換されている。

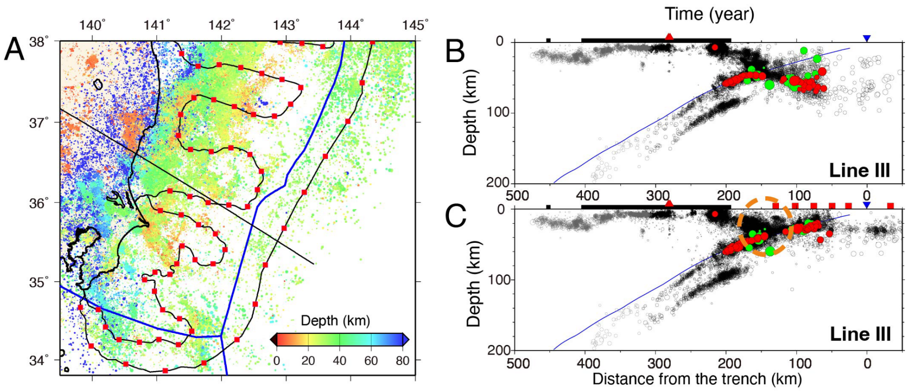

図３：S-netおよび深層学習を用いて決定した震源分布。
断面図(B)は気象庁カタログの震源位置、 断面図（C）は、本研究による震源位置を示す。赤丸は繰り返し地震を示し、海溝からの距離、150–200kmの地点にその集中域が見られる。