

(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) リアルタイムGNSSデータに基づく断層滑り即時把握手法の高度化とその社会実装
 (英文) Advancement and social implementation of a method for real-time estimation of the coseismic fault model based on GNSS data

(3) 関連の深い建議の項目：

- 3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究
 (2) 地震の災害誘因の即時予測手法の高度化（重点研究）
 イ. 津波の即時予測手法

(4) その他関連する建議の項目：

- 5 分野横断で取り組む地震・火山噴火に関する総合的研究
 (1) 南海トラフ沿いの巨大地震
 (3) 千島海溝沿いの巨大地震

(5) 令和5年度までの関連する研究成果（または観測実績）の概要：

R1年度：搬送波位相変化から断層すべりを直接推定する手法 (Phase To Slip, 以下PTS) の性能評価を目的とし、2011年東北地方太平洋沖地震 (Mw 9.0)とそれに引き続く岩手県沖地震 (Mw 7.4) および最大余震である茨城沖地震 (Mw 7.8) に対して同手法を適用し、地震時すべりを連続して捉えることに成功した。実海底環境下でドリフト特性をその場で把握できる海底圧力観測システムのプロトタイプ機を開発し、同機を実海域に短期間設置することでその動作確認を行った。リアルタイムGNSSによる震源断層即時推定における不確実性の定量評価をマルコフ連鎖モンテカルロ法 (MCMC) で行うための技術開発を行い、単一の矩形断層モデルをリアルタイムGNSSによる永久変位場から推定するReal-time automatic UNcertainty Estimation of the coseismic single rectangular fault model based on GNSS data (RUNE) を開発した。

R2年度：搬送波位相変化から断層すべりを直接推定する手法 (Phase To Slip, 以下PTS) を用いて2011年東北地方太平洋沖地震 (Mw 9.0)とそれに引き続く地震直後の余効すべりの時空間発展推定を高い精度で推定することに成功した。実海底環境下でドリフト特性をその場で把握できる海底水圧計 (OBP) 観測システムのプロトタイプ機を用いた長期実海域試験を行い、設計した機構が正常に機能していることを確認した。RUNEアルゴリズムの国土地理院REGARDシステムへの技術移転を進め、リアルタイムGNSSデータから推定された変位場との組み合わせによる動作試験を開始した。同アルゴリズムを2021年2月13日に発生した福島県沖の地震 (M7.3) へREGARDで得られた実際の変位場を入力値として適用した結果、Mwの中央値がMw7.14の南東に傾き下がる高角の逆断層のモデルを推定することに成功した。

R3年度：ハミルトニアンモンテカルロ法 (HMC法)を用いた1枚矩形断層モデル推定アルゴリズムの開発を行い、メトロポリスヘイスティング(M-H)と比較して数%程度の連鎖数で必要な事後確率分布が得られることを明らかにした。実海底環境下でドリフト特性をその場で把握できる海底水圧計 (A-0A OBP) 観測システムのプロトタイプ機を用いた長期試験観測をDONET2C-10ノードのごく近傍で行い、A-0-Aを適用することで、長期ドリフトを減少可能であることを示した。ソフトバンクが運用する独自GNSS観測網データを用いて、2021年2月13日に福島沖で発生したM7.3の地震による地震時地殻変動場を検出することに成功した。同結果は、民間GNSS観測点によって地殻変動場の議論が可能であることを示唆する。

R4年度：HMC法を用いて地震時のすべり分布を推定する手法の開発を行った。また、仮定する断層幾何の不確実性を定量評価する手法を提案した。すべり推定時の正則化の手法として、断層すべりが自己相似性を持つという仮定のもと、von Karman の自己相関関数 (von Karman ACF) による制約を与えたすべり分布推定手法の開発を行った。具体的には、従来ハイパーパラメータとして扱われていた相関距離も同時に推定する手法を開発した。数値実験の結果、観測網が十分に断層面をカバーしている場合、相関距離を正しくかつその誤差の幅とともに推定できることを初めて実証した。RUNEの精度評価を継続し、2022年3月16日に発生した福島沖地震において、RUNEによって断層モデルを自動推定することに成功した。これらの結果を受け、RUNEは次期のREGARD内の1枚矩形断層推定のメインアルゴリズムとして実装・運用されることが決定した。

R5年度：von Karman ACF) による制約を与えたすべり分布推定手法を高度化し、屈曲した断層面、具体的にはプレート境界等においても、同仮定を拘束条件として、すべり分布を推定する手法を確立した。海底水圧計に含まれる非潮汐海洋成分の高精度除去手法を高度化した。具体的には、期間を通して安定して主成分に現れる海洋変動成分を基準として、それらとの比較から未知の非定常地殻変動を検出するアルゴリズムを開発した。同手法を水圧データからSSEに起因する非定常地殻変動が検出されたとされているアラスカ半島の水圧計ネットワークに適用した結果、海洋変動成分を誤認知した可能性があることを指摘した。R4年度に構築した「ソフトバンク独自基準点データの宇宙地球科学用途利活用コンソーシアム」の活動を活発化させ、3300点超の全データを専用線経由でソフトバンクから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に集約し、それらをコンソーシアム加盟機関に提供する枠組みを構築するとともに、それらデータのルーチン的な日座標解析のシステム構築を実現した。

(6) 本課題の5か年の到達目標：

巨大地震発生直後に、その地震規模や断層面の広がりを即時的に把握することは、津波やその内陸部への浸水の即時予測の観点から、きわめて重要である。さらに、プレート境界周辺で発生する地震の破壊域を迅速に把握することは、発生が危惧される後続地震の発生確率等を推定する観点からもその重要性は高い。こうした背景に対して、特にマグニチュードが8を大きく超えるような超巨大地震におけるリアルタイムGNSSを用いた震源断層即時推定手法の優位性がこれまでに明らかになりつつある。東北大学大学院理学研究科と国土地理院は、2012年よりREGARD (REal-time GEONET Analysis system for Rapid Deformation monitoring、電子基準点リアルタイム解析システム) の共同開発を進めている。同システムは、世界でも有数の稠密GNSS観測網であるGEONETのデータをリアルタイムで解析し、地震時永久変位から断層モデルを即時的に解析する。一方、津波を効率的に励起しうる海溝軸近傍の滑りは、陸上のGNSS観測点における変位場のみでは解像が難しい。すなわち推定される地震時滑りには大きな不確実性が含まれる。また、地震時滑り分布の推定は、本質的に劣決定問題であり、推定における正則化拘束にその結果は大きく依存する。これら海域における滑りを、適切な正則化拘束とともに、その推定誤差も同時に、迅速かつ正確に把握する技術の獲得は、REGARDの高度化の観点から喫緊の課題である。また、海域における観測量を適切に取り込みつつ、推定の確度を向上させ、その推定誤差を減少させることも、発災後の様々な行政等の対応の観点からも重要である。

こうした背景・問題意識に基づき、本研究課題の目的を、リアルタイムGNSSデータにもとづく断層滑りとその推定誤差の即時推定手法の構築および、それらの海域観測量にもとづく逐次改良手法の構築とする。本提案は、REGARDへの技術移転を前提とした課題であり、国土地理院と密接に連携しつつ、社会実装にあたって解決すべき課題を明確にしながら研究を遂行する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

令和6年度～令和8年度：海域における滑りを、適切な正則化拘束とともに、その推定誤差も同時に、迅速かつ正確に把握する技術の開発を実施する。さらに、海域観測量にもとづくすべり量の逐次改良手法の構築を開始する。

令和9年度：海域における滑りを、適切な正則化拘束とともに、その推定誤差も同時に、迅速かつ正確に把握する技術の開発を継続するとともに、開発した技術の国土地理院への技術移転に必要な事項の整理を開始する。海域観測量にもとづくすべり量の逐次改良手法の構築の継続する。

令和10年度：開発した技術の国土地理院への技術移転およびそれに向けた知見を取りまとめ、問題点

を明らかにするとともに、得られた知見から修正点等を明らかにする。

(8) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

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）
他機関との共同研究の有無：有
国土地理院 測地観測センター 電子基準点課

(9) 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：
e-mail：yusaku.ohata.d2@tohoku.ac.jp
URL：https://www.aob.gp.tohoku.ac.jp

(10) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：太田雄策
所属：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