

## リアルタイム GNSS を用いた断層すべり分布推定 の不確実性リアルタイム定量評価の試み

#大野圭太郎, 太田雄策

東北大学大学院理学研究科附属 地震・噴火予知研究観測センター

### はじめに

地震規模とその断層面の広がり of 正確な把握は、津波即時予測の観点からきわめて重要である。特にリアルタイムGNSSは、マグニチュードが8を超えるような大地震に対しても安定した感度を持つことから、その津波予測への活用が期待されている。このような経緯の中、津波予測支援を目的に国土地理院と東北大学理学研究科により開発が進められているのが、電子基準点リアルタイム解析システム REGARD である (Kawamoto et al., JGR, 2017)。同システムは、リアルタイムGNSSデータで得られた陸上地殻変動場に基づき、2種類の断層モデル (単一矩形断層, プレート境界におけるすべり分布) を即時的に推定する。REGARDは2016年熊本地震 (Mj 7.3) において人の手を介さず、完全に自動で地殻変動量の計算およびそれに基づく単一矩形断層の推定に成功し、推定された断層はGNSSおよびInSAR解析による後処理の推定結果とよく一致する結果を得た (Kawamoto et al., EPS, 2016)。一方、現状の陸上GNSS変位データのみを用いた推定では、海域における地震規模や断層面の広がり of 推定精度は必ずしも高くなく (例えば, Melgar and Bock, JGR, 2015), 推定される断層パラメータは不確実性を持ち、それらの定量的な把握は、そこから計算される津波予測の正確性を考える上でもきわめて重要である。

こうした問題意識にもとづき、我々はリアルタイムGNSSから推定される断層モデルが持つ不確実性を定量的に把握するためのアルゴリズムの開発を進めている。これまでに2011年東北地方太平洋沖地震時のデータに対し、ベイズ統計を用いた確率的推定手法であるマルコフ連鎖モンテカルロ法 (Markov Chain Monte Carlo methods: 以下, MCMC) を用いた1枚矩形断層推定手法を開発し、断層パラメータを確率密度分布として推定できること、さらにMwは高い精度で決定できるものの、断層面積とすべり量の間で顕著なトレードオフを示すことを定量的に示した (大野・太田, 測地学会誌, 2018)。

本講演では、本論文の内容の提示とともに、より正確な津波予測とその予測の不確実性の把握を目指し、MCMCを用いたプレート境界における地震時すべり分布推定手法についてその検討を進めたので、その結果について報告する。

### データ・方法および結果・考察

データにはリアルタイムGNSS観測による地表面の永久変位場を用い、それを説明するプレート境界面上でのすべり分布をMCMCを用いて推定した。リアルタイムでの利用を考慮し、パラレル・テンパリングによるサンプリングの効率化を行った。対象とした地震は2011年東北地方太平洋沖地震であり、沈み込む太平洋プレート上面を482枚の小断層に分割してすべり分布を推定した。その結果、事前分布を全く与えないで482枚の小断層上でのすべりをそのまま推定すると、その収束にきわめて長い時間を要することが明らかになった。そのため、本研究では四分木法を活用することで、効率よく解を得ることを試み

た. 計  $3.1 \times 10^6$  ステップの中で, 小断層の分割を4段階に分けて行い, サンプルを行った. 次の段階へ進む際に, 前段階の事後分布の中央値を初期値として使用し, 3および4段階目には, モーメント解放率上位8割に含まれることを基準とする分割判定を設けた. 図1は, 一連のサンプル列から各段階のサンプルを用いて図示した地震時すべり分布である. 小断層数は8枚 ( $1 \times 10^5$ ), 31枚 ( $5 \times 10^5$ ), 48枚 ( $1 \times 10^6$ ), 106枚 ( $1.5 \times 10^6$ ) と変化した. 4段階に分けてサンプルを行うことで, 大幅に探索を効率化し, 平滑化拘束なしでも Variance Reduction の値が上昇・安定化している. 現状, 我々の目的に対しては, 「平滑化拘束なし」という点にすべり分布モデルでMCMCを行う意義があると考えている.

### 計算時間・今後の展望

本研究はMCMC計算をリアルタイムで行い, 断層モデルの不確実性を定量化することを目指している. 一般に, MCMCサンプリングは計算コストが大きく, 実用化のためには計算速度向上が重要である. 我々は, MATLABからFortranへの言語移植・OpenMPによる並列化による高速化を試みた. その結果, 1枚矩形断層モデルは  $1 \times 10^5$  ステップで5秒以下に, すべり分布モデル (四分木アルゴリズム) は  $3.1 \times 10^6$  ステップで約900秒に短縮できた. 前者は, アルゴリズム・計算時間共に実用化に向けた調整段階で, 探索設定のリアルタイムでの設定方法や不確実性の妥当性・活用法の検討を進める. 後者は, MCMC使用の意義・探索の効率化について1枚矩形断層モデルと比べ大きな検討の余地がある. 今後の展望として, 三角メッシュ小断層の活用 (Meade et al., 2007) ・REGARD最尤推定結果の先験情報としての活用を考えている.

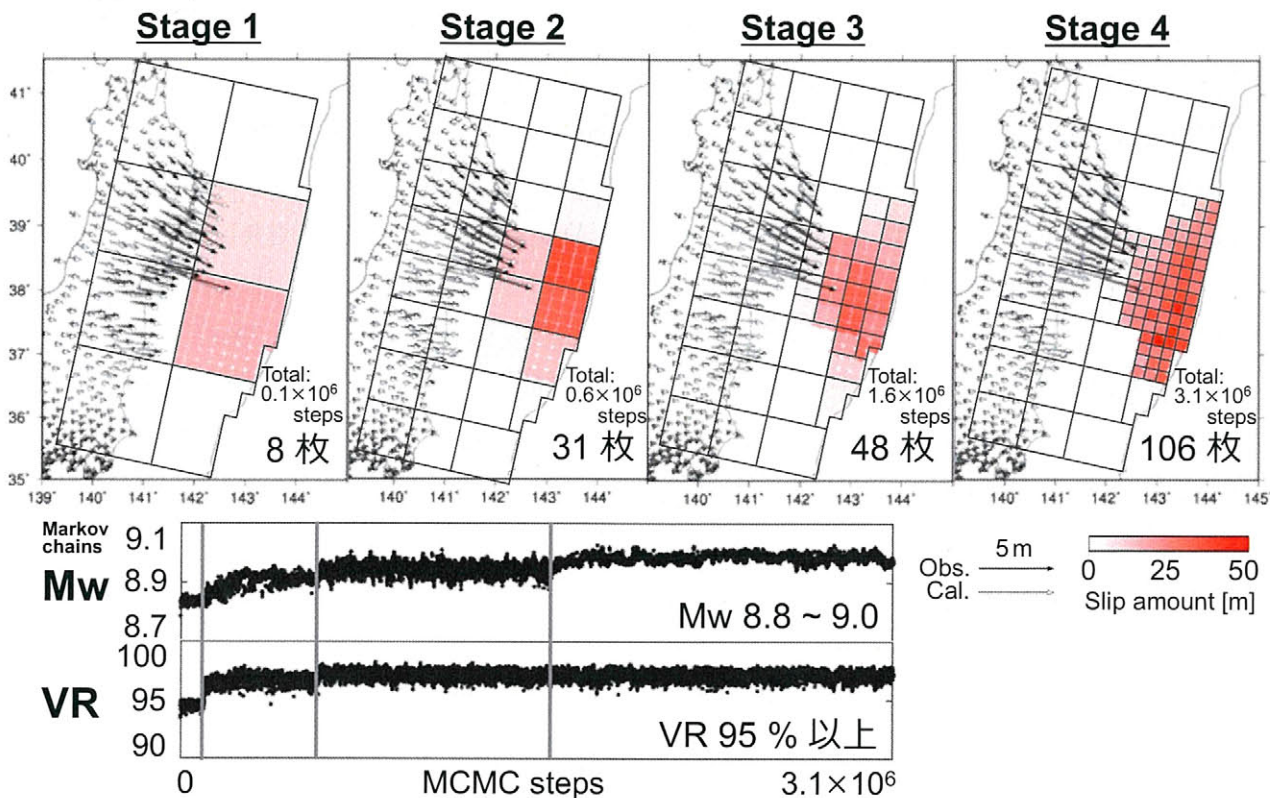


図 1: 四分木アルゴリズムを用いてサンプルした 2011 年東北地方太平洋沖地震時のすべり分布. 各段階のサンプルの中央値を用いて図示. 下段は, Mw と VR の全サンプル列を示す. 縦線は段階の区切りを示す.