

Coseismic fault model estimation using the Hamiltonian Monte Carlo method and its comparison with the Metropolis-Hastings method

*Taisuke Yamada¹, Yusaku Ohta¹, Keitaro Ohno²

1. Research Center for Prediction of Earthquakes and Volcanic Eruptions, Graduate School of Science, Tohoku University, 2. Geospatial Information Authority of Japan

限られた観測データから推定される断層モデルの推定不確実性を定量把握することは、得られた結果を解釈する上できわめて重要である。Ohno et al. (EPS, 2021)は、リアルタイムGNSSから矩形断層モデルを、その推定誤差とともに即時推定する手法をマルコフ連鎖モンテカルロ法 (MCMC法) に基づいて開発した。同手法ではMCMC法の代表的な手法の一つであるメトロポリス・ヘイスティング法 (M-H法) を採用している。しかしM-H法では約20~30%の採択率が理想とされ、結果として長いマルコフ連鎖が必要となる。すなわち、高次元の問題について非常に長い混合時間が必要であり、より効率的な探索手法の活用が必要とされている。そのような課題を克服するため、本発表では、ハミルトニアンモンテカルロ法 (HMC法) にもとづく断層モデル推定手法を開発した。

HMC法はMCMC法的一种であり、目標となる事後分布の微分 (勾配) を利用した効率的な遷移を行う。具体的にはleapfrog法による数値積分を用いたハミルトン力学のシミュレーションを行うことで、詳細釣り合いを満足した高速な混合を実現する。leapfrog法ではハイパーパラメータとしてステップサイズ e とステップ数 L を事前に仮定する必要がある。それらについて、 L に関してはNo-U-Turn Sampler (NUTS) を用いることで最適化を行い、 e に関しては試行錯誤的に 10^{-3} と仮定した。

本研究では、Okada (1992) による単一矩形断層モデルの断層パラメータを未知数とした。各未知パラメータについてステップサイズを最適化するため、緯度と経度を除くすべての未知パラメータにlogもしくはlogit変換による変数変換を適用した。開発した手法を2016年熊本地震に適用した結果、burn-inの1000連鎖を含む20000連鎖程度で収束が確認された。また、推定結果は先行研究と極めてよく一致した。また本研究ではM-H法によるサンプリングと比較して議論を行った。その結果、HMC法を用いることで、M-H法の5%程度の連鎖数で十分な精度の事後確率分布を推定可能であることが明らかになった。これより、連鎖数の観点からHMC法はM-H法に対して優位性があり、より長い連鎖数を必要とする高次元の問題や1連鎖の計算コストが大きい問題において効率の良い推定が可能であると考えられる。