

地殻変動データによる不確実性を考慮した 地震及び火山の力源モデル推定に関する研究

実施期間 令和 7 年度
地理地殻活動研究センター 川畑 亮二
地殻変動研究室

1. はじめに

国土地理院では、地震活動や火山活動に伴う大きな地殻変動が観測された場合に、地殻変動量から震源断層モデル等の力源モデルの推定を行っている。一方、モデル推定においては、モデルパラメータの非線形性や観測点の配点等による観測データの制限のため、最適解を一意に決定することが困難である場合が多い。そのような不確実性を考慮した上で、客観的にモデルパラメータを決定するため、マルコフ連鎖モンテカルロ法（以下「MCMC 法」という。）を用いた力源モデル推定プログラムを開発している。

2. 研究内容

2.1 研究の概要

地震活動や火山活動が活発になった際、GNSS や干渉 SAR データなどからその力源モデルを推定するに当たり、モデルパラメータの推定誤差やパラメータ間の相関関係を明らかにしつつ様々な先験的情報を用いて尤もらしいモデルを構築するための手法を開発するとともに、実際の地殻変動データを用いた解析を行い、手法の実用性を検証する。

本研究では、川畑・宗包（2021）で開発したプロトタイププログラムについて、観測データに与える誤差の不確実性を同時に推定するようプログラムの改良を行うとともに、令和 7 年 12 月 8 日青森県東方沖の地震（M7.5）で観測された地殻変動データを用いた解析を行った。

2.2 解析手法

2.2.1 MCMC 法によるモデル推定について

MCMC 法によるモデル推定の具体的な方法については、川畑・宗包（2021）に記載されている。本研究では、観測値の誤差の不確実性を取り入れるため、Fukuda and Johnson（2008）に倣い、観測値の実際の誤差を、最初に与えるノミナルな誤差の ρ 倍と仮定した。この ρ をハイパーパラメータとして、すべり量等のモデルパラメータや、すべり分布の滑らかさを調整するハイパーパラメータ α と併せ同時に推定するようプログラムの改修を行った。

2.2.2 地殻変動データについて

令和 7 年 12 月 8 日青森県東方沖の地震に伴う地殻変動データについては、電子基準点の日々の座標値を用いた。ここでは、解析を行う時点で得られる観測データが異なることを考慮し、F5 解から導出した地殻変動データと、Q5 解から導出した地殻変動データのそれぞれで、プレート境界面上でのすべり分布の解析を行い、推定結果の比較を行った。また、両者を直接比較できるよう、最初に与えるノミナルな観測値の誤差は一律に水平方向 1 cm、鉛直方向 3 cm とした上で、ハイパーパラメータ ρ から実際の誤差の推定を行った。なお、解析に用いた観測点の範囲は、F5 解、Q5 解ともに経度 39 度

から 43 度，緯度 138 度から 144 度とし，固定局は猿払（950101）とした．

3. 得られた結果

図-1 は F5 解の地殻変動データから推定されたプレート境界面上のすべり分布である．また，図-2 は推定されたハイパーパラメータである．すべり分布の滑らかさを調整する α と，観測値の誤差を調整する ρ が同時に推定されていることが分かる．また， ρ の分布の平均値は 0.25 であることから，本解析で推定された観測値の実際の誤差は，最初に与えた誤差より小さく，より観測値に重みを与えられたことが分かる．

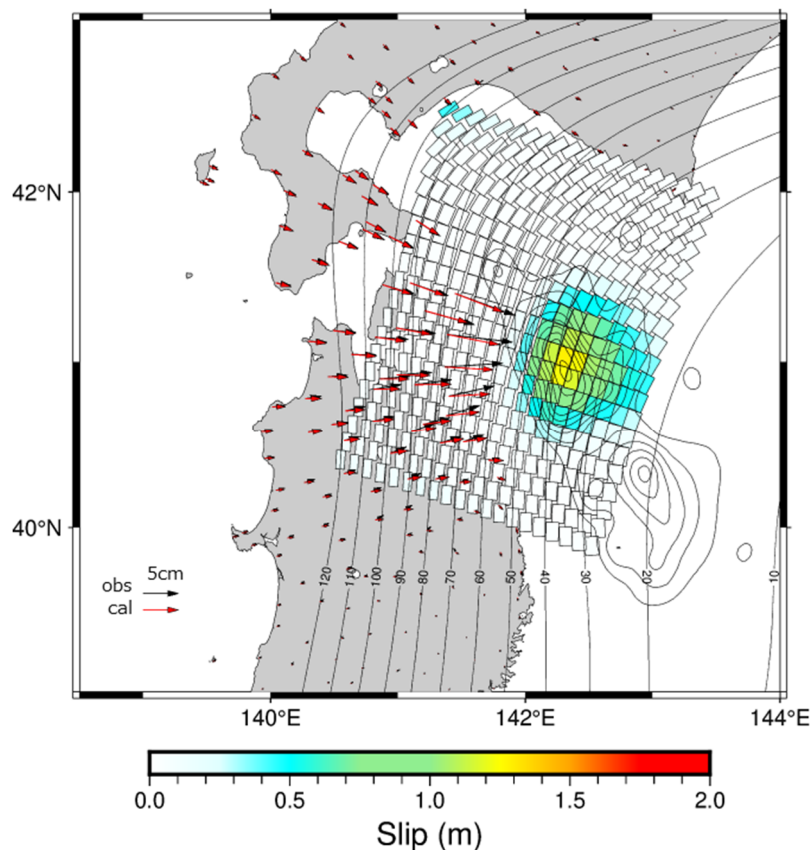


図-1 F5 解を用いて推定されたすべり分布及び観測値（黒）と計算値（赤）の比較

観測データの基準期間は 2025 年 12 月 1 日～12 月 7 日，比較期間は 2025 年 12 月 9 日～12 月 10 日．推定された最大すべり量は約 1.3 m，Mw は 7.58（剛性率 40 GPa を仮定）．観測値と計算値の一致度を表す VR 値は 94.7%．黒の等値線は 1968 年十勝沖地震のアスペリティ（永井ほか，2001）．

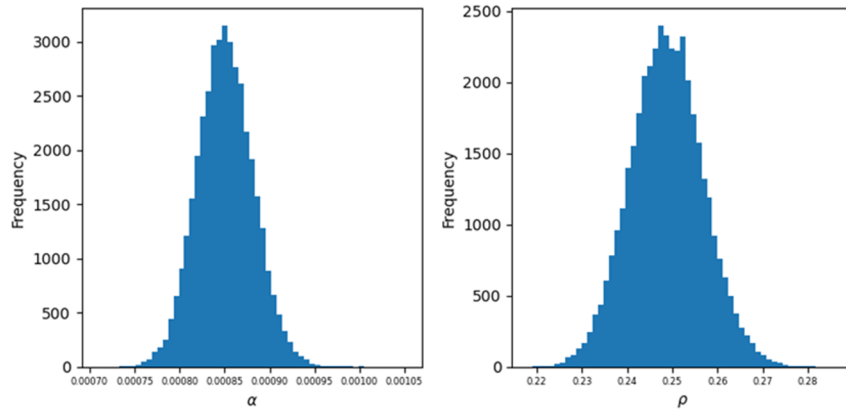


図-2 F5 解を用いて推定されたハイパーパラメータ α (左) 及び ρ (右)

同様の解析を Q5 解で行った結果を図-3 及び図-4 に示す．ハイパーパラメータの分布を見ると，観測値の誤差を調整する ρ は 0.58 で F5 解の場合よりも大きく，比較的誤差が大きく推定されていることが分かる．これは，Q5 解が F5 解と比較してばらつきが大きいことを反映しており，すべり分布がある程度滑らかであるという条件の下で，モデルパラメータが Q5 解の観測値を十分に説明できず残差が大きいことから，実際の観測値の誤差も大きく推定されたためである．与えられた観測値がどの程度モデルを説明し得るかに応じて，観測値の誤差が客観的に決定されていることが分かる．

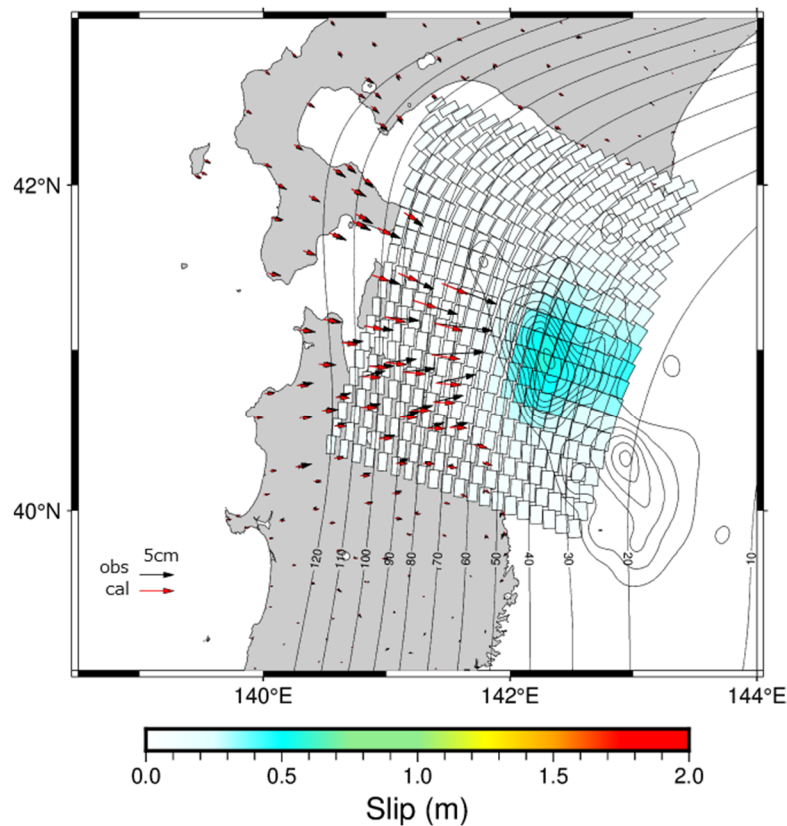


図-3 Q5 解を用いて推定されたすべり分布及び観測値（黒）と計算値（赤）の比較

観測データの基準期間は 2025 年 12 月 1 日 00:00～12 月 8 日 12:00(UTC)，比較期間は 2025 年 12 月 8 日 15:00～12 月 9 日 00:00(UTC)．推定された最大すべり量は約 0.57 m， M_w は 7.50（剛性率 40 GPa を仮定）．VR 値は 79.4%．

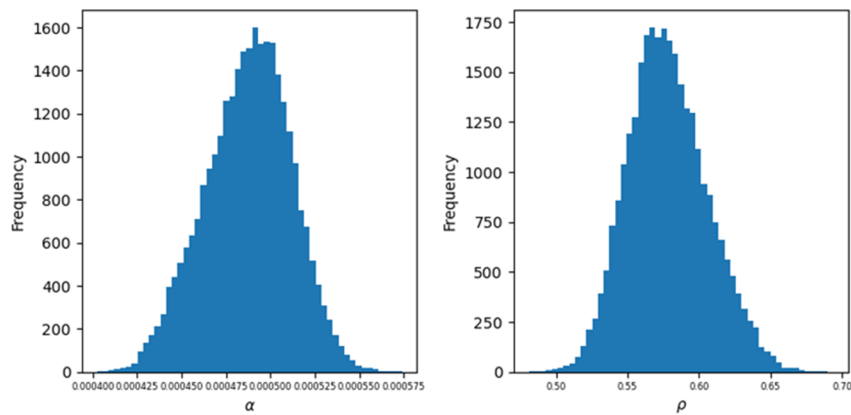


図-4 Q5 解を用いて推定されたハイパーパラメータ α (左) 及び ρ (右)

4. 結論

本研究において改良したプログラムを用いて実際の地殻変動データを用いた解析を行った結果、観測データに与える誤差の不確実性を客観的に推定可能であることが確かめられた。今後は、他の地震や火山活動等に伴う地殻変動データを用い、様々な力源モデルでの推定を行い、誤差の不確実性の推定について更に検証を行う予定である。

参考文献

- FUKUDA, J. and JOHNSON, K. M. (2008): A fully Bayesian inversion for spatial distribution of fault slip with objective smoothing, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 98, 1128–1146. doi: 10.1785/0120070194
- 川畑亮二, 宗包浩志 (2021) : MCMC 法を用いた震源断層及びすべり分布モデル推定のためのプロトタイププログラムの開発, *国土地理院時報*, 134, 1–12. doi: 10.57499/JOURNAL_134_01
- 永井理子, 菊地正幸, 山中佳子 (2001) : 三陸沖における再来大地震の震源過程の比較研究—1968 年十勝沖地震と 1994 年三陸はるか沖地震の比較—, *地震 第 2 輯*, 54 巻, 267–280.