

A Bayesian multi-model inference for slip distribution in slow slip events beneath the Bungo Channel: the effect of prior constraints

*Ryoichiro AGATA¹, Ryoko Nakata², Amato Kasahara³, Yuji Yagi⁴, Yukinari Seshimo⁵, Shoichi Yoshioka⁵, Takeshi Iinuma¹

1. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC), 2. Graduate School of Science, Tohoku University, 3. Independent researcher, 4. Graduate School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, 5. Graduate School of Science, Kobe University

地震波形・測地データを用いた断層すべり分布推定においては、1. 断層面形状と弾性構造よりなる地下構造のモデルを一つ設定し、2. 設定した地下構造モデルに基づきデータからのすべり分布のインバージョンを行う、という二つの段階からなる推定方法が一般的である。この方法は、すべり分布推定を単純な線形逆問題として定式化することを可能とするため、広く用いられている。しかし、地下構造に関して不確実な情報しかない状況下で、すべり分布推定の前に他の地下構造モデルを選択する可能性を捨ててしまうことは、その不確実性に起因するモデルによる予測誤差の大きさを過小評価することになり、推定におけるオーバーフィットを招く一因となる。

本研究では、モデルの不確実性に起因する予測誤差を適切に取り扱うために、事前確率分布関数で特徴付けられる地下構造モデルの多数の候補を保持して、すべり分布のフルベイズ推定を行う手法について検討する。この手法の基本的な考え方は、Agata et al. (2021, GJI) によって示されたものであり、モデル予測誤差の統計的性質をデータ誤差共分散行列の共分散成分により表現したYagi & Fukahata (2011, GJI)やDuputel et al. (2014, GJI)などによる手法を、モデル予測誤差のガウス性を仮定しない形に拡張したものと捉えることができる。また、多数のモデル候補をベイズ推定の枠組みの中で同時に考慮するという意味で、ベイズマルチモデル推定あるいはベイズモデル平均化（例えばRaftery et al., 1997）の一種と考えることもできる。そのため、本稿では本手法をBMMSE（Bayesian Multi-model slip estimation：ベイズマルチモデルすべり推定）と呼ぶ。Agata et al. (2021, GJI) では、BMMSEの簡単な数値実験への適用のみが示された。本研究では、BMMSEを豊後水道の地下で2010年と2018年頃に発生した長期的スロースリップイベント（L-SSE）の観測変位データ（Seshimo & Yoshioka, 2021, JpGU）に適用し、すべり分布を推定する。その際、BMMSEをすべり推定に導入することによる2つの利点に着目する。第一に、BMMSEを用いてモデルの不確実性に起因する予測誤差の確率的特性を精度よく考慮したフルベイズ推定を行うことは、すべり分布の滑らかさなどに対する強い先験的拘束を含めないすべり推定をより容易にするという点、第二に、L-SSEのように同じ場所で繰り返し発生するイベントのすべり分布推定において、地下構造を特徴づける事前確率分布関数をイベントごとに逐次更新することができる、という点である。

提案した手法を用いて得られた結果は、すべりがプレート境界面のdip方向にかなり狭い範囲で分布していることを示唆するものであった。すべり分布の推定結果から計算したイベント前後でのクーロン破壊応力変化量の空間分布を、L-SSEの期間中に発生したdown dip側の深部低周波微動の分布と比較したところ、すべり分布の滑らかさによる先験的拘束に基づいた結果と比べ、よりよく一致していた。このことは、L-SSEと周辺地域において同期して発生したスロー地震との力学的な関係をより明確に示している。このように、得られたすべり分布と他のイベントとの関係を議論する上で、物理的な根拠のはっきりしない拘束条件を導入せずにすべり分布を推定することがより効果的であることが示唆される。また、2010年のイベントに対する推定で更新された地下構造を特徴づける事前確率分布関数を、2018年のイベントを解析する際の入力として使用したところ、2018年のイベントを独立に解析した場合よりもWBIC（Widely Applicable Bayesian Information Criterion (Watanabe 2013, JMLR): 負の対数周辺尤度の近似値）がより小さくなり、より適切なベイズモデルが推定されていることが示された。このことから、事前確率分布関数をイベントごとに逐次更新することで、より適切なベイズ推論によるすべり分布推定が行えることが示された。