

直接的及び間接的先験情報を併用したベイズモデルに基づく測地データインバージョン: 大正関東地震への適用

Geodetic Data Inversion Based on a Bayesian Model with Direct and Indirect Prior Information: Application to the Kanto Earthquake

野田 朱美 [1]; 橋本 千尋 [2]; 深畑 幸俊 [3]; 松浦 充宏 [1]

Akemi Noda[1]; Chihiro Hashimoto[2]; Yukitoshi Fukahata[3]; Mitsuhiro Matsu'ura[1]

[1] 東大・理・地球惑星科学; [2] 東大理; [3] 東大・理・地球惑星

[1] Dept. of Earth & Planetary Science, Univ. of Tokyo; [2] Univ. of Tokyo; [3] Dept. Earth and Planet. Science, Univ. Tokyo

プレート収束域での地殻変形運動を引き起こすプレート間の力学的相互作用は、プレート境界での変位の食い違い(断層すべり)運動として合理的に表現される。地表変位と断層すべりは変位の食い違い理論によって定量的に関連づけられるので、測地データからプレート境界での断層すべりを推定する逆問題が設定できる。測地データのインバージョン解析はプレート収束域での地殻変形運動の原因を解明する上で極めて有用であり、直接的先験情報を取り込んだ Matsu'ura et al. (1986) の方法や間接的先験情報を取り込んだ Yabuki & Matsu'ura (1992) の方法が広く用いられてきた。我々は、これまで別々に扱われてきた直接的先験情報と間接的先験情報を統合し、上記二つのインバージョン解析法を自然な形で統合することに成功した。

具体的には、まず観測データからの情報とモデルの先験的情報を確率密度分布として表現し、両者をベイズの規則で結合させて超パラメータを含むベイズモデルを構築する。ベイズモデルにおける超パラメータは観測データからの情報と先験的情報の相対的重みを規定しており、その最適値は赤池のベイズ情報量規準 (ABIC) により客観的に選択される。ところで、先験的情報には、解析前に分かっているモデルパラメータの尤もらしい値とその不確定さからなる情報(直接的情報)と場の滑らかさに関する拘束条件などのモデルの構造を制約する情報(間接的情報)がある。この二つの異なる先験的情報を同時に使用することで、より一般的なベイズモデルの構築が可能になる。

定式化の手順は Yabuki & Matsu'ura (1992) とほぼ同様である。但し、間接的情報と共に直接的情報もモデルに組み込む点が大きく異なる。まず、間接的な先験的情報(場の滑らかさに関する拘束条件)と直接的な先験的情報(最も尤もらしいモデルとその不確定さ)をそれぞれ確率密度関数の形で表す。但し、場の滑らかさは、直接的先験情報で与えられる最も尤もらしいモデルからの変動分に対して定義する必要がある。これらの確率密度関数の積を取って間接的及び直接的先験情報を統合すると、一般に両者は独立でないので、正しく規格化することができない。そこで、Fukahata et al. (2004) の方法に従い、二つの異なる先験的情報を正しく統合する。更に、統合した先験的情報をベイズの規則で観測データからの情報と結合させ、一般的なベイズモデルを構築する。この定式化は、間接的な先験的情報を取り込んだ Yabuki & Matsu'ura (1992) の定式化と直接的な先験的情報を取り込んだ Jackson & Matsu'ura (1985) の定式化を、共に特殊ケースとして含んでいる。

新たに定式化したインバージョン解析法を大正関東地震の地殻変動データに適用することにより、その有効性を確かめた。データとしては、陸地測量部(1930)による1884~98年と1923~27年の水準測量の差から得られる垂直変位と、1884~99年と1924~25年の三角測量の差から得られる水平変位を用いた。地震は北米プレートとフィリピン海プレートの境界で発生したとし、そのプレート境界形状としては CAMP 標準モデル (Hashimoto et al., 2004) を使用した。インバージョン解析では、地震時の滑りベクトルをプレート収束方向に平行な成分とそれに直交する成分に分解し、各成分の空間分布の滑らかさに関する拘束条件(間接的先験情報)に加え、プレートテクトニクスの要請に基づき、プレート運動に直交するすべり成分は平均値ゼロの周りに正規分布するという直接的先験情報を導入した。解析の結果、小田原付近と三浦半島付近に約8mのピークを持つすべり分布が得られた。すべりの方向はプレート運動方向とほぼ平行であるが、房総半島南部では相模トラフに直行する方向に回転している。これらの特徴は Wald & Somerville (1995) の結果と調和的である。一方、プレート収束方向に平行な成分と直交する成分を全く区別せず、単にすべり分布は滑らかという間接的先験情報のみを用いて解析したところ、すべりベクトルの向きが震源断層域の東と西で大まかに逆になる不合理な結果が得られた。このインバージョン結果は、プレート間大地震はプレート運動方向に食い違うというプレートテクトニクスの基本概念からも外れている。

以上示したように、直接的及び間接的先験情報を併用したベイズモデルに基づくインバージョン解析法により、これまでインバージョン解析の枠外にあったプレートテクトニクスからの先験的情報を、積極的に解析に取り込むことができるようになった。