

アジョイントトモグラフィーと日本列島の地震波速度構造への適用

Adjoint tomography and its application to the seismic wave-speed structure beneath Japanese Islands

*三好 崇之¹*Takayuki Miyoshi¹

1. 国立研究開発法人海洋研究開発機構

1. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

スーパーコンピュータの発達に伴って、大規模計算を必要とする理論地震波形計算が実行可能となり、厳密な波動理論に基づく波形インバージョンによって地球内部構造を推定することが可能になりつつある。アジョイントトモグラフィーは、フォワード計算による波動場とアジョイント計算による波動場とを干渉させることで、地震波速度構造に関するモデルパラメータの勾配（ミスフィットカーネル）を得ることを利用したインバージョン法で（例えば、Tromp et al. 2005, Tape et al. 2007）、アジョイント計算は理論波形と観測波形から得られるミスフィットの時間反転を震源時間関数として観測点に与え、各観測点から波動場を計算することで実施される。最急降下法などの勾配法によって速度構造モデルを更新し、観測波形と理論波形の一致度が高まるまで繰り返し実施する。アジョイントトモグラフィーを利用した地下構造推定は、カリフォルニア（Tape et al. 2009）、オーストラリア（Fichtner et al. 2009）、ヨーロッパ（Zhu et al. 2013）、東アジア（Chen et al. 2015）などを対象に行われている。

日本列島の地震波速度構造モデルは、地震波走時トモグラフィーによる波線論をベースにしたモデル、地震動を再現することを目的とした防災科学技術研究所地震ハザードステーション（J-SHIS）による層構造モデルがあげられる。前者は地震動を再現する保証がなく、後者はさまざまな方法で得られた結果を統合したものがベースとなっている。筆者らは、地震動の再現と詳細な地下構造を明らかにすることを目的として、アジョイントトモグラフィーを用いて日本列島の標準三次元地震波速度構造モデルの構築に取り組んでいる。

ここでは、関東地域を対象として防災科研F-netによる広帯域地震波形を用いてアジョイントトモグラフィーによって地震波速度構造を推定した例を紹介する。まず、F-netのカタログに基づき、波形のS/Nが高いM4.5-5.5の地震140個を抽出した。選ばれた地震は、太平洋プレートとフィリピン海プレートの上面で発生したプレート間地震がほとんどで、陸のプレート内地震は乏しい。すれ違いのプレート境界であるカリフォルニアのケース（Tape et al. 2009）と違って、沈み込みに伴う深い地震が多いため、モデル領域を深い場所まで設定する必要がある。走時トモグラフィーモデル（Matsubara and Obara 2011）の三次元構造を初期モデルとし、固体地球のみ、減衰構造なしの条件で130秒間のフォワードとアジョイント計算を実施した。波形計算はスペクトル要素法（e.g. Peter et al. 2011）で実施した。初期モデルにおける理論波形の精度は2.6秒である。大規模計算は京コンピュータで実施し、1回の反復は4,000ノード時間を要した。インバージョンでは10-20秒の帯域で4回の反復を実施し、その結果を利用して5-20秒の帯域で反復3回を実施した。初期モデルには関東盆地にあたる構造がなかったが、東京湾を中心とした深さ5kmまでの領域で盆地構造に相当する低速度領域が推定されたほか、伊豆半島北方から銚子にあたる領域で帯状の低速度領域が初期モデルよりも顕著になるなど、S波速度は最大で10%程度遅く変更された。大きな変更となった理由は、初期モデルや初期震源の影響、観測点が少ないことによる構造変化の集中、波線論と波動論の違いなどが考えられる。今後は、陸域に加えて海域観測網によるデータも用いて構造推定に取り組む予定である。

本研究は、HPCI戦略プログラム（分野3）「防災・減災に資する地球変動予測」の一部として行われました。地震波形データは防災科研F-netの速度波形、計算コードはSPECFEM3D_Cartesianを使用しました。KAUSTのDaniel Peter 博士には貴重なコメントをいただきました。記して感謝いたします。

キーワード：アジョイントトモグラフィー、波動論、大規模計算、地震波速度構造

Keywords: adjoint tomography, wave theory, large computing, seismic wave-speed structure