東北地方太平洋沖地震震源域の波形トモグラフィー：分解能行列の検討

On the resolution matrix of the waveform tomography of the source region of the 2011 Tohoku-oki earthquake

*岡元 太郎[1]、竹中 博士[2]、中村 武史[3]
*Taro OKAMOTO[1], Hiroshi Takenaka[2], Takeshi Nakamura[3]

1. 東京工業大学 理学院 地球惑星科学系、2. 岡山大学 学術研究院自然科学学域、3. 電力中央研究所 サステナブルシステム研究本部
1. Earth and Planetary Sciences, Tokyo Institute of Technology, 2. Department of Earth Sciences, Okayama University, 3. Sustainable System Research Laboratory, Central Research Institute of Electric Power Industry

日本列島周辺が代表例であるプレートの沈み込み帯は、海水層・不規則海底地形・厚い堆積物層・沈み込む海洋プレートなどから構成されており、地球内部構造の3次元不均質性が強い。その効果は地震波動場に伝播経路の屈曲などとして強く表れる。そのため周期が10秒程度以下の短周期地震波では理論波形による観測波形の再現性が低下し、震源パラメータ推定にも影響を及ぼしうる（Okamoto et al. 2018）。地震波波形を用いた震源物理研究では、これらの強い不均質構造の効果を考慮した地震波伝播シミュレーションが必要になる。

そこで我々は、2011年東北地方太平洋沖地震の震源域を対象として、大規模地震波シミュレーションによって初期3 次元不均質構造モデルのもとで理論波形を計算し、その結果を用いた全波形トモグラフィーによって3 次元不均質構造モデルを改良する研究を進めている。この研究では、改良した3次元構造モデルを 用いることによって短周期の波形再現性を向上させて震源パラメータや破壊過程の解析を高精度化し、地震発生場と地球内部構造との相関関係を探る研究を短波長域に拡張することを目標としている。

本研究では波形トモグラフィーにおいて構造パラメータ摂動に対する波形の摂動量を示す感度カーネルを、高周波近似の波線理論等によらず波動論に基づいて計算する。この感度カーネルは解析対象地震の震源パラメータをもとにして計算される。しかし上述のように、沈み込み帯では短周期地震波に関する計算波形の精度を保つことが難しくなる。さらに、沈み込み帯は海域であるため震源近くの観測点数が極めて少なくなり、観測点は陸域にのみに分布するなど空間的に偏った観測点分布になる。これも海域の地震の震源パラメータ推定にバイアスをもたらす要因となり得る。そこで我々は独自の FAMT（First-motion Augmented Moment Tensor）解析（Okamoto et al. 2017, 2018）を用いることによって、不確定さをできる限り小さくした震源パラメータ推定を行い、その結果を感度カーネルの計算に反映させるようにする。

これまでに、海域の浅いM6前後の地震15個と F-netの7観測点での広帯域3成分波形データ（全体で282成分）を用いて波形トモグラフィーの試行を進めている。この試行では対象領域（水平方向491.4km × 352.8km、鉛直方向42.0km）を12.6km ×12.6km ×8.4kmのブロック39 ×28 ×5=5460個に分割し、ブロック内の平均的な物性パラメータ改良値を求める。パラメータはP波弾性率、S波弾性率、密度、Qp、Qsの5つを対象にできるが、試行ではP波弾性率・S波弾性率、密度の3個を用いた。大規模波形計算はHOT-FDM（Nakamura et al. BSSA 2012）のマルチGPU対応版（Okamoto et al. 2013）を用いて東工大TSUBAME-3.0で実行した。FDMパラメータは計算領域734km ×504km ×120km、格子間隔150m、上限周波数0.39Hzであり、GPU（Tesla P100）126基を用いた。これらの大規模計算で生成した波動場をもとにして逆問題で用いる周波数領域の感度カーネルを生成する。試行では周期8.90～40.96秒の37周波数ポイントについて282 ×37個の感度カーネルを生成した。

逆問題は非線形であり、ここでは逐次計算1回目における分解能行列を検討した。まず本研究ではKubina et al.

© 日本地震学会

(2018) を参考にして感度カーネル行列に前処理（規格化）を施している。この前処理によって分解能行列も平滑化され、極端に大きな値を取る要素がなくなるという効果がある。そしてS波弾性率（剛性率）の分解能が他のパラメータよりも相対的に大きく、またS波弾性率の中でも最も浅い第1層ブロック（0〜8.4km）での分解能が深い層のものよりも大きいことがわかった。これは浅い層の地震波速度が遅いために層内の波動場の振幅が他の層よりも相対的に大きくなることや、波動場の主要な成分が表面波であることを反映していると考えられる。第1層ブロックでのS波弾性率の分解能は海岸線付近から東北沖地震震央付近までが相対的に大きい。海溝に近いところでは相対的に小さくなり、海溝を越えると非常に小さくなる。これは解析に用いた震源分布に依存するものと考えられる。逐次計算1回目における第1層ブロックののS波弾性率は、東北沖地震震源域の周辺で負の摂動量がやや卓越する傾向が見られた。これらの試行ではデータ量が少ないので、発表ではデータを増やした結果などについて議論する予定である。

謝辞　気象庁と防災科学技術研究所からは震源パラメータや地震波形データ、地盤構造モデルデータを提供していただきました。またGlobal CMTプロジェクトのCMT解を利用いたしました。本研究は科研費(課題番号:20K04101)および学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点(課題番号:jh220060)の支援によって実施しました。記して感謝いたします。

© 日本地震学会