

“揺れの数値予報”における前方散乱効果の導入

小木曾 仁 (気象研究所)

2011年東北地震で明らかになった地震動即時予測の課題に対処するため、我々は地震波動場のリアルタイムモニタリングに基づく地震動即時予測手法(e.g., Hoshiya, 2013, *JGR*; Hoshiya and Aoki, 2015, *BSSA*)の開発に取り組んでいる。Ogiso et al., (2018, *BSSA*)では、Hoshiya and Aoki (2015)の「揺れの数値予報」において、不均質減衰構造の影響を考慮することにより、熊本地震の震度予測精度が向上することを示した。Hoshiya and Aoki (2015)や Ogiso et al. (2018)では地震動を予測する際、等方散乱モデルと輻射伝達理論を用いて地震波エネルギーの伝播を計算している。等方散乱モデルは観測エンベロープにおけるコーダ波の励起を説明するのに広く使用されている一方、直達波部分のエンベロープ形状を説明することはできない。この問題は非等方(前方)散乱モデルを用いることで解決できる(e.g., Wegler et al., 2006, *PAGEOPH*)。そこで、本研究では「揺れの数値予報」に非等方散乱モデルを導入し、その効果について調査する。

非等方散乱を「揺れの数値予報」に導入するために、指数関数型のパワースペクトルで特徴付けられる2次元ランダム媒質を仮定し、ボルン近似に基づいて非等方な散乱係数を計算した。Hoshiya and Aoki (2015)や Ogiso et al. (2018)では地震波エネルギーの分布を多数の粒子の分布で離散化し、粒子の移動によってエネルギー伝播を表現するモンテカルロ法(e.g., Yoshimoto, 2000, *JGR*)を採用している。非等方な散乱係数をモンテカルロ法に導入することによって前方散乱を考慮した「揺れの数値予報」が可能となる。本研究では Ogiso et al. (2018)と同様、2016年熊本地震を対象として「揺れの数値予報」シミュレーションを行い、等方散乱モデルと前方散乱モデルを採用した場合について比較した。

まず、ランダム媒質の相関距離 $a = 1(\text{km})$ 、速度揺らぎのRMS値 $\varepsilon = 0.05$ 、内部減衰の大きさを $Q^{-1} = 0.005$ とした前方散乱モデルを採用した結果と Ogiso et al. (2018)の同様減衰構造を用いた等方散乱モデルの結果を比較した。前方散乱モデルで計算する際のパラメータは、内部減衰と散乱に関するもの以外は Ogiso et al. (2018)と同じとした。エネルギー伝播時のアニメーションを比較すると、主要動付近の予測精度は若干等方散乱モデルのほうが良好だが、エンベロープ全体の予測残差は前方散乱モデルのほうが小さくなることが分かった。次に、前方散乱モデルにおけるコーダ部分の特徴を再現できる(e.g., Gaebler et al., 2015, *GJI*) Momentum transfer scattering coefficient を有効等方散乱係数として等方散乱モデルに採用し、前方散乱モデルの結果と比較した。その結果、等方散乱モデルにおけるエンベロープ全体の予測残差は減少したが、最大値の予測残差が悪化した。これは、Momentum transfer scattering coefficient が Ogiso et al. (2018)で用いた散乱係数より1桁ほど小さいため、直達波部分の散乱減衰の影響が小さくなってしまったことが原因と考えられる。最後に、前方散乱モデルにおいて、最適内挿法の相関距離を10kmから5kmに変更して、Ogiso et al. (2018)の等方散乱モデルの結果と比較した。最適内挿法で予測値を修正する際、観測値は観測点周囲

のある広がりを持った範囲において予測値との重み付き平均に使用される。この結果、空間領域にて直達波のエンベロープ形状を「なまらす」こととなり、前方散乱モデルにおける直達波エンベロープ拡大現象に似た結果を得ることができる。前方散乱モデルの導入により、予測値にてすでに直達波のエンベロープ拡大が表現できているので、最適内挿法の相関距離を小さくして、空間領域におけるエンベロープを「なまらす」効果を小さくできるのではないかと考えた。しかし、相関距離を小さくした場合、最適内挿法による現在の波動場の推定が過小気味となり、その結果、予測も過小となってしまうことがわかった。本研究で使用した観測点分布の場合、相関距離は少なくとも 5km よりは大きくないといけないようである。

本研究の結果を総合的に判断すると、前方散乱モデルを導入することにより、地震動エンベロープの直達波からコーダ波部分に至るまで全体の即時予測の可能性が示されたと考える。あらかじめ、前方散乱を考慮した散乱テーブルを計算しておくなどの工夫をすることにより、前方散乱モデルを導入した際の計算時間の増加はわずかに抑えることが可能であろう(e.g., Shearer and Earle, 2004, *GJI*)。今後、前方散乱モデルを考慮した不均質減衰構造を導入する等、「揺れの数値予報」の予測精度向上に向けた取り組みを継続していく。

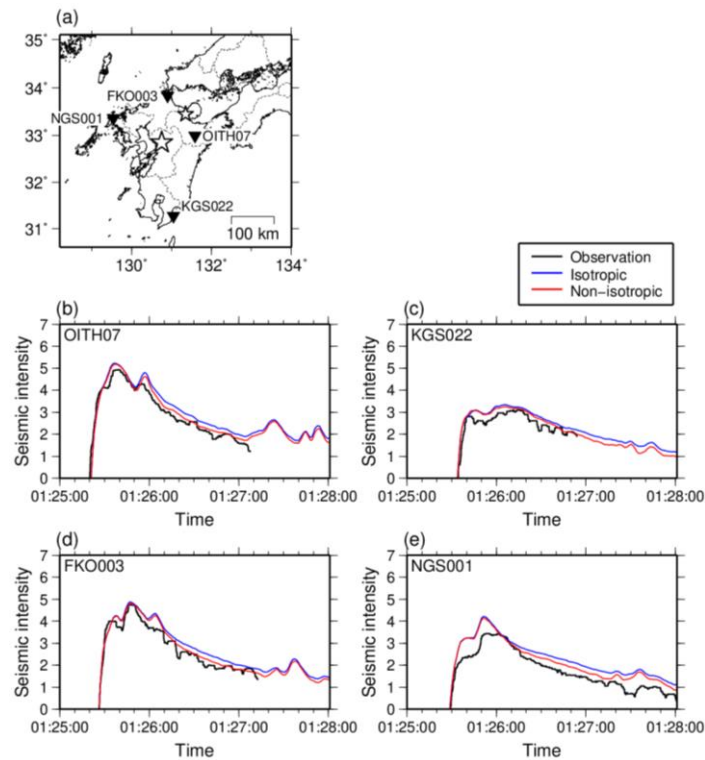


図 観測エンベロープ(黒)と等方散乱モデル(青)、前方散乱モデル(赤)に基づいた 10 秒後の予測エンベロープとの比較。

謝辞: 本研究では防災科研 K-NET/KiK-net の観測波形を使用しました。また、JSPS 科研費 JP17H02064 及び JP18K13622 の援助を受けています。