

Hi-net で捉えられる波動場の時空間的特徴 長周期のコーダ

江本賢太郎, 齊藤竜彦, 汐見勝彦
(防災科学技術研究所)

はじめに

Hi-net 高感度地震観測網は, およそ 20km 間隔で日本全国に観測点を持つため, 周期 10 秒以上の地震波であれば, 位相を含めて地表を伝播する様子を捉えることができる. Maeda et al. (2011) では, 長周期の波動伝播をマッピングし, 位相が干渉する様子を明らかにした. それよりも短周期の地震波であっても, 各観測点でのエネルギーをマッピングすることで, 日本列島を地震波エネルギーが伝播する様子を捉えることが可能である. 短周期の地震波伝播は, ランダムなゆらぎをもつ速度構造を仮定して, そこを伝播するエネルギーの統計的特徴に着目して議論されることが多い. たとえば, Carcole & Sato (2010) では, エネルギー伝播の時空間的特徴を用いて不均質構造を推定する手法の一つである Multiple Lapse Time Window Analysis を用いて, 日本列島における不均質構造を推定した. 一般に, こうした統計的な研究は主に短周期地震波に対して行われ, 長周期地震波は一次元成層構造を仮定した解析により, 震源パラメータを求めるなどの研究がされる. 本研究は, そうした長周期地震波伝播の時空間的特徴と, 短波長不均質構造の影響を調べる.

観測される波動場

2011 年 11 月 21 日に広島県北部で発生した Mw5.2, 深さ 12km (気象庁一元化) を用いる. この地域は短波長不均質構造が比較的単純とされ, 長周期を議論するのに十分な大きさ, また, 直後に余震が発生しておらずコーダの議論ができるのでこの地震を選んだ.

Hi-net の観測点での記録を Maeda et al (2011) の手法を用いて広帯域地震計の特性に変換し, 2 乗振幅の 3 成分和に密度を掛けたエネルギー密度を時刻ごとにプロットする. 周期 0.5-1 秒では, 震央距離 500km 程度まで, P 波と S 波の伝播が顕著に見え, S 波の通過後もエネルギーが残る. 周期 8-16 秒では P 波は明瞭でないが, 表面波が震央距離 1000km 以上まで伝播してく様子が見える. この周波数帯においても, 表面波の通過後に空間的にほぼ一様なエネルギーが存在する (図 1a). 横軸を震央距離, 縦軸をエネルギー密度として時間ごとにプロットすると, P 波到達後から S 波到達までエネルギー密度は単調に増加する様子が見える. エネルギー密度は, S 波 (表面波) 通過後は震源付近において, 空間的に一様になり (図 1b), 時間とともに徐々に減衰する.

1 次元速度構造

F-net でのメカニズム解推定に使用されている 1 次元速度構造 (Kubo et al., 2002) を用いて, 周波数・波数積分法 (Saikia, 1994) により理論波形を計算し, 観測記録と比較する. 両者の相互相関係数は, 震央距離が大きくなるにつれ減少する. 周期 8-32 秒では, 震央距離 500km 程度まで, 周期 2-8 秒では 50km 程度まで, 0.8 以上の観測点が見られる. 周期 0.5-2 秒では, 近い観測点でも 0.6 程度である. また, 周期 4 秒以上では, 観測波形より計算波形の走時が早くなる傾向にあり, 震央距離の増加とともに差は広がっていく. これは 1 次元速度構造を調整することにより説明可能である (齊藤・他, 2011). 一方で, エネルギーに着目すると, 計算波形にはコーダがほとんど存在せず, 震源付近でエネルギーが空間的に一様になる現象も再現できない (図 1c,d). 震源付近における S コーダのエネルギー密度は, 周期 8-16 秒で約 2 桁, 周期 0.5-1 秒では 5 桁ほど計算波形の方が小さい.

1 次元構造 + 3 次元ランダム不均質

震源付近に空間一様に存在する S 波コーダを再現するために、1 次元速度構造の地殻部分 (0-33km) に 3 次元ランダム不均質を導入する。ゆらぎは指数関数型自己相関関数で特徴づけられるとし、相関距離 $a = 5 \text{ km}$ と仮定する。3 次元差分法を用い、周期 8-16 秒の波形を計算する。この周期帯での S 波の波長は 30km 程度であり、仮定した相関距離よりも大きい。ランダム不均質を導入したことにより、震源付近でエネルギー密度が空間一様になる現象が再現された。この振幅は、ゆらぎの RMS 値 ε の増加とともに大きくなる。 $\varepsilon = 3\%, 4\%$ のとき、観測される震源付近のエネルギー密度の値とほぼ等しくなる (図 1e,f)。しかし、表面波通過後のエネルギー密度が減少する様子は、観測記録の方が早く、これは ε を 3% から 8% まで変えても説明できない。経過時間 100 秒以上における震源付近のエネルギー減少は内部減衰に依存し、 Q^{-1} が大きいほど早く減少する。 $Q^{-1} \leq 0.02$ とすると、観測記録のエネルギー減少をほぼ説明できる。

結論

1 次元速度構造では、走時のずれはあるものの、周期 8 秒以上において震央距離 500km 程度まで波形を再現することが可能である。しかし、この周波数帯においても S 波コーダが震源付近で空間一様になる現象を説明するためには、地殻の 3 次元ランダム不均質を考慮する必要がある。

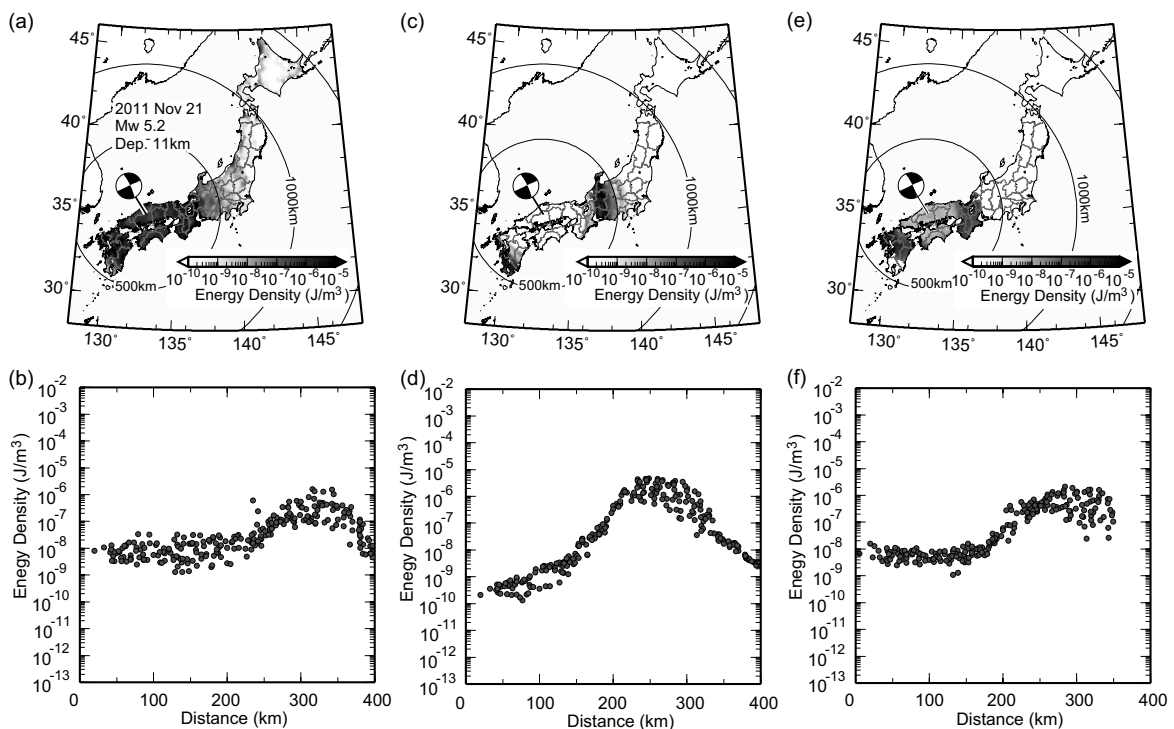


図 1 周期 8-16 秒における震源時から 100 秒後のエネルギー密度分布。(a,b) 観測値。(c,d) 1 次元速度構造での計算値。(e,f) 1 次元構造 + 3 次元ランダム不均質 ($a = 5 \text{ km}, \varepsilon = 3\%$) での計算値。