

マルコフ近似を用いた S 波と ScS 波の解析から推定されるランダム不均質構造

江本賢太郎, 佐藤春夫, 西村太志
(東北大学大学院理学研究科)

はじめに

地球内部を伝播する短波長地震波は, ランダム速度不均質構造の影響を受ける. 短波長なランダム不均質構造の推定は, 主に統計的手法を用いて行われてきた. たとえば, 地殻・リソスフェアにおいて, Carcole and Sato (2009) は, 日本列島直下の散乱強度の地域性を明らかにし, Kubanza et al. (2007) は, 世界的規模で不均質の地域性を明らかにした. 一方, 地球深部(下部マントル)における短波長不均質の研究例は, リソスフェアと比べると少ない. 下部マントルにおける短波長不均質は, 1970 年代に PKIKP の先駆波を用いて, D”層 [Haddon and Cleary 1974] や下部マントル全体 [Doornbos and Vlaar, 1973] における存在が示唆された. 近年, 輻射伝達理論に基づく遠地 P 波の解析により, 下部マントル全体に RMS ゆらぎが 0.1 - 0.5 % 程度の不均質の存在が報告されている [Margerin and Nolet, 2003; Shearer and Earle, 2004]. これは, リソスフェアにおける値より一桁小さい値である. また, Lee et al. (2003) は, ScS 波の解析から下部マントルにおける散乱係数が, リソスフェア・上部マントルの値の 6 割程度であると見積もっている. 本研究では, 日本列島直下で発生した地震の S 波と ScS 波にマルコフ近似を適用することによって, 下部マントルを含めた地球内部のランダム短波長不均質構造の推定を行う.

データ

統計的理論で求められるエンベロープは, ランダム不均質媒質のアンサンブル平均であるため, Hi-net 観測点を多点用いて直達 S 波と ScS 波の平均エンベロープを求める. スラブやモホによる変換波の影響を避けるため, S 波と ScS 波の鉛直入射が仮定できる地震・観測点ペアを用いる. 日本列島直下で発生した深さ 286 km, マグニチュード 5.2 の地震を選び, 観測点は震央距離が 100 km 以内にある 52 個の Hi-net 観測点を用いる(図 1a). まず, 中心周波数が 1 Hz のバンドパスフィルタをかける. 次に, 観測点による影響を取り除くため, それぞれの成分ごとに, S 波走時の約 2 倍の時刻のコーダ波振幅で規格化する. その後, 52 個の観測点で S 波走時を揃えて 2 乗エンベロープをスタックし, S 波の 3 成分和の平均二乗エンベロープを求める. ScS 波のエンベロープは, 走時の補正をせずにスタックして求める. スタックした S 波と ScS 波の平均二乗エンベロープを図 1b に示すが, ScS 波のエンベロープの時間幅は S 波よりも広がっている. ランダム不均質が存在していればエンベロープの幅が広がるため, この記録は下部マントルにもランダム不均質が存在していることを示唆している.

手法

観測から求めたエンベロープを解析するために, 統計的手法の一つであるマルコフ近似を用いる. これは, 後方散乱を無視した多重前方散乱理論であり, コーダ部分の解析には使用できないが, エンベロープの立ち上がりから, 主要部分を再現することができる. 本研究では, Takahashi et al. (2007) のような, ランダム不均質媒質の層構造は考えず, 一様なランダム不均質 [Shishov, 1974] を仮定して解析を行う. 震源は点震源と仮定し, S 波は一様なランダム不均質媒質中を 286 km, ScS 波は 5496 km 伝播する球面波と考える. 平均速度はデータからそれぞれ, 4.3 km/s, 6.3 km/s とする. エンベロープの立ち上がりから測り, ピーク値の半分に減少するまでの時間 t_h を用いてエンベロープを特徴付ける. ガウス型ランダム媒質を仮定すると, マルコフ近似によって $t_h = 0.38t_M + 1.2$ と表される. ここで, 相関距離 a , RMS ゆらぎ ε , 伝播距離 r , 平均 S 波速度 v_0 を用いて $t_M = \sqrt{\pi\varepsilon^2 r^2}/2v_0 a$ である. 震源時間関数は, 継続時間 2 秒のハニング窓とした(図 1c).

結果と考察

S 波, ScS 波について, それぞれ, $t_h = 3.1, 6.1$ 秒である. 上述の式を用いると, それぞれ $t_M = 5.0, 13$ 秒となり, 仮定した r, v_0 の値を用いると, それぞれ $\varepsilon^2/a = 3.0 \times 10^{-4}, 3.1 \times 10^{-6} \text{ km}^{-1}$ と見積もられる. これらの値を用いてマルコフ近似で計算された 3 成分和の平均二乗エンベロープを図 1c に示す. S 波から見積もった値は, Kubanza et al. (2007) によって, 遠地 P 波の解析から求められたリソスフェアの値とほぼ等しい. つまり, この値はほぼリソスフェアの値を表していると考えられる. ScS 波から求められた ε^2/a は, Shearer and Earle (2004) が求めた下部マントルの値とほぼ等しい. 彼らは遠地 P 波のコーダを指数関数型ランダム媒質を仮定して解析しているため, 本研究と単純に比較はできないが, ScS 波から求めた値にはリソスフェアの影響も含まれているため, 下部マントルにおける値は, Shearer and Earle (2004) よりも小さいものだと推測される.

今後, ベクトル波を用い, 速度と不均質パラメータに不連続がある層構造のランダム媒質を仮定し, マルコフ近似とデータを比較することによって, 不均質パラメータの深さを分離する予定である.

謝辞

防災科研 Hi-net のデータを使用させていただきました. 本研究は日本学術振興会による特別研究員奨励費のサポートを受けて行われました (22.3143).

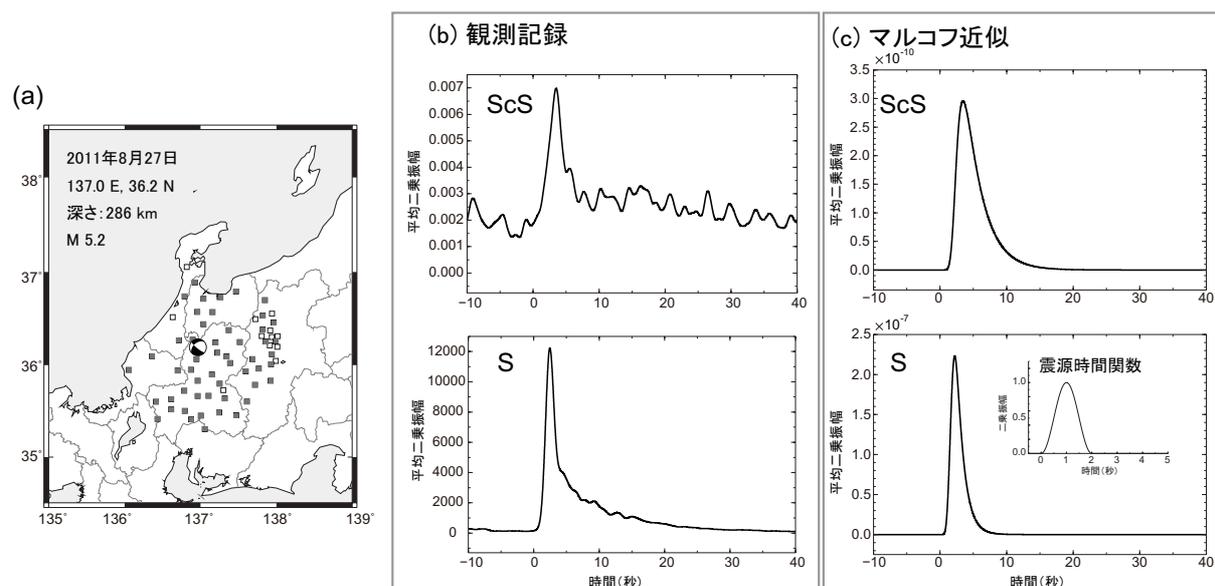


図 1 (a) 震源と観測点分布. 中抜き四角は未使用の観測点. (b) 観測記録から求めた ScS 波と S 波の平均二乗エンベロープの 3 成分和 (1 Hz). (c) マルコフ近似を用いて計算された ScS 波と S 波. 畳み込んだ震源時間関数も一緒に示す.