

コーダ波エネルギーのセンシティブィティ

Sensitivity of Coda Wave Energy

前田 拓人 [1]

Takuto Maeda[1]

[1] 防災科研

[1] NIED

1. はじめに

コーダ波形状の特徴からリソスフェアの短波長不基質構造を議論する際には、コーダ Q とともに、平均自由行程の逆数である散乱係数が用いられてきた。散乱係数はアンサンブル平均の概念に基づく統計的な量であり、離散的な散乱体の数分布や、Born 近似から得られた散乱波のエネルギー流速密度の体積および立体角平均などと関連付けられる量である。これを、大きなスケールでは空間的に変化する量であると捉え、散乱係数の空間分布によって不均質構造を特徴付けるコーダ波トモグラフィーが行われてきた。しかし、それらの試みはいずれも一次等方散乱近似の下に定式化されており、コーダ波振幅の変化を、経過時刻に応じた等時散乱殻上のみの不均質にマッピングしており、多重散乱波がその中でどのように振舞うのかは未だ不明である。本発表では、多重等方散乱波のエネルギーを記述する現象論的輻射伝達方程式を基礎におき、そこからの摂動を考えることで、散乱係数のゆらぎと観測量である地震波エネルギーとの間の量的な関係について考察する。

2. センシティブィティカーネルの導出

ここでは、地震波エネルギーの多重等方散乱を取り扱う。震源からエネルギー輻射されたエネルギーの多重散乱過程とその時空間分布は、積分形の輻射伝達方程式で表現することができる。従来取り扱われていた輻射伝達方程式では、散乱係数が一定値であることを仮定していたが、ここでは一定値から空間に依存した僅かなゆらぎを考える。輻射伝達方程式に散乱係数のゆらぎを与え、そのゆらぎに伴う観測エネルギー密度の時空間分布のゆらぎを調べると、1 次の摂動展開により、観測エネルギー密度のゆらぎは、全空間に散乱係数のゆらぎに比例する震源を持つ同じ媒質の輻射伝達方程式に従うことが示された。全空間に広がった震源からのエネルギーを現実的に計算するのは困難であるので、相反性を用いて整理する。最終的に、エネルギー密度のゆらぎはある重み関数（センシティブィティカーネル）と散乱係数のゆらぎの空間積分で表すことができた。すなわち、このセンシティブィティカーネルが、特定の時間・場所において観測されたコーダ波が影響を受ける不均質構造の空間分布を示している。

3. 準解析解を用いた数値評価

今回導出したセンシティブィティカーネルは、一様な散乱係数を持つ場のエネルギー密度の時空間発展が既知であれば計算することができる。そこで、3 次元の輻射伝達方程式の数値的な準解析解を利用して、センシティブィティカーネル形状の時間発展を調べた。その結果、経過時間の短いうちは、震源と観測点を焦点とする楕円体上（等時散乱曲面上）に非常に強いセンシティブィティが存在することが明らかになった。これは、経過時間が平均自由時間を超えない範囲では一次散乱近似が有効であると言う事実と矛盾しない。因果律の制約から、等時散乱曲面の外側のセンシティブィティは常に零である。経過時間の増大とともに、等時散乱曲面上のセンシティブィティは相対的に減少し、その曲面の内側のセンシティブィティが強くなることが明らかになった。特に、震源と観測点の周辺でのセンシティブィティが非常に強くなることが明らかになった。このことは、経過時間の十分に経過後では、コーダ波エネルギーは震源付近および観測点周辺の構造のゆらぎに強く影響されることを示している。