

時間反転波形記録の逆伝搬による散乱体のイメージング

蓬田 清 (北海道大学大学院理学研究院)

Imaging of seismic scatterers by backward propagation of time-reversed seismograms

Kiyoshi YOMOGIDA

Graduate School of Science, Hokkaido University, Sapporo 060-0810, Japan

地殻の微細不均質構造のイメージングでは、ランダムな高周波コーダ波に埋もれている coherent な信号を散乱理論とアレイ解析から検出し、分解能を高めていく解析法がいくつか開発されてきた(例えば、Taira et al., 2007)。今後、より高密度の高周波の地震波形記録が大量に得られることが予想され、物理探査の migration 法のように、観測波形をそのまま媒質空間に伝搬させて微細不均質(散乱体)をイメージングする手法が重要となる。過去10年余り、観測波形を時間反転させて、それを単純に媒質へ逆伝搬させるだけで波源を再現する手法が、諸分野で応用されてきた(Fink, 1996)。地震学でも、長周期の観測波形から震源関数の時空間分布を求めた研究もある(Larmat et al., 2006)。coherent な散乱波は散乱体を波源とみなせるので、そのイメージングも同様に可能であろう。実は、時間反転波形記録を用いたイメージングの理論的体系が、1980年代中頃に物理探査では既に考案され、実際のデータへの応用も試みられた(Tarantola, 1984; Yomogida and Aki, 1987; Miller et al., 1987; Mora, 1988)。当時に比べて格段に高密度・高精度の地震観測網の記録が利用できる昨今の状況から、本研究では簡単な合成波形を用いて、高周波地震波形記録から微細不均質性のイメージングの可能性および空間分解能を検証する。

合成波形としては、円形空隙が均質媒質中にある2次元SH波について、境界積分法より求める。(注:滑らかな速度ゆらぎをモデルとする差分法は、不均質性を2次的な震源とみなせず、この場合に適当ではない。)震源は図1の★のように地表近くとする。速度は1として、深さ10を中心に直径1の空隙4個を配し、地表での波形を図1左に示す。用いたリカー波の中心周波数は、波長が直径と同じである。直達波 d に加えて、空隙からの散乱波 s が見られる。各空隙からの双曲線型の散乱波形群が認められるが、多重散乱のためにさらに複雑になっている。この波形を時間反転させ、各観測点から媒質に向けて逆伝搬させた結果を、図1右に1秒毎に示す。震源から一番遠い、つまり散乱波の到来が一番遅い右下の空隙が約21sでまずイメージされ、23sで右上と左下、最後に左上が25sでイメージされた。地表付近の信号は、Finkらの主張のようにいずれ震源に集まる。図2は、同じモデルだが波長が3倍になった場合の、合成波形と逆伝搬の結果を示す。4つの空隙の固まりのサイズと波長が同程度なので、個々の空隙の上下に擬イメージが形成されてしまう。一方で、図3は非常に複雑な50個の空隙を交互に配したモデルだが、周波数が十分に高い場合(波長が個々の空隙サイズの半分)の右から、合成波形、逆伝搬の結果(各点の最大値をプロット)、空隙部分のイメージの拡大である。このように単純な背景媒質ならば、ほぼ十分な分解能で散乱体のイメージが得られることが示された。

空隙サイズに比べて十分に小さい波長(高周波)のデータならば、微細不均質のイメージングに実用化できる。しかし、実際の高周波波形データでは(1)この例のように均質媒質の適用は無理だが、複雑な速度分布も不明、(2)簡単な媒質を逆伝搬させると single scattering のみを考慮したことに対応し、クラスターした不均質性などには適応が難しい、(3)震源関数やサイト特性の複雑さを軽減する前処理が必要、などいくつかの課題が残

る。震源の位置、さらにその時間関数もある程度は推定できる場合が多いので（例えば、観測された直達波で近似する）、単純な逆伝搬でのイメージングよりも、Tarantola(1984)のように、震源からの伝搬と観測波形の逆伝搬との相互相関からイメージする方が、ノイズは多いが大量の高周波地震波形データについては有効だと考える。

- 引用文献
- Fink, *Contemp. Phys.*, **37**(2), 95-109, 1996.
 - Larmat et al., *Geophys. Res. Lett.*, **33**, L19312, 2006.
 - Miller et al., *Geophysics*, **52**, 943-964, 1987.
 - Mora, *Geophysics*, **53**, 750-759, 1988.
 - Taira et al., *J. Geophys. Res.*, **112**, B06312, 2007.
 - Tarantola, *Geophysics*, **49**, 1259-1266, 1984.
 - Yomogida and Aki, *Geophys. J. Roy. Astron. Soc.*, **88**, 161-204, 1987.

