

# Passive Seismic Imaging における干渉イメージ形成についての基礎的検討

渡辺 俊樹 (名古屋大学)

## 1. はじめに

人工震源 (active seismic source) を使用せず、自然地震などを信号源とする Passive seismic の解析手法で着目されている概念が Claerbout (1968), Wapenaar (2003) などで提唱された地震波干渉法である。受振点 (観測点) を仮想震源に置き換えた擬似的な Active seismic のデータを合成できるため、Active seismic と同じイメージング方法を採用して構造イメージを得ることができる。一方、Passive seismic のデータから直接イメージングを行うことも可能である (Shragge et al., 2006, Artman, 2006, 白石・仲田, 2014 など)。前者を IIDD (Interferometric Imaging in Data Domain) 「データ領域干渉法」、後者を IID (II in Image Domain) 「イメージ領域干渉法」として、Active seismic との比較、両者の同一性と相違について、簡単なモデルによる数値計算で検討した。

## 2. イメージング

地震波イメージングの原理には、Claerbout (1971) に始まるイメージング条件 (Imaging condition) が知られている。震源から順伝播した波動場  $u_{\text{forward}}$  と、受振点から逆伝播させた波動場  $u_{\text{backward}}$  を乗じて時間積分する (相互相関) のが最も単純なイメージング条件である。図 1 に Active Imaging と Passive imaging の概念と IIDD と IID の両者の関係を示す。

## 3. 簡単なモデルによる検討

簡単のため、音響波 (あるいは SH 波) を仮定した。Active, Passive データの作成、及び、イメージングの際の順・逆の波動伝播 (波動場外挿) には差分法 (Virieux, 1984) を用いた。図 2 に構造モデルと地表の 51 点の受振点、地中の震源を示す。イメージングに用いる背景の速度構造は均質な速度構造とした。

### (1) Active imaging (図 3)

Passive imaging との比較のために Active imaging を実施した。震源位置により反射面を照射する位置が異なるが、反射波は基本的に反射面の位置に焦点を結びイメージされる。

### (2) Passive imaging (IIDD) (図 4)

受振点を仮想震源として、他の受振点での観測波形と相互相関をとって作成した疑似発震記録波形のイメージング結果を示す。イメージは反射面に結像することなく、イメージ空間上に広く分布する。多数の仮想

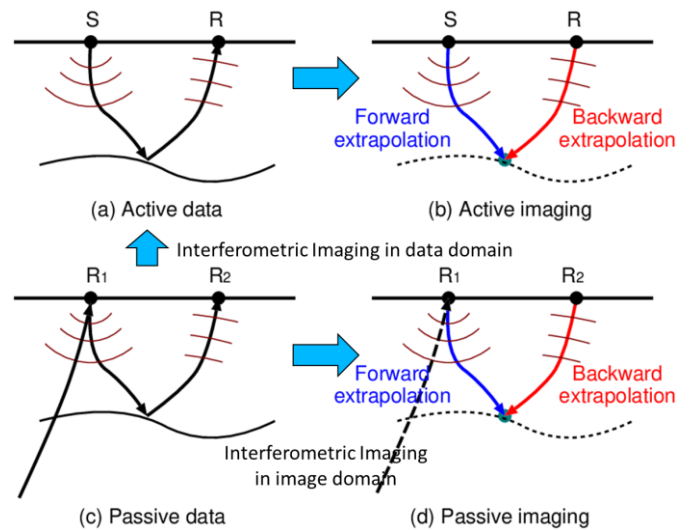


図 1 イメージングの概念

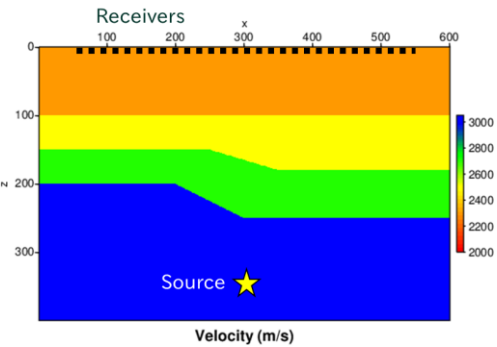


図 2 速度構造モデルと受振点配置、震源

震源に関するイメージの重ね合わせにより、反射面以外でのイメージは相殺される。

### (3) Passive imaging (IID) (図 5)

受振点での観測波形はすべての受振点における地表反射波を仮想震源として形成された波動場の寄与が重ね合わされたと考えられ、IIDD ではすべての受振点の観測波形の順伝播と逆伝播を一度に実施すればよい。ここでは IIDD との比較のために、仮想震源ごとのイメージを示す。

## 4. 議論

Passive seismic の疑似発震記録のイメージング結果は Active imaging の場合とは異なり、反射面に結像せず空間上に広く分布するが、多数の仮想震源に関するイメージの重ね合わせにより反射面以外でのイメージが相殺される。これは、データ領域における波形合成の際の波形の相殺と停留位相の寄与に相当している。ここから、IIDD ではイメージ領域での干渉効果を十分

に得るために、観測点間隔を波長に比べて小さく十分密にする必要があることがわかる。これは、データ領域で干渉法の波形合成が成功するために、震源が十分密に分布している必要があることと対応している。

IIDD ではデータ領域で干渉を行う結果、基本波形が観測波形の自己・相互相関波形となり、元の波形よりもサイドローブが長くなる。Passive imaging の成功には、まずデータ領域において正確に疑似発震記録波形を再現する必要があると思われるが、これは必要条件ではなく十分条件であると言える。

## 5. 結論

IIDD と IIDD は、イメージングの観点からは、経由するルートが異なる計算過程であると考えてよく、基本波形の違いを除いて、両者の結果は本質的に同一である。

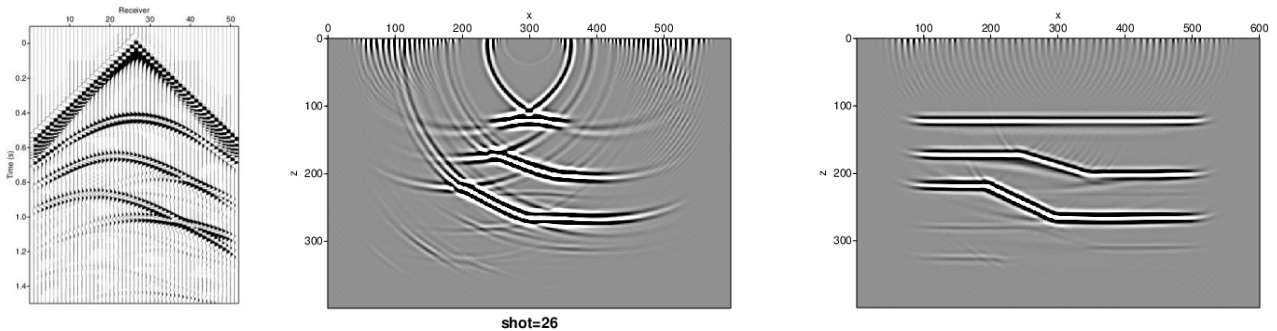


図3 Active imaging の単一震源の (左) 観測波形と (中) そのイメージ, (右) イメージング結果

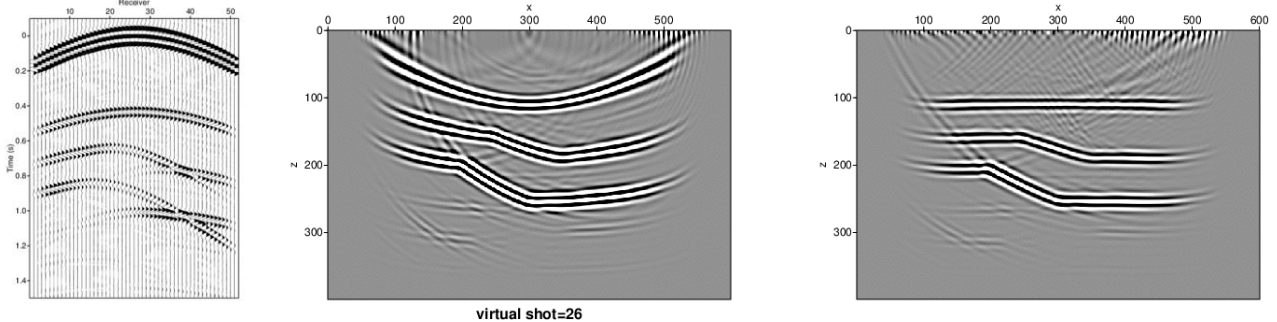


図4 Passive imaging (IIDD) の単一の仮想震源の (左) 観測波形と (中) そのイメージ, (右) イメージング結果

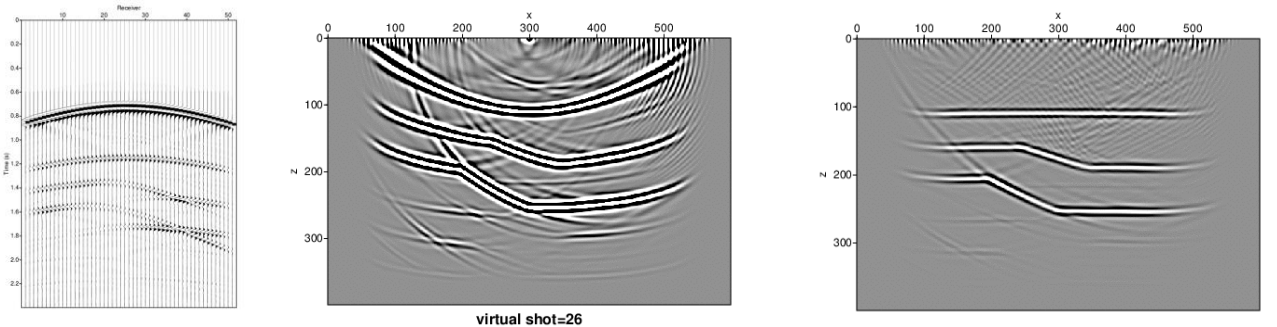


図5 Passive imaging (IIDD) の (左) 観測波形と, (中) 単一の仮想震源のイメージと (右) イメージング結果

## 謝辞

白石和也氏 (海洋研究開発機構), 橋本千尋氏 (名古屋大学) との議論は本研究を進める上で役立った。ここに記して謝意を表します。

## 参考文献

- Artman, B. (2006): Imaging passive seismic data, *Geophysics*, **71**, SI177-SI187.
- Claerbout, J. F. (1968): Synthesis of a layered medium from its acoustic transmission response, *Geophysics*, **33**, 264- 269.
- Claerbout, J. F. (1971): Toward a unified theory of reflection mapping, *Geophysics*, **36**, 467-481.
- 白石和也・仲田典弘 (2014): リバースタイムマイグレーションを利用したイメージ領域の地震波干渉法, 物理探査学会第130回学術講演会論文集, 220-223.
- Shragge, J. C., Artman, B. and Wilson, C. (2006): Teleseismic shot-profilemigration, *Geophysics*, **71**, SI221- SI229.
- Virieux, J. (1984): SH-wave propagation in heterogeneous media: Velocity-stress finite-difference method, *Geophysics*, **49**, 1933-1942.
- Wapenaar, K. (2003): Synthesis of an inhomogeneous medium from its acoustic transmission response, *Geophysics*, **68**, 1756-1759