

# パーティカルケーブル方式 (VCS) など反射法地震探査データに対する

## EOM や FWI 適用によるデータ処理法高度化

三ヶ田 均\*・武川順一\*\*・亀井志織\*\*\*<sup>1</sup>

### 1. 研究の目的

近年の数値計算環境の進化により、Tarantola (1984) の提唱した地震探査手法フル・ウェーブフォーム・インバージョンが実際に適用される (Virieux and Operto, 2009) ようになり、既に 10 年以上が経過している。この手法では、主として地下を構成する媒質の地震波速度を直接推定する。他方、弾性波の伝播に重要な地震波速度は、一般に弾性定数と密度がパラメータとなる。このことは、フル・ウェーブフォーム・インバージョンにより、地下を構成する媒質の密度を測定する可能性を示唆する。昨年度の本受託研究では、上述のフル・ウェーブフォームに注目した調査において、密度をパラメータ (ダイナミック・パラメータ) とするインバージョンを扱い、密度変化を推定可能であるのかを検証し、その困難さを指摘した。今年度の本受託研究では、その困難を克服する手段として地震波散乱理論を導入することで、問題を克服できるかを検証することを目的とした。

パーティカルケーブルを用いた探査のデータ処理について、昨年度は主として上下動のみにより傾斜層を含む複雑な地下構造を扱う方法として、ディップ・ムーブアウト (略称 DMO, Hale, 1984), タイム・バリエーション DMO (Yilmaz, 2001), 等価オフセット・マイグレーション (EMO: Bancroft, et al, 1998) といった手法の比較を行った。その結果、タイム・バリエーション DMO および等価オフセット・マイグレーションの両社は、ほぼ等価な結果を導く手法であり、後者の方が計算機上の負荷が小さいこと、後者の手法適用のメリットを指摘した。今年度の本受託研究では、さらに水平動のデータについて、等価オフセット・マイグレーションを用いることで、S 波の AVO という新たな分野開拓の可能性について検討することも目的に加えた。

### 2. 研究の方法

フル・ウェーブフォーム・インバージョン (FWI) では、これまで P 波速度、S 波速度、密度という 3 つのキネマティック・パラメータのうち密度については、逆解析により推定することが難しい定数であると考えられてきた。そのため密度は Gardner の式 (Gardner and Gregory, 1974) などの経験式を使う推定に止まる、あるいは一定値としての扱いが当たり前に行われてきた。しかし逆問題において複数のパラメータを推定する場合、解の次元が増大するだけでなく、パラメータ間のクロストークにより、局所解に陥るという問題が知られている。実は、P 波速度、S 波速度、密度という 3 つのキネマティック・パラメータは互いに独立な変数ではない。幾何学的なインバージョンの動作を考慮すれば、この 3 つのキネマティック・パラメータを同時に用いて収束解を得ることが困難であることは一目瞭然である。本研究では、互いに依存しないキネマティック・パラメータとして、本研究では P 波速度、S 波速度、密度ではなく、 $\lambda$ 、 $\mu$  という 2 つのラメ・パラメータおよび密度  $\rho$  の、合計 3 つの弾性定数を推定することとした。

パーティカルケーブル方式反射法地震探査 (VCS) データに対する EOM 処理手法適用の検討では、水平動探査への適用を試みるため、傾斜層を持つモデルを考えた。このモデルに対し、水平動というこれまで例示されたことのない事例を扱うこととなる。

### 3. 得られた成果

---

\*京都大学・教授, \*\*同・助教, \*\*\*同・事務補佐員

図1に、均質なバックグラウンドの媒質中に長方形の定数の異常体構造があるモデル構造、計算領域、解析領域および用いた送受振点の配置を示す。1表に異常体およびバックグラウンドで与えた数値を示す。ラメの定数は高い値を、密度には低い値を異常体のキネマティック・パラメータとして与えている。送受振器ペア数は20000である。解析には7.0~11.5Hzまでの10種類の周波数成分を用いて行った。収束判定は一つ前の反復計算で得られた残差の値と、その回の反復計算で得られた残差の値の差が、解析で用いた周波数の初期の残差の値の2%未満となった時にその周波数での計算を終了することとした。

初期モデルをバックグラウンドに与えた定数からなる均質媒質として解析を行った際のそれぞれの結果を示す。Fig.2に示すごとく、地震波散乱理論を組み込んだことで、いわゆるキネマティック・パラメータの推定を安定して行えることがわかる。

水平成分のEOMのゼロオフセットでは水平動特有の極性反転が観察された。また同時に予想していた通り、S-S反射で観察される有限オフセットでの極性反転が生じている様子も本受託研究で初めて確認された。Amplitude versus Offset (AVO)の処理では、P波およびS波双方の情報を利用することで地下の物性を推定する。極性反転は、等価オフセット・マイグレーション手法をAVOの一手段として考えることが可能であることを示している。

#### 4. 謝辞

本研究は、株式会社地球科学総合研究所の委託研究として遂行された。関係各位に篤く御礼申し上げます。

#### 発表論文

K. Teranishi, H. Mikada and J. Takekawa (2016): Preconditioning elastic full waveform inversion by scattering theory, Proc. 20th International Symposium on Recent Advances in Exploration Geophysics (RAEG 2016), doi: 10.3997/2352-8265.20140208

#### 参考文献

- Gardner, L. and A. Gregory, 1974, Formation velocity and density—the diagnostic basics for stratigraphic traps. *Geophysics*, **39**, 770-780.
- Tarantola, A., Inversion of seismic reflection data in the acoustic approximation, *Geophysics*, **49** (8), 1259-1266, 1984.
- Virieux, J., Operto, S., An overview of full-waveform inversion in exploration geophysics, *Geophysics*, **74** (6), WCC1-WCC26, 2009. テキストスペース

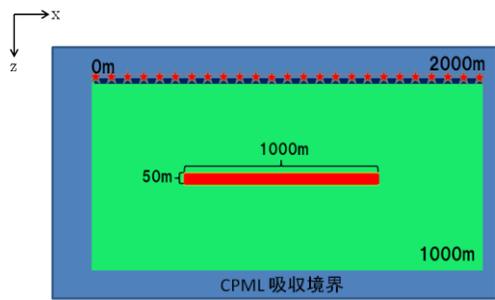


Fig.1 計算領域と解析領域。計算領域の大きさは3000x2000mであり、その中心に弾性パラメータの異常域がある。図中の赤の星印は発振器を、黒のラインは受振器を表している。

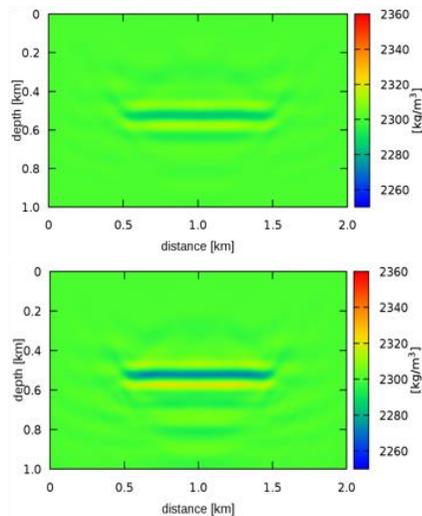


Fig.2 Fig.1の $\rho$ に対する処理結果。上図が通常の手法、下図が今回提案の手法による。 $\lambda$ 、 $\mu$ に対しても同様に、地震波散乱理論を組み込んだことで、それぞれのパラメータの独立性が高まり、異常領域が強調されたことが理解される。