

海底下構造を目的とした反射法地震探査および

電磁気探査データ処理法高度化の研究

三ヶ田 均*・武川順一**・亀井志織***

1. 研究の目的

伝播する媒質を通過した弾性波は、速度など媒質のキネマティックな性質、媒質の孔隙率や孔隙に含まれる流体などダイナミックな性質の影響を受け波形が変化する。この性質を利用し、群列で取得された波形を用い、地下構造を推定する手法がフル・ウェーブフォーム・インバージョン (Tarantola, 1984) である。本委託研究では、昨年まで弾性定数及び密度という3種類のキネマティック・パラメータの推定能力について検討を行ってきた。その結果、地震波散乱理論を組み合わせることにより、キネマティック・パラメータという地震波速度に直接関係する物理量の推定可能性について検証することができた。この委託研究を更に上述のダイナミック・パラメータ推定法に発展させることは、地下構造の可視化及び地下を構成する物質の性質推定という双方の目的に合う物理探査法の開発に繋がるだけでなく、タイムラプス探査による地下資源貯留層の時間変化の推定 (van Gestel et al., 2008) につながる一歩となる。また、地下の流体の性質に敏感なS波の利用についても考慮する必要がある。

2. 研究の方法

過去、ダイナミック・パラメータの推定では、検層、特に電磁気学的な手法による貯留層の岩石物理学的性質の測定が主として行われてきた。この岩石物理学的パラメータは地震波アトリビュートとして貯留層の坑井のない部分まで外挿されてきた。実際に電磁気学的な測定は、岩石の孔隙率、孔隙中の水や炭化水素の飽和率に敏感である。この電磁気学的な手法による貯留層スケールの電磁気学的パラメータの推定が可能となれば、これまでの地震波アトリビュートによる手法に冗長性を持たせることが可能となる。しかしながら電磁波の減衰率は極めて高く、電信方程式に見られるような放物線型偏微分方程式で表される系の解を推定する必要があり、一般の地震波のような双曲線型の系とはならない。そのため、電磁気現象を用いる場合、まず放物線型偏微分方程式に関する解の推定法を探索する必要がある。また、もう一つのパラメータであるS波速度については、P波同様どのような解析手法が可能かを見極める必要がある。

この前者に対する解決法として、Maxwell 方程式に見られる放物線型偏微分方程式の解放として、Mittet (2010) の導入した仮想波動領域法を用い、方程式系を双曲線型に変換することとした。この手法の導入により、時間領域 EM 法 (TDEM: Time Domain Electro-Magnetics) により得られた地下構造応答をリバース・タイム・マイグレーション (RTM: Reverse Time Migration) 法によりイメージング可能であることを、平成 28 年度に検証した。また後者に対しては、昨年度の研究内容を発展させ、等価オフセット・マイグレーション (EMO: Bancroft, et al, 1998) を水平動のデータに適用し、S波のAVOを行ってみた。

3. 得られた成果

図1に見られる海洋の地下構造モデル (Mittet, 2015) に対し、CSEMの応答を推定すると図2のようになる。図1にある深度及び水平方向それぞれ1kmの領域において、電磁探査を行ったこととなる。電磁波信号は10Hzを中心とするリッカー波形とした。海水だけでなく比較的比抵抗の小さい媒質を選択したことから、信号の減衰は大きく、信号強度は信号源ごく近傍の数1000分の一まで減少することが確認される。本研究では、地震探査におけるDeterministicな構造探査を考え、RTMを試すこととした。RTMでは、探査の受信側及び送信側から時間軸を逆方向に順問題として波動を伝播させる。電磁パラメータの推定誤差により、仮想領域における速度推定に約10%の誤差があると

*京都大学・教授, **同・助教, ***同・事務補佐員

して RTM を適用した結果を図 2 に示す。図から明らかなように、仮定した構造境界が RTM により再現されている。RTM ではイメージングされた結果で物理的な意味づけを犠牲にされているが、その解像力は既存の Kirchhoff Migration に比較して優れていることが知られている。今後、フル・ウェーブフォーム・インバージョンへの拡張が望まれる。

反射法地震探査データの水平成分に対する EOM 処理手法適用の検討では、今年度は等価オフセット・マイグレーションの水平動探査への適用を、図 3 にあるような簡略化されたモデルに対して行った。地震波速度は図中にある通り与え、有限差分法を使って数値データを作成した。EOM 処理を施し作成したギャザーには明瞭な S 波の AVO 効果が認められており、これを剛性率及び密度の関数として Zoeppritz の式を用いてモデル化し、最小二乗法を適用した。満足できる結果が得られたことから、EOM が Partial Prestack Migration としての速度推定法の側面を持つ処理法に止まらず、さらに AVO を含めた Lithological な手法としての性質を有す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

T. Tanaka, H. Mikada and J. Takekawa (2016): AVO analysis using horizontal component of seismic data in equivalent offset migration method, Proc. 21st International Symposium on Recent Advances in Exploration Geophysics (RAEG 2017), doi: 10.3997/2352-8265.20140217

参 考 文 献

Bancroft, J. C., Geiger, H. D., and Margrave, G. F., 1998, The equivalent offset method of prestack time migration: *Geophysics*, 63 (6), 2042-2053.
 van Gestel, J.P., Kommedal, J.H., Barkved, O.I., Mundal, I., Bakke, R., Best K. (2008): Continuous seismic surveillance of Valhall Field, The Leading Edge, 27, 1616-1621.
 Mittet, R., 2015, Seismic wave propagation concepts applied to the interpretation of marine controlled-source electromagnetics, *Geophysics*, 80 (2), E63-E81.
 Mittet, R., 2010. High-order finite-difference simulations of marine CSEM surveys using a correspondence principle for wave and diffusion fields. *Geophysics*, 75 (1), F33-F50.
 Tarantola, A., Inversion of seismic reflection data in the acoustic approximation, *Geophysics*, 49 (8), 1259-1266, 1984.

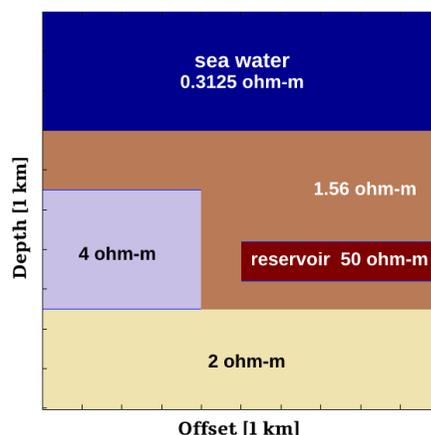


図 1 Mittet (2015)の海洋地下構造モデル

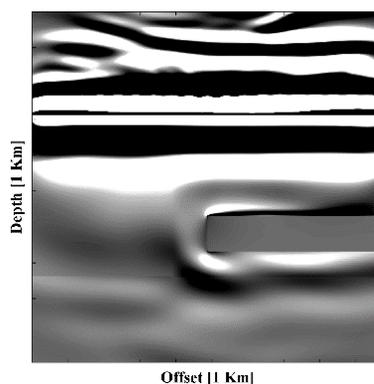


図 2 磁場水平成分を用いたイメージング結果。海水中のノイズは認められるが、地下構造が明瞭に再現できている。