

フルウェーブフォームを用いる反射法地震探査・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

1. 研究の目的

伝播する媒質を通過した弾性波や電磁波は、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、地震波動を用い地下構造を推定する手法はフル・ウェーブフォーム・インバージョン(Tarantola, 1984)と呼ばれている。昨年までの本委託研究では、弾性波を用いた弾性定数2つ及び密度という3種類のキネマティック・パラメータの推定能力に関する検討、そしてS波を扱う探査手法の提案を目指したBancroft et al. (1998)の提案した等価オフセット・マイグレーション(EOM: Equivalent Offset Migration)手法(Bancroft, et al, 1998)の基本的なレビューを行った。さらに、これまであまり実施されていない電磁気学的探査におけるフル・ウェーブフォーム・インバージョン適用の可能性について検討した。

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。しかしこうした物理量は、地震波を用いるフル・ウェーブフォーム・インバージョン手法では、ダイナミック・パラメータとなり、あまり積極的な適用研究は行われていない。電磁気学および地震学的手法双方による貯留層スケールの岩石物理学パラメータ推定が可能となれば、探査の冗長性を確保することができる。昨年度同様、急速に減衰する電磁波の満たす放物線型偏微分方程式で表される系の解を推定すること、昨年度見出したS波の位相速度推定にとどまらない波形の利用について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。

2. 研究の方法

電磁気データのフル・ウェーブフォームを用いる探査手法の高精度化に関する研究および調査では、昨年実施した仮想波動領域における波動伝播を利用した、電磁気のフル・ウェーブフォーム・インバージョン手法を完成させ、数値実験を行なった。電磁場を扱うMaxwell 方程式から明らかなように、通常の電磁場では拡散場の影響が強く、地中レーダーの例を除き波動としての扱いは極めて困難であり、地震学で行われているようなフル・ウェーブフォーム・インバージョンの適用も困難であった。しかし、昨年報告した仮想波動領域を経由することで、拡散場の影響を波動場で扱うこと、そして図1にあるアルゴリズムを適用することが可能となった。逆伝播法により、各

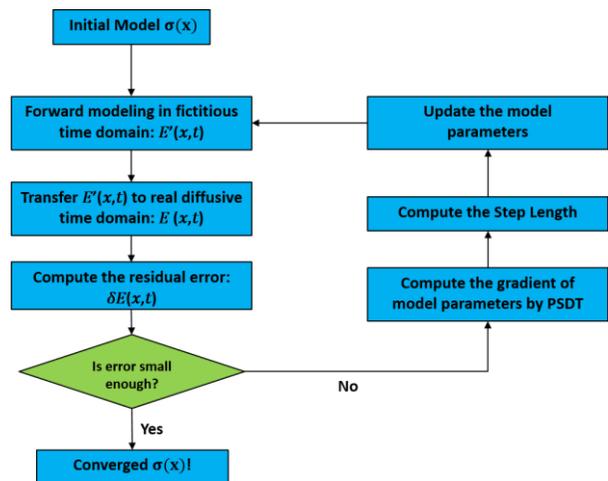


図1 電磁場フル・ウェーブフォーム・インバージョンのアルゴリズム。図中 PSDT は Preconditioned Steepest Descent の略である。

*京都大学・教授, **同・助教, ***同・事務補佐員

位置における比抵抗の勾配を推定するプロセスである。本研究では、この勾配推定に Reverse Time Migration 法 (RTM) を用い、仮想波動領域を経由して、モデル中の各位置における勾配推定を行なっている。

反射法地震探査データの等価オフセット・マイグレーション (EOM) におけるフル・ウェーブフォームを用いた処理手法適用の検討では、昨年までの本受託研究において見出された、地表面で得られる水平方向成分記録に対する EOM を実施することにより、地下の S 波速度構造の推定が容易になることを利用することとした。本研究では CSP gather を作成し、鉛直および水平成分双方の CSP gather 全波形情報を扱うことで物性解析における精度を検証した。地下の物性モデルから計算される波形と観測波形の残差二乗和を最小化する全波形インバージョン手法 (最小二乗法) を適用する物性推定法の導入である。

3. 得られた成果

電磁気データのフル・ウェーブフォームを用いる探査手法の高精度化に関する研究では、次の結果を導くことができた。Maxwell 方程式から導かれる電信方程式には、拡散現象を記述する時間 1 階微分と波動現象を記述する時間 2 階微分双方が含まれている。高い周波数を用いる地中レーダー (GPR: Ground Penetrating Radar) では時間 1 階微分項を無視できるが、通常の MT や CSEM などの例では、波動としての扱うには困難な状況がある。そのため、地震学で行われているようなフル・ウェーブフォーム・インバージョンの適用例はほとんど存在しない。今回の結果は、CSEM であってもフル・ウェーブフォーム・インバージョンの適用が可能であることを示している。また波動という現象を用い、将来的に地震波動のデータと併せ処理する可能性を示していると考えられる。

反射法地震探査データへのフル・ウェーブフォームを用いた処理手法適用の検討では、次の結果が得られた。CSP gather には地層境界面による反射波の AVO 効果の情報のみならず、反射面の傾斜角度の情報も含まれており、その情報を地下構造推定に応用可能であることが 3.2.3 項で示された。したがって本手法を用いることで、地下構造のイメージングや速度解析にとどまらず、地層の孔隙率や孔隙内流体の密度などといった岩相をより詳しく特定できるような地震マイグレーションの適用可能性が示唆された。

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

- Amani, S., Mikada, H., Takekawa, J., Reservoir monitoring by CSEM data: A fictitious domain strategy, OTC Asia 2018, OTC-28274-MS, 2018. doi:10.4043/28274-MS
- Tanaka, T., Mikada, H., Takekawa, J., Simultaneous estimation of subsurface properties from CSP gather, 22nd International Symposium on Recent Advances in Exploration Geophysics (RAEG 2018), 24 May 2018, 4pp. doi: 10.3997/2352-8265.20140233
- Tanaka, T., Mikada, H., Takekawa, J., S-wave AVO analysis for common scatter point gather for equivalent offset migration technique, Expanded Abs. SEG, 723-727, 2017. doi:10.1190/segam2017-17723539.1

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.
- 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.