

物理探査の3次元解析手法の収集

芦田 讓*

1. 研究の目的

本研究では、物理探査手法のうちの電磁法探査（MT法）に的を絞りその解析手法について、「MT法TMモード電磁応答を用いた電気伝導度異方性の検出」と「構造境界面を組込んだMT法の2次元インバージョン」に関する情報収集を行った。

2. 研究成果

2.1 MT法TMモード電磁応答を用いた電気伝導度異方性の検出

(1) はじめに

MT(Magnetotelluric)法は、大地の電磁応答を測定して地下の比抵抗構造を推定する電磁探査法の一つである。信号源としては、太陽の黒点活動、赤道付近の雷放電などによる非常に広い周波数帯域を持つ自然電磁場を用いる。測定する周波数帯により、地下数mから数千kmの大深度までの探査が可能であり、測点の展開も地震探査や電気探査といった他の手法と比べ比較的容易であることから、広域かつ深部の調査が要求される調査において盛んに用いられている。最近では複雑な地下構造に対する調査が求められており、計算機の進歩に伴って三次元解析や異方性検出を目指した研究もなされている。

MT法では、TMモードとTEモード間の異方性検出に関する研究は過去に多く行われており、現場データを用いた解析からも異方性を示唆する結果が得られている。一方、TMモード断面内にある二方向の比抵抗の異方性に関する研究はあまりなされておらず、本研究ではそこに焦点を当てて議論する。MT法の二次元解析において、測線方向および深度方向をそれぞれy軸およびz軸とした場合、等方モデリングでは、 ρ_{yy} と ρ_{zz} の比抵抗は互いに等しいとしており、異方な地盤で取得したデータをインバージョンして得られる各要素ブロックの比抵抗は各方向の平均的な値となったり、実際には存在しないところに高比抵抗や低比抵抗のブロックが偽像として現れることが予想される。それに対し、もしTMモード内の二軸方向の比抵抗をそれぞれ独立したものと扱うことができれば、 ρ_{yy} と ρ_{zz} の比抵抗構造の推定が可能になる。また、電氣的異方性は地震学のS波偏向異方性と相関があることが示唆されており、S波偏向異方性の結果に対し補完的な情報を与えられる手法としても期待される。

(2) 研究の方法

本研究ではMT法のTMモード電磁応答を用いて電気伝導度の異方性が検出できるかどうかを調べた。まずTMモード内の異方性がMTレスポンスに与える影響を、異方モデリングを用いたフォワード計算により調べた。その結果、 ρ_{zz} の変化によってMTレスポンスが変化することが確認された。これにより、TMモードのMTレスポンスを用いた異方性検出の可能性が示された。そこで、TMモード内の二軸方向の比抵抗構造を推定する異方インバージョン手法を考案した。本手法ではインバージョンを安定的に実施するために、必要に応じて ρ_{yy} と ρ_{zz} の比抵抗間に制約を加えることができるようにした。この制約の大きさは、新たに導入したハイパーパラメータ β によって表現した。 β は情報量基準ABICを用いて客観的に決定できるように設定した。

(3) 得られた成果

本手法を数値モデルに適用した結果は以下の通りである。

- ・等方異常体モデルでは、反復計算ごとに β の値は1に近づき、得られる最適モデルは等方インバージョンによる結果と類似している。

*京都大学名誉教授、NPO法人環境・エネルギー・農林業ネットワーク理事長

- ・異方異常体モデルでは、反復計算ごとに β の値は0に近い値に収束する。すなわち、 β が異方性を判断する指標として機能することが確認できた。
- ・異方異常体が地表に露出している場合では異常体の境界付近において、異方異常体が埋没している場合では異常体領域において、 $\rho_{yy} > \rho_{zz}$ の構造を反映したインバージョン結果を得ることはできたが、正しい ρ_{zz} を求めることはできなかった。この原因としては、本研究で用いた手法が ρ_{yy} と ρ_{zz} ができるだけ同じ値を取るような制約を与えたインバージョンであることが考えられる。

2. 2 構造境界面を組込んだMT法の2次元インバージョン

(1) はじめに

MT法は様々な分野で利用されているが、シャープに比抵抗が変化する構造を再現できないという問題があり、構造境界を検出するという点では反射法地震探査には及んでいない。本研究では、これらの問題点を解決するためのアプローチとして、反射法地震探査などであらかじめ存在が確認されている構造境界面を仮定条件としてMT法の2次元インバージョンに組み込むことで、シャープに変化する比抵抗構造を再現することを目指す。シャープな比抵抗構造を再現できる2次元インバージョンはいくつか考案されているが、いずれの2次元インバージョンも地下を有限個の層を持つ層構造であると仮定して、それらの層厚と層内の比抵抗値を決めるものであり、層内で滑らかに比抵抗値が変化する比抵抗構造は表現できない。そこで、本研究ではシャープな構造と滑らかな構造を両方同時に再現することを目指した。

(2) 研究の方法

MT法で通常用いられる最適平滑化拘束の2次元インバージョンでは、全てのブロック間のラフネスが一定であるという制約が与えられている。このためにMT法データのインバージョンにおいて、急激に比抵抗値の変化する構造を再現することが難しい。しかし、一方でMT法の適用対象となる地質構造は構造境界などの急激に比抵抗値の変化する構造を含んでいる可能性が高い。そこで、本研究では、滑らかに変化する比抵抗構造と急激に変化する比抵抗構造を同時に表現することが可能なインバージョンを実現するために、反射法地震探査など他の手法から推定される境界面の情報をMT法の2次元インバージョンに仮定条件として組込むことを提案する。

(3) 研究の成果

本手法によるモデル計算と実データへの適用の結果から、大まかに以下のようなことがいえる。

- ・比抵抗構造としての境界面に境界面情報を仮定すると全体的な再現精度は向上する。
- ・ β の値が減少すると α の値が増加する傾向がある。つまり、一部に境界面が形成されると他の領域全体ではより滑らかな比抵抗構造として再現される。
- ・比抵抗構造としての境界面でないところに境界面情報を仮定すると、 β の値が大きくなり境界面情報を与えない従来の方法により得られるモデルに近づく。

3. 謝 辞

本研究を実施するにあたり、(株)関総テクノス、とくに片山辰雄土木部長には大変お世話になりました。謝辞を表します。

参 考 文 献

- Uchida, T. and Ogawa, Y. (1993) : Development of Fortran code for two-dimensional magnetotelluric inversion with smoothness constraint, *Geological Survey of Japan Open-File Report*, No. 205, 115p.