

重力と磁気を使った地下構造同時推定のための数値計算コードの開発 Development of Numerical Code for Simultaneous Estimation of Subsurface Structure with Gravity and Magnetic Data

今枝 佑輔^{1*}, 盛川 仁¹Yusuke Imaeda^{1*}, Hitoshi Morikawa¹¹ 東工大 総合理工¹Tokyo TECH Dept. of Built Environment

1. はじめに

地下構造の推定には重力探査、磁気探査、微動観測など様々な観測が行われる。しかし一般に地下構造モデルを表現するためのパラメータ数 M に比べて、得られる観測データ量 N は少ない。そこで独立な観測データを統合的に使用して、情報量を増やした解析をしていくことがより正しい地下構造モデルを構築していく近道と考えられる。従って重力と磁気（加えて微動など）の統合データ処理法を構築していくことは重要である。本発表では磁気と重力の統合処理プログラムの開発について、またその際にどのようなことに気を付けなければならないかについて発表する。

2. 手法

地下構造モデルとして適当な試行モデルから出発する。地下構造は上下方向に N_z 層のレイヤーを考え、 k 番目のレイヤーを水平方向に $N_x \times N_y$ 個の点に分割、合計で $M = N_z N_x \times N_y$ 個のモデル点を使い地下構造を表現する。各レイヤー密度は適当な値を設定し計算を通じて固定値とする。各モデル点の深さ z は変数として可変にする。この試行モデルから表面上に設定した N 個の観測点での重力異常と磁気異常を計算し、実際の観測量との誤差が少なくなるよう各モデル点の深さ z を反復補正、改良する。

2.1 重力と磁気計算

地下の密度異常や磁化異常などが観測点に作る異常値の計算には、四角柱がつくる理論解を使う。角柱の作る重力は古くから計算されてきているが、本発表では \arctan を使った表式を採用する。実際の計算では以下のステップを踏んで重力を計算する。

- 無限平板のつくる重力場の理論解を考える
 - 各点で深さが変化すると、各点で角柱状に密度が置き換わる
 - 置き換わる角柱部分の体積が観測点に及ぼす重力差を計算しステップ1の理論解に加える。
- 反復改良計算の場合はステップ2からスタートし、反復前の重力値に加える。磁気についても同様に計算する。

2.2 更新量計算

モデル点 i での深さ z_i を z_i だけ変化させたとき、重力や磁場の変化量 b_i は感度行列 A を使って線形近似できる。ここで感度行列 A の計算に重力と磁気の両方を考え、観測量と理論解との差 b も重力と磁気を同時並列に取り扱うことで統合処理を行う。感度行列 A は特異値分解し、擬似逆行列を構成することで b から補正量 z を求める。この z を使い b が0に収束するよう逐次試行モデルを反復改良していく。

3. 計算上のポイント

感度行列計算に現れる微分計算は、実際には数値微分で置き換えて計算する。実際に計算を実行すると、隣り合うモデル点での補正量が極端に異なってしまう問題が起こりうる。この場合、物理的に妥当な収束値が得られない。これを回避するために、計算上の要請として $\partial^2(z) = 0$ を拘束条件として課し変換行列を $N \times M$ の感度行列の代わりに $(N + M) \times M$ の拘束条件付きの感度行列を再構成する。境界条件としては z 方向上端(表面)では補正量が0、それ以外の境界では微分値が0であることを要請した。特異値分解のスキームとしては特異ベクトルの直交性が良くかつなるべく誤差がたまらないよう、I-SVD アルゴリズムを採用し、倍精度の数値特異値分解計算コードを開発した。ただしそれでも場合によってはまるめ誤差の影響が大きく、良好な結果を得るには特異値計算部分の最下層 Do ループを4倍精度化する必要があった。この問題がまるめ誤差のみに起因していることは、全4倍精度計算や多倍長精度ライブラリを組み込んだ計算結果と比較することで確認した。また行列自体がなるべく悪条件にならないように、感度が悪いモデル点からの寄与は予め増幅して行列を設定しなおすことで行列の正則化を図った。また擬似逆行列を構成する際に特異値を ϵ_i とし、 $\epsilon_i > 0$ (for $b_i > 0$) と取り直すことで正則化を図った。この置換は、逆行列を使った Newton-Raphson 法による解の探索と再急降下法による解の探索のハイブリッド計算を行ったことに相当する。

以上の計算により重力と磁気を統合処理することで、疑似観測量から元となる多層地下構造を再現することができた。ポスターでは、微動データの統合処理の可能性についても議論したい。

Japan Geoscience Union Meeting 2013

(May 19-24 2013 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2013. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



SSS33-P07

会場:コンベンションホール

時間:5月19日 18:15-19:30

キーワード: 数値計算, 地下構造, 特異値分解

Keywords: numerical calculation, subsurface structure, singular value decomposition