

## 直交座標系における固有関数展開を用いた空中磁気データの正則化 Regularization of the aeromagnetic data using eigen-function expansion in Cartesian coordinate system

宇津木 充<sup>1\*</sup>Mitsuru Utsugi<sup>1\*</sup><sup>1</sup> 京都大学大学院理学研究科<sup>1</sup> Kyoto Univ.

地殻中の岩石磁化分布による磁気異常を計測する有力な手法の一つに空中磁気観測がある。これは磁力計を飛行機などに搭載し空中から地磁気分布を計測するものである。しかしこうした観測では飛行高度の調整が難しいため得られるデータは非平面上のデータとなる。さらに近年、特に火山における観測では、詳細な磁気異常分布を計測する為ヘリコプターを用い低速で地形に沿った飛行を行う方法が多く用いられている。しかしこうした観測では、観測面の曲率により磁気異常分布が歪められる為飛行高度の補正を行う必要がある。

磁場や重力などのポテンシャルデータは、ある面上で稠密な観測が行われた場合そのデータを用いその面周辺の3次元的な場を推定する事が出来る。観測面上方の場の推定を上方接続、下方の推定を下方接続という。こうした方法を用い、地形に沿った等高度面上などの磁気異常分布を推定する事が行われている。非平面で得られたデータの上方・下方接続には等価磁気ソースを用いたインバージョンで場を推定する方法が一般に用いられる。しかしこの方法の問題点は、インバージョンにより解くべき観測方程式が疎行列で表されるため計算コストが大きくなるという点にある。この点を改良すべく、本研究ではラプラス方程式の固有関数を用いたデータ正則化手法を提案する。この方法では、観測方程式が疎行列で表し得るので計算コストの軽減が期待できる。

一般に、ソースを含まない領域中でポテンシャルはラプラス方程式を満足するが、その解は領域の境界で与えられる境界条件により決まる。本研究では、領域  $V = \{(x,y,z): -L_x \leq x \leq L_x, -L_y \leq y \leq L_y, z_0 \leq z \leq z_1\}$  を考え、その境界で以下の条件を課した。

$$(x = \pm L_x, y, z) = 0, \quad (x, y = \pm L_y, z) = 0, \quad (x, y, z = z_0) = 0$$

一般に地磁気は距離の減衰の効果が大きいので、観測対象領域内にソースを持つ磁気異常の振幅は十分遠方で殆ど0となる。上の条件はこの事を考慮している。

ラプラス方程式を変数分離し、上の境界条件を課す事で基本解が得られる。その場合、解は  $x$ - $y$  平面において2次元ラプラス方程式の固有関数となり、これに  $z$  の exponential を掛けたものが3次元の基本解となる。またこの基本解は、 $V$  内での体積積分で表される内積について直交関係を持つ。こうして領域  $V$  内のポテンシャル分布を基本解の重ね合わせで表現する事が出来、さらに直交性から  $V$  内の体積積分でその展開係数を求める事が出来る。この関係のある観測面で得られた稠密な磁場データに適用する事で、展開係数を見積もり  $V$  内の3次元的な磁場分布を推定する事が出来る。この操作は、観測データから展開係数を逆問題で解く事に帰着される。

この計算方法の利点は、基本解が固有値  $\times z$  の exponential で表されるので固有関数の次数が高くなると十分速く減衰する為、適当な閾値で打ち切る事で解くべき観測方程式が疎行列で表現される事にある。

但し上記の方法だけでは、データにノイズが含まれている場合それが磁場分布の推定結果にそのまま反映されてしまう。この為本研究では、展開係数が波数空間上で滑らかな分布を持つと仮定し波数空間における平滑化拘束条件を付与する事でノイズリダクションのスキームを与えた。この際、拘束条件の重み係数の選択に任意性が残るので赤池ベイズ情報量基準 (ABIC) を用い最適な係数 (ハイパーパラメータ) を選択した。ABIC は観測方程式を直接法で解かなければならないが、先に述べたように観測方程式が疎行列で表現されるため現実的な時間で解を求める事が出来る。

本発表ではこの計算方法の理論計算例、実観測データに適用した例を紹介し、その有効性について議論する。

キーワード: 空中磁気観測, 上方接続, 下方接続, データ正則化

Keywords: aeromagnetic observation, upward continuation, downward continuation, regularization