

L1 正則化によるスパース推定法を用いた磁場 3 次元構造イメージング・その 2 The 3-D magnetic imaging using the L-1 norm regularization, Part II.

宇津木 充^{1*}

UTSUGI, Mitsuru^{1*}

¹ 京都大学

¹ Kyoto Univ.

近年、空中磁気観測で得られる磁場データから地下の 3 次元磁化構造を求める為の新たな解析手法がいくつか提案されている。これらのうち Li and Oldenburg,1996、Portniaguine and Zhdanov,1999、Portniaguine and Zhdanov,2002、Pilkington,2013 はスパースな解を求める為の制約を課した解析手法を用いている。磁場 (または重力) データから地下構造を求める場合、一般にデータよりも未知パラメータの数が多く、解くべき方程式は ill-posed な線形方程式となる。このためインバージョンを行う際に解を安定させるため解に制約を与える事が広く行われるが、その条件にどのようなものを選ぶかにより得られる解の性質は大きく異なる。例えば一般的によく用いられる平滑化条件を課した場合、解の一意性が保障されない事と相まって実際の構造をぼかした unfocused な解が得られてしまい、構造の解釈を行う事が困難になってしまう。こうした事を是正する為、上に挙げた研究では、観測データを再現できるよりスパースな (即ち非ゼロ成分が少ない) 解が得られるような制約を課し、結果解像度の高い解を得ようと試みている。ところで近年、Lasso (Tibshirani,1995) と呼ばれるスパース推定法が注目され機械学習、画像解析やゲノム情報解析などの分野で用いられている。この方法は解の L1 ノルム (解ベクトルの各成分の絶対値の和) が最小となる制約を課した最適化方法で、この方法によりスパースな解が得られることが知られている。但し Lasso では解の非ゼロ成分の数が観測データの次元以下に制限される、相関の高い説明変数群が有った場合そのうちの一つに解が集約されてしまう (磁化構造解析の場合、この性質により、例えば有限な広がりを持つ帯磁領域が有った場合にその重心に磁化がコンセントレイトされてしまう) など、実用上、特に磁化構造解析のような $p < n$ 問題 (未知パラメータ数 n が観測データ数 p より大きい) に適用する場合に欠点となる点があることが報告されている。こうした点を改良した L1 推定方法として L2 ノルム制約を併用した Elastic Net (Zou and Hastie,2005)、平滑化を併用した S-Lasso (Hebiri and van de Geer,2010) などが挙げられる。

昨年度の合同大会では Elastic Net を磁化構造解析のスキームに導入した結果について報告したが、その後の検討からこの解析方法では有限な大きさを持つ磁気源による磁気異常を入力としてインバージョンを行うと、磁気源の重心位置に非ゼロ解が集中し正しい磁気源の大きさを再現できない場合がある事が分かった。そこで L1 ノルム制約と平滑化を併用した S-Lasso の導入、深さ方向のレゾリューションを向上させるため深さ方向に L1 正則化パラメータを変化させる (adaptive lasso の応用) といった改良を加えた。本研究ではこうした L1 ノルム制約に基づいたスパース推定法を磁化構造解析に適用した結果を報告する。

キーワード: L1 正則化, 磁化構造解析, 空中磁気

Keywords: L1 regularization, magnetic inversion, aeromagnetic survey