

3次元磁重力逆解析における Total Variation 正則化手法の構造ガイド法を用いた改善

#宇津木 充¹⁾⁽¹⁾ 京都大学

Improvement of the total variation regularization of the 3D magnetic and gravity inversion using the structural guide method

#Utsugi Mitsuru¹⁾⁽¹⁾ Kyoto University, Institute for Geothermal Sciences

In structural analysis using magnetic and gravity anomaly data, regularization is essential because the problem is under-determined. In addition to the classical L2 norm regularization method, various techniques, including sparse regularization methods such as the L1 norm, Lp norm, and minimum support etc., have been proposed and studied. However, these methods commonly fail to effectively detect sharp boundaries, such as faults or structural boundaries. To address this, total variation (TV) regularization have been proposed(e.g., Bertete-Aguirre et al., 2002; Farquarson, 2008; Vatankhah et al., 2018; Utsugi, 2021). This method incorporates the spatial derivative vector of the structural model into the penalty term. The goal is to minimize the areas where the derivative is non-zero, which facilitates the emergence of models with block structures and improves the boundary representation capability of the resulting models. However, this method tends to produce elongated blocks along the derivative axis. For instance, when x-, y-, and z-axis derivatives are used for TV, the resulting model tends to exhibit blocks with surfaces along these axes. This can lead to failures in reproducing structures such as tilted slabs. To overcome this, it is common practice to assign weights to each derivative operator in each direction; however, the method of distributing these weights is often ad hoc and lacks generalization. In this study, we propose a method that uses information from other geophysical surveys as the structural guide. In this method, the weights of each differential operator are adjusted based on the available information about the subsurface structure. Synthetic tests confirmed that, when information about the shape of the subsurface structure is available, the reproduction capability, including the dipping slab, is greatly improved. However, this method cannot be used when detailed information about the subsurface structure is unavailable. As an alternative, we propose using models obtained from existing analysis methods as guides. In this presentation, we introduce an improved analysis method that uses models obtained through L1-L2 norm regularization inversion, as proposed by Utsugi (2019). Specifically, we present an enhanced version of L1-TV inversion method (Utsugi, 2021) that incorporates this approach.

磁重力データを用いた構造解析においては、解くべき問題が劣決定系であることから正則化を施すことが必須である。そのため、L2 ノルム正則のような古典的な方法のほかにも、L1 ノルム、Lp ノルムや minimum support のスパース正則など、様々な手法が提案され研究されている。しかしこれらに共通する欠点として、断層や構造境界などのシャープな境界の検出が不得意であるという事が挙げられる。こうした境界検出、または境界を強調した構造モデルを得ることを目的にした正則化手法として Total Variation(TV) が挙げられ、これを用いたインバージョンスキームも提案されている (e.g. Bertete-Aguirre et al. 2002; Farquarson 2008; Vatankhah et al 2018, Utsugi 2021)。これは構造モデルの空間微分ベクトルをペナルティに組み込んだもので、そのペナルティを最小化することで微分が非ゼロになる領域を最小化し、ブロック構造を持つモデルを出現しやすくする。その結果、得られるモデルの境界表現能を向上させることを意図したものである。しかしこの手法の欠点としては微分軸方向に伸びたブロックが得られやすいという事である。例えば TV として x,y,z 軸方向の微分を用いた場合、得られるモデルは x,y,z 軸方向に面を持つブロックが現れやすく、その結果傾いたスラブのような構造の再現に失敗する。この欠点を克服するために、各軸方向の微分オペレータに重みをつけることが一般に行われるが、その重みの分配方法は場当たりので一般化されていないことが多い。本研究では、この各微分オペレータの重みとして、他の物理探査などで得られた既存情報を用いた構造ガイド法を提案する。合成テストから、地下構造の形状についての情報がある場合にはその傾斜も含め再現能力が大幅に改善されることが確かめられた。但し地下構造について詳細な情報が無い場合にはこの方法は利用できない。そこで代替手法として、既存の解析手法で得られたモデルをガイドとして用いることを提案した。本発表では Utsugi(2019) で提案された L1-L2 ノルム正則化インバージョンにより得られたモデルをガイドとして用いるよう L1-TV1(Utsugi,2021) を改良した解析方法を紹介する。