

要素細分化アルゴリズムを用いた震源過程推定手法の理論的枠組みの検討

Theoretical frame work of kinematic source inversion based on a mesh refinement algorithm

後藤 浩之 [1]; 内出 崇彦 [2]; 石井 やよい [3]; 澤田 純男 [1]
Hiroyuki Goto[1]; Takahiko Uchide[2]; Yayoi Ishii[3]; Sumio Sawada[1]

[1] 京大・防災研; [2] 東大・理・地惑; [3] 清水建設
[1] DPRI, Kyoto Univ.; [2] Dept. EPS, Univ. of Tokyo; [3] SHIMIZU Corporation

滑り量の時間発展として表現される震源過程を観測された地震波形や地殻変動データから推定するインバージョン手法は、マルチタイムウィンドウ法 (Hartzell and Heaton, 1983) を主として様々な方法が提案され、利用されてきた。しかしその一方、Mai et al. (2007) により、地盤モデルを既知とする単純なブラインドテストであっても、推定される震源過程にばらつきがあることが報告された。波形の長周期成分はいずれのモデルの結果でも調和的であったことから、震源過程に表れたばらつきは波形の分解能を越えた成分に相当する可能性が考えられる。このため、波形などの観測値が有する分解能に対して適切な解像度で震源過程を安定して推定することがより重要性を増している。

解析を安定させるために最もよく行われている方法のひとつとして、断層面に一様な平滑化を施すことが挙げられる。平滑化の重みは、滑り分布の解像度を波形の有する情報量を考慮して、ABIC を最小にするものを用いる (Yoshida, 1989)。近年ではモデルの要素配置そのものを工夫する手法も提案されている。Page et al. (2009) は、地殻変動データを用いたインバージョン解析の際に、解像度に応じた不均一な要素を有する断層モデルを系統的に構築する手法を提案している。しかし、この手法を強震波形を用いたインバージョンに適用しようとする場合、データ数が多いために、解像度行列の計算、とりわけ一般化逆行列の計算にコストがかかる。

そこでわれわれは、強震波形を用いたインバージョン解析への応用を目指して、評価関数の Hessian 行列の対角成分に基づいた要素細分化アルゴリズムを提案し、線断層を対象とした簡単な数値実験を通じてその有用性を示した (Ishii et al., ASC, 2008)。本報告では、細分化する要素の選択と前報告では行わなかった細分化の終了判定のそれぞれについての理論的な取り組みについて紹介する。

断層モデルの要素サイズの設定は以下のように行う。まず、サイズが大きい少数の要素からなるモデルを用意する。次に、後に述べる規範によって解像度の高い要素を選んで、その要素を長さスケールで半分になるように分割する。この分割操作を適当な終了条件を満たすまで繰り返すことで、解像度に応じた要素サイズを持つ断層モデルが得られる。

細分化要素の選択については、解像度行列に基づいた規範 (Page et al., 2009)、Hessian 行列の対角成分に基づいた規範 (Ishii et al., ASC, 2008) に加えて、本報告では Hessian 行列の非対角成分も考慮した規範を提案する。Hessian 行列を利用する方法は、解像度行列の計算と違って一般化逆行列を計算しないため、計算量が少なく済む。さらに、Hessian 行列の対角成分の絶対値を直接利用する場合は、定式化までのグリーン関数の正規化に依存することが問題である。Hessian 行列の非対角成分は、パラメータ同士のトレードオフを反映していると考えられるため、解像度の評価に利用できると考えることができる。また、細分化の終了判定は波形の有する分解能を越えた解像度で要素配置を行うことを防ぐことを目的として、AIC に基づいた方法を提案し、その適用性について数値実験を通して検証を行う。