

走時トモグラフィーにおいて速度場を四面体分割で表現することで可能となるいくつかの手法

Some scheme achieved by using tetrahedration for parameterization in traveltime tomography

干野 真[1]

Makoto Hoshino[1]

[1] 北大・理・地震火山センター

[1] I.S.V., Hokkaido Univ

走時トモグラフィー手法において「波線ジオメトリに追従した局所的分解能」と、「初動をもたらす波線経路の大域解」の導出はインバージョン結果の精度と過程の効率を上昇させる効果がある。四面体分割による構造表現を用いて、それらを効率よく自動化する手法を開発した。一般にトモグラフィーにおいて構造は分割された(場合によって部分的に重なった)要素で表現される。要素形状とパラメーターの与え方で幾通りかの方法が存在する。いずれにしても、分解能が要求される領域にパラメーターを集中させる必要があり、規則的配置された要素ではそれは困難である。構造に関する先見的情報が無いとした上で、分解能の局所化を自動化する方法の一つとして、逐次的にパラメーターを追加してインバージョンを繰り返す方法が考えられる。

近年この問題に対するアプローチとして、spakman(2002)ではブロックの追加的多重化を用いて、sambridge(2003), chiao(2001)では、四面体ブロックの再分割を用いて実現している。本手法も四面体とその再分割を使うが、ブロックではなく内挿を用いている。問題は細分化されるべき要素の選択方法にある。これらの論文で用いられているような、細分化されるべき場所をランキングするために波線のヒットカウントや Velocity perturbation を用いる方法では、必ずヒットカウントが高くなる観測点および発震点付近での過度の細分化を抑制できない、また ill-condition のトモグラフィーインバージョンでは残差が集中する場所が必ずしも分解能が要求される場所とは限らない。つまり、波線のクロッシングを考慮していないためにインバージョンがロバスト性を失う方向にパラメーターの増加が行われる傾向がある。今回開発した手法による再分割候補選択の基準は、残差よりもむしろロバスト性を考慮したものである。つまり、波線が多く且つ直交性を持って交差している場所ほど高いスコアを与える方法を用いている。具体的には、四面体単位でその内部だけを通る波線のジオメトリを考え、頂点からの寄与率のみで構成される部分係数行列から導かれる部分 Hesse 行列(4x4)の正則性により、再分割の候補を選択する方法を用いる。この場合、波線が四面体中心付近で、異なる角度で交差するほど Hesse 行列の行列式が大きくなる。また対角成分は、波線が多いほど大きくなる。経験的に行列式と対角ベクトルのノルムを掛けた値を用いたときに(飽くまで見た目だが)良い被分割候補の選択となる傾向がある。つまり定量性には欠けるが、望ましくない過度の分割を抑制する傾向がある。しかし、この基準は四面体のアスペクト比の影響を受けやすい欠点もある。delauney 四面体分割を用いると極力正四面体に近い分割となるが、完全に影響を取り除けるわけではない。分割は四面体の重心に新たに頂点を加えることで進行していくが、初期モデルとしての分割状態は、ユーザー任せである。構造の正当性を主張するためには、いくつかの無作為の初期モデルを試す必要があるだろう。このことは、規則的グリッド配置による方法における、グリッドラインの位置による揺らぎの評価と同義であると言える。

また、こうした手法は正確な波線追跡があってはじめて成立する。そこで、四面体の特性を生かした波線追跡法を考案した。波線追跡には、最短経路問題の解を初期波線とした Pseudo Bending を用いる。この初期波線の導出には経路のネットワークが必要であり、それを四面体単位で構成することで、分解能に追従した経路ネットが敷設できる。もし分解能が高い領域で構造の不均質性も高いという好条件がそろえば質の良い初期波線が導出できることになる。また、四面体内部で速度勾配一定という内挿を行うので、少なくとも要素内の local shadow zone は存在しない。

参考文献:

W.spakman and H.Bijwaard, Optimization of cell parameterizations for tomographic inverse problems. Pure appl. geophys. 158,2001,1401-1423

M.sambridge and R faletic, Adaptive whole earth tomography. G-cube,4,3,2003

L.Y.Chiao and B.Y.Kuo, Multiscale seismic tomography. Geophys.J.Int.145,2001,517-527