

走時トモグラフィにおける並列化手法

A parallelization method for travel time tomography

干野 真 [1]

Makoto Hoshino[1]

[1] 産総研

[1] GSJ, AIST

日本の基盤観測網から得られる震源および初動走時データを想定した、大規模かつ高精度なローカルトモグラフィのための並列計算方法を開発した。人工データを用いて、その性能評価を行う。

基盤観測網(気象庁一元化)から得られる走時データを利用したローカルトモグラフィは、より集中的な観測や解析において、基本的な背景速度構造のイメージを与えるものとして重要である。地域差があるものの、震源の総数は増え続けており、Double-Difference トモグラフィ法の使用を考慮すると、エントリーされる相対走時(震源ペア)の数は、震源数の二乗のオーダーで増えてゆくと予想される。また、観測点数は今後ほとんど増えないとするならば、観測点あたりの震源数が非常に多くなると予想される。こうした将来的なデータセットの特徴を考慮して、以下の2つの機能をもつ手法を開発した。

(1) 同一の観測点を持つ波線計算を一単位として並列化する。これによって、Double-Difference 法に伴う行列計算も並列化することができる。

(2) 波線追跡法として、Fast Marching Method(Sethian and Popovici, 2001)を用いた走時場計算を用いる。

近年、計算機の高速化に伴い、FMMに代表される走時場計算法(波面計算法(vidale,1990)などとも呼ばれるが、ここではeikonal solverと呼ぶ)による波線追跡は、2次元フォワードモデリング(Hole and Zelt,1995)だけでなく、三次元走時トモグラフィにも利用されるようになってきている(Zhang and Thurber(2005),Rawlinson(2006))。

自然地震を対象としたトモグラフィでは、eikonal solverは、観測点をソースとしたほうが効率がよい(Zhang and Thurber,2005)。このことは上述(1)の並列化方法に適しているといえる。計算時間と精度の間にはトレードオフがあるが、精度がpseudo-bendingと同等だとした場合、計算効率面では基本的に次の不等式が成立すれば、FMMはpseudo-bendingよりも効率的といえる。

$F / P < N / M$ (F: FMM 一回の計算時間、P: pseudo-bending 一回の計算時間、N: 全走時データ数、M: 全観測点数)

本手法の性能評価のために、いくつかの人工データによるテストを試みた。その結果から、(1)の並列化は実用性が十分にある。(2)のFMMの精度が十分に発揮されるためには、走時場グリッドは速度グリッドの少なくとも10倍以上の密度が必要と考えられる。この場合、F/Pは1000~10000(勾配も求める場合)と予測される。一方N/Mについては、中越地方が最大と思われ、M2以上の震源を用いた場合、N/M=2000程度と推定される。こうしたケースでは、FMMがpseudo-bendingより計算時間面で効率的な状況は、現在でもあるといえる。また、FMMの計算コストが高くついても、並列化によって、ローカルトモグラフィは現実的な総計算時間内で終了するものと思われる。