

パーティクルフィルタを利用した自動震源決定 Automatic Hypocenter Determination using Particle Filter Method

溜淵 功史^{1*}Koji Tamaribuchi^{1*}¹ 気象庁地震火山部¹JMA

東北地方太平洋沖地震の余震活動のように、広域で地震が多発すると、従来の手法ではトリガ検知ができなかったり、複数の地震のP相、S相などが混在したりするために、実際の震源とは大きく異なる場所に偽りの震源を決定することがある。その対策としてLiu, 山田 (2011) は、震源を適切に識別するために、パーティクルフィルタを用いることを提案した。パーティクルフィルタは、確率密度関数を多数のサンプル(パーティクル)で近似し、それぞれのサンプルの尤度を現時点で得られている観測データから求めることによって、新たな確率密度関数を逐次推定・更新する手法である。Liu, 山田 (2011) は、ある観測点で地震波を検知すると、観測点周辺の5次元空間(時間、緯度、経度、深さ及びマグニチュード)に多数のパーティクル(仮想震源)を一様乱数でばらまき、各パーティクルから期待される振幅と、実際に観測されている振幅値に近いほど、その仮定した震源の尤度が大きくなるように尤度関数を設定した。振幅情報のみを用いたこの手法は、規模が比較的大きな地震に対しては有効であると考えられる。本研究では、さらに規模が小さな地震に対しても適用するために、振幅情報以外にP相、S相の検測結果を取り込んだ尤度関数を適用した。

尤度関数は基本的に(1) 真の震源周辺で尤度が最大となること、(2) 異常値に対してロバストであること、の2つの条件を満たせばよい。ある震源 $m(t, lat, lon, dep)$ を仮定したとき、各観測点($i=1, \dots, N$)における理論走時と観測走時の走時残差は正規分布($f(t_i^{obs} | m, s_i)$)で与えられる(s_i は走時残差の分散)。同様に、ある震源 $m(t, lat, lon, dep)$ を仮定したとき、振幅から各観測点におけるマグニチュードを計算することができ、そのばらつきも正規分布($g(M_i^{obs} | m, s_M)$)で与えられる(s_M はマグニチュード残差の分散)。したがって、ある震源 $m(t, lat, lon, dep)$ を仮定したときの尤度関数は、

$$lik(x|m,s)=\text{Product}_{i=1}^N [f(t_i^{obs} | m, s_i) * g(M_i^{obs} | m, s_M)],$$

として計算することができる(Productは各項の積の意味)。

また、震源決定を開始する最初の確率密度関数(パーティクルの初期ばらまき)は、一様分布によっても与えることができるが、(1) トリガ観測点以外の観測点と比較して十分に近い位置にのみパーティクルをばらまくこと(テリトリー法の考え方)、(2) 過去の震源分布を考慮すること、によって効率化を図った。

一元化震源に利用している全国の観測点に対して適用したところ、一元化震源と比較して、内陸の浅い地震については概ねM1以上で90%以上決定できた。また、沿岸から離れた地震や島嶼部の地震についても60~70%程度の決定率であり、従来の自動処理に比べて高い決定率を得ることができた。

キーワード: 自動処理, パーティクルフィルタ

Keywords: automatic hypocenter determination, particle filter