

3次元振動極性を用いた震央推定法の開発と動的誘発地震への適用 Development of an epicenter estimation method using 3D polarity and its application to dynamic triggering events

内出 崇彦^{1*}Takahiko Uchide^{1*}¹ 京都大学防災研究所¹ Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

近年、地震観測網の発展、計算機能力の向上を背景にして、低周波地震や遠地の大地震からの地震波が通過している最中に動的に誘発された地震といった、P波とS波の到達時を検出することが困難な地震の震源を決定する方法が数多く提案されている [e.g., Obara, 2002; Kao et al., 2005; Shelly et al., 2007]。

本研究では新たに、各観測点での振動極性を用いた震央推定法を提案する。基本的な考え方は以下の通りである。まず、各観測点の地震計記録から直線的な極性を持つ信号を見つけ出す。それをP波によるものとして振動極性が地震波の到来方向に一致すると仮定して、各観測点から震央へ方向を求める。最後に、各観測点の情報を総合して、震央を求める。このような方法は、使用できる観測点が少ない場合に、通常震源決定を確認する意味で用いられることがあるが、本研究ではこの手順を自動で行う。なお、本研究では2011年東北地方太平洋沖地震による飛騨地方での動的誘発地震を対象として研究を行う。当面の目標は、手動検出で得られた動的誘発地震カタログ [Miyazawa, 2011] より多くの地震を検出することに置く。

振動極性の推定には、水平成分のほかに上下成分も使用し、実部を原信号、虚部をそのヒルベルト変換で構成した解析信号を用いた Vidale [1986] の手法を適用する。水平成分だけを用いた場合 [内出, 日本地震学会秋季大会, 2012] は到来方向に180度の不確実性が残るのに対して、上下成分を用いた上で、地震波が下方から入射すると仮定すると、そのような不確実性は消える。まず、解析を安定させるため、解析信号を作った後にその移動平均を取る。各時刻について、各成分の解析信号の分散共分散行列 $C(t)$ をつくり、その固有ベクトルと固有値を求める。最大固有値に対応する固有ベクトルが主たる振動方向を表わし、その極性の強さは、固有値 $a_1 > a_2 > a_3$ を用いて、 $P_s = 1 - (a_2 + a_3)/a_1$ で表わすこととする。なお、最大固有値地震波が上方から入射する固有ベクトルが得られたら、傾斜角の符号を変え、方位角を180度動かし、下方から入射した解を採用する。

当然、振動極性と震央方向が完全には一致しない。その原因として、(1) 地下の地震波速度構造の水平不均質や (2) 地震計の設置方位のずれ、(3) S波その他の波が直線的な極性を示してしまった場合などが考えられる。ここで、(1) と (2) の影響を定量的に調べるために、気象庁一元化処理震源カタログから飛騨地方で発生した多数の地震を抽出して、気象庁一元化処理検出値によるP波到達時から0.5秒間の地震波形の振動極性を調べ、震央方向との差を取った。その結果、多くの観測点では、振動極性と震央方向の差の平均は5度以内、標準偏差が5-10度の正規分布によく従っていたが、一部の観測点では平均が大きすぎていたことがわかった。

各観測点の振動極性を各時刻で求めた後、震央をグリッドサーチによって推定する。グリッドサーチの際に考慮する要因は、(a) グリッドから観測点までP波が届くのにかかる時間、(b) 観測点からグリッドへの方位と振動極性から推定された震央方向との差、(c) 極性の強さ P_s の3つである。これらを総合して評価関数を構成して、震央となるべき位置と時間を探索する。

まずはこの手法を飛騨地方で単独で発生した地震に適用する。気象庁一元化処理カタログに記載されているM2程度の地震の波形に4HzでハイパスフィルタをかけたHi-netと京大防災研の速度波形データに対し、本手法による解析を実施したところ、気象庁一元化処理震源とほぼ同じ位置に求まった。観測網の外側の地震ではゴーストが生じやすいという現象も確認した。

次に、2011年東北地方太平洋沖地震からの地震波が飛騨地方を通過している際の地震波記録に対して本手法を適用した。一般に、高周波帯域の地震波は非弾性減衰が激しいため、遠方からの大地震の地震波の影響は小さく、近地の地震からの地震波が見やすい。そのため、本研究でも4Hzでハイパスフィルタをかけたデータを使用する。その結果、多数のイベントが見つかった。そのうちの一部は既にMiyazawa [2011] によって報告されているものであったが、それ以外のイベントも見られた。

本研究によって、動的誘発地震のカタログは改善され、動的誘発地震の研究の基礎情報として使われることになる。さらに、本研究は、自動震源決定や水平不均質構造の解析など、他の地震学的研究にも寄与することが期待される。

キーワード: 震央決定法, 3次元振動極性, 飛騨地方, 動的誘発地震, 2011年東北地方太平洋沖地震

Keywords: Epicenter determination method, 3D polarity of motion, Hida, Dynamic triggering of earthquakes, the 2011 Tohoku earthquake