

Hi-net 活用のための IPF 法の高度化

*野口 恵司¹、林元 直樹¹、溜淵 功史²、小寺 祐貴²

1. 気象庁、2. 気象研究所

1. はじめに

緊急地震速報の震源推定手法の 1 つである IPF 法 [溜淵・他(2014)] は、同時多発地震による観測データを適切に分離して処理できるという利点がある。一方で、IPF 法の緊急地震速報への活用開始以降、同時多発地震やノイズを適切に分離できなかったために、2 回の過大警報を発表した。その原因は、緊急地震速報処理が、Hi-net を使用した着未着法 [Horiuchi et al.(2005)] や、AR-AIC 法等を用いて自動検測し最小二乗法によって震源を決定する処理を併用しており、それらが推定した震源と、IPF 法がグルーピングした観測データを誤って同一判定した結果、マグニチュードを過大評価したためであった。

この問題を解決するため、IPF 法がグルーピングした観測データのみを用いて緊急地震速報を発表するシステムの構築を目指す。そのために、現在の IPF 法は、気象庁観測点、海底地震計、KiK-net の一部を使用しているが、それに加えて Hi-net も使用する必要があり、検討を行ってきた。

昨年の発表時点では、観測点増加に伴って増大する計算負荷を軽減するための観測点選別処理の導入などにより Hi-net を活用できることを確認し、Hi-net 活用の効果で運用中の IPF 法より精度が良く、着未着法と同程度の精度が得られることがわかった。一方で、深発地震については着未着法に比べて精度が悪いことが課題となっていた。

本発表では、震源推定精度向上のため IPF 法のさらなる高度化を行った結果について報告する。

2. IPF 法の高度化

a. 尤度関数の改良

尤度関数について、ロバスト統計の M 推定の考え方を導入した。また、観測点の重みについては、これまで震源近傍からの観測点数順に重みを設定していたが、一元化震源決定と同じ震源距離の重み [上野・他(2002)] を導入した。改良後の尤度関数 $h(x|\mu, \sigma)$ を以下に示す。

$$h(x|\mu, \sigma) = \exp\left(-\frac{(x - \mu)^2}{\sigma^2/w + (x - \mu)^2}\right)$$

$$w = R_{\min}^2/R^2$$

x : 観測値, μ : 期待値, σ^2 : モデルの推定誤差 (定数),

R_{\min} : 最短震源距離 (ただし, 50 km 未満は 50 km に固定)

分子と分母に残差の二乗和があることで外れ値に強くなり、また一元化震源決定と同じ重みを使用することで、深発地震の震源推定精度を向上させることができた。

b. 尤度計算における残差の寄与率の変更

尤度計算に使用する残差について、走時、振幅、震央距離解析結果 [Odaka et al.(2003)、東田・他(2004)]、震央方位解析結果 [横田(1985)] がある。尤度関数の改良で一元化震源と同じ震源距離の重みを導入したが、一元化震源は走時のみを用いて震源決定していることを考慮して、残差の寄

与率を

走時：振幅：震央距離解析結果：震央方位解析結果 = 5：5：2：2

から

走時：振幅：震央距離解析結果：震央方位解析結果 = 10：5：2：2

とし、走時残差の寄与率を上げた。

c. 尤度計算に使用する未トリガ地点数の変更

震源近傍に未トリガ地点があった場合、ペナルティとして現在時刻と理論走時の残差を尤度計算に使用することで、未トリガ地点近傍の尤度を小さくしている。動作検証を進めていると、1 点のトリガ（ノイズや小さな地震など）と少し離れた地震を誤って同一判定する事例がいくつか見られたため、それらを適切に分離できるように、尤度計算に使用する震源近傍未トリガの地点数を 5 点から 10 点に増やした。

d. パーティクルのリサンプリング方法の改良

パーティクルの過剰な収束を避けるため、有効サンプルサイズ[Liu and Yamada (2014)]が小さいときにリサンプリングを行うようにした。

また、トリガ地点数が 3 点以下のときは、有効サンプルサイズが小さい場合を除きリサンプリングを行わないようにした。例えば、ノイズによる 1 点トリガの場合、最初は周囲の未トリガ情報によってパーティクルがノイズトリガ地点周辺に収束するが、十分な時間が経過すると尤度分布は空間的にほぼ一様分布となるため、パーティクルのリサンプリング後にわずかな摂動を与えると、パーティクルが徐々に発散してしまう。これにより、ノイズトリガと少し離れた地震のトリガを誤って同一判定し、震源推定精度を落とす事例があったため上記の条件を設けた。

3. 結果

2017 年から 2020 年 8 月に緊急地震速報を発表した事例について適用したところ、昨年発表時と比較して震源推定精度が向上した。特に、尤度関数の改良により、70km 程度より深い地震や島しょ部の地震で精度向上が見られた。

また、東北地方太平洋沖地震（2011 年 3 月）及び熊本地震（2016 年 4 月）の一連の地震についても事例検証を行い、全体としては精度良く震源を推定できていることがわかった。ただし、データ欠測、ノイズ、地震多発に伴ったトリガがかかりにくい状態などにより、一部で精度の悪い震源を推定することがあった。

今後は緊急地震速報システムへの組み込みを目指して、IPF 法のパラメータチューニングなどを行うとともに、入力データである観測点のトリガについて品質管理手法の検討も進める。

[謝辞]

本発表では気象庁観測点のデータのほかに、MOWLAS (Hi-net、S-net、DONET、KiK-net) のデータを利用しました。記して感謝いたします。