

Full automation for the CMT analysis of deep very low frequency earthquakes

*Akiko Takeo¹, Kazushige Obara¹

1. Earthquake Research Institute, the University of Tokyo

スロー地震の一種である超低周波地震は広帯域地震計の周期20–50秒前後で観測される。西南日本の豊後水道から東海地域にかけてのプレート境界においては深さ約35kmで深部超低周波地震が発生しており、低周波微動活動と同期していることが知られている。そのモーメントマグニチュードは3前半と小さいため既存のCMT解析 (Ito et al. 2009) における検出数は年間約50個である。この数は超低周波地震活動の地域性や微動活動との関連性を統計的に議論し、プレート境界非定常滑りの物理を明らかにするためには十分とは言えない。

そこで、本研究では新学術領域研究「スロー地震学」によって展開・維持されている広帯域臨時観測BC-DENSE (Broadband Campaign for Deep Extent of Nankai Slow Earthquake) 20点の3成分記録及び防災科学技術研究所の広帯域観測網F-netの3成分記録を用いてCMT解析を行った。解析地域は豊後水道を含む四国西部 (2018/1–2020/7) と紀伊半島北東部 (2020/1–2020/7)、東海地域 (2020/4–2020/7)の3地域である。基本的な手法はGRiD MT (Tsuruoka et al. 2009; Takeo et al. 2010) と同じである。より多くのシグナルを自動的に検出し、かつ誤検出を少なくするよう従来の手法を改良し適用し、後述するように誤検出率約1%で年間500イベント以上の検出に成功した。

まず、CMT解析時の波形の重み付けについて再考した。臨時観測点は公園や学校の隅に設置していることが多く人間活動に伴うノイズが不定期に入る。また、超低周波地震は通常の地震と異なり連続的に発生しながら移動する特徴がある。そこで、周辺観測点上下動のRMS振幅分布から距離による重み付き平均を計算し推定RMS振幅とした。この推定RMS振幅とその観測点のRMS振幅の比を重みとして用いることで、イベントが連続してもノイズレベルに近い小さなシグナルを検出できるようになった。

次に、計算の高速化を行なった。OpenMPによる並列化やI/Oの統合を進めた結果、1地域1日のデータ解析時間が約80分、25並列では約4分程度となった。ただし、この時間はシグナル候補に対する100回のブートストラップを含むが、1秒へのダウンサンプルなどのデータの下処理は含まない。使用メモリは約1GBである。

最後に、超低周波地震を自動的に検出するためのアルゴリズムを検討し、条件A-Fを定義した。すなわち、A: $VR > 10\%$ 、B: $VR > \text{平面}VR - 3\%$ 、C: P軸とT軸のブートストラップ推定誤差の和 < 50 度、D: 通常の地震ではない、E: MT解独立5成分と地域平均MT解との相関係数の絶対値 > 0.5 、F: F1又はF2、F1: 3イベント/日以上、F2: 距離とHi-net 2-8 HzのRMS振幅の相関係数 < -0.5 、である。ここで条件Eは超低周波地震のメカニズムがプレート沈み込みと対応し各地域でほぼ一定であること、条件F1は超低周波地震がスロースリップイベント発生時に群発すること、条件F2は超低周波地震が低周波微動活動と同期することを利用している。

ブートストラップ計算が高速化されたこと、及び、条件B-Fの取捨選択を自動で行えることから条件Aの閾値を低く設定して小さなシグナルも可能な限り検出することができた。実際、条件Aを満たすもののうち、条件A-Cを満たすものの割合はわずかに約1%である。また、誤検出率も推定できるようになった。条件A-Eを満たすもののうち条件Fを満たさないものは約0.1個/日/地域である。条件F1を満たす日数は年間約30日であることから、条件A-Fを満たすもののうち誤検出数は年間約3個/地域と推定された。これはA-Fを満たす全検出数の約1%であり、カタログの約99%は信頼できることを示す。

以上の改良を行った結果、四国西部では約2年半で1029個、紀伊半島北東部では約半年で98個のイベントを検出した。東海地域では観測開始が遅かったことと一部の観測点の地震計が故障したことなどから条件A-Dを満

たイベントが13個と少なかった。その結果、条件E-Fがうまく適用できず検出数が0個になった。ただし、13イベントのうち4イベントは目視で低周波微動と同期した超低周波地震であると確認できた。今後は各超低周波地震イベントの震源時間関数を求めるほか、同時に発生する低周波微動の位置を詳細に決定し震源の広がりについて考察したいと考えている。