

Event catalog development for AEs induced by hydraulic fracturing experiments in the laboratory

*Makoto NAOI¹, Youqing Chen¹, Yutaro Arima²

1. Kyoto University, 2. JOGMEC

地震計やAEセンサの連続波形記録から震源カタログを作成する場合、典型的にはイベント検出・走時検測・Phase Association・震源決定といった複数の処理が行われる。近年、これらの各プロセスに深層学習を始めとした機械学習技術の適用が進み、従来の自動化手法を超える性能が達成され、同じデータからより高品質の震源カタログが作成できるようになりつつある。本研究では、室内水圧破碎実験中に10MHzサンプリングで収録した24チャンネルAE連続波形記録から、深層学習を利用して震源カタログを作成した。

カタログ作成は、1) 24チャンネルAE波形をインプットとし、イベント確率値を時間の関数として出力する深層学習ネットワークによるイベント検出、2) PhaseNet (Zhu and Beroza 2019) に似たU-netタイプの深層学習ネットワークによる走時検測、3) REALアルゴリズム (Zhang et al. 2019) によるPhase association・震源決定を行い、4) 非線形最小二乗法によって震源を再決定する、という手順で行った。

1)、2) で用いた深層学習ネットワークの訓練には、STA-LTAによるイベント検出 (Allen 1978)、AR-AICによる走時検測 (Tanakami and Kitagawa 1988)、非線形最小二乗法による震源決定という、古典的手法を組み合わせた自動処理手法 (Naoi et al. 2018) によって作成した、黒髪島花崗岩10供試体 (Tanaka et al. 2021)、イーグルフォード頁岩2供試体 (Naoi et al. 2020) の実験に対して得られたAEカタログから、よく震源が求まったものに対する検測値等を用いた。イベント検出や走時検測のための深層学習ネットワークの訓練に用いるデータには手動処理結果を用いる場合が多いが、本研究では自動処理による結果からQuality Controlの基準を厳しく設定して選別した結果を用いた。

Phase Associationに用いたREALアルゴリズムは、震源に対するグリッドサーチをおこない、理論走時を中心としたある幅の窓内に含まれる走時の数をカウントし、予め設定した閾値以上の走時が適合する震源を採用する手法である。震源に対するグリッドサーチは計算コストが大きいので、本研究ではこの問題を差分進化アルゴリズムで解くことによって計算コストの削減を行った。

一連の手法を、深層学習ネットワークの訓練に用いていない、ウルフキャンプ頁岩供試体を用いた実験において得られたAE連続収録データに適用し、AEカタログを作成した。同供試体の実験データに対して、先に説明した古典的手法によるカタログ作成手法では、972個のイベントからなるAEカタログが作成されたが、深層学習による手法では、Quality controlに用いる基準に依存して2600-6300個のイベントからなるカタログが作成できた。