

機械学習を実装した自動震源決定システムの開発（その2）

溜瀧 功史（気象研究所）

大地震後の活発な地震活動を的確に把握するため、一元化震源カタログのための自動震源決定手法（PF法）を開発し、2016年4月1日に気象庁で運用開始した。その直後に発生した平成28年（2016年）熊本地震などでPF法は効果を発揮したものの、自動震源には数～10%程度のノイズによる誤検出が含まれるため、地震の検出数を維持したまま誤検出を効率的に低減することが課題であった。一方、近年では深層学習アプローチによる地震波検出等が数多く提案されている。そこで、Tamaribuchi et al. (2023) では、それらの技術をPF法に取り入れ、自動震源決定の更なる精度向上を図った。本発表では、本論文の概要を紹介する。

これまで、工藤・他（2023）は、約90万波形で畳み込みニューラルネットワーク（CNN）を学習し、地震波検出に適用した。その結果、地震波形からP波、S波を直接CNNで検出するよりも、従来の手法で検出したものをCNNでP波、S波、ノイズに分類したほうがより効果的であることを示した（以下、これをCNN相分類という）。

平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震を事例として、2011年3月から1年間の日本全国の地震波形（約1400地点）にCNN相分類を組み込んだPF法を適用した。さらに、震源検出値の各種特徴量（震源誤差、検出値数等）を入力とし、教師あり学習の一つであるLightGBMにより品質ラベル分類を行った（Tamaribuchi et al., 2023）。このとき、地震かノイズかを目視で判別した約2万個の自動震源を学習データとして用いた。

2011年3月の1か月間の地震波形を用いた検証では、CNN相分類により総検出数は3割削減され、P波の誤検出率は1.6%から0.6%、S波の誤検出率は4.2%から1.6%にそれぞれ改善した。震源決定数は約12万個から約11万個に減ったが、一元化震源と一致する地震数はほぼ同数（約4.5万個）であった。また、LightGBMによる品質ラベル分類によると、地震に分類された震源は4%の減少なのに対して、ノイズに分類された震源は78%と大幅に削減された。これらのことは、誤検出の低下によって震源の誤検出が大幅に削減されたことを示している。

さらに、2011年3月から1年間の検証では、従来の一元化震源32万個の約2倍に相当する60万個の震源を新たに検出でき（計92万個）、巨大地震後の検知力が大幅に改善されることを確認した。このことは、機械学習を活用した自動震源決定により、従来の自動処理よりも誤検出が少ない地震カタログがリアルタイムに得られることを示している。これによって、巨大地震の震源域の広がりだけでなく、内陸誘発地震等の推移把握、断層の微細構造などのより詳細な把握に貢献することが期待される。

また本発表では、令和6年能登半島地震での結果と課題について触れる予定である。

参考文献

工藤祥太, 下條賢梧, 溜瀧功史, 2023, 験震時報, **86**, 3. https://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/kenshi/vol86_4.pdf

Tamaribuchi, K., S. Kudo, K. Shimojo, and F. Hirose, 2023, Earth, Planets and Space, **75**, 155. <https://doi.org/10.1186/s40623-023-01915-3>