

# 深層学習に基づく地中地震波形を用いた地表地震波形の予測

#石原正也・中原 恒（東北大）

## はじめに

2011年の東北地方太平洋沖地震を契機に、地震動の即時予測の高度化のため、IPF法[溜淵・他(2014)]を代表とする様々な手法の研究・開発が行われている。現在では、「揺れの数値予報」と呼ばれる、頑健性の高いPLUM法[Kodera et al. (2018)]が気象庁により運用されている。PLUM法は震度を予測する手法であるが、地震波形自体を予測するという研究も、実際の即時解析への利用を目指して行われている。例えば、Furumura et al. (2018)は、観測データと地震波動伝搬シミュレーションを組み合わせることで、長周期地震動の予測を行なっている。これらの手法は、複数観測点を利用するネットワーク型の手法であり、遠くの地震に対して非常に効果的である。一方、直下型地震に対する即時予測は容易ではないが、例えば、岩切・他(2012)は、防災科学技術研究所のKiK-netで得られた地震波形記録の地中地表間の走時差や最大振幅の比を丁寧に調べ、従前の手法への適用性について調査した。本研究では、直下型地震に対しても地震波形を予測することを目指し、地震波が先に到達する地中地震計で得られた記録から、地表での地震波形記録を予測する手法の開発に取り組んだ。

## データ・手法

本研究では、KiK-netのCHBH10(千葉)観測点で得られた地震波形記録を利用した。この観測点では地表と深さ2000mに強震計が設置されている。2000年から2019年に発生した地震のうち、選択基準を満たす683個の地震に対して解析を行った(図1)。地中地震記録を入力、地表地震記録を出力とする以下のディープニューラルネットワークを構築した。前の層は、1次元の畳み込みニューラルネットワーク(以下、1D-CNN)とした。畳み込み層は3層で、それぞれのフィルター数は16、カーネルは3、活性化関数にはReLUを用いた。その後、1D-CNNの出力をFlatteningした後、ニューラルネットワークに接続した。トレーニングデータを用いてこのネットワークの学習を行った後、テストデータに対して適用した。0.5-4.0Hzのバンドパスフィルターをかけた、10秒間の上下動成分を対象とし、主にP波の再現を目指した。学習は30エポック行った。また、683個のデータのみでは早い段階で過学習が起きたため、波形の切り出し方の工夫やガウシアンノイズを付与することで、トレーニングデータの数を30倍に増加させ学習を行った。

## 結果・考察

69個のテストデータに対して、学習したネットワークを適用した結果、平均VR(上下動成分、10秒間、0.5-4.0Hz)は58.9%と高い値となった。周波数別に見ると、0.5-1.0Hz、1.0-2.0Hz、2.0-4.0Hzでそれぞれ、65.8%、69.2%、55.9%という結果になり、高い周波数帯でも地震波形を良く再現できていることが分かった。他にも、P波の予測やS波の再現を行うネットワークを構築し、学習と適用を行った。その結果、我々のネットワークは地中から地表への地震波の伝搬過程(増幅特性や位相特性を含

む)を学習できることが分かった。一方で、P-SV変換の効果を学習することは難しく、S波の再現はP波の再現に比べ困難であった。

今後は、データ数の増加に伴うネットワークの高度化により、S波の再現が可能になることが期待される。また、並行して、地震波形に対するID-CNNの働きを調べて理解することが課題となる。

### 謝辞

本研究では防災科学技術研究所の基盤強震観測網KiK-netのデータを使用させていただきました。

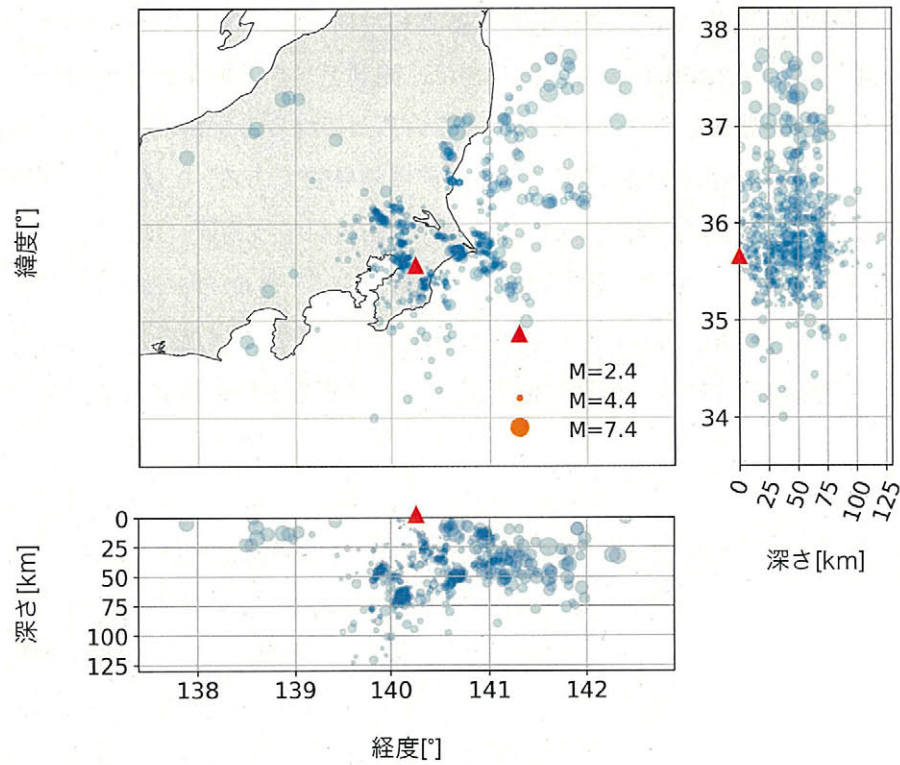


図1. 683個の地震の震源分布

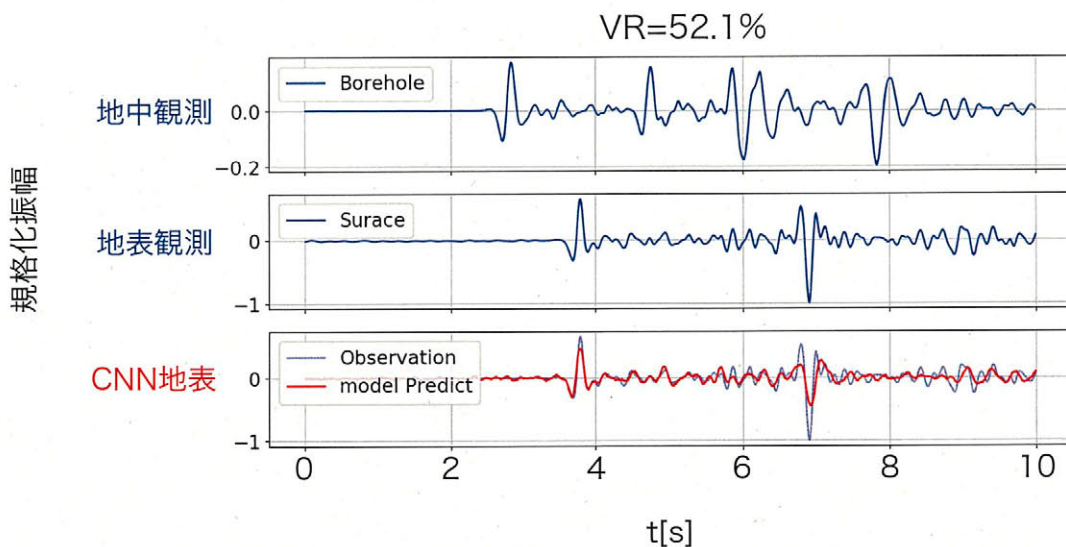


図2. 上下動成分の結果の例. 0.5-4.0Hz. 時刻0sは波形の切り出し位置を示す.