

令和2年 京都大学地球物理学教室同窓会「京大知球会」講演要旨  
深層学習による P 波の検出と到達時刻及び初動極性の決定

地震学及び地球内部物理学分科 原 将太 (HARA, Shota)

### 1. はじめに

P 波の到達時刻と初動極性は地震の震源位置やメカニズム解を決定する上で非常に重要な情報である。近年、観測データ量が増大しているが、従来の自動処理アルゴリズムの精度は十分でなく、未だに専門家によるチェックが一般に必要な。そこで、本研究では、P 波の検出(Event detection)、到達時刻決定(Phase picking)、初動極性決定(First-motion polarity determination)をそれぞれ行う 3 つの畳み込みニューラルネットワーク(CNN)のモデル(E-Taro, P-Jiro, F-Saburo)を作成した。その性能を検証すると共に、Grad-CAM (Selvaraju et al. 2017)を用いた決定プロセスの議論等を行った。なお、初動極性決定については既に Hara et al. (2019, EPS)で報告している。

### 2. データと CNN モデル

CNN モデルの訓練には、山陰地方と近畿地方北部において 250 Hz (臨時観測網)及び 100 Hz (定常観測網)のサンプリング周波数で観測された地震波形データの上下動成分を用いた。

E-Taro は、500 点の波形窓に対し P 波の到達の有無を確率値で出力する。連続波形をスキャンし、暫定的に P 波の到達時刻を決定する。

P-Jiro は、500 点の波形窓の各点について P 波が到達した確率を出力し、E-Taro による暫定的な到達時刻をより正確に修正する。

F-Saburo は、事前に決定された到達時刻を基に、初動極性(Up or Down)を確率値で出力する。

### 3. 結果

CNN モデルの性能を専門家の結果と比較した。

- E-Taro: P 波を検出する精度(Accuracy)が 98 % (250 Hz)と 97 % (100 Hz)
- P-Jiro: 専門家によって検出された到達時刻との差 $\Delta t$  [s]の標準偏差が 0.038 s (250 Hz)と 0.077 s (100 Hz)
- F-Saburo: Up 及び Down の専門家との一致率が 98 % (250 Hz)と 95 % (100 Hz)

また、Grad-CAM を F-Saburo に適用した結果を示した(図 1)。

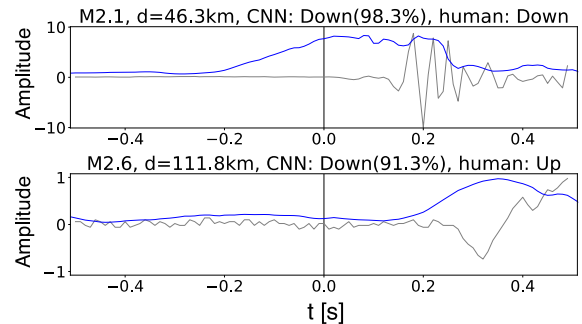


図 1: F-Saburo による初動極性決定に Grad-CAM を適用した結果(青線)。青線が大きいほど、波形のその時刻を F-Saburo が重視したことを示す。到達時刻のずれに対し柔軟に対応したことが示唆される。

### 4. 3 つの CNN モデルによる自動決定

作成した 3 つの CNN モデルを合わせて用いて、3 分間の連続波形から P 波の到達時刻と初動極性を決定した。専門家による検出結果との比較から、殆どの観測点で正しく到達時刻と初動極性を検出できたことが分かった(図 2)。CNN モデルを使用する際は、出力確率がある閾値(図 2 では E-Taro: 50 %, F-Saburo: 95 %)を越えた観測点のみを用いることで、誤検出を抑えられる。一つの CNN モデルに全ての処理を任せるのではなく、複数の CNN モデルを組み合わせることによって、より高精度な自動処理が可能となった。

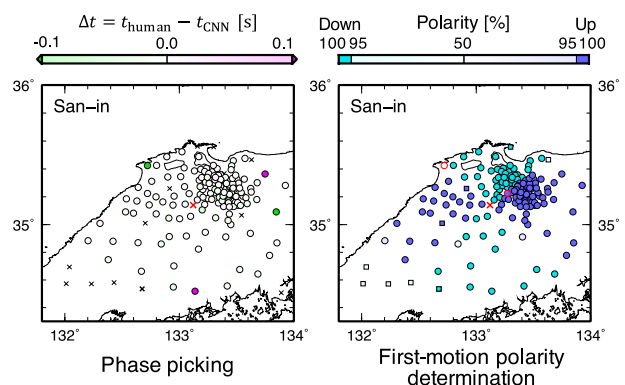


図 2: CNN モデルによる到達時刻及び初動極性決定。赤 X 印は震央を意味する。(左) 専門家の検出した到達時刻との差。黒 X 印は専門家の検出がなかった観測点を表す。(右) 初動極性分布 (青: Up; 水色: Down)。赤い縁の丸は、専門家の検出と食い違った観測点を示す。四角は、専門家の検出がなかった観測点(左図で黒 X 印)を表す。