

## Development of 3D Convolutional Neural Network to locate hypocenter around Hakone with theoretical seismograms of time series as training data.

\*Daisuke Sugiyama<sup>1</sup>, Seiji Tsuboi<sup>1</sup>, Yukutake Yohei<sup>2</sup>

1. JAMSTEC, 2. Hot Springs Research Institute, Kanagawa Prefectural Government

我々は昨年の地震学会秋季大会において理論地震波形記録を生成し、これを教師データ（ある入力データとその正解となるデータを対応付けたもの）として機械学習を行うことにより、震源パラメータの推定を行うニューラルネットワークを構築する試みについて報告した。前回の発表では、日本列島規模の領域にて、震源や規模の異なる多数のパターンの仮想地震を網羅的に計算し、得られた理論地震波形記録から、地表の空間的な地震波伝播画像を生成し、深層学習を行い、震源パラメータを自動推定するニューラルネットワークを構築することが出来ることを示した。

我々はこのニューラルネットワークによる震源パラメータ推定を、神奈川県温泉地学研究所が保有する箱根火山地域の地震観測網（図1）に適用することを目的とし、様々な学習の試みを行った。

一般に、畳込み層を有する深層学習モデルは画像や映像など高次元データの学習に優れる特徴がある。本研究では、この深層学習での画像や映像の学習における技術を活用する方針を取った。通常の波形データとしてではなく、地震波形の各観測点での空間的広がり方を画像と考え、さらに地震波形の震源からの広がり状況、震源近くの細かな振動など時間発展のパターンを映像として捉え、教師データの作成を行った。また我々は、このような映像的な高次元データに、地震学の知識を取り入れる試みも行った。LTA/STAの計算を行い両者の差を画像や映像とする、速度を対数スケールとする、速度のZ成分とNE成分の絶対値の差を計算するなど、地震学における特徴抽出手法を高次元データへ持ち込み応用し、教師データとした。

作成した教師データは、3次元データ及び映像の学習に特化した3次元畳込みニューラルネットワーク（3DCNN）をベースとしたモデルを用いて学習を行い、実際の観測データの推定を行うことができる推論モデルを得る。ある時間範囲の理論地震波形記録の観測点における速度分布は、図2のような3次元データとして変換処理され、学習が行われる。なお、理論地震波形記録生成については、前回と同様にスペクトル要素法のSPECFEM3Dを用いている。箱根火山地域に対して用いた地下構造モデルはYukutake et al (2015)で、2304コアを用いた。理論地震波形の精度は周期5.6秒である。震源深さや位置など震源パラメータを変化させた1998個の仮想地震に対して約30秒間の理論地震波形を計算し、約60万枚の地震波伝播画像を生成した。

これを用い、32x32の空間伝搬データの6秒程度の時間発展パターンを3次元形状データとして生成し、教師データとした。もちろん、この3次元形状データは実際の地震波形観測データからも同様に自動的に生成が可能であり、自動的な震源パラメータの推定も可能である。また、先に述べた特徴抽出計算を行ったデータも同様の3次元形状データとして変換し教師データとする。

このように生成した教師データを基に、先に述べた3DCNNを用いた深層学習を行った。3層の3D畳込み層を用い、各震源パラメータを推定する推論モデルを機械学習により生成した。深層学習フレームワークはTensorFlow (<https://github.com/tensorflow>)を用いた。教師データの生成および機械学習は海洋研究開発機構・地球情報基盤センターが運用する計算機システムのGPGPUノードを利用して行い、ニューラルネットワークから推論モデルを構築した。

学習は1998個の地震が混ざらないように8:2に分割し、80%を学習に用い、学習に使用しない残り20%の地震を用いて交差検証を行ったところ、概ね良好な結果が得られた。最終的に完成した推論モデルの詳しい推定結果や他手法との比較、および実際の観測データに適用した場合の推定結果について発表の際に述べる。

### 謝辞

本研究は科研費19K12011の助成を受けたものです。また、海洋研究開発機構・地球情報基盤センターの計算機システムを用いました。記して感謝いたします。

図1 箱根火山地域の観測点分布図

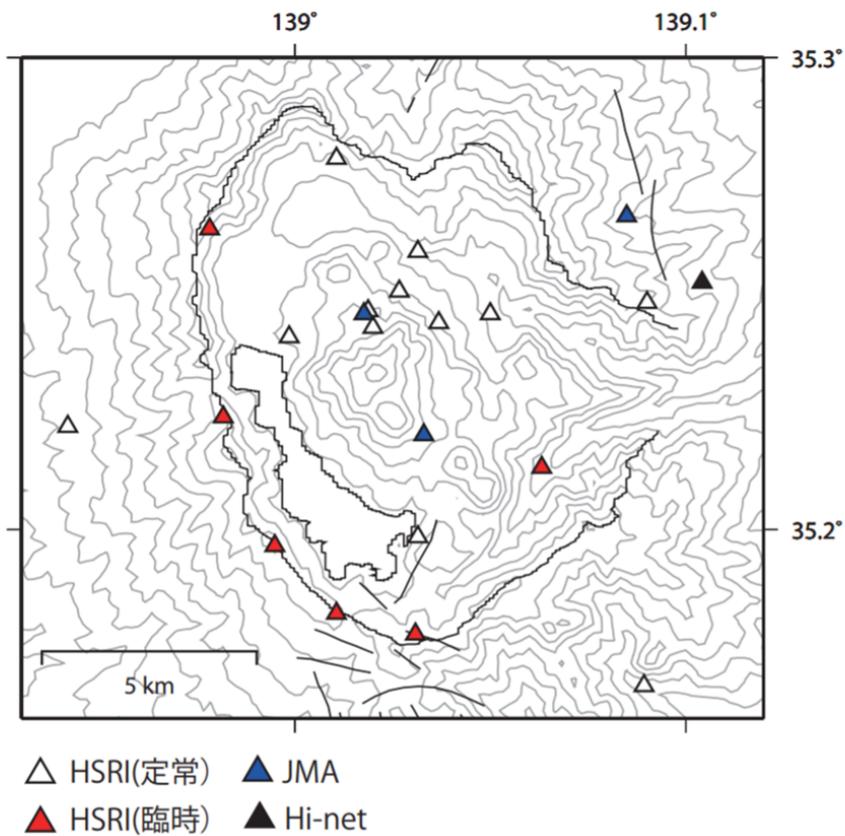


図2 地震波動伝播の3次元構造データ

