

## 機械学習を用いた単独観測点処理に関する検討

野田俊太（鉄道総合技術研究所）

### 概要

新幹線の早期地震警報システムでは、単独観測点処理の使用が基本となっている。複数観測点処理と比較して警報の精度が劣るものの、他の観測点からの情報を待つ必要が無いため、即時性が高いというメリットがある。鉄道では、列車に危険性がある場合に速やかに停車させ、安全が確認できれば即座に運行を再開することが可能であるため、単独観測点処理との親和性が高い。しかしながら、様々な地震を経験する中で、警報の精度等の性能向上が求められている。そこで本研究では、近年発展が目覚ましい機械学習（深層学習）技術を利用し、その有効性について検討を行った。鉄道の単独観測点処理は、大きく分けてノイズ識別、P波警報、S波警報に大別されており、ここではそれぞれに対して深層学習を適用した結果を報告する。

ノイズ識別について、特に鉄道の沿線に設置された地震計では列車による振動を頻繁に観測するため、それらと地震動を、振動発生後最短1秒以内に識別（分類）をする必要がある。従来手法では、この識別の正答率は約90%となっている。ここでは、畳み込みニューラルネットワーク（CNN）を使用し、K-NETで観測された地震波形と列車振動記録との識別を行った。その結果、識別の正答率は97%を超えることが確認された。これにより、地震時に地震発生を見逃すことなく警報を出力することができる可能性が向上することが期待される。

P波警報では、初動P波（最短1秒）のデータから、震央距離 $\Delta$ 、震央方位、マグニチュードの地震諸元を推定する。ここでは、特に $\Delta$ の推定に着目する。従来手法では、 $\Delta$ はC- $\Delta$ 法により推定されるが、現状では $\Delta$ を推定するためにはP波初動部分の傾きを利用することに留まっており、深層学習を用いることにより地震動に含まれる他の様々な情報を考慮することができる可能性がある。本研究では、まずは典型的なモデル構造を持つCNNを使用し、 $\Delta$ の推定を行った。その結果、C- $\Delta$ 法と比較して約20%の精度向上が得られることを確認した。さらなる検証として、典型的CNNを初期構造とした構造自動探索（AutoSS）法を適用した結果、典型的CNNよりもさらに10~18%の精度向上が確認された。実装面を考えたとき、AutoSS法から得られる多くのモデルの中から、使用するハードウェアの計算処理能力に合わせたモデルを選択することが可能であり、本手法は実用性も高い。

S波警報は、観測される地震動の振幅があらかじめ定められた規定値（しきい値）を超過した場合に警報を出力する手法である。ここでは、初期のP波データ（0.5~2秒）のみから、最終的にそのデータが規定値を超過するかどうかを分類する検討を行った。用いた手法はCNN、規定値は鉄道の警報用最大加速度（JR-PGA: 5Hzローパスの水平二成分合成PGA）40galとした。その結果、正答率は約90%となることを確認した。このとき、不正解のデー

タのうち「空振り」警報は約 0.5%であり、残りの約 9.5%は「見逃し」警報である。今回は P 波開始から 2 秒までという短いデータを使用したため、使用するデータを延長すると、見逃し警報は減ることが期待される。一方で、短いデータに対して空振り警報が相対的に多くないという結果は、警報の誤出力が抑えられているということであり、本手法は実用性が高いと考えることができる。

今後は、ここで示した手法を実装したプロトタイプ地震計を開発して動作検証を行い、鉄道の現場で使用できる機械学習による地震計の開発を目指す。

#### 謝辞

本研究では、K-NET の地震波形記録を使用させていただきました。また、本研究の実施にあたり、鶴飼正人氏（JR 総研情報システム）、山下貴志氏（アドバンスソフト）、岩田直泰氏、森脇美沙氏（鉄道総合技術研究所）との議論やご助言、サポート等をいただいています。記して感謝申し上げます。