

機械学習による関東平野の浅部地盤の平均 S 波速度分布の予測

応用地質株式会社 ○西村 武, 松山 尚典, 眞鍋 俊平, 鈴木 晴彦
防災科学技術研究所 先名 重樹

1. はじめに

防災科学技術研究所（以下、防災科研）では、地震調査研究推進本部による全国地震動予測地図¹⁾の作成支援業務として、地震動予測のための広域地盤構造モデルを構築している（先名ほか、2023²⁾など）。このモデルでは、ボーリングデータ・微動アレイ観測データ・地震観測データを用いて作成されている。これらの結果の1つである深度 30m までの平均 S 波速度（以下、AVS30 という）とそれから算出した地震動増幅率は地震ハザードステーション（J-SHIS¹⁾）で公開されている。ここで、地盤データの空間補間は、基本的に、250m メッシュの微地形区分（若松ほか、2020³⁾）を用いたクリギング法で行っている。

本検討では、現状の手法の改良を目指し、微動アレイ観測データを用いた機械学習により、地域的な地盤特性の変化を考慮したモデル化の可能性を検討した。また、先名ほか（2023）で示されている関東平野の 250m メッシュの AVS30 分布との比較を行った。

2. 解析手法とモデル、モデルの精度比較方法

(1) 解析概要およびデータ整理

入力値を地形情報から作成した各種特徴量、出力値を AVS30 (m/s) とした機械学習および重回帰分析による予測モデルを作成した。地形情報は地図上の位置（緯度・経度など）と地形に関する特徴量の組み合わせで表現される表形式のデータとして扱った。

解析には、防災科研によって実施された13,372点の微動アレイ観測データのうち、AVS30が得られている12,264点のデータを用いた。検討に用いた特徴量は、①緯度 (Lat)、②経度 (Lon)、③標高 (Ev)、④傾斜 (Tilt)、⑤微地形区分 (GEOM ID)、⑥山地までの距離 (Dm)、⑦台地までの距離 (Dp)、⑧河川までの距離 (Dr)、⑨海岸線までの距離 (Dc) の9つである。

表-1 本検討で使用したモデル

| Case 名 | 入力データの 種類 | 入力データ の割合 |
|-----------------------------|---------------|--------------|
| 重回帰分析： Case0 | ③④⑤⑥⑧⑨ | 80% |
| 入力データの割合の 変更： Case1-1 | ①②③④⑤⑥ ⑦⑧⑨ | 80% |
| Case1-2 | 同上 | 20% |
| Case1-3 | 同上 | 5% |
| 入力データの種類の 変更： Case2-2 | ③④⑤⑥⑧⑨ | 80% |

(2) 解析手法と作成したモデル

機械学習の手法には TensorFlow⁴⁾を用いたニューラルネットワークを使用した。入力データの割合および入力データの種類を変えた機械学習モデルを複数作成し、推定精度に与える影響について比較・検証を行った。表-1に本検討で作成した機械学習モデルを示す。データセットの中から、表-1に示した割合のデータをランダムにサンプリングしたものを教師データとして予測モデルを構築した。残りを検証データとして予測モデルの評価を行った。ランダムサンプリングの際に特定の微地形区分にサンプルが偏らないよう、微地形区分ごとにデータを分割し、サンプリングを変えた100通りの解析を行った。

重回帰分析は表-1に示す6つの特徴量を用いて微地形区分ごとに解析を行った。松岡ほか（2005）⁵⁾を参考に、式-1はそれぞれの特徴量の対数による線形重回帰モデルとした。ここで a, b, c, d, e, f は偏重回帰係数、 σ は標準偏差である。

$$\log AVS30 = a + b \log E_p + c \log Tilt + d \log D_m + e \log D_r + f \log D_c \pm \sigma \quad \text{式-1}$$

(3) モデルの予測精度比較方法

各モデルの予測精度は、i 番目の地点における AVS30 の予測値を $VS_{pre}(i)$ 、測定値を $VS_{trg}(i)$ とした場合、式-2で示す二乗和平均平方根 (RMSE) で評価した。各解析ケースで検証データに対する RMSE を計算し、モデルによる再現精度を比較した。機械学習モデルでは100通りの解析の RMSE の平均値を用いて評価した。

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\log VS_{pre}(i) - \log VS_{trg}(i))^2} \quad \text{式-2}$$

3. 予測値と測定値の比較によるモデル精度の検討

図-1に各モデルの AVS30の測定値 (Target) と予測値 (Prediction) の関係の一例を示す。表-2にモデル毎の100通りの平均 RMSE および予測値の精度（予測値と測定値の誤差 RMSE を真数に置き換えた値）を示す。

Case1-1, Case1-2, Case1-3と入力データの割合が減少していくとともに RMSE の値が高くなり、入力データの割合が高いモデルの方が、微動アレイ観測から求めた AVS30との差が小さい（予測精度が良い）傾向にある。入力データの種類を変更した Case1-1, Case2-2を比較すると、Case1-1の RMSE が小さいことから、入力データとして使用する特徴量を増やすと予測精度が向上することがわかる。Case2-2（機械学習）と Case0（重回帰分析）を比較すると、機械学習モデルの RMSE の方が小さく、重回帰分析よりも機械学習の予測精度が良いことがわかる。

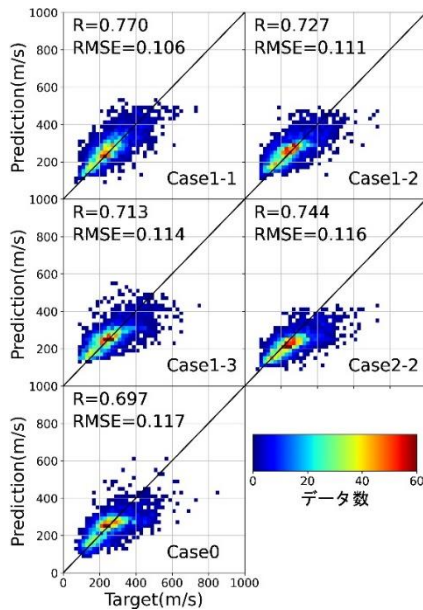


図-1 モデル毎の AVS30 の測定値(横軸)と予測値(縦軸)

表-2 各モデルのデータ数と RMSE

| モデルケース | 入力データ数 (データ密度) | RMSE (対数表示) | 予測値の 精度(倍) |
|---------|-------------------------------|----------------|---------------|
| Case0 | 9,798 (1km ² /1 点) | 0.122 | 0.755-1.324 |
| Case1-1 | 9,798 (1km ² /1 点) | 0.106 | 0.783-1.276 |
| Case1-2 | 2,447 (4km ² /1 点) | 0.111 | 0.774-1.291 |
| Case1-3 | 606 (16km ² /1 点) | 0.116 | 0.766-1.306 |
| Case2-2 | 9,798 (1km ² /1 点) | 0.110 | 0.776-1.288 |

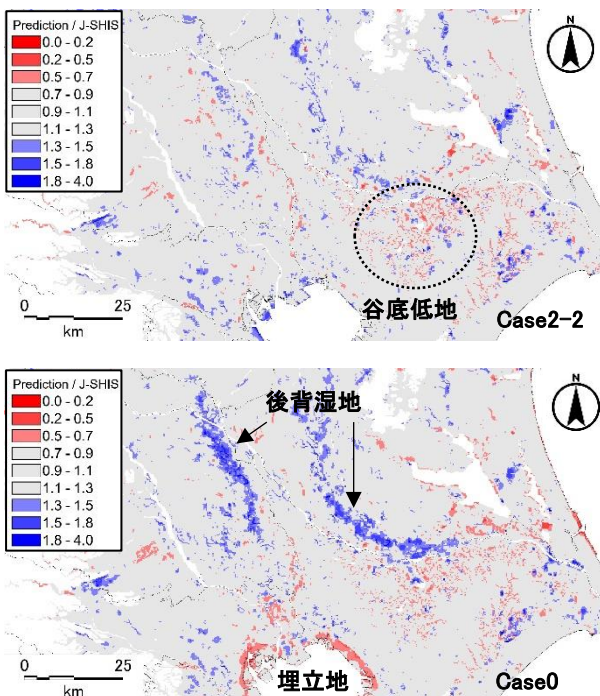


図-2 250m メッシュの予測 AVS30(Prediction)と J-SHIS による AVS30(J-SHIS)との比(上図: Case2-2, 下図: Case0)

4. AVS30分布の予測と J-SHIS モデルとの比較

予測モデルを用いた関東平野の250m メッシュの AVS30 分布を作成し、先名ほか (2023) の結果に J-SHIS モデルの AVS30 との比を求めて両者を比較した (図-2)。

機械学習 Case2-2 との比較では、平野部の領域の AVS30 の予測値は、J-SHIS モデルの値の 0.7-1.3 倍程度であり、概ね妥当な予測となっている。北部や西部の山側の領域で、J-SHIS モデルとの違いが大きい青色の領域が離散的に分布しており、機械学習モデルの予測のほうが大きい傾向がある。その原因として、山際は平野部に比べて観測点が少なく、学習データが少ないために予測を困難にさせていると推察される。

重回帰分析 Case0 との比較では、利根川・中川流域の後背湿地で、J-SHIS モデルよりも AVS30 が大きい傾向にある。一方、東京湾沿岸部の埋立地では、重回帰モデルのほうが著しく小さい傾向がある。

また、下総台地内の谷底低地では、手法に関わらず予測値のほうが J-SHIS モデルを下回る傾向にある。

5. まとめ

本検討による成果は、次のとおりである。

- 同一の地形特徴量を用いた場合、入力データの割合が大きいほうが、測定値との違いが小さい。
- 機械学習および重回帰分析により予測した AVS30 を J-SHIS モデルと比較すると、機械学習モデルの方が、より J-SHIS に近い予測を与える。
- 予測モデルによる関東平野の AVS30 の分布をみると、機械学習モデルでは、山地を除く平野部で概ね J-SHIS モデルと類似した傾向となったが、重回帰分析モデルでは特定の微地形区分で大きく乖離することとなった。

今後は各モデルにおける特徴量の寄与度について比較を行い、手法によって予測結果が異なる要因について検討を行う予定である。また、このような解析の基礎となる地形情報についても分解能を上げたデータを作成し、機械学習に適用していくことを計画している。

《引用・参考文献》

- 1) 防災科学技術研究所：J-SHIS, <https://www.j-shis.bosai.go.jp/> (最終閲覧日2024. 5. 28)
- 2) 先名重樹, 藤原広行, 前田宜浩, 森川信之, 岩城麻子, 河合伸一, 谷田貝淳, 佐藤将, 鈴木晴彦, 稲垣賢亮, 松山尚典: 強震動評価のための浅部・深部統合地盤構造モデルの構築, 防災科学技術研究所研究資料, 第498号, pp.1-259, 2023.
- 3) 若松加寿江, 松岡昌志: 地形・地盤分類250m メッシュマップの更新, 日本地震工学会誌, No. 40, pp. 24-27, 2020.
- 4) TensorFlow Developers: TensorFlow (v2.16.0-rc0). Zenodo. <https://www.tensorflow.org/> (最終閲覧日2024. 5. 28)
- 5) 松岡昌志, 若松加寿江, 藤本一雄, 翠川三郎: 日本全国地形・地盤分類メッシュマップを利用した地盤の平均 S 波速度分布の推定, 土木学会論文集, No. 794/I-72, pp. 239-251, 2005.