

氏名	KOUNGHOON NAM		
学位の種類	博士（工学）		
学位記番号	総博甲第142号		
学位授与年月日	令和2年3月19日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項		
文部科学省報告番号	甲第687号		
専攻名	総合理工学専攻		
学位論文題目	Deep learning-based susceptibility assessment and prediction of landslides triggered by earthquake and rainfall using autoencoder combined with random forest （ランダムフォレストと結合したオートエンコーダを用いた地震・降雨による地すべりの発生しやすさ評価及び予測）		
論文審査委員	主査	島根大学教授	汪 発武
		島根大学教授	三瓶 良和
		島根大学教授	酒井 哲弥

論文内容の要旨

Landslide affecting factors are uncorrelated or non-linearly correlated, which result in limiting the predictive performance of traditional machine learning methods for landslide susceptibility prediction. In order to overcome these problems, a novel deep learning-based algorithm that combines classifiers of both deep learning and machine learning is proposed for landslide susceptibility assessment and prediction. The autoencoder technique in deep learning takes advantage of dimension reduction by stacked autoencoder (StAE) and dropout by sparse autoencoder (SpAE) for non-linear correlations of the landslide affecting factors and gives better feature descriptions than the original data. Physically-based methods, using geographic information system (GIS) and remote sensing for landslide susceptibility assessment and slope stability analysis, are more accurate than using statistical approaches, but which are not suitable for large areas. Therefore, statistical and data mining methods have received much attention. It is necessary for decision-maker to fast recognize large areas where landslides are expected to result in land use planning and disaster control. Landslide susceptibility prediction based on statistical approaches can achieve this goal efficiently.

As a case study for landslides triggered by earthquake, Iburi region of Hokkaido in Northern Japan are selected. The aim of this study is to evaluate the performance of an autoencoder framework based on deep neural network for prediction and susceptibility assessment of regional landslides triggered by earthquakes. Thousands of landslides were triggered by the Hokkaido Eastern Iburi earthquake on 6 September 2018 in Iburi regions of Hokkaido, Northern Japan. Most of the landslides (5,627 points) occurred intensively between the epicenter and the station that recorded the highest peak ground acceleration. Hundreds of aftershocks followed the major shocks. Moreover, in Iburi region, there is a high possibility of earthquakes occurring in the future. Effective prediction and susceptibility assessment methods are required for sustainable management and disaster mitigation in the study area. By applying 12 sampling sizes and 12 landslide affecting factors, 12 landslide susceptibility maps were produced using an autoencoder framework. The results of the model were evaluated using qualitative and quantitative assessment methods.

The ratios of the sampling sizes on the non-landslide points randomly generated from the combination zone including plain and mountain (PM) and a mountainous only zone (M) affected different prediction abilities of the model's performance. The 12 susceptibility maps, including the landslide susceptibility index, indicated the various spatial distributions of the landslide susceptibility values in both PM and the M. The highly accurate models explicitly distinguished the potential areas of landslide from stable areas without expanding the spatial extent of the potential landslide areas. The autoencoder is proved to be an effective and efficient method for extracting spatial patterns through unsupervised learning for the prediction and susceptibility assessment of landslide areas.

For case study of landslides triggered by extreme rainfall, the landslides of Oda City and Gotsu City in Shimane Prefecture, southwestern Japan are used. This study proposes the combined method of the advantage of deep learning and the benefits of machine learning for landslide susceptibility assessment. Both stacked autoencoder and sparse autoencoder in deep learning are combined with random forest acquired from results of a better predictive performance between support vector machine and random forest in machine learning. The prediction performance was compared by analyzing real landslide and non-landslide data. The prediction performance of random forest (RF) was evaluated better than support vector machine (SVM) in traditional machine learning so that RF was combined with both StAE and SpAE. The results show that the prediction ratio of combined classifiers was 93.2 % for StAE combined with RF model and 92.5 % for SpAE combined with RF model, which were higher than those of the SVM (87.4 %), RF (89.7 %), StAE (84.2 %), and SpAE (88.2 %), respectively. This study provides an example that combined classifiers give a better predictive ratio than using a single classifier. The asymmetric and unsupervised autoencoder combined with RF can exploit optimal non-linear features from landslide affecting factors successfully, outperforms some conventional machine learning methods, and is promising for landslide susceptibility assessment.

論文審査結果の要旨

近年、地震及び降雨による地すべりが多発し、地域社会に甚大な災害を及ぼしている。例として、2018年9月に発生した北海道胆振東部地震によって、5,600個以上の地すべりが発生し、人口密度の低い北海道においても、多くの方々は犠牲になった。また、2013年7月に、島根県西部で集中豪雨による激甚災害が発生し、土砂災害によって、鉄道や道路などインフラが大きな被害に遭った。地震及び降雨による斜面災害を軽減するために、地すべりの発生しやすさを予測することは重要である一方、地すべりに影響を与える因子間には相関性がないあるいは非線形であるため、従来の機械ラーニング技術による予測は限界がある。そこで本論文はディープラーニングと機械ラーニングを結合し、地すべり発生しやすさ評価及び予測を試みた。具体的に、1) ディープラーニングにおける次元低減できる **stacked** オートエンコーダとドロップアウトできる **sparse** オートエンコーダの長所を利用できるオートエンコーダ技術を開発し、高い精度の地理情報を有する胆振東部地震による地すべり事例に応用することによって、その有効性を示した；2) ディープラーニング及び機械ラーニングのそれぞれの長所を活かし、地すべり地形データ精度の低い島根県西部激甚降雨災害による地すべり事例に応用し、高い精度の予測結果を得た。本論文では、ディープラーニングは **stacked** オートエンコーダと **sparse** オートエンコーダを利用し、機械ラーニングはランダムフォレストと教師あり学習を用いるパターン認識モデルの一つであるサポートベクターマシンを利用した。

二つの方法を地震及び降雨による地すべりに応用して検証した結果、以下の結論が得られた。2018年に発生した北海道胆振東部地震によって発生した5,627個の地すべりに対して、オートエンコーダ技術を応用し、平野・山地の混在地域 (PM) と山地のみの地域 (M) において、12種類の異なるサンプリングサイズで試算し、12個の影響因子を考慮して、地すべり発生しやすさの結果を得た。得られた結果に対して、定性的及び定量的評価を行い、意図的な指示を出さなくても、自動的に精度の高い結果が得られることを確認できた。2013年島根県西部激甚災害による地

すべりに対して、ディープラーニングと機械ラーニングを結合して、従来の方法より高い精度の予測結果を得られた。今後は、実務における地震及び降雨による斜面災害の危険度評価への応用が期待される。

以上のように、申請者は地震及び降雨による地すべりの現地調査を行い、地すべりの発生機構を理解したうえで、広範囲地理情報データを利用して、地すべりに影響を与える地形、地質、植生、断層との距離、谷密度、地震加速度、降雨強度などの因子を総合的に考慮し、ディープラーニング手法で発生した地すべり事例に基づき、これから発生する地すべりの発生しやすさの評価及び予測を行った。既存データの精度に応じて提案した異なる解析手法に新規性があり、地すべりに対する専門知識を持たない人にも応用できる点は防災行政の助けになることが期待され、実務レベルまで応用可能にしたことは斜面防災分野への貢献度が高いと判断される。

研究成果は査読付きの国際学術誌 **Geoenvironmental Disasters** に2編投稿し公表済みである。2編の関連論文はともに、申請者が筆頭著者である。

以上を総合して、本論文は博士（工学）の学位授与のための論文として合格と判断した。