

氏 名	ご けつれい WU JIELING
本籍（国籍）	中華人民共和国
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	理工博 第13号
学位授与年月日	令和5年3月23日
学位授与の要件	学位規則第5条第1項該当 課程博士
研究科及び専攻	理工学研究科デザイン・メディア工学専攻
学位論文 題目	Study on Statistical Analysis of Post-Earthquake Road Use Recovery Characteristics and Its Application (東北地方における東日本大震災後の道路利用回復状況の統計解析とその応用に関する研究)
学位審査委員	主査 教授 齊藤 貢 副査 教授 今野 晃市 副査 教授 田中 隆充

論 文 内 容 の 要 旨

The Tohoku Earthquake of March 11, 2011, and the consequent tsunami caused severe damage throughout the northeastern coast of Japan. The transport network in the Tohoku region was severely damaged by this disaster. A huge earthquake and tsunami are predicted to occur in the Nankai Trough in the future. Furthermore, the three prefectures (Fukushima, Miyagi, and Iwate prefectures) on the Pacific side of the Tohoku region, are relatively similar to the three prefectures (Shizuoka, Aichi, and Mie prefectures) in the Tokai region in terms of the topographical environment. I think that the recovery of regional roads in the three prefectures affected by the Tohoku Earthquake can be studied to help promote the rapid recovery of these three prefectures in the Tokai region after the Nankai Trough earthquake that will almost certainly occur in the future.

Concerning post-earthquake road recovery research, many research reports on the recovery of motorways and general national roads after the 2011 Tohoku Earthquake are available. However, few studies have examined the road recovery of prefectural and municipal roads that play an important role in the daily lives of residents.

This study applied cluster analysis to examine the driving data in the

Tohoku region to classify the road recovery conditions among municipalities in the first six months after the disaster. The cluster analysis classifications were chosen according to a dendrogram and the agglomeration coefficients. In addition, I utilized ANOVA to check the significance of the differences between the clusters and selected five clusters that best represented the road recovery speed. The results of this cluster analysis can be successfully tested with discriminant functions. I visualized the five clusters' results, and then gained insights into road recovery characteristics through a geographic information system (GIS). Furthermore, the analysis of objective data reflecting regional characteristics showed that the road recovery conditions are similar from the viewpoints of topography, the importance of the road, snow, population density, damage, and geographical location.

In order to simulate the recovery of local roads in the Tokai region (Shizuoka, Aichi, and Mie prefectures), after the expected Nankai Trough earthquake, I analyzed and quantified these six factors in each pattern of road recovery in the Tohoku region and applied discriminant analysis to construct a road recovery prediction model. Firstly, I collected nineteen data points reflecting topography, the importance of the road, snow, population density, damage, and geographical location to build a database of the Tohoku region. Secondly, I used Pearson correlation analysis and multiple covariance analysis to screen and determine the parameters. Thirdly, I applied discriminant analysis and adjusted the parameters to determine which combinations of parameters produced the highest accuracy. The following eight parameters were chosen for the model with 72.4% accuracy: percentage of terrain, percentage of area above 100m elevation, percentage of area below 500m elevation, measured seismicity, percentage of important roads (such as highways and national roads), percentage of area at a distance from roads, minimum temperature, and employee density. Finally, I created the eight parameters for a database of the Tokai region to predict municipal road recovery in the Tokai region after the expected Nankai Trough earthquake and mapped the recovery on a geographic information system. The predicted results for the Tokai region match the results of the previous classification of the Tohoku region. However, most municipal roads will be restored in the fastest recovering cluster, and they may not be restored simultaneously in the event of a severe earthquake and a major tsunami.

To subdivide the predictive model into several more clusters, I

re-clustered the road recovery of municipalities in the Tohoku region by separating coastal and inland areas. It was found that municipalities with high coastal breakwaters which were not hit by the tsunami suffered less damage to their roads and recovered the fastest. In addition, a comparison of previous studies shows that it was the coastal clusters most severely affected by the tsunami that recovered most slowly, rather than the inland heavy snowfall areas, which was more in line with reality. Furthermore, Stepwise discriminant analysis was used to simplify the flow of the model. The road recovery of municipalities in coastal and inland areas of the Tokai region were predicted separately. The accuracy of the model improved from 72.4% to 80.0% along the coast and 77.8% inland. Furthermore, the overall condition of the Tokai region was better matched to the actual situation by increasing the number of clusters from the previous four to six.

In this study, I found characteristics that affect road recovery by classifying vehicle tracking maps in municipalities after an earthquake. In addition, I identified the influencing factors to create a database to apply to future predicted post-earthquake road recovery clusters. Based on the predicted road recovery, I hope to make recommendations for disaster mitigation, such as where it would be better to set up logistical centers in the event of a disaster. It is hoped that the results of my research will contribute to future disaster areas.

論文審査結果の要旨

本論文は、東北地方太平洋沖地震で甚大な被害を受けた太平洋側に位置する東北3県（岩手県・宮城県・福島県）における地震発生から6ヶ月間の道路走行状況を時系列でGIS上にデータベース化し、種々の統計分析手法を用いて東日本大震災からの道路復旧に関する要因について分析している。そして、太平洋側に位置する東北3県の沿岸部と地形環境が類似している東海3県（三重県・愛知県・静岡県）をモデルケースとして、今後起こることが予想されている南海トラフ地震に伴う津波被害により寸断される道路網の復旧経過について、東北地方太平洋沖地震後の道路復旧に寄与するデータ分析結果を基にモデル予測したものである。

本論文の構成は以下のようである。

本論文の第1章は序論であり、本研究の背景と目的および研究の流れを述べている。わが国が行った東日本大震災からの道路復旧計画の内容や、東北地方太平洋側に位置する3県の沿岸部と東海3県沿岸部の類似性について説明しており、東海3県の道路復旧経過を予測するための研究フローが示されている。

第2章では、本研究と関連の深い先行研究を整理して述べている他、自身の修士

課程での研究結果を簡潔にまとめて説明しており、博士研究との関連性や具体的な検討事項について述べている。

第3章では、本研究で使用した車両走行データ、データ分析に使用したハードウェアやソフトウェアなどのオペレーティングシステムについて説明している。

第4章では、本研究におけるデータ処理の方法、クラスター分析に基づくデータ分類とデータ評価について述べている。太平洋側に位置する東北3県を通る道路について、東日本大震災後6ヶ月間の車両走行台数のデータ処理を行い、クラスター分析により市町村ごとの道路復旧パターンが5つに分類されることを導き、分散分析によりクラスター間の有意性を確認している。さらに、判別分析により各クラスターに属する市町村の妥当性を検証している。クラスター分析結果をGIS上に可視化し道路復旧に関する要因を検証した結果、地形・道路の重要度・積雪・人口密度・被害度・地理的位置関係が寄与すると評価している。

第5章では、今後予想されている南海トラフ地震で津波被害を受ける可能性の高い東海3県の道路復旧状況について予測している。第4章で示された東北地方における分析結果を基に、道路復旧に寄与する要因に関する東海3県のデータベースを構築しクラスター分析を行っている。その結果、市町村ごとの道路復旧パターンは4つに分類され、多くの市町村が最も速く道路復旧されるクラスターに分類されると予測された。しかし、この結果は現実的な分析結果とはいえないことから、地理的特性を考慮したクラスター分析の必要性について説明している。

第6章では、第5章の結果を踏まえて地理的特性を沿岸部と内陸部とに分けて東北3県のデータベースの再処理、クラスター分析の再検討を行っている。再検討した東北3県のクラスター分析結果を基に、東海3県の沿岸部と内陸部について、それぞれクラスター分析により市町村ごとの道路復旧パターンを再構築している。東海3県のクラスター分析結果から、沿岸部・内陸部がそれぞれ独立した3つの道路復旧パターンに分類されることを導いており、分散分析によりクラスター間の有意性を確認している。そして、判別分析を用いた各クラスターに属する市町村の妥当性の検証結果から、地理的特性を考慮してクラスター分類したことによりモデル予測精度が向上したことを明かにしている。

第7章は、結論であり、本論文をまとめるとともに、地震・津波災害からの道路復旧に必要な事項について見解を述べている。

以上、本論文では、未曾有の災害である東日本大震災後の道路走行データをデータベース化し、統計分析を用いて道路復旧に関する要因の抽出、そして、今後予想されている南海トラフ地震で津波被害を受ける可能性の高い地域の道路網の復旧経過をモデル予測した。自然災害からの道路網の復旧状況を未然にシミュレートすることは、安全工学における災害情報学分野の発展に寄与するところが大である。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。

原著論文名（1編を記載）

Jieling Wu, Noriaki Endo, and Mitsugu Saito: Cluster Analysis to Extract Municipal Road Recovery Features in the Tohoku Region Following the 2011 Tohoku Earthquake, IAENG International Journal of Computer Science, Vol. 49, No.1, pp.232-240, March 2022