

京都大学	博士（工 学）	氏名	代 劍楠（DAI JIANNAN）
論文題目	Vitality recovery of major Japanese railway stations under COVID-19 (コロナ禍における日本の主要鉄道駅の回復力に関する研究)		
<p>（論文内容の要旨）</p> <p>The COVID-19 pandemic has significantly disrupted public transportation (PT) systems, highlighting the need for a comprehensive approach to assess its impact. This research introduces the concept of 'vitality' to capture changes in station activity during the pandemic, incorporating factors such as commercial activity, major events, and passenger ridership. The study focuses on major Japanese railway stations, using Mobile Spatial Statistics (MSS) data to analyze these changes.</p> <p>This research has two main objectives. Firstly, it aims to understand the patterns of changes in station vitality and the influencing factors during a pandemic. By employing clustering analysis and multinomial regression models, the study identifies key factors such as demographic shifts, travel behavior, and economic conditions that impact station vitality. Secondly, the research seeks to forecast long-term demand and balance service quality with operational constraints. ARIMAX and LSTM models are evaluated for their effectiveness in predicting post-pandemic demand trends, providing insights for PT operators to optimize service frequencies and resource allocation.</p> <p>The findings reveal that the number of lines serving a station and the ratio of local population using the station have a significant impact on demand loss. The advanced forecasting models demonstrate fairly high accuracy in predicting future demand patterns if there is sufficient amount of training period data, helping PT operators develop resilient service plans. This research hence offers some practical solutions to enhance the resilience and sustainability of PT systems during and after pandemics, contributing to the existing body of knowledge by providing a detailed analysis of station vitality.</p> <p>The thesis is organized as follows.</p> <p>Chapter 1 Introduction</p> <p>Chapter 1 describes the background and motivation for this research, emphasizing the critical need to address the impact of COVID-19 on PT systems. It reviews the challenges faced by major railway stations during the pandemic and outlines the primary objectives and contributions of the thesis. The chapter sets the stage for a comprehensive analysis by introducing the concept of 'vitality' and its relevance in understanding station activity.</p> <p>Chapter 2 Literature review</p> <p>Chapter 2 provides an extensive review of existing literature on the global and regional impacts of COVID-19 on public transportation. It discusses various data sources such as MSS, smart card data, and mobile phone data used to quantify these impacts. The chapter also highlights significant gaps in current research, particularly the need for a detailed understanding of station vitality and long-term demand forecasting.</p> <p>Chapter 3 Urban resilience framework</p> <p>In Chapter 3, a novel analytical framework based on the 4R theory (Robustness, Redundancy, Resourcefulness, Rapidity) is introduced to evaluate PT operator responses to the pandemic. The framework considers multiple dimensions, including institutional, physical, social, economic, and environmental factors, providing a structured approach to resilience. This chapter lays the foundation for subsequent data analyses and forecasts.</p>			

京都大学	博士（工 学）	氏名	代 劍楠（DAI JIANNAN）
<p>Chapter 4 Station clustering and demand analysis</p> <p>Chapter 4 details the methodology for clustering major railway stations based on changes in vitality using MSS data. It identifies five distinct clusters with varying levels of impact and explores the factors influencing these changes, such as demographic shifts, travel behavior, and geographic factors. The chapter provides a comprehensive analysis of short- and medium-term changes in station vitality, helping to identify key predictors of recovery.</p> <p>Chapter 5 Impact of land-use and other factors</p> <p>This chapter conducts a multinomial regression analysis to examine the influence of land-use factors, POI density, and other variables on station vitality. It delves into how different land-use types and the presence of various POIs affect station dynamics. The results indicate significant impacts from the number of service lines, the local population ratio, and other factors on demand loss and recovery, providing actionable insights for PT operators.</p> <p>Chapter 6 Long-term forecasting</p> <p>Chapter 6 evaluates the effectiveness of ARIMAX (Autoregressive Integrated Moving Average with Exogenous variables) and LSTM (Long Short-Term Memory) models for long-term demand forecasting. The analysis highlights the input data needed in order to obtain high accuracy of these models in predicting post-pandemic demand trends and optimizing service frequencies. The chapter also discusses the integration of external variables such as COVID-19 cases and policy measures into the forecasting models.</p> <p>Chapter 7 Service-level reduction trade-offs</p> <p>In Chapter 7, a theoretical model is developed to balance service quality and operational constraints during the pandemic. The chapter discusses the trade-offs between maintaining high service quality to stabilize demand and reducing operational costs to ensure financial sustainability. The model partially uses results of Chapter 6 to obtain demand recovery speed estimates. The results illustrate that the approach can be used to derive recommendations for PT operators to make informed decisions that ensure both cost efficiency and demand retention during and after crises.</p> <p>Chapter 8 Conclusions</p> <p>The final chapter summarizes the key findings and contributions of this research. It emphasizes the importance of station vitality in understanding PT resilience and provides recommendations for enhancing service planning and management during and after pandemics. The chapter also outlines future research directions, building on the findings of this study to further enhance the resilience and sustainability of public transportation systems.</p>			

(論文審査の結果の要旨)

コロナ禍は、公共交通 (Public transportation: PT) システムにも多大な影響をもたらした。しかしながら、既往研究においては、こうしたパンデミックにおける PT 需要の多面的な変動については十分に把握されていない。それゆえ、本論文は、モバイル空間統計 (Mobile Spatial Statistics: MSS) データなどを用いて、日本の主要鉄道駅の回復力について分析を行い、コロナ禍の影響を評価した上で、パンデミックの影響を緩和するための包括的な方法について考究した。本研究で得られた主な成果は以下の通りである。

1. MSS を含む様々なデータを編集・分析し、鉄道駅の回復プロセスを評価する指標を考案することで、コロナ禍が日本の主要鉄道駅に与えた影響の評価を行った。考案した指標は、パンデミックにおける鉄道駅の回復力を把握する際に利用できるものである。
2. パンデミックに対する鉄道事業者の対応を評価するため、4R 理論 (Robustness、Redundancy、Resourcefulness、Rapidly) に基づく新たな分析の枠組を提案した。提案された枠組は、制度的要因、物理的要因、社会的要因、経済的要因、環境的要因などの複数の次元を考慮して鉄道駅の回復力を評価するものであり、回復力の構造的な理解に役立つものである。
3. 主要鉄道駅のリカバリーカーブに対して、パンデミックの影響のパターンを特定するため、クラスタリング分析により 5 つのクラスターに分類した。これらのクラスターを目的変数とし、人口の変化、交通行動、土地利用の種類、POI (Point of Interest) を説明変数とした多項ロジスティック回帰分析を行い、鉄道駅の回復力に影響を与える要因を探索した。
4. パンデミック後の長期需要予測を行うため、ARIMAX モデルと LSTM モデルの有効性を検証した。これらのモデルは、十分な学習データを使用した場合、将来の需要予測において高い精度を示すことから、本モデルから得られた知見は、パンデミックにおける PT 事業者の需要予測の一助となるものと考えられる。
5. パンデミックにおけるサービスの質と運行コストのバランスを考慮して、最適な運行頻度を求めるための理論モデルを開発した。本モデルにより、需要の安定のために高いサービスレベルを維持することと、財政的な持続性を確保するために運行コストを削減することのトレードオフが検証可能となる。その結果、PT 事業者が、パンデミック時とその後、コスト効率と需要維持の双方を考慮した意思決定を行うための実践的な知見が得られた。
6. 提案されたモデル、ならびに、分析の枠組が、鉄道駅の回復力や効率性を向上させる上でどのように活用できるかを検証すべく、現実のシナリオに適用した結果、これらを適用することで、大きな経済的・社会的利益がもたらされる可能性が示唆された。

以上のように、本論文は、コロナ禍における日本の主要鉄道駅の回復力について科学的に検証したものであり、本研究で得られた知見は、パンデミックにおける PT の回復力を向上させるための実践的な解決策を提供し、PT の運行計画策定に大いに貢献するものであることから、学術上・実務上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士 (工学) の学位論文として価値あるものと認める。また、令和 6 年 8 月 27 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。