

## 審査の結果の要旨

ちゃん ちーふあ  
氏 名 張 嘉華

本研究は、東京のような大都市でとくに通勤ラッシュ時の鉄道サービスについて、近年、東京都市圏人口増加や経済成長に伴って、列車の頻度をさらに高めて輸送力増強を目指しているものの、短すぎる列車間隔とそれでも激しい車内が混雑することで引き起こされる乗降時の時間増大により列車の遅延を生じさせ、その結果、確保したはずの輸送力の低下まで引き起こす現象に着目し、この列車遅延に至るダイナミクスを的確に記述可能なモデルを確立するとともに、これを用いた均衡問題の定式化と解法、および数値計算例を通して、望ましい鉄道輸送計画設定のあり方について考察したものである。

2章では、鉄道交通のダイナミクスを記述するためのシステム全体を対象とするマクロモデルと、各列車の動きを記述するミクロモデル、また利用者行動を記述する需要側と、サービス事業者による列車ダイヤの組み方や準備する列車編成数などの供給側、という4つの視点から既存研究をレビューし、需要と供給双方を考慮した利用者均衡問題を鉄道FD (Fundamental Diagram) に基づくマクロモデルを用いて、この鉄道混雑ダイナミクスをモデル化する本手法の特徴とその必要性を整理している。

第3章では、鉄道システム全体を対象として、利用者数、システム内に供給されている列車数と鉄道交通流の3変数の関係を記述する鉄道FDモデルについて、駅での乗降による列車停車時間の影響を適切に表現する新たなモデルを提案している。これが鉄道混雑ダイナミクスを適切に記述できることを、ボストン地下鉄のオープンデータを用いて検証している。

第4章で、本研究で提案する鉄道FDに基づく粒子型記述マクロモデルの性能を、独自に開発したミクロシミュレーション計算結果と比較することで、その有用性を明らかにした上で、第5章では、朝の通勤ラッシュ時を模して、所与の鉄道サービスの頻度、投入列車編成数などの供給条件に対し、利用者各自が鉄道の遅れを含む旅行時間費用、早着費用、遅着費用を合理的に判断することで得られる利用者均衡を理論的に定式化し、この均衡状態の存在性証明をするとともに、この均衡状態の持つ基本的な性質について、数値事例計算を通して明らかにしている。

第 6 章では、提案したモデルを用いて望ましい鉄道サービスのあり方を考察するために、3つのシナリオを設定して数値事例計算を行っている。まず列車ダイヤの最適化問題を定式化してその解法を提示し、得られた結果を列車到着頻度を一定にする場合と、実際の東京で適用されているようなラッシュアワーの短時間に多くの列車を高頻度で投入する場合などと比較して、適度にラッシュ時は間引き、その前後の時間帯の列車頻度を増やした最適状態では、利用者費用の総和（旅行時間費用と早着・遅着による費用の総和）をそれ以外の場合よりも大きく削減できることが示されている。次に、混雑料金の導入を考え、まず時間的に連続変化する混雑料金を想定して、利用者均衡問題を定式化して解いている。この最適な混雑料金を導入すれば、利用者費用の総和をさらに大きく削減できることを示している。一方、時間的に連続変化する混雑料金の設定は現実には多くの困難があるため、単純な一定の増額されたピーク時料金を導入する有効性を検討している。適切なピーク時料金とその時間帯を設定すれば、かなりの効果が得られることを感度分析を通して明らかにした。加えて、ピーク時料金に前後のオフピーク時の料金割引を適切に組み合わせると、さらに列車車内の混雑緩和の効果が得られることを示している。

以上、本研究は、混雑した大都市圏の鉄道サービスについて、極端にピーク時に列車投入を集中させて利用者需要を満たそうとするよりも、むしろ過度に集中させない列車ダイヤと、さらに適切なピーク時料金制度を導入するほうが、これに利用者が行動を調節した均衡状態では、列車車内の混雑緩和と鉄道サービスの安定性（過度な列車遅れの回避）の確保が両立できる可能性をしたものであり、高頻度鉄道サービスを前提とした大都市鉄道システムのあり方に対して、交通工学・交通計画の分野において新たな知見をもたらした研究成果である。よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。