

氏名（本籍）	山村 明義（静岡県）
学位の種類	博士（工学）
学位記番号	乙第85号
学位授与の日付	平成31年3月22日
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当
学位論文題目	列車運行実績データの分析に基づく総合的な遅延対策に関する研究
論文審査委員	(主査) 教授 富井 規雄 (副査) 教授 宮崎 収兄 教授 前川 仁孝 教授 藤田 茂 東京大学大学院 教授 古関 隆章

学位論文の要旨

列車運行実績データの分析に基づく総合的な遅延対策に関する研究

鉄道を利用する旅客の定時運行へのニーズは極めて高く、列車遅延を解消することは鉄道事業者にとって重要な課題のひとつである。しかし、混雑率が高く、かつ2分～2分30秒間隔で運行する列車の遅延対策は容易ではない。また、信号設備やホームなどの設備改良を伴う遅延対策の意思決定は、大規模な投資と工期が長期間に渡るため高度な経営判断となることが多い。

東京地下鉄株式会社（以下、東京メトロという）では、旅客の定時運行ニーズに応えるべく、列車の運行状況を定量的に分析するため、全列車の全駅における到着時刻と発車時刻を記録した列車運行実績データを蓄積している。この列車運行実績データは、日々の運行状況を分析する上で多くの有益な情報が含まれており、膨大なデータから有益な情報を引き出し、対策に結び付けていくことが有意義であることは言うまでもない。本研究は、列車運行実績データの分析に基づく総合的な遅延対策について論じる。

第1章「序論」では、東京メトロ各路線の列車運行の現状や、1990年以前を振り返り220%を超える混雑率への対応として列車本数を増やし、列車間隔が短縮したことで遅延が増大しやすい状況となった経緯や、これまでに取り組んできた遅延対策など研究の背景を述べ、研究の目的を明らかにする。

第2章「これまでの遅延対策の取り組みとその効果」では、遅延発生と伝播のメカニズムについて述べ、遅延対策と対策実施に向けた課題を明らかにする。また、本研究の重要な位置づけである列車運行実績データの原理や、これまでに実施した遅延対策の効果について述べる。なお、これら遅延対策の効果については、第5章で記述する列車運行シミュレーションの条件として使

用する。

列車の遅延は、計画時刻と実際の運行時刻の差異によって生じる。また、それらの時刻は、駅停車時間と駅間の運転時間という 2 つの要素で決定される。第 3 章「列車運行実績データの可視化手法とその評価」では、これら 2 つの要素について、計画駅停車時間、計画運転時間との差異を視覚的に把握するための手法について述べる。ここでは、稲川、富井、牛田らが提案したクロマティックダイヤ図、遅延ダイヤ図、三次元ダイヤ図について、実務者の視点から比較評価を行なった結果を述べる。これらの手法により、ダイヤ作成担当者が、遅延の発生状況、伝播状況を直感的に把握し、その後の改善に資する知見を得ることができる。

第 4 章「列車運行実績データの分析に基づく遅延対策指標の提案とその評価」では、遅延の現状を定量的に評価するための指標を提案する。ここでは、駅停車時間増大量の指標である ED 値と運転時間増大量の指標である ER 値に基づいた ED/ER 分析及び ER 値が増加から減少に転じる ER 回復変化点に着目することで、定量的に対策箇所を選定できることを示し、これらの手法を東京メトロ半蔵門線の遅延対策に適用し評価した結果を述べる。

第 5 章「列車運行実績データの分析に基づく列車運行シミュレーションアルゴリズムの提案」では、連続する列車がそれぞれの駅を出発する時刻の差（本論では、出発時間差という）と運転時間の関係を示し（以下、運転時間特性という）、運転時間特性を用いた高精度な列車運行シミュレーションアルゴリズムを提案する。このシミュレーションを東京メトロ千代田線、半蔵門線に適用し、数秒の駅停車時間の変化が及ぼす遅延への影響を詳細に分析できることを示す。

第 6 章「駅間運転方法の変更による追い込み時間の短縮に基づく列車ダイヤの頑健性の向上」では、従来と異なった駅間の運転方法を採用することによって、列車間隔の余裕時間を生み出し、それによって頑健性を向上させることが可能であることを示し、その運転方法を見出すアルゴリズムを提案する。これによって、ある列車に遅延が発生したとしても、それが後続の列車に波及することが抑えられる。

第 7 章「結論」では、本研究で得られた成果、今後の課題について述べる。遅延対策の推進には、「Plan-Do-Check-Act」のサイクル（以下、PDCA サイクルという）を廻していくことが重要である。特に、「Plan」を論理的に構築することは、対策の意思決定に寄与するだけでなく、Do 機能、Check 機能、Act 機能をより有益に働かせることができ、より効果的な対策の展開へとつなげることができる。本研究を「列車運行実績データの分析に基づく総合的な遅延対策に関する研究」とし、第 3 章～第 5 章で論じる遅延の可視化、遅延対策指標、列車運行シミュレーションは、いずれも「Plan」の論理性向上の役割を担い、PDCA サイクル全体に寄与するものであること、また、第 6 章で論じる頑健性を向上させる運転方法は、駅停車時間の短縮が困難である場合の最終的な改善手法「Act」となりうることを示す。これらを通して、列車運行実績データが総合的な遅延対策の PDCA サイクルを廻していくための基本となることを示す。

審査結果の要旨

近年の都市圏の鉄道における大きな問題として、ラッシュ時に発生する慢性的な遅延がある。これまで、鉄道会社では、混雑の緩和を目的として、特に朝ラッシュ時に列車の増発を繰り返してきた。その結果、都市圏、特に、首都圏の多くの鉄道においては、1時間あたり25本から30本程度の列車が運転されており、このことは、おおむね2分から2分30秒程度間隔で列車が走行していることを意味する。そのため、何らかのトラブルによる僅かな遅れであっても、それは直ちに後続の列車に伝播し、広範囲なダイヤ乱れにつながる。さらに、相互直通運転の拡大によって、他の鉄道会社の路線にも遅延が伝播する傾向がある。

利用者からは、このような慢性的に発生する遅延に対する苦情が多く寄せられている。そのため、鉄道会社は、このような遅延を減少させるための対策に苦慮しているのが実情である。

本研究は、このような都市圏の鉄道における慢性的な遅延に対する対処法に関するものである。

第1章では、現状とこれまでの対策が簡潔に述べられている。小規模な遅延の原因は、ほとんどの場合、駅での停車時間の増加であることから、特に、駅での停車時間の増加を防ぐためにとられてきたさまざまな対策が紹介されている。

第2章では、遅延発生と伝播のメカニズム、対策実施に向けた課題等が述べられている。また、本研究の重要な位置づけである列車運行実績データの原理や内容が述べられている。列車運行実績データとは、運行管理システムによって取得される列車の着時刻と発時刻のデータで、全列車・全駅に対して、長期間に渡って取得可能であることから、列車の挙動の分析に有用であることが述べられている。

第3章では、列車運行実績データの可視化手法として、クロマティックダイヤ図、遅延ダイヤ図、三次元ダイヤ図を提案し、これらに対して、実務者の視点からの比較評価の結果が示されている。

第4章では、定量的な評価を目的として、遅延の現状を定量的に評価し、遅延対策を実施すべき箇所を特定するための指標とそれを用いた分析手順が導入されている。ここでは、ER、EDと称する、走行時間、停車時間に着目した指標が導入され、それらが遅延対策実施箇所の特定に有用であることが、現実のデータに対する結果をもって示されている。

第5章では、従来とは異なった考え方による列車運行シミュレーション手法（出発時間差による手法）が導入され、高速かつ高精度に列車運行シミュレーションが可能であることが示されている。すなわち、従来においては、最小駅間走行時分、最小運転間隔等を用いたシミュレーションが行われていたが、現実の運行実績データを分析した結果、列車は最小駅間走行時分、最小運転間隔通りには走行していないことを明らかにし、それらに変わる手法として、出発時間差による駅間走行時分の推定手法とそれに基づくシミュレーションアルゴリズムを導入している。また、この手法を現実の路線に適用し、精度の高いシミュレーションが可能であることが示されている。合わせて、このシミュレーション手法は、遅延対策実施時の効果の推定に有用であることが述べられている。

第6章では、駅間の走行速度を抑えることによって列車間隔の余裕時間を生み出し、それによって頑健性を向上させることが可能であることが示され、そのような運転方法を見出すアルゴリズムが導入されている。ここでは、駅間走行時分の増加や運転のしやすさ、乗り心地など、様々な要因が関連するため、インタラクティブシステムとして実現することの必要性が述べられ、そのような考え方に基づいてシステムが開発されている。また、このシステムを実在の路線に適用し、有効な成果が得られたことが示されている。

第7章では、結論として、本研究によって得られた成果が簡潔にまとめられている。また、それらを踏まえた今後の遅延対策の取り組み方針が述べられている。

本論文は、社会的に大きな問題となっている都市圏の鉄道の遅延対策について研究したものであり、現状分析や改善策の効果の推定等の手法について重要な知見を得たものとして価値ある集積であると認める。

従って、学位申請者の山村明義は、博士（工学）の学位を得る資格があると認める。