

|             |                                                |
|-------------|------------------------------------------------|
| 氏 名         | しま 嶋 もと 本 ひろし 寛                                |
| 学位(専攻分野)    | 博 士 (工 学)                                      |
| 学 位 記 番 号   | 工 博 第 2704 号                                   |
| 学位授与の日付     | 平 成 18 年 9 月 25 日                              |
| 学位授与の要件     | 学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当                        |
| 研 究 科 ・ 専 攻 | 工 学 研 究 科 都 市 社 会 工 学 専 攻                      |
| 学 位 論 文 題 目 | ネットワーク解析手法を用いた公共交通の運用管理及び評価に関する研究              |
| 論文調査委員      | (主 査)<br>教 授 北 村 隆 一 教 授 谷 口 栄 一 助 教 授 宇 野 伸 宏 |

### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、混雑の影響を考慮すべき都市圏の公共交通システムを対象とし、ネットワーク解析理論に基づく運用管理施策の評価手法を構築し、事業者のみならず乗客あるいは社会的目的に合致する施策レベルの提言に資することを目的とする。公共交通システム上の乗客流を記述する乗客配分モデルを基礎として、運賃、運行頻度、路線網などの運用管理パラメータの変化の影響を評価可能な数理モデルを構築している。公共交通システムをネットワークとして捉え、乗客間の公平性を考慮した施策実施の重要性を示した上で、実際の公共交通ネットワークを想定した適用計算結果の考察を通して提案した数理モデルの実用性を確認している。本論文は、以下の7章から成り立っている。

第1章は序論であり、研究の背景と目的および概要を示している。

第2章では、公共交通乗客配分モデルの概要と、モデル化のための乗客行動の仮定を示している。また、公共交通のサービス形態は、時刻表が明示的に利用者に提示される時刻表ベースサービスと、運行間隔のみが利用者に提示される頻度ベースサービスがあり、各々のサービス形態に適合するモデルの特徴について考察している。その結果、時刻表ベースサービスを対象とした乗客配分モデルは、時空間ネットワークの構築が必要であり、時刻表などの詳細入力データが必要となることもあるため、計算負荷が非常に大きく、特に新規路線の設計や大幅なサービスレベル変更を伴うケースへの適用が難しいことが明らかとなった。これらの点を考慮しつつ、本論文では、頻度ベースサービスの公共交通に適用可能な公共交通乗客配分モデルを取り上げ、その研究動向をとりまとめている。その結果、モデル構築にあたり common lines problem と容量制約条件をいかに扱うかが重要であることを指摘しており、これらを明示的に考慮した Kurauchi らが構築した乗客配分モデルをベースモデルとして分析を行うこととしている。次に、公共交通における最適施策決定モデルに関する研究動向をとりまとめ、多くの研究は乗客配分モデルを下位問題とした2段階最適化問題として定式化されているが、モデルに対応したネットワーク構築の困難さや計算負荷の問題のため、実規模ネットワークへの適用が行われていないこと、運行コストの削減など事業者の効率性向上を目的関数に設定しており、施策実施にともなう乗客の公平性について考慮されていないことが明らかとなった。

第3章では、本論文のベースとなる乗客配分モデルの定式化および解法を示している。頻度ベースの公共交通サービスを前提とし、Common Lines Problem および容量制約を明示的に考慮しているのがモデルの特長である。なお、基本モデルでは、乗客は次の列車の到着時刻を知らないと仮定しているが、本論文では、次の列車の到着に関する情報の提供効果を分析することを目的に、先に到着駅へ到着する確率により路線分岐するようにモデルの拡張を行った。2章で述べた時刻表ベースサービスを対象とした既存の乗客配分モデルとは異なり、ここで拡張したモデルは静的な枠組みの中で情報提供効果の評価が可能であり、計算負荷の軽減に資することができることが示されている。

第4章では、第3章で提示した乗客配分モデルを用いて、運行頻度増加、車両容量増加、列車の到着に関する情報提供、路線形状の改変、運賃制度の変更といった運用管理施策の実施が、乗客および事業者に及ぼす効果を比較分析している。そ

の結果、運用管理施策変更に伴い、乗客流が変化することが確認され、ネットワーク全体を俯瞰的に捉えた戦略的な施策を行うことにより、乗客全体の利便性向上に寄与しうることを明らかにした。また、施策導入による効果は OD ペアで一様ではなく、ネットワーク全体にとって効果が大きい施策でも特定の OD ペアにとっては不利となる例を示し、施策実施において乗客間の公平性を考慮する重要性を指摘している。

第5章では、運行事業者、乗客および社会的に最適な施策を決定するモデルを、第3章で提示した乗客配分モデルを下位問題とする2段階最適化問題として構築している。運行事業者と乗客、あるいは社会的な目的の間にしばしばトレードオフの関係が生じることを考慮して、上位問題を多目的最適化問題として構築している。さらに第4章における分析で施策実施にともない乗客間の公平性を考慮する重要性が示されているため、交通施策において考慮すべき公平性の概念に関して整理したうえで、乗客間の公平性最大化を上位問題における目的関数の1つに設定している。また、仮想ネットワークにおけるケーススタディの結果、構築したモデルが想定通り動作していることを確認している。

第6章では、第5章で構築した最適施策決定モデルが多目的最適化問題として構築していることもあり、実規模ネットワークへの適用が容易でないことを踏まえて、構築した最適施策決定モデルのロンドン地下鉄ネットワークへの適用を試みている。まず下位問題における乗客配分モデルの計算アルゴリズムの効率化を試み、計算時間がおおよそ1/3に短縮されたことが確認されている。そして、運行コスト最小化、総旅行コスト最小化、OD間距離あたりの一般化費用に関する公平性最大化の3つを目的関数とした適用計算を行った結果、複数のパレート解が得られ実規模ネットワークにおいても構築したモデルの適用が可能であり、モデルの実用性が示されている。

第7章は、結論であり、本研究で得られた成果を総括している。

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、都市圏における公共交通システムの機能的融合を目指して、ネットワーク解析理論に基づく運用管理施策の評価手法を構築し、事業者のみならず乗客ならびに社会的目的に合致する施策レベルの提言に資することを目的とする。公共交通システム上の乗客流を記述する乗客配分モデルをベースとして、運賃、運行頻度など公共交通の運用パラメータを変化させた場合のネットワーク全体への波及効果を表現可能な数理モデルを構築している。実際の公共交通ネットワークを対象とした数値計算を行い、得られた結果に考察を加えることで、提案した数理モデルの実用性を示している。得られた成果の概要は以下の通りである。

1. 路線選択行動を明示的に記述した乗客配分モデルを用いることで、公共交通の路線設計が空間的な乗客行動に及ぼす影響を表現し、ネットワークレベルでの公共交通システムのサービス水準解析の重要性を示した。
2. 路線形状、運賃、運行頻度などの運用パラメータの変化により、乗客流が変化することを確認し、その体系的な設計を通して、利便性の高い公共交通サービスの提供に結びつく可能性が高いことを示した。
3. 施策実施にともなう効果は起終点（OD）ペア間で一様ではなく、ネットワーク全体としては利便性向上に資する施策であっても、特定の OD ペアの利用については、不利益が生じる事例を提示し、運用施策の変更・改善の際に利用者間の公平性を考慮することの重要性を指摘した。
4. 多目的最適化問題として最適な施策レベルを提示する数理モデルを定式化し、社会的に望ましい状況と運行効率性のトレードオフを検討可能な手法を提案した。
5. 構築したモデルの計算アルゴリズムの効率化を行ったうえで実際の公共交通システムを想定したネットワークに適用し、提案した数理モデルの実用性を示した。

以上要するに、本論文は都市圏公共交通システムをネットワークとして捉え、運用管理施策の評価を行うことの重要性を示した上で、実際規模のネットワークにも適用可能な運用施策レベルの評価のための数理モデルを提案しており、学術上、實際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、平成18年8月31日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。