

交通系ICカードデータを利用した 公共交通運行コスト最小化 および運賃割引制度の検討

小幡 慎二¹・中村 文彦²・田中 伸治³・王 鋭⁴

¹学生会員 横浜国立大学大学院都市イノベーション学府(〒240-8501 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台79-5)
E-mail:obata-shinji-xb@ynu.ac.jp

²正会員 横浜国立大学大学院教授 都市イノベーション研究院 (〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台79-5)
E-mail:f-naka@ynu.ac.jp

³正会員 横浜国立大学大学院准教授 都市イノベーション研究院
E-mail:stanaka@ynu.ac.jp

⁴正会員 横浜国立大学大学院研究教員 都市イノベーション研究院
E-mail:wang-ruì@ynu.ac.jp.

本研究では、全国各地で導入が進んでいる交通系ICカードを用いて、東京都市圏のあるバス事業者の利用者の長期間に渡る利用履歴を追跡し、カードホルダーの習慣的なバス利用特性を把握することによって、特定路線区間の需要を詳細に把握し、その需要に見合ったバス運行計画の策定し、運行コストの最小化を図ること、また利用履歴に応じた運賃割引制度を設定することによってどの程度の需要喚起が見込めるかといった需要推定を目的とする。本稿ではその手法について述べる。

Key Words : *Smart card, Boarding log, Public transport, Urban bus, Operating cost, Fare structure*

1. はじめに

全国各地で導入が進んでいる交通系ICカードの特徴として、既存の交通調査での取得が難しい高精度な交通行動データの取得が連続的に可能であることが挙げられる。

本研究では、ICカードデータによる乗車記録データを用いて、東京都市圏のあるバス事業者の利用者の長期間に渡る利用履歴を追跡し、カードホルダー（特定のカードで乗車する個人、同一個人が同一のカードを保有していると仮定）の習慣的なバス利用特性を把握することによって、特定路線区間の需要を詳細に把握し、その需要に見合ったバス運行計画の策定し、運行コストの最小化を図ること、また利用履歴に応じた運賃割引制度を設定することによってどの程度の需要喚起が見込めるかといった需要推定を目的とする。

2. データの概要

本研究では、東京都市圏のあるバス事業者（1社）の

ICカード乗車記録データを用いる。このデータには、カードID（乱数化済み）、乗車停留所・日時、降車停留所・日時、乗車バスの事業者名および系統番号などが記録されている。既存の研究では、ICカード利用履歴データは、乗客行動を把握したり、公共交通のサービスレベル評価の分析に用いられたりしている²⁾。

分析対象の地域および事業者・路線は、以下の条件に基づき選定した。

- (1) 距離制を採用している路線（ICカードで、乗車・降車それぞれが記録されるため）
- (2) 積み残し等の需要と供給のバランスに課題がある路線

このバス事業者は、東京都市圏内の多くの地域をカバーする大規模な事業者であるが、本研究では、この事業者の乗車記録のうち、東京都市圏の郊外部の路線をカバーするある営業所が担当するバス系統を抽出する。この営業所は、東京都市圏の郊外部をカバーしており、1日平均乗降人員数が10万人を超える鉄道駅と郊外部の住宅地や観光地とを結ぶ路線を運行しているが、大学や業務

集積地、郊外の大規模な住宅地を結ぶ路線ではピーク時間帯において積み残しが発生している。データ元は国土交通省関東地方整備局である。

3. 研究フロー

本研究は、以下の図に示す手順で研究を行う。

需要推計においては、ICカードデータを分析し、ICカードホルダーの区間需要（バス停間需要）を推計する。

実地調査においては、対象地域に赴き、積み残しが発生している箇所の確認や、ICカード以外での支払い方法の件数の集計等を行う。

運行コストの最小化においては、鉄道の運行計画で用いられているアルゴリズムを用いて運行計画を策定し、その運行計画実施による運行コストを算定後、現状の運行コストとの比較検証する。

運賃割引制度の提案と評価においては、需要に即した運賃割引制度案を作成し、その制度案実施による交通行動変化や需要変化をモデルによって推計し、制度案実施による効果を評価する。

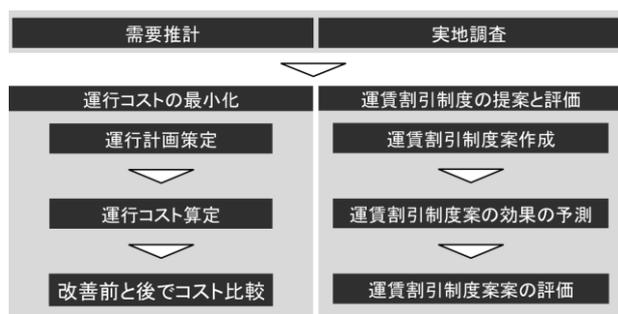


図 1 研究フロー図

4. 運行コストの最小化について

(1) 運行計画とは

鉄道において、一般的に運行計画とされるものは実務の現場においては輸送計画と呼ばれている。³⁾ 輸送計画は鉄道の輸送に関する計画のことを言い、その中心となっているのが、列車ダイヤ（列車計画）であり、その他にも、車両運用計画、乗務員運用計画、構内作業計画がある。本研究では、鉄道の輸送計画と同様な方法でバスの運行計画を策定し、それぞれの計画の内容を以下のように考える。

ダイヤの策定にあたっては、運転される区間、バスの種別、そのバスが通るバス停の着発時刻・通過停車の区別、ターミナル等における発車・到着バス停などを定める。この時、需要と利用者の利便性を考慮し、を考慮して、バス本数、運転区間、バスの種別、停車バス停などを決定する。

車両運用計画は、それぞれのバスに対して、どの車両を割り当てるかということを計画を定めたものである。内容としては、1日の車両の動きを定めた計画（行路）と行路の順番（交番）からなる。

乗務員運用計画は、それぞれのバスに対して、それを担当する乗務員の勤務の計画を定めたものである。内容としては、行路と交番からなる。労働時間や休憩時間などの制約条件が課される。

構内作業計画は、ターミナル等の始発・終着バス停で、終着後次の始発時刻までの待機場所や待機時間等のスケジュールを定めたものである。

鉄道総合技術研究所運転システム研究室著の「鉄道のスケジューリングアルゴリズム—コンピュータで運行計画をつくる—」³⁾は、各計画を効率的に策定する手法を紹介しており（表 1）、本研究ではこのような手法を参考に各計画を策定する。

表 1 各計画に対する解決手法

対象とする問題	モデル	解決手法 (アルゴリズム)
ダイヤの策定	(ダイヤ図)	
車両運用計画	巡回セールスマン問題	確率的局所探索
乗務員運用計画	集合被覆・分割問題	整数計画法、制約論理プログラミング
駅構内作業計画	PERT	確率的局所探索

(2) 需要の考え方

ダイヤの策定にあたっては、需要を考慮する必要がある。ここでいう需要とは、バス停間の需要を表しているが、時間的な需要をどのように捉えるかが課題となる。具体的には、どの程度の期間の括りで需要をまとめるかということであるが、本研究ではおおまかに日単位の需要と時間単位の需要を考える。

a) 日単位の需要

- 1日1日の需要
- 平日・休日別の需要
- 各曜日の需要
- 各週（例えば9月第一週、第二週・・・）の需要
- 1日の天気変化に対応した需要

b) 時間単位の需要

- 数時間ごと（例えば朝、昼、夕方、晩）の需要
- 1時間毎の需要

これらの需要の中には、単位ごとの需要に有意な差が無いものがある可能性もあるため、統計学的な検定を行い、有効な需要を用いる。

当然、ICカードデータでは、ICカード支払い以外での利用数を把握することが不可能であるため、ICカード支払い以外での支払い方法（現金、定期、高齢パス等）での利用状況を把握する必要があると考えられる。今井ら⁴⁾の研究は、交通ICカード取扱事業者への実態調査の結果として、都市部のバス事業者での交通系ICカードの利用率は20%から70%程度と事業者別に差があることを示している。そのため、今後、事業者へのヒアリング調査や現地調査によって、詳細な各支払い方法の時間別の変動等を把握する必要がある。

(3) 運行コストとは

国土交通省が発行した「地域公共交通の確保・維持・改善に向けた取組マニュアル」⁵⁾によると、バス事業者が負担する、バス事業に係る経費については、以下の表2に示す科目に細分される。

表2 事業者が負担するコストの構成

分類	科目	概要
運送費	人件費	現業部門の従業員に係る人件費
	燃料油脂費	事業用自動車に係わる燃料費及び油脂費
	修繕費	事業用固定資産の修繕に係わる費用
	減価償却費	事業用固定資産に係わる減価償却費
	保険料	事業用固定資産及び運送に係わる諸保険料
	施設使用料	事業用固定資産に係わる使用料
	自動車リース料	事業用自動車及びその付属品に係わるリース料
	施設賦課税	事業用固定資産に係わる租税
	事故賠償費	事故による見舞金、慰謝料、弁償金等
	道路使用料	有料道路料金
一般管理費	その他	現業部門に係わる経費で他の科目に属さないもの
	人件費	本社その他管理部門の従業員に係る人件費
	その他	管理部門に係わる経費で他の科目に属さないもの

このコストは事業者が負担するコストであるが、交通サービスの供給において非貨幣的費用（時間費用や環境に関する費用等）の果たす役割は大きいにもかかわらず、それらが市場価格で表現されていない点に困難があるという意見もあり⁶⁾、非貨幣的費用を含めた真の価値を反映させるような費用を計測することが重要であると考え

る。

そこで、本研究では表2に挙げたコストと非貨幣的費用を合わせた総合的な費用を運行コストとして考える。本研究においては非貨幣的費用として待ち時間による損失時間費用を考え、運行コストの最小化を図る。

乗客の待ち時間を考慮しない場合、例えば1日あたり合計10人乗車するバス停があったとして、10人以上乗車可能なバスを一回走らせれば需要は満たされ、また運行コストも最小化されることが考えられる。しかし、公共交通利用者含め、交通利用者は移動のために費やされる時間や労力、コストがより小さくなるように交通手段や交通経路を選択していると考えられるため、待ち時間を考慮しないのは現実的ではない。

(4) ダイヤ策定の設定メニュー

本研究では、以下の項目を設定メニューとしてダイヤの策定を行う。

- 運行本数・頻度を変更
- 定員が多いバスを導入
- 路線を延伸・短縮
- 快速運行の導入

(5) 制約条件

ダイヤの策定の簡便化を図るため、以下の項目を制約条件として設定する。

- 混雑度は、ある上限値以上にならない
 - 例：全員着席
- すべてのバス停において積み残しが発生しない
- 乗換数は基本的に0
- 乗換が発生する場合
 - 乗換数は最小化
 - 乗換待ち時間を含んだ総所要時間が少ない乗換バス停並びに路線を選択
- 渋滞による時間損失は考慮しない

(6) 運行コストの最小化について

示された需要を満たす運行計画は何種類にも渡って考えられる場合が存在すると考えられる。本研究では、その中でも運行コストが最小となるような運行計画を採用する。

5. 新たな運賃割引制度の提案について

(1) 運賃割引制度とは

運賃割引制度は需要喚起を図ることを目的として、乗車運賃の割引を行う事業者のサービスである。山口ら⁷⁾が行った、札幌市におけるポストペイ方式の交通系ICカードシステムを利用した乗車時間、回数等に応じた運賃

の割引に関する実証実験では、実験期間中は利用者の利用回数・利用金額が実験前に比べ約2割強伸びたとされ、利用履歴に応じた乗車運賃の割引制度の有効性が示されている。

本研究では、利用履歴に応じた運賃割引制度を数種類設定し、交通手段選択モデル・需要弾力性モデルを用いて、それらの制度が実施された場合の効果を評価する。

(2) 運賃割引制度の設定メニュー

本研究では以下のような運賃割引制度の設定メニューを考えている。

- 利用回数・頻度による割引
 - 利用回数による割引
 - 利用頻度による割引
- 時差割引
 - 例：朝夕ピーク時によく利用する人は、昼間の運賃は割引
- 乗継割引
 - 例：前回の乗車から〇〇分以内に乗り換えると次に乗車するバスの運賃は割引
- 往復割引
 - 例：同日に往復利用した場合、復路の運賃を割引

(3) 運賃割引制度の評価

交通手段選択モデル・需要弾力性モデルを構築し、運賃メニュー改善前と後で、利用者数の変化や利用者の行動変化を予測し、運賃割引制度の効果を算定する。

モデル構築にあたっては、実際の利用者に対してアンケート調査を行い、運賃等に対するパラメータの推定を

行う。

6. おわりに

今後は、事業者に対してヒアリング調査を行うことによって運転手の時給や燃料費の単価、車両数等を明らかにしたいと考えている。

参考文献

- 1) 岡村俊之・中村文彦・小幡慎二・王鋭、ICカード記録に基づく都市内路線バスの利用特性分析、土木計画学研究・講演集 Vol.45、2012
- 2) 高木勇弥・日下部貴彦・井料隆雅、中島良樹、朝倉康夫、ICカード乗車システムから得られる改札通過記録データを用いた鉄道旅客流動の分析、土木計画学研究・講演集 Vol.36、2007
- 3) (財)鉄道総合技術研究所運転システム研究室著「鉄道のスケジューリングアルゴリズム—コンピュータで運行計画をつくる—」、株式会社エヌ・ティイー・エス発行、2005
- 4) 今井龍一・井星雄貴・中村俊之・森尾淳・牧村和彦・濱田俊一、交通系 IC カードから取得できる動線データの活用に向けた考察～全国の交通系 IC カード取扱事業者への実態調査から得た知見～、土木計画学研究・講演集 Vol.45、2012
- 5) 国土交通省「地域公共交通の確保・維持・改善に向けた取組マニュアル」
- 6) 竹内健蔵著「交通経済学入門」、有斐閣ブックス発行、2012
- 7) 山口勝弘・山縣延文・野澤和行・望月隆志、ICカードと携帯機器を活用した都市交通の CRM の可能性、土木計画学研究・講演集 Vol.27、2003

(2013.8.2 受付)

A Study on the fare system and the minimization of operating cost of Public Transportation by using IC card data

Shinji OBATA, Fumihiko NAKAMURA, Shinji TANAKA, Rui WANG