

DRT システムコストモデルに関する研究*

A study on Cost Models for Demand Responsive Transport Systems

竹内 龍介**・大蔵 泉***・中村 文彦****

By Ryusuke Takeuchi**, Izumi Okura*** and, Fumihiko Nakamura****

1.はじめに

都市部で道路混雑による遅延、定時性の低下によるサービスレベルの低下や、自家用車利用の増大等、また地方部で、過疎化による人口減少や自家用車利用増加等の理由で、バス路線の路線廃止や運行本数削減が行われてきている。そのため、免許非保有者や高齢者等のモビリティ確保が困難な地域が増加している。

そのような背景の中、新たなサービスの一環として、公共交通需要が少ない地域に応じた、既存の交通サービスでは確保できない部分を補充する新しい考え方がある。その中で Demand Responsive Transport (DRT)システムは、利用者需要にダイナミックに対応したサービスを供給する可能性があるシステムとして期待される。

その一方、利用者の予約に応じ、その都度路線を設定するため、コストを検討する場合には、需要の変動に応じ、その都度スケジューリングや配車を行う必要がある。このため、DRT を対象地域に導入する場合、利用者予約に応じた配車により変動する、路線やダイヤ設定を考慮し、運転者の勤務形態や、導入車両台数を検討する必要がある。またその結果を踏まえ DRT システム導入・運行コストを算出する必要がある。

そこで本研究の目的を、既存バスのコストモデル研究の整理、路線設定・運行方法等の DRT システムの整理、DRT システムコストモデルを構築することとする。

* キーワーズ 公共交通計画, 公共交通運用

**学生員, 工修, 横浜国立大学大学院環境情報学府

***フェロー会員, 工博, 横浜国立大学大学院工学研究院

****正会員, 工博, 横浜国立大学大学院環境情報研究院

〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-7 (土木工学教室内交通研究室) Tel, 045(339)4039, Fax, 045(331)1707

2. 既存研究の整理

(1) 既存バスのコストモデル

既存バスでのコストモデルは、バスサービス提供する費用を、算出物によって構成される費用関数によって示し算定を行っている。スモール 1)は、企業の会計予算より、ピーク台数・路線長・台キロの変数を用いた、費用関数の作成を試みている。稲村ら 2)による分析では、財務分析をストック(貸借対照表)・フロー(損益計算表)・剰余資金処分表・運用資金表の財務的な分析を通し、経営状態の分析を行っている。田宮ら 3)は、バス運行費用関数及び混雑費用関数を利用した、コスト算出を行っている。溝上ら 4)は、乗車台数やバス走行台キロで与えられる算出物、燃料単価や人件費を導入物とし、短期の可変費用に着目した費用関数を利用し、消費者余剰を最大化するアプローチを取っている。井上ら 5)は、既存バスの営業費用と営業収入を基に、採算性を計算することにより路線別の営業評価を行っている。

(2) DRT 供給モデル

既存研究では巡回セールスマン問題(Traveling Salesman Problem; TSP)を中心とした最適化の手法がとられている。これは時空間的に散らばった利用者の予約を受付ける場合に、最適な配車を行う解の算出方法を検討している。森津ら 6)は、経路長と利用者サービスの加重平均を最小にするようなデマンドバスの配車を解く際に、利用者サービスと供給指標のパラメータ間の関係を算出している。

(3) 本研究の位置付け

DRT システムと既存バスの比較を、配車システム設定、所要時間の変動の 2 点に着目し整理する。

配車システム設定の過程を比較する。既存バスの配車を行う過程は、対象地域に(固定の)路線設定ダイヤ設定の順に行われる。一方 DRT では、対象地域設定 利用者の需要に応答した配車・路線設定

需要に応じてその都度ダイヤ設定という形式を取っている点で異なる。

次に走行時間/乗車時間の変動の原因を比較する。DRT の運行システムの特徴である、予約を受けて行う路線変更による所要時間変動と、既存バスの混雑による遅れは、その結果起こる総所要時間の増加による利用者不効用の増加に繋がる点で、類似している。然しながら、DRT は、各利用者の利用希望である予約に応じ、その都度路線設定をしている。そのため各個人は希望に沿って利用する点で、効用を受ける一方、他の利用者の予約による乗車時間増加の結果、不効用が増加する可能性が含まれている。また既存のバスは予め設定された路線で、交通渋滞等の不確定要素が原因となり、所要時間が増加し、利用者は不効用を受ける。以上の点で2つのシステムに差が現れる。よって本研究では、予約行為がダイヤ設定や導入車両台数に対する与える影響を考慮し、コストモデルを作成することを目的とする。

3 , DRT コストモデル概要

(1) DRT システム整理

都市交通の中では、バスとタクシーの中間に存在する公共交通と DRT は位置付けられる。また路線設定方法による分類は、路線・経路・停留所・時刻表の設定方法(固定もしくは非固定)、空間特性である路線設定と Trip 形態により、表 1 に示すような分類が考えられる。また配車やスケジューリングを行う際に検討する路線の設定方法には、空間特性の路線設定で検討した場合、起終点・中間停留所の設置や起終点出発時刻の設置がある。⁷⁾

(2) 運行システムの整理

利用者予約を受けて行う配車や運行に必要な、DRT 運行システムは、近年発達してきた情報通信技術が用いられている。利用者は、予約を E-mail や

表 1 DRT の分類

| 路線・経路 | 停留所 | 時刻表 | 空間特性 | |
|-------------------------|-----|----------------------|-----------------|--------------|
| | | | 路線 | Trip 形態 |
| 固定 | 固定 | 固定 (予約が無いと運行しない) | Fixed | One-to-One |
| | 非固定 | | | |
| 固定+迂回ルート | 固定 | 固定 (迂回ルートは予約に応じる) | Route Deviation | One-to-Many |
| | 非固定 | | | |
| 路線網固定 (予約に応じ路線設定) | 固定 | 非固定(予約に応じる) | Flexible | Many-to-One |
| | 非固定 | | | |
| 路線(網)非固定 (予約に応じ路線設定) | 固定 | 非固定(予約に応じる) | Flexible | Many-to-Many |
| | 非固定 | | | |

各所に設置されている情報端末(キオスク端末)を利用し、オペレーションセンターと連絡を取り、予約の照会を行う。供給側では、利用者予約や DRT 車両から送信されるリアルタイムでの情報を通して、コンピュータソフトを利用した配車をオペレーションセンターで行い、運行指示や予約照会を行う。⁸⁾

(3) DRT 運行コストの考え方

DRT 運行に必要なコストを、施設費用と運営費用に分類し検討する。施設費用は運用する際に必要な車両購入費や、配車を行う際に必要となるオペレーションセンター、車庫等の施設購入費がある。運営費用は、DRT 車両運転時に必要な運転者の人件費や燃料費、車両の修繕費や減価償却費が含まれる。

4 , DRT コストモデル構築

本章では、予約行為が運行コストに与える影響を、Route Deviation System の DRT で検討する。

(1) 対象地域及び路線の設定

対象地域は、既存の公共交通でバス・自家用車の分担率の高い地域を検討する。駅を中心とした郊外地域の場合、距離は 5km 程度⁹⁾となる。これより、駅を中心として 5km の路線とする。また固定路線に加え、DRT 路線の中間部に、利用者の予約に応じて運行する迂回ルートを設定する。(図 1 参照)

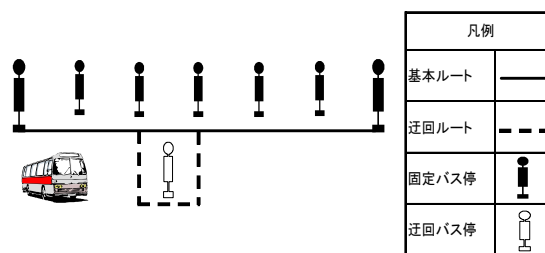


図 1 Route Deviation System 概念図

(2) 路線運行ダイヤ設定

運行ダイヤ設定に必要な値を表 2 に整理する。

表 2 運行ダイヤ設定項目

| 設定項目 | 値 |
|-----------------|---------------------------------------|
| 路線長 | 基本路線=5km, 迂回路線=1km |
| 走行速度 | 12km |
| 運転間隔 | 15, 30, 60分 |
| 折返時間 | 最低折返必要時間; 5分 |
| 迂回ルート 予約発生頻度 | ポアソン分布に従うと仮定、 平均値を30, 60, 120分とする。 |

(3) 運行費用設定

運行に必要な経費を表3に整理する。

表3 運行費用原単位¹⁰⁾

| コスト分類 | | 費用(km/円・台) |
|-------|---------|------------|
| 運送費 | 人件費 | 314.65 |
| | 燃料費 | 21.57 |
| | 修繕費 | 17.29 |
| | 固定資産償却費 | 28.71 |
| 一般管理費 | 人件費 | 20.86 |

(4) 運行コスト算出

1日の運行時間を10時間とし、運転間隔、迂回ルート予約発生頻度が変化した場合の、運行時間や必要車両台数等の運行状況変化や、その場合の運行コストを算出する。

(a) 運行状況

予約の発生確率及び運転間隔を変化させた場合、DRTの1日当りの総運行時間(折返時間と走行時間の総和)を図2に、必要車両台数を表4に示す。総走行時間は、予約発生頻度に応じ削減が可能だが、必要車両台数は、短期間に予約が集中した場合、最大限車両が必要となり、車両数削減は期待出来ない。運転間隔に着目した場合、総運転時間は全運行で予約に応じると、予約を受付けた運行を行わず運転間隔を半分にした場合と同様になる。必要車両台数は、予約発生頻度に関わらず、予約に応じ運行をした場合は、予約受付を行わず運転間隔を半分にした場合と同様の車両数が必要になる。

(b) コスト計算

表3で示した運行費用と、初期投資に必要な施設費用となる車両購入費用を用いて、DRTシステムの年間運行コストを算出する。導入車両は中型バスで購入費用を1000万円/台とする。図3より、運転間隔が短い場合は、予約発生頻度の減少に伴いコストが減少するが、運転間隔が長い場合は変化が見られない。施設費用では、変化の少ない車両購入費が4割程度占めていること(図4)、運行コストでは、予約に応じた走行時間の変化により、運行コストが削減できる。また運行コストの内訳を図5に示す。これより、折返時間の変化がコストに影響を与えている。

(c) ダイヤ設定が運行に与える影響

上記の計算では、迂回ルートを実行する場合と、しない場合で、1往復に掛かる時間(走行時間+折返し時間)が変化する場合を検討した、ここでは迂回ル

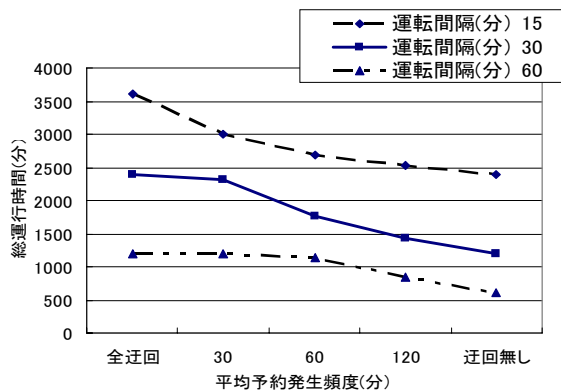


図2 運行頻度・予約発生頻度別総運行時間

表4 運行頻度・予約発生頻度別導入台数

| 導入台数(台) | 平均予約発生確率(分) | | | | |
|------------|-------------|----|----|-----|------|
| | 全迂回 | 30 | 60 | 120 | 迂回無し |
| 運行間隔(分) 15 | 6 | 6 | 6 | 6 | 4 |
| 運行間隔(分) 30 | 4 | 4 | 4 | 4 | 2 |
| 運行間隔(分) 60 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 |

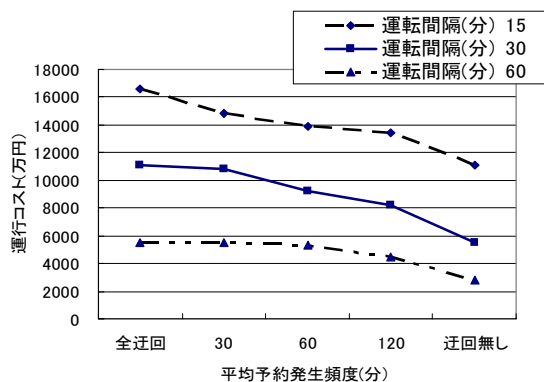


図3 DRT年間運行コスト

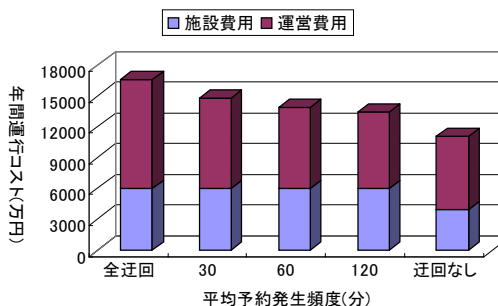


図4 コストの内訳(運転間隔 15分)

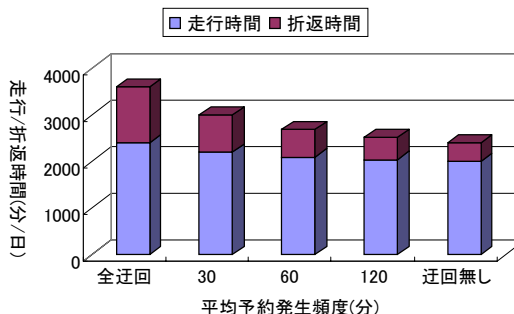


図5 運行時間の内訳(運転間隔 15分)

トの運行に関わらず、1 往復に掛かる時間が変化しない場合を検討する。表 2 の条件のうち基本路線長を 4km・運転間隔が 15 分と設定した場合の総運行時間を図 6 に示す。この場合、総運行時間及び必要台数は、予約発生頻度に関係なく一定となり、コストも同様に一定となる。

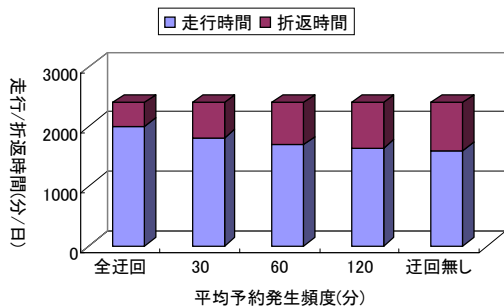


図 6 総運行時間内訳(路線長 4km, 運転時間 15 分)

5. 運行コストと予約受けの関連

本章では、予約が集中する場合に、一部の予約を拒否した場合の導入台数とコスト変化の関係を検討する。導入台数を 1 台削減し、運行コストを削減した場合の予約の拒否率と予約を拒否した場合のコスト削減率の関係を図 7 に示す。予約を拒否することにより、走行時間や導入車両台数を削減でき、コストが 1~2 割程度削減される。

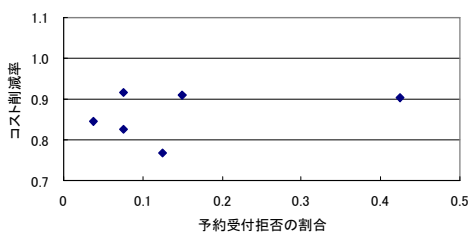


図 7 予約拒否とコストの関係 (路線長 5km)

6 , Dynamic な路線設定の場合の拡張可能性

利用者の予約に応じ路線・ダイヤを決定する Dynamic System な DRT へのコストモデルの拡張可能性を検討する。

利用者の予約に応じ、路線を設定する場合に必要な制約条件は、既存研究より走行時間/距離の最小化、各利用者の待ち時間や乗車時間の最小化、車両定員等がある。これらの条件を満たす配車を行う場合、予約の受付方法、配車方法、その結果掛かるコストの関係を定量的に測定する必要がある。

7 , まとめ

本研究では、既存バスのコストモデルの整理を行い、また DRT システムの整理を行うことを通し DRT システムでのコストモデル構築を試みた。

Route Deviation System の DRT システムでは、時間的に変動する需要に応じコストを検討する必要があり、既存バスのように平均的にコストを検討せず、確率的にコストを算出する方法が望ましい。

利用者予約が短時間に需要が集中した場合は、最大限のコストが掛かり、迂回ルートを固定路線の一部として運行する場合とコストに違いが見られないこと、またダイヤ設定にコストが影響されることを Route Deviation System 導入時に考慮する必要がある。

今後の課題は、Dynamic System の DRT に対するコスト評価を把握することとする。

参考文献

- 1) ケネス・A・スモール:都市交通の経済分析 第 3 章 費用, 勁草書房, 1991
- 2) 稲村肇・谷口正明: 公営バス事業者の財務分析、第 25 回日本都市計画学会学術研究論文集, pp-61-66, 1990 .
- 3) 田宮行郎・榛沢芳雄・福田敦: バスサービス改善策の経済評価に関する基礎的研究, 土木計画学研究・講演集, No.13.(1), pp.645-650, 1990 .
- 4) 溝上章志・松井寛: バス路線評価指標の開発に関する 2, 3 の研究, 土木計画学研究・論文集, No.9, pp.265-271, 1986
- 5) 井上信昭・堤香代子・樺木武・坂本淳一: 人口減少地域を含む地方都市圏のバス交通の展望と課題, 土木計画学研究・論文集, No.13, pp.751-760, 1996 .
- 6) 森津秀夫・枝村俊朗・佐溝純一: 経路探索型デマンドバスのシミュレーション, 第 4 1 回土木学会年次学術講演会講演概要集, pp249-250, 1986
- 7) Yngve, Westerlunf ,el al. : Transport Telematics for Elderly Users: Successful Use of Automated Booking and Call-back for Demand Responsive Transport Services in Gothenburg, 7th World Congress on ITS CD-proceeding , 2000
- 8) Robert, Cervero; Paratransit in America ,Praeger, 1997
- 9) (財) 運輸経済研究センター: 平成 7 年大都市交通センサス, 1997
- 10) (社)日本バス協会編: 1997 年版 日本のバス事業 ,1997