

1. はじめに

近年需要応答型交通システム (Demand Responsive Transport, DRT) の導入が増加しており、過疎地域の効率的な交通手段として注目を浴びている。しかし、DRT の導入にあたって、運行費用と実現可能なサービスレベルの関係を十分検討されていないのが現状である。このような背景のもと、筆者らは、DRT 導入時における事業評価のための利用者行動を考慮した DRT 車両割り当てモデル¹⁾を提案している。本稿では、想定される移動需要に対する DRT および固定路線バス路線サービスについて、そのサービスレベルや収益率を比較した結果を報告する。

2. 車両割り当てモデル¹⁾

(1) モデルのフレームワーク

事業者が最適な運行計画を策定する上位問題と、利用者の最適化行動を表現する下位問題の 2 段階最適化問題として定式化した。定式化にあたり、以下の仮定を設定する。

- ・ DRT の運行形態はミーティングポイントでの乗降のみを取り扱う Semi-Dynamic 型とする。
- ・ 乗客の乗車希望は事前に把握可能とし、最も効率的に乗客を車両に割り当てる。
- ・ DRT の乗車定員を超えた乗客は乗車できない。
- ・ DRT の乗客需要は確率変数を用いて表す。
- ・ 乗客の機関選択に対して混雑は生じない。

本モデルの特長は、利用者行動と利用料金の関係を考慮している点である。利用者は他の交通手段と比較した上で交通機関を選択するものとするが、混雑を考慮しないことにより、最適行動の結果は総走行時間の最小化と記述できる。

(2) 変数定義

- $\mathbf{v}$ DRT バスが走行すれば 1, そうでなければ 0 をとるベクトル (DRT 経路候補数のベクトル)
- $\mathbf{r}$ DRT の運行費用 (DRT 経路候補数のベクトル)
- $\mathbf{s}$ DRT 車両の容量 (DRT 車両数のベクトル)
- $\mathbf{y}$ 乗客の経路フロー (乗客の経路候補数のベクトル)
- $\mathbf{t}$ 乗客経路 k の所要時間 (乗客経路候補数のベクトル)
- $\mathbf{f}$ 乗客経路 k の料金 (乗客の経路候補数のベクトル)
- α 時間価値
- $\mathbf{o}$ 乗客需要 (OD ペア数のベクトル)
- G DRT を 1 台備車するのに必要なコスト
- Δ DRT リンク - DRT パスインシデンス行列

- Θ DRT 車両 - DRT パスインシデンス行列
- Γ DRT リンク - 乗客パスインシデンス行列
- Φ 乗客バス - OD ペアインシデンス行列
- Π DRT リンク - DRT 車両インシデンス行列
- $\mathbf{s}_l$ l の DRT 車両により構成されるネットワーク

(3) 定式化

DRT 事業者は、あらかじめ設定された運行経路候補から経路を選択するとし、利用者は DRT 事業者が設定した経路と、DRT を利用しない場合のコスト (ここではタクシー利用を想定) を比較し、一般化費用が小さい方を選択とする。DRT 事業者は利用者の行動を考慮した上で運行経路を選択することとなり、以下の最適化問題で記述できる。

$$Z(\mathbf{f}, \mathbf{s}_l) = \min_{\mathbf{v}} (\mathbf{r}^t \cdot \mathbf{v} - \mathbf{f}^t \cdot \mathbf{y}^*(\mathbf{v}))$$

subject to

$$\Theta \cdot \mathbf{v} = \mathbf{1}_{|l|}$$

$$\mathbf{v} = \{0, 1\}$$

$$\mathbf{y}^*(\mathbf{v}) = \arg \min_{\mathbf{y}} ((\alpha \mathbf{t} + \mathbf{f})^t \cdot \mathbf{y})$$

subject to

$$\Gamma \cdot \mathbf{y} - \text{diag}(\Pi \cdot \mathbf{s}) \cdot \Delta \cdot \mathbf{v} \leq \mathbf{0}$$

$$\Phi^t \cdot \mathbf{y} = \tilde{\mathbf{o}}$$

$$\mathbf{y} = \{0, 1, 2, \dots\}$$

上位問題の目的関数は事業者の費用最小化 (= 収入最大化) である。制約条件は、各 DRT の車両に対してひとつの経路しか選択できないことである。目的関数中の乗客フロー $\mathbf{y}^*$ が下位問題の解として得られる構造となっている。下位問題は、上位問題の決定変数 $\mathbf{v}$ を与件として乗客が最適化行動した結果得られる総走行時間最小化状態を記述している。車両容量制約と移動需要の保存則が制約条件である。

3. DRT と固定路線バスの比較

(1) 対象ネットワーク

本研究では図 1 に示すような 7×7 の格子状の仮想道路ネットワーク上で分析を行う。乗客需要は各格子点で 0.3 ~ 0.4 の確率で発生し、バス停 6 で降車するとした。DRT の運営は県または市町村が行うことを想定し、導入車両は乗車定員 19 人のマイクロバス 1 台とした。ここでの分析では平均 17.6 人の移動需要が発生しており、比較的高い需要が

実現されているケースを想定している．乱数を用いて 300 個の需要パターンを作成し，それぞれに関して車両割り当てモデルを用いて DRT の運行計画を決定する．これを 1 日 10 便の運行を 1 ヶ月行った結果と見なし，12 倍することで年間の運行経費および利用者の一般化費用を算定した．固定路線バスは，6 経路のうちいずれかを走行するものとし，DRT は需要発生に応じて各経路のいずれかひとつを走行するとした．利用料金は全てのケースにおいて一律 200 円である．利用者は DRT 以外にタクシーも利用可能とし，その利用料金は 1km 当たり 400 円とする．

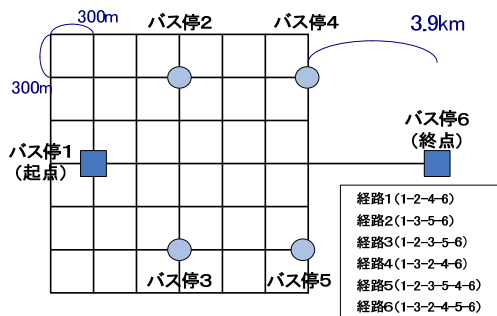


図1 対象ネットワーク

(2) DRT の運行費用

DRT の運行費用は，走行距離に応じて発生する運営費用と，システム維持のために必要となる資本費用に分けて考え，資料2)を参考に表1のように設定した．

表1 DRT の運行費用²⁾

分類項目	内容	費用	単位
資本費用 (固定費用)	システム賃借料	3,480,000	(円/年)
	通信料	1,100,000	
	車両減価償却費	677,250	
	人件費(ドライバー)	4,000,000	
運営費用 (可変費用)	燃料油脂費	33	(円/km)
	車両修繕費	19.54	
	その他諸経費	91.83	

(3) 計算結果の考察

図2は，運行形態ごとに資本費用と運営費用，そして料金収入を示している．図より，全てのケースで料金収入が運行費用を下回っており，ここで想定した計算条件では路線バス，DRT とともに料金収入のみで運営を続けることは困難である．また，DRT は，料金収入が最も多いものの支出も多い．図中に括弧書きで収益率(料金収入/総費用)を示したが，これより経路1あるいは2へ固定路線バスを運行することが最も効率的であり，かつ行政あるいは地域の負担額も小さい．費用の内訳を詳しく見ると，DRT 特有の費用であるシステム賃借料および通信料が大きな負担となっていることが明らかであり，DRT は決して安価で運行できる交通システムとはいえない．ただし，運営費用に対する効率性という観点ではDRT が路線バスより優れている．

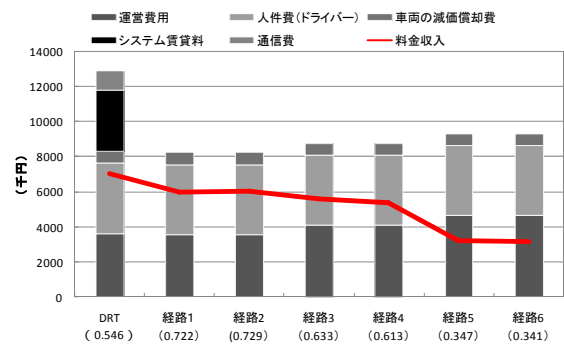


図2 各運行形態における費用の内訳と料金収入

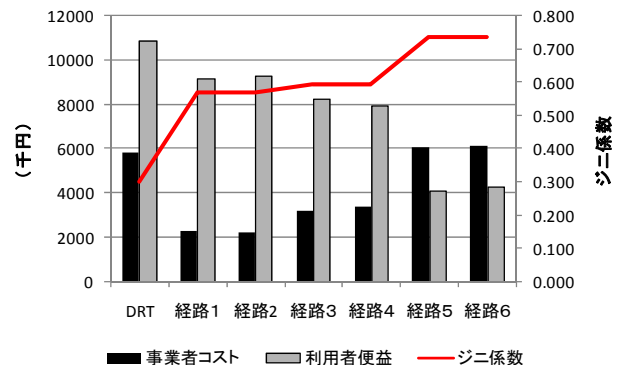


図3 総便益とジニ係数

次に，利用者の観点から考察する．図3には，事業者コスト(=総費用-料金収入)，利用者便益(=タクシーを利用した場合の総一般化費用-バス運行時の総一般化費用)および利用者便益の配分に関する利用者間格差を示したジニ係数を示した．図より，事業者の赤字額はDRT が最も大きいものの，利用者便益は最大であることが確認できる．また，ジニ係数の値をみれば明らかのように，DRT に関するジニ係数は固定路線バスと比較して小さく，より広範囲の人にシステム導入による便益が分配されている．

4. おわりに

本稿では仮想ネットワーク上でのDRTと固定路線バスの比較を通してDRTの特性を考察した．その結果，ここでの計算条件に限定されるが，DRTは固定路線バスに比べて採算性に劣るものの利用者便益は高く，利用者便益は広く地域に分配されるということが確認された．DRTの採算性を悪化させているのは予約システムに関する負担であり，既存のタクシー会社のシステムの活用あるいは共同割り当てセンターの設置などが効果的と考えられる．

参考文献

- 1) 倉内文孝, Sumalee Agachai, 堀場詳二: 「利用者の交通機関選択を考慮したDRT運行計画モデルの構築」, 土木計画学研究・講演集, 35, CD-ROM, 2007
- 2) 日本バス協会編: 「日本のバス事業2007」