

利用者の交通機関選択を考慮したドア・トゥー・ドア型DRTの配車モデルの開発

岐阜大学 ○郭 敏・倉内文孝・高木朗義

香港理工大学 SUMALEE, Agachai

1. はじめに

従来の地方部における公共交通サービスはバス走行環境の悪化により採算が取れない路線も出てきた。このような背景のもと、新たな公共交通の形態として、DRT (Demand Responsive Transport, 需要応答型交通システム) が日本や諸外国の多くの地域で導入されている。これは利用者の要望 (デマンド) に応じてルート迂回する、または利用希望のある地点まで送迎してくれるフレキシブルな交通システムである。しかしながら、DRT導入にあたって想定される運行コストと実現可能なサービスレベルについて十分な検討ができていないだけでなく、また事前検討できる方法論も未整備である。本研究ではドア・トゥー・ドア型DRTを対象とし、導入の際にその採算性や実現されるサービスレベルを料金設定や導入車両の違いに対して適切に表現できるアルゴリズムを構築することをめざす。そのために、利用者の交通機関選択を内包したDRT配車モデルの構築を行う。

2. DRT 配車モデル

(1) 前提条件

利用者とDRT運行事業者には次の前提条件をおく。

- ① DRTサービスは、ドア・トゥー・ドア型とする。
- ② DRT車両には乗車定員が設定される。
- ③ DRT車両を走行するにはその経路の距離に応じて運営費用が必要になる。
- ④ 利用者は利用料金および所要時間を考慮し、一般化費用が小さい機関を選択する。

(2) 定式化

DRT事業者は利用者の行動を考慮した上で運行リンクを選択し、乗客はDRT事業者から提示された運行経路を元にDRT利用時のコストを算出しタクシーあるいはDRTのいずれかコストが小さい方を選択するとしよう。これは、事業者と乗客間の非協力ゼロ和ゲームとなり、等価な数理問題は次のように記述できる。

$$\max_{\mathbf{x}, \mathbf{y}} \mathbf{f}^t \mathbf{y} - \mathbf{c}^t \mathbf{x} \quad (1)$$

subject to

$$\Delta_v^t \mathbf{x} = \mathbf{b} \quad (2)$$

$$(\mathbf{t} + \mathbf{f})^t (\mathbf{y} - \mathbf{y}') \leq 0 \quad \forall \mathbf{y}' \in \Omega \quad (3)$$

$$\mathbf{x} = \{0, 1\}, \mathbf{y} \in \mathbf{N} \quad (4)$$

ここで、 \mathbf{t} : リンクの所要時間、 \mathbf{f} : DRTの利用運賃 (分相当)、 \mathbf{c} : DRTリンクのDRT運行費用 (分相当)、 \mathbf{y} : 乗客別リンクフロー、 \mathbf{x} : DRT車両のリンクフロー、 \mathbf{b} : ノードでのDRT車両の発生集中量、 Δ_v : DRT車両のノードリンク接続行列である。目的関数は事業者の収益最大化を、制約条件はDRT車両のフロー保存則である式(2)、利用者均衡条件を表す式(3)と変数の非負条件かつ整数制約条件である。また、 Ω は乗客フロー \mathbf{y} の実行可能集合であり、以下の2つの制約条件を満たすもので定義される。

$$\text{を } \Delta_p^t \mathbf{y} = \mathbf{p} \quad (5)$$

$$\mathbf{y} \leq \mathbf{S} \mathbf{x} \quad (6)$$

ここで、 \mathbf{p} : ノードでの乗客の発生集中量、 Δ_p : 乗客のノードリンク接続行列、 \mathbf{S} : DRTリンクの車両容量である。式(5)は乗客フローの保存条件を、式(6)はDRT車両の容量制約を示している。利用者は最短経路を選択するため、その結果生じる状態を式(3)の変分不等式条件で記述している。本研究では、リンク走行時間 \mathbf{t} は定数として取り扱うことにした。式(3)の変分不等式条件式は、全ての実行可能解 \mathbf{y}' に対して不等号制約が満たされている必要がある。この点については、Lawphongpanich and Hearn¹⁾により、実行可能領域が線形式で記述されている場合には、端点解についてのみ上記の条件を確認すれば十分であることが証明されている。そのため、(3)式は、端点解集合を用いて以下のように記述可能である。

$$(\mathbf{t} + \mathbf{f})^t (\mathbf{y} - \hat{\mathbf{y}}^k) \leq 0 \quad \forall k = 1, \dots, K \quad (7)$$

式(7)は未知変数 \mathbf{y} に対する線形式である。以上をまとめると、次のように記述することが可能となる。

$$\max_{x,y} g^t z \tag{8}$$

subject to

$$\Delta^t z = d \tag{9}$$

$$Az \leq e \tag{10}$$

$$x = \{0,1\}, y \in N \tag{11}$$

$$g = \begin{pmatrix} -c \\ f \end{pmatrix}, z = \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}, \Delta = \begin{pmatrix} \Delta_y \\ \Delta_p \end{pmatrix}, \tag{12}$$

の定義を規制に入れると,

$$d = \begin{pmatrix} b \\ p \end{pmatrix}, \tag{13}$$

$$\hat{Y}^K = (\hat{y}^1 \dots \hat{y}^K), \tag{14}$$

$$A = \begin{pmatrix} 0 & T_K \\ -S & I \end{pmatrix}, e = \begin{pmatrix} (\hat{Y}^K)^t (t + f) \\ 0 \end{pmatrix} \tag{15}$$

となる. この問題は, 混合整数線形計画問題 (MILP) となっている.

(3) ネットワーク表現

ドア・トゥー・ドア型DRTを考慮するためには, 乗客のリクエストによって必要なノードを生成しその後リンクを自動生成するような方法論を開発する必要がある. ここでは実現し得るノード接続に対してリンクを生成し, それを用いて前述の最適化問題を解く. DRT車両数が1台, 乗客数がn人のときには, ノード数が $(2n+2)+2n$, DRTリンクが $4n^2-n+1$, 乗客リンクが乗客ごとに $4n^2-3n+3$ 必要になる. 例として, 乗客が2名である場合のネットワーク記述を図1に示す. このケースでは, DRTリンク数が15, 乗客リンクが26となり総未知変数は41個となる.

3. 試行計算

構築されたモデルを用いて DRT 車両 1 台, 乗客 3 人のケースで試行計算を行った. 設定条件は表 1 に示すとおりである. 配車結果を示したのが図 2 である. 計算ケース(a)の場合には, 利用者 1 のみが DRT を利用し, 利用者 2, 3 はタクシー利用となった. 計算ケース(b)の DRT の利用運賃と運行コストを低下させた場合には 3 名全てが DRT を利用することが最適解となった. また, それぞれの計算ケースにおける事業者の便益とタクシーを利用するケースと比較したコスト差で表現される利用者便益を計算した結果も図 2 に併せて示している. 今回設定した運行費用や料金設定では, 事業者の便益がマイナスとなっている. この計算では事業者が運行サービスを行わないという選択

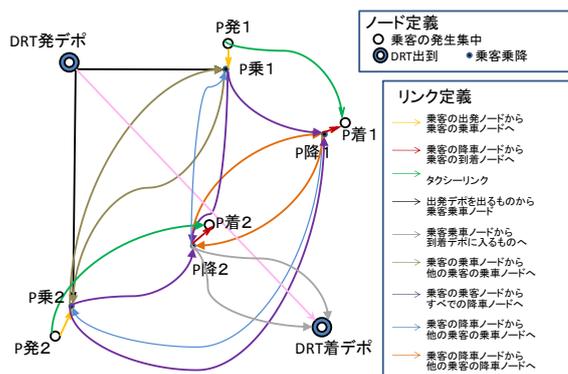


図 1 ネットワーク表現

表 1 計算設定

	ケース(a)	ケース(b)
DRT 運行費用 (円/km)	250	150
DRT 運賃 (円)	500	400
タクシー費用 (円/km)	500	
時間価値 (円/分)	50	
DRT 単位走行時間 (分/km)	4	
タクシー単位走行時間 (分/km)	2	

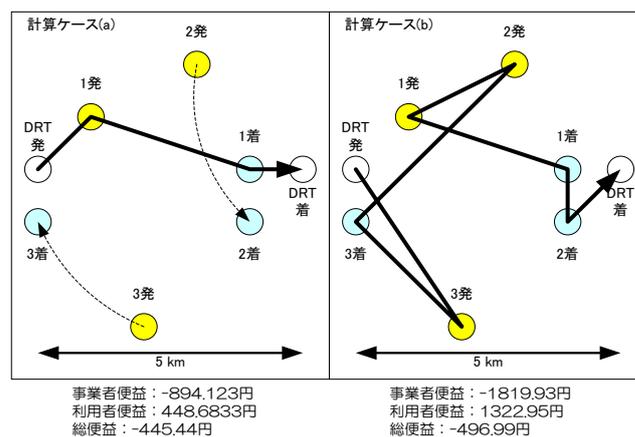


図 2 試行計算結果

肢を除去しているが, それを許せばいずれのケースも DRT は運行されない, という結果となる. 利用者便益は, タクシーという交通手段が確保されている以上負になることはないが, 当然より多くの利用が促進された計算ケース(b)の方がその額は大きい.

4. おわりに

ここでは, 利用者の交通機関選択を考慮した DRT 配車計画モデルを構築し, 仮想ネットワークにおける簡単な計算例を示した. 今後は, 仮想ネットワークでの計算結果から DRT 導入時の特性を整理し, 実際の状況での導入効果分析を進める予定である.

【参考文献】

1) Lawphongpanich, S. and Hearn, D. W., An MPEC approach to second-best toll pricing, Math. Program., Ser. B 101: 33-55, 2004).