

DRTによる創發現象に着目したマルチエージェントシミュレータの開発

交通情報工学研究室 原尾 彰

1 はじめに

地方部の公共交通の衰退から、タクシーと路線バスとのモビリティギャップを補うように、ニーズに応じて広範囲な地域にサービスを行う DRT (Demand Responsive Transport, 需要応答型公共交通) が新たな公共交通サービスとして期待されている。DRT は予約に応じて運行経路等をその都度決定する。よって相乗りによる迂回など、乗客の意思決定がサービス内容に影響を与える。さらに DRT の役割は生活交通であるため、乗客は前回のサービス内容から乗車時刻などの意思決定に影響を与える。すなわちある乗客の意思決定が DRT システムを通じて他の乗客の意思決定に影響を与える。

そこで本研究では、乗客の意思決定と学習を考慮し、乗客と事業者の相互作用を表現したマルチエージェントシミュレータを開発する。さらに、開発したマルチエージェントシミュレータを用いることで、その相互作用により現れる DRT システム全体の挙動を分析する。

2 マルチエージェントシミュレータの特長

マルチエージェントは、複数のエージェントが環境から情報を知覚し、行動によって環境に影響を与えることのできる自律的主体の集合である。これは、エージェント同士が相互作用することを前提としており、直接的な相互関係・相互作用のシミュレーションが可能となる。言い換えると、マルチエージェントシミュレーションは、主体間の個別相互作用については主体に任せるところが、他のタイプのシミュレーションと大きく異なっている。以下にマルチエージェントの特長を簡単にまとめる。

- エージェント間の相互作用に注目したモデル化。
- ルールベースの記述が可能。
- 動的過程を分析できる。
- 相互作用の結果システム全体に思いがけない挙動(創發現象)を分析できる。
- 主体の学習プロセスを表現できる。
- 大数の法則が成り立たない中数レベルの分析が可能。
- 主体間の多様性を考慮できる。

3 DRT 導入下のマルチエージェントシミュレータの構築

3.1 事業者エージェントの設定

事業者は、起終点を固定し目安となるダイヤを DRT デポ出発時刻に設定した Semi-Dynamic 型の DRT を運行する。また、各ダイヤに予約締切時刻を設定し、締切後に運行費用が最小となる経路を選択する。

予約受付時に、予約状況に空きがあれば予約を受諾、そうでなければ拒否という単純なルールを設定する。また、運行経路は予約締切後に最小運行費用経路を利用する。

3.2 乗客エージェントの設定

乗客はいずれかのノードに居住しており、乗客全員が DRT 終点デポに希望到着場所をもつが、乗客ごとに希望到着時刻をもつトリップが一定の確率で1日に1トリップ発生する。乗客は DRT の利用を通じて所要時間と運賃、予約の拒否回数を学習する。一方、ダイヤと予約締切時刻は正確に知っており、学習した内容とあわせて、予想到着時刻における早着・遅刻コストを最小化する運行時刻の DRT を選択する。学習のルールは、経験した DRT 起終点間所要時間及び各運行時刻の運賃を次のように更新する。

$$t' \leftarrow t + \alpha(T - t)$$

$$f_j' \leftarrow f_j + \alpha(F - f_j)$$

なお、 t , f_j はそれぞれ学習前の認知所要時間、運行時刻 j の認知運賃、 t' , f_j' をそれぞれ学習後のそれら、 T , F を今回経験した所要時間と運賃とする。また、 α は学習率である。

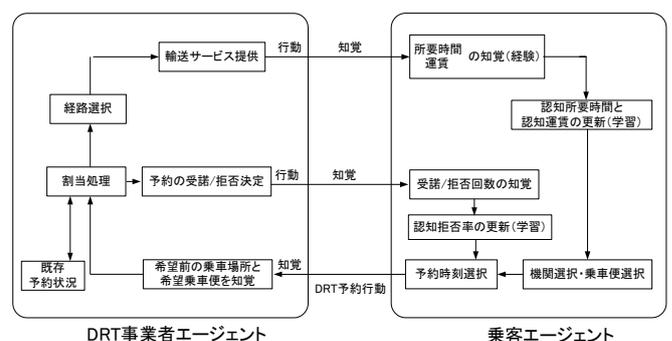


図 1. エージェントの設定と関係

予約時刻については、一定の間隔で、予約が拒否された確率を算出し、許容範囲を上回れば15分早め、下回れば15分遅めるルールを設定する。予約に際して、事業者から拒否を実際に言い渡された場合には、予約のメーカされていないDRTの中で次にコストの小さい運行時刻のDRTを予約する。

図1にエージェントの設定と関係を示す。

4 シミュレータを活用したDRT導入効果分析

4.1 対象ネットワークと設定

5×5の格子状ネットワークを対象とし、左上点をDRT起点デポ、右下点をDRT終点デポ、1リンクの所要時間と運行コストを3分、100円とする。ダイヤはDRT起点において10:00、11:00、12:00発の3本を設定し、各時刻に乗客容量4人の車両を1台走行させる。各ノードに乗客が1人居住しており、1日に一定の確率でDRT終点デポへのトリップが1つ発生する。この条件で500日の計算を50回行う。

4.2 条件利用DRTの棲み分け現象に関する考察

乗客全員が遅刻に厳密で12:30に到着希望時刻をもつ場合を考える。xを予想到着時刻 t_{predict} と希望到着時刻 t_{desired} との差、 $x=t_{\text{predict}}-t_{\text{desired}}$ とすると、早着・遅刻コスト $g(x)$ を次のように設定する。

$$g(x) = \begin{cases} 200x & (x > 0) \\ 0 & (-10 < x < 0) \\ -10(x+10) & (x < -10) \end{cases} \quad (\text{単位は分})$$

事業者は乗客を選別せず予約状況でのみ予約の可否を決定するにもかかわらず、乗客の住む地域により、図2のように到着時刻直前の運行でDRT利用率に差が生じており、DRTは相互作用により、郊外部からのサービス低下の可能性が高い。また図2、3の比較から中心部と郊外部でDRT利用に棲み分け現象が起きているといえる。

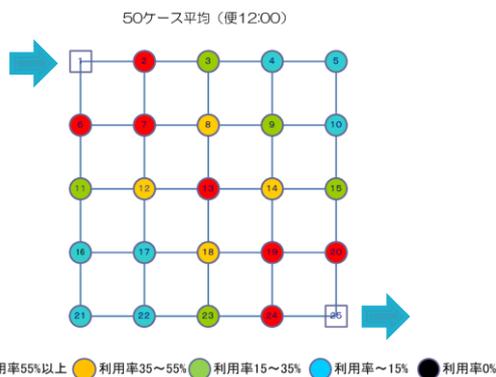


図2. 12:00のDRT利用率(トリップ発生確率0.5の時)

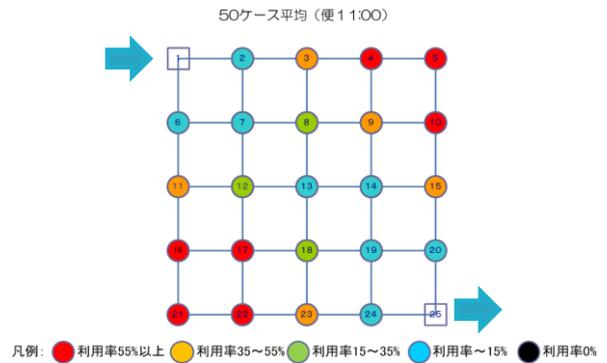


図3. 11:00のDRT利用率(トリップ発生確率0.5)

4.3 運賃変動制による運行効率化に関する効果分析

需要の発生が疎で、乗客が時間に厳密でなく、それぞれの乗客の希望到着時刻がばらついている場合により効率的な運行が行える方策を考える。方法としては運行ごとに表1にある乗車人数の増加に応じて値下げする頭割制運賃を考える。具体的には以下の条件を設定する。

トリップ発生確率: 0.1

希望出発時刻: トリップごとに1/3の確率で10:30, 11:30, 12:30.

単位早着・遅着コスト:

$$g(x) = \begin{cases} 5x & (x > 0) \\ 0 & (-10 < x < 0) \\ -5(x+10) & (x < -10) \end{cases} \quad (\text{単位は分})$$

表1. 運賃の設定

乗車人数(人)	1	2	3	4
1人当たりの運賃(円)	1500	750	500	375

乗車人数のより多い時刻を乗客が選択する結果、時間的な集客効果が現れ、表2のように1乗客あたりの運行コストを削減でき、より効率的なサービス提供ができる。

表2. 運賃変動制による計算結果

	運行回数	総運行コスト	1乗客当たりの運行コスト
運賃均一制	827	710,200	573.2
運賃頭割制	650	576,800	512.7
差	▲177	▲133,400	▲60.5

5 おわりに

乗客の予約や乗車時刻の行動を考慮したDRTシステムのシミュレータを開発し、乗客と事業者の相互作用によるDRT創発現象を表現可能となった。そして、次のような知見をえた。

- ・事業者の利用者への選別がなくとも、郊外部になるほど乗車時刻に不利が生じやすい。
- ・集客性のある運賃を設定することで時間的な集客が自発的に行われ効率的なサービス提供が可能となる。