

# 利用者の意思決定行動に着目した乗り捨て型 カーシェアリング管制システムの構築

若林由弥<sup>1</sup>・羽藤英二<sup>2</sup>

<sup>1</sup>学生会員 東京大学大学院 (〒 113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1)  
E-mail: wakabayashi@bin.t.u-tokyo.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 東京大学大学院 (〒 113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1)  
E-mail: hato@bin.t.u-tokyo.ac.jp

概要

**Key Words** : 乗り捨て型カーシェアリング, 不確実性, 最適化

## 1. 研究の背景

近年, 世界各地でカーシェアリングが普及しつつある. カーシェアリングは, 車両を複数人で共有することによって, 都市部への自動車の流入量を抑制し, 環境効果ガスの減少や渋滞の解消に貢献することが期待されている他, 公共交通と比べて自由度の高い移動を実現できるため, 都市部における移動を活発化させることも期待できる. カーシェアリングによるサービスは2種類に大別することができる. 1つは拠点 (round-trip) 型, もう1つは乗り捨て (one-way) 型である. 拠点型では, あるステーションから自動車を利用した場合, 必ずそのステーションに車両を返却しなければならないが, 乗り捨て型のカーシェアリングでは, 出発したステーションとは別のステーションに車を返却することができるため, 車両の移動によってシステムの状態が動的に変化する.

本研究で対象とする乗り捨て型のカーシェアリングのサービスについて最適化を図る上では, サービスの利用不確実性について考慮する必要がある. 利用者はいつでも望んだときにサービスを利用できるとは限らず, 出発地付近のステーションに車両がないときや, 目的地付近のステーションに車両を停めるスペースがないときには利用の機会を失う. この時サービスに対する需要と実際の利用にギャップが生じ, その誤差を無視して実利用のみを元にシステムのオペレーションについて検証した場合, システム全体から見てかえって非効率な状態となってしまう可能性がある. こうした不確実性はステーション間の需要の偏りによって生じるため, 利用者の意思決定構造を理解することが重要であると言えよう.

## 2. 研究の位置づけ

### (1) 乗り捨て型カーシェアリングのオペレーション

乗り捨て型シェアリングサービスのオペレーションについては, 長期的なものと同期的なもの2種類に大別できる. 長期オペレーションには, ステーションの配置や車両台数, 会員料金の設定などがある. これらはサービスの制約上容易に変更することができない反面, 会員の人数やステーションの設置コスト等システムの前条件に大きな影響を与える. 一方で短期オペレーションは, 1日の中の細かい時間単位で操作を加えることができるが, システムにおける細かい挙動について把握する必要がある. 短期オペレーションの例としては, 車両の回送やプライシングが挙げられる. 回送は管理者が直接車両を移動することで車両の偏りを確実に減らすことができるが車両の移動にかかるコストが大きい. プライシングは料金をコントロールすることで利用者を誘導し間接的に車両の移動を行うことが期待できる一方で確実性に欠ける.

このようなオペレーションの決定方法は大きく分けて2つ存在し, 1つは数値シミュレーションによるシナリオ比較, 1つは最適化計算による最適オペレーションの導出である. 前者はオペレーションのシナリオが与えられれば操作変数として代入し数値計算を行うことでシステムの細かい挙動を再現し, 現況と比較することができる. 後者は定式化に当たり前条件やシステムの近似化を必要とするが, システム改善のための施策を一意に導き出すことができる. 実際にオペレーションを適用する場合は, こうした2つの手法の特性について十分に理解する必要がある.

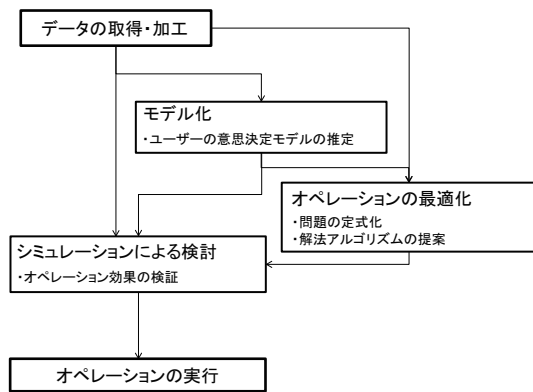


図-1 乗り捨て型カーシェアリング管制システム

表-1 横浜市実証実験データ概要

|          |                            |
|----------|----------------------------|
| 実験期間     | 2013/10/11~2013/12/20(継続中) |
| ステーションの数 | 54 箇所                      |
| 利用者数     | 1534 人                     |
| 利用実績     | 4596 回                     |
| 観測トリップ数  | 8187 トリップ/45 人             |

## (2) 本研究の目的

こうした中で、乗り捨て型シェアリングシステムを活用していく上では、不確実性や利用者の意思決定行動について把握するだけでなく、そのためのデータの収集や加工方法、意思決定に基づく最適オペレーションの導出やその検証までを一元的に管理、実行する管制システムを構築する必要がある。

図1に提案する管制システムの概要を示す。まず、取得したデータから、利用者の意思決定行動をモデル化する。次に利用者の意思決定や不確実性の制約の下で最適オペレーションを導出する。その後、導出したオペレーションを入力変数としてシミュレーションによる数値計算を行い、オペレーションの効果について検証する。

本研究の目的は、実データを元にシステムの不確実性を考慮した利用者の意思決定行動をモデル化し、料金やアクセス・イグレス時間といったサービスレベルに対する感度の推定を行うと同時に、システムの確率的な挙動を含むサービスの最適化問題を解くことである。

## 3. 利用者意思決定モデルの導出

はじめに、横浜市で行われた実証実験のデータを元に、利用者の意思決定モデルの導出を試みる。

### (1) データ概要

表1にデータの概要を示す。本研究で使用するデータは、利用実績データとプローブパーソンデータである。利用実績データは、期間中全ての利用者の利用開始時刻、終了時刻、出発ステーション、到着ステーションを記録したデータで、

### (2) モデルの定式化

各交通手段  $m$  の効用  $U_m$  が確定項  $V_m$  と誤差項  $\epsilon_m$  の和  $U_m = V_m + \epsilon_m$  によって表され、誤差項がガンベル分布に従うと仮定したとき、交通手段  $m$  が選択される確率  $p_m$  は多項ロジットモデルを用いて以下のように表される。

$$p_m = \frac{\delta_m \exp(V_m)}{\sum_{m'} \delta_{m'} \exp(V_{m'})} \quad (1)$$

ここで、 $\delta_m$  は交通手段  $m$  の選択肢生成可否を表しており、カーシェアリングの場合、出発地付近に車両が存在しない、あるいは到着地付近に駐車可能なスペースが存在しない場合、 $\delta_{CS} = 0$  となる。しかし、こうした利用可能性はプローブパーソン調査によるデータだけでは観測することができない。本研究では、各時刻における車両数のデータをプローブパーソンデータと組み合わせることによって、利用者の行動選択時の利用可能性を判別することを可能とした。

ユーザーが選択する交通手段は公共交通、私有自動車、タクシー、カーシェア、二輪車、徒歩のいずれかであり、手段別効用の確定項  $V_m$  は以下のように表されると仮定する。

$$V_m = \alpha_m + \beta_1 t_m + \beta_2 c_m + \beta_3 x_m + \beta_4 \delta_{short} \quad (2)$$

ここで、 $\alpha$  は定数項を表し、 $\beta$  は各サービス変数に対するパラメータを表す。サービスの説明変数については、 $t$  が移動時間、 $c$  が料金、 $x$  がアクセス・イグレス時間、 $\delta_{short}$  は徒歩移動時のみ効用に加算される変数で、出発地と目的地の直線距離が1km以下であることを表すダミー変数である。

### (3) 推定結果

表2にモデルの推定結果を示す。モデル全体の説明力を表す補正済み尤度比は0.24と高く、このモデルが十分現実を説明するに足るものであることを示している。所要時間、料金、アクセス・イグレス時間のパラメータはいずれも負値で有意となっており、これらの値が大きくなるほどその交通手段が選ばれにくくなるといった、およそ現実に即した結果であると言える。短距離ダミーのパラメータの値は正值で有意となってお

表-2 交通手段選択モデル推定結果

| 説明変数            | パラメータ  | t 値     |    |
|-----------------|--------|---------|----|
| 定数項 (公共交通)      | 1.010  | 7.23    | ** |
| 所要時間 [× 10 分]   | -0.203 | -2.06   | ** |
| 料金 [× 100 円]    | -0.239 | -8.52   | ** |
| アクセス・イグレス時間 [分] | -0.028 | -5.43   | ** |
| 1km 以内ダミー (徒歩)  | 1.24   | 9.56    | ** |
| サンプル数           |        | 688     |    |
| 初期尤度            |        | -954.95 |    |
| 最終尤度            |        | -716.47 |    |
| 尤度比             |        | 0.25    |    |
| 補正済み尤度比         |        | 0.24    |    |

\*5%有意, \*\*1%有意

り、短い距離のトリップであれば徒歩移動が選ばれやすいといった、こちらについても概ね現実に即した値となっていると考えられる。

以上より、プローブパーソンデータと利用実績データを用いて、不確実性を考慮した定式化を行うことが可能となった。具体的には、誤差項を含む効用を仮定した非集計モデルを用いることで需要の不確実性を表現し、更に実データから利用可能性を観測することでバイアスを排した推定を行うことができるようになった。

#### (4) 不確実性を考慮した意思決定モデルへの拡張

ここでは、シェアリングを利用する効用の説明変数を、総旅行時間、料金、アクセス・イグレス時間に限定して推定を行った。実際には、付近のステーションがいつも利用できないステーションの場合、効用に負の影響を与えることが考えられる。そのためステーションの利用可能率のような変数がモデルの中に組み込まれる必要があると言えよう。また、カーシェアリングのような新規の交通システムの場合、利用者の認知行動や、予約システムの制約に伴い、効用に個人差があると考えられる。そのため、本研究で適用を行った multinomial logit model よりも mixed logit model のような効用の誤差構造を取り扱うモデルの方がより現実の行動を反映していると考えられる。こうした問題を踏まえたうえでこのモデルを精緻化させていく必要は十分にあると考えられる。

### 4. 確率的最適化問題

本章では、乗り捨て型カーシェアリングの確率的な挙動の変化に注目し、最適なオペレーションを導出する。

#### (1) 定式化

定式化を行うにあたり、以下のような仮定をおく。

- 移動元のステーションに車両が存在し移動先のステーションに駐車スペースが存在する時のみ、車両の移動が可能である。

表-3 変数の定義

|   |  |
|---|--|
| $N = \{\dots, i, j, k \dots\}$                    | ステーションの集合  |
| $T = \{1, \dots, t, t+1, \dots\}$                 | 時間帯の集合   |
| $x_i(t)$  | 時刻 $t \in T$ におけるステーション $i \in N$ の車両台数                    |
| $c_i$   | ステーション $i \in N$ の最大駐車可能台数                                 |
| $S(t)$  | 車両の分布集合  |
| $s(t) = \{x_1(t), x_2(t), \dots, x_i(t), \dots\}$ | 時刻 $t \in T$ における車両の分布                                     |
| $d_{ij}(t)$                                       | 時刻 $t \in T$ に発生するステーション $ij$ 付近間 ( $i, j \in N$ ) の需要発生数  |
| $v_{ij}(t)$                                       | 時刻 $t \in T$ に発生するステーション $ij$ 間 ( $i, j \in N$ ) の車両実移動数   |
| $p_{ij}(t)$                                       | 時刻 $t \in T$ におけるステーション $ij$ 間 ( $i, j \in N$ ) の料金 (制御変数) |

- 車両の移動は、各期の開始時に一斉に出発し、期の終了時に一斉に返却が行われる。

この時、表 3 のように変数を定義する。

ここで、 $ij$  間の潜在需要  $d_{ij}(t)$  はポアソン分布に従い発生するとし、その発生確率を以下のように定義する。

$$P(d_{ij}(t)) = \frac{(\lambda_{ij}(t))^{d_{ij}(t)} \exp(-\lambda_{ij}(t))}{(d_{ij}(t))!} \quad (3)$$

$\lambda_{ij}(t)$  はポアソン分布の期待値パラメータで、前章で求めた交通手段選択モデルを用いて以下のように定義する。

$$\lambda_{ij}(t) = \bar{\lambda}_{ij}(t) \cdot \frac{\exp(V_{ijCS}(t))}{\sum_m \exp(V_{ijm}(t))} \quad (4)$$

ここで、 $t$  期における車両の分布が  $s(t)$  である時の  $t$  期の期待収入は以下のように表される。

$$r(s(t)) = \sum_{ij} P(v_{ij}(s(t))) v_{ij}(t) p_{ij}(t) \quad (5)$$

よって 1 日の期待収益は、以下のように表すことができる。

$$\begin{aligned} R &= \sum_t r(s(t)) \\ &= \sum_t \sum_{ij} P(v_{ij}(t)) v_{ij}(t) p_{ij}(t) \end{aligned} \quad (6)$$

## (2) 課題

## 5. 結論

### 参考文献

- 1) car2go, <http://www.car2go.com/>, Accessed 20 April, 2014.
- 2) Autolib', <https://www.autolib.eu/fr/>, Accessed 20 April, 2014.
- 3) Barrios, J., On the Performance of Flexible car sharing - A Simulation-Based Approach, <http://www.iceusa.org/>, Accessed 20 April, 2014.
- 4) Ciari, F., Dobler, C., and Axhausen, K., Modeling one-way shared vehicle systems: an agent-based approach, paper presented at 13th International Conference on Travel Behaviour Research, Toronto, July 2012.
- 5) Barth, M. and Todd, M. , Simulation model performance analysis of a multiple shared vehicle system, *Transportation Research Part C*, 7(4), pp.237-259, 1999.
- 6) Kek, A., Cheu, R. and Chor, M. , Relocation Simulation Model for Multiple-Station Shared-Use Vehicle Systems, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1986, pp.81-88, 2006
- 7) Nair, R., Miller-Hooks, E., Fleet Management for Vehicle Sharing Operations, *Transportation Science*, 45, pp.524-540, 2011.
- 8) Barth, M., Todd, M. and Xue, L., User-Based Vehicle Relocation Techniques for Multiple-Station Shared-Use Vehicle Systems, paper presented at the Transportation Research Board 83rd Annual Meeting, Washington DC, January 2004.
- 9) Uesugi, K., Mukai, N. and Watanabe, T., Optimization of Vehicle Assignment for Car Sharing System, *Knowledge-Based Intelligent Information and Engineering Systems*, 4693, pp.1105-1111, 2007.
- 10) Febbraro, A., Sacco, N. and Saeednia, M., One-way carsharing: solving the relocation problem, paper presented at the Transportation Research Board 91st Annual Meeting, Washington DC, January 2012.

Construction of one-way car-sharing control system  
behavior

Yuya Wakabayashi, Eiji H