

普及過程を考慮したカーシェアリングシステムの運用シミュレーション分析

古澤 悠吾¹・溝上 章志²・中村 謙太³

¹学生会員 熊本大学 大学院自然科学研究科 (〒860-8555 熊本市黒髪2-39-1)

E-mail: 168d8829@st.kumamoto-u.ac.jp

²正会員 熊本大学教授 大学院先端科学研究部 (〒860-8555 熊本市黒髪2-39-1)

E-mail: smizo@gpo.kumamoto-u.ac.jp

³正会員 日本工営株式会社 インフラマネジメント事業部 (〒102-8539 東京都千代田区九段北1-14-6)

E-mail: a8112@n-koei.or.jp

欧米を中心として、海外では新たな交通サービスとしてのカーシェアリング事業もその利用者が年々増加しているが、利用車両に対する車庫証明の必要性などの法規上の課題に加えて、駐車場の獲得やシステム構築の難しさなどの理由から、国内ではワンウェイ型ステーションタイプのカーシェアリングは未だに普及していない。本研究では、著者らが開発したカーシェアリングシステムの運用シミュレーションモデルをその普及過程の記述が可能になるように拡張し、どのような普及促進策がシェアリングシステムの普及に効果的であるかを分析した。

Key Words : *one-way car-sharing service, simulation analysis, coverage process, promotion policy*

1. はじめに

日本のCO₂排出量のうち、運輸部門からの排出量は約20%を占めており、その排出量の約9割は自動車から排出されている。自動車・交通分野のCO₂削減・省エネルギーは、政府のエネルギー・環境戦略上、極めて重要な柱である。中長期的な自動車分野の省エネ化には、徹底した燃費改善に加え、特に省エネルギー・環境性能に優れた電気自動車の普及が必要である。

電気自動車の普及を促進するためには、成功事例を創出しその普及を加速するとともに、充電箇所の設置といった電気自動車の弱点の克服だけでなく、自動車を活用した新たな交通サービスの創出が必要である。その新たな交通サービスとして着目されているのがカーシェアリング（以下ではCS: Car Sharingと記す）サービスである。CSサービスは、事前に入会手続きを行いさえすれば、あとは利用したい時に予約するだけで簡単に車両を利用することができる。数時間前から利用直前まで予約が可能であるため、ふとドライブしたい時や急用の時にも便利である。また、車両を利用した時間だけ料金を払うので、レンタカーほど料金もかからない。我が国にもMV (Micro Vehicle) やMEV (Micro Electric Vehicle) などの小

型自動車や小型電気自動車を用いてCS事業を行っている企業も存在し、事業規模は着実に拡大している。

CSには、車両の返却場所が借りた場所と同一でなければならないラウンドトリップ型と、返却場所と借りた場所が異なってもよいワンウェイ型（以下ではOWCS: One-Way type Car Sharingと表す）の2種類がある。また、ワンウェイ型は返却のための専用ステーションが存在するステーションベース（以下ではSB-OWCS: Station Baseと記す）と、路上や公共の駐車場に返却することが出来るフリーフローティング（以下ではFF-OWCS: Free Floatingと記す）に分類される。利用者にとってはラウンドトリップ型よりもワンウェイ型の方が利便性は高いが、需要が偏在する場合には、借りたい時に最寄りのステーションに車両がない、返却したいのに目的地近くのステーションが満車で別のステーションに返却せざるをえないなどの問題が生じる可能性がある。このようなシステム運用の難しさやステーション用地の確保が難しいことに加えて、そもそも原付規格以外の車両には固有の車庫が必要という道路交通法上の規制のため、国内では大規模なOWCS事業は未だ行われていない。そのため、OWCSサービスが導入されてもどのような普及過程をたどるのかなどについても分かっていない。

国内外におけるカーシェアリングに関する研究については文献1)と2)でレビューされているので、ここでは本研究の主題であるカーシェアリングの普及とその要因に関連した研究に限定して先行研究のレビューを行う。石村ら¹⁾は松山市におけるCS普及のために必要な基礎情報を得ることを目的として、PT調査データを用いた潜在需要分析を行い、松山市の約7割の自動車がCSへ転換可能であることなどを明らかにした。溝上ら²⁾は利用者のCSへの転換行動とOWCSシステムの日々の挙動とその均衡状態を明らかにするOWCSシミュレータを開発し、熊本都市圏に適用している。しかし類的なCSサービスの普及が遅れている国内では、CSサービスの普及に関しては上記のように潜在需要の抽出やシミュレーション分析がいくつか実施されているだけである。

一方、海外では既にOWCSが導入されている都市での利用者実態と意向に関する調査・分析が数多く実施されている。Koppら³⁾は、ドイツでFF-OWCSの利用者分析を行い、CS非利用者に比べてCS利用者の方がマルチモーダルな交通手段選択をしていることを明らかにした。Ciariら⁴⁾は、スイスにおけるOWCSの設定料金と利用者数との関係についてシミュレーション分析を行った結果、料金設定によって一日のOWCSの利用回数を時間的に分散させることが可能になることを明らかにした。Prietoら⁵⁾は、ロンドン、マドリード、パリおよび東京の4つの大都市で行ったCSの利用意向アンケート調査の結果から、CSサービスへの転換行動とその普及には社会人口特性が重要な役割を示すことを明らかにした。このように、CSサービスの普及が進んでいる海外では、CSサービス導入地域選定のための利用者属性や社会人口特性を明らかにするなど、利用実態データを用いた詳細なCSの普及の実態に関する研究が実施されている。

CSサービスの導入に当たっては、初期の急速な需要増加の半面、普及の低迷による運用の膠着なども想定される。特にCSサービスの提供者にとっては普及過程と最終的に到達可能な需要を事前に把握しておくことは経営上も重要であり、この課題が解決できないことが国内の事業者が本格的にサービス実施に踏み切れていない理由の一つと考えられる。

先に示した溝上ら²⁾の研究では、日々のOWCSシステムへの転換行動の結果到達する最終的な均衡需要は明らかになるが、CSサービスの提供開始からの普及過程が明示的に考慮されていないために、初日から予約受付トリップが最大に達した後利用者数が均衡値に収束していくという、現実的でない振る舞いとなっている。この課題を解決するために、本研究では、1)OWCSサービスが導入されたときの普及過程のモデル化とその推計方法を提案する、次に、2)1)の成果をOWCSシミュレータに組みこむことによって、OWCSシステムの普及過程まで

も予測するダイナミックな運用シミュレーション分析を行う。さらに、3)普及促進のための種々の施策の導入効果についての検討を行うことを目的とする。

本研究では、1)OWCSサービスが導入されたときの普及過程のモデル化とその推計方法を提案する、次に、2)1)の成果をOWCSシミュレータに組み込むことによって、OWCSシステムの普及過程までも予測するダイナミックな運用シミュレーション分析を行う。さらに、3)普及促進のための種々の施策の導入効果についての検討を行うことを目的とする。

本論文は6章から構成されている。第2章では、他者の行動結果に依存する相互作用と、過去に転換希望しても予約が受け付けられなかったことによるリスクの逐次更新プロセスを考慮したOWCSシステムの運用シミュレータについて概説する。第3章では、OWCSシステムの普及過程モデルを構成する2つのOWCS選択モデルについて説明する。第4章では普及モデルを組み込んだ運用シミュレーションの手順とシミュレーションの結果について解説する。第5章では普及促進のための種々の政策の効果についての分析を行う。最後に第6章で本研究の成果と今後の課題について述べる。

2. OWCS運用シミュレータの概要

本シミュレータは、予約時刻の早いトリップから順にOWCSへ転換するか否かの判定を行うと同時に、1分ごとに全ての車両の挙動を追跡していくという機能を持つ。手順を図-1に示す。詳細な解説は文献2)にあるため、ここでは説明を省略する。

図-1のStep-2で転換意向の判定を行うときにはOWCS選択モデルを用いる。このモデルは、熊本市中心部から半径10km圏内からランダムに選んだ13校区に対し、各30世帯への訪問留置法により実施されたOWCSシステムへの転換意向を聞いたSP調査から得られたデータを用いて推定される。

SP調査は次のような手順で実施された。

- 1) 都市圏パーソントリップ調査と同様に平日の1日の全トリップを尋ねる。
- 2) OWCSシステムの詳細説明を行い、
- 3) 先に回答したトリップの内どのトリップがOWCSシステムに置き換えてもよいトリップか質問する。
- 4) 置き換えてもよいと回答されたトリップに対し、表-1に示す要因と水準の組み合わせプロファイルからランダムに4つのプロファイルを示し、OWCSシステムを利用するか否かの意向を尋ねている。

OWCSに転換するか否かを選択肢とした2項ロジットモデルであるOWCS選択モデルの推定結果を表-2に示す。

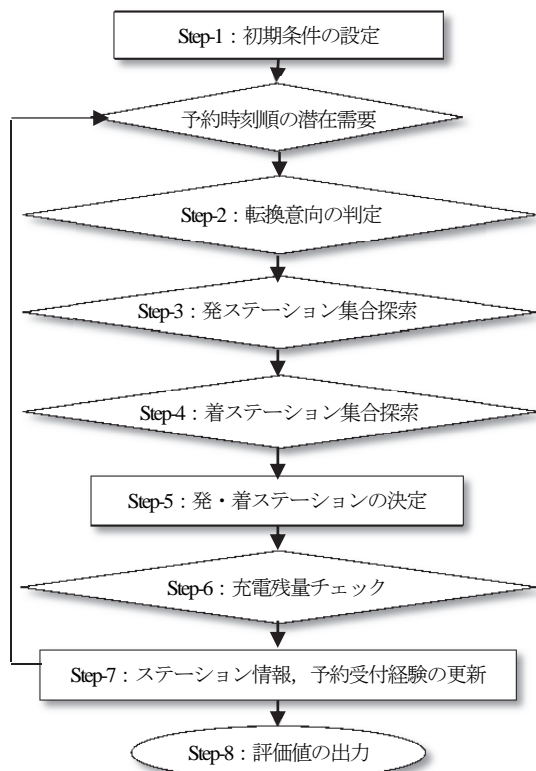


図-1 運用シミュレーションのフロー

尤度比は高く、統計的信頼性が高い。また、各変数の符号条件は論理的であり、 t 値も高い。ここでは、CSが利用できたか否かの経験を表す変数である「ステーションにMEVがない確率の逆数」を用いているため、この値が大きくなればなるほど転換する効用は高くなる。

3. OWCSの普及過程のモデル化

(1) 2つのOWCS選択モデル

OWCS サービスに限らず、ある財やサービスが導入され、一定の普及率となるまでには、ある時点までの利用経験者と非利用経験者が混在する。本研究ではCSサービスの利用経験者と非利用経験者それぞれに、固有のOWCSシステムに転換するか否かを判定する2項ロジット型OWCS選択モデルを構築し、これらをOWCS運用シミュレータに組み込むことにより、普及過程を記述する。以下では、一度でもOWCSサービスを利用した経験がある人がOWCSシステムを利用するか否かを選択するモデルを「経験者モデル」、過去にOWCSシステムを一度も利用したことのない人が利用するか否かを選択するモデルを「非経験者モデル」と表記する。

(2) 経験者モデル

経験者モデルにはOWCS運用シミュレータにすでに組み込まれているOWCS選択モデルを用いる。経験者モ

表-1 プロファイル作成のためのLOS要因表

因子	水準
時間料金 (円/h)	500, 1,000 または 600, 1200
ステーションまでの距離 (分)	1, 3
予約リード時間 (分)	10, 60 または 30, 120
ステーションにMEVがない確率	1/10, 1/5, 1/2

表-2 OWCS選択モデルの推定結果

	説明変数	推定値	t 値
転換する	時間料金 (円/分)	-0.188	-10.33
	予約リード時間 (分)	-0.0046	-1.83
	ステーションにMEVがない確率の逆数	0.047	1.96
転換しない	トリップ所要時間 (分)	-0.016	-3.26
	私用・業務目的ダミー	-0.415	-2.2
	性別 (男性=1)	-0.318	-1.68
	年齢	-0.011	-2.07
サンプル数		784	
尤度比		0.31	

デルでは、OWCSシステムを利用できたか否かという日々の経験から生成されるステーションに「MEVがない確率の逆数」が説明変数の1つとなっており、一度でもOWCSシステムを利用した経験がある人が、過去の経験に基づいてそれ以後、再度、利用するか否かによる普及過程が表現されるモデルとなる。

(3) 非経験者モデル

a) モデルの構造

過去にOWCSシステムを一度も利用したことのない人が利用するか否かを選択する非経験者モデルを定式化する。ここでは福田ら⁹⁾の定式化と同様、 t 期における個人 i のOWCSシステムの利用・非利用に対する効用関数をそれぞれ以下のように仮定した。

$$V_{OWCS,i,t} = u_{i,t} + \gamma S_{t-1} + \varepsilon_{PWCS,i,t} \quad (1)$$

$$V_{NON,i,t} = -u_{i,t} - \gamma S_{t-1} + \varepsilon_{NON,i,t} \quad (2)$$

$V_{OWCS,i,t}$ 、 $V_{NON,i,t}$ は、それぞれ個人 i が t 期にOWCSシステムを利用する、利用しないことによって得られる確率効用である。また、 $u_{i,t}$ は個人 i が t 期にOWCSシステムを利用する効用のうち、私的動機のみ依存する確定項、 S_{t-1} は $t-1$ 期におけるOWCSシステムの普及率、 $\varepsilon_{OWCS,i,t}$ と $\varepsilon_{NON,i,t}$ は、それぞれ私的動機のみ依存するランダム項、 γ はネットワーク外部性の影響度を表すパラメータである。式(1)と(2)によって、 t 期の効用はたとえば年齢やトリップ長、ステーションまでの距離など、個人に関する要因だけでなく、 $t-1$ 期の普及率にも影響

される構造となっている。

両者の効用差は次式のように表すことができる。

$$\Delta V_{i,t} = V_{OWCS,i,t} - V_{NON,i,t} = 2u_{i,t} + 2\gamma S_{t-1} + \varepsilon_{i,t} \quad (3)$$

$\varepsilon_{i,t} = \varepsilon_{OWCS,i,t} - \varepsilon_{NON,i,t}$ であり、 $\varepsilon_{OWCS,i,t}$ と $\varepsilon_{NON,i,t}$ が独立、かつ同一のガンベル分布に従うとすると、個人 i の t 期における OWCS システムの選択確率 $p_{i,t}$ は以下のように表される。

$$p_{i,t} = \frac{1}{1 + \exp[-2\beta u_{i,t} - \beta\gamma(2S_{t-1} - 1)]} \quad (4)$$

ここで β はスケールパラメータである。

b) 非経験者モデルの推定方法

この非経験者モデルを推定する際も、経験者モデルの推定のとおり同様に、普及率を一つの要因とし、それに幾つかの水準を与えた質問から得られる SP データがあればよい。しかし、仮想の普及率を提示しても、被験者はその状況を現実として理解して選択の可否を回答することは困難であろう。福田らは、CS の普及率と同様に SP 調査では被験者が想定しにくい高速道路における ETC 普及率を対象として、ETC 普及率の水準に対応する代替の要因となる料金ゲートでの「節約される待ち時間」を説明変数に導入し、ETC 普及率の水準に対応した料金ゲートで「節約される待ち時間」の水準に置き換えたプロファイルに対する SP 質問を行っている。このとき、普及率に対応した料金ゲートでの「節約される待ち時間」の値は、ETC の普及率に応じて必要となる ETC ゲートの数によって短縮される料金ゲートでの待ち時間である。

一方、本研究で対象としている CS サービスの場合は、その普及率の水準に応じて変化する代替の要因を見いだすのは容易でない。しかし、以下の方法によって代替の変数とその水準を設定する。2章で概説した OWCS 運用シミュレータの中に組み込まれている OWCS 選択モデルでは、OWCS システムの利用希望者が多いと予約が受けられないリスクが増大して OWCS サービスを利用する効用が減少し、選択確率が低下して予約受付トリップも減少していく。これは、利用希望者が少なく、「ステーションに MEV がない確率の逆数」が大きいつまには OWCS 選択確率は大きくなり利用者数は増加していくが、利用希望者が増加して予約が受けられない経験が多くなると MEV がない確率の逆数が大きくなって OWCS 選択確率が低下するため、利用者数は次第に減少していく。これが日々繰り返されていくと、利用者数は日々変動しながら最終的には一定の値（均衡値）に収

表-3 非経験者モデルの推定結果

	説明変数	推定値	t値
転換する	時間料金 (円/分)	-0.175	-10.85
	予約リード時間 (分)	-0.011	-4.09
	普及率 (%)	0.561	7.302
転換しない	トリップ所要時間 (分)	-0.006	-1.12
	私用・業務目的ダミー	-0.169	-0.90
	性別 (男性=1)	-0.291	-0.94
サンプル数		784	
尤度比		0.35	

束する。この均衡値があらかじめ設定した説明変数の水準に対応した普及率である。

SP調査で設定した要因のうち、「時間料金」と「トリップ所要時間」、「予約リード時間」はあらかじめ設定される要因であるのに対して、「ステーションに MEVのない確率」は利用者数、つまり普及率（利用者数/潜在需要）に対応して変化する要因である。この性質を利用し、以下のような方法によって SP 調査の質問で設定した全てのプロファイルの「ステーションに MEVがない確率」の値に対応した「普及率」の値を設定する。まず、SP調査で設定したある特定のプロファイルの設定下で、全ての潜在需要に対して選択確率を算出し、数え上げ法によって求めた CS サービスのシェアを「普及率」とする。この値をそのプロファイルの「ステーションに MEVがない確率」の値と置き換えたものを新たなプロファイルとする。次に、この操作を設定した全てのプロファイルに対して行い、全てのプロファイルの「ステーションに MEVがない確率」の値を「普及率」の値に置き換えたデータを用いて CS への転換モデルを推定し直す。このモデルも、経験者モデル同様、OWCS に転換するか否かを選択肢とした 2 項ロジットモデルである。

推定結果を表-3に示す。尤度比は高い値をとっており、モデルの適合性は高い。すべての説明変数の符号は論理的であるものの、「私用・業務目的ダミー」と「性別ダミー」については t 値がかなり低下してしまった。しかし、以下ではこのモデルを非経験者モデルとして使用することにする。

4. OWCS システムの普及過程を考慮した運用シミュレーション分析

(1) シミュレーションの手順

本研究では、主として SB-OWCS サービスに対する普及過程を考慮した運用シミュレーションを実行するが、参考のために FF-OWCS サービスに対しても実行し、比

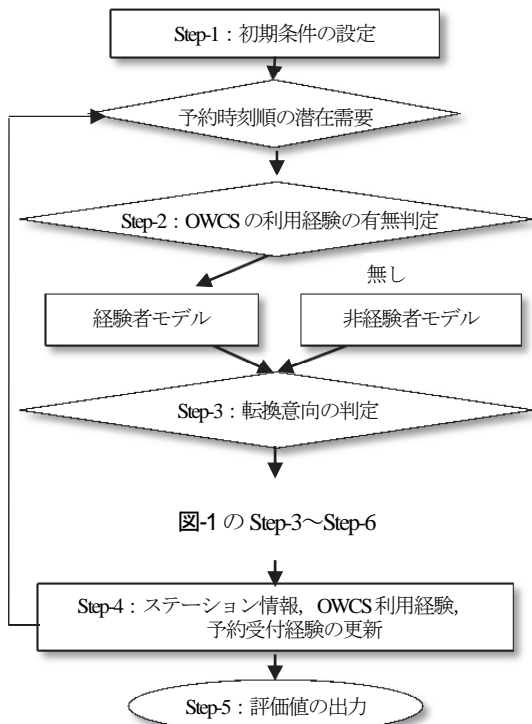


図-2 普及過程を考慮した運用シミュレーション

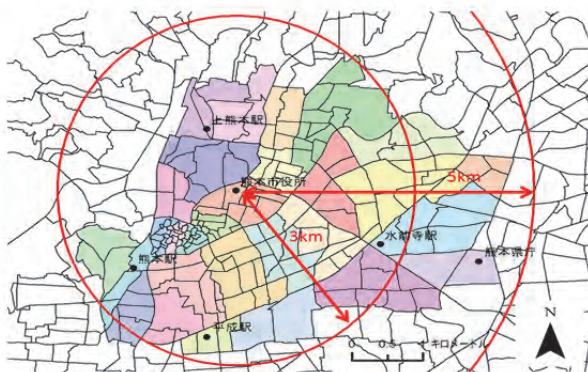


図-3 分析対象地域

較する。図-2 にシミュレーションの手順を示し、以下で概説する。

Step-1 (基本条件の設定) : 表-4に示すステーション数, 1ステーション当たりのデポ数と配車数, 時間料金などのデフォルト値を設定する。

Step-2 (OWCS 利用の経験の有無判定) : OWCS を一度でも利用した経験のある潜在利用者に対しては経験者モデルを, 一度も利用したことがない潜在利用者には非経験者モデルを適用する。

Step-3 (転換意向の判定) : OWCS 選択確率を計算し, OWCS システムへの転換意向の有無を判定する。

Step-4 (ステーション情報, OWCS 利用経験, 予約受付経験の更新) : 発・着ステーションにおける車両台数や車両ごとの充電残量の更新, 個人ごとの OWCS 利用経

表-4 基本設定

	SB-OWCS	FF-OWCS
ステーション数	42 箇所	262 箇所
駐車スペース	5/ステーション	1/ステーション
配車数	3台/ステーション	-
総台数		126 台
予約条件		30 分前
料金		20 円/分

験, および経験有りの場合は予約受付率の可否の経験を更新し, 蓄積する。この操作を全ての潜在需要に対して予約時刻順に繰り返す。

Step-5 (評価値の出力) : 日別の集計結果や個人の利用履歴などを出力する。

なお, 上記の Step-3 から Step-4 の間は図-1 の Step-3 から Step-6 と同一であるので省略する。

本来なら, 道路混雑によって所要時間が増加した場合には支払い費用も増加するように, OWCS への転換の効用は単位時間費用である時間料金だけでは評価できないかもしれない。しかし, 操作を簡単にするために, 本シミュレーションモデルは転換した OWCS 需要を道路ネットワークへ配分するプロセスを含んでいない。

本研究では, 図-3 に示す熊本市中心部から熊本県庁などの公共施設, JR 熊本駅や新水前寺駅などの主要な交通結節点を含む約半径 5km 圏内の熊本都市圏 PT 調査の 29 の C ゾーンを分析対象地域とした。この対象地域内で発着を行っている 151,040 トリップが OWCS システムに転換する可能性のある潜在利用トリップである。

(2) シミュレーションの結果

表-4 に示した基本条件のもとで, SB-OWCS と FF-OWCS それぞれに対して 90 日間のシミュレーションを 10 回ずつ試行した。その結果, 毎日の OWCS 利用トリップ数について算出した変動係数の最大値は 10% 以下であった。ここでは, 10 回のシミュレーションによって得られた一日毎の OWCS 利用トリップ数の平均値を図-4 と図-5 に示す。SB-OWCS では非経験モデル適用トリップが約 5 日まで増加し, そこから順次, 経験モデル適用トリップに移行する。70 日目ころには大半のトリップが経験モデル適用トリップとなり, 最終的には OWCS 利用トリップ数は約 1,800 で均衡状態となる。一方, FF-OWCS では, 経験モデル適用トリップが約 5 日間で約 4,000 トリップに達すると, その後は非経験者モデルの適用トリップが減少して経験者モデル適用トリップとなり, サービス導入 50 日後には約 3,000 トリップで均衡状態となる。

図-4 と図-5 を比較すると SB-OWCS と FF-OWCS の普

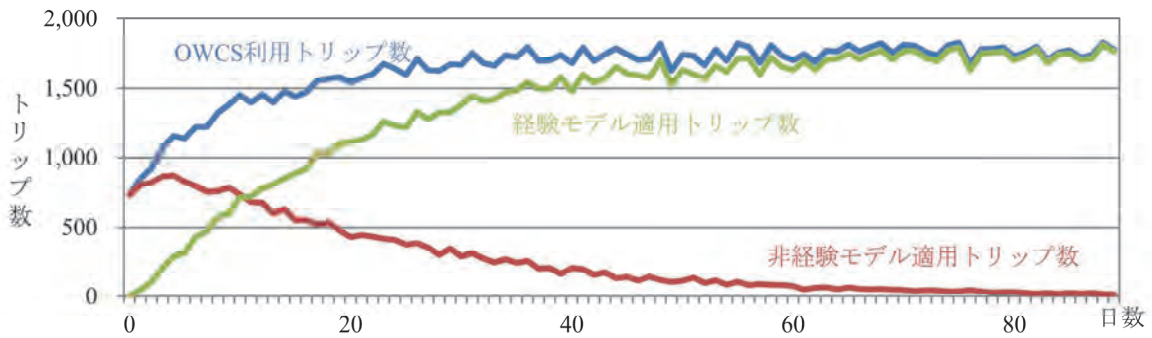


図-4 B-OWCSサービスの普及過程

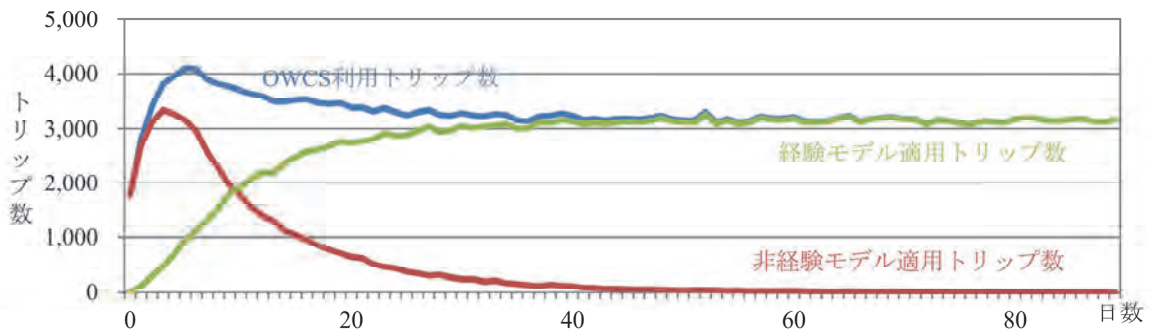


図-5 FF-OWCSサービスの普及過程

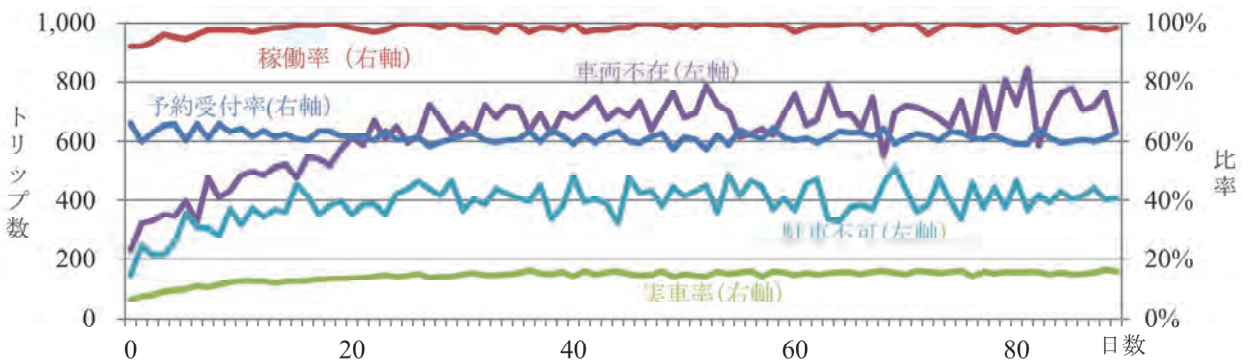


図-6 SB-OWCSサービスの効率性評価値

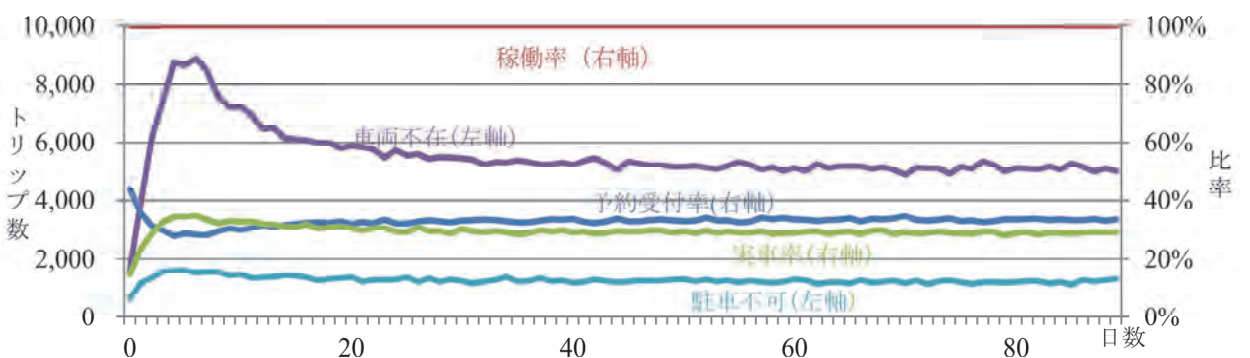


図-7 FF-OWCSサービスの効率性評価値

及過程には大きな違いが見られる。これは一つのステーションに複数台の車両を配置する SB-OWCS に比べ、FF-OWCS は車両不在数に影響を受けているためである。

FF-OWCS ではトリップの発生点から 300m 以内にステーションがあるため、転換意向のある潜在利用者数が SB-OWCS に比べ増加する。これによりサービス開始直後

から OWCS 利用トリップ数が急増している。しかし、FF-OWCS の問題点である車両偏在が発生することで、車両不在数が急増していることが後に示す図-7 からも分かる。これにより、潜在利用者の「ステーションに MEV が不在確率の逆数」が減少することで、転換の効用が減少し、OWCS 利用トリップ数も減少する。

図-6 と図-7 に、SB-OWCS と FF-OWCS それぞれのときの車両不在、駐車不可による予約受付不可数（これらは左軸）を、予約受付率、稼働率、実車率（これらは右軸）の変動を示す。予約受付率は OWCS 利用意向のあるトリップのうち予約を受け付けられたトリップの比率であり、利便性の指標となる。稼働率は総 CS 車両台数のうち実際に使用された車両台数の比率、実車率はサービス提供時間に対する実稼働時間の比率であり、これらの値が高いほど、運用効率が高いことを示す。

車両不在数については FF-OWCS の方が SB-OWCS よりも短期間のうちに増加し、その後急激に減少する。駐車不可数については SB-OWCS はサービス開始時と均衡時では約 2 倍まで増加しているが、FF-OWCS は期間中、ほぼ変動しなかった。

予約受付率については、SB-OWCS は期間中、変動はするもののほぼ 60~70%の値をとるが、FF-OWCS ではサービス開始と同時に 40%となった後、約 25%まで低下するが最終的には 35%で均衡状態となった。

稼働率は SB-OWCS と FF-OWCS は共に、サービス期間中高い値をとり続けた。実車率も SB-OWCS では 40 日目当たりでおおよそ均衡値の 18%程度に、FF-OWCS も同様に 40 日目当たりに 30%で均衡状態となっている。

5. OWCS 普及促進のための政策評価

(1) 普及過程と利用トリップ数への感度分析

OWCS 普及促進のための有効な施策を明らかにするために、両転換モデルの説明変数の中の政策変数に対する普及率の感度分析を行う。前節と同様に 90 日間のシミュレーションを 10 回ずつ試行し、以下では得られた一日毎の OWCS 利用トリップ数の平均値を示す。

a) 時間料金

時間料金を基本設定値の 20 円/分から±5 円の 15 円/分と 25 円/分に変化させたときの普及過程と OWCS 利用トリップ数の感度を分析した。SB-OWCS のときの普及率の変動を図-8、非経験者モデルの適用トリップの比率を図-9 に、FF-OWCS のときの両者を図-10 と図-11 に、基本設定値の場合と比較して示している。

時間料金が基本設定値から 5 円/分安価である 15 円/分とすると、5 日目頃に一旦、3,500 トリップが SB-OWCS を利用することになるが、それ以降 20 日目までに非経

験モデル適用トリップがいなくなり、約 3,300 トリップ程度で均衡状態となる。一方、時間料金を 25 円/分とした場合は、利用トリップ数は最終的に基本設定の 1/3 以下の利用トリップ数で均衡してしまい、普及はほとんど進まない。FF-OWCS では基本料金を 5 円/分安価の 15 円/分とすると基本設定時の 50 日の半分の約 25 日程度で、かつ 1,000 トリップも多い 4,500 トリップで収束するが、5 円/分高の 25 円/分にすると、SB-OWCS の場合と同様に普及は進まず、1800 トリップほどにしかならない。時間料金の普及過程と普及率に与える影響は極めて大きい。

b) 予約リード時間

予約リード時間を基本設定値の 30 分前から±30 分の 0 分前、60 分前に変化させたときの SB-OWCS の普及過程と利用トリップ数の感度を分析した結果を図-12 に示す。時間料金ほど感度は大きくないが、予約リード時間が短くなるほど OWCS 利用トリップ数は大きくなる上、普及速度も大きくなるのが分かる。

c) 駐車デポ数と配車数

1 ステーション当たりの駐車デポ数を基本設定値の 5 台から 10、20、30 台に増加させると同時に、配車数を駐車デポ数の半分に増車とした場合の SB-OWCS の普及過程と利用トリップ数の感度を分析した結果を図-13 に示す。1 ステーション当たりの駐車デポが基本設定値より大きくなるに従って普及速度も利用トリップ数も大きくなるが、20 台以上になると、その変化が小さくなった。

(2) 普及促進のための政策介入

前節の感度分析より、OWCS 利用トリップが均衡するまでの普及過程と均衡値は時間料金に大きな影響を受けることが分かった。OWCS サービスの提供開始時に短期間だけでも時間料金を通常額、ここでは基本設定値から割り引くことで普及の促進を図ることができると思われる。ここでは時間料金を基本設定値の 20 円/分からサービス開始後の 1 週間だけ 17 円/分、15 円/分とした場合、OWCS サービスの普及過程と普及率の均衡値にどのような効果が生じるかを分析する。

SB-OWCS サービスについて、時間料金を 1 週間だけ割り引く場合の普及過程を、基本設定値の場合のそれと比較して示したのが図-14 であり、その間の非経験者モデル適用トリップ数の総利用トリップに占める比率の変動を示したのが図-15 である。サービス開始後の 1 週間の料金を 17 円/分にすると、5 日目頃に一旦、SB-OWCS 利用トリップは 2,500 程度まで増加するが、その後減少し、割引料金期間が終了すると基本設定値の場合とほとんど差の無い普及過程をたどり、30 日目頃に利用トリップ数は約 1,800 で収束する。これに対して、時間料金を 15 円/分まで割り引くと、割引期間の半ばに一旦、

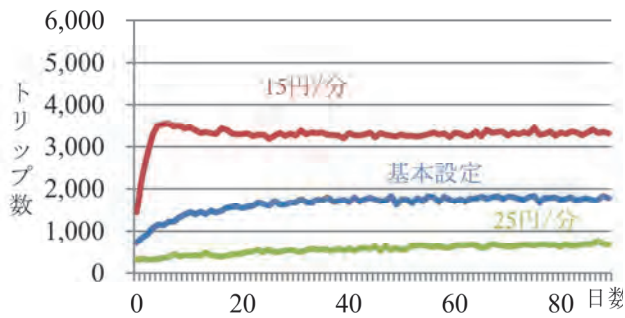


図-8 時間料金に対するSB-OWCSの普及過程と利用トリップ数の感度

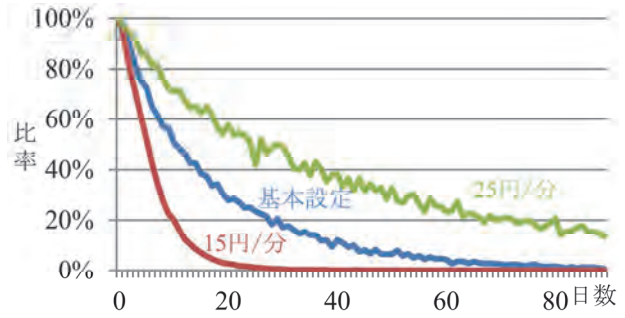


図-9 時間料金に対するSB-OWCSの非経験者モデル適用トリップ比率の変化

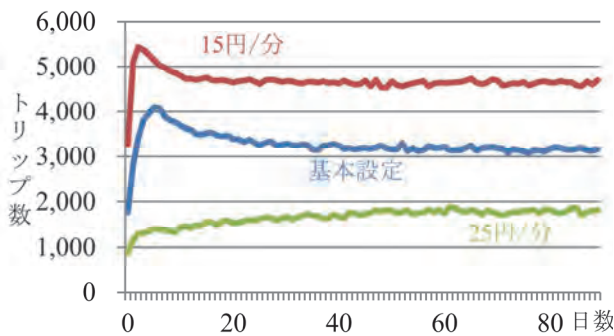


図-10 時間料金に対するFF-OWCSの普及過程と利用トリップ数の感度

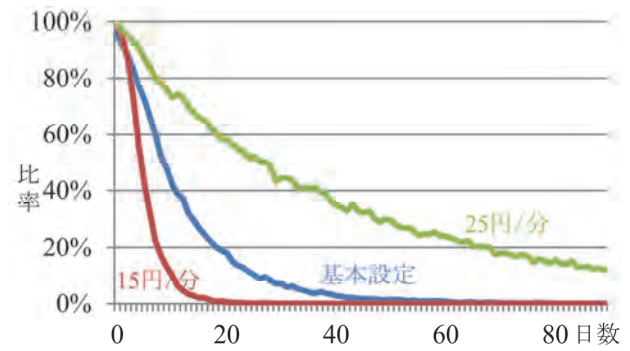


図-11 時間料金に対するFF-OWCSの非経験者モデル適用トリップ比率の変化

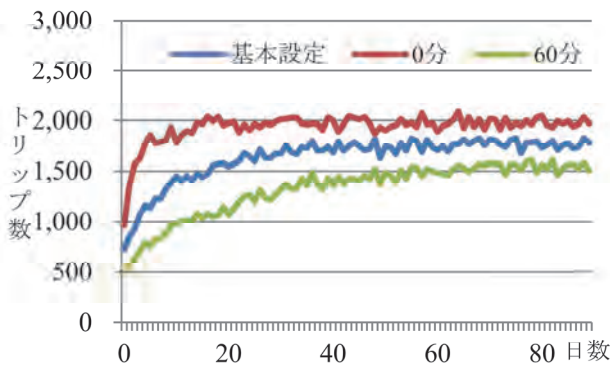


図-12 予約リード時間に対するSB-OWCSの普及過程と利用トリップ数の感度

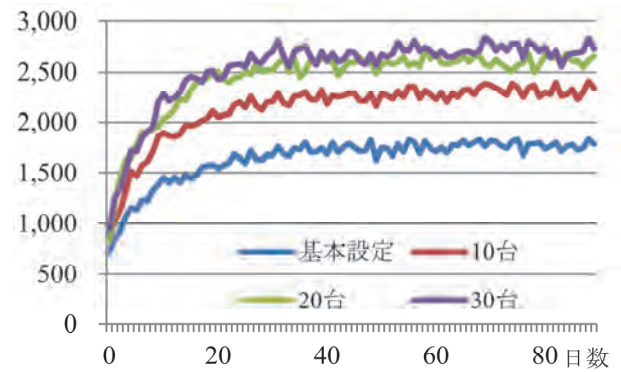


図-13 駐車台数に対するSB-OWCSの普及過程と利用トリップ数の感度

3,500 トリップまで利用トリップが達した後、割引期間が終了すると同時に、利用トリップは激減するものの、基本設定値の場合の均衡値に一気に達するという普及過程をたどる。

FF-OWCS サービスに対して同様の割引料金施策を導入した場合の普及過程とその間の非経験者モデル適用トリップ数比率の変化を図-16 と図-17 に示す。FF-OWCS サービスの場合、基本設定ではおよそ 20 日間掛かって収束する均衡値の 3,000 トリップに、割引料金を導入す

ると、割引期間の終了時には収束する。また、設定料金の違いによる差はほとんどないことが分かる。

このように、普及の促進に対するサービス開始直後の一定期間の割引料金施策は有効であること、特に SB-OWCS サービスでは、17 円/分と 15 円/分という、ただか 2 円/分の割引期間の時間料金の差が普及過程に大きな影響を与える可能性があることが示された。

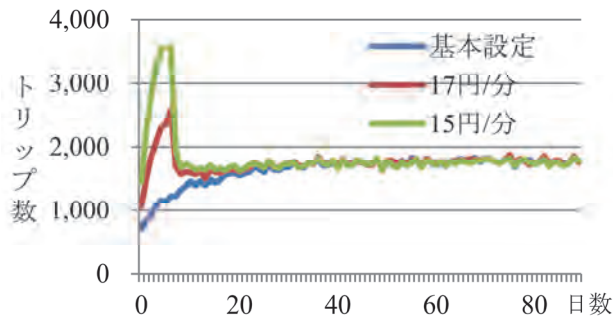


図-14 政策介入時のSB-OWCSの普及過程と利用トリップ数の変化

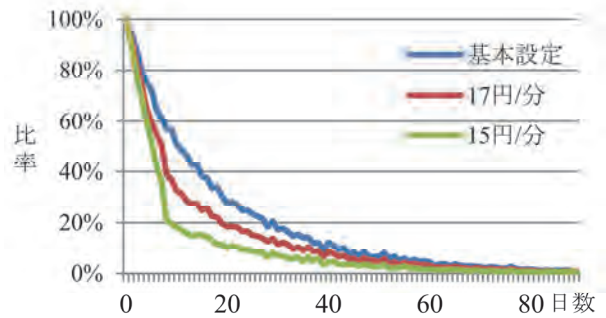


図-15 政策介入時のSB-OWCSの非利用者モデル適用トリップ比率の変化

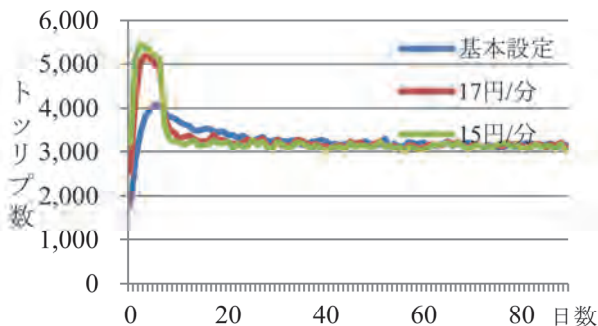


図-16 政策介入時のFF-OWCSの普及過程と利用トリップ数の変化

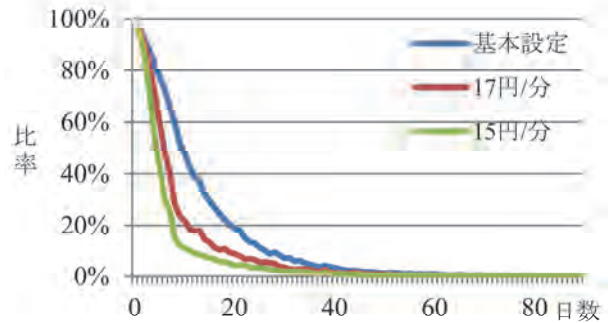


図-17 政策介入時のFF-OWCSの非利用者モデル適用トリップ比率の変化

6. おわりに

本研究から得られた成果は以下の通りである。

- 1) 従来のOWCS選択モデルによる経験者モデルに加えて、過去にOWCSシステムを一度も利用したことのない人がサービスを利用するか否かを選択する非経験者モデルを用いることで、OWCSサービスの普及過程をモデル化した。
- 2) 前期の普及率を説明変数に持つ非経験者モデルの推定のための新たな方法を提案し、統計的にも有効なモデルが推定された。
- 3) 普及過程を考慮した運用シミュレータはOWCSの普及過程と普及率の均衡値の予測に有用である。
- 4) 時間料金や配車数はOWCSサービスの普及速度や普及率に大きな影響を及ぼす。
- 5) 短期間であっても、時間料金の低減施策はOWCSの普及速度の加速と早期の均衡に有効であること、わずかの割引料金の差異によってその効果はかなり異なることが明らかになった。

前節の感度分析にせよ、本節の普及促進のための政策介入効果の分析にせよ、値が収束したり傾向が変化したりする日や利用トリップ数の収束値などの値そのものは、必ずしも確実なものではないが、普及過程と利用トリップの均衡値が示す傾向や特性は表現されていると考えら

れる。また、開発した運用シミュレーションモデルには転換したOWCS需要を道路ネットワークへ配分するプロセスは含まれていない。本来なら、交通混雑による支払い料金の増加や所要時間信頼性などをOWCS転換モデルの中で考慮することが必要であることから、マイクロ交通流シミュレーションを組み込んだCS運用シミュレーションモデルが必要となろう。さらに、OWCSへの転換によって生じた余裕時間により、活動の種類や数、活動場所なども変化するはずである。今後、アクティビティベースのシミュレーションへ拡張する必要もあろう。

謝辞：本研究は国土交通省道路局新道路技術開発からの助成を受けて進めている研究の一部であることを記す。

参考文献

- 1) 石村龍則, 倉内慎也, 萩尾龍彦: 自動車保有・利用コストに着目した松山都市圏におけるカーシェアリングの潜在重要分析, 土木学会論文集, Vol. 67, No. 5, pp.I_665-I_671, 2011.
- 2) 溝上章志, 中村謙太, 橋本淳也: ワンウェイ型カーシェアリングシステムの導入可能性に関するシミュレーション分析, 土木学会論文集, Vol. 71, No. 5, pp.I_805-I_816, 2015.
- 3) Kopp, J., Gerike, R. and Axhausen, K. W.: Do sharing people behave differently? An empirical evaluation of the distinctive mobility patterns of free-floating car-sharing

- members, *Transportation*, Vol. 42, pp. 449-469, 2015.
- 4) Ciari, F., Balac, M. and Balmer, M. : Modelling the effect of different pricing schemes on free-floating carsharing travel demand: a test case for Zurich, Switzerland, *Transportation*, Vol. 42, pp. 413-433, 2015.
 - 5) Prietro, M., Baltas, G. and Stan, V. : Car sharing adoption intention in urban areas: What are the key socio-demographic drivers?, *Transportation Research Part A*, Vol. 101, pp. 218-227, 2017.
 - 6) 福田大輔, 渡辺健, 屋井鉄雄 : 利用者間の相互依存性を考慮した ETC 車載器普及予測モデル, 土木計画学研究・論文集, Vol. 21, pp. 463-472, 2004.
- (2017. 2. 24 受付)

A SIMULATION STUDY ON CAR SHARING SERVICE OPERATION CONSIDERING ITS SPREAD PROCESS

Yugo FURUSAWA, Shoshi MIZOKAMI and Kenta NAKAMURA

In Europe and North America, users of Car Sharing become increasing dramatically from the beginning of 2000. However, there is few car sharing business in Japan because not only of the legal constraints regarding parking spaces and also of incomplete in its system architecture. Therefore there is no information about the process of spread of car sharing services. This study has two purposes; the first one is to build an operational simulation system in consideration of a spread process of carsharing. The second is to analyze the effect for process of spread by various changes into simulation system.