

# 観測データを用いたシミュレーション モデル中の交通手段転換モデルの更新

森 俊勝<sup>1</sup>・溝上 章志<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 非会員 合同会社ゴダイベスト (〒861-5537 熊本県熊本市北区万楽寺町 5 8 7)  
E-mail: toshikatsu.mori@godaibest.jp

<sup>2</sup> 正会員 熊本学園大学 経済学部 (〒862-8680 熊本県熊本市中央区大江 2 丁目 5-1)  
E-mail: sh-mizokami@kumagaku.ac.jp

地域への新しい交通サービス導入時には、対象地域に適したサービス設計検討のために事前の導入効果の評価が重要となる。そこで、対象地域の交通利用者へのアンケート調査に基づく交通手段の転換モデルを組み込んだ交通流シミュレーションによる評価を行った。その結果、シミュレーション結果と実測データとの乖離が大きいという課題があった。本研究では、オンデマンド最適配車システムを用いた荒尾市おもやいタクシーを対象に、利用トリップ数に関するシミュレーション結果と観測データとの乖離を最小化するシミュレーションの中のサブモデル（ここではおもやいタクシーへの転換モデル）のパラメータを更新するデータ同化手法を開発した。その手法の概要と適用結果を報告する。

**Key Words:** agent-based model, meso traffic simulator, ride-sharing taxi service, model calibration

## 1. はじめに

地方部では、急速な人口減少と高齢化に伴う公共交通に対する需要の減少とドライバー不足により、採算性の低いバス路線の減便や廃止が進み、交通不便地域や空白地域が拡大している<sup>1)</sup>。しかし、地域公共交通は、自動車を持たない高齢者や学生等の交通弱者にとって暮らしを支えるインフラであることから、地域のニーズに即した従来の公共交通に代わる低コストの移動サービスの提供が急務となっている。そこで、デマンド応答型交通 (DRT: Demand Responsive Transport) が注目されている。DRT は、複数の利用者が乗り合って利用するという路線バスの性質と、予約に応じて利用者の希望する地点間を運行するというタクシーの性質を併せ持っており、複数の利用者を一度に運ぶことで運行費用を抑えつつ、個々の利用者の異なる移動ニーズにも応えることができる。そのため、中山間地など公共交通空白地域におけるコミュニティ交通として運行されている場合が多い。一方で、都市部においても交通不便地域は存在し、既存の鉄道や路線バスを補完する移動手段として DRT 導入が有効な場合がある。しかし、需要の少ない過疎部とは異なり、大量の需要に対して適切な配車計画・経路計画を手で行うことは現実的に不可能である。そこで、近年の位置情報を用いた ICT 関連の技術進歩により、予約配車機能を持つオンデマンド交通のシステムが開発されて

いる。その一つである SAVS (Smart Mobility Vehicle System) は、大量の需要に対してリアルタイムに最適配車を行うオンデマンド型相乗りタクシー配車システムである<sup>2)</sup>。利用者がスマートフォンなどのアプリ上で乗車地と目的地を指定すると、同じ方向へ移動したい人同士が自動でマッチングされ、マッチングされたユーザー同士が同じ車両に乗車することで効率的に輸送できる。熊本県荒尾市では、2018年度と2019年度の2度のSAVSを導入した実証実験を経て、2020年10月より「おもやいタクシー」として本格導入している<sup>3)</sup>。

このような交通サービスを都市に社会実装する場合、地域の道路状況や交通利用者の行動パターンに基づく利用状況を想定しながら、地域のニーズと事業の継続性を考慮して適切なサービスの内容を事前に評価・検討することが重要である。しかし、相乗りタクシーサービスのような新しい交通サービスの場合には、過去に知見がなく導入時の想定が困難な場合もある。一般的に本格導入前に実証実験などが行われるが、多大な労力と費用がかかり、検証できる内容も限定されることから、十分な検証が困難である。

そこで、筆者らは対象地域の交通利用者の行動および交通状況をコンピューター上に再現し新たな交通サービス導入時の利用状況を計測・評価することを目的とした、交通利用者一人ごとの交通行動を表現可能なエージェントベースのメソ交通シミュレータ MAUMS (Multi-Agent-

based Urban Mobility Simulator) を開発し、都市部に相乗りタクシーが導入された場合の評価を行った<sup>4)</sup>。この研究では、MAUMS (旧: K-MATSim) と SAVS を連携した運用シミュレーションを構築し、現状のタクシー需要を前提とした相乗りタクシーの導入効果を検証した。しかし、相乗りタクシーの需要は、単純に従来のタクシー利用者を置き換えたものとしており、サービス導入時に利用者の従来交通手段から相乗りタクシーへの転換の意思決定は考慮していなかった。本研究では、熊本県荒尾市で運用されている相乗りタクシーサービス「おもやいタクシー」を対象として、利用者の相乗りタクシーへの転換モデルを組み込んだ運用シミュレーションを行い、オンデマンド型相乗りタクシーの導入効果を評価した。その結果、シミュレーションでの推計値と実績値との乖離が課題となった。

そのため、シミュレーション結果と利用実績データを合わせるために、サブモデルである相乗りタクシーへの転換モデルのパラメータの修正を試みることにした。シミュレーション結果と実績値データを同化させる試みとしては、重中らの研究がある<sup>5)</sup>。大規模イベントにおける人の流れを再現するために、GPS やカメラなどから得られた局所的な実績データをもとに、人流シミュレーションのパラメータを遺伝的アルゴリズムを用いて更新することでイベント会場からの複数の経路の人の流れを再現した。福田ら<sup>6)</sup>は、交通流シミュレーションにおいて大規模ネットワークを対象として実際の交通状況を再現する際のキャリブレーションにかかる計算コストの大きさを解決するために、交通流ダイナミクスをエリア単位に縮約したキャリブレーション手法を構築した。これは、数値解析モデルで最適化した交通需要を交通流シミュレーションに入力し、シミュレーション結果と解析結果との乖離をさらに数値解析モデルにフィードバックすることで、データの同化を試みるものである。しかし、いずれの研究もシミュレーションのサブモデルである対象とする人々の行動特性パラメータではなく、行動結果となる行動自体を制御する歩行者の誘導や需要自体をキャリブレーションを対象としているため、サービス水準の異なる別シナリオ下においては、人々の行動自体が変化することから、その状況の再現には用いることができない。

そこで、本研究では実績データを用いて、運用シミュレーションのサブモデルである相乗りタクシーへの転換モデルのパラメータのキャリブレーションを行う、シミュレーションベースの最適化手法を開発し適用した。

## 2. MAUMS の概要

MAUMS (Kumamoto Multi-Agent Traffic Simulator) は、筆者らが独自に開発したエージェントベースのメソ交通流シミュレータである。入力された道路ネットワーク、初期交通需要などのシナリオデータに基づいて対象地域の交通環境を生成し、個々の交通利用者の交通行動とそれによって生じる動的な交通流をシミュレートする。

個々の目的地に向けて時々刻々に発生する交通利用者は 1 人のエージェントとして生成され、内挿された交通手段選択モデル、経路選択モデルに基づいて手段と経路の選択を行わせることができる。交通手段選択モデルでは、徒歩や自転車、二輪車、自動車、バス、鉄道、タクシーなど、複数の交通手段の中から効用が最大の交通手段が選択可能である。経路選択モデルでは、当該エージェントの目的地までの複数経路のうち、コストが最小の経路が選択される。経路コストは、経路を構成する各リンクの期待所要時間とする。

次に、個々のエージェントが選択した交通行動を交通ネットワーク上で集計化した交通流シミュレーションを行う。メソタイプの交通流シミュレーションモデルにより車両は一台単位で表現され、各車両の道路リンク上での挙動は交通密度、交通量、平均速度の関係式 (FD: Fundamental Diagram) に基づいて決定される。交通渋滞現象の取り扱い方法には、渋滞の延伸・縮小を考慮可能な Physical Queue モデルを採用している。交通行動のシミュレート後、エージェント単位で当日の交通ネットワーク上での移動実績が、道路リンク単位の移動時間の実績情報として記録され、翌日の交通行動選択時の期待所要時間として反映される。

このように、本シミュレータはエージェントベースシミュレーションとメソ交通流シミュレーションのマクロ・ミクロのループ構造となっており、これらを繰り返すことによってエージェントの交通行動の変化およびネットワーク上の交通状況の変化を表現する。ある程度反復回数を重ねて、全エージェントの行動が収束した時点の結果を、該当ケースに対する定常状態として各種評価指標を算出する。

なお、メソ交通流シミュレーション MAUMS は、交通工学研究会が策定した交通流シミュレーションの標準検証プロセス Verification マニュアル<sup>7)</sup>に基づく標準性能に準ずることを検証済である。

### 3. 相乗りタクシーサービス運用シミュレーションによる評価

相乗りタクシーの導入効果を事前に評価するために、相乗りタクシーへの転換モデルを組み込んだ MAUMS とリアルタイム最適配車アルゴリズム SAVS を連携させた運用シミュレーションを行った(図-1)。

#### 3.1 MAUMS と SAVS との連携

SAVS は、公立はこだて未来大学、名古屋大学、産業技術総合研究所と株式会社未来シェアにより開発されたリアルタイムなオンデマンド型相乗りタクシー配車システムである。大量の需要に対する最適配車・経路探索が可能で、特に、事前予約を必要とせずに乗車したいときに配車依頼を行うことができることや、相乗りが許容されるために車両運用の効率化が図れること、コンピュータ制御により自動かつリアルタイムに配車を行えることなどを特徴とした配車システムである。

本研究では、オンデマンド型相乗りタクシーサービスが導入された状況のシミュレーションを行うために、MAUMS と SAVS を連携させることで、全ての車両および利用者の挙動を MAUMS 上でシミュレートながら、タクシー利用者の予約に対しては SAVS の配車アルゴリズムを用いて相乗りタクシーの最適配車を行う。ここでの SAVS は実運用と同等のクラウドシステムを用いている。実際にタクシー利用者やタクシー車両と SAVS がやり取りをする通信部分を、MAUMS 上でシミュレートされる交通利用者エージェントやタクシー車両エージェントと

表-1 転換モデルのパラメータ

		変数	推定値	t値
利用する	$\alpha$	スケールパラメータ	1.0	-
	price	料金(円)	-0.008	-7.46
	share	同乗者の選択可能性ダミー(1:同性, 0:選べない)	0.643	2.26
	delay	到着予定時刻からの到着遅れ時間(分)	-0.091	-2.75
	age	年齢	0.066	3.81
	current_time	現利用手段による所要時間(分)	0.034	2.96
	gender	性別ダミー(1:男性, 0:女性)	1.107	3.20
	tr_car	現利用交通手段ダミー(1:車, 0:公共交通)	2.264	2.96
	tr_pub	現利用交通手段ダミー(=0:車, 1:公共交通)	2.615	3.20
	bus_dist	自宅から最寄りのバス停までの距離(km)	0.537	1.77
利用しない	$\beta$	定数項	3.264	2.03
			サンプル数	312
			尤度比	0.218
			的中率	0.724

の通信に置き換えている。これにより、SAVS 側は実運用時と同等の処理を行うことができる。MAUMS と SAVS との連携は WebAPI を介して行う。SAVS では、利用者のスマートフォンや PC、タクシー内の車載器とクラウドシステムとの通信は基本的に WebAPI を用いて行われる。これらの WebAPI を用いた通信部分を MAUMS 上のエージェントが模擬することで、あたかも人間や車載器がアクセスしているようにみなすことができる。これにより、実証実験では実現が困難な数万人規模の利用者および数百台の車両が導入された運用状況での検証が可能とした。

#### 3.1 運用シミュレーションモデル

##### (1) 利用者行動モデル

運用シミュレーション上での相乗りタクシーのドライバーおよび交通利用者エージェントの行動ルールを図-2 に示す。運用シミュレーション上で、交通利用者が現在

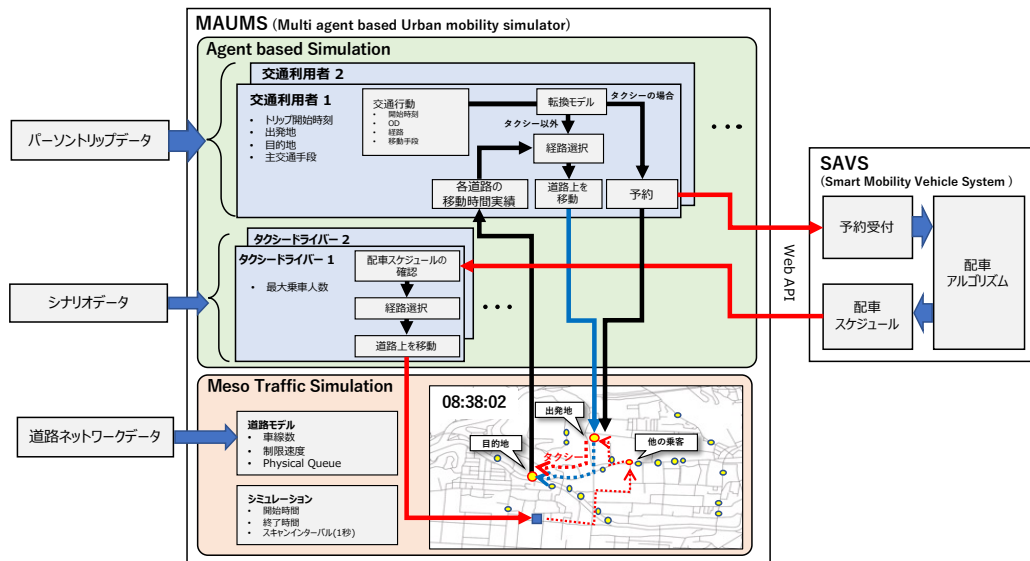


図-1 MAUMS と SAVS の連携処理フロー

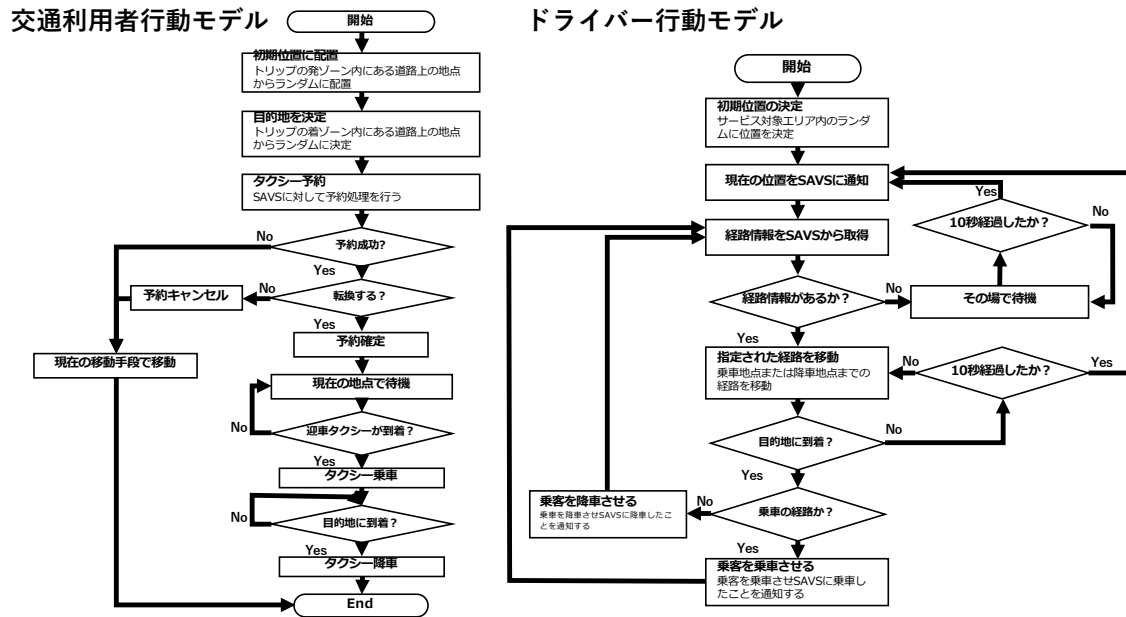


図-2 交通利用者(左)とドライバー(右)の行動モデル

の交通手段から相乗りタクシーへ転換することを再現するためには、相乗りタクシーへの手段転換モデルが必要である。そこで、荒尾市交通実態調査とおもやいタクシーへの選好意識調査（SP 調査）の2つの調査を実施し、調査結果に基づいて推定された相乗りタクシーへの転換モデルのパラメータ<sup>8)</sup>を用いた（表-1）。相乗りタクシーサービスへの転換モデルは、以下の2項ロジットで転換確率 $P$ を算出するものである。

$$v1 = \alpha \times \left\{ \begin{array}{l} (\text{料金} \times price) + \\ (\text{同乗者選択} \times share) + \\ (\text{遅れ時間} \times delay) \dots \end{array} \right\} \quad (1)$$

$$v2 = \beta \quad (2)$$

$$P = \frac{e^{v1}}{e^{v1} + e^{v2}} \quad (3)$$

$v1$ は転換モデルの効用値であり、 $\alpha$ は説明変数間の相対的ウェイトを維持しながら効用差値を一律に更新するスケールパラメータ、 $\beta$ は定数項の更新パラメータである。

運用シミュレーション上では、まず、相乗りタクシー利用可能な交通利用者が相乗りタクシーの仮予約処理を行い、そこで得られた利用の可否、料金、到着予想時刻の情報に基づき、転換確率 $P$ を算出し、0から1の1様乱数を発生させ、転換確率 $P$ 以下の場合に仮予約を確定

し、現在の交通手段から相乗りタクシーに転換するものとした（図-2(左)）。

## (2) ドライバー行動モデル

MAUMS 上でのタクシーエージェントの行動フローを図-2(右)に示す。

## 3.2 運用シミュレーションシナリオ

### (1) 対象エリア

シミュレーション対象エリアは、熊本県荒尾市の「おもやいタクシー」のサービスエリアと同じ図-3の赤枠で示す範囲とした。図中の各ゾーンは、荒尾市交通実態調査におけるゾーンを示す。

### (2) 対象トリップ

シミュレーションの対象トリップは、以下の条件に合致する45,869トリップである。

- 荒尾市交通実態調査結果データのうち、シミュレーション対象エリア内のゾーン間を移動する内々トリップ
- 出発時間、到着時間、性別、年齢および発着ゾーンが無効なトリップは除外
- 自動車の平均乗車人数は1.331人
- シミュレーション対象時間である7:30~18:00に出発するトリップ

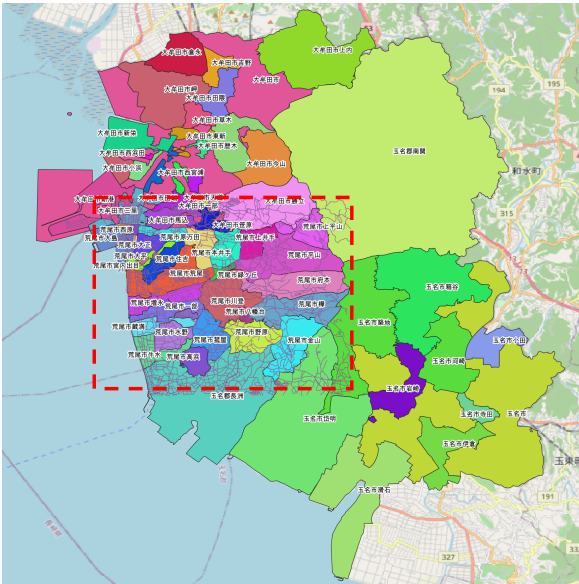


図-3 シミュレーション対象エリア

これらのトリップのうち荒尾市交通実態調査の相乗りタクシーの利用意向に関する項目で「ぜひ利用したい」「条件が合えば利用したい」「利用しようとは思わない」の選択肢において「利用しようとは思わない」と回答したトリップについては、相乗りタクシーの仮予約を行わないものとした。また、荒尾市交通実態調査には、同行者人数データが含まれることから、これを同行者人数として相乗りタクシーを仮予約するものとした。

(3) サービス内容

運用シミュレーションにおける相乗りタクシーサービス内容は、現行のおもやいタクシーのサービス内容に合わせて表-2のとおりとした。

表-2 運用シミュレーションの相乗りタクシーサービス

対象エリア	荒尾市全域	
運行台数	2台	
	休憩時間	1台目 11:30~12:30
	2台目 12:45~13:45	
※休憩時間内の予約は受け付けない		
乗車可能人数	全て3名(セダンタイプ)	
運行時間	8:00~17:00	
※降車予定時間が17:00を過ぎる場合は予約不可		
配車条件	・乗車希望時刻から120分以内に乗車可能	
	・乗降場所間の距離が100メートル以上	
※条件を満たさない場合は予約不成立		
料金	~2km	300円
	2km~3km	400円
	3km~4km	500円
	4km~5km	600円
	5km~	700円

3.3 シミュレーション結果

図-4 に時間帯ごとの利用トリップ数の実績値とシミュレーション結果を示す。シミュレーション結果から得られた利用トリップ数が、全時間帯において実績値よりも過大になっていることが分かる。

おもやいタクシーの2021年4~6月(土日祝日を除く)の実績日平均トリップ数は30であるのに対して、シミュレーション結果は152となり、過大な推計となった。このような結果になった理由として、実在しない選択肢や仮想のサービスに対する選好を表明するSP調査データを用いると、様々な回答バイアスのために推定されたモデルは過大推計することが考えられる。

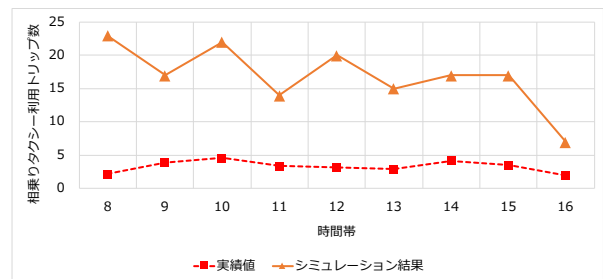


図-4 利用トリップ数の実績値とシミュレーション結果

4. モデルのパラメータ補正

運用シミュレーション結果と実績データをできるだけ一致させるために、運用シミュレーションのサブモデル(ここでは、相乗りタクシーへの転換モデル)のパラメータを現況に合わせて補正することが望ましい。実績データをもとにモデルのパラメータを補正する方法として、目的関数として実績値とシミュレーション結果の誤差を最小化する目的関数を作成し、少しずつパラメータを変化させて最適値を見つける方法が考えられる。しかし、パラメータの更新によってサービスの利用状況が変化し、その影響により待ち時間や移動時間などの属性自体も変化する、いわゆる「マクロ-マイクロループ」が存在する。また、この待ち時間や移動時間は、運用シミュレーションの結果から得られるものであるため、パラメータ探索には膨大な回数のシミュレーションが必要となる。SAVS と連携した運用シミュレーションは計算コストが大きく1回のシミュレーションには10時間以上を要することから、多数実行することは現実的ではない。

そこで、実績データを用いて、運用シミュレーション

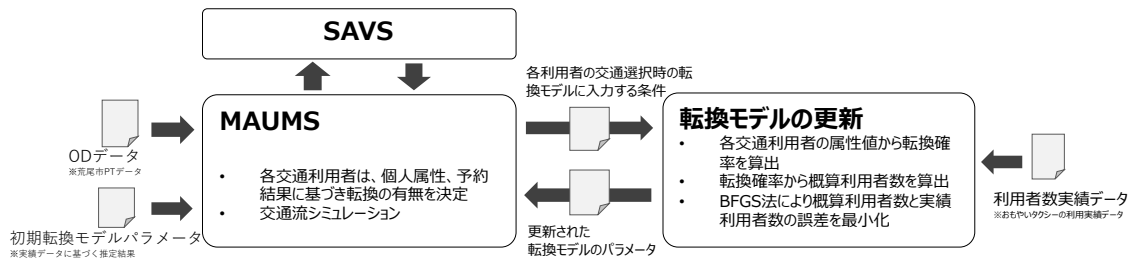


図-5 転換モデルの更新フロー

から推計される値と実績値ができるだけ一致するように、シミュレーションに組み込まれた転換モデルのパラメータを効率的に更新するデータ同化の手法を試みた。

#### 4.1 シミュレーションベースのパラメータの更新

交通流シミュレーション上で個々の交通利用者の転換モデルに入力する条件（個人属性、料金、待ち時間、最寄りバス停までの距離など）を出力し、それらの条件のもとで、パラメータのみを変更して得られる全員の選択確率の平均から推定される利用トリップ数と、実績利用トリップ数を用いて最適なパラメータを計算する。

以下にパラメータの更新方法と手順を説明する。

1. 初期の転換モデル（効用関数のパラメータ $\theta_0$ ）を内装したシミュレーションモデルから得られる全てのトリップの属性 $k \in K$ （たとえば、利用時間帯や現利用手段など）を持つトリップ（総数 $T_k$ ）の転換確率の平均値を $p_k$ とする。
2. 総トリップ数 $T_k$ のうち、実際に相乗りタクシーに転換したトリップ数を $x_k$ とすると、その同時生起確率 $L$ は次の式で表すことができる。

$$L = \prod_{k=1}^K p_k^{x_k} \cdot (1 - p_k)^{T_k - x_k} \quad (5)$$

3. 同時生起確率 $L$ を最大にするように、転換モデルのパラメータを $\theta_n$ に更新する。
4. 更新されたパラメータ $\theta_n$ を用いてシミュレーションモデルを再度実行する。
5.  $n = n + 1$ とし、 $\theta_n$ が収束するまで繰り返す。

ここでは、属性として出発時間帯別の利用トリップ数、比較項目として利用トリップ数とした場合の結果を示す。ただし、前述の通り、得られた最適なパラメータに基づいて運用シミュレーションを行った場合、個々の利用者の行動が変化し、属性の値自体が変化することから実

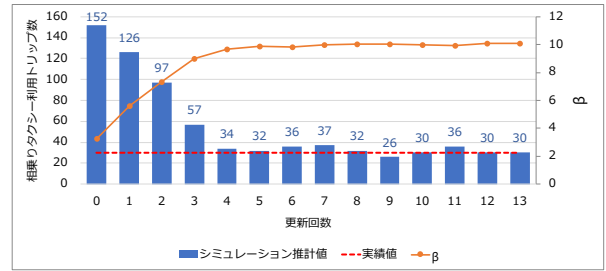


図-6 更新回数ごとの実績値(2021年4-6月)と推計値

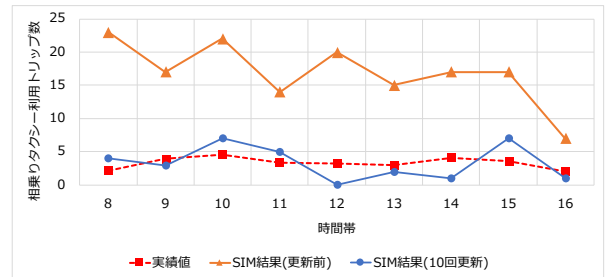


図-7 時間帯ごとの実績値(2021年4-6月)と推計値

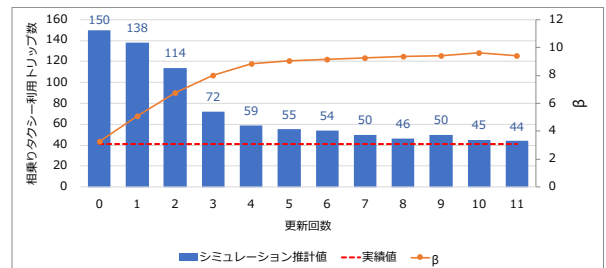


図-8 更新回数ごとの実績値(2022年4-6月)と推計値

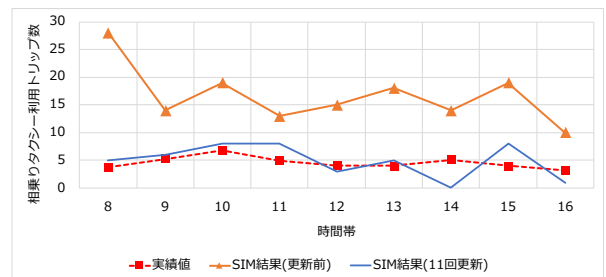


図-9 時間帯ごとの実績値(2022年4-6月)と推計値

績データとは必ずしも一致しない。そのため、更新パラメータの変動が収束するまで、運用シミュレーションとパラメータの更新を繰り返し実施する (図-5)。

## 4.2 モデルパラメータの更新結果

転換に対する効用 $u_i = u_i(\theta)$ の全てのパラメータ $\theta$ でなく、

$$u_i' = \alpha \cdot u_i(\theta) + \beta \quad (6)$$

とする定数項 $\beta$ のみを更新する。実績データとして、2021年と2022年のそれぞれ4~6月(土日祝日は除く)のおもやいたクシーの利用トリップ数を適用した。

図-6に2021年4~6月の実績値に基づくパラメータの繰り返し更新ごとの $\beta$ およびシミュレーション結果として得られた相乗りタクシーの利用トリップ数を示す。相乗りタクシー利用トリップ数の実績値である30.03人に対して、更新を繰り返すごとに実績値との乖離が小さくなり、10回の更新により実績値周辺で収束していることがわかる。また、図-7に示す時間帯ごとの利用トリップ数の実績値と推計値から、更新を繰り返すことで時間帯ごとの乖離も小さくなっていることが分かる。

図-8および図-9は、それぞれ1年後の2022年4~6月の実績値に基づく繰り返し更新ごとの利用トリップ数の実績値と推計値の推移および時間帯ごとの実績値と推計値を示す。こちらも同様に、実績値である40.92人に対して、更新を繰り返すごとに実績値との乖離が小さくなり、11回程度での更新により実績値周辺で収束している。また、更新により時間帯ごとの乖離も小さくなっている。

以上のことから、定数項 $\beta$ のみであっても、シミュレーションベースのパラメータ更新により、シミュレーション結果を実績値に近づけることが可能なことを確認できた。ただし、時間帯ごとに誤差のばらつきがあるため、今後、他のパラメータを含めた更新することを試みる予定である。

## 5. おわりに

本研究では、熊本県荒尾市の「おもやいたクシー」を対象に、相乗りタクシーサービス導入時の評価を目的として、相乗りタクシー利用意向調査結果から推定された相乗りタクシーへの転換モデルを組み込んだ運用シミュ

レーションを、実際のオンデマンド型相乗りタクシー配車システムと連携させて実施した。また、運用シミュレーション結果と実測値を近づけるために、実測値を用いたモデルパラメータのデータ同化的手法によりシミュレーション精度の改善を図った。

その結果、以下の成果を得ることができた。

- 1). オンデマンド型相乗りタクシー配車システムと連携させることで、想定される需要に基づいて実際の配車状況をコンピュータ上で再現できた。
- 2). 調査結果から推定された相乗りタクシーへの転換モデルのパラメータをそのままシミュレーションに適用する場合には、実績と大きく乖離してしまう可能性があるため、キャリブレーションの必要があることが分かった。
- 3). 開発したシミュレーションベースのモデルパラメータの更新手法を適用した結果、比較的少ない更新回数で、更新前と比較し推計値と実績値との乖離を大幅に小さくすることができた。

今後は、推定された相乗りタクシーへの転換モデルのパラメータに基づき、実績のない時点での推定精度の検証を行う予定である。

少子高齢化の進行により、今後さらに効率的な都市交通システムを設計・運用していくことが求められるが、移動形態や交通手段の多様化に伴い、各交通モードの相互依存性と人々の交通行動の不確実性は高まっており、急速に変動する状況に応じて適切かつ柔軟に施策を講じていくことが必要である。そのために、施策検討の際の判断材料としてシミュレーションを活用することは有用であるが、シミュレーションモデルは、より現況を反映したものであることが望ましい。そこで、実績データをシミュレーションモデルに反映することができれば、より現状に即した結果を得ることができよう。本研究から、様々な新しい交通実績値を継続的にモニタリングすることで、様々な運用シミュレーション精度向上に活用できることが示唆された。

謝辞：本研究は国土交通省委託研究「道路政策の質の向上に資する技術研究開発調査」により実施された研究の一部であることを記す。

## 参考文献

- 1) 人口減少下の持続可能なコミュニティ交通ーライドシェアとモビリティの自治による交通体系の再構築, JRI レビュー, Vol.6, No.67, 2019.
- 2) 中島 秀之, 松原 仁, 平田 圭二, 鈴木 恵二, 田柳 恵美子, 金森 亮, 野田 五十樹, 佐野 渉二, 落合 純一, 松館 渉: 地域交通の未来像としてのスマートアクセスビークルサービス, 人工知能学会全国大会論文集, No.18, 4F2-OS-11d-04, 2018.
- 3) 熊本県荒尾市: 平成 30 年度あらお相乗りタクシー実証実験結果報告, [https://www.city.arao.lg.jp/pdf/dlPq=57461\\_filelib\\_7a914935b306ec40acffe5509053351a.pdf](https://www.city.arao.lg.jp/pdf/dlPq=57461_filelib_7a914935b306ec40acffe5509053351a.pdf), 閲覧日 2022 年 9 月 25 日.
- 4) 森俊勝, 溝上章志, 金森亮, 松館渉: 交通シミュレーションモデルを用いた都市部への相乗りタクシー導入の評価, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol.76, No.5 (土木計画学研究・論文集第 38 巻), I\_1321-I\_1330, 2021.
- 5) 重中秀介, 大西正輝, 山下倫央, 野田五十樹: データ同化を用いた大規模人流推定手法, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol. J101-D, No. 9, pp. 1286–1294, 2018.
- 6) 福田大輔, 壇辻貴生: 近未来交通システム導入時の道路空間再配分に関する数理モデル研究, 第 22 回 J I C E 研究開発助成成果報告会, 助成受付番号 第 20006 号 研究課題番号(7), [https://www.jice.or.jp/cms/kokudo/pdf/review/assistancess/results/2022/20006\\_7-1\\_Gaiyo.pdf](https://www.jice.or.jp/cms/kokudo/pdf/review/assistancess/results/2022/20006_7-1_Gaiyo.pdf), 閲覧日 2022 年 9 月 25 日.
- 7) (社)交通工学研究会 交通シミュレーション自主研究委員会: 交通流シミュレーションの標準検証プロセス Verification マニュアル (案), <http://www.jste.or.jp/sim/manuals/VfyMan.pdf>, 閲覧日 2022 年 9 月 25 日.
- 8) 八戸龍馬, 古賀逸人, 森俊勝, 溝上章志, 金森亮, 松館渉: 荒尾市における相乗りタクシー実装運行実現の経緯と準備, 土木計画学研究・講演集, Vol.62, No.20-08, 2020.11.

(?????.?? 受付)