

プローブカーデータを利用した タクシードライバーの個人特性の分析とモデル化

Analysing and Modeling Individualities of Taxi Drivers' Driving Behaviors using Probe-Car Data

金月 寛彰 *1
Hiroaki Kingetsu

服部 宏充 *2
Hiromitsu Hattori

*1 京都大学大学院 情報学研究科
Graduate School of Informatics, Kyoto University

*2 立命館大学 情報理工学部
College of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University

Multiagent-based traffic simulation is recognized as an effective technique to evaluate the public transport policy and regulation. To conduct the sophisticated simulation, the difficulties are to obtain individual behavior models based on observed data in the real world. In this paper, we consider the modeling of drivers' individualities using the vehicle positioning data. We use the taxi probe-car data to analyze the characteristic behavior in terms of acquisition strategy, and build a taxi model used that results.

1. はじめに

都市交通に関して、渋滞対策、道路線形の変更、また CO₂ 排出量削減のための各種施策などを実施する場合、その影響を十分に事前検証する事は重要である。マルチエージェントシミュレーション (MASim) は、個々の行動主体をエージェントとして構築し、その行動の集積から集団としての現象を生成するマイクロシミュレーションの一形式である。MASim に基づく交通シミュレーションは、施策効果の事前検証に対する、従来のマクロ交通シミュレーションとは異なるアプローチとして、現在までに様々な研究が行われている [交通 04, Davidsson 05, Mizuta 12]。

都市交通は様々な種類の車両によって構成されており、タクシーはその一種である。日本では欧州諸国と比べ一人あたりのタクシー車両数が 3 倍近くと比較的多い事から [ECMT 01, ハイ 14]、タクシーの挙動を分析し、その行動をモデル化してシミュレーションに組み込む事は、都市交通流の再現や施策の検証に対して有益である。本論文では、タクシーの挙動分析に焦点をあて、その計算モデル化について検討する。

決められた経路を辿るバスとは異なり、タクシーは走行経路を自由に設定できることから、顧客獲得を目的とした非一様な行動戦略が仮定できる。従来の交通工学分野では、アンケートや定点観測による交通量調査をもとに、OD (Origin-Destination) を推定し、集計モデルの構築がなされてきた [Salanova 11]。ここでは、主に車両の種類毎 (e.g., タクシー, 一般車両) にモデルの構築が行われ、ドライバー毎の行動の個別性に注目し、個別に行動モデルを構築するアプローチは少ない。個々の車両を独立した行動主体 (エージェント) とみなす MASim では、個々の行動特性の分析に基づく行動モデルを各々のエージェントに実装できるため、より自然な交通流の再現が期待できる。本論文では、タクシーの行動戦略における個別性に注目する。

近年、プローブカーから収集されたデータによって、車両の行動履歴を高精度で追跡可能となっており、獲得データの分析から個人特性を抽出できる可能性がある。ここでの課題は、タクシードライバーの個人特性を定義し、モデルに反映させる方法である。本論文では、個人特性の分析とタクシー全体に共通する特性の分析を巧みに相互作用させる方法を試みる。具体

的には、多くのドライバーに共通する運転行動を抽出した後、個々のドライバーの行動がどれだけその共通行動から差異があるかに着目する。抽出した共通行動の特徴からタクシー全体の戦略を状態遷移機械を用いてモデル化し、個々のドライバーを、状態遷移のパラメータを変化させることで戦略の個人特性を表現する。本論文では、京都市内を走行するタクシーの約一ヶ月間のプローブデータを利用し、タクシーの運転行動モデルの構築を試みる。

2. 準備

2.1 関連研究

タクシーの運転行動のモデル化は交通工学分野において、これまで様々な研究が行われてきている [Salanova 11]。Cheng らはタクシーの運転行動のエージェント技術を援用したタクシーシミュレーターを開発している [Cheng 11]。Cheng らの研究では、現実的なタクシーの挙動を再現するシミュレータの構築を目的として、シンガポールにて取得されたプローブカーデータを利用したタクシーの運転行動モデルの構築が行われている。しかし、ここでのモデル化されたタクシーの挙動は全ドライバーで共通したものとなっており、ドライバー個々の行動の個別性に着目したモデル化は行われていない。

2.2 タクシーの基本行動

本論文では、タクシーの状態として以下を定義する。

- 実車
顧客を乗せて走行している状態。
- 空車
顧客を乗せずに走行している状態。
- 休憩
空車だが顧客獲得のために車両を走らせていない状態。

営業中のタクシーの行動については、以下に挙げる二つの顧客獲得のための戦略が先行研究によって知られている [吉井 05]。

付け待ち営業 駅付近や繁華街近くの路上、またはタクシー乗り場において顧客を待ち、そこから乗車する顧客を獲得する営業形態。

流し営業 顧客を探しながら道路を走行して、顧客を獲得する営業形態。

連絡先: 金月寛彰, 京都大学大学院情報学研究科, 〒 606-8501 京都府京都市左京区吉田本町, 075-753-5396, kingetsu@ai.soc.i.kyoto-u.ac.jp

本論文では、営業中のタクシーの基本行動として、空車時にはこれら二つの営業戦略のいずれかに従って行動するものとした。

2.3 本論文の目的

タクシードライバーの個性は様々な観点に基づいて規定できる。タクシーを一般車両やバスと比較したとき、タクシー固有の運転行動として、顧客を獲得するための戦略決定行動がタクシーの運転行動を決定づける主因であると考えられる。そこで、本研究では顧客獲得のための営業戦略に個々のタクシーの個人特性が存在すると仮定する。より具体的には、空車時のタクシーが行う付け待ち営業と流し営業の選択割合、および営業を行う場所または地域がドライバーごとに異なるものとする。本研究では、プローブカーデータから以下に挙げる内容について分析する。

- 付け待ちをする場所の傾向
- 流し営業時の流し地域の傾向
- 顧客獲得戦略の選択傾向

3. プローブカーデータに基づくタクシー運転者の行動分析

3.1 プローブカーデータの詳細

本論文では、京都市を中心に営業中のタクシーを対象に、タクシー事業者より提供されたプローブカーデータを用いる。本データは、2014年1月12日から2014年2月18日までの期間に取得されたものである。データの取得期間において、一日以上の運転履歴が存在した車両数は792車両であり、これらの車両から平均して一日あたり約700,000の位置情報が記録されている。各々の位置情報は、データ発生時刻、車番、緯度、経度、および車両ステータスの5つの属性に関するデータから成る。車番は車両を一意的に識別する車両IDである。また、車両ステータスは車両の状況に関する説明データであり、具体的には、実車、または空車といった顧客の乗車状況を表す情報である。本論文では、車両ステータスのうち、実車、空車、休憩、および割増のデータを扱う。割増とは、深夜帯に実車となった場合のステータス表示であり、本論文では実車データと同質のものとして扱うこととする。本論文で用いたプローブカーデータの一例を表1に示す。

プローブカーデータは、記録システムの仕様上、一定の時間間隔で記録される。ただし、基幹道路では記録状況は良好であるのに対して、本論文で対象とする京都市内に多く含まれる細街路ではGPSの電波受信に障害が起こりやすい。そのため、データに欠損が生じ、データの記録時間が非一定となっている。そこで、一秒間隔で位置情報が得られるよう、プローブカーデータに対して補完処理を行った。本処理では、実データ中の近傍二点の経緯度情報を基に、車両角度や走行速度を算出する。なお、プローブカーデータには、観測不良等により、地理的に大きく離れた位置が記録されたノイズデータが含まれる。そこで、補完処理において、速度が閾値以上（本論文では150km/h）となった場合に、異常値として取り除く処理も併せ適用した。

プローブカーデータは、データの取得日時、および経緯度を示す位置情報の集合である。数値データから実際の交通の状況を理解する事は困難で、データが示す車両挙動の検証・分析がしにくくなる。そこで、分析を支援するツールとして、プローブカーデータを可視化し、車両の行動を視覚的に確認可能と

表 1: プローブカーデータの内容

発生時刻	経度	緯度	車両 ID	車両ステータス
2014/01/12 14:00:00	136.54321	34.56789	12	空車
2014/01/12 14:00:07	136.54331	34.56789	12	空車
2014/01/12 14:00:14	136.54342	34.56790	12	空車
2014/01/12 14:00:30	136.54350	34.56791	12	空車
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

するためのビューを開発した(図1)。本ビューは、交通流を車両の集合として表現する、細粒度での交通流の可視化を可能としている。また、本ビューは、異種の情報を表示したレイヤを重畳表示するよう実装されており、道路ネットワーク、個々の車両の位置情報に基づいて描画される車両画像、車両ステータスの文字情報、トリップの発生・終了地点、各道路区間の混雑状況、およびバス停など道路周辺環境情報を、ユーザの要求に従い表示できる。また、縮尺の変更や、表示時間の設定、および情報表示の再生・停止・逆再生といった基本機能を備えている。これら各種機能により、データを基に生成される交通流の検証を支援する。

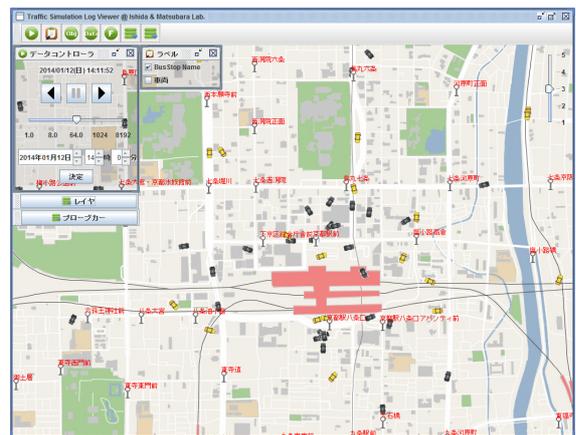


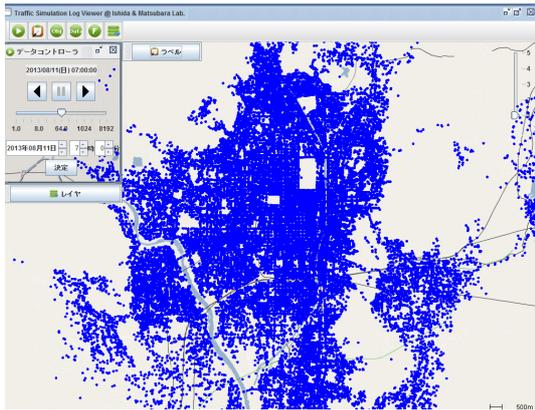
図 1: ビューによる京都駅周辺の可視化例

3.2 付け待ち営業場所の分析

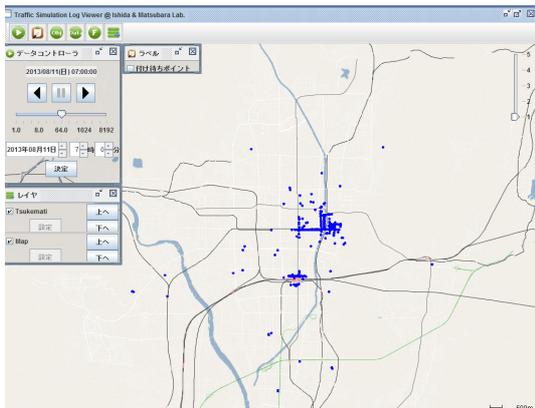
分析のために、本論文では、タクシーのトリップを、車両ステータスが空車から実車へと変化したときを起点、実車から空車へと変化したときを終点として定義した。

まず、任意のトリップが、付け待ち営業と流し営業のいずれによって獲得されたかを判別する。営業形態の特定のために、吉井らの先行研究に基づき [吉井 05]、トリップ起点の直前6分間における平均速度(以後、出発前平均速度と記す)を利用する方法を採用した。具体的には、算出した出発前平均速度に対して判別分析法を適用し、クラス内分散とクラス間分散の分散比が最大となる閾値を定めて、速度の遅いクラスを付け待ち営業、速いクラスを流し営業として2つのクラスに分割する。この結果に基づいて、付け待ち営業の場所を特定する。

データ取得期間に発生した全トリップに対して本手法を適用し、出発前平均速度 10km/h を閾値としてトリップの起点を取得した。1辺を経緯度1秒とした矩形内でトリップが発生し



(a) $\theta=1$ のとき



(b) $\theta=70$ のとき

図 2: 付け待ち営業によるトリップ発生地点の可視化

た場合に矩形の中心点を表示する形式で、付け待ち営業によるトリップ発生地点を可視化した結果を図 2 (a) に示す。本図に示す結果は、広域に多数の付け待ち営業場所が存在する事を示すが、市内の中心地域を埋め尽くすなど、現実的な結果とは考え難い。交通状況によって出発前平均速度が閾値を下回る状況で顧客を獲得するなど、付け待ち営業とは見なせないトリップが多数含まれた結果によるものと考えられる。そこで、次に、各矩形におけるトリップの発生数を算出し、閾値 θ を下回った地点を、付け待ち営業の場所とみなすのは不相当として取り除く事とした。 θ の任意の値以上の発生回数が生じた付け待ち場所の地点を表 2 に示す。閾値に明確な選定基準を与える事は難しいため、本論文では、 $\theta = 70$ を採用する事とした。その場合の可視化結果は図 2 (b) の通りである。得られた結果は、付け待ち場所が繁華街や駅周辺、定められたタクシー乗り場の位置と整合するものとなって、道路上の不自然な位置は示されおらず、付け待ち営業の地点を適切に把握できていると判断した。

3.3 流し営業時の営業地域の傾向

流し営業によるトリップを抽出し、どの地域において流し営業が行われているのかを分析した。前節に述べた通り、出発前平均速度が 10km/h を超えるトリップを流し営業によるものとした。流し営業によるトリップの起点を図 3 に示す。付け待ちと異なり、流し営業は地域全体に渡って幹線道路、細街路ともに幅広く行われることがわかる。次に、タクシーが流し営業時にどのような地域を重要視しているかを分析した。図 4 は、

表 2: トリップの発生回数によるフィルタリング結果

閾値 θ	n
1	34035
30	762
50	369
70	234

京都市全域を、1 辺の経緯度を 10 度とした矩形で区切り、矩形ごとの滞在時間を色により可視化したものである。疑似色を用いて滞在時間の長短を表現し、赤が滞在時間が長い区間、青が短い区間として可視化した。図中の赤い矩形は京都駅周辺に該当し、また黄や緑の矩形が連なる区域は交通量の多い繁華街である四条通に該当する。さらに、四条通周辺や、この地域と京都駅を結ぶ経路での滞在時間が長くなっている事が分かる。

以上の結果から、タクシー全体の傾向として、京都駅や四条通の 2 つの地域を中心に営業が行われており、空車時のタクシーが京都駅、または四条通の片方で顧客を獲得できなかった場合、もう片方の地点に営業場所を移していることも推察できる。最後に個々のタクシーの営業地域の傾向をパラメータとして獲得するため、本手法を個々のタクシー車両ごとに適用し、個々のドライバーが空車時にどの地域に滞在しがちであるかの傾向についてパラメータを獲得した。

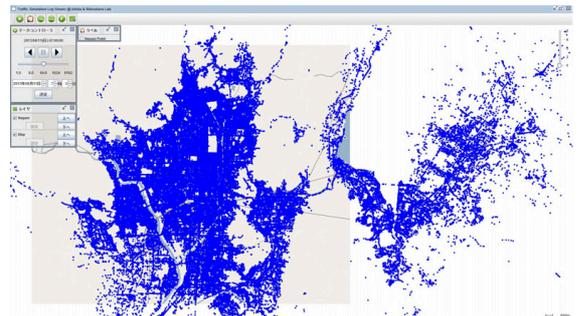


図 3: 流し営業によるトリップ発生地点の可視化

3.4 顧客獲得戦略の選択傾向

算出した付け待ち場所や流し営業による顧客を獲得した地点を元に、すべてのトリップの起点に対して付け待ち営業、または流し営業のどちらの戦略による顧客獲得なのかを判別した。タクシーは平均して 1.5 割のトリップを付け待ち営業に費やしている結果となった。一方で、顧客獲得の半数を付け待ち営業に費やすタクシーもあり、付け待ち営業を重点的に行うことで顧客を獲得するタクシーの存在が明らかとなった。

4. タクシー走行モデルの構築

分析結果を基に構築したタクシードライバーのモデルを図 5 に示す。本モデルは、タクシーの状態として実車、空車、休憩、付け待ち、流しの状態を定義し、有限状態遷移機械として表現した。それぞれの状態において、タクシーは以下のように振る舞う。

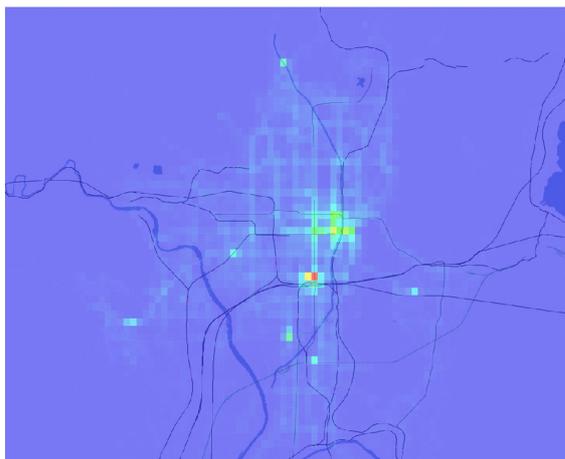


図 4: 空車時のタクシーの滞在地域の可視化：赤（滞在時間が長い） 青（滞在時間が短い）

Strategy Choice (戦略決定): タクシーは空車状態となると、次の顧客を獲得するために戦略決定を行い、付け待ち営業、あるいは流し営業を行うかの選択を行う。

Queuing (付け待ち営業): 付け待ち営業を選択したタクシーは次の顧客を獲得するまで付け待ち場所へと移動をする。タクシーは付け待ち場所に到着すると、待ち行列の最後尾にキューされる。付け待ち場所へ向かう途中に顧客に拾う可能性を考慮し、付け待ち営業から流し営業への遷移を許容する。

Crusing (流し営業): 流し営業を選択したタクシーは、顧客獲得が望める道路を走行する。走行するタクシーが、タクシーを止めようとする旅客に近づいたとき、タクシーは顧客を拾い実車へと遷移する。

Occupied (実車): 顧客を獲得したタクシーは実車状態となり、目的地へ向かう。顧客を目的地まで運び終わると空車となり、戦略決定へと遷移する。

Rest (休憩): タクシーは顧客を乗せていない状態になると任意のタイミングで休憩状態に入る。

タクシーの営業戦略の選択傾向は遷移確率として表現され、そのパラメータは分析によって得られた個々のドライバーの営業選択傾向によって決定される。これらのパラメータは、3.章の分析結果を適用する。一つのタクシー車両につき、個人特性が表現されたパラメータを与えた一つのモデルが対応する。シミュレーションにおける車両の増減については、正規分布を仮定した確率分布を用いて生成したパラメータを各エージェントに割り当てることにより対応が可能となる。

5. おわりに

本論文では、MASimに基づく交通流生成を目的として、タクシーの挙動のモデル化を行うために、プローブカーデータを用いたタクシードライバーの個人特性の分析を行った。付け待

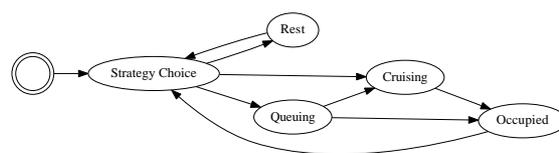


図 5: タクシーの行動モデル

ち営業と流し営業の割合を算出することで、ドライバーごとに顧客の獲得方法に傾向があることを示した。また、多くの車両から観察できる特徴から、個々のドライバーがどれだけ逸脱しているかを分析し、状態遷移のパラメータを変化させることで、個人特性を表現した。

今後は、本論文で示したモデルを用いた MASim 環境を構築し、モデルの検証を行っていく必要がある。また、顧客についても潜在的な顧客の分布を統計データから推測する必要があり、より現実的な交通流の再現のためにさらなる検証が必要である。

参考文献

- [Cheng 11] Cheng, S.-F. and Nguyen, T. D.: TaxiSim: A Multiagent Simulation Platform for Evaluating Taxi Fleet Operations, in *Web Intelligence* (2011)
- [Davidsson 05] Davidsson, P., Henesey, L., Ramstedt, L., Törnquist, J., and Wernstedt, F.: An analysis of agent-based approaches to transport logistics, *Transportation Research part C: emerging technologies*, Vol. 13, No. 4, pp. 255–271 (2005)
- [ECMT 01] ECMT, : *Economic Aspects of Taxi Accessibility*, OECD Publishing (2001)
- [Mizuta 12] Mizuta, H., Yamagata, Y., and Seya, H.: Large-scale traffic simulation for Low-Carbon City, in *Proceedings of the 2012 Winter Simulation Conference (WSC-2012)*, pp. 1–12 (2012)
- [Salanova 11] Salanova, J. M., Estrada, M., Aifadopoulou, G., and Mitsakis, E.: A review of the modeling of taxi services, *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, Vol. 20, pp. 150–161 (2011)
- [ハイ 14] ハイタク問題研究会：2014 ハイヤー・タクシー年鑑，東京交通新聞社 (2014)
- [吉井 05] 吉井稔雄，藤田大輔，北村隆一：プローブデータを用いた空車タクシー挙動分析，第 31 回土木計画学研究講演集 (2005)
- [交通 04] 交通工学研究会：交通シミュレーション適用のススメ，交通工学研究会 (2004)