

交通ログからの意思決定モデルの抽出と交通流動の分析

Extracting Driver's Decision Making Models from Traffic Log Data and Traffic Flow Analysis

服部 宏充 中島 悠 宮澤 佑樹 中井 喜之 石田 亨
 Hiromitsu Hattori Yuu Nakajima Hiroki Miyazawa Yoshiyuki Nakai Toru Ishida

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

Multiagent-based traffic simulation is one of the promising approach to understand and analyse traffic flows in the real world from the microscopic view point. The key technology to conduct realistic simulation is driving behavior modeling. Although we have already worked on driver modeling using participatory design techniques to obtain driving behavior models which can reproduce individual behaviors, in this paper, we propose a technique to construct driving behavior models based on traffic logs obtained in the real world. Concretely, we construct models which can reproduce typical driving behavior (decision making on driving speed) of route buses in the city of Kyoto. We also show the flow reproduced by constructed models on our simulation viewer.

1. はじめに

近年、マルチエージェントシミュレーションの適用分野は、災害時における避難誘導実験など多岐にわたっているが [2], 有望な適用先として交通問題が挙げられる [3, 5]. 交通渋滞によるわが国の経済的損失は 12 兆円に上るとの試算もあり, 重要な社会問題と認識され, 有効な技術が求められているからである. 交通は, 多数の車両挙動の集積から発生する社会現象である. 運転者の運転特性, 認知能力の多様さ, および交通を形成する車両の種類などにより, 様々な交通現象が観測され得る. 交通システムは現代社会の重要な基盤である事から, 何らかの方法でシステムを統制し, 全体の挙動を円滑化する必要がある. しかし, 交通現象の予測の困難から, 統制のための施策の効果を事前に評価する事が難しい. 例えば, ある道路に速度規制を設けるという施策を実施した場合に, 各運転者がそれぞれどのように運転の挙動を変化させ, その結果, 交通にどのような変化が起こるかを事前に知る事は難しい. 社会実験は, 交通施策の事前検証の一手段であり, 例えば京都市などで近年実施されているのだが*1, このような社会実験は, コストの面から実施は容易ではない. ここに交通シミュレーションの需要があり, 仮想的な環境上で様々な交通施策を適用したシミュレーションを繰り返す事で, 施策の効果や影響の比較・検証ができ, 実世界における制度設計に活用できる. 特に, マルチエージェントに基づくシミュレーションにより, 車両 1 台毎の挙動を基に交通の再現が可能となる.

筆者らは, 都市交通の再現を目標として, これまでに人間の運転挙動のモデル化に取り組んできたが, 都市の交通を構成する運転者のモデルを網羅するのは容易ではない. そこで, 実世界で蓄積されているデータを基に基本的な運転挙動を再現するモデルの構築に取り組むこととし, その端緒として, 路線バスの走行モデルの構築を試みた. 路線バスに着目したのは, 始点, 終点, およびその間の走行経路が固定されており, また基準となる運行スケジュールが決められている, 走行に関して制約がある事, さらに, 一般的には, 急な加減速や無理な追い越

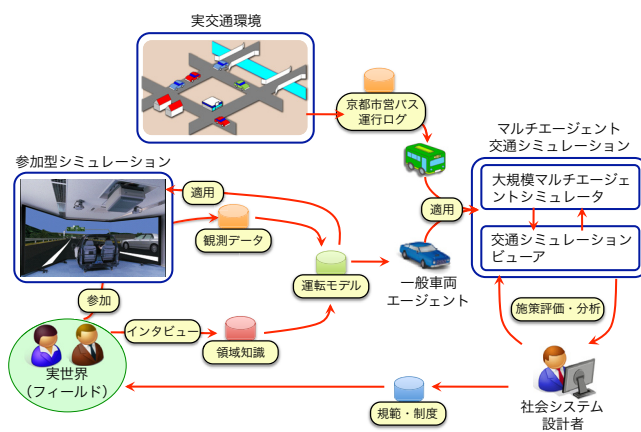


図 1: アプローチの概要

しなどを避ける事から, 運転手毎の運転特性が発現しにくく, 多様性の低い走行が予想されるため, 走行を再現するモデルを構築しやすいと考えられるためである.

本論文では, 京都市交通局から提供を受けた, 京都市営バスの運行ログデータを基にして, 典型的なバスの走行を再現する走行モデルの構築を行う. より具体的には, 実測データを基に, バスの通過を検知する検知点間の平均的な走行速度を算出し, 走行条件に適した速度を出力するルールから成るモデルを構築する. 本論文では, 走行モデルの構築方法について述べ, 筆者らが試作した多層型の交通シミュレーションビューア上で, モデルから得られたデータにより, 市内の交通状況を概観できる事を示す.

2. マルチエージェントに基づく交通シミュレーション

2.1 アプローチの概要

図 1 に, 交通シミュレーションの実現のためのアプローチの概要を示す. 筆者らはこれまでに, 参加型デザイン [4] の手法に基づいた運転行動のモデル化の手法を提案している [5, 1]. このモデル化のプロセス (図の左下部分を参照) では, まず 3

連絡先: 服部宏充, 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, hatto@i.kyoto-u.ac.jp

*1 京都市 歩いて楽しいまちなか戦略: <http://www.city.kyoto.jp/tokei/trafficpolicy/machinaka/>

次元仮想空間上に実世界の交通環境を再現し、人間の運転者と運転モデルに基づいて走るエージェントが混在する参加型交通シミュレーションを実施する。交通は常に環境が変動するシステムであるために、実世界では実験・観察には障害が多く困難があるが、仮想環境で行う参加型シミュレーションでは、統制された交通環境下で人間の運転挙動を観察することが可能になる。参加型シミュレーションで得られた運転挙動の観測データに加えて、シミュレーションに参加した被験者とのインタビューを行い、観測データを説明するための領域知識を獲得する。より具体的には、観測された運転操作を行った理由となる認知対象物や心理状態などに関して被験者から聞き取り、どのような条件下でどのような操作を行うかを表した、被験者の行動規範を得る。観測された運転挙動には被験者の特徴が現れていると仮定すると、領域知識に基づいて観測挙動を説明できれば、その説明は被験者の運転操作の特徴を説明したものと読み替えることができる。運転モデルは領域知識に基づく観測データの説明の実装である。筆者らが提案した手法は、被験者の操作を説明する領域知識の集合を持ち、周辺環境に基づいて適切な知識を適用するモデルを構築する手法である。

筆者らは、さらに、実世界の交通環境で観測されたログデータを基に走行を再現するモデルを構築し、上記の多様な運転特性を反映したモデルに基づく車両エージェントとあわせて、現実に近似した都市交通を大規模に再現する事を試みている。すなわち、参加型デザインの技術の援用により獲得した行動・意思決定メカニズムに基づく運転行動モデルと、蓄積された実測データの分析により獲得した走行再現モデルを組み合わせ、実世界における人間の多様な運転行動と、都市における交通の流れを高精度、かつ大規模に再現する事に挑戦している。

GPS などの利用により、車両の走行に関する情報を記録した交通ログが入手可能な状況が、近年整いつつある。本論文では、利用するログデータとして、京都市内を走行する路線バスの走行ログデータを利用することとした。これは、前節で述べたように、路線バスの走行モデルの構築は比較的容易であると推測されることに加え、広域を走行しているバスの走行を分析することで、市内の交通理解に役立つ知見の獲得を狙うからである。

2.2 マルチレイヤ型交通シミュレーションビューア

都市交通は周辺の様々な要素に左右されるため、分析は容易ではない。例えば、信号制御の方法や、周辺の商業施設によっても交通は影響を受ける。一般に考慮する要素が多く、それらの関係が複雑になるほど、要素間の関係の把握は困難になる。そこで筆者らは、網羅的な情報提示だけでなく、対象を絞った観察・分析のために、マルチレイヤ型の交通シミュレーションビューアを実装した。本ビューアは、ユーザが選択した情報のみを重畳的に描画する、またユーザの要求に基づく表示情報の逐次的な追加・削除を行う機能を持つ。本論文の実装では、京都市街地に関連するデータを用いた。より具体的には、京都市街地をカバーする地図情報、京都市内を運行する路線バスから生成したバスエージェントの走行シミュレータ、およびバス停の所在データをそれぞれ描画するレイヤーを適宜重畳して表示する。ビューアの概要を図2に示す。図に示す通り、本ビューアは、表示内容を生成する「描画データ生成部」と、生成した画像を合成する「描画レイヤ合成部」の2つの部分から成る。描画データ生成部は、外部から接続される様々なデータソースを基に、レイヤ上に描画する画像を生成する。描画データ生成部は、観察（分析）対象毎に異なる画像を生成し、各々の画像を別々のレイヤ上に描画する。描画レイヤ合成部はレイヤを重ね合わせ、複数の画像を合成した結果をユーザに対して表示す

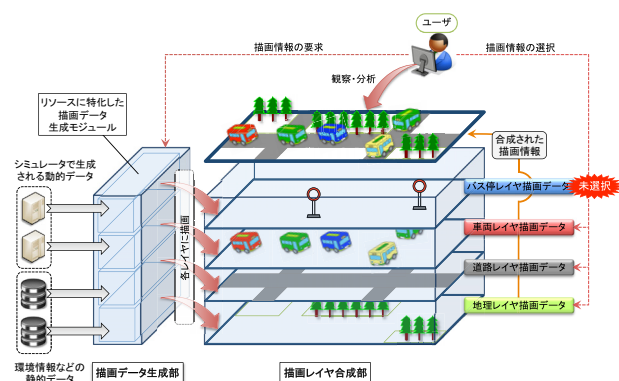


図2: マルチレイヤ型交通シミュレーションビューアの概要

る。このように、別個のデータソースからの情報を合成して表示するアプローチは、文献[6]にも見られるように統合的な情報表示の一つの方法である。

図2に示す通り、本ビューアでは、入力されたデータはレイヤ上に画像として描画されるステップまで独立して処理され、途中でデータが合成される事はなく、ユーザが閲覧する段階で、レイヤの重畳によって合成される。観察対象毎に情報を画像化し、管理するため、ユーザは表示対象レイヤの選択・未選択によって表示内容の変更ができる。選択的な情報表示が容易に行える事で、分析対象を適宜切り替えて閲覧する事を可能とする点は、本ビューアの利点と言える。

3. 交通ログに基づく走行モデルの構築

3.1 準備

本研究では、京都市営バスの運行ログデータを利用する。ログデータは、京都市内各所に設置された検知点をバスが通過した際に、情報がデータセンターに送信され記録されたものである。検知点には2種類あり、実際に路上通信機が設置されたものと、GPS情報を用いて情報を取得しているものがある。前者は、検知点は主に車庫、操車場およびバスターミナルの付近に設置されている。一方、後者は（以下では「仮想検知点」と呼ぶ）、主に市内の交差点付近に設置されており、バスが取得しているGPS情報に基づいてバスの通過情報を記録している。より具体的には、仮想検知点では、仮想検知点の周囲に設定されたエリアに進入したときの時刻と、エリアから退出したときの時刻が記録される。

本研究で利用するログデータは、2007年9月から2009年2月までのおよそ1年半分である。実際に得られる運行ログデータはテキストファイルで記述されており、各検知点のIDと、検知可能エリアへの進入時刻・退出時刻などの情報が記録されている。これらの情報と地理データより、検知点間のおよその走行時間を求めることができる。実際には、ログデータに記録されている情報はノイズを多く含み、不完全なものも多い。例えば、GPSが検知する位置情報の誤差により、検知点通過時刻の記録に失敗するケースは頻出している。ただし、1年半分という利用データのボリュームにより、ノイズ情報や情報落ちの影響はカバー可能である。実際に、2つの検知点間の走行時間のヒストグラムをとったとき、ほぼ特定の値の範囲に出現頻度が集中している事が確認できる。図3は、2検知点間の走行時間（図中では時間はシミュレーション上で時間で表示されている）の例だが、この図のようにある条件下での走行速

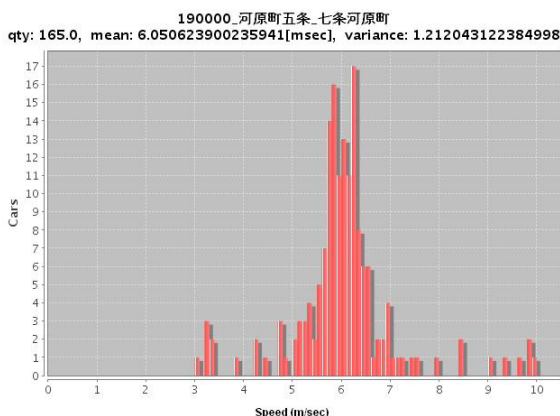


図 3: 検知点間の走行速度の分布の例

度範囲は視覚的にも把握でき、他の条件下でも同様の傾向を確認できる。よって、走行の傾向を掴むには、今回利用した量のデータで十分であると判断した。

3.2 走行速度決定ルールの抽出

1 節で述べた通り、路線バスの走行には制約が多く、運転手の特性が発現しにくいと推察される。本研究では、路線バスの典型的な走行を再現するため、複数の条件下での走行速度を決定する、複数のルールの集合から成るモデルを構築する。バスの走行速度を決定付ける要因として、周囲の交通流による影響がある。周囲の交通流には時間による変化が仮定できる。特に、年間 5000 万人もの観光客が訪れる京都市では、1 日の中での時間帯だけでなく、月ごとの変化があると推測できる。通勤、帰宅の時間帯や、観光客が多く移動する時間帯など、時間帯ごとに変化する人の活動によって交通流は変化する。そして、京都市観光調査年報^{*2}によれば、近年では 3 割の観光客が自家用車で京都市を訪れ、また 1 割の観光客がバスを利用していることから、観光客が多く訪れる季節では、市外から流入する観光客数によっても交通は大きな受け手が容易に予想できる。一方、走行速度を決定付ける要因として、走行区間が考えられる。より多くの人間が集まる地域、例えば商業施設が集中した地域や、観光名所付近では、明らかに交通量が大きくなる。以上の考察により、本研究では、走行速度を決定する条件として、走行区間と走行区間に関連するバスの系統、および走行時間帯と、月情報を用いることとした。

これらの四つの条件（走行区間、系統、月、走行時間）が決定されたとき、バスの速度の分布がある正規分布で近似できると仮定して、ルールを抽出した。以下では、その手順について述べる。

1. 走行区間 (680 区間程度)、系統 (90 系統程度)、走行時間帯 (1 時間毎)、月 (一ヶ月毎) の四つの条件に、注目したい値を代入し、検知点通過時刻ログの全体からその条件 A に適合する、検知点通過時刻を取り出す。
2. 条件 A を満たす検知点通過時刻ログの集合の中から、走行区間の始点の通過時刻と終点の通過時刻のペアを順次作成し、差を計算することで、その走行区間の旅行時間を計算する。さらに、検知点間の距離を旅行時間で割ることで、その走行区間内の速度を計算する。

3. 条件 A の下での速度の平均 μ 、分散 σ^2 を計算し、 $N(\mu, \sigma^2)$ が条件 A の下での、バスの速度の分布と決定する。

4. 1. に戻り、条件を変える。

この抽出したルール集合を使ったシミュレーションにおける、バスの速度決定の手順は以下である。

1. 上述のルール集合を用いることで、その時点での、走行区間、系統、月、走行時間帯に応じたバスの速度分布 $N(\mu, \sigma^2)$ が与えられる。
2. $N(\mu, \sigma^2)$ に従った乱数を生成し、それをバスの速度として決定する。
3. 走行区間や走行時間帯がかわった時、1. に戻り、速度を再決定する。

4. 構築モデルによる交通流の生成

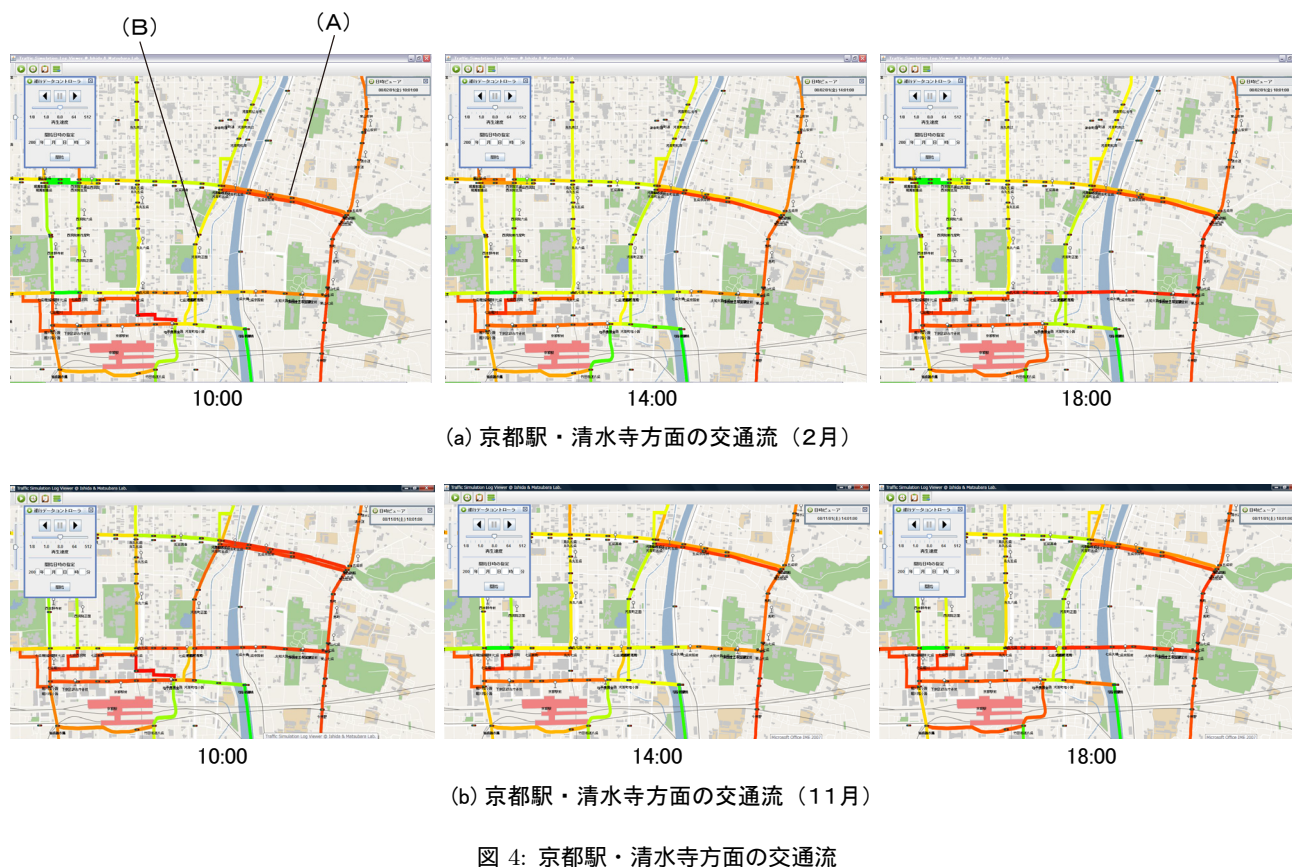
前節で構築した路線バスの走行モデルを用いて、シミュレーションを実施した。図 4 は、シミュレーションにおけるバスの走行速度の区間毎の平均値を基に、混雑の度合いを色分けして表現している。混雑度は、「緑-黄緑-黄色-橙色-赤」の順に高い。本図は、京都駅、および清水寺本面の地域を示している。これは、前出の京都市観光調査年報に、清水寺を訪れる観光客が年間を通して最も多いことが示されていることから、京都駅から清水寺に向かう観光客の影響の観察が有用と推測したためである。また、2 月と 11 月では、前者は年間を通して最も観光客が少ない時期であり、一方後者は、最も多い時期とされており、交通の違いが観察しやすいと予想される。図 (a) は、2 月の 10 時台、14 時台、および 18 時台の混雑度の推移を示している。図中 (A) の区間は、清水寺に向かう道路に該当するが、10 時の段階では非常に混雑度が高いが、その後、混雑度は低下している。また、図下方の京都駅周辺は 14 時台と比べて、18 時台は混雑度が増している。これは、観光客が市街に移動するため、駅に移動しているためであると推測できる。一方、図 (b) は、11 月の同じ時間帯の混雑度の推移を示している。既述の通り、11 月は観光客が最も多い時期である。そのため、例えば、10 時台の (B) の区間は、2 月の同じ時間帯と比較すると、混雑度が高い。また、周辺の区間においても混雑度が上昇している。(A) の区間の午後の混雑度も、2 月の比較すると高くなっている。

以上より、本論文で提案した手法に基づく路線バスの走行モデルによって、京都市内の交通流が再現可能である事が分かる。

5. おわりに

本論文では、都市交通を再現するための試みの端緒として、路線バスの走行の再現に着目し、実世界で得られた交通ログに基づいて、バスの典型的な走行を再現するためのモデルの構築を行った。筆者らは、他の一般的な車両に比べて走行に関する制約が複数存在するため、モデル構築が容易であるという予想、および走行ログ取得の可能性が高い事からバスに注目した。論文の中では、条件に基づいて走行速度をするシンプルなモデルが得られる事を示し、市内の交通流について尤もらしい結果を得られる事を示した。ただし、現在の交通ログから得られる情報の限界から、より詳細なモデルを構築するには、さらな

*2 http://raku.city.kyoto.jp/kanko_top/kanko_chosa.html



る情報の必要が生じている．例えば，信号による平均的な停止時間や，各バス停での乗降客の統計データなどが考えられる．また，都市の交通流再現のためには，バス以外の車両の交通ログを入手し，新たなモデルの構築も必要である．そこで筆者らは，タクシーの走行データを用いたモデルの構築を進めており，路線バスモデルと組み合わせた交通流の再現を目指している．

謝辞

本研究は，パナソニック・京都大学 共同研究「個の行動・嗜好に基づく群行動のナビ制御による地域 EMS の実現」の補助を受けて行われた．

参考文献

- [1] H. Hattori, Y. Nakajima, and T. Ishida, "Agent Modeling with Individual Human Behaviors," Proceedings of the 8th International Joint Conference on Autonomous Agents and Multi-Agent Systems (AAMAS-2009), 2009.
- [2] 中島 悠, 椎名宏徳, 服部宏充, 八槇博史, 石田亨, "マルチエージェントシステムを用いた避難誘導実験の拡張," 情報処理学会論文誌, Vol. 49, No. 6, pp. 1954–1961, 2008.
- [3] P. Paruchuri, A. R. Pullalarevu, and K. Karlapalem, "Multi Agent Simulation Of Unorganized Traffic," Proceedings of the 1st International Joint Conference on Autonomous Agents and Multi-Agent Systems (AAMAS-2002), pp. 176–183, 2002.
- [4] Y. Murakami, Y. Sugimoto, and T. Ishida, "Modeling Human Behavior for Virtual Training Systems," Proceedings of the 20th National Conference on Artificial Intelligence (AAAI-05), pp. 127–132, 2005.
- [5] Y. Tanaka, Y. Nakajima, H. Hattori, T. Ishida, "A Driver Modeling Methodology for Traffic Simulation," Proceedings of Pacific Rim International Workshop on Multi-Agents (PRIMA-07), 2007.
- [6] K. Horikawa, M. Arikawa, H. Takakura, and Y. Kambayashi, "Dynamic Map Synthesis Utilizing Extended Thesauruses and Reuse of Query Generation Process," Proceedings of the 5th ACM International Workshop on Advances in Geographic Information Systems, pp. 9–14, 1997.