

# 参加型モデリングに基づく大規模都市交通シミュレーション

\* 中島悠, 服部宏充, 山根昇平, 石田亨

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

E-mail : { nkjm, hatto, ishida }@i.kyoto-u.ac.jp

**Abstract:** 交通問題は運転操作のような個人の行動の視点と渋滞問題のような群衆の視点を扱う代表的な問題である. 本稿では, 参加型のシミュレーションにより獲得された各個人の詳細なモデルに基づき, 個人の意志決定が環境全体に与える影響を調査できる交通シミュレーション環境を実現する取り組みに関して報告する.

## 1. はじめに

新しい社会システムが導入された時に都市で生じる現象の予測に, マルチエージェントシミュレーション(MABS: Multi-Agent Based Simulation)を適用する事例が増えてきている. ここでは, 都市交通を具体的な対象領域として取りあげる. 交通問題は, 運転操作のような個人の行動の視点と渋滞問題のような群衆の視点を扱う代表的な問題である. 本稿では, 参加型のシミュレーションにより獲得された各個人の詳細なモデルに基づき, 個人の意志決定が環境全体に与える影響を調査できる交通シミュレーション環境を実現する取り組みに関して報告する.

これまでに筆者らは, 個人の運転行動のモデル化の手法として参加型モデリングという手法を研究してきている[1]. これは, 人間がシミュレーションに参加する参加型のシミュレーションを行うことで周辺の交通状況に反応する被験者の運転操作ログを収集し, その操作ログと被験者へのインタビュー結果から被験者固有のモデル獲得を行うものである.

都市交通のシミュレーションでは, 個々の運転者エージェントが直面する状況は多岐にわたる. 都市交通のマルチエージェントシミュレーションを行うとき, エージェントは街中で様々な対象に関して意志決定を行うことになるが, それらの全てをモデル化することは現実的ではない. そこで, エージェントモデル作成者は注目したい特定の行動のみをモデル化することになる. 現在は, 人間のある側面だけをモデル化したエージェントを都市シミュレーション上で動作させるために, 複数のエージェントモデルを組み合わせるアプローチを採り, 大規模な都市交通シミュレーション基盤の実現に取り組んでいる.

従来のミクロシミュレーションでは, 行動主体が個人単位で定義されている場合でも, 各主体に固有の行動モデルを与えていなかった. それに対して, 筆者らは, 人間がシミュレーションに参加した結果から個々の人間の行動特性をモデル化し, その個人の行動特性が環境全体に及ぼす影響を調査する方法を採っている(図 1). 以下では, この取り組みの鍵となる技術である個々の運転者の参加型モデリング手法とそのモデルを使った大規模都市交通シミュレーション環境について述べる.

## 2. 個々の運転者の参加型モデリング

運転者モデリングのステップでは、まず3Dドライビングシミュレータ上に実世界の交通環境を再現し、人間の運転者と運転行動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にインタビューを行い、観測データを説明するための運転操作ルールを獲得する。より具体的には、観測された運転行動を行った理由となる認知対象物や心理状態を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運転操作ルールを得る。観測された運転操作ログには被験者の特徴が現れていると仮定すると、運転操作ルールに基づいて運転操作ログを説明できれば、その説明は被験者の運転行動の特徴を説明したものとみなすことができる。つまり、運転行動モデルは、運転操作ルールという事前知識に基づく観測データの説明であると考ええる。筆者らが提案した手法は、インタビューにより被験者の運転操作ルールを獲得し、そのルール集合から、運転操作ログを説明できるルール集合を作り出すモデル化手法である[1]。以下が、そのプロセスである。

### ○参加型ドライビングシミュレーションの実施

3次元の仮想道路環境を提供するドライビングシミュレータ上で走行シミュレーションを実施。被験者から実際の運転行動の観測データを収集する。

### ○特徴的な運転行動の特定

被験者から収集した観測データから、特徴的な操作が行われた箇所を特定する。これは専門的知識を要する作業であるため、交通工学の専門家と共同で行う。

### ○被験者インタビューによる先験的知識の抽出

シミュレーションで観測された運転行動について、その理由・動機を明らかにし、if-thenルール形式の事前知識として抽出する。

### ○観測事象の記述

シミュレーションの過程で被験者が観測した環境を、述語論理に基づいて形式的に記述する。

### ○事前知識に基づくモデル構築

事前知識として抽出した運転行動ルールと観測事象を基に、被験者のシミュレーション上での走行結果を説明可能な運転行動モデルを構築する。筆者らはこれまでに、仮説推論の応用に基づくモデル構築手法を提案している。

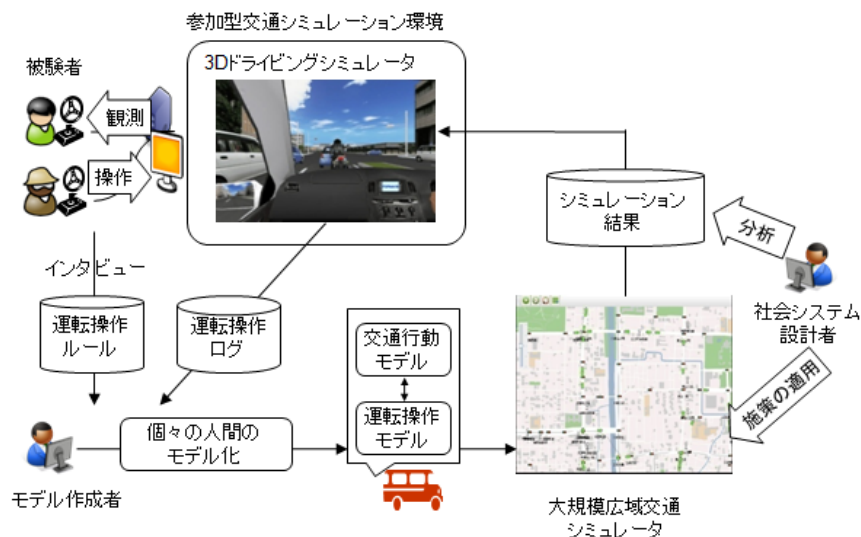


図1 参加型モデリングに基づく大規模都市交通シミュレーション

### 3. 運転行動モデルに基づく大規模都市交通シミュレーション

従来の交通シミュレーションの研究では、局所的な運転行動モデルを扱うシミュレーションと、広域的な交通行動モデルを扱うシミュレーションが別々に研究されてきた。運転行動のモデル化では、人間が道路形状、信号、周囲の車両などにどのように反応するかをモデル化する。それに対して、交通行動のモデル化では、ある出発地と目的地を持つ人間が、どのような経路を通してそこに到達しようとするかといった経路選択行動などがモデル化の対象となる。

この運転行動と経路選択(交通行動)という二つの行動は別々に扱われてきたが、この両者の間にも相互作用があると考えられる。例えば、高齢者の増加と言った個々の運転の性質の変化や、デマンドバスの導入による道路上の駐車状況の変化が、都市交通全体に与える影響を調べるには、この二つのモデルを扱える枠組みが必要であろう。

以下では、前節で述べた参加型モデリング手法により取り出せる運転行動モデルと経路選択(交通行動)モデルを統合した、運転行動モデルに基づく大規模都市交通シミュレーションについて述べる。

#### プラットフォーム

筆者らが提案したプラットフォームでは、各エージェントは、1日のはじめに経路選択を行い、出発時間が来るとその経路上を運転する。この全てのエージェントの移動が交通状況として保存される。次の日に、エージェントは前日の交通状況を考慮し経路選択を行う。この繰り返しにより、運転行動と経路選択が互いに影響し合う。

図2に、筆者らが開発したシミュレーションプラットフォームのアーキテクチャを示す。このプラットフォームの実装においては、交通シミュレーションツールボックス MATSim[2]を利用した。

Controller は、経路選択、シミュレーション、スコアリングを含むプロセス全体の制御を行う。この Controller により、Planning Controller と Simulation Controller が起動されることで、経路選択と交通流シミュレーションのプロセスが開始される。

経路選択プロセスは、次のように動作する。まず、Planning Controller は、各エージェントの PlanGenerator を起動する。Plan Generator は、Travel History から前日までの交通状況を取得し、目的地に至る最適な経路を生成する。この経路は、Routing Plan に格納される。全エージェントのプランニングが終了すると、Controller は SimulationController を起動する。

交通流シミュレーションのプロセスは、次のように動作する。Simulation Controller は、道路ネットワーク上のエージェントについて、シミュレーションの実行を依頼する。エージェントの運転行動モジュールは、Driver と VehicleEmulator から成る。Driver は、Vehicle Emulator から周囲の環境情報を取得し、その情報、プラン、および、自身の運転行動モデルによって、ハンドルとアクセル操作に関する意思決定を行う。この意思決定は、車両に対する操作として VehicleEmulator に送られる。Vehicle Emulator では、Driver からの求めに応じて、車両の速度などの状態と Road State から得られる周囲の情報を取得する。また、Driver から送られた操作を基に、状態の更新を行う。以上のようにして得られたシミュレーションの結果は Travel History に保存される。

#### 京都市を対象としたシミュレーション

エージェントの局所的な運転行動の差異と広域的な経路選択の差異を調べるため、京都市のデータを使ってシミュレーションを実施した。道路ネットワークとして、ゼンリン社の地図データを用いた。8000体のエージェントに対して36種類のOD(Origin-Destination)を設定した。また、シミュレーションのイテレーション回数を50回(50日)とし、最終イテレーションの結果を記録した。

この実験では、運転行動モデルとして希望巡航速度(速い/遅い)と追い抜きの積極性(積極的/消極的)の二つの性質を扱った。つまり、高速かつ積極的、高速かつ消極的、低速かつ積極的、低速かつ消極的(Fast&Cautious, Fast&Aggressive, Slow&Cautious, Slow&Aggressive)の4種類である。希望巡航速度の速い、遅いは、それぞれ30km/h, 15km/hとした。積極的な車両エージェントは前方の車両が自分より遅ければ追い抜きをし、消極的な車両エージェントは前方の車両が4km/h以下である場

合にのみ追い抜きを行うようにした。例えば、高速かつ積極的な車両エージェントは、30km/h で走ろうとし、もし自分より遅い車両が前方にいたとき追い抜きを行うということである。

図3は、ある同じODを持つ車両群の所要時間を横軸に移動距離を縦軸にとった散布図である。ここから、エージェントの運転行動と経路選択の間の相互作用について観察することができる。この図から、希望巡行速度が速い車両は移動距離が長い経路を、希望巡行速度が遅い車両は移動距離が短い経路を選択する傾向にあることが分かる。この現象は以下のように説明できる。希望巡行速度が遅い車両は、他の車両に関係なく移動距離の短い経路を通った方が目的地に早く到着できる。一方で、希望巡行速度が速い車両は、混雑をしている移動距離の短い経路を通るよりも、空いている移動距離の長い経路を選ぶ方が目的地に早く到着できる。希望巡行速度が遅い車両が多くなった移動経路の短い経路はますます混雑し、希望巡行速度が速い車両が移動距離の長い経路を選択する傾向はますます強くなる。これは、運転行動と経路選択という人間の二つの行動の側面を同時に扱うシミュレーションだからこそ得られる結果だと言える。

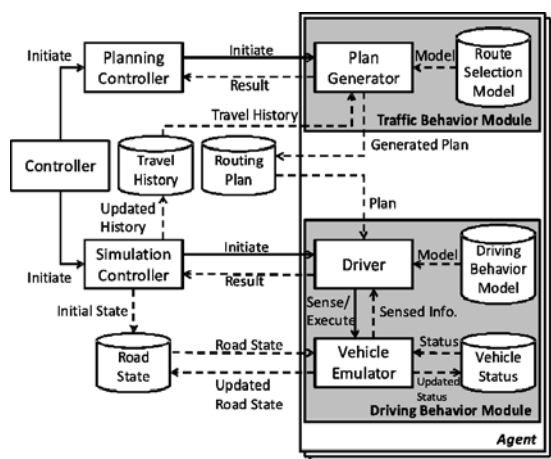


図2 プラットフォームのアーキテクチャ

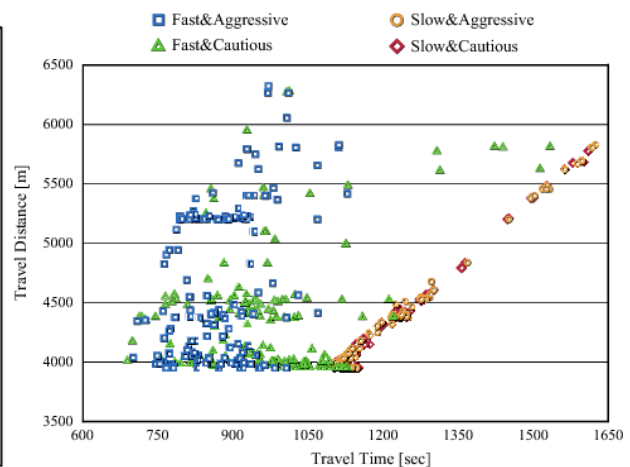


図3 所要時間と移動距離の分布

#### 4. おわりに

本稿では、個人の意志決定モデルが環境全体へ与える影響を観測する交通シミュレーション環境を実現するための取り組みに関して報告した。はじめに、個々の人間の運転行動モデルを獲得する手法について説明した。これは、参加型シミュレーションによって人間の行動に関する情報を得ることで、モデラーの事前知識のみに依存せず、人間の実際の行動を説明可能な行動モデルの構築を可能とする。つづいて、運転行動モデルと経路選択(交通行動)モデルを統合した、運転行動モデルに基づく大規模都市交通シミュレーションについて述べた。ここでは、京都市のデータを使ってシミュレーションを実施し、エージェントの局所的な運転行動のスタイルが広域的な経路選択に影響を与えていることを示した。

今後は、GPSやビーコンなどで取得できる現実世界のデータを利用することでシミュレーション結果の検証を行い、それを再びモデル化やパラメータ設定に反映する方法について考えたい。

#### 参考文献

- [1] 服部宏充, 中島悠, 石田亨. 参加型モデリングに基づく運転行動モデル構築手法. 電子情報通信学会論文誌. Vol. J92-D, No. 11, pp. 1927-1934, 2009.
- [2] Balmer, M., Cetin, N., Nagel, K., Raney, B.: Towards truly agent-based traffic and mobility simulations. Proc. AAMAS-04, pp. 60-67, 2004.