

生活行動と動的交通状況の相互作用を考慮したエージェントシミュレータの開発*¹

Development of an Integrated Activity-Network Simulator *¹

菊池輝*²・森大祐*³・谷上正晃*³・北村隆一*⁴

By Akira Kikuchi*², Daisuke Mori*³, Masaaki Tanigami*³ and Ryuichi Kitamura*⁴

1. はじめに

著者らは、個人の生活行動に根拠をおいた動的な交通需要予測により交通施策を評価することを目的とした、生活行動シミュレータPCATS（Prism-Constrained Activity-Travel Simulator）¹⁾と動的交通流シミュレータを統合したシミュレーションシステムを開発し、内外の都市圏に適用してきた²⁾。このシミュレーションシステムにより、間接的ではあるが、OD所要時間を内生的に取り扱うことができ、個人間の相互作用も間接的に考慮することができる。すなわち、道路が混雑してくれば、個人はその道路を選択しにくくなるという、他者の行動との関係を考慮することができる。

しかし、現状の統合システムでは、PCATSと動的交通流シミュレータは独立に稼働しており、一方のシミュレータの出力を与件として他方のシミュレータが稼働する（図-1）ため、交通行動と道路混雑状況が動的に影響を及ぼし合う施策、例えば、道路が混雑してきた場合にのみ実施する交通規制施策等の評価に対応できない問題がある。さらにPCATSの中で取り扱う自動車トリップのOD所要時間は、外生的に与えることになるため、PCATSで用いたOD所要時間と動的交通流シミュレータから得られるOD所要時間が必ずしも一致せず、その不整合を解消するために、繰り返し計算が必要となっている。この問題は、PCATSの処理方法に起因する。PCATSは、一個人の一日を計算した後に、別の個人の一日を再現し、これを対象個人全員分繰り返すことになる。すなわち、N人の一日生活行動を再現するためには、N回PCATSが繰り返されることと同義である。そのため、現状の統合システムにおいては、PCATSの計算が完全に終了しなければ、交通流シミュレータを実行することができない。

そこで本研究では、生活行動シミュレータと動的交通流シミュレータを同一時間軸上で統合し、個人の生活・交通行動を同時に再現するシミュレータを開発することを目的とする。これにより、OD所要時間を完全に内生的に取り扱うことが可能となり、PCATSで用いたOD所要時間と動的交通流シミュレータによる配分結果は当然一致し、繰り返し計算は不要となる。

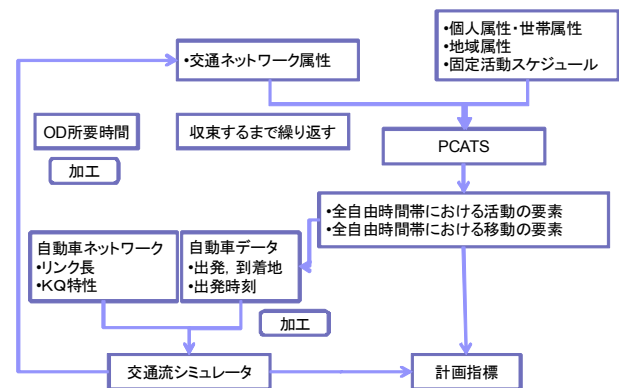


図-1 従来の統合システムの構成

2. シミュレータの概要

(1) 構成

本研究において構築するシミュレータは、3つの意思決定処理装置と、交通状況再現装置、事象管理装置の5つの処理装置によって構成される（図-2）。意思決定処理装置は従来PCATSで行われていた処理を行う装置である。すなわち、従来のPCATSにおける「個人は逐次的段階的に生活行動を決定する」という仮定は、本シミュレータにおいても適用される。

意思決定処理装置は、活動時間決定装置、活動内容決定装置、プリズム判定装置で構成される。活動時間決定装置ではHazard-based Duration Modelにより自由活動時間を決定し、活動内容決定装置ではNested Logit Modelにより活動内容や交通機関・目的地を決定する。プリズム判定装置では、次の固定活動までに新たな自由活動をすることが可能か判断する。交通状況再現装置は広義の交通流シミュレータを意味し、活動内容決定装置において活動内容などを決定した個人の活動場所への移動が再現される。交通状況再現装置では、自動車の移動

*1 キーワーズ：生活行動、動的交通流、エージェントシミュレータ

*2 正員、工博、京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻
(京都市西京区京都大学桂4-C1-2,

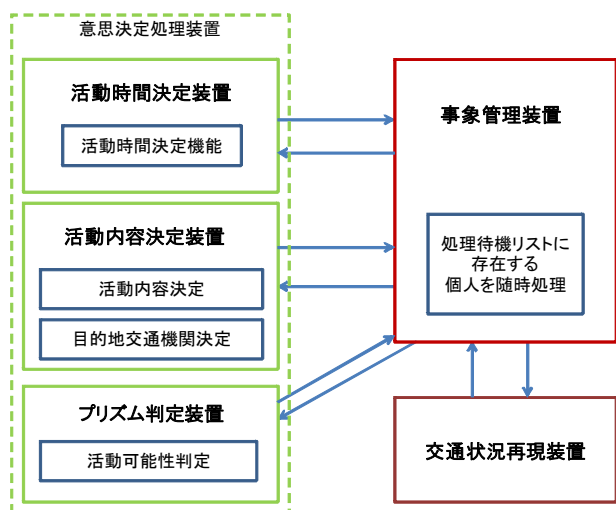
TEL 075-383-3240, FAX 075-383-3236

E-mail:kikuchi@trans.kuciv.kyoto-u.ac.jp)

*3 学生員、京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻

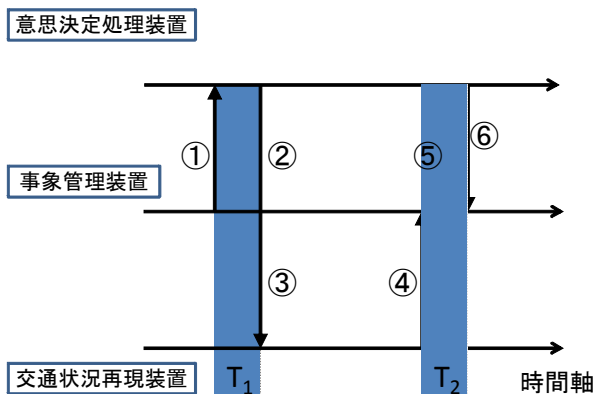
*4 正員、Ph.D., 京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻

のみならず、公共交通機関、その他の移動手段による移動も考慮した。ただし自動車以外の交通機関については従来のPCATS同様に、OD所要時間を外生的に与えている。事象管理装置は、現在の活動または移動が終了し、新たに移動または活動しようとしている個人を次の処理をまで管理する装置である。またシミュレーション内の時間進行方式が、交通状況再現装置においてはピリオディックスキャンニング方式であるのに対し、意思決定処理装置はイベントスキャンニング方式であるため、事象管理装置はこの異なる時間進行方式をも管理する。すなわち、他の4つの処理装置はすべてこの事象管理装置を介して駆動されることになる。時間進行の管理については、次節で詳細を後述する。



図ー2 シミュレータの構成

(2) シミュレーションの流れと時間進行の管理
図ー3を用いて、時間進行の管理について説明する。



図ー3 時間進行の管理

まず、本シミュレータ内で意思決定活動を行う一個人をAgentと表現する。シミュレーション時刻 T_1 において、生活行動に関する何らかの意思決定をしなければならないAgentが存在する場合、事象管理装置は交通状況再現装置を一旦停止させ、Agentに即時に意思決定させる(①)。その結果(②)どこかへ移動開始する場合は、Agentを交通状況管理装置に引き渡す(③)。事象管理装置は、

時刻 T_1 に意思決定をすべきAgentが存在する間は交通状況再現装置を停止したまま、Agentの意思決定を最優先に取り扱う。 T_1 に意思決定すべきAgentが存在しなければ、交通状況再現装置を再駆動する。

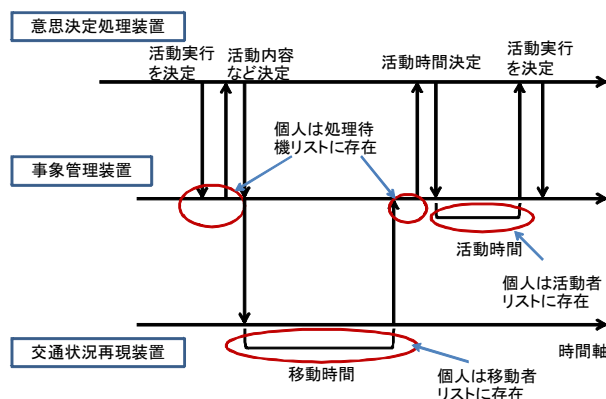
時刻 T_2 において、あるAgentが移動を終了した場合、事象管理装置は即座に時間進行を停止し、当該Agentに即時に意思決定させる(④～⑥)。時刻 T_2 に意思決定すべきAgentが他に存在しなければ、交通状況再現装置を再開させる。

しかし事象管理装置が、毎時間単位に各Agentが意思決定のタイミングにあるかどうかを判断していたのでは、シミュレーションの実行時間に大きな影響を与える。そこで本システムでは、活動中のAgentに関しては、実行中の活動の終了時刻をキーにし、常に昇順にソートしておく。このようにすれば、先頭のAgentのみを参照すればよく、効率的にシミュレーションを実行することが可能となる。

以上のように、事象管理装置は、Agentの意思決定のタイミングを最優先させ、交通状況再現装置の時間を不定期に進行させる。

(3) 時間軸に沿ったAgentの意思決定過程 (図ー4)

まずAgentはプリズム判定装置によって、次の固定活動までに新たな自由活動が可能かどうかを判断する。可能ならば、Agentは処理待機リストに受け渡され、即時に事象管理装置から意思決定処理装置が駆動されて意思決定を行い、活動内容・活動場所・移動交通機関を決定する。決定後、Agentは即時に移動者リストに受け渡され、交通状況再現装置で移動が再現される。移動を終了した時には、即時に処理待機リストに受け渡され、随時活動時間決定装置を用いて、活動時間が決定され、活動者リストに活動終了順にソートされることとなる。そして、活動終了時にはプリズム判定装置によって、また次の固定活動までに新たな自由活動が可能か判断する。以上のような過程をたどることで個人の1日の生活行動・交通行動がシミュレートされる。



図ー4 Agentの意思決定のタイミング

ここで従来のPCATSの意思決定過程と異なるのは活動時間の決定のタイミングである。従来のPCATSでは、OD所要時間が所与とされていたので、活動場所・交通機関の決定直後に活動時間を決定することが可能であったが、本システムにおいては、Agentが移動中においても、交通状況再現装置によって随時交通状況が更新されるため、移動を終えるまで各Agentは真の移動時間を知ることができない。そのため活動時間決定のタイミングは、移動終了後に行うこととした。

(4) 新たなモデルの実装

従来システムの課題点の一つとして、早朝・深夜トリップの過大推計があげられる。これを解決するために、Agentの朝晩の潜在的プリズム頂点をStochastic Frontier Modelにより算出する機能³⁾を実装した。

また、本システムに入力するAgentの属性データは、パーソントリップ調査データ等のサンプル調査をもとに作成するが、このAgentデータを総人口等の指標に適合させるための、Agent複製処理の機能を実装した。

(5) 動的な自動車交通状況の再現方法

ここでは、自動車による移動を再現するモデル⁴⁾の概要を解説する。自動車による移動は、経路選択モデル、車両移動モデルの2つのモデルで構成されており、この2つのサブモデルを繰り返し適用することで交通流が表現される。車両移動モデルでは、経路選択モデルから得られた経路選択率をもとにリンク内で車両を移動させる。経路選択モデルでは、車両移動モデルから得られるリンク所要時間をもとに車両に経路を選択させる。以下2つのモデルについて説明する。

a) 経路選択モデル

経路選択モデルでは、車両移動モデルから得られるリンク所要時間に基づいてDial配分⁵⁾を行い、各分流ノードにおける目的地別の分流比率を算出する。各車両はこの分流比率に従って、分岐する方向を決定し最終的に目的地に到達した際に経路が決定することとなる。Dial配分とは、すべての経路を列挙することなく、確率的に配分を行うモデルである。Dial配分では、起点から各ノードへ移動するために必要な最少費用を求め、最少費用をもとに各リンクのリンク尤度を計算する。続いてリンク尤度を用いて、リンクの選ばれやすさを表すリンクウェイトを計算し、リンクウェイトをもとに出発地から最も遠いノードから車両を配分する。本研究では、各分流ノードにおける終点（目的地）に向かう分流比率を求めることが目的である。そこで、本研究では終点を基準とし、分流比率を求めるものとする。

b) 車両移動モデル

経路選択モデルで通過リンクを選択すると、車両は

選択したリンク内を走行する。リンク内で車両はFIFO（First In First Out）の原則を満たすこととした。つまり、リンク内で車両の順序の変化はないものとして、車両は以下の制約を全て満たせば次のリンクへと流出する。

1. 自由流速度で走行した場合の走行時間がすでに経過している。
 2. 現リンクで最後に流出した車両と車頭間隔が十分にあいている。
 3. 流出先のリンクが飽和密度に達していない。
- 1, 2 が満たされれば、経路選択モデルにより流出先リンクを決定し 3 の条件を満たすか判断する。車両移動モデルで出力されるリンク所要時間は、経路選択モデルにおいてノードの最小費用を計算する際に用いる。

以上のように交通状況再現装置では、経路選択モデルで流出先リンクを決定し、流出先リンクで車両移動モデルにより車両を移動させ、所要時間を計算し経路選択モデルの経路選択確率に用いる、という計算を繰り返す行うことで車両の移動を再現している。

3. 本システムの入力データ

(1) 概要

本システムの実行に必要なデータは、従来システムと同一である。表-1に入力データの一覧を示す。

表-1 シミュレーション実行に必要な入力データ

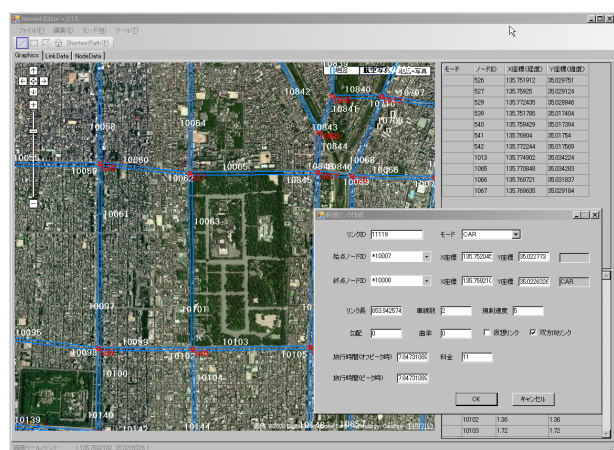
Agentの属性	職業、居住地、性別、年齢、免許保有の有無、世帯保有車両台数、世帯人数、固定活動のスケジュール、拡大係数
自動車以外のLOS	ゾーン間所要時間、乗換回数、費用
ゾーン特性	面積、人口、サービス事業所数
道路ネットワーク	リンク長、車線数、自由流速度、交通容量、飽和密度

(2) 入力データ作成支援ツール

従来システムにおいては、異なる2つのシミュレータに対して入力データを整備する必要があり、整備にかかる労力は膨大であった。本システムでは、効率的に入力データを作成し、かつ、一元的に入力データを管理することを目的に、入力データ支援ツールをあわせて開発した（図-5）。

画面に表示された地図を参照し、道路ネットワークのリンクやノードを設置したい場所でマウスの左ボタンをクリックすれば、リンクやノードの属性を入力するダイアログが表示され、任意の値を入力することができる。機能はシンプルであるが、GoogleMapsAPI⁶⁾を利用し

たソフトウェアのため、対象地域の電子地図等を入手する必要はない。



図－5 入カデータ支援ツール

4. 本システムの出力情報

本システムは、シミュレーション結果をリアルタイムで確認することが可能である。自動車で移動中のAgentはアニメーション表示される（図－6）ほか、周辺地域で活動中のAgentの位置や活動人数を、活動内容に応じて色分けし表示させることができる（図－7）。ここで表示しているAgentの位置はランダムに分布させているのみであるが、既往研究⁷⁾の成果を実装すれば、現実的な滞留分布状況を表示させることが可能となる。

5. おわりに

本研究では、生活行動シミュレータと動的交通流シミュレータを同一時間軸上で統合し、個人の生活行動・交通状況を同時に再現するシミュレータを開発した。従来のシステムとは異なり、固定活動に遅刻するAgentが発生したり、場合によっては自由活動を取りやめるAgentも発生する。すなわち本シミュレータは、動的な交通状況によって個人の生活行動が変化することが再現可能なシミュレータと言える。

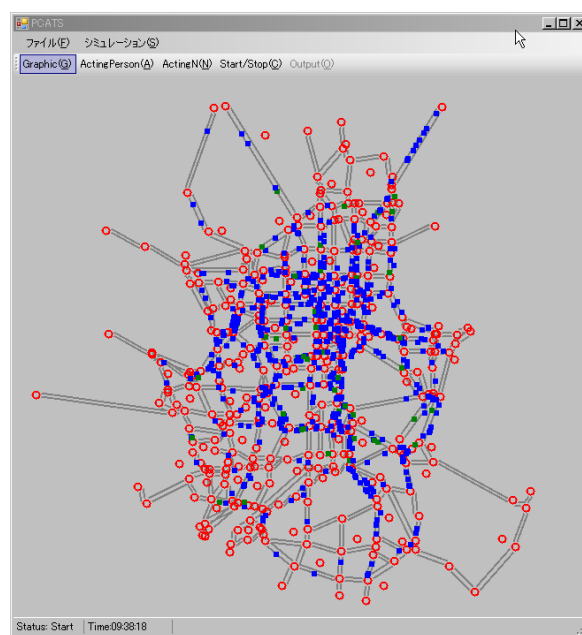
しかし実データとの検証が不十分であり、今後は再現性の検証が必要である。さらには、全人口シミュレーションのためのAgent複製処理技術や、Agent間の相互作用モデルの実装等課題も挙げられる。

参考文献

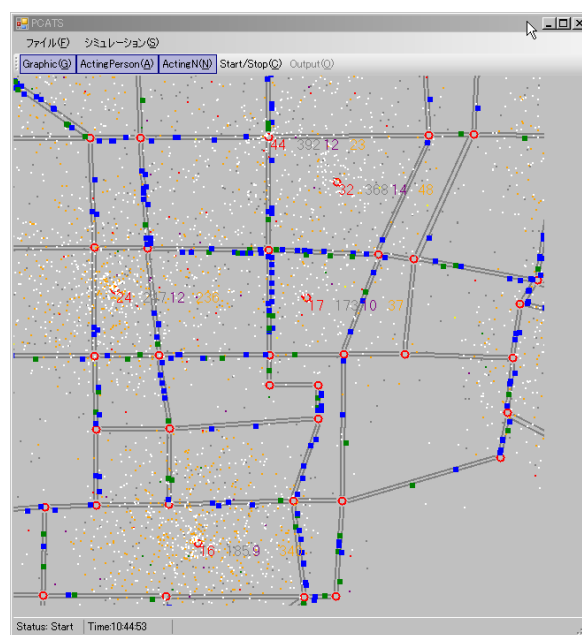
- 1) 藤井聡, 大塚祐一郎, 北村隆一, 門間俊幸: 時間的空間的制約を考慮した生活行動軌跡を再現するための行動シミュレーションの構築, 土木計画学研究・論文集, No.14, pp.643-652, 1997.
- 2) 藤井聡, 菊池輝, 北村隆一: マイクロシミュレーションによるCO2排出量削減に向けた交通施策の検討: 京都市の事例, 交通工学, Vol.35, No.4, pp.11-18, 2000.

ンによるCO2排出量削減に向けた交通施策の検討: 京都市の事例, 交通工学, Vol.35, No.4, pp.11-18, 2000.

- 3) Kitamura, R., T. Yamamoto, K. Kishizawa and R.M. Pendyala: Stochastic frontier models of prism vertices. *Transportation Research Record*, 1718, pp.18-26, 2000.
- 4) 森大祐, 吉井稔雄, 北村隆一: 単純化ネットワークを用いた大規模道路ネットワーク交通シミュレーションモデルの構築, 土木計画学研究・講演集, No.36, 2007.
- 5) 土木学会: 交通ネットワークの均衡分析, 丸善, 1998.
- 6) <http://www.google.com/apis/maps/>
- 7) 菊池輝, 藤井聡, 北村隆一: 座標システムを導入した生活行動シミュレーションモデルによる交通政策評価, 都市計画論文集, No.36, pp.577-582, 2001.



図－6 自動車交通流のアニメーション表示



図－7 活動Agentの滞留分布表示