

# 空間情報を利用したマルチエージェント交通行動モデルの提案\*

## Multi-Agent Simulation Model for Travel Behaviour Analysis with Spatial Information \*

秋山孝正\*\*・奥嶋政嗣\*\*\*・和泉範之\*\*\*\*

By Takamasa AKIYAMA\*\*・Masashi OKUSHIMA\*\*\*・Noriyuki IZUMI\*\*\*\*

### 1. はじめに

現実的な都市交通政策検討の局面においては、交通行動者の多様性、地域の特異性あるいは行動規範の不確定変化など複雑な社会現象に直面する。一律の交通行動原理に基づく交通行動分析モデルは、理論的な現象説明と計画規範の設定に有用である。しかしながら、自律的で協調的な都市交通計画の要請を見れば複雑系としての社会現象記述が必要不可欠である。このような背景を踏まえて本研究では精緻な交通行動記述と都市交通現象の複雑系として記述可能な交通行動モデルを提案する。具体的には、まず空間情報(GIS)を利用した交通行動記述方法を述べる。これは交通行動を時間的・空間的に高精度で推計する精緻な交通現象記述を意図している。つぎに、交通行動記述モデルを内包する広域的エージェントモデルとして構成する。すなわちマルチエージェント型の複雑系モデルとして交通現象を表現する。このような複雑系交通行動モデルでの観測結果から、内発的・自律的な交通現象変化の可能性を議論できる。

### 2. 交通行動分析モデルの構成と複雑系

ここでは交通現象を複雑系としてモデル化するための基本的な交通行動モデルを作成する。すなわち従来型の理論的枠組みによる交通行動分析モデルを構築する。

#### (1) 複雑系としての交通行動分析の意義

都市交通現象は、交通行動に関連する極めて多様な構成要素がある。しかしながら、通常交通行動モデルにおいては効用最大化などの特定の意思決定構造を既定する。このとき、上記のような交通現象の複雑性を表現するためには、交通行動者の意思決定構造を特定の形式でモデル化することは多くの問題が生じるとされる。

なかでも都市交通政策導入時においては、交通行動者は個人的な経験的知識に基づいた判断を行う場合もあり、また周辺状況の変化により意思決定構造自体が変化する場合もある。さらに交通行動者の意思決定は、広域的な(系全体の)交通流動変化の影響を受ける。複雑系

モデルとは、こうした交通現象に伴う各種の複雑さを包含して、仮想的交通空間を構成しようとする提案である。

本稿では複雑系モデルの基本として交通行動者を自律的エージェントとするマルチエージェントモデルを作成する。この際、交通行動者の動向に関しては既存の交通行動モデルの成果が利用できる。すなわち、個人単位の交通行動分析モデルでは、行動主体の時間的・空間的制約や、日常的活動と移動の相互関係を明示的に表現することができる。したがって、都市交通現象の複雑系モデル構成には、交通行動者の交通行動を時間的・空間的に精緻に表現する交通行動分析モデルが必要となる。

#### (2) 空間情報を利用した交通行動分析モデル

ここでは、交通行動分析モデルの精緻化に空間情報を利用する。交通行動者の時間的・空間的制約および交通行動の詳細記述はモデル高度化の基本である。

すでにソフトウェア技術を利用して高精度な交通行動記述を可能とした「ファジィ交通行動モデル」の都市交通政策評価への適用が報告されている<sup>9)</sup>。このモデルは、PT調査結果を基本として、交通行動者のトリップ連鎖を対象に、目的地、交通手段、出発時刻、経路などを推計する。またアクティビティについても、活動内容、滞在時間が推計されるものである。

本研究では、さらにGIS情報とPT調査結果と統合的利用を提案し、交通行動に関する空間データ情報を精緻化することで高精度な推計を可能とする。具体的には交通行動データ(PT調査)情報にGISの付加的情報を統合することにより、①交通行動者の空間位置が高精度に特定できる。②任意時刻における交通行動者の存在位置を詳細に表現できる。これらの諸点を踏まえて、「空間情報を利用した交通行動分析モデル」を構成した。このときの交通行動者の意思決定過程を図-1に示す。空間情報の追加に伴いプロセスの一部を既存モデルから変更しているが、トリップ連鎖を逐次推計する基本構造は同様である。また本モデルの特徴として、①交通行動者は、ある固定活動から次の固定活動までの付加活動数を事前に決定する(決定木モデル:C4.5)。②GIS付加情報(滞在施設情報)滞在時間決定モデルの精度向上、③空間的な位置関係(バス停配置など)から交通手段選択モデルの精度向上ができるが挙げられる。

この「空間情報を用いた交通行動分析モデル」は既存モデルに比して推計精度の向上が期待できる。ここで

\*キーワード: 交通行動モデル, 複雑系, マルチエージェント

\*\*正会員, 工博, 岐阜大学工学部社会基盤工学科

(〒501-1193 岐阜市柳戸 1-1, TEL:058-293-2443, FAX:058-230-1528, E-mail:takamasa@cc.gifu-u.ac.jp)

\*\*\*正会員, 博士(工), 岐阜大学工学部社会基盤工学科

\*\*\*\*正会員, 修士, (財)計量計画研究所

は岐阜市都市圏におけるPT調査全サンプルの1日の交通行動の推計を行った。表-1に、既存モデルと比較して、現況再現に関する行動推計結果を示している。

本表のうちトリップ連鎖の完全再現割合は既存モデル(28.5%)から61.7%に向上している。付加活動数と交通手段の高精度な推計結果によると類推される。このように「空間情報を利用した交通行動分析モデル」では、良好な交通行動の推計メカニズムが同定されている。

### (3) 交通行動分析モデルによる混雑料金政策評価

ここでは、交通行動分析モデルによる都市交通政策評価を示す。この場合、交通政策実行時の交通行動者の意思決定手順は先決され多様性は表現されない。

具体的な都市交通政策として、岐阜市都心部の「時間帯混雑料金」導入を検討する。すなわち「ピーク時間帯(7:00-9:00)に、都心部コードンライン上で流入車両に対して500円の混雑料金を課金」を設定する。この混雑料金設定では、34,045人が関連トリップを持つ。

交通行動者の多様性を考慮しない混雑料金の影響は交通行動分析モデルの設定変更により算定される。これによれば、23,698人(70%)が交通手段変更、8,984人(26%)は交通行動パターンを変更なしと推計された。また交通行動者のトリップパターンの変化として、トライアングル型からピストン型への変更が最も多い。これら多数は混雑料金回避のため出勤トリップ交通手段を自動車から公共交通へ変更し、付加的活動が減少している。

このように個別交通行動の集積による交通現象解析は可能であるが、自律的行動と相互作用を含む局所的変化の波及である大域的複雑現象を表現することは難しい。

### 3. マルチエージェント交通行動モデルの構築

ここでは、都市交通政策導入の影響による交通行動者の自律的な意思決定構造を表現する。特に前章の交通行動分析モデルを利用して、交通行動マルチエージェントシミュレーションの構築方法を提案する。

#### (1) 交通行動エージェントの意思決定過程

ここでは、都市交通政策導入時には、交通行動者は経験情報をもとに意思決定をおこなうと考える。ここでは、都市交通政策に関与する(影響をうける)交通行動者は、①経路変更、②出発時刻変更、③交通手段変更、④目的地変更の4種類の選択肢を持つとする。したがって、混雑料金政策の場合、交通行動者は4種類の行動変化を行うか、行動を変化しない(混雑料金を支払う)ことになる。図-2に、この場合の交通行動エージェントの意思決定プロセスを整理する。

この意思決定プロセスの要点は、①都市交通政策実施前の満足度  $u(0)$  と、前日の満足度  $u(s-1)$  を比較して「満足」「不満足」を判断する。②「満足」の場合には前日の選択肢を継続し、「不満足」の場合には未試行項

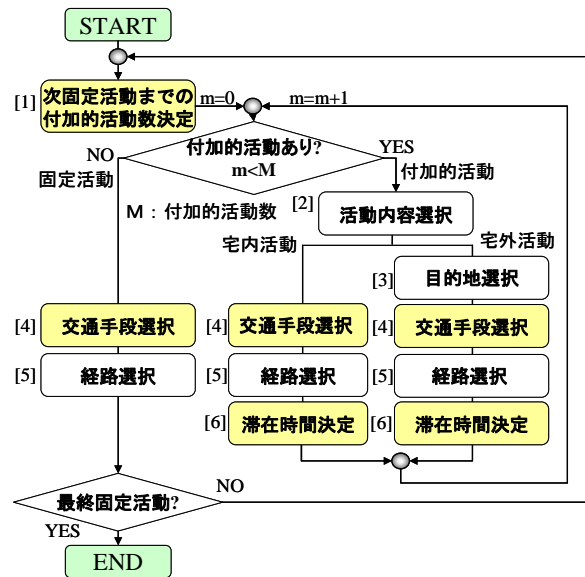


図-1 交通行動分析モデルの意思決定過程

表-1 交通行動分析モデルの推計結果

	従来モデル		本研究モデル	
	サンプル数	割合	サンプル数	割合
総サンプル数	8443	100.0%	8443	100.0%
トリップ数一致サンプル数	5326	63.1%	6736	79.8%
完全一致サンプル数	2410	28.5%	5211	61.7%
活動内容:正判断	7810	92.5%	8162	96.7%
活動場所:正判断	7430	88.0%	7614	90.2%
機関選択:正判断	5736	67.9%	7499	88.8%

目を選択する。③未試行項目がない場合には、許容満足度を減少する(ある程度我慢する)。ここで交通行動の満足度とは「一日のトリップ連鎖全体に関する満足程度」として、交通費用と付加活動によって規定される。すなわち、満足度  $u(s)$  は、総移動時間  $t_a(s)$ 、総移動費用  $c_a(s)$ 、総付加活動時間  $t_b(s)$  およびパラメータ  $\theta$  および  $\lambda$  を用いて、式(1)により算定される。

$$u(s) = -\theta \cdot t_a(s) - c(s) + \lambda \cdot t_b(s) \quad (1)$$

このように、交通行動による経験から、意思決定項目を自律的に選択する交通行動エージェントを規定した。これより、大域的な交通流動に基づく、個別交通行動者の自律的な意思決定メカニズムが表現可能となった。

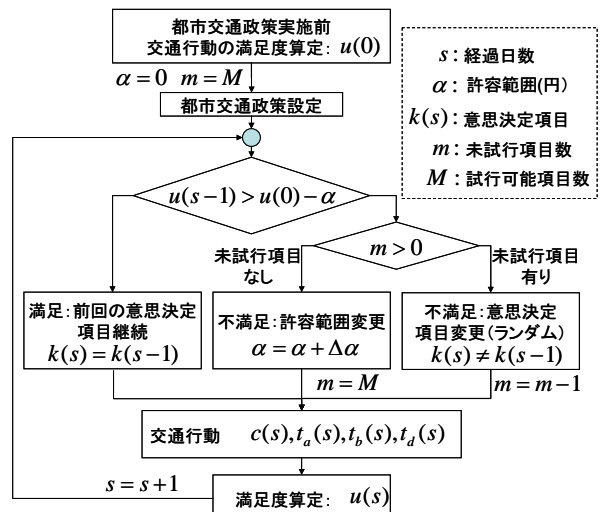


図-2 エージェント意思決定過程の構成

## (2) マルチエージェントモデルの構成

つぎにマルチエージェントモデルの全体構成を説明する。特に交通行動記述メカニズムとして、前述の交通行動分析モデルを利用する。ここでマルチエージェントモデルの具体的なモデル群の構成を図-3に示す。

ここでエージェントモデルでは、①交通行動者が満足度に基づき交通行動選択肢を決定する。この結果、都市交通政策の影響下のトリップ属性が変化する。②この結果、交通行動者は関連する1日の交通行動を行う。

(この交通行動パターンは、前述の交通行動分析モデルの推計プロセスから算定する)。都市交通政策導入に対応して、全交通行動者に関する1日の交通行動軌跡が推計される(①~②を繰り返して算定する)。

つぎに、交通流動モデルでは、③交通行動者の1日の交通行動軌跡を集計して経路交通量を算定する。④この経路交通量に基づき、時間帯別経路別のOD間所要時間が算定される。これより、都市交通現象の推計結果である経路交通量が、集計的には道路網均衡条件を満たすよう決定される。⑤個別交通行動者の満足度  $u(s)$  は、このとき得られるOD間所要時間に基づく総移動時間  $t_d(s)$ 、総移動費用  $c_d(s)$ 、総付加活動時間  $t_b(s)$  から算定される。

このように、マルチエージェントモデルの構成することで、都市交通政策の影響による交通行動者の自律的な交通行動変化と、都市圏全体の広域的な交通流動の相互関係を考慮した交通現象記述が可能となった。

## 4. 都市交通政策評価への適用

ここでは、マルチエージェント交通行動モデルを都市交通政策評価に適用する。すなわち複雑現象解析の視点から都市交通政策を検討する方法を紹介する。

### (1) 交通行動者構成に関する分析

ここでは、対象地域の交通行動者の公共交通機関に対する利用意識が都市交通政策の効果に及ぼす影響を検討する。モデルでは公共交通機関の利用意識を「選択肢集合における交通手段変更の有無」として表現する。すなわち自動車から公共交通機関への交通手段変更の可能性を持つ交通行動者の割合で地域特性を規定する。具体的には、交通手段変更可能性をもつ交通行動者の割合を20%~80% (4ケース) 設定する。このとき、それぞれの社会環境下で混雑料金政策の影響を算定する。

この設定に応じて交通行動エージェントの選択肢集合の分布状態が変化する。この結果、混雑料金政策に関する最終的な対応方法が交通行動者ごとに算定される。

図-4に交通手段変更可能者の全体に占める割合ごとに算定された混雑料金政策に対応する交通行動変化を示す。公共交通機関を選択肢とする者の割合が大きいと、交通手段変更者は必然的に多数となる。一方で経路変更者・同一行動者(混雑料金支払い)の割合は少数である。

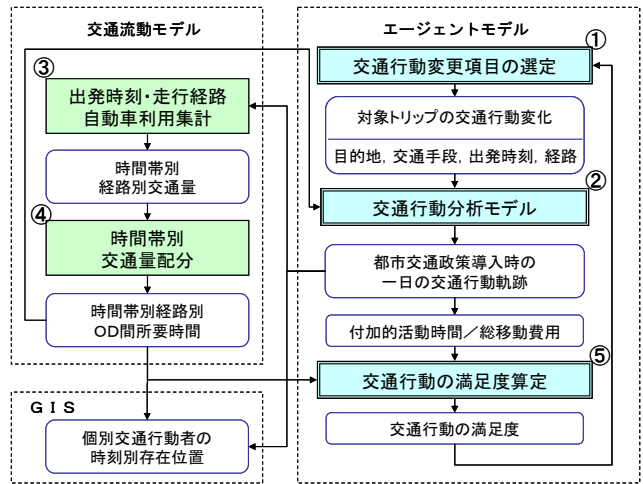


図-3 マルチエージェントモデルの全体構成

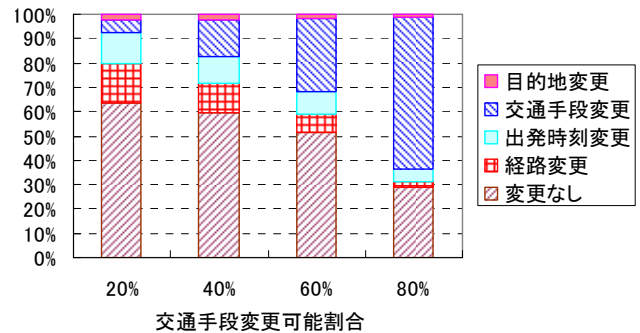


図-4 交通行動者構成と交通行動変化

特徴的な変化は割合60%~80%の間で選択肢構成割合が大きく変化している。道路混雑減少に起因する道路利用者と公共交通利用者の協調的变化が推測される。

つぎに、交通手段変更可能割合ごとの交通行動者の満足度指標値の平均値の推移を図-5に示す。

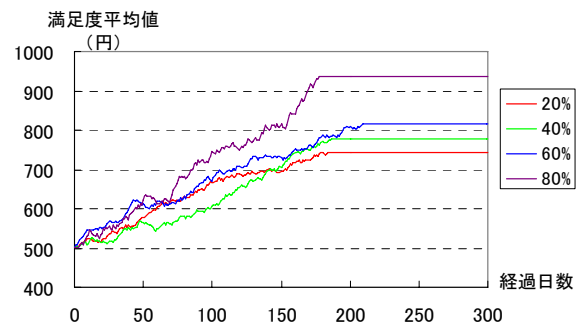


図-5 交通行動者の満足度指標値の推移

いずれのケースも交通行動者が混雑料金政策に対する経験の蓄積から、最終的に選択肢を固定し、安定的交通現象が生じる(交通行動の満足度が一定となる)。また変動は選択肢集合の規定に確率的判断(突然変異; 5%)が含まれる点に起因する。ここで他の確率変動時にも同様に安定状態に至ることが観測されている。

### (2) 交通行動変化の影響分析

ここでは、個別交通行動者の交通行動変化による広域的な交通流動への影響について分析する。

図-6に交通手段変更可能者割合と都市圏の道路混

雑（総走行時間）の関係を示す。交通手段変更を選択肢とする交通行動者数に対応して混雑料金回避のため公共交通機関利用に変更する。この結果、都市圏道路混雑は減少する。特に交通行動者の80%が選択肢に公共交通機関を含めている場合には効果的な混雑緩和が期待できる。一方で道路混雑緩和の検討には、積極的な公共交通意識の向上が必要であることを示すものである。

マルチエージェントシステムは各交通行動者の混雑料金政策に対する時間的な推移に基づき、マクロな都市交通現象を算定する。前述のように本システムに内包される交通行動記述モデルはGISとの統合を意図している。このため交通行動変化の空間的把握も可能である。図-7はさきの交通手段選択可能者80%の場合の最終状態を空間表現したものである。都心部から放射状に公共交通機関への変更者が多数観測される。これは、①関連人口分布、②バス路線密度、③バス所要時間の複合的要素の関係から算定された自律的空間分布であるといえる。

交通手段選択可能者の割合は、混雑料金の道路利用者を排除する効果を決定づける。マルチエージェントシステムの出力はGIS利用により道路網混雑の時間的・空間的变化として表現できる。図-8に設定条件の異なる2種類の道路混雑状況を示す。これより利用者認識の相違は、都市交通政策の効果に影響することがわかる。

## 5. おわりに

都市圏の交通現象分析を目指した交通行動モデルは、現況の交通調査結果に整合した理論モデルを構築する機会が多い。すなわち個別交通行動者の時間的・空間的移動から都市交通流動を推計する。しかしながら、新規の都市交通政策は交通行動者の意思決定構造変化を与えることも推測され、既定の交通行動モデルの推計可能性には問題がある。本研究では、都市交通現象を交通行動エージェントの時間的・空間的移動の集積するシステムとしてモデル化方法を提案し、具体的な検討を行った。本研究で得られた成果は以下のように整理できる。①交通行動エージェントの基本行動記述に、既存の交通行動モデルの算定メカニズムが利用した。このときPT調査結果と空間情報の統合的利用が詳細記述に有効であることを示した。②混雑料金政策導入を対象として、都市圏全域の交通行動エージェントの自律的意思決定から生じる交通行動パターン変化を表現する複雑系モデルを構成した。この結果、交通行動シミュレーションから内発的交通現象を観察可能とするモデル構成が示された。③混雑料金政策に対する交通行動者の代替的交通行動に関する多様性を分析した。エージェントの交通機関選択肢と公共交通機関の意識高揚に関連して、協調的な都市交通現象変化が時間的・空間的に観測できることがわかった。

本稿では基本的な交通行動マルチエージェントモデル

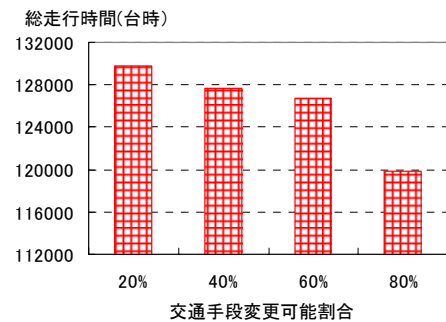


図-6 交通行動変化に基づく総走行時間

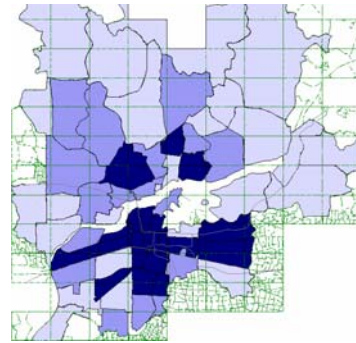


図-7 交通手段変更者の空間分布

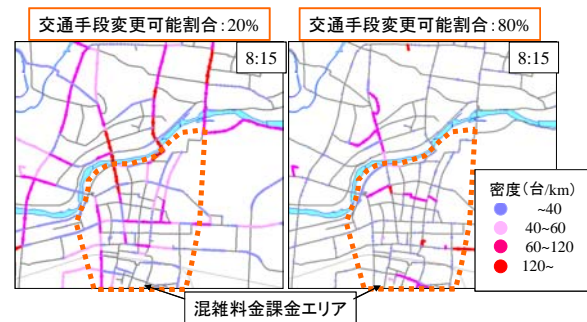


図-8 都市交通政策による都市道路網の交通状況

の提案を行った。なお交通現象の複雑系処理に関して、①仮想的交通行動モデルの利用局面の整理、②交通現象に関する創発現象の整理、③自律的都市交通政策の具体的提案などについての一層の議論が必要である。

謝辞：最後に本研究は、平成17年度科学研究費補助金研究(C)15760395の研究成果の一部であることを付記する。また、パーソントリップ調査利用に関しては、中京都市圏総合都市交通計画協議会の御了解をいただいた。ここに記し感謝の意を表する次第である。

### 参考文献

- 1) 秋山孝正：知的情報処理を利用した交通行動分析，土木学会論文集，No.688/IV-53，pp.37-47，2001.
- 2) 秋山孝正：ソフトコンピューティング技術の土木計画における応用と課題，土木計画学研究・講演集，Vol.27，CD-ROM，No.201，2003.
- 3) Masashi Okushima, Takamasa Akiyama: Construction of Artificial Life Model for Urban Transport Analysis, Proceedings of the SCIS & ISIS 2004, No.20109, 2004.
- 4) 和泉範之，奥嶋政嗣，秋山孝正：空間情報を利用した交通行動の時間的推移の表現方法，土木計画学研究・論文集，Vol.22，No.3，pp.405-412，2005.
- 5) 小澤友記子，秋山孝正，奥嶋政嗣：ファジィ交通行動モデルによる混雑料金政策の影響評価，土木計画学研究・論文集，Vol.21，No.2，pp.607-618，2004.