

# 日本におけるマルチエージェントシミュレーション活用の動向

■ 森 俊勝 (株) 構造計画研究所

## 社会シミュレーションとしてのマルチエージェントシミュレーション

持続可能な社会を実現するためには、社会の未来を予測し、将来を見据えた上での議論が不可欠である。しかし、社会には「ミクロ・マクロループ」が存在するため、すべての期間に共通してマクロな挙動を予測できるような方程式を見つけることは困難である<sup>1)</sup>。MAS (マルチエージェントシミュレーション) は、人間の振舞いと環境のミクロ・マクロループを含めた社会全体を1つのシステムとして捉えたシミュレーションを行うため、社会科学分野の解析アプローチとして非常に相性が良い。このことから、MASはさまざまな社会問題への適用が期待されてきた。

現実社会をモデル化した人工社会をMASにより構築することで、施策が及ぼす影響の可能性を事前に定量的に評価することが可能となる。また、個々の行動が社会へ及ぼす影響のプロセスを可視化し、社会の動きを直感的に把握することができる。近年、これらの利点が徐々に世の中に認知され、社会シミュレーションとしてのMASは、国や自治体を中心に施策評価などの実務面において活用されてきている。

本稿は、日本における社会シミュレーションとしてのMASの活用動向について述べる。

## モデルの説明性の向上

社会シミュレーションとしてのMASを現実問題に適用する際には、結果の説得力が重要となり、そのためには、まずモデルの説明力が不可欠となる。実務面においては特にこの点が重視される。

MASは、複数のエージェントがそれぞれの行動ルールに基づき自律的に行動・相互作用を行う。MAS上で現実に関わり得る社会現象を表現するためには、人工社会を構成する各エージェントの振舞いが、現実社会を構成する人間の振舞いと一致していることが望ましい。しかし、現実の人間行動および環境のすべてをシミュレーション上に組み込むことは現実的に不可能であるし、「KISSの原則」で言われるように、分析に不必要な複雑性は避ける必要がある。そのため、目的に応じて社会に影響を及ぼす環境要因と人間の意思決定・行動要因を切り出すモデル化の作業が必要となる。

モデル化には、まず要因の抽出とパラメータの設定を行う。エージェントの振舞いをより現実に近いものにするためには、大勢の人々の行動や意思決定結果の大量のデータを分析し、その中から有意性の高い行動要因や行動パターンを抽出し、各行動要因についてパラメータを推定したものをエージェントの行動モデルとして反映することが理想的である。たとえば、店舗内の顧客の購買行動については、店舗での実際の客の行動や購買した商品情報のデータを計測・収集し、そのデータを分析することにより、行動パターンや商品選択モデルを構築することができる。

近年、スマートフォンに代表されるモバイルコンピューティングの普及や、オンラインサービス利用の増加により、ライフログ等の個人活動やユーザのサービス利用履歴など、日々の人々の行動が、データとして記録、蓄積されるようになってきた。たとえば、オンラインショップであれば、利用者の時系列での商品閲覧履歴、購買履歴データ、実店舗であれば、カメラによる店内での動線計測データ、POS

(販売時点情報管理：Point Of Sale) データ等が挙げられる。また、大規模な意識調査も、インターネットの普及によって Web アンケートで比較的安価に実施することが可能である。プライバシーの配慮のためにいくつかのハードルを越える必要はあるものの、これらのデータをうまく活用することで、より現実の特徴を反映したモデルを構築でき、シミュレーション結果の妥当性や説明性の向上に繋げることができる状況となってきた。

## 実務における社会シミュレーションの活用

社会シミュレーションとしての MAS は、実務面においては特に交通分野、防災分野での活用が進んでいる。また、実務面での適用事例はまだ少ないが、今後活用が期待されるものとして室内空間デザイン評価がある。本稿では、これらの3つのテーマの活用動向について紹介する。

### ■ 交通分野：ドライバーの交通行動を考慮した交通施策評価

経済成長を背景にした過剰なモータリゼーションの進展は、これまで渋滞や大気汚染などさまざまな社会問題を引き起こしてきた。これを受けて、増加し続ける交通需要に対して、道路拡幅や道路新設等の供給側からのハード的施策がこれまで実施されてきた。しかし、これには莫大な時間と費用が必要なことや、新たな自動車需要喚起を引き起こすなど限界が生じていた。そのため、自動車利用者の行動を変容させ交通需要自体を制御しようとするソフト的施策である TDM (交通需要マネジメント：Transportation Demand Management) の手法が考案されている。TDM の施策例として、パークアンドライド、カーシェアリング、ロードプライシング等が挙げられる。

道路環境は一度変更すると、後にそれが思わぬ悪影響を及ぼしたと判明しても、簡単に元に戻すことができないため、事前にその施策の効果をできるだけ正確に見積もることが求められる<sup>2)</sup>。交通施策の

評価には、これまでもシミュレーションが活用されてきた。交通流シミュレーションは、コンピュータで擬似的に実際の交通流動を表現するものであり、大きくマクロスコピックモデル (マクロモデル) とミクロスコピックモデル (ミクロモデル) の2つに分類される。マクロモデル (マクロ連続流体近似モデル) は、交通流を流体として簡略化して表現したものである。一方のミクロモデルは、車両の追従挙動や他の車両を回避するための車線変更など細かな車両挙動を再現したものである。特にミクロモデルは、交通渋滞等の現実の交通現象を表現可能なことから、道路計画を効率的、効果的に検討できる意思決定支援ツールとして位置付けられ、現在では開発段階から実用段階へ移行してきている<sup>☆1)</sup>。

交通利用者の交通行動は、大きく「交通手段選択」「経路選択」「運転挙動」の3つに分けられるが、現在一般的に利用されているミクロモデルを採用している交通流シミュレータの多くは「運転挙動」のみを扱うものであり、交通手段選択および経路選択は、あらかじめ評価者が与えた状態での評価を行っている。つまり、ドライバーは個々の過去の経験や周囲の道路状況に応じた交通手段選択や動的な経路変更を行わない。現況を再現する場合には特に問題にならないが、実際の施策として道路条件や交通手段条件を変化させた場合、それに伴って交通状況に何らかの変化が生じ、交通利用者はその変化に応じて利用する交通手段や経路を修正する。したがって、施策検討においては、交通利用者の交通行動の変容を考慮したシミュレーションを行うことが求められる。たとえば、交通利用者の利用経路推計には、これまで利用者均衡配分法が多く用いられてきた。この手法は、「ドライバーは各経路の所要時間を完全に知っている」「ドライバーは常に最短経路を選択する」と仮定したうえで交通量を道路ネットワーク上に配分するものである。最終的にすべてのドライバーがどの経路を通っても、これ以上自分の所要時間を短縮できない状態となった交通状況を評価する。しか

☆1) ミクロ交通流シミュレータ  
Vissim ([http://www4.kke.co.jp/ptv-vision/vissim\\_top.html](http://www4.kke.co.jp/ptv-vision/vissim_top.html)) など

## ③ 日本におけるマルチエージェントシミュレーション活用の動向

し、実際の交通利用者は、過去の経験や周囲の状況などの限られた情報を基に個人に最適な行動をとっている場合がほとんどである。また、交通行動における行動基準は料金重視、時間重視など個人によってさまざまである。すなわち、利用者均衡配分法によって得られた交通状況は、現実の交通状況の傾向とは異なる可能性がある。交通施策評価を行うためには、個々の

交通利用者が施策をどのように受容し、どのように行動を変容させるかを踏まえて全体の交通状況の評価することが望ましい。このような背景から、ドライバーに自律性を持たせた知的エージェントとしてモデル化したマイクロ交通流シミュレータ<sup>☆2</sup>が開発されている<sup>2)</sup>。

先に述べたように、TDMの手法を用いた交通施策が徐々に検討され始めている。TDM施策は、目的とする交通状況をボトムアップのアプローチで実現しようとするものである。つまり、環境によるドライバーの行動の変化と、ドライバーの行動による環境の変化を同時に考慮した上で、狙い通りの交通状況にすることを目指す。そのため、ドライバーの行動の変化が想定通りになるか、長期的な観点で交通全体が目的とした状態に近づいているかが主な評価項目になる。TDM施策はマイクロ・マクロループを含んだボトムアップのアプローチをとっており、これを事前に評価するためには、MASのアプローチが適切だと言える。

筆者らは、個々のドライバーが過去の経験や周囲の道路状況に基づき意思決定を行うエージェントベースの交通流シミュレータを開発し、これを用いて

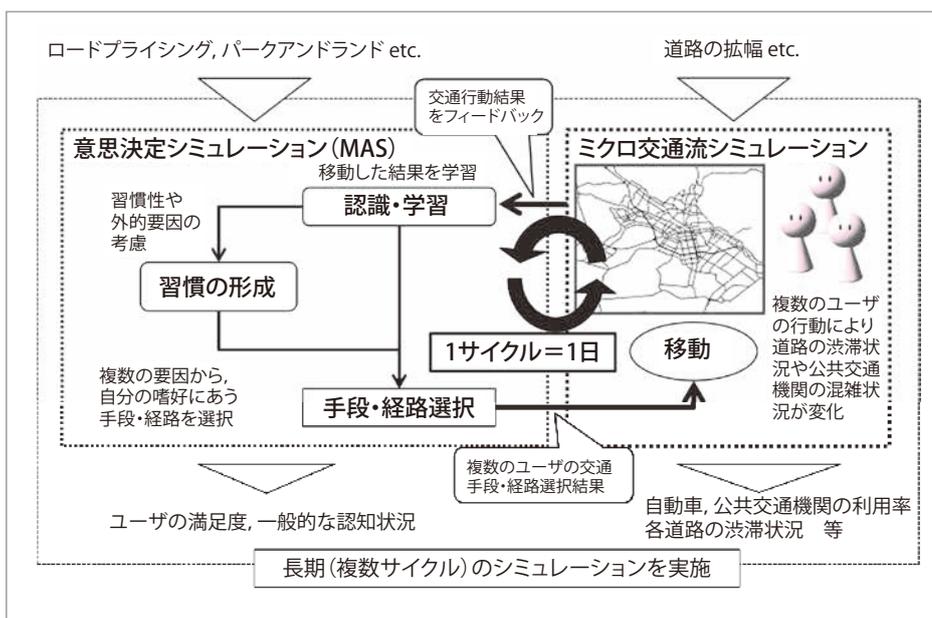


図-1 交通行動の変容を考慮したエージェントベースの交通流シミュレータ

TDM施策の評価を行っている<sup>3)</sup>。交通行動の意思決定(モビリティ選択、経路選択)部分をMASで扱い、意思決定結果としての交通行動をマイクロ交通シミュレーション上で表現している。対象地域の交通利用者に対してアンケート調査を行い、その結果からドライバーの交通行動モデルを構築し、MASのエージェントに組み込んだ。このシミュレータでは、全交通利用者の1日分の交通行動を1サイクルとしており、各個人の行動結果は経験として記憶し、次の日以降の交通行動意思決定に反映する(図-1)。

このシミュレータを用いて、ある地方都市のTDMを評価した。TDM施策として検討されていたパークアンドライド施策の評価を行ったところ、施策開始後数日間は新しい状況によって利用者の交通行動は大きく変化し、それに伴い交通状況も振動したが、約1カ月後には学習効果によって交通状況は安定した。交通状況が安定した状態において施策の前後を比較したところ、最終的に施策実施により渋滞が緩和されていることを確認した。その後、該当地域において実際に施策が実施された際には、シミュレーションと同様に交通状況が振動するといった類似したプロセスが観測された。

ところで、交通分野においては、ITS(高度交通システム: Intelligent Transport Systems)の導入

☆2 SUMO (<http://sumo-sim.org/>) や MATSIM (<http://www.matsim.org/>) など

が急速に進んでいる。特に路車間・車々間通信の活用が検討されているが、現在は主に通信範囲・プロトコルの分野で検討が進められており、路車間・車々間で具体的にどのような情報を交換するか、また、それが現実の交通においてどの程度経路選択に有効に働くかについての検証はまだ十分に行われていない。ITSが導入された状況において、ドライバーの利便性を高めるとともに理想の交通状態とするためには、個々のドライバーの交通行動に合わせて、提示する情報やタイミングをどのようにすべきかを議論する必要がある。今後、こういった場面でエージェントベースの交通シミュレーション活用が広がっていくだろう。

## ■ 防災分野：避難計画策定支援

万が一の災害時に被害を最小限に抑えるために、国や自治体、企業は、事前に対策を取っておくことが求められている。しかし、災害時の人々の行動や、全体の避難状況を事前に把握することは困難である。そこで、人々の避難行動のシミュレーションを行い、その結果をもとに防災計画を検討する取り組みが広がっている。災害状況によって被害状況や人々の行動が異なるため、このようなシミュレーション上では、災害状況（地震、津波等）や被害状況（火災、煙、浸水、道路被害、建物倒壊等）、避難状況を同時に表現し、避難状況を評価するものが多い。災害時における避難者は、主に以下のような意思決定を行うと考えられる。

### • 避難開始

災害発生後、メディアや周囲の状況、経験を基に避難開始の有無を決定し、準備を始める

### • 避難先などの目的地の選択

認知している避難場所から避難先を選択する

### • 避難経路の選択

周囲の状況や過去の経験を基に目的とする避難先までの避難経路を選択し、移動する

これらの避難時の意思決定は、時間、場所、個人属性等によって異なる。また、これらの意思決定や避難時の混雑には避難者同士の相互作用が存在し、

それが全体の避難状況に影響を及ぼす。そのため、群衆避難のシミュレーションには、MASが用いられることが多い。

避難シミュレーションでは、避難者の意思決定をモデル化した避難者エージェントを構築し、さまざまな災害シナリオ、施策シナリオの下での群衆の避難状況のシミュレーションを行い、避難路の混雑状況、避難完了時間、被災者数等の評価値を基に防災計画の妥当性評価を行う。

現実の避難者をエージェントとしてモデル化するためには、災害時の避難者の意思決定・行動データが必要となる。しかし、一般的に災害時等の非常時における避難者行動の観測やデータの取得は困難であることから、そのようなデータの存在は稀である。そのため、避難訓練時の計測データや災害後の定性的な調査データに基づき構築されている場合が多い。よりリアルなデータに基づいたモデルを構築するために、避難訓練において住民にGPS機能付き端末を所持してもらい、その結果に基づいて避難時の経路選択、歩行速度等のモデル化が行われている<sup>4)</sup>。また、群衆避難における滞留状況については、群衆実験<sup>5)</sup>から得られた流動係数（空間の単位幅および単位時間あたりに通過した人数。単位は[人/m・sec]）等を指標として、シミュレーションの妥当性の確認およびモデルの調整が行われている<sup>6), 7)</sup>。

避難シミュレーションは、大きく建物内避難を対象としたものと、街区避難を対象としたものの2種類に分けられる。建物内避難は、火災や地震発生時に速やかに建物外に避難するための建築物設計や避難計画の評価に用いられている。

筆者らは、森ビルと2008年に共同開発した高齢者や身体障害者等の避難行動も考慮可能な火災時避難シミュレータを用いて、高層ビルにおける火災発生時の避難リスクについて評価した。その結果、これまで火災避難時の利用が原則禁止されていたエレベーター避難の有効性が裏付けられ、行政に対して避難時のエレベーター活用について提案してきた。この取り組みがすべてではないが、結果的に東京消防庁は2013年10月に火災時の非常用エレベータ

ーの利用を条件付きで認める方針を出している。

一方、街区避難を対象としたものは、津波や河川、火山等の広域での避難計画の評価および教育ツールに用いられる。対象地域の避難が困難な地域を特定し、人々の行動特性や地域特性を考慮した適切な施策検討、さらに施策案の効果検証に避難シミュレーションが活用されている。また、避難シミュレーションのアニメーションを住民に公開することで、災害発生時の自宅周辺の被害状況を疑似体験し、地域防災学習支援ツールとしての利用が図られている<sup>8)</sup>。

東日本大震災以降、これまでの主な防災対策であったハード対策のみでは自然の猛威を完全には抑えきれないという教訓から、ハード対策と併せてソフト対策も重視されるようになってきた。ハード対策が、防潮堤設置や建物耐震化、土地の嵩上げ等の災害の直接被害を防ぐことを目的としたものであるのに対して、ソフト対策は、災害時の避難情報の迅速な伝達や避難誘導、災害リスクの教育、自主防災組織の強化等の住民の迅速かつ適切な避難行動によって人的被害を防ぐことを目的としている。これらの施策が住民の災害時の行動にどのように影響するかを把握するべく、避難シミュレーションによって避難状況を事前に評価することは、今後の防災計画において重要な意義があると考えられ、国や自治体での取り組みも活発化してきている。

その一例として、神奈川県鎌倉市ではMASを用いた津波避難シミュレーションによる地域課題の抽出と、施策評価を行っている。鎌倉市は、年間延べ2,000万人の観光客が訪れ、特に夏季には海水浴客約110万人が海岸部に集中するといった地域特性を有している。津波避難施策を検討する上で、これらの観光客や海水浴客が一斉に避難した場合、どのような状況が引き起こされるかわからないという課題があった。そこで、現地調査およびヒアリングによって得られた情報をもとに、地域内の人々の行動パターンから避難者行動モデル、避難所や避難路等の状況から空間モデルを構築し、いくつかの災害シナリオにおける津波発生時の避難シミュレーションを行った。シミュレーション結果から、避難困難

地域の特定を行い、該当地域の避難者に対しての避難誘導施策案を導き、施策案についての効果検証を行った。また、シミュレーションの動画は鎌倉市のWebサイト上で公開され、住民の意識向上に活用されている。

### ■室内空間デザイン評価

ビジネスの場においては、コストを抑えつつ、いかに知的生産性を向上させるかが求められている。知的生産性は、一般的にワーカーのパフォーマンスに依存するものであり、このパフォーマンスはオフィス環境に依存する部分が多い。そのため、知的生産性を高めるためには、オフィス環境の改善が効果的であると考えられる。オフィス環境としては、座席配置、設備配置、動線、音、照度、温度などが挙げられる。一方、オフィスビルには、環境への配慮やコスト削減のために、一次エネルギー量の削減や必要最小限の設備投資が求められている。以上のことから、コストを抑えながら知的生産性を向上させる空間づくりが注目されている<sup>9)</sup>。

オフィス環境は、オフィス内の人数や各ワーカーの行動、外気温など時々刻々と動的に変化する。一方、ワーカーは、スケジュールされた作業タスクに応じて作業、移動、コミュニケーションを行う。また、ワーカーの行動や知的生産性は、各状況におけるオフィス環境によって心理的・生理的な影響を受け変化する。このように、ワーカーの振舞いとオフィス環境との間には、マイクロ・マクロループが存在する。

このような状況のもと、ビル設計やオフィス空間設計において、適切な空調制御、照明制御、座席配置、業務タスクのスケジュールを検討可能なシミュレーションツールが求められている。現段階では、まだ実務面での本格的な適用までは至っていないが、今後スマートビル等が増加していくなかで、このようなツールの需要はますます高まっていくだろう。

評価指標としては、エネルギー消費量やCO<sub>2</sub>排出量、全体生産性、コミュニケーション量、動線(混雑)、場所ごとの快適性などが挙げられる。タスクの割り振り、座席配置、機器の配置などさまざま

なシナリオのシミュレーションを行い、結果として得られた各評価指標を多面的に評価する。これにより、オフィス空間全体としての知的生産性を高めつつ、一次エネルギー量を削減可能なシナリオを抽出し、レイアウト設計、ワーカーの作業計画、空調計画に活かすことができる。

## MAS の結果の解釈

実務面での社会シミュレーションの課題として、シミュレーション結果の解釈が挙げられる。現実世界との対応や妥当性の確認について、これまでさまざまな取り組みがなされているが、シミュレーションのモデルはあくまで現実世界を捨象・抽象化したものであり、将来のある時点を完全に予測することは困難であることを念頭に置く必要がある。

また、社会シミュレーションのモデルは、ある仮定や前提条件に基づいて起こり得る将来の可能性を表現したものであり、得られた結果については、仮定や前提条件を正しく理解した上で扱わなければ正しく解釈することができない。そのため、結果として得られた数値の一人歩きといった危険性には注意を払わなければならない。

## 今後の社会評価ツールとして

本稿では、社会シミュレーションとしての MAS の日本における実務面での利用動向について述べた。

近年、個人のニーズや嗜好の多様化にあわせてサービスも細分化されてきた。また、情報技術の発展により、人々は情報端末からインターネットにアク

セスし、さまざまな情報を即座に得ることができるようになってきた。人々は与えられた情報をもとに意思決定を行い、行動を変化させる。そのため、一昔前では考えられない速度で、人々の生活とそれを取り巻く環境は変化し続けている。また、東日本大震災以降、今後の施策検討において不確定な状況のもとでの意思決定を迫られている。こうした状況のもとで、人々の意思決定や環境の変容を表現した MAS による社会シミュレーションは、今後さらに重要な位置付けとなっていくだろう。

### 参考文献

- 1) 和泉 潔：可能世界ブラウザ：マッシュデータ解析とエージェントシミュレーション，人工知能学会，講演資料（2012）。
- 2) 吉村 忍，他：知的マルチエージェントシミュレータ MATES の開発，日本シミュレーション学会，シミュレーション 23 (3), pp.228-237 (2004)。
- 3) 北上靖大，他：都市課題の改善に向けたマルチエージェント・シミュレーションの活用，電気学会論文誌 C, Vol.133, No.9, pp.14-18 (2013)。
- 4) 柿本竜治，他：リスクコミュニケーションツールとしての水害避難行動シミュレータの構築，土木計画学研究・講演集 (CD-ROM) Vol.39.275 (2009)。
- 5) 佐野友紀，他：開口部に付属する小空間の形状が群集流動に与える影響，日本建築学会学術講演梗概集，pp.587-588 (Sep. 2008)。
- 6) 五十嵐さやか，他：マルチエージェントシミュレーションによる地震時避難に関する検討，大成建設技術センター報，第 44 号 (2011)。
- 7) 吉野攝津子，他：マルチエージェントモデルによる火災時避難安全性能評価技術の開発，大林組技術研究所報，No.77 (2013)。
- 8) 柿本竜治：水害リスクコミュニケーションの地域展開を支援する地域防災学習システムの開発，土木計画学研究・講演集 Vol.41 (CD-ROM), 319 (2010)。
- 9) 野崎尚子，他：人にやさしい空間 執務空間におけるワーカーの行動シミュレーションに関する研究，日本建築学会学術講演梗概集，pp.1233-1234 (2012)。

(2014 年 2 月 20 日受付)

■ 森 俊勝 mtoshi@kke.co.jp

(株) 構造計画研究所 社会シミュレーション室所属、マルチエージェントシミュレーション、マーケティング関連プロジェクトに従事。