

6. 網羅的シミュレーションを用いた 社会システム設計支援

野田五十樹（産業技術総合研究所） 山下倫央（北海道大学）

社会シミュレーションの現状

実用的な技術としての社会シミュレーションへの期待が高まってきている。

社会シミュレーションとはその名の通り、個々の人間の活動が相互作用しながら形成するさまざまな社会的事象に対し、計算可能なモデルを想定し、計算機上で仮想的な社会の再構成を試みるものである。本稿では特に、社会的事象を構成する個々の人をエージェントとして陽に扱う、マルチエージェントによる社会シミュレーション（MASS）を取り上げる。シミュレーションの対象となる社会現象としては、人流・物流・交通・情報流通・金融・経済活動など多岐にわたる。

MASSは、社会システムの制度設計あるいは社会サービスの設計支援、なかでも、新規の制度やサービスがシステム全体に与える影響を評価・分析することを主たる目的としている。さらに、この評価・分析において重視されるのが、多様な状況下でのシステム全体の挙動の分類や不具合状態に陥る条件の洗い出しである。たとえば人流シミュレーションを使った避難誘導方法の評価を考えると、ある特定条件でのある手順での避難の効率を評価したり、あるいはその条件での最適な避難方法を調べることは、原理的には可能である。しかし災害という、そもそも状況を詳細に予見することが困難な対象を相手にしていることを考えると、ある特定条件のみにこだわるのではなく、幅広いさまざまな状況について、安定して機能する誘導方法を見つけ出すこと、あるいは、懸案となっている誘導方法が機能しなくなる条件はどういう場合か、を調べることが、一つの大きな応用方法となる。

一方で、MASSで問題となるのがシミュレーション

としてのモデルの精度と結果の信頼度である。MASSにおけるエージェントは人の振舞いをモデル化したものであるが、人の振舞いというものは幅広く、物理的現象でのシミュレーションのように、第一原理ですべてを精度良く予見できる段階にはまだない。さらに、人間はシミュレーション結果のような情報を与えられるだけで行動を変えてしまうため、シミュレーションの実施が結果を変えてしまうという不確定性を排除できない。一方、情報技術やデバイス技術の進歩により、近年ではIoTなど社会の動きを詳細に記録したビッグデータの利用が可能になってきている。このことから、これまで手付かずであった社会的事象のモデルについて、検証や精緻化などを行う環境が整いつつある状況でもある。

このような背景のもとに、MASSを始めとする社会シミュレーションを実社会での応用に結びつける方策として、網羅的シミュレーションとその評価が試みられるようになってきている。網羅的シミュレーションとは、多数の異なる条件で対象の系がどのように振る舞うかを網羅的にシミュレーションし、その結果を解析していく方法である。2009年の横断型基幹科学技術研究団体連合の分野横断型科学技術アカデミック・ロードマップ報告書（第4章）¹⁾でも述べられているように、今後のMASS研究では、系としての挙動の安定性や相転移の条件を分析するといった、複雑系としての分岐理論の確立に向けた取り組みを進めていく必要がある。次章では、この網羅的シミュレーションの応用として、人流シミュレーションのいくつかの事例を紹介する。

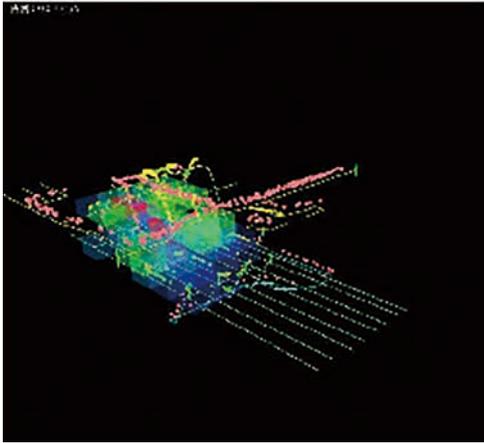


図-1 ターミナル駅における避難シミュレーション (CrowdWalk)

網羅的人流シミュレーション

MASSによる人流シミュレーションは、災害時の避難など、稀な状況や新規の状況での人流の分析に強みがある。多くのビッグデータは平常時に頻繁に繰り返される現象を代表しており、災害など稀な状況の分析には向いているとはいいがたい。また、災害状況などをリアルに再現した実証実験などは危険性の面から難しく、計算機による仮想実験に頼らざるを得ない。

一方で、前章で述べているように、シミュレーションモデルとして完成度がまだまだ低いMASSの場合、個々のシミュレーション結果の絶対値をそのまま評価対象とすることは危険である。たとえば、ある建物からの避難をシミュレーションでは10分で完了できたからといって、実際にその「10分」という値をベースに対策を立てることは、現段階では難しい。これに対し網羅的シミュレーションでは、さまざまな条件でのシミュレーションの結果の相対的關係に着目することで考慮すべき条件等が明確にし、対策立案への有用な情報を提供することを目指している。

🟡 避難誘導の意思決定重要度判定

災害対応の訓練を設計する際、対応の全体像を体感させるとともに、各対応業務のうちどの業務に迅速さや正確さが要求されるかを把握させるように訓練を組み立てることが重要となる。たとえば避難誘導ではただ正確な状況認識と迅速な意思決定を行う必要があるが、判断のための情報収集に時間を掛けざるを得ない場合もあり、すべてにわたって正確さと迅速さを

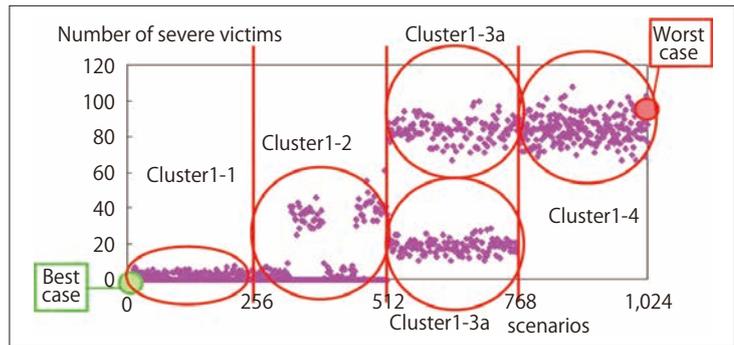


図-2 シナリオの違いによるガスによる被害者数の変化

両立できるとは限らない。よって、各判断で正確さと迅速さのどちらが重要かを知ることは、訓練を設計するにあたって重要な要素となる。

筆者ら²⁾は網羅的シミュレーションを用いてこの各判断の重要性を分析することを試みている。

この研究では、あるターミナル駅においてテロなどで有毒ガスが拡散された場合を想定し(図-1)、駅の利用者を避難させるための意思決定を取り上げて、意思決定の遅延がどのように被害に影響を及ぼすかを調べている。この対象となる駅は鉄道会社3社およびホテルにより共有されており、誘導においても指揮系統が複雑になるという問題を抱えていた。これに対し、「有毒ガス検知」「他鉄道会社への連絡」「各鉄道会社ごとの駅利用者への誘導案内」(3社分)「各鉄道会社ごとの列車運行停止」(3社分)「ホテル利用者への誘導案内」「救急隊出動要請」などあわせて10項目の重大な意思決定を取り上げ、各々における判断の遅延の有無による影響をシミュレーションで調べている。

シミュレーションでは、各意思決定項目で、遅延があるかないかの2通り、全組合せ1,024通りのシナリオを考え、その各シナリオについてシミュレーションを行い、有毒ガスによる被害者の数を評価値として分析を行っている。図-2はその結果を示している。この図では、横軸がシナリオを示しており、縦軸が被害者数を示している。この訓練では、有毒ガスが撒かれている、という前提なので、当然、すべての判断が早いというシナリオで被害が最小化され(図の左端)、すべて遅いシナリオで被害が最も大きくなる(右端)。ただ、中間のシナリオにおいては被害の程度はなだらかに上がっていくのではなく、いくつかのクラスタに分かれていることが分かる。このクラスタを分析する

ことで、たとえば以下のようなことが分かってくる。

- 最も影響が大きい要因は有毒ガスの検知の早さである。
- 有毒ガスの検知が遅かった場合でも、救急隊出動の要請を早く行えば、被害の拡大を抑えられる場合がある。

つまり、有毒ガス検知や救急隊出動要請の判断で迅速さが問われることが分かる。一方で、実際の災害対応を考える場合、有毒ガス検知はある程度は訓練で早められるものの、検知のための装置や試薬の整備を必要とするため、訓練の効果は限定的と考えられる。一方、救急隊出動要請判断は担当者の技量にかかる部分が大部分であり、訓練の効果が見込める。

このように、網羅的なシミュレーションの結果を相対的に分析することで、判断の相対的な重要度が明確になり、訓練での重点化や評価の指標づくりが可能となってくる。

🔍 避難人数と避難効率の相関

人は、スケールが大きくなったときの事象の変化を想像することが苦手である。一般に人はものごとを線形に捉えがち、すなわち、未知の状況に対し過去の経験と比べて、規模が2倍であれば被害も2倍というように、単純に拡大・延長する形で外挿して演繹しがちである。特に大規模災害は稀であるため、どのような事態が起こり得るかを正しく認識するのは難しいことが多い。

大津波などからの避難のように、非常に多数の人が同時に異動する必要がある場合も同様の誤認識を生じることがある。避難の方法を考え、それを実際に訓練でやってみて経験を得ることは大事であるが、その場合、どれくらいの規模の訓練で十分であるかは自明ではない。少人数でやっとうまく行った方法が大人数でもうまく行くとは限らないからである。

この、避難の規模によって様相がどのように変わってしまうのか、どの程度の訓練を行えば、適切な演繹を行える経験を積むことができるかを、網羅的シミュレーションで取り組んだ例が参考文献3)である。この研究では、鎌倉市の材木座地区を対象に(図-3)、避難の人数規模により避難の様相がどのように変化す



図-3 鎌倉材木座における津波避難の設定

るのかを、以下のようなシナリオで調べている。対象地域は7つの地区から構成されているが、これらの地域の指定避難所として、3カ所が決められている。そこで、この地区ごとにその住民は特定の避難所に避難することとする。ただ、各地区がどの避難所に逃げるかは、すべての組合せ(シナリオ)を考えるとする。すなわち、 $3^7=2,187$ 通りの組合せを考える。この各々の組合せについて、避難する総人数を数十人から一万人まで変化させてシミュレーションを行い、避難完了までの時間を出力として記録する。

その結果を示したのが図-4である。このグラフは、横軸がシナリオを、縦軸が避難時間を示している。また、プロットしている点の色が人数の違いを表している。この2つのグラフのうち、上のグラフは10人で避難した場合の避難時間が昇順になるようにシナリオを整理した場合、下のグラフは5,000人で避難した場合の避難時間で整理した場合を示している。このグラフから、10人で避難した結果でシナリオを整理させても、1万人など大人数で逃げる場合の結果はバラバラであり、10人で逃げた場合に効率的なシナリオでも、大人数では非効率な場合があり得ることが読みとれる。一方、5,000人の結果でシナリオを整理させると、大人数の結果はだいたいまとまりを持つようになり、5,000人での結果からの類推がある程度効くことが分かる。

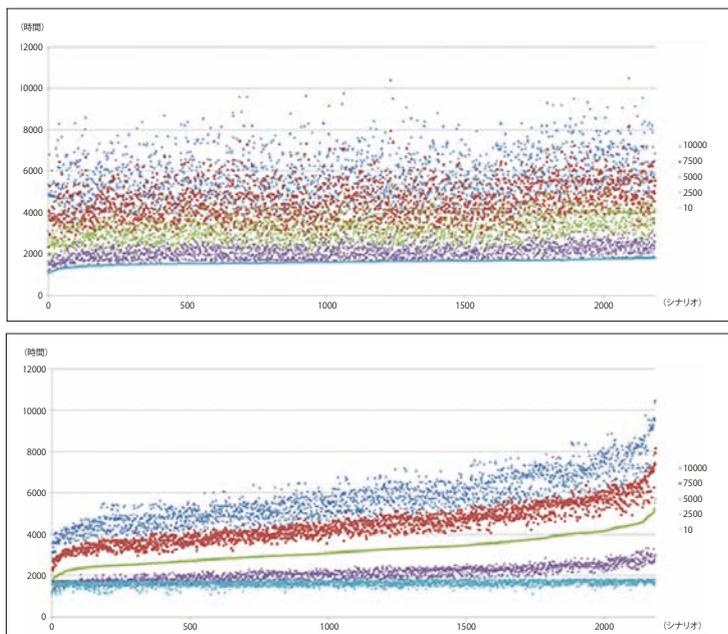


図-4 10人および5,000人での避難結果で条件を整列した結果

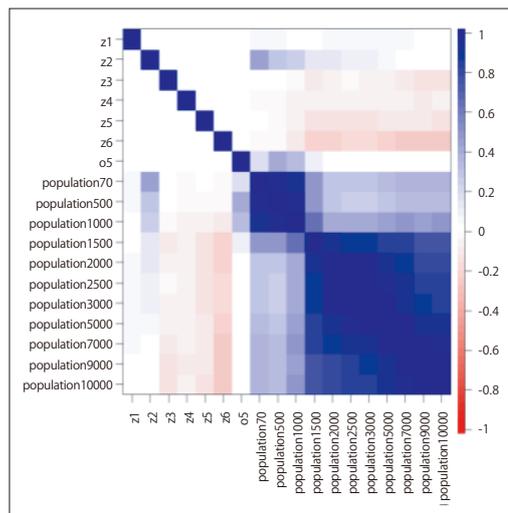


図-5 避難人数間の相互相関

この避難人数の間での相関を示したのが図-5である。この図は、各シナリオに対する避難時間について異なる避難人数の間で相関係数を求め、マトリクス状に表したものである。図の中で青いマスが正の相関、赤いマスが負の相関を示している。この図から、避難人数で1,000人と1,500人の間でほぼ相関に切れ目があり、1,000人以下で有効なシナリオでの経験が、大人数ではあまり当てにならないことが分かる。また、1,500人以上の領域でも正の相関を示す青の濃淡を詳しく見ると、1万人での避難を精度良く類推するためには、5,000人以上での分析が必要であることが読みとれる。

この結果を避難訓練に反映するとすれば、5,000人規模の避難訓練を企画するか、あるいは少人数の場合、何らかの方法で大人数と同じ混雑を経験できる工夫が必要であることになる。少なくとも、少人数での経験がそのまま大人数でも利用できるとは限らないことを知っておくだけでも、災害時の心構えとして有用であると考えられる。

工学的な社会システムの設計支援に向けて

ほかのシミュレーション研究と同じく、MASSにおいても適用するモデルの精度や結果の信頼性・有効性の向上が求められており、網羅的シミュレーション

は結果評価を相対化し現象の構造を見える化することでその要求に答えようとしている。社会システムが複雑化していく中、災害対策などの社会システムの制度設計について、より工学的なアプローチが望まれてきている。クラウドコンピューティングなどで大規模な計算機の利用が容易になってきている現在、このような網羅的アプローチは有効な手法として広まっていくことが期待できる。また、ビッグデータを活用し、社会システムのシミュレーションモデルを精緻化していく上でも、このような網羅的シミュレーションにより、システムの挙動分析や解析手法を進めていくことが、今後必要になってくるであろう。

参考文献

- 1) 横断型基幹科学技術研究団体連合：2009年分野横断型科学技術アカデミック・ロードマップ
- 2) Yamashita, T., Soeda, S. and Noda, I.: Evacuation Planning Assist System with Network Model-based Pedestrian Simulator, Proc. of PRIMA 2009, pp.649-656 (2009).
- 3) Yamashita, T., Matsushima, H. and Noda, I.: Exhaustive Analysis with a Pedestrian Simulation Environment for Assistant of Evacuation Planning, Proc. of PED 2014, pp. SE05-3 (2014).

(2017年4月2日受付)

野田五十樹 (正会員) ■ i.noda@aist.go.jp

1992年京都大学大学院工学研究科修了、電子技術総合研究所を経て、産業技術総合研究所人工知能研究センター総括研究主幹。博士(工学)。

山下倫央 (正会員) ■ tomohisa@complex.ist.hokudai.ac.jp

2002年北海道大学大学院工学研究科修了。産業技術総合研究所人工知能研究センターを経て、2017年より北海道大学大学院情報科学研究科 准教授。博士(工学)。