

# 研究報告書

## 「複合階層モデルを用いた都市エリアシミュレーションの開発と利用 方法の確立」

研究タイプ: 通常型

研究期間: 平成 23 年 10 月～平成 27 年 3 月

研究者: 山下 倫央

### 1. 研究のねらい

近年、スマートグリッドやスマートコミュニティといった都市機能を連携して扱う取り組みが盛んになり、実施する施策が都市全体に与える影響を俯瞰するためのツールとしてのシミュレーションモデルが求められている。しかし、社会システムの最小構成要素である人間の意思決定メカニズム自体が物理モデルに比べて複雑なため、一般モデルの構築が進んでいないことや、意思決定に関して実験室的状況と実際の場で大きく異なることが物理モデルに比べて起きやすいことが原因となり、社会システムの振る舞いの正確な予測を困難にしている。

シミュレータを施策の評価ツールとして用いる場合には、多数のパラメータによってエージェントや環境を詳細に記述し、特定の社会現象を完全に再現することだけではなく、ある程度の正確性を持って社会現象を再現した上で、施策の与える影響を網羅的に把握することも重要である。

本研究では、各主体の物理的な移動モデルと業務プロセスモデルといったマイクロモデルに基づいて、数千人～十万人規模のマクロモデルを構築する複合階層モデルの開発をおこなう。モデル化の対象としては、大規模イベント時の来場者や大規模災害発生時の避難誘導を取り上げる。計算速度と再現精度のトレードオフを考慮しつつ、計測したデータとモデルのパラメータ、また、マイクロモデルとマクロモデルをリンクさせることができる連結アルゴリズムを開発し、シミュレータとして実装する。さらに、効率的なシミュレータの利用方法として、数万から数十万通りのシミュレーションの試行結果に基づく網羅的な分析手法を開発する。これらの要素技術を統合して、大規模な人間活動を対象としたシミュレーションモデルの開発とその利用方法の確立を目指す。

本研究では単なるモデルの開発・シミュレータの実装に留まらず、実際のフィールドにおける技術の適用も重要視する。また、単なるシミュレーション技術の開発に留まらず、実際のフィールドでのモデル構築やパラメータの同定に必要なデータの計測を行う。フィールドを管理・運営する組織との連携を行い、シミュレーション技術、計測技術、情報配信技術を投入して、群集流動の制御・管理における問題の把握・解決策の構築を行う。

### 2. 研究成果

#### (1) 概要

本研究では、下記の研究テーマ A から D までを扱い、これらの要素技術を統合して、都市規模での人間活動を対象としたシミュレーションモデルを開発し、その運用方法を確立した。以下にその内容を示す。

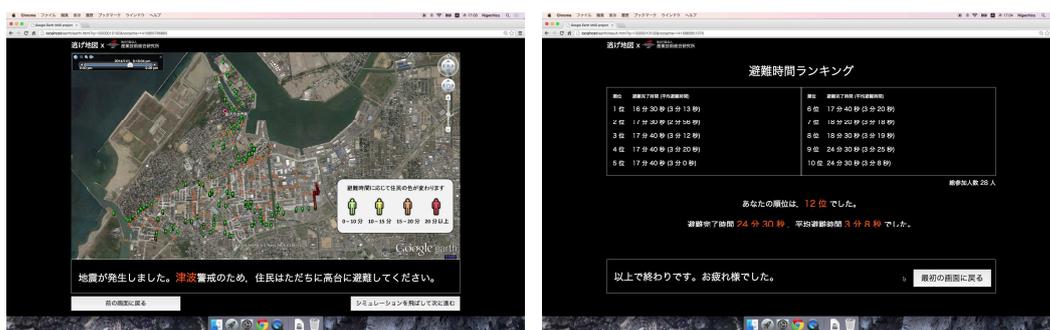
#### (2) 詳細

研究テーマ A 「複合階層モデルの開発」

歩行者が移動する空間を一次的に表現した次元歩行者モデルを提案した。二次元平面上での近傍の歩行者を探索したり、移動方向を決定する計算過程を省略しているため、多数の歩行者の挙動を高速に計算することが可能とした。避難完了時間の短縮要因の検討をシミュレーションの対象として取り上げ、高速計算を生かして得られた多数の試行結果に対して重回帰分析を適用することで、各避難条件の影響力を定量的に把握することを可能とした。【論文 1】

追従モデルや密度モデルより再現精度は下がるものも高速に計算することができる期待密度モデルを提案して歩行者シミュレータ CrowdWalk に実装し、その有効性を確認した。歩行者の移動速度を決定する追従モデルや密度モデルでは 1 シミュレーションステップは 0.1 秒から 1.0 秒に設定している。この設定では歩行者数が数十万人に増加した場合、歩行者の移動の計算時間が増加する。そこで、1 ステップに対応する時間を延伸して、歩行者の移動を高速に計算可能な期待密度モデルを提案した。期待密度モデルでは歩行者間の相互作用ではなく、各リンクの歩行者の通過量を見積もり、その量から各リンクでの移動速度を算出するという場ごとの速度を算出するというラグランジ的なアプローチを採用して高速計算を実現した。【論文 2】

これらの研究成果を実装した歩行者シミュレータ CrowdWalk を利用して、一般市民向けのシミュレーション展示にも取り組んでいる。金沢 21 世紀美術館「ジャパン・アーキテクツ 3.11 以後の建築」の逃げ地図プロジェクトの一部として 2014 年 11 月から 2015 年 5 月まで石川県金沢市大野町を対象とした避難シミュレーションを展示している。図 1 にシミュレーションのスクリーンショットを示す。この展示では来場者が避難条件を選択することが可能であり、避難条件に応じた避難者の動きが Google earth を利用したビューアで確認できる。結果は、全避難者の避難完了時間と平均避難完了時間に基づいて順位が表示される。【成果 7】



(a)避難シミュレーションの画面 (b)結果表示画面

図 1 金沢 21 世紀美術館で展示されている避難シミュレーション

研究テーマ B 「連結アルゴリズムの開発」

ステレオカメラで計測した歩行者群の移動データを基に、計測範囲内の歩行者密度から速度を導出する関係式の精緻化を行った。避難経路の道幅が狭くなる集中流において、密度に

基づく歩行速度モデルと歩行速度の標準偏差モデルを構築した。【論文 3】

#### 研究テーマ C「網羅的な分析方法の開発」

多くの歩行者を的確に誘導するための計画を立案支援するために、クラスター環境において網羅的分析を容易に実行可能なシミュレーションコントローラ PRACTIS を開発した。網羅的分析では、シミュレーションの中で扱われるいくつかのパラメータに対して複数の取りうる値を設定し、その全ての組み合わせの設定に対してシミュレーションを試行する。そして、各パラメータの違いがシステム全体の挙動に与える影響を検証し、システム全体としての傾向を把握する。神奈川県鎌倉市材木座付近の津波避難を網羅的分析の対象として取り上げ、約 10 万通りの避難経路の重複パターンを比較した。【成果 3】

#### 研究テーマ D「問題解決に向けた情報配信技術の適用」

申請時には研究課題として挙げてはいなかったが、群集流動の制御に向けた情報配信を関門海峡花火大会において行った。

同じ領域のさきがけ研究員の荒巻英二先生(京都大学)の提供する 100 人マップをベースとした図 2 に示される混雑情報配信ウェブサイト「じーもの花火混雑マップ」(※「じーも」は北九州市門司区のキャラクタ)を用いて、収集した混雑状況の配信を行った。

西日本工業大学 岩田敦之先生と連携して、大型プロジェクトで近隣施設に経路情報を射影するガイドプロジェクションをおこなった。図 3 に示されるガイドプロジェクションでは、1 行 15 文字程度で 3 行の文字情報を建物の壁面に投射し、経路情報やイベント情報の提供をおこなった。これらの情報配信技術がトラブルなく運用可能であることを確認すると共に、運営者・来場者に好評を得ることができた。【成果 6】



図 2 混雑情報配信ウェブサイト「じーもの花火混雑マップ」のスクリーンショット

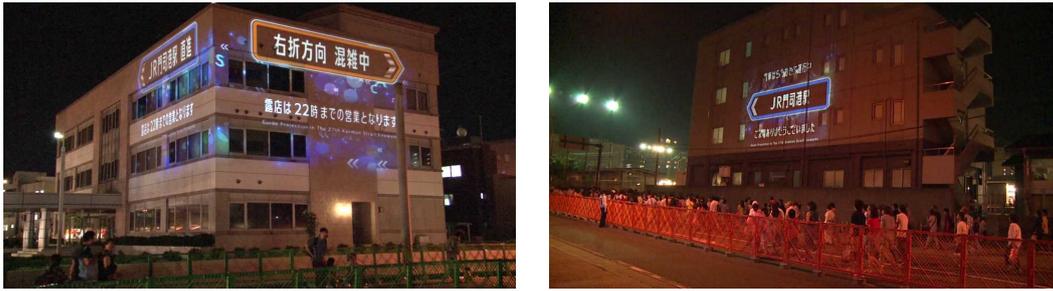


図3 ガイドプロジェクションの実施状況

### その他の研究成果

避難シミュレーションの開発・適用の成果が評価されて、日本地震工学会の会長特別委員会「首都圏における地震・水害等による複合災害への対応に関する委員会」や研究委員会「津波等の突発大災害からの避難の課題と対策に関する研究委員会」の委員となった。

さらに、内閣府の創設した SIP(戦略的イノベーション創造プログラム)「レジリエントな防災・減災機能の強化」における「巨大都市・大規模ターミナル駅周辺地域における複合災害への対応支援アプリケーションの開発」(代表者 工学院大学 久田嘉章 教授) に北千住エリアと新宿エリアの群集流動のシミュレーションを担当する研究分担者として参加している。

### 3. 今後の展開

本研究では、都市規模での人間活動を対象としたシミュレーションモデルを開発し、その運用方法を確立することで、非常時の避難行動や平常時の大規模誘導といったことを扱うことができるようになった。今後の課題としては、シミュレーションを適用するオペレーション全体の期間短縮が挙げられる。

外部機関と連携して、シミュレーションを避難誘導や雑踏警備の計画策定支援に用いる場合、シミュレーションを適用可能な期間は短く、三か月程度であることも多い。何も決まっていないとシミュレーションを行うことができないし、計画の全ての項目が確定した後では、単に計画の評価を行うだけとなり、シミュレーション結果を還元することができない。そのため、短期間でシミュレーション結果を出す必要がある。

そこで、本研究の今後の展開としては、シミュレーションの計算時間の短縮だけではなく、シミュレーションを適用するオペレーション全体の期間短縮による機動的な運用を目指す。そのためには、1. シミュレーションに用いるデータの標準化、2. 編集が容易な行動モデル、3. パラメータ調整の自動化、4. 分析方法の類型化が必要であると考えている。

#### 1. シミュレーションに用いるデータの事前準備

歩行者シミュレーションを稼働させるには、歩行者の移動可能な領域を示す地図データ、歩行者の発生場所と目的地といった歩行者データ、災害発生時の避難であれば、津波や浸水、延焼といった災害データが必要になる。それぞれのデータに関して、入手にかかる時間を事前に把握しておく必要がある。

#### 2. 編集が容易な行動モデル

シミュレーションの対象に合わせて、新たな行動モデルをゼロから開発し、実装することには

時間がかかってしまう。そのため、過去に構築したモデルを軽微な修正で、別の行動を表現可能とする自由度が高く、避難や大規模誘導において多くの行動を表すことのできる行動モデルが必要とされる。

### 3. パラメータ調整の自動化

実際の移動データ等を計測していた場合には、シミュレーションモデル構築後にパラメータの調整を行い、現実の状況を再現する必要がある。そのため、どのパラメータを調整すれば事前に把握しておくことが重要である。また、実データを持っている場合には、データ同化には通常時間がかかるため、ある程度の自動化を行うことができるモジュールをしておく必要がある。

### 4. 分析方法の類型化

津波避難であれば全員の避難完了時間や平均避難完了時間というように求められるシミュレーションの結果がある程度定型化している。そのためいくつかのシミュレーションの利用シーンを想定しておくことが必要である。各シーンにおいて求められるシミュレーション結果の分析方法を事前に用意しておき、すぐに出力可能としておくことが重要である。

これらの項目に関して研究を進め、機動的なシミュレーションの適用が可能となれば、シミュレーションの利用可能な状況が飛躍的に増えることが期待できる。

## 4. 評価

### (1) 自己評価

#### (研究者)

本研究では、都市規模での人間行動を対象とした群集流動のシミュレーションモデルを開発し、運用方法を確立することを目指してきたが、歩行者シミュレータの機能実装、実データのモデルへの還元、シミュレーションコントローラの開発とその応用を行うことで達成することができた。また、シミュレーション技術に加えて、混雑情報の配信やガイドプロジェクトといった誘導手法を提供し、群集流動の制御に向けた現実的なアプローチを行うことができた。シミュレーションをベースとした誘導支援によって、安全・安心で効率的な流動制御の実現可能性を示すことができたことは社会的に意義が高い。群集流動の誘導支援の社会実装をさらに進めるための今後の課題としては、機動的な運用方法の開発が挙げられる。

(2) 研究総括評価(本研究課題について、研究期間中に実施された、年2回の領域会議での評価フィードバックを踏まえつつ、以下の通り、事後評価を行った)。

#### (研究総括)

本研究は、混雑の回避や避難の誘導などのための施策が与える影響を、シミュレーションにより明らかにすることを目的としている。これまでの交通シミュレーションなどとの違いは、高並列なクラスタ環境やモバイル環境の著しい発展を取り込み、市民が参加できる施策の評価やデザインを指向している点である。各人のマイクロモデルと数万人規模のマクロモデルをリンクさせる連結アルゴリズムを開発したことも新しい。計算量を抑えるための一次元歩行者モデルや、歩行者密度から速度を導出する関係式の精緻化などの技術的進歩も見られる。シミュレーションパラメータの組み合わせを網羅的に生成し分析することで、最適な施策のデザ

インにも迫ろうとしている。多くの実証実験に参加し、技術を確認しながら研究を進めた点も評価できる。東京オリンピックに向けて実用的な大規模シミュレーション技術を世に送り出し、社会に貢献することを期待したい。

## 5. 主な研究成果リスト

### (1) 論文(原著論文)発表

1. 山下 倫央, 副田俊介, 大西 正輝, 依田 育士, 野田 五十樹. 一次元歩行者モデルを用いた高速避難シミュレータの開発とその応用. 情報処理学会論文誌, 2012, Vol. 53, No. 7, pp.1732-1744.
2. 山下 倫央, 岡田 崇, 野田 五十樹. Implementation of Simulation Environment for Exhaustive Analysis of Huge-scale Pedestrian Flow. SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration. 2013, Vol. 6, No.2, pp137-146.
3. 野中 陽介, 大西 正輝, 山下 倫央, 岡田 崇, 島田 敬士, 谷口 倫一郎. 大規模な避難シミュレーションのための歩行速度モデルの精緻化. 2013, 電気学会論文誌C, Vol. 133, No. 9, pp.1779-1786.
4. 山下 倫央, 松島裕康, 野田五十樹, Exhaustive Analysis with a Pedestrian Simulation Environment for Assistant of Evacuation Planning, The Proceedings of the Conference on Pedestrian and Evacuation Dynamics 2014 (PED 2014), Vol. 2, pp. 264-272, 2014 年

### (2) 特許出願

なし

### (3) その他の成果(主要な学会発表、受賞、著作物、プレスリリース等)

1. 受賞: 優秀論文賞(2012), 山下倫央、岡田崇、野田五十樹, 大規模群集流動の制御に向けたシミュレーション環境の構築, 合同エージェントワークショップ & シンポジウム JAWS(Joint Agent Workshop and Symposium) 2012
2. 受賞: 優秀ポスター賞(2013), 山下倫央, 人の流れの計測とシミュレーション, 合同エージェントワークショップ & シンポジウム JAWS(Joint Agent Workshop and Symposium) 2013
3. 山下倫央, 大西正輝, “オリンピックにおける人の流れの解析,” 情報処理(特集: オリンピックのための情報処理), No.55, Vol. 11, pp. 1189-1195, 2014 年
4. 山下倫央, 野田五十樹, “避難シミュレーションの実社会への応用,” 情報処理(特集: マルチエージェントシミュレーション), No.55, Vol. 6, pp. 572-578, 2014 年
5. 山下倫央, 荒牧英治, 宮部真衣, 岩田敦之, 大西正輝, 依田育士, 野田五十樹. 大規模群集流動の制御に向けた統合支援サービスの提案, 合同エージェントワークショップ & シンポジウム JAWS(Joint Agent Workshop and Symposium) 2014
6. 出展: 逃げ地図シミュレータ(2014), 金沢 21 世紀美術館「ジャパン・アーキテクツ 3.11 以後の建築」(2014 年 11 月-2015 年 5 月) 逃げ地図プロジェクトの一部として