

# 都市エリアにおける大規模誘導に向けた歩行者マクロモデルの提案

Proposal of Macroscopic Pedestrian Model for Huge-Scale Traffic Flow in Urban Area

山下 倫央<sup>\*1\*2</sup>      岡田 崇<sup>\*1\*2</sup>      野田 五十樹<sup>\*1</sup>  
Tomohisa Yamashita      Takashi Okada      Itsuki Noda

<sup>\*1</sup>産業技術総合研究所 サービス工学研究センター

Center for Service Research (CfSR), National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

<sup>\*2</sup>科学技術振興機構 さきがけ

Precursory Research for Embryonic Science and Technology (PRESTO), Japan Science and Technology Agency (JST)

In this paper, in order to deal with urban scale pedestrian flow quickly and precisely, we propose a macroscopic pedestrian model for exhaustive analysis. As a result of the experiment of calculation amount of huge-scale pedestrian flow, we confirm the necessity of new macroscopic pedestrian model.

## 1. はじめに

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規模の人間行動を扱う取り組みが盛んになってきている。エネルギーシステム、交通システム、情報通信システムといったインフラ全体を統合して、効率的で環境負荷の低い都市生活の実現を目指している。都市機能のハードウェアが整備されつつある一方で、交通流を含む群集流動における混雑や渋滞といった問題は未だに解決されておらず、円滑に生活・行動できる基盤が確立しているとは言い難い。群集流動を含む都市規模の現象を扱う取り組みにおいては、誘導や交通制御に関して多数の要素が絡み合っているため、実施する施策の影響を俯瞰するツールとしてのシミュレーションが求められている。

本論文では、都市エリアシミュレータの実現に向けて、ミクロレイヤにおける詳細なモデルに基づいて、数千人～数十万人規模のマクロレイヤの挙動の表すことができる複合階層モデルを提案する。モデル化の対象として、大規模災害発生時の帰宅困難者の誘導や屋内外の大規模イベントの来場者の誘導が挙げられ、これらの現象を対象とした複合階層モデルを概説する。

## 2. 複合階層モデル

### 2.1 概要

図1に複合階層モデルの概要を示す。複合階層モデルのミクロレイヤにおいては、来場者・避難者・歩行者といった主体が局所的な情報に基づき行動選択をおこなう。各主体の意思決定及び行動は他の主体からの影響を受け、物理的な広がりを持った空間内を移動することを想定する。

マクロレイヤにおいては、例えば、商業施設における経営陣や誘導案の立案・実施者といった主体（システム運営者）がミクロレイヤの個々の主体の挙動ではなく、それらの総体としてのマクロ量のモニターをおこない、ミクロレイヤの主体に影響を及ぼす施策を実行する。また、システム運営者は自らの目的を持ち、その目的を達成するために施策を選択・実行する。システム運営者モデルに関しては他の複数のシステム運営者間の

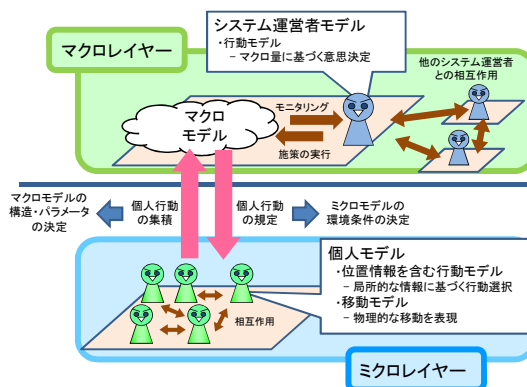


図 1: 複合階層モデルの概要

相互作用を想定し、単一のシステム運営者によるミクロレイヤの最適化問題とするのではなく、システム運営者同士の競合や協調を踏まえて自己の利益を最大化する状況をモデル化する。マクロレイヤにおいてはミクロレイヤの主体の総体だけが記述されるのではなく、その総体に作用するシステム運営者の存在も想定する。そのため、ミクロレイヤとマクロレイヤを繋いだ従来研究における連結階層モデルとは異なり、マクロレイヤにおいて複数のシステム運営者がミクロレイヤの主体の総体に複合した相互作用を扱うため、「複合階層モデル」とする。

### 2.2 一次元歩行者モデルの適用

社会システムシミュレーションが大規模な社会現象に対して利用された場合、詳細なモデルを用いて計算に長時間を費やしても、かけた時間に比例して予測の正確性が向上するわけではない。シミュレータが対象としている社会現象をある程度正確に再現可能だったとしても、ユーザが検証する条件に対する結果を出力するまでに想定を大幅に超えた時間がかかる場合、ツールとしての利用価値は低い。首都圏の帰宅困難者誘導や屋外の大規模イベント参加者の誘導ではミクロレイヤにおいて対象とする主体の数が多いため、計算時間の増大が懸念される。そこで、人流シミュレータ NetMAS[山下 12] を用いて、ミクロレイヤで大規模な人流を扱った例を取り上げ、どの程度の計

連絡先: 山下 倫央, 産業技術総合研究所 サービス工学研究センター, 〒 305-8568 茨城県つくば市梅園 1-1-1 中央第 2, Tel : 029-862-6722, Fax: 029-862-6548, E-mail: tomohisa.yamashita@aist.go.jp



図 2: シミュレーションの対象地区：渋谷駅を中心とした 3km × 2.5km 四方の領域

算時間が実現できるかを確認する。

人流シミュレータ NetMAS では歩行者一人ひとりがモデル化されて、個々人の目的地や歩行速度等を設定することが可能である。また、歩行者の位置の表現や速度更新には一次元歩行者モデルを採用している。一次元歩行者モデルでは、歩行者の移動可能範囲が長さを持ったネットワークのリンクとして表現され、部屋や廊下がリンクとして扱われる。

### 2.3 ミクロモデルの限界

図 2 は、人流シミュレータ NetMAS を用いて、渋谷駅周辺地区 (3km × 2.5km) における帰宅困難者の誘導を扱った例を示している。この渋谷駅周辺地区は 3,300 リンクで構成されている。シミュレーションにおいては、1 ステップを 1 秒とみなし、帰宅困難者 4 万人の挙動の計算に対して、1 ステップの計算時間として実時間 1 秒の計算速度を実現した。

図 3 は、NetMAS を用いて隅田川花火大会会場を中心とした領域 (5km 四方) における来場者の誘導を扱った例を示している。この領域は 19,000 リンクで構成されている。30 万人の見物客の挙動の計算に対して、1 ステップの計算時間として実時間 4 秒の計算速度を実現した。

実際の帰宅困難者の誘導のケースでは、誘導の対象者は 650 万人程度と想定されている。また、隅田川花火大会には、会場の外の見物客も含めると 100 万人近くの見物客が見込まれている。その他の日本各地で開催される花火大会でも数十万人規模の人出があるものも珍しくない。首都圏を対象とした 650 万人の帰宅困難者の災害発生後 24 時間の挙動や 100 万人の見物客が訪れる花火大会の開催前後 4 時間の挙動に対して、NetMAS を用いても、1 試行に相当な時間がかかってしまうことが予測される。そのため、群集流動に対して計算速度を大幅に向上させられる歩行者マクロモデルの開発が求められる。

### 2.4 マクロモデルの構築

一次元歩行者モデルを含む従来のミクロモデルにおいては、1 シミュレーションステップは 1 秒程度と設定されていた。しかし、前述のような大規模な群集流動を扱う場合には、計算時間が長くなる。そこで、歩行者の移動速度の算出過程を抽象化し、1 ステップを 10 分程度に設定可能な期待到達度モデルを提案する。期待到達度モデルでは、歩行者 1 人をモデルの最小単位とする。歩行者の位置表現は、一次元歩行者モデルと同様に、歩行者の移動可能範囲を長さを持ったネットワークの



図 3: シミュレーションの対象地区：隅田川花火大会会場を中心とした 5km 四方の領域

リンクとし、歩行者の流れに平行な一次元の位置とする。

期待到達度モデルにおける歩行者の移動量の算出過程の概要を以下に示す。各歩行者の現在のリンクから自由流速度で単位時間 (1 ステップ) 内に移動可能な範囲にある経路上のリンクに対して期待到達度を割り当てる。<sup>\*1</sup>次に、各リンクにおける全歩行者の期待到達度の総和を算出し、そのリンクの総期待到達度とする。各リンクの総期待到達度と交通容量から期待密度 (= (総期待到達度) / (期待密度)) を算出する。各リンクの期待密度から、通常の密度-速度関数を利用して、そのリンクの期待速度を算出する。各リンクの期待速度に基づいて、歩行者は単位時間内に移動可能なリンクまで移動し、位置を更新する。

## 3. おわりに

本論文では、大規模な群集流動を対象として、詳細なミクロモデルに基づく数千人～数十万人規模のマクロレイヤの挙動の表す複合階層モデルを提案した。大規模な群集流動をミクロモデルで扱った例を取り上げて、どの程度の計算時間になるかを確認した。大規模な群集流動に対しても多数の条件下での試行をおこなうことを目的とし、歩行速度の計算過程を抽象化した期待到達度モデルの概要を示した。現在、提案モデルの実装を進めている段階であり、今後は提案モデルと一次元歩行者モデルやその他のミクロモデルとの比較をおこない、パラメータの連携や計算速度と正確性のトレードオフの検証をおこなう。

## 謝辞

本研究は、JST 戦略的創造研究推進事業さきがけの一環として行われたものである。

## 参考文献

- [山下 12] 山下 倫央, 副田 俊介, 大西 正輝, 依田 郁士, 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, Vol. 53, No. 7 (2012)(採録決定)

\*1 期待到達度の設定の方式として、現在位置から目的地までのリンクまで一律に期待到達度を割り当てる方式や現在位置から目的地まで減少させた期待到達度を割り当てる方式などが考えられる。また、各歩行者がリンクに割り当てる期待到達度の総和は 1.0 とする。