

# 群集歩行マルチエージェントモデルの比較検証

## Comparative verification of crowd flow experiment and multi-agent model

城 明秀<sup>\*1</sup> 木村 謙<sup>\*2</sup> 佐野友紀<sup>\*3</sup> 竹市 尚広<sup>\*1</sup> 峯岸 良和<sup>\*1</sup>  
 Akihide JO, Naohiro TAKEICHI, Yoshikazu MINEGISHI, Takeshi KIMURA

<sup>\*1</sup> 竹中工務店 Takenaka Corporation    <sup>\*2</sup> エーアンドエー A&A Co.    <sup>\*3</sup> 早稲田大学 Waseda University

A multi-agent model was compared with a crowd flow experiment and the validity of the multi-agent model was confirmed. Basically a multi-agent model could reproduce the actual crowd flow.

### 1. はじめに

近年では火災時のみならず、津波等の災害や交通機関などの群集歩行の予測としてマルチエージェントモデルを利用した避難シミュレーターの活用が拡大してきている。マルチエージェントモデルでは、個々のエージェントに対して周囲の状況を判断し、歩行速度や進路方向を変化させながら最終目的地まで到達できるようになっている。また、このような群集歩行シミュレーションは計算結果を 3D や 2D 表現することで、歩行性状や滞留しやすい場所を視覚的に捉えることができるため、建築物の安全性や流動性状を検証する際、非常に効果的な手法の一つである。しかし、一般にマルチエージェントモデルはパラメータの設定によって結果が変動するため、出力された結果が妥当に再現されているかの判断が困難である。現在、多数のマルチエージェントモデルが開発されているが、実際の群集歩行との比較が行われていない場合が多い。

本報は群集歩行マルチエージェントモデルとして、筆者らが開発した歩行シミュレーター SimTread<sup>1)</sup>(以下、「MA モデル」と記す)で出力された結果が、実大の群集歩行実験の結果と比較し、MA モデルの再現性の検証を行った。

衝突を回避するための判定領域を示す。エージェントの設定値は新・建築防災計画指針<sup>2)</sup>及び避難安全検証<sup>3)</sup>で想定される歩行性状を想定し、試行錯誤の上、最適と思われる最大歩行速度を 1.2m/s としている<sup>4)</sup>。

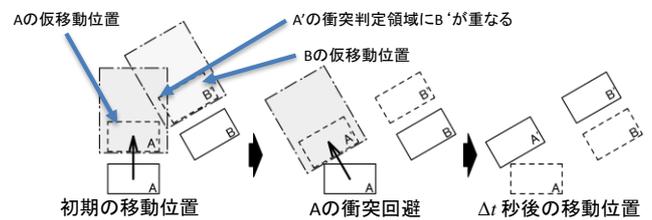


図 1 衝突回避の考え方

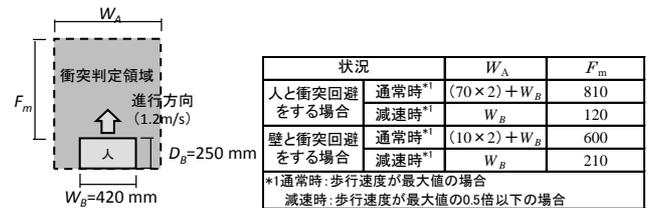


図 2 エージェント寸法及び衝突判定の設定寸法

### 2. MA モデル

#### 2.1 概要

以下にモデルの概要を示す。詳細は既報<sup>1)</sup>をみていただきたい。本 MA モデルは大局的な進行方向の決定と微小時間における衝突回避の方法の組み合わせである。平面空間上にエージェントが目指す目的地を設定し、この目的地を低ポテンシャル源とするポテンシャルを発生させ、各エージェントは高ポテンシャルから低ポテンシャルへと最短経路で移動を行う。図 1 に衝突回避の考え方を示す。エージェント A が進行しようとする方向にエージェント B が近づいてきた場合、A' を進行方向に対して一定角度回転した位置に A' の位置が確定する。向きを変えても衝突判定領域に他のエージェントが存在する場合、一定の割合で歩行速度を緩め、再度衝突回避を試みる。それでも回避しきれない場合は一度歩行を停止する。

これはエージェントに限らず、壁などの障害物が存在する場合も同様の計算を繰り返す。図 2 にエージェントの人体寸法と

#### 2.2 入力方法

図 3 は単純な居室を模擬した MA モデルの入力例を示す。MA モデルは CAD 上でモデルを作成することができる。想定する室を障害物の壁で覆い、その中にエージェントを配置する。配置されたエージェントは目的地に向かって歩行を開始する。図 4 に示すように、各目的地からはポテンシャルが発生し、ポテンシャル値が高い方から低い方(近い目的値)へと向かうことになる。

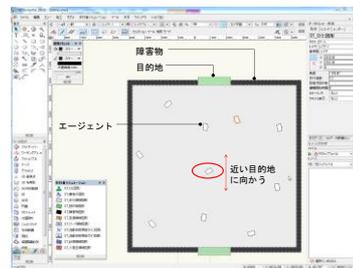


図 3 入力例

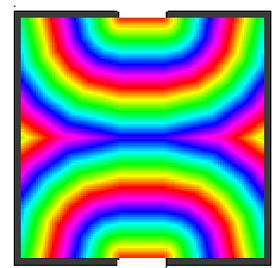


図 4 ポテンシャルマップ

連絡先:城明秀, 竹中工務店, 東京都江東区新砂 1-1-1,  
 03-6810-5000, 03-6660-6092, jou.akhide@takenaka.co.jp

### 2.3 出力方法

シミュレーションの結果は図 5 に示すような動画にて平面上を歩行者が移動する様子が出力される。出力動画では、エージェントの歩行速度の変化を視覚的に表現している。エージェントが白抜きとなっているものは、設定した最大歩行速度で移動しているものである。グレーとなっているものは、衝突回避のために減速しており、黒塗りとなっているエージェントは停止を表している。これにより、どの地点で混雑しているかが容易に判断できる。また、テキストファイルとして  $\Delta t$  秒ごとの歩行者の位置、移動距離、目的地ごとの通過人数が出力される。このログを元に定量的な分析を行うことも可能である。



図 5 動画による出力例

### 3. MA モデルと実験の比較検証

既往の群集歩行実験結果<sup>5),6),7)</sup>を利用して本 MA モデルと比較検証を行う。図 6 に実験風景を示す。群集歩行実験は通路状の空間を作製し、その中を被験者が通過するものである。実験では、歩行者の歩行速度、群集密度、流動量等を計測した。本報では、主に、動画による歩行性状の違い及び流動量の時間変化の比較を行う。

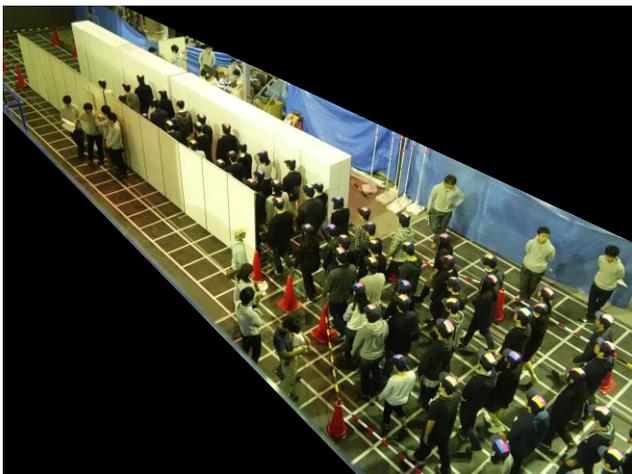


図 6 実験風景

#### 3.1 群集流実験との比較

図 7 に実験の平面図を示す。実験は 12.6m の通路上の中央部に開口部を設けた空間に 96 人の被験者を歩行させたものである。表 1 に実験条件を示す。実験は通路幅と開口幅を変化させ全 5 ケース行った。以降は MA モデルを使用し再現した結果と実験結果を比較する。

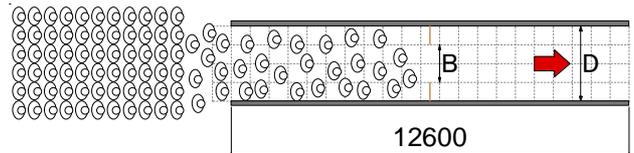


図 7 実験平面図

表 1 実験条件

Case	通路幅 D [m]	開口幅 B [m]	被験者数
A1-1	1.2	(開口なし)	96
A1-2	1.8		
A1-3	2.4		
B1-1	2.4	1.2	
B1-2		0.8	
B1-3	1.8	1.2	
B1-4		0.8	
B1-5	1.2	0.8	

#### 3.2 比較結果

##### (1) 流動性状の比較

図 8 に CaseA1-3 の実験結果と MA モデル結果の映像を示す。図は実験開始から約 20 秒後のものである。図より、MA モデルの通路中央部は減速や滞留を起すことなく、設定速度で歩行していることが分かる。実験映像と比較しても、概ね実際の群集流を再現していると言える。図 9 に CaseB1-1 の実験結果と MA モデル結果の映像を示す。実験結果を見ると、開口部の直前で滞留を起しているような性状は見られない。開口のある CaseB の条件では、どの条件も同様の傾向が見られた。これは、歩行者は開口に差し掛かる前から開口部があることを認識し、徐々に歩行速度を落としながら開口部を通過しているものと考えられる。また、実験では、「走らず、歩いて速やかに避難して下さい」と指示したため、互いに譲り合うような歩行を行うことで、過度な滞留を生じなかったと考えられる。一方、MA モデルでは、開口付近で滞留が発生し、後続まで減速した歩行をしているのが分かる。また、歩行を停止している歩行者も見受けられる。これは、MA モデルは図 2 に示すように、開口部に近づくことで、エージェントの衝突判定領域に開口部があると判断され、回避行動を行う。そのため開口部に直近するまでは、開口の有無を判断することができない。ゆえに、開口部付近で先頭の方が減速や停止を行えば後続にもそれが波及し、過度な滞留を起すものと考えられる。開口部を通過した後は、歩行を妨げるものがないため、設定した最大歩行速度で歩行している。これは実験でも同様に開口部通過後は歩行速度が上昇した傾向と一致している。

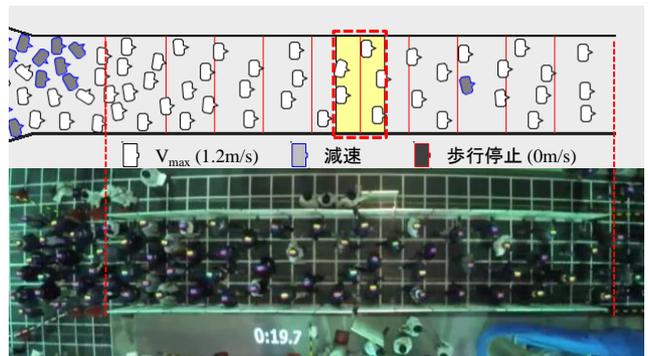


図 8 流動性状の比較 (CaseA1-3)

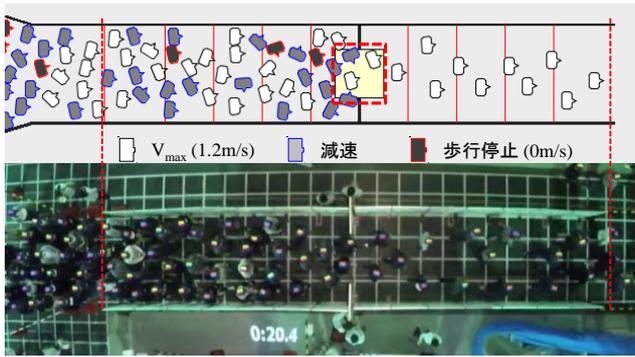


図9 流動性状の比較 (CaseB1-1)

## (2) 流動量の比較

図10及び図11にMAモデルと歩行実験の通路中央部の流動量を示す。流動量は1秒間あたりに通過した人数を指す。また、MAモデルは、2.1節で示した最大歩行速度1.2m/sで設定した結果と実験より観測された最大歩行速度1.5m/sの2つの結果を示す。図10より、最大歩行速度1.2m/sで設定した結果は実験の流動量と比較して低い値を示している。一方、歩行速度1.5m/sで設定した結果は、共に流動量が約4.0人/sとなり、概ね実験と良好な一致を示すことが分かる。また、図11より、最大歩行速度1.2m/sの結果は通路中央部に到達する時間が実験に比べ4秒ほど遅くなった。しかし、最大歩行速度1.5m/sでの結果は、流動量の平均値が約2.6人/sとなり、実験と同程度となった。

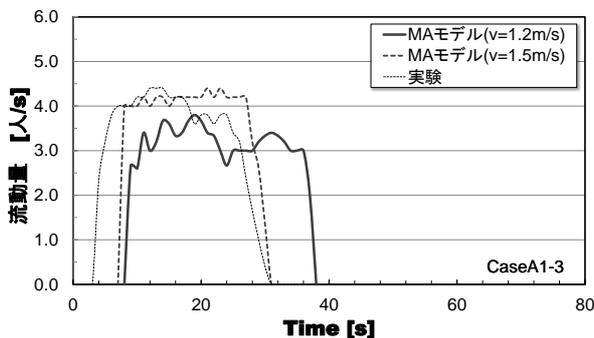


図10 通路中央部の流動量比較 (CaseA1-3)

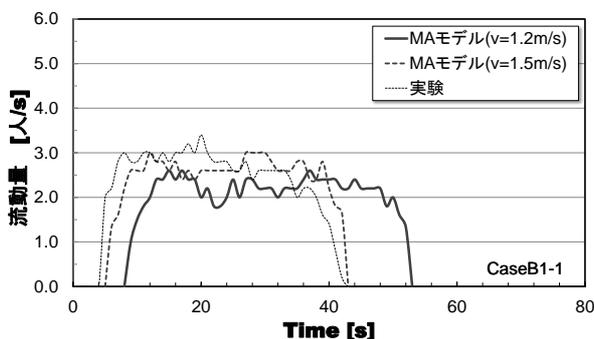


図11 通路中央部の流動量比較 (CaseB1-1)

## (3) 滞留密度の比較

図12及び図13に実験とMAモデルの滞留密度の結果を示す。図中の結果は、通路中央部の幅1200mm分の領域内(図8及び図9のMAモデル出力映像の点線内)の滞留密度とする。CaseA1-3は、MAモデルの設定値に関わらず実験より

も低い値となった。また、CaseB1-1では、滞留密度が約2.5人/m<sup>2</sup>と実験と同程度の値となった。

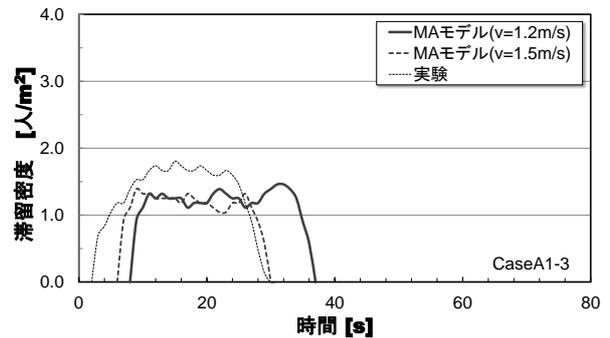


図12 通路中央部の流動量比較 (CaseA1-3)

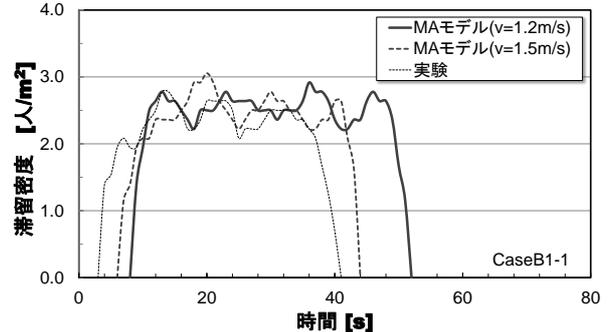


図13 通路中央部の流動量比較 (CaseA1-3)

## 4. まとめ

群集歩行実験とMAモデルを時刻歴で比較した結果、最大歩行速度を1.5m/sで設定することで、概ねMAモデルは実際の群集歩行を再現していることが確認できた。しかし、開口部直前での滞留状況は差異が見られたため、衝突判定領域の設定の最適解を求める必要があると考える。

## 謝辞

本報で用いた実験は、明野設備研究所、エフディーエム、大林組、鹿島建設、芝浦工業大学、清水建設、消防研究センター、大成建設、竹中工務店、東京理科大学、早稲田大学(五十音順)による共同研究によって行われた。また、本研究の一部は東京理科大学火災科学研究センター「火災安全科学研究拠点」との共同研究(平成27年度共同利用・共同研究)として実施された。ご協力頂いた皆様に謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 木村謙, 佐野友紀, 吉田克之, 他: マルチエージェントモデルによる群集歩行性状の表現 歩行者シミュレーション SimTread の構築, 日本建築学会計画系論文集, 第74巻, 第636号, pp371-377, 2009年2月
- 2) 建設省住宅局建築指導課ほか監修, 日本建築センター編: 新・建築防災計画指針—建築物の防火・避難計画の解説書—, 1995
- 3) 国土交通省住宅局建築指導課他 編: 2001年版 避難安全検証法の解説及び計算例とその解説, 井上書院, 2001.3
- 4) 吉田克之, 峯岸良和, 他: マルチエージェント歩行シミュレーター SimTread の妥当性の検証 流動係数の実測地との比較及びモデルプランへの適用を通じて, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp315-318, 2010年9月
- 5) 野竹宏彰, 大宮喜文 他: 群集歩行性状に関する実験的研究 その1 実験概要, 日本火災学会研究発表会, 2016.5
- 6) 桑名秀明, 大宮喜文 他: 群集歩行性状に関する実験的研究 その3 直線通路, 日本火災学会研究発表会, 2016.5
- 7) 住田沙貴, 大宮喜文 他: 群集歩行性状に関する実験的研究 その6 ネックのある通路, 日本火災学会研究発表会, 2016.5