

マルチエージェントを用いた駅コンコースにおける交錯流動の制御に関する研究

日大生産工(院) ○小野寺 真希 日大生産工 岩田 伸一郎

1. はじめに

1-1. 背景と目的

鉄道の駅コンコース内において、歩行者が高密度に集中する状態が日常化してきている。駅コンコース内の歩行者は、「電車を降りて改札へ向かう」、「乗り換えのためにホームへ向かう」、「改札を入れてホームへ向かう」など様々な目的を持ち、移動している。そのため、多くの動線が存在しそれぞれが重なり合い交錯している。歩行者の移動方向や目的が異なる群集の動線を交錯しないように動線制御・空間配置を行う必要がある。

本研究では、駅コンコース内における歩行者の交錯流動のモデル化を行い、歩行者の人数や対象空間の改札位置が交錯流動にどのような影響を与えるのか分析することを目的とし、シミュレーションを行う。シミュレーションの手法は、多くの既往研究で利用されているマルチエージェントシミュレーション (Multi-Agent Simulation: MAS) を用いる。シミュレータとしては、(株) 構造計画研究所の KK-MAS¹⁾ を利用する。

1-2. 既往研究

既往研究として駅構内の群集歩行をシミュレートした研究に、ポテンシャルモデルとネットワークモデルを組み合わせ、シミュレーションモデルを構築した阿久澤氏の研究²⁾や垂直移動手段の配置関係と利用者行動の相互関係についてシミュレーションを行った荒井氏の研究³⁾等がある。また、交錯流動の既往研究として一方向流と交錯流の流動特性について明らかにした中村氏の研究⁴⁾や交錯流動内において旅客が感じる歩きやすさの評価指標について提案した山本氏の研究⁵⁾等がある。駅構内の交錯流動に関する既往研究は、交錯流動を「歩きやすさ」によって評価した青木氏の研究⁶⁾があるが、その数は多くなく、シミュレーションの対象空間や利用者の種類は限られている。

本研究では、駅コンコース内の交錯流動を利用者の歩行時間と接触回数等の視点から考察することで、交錯流動の混雑状態が利用者に与える影響を明らかにし、今後の研究での改善の糸口とする。

2. 研究方法

2-1. 研究の流れ

まず利用者の行動の設定を行う。利用者は、

- ・出発位置から目的位置を目指し、歩行する。

- ・混雑状態に応じ、歩行速度を低下させる。
- ・自身の動きを遮るようなもの（対向者、壁）を避ける。

を基本行動とする。

次に利用者の基本行動を基にエージェントのモデル化を行う。本来、人間の行動は複雑なものであるが駅において、歩行者は通るべきルートを熟知し、行動に多様性がなく、また流動量も多い場合は、混雑状態を形成しやすい。そのため、エージェントの行動は単純化しやすいものとして考える。

そして、構築したエージェントモデルを用い、歩行者による交錯流動のシミュレーションを行う。交錯流動の評価方法としては、

(1) 出発位置から目的位置までのステップ数（各エージェントの歩行時間）。

(2) 対向者との接触回数、同方向者の群集密度による歩行速度の減速回数。

(3) 接触回数と減速回数による混雑状況。

（以下、各評価）により評価を行う。

検討するケースを設定し、分析を行う。

ケース①では、エージェント数の変化が各評価にどう影響を与えるのか分析を行う。利用者を限定せずに各出発位置のエージェント数を 10、20、30、40、50 毎に変化させ、シミュレーションを行う。単純な数の増加が各評価に与える影響を明らかにする。

ケース②では、利用者を限定し、各出発位置のエージェントの割合の変化が各評価にどう影響を与えるのか分析を行う。各ホームに降車する利用者は常に均一ではなく、偏ることが想定される。そのため、出発位置 A, B と出発位置 C, D から現れるエージェントの割合を 60、120、180 に限定し、シミュレーションを行う。

ケース③では、改札位置の違いが各評価にどう影響を与えるのか分析を行う。空間配置と利用者の交錯流動の関係について分析する。

2-2. 対象空間の設定

駅コンコースにおいて「各ホームからの乗換」、「ホームから改札に向かう」といった利用者同士の交錯が発生しやすい空間を簡略化し、対象空間とした。利用者の出発位置と目的位置は a, b, c, d とし、改札は e と設定した。

Study on control of the mixture flow in the station concourse using the Multi-Agent

Masaki ONODERA and Shinichiro IWATA

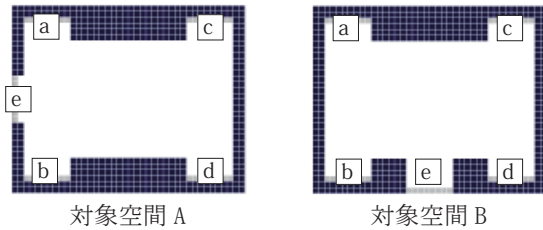


図 1. 対象空間

2-3. エージェントモデルの設定

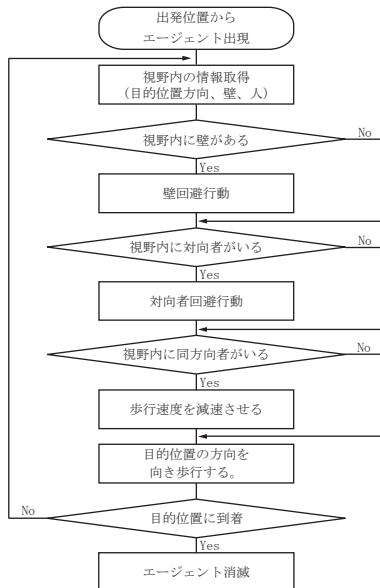


図 2. エージェントモデルのフローチャート

本研究では、個々のエージェントがシミュレーションの1ステップ毎に視野内の情報を取得し、その情報から行動の判断と歩行速度を決定し、歩行を行う。

まず各エージェントは自己の出発位置と目的位置に従い、歩行する。エージェントは図1から、ac, ad, ae・bc, bd, be・ca, cb, ce・da, db, de に分類する。また、ab間とcd間とは同ホーム上であると想定するため、その間の歩行は除くものとする。

エージェントの移動速度は、周囲の壁の有無や混雑状況に大きく影響を受ける。周囲が混雑していない場合は、減速せず最も歩きやすい一定の速度で歩行する。このような速度を自由速度と呼び、参考文献⁷⁾から本研究では、自由歩行の速さを1.35[m/s]と設定した。

エージェントは行動の判断に、視野範囲内の壁と周囲のエージェントからのみ影響を受ける。また、阿久澤氏のモデル²⁾を参考に、周囲のエージェントを認識するための視野と壁を認識するための視野の2種類の視野を設定する。

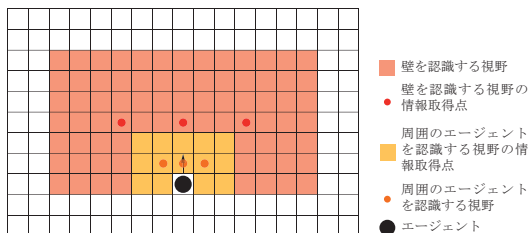


図 3. エージェントの視野範囲

また、エージェントの視野内に正面と左右前方に情報取得点を設定し、視野内の混雑状態に応じて行動の判断をする。

回避行動として各エージェントは、交錯する周囲のエージェントとぶつからないよう回避しながら歩行すると同時に、なるべく早く目的位置に向かおうとする。

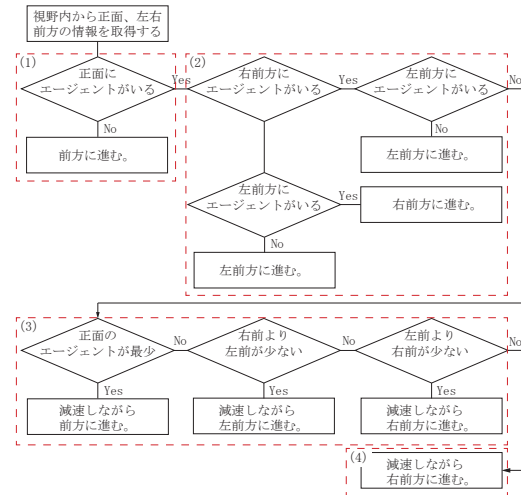


図 3. 回避行動のフローチャート

エージェントは以下の回避ルールで行動する。

- (1) 正面に対向するエージェントがいなければ、真直ぐ、自由歩行で進む。
- (2) 正面に対向するエージェントがいるが、左前方か右前方にいないければ、いない方に自由歩行で進む。
- (3) 正面も左右前方にも対向するエージェントがいる場合、一番すいている方向に減速しながら進む。
- (4) 前方がどこも同じように混んでいるなら、減速しながら前へ進む。

回避行動を伴う歩行を行う場合、群集が互いにぶつかることなくスムーズに移動したり、歩行者同士が互いの距離を保ったまま回避や歩行を行う。これは、個人の身体を取り巻く目に見えない個人領域（パーソナルスペース）が存在するためである⁸⁾。本研究のモデルには、個人領域を設定し、接触判定と混雑判定の判断を行う。

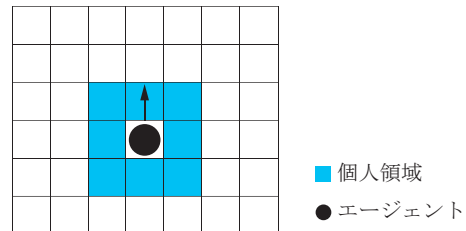


図 4. 個人領域（接触判定領域・混雑判定領域）

各エージェントが増加し、混雑した状態になると対向するエージェント同士が互いに回避できなくなり、個人領域内に対向するエージェントが侵入する。その場合、エージェントは接触と判断し、減速しながら回避行動を行う。また、個人領域内に複数の同方向のエージェントが侵入した場合には、混雑した状態と判断し、減速しながら目的位置の方向へ歩行する。

3. ケース①の分析

3-1. 対象空間 A

対象空間 A におけるエージェント数の変化が各評価にどう影響を与えるか分析を行った。分析結果としては、減速回数、接触回数、混雑状況、歩行時間はエージェント数が増加する毎にそれぞれの数が増加し、比例関係であることが分かった。また、CE では混雑回数が少ないのに対し、接触回数が多い。出発位置 C から目的位置 E までの間では多くの交錯が発生するため、同方向のエージェントとは群集歩行を形成しにくいと考えられる。そして、交錯する回数が多いため歩行時間も長くなっている。

対象空間 A では、AE、BE が目的位置に近い、接触回数と混雑回数が共に少なく、最も早く歩行を終える。

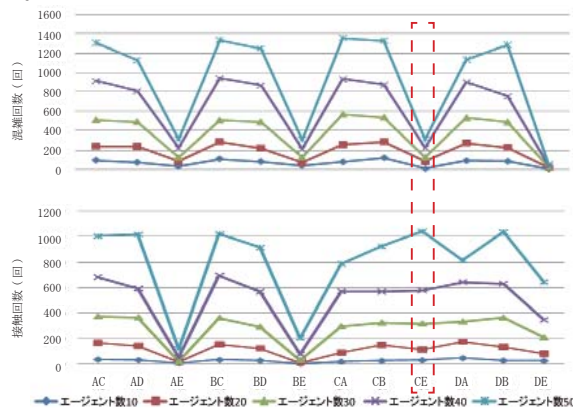


図 5. ケース①, 対象空間 A の混雑回数 (上) と接触回数 (下)

3-2. 対象空間 B

対象空間 B での分析結果は、エージェント数 30 までは混雑状況は比例関係であったが、エージェント数 40 がエージェント数 50 を上回る結果が得られた。AE, BE, CE, DB で混雑状況の値が大きくなっており、これは改札位置 E 付近にエージェントが集中するため、多くの交錯や混雑が発生するためと考えられる。また、混雑状況の値は DB で最も大きくなっており、改札位置 E 付近での交錯や混雑が影響していると考えられる。

対象空間 B では、改札位置 E に近い AE と BE が混雑状況に大きく影響を受けることが確認できた。エージェント数 20 までは歩行時間が最も短い、エージェント数が増えると交錯や混雑が発生するため、次第に歩行時間が長くなると考えられる。

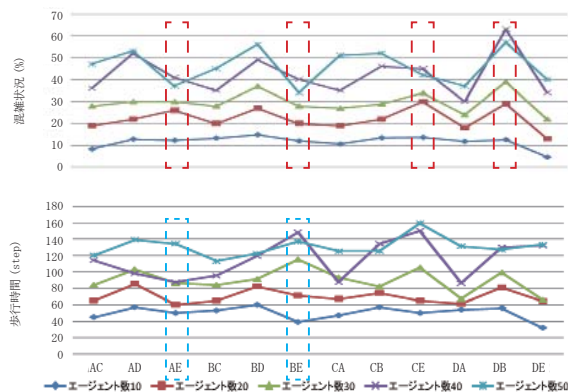


図 6. ケース①, 対象空間 B の混雑状況 (上) と歩行時間 (下)

4. ケース②の分析

4-1. 対象空間 A

ケース②の対象空間 A で、エージェント数の割合が各評価にどう影響を与えるか分析を行った。分析結果として、出発位置 A, B のエージェントの割合が 120, 180 と出発位置 C, D のエージェントの割合が 60 の場合に、CE の混雑状態が大きくなっているのが確認できる。これは改札位置 E 付近にエージェントが集中するため、多くの混雑が発生し歩行が困難になっていると考えられる。また、出発位置 A, B のエージェントの割合が大きければ接触回数が増え、出発位置 C, D のエージェントの割合が大きければ混雑回数が多くなる。そのため、出発位置 C, D のエージェントは混雑状況の影響を受け、歩行時間は一様な値となっていると考えられる。

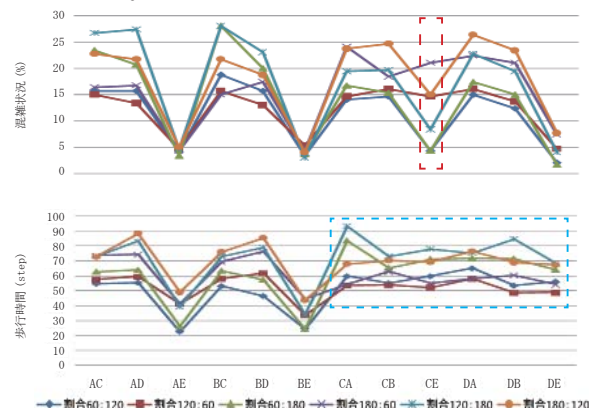


図 7. ケース②, 対象空間 A の混雑状況 (上) と歩行時間 (下)

4-2. 対象空間 B

対象空間 B での分析結果は、エージェントの割合 120:180 の時、DB での混雑回数が最も多い。また、エージェントの割合が 60:120, 60:180, 120:180 で出発位置 C, D のエージェント数が多い場合、CA, CB, DA, DB の混雑回数は多くなり、エージェントの割合が 120:60, 180:60, 180:120 で出発位置 A, B のエージェント数が多い場合は、AE, BE, CE の改札位置付近の混雑回数が多くなっていることが確認できる。

BE の歩行時間は出発位置 A, B のエージェントの割合が大きい場合には長くなり、出発位置 C, D のエージェントの割合が大きい場合には短くなっている。改札位置 E 付近での混雑回数に影響を受け、歩行速度が低下したと考えられる。

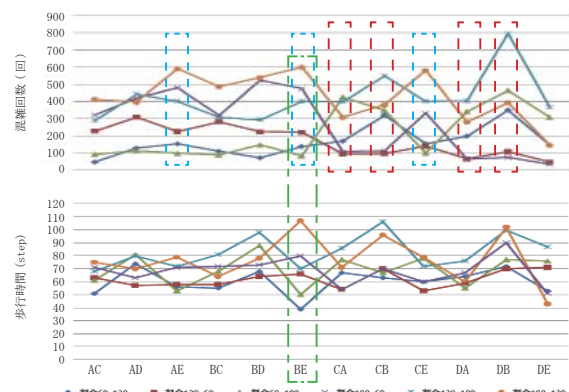


図 8. ケース②, 対象空間 B の混雑回数 (上) と歩行時間 (下)

5. ケース③の分析

5-1. ケース①の対象空間 A, B の分析

対象空間 A の混雑状況は改札位置 E を目的位置とする AE, BE, CE, DE で小さい値を示している。一方、対象空間 B の混雑状況でも AE, BE, CE, DE で小さい値を示しているが、対象空間 A の混雑状況の値ほど落差はなく、ほとんどのエージェントが混雑状態だと考えられる。また、対象空間 B では BD, DB の混雑状況が最も大きい値を示している。これは改札位置 E 付近にエージェントが集中し、多くの交錯や混雑が発生している状況でさらに BD, DB 同士が交錯し合っていることが混雑の原因だと考えられる。

対象空間 A では、改札位置 E に近い AB 間の歩行がないことや出発位置 C, D から改札位置 E までにある程度の距離があるため、対象空間 B よりも混雑状況の値が小さい。

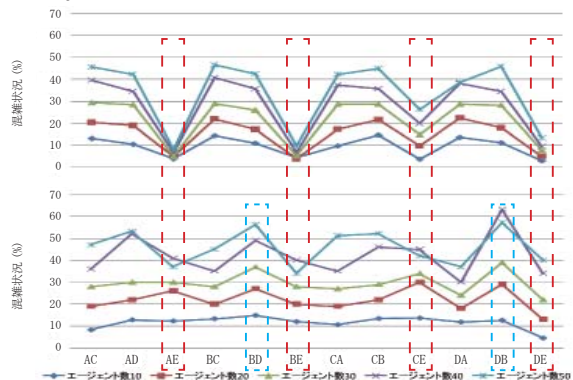


図9. 対象空間Aの混雑状況（上）と対象空間Bの混雑状況（下）

5-2. ケース②の対象空間 A, B の分析

対象空間 B の CE と DB でエージェント割合 180:60, 180:120 と 120:180, 180:120 の場合に、それぞれの混雑状況が最も大きい値を示している。CE では出発位置 A, B のエージェント割合に影響を受け、混雑回数が多くなる。また、DB では両方のエージェント割合が大きいため、改札位置 E 付近では多くの交錯や混雑が発生すると考えられる。

対象空間 A では、エージェントの割合が 120:60, 180:60 の場合に CE で混雑状況の値が大きくなってはいるが、それ以外の値はほぼエージェント数に比例している。対象空間 A でエージェントの割合を変化させると一部のエージェントのみが影響を受けると考えられる。

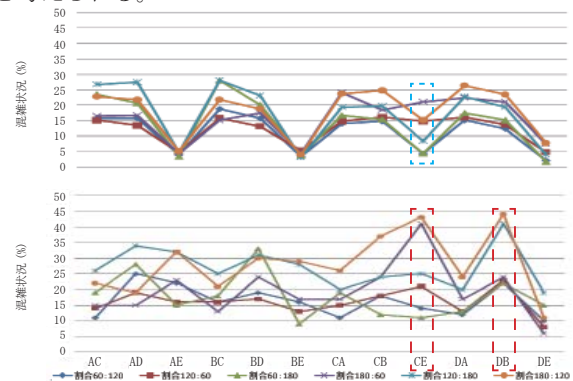


図10. 対象空間Aの混雑状況（上）と対象空間Bの混雑状況（下）

6. まとめ

本研究では、エージェント数や割合に変化を与え、改札位置の異なる対象空間でシミュレーションを行った。ケース①の場合、対象空間 A では比例して接触回数と混雑回数が増加した。対象空間 B ではエージェント数 10, 20, 30 の接触回数と混雑回数は比例して増加するが、エージェント数 40, 50 では改札位置 E 付近の接触回数と混雑回数が著しく増加した。ケース②の場合、対象空間 B ではその割合に対応した接触回数と混雑回数が増加した。対象空間 A では、一部のエージェントのみが影響を受ける。また、常に混雑状況に伴いエージェントの歩行時間は長くなる。ケース③では、対象空間 B の改札位置 E 付近に多くの交錯が発生するため、より混雑した状態となり、接触回数や混雑回数、歩行時間に影響を与える要因となっていることが分かった。

本研究では、構築した交錯流動モデルのシミュレーション結果から分析を行い、交錯が発生するポイントや傾向を明らかにした。今後の展望としては本モデルに改良を加えシミュレーションの精度を高め、交錯流動により混雑状態となる空間を対象に、動線制御・密度分散という観点から歩行者の移動を制限する障害物を配置することで、動線が交錯しないように歩行空間の配置計画を行う。

参考文献

- 1) KK-MAS: 株式会社 構造計画研究所 (<http://mas.kke.co.jp/>)
- 2) 阿久澤あずみ他: 駅構内における群集歩行シミュレーションモデルの研究, 中央大学大学院理工学研究科情報工学専攻 2006 年度修士論文
- 3) 荒井良宏: 鉄道駅における垂直移動手段の選択行動に関する研究 - 利用者の選択行動のモデル化とシミュレーション -, 明治大学大学院理工学研究科建築工学専攻 2011 年度修士論文
- 4) 中村彩子他: 短時間歩行パス分析による一方向流と交錯流の流動特性比較 鉄道駅の群集流動評価に関する研究その 3, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (東北) 2009. 8, pp795-796.
- 5) 山本昌和: 交錯流動内における歩きやすさの評価 - 駅空間の歩きやすさの評価に関する研究その 2 -, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (近畿), 2005. 9, pp889-890.
- 6) 青木俊幸他: 駅における人の流れ, 鉄道技術情報誌 鉄道技術アラカルト, 2009
- 7) 交通工学 (第 2 版), 元田・岩立・上田, 森下出版株式会社
- 8) 劉建宏他: パーソナルスペースを用いた障害物を回避する歩行者の群集流動, 土木学会論文集 D Vol. 64 No. 4, 2008. 10, pp513-524.
- 9) 人工社会構築指南 -artisoc によるマルチエージェント・シミュレーション入門-, 山影進著, 書籍工房早川, 2007.
- 10) コンピュータのなかの人工社会 マルチエージェントシミュレーションモデルと複雑系, 山影進・服部正太編, 構造計画研究所, 共立出版, 2002. 8.