

目的地移動機能を有する自律的歩行者エージェントによる群集シミュレーションの研究

A Study on Crowd Simulation by using Autonomous Pedestrian Agents with 'Walking-To-Destination' Functions

指導教員 兼田 敏之¹

何 雁峰²

1. 研究の背景と目的

現在、歩行者エージェントシミュレーションは、事故分析のみならず歩行空間デザインへの応用が期待されており、既にそのためのシミュレーターとして ASPF(Agent-based Simulator of Pedestrian Flows)が開発されている。しかしながら、現版 ver.3 の ASPF では、歩行者エージェントはたんに他者を避けながら直進する存在に過ぎず、複雑な形状の大規模な空間におけるシミュレーションが不可能であった。とくに複合商業施設内の回遊行動のモデリングには、エージェントに対して目的地に逐次的に到達するうえで、各目的地までの視認可能な経路通過点の連鎖である、経路に沿って歩行する機能が求められる。

そこで本研究では、目標維持機能、経路通過点、目標更新、経路最適化などを導入し、目的地移動機能を有する自律的歩行者エージェントをモデル化したシミュレーター ASPFver4 を開発する。とくに、複合商業施設アスナル金山内の回遊行動シミュレーションにおける混雑分析を通じて、このシミュレーターの特徴を示す。

2. 目的地移動機能を持つ自律的歩行者エージェントシミュレーション ASPFver.4.0

2.1 ASPFver4.0 における歩行者エージェントの改良

ASPFver.4.0 では、歩行者エージェントに目的地移動機能を導入するため、目標維持(Helmsman)機能の導入、経路通過点(way point)と歩行経路の導入、経路通過点における目標更新アルゴリズムなどを実装した。

目標維持機能(図1)とは、与えられた(視認)目標への進行方向を定め、行動途中で他の歩行者や壁を回避するために進行方向と目標とのズレを修正するために、定期的に目標方向を再確認し、進行方向を修正するものである。

¹ 名古屋工業大学大学院工学研究科社会工学専攻助教授

² 名古屋工業大学大学院工学研究科社会工学専攻博士前期課程2年

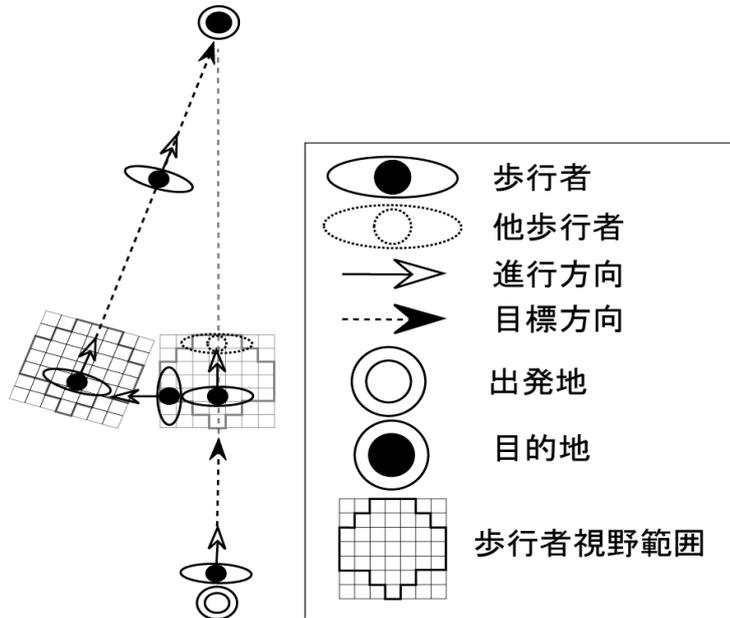


図1 目標維持機能の説明

また、大規模・複雑な空間形状では、目的地がつねに視認できるとは限らないので、その際、出発地から目的地まで視認条件を満たす経路通過点のリストを予め設け、歩行者エージェントは、この歩行経路を辿る（図2）。前述の目標は、目的地か経路通過点のいずれかである。目標更新は、目標に近接したか否かを定期的を確認し、目標近傍に着いた際に目標を次のものに更新することである。

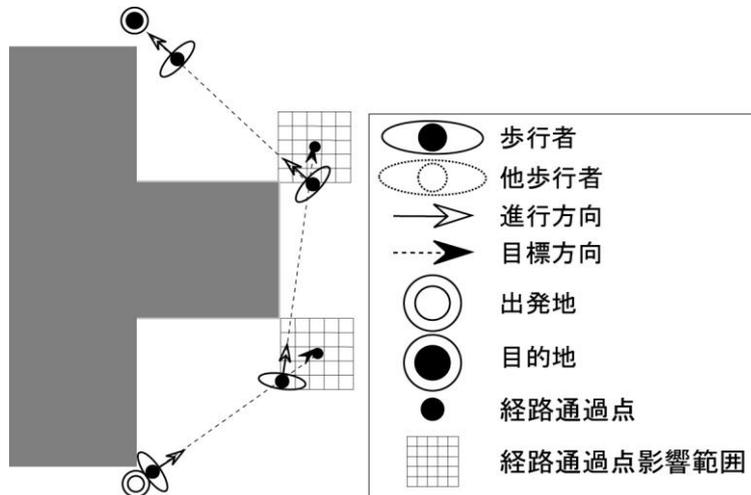


図2 経路通過点における目標更新

また、歩行者行動は、他の歩行者のみならず壁にも影響を受けるが、この両者は性質が異なるため、本版では、壁エージェントをセル単位で任意の場所に設置できるように設計した。

2.2 ASPFver.4.0 の構成

シミュレーターの基本構成は、概ね前版を踏襲した。空間スケールは1セル 40cm 四方、時間スケールは1 ステップ 0.5 秒である。ASPFver4.0 では、目標維持機能、目標更新や壁の導入をふまえて、これら整合性を保つよう、歩行行動ルール群に追加・変更作業を行っている。

エージェントの行動ルール適用順は①経路取得、②目標維持、③歩行行動ルール、④目標更新の順に適用される(図3)。目標維持のための確認は10ステップ毎とし、目標更新の確認は、2ステップ毎に経路通過点を中心とした2×2セル内に位置する否かで行う。

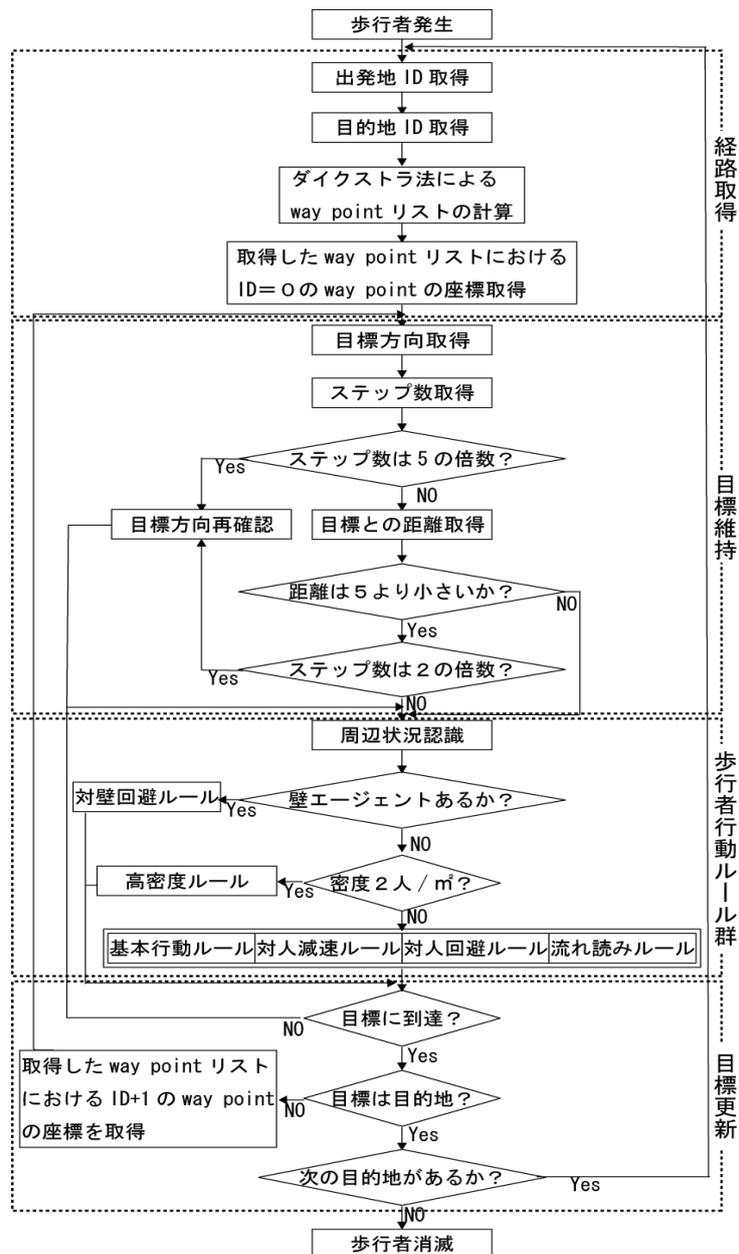


図3 歩行者エージェントのアルゴリズム

壁エージェントの導入により、歩行行動ルールは、前版の基本行動ルール（6個）、対個人減速ルール（8個）、対個人回避ルール（4個）、高密度歩行ルール（3個）、流れ読みルール（1個）に加えて、壁回避ルール（14個）の計36個となった（図4）。壁回避ルールは壁エージェントの存在により、進行方向転換し、壁を回避するルールである。他のエージェントの存在は基本的に相対座標系で判定するが、速度個人差により生じる単位距離差を統一するため、壁エージェントの存在は絶対座標系で判定している。

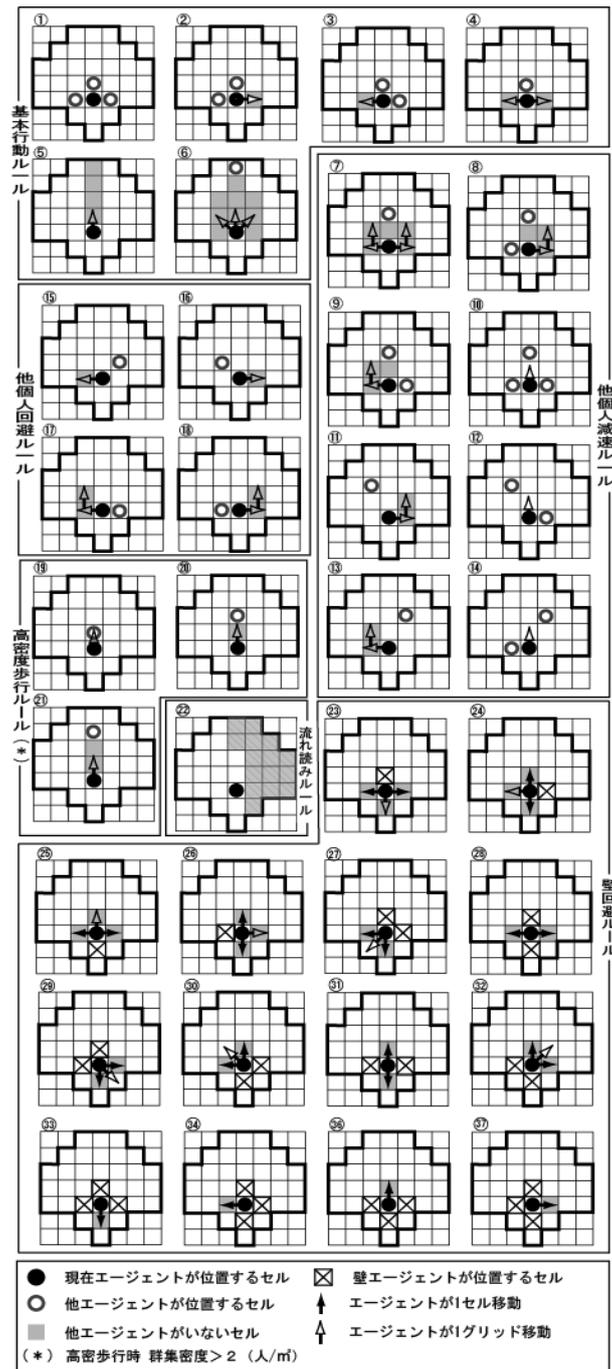


図4 歩行者エージェントの行動ルール

2.3 群集歩行シミュレーションの例

まず、目標維持機能を検証するためのシミュレーションを行った。道幅 40 セルの十字型歩行空間における、左右両側から流動係数 0.5 人/m・秒の対向流を発生させ、歩行者数が定常になってから、下方から横断者 3 人を発生させて、これらの横断者の軌跡を検討する（図 5）。別方向の歩行者流に流されながら、進行方向を修正し、目的地に辿り着くエージェントの目標維持行動を確認することができる。なお、本研究では直進流の密度—速度関係や L 字回廊でシミュレーションを行い、前版と同様の結果を確認している。

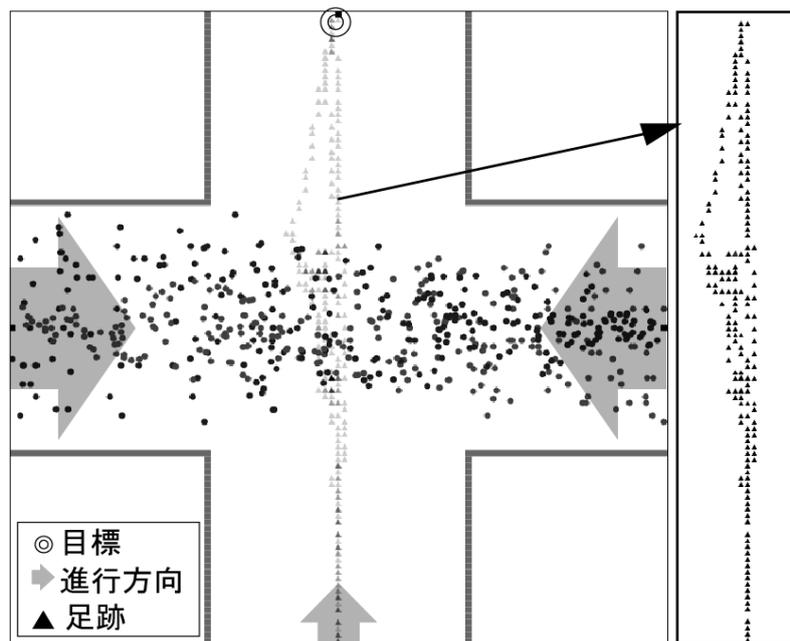


図 5 目標維持のパフォーマンス

3. 経路最適化機能を導入した自律的歩行者エージェントシミュレーション—ASPFver.4.1

3.1 ASPFver.4.1 の特徴

ASPFver.4.0 に改良を加え、金山総合駅の交通ターミナル施設アスナル金山での回遊行動を扱う ASPFver.4.1 を開発し、混雑分析への適用を試みた。まず前年度実施された回遊行動調査データを用いて、図 6 に示すエージェント回遊行動アルゴリズムを設けた。この版の特徴は、まず、属性別調査データから施設立寄りリストを求め、次いで、施設間移動はダイクストラ法により求めた最短経路を辿るものである。さらに、イベント時における混雑を表現するためにイベントルーチンを付き加えた。これはイベントが発生した際、場内のエージェントの 8 割がイベント広場に集まる行動に切り換わり、イベント終了後にはこれらエージェントが再び回遊行動を続けるものである。

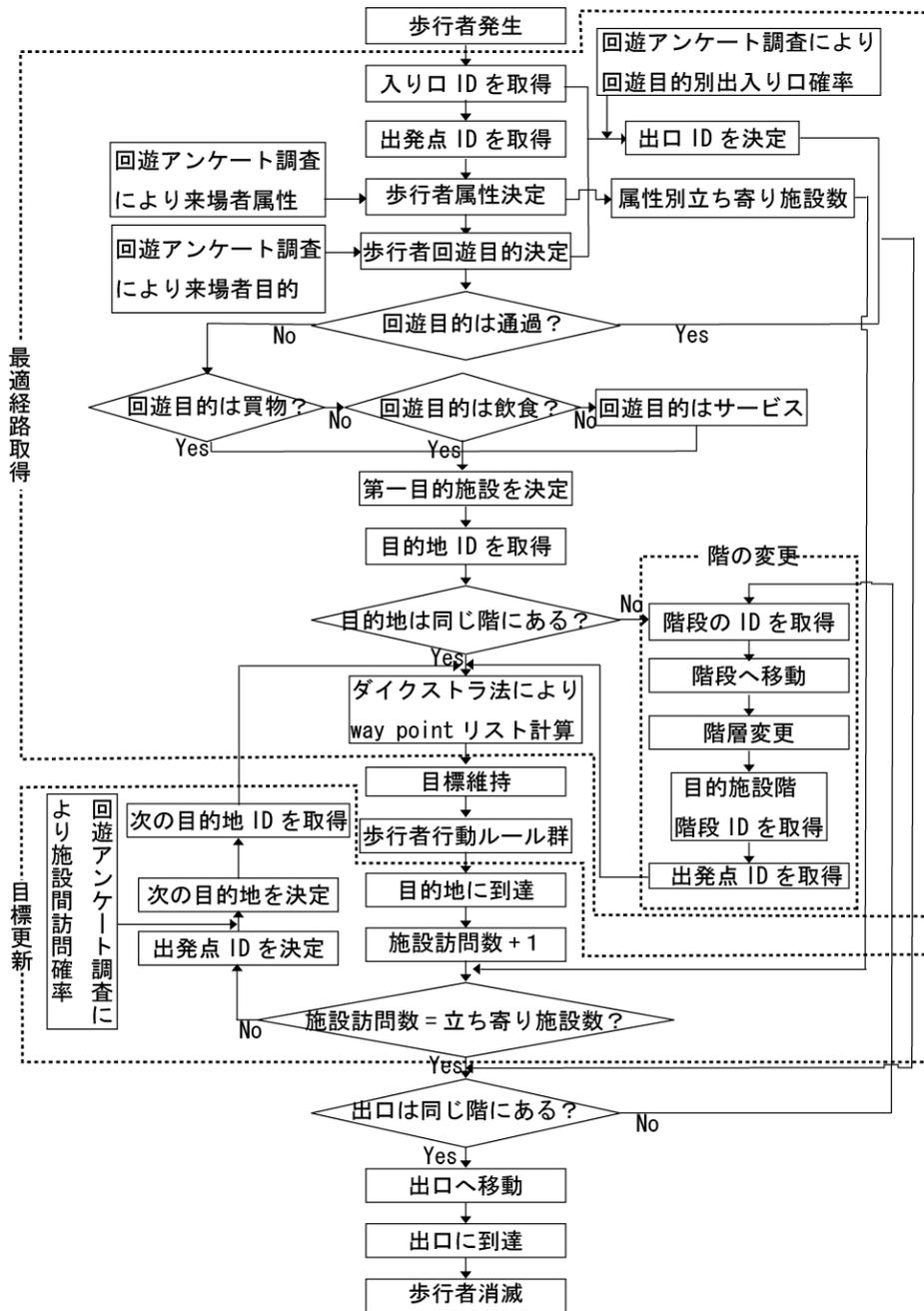


図 6 ASPFver.4.1 による回遊行動アルゴリズム

3.2 複合商業施設内回遊行動における混雑分析の試み

本節では、アスナル金山一階における 150m×100mの範囲を対象としてシミュレーション実験を行った。対象地域は 300 ×250 セルである。出入口は 11箇所（1階 10箇所、2, 3階まとめて1箇所）、店舗は店種毎に 19店舗（1階 18店舗、2, 3階まとめて1店舗）を設定した。経路通過点は 105ポイント（1階 87ポイント、2, 3階 18ポイント）を設定した。これらの経路通過点は視認条件により経路ネットワークを形成する。任意の出発地と目的地が与えられる際、ダイクストラ法により求めた 7656組の最短経路のいずれを用いることとする。

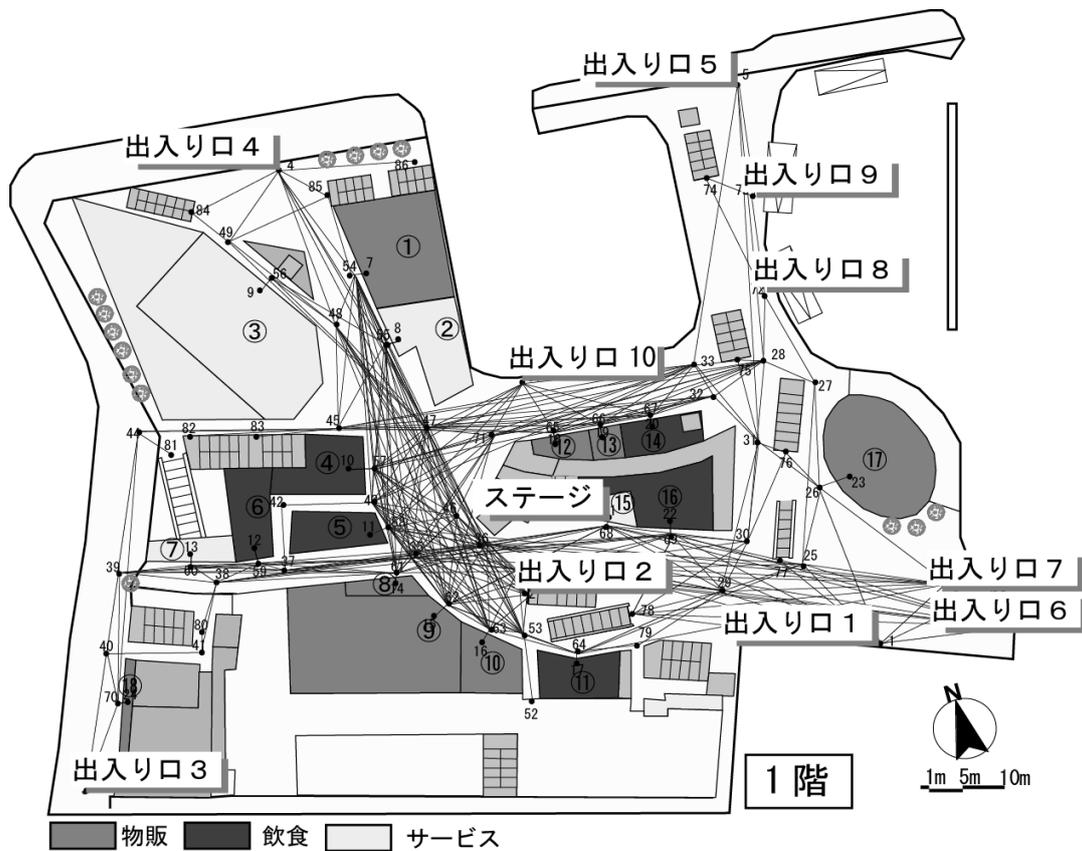


図7 アスナル金山経路通過点の配置と経路ネットワークの表現

また、歩行者エージェントの属性は男女別に設定した。回遊目的は買物、飲食、サービス、通過との4つと設定した。立ち寄り施設数は通過の場合には0で、それ以外の場合には調査データにより最小値1、最大値13、属性別の平均値を用いてポアソン分布で与えられる乱数値を取得する。入口の流入者発生率は調査データから平休日別に求めた。退出点は回遊目的別に設定した。回遊目的通過の場合には乱数で決め、それ以外の回遊目的には歩行者の9割は入口と同じ出入口で退場し、1割は乱数で決まる。第一立寄り店舗につい

では、回遊目的別に歩行者の 9 割が入口と同じ階とした。施設間の訪問確率は調査データにより設定した。

シミュレーションでは、密度計測領域は図 8 のように 3 領域を設定する。(a)平日ケース、(b)平日入場者数を 2 倍した平日 2 倍ケース、(c)休日ケース、(d)休日イベント発生ケースとの 4 ケースでシミュレーションを行った。シミュレーション実験では、概ねどのケースでもエージェント数が定常になる 600 ステップ時の値を計測した。

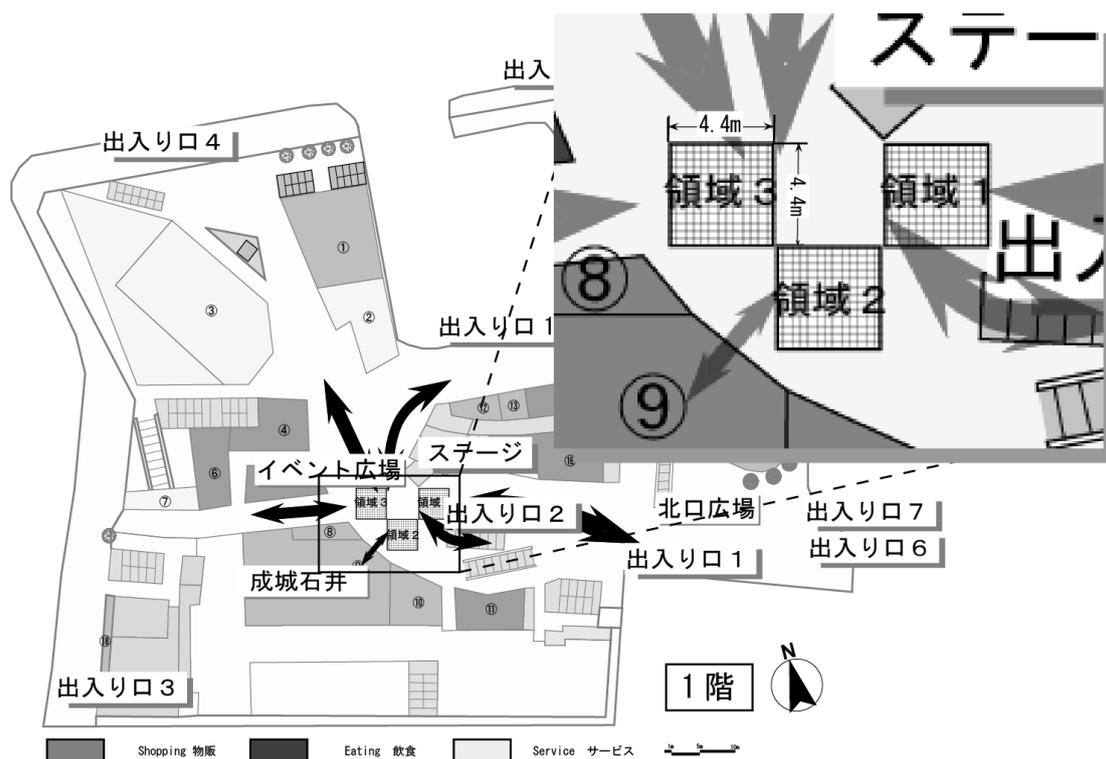


図 8 密度計測領域

3.3 混雑シミュレーションの結果の分析

シミュレーション結果は図 9 に示す。平休日ケースともにイベント広場から西へ抜ける通路（領域 3）の密度が比較的高い（平休日とも $0.98 \text{ 人}/\text{m}^2$ ）。また休日ケースは広場から北口広場に抜ける通路（領域 1）の密度が高い（ $1.60 \text{ 人}/\text{m}^2$ ）。これは昨年度調査で求めた通行率と傾向が一致している。平日 2 倍ケースでは領域 2、領域 3 など平日ケースと異なる場所で密度が上昇している。平日 2 倍ケース領域 1（ $2.22 \text{ 人}/\text{m}^2$ ）を除いて、密度が 2 を越えてないことが分かった。

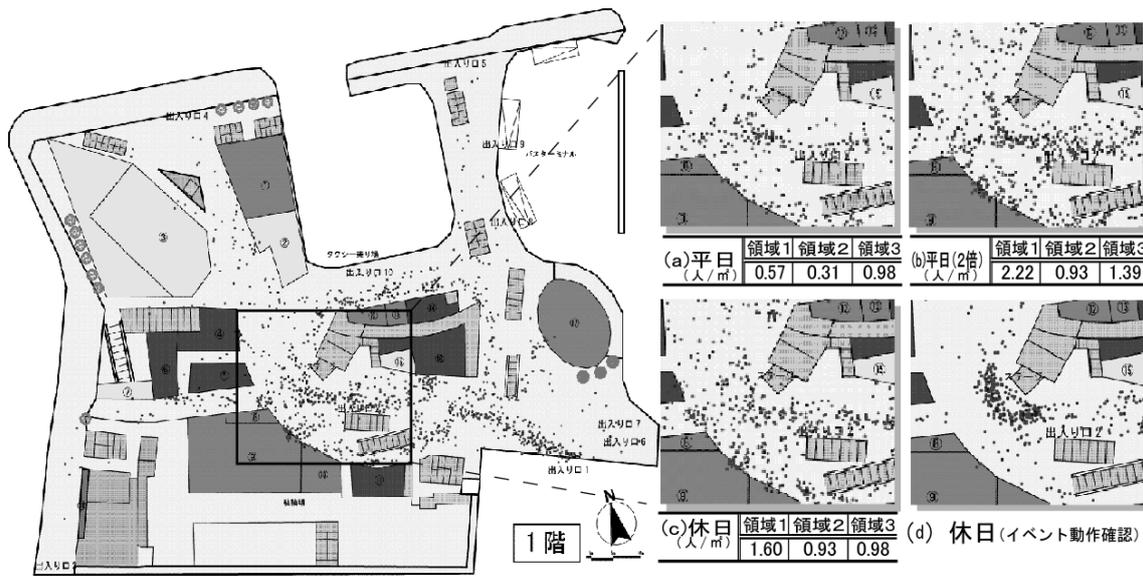


図9 ケース別シミュレーション結果

図10はイベント発生した場合の領域1の密度変化を示す。イベント発生後、密度は上昇し、終了後もしばらく上昇し続け、そのあと、休日ケースと同じ程度まで低下した。イベント時間を1.5倍の150秒にすると、ピーク時密度も高くなることが読み取れる。条件設定は極端であるが、これらのことはイベント時における群集規制の必要性を示唆する。

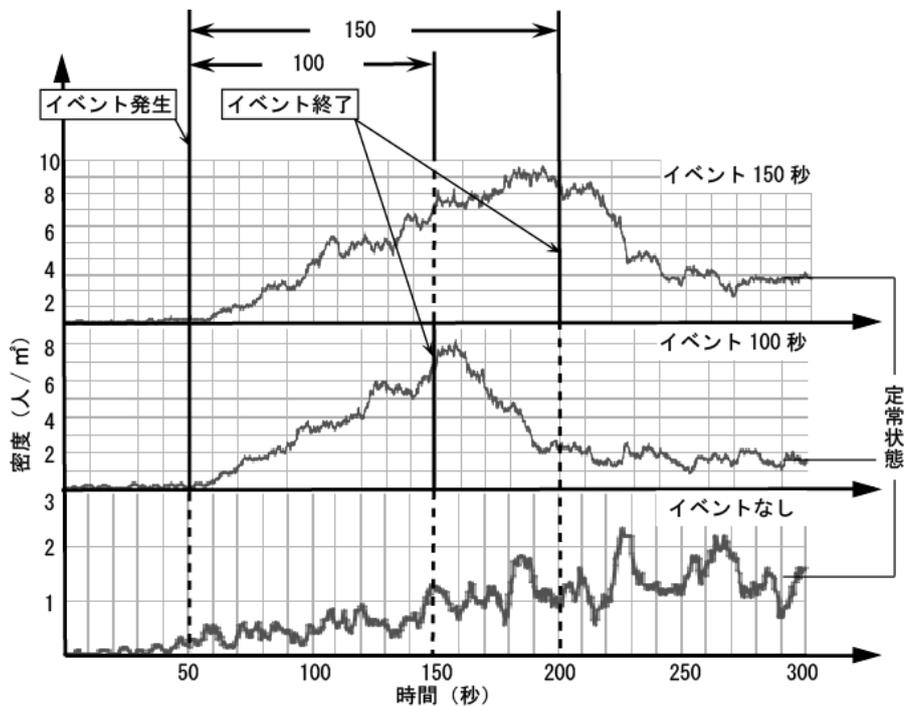


図10 イベント時の密度上昇 (休日領域1)

4. 結論

本研究は、エージェントに対して、回避・追従・追越しといった基本機能に加えて、目標維持・経路通過点を用いた方向転換などを導入することにより、目的地への移動やその連鎖である施設立寄りなどの高次機能を実装した歩行者流シミュレーターASPFver4を開発し、その性能を確認した。これにより、複雑な形状の空間における混雑分析への適用が可能になった。

[参考文献]

- [1] 社団法人 日本建築学会、建築・都市計画のためのモデル分析の手法、井上書院、1992.
- [2] 社団法人 日本建築学会、建築設計資料集成[人間]、丸善、2003.
- [3] ジョン・J・フルーイン、歩行空間のデザイン、鹿島出版会、1974.
- [4] Joshua M.Eptein,Robert Axtell、人工社会、共立出版、1999.
- [5] 株式会社 構造計画研究所、 artisoc ユーザ マニュアル、2006.
- [6] T. Kaneda : Developing a Pedestrian Agent Model for Analyzing an Overpass accident, SPRINGER, 2006.
- [7] 鈴木智彦、エージェントベースシミュレーションを用いた群衆流動マネジメントに関する研究、名古屋工業大学修士論文、2003.
- [8] 岡山大地、相対座標系を用いた歩行者エージェントモデルの提案—渋谷駅前スクランブル交差点のシミュレーションを通じて、名古屋工業大学卒業論文、2005.
- [9] 大岩優佳理、回遊行動からみた複合商業施設の立地効果に関する研究——名古屋市金山総合駅前『アスナル金山』をケーススタディとして、名古屋工業大学修士論文、2006.