

2010年度 卒業論文

案内表示の配置位置変更による
歩行者の移動時間の短縮

田中 悠

早稲田大学 理工学部
コンピュータネットワーク工学科

学籍番号 1G05R120-3

提出日 2011年2月1日

指導教授 菅原 俊治

目次

1	序論	1
2	準備	2
2.1	マルチエージェントシミュレーション手法	2
2.2	探索歩行者	2
3	モデル概要	3
3.1	ASPF _{ver.4}	4
3.2	歩行者エージェント	7
3.2.1	経路理解者	7
3.2.2	探索歩行者	8
4	実験内容	10
4.1	案内表示	11
4.2	歩行者の平均密度	11
4.3	探索歩行者と経路理解者の割合	11
5	実験結果	12
6	考察	13
7	結論	14

概要

本研究では、コンピュータシミュレーションを用いて目的地までの経路を知らない歩行者と経路を知っている歩行者(以下それぞれ探索歩行者、経路理解者とする)の両方が存在する環境下で、歩行者の移動時間の短縮を解の指標とし最適な案内表示の配置位置案を提案する。現在、案内表示の配置位置に関する明確な標準はなく、場所によって案内表示の配置位置は異なる。探索歩行者にとって、案内表示が認識しづらい場所に配置されていたら目的地までの移動時間が長くなるため分かりやすい場所に設置されているほうが望ましい。一方、経路理解者にとっては、進路上に設置された案内表示に探索歩行者が寄りすぎると自分の移動が阻害されるため進路上に案内表示が設置されていないほうが望ましい。このような問題解決のため、案内表示配置位置に関する標準の制定が必要である。本研究では、複数の路地と結節する広場とその路地を舞台に3パターンの案内表示配置位置について歩行者の平均密度と探索歩行者と経路理解者の比率を変化させ検証を行い、歩行者の移動時間の変化を観察した。結果、案内表示の配置位置は探索歩行者でも最短経路をとれるように分岐点の前に設置することにより経路理解者を含む歩行者全体の移動時間の短縮につながっている。また、混雑具合や探索歩行者と経路理解者の割合の変化といった環境の違いは案内表示の配置位置との関連性は薄く、最適な案内表示の配置位置を模索する際にはあまり考慮しなくてもよいことが分かった。

1 序論

近年、人口の増加や都市化による人の密集などを原因とした過剰な混雑や、人の集まる大規模なイベント時の誘導不備による群集事故といったことが後を絶たない。このような群集事故の回避や日常時の歩行活動の改善のためには歩行者の流れ(人流)を把握し移動をスムーズにする必要がある。

現在、このような人流の把握・改善のための研究は盛んに行われている。例えば、[1]では歩行者を模したエージェントと明石歩道橋を模した空間モデルに明石歩道橋事故の事故報告書の知見と空間研究の知見を組み込むことでコンピュータ上で事故の再現を行い、事故防止のための方策を提案している。[2]では、JR東日本が提供している群衆の降車路線、乗車路線、降車時刻、乗車時刻のデータを用いてシミュレーションモデルを構築し、駅において時間帯ごとに乗り換えにかかる時間やホームでの待ち時間を算出し、乗り換えの際に人が受けるストレスを検討している。これら以外にも数多くの人流を題材とした研究があるものの、人流に影響を与える多様な状況やオブジェクトすべてに対して検討されているわけではなく、人々の生活改善のためにも更なる研究が求められる。

未だ十分に研究されていないものの一つが案内表示の配置位置問題である。目的地までの経路を知らない歩行者(以下探索歩行者とする)が目的地へと移動する際、案内表示を確認することで目的地までの経路を確認することが多い。探索歩行者にとっては、案内表示が認識しづらい場所に配置されていれば経路探索のために探索行動に多く時間をとられるため目的地までの移動時間が長くなる。一方、経路を知っている歩行者(以下経路理解者とする)にとっては、進路上に設置された案内表示に探索歩行者が寄りすぎると自分の移動が阻害されるため、進路上に案内表示が設置されていないほうが望ましい。このよ

うに案内表示の配置位置の違いは歩行者の移動時間に影響を与えるものの配置位置に関する明確な標準はなく、案内表示の配置位置は場所によって道の分岐点や建物の入り口や広い場所の中央など差がある。案内表示は多くの場所で使用されており、配置位置の違いが歩行者らに与える影響は大きいため、歩行者の移動をスムーズにするため案内表示の配置位置に関する標準が求められている。

そこで本研究では、歩行者の移動時間の短縮を解の指標とし案内表示の配置位置問題解決に取り組む。研究の手段として本研究では、マルチエージェントシミュレーション手法による人流シミュレーションを用いる。同手法を用いて複数の目的地をもつ空間、経路理解者エージェント、探索歩行者エージェントなどの要素を持つモデルを作成する。そして、案内表示の配置位置の違いが歩行者の移動時間に与える影響を (1) 案内表示の配置位置 (2) 経路理解者と探索歩行者の割合 (3) 歩行者の平均密度 (混雑具合) の 3 つの要素を変化させながら歩行者らが目的地までの移動にかかった時間を測定することで検証する。これらの結果を考察し歩行者の移動時間を短縮できる最適な案内表示の配置位置の提案を行う。

2 準備

2.1 マルチエージェントシミュレーション手法

マルチエージェントシミュレーション手法とは、エージェントと呼ばれる状況を認識し自身の持つパラメータに基づいて自律的に行動する代行者を複数用いてコンピュータ上に現実世界に近い環境を構築し、エージェントたちの行動、相互作用、環境の変化などを分析することによって様々な制約から現実では難しい研究をコンピュータ上で代理的に行う手法である。

2000 年の建築基準法の改正により建築物の避難安全性の証明に関して従来の仕様規定に従う以外に、コンピュータシミュレーションにより安全性を示す方法が追加されたこともあり同手法を用いた人流シミュレーションは現在活発に行われている。

2.2 探索歩行者

本研究ではモデルにおける探索歩行者の挙動を [5] とその関連研究である [6] を参考に定義している。[5] では複雑な街路を持つ図 1 のようなヴェネツィアの一部を舞台として、以下 3 つの属性を持つ歩行者の探索歩行時の移動実験を行っている。

- (1) 都市構造を理解せず、周辺の地図を携行した歩行者
- (2) 都市構造を理解せず、目的地の方向のみ教示された歩行者
- (3) 複数回出発地点と目的地間を歩行したことがある歩行者

実験の結果、表 1 のように目的地までの経路を熟知している (3) の平均歩行速度がほかの 2 属性と比べて速く、歩行距離、歩行時間ともに短い。一方、(1) と (2) の 2 属性は目的地までの経路を熟知しておらず最短経路を選択できないため歩行距離は長くなる。また経路理解者である (3) と比べて、回頭行動 (頭を動かし周囲を見渡す行動) を頻繁に行いながら歩行する。そのためか、平均歩行速度も (3) と比べて 1 割ほど低くなる。これらの結果が

ら“案内表示によって経路を確認するまで最短経路を選択できず、経路を知っている状態よりも遅い速度で歩行すること”を探索歩行と定義し本研究のシミュレーションモデルに導入する。

	平均歩行距離(m)	平均歩行時間(s)	平均歩行速度(m/s)
属性(1)	959	15:22	1.08
属性(2)	886	13:51	1.07
属性(3)	805	11:06	1.21

表 1.[5] の実験結果

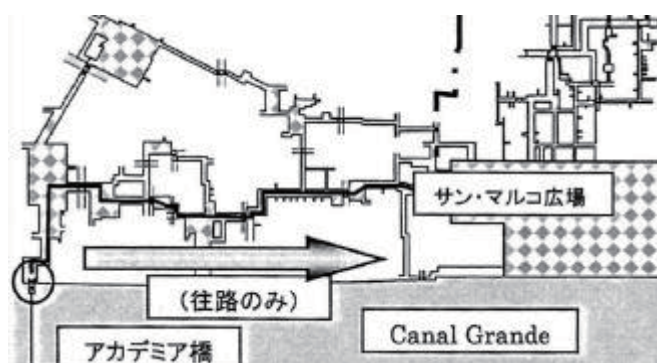


図 1.[5] の実験空間

3 モデル概要

本研究では案内表示の配置位置が歩行者の移動時間に与える影響を観察するため、目的地までの経路を理解している経路理解者と、目的地までの経路理解のために目的地までの経路情報を持つ案内表示の確認を必要とする探索歩行者の2種類の歩行者を用いて実験を行う。ある一定の空間上において経路理解者と探索歩行者双方の目的地までの移動にかかる時間を案内表示の配置位置以外に、経路理解者と探索歩行者の割合、歩行者の平均密度を変化させつつ測定する。これにより、歩行者の移動時間が短縮される最適な案内表示の配置位置というのは環境により異なるのかも検証し、より多くの場所に対応した最適な案内表示配置位置案の提案を目指す。

このように環境を変化させつつ大勢の歩行者の移動時間を現実で測定するのには多大な時間・労力・コストが必要であり困難である。そのため本研究ではマルチエージェントシミュレーション手法を用いてコンピュータ上で実験を行う。しかし、コンピュータ上で人流シミュレーションを行う場合、歩行者の再現性が高くなければよい結果を得ることができない。そこで本研究では、高い歩行者の再現性を持ち [1] の明石歩道橋事故の再現などの実績を持つ歩行者モデル、Agent Simulation of Pedestrian Flow(ASPF)ver.4 を基に経路理解者エージェントと探索歩行者エージェントを作成し、1マス40 四方、1ステップ0.5秒の環境で行動させ実験を行う。

3.1 ASPFver.4

ASPFver.4とは[4]で発表されている歩行者モデルであり、[3]で発表されているASPFver.1や[1]で使用されているASPFver.2に改良を加え再現性を高めた歩行者モデルである。それぞれのASPFの歩行者モデルは、時間をステップ(1ステップ0.5秒)、シミュレーション空間を40cm四方のセルの集まりで表現された環境の上で図2に示した36種類の行動ルールに基づいて1ステップに1度行動する。また、ASPFver.4の主な特徴として(1)絶対座標と相対座標の導入、(2)経路通過点、(3)歩行目標維持機能がある。

(1)ASPFver.4では歩行者の移動に“絶対座標と相対座標”の2種類の座標を用いることで歩行者の再現性を高めている。ASPFの歩行者行動ルールはセル空間上で用いることを前提とされているため、従来のモデルでは歩行者の進行方向が4方向に限られていた。しかし、ASPFver.4では“絶対座標と相対座標”の2種類の座標を用いることで歩行者は360度自由な方向に移動できる。歩行者たちは絶対座標であらわされるシミュレーション空間上に配置されるが、移動の際には自らの進行方向をX軸とした相対座標のセル空間上を行動ルールに基づいて移動し、移動終了後に自身の位置を絶対座標のセルに戻すことで移動の自由度が増した。

(2)“経路通過点”とは、歩行者が複雑な空間をスムーズに移動できるように空間上に設定されたポイントである。図3に[4]で使用されたマップと設定された経路通過点を紹介する。それぞれの経路通過点はお互いが見える範囲に設置され、歩行者はこれらの経路通過点間の歩行経路ネットワークに沿うように移動する。歩行者は目標の経路通過点の一定範囲内に近づいたら経路通過点に到着したと判断しさらに次の経路通過点もしくは最終目的地に向かう。経路の分岐点や曲り角など適切に経路通過点を配置することで、障害物が複雑に入り組んだ空間で歩行者の移動が可能となる。また、経路通過点のリストを歩行者に与えることで歩行者ごとに移動する経路を指定できる。

(3)“歩行目標維持機能”とは、歩行者が目標に向かって移動している途中で他の歩行者や障害物の影響で進路方向がずれても目標へ向かうように修正する機能である。歩行者は数ステップに1回の割合で行動ルールに基づく移動をする前に、目標方向に進路を修正する。

これらの機能を用いることで[4]では、複雑な形状を持つ商業施設をモデルとして店舗の配置やイベントの分布と人通り多さの関係を検証している。一連のASPFの行動ルールは序論で述べた明石歩道橋事故の事故報告書の知見や、現実で実施した歩行者の回遊行動の知見を元に実装されており、その再現性も高い。

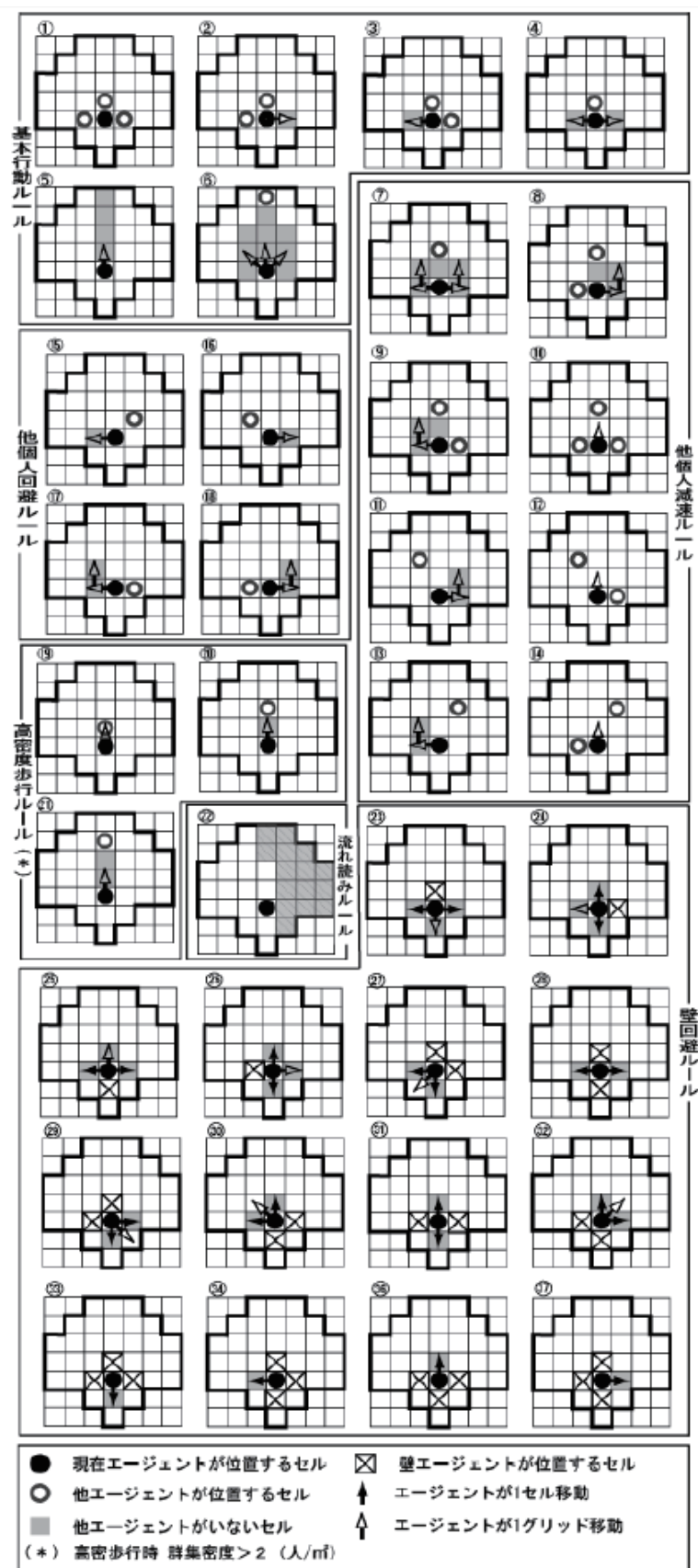


図 2.ASPFver.4 歩行者行動ルール

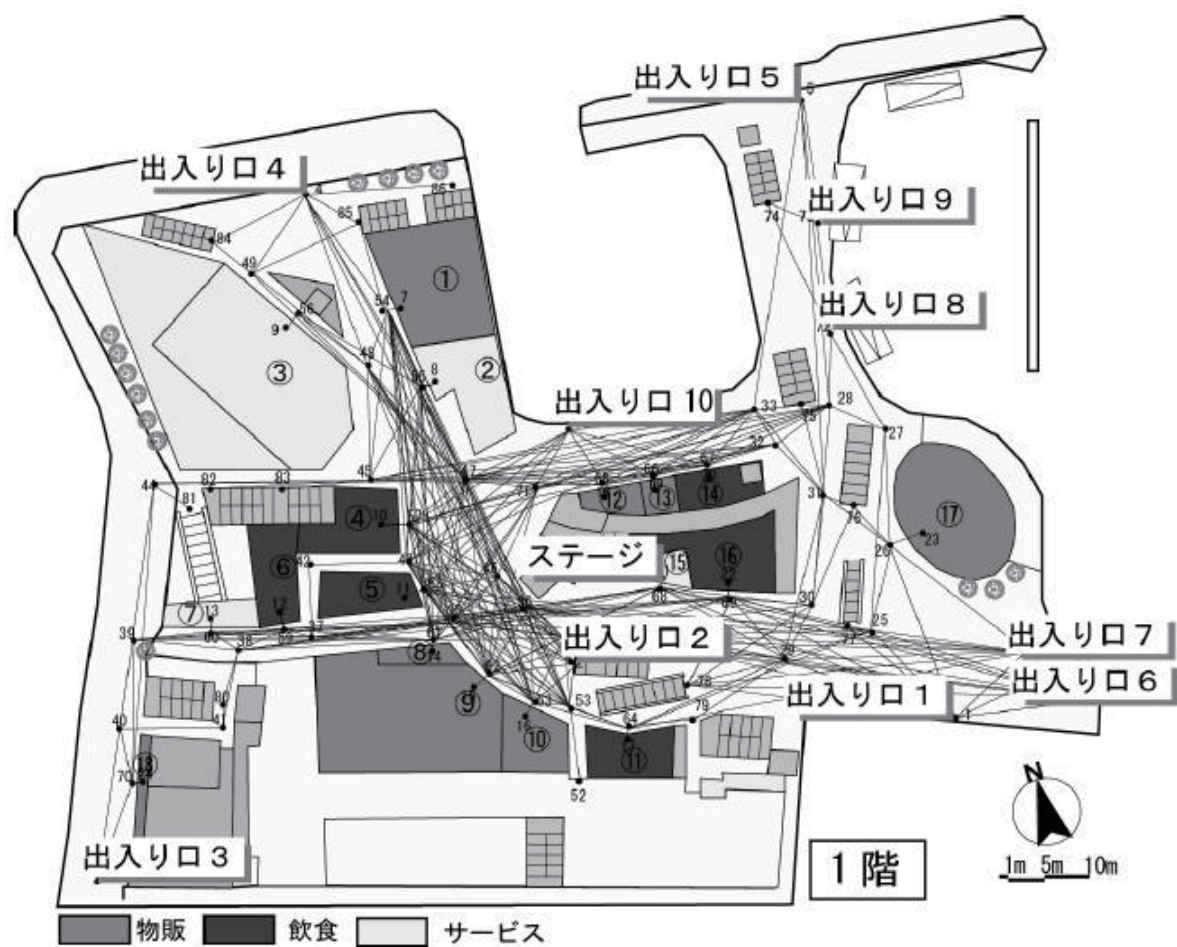


図 3.[4] 経路通過点

図 3 注: 各数字が空間上に設置された経路通過店をあらわしており、その間に張り巡らされたネットワークに沿うことで歩行者は様々な経路を取ることができる

3.2 歩行者エージェント

次に本研究で使用した経路理解者と探索歩行者の2種類の歩行者エージェントの概要を述べる。まず双方の共通事項としてそれぞれのエージェントはパラメータとして歩行速度、目的地、そして移動時間をカウントする発生からのステップ数をもつ。各々の目的地はマップ上にある目的地からランダムで決定される。歩行速度は図4のように、個人の能力差を考慮し平均速度 1.2m/s 、標準偏差 0.3 で与えられる正規分布に基づいて決定する。また探索歩行者の歩行速度は [5] の研究結果より平均速度を経路理解者よりも1割低くし平均速度 1.08m/s 、標準偏差 0.3 で与えられる正規分布に基づいて決定される。経路理解者と探索歩行者は、空間上に複数設定されたセル単位の歩行者発生地点において1ステップにつき 0.01 から 1 の確率 (実験時に設定されたの混雑具合と経路理解者と探索歩行者の割合により変化) で1セルに1人発生する。発生と同時に目的地と歩行速度が決定され、この値は以後変化することはない。その後、各エージェントは目的地到達までのステップ数を記憶しながらそれぞれの行動ルールに従って行動し、目的地に到達したらそのステップ数を記録し消滅する。

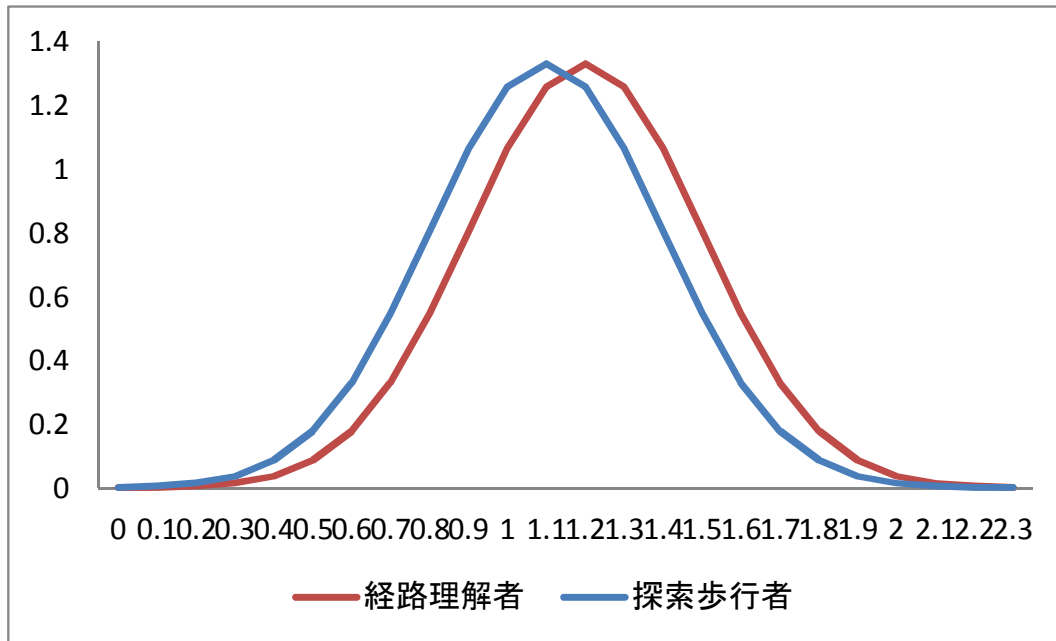


図4. 経路理解者と探索歩行者の歩行速度分布 (m/秒)

3.2.1 経路理解者

経路理解者の行動パターンを、図5に示された経路理解者行動チャートに沿って説明する。

- (1) 空間上に発生と同時に目的地と歩行速度が決定される。
- (2) 5ステップに1度目標方向維持のために次の経路通過点方向へと進路を変更する。
- (3) 毎ステップ、図2で示した歩行者行動ルールに基づいて1回行動し、目的地へと向かう。
- (4) 行動終了後、目的地に到達していなければステップ数を1増やしてステップを終了する。目的地に到達していれば自身の持つステップ数を記録し空間上から消滅する。

3 モデル概要

に基づいて行動する。経路理解者は発生地点から広場到達後迷うことなく最短経路を通して目的地へと向かい、目的地到達後シミュレーション空間上から消滅する。

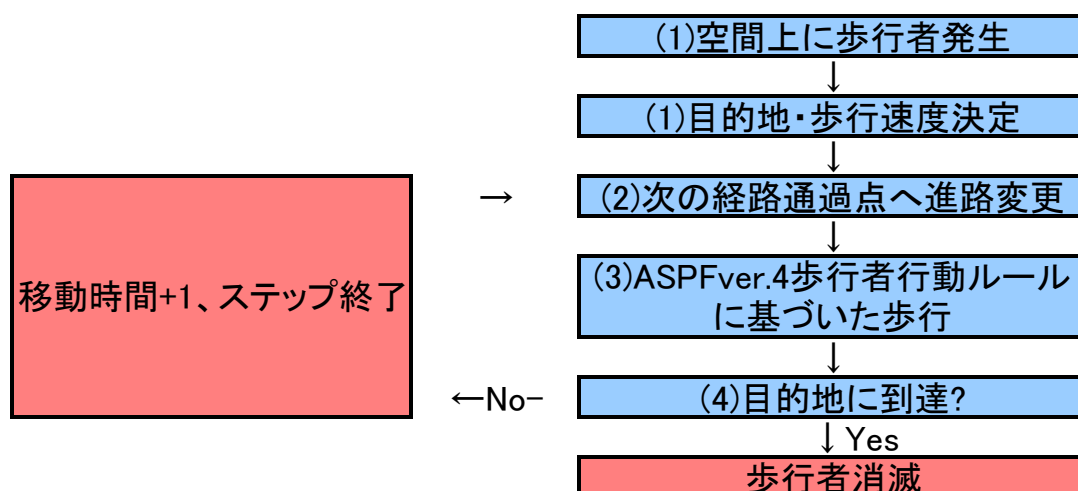


図 5. 経路理解者行動チャート

3.2.2 探索歩行者

探索歩行者の行動パターンを、図6に示される探索歩行者行動チャートに沿って説明する。

- (1) 空間上に発生と同時に目的地と歩行速度が決定される。
- (2) 次に向かう経路通過点が決まっていなかったり、経路通過点到達直後に隣接したまだ到達したことのない経路通過点の中からランダムで次に向かう経路通過点を選択する。
- (3) 5ステップに1度目標方向維持のために次の経路通過点方向へと進路を変更する。
- (4) 毎ステップ、図2で示した歩行者行動ルールに基づいて1回行動し、目的地へと向かう。
- (5) ランダムで選択した経路通過点に到達し、なおかつその場所が自身の目的地であったら自身の持つステップ数を記録し空間上から消滅する。
- (6) 案内表示が確認できれば、その地点から目的地までの経路通過点のリストを得て、次ステップから最短経路で目的地へと向かう。

また、探索歩行者は、経路理解者にはない案内表示確認のための視野を持っている。その視野範囲内に案内表示、もしくは自身の目的地を収めた場合に経路を理解したものとし、最短経路で目的地へと向かう。

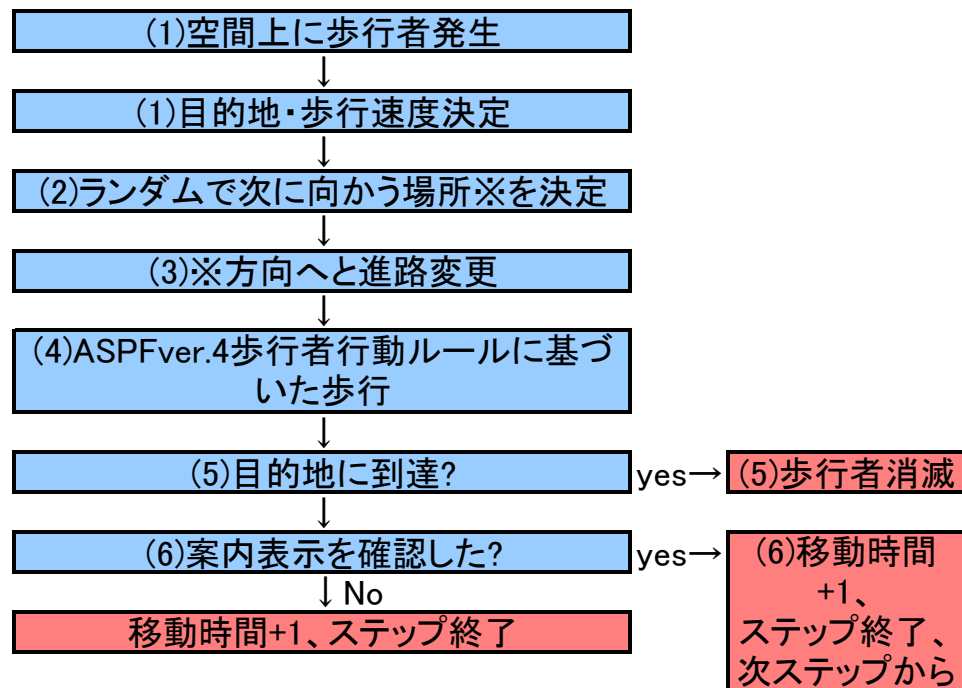


図 6. 探索歩行者行動チャート

4 実験内容

今回の実験では図7に示す大きな広場と広場につながる道を想定した空間モデルを用いた。これは[5]の研究結果から、大きな広場において探索歩行中の歩行者の平均歩行速度が最も遅く、探索行動が盛んに行われていたため、このような場所において最も案内表示が活用され配置位置の最適化が必要とされていると考えたためである。空間は40cm四方のセルで表現されており、長さ10m、幅4mの道部分と、奥行き25m、幅50mの広場部分から構成される。道部分上に縦2X横10の20セル分設置された歩行者発生地点から歩行者が発生し、発生時に設定された目的地へと向かう。周囲は壁に覆われており、歩行者は壁を越えて歩行はできない。そのため、歩行者はすべて狭い道部分を通して広場に到達し、そこから目的地への移動や探索歩行を行う。本研究では歩行者の密度、探索歩行者の割合、案内表示の配置位置の関係をより明確にするため、空間は左右対称のシンプルなものを用いて、これら3種類以外のファクターが結果に与える影響を少なくした。また、経路通過点は各目的地、案内表示配置位置、道部分と広場部分の境目に設定した。

この空間モデル上で歩行者の平均密度、探索歩行者と経路理解者の割合、空間上の案内表示の配置位置をそれぞれ総当り的に変化させ、探索歩行者と経路理解者それぞれ50人ずつの発生から目的地到達までにかかった時間を測定する。それぞれのパターン毎に経路理解者と探索歩行者の平均移動時間、そして下式より得られる歩行者全体の平均移動時間を算出する。

歩行者全体の平均移動時間＝
 探索歩行者の平均移動時間*探索歩行者の比率＋
 経路理解者の平均移動時間*経路理解者の比率

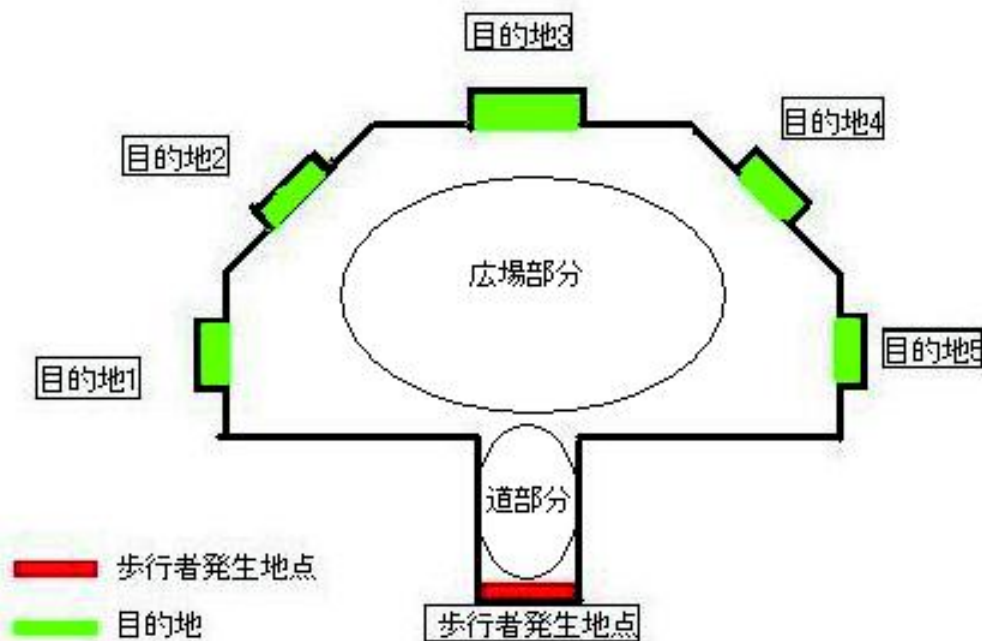


図7. シミュレーション空間

4.1 案内表示

図8に示すような3種類の案内表示配置パターンで実験を行う。

パターン1. 広場到達前の路地内

パターン2. 広場内、広場到達時に歩行者の視野に入る範囲内

パターン3. 広場内、路地から離れており広場到達時には歩行者の視野に入らない位置また、今回の実験では広場の中に設置するという性質から地上設置型の案内表示とし、歩行者は案内表示の上を通り抜けることはできない。また各案内表示がシミュレーション空間内のすべての目的地までの経路を持つものとした。

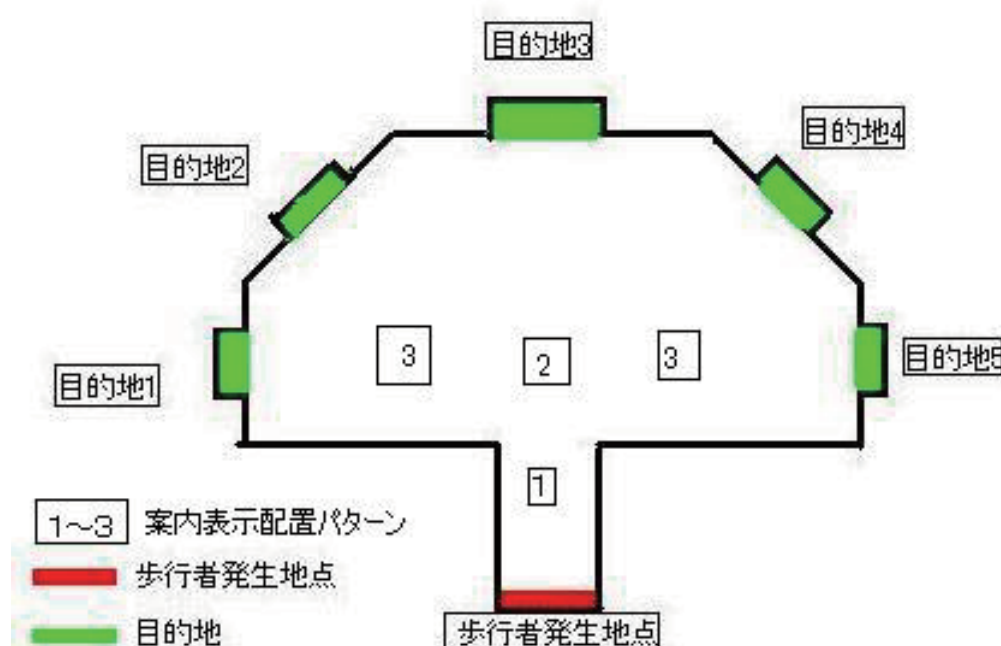


図8. 案内表示配置パターン

4.2 歩行者の平均密度

歩行者の密度は、歩行者発生地点から1ステップあたりに歩行者が発生する確率の変更によって変化させる。今回のシミュレーションでは[6]の知見をもとに2パターンの歩行者密度に関して実験を行う。

1. 歩行者が他歩行者から制約を受けず自由に行動できる密度 (0.3 人/m²)
2. 大部分の歩行者が行動に制約を受け、追い越しなどの行動がほぼ不可能となる密度 (1 人/m²)

4.3 探索歩行者と経路理解者の割合

探索歩行者と経路理解者の割合を変化させることで疑似的に、観光地のようなその地を訪れるのが初めての人が多い土地や、都市部の通勤時間帯のような大半の人が経路を熟知

5 実験結果

している環境を再現できる。本研究では下記の2パターンの割合について実験を行う。

1. 探索歩行者 1:経路理解者 4
2. 探索歩行者 4:経路理解者 1

5 実験結果

シミュレーションを行った結果を表2に示す。

パターン	平均人密度	探索 : 理解者	平均ステップ数		
			探索歩行者	経路理解者	全体
1	0.3	1:4	27.2	25.1	25.5
		4:1	27.4	25.8	27
	1	1:4	29.6	28	28.3
		4:1	29.9	28.4	29.6
2	0.3	1:4	25.3	24.8	24.9
		4:1	27.6	25.2	27.1
	1	1:4	29	27.4	27.7
		4:1	29	27.7	28.7
3	0.3	1:4	32	26.2	27.3
		4:1	34.1	26.6	32.6
	1	1:4	34.9	28.3	29.6
		4:1	38	28.7	36

表 2. 実験結果

まず、今回の実験結果より歩行者密度の高低、探索歩行者の割合の高低、案内表示の配置位置の変化それぞれについてが以下のことが見て取れる。

(1) 歩行者密度に関しては、すべての案内表示配置パターンにおいて、人密度が低いほうが歩行者らの移動時間が短くなっている。

(2) 探索歩行者と経路理解者の割合に関しては、探索歩行者の割合が多いほど歩行者全体の移動時間が長くなっている。今回与えた値においては、案内表示の配置パターン1とパターン2においては歩行者密度と比べて探索歩行者と経路理解者の割合の違いが歩行者の移動時間に与える影響は小さい。しかしパターン3においては、密度が低く探索歩行者の割合が高いケースのほうが、密度が高く探索歩行者の割合が低いケースよりも移動時間は長くなっている。

(3) 案内表示の配置パターンに関しては、パターン3が探索歩行者・経路理解者ともに最も移動時間が長く、配置パターン1と配置パターン2では若干ながら配置パターン2のほうが移動時間が短くなっている。

6 考察

まず、案内表示の配置パターンの違いによる歩行者の移動時間の変化から案内表示は、探索歩行者が最短経路以外の経路を選択し始める経路の分岐点の前、人の密度が高くなり開けた場所に配置することで最も歩行者全体の移動時間を短縮できるといえる。また混雑具合や探索歩行者と経路理解者の割合などの環境の変化は歩行者の移動時間に影響を与えているものの案内表示の配置位置との関連性は薄く、最適な案内表示の配置位置案は少なくとも混雑具合や探索歩行者と経路理解者の割合が違っていても同様であるといえる。他にもこれらの環境の変化が歩行者の移動時間に与えた影響から、歩行者モデルの前提条件である歩行者密度が高いと歩行者の移動が制限され速度が遅くなるといったことや、歩行速度が遅い探索歩行者の比率が高いと経路理解者も影響を受け移動時間が長くなるといった現実においても想像に難しくない当たり前のことが確認できた。これは、今回使用したシミュレーションモデルの妥当性の証明につながる。

今後の課題としては、今回の結果からは結果(2)で述べたような探索歩行者の割合が歩行者の移動時間に与える影響が歩行者の密度が歩行者の移動時間に与える影響よりも大きくなる具体的な条件などは分らない。また、今回の実験結果のみでは現実世界すべての環境に対する最適な案内表示の配置案は提案できない。そのため、案内表示配置の標準の作成にはより細分化した実験条件やほかの空間モデルを与えて実験を行い、検証する必要がある。

7 結論

本研究では、歩行者の移動時間の短縮を解の指標そして最適な案内表示の配置位置の提案を目標とした。問題解決のために、経路理解者と探索歩行者の2種類の歩行者モデルと案内表示といった要素をもつ歩行者シミュレーションモデルを作成し、案内表示の配置位置以外に探索歩行者の比率と人の密度を変化させ、多様な環境下で実験を行った。結論として、探索歩行者が存在している環境では案内表示の配置位置は探索歩行者でも最短経路をとれるように分岐点の前に設置することにより経路理解者を含む歩行者全体の移動時間の短縮につながっている。また、混雑具合や探索歩行者と経路理解者の割合の変化といった環境の違いは案内表示の配置位置との関連性は薄く、最適な案内表示の配置位置を模索する際にはあまり考慮しなくてもよいことが分かった。今後の課題としては、さらに多くの環境や空間に対応した最適な案内表示の配置位置案を提案するため、実験を続け、多くの結果を得る必要がある。

参考文献

- [1] 鈴木智彦・伊藤悠太郎,“ エージェントアプローチによる群集流動シミュレーション分析 明石歩道橋事故の再現を通じて ”,『第4回 MAS コンペティション論文集』,構造計画研究所,pp.195-202,2004 .
- [2] 服部正太・木村香代子・西山直樹,“ ターミナル内における移動シミュレーション ”,ワーキングペーパー,構造計画研究所,2000.
- [3] 兼田敏之,“ 複雑系のモデリング ”,日本建築学会編,『複雑系と建築・都市・社会』,技法堂出版,pp.152-173,2005.
- [4] 何 雁峰,“ 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 ”,『第7回 MAS コンペティション論文集』,構造計画研究所,pp.77-86,2007 .
- [5] 三浦金作,“ 歩行条件の異なる歩行者の経路選択と探索行動について 街路空間における探索歩行時の中止に関する研究 その3 ”,『日本建築学会論文集 73(624)』,社会法人日本建築学会,pp.371-378,2008.
- [6] 日本建築学会編“ 建築設計資料集成 3 単位空間 I ”、丸善、pp.50-57、1980.