

大型施設におけるサインシステム評価のための エージェントベースシミュレーション

○内海晋太郎, 高橋真吾 (早稲田大学)

大堀耕太郎, 穴井宏和, 山根昇平 (株富士通研究所)

Agent-Based Simulation for Evaluation of Signage Systems in Large-scale Facilities

* S. Utsumi and S. Takahashi (Waseda University)

K. Ohori, H. Anai and S. Yamane (Fujitsu Laboratories Ltd.)

概要— 空港の旅客ターミナルやショッピングモールなどの大型の公共施設では、施設利用者へのサービスの質を向上させるためにサインシステムが導入されている。従来研究において、サインシステム設計時に確認すべき点検項目が提示されているが、個別の点検項目が良かったとしても、施設全体としての快適性が必ずしも十分とはいえない。本研究では、大型施設内において、サインから情報を受け取り、目的地を目指す施設利用者の特性を表現したエージェントモデルを構築する。本モデルを用いて、空港ターミナル内における複数のサインシステム計画の効果を分析する。本シミュレーションにより、サインシステムの導入前にその良し悪しを定量的に評価することが可能になる。

キーワード: サインシステム設計, 歩行者行動, エージェントベース社会シミュレーション

1 はじめに

空港の旅客ターミナルや駅、ショッピングモールなどのような大型の公共施設では、施設利用者へのサービスの質を向上させるためにサインシステムが導入されている。

赤瀬¹⁾では、サインシステムは、特定の施設やエリア内で、複数のサインの表示内容や表示方法などに相関関係を与えて、個々のサインの総和で一定の目的に沿った情報提供を行うサイン類の全体と定義されている。また、サインシステムには、1)複数のサインで構成されている、2)サイン類の全体で所定の情報が伝わるよう、相互補完的に計画されている、3)対象空間内を移動中に、情報を連続的にたどることができるように計画されている、4)サイン類はいくつかの種類に分類でき、同種のサインは統一的な様式を持っている、5)システムを構成するサイン間の用語法や表示方法などの法則が整えられている、という5つの要件があるとされている。

これらが十分に満たされていない場合、サインシステムが導入されている大型施設を利用する人々への快適性が損なわれてしまう。例えば、多様な種類のサービスを提供している空港ターミナルで、乗客は搭乗時間までの限られた時間を各々の目的に従ったサービスを利用しようとするが、空港ターミナル内の案内情報が見つけれないために、自身のニーズに対応するサービスを受けられなかったり、限られた時間を無駄にしたりすることがある。そのため、サインシステム設計者は、上記の5つの要件を満たすように、矢印や地図といったサインを利用して、大型施設内における効果的な案内を目指す必要がある。

本研究では、設計されたサインシステムの評価に焦点を当てる。現状では、上述の要件に基づく点検項目による定性的な評価が行われているが、仮に個別の点検項目が良かったとしても、施設全体での総合的な評価として快適性が十分とは限らない。実際に、サインシステムの設計時には評価が良いと判断されても、運用が開始されると問題が見つかることがある。一度導入したサインシステムは、コストの側面から考えても修正することは容易ではない。また、仮に問題のある一部のサインを修正できたとしても、他のサインとの関係性から、新たな問題が生じることもある。

そこで、本研究では、設計したサインシステムについて事前に定量的に評価することが可能なシミュレーションの開発を目的とする。本目的を達成するために、複数のサービスや手続きに関する施設から構成される大型施設のモデル、サインの特徴を捉えたサインモデル、大型施設内を回遊する歩行者エージェントのモデルを構築する。また、本稿のシミュレーションでは、仮想的な空港ターミナルを想定し、異なる条件のサインシステムをシナリオとして、旅客の快適性の分析を行い、シミュレーションの貢献を明らかにする。

2 サインシステム

赤瀬¹⁾の研究では、サインシステムの種類の分類は Table 1のとおり、整理されている。また、サインシステムを設計する際の要素として、「情報内容」、「表現様式」、「空間上の位置」の3つがある。「情報内容」は、サインで表示する情報やそれを表現する用語を指す。「表現様式」は、照明方法や点滅表示などの表現や立体的、平面的などのサインの外観を指す。「空間

上の位置」は、掲出の位置、表示面の向き、平面上の配置位置や配置間隔を指す。

本研究では、大型施設内での歩行者の移動の側面に関して興味があることから、サインシステムの種類として「移動経路、設備などの利用方法などの案内」を、サインシステム計画の要素として、「情報内容」と「空間上の位置」に焦点を当ててモデルを構築する。

Table 1: サインの種類

案内のためのサイン	
・移動経路の案内	A. 指示サイン Direction Sign
・設備などの利用方法の案内	B. 同定サイン Identification Sign
	C. 図解サイン Illustrated Sign
規制のためのサイン	
・事物の来歴や属性等の案内	D. 解説サイン Explanation Sign
・管理者の行為等の案内	E. 告示サイン Bulletin Sign
・管理対象物の状況等の案内	F. 通達サイン Notice Sign
	A. 注意サイン Caution Sign
	B. 警告サイン Warning Sign
	C. 指図サイン Instruction Sign
	D. 強制サイン Mandatory Sign
	E. 禁止サイン Prohibition Sign

3 モデル

本研究のモデルは、大型施設モデル、サインモデル、施設利用者のモデルから構成される。施設利用者は施設内の特定の場所から出現し、ルールに基づいて施設内で情報探索、回遊、施設の利用、手続きといった行動を行う歩行者エージェントとしてモデル化される。歩行者エージェントは自身の視野内に入ったものから情報を得ることにより、認知した空港ターミナル内の状況に応じて自律的に行動を変化させる。

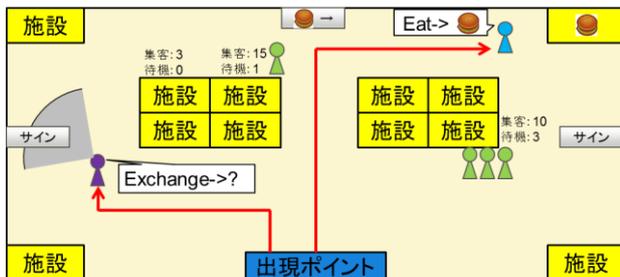


Fig.1: モデルの概要図

3.1 大型施設モデル

大型施設は、レストラン、ショッピング、エンターテインメントなどのサービス施設と、チェックインや荷物検査のような手続き施設から構成される。大型施設の敷地は、歩行者エージェントが歩行するセルと特定の機能を持つノードによって表現される。セルは座標、状態、エリアの3つの属性を有する。座標はセルの位置、状態はエージェントがセルへの進入が可能かどうか、エリアはセルの所属するエリアを表す。

ノードは、任意のセル上に存在し、エージェントはノードを目指すことで進行方向を決定する。ノードには、Table 2に示す種類のノードが存在する。

Table 2: ノードの種類

種類	説明
Waypoint	エージェントの歩行経路上の通過地点
Procedure	必要な手続きを行うための施設
Sub facility	手続き施設の実際の処理を行う施設
Service facility	エージェントが目的を満たすための商業施設
Exit	エージェントが消える地点
Entrance	エージェントが出現する地点

3.2 サインモデル

サインモデルは、エージェントに受け渡すことができる「情報内容」と、エージェントに情報を受け渡すことができる範囲を規定する「情報取得範囲」によって構成される。

3.2.1 情報内容

サインの持つ情報内容は、エリア情報と施設情報の二種類に分かれる。エリア情報は、大型施設内の各エリアへの経路情報やエリア内に存在するサービスおよび手続き施設の種類に関する情報で構成される。施設情報は、サービスや手続き施設の属するエリア、サービスや手続き施設の位置、サービスや手続き施設への経路情報で構成される。

3.2.2 情報取得範囲

情報取得範囲は、エージェントがサインから情報を取得できる範囲を規定する (Fig.2)。これにより、サインの「空間上の位置」の掲出の位置、表示面の向きを表現する。情報取得範囲は、サインの向く方向、距離、角度を持ち、これらの範囲内にエージェントが入っている場合のみ、そのエージェントは、情報を受け取ることができる。

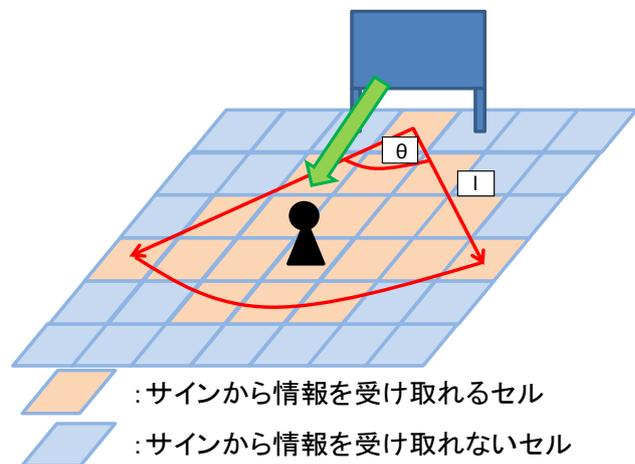


Fig.2: サインの情報取得範囲

3.3 歩行者エージェントモデル

歩行者エージェントは、大型施設内で情報を取得し、取得した情報に基づいて意思決定を行い、サービスおよび手続き施設を利用する目的で歩行する。エージェントの行動フローを Fig.3 に示す。

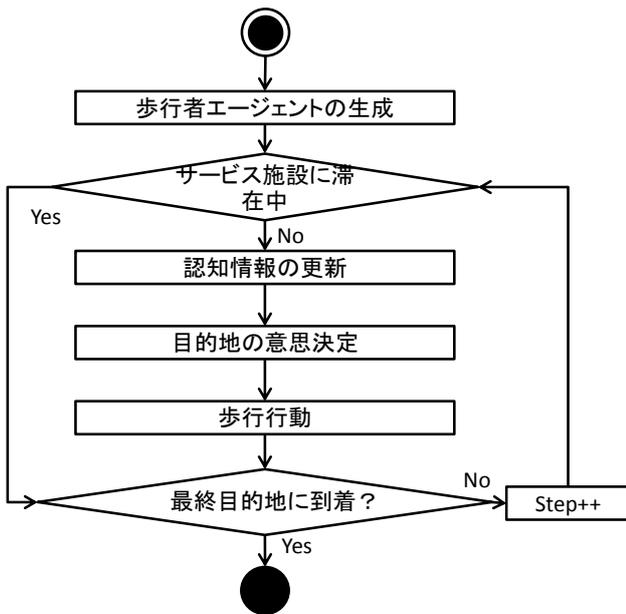


Fig.3: エージェントの行動フロー

3.3.1 認知情報の更新

認知情報の更新は、情報の取得と忘却によって構成される。エージェントは自身の現在位置からエージェントの進行方向を軸とした視認距離と視野角で規定される視野を持つ。エージェントの情報の取得は視野内にサインが存在した時に行われるが、サインも情報取得範囲を持つため、エージェントの情報の取得はエージェントが視野内にサインが存在し、かつサインの情報取得範囲内にエージェントが位置している時のみに情報の取得が行われる (Fig.4)。

情報の忘却は、情報を取得してからの時間が忘却時間を越えた場合に行われる。

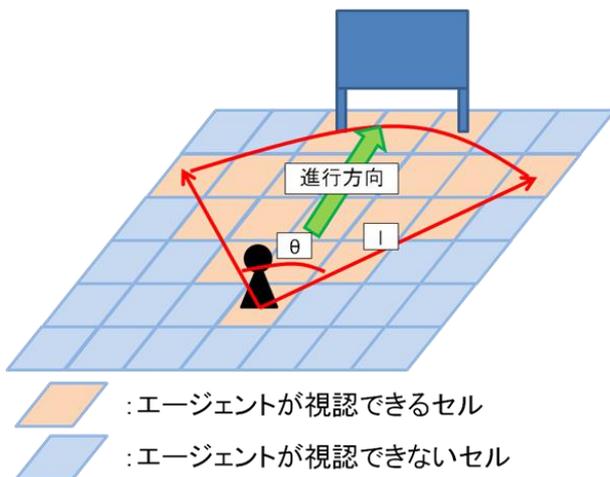


Fig.4: エージェントの視野

3.3.2 目的地の意思決定

エージェントの目的地は、利用時間が定められている手続き施設と定められていないサービス施設の二つのタイプが存在する。空港を例に挙げると、チェックインカウンターや保安検査場などの手続き施設は利用

時間が定められている施設であり、食事、両替、休憩所、ATMなどのサービス施設は利用時間が定められていない施設である。

手続き施設の利用時間になると、エージェントは強制的にその施設を目的地として定める。それ以外の時間帯では、サービス施設の中から、一定の意思決定ルールに基づいて目的地を決定する。

サービス施設は、食事、両替といった施設カテゴリと各カテゴリの施設が存在するエリアが対応づいている。エージェントは、自分が大型施設内で利用したい施設カテゴリの想起集合を持ち、その集合内から一つのカテゴリをランダムに選択する。選択したカテゴリを達成できるエリアについて情報を持っている場合、該当するエリアから一つランダムに選択する。また、そのエリア内のカテゴリを達成できる施設について情報を認知している場合、その施設での滞在時間と移動時間の合計がスケジュールされた手続き施設の利用時間までの残り時間を越えないという条件で選択施設集合に入れられる。

最終的な施設の選択は、選択施設集合より自身の施設に対する選好値と現在位置から施設までの移動時間から 1)式より効用値を算出し、(2)式の多項ロジットモデルを用いて確率的に商業施設を選択する。

$$U(i) = \alpha_{hi} + \beta \cdot timq_{hi} \quad (1)$$

α_{hi} はエージェント h の施設 i に対する選好、 $timq_{hi}$ はエージェント h の現在値から施設 i に移動するために掛かるステップ数、 β は移動時間に対するウェイトを示す。

$$p(i) = \frac{\exp U(i)}{\sum_{n \in X} \exp U(n)} \quad (2)$$

$$X = \{n \mid ServiceFacility_n \in choice_set_h\}$$

$ServiceFacility_n \in choice_set_h$ は、エージェント h の選択施設集合に入っている商業施設を示す。なお、商業施設の選択はエージェントの認知情報が更新される毎に行われる。

本意思決定のプロセスを表現した図が Fig.5 である。本選択プロセスは、Ohori et al.²⁾のテーマパークでのアトラクション選択モデルを参考に、意思決定が多段階で行われるように構成されている。サインから得た情報がエリアの場合にはエリアを目的地とし、そのエリアに向かう過程で施設情報が得られれば、その施設を目的地と設定することができる。3.3.1で述べた情報の忘却と本選択プロセスにより、「目的地の位置を失い、うろろろする」という歩行行動を表現することが可能になる。

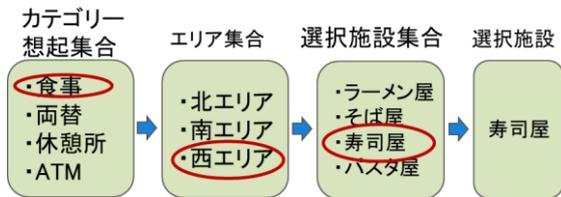


Fig.5 カテゴリ・エリア・商業施設の選択プロセス

3.3.3 歩行行動

エージェントの歩行行動は、「セルの移動」と「経路選択」によって行われる。セルの移動は、エージェントは自身のいるセルの周囲8セルを探索し、その中で進入可能なもので目的地との距離が最短となるセルへとエージェントの座標を更新することで行われる。経路選択は、経路情報に従った移動、エリア内での施設探索移動、ランダムウォークの3種類に分かれる。

経路情報に従った移動では、エージェントが選択しているエリア及び施設までの経路を認知している場合、エージェントはその経路に従い目的地まで移動する。エリア内での施設探索移動では、エージェントが選択しているエリアに到達し、かつ施設を選択していない場合、エリア内をランダムに移動する。ランダムウォークは、エージェントがエリア及び施設を選択していない場合、エリアに関わらずランダムに移動する。

4 シミュレーション実験

4.1 想定する状況

本稿でのシミュレーションの対象施設は、縦255セル×横570セル(1セルを0.5m×0.5m)の空港ターミナルを想定し、大型施設モデルを設定する。Fig.7はシミュレーション空間と、空間内のエリア分けを示した図である。また、各施設のおおよその位置を円で示した。チェックイン前エリアでは上部通路に施設が集中していることがわかる。

空港ターミナルには1000人のエージェントが発生する。1ステップを1秒と想定し、14800ステップのシミュレーションを行う。エージェントが想起する可能性があるカテゴリの種類数は、10種類あり、環境にはそれらのカテゴリを満たす施設が合計61店舗存在する。また空港ターミナルはチェックイン前、チェックイン後、出国審査後西、出国審査後東の4つのエリアに分かれている。

4.2 歩行行動の確認

本研究の提案モデルの特徴は、歩行者エージェントの忘却と段階的な選択プロセスにより、「目的地の位置を失い、うろろする」という行動が表現できる点にある。そこで、Fig.7に示す通り、入口から延びる中央通路に2つのサインを配置し、1エージェント

の振る舞いを確認したところ、Fig.7の行動を確認することができた。

この歩行者エージェントは、カテゴリ想起集合として、ATMと保険契約を持つ。まず、中央上部のサインへと向かい、施設情報を得る。そこで、ATMを最初の目的地として、左側に向かう。ところが、ATM周辺にたどり着く前に情報を忘却したため、ランダムウォークを行う。その結果、再び中央上部のサイン周辺にたどり着く。そこで情報を得ると、今度は保険の手続きを行おうとして右側に向かう。ところが、保険窓口の周辺にたどり着く前に情報を忘却したため、再びランダムウォークを行う。このように、目的施設が遠くにある場合、情報の獲得と忘却によるランダムウォークが繰り返し発生し、右往左往する振る舞いが起こり得る。

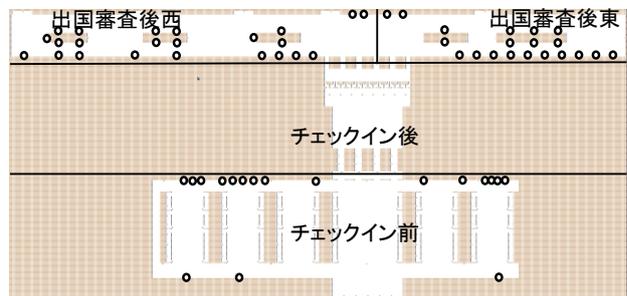


Fig.6: シミュレーション空間

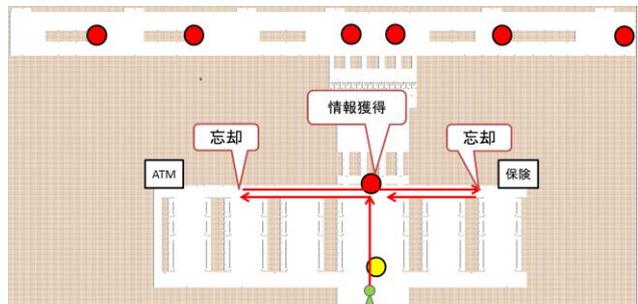


Fig.7: エージェントの行動の軌跡

4.3 シナリオ分析

本研究では、サインシステム計画の評価を行うために「情報内容」と「空間上の位置」に焦点を置き、シナリオ分析を行う。各シナリオで、10試行ずつシミュレーション実験を行い、その傾向から、シナリオ間の比較を行う。

4.3.1 シナリオ設定

本稿では、サインが提示する情報とサインの配置の4つの組み合わせをシナリオとして設定し、実験を行う。

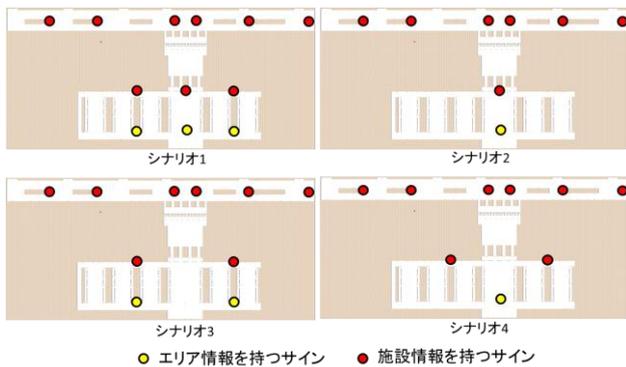


Fig.8: サインシステム計画のシナリオ

Fig.8に4つのシナリオにおけるサインの配置を示す。本稿では、施設がほぼ直線状に並んでおりサインの影響が小さい出国審査後のサイン配置を固定し、サインの影響が大きいチェックイン前のサイン配置を変えて実験を行った。シナリオ1では、上側の通路と下側の通路の双方に等間隔に3か所ずつサインを設置した。シナリオ2では、最も人通りが多い中央通路に2か所設置した。4.2で示した通り、このシナリオでは忘却によりさまざまエージェントが発生しやすいと考えられる。そこで、シナリオ3では、空間上にサインを均等に配置した。一方、シナリオ4では、サインの効果が最も高いと考えられる入口付近にサインを設置し、上部の通路に関しては均等になるように配置した。

4.3.2 評価指標

本研究でのサインシステムの評価には、Fodness et al.³⁾のLOS(Level Of Service)の研究や宇城ら⁴⁾の空港の快適性の研究で利用されている指標より、歩行者の移動や施設利用に関連した指標を利用して評価を行う。具体的には、「移動時間」、「待ち時間」「想起カテゴリの達成率」の3点である。移動時間は、エージェントが目的地に到達するために要した時間であり、エージェントがどの程度迷ったのかを測る指標である。待ち時間は、施設に到達してサービスや手続きを受けるまでに列に並んでいた時間であり、サインによる混雑の分散効果を表している。想起カテゴリの達成率は、エージェントが受けたいサービスを受けることができた割合を意味している。

これらの複数指標を用いる理由は、サインシステムの目的が、「サインを空間上に掲出するというのではなく、計画対象とする空間自体を、利用者が総合的な評価として快適だと感じられるように図ることである¹⁾」とされているためである。

4.3.3 実験結果

Fig.8の4つのシナリオ間で、4.3.2の3つの指標を比較した図をFig.9に示す。

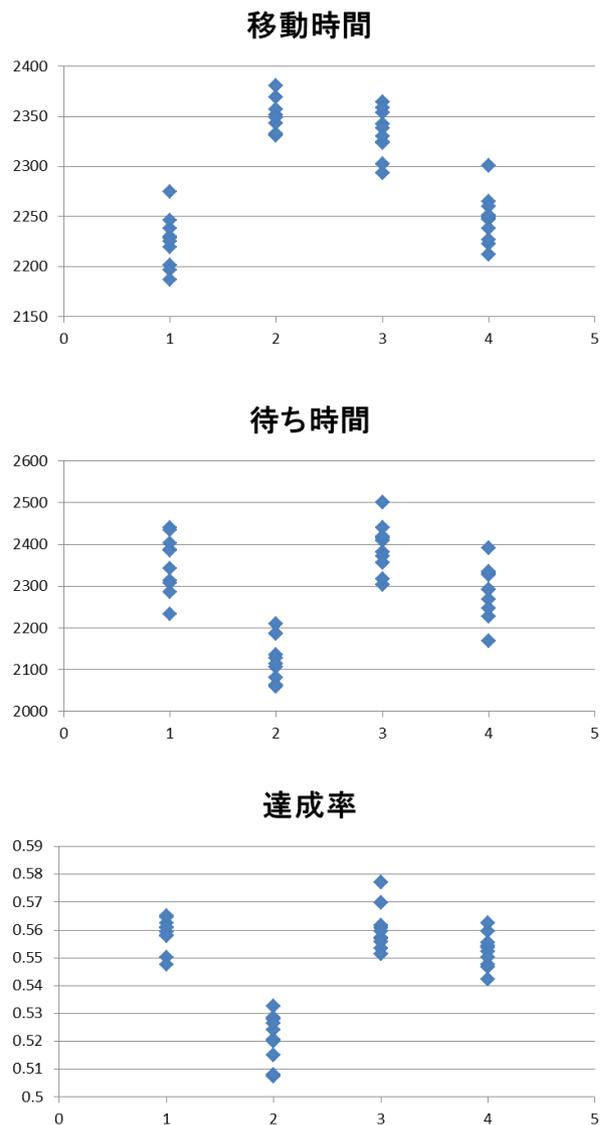


Fig.9: シミュレーション結果

移動時間による評価では、シナリオ2、シナリオ3の移動時間が長くなっている。シナリオ2においては、前述のとおり、忘却と情報獲得を繰り返すエージェントが多く発生するためである。一方で、シナリオ3においては、入口付近にサインがないため、空間に侵入してから最初の情報を得るまでに長い時間が経過するためと考えられる。このことは、目的地に到達するための情報が得られていないことを示すランダムウォークの占める割合が、シナリオ2では0.173、シナリオ3では0.194と、シナリオ3の方が大きくなっていることから説明できる。

待ち時間と達成率による評価では、シナリオ2において待ち時間が少なくなっている。これは、施設にたどり着く前に忘却してしまうことが多く、その結果施設の混雑度が低下したためである。これは、シナリオ2において達成率が低くなっていることから説明できる。他の3つのシナリオでは、待ち時間、達成率と

もに大きな違いはない。本稿がシミュレーション対象とした空港ターミナルでは、上部の通路に施設が集中している。達成率の高い3つのシナリオでは、施設が集中する場所にサインが設置されているため、ある施設の利用を終えたエージェントが、速やかに次の施設へ移動できるためと考えられる。

5 おわりに

5.1 結論

本研究では、歩行者が利用する大型施設のモデル、サインの特徴を反映したサインモデル、大型施設内でサインを利用しながら回遊する歩行者の行動を考慮した歩行者エージェントモデルの提案を行い、サインシステムの設計や実装の意思決定の支援となるように、サインシステムについて定量的に評価することができるシミュレーションの開発を行った。また、仮想的な空港の旅客ターミナルを想定し、サインの「情報内容」と「空間上の位置」を変化させた時のシナリオについてシナリオ分析を行った。その結果、サインを入り口付近に置くことや間隔をあけないことが重要であることが分かった。

5.2 今後の課題

本研究の今後の課題としては、「歩行モデルの修正」と「実データとの接合」が挙げられる。

まず、歩行者モデルの課題としては、現在の歩行モデルは8方格子上のセルをエージェントが目的地に向けて最短距離で進むモデルとなっており、エージェントの歩行速度や回避行動などの特性を考慮できていない点にある。従来研究では、セル空間では ASPF⁵⁾、連続空間では Social Force Model⁶⁾が歩行者の移動速度や回避行動特性を表現した歩行モデルとしてあり、これらの歩行特性を踏まえたモデルを取り入れることで、本研究で提案したモデルを発展させることが考えられる。

実データとの接合の課題としては、歩行者エージェントモデルにおける想起カテゴリおよびロジットモデルのパラメータ値の推定にある。今後は、実地調査での施設利用者のデータを取ることを考えているが、上記のモデルパラメータ値の取得は容易ではない。Virtual Grounding²⁾などのモデル構造を反映した仮想的なアンケート調査などを使い、パラメータ値を定めていくことも視野に入れて調査を進めていきたい。

参考文献

- 1) 赤瀬達三：サインシステム計画学:公共空間と記号の体系, 鹿島出版会 (2013)
- 2) K. Ohori, M. Iida, S. Takahashi : Virtual Grounding for Facsimile Model Construction Where Real Data Is not Available, SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration 6(2), 108/116 (2013)

- 3) D. Fodness and B. Murray : Passengers' expectations of airport service quality, Journal of Services Marketing, Vol. 21, No. 7, 492/506 (2007)
- 4) 宇城真, 上島顕司 : 空港ターミナルにおける旅客の利便性等の評価に関する基礎的研究, 国土技術政策総合研究所資料第 313 号 (2006)
- 5) 何雁峰, 兼田敏之 : 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 回 MAS コンペティション論文集, 構造計画研究所, 77/86 (2007)
- 6) D. Helbing, I. Farkas and T. Vicsek : Simulation dynamical features of escape panic, Nature, 407, 487/490 (2000)