

# 歩行者エージェントの視野を考慮した 空港などの大型施設におけるサインシステムの評価

Evaluation of signage systems considering pedestrian agents' view in large-scale facilities such as airport passenger terminals

島田英里子<sup>1</sup> 山根昇平<sup>2</sup> 大堀耕太郎<sup>2</sup> 山田広明<sup>2</sup> 高橋真吾<sup>1</sup>

Eriko Shimada<sup>1</sup>, Shohei Yamane<sup>2</sup>, Kotaro Ohori<sup>2</sup>, Hiroaki Yamada<sup>2</sup> and Shingo Takahashi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 早稲田大学

<sup>1</sup>Waseda University

<sup>2</sup> 富士通研究所 人工知能研究所

<sup>2</sup> FUJITSU LABORATORIES LTD.

## Abstract:

A signage system has been installed in large-scale facilities such as airport passenger terminals and stations in order to make facility users feel good comprehensively. Agent-based models have been proposed focusing on airport terminals to represent the behavioral characteristics of passengers and the essential features of signs. They, however, are not enough to evaluate signage systems, since models have not described properly pedestrian agents' characteristics especially including their vision to get information from the signs. This paper develops the simulation system that includes the model to represent relationship between pedestrian agent's vision and information search behavior. The primary purpose of the simulation system is to support the facility manager's decision to design the signage system before it is actually implemented.

## はじめに

空港ターミナルや駅、ショッピングモールなどの大型公共施設では、施設利用者の快適な施設利用のための情報提供を行うサインシステムが導入されている。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全体と定義されている(赤瀬, 2013)。

サインシステムの要件は以下の5つである(赤瀬, 2013)。

- (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。

これらが十分に満たされていない場合、施設利用者へのサービスの質の低下につながる。例えば、目的地へどのようにいけばいいのかかわからず、不慣れた利用者が不安やストレスを感じてしまったり、空港において搭乗までの限られた時間で、案内情報を見つけられないことが原因で、食事や両替といった乗客のニーズに対応するサービスが受けられなかったりすることがある。

そのため、大型公共施設の管理者は、空間内に点在配置するサイン相互の情報内容、表現様式、配置位置に関連性を持たせて、利用者が移動しながら直感的に情報を把握できるようにシステム化を図る必要がある。

従来のサインシステムの評価は、主として上記の5つの要件に基づくチェックリスト等を用いた定性的な視点から行われている。これによってもサインシステムが一定の水準を満たしているのかを判断することはできる。しかし、個別の点検項目の評価が良かったとしても、施設全体での総合的な評価とし

て利用者の快適性が十分だとはいえない。実際に、これらの定性的な原則にそったサインシステムの計画では、実際に運用してみてもはじめて問題が見つかることがある。しかし、一度導入したサインシステムを修正することは、物理的にも予算的にも困難な場合が多い。

そこで、従来考慮されていなかった利用者が情報に基づいて移動するという動的視点から、定量的にサインシステムを導入前に評価できるシミュレーションシステムの開発が求められる。

兼田(2010)は、実用面から歩行者エージェントシミュレーションの応用が有効な分野として以下の3つを述べている。

- (1) 群衆事故リスクの予想と対策の事前検討
- (2) 大規模施設における非常時の避難方策の検討
- (3) 商業施設や賑わい空間における快適な歩行空間デザイン

本研究の対象となる大型公共施設は歩行者エージェントシミュレーションによるモデル化が可能である。サインシステムの評価について、利用者をサインシステムからの情報に基づいて、自律的に判断して移動するエージェントとしてモデル化することが有効である。

国土交通省のガイドライン(2001)では、誘導案内設備を、視覚表示設備と視覚障害者誘導案内用設備の2つに分け、また視覚表示設備を「サインシステム」と「可変式情報表示装置」の2つに分類している。すなわち、このガイドラインでは、「サインシステム」を「サイン類を動線に沿って適所に配置して、移動する利用者への情報提供を行う」誘導案内のための視覚表示設備の総体として定義している。

歩行行動の背後にあるメカニズムと視野には密接な関係がある。とくに若い歩行者と比べて高齢な歩行者は、歩行速度が遅かったり、バランス感覚が悪かったり、情報探索がうまくできなかつたり、危険な道路横断が増加したりする。これらの困難は、感覚・認知・体力・理解力の加齢による変化と関係がある。サインシステムの評価のための歩行者エージェントモデルではエージェントの歩行特性を考慮することが必要である。

経路探索行動(wayfinding)は歩行者エージェントモデルで中心的な役割を担っている。経路探索行動は、目的地へ出発する前の経路選択行動と選択した経路に従って移動する行動に分けられる。効率的な経路選択とは、歩行者が過度に長い距離を移動することを防いだり、障害物をよけたりしながら目的地に到着することである(Salthouse and Siedlecki, 2007)。経路選択を行うために、地図が利用されるが、高齢者は若者より最適な経路を選択できないと言われて

いる。つまり、高齢者は間違いを起こしやすく、経路選択に時間がかかる(Sander and Schmitter-Edgecombe, 2012)。選択した経路に従って移動する行動において、目的地や方向を見失わないようにすることは重要であるが、自分自身の位置を把握し、歩行方向を決める能力は加齢とともに低下する(Klencklen et al., 2012)。この能力の低下は、選択した経路を記憶するために、必要な特徴を選択・学習することの難しさや目印を利用する際に時空間的な順番を理解するにあたっての問題点と関わりがある。つまり、移動しながらサインからの情報を取得して、目的地へ向かうことは簡単ではなく、経路を知っていても、歩行者は容易に経路を忘却してしまうことが分かる。

歩行行動や navigating は視覚と非常に関係がある(Shinar and Schieber, 1991)。加齢によって、脳や神経のシステムが感覚を伝えるスピードが遅くなる。この変化は、情報を更新・監視する機能、一貫性のない情報や必要のない情報を阻止する機能、やりくりする機能の低下につながるからだ(Salthouse et al., 2003)。

このように歩行者行動において情報探索と視野には本質的な関係があり、空港などの大型公共施設では、歩行者が経路計画をしやすい地図が求められる。また、経路計画後、選択した経路に従って移動する際に経路を忘却することを緩和する方法として、サインの利用が挙げられる。情報を忘却したり、取得できなかったりした歩行者は、情報を取得しようと遠くまで見渡してサインに近づく行動をとると考えられる。

本研究の目的は、計画したサインシステムについて動的視点から事前に定量的に評価し、サインシステムの設計、実装時の意思決定の支援することができるように、歩行行動の特性を考慮して、シミュレーションシステムを開発することである。これまでのサインシステムの評価(Utsumi et al., 2015)では、歩行者の歩行行動の特性を考慮したモデルが構築されていないため、サインの設置方法によっては、サインシステムを評価することが十分にはできていない。特に、サインシステムを評価するにあたって影響が大きいと考えられる歩行者エージェントモデルの視野に注目して、サインシステムの設計するときの要素である「情報内容」、「表現様式」、「空間上の位置」の中から「情報内容」と「空間上の位置」および情報探索行動と視野の関係を考慮した歩行者エージェントシミュレーションシステムの開発を行う。本システムは、歩行者が利用する大型施設を表現した環境モデル、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

から構成されている。本研究では、仮想的な空港ターミナルを想定し、サインシステムの計画要素に関して設計条件を変更した複数のシナリオでシミュレーション実験を行うことで、各シナリオのシミュレーションの評価値に関して比較を行った。また、得られた結果についてエージェントの行動ログによるマイクロダイナミクス分析を行うことで、評価値の生じた原因について考察した。

## 提案モデル

### 概念モデル

本研究で提案するモデルは、歩行者エージェントが利用する大型施設を表現した環境モデル、サインの特徴をとらえたサインモデル、大型施設内を回遊する歩行者エージェントモデルから構成される。提案するモデルでは、歩行者エージェントは環境内の特定のノードから出現し、ルールに従い、サインからの情報取得や意思決定、歩行行動を行い、施設の利用や搭乗手続きをする。

### 環境モデル

環境モデルは、歩行者エージェントが移動するセル cell と歩行者エージェントが歩行する際の目的となり、特定の機能を持つノード node、進行可能なノード同士を繋いだエッジ edge から構成される。

セル cell は、座標  $cell(x,y,floor)$ 、セルへの歩行者エージェントの進入可否を表す cellType、大型施設内のエリアを表す cellArea の 3 つの要素で表現される。

ノード node は、座標  $node(x,y,floor)$ 、ノードの種類 nodeType、ノード上にある施設番号 nodeFid、ノード上にある施設を利用するときにかかるステップ数 nodeTime、ノード上にある施設に収容可能なエージェント数 nodeCapacity、ノード上にあるサブ施設番号 nodePfid、ノード上にある施設を利用するために待機している歩行者エージェント数 nodeWaitingnum、ノード上の施設を利用している歩行者エージェント数 nodeServicenum から構成されている。ノードの種類は 6 つあり、それぞれ異なる機能を持つ: Waypoint, 手続き施設, サブ施設, 商業施設, 最終目的地, 入口。ノードは、共通して同じパラメータを持っているが、種類によって使用するパラメータを変えることで、各ノードの機能を表現する。

歩行者エージェントが移動する際、障害物によって視野や歩行したいセルが妨げられるので、現在位置から目的地へ直線に向かうことはできない。よって、各施設間を歩行者エージェントが移動するため

には、経路が必要である。本研究のモデルでは、この経路をノード間のつながりを表すエッジとする。進行可能なノードの組み合わせ  $edge(node\ u, node\ v)$  とノード間の距離  $edgeWeight(node\ u, node\ v)$  で表現する。

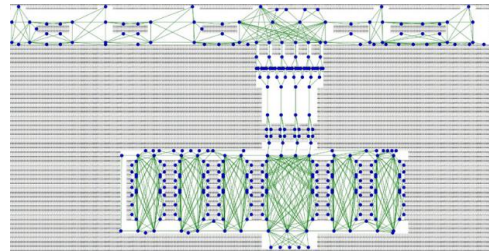


図 1. 環境モデル

### サインモデル

サインモデルは、エリア情報を持つサインモデル areaSign と施設情報を持つサインモデル facilitySign に分けられる。両モデルが共通して持つ変数は、座標  $sign(x,y,floor)$ 、サインの番号 signFid、サインの向き  $signDirection(sightx,sighty)$ 、サインの情報を受渡可能な角度 signTheta、サインの情報を受渡可能な距離 signR、歩行者エージェントがサインを視認できる角度 signTheta2、歩行者エージェントがサインを視認できる距離 signR2、カテゴリー情報 signCategory、エリア情報 signArea、経路情報 signRouteinfo、サインの情報を歩行者エージェントが記憶できる時間 signTime である。施設情報を持つサインモデル facilitySign は、上記の変数に加えて、施設情報 signFacility、施設の待ち時間 signWaitingtime から構成される。

### 歩行者エージェントモデル

歩行者エージェントモデルは、座標  $agent(x,y,floor)$ 、現在のエリア agentCurarea、エージェントの視野角 agentTheta、エージェントの認知能力 agentR、スケジュールリスト agentSchedulelist、カテゴリーの想起集合 agentCategorylist、選択中のカテゴリー agentGoalcategory、エリア情報 agentAreainfo、選択中のエリア agentGoalarea、商業施設情報 agentFacilityinfo、商業施設想起集合 agentFacilitylist、選択中の商業施設 agentGoalfacility、各カテゴリーの想起確率 agentCategoryrecallset、各施設の効用値 agentFacilityutilityset、各施設の選好 agentFacilitypreferenceset、経路情報 agentRouteinfo から構成されている。

## シミュレーションモデル

### 初期生成

本研究では、1ステップ1秒とし、約2.5時間を想定したシミュレーションを行う。はじめに、環境モデルが作成される。セルの生成とノードの生成、エッジの生成から構成される。入力ファイルに基づいて各セル、各ノード、各エッジがもつパラメータに値が代入される。次に、サインモデルが生成される。各サインが持つパラメータに、入力ファイルから値を入れる。次に、歩行者エージェントモデルが生成される。生成後に、フライトのスケジュールタイプがランダムで設定され、スケジュールタイプに従って、出現、チェックイン、保安検査/出国審査、搭乗の4つのスケジュールがスケジュールリストに登録される。その後、歩行者エージェントのタイプが確率に基づいて決定する。エージェントのタイプごとに各カテゴリーの想起確率が設定されており、想起確率を基に想起カテゴリー集合にカテゴリーが追加される。

### 歩行者エージェントの情報更新

情報更新は、情報の忘却と情報の取得/更新の2つの処理から構成される。情報の忘却では、取得した経路情報を記憶できるステップ数が経過した場合、経路情報を消去する。

歩行者エージェントがサインの情報受渡範囲内に存在し、さらに歩行者エージェントの視野内にサインがある場合、サインの持つ情報内容を取得/更新する。歩行者エージェントの経路情報がなく、サインの視認範囲内にいる場合、視認可能なサインに向かって歩行し、情報取得ができるよう行動する。

歩行者エージェントは、環境内を「認知」することで情報を取得する。エージェントの視野内にサインが存在することを「認知」とし、「認知」できた場合にエージェントは情報を取得することができる。

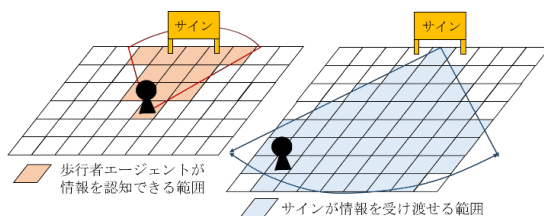


図2. 歩行者エージェントの視野とサインの情報受渡範囲

また、サインの視認範囲内にエージェントが存在することを「視認」とする。「視認」できた場合に、エージェントはサインに向かって歩行し、情報取得を容易にする。歩行者エージェントの視野は、エージェントの現在位置、視野角、認知能力によって表現する。エージェントの視野内に壁などの視界を遮るものがある場合、エージェントはその先のセルについては視認することができない。

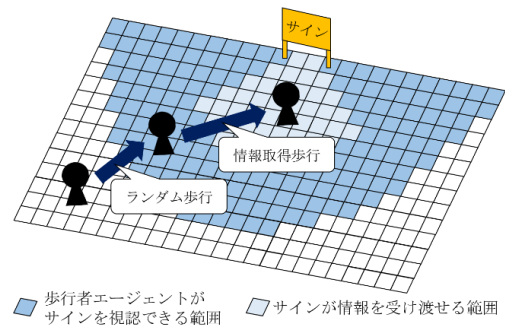


図3. 歩行者エージェントの視認範囲とサインの情報受渡範囲

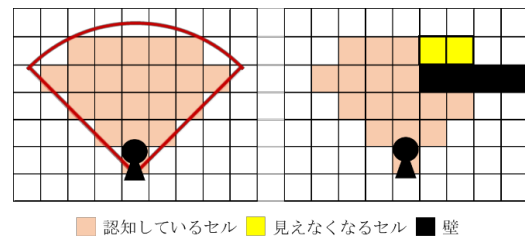


図4. 歩行者エージェントの視野

サインの情報受渡範囲は、歩行者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。サインの配置位置、サインの向く方向、伝達距離、伝達角度によって表現される。

サインの視認範囲とは、歩行者エージェントがサインの内容は受け取ることができなくても、サインの存在を視認できる範囲のことである。サインの視認範囲は、サインの配置位置、視認距離、視認角度によって表現される。サインの視認範囲内の各セルとサインの間に壁などの視界を遮るものがある場合、そのセルは、サインの視認範囲内から除かれる。

## 歩行者エージェントの意思決定

意思決定は、手続き施設の選択とカテゴリ/エリア/商業施設の選択の2つの処理から構成される。

手続き施設の選択とは、歩行者エージェントの現在位置からチェックイン施設のノードへ向かうまでにかかるステップ数と現在のシミュレーションステップ数の合計が、スケジュールリストに登録されている手続き施設のノードを利用する予定のシミュレーションステップ数を超えている場合、強制的に手続き施設へ向かうことを指す。

カテゴリ/エリア/商業施設の選択では、意思決定が多段階で行われるようになっている。

歩行者エージェントのカテゴリ想起集合から、1つの要素をランダムに選択し、選択中のカテゴリに代入する。歩行者エージェントは、取得したエリア情報の中から、選択中のカテゴリを満たすエリアをランダムで1つ選択し、選択エリアに設定する。歩行者エージェントが、選択中のエリアにおいて、選択中のカテゴリを満たす施設情報を持っている場合、施設情報の施設の中から、施設での滞在時間と現在地から施設の移動にかかる見込み時間の合計が、スケジュールに登録されている手続き施設に向かうまでの残り時間を超えないという条件で、施設想起集合に入れる。施設想起集合より、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。以下に(1)式を示す、

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

$\alpha_{hi}$  は歩行者エージェント  $h$  の商業施設  $i$  に対する選好、 $time_{hi}$  はエージェント  $h$  の現在地から商業施設  $i$  に移動するためにかかるステップ数、 $\beta$  は移動時間に対するウェイトを指している、次に、(2)式を示す。

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

$$X = \{n | facility_n \in agentFacilitylist_n\}$$

## 歩行者エージェントの歩行行動

歩行行動は、セルの移動と目的ノードの決定の2つの処理から構成される。

セルの移動は、歩行者エージェントが現在地の周囲8セルを探索し、その中で進入可能かつ目的ノードまでの距離が最短となるセルへエージェントの座標を更新することで表現される。

目的ノードの決定方法は、経路情報の有無と目的施設の有無、現在位置の状況により、歩行者エー

ジェントの歩行行動の違いを表現する。今回のモデルにおいて、歩行者エージェントの歩行行動は、経路情報を所有している場合は「経路に従った歩行」、選択中のカテゴリの施設があるエリアに到着しているが、施設までの経路がわからない場合は「情報探索歩行」、施設情報やエリア情報を持っていないが、サインの視認範囲内に入った場合は「情報取得歩行」、エリア情報を持っていない場合は「ランダム歩行」、想起したカテゴリの施設をすべて利用した場合は「目的なし歩行」としている。

## サインシステムの評価実験

本研究のシミュレーションでは、縦255セル×横570セル(1セルを0.5m×0.5mと想定)の仮想的な空港ターミナルを環境とする。仮想的な空港ターミナルは、出発前、出発フロア、保安検査/出国審査、出国後右、出国後左の5つのエリアに分かれている。今回の評価実験では、サインは出発前、出発フロア、保安検査/出国審査の3つのエリアに配置する。エージェントが想起する可能性がある商業施設のカテゴリは、7種類(食事、携帯、両替、ATM、本屋、お土産、保険)あり、環境にはそれらのカテゴリを満たす施設が合計18店舗存在する。今回、評価のための歩行者エージェント数は100とする。9000ステップ(1stepを1秒と想定し2.5時間)のシミュレーションを行う。

本研究では、まず視野モデルの有効性を示すための実験を行う。配置は図(シナリオ4)を用いる。これは従来研究[9]で視野なしで使用されたもので、ランダム歩行ステップ数が多くなることが課題であった。

次に、サインの「空間上の位置」についてサインの「配置位置」を変えた4つのシナリオで実験する。



図 5. シナリオ 1



図 6. シナリオ 2



図 7. シナリオ 3

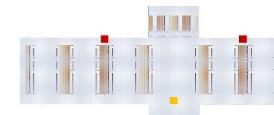


図 8. シナリオ 4



## サインシステムの評価指標

本研究のサインシステムの評価に際して、交通サービスの質を測るときに用いられる定性的な尺度(LOS)[10]と、宇城らの空港の快適性の研究で利用されている指標[11]に基づいて、次の3つの評価指標を設定する:「移動ステップ数」、「待ち時間」、「想起カテゴリーの達成率」

移動ステップ数は、歩行者エージェントが目的地に到着するまでにかかった総時間であり、歩行者エージェントがどの程度迷ったのかを測ることができる指標である。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エージェントが待っている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。想起カテゴリーの達成率は、歩行者エージェントが受けたサービスを受けられた割合を意味している。

本研究の歩行者エージェントモデルでは、エージェントが経路情報を探索しているときはランダムに動く。それは行きたい施設はあるにもかかわらず情報がないために迷っていることを表している。情報探索のためのランダム歩行はサインシステムからの情報がうまく得られない状況も含んでいる。今回、モデルの観点からの評価指標として、全歩行に占めるランダム歩行ステップ数の割合も採用する。

## 実験結果

各指標について10試行実行した結果を示す。各点は1つの試行結果を表している。

はじめに、エージェントの視野モデルがない場合[9]と視野モデルがある場合の比較を行った結果を図5に示す。視野モデルがない場合は、エージェントの探索行動が増え、エージェントのランダム歩行ステップ数が多いという課題があった。

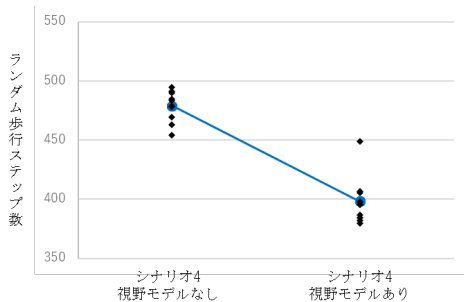


図9. ランダム歩行ステップ数

本研究では、視野モデルを導入することで、全試行においてランダム歩行ステップ数が減少している。視野モデルを導入することにより、目的なく歩行し

てしまうランダム歩行ステップ数が減少し、経路に従った歩行ステップ数が増加した。結果として、サインに近づきやすくなり、経路を取得しやすくなったことが分かる。

次に、配置を変えた4つのシナリオ間で、4つの指標を比較した。

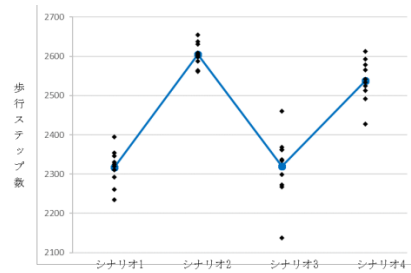


図10. 歩行ステップ数

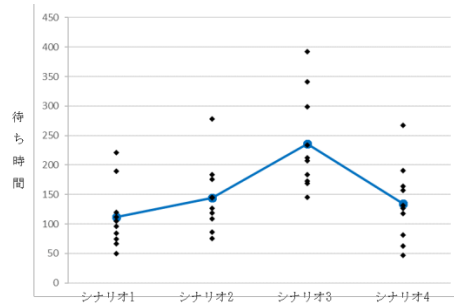


図11. 待ち時間

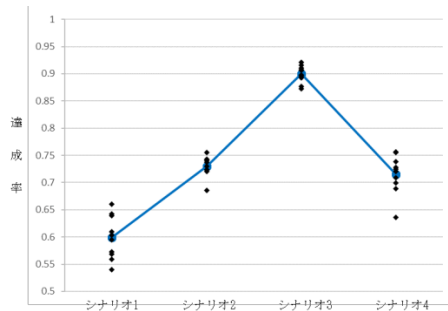


図12. 達成率

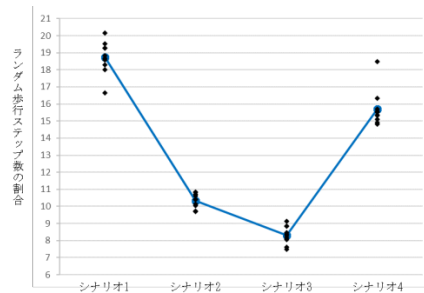


図13. ランダム歩行ステップ数の割合

移動ステップ数の評価から、サインの設置数を少なくした場合(シナリオ 1), 歩行者エージェントが 1 つのサインに殺到するため、通行待ち時間が発生し、歩行ステップ数が減少したことがわかる。施設情報を持つサインを施設の両端に設置した場合(シナリオ 2, シナリオ 4), 歩行者エージェントが空港内に出現してから、目的施設を決まるまでに長い時間を要し、結果として歩行ステップ数が多くなったとわかる。サインの設置数を多くした場合(シナリオ 3), 情報を取得しやすく、施設に到着しやすくなり、施設利用回数が増加し、歩行ステップ数が減少する。

待ち時間と達成率による評価から、サインの設置数を少なくした場合(シナリオ 1), 歩行者エージェントは情報取得の回数が少なくなり、移動中方向を見失うことが増え、施設への到着がなかなかできず、結果として施設の混雑度が低下することがわかる。ランダム歩行ステップ数の割合の評価から、サインを入場地点の近くに配置した場合(シナリオ 1, シナリオ 4), 歩行者エージェントは経路に従った歩行の割合が高くなり、目的エリア内では逆にランダム歩行の割合が高くなり、エリアへの情報を取得しやすくなる。しかし、エリアに到着する前に経路情報を忘却し、ランダム歩行ステップ数の割合は高くなる。

## 結論

本研究では、空港などの大型施設内で、サインを利用しながら回遊する歩行者の視野を考慮したモデルを提案し、大型施設における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事前に定量的に評価することができるエージェントベースのシミュレーションシステムを開発した。仮想的な空港ターミナルを想定し、シナリオ分析を行った。歩行者エージェントの行動を洗練したことで、経路情報の取得にかかる時間が改善され、目的地に到着するまでに迷うことが減少し、快適性が向上することを確認した。また、サインの情報を連続的に得られるように、サインの間隔をあげないことや施設の多いところにサインを設置することが重要であるとわかった。

## 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] 兼田敏之: artisoc で始める歩行者エージェントシミュレーション, 構造計画研究所 (2010)
- [3] 国土交通省, 公共交通機関の旅客施設に関する移動等円滑化整備ガイドライン (2013)
- [4] Salthouse and Siedlecki: Efficiency of route selection as a function of adult age, *Brain Cogn.*, 63, pp. 279-286 (2007)
- [5] Sanders and Schmitter-Edgecombe: Identifying the nature of impairment in planning ability with normal aging, *J. Clin. Exp. Neuropsychol.*, 34, pp. 724-737 (2012)
- [6] Klencklen et al.: What do we know about aging and spatial cognition? Reviews and perspectives, *Ageing Res. Rev.*, 11 (2012)
- [7] Shinar and Schieber: Visual requirements for safety and mobility of older drivers, *Hum. Factors: J. Hum. Factors Ergon. Soci.*, 33, pp. 507-519 (1991)
- [8] Salthouse et al.: Executive functioning as a potential mediator of age-related cognitive decline in normal adults, *J. Exp. Psychol.: Gen.*, 132, pp. 566-594 (2003)
- [9] Utsumi.S., Takahashi.S., Ohori.K. and Anai.H.: Agent-Based Analysis for Design of Signage Systems in Large-scale Facilities, *Proceedings of the 2015 Winter Simulation Conference* (2015)
- [10] D. Fodness and B. Murray: Passengers' expectations of airport service quality, *Journal of Services Marketing*, Vol. 21, No. 7, pp492-506 (2007)
- [11] 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)
- [12] Tournier I, Dommes A., Cavallo V.: Review of safety and mobility issues among older pedestrians, *Accident Analysis & Prevention*, Vol.91, pp.24-35 (2016)