

大規模乗り換え駅構内における待ち合わせ行動のエージェントシミュレーションに関する研究

水野 貴之

名古屋工業大学 工学部 建築デザイン工学科 4年

1 研究の背景と目的

現在、各地で駅施設の大規模改修やターミナル化が進んでおり、駅を中心として様々な施設が拡充されている。それによって、駅は公共空間としてのより良い形成が望まれている。特に大規模乗り換え駅においては流動と滞留(停留)の役割を併せ持った公共空間が設けられている。そこは列車利用者の外出時における拠点となり、時間を問わず多くの利用者が存在している為、賑わい溢れる空間として効果的にイベントを開催、広告を掲出する事ができるなど非常に多くの可能性を秘めた空間であるといえる。

本研究では、このような駅構内での公共空間内において行われる待ち合わせ行動に着目し、シミュレーションを通して公共空間としての快適性や、空間内滞留者の通行妨害の評価を試みつつ、待ち合わせ行動のシミュレーションモデルを開発しエージェントシミュレーションの可能性の幅を広げる事を目的とする。

作成したエージェントモデルは、通勤者の動きはASPFモデル[1]を簡略化したもの、より大局的な動きはSchelhornら[2]のwaypoint networkを用いたASPFモデル[3]を用いた。また、待ち合わせ時の動きはHall[4]のパーソナルスペースの概念を表現するため、Floor Field Approach (Batty[5], Kobayashi et.al [6])を援用した点に特徴がある。

2 シミュレーション対象空間の調査

今回、1日の駅利用者の多さが日本で有数のとある駅構内をシミュレーションの対象空間とする。そこは、空間中央にモニュメントを持つ屋内広場で、東西に4地点の出入口を持ち、空間中央にはエスカレータと時計のモニュメントが存在する。そして、通行人で常に人で溢れている。該当の駅周辺では超高層ビルの建設が相次いでおり今後も発展を続け、利用者が増大する事は用意に想定できる。

実測調査を6月5日(金)と6日(土)の14:00から15:00の間に行った。船曳らの研究[7]を参考し、調査ではシミュレーション空間モデル作成の為の空間寸法の測定、エージェントモデル作成の為のビデオ撮影による空間利用者の行動観察、シミュレーションにおいてのエージェント流入数を現実のものに近づける為、各出入口における1分あたりの空間利用者の発生数を調べた。

そしてその結果を図1と表1に示す。

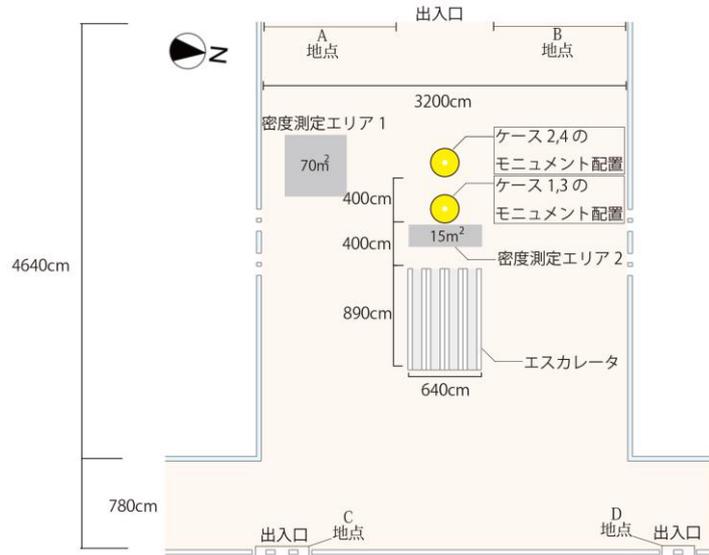


Fig. 1. 対象空間図及びケース別のモニュメントと密度測定エリア

Table 1. 1分間あたりの利用者発生数(実測値)

	A地点 (人)	B地点 (人)	C地点 (人)	D地点 (人)
一回目	80	48	59	15
二回目	60	56	61	20
三回目	93	65	55	16
四回目	65	70	63	10
平均	74.5	59.75	59.5	15.25

3 シミュレーションモデルの作成

今回作成するシミュレーションの要素としては、シミュレーションを行う際の対象となる駅構内のモニュメント広場の作成、その空間内において行動をとるエージェントの2つである。シミュレーション空間の作成に際しては、モニュメントの位置を操作した2種の空間を作成する。

モデルで使用する際のエージェントは2種類用意する事とし、空間内における通過歩行者を再現する通過エージェントと待ち合わせ者(停留者)を再現する停留エージェントを作成した。なお、どのエージェントも図で示した4つの出入り口から発生し退出し、シミュレーションモデルおよびシミュレーションに関する各設定は、調査によって得られたデータに基づくものとする。

3.1 シミュレーション空間の設計

空間モデルをシミュレータ上で再現する際、視覚的にエージェントの動きを観察できるようにするため、まず描画ソフトを用いてJPEG形式の画像を作成した。エージェントはその画像上でのみ行動する事となる。なお、空間寸法に関しては実測調査で得られた図1に記載した寸法

に基づいているものとする。シミュレーション空間内は1セル40cm×40cmのセル空間となっておりこれは、成人男性がこの上で直立した際にちょうど収まるサイズとなっている。

そして、通過エージェントの行動ルート計8ルートと、停留エージェントの停留エリア計8箇所を空間上に設けた(図2)。

また、待ち合わせ行動における待ち合わせ場所の位置選択にモニュメントがどれほど影響しているのか、停留エリアの広がり方を検証しモニュメントの周辺に集まろうとする求心性を確かめ比較する為にモニュメントの位置がそれぞれ違う3タイプの空間モデルを用意した。1つはモニュメントの位置がエスカレータから400cm東の場所にある通常のタイプ、2つめはモニュメントの位置をエスカレータから800cm離れたタイプ、3つめはモニュメントの位置をエスカレータから1200cm離れたタイプである。

そして、さらに通過エージェント、停留エージェント共に目的地へ効率よく移動させるために図2内のA~Gまでの計8つのWayPointをモデル上の座標に配置した。このとき、回避行動で向きが変わりコースが逸れるのを防ぐために、30ステップに1回、向かうべきWayPointへ向くようにした。なお、停留エージェントが停留場所を選ぶ確率は図2に示した停留エリアの実測調査で得られた面積割合に基づく事とする。

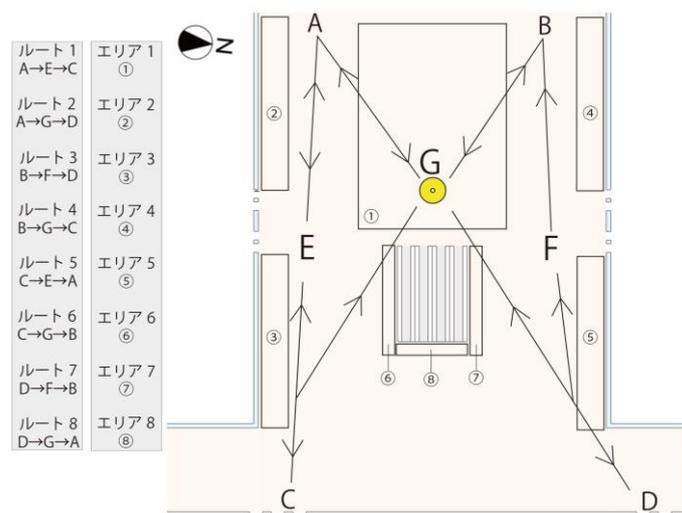


Fig. 2. 各通過ルートと各停留エリアの配置

3.2 停留エージェントの作成

空間内での待ち合わせを再現するため、調査によって明らかになった待ち合わせ(停留)エリアに停留するエージェントモデルを作成した。エージェントが空間上に発生してから退出するまでの一連の流れを概要として表2に示す。停留エージェントが行う一連の行動をスムーズかつ的確に行わせるために、「モード」という概念を適用し、そのモードの状態においては、設定されている行動のみ行わせる。仕組みとしては、停留エージェントには随時0~11の整数値を与え、その整数の値毎に決められたルールに従い行動する。(表3と表4に示す)。

Table 2. 停留エージェントのプログラム概要

<p>① 停留先の決定</p> <ul style="list-style-type: none"> エージェント生成と同時に変数を与える。 変数の値によって停留先を決める。
<p>② エリアへの移動と侵入判定</p> <ul style="list-style-type: none"> 自身の停留先に一番近い WayPoint まで進む。 WayPoint に到達した後に停留先のランダムな座標へ進む。 各停留エリア内判定エリアに入り, FFA モードに移る。
<p>③ $F^* F^* A$ による停留先探索行動</p> <p><small>フロアフィールドアプローチ</small></p> <ul style="list-style-type: none"> エリア上のポテンシャル値と他エージェントとの距離の計算式に従い周辺座標のフロア値を算出。 算出したフロア値の中で最も高いフロア値を持つ座標へ移動。現在地が一番高ければ留まる。 現在地のフロア値が一番高い状態が 30 ステップ続いたら、完全停留モードに切り替わる。
<p>④ 退出行動</p> <ul style="list-style-type: none"> 退出行動をとるかどうかと退出モードに移るまでのステップ数を生成時に決める。 完全停留モード中に特定のステップ数が経過したら退出モードに移る。 退出モードに移ったら最寄の出口まで WayPoint を頼りに退出。

Table 3. モードプログラム概要

<p>①初期モード</p> <ul style="list-style-type: none"> 最初は何の停留エージェントもモード値は 0。
<p>②停留先移動モード</p> <ul style="list-style-type: none"> 全 8 箇所の停留エリアまで移動する 1~8 までのモード値をエージェントに与える。
<p>③停留行動モード</p> <ul style="list-style-type: none"> エージェントが目的の停留エリアに入ったらモード値 9 の滞留状態となり、カウントをする。 30 ステップ分カウントできたらモード値 10 の完全停留モードに移る。
<p>④退出モード</p> <ul style="list-style-type: none"> 退出行動をとるエージェントに完全停留モードから退出モードになるまでのステップ数が与えられており、そのステップ分カウントしたらモード値 11 の退出モードに移る。

Table 4. モード値別行動リスト

0	1~8	9	10	11
初期	停留エリアへ進行	滞留(カウント)	停留	退出

また本研究では、停留エージェントが停留エリア内で行う停留場所を探し出し判断する行動を人間の平常心理におけるより自然な動きで再現するためエドワード・ホール[4]によって提唱されたパーソナルスペース(以下PS)の概念をモデルに適用した。PSとは、全くの他人に近寄られると不快に感じてしまう人間自身周辺における心理的な領域である。これは、歩行時と比べて立ち

止まっている停滞留時において顕著に現れる。そして、このPSに基づいてモデルは、他のエージェントと一定の距離を保ちながら停滞行動をとる。

プログラムの仕組みとしては、フロア・フィールド・アプローチ(以下FFA)[5,6]を適用した。これは、エージェントに周辺1セルの床し敷かれた数値を確認させて、一番高い数値が敷かれたセル上に移動させるもので、停滞エリア内の床セル上に1~100の数値を、通路部分の床セル上には数値0を、壁やモニュメントなどの障害物となる部分のセル上には数値-100を与えてある。また、停滞エリア内ではさらに、自然な停滞行動を再現するため、モニュメントや壁面に近づくほどにフロア値を高く、通路に接するほど低く設定した。

そして、PSの概念をエージェントに加味させる為に、停滞エリア内でエージェントの周囲2セル内に他のエージェントが存在する場合、そのエージェントとの距離の反比例の値に係数をかけたものを元々の床フロア値から引き改めてポテンシャル値を算出させる。範囲内にエージェントが複数存在する場合はその度床フロア値を引く。これによってモニュメント付近や壁付近に、待ち合わせ場所としての停滞エリアの持つ求心性と、居心地の悪さや気まずさといった心理的に付近に存在する相手から遠ざかろうとする遠心性をエージェントに持たせることができ、PSを加味した停滞場所探索が可能となった。

今回用いた計算式を以下(1)に示すと共にその概念図を図3に示した。

$$P = F - K \times \sum \frac{1}{L^2} \quad (1)$$

P: 判定ポテンシャル値
 F: フロア上ポテンシャル値
 N: 各エージェント数
 L: 各エージェントとの距離 K: 係数

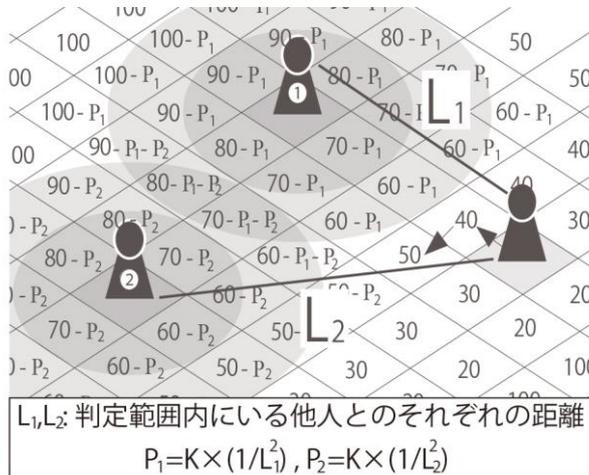


Fig. 3. FFA概念図

さらに、以上の事を踏まえた停滞行動エージェントのアルゴリズムを図4に示す。

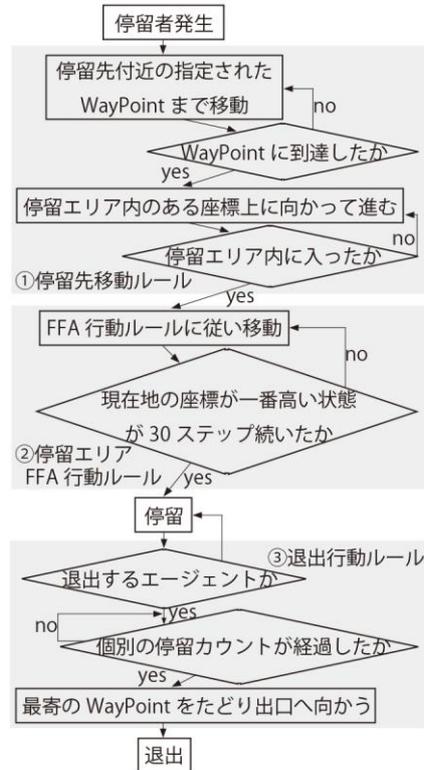


Fig. 4. 停留エージェントアルゴリズム

3.3 通過エージェントの作成

空間内の通過歩行者を再現するため、図2に示した8のルートを通るようにエージェントモデルを作成した。そして、他エージェントをかわしながら進むように兼田ら[1,3]が作成したASPF(Agent Simulation of Pedestrian Flows)ルールを導入した。これは、エージェントの周辺群集密度が低密状態から高密状態へ変化するプロセスにおいて、歩行者の挙動を表現できるという点の特徴で、今回はいくつかの行動ルールを省略させてあるためT-ASPFルールと呼ぶ事にする。プログラムの内容としてはエージェントの前方8セルを6つの領域に分けて、領域毎に他のエージェントがセル上に存在するかを調査し、その状況に応じて進む。

ただし、T-ASPFプログラムではモデルの単純化を図る目的で、適用ルール数を減らした上で、エージェント周辺の群集密度に応じて歩行速度を変えるという、人間が歩行する上での自然な動きが再現されていないため、歩行策度自体には差は起きない。そのため、回避するためにセル上を大回させて目的地までのステップ数が増加させることによって退出時間に差が出るようになっている。

なお、T-ASPFルールは停留エージェントにおいてモード値0、9、10以外の行動内にも導入した。これは、以上のモードではFFA行動ルールが適応されておらず、純粋にそれぞれのエージェントに指示されている目的地へ直線移動するだけなので別途回避行動用のプログラムを加える必要が有る為である。

4 シミュレーション結果と分析

4.1 シミュレーション結果

まず、図5にシミュレーション中の様子を示す。

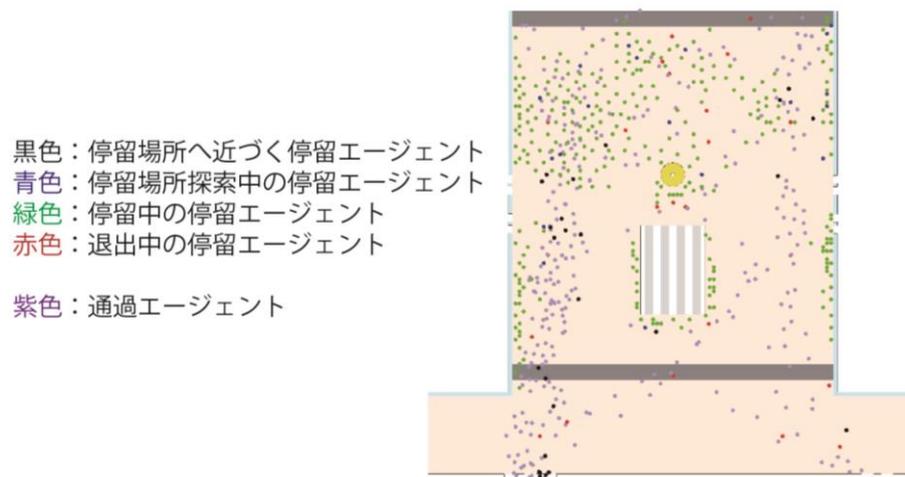


Fig. 5. シミュレーション実行の様子

シミュレーションはモニュメントの位置と待ち合わせ行動の関係を調べるため、4つのケース(表5)を1シミュレーションを1800ステップ(600秒)で各20回づつ行い、図1に示した2つのエリア内の群集密度と各ルートを通った通過エージェントが退出までにかかった時間を測定した。

Table 5. 各ケースにおける設定一覧

	エージェント発生数	モニュメントの位置
ケース 1	実測値	エスカレータの 400cm 先
ケース 2	実測値	エスカレータの 800cm 先
ケース 3	実測値の 2 倍	エスカレータの 400cm 先
ケース 4	実測値の 2 倍	エスカレータの 800cm 先

表6,7に各ケース別の停留、通過エージェントの数を示すと共にその結果を図6, 7に、ケース1,3,4におけるシミュレーション終了時に残留している停留エージェントの範囲分布の例を図8に示す。

Table 6. シミュレーションにおけるケース別の総停留者平均

	総停留者平均(人)
ケース1	364.4
ケース2	363.9
ケース3	788.5
ケース4	761.1

Table 7. 各ケースのシミュレーションにおけるルート別の平均通過者数

	ルート1	ルート2	ルート3	ルート4	ルート5	ルート6	ルート7	ルート8	合計
ケース1	519.6	84.8	599.4	142.1	156.9	145.5	116.9	100.7	1866.0
ケース2	521.0	88.6	305.2	147.5	123.5	120.3	95.5	114.8	1516.4
ケース3	1036.6	170.1	603.2	295.0	301.6	285.7	224.9	182.3	3099.4
ケース4	1027.1	164.9	599.4	291.9	217.8	210.7	167.6	219.2	2898.6

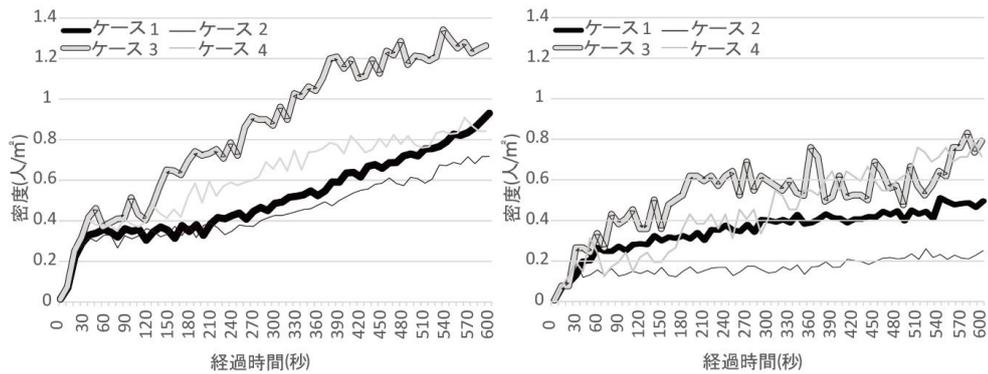


Fig. 6. 測定エリア1(左図),2(右図)における各ケース毎の時間別の群集密度の平均

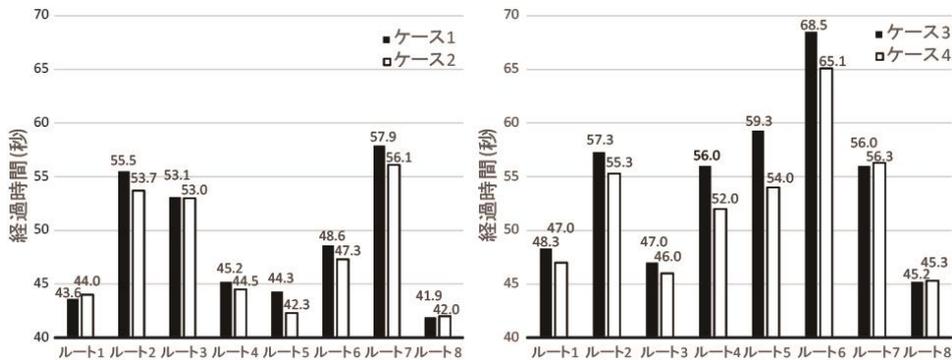


Fig.7.ケース1,2(図),3,4(図)における通過エージェントの退出までにかかった所要時間のルート別平均

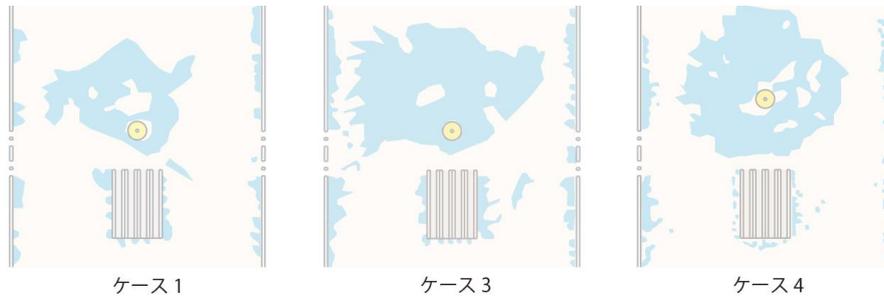


Fig. 8.

シミュレーション終了時(開始から600秒後)のケース1,3,4の停留エージェントの分布

4.2 シミュレーション結果の分析

(1)2つの局所密度の考察.

まず初めにそれぞれのエリアを測定箇所として選んだ理由として、測定エリア1は、通常時のモニュメントの位置から近く人通りが激しい通路上であるという点、測定エリア2では、通常時における、モニュメントの位置とエスカレータの位置の中間地点であるという点からこの2つのエリア内で群集密度の測定を行った。

(2)局所的密度の考察.

図6を見ると、ほとんどのケースにおいて人同士の衝突の危険性が出てくる $0.5人/m^2$ を示しているが、エリア1におけるケース3においては最大 $1.3人/m^2$ を超える時間帯がある。ケース3自体は大型連休時などにおける繁忙期の利用状況を想定したケースであるためこの空間においては自由歩行が困難で非常に歩行しづらくなっていることが分かる

(3)モニュメントの位置と通行妨害との関係性.

図7においてモニュメントとエスカレータの距離を大きくした場合、通過エージェントの退出時間が短縮されており、停留者の通過者への通行妨害が起きにくい事も分かる。図8から、ケース3よりケース4のほうが停留位置の分布にまとまりが出ることも分かった。

5 結論

本研究では、停留エージェントと通過エージェントの相互作用による乗り換え駅構内でのシミュレーションを行い、待ち合わせ行動を再現した。また、様々なケースにおいてのシミュレーションを通して、本モデルが当該空間における群集の行動を再現できている事を確認した上で、停留者による通過者の通行妨害や停留者の停留場所と局所における群集密度の上昇の関係性を示し、それらの影響がモニメント位置の操作によって緩和することが可能であるという結果を示した。

今後の課題として、停留エリアにおける床フロア値の更なる調整、WayPointを増やすことによるより緻密な通行ネットワーク構築、広場2階へ向かう通行者の表現やデパートの利用客の表現などを導入する事によってモデルの更なる精度向上が期待できる。

さらに空間内への流入群集に対して、目的地や空間利用の目的の把握、現実に即した通過者と停留者の割合設定など、現地調査の拡充などによって更に現実に即したシミュレーションが可能となる予想できる。

参考文献

- [1] T. Kaneda. Developing a Pedestrian Agent Model for Analyzing an Over Accident. In *Pedestrian and Evacuation Dynamics 2005*, pages 273-284. Spriger International Publishing, 2007
- [2] T. Schelhorn, D. O'Sullivan, M. Haklay. Streets: An Agent-Based Pedestrian Model. *CASA Working Paper Series Paper 9*. Centre for Advanced Spatial Analysis UCL, 1999
- [3] T. Kaneda, T. Yoshida, Y. He, et al. Adding Higher Intelligent Functions to Pedestrian Agent Model. In *Pedestrian and Evacuation Dynamics 2008*, pages 529-535. Spriger International Publishing, 2010
- [4] E. T. Hall. *The Hidden Dimension*. Doubleday Anchor Books, 1966
- [5] M. Batty, J. DeSyllas, E. Duxbury. The Discrete Dynamics of Small-Scale Spatial Events: Agent-Based Models of Mobility in Carnivals and Street Parades. *CASA Working Paper Series Paper 59*. Centre for Advanced Spatial Analysis UCL, 2002
- [6] Y. Kobayashi, T. Kaneda, M. Tamada, et al. Evacuation Agent Simulation in an Underground Shopping Street Adding a Floor Field Approach and Its Three Dimensional Expression. In *Pedestrian and Evacuation Dynamics 2012*, pages 673-681. Spriger International Publishing, 2014
- [7] E. Funabiki, N. Matsumoto, I. Katayama. Relationship between Behavior of Visitors Who Stop/Stay at „Eki Naka Square“ and the Spatial Composition -Research at the JR Sapporo Station West Concourse-. In *Summaries of Technical Papers of Annual Meeting Architecture Institute of Japan 2014*, pages 519-520, 2014 (in Japanese)