

人間行動の記号過程の確率ネットワークモデルとそれに基づくシミュレーション

建築・都市空間が誘発する人間行動の記号過程に関する研究

木曾 久美子

京都大学大学院工学研究科建築学専攻 門内研究室

1. 序

1.1 研究の背景

建築・都市空間では、建築とその建築の存在する都市空間、及び人間は相互に複雑に関係しあい、複雑に変化し続けている。建築を設計するということは、建築のみならず、その建築の存在する都市空間、人間をも含めた複雑な現象の設計をするということになる。

本研究では、建築・都市空間の設計をこのような複雑な現象の設計として考え、その現象を人間行動に着目して解説し、設計していく方法を考える。人間行動を基軸として建築設計をすることは、建築物単体のみの設計ではなく、教育や地域の発展など、より高次元での社会的な設計をすることである。例えば個室から広場空間へ連続的に子供の遊びを誘発する住宅設計ができれば、賑やかな子供の雰囲気、地域の活性化を促すきっかけともなりうるであろう。人間行動を評価軸として建築・都市空間の設計を展開していくことによって、社会全体を考慮した幅広い視点から、豊かな環境の構築に貢献することができるはずである。

1.2 研究の目的・方法

1.2.1 マルチエージェントシステムとしての建築・都市空間

建築・都市空間と人間との関係性は、建築・都市空間のみから規定されるものでなければ、人間のみからによって規定されるものでもない。むしろ、建築・都市空間を、人間も含めた一つの系として捉え、系を構成するあらゆる要素の間の相互関係によって決定される状況そのものであるとする、トランザクショナルな立場に立つことで、はじめて説明することができるであろう。

そこで、本研究では、建築・都市空間の設計を、建築・都市空間と人間からなる系を構成するあらゆる要素同士の相互関係によって成立するマルチエージェントシステムの設計であるとして、そのシステムを解説する方法および、マルチエージェントシステムとしての建築・都市空間の設計方法を提案することを目的とする。

1.2.2 人間行動の記号過程に着目したシステムの解説

本研究では、建築・都市空間と人間からなる系を構成するあらゆる要素同士が相互に関わり合っていく過程を、アメリカの記号学者 C.S.Peirce の記号過程の考え方を援用し、人間行動の記号過程であるとする。

Peirce は、記号を広い意味に捉え、心に現れる全て存在を記号であるとし、意味に関わる全てのプロセスを記号過程であるとした。「記号とは、ある観点もしくはある能力において、誰かに対して何かの代わりとなるものである。それは誰かに話しかける。つまり、その人の心の中に同等の記号、あるいはさらに発展した記号を創り出す。それが創り出す記号を、私は最初の記号の解釈項と呼ぶ。記号はその対象である何ものかの代わりとなる」¹⁾(CP 2.228)。つまり、Peirce は人間の解釈を、記号を媒介としたプロセスとしているので

ある。図 5 は記号の三項関係を図示したものである。したがって、人間行動の記号過程とは、人間をとりまく建築・都市空間がどのような意味を持って立ち現れるのか、そしてそれに伴ってどのような人間行動が生まれるかというような、人間行動の意味に関わる全てのプロセスのことを示している。

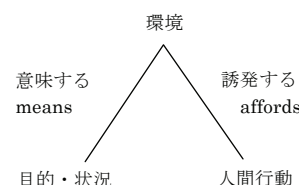


図 1 記号過程としての人間行動

本研究では、Peirce の記号過程の考え方を援用し、建築・都市空間(広い意味で環境とする)を記号として捉え、人間行動を、記号としての環境を媒介とした、人間の持つ目的・状況との相関のプロセス、つまり記号過程であるとし、マルチエージェントシステムを構成するあらゆる要素同士の相互関係を、人間行動の記号過程として理解していく。建築・都市空間における人間行動の記号過程を捉えるということは、環境、目的・状況、人間行動の三項関係を捉えることであり、つまり、同じ環境でもそれぞれの人間の目的や状況によって、見出される意味は異なり、それに従い異なった人間行動が誘発されることを前提とすることである。図 1 は、このような環境、目的・状況、人間行動の三項関係を表したものである。

1.2.3 研究の方法

以上の立場から、次の研究方法を採用する。

- ①適切な建築・都市空間を選定し、人間行動を観測し、記述する。
- ②記述に基づき、調査地における人間行動を構成する要素を Peirce の提示する記号分類を用いて抽出・分類する。
- ③調査地における人間行動の記号過程として、②で抽出した要素同士の相互関係を、確率ネットワークモデルの一つであるベイジアンネットワークによって構造化する。
- ④構造化したモデルを用い、建築・都市空間と人間行動の各相互関係を確率で定量的に評価し、分析をする。
- ⑤②③④において抽出・評価されたさまざまな相互関係を用いて、調査対象とした広場空間における人間行動の記号過程をモデル化し、そのシミュレーションを行う。
- ⑥人間行動に基づいた建築・都市空間の設計について考察する。

1.3 既往研究と研究の位置づけ

本研究に関連して、人間行動と環境との関係に関わる先駆的研究の 1 つとして、K.Lewin による場の理論があげられる。Lewin は、人と環境を独立に捉えるのではなく、「行動」(B)を人(P)とその環境(E)との関数関係 $[B=F(P,E)]$ として捉えた²⁾。この立場は、後に生態心理学の視点から人間行動を研究し、行動場面(behavior setting)

の概念を提唱した R.Barker³⁾、なわばり行動に関わる proxemics の概念を提唱した E.T. Hall などに引き継がれていく⁴⁾。

また、本研究における人間行動を記号過程としてみなす考え方は、C.S.Peirce や C.Morris によって展開された行動主義的記号論^{注1)}に基づいている。Peirce や Morris によって展開された記号論は、単なる思弁などの観念的なレベルのみを扱う記号論とは根本的に異なっており、記号を幅広い意味で捉え、心に現れる全ての存在を記号とし、経験に基づいた科学的認識を重要視する点、環境の刺激に対する反応を重要視する点に特色がある⁵⁾。

また、ベイジアンネットワークは、本報で扱う日常の自由な人間行動のように、無数の要因が複雑に関係し、同一の条件下でも一意に決まらない不確実な情報を伴った事象にアプローチする方法の一つである。近年人工知能の分野をはじめとし、生物学、医学など、さまざまな分野でベイジアンネットワークを応用した研究を確認することができるが、本報と同様、環境と人間行動との相関関係に人間行動のデータに基づいてアプローチする研究としては、店舗内における人間の購買行動に関する研究や⁷⁾⁸⁾、子供の行動に関する研究⁹⁾¹⁰⁾など多く見られる。

このような中で本研究の独自性は、マルチエージェントシステムとしての建築・都市空間において、システムを構成する要素同士が相互に関わり合うプロセスの全体性および多様性を、建築・都市空間における人間行動の記号過程として位置付けていること、そしてその上で、人間行動の記号過程での、環境、目的・状況、人間行動の相互関係を、ベイジアンネットワークを用いて構造化していること、またそれに基づいて、人間行動の記号過程のマルチエージェントシミュレーションを行い、建築・都市空間における人間行動の記号過程を、建築・都市空間の設計に焦点を当てながら分析していることにある。

2. 建築・都市空間における人間行動の記述

2.1 京都精華大学構内における広場空間

日常の自由な人間行動と建築・都市空間の関係性を把握するとい

う観点から、さまざまな人間行動が確認でき、なおかつ調査地全体の把握が容易であった、京都精華大学構内にある天ヶ池周辺を調査対象地として選定する。天ヶ池周辺は、大きな階段状の斜面と池からなる約 1400m²の広場空間である(図 2,3)。在学生は約 4200 人であり(2007 年度)、広場内では階段に座って食事をする人や、友人同士の会話をを楽しむ人など、さまざまな人間行動が観察できる(図 4)。

2.2 人間行動の観測方法

図 2 に示す撮影位置にビデオカメラを設置し、調査対象地全体の動画撮影および、1 分毎の対象地全体および部分の写真撮影(個人の行為がはっきり確認できる程度の解像度)を行う(図 5,6)。

調査日は当該大学の定期試験の最終日にあたり、2007 年 7 月 26 日 10 時～11 時および 12 時～13 時に行った。当日は、天気の良い夏日であった¹¹⁾。

2.3 人間行動の記述

「人間行動」を「流動(人間の位置の移動)」と「滞留(5 秒以上一定の場に留まること)」の組み合わせと定義し、観測時に得た動画および写真の目視から人間行動を記述する^{注4)}。

(1) 各人間行動の記述

調査地内における全ての人間行動を記述する。記述する項目は次の通りである(表 1)。

- ①ID: 記述する人ごとに個体識別番号(ID)を与える。
- ②集団: 集団での人間行動(他者との人間行動)かどうかを識別する。他者との人間行動である場合には○、不明な場合には不明と記入する(単独の場合は無記入)。動画および写真の目視からコミュニケーションをとっていることが確認できて、かつ流動の速さがほぼ同じである場合に、集団での人間行動であると定義した。
- ③出発時間: 調査地に入った時間を調査開始時間からの時間で記入し、動画撮影開始時点で行動が始まっている場合は無記入とした。
- ④出発口: 調査地に入る際の使用出入口の番号記入する(図 7)。
- ⑤到着口: 調査地から出る際の使用出入口の番号を記入する(図 7)。

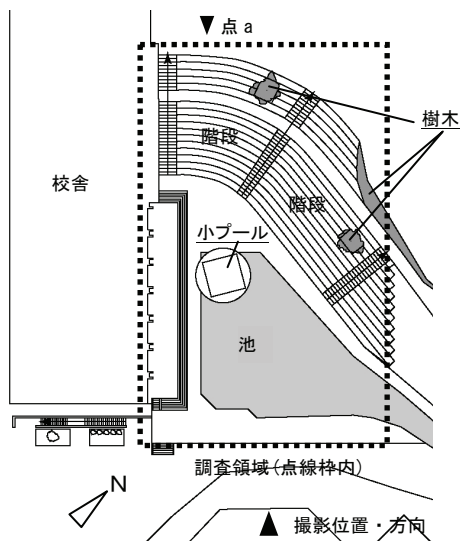


図2 調査地平面図と調査領域
および撮影位置



図3 点a(図2)からの写真



図4 様々な人間行動



図5 観測の様子



図6 撮影写真

表 1 各人間行動の記述の例
(10:00~11:00)

ID	集団	出発時間	出発口	到着口
0		8 : 10	1	1
1		9 : 1	1	1
2		13 : 8	1	8
3		19 : 56	1	8
4		24 : 21	1	8
5	不明	26 : 2	1	8
6		26 : 2	1	8
7		26 : 14	1	8
8		27 : 21	1	8
9		28 : 19	1	8
10	○	26 : 45	1	8
11	○	26 : 45	1	8
12	○	28 : 43	1	8
13	○	28 : 43	1	8
14	○	28 : 43	1	8
15		28 : 54	1	8

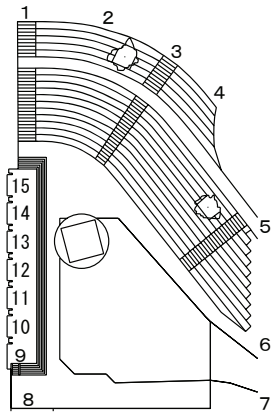


図 7 出入口番号

(2) 各滞留の記述

途中で滞留が行われる場合、(1)のIDと対応させながら各滞留を記述する。

①回数：各主体にとって何度目の滞留かを記述する。

②誰と：複数の人とコミュニケーションをとっている場合、相手のID番号を記入する。調査対象地外の人との場合には外と、滞留のID番号を持っていない、歩いている人との場合には歩く人と記入し、不明の場合には不明と記入する。

③開始時間・終了時間：滞留を開始する時間および終了する時間を調査開始時間からの時間で記入する。

表 2 各滞留の記述の例
(10:00~11:00)

ID	回数	誰と	開始時刻	終了時刻
1	1	10	8 : 21	8 : 26
2	1		14 : 22	14 : 27
3	1		20 : 16	20 : 32
3	2		20 : 35	20 : 49
5	1	不明	30 : 54	31 : 2
6	1		34 : 54	35 : 2
9	1		29 : 17	29 : 25
9	2		29 : 35	31 : 15
9	3		31 : 19	31 : 37

(3) 流動軌跡と滞留位置

動画および写真の目視から、流動している人の体の中心を地面に投射した点を滑らかにつなぎ、平面図上に流動軌跡を記述する。途中で滞留が行われる場合には、流動経路中に滞留位置を記述する。図に、記述した全ての流動軌跡を示す。

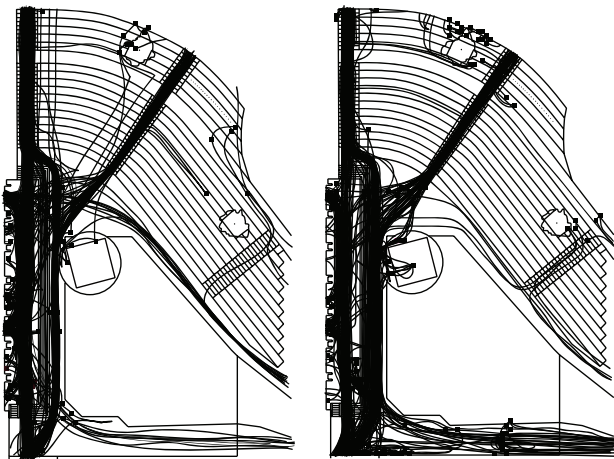


図 8 全流動経路

(左：10:00~11:00 右：12:00~13:00)

3. ベイジアンネットワークを用いた建築・都市空間における人間行動の記号過程の構造化

3.1 ベイジアンネットワークの定義および特徴

ベイジアンネットワークは、対象とする確率的な事象を構成する変数間の確率的関係性を、その確率変数を表すノードと、方向性を

持った有向リンクによって表すことのできるグラフィカルモデルである¹²⁾¹³⁾。ベイジアンネットワークは、2つの確率変数 x_i, y 間の条件付き依存性を $x \rightarrow y$ と表し、 x を親ノード、 y を子ノードと呼ぶ。

まず、対象とする事象を構成する確率変数の集合を $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 、その同時確率(joint probability)を $P(x_1, x_2, \dots, x_n)$ とする。ある確率変数 x_j が与えられた時の確率変数 x_i の条件付き確率を $p(x_i | x_j)$ とし、 x_i の親ノードとなっている変数集合を $pa(x_i)$ とする。このとき、ベイジアンネットワークは次のように定義できる¹⁴⁾。

① $P(x_1, x_2, \dots, x_n)$ を表す非循環有向グラフである。

② $P(x_1, x_2, \dots, x_n) = \prod_{i=1}^n p(x_i | pa(x_i))$ と因子分解できる。

したがって、ある現象がベイジアンネットワークによって構造化されれば、②から、現象を構成する各事象を確率によって表現できる。この特徴を利用すれば、観測データと確率推論アルゴリズムを用いることによって、各事象を確率値で定量的に評価することが可能となる。このとき、ベイジアンネットワークでは、確率的な評価の方向を有向リンクの方向に限定しないため(例： $x \rightarrow y$ と表される場合に、 y から x の方向にも評価ができる)、あらゆる事象を対象に確率的な評価を行える点に特徴がある。

3.2 ベイジアンネットワークの構築方法

本報では人間行動の記述データからベイジアンネットワークを構築するが、データからのベイジアンネットワークの構築とは、データセットを D 、非循環有向グラフを G 、ノード数が n である非循環有向グラフすべてを要素とする集合を G^n とすると、次のような非循環有向グラフ G^* を求めることである¹⁵⁾。

$$G^* = \arg \max_{G \in G^n} f(G; D) \quad (4)$$

ここで、 $f(G; D)$ はデータセット D に基づいたグラフ G のネットワーク構造を評価するスコアを示しているが、このスコアとは、対象とする現象の将来のデータの予測精度のより良いものをより高評価とするスコアである。つまり、人間行動の記述データからベイジアンネットワークを構築することは、人間行動の記述データ間の、将来の確率的な関係性を表す非循環有向グラフを求めることに等しい。

このようなグラフを求めるには、一般にヒューリスティクスに、構造探索アルゴリズムを用いて計算機上で行う^{注6)}。本報では構造探索アルゴリズムとして Hill-climbing を^{注7)}、評価スコアには K2metric²⁷⁾を用い、確率ネットワークを構築する^{注8)}。

3.3 確率ネットワークとしての人間行動の記号過程

人間行動の記述のデータを用いて、調査地における人間行動の標準的記号過程をベイジアンネットワークによって構造化する。このように建築・都市空間における人間行動の記号過程を確率ネットワークとして捉えるということは、目的・状況—環境—人間行動間のそれぞれの結びつきを確率的に捉えることに他ならない。3.2 より換言すれば、構造化されたネットワークは、目的・状況—環境—人間行動間の将来の確率的な関係性を可視化したものとなる。

本報では、特に環境—人間行動間の結びつきに着目して研究を行うこととする。具体的には、まず環境および記述した人間行動をある単位に分節し、環境、人間行動のそれぞれに属する要素を抽出する。そして抽出したさまざまな要素同士の関係性をベイジアンネットワークとして構造化し、各関係性を確率的に評価するという方法をとる。

このとき、環境と人間行動の各要素への分節には、Peirce が提示する包括的な記号分類を参照し、広場内外の他の場所との関係性の有無によってカテゴリー分けをした上で行う。関係性の有無を基準として分節することによって、広場内の要素同士の関係や、広場外の要素も含めた関係など、さまざまなレベルの関係性を抽出することが可能となる。

3.4 建築・都市空間における人間行動および環境記号の抽出・分類

まず、調査対象としている広場を、〔①広場内の場所における人間行動、②広場内の他の場所との関係性を含む場所における人間行動、③広場外の場所との関係性を含む場所における人間行動〕の3つに分類し、それぞれに対応する人間行動を抽出し、次に、抽出した人間行動との対応から、広場空間における環境記号を抽出・分類する。

3.4.1 建築・都市空間における人間行動の抽出・分類

(1) 広場内の場所における人間行動

広場内の場所で、広場内の他の場所との関係性なしに記述される人間行動をここに分類する。

まず調査地を、観察される人間行動の傾向と環境記号との観点から、似た特徴を持つ部分ごとに分割し、便宜上、図9のように名前を付ける。分割した広場内の各場所を「広場内の場所」として定義し、以下、「広場内の場所における人間行動」として、分割した各場所内における人間行動を抽出する。

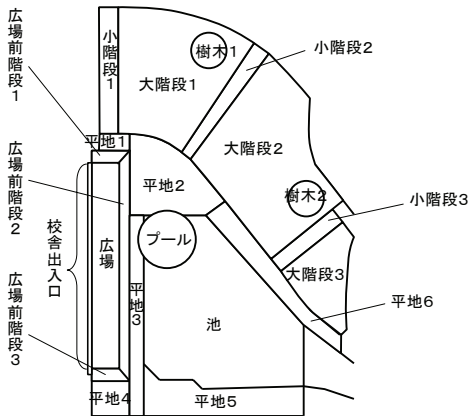


図9 広場内の場所

流動種類：広場内の場所における人間行動を、滞留の有無によって①流動のみ、②滞留あり、行動が確認されない場合には、③行動なしとして3つに分類する。

滞留継続時間：広場内の場所における人間行動を、平均滞留継続時間ごとに①滞留なし②滞留10秒未満、③滞留10秒以上1分未満、④滞留1分以上に分類する。

滞留回数：広場内の場所に入ってから出るまでに行われた滞留の平均回数ごとに①滞留なし、②滞留1回、③滞留2回以上に分類する。

(2) 広場内の他の場所との関係性を含む場所における人間行動

広場内の他の場所との関係性に基づいて記述される人間行動をここに分類する。例えば、ある主体の調査地に入ってから出までの滞留の回数など、主体と広場内の様々な場所との関係性を総合することで記述することができる人間行動を抽出・記述する。

全体滞留回数：調査地に入ってから出までの人間行動を、合計滞留回数ごとに①滞留なし、②滞留1回、③滞留2回以上に分類する。

全体滞留継続時間：調査地に入ってから出までの人間行動につい

て、合計の滞留継続時間ごとに①滞留なし、②滞留10秒未満、③滞留10秒以上1分未満、④滞留1分以上に分類する。

(3) 広場外の場所との関係性を含む場所における人間行動

広場外の場所との関係性に基づいて記述される人間行動をここに分類する。具体的には、出入口(広場に接する校舎の位置など、広場外との関係性から成立する場所)との関係性から決定する流動経路の形状、およびその位置関係を抽出する。

まず、流動経路を使用出入口ごとに分類し(表3)、各使用出入口で、過半の人がたどる経路を主要な流動経路とする。なお、使用回数が3回以上の組み合わせにのみ主要経路を定義し、3回未満の出入口の組み合わせに関しては、主要な経路は定義しない。

寄り道流動(主要経路との関係性)：①主要な流動経路から離れる流動経路の部分を持つ人間行動(図10(a))、②主要な流動経路からやや離れる部分や(主体の5歩以内)、流動経路内で後戻りの部分を持つ人間行動(図10(b))、③同一の出入口を用いる人間行動(図10(c))を寄り道の経路を持つ人間行動として定義し、①③を寄り道ありの人間行動、②をやや寄り道ありの人間行動、そのほかを寄り道なしの人間行動と呼ぶことにし、寄り道の有無によって分類する^{注9)}。表3に使用出入口ごとの使用回数、寄り道の回数を示す。

寄り道位置滞留：行動する主体が滞留を行っている場合に、①主体の主要経路上で滞留を行っている場合、②主要な経路に隣接した広場内の場所で滞留を行っている場合、③その他の広場内の場所において滞留を行っている場合(寄り道位置での滞留と呼ぶ)に分類する。

表3 各出入口の使用回数および寄り道の回数

出入口	合計	10:00-11:00			12:00-13:00			出入口	合計	10:00-11:00			12:00-13:00		
		あり	ややあり	なし	あり	ややあり	なし			あり	ややあり	なし	あり	ややあり	なし
1-1	7	2	5	7	0	0	0	5-5	1	0	1				
1-2	4	1	3	4	0	0	0	5-6	1	1	0				
1-5	1	0	1					5-8	1	0	1				
1-6	1	0	1					5-11	1	0	1				
1-7	4	2	2	0	1	3	6-14	1	1	0					
1-8	103	60	43	0	5	98	6-15	11	10	1	2	0	9		
1-9	5	5	0	0	0	5	7-7	4	0	4	4	0	0		
1-10	2	0	2				7-8	4	0	4	0	1	3		
1-11	41	30	11	0	10	31	7-10	2	1	1					
1-12	2	2	0				7-11	5	0	5	0	0	5		
1-14	12	10	2	0	1	11	7-12	1	1	0					
1-15	8	6	2	2	3	3	7-13	1	1	0					
2-2	11	1	10	11	0	0	7-14	2	2	0					
2-8	2	1	1				7-15	2	2	0					
2-11	2	2	0				8-8	10	2	8	10	0	0		
2-15	2	2	0				8-9	5	2	3	0	1	4		
3-3	3	0	3	3	0	0	8-10	3	1	2	3	0	0		
3-7	2	0	2				8-11	29	15	14	0	5	24		
3-8	54	24	30	1	5	48	8-12	5	5	0	0	0	5		
3-9	2	2	0				8-13	1	0	1					
3-11	7	6	1	0	1	6	8-14	2	2	0					
3-13	1	0	1				8-15	62	38	24	1	10	51		
3-14	7	7	0	0	0	7	11-11	3	3	0	3	0	0		
3-15	4	2	2	2	0	2	11-15	23	15	8	0	0	23		
							14-15	1	0	1					
							15-15	4	2	2	4	0	0		
							その他	14	1	13					

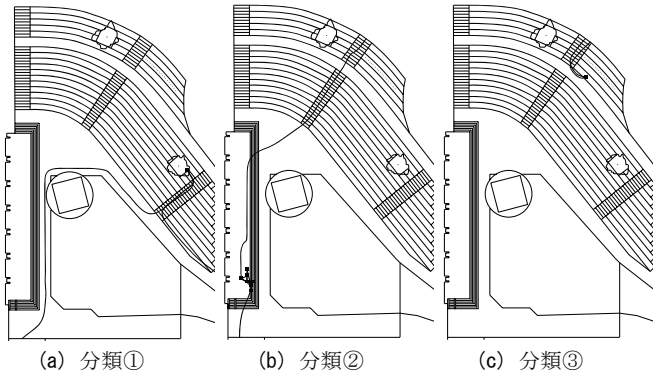


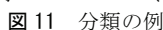
図10 各寄り道経路の定義

3.4.2 建築・都市空間における環境記号の抽出・分類

(1) 広場内の場所に関する環境記号

経路距離：入口から出口までの距離を、主要経路の距離によって、
①距離 X(同一の出入口を使用)、②距離 S(経路 8-15 の距離以下)、

広場内の場所における滞留のない人間行動は、平地もしくは蹴上高が低い広場内の場所、主要経路上の広場内の場所に対し高い感度を示し(入口および出口からの距離が近い場合にも高くなっているが、定義によるものである)、すなわち主に歩きやすさに関わる環境記号に対して比較的高い感度を示している。また、使用出入口に対する感度が、滞留のある人間行動に比べて高く、主体の使用出入口



小環境名	広場内の場所と人間行動					広場内の他の場所との関係性を含む場所					広場外との関係性を含む場所と人間行動							
	樹木	知り 難い 高さ	日陰	流動の種類	滞留 継続時間	滞留 回数	つれ なれ	全体 滞留時間	全体 滞留継続時間	主要 経路上	使用 出入口	入口から の距離	出口から の距離	調査 時刻	寄り道 あり	寄り道 位置滞留		
小階段1	なし	なし	なし	流動のみ	0	0	なし	2	60	1	1	経路上	1-8	x	午前	ややあり		
大階段1	なし	なし	H	なし	滞留あり	10	1	なし	2	60	1	階段	1-8	x	午前	ややあり	階段位置	
樹木1	あり	なし	H	あり	x	0	なし	2	60	1	x	1-8	x	x	午前	ややあり	x	
小階段2	なし	なし	L	なし	x	0	なし	2	60	1	x	1-8	x	x	午前	ややあり	x	
大階段2	なし	なし	H	なし	x	0	なし	2	60	1	x	1-8	x	x	午前	ややあり	x	
樹木2	あり	なし	H	あり	x	0	なし	2	60	1	x	1-8	x	x	午前	ややあり	x	
小階段3	なし	なし	L	なし	x	0	なし	2	60	1	x	1-8	x	x	午前	ややあり	x	
大階段3	なし	なし	H	なし	x	0	なし	2	60	1	x	1-8	x	x	午前	ややあり	x	
平地1	なし	なし	x	なし	流動のみ	0	0	なし	2	60	1	経路上	1-8	x	x	午前	ややあり	x
プール	なし	なし	x	なし	x	0	なし	2	60	1	階段	1-8	x	x	午前	ややあり	x	
平地2	なし	なし	x	なし	流動のみ	0	0	なし	2	60	1	経路上	1-8	x	x	午前	ややあり	x
平地3	なし	なし	x	なし	流動のみ	0	0	なし	2	60	1	経路上	1-8	x	x	午前	ややあり	x
校舎前広場	なし	あり	x	なし	x	0	0	なし	2	60	1	階段	1-8	x	x	午前	ややあり	x
校舎前出入口	なし	なし	x	あり	x	0	0	なし	2	60	1	階段	1-8	x	x	午前	ややあり	x
広場前階段1	なし	なし	L	なし	x	0	0	なし	2	60	1	経路上	1-8	x	x	午前	ややあり	x
広場前階段2	なし	あり	L	あり	滞留あり	60	1	なし	2	60	1	経路上	1-8	x	x	午前	ややあり	経路上
広場前階段3	なし	なし	L	なし	x	0	0	なし	2	60	1	経路上	1-8	x	x	午前	ややあり	x
平地4	なし	なし	x	なし	流動のみ	0	0	なし	2	60	1	経路上	1-8	x	x	午前	ややあり	x
平地5	なし	なし	x	なし	流動のみ	0	0	なし	2	60	1	経路上	1-8	x	x	午前	ややあり	x
平地6	なし	なし	x	なし	x	0	0	なし	2	60	1	x	1-8	x	x	午前	ややあり	x

がわかった場合には、その主体が広場内の場所で流動のみをする傾向が強いかどうかをあらかじめ予想できることを示唆している。経路距離に関しては、経路距離が M もしくは L の場合に滞留なし流動となる確率が高くなっているが、経路が長いほど、流動する距離が長くなるという初期条件が影響している可能性が高い。

滞留のある人間行動が確認される確率が比較的高くなるのは、樹木あり、知り合いありの場合である。他に、主要経路上および主要経路から近い、入口および出口から近い広場内の場所に対しても感度が高い。一方で、つれ、調査時間帯、使用出入口、経路距離とはほぼ無関係であり、主体の使用出入口がわかっていたとしても、広場内の場所で滞留をするかどうかは予測ができないことを示唆している。つまり、広場内の場所における各滞留は、流動中に順次立ち現われる環境記号によって、その都度誘発されている可能性が高い。

(2) 滞留時間

滞留時間が 0 秒となる確率は、広場内の場所に知り合いがいる場合を除き、今回抽出した環境記号とはほぼ無関係である。

滞留時間が 10 秒未満の場合および 60 秒未満の場合は、環境に対する感度が類似しており、知り合いあり、平地、主要経路上もしくは主要経路から近い、入口もしくは出口からの距離が近い場合に高い感度を示す。一方で使用出入口および経路距離に対する感度は全体的に低く、主体の使用出入口や経路距離がわかっていたとしても、広場内の場所で 60 秒未満の滞留をするかどうかは予測ができないことを示唆している。つまり、60 秒未満の滞留は、流動中に順次立ち現われる主要経路周辺の環境記号によって、その都度誘発されている可能性が高い。

60 秒以上の場合、樹木あり、知り合いあり、蹴上高が高い、日陰があり、主要経路上もしくは主要経路から近い、入口および出口からの距離が近い場合に対して感度が高く、樹木と蹴上高と日陰が

比較的に長い滞留時間を誘発する環境記号であることがわかる。また、使用出入口に対する感度が全体的に 60 秒未満および 10 秒未満の場合よりも高く、主体の使用出入口がわかれば、その主体が広場内の場所で行う滞留時間を予測できる可能性を示唆している。また、経路距離に関しては、同一の出入口を使用する場合に 60 秒以上の滞留が確認される確率が高くなることをわかる。

(3) 滞留回数

広場内の場所で滞留回数が 0 回となる確率は、知り合いがいる場合に低くなることを除き、抽出した環境記号とはほぼ無関係である。

広場内の場所で滞留回数が 1 回以上の場合と 2 回以上の場合で、類似した感度を示しており、広場内の特定の環境記号が、広場内のある場所における 1 回以上の滞留を誘発していることは確認できるが、広場内の滞留回数の変化(1 回のみか、複数回か)に関わりのある環境記号は今回見つかっていない。1 回以上の場合、環境内の歩きやすさなどに関わる環境記号に対してではなく、樹木や知り合いや日陰などの環境記号に対して感度が高く、広場外との関係性を含む場所からは、出入口からの距離を除いてそれほど影響を受けていない。また、主要経路上もしくは主要経路から近い、入口および出口から近い場合にも高い感度を示す。

4.2.2 広場内の他の場所との関係性を含む場所における人間行動の環境に対する感度 (表 6)

(1) 全体滞留時間

全体的に広場内の状況よりも、調査時間帯や使用出入口、経路距離など、広場外との関係性に左右されており、主体の使用出入口もしくは経路距離がわかれば、その全体滞留時間を予測できることがわかる。

全体滞留時間が 60 秒以上の場合、日陰に対して高い感度を示しており、日陰が全体滞留時間を長くすることがわかる。10 秒未満の

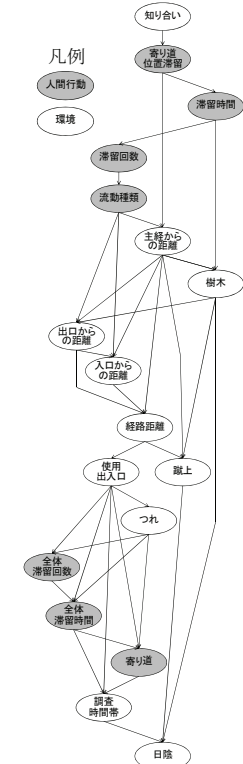


図 12 構築ネットワーク

表 5 広場内の場所における人間行動の環境記号に対する(感度-1)の値

		広場内の人間行動の(感度-1)の値																	
		流動種類				滞留時間				滞留回数									
		滞留なし流動		滞留あり流動		0秒		10秒未満		60秒未満		60秒以上		0回		1回		2回以上	
広場内 の場所	樹木	なし	0.09	-0.05	0.00		0.06	0.04	-0.36	0.00		-0.05	-0.06	0.04	0.04		0.55		
		あり	-0.86	0.48	-0.03	-0.59	-0.40	3.34	-0.03	0.46	0.55	-0.39	0.55						
		知り合い	あり	-0.91	15.01	-0.98	15.17	15.81	14.28	-0.97	15.08	15.06							
	蹴上高	低い	0.23	0.05	0.00	0.16	0.11	-0.20	0.00	0.05	0.04								
		高い	-0.68	-0.18	0.01	-0.51	-0.39	0.60	0.01	-0.18	-0.15								
		なし	0.30	0.09	-0.01	0.22	0.19	-0.26	-0.01	0.09	0.07								
	日陰	なし	0.06	-0.05	0.00	0.05	0.03	-0.31	0.00	-0.05	-0.06								
		あり	-0.12	0.10	-0.01	-0.11	-0.07	0.88	-0.01	0.10	0.12								
		主要経路 からの距離	経路上	3.21	1.88	-0.12	2.70	2.22	0.30	-0.12	1.91	1.73							
	近い		-0.17	0.68	-0.04	0.32	0.12	2.15	-0.04	0.69	0.69								
遠い	-0.88		0.68	0.04	-0.84	-0.66	-0.52	0.04	-0.69	-0.64									
広場内 他の場所	入口からの 距離	近い	1.72	2.53	-0.16	2.65	2.34	2.61	-0.16	2.54	2.42								
		遠い	-0.26	-0.38	0.02	-0.40	-0.36	-0.39	0.02	-0.39	-0.36								
		なし	2.00	2.45	-0.15	2.56	2.25	2.56	-0.16	2.45	2.33								
	出口からの 距離	近い	-0.29	-0.35	0.02	-0.37	-0.32	-0.37	0.02	-0.35	-0.34								
		遠い	-0.56	-0.10	0.01	-0.56	-0.40	-0.40	0.01	-0.10	-0.11								
		なし	-0.04	-0.01	0.00	-0.03	-0.02	0.05	0.00	-0.01	-0.01								
	つれ	あり	0.12	0.02	0.00	0.11	0.08	-0.17	0.00	0.03	0.01								
		pm	0.09	0.02	0.00	0.07	0.05	-0.10	0.00	0.02	0.01								
		調査 時間帯	pm	-0.07	-0.01	0.00	-0.06	-0.04	0.08	0.00	-0.02	-0.01							
	広場外 との関係性 を含む場所	使用 出入口	1-1	-0.56	-0.10	0.01	-0.33	-0.22	0.35	0.01	-0.11	-0.08							
1-2			-0.02	-0.01	0.00	0.07	0.05	-0.20	0.00	0.00	-0.01								
1-7			0.64	0.11	-0.01	0.25	0.18	-0.14	-0.01	0.11	0.09								
蹴上		1-8	0.66	0.11	-0.01	0.26	0.18	-0.15	-0.01	0.12	0.10								
		1-9	0.28	0.07	0.00	0.16	0.12	-0.11	0.00	0.07	0.06								
		1-11	0.30	0.07	-0.01	0.17	0.13	-0.12	0.00	0.08	0.07								
全体 滞留回数		1-14	-0.02	-0.01	0.00	0.07	0.05	-0.20	0.00	0.00	-0.01								
		1-15	-0.02	-0.01	0.00	0.07	0.05	-0.20	0.00	0.00	-0.01								
		2-2	-0.58	-0.10	0.01	-0.33	-0.22	0.35	0.01	-0.11	-0.09								
全体 滞留時間		3-3	-0.56	-0.10	0.01	0.03	-0.40	0.24	0.01	-0.11	-0.08								
	3-8	0.67	0.11	-0.01	0.26	0.18	-0.15	-0.01	0.12	0.10									
	3-11	0.28	0.07	0.00	0.16	0.12	-0.11	0.00	0.07	0.06									
	3-14	0.28	0.07	0.00	0.16	0.12	-0.11	0.00	0.07	0.06									
経路距離	全体 滞留時間	3-15	0.29	0.07	0.00	0.17	0.12	-0.12	0.00	0.08	0.07								
		6-15	0.28	0.07	0.00	0.16	0.12	-0.11	0.00	0.07	0.06								
		7-7	-0.57	-0.10	0.01	-0.33	-0.22	0.35	0.01	-0.11	-0.08								
	日陰	7-8	-0.01	0.00	0.00	0.07	0.05	-0.19	0.00	0.00	-0.01								
		8-8	-0.58	-0.10	0.01	-0.33	-0.22	0.35	0.01	-0.11	-0.08								
		8-9	-0.02	0.00	0.00	0.07	0.05	-0.20	0.00	0.00	-0.01								
	調査 時間帯	8-11	-0.02	-0.01	0.00	0.08	0.05	-0.20	0.00	0.00	-0.01								
		8-12	-0.02	0.00	0.00	0.07	0.05	-0.20	0.00	0.00	-0.01								
		8-15	-0.02	-0.01	0.00	0.07	0.05	-0.20	0.00	0.00	-0.01								
	経路距離	11-11	-0.55	-0.10	0.01	-0.32	-0.21	0.34	0.01	-0.11	-0.08								
11-15		-0.02	-0.01	0.00	0.07	0.05	-0.20	0.00	0.00	-0.01									
15-15		-0.56	-0.10	0.01	-0.33	-0.22	0.35	0.01	-0.11	-0.08									
x		-0.58	-0.11	0.01	-0.34	-0.22	0.36	0.01	-0.12	-0.09									
経路距離	S	-0.02	-0.01	0.00	0.08	0.05	-0.20	0.00	0.00	-0.01									
	M	0.30	0.08	-0.01	0.18	0.13	-0.12	0.00	0.08	0.07									
	L	0.67	0.11	-0.01	0.26	0.18	-0.15	-0.01	0.12	0.10									

また、経路距離が **S** もしくは **M** の場合は、全体滞留時間が 10 秒未満となる確率が高く、経路距離が **L** の場合には、60 秒未満となる確率が高く、同一の出入口を使用する場合には 60 秒以上となる確率が高くなる。

使用出入口以外の環境記号とはほぼ無関係であり、使用出入口に対する感度は、全体滞留回数が1回である場合と2回以上である場合とでは、感度の符号の向きが逆であり、使用出入口が観測された場合には、全体滞留回数を予測することができることがわかる。また、つれがいる場合には全体滞留時間が2回以上となる確率が低くなる。

(1) 寄り道流動

このとき、つれがにいる場合および調査時間帯が午前の場合には、寄り道流動がなしとなる確率が高くなり（主要経路上にある広場内の場所に対して感度が高くなるのは定義によるものである）、一方で寄り道流動がありとなる確率は低くなる。また、調査時間帯が午後

(2) 寄り道位置滞留

主要経路から近いところでの滞留および主要経路から離れたところでの滞留について、両者は使用出入口に対する感度および広場内の場所に対する感度が類似しており、使用出入口や広場内の場所における環境記号が観測されても、滞留位置が主要経路上から近いところとなるのか、遠いところとなるのかどうか予測することは困難である(なお、出入口からの距離に対して感度の値が異なっているが、出入口近くが主要経路上であるという定義によるものである)。また、調査時間帯が午前である場合には、寄り道位置での滞留となる確率は低くなる。なお、滞留の特徴や位置に関わらず知り合いの近くでは滞留すると出ているが、これは知り合いがいても気がつかなかった場合を、今回は記述していないことが影響している。

5. 建築・都市空間が誘発する人間行動の記号過程のモデル化およびシミュレータの構築

広場内の他の場所との関係性を含む場所での人間行動の(感度-1)の値			
全体滞在時間	全体滞在回動	客員滞在時間	客員滞在回動

		広場内での場所との関係性を含む場所での人間行動の(感度-1)の値															
		全体滞留時間			全体滞留回数			寄り道流動			寄り道位置滞留						
		10秒未満	60秒未満	60秒以上	1回	2回以上	なし	ややあり	あり	なし(経路上)	ややあり	あり					
広場内 の場所	樹木	なし	0.01	0.01	-0.01	0.00	0.00	0.02	0.03	0.02	-0.02	0.08	-0.39	-0.10			
		あり	-0.10	-0.06	0.09	0.00	0.02	-0.16	-0.15	0.18	-0.23	0.83					
		なし	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.41	-0.27	-0.48					
	知り合い	あり	0.04	0.03	-0.04	0.01	-0.01	0.07	0.07	-0.08	16.18	10.53	18.74				
		低い	0.01	-0.01	0.00	0.00	0.02	0.02	-0.02	0.15	0.01	-0.17					
		高い	-0.03	-0.01	0.02	0.00	0.01	-0.04	-0.04	0.05	-0.71	0.63	0.35				
	観上高	なし	0.01	0.00	-0.01	0.00	0.00	0.02	0.01	-0.02	0.38	-0.42	-0.12				
		なし	0.14	0.05	-0.11	0.00	0.00	0.11	0.00	-0.08	0.06	-0.27	-0.10				
		あり	-0.29	-0.11	0.24	0.00	0.01	-0.24	0.00	0.17	-0.13	0.57	0.21				
	日陰	なし	0.19	0.20	-0.25	0.04	-0.09	0.42	0.38	-0.47	4.04	-0.84	-0.84				
近い		0.13	0.05	-0.11	0.01	0.01	0.18	0.16	-0.20	-0.87	5.82	-0.77					
遠い		-0.08	-0.07	0.09	-0.02	0.03	-0.16	-0.14	0.18	-1.00	-0.97	0.40					
広場内 他の場所	主要経路 からの距離	近い	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	-0.01	-0.02	0.02	3.16	2.93	0.22				
		近い	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.00	-0.00	-0.43	0.45	-0.44					
		近い	-0.04	0.02	0.01	0.01	-0.01	-0.02	-0.03	0.02	3.23	2.60	0.00				
	出入口からの 距離	近い	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.47	-0.37	0.00				
		なし	-0.06	-0.02	0.05	-0.04	0.08	-0.18	-0.03	0.14	-0.05	0.06	0.03				
		あり	0.21	0.07	-0.17	0.12	-0.26	0.62	0.11	-0.49	0.17	-0.19	-0.12				
	調査 時間帯	am	0.62	0.23	-0.50	0.00	-0.01	0.46	-0.08	-0.30	0.10	-0.11	-0.07				
		pm	-0.48	-0.18	0.39	0.00	0.00	-0.38	0.05	0.23	-0.05	0.09	0.05				
		1-1	-0.04	0.00	0.00	0.45	-0.06	-0.84	-0.90	1.07	-0.47	0.27	0.29				
	広場外 との関係性 を含む場所	使用 出入口	1-2	-0.92	-0.94	1.21	0.10	-0.20	-0.93	-0.89	1.05	0.12	-0.23	-0.10			
1-7			-0.89	1.82	-0.94	-0.26	0.56	0.49	1.30	-0.94	0.37	-0.16	-0.22				
1-8			0.46	0.31	-0.48	0.46	-0.98	0.69	1.08	-0.97	0.38	-0.17	-0.22				
経路距離		1-9	3.06	-0.89	-0.92	0.42	-0.90	1.79	-0.78	-0.90	0.21	-0.08	-0.10				
		1-11	0.75	0.18	-0.53	0.46	-0.97	0.80	0.87	-0.96	0.22	-0.09	-0.10				
		1-14	1.68	-0.95	-0.25	-0.02	0.05	1.84	-0.89	-0.95	0.12	-0.23	-0.10				
使用 出入口		1-15	-0.91	0.93	-0.23	0.21	1.07	-0.51	0.12	0.38	0.12	-0.23	-0.10				
		2-2	-0.98	-0.69	1.04	0.17	-0.37	-0.98	-0.97	1.13	-0.48	0.38	0.29				
		3-3	-0.92	-0.95	1.22	-0.02	0.05	-0.94	-0.91	1.07	-0.47	0.37	0.29				
経路距離		使用 出入口	3-8	-0.32	0.60	-0.29	-0.10	0.20	0.88	0.46	-0.82	0.38	-0.17	-0.22			
	3-11		3.06	-0.89	-0.92	0.42	-0.90	1.79	-0.78	-0.90	0.21	-0.08	-0.10				
	3-14		3.06	-0.89	-0.92	0.42	-0.90	1.79	-0.78	-0.90	0.21	-0.08	-0.10				
	経路距離	3-15	1.13	-0.92	0.12	-0.26	0.56	0.49	1.30	-0.94	0.37	-0.16	-0.22				
		15-15	-0.92	0.00	0.49	-0.02	0.05	-0.93	-0.89	1.06	-0.47	0.37	0.29				
		x	-0.67	-0.25	0.54	-0.04	0.08	-0.94	-0.92	1.07	-0.48	0.38	0.30				
	経路距離	S	0.29	-0.14	-0.05	-0.10	0.21	0.17	0.39	-0.30	0.13	-0.23	-0.11				
		M	1.45	-0.16	-0.53	0.18	-0.37	0.58	-0.05	0.39	-0.22	-0.09	-0.10				
		15-15	-0.92	0.00	0.49	-0.02	0.05	-0.93	-0.89	1.06	-0.47	0.37	0.29				

5.1 各環境記号が誘発する人間行動の記号過程のモデル化

分析に基づいて、京都精華大学天ヶ池周辺における環境記号が誘発する人間行動の記号過程を次のように推測・単純化し、モデル化をする。

(1) 広場内の場所が誘発する人間行動

歩きやすさに関わる平地および蹴上の低い階段は、流動のみの人間行動、経路上での滞留、継続時間が短い(60秒未満)滞留を誘発しており、また、継続時間が短い滞留を誘発している要素は、歩きやすさに関わる要素以外では知り合いを除き特にならない。このことから、継続時間が短い滞留は、歩きやすい場所で起こると仮定する。一方で、樹木および蹴上の高い階段および日陰は、主要経路から近いもしくは遠いところでの滞留、継続時間が長い(60秒以上)滞留を誘発し、日陰はさらに全体滞留時間を長くする方向に働く。このことから、60秒以上の滞留は、主要な流動経路を少し離れた、60秒以上の滞留に相応しい環境周辺、中でも特に日陰内において発生すると仮定する。また、主体の行動傾向に関わらず、知り合いを発見した場合には知り合いの周辺まで行って滞留をする。

また、本報で抽出した環境記号は、広場内の各場所における滞留回数(1回だけか、複数回か)に変化を与えない。

(2) 広場内の他の場所との関係性を含む場所が誘発する人間行動

寄り道をする主体としない主体の双方を検討するため、本報ではつれがいない場合をモデル化する。

(3) 広場外との関係性を含む場所が誘発する人間行動

基本的に各流動は、歩きやすい環境記号によって誘発され、その結果、主要な流動経路が形成される。したがって、全体の流動形状(寄り道流動)や滞留の位置(寄り道位置滞留)を、主要経路からの距離を用いて定義していたが、ここで主要経路からの距離を、歩きやすい場所との位置関係として再定義する。

出入口近くでは、滞留の種類(滞留時間、滞留回数)によらず、滞留を誘発することとする。

全体滞留時間、全体滞留回数、流動形状(寄り道流動)、滞留位置(寄り道位置滞留)の傾向は、主体の使用出入口に基づいて決定することとする。

流動中に起こる各滞留が、主体があらかじめ決めて行っているのかについては、どちらの場合も想定してモデル化をする。

5.2 マルチエージェントシステムとしてのシミュレータの構築

5.1に基づき、建築・都市空間が誘発する人間行動の記号過程をマルチエージェントシステムとしてモデル化し、シミュレータを構築する。モデル化とシミュレーションのためのマルチエージェントシミュレータとして、構造計画研究所の Artisoc を用いる。

5.2.1 建築・都市空間の設定

格子状のセル群を調査地の環境セル群とし、設定した環境内を行動する人間セルをエージェントとしてモデル化する。

まず、京都精華大学天ヶ池周辺の平面図に基づいて、蹴上の低い方の階段の踏み面の幅に合わせて、対象とする広場空間を 25cm×25cm のセルで単純化する。各セルの状態量として、平面図および現地調査に基づき、図 13 のように「島」「樹木」「教室前階段」「階段(蹴上低)」「大階段(蹴上高)」「平地」「池」「出入口」「建築物」を定義し、さらに広場周辺の利用状況に影響を与える「時間帯」と、さらに各環境セルに対して「時間帯」ごとに「日陰」の有無について

ての状態量を設定する(図 13 中に、午前中の日陰領域の例を示しているが、日陰の領域は時間帯によって変化する)。また、「魅力値」として、各環境セルに対して、建築・都市空間内を移動するエージェントの滞留発動の確率に関わる「魅力値」を設定する。魅力値に関してはエージェントの滞留発動に関する節で説明をする。

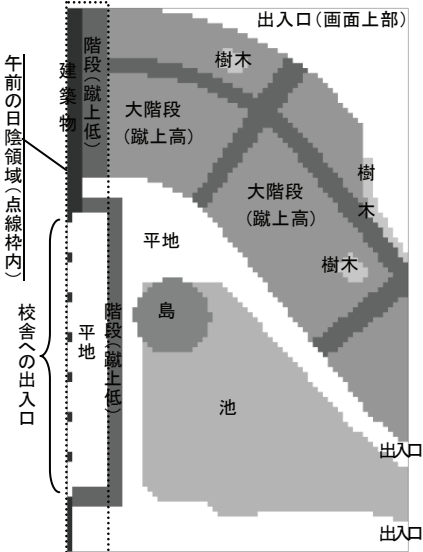


図 13 セルの状態量

5.2.2 人間行動の記号過程の設定

まず、建築・都市空間内にエージェントが発生する。出発位置に配置されるとエージェントは目的地に向かうが、その過程で、エージェントは各環境セルの持つ状態量を読み取り、行動(流動および滞留)を順次決定する。このエージェントと環境セルとの相互作用をエージェントの記号過程としてモデル化する。

(1) エージェントの発生

①発生するエージェントの数

毎 step に何%の確率で1つのエージェントが発生するか、自由に設定できるものとする。

②各出入口からエージェントが発生する確率

①で設定した step 毎に、どの出入口からどの程度の確率でエージェントが発生するかについては、調査データを利用する。前章までの方法を用い、調査時間帯と選択される出発口、到着口についてベイジアンネットワークを構築し(図 14)、Junction tree アルゴリズムを用いて各条件付き確率を計算すると表 7 のようになった。表 7 の各条件付き確率値を、各出入口からのエージェントの発生確率として使用する。

さらに、各時間帯および各出発口を条件とした到着口の条件付き確率値を同様に求めると、表 8 のようになった注 11)。

表 7、表 8 の値を、各時間帯におけるエージェントの発生率として設定する。

表 7 各時間帯に対する出発口の条件付き確率表

		調査時間帯	
		AM	PM
出発口	1	0.21	0.15
	2	0.05	0.22
	3	0.02	0.20
	7	0.19	0.04
	8	0.00	0.11
	9	0.28	0.29
	11	0.07	0.00
	12	0.05	0.00
	14	0.05	0.00
	15	0.09	0.00

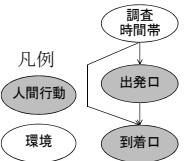


図 14 構築ネットワーク

表 8 各時間帯および出発口に対する到着口の条件付き確率表
(上：10:00～11:00, 下：12:00～13:00)

		出発口									
		1	2	3	7	8	9	11	12	14	15
到着口	1	0.11	0.47	0.02	0.13	0.17	0.32	0.01	0.01	0.72	0.00
	2	0.00	0.47	0.02	0.13	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00
	3	0.00	0.01	0.02	0.13	0.25	0.01	0.01	0.01	0.24	0.00
	6	0.00	0.01	0.02	0.13	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.12
	7	0.00	0.01	0.02	0.13	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00
	8	0.55	0.01	0.02	0.13	0.08	0.63	0.01	0.92	0.01	0.25
	11	0.11	0.01	0.02	0.13	0.25	0.01	0.92	0.01	0.01	0.49
	15	0.22	0.01	0.86	0.13	0.25	0.01	0.01	0.01	0.01	0.12
		出発口									
		1	2	3	7	8	9	11	12	14	15
到着口	1	0.25	0.25	0.00	0.33	0.06	0.13	0.13	0.13	0.13	0.01
	2	0.00	0.74	0.00	0.00	0.00	0.13	0.13	0.13	0.13	0.01
	3	0.00	0.00	0.27	0.00	0.25	0.13	0.13	0.13	0.13	0.01
	6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13	0.13	0.13	0.13	0.01
	7	0.00	0.00	0.00	0.65	0.06	0.13	0.13	0.13	0.13	0.01
	8	0.13	0.00	0.54	0.00	0.37	0.13	0.13	0.13	0.13	0.01
	11	0.49	0.00	0.09	0.00	0.25	0.13	0.13	0.13	0.13	0.01
	15	0.13	0.00	0.09	0.00	0.00	0.13	0.13	0.13	0.13	0.92

(2) 初期配置されるまでのエージェントの行動の記号過程

①エージェントの行動傾向の設定

使用出入口が設定されると、それに伴って調査地に入ってから出るまでの全体滞留時間、全体滞留回数、寄り道流動(流動形状)が、表 11 のように設定される。さらに、あらかじめ滞留をすることを決めて広場にきたエージェントを、寄り道以外のエージェントで、発生するエージェントにランダムに設定する。

なお、全エージェントを 5 グループに分け、同じグループに属するエージェント同士を知り合いとする。

1step(1 エージェントが 25cm 前進)を 1 秒として設定し、各エージェントに全体滞留時間を設定し、10 秒未満は 1～9step、60 秒未満は 10～59step、60 秒以上は、60～600step を設定する。

表 9 各使用出入口に対応する人間行動の傾向^{注11)}

	使用 出入口	全体滞留時間 0内は指定する滞留時間となる確率	全体 滞留回数	寄り道流動 0内は指定する寄り道流動となる確率
同一出入口を使用しない場合	1-2	60秒以上(100%)	1回	あり(100%)
	1-7	60秒未満(100%)	2回以上	なし(25%) ややあり(75%)
	1-8	10秒未満(60%) 60秒未満(40%)	1回	なし(35%) ややあり(65%)
	1-9	10秒未満(100%)	1回	なし(100%)
	1-11	10秒未満(80%) 60秒未満(20%)	1回	なし(50%) ややあり(50%)
	1-14	10秒未満(100%)	任意回数	なし(100%)
	1-15	60秒未満(100%)	2回以上	あり(100%)
	3-8	60秒未満(100%)	2回以上	なし(65%) ややあり(35%)
	3-11	10秒未満(100%)	1回	なし(100%)
	3-14	10秒未満(100%)	1回	なし(100%)
	3-15	10秒未満(90%) 60秒以上(10%)	2回以上	あり(100%)
	6-15	60秒未満(100%)	2回以上	あり(100%)
	7-8	60秒未満(100%)	2回以上	ややあり(100%)
	8-9	60秒未満(100%)	2回以上	なし(100%)
	8-11	10秒未満(100%)	1回	なし(25%) ややあり(75%)
8-12	10秒未満(100%)	1回	なし(100%)	
8-15	10秒未満(100%)	2回以上	ややあり(100%)	
11-15	60秒以上(100%)	2回以上	あり(100%)	
同一出入口	3-3	60秒以上(100%)	任意回数	あり(100%)
	7-7	60秒未満(80%) 60秒以上(20%)	1回	あり(100%)
	8-8	10秒未満(50%) 60秒以上(50%)	2回以上	あり(100%)
	11-11	60秒未満(100%)	2回以上	あり(100%)
	その他	60秒以上(100%)	1回	あり(100%)

②エージェントの距離帯の設定

E.T. Hall が提唱した、なわばり行動に関わる proxemics の概念を参照し、全エージェントに「個体距離」および「社会距離」の距離帯を設定し、本報ではそれぞれを次のように設定する^{注12)}。

個体距離： エージェントが処理する情報の範囲のうち、知り合いを受け入れる範囲。さらに本報ではやや寄り道をする傾向にあるエージェントが寄り道をする際に読み取る環境の範囲を示す。

社会距離： エージェントが処理する環境の範囲。特に、寄り道をす

る傾向にあるエージェントが寄り道をする際に読み取る環境の範囲を示す。

③エージェントの満足度、不満度の設定

各エージェントに「流動満足度」「流動不満度」「滞留満足度」「滞留不満度」の値を定義する。初期値は 0 として、流動中に自分以外のエージェントをよけることなく目的地にたどり着くことができた場合に、「流動満足度」が+1、自分以外のエージェントをよけるたびに「流動不満度」が+1、自分が滞留すると決めた場所に滞留することができた場合には、「滞留満足度」が+1、滞留をすると決めた点の個体距離内に、自分の知り合いでないエージェントが先に滞留していた場合もしくは、滞留すると決めたが、適当な場所が見つからない場合には、滞留することができず、「滞留不満度」が+1 加算される。

(2) 初期配置終了後のエージェントの行動の記号過程

①全体の流れ

エージェント発生については毎 step どの程度の確率でエージェントが発生するかを設定することができる。エージェントが発生すると、(1) の初期配置がなされた後、行動が始まり、各エージェントは選択した出口へと向かうことを最終目標とする。出口に向かう過程で、基本的には歩きやすいセル(平地、もしくは蹴上高の低いセル)を選択して流動する。また、流動の途中、各自の人間行動の傾向(表 11)に適応した場所で滞留をする。

②滞留位置の探索範囲

滞留する時、寄り道なしの性質の場合は、その場で立ち止まる。寄り道ややありの性質の場合は、個体距離帯内にあるいずれかのセルを選択して立ち止まる。寄り道ありの性質の場合、社会距離帯内にあるいずれかのセルを選択して立ち止まる。

いずれの性質の場合にも、各自の行動傾向に伴った距離帯内で知り合いを発見した場合には、知り合いの個体距離内でできる限り滞留をする。このとき、寄り道なしの性質の場合には、自分の個体距離内に知り合いエージェントが滞留している場合にその場で立ちどまり、寄り道ややありの性質の場合には、知り合いが自分の個体距離内に滞留している時、知り合いの個体距離内のいずれかのセルを選択して、そこで滞留する。寄り道ありの場合には、知り合いが自分の社会距離内に滞留している時に、知り合いの個体距離帯内にあるいずれかのセルを選択し、そこで滞留する。

なお、エージェントは周囲を 360° 見回すことができる。

③滞留位置の探索開始・滞留の開始

毎 step どの程度の確率で滞留位置の探索が開始するかは自由に設定することができる。指定した確率で滞留位置の探索が開始すると、滞留が発動するが、滞留の発動の仕方には下記の 2 種類の場合を設定する。

(a) 環境誘発型

1 つは、自分の滞留位置の探索範囲内にある環境セルを注視し、そのとき、注視した環境セルの持つ、「魅力値」の確率で、滞留が発動する(例:「魅力値」が 0.02 のセルを注視した場合、そのとき、2% の確率で滞留が発動する)。分析から、樹木がある場所、蹴上高が低い平地の場所、流動経路から個体距離以内でたどりつける場所、出入口付近では比較的即興的な滞留が起こる確率が高く、そのほかの場所では比較的低い確率で滞留が起こる。

(b) 偶発型

2 つめは、周囲の環境とは無関係に全体で設定した確率で発動する場合である。設定した確率で、エージェントは滞留を発動する。滞留前にエージェントが滞留を継続したい時間を決定し、その滞留継続時間に見合った場所(60 秒以上の場合には日陰内、出入口付近のいずれか、60 秒未満の場合には蹴上が低いもしくは平地、出入口付近のいずれか)を、それぞれの距離帯内で探索する。

なお、条件を満たすセルが見つからない場合には、滞留は行わない(「滞留不満度」が加算される)。

③各滞留を継続する時間の設定

選択した滞留位置の環境記号の種類によって滞留時間を設定する。樹木あり、蹴上高が高い、日陰ありのいずれかの場合には 60 秒以上(60~600step)とし、その他の場合は 60 秒未満(1~59step)とする^{注 14)}。滞留終了時に全体滞留時間から滞留時間を減算する。全体滞留時間が 0 以下となった場合には次回以降、滞留のための探索を行わない。

5.3 建築・都市空間における人間行動のシミュレーション

次の①~③を目的として、シミュレーションを行う。

- ①人間行動と建築・都市空間との動的で多様な相互関係を観察する。
- ②今回の建築・都市空間における人間行動の分析で明らかにならなかった環境記号を発見する。
- ③人間行動を基軸とした建築・都市空間の設計への応用について考察する。

5.3.1 シミュレーションの条件

(1) 広場内の場所を変更する場合

広場内の場所の変更を行う場合の例として、樹木を、滞留を頻繁に誘発する要素として変更する。具体的には、全体の環境要素配置の変更は行わず、エージェントのルールに、滞留位置の探索ルールが発動した場合に、優先的に樹木に滞留するルールを加える。

(2) 広場内の他の場所との関係性を含む場所を変更する場合

広場内の他の場所との関係性を変更する例として、次の①②の変更を行う。

①広場内における人間行動との位置関係に基づいた配置変更

滞留ストレスを他人との距離からの設定であること、特に午後の時間は大階段上部からエージェントが発生する確率が高くなることを考慮して、(1)で設定した、滞留をより誘発する樹木を、大階段上に分散させて配置する(図 15)。

②主要な流動経路となりうる場所の増設

(a) 蹴上高を揃える

大階段の蹴上高を、蹴上の低い階段の蹴上高と同じくし(図 15)、階段上からの流動経路の選択肢を増やすように誘導する。

(b) 池の撤去

流動経路の形状に大きく影響を与えている池を撤去する。

(c) 校舎前の出入口の拡張

校舎前の出入口前では多くの滞留が起こることが予測されるため、出入口を拡張する。

(3) 広場外との関係性を変更する場合

(a) 校舎出入口の位置

広場外との関係性を変更する一例として、校舎の位置を変更し、校舎出入口を画面右下の図 15(c)の位置に移動する。

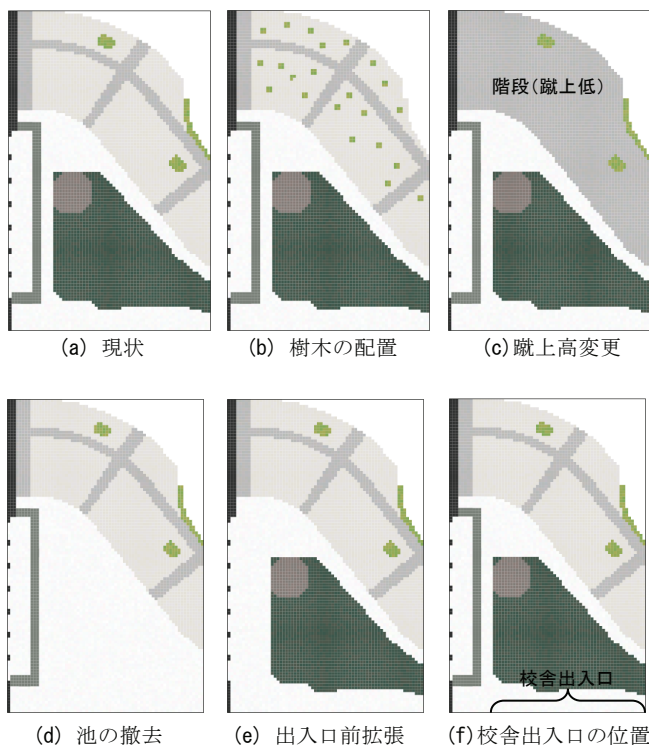


図 15 各種シミュレーション条件の変更

5.3.2 シミュレーション結果および考察

各変更に対する滞留分布、各エージェントが、滞留を希望して滞留できなかった場所を示すストレス分布図、各指標による値を表 10 および表 11 に示す。

(1) 広場内の場所を変更する場合

現状と比較して、樹木の魅力値を変更しただけでは、60 秒以上の滞留回数には影響を与えることができなかった。このことは、現状の樹木の分布は、滞留が起こりやすい分布ではないことを示している。一方で、午後の時間帯に関しては滞留のストレス度が増加しており、午後の時間帯に図面上部の出入口から発生するエージェントが増えることと、現在の樹木の配置が一部に集中した配置になっているので、他者との距離を確保しながら滞留位置を選ぶことができないことが影響していると考えられる。また、午後の時間帯には、流動のストレス度が比較的低くなっている、これは、現状では、滞留が図面の左から 1/4 程度の領域に集中していたが、樹木へ滞留を誘導することによって、主要な流動経路上で滞留するエージェントが減少したためと考えられる。

(2) 広場内の他の場所との関係性を含む場所を変更する場合

①広場内における人間行動との位置関係に基づいた配置変更

(1)と比較して、特に午後の時間帯で 60 秒以上の滞留が増加した。樹木の配置を、他者との距離を取りながら滞留できる配置に変更したことで、より多くの樹木上での滞留を誘発することができたためである。また、午後においては、知り合いとの滞留回数も増えている。これは滞留の分布が現状と比較して分散になったこと、そして、それら分散的な滞留が、樹木上であり、60 秒以上の滞留となり、各自に適応する距離帯内において他のエージェントと出会う確率が高くなったためであると推測される。一方で、午後の時間帯でストレス度が高くなっている。これは樹木の分散的な配置によ

て、各エージェントが樹木のセルと出会う確率が高くなり、また同時に樹木に滞留できるエージェントの数は、知り合い同士でない限り、最大1つまでなので、滞留のストレス度が高くなりやすくなったためである。なお、午前中には、今回の樹木の配置に対し、各指標がそれほど影響を受けていないが、全体を通して、午前中の滞留に対しては、校舎前の出入口の影響が強いためである。

②主要な流動経路となりうる場所の増設

(a) 蹴上高を揃える

流動経路の選択肢が増えた結果、階段上での滞留分布が分散し、滞留ストレス度、流動ストレス度ともに他と比較して全体的に低くなった。

実際には、大階段全体の蹴上が低くなる場合、蹴上高の種類が減ることによって、蹴上高を比較検討する必要自体がなくなり、その結果、蹴上高の低い階段での60秒以上の滞留が起こる確率に変化が起こる可能性がある。蹴上高の人間行動に対する影響については、「周辺と比較した上での蹴上高」を環境記号として抽出しさらに検討する必要がある。

(b) 池の撤去

池の撤去をしたことによって、出入口6、7付近での滞留に広がりが見られる上に、出入口6、7付近ではストレス度を感じていないことがわかる。これは、出入口6、7付近ではもともとエージェントの発生確率が比較的低い上に、滞留位置の選択肢に広がりが出たためである。

しかし、実際には、池の存在によって広場内全体の人間行動に影響があることが考えられるため、池の撤去によって、広場内全体の人間行動に変化が現れることが考えられる。調査対象地における池がどのような存在であり、また、人間行動にどのような影響を与えているかについて、インタビュー調査などによって明らかにする必要がある。

(c) 出入口前の拡張

校舎の出入口前の拡張によって、滞留分布が拡張した上に、出入口前でのストレス度の分布が比較的分散をしなくなっている。

実際には、撤去した階段を、校舎内に設置する、もしくは大階段の段数を増加する等によって、階段を調整する必要がでてくる。校舎内の入口付近に階段を設置した場合には、広場内の滞留に影響を与えることが予測される。

(3) 広場外との関係性を変更する場合

校舎出入口の位置を変更した結果、特に午前中での60秒以上の滞留回数が減少しているが、これは滞留が起こる確率が比較的高い校舎前の出入口付近が日陰ではなくなったためである。結果として、流動および滞留が交錯しやすい校舎前に短時間の滞留を誘発したため、滞留のストレスが減少したと考えられる。

今回、校舎出入口の位置の変更に伴って、そのほかの環境要素の配置の変更を一切行わなかったが、実際には、校舎出入口を動かすことによって現れる環境記号の変化についても同時に検討する必要がある。

5.4 小結

広場内にある要素を変更する際には、広場内における他の要素との関係性を考慮した上で変更を行う場合の方が、人間行動の確率的な法則性に対して、確率的な意味で大きな影響力を持つことができ

る。どのような関係性を考慮するべきかについては今後さらに分析をする必要があるが、本報では特に主要な流動経路との関係性を考慮することで全体の人間行動がさらに変化することを確認した。

また、広場内の環境要素の配置の変更をしなくても、広場外との関係性を変更すれば、広場内全体の人間行動に影響があることを確認した。

さらに、各環境記号および環境記号間との関係性について変更を行うことによって、建築・都市空間と人間行動に影響を与える可能性のある新たな環境記号を発見した。

表 10 各シミュレーション結果

		滞留回数		知り合いとの滞留	ストレス度		満足度	
		60↑	60↓		滞留	流動	滞留	流動
11時	現状	30	25	5	34	48	55	52
14時		38	12	13	33	61	50	55
11時	木の魅力値	27	23	6	28	51	50	52
14時		28	14	9	46	26	42	67
11時	木の再配置 ＋ルール	32	11	12	21	44	43	46
14時		55	9	23	56	103	64	63
11時	蹴上を揃える	19	25	4	21	30	44	56
14時		28	16	14	27	33	44	55
11時	池の撤去	31	19	4	26	59	50	54
14時		43	5	23	35	62	48	58
11時	出入口前 拡張	32	16	2	32	68	48	46
14時		39	9	12	22	39	48	48
11時	校舎移動	17	40	4	10	51	57	47
14時		39	7	11	17	36	46	48

6. 結

以上から、本報の研究成果は次に示す①～③の通りである。

①確率ネットワークとしての建築・都市空間が誘発する人間行動の記号過程の分析方法の基礎的な枠組みを構築した。

②ベイジアンネットワークに基づいた感度分析によって人間行動の記号過程を解説し、人間行動に対して確率的な意味で影響力のある環境記号を発見した。

③前報で構築したシミュレータに、分析に基づいた変更を加え、新たなシミュレータを構築し、確率的に影響力のある環境記号の配置の問題について、要素自身のみではなく、対象とする場所と要素との関係性、対象とする場所外の要素との関係性を考慮した上での建築設計を主眼において考察を行い、建築・都市空間を構成する要素同士の関係性のデザインが重要な意味を持つことを指摘した。

表 11 各シミュレーション結果

	11時		14時	
	滞留分布	ストレス分布	滞留分布	ストレス分布
現状				
木の魅力値を変更				
木の魅力値＋再配置				
蹴上を揃える				
池の撤去				
出入口前の拡張				
校舎移動				

注

- 注 1) 人間の思考作用を「環境に対する適応」のための行動として捉えるプラグマティズムの知識論の原理を記号論に導入し、記号論を行動主義の方向へ拡大発展させる試みは、C.S.Peirceによって展開され、C.Morrisによって体系化されたものである。
- 注 2) 本報では、記号としての環境(目的・状況および人間行動との結びつきから捉えた環境)を環境記号と呼ぶこととする。
- 注 3) C. Morris は、Peirce の記号モデルを行動科学の枠組みのもとで展開させた記号モデルを提示し、記号過程を行動との関連から説明している⁹⁾。
- 注 4) 調査地に入ってから出るまでを 1 回として、10:00～11:00 にのべ 270 回、12:00～13:00 にのべ 216 回の人間行動を確認した。うち有効データ 438 回に対し、各人間行動の 21 個の場所内(3.4.1(1)で定義)に対する行列データ 9198 行(=438×21(うち 10:00～11:00:5232 件, 12:00～13:00:3969 件))を獲得した。なお滞留を含む人間行動は 98 回で 2058 行(=98×21)。
- 注 5) $\arg \max$ は数学記号の 1 つ。argument of maximum に由来し、独立変数(argument)x のもとでの関数 $f(x)$ について、 $\arg \max f(x)$ は、与えられた関数 $f(x)$ が最大値を取る場合の独立変数の集合を示す。
- 注 6) データからベイジアンネットワークを求める問題は、NP 完全であるため¹⁶⁾、一般的には計算機上で、構造探索アルゴリズムを用いたヒューリスティクスによる発見的構造探索を行う。
- 注 7) 構造探索アルゴリズムについては、さまざまな方法が研究されている¹⁷⁾¹⁸⁾¹⁹⁾が、Hill-climbing は、コンピュータでの処理上の便宜と、良好な探索結果とのバランスがよいためによく使われるアルゴリズムである²⁰⁾²¹⁾²²⁾。本報において hill-climbing を用いた理由としては、局所探索法ではあるものの実際には良好な推測結果をもたらすこと²³⁾、行動記述データによって構築されたネットワークが理解しやすく、クロスバリデーションによる判別率が比較的高く(約 90%)、信頼性(予測モデルとしての正確性)が高いと判断したことが挙げられる。
- 注 8) 将来の予測精度に関する評価スコアについては、今なお研究が続けられており、これまでも K2metric の他に、AIC²⁴⁾、MDL²⁵⁾、BDeu²⁶⁾等が提案されている。本報で K2metric を用いた理由としては、K2metric によって構築されたネットワークが理解しやすかったことが挙げられる。
- 注 9) 使用出入口が 1・2 の場合は流動経路が多様であり、主要経路が定義できなかったため、同一の出入口を用いる場合同様、常に寄り道ありとした。
- 注 10) ベイジアンネットワークの構築および感度分析には、Waikato 大学の Machine Learning Laboratory を中心に開発されているデータマイニングツールである Weka (Waikato Environment for Knowledge Analysis) 3.6.6 を使用した。
- 注 11) 表内の各確率は、感度の値が正の方向に高い値を示す場合には、その確率が起こりやすくなるとの仮定の下で、感度の値に基づいて実験的に 5% 刻みで設定したが、各確率値および確率値の設定の方法を今後検討していく必要がある。
- 注 12) 本報では実験的に、個体距離を 10 セル、社会距離を 20 セルとして設定する。距離帯の大きさの検討は今後の課題とする。
- 注 13) 表 5 および表 6 で示されていない使用出入口については、行動傾向が予測できないことと、それらの使用出入口となる確率値が比較的小さく、起こりうる可能性も低いことから、表 5 および表 6 で示される使用出入口以外の組み合わせは起こらないものとして、シミュレータ内では、+5% の範囲で各到着口の確率値を修正して使用する。
- 注 14) この設定では、全体滞留時間が 60 秒未満と設定されたエージェントも 60 秒以上の滞留をする可能性があるが、今回使用出入口によっては、サンプル数が十分でないものあることを考慮し、使用出入口による行動傾向を絶対とせず、場所との相互作用をある程度許容する設定とした。

参考文献

- Burks, A. (ed.): *Collected Papers of C.S.Peirce Vol.7 and Vol.8*, The Belknap Press of Harvard University Press, 1979. (CP は Collected Papers of C.S.Peirce の略。数字は巻、節を示す。)
- Lewin Kurt: *Dynamic Theory of Personality Selected Papers*, McGRAW Hill Book Company, pp.240-241, 1935.
- Barker, R.: *Ecological Psychology concepts and methods for studying the environment of human behavior*, Stanford University Press, pp.18-34, 1968.
- Hall, E.: A System for the Notation of Proxemic Behavior, *American Anthropologist New Series*, Vol.65, No.5, pp.1003-1026, 1963.
- 瀬在良男: 日本大学人文科学研究所研究紀要, 第 2 号, プラグマティズムと現代記号理論の形成—C・モリスの「実験的人間学」試論—, p.2, 1960.

- 6) C. Morris: *Signs, Language and Behavior*, New York: George Braziller Inc., pp.17-20, 1946.
- 7) 立岡恵介ほか 2 名:購買行動と商品陳列方法のベイジアンネットワーク分析, 日本建築学会計画系論文集, vol.73, No.633, pp.2349-2354, 2008.11.
- 8) 立岡恵介ほか 2 名:店舗内の購買行動のベイジアンネットワーク分析, 日本建築学会計画系論文集, vol.73, No.634, pp.2633-2638, 2008.12.
- 9) 河田 諭志ほか 4 名: 室内における幼児の行動予測のための確率的因果構造モデルの学習と推論, 電子情報通信学会技術研究報告, NC, vol.107, No.542, 279-282, 2008.3.
- 10) 野守耕爾ほか 4 名: 乳幼児の環境誘発行動を予測する計算モデルの開発, *The Japanese journal of ergonomics*, vol.46, No.2, pp.166-171, 2010.4.
- 11) 気象庁: 気象統計情報, 2010.10.20., <http://www.data.jma.go.jp/>, (参照 2010.11.16.)
- 12) D.Heckerman: A Tutorial on Learning With Bayesian Networks, *Technical Report, MSR-TR-95-06, Microsoft Research*, pp.1-2, 1996.11.
- 13) 石垣司ほか 2 名: ベイジアンネットワーク, オペレーションズリサーチ, 55 巻, 9 号, オペレーションズリサーチ学会, pp.584-585, 2010.9.
- 14) J. Pearl, et al: Bayesian Networks, *the Handbook of Brain Theory and Neural Networks 2nd edition*, MIT Press, No.5, pp.157-160, 2002.11.
- 15) J.A. Gámez et al: Learning Bayesian networks by hill climbing: efficient methods based on progressive restriction of the neighborhood, *Data Mining and Knowledge Discovery* 22, pp.106-148, 2011.1.
- 16) D.M. Chickering: Learning Bayesian network is NP complete, in Learning from Data, *Artificial Intelligence and Statistics V*, pp.121-130, Springer Verlag, 1996.5.
- 17) G.F. Cooper, E. Herskovits: A Bayesian method for the induction of probabilistic networks from data, *Machine Learning* 9, pp.309-347, 1992.10.
- 18) W. Lam, F. Bacchus: Learning Bayesian belief networks: An approach based on the MDL principle, *Computational Intelligence* 10, pp.269-293, 1994.8.
- 19) D. Heckerman et al: Learning Bayesian Networks: The Combination of Knowledge and Statistical Data, *Machine Learning* 20, pp.197-243, 1995.3.
- 20) W. Buntine: Theory refinement on Bayesian networks, *Proc. of the 7th Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence*, pp.52-60, 1991.7.
- 21) W. Buntine: A guide to the literature on learning probabilistic networks from data, *IEEE Trans. on Knowledge and Data Engineering* 8, pp.195-210, 1996.4.
- 22) D.M. Chickering: Learning equivalence classes of Bayesian-network structures, *Journal of Machine Learning Research* 2, pp.445-498, 2002.2.
- 23) N. Friedman et al: Learning Bayesian Network Structure from Massive Datasets: The “Sparse Candidate” Algorithm, *Proc. 15th Conf. on Uncertainty in Artificial Intelligence*, pp.206-215, 1999.8.
- 24) H. Akaike: A new look at the statistical model identification, *IEEE Transactions on Automatic Control* 19(6), pp.716-723, 1974.12.
- 25) J. Rissanen: Stochastic complexity and modeling, *The Annals of Statistics* 14(3), pp.1080-1100, 1986.12.
- 26) D. Heckerman, et al: Learning Bayesian networks: The combination of knowledge and statistical data, *Machine Learning* 20, pp.197-243, 1995.9.
- 27) G. Cooper, et al: A Bayesian method for the induction of probabilistic networks from data, *Machine Learning* 9, pp.309-347, 1992.7.
- 28) Jensen, F. V.: An Introduction to Bayesian Networks, University College London Press, 1996.8.

※本研究は、平成 19～23 年度科学研究費補助金学術創成研究「記号過程を内包した動的適応システムの設計論」（研究代表者：榎本哲夫）、および平成 23 年度科学研究費補助金（特別研究員奨励費）「建築・都市空間が誘発する人間行動の記号過程に関する研究」の一部として遂行したものである。