

スマートライフ

研究代表者 入江正之
(理工学術院教授)

1. 研究課題

設計実務において人間の生活あるいは暮らしにおける行動特性を反映させるためには、膨大な人間の生活行動調査が必要であり、それを分析・体系化することによって、人間の生活欲求を反映させた建築空間が構築される。そこで、これまで40年間にわたって行ってきた空間における人間行動の研究成果が、実際の設計段階にどのように導入できるのかを明らかにすることが、本プロジェクト研究の目的である。

2. 主な研究成果

これまでに人間と空間との関係を研究してきた中で、空間における人間の行動特性に関する知見の抽出、その知見をもとにした人間と空間との関係のモデル化、このモデルをもとにしたコンピュータ上で行動をシミュレーションする行動シミュレータの作成などを行ってきた。

このシミュレータを作成する意義は、シミュレータを用いて計画された空間の計画案を人間の行動の側面から評価し、人間の行動からより良い計画案としてブラッシュアップすることである。しかし、「実際のデータとモデルが合っているかどうか」という部分にばかり議論が集まり、本来の意義である「モデルを用いてシミュレーションを行い、より良い計画案を作り上げる」という肝心な部分に行き着かない研究が多い(図1上)。

そこで本プロジェクト研究では、ある程度の知見をもとにモデル化してそれを実行するシミュレータを作成し、このシミュレータでシミュレーションを行い、そして空間を評価することに重点を置いた(図1下)。

以下に、本プロジェクト研究で作成したシミュレータを二つ紹介する。駅の改札を出たあたりの待ち合わせ行動に焦点を当てたもので、一つ目は障害物を避ける行動に重点を置いたシミュレータ、二つ目は柱周りの立ち止まりに重点を置いたシミュレータである。また、二つ目では、柱の位置などを変えシミュレーションを行い、どの計画案が良いのかという評価を行っている。

なお、行動シミュレーションの環境は、フリーのソフトウェアである NetLogo (<https://ccl.northwestern.edu/netlogo/>) を用いて構築した。

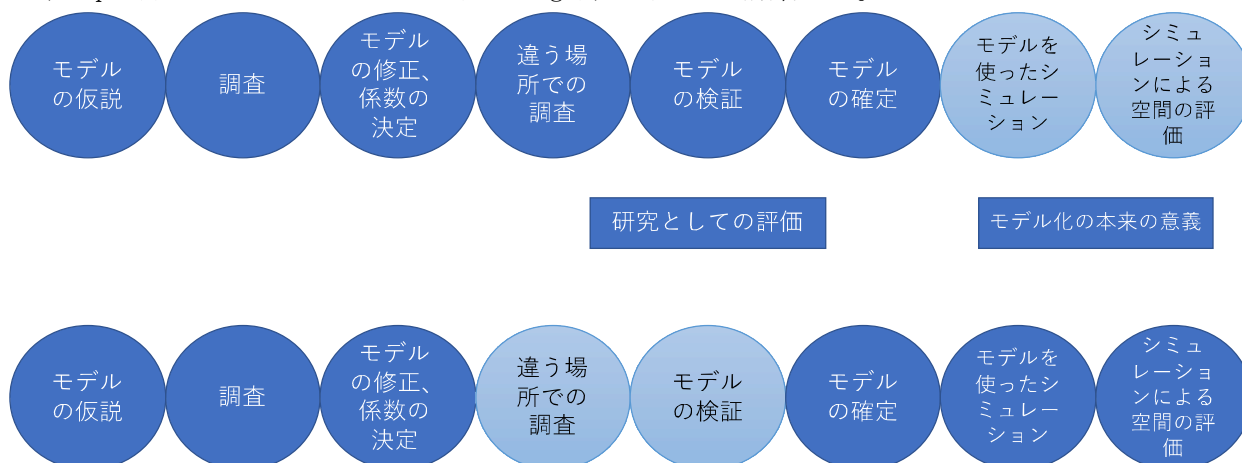


図1 シミュレーションの本来の意義

○周辺状況による意思決定モデルを用いた歩行者の行動シミュレータ (DFMAPs)

・NetLogo について

NetLogo はオープンソースのマルチエージェントシミュレータであり、パッチ、タートルというエージェントによって構成されている。

パッチとはシミュレーションの背景となるグリッドである。本研究では1パッチを1辺1mの正方形とし、30m×30mの領域に柱が4本存在する通路型の空間を作成しシミュレーションを行った。

タートルはパッチで構成される実行空間上を動くエージェントである。本研究では駅空間の利用者をタートルとし、立ち止まり客と通過客の両者を区別し、それぞれが個別の行動モデルに沿って行動することとした。

NetLogo では tick という時間単位ごとにシミュレーションを行っている。本研究では1tick=1秒と設定し、1秒毎に各タートルが周辺状況を確認し、意思決定及び行動を行うこととした。

・立ち止まり客の行動アルゴリズムの作成

はじめに、柱・壁の存在から立ち止まり箇所が影響を受けるアルゴリズムを作成した。従来の研究結果より、柱・壁などの障害物から4m以内の範囲、改札から12m±3mの範囲を立ち止まり発生領域として設定した。ここで設定した発生領域をシミュレーション空間上に表示したものを図2に示す。

次に他の利用客からの影響をアルゴリズムとして作成した。始めに、群衆流動からの影響について再現するため、群衆流動の発生を、パッチ上を通過した通過客エージェントの数を計測することで実装した。各パッチが直近20秒で自分の上を通過した通過客の数を計測し、一人でも通過した場合群衆流動があるとして、通過人数が0人であったパッチのみを立ち止まり発生領域とした。図3にシミュレーションの実行例とこの設定による立ち止まり発生領域を示す。

次に他の立ち止まり客からの影響を再現するため、立ち止まり客エージェントが発生した

際、半径 1m の範囲を立ち止まり発生領域から除外し、他の立ち止まり客に近接して立ち止まりが起きないようにした。

最後に、これら 3 つの条件を満たしたパッチを最終的な立ち止まり発生領域と設定した。図 4 にシミュレーションの実行例とその場合の立ち止まり発生領域を表示したものを示す。

図から分かる通り、立ち止まり発生領域は空間内のエージェントの数や位置に大きく影響を受け、時間変化に応じて変化する。立ち止まり客エージェントはその瞬間の立ち止まり発生領域のいずれかのパッチにランダムに発生することとし、立ち止まり客がその瞬間の周辺状況から立ち止まれる場所を決定する行動を再現した。また、立ち止まり客の発生確率は事前調査の結果より通過客の発生人数の 1/60 とした。場所を選択した後の立ち止まり時間は事前調査の結果より 4 分とし、各立ち止まり客が発生からの経過時間を計測し、4 分=240tick を超えた時点で消滅するよう設定した。

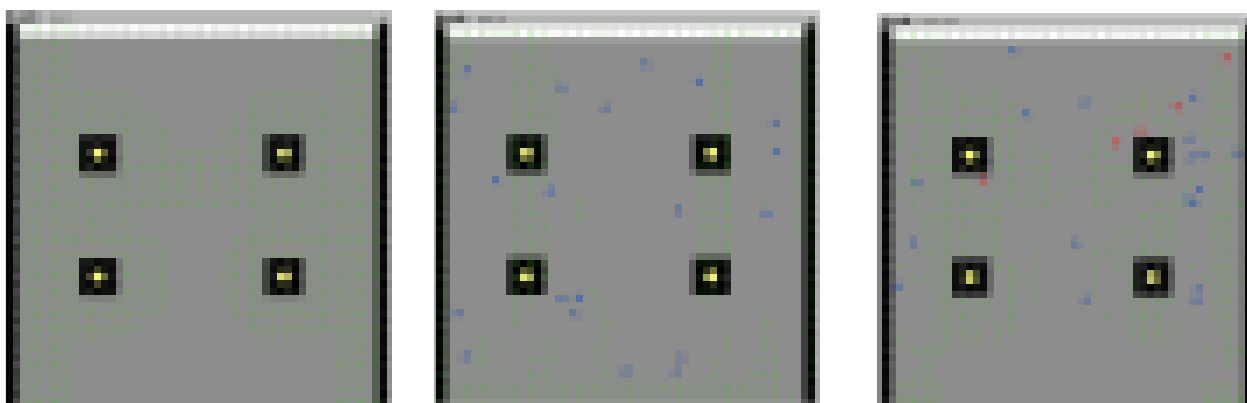


図 2 障害物による立ち止まり発生領域 図 3 群衆流動による立ち止まり発生領域 図 4 立ち止まり発生領域

・通過客の行動アルゴリズムの作成

通過客はシミュレーション空間の下辺で発生し上辺に向かって移動するように設定した。時間間隔あたりの発生人数は実行者が自由に設定できるスライダーを設置した。

歩行行動については、発生時に各通過客に割り振られた固有の歩行速度に従って 1tick ごとに移動するように設定した。また、歩行速度の平均値、ばらつきはスライダーで設定できる仕様とした。

次に、通過客エージェントが障害物を検知できるよう、毎 tick ごとに各通過客の 10 秒先に到達する距離以内の全パッチの属性を確認し、一つでも障害物のパッチが含まれていた場合障害物を検知したとし、回避行動に移行する。図 5 に障害物を検知する例を 2 つ示す。

次に、回避行動のアルゴリズムを図 6 に示す。10 秒後に到達する距離内の障害物パッチ数を比較することで回避方向、回避角度をエージェントが選択する方式を採用した。

通過客エージェントが障害物を検知した場合(A)、エージェントは左右それぞれ 20° と 40° に方向を変え、それぞれの回転方向ごとに 10 秒後に到達する距離内の障害物パッチ数を計測する。そして 4 方向の内最も障害物パッチ数が少ない方向(図 6 の条件ではパッチ数 0 の C と E)の中でさらに回転角が少ないもの(C)を最良の回避角度と判断し、その角度に進行方向を変える。ここまでは障害物について検知と回避のアルゴリズムを作成したが、立ち止まり客の回避についても同様に、10 秒後に到達する距離内の立ち止まり客エージェント数を確認する方式を採用した。

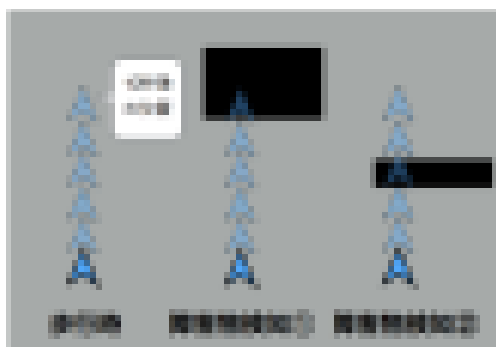


図5 障害物の検知

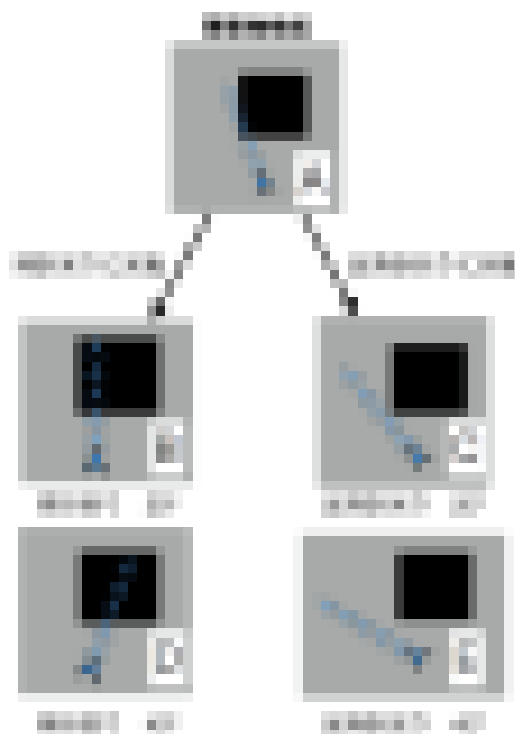


図6 方向転換による回避方向の選択

・実行例

本研究では立ち止まり客・通過客それぞれの行動についてモデル化を行い、各エージェントが周辺状況による意思決定を行うシミュレーション(広域型 DFMAPs)を作成した。図7にS駅中央西口改札外側コンコースにおける広域型 DFMAPs の実行例を示す。

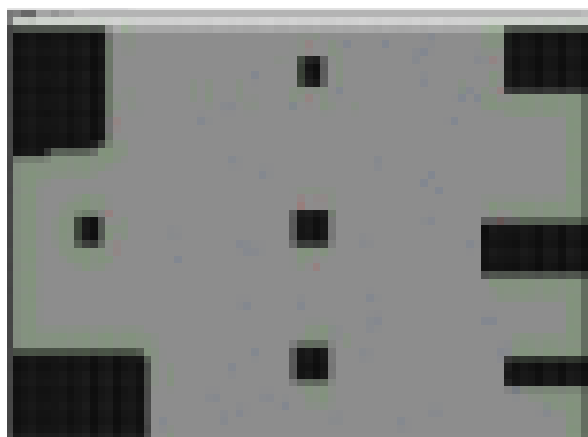


図7 S 駅西口におけるシミュレーション実行例

○歩行者の行動シミュレータ (DFMAPs) を用いたシミュレーションによる空間評価

・シミュレータの設計

本シミュレータで用いられる歩行者の行動特性モデルは、駅コンコース内の柱に着目して、柱周囲の滞留者による影響を考慮したものである。

歩行者は、シミュレータの下端を出発点として、上端の出口まで歩行して消える。出発点に発生する人数は、パッチ上の歩行者人数が 50 人に近似するように、0.5 秒ごとにプログラム内で調整される。

本シミュレータでは、柱 2 本までの配置が可能である。インターフェース上で 2 本の柱の配置座標を明確にするために、柱 1、柱 2 と分類した。歩行者は、進行方向の柱が右側か左側かにより、避ける方向を変えている。

本シミュレータにおける空間の評価は、歩行者の色の違いを判断基準とする。

歩行者は、移動中に滞留域内に入った場合、設定された滞留割合により、滞留するか、そのまま通過するか行動を選択する。滞留した場合は、歩行者は白色から水色に変色し、滞留終了後に白色に戻り歩行を再開する。

歩行者は、他の歩行者や滞留者が半径 1 パッチ内に存在する場合は、混雑を感じているとして、白色から赤色に変色する。その後、半径 1 パッチ内に他の歩行者や滞留者が存在なくなると、混雑は解消したものとして、赤色から白色にもどる。柱周囲の滞留域を変えることにより、滞留者の分布を変えることが可能である。

歩行者の色の変化により、混雑が多く発生している状況を確認して、空間評価の基準とする。

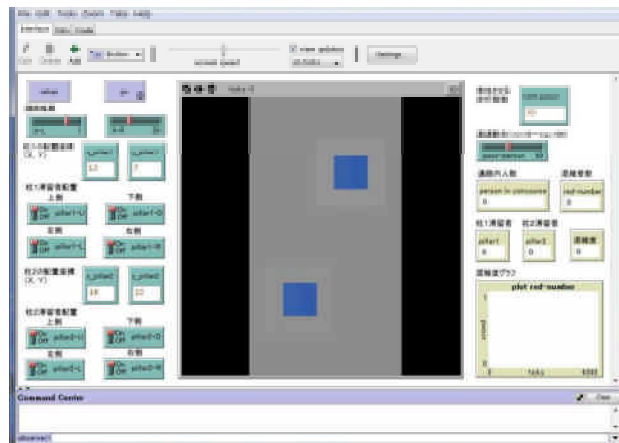


図 8 狭域型 DFMAPs のインターフェース

・狭域型 DFMAPs のインターフェース

本研究で、NetLogo を用いて制作したシミュレータを図 8 に示す。

一度滞留した歩行者は、次の滞留域に入っても滞留しないように設定した。setup ボタンによりシミュレーションの準備を行い、go ボタンによりシミュレーションを実行する。NetLogo のデフォルトで用意された、スライダー、スイッチ、インプットにより、シミュレーションに必要なパラメーターを設定する。

歩行者は進行方向前方に、柱の右側があった場合は左に方向を変え、柱の左側があった場合は右に方向を変えて、柱を避ける。進行方向前方に壁があった場合は、座標位置により、逆方向へ向きを変えて壁を避ける。

・歩行者の行動シミュレーション

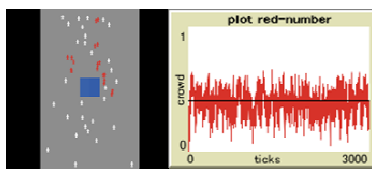
本シミュレータを用いてシミュレーションを行う。

コンコースの幅は 18 パッチに固定した。滞留者は、滞留域を歩行中の歩行者の中からランダムに発生し、シミュレータ上で滞留者の影響がわかりやすくなるように、柱 1 本あたり 10 名前後となるように設定した。滞留域の位置を調整することにより、滞留者の滞留状況を変化させて、モデル化した。柱の本数、配置、滞留域をパラメーターとして、30 パターンのモデルに分類し、シミュレーションを行った。

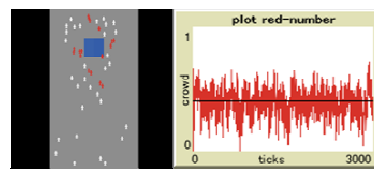
・シミュレーションの結果と考察



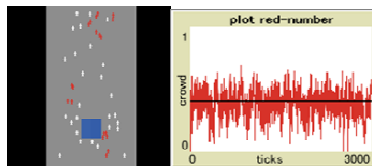
1. 柱なし



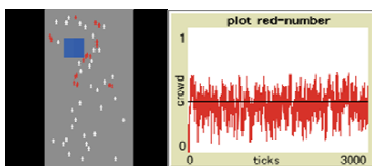
2. 柱 X15-Y23 滞留無



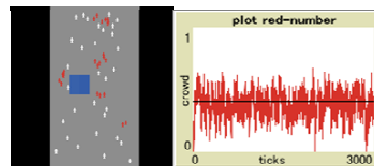
3. 柱 X15-Y15 滞留無



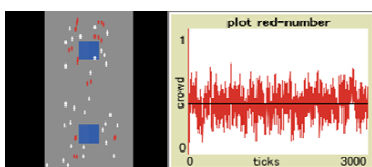
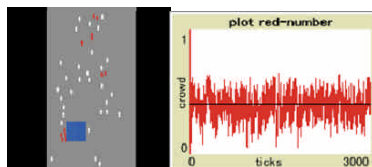
4. 柱 X15-Y6 滞留無



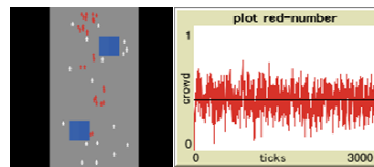
5. 柱 X12-Y23 滞留無



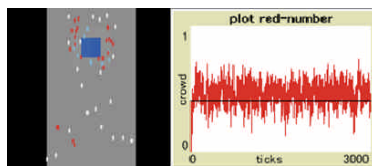
6. 柱 X12-Y15 滞留無



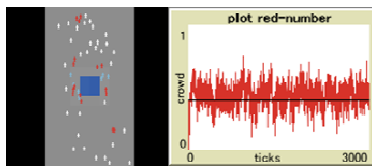
7. 柱 X12-Y6 滞留無



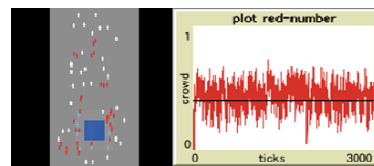
8. 柱 X15-Y6/X15-Y23 滞留無



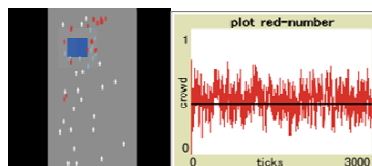
7. 柱 X12-Y6 滞留無



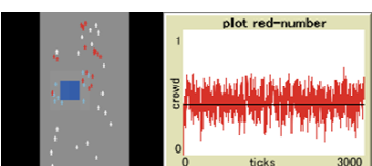
8. 柱 X15-Y6/X15-Y23 滞留無



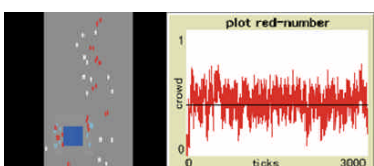
9. 柱 X12-Y6/X18-Y23 滞留無



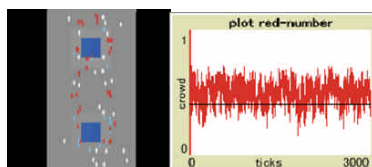
10. 柱 X15-Y23 全面滞留



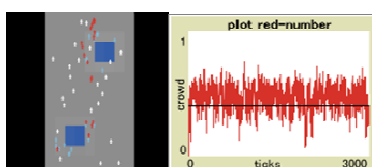
11. 柱 X15-Y15 全面滞留



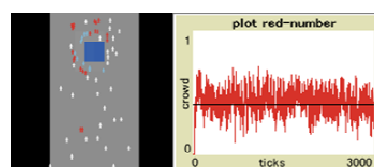
12. 柱 X15-Y6 全面滞留



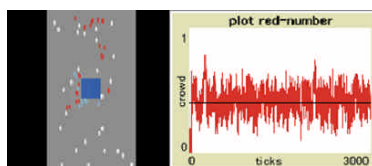
13. 柱 X12-Y23 全面滞留



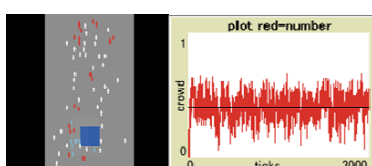
14. 柱 X12-Y15 全面滞留



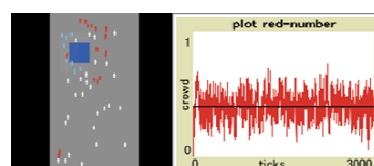
15. 柱 X12-Y6 全面滞留



16. 柱 X15-Y6/X15-Y23 全面滞留



17. 柱 X12-Y6/X18-Y23 全面滞留



18. 柱 X15-Y23 左滞留

19. 柱 X15-Y15 左滞留

20. 柱 X15-Y6 左滞留

21. 柱 X12-Y23 左滞留

図9 歩行者の行動シミュレーション結果 (その1)

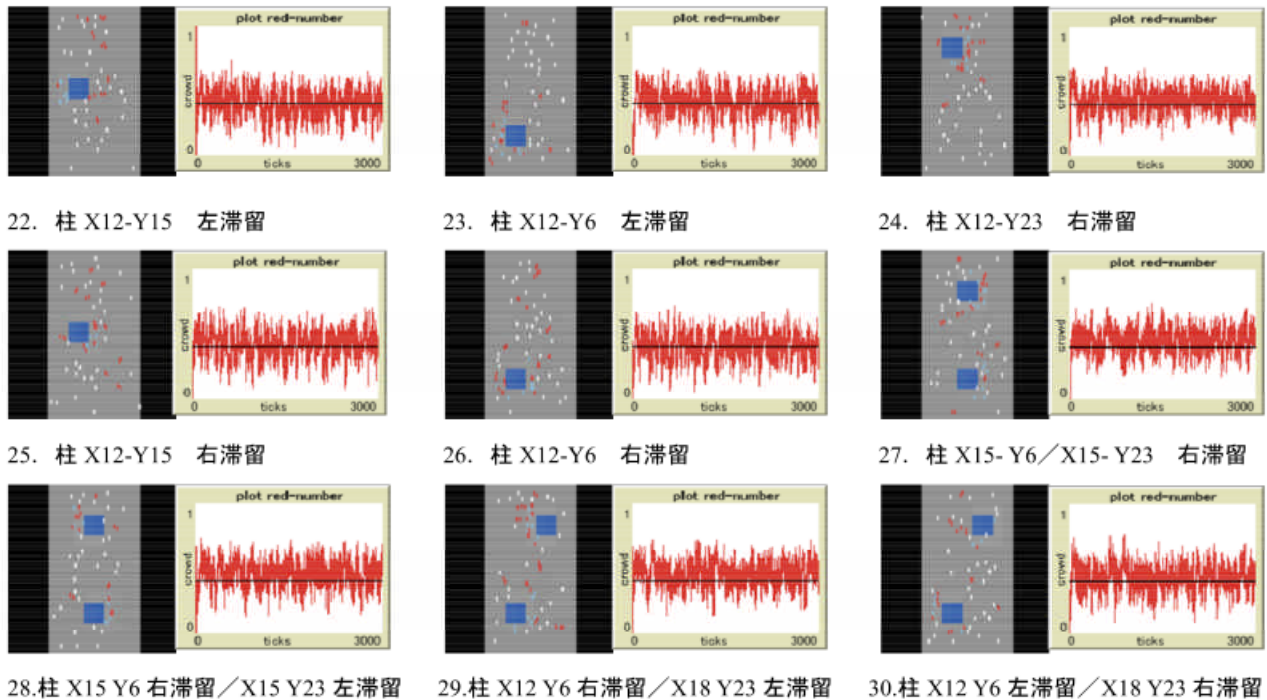


図9 歩行者の行動シミュレーション結果 (その2)

シミュレーション結果を図9に示す。それぞれの図の左の図は、柱および滞留域の配置と歩行者の状況を表している。右のグラフは混雑度(全歩行者中混雑を感じている人の割合)を表している。混雑度の状況を把握しやすくするために、グラフ中において混雑度0.4の位置を黒線で表した。

混雑度がもっとも低いのは、柱のないNo.1のモデルで、もっとも高いのは、柱2本をX軸中央部に直列配置し、柱全面を滞留域としたNo.16のモデルであった。

滞留域を設けないモデルでは、柱の本数が1本のモデルより、2本のモデルの方が、混雑度は増加した。柱の配置の違いによる混雑度には大きな差は見られなかった。

柱周囲に滞留域を設けたモデルは、滞留域のないモデルより混雑度が増加した。

柱1本を配置したモデルは、通路X軸中央部に配置したモデル(No.10~12)より、壁側に寄せて設置したモデル(No.13~15)の方が、混雑度が低かった。壁側に柱を寄せた場合、壁側の通路幅の狭い部分では混雑度が増加するが、反対側の通路幅の広い部分での混雑度の減少の方が大きいためと考える。

柱の片側に滞留域を設けたモデル(No.18~30)は、全面に滞留域を設けたモデル(No.10~17)より、混雑度が減少した。

2本の柱を左右の壁に寄せて、互い違いに配置したモデル(No.17)は、X軸中央部に直列に配置したモデル(No.16)より、混雑度が減少した。柱を壁側に寄せることで、反対側に広い通路ができて、混雑度が減少したと考える。2本の柱を左右の壁側に寄せたモデルでは、2本の柱の滞留域を通路中央側に設けたモデル(No.29)より、壁側に設けたモデル(No.30)の方が、混雑度が減少した。歩行者の流動が多い通路中央付近の滞留域の有無が原因と考える。

以上の結果により、柱の配置や、滞留域を検討することで、歩行者の混雑度の調整が可能になると考える。

3. 共同研究者

渡辺仁史 (理工総研)

林田和人 (理工総研)

4. 研究業績

4.1 学会発表

・森下正道, 大内一昇, 林田和人, 佐野友紀 : NetLogo を用いた駅コンコースにおける行動シミュレーションその 1 周辺状況による意思決定モデルを用いた歩行者の行動シミュレータ (DFMAPs), 日本建築学会第 39 回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集, 2016.12, pp.145-148

・池川隼人, 石橋優貴, 林田和人, 渡辺仁史 : NetLogo を用いた駅コンコースにおける行動シミュレーションその 2 歩行者の行動シミュレータ (DFMAPs) を用いたシミュレーションによる空間評価, 日本建築学会第 39 回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集, 2016.12, pp.141-144

4.2 学会および社会的活動

林田和人

- ・ 日本建築学会空間研究小委員会出版 WG 委員
- ・ 日本建築学会知的情報処理技術応用小委員会委員
- ・ 日本建築学会感性予測デザイン研究小委員会委員・主査
など

5. 研究活動の課題と展望

DFMAPs を用いることで、より現実の駅コンコース空間の利用実態に即したシミュレーションを行うことができる。DFMAPS は本研究で設定した空間にとどまらずシミュレーションを行うことができるので、今後は立ち止まりによって発生する諸問題の解決にシミュレーションから得られた結果をどうつなげるかが課題である。