

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ー (DFMAPs)

○森下 正道^{*1} 大内 一昇^{*1}
林田 和人^{*2} 佐野 友紀^{*3}

キーワード：NetLogo 歩行者 シミュレーション 駅コンコース 意思決定 周辺状況

1.はじめに

多くの人が利用する大規模駅のコンコースにおいて、待ち合わせや休憩などのために立ち止まる利用客の存在は人の流れを妨げる要因として指摘されている。この問題を解決するため田口¹⁾や梅澤²⁾は、立ち止まる利用客の行動特性をモデル化し予測シミュレーションを行った。

しかしそれらの研究では、柱や改札からの距離などといった空間的要素と人の動きの関連のみをモデル化しシミュレーションを行っており、駅利用客同士が互いに与えあう影響については再現されていなかった。

実空間では立ち止まりは群衆流動の少ないところに発生し、群衆流動は立ち止まり客を避ける、といったように各利用者は互いの行動から影響を受け、次にどういった行動を行うか意思決定をしている。そのため現実には即したシミュレーションを実現するためには利用者同士の相互作用による意思決定を考慮する必要がある。

ここで言う意思決定とは、柱や壁などの空間要素や他の利用客などの、時間によって変動する周辺状況をもとに利用者が行動を決めることである。

2.目的

本研究では、駅コンコースにおける利用者同士の相互作用による意思決定のプロセスをモデル化し、駅コンコース内を広域にシミュレーション可能な歩行者の行動シミュレーター(広域型 **DFMAPs = Decision-making Focused Multi-Agent Pedestrian Simulator**)を作成した。

また、シミュレーションソフトとしてオープンソースソフトウェアである NetLogo を用いた。

本研究で用いる用語について、定義を表1に示す。

表1

用語	定義
通過客	コンコース内を通過する利用者
立ち止まり客	コンコース内で立ち止まる利用者
立ち止まり発生領域	立ち止まりが発生する領域
群衆流動	多数の歩行者が移動している状態

3.行動観察調査

駅利用者の意思決定要因・行動特性を明らかにするため、実際の駅において行動観察調査を行った。

3.1 調査概要

日時：2016/6/8 14:00~15:00

場所：S 駅中央西改札外側コンコース

3.2 調査結果

実地調査より、改札を通過した利用者が一時間あたり15000 人を超えるのに対し立ち止まり客はコンコース内の柱10本を合計しても241人と人数比は60倍以上であることがわかった。立ち止まり客の観察から立ち止まる時間の平均は3.9分で、他の立ち止まり客と1m以上離れて立ち止まることも明らかになった。通過客については、立ち止まり客から一定距離を置いて歩行していること、遠回りでも方向転換が少ない経路で歩行することが明らかになった。

また、前述の梅澤²⁾では立ち止まり客について、立ち止まりが発生する条件として、柱・壁からの距離が4m以内の領域と改札からの距離が12mの領域が立ち止まり発生領域になること、群衆流動の発生している空間は立ち止まり発生領域にならないことが示されている。

3.3 駅利用者の行動フロー

図1、図2に調査結果より設定した立ち止まり客・通過客両者の行動フローを示す。

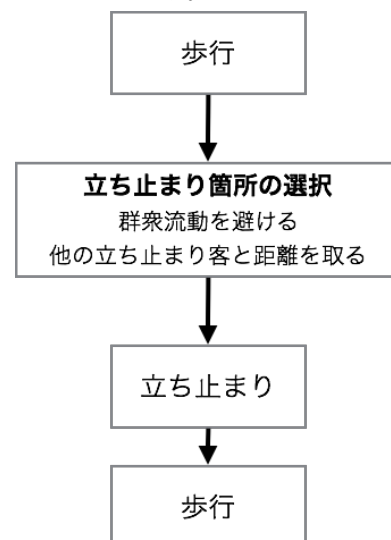


図1 立ち止まり客の行動フロー

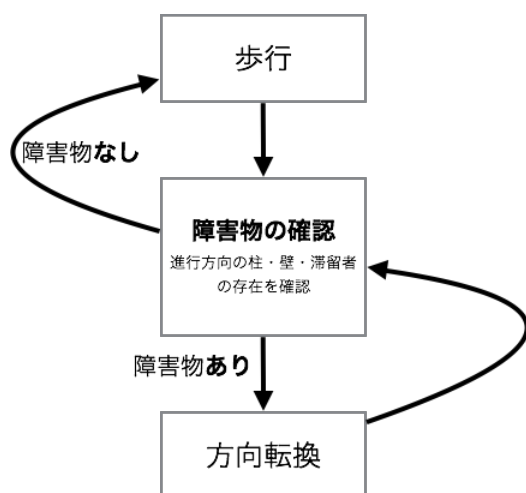


図2 通過客の行動フロー

この行動フローの内、本研究でアルゴリズムの作成を行ったものを表に示す。

表2 本研究で作成したアルゴリズム

アルゴリズムを作成した行動	行動の主体
立ち止まり箇所の選択行動	立ち止まり客
立ち止まり行動	立ち止まり客
歩行	通過客
障害物の確認と回避	通過客

行動観察調査より、立ち止まり客の人数は通過客に対しての割合が低い。そこで、立ち止まり場所までの移動によって他のエージェントが受ける影響は極めて小さいと考え、立ち止まり客の歩行行動については省略した。

これらの行動観察調査の結果と先行研究の結果を整理すると、立ち止まり客は、(1)壁や柱、改札から一定距離の範囲(2)群衆が発生していない(3)他の立ち止まり客から1m以上離れている、の3条件を満たす領域で立ち止まることがわかった。

同様に通過客は(4)立ち止まり客や柱・壁を避ける(5)方向転換が少ない、の2条件を満たす経路で歩行していることがわかった。利用者はこの5条件をもとに周辺状況进行分析し、行動を決定していると考えられるため、本研究ではこれらの条件に従った行動シミュレータを作成した。

4. 周辺状況による意思決定モデル

4.1 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、リンクの3つの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。図3にシミュレーション空間を示す。

間を示す。

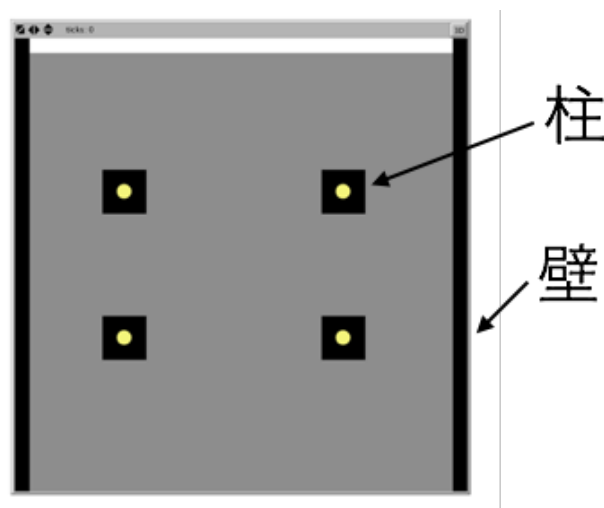


図3 本研究で用いたシミュレーション空間

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。表2に本シミュレーションの各エージェントの表示例を示す。

表2 エージェント一覧

エージェント例	説明
	歩行領域(灰色) 通過客エージェントが通行するパッチ領域
	障害物(黒色) 柱・壁など通行・立ち止まりが発生しない領域
	立ち止まり発生領域(緑数字) 立ち止まりが発生するパッチ領域
	通過客(青矢印) コンコース内を通過する利用客
	立ち止まり客(赤矢印) コンコース内で立ち止まる利用客

4.2 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。前述の梅澤²⁾の結果より柱・

壁などの障害物から 4 m 以内の範囲、改札から $12\text{m} \pm 3\text{m}$ の範囲を立ち止まり発生領域に設定した。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 4 に示す。

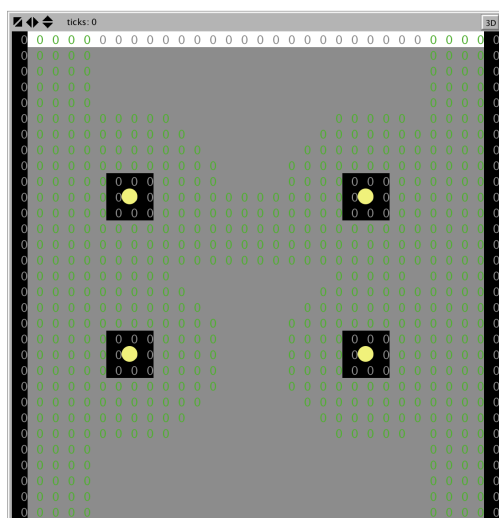


図 4 障害物による立ち止まり発生領域

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 5 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。

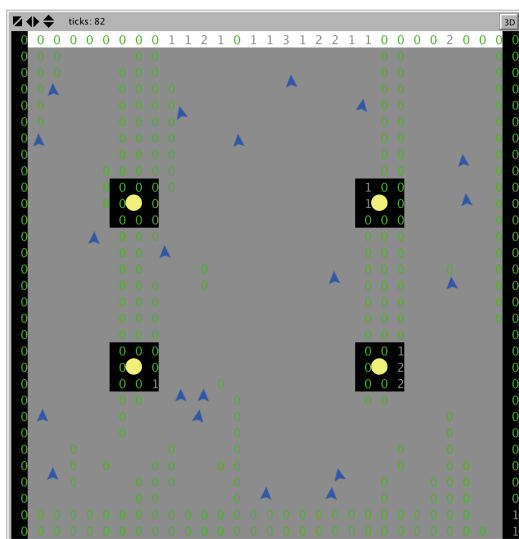


図 5 群衆流動による立ち止まり発生領域の実行例

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、上記の 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 6 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。

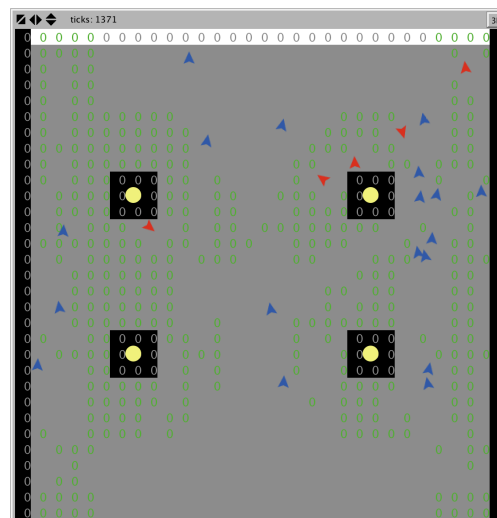


図 6 実行例と立ち止まり発生領域

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・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 = 240 tick を超えた時点で消滅するよう設定を行った。

4.3 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 1 tick 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に、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 7 に障害物を検知する例を 2 つ示す。

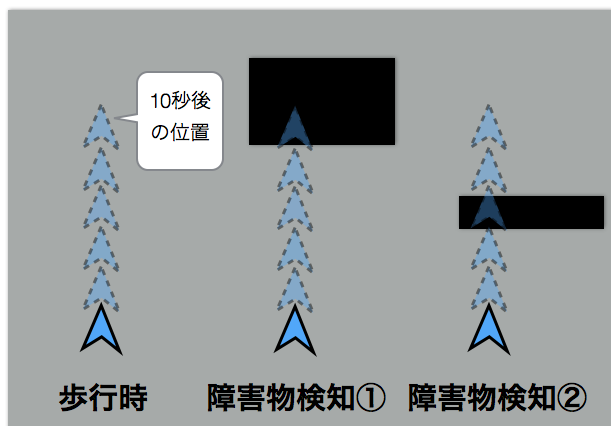


図7 障害物の検知

次に、回避行動のアルゴリズムを図8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。

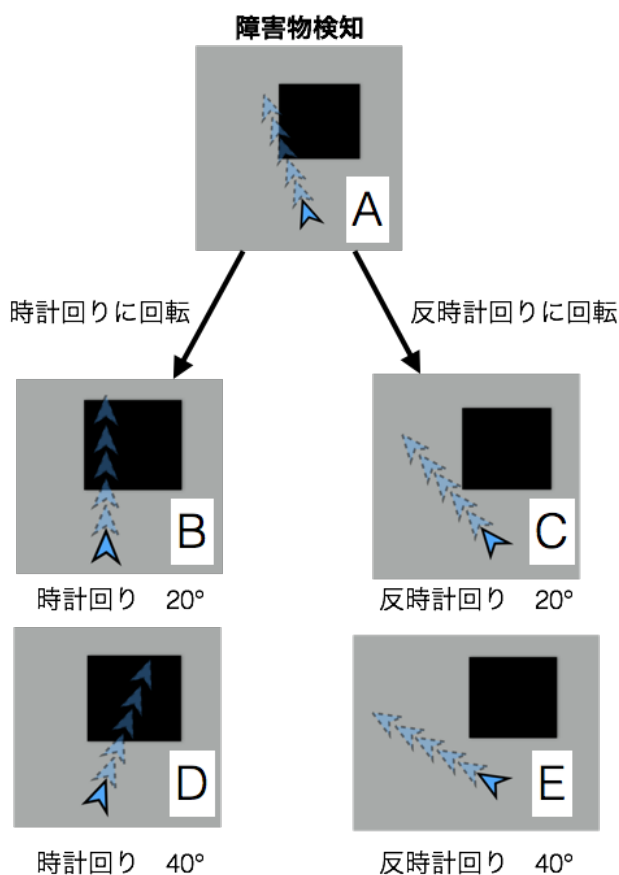


図8 方向転換による回避方向の選択

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。

5.まとめと今後の展望

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。広域型 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出来る。

図9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。このように 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出来るので、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繋げるかが課題である。

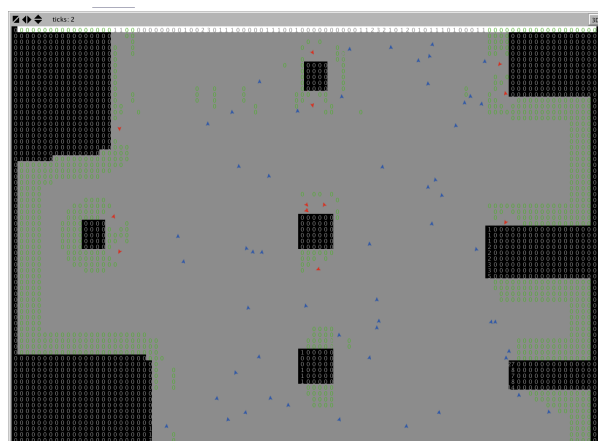


図9 S 駅西口におけるシミュレーション実行例

【参考文献】

- 1) 田口想：流動の影響を考慮した立ち止まり行動のモデル化に関する研究，2003 年度早稲田大学修士論文，2003
- 2) 梅澤力：駅における待ち合わせ行動予測モデル，1998 年度早稲田大学修士論文，1998
- 3) 池川隼人、石橋優貴、林田和人、渡辺仁史：群集状態に基づく行動選択モデルを用いた空間評価—NetLogo によるシミュレーション その 2—，第 38 回情報・システム・利用・技術シンポジウム 2015，2015. 12
- 4) 中丸隆二：駅改札口における待ち合わせによる滞留行動の研究，1997 年度早稲田大学修士論文，1997，

- *1 早稲田大学 大学院人間科学研究科 修士課程
- *2 早稲田大学 理工学術院 客員教授・博士 (工学)
- *3 早稲田大学 人間科学学術院 教授・博士 (工学)