

2022年度 卒業論文

スーパーマーケットにおける店舗内行動を考慮した
群衆シミュレーションに関する研究

指導教員：渡辺 大地 教授

メディア学部 ゲームサイエンスプロジェクト

学籍番号 M0119282

村瀬 也海

2023年2月

2022年度 卒業論文概要

論文題目

スーパーマーケットにおける店舗内行動を考慮した
群衆シミュレーションに関する研究

メディア学部

学籍番号：M0119282

氏名

村瀬 也海

指導
教員

渡辺 大地 教授

キーワード

群衆シミュレーション、スーパーマーケット、混雑、
店舗内行動、Social-Force モデル

食料品、衣料品や日用品を幅広く取り揃える小売店舗は、毎日多くの買い物客が利用している。小売店舗では、客の買い物をサポートするために、多くの商品を簡単に持ち運ぶことができるショッピングカートを用意している店舗もある。店舗での買い物客の滞在時間や売上を伸ばす店舗内レイアウトの分析に群衆シミュレーションを用いた研究がある。しかし、今日流行している新型コロナウイルス感染症により、店舗を利用する買い物客からは、店舗での滞在時間の短縮が望まれるようになった。小売店舗経営者は、買い物客が快適に買い物ができる店舗内環境整備のために、また感染症拡大予防のために、混雑の緩和に取り組んでいる。

混雑の緩和をすることで買い物客の店舗内滞在時間の短縮に繋がると考えた。本研究では、店舗内の混雑を確認することができ、店舗レイアウト検討時に活かすことができるシミュレーション手法の提案を目的とした。また、本手法はレイアウト検討時の利用を想定したため、実際の買い物客のデータを利用しない、リアルタイムのシミュレーション手法を目指した。本稿では、ショッピングカートを使用する買い物客の店舗内行動を再現するシミュレーション手法を提案する。店舗内を想定したシミュレーションの環境をグラフで表現し、Social-Force モデルをもとに移動経路を決定した。提案手法の実装を行った結果、ショッピングカートを押して歩く買い物客が、他の買い物客を避けながら、店舗内の目的の商品の場所を目指して移動する動きが再現できていることを確認した。

目次

第1章	はじめに	1
1.1	研究背景と目的	1
1.2	論文の構成	3
第2章	提案手法	4
2.1	シミュレーション環境と移動経路	5
2.2	歩行者モデルの表現と基本動作	8
2.3	速度ベクトルの決定	9
2.3.1	認識判定	10
2.3.2	反発力計算	12
2.3.3	速度の算出	13
2.3.4	速度変更処理	13
2.3.5	位置の算出	15
第3章	実行結果と考察	17
3.1	実行結果	17
3.2	考察	23
第4章	まとめ	26
	謝辞	28
	参考文献	29

目次

2.1	本手法の処理の流れ	5
2.2	シミュレーション環境	6
2.3	空間内のエッジとノード配置	7
2.4	ルートノードのたどり方	8
2.5	買い物客エージェントに働く力	9
2.6	認識判定領域	11
2.7	買い物客エージェントを囲む境界ボリューム	13
3.1	店舗内を移動する買い物客エージェントの様子	18
3.2	すれ違う前の様子	19
3.3	すれ違う途中の様子	19
3.4	すれ違った後の様子	19
3.5	真正面の買い物客エージェントと接触している様子	20
3.6	複数列で向かってくる買い物客エージェントとの交差前の様子	21
3.7	目的地の場所で買い物客エージェントが接触している様子	22
3.8	混雑した場所で接触している様子	23

第 1 章

はじめに

1.1 研究背景と目的

商品を幅広く取り揃えている小売店舗は、毎日多くの人々が利用している。客の買いものをサポートするために、ショッピングカートを用意している店舗もある。ショッピングカートは台車と買い物かごが一体となったような形状をしており、多くの商品を容易に持ち運ぶことが出来る。

スーパーマーケットなどの小売店舗は買い物客に多くの商品を購入してもらうための働きかけをしている。例えば、POP 広告により商品をアピールすることや、買い物客の動きを誘導し、店舗内での滞在時間を伸ばす取り組みがある [1]。そのために、店舗内での人流の再現、位置情報を利用した買い物客の行動データや購買データにより顧客行動予測を行っている [2][3]。スーパーマーケットでは店舗内での混雑を緩和し、顧客にストレスを与えずに快適に買い物ができる環境を整えることも必要である [4]。また、感染症拡大予防の観点においても、小売店舗経営者は店舗内での混雑緩和を行っている [5]。

コンピュータを用いて人流を可視化する手法に、群衆シミュレーションがある。群衆シミュレーションは空間内の人の動きを再現するコンピュータ技術である。主な使用用途には、さまざまな被災条件を想定した避難経路の分析 [6][7]、歩行者の行動再現 [8]、空間内のレイアウト分析 [9]、ゲーム作品 [10] や CG 映像 [11] における群衆表現がある。

店舗でのシミュレーションを行った先行研究は複数存在する。山田ら [12] は、POP 広告に惹かれ商品を買う客の行動をシミュレートし、客の滞在時間を長くするような店内レイアウトの分析を行った。邊見ら [13] は、男女の購買特性を含んだシミュレーションを用い、売上を伸ばす店内

レイアウトの分析を行った。豊嶋ら [14] は、ユビキタスデバイスによる実データを移動経路決定や滞在時間の決定に利用した。藤野ら [15] は、顧客の位置データを取得できる RFID デバイスと POS データを組み合わせて顧客の行動分析を行った。これらの研究では、群衆シミュレーションを店舗の売上分析や、客の滞在時間を伸ばすための店内レイアウト分析に活用している。しかしここ数年のコロナ禍により、コロナ前と比較して、客は店内での滞在時間短縮を望むようになった [16]。また、ユビキタスデバイスの情報を利用した手法では、シミュレーションを行うにあたり、実際に店舗を利用する買い物客のデータが必要となる。そのため、店舗レイアウトを変更するシミュレーションには活用できない。

店舗内でショッピングカートを使用する買い物客が増えると、ショッピングカートがその大きさ分の面積を占有し、店舗内は歩行しづらい環境となる。そのため、ショッピングカートは店舗内の混雑や人流に影響を与える要因である。本研究では、店舗内のレイアウトを決める際に、シミュレーションを用いて、ショッピングカートを使用する買い物客の店舗内行動を再現することで、店舗内の混雑を事前に確認することを目的とした。経路グラフと Social-Force モデルを用いることで、買い物客が他の買い物客を避けながら目的地へ向かう挙動を再現した。買い物客が、他の買い物客とショッピングカートの両方を避ける挙動を再現するために、買い物客とショッピングカートを一つの境界ボリュームで表し、他の買い物客との距離が近いほど大きな反発力を与えた。そして、衝突が起こる場合に買い物客の移動速度を変更する処理を手法に含めることで、買い物客が他の買い物客との衝突を避けるようにした。

提案手法をプログラムで実装し、実行画面を確認することで、ショッピングカートを使用する買い物客の店舗内行動が再現できているか検証を行った。結果、ショッピングカートを使用する買い物客が、他の買い物客との接触を避けながら、目的の商品の場所を目指して、店舗内を移動する行動を再現できていることを確認した。しかし、店舗内で発生するいくつかの行動が再現できていないことで、不自然な接触が起きていることも確認した。

1.2 論文の構成

本論文は全 4 章で構成する。まず、第 2 章ではシミュレーションを行う際の空間や人物についてと提案手法を述べる。第 3 章では、実行結果と考察について述べる。第 4 章では、まとめと今後の展望を述べる。

第 2 章

提案手法

本章では、本稿で提案するショッピングカートを使用する買い物客の店舗内行動を再現する手法について述べる。2.1 節では、本手法で取り扱うシミュレーション環境について述べる。2.2 節では、買い物客の実装における表現や、基本動作について述べる。2.3 節では、買い物客の座標を算出する手法について述べる。

接触が起こる場合に速度を変更する阿久澤手法 [17] を参考に、この章で述べる速度ベクトルを算出する処理の流れを図 2.1 に示す。

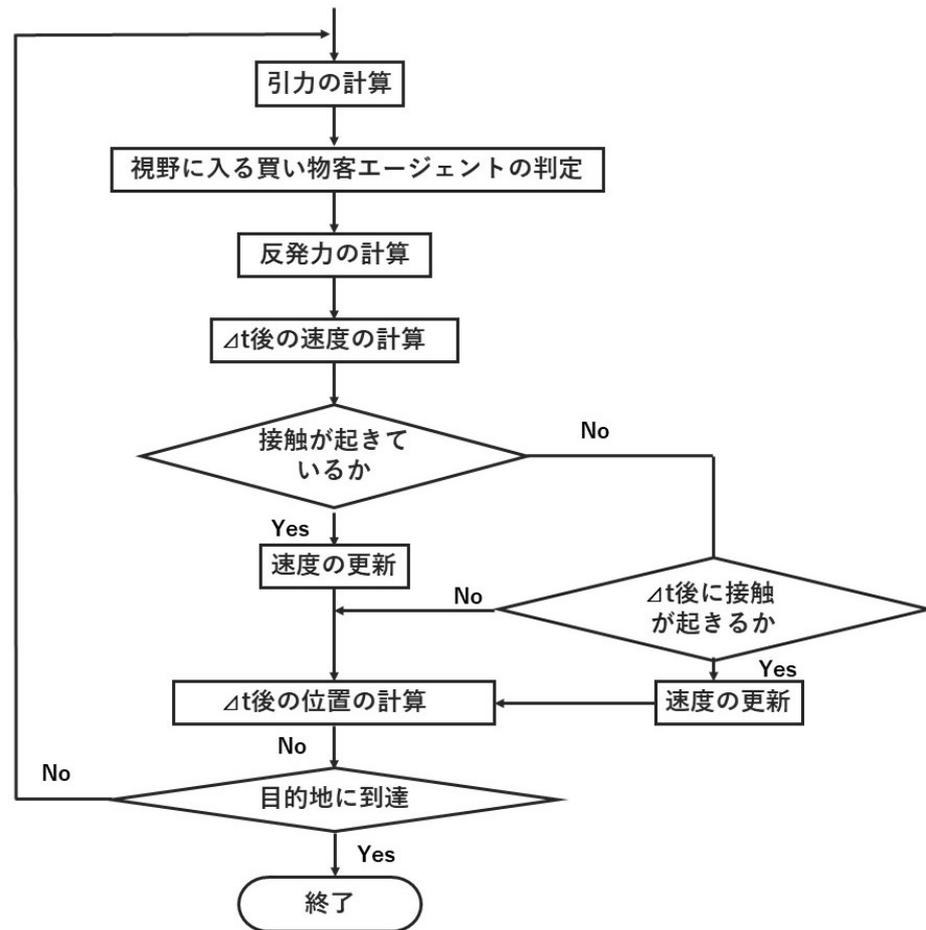


図 2.1 本手法の処理の流れ

2.1 シミュレーション環境と移動経路

店舗内の買い物客の行動を再現するにあたり，本稿では買い物客 1 人 1 人を「買い物客エージェント」と呼ぶ．買い物客エージェントは客とショッピングカートをそれぞれ円形（以降，人体円と呼称）と長方形で表す．本手法で使用するシミュレーション環境を図 2.2 に示す．左下の隙間は店舗の入口を表す．白色のオブジェクトで囲まれた空間をシミュレーション空間とし，シミュレーション空間内の 2 つの長方形オブジェクトが商品の陳列棚を表す．このシミュレーション空

間をグラフ理論のグラフを用いて表す [18]. グラフは頂点 (ノード) と辺 (エッジ) により構成する. またグラフには各辺が向きを持つ有向グラフと, 向きを持たない無向グラフがある. 本手法ではノードとエッジの接続を無向グラフで作成する.

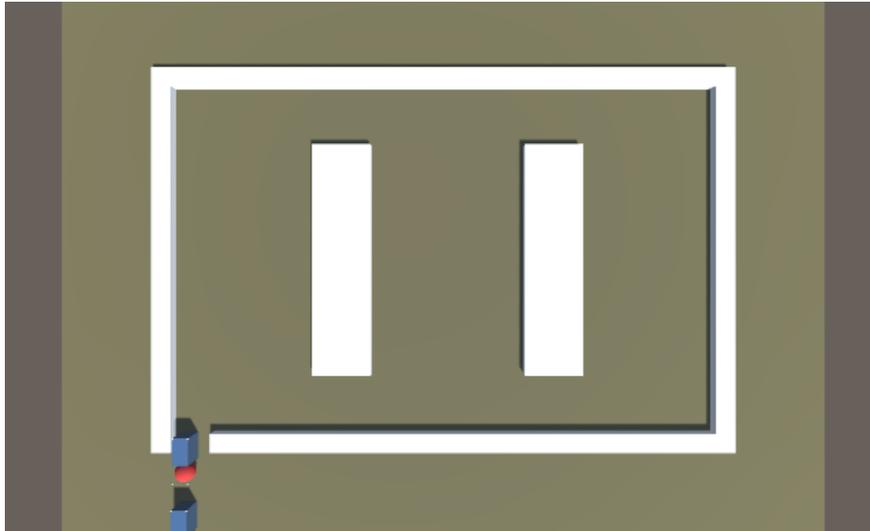


図 2.2 シミュレーション環境

シミュレーション空間内を白色の頂点 (ノード) と黒色の線 (エッジ) で表現したものを図 2.3 に示す. 本稿では, 作成した無向グラフを経路グラフと呼ぶ. 白丸のノードは買い物客エージェントが向かう目的地を示しており, スーパーマーケットにおいて商品を陳列している壁と棚の傍に設置している. そして, この経路グラフを用いることで, 買い物客エージェント毎に設定する目的地までのおおまかな経路を求める. 経路の決定には, 最も近くにあるノードと目的地のノードまでの経路を経路探索手法のダイクストラ法 [19] を用いて求める.

次に経路グラフの利用の仕方について述べる. 区別するために, 買い物客エージェントの目的地のノードを「ゴールノード」, 求めた移動経路におけるゴールノード以外のノードを「ルートノード」と記述する. 移動経路における最初のノードを経路ノード 0, n 番目のノードを経路ノード n , g 番目のゴールノードを経路ノード g とする. 経路ノード 0 から経路ノード g までの経路ノードを順番にたどっていくことにより買い物客エージェントの移動を表現する. まずルートノードのたどり方について述べる. ノード間をつなぐエッジは, 真横と真上に向かう線となって

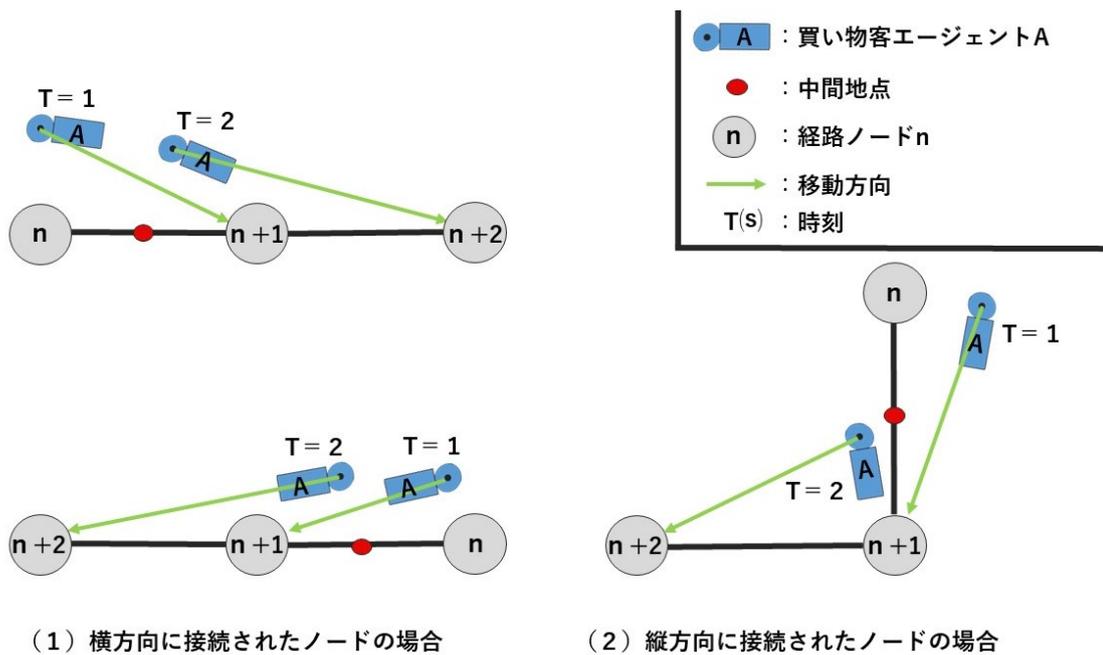


図 2.4 ルートノードのたどり方

2.2 歩行者モデルの表現と基本動作

人の体は上から見ると円よりも楕円に近い形状をしているが、本研究のシミュレーション時の計算負荷を抑えるために、人物を円形で扱う。また、本手法では人体円の半径とは別にパーソナルスペース [20] の半径 R_p を定義する。 R_p の値は人体円の半径より大きな値を設定する。パーソナルスペースとは、他者が侵入したときに不快に感じる目に見えない領域であり、この距離は関係性、状況や文化などにより変化する。混雑した状況下では密接が起こるものの、それ以外の状況において買い物客エージェント同士は互いのパーソナルスペースが干渉しないように移動を行う。

次に買い物客エージェントの基本動作について述べる。シミュレーション開始時、買い物客エージェントは、シミュレーション空間外の初期位置から、入口に最も近いノードに向けて移動し、シミュレーション空間に入る。そして、シミュレーション空間に入った直後から目的地を設定し、目的地に向かって移動を行う。目的地到達後は、買い物客エージェントをその場に一定時間留め、現在の目的地以外のノードからランダムに別の目的地を設定することで、買い物客エージェント

はシミュレーション空間内を移動し続ける。買い物客が立ち止まって商品を検討し、手にとった商品をショッピングカートに入れる行動を再現するため、目的地に到達した買い物客エージェントの目的地再設定までの時間を3秒と定めた。本研究では店内を回遊する買い物客の人流を再現することを目的としたため、買い物客がレジに向かう行動や店舗を出る行動は含まない。

2.3 速度ベクトルの決定

Social-Force モデル [21] を参考に買い物客エージェントの速度ベクトルを決定した。Social-Force モデルは、「移動目標」「他の歩行者」「壁などの障害物」との力の相互作用から運動方程式を解き、歩行者の加速度を求める手法である。本手法では、買い物客エージェントの質量を1と設定することで、加速度を単純な力の合力で算出した。本手法で買い物客エージェントに作用する力を図 2.5 に示している。

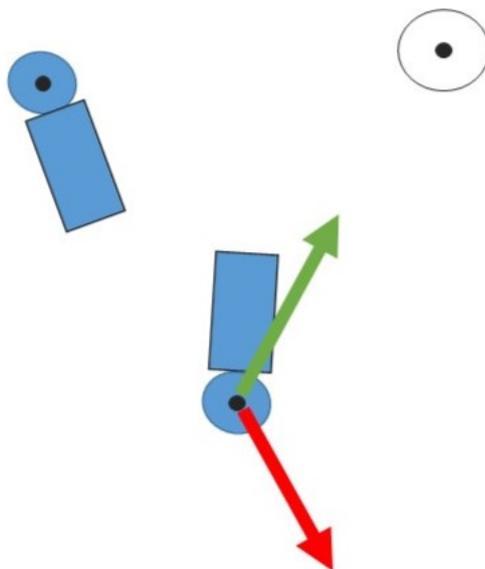


図 2.5 買い物客エージェントに働く力

本手法では買い物客エージェントに2つの力が働く。1つ目は、「移動先ノードから受ける引力」である。2つ目は、「他歩行者から受ける反発力」である。

まず、移動先ノードから受ける引力の求め方を述べる。 i 番目の買い物客エージェント i について、2.1節で求めた移動先のノードの位置ベクトルを \mathbf{Z}_i 、買い物客エージェント i の位置ベクトルを \mathbf{A}_i とする。買い物客エージェント i に作用する引力 \mathbf{E}_i を、式(2.1)に示す。

$$\mathbf{E}_i = \frac{\mathbf{Z}_i - \mathbf{A}_i}{|\mathbf{Z}_i - \mathbf{A}_i|} \quad (2.1)$$

2.3.1 認識判定

人は歩行時に他の歩行者を認識し、衝突しないように歩行する。このとき、前方のすべての歩行者を認識しているのではなく、一定の領域内の歩行者を認識し、避けるための行動をとる。本シミュレーションでは、高橋 [22] や松崎ら [23] を参考に、他の買い物客エージェントが視野の内部かどうかを、扇形状により判定した。本稿では、この扇形状の空間を視野と定める。

視野の領域を設定するにあたり、歩行者の中心を基準に領域を考えると、真横や後ろの歩行者に対する認識は全く考慮しないこととなる。人間の視野角は限界があるが、目で視認していない後方の領域も、雰囲気や他者の位置や、自身と他者の距離を意識している。この認識を表現するために、視野の基準を歩行者の中心より後方に設けることで、自身を内包する扇形の領域を設定する。各買い物客エージェントは、扇形領域内に存在する他の買い物客エージェントを避けるように歩行する。

j 番目の買い物客エージェント j の位置ベクトルを \mathbf{A}_j とおく。また、買い物客エージェント i の方向ベクトルを \mathbf{d} (単位ベクトル)、視野の半径を r 、視野角を θ_a とする。買い物客エージェント i の位置から「パーソナルスペースの半径 R_p に、後方にとりうる値 b を加えた距離」だけ移動した位置ベクトルを \mathbf{A}'_i とする。 \mathbf{A}'_i が視野の基準位置となる。 \mathbf{A}'_i を求める式を式(2.2)に示す。この座標移動により視野の基準を後方に設けることで、自身を内包する扇形領域を作成する。こ

2.3.2 反発力計算

2.3 節で述べた他の買い物客エージェントから受ける反発力の算出について説明する。まず、2.3.1 項にて求めた扇形領域内部の買い物客エージェントを対象にする。カートの向きを考慮し、距離が近いほど大きな反発力を与えるため、ショッピングカートと歩行者を境界ボリュームで囲み、境界ボリュームの4つの頂点同士で最も距離が短くなる値を利用する。この値を d とする。ここで \mathbf{n}_{ij} を買い物客エージェント i が買い物客エージェント j から受ける反発力方向のベクトルとする。 \mathbf{n}_{ij} を求める式を式 (2.5) に示す。反発力のベクトル \mathbf{F}_{ij} はネイピア数 e を底とし、距離のパラメータ k と、境界ボリュームの頂点間の距離 d からなる $k - d$ を指数とする指数関数を \mathbf{n}_{ij} に乗算したベクトルとなる。 \mathbf{F}_{ij} を求める式を式 (2.6) に示す。 k を大きな値で設定すると、距離が離れた場所からでも大きな反発力がかかり、逆に k を小さな値で設定すると、距離が近づくまで大きな反発力がかからない。対象となる買い物客エージェントからの反発力の合力に反発作用定数 C を乗算したベクトル \mathbf{F}_i を式 (2.7) に示す。買い物客エージェントを囲む境界ボリュームと、式 (2.6) で利用する頂点間距離を図 2.7 に示す。

$$\mathbf{n}_{ij} = \frac{\mathbf{A}_i - \mathbf{A}_j}{|\mathbf{A}_i - \mathbf{A}_j|} \quad (2.5)$$

$$\mathbf{F}_{ij} = \exp(k - d) \mathbf{n}_{ij} \quad (2.6)$$

$$\mathbf{F}_i = C \frac{\sum_j \mathbf{F}_{ij}}{\sum_j |\mathbf{F}_{ij}|} \quad (2.7)$$

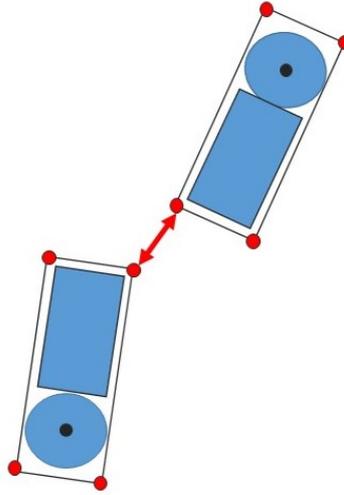


図 2.7 買い物客エージェントを囲む境界ボリューム

2.3.3 速度の算出

まず, V_{\max} は速度の最大値を表すパラメータとする. 式 (2.1) と式 (2.7) をもとに, 買い物客エージェント i の速度ベクトル \mathbf{V}'_i は式 (2.8) となる.

$$\mathbf{V}'_i = V_{\max} \frac{(\mathbf{E}_i + \mathbf{F}_i)}{|\mathbf{E}_i + \mathbf{F}_i|} \quad (2.8)$$

2.3.4 速度変更処理

この項では 2.3.3 項で求めた速度を変更することについて述べる. 本手法では接触が起こる場合に買い物客エージェントの速度を変更し, 接触が起こらない場合同じ速度で歩行する. 接触時の速度変更について現在接触が起こっている場合と, Δt 秒後に接触が起きる場合を分けて記述する.

まず, 現在接触が起こっているかどうかの判定方法について述べる. 接触の判定には 2.3.2 項で示した境界ボリュームを利用する. 他の買い物客エージェントの境界ボリュームと, 辺同士の交

差判定をとることで、接触が起きているかどうかの判定を行う。

買い物客エージェント i が買い物客エージェント j と接触するかどうかを判定する方法について述べる。判定で対象とする買い物客エージェントは 2.3.1 項にて視野の内部にいた買い物客エージェントとする。買い物客エージェント i と買い物客エージェント j の境界ポリユームの 4 頂点をそれぞれ HIJK, LMNO とおき、辺 HI と辺 LM が交差する場合について述べる。頂点 H, I, L, M の座標をそれぞれ $\mathbf{H}(H_x, H_y)$, $\mathbf{I}(I_x, I_y)$, $\mathbf{L}(L_x, L_y)$, $\mathbf{M}(M_x, M_y)$ とする。変数 x と y を用いて、直線 HI の方程式を表すと、式 (2.9) のようになる。式 (2.9) の x, y に頂点 L と頂点 M の座標を代入した際に求まる実数を、それぞれ s, t とする。 s, t は式 (2.10) により求める。式 (2.10) により、頂点 L と頂点 M の 2 点について、直線 HI の上側にある点なのか、下側にある点なのか、直線上の点なのかを判別する。式 (2.11) の不等式を満たすとき、辺 LM は直線 HI と交差することとなる。同様の処理を辺 HI と直線 LM で行う。辺 HI と直線 LM, 辺 LM と直線 HI の交差判定にてどちらも式 (2.11) を満たすとき、辺 HI と辺 LM は交差すると判定できる。その他のすべての辺の組み合わせでも同様の判定を行い、交差が 1 辺でもある場合、買い物客エージェントは接触することとなる。

$$(H_x - I_x)(y - H_y) - (H_y - I_y)(x - H_x) = 0 \quad (2.9)$$

$$\begin{aligned} s &= (H_x - I_x)(L_y - H_y) - (H_y - I_y)(L_x - H_x) \\ t &= (H_x - I_x)(M_y - H_y) - (H_y - I_y)(M_x - H_x) \end{aligned} \quad (2.10)$$

$$st \leq 0 \quad (2.11)$$

接触が起こると判定した場合、速度ベクトル \mathbf{V}_i'' を式 (2.12) により求める。

$$\mathbf{V}_i'' = V_{\max} \frac{(\mathbf{V}_i' + \mathbf{F}_i)}{|(\mathbf{V}_i' + \mathbf{F}_i)|} \quad (2.12)$$

次に、 Δt 秒後の買い物客エージェント同士が接触するかどうかの判定方法について述べる。速

度ベクトルから境界ボリュームの Δt 秒後の座標を算出し、現在接触が起きているかの判定と同様の処理で、他の買い物客エージェントと接触が起こるかどうかの判定を行う。

境界ボリュームの Δt 秒後の座標を算出することについて述べる。境界ボリュームの中心座標を (a_x, a_y) 、対象とする頂点の座標を $\mathbf{P}(b_x, b_y)$ 、回転角を θ 、回転移動後の座標を $\mathbf{P}'(x', y')$ とする。三角関数の加法定理により、回転移動をした座標は式 (2.13) となる。回転移動後の座標を \mathbf{V}'_i に単位時間を掛けたベクトル分平行移動させることで座標を算出する。座標 \mathbf{P}'' の位置ベクトルは式 (2.14) により求まる。この計算を 4 頂点に対して行う。

$$\begin{cases} x' = (b_x - a_x) \cos \theta - (b_y - a_y) \sin \theta + a_x \\ y' = (b_x - a_x) \sin \theta + (b_y - a_y) \cos \theta + a_y \end{cases} \quad (2.13)$$

$$\mathbf{P}'' = \mathbf{P}' + \mathbf{V}'_i \Delta t \quad (2.14)$$

接触が起こると判定した場合、式 (2.15) により速さの値を算出する。 V_{\min} , u はそれぞれ速度の最小値、速度変更のパラメータである。また、 c_i は速度変更処理を行った回数を示す。速度が V_{\min} より小さな値となった場合は V_{\min} の値をとり、速度は $V_{\max} \sim V_{\min}$ の値で定まる。接触が起こると判定した場合、速度ベクトル \mathbf{V}'''_i を式 (2.16) により求める。

$$V_{si} = \max((1 - uc_i)V_{\max}, V_{\min}) \quad (2.15)$$

$$\mathbf{V}'''_i = V_{si} \frac{(\mathbf{V}'_i + \mathbf{F}_i)}{|\mathbf{V}'_i + \mathbf{F}_i|} \quad (2.16)$$

2.3.5 位置の算出

買い物客エージェント i の Δt 秒後の位置ベクトル \mathbf{B}_i とする。速度ベクトルをもとに算出する Δt 秒後の位置ベクトルは式 (2.17) となる。

$$\mathbf{B}_i = \begin{cases} \mathbf{A}_i + \mathbf{V}_i'' \Delta t & (\text{現在接触が起きている場合}) \\ \mathbf{A}_i + \mathbf{V}_i''' \Delta t & (\Delta t \text{ 秒後に接触が起きる場合}) \\ \mathbf{A}_i + \mathbf{V}_i' \Delta t & (\textit{otherwise}) \end{cases} \quad (2.17)$$

第 3 章

実行結果と考察

3.1 実行結果

本章では、第 2 章で述べた提案手法を実装し、ショッピングカートを使用する買い物客の店舗内行動を再現できているかの検証を行った。実装にはゲームエンジンの Unity(2019. 4. 16f1)[24]を用いた。表 3.1 に、実行時に設定したパラメータの値を示す。

表 3.1 パラメータの設定値

パラメータ名	設定値
買い物客エージェントの数	12
パーソナル・スペースの半径 (R_p)	0.6
後方にとりうる幅 (b)	1.0
視野の大きさ (θ_a)	$\frac{\pi}{3}$
視野の広さ (r)	5.0
反発力作用距離 (k)	1.5
反発力定数 (C)	0.3
速度の最大値 (V_{\max})	2.0
速度の最小値 (V_{\min})	0.1
速度変更値 (u)	0.2

図 3.1 は本シミュレーションの実行画面である。赤色の円が買い物客を、青色の長方形がショッピングカートを表している。

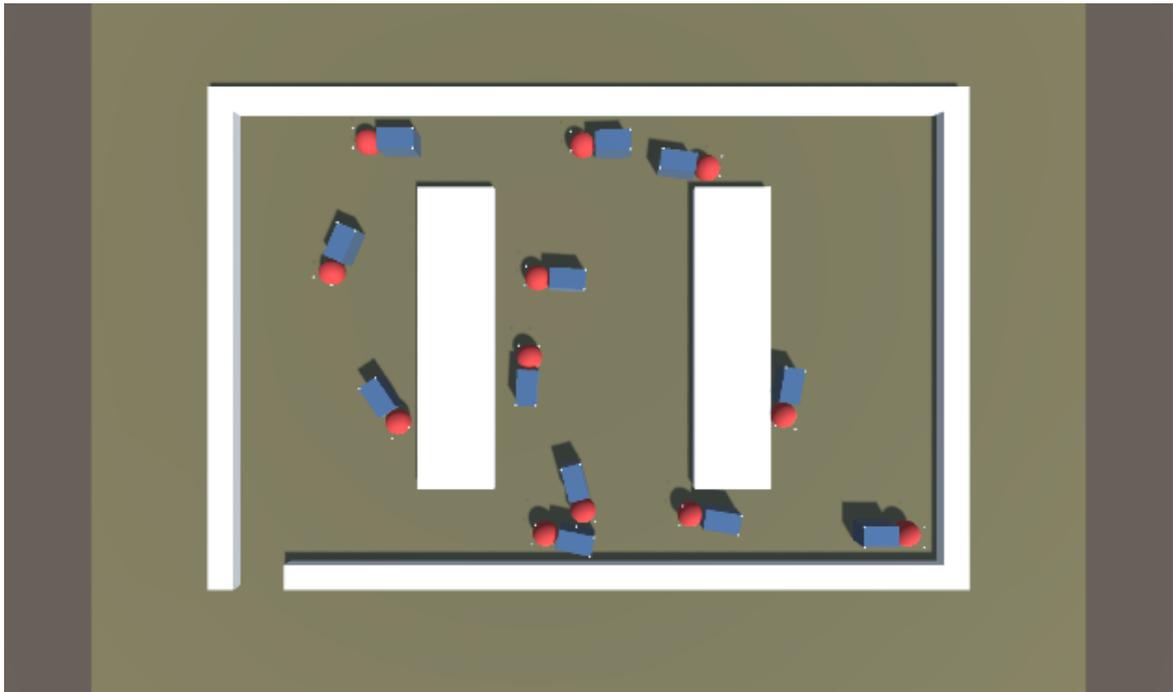


図 3.1 店舗内を移動する買い物客エージェントの様子

図 3.2 は買い物客エージェント同士がすれ違う前の様子を表し，図 3.3 はすれ違う途中の様子を表し，図 3.4 はすれ違った後の様子を表す．図 3.2 の上部に位置する買い物客エージェントは下方向に向かって移動しており，下部に位置する買い物客エージェントは上方向に向かって移動している状況である．図 3.2 と図 3.3 を比較すると，両買い物客エージェントは，買い物客エージェント同士の距離が離れるように進行方向を変えている．これらの実行画像から，他の買い物客エージェントを避ける行動をとっていることが確認できる．

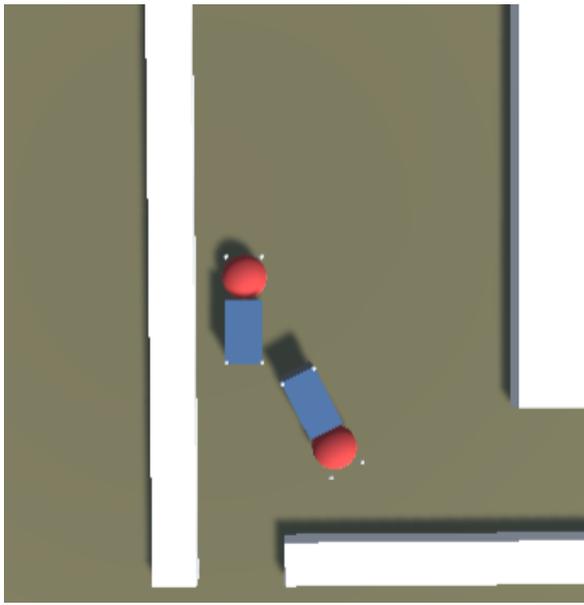


図 3.2 すれ違う前の様子

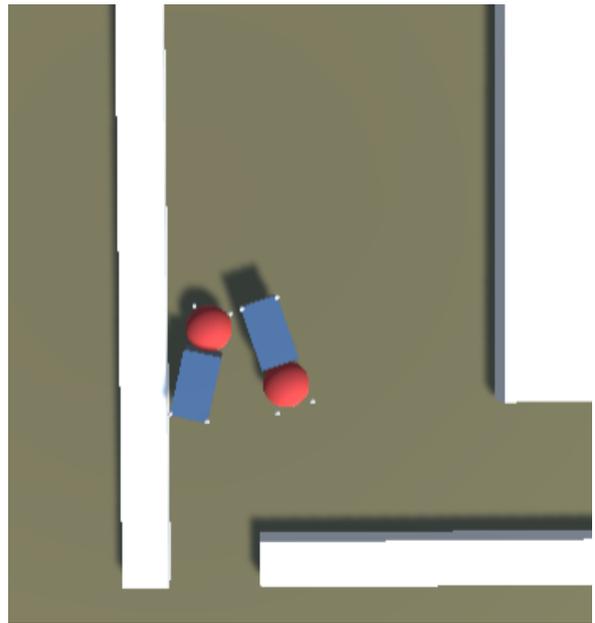


図 3.3 すれ違う途中の様子

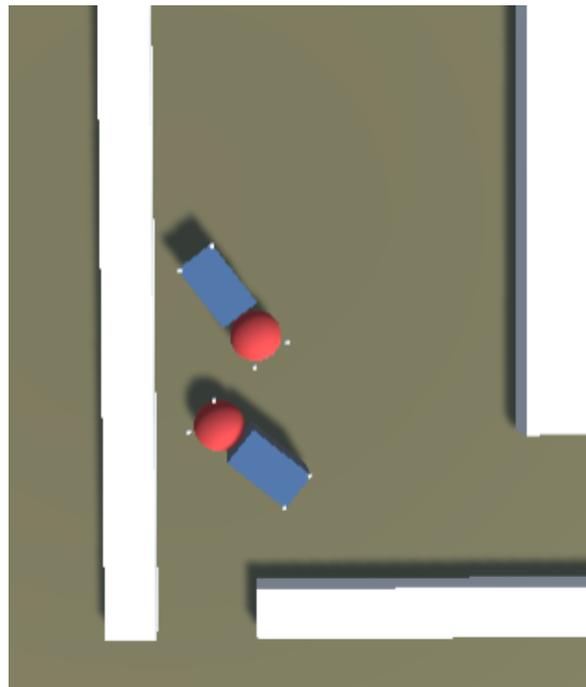


図 3.4 すれ違った後の様子

しかし、他の買い物客エージェントを避けることができず接触している状況もあった。図 3.5 は真正面の買い物客エージェントと接触が起きている様子である。

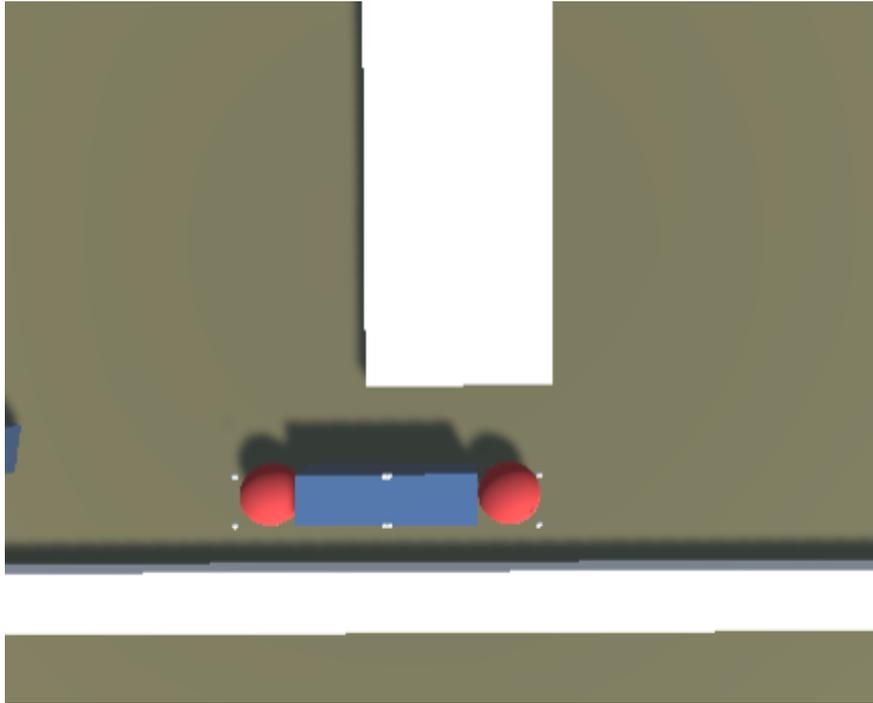


図 3.5 真正面の買い物客エージェントと接触している様子

図 3.6 は画面右から左へと向かう買い物客エージェントが、幅が狭い道で向かってくる複数の買い物客エージェントと交差する前の様子である。図の左から右へと進む買い物客エージェントは 3 列で歩行しており、既に道幅に対して他の買い物客エージェントが通るスペースがない状況である。その場所に、対向してくる買い物客エージェントが来たことで、避けることができずにその後接触が起きた。

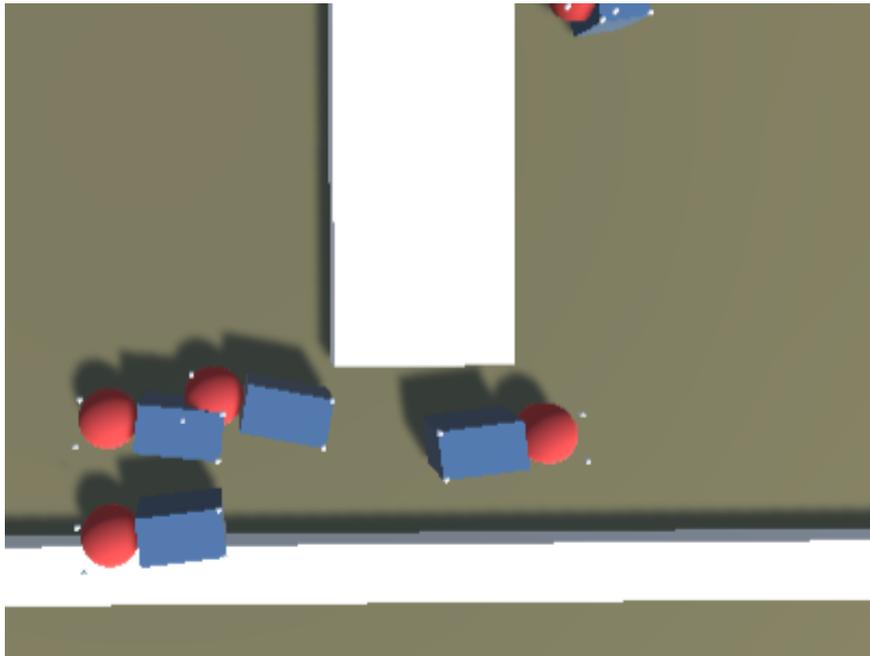


図 3.6 複数列で向かってくる買い物客エージェントとの交差前の様子

図 3.7 は目的地の場所で買い物客エージェントが接触している様子である。本シミュレーションにおける買い物客エージェントの目的地は、店舗内で商品が陳列してある壁と棚付近の場所であり、目的の商品がある場所に先に到着した買い物客エージェントに対し、後から来た買い物客エージェントが接触を起こしている。本手法では、目的地に到達した買い物客エージェントを 3 秒その場に留めていることにより、目的地が重複した買い物客エージェント同士が接触している。

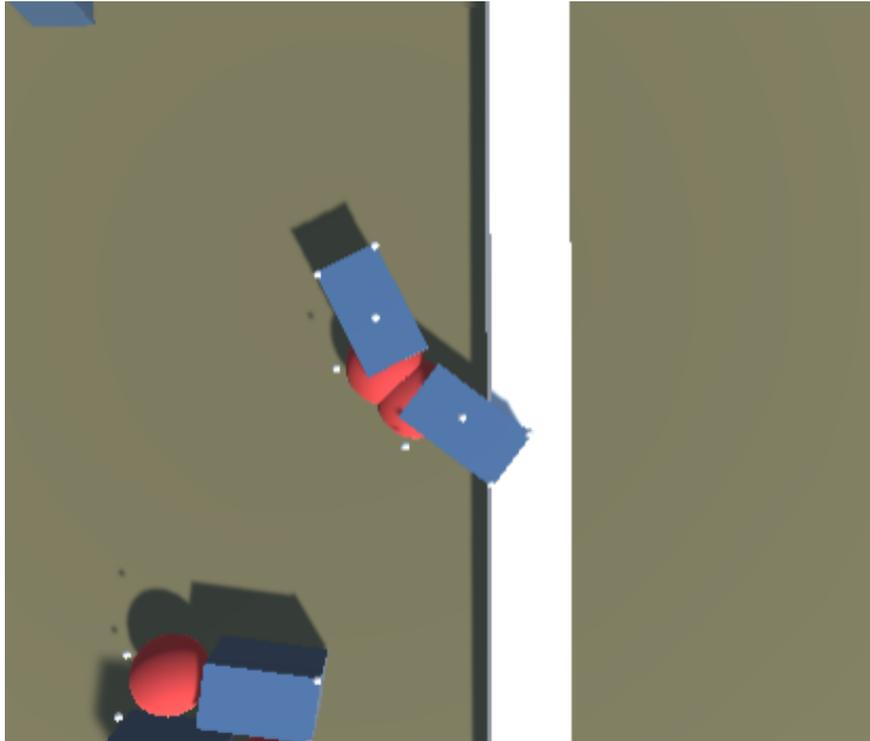


図 3.7 目的地の場所で買い物客エージェントが接触している様子

図 3.8 は混雑した場所において接触が起きている様子である。図下部の狭い道では、左右から対向している複数の買い物客エージェントが交差する状況である。そして 2 つの陳列棚の間の道を、下方方向へ進む買い物客エージェントが、左側に位置する陳列棚の右下の角に差し掛かっている。道幅が狭く、曲がり角もある状況において、様々な方向に進む買い物客エージェントが一度に交差することで道が混雑している。左側に位置する陳列棚の右下の角付近で、接触が起きていることが確認できる。

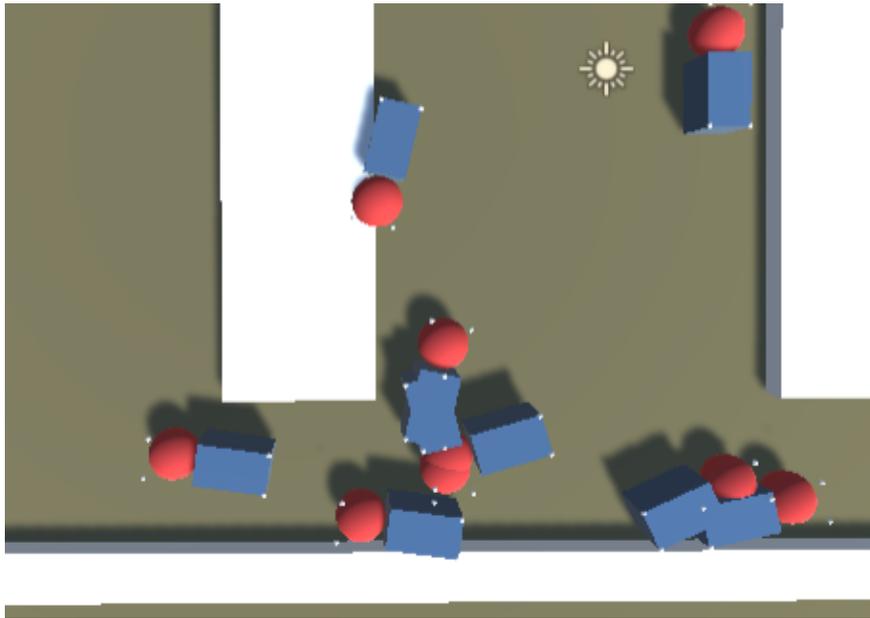


図 3.8 混雑した場所で接触している様子

3.2 考察

経路グラフと Social-Force モデルにより、買い物客エージェントが店舗内の商品が陳列してある場所へ移動する行動を再現できた。また個別に買い物客エージェントの動きを確認すると、他の買い物客エージェントを避けながら目的地へ向かう様子が確認できた。そして、速度変更処理により、他の買い物客エージェントを避ける際に速度が減速していることが見て取れた。しかし、「真正面から向かってくる買い物客エージェントとの接触」、「道幅を買い物客エージェントが満たしている際に、他の買い物客エージェントが侵入することでおきる接触」、「目的地場所における買い物客エージェントの接触」や、「混雑時の接触」が起きていた。混雑した状況下では接触が起きることもあるため、非混雑状況下における接触について述べる。

1つ目に、「真正面から向かってくる買い物客エージェントとの接触」について述べる。提案手法の反発力の計算では、買い物客エージェントの進行方向ベクトルと、対向してくる買い物客エージェントの進行方向ベクトルが互いに逆ベクトルの関係になるとき、最終的に算出する速度ベクトルは両買い物客エージェント共に、進行方向ベクトルと同じ向きとなり変化しない。そのため、

真正面の買い物客エージェントを避けるために左右のどちらかに移動することをしない。進行方向に対して垂直な方向の力を反発力に加えることで、真正面の買い物客エージェントを避けることができる考える。

2つ目に、「道幅を買い物客エージェントが満たしている際に、他の買い物客エージェントが侵入することで起きる接触」について述べる。現実の歩行集団では、対向する2つの歩行集団が自然といくつかの列を形成し、接触による事故を回避する効率的な人流を生み出す現象がある [25]。しかし、本シミュレーションの実行画面からは、買い物客エージェントが同じ方向へ進む買い物客エージェントに追従することで、自然と列を形成する様子を確認することはできなかった。また、本手法では経路グラフを利用して目的地までの最短経路を求め、目的地につくまでこの経路を変更しない。そのため、経路を通ることが不可能な状況でも、買い物客エージェントは進んでしまうという問題点がある。「買い物客エージェントが同じ進行方向の他の買い物客エージェントに追従する動き」や、「経路の変更」を再現することで、この点は改善することができるのではないかと考える。

3つ目に、「目的地場所における買い物客エージェントの接触」について述べる。現実では、目的の商品が陳列してある場所に既に他の買い物客がいた場合、その買い物客の後ろで待機するか、その買い物客がその場を離れるのを待つこととなる。しかし、本手法ではこの動きを再現できなかったため、目的地が重複した買い物客エージェント同士の接触が起きたと考える。

また、実行画面から度々買い物客エージェントが左右に振動するような、人間の動きとしては不自然な挙動が確認できた。この手法の問題が起きる状況として、対象の買い物客エージェントと移動先ノードまでの距離が短く、距離が近い他の買い物客エージェントが存在する場合は考えられる。本手法では、「移動先ノードから受ける引力」と「他歩行者から受ける反発力」の合力のベクトルを、買い物客エージェントの進行方向として算出している。この計算式では、反発力のベクトルを加算することで、少なからず移動先ノードから離れるようなベクトルが算出されることとなる。そのため、距離が近い他の買い物客エージェントがいた場合、反発力が大きくなり、進

行方向が単位時間で大きく変化する．計算式の性質上どの状況においてもこの問題はあるが，移動先ノードまでの距離が短く，他の買い物客エージェントとの距離が近い状況で問題の挙動が顕在化したと考える．

第 4 章

まとめ

本稿では、スーパーマーケットでショッピングカートを使用する買い物客の店舗内行動を再現するシミュレーション手法を提案した。本手法は、店舗レイアウト検討時に買い物客がどのように動くかを確認するため、実際の買い物客のデータは使用しないリアルタイムでのシミュレーションを目指した。買い物客が目的の商品の場所を目指して店舗内を回遊する行動を再現するため、経路グラフと Social-Force モデルにより移動経路を決定した。また、目的地に向かって移動する際に他の買い物客エージェントとの接触を避けるため、各買い物客エージェントの視野領域に入る他の買い物客エージェントを避けるような反発力をくわえる処理と、速度を減速させる処理を追加した。

Unity を用いて手法の実装を行い、店舗内での行動が再現できているか検証を行った。実行画面から、各買い物客エージェントが他の買い物客エージェントを避けるような動きをとりながら目的地までの移動を行っていることを確認した。このことから、スーパーマーケットにおいてショッピングカートを押して歩く買い物客が、他の買い物客を避けながら目的の商品の場所に移動する動きを実現できていることが確認できた。

しかし、不自然な接触や店舗内での行動が再現できていない状況も確認できた。目的の商品が陳列してある場所に既に他の買い物客がいた際に、その客の後ろに列をつくるような店舗内での行動は確認できなかった。また、現実の歩行者が他の歩行者との接触を回避するために、同一方向に進む歩行者に追従して列を形成する動きも再現できていなかった。

今後の展望として、買い物客が目的の商品の場所に既にいる他の買い物客の後ろで列をつくる行動や、同一方向に進む他の買い物客に追従する行動をとり入れた手法を実装し、実際の店舗内

の買い物客の動きを再現できているかの検証が必要となる。また、本研究ではすべての買い物客がショッピングカートを押して歩く状態でシミュレーションを行った。しかし、店舗内の買い物客には「買い物かごを利用する人」や「ショッピングカートと買い物かごのどちらも利用しない人」もいる。より現実的なシミュレーションの結果を確認するために、ショッピングカートを利用しない買い物客も含め、実際の店舗のレイアウトを用いた検証が必要となる。

謝辞

本研究を行うにあたり、ご指導くださった渡辺先生、阿部先生に心より感謝いたします。私が研究の進め方について決めかねている際に、適切な意見をくださいました。研究室の学生の研究内容は多岐にわたりますが、学生のやりたいことや意思を尊重してくださる先生方の方針により、自身の興味のある分野の研究を行うことができました。

研究の進め方が分からず研究テーマを設定するまでに多くの期間を費やしました。その際には研究室のメンバーが利用する SNS ツールにて意見を求めることもありました。顔も知らない私に参考になる意見をくださった研究室の方々に感謝します。

また、学祭の研究室展示にて研究内容の展示を行う機会がありました。2日間で合計100人を越える方が研究室に足を運んでくださいました。2日間の展示にておよそ20~30人の方に自身の研究の説明を行い、参考になる様々な意見や感想をいただきました。ある主婦の方からは「実用的な研究ですね。この研究で買い物が楽になったら嬉しいです」というありがたいお言葉をいただきました。初めての研究活動であり、自身の研究の価値に自信がもてない感情が少なからずありましたが、その後の研究を進める活力となりました。

そして、第一稿の論文を丁寧に添削してくださった院生の先輩に感謝いたします。一度目を通すのに時間がかかる論文を短い期間に何度も丁寧に添削していただいたおかげで、論文を書く際の注意点を色々知ることができました。最後に学生生活を支えてくれた家族に深く感謝いたします。本当にありがとうございました。

参考文献

- [1] STORE+. 店舗売り上げをアップさせるレイアウト術. <https://store-plus.jp/casestudy/layout>. 閲覧: 2023.1.15.
- [2] ITmedia. 小売店舗の混雑を可視化するシミュレーション技術を開発 富士通研究所. <https://www.itmedia.co.jp/enterprise/articles/1212/13/news075.html>. 閲覧: 2023.1.15.
- [3] アイリスオーヤマ. 小売店舗の店舗運営をデジタル化で支援する「IoTソリューション」サービスを開始. <https://www.irisohyama.co.jp/b2b/camera/column/business-column/case001/>. 閲覧: 2023.1.15.
- [4] リテールガイド. 買い物客の多くがスーパーの「混雑」「品揃え」に不満、「セーファー」がスーパーマーケットの買い物客と従業員に調査. <https://retailguide.tokubai.co.jp/data/24089/>. 閲覧: 2023.1.15.
- [5] 全国スーパーマーケット協会. (11月29日改訂) 小売業の店舗における新型コロナウイルス感染症感染拡大予防ガイドライン. <http://www.super.or.jp/?p=11151>. 閲覧: 2022.12.22.
- [6] 齋藤崇, 鏡味洋史. マルチエージェントシステムを用いた津波からの避難シミュレーション. 日本建築学会計画系論文集, Vol. 70, No. 597, pp. 229–234, 2005.
- [7] 廣川雄一, 西川憲明, 山田武志, 印南潤二, 坂井隆志, 浅井俊幸. 土地鑑を考慮した徒歩経路探索モデルによる浸水避難シミュレーション. 情報処理学会 数理モデル化と応用 (TOM), Vol. 12, No. 1, pp. 11–22, 2019.
- [8] 藤野俊樹, 北澤正樹, 山田隆志, 高橋雅和, 山本学, 吉川厚, 寺野隆雄. スーパーマーケットで客はどう動く?-顧客動線分析とエージェントシミュレーションからわかること-. 第5回社会

システム部会研究会, Vol. 5, pp. 57–68, 2014.

- [9] 播磨大輝, 前川廣太郎, 延原肇. 学生のグループ特性を考慮した群衆歩行シミュレーションと教室配置最適化への応用. 情報処理学会, Vol. 57, No. 3, pp. 1040–1048, 2016.
- [10] 4Gamer.net. 「生き生きとした 18 世紀のパリ」を表現してみせた 「assassin's creed unity」の群衆とイベント制御手法. <https://www.4gamer.net/games/251/G025157/20150313114/>. 閲覧: 2022.12.22.
- [11] WIRED. AIで動くゾンビの群衆: 映画『ワールド・ウォーZ』CGメイキング動画. <https://wired.jp/2013/07/15/wwz-digital-zombies/>. 閲覧: 2022.12.22.
- [12] 山田健司, 阿部武彦, 木村春彦. 計画・非計画購買者を考慮した店舗内人流シミュレーション. 人工知能学会全国大会論文集, 2005.
- [13] 邊見典子, 菅原俊治. 人流シミュレーションによる店内レイアウトの効果分析. 第73回全国大会講演論文集, pp. 235–236, 2011.
- [14] 豊嶋伊知郎, 小磯貴史, 吉田琢史, 服部可奈子, 今崎直樹. ユビキタス情報に基づく店舗内回遊モデル. 情報処理学会 研究報告知能と複雑系 (ICS), Vol. 2004-ICS-139, No. 24, pp. 115–120, 2005.
- [15] 藤野俊樹, 北澤正樹, 高橋雅和, 山田隆志, 山本学, 吉川厚, 寺野隆雄. 小売店舗内における顧客行動シミュレーションに関する研究. 第3回社会システム部会研究会, pp. 125–128, 2013.
- [16] TOPPAN. 電子チラシサービス「shufoo!」、全国2万人の買い物意識調査. https://www.toppan.co.jp/news/2022/09/newsrelease220907_1.html. 閲覧: 2022.12.23.
- [17] 阿久澤あずみ. 駅構内における群衆歩行シミュレーションモデルの研究. 修士論文, 中央大学大学院理工学研究科情報工学専攻, 2006.
- [18] 石丸悠太郎. 小売店舗における購買の迷い行動を考慮した店舗内回遊シミュレーション. Master's thesis, 大阪府立大学大学院人間社会システム科学研究科現代システム科学専攻, 2019.

- [19] E.W.Dijkstra. A note on two problems in connexion with graphs. *Number.Math.*, Vol. 1, pp. 269–271, 1959.
- [20] 野瀬出, 雨森雅哉, 中尾彩子, 松尾千尋, 山岡淳. パーソナルスペースへの侵入に対する心理・生理的反応. 文京学院大学研究紀要, Vol. 7, No. 1, pp. 263–273, 2005.
- [21] Dirk Helbing and Peter Molnar. Social force model for pedestrian dynamics. *PHYSICAL REVIEW E*, Vol. 5, pp. 4282–4286, 1995.
- [22] 高橋享平. 混雑した駅ホームでの群集の動きを考慮したシミュレーション. 学部卒業論文, 東京工科大学メディア学部ゲームサイエンスプロジェクト, 2010.
- [23] 松崎頼人, 前田健司, 花田良子, 村中徳明. ポテンシャルモデルに基づく大学講義棟内における学生の移動シミュレーション. 情報処理学会 研究報告数理モデル化と問題解決 (MPS), Vol. 2015-MPS-102, No. 16, pp. 1–6, 2015.
- [24] Unity Technologies. <https://unity.com/ja>. 閲覧: 2022.12.22.
- [25] 石橋竹志, 鈴木章彦, 渋谷秀雄. マルチエージェントシミュレーションを用いた歩行者流の解析. 日本機械学会論文集.C 編, Vol. 74, No. 744, pp. 1985–1992, 2008.