

2018年度 卒業論文

狭窄領域を考慮した任意形状を保持・復元するグループ
を含んだ群集シミュレーションに関する研究

指導教員：渡辺 大地 准教授

メディア学部 ゲームサイエンス

学籍番号 M0115172

篠崎 航也

2019年2月

2018 年度 卒 業 論 文 概 要

論文題目

狭窄領域を考慮した任意形状を保持・復元するグループ
を含んだ群集シミュレーションに関する研究

メディア学部

学籍番号：M0115172

氏
名

篠崎 航也

指導
教員

渡辺 大地 准教授

キーワード

人工知能、グループ行動、群集シミュレーション、
LOS 手法、Social-Force モデル

近年、街づくりシミュレーションゲームなどの現実の街並みを再現したゲームが増え、人や動物の群集行動を再現するのに群集シミュレーションを用いてきた。NPCの群集制御など、ゲーム内の世界を構成する景観の1つとして群集を表現することもある。プレイヤーキャラクターとしての群集の動きを制御することにも利用することもある。このような群集の動きを再現するためにこれまで多くの研究がなされてきた。しかし、グループ形状を柔軟に変えながら移動しつつ、任意のグループ形状を保持・復元するような研究はなく、その多くは交通可能領域の広い空間でシミュレーションを行ったものである。

本研究では移動可能な領域が小さい混雑駅内に状況設定をし、3人組の歩行者グループを含んだ群集のシミュレーションを行った。本手法では現実の地下鉄駅ホームでの歩行者の動きを観察し、個別の歩行者とグループが入り混じった群集の動く様子を再現した。歩行者の動きには Social-Force モデルをベースとし、他歩行者と静的障害物を回避しながら目的地へ向かう様子を再現した。現実のグループには圧縮・分裂による回避や、グループ形状の変化後に元の形状に復元する様子が観察されたためそれらを再現した。以上の提案手法に基づいてプログラムを作成し、シミュレーション結果が現実の群集の動きと同様であることを確認した。

目次

第1章	はじめに	1
1.1	背景と目的	1
1.2	論文の構成	3
第2章	シミュレーション状況の設定と歩行者の行動分析	4
2.1	歩行者について	4
2.2	自律移動を行う歩行者について	4
2.3	グループについて	5
第3章	提案手法	7
3.1	歩行者エージェントの挙動	7
3.2	人体円について	8
3.3	独立エージェントの行動について	9
3.4	グループエージェントの行動について	13
第4章	検証と評価	16
4.1	本研究の検証	16
4.2	評価	19
第5章	まとめ	21
	謝辞	23
	参考文献	24

目次

2.1	グループによる他歩行者回避	6
3.1	シミュレーション空間とエージェントの初期位置	8
3.2	人体円	9
3.3	歩行者に働く力の相互作用	10
3.4	エージェント同士の接近するパターン	11
3.5	独立エージェントによるグループの回避	12
3.6	密度におけるグループ形状の違い	13
4.1	圧縮回避前	17
4.2	圧縮回避途中	17
4.3	圧縮回避後	17
4.4	分裂回避前	18
4.5	分裂回避途中	18
4.6	分裂回避後	18
4.7	グループ形状復元前	19
4.8	グループ形状復元途中	19
4.9	グループ形状復元後	19

第 1 章

はじめに

1.1 背景と目的

日常的な公共空間では多くの歩行者が個別の目標地点を目指して移動を行っており、その光景は歩道や遊園地のような屋外や、地下鉄駅のホームやイベント会場のような屋内など様々な場所で見ることができる。そのような群集には単独で移動を行う歩行者もいるが、グループを組んで移動を行う歩行者もおり、友人や親子、夫婦など 2~3 人の小規模グループなどは頻繁に含まれている。

また、コンピュータ技術の発展に伴って、群集シミュレーション [1] という人工知能技術が生まれた。群集シミュレーションとは、非常に多くの人や動物などのキャラクターを仮想空間上で再現し、観測するコンピュータグラフィックス技術に多く使われる技術である。群集シミュレーション技術は多様な用途で使われており、先行研究として歩行者の行動再現による混雑箇所や混雑時間の分析 [2][3] や駅空間での行動分析 [4][5]、緊急事態下におけるシミュレーション [6][7][8] などがその一例である。また、群集シミュレーションはプラネットコースター [9] やザ・シムズシリーズ [10] などの街づくりシミュレーションゲームにも用いられている。例に挙げたようなゲーム作品では、日常の人々の生活風景として歩道や駅、遊園地などでの歩行者が移動を行う場面が登

場する。しかし、これらのようなゲーム作品においてグループを含んだ群集行動の様子を再現しているものはほとんどなく、表現しているものでも小規模グループを一つの移動障害物と見なして移動を表現しているものが多い。現実の歩行者行動を再現することは、現実の世界を再現したゲームにおいて重要な要素となり得る。その理由は、街づくりシミュレーションゲームの利用目的の中には、理想の街を作り上げることの他に、プレイヤーが作った街を歩行者 NPC が歩き回ったり、プレイヤー自身が歩行者目線でそのような風景を眺めることが含まれているからである。

グループを含んだ群集シミュレーションに関する研究として、Francisco ら [11] の研究がある。この研究ではグループを一つの大きな歩行者と見なして歩行行動を再現しており、グループ行動が表現できる。しかし、この手法では周囲の密度がどのような状況でもグループの形状が変わらずに固定化された状態で回避行動が行われるので、現実のグループの歩行者がグループ内に圧縮されたり、分裂することによって回避を行う様子が表現できない。Seung ら [12] の研究ではいくつかの歩行者が纏まって行動する様子が表現でき、かつ歩行者グループが固定化されず移動を行えるが、任意のグループ形状を保持・復元することができない。また、Chunlin ら [13] や Fasheng ら [14] の研究では、グループの中からリーダーを一人決定し、そのリーダー歩行者に引率させる形でグループ行動を表現したが、そのような状態で行動する歩行者は、教員と小学生やガイドと観光客などグループが限られた状況に絞られてしまうため、上記の Seung らと同じく、任意のグループを保持・復元した状態での移動を表現できない。

そこで本研究では、狭窄領域における歩行者グループを含んだ群集行動を再現する手法を提案する。その手法では周囲の密度が小さいときには任意のグループ形状で移動を行い、密度の変化によってグループの形状を変化させながら行動する様子や、グループが静的障害物や他歩行者に衝突しそうなときに分裂することで回避を行う様子を再現した。再現するにあたって、グループは3人グループに限定し、個別に移動を行う歩行者やグループのリーダーが目的地へ移動を行う際には、LOS 手法 [15] と Social-Force モデル [16] を用いて障害物や他歩行者を回避しながら目

的地へ向かう様子を再現した。

群集内のグループが多く行うグループ形状の変化による回避行動や、回避後に変化したグループの形状を復元する行動の再現を目的としてプログラムを実装し、シミュレーション結果と実際の狭窄領域でのグループの行動を比較して、再現で来ているかの検証を行った。本手法では、グループの回避の方法に分裂による回避があるが、それを再現するためにグループのメンバー全体の重心を回避点として採用することでグループ内の侵入を防ぎつつ、周囲の密集具合によっては分裂回避を行うようにした。また、回避によるグループ形状の変化後に、周囲の密集具合が小さくなった場合に、現実のグループは横並びの形状に復元する行動を取る。リーダーエージェントの速度ベクトルに垂直な方向にメンバーエージェントに引力を作用させる点を設定することで、その行動を再現した。検証の結果、狭窄領域での歩行者グループを含んだ群集行動の特徴を再現できていることを証明した。

1.2 論文の構成

本論文の構成は、2章でシミュレーションを行う状況設定について述べる。3章では本研究の提案手法について述べる。4章では提案手法での検証結果について述べる。5章では本研究のまとめについて述べる。

第 2 章

シミュレーション状況の設定と歩行者の行動分析

本章では、シミュレーションを行う状況設定と歩行者の行動分析について述べる。本研究は移動可能領域が狭く、混雑しやすい状況を想定しているため、地下鉄駅のような形状と静的障害物が配置された空間でシミュレーションを行った。2.1 項では、駅ホームで見られる歩行者行動の分析について述べる。

2.1 歩行者について

歩行者というのは、本研究では電車を利用する旅客のことを指す。歩行者は行動開始時に近くにある出入口とは反対側の出入口に他歩行者や静的障害物を回避しながら移動を行う。歩行者には、個別の目的を持って移動を行う自律移動を行う歩行者と、互いに連携しながら移動を行うグループが存在する。

2.2 自律移動を行う歩行者について

自律移動を行う歩行者とは、歩行者グループに属さず個別に移動を行う歩行者のことを指す。現実世界におけるこの歩行者は、目的地を他の歩行者と共有せずに移動を行う。また、他歩行者に

対しては回避行動のみを行い、ある歩行者が別の歩行者に接近した際、相手が自分を視認できているかどうかで回避の度合いを決定している。また、回避の際グループが前を通行しており、通常の歩行速度で移動が行えない場合は、しばらくグループを後ろを追従し、グループが圧縮による回避などを行った場合に、横をすり抜けるようにして追い越す。

本研究ではこれを独立エージェントと呼ぶ。

2.3 グループについて

グループとは目的地を共にし、ひとまとまりで移動を行う集団のことである。現実の群集では友人や親子、夫婦など社会的関係が深い者同士でグループを組んでいることが多く、群集内に比較的多く存在することが藤原 [17] によって示されている。グループの移動はグループに所属するエージェント同士で相互に連携して行われ、基本的には間に他人が入らないように互いに多少のパーソナル・スペース [18] への侵入を許した、密接した状態で行う。パーソナルスペースとは、人が他者に侵入された時に不快感を感じる、目には見えない感覚的なスペースのことである。また、現実の歩行者がグループに属しているとき、同一グループに所属している歩行者同士が互いを視認し、一定の距離を保つために、グループ全体の歩行速度が自律移動を行う歩行者より遅くなる。

本研究ではこれらのことを考慮したグループ行動を行う歩行者エージェントをグループエージェントと呼ぶ。他歩行者を回避する際にはグループエージェントがさらにグループ内に圧縮されたり、メンバーの一部がグループから外れることで行う。図 2.1 はグループの回避方法を示した図である。

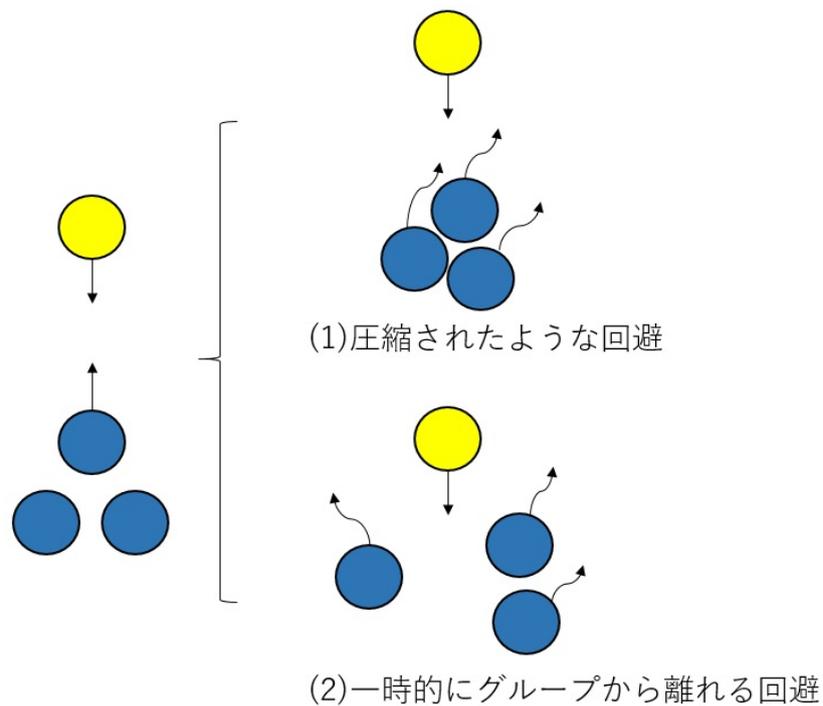


図 2.1 グループによる他歩行者回避

圧縮されるような回避方法は比較的多くの空間で見られるが、グループから一度外れることで行う回避方法は移動可能領域が絞られた狭窄空間で多く見られる。これは、回避の手段が限られた狭窄空間での効率的な回避方法の一つである。よって、グループの特徴的な行動は以下のようになる。

- グループの歩行者がグループ内に圧縮されるように回避を行う
- グループから分裂することで回避を行う
- 回避を行った後は、任意形状に戻る

本研究では、多くの個エージェントの中に 3 人の小規模グループを複数含んだ群集でシミュレーションを行う。この条件設定は、現実の群集では自律移動を行う歩行者の方がグループよりも多いという観察結果に基づいている。

第 3 章

提案手法

本章では本研究で提案する狭窄領域を考慮した混雑駅構内でのグループを伴う群集シミュレーションの提案手法について述べる。

3.1 歩行者エージェントの挙動

駅構内での歩行者の行動を再現する際、移動を行う歩行者のことを歩行者エージェントと呼ぶ。それぞれのエージェントには人体円を設定し、出口を設定する。エージェントは周囲の状況を考慮して、移動方向を決定する。以下 3.2 項では人体円について述べ、3.3 節では独立エージェントの行動について述べ、3.4 節ではグループの行動について述べる。

また、シミュレーションを行う空間には右端と左端に出入口を設定し、各エージェントはどちらかの出入口寄りの場所から、反対側の出入口に向かうものとする。この時、独立エージェントとグループで出発地点にズレが生じている。グループと独立エージェントが入り乱れる様子をシミュレーションするために、出入り口付近で混雑が発生するように調節したためである。図 3.1 はシミュレーション空間と各エージェントの初期位置の例である。

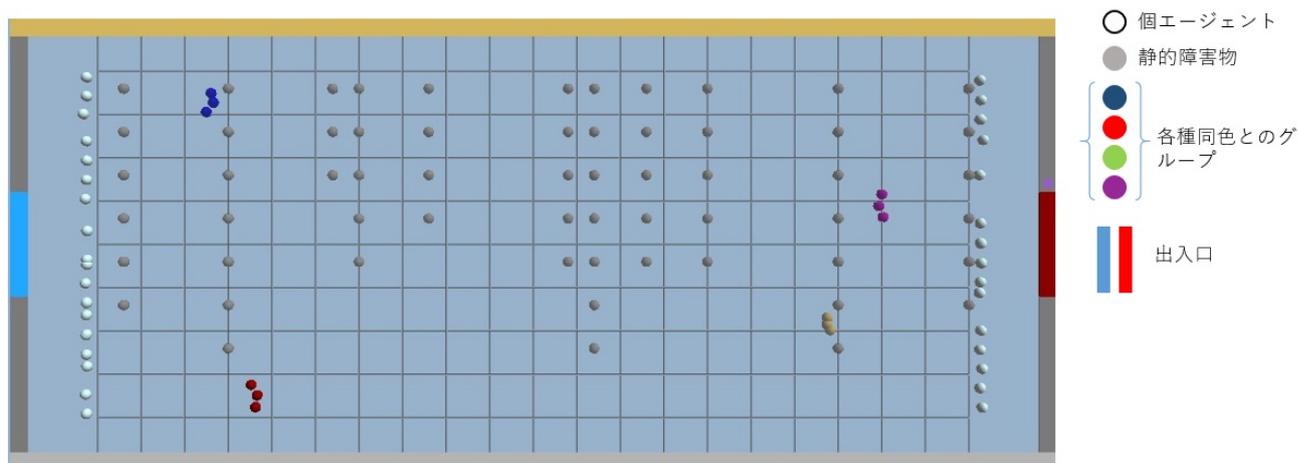


図 3.1 シミュレーション空間とエージェントの初期位置

3.2 人体円について

群集シミュレーションにおいて歩行者を表す際、矢印や楕円など簡易的な表示で表現することが多い。本研究においては、歩行者エージェントを半径 r の人体円と呼ばれる円で表示している。このように表現することによって、狭窄領域で大量の歩行者エージェントが行動するのにかかる計算を少なくすることができる。しかし、現実の歩行者を真上から見ると円ではなく楕円である。また回避においても、進行方向の変更のみならず、体に捻りを加えることによる回避も行っている。この差異はシミュレーションにも影響が出ており、歩行者エージェントを全て人体円で表示してしまうと、混雑時や静的障害物が大量に配置された空間では、回避をしきれずに接触してしまうことが多々ある。本研究ではその現象を考慮して、回避を行う条件であるエージェントと回避対象との距離 R と反発力 \mathbf{F} に掛ける定数 μ を調整することで接触を軽減した。図 3.2 は歩行者エージェントを人体円で表したものである。

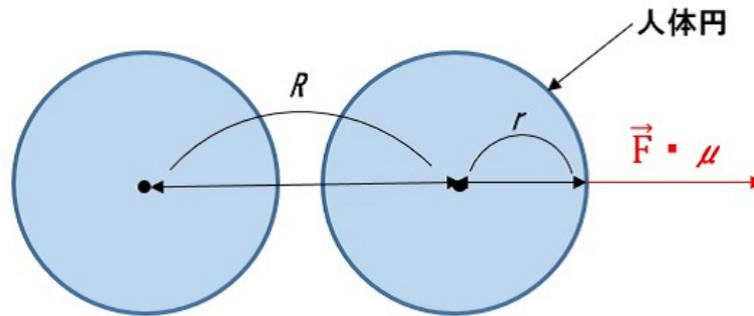


図 3.2 人体円

3.3 独立エージェントの行動について

本研究では、Social-Force モデルを基準として独立エージェントの速度ベクトルを決定した。図 3.3 は本研究において歩行者に働く力の相互作用を表したものであり、(A) 最終目的地からの引力、(B) 他歩行者エージェントから受ける斥力、(C) 静的障害物から受ける斥力、(D) 壁から受ける斥力を表している。Social-Force モデルとは、それらの相互作用によって生じる最終的な歩行者エージェントの速度ベクトルを運動方程式を用いて解くモデルのことである。図 3.3 はエージェントに作用する力を表したものである。

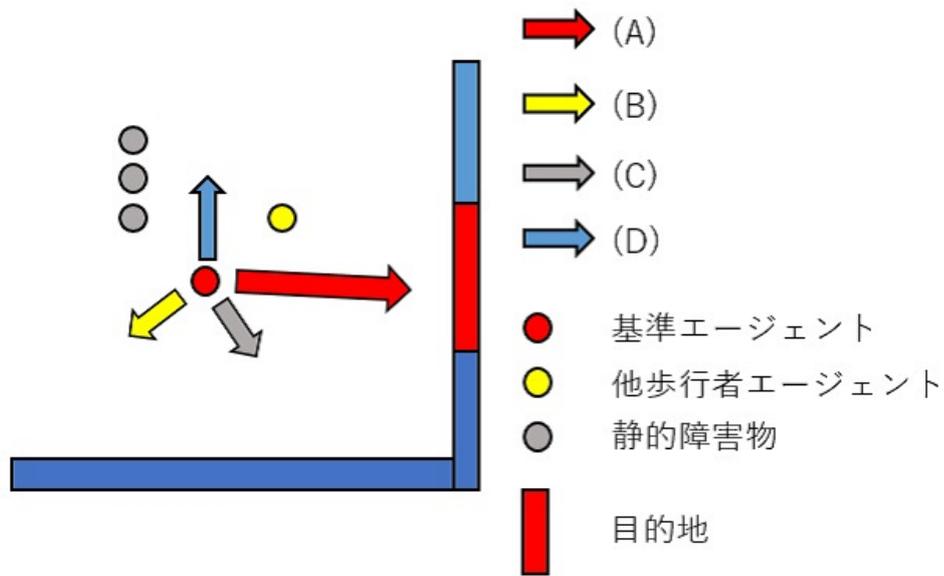


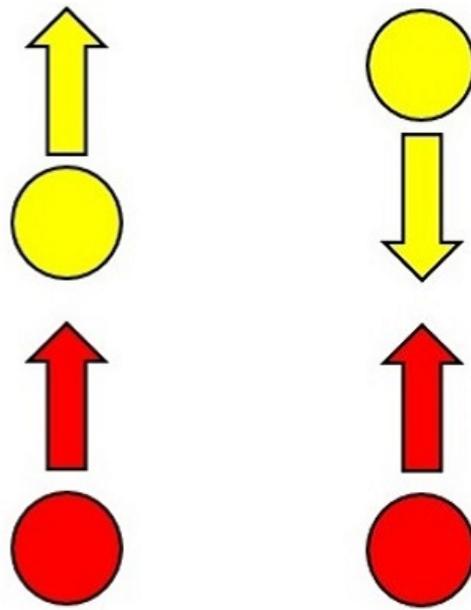
図 3.3 歩行者に働く力の相互作用

ここで基準となるエージェントの番号を i 、基準となるエージェントの前の位置座標を \mathbf{P}_i と置き、それぞれ図 3.3 の (A)、(B)、(C)、(D) の求め方について記述する。

(A) は最終目的地の位置ベクトルを \mathbf{Z} 、基準となるエージェントに作用する引力を \mathbf{E}_i とすると、式 (3.1) で表される。

$$\mathbf{E}_i = \frac{\mathbf{Z} - \mathbf{P}_i}{|\mathbf{Z} - \mathbf{P}_i|} \quad (3.1)$$

(B) は基準となる歩行者エージェントが他の歩行者エージェントを回避する行動である。まずは独立エージェントと独立エージェントの回避行動について記述する。エージェント同士の衝突には 3 通り存在する。衝突を分類したものを図 3.4 に示す。



(1)同一方向で後方から接近するとき (2)異なる方向から互いに接近するとき

図 3.4 エージェント同士の接近するパターン

目的地が同一方向で、エージェントが後方から接近する時は、後方のエージェントが前方のエージェントへの接近を把握し、前方のエージェントが把握していない状況なので、後方のエージェントが大きく回避を行わなければならない。異なる方向から互いに接近する時は、互いに接近を把握している状況なので、回避の大きさは互いに同じである。よって、斥力調整用の定数をそれぞれ A 、 B 、 C 、基準となるエージェントの近くに位置している他歩行者エージェントの番号を j 、基準となるエージェントの近くに位置している他歩行者エージェントの位置ベクトルを \mathbf{P}_j 、基準となるエージェントに作用する他歩行者エージェントからの斥力を \mathbf{F}_j とすると、斥力調整用の定数の大小関係は式 (3.2)、基準エージェントに作用する力は、式 (3.3) で得られる。

$$A > B > C \quad (3.2)$$

$$\mathbf{F}_i = \begin{cases} \left(\frac{\mathbf{P}_i - \mathbf{P}_j}{|\mathbf{P}_i - \mathbf{P}_j|} \right) A & \text{(同一方向で後方から接近するとき)} \\ \left(\frac{\mathbf{P}_i - \mathbf{P}_j}{|\mathbf{P}_i - \mathbf{P}_j|} \right) B & \text{(異なる方向から互いに接近するとき)} \\ \left(\frac{\mathbf{P}_i - \mathbf{P}_j}{|\mathbf{P}_i - \mathbf{P}_j|} \right) C & \text{(同一方向で後方から接近されるとき)} \end{cases} \quad (3.3)$$

次に独立エージェントがグループを回避する行動について記述する。グループの回避は上述のような独立エージェントへの回避のための斥力に加え、グループメンバーの3つのエージェントの重心にも斥力を設け、独立エージェントに回避させることでグループ内の通過を防いだ。図 3.5 で、独立エージェントによるグループの回避を示す。

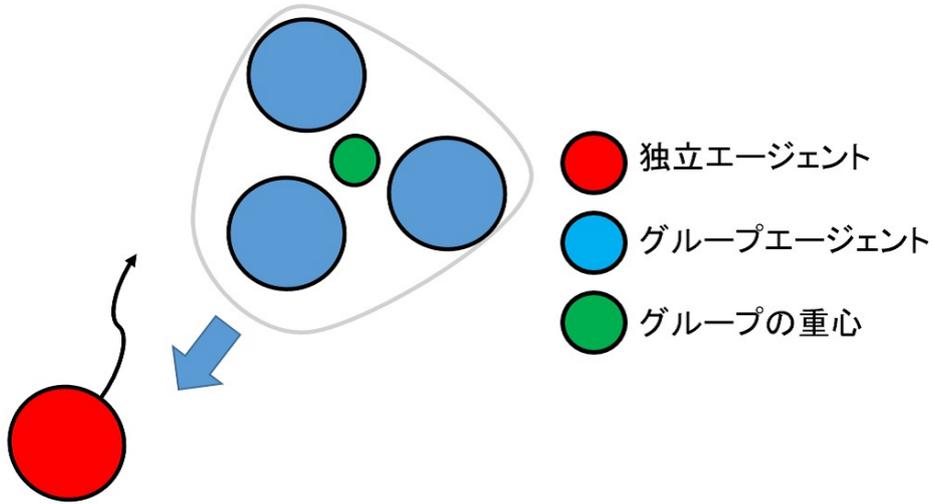


図 3.5 独立エージェントによるグループの回避

重心からの斥力を \mathbf{G}^s 、グループの番号 s 、グループ内でのエージェントの番号 k のメンバーエージェントの位置ベクトルを \mathbf{P}_k^s 、グループの構成人数を α とすると、基準となるエージェントのグループメンバーの重心の回避は、式 (3.4) で行うことができる。

$$\mathbf{G}^s = \frac{\mathbf{P}_i - \frac{\sum \mathbf{P}_k^s}{\alpha}}{\left| \mathbf{P}_i - \frac{\sum \mathbf{P}_k^s}{\alpha} \right|} \quad (3.4)$$

以上より、基準となる独立エージェントの前ステップでの速度ベクトルを \mathbf{V}_i 、次ステップでの

速度ベクトルを \mathbf{V}'_i 、単位時間を Δt とすると次の速度ベクトルは、式 (3.5) のように表せる。

$$\mathbf{V}'_i = \frac{\mathbf{V}_i + (\mathbf{E}_i + \mathbf{F}_i + \mathbf{G}^s)\Delta t}{|\mathbf{V}_i + (\mathbf{E}_i + \mathbf{F}_i + \mathbf{G}^s)\Delta t|} \quad (3.5)$$

この速度ベクトルを単位時間ごとに、前の位置に加算することで次ステップでの位置を得ることができる。次ステップでの位置ベクトルを \mathbf{P}'_i とすると、その式は式 (3.6) で得られる。

$$\mathbf{P}'_i = \mathbf{P}_i + \mathbf{V}'_i\Delta t \quad (3.6)$$

3.4 グループエージェントの行動について

3.4 項では、グループエージェントについて述べる。ここでグループの中心に位置するエージェントをリーダーエージェント、それ以外のグループに所属するエージェントをメンバーエージェントと呼ぶ。現実のグループは周囲の歩行者や障害物の数、移動可能領域の状態によってグループ形状を変化させて効率的に移動を行う。グループが維持するグループ形状が横一列にしたとき、密度におけるグループの形状の違いを図 3.6 に示す。(a) が周囲の歩行者エージェントや障害物が最も多く、(b) が次に多く、(c) が最も少ない状態におけるグループを形状を示している。つまり、密度が高いほどグループが圧縮された状態になる。

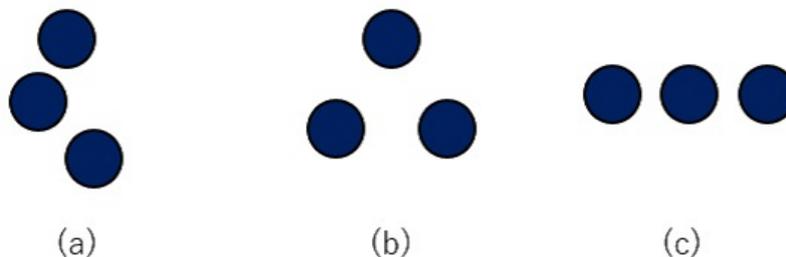


図 3.6 密度におけるグループ形状の違い

まずはリーダーエージェントの移動について述べる。このエージェントに作用する引力と斥力は独立エージェントについて述べたものと同じ式で得られるため、リーダーエージェントの位置

ベクトルを \mathbf{L}^s 、リーダーエージェントが目的地へ向かう速度ベクトルを \mathbf{U}^s とすると、リーダーエージェントのゴールへの移動は式 (3.7) で得られる。

$$\mathbf{U}^s = \frac{\mathbf{Z} - \mathbf{L}^s}{|\mathbf{Z} - \mathbf{L}^s|} \quad (3.7)$$

同一グループのメンバーエージェントを除く、独立エージェントと他グループのエージェントとの回避は上述の通り 3 通りある。よって、リーダーエージェントの同一グループのメンバーエージェントを除く、独立エージェントと他グループのエージェントからの斥力を \mathbf{M}^s とすると、衝突を行う方向と衝突対象のエージェントの進行方向に応じて斥力は変化し、式 (3.8) で得られる。

$$\mathbf{M}^s = \begin{cases} \left(\frac{\mathbf{L}^s - \mathbf{P}_j}{|\mathbf{L}^s - \mathbf{P}_j|}\right)A & \text{(同一方向で後方から接近するとき)} \\ \left(\frac{\mathbf{L}^s - \mathbf{P}_j}{|\mathbf{L}^s - \mathbf{P}_j|}\right)B & \text{(同一方向で後方から接近されるとき)} \\ \left(\frac{\mathbf{L}^s - \mathbf{P}_j}{|\mathbf{L}^s - \mathbf{P}_j|}\right)C & \text{(異なる方向から互いに接近するとき)} \end{cases} \quad (3.8)$$

他グループの重心からの斥力を \mathbf{D}^s とすると、反発は式 (3.9) で得られる。

$$\mathbf{D}^s = \frac{\mathbf{L}^s - \mathbf{G}^s}{|\mathbf{L}^s - \mathbf{G}^s|} \quad (3.9)$$

以上より、リーダーエージェントの次ステップの速度ベクトルは、前ステップの速度ベクトルを $\mathbf{V}^s = (v_x, v_y)$ 、次ステップの速度ベクトルを \mathbf{V}'^s 、単位時間を Δt とすると、式 (3.10) で得られる。

$$\mathbf{V}'^s = \mathbf{V}^s + (\mathbf{U}^s + \mathbf{M}^s + \mathbf{D}^s)\Delta t \quad (3.10)$$

次にメンバーエージェントについて述べる。リーダーエージェントの目標地点はシミュレーション空間の端に存在する出入口であるが、メンバーエージェントは常にリーダーエージェントの位置を原点としたローカル座標における、任意の点を保持しようとする。また、それ以外の行動である、独立エージェントからの斥力、壁からの斥力、静的障害物からの斥力、他グループエー

エージェントからの斥力、他グループの重心からの斥力はリーダーエージェントと同じ式で表現することができる。しかし、メンバーエージェントは任意形状を保持した状態で移動を行うので、目的地は任意形状を保持するような点になる。リーダーエージェントの移動に合わせて任意点を移動させるには、リーダーエージェントの位置を原点としたローカル座標において指定した任意点を、リーダーエージェントのグローバル座標における位置と速度ベクトルの変化に合わせて変化すればいい。そのためには、指定した任意点をリーダーエージェントの位置ベクトル分平行移動を行った後、リーダーエージェントの速度ベクトルと x 軸のなす角分リーダーエージェントの位置を中心とした回転移動を行う。リーダーエージェントの位置ベクトルを $\mathbf{L}^s = (p, q)$ 、リーダーエージェントの速度ベクトルと x 軸のなす角を θ 、リーダーを除いたグループのメンバーの番号を β とすると、リーダーエージェントの速度ベクトルと位置の変化によって、任意の点のグローバル座標での位置に変換する変換行列 \mathbf{H}_β^s は、(3.11) で得ることができる。

$$\mathbf{H}_\beta^s = \begin{pmatrix} 1 & 0 & p \\ 0 & 1 & q \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (3.11)$$

よって、リーダーエージェントの位置を原点としたローカル座標における任意点の位置ベクトルを \mathbf{Q}_β^s 、その任意点を保持するメンバーエージェントに作用する引力を \mathbf{E}_β^s 、メンバーエージェントの位置ベクトルを \mathbf{N}_β^s とすると、メンバーエージェントに作用する引力は式 (3.12) で得る。

$$\mathbf{E}_\beta^s = \frac{\mathbf{H}_\beta^s \mathbf{Q}_\beta^s - \mathbf{N}_\beta^s}{|\mathbf{H}_\beta^s \mathbf{Q}_\beta^s - \mathbf{N}_\beta^s|} \quad (3.12)$$

前述の通り、目標地点へ向かう式以外は同一の式で表すことができるので、メンバーエージェントの次ステップの速度ベクトルは、式 (3.10) の \mathbf{G}^s を \mathbf{E}_β^s の斥力計算における \mathbf{L}^s をメンバーエージェントの位置ベクトルと差し替えた式で表現することができる。

第 4 章

検証と評価

4.1 本研究の検証

本章では、観察で得た歩行者の行動を基に 3 項で提案した手法を用いて、シミュレーションの検証を行った。プログラムには 3D グラフィックツールキットの FK ToolKit System[19] を用いて実装を行った。実装にあたって設定したパラメータの値を表 4.1 で示す。

表 4.1 パラメータの設定

パラメータ名	設定した値
個エージェント数	40
グループ数	4
各グループメンバー数	3
人体円の大きさ (r)	0.3
静的障害物数	60
グループエージェント同士の距離	1
他エージェントの後方から接近する際の斥力衝突調整定数 (C_a)	10
他エージェントが後方から接近する際の斥力衝突調整定数 (C_b)	3
他エージェントと互いに接近する際の斥力衝突調整定数 (C_c)	6

図 4.1 は、グループが圧縮して回避する前の様子を表し、図 4.2 は、グループが圧縮して回避している途中の様子を表し、図 4.3 は、グループが圧縮して回避した後の様子を表す。図の紺色の

エージェントがグループエージェントを、灰色のエージェントが静的障害物を、白色のエージェントが個エージェントを表す。これらの実行画像の結果から、グループが圧縮することで他歩行者エージェントや、静的障害物を回避する様子を再現できていることが分かる。

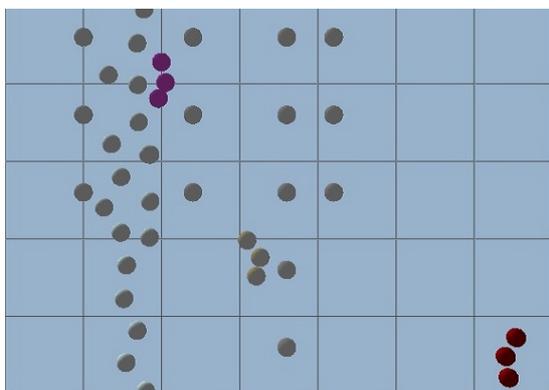


図 4.1 圧縮回避前

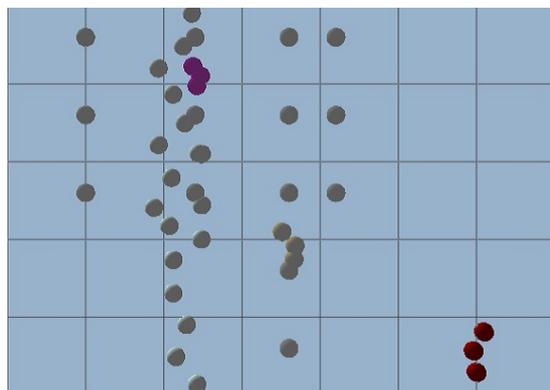


図 4.2 圧縮回避途中

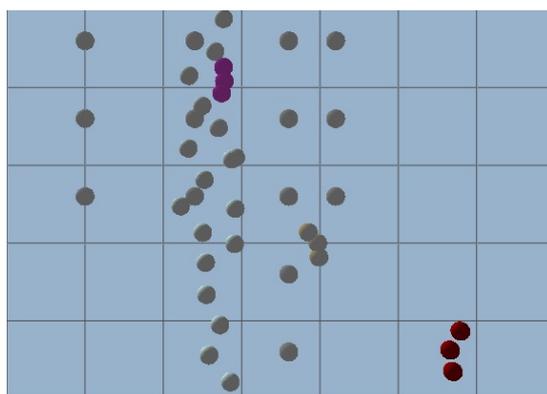


図 4.3 圧縮回避後

図 4.4 は、グループが分裂して回避する前の様子を表し、図 4.5 は、グループが分裂して回避している途中の様子を表し、図 4.6 は、分裂して回避した後の様子を表す。図 4.4 から図 4.5 を経て、図 4.6 に対して、グループエージェントが 1 人と 2 人の組に分かれて静的障害物を回避している。これらの実行結果の画像から、現実のグループで確認できる分裂回避の様子が実現できていることが分かる。

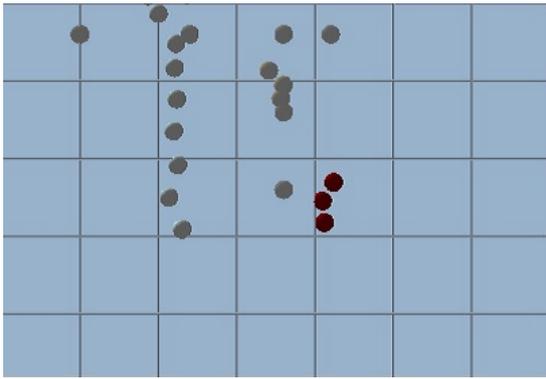


図 4.4 分裂回避前

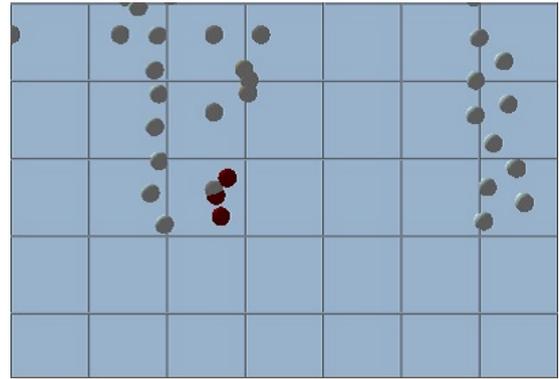


図 4.5 分裂回避途中

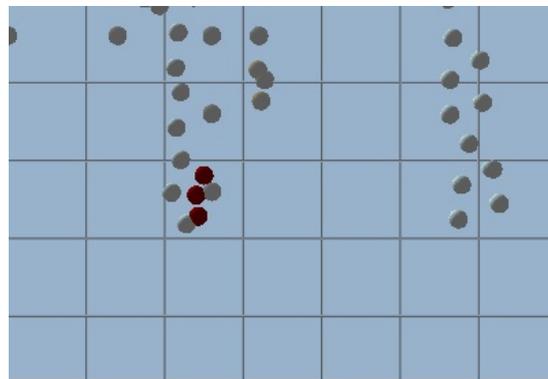


図 4.6 分裂回避後

図 4.7 は、グループが圧縮された形状から復元される前の様子を表し、図 4.8 は、グループが圧縮された形状から復元される途中の様子を表し、図 4.9 は、復元された後の様子を表す。これらの実行結果の画像から、現実のグループで確認できる、グループ形状の変化から、横一列の形状に復元される様子が再現できていることが分かる。

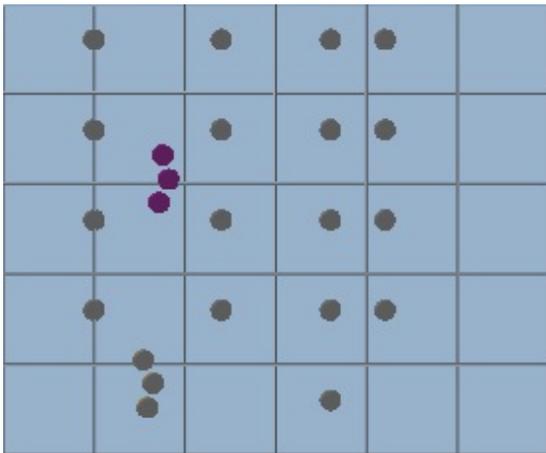


図 4.7 グループ形状復元前

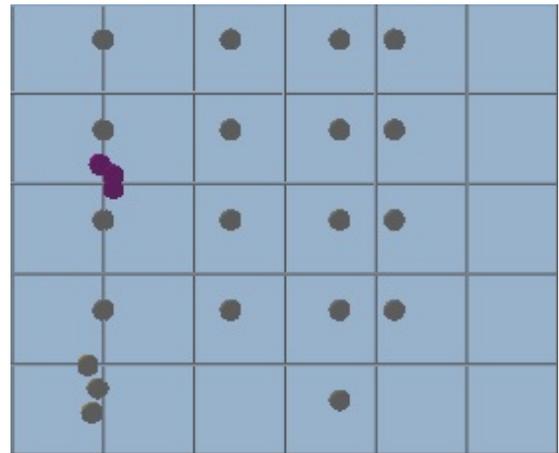


図 4.8 グループ形状復元途中

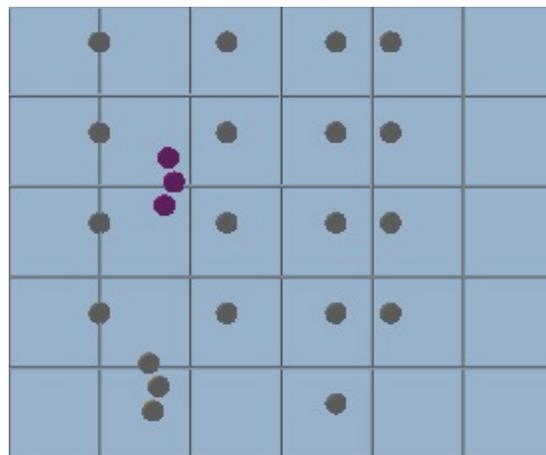


図 4.9 グループ形状復元後

4.2 評価

本研究の提案手法を用いて、狭窄領域での歩行者グループを含んだ群集の動きを再現できた。現実の歩行者に見ることができる、グループが周囲の状況に応じて圧縮や分裂による回避を行い、形状変化後は横一列の形状に戻る動きを再現した。まず歩行者は、周囲の他歩行者や障害物が少ない時は横一列に並んだ状態で移動を行う。移動に伴って、周囲の他歩行者や障害物が増えてくると、グループは圧縮による回避を行うようになる。しかし、グループの歩行者が回避する過程で歩行者同士の距離が大きくなってしまい、圧縮による回避が間に合わない場合もある。そのよ

うな時、グループは分裂することで、衝突を回避しようとする。実装結果では、グループは基本的には圧縮による回避でグループエージェント同士が、なるべくひとまとまりとなって移動を行い、他歩行者エージェントや静的障害物に対峙した際に、グループエージェント同士の距離が大きの場合に二手に分かれて回避を行っている。そのことから、現実のグループを含んだ群集の動きを再現できたと判断する。また、現実の歩行者のこの動きは、移動可能領域が狭い空間でも見ることができ、本研究のシミュレーションでもそのようなシミュレーション空間で再現できているため、本研究は狭窄領域でも有効であると判断した。

第 5 章

まとめ

本研究では、狭窄領域を考慮した混雑駅構内でのグループを伴う群集シミュレーションの手法を提案した。この手法は街づくりシミュレーションなどのゲームへの応用を対象としているため、リアルタイムでインタラクティブなコンテンツへの応用を可能とすることを目標とした。現実の歩行者の動きを再現するために、歩行者を分析し自律移動を行う歩行者とグループに分類した。分析した歩行者の動きを再現するために、個エージェントとグループエージェントそれぞれにパラメータを設定し、特に基準としたエージェントが他のエージェントと接近する際には、その接近の仕方によって斥力を調整することで現実の歩行者に見られるような回避を再現した。また、グループの行動に関しては抽出した特徴的な動きである、圧縮回避、分裂回避、形状復元を中心に再現するようにした。

分析し、再現した狭窄領域におけるグループを含んだ群集の動きは、本研究では単式ホームをモデルとしたシミュレーション空間で実装を行ったが、ショッピングモールやイベント会場、歩道などでも頻繁にみられる行動であり、ゲーム内のそのような状況でも用いることができると考えられる。

本研究では、リアルタイムな歩行者の動きを再現するために 3D グラフィックツールキットの FK ToolKit System を用いて実装と検証を行った。提案手法で個エージェントの動きとグループ

の特徴的な動きを実装できていることを確認し、本研究で狭窄領域を考慮した混雑駅構内でのグループを伴う群集の動きを再現できることを証明した。

今後の展望として、本研究ではグループを目標地点を共有し、連携していることだけを考慮して実装を行った。しかし、現実には親子や夫婦、上司と後輩などグループの関係性はさまざまであり、大人同士なら圧縮回避と分裂回避を臨機応変に使用して移動を行うが、グループ内に子供が含まれる場合分裂回避はまず行わないと考えられる。これは、目標地点までの道のりを子供が把握していないことや、精神的な未熟さから大人と離れることを不安に思うと考えたことによる。また、現実の自律移動を行う歩行者は他歩行者間を縫うように進み、すき間を見つけたときに小走りでその間を抜けたり、前の歩行者やグループを追い越す行動を取る点で展望がある。さらにリアルな現実の歩行者やグループの行動を再現するには、これらのことも考慮する必要がある。

謝辞

本研究を行うにあたり、渡辺先生と阿部先生に丁寧なご指導を賜りましたことを、この場を借りて感謝申し上げます。また、研究室で1年間共に過ごした仲間たちにも感謝いたします。最後に、本研究で親身に相談に乗って下さった、全ての方々に深く感謝いたします。

参考文献

- [1] “群衆行動シミュレーション: 研究サーベイ”. <http://profile.k4no.info/researches/survey/RelatedWorksofCrowdSimulation.ja.html>. 参照: 2018.12.19.
- [2] 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”. 研究報告数理モデル化と問題解決, Vol. 102, pp. 1–6, 2015.
- [3] Teck-Hou Teng, Shih-Fen Cheng, Trong-Nghia Truong, and Hoong Chuin Lau. “managing egress of crowd during infrastructure disruption”. *2016 Winter Simulation Conference(WSC)*, Vol. 1, pp. 1316–1327, 2016.
- [4] Ruilin Xie, Zhicheng Yang, Yu Niu, and Yanci Zhang. “Simulation of Small Social Group Behaviors in Emergency Evacuation”. *Proceedings of the 29th International Conference on Computer Animation and Social Agents*, pp. 71–77, 2016.
- [5] 磯崎勝吾, 中辻隆. Social force model を基にした歩行者の避難シミュレーションモデルに関する研究. 土木学会北海道支部 論文報告集, Vol. 66, pp. D–3, 2010.
- [6] 阿久澤あずみ. 駅構内における群集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.
- [7] 稲木達哉, 富井規雄. “駅ホーム上の旅客流動のマルチエージェントによるシミュレーシヨ

- ン” . 鉄道技術連合シンポジウム講演論文集, Vol. 17, pp. 507–510, 2010.
- [8] 佐藤和希, 高橋徹, 山田隆, 寺野隆雄. “エージェント技術に基づく駅構内の群歩行シミュレーション” . 研究報告知能と複雑系 (ICS), Vol. 16, pp. 81–86, 2009.
- [9] “planet coaster” . <https://www.planetcoaster.com/en-gb>. 参照: 2018.12.24.
- [10] “ザ・シムズシリーズ” . <https://www.ea.com/ja-jp/games/the-sims>. 参照: 2018.12.24.
- [11] Francisco Arturo Rojas and Hyun Seung Yang. “Minimizing Collision among Social Groups in Wide-Open Spaces” . *2014 International Conference on Cyberworlds*, pp. 77–84, 2014.
- [12] Seung In Park, Francis Quek, and Yong Cao. “MODELING SOCIAL GROUPS IN CROWDS USING COMMON GROUND THEORY” . *Proceedings of the 2012 Winter Simulation Conference*, pp. 1–12, 2012.
- [13] Chunlin He, He Xiao, Wen Dong, and Liping Deng. “Dynamic Group Behavior for Real-time Multi-agent Crowd Simulation” . *2010 The 2nd International Conference on Computer and Automation Engineering*, Vol. 1, pp. 544–546, 2010.
- [14] Fasheng Qiu and Xiaolin Hu. “Modeling Dynamic Groups for Agent-based Pedestrian Crowd Simulations” . *2010 IEEE/WIC/ACM International Conference on Web Intelligence and Intelligent Agent Technology*, Vol. 2, pp. 461–464, 2010.
- [15] “人工知能に関する断創録” . <http://aidiary.hatenablog.com/entry/20050409/1274163763>. 参照: 2018.12.20.
- [16] Dirk Helbing and Peter Molnar. “Social force model for pedestrian dynamics” . *PHYSICAL REVIEW E*, Vol. 5, pp. 4282–4286, 1995.
- [17] 藤原大三郎. 群集流動シミュレーションにおけるグループ歩行表現導入の有効性. 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, 2003.

- [18] 渋谷昌三. “パーソナル・スペースの形態に関する一考察”. 山梨医大紀要, Vol. 2, pp. 41–49, 1985.
- [19] “Fine Kernel Tool Kit System”. <http://fktoolkit.sourceforge.jp/>. 参照: 2018.12.24.