

2003年度 卒業論文

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

指導教員：渡辺 大地

メディア学部 3DCG アプリケーション構築プロジェクト

学籍番号 00P329

藤原 大三郎

2003年度 卒業論文概要

論文題目

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

メディア学部
学籍番号：00P329

氏名

藤原 大三郎

指導
教員

渡辺 大地

キーワード

群集流動, グループ歩行者, 歩行時間, 密度分布

近年、建築・交通工学分野において、人間の群集の流れをシミュレートする「群集流動シミュレーション」の需要が高まっている。具体的な例としては、建築設計や都市開発などにおいて人の流れがスムーズになるような環境設計を検討する「動線計画シミュレーション」や、イベントや災害時に群集事故回避のための効果的な群集の誘導法を検討する「群集誘導シミュレーション」などへの応用が進められている。本研究は動線計画シミュレーションや群集誘導シミュレーションの精度向上を目的とする。

動線計画・群集誘導の評価尺度として群集の平均歩行時間や密度分布が挙げられる。シミュレーション結果において、これら評価尺度の値が現実に近いことが望ましい。そこで本研究は歩行時間・密度分布の精度向上を目指すことにする。これらの精度を現状より向上させるために、まず現在の群集流動シミュレーションにおいて考慮されていない事象を考える。現在群集流動シミュレーションにおいて欠けている部分としては、各歩行者間のコミュニケーション、各歩行者の個性の違い、カップルや家族などのグループ歩行者といった点が挙げられる。今回はこの中で「グループ歩行者」に着目する。まず、グループに関する既存調査結果を参考にグループ歩行者の存在が周辺歩行者に与える影響を考察する。この考察結果より、群集流動シミュレーションへのグループ歩行表現導入の有効性を検証する。さらに実際にグループ歩行表現を導入するための手法を検討するとともに今後の課題を提示する。

目次

第1章	はじめに	1
第2章	グループ歩行者の特性	4
2.1	グループに関する既存研究	5
2.1.1	グループの歩行速度	5
2.1.2	グループと回避行動	5
2.2	グループ歩行者の特性	8
2.2.1	グループの歩行速度	8
2.2.2	グループと回避の関係	9
2.2.3	グループ歩行者の特性	9
第3章	グループが存在する群集の挙動	11
3.1	群集がグループに及ぼす影響	11
3.1.1	混雑時の群集の挙動特性	11
3.2	グループの低速度性が群集に及ぼす影響	14
3.3	グループの親密性が群集に及ぼす影響	18
3.3.1	群集の混雑状況の考慮	18
3.3.2	グループの親密性が群集に及ぼす2種類の影響	20
3.3.3	グループの親密度・群集の密度の違いによるグループの影響 力の変化	24
3.3.4	高親密度グループを含む群集の挙動	25
3.3.5	低親密度グループを含む群集の挙動	31
3.4	群集流動シミュレーションへのグループ歩行表現導入の有効性	39
第4章	グループ歩行表現導入に向けて	41
4.1	グループ行動の表現方法	41
4.1.1	状態「統合」におけるグループ行動ルール	42
4.1.2	状態「崩壊」におけるグループ行動ルール	42
4.1.3	状態「細分」におけるグループ行動ルール	42
4.1.4	状態「復元」におけるグループ行動ルール	42
4.2	対グループ行動の表現方法	43

4.2.1	コミュニケーションの導入	43
4.2.2	性別の導入	44
第5章	まとめ	46
	謝辞	47
	参考文献	48

第 1 章

はじめに

近年、建築・交通工学分野において、人間の群集の流れをシミュレートする「群集流動シミュレーション」の需要が高まっている。具体的な例としては、建築設計や都市開発などにおいて人の流れがスムーズになるような環境設計を検討する「動線計画シミュレーション」や、イベントや災害時に群集事故回避のための効果的な群集の誘導法を検討する「群集誘導シミュレーション」などへの応用が進められている。

動線計画シミュレーションの実用化事例としては、東急総合研究所の旅客流動シミュレーションシステム [1]、シムテクノ総研の人の流動シミュレーション [2]、清水建設の歩行者動線シミュレーション [3] などが挙げられる。

群集誘導シミュレーションの実用化事例としては、高柳 [4] は歩道橋に流動の分離手摺りを設けた場合と設けない場合の人の流れをシミュレートし、群集を適切にコントロールすることによって空間の歩行快適性や避難安全性を向上させることができることを指摘した。

群集誘導シミュレーションが実用に至っている例は数少ないが、実用化に向けた研究例 [5] は存在し、群集事故回避のための効果的な誘導法の検討に利用することが期待されている。本研究はこれら動線計画シミュレーションや群集誘導シミュレーションの精度向上を目的とする。

動線計画・群集誘導の評価尺度としては、群集の平均歩行時間や密度分布が挙げ

られる。ここで歩行時間とは、各歩行者の目的地到達までの所要時間を意味する。シミュレーション結果において、これらの値は現実に近いことが望ましい。そこで本研究は歩行時間・密度分布の精度向上を目指すこととし、精度向上のための手法を提案する。シミュレーション精度低下の原因として、シミュレーションプログラムを実装する段階で無視されている事象の存在が考えられる。現在群集流動シミュレーションにおいて欠けている部分としては、

- 各歩行者間のコミュニケーション
- 各歩行者の個性の違い
- カップルや家族などのグループ歩行者

といった点が挙げられる。これまでの群集流動シミュレーションは歩行者間での意思の疎通はほとんどのケースで無視されており、相手の自分に対する相対速度などから相手の動きを予測するケースが多い。また、歩行者の個性の差異も無視されており、各歩行者は皆同じ個性で同じ挙動特性を示す。さらに、現実の群集、とくに繁華街やイベント会場などでは全歩行者にしめるグループ歩行者の割合は高いが、現状の群集シミュレーションではグループ歩行という概念を導入しておらず、歩行者はみな単独歩行者として表現されている。今回はこの中で「グループ歩行者」に着目する。まず、グループに関する既存調査結果を参考にグループ歩行者が存在する群集の挙動を考察する。この考察結果より、群集流動シミュレーションへのグループ歩行表現導入の有効性を検証する。

本論文の章構成は次の通りである。

2章ではグループに関する既存調査結果からグループが持っている特性を見出す。3章ではグループが群集から受ける影響、および群集がグループから受ける影響について考察し、群集流動シミュレーションにグループ歩行を導入することが群集の歩行時間・密度分布の精度向上に効果的であるかを検証する。4章では、実

際にグループ歩行表現を導入するための手法を検討するとともに今後の課題を提示する。最後に 5 章でまとめを述べる。

第 2 章

グループ歩行者の特性

現実の群集、とくに繁華街やイベント会場などでは全歩行者にしめるグループ歩行者の割合は高い。和田 [6] は渋谷駅前（ハチ公前）交差点の様子を撮影し分析した。撮影を行ったのは平日と休日の各 1 日で、それぞれ午後の 2 時から 4 時の時間帯の中で 10 サイクル以上の横断を観察した。青信号 1 回で横断する平均人数は、平日が 266 人、休日が 495 人であった。主観的な判断に基づいてではあるがグループ歩行者と見なせる歩行者が全体に占める割合は表 2.1 に示すとおりである。

表 2.1: ハチ公前交差点における 1 サイクルの平均横断人数とグループ率

	平均人数	グループ率
平日	266	0.42
休日	495	0.65

上記の調査からも、現実の群集、とくに繁華街やイベント会場などでは全歩行者にしめるグループ歩行者の割合は高いことが分かる。このような「グループ」の存在は建築・交通工学分野や心理学分野の研究で注目されており、グループ行動の行動特性に関してさまざまな分析が行われてきた。本研究はグループ歩行者が群集に及ぼす影響を考えるが、その前にグループそのものの行動特性を知る必要がある。本章ではグループに関する既存研究からグループが持っている特性を見出す。

2.1 グループに関する既存研究

グループ行動に関する既存研究では主に

- グループ歩行者の歩行速度
- 通行人のグループ回避行動、またはグループの通行人回避行動

に関する分析が行われてきた。それぞれについて解説する。

2.1.1 グループの歩行速度

グループの歩行速度については以下のような既存研究がある。

鈴木 [7] は群集行動の特性を調査するため、3日間で200万人以上が全国から集まる仙台七夕祭りを対象に、その群集行動の様子を最も混雑する仙台駅内および周辺でビデオ撮影し、その行動パターン、停滞などの様子を観察した。その際、グループ歩行者はグループの人数が多くなるほど歩行速度が遅くなることを確認した。さらに、先導する人がいない場合にはさらに遅くなることを確認した。

2.1.2 グループと回避行動

グループと回避行動に関する既存研究には、2人組を扱ったものと3人以上の多人数グループを扱ったものがある。それぞれについて解説を行う。

2人組と回避行動

和田 [6] は渋谷駅前（ハチ公前）交差点における歩行者の挙動を分析した。その結果、男女のペアは密接して並列に歩行する傾向があり、対向する歩行者がその間を引き裂く確率が低い傾向にあることを見出した。

日本建築学会 [8] は、歩道を歩いている男女のペア・女同士のペア・男同士のペアを、他歩行者が間を引き裂くことなく回避する確率を実験により調べた。その

表 2.2: ペアを回避する割合

ペア	回避率 (%)
男女	83
女性同士	62
男性同士	38

結果は表 2.2の通りである。男女、女性同士、男性同士の順に、歩行者がペア全体を回避する確率が高い結果となった。

Knowles[9] は歩道を歩いているペアを見つけて、実験者がその間をわざと通り抜けようとしたときのペアの行動を観察する、という侵入実験を行った。その結果、全てのペアの 61%で、通行人が侵入するのを避けようとする行動が見られた。つまり 2 人が並んで左右のどちらかに移動し通行人を回避した。性別による結果の違いは表 2.3の通りである。男女、女性同士、男性同士の順に、一緒に通行人を回避する確率が高い結果となった。

表 2.3: ペアと一緒に回避する割合

ペア	回避率 (%)
男女	83
女性同士	62
男性同士	38

Cheyne[10] は、2 人組が廊下で立ち話をしている場合と、話をしないで何となく階下を見下ろしている場合に、通行人がそのペアの間を通過する割合を調べる実験を行った。2 人組は実験の協力者であり、ペア間の距離は約 102cm、自由に通れる空間は約 83cm に設定された。通行人がペアの左右を迂回していた回避率は表 2.4の通りである。ペアを回避する通行人は 2 人が立ち話をするしないに関わらず、男女のペアが立っている場合に多くなった。

表 2.4: ペアを回避する割合

ペア	相互作用	
	あり	なし
男性同士	68%	25
女性同士	91	8
男女	93	37

多人数グループと回避行動

Knowles[11] は、大学のスタッフ、あるいは学生による 2 人グループ、あるいは 4 人グループの間を通り抜けていく歩行者の割合を調べた。その結果、大学のスタッフのグループ、学生のグループ共に、2 人よりも 4 人グループの方が、間を通り過ぎる歩行者の割合が低かった。

Lindskold ら [12] は男女 2 人ずつの 4 人連れが、次のような相互作用の内容（5 つの条件）で歩道に立っているとき、それぞれのグループの間を通り過ぎる歩行者の割合を調べた。

- 1： 4 人が別々のことをする。（相互作用無し）
- 2： 4 人がショーウィンドをのぞき込む。
- 3： 4 人が静かに立ち話をする。
- 4： 4 人がお互いに怒り合っているとき。
- 5： 4 人が和気あいあいと笑い合っているとき。

実験結果は表 2.5 の通りである。周囲から見たときにメンバー同士がより親密な関係と判断できるような相互作用を行っている場合ほど、歩行者がグループ全体を回避する確率が高い。

表 2.5: グループを回避する割合

相互作用	回避率 (%)
なし	78
ショーウィンドをのぞき込む	55.5
静かに立ち話	24.2
怒り合う	18.2
笑い合う	14.1

2.2 グループ歩行者の特性

これまでに紹介してきた既存研究から、グループ歩行者の特性を考察する。

2.2.1 グループの歩行速度

グループの人数が多いほど歩行速度が低下し、先導する人がいなければさらに歩行速度が低下する傾向が見られる。これはグループで歩行する際、各歩行者がグループ内の低速度歩行者に同調するためであると考えられる。健常者が高齢者に付き添って歩行する際、健常者は高齢者に近い速度で歩く必要がある。家族連れが歩行しているときに誰かが後れをとったとすると、その人物が来るのを待つのが普通であり、遅れた人物を気にせず歩行するとは考えにくい。

年齢の近い人物同士であっても歩行速度にはかなり個人差がある。産業技術総合開発機構 (NEDO)[13] は自由歩行時における高齢者、若年者の歩幅、歩数、速度を測定した。ここで自由歩行とは、物を持たない状態で平坦な通路を歩くことを指している。また実験において若年者を 20 代・30 代、高齢者を 60 代～80 代に設定している。表 2.6 が実験結果である。

これらの結果から、グループ歩行者は単独歩行者に比べ低速度で歩行すると判断できる。

表 2.6: 自由歩行時における高齢者、若年者の歩行速度

	歩行速度 (m/s)	
	最小	最大
若年男性	1.2	1.6
若年女性	1.2	1.5
高齢男性	1.0	1.3
高齢女性	0.8	1.6

2.2.2 グループと回避の関係

ペアの場合も多人数の場合も、周囲から見てグループ間の親密度が高いと判断できる条件ほど、歩行者はグループの間を割る確率が低いと言える。

渋谷 [14] は、2人以上の人間がいるとき、そこには社会空間 (social space) と呼ばれる他人を寄せ付けない特別な空間領域が存在すると想定した。グループが何らかの相互作用を行っているなど、周囲から見たときにメンバー同士の結びつきや他人の侵入に対する拒絶の意思がはっきりしているほど、社会空間の影響は強くなる。またグループの構成人数が増加するほど社会空間の影響力は強くなる。簡潔な表現をすれば、歩行者は結束の強いグループ、大人数のグループに対してより強い譲歩の姿勢を示す、と渋谷は分析した。さらに渋谷 [14] は Knowles[9] の実験結果から、グループの人間関係が密接であるほど社会空間を壊さないようにするため他人を間に侵入させない傾向があると分析している。

2.2.3 グループ歩行者の特性

以上のことから、グループには

- 低速度性
- 排他性

という2つの性質があることが分かる。さらにこれらの性質の度合いは、先導す

る人物が存在するか、どれだけ親密な関係か、どれだけの人数で構成されるかなどにより変化する。

次章では、群集中にグループ歩行者が存在するとき、これらの性質が周辺歩行者にどのような影響を及ぼすか考察を行う。

第 3 章

グループが存在する群集の挙動

前章では既存の調査研究から、グループには2つの大きな行動特性、低速度性と排他性が見いだせることを指摘した。本章ではこれらの特性を基に、グループの存在する群集がどのような挙動を示すか考察し、グループの存在と群集の歩行時間・密度分布の関係性を検証する。その結果から、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を検証する。

3.1 群集がグループに及ぼす影響

まずはグループが群集から受ける影響について考察する。

周囲の混雑状況によってグループの形状が変化する可能性を示唆する現象が、数多くの群集流動観測実験から確認されている。

3.1.1 混雑時の群集の挙動特性

混雑時の群集の挙動特性を分析する際、2つ以上の群集が交差する場면을観察するケースが多い。複数の群集が相互作用する様子を観察することで、結果的に群集内部の性質が顕著に見いだせるからである。

加藤ら [15] はビルの屋上に監視カメラを備え付け、すぐ下の横断歩道を観察した。ここでは対向する群集流のパターン形成過程の解析がなされた。観察の結果、

歩行者は対向者との接触を避けるため同方向者同士が寄り合い、帯状の塊となって交互に層を形成することが明らかになった。先頭者に同方向者が追従し、最初それがくさび型となり次第に引き延ばされて層状となった。すれ違いが激しい場合は層化傾向が強いことも見出された。図 3.1 は 2 歩行流の観測結果を模式的に表したものである。2 種類のグレーの領域は 2 歩行流をあらわし、矢印は歩行流の進行方向である。最初、青信号になって歩行者が横断歩道内に参入すると、歩行速度が速い何人かに追従する形で三角形の流れが双方向にできる (図 3.1-(1))。各方向の先頭にいる歩行者は互いに回避し合い、回避した経路を後続の歩行者が追従するために流れが交互に出来る (図 3.1-(2),(3))。一度流れが出来ると、途中から横断歩道に参入する歩行者も最初から同方向の歩行者の流れに追従するため、徐々に流れは帯状化していく (図 3.1-(4))。横断歩道内の歩行者の数が減少すると、渡り終えようとする歩行者にとっては前方にスペースが増えるため、各々の目的地に従い歩行経路の範囲が広がる (図 3.1-(5),(6))。この結果からも反対方向に歩行する 2 組の群集が、相互に一方向に歩行する者だけからなる群集流の帯を形成していることが見て取れる。

加藤らの他にも、中 [16]、矢守ら [17]、高柳ら [18]、和田 [6] が群集流動観測によって同様の現象を確認している。

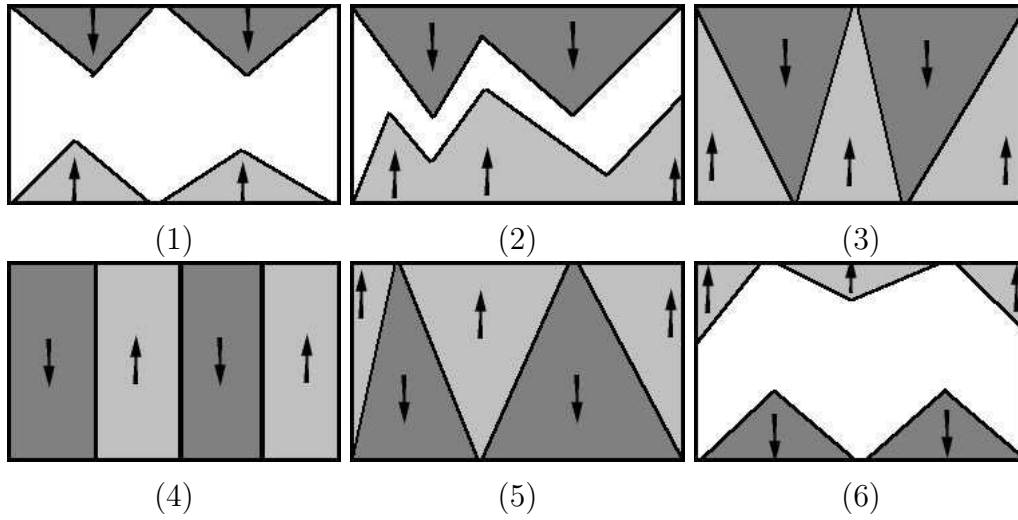


図 3.1: 対向する 2 歩行流の変化

このように人間の群集は同一方向へ向かう者同士で縦長の歩行集団を作り歩行の負担を軽減する性質がある。グループ歩行者も「同一方向へ向かう者同士」なので、混雑時において図 3.2 のように縦長に変形する性質がある可能性が高い。

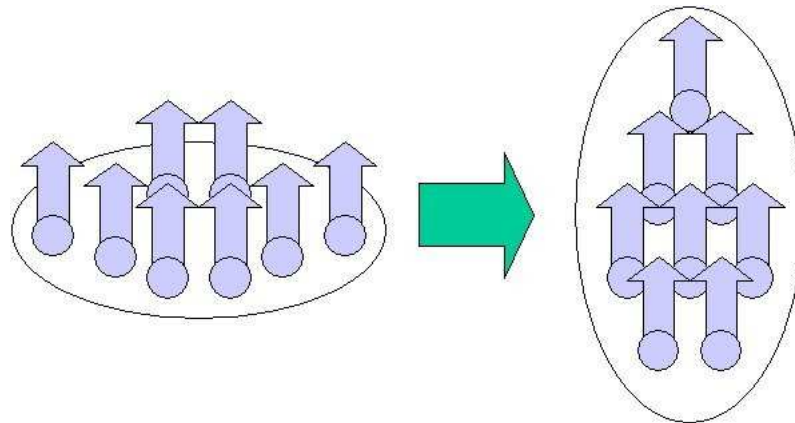


図 3.2: グループの変形

3.2 グループの低速度性が群集に及ぼす影響

ここからはグループが群集に及ぼす影響について考察を行う。歩行時間延長にはさまざまな要因があるが、要因の1つとして群集中の歩行速度の遅い人物の存在が挙げられる。人通りの少ない空間においては、自分の意思に合った速度や経路を選択することが出来る。しかし、文部科学省大都市大震災軽減化特別プロジェクト [5] は群集の挙動について、混雑した状態になるにつれて他者との干渉により速度や方向を頻繁に変える必要が生じ、さらに混雑が激しくなると群集としての平均的な行動を取るようになってくる傾向を確認している。群集中における低速度歩行者の位置関係が群集全体に与える影響に関して調査した研究がある。以下に紹介する。

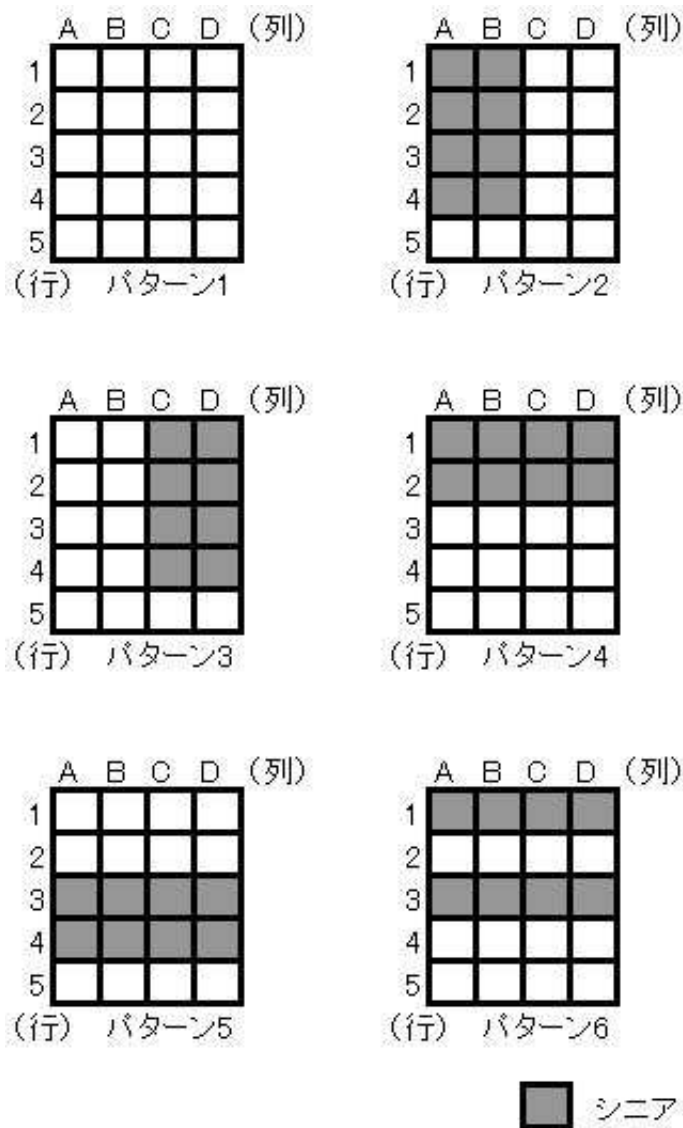


図 3.3: 4 列 × 5 行の群集におけるシニアの配置

古川ら [19] は、群集中における高齢者の位置が群集歩行行動全体に与える影響を、実験を行うことにより分析した。実験は、高齢者疑似体験用具を着用した健常者 (以下シニアと称する) と健常者が混在する 4 列 × 5 行の群集が同一方向へ歩行する際の歩行速度を、シニアの配置場所を変化させて計測するという内容である。シニアの配置パターンは図 3.3 に示す通りで、パターン 1 は全員健常者とした。健

常者の平均歩行速度は 1.56m/s、シニアの平均歩行速度は 1.31m/s である。

実験の結果、各パターンにおける平均歩行速度は図 3.4 のようになった。最も遅いのはパターン 4、6 でいずれも 0.86m/s である。これは、横一列に並んだシニアが後続の健常者の動きを阻害したことが最も大きな原因である。パターン 6 では、2 行目の健常者は 1 行目のシニアを追い越して前に出ることが出来たが、その結果追い越された 1 行目のシニアと 3 行目のシニアが 4、5 行目の健常者の壁となり、結局はパターン 4 と同じ動きとなった。一方でパターン 2、3、5 は歩行速度が比較的速い。パターン 2、3 はシニアが縦一列に配置されシニアと健常者が独立して動くため、健常者の歩行に対するシニアの影響が少ないことが原因である。パターン 5 ではシニアが後方に配置されていることから健常者の動きへの影響が少なかったため歩行速度が速くなった。以上の結果から、歩行速度の遅い人物達が群集全体の中でどのような形態で分布しているかが歩行速度低下に関わっており、歩行速度の遅い人物が複数人、進行方向に対して横に広がって存在するときに特に群集の速度が低下することが分かる。

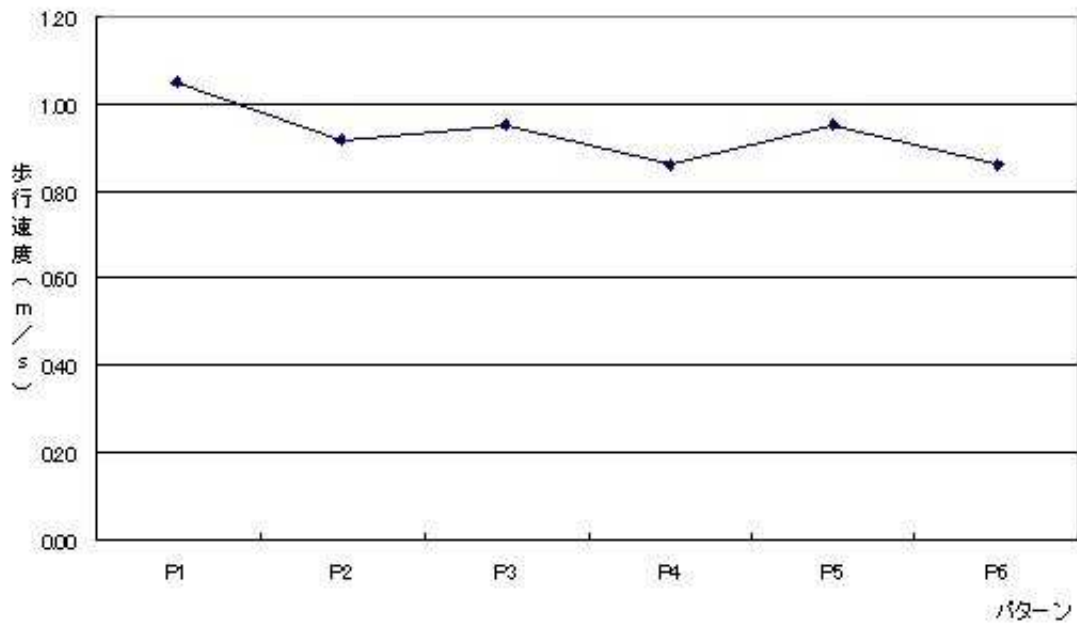


図 3.4: 配置パターンによる歩行速度の違い

前章で触れたようにグループ歩行者は「低速度歩行者の集団」という側面を持っているので、グループ歩行者を上記研究における「シニア」の集団として捉えることが出来る。したがって、グループ歩行者が進行方向に対して横に広がって存在するとき、進行方向が同一の歩行者の動きが阻害される。グループ歩行者が進行方向に対して縦に伸びて存在するとき、進行方向が同一の歩行者に対するグループの影響は少なくなる。

3.3 グループの親密性が群集に及ぼす影響

3.3.1 群集の混雑状況の考慮

個人の身体を直接に取り巻く、目で見ることの出来ないナワバリ領域を、心理学の分野ではパーソナル・スペース (personal space) と呼ぶ。パーソナル・スペースは個人空間や私有空間と訳されており、人間はこの空間に他者が入り込むことによって不快感を感じる。パーソナル・スペースの形状は渋谷 [14][20] により研究されており、その形状は 図 3.5 に示すような円形状や菱形などであり、相互作用の相手や状況、行動の目的などにより形も大きさも変化する。一般的に人は親しい人に対してはパーソナル・スペースを小さく取り、面識のない人に対してはパーソナル・スペースを大きく取る傾向がある。図 3.6 は親密度によるパーソナル・スペースの違いを模式的に表したものである。群集が歩行する際、各歩行者はパーソナル・スペース内に他人が入るのを避ける傾向があることを、和田 [6] をはじめ多くの研究が確認している。グループが歩行する際にも、親密度が高ければ互いに近い距離で歩行し、親密度が低ければ若干隙間をあけて歩行する可能性が高い。他人同士、低親密度の者同士、高親密度の者同士が許容範囲ギリギリまで接近した状態での位置関係は図 3.6 で例示したパーソナル・スペースを前提とすると図 3.7 図 3.8 図 3.9 のようになる。

このように、パーソナル・スペースの大小は各歩行者の行動を決定する重要な要素である。グループの親密性が群集に及ぼす影響を考察する際、パーソナル・スペースの概念を配慮することが重要である。

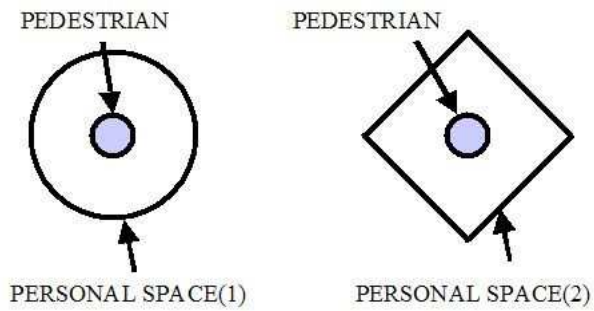


図 3.5: パーソナル・スペース

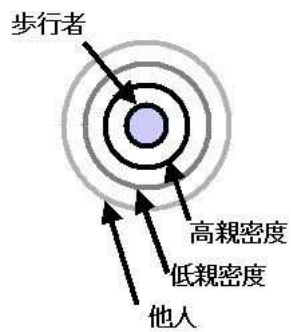


図 3.6: 親密度によるパーソナル・スペースの違い

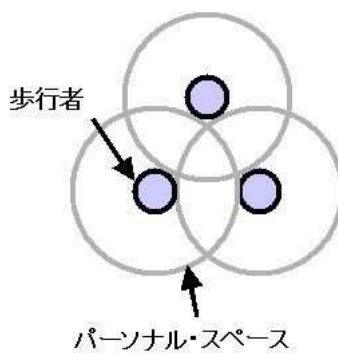


図 3.7: 他人同士的位置関係

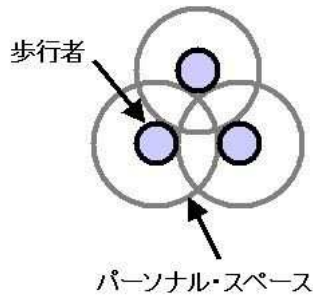


図 3.8: 低親密度の位置関係

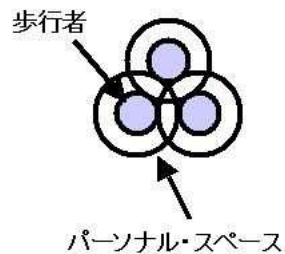


図 3.9: 高親密度の位置関係

3.3.2 グループの親密性が群集に及ぼす 2 種類の影響

前章で、グループの排他性はその親密度によって変化することを示した。グループ内の親密度が高いほど、間に他人を通さないようにする傾向が高まり、親密度が低いほどグループのかたまりは崩壊しやすくなる。

本論文では、グループ全体が 1 つのかたまりとして統合されている状態を「統合」、他の歩行者が侵入しグループが分断してゆく状態を「崩壊」、崩壊後にグループがバラバラで行動している状態を「細分」、バラバラだったグループが再び集合し統合されてゆく状態を「復元」と呼ぶ。この 4 つの状態の関係を図 3.10 に示す。親密度の高いグループは崩壊することなく統合の状態を保つ可能性が高い。一方親密度の低いグループは容易に崩壊し、細分の状態に移行する。

ここで、統合の状態と細分の状態では群集中において周辺歩行者にそれぞれ異

なる影響を与える可能性が高い。統合状態のグループと細分状態のグループが群集に与える影響についてそれぞれ考察する。

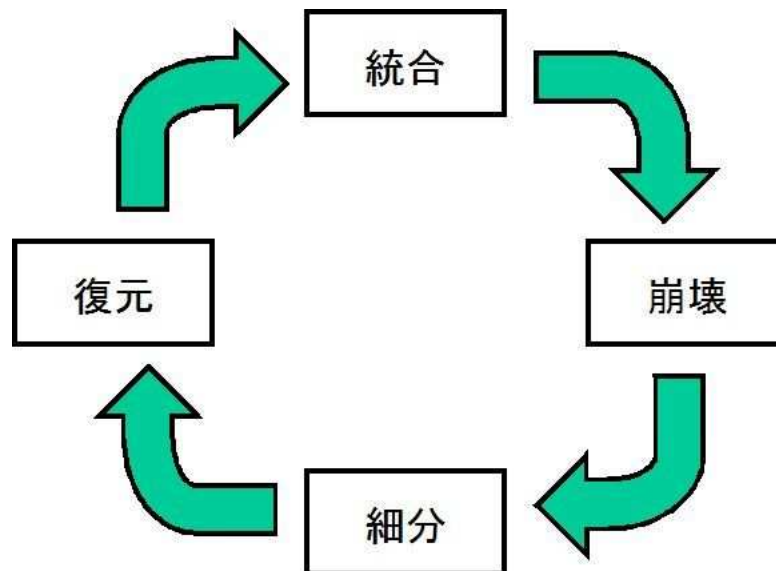


図 3.10: グループの状態変化

統合状態のグループが群集に及ぼす影響

グループは、親密度が高いほど統合の状態を維持しようとする。それはつまり、親密度の高いグループは他の歩行者によって分断されることを拒む傾向が強いことを意味する。統合状態のグループそのものが群集にとって抵抗力となり、また、維持の挙動は多くの場合周囲の歩行者にとって想定外である。これらの理由から、統合状態のグループは群集に行動阻害要因として影響する可能性が高い。

細分状態のグループが群集に及ぼす影響

グループが崩壊すれば、復元しようとする。グループの間を割って進む歩行者が少なければ、歩行者が通り過ぎた後ですぐに復元できる。しかし混雑した群集中において一旦崩壊したグループは、スムーズに復元できるとは限らない。ある程度の混雑状況において、群集中における細分状態のグループの挙動は以下のようになると考えられる。

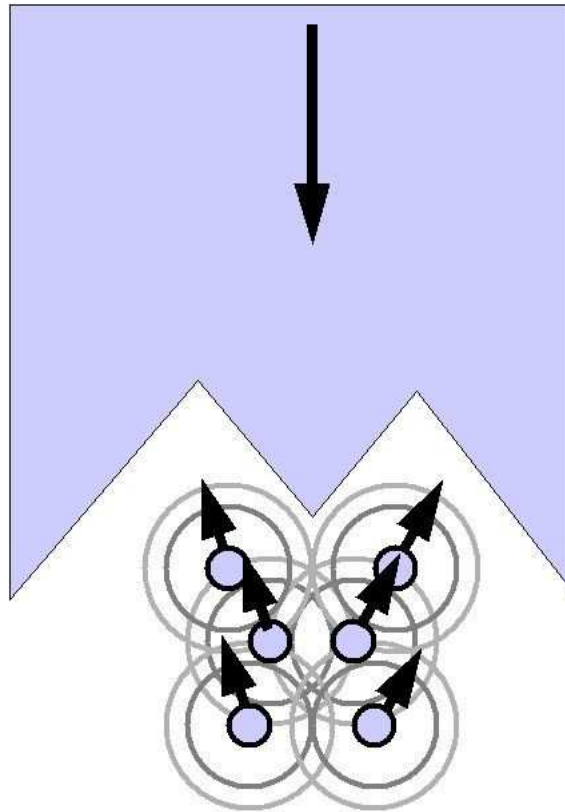


図 3.11: 群集中における細分状態グループの影響：崩壊進行

図 3.11は、群集中で6人からなるグループが崩壊する様子を表したものである。グループは図の下方から上方へ向かっていることとし、グレーの領域はグループに対向する群集流をあらわす。対向する群集流がグループの中央に入り込み、6人グループが3人ずつの小集団に分裂する。「群集がグループに及ぼす影響」の項で述べたとおり、混雑時において群集は、同一方向へ向かう者同士で縦長の歩行集団を作り歩行の負担を軽減する性質がある。そのため群集流は一度グループの間を割ると「くさび」のように隙間に入り込み、崩壊を進行させる可能性が高い。

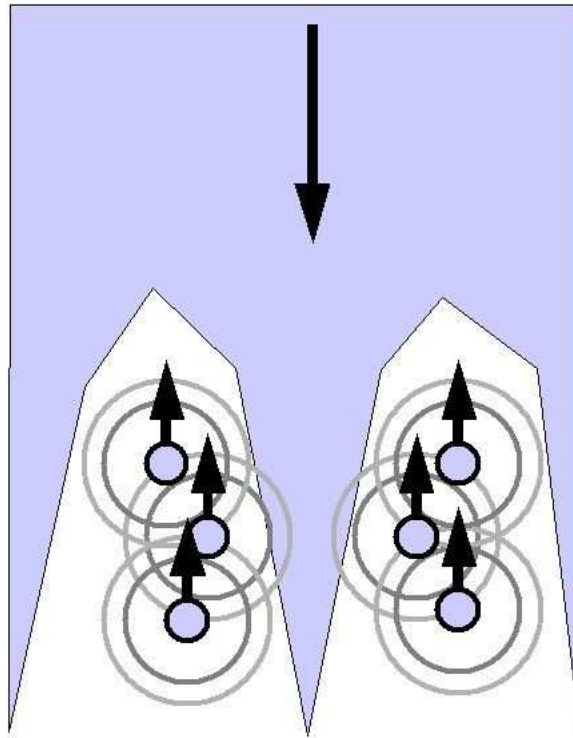


図 3.12: 群集中における細分状態グループの影響：崩壊阻止

グループ内にある程度以上の隙間ができてしまうと、仲間を見失う事態が生じうる。こうなると復元が極めて難しくなり、もはやグループではなくなってしまう。グループを維持するためには、ある程度崩壊が進行した段階で群集の流れに逆らって「くさび」が大きくなるのくい止め、崩壊を阻止する必要性が生じる。

図 3.12はグループの小集団がお互いの間隔を一定以内に保とうとする様子を表現している。

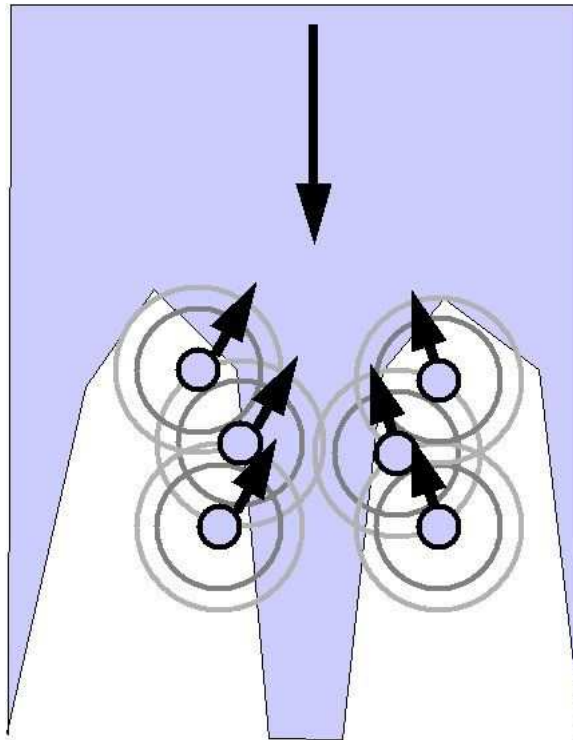


図 3.13: 群集中における細分状態グループの影響：復元準備

小集団はグループ復元を目指し、お互いの間隔が一定以上に開かないようにする。群集流に隙ができたなら接近を開始する。図 3.13はグループの小集団が接近を開始する様子表現している。対向群集流にとって2集団間がボトルネックとなり、滞留が生じやすくなる。さらに群集流にとって2集団の接近開始は想定外の行動であるため、滞留が生じる可能性が高い。

これらの理由から、細分状態のグループは群集に行動阻害要因として影響する可能性が高い。

3.3.3 グループの親密度・群集の密度の違いによるグループの影響力の変化

グループの統合状態維持、グループの復元は周辺歩行者の行動阻害要因となりうる事が分かった。これら群集に対するグループの影響力は、グループの親密度

やグループが存在する群集の混雑状況によって変化する可能性が考えられる。グループが存在する群集の密度、いわゆる混雑状況を低密度・中密度・高密度の3つのレベルに分類し、それぞれに高親密度グループ、または低親密度グループが存在する場合、群集がグループから受ける行動阻害の影響力がどの程度の大きさになるかを考察する。

3.3.4 高親密度グループを含む群集の挙動

高親密度グループを含む低密度群集

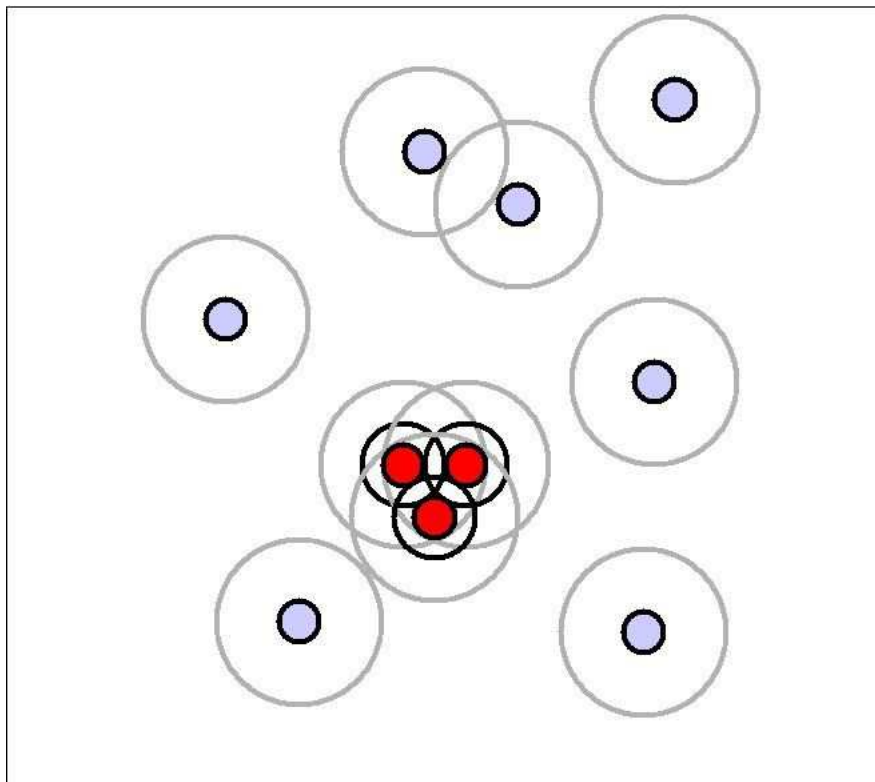


図 3.14: 低密度群集中の高親密度グループ

まず、低密度の群集内に親密度の高いグループが存在する場合の群集の挙動を考察する。

図 3.14は低密度群集に親密度の高いグループが存在している状況を示したもの

である。最も小さな円が歩行者、その外側の円は他人に対するパーソナル・スペースをあらわしている。グループ歩行者は赤い色で表現している。グループ歩行者の場合は外側の円が2重になっているが、内側の円は親密度の高い人物に対するパーソナル・スペースであり、外側の円は他人に対するパーソナル・スペースである。

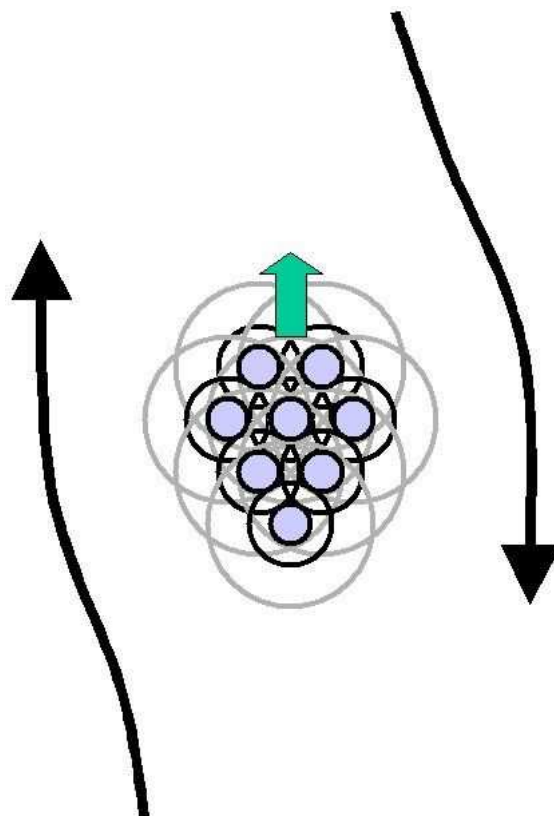


図 3.15: 低密度群集における高親密度グループの影響

図 3.15は高親密度グループ周辺の群集の流れを表したものである。中央がグループ歩行者、左右の矢印が周辺の群集の流れである。中央の矢印はグループの進行方向である。各歩行者はグループ内を割って進むことなく、グループ全体を迂回する可能性が高い。低密度状況でありグループを早い段階から認識できるため、回避行動はスムーズに行える。このケースにおいて群集はグループから行動阻害の影響を受けると判断できる。

高親密度グループを含む中密度群集

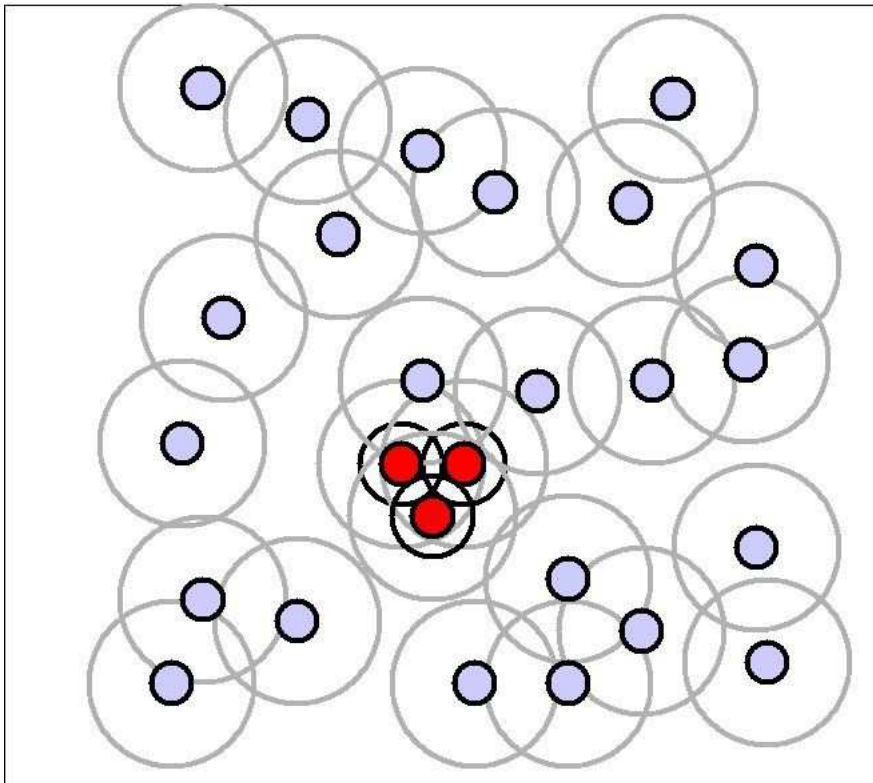


図 3.16: 中密度群集中の高親密度グループ

次に、中密度の群集に親密度の高いグループが存在する場合について考察する。

図 3.16は中密度群集に高親密度グループが存在している状況を示したものである。

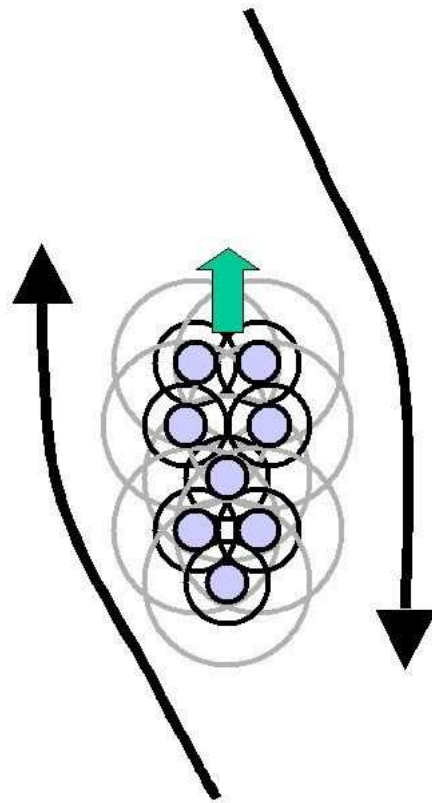


図 3.17: 中密度群集における高親密度グループの影響

図 3.17は高親密度グループ周辺の群集の流れを表したものである。中央がグループ歩行者、左右の矢印が周辺の群集の流れである。中央の矢印はグループの進行方向である。グループは低密度群集内に存在している場合よりも縦長になる可能性が高い。混雑時における歩行負担の軽減方法は「群集がグループに及ぼす影響」の項で述べた「縦長変形」と、グループの分裂の2通りである。今回のケースは高親密度グループを想定しており、混雑時においては縦長に変形する可能性が高い。グループの横幅が小さくなるため、周辺歩行者の回避に伴う進路変更は小さくて済む。ただ低密度状況の時よりも他の歩行者に回避行動を阻害される可能性が高く、グループの統合状態維持にともなう行動阻害の影響を受ける可能性がある。

高親密度グループを含む高密度群集

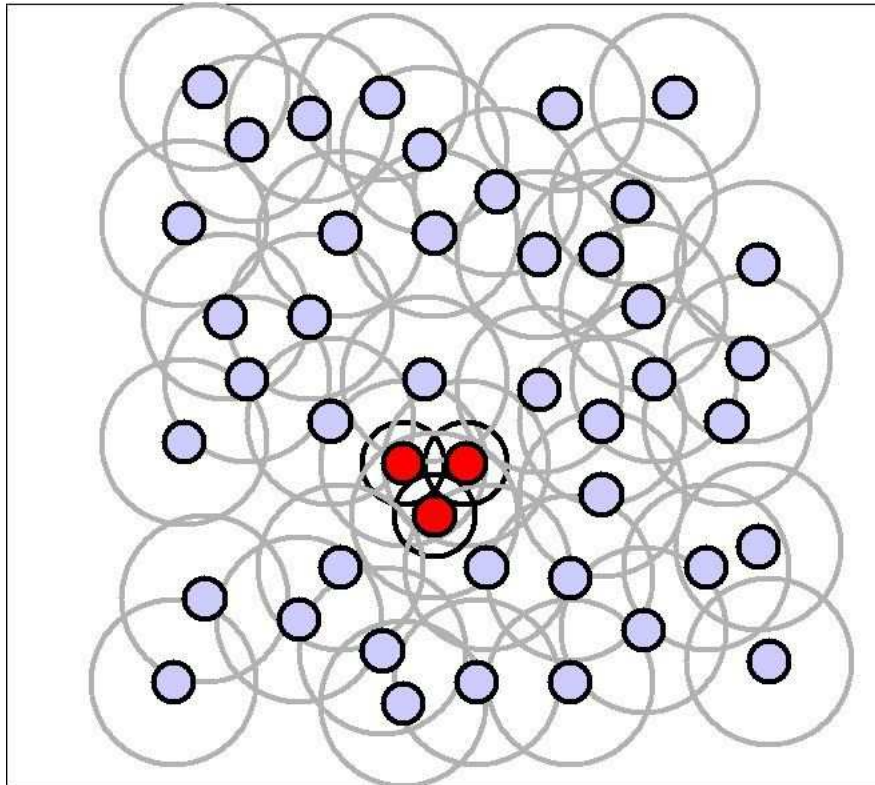


図 3.18: 高密度群集中の高親密度グループ

次に、高密度の群集に親密度の高いグループが存在する場合について考察する。

図 3.18は高密度群集に高親密度グループが存在している状況を示したものである。激しい混雑状況であり、群集における各歩行者はパーソナル・スペースの確保が難しくなる。親密度に関係なく各歩行者の間隔は狭まる。

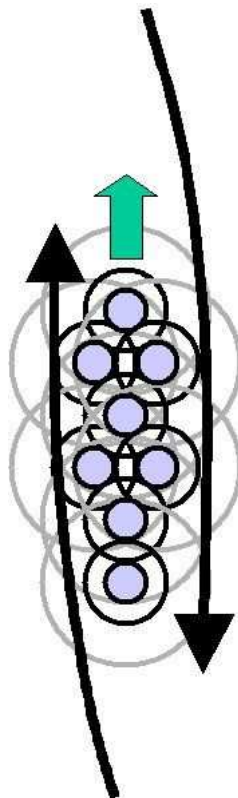


図 3.19: 高密度群集における高親密度グループの影響

図 3.19は高親密度グループ周辺の群集の流れを表したものである。グループは中密度群集内に存在している場合よりもさらに縦長になる可能性が高い。グループの横幅が小さくなる傾向にあるため、回避の際の進路変更は小さくて済む。各歩行者はほとんどグループから影響を受けることなく独立した行動を行う可能性が高い。さらに今回のような高密度状態においては歩行者はグループの間を特別な意識をすることなしに通り抜けることも起こりうる。その際歩行者は、グループの統合状態維持に伴う行動障害の影響を受ける可能性がある。

3.3.5 低親密度グループを含む群集の挙動

低親密度グループを含む低密度群集

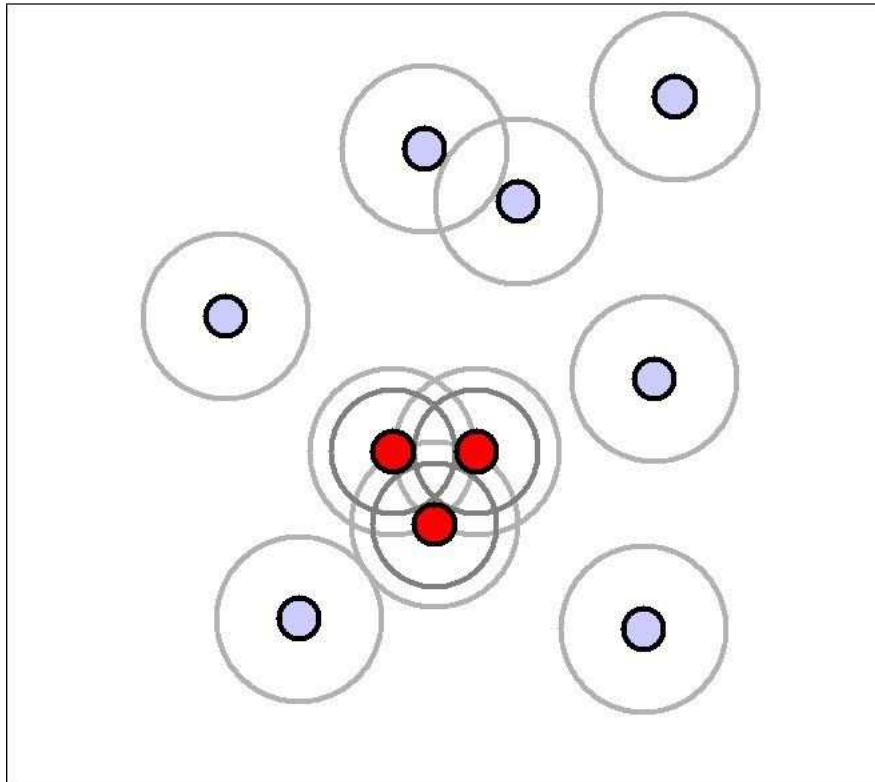


図 3.20: 低密度群集中の低親密度グループ

低密度の群集内に親密度の低いグループが存在する場合の群集の挙動を考察する。

図 3.20は低密度群集に低親密度グループが存在している状況を示したものである。

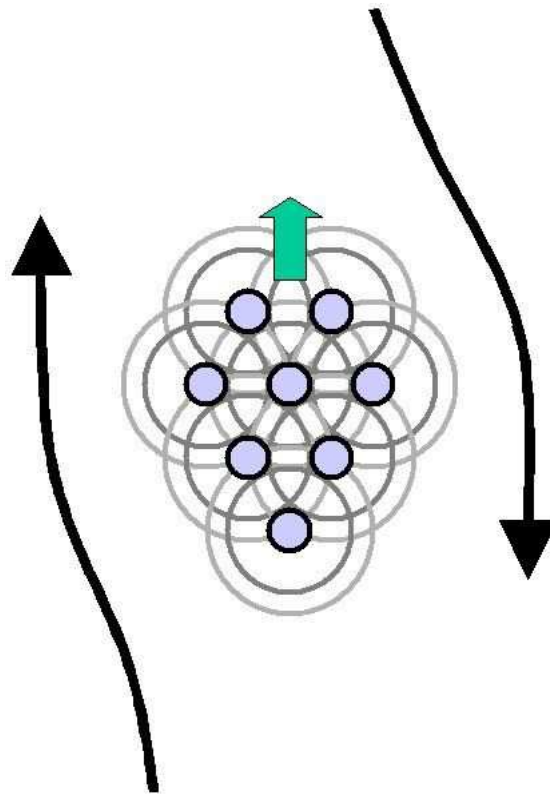


図 3.21: 低密度群集における低親密度グループの影響

図 3.21は低親密度グループ周辺の群集の流れを表したものである。各歩行者はグループ全体を迂回する可能性が高い。低密度状況でありグループを早い段階から認識できるため、回避行動はスムーズに行える。このケースにおいて群集はグループから行動阻害の影響力を受ける可能性が低いと判断できる。

低親密度グループを含む中密度群集

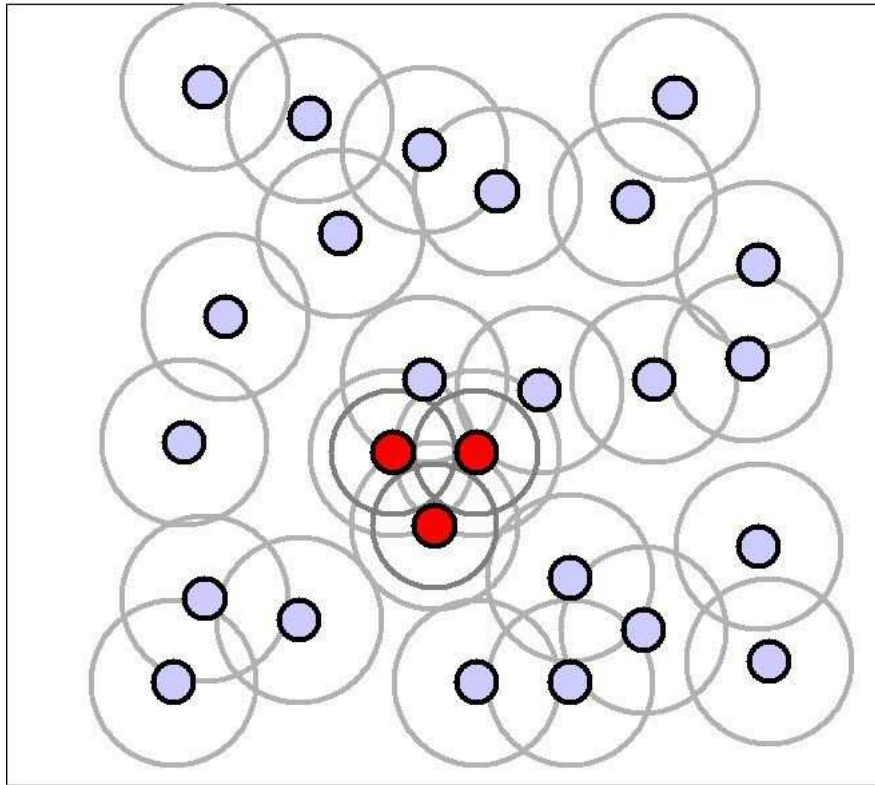


図 3.22: 中密度群集中の低親密度グループ

中密度の群集に親密度の低いグループが存在する場合について考察する。

図 3.22は中密度群集に低親密度グループが存在している状況を示したものである。群集はやや混雑した状況であり、各歩行者はパーソナル・スペースの確保がやや難しくなる。

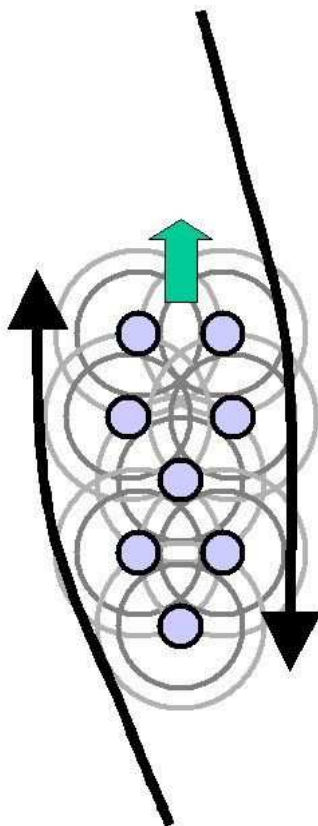


図 3.23: 中密度群集における低親密度グループの影響 (1):グループが縦長変形した場合

図 3.23は低親密度グループ周辺の群集の流れを表したものである。混雑時に歩行負担を軽減する際、親密度の高いグループの場合は分裂を避け、縦長変形をする傾向があるが、今回のような親密度の低いグループの場合、分裂しても構わない。したがって混雑時の低親密度グループの形態は縦長と分裂の2通り考えられる。まず縦長変形をした場合について周辺の群集への影響を考察する。グループの横幅が小さくなる傾向にあるため、周辺歩行者の回避に伴う進路変更は小さくて済む。各歩行者はほとんどグループから影響を受けることなく独立した行動を行う可能性が高い。さらに中密度状態においては歩行者はグループの間を特別な意識をすることなしに通り抜けることも起こりうる。その際歩行者は、グループの統合状態維持に伴う行動阻害の影響を受ける可能性がある。

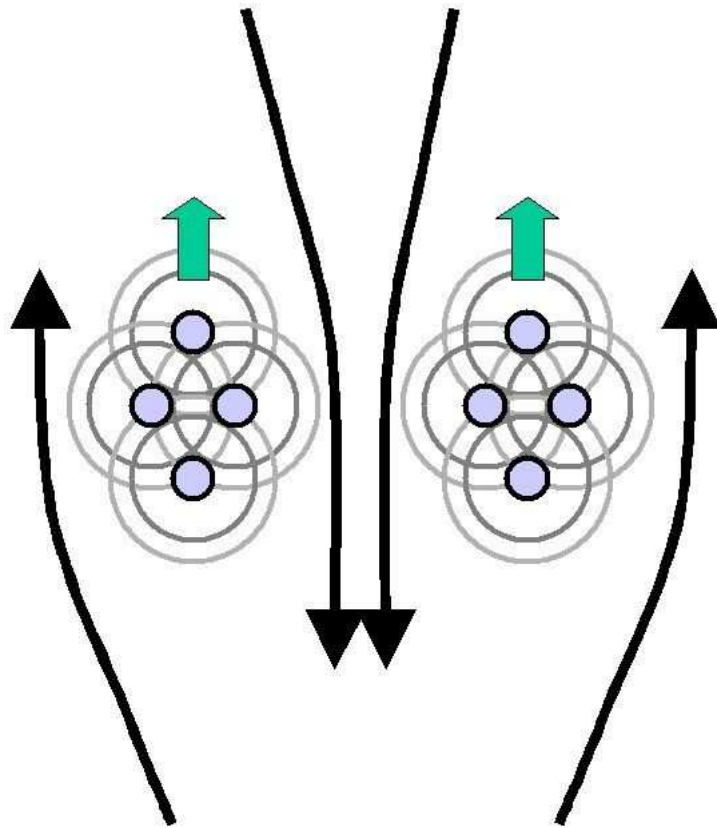


図 3.24: 中密度群集における低親密度グループの影響 (2):グループが分裂した場合

図 3.24は分裂した低親密度グループ周辺の群集の流れを表したものである。グループが細分化しているため、グループの統合状態維持に伴う行動阻害の影響を受ける可能性は低い。一方でグループの復元に伴う行動阻害の影響を受ける可能性がある。中密度の群集に親密度の低いグループが存在する場合、グループが縦長に変形しようが分裂しようが関係なく、グループから行動阻害の影響を受ける可能性がある。

低親密度グループを含む高密度群集

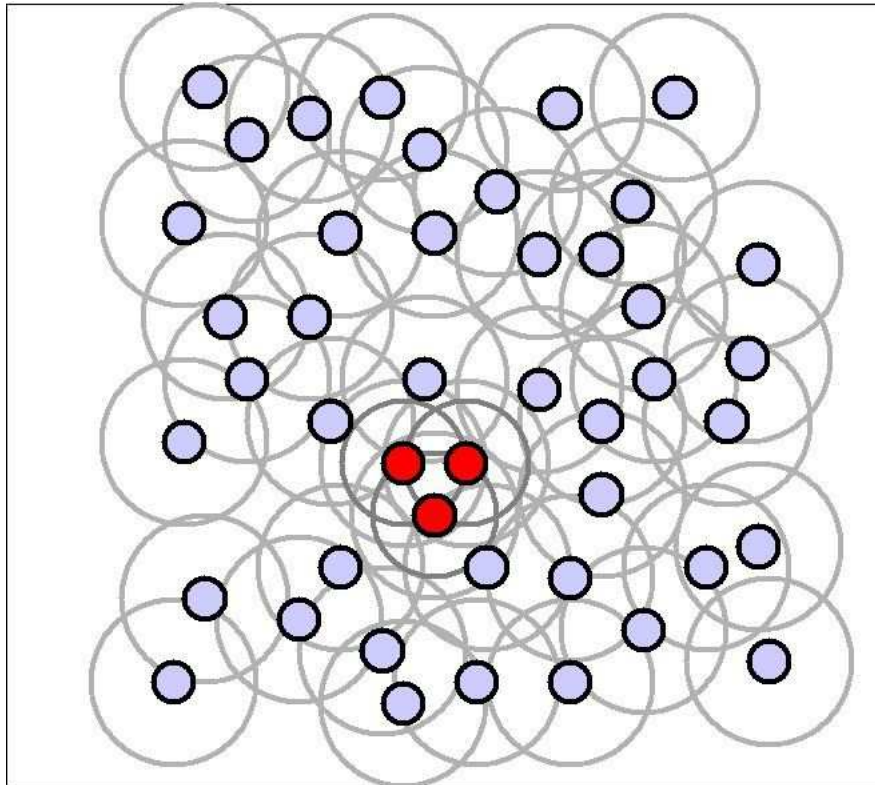


図 3.25: 高密度群集中の低親密度グループ

最後に高密度の群集に親密度の低いグループが存在する場合について考察する。

図 3.25は高密度群集に低親密度グループが存在している状況を示したものである。激しい混雑状況であり、群集における各歩行者はパーソナル・スペースの確保が難しくなる。親密度に関係なく各歩行者の間隔は狭まる。このことはグループ歩行者においても例外ではない。

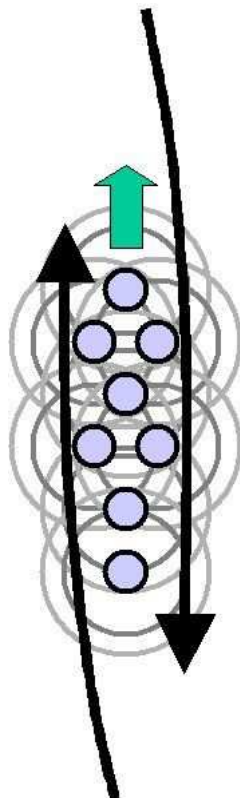


図 3.26: 高密度群集における低親密度グループの影響 (1):グループが縦長変形した場合

図 3.26は低親密度グループ周辺の群集の流れを表したものである。今回のケースも、低親密度グループの形態は縦長と分裂の2通り考えられる。まず縦長変形をした場合について周辺の群集への影響を考察する。グループの横幅が小さくなる傾向にあるため、周辺歩行者の回避に伴う進路変更は小さくて済む。各歩行者はほとんどグループから影響を受けることなく独立した行動を行う可能性が高い。さらに中密度状態の時よりも歩行者がグループの間を特別な意識をすることなしに通り返ける可能性も高まる。その際歩行者は、グループの統合状態維持に伴う行動阻害の影響を受ける可能性が高い。

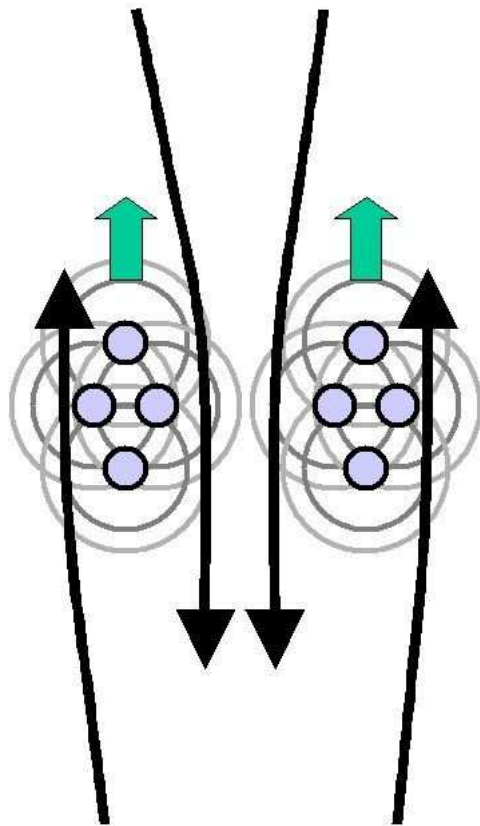


図 3.27: 高密度群集における低親密度グループの影響 (2):グループが分裂した場合

図 3.27は分裂した低親密度グループ周辺の群集の流れを表したものである。グループが細分化しているため、グループの統合状態維持に伴う行動阻害の影響を受ける可能性は低い。一方でグループの復元に伴う行動阻害の影響を受ける可能性がある。中密度の時よりも行動阻害の影響は強くなる。高密度の群集に親密度の低いグループが存在する場合、グループが縦長に変形しようが分裂しようが関係なく、グループから行動阻害の影響を中密度の時よりも強く受ける可能性がある。

3.4 群集流動シミュレーションへのグループ歩行表現導入の有効性

これまで考察してきた結果から

- グループは激しい混雑時において進行方向に対して縦長に変形する可能性が高い。
- グループの低速度性は、グループ後方にいる歩行者の行動阻害要因となる可能性が高い。
- グループは統合状態維持、および細分状態からの復元の際、周辺歩行者に対し行動阻害要因となる可能性が高い。

ということが分かった。

グループの統合状態維持に伴う行動阻害影響は、グループの親密度と群集の密度により左右される可能性が高いことが分かった。統合状態維持に伴う行動阻害影響とグループの親密度、群集の密度の関係は表 3.1の通りである。

表 3.1: 群集が受けるグループ統合状態維持に伴う行動阻害影響

	高密度群集	中密度群集	低密度群集
高親密度グループ	大	中	小
低親密度グループ	大	中	小

また、グループの細分状態からの復元に伴う行動阻害要因も、グループの親密度と群集の密度により左右される可能性が高いことが分かった。グループの復元に伴う行動阻害影響とグループの親密度、群集の密度の関係は表 3.2の通りである。

表 3.2: 群集が受けるグループ復元に伴う行動阻害影響

	高密度群集	中密度群集	低密度群集
高親密度グループ	小	小	小
低親密度グループ	大	中	小

表 3.1と表 3.2から、グループの行動阻害影響は密度の高い群集に対して強く現れると判断できる。グループの行動阻害影響は滞留を生み出す。このことから、群集流動シミュレーションにグループ歩行表現を導入すれば、滞留発生メカニズムの向上につながると判断できる。滞留発生メカニズムを向上させることは、結果的に歩行時間、密度分布の精度向上につながる。よって、群集流動シミュレーションにおける歩行時間・密度分布の精度向上のために群集流動シミュレーションへのグループ歩行表現導入を検討する価値がある。

第 4 章

グループ歩行表現導入に向けて

実際にグループ歩行をシミュレーションプログラムに導入する上で、グループ自身の行動と、各歩行者における対グループ行動の表現方法が問題となる。本章でグループ行動と対グループ行動の表現手法を検討するとともに、今後の課題を提示する。

4.1 グループ行動の表現方法

前章でグループには統合、崩壊、細分、復元という4つの状態があると述べたが、それぞれの状態におけるグループ歩行者の挙動を同一のアルゴリズムで表現することは困難である。同じグループ歩行者であっても、おかれている状況に応じて行動ルールは変化する。そこで、グループ行動をシミュレーションに導入する際、状態遷移アルゴリズムを採用する方法が考えられる。グループの状態遷移は表 4.1 に示すとおりである。

各状態における歩行ルールは以下のようなものが考えられる。

表 4.1: グループ歩行時の状態遷移表

現在の状態	入力	出力状態
統合	最も近くにいる人物との間に歩行者が侵入	崩壊
崩壊	グループの重心位置から一定以上離れる	細分
細分	群集流動に隙間ができる	復元
復元	グループの重心位置から一定距離内に到達する	統合

4.1.1 状態「統合」におけるグループ行動ルール

- グループのメンバーの内、最も近くにいる人物との距離を一定距離 d 以内に保つ。(d の値は親密度によって影響力変化)
- グループのメンバーの内、近くにいる人物に歩行速度、進路を同調させる。(親密度によって影響力変化)

4.1.2 状態「崩壊」におけるグループ行動ルール

グループ行動を行わない。

4.1.3 状態「細分」におけるグループ行動ルール

- グループの重心位置からの距離を一定以内に保つ。
- グループのメンバーの内、最も近くにいる人物との距離を一定距離 d 以内に保つ。(d の値は親密度によって影響力変化)
- グループのメンバーの内、近くにいる人物に歩行速度、進路を同調させる。

4.1.4 状態「復元」におけるグループ行動ルール

- グループの重心位置に向かう。

- グループのメンバーの内、最も近くにいる者との距離を一定距離 d 以内に保つ。(d の値は親密度によって影響力変化)
- グループのメンバーの内、近くにいる人物に歩行速度、進路を同調させる。

4.2 対グループ行動の表現方法

2章でも触れたとおり、グループには排他性がある。さらにその度合いはグループ内の親密度が関係している。各歩行者はグループ歩行者に出会ったとき、何らかの基準を基にグループの親密度を感じ取り、異なった振る舞いをする。2章の既存研究を基に考えると、グループの親密度を感じ取る際には

- コミュニケーションの有無
- グループ構成員の性別

などが挙げられる。群集流動シミュレーションにグループ歩行表現を導入するにあたり、各歩行者は周囲の人物を単独歩行者かグループ歩行者か独自に判断し、さらにはグループの親密度を判断することがシミュレーション精度上望ましい。その判断基準として、上記の「コミュニケーション」と「性別」の採用を提案する。「コミュニケーションの有無」も「性別」も値が2つだけであり、シンプルである点が魅力的である。さらに2つの値、コミュニケーションの「有」「無」、性別の「男」「女」は、どちらも同じぐらいの割合で存在する可能性が高い。このような尺度を導入するメリットは大きいと判断できる。

4.2.1 コミュニケーションの導入

複数人物間のコミュニケーションの有無は、その人物らがグループであるかを判断する決定的な材料となりうる。開発コスト・計算コストを考えると、会話の内容や言葉遣いまで考慮したコミュニケーションをシミュレーションプログラムに

導入するのは非現実的である。グループかそうでないかを判断するためには、ある人物間のコミュニケーションの「有無」という尺度があれば十分である。実際に「コミュニケーションの有無」という尺度をシミュレーションプログラム上で実現する方法を提案する。

シンプルな導入方法として、コミュニケーションの有無を固定する方法が考えられる。コミュニケーションを取っているグループを最初に決めてしまい、シミュレーションの間はコミュニケーションを止めないことにする。一方コミュニケーションと取らないグループは最後まで取らないことにする。ここでコミュニケーションを取っているグループを「コミュニケーション・グループ」と呼ぶこととする。コミュニケーション・グループは、誰もがグループであると認識できる。それ以外のグループは、誰もグループであるとは認識できない。

より現実に近い方法として、コミュニケーションの有無をシミュレーション中に頻繁に切り替える方法が考えられる。各グループに、コミュニケーションを取る頻度を設定しておく。それにより「無口なグループ」や「お喋りなグループ」を表現できる。ただ、コミュニケーションの有無を固定した場合と比較してシミュレーション結果にどの程度の差が生まれるかは、今の段階では不明である。

4.2.2 性別の導入

2章でグループと回避行動の関係を扱った既存研究を紹介したが、その結果から、各歩行者の対人行動にとって性別がどれだけ大きな影響力を持っているかがよく分かる。実際には男女が一緒に歩いているからといってカップルであるとは限らないのだが、周辺の歩行者は親密な関係であると判断する傾向が見て取れる。各人物の対グループ行動をより忠実に表現するためには、各人物に性別を持たせることが重要であると考えられる。コミュニケーションと違い性別は変動することがなく、各人物に性別という属性を持たせることは容易である。

但し問題点として、3人以上のグループに対して性別比率から親密度を判断することが困難である。歩行者は、男女1人ずつのグループであれば「カップル」と

判断し親密度を高く評価する傾向があるが、そのグループに男が1人加わったら、親密度の評価はどう変化するのか不明である。3人以上のグループに対し性別比率から親密度を予測することはできるのか、そもそも我々はそのようなことを現実に行っているのだろうか。グループの親密度を判断する尺度として性別を導入するには、心理学的な実験調査などを行う必要がある。

第 5 章

まとめ

本論文は、群集流動シミュレーションにおける歩行時間・密度分布の精度向上を目指すにあたりグループ歩行者の存在に着目し、グループ歩行と歩行時間・密度分布の関係を既存研究より検証した。それにより、群集流動シミュレーションへのグループ歩行表現導入を検討する価値があることを確認した。次に実際にグループ歩行表現を導入する際のグループ行動表現と対グループ行動表現の手法を提案した。しかし、グループ内の人間関係と、その挙動の関係については不明な点が多い。また、対グループ行動についても未解明な部分が存在する。人間関係の多様性を考慮したグループ行動表現を実現するためにも、グループの成員間の人間関係と挙動特性の関係を解明することが急がれる。

謝辞

本研究を進めるにあたり、終始温かいご指導をいただいた渡辺 大地 講師、和田 篤 講師に心よりの感謝の意を表します。

また、研究生生活において多々、お世話になりました事務の方々、メディア学部の諸先生方と学友に深く感謝いたします。

最後に、これまで温かく見守ってくださった家族に深く感謝します。

参考文献

- [1] 株式会社東急総合研究所,「旅客流動シミュレーションシステム」.
http://www.triinc.co.jp/second/system/_Ryokyaku.html.
- [2] 株式会社シムテクノ総研.
<http://www.stri.co.jp/>.
- [3] 清水建設株式会社,「歩行者動線シミュレーション」.
<http://www.shimz.co.jp/sheet/151-052/151-052.html>.
- [4] 高柳英明,「明石歩道橋事故における人の流れの検証～コンピュータシミュレーションによる事故の再現と危険性の指摘～」.
<http://www2.watanabe.arch.waseda.ac.jp/hw/1996/hidden/other/asa/default.html>.
- [5] 文部科学省大都市大震災軽減化特別プロジェクト,「密集空間を対象とした総合避難誘導シミュレーションシステム研究」.
,文部科学省大都市大震災軽減化特別プロジェクト平成14年度成果報告書(案),III.2.3.4,2002.
http://www.kedm.bosai.go.jp/japanese/seikahoukoku2002/III-2_3-4.pdf.
- [6] 東京工業大学 理学部情報科学科 和田剛 1998年度卒業論文,「渋谷八チ公前交差点における横断者の歩行分析」.

- [7] 東北大学大学院工学研究科 鈴木 介, 「津波来襲時の避難行動に関する現地調査」.
土木学会東北支部講演, 2000年2月.
<http://www.tsunami.civil.tohoku.ac.jp/hokusai2/shibu/11/suzuki/shibu-suzuki.html>.
- [8] 日本建築学会, 「人間環境学」.
朝倉書店, 1998.
- [9] Knowles, E.S., 「Boundaries around social space: Dyadic responses to an invader」.
Environment and Behavior, 13, 437-445, 1972.
- [10] Cheyne, J.A. & Efran, M.G. 「The effect of spatial and interpersonal variables on the invasion of group controlled territories」.
Sociometry, 35, 477-489, 1972.
- [11] Knowles, E.S., 「Boundaries around group interaction: The effect of group size and member status on boundary permeability」.
Journal of Personality and Social Psychology, 26, 327-331, 1973.
- [12] Lindskold, S., Albert, K.P., Baer, R. & Moore, W.C., 「Territorial boundaries of interacting group and passive audiences」.
Sociometry, 39, 71-76, 1976.
- [13] 産業技術総合開発機構 (NEDO), 「動作特性実計測データ 自由歩行時の歩幅、歩数、速度 (動作特性—平成10年度 NEDO20人計測)」.
http://www.hql.or.jp/gpd/jpn/adb/main/hle/keisoku/dousa/result/h10nedo20/walk/walk_free.html.
- [14] 日本放送出版協会, 「人と人との快適距離 パーソナル・スペースとは何か」.
著者: 渋谷昌三, 1990.

- [15] 加藤邦夫、上原孝雄、中村和男、吉岡松太郎,「群集対向流の解析」.
日本建築学会論文報告集,289,119-129,1980.
- [16] 中裕一郎,「交差流動の構造 鉄道駅における旅客の交錯流動に関する研究」.
日本建築学会論文報告集,258,93-102,1977.
- [17] 矢守克也、杉万俊夫,「横断歩道における群集流の巨視的行動パターンに関する研究(1)」.
実験社会心理学研究,30,1-14,1990.
- [18] 佐野友紀、高柳英明、渡辺仁史,「群集流動における集団歩行領域の可視化」.
可視化情報学会全国講演会講演論文集,pp.65-68,2000.10.
<http://www2.watanabe.arch.waseda.ac.jp/hw/1996/hide/other/A204.pdf>.
- [19] 早稲田大学理工学研究科 古川容子、土屋伸一、宮野義康、吉田直之、長谷見雄二,「群集歩行行動における高齢者・身体障害者の影響(その3)高齢者疑似体験用具使用者を含む群集の水平面における歩行行動特性」.
日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸)2002年度,161-164,2002.
http://www.hasemi.arch.waseda.ac.jp/papers/aij_taikai_2002/-3071_furukawa.pdf.
- [20] 渋谷昌三,「パーソナル・スペースの形態に関する一考察」.
山梨医科大学紀要第2巻 pp.41-49,1985.