

2004年度 卒業論文

群集の経路プランニング

指導教員：渡辺 大地 講師

メディア学部 3DCG コンポーネントプロジェクト

学籍番号 M0101281

中部 智也

2004年度 卒業論文概要

論文題目

群集の経路プランニング

メディア学部

学籍番号：M0101281

氏名

中部 智也

指導
教員

渡辺 大地 講師

キーワード

群集 混雑 経路プランニング 歩行 シミュレーション

近年、群集に関する事故が多く発生しており、その原因として群集の混雑が挙げられる。多数の歩行者集合である群衆が同一経路上を移動することで、移動効率の低下による滞留が起こり、将棋倒しなどの事故が発生するのである。このように群集の混雑は回避すべき状況であり、その解決が望まれているものである。

本研究では群集同士の混雑を回避した、効率的な移動経路を計画できるようにすることを目標とする。具体的には、群集シミュレーションでよく取り上げられる事例をもとに、群集の混雑問題が起こる原因を調査し、それらを再現した移動空間を作成する。次に歩行者モデルを利用し群集を形成し、対象となる空間上を移動させ、群集の混雑が発生する状況を再現する。これに対する経路プランニングを行うことで、群集が混雑する原因を解決する。そして、経路プランニング前と後で比較を行い、その有用性を検証した。その結果、経路プランニングした経路を移動した場合に、群集の混雑による歩行の滞留が減少するという結果を得ることができた。

目次

第1章	はじめに	1
第2章	群集に対する経路プランニング	4
2.1	群集の混雑が起こる要因	4
2.2	本研究における経路プランニング	5
第3章	歩行者モデル	7
3.1	既存の研究	7
3.2	本研究における歩行者モデル	8
3.2.1	位置座標・速度ベクトル	9
3.2.2	人体円	9
3.2.3	標準歩行速度	9
3.2.4	目的地	10
第4章	実装	12
4.1	歩行者	12
4.2	群集	13
4.3	障害物	14
4.4	実装例	15
第5章	評価	16
5.1	経路の幅が異なる空間	16
5.1.1	混雑のシミュレーション	16
5.1.2	経路プランニング後のシミュレーション	17
5.2	二つの出口がある空間	19
5.2.1	混雑のシミュレーション	19
5.2.2	経路プランニング後のシミュレーション	20
第6章	おわりに	22
	謝辞	24
	参考文献	25

第 1 章

はじめに

不特定多数の人間が集合した群集というものがある。同じく多数の人間が集合した集団というものもあるが、集団が組織的で統制があり、永続的であるのに対し、群集は組織をもたず無統制であり、一時的な動因で発生する [1]。例として、バーゲンに殺到する買い物客の群れや、横断歩道を同じ方向に進む人々が挙げられる。しかし、この群集が混雑を起こすことにより大きな事故が発生してしまう場合がある。記憶に新しいもので、2001年7月21日、神戸の明石市民夏まつりの花火大会で起きた朝霧歩道橋の群集雪崩事故がある [2]。これは、JR山陽本線朝霧駅と花火大会会場である大蔵海岸を結ぶ歩道橋上で、会場を訪れる客と帰宅客の群集が衝突し、歩行者の流れが滞留し始め、ついには転倒が連鎖的に起こり、死者11人、負傷者247人という多くの犠牲者を出したものである。また、火災発生時に群集が混雑を起こし、多くの犠牲者を出した事例も存在する。例えば、1972年5月13日に発生した大阪市中央区の千日前デパート火災では、ビルの3階から出火し、7階で営業中だったキャバレーに煙が流れ込む事態が起きた [3]。キャバレーにいた客やホステスらがエレベーターや非常階段などに殺到した。このとき避難経路で混雑を起こし避難効率が低下、大勢の人の逃げ遅れや窓からの飛び降りて死者118人を出した。このように、群集は無統制であるがゆえにたびたび混雑を起こし、場合によっては大事故を引き起こす要因となりうるため、群集の混雑は回避すべき状況であり、その解決が望まれている。

群集の混雑について扱った研究には、閉鎖空間からの脱出を想定した実験装置を用い、被験者に対して模擬的なパニックを発生させ、その行動を分析調査する実験的研究 [4] や、避難訓練などの場を利用し、いくつかの避難誘導法などを現実に近い形で検討するアクション・リサーチ [5] がある。しかし、群集は不特定多数の老若男女が、一時的な動因により突発的に発生するものであり、その人数も場合によっては何百人にもなるので、それに近い状況を現実に再現するのは困難であると考えられる。

人間や生物の群集の流れをコンピュータ上でシミュレートし、その挙動の再現を行っている、群集シミュレーションというものがあり、インタラクティブコンテンツなどに利用されている [6][7]。これを利用し、建築設計や都市開発などの分野においても、駅構内や高層ビルなどの閉鎖空間内での人の流れを予測・評価し、人の流れがスムーズになるような施設配置や動線計画に応用している [8][9]。群集の混雑について扱った群集シミュレーションの研究もされている。前述した朝霧歩道橋事故や千日デパート火災などの事例を、群集シミュレーションで再現し、その事故原因の調査を行っている [10~12]。特に高柳 [10] は、事故の発生原因を調査し、朝霧歩道橋内に分離手摺りを設置し、対向する群集の移動経路を分離させるように誘導することで、混雑が発生しないシミュレーションに成功している。

このように、群集が混雑を起こす原因やポイントを事前に算出でき、群集を混雑しない経路に誘導するように経路を計画できれば、建築計画などにおいて有効ではないかと考える。そこで本研究では経路プランニングを用いて、群集同士の混雑を回避し、目的地まで到達する移動経路を計画できるようにすることを目標とする。

一般に経路プランニングとは、ある物体が出発地から目的地まで到達できるような経路の計画を行うものであり、代表的なものに、出発地に隣接する場所からしらみつぶしに探索し、最短経路を求める手法 [13] や、3次元空間内のオブジェクトに対して、障害物を回避しながら目的地まで到達する経路の計画を行う研究 [14] などがある。また、複数のオブジェクトに対して経路プランニングをする研究も

ある [15][16]。これらの既存研究は、複数台のロボット制御などに利用される場合がほとんどであり、多数のオブジェクトが密集した群集で扱っている研究はほとんどされていない。しかし、これらの既存研究では先に述べたような視点で進めている研究はなく、群集の経路を計画することは有用であると考えるので、研究手法に経路プランニングを採用する。

具体的な研究方法として、まず群集が混雑を起こしやすいと思われる移動空間を作成する。次に群集流動シミュレーションなどで用いられている歩行者モデルを利用し群集を形成、混雑時の群集に近い動作を実現する。この群集を対象となる空間上を移動させ、混雑が発生する状況を再現し、それをもとに混雑が起こる要因を調査する。そして、これに対する経路プランニングを行うことで、群集が混雑する原因を解決する。その後、経路プランニングを行う前と後で比較を行い、その有用性を検証する。

本論文は本章を含め、全 6 章で構成されており、第 2 章では本研究においてどのように経路プランニングを行っていくかについて述べる。第 3 章では移動を行う群集を構成する個々の歩行者モデルについて述べ、第 4 章でそれらを実装したシミュレーションモデルについて述べる。そして第 5 章では経路プランニングを行った場合と行わない場合とで比較し、結果について評価を行う。最後に第 6 章でこの研究全体の総括を述べる。

第 2 章

群集に対する経路プランニング

本研究では、群集事故の発生を回避するために、群集に対し経路プランニングを行うことが有効であると考えます。本章では、本研究における経路プランニングについて述べていく。まず、群集が混雑を起こす状況やその発生のプロセスについて考察し、解決すべき要因を挙げる。次にその要因を解決するため、本研究においてどのような経路プランニングを行っていくかについて述べる。

2.1 群集の混雑が起こる要因

ここでは、群集が混雑を起こす要因をその発生のプロセスから考える。まず、本研究で扱う群集とは、閉鎖空間内で同じ目的地に向かい移動する多数の人間の集合を指す。基本的に人間は目的地に向かう場合に最短経路を進もうとするため、同じ目的地に向かう人間が多数になるとその経路も重複してしまう。狭い経路や閉鎖空間で移動を行う場合、重複した経路を多数の歩行者群集が一斉に移動すると、その経路の幅などに対する定員を超えてしまい、効率よく移動ができなくなると考える。すると、歩行者の速度低下や停止が起こり、群集の混雑が発生してしまうのである。

簡潔にまとめると次のようなプロセスで群集の混雑が発生すると考える。

1. 目的地までの最短経路を移動しようとする

2. 経路の重複により、群集の密度がその幅員の許容範囲を超えてしまう
3. 移動の速度低下や停止が連鎖的に起こる
4. 群集の混雑が発生する

第1章で挙げた明石歩道橋と千日前ビル火災の例を、「群集がどのような移動をしたか」という観点から考えると、前者は会場を訪れる客と帰宅客の二つの群集が同一経路上で衝突したことであり、後者は同じ避難経路に群集が殺到したことである。どちらも群集の移動経路が重複したことが大きな要因となり、上記のようなプロセスで混雑が発生したと考える。

つまり、群集の混雑が発生する要因は、群集の移動経路が重複し、その許容範囲を超えてしまうことにある。

2.2 本研究における経路プランニング

既存の経路プランニング [15][16] では、オブジェクト同士の衝突や経路の混雑といった問題の解決を行っている。これを群集シミュレーションにおける群集の移動に対して行えば、1節で挙げたような群集の混雑が起こる要因の解決に有効であると考えられる。

一般的に経路プランニングは、障害物を回避しながら出発地から目的地まで到達できる経路の中で、最適なものを求めることが目的である。ここでいう最適とは、例えば目的地到達までの距離や乗物の燃料といったコストが最小な状態に対応する。しかし、何を最適にするかは経路プランニングを適用する状況によって変化するものであり、この研究で要求することは、「群集オブジェクトが混雑を発生せずに移動」であるから、この研究における最適経路とは、

- 混雑の原因である、経路の重複を極力避ける
- 群集が目的地まで移動する

- 時間や距離といったコストをできる限り小さくする

を満たす経路である。

よって、本研究では重複を回避するような経路を移動させる経路計画手法を方針とする。対向する群集の経路上での衝突など群集同士の干渉を、その流れを分散させる経路を計画することで回避する、という方法で研究を進めていく。

第 3 章

歩行者モデル

本章では、歩行者モデルについて述べていく。歩行者モデルとは、群集を形成する個々の歩行者の挙動をモデル化したものである。まず、既存の研究で用いられているモデルについて述べ、そのメリットなどを踏まえたうえで、本研究における歩行者モデルについて述べる。

3.1 既存の研究

歩行者モデルによる群集シミュレーションを行っている既存の研究はいくつかあり、様々なモデルが提案されている。岡崎ら [17] の研究では磁気モデルを用い、クーロン力の運動方程式を用いて群集の挙動を再現し、駅のコンコースやリゾートホテル内でのシミュレーションを行っている。また高柳 [18] の研究では、群集流動における歩行者をパーティクルオブジェクトによってモデル化することで、3次元シミュレータの構築を実現しており、第1章で挙げた朝霧歩道橋での事故を再現している。また、和田 [19] は歩行者同士の回避やパーソナルスペースについての詳しい挙動を考慮し、スクランブル交差点のシミュレーションを行っている。岡崎らや高柳が個々の振る舞いは無視し、群集全体の挙動に注目しているマクロ的な視点で研究しているのに対し、和田は個々のオブジェクトの振る舞いに注目し、全体との関連性を調べるミクロ的な視点で研究を行っており、それぞれに違う視点で歩行者モデルを考えている。

群集に対して経路プランニングを行う場合、これをミクロ的な視点で考え、群集を構成する多数のオブジェクトそれぞれに経路プランニングを行うことは計算上困難である。また本研究では、群集流それぞれに経路プランニングを行い、経路の重複を避けることを目的とするため、マクロ的な視点であると考え。よって本研究では、群集全体の挙動に注目したマクロ的な視点で歩行者モデルを考える。

3.2 本研究における歩行者モデル

歩行者モデルを考える際、同じ目的地に向かう歩行者が、ある程度まとまって移動を行っている群集流として扱うため、歩行者同士の回避は行われぬものとし、パーソナルスペースなども極力考えないことにした。よって本研究では、同一方向に向かう多数の歩行者による群集流のモデルを用いることとする。

既存の研究で用いられている歩行者モデルは、個人情報としていくつかのパラメータを持っている。本研究ではこのパラメータを、群集を構成するために最小限必要なもの限定して持たせることにする。

- 位置座標: (p_x, p_y)
- 速度ベクトル: (v_x, v_y)
- 人体円半径: r
- 標準歩行速度: s
- 目的地座標: (P_x, P_y)

なお既存の研究で用いられている、追い越しや追従の際に加速などを行うための最大速度比や、他者が入り込むと不快感を感じるパーソナル・スペースを考慮したパーソナル・スペース比、対向する歩行者を察知し、回避するための情報空間の大きさなどのパラメータは考慮していない。以下では、これらの各パラメータについて述べていく。

3.2.1 位置座標・速度ベクトル

このモデルでは、各歩行者が発生から単位時間毎に位置座標 (p_x, p_y) をとり、その時点での目的地に向かう速度ベクトル (v_x, v_y) を決定し、その速度に従って歩行を行う。速度ベクトルは時間とともに変化し、それにより位置座標も変化する。このようにして、一連の歩行挙動を得る。

3.2.2 人体円

人体のモデル化に関しては、点や線、円や楕円を組み合わせたものや三角形など様々であるが、本研究ではモデルの単純化という理由から半径 r の人体円として表現する。また、パーソナル・スペース比は除外するが、体が密着するほどの混雑ではない場合、ある程度のパーソナル・スペースは確保するものなので、人体円半径に加え多少のスペースを考慮した円の半径とする。

3.2.3 標準歩行速度

標準歩行速度 s とは、歩行者が加速などを行わず標準的に移動を行う場合の速度である。既存の研究では、対向する歩行者との衝突を避けるためや、前方にスペースができた場合の追い越し行動のために加速を行うが、本研究では歩行者同士の対向を極力避け、追い越しできるスペースが存在しないような状況を扱うので、加速はしない。また、経路の幅員などにより群集流自体が混雑する場合などは歩行が妨げられるので、減速や停止が起こることを考慮に入れる。以下の図 3.1 は、前述した歩行者モデルで設定する各パラメータを表したものである。

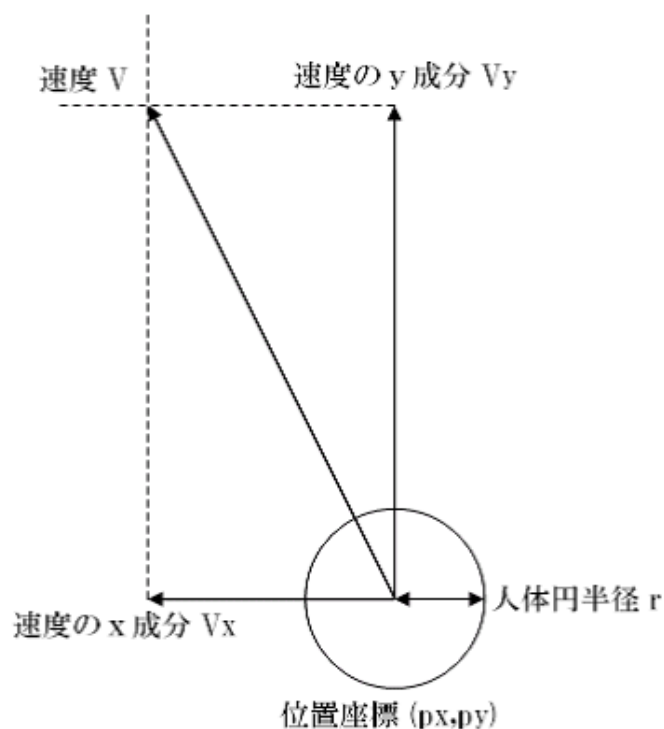


図 3.1: 歩行者モデルの各パラメータ

3.2.4 目的地

歩行者は目的地を目指して歩行するが、その目的地は歩行を行う空間によって変化する。第1章で挙げた朝霧歩道橋に関して言えば、幅6mの歩道橋の出口が目的地であり、千日ビルでは、人が1~2人通れるくらいの出口が複数ある。歩行者はそれぞれ目的地までの最短経路で歩行を行おうとするので、目的地を点 (P_x, P_y) で与え、その点を目指し進むようにする。

また、目的地に到達する過程の仮の目的地も考慮する。例えば曲がり角を曲がる場合などに、曲がり角を仮の目的地とし、歩行者がそこに到達したら次の目的地に向かって歩行を行う、というように考える。以下の図3.2は、曲がり角を曲がる場合の仮の目的地を表したものである。

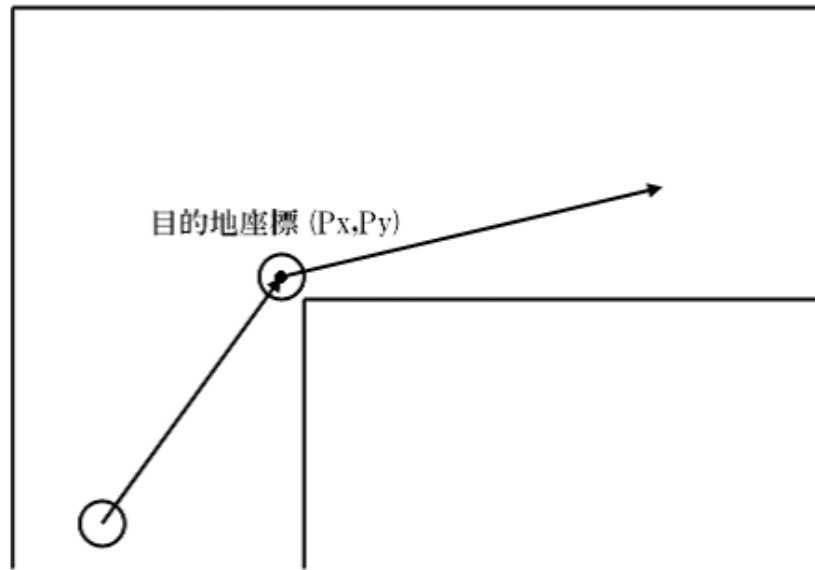


図 3.2: 曲がり角での仮の目的地

第 4 章

実装

本章では、これまでに述べた手法を実装したシミュレーションモデルについて述べていく。

4.1 歩行者

ここでは、3章で述べた歩行者モデルの細かい設定について述べる。まず、歩行者の設定として、人体円の大きさをパーソナルスペースを多少考慮した 50cm とし、視覚的には見えないものとする。移動を行うオブジェクトは男性と女性の 2 通りに分け、それぞれの平均的な肩幅である男性 45cm、女性 40cm を直径とする球体で表す。なお、男女の振り分けはシミュレーションを行う歩行者総数の半分で分けることにする。

発生後の歩行者の標準歩行速度は、男性・女性関係無く $s = 1.0 + \text{rand}[\text{m/s}]$ とする。ここで rand は、0 ~ 0.35 までの値を持つ乱数である。この乱数によって、歩行者それぞれの速度にばらつきを与え、加速などは行わないものとする。また、位置座標と速度ベクトルは時間とともに変化するものである。

速度ベクトルによる移動の方法については、まず歩行者の位置座標とそれぞれが向かう目的地の位置座標をとり、歩行者から目的地に向かうベクトルを求める。歩行者の位置座標を (p_x, p_y) 、目的地の位置座標を (P_x, P_y) 、ベクトルの成分を (v_x, v_y)

とすると、

$$v_x = P_x - p_x \quad (4.1)$$

$$v_y = P_y - p_y \quad (4.2)$$

となる。次に、このベクトルを正規化するため、歩行者から目的地までの距離 L を求める。

$$L = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} \quad (4.3)$$

この値で (v_x, v_y) を割ると、正規化できる。

$$v'_x = \frac{v_x}{L} \quad (4.4)$$

$$v'_y = \frac{v_y}{L} \quad (4.5)$$

これに、速度 s をかければ、目的地に向かう速度ベクトルが求まる。

$$V_x = sv'_x \quad (4.6)$$

$$V_y = sv'_y \quad (4.7)$$

各歩行者それぞれにこの速度ベクトルを単位時間毎求め、これに従い歩行を行わせるものとする。

4.2 群集

次に、群集を構成する場合の歩行者の動作について述べる。本研究で取り扱う群衆とは、同じ目的地に向かい、同じ経路を同じ方向に移動する歩行者集合とし、対向する歩行者同士の回避などはあまり行わない。そこで、人体円が重複しないことのみを満足するように歩行者同士の反発を行う。

反発を行う方法はまず、ある歩行者の位置座標とそれ以外の他の歩行者の位置座標をとり、その距離を求める。ある歩行者の位置座標を (p_x, p_y) 、他の歩行者の

位置座標を (q_x, q_y) 、2 者間の相対位置ベクトルを (c_x, c_y) 、2 者間の距離を ℓ とすると、それぞれの関係は次式の通りである。

$$c_x = q_x - p_x \quad (4.8)$$

$$c_y = q_y - p_y \quad (4.9)$$

$$\ell = \sqrt{c_x^2 + c_y^2} \quad (4.10)$$

もし、人体円に他の歩行者が入り込んだ場合、つまり 2 者間の距離 ℓ が人体円半径 r の 2 倍よりも小さくなった場合、その歩行者とは反対に向かう速度ベクトルを与える。 ℓ で (c_x, c_y) を割って正規化し、

$$c'_x = \frac{c_x}{\ell} \quad (4.11)$$

$$c'_y = \frac{c_y}{\ell} \quad (4.12)$$

これに速度 s をかけ、歩行者同士の反発を行う。

$$C_x = s c'_x \quad (4.13)$$

$$C_y = s c'_y \quad (4.14)$$

ただし、このままだと反発が大きすぎて、歩行者の挙動が不自然になってしまうため、適当な定数をかけて反発の速度ベクトルを小さくする。これを目的地に向かう速度ベクトルに加え、歩行者が人体円を保持したまま歩行を行うようにする。

4.3 障害物

次に、壁などの障害物を回避する方法について述べる。障害物の場合においても群集の動作と同様、歩行者が障害物に対して近づいた場合に、壁に対して反発を行うようにする。

まず、壁などの障害物に、壁と反対方向に向かうベクトルを持たせる。歩行者が障害物に対して一定の距離まで近づいた場合に、このベクトルを歩行者に与えることで、壁とは反対に向かうようにする。

4.4 実装例

歩行者モデルは、これまでに述べた手法により、他の歩行者や障害物との反発を行いながら目的地までの移動を行う。以下は、幅 6[m]、長さ 10[m] の空間において、左側にある目的地に向かい移動を行わせたシミュレーション例である。なお、壁との反発を見るために、目的地を壁に近い位置に設定している。以下の図 4.1 は、その様子である。

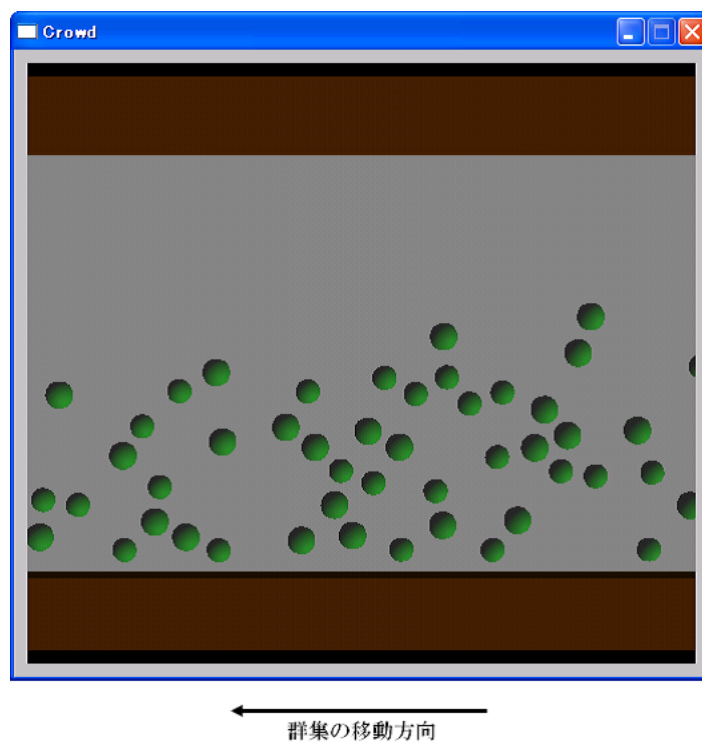


図 4.1: シミュレーション例

第 5 章

評価

本章では、実際に混雑が起こる状況をシミュレーションで再現したものと、それに対して経路プランニングを行ったものとの比較を行い、その結果をもとに評価を行う。

5.1 経路の幅が異なる空間

ここでは、目的地に向かう経路の幅が異なる空間上で、混雑を起こす様子をシミュレーションで再現し、それに対する経路プランニングを行った結果を述べる。

移動を行う空間は縦 12[m]、横 12[m] とし、周囲を壁で覆った。その内部に障害物を 3 つ配置し、目的地に近い経路を狭く、遠い経路を広くした。また、群集となる歩行者の数を 80 人としてシミュレーションを行った。

5.1.1 混雑のシミュレーション

まずは、群集が混雑を起こす状況をシミュレーションにより再現した。以下の図 5.1 はその様子である。

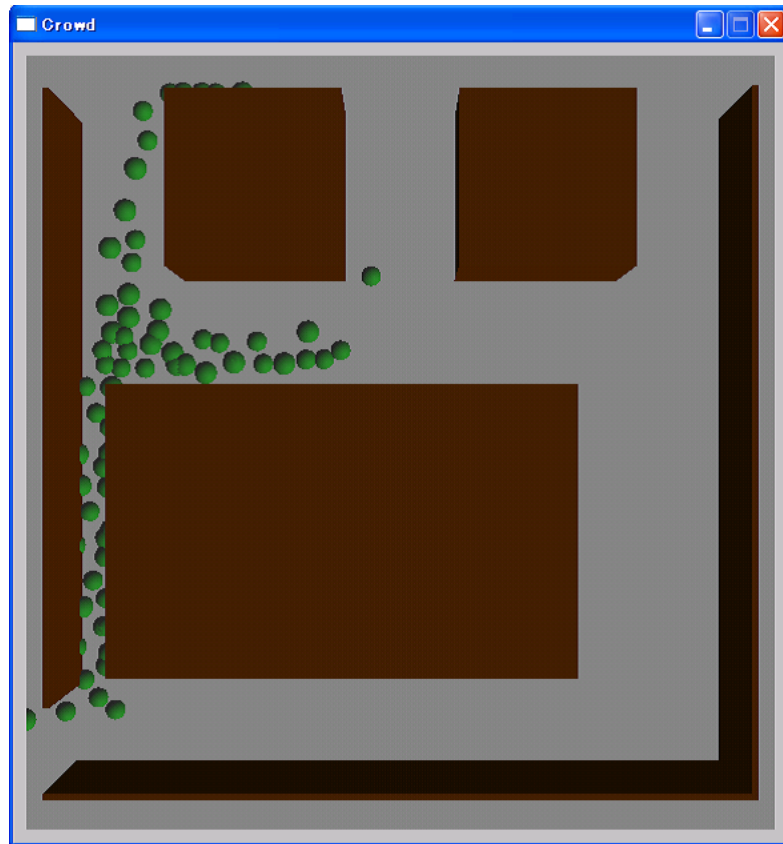


図 5.1: 狭い通路で混雑が発生した様子

このように、群集は目的地により近い経路である狭い通路の方に殺到してしまい、混雑が発生している。

5.1.2 経路プランニング後のシミュレーション

混雑のシミュレーションの様子から混雑が起こる要因を考えると、群集の経路が重複していることと、通路がボトルネックになっていることが考えられる。ボトルネックとは、この通路のように経路がすばまり狭くなっている場所を指し、例として駅の改札口などがある。このような狭い通路に対し群集が一斉に移動を行うと、その許容範囲を超えてしまうため通路の入り口付近で滞留が起こり、最悪の場合、群集雪崩にまで発展する可能性がある。

よって群集流を分離させるために、最短経路ではないが幅が広がっている通路にも群集が流れるようにさせれば、経路の重複をできるだけ減らし、なおかつ通路が広いことにより流れがスムーズになるとも考え、経路を計画し移動を行わせた。以下の図 5.2 は計画後のシミュレーションの様子である。

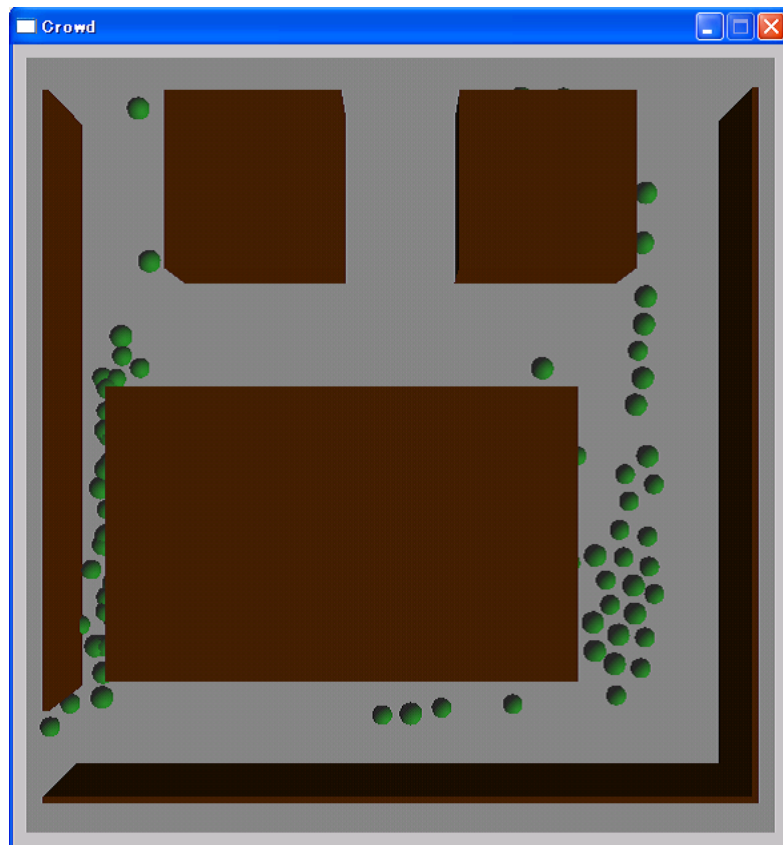


図 5.2: 経路プランニング後の様子

この結果、ボトルネック部分での滞留が減少し、群集がほとんど混雑を起こすことなく移動を行うようになった。また、広い通路では歩行者の滞留がほとんどなく、スムーズに流れることが確認できた。

5.2 二つの出口がある空間

次に、出口が二つあり、曲がり角の多い空間上で混雑を起こす様子をシミュレーションで再現し、それに対する経路プランニングを行った結果を述べる。

移動を行う空間は建物内をイメージし、縦10[m]、横12[m]とし、周囲を壁で覆った。その内部には入り口が一つ、出口が二つあり、障害物を5つ配置した。また、歩行者の数を80人と設定し、シミュレーションを行った。

5.2.1 混雑のシミュレーション

まずは、群集が一つの出口に向かって移動を行い、混雑を起こす状況をシミュレーションにより再現した。以下の図5.3はその様子である。



図 5.3: 混雑が発生した様子

このように、群集がより近い目的地に向かって一斉に移動しているため曲がり

角などで混雑が起こってしまっている。

5.2.2 経路プランニング後のシミュレーション

混雑のシミュレーションの様子から混雑が起こる要因を考えると、目的地が二つあるにもかかわらず、一つの目的地に群集が殺到していることと、曲がり角が多く、滞留が起こりやすくなっていることにある。

よって、群集を二つの出口に分離させ、一つの出口に対する歩行者の数を減少させれば、流れがスムーズになり、また、曲がり角を曲がる回数が少なければ、滞留もあまり起こらないと考え、経路計画し移動を行わせた。以下の図 5.4 は計画後のシミュレーションの様子である。



図 5.4: 経路プランニング後の様子

この結果、一つの出口に対し移動を行った場合より、群集の流れがスムーズになった。また、距離が長くなるが曲がる回数が少ない経路をとることで、滞留の

発生が減少するという結果につながった。

第 6 章

おわりに

本研究は、群集の混雑による事故の要因である群集流の経路の重複に着目し、経路の重複を避け、なおかつ目的地まで到達する経路を計画することが有用であると考え研究を行ってきた。そして、実際に起こった事例との比較をすることで検証を行った結果、経路プランニングした経路を移動した場合に、群集の混雑による歩行の滞留が減少するという結果を得ることができた。

今後の課題として、今回実装までに至らなかった、パーソナルスペースなどの個々の歩行者の細かい挙動まで考慮に入れることができれば、より現実に近い結果を得られるのではないかと考えられる。また、藤原の研究 [20] で提案されているようなグループ歩行表現の導入についても、歩行者モデルを単体として扱う場合とは違った結果が得られると考えられるので、その違いを実現できるようなモデル化を試みる必要がある。加えて、群集が移動を行う空間のモデルにおいても、本研究のような単純な移動経路だけでなく、さらに多様な空間に対しても経路プランニングを行うことができれば、より多くの状況に応用できると考える。また、現実的に群集流の経路を分離する方法についても、具体的な提案ができれば、より有用性を増していけるのではないかと考える。

本研究のモデルはまだ完全とは言えず、上に挙げたような課題の解決が必要であるが、よりよいモデルを目指し改良を加えていくことで、現実の建築設計や都市開発などに効果を発揮し、混雑による事故を未然に防ぐことができると考

えている。

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 篤氏（電気通信大学）に心より感謝いたします。

また、研究生生活において大変お世話になった、メディア学部渡辺研究室の皆様
に深く感謝いたします。

そして、これまで温かく見守り、支えてくれた家族と全ての仲間達に深く感謝
します。

最後に、本研究にご協力いただきました全ての皆様と、この論文に目を通して
くださった全ての方々に、厚くお礼を申し上げます。

参考文献

- [1] 安倍 北夫, "入門群集心理学", 大日本図書, 1977.
- [2] 明石市民夏まつり事故調査委員会, "第 32 回明石市民夏まつりにおける花火大会事故調査報告書", 明石市, 2002.
http://www.city.akashi.hyogo.jp/soumu/bousai_ka/h_safety/pdf/gaiyou.pdf.
- [3] 消防防災博物館 - 専門館 -, "千日ビル".
<http://www.bousaihaku.com/bousaihaku2/images/exam/pdf/a077.pdf>.
- [4] 釘原 直樹, "パニック実験 危機事態の社会心理学", ナカニシヤ出版, 1995.
- [5] 杉万 俊夫, "避難誘導法のアクションリサーチ", 応用心理学講座 第 3 巻 「自然災害の行動科学」 第 8 章, pp.110-122, 福村出版 1988.
- [6] 森江 修也, " 集団移動シミュレーションにおける移動障害物の回避に関する研究 ", 東京工科大学卒業論文, 2002.
- [7] 今給黎 隆, " 水族館を作ろう:BOID の基本 ".
http://if.dynsite.net/t-pot/program/101_boid1/.
- [8] 株式会社東急総合研究所, " 群集流動シミュレーションシステム ".
http://www.triinc.co.jp/second/system/_Gunshuu.html.

- [9] 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>.
- [10] 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/hide/other/asa/default.html>.
- [11] 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 15 年度成果報告書 (案), III.2.3.4, 2004.
http://www.kedm.bosai.go.jp/japanese/seikahoukoku/h15/III-2_3-4.pdf.
- [12] 岡崎 甚幸, 鈴木 利友, ”建築空間における歩行と視覚探索”,
心理学評論 Vol.46, No.3, pp.330 ~ 349, 2004.
- [13] Bryan Stout, ”パスプランニングのための A*の基礎 ”, Game Programming Gems, 株式会社ボーンデジタル, 2001.
- [14] Mark Foskey, Maxim Garber Ming C.Lin, Dinesh Manocha, “ A Voronoi-Based Hybrid Motion Planner ”,
<http://www.cs.unc.edu/?geom/voronoi/vplan/>.
- [15] Maren Bennewitz, Wolfram Burgard, Sebastian Thrun, “ Optimizing Schedules for Prioritized Path Planning of Multi-Robot Systems ”, IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), 2001.
- [16] 長川 研太, “ 複数台移動ロボットの環境に適応した自律編隊移動制御 ”, 東京工業大修士論文, 2004.
- [17] S.Okazaki, S.Matsushita, ”A STUDY OF SIMULATION MODEL FOR PEDESTRIAN MOVEMENT WITH EVACUATION AND QUEUING”,

Proceedings of the International Conference on Engineering for Crowd Safety,
pp.271-280, 1993.

- [18] 高柳 英明, ”パーティクルオブジェクトを用いた 3次元群衆流動シミュレータの構築”, 日本建築学会情報システム利用技術シンポジウム 1997 発表論文, 1997.
- [19] 和田 剛, “ スクランプル交差点における歩行挙動モデルとシミュレーション ”, 東京工業大学修士論文, 2001.
- [20] 藤原 大三郎, “ 群衆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 ”, 東京工科大学卒業論文, 2003.