

千葉工業大学

修士学位論文

格子分割を用いた進行方向計算の削減による  
人流シミュレーションの高速化

令和5年3月

所属専攻 : 情報科学専攻

学生番号・氏名 : 2281011 番 片寄 颯人

指導教員 : 前川 仁孝 教授



## 修士論文要旨

|  |         |       |
|--|---------|-------|
| 専攻   | 学生番号    | 氏名    |
| 情報科学   | 2281011 | 片寄 颯人 |
| 論文題目<br>格子分割を用いた進行方向計算の削減による<br>人流シミュレーションの高速化   |         |       |
| キーワード マルチエージェントシミュレーション, 人流シミュレーション  |         |       |
| 論文要旨<br><p>本論文は, SFM(Social Force Model) を用いた人流シミュレーションを高速化するために, エージェントの進行方向の計算回数を削減する手法を提案する. SFM は, 時間ステップごとに各エージェントの運動方程式を解くことで, 人々の流れを解析する手法である. SFM の運動方程式は, 目的地に向かう力, 周囲のエージェントを避ける力, 障害物を避ける力の合力を用いてエージェントの移動を決定する. SFM を用いた人流シミュレーションは, 解析人数や壁などの障害物数が増えるほど, 解析時間が膨大になるため, 高速化が求められている. 人流シミュレーションのなかでも避難時の解析は, 机や壁などの障害物が多い傾向がある. 机や壁などの固定されている障害物や目的地は, 解析中に座標が変化しないという特徴があり, 目的地までに向かう力を計算するために必要なエージェントから目的地までのベクトルは, エージェントの座標に応じて決定するという特徴がある. そこで, 本論文では, 解析領域を格子状に分割し, 格子領域ごとに進行方向をあらかじめ計算することで, 解析中の進行方向の計算回数を削減する. 評価の結果, 提案手法は, 従来のセル分割法に対して, 許容できる誤差の範囲で解析時間が最大〇〇倍高速することを確認した. (508 文字)</p> |         |       |



## Summary of Master's Thesis

| Course  | Student No. | SURNAME, Firstname |
|---|-------------|--------------------|
| Information and Computer Science  | 2281011     | KATAYOSE Hayato    |
| <b>Title</b><br>Speedup of Pedestrian Simulation by Reduction of Direction Calculations using Grid Division   |             |                    |
| <b>Keywords</b> Multi Agent Simulation, Pedestrian Simulation, Social Force Model   |             |                    |
| <b>Summary</b><br><p>This paper proposes a speedup method by reducing the number of calculations of the agent's traveling direction for the Social Force Model(SFM). The SFM is a method to simulate human behavior based on motion equations. The motion equation of the SFM uses the resultant forces of the force to go to the destination, the force from surrounding agents, and the force avoiding the obstructions to determine the agent's movement. The SFM is required to speed up because analysis time increases as the number of agents and obstacles. fixed obstacles and destinations have characteristics that the coordinates do not change under analysis. Therefore, the proposed method reduces the number of calculations of the agent's traveling direction during analysis by dividing the analysis region into a grid and calculating the direction of travel for each grid region in advance. As a result of the evaluation, the proposed method gives us about [高速化率] times speedup within an acceptable error range.</p> |             |                    |

# 目次

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 図一覧                       | iii |
| 表一覧                       | iv  |
| 第1章 はじめに                  | 1   |
| 第2章 人流シミュレーション            | 3   |
| 2.1 ネットワークモデルの歩行者モデル**    | 4   |
| 2.2 静的フロアモデル              | 5   |
| 2.3 SocialForceModel(SFM) | 6   |
| 2.3.1 周囲のエージェントから受ける力     | 9   |
| 2.3.2 周囲の壁から受ける力          | 11  |
| 2.3.3 経路地の設定              | 12  |
| 第3章 人流シミュレーションの高速化        | 17  |
| 3.1 モデルの簡易化               | 17  |
| 3.2 エージェント間の距離の計算回数削減     | 17  |
| 3.2.1 セル分割法               | 18  |
| 3.2.2 視野パラメータを用いた削減手法     | 19  |
| 3.3 単位時間あたりの計算回数          | 20  |
| 3.3.1 エージェントごとの並列性を用いた手法  | 20  |
| 3.3.2 解析領域ごとの並列性を用いた手法    | 22  |
| 3.4 経路選択時の判定回数削減          | 22  |
| 3.4.1 経路選択の単純化            | 22  |
| 3.4.2 経路選択手法の～～           | 22  |
| 3.5 abstract.tex          | 22  |
| 3.6 簡単コマンド                | 22  |
| 3.7 参考文献                  | 23  |
| 3.7.1 bib ファイルを使う場合       | 24  |

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| 3.7.2 bib ファイルを使わない場合 . . . . . | 24 |
| 第 4 章 提案手法にあたる章                 | 26 |
| 第 5 章 格子分割を用いた進行方向計算の削減手法       | 27 |
| 5.1 ファイル構成 . . . . .            | 27 |
| 5.2 make コマンドの使い方 . . . . .     | 27 |
| 第 6 章 評価                        | 30 |
| 第 7 章 おわりに                      | 31 |
| 謝辞                              | 32 |
| 参考文献                            | 33 |
| 付 録 A プログラムの説明                  | 34 |
| A.1 節番号のテスト . . . . .           | 34 |
| A.1.1 項番号のテスト . . . . .         | 34 |
| A.2 ページレイアウト表示 . . . . .        | 34 |

# 図 目 次

|      |                                       |    |
|------|---------------------------------------|----|
| 2-1  | 人流シミュレーションの活用例 . . . . .              | 3  |
| 2-2  | ネットワークモデルの例 . . . . .                 | 4  |
| 2-3  | 静的フロアフィールドモデルのイメージ . . . . .          | 5  |
| 2-4  | マンハッタン距離を用いた静的フロアフィールドモデルの例 . . . . . | 5  |
| 2-5  | マンハッタン距離を用いた静的フロアフィールドモデルの例 . . . . . | 5  |
| 2-6  | 静的フロアフィールドモデルを用いたアーチ現象の再現 . . . . .   | 5  |
| 2-7  | フロアフィールドモデルの例 . . . . .               | 6  |
| 2-8  | 二次元連続座標モデルの例 . . . . .                | 6  |
| 2-9  | SFM を用いた人流シミュレーションのフローチャート . . . . .  | 8  |
| 2-10 | SFM における周囲のエージェントから受ける力の計算 . . . . .  | 11 |
| 2-11 | 他のエージェントから受ける力の範囲を限定するときの例 . . . . .  | 12 |
| 2-12 | SFM における周囲の壁から受ける力の計算 . . . . .       | 13 |
| 2-13 | SFM でスタック現象が起きる例 . . . . .            | 13 |
| 2-14 | 経由地を設定する SFM の例 . . . . .             | 14 |
| 2-15 | 経由地を設定する SFM の例 . . . . .             | 14 |
| 3-1  | 一次元モデルの例 . . . . .                    | 18 |
| 3-2  | アーチ現象の例 . . . . .                     | 18 |
| 3-3  | セル分割法を用いた例 . . . . .                  | 19 |
| 3-4  | SFM の並列化可能な処理 . . . . .               | 20 |
| 3-5  | 3 スレッドでの並列化の例 . . . . .               | 21 |
| 3-6  | 領域分割の例 . . . . .                      | 21 |
| 3-7  | 適当な図を張ってみた . . . . .                  | 23 |
| 3-8  | 横並び (左) . . . . .                     | 23 |
| 3-9  | 横並び (右) . . . . .                     | 23 |

# 表 目 次

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| 2-1 SFM のパラメータ . . . . .        | 9  |
| 5-1 ファイル一覧 . . . . .            | 28 |
| 5-2 make コマンドの使い方について . . . . . | 29 |

# 第1章

## はじめに

人が多く集まるイベントなどの場所では、想定よりも多くの人が集まることで、群集事故が発生する恐れがある。群集事故は、

商業施設やイベント会場などの人が多く集まる場所では、災害時の逃げ遅れの観点から人の滞留の対策が重要であり<sup>(?)</sup>、<sup>(?)</sup>、人の滞留や避難時間の予測に人流シミュレーションが用いられている<sup>(?)</sup>、<sup>(?)</sup>、<sup>(?)</sup>、<sup>(?)</sup>。人流シミュレーションは、コンピュータ上で人を運動方程式に基づくエージェントとして解析する手法である。人流シミュレーションのなかでも、歩行者の動きの再現には、視野やグループ特性などのパラメータを追加できる Social Force Model ( SFM ) が広く用いられている<sup>(?)</sup>、<sup>(?)</sup>、<sup>(?)</sup>、<sup>(?)</sup>。

SFM は、社会心理学的な要素と物理学的な要素で成り立つ運動方程式をエージェントごとに計算することで、人流の動きを再現する手法である。SFM の運動方程式は、目的地に向かう力、周囲のエージェントを避ける力、障害物を避ける力の合力を算出し、エージェントの速度や進行方向を計算する。SFM の運動方程式の計算は、時間ステップごとに全てのエージェントに対して計算するため、エージェント数の増加するほど、解析時間が膨大になることから高速化が求められている。

SFM では、解析時間の高速化をするために、モデルの1次元化やエージェント間距離の計算回数の削減が行われている。SFM は、エージェントの動きを1次元に簡略化することで、計算負荷を削減できる<sup>(?)</sup>、<sup>(?)</sup>。SFM の1次元化は、避難人数や避難時間などの解析に対して許容できる範囲の誤差で高速に解析ができるが、滞留の様子や人の密度などの解析ができないことが報告されている<sup>(?)</sup>。エージェントを避ける力の計算には、エージェント間の距離が必要である。エージェント間距離の計算回数の削減には、影響半径の設定や、セル分割法が広く用いられる<sup>(?)</sup>、<sup>(?)</sup>、<sup>(?)</sup>。影響半径の設定は、周囲のエージェントを避ける力や障害物を避ける力の影響力が遠くなるほど0に近づく特性を利用し、影響半径外から受ける力を0に近似することで、エージェント間距離の計算回数を減らす手法である。セル分割法は、解析領域を格子状のセルに分割し、周囲のエージェントに対する影響範囲内外の判定をセル単位で実行する方法である。影響範囲内外の判定には、エージェント間距離の計



算が必要となるため，セル単位で判定することで，エージェント間距離の計算回数を削減する．

避難時を再現する人流シミュレーションは，机や壁などの障害物が多いため，障害物を避ける力の計算回数が多い傾向がある．机や壁などの固定された物である障害物や目的地は，解析中に座標が変化しないという特徴があり，目的地まで向かう力を計算するために必要なエージェントから目的地までのベクトルは，エージェントの座標に応じて決定するという特徴がある．そこで，本論文では，解析前に目的地までの方向と障害物を避ける力の計算をあらかじめ計算し，メモリに格納することで，解析中の障害物を避ける力の計算と目的地までのベクトルの計算回数を削減する手法を提案する．提案手法は，障害物が固定である特徴と目的地までのベクトルがエージェントの座標に応じて決まる特徴に着目し，解析領域を格子状に分割した領域ごとに進行方向をあらかじめ計算する．

以下の章では，まず，ページフォーマットを示すために，第2章で「あああああ」を述べる．次に，第3章で，本スタイルファイルで定義したコマンドについて述べる．最後に，題7章でまとめる．

## 第2章

# 人流シミュレーション

人流シミュレーションは、コンピュータ上で人の動きを再現する手法であり、図 2-1 に人流シミュレーションの例を示す。図 2-1 中の青色の丸は右側に進む人、緑色の丸は左側に進む人、黄色の四角は壁、青色の四角は障害物である。赤色の障害物は、自動販売機やゴミ箱などの移動が可能である設置物である。図 2-1 の例では、通路が赤色の障害物によって通路が狭くなっているため、人の滞留や混雑が起きているため、赤色の障害物を撤去することで滞留や混雑を防ぐことができる。図 2-1 のような混雑や滞留を発見するためには、実際に多くの人で実験する必要があるため、時間や費用がかかる。一方で、人流シミュレーションは、コンピュータ上で再現できることから、実際に多くの人を用いて実験するよりも、必要な時間や金額を抑えることが可能である。このように、人流シミュレーションの目的は、人の滞留や混雑が起きないように対策することである。このため、人流シミュレーションは、大規模なイベントを企画する企業や大規模な施設を設計、建築する建設業などで活用されている（参考文献）。人流シミュレーションを活用することで、事前に人の流れを予測することが可能になり、地震や火災などの有事のときに、非常灯や看板の配置、警備員の配置などを最適化できるため、適切な誘導が可能になる。人流シミュレーションを用いて人の動きを解析するためには、人の動きを再現するための歩行者のモデル化（歩行者モデル）が必要である。歩行者モデルは、求められる解析精度や解析規模に応じて使い分ける必要があるため、ネットワークモデルやセルオート

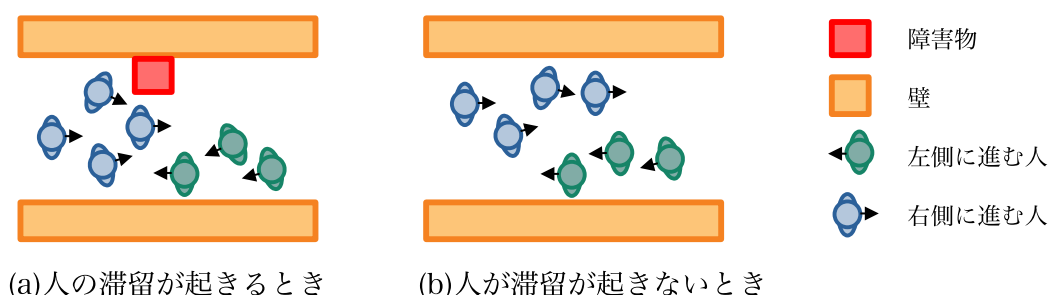


図 2-1 : 人流シミュレーションの活用例

マトン，SocialForceModel(SFM)などが提案されている．本章では，各歩行者モデルの使用用途や利点，欠点を用いて各手法の立ち位置について述べる．

## 2.1 ネットワークモデルの歩行者モデル\*\*

ネットワークモデルは，人々の移動や行動をネットワーク構造としてモデル化する手法である．図2-2にネットワークモデルの例を示す．図2-2中の(a)は解析対象であり，(b)はネットワークモデルである．図2-2中の(b)の青丸は交差点や道路の末端であり，ノードと呼ばれる．ネットワークモデルでは，ノード間に数十から数百人単位で動かすことで，人の動きを解析する．ネットワークモデルは，解析が高速であるが，モデルの準備に大きな作業が必要になるだけでなく，モデルの定義に知識や経験が必要になることが多い．ネットワークモデルを用いた解析では，都市間の人々の移動や，津波や地震などの災害時における都市の避難シミュレーションのような解析人数が多い解析に用いられることが多い（参考文献）ネットワークモデルで建物内の人の流れを解析する場合は，図??に示すように解析領域内にメッシュ状にノードを配置することで解析できる（参考文献）．一方で，建物内などの避難シミュレーションでは，人の流量が低下する原因や滞留の原因を調査することに用いられることが多いため，ネットワークモデルを用いた場合は，滞留などの再現ができない．このため，人の流量が低下する原因や滞留の原因を突き止めるために解析するときは，静的フロアモデルやSFMなどが用いられることが一般的である．

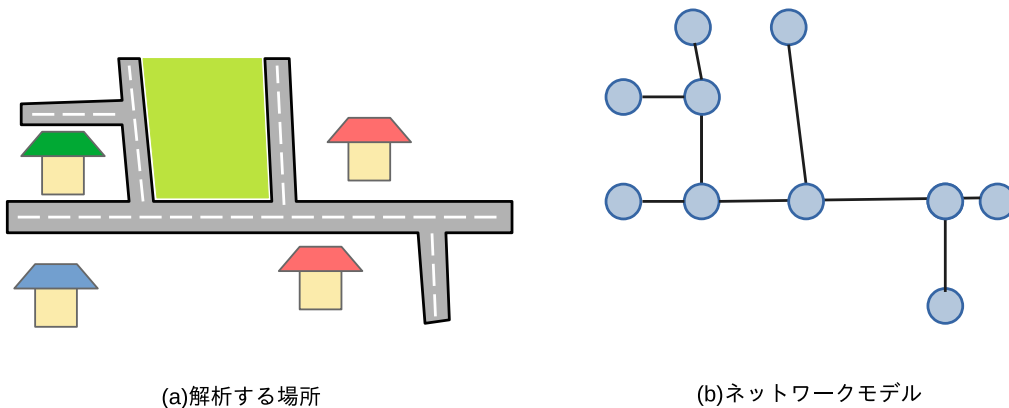


図 2-2 : ネットワークモデルの例

## 2.2 静的フロアモデル

静的フロアモデルは、図 2-7 に示すようなフロアフィールドモデルの空間モデルを用いており、格子ごとに目的地までの距離を設定し、確率を用いてエージェントを移動させることで解析する手法である。図??に静的フロアフィールドモデルのイメージを示す。図??中の格子は解析領域、青丸はエージェント、青色の矢印はエージェントの移動可能な方向である。図??のように、静的フロアフィールドモデルは、図??に室内からの退出時におけるマンハッタン距離を用いた静的フロアフィールドの例を示す。図??中の格子は、各セルを示しており、セル中の数字は各セルの出口までのマンハッタン距離を示す。

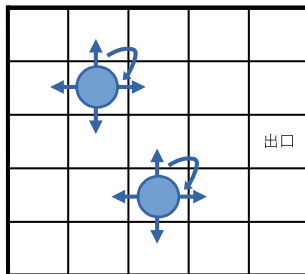


図 2-3 : 静的フロアフィールドモデルのイメージ

|   |   |   |   |         |
|---|---|---|---|---------|
| 6 | 5 | 4 | 3 | 2       |
| 5 | 4 | 3 | 2 | 1       |
| 4 | 3 | 2 | 1 | 出口<br>0 |
| 5 | 4 | 3 | 2 | 1       |
| 6 | 5 | 4 | 3 | 2       |

図 2-4 : マンハッタン距離を用いた静的フロアフィールドモデルの例

|   |   |   |   |         |
|---|---|---|---|---------|
| 6 | 5 | 4 | 3 | 2       |
| 5 | 4 | 3 | 2 | 1       |
| 4 | 3 | 2 | 1 | 出口<br>0 |
| 5 | 4 | 3 | 2 | 1       |
| 6 | 5 | 4 | 3 | 2       |

図 2-5 : マンハッタン距離を用いた静的フロアフィールドモデルの例

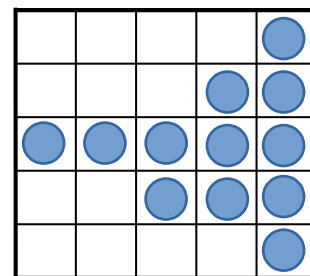


図 2-6 : 静的フロアフィールドモデルを用いたアーチ現象の再現

静的フロアフィールドモデルは、図??に示すように、計算対象のエージェントの周囲のセルのなかから、出口までの距離が小さくなるようなセルを選択することで、出口までの解析が可能となる。静的フロアフィールドモデルの利点は、解析前に各格子の計算を事前にできるため、非常に高速な解析が可能である点である。一方で、

静的フロアフィールドは、出口前に形成されるアーチ現象の再現度が低いことが知られている。図2-7に静的フロアフィールドモデルを用いた場合の出口前に形成されるアーチ現象の例を示す。図2-7中の～～～である。静的フロアフィールドモデルは、図2-7のように、格子に一人のみ入ることができることから、動きが格子サイズに制約されるため、出口付近の再現度が低い。フロアフィールドモデルを用いた解析では、○○や、を用いることで、解析精度の向上が行われているが、格子サイズの成約から、精度の向上に上限がある。このため、高い解析精度が必要な場合は、SocialForceModel(SFM)のような解析領域を連続座標で解析する手法が用いられることが多い。

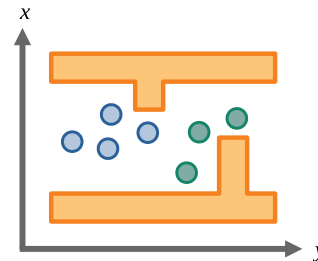
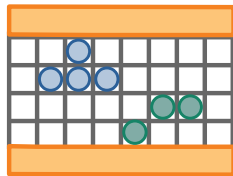


図 2-7 : フロアフィールドモデルの例      図 2-8 : 二次元連続座標モデルの例

## 2.3 SocialForceModel(SFM)

SFM は、人間の社会心理学的な要素と物理的な力を結びつけた動力学モデルであり、近傍のエージェントや壁といった障害物から受ける力によってエージェントの進行方向や速度を解く。本手法は、心理的変数が組み込まれているため、災害時の避難シミュレーションによく用いられる<sup>(?)</sup>。

SFM の解析空間は、二次元連続空間モデルが用いられる。二次元連続空間モデルは、解析領域を分割せずに  $(x, y)$  の連続した座標で解析する手法である。図 2-8 に図 2-7 の例を二次元連続座標で考えた例を示す。図 2-8 中の矢印は座標の  $x$  と  $y$  を示している。SFM は、図 2-7 のフロアフィールドモデルのように格子上のエージェント数に制限がなく、エージェントの位置を座標で考えるため、人流の再現度が高い。SFM におけるエージェント移動は、目的地へ進む力と他のエージェントから受ける力、壁などの障害物から受ける力を用いる運動方程式を用いて求める。式 (2-1) に

SFM の運動方程式を示す．

$$m_i \frac{dv_i}{dt} = m_i \frac{v_i^0(t)e_i^0(t) - v_i(t)}{t_i} + \sum_{j(\neq i)} f_{ij} + \sum_W f_{iW} \quad (2-1)$$

式 (2-1) 中の総和の記号  $\sum_{j(\neq i)} f_{ij}$  は，エージェント  $i$  以外のすべてのエージェント  $j$  の総和をとることを意味する．同様に， $\sum_W f_{iW}$  は，すべての壁  $W$  の総和をとることを意味する．式 (2-1) 中の  $m_i$  はエージェント  $i$  の体重， $v_i^0(t)$  はエージェントの希望速度， $e_i^0(t)$  は，目的地までの単位ベクトル， $v_i(t)$  は現在の速度ベクトル， $t_i$  は時定数である．式 (2-1) の第一項はエージェントが目的地へ進む力，第二項は他のエージェントから受ける力  $f_{ij}$ ，第三項は壁などの障害物から受ける力  $f_{iW}$  の合力である． $f_{ij}$  と  $f_{iW}$  は，式 (2-2) と式 (2-3) を用いて導出する．

$$f_{ij} = \{A_i \exp[\frac{r_{ij} - d_{ij}}{B_i}] + kg(r_{ij} - d_{ij})\}n_{ij} + \kappa g(r_{ij} - d_{ij})\Delta v_{ij}^t t_{ij} \quad (2-2)$$

$$f_{iW} = \{A_i \exp[\frac{r_i - d_{iW}}{B_i}] + kg(r_i - d_{iW})\}n_{iW} + \kappa g(r_i - d_{iW})(v_i t_{iW})t_{iW} \quad (2-3)$$

表 2-1 に式 (2-2)，(2-3) 中の変数を示す．衝突時関数  $g(x)$  はエージェント同士や壁などに衝突したときに値をとる関数である．式 (2-4) に衝突時関数  $g(x)$  の条件式を示す．

$$g(x) = \begin{cases} 1 & (x < 0) \\ 0 & otherwise \end{cases} \quad (2-4)$$

SFM の衝突時の計算は，条件式である式 (2-4) を用いることで，衝突時のみ計算できる．SFM を用いる人流シミュレーションのフローチャートを図 2-12 に示す．図 2-12 中の目的地へ進む力の計算は，式 (2-1) 中の第一項を用いて算出する．また，他のエージェントから受ける力の計算は，式 (2-2) を用いて算出する．そして，壁などの障害物から受ける力の計算は，式 (2-3) を用いて算出する．SFM を用いた人流シミュレーションは，図 2-12 に示すように，式 (2-1) の運動方程式を積分することで，新しい時間のエージェントの位置と速度を求めることができる．

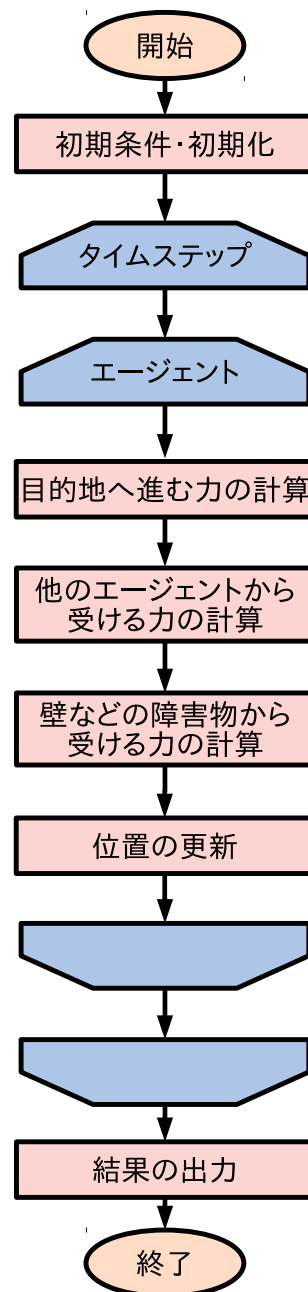


図 2-9 : SFM を用いた人流シミュレーションのフローチャート

表 2-1 : SFM のパラメータ

|                 |                                    |
|-----------------|------------------------------------|
| $d_{ij}$        | エージェント間の距離                         |
| $t_{ij}$        | エージェント $i$ とエージェント $j$ の衝突面の垂直ベクトル |
| $n_{ij}$        | エージェント $i$ とエージェント $j$ の衝突面の法線ベクトル |
| $r_i$           | エージェント $i$ の体の半径                   |
| $r_{ij}$        | エージェント $i$ とエージェント $j$ の体の半径の和     |
| $t_{iW}$        | エージェント $i$ と壁 $W$ の衝突面の垂直ベクトル      |
| $n_{iW}$        | エージェント $i$ とエージェント $W$ の衝突面の法線ベクトル |
| $A_i$           | エージェント $i$ のインタラクション作用             |
| $B_i$           | エージェント $i$ の反発作用                   |
| $k$             | 衝突時の反発力係数                          |
| $\kappa$        | 衝突時の摩擦係数                           |
| $\Delta v_{ij}$ | エージェント $i$ とエージェント $j$ の接線速度の差     |
| $g(x)$          | 衝突時間関数                             |

### 2.3.1 周囲のエージェントから受ける力

他のエージェントから受ける力は、解析領域全体に存在する他のエージェントから受ける。このため、SFM は、解析する人数が増えると他のエージェントから受ける力の計算時間が長くなる。他のエージェントから受ける力の計算負荷を削減するために、SFM を用いる人流シミュレーションでは、他のエージェントから受ける力を計算する範囲を限定することが多い<sup>(?)</sup><sup>(?)</sup>。他のエージェントから受ける力を計算する範囲を限定することで、遠くに存在するエージェントから受ける力を 0 に近似することができる。図 2-11 に他のエージェントから受ける力の計算範囲の例を示す。図 2-11 の赤丸は他のエージェントから受ける力を計算するエージェント、黒丸はエージェント 4 が計算するときの他のエージェント、オレンジ色の点線は他のエージェントから受ける力の範囲を示す。図 2-11 のエージェント 4 は、オレンジ色の点線内に存在するエージェント 0, 1, 2, 6, 7, 10 の合計 5 人から力を受ける。本論文では、近くのエージェントから受ける力の範囲を限定する SFM を前提として述べる。近くのエージェントから受ける力の範囲は、図 2-11 のように、計算するエージェントの半径数メートルの範囲である。このため、SFM では、他のエージェントが近くのエージェントから受ける力の範囲に存在するか判定が必要である。この範囲に存在するかの判定は、エージェント  $i$  とエージェント  $j$  とのエージェント間の



距離  $d_{ij}$  の算出が必要である．本論文では，式 (2-5) を用いてエージェント間の距離  $d_{ij}$  を求め，他のエージェントから受ける力の範囲内であるかどうか判定する．

$$d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (2-5)$$

式 (2-5) 中の  $x_i$  と  $y_i$  はエージェント  $i$  の座標  $(x_i, y_i)$ ， $x_j$  と  $y_j$  はエージェント  $j$  の座標  $(x_j, y_j)$  である．エージェント  $i$  は，式 (2-5) で求めたエージェント距離  $d_{ij}$  が他のエージェントから受ける力の範囲内であれば，エージェント  $j$  から式 (2-2) を用いて算出した力を受ける．他のエージェントから受ける力の範囲の半径を  $R$  としたとき，エージェント  $i$  の他のエージェント  $j$  が範囲内にいるかどうかの判定式を式 (2-6) に示す．

$$R \geq d_{ij} \quad (2-6)$$

エージェント  $i$  は，式 (2-6) の条件を満たす他のエージェント  $j$  から式 (2-2) で求める力を受ける．

他のエージェントから受ける力の範囲を限定する SFM のフローチャートを図?? に示す．図??のフローチャートでは，各エージェントに対しエージェント間の距離を計算し，範囲内であるか判定することで，他のエージェントから受ける力の範囲を限定している．SFM を用いる人流シミュレーションは，他のエージェントから受ける力の範囲を視野の範囲にすることで，視野を再現できる．

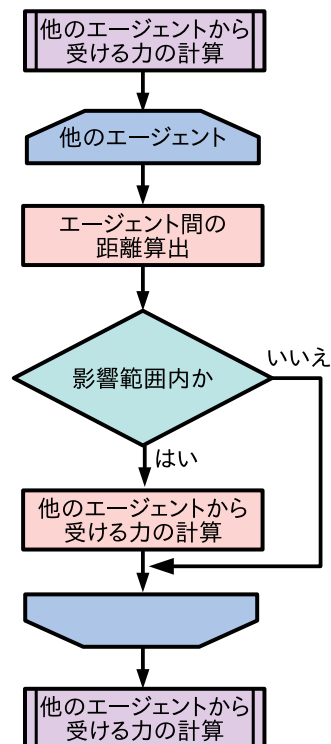


図 2-10 : SFM における周囲のエージェントから受ける力の計算

### 2.3.2 周囲の壁から受ける力

周囲の壁から受ける力は、エージェントの周囲の障害物を避けるために受ける力である。SFM を用いた人流シミュレーションは、壁や机などの障害物を粒子として計算することが一般的である（参考文献）。図??に壁を粒子化した例を示す。図??中の 色の丸はエージェント、 色の丸は壁粒子である。図??のように、～～である。

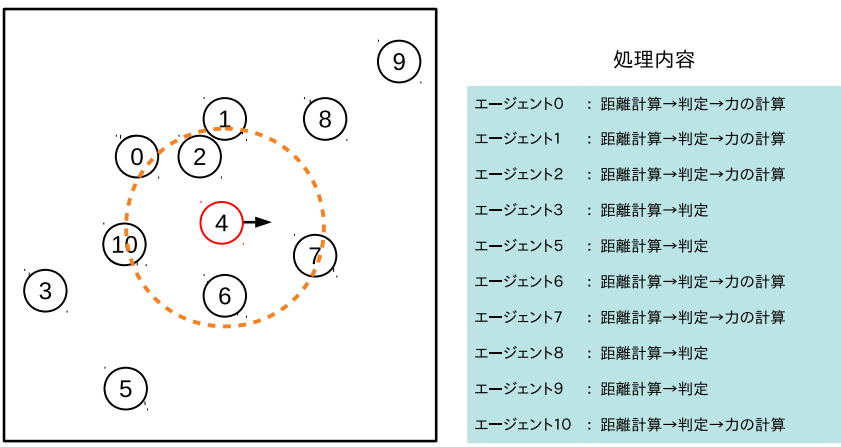


図 2-11 : 他のエージェントから受ける力の範囲を限定するときの例

2.3.3 経由地の設定

SFM は、エージェントと目的地の間に障害物が存在するとスタック現象が発生することが報告されている（参考文献）。スタック現象は、エージェントが動かなくなる現象のことであり、障害物から受ける力と目的地に向かう力の関係により生じる。図 2-13 に SFM でスタック現象が生じる例を示す。図 2-13 中の緑色の丸はエージェント、矢印はエージェントの進行方向、オレンジ色の四角は机などの障害物である。図 2-13 中のエージェント A とエージェント B は解析領域右上の出口に向かうため、エージェント A が机などの障害物に向かって進む。この場合は、エージェント A が机に向かって進み続けることや机の上を歩くなどの想定しない動きをすることがある。このため、障害物が多く存在するような解析では、出口 (目的地) だけでなく、目的地までの道のりを示す経由地を設定することで、エージェントのスタック現象や想定しない動きを防ぐことができる。図 2-14 に経由地を設定する例を示す。図 2-14 中の緑色の丸はエージェント、四角は障害物、青色の四角は経由地、赤色の四角は目的地を示す。図 2-14 の例では、エージェント A は、経由地を通ったあとに目的地に進むため、図 2-13 のように机に進むことが防げる。教室などの障害物多い解析では、図 2-15 に示すように、複数の経由地を設定する必要がある。図 2-15 の例では、エージェントは一番近くの経由地から目的地までの道のりを辿る。目的地までの道のりを決定する手法は、ダイクストラ法などのグラフ理論で用いられる手法が使われることが多い（参考文献）。ダイクストラ法は、

ああああああああああああああああああああああああああああああああ

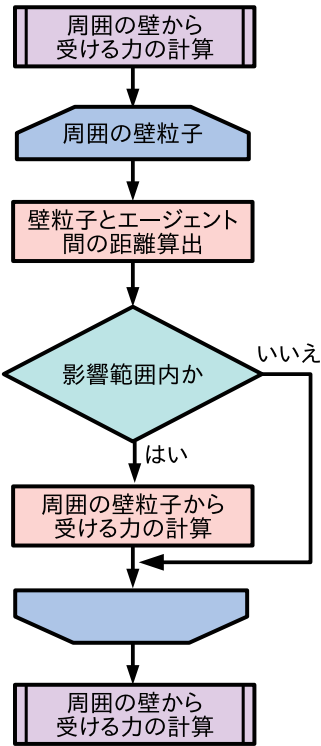


図 2-12 : SFM における周囲の壁から受ける力の計算

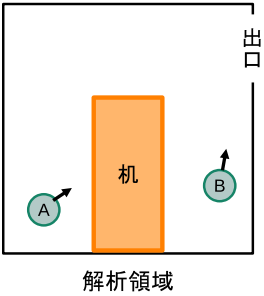


図 2-13 : SFM でスタック現象が起きる例

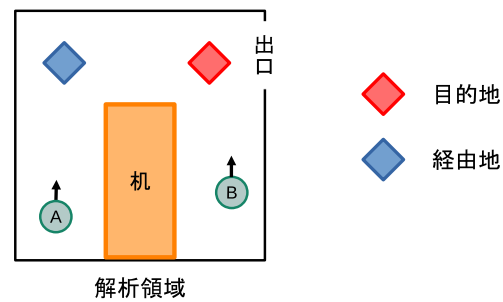


図 2-14 : 経由地を設定する SFM の例

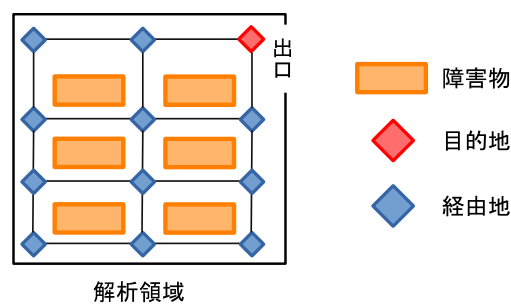


図 2-15 : 経由地を設定する SFM の例

[illegible]

[illegible]

[illegible]

## 第3章

# 人流シミュレーションの高速化

SFM を用いた人流シミュレーションは，解析人数が多くなるほど計算負荷が膨大になるため，解析に時間がかかる．SFM の解析時間を削減するために，モデルの単純化（参考文献）やエージェント間距離の計算回数削減手法（参考文献），単位時間あたりの計算回数の増加手法（参考文献），経路選択時の判定回数の削減手法（参考文献）などが提案されている．本章では，SFM の各高速化手法について述べる．

### 3.1 モデルの簡易化

SFM の簡易化手法は，SFM の計算負荷を削減するために，エージェント同士や壁や机などの障害物から受ける力，進行方向を単純化する手法である．SFM の簡易化手法の一つに一次元歩行者モデルがある（参考文献）．一次元歩行者モデルは，エージェントの動きを  $x$  や  $y$  のみにする手法である．図??に避難シミュレーション時の SFM と一次元歩行者モデルの例を示す．図??中の (a) は SFM などの二次元連続空間モデルを示し，(b) は一次元連続歩行者モデルの例を示す．一次元歩行者モデルは，図??のように，エージェントの動きを算出する式を一次元に変更することで，計算負荷を削減できる．本手法は，人の流れ（流量）を解析する場合では，高速かつ許容できる誤差の範囲で解析できることが報告されている（参考文献）．一方で，一次元でエージェントの動きを再現するため，人の押し合いや図 3-6 のようなアーチ現象などを再現できない．このため，人の押し合いやアーチ現象を再現したい場合には，一次元歩行者モデルなどのモデルを簡易化しない高速化技法を用いることが望ましい．

### 3.2 エージェント間の距離の計算回数削減

SFM は，解析人数が増加するほど周囲のエージェントから受ける力の計算に必要な周囲のエージェントが影響範囲内外かの判定の回数が増加する．周囲のエージェントが影響範囲内外かの判定は，ルートなどを用いてエージェント間距離  $d_{ij}$  を求め





図 3-1 : 一次元モデルの例

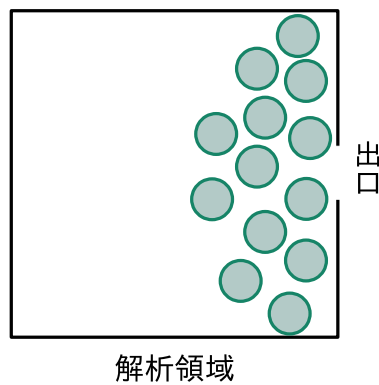


図 3-2 : アーチ現象の例

る必要があるため，特にエージェント間距離  $d_{ij}$  の計算に時間がかかる．このため，SFM を用いた人流シミュレーションの解析時間を削減するためには，エージェント間距離  $d_{ij}$  の計算回数を削減することが有効である．エージェント間距離の計算回数削減手法にセル分割法や視野パラメータを用いた削減手法がある．

### 3.2.1 セル分割法

セル分割法は，水や空気などの動きを解析できる MPS 法<sup>(?)</sup> や銀河系などの圧縮性流体に用いられる SPH 法<sup>(?)</sup> などの粒子法によく用いられている．粒子法は，近傍の粒子と相互作用する力を計算し，粒子の行動を決定する．このため，セル分割

法は、粒子法と同じように近傍のエージェントとの相互作用力を計算する SFM に対しても用いられる。本手法は、解析領域を格子上のセルに分割し、計算するエージェントの存在するセルと近傍のセルに存在するエージェントに対して他のエージェントから受ける力の範囲であるか判定し、範囲内であれば他のエージェントから受ける力を計算する手法である。図 3-3 にセル分割法を用いる SFM の例を示す。図 3-3 中の赤丸は他のエージェントから受ける力の計算をするエージェント、黒丸は他のエージェント、四角は解析領域を格子状に分割したセルである。この例では、エージェント 4 の行動を更新する際に青色のセル内に存在するエージェントのみを参照するため、エージェント番号 3, 5, 9 の計算を削減できる。このとき、視野を用いる SFM は、速度計算するエージェントの進行方向前方に存在するエージェント情報を用いて計算するため、エージェントの進行方向後方のセルに存在するエージェント情報は不要になる、このため、視野を用いる SFM では、視野を考慮し、参照するセルを視野範囲に近づけることで、計算回数を減らすことができる。

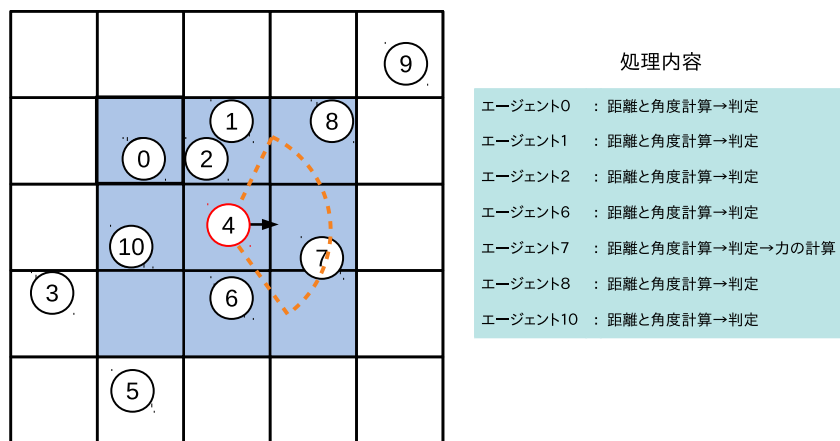


図 3-3 : セル分割法を用いた例

### 3.2.2 視野パラメータを用いた削減手法

視野パラメータを用いた SFM では、

### 3.3 単位時間あたりの計算回数

#### 3.3.1 エージェントごとの並列性を用いた手法

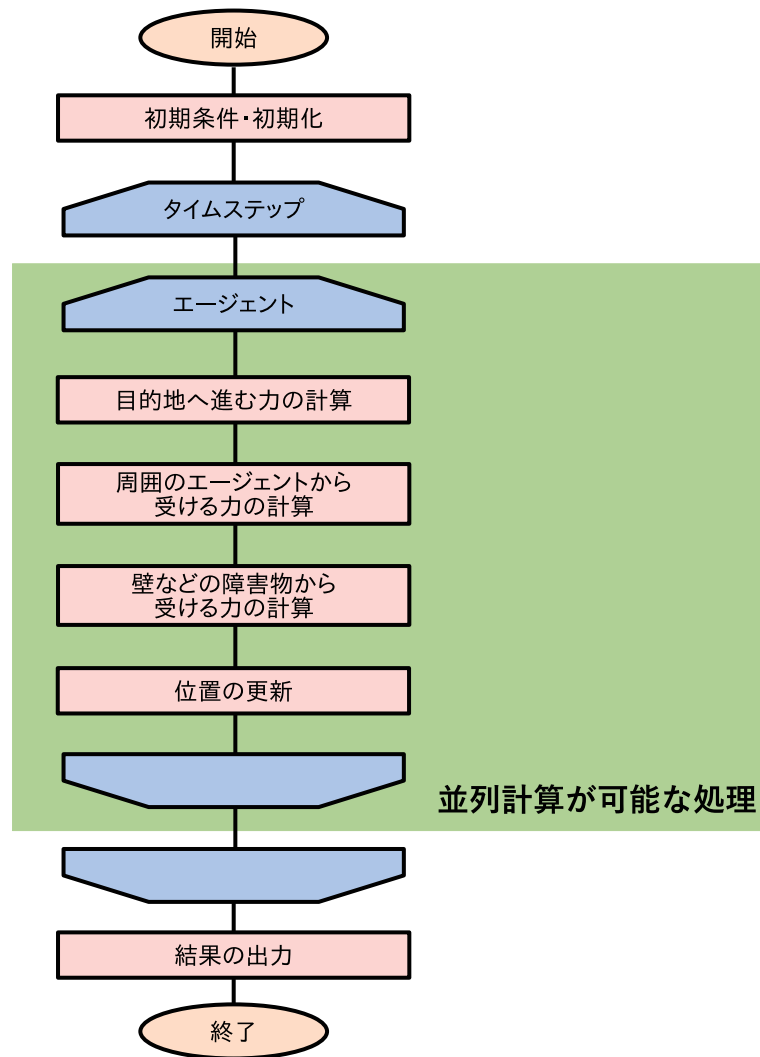


図 3-4 : SFM の並列化可能な処理

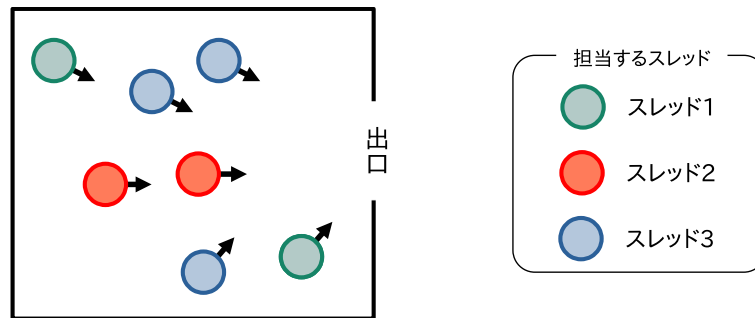


図 3-5 : 3 スレッドでの並列化の例

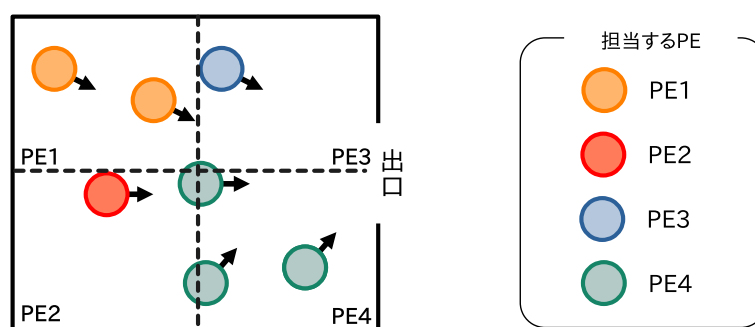


図 3-6 : 領域分割の例

### 3.3.2 解析領域ごとの並列性を用いた手法

## 3.4 経路選択時の判定回数削減

### 3.4.1 経路選択の単純化

### 3.4.2 経路選択手法の～

スタイルファイルの使い方について少し述べます．普通に利用する分には，拡張子が.tex ファイルのみを編集するだけで事が足りるように設計しました．ただし，拡張子が.sty ファイルの書き換えは制限しません．自由に改変してください．

## 3.5 abstract.tex

abstract.tex を書き換えると表紙およびアブストラクトを生成します．abstract.tex 内のコメントにしたがって書き換えを行ってください．卒論にはアブストラクトが不要です．修士のみアブストラクトを作成してください．

また，アブストラクトの設定は shuronABS.sty に書いてあります．表紙の設定は penguin.sty に書いてあります．困ったときはこれらのファイルを変更してください．

## 3.6 簡単コマンド

penguin.sty の 294 行目以降には，ショートカットコマンドを記述しました．気が向いたら使ってやってください．あくまでショートカットコマンドなので，penguin.sty のコマンドを使わなくても同じ機能を実現することができます．

- `\owata`
- `\ol{ 数式 }`
- `\fig{ タイトル }{ ファイル名 }{ 図の横幅 [cm] }`
- `\doublefig{ タイトル 1 }{ ファイル名 1 }{ 図の横幅 1[cm] }{ 図と図の間隔 [cm] }{ title_2 }{ file_name2 }{ size_2[cm] }`
- `\figref{ fig: ラベル }`

- `\tabref{ tb: ラベル }`

図 3-7 に、`\fig` コマンドを用いて図を貼る例を示します。図 3-7 は、`\fig{ 適当な図を張ってみた }\ulysses16}{5}` で貼り付けています。図 3-7 では、図の横幅が 5cm になるように大きさ指定をしています。

また、図 3-8 と図 3-9 は、`\doublefig` コマンドを用いて図を並べた例です。これらの図は、`\doublefig{ 横並び (左) }\test1}{2.5}{0.5}{ 横並び (右) }\test2}{2.5}` で貼り付けています。`\doublefig` コマンドは、図のタイトル高さを自動調節する機能を持っていません。このため、タイトルの高さは手動で調節してください。

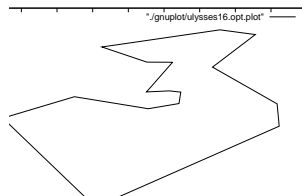


図 3-7 : 適当な図を張ってみた



図 3-8 : 横並び (左)



図 3-9 : 横並び (右)

図を入れる時には、段落と段落の間に入れてください。決して文の途中に図が入ることがあってはいけません。もし、図を参照しているページと図のページが離れてしまった場合は、段落の長さが適切でない可能性があります。フォーマットを変えるのではなく、本文の構成を見直しましょう。

### 3.7 参考文献

参考文献を参照する文の例です<sup>(1)</sup>。参考文献の書き方には、`bib` ファイルを使う方法と使わない方法の 2 通りがあります。好きな方を選択し、`makefile` と `main.tex`

を書き換えてください。

### 3.7.1 bib ファイルを使う場合

main.tex と makefile の書き換えは必要ありません。bibfile.bib に参考文献の記述例があります。cinni や IEEE などでは文献の bibtex 情報が用意されているので、そのファイルをコピーして使えるのが強みです。また、本方式を使うと、人力で参考文献情報をソートする必要が無いのでありがたいです。ただし、参考文献が1つも参照されていないとエラーが生じる模様です<sup>(2)</sup>。

以下に FAQ を載せておきます。

- bib ファイルって何？bibtexって何？  
使い方は google 先生に聞いてください。
- 参考文献情報を書き換えてもコンパイル結果に反映されない  
main.bbl ファイルを消去してから再コンパイルしてください。
- 参考文献スタイルを変更したい  
参考文献のフォーマットを決めるファイルは、sty/ipsjunsrt.bst です。本ファイルは、情報処理学会のスタイルファイルです。
- 名字が1文字の人の表示がおかしい  
情報処理学会フォーマットの仕様です。論文提出直前に bbl ファイルを直接編集してください。
- bib ファイルでエラーが出る  
大抵の場合はカンマ忘れが原因です。次点で参照タグ名の重複かな？

### 3.7.2 bib ファイルを使わない場合

自力で thebibliography の中身を書くパターンです。bibfile.tex に記述例があります。記述した通りに表示されるため、直感的には分かりやすいです。ただし、人力での作業量が多くなるので、この方式を使う場合は頑張ってください。

本方式を用いる場合は、以下のファイルの書き換えが必要です。

- main.tex 61行目 (`\bibliography{bibfile}`) をコメントアウトし、62行目 (`\input{bibfile}`) のコメントアウトをはずしてください

- `makefile` # 記号でコメントアウトしてください
- `bibfile.tex` ここに参考文献を書いてください．参考文献は，本文中での参照順番に手動で並び替えが必要です．



## 第4章

### 提案手法にあたる章

## 第5章

# 格子分割を用いた進行方向計算の削減手法

### 5.1 ファイル構成

表 5-1 に、zip ファイル中のファイル一覧を示します。表 5-1 中の記号の意味を以下に示します。

編集してはいけない大切なファイル

全員が編集するファイル

状況に合わせて編集

× 使わない

表紙に記述する情報の設定する際は、abstract.tex を書き換えてください。また、表紙フォーマットを変更したい場合は、penguinB4.sty および penguinM2.sty の 250 行目くらいを書き換えてください。

### 5.2 make コマンドの使い方

表 5-2 に、tex ファイルをコンパイルするためのコマンドを示します。生成される pdf ファイルは以下の 2 種類です。

main.pdf (main.dvi) 図書館提出用の修論データ

cover.pdf (cover.dvi) 学科提出用ファイルの表紙に張り付けるためのデータ

表 5-1 : ファイル一覧

| ファイル名  | 内容   | B4 | M2 |
|--|--|----|----|
| figure/  | 図を入れておくためのディレクトリ                           |    |    |
| sty/   | スタイルファイルが多いのでまとめた                          |    |    |
| abs_sample/  |  |    |    |
| 1_ intro.tex<br>2_ background.tex<br>3_ survey.tex<br>4_ method.tex<br>5_ result.tex<br>6_ discuss.tex | main.tex が呼び出すファイル<br>研究内容に合わせて章構成を決めてください |    |    |
| astract.tex  | 表紙情報と修論アブストラクト                             |    |    |
| appendix.tex   | 付録を書く                                      |    |    |
| bibfile.bib  | bib ファイル使用時は，ここに記述する                       |    |    |
| bibfile.tex  | bib ファイル未使用時は，参考文献をここに書く                   |    |    |
| cover.tex  | 表紙を作るためのファイル                               |    |    |
| ils.mf   | 修論テンプレートに入っていたファイル (未変更)                   | ×  |    |
| ipsjunsrt.bst  | 情処の参考文献スタイルファイル                            |    |    |
| main.tex   | platex でコンパイルする tex ファイル                   | ○  | ○  |
| makefile   |  |    |    |
| penguin.sty  | 中村さんが作ったスタイルファイル                           |    |    |
| shuronABS.sty  | 学科の修論 abstract スタイルファイル                    |    |    |
| thanks.tex   | 謝辞を書くところ                                   |    |    |

表 5-2 : make コマンドの使い方について

| コマンド       | 効果                            | 生成ファイル                |
|------------|-------------------------------|-----------------------|
| make       | 論文データを 2 回コンパイル<br>印刷用 pdf 作成 | main.pdf<br>cover.pdf |
| make cover | 学科提出用の表紙のみ作成                  | cover.pdf             |
| make dvi   | 論文データを 2 回コンパイル               | main.dvi              |
| make clean | dvi ファイルを作るために作成したファイルを削除     |                       |

# 第6章

## 評価

使い方についての FAQ 的な感じで

- デフォルトの章構成が気に食わない  
main.tex 中の `\input` を消去してください . 以下の 2 通りの方法で対処できます .
  - 1 `\input`
  - 2 不要な chapter の書かれたファイルを
- 章ごとにファイルを分けるのがめんどい  
第??節や第??節やを参照してください .
- 参考文献が更新されない  
第 3.7 節を参照してください .
- アブストラクトページに工大マークが表示されない (修士のみ)  
コンパイル環境によっては起こるらしい .

## 第7章

### おわりに

\(^o^)/

# 謝辞

本研究を進めるにあたり，ご指導いただいた中村さんに深く感謝いたします．この感謝の気持ちを伝えるために，私は中村さんに 10000 円をさしあげます．

2023 年 12 月 24 日

## 参考文献

(1) : (1983).

(2) : .



# 付 録 A

## プログラムの説明

付録には，添付するソースコードの説明を書いてください．データ構造や主要な変数の説明は本文中で述べてあると思います．本文で述べたことを一覧形式でまとめる分には構いませんが，まったく同じことを書くのはよくありません．このため，本文中では書けない実装の話（コンパイル方法や，測定条件の変更方法，入出力フォーマットなど）を中心に書きましょう．

また，付録のページは，本文中で邪魔になった定義とか証明とかの避難場所としても利用可能です．

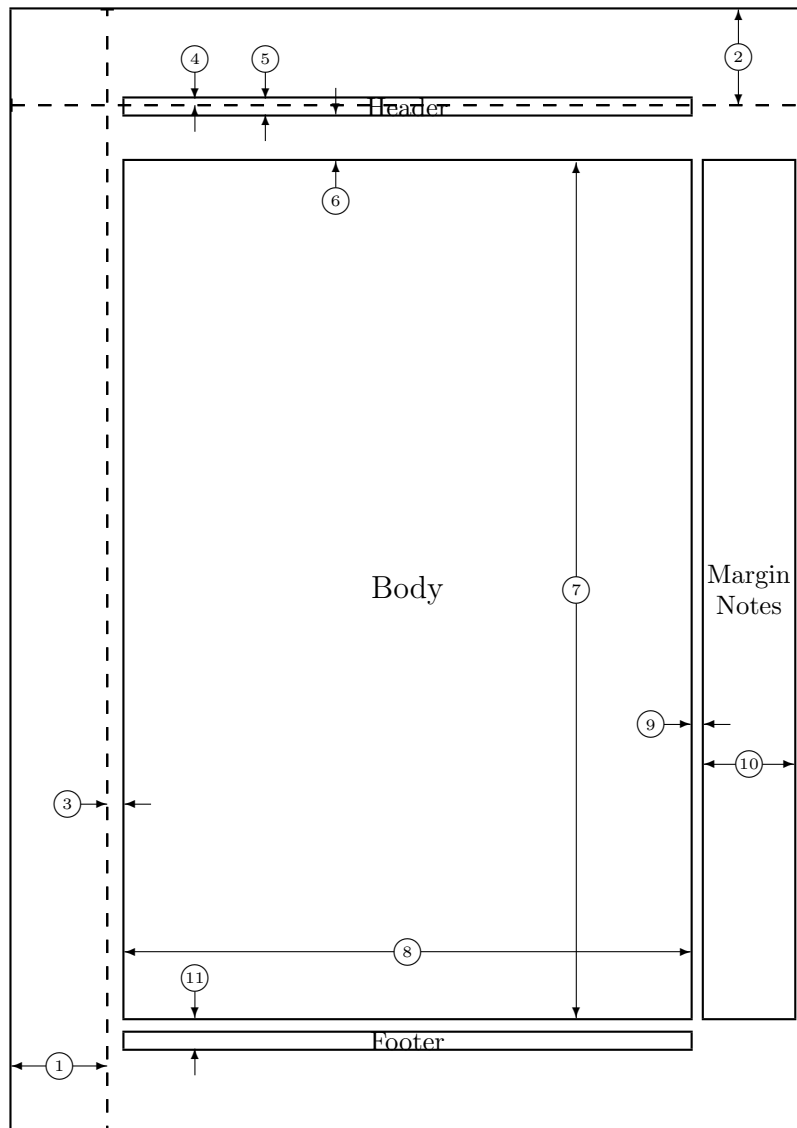
### A.1 節番号のテスト

#### A.1.1 項番号のテスト

付録では，こんな風に章番号が表示されます．付録 A, 付録 B というように，付録の chapter にも章番号をつけたい場合は，main.tex66 行目の `\appendix` を `\appendixes` に変更してください．

### A.2 ページレイアウト表示

`tex` の機能を使ってページレイアウトの情報を表示する．



|    |                       |    |                                  |
|----|-----------------------|----|----------------------------------|
| 1  | one inch + \hoffset   | 2  | one inch + \voffset              |
| 3  | \oddsidemargin = 13pt | 4  | \topmargin = -5pt                |
| 5  | \headheight = 12pt    | 6  | \headsep = 35pt                  |
| 7  | \textheight = 645pt   | 8  | \textwidth = 426pt               |
| 9  | \marginparsep = 10pt  | 10 | \marginparwidth = 68pt           |
| 11 | \footskip = 23pt      |    | \marginparpush = 7pt (not shown) |
|    | \hoffset = 0pt        |    | \voffset = 0pt                   |
|    | \paperwidth = 597pt   |    | \paperheight = 845pt             |