

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 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		
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 <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計算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. 目的地に向かう力や障害物を避ける力は, エージェントの座標に応じて決定する特徴がある. そこで, 本論文では, 解析がを格子状に分割し, 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解析時間が最大 3.24 倍高速化することを確認した.</p>		



Summary of Master's Thesis

Course	Student No.	SURNAME, Firstname
Information and Computer Science	2281011	KATAYOSE Hayato
Title Speed-up of Pedestrian Simulation by Reduction of Direction Calculations using Grid Division		
Keywords Multi Agent Simulation, Pedestrian Simulation, Social Force Model		
Summary Write summary here.		

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 空間モデル	4
2.1.1 ネットワークモデル	4
2.1.2 フロアフィールドモデル	4
2.1.3 連続座標モデル	4
2.2 歩行者モデル	5
2.2.1 ネットワークモデルの歩行者モデル**	5
2.2.2 静的フロアモデル	5
2.2.3 SocialForceModel(SFM)	6
2.3 障害物モデル	7
2.3.1 粒子によるモデル化	7
2.3.2 矩形によるモデル化	7
2.4 経路の設定	7
2.4.1 ダイクストラ法	7
第3章 人流シミュレーションの高速化	10
3.1 モデルの簡易化	10
3.1.1 一次元化	10
3.1.2 ~ ~	10
3.2 エージェント間の計算回数削減	10
3.2.1 セル分割法	10
3.2.2 視野パラメータを用いた削減手法	10
3.3 単位時間あたりの計算回数	10

3.3.1 エージェントごとの並列性を用いた手法	10
3.3.2 解析領域ごとの並列性を用いた手法	10
3.4 経路選択時の判定回数削減	10
3.4.1 経路選択の単純化	10
3.4.2 経路選択手法の～	10
3.5 abstract.tex	11
3.6 簡単コマンド	11
3.7 参考文献	12
3.7.1 bib ファイルを使う場合	12
3.7.2 bib ファイルを使わない場合	13
第 4 章 提案手法にあたる章	14
第 5 章 格子分割を用いた進行方向計算の削減手法	15
5.1 ファイル構成	15
5.2 make コマンドの使い方	15
第 6 章 評価	18
第 7 章 おわりに	19
謝辞	20
参考文献	21
付 録 A プログラムの説明	22
A.1 節番号のテスト	22
A.1.1 項番号のテスト	22
A.2 ページレイアウト表示	22

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	フロアフィールドモデルの例	5
2-4	二次元連続座標モデルの例	5
2-5	静的フロアフィールドモデルのイメージ	5
3-1	適当な図を張ってみた	12
3-2	横並び (左)	12
3-3	横並び (右)	12

表 目 次

5-1 ファイル一覧	16
5-2 make コマンドの使い方について	17

第1章

はじめに

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^(?)，^(?)，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^(?)，^(?)，^(?)，^(?)．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^(?)，^(?)，^(?)，^(?)．

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^(?)，^(?)．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^(?)．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^(?)，^(?)，^(?)．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、適切な誘導が行うことが可能になる。人流シミュレーションを用いて解析するためには、空間を再現するための空間のモデル化、歩行者を再現するための歩行者のモデル化、障害物や壁を再現するための障害物のモデル化が必要である。

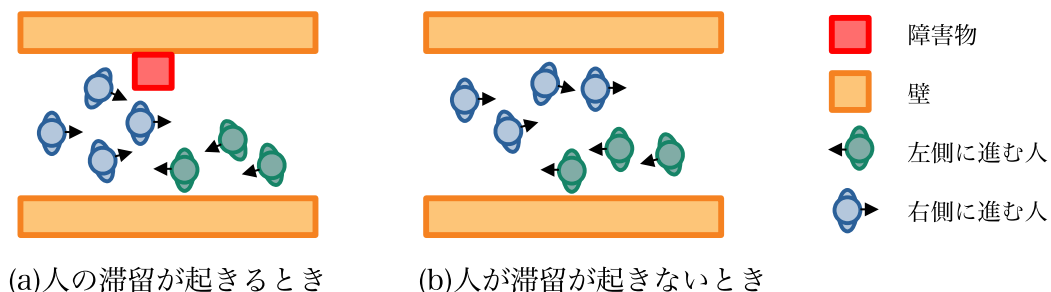


図 2-1 : 人流シミュレーションの活用例

2.1 空間モデル

空間モデルは、解析したい場所をコンピュータで計算するために、空間を離散化するためのものである。シミュレーション対象が海岸から近い都市や人口が多い都市などの道路上の人々の流れを解析するためには、数千人から数万人の解析が可能なネットワークモデルが用いられる（参考文献）。また、シミュレーション対象が商業施設や駅構内などの施設上の人々を解析するためには、フロアフィールドモデルや連続座標モデルが用いられる（参考文献）。

2.1.1 ネットワークモデル

ネットワークモデルは、

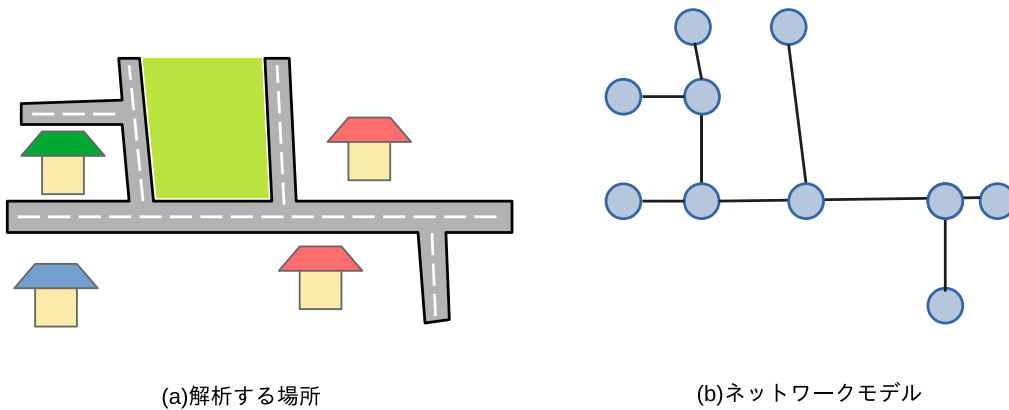


図 2-2 : ネットワークモデルの例

2.1.2 フロアフィールドモデル

フロアフィールドモデルは、

2.1.3 連続座標モデル

連続座標モデルは、

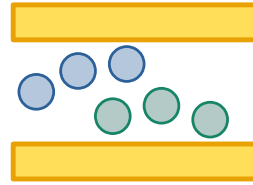
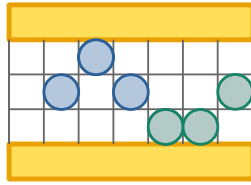


図 2-3 : フロアフィールドモデルの例 図 2-4 : 二次元連続座標モデルの例

2.2 歩行者モデル

歩行者モデルは，人流シミュレーションの中で歩行者の動きを決定するモデルであり，

2.2.1 ネットワークモデルの歩行者モデル**

2.2.2 静的フロアモデル

静的フロアモデルは，図 2-3 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 2-5 に静的フロアフィールドモデルのイメージを示す．図 2-5 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 2-5 のように，静的フロアフィールドモデルは，

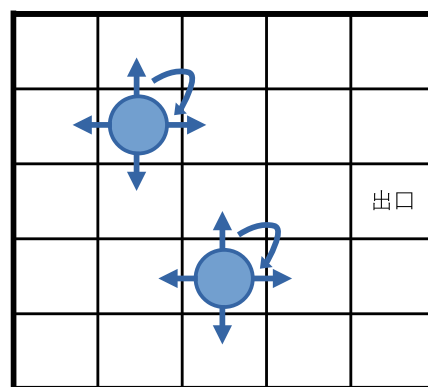


図 2-5 : 静的フロアフィールドモデルのイメージ

図??に室内からの退出時における静的フロアフィールドの例を示す．図??中の～

～である．図??中の (a) マンハッタン距離と (b) ユークリッド距離は，各格子から出口までの距離を示す．静的フロアフィールドモデルは，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??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??中の～～～である．静的フロアフィールドモデルは，図??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

2.2.3 SocialForceModel(SFM)

SocialForceModel(SFM) は，周囲の状況に基づいて生成した運動方程式を用いて時間ステップ t ごとにエージェントの移動を決定する．式 (2-1) にエージェント i の運動方程式を示す．

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

式 (2-1) 中の右辺第一項はエージェントが目的地へ進む力を表しており，エージェント i の体重 m_i ，希望速度 v_i^0 ，目的地までの単位ベクトル e_i ，現在の速度ベクトル v_i ，時定数 τ_i に基づいて算出される．右辺第二項は周囲のエージェントを避ける力であり， f_{ij} はエージェント i とエージェント j の相互作用力である．また，第三項は壁などの障害物を避ける力であり， f_{iW} はエージェント i が壁などの障害物 W から受ける力である． f_{ij} や f_{iW} は，式 (2-3) と式 (2-4) から算出する．

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

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

式中の r_i はエージェント i の体の半径, t_{iW} はエージェント i と壁 W の垂直ベクトル, n_{iW} はエージェント i と壁 W の衝突面の法線ベクトル, A_i はエージェント i のインタラクション作用, B_i はエージェント i の反発作用, k は衝突時の反発力係数, κ は衝突時の摩擦係数である. $d_{ij}, t_{ij}, n_{ij}, r_{ij}, \Delta v_{ij}$ は, エージェント i, j 間の距離, 衝突面の垂直ベクトル, 衝突面の法線ベクトル, 体の半径の和, 接線速度の差である. また, 衝突時間関数 $g(x)$ は, 式 (2-4) に示すように x に応じてエージェント同士の衝突を判定する.

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

衝突時関数 $g(x)$ 中の x は，エージェント同士の距離やエージェントと壁の距離であり，衝突時であれば 1，衝突していなければ 0 となる．

2.3 障害物モデル

2.3.1 粒子によるモデル化

2.3.2 矩形によるモデル化

2.4 経路の設定

2.4.1 ダイクストラ法

[illegible]

[illegible]

[illegible]

第3章

人流シミュレーションの高速化

3.1 モデルの簡易化

3.1.1 一次元化

3.1.2 ～～

3.2 エージェント間の計算回数削減

3.2.1 セル分割法

3.2.2 視野パラメータを用いた削減手法

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

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 3-1 に，`\fig` コマンドを用いて図を貼る例を示します．図 3-1 は，`\fig{ 適当な図を張ってみた }{ulysses16}{5}` で貼り付けています．図 3-1 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 3-2 と図 3-3 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．

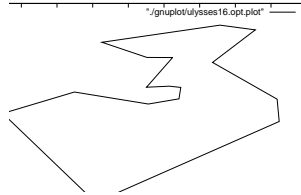


図 3-1 : 適当な図を張ってみた



図 3-2 : 横並び(左)



図 3-3 : 横並び(右)

3.7 参考文献

参考文献を参照する文の例です⁽¹⁾．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．cinii 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⁽²⁾．

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 2_ background.tex 3_ survey.tex 4_ method.tex 5_ result.tex 6_ discuss.tex	main.tex が呼び出すファイル 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 印刷用 pdf 作成	main.pdf 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。

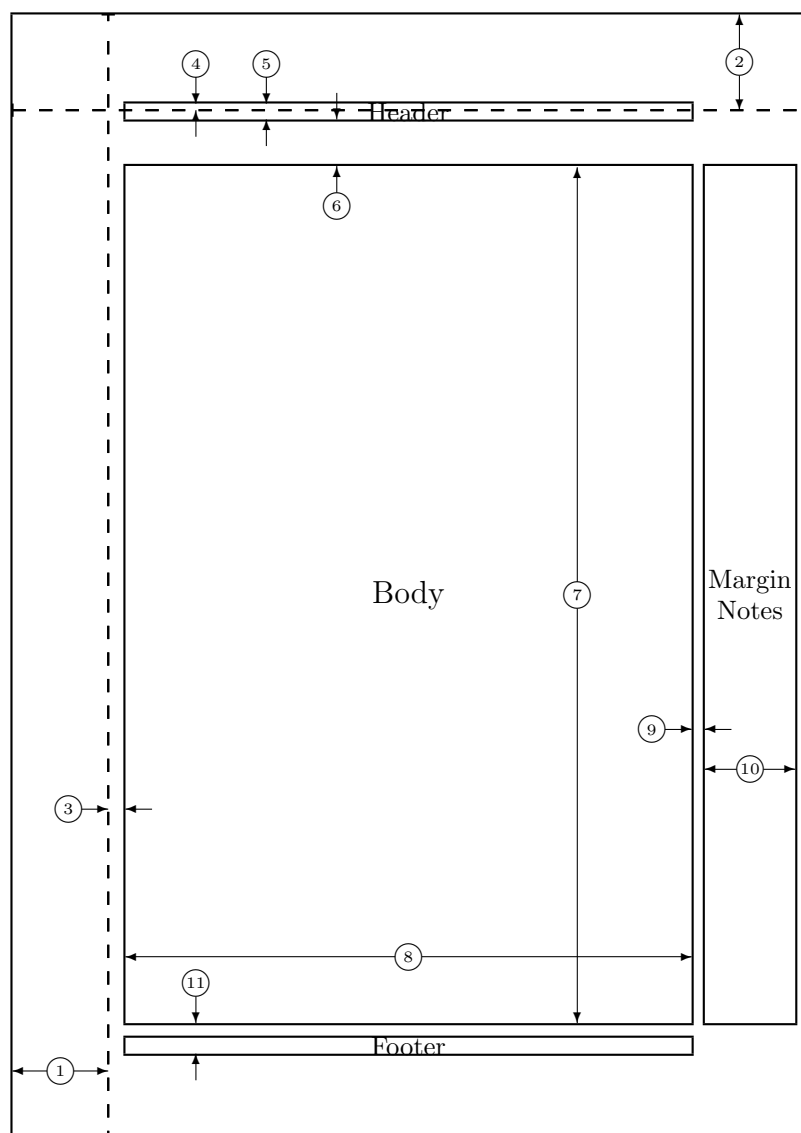
A.1 節番号のテスト

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 |