

東京大学大学院工学系研究科システム創成学専攻

修士論文

高齢者支援施設における
マルチエージェントシミュレーション
Multi-agent simulation in nursing homes

2020年1月20日ビルド

指導教員 吉村忍 教授

学籍番号 37-186421

紫安勇成

目次

図目次	iv
表目次	vi
第 1 章 序論	1
1.1 研究背景	1
1.1.1 日本の抱える諸課題	1
1.1.2 医療現場のマクロ課題	2
1.1.3 高齢者施設運営における課題	4
1.1.4 国の取り組み	5
1.1.5 医療技術の発達	6
1.1.6 医療技術導入における課題	8
1.2 目的	10
1.3 本論文の構成	10
第 2 章 歩行者シミュレーション	12
2.1 交通流シミュレーションの分類	12
2.2 歩行者交通流モデル	13
2.2.1 流体モデル	13
2.2.2 CA モデル	14
2.2.3 パーティクルモデル	14
2.2.4 1 次元追従モデル	15
2.3 混合交通モデル	17

2.3.1	歩車混合モデル	17
2.3.2	その他の混合交通モデル	18
2.4	新たな歩車混合交通流シミュレーション	19
第 3 章	提案手法	21
3.1	知的マルチエージェントモデル	21
3.1.1	知的エージェントの構築	22
3.1.2	シミュレーションフロー	23
3.2	仮想環境	24
3.2.1	高齢者施設	25
3.2.2	Vector モデル	25
3.3	歩行者モデル	25
3.3.1	経路決定モデル	25
3.3.2	加速度決定モデル	26
3.3.3	介護者エージェント	27
3.3.3.1	介護プロフェッショナル段位制度	27
3.3.3.2	介護ステータス	28
3.3.4	被介護者エージェント	28
3.3.4.1	要介護認定	29
3.3.4.2	内部変数	31
3.3.4.3	介護アラート	31
3.3.5	介護ペア選択アルゴリズム	31
第 4 章	モデルの検証	33
4.1	環境設定の検証	33
4.2	Social Force Model の検証	34
4.3	介護シミュレーションの検証	36
第 5 章	数値実験	42
5.1	実験条件	42
5.2	介護挙動の基本的な検証	43

5.3	評価指標	44
5.4	結果および考察	45
第 6 章	結論	49
6.1	本研究のまとめ	49
6.2	今後の展望	49
謝辞		51
参考文献		55

1.1	経済衰退	2
1.2	高齢者向け住まい・施設の定員数	3
1.3	各国の介護職従事者の比率比較	4
1.4	介護ロボットの例	7
1.5	ハイテク福祉機器の例	7
3.1	シミュレーションの概念図	22
3.2	知的エージェントの模式図	23
3.3	本シミュレーションにおける環境とエージェント	23
3.4	シミュレーションフロー	24
3.5	介護プロフェッショナル制度による介護レベル	27
3.6	実践的スキルのチェック項目	28
3.7	要介護認定の判定フロー	29
3.8	樹形モデルの概要	30
4.1	二次元空間の可視化	34
4.2	介護者・被介護者の可視化	34
4.3	SFM の検証における環境設定	35
4.4	SFM の検証における可視化結果	36
4.5	健常者（介護技術を導入した場合の被介護者）の場合の可視化	37
4.6	頻尿の場合の可視化	37
4.7	認知症の場合の可視化	38
4.8	介護行動の可視化	39

4.9	複数介護アラートが出た場合の可視化	39
4.10	介護行動の可視化	40
5.1	実験環境	43
5.2	健常者と認知症の場合の可視化	44
5.3	健常者と頻尿の場合の可視化	44
5.4	認知症と頻尿の場合の可視化	45
5.5	実験結果	46

表目次

1.1	介護技術の分類	8
3.1	要介護の分類	30
5.1	被介護者ごとの排尿回数	45
5.2	Case1 に対する相対誤差	46
5.3	Case ごとの介護回数	46

第 1 章

序論

1.1 研究背景

高齢者施設は、現代社会の基盤となるシステムである。一方で、少子高齢化やそれに伴う介護士の不足は、医療サービス利用者にとって大きな問題である。これらの問題を解決するために、介護士の労働環境の改善や医療施設の拡充等が検討されている。医療現場は、一旦変更してしまうと容易に元に戻すことが難しい。しかも医療現場は非常に複雑であり、サービスの被提供者のプライベートや安全と密接に関連していることから、実験を行うこと自体が時間・コスト・安全の面から現実的ではない。このため、最新技術の導入等の実験を行い、それらの効果検証が出来る医療シミュレータの開発が急を要しているものの、医療現場はプライベートな空間であり、これまで現実データを十分に獲得することが出来ず、有用なシミュレータの構築が難しかった。しかし、今後の日本における医療の重要性を考えると、個人の特性や意志を持った主体として介護者、被介護者を取り扱い、それらの詳細な相互作用を取り入れたシミュレータの構築が必要であると考えられる。

1.1.1 日本の抱える諸課題

我が国では、世界に先駆けて少子高齢化が深刻化している。1950 年時点で 5 %に満たなかった高齢化率（65 歳以上人口割合）は、1985 年には 10.3 %，2005 年には 20.2 %と急速に上昇し、2018 年は 27.5 %と過去最高となっている。2060 年まで一貫して高齢化率は上昇していくことが見込まれており、2060 年時点では約 2.5 人に 1 人

が65歳以上の高齢者となる見込みである[1]。現状でも日本の高齢化率は類見ないほどであり、2位のイタリア22.7%を5%近く引き離している。直近では、2025年問題が迫っている。2025年問題とは、1947-1949年生まれのいわゆる団塊の世代が65歳以上になり、高齢化率がさらに上昇するという問題のことである[2]。このような少子高齢化に伴い、様々な問題が引き起こされている。生産年齢人口の減少により、生産活動と消費活動の衰えが経済全体の停滞をもたらすことはもちろん、社会保障費の増大による国家財政の不安定化も免れない。「成長会計」の考えに従えば、マクロの経済成長率は、労働投入量の伸び、資本投入の伸び、それ以外の要素の伸びに要因分解される。このように、労働力供給は一国の潜在成長力を規定する要因の一つであるため、労働力人口の減少が今後長期的に経済成長を抑制するとの見方が共通認識となっている[3]。また、社会保障費の増大も深刻であり、2025年度には対GDP比で24.4%になるとされている[4]。

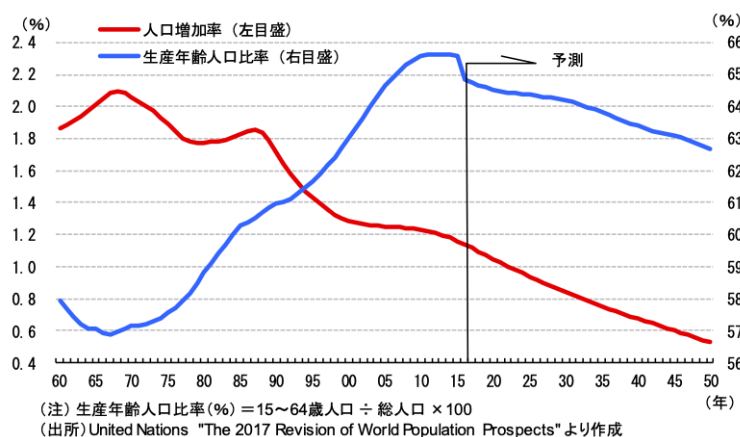


図 1.1 経済衰退

1.1.2 医療現場のマクロ課題

前述の通り、国家全体で見ても高齢化は大きな課題である。一方で、介護の現場には高齢化による高齢者の増加は、逼迫した問題としてのしかかっている。要介護の高齢者が増えるにつれて、介護や医療のサービスを提供する施設は増加している。図 1.2 のように、有料老人ホームは 10 年の間で施設数が 10 倍以上に増えている。

しかし、施設数は増加しているものの、十分な供給量には達していない。「特別養護

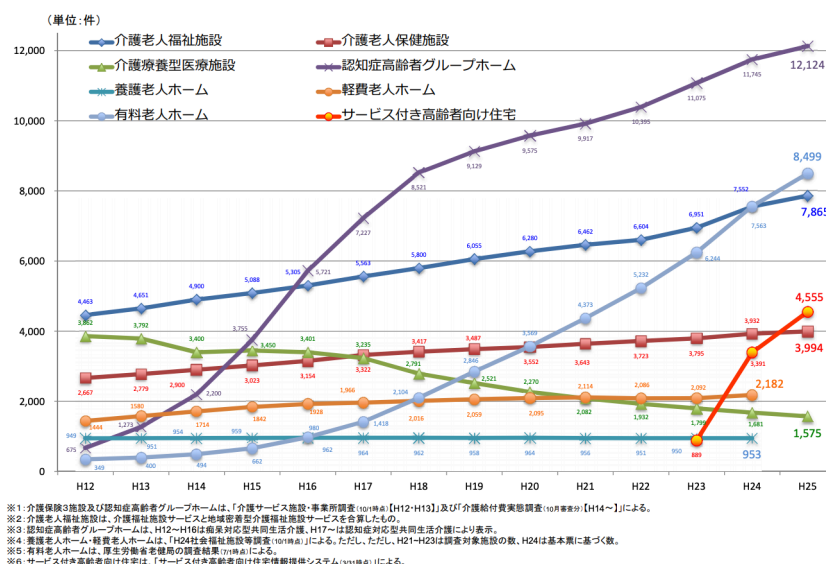


図 1.2 高齢者向け住まい・施設の定員数

老人ホーム」「介護老人保健施設」「介護療養型医療施設」の3類型の定員数(介護療養型医療施設は病床数)合計にしめる65歳以上人口割合は軒並み4%を切っており、十分な施設供給ができているとは言えない[5]。特に特別養護老人ホームの不足は深刻だ。2014年の厚生労働省の発表では、特別養護老人ホームの入所申込者数(いわゆる待機老人数)が2013年度に52.4万人と発表するなど、介護施設の不足が改めて確認された。特別養護老人ホームへの入所申込者数は、2009年度調査の42.1万人から約10万人増加している。特別養護老人ホームの数は2012年度時点で全国で7,605施設、総定員数は50.7万人である。つまり2012年時点ですら、総定員数以上の入所希望者がおり、施設が不足していたことがわかる[6]。

また、施設数の増加によって必要となる介護士の数は十分とは言えない。2018年に厚生労働省は、全国の市町村が策定した第7期の介護保険事業計画を踏まえた、必要介護者数を公表した。それによれば、介護職員の需要は2020年度で216万494人、2025年度で244万6562人に増える。足下の2016年度の実績は189万8760人で、2025年度との差は54万7802人であり、毎年6万人の補充をし続けなければならない。

図1.3にあるように、世界と比較しても、日本は、主要国に比べて介護施設で介護サービスを提供する職員の数が少ない。これに対して、アメリカ、スイス、デンマーク、オランダの介護サービス従事者が充実している。(左棒は2010年、右棒は直近)[7]

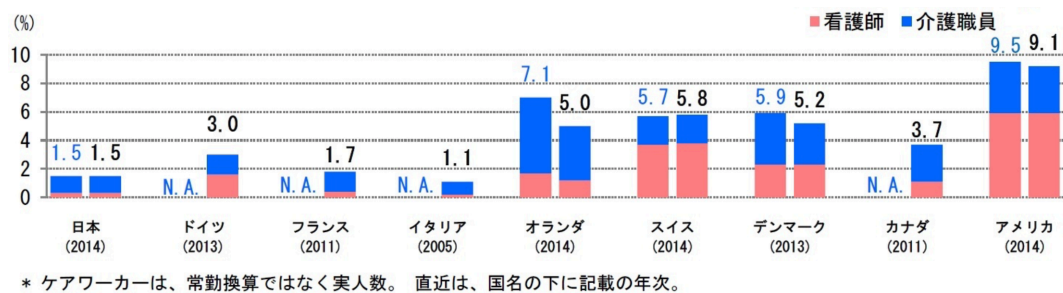


図 1.3 各国の介護職従事者の比率比較

しかし、目先の施設数や介護士数を増やしたところで、他にも大きな問題点が残留している。介護士の離職率の高さである。常勤労働者の離職率を比較して見ると、産業全体の離職率 11.6 %であるのに対して介護職員の離職率は 19.0 %となっている。この状況は、直近 7 年間で変動していない。平成 22 年度の産業全体の離職率は 14.5 %であるのに対し、介護職員の離職率は 17.8 %であって、産業全体の離職率を介護職員の離職率が下回ったことがない [8]。介護労働安定センターの平成 25 年度介護労働実態調査によれば、「仕事内容の割に賃金が低い」と「人手が足りない」の二項目が介護士の不満であり、人手不足が人手不足を生むという介護士の離職率を高める負の連鎖が生まれている。

1.1.3 高齢者施設運営における課題

我が国では、平成 12 年に医療保険制度に加えて、「介護保険制度」が導入された。介護保険の総費用は、平成 12 年から平成 21 年にかけて、3.6 兆円から 7.4 兆円へ年 10 %を超える伸びで増大し、月間利用者も 184 万人（平成 12 年度）から 344 万人（平成 19 年度）と増加した。当初 218 万人だった要介護認定者が、現在数倍になっており、要介護高齢者の状態像で、認知症・廃用症候群・脳卒中の 3 大症状の対策が重要であると言われている。今村ら [9] によると、今後の施設運営で考慮すべき問題点は大きく 8 点挙げられている。

- 「昭和ヒトケタ世代」から「第一次ベビーブーマー」へ移行した際の問題
- 認知症の増加の問題
- 単独世帯の増加の問題

- 都市部の高齢化の問題
- 看取り（死亡）の場所と体制の問題
- 介護のリハビリテーションの問題
- 医療と介護の連携の問題
- 介護従事者の確保の問題

以上のように、今後高齢者施設を適切に運営していくためには、すぐれた療養環境の提供と個別ケアが求められていると言える。また、施設だけで完結するのではなく、地域や家族の協力のもと、適切な在宅ケアを提供していく必要がある。

1.1.4 国の取り組み

前述の通り、厚生労働省は毎年 6 万人の介護職員増員を目標としている。増員施策として大きく「参入促進」「労働環境・処遇の改善」を行っている。参入促進に関して、地域住民や学校の生徒に対する介護や介護の仕事の理解促進や若者・女性・高齢者など多様な世代を対象とした介護の職場体験といった施策は従来から行われていた。それに加えて、三つの新たな施策が行われている。まず、介護に関する入門的研修の実施からマッチングまでの一体的支援事業の創設である。介護未経験者の介護分野への参入のきっかけを作るとともに、参入障壁となっている介護に関する様々な不安を払拭するため、介護業務の入門的な知識・技術の修得のための研修を導入し、介護人材のすそ野を拡げ、中高年齢者など多様な人材の参入を促進するという施策である。次に、将来の介護サービスを支える若年世代の参入促進事業である。介護に関する教育機関である介護福祉士養成施設において、将来の介護現場を担う世代に対する介護の専門性や意義を伝達する取組や、今後増加することが予想される留学生への日本語学習支援等による質の高い人材の養成・確保に係る取組を推進している。加えて、介護福祉士国家資格の取得を目指す外国人留学生の受入環境整備事業の創設も行っている。介護施設等による外国人留学生への奨学金等の支給と介護福祉士資格の取得を目指す留学生と受入介護施設等とのマッチング支援によって、外国人の介護士の活用を始めた。また、労働環境・処遇の改善について、管理者へ雇用改善方策の普及を主に行っている。具体的には、管理者に対する雇用管理改善のための労働関係法規、休暇・休職制度等の理解のための説明会の開催などが行われている。

政府以外にも独自の取り組みで介護士の労働環境改善に乗り出す法人も出てきている。社会福祉法人あかねでは、介護技術認定制度「ケアマイスター」というあかね独自に開発した介護技術認定制度を導入している。介護の知識・技術の高水準・均一化をはかり、介護のプロ集団を創り上げるために生まれた。介護技術レベルを5段階で認定し、認定が上がるごとに手当も上昇する仕組みである。さらにルーキー SEE という研修制度も導入している。入社2年目～5年目のスタッフを対象とした研修で、施設・エリアを超えた社員と6ヶ月後の目標達成を目指し、毎月個人で課題に取り組むものだ。研修導入後は離職率が2年間で4%減少した。

こうした施策によって介護士の母数そのものを増やすことも重要であるが、介護士1人当たりが対応できる要介護者を増やすことも同程度に必要なことである。

介護士の労働生産性は他業種に比べて低いとされている。介護職員（介護保険施設）の1人当たり付加価値労働生産性は430万円（2010年）と試算される。これは製造業の760万円に対して56.6%、非製造業の641万円に対して67.1%と、およそ4から5割低い水準にある。以上のことから、一人当たりの介護量を増やす可能性はあると考えられる。政府も現状、この課題に着手しており、介護人材キャリアアップ研修支援や地域包括ケアシステム構築に資する人材育成、認知症ケアに携わる人材育成のための研修などを行っている。

その実現可能性を高めるものとして、医療技術の発達が目覚ましい。

1.1.5 医療技術の発達

介護の現場を支援する医療技術の一例として、医療ロボットとハイテク福祉機器について言及したい。厚生労働省は、2040年を展望した中長期ビジョンである「未来イノベーションWG」の取りまとめを踏まえた医療福祉分野における取組を検討し、2019年度中に具体化することを目標としており、医療・介護現場のハイテク化に努めている[10]。

第一に、介護ロボットとは、情報を感知し、判断し、動作するという3要素を有する知能化した機械システムのことである。具体的には、図1.4のように、要介護者の移乗支援を行う装着型パワーアシストや、要介護者の排泄支援を行う自動排泄処理装置などが該当する。政府としても、介護ロボットを現場に導入することを支援してお

り，地域医療介護総合確保基金を始めとした各種助成金の設立やニーズ・シーズ連携協議のための協議会の設置を行っている。



図 1.4 介護ロボットの例

第二に，ハイテク福祉機器の事例を説明する．ハイテク福祉機器とは新しい要素（アミューズメントやアート等）を取り入れたり，ICT や IoT といった技術を採用した福祉機器のことである．ハイテク福祉機器の登場は，停滞気味であった福祉機器市場全体を押し上げる要因となるほどのインパクトを持っており，H. C. R. 2018 という国際フォーラムも開かれるほど注目を集めている．図 1.5 のように，具体的な製品として，有限会社オフィス結シェアの提供する指伝話コミュニケーションパックは，指伝話メモリで作成したコンテンツ集で，指伝話メモリのカードを選択してさまざまな機能を実現することができる．指伝話プラスや指伝話文字盤など他のアプリをホーム画面に戻らずに呼出，SMS やメールの送信，ウェブサイトや YouTube を開く，iOS のショートカットを用いて iOS の機能を利用するといったことを行うための実用的なサンプルセット集である．会話が困難であったり，日常生活での移動が困難な要介護者への支援として各施設に導入され，介護士の負担軽減の一助となっている。

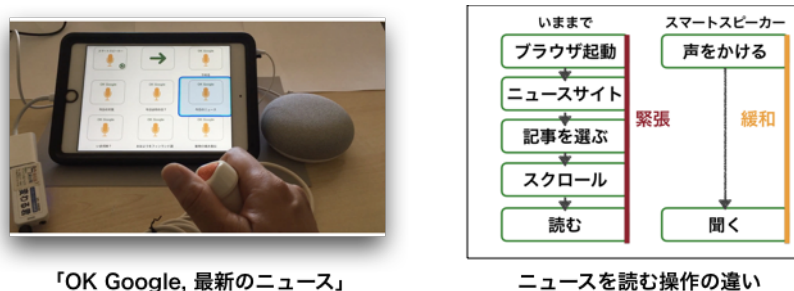


図 1.5 ハイテク福祉機器の例

また，上記のような医療に関する技術は，高齢者自身の自立生活支援，高齢者介護

の支援，生活の質（QOL）と快適性の高揚とその維持など，高齢者に対する生活支援分野においては，その使用者が被介護者か介護者により自立支援技術と介護支援技術に分けられる．

・自立支援技術

排泄，入浴，調理，食事，就寝・起床，洗濯，清掃，義肢・装具，移乗，生活圏移動

・介護支援技術

排泄，入浴，清拭，褥瘡予防，食事，就寝・起床，移載・移動，監視

また，これら技術には開発の優先順位が設けられている．以下の表 1.1 では，高齢者を自立意識が高い，低い，認知症の 3 パターンで分類したものと，被介護者の状態として全介護，半介護，身体異常の 3 パターンで分類したもののマトリクスを示している．

表 1.1 介護技術の分類

	全介護	半介護	身体異常
自立意識強い	自立支援		
自立意識弱い			
認知症		介護支援	

・自立支援

自立意欲が高いにもかかわらず自立できていないことに対する支援機器が必要

・介護支援

一部介護を要する自立意欲の弱い高齢者には肉体的・精神的・時間的に大きな負担

表 1.1 にあるように，全介護の状態でありながらも，自立意識の高い被介護者と，半介護の状態でありながら，自立意識が弱かったり，認知症である場合に，それぞれ自立支援機器と介護支援機器の開発が必要とされる．このように，自立支援機器と介護支援機器の開発が必要とされている．

1.1.6 医療技術導入における課題

前述の支援機器の実用化には以下のように多くの問題点が存在する．

- 性能不十分

- 操作複雑
- 寸法・重量
- 高価
- 危険
- 公害
- プライバシーの侵害

これら問題により、新技術の導入は医療サービス被提供者にとってはもちろん、医療機関にとって簡単に行うことができない。これら技術の導入が進んで来なかった背景として、そもそも技術として不完全であることに加え、現場の忙しい看護師や医師たちが簡単に使えるようなものでなければいけないことなど多くの制約があり、中でも、導入した際の効果検証ができないことが、意思決定の大きなボトルネックとなっている。また、病院は収益が順調に出ている状態だと、リスクをとって環境を改善するインセンティブが湧きづらく、こういった技術導入へのインセンティブが働かないことも大きな課題として挙げられる。

以上のように、最新技術の導入等の実験を行い、それらの効果検証が出来る医療シミュレータの開発が急を要しているものの、医療現場はプライベートな空間であり、これまで現実データを十分に獲得することが出来ず、有用なシミュレータの構築が難しかった。しかし、今後の日本における医療の重要性を考えると、個人の特性や意志を持った主体として介護者、被介護者を取り扱い、それらの詳細な相互作用を取り入れたシミュレータの構築が必要であると考えられる。

シミュレーションを行う際に気を付けなければならないのは、シミュレーションで用いる行動ルールのパラメータの妥当性とその客観性である。実際の介護の動きの計測結果から客観的に抽出されるルールやパラメータを入力とするシミュレーションが理想的である。しかし現在のところ、行動ルールのパラメータを抽出することを可能にするほどの精度の高い人流計測をするための研究はあまりされていない。これは一つには現在主流である単純な画像解析による手法の限界、もう一つには介護という環境がプライベートな空間であり、そもそも計測をできるような環境にない、という事が挙げられる。

1.2 目的

我が国日本では，医療技術の研究が盛んに行われているのにも関わらず，それらの導入・浸透には至っていない．そこで本論文では，各医療機関がそれら技術の導入の意思決定につながるシミュレーションモデルを構築することを目的とする．本研究の第一ステップとして，現在医療の現場で大きな課題となっている排泄介助にスコープを当て，排泄介助のシミュレーション上で技術の性能評価を行い，それによって技術の導入促進の意思決定に資するプラットフォームの構築をおこなう．

1.3 本論文の構成

1 章では本論文の研究背景として，日本，医療界の諸課題について説明を行った．それに加えて課題の解決を目指す技術の紹介を行い，それらを導入する上での課題点を整理することで本論文の目的を示した．2 章では，提案手法についての説明をしている．3 章では提案手法の数値実験により手法の検証を行う．4 章では 3 章で得られた結果をまとめ，それらから得られる示唆についての考察を行い論文のまとめとする．

第 2 章

歩行者シミュレーション

本研究で対象とするエージェントシミュレーションを構成する上で参考とした歩行者シミュレーションと、その考え方の元となっている交通流シミュレーションについて述べる。交通流シミュレーションにおいて導入されている考え方、様々な交通主体が相互作用をしながら系全体として次のアクションを決定していくダイナミズムについてその概要を説明し、次章以降の介護環境を想定した歩行者主体のシミュレーションの示唆を得ることが本章の目的である。また、車椅子など様々なエージェントを構築する上での参考となる混合モデルについても触れることとする。

2.1 交通流シミュレーションの分類

交通流モデルは交通主体の違いによって自動車交通流、歩行者交通流の 2 種類に大別できるが、これらのモデルはいずれもマクロモデルとミクロモデルに分類可能である。マクロモデルとは交通流を流体や気体などで近似して解析を行うモデルである。一方で、ミクロモデルは自動車や歩行者といった個々の交通主体の挙動を再現し、それら各交通主体の相互作用の結果として交通流を再現するモデルである。マクロモデルを用いたシミュレータは、交通の大まかな流れを把握し、交通渋滞などのマクロな現象を的確に再現することが主な目的といえる。個々の交通主体を見るのではなく、連続体として扱うことによって、一般的にミクロモデルよりも計算負荷を抑えることができる。そのため、広域を対象としたシミュレーションが可能である一方ミクロモデルは交通主体を離散的に扱い、個々の交通挙動を再現していくものである。ミクロ

モデルの従来の主な目的が交通の局所的な部分を詳細に表現することであったため、広域を対象としたシミュレーションにはあまり用いられてはいなかった。しかしながら近年、計算コストを抑える手法の開発や計算機の発展に伴い、ミクロモデルを広域な領域に適用することのできるシミュレータも増えてきている。自動車交通流のマクロモデルとしては流体モデルが、ミクロモデルとしてはセルオートマトン (cellular automaton, 以下 CA と略す) モデル、追従モデルが知られている。一方歩行者交通流を表すモデルとしては、流体モデルや CA モデル、追従モデルのほかにパーティクルモデルが知られている。各モデルの違いについては次節以降に説明をする。

2.2 歩行者交通流モデル

2.1 節で述べたように、歩行者交通流を表現するためのモデルとしては、マクロモデルとして流体モデルが、ミクロモデルとして CA モデル、追従モデル、パーティクルモデルが代表的な手法である。本節では、これらのモデルの概要と、その代表的なモデルについて説明する。

2.2.1 流体モデル

歩行者交通流モデルにおける流体モデルは歩行者の流れを巨視的に流体近似するものである。2次元でモデル化されることが多く、例えば、以下のような式が用いられる [11]。

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u) = 0 \quad (2.1)$$

$$q = kV \quad (2.2)$$

$$V = A - B\rho \quad (2.3)$$

ただし、 t 時刻、 k は密度、 x および y は位置 u および v は速度の x 成分、 y 成分を表す V は速度の絶対値であり、 q は歩行者交通量、 A および B は正の定数である。

2.2.2 CA モデル

歩行者の2次元CAモデルとしては、例えばフロアフィールド（Floor Field, 以下FFと略す）モデルが挙げられる[12]。このモデルは、離散化された各セルにFFと呼ばれる状態量を設け、自分の周囲のセルのFFを参照して移動方向を決定するモデルである。FFには以下の種類のものがある。

静的 FF

目的地からの距離

動的 FF

歩行者が通行したセルに残るフェロモンのような状態量。時間とともに拡散・減衰する。

静的FFによって目的地へ向かおうとする歩行者の行動を動的FFによって、周囲の歩行者の後を追おうとする行動を反映するモデルである。他にも歩行者に視野を持たせ、歩行者そのものの位置や向かう方向を反映させることも可能である。

2.2.3 パーティクルモデル

パーティクルモデルとは、ミクロモデルの中でも、変数を連続的に扱うモデルを指し、歩行者一人一人の挙動を記述し、それらが相互作用を起こすことで生じる交通状況の時間的・空間的な変化を把握するモデルである。一般的に歩行者の挙動は自動車と比較し、自由度が高く、それらをどのように扱うのかに応じていくつかのモデルが存在する。

岡崎らは、1979年に歩行者やその周辺環境について磁荷を持つ物質として扱うことで、歩行者交通流を磁気モデルとして表現した[13]。各歩行者は正の磁荷を持つ単極子としてモデル化され、以下に挙げる3種類の力を仮想的な力として受けるとした。

- 負の磁荷を持つ目的地からの引力
- 正の磁荷を持つ壁や柱などの障害物からの斥力

- 正の磁荷を持つ他の歩行者からの斥力

そしてこれらの3種類の合力に対して、Newtonの運動方程式を用いることで最終的な加速度を決定している。この磁気モデルに対して、歩行者やその周辺環境の変化によって力の与え方を変化させることを考慮に入れたモデルとして、Helbingらが提唱したSocial Force Model[14]が知られている。Social Force Modelでは、他の歩行者と一定の距離を空けようとする人間心理を社会的作用と定義し、これを反発力として加速度決定式に反映している。周囲の歩行者を β 、障害物B、歩行者を引き寄せるものを i としたとき、歩行者 α の加速度は下式に表される4つの仮想的な力の重ね合わせによって示されるとしている。

$$\begin{aligned}
 F_{\alpha}(t) = & F_{\alpha}^o(v_{\alpha}, v_{\alpha}^0 e_{\alpha}) + \sum_{\beta} F_{\alpha\beta}(e_{\alpha}, r_{\alpha} - r_{\beta}) \\
 & + \sum_B F_{\alpha B}(e_{\alpha}, r_{\alpha} - r_B) \\
 & + \sum_i F_{\alpha i}(e_{\alpha}, r_{\alpha} - r_i, t)
 \end{aligned} \tag{2.4}$$

ただし v_{α} は歩行者 α の速度、 v_{α}^0 は、希望歩行速度、 e_{α} は希望歩行方向の単位ベクトル、 r は対象物方向の位置、 t は時間を表す。右辺第一項を、希望歩行速度へ向けた歩行者推進力、右辺第二項を他の歩行者から受ける斥力、右辺第三項を壁や柱などの障害物からの影響による斥力、右辺第四項を集団凝縮力やショッピングのように外部環境に引き寄せられる引力としている。

異なる要因に基づく力の合力によって歩行者の加速度を決定するという点は異なる要因に基づく力の合力によって歩行者の加速度を決定するという点は磁気モデルと同様だが磁気モデルと同様だが、歩行者推進力の存在や、他歩行者と外部環境などの捉え方の点で違いが見られる。

2.2.4 1次元追従モデル

1次元追従モデルは、パーティクルモデルの一種である。自動車は道路上では車線に沿って進むため、1次元モデルで動きを表現する方法が一般的である。一方歩行者は2次元的な動きをするため、1次元モデルで行動を表現することは難しい。しかし

再現するシチュエーションによっては、1次元モデルによって歩行者の行動を表したとしてもモデルの再現性をあまり損なわずに済むこともある。

1次元歩行者モデル (One-dimensional Pedestrian Model, 以下 OPM と略す)[15] を例に挙げると、このモデルは災害時の避難誘導計画立案を目的として作られており、避難時を想定しているために歩行者が密集していて前方の歩行者に追従する状況を仮定している。これにより、進行方向に平行な力のみを考えるという前提条件のもとモデルが構築されている。この前提条件に従い前述した Social Force Model を改変し、歩行者にかかる仮想的な力のうち、歩行者推進力と、同じレーン前方の歩行者からの社会的作用のみを扱うものとしている。 $i+1$ 番目の歩行者は、以下の式に基づく加速度を受ける。

$$\frac{dv_{i+1}}{dt} = f_{i+1}^{dr}(t) + f_{i+1,i}^{soc}(t) \quad (2.5)$$

ただし、 $f_{i+1}^{dr}(t)$ は時刻 t における希望歩行速度へ向けた推進力、 $f_{i+1,i}^{soc}(t)$ は前方の歩行者から受ける反発力とする。また、OPM を元にして考えられたモデルが、拡張一次元歩行者モデル (Extended One-dimensional Pedestrian Model, 以下 ExOPM と略す)[16] である。このモデルは、歩道や横断歩道における歩行者の行動を1次元モデルで表現する際に、以下の前提に基づいているとして提案されている。

1. 高密度環境では、歩行者は列を形成する
2. 低密度環境では、列を形成しようが形成しまいが、歩行者交通量に影響を及ぼすほど歩行者の挙動に違いは現れない

OPM では同一レーン上の直前の歩行者から反発力を受けていたが、ExOPM では前方 N 番目の歩行者エージェントから反発力を受けるものとしている。これは自分より遅い歩行者が目の前にいる場合に、 N 人前の歩行者の位置情報を参照して行動を決めていることとなり、OPM で扱いきれなかった歩行者の追い越し挙動を考慮する意図がある。モデルの加速度決定式は以下のとおりである。

$$\frac{dv_{i+1}}{dt} = f_{i+1}^{dr}(t) + f_{i+N,i}^{soc}(t) \quad (2.6)$$

歩行者を1次元のモデルで表現することによって、歩行者数が増加するほど計算負荷の高くなりがちな歩行者モデルの短所を補うことが可能である。しかし上記のよう

に、歩行者の行動を 1 次元モデルで表すには、歩行者の行動が列を形成するような環境であることが制約としてつきまとうことになる。

2.3 混合交通モデル

2.3.1 歩車混合モデル

先述のとおり、既存の交通流シミュレータの多くは自動車か歩行者のみを交通主体として扱ったものが多い。一方で、これらの異なる交通主体が混在することを考慮に入れたシミュレータもいくつか存在する。ただし、従来のモデルでは主に以下の 2 つを目的としたものが多かった。

1. 歩車が混在する空間での相互作用の検証
2. 歩車の混在が交通流に与える影響

歩車が混在する空間での相互作用の検証は、単一の横断歩道などの局所的な狭い領域において、歩行者と自動車の相互の存在が横断歩道通過時間や交通量にどのような影響を与えるかを検証するものである。三井らの研究 [17] や LEE らの研究 [18] では、単一の無信号横断歩道における歩行者と自動車の挙動を離散的にモデル化することで、交通量や横断歩道の長さが高齢者の横断に与える影響を表現している。これに対し、羽藤ら [19] は歩車共存空間において自動車と歩行者が互いの行動を認知しあうことで、譲歩行動による減速や活動促進による加速を繰り返す挙動をモデル化している。これは 2.2 行列の利得行列を持つ非協力 2 人ゲームを用いて、意思決定者の効用関数に他者の選択確率が内生する入れ子型のモデル構造とすることで、歩行者と自動車の相互作用の様子を表現している。これらの研究は一般的に相互作用の影響そのものを検証することが目的であるため、歩行者と自動車の交通流全体への影響は考慮に入れていない。一方で歩行者の混在が交通流に与える影響を考慮に入れたものとして、[20] や AVENUE[21] などの交通流シミュレータが開発されている。微視的交通流シミュレータ NETSIM では、横断歩道上に一定割合で歩行者を発生させることで、それらが自動車に与える影響を評価する事が可能となっている。一方で自動車のモデルとしてハイブリッドブロック密度法と呼ばれる手法を導入し、マクロモデルとミクロモデルの中間的なモデルを採用したシミュレータである AVENUE では、歩行者の影響

を飽和交通流の低下という形で導入している。これらの例のように、既存の歩車混合シミュレータは歩車の混在によって交通全体へ影響をおよぼしてはいるものの、本質的には自動車交通流のシミュレータであり、歩行者交通流の評価は行わないのが一般的である。このように従来の歩車混合交通流シミュレータは、狭い領域における歩車間の相互作用の影響そのものを検証するシミュレータや、広い領域を扱うものの、自動車交通流の再現性を高める目的で歩行者モデルを導入するシミュレータが多く、広域を対象とした自動車交通流と歩行者交通流の両方を同時に評価するモデルの開発はあまり行われていない。

これに対して著者の所属する研究室で開発をしている MATES(Multi-Agent based Traffic and Environment Simulator)[22] は自動車交通流を主に扱った微視的交通流シミュレータであるが、路面電車モデルや歩行者モデルを導入できるよう拡張することで混合交通流のシミュレーションを行ってきた [23, 24, 25]。このシミュレータは歩行者交通流が自動車から受ける影響を評価することができるため、自動車および歩行者の交通流を同時に評価することができる。ただし 2 次元モデルの歩行者モデルを適用している点や、経路探索などによる自律的な経路選択機能を備えていない点を考慮すると、大量の歩行者が発生する状況や広い領域を歩行者が移動する状況のシミュレーションへの適用は、計算負荷の増大や逐一経路を指定しなくてはならないことにより難しくなるといえる。

2.3.2 その他の混合交通モデル

混合交通をモデル化したシミュレーションには、歩行者や自動車以外の交通手段として例えば以下のような交通手段を扱ったものも存在する。

乗り合いバス・路面電車

AIMSUN[26] は自動車交通流を主に扱った微視的シミュレータであるが、自動車のモデルの一部としてバスモデルや路面電車モデルを導入し、公共交通機関が自動車交通などに与える影響を評価することができる。また、MATES も同様の機能を備えている。

デマンドバス

規定された路線を走行し、決められた停留所で乗客を乗降させる通常のバスを

乗り合いバスと呼称するのに対し、乗客の要望に応じて走行経路や乗降場所を任意に変更できるバスのことをデマンドバスと呼ぶ。こうしたバスは近年、比較的人口の少ない地方都市などで広がりつつある。

車椅子

東京オリンピックが近づいたことで、交通のバリアフリーを意識したものとして車椅子に関するシミュレーションなども行われている。吉田らはパーティクルモデルの一種を用いた群集歩行シミュレータに、外国人や車椅子移動が必要な人々は移動時に制約があるものと考え、歩行者エージェントの一種としてこれらの移動制約者をモデル化することを試みている [27]。

自転車

自転車は軽車両として法律によって定められているため、本来は車道を通行する必要がある。しかし実際には、自転車を利用する人々は歩道をも頻繁に走行するため歩行者と自転車との相互作用も発生しやすい。大脇らの研究では、SFM を用いて自転車をモデル化することで歩行者と自転車の追い越しやすれ違いなどの相互作用に関するシミュレーションを行い、追い越しやすれ違いによる不快感が道路幅員や交通量によってどのような影響をもたらすか評価している [28]。

2.4 新たな歩車混合交通流シミュレーション

本章では既存の交通流モデル、歩行者シミュレーションに触れ、すでに実現している混合交通流シミュレーションの例を紹介した。中でも歩行者シミュレーションに着目すると、人流をマクロ的に記述するモデルや、移動自体の可視化が目的とされたシミュレータの開発が中心であった。一方、MATES を元につくられた歩車混合交通流シミュレータは、自動車交通流と歩行者交通流を同時に評価することが可能であると同時に、個々の主体の特徴を再現することができる。前章でも述べた通り、本研究では介護という現場に着目し、MATES の特徴であるマルチエージェントモデルの考え方のもと、新たなモデルを作成する。

第 3 章

提案手法

本研究で対象とするエージェントシミュレーションの大きな特徴は、介護の対象となる高齢者の運動機能や認知機能の低下に大きなバリエーションがあると同時に、介護者側にも国家資格をもった介護福祉士から、介護ヘルパー、ボランティアスタッフまで技能や知識、経験に大きなバリエーションがあることである。そうしたことを念頭に置いた上で、本研究では介護者エージェント、被介護エージェント、環境として的高齢者施設の基本モデリングを検討した。図 3.1 に概念図を示す。黒で示される介護者が、自身が持つ視野の中で水色で示される被介護者を観測する。

3.1 知的マルチエージェントモデル

介護行動は社会系の複雑現象である。私たちが行動を起こす際に、認知症による自己の生理機能への理解が周囲に与える影響を懸念することはあっても、その繰り返しのによって大きな事故につながると理解している人は少ない。しかし、個人レベルでは、手すりに捕まる、他の歩行者に接触しないようにするといった比較的単純なルールに従い行動しているが、それらの個人行動が多種・多量に存在し、相互作用することによって全体としては非常に複雑な現象となる。複雑系を解析する手法の一つとして、マルチエージェント手法がある。しばしば、セルオートマトンが複雑系のシミュレーションに用いられ、セルオートマトンに基づくシミュレーションの研究事例もいくつ也存在する。これに対して、本シミュレータでは、人間という知的レベルの高い主体が多数集まり相互作用を起こす介護現象をより精緻に再現するために、情報を知

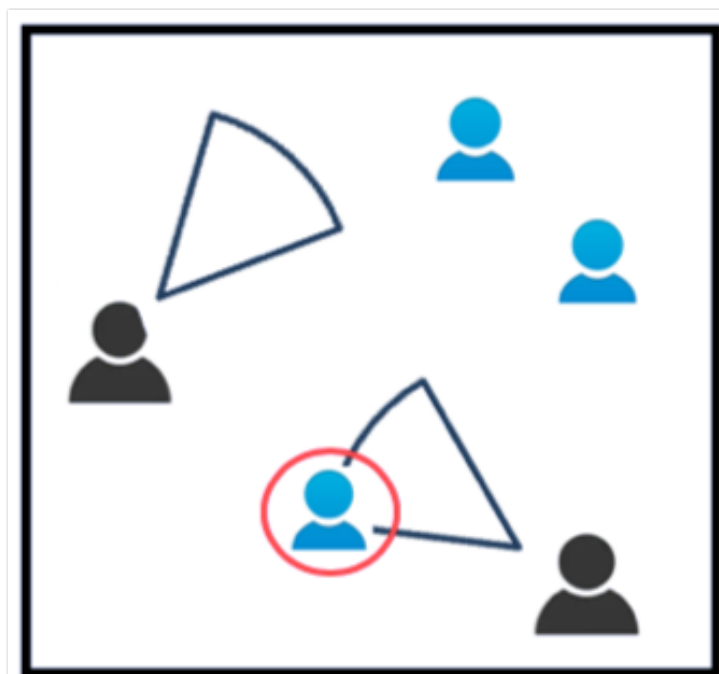


図 3.1 シミュレーションの概念図

覚し，それを基に自律的に行動を起こす主体を知的エージェント，それを取り巻く世界を環境と定義し，シミュレーションの構造はマルチエージェントのフレームワークに基づき構築している．そこで，これを知的マルチエージェントモデルと呼ぶ．

3.1.1 知的エージェントの構築

図 3.2 に知的エージェントのイメージを示す．知的エージェントは，情報を知覚するセンサーと動作を実行する作用器を持っている．また，エージェント自身の思考プロセスを保持しており，センサーから得られた情報と自分の有する知識と判断基準に基づき自律的に行動を決定し，作用器を通して行動を起こし，環境に働きかける．センサー，作用器，思考は知的エージェントが実際に適用される時点で，問題に応じて定義される．図 3.3 にエージェントと環境の相互作用の様子を模式的に示す．介護者エージェントが自らの行動により環境に影響を与え，その環境によって被介護者エージェントが影響を受けることになる．ある主体の動きによって系全体の動きが規程され，複雑な現象が創発する．

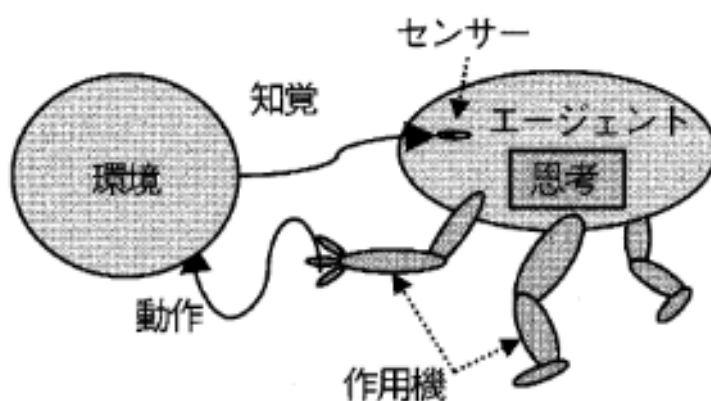


図 3.2 知的エージェントの模式図

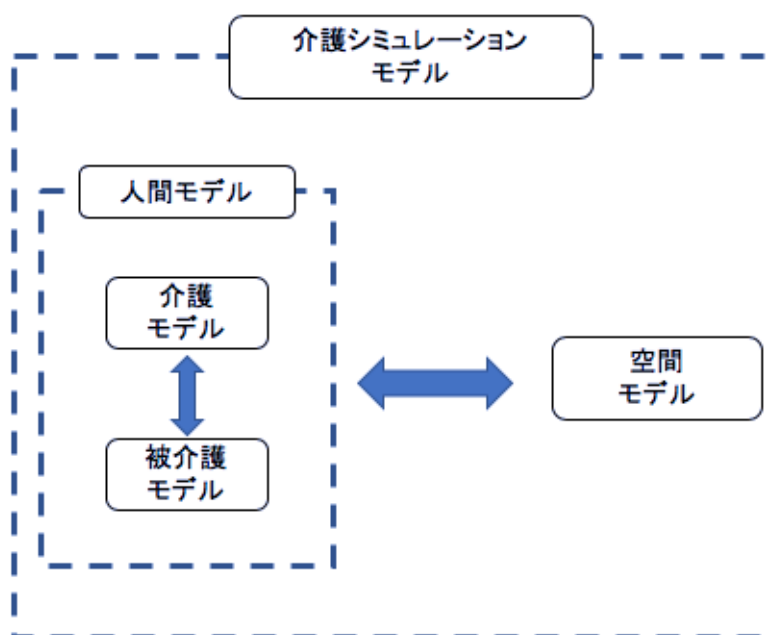


図 3.3 本シミュレーションにおける環境とエージェント

3.1.2 シミュレーションフロー

本研究におけるシミュレーションの流れの概略図を図 3.4 に示す。まず、高齢者施設、介護者、被介護者といった空間を構成する要素を環境として構成し、その後実際にシミュレーションを開始する。タイムステップごとに、各エージェントの内部状態

を変化させ、介護シミュレーションを行っていく。被介護者の場合は、時間経過で尿量を加算し、エージェントごとに設定されている閾値を超えた時点で介護アラートを出す。介護者は、自分の周りで介護アラートが出たタイミングで、自らと最も距離の近い被介護者のもとへの介護に向かう。これを繰り返すことがシミュレーションが進んで行く。

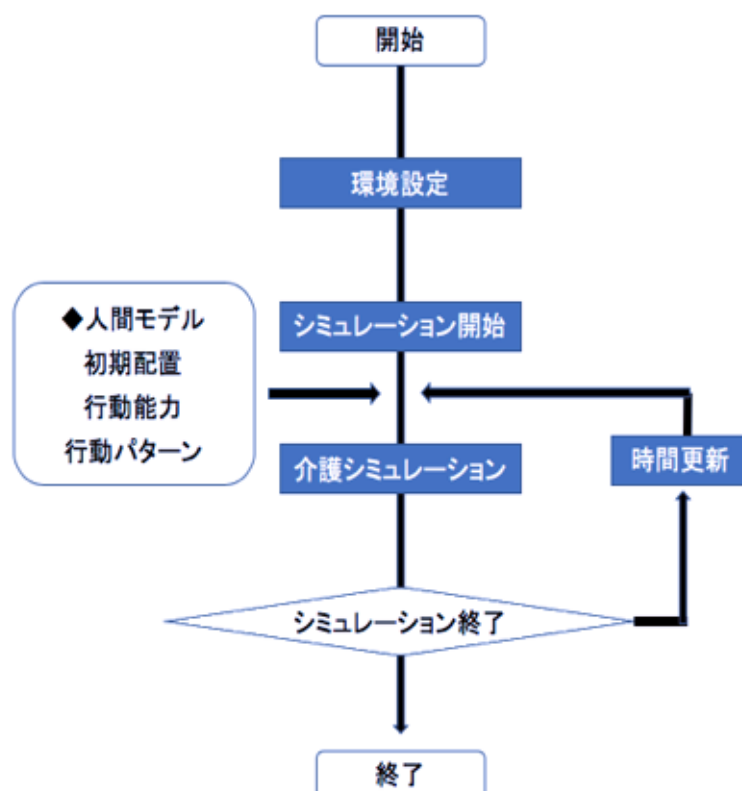


図 3.4 シミュレーションフロー

3.2 仮想環境

本シミュレータにおける環境とは、高齢者施設とそこに存在する介護者、被介護者構造を指す。高齢者施設のモデル化はそれ自体が交通流シミュレータの汎用性・拡張性を実現する上で重要な課題である。本シミュレータでは、介護者・被介護者は基本的に、自由移動を行うことができる二次元平面を想定している。

3.2.1 高齢者施設

今回の開発では、高齢者施設を表現するための第 1 ステップとして、Social Force Model を利用するため自由に歩行できる連続空間を対象とし、壁に囲まれた移動可能な二次元平面を作成した。高齢者施設をもした空間を作成するために、 x 座標、 y 座標を持つ壁を構築した。壁は中心の座標と、壁の幅として dx , dy をそれぞれの方向に持つ。また、壁の向きを θ として定義し、どの方向にも回転できるようにしている。

3.2.2 Vector モデル

本シミュレーションにおいては、1 次元での移動のみだけでなく、2 次元方向での移動を考慮するために、新たなベクトル演算のクラスを実装し、Vector2D クラスとした。Vector2D クラスを用いて位置ベクトルや速度ベクトルをベクトル表記し、ベクトル同士の四則演算や、単位ベクトルへの変換を容易に行えるようにモデルを改良した。

3.3 歩行者モデル

本研究では、後述の介護者モデル、被介護者モデルを実装するために、それぞれの上位概念である歩行者モデルを考える。以下に歩行者モデルの実装において用いた経路選択や加速度決定の手法について述べる。

3.3.1 経路決定モデル

歩行者エージェントは出発地から目的地まで大域的な移動を行うため、歩行者の経路選択機能を実装する必要がある。経路選択機能とは、エージェントが自律的に目的地へ向かうまでの経路を選択する機能のことを指す。本研究ではエージェントには発生時に目的地が与えられるものとし、各エージェントが現在地点から目的地まで進むために、各々の行動を最適化していくことを考える。歩行者は最短経路となる経路選択を行うという仮定に基づいて、最短経路になるように被介護者への動線、介護目的地までの動線を決定すると考える。これは、一般的な歩行者が経路選択を行う際に、多くの歩行者が、経路長が短いことを優先させようとするという習性を反映させたも

のである [29]. この前提のもと、介護者は、初期的に与えられた目的地群の中で見回りを行い、被介護者から介護アラートを感知した時に、再度経路探索を行い、自らの目的地を再設定する.

3.3.2 加速度決定モデル

介護者、被介護者は2次元の高齢者施設に存在するため、方向と速度の制御を行わなければならない. 今回は、歩行者の行動モデルとして Social Force Model[14] を採用した. 歩行者シミュレーションの研究分野においては、様々なモデル化が検討されている [30, 31]. たとえば、磁気モデルを用いると多方向に歩行するエージェントの相互作用を効率的に記述することが可能である. しかし、今回の研究のように閉二次元平面での歩行を対象とする場合には、部屋の中を目的地に対してどう動いて行くかを単純に記述するモデルで十分である. また歩行者モデルとしてあまり複雑なモデルを採用すると計算量が増大しシミュレータの大規模化が困難であることが Social Force Model を採用した理由である.

Social Force Model は、歩行者を2次元の粒子であると仮定し、その粒子に以下の4つの力が働くと仮定するモデルであるが、介護施設の中でそれら力が具体的にどのような時に生じるかを説明する.

- 移動目標に近づく力
- 他のエージェントからの斥力
- 壁などの環境からの斥力
- 魅力的な環境への引力

移動目標に近づく引力は、エージェントが当初想定していたコースからはずれてしまった場合に目的地の進行方向へと曲げるように働く力のことであり、他のエージェントや壁などからの斥力は、エージェント間、あるいは壁とエージェント間との距離を考える. 本研究では、介護者と被介護者は必要があればお互いが近く関係にあるので、これら斥力は被介護者同士でのみ発生することとなる. 魅力的な環境への引力では、高齢者支援施設の中では手すりのような、歩行者にとって近づくことのインセンティブが発生するようなものへの引力のことである.

3.3.3 介護者エージェント

介護者エージェントは上述の歩行者としての基本的な能力を備えつつ、さらに自らの介護能力と、介護可能かどうかの介護ステータス、さらにどの被介護者を優先的に介護すべきかという事前情報を実装する。

3.3.3.1 介護プロフェッショナル段位制度

介護能力を実装するために、介護プロフェッショナル段位制度 [32] をもとにする。第1回介護プロフェッショナルキャリア段位制度の在り方に関する検討会資料によると、図 3.5 のように介護者のレベルが設定されている。

レベル	分野共通	介護プロフェッショナルのレベル
プロ レ ベ ル	7 トップ・プロフェッショナル	
	6 ・プロレベルのスキル ・高度な専門性・オリジナリティ	・多様な生活障害をもつ利用者に質の高い介護を実践 ・介護技術の指導や職種間連携のキーパーソンとなり、チームケアの質を改善
	5	
	4 ・一人前の仕事ができる段階 ・チーム内でリーダーシップ	・チーム内でのリーダーシップ(例: サービス提供責任者、主任等) ・部下に対する指示・指導 ・本レベル以上が「アセッサー」になれる
	3 指示等がなくとも、一人前の仕事ができる	・利用者の状態像に応じた介護や他職種の連携等を行うための幅広い領域の知識・技術を習得し、的確な介護を実践
	2 一定の指示のもと、ある程度の仕事ができる	・一定の範囲で、利用者ニーズや、状況の変化を把握・判断し、それに応じた介護を実践 ・基本的な知識・技術を活用し、決められた手順等に従って、基本的な介護を実践
	1 エントリーレベル 職業準備教育を受けた段階	・初任者研修により、在宅・施設で働く上で必要となる基本的な知識・技術を習得

図 3.5 介護プロフェッショナル制度による介護レベル

これを元に、介護レベルを設定する。ある被介護者が介護アラートを出した時に、一人で介護を行うことができる介護者と、自分を含め他の介護者に指示を出すことのできる介護者、指示されなければ介護を行うことができない介護者のように介護者の介護能力によってバリエーションを設ける。

さらにこの検討会では、図 3.6 に示した通り、実践的スキルについてより詳細に評価されており、これらを用いることで、介護アラートの種類を複雑化していく中でも、より適切に実際の看護現場を再現することができる。

大項目	中項目	小項目	チェック項目数
基本介護技術の評価	1. 入浴介助	1 入浴前の確認ができる	2
		2 衣服の着脱ができる	5
		3 洗体ができる	4
		4 清拭ができる	3
	2. 食事介助	1 食事前の準備を行うことができる	6
		2 食事介助ができる	5
		3 口腔ケアができる	4
	3. 排泄介助	1 排泄の準備を行うことができる	3
		2 トイレ(ポータブルトイレ)での排泄介助ができる	6
		3 おむつ交換を行うことができる	4
	4. 移乗・移動・体位変換	1 起居の介助ができる	4
		2 一部介助が必要な利用者の車いすへの移乗ができる	4
		3 全介助が必要な利用者の車いすへの移乗ができる	5
		4 杖歩行の介助ができる	3
		5 体位変換ができる	4
	5. 状況の変化に応じた対応	1 咳やむせこみに対応ができる	3
		2 便・尿の異常に対応ができる	4
		3 皮膚の異常に対応ができる	4
		4 認知症の方がいつもと違う行動を行った場合に対応できる	3

図 3.6 実践的スキルのチェック項目

3.3.3.2 介護ステータス

介護ステータスとして、介護可能かどうかを判定する機能を実装する。介護中の場合は、他の被介護者が介護アラートを出した場合でも対応することができない、あるいは他の介護者に役割を任せ、新たに経路探索をし直す必要があるために、そのような状況にも対応できるように、同じ介護者でも複数パターンの対応を行うために介護ステータスを実装した。

3.3.4 被介護者エージェント

被介護者エージェントについては、介護者エージェントと同様に Social Force Model を軸に、歩行者エージェントを作成し、それに加えてエージェントの状態によって時系列的に発生する要介護行動を実装した。高齢者の排尿に関する実態研究 [34] によると、排尿障害症状を自覚している人は男子が 38 %、女子が 23 % と高い水準にあり、男子では排尿困難症状が多く、女子では頻尿を訴える例が多かった。また明らかな尿失禁を抱えているのに関わらず、その存在を知られたくないという心理が半数以上の人に認められたことも挙げられている。これらから、実際にトイレに行きたいと思っているかどうかの認知についてと、トイレで正常に排尿を行えるのかどうかといった機能について、被介護者のバリエーションを設けることとした。

3.3.4.1 要介護認定

介護者が事前情報として、どの被介護者から介護すべきかと言うことを判断する基準の一つとして要介護度が存在する。要介護認定は、介護サービスの必要度（どれ位、介護のサービスを行う必要があるか）を判断するものです。要介護認定 介護認定審査会委員テキスト [33] によると、基本調査において把握した申請者の「能力」、「介助の方法」、「障害や現象（行動）の有無」を調査した結果と、これらを総合化した指標である 5 つの中間評価項目得点を併せて「状態像」を定義している。介護サービスの必要度（どれ位、介護サービスを行う必要があるか）の判定は、図 3.7 のように、客観的で公平な判定を行うため、コンピュータによる一次判定と、それを原案として保健医療福祉の学識経験者が行う二次判定の二段階で行っている。



図 3.7 要介護認定の判定フロー

一次判定のコンピュータシステムは、認定調査の項目等ごとに選択肢を設け、調査結果に従い、それぞれの高齢者を分類してゆき、「1 分間タイムスタディ・データ」の中からその心身の状況が最も近い高齢者のデータを探しだして、そのデータから要介護認定等基準時間を推計するシステムです。この方法は樹形モデルと呼ばれ、その概要を 3.8 に示す。なお、1 分間タイムスタディ・データとは、介護老人福祉施設や介護療養型医療施設等の施設に入所・入院されている 3500 人の高齢者について、48 時間にわたり、どのような介護サービスがどれ位の時間にわたって行われたかを調べたものである。

これを元に、5 分野（直接生活介助、間接生活介助、BPSD 関連行為、機能訓練関連行為、医療関連行為）について、要介護認定等基準時間を算出し、その時間と認知

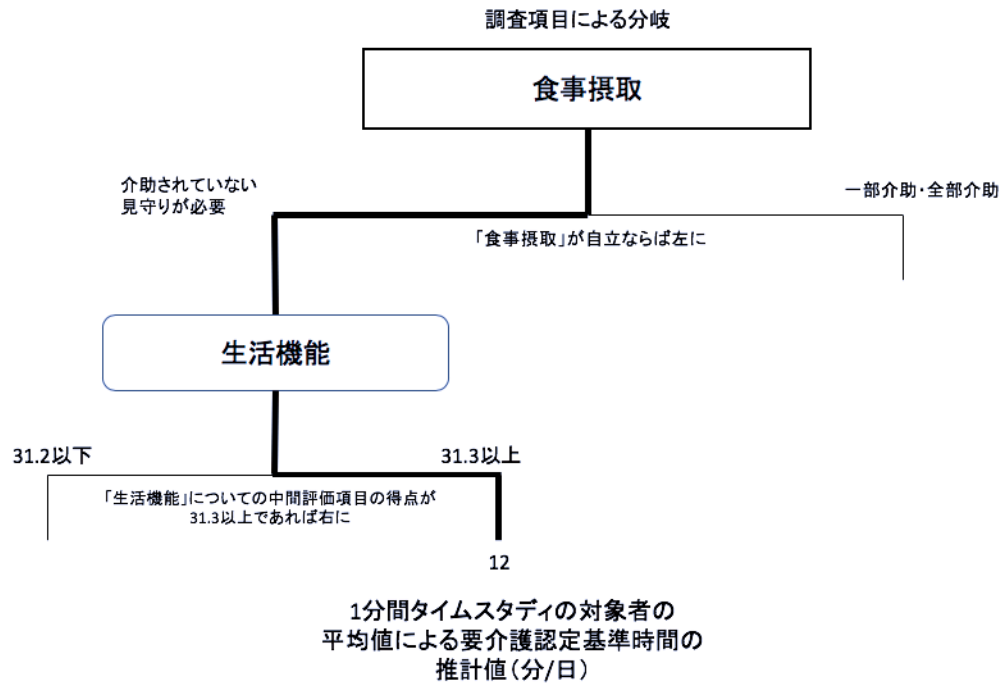


図 3.8 樹形モデルの概要

症加算の合計を基に、表 3.1 のように要支援 1 から要介護 5 に判定される。

表 3.1 要介護の分類

分類	状態
要支援 1	要介護認定等基準時間が 25 分以上 32 分未満又はこれに相当すると認められる状態
要支援 2, 要介護 1	要介護認定等基準時間が 32 分以上 50 分未満又はこれに相当すると認められる状態
要介護 2	要介護認定等基準時間が 50 分以上 70 分未満又はこれに相当すると認められる状態
要介護 3	要介護認定等基準時間が 70 分以上 90 分未満又はこれに相当すると認められる状態
要介護 4	要介護認定等基準時間が 90 分以上 110 分未満又はこれに相当すると認められる状態
要介護 5	要介護認定等基準時間が 110 分以上又はこれに相当すると認められる状態

要介護レベルのように、被介護エージェントにバリエーションをつけることができる。本シミュレーションでは、被介護エージェントに care level を設定し、介護者の事前情報として介護の優先順位を決定できる分類を実装した。

3.3.4.2 内部変数

被介護エージェントは内部変数として、生体情報である尿量を持っており、時間経過で尿意を催す。1日に1000から1500mlの尿を排出し、1日8から10回程度排尿するという前提のもと実装を行なった。

3.3.4.3 介護アラート

被介護エージェントはあらかじめ設定した条件を満たした時点で介護アラートを発する。本研究では、適切な尿量である100-150ml程度、膀胱に尿が溜まった時点でアラートを発する。あるいは、要介護レベルの高い被介護者が自力で歩き出した際に、転倒を想定した介護アラートのように、被介護エージェントから能動的に発するものに加えて、介護者が発見して初めて気付くものも介護アラートとする。

3.3.5 介護ペア選択アルゴリズム

上述のように、被介護者がアラートを発した時にどの介護者とマッチングさせるのかというのがシミュレーション上必要になる。本研究では、各タイムステップごとにある被介護者がアラートを出した時点で、その被介護者と介護可能な介護者との距離を計算し、ペアになりうる介護者と被介護者のペア候補配列を作成していき、その中で全探索を行うことで、最も距離の近いペアを作成して行くこととする。

第 4 章

モデルの検証

本章では，高齢者施設を模した介護空間が環境として設定できているか，使用した歩行者モデルの Social Force Model が正しく動いているか，作成したシミュレータの中で介護シミュレーションが正しく機能しているかについて検証する．Social Force Model の検証では，歩行者しかいない環境における基本的な可視化をおこない，目的への斥力や他エージェントからの斥力が働いているかを確認する．介護シミュレーションの検証では，被介護者がアラートを出した時に介護者が経路選択を行い，あらかじめ設定した介護行動が行われるかを可視化する．また、複数の介護アラートが発生した時に，あらかじめ設定したロジックに基づき介護対象を選択できるかについても検証を行う．

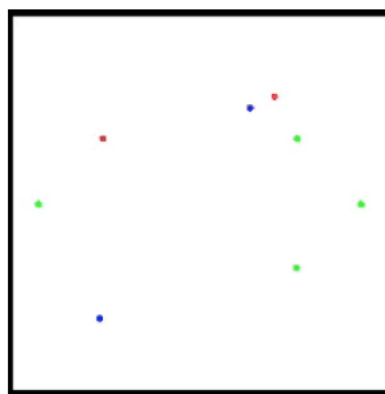
4.1 環境設定の検証

環境設定の検証は，いくつかの二次元平面を実際に作成し，可視化することで行う．また，その中で介護者・被介護者も同様に可視化する．被介護者は通常状態とアラートを出している状態で色を変える．まずは図 4.1 にあるように，簡単な二次元平面と歩行者を可視化した．次に，図 4.2 のように，同じ二次元空間の中で，介護者と被介護者を可視化し，被介護者の状態によって色が変わった状態も可視化できた．同様に車椅子に乗っている被介護者を想定した被介護者エージェントや，技術によるサポートを受けている被介護者を想定した被介護者エージェントも同様に，色や形を変えることで表現することができる．本シミュレータでは，介護空間を記述するための必要

条件である，二次元平面と介護者，被介護者を再現することができると言える．



図 4.1 二次元空間の可視化



■:介護士エージェント ■:被介護エージェント ■:要介護状態

図 4.2 介護者・被介護者の可視化

4.2 Social Force Model の検証

Social Force Model の検証は，環境設定の検証で作成した環境とは異なる二次元空間を作成し，その中でエージェント同士の相互作用が行われているかを確認する．歩行者エージェント作成し，手入力で目的地の配列を初期条件として与え，一定時間ごと

に同じスタート地点にエージェントを発生させ、同じ経路を設定する．現在地から目的地までは，Social Force Model で定義されている目的地に向かう力と他のエージェントからの斥力，壁からの斥力，魅力的な場所からの引力（本検証では用いない）の合力が働くので，例えば同じ経路上ですれ違う場合は，たとえ経路が同じであったとしても互いが互いを避けて通るようになるはずである．

まずは，環境として図 4.3 を準備する．二次元空間の中に壁を作成し，1 の位置から歩行者エージェントが一定時間ごとに発生するようにする．歩行者エージェントは，1 から順番に 1, 2, 3, 4, 3, 2, 5, 2, 1, 6 という経路の目的地群を与え，現在の目的地であるサブゴールに到着すると，次の目的に向かって移動していく．

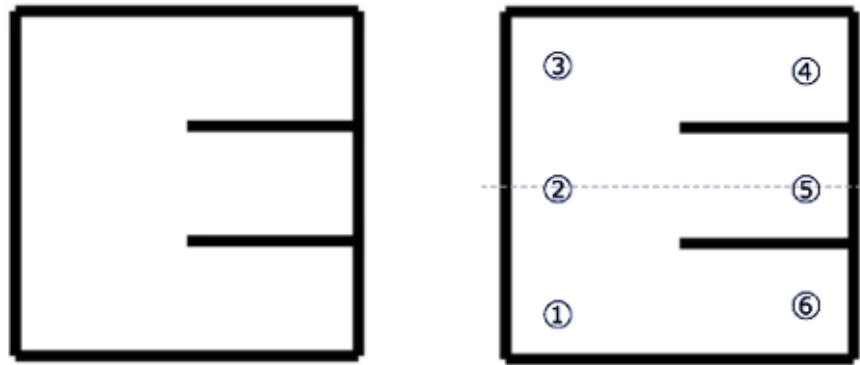


図 4.3 SFM の検証における環境設定

その様子を図 4.4 に可視化した．シミュレーションでは，目的地に到着後，壁にぶつからないように折り返し，他のエージェントとすれ違う際に，目的地間の最短経路を通らず，お互いがお互いを避ける挙動を確認することができた．本シミュレータでは，介護空間を記述するための必要条件である，経路選択と目的地までの移動を再現することができると言える．

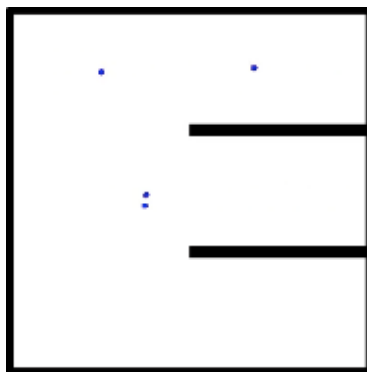


図 4.4 SFM の検証における可視化結果

4.3 介護シミュレーションの検証

本章では最後に、介護シミュレーションについての検証を行う。本シミュレーションでは、被介護者のバリエーションとして以下の3種類を実装している。

- 適切なタイミングで介護アラートを出すエージェント
- 早いタイミングで介護アラートを出すエージェント
- 遅いタイミングで介護アラートを出すエージェント

本研究では、排泄介助を対象としているので、適切なタイミングで介護アラートを出すエージェントを健常者（技術のサポートを受けている被介護者）、早いタイミングで介護アラートを出すエージェントを頻尿の被介護者、遅いタイミングで介護アラートを出すエージェントを認知症の被介護者と呼ぶことにする。それぞれを可視化した図が、図 4.5、図 4.6、図 4.7 である。

ここでは、介護シミュレーションを可視化するために、これら3種類のエージェントを介護環境に配置する。それぞれが介護アラートを出す条件を、健常者の場合は 100ml 以上になった時点、頻尿の場合は 75ml 以上になった時点、認知症の場合は 150ml 以上で介護アラートを発する設定にし、アラートが発された時に被介護者とランダムにマッチングし、トイレへと向かうよう介護行動を設定した。この時、図 4.8 のように、被介護者エージェントが介護アラートを出した時に、介護者エージェントが被介護者エージェントの元へ行き、トイレと連れて行く様子を可視化することができ

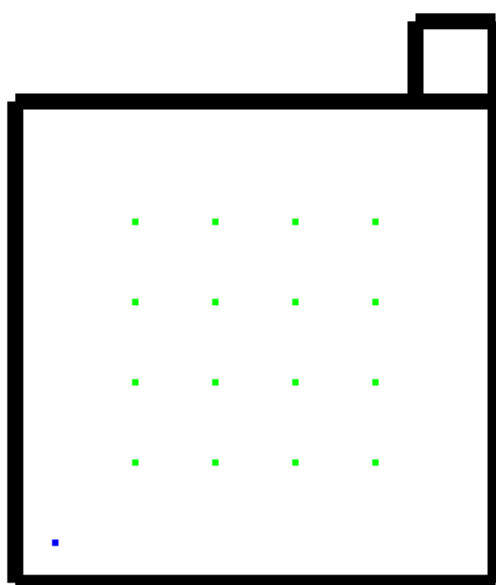


図 4.5 健常者（介護技術を導入した場合の被介護者）の場合の可視化

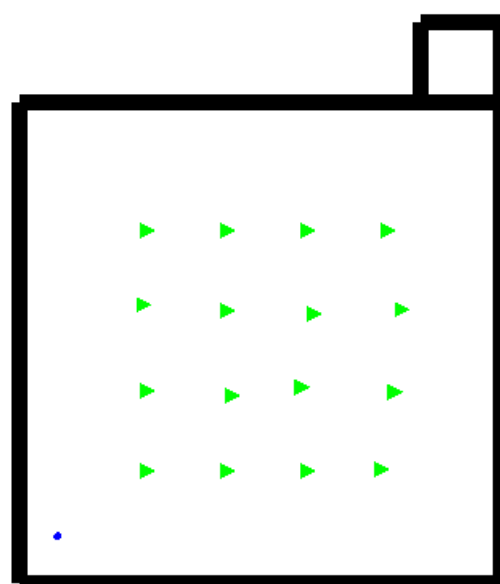


図 4.6 頻尿の場合の可視化

た．また，図 4.9 のように，複数の被介護者が同時に介護アラートを出した時は，介護者エージェントが介護すべき最適なエージェントの元へ行き，介護行動を行う様子も可視化することができた．そして図 4.10 のように，その介護が終わると同時に，残りの被介護者エージェントの元へと介護行動に向かわせることができた．したがって本

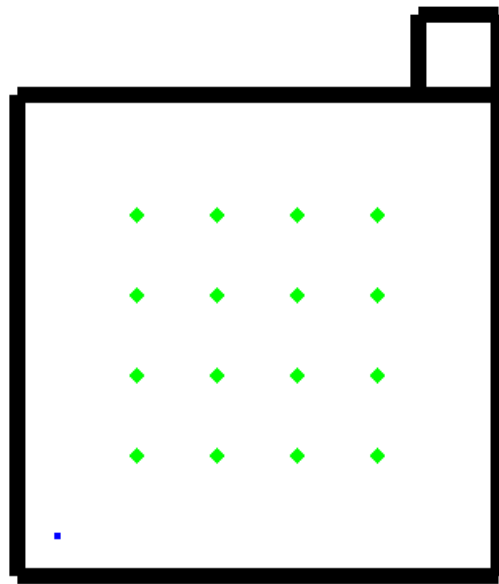


図 4.7 認知症の場合の可視化

シミュレーションは、介護環境を再現するのに必要最低限の機能を有したシミュレーションであると言える。なお、必要最低限の機能とは、被介護者がアラートを出した時点で、介護すべき最適な介護者とマッチングし、その介護者が適切に介護を行うことができることである。

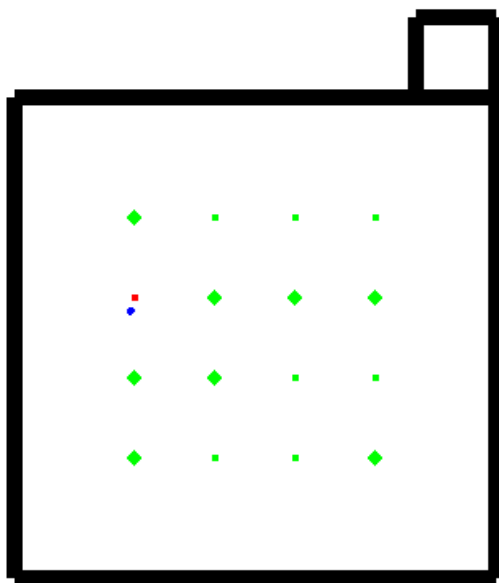


図 4.8 介護行動の可視化

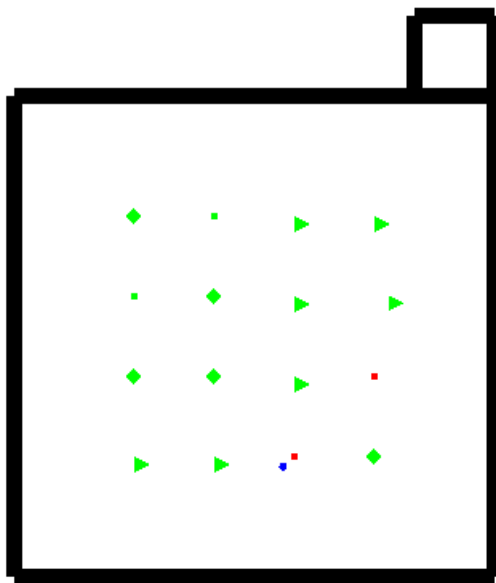


図 4.9 複数介護アラートが出た場合の可視化

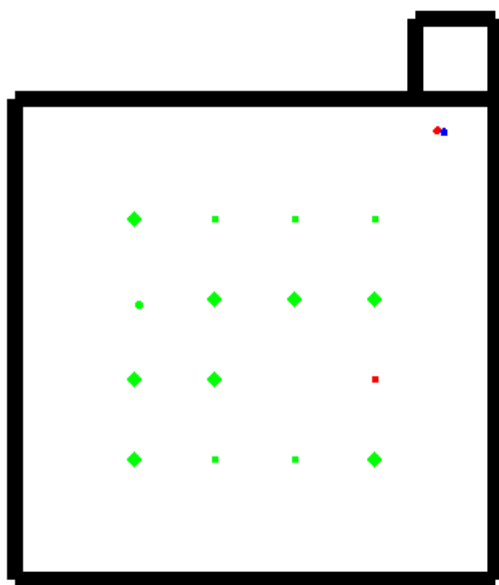


図 4.10 介護行動の可視化

第 5 章

数値実験

研究で新たに実装した歩行者エージェントおよび介護シミュレーションの定量的な評価性能を検証するために、シミュレーション実験を行った。この章では、実験で用いた環境設定と、実験結果をどのような評価指標で判断したか、またその結果と考察についてまとめている。

5.1 実験条件

今回の実験では介護環境として、図 5.1 に示すように、15m 四方の二次元平面と、排泄場所としてのトイレをその上部に設置した。

この環境の中で、介護者と被介護者の可視化をおこなっていく。今回の実験では、介護における技術を導入した際に、それが介護環境にどのようなインパクトをあたえるのかについて検証を行うことが目的なので、介護者の数は 1 人、被介護者の数は 16 人と設定し、比較的大きい施設を対象とした。第 4 章で述べた健常者、頻尿の被介護者、認知症の被介護者の 3 種類のエージェントが、介護施設内の自由時間である 2 時間の間にいかなる回数にわたって排泄介助を行うことが必要か、またその介助は本当に必要であったのかということを確認する実験をおこなう。3 種類の被介護エージェントを??のように組み合わせた 6 パターンにおいて、相互作用を確認し、それを本章で示す評価指標で評価する。

表??に示したように、Case1 は、健常の被介護者（技術の補助を受けた被介護者）が 100 %の状態、Case2 は頻尿の被介護者が 100 %の状態、Case3 は認知症の被介護

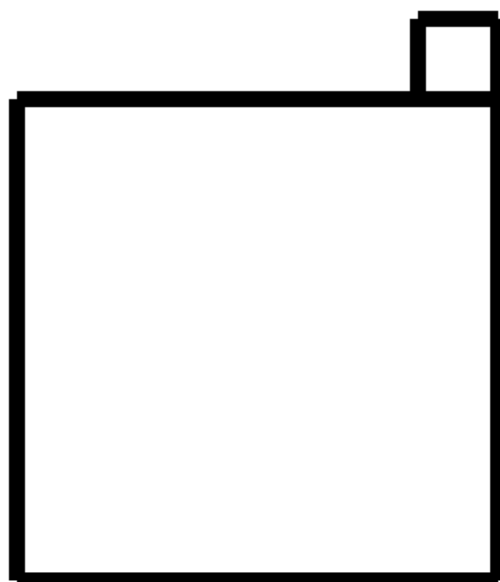


図 5.1 実験環境

者が 100 % の状態, Case4 は、健常の被介護者（技術の補助を受けた被介護者）と頻尿の被介護者が 50 % ずつの状態, Case5 は健常の被介護者（技術の補助を受けた被介護者）と認知症の被介護者が 50 % ずつの状態, Case6 は頻尿の被介護者と認知症の被介護者が 50 % ずつの状態である。

5.2 介護挙動の基本的な検証

本シミュレータが現実を反映できているのかについて、簡単な検証を行った。介護アラートを出す条件を、健常者の場合は 100ml 以上になった時点、頻尿の場合は 75ml 以上になった時点、認知症の場合は 150ml 以上で介護アラートを発する設定にし、2 時間シミュレータを回した。その結果、健常者の場合は、2 時間に 1 回トイレに行くという結果を得ることができた。これは実際のデータと比較しても整合性のある値となった。この結果を表 5.1 に示す。なお、実験では 16 人の被介護者が存在するので実際は数値を 16 で割った数字が一人当たりの回数となっている。

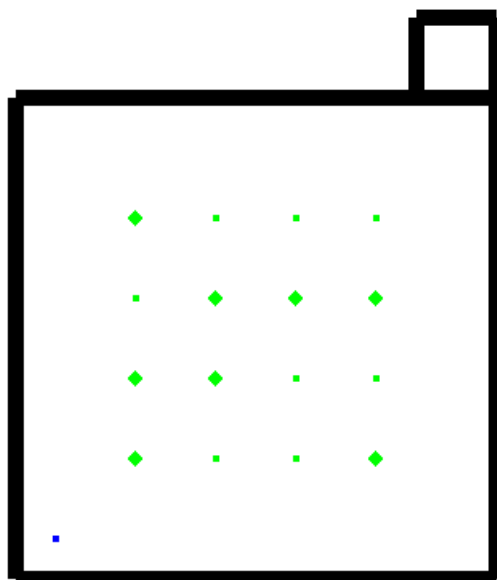


図 5.2 健常者と認知症の場合の可視化

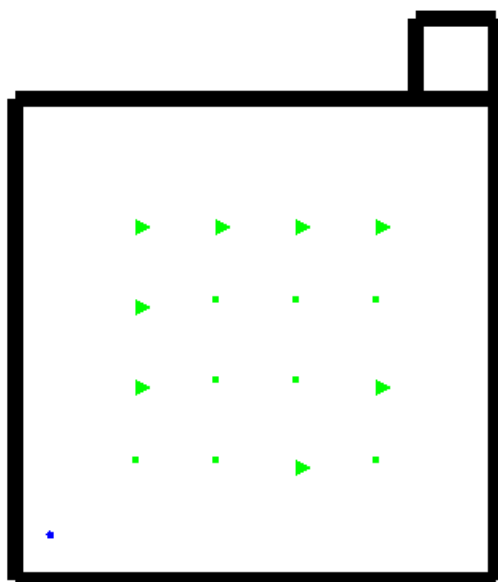


図 5.3 健常者と頻尿の場合の可視化

5.3 評価指標

本研究の目的は、疾患のある被介護者，すなわち現状介護者の負担増の原因となっており，被介護者自身も自らの排泄が負担となっているようなケースにおいて，技術

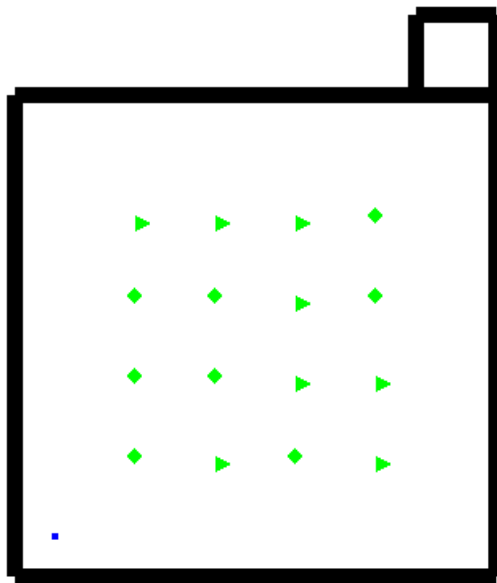


図 5.4 認知症と頻尿の場合の可視化

表 5.1 被介護者ごとの排尿回数

	健常者	頻尿	認知症
一回目	15	21	6
二回目	15	22	5
三回目	16	26	5

の導入を行うことでどれだけの効果が得られるのかを可視化するというものである。そこで、評価指標としては、排泄に行くべきである尿量の状態、あるいは自身が排泄に行きたいと感じている状態から実際に排泄を行うまでの時間を計測し、それを総我慢時間とし、本研究の評価指標とする。

5.4 結果および考察

図 5.5 に、介護者・被介護者の割合を Case1 から Case6 までそれぞれ変化させた場合のシミュレーション結果（10 回の試行の平均値）を示す。また、表 5.2 に、Case1 に対する相対誤差を示した。次に表 5.3 に、Case ごとの介護回数と Case1 に対する相対誤差を示した。

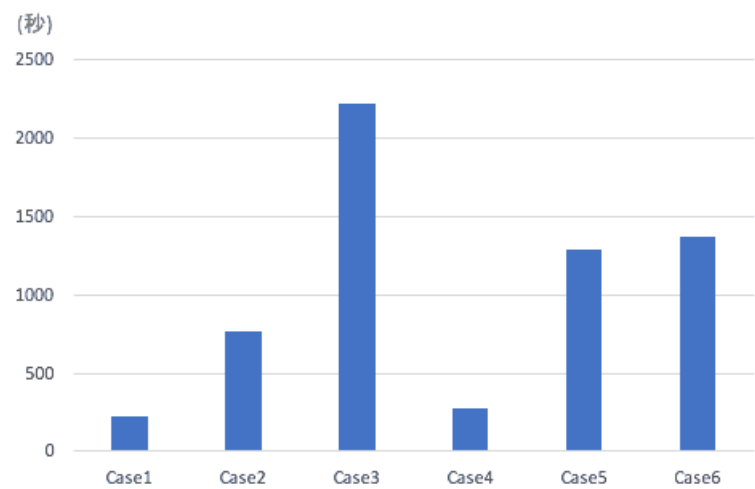


図 5.5 実験結果

表 5.2 Case1 に対する相対誤差

	Case2	Case3	Case4	Case5	Case6
相対誤差	2.47	9.05	0.26	4.84	5.19

表 5.3 Case ごとの介護回数

	case1	Case2	Case3	Case4	Case5	Case6
介護回数	15-16	21-26	5-6	19-21	9-10	16-17
相対誤差		0.50	-0.65	0.31	-0.37	0.07

Case3 の総我慢時間が、もっとも高いものとなっているが、これは被介護者が本来なら排泄に向かうべき尿量であるのにも関わらず、無意識のうちに我慢をしてしまい、介護者にアラートを出した時点ですでにかなりの時間を待ち時間として計測してしまっていることが原因であることが考えられる。Case5 では、数値上は相対誤差がかなり少ないように見えるが、実際は健常者と認知症の被介護者の間の待ち時間の差が大きく、健常者の割合が減ったことで、健常者がアラートを出した際にすぐ介護してもらえたということがあげられる。実際の現場では、被介護者の要介護によって、どの介護者がつくべきかということが事前情報として与えられているため、このような複雑な状況にも対応していけるような環境をつくっているという示唆を得ることができる。今後の検討課題として、そういった事前情報の有無によって、どの介護者と被

介護者をマッチングさせるのかということが挙げられる．Case2 については，過剰介護が問題であると考えられる．健常者の場合と比べ，50 %以上も介護士の労働力に悪影響を与えているといえる．

第 6 章

結論

6.1 本研究のまとめ

本研究では，介護支援施設の主体（ここでは研究の第一段階として介護者，被介護者のみに着目する）を，能動的に自分自身で情報を集めて行動する主体性，すなわち自律性を持つ知的エージェントとしてモデル化し，多数の知的エージェントを仮想的な遭路環境上で相互作用させることによって，介護環境をシミュレーションする，知的マルチエージェントモデルに基づくシミュレータを構築した．本論文では，はじめに，本シミュレータに組み込まれた知的マルチエージェントモデルの理論及び実装法について述べた．次に，被介護者の状態によっていくつかの異なる環境を構成し，将来医療技術が発達して行くとどれほどのインパクトをもたらすのかについて，かなり良好な数値を示すことを確認した．

6.2 今後の展望

本シミュレータについて，絶対値レベルでの定量的な現状再現性については，信頼できる介護施設データが足りておらず，理論値を元に実測値と比較することでモデルの有用性について検証して行く必要がある．

謝辞

多くの方からのご指導，ご協力を頂き，本論文の完成まで至ることが出来たと思い，この場をお借りしてお礼を申し上げます．

指導教員であり，本研究の機会を与えていただいた，吉村教授に感謝いたします．研究への姿勢や考え方など，右も左もわからなかった私に一から丁寧に教えていただきました．また，就職活動でもお気遣いいただき，本当に感謝しております．研究を通じて先生に教えていただいた，物事を構造的に捉え，仮説を持って取り組む姿勢は，授業では決して得られない貴重な学びになりました．先生から学んだ仮説思考とも言える考え方は，研究の領域に留まらず，人生においてとても重要なものであると確信しております．今回私は，これまで研究室にはなかった医療というフィールドでの研究を0から始めたわけですが，このようなチャレンジな機会を与えていただいたこと，また研究内容が社会的意義のあるものだと感じたまま研究に取り組めたことは自分の修士課程にとってとても大きなことでした．本研究での経験や学びを忘れず，社会のために生かして参りたいと存じます．ゼミのディスカッションや研究打ち合わせでは，私に合わせて理解のしやすい説明も織り交ぜながら，医療現場について，研究発表について，教えていただきました．先生とのミーティングは，医療業界全体が抱えるマクロ的な課題をはじめとして，私の母親の例だと，といったようにミクロ的な物事の捉えかた，縦横無尽に課題を探索していく思考の柔軟さに圧倒されることが多く，非常に学びの多い時間でした．とても忙しいはずなのに何冊も本を読み，貪欲に知識を蓄えていく姿勢は，私も今後死ぬまで持ち続けていきたいと心から感じております．これからは，吉村研究室の名に恥じない，社会に価値を提供できる人間になり，吉村研究室の卒業生として世界に名を馳せるよう精進いたします．また，いつも単位のことを気にかけてくださり，本当に感謝してもしきれません．約二年間，大変

お世話になりました。ありがとうございました。

藤井講師には、社会系勉強会にて相談に乗っていただき、研究の進め方について、多岐にわたるご指導、ご助言をいただきました。資料を作成する際にも、研究に取り組む際にも、常に一貫した考えで、目的意識を持って論理的に考えるという姿勢を学ばせていただきました。ご多忙の中、勉強会にてアドバイスをいただき、考察を深めたこ日々は大変貴重で、充実した日々でありました。研究室に入った当初、富士樹海に迷い込んだ子羊だった私が、道を踏み外すことなく、本研究をここまで勧められたのは、藤井先生という北極星が強く光り輝き、導いてくださったからに他なりません。些細なことでも、いつも心よく相談に乗ってくださり学生に親身になってくださる姿勢は私含め多くの学生の心の支えになっていたと思います。私が修士一年の頃、よくゼミでは活発に議論が行われ、今はなき Y 先生と学生が口論を始めた時にはこの研究室に入って正解だったのかと、いまにも逃げ出したほうがいいのではないかと悪魔の囁きが心の中で誘惑をしていたのですが、そのような緊急事態にもまるで慌てることなく何もなかったことのようにそれを眺める藤井先生の器量の大きい姿が今でも忘れられません。二年間本当にありがとうございました。

内田さんは、自分の研究について一番アドバイスをくださり、実際にコードまで見ていただいた感謝しても仕切れない存在です。研究のけの字も、交通シミュレーションのこの字も、知らない私に一からなんでも優しく教えていただきました。特に私が一週間かかっても解決できなかった問題をほんの一時間ほどで解決した際には、内田さんの後ろからまばゆいばかりの光がさしこみ、菩薩かのような貫禄まで漂っていたことを覚えております。ゼミや社会系勉強会での内田さんの指摘は毎度とても鋭く、ロジックの抜け漏れには誰よりも早く気づき、それを指摘する姿は、研究者でありながらコンサルティングファームのパートナーかのような頭の回転を彷彿とさせておりました。特に私が研究室に入ったばかりの頃、自らの発表資料を先輩の資料をもとに作成した際に、これ資料作成者違う人になってるけど、本当にあなたが作ったんですか？と言われた際には、冷や汗が止まらず、このまま隕石でも落ちて地球がなくなってしまうかなと感じていたことは、生涯忘れられない思い出となりました。自分の作品には責任を持って、自分で書き上げるという当たり前のことを学ぶことができ

ました。本当にありがとうございました。

阿部さんは、社会系勉強会をはじめとして CD の発表相手にもなっていただき、自分としては一番距離の近い兄貴のような存在でした。まるで、きびだんごを持たない生まれたての桃太郎のような私に無償でついてきてくださる虎のような存在でした。時にはパワーポイントの使い方を、時には資料のスキャンの方法を、時にはポスターを額縁に入れる方法を教えてくださり、鬼を倒すがごとく研究を進めることができました。勉強会の際には、他の先生方が厳しい質問をしている一方で、阿部さんはコメントと質問を織り交ぜて、学生がしっかり頭を使って答えることができるようにいつも誘導してくださっていて、優しさの溢れる質疑となっていたことが思い出されます。学生が阿部さんの質問を理解できなかった時には、阿部さんが再度「要するに」といって補足してくださるのですが、話している間にどんどん優しさが溢れて行って、最終的にはほとんど答えを言ってしまっていて、全然要せていないことも、阿部さんの人間力と優しさからくるものだたと日々感銘しておりました。私も阿部さんのように知性だけでなく人類を包み込むような優しさと、まるで母親が息子に向けるかのような暖かい笑顔を身につけることのできる人間になりたいと思います。二年間ありがとうございました。

参考文献

- [1] 厚生労働省，平成 28 年版厚生労働白書（2016）
- [2] 厚生労働省，医療と介護を取り巻く現状（2016）
- [3] 三菱リサーチコンサルティング，日本経済の中期見通し（2019）
- [4] 内閣府，社会保障給付費の推移等（2016）
- [5] みずほ情報総研株式会社，特別養護老人ホームの開設状況に関する調査研究（2016）
- [6] 大和総研，超高齢社会における介護問題（2014）
- [7] ニッセイ基礎研究所，介護の国際数量比較
- [8] 厚生労働省，平成 29 年上半期雇用動向調査結果の概況（2018）
- [9] 田宮菜々子：高齢者にもとづく高齢者施設ケア．33/35（2010）
- [10] 厚生労働省，介護ロボットの開発と普及のための取り組み（2019）
- [11] R.L Hughes : A continuum theory for the flow of pedestrians Transportation Research B, Vol 36, No 6, 507/535（2002）
- [12] 柳澤大地，西成活裕：群衆の集団運動と拡張フロアフィールドモデル，応用力学研究所研究集会報告，No.17, ME-S2（2006）
- [13] 岡崎甚幸：建設空間における歩行のためのシミュレーションモデルの研究 その 1：磁気モデルの応用による歩行モデル，日本建築学会論文報告集，Vol.283, 111/119（1979）
- [14] D.HELBING, P.MOLNAR : Social force model for pedestrian dynamics, Physical Review E 41, 4282,（1995）
- [15] 山下倫央，副田俊介，大西正輝，依田育士，野田五十樹：一次元歩行者モデルを用いた高速避難シミュレータの開発とその応用，情報処理学会論文誌，vol.53,

- no.7, 1732/1744 (2012)
- [16] 藤井秀樹, 西岡智彦, 城所直樹, 内田英明, 吉村忍: 拡張 1 次元歩行者モデルの構築と交差点における歩車混合交通シミュレーション, 情報処理学会論文誌, Vol.59, No.3
- [17] 三井達郎, 矢野伸裕, 萩田賢司: 無信号横断歩道における高齢者の横断行動と安全対策に関する研究, 土木計画学研究・論文集, No.15 (1998)
- [18] J.Y.S.Lee, W.H.K.Lam, M.L.Tam: Calibration Of Pedestrian Simulation Model for Signalize Crosswalk in Hong Kong. Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.5, 1337/1351 (2005)
- [19] 北川直樹, 羽藤英二: 疑似最尤法による歩行者と自動車の相互作用モデル, 第 40 回土木計画学会研究発表会 (2009)
- [20] A.K.Rathi, A.J.Santiago: Urban Network Simulation: TRAF-NETSIM Program, Transportation Engineering, Vol.116, No.6, 734/743 (1992)
- [21] 堀口良太, 片倉正彦, 赤羽弘和, 桑原雅夫: 都市街路網の交通流シミュレータ-AVENUE-の開発, 第 13 回交通工学研究発表会論文集, 33/36 (1993)
- [22] S.Yoshimura: MATES: Multi-Agent Based Traffic and Environment Simulator - Theory, Implementation and Practical Application, Computer Modeling in Engineering and Sciences, Vol.11, No.1, 17/25 (2006)
- [23] H.Fujii, H.Uchida, S.Yoshimura: Agent-based simulation framework for mixed traffic of cars, pedestrians and trams, Transportation Research Part C: Emerging Technologies, vol.85, 234/248 (2017)
- [24] 藤井秀樹, 仲間豊, 吉村忍: 知的マルチエージェント交通流シミュレータ MATES の開発第二報: 歩行者エージェントの実装と歩車相互作用の理論・実測値との比較, シミュレーション, Vol.25, No.4, 274/280 (2006)
- [25] 吉村忍, 藤井秀樹, 内田英明, 加納達彬: 混合交通流シミュレータによる岡山駅前路面電車軌道延伸計画の交通影響評価, 交通工学論文集 (特集号), Vol.3, No.4, B1/B10 (2017)
- [26] J.Brancel' o, J.Casas: Dynamic Network Simulation with AIMSUN, Simulation Approaches in Transportation Analysis, 57/98 (2002)
- [27] 吉田孝志, 前野義晴, 但野紅美子: 移動制約者を含む群集の広域避難シミュレー

- ション, 第2回 SIG-BI (2015)
- [28] 大脇鉄也, 諸田恵二, 上原克己: シミュレーションを利用した歩行者自転車混合交通の分離必要度の評価, 土木計画学研究・講演集, No.39 (CD-ROM) (2009)
- [29] P.N.Seneviratne, J.F.Morrall: Analysis of Factors Affecting the Choice of Route of Pedestrians, Transportation Planning and Technology, Vol.10, 147/159 (1985)
- [30] 岡崎甚幸: 建築空間における歩行のためのシミュレーションモデルの研究その1 磁気モデルの応用による歩行モデル, 日本建築学会論文報告集, 2S3, 111/117 (1979)
- [31] Kurdi Teknomo, Groria P. Gerilla: Sensitivity Analysis And Validation of a Multi - Agents Pedestrian Model, Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, 6, 198/213 (2005)
- [32] 厚生労働省, 第一回介護プロフェッショナルキャリア段位制度のあり方に関する検討会, 資料2 (2015)
- [33] 厚生労働省, 要介護認定 介護認定審査会委員テキスト改訂版 (2018)
- [34] 安藤正夫: 高齢者における排尿障害の実態について, 日本泌尿器科学会誌, 82, 560/564 (1991)