

被災者行動の不確実性を考慮した 災害弱者のための避難所決定手法の提案

田中 智基¹ 松田 裕貴^{1,2} 藤本 まなと^{1,2} 諏訪 博彦^{1,2} 安本 慶一^{1,2}

概要：災害時、被災者が一斉に最寄りの避難所へ向かうと避難所の収容可能人数を超過し、一部の被災者がたらい回しにされる問題がある。仮に収容人数を超過しないように被災者ごとに避難所を指定したとしても、被災者の一部が指示に従わないことによって、指定された避難所に到着しても既に収容人数に達しているため、たらい回しにされることも考えられる。特に、高齢者や身障者など身体能力が原因により避難行動に制限が生じることになる災害弱者は、健康者よりも多く避難時間を要するため、たらい回しにされる可能性が高く、避難の大幅な遅れを引き起こすことになる。本研究では、災害弱者と避難指示に従わない被災者の存在を考慮し、各被災者の避難予測時間と避難所の収容可能人数に基づいたナップサック問題を解くことによって、被災者の避難先を決定する手法を提案する。具体的には、全ての被災者が最寄りの避難所へ向かった場合のシミュレーションを行い、災害弱者がたらい回しにされる避難所を特定する。このシミュレーションの結果より、各避難所に対して被災者の一部が指示に従わず最寄りの避難所に向かう可能性を想定し、各避難所への避難誘導人数に制限を設けた上でナップサック問題を解くことで、災害弱者がたらい回しにされ避難が遅れてしまうケースの発生を軽減できるようにする。本研究では、祇園祭で災害が発生したというシナリオのもとで、マルチエージェントシステムを用いて提案手法のシミュレーション評価を行なった。その結果、予め想定した割合を超えない場合、災害弱者の平均避難時間を従来手法より短縮することができることを確認した。

Evacuation Center Determination Method Considering Uncertainty of Evacuees Behavior to Support Handicapped Evacuees

TOMOKI TANAKA¹ YUKI MATSUDA^{1,2} MANATO FUJIMOTO^{1,2} HIROHIKO SUWA^{1,2}
KEIICHI YASUMOTO^{1,2}

1. はじめに

近年、日本では東日本大震災や西日本豪雨に代表されるように、地震や台風などの自然災害が多発している。災害発生時において、被災者の安全を確保するには、被災者に対して適切な避難誘導、指示を行うことが重要となる。被災者が災害時に置かれる状況は、被災者が持つ性質や存在する場所、周囲の環境によって左右される。被災者がどのような状況に置かれているかを適格に判断し、それらの状況に対応した避難計画が求められる。

災害時において、避難が困難であったり、行動や情報取得に制限が生じることになる「災害弱者」の存在が考えられる。災害弱者は、高齢者、身障者、妊婦などが該当する。このような災害弱者は、健康な成人よりも歩行速度が遅い、長時間の移動が困難、階段や坂道などの通行が不可能となる場所が存在するといった点で、健康者よりも避難行動に負担を課されることとなる。特に、少子高齢化社会が進む中、災害弱者に対する支援方法や避難計画が求められており、国や各都道府県の自治体より支援マニュアルが作成されている。

被災者の避難誘導、避難経路推薦の研究では、被災者を最も近い避難所へ最短経路で向かわせることが一般的とされている。しかし、実際の避難状況では、避難所の収容人

¹ 奈良先端科学技術大学院大学

Nara Institute of Science and Technology

² 理化学研究所 革新知能統合研究センター (AIP)

RIKEN Center for Advanced Intelligence Project (AIP)

数や被災者がどのように分布しているかにより、最寄りの避難所が必ずしも最適な避難先とはならない場合が存在する。全ての被災者が最寄りの避難所へ向かい、避難所の収容可能人数に対して向かってくる被災者の数が多い場合、被災者の一部が避難所に入れずに、再度別の避難所に向かうことを余儀なくされ、避難時間の遅延や逃げ遅れを引き起こすことになる。特に災害弱者は、健常者よりも身体能力が低く、最寄りの避難所までに到達する時間が健常者よりも多くかかるため、たらい回しによる影響はさらに大きくなる。

また、被災者に対して指示を行っても、全ての被災者が指示通りに動くとは限らない。一部の被災者が指示された避難所とは違う避難所に向かうことによって、たらい回しにされる被災者が発生することが想定される。被災者がどのような行動を予測することも必要となる。

本研究では、高齢者や身障者など身体能力によって健常者よりも移動の負担が大きい災害弱者が短い時間で避難が可能となり、身体的負担を軽減することを目的とする。この目的を実現するため、災害弱者と避難指示に従わない被災者の存在を考慮し、被災者の予測避難時間と避難所の収容可能人数を利用するナップサック問題による避難所決定手法を提案する。全被災者が最寄りの避難所へ向かうことで収容可能人数を超過する避難所に対して、来ることが予測される被災者の数を元にナップサック問題にて避難所に割り当てらる被災者の数に制限を設ける。この制限を設けた上でナップサック問題を解くことによって、各被災者の目的地となる避難所を決定する。

祇園祭で災害が発生したシナリオを想定し、マルチエージェントシステムを用いたシミュレーションにより、提案手法の有効性の評価を行った。シミュレーションの結果、想定割合を超えない場合において、災害弱者の避難時間を短縮させることが可能となることが確認された。

2. 関連研究

2.1 災害弱者の特徴、避難支援

日本社会は、少子高齢化が進んでおり、それに伴い避難行動に健常者より身体的負担を被ることとなる高齢者をはじめとした災害弱者が社会全体を占める割合は増加している。内閣府は、災害時要支援者の避難支援に関するガイドライン及び避難行動要支援者に対する支援の取り組み指針 [1] を発行しており、災害時の避難計画において災害弱者の支援は非常に重要であると言える。

災害弱者に対して、避難行動能力や制限、支援方法の観点から様々な考察がされている。森下らは、災害弱者の避難行動速度を明らかにすることを目的とし、要介護者の避難速度の測定、さらに測定された避難速度を用いて避難訓練のエージェントシミュレーションを実施している [2]。渡辺らは、避難速度を含めた要支援者の体力の調査を行なっ

ている [3]。難波らは、東広島市中心地域を対象とし、災害弱者の分布や危険地域、避難圏域の分析を行なっている [4]。

玉森らは、国民健康保険データベースを用いて災害時要援護者の分布や被災可能性、被災者属性の分析を行い、さらに災害時要援護者を考慮したシミュレーションを行なっている [5]。玉森らが行なったシミュレーションでは、災害時要援護者は全て最寄りの避難所へ避難するようにしている。その結果、避難所の定員を超過するケースが発生し、単純に最寄りの避難所へ避難するだけでは対応ができず、適切な配分を行う必要があると指摘している。

2.2 避難誘導、避難アルゴリズム

避難誘導、避難経路推薦については、被災者の行動に影響しうる様々な観点からその支援方法について研究がなされている。これらの研究では、マルチエージェントシステムによるモデルの構築やシミュレーションが広く用いられている。村木らは、被災者の行動特性や弱者の有無、周辺知識、避難誘導員の存在を考慮したマルチエージェントモデルを構築している [6], [7]。しかし、村木らの研究は、被災者に対して支援方法や避難アルゴリズムを示すものではない。新井らは、災害弱者を考慮したマルチエージェント避難シミュレーションモデルの構築を行なっている [8] が、対象が屋内の閉鎖空間に限られたものであり、屋外での避難行動を対象にしたものではない。

災害時の避難計画、避難経路推薦の研究では、被災者はそれぞれ最寄りの避難所へと避難することが一般的となっている。しかし、被災者が一様ではなくある地域に偏って存在する。梅木らは、混雑の偏りの問題に対処するため、被災者の位置情報と避難所の収容可能人数を考慮したナップサック問題による避難所決定手法を示している [9]。被災者が偏って存在する状況に対して、被災者を単純に最寄りの避難所へ向かわせるのではなく、一部の被災者の避難先を避難所の収容可能人数を超過しないように最寄りとは異なる避難所に決定することで、全ての被災者が最短の避難所へ向かった場合よりも避難時間とたらい回しの回数を減らすことに成功している。

しかし、梅木らの手法では、災害弱者の存在については考慮されておらず、避難時間が短い被災者と避難所の組み合わせから避難所決定を行なっている。災害弱者は、避難時間を健常者よりも多く要することが想定されるため、この手法では災害弱者の決定は後回しにされ、遠方の避難所に決定されやすくなる。これは、災害弱者に遠方の避難所へ向かわせるのは長時間の移動を課すこととなり非常に危険である。

災害弱者の行動の性質の調査や避難のシミュレーションモデルを構築した研究は存在するが、災害弱者への的確な避難誘導、安全確保について、具体的な支援方法、避難ア

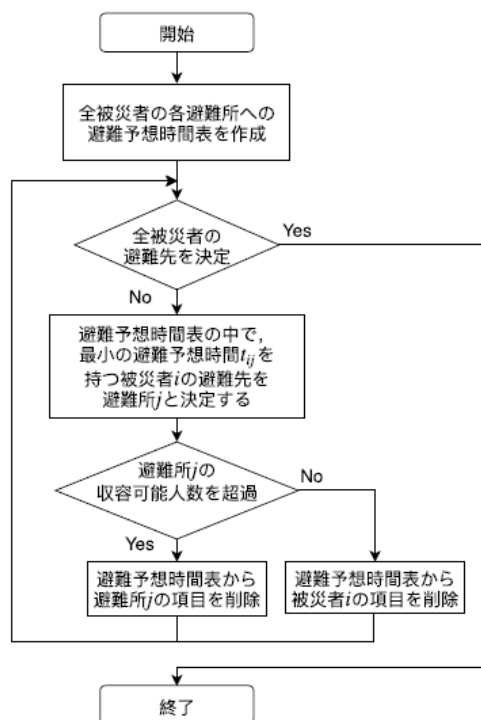


図 1 避難時間と収容可能人数を考慮したナップサック問題のフローチャート

ルゴリズムを考える研究は少ない．そこで本研究では，梅木らが提案している混雑の偏りを考慮した避難所決定手法 [9] を元に，被災者行動の不確実性を考慮した災害弱者の支援のための避難所決定手法を提案する．次章では，梅木らの手法の概要と課題について述べる．

3. 先行研究の概要と課題

本章では，先行研究 [9] の概要と課題について述べる．

3.1 前提条件

梅木らのシステムは，被災者の初期位置の情報及び被災者の性質（災害弱者であるかどうか）を把握することを可能とし，その情報を元に被災者の避難先を決定する．被災者は所持しているスマートフォンなどの端末からシステムより指示された避難所へ最短経路で向かう．指示に従わない被災者は最寄りの避難所へ向かうこととする．

3.2 避難予測時間と収容可能人数によるナップサック問題

梅木らは，被災者が偏って存在し，全被災者が最寄りの避難所へ向かうことで収容可能人数を超過したらいい回しが発生することを防ぐために，ナップサック問題を解くことによる避難所決定手法を提案している．アルゴリズムのフローチャートを図 1 に示す．

まず，全被災者の各避難所への避難予想時間を被災者と避難所の位置情報より算出し，全ての組み合わせをまとめた避難予想時間表を作成する．表 1 は，例として，5 人の

被災者を 3 箇所の避難所のいずれかに避難させる場合に作成される避難時間のリストとなる．

表 1 避難時間リスト

	Shelter0(1 人)	Shelter1(2 人)	Shelter2(2 人)
Agent1	5	35	35
Agent2	30	10	20
Agent3	25	20	15
Agent4	15	20	25
Agent5	40	30	25

表 2 ソート後の避難時間リスト

Shelter0(1 人)	Shelter1(2 人)	Shelter2(2 人)
5(Agent1)	10(Agent2)	15(Agent3)
15(Agent4)	20(Agent4)	20(Agent2)
25(Agent3)	20(Agent3)	25(Agent5)
30(Agent2)	30(Agent5)	35(Agent1)
40(Agent5)	35(Agent1)	40(Agent4)

表 1 を各避難所ごとに避難時間が早い順に並び替えると，表 2 のようになる．避難予想時間表の中で最小の避難予想時間となる被災者 i と避難所 j の組み合わせより，被災者 i の避難先を避難所 j に決定，被災者 i の項目は表から削除され，避難所 j に決定されている被災者の数は 1 増加する．このとき避難所 j に決定された被災者の数が既に避難所 j の収容可能人数に達した場合，表から避難所 j の項目は削除され，新たに避難所 j に被災者が決定されることはなくなる．これを全ての被災者の避難先が決定されるまで続ける．表 2 の例では Agent1 が Shelter0 に最初に決定，続いて Agent2 を Shelter1，Agent3 を Shelter2，Agent4 を Shelter1，最後に Agent5 を Shelter2 に決定する．

3.3 災害弱者の避難先とナップサック手法の問題点

高齢者や身障者といった災害弱者は，身体能力の点において健常者よりも避難時の負担が大きくなることが想定される．高齢者や車椅子利用者，負傷者などは，健常者よりも歩行速度が遅く，避難所に到着するまでの時間も多くなることになる．他にも長時間の移動が不可能であったり，治療が必要となるため安全な場所にいち早く到着しなければならない者も存在する．このような身体的負担や緊急性に対処するために，災害弱者は可能な限り近い避難所に到着できるようにし，避難時間を短くすることが必要となる．しかし，混雑した地域で被災者全員が一斉に最寄りの避難所へ向かうと収容人数の超過によりたらい回しが発生し，避難時間の遅延につながる．

梅木らは，これに対処するために被災者を分散させるように避難所を決定しているが，避難時間の短い被災者から避難先を決定しており，被災者は全て同じ身体能力を持った健常者であることを想定している．そのため，このアル

表 3 災害弱者が存在する避難時間リスト

Shelter0(1 人)	Shelter1(2 人)	Shelter2(2 人)
5(Agent1)	10(Agent2)	25(Agent3)
15(Agent2)	15(Agent3)	30(Agent1)
25(Agent3)	20(Agent1)	30(Agent2)
60(Agent4)	50(Agent5)	85(Agent4)
70(Agent5)	65(Agent4)	90(Agent5)

ゴリズムを災害弱者が存在する状況に適用すると、避難時間を多く要する災害弱者の決定は後回しとなり、災害弱者の避難先が決定されるまでに近い避難所の収容可能人数の限界に達する。その結果、避難先は遠方の避難所に割り当てられる可能性がある。表 3 は災害弱者が存在する場合に作成される避難時間リストの一例である。この例では Agent4, Agent5 を災害弱者とし、両者に対して、それぞれ Shelter0 と Shelter1 が最短の避難所となる。表 3 の例では Agent1 が Shelter0 に最初に決定、続いて Agent2 と Agent3 が Shelter1 に決定された後、Agent4 と Agent5 は Shelter2 に決定される。この結果より、災害弱者である Agent4 と Agent5 は、最寄りの避難所ではなく、より遠い避難所へ行くように指示されることになる。災害弱者が最寄りの避難所へ到達できるようにするために、災害弱者は優先的に最寄りの避難所に決定されるようにすることが必要となる。

3.4 被災者行動の不確実性

災害弱者の身体的負担の軽減や避難時間の削減を目指すために、災害弱者の避難先を優先的に決定することが考えられる。この災害弱者を優先的に安全な避難場所へ到達できるようにするには、他の健常者の協力が必要となる。しかしながら、実際の状況で全ての被災者が避難誘導の指示に従って行動するとは限らない。収容可能人数を考慮し、密集している被災者を分散させて、混雑を回避させるために、ナップサック手法では決定される避難所が最寄りの避難所とは異なる被災者が現れる。

被災者の一部が指示と異なる避難所に向かうことで、アルゴリズムで予定された避難所に到着したものの、収容人数をすでに超過しているため、避難所に入所を拒否され、たらい回しにされることが発生する。たらい回しにされるのが災害弱者である場合、避難時間の大きな遅延が予想される。災害弱者を優先的に近い避難所に収容することを目的としたとき、健常者の協力の度合いによる影響を考慮し、さらに指示に従わない可能性がある被災者の割合を想定した上で、支援方法を確立しなければならない。

4. 提案手法

本研究では、災害弱者が遠方の避難所に決定されたり、たらい回しによって避難時間の遅れや身体的負担を被ることを防ぐことを目的とする。そのために、災害弱者と避難

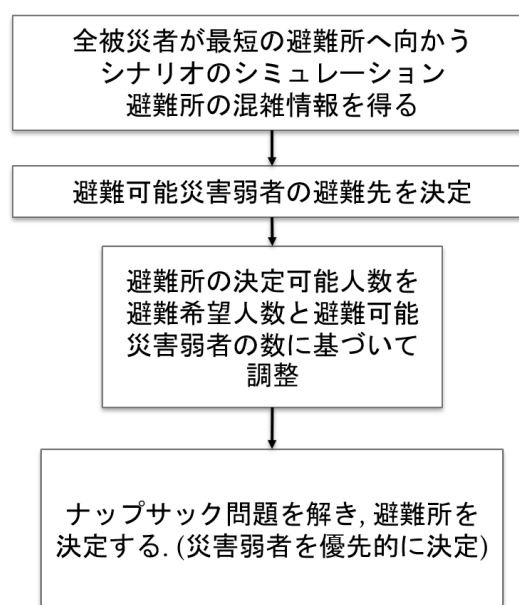


図 2 提案手法の流れ

指示に従わない被災者の存在を考慮したナップサック問題による避難所決定手法を提案する。

収容人数を超過することによるたらい回しの影響を少なくするため、被災者に目的地となる避難所を決定する際、避難所の収容可能人数だけでなく一部の被災者が指示に従わない想定の下で避難所に向かうとされる被災者の人数の考慮が必要である。

被災者に避難先を提示した時、その中のどれ程の割合が、またどの被災者が従わないかは、被災者が行動を始めるまで特定することは困難である。本研究では、従わない被災者の割合について複数のパターンを想定する。図 2 に提案手法の流れを示す。

4.1 混雑が予測される避難所の特定

本手法では、まず、全ての被災者が最寄りの避難所へ向かった場合のシミュレーションを行う。これは、全ての被災者がアルゴリズムに従わず、各々の判断で最適と考えられる最短の避難先に向かった場合、どのように混雑が発生し、被災者が行動するかについての情報を予め把握することとなる。ここでは、各収容所に対して何人の被災者がそこを最短の避難先となるか、そしてその内、災害弱者がどれ程存在するかという情報が分かるものとする。

全ての被災者が最短の避難所に向かうことで、被災者が密集していたために最寄りにいる被災者を全て収容することができない避難所が出る。ここで収容可能人数を超過し、災害弱者のたらい回しが発生した避難所について、その避難所を目的地とした健常者と災害弱者の人数を調べる。この健常者を「避難希望人数」と定義する。また、このシミュレーションにてたらい回しされることなく最寄りの避難所に入ることができた災害弱者は避難可能災害弱者

とし、到達した最寄りの避難所に避難先が決まる。

4.2 決定可能人数の調整

提案手法では、避難所毎に避難先として決定することができる被災者の数の上限を「決定可能人数」と定義し、各避難所の「決定可能人数」は最初に避難所の収容可能人数とする。全員が最寄りの避難所に向かうことで、災害弱者のたらい回しが発生する避難所に対して「決定可能人数」を元の数より少なくする。これにより、混雑が発生することが予想される避難所に、被災者の一部が指示に従わずに向かったとしても、被災者の集中を抑制できるようにする。

決定可能人数の調整は以下に示すとおりである。避難所が最短の避難所を目指したときのシミュレーションにて、避難所に入ることができた災害弱者と指示に従わない健常者を収容可能人数から差し引き、これを避難所 i の決定可能人数とする。差し引く数は対象となる避難所の収容可能人数を上限とする。避難所 i の収容可能人数を S_i 、避難希望人数を d_i 、避難可能災害弱者数を e_i 、想定する指示に従わない健常者の発生率を r 、求める決定可能人数を A_i とする。決定可能人数 A_i は以下のように算出される。

$$x = S_i - (d_i * r + \sum_{i=0}^n e_i) \quad (1)$$

$$A_i = \begin{cases} x & (x \geq 0) \\ 0 & (else) \end{cases}$$

この決定可能人数の調整を最短シミュレーションで災害弱者のたらい回しが起こった避難所にて行う。このとき、全避難所の決定可能人数が未決定者の数を下回らないようにしなければならない。被災者全体の人数を E とすると、決定可能人数と被災者の数についての制約は以下のようになる。

$$\sum_{i=0}^n A_i \geq E - \sum_{i=0}^n e_i \quad (2)$$

制約となる式 (2) を満たさない場合、「決定不可能」と判定する。

4.3 改良ナップサック手法の適用

避難所の決定可能人数を避難所の集中度合に基づいて調整した後、未決定の被災者をナップサック問題によって決定する。今回用いるナップサック手法では災害弱者を優先的に決定するように梅木らの手法を改良する。表 3 による例を本手法に適用すると表 4 のようにリストは作成される。表 4 では避難時間に加えて、災害弱者であるかを 0, 1 で置きかえた値を被災者に割り当て、ソートを実施している。従って表 4 は上前半と下後半の部分で災害弱者のみのリス

トと健常者のみのリストで分けることが可能である。災害弱者のリストからナップサック手法を適用し、その後、健常者の避難所決定を行う。

表 4 提案手法によるソートを実施した避難時間リスト

Shelter0(1 人)	Shelter1(2 人)	Shelter2(2 人)
60(Agent4)	50(Agent5)	85(Agent4)
70(Agent5)	65(Agent4)	90(Agent5)
5(Agent1)	10(Agent2)	25(Agent3)
15(Agent2)	15(Agent3)	30(Agent1)
25(Agent3)	20(Agent1)	30(Agent2)

以上が本研究による災害弱者と指示に従わない健常者を考慮した上でナップサック問題を解くまでの手順を示したものである。

5. 評価実験

本研究の提案手法を評価するにあたり、マルチエージェントシステムのシミュレーションを用いて、実際の環境をモデルにしたマップ上にて複数のエージェントを動かし、エージェントが全て避難所に避難完了するまでの行動を観測した。

5.1 実験環境設定

祇園祭が行われている時に地震等の災害が発生した場合をシミュレーションシナリオとして想定する。実験にはシミュレーションツール Scenargie[10] を用いた。被災者をエージェントとし、エージェントが一斉に行動を開始し、マップ内のいずれかの避難所に入り行動を終了するまでの時間をその被災者の避難時間とする。被災者数 300 人、災害弱者はそれの 20% に当たる 60 人、避難所数 23 箇所、合計収容可能人数 347 人の設定である [11]。

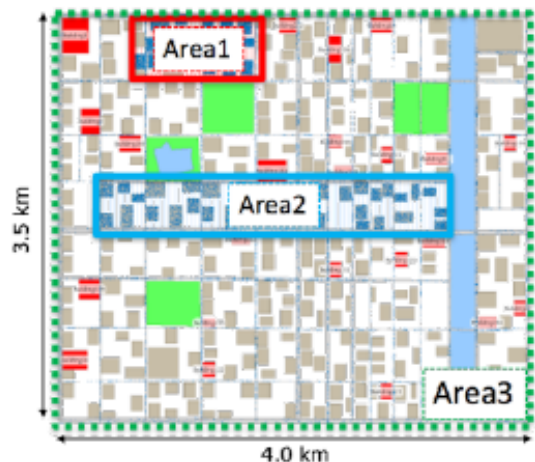


図 3 祇園四条周辺をモデルにしたマップ

健常者と災害弱者の歩行速度は、森下らが測定した歩行速度 [2] を参考に、健常者は 1.1~1.5m/h、災害弱者は

表 5 被災者全員の平均避難時間 (単位:秒)

		発生 0%	発生 20%	発生 40%	発生 60%	発生 80%	発生 100%
被災者全体	想定 0%	888.8	1118.5	1470.0	1692.8	1927.6	2099.21
	想定 20%	1025.9	971.9	1089.9	1347.7	1666.6	1982.7
	想定 40%	1201.5	1071.9	1046.4	1226.9	1624.7	2009.3
	想定 60%	決定不可能					
	梅木手法	1024.1					
		発生 0%	発生 20%	発生 40%	発生 60%	発生 80%	発生 100%
健常者のみ	想定 0%	790.17	757.0	763.1	795.0	858.2	914.2
	想定 20%	941.7	863.5	839.2	844.5	880.6	980.4
	想定 40%	1173.8	978.9	911.9	907.5	895	982.3
	想定 60%	決定不可能					
	梅木手法	653.8					
		発生 0%	発生 20%	発生 40%	発生 60%	発生 80%	発生 100%
災害弱者のみ	想定 0%	1283.3	2914.5	4298.0	5283.8	6155.2	6839.2
	想定 20%	1362.9	1405.4	2092.4	3360.8	4810.3	5992.1
	想定 40%	1312.1	1443.9	1584.6	2504.1	4542.1	6117.5
	想定 60%	決定不可能					
	梅木手法	2505.6					

0.4~0.7m/h と設定する。被災者の歩行速度はシミュレーションツールの仕様により、設定された速度を基準にして、同一道路に存在する被災者の多寡によって動的に変化するものとする。

被災者の初期配置パターンを Area1, Area2, Area3 の 3 種類とする (図 3)。Area1 はマップの上方部から、Area2 はマップの中央部、Area3 はマップ全体の道路を初期位置とする。それぞれのエリアには全被災者の 3 分の 1 ずつを初期位置として配置する。

決定可能人数を算出するにあたり利用する従わない健常者の想定割合を 0%, 20%, 40%, 60% の場合で実験を行う。

アルゴリズムにて避難先が決定すると、エージェントは指示された避難先へ最短経路を経由して向かう。エージェントがアルゴリズムの指示に従わない場合、そのエージェントは初期位置から最短となる避難所に最短経路で向かうものとする。到着した避難所の収容可能人数が既に収容可能人数に達し、たらい回しにされたエージェントはその位置から最短の位置にある避難所を目的地として再決定し、行動を再開する。指示に従わない健常者はアルゴリズムによって最寄りの避難所とは異なる避難所に決定された健常者の中からランダムに発生するようにする。

また、発生する割合を 0%, 20%, 40%, 60%, 80%, 100% と変化させて、発生率の変化によって起こる結果の差についても観測する。提案手法の評価には被災者の平均避難完了時間を用いて、従わない健常者の想定割合、実際に従わなかった割合の変化による結果の差の考察、さらに梅木らの手法による災害弱者や従わない健常者の存在を考慮しない通常のナップサック手法と提案手法の比較を行う。

5.2 実験結果

従わない健常者の想定割合と実際に従わなかった健常者の割合による各パターンの施行にて、被災者全体、健常者のみ、災害弱者のみの平均避難時間を出力、それぞれのパターンで 10 回施行して得られた平均避難時間の平均を表 5 に表している。表 5 の縦軸が想定する従わない健常者の割合、横軸が実際に従わなかった割合となっている。

被災者の種別に関わらず、想定割合が 0% の場合、全員が従った場合を除き一部が従わなければ、梅木手法よりも精度が下がる結果となった。

健常者の平均避難時間は、いずれのパターンでも梅木手法よりも長くなる結果となった。これは健常者の多くを梅木手法よりも遠い避難所に向かわせていたり、指示に従わない健常者が最短の避難所を目指した結果、たらい回しが発生することに起因すると考えられる。

災害弱者は従わない健常者が発生することを考慮した際、災害弱者の優先性と従わない健常者の想定がない手法よりも本手法は指示に従わない健常者の想定割合を 20% と 40% に設定した際、実際に発生した割合が同等数である場合、及び想定割合より発生率が 20% 多い場合において、梅木手法よりも災害弱者の平均避難時間を短縮することに成功している。

被災者全体の平均避難時間は、想定割合と実際の発生割合が共に 0% と 20% で等しい場合のみ従来手法より、短縮が見られた。

今回、実験の対象にしたシナリオでは、想定割合を 60% 以上に設定した場合、決定可能人数の合計は全被災者数を下回り、避難所の決定が不可能という結果となった。

6. 考察

本手法は、被災者の行動の不確実性を考慮し、目的地とする可能性がある被災者の数を予測し、加えて災害弱者に避難所決定の優先性を持たせることで、災害弱者の避難時間を削減させ、身体的負担を減らすことを目指した。健常者の一部が従わないことを想定した場合、実際に従わない健常者が発生した状況では考慮しない場合よりも、本手法は災害弱者の平均避難時間を減らすことに成功している。災害弱者の支援を目的とする際、健常者の協力及びその貢献率が重要であるかが考察される。

実際に発生した従わない被災者の割合が、想定されていた割合以内であった場合、本手法が災害弱者や従わない健常者の存在を考慮しない場合よりも災害弱者の平均避難時間を削減し、より早く避難させることに成功した。しかし、想定以上に従わない被災者の数が存在した場合、たらい回しの影響を防ぐことが困難となっている。このことより、本手法の精度が従わない割合の予測精度に依存している可能性がある。本手法をより効果的なものにするためには、被災者の避難所決定手法に関して従わない割合の予測について考える必要がある。

本手法は避難所の収容人数の合計が被災者の数を上回っていることを想定しているため、避難所に全ての被災者を収容できるだけのスペースが存在しない、または避難所に際限なく制限を設けた結果、全被災者を決定できる決定可能人数が不足し、避難所を決定することができない問題が生じる。被災者の数と避難所の収容可能人数の関係、アルゴリズムで決定が可能となる範囲を超えた場合の対処をしなければならない。他にも災害弱者が存在する割合が異なる場合について手法の有効性がどのように変化するか、被災者が避難所に到着するまでの経路の選択が避難時間等にどのように影響し、その上で経路と避難先を決定する手法を調査をする必要がある。

7. おわりに

本研究では、被災者の行動の不確実性、具体的にシステムからの避難指示に従わない被災者の存在に着目し、災害弱者をできる限り近い避難所に早く避難できる手法を提案した。本手法はシミュレーションにて観測される避難所の混雑度の情報と指示に従わない健常者の想定割合より避難所に決定する被災者の制限を設けることによる混雑の回避、さらに災害弱者に対して優先的な決定権を持たせることで想定される範囲において災害弱者の迅速な避難を促す効果を示した。そして、災害弱者の支援を目的とする際、一定数の健常者の協力の影響が提案手法の有効性に影響することを確認した。

しかしながら、本手法は想定する割合や避難所の収容可

能人数に関して、想定される割合が大きいと決定可能人数が被災者の数を下回り、避難所の決定が不可能になり、有効となる範囲が限定的なものとなっている。今後は、被災者の数や避難所の収容可能人数、被災者の行動予測や意思決定、経路選択、道路環境の動的変化の点について本手法の有効性の議論及びアルゴリズムの改良を検討している。

参考文献

- [1] 内閣府. 避難行動要支援者の避難行動支援に関する取組指針. 2013.
- [2] 森下朔, 水口竜一, 金井純子, 馬場俊孝. 要介護者の避難行動速度. 自然災害科学 J.SENDS, pp. 397–406, 2019.
- [3] 渡辺一志, 今井大喜, 山口貴大, 荻田亮, 岡田和伸, 横山久代, 生田英輔, 宮野道雄. 災害時避難行動要支援者 (要介護者および視覚障害者) および支援者の体力と避難行動. 都市防災研究論文集, Vol. 5, , 2018.
- [4] 難波義郎, 古川雄一. 災害弱者の現状把握と災害時の避難に関する研究-東広島市中心地域を対象としたケーススタディ. 近畿大学工学部研究報告, Vol. 40, pp. 41–46, 2006.
- [5] 玉森祐矢, 藤生慎, 中山晶一郎, 高山純一, 西野辰哉, 寒河江雅彦, 柳原清子, 平子紘平. 大規模地震災害時における災害時用援護者の避難シミュレーション〜国民健康保険データベースを用いて〜. 土木学会論文集 F6, Vol. 72, pp. 157–164, 2016.
- [6] 村木雄二, 狩野均. マルチエージェントシステムを用いた広域災害避難シミュレーション. 情報処理学会第 66 回全国大会 3M-6, 2004.
- [7] 村木雄二, 狩野均. 地域性を考慮した広域避難シミュレーションのためのマルチエージェントモデル. 人工知能学会論文誌, Vol. 22, pp. 416–624, 2007.
- [8] 新井健, 増田浩通, 落合哲郎. 災害弱者を考慮したマルチエージェント避難シミュレーションモデル. 第 3 回 KK-MAS コンペティション, 2007.
- [9] 梅木寿人, 中村優吾, 藤本まなと, 水本旭洋, 諏訪博彦, 荒川豊, 安本慶一. 混雑度の偏りを考慮した避難所決定手法. 情報処理学会論文誌, Vol. 60, No. 2, pp. 608–616, 2019.
- [10] Scenargie: Space-time engineering, lcc, available from. <https://www.spacetime-eng.com/jp/>. [Online; accessed 18-May-2020].
- [11] 京都市. 京都市避難所一覧.