

被災者の特徴を考慮した避難所決定手法

Evacuation Center Determination Method Considering Features of Disaster Victims

田中 智基[†] 松田 裕貴[†] 藤本 まなと[†] 諏訪 博彦^{†‡} 安本 慶一[†]
Tomoki Tanaka Yuki Matsuda Manata Fujimoto Hirohiko Suwa Keiichi Yasumoto

1. はじめに

東日本大震災や西日本豪雨などに代表されるように、日本各地で地震や水害といった自然災害が毎年発生している。災害の発生により、多くの被災者が避難を余儀なくされる。都市部で災害が発生した場合、道路の渋滞や封鎖、電車等の公共交通機関の運行停止に伴い、多くの帰宅困難者の発生が考えられる。例えば、東日本大震災発生時では、首都圏の外出者の約 20% 近くが当日自宅に帰れなかったことが分かっている [1]。巨大地震発生後の徒歩による帰宅は、群衆事故や救助の遅れを招く危険性がある。そのため、東京都は従業員や生徒をできるだけ事業所内や学校内などの避難場所で安全に待機させるための「東京都帰宅困難者対策条例」を制定している [2]。災害時における適切、効果的な避難所への誘導、避難経路推薦は被災者の安全確保のために重要となる。

これまで、避難所への避難誘導、避難経路推薦について、様々な研究がなされている [3, 4, 5, 6, 7]。従来の避難誘導に関する研究の多くは、被災者は最も近い避難所へと誘導させることが多く、各被災者同じ身体能力を持つと想定していることが多い。しかし、実際の避難時は、子供や高齢者、妊婦、身障者といった災害弱者と位置づけられる被災者が存在する。彼らが健康な成人と同じような行動をすることは困難である。例えば、高齢者や車椅子利用者は階段や高低差のある場所の移動が不可能である。そのため、被災者の能力と合わせて、階段や坂道など被災地の道路環境を考慮した避難誘導を検討する必要がある。また、災害発生後の火災や避難による渋滞などにより、被災地の道路環境は時間と共に変化する。そのため、動的に変化する被災地の道路環境にあわせた避難誘導を検討する必要がある。さらに、道路環境に加えて避難速度に影響を及ぼす要因として避難情報がある。適切な避難情報の伝達は被災者の避難速度を向上させる。そのため、被災地の情報発信能力や被災者同士の情報伝搬能力などの情報伝搬レベルも被災地の環境要因として考慮する必要がある。

本研究では、身体能力や土地勘の有無などの被災者の特徴を考慮し、かつ道路状況およびその動的変化、情報

伝搬レベルなどの被災地の環境を考慮した避難所決定手法について検討する。

2. 関連研究

本章では、現状の防災、避難所決定、避難経路探索に関連する研究についてまとめ、本研究の位置づけを明確にする。

災害時の避難誘導、避難経路探索の研究ではマルチエージェントを利用する手法が数多く行われている。村木ら [3, 4] は、地域の特性を考慮した、マルチエージェントシステムを用いた広域範囲における災害時の避難誘導の手法を提案している。この手法では障害物の有無、被災者の行動特性、弱者の有無、避難所に関する知識、土地勘などを表すパラメータをエージェントに持たせている。しかし、これらの手法は避難所の決定手法や収容人数、さらに身体能力による行動範囲や行動可能時間の制限については考慮されていない。

新井ら [5] 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を提案している。若者、高齢者、電動椅子使用者の 3 つに避難者を分類し、行動パターンを設定したマルチエージェントによるシミュレーションを行っている。しかし、想定されている状況は高層ビルやデパートなどの閉鎖された空間内であり、大規模な都市も含めた屋外で災害が発生した場合は考慮されていない。

北原ら [6] は、津波災害からの群衆避難において高低差が経路選択と避難状況与える影響について検討している。その結果、水平距離優先する避難者と高低差を考慮した経路選択を行う避難者の人数比が、経路選択に影響があるものの、避難完了時間には影響が少ないという結論を示している。しかしながら、この手法では、災害弱者や土地勘、行動の傾向、道の動的変化については考慮されていない。

梅木ら [7] は、被災者の位置情報及び各避難所の収容可能人数を考慮した避難所決定手法を提案している。しかし、この手法は避難後に発生する道路の混雑度や動的变化、被災者の身体能力などより詳細な特徴及びそれに伴う行動の制限、災害弱者の優先性についての考慮がされていない。

これらの関連研究は、様々な観点から避難経路、避難所決定の問題にアプローチをしているが、いずれも被災

[†] 奈良先端科学技術大学院大学, Nara Institute of Science and Technology

[‡] 理化学研究所, RIKEN

者の特徴、被災地の状況の変化などに関して不十分な点がある。そこで本研究では、これらの先行研究を踏まえつつ、災害避難における避難所決定に際して検討すべき要素について再検討する。

3. 災害避難時の避難所決定に影響する要素

被災者に対する最適な避難所の決定には、身体能力などの被災者の特徴と道路環境に代表される被災地の環境、およびその相互作用について検討する必要がある。表1は、避難行動に影響を与える要素について、被災者の特徴及び被災地の環境にわけて、その内容と対処法について整理している。なお、4章で述べる通り、避難所決定にはマルチエージェントシミュレーションによる検証を想定しており、対処法についてもそれを前提に検討している。

3.1 被災者の特徴が避難行動に与える影響

本節では、被災者の特徴が避難行動に与える影響について述べる。

被災者の身体能力 (表 1-P1) 現実社会は、成人の健常者だけではなく、子供や高齢者、妊婦、身障者など、多様な人々により構成されている。この中で、妊婦や身障者などの災害発生時に自力での避難が通常の者より難しく避難行動に支援を要する人々を、災害弱者と呼ぶ。災害弱者は、成人の健常者とは身体能力の点で明確な差があり、行動速度や行動可能時間、行動可能範囲に制限がある。図1に示すように、車椅子の利用者や足腰が不自由な高齢者は、移動速度が遅く、段差の移動をするのは困難といえる。

避難所決定において、避難所の収容人数にあわせて近距離の被災者から収容する手法の場合、災害弱者が最短距離となる避難所よりも遠い避難所に割り当てられることが考えられる。災害弱者を遠い避難所に向かわせることは、必要な移動距離を増加させ身体的負担を課し、怪我や逃げ遅れにつながる可能性がある。高齢者や身障者のような災害弱者の避難は、彼らに出来る限り身体的負担を軽減させる避難所の推薦が重要となる。

被災者の情報取得能力 (表 1-P2) 被災者の行動は身体能力だけでなく、被災者が自身がいる場所や避難所、経路に関して、どれほどの情報を持ち、情報をどれだけ取得できるかということも大きく影響する。被災者は災害発生時、安全な避難場所へ避難するために誘導員や放送、所有するスマートフォンなどのデバイスなどから避難情報を取得することになる。しかし、全ての被災者が同程度の情報取得能力を持っているとは限らない。例えば、ある街で災害が発生し、避難所に向かうことが必要

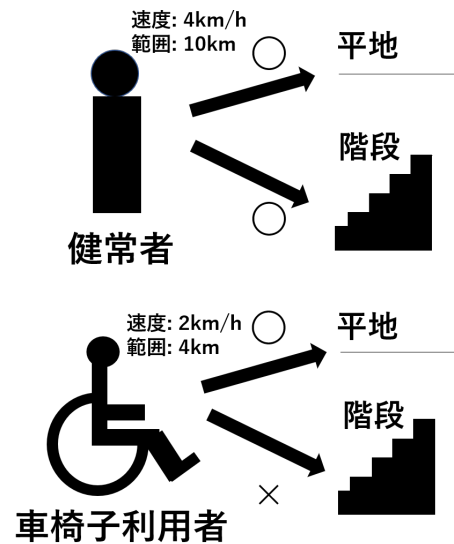


図1: 健常者と車椅子利用者の行動可能速度・範囲の差異

となる場合、被災者には「避難所の位置及び行き方を知っている住人」と「そこに訪れるのは初めてである土地勘のない観光客」では、情報取得能力に差が発生する。住人が経路を調べて道を判断し、移動するのに時間をかけることなく迷わず避難所に辿り着けるのに対し、観光客は情報の判断の時間も含めて、土地勘のある住人より多く避難所に到着するまでの時間が必要となる。他にも言語能力に関連した情報取得能力の問題も考えられる。日本に訪問、在住する外国人は近年増加しており、各自治体から外国人向けに英語や中国語など多言語による避難情報の提供が準備されている。しかし、観光などで訪れる外国人が、日本に滞在中に正確な情報を手に入れ、スムーズに行動することは決して容易ではない。日本語能力の有無によって「周囲の人に聞くことができない」、「意思疎通がとれない」といった事態が発生することが容易に想像できる。これは、災害避難において非常に大きな障害となる。被災地に不慣れな被災者に対しては、情報取得能力や取得した情報量に応じた行動時間を考慮した避難所決定が望まれる。

3.2 被災地の環境が避難行動に与える影響

本節では、被災地の環境が避難行動に与える影響について述べる。

道路環境 (表 1-E1) 人々が通行する道には、平地だけでなく坂道や段差、障害物などが存在する。前節で述べたように、高齢者や身障者のような災害弱者は、段差の移動が困難である。そのため、被災者の避難所を決定する際には、被災者が移動可能かどうか判断するために、道路環境を把握する必要がある。システムは、被災者の

表 1: 避難行動に影響を与える要素

	内容	対処法
被災者の特徴	(P1) 災害弱者は健常者と身体能力の差異があるため、行動可能間、行動可能範囲の制限がある。	シミュレーション上にてエージェントに行動の制限、避難所決定に優先性を持たせる。
	(P2) 土地勘の有無によって避難所までの道を把握するのに時間がかかる、外国人が言語能力の有無で周囲との意思疎通、情報共有が難しくなるなど被災者の避難情報の取得力は避難所までの移動時間に影響を与える。	情報取得能力および取得した情報量に応じた避難速度を算出し、それに基づく最適な避難所を推薦する。共通言語を使用する者同士を合流させることによる避難速度変更なども検討する。
被災地の環境	(E1) 道路環境によって被災者の移動速度、移動可能範囲が変化する。	道路環境ごとに被災者の行動との関係を考慮する。
	(E2) 道路の混雑、封鎖によって移動速度の減少、避難経路変更が必要になる。	道路混雑度、道路封鎖状況をリアルタイムに把握・予測し、最適な経路および避難所の推薦を行う。
	(E3) 情報伝達手段の有無およびその利用率・通信障害の程度が被災地の情報伝達力に影響し、結果として被災者の避難行動に影響が生じる。	被災地の情報伝達能力および被災者の情報取得能力を考慮した避難速度を算出し、それに応じた避難所決定手法を考える。

特徴と被災地の道路環境を考慮することで、到達可能な避難所の抽出や到達時間の計算が可能となる。

道路環境の動的変化 (表 1-E2) E1 で指摘した道路環境は、動的に変化する。この動的変化は、被災者の避難行動に影響を与える要素である。災害時に起きる火災、建物の倒壊、水没などによって道路が封鎖され、避難所に向かう最短距離が変化する可能性がある。このような際、道路状況を正確かつ迅速に把握し、被災者に最適な経路変更を示さなければならない。

他にも、被災者が一斉に避難を開始し始めることで一定の場所に被災者が多数集まり、混雑により移動速度が下がることが考えられる。避難所決定には、このような動的な道路環境の変化を把握をしたうえで避難経路および避難所を決定できるようにすることが望ましい。

被災地の情報伝達能力 (表 1-E3) 災害発生時、被災者は被災地にいる状態で情報を取得しなければならない。これは、被災者の情報獲得が被災地の環境に依存することを意味する。被災地では、ラジオ、テレビ、スマートフォン、防災無線、人づてなど、様々な手段を用いた情報伝達が行われる。住民に対しては、ラジオ、テレビ、スマートフォン、防災無線など多様な情報伝達手段が存在するが、旅行者などに代表される訪問者に対しては、スマートフォンや防災無線、人づてなどが主な情報手段と考えられる。

特に、スマートフォンは、各被災者の位置や使用言語などのコンテキストを把握することができるため、重要な情報伝達手段と考える。仮に、スマートフォンにイン

ストールされたアプリを使用することで避難所までの経路及び避難所情報を取得できると想定した場合、被災者のアプリ利用率や災害発生による通信障害の程度は、情報伝達に大きな影響を及ぼす。

また、防災無線は、住民/訪問者問わずその地域の被災者に一斉に情報伝達可能であることから有効な情報伝達手段であると考えられる。ただし、防災無線の多くは日本語で情報伝達されるため、被災者の情報取得能力（言語能力）を考慮する必要がある。

さらに、住民やアプリを持っている被災者から人づてで避難情報が伝搬することも考えられる。この場合、防災無線と同様に被災者同士の言語能力が情報伝搬に影響を及ぼすと考えられる。

これら被災地の環境の情報伝達能力は、被災者の情報獲得能力と相まって避難行動に影響を及ぼすこととなる。そのため、被災地の情報伝達能力および被災者の情報獲得能力を考慮した避難所決定手法を検討するとともに、情報伝搬の活性化を図るアプローチが必要である。

4. マルチエージェントシミュレーションを用いた避難所決定法とその検証方法

本研究では、マルチエージェントによるシミュレーションを利用した実験を行い、被災者の特徴考慮の有効性を検証する。提案シミュレーションでは、被災者をエージェント、被災地の環境をフィールドとし、各エージェントとフィールドとの相互作用により、避難行動を表現する。本章では、考慮すべき被災者の特徴および被災地の環境の表現方法および避難所決定アルゴリズムについて述べる。

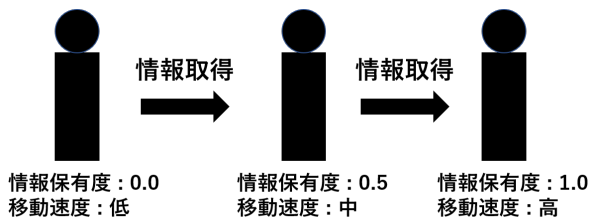


図 2: 情報取得による歩行速度の変化

4.1 エージェントに関するパラメータ

被災者に相当するエージェントは、身体能力、情報取得能力に関するパラメータを持つ。パラメータの詳細およびパラメータに基づく避難行動について述べる。

身体能力のパラメータとしては、被災者のカテゴリ（子ども、成人、高齢者、妊婦、身障者など）毎に、平均歩行速度、歩行可能時間や範囲、段差の歩行の可否などが考えられる。平均歩行速度は、そのエージェントの基準となる歩行速度であり、道路環境によって上下する。歩行可能時間は、そのエージェントが移動可能な時間を表し、被災地の環境条件と相まって歩行可能範囲が決定される。段差歩行の可否は、階段などの段差を歩行可能であるかを判断する基準であり、避難経路を算出する際の制約条件の一つとなる。

情報取得能力のパラメータは、土地勘の有無、国籍（日本人／外国人）などが考えられる。土地勘の有無は、避難所までの道を把握する程度に影響を及ぼし、国籍は他のエージェントやフィールドから提供される情報を取得する際の意味疎通の程度に影響をする。エージェントは情報取得能力に基づいて、収集する情報量が増加する。エージェントは、スマートフォン、防災無線、周辺の被災エージェントなどを通じて情報を得ることで数値が増加する。さらに、図2で表すように情報取得により情報量が増加することで、エージェントの移動速度が変化することを表現する。

これらのパラメータは、歩行速度のように数値データで表すものと、段差歩行の可否のように「0,1」の2値データで表すことができるものが存在する。各エージェントは静的な基本パラメータが与えられるが、いくつかのパラメータは、他のエージェントやフィールドとの相互作用によって変化する。

4.2 フィールドに関するパラメータ

被災地に相当するフィールドは、道路環境や情報伝達能力に関するパラメータを持つ。パラメータの詳細およびパラメータに基づく避難行動について述べる。

道路環境は避難所、平地、段差、坂道、建物、障害物の種類に分類する。

1. 避難所: 被災者が目的地とする地点。被災者はここに到達したとき、移動を終了する。一定の収容可能人数がある。
2. 平地: 通常の道。一定の幅を持ち、混雑度によって被災者の行動速度に影響を及ぼすことがある。
3. 段差: 車椅子利用者などの災害弱者の行動範囲を制限する。
4. 坂道: 被災者の身体能力によって、被災者の行動速度に影響を与える。
5. 建物: 環境に予め存在する。通行不可。
6. 障害物: 通行不可。災害時に建物等の倒壊によって通常の道に発生することで通行を妨げることがあるように、環境の動的変化をもたらす要因となる。

動的変化のパラメータは、道路の混雑や障害物の発生などが考えられる。道路の混雑は道となるフィールドに被災者のエージェントがどれほど集合しているかを示す人口密度のパラメータを変化させることで表現する。この人口密度のパラメータが混雑度の指標となり、エージェントの行動速度を変化させる。また、建物の倒壊等によって道に瓦礫などの障害物が発生し、通行を妨げることが起きる。シミュレーション上においてはフィールドの種類を「平地」から「障害物」へと変化させることで表現する。

情報伝達能力のパラメータとしては、防災無線の発信の有無と伝達範囲、通信回線などが考えられる。防災無線は、ある地点から一定の範囲にいる被災者に情報を伝達させる。情報がエージェントに伝達されるとエージェントの情報保有度の値が増加する。この情報伝達が日本語によるもので外国人には情報として伝わらないということ想定するならば、情報保有度が増加するエージェントの種類が限定される。

4.3 シミュレーションの実施

シミュレーション実験を行う想定環境は、特徴考慮の有用性を測るために、それぞれの特徴による影響を受けやすくなるような設定をする。身体能力を考慮した手法を検証する場合、想定する環境は災害弱者にとって移動の障害となる段差、高低差が存在するものを想定する。

上述の情報取得行為に関しては、土地勘がある住人、観光客、外国人など特徴を持つ被災者の数、割合をパターンごとに応じて設定したシミュレーションを行う。

また、様々な属性の人に対して様々な経路を試し、最も短い避難時間となる避難所決定を行う。ただし、すべての経路に対してシミュレーションを実施するには膨大な時間が必要であるため、より高速に最適な避難所を決

定できるアルゴリズムについて検討する。例えば、身体能力や情報獲得能力が低いエージェントから優先して避難所を決定するアルゴリズムなどが考えられる。

4.4 避難所決定法, 評価

実験の評価は全被災者が避難所に避難完了となる時間の比較によって行う。被災者から最短距離となる避難所が避難先として決定するのが基本となるが、避難所の収容可能人数の超過, 身障者の逃げ遅れ, 身体的負担の増加を防ぐために, 本研究では避難所の収容可能人数の制約, 身障者などの災害弱者に対する優先性を考慮した上で, 被災者にそれぞれが向かうべき避難所を決定する。

5. まとめ

本研究では, 災害発生時に被災者の行動に影響を及ぼす, 災害弱者の身体能力や, 土地勘の有無, 言語能力などの被災者の特徴について, それらの対処方法, 災害避難シミュレーションへの考慮について検討した。災害避難時に被災者ごとにリアルタイムの最適な避難所決定を実現するために考慮すべき要素は多岐にわたり, それぞれに解決すべき対処法が存在する。今後は Scenargie [8] によるシミュレーションを行い, 被災者特徴の考慮の有効性を検証する。

謝辞

本研究は科研費基盤研究 (A) 19H01139 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] 廣井悠, 関谷優吾, 中島良太, 藁谷峻太郎, 花原英徳. 東日本大震災における首都圏の帰宅困難者に関する社会調査. 地域安全学会論文集, Vol. 15, pp. 343–353, 2011.
- [2] 大佛俊泰. 東京都帰宅困難者対策条例を考慮した徒歩帰宅者数の推定. 日本建築学会計画系論文集, Vol. 81, pp. 705–711, 2016.
- [3] 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.
- [4] 村木雄二, 狩野均. 地域性を考慮した広域災害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. 416–424, 2007.
- [5] 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.

- [6] 北原武嗣, 岸祐介, 久保幸奨. 高低差を考慮した津波災害時の群衆避難における経路選択に関する一検討. 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol. 69, No. 4, pp. L1067–L1075, 2013.
- [7] 梅木寿人, 中村優吾, 藤本まなど, 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.
- [8] Scenargie: Space-time engineering, lcc, available from. <http://www.city.kyoto.lg.jp/gyozai/cmsfiles>. [Online; accessed 25-July-2019].