

世帯構成員の集合を考慮した避難所決定手法の検討

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

概要: 各地方行政をはじめとした機関による災害対策方針では、家族同士が別々の場所にいる状況に対して、合流する避難所や待ち合わせの場所を予め決めておくことを推奨する場合が多い。しかし、情報技術が発達し、被災者の位置情報の取得、分析がさらに容易になることを考慮すると、より効率的な避難所決定が行える可能性がある。本研究は、家族世帯の構成員同士が離れている状況を想定し、世帯ごとに対する避難所決定の方針の違いによる避難時間への影響を論じることを目的とする。避難所の決定方法は、「予め定まった避難所を向かう」方針を基にした「自宅基準時間設定」に加え、被災者の分布に応じた「最大避難時間設定」「最小避難時間設定」「平均避難時間設定」の計4つとする。それぞれの設定を評価するために、約30,000人規模の市の避難を想定したマルチエージェントシミュレーションを実施する。結果として、平均避難完了時間は「平均避難時間設定」で約21%減少、全体避難完了時間は「最大避難時間設定」で約22%減少することが確認された。また、世帯を考慮しない避難所決定では、全体避難完了時間は最大避難時間設定と比べ1時間20分以上短いのにに対し、複数人の構成員による世帯の合流率は約23.6%になるという避難時間と世帯合流率のトレードオフの関係が確認された。

Evacuation Shelter Selection Methods That Consider Gathering Family Members

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

1. はじめに

突発的な災害発生時において、家族の構成員が家の外へ出ていることや、別々の場所にいる可能性は十分に高い。家族や近親者の安否は被災者にとって大きな懸念であり、近くにいらない状態で被災することで、心理的負担や避難行動への影響が指摘されている [1]。そのため、避難指示を発令する際、被災者の家族関係、社会的関係を考慮することは、迅速で的確な避難行動を促すことに繋がると言える。

地方自治体や非営利組織などが制定している避難マニュアルでは、家族で予め自宅付近を中心に避難先や待ち合わせ場所を決めておくことを勧めていることが多い [2], [3]。しかし、突発的な災害発生時において、世帯構成員の分布状況は必ずしも自宅近くになるとは限らない。そのような状況において、多くの自治体で採用されているような、予

め避難先を決定する方針は限界があると考える。

近年、国や各都市によってスマートシティ計画が推進され [4], [5]、人の位置情報や人流、混雑度のデータを取得、分析、利用することがさらに容易なものになることが想定される。このスマートシティの活用方法の一例として防災の施策、避難誘導が挙げられる。被災者の位置情報、家族の分布状況を把握することで、リアルタイムで迅速に状況に応じた避難指示や情報発信が期待されている。被災者の分布を考慮した避難所決定として、我々はナップサック問題による手法 [6] を考案しているが、この手法は個人ごとの避難所の割り当てに止まっており、家族等の集団に対する避難所の決定には対応できていない。

本研究は、災害発生時に家族の構成員同士が別々の場所に分散している状況を想定し、世帯ごとに避難所を決定する複数の設定を提示し、それぞれの避難時間への効果を検証することを目的とする。避難所を決定する方法は、避難所に近い被災者から順番に決定する先行研究 [6] の手法を用いる。この手法を複数人で構成されるグループの決定に

¹ 奈良先端科学技術大学院大学
NAIST

² 理化学研究所
RIKEN

拡張させ、各世帯の避難所までの予想避難時間の複数の設定を示す。ベースラインは、多くの避難対策で用いられる「予め自宅周辺の避難場所を決める」方針を基にした「自宅基準時間設定」である。これに対し、本研究では、被災者の位置情報、構成員の分布を考慮した「最大避難時間設定」「最小避難時間設定」「平均避難時間設定」の3つを提案する。加えて、本研究では被災者個人ごとに避難所を決定する手法を適用した際の世帯構成員の合流率についても評価を行う。

評価実験では、約 30,000 人規模の都市の避難シナリオを対象にしたマルチエージェントシステムシミュレーションを利用し、平均避難完了時間、全体避難完了時間、避難完了率推移を測定した。シミュレーションの結果、世帯の予想避難時間の設定にて、避難所から最も遠い構成員の時間が大きく反映される場合において、「自宅基準時間設定」と比較して平均避難時間、全体避難完了時間の減少が確認された。また、被災者個人ごとの避難所決定は避難時間は他のパターンよりも比較的短いものの、複数人世帯の合流は約 23.6%程しか成功しない結果となった。

2. 関連研究

本章では、世帯避難行動に関する既存研究及び世帯合流を想定した各自治体で取られている避難方針について説明する。

2.1 家族関係が避難行動に及ぼす影響

被災者の行動は社会的関係の影響を受けることが考えられる。Mawson の研究では [7]、災害時に、被災者は親しい人間が近くに存在しない時に不安が増すことや、知人と集まることや親しい人を探す行動を優先することを指摘している。Taylor の研究でも [8]、集合行動は最も基本的な行動の一つであると示されている。Jacob らは家族同士が離れている状態で発生する肉体的および精神的な負担を軽減するために、家族同士を合流させることを優先する必要性を説いている [9]。また、各自治体はそれぞれ、災害発生時に備えるための避難マニュアルを発行し、家族を対象にした防災対策について、避難場所やルート、待ち合わせ場所を家族で事前に決めておくことを挙げている [10], [11], [12], [13]。このように、家族が集まって避難することは重要であると言える。

2.2 スマートシティと防災

GPS を搭載したスマートフォンなどの端末の普及は、位置情報の取得、推定、幅広い活用を促している [14]。災害発生時においても、ビッグデータとして位置情報を利用し、人の混雑や移動の推定、避難場所の設置、救護活動、安否確認などに役立てられる。さらに、近年ではデジタルツイン技術が発達し、スマートシティ構想が国や地方都市で推

進され [15]、多くの場面に浸透していくとされる。スマートシティ技術の災害対策における活用法として、徳島県美波町では地区一帯に IoT デバイスによるセンサー網が構築され、住民に対して、警報受信や家族の位置情報がリアルタイムで把握できるアプリや通信機能付き IoT 装置の配布を行う事例もある [16]。地域社会の情報の効率的な収集、分析を可能とするシステムは、住民や行政とのかかわり方も含め、その導入、運用の方法、有り方について検討が進められている [17]。しかしながら、このようなスマートシティの環境下において、家族同士の位置情報、分散状況を考慮した避難所への誘導のため取るべき方を論ずる研究は少ない。そこで、本研究では、各被災者の位置情報を利用し、家族の構成員が避難所で合流が可能となる避難所決定手法を検討する。

3. 避難状況の設定

本章では、対象とする想定状況及び問題設定について述べる。加えて、本研究で用いる避難所決定の手法についても説明する。

3.1 想定状況

突発的な災害発生時にて、構成員同士が別々の場所に分散している世帯が存在する状況を対象とする。被災者は安全を確保するために、避難先となる場所に移動しなければならない。ここでは、一定期間の滞在が可能となる「指定避難所」を避難先の候補とする。避難システムは被災者に対し、避難所が持つ収容可能人数を考慮しながら、移動時間が少なくなるように適切な避難先を指定する必要がある。

各被災者はスマートフォンなどのデバイスを所持しており、デバイスには避難先を通達するアプリケーションが搭載されているとする。避難指示を行うシステムは被災者が所持するデバイスから位置情報を取得する。この情報を基に避難所までの予想避難時間を計測、計測結果を基に避難先を決定し、被災者へ端末を通して指示を行う。被災者は指示された避難所へ徒歩で移動する。本研究における避難シナリオでは、このような避難所決定システムが普及しており、システムを運用するための通信インフラが機能していることを前提とする。

3.2 避難所決定手法

本研究では、被災者の被災地内の分布と避難所の定員を考慮したものとして、避難所と被災者によるナップサック問題を解くことで避難先を決定する手法 [6] を採用する。

Algorithm1 は手法の手順を示したものである。(以降 HKP 手法と呼ぶ。)被災者の集合と避難所の集合、被災者と避難所による予想避難時間行列を入力とする。表 1 は予想避難時間行列の一例となる。

この予想避難時間行列の中から避難時間が最も短い被災

Algorithm 1 HKP 手法の手順

Require: I : 被災者の集合, J : 避難所の集合, $VTable$: 集合 I, J による予想避難時間行列, $C_j (j \in J)$: 避難所の定員 j
Ensure: X_{IJ} : Shelter Selection List
1: $VTable \leftarrow \text{SortArc}(VTable)$ // Sort the list in ascending order for each shelter
2: **while** $|I| > 0$ **do**
3: $i, j \leftarrow \text{GetMinimumEvacuationTime}(VTable)$
4: $X_{ij} \leftarrow 1$
5: $VTable \leftarrow \text{RemoveEvacuee}(VTable, i, I)$
6: $C_j \leftarrow C_j - 1$
7: **if** $C_j = 0$ **then**
8: $VTable \leftarrow \text{RemoveShelter}(VTable, j, J)$
9: **end if**
10: **end while**

表 1 避難時間行列の例

| | 避難所 1 (定員:2 人) | 避難所 2 (定員:1 人) | 避難所 3 (定員:1 人) |
|-------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 被災者 1 | 40 分 | 10 分 | 20 分 |
| 被災者 2 | 30 分 | 15 分 | 15 分 |
| 被災者 3 | 25 分 | 20 分 | 40 分 |
| 被災者 4 | 20 分 | 25 分 | 30 分 |

者と避難所の組み合わせが選ばれ、その被災者は選ばれた避難所に割り当てられることとなる。表 1 の例では被災者 1 が避難所 2 までの時間が最小の 10 分であるため、被災者 1 が避難所 2 に決定される。避難先が決定された被災者及び定員に達した避難所の項目は避難時間行列から削除される。この作業を最後の被災者の避難先が決定されるまで繰り返すことになる。被災者 1 が決定された後は、残った項目の中で避難時間が最小である避難所 2 と避難所 3 の組み合わせが決定され、続いて被災者 4 が避難所 1 に決まり、最後に被災者 3 が避難所 1 に決定される。HKP 手法ではヒューリスティックな方法で被災者と避難所の組み合わせが決定される。

3.3 手法の改編

HKP 手法は被災者個人ごとに被災者を決定するものであり、各被災者同士の関係などは考慮されていない。想定する状況では構成員同士が別々の場所にいるため、個人ごとの位置情報のみを利用する手法では、他の構成員との合流が達成できない世帯が現れる。さらに、本研究で対象とするのは世帯ごとの避難所決定であるため、複数人の集団に対して目的地となる避難所を割り当てる必要がある。次章では、この世帯ごとに避難所を決定する方法について説明する。

4. 世帯ごとの避難所決定

本章では、世帯ごとの避難所決定についての新たな方針

を提示する。既存手法では個人ごとの避難所の決定を行っていたのに対し、本研究は複数人の集団に対し、避難所を割り当てる必要がある。そのため、以下の通り、世帯を考慮した変数を設定する。

表 2 世帯に関する変数の定義

| 変数 | 定義 |
|-----------|----------------------------|
| e_i | 被災者 i |
| H_k | 世帯 k |
| n_k | 世帯 k の構成員の数 |
| t_{ij} | 被災者 i の避難所 j までの予想避難時間 |
| t'_{kj} | 世帯 k の避難所 j までの予想避難時間 |

世帯 k の避難所 j までの予想避難時間 t'_{kj} は各構成員の位置と避難所までの距離を基に算出される。本研究では、ベースラインである「自宅基準時間設定」に加え、新たな 3 つの設定を提案する。

4.1 自宅基準時間設定 (GHKP-Home)

この設定は、多くの自治体で採用されている避難指針を表したものである。被災者の現在地に関わらず自宅の位置を中心とし、自宅から避難所までの時間を世帯の予想避難時間とする。

$$t'_{kj} = \text{TimeFromHomeToShelter}_{kj} \quad (1)$$

4.2 最大避難時間設定 (GHKP-Max)

この設定は、最も避難に時間がかかる構成員の避難時間が短くなるように考慮している。避難所から最も遠い構成員の避難時間が世帯の予想避難時間となる。

$$t'_{kj} = \max_{e_i \in H_k} t_{ij} \quad (2)$$

4.3 最小避難時間設定 (GHKP-Min)

この設定は、避難所に最も近い構成員の避難時間が世帯の予想避難時間に設定される。これは、最も避難所に近い構成員が先に避難場所を確保するという考えに則っている。

$$t'_{kj} = \min_{e_i \in H_k} t_{ij} \quad (3)$$

4.4 平均避難時間設定 (GHKP-Average)

この設定は、世帯内の避難時間の総和を減少させることを考え、構成員全員の避難所に対する予想避難時間の平均が世帯の予想避難時間に設定される。

$$t'_{kj} = \frac{1}{n_k} \sum_{e_i \in H_k} t_{ij} \quad (4)$$

4.5 各世帯に対する避難所決定の手順

上記のいずれかのパターンにて、各世帯の避難所までの予想避難時間が設定された後、各世帯の目的地となる避難所が決定される。避難所決定のプロセスは個人ごとの決定と同様、ヒューリスティックな手順が採用されるが、1ステップに複数人を割り当てる必要がある。したがって、避難所決定アルゴリズムは以下の Algorithm2 に示される。

Algorithm 2 GHKP 手法の手順

Require: I : 被災者の集合, H : 世帯の集合, J : 避難所の集合,
 $VTable$: Evacuation Time Table involved with I and J , C_j
($j \in J$): 避難所 j の定員

Ensure: $X_{H,J}$: Shelter Selection List

```
1:  $VTable \leftarrow Convert(VTable)$  // Convert the matrix
2:  $VTable \leftarrow SortArc(VTable)$  // Sort the list in ascending
   order for each shelter
3: while  $|H| > 0$  do
4:    $h, j \leftarrow GetMinimumEvacuationTime(VTable)$ 
5:    $VTable \leftarrow RemoveElement(VTable, h, j)$ 
6:   if  $C_j \geq n_k$  then
7:      $X_{h,j} \leftarrow 1$ 
8:      $VTable \leftarrow RemoveEvacuee(VTable, i, I)$ 
9:      $C_j \leftarrow C_j - n_k$ 
10:    if  $C_j = 0$  then
11:       $VTable \leftarrow RemoveShelter(VTable, j, J)$ 
12:    end if
13:  end if
14: end while
```

行1にて、入力される「被災者」×「避難所」の避難時間行列は「世帯」×「避難所」の避難時間行列へと変換される。また、行6で示すように、ナップサック問題において、重量の異なるアイテムを扱うこととなるため、避難所へ割り当てる前に世帯構成員全員が入ることが出来るスペースが存在するかを確認する必要がある。

5. 評価実験

上記で提示した各避難時間設定パターンによる避難時間への影響を評価するため、都市部の避難時を想定したマルチエージェントシステムシミュレーションを実施する。

5.1 シミュレーションシステム

本シミュレーションには Spcae-Time Engineering のシミュレーションフレームワークである「Scenargie」[18], [19] および拡張モジュールの「Scenargie Multi-Agent Extension Module」を使用した。シミュレーションの実行に使用したマシンスペックは以下の通りである。

- OS: CentOS Linux 7
- メモリ: 128 GB
- CPU: Intel Core i7-6850K 3.60 GHz 12 cores

5.2 実験シナリオ

本研究では、一都市の避難行動の一例として、奈良県生駒市全域生駒断層地震のシナリオを用いて検証を行う。生駒市より提供されたデータによると市全域で発生する被災者の数は全 32707 人になると想定される。図 1 はシミュレーション上の生駒市全域を表したものである。指定避難所は 32 箇所存在し、各避難所の定員は実際の収容可能人数に準拠している。

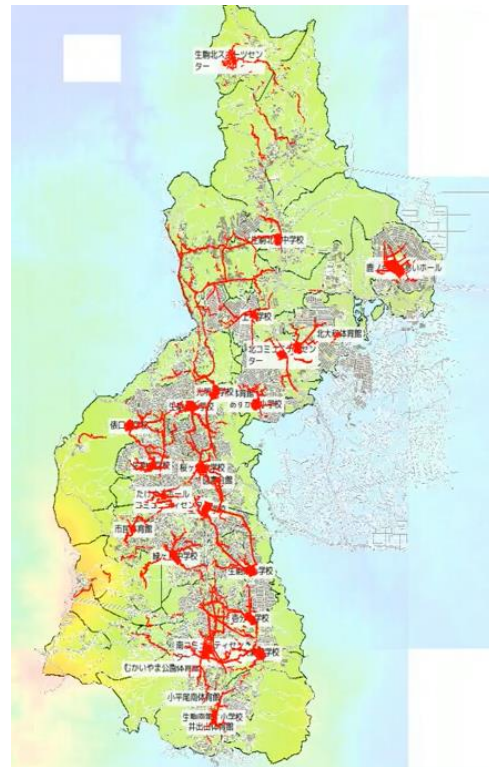


図 1 シミュレーションマップ全体

5.3 各パラメータ設定

5.3.1 世帯構成員

本シミュレーション内での、被災住民の世帯構成は生駒市を対象とした合成人口データの内容を参照する。合成人口データは、国勢調査、国、都道府県、市町村の統計を基に、対象地域と同規模になるように仮想的に構成した複数の世帯とそれらに所属する個人のデータである [20], [21], [22]。合成人口データを参照し、各町の被災者数と同じになるように世帯を選出した。世帯には 1 人の単独世帯から 8 人の世帯が存在する。

5.3.2 分布、初期位置

生駒市より提供された被災者データに基づいて、各町毎にその住人である被災者が存在することになる。加えて、対象シナリオにおいて住人が家の外へ出ている状況を想定し、被災者の初期位置を決定するために合成人口データの緯度経度のデータ及び Agoop による流動人口データ

を参照した [23]. 参照したのは奈良県の 2021 年 2 月 21 日から 27 日の 31429 人の午後 5 時と午前 3 時をタイムスタンプを比較した流動データである. 前者は対象シナリオの時間帯, 後者は被災者が自宅にいると思われる時間を想定している.

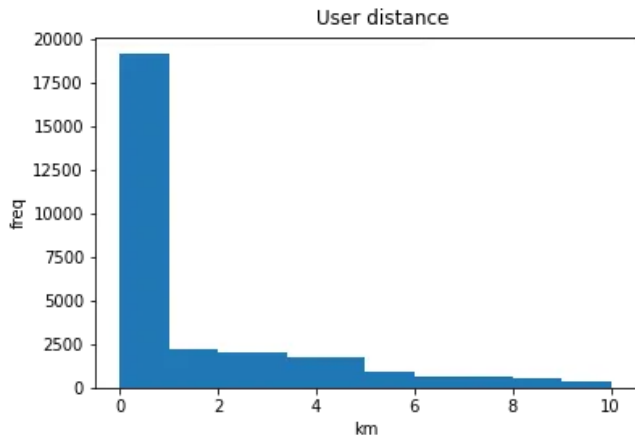


図 2 流動人口データ内ユーザーの移動距離の分布

各被災者の移動距離は, 図 2 に示されているユーザーの移動した距離の分布に基づいて, 決定される. 移動距離 0.5km を基準として, 自宅地点にいる被災者と外出している被災者に分類を行った. 自宅地点を初期位置とする被災者エージェントはシミュレーション上の合成人口データの緯度経度に該当する地点から行動を開始する. 残りの家の外を初期位置とする被災者エージェントは, 自宅地点が存在するエリアの中央地点から決定された移動距離の範囲にあるエリアの中のランダムな地点から発生し, 行動を開始する.

5.3.3 歩行速度

被災者の基本歩行速度は各調査やシミュレーションでの実装事例 [24], [25], [26] を参考にした上で, 以下の範囲で設定される.

$$v = 1.0 \sim 1.5 \text{ [m/s]} \quad (5)$$

加えて, 内閣府が実施した帰宅行動シミュレーション [27] 及び Fruin の資料 [28] を参考に, 道路中の混雑度によって歩行速度は変化することも反映する. 設定のためにここでは以下の変数を定義する.

- v_i : 被災者 i の標準歩行速度
- V_i : 被災者 i の歩行速度
- p : 被災者がいる道路の混雑度

道路混雑度は道路上の面積当たりの被災者数とし, 表す変数 p は次のように求める.

$$p = \frac{\text{NumberOfPeopleOnTheRoad}}{\text{RoadArea[m}^2\text{]}} \quad (6)$$

その上で, 実歩行速度 V_i は以下の様に算出される.

$$V_i = \begin{cases} v_i & (p_i < 1.5) \\ v_i - (v_i - 0.1) \times \frac{p_i - 1.5}{4.5} & (1.5 \leq p_i < 6) \\ 0.1 & (6 \leq p_i) \end{cases} \quad (7)$$

5.3.4 被災者の行動

被災者は所持しているデバイスから移動先となる避難所を通過され, 避難行動を開始する. 避難所までは開始地点より最短距離で移動し, 目的地となる避難所に到着し, 避難所の中に入ることで, 一連の避難行動が終了する.

5.4 評価指標

多くの場合, 避難の遅れによる被害が増大することを考慮し, 避難時間は短いことが望まれる. 本研究では, 被災者の避難完了時間は被災者が避難所へ到着し入った時間と定義する. そして, 以下の 3 つを避難時間の評価指標とする.

- 平均避難完了時間: 全被災者の避難完了時間の平均
- 全体避難完了時間: 全ての被災者が避難を完了した時間
- 避難完了率推移: 経過時間ごとの避難を完了した被災者の割合

実験には合成人口データより選出された世帯構成の組み合わせを 10 セット生成し, それぞれのセットにて各種避難所決定を適用させる.

また, 被災者個人に避難所を決める手法 (HKP 手法) について, 各世帯が全員同じ避難所で合流することが出来たかについても測定する. 以下, 全世帯及び単独世帯を除いた複数人による世帯の集合成功率 gh と gh' の式を示す.

$$gh = 100 * \frac{S}{N} [\%] \quad (8)$$

N は全世帯数, S は合流に成功した世帯数である.

$$gh' = 100 * \frac{S'}{N'} [\%] \quad (9)$$

N' は 2 人以上の全ての世帯数, S' は 2 人以上の世帯で合流に成功した数である.

世帯ごとに避難所を決定するパターン (GHKP) では必ず世帯構成員全員が同じ避難所に決定されるため, gh 及び gh' は 100 になる.

5.5 実験結果

5.5.1 平均避難完了時間

図 3 は各避難時間設定パターン毎の平均避難完了時間を表したものである. 図のように, 個人ごとの避難所決定手法にて平均避難時間が最も低く, 範囲は 776.73 秒から 787.91 秒であった. 世帯ごとの避難所決定のパターンの中

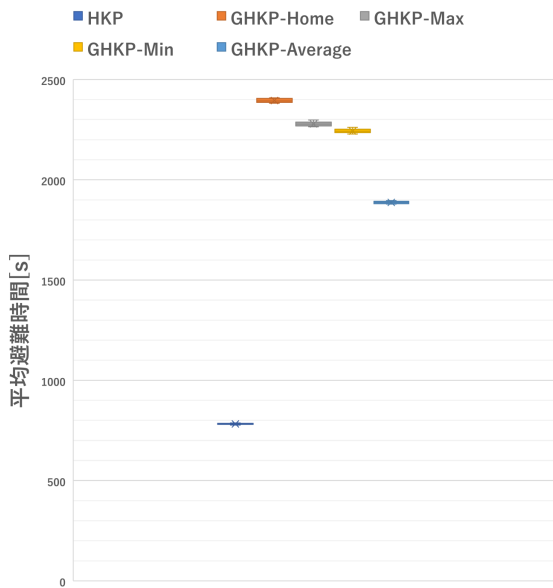


図 3 平均避難完了時間

と比較すると、平均避難時間設定にて最も平均避難時間が短い結果となり、範囲は 1878.93 秒から 1896.51 秒だった。

5.5.2 全体避難完了時間

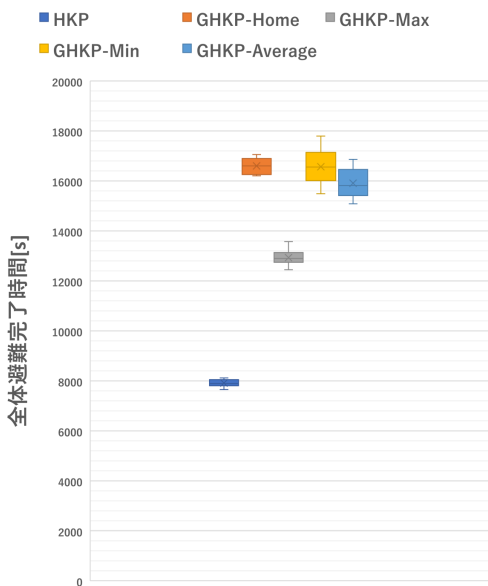


図 4 全体避難完了時間

図 4 は各避難時間設定パターン毎の全体避難完了時間を表したものである。平均避難完了時間と同様、単独での避難所決定での全体避難完了時間が最も短く、7,649 秒から 8,119 秒という結果となり、10 セットでの平均は 7,911.9 秒となった。最大避難時間設定にて全体の避難完了時間が最も短い結果となった。同パターンでの全体避難完了時間の結果は 12,444 秒から 13,574 秒となり、10 セットの平均は 12,929.6 秒となる。

5.5.3 避難完了率推移

図 5 は、避難完了率の推移を表したものである。単独の避難所決定ではどの世帯ごとの避難所決定の設定より早い避難完了率となる。全体避難完了時間について言及したように、最大避難時間設定では全被災者の避難は他の 3 つの設定より早く完了する。しかしながら、避難の初期段階においては、避難完了率の上昇率は他と比較して低い結果となった。3,510 秒頃に避難完了率が約 77%に至るまで、最大避難時間設定の避難完了率は他の設定より下回っている。平均避難時間設定にて、避難完了率は上昇率を示している。約 4,900 秒頃にて、平均避難時間設定の避難完了率は 90%を達し、個人ごとの避難所決定を除いて最も高い。この時点以降は、最大避難時間設定の避難完了率が上回ることになる。

5.5.4 集合率

表 3 は、被災者個人ごとを決定する方法を適用した際、各セットの世帯合流成功率を全世帯及び複数人世帯ごとにまとめたものである。全世帯での合流成功率の全 10 セットの平均は 45.57%であるのに対し、単独世帯を除いた 2 人以上の複数人世帯の合流成功率の平均は約 23.6%になった。

6. 考察

6.1 被災者位置情報が与える影響

想定避難時間設定同士の比較において、自宅基準時間設定は被災者の現在の位置情報を考慮しないものとなる。この設定を基準とすると、平均避難完了時間にて「平均避難時間設定」、全体避難完了時間にて「最大避難時間設定」が最も短い避難時間の結果となったことより、被災者の現在の位置情報を活用することによるが伺える。とりわけ、最大避難時間設定の結果を考慮すると、避難所までに最も時間がかかる構成員を中心にした影響が大きい。反対に、「最小避難時間設定」では避難所より最も遠い被災者の影響は極めて小さい。この傾向は「自宅基準時間設定」と近いものであるため、両者の避難時間や避難完了率推移における差は、「最大避難時間設定」や「平均避難時間設定」のもの比べて小さい結果となった。

IoT やスマートシティの技術が被災者の誘導に活用するにあたって、被災者の位置情報の把握と基準とする被災者の選択が重要な課題となると考えられる。

6.2 集団の考慮

世帯構成員同士を同じ避難所へ合流させることを制約としたことで、避難完了時間は平均避難時間が 2.4 倍以上、全体避難完了時間は 63%以上増加した。結果として、全ての家族同士の合流を前提とする場合、避難時間の著しい増加を誘発することになった。一方、個人ごとの避難所決定で複数人の世帯の合流率は約 23.6%に下がった。これらの結果より、避難時間の削減と世帯間合流の促進の間にてト

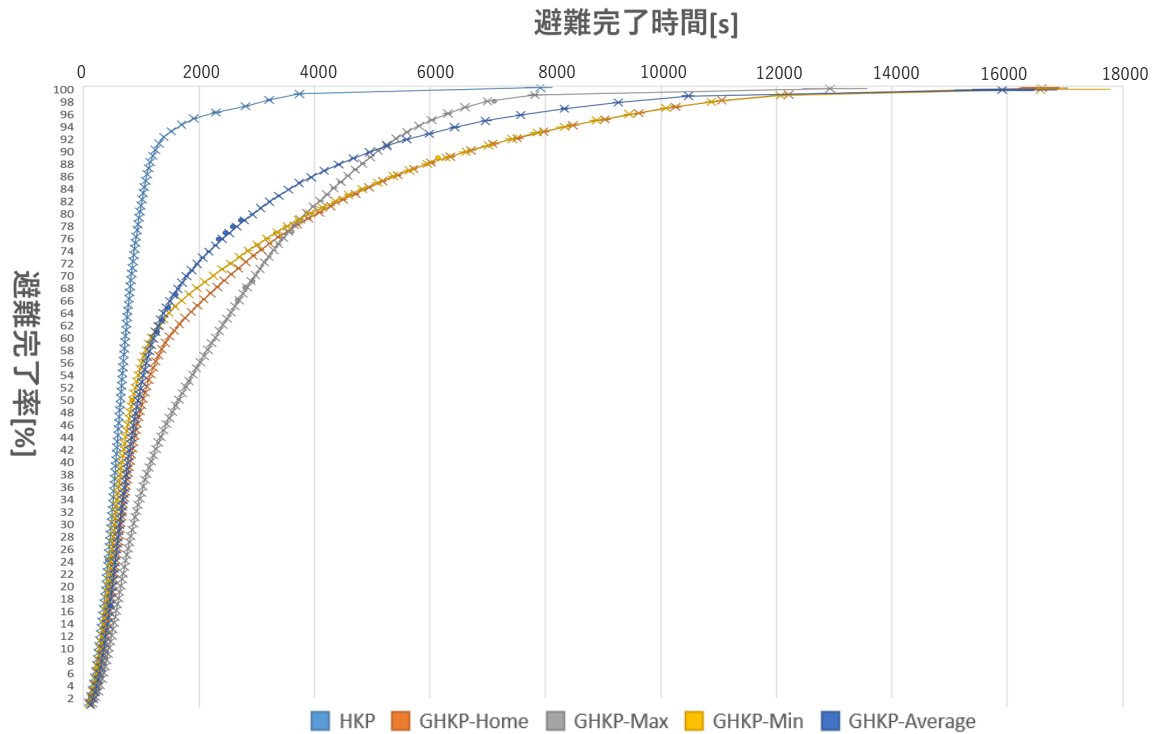


図 5 避難完了率推移

表 3 HKP 手法による世帯構成員の合流成功率

| Set | N [世帯数] | S [世帯数] | S' [世帯数] | gh [%] | gh' [%] |
|-----|-----------|-----------|------------|----------|-----------|
| 1 | 14010 | 6314 | 2343 | 45.06 | 23.33 |
| 2 | 14123 | 6463 | 2426 | 45.76 | 24.05 |
| 3 | 14089 | 6394 | 2303 | 44.74 | 22.82 |
| 4 | 14209 | 6598 | 2456 | 46.43 | 24.39 |
| 5 | 14081 | 6345 | 2367 | 45.06 | 23.42 |
| 6 | 14123 | 6425 | 2334 | 45.49 | 23.26 |
| 7 | 14058 | 6312 | 2366 | 44.89 | 23.39 |
| 8 | 14170 | 6459 | 2372 | 45.58 | 23.52 |
| 9 | 14301 | 6625 | 2470 | 46.32 | 23.34 |
| 10 | 14287 | 6624 | 2391 | 46.36 | 23.78 |

レードオフの関係が確認された。被災者個人ごとに避難場所を決定する方法と世帯ごとに避難所を決定する方法の両者の運用方法を考察すると、前者は津波発生時など比較的短い時間での避難が要求される場合、後者は災害発生後、避難のための時間が十分確保できる場合に有効であると言える。また、避難時間の削減と世帯間の合流、二つの問題を達成することを目的とする場合、避難所決定手法はより有効的な決定プロセスを持つことが求められると言える。具体的に、一律な予想避難時間を設定する代わりに、各世帯ごとに適した設定、或いは一定の時間の範囲内で、世帯合流率を増加させる手法が必要となるだろう。

6.3 本研究における決定手法の課題

本研究にて示した避難所決定方法はいずれも、通信インフラが被災地全域で利用可能であることが前提となってい

る。そのため、通信障害の発生した場合、手法は使用不可能である。また、これらの避難所決定手法は避難開始時の位置情報のみで避難先を決定している。したがって、避難行動中に発生する建物の倒壊や道路の封鎖などの状況変化に対応できていない。

本研究は、世帯構成員が被災地内に分散している状況より、構成員同士を同じ避難所へ合流させることを避難所決定パターンを試作した。しかし、実際の被災者には早い避難を優先させる場合と世帯間の合流を異なる。被災者の満たすために、避難所決定の考える必要がある。

7. おわりに

本研究は被災時において、世帯構成員が別々の場所にいる状態から避難所で合流することを想定し、世帯ごとの避難所決定について、ベースラインとなる「自宅基準時間設

定」と構成員の位置情報を利用した3つの設定を提示、各設定での避難完了時間の評価を行った。その結果、ベースラインと比較すると、平均避難完了時間は「平均避難時間設定」で約21%減少、全体避難完了時間は「最大避難時間設定」で約22%減少することを確認した。今後の課題として、世帯それぞれに適した予想避難時間や避難所の優先度の設定、一定の避難時間内での世帯合流率の増加を目指す避難所決定手法の考案が挙げられる。

参考文献

- [1] 片田敏孝, 金井昌信, 吉岡琢郎. 新潟豪雨災害にみる住民の世帯員間連携行動に関する研究. 土木計画学研究講演論文集, Vol. 31, , 2004.
- [2] 仙台市. Where is my refuge area(evacuation centers)? <http://www.city.sendai.jp/koryu/foreignlanguage/en/refugearea/index.html>. [Avalable online; accessed -2023].
- [3] Habitat for Humanity. Family evacuation plan habitat ready: Disaster preparedness for homeowners. <https://www.habitat.org/our-work/disaster-response/disaster-preparedness-homeowners/family-evacuation-plan>. [Avalable online; accessed -2023].
- [4] 内閣府・総務省・経済産業省・国土交通省スマートシティ官民連携プラットフォーム事務局. スマートシティガイドブック. https://www8.cao.go.jp/cstp/society5_0/smartcity/01_scguide_1.pdf. [Avalable online; accessed -2023].
- [5] 首相官邸. 日本のスマートシティ sdgs など世界が抱える課題を日本の society5.0 で解決. https://www.kantei.go.jp/jp/singi/keikyoku/pdf/smart_city_catalog.pdf. [Avalable online; accessed -2023].
- [6] 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.
- [7] Anthony R Mawson. Understanding mass panic and other collective responses to threat and disaster. *Psychiatry*, Vol. 68, No. 2, pp. 95–113, 2005.
- [8] S.E. Taylor. Affiliation and stress. *The Oxford Handbook of Stress, Health, and Coping*, 01 2012.
- [9] Binu Jacob, Anthony Mawson, Marinelle Payton, and John Guignard. Disaster mythology and fact: Hurricane katrina and social attachment. *Public health reports (Washington, D.C. : 1974)*, Vol. 123, pp. 555–66, 09 2008.
- [10] 内閣府防災情報のページ. 防災 qa. <https://www.bousai.go.jp/kohou/kouhoubousai/h20/11/question.html>. [Avalable online; accessed -2023].
- [11] 桂川町. 家族との連絡報などを決めておきましょう. http://www.town.keisen.fukuoka.jp/pdf/benri/hazard_guide06.pdf. [Avalable online; accessed -2023].
- [12] 草加市. 指定避難所・防災施設. <https://www.city.soka.saitama.jp/li/010/140/index.html>. [Avalable online; accessed -2023].
- [13] 首相官邸. 災害に対するご家庭での備え これだけは準備しておこう! <https://www.kantei.go.jp/jp/headline/bousai/sonae.html>. [Avalable online; accessed -2023].
- [14] 山本佳世子. 災害対策および感染症対策における位置情報の利活用と課題. 計画行政, Vol. 44, No. 3, pp. 57–62, 2021.
- [15] 三宅陽一郎, 清田陽司, 柴崎亮介. 特集:「スマートシティと ai の新展開」特集「スマートシティと ai の新展開」にあたって. 人工知能, Vol. 37, No. 4, pp. 401–403, 2022.
- [16] 竹口幸志ほか. スマートシティ施策の比較:「個別分野注力型」と「共創型まちづくり」の分析. 鳴門教育大学研究紀要, Vol. 36, pp. 312–323, 2021.
- [17] 並木志乃, 越塚登. 地域の課題解決と共助を支援するネットワークの構築. 情報学研究: 学環: 東京大学大学院情報学環紀要, Vol. 102, pp. 1–20, 2022.
- [18] Mineo Takai, Yasunori Owada, and Kaoru Seki. A comparative study on network simulators for its simulation ieee802. 11 medium access control (mac) models. In *16th ITS World Congress and Exhibition on Intelligent Transport Systems and ServicesITS AmericaERTICOITS Japan*, 2009.
- [19] Mineo Takai, Jay Martin, Shigeru Kaneda, and Taka Maeno. Scenargie as a network simulator and beyond. *Journal of Information Processing*, Vol. 27, pp. 2–9, 2019.
- [20] 原田拓弥, 高橋真吾, 村田忠彦. 仮想都市の統計情報を用いて合成した合成人口の評価. 計測自動制御学会第 22 回社会システム部会研究会資料, Vol. 22, , 2020.
- [21] Tadahiko Murata and Takuya Harada. Synthetic method for population of a prefecture using statistics of local governments. In *2018 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)*, pp. 1175–1180, 2018.
- [22] Takuya Harada and Tadahiko Murata. Projecting households of synthetic population on buildings using fundamental geospatial data. *SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration*, Vol. 10, pp. 505–512, 11 2017.
- [23] Agoop. 流動人口データ. <https://agoop.co.jp/service/dynamic-population-data/>.
- [24] 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.
- [25] Richard W Bohannon and A Williams Andrews. Normal walking speed: a descriptive meta-analysis. *Physiotherapy*, Vol. 97, No. 3, pp. 182–189, 2011.
- [26] Lakshmi Devi Vanumu, K Ramachandra Rao, and Geetam Tiwari. Fundamental diagrams of pedestrian flow characteristics: A review. *European transport research review*, Vol. 9, pp. 1–13, 2017.
- [27] 内閣府. 防災情報のページ, 帰宅行動シミュレーション結果について.
- [28] John J . Fruin. Crowd dynamics and auditorium management. *Auditorium News published by the International Association of Auditorium Managers*, 1984.