

高齢者の救援体制を考慮した避難計画モデル —津波に対する避難計画—

2016SS032 熊野健司

指導教員：佐々木美裕

1 はじめに

昨今、日本では南海トラフ地震の発生が危惧されている。地震が引き起こす災害には火災や津波等があるが、東日本大震災と阪神淡路大震災の年齢別死傷者数から、津波による死傷者数に関して、高齢者の割合が大きいことがわかる [3]。これは、高齢者の避難が遅れたことを意味しており、高齢者に焦点を当てた避難計画を求めることが死傷者数の減少に繋がると考えられる。

本研究では、近隣住民の協力による救援体制を前提とした避難計画モデルを提案し、高齢者の避難を迅速かつ安全に行うために救援体制の整備が有効であるかどうかを検証する。

2 避難計画の現状

津波に対する避難計画には、津波浸水区域の想定、津波避難ビルや防潮堤の設置、避難勧告発令の基準などが記載されている。このように避難計画ではさまざまな事項について考えられているが、地震発生直後の住民の行動に関して、総務省消防庁の津波避難推進マニュアル [2] では、1人ひとりの迅速かつ主体的な行動が推進されており、住民側が救援活動をすることは考慮されていない。

3 問題の説明

3.1 救援体制について

本研究では、高齢者の避難を助ける方法として救援体制を採用する。この救援体制では、自治体に所属する職員の負担を減らすため、地域に住む人々の協力を考える。救援の流れとしては、震災後、近隣の住民が高齢者の家まで赴き、共にいずれかの避難所へ向かうというものである。全体として避難時間がどれだけ短縮されるかを求めるため、全ての人の避難時間の和を最小化することを目的とする。

3.2 高齢者の分類について

65歳以上の人を高齢者とし、そのなかでも自力での歩行が難しい高齢者を「要救援度が高い高齢者」、以下、要救援者として、それぞれ分類して扱っている。図1では、

高齢者、要救援者をそれぞれ、赤丸と黒丸で表した。「高齢者」であれば救援者は2人まで同時に救援することが可能とし図1中「パス1」、要救援者に対しては、要救援者1人に対して救援者が1人つく「パス2」のような形を考えた。これによって、より現実的な避難計画が成されると考えられる。「パス3」は救援者が誰も救援せずに避難所へ向かうことを考慮したものである。

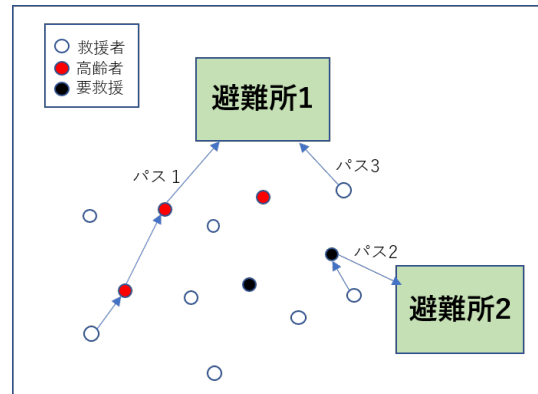


図1 避難計画イメージ図

4 定式化

救援体制を考慮した避難計画の総避難時間を最小化する問題を定式化するために、以下の記号を定義する。

N : 避難者宅 H , P , C と避難所 K の集合。

H : 救援者宅の集合。

P : 高齢者宅の集合。

C : 要救援者宅の集合。

K : 避難所の集合。

S_h : 救援者宅からの避難時移動速度。

S_p : 高齢者宅からの避難時移動速度。

S_c : 要救援者宅からの避難時移動速度。

d_{ij} : 点 i, j 間の距離。

次に、以下の変数を定義する。

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 : i \in N \text{ の次に } j \in N \text{ に訪問する。} \\ 0 : \text{上記以外。} \end{cases}$$

以上の記号を用いて定式化すると以下の通りになる。

$$\min. \sum_{i \in H} \sum_{j \in P \cup C \cup K} \frac{d_{ij}}{S_h} x_{ij} + \sum_{i \in P} \sum_{j \in P \cup K} \frac{d_{ij}}{S_p} x_{ij} + \sum_{i \in C} \sum_{j \in K} \frac{d_{ij}}{S_c} x_{ij} \quad (1)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{j \in P} x_{ij} + \sum_{j \in C} x_{ij} + \sum_{j \in K} x_{ij} = 1, \quad i \in H \quad (2)$$

$$\sum_{j \in P} x_{ij} + \sum_{j \in K} x_{ij} = 1, \quad i \in P \quad (3)$$

$$\sum_{j \in K} x_{ij} = 1, \quad i \in C \quad (4)$$

$$\sum_{i \in H} x_{ij} + \sum_{i \in P} x_{ij} = 1, \quad j \in P \quad (5)$$

$$\sum_{i \in H} x_{ij} = 1, \quad j \in C \quad (6)$$

$$\sum_{i \in P} x_{ij} + \sum_{k \in P} x_{jk} \leq 1, \quad j \in P \quad (7)$$

$$\sum_{i \in P} x_{ij} \leq 1 - \sum_{k \in P} x_{jk}, \quad j \in P \quad (8)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, \quad i, j \in N \quad (9)$$

(1) は全ての人の避難時間の和を表す。(2) は避難者が救援者宅から高齢者宅, 要救援者宅, 避難所のいずれかに向かうことを示す制約である。(3) は避難者が高齢者宅から高齢者宅, 避難所のいずれかに向かう制約である。(4) は避難者が要救援者宅から避難所に向かう制約である。(5) は高齢者宅には救援者宅, 高齢者宅のいずれかから救援が来る制約である。(6) は要救援者宅には救援者宅から救援が来る制約である。(7) は3連続以上高齢者宅へ向かわない制約である。(8) は高齢者宅 $j \in P$ から高齢者宅 $k \in P$ へ救援者が向かうならば, 1つ目の高齢者宅 $j \in P$ には救援者宅 $i \in H$ から救援が来る制約と, 高齢者宅 $j \in P$ から避難所 $k \in K$ へ救援者が向かうならば, 1つ目の高齢者宅 $j \in P$ には救援者宅 $i \in H$ または高齢者宅 $i \in P$ から救援が来る制約である。(9) は変数の0-1制約である。

5 計算実験

5.1 データの作成

静岡県浜松市南区の南海トラフ津波浸水予想区域の情報 [1] を基にデータを作成した。連携の取りやすい町単位での避難計画を想定し, 1km^2 の範囲をデータとして扱い, 範囲内の100人をランダムに抽出したマップを計算実験に使用している。[5] から, 救援者, 高齢者, 要救援者の割合をそれぞれ74%, 22%, 4%とした。避難所につ

いては, 浜松市防災マップ [1] から実際に見られた配置と 1km^2 あたりの平均避難所設置数が約3.85であることを考慮し任意で配置した。

5.2 計算実験と結果

救援体制を考慮した場合と, 現状の避難計画の場合とで計算結果を比較する。避難者の移動速度は, [4] から, 救援体制を考慮した避難計画の場合, S_h : 150m/分, S_p : 90m/分, S_c : 40m/分, 現状の避難計画の場合, S_h : 150m/分, S_p : 60m/分, S_c : 20m/分, として計算した。

計算結果を, 表1に示す。データを5つ用意し, Gurobi Optimizer 9.1.0にて計算を行った。計算に使用したPCに搭載されたプロセッサは, Intel(R) Core(TM) i5-6200U CPU@2.30GHz 2.40GHz, メモリは16.00GBである。求めた解を基にフェアな値を出した結果, どのデータにおいても, 救援体制を考慮した避難計画側の総避難時間が小さくなっており, 平均約11.3%の総避難時間短縮ができたことが分かった。また, 救援者は33.4%総避難時間が増加した一方で, 高齢者は51.6%減少した。

表1 総避難時間(分)

データ	提案した計画	フェアな値	現状の計画
1	152.5	226.0	255.2
2	143.4	196.5	218.8
3	155.1	212.3	239.8
4	180.4	249.0	280.7
5	178.1	251.4	285.8

参考文献

- [1] 浜松市防災マップ. <https://hamabosai.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=d4070f31679d487ab858eb38d1d6ae3a>. 2021年1月10日閲覧。
- [2] 総務省消防庁 津波避難対策推進マニュアル. https://www.fdma.go.jp/neuter/about/shingi_kento/h24/tsunami_hinan/houkokusho/p02.pdf. 2020年9月17日閲覧。
- [3] Honkawa data tribune 社会実情データ図録. <http://honkawa2.sakura.ne.jp/4363f.html>. 2020年9月17日閲覧。
- [4] リハビリ情報ブログ「白衣のドカタ」. <https://pt-matsu.com/gait-speed/>. 2020年9月17日閲覧。
- [5] Gd freak. <https://jp.gdfreak.com/public/detail/jp010050000001022130/2>. 2021年1月10日閲覧。