

# 人の滞在履歴データを用いた避難計画モデルの検討

岡田 啓希<sup>†</sup> 石樽 隼人<sup>†</sup> 武藤 敦子<sup>†</sup> 森山 甲一<sup>†</sup> 松井 藤五郎<sup>‡</sup> 犬塚 信博<sup>†</sup>

名古屋工業大学<sup>†</sup> 中部大学<sup>‡</sup>

## 1 はじめに

近年、地震など大規模な災害の発生が多く見られ、避難計画問題は非常に重要な課題となっている。避難計画問題とは、避難所の容量制約や経路での滞留などを考慮した上で、最も避難完了時間の短くなるように場所（建物）ごとに避難所の割り当てを行う問題である。

瀧澤らは、動的ネットワークフローモデル、辞書式最速流を用いた避難計画モデルを提案した [1]。しかしながら、本モデルでは一つの場所（建物）から一箇所の避難所へ避難するとは限らないという問題点がある。また、岡田らは人の滞在履歴データを用いた避難所割り当て手法を提案した [2]。しかしながら、本手法では経路の容量を考慮することができないという問題点がある。そこで、本研究では、各々の欠点を補い合うために、先述の2つの手法を組み合わせた避難計画モデルを検討する。

## 2 避難計画モデル

### 2.1 辞書式最速流

辞書式最速流とは、避難所の容量制約の下、避難完了時刻までの各時刻において、その間に避難を完了する人数を最大にするようなネットワークフローモデルである [1]。本モデルでは、頂点集合  $V$  と辺集合  $A$  を持つ有向グラフ  $D = (V, A)$ 、容量関数  $c$ 、移動時間関数  $\tau$ 、供給関数  $b$ 、そしてシンクの集合  $S \subseteq V$  で構成される動的ネットワーク  $N = (D, c, \tau, b, S)$  が与えられる。本研究では避難計画を想定しているため、供給点は避難対象場所（建物）、シンクは避難所、その他の頂点は交差点、辺は道路を示す。この時、避難計画問題は全ての供給量をシンクまで流すことが可能な最小時間を求める問題である。この問題に対しては、動的ネットワークを拡張して得られる時間拡大ネットワークを使用した。時間拡大ネットワークでは、各供給点へ繋がるスーパーソース  $v^*$  と各シンクから繋がるスーパーシンク  $s^*(\theta)$  を新たに定義する。この時、辞書式

最速流は時刻  $\theta = 1, 2, \dots, \Theta$  の順に、各時刻でのスーパーシンク  $s^*(\theta)$  への最大流を求めることで得られる。

本手法の欠点としては、一つの場所（建物）から一箇所の避難所へ避難するとは限らず、実質的な避難計画を行うことができないという点があげられる。

### 2.2 人の滞在履歴データを用いた避難所割り当て手法

本手法では、避難計画問題を場所（建物）と避難所とのマッチング問題と捉え、避難所の容量制約の下、場所（建物）の滞在人数と避難所までの距離の積の総和を最小化するような割り当てを算出する [2]。この問題は以下のように定義される。

$$\text{minimize } \sum_{x \in X} \sum_{y \in Y} z(x, y) R(x) d(x, y)$$

ただし、以下の制約を満たす  $z(x, y)$  を解とする。

**避難所容量制約.**

$$\forall y \in Y \sum_{x \in X} z(x, y) R(x) \leq \text{cap}(y).$$

**場所（建物）ごとに割り当てる避難所は一箇所.**

$$\forall x \in X \sum_{y \in Y} z(x, y) = 1.$$

$X, Y$  はそれぞれ場所（建物）の集合と避難所の集合、 $R(x)$  は場所（建物）の滞在人数、 $\text{cap}(y)$  は避難所の容量、 $d(x, y)$  は場所（建物）と避難所間の距離、そして  $z(x, y) \in \{0, 1\}$  は場所（建物）と避難所の割り当て関係を表す。この問題に対しては、線形計画法を用いて割り当てを求めるが、もし容量制約を満たす割り当てが存在しなかった場合には、避難所容量を少しずつ緩和することにより近似的に解を求める。本モデルでは、期間内の全滞在履歴データから各建物の各時間帯の滞在人数の代表値の算出方法によって、複数の避難所割り当てが算出される。

本手法の欠点としては、経路の容量を考慮できず、滞留が発生してしまい避難時間が大幅に遅れてしまう可能性があるという点、避難完了時間の最小化と直接の関連はないという点があげられる。

A Study on an Evacuation Planning Model Using Human Staying Records

Hiroki Okada<sup>†</sup> Hayato Ishigure<sup>†</sup> Atsuko Mutoh<sup>†</sup> Koichi Moriyama<sup>†</sup> Tohgoroh Matsui<sup>‡</sup> Nobuhiro Inuzuka<sup>†</sup>  
Nagoya Institute of Technology<sup>†</sup> Chubu University<sup>‡</sup>

### 2.3 2つの手法を組み合わせた避難計画モデル

本研究では、前述の2つの避難計画モデルの欠点を互いに補い合うため、その2つの手法を組み合わせた避難計画モデルを作成する。具体的には、2.2の手法を利用して複数の避難所割り当てを求めた後、各々についてネットワークを構築し、2.1の手法により避難完了時間を求め、最も避難完了時間の短くなった割り当てを最終的な避難計画とする。ネットワークを構築する際には、場所（建物）を供給点、避難所をシンク、交差点を中継点とし、初めに全ての道路を辺としたネットワークを構築し、その後各場所（建物）が割り当てられた避難所へのみに到達可能になるように切るべき辺を切ることで各場所（建物）が避難する避難所を指定する。ただし、避難経路が交差する箇所が存在する場合は、各々の避難所が独立するように調節する。2つの手法を組み合わせることにより、経路容量を考慮した上で避難完了時間を最小化するような避難所割り当てを実現することができる。なお、岡田ら[2]は代表値の算出方法として最大値と平均値を用いているが、本研究ではより外れ値の影響を受けにくい第3四分位数と中央値を用い、下記の4通りの方法で実験を行う。

1. 各建物の時間帯ごとの最大滞在人数の第3四分位数
2. 各建物の時間帯ごとの最大滞在人数の中央値
3. 各建物の時間帯ごとの平均滞在人数の第3四分位数
4. 各建物の時間帯ごとの平均滞在人数の中央値

## 3 評価実験

### 3.1 実験環境

実験には名古屋工業大学でBLEビーコンより観測した学生の滞在履歴データを利用し、名古屋工業大学の学内について避難計画を行う。実験に用いたデータは2016年6月から12月までの半年のうち、休日を除いたデータである。15分を単位時間とし、8:45-18:00の時間を37の時間帯に区切り、時間帯ごとの滞在人数を用いる。なお、今回得られた学生の滞在履歴データは完全なものではないため、実験では得られたデータを補正したものを使用している。その他のパラメータを次に示す。

- ・避難対象建物数：30
- ・避難所数：3（容量は各々1200人、900人、600人）
- ・避難所割り当ての際に容量制約を満たす割当が見つからなかった場合の容量増加割合：元容量の10分の1

### 3.2 実験結果

実験の結果を表3.2に示す。平均避難完了時間は、実際の名古屋工業大学の半年分の滞在履歴データを用いて毎日・毎時間帯避難を行なった際の避難完了時間の平均値であり、最大容量溢れと平均容量溢れは、それ

ぞれ全避難所合計での容量溢れの最大値と平均値である。また、容量増加回数は、避難所容量を満たす割り当てが見つからなかった場合に、3.1で設定した割合で容量を増加させた回数を示している。なお、(3)と(4)は同一の割り当てが得られた。

表 1: 実験結果

	(1)	(2)	(3)	(4)
平均避難完了時間 (秒)	617	533	309	309
最大容量溢れ (人)	65	56	17	17
平均容量溢れ (人)	24	24	7	7
避難所容量増加回数	7	6	0	0

### 3.3 実験結果の考察

表3.2より、(3)と(4)の割り当てでの平均避難完了時間がそれ以外よりも大幅に短くなっており、(3)と(4)の割り当てが最適な割り当てであると言える。さらに、この割り当てでの容量溢れは最大でも17人に留まっており、3つの避難所容量の合計である2700人に比べて十分少ないと言える。

## 4 まとめと今後の課題

本研究では、2つの手法を組み合わせそれぞれの欠点を補う避難計画モデルを作成し実験を行なった。実験の結果、各場所（建物）の時間帯ごとの平均人数の第3四分位数または中央値で割り当てを行うことで最も避難完了時間の短くなる割り当てを得ることができた。一方で、今回は学内で得られたデータを用いて実験を行なったが、人の滞在履歴データは観測する場所によって特徴が変わることが予想されるため、必ずしも本結果の通りになるとは限らない。また、今回用いた避難所割り当て手法では4通りの割り当てを比較したが、この中に最適な割り当てがあるという保証はなく、避難経路の指定もできていない。よって、これらを改善することでより良い避難計画が行えると考えられる。

### 謝辞

本研究で使用したデータを提供して頂いた名古屋工業大学情報基盤センターに深く感謝する。本研究はJSPS科研費JP18K18160の助成を受けたものです。

### 参考文献

- [1] Atsushi Takizawa et al. : An Emergency Evacuation Planning Model using the Universally Quickest Flow, ISORA, ORSC APORC, pp. 115-125.
- [2] 岡田 啓希 他：人の滞在履歴データを用いた避難所割り当て手法の提案, 東海支部連合大会, 2019.