

# 滞在人数の日内変動を考慮した避難計画モデル

山本 正也<sup>1,†1</sup> 武藤 敦子<sup>1,a)</sup> 島 孔介<sup>1</sup> 森山 甲一<sup>1</sup> 松井 藤五郎<sup>2</sup> 犬塚 信博<sup>1</sup>

受付日 2023年2月5日, 再受付日 2023年4月6日,  
採録日 2023年4月26日

**概要:** 近年, 地震などの大規模な災害の発生が多く見られ, 東日本大震災の際には, 昼夜人口のギャップにより容量あふれが多く発生した. そのため, 昼夜人口のギャップ (日内変動) を考慮して避難所を割り当てることは重要な課題になっている. 避難所割当て問題において, ゼロサプレス型二分決定グラフ (ZDD) を用いることで避難所割当てのパターンを全列挙することが可能になっている. ZDD を用いた研究では, 避難所までの距離と収容率で評価をしているが, 移動経路での滞留は考慮しておらず, 避難対象者はつねに固定した人数で行っている. そこで本研究では, 移動経路での滞留を考慮するためにネットワークフローによるシミュレーション手法での評価を追加し, 滞在履歴データを用いて全時間区分で評価を行うことで滞在人数の日内変動を考慮した避難所割当てを求める手法を提案する. 距離・収容率・避難完了時間の3つを評価値とし, 実環境を用いた実験により効果を確認した.

**キーワード:** 避難計画, 日内変動, ZDD, ネットワークフロー, 辞書式最速流

## Evacuation Planning Model Considering Diurnal Variation in the Number of People Staying

MASAYA YAMAMOTO<sup>1,†1</sup> ATSUKO MUTOH<sup>1,a)</sup> KOSUKE SHIMA<sup>1</sup> KOICHI MORIYAMA<sup>1</sup>  
TOHGOROH MATSUI<sup>2</sup> NOBUHIRO INUZUKA<sup>1</sup>

Received: February 5, 2023, Revised: April 6, 2023,  
Accepted: April 26, 2023

**Abstract:** In recent years, we have seen many large-scale disasters such as earthquakes, and overflows of shelter capacity often occurred due to the day-night population gap at the time of the Great East Japan Earthquake. Therefore, it has become an important issue to allocate shelters in consideration of the day-night population gap (diurnal variation). In the shelter assignment problem, the use of zero-suppressed dichotomous decision graphs (ZDD) makes it possible to enumerate all patterns of shelter assignment. Studies using ZDD evaluated the distance to the shelter and the capacity factor, but did not consider the dwell time on the travel route, and used the fixed number of evacuees. In this study, we add an evaluation index using a network flow simulation method in order to take into account the number of people who stay in shelters along travel routes. In addition, we propose a method for obtaining shelter allocation that takes into account the diurnal variation in the number of people staying in shelters using stay history data for all time segments. In our experiments, we used three evaluation values: distance, occupancy rate, and evacuation completion time, and confirmed the effectiveness of the method through experiments using real environments.

**Keywords:** evacuation plan, diurnal variation, ZDD, network flow, the universally quickest flow

<sup>1</sup> 名古屋工業大学  
Nagoya Institute of Technology, Nagoya, Aichi 466–8555, Japan

<sup>2</sup> 中部大学  
Chubu University, Kasugai, Aichi 487–8501, Japan

<sup>†1</sup> 現在, 三菱電機株式会社  
Presently with Mitsubishi Electric Corporation

<sup>a)</sup> atsuko@nitech.ac.jp

### 1. はじめに

近年, 地震などの大規模な災害の発生が多く見られ, 南海トラフ地震が30年以内に発生する確率は70–80%といわれている [1]. このような災害に備え, 地震に強い建物づくりや災害時の救急マニュアルの作成, 各市町村が提供する

ハザードマップなど、様々な減災、防災対策が講じられている [2]。しかし、災害が発生した際にどこに避難すればよいのかが分からない住民が多いことが東日本大震災で明らかになり、災害が発生したときの避難所はどこか、安全な避難経路はどこかなどを、確認しておくことが大切になってきている [3], [4]。また、東日本大震災の際には、昼夜人口のギャップ（日内変動）により東京では大量の帰宅困難者が避難所の収容人数を大幅に上回り、収容しきれずに別の避難所へ避難する、いわゆる「たらい回し」が発生したことからも [5]、特定の避難所に避難者が集中しないように避難者数の平準化が求められている [4]。阪神淡路大震災の際の避難所の空間コストが 100 億円程度であったという試算もあるため [6]、避難所のコストを最小限に抑え、滞在人数の日内変動を考慮して避難所を割り当てることが重要になっている。

従来の避難所割当てに関する研究 [4] では、ゼロサプレス型二分決定グラフ（ZDD）というデータ構造を用いて避難所の割当てを行っている。ZDD を用いることで、様々な制約を満たす避難所割当ての組合せを全列挙することが可能になり、厳密解や複数の優れた解を求めることができる。従来手法では、容量制約や最大移動距離に関する制約を満たす組合せを ZDD を用いて全列挙し、その中で収容率の標準偏差と距離の総和が最適な割当てを求めている。しかし、滞在人数の日内変動と移動経路での滞留が考慮されていないという課題がある。時間区分によって滞在人数の分布が変化する可能性もあるため、滞在人数の日内変動を考慮しなければ避難所の容量あふれが起き、「たらい回し」にあう被災者がでてしまう。また、避難完了時間の短縮が重要な中で、移動経路での滞留を考慮しなければ、道の混雑によっては避難完了時間が大幅に延びてしまう可能性がある。そこで、本研究では、これらの問題を解決し、滞在人数の日内変動、移動経路での滞留を考慮した避難所割当て手法の提案を行う。

時間区分ごとの人数データの取得が容易な名古屋工業大学で実験を行い、滞在人数の日内変動、移動経路での滞留を考慮することの有効性を確認する。

## 2. 関連研究

### 2.1 関連研究

ネットワークフローを用いて最速避難計画問題を解く研究がされてきた。最速避難計画問題とは、避難対象地域を表す動的ネットワークにおいて、すべての避難者がいずれかの避難所に到達する時刻を最小にするような動的フローを見つける問題である [7]。この問題の解法は、Ford ら [8] によって、最初に提案された。その手法は動的ネットワークを静的ネットワークに変換した時間拡大ネットワークを用いて、与えられた時間内に始点から終点まで流すことができる最大フローを求めるものである。その処理を繰り返

すことで、最速避難完了時間を求めることができる [7]。しかし、時間拡大ネットワークを用いる手法では、元のネットワークのサイズが大きければ大きいほど計算コストが膨大になってしまう。そこで、ベイズ最適化によって高速に解を導出する手法 [9] や、時間拡大ネットワークを用いずに最速避難計画問題を解くためのヒューリスティクス [7] が提案されてきた。また、Takizawa らは、Ford らの提案した手法を発展させ、辞書式最速流を提案した [10]。辞書式最速流とは、避難所の容量制約の下、避難完了時刻以前の各時刻において、その間に避難を完了する人数を最大にするフローである。

一方で、被災者の人数または移動速度を既知として、被災者に向かうべき避難所を提示し、誘導する手法が提案されている [2], [6]。これらの研究では、スマートフォンの普及や人流計測技術の発展により、求めることが可能になったリアルタイムの人口分布や個人の移動速度を用いている。そして、移動時間や移動距離が最小になるような割当てを個々人に提示するシステムになっている。

ZDD を用いて避難所割当てを求める研究がある [4], [11], [12]。これらの研究では、ZDD を用いて制約を満たす割当てを列挙し、距離の総和、収容率の標準偏差が最適な割当てを求めている。避難所誘導に関する研究のようにリアルタイムの人口データを用いた個々人に対する割当てではなく、あらかじめ求めた静的な人口データを用いたエリア単位の割当てになっている。しかし、これらの研究には滞在人数の日内変動、移動経路での滞留を考慮できていないという課題がある。

### 2.2 本研究の立ち位置

本研究では、地方自治体などでの避難計画策定の支援を目的とし、ZDD を用いて、あらかじめ求めた時間区分ごとの静的な人口データから事前に避難所を割り当てる手法を考える。ただし、ネットワークフローモデルを扱うため、エリア単位ではなく、建物単位の割当てを求めることとする。また、提案手法では、2.1 節で説明した滞在人数の日内変動、移動経路での滞留を考慮できていないという従来手法の課題を解決することを目指す。滞在人数の日内変動を考慮するために、時間区分ごとの各建物の人数を用意し、すべての時間区分で評価を行う。また、移動経路での滞留を考慮するために、距離の総和、収容率の標準偏差に加え、滞留を考慮できるシミュレーションにより求めた避難完了時間での評価を行う。用いるシミュレーション手法には、2.1 節で説明した辞書式最速流 [10], [14] を利用する。なお、災害発生後に最適な避難計画を提供する研究 [2], [6], [9] においては計算コストが重要視されるが、本研究は災害発生前に避難計画を策定するための手法であり計算のための時間は十分にあるものと想定している。

### 3. 提案手法

本手法では、ZDD を用いて割当てを列挙し、滞在人数の日内変動、移動経路での滞留を考慮した評価値の算出方法により、最適な割当てを求める。

#### 3.1 提案手法の手順

提案手法は以下の手順で行う。

- (1) 各場所（建物）・交差点・避難所をノード、道路をエッジとし、距離と道幅をエッジの重みとした重み付きグラフ（動的ネットワーク）を構築（図 1）。
- (2) (1) のグラフから、ZDD を用いて避難所ごとに分割できる部分グラフ（図 2）を全列挙。
- (3) (2) で列挙した部分グラフ（割当て）の中から容量制約を満たす部分グラフを抽出。
- (4) (3) で抽出した割当ての滞在人数の日内変動・移動経路での滞留を考慮した評価値（距離の総和、収容率の標準偏差、避難完了時間）を算出。
- (5) (4) の評価値による最適な割当ての出力。

図 1 は、提案手法の (1) で構築するグラフの例である。赤色のノードは避難所、青色のノードは建物・交差点を表している。図 2 は、提案手法の (2) で列挙するグラフの例である。

図 3 の ZDD は、提案手法 (1) で図 1 のグラフを構築した場合の提案手法 (2) で構築される ZDD である。どの有向辺にも指されない節点を根節点と呼び、ただ 1 つだけ存在する。有向辺を持たない節点を終端節点と呼び、2 つ存在する。1 の値を持つ終端節点を 1-終端節点、0 の値を持つ終端節点を 0-終端節点と呼ぶ。終端節点以外を分岐節点と呼び、分岐節点は要素の選択に関する場合分けを表す。有向辺のうち実線を選ぶとき、要素を選択することを表し、点線を選ぶとき要素を選択しないことを表す。根節点から 1 終端節点までのパスによって、選択された組合せを表す [13]。提案手法で用いる ZDD の各分岐節点はエッジの選択を表している。(1,0) の分岐節点はノード 0 とノード 1 を結ぶエッジを表している。図 3 の赤色パスが表す組合せが図 2 のグラフである。このグラフは、建物のノードに滞在している人を同じ連結成分内の避難所に割り当てることを表している。

#### 3.2 評価値の算出方法

提案手法の (4) の評価値の算出方法について説明する。移動経路での滞留を考慮するために、従来手法で用いていた距離の総和と収容率の標準偏差に加え、避難完了時間での評価を行う。割当て  $i$  ( $i \in I$ ,  $I$  は割当ての集合) の距離の総和  $distance_i$  は、各建物から避難所までの距離の和であり、式 (1) で示す。距離は提案手法の (3) で抽出したグラフから計算した最短距離を用いる。

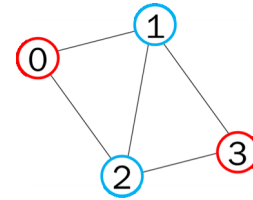


図 1 (1) で構築するグラフ

Fig. 1 Graph in (1).

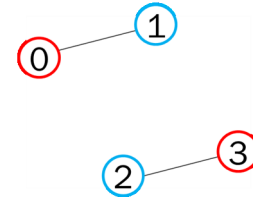


図 2 (2) で列挙するグラフ

Fig. 2 Graphs in (2).

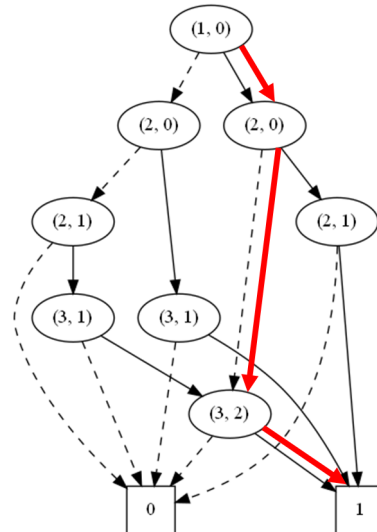


図 3 ZDD

Fig. 3 ZDD.

$$distance_i = \sum_{x \in X} D_{ix} \quad (1)$$

$X$  は建物の集合、 $D_{ix}$  は割当て  $i \in I$  のときの建物  $x \in X$  が割り当てられている避難所までの距離を表す。

割当て  $i$  の収容率の標準偏差  $capacity_i$  は、すべての避難所集合  $Y$  に対して、避難所  $y \in Y$  に割り当てられた人数  $sum_{iy}$  と収容可能人数  $cap_y$  の比 ( $C_y$ ) の標準偏差のことであり、式 (2) で示す。

$$capacity_i = \sqrt{\frac{1}{|Y|} \sum_{y \in Y} (C_y - \bar{C})^2} \quad (2)$$

$$C_y = \frac{sum_{iy}}{cap_y}, \quad \bar{C} = \frac{1}{|Y|} \sum_{y \in Y} C_y$$

割当て  $i$  の避難完了時間  $time_i$  は、辞書式最速流により求めた時間である。

表 1 時間区分ごとの各建物の滞在人数データ

Table 1 Data on the number of people in the building each time category.

	52号館	53号館	51号館	23号館	...
9:00–12:00	214	115	43	140	...
12:00–15:00	165	114	23	130	...
15:00–18:00	79	70	26	52	...

本研究では,  $capacity_i$ ,  $time_i$  の計算において時間区分ごとの滞在人数を用いたものに変更する. まず, 時間区分ごとの各建物の人数データ (表 1) を用意する. 滞在人数の日内変動を考慮するために, 収容率の標準偏差と避難完了時間の計算をすべての時間区分で行い, その平均値 ( $capacity'_i$ ,  $time'_i$ ) を求める (式 (3)). そして, 求めた  $capacity'_i$ ,  $time'_i$  を最適な割当てを決定する際に利用する.

$$capacity'_i = \frac{1}{|N|} \sum_{n \in N} capacity_{in}, time'_i = \frac{1}{|N|} \sum_{n \in N} time_{in} \quad (3)$$

$capacity_{in}$  は割当て  $i$  の時間区分  $n$  ( $n \in N$ ,  $N$  は時間区分の集合) のときの収容率の標準偏差,  $time_{in}$  は割当て  $i$  の時間区分  $n$  のときの避難完了時間である.

### 3.3 3つの評価値による最適な割当ての決定

従来手法では, 距離の総和と収容率の標準偏差をそれぞれ正規化した和を用いて最適な割当てを求めているが (式 (4)), 提案手法では距離の総和, 収容率の標準偏差の平均, 避難完了時間の平均をそれぞれ正規化した和を用い (式 (5)), その値が最小となる割当てを求める.  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\alpha'$ ,  $\beta'$ ,  $\gamma'$  は正規化項である. ただし, 提案手法の (3) において, すべての時間区分において容量制約を満たす部分グラフを抽出する.

$$\operatorname{argmin}_{i \in I} \left( \alpha \cdot distance_i + \beta \cdot capacity_i \right) \quad (4)$$

$$\operatorname{argmin}_{i \in I} \left( \alpha' \cdot distance_i + \beta' \cdot capacity'_i + \gamma' \cdot time'_i \right) \quad (5)$$

## 4. 実験

実験 1 として, 移動経路での滞留を考慮することの有効性を確認する実験, 実験 2 として, 滞在人数の日内変動を考慮することの有効性を確認する実験を行う.

### 4.1 実験環境

2016 年 6 月 3 日から 2016 年 12 月 30 日の間に名古屋工業大学の学内で得られたデータを用いる. データは, 学内に設置されている BLE ビーコンと Nitech ピロリンというアプリを用いて取得した [16]. 本研究では, 3 時間を単位時間とし, 1 日のうち 9:00 から 18:00 を 3 つの時間区分に

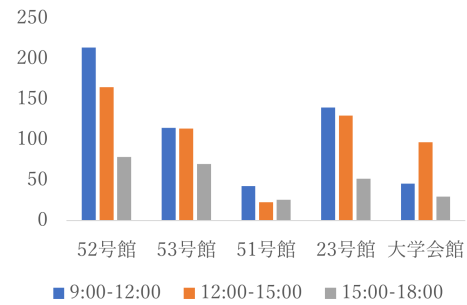


図 4 時間区分ごとの各建物の滞在人数

Fig. 4 Number of people in the building each time category.



図 5 キャンパスマップ

Fig. 5 Campus map.

区切ったデータを利用する. 一部の建物についての時間区分ごとの滞在人数を図 4 に示す. 号のつく建物は教養棟であり夕方にかけて滞在人数が減る傾向にあるが, 食堂のある大学会館は昼時間帯に最も滞在人数が多く, 各建物によって滞在人数の日内変動の傾向が異なることが見てとれる. なお, 全構成員が必ずしも本アプリを利用しているとは限らないため, この人数は, 得られたデータを構成員のアプリの使用比率に従って同比率で補正し求めた平均値であり [15], 合計人数は, 9:00–12:00 : 2,001 人, 12:00–15:00 : 2,062 人, 15:00–18:00 : 1,656 人である.

次に, 実験を行う名古屋工業大学の環境について説明する. 図 5 が名古屋工業大学のキャンパスマップである. 敷地面積は, 約 21.4 万  $m^2$  である. 図 6 が, 提案手法の (1) で構築するグラフである. 青色のノードは建物, 緑色のノードは交差点, 赤色のノードは避難所を表している. グラフの構成としては, ノード数は 30, エッジ数は 61 である. ノード数 30 のうち, 建物が 30, 交差点が 19, 避難所が 3 である. また, 避難所の合計容量は 2,300 人とした. この容量は, 文献 [17] をもとに, 用いる人数データの最大の合計人数に合わせて設定した. なお, 各建物と避難所間の距離は最大距離を 10 としてキャンパスマップより簡易

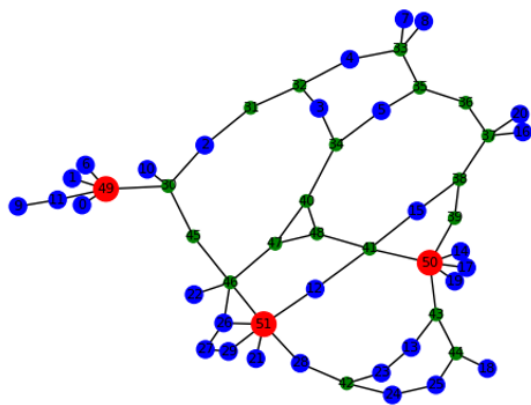


図 6 名古屋工業大学のグラフ

Fig. 6 Graph of NIT.

的に測定した。

## 4.2 実験方法

### 4.2.1 実験 1

避難完了時間で評価することの有効性を調べるために、距離の総和、収容率の標準偏差のみで評価した割当て結果と避難完了時間を加えて評価した割当て結果を比較する。つまり、式 (4) と式 (6) で評価する。  $\alpha''$ ,  $\beta''$ ,  $\gamma''$  は正規化項である。そして、それぞれの式の値が最小となる割当てを求め、その評価値を比較する。実験 1 では、滞在人数の日内変動は考慮せず、1つの時間区分の人数のみを利用する。表 1 の 15:00–18:00 の時間区分の人数（合計：1656 人）を用いる。

$$\operatorname{argmin}_{i \in I} \left( \alpha'' \cdot \text{distance}_i + \beta'' \cdot \text{capacity}_i + \gamma'' \cdot \text{time}_i \right) \quad (6)$$

### 4.2.2 実験 2

滞在人数の日内変動を考慮することの有効性を調べるために、滞在人数の日内変動を考慮して求めた割当て結果と考慮していない割当て結果で比較を行う。滞在人数の日内変動を考慮する場合は、3.3 節で説明した評価方法で評価を行う。つまり、表 1 のすべての時間区分のデータを用い、距離の総和、収容率の標準偏差、避難完了時間の 3 軸で評価を行う。滞在人数の日内変動を考慮しない場合も、距離の総和、収容率の標準偏差、避難完了時間の 3 軸で評価を行うが、滞在人数は 1つの時間区分のみのデータを用いる。今回は実験 1 と同様、表 1 の 15:00–18:00 の時間区分の人数（合計：1656 人）を用いる。よって、式 (5) と式 (6) で評価を行い、それぞれの値が最小となる割当てを求める。求めた 2つの割当てで、表 1 の時間区分それぞれで実際に避難した場合に評価値や容量あふれがどうなるのかについて調べる。

## 4.3 実験結果

### 4.3.1 実験 1 の結果と考察

従来手法で評価した割当て結果（図 7）とそこに避難完

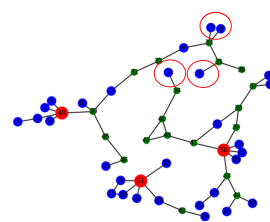


図 7 従来手法（距離・収容率）

Fig. 7 Conventional method (distance, capacity).

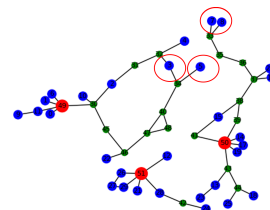


図 8 提案手法（距離・収容率・時間）

Fig. 8 Proposed method (distance, capacity, time).

表 2 実験 1 の結果

Table 2 Results of experiment 1

	距離の総和	収容率の標準偏差	避難完了時間
従来手法 (距離・収容率)	547	0.0012	349
提案手法 (距離・収容率・時間)	547	0.0103	304

了時間での評価を加えて求めた割当て結果（図 8）を比較する。表 2 がそれぞれの割当ての評価値である。図 7 と図 8 の赤丸で囲まれた 4 カ所の割当てが異なっている。図 7 を見ると、ネットワークの上部に長い一本道の避難経路ができていてから滞留が発生していると考えられる。そのため、従来手法の避難完了時間の方が遅くなっている。収容率の標準偏差の値については、避難完了時間を加えて評価した方が大きくなってしまっている。しかし、距離の総和の値が同じであることを考慮すると、避難完了時間での評価を加えることで、移動経路での滞留を考慮でき、評価値のバランスが良い割当てを求めることができる。と考える。

### 4.3.2 実験 2 の結果と考察

図 9 が滞在人数の日内変動を考慮していない割当て結果、図 10 が滞在人数の日内変動を考慮して求めた割当て結果（提案手法）である。赤丸で囲んだ 3 カ所の建物の割り当てが異なっている。表 3 が実際に避難した場合の評価値、表 4 が実際に避難した場合の容量あふれである。表 3 内の数値は、（距離の総和、収容率の標準偏差、避難完了時間）である。評価値を比較すると、15:00–18:00 の収容率の標準偏差以外、提案手法の方が小さい値になっている。9:00–12:00 と 12:00–15:00 の時間区分で収容率の標準偏差と避難完了時間の値を比べると、滞在人数の日内変動を考慮していない割当て結果の方が大きくなっている。これ



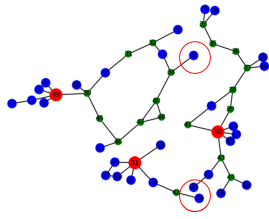


図 9 従来手法（日内変動なし）

Fig. 9 Conventional method (without diurnal variation).

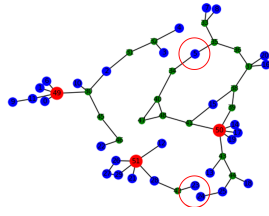


図 10 提案手法（日内変動あり）

Fig. 10 Proposed method (with diurnal variation).

表 3 実験 2 の結果（評価値）

Table 3 Results of experiment 2 (evaluation value).

	9:00–12:00	12:00–15:00	15:00–18:00
従来手法 (日内変動なし)	(547, 0.175, 296)	(547, 0.148, 307)	(547, 0.010, 304)
提案手法 (日内変動あり)	(537, 0.037, 265)	(537, 0.009, 259)	(537, 0.140, 248)

(距離の総和, 収容率の標準偏差, 避難完了時間)

表 4 実験 2 の結果（容量あふれ）

Table 4 Results of experiment 2 (overcapacity).

	9:00–12:00	12:00–15:00	15:00–18:00
従来手法 (日内変動なし)	77	81	0
提案手法 (日内変動あり)	0	0	0

は、容量あふれした人数も含めて避難させているため、避難完了時間も延び、収容率の標準偏差の値も大きくなってしまっていると考えられる。また、容量あふれを比較すると、提案手法では 0 であるが、滞在人数の日内変動を考慮していない割当てでは、9:00–12:00 で 77 人、12:00–15:00 で 81 人の容量あふれが発生している。以上の結果から、提案手法で求めた割当てはすべての時間帯において避難所の容量あふれが起きずかつ従来手法に比べて避難完了時間が減少しており、提案手法の有効性が確認できた。

## 5. まとめと今後の課題

本論文では、東日本大震災の際に発生した避難所の「たらい回し」を回避するために、すべての時間帯の滞在人数を考慮した避難所割当て手法を提案した。最適な避難所割当てとして、(1) より近い避難所へ割り当てること、(2) 避難所収容率を平準化すること、(3) 滞留を回避した避難経

路で素早く避難できることの 3 点を評価軸とした。提案手法では、滞在人数の日内変動を考慮するために、時間区分ごとの各建物の人数データを用意し、すべての時間区分での評価を行った。また、移動経路での滞留を考慮するために避難完了時間での評価を行った。そして、提案手法の有効性を確認するために、2 つの比較実験を行い、有効性を確認した。

一方で、本研究では建物単位での避難を想定した手法となっているが、実際の地方自治体の避難計画においては、避難所の割当ては建物単位ではなく地域単位となることが多く、また、避難経路に関しては建物単位の緻密な計画が必要である。提案手法は、実験で想定した大学内の避難計画のような建物単位で避難所と避難経路を割り当てる避難計画には有効であるが、自治体区域のような地域単位で避難所を割り当てる必要がある場合はそのまま用いることができないため、今後改良が必要である。また、本研究は内閣府の定める防災基本計画に基づき徒歩による避難を想定しているが、東日本大震災以降は地域の実情に合わせた避難計画策定が求められており [18]、想定する移動手段については今後検討が必要である。

**謝辞** 滞在データの提供元である名古屋工業大学情報基盤センターへ感謝する。本研究は、日比科学技術振興財団の助成を受けたものです。

## 参考文献

- [1] 気象庁：南海トラフに関連する情報（オンライン），入手先（<https://www.data.jma.go.jp/svd/eeew/data/nteq/index.html>）（参照 2019-04-15）。
- [2] 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)。
- [3] 首相官邸：避難はいつ，どこに？（オンライン），入手先（<https://www.kantei.go.jp/jp/headline/bousai/hinan.html>）（参照 2019-11-03）。
- [4] 瀧澤重志：ZDD を用いた小地域単位の避難所割当て案の高速列挙・抽出手法，都市防災研究論文集，Vol.1 (2014)。
- [5] 清水 仁，岩田具治，諏訪博彦，安本慶一：最小費用流を用いた避難所間の誘導，電子情報通信学会論文誌，Vol.J105-D, No.3, pp.175–185 (2022)。
- [6] 清水 仁，諏訪博彦，安本慶一：被災者の減少を考慮した避難所割当て問題，人工知能学会第 35 回全国大会 (2021)。
- [7] 加藤直樹，瀧澤重志：最速避難計画のモデリングと解法，オペレーションズ・リサーチ，pp.437–442 (2015)。
- [8] Ford, L.R. and Fulkerson, D.R.: Constructing maximal dynamic flows from static flows, *Operations Research*, 6, pp.419–433 (1958)。
- [9] 姫野湧太，徳永潤平，榎原博之，上田修功：ベイズ最適化を用いたフロー型実時間避難計画，研究報告数理モデル化と問題解決，MPS125-10, pp.1–6 (2019)。
- [10] Takizawa, A., Inoue, M. and Katoh, N.: An emergency evacuation planning model using the universally quickest flow, *The Review of Socionetwork Strategies*, Vol.6, No.1, pp.15–28 (2012)。
- [11] 瀧澤重志：避難計画問題への離散アルゴリズムの適用（特集データを読み解く技術：ビッグデータ，e-サイエンス，潜在的ダイナミクス），電子情報通信学会誌，Vol.97, No.5,

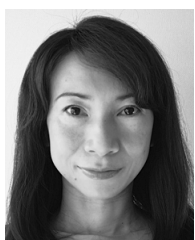
pp.393-398 (2014).

- [12] 中野浩太郎, 斎藤寿樹, 加藤直樹, 瀧澤重志: 都市における避難所割当てパターンの列挙と評価, 情報処理学会第76回全国大会 (2014).
- [13] 戸田貴久, 斎藤寿樹, 岩下洋哲, 川原純, 湊 真一: ZDDと列挙問題ー最新の技法とプログラミングツール, コンピュータソフトウェア, Vol.34, No.3, pp.97-120 (2017).
- [14] 小林和博, 成澤龍人, 安井雄一郎, 藤澤克樹: 辞書式最速流による避難計画作成モデルの実験的解析, 日本オペレーションズ・リサーチ学会和文論文誌, Vol.59, pp.86-105 (2016).
- [15] 岡田啓希, 武藤敦子, 森山甲一, 松井藤五郎, 犬塚信博: 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, 令和元年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会 (2019).
- [16] 梶岡慎輔, 山本大介, 打矢隆弘, 斎藤彰一, 松尾啓志, 内匠逸: BLE ビーコンを用いた位置推定による打刻システムの運用と課題, 情報処理学会研究報告, Vol.2016-IOT-35, No.12, Vol.2016-SPT-20, No.12 (2016).
- [17] 平原英樹, 京田 司, 菅田愛美, 小澤忠夫: 平成 28 年名古屋工業大学防災訓練実施報告 (2016).
- [18] 安藤宏恵, 倉内文孝, 杉浦聡志: 徒歩と車による津波避難計画モデルに基づく最適施設整備に関する研究, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol.74, No.4, pp.306-319 (2018).



山本 正也

2021 年名古屋工業大学工学部情報工学科卒業. 2023 年同大学大学院工学研究科博士前期課程修了. 同年三菱電機株式会社.



武藤 敦子 (正会員)

1998 年名古屋工業大学工学部知能情報システム学科卒業. 同年同大学文部科学技官, 2004 年同大学大学院工学研究科助手, 2007 年同助教, 2016 年同准教授, 現在に至る. 博士 (工学).

人工知能, 人工生命, 社会ネットワーク分析に関する研究に従事. IEEE シニア会員, 人工知能学会会員.



島 孔介 (正会員)

名古屋工業大学助教. 2021 年同大学大学院博士後期課程修了. 2021 年度名古屋工業大学特任助教. 機械学習, データ分析, アルゴリズムに関する研究開発に従事.



森山 甲一

1998 年東京工業大学工学部情報工学科卒業. 2003 年同大学大学院情報理工学研究科計算工学専攻博士課程修了. 博士 (工学). 同専攻助手, 大阪大学産業科学研究所助手, 助教, 特任准教授を経て, 現在, 名古屋工業大学

大学院工学研究科工学専攻准教授. 人工知能, マルチエージェントシステム等の研究に従事. 電子情報通信学会, 人工知能学会各会員.



松井 藤五郎 (正会員)

1997 年名古屋工業大学工学部知能情報システム学科卒業. 2003 年同大学大学院工学研究科博士後期課程修了. 博士 (工学). 同年東京理科大学理工学部経営工学科助手, 助教. 2009 年とうごろう機械学習研究所設立. 2010

年中部大学生命健康科学部臨床工学科兼工学部情報工学科講師. 2014 年同准教授, 2022 年同教授, 現在に至る. 機械学習およびデータマイニングに関する研究に従事. 人工知能学会, AAAI 各会員.



犬塚 信博 (正会員)

1987 年名古屋工業大学工学部卒業. 1992 年同大学大学院工学研究科博士後期課程修了. 博士 (工学). 同年同大学助手. 2008 年同大学大学院工学研究科教授, 現在に至る. 人工知能, 特に帰納学習, 知識発見, 社会ネット

ワーク分析の研究に従事. 人工知能の教育への応用等に興味を持つ. 人工知能学会, 電子情報通信学会, AAAI, ACM 各会員.