

# 滞在人数の日内変動を考慮した 避難計画モデル

島崎 圭介

富山県立大学 情報システム工学科

2024 年 1 月 09 日

## 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る。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、ハザードマップなど、防災対策が講じられている。

しかし、災害が発生した際にどこに避難すればよいか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った。また、昼夜人口のギャップ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、別の収容所へ避難するたらい回しが発生した。

## 目的

そこで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。また、避難所の制作コストを最小限に抑え、滞在人数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。

## 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。

## 課題

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えないという課題がある。

## 本研究

今回は、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。また、エリア単位ではなく、建物単位の割り当てを求めることとした。

## 手法

今回、課題を解決するために ZDD を用いて、あらかじめ求めた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、今回用いるシミュレーション手法には、辞書式最速流を利用する。

ZDD とは、多くの組み合わせに共通して現れる部分的な組み合わせをまとめて表現することである。

## 手法

(1) 各場所・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を構築する.

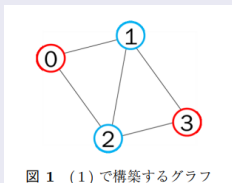


図 1 (1) で構築するグラフ

(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を全列挙.

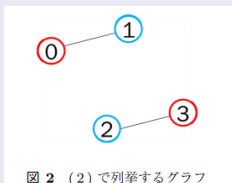


図 2 (2) で列挙するグラフ

## 手法

(3) (2) で列挙した部分グラフの中から容量制約を満たす部分グラフを抽出.

(4) (3) で抽出した割り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を算出.

(5) (4) の評価値による最適な割り当ての出力.

評価値の算出方法として, 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.

距離の総和

$$distance_i = \sum_{x \in X} D_{ix}$$

$X$  は建物集合  $D_{ix}$  は割り当て  $i \in I$  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.

## 手法

割当て  $i$  の収容率の表人偏差  $capacity$  は全ての避難所集合  $Y$  に対して避難所  $y \in Y$  に割り当てられた人  $sum$  と収容可能人数  $cap$  の標準偏差のところである.

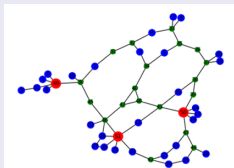
$$capacity_i = \sqrt{\frac{1}{|Y|} \sum_{y \in Y} (C_y - \bar{C})^2}$$

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

	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	...

## 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もちいる. 大学の敷地面積は, 約 21.4 万  $m^2$  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, ノード数が 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 2300 人とした.



## 実験方法

今回避難完了時間で評価することの有効性を調べてるために、距離の総和、収容率の標準偏差のみで評価下割り当て結果と避難完了時間を加えて評価した割り当て結果を比較するもの (1) と、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り当て結果と考慮していない割り当て結果で比較を行った (2).

## 実験

実験 (1) では、日内変動を考慮せず 1 つの時間区分の人数のみを利用する.

実験 (2) では、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.

## 実験結果

実験 (1) では下のような結果がでた.

	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

収容率の標準偏差については, 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と考慮すると, 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.

## 実験結果

実験 (2) では下の様な結果がでた。

	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)			

	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

従来手法では容量あふれが 77,81,0 となっているが提案手法では 0,0,0 となっている結果から, 提案手法で求めた割当て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。

## まとめと今後の課題

今回はより近い避難所へ割り当てること、避難所収容率を平準化すること、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。提案手法の有効性を確認するために、日内変動を考慮したものと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する2つの比較実験を行い、有効性を確認した。

一方、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では、なく地域単位となっていることが多い。提案手法では建物単位になるので地域単位の血道な計画が必要である。今後地域単位での利用のために改良が必要である。