

## 地域単位の複数避難経路を想定した避難計画モデル

## Evaluation Planning Model Assuming Multiple Evacuation Routes at the Regional Level

磯貝 稜空<sup>†</sup> 武藤 敦子<sup>†</sup> 島 孔介<sup>†</sup> 森山 甲一<sup>†</sup> 松井 藤五郎<sup>‡</sup> 犬塚 信博<sup>†</sup>  
 Riku Isogai Atsuko Mutoh Kosuke Shima Koichi Moriyama Tohgoroh Matsui Nobuhiro Inuzuka

## 1. はじめに

近年、日本各地において地震などの大規模災害が多く発生している。特に 2024 年 6 月現在、今後 30 年以内に M8-9 クラスの南海トラフ地震が発生する確率は 70~80%とされており[1]、災害発生時の避難所はどこであるか、安全な避難経路はどの経路であるかを事前に確認することが重要となっている。

瀧澤はゼロサプレス型二分決定グラフ (ZDD) を使用して小地域ごとに避難所割り当てを全列挙し、その中から避難距離と平均収容率に基づいた評価値が最適となる避難所割り当てを抽出するモデルを提案した[2]。山本らは瀧澤のモデルを参考にして、避難所の収容コストを最小に抑え、滞在人数の日内変動と移動経路での滞留を考慮したモデルを提案した[3]。しかし、これらの研究では一つの小地域から避難所までの経路は一つしか想定されていなかった。

同じ小地域に属する建物は、位置する場所により避難をする方向は異なるため、一つの小地域に対して避難経路は避難可能な方向の数だけ想定する必要がある。そこで、本研究では山本らの手法に対し、小地域ごとに複数方向の避難経路の提示が可能である避難計画作成モデルの提案を行うことを目的とする。

## 2. 避難計画

## 2.1 避難計画とは

一般的に避難計画とは各都道府県や各市町村といった各自治体の作成する「地域防災計画」などに基づいて定められる計画のことであり、災害発生時の被害や被害範囲、災害発生時に際しての避難方法や避難経路などについて記載されている。避難計画には個人が作成する個人避難計画と各自治体の作成する広域避難計画が存在する。本研究では広域避難計画を扱う。広域避難計画には災害発生時の避難対象地域がどのような経路でどこへ避難するべきかなどが記載されている。本研究では特に地震発生時に備えて事前に地域を単位として各地域の避難所割り当てと避難経路を求めることを指している。また、本論文で指す避難とは、災害発生時に安否確認と避難の人数・被害状況の確認を行うために安全な場所に一時的に退避することを指す。

## 2.2 地域単位とは

瀧澤の定義 [2]に従い、小地域とは丁や町内会のことを指すものとする。地域単位とは避難計画を立てる際に小地域を単位とすることを指す。小地域を単位とした避難の場合、小地域内の建物の位置により避難所への避難経路は様々な方向にあることが考えられるため、避難経路を複数方向に想定して避難計画を求める必要がある。また、災害発生時には住民の安否確認が必要となり、同一の小地域に

住む近隣住民同士で協力し合うことが重要となる。このことから同一の小地域に住む住民は同一の避難所に避難をしなければならないため、同一の丁や町内会などの小地域に属する細分地域は同一の避難所に避難するという制約を与える必要がある。

## 3. 提案手法

一つの小地域を一つのノードと見立てたネットワークを用いて距離の総和・収容率の標準偏差・避難完了時間に基づいた評価値が最適な割り当てを求めた山本らの手法に対し、小地域ごとに複数方向の避難経路の提示が可能である避難計画モデルを提案する。

## 3.1 複数方向の避難経路

図 1 は作成するネットワークにおいて地域一帯を一つのノードとして考えたものであり、図 2 は図 1 を避難可能な方向の数で細分地域に分割したものである。青線で囲まれた地域が避難対象地域であり、赤線で囲まれたものは避難所である。小地域一帯を一つのノードとして考えた場合、避難所までの経路は一つしか想定されないが、避難対象の小地域を細分地域に分割することで複数個の避難経路を想定することが可能となる。

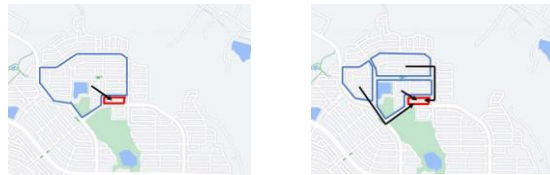


図 1 小地域を分割しない場合 図 2 小地域を分割する場合

## 3.2 提案手法の流れ

提案手法は以下の手順で行う。

1. 各小地域を避難可能な方向の数で細分地域に分割。
2. 避難対象の細分地域・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。
3. ZDD を用いて 2. で構築したグラフを避難所ごとに分割し、分割パターン (割り当て) を全列挙。
4. ネットワークフローを用いて全列挙した割り当ての中で避難所の容量制約と地域の避難先の制約 (3.3 節) を満たす割り当てのみを抽出。
5. 4. で抽出した割り当てに対し、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 (避難距離の総和・収容率の標準偏差・避難完了時間) を算出し、この評価値により最適な割り当てを出力。

従来手法である山本らの手法の流れに 1. を加え 4. の避難先の制約を加えたものとなっている。提案手法の 1. で行う地域の分割は 3.1 節で示した例の通り、各小地域の実状に合わせて手動で行う。

<sup>†</sup> 名古屋工業大学 Nagoya Institute of Technology

<sup>‡</sup> 中部大学 Chubu University

### 3.3 小地域の避難先の制約

提案手法の 4.で行われる小地域の避難先の制約の決定方法についての説明を行う。小地域  $x (x \in X, X$  は地域の集合) に対し、 $x' \in x$  が分割後の細分地域とする。ノード  $i$  が含まれる連結成分  $link_i$  が同小地域の  $x'_i$  と  $x'_j$  に対し、式 (1) を満たすもののみを抽出する。

$$link_{x'_i} = link_{x'_j} \quad (1)$$

## 4. 実験

### 4.1 実験内容

名古屋工業大学の環境と構成員の建物ごとの滞在人数データを用いて避難計画を作成する。名古屋工業大学の各建物を小地域と見立てて実験を行う。また、避難対象小地域を細分地域に分割して作成した避難計画と分割せずに作成した避難計画を比較し、提案手法の有効性を確認する。

### 4.2 実験環境

図 3 が細分地域に分割した場合での実験環境であり、図 4 は分割しなかった場合の実験環境である。青ノードは避難対象小地域、赤ノードは避難所、黄ノードは交差点を表している。図 3 は図 4 の避難対象ノードを避難可能な方向の数で分割し、分割したノード間にはエッジを張らないことで作成した。人数データは 2016 年 6 月 3 日から 2016 年 12 月 30 日の間に取得されたものを使用する。得られた人数データはノード分割前のものであることから小地域に分割した場合は元の人数データを配分する必要があるため、均等に配分されたデータと細分地域分割前のネットワークと比較して新たに追加されたエッジを通るノードの配分を大きくした場合のデータの 2 通りを考える。それぞれ表 1、表 2 のものを使用し、細分地域に分割しない環境では元の人数データを使用する。

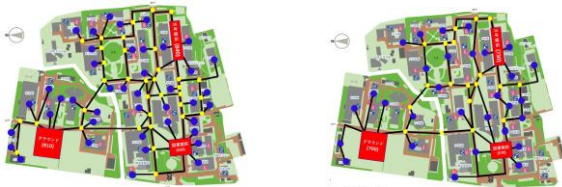


図 3 提案手法のネットワーク 図 4 従来手法のネットワーク

表 1 均等に配分した人数データ

	52 号館南	52 号館西	53 号館北	53 号館西	...
9:00-12:00	107	107	58	57	...
12:00-15:00	83	82	57	57	...
15:00-18:00	40	39	35	35	...

表 2 偏りを大きく配分した人数データ

	52 号館南	52 号館西	53 号館北	53 号館西	...
9:00-12:00	192	22	93	22	...
12:00-15:00	149	16	92	22	...
15:00-18:00	71	8	63	7	...

### 4.3 結果と考察

割り当て結果は図 5 と図 6 のようになった。表 3 は評価値の比較である。容量溢れは全結果とも 0 であった。2 つ

の割り当てを比較すると避難所割り当てはすべて同じであり、図 5 における同小地域のノードは異なる経路で同一の避難所へ避難していることがわかる。このことから複数方向の避難経路を想定することが可能となり、実際の避難計画により近いことが考えられる。評価値について、提案手法の場合距離の総和が悪化しているが、これはノード数とエッジ数が増加したことにより距離の総和も増加したと考えられる。また、人数を均等に配分した場合避難完了時間が短縮しており、ノードを分割したことにより 1 つのノードの人数が減少し、避難経路での滞留が減少したためだと考えられる。人数の偏りが大きい場合、移動経路での滞留が発生しやすくなり避難完了時間が増加したと考えられる。

以上のことから提案手法で 1 つの小地域に対して複数方向の避難経路の想定をすることができ、避難完了時間は短縮され容量溢れも発生していないことから提案手法の有効性は確認できたといえる。また、人数配分の偏りが大きい場合、移動経路での滞留が発生しやすくなることから、可能な範囲で滞留が少なくなるような人数比で地域の分割をすることが望まれる。

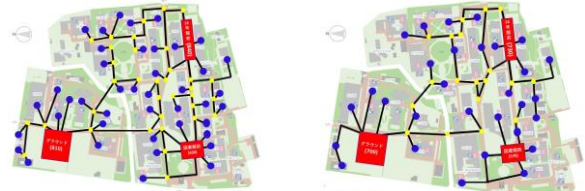


図 5 提案手法の避難所割り当て 図 6 従来手法の避難所割り当て

表 3 評価値 (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	(537, 0.037, 265)	(537, 0.009, 259)	(537, 0.140, 248)
提案手法 (均等)	(777, 0.037, 251)	(777, 0.009, 249)	(777, 0.140, 247)
提案手法 (偏り大)	(777, 0.037, 268)	(777, 0.009, 265)	(777, 0.140, 260)

## 5. まとめと今後の課題

本論文では小地域内で複数方向の避難経路を想定した避難計画を求める手法を提案した。提案手法と従来手法を用いて得られた避難所割り当てと評価値を比較することにより、提案手法の有効性が確認した。

今後の課題として名古屋工業大学ではなく、実際の市や町のような地域を実験環境として避難計画を求める必要がある。また、実際の地域を実験環境とする場合、ネットワークが膨大となることが想定されるため、シミュレーションの計算コストの削減が必要になると考えられる。

### 謝辞

本研究で使用した滞在データを提供していただいた名古屋工業大学情報基盤センターに深く感謝する。

### 参考文献

- [1] 気象庁 | 南海トラフに関する情報。
- [2] 瀧澤重志, “ZDD を用いた小地域単位の避難所割当案の高速列挙・抽出手法”, 都市防災研究論文集, 第 1 巻, p.69-74(2014)
- [3] 山本正也, 武藤敦子, 島孔介, 森山甲一, 松井藤五郎, 犬塚信弘, “滞在人数の日内変動を考慮した避難計画モデル”, 情報処理学会論文誌, 数理モデル化と応用, Vol.16, No.2, pp.103-109(2023).