

津波浸水情報を用いた避難経路生成環境の構築

非会員 青山学院大学 *石井明日香 ISHII Asuka
01110470 青山学院大学 小林和博 KOBAYASHI Kazuhiro

1. はじめに

東日本大震災で被害が拡大した要因として、津波警報やハザードマップの過小評価、知識不足があると考えられている。自動車の避難においては、渋滞や海岸沿いの道を利用したことも要因の一つと考えられる。今後想定されている南海トラフ地震に備えるため、国や地方公共団体などがそれぞれの立場で建物の耐震化や警報内容の再検討、ハザードマップの整備などの地震防災対策を進めている。加えて、住民の避難経路の作成も重要な課題である。また自動車を用いた避難経路の検討も重要である。

現実的な避難経路の作成には、地理情報の利用が有用であるが、多様なデータをいかに組み合わせるかが重要である。本研究では、道路情報と津波浸水想定データを結び付けて避難経路を生成する環境を構築する。道路情報は OpenStreetMap のものを用い、津波浸水想定データは国土交通省による国土数値情報ダウンロードサービスのものを用いる [1, 2]。自動車での避難を対象にし、津波浸水被害のリスクを最小にする避難経路を生成するための環境を提案する。数理モデルとしては、Cell-based Merchant-Nemhauser model (Cell-based モデル) を用いる [3]。これは、線形計画問題であり大規模なデータでも容易に解くことができる。

2. 設定

津波浸水被害のリスクを最小にする避難経路生成にあたって、利用するネットワークを作成する。始めに、OpenStreetMap から道路情報を読み出し、交差点をノード、道路をエッジとしネットワークを作成する。第二に、国土交通省の津波浸水想定データを利用し、ポリゴンデータ化された浸水域と浸水深の情報を読み出し、ネットワークのノードの位置に対応するポリゴンの浸水深をノードの情報として付与する [2]。第三に、エッジに浸水深の情報を持たせるために、エッジの始点と終点の2つのノードの津波浸水深が大きい方の浸水深をエッジの情報として付与する。第四に、避難開始

地点を浸水深が 3 m 以上のノードに設定する。第五に、避難施設を表すノードをネットワークに追加する。避難施設は、国土数値情報ダウンロードサービスから入手可能な避難施設データを用いる。このデータに含まれる各避難施設の場所をネットワークのノードとして追加する。さらに、追加したノードから最も近いノードを結ぶエッジを追加する。最後に、Cell-based モデルを用いるために、ノードとエッジとは別にセルをネットワーク内に追加する。セルはノードをセルで挟むように設定する。

3. モデル化

前章で作成したネットワークを用いて、ノード・エッジ・セルに定数や制約条件を与え、線形計画問題にモデル化する [3]。

集合と変数の定義を以下に示す。避難開始セルの集合を A_R 、避難所セルの集合を A_S 、その他のセルの集合を A_0 、すべてのセルの集合を A 、ノードの集合を N 、ノード i の上流側、下流側で繋がっているセルをそれぞれ $I(i)$ 、 $O(i)$ とする。避難可能な最大時間を T 、セル a の収容車両数を H^a 、セル a の単位時間に流入可能な最大車両数を C^a 、避難開始セル a の避難車両数を D^a 、セル a での渋滞でない時に比した渋滞時の車の速度の割合を δ^a 、セル a での津波浸水リスク値を R^a 、車両一台当たりの平均乗車人数を η 、避難所セル a の最大収容車両数を S^a 、時刻 t にセル a から流出する車両数を v_t^a 、時刻 t にセル a から流入する車両数を u_t^a 、時刻 t にセル a から流出せず時刻 $t+1$ まで留まる車両数を p_t^a とする。

線形計画問題としての津波浸水リスク値最小化問題を以下に示す。

$$\min_{v,p,u} \sum_{t=1}^T \sum_{a \in A \setminus A_S} R^a \cdot \eta(p_t^a + v_t^a)/T \quad (1)$$

$$p_t^a + u_t^a = p_{t+1}^a + v_{t+1}^a \quad (2)$$

$$\forall t = \{1, \dots, T-1\}, \forall a \in \{A \setminus (A_S \cup A_R)\}$$

$$p_t^a + u_t^a = p_{t+1}^a \quad (3)$$

$$\forall t \in \{1, \dots, T-1\}, \forall a \in A_S$$

$$p_t^a = p_{t+1}^a + v_{t+1}^a \quad (4)$$

$$\forall t \in \{1, \dots, T-1\}, \forall a \in A_R$$

$$\sum_{a \in O(i)} u_t^a = \sum_{a \in I(i)} v_t^a \quad (5)$$

$$\forall t \in \{1, \dots, T-1\}, \forall i \in N$$

$$u_t^a \leq \delta^a (H^a - p_t^a - v_t^a) \quad (6)$$

$$\forall t \in \{1, \dots, T-1\}, \forall a \in A \setminus A_S$$

$$v_t^a \leq C^a, \forall t \in \{1, \dots, T\}, \forall a \in A \setminus A_S \quad (7)$$

$$u_t^a \leq C^a, \forall t \in \{1, \dots, T-1\}, \forall a \in A \setminus A_R \quad (8)$$

$$v_0^a + p_0^a = D^a \geq 0, \forall a \in A_R \quad (9)$$

$$\sum_{a \in A_S} p_T^a = \sum_{a \in A_R} D^a \quad (10)$$

$$p_t^a \leq S^a, \forall t \in \{1, \dots, T\}, \forall a \in A_S \quad (11)$$

$$0 \leq u_t^a, \forall t \in \{1, \dots, T-1\}, \forall a \in A \setminus A_R \quad (12)$$

$$0 \leq v_t^a, p_t^a, \forall t \in \{1, \dots, T\}, \forall a \in A \quad (13)$$

目的関数 (1) 式は全避難者の津波浸水リスク値の平均を表している。(2)-(5) 式は交通量保存則、(6) 式は収容容量の制約、(7),(8) 式は流出・流入量制約、(9) 式は初期条件、(10) 式は終了条件、(11) 式は避難所の容量制約、(12),(13) 式は非負制約を表している。

4. シミュレーション

上記で述べた線形計画問題を用いた避難経路生成の性能を検証するため、実際の地域のデータを用いてシミュレーションを行う。対象地域は静岡県焼津市である。静岡県の津波浸水想定データや統計情報などを参考に定数・制約を設定し、線形計画問題を解き、シミュレーションを行った。求められた避難経路の図を図1で示す。丸が避難開始地点を表し、小さい三角が避難所を表し、大きい三角が避難に使われた避難所を表している。図より、避難経路が生成されていることが確認できた。

5. おわりに

本研究では、津波浸水想定データを利用することに着目し、津波発生時に自動車での避難経路生成手法を提案した。津波浸水想定データを利用したことで、より安全な避難経路を提案することができた。

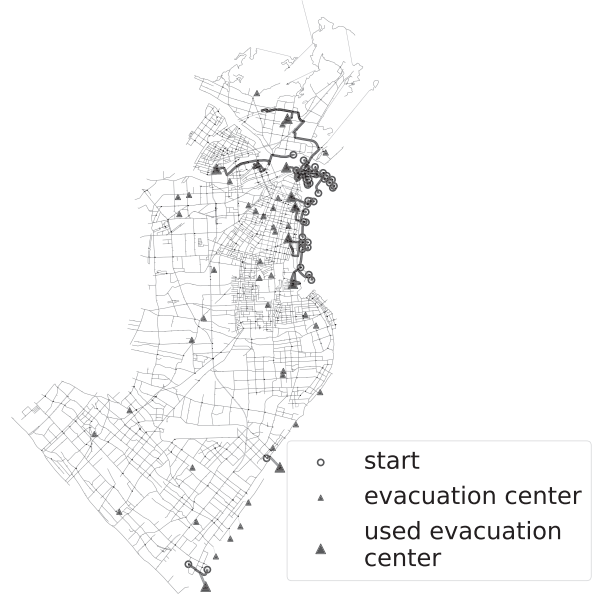


図 1: 津波浸水想定データを用いて津波浸水リスクを最小にした避難経路

今後の課題として、避難先に浸水被害を受けない地域への入口を追加することが挙げられる。ビルや公共施設などの避難施設には定員があるため、避難が必要な住民すべてが十分に近い避難施設に避難できるとは限らない。もし収容可能な避難場所よりも高台など浸水被害がない場所への移動のほうが短時間である場合は、いったんこのような場所に移動し、その後に避難施設に移動して物資の支援を受けたり、避難生活に移ることが望ましい。

また、このシステムを洪水など他の災害に対応できるように拡張することも有用であると考えられる。

参考文献

- [1] OpenStreetMap contributors, OpenStreetMap <https://www.openstreetmap.org> (2017).
- [2] 国土交通省, 国土数値情報ダウンロードサービス, <https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/>
- [3] 奥村誠, 片岡侑美子, 金進英, 津波遭遇リスクを最小化する自動車避難最適化モデル, 土木学会論文集 D3(土木計画学), 73(5), L1083-L1092 (2017).