

津波災害を対象とした最適避難計画モデルの構築

岐阜大学 学生会員 ○荒木麻里
岐阜大学 正会員 倉内文孝
岐阜大学 正会員 杉浦聡志

1. はじめに

東日本大震災では助かった人の約半数が車避難を選択した。一方で、車避難中に渋滞に巻き込まれた事例もあり、地域条件にあわせた避難計画が必要である。本研究では、津波災害発生時の避難計画の策定に寄与する最適避難計画モデルの構築を試みる。

2. 最適避難計画モデルの定式化

2.1 最適避難計画モデルの概要

本研究では、計画者が設定した避難計画に住民が従うことを仮定し、規範的アプローチにより最適な避難方法を決定する最適避難計画モデルを提案する。それぞれの地域の住民がどこに、どの交通手段（徒歩あるいは自動車）で、どの経路を使って避難すべきなのか、を制御変数とし、避難完了時刻を最小化するものとする。なお、本稿では単一交通手段での避難を想定したモデルについて検討する。

2.2 経路集合の生成

本研究で提案するモデルは、利用しうる経路が既知であることを前提とする。利用可能性のある経路を求めるために、OD ペアごとに最短経路探索とネットワーク容量最大化問題を繰り返し、新たに見つかった経路を順次経路集合に加えていくことにする。各 OD ペア交通量についてのネットワーク容量最大化問題は以下の通り定式化できる。この最大化問題を解き、リンク交通量が容量に達しているリンクの所要時間を十分大きな値とした上で再度最短経路探索を行い、新しい経路を探すことを繰り返す。

$$\max_{q_w, f_w} q_w$$

Subject to

$$\sum_{k \in \mathbf{K}_w} \phi_{ak} f_k \leq c_a \quad \forall a \in \mathbf{A}$$

$$\sum_{k \in \mathbf{K}_w} f_k = q_w$$

$$f_w \geq 0, \quad \forall k \in \mathbf{K}_w$$

ただし、 q_w :ネットワーク容量、 \mathbf{K}_w :経路集合、 ϕ_{ak} :リンク-パス接続行列、 f_k :経路交通量、 c_a :リンク容

量、 \mathbf{A} :リンク集合

2.3 最適避難計画モデルの定式化

最適避難計画モデルは、リンク容量付きの総走行時間最小化問題として定式化する。この問題を所与の経路集合で求め、その問題に解が存在する場合には、所定の経路集合で避難可能である。そのため、所要時間が最長の経路を経路集合から順次除去して最適化問題を解き、下記の問題に解が存在する中で最長経路所要時間が最小のものが最適解となる。

$$\min_f \sum_{w \in \mathbf{W}} \sum_{k \in \mathbf{K}_w} \sum_{a \in \mathbf{A}} \phi_{ak} t_a f_k$$

Subject to

$$\sum_{k \in \mathbf{K}_w} \phi_{ak} f_k \leq c_a \quad \forall a \in \mathbf{A}$$

$$\sum_{k \in \mathbf{K}_w} f_k = q_w \quad \forall w \in \mathbf{W}$$

$$f_w \geq 0, \quad \forall k \in \mathbf{K}_w, w \in \mathbf{W}$$

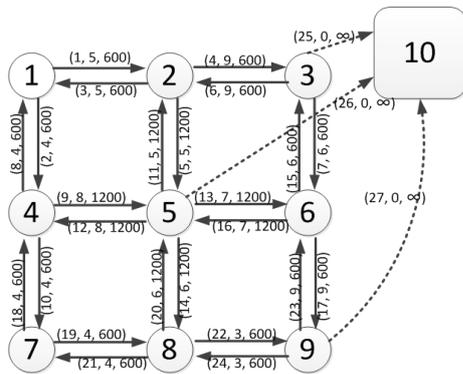
ただし、 t_a :リンク所要時間、 \mathbf{W} :OD ペアの集合

2.4 時間遅れの考慮

以上説明してきたモデルは時間帯の概念がないが、避難の際には時間遅れを考慮する必要がある。ここでは一般的な空間ネットワークを時間軸に拡張した、STEN (Space-Time Extended Network) を活用する。STEN により、異なる時間帯に同一経路を移動するものを別の経路として定義することが可能となり、動的な避難計画を前述した静的なモデルフレームワークで議論可能である。

3. 仮想ネットワークでの検証

図1の仮想ネットワークにおいて各出発地からの交通需要をそれぞれ100台/時とし、STEN上で最適避難計画モデルを適用した。このとき、ノード1を出発地とする交通に着目すると、ノード1→2→5所要時間10分の経路と、ノード1→4→5所要時間12分の経路の2経路が利用されていた。リンク容量600台/時を分換算すると、10台/分となるため、需要が20台以上の場合、出発地で2分以上の遅れが



凡例：(リンク番号, 所要時間, 時間交通容量)

図1 仮想ネットワーク

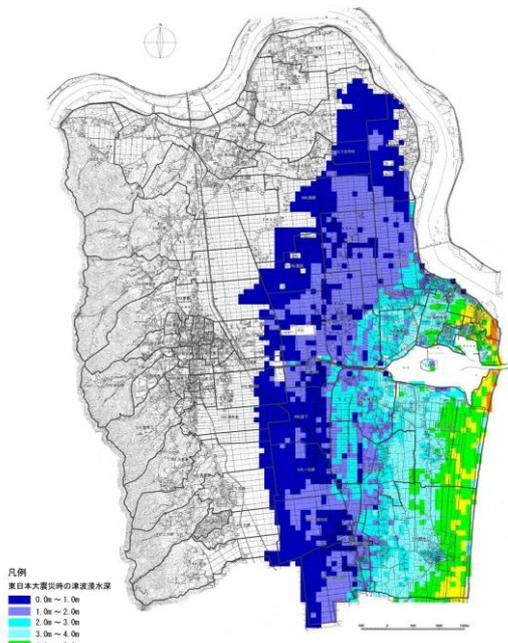


図2 津波浸水想定区域

(東日本大震災による津波浸水実績)

亶理町地域防災計画より



図3 実ネットワーク内の避難所

生じることになる。したがって、1→2→5 所要時間 10 分の経路を 60 台、1→4→5 所要時間 12 分の経路を 40 台が使用する結果となった。以上のとおり、STEN 上ではリンクの容量を明示的に考慮できることが確認できた。

4. 実ネットワークの概要

前述した最適避難計画モデルを実ネットワークに適用する。対象地域は宮城県亶理郡亶理町とした。亶理町は、太平洋に面し海岸部は低平地が続いており、海岸部から西側の内陸部まで約 5km の距離がある。周辺に高台もないため、徒歩での避難が困難な地域もある。東日本大震災では、最大震度 6 弱を観測し大津波に襲われた。図 2 の津波浸水想定区域及び津波浸水実績のとおり、町の面積の半分である 3,493ha が浸水し、最大浸水深は約 7.3m となった¹⁾。亶理町は、地域の特性や震災の経験を踏まえ、車避難も考慮した「津波避難計画」²⁾を策定した。この計画では、地域ごとの避難手段や避難場所などが定められている。本研究では、STEN を用いて亶理町のネットワークにおいて避難方法の検討を行う。図 3 はネットワーク上に存在する 20 か所の避難所を示しており、図の右側が太平洋に面している。このネットワークにおいて、各地域から交通需要を発生させ、避難完了時間、近隣の避難所へたどり着くまでの所要時間や経路を導出する。

5. おわりに

本稿では、最適避難計画モデルの概要、仮想ネットワークでの計算結果を示し、実ネットワークの説明をした。今後は、避難所容量の設定などのモデル改良を進め、実ネットワークにモデルを適用する。亶理町へのモデル適用結果については発表時に示す。
謝辞

亶理町における試行計算において、亶理町役場、東北大学国際災害科学研究所奥村誠教授、金進英助教にはデータの借用などにおいて多大なる協力を賜った。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 亶理町, 地域防災計画第 2 編津波対策編, 2014
- 2) 亶理町, 津波避難計画, 2014