

津波避難シミュレーションによる避難パターンのトレードオフ解析

徳島大学大学院 学生会員 ○武市彰太 徳島大学大学院 正会員 馬場俊孝

1. はじめに

津波避難計画は避難時間の最小化という単純な最適化問題ではない。例えば、避難場所をどこに設置するのか、住民への指示は適切か、経済への負担は大きすぎないか、住民の精神の負担になっていないかなどが考えられ、これらは経済性や行政面でそれぞれトレードオフを含んでいる。より良い津波避難計画を考えるにはこれらの事柄を負担できる範囲のコストで、生命の安全を最大化する計画を策定する必要がある。本研究では、この津波避難計画におけるトレードオフ関係に注目し、最適な避難方法を考える。エージェントモデルを利用し、エージェントの発生場所と避難先の組み合わせを変えて繰り返し計算を行う。シミュレーションの計算結果を設定した複数の評価関数から総合的に評価することにより避難のトレードオフ構造を考察する。

2. 避難シミュレーションモデル

解析には一次元空間モデルを用いた大規模群衆流動にも対応したマルチエージェント歩行者シミュレータである CrowdWalk(山下ほか,2012)を使用した。CrowdWalk はサッカースタジアムや花火大会などでの群衆移動で検証が行われており、信頼性の高いシミュレータである。CrowdWalk は人が歩きまわる空間（地図）を経路のネットワークとして表し、そのネットワーク上を並んで人が歩くと単純化することで、大規模（広範囲の地域・大人数）な人流を高速にシミュレーションする。ネットワーク上にエージェントを配置し、出発点、経由地、目的地、出発時間を与える。エージェントは経由地や目的地へは最短経路にそって移動することを基本的な原理としているが、分岐点での経路選択を細かい条件により制御する。

3. トレードオフ解析のための4つの評価関数

トレードオフの解析のために本研究では、以下の4つの評価関数を設定した。(F1) 避難完了時間…シミュレーションにおける最後の避難者の避難時間を「避難完了時間」と表す。(F2) 避難所収容人数のオーバー…避難先に収容人数を設定し、その避難容量を避難者がどれだけ超えたのかを「避難所収容人数のオーバー」と設定する。(F3) 避難者の避難時間の総和…避難者の避難にかかった時間を総和することで、この総和が多いほど避難の混雑度が高いかを考え評価とする。(F4) 津波被害者数…津波シミュレーションの結果からエージェントの歩行速度を変化させる。津波の影響を受けシミュレーション時間(3,600秒)の間に避難所に避難できなかった避難者を津波被害者数として評価する。

4. 解析条件

エージェントの発生人数は2,900人とし、発生期間はシミュレーションスタートから300秒までの間に2,900人が指定された5か所の発生領域から580人ずつ発生する。エージェントのゴールは3か所設定し、それぞれ避難者容量を3,500, 400, 400と設定した。本研究では上記条件で、発生領域(5か所)と避難先(3か所)の全組み合わせ243ケースを計算した。

5. 解析結果

234ケースの解析結果を図2に示す。

避難完了時間(F1)－避難所収容人数のオーバー(F2)の関係では、オーバーが多いほど避難時間が短くなるというトレードオフの関係になっている。避難時間は短いオーバーが大きく町中の避難場所では避難容量が足りていない。容量のオーバー数は少ないが避難時間はやや大き

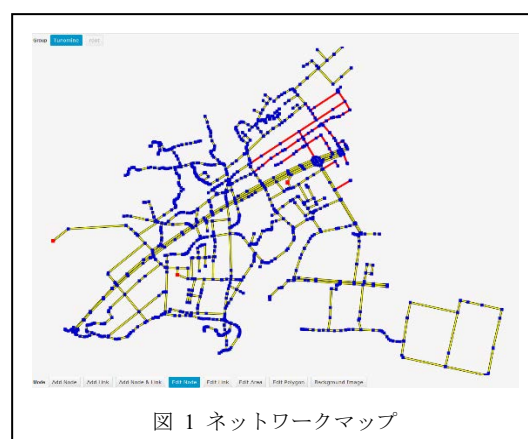


図1 ネットワークマップ

いトレードオフになっている。避難完了時間（F1）－避難者の避難時間の総和（F3）では、避難先の組み合わせによって避難者の混雑度に変化がある。避難完了時間は変わらないが、総和が小さいほどスムーズな避難ができている。混雑していると予期せぬ事故などが起こりやすいと考えられ、避難を考える上では避難完了時間だけでなく混雑度の評価も必要である。避難者の避難時間の総和（F3）－避難所収容人数のオーバー（F2）では、容量のオーバーが多いほど避難時間の総和が短いトレードオフの関係になっている。混雑は少ないが町中の避難場所に避難が集中している。避難者容量の大きい避難場所に避難者を集中させてもスムーズな避難になるわけではないといえる。パターンごとの津波被害者数を図3に示す。避難完了時間（F1）－津波被害者数（F4）は正の相関関係があるが、避難完了時間が同じでも、津波被害者数の多いパターンがあることから避難時間の短縮に注目するだけでは避難計画は充分ではないことがわかる。

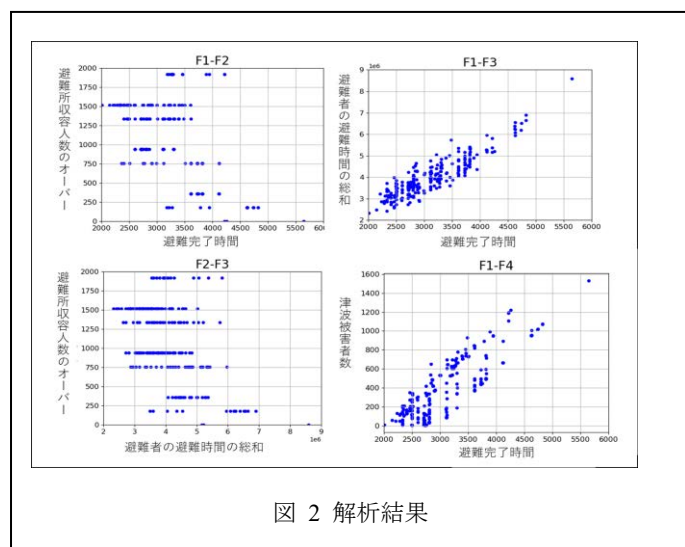


図 2 解析結果

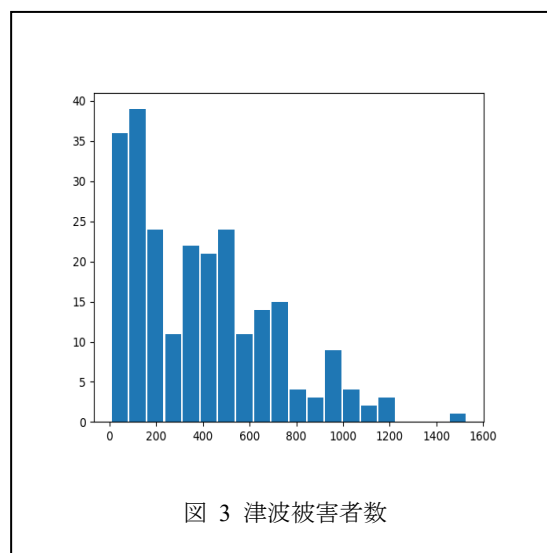


図 3 津波被害者数

6. 考察とまとめ

町中の避難所だけに避難する場合は、避難時間は短くなるが混雑の原因になる。エージェント発生域外にある大規模な避難所だけに避難が集中した場合は、混雑の原因になるだけでなく全体の避難時間が長時間化した。これらから、津波避難では避難時間に余裕のある地域は郊外の避難所に避難し、避難時間に余裕のない地域は町中の頑丈な避難場所に逃げるのが重要である。また、津波被害者と避難完了時間の結果から、避難完了時間の短縮を図るだけではなく、津波の浸水を考慮することが重要である。

本研究では津波避難における評価関数のトレードオフの関係を表した。避難先の組み合わせによっては効率的な避難が可能であり、混雑度と津波浸水に注目すればより安全な避難につながる。

謝辞

本研究で使用した CrowdWalk のご指導を頂いた 産業技術総合研究所 野田五十樹教授、産業技術総合研究所 人工知能研究センターの皆様に深謝する。

参考文献

- Matsushima, H., Noda, I., "Analysis of Trade-off in Evacuation Plan using Evolutionarily Exhaustive Simulation" 23rd International Symposium on Artificial Life and Robotics (AROB2018), 2018
- 山下倫央, et al. "一次元歩行者モデルを用いた高速避難シミュレータの開発とその応用." 情報処理学会論文誌 53.7 (2012): 1732-1744.