

津波避難シミュレーションにおける地理情報の設定に関する検討

中央大学大学院 学生会員 ○ 藤山 麗
 中央大学大学院 学生会員 中村 麻菜美
 中央大学 正会員 梶山 和男

1. はじめに

日本は地震発生頻度が非常に高く、主な二次災害として津波被害が挙げられる。津波による甚大な被害をもたらした2011年東日本大震災を契機とし、防波堤の建設等ハード対策には限界があるという認識が高まり、内閣府が定めるレベル2の様な巨大災害時にはハード面とソフト面の柔軟な対応が求められている。ソフト対策の一つとして、各自自治体はハザードマップの作成を行ってきた。しかし、いつどのように避難すべきか等の理解が容易でないという欠点が挙げられる。そこで、避難の理解が容易となる避難シミュレーション手法の研究が近年広く行われている。

本研究は、著者らの既往研究¹⁾により構築された津波避難シミュレーションにおける適用性向上を目的とし、地理情報の設定について検討を行った。具体的には、避難路上のノード間距離の差異がシミュレーション結果に及ぼす影響について、犠牲者数の推移を基に検討を行う。

2. シミュレーション手法

本研究では、周囲の情報を基に自律的に行動する多数のエージェントが共存し、相互作用を及ぼし合う環境であるマルチエージェントシステムに基づくシミュレーションを行う。本シミュレーションの流れを図-1に示す。地理情報の取得、避難路の作成等、入力データの作成・読み込みにはGIS (Geographic Information System; 地理情報システム) ソフトである ArcGIS を、津波データの読み込み・シミュレーションの実行にはマルチエージェントモデルの構築に適しているプログラミング言語、NetLogo5.3.1 を用いる。

(1) 地形データの作成

国土院が提供しているデータを基に、避難者、避難所、避難路、ノードを作成する。歩行避難者は建物内から避難すると仮定し、初期位置を建築物の重心とする。対象地域の防災情報を基に津波避難所を設定する。また道路中心線の情報を基に避難路を作成し、避難路上にノードを配置する。

(2) 津波シミュレーション

作成された地形データを基に、浅水長波方程式を用いた有限要素法による津波シミュレーション²⁾を行う。津波の初期条件としては、当該地域の津波被害が最大となる条件である、中央防災会議が提供している断層モデル4から算出された水位変動量を用いる。

(3) 避難シミュレーション

避難者は初期位置である建物内から避難すると仮定し、避難開始直後は最短距離のノードを選択する。ノードに到着した時点で、隣接しているノードに対して(1)式で表される重力モデル式を用い、避難経路の選択を行う。

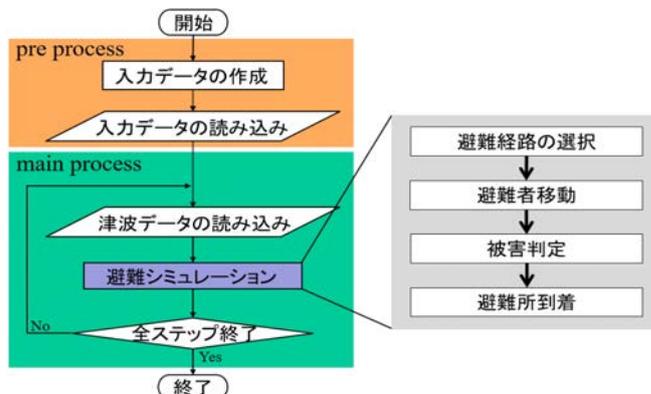


図-1 避難シミュレーションのフローチャート

$$S = \frac{a}{s^\alpha} - \frac{b}{z^\beta} - \frac{c}{w^\gamma} \quad (1)$$

ここで S は効用とし、 s は避難所までの距離、 z は標高、 w は水際線からの距離である。 a 、 b 、 c は変数に対する重みであり、値が大きいほど効用に占める割合が大きくなる。 α 、 β 、 γ は変数に対する空間距離の影響度であり、値が小さくなるほど遠くまで影響を及ぼす。

避難者は効用 S が最大となる隣接ノードへ移動し 図-1 に示す避難行動の流れの通り、避難経路の選択・移動を繰り返し、避難所に到達した時点で避難行動を終了する。

3. ノード間距離が及ぼす影響

避難路上に作成されるノードの配置には、避難路の屈曲度合いに合わせて不等間隔に配置する手法と、等間隔に配置する手法の2手法がある。既往研究¹⁾では、実地形に合わせて避難路を忠実に再現するため不等間隔に配置する手法が用いられてきた。本研究では、ノードを等間隔に配置する手法を用い、累積犠牲者数により比較を行う。

4. シミュレーション実行

(1) 適用例1

歩行避難者は、津波による浸水済み避難路を回避するシステムとして(1)式により選択された目的ノードが浸水判定を受けた時点で、以前いたノードを選択し直し引き返す。ノードにおける津波情報取得方法を図-2に示す。流速と浸水深の情報を持つ津波データを中心として半径 R m 以内に存在するノードを変色させることで、浸水判定の情報を付与する。そこで津波データを中心とした半径 R m を10m、30m で比較し、ノード間距離の差異がシミュレーション結果に及ぼす影響について検討を行う。

KeyWords : マルチエージェントモデル, 避難シミュレーション, 歩行避難者, ノード間距離

連絡先: 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 TEL. 03-3817-1815 Email: a17.y5tk@g.chuo-u.ac.jp

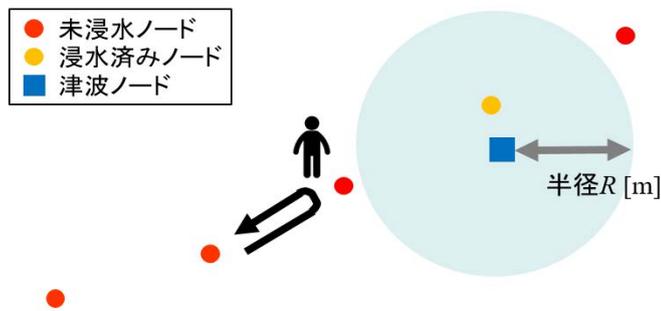


図-2 津波情報取得及び浸水済み避難路の回避システム

a) シミュレーション条件

本研究では、高知県中土佐町久礼地区を対象とし、シミュレーション範囲を南北 361m × 東西 522m、避難所を 1 か所と設定する。歩行避難者は 40 代男性のみの 630 人とし、歩行速度³⁾、群集速度⁴⁾、勾配速度⁵⁾、体重⁶⁾、歩行疲労割引率⁷⁾、浸水済み避難路の回避システムの六要素を考慮する。比較するノード間距離は 5m, 10m, 15m の 3 ケースを用いた。

b) 適用結果

シミュレーション開始時間を地震発生時間とし、避難者は避難開始時間に一齐に避難を開始するものとする。R=10m, 30m における、避難開始時刻を 1 分毎に変化させた時の累積犠牲者数の推移を図-3, 4 に示す。犠牲者が発生する時刻及び避難者全員が犠牲者となる時刻が一致していることから、避難完了者あるいは犠牲者のみの発生となる時刻については、ノード間距離に依存しないことを確認した。避難完了者及び犠牲者が同時に発生する時刻においては、R=10m ではノード間距離により犠牲者数に差異が生じ、全てのノード間距離の値を含む R=30m では概ね一致した。避難者はノードの持つ情報により避難経路を選択するため、津波情報取得範囲とノード間距離がシミュレーション結果に影響を及ぼすことを確認した。このことから、R よりも小さいノード間距離を選定することでノード間距離に依存しないシミュレーション結果が得られることが示された。

(2) 適用例 2

a) シミュレーション条件

シミュレーション範囲を拡大し、南北 2653m × 東西 2077m、避難所を実際の 25 か所と設定する。歩行避難者 2650 人に対し、適用例 1 の六要素に加え地区ごとの避難所区分け⁸⁾を考慮する。比較するノード間距離においても適用例 1 と同様に、5m, 10m, 15m の 3 ケースを用いた。

b) 適用結果

結果については講演時に示す。

5. おわりに

本研究では、津波避難シミュレーションにおける適用性向上を目的とし、地理情報の設定について以下の知見を得た。

- 避難完了者あるいは犠牲者のみ発生となる時刻においては、ノード間距離に依存しないシミュレーション結果が得られた。
- 避難完了者及び犠牲者が同時に発生する時刻におい

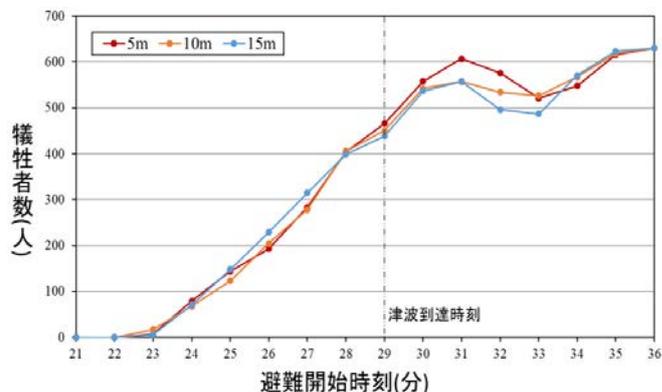


図-3 R=10m の累積犠牲者数

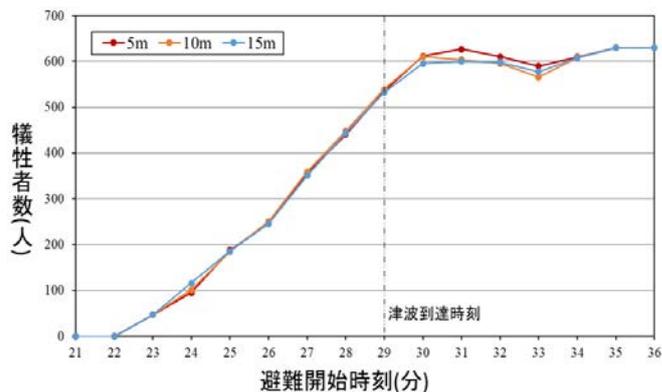


図-4 R=30m の累積犠牲者数

ては、浸水情報付与範囲の半径 R より小さいノード間距離を選定することで、ノード間距離に依存しないシミュレーション結果が得られた。

今後の課題として、本研究において得られたノード間距離の設定の知見を基に、建物倒壊や火災延焼を考慮した津波避難シミュレーションシステムの構築を行う。

参考文献

- 1) 近真弥, 金澤功樹, 大川博史, 榎山和男, マルチエージェントモデルを用いた津波避難シミュレーションの適応性向上に関する研究, 第 46 回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集 I-75, 2p., 2018.
- 2) 利根川大介, 榎山和男, 安定化有限要素法による津波遡上及び流体力の解析手法の構築, 応用力学論文集 (土木学会), Vol.12, pp.127-134, 2009.
- 3) 加賀谷俊介, 川野竜平, 成行義文, 源貴志, 歩行調査に基づく単独歩行速度推定式の導出と津波避難シミュレーションへの適用, 第 16 回土木学会四国支部技術研究発表会講演概要集 I-26, 2p., 2010.
- 4) John J. Fruin, PEDESTRIAN Planning and Design, 長島正允, pp45-92, 1974.
- 5) 森本安生, 伊藤謙, 坂道における歩行の理論的考察と基礎的な実験, 明治鍼灸医学第 34 号, pp29-38, 2004.
- 6) e-Stat 体力・運動能力調査 <https://www.e-stat.go.jp/>, 2022 年 01 月 17 日閲覧
- 7) 片田敏孝, 桑沢敏行, 信田智, 小島優, 大都市大規模水害を対象とした避難対策に関するシナリオ分析, 土木学会論文集 B1 (水工学) 69 巻 1 号, pp71-82, 2013.
- 8) 橋本佳奈, 避難車両を考慮した水害避難システムの構築, 第 45 回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集 II-41, 2p., 2017.