

建物倒壊及び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

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 檜山 和男

1. はじめに

著者らは、これまで津波による人的被害について検討するためマルチエージェントモデルを用いた避難シミュレーション手法の構築¹⁾を行ってきた。しかし、地震発生に伴う建物の倒壊や火災延焼については考慮されておらず、システムの適用性に課題があった。

そこで本研究では、著者らの既往のシミュレーション手法¹⁾に対し、地震の発生に伴う建物倒壊及び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った。

2. シミュレーション手法

本システムのフローを図-1 に示す。

(1) 地形データの作成

国土地理院が提供しているデータを基に、避難者、避難所、避難路を作成し、避難路上にノードを配置する。以上の地理情報の作成には ArcGIS を用いた。

(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安定化有限要素法による津波シミュレーション²⁾を行った。

津波の初期条件は、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た。

(3) 避難シミュレーション

本研究ではマルチエージェントモデルの扱いが可能である NetLogo を用いて避難シミュレーションの構築を行った。

避難者は初期位置から最短距離にあるノードに移動後、隣接している各ノードに対し式(1)で表される重力モデルを基に効用 S を算出し、 S が最大となるノードを選択して移動する。

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

ここで、 S は効用とし、 s は避難所までの距離、 z は標高、

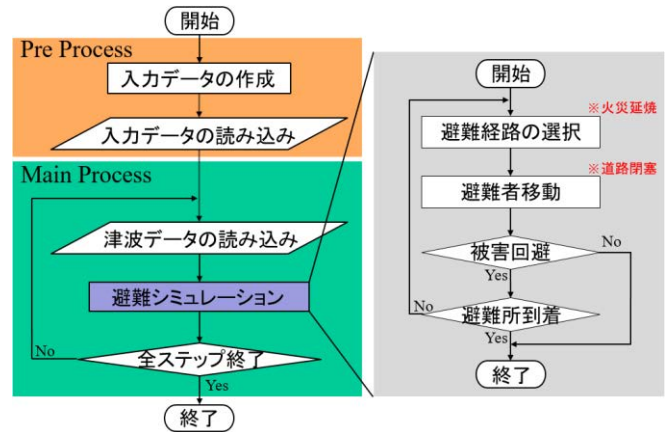


図-1 避難シミュレーションの流れ

w は水際線からの距離、 f は出火地点までの距離、 a, b, c, d は変数に対する重みであり、値が大きいくほど効用に占める割合が大きくなる。また、 $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ 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。

3. 建物倒壊による道路閉塞

(1) 道路閉塞確率の算出

地震の発生に伴い建物の損壊が生じることで、避難経路への影響が懸念される。2015年に東京消防庁が提示した手法³⁾を参考に、建物倒壊による道路閉塞確率を算出する。ノード毎の道路閉塞確率 p は図-2に示す様な建築物の配置の下、式(2)を用いて算出される。

$$p = 1 - \{(1 - x_w)^{\alpha_w} \cdot (1 - x_m)^{\alpha_m} \cdot (1 - x_p)^{\alpha_p} \cdot (1 - y_w)^{\beta_w} \cdot (1 - y_m)^{\beta_m} \cdot (1 - y_p)^{\beta_p}\} \quad (2)$$

ここで、変数 x は一对の正面で向かい合う建築物間で道路が閉塞する確率を、 y は一对の斜めで向かい合う建築物間で道路が閉塞する確率を示す。また、添え字 w は木造建築物同士、 m は木造・非木造建築物、 p は非木造建築物同士の組み合わせを示している。

(2) 道路閉塞による速度低減

前項により算出された閉塞確率を持つノードからランダムに、建物倒壊による道路閉塞を発生させる。閉塞

キーワード 避難, 道路閉塞, 火災延焼, シミュレーション, マルチエージェントモデル

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 TEL 03-3817-18

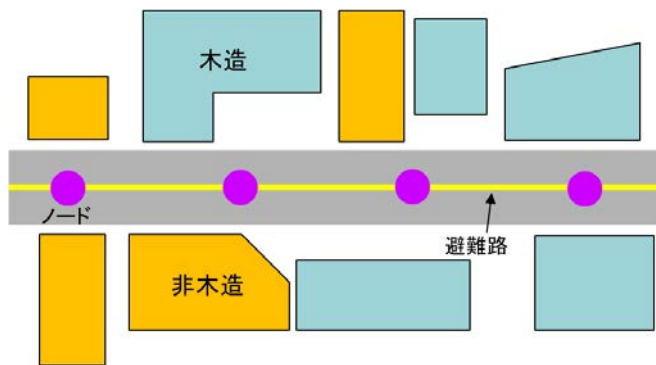


図-2 建築物の配置

表-1 年齢別速度低減率

	歩行速度(m/s)		速度低減率
	男性	女性	
~14歳	1.33	1.29	0.75
15~34歳	1.47	1.44	0.63
35~54歳	1.39	1.36	
55~64歳	1.41	1.46	0.52
65~74歳	1.32	1.48	
75~84歳	1.04	1.32	
85歳~	0.39	0.62	

道路遭遇時、避難者は回避行動をせず、閉塞した避難路を通過すると仮定し、瓦礫の超越に伴う速度低下⁴⁾を考慮する。本研究では、高知県中土佐町上ノ加江地区において実施された津波避難訓練の結果から得られた速度低減率⁵⁾(表-1参照)を年齢別に付与することで速度低下を考慮する。

4. 火災延焼シミュレーション

(1) 出火点の検討

内閣府が提示している手法⁶⁾を基に、一般火気器具、電熱器具、電気機器及び配線からの出火率を基に総出火件数を算出する(式(3))。なお、得た値は対象領域における最大出火件数とするため、出火点は算出した総出火件数よりランダムに設定する。

$$\text{総出火件数} : \sum \text{出火件数} = \text{建物数} \times \text{出火率} \quad (3)$$

(2) 火災延焼シミュレーション

既往の火災延焼シミュレータ⁷⁾を用いて火災延焼シミュレーションを行う。延焼速度式は、風向に対し風下方向、風下側45度方向、風上方向、風上側45度方向、風横方向の計5種8方向が考慮される。以下に、風下方向、風上方向、風横方向における延焼速度式を示す(式(4)~(6))。

- 風下方向：

$$V_1 = N \frac{1 + 0.1W + 0.007W^2}{c_1 + c_2a + c_3d/D_1} (a + d) \quad (4)$$

- 風上方向：

$$V_2 = N \frac{1 + 0.1W + 0.002W^2}{c_1 + c_2a + c_3d/D_2} (a + d) \quad (5)$$

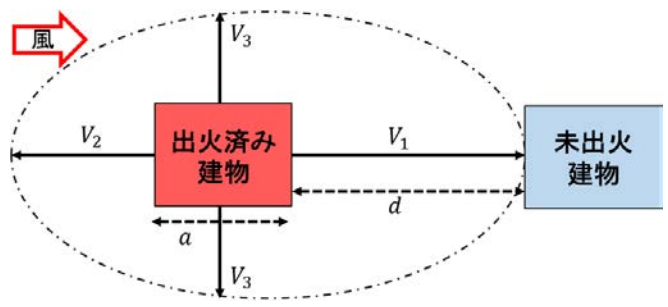


図-3 延焼速度式のモデル図

- 風横方向：

$$V_3 = N \frac{1 + 0.1W + 0.005W^2}{c_1 + c_2a + c_3d/D_3} (a + d) \quad (6)$$

ここで、 V_1, V_2, V_3 は風向に対する延焼速度、 a は建物長、 d は隣棟間隔、 D_1, D_2, D_3 は延焼限界距離、 W は風速、 c_1, c_2, c_3 は係数、 N は延焼速度比である(図-3参照)。各値の詳細は参考文献⁷⁾を参照されたい。

5. 適用例

本システムの妥当性を検証するため、高知県中土佐町久礼地区を対象地域とし、津波避難シミュレーションを実行した。

6. おわりに

本研究では、著者らの既往のシミュレーション手法に対し、地震の発生に伴う建物倒壊及び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った。結果については講演時に示す。

参考文献

- 1) 藤山麗ほか、第49回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集IV-62, 2p., 2022.
- 2) 利根川大介ほか、応用力学論文集(土木学会) Vol.12, pp.127-134, 2009.
- 3) 東京消防庁、地震火災による人的被害の軽減方策、火災予防審議会答申, pp74-91, 2015.
- 4) 藤田謙一ほか、東日本大震災特別論文集No.7, pp.1-6, 2018.
- 5) 高知県海洋局、漁村における津波対策基本方針, 2013.
- 6) 内閣府防災担当、首都直下地震に係る被害想定手法について、首都直下地震対策専門調査会, 2007.
- 7) 二神透ほか、土木情報利用技術論文集Vol.17, pp.39-46, 2008.
- 8) 木俣昇、日本オペレーションズ・リサーチ学会論文誌 Vol.30, No.1, pp.59-87, 1987.