

# 避難シミュレーションを用いた沿岸地域の津波に対する脆弱性の評価

公共システム研究室 蘆田哲也

## 1. はじめに

近い将来、東南海・南海地震等の発生により大きな津波が発生すると予測されており、国・地方自治体には対策が求められている。しかし、財政の逼迫により、防波堤建設等の十分なハード的防災事業を実施することは困難であり、如何にして津波に対する地域の防災力を高めるかが課題となっている。そこで、住民の防災意識を高める取り組みや避難を促す制度等、ソフト防災を利用することで地域の防災力を高めることが、今後は重要になると考えられる。

本研究では、まず津波来襲時の避難モデルの構築とシミュレーションプログラムの開発を行い、それを用いて住民の避難に関する問題点、津波防災の脆弱性を分析する。

## 2. 本研究の着眼点

避難シミュレーションを利用することのメリットとして次の2つが挙げられる。まず、迅速な避難を行うには、住民の防災意識が高く、避難勧告に対して即座に反応することが求められる。そこで、避難シミュレーションで住民に災害のイメージや避難に関する知識を持ってもらい、自助、共助によって地域の防災力を高めることができれば、被害を最小限に抑えることが可能となる。もうひとつは、避難シミュレーションを用いて、避難時の問題点や地域の津波防災に関する脆弱性を見つけ、それらの解決手段を検討することができる点である。また、避難シミュレーションを通じた行政と住民の情報交換等により、住民の意見・アイデアが生かされたボトムアップ的な防災施策が実施できるという効果もある。

避難シミュレーションのように、多くの人間の意思決定や行動、また、外部環境や周囲の人間とのやりとりを扱う場合、個々のエージェント（自律的に行動する活動主体）の属性に基づいてルールを実行するマルチエージェントシステムを用いることでプログラム開発を容易にし、人々の複雑な動きを表現できる。本研究では、マルチエージェントシミュレータ *artisoc* を用いて、鳥取県境港市渡町の住民が津波災害時の一時避難所である渡小学校に避難するケースを対象に津波避難シミュレーションを行った。

## 3. 避難モデルの構築について

本研究では、道路網の交差点をノード、道路をリンクとして道路ネットワークを作成し、対象地域の道路ネットワークは図1の通りである。

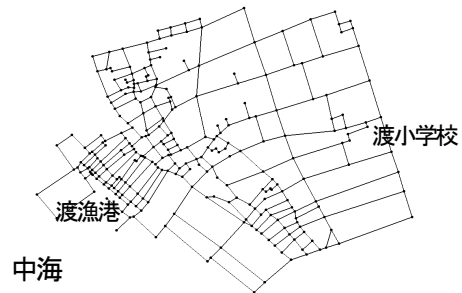


図.1

ここでは、境港市渡町の住民は避難場所の渡小学校までの経路を知っているという仮定の下、最短経路、道路幅、海岸からの距離を変数として避難時の経路判断の評価式を作成し、個々のエージェント自身が避難経路を選択し、避難場所まで移動する内生型モデルを構築した。まず、式(1)で道路長を道路幅で補正したリンクコスト  $c$  を求める。

$$\begin{aligned} c &= d(1 + \alpha_1(\beta - w_r) / \beta), \quad w_r < \beta \\ c &= d, \quad w_r \geq \beta \end{aligned} \quad (1)$$

ここに、 $d$  は道路長、 $w_r$  は道路幅、 $\beta$  は道路幅によるリンクコストの補正を行うかどうかを決定する基準値（例えば 4m）、 $\alpha_1$  は各エージェントの道路幅に対する重みパラメータである。このリンクコストを用いて、ネットワークの最短距離（物理距離だけでなく、時間距離、コスト等も可能）および最短（最適）経路を求めるダイクストラ法を実行し、避難場所から各ノードまでの最小総リンクコストを導出した。さらに、各ノードに海岸からの距離を与え、これらから経路判断の指標である危険度ポテンシャルを求めた。この危険度ポテンシャルは被災のしやすさを表しており、避難者はより危険性の低い地点を目指して避難するという考え方に基づく指標である。避難者は、現在のノードに接続されるノードの中から、危険度ポテンシャル  $p_i$  が最も低いノード  $i$  を次に進むノードとして選択するとし、式(2)で表す。

$$p_i = C_i + \alpha_2 / s_i \quad (2)$$

ここに、 $C_i$  は避難者が現在のノードからノード  $i$  を経由して避難場所ノードに到達するのに要する最小総リンクコスト、 $s_i$  がノード  $i$  の海岸からの距離、 $\alpha_2$  は各エージェントの海岸からの距離に対する重みパラメータである。

各エージェントは家族等のグループで構成され、グループ単位で徒歩で避難するものとしている。

群集密度が大きくなった場合、その物理的な制約によって、人間の歩行速度は自由歩行速度から群集歩行速度へと遷移し、歩行速度は低下し、速度の個人差も小さくなる。本研究ではエージェントの歩行速度  $V$  を式(3)、群集密度  $\rho_c$  を式(4)で表すことにする。

$$V = \min(V_0, V_0(4 - \rho_c)/3), \quad \rho_c < 4 \quad (3)$$

$$V = 0, \quad \rho_c \geq 4$$

$$\rho_c = n / (lw_r) \quad (4)$$

ここに、 $V_0$  はエージェントの自由歩行速度、 $l$  はエージェント前方の群集密度を求めるための距離で 3m とし、 $w_r$  は道路幅、 $n$  は範囲内の群集の人数である。

津波の浸水については、数値波動水路プログラムの CADMAS-SURF を用いて鉛直二次元モデルの津波（第一波の押し波）を再現した。造波方法にはダム破壊法を採用し、陸上部で 10m ごとに流速と浸水深を計測し、それを避難シミュレーションに重ね合わせた。津波による人的被害発生の判別には、安全領域境界線の近似式に対して式(5)を適用した。

$$h_c = ae^{-0.735u} \quad (5)$$

ここに、 $a$  は男女・年代別の平均身長である。人的被害の判別は、ある地点の、ある瞬間における流速  $u$  を式(5)に代入し、その地点の、その瞬間における浸水深が限界浸水深  $h_c$  より大きければ人的被害が発生することになる。

#### 4. 避難行動における脆弱性分析

境港市渡町の 797 エージェント（世帯）を対象とし、各世帯から最も近いノードを避難開始位置とした。各エージェントの構成人数は 1~5 人、自由歩行速度は  $1.0 \pm 0.1$  (m/s)、道路幅に対する重みパラメータ  $\alpha_1$  は 0.25~0.75、海岸からの距離に対する重みパラメータ  $\alpha_2$  は 50000~150000 とし、それぞれの値を乱数で決定している。また、住民を防災意識の高いグループと低いグループに分け、防災意識が避難開始時間に影響を与えるとした。避難開始時間は正規分布の分布形状に従うとし、防災意識の高いグループは避難勧告後 3 分を平均、標準偏差を 1 分とし、防災意識の低いグループは避難勧告後 20 分を平均、標準偏差を 6 分 40 秒として与えた。

ここでは、道路閉塞の発生下における避難行動について考察する。津波発生の原因は地震であるため、震源地が近い場合、家屋等の倒壊によって道路が閉塞される可能性が高くなる。建築年代の古い木造住宅が密集し、道路幅の狭い地域は特に危険である。本研究では、既存研究より道路幅 4m 未満の道路が閉塞しやすいものとし、一定確率に基づいてリンクを

ランダムに切断する。避難者がある交差点に到着して道路閉塞を認識した場合、そのリンクを道路ネットワークから取り除いてダイクストラ法を実行し、最適経路を再構築するようにしている。なお、防災意識の高いグループの割合を 0.5、避難勧告後 50 分で津波が来襲すると仮定し、避難完了率を図2、津波による人的被害発生確率を図3で示す。

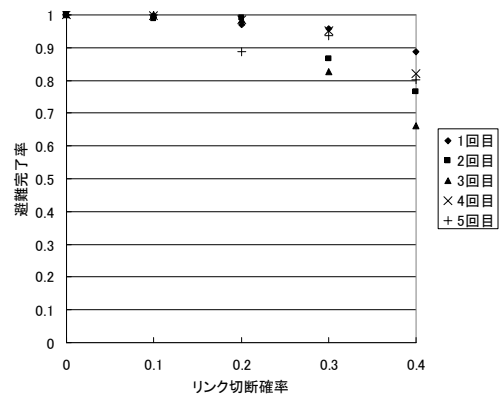


図. 2

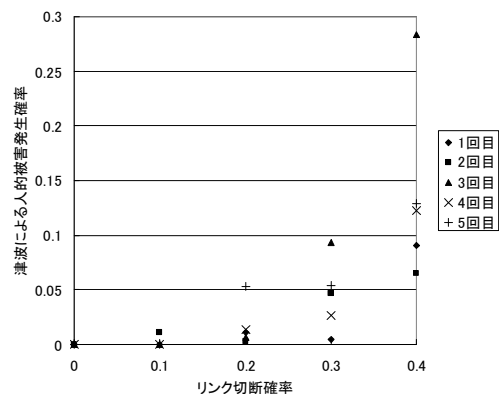


図. 3

図2 および図3 より、リンク切断確率が 0.1 以下の場合には道路閉塞による影響を無視できるが、リンク切断確率が 0.2 以上になると避難完了率が下がることが確認できる。また、同じリンク切断確率でも避難完了率にばらつきが生じていることから、道路閉塞箇所の組み合わせによっては避難行動に大きく支障をきたすことが言える。

#### 6. おわりに

本研究では、個人の意思決定や行動を表現しやすいマルチエージェントシステムを用いて避難シミュレーションを構築し、津波浸水に対する脆弱性を避難行動から分析した。今後の課題として、経路選択モデル改良や歩行速度設定のためのアンケート調査、道路閉塞モデル構築のための家屋調査が望まれる。