

# 人と車が混在する津波避難シミュレーションの開発

—気仙沼への適用—

東北大学大学院

学生会員 ○牧野嶋 文泰

東北大学災害科学国際研究所

正会員 今村 文彦

## 1. はじめに

国土交通省が行った東日本大震災での避難行動調査では、震災当時、避難をした人が避難時の道路状況で困ったこととして、渋滞して車が動けない状態だったと答えた人が最も多く、また、映像資料（例えば<sup>1)</sup>）にも、震災当時の渋滞のようすが残されている。今後、津波避難シミュレーションのモデルは、人と車の両方を取り扱うことができ、その干渉の結果である渋滞現象を議論できるモデルである必要があると考えられる。

著者らは、現在、ポテンシャルモデルに基づく津波避難シミュレーションを開発中である。本稿では、シミュレーションモデルのうち、主に車の混雑度を表現するアルゴリズムについて検討した結果を紹介する。

## 2. 津波避難シミュレーションモデル

我々が開発中の津波避難シミュレーションは、横山ら（1995）が提案したポテンシャルモデルに基づく津波避難シミュレーションである。ポテンシャルモデルを用いたのは、ポテンシャルモデル自体が、複数の要素を統一的に取り扱うことを考えられており開発の上で、拡張性が高いこと、また、入力ファイルとしてポテンシャル場を与えることで計算時間を短縮できる等のメリットが考えられたためである。

図-1 にエージェントの移動計算イメージを示す。エージェントは、まず、あらかじめ入力ファイルとして与えてあるポテンシャル場を読み込み、移動方向ベクトルを算出する。次に、周りのエージェントとの接近を回避するために、計算ステップ毎に算出される接近回避ベクトルを算出し、それらを足し合わせ、最終的な移動方向を決定する。エージェントは、決定した移動方向ベクトルに各移動速度で、避難完了まで移動を繰り返す。横山らのモデルでは、エージェントはセルからセルへと移動していくが、本モデルでは、加藤ら（2009）のモデルを参考とし、エージェントは自分の現位置からポテンシャル場を読み込み、移動ベクトルを算出し、自由座標系を移動する。

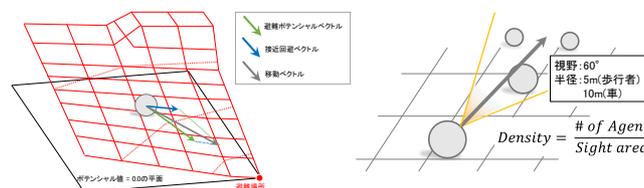


図-1 移動計算イメージ

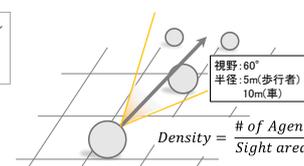


図-2 密度計算方法

## 3. 車エージェントの速度調整モデル検討

既往の津波避難シミュレーションモデルでは、様々な形で、車の混雑を表現することが試みられている。シミュレーションモデルとして、ネットワークモデルを採用したものでは、例えば、車間距離及び現在速度を参照することで車の速度を決定する最適速度モデルを用いたものや、ネットワークのリンクに道路幅の要素を持たせ、前の車との車間距離と、エージェント周囲の密度に応じて速度を減速するモデルを用いたものがある。

一方、自由座標系のモデルを採用したものでは、マルチエージェント手法を用いて津波避難シミュレーションを構築したMasら（2012）があり、車エージェントは、ある設定した視野の内側にいるエージェントをカウントし、それに応じて算出された密度を基に速度を決定するモデルを採用している。

開発中のモデルはエージェントが自由座標を移動するモデルのため、ノード・リンクの考えに基づく減速モデルは取り入れるのが難しい。そこで、本稿では、マルチエージェント技法で多く取り入れられているエージェントの視野（今回は、図-2 に示した扇形と仮定）内の密度に応じて速度を変化させるアルゴリズムを検討した。速度と密度の関係には、Masら（2012）を参考に、図-3 に示した、速度と密度の関係が正規分布になると仮定した曲線を用いた。現在のところ、モデルでは、車エージェントは人エージェントを密度としてカウントしない。将来の応用として、狭い路地等の人と車が混在する状況に適用できるように、速度調整モデルを見直すことは今後の課題である。

キーワード：津波避難、避難シミュレーション、気仙沼市内

連絡先：〒980-0845 仙台市青葉区荒巻字青葉 468-1 E305 TEL022-752-2089

## 4. アルゴリズム実地適用 -宮城県気仙沼市の場合-

### 4.1 計算入力条件

検討した車エージェントの避難速度調整アルゴリズムが、実地形に適用された場合に、エージェント同士の干渉によって、どのような速度変化が創発されるのかを確認するために、宮城県気仙沼市（気仙沼地区、鹿折地区）5km×4kmの領域にシミュレーションを適用した。解析対象エリアを図4に示す。ポテンシャル場は、図に示した土地利用に応じた1mメッシュの単位通過コストの最小累積コストとして与えた。避難先には、海側の避難所等を除く、図に示した計7箇所を設定した。これは、気仙沼市が実施した東日本大震災における避難行動実態調査によると海側の避難所に逃げた人が少ないということが分かっていることと、事前の検討により、これらの避難所を含んだシミュレーション結果では、エージェントの干渉があまり創発されずに、避難速度変化の検討が難しいことが分かっているためである。エージェントは、平成23年2月28日時点の人口分布に基づいて想定した20歳以上の人口15526エージェントを対象地域の標高30m以下の範囲にランダムに配置し、地震発生から5分後に一斉避難とした。

### 4.2 計算結果

計算結果の定性的検討として、気仙沼市の避難行動実態調査の渋滞の様子とシミュレーション上の渋滞の様子を比較した。本稿では、簡単に海側の避難所等を避難先として指定しないと設定し、詳細な住民の避難先・経路選択の検討は行っていないが、計算の結果、震災当時に車の渋滞が報告されている気仙沼大橋付近で渋滞の発生が確認された。震災当時の避難行動データ等を用いた避難先・経路等の詳細な検討は今後の課題である。

計算結果の定量的検討の結果として、車利用率を変化させた場合の避難中の全車エージェントの速度を平均し、時系列で示したものを図5に示す。車利用率が上昇するほど、速度低下が大きく、減速継続時間も増えており、定性的に納得できる結果である。本計算では、車一台に一人を仮定したため、実際よりも厳しい計算条件であるが、震災当時の気仙沼市の車利用率(49.4%)とほぼ等しい50%の条件で、渋滞発生初期の平均速度は震災の実績値である9km/hに近い速度が再現された。

## 5. おわりに

本稿では開発途中の津波避難シミュレーションの概要と車エージェントの速度変更アルゴリズムの実地適用によるモデルの検討結果を紹介した。簡単な検討ではあるが、定性的には、部分的に震災当時と同様の渋滞の様子が観察さ

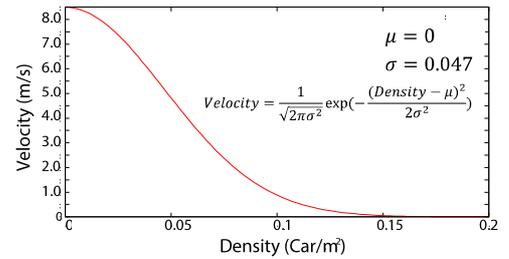


図-3 計算に用いた速度-密度の関係

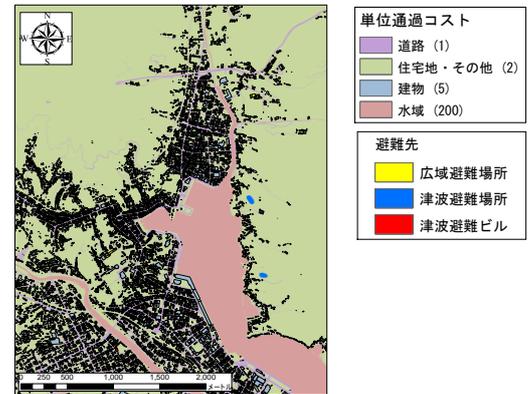


図-4 計算対象地域

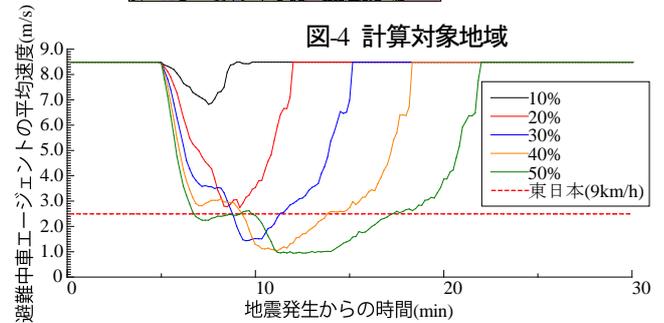


図-5 車利用率ごとの車エージェントの時系列平均速度

れ、定量的には、東日本大震災当時の自動車利用率に近い条件で、既往の調査から得られている車の避難速度に近い速度低下が創発された。今後は、震災当時の避難行動データや避難訓練のデータ等をシミュレーションに取り入れて、モデルの改良・検証を行う予定である。

### 参考文献

- 1) 東北放送 (2011) : 東日本大震災の記録 ～3.11 宮城～ (ビデオDVD)
- 2) 横山秀史・目黒公朗・片山恒雄 (1995) : 避難行動解析へのポテンシャルモデルの応用, 土木学会論文集 No.513/I-31, pp.225-232.
- 3) 加藤周平・下園武範・岡安章夫 (2009) : 個体行動特性を考慮したハイブリッド型群集津波避難シミュレーション, 土木学会論文集, Vol.B2-65, No.1, pp.1316-130
- 4) Erick MAS, Anawat SUPPASRI, Fumihiko IMAMURA, Shunichi KOSHIMURA (2012) : Agent\_based Simulation of the 2011 Great East Japan Earthquake/Tsunami Evacuation: An Integrated Model of Tsunami Inundation and Evacuation, Journal of Natural Disaster Science, 34(1), pp.41-57.